

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.40 August 1966
工業用電機品特集

8

6 スタンド連続熱間圧延機用粗圧延機駆動用直流電動機



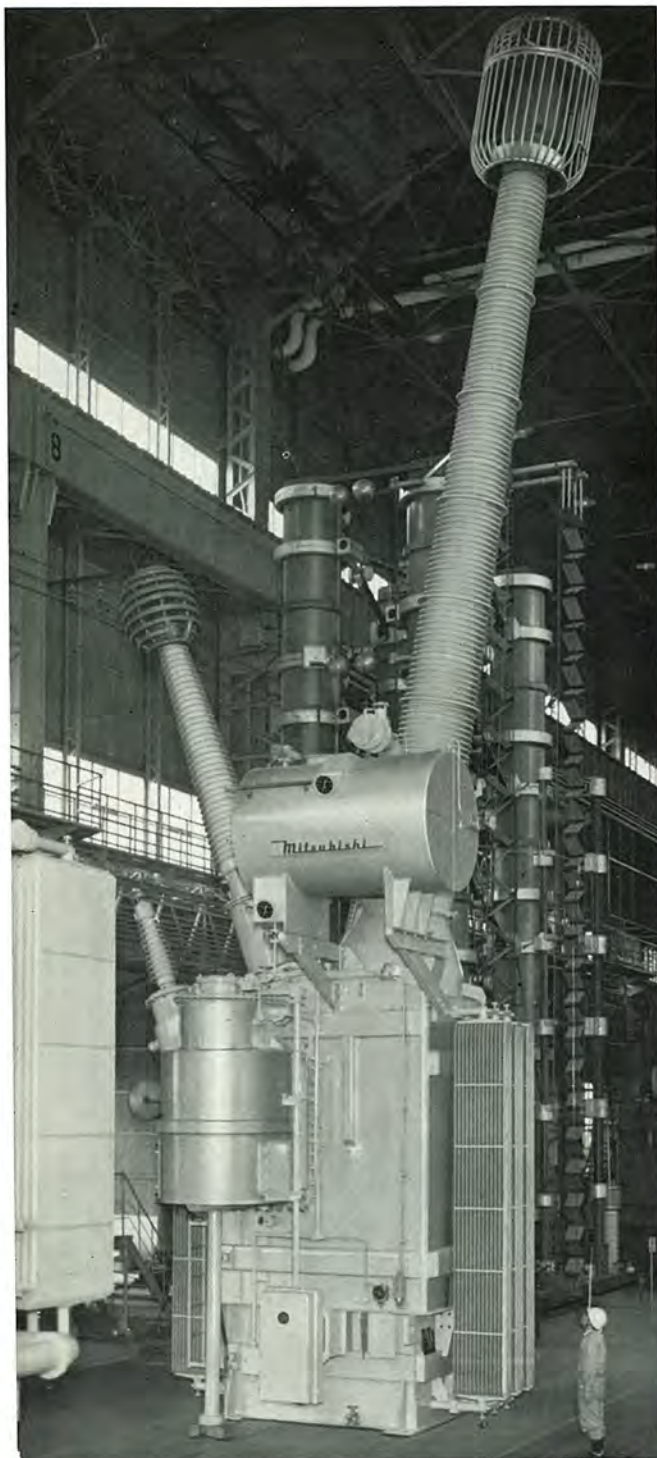
超々高圧変電機器をあいつぎ完成

— 超高压電力研究所納め500kV試験送電線用機器 —

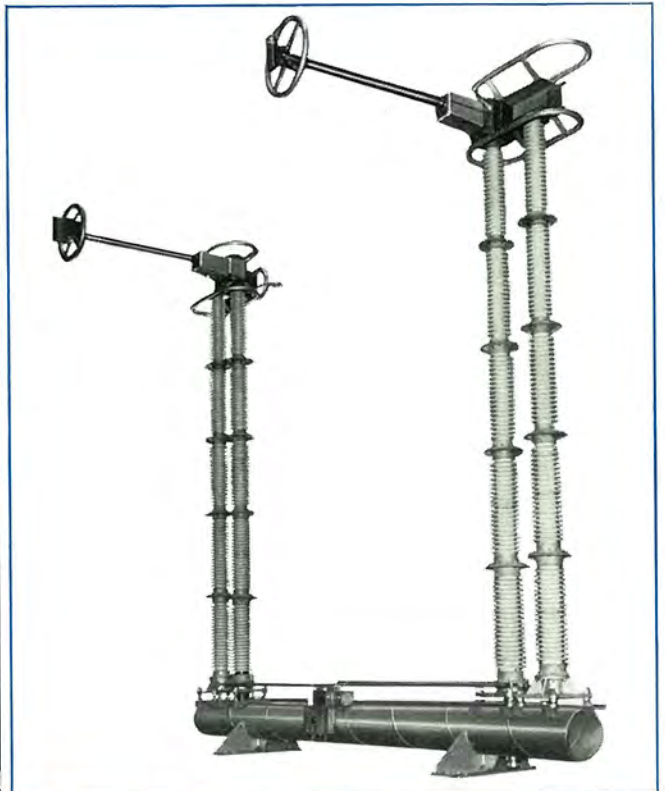
数年後に迫ったわが国の500kV送電に備えて、超高压電力研究所武山研究所構内に500kV試験送電線が建設されることになった。これは、超々高圧送電機器の実証的研究および塩害の問題を研究するためである。

三菱電機は主要機器500kV変圧器、525kV 断路器、420kV避雷器の製作を担当、去る5月17日関係者をまねいて完成披露を行なった。

詳細は、本誌ニュースフラッシュ欄を参照下さい。



● 500kV 10MVA 単相変圧器



● 525kV 4,000A 500-HSF-40G形断路器



● 420kV SSV形避雷器



工業用電機品特集

目次

《特集論文》

| | | |
|---------------|---------------------------|------|
| 最近の工業用電動機 | 小山建次・林昌宏・衛藤護・東海林恵二郎 | 1223 |
| 最新の自動制御装置 | 斎藤豊・小川裕三 | 1236 |
| 分塊圧延機用電機品 | 林昌宏・久保田伸夫・佐野善之助 | 1247 |
| 連続熱間圧延機用電機品 | 紙谷鉄男・林昌宏・久保田伸夫・高柳正弘・佐野善之助 | 1252 |
| 鉄鋼プロセスライン用電機品 | 紙谷鉄男・銭場敬・安部登志雄・兵頭太郎・辻順一 | 1261 |
| 焼結設備用電機品 | 林昌宏・石雅彦 | 1276 |
| 焼結炉および転炉用排風機 | 大旗康文 | 1283 |
| 製紙、紙加工機用電機品 | 伊藤嗣郎・安斉広成・大川明久・佐野善之助 | 1286 |
| 工作機用電機品 | 吉田太郎・酒井靖夫・三品英二 | 1294 |
| 高周波焼入装置用電機品 | 中村謙三・鈴木条夫 | 1299 |

《普通論文》

| | | |
|-------------------------------------|---------------------|------|
| シリコンカーバイドの物理的性質 | 岡田武夫・栗根克昶・香崎銀博・河野慶三 | 1311 |
| スパーク放電質量分析法の特殊な応用 | 甲斐潤二郎・三木将代・渡部勤二 | 1320 |
| 火力発電所の空気調和装置 | 安藤常男 | 1326 |
| ME-40 R 形 400 Mc 帯 SS-PM 多重回線用簡易中継機 | 沼田敏男・笹田雅昭・中川幹雄・里昭夫 | 1332 |
| 製鉄用電動機の選定(その1) | 市川健二 | 1338 |

《電子計算機シリーズ》

| | | |
|------------------------|------|------|
| 圧延電動機の負荷およびイルグナ装置の回転速度 | 浜崎晏行 | 1345 |
|------------------------|------|------|

《技術講座》

| | | |
|---------------------|-----------|------|
| SCR インバータとその応用(その5) | 大野栄一・赤松昌彦 | 1351 |
|---------------------|-----------|------|

《新製品紹介》

| | |
|---|------|
| SCG 形小形ギヤードモートル系列完成・SA-250 形半自動溶接装置新発売・音の静かな三菱電気ホイス HW 形〈サイレントホイス〉発売・精密被電磁チャックを開発・マグネスラスト軸受付き精密積算電力計 MS-31 形を開発・三菱テープレコーダ T-160 形〈メモパックデラックス〉新発売・三菱掃ジ機 HC-300 形〈スバック〉新発売・三菱深夜電力用電気温水器〈ドリームホット〉新発売 | 1360 |
|---|------|

《ニュースフラッシュ》

| | |
|--|------|
| 超高圧電力研究所納め 500 kV 試験送電線用(変圧器・断路器・避雷器)完成・関西電力(北浜 s/s) 納めクーリングタワー方式水冷変圧器・中性子回析装置アメリカミズリー大学より受注・新形 CL 形限流形電力ヒューズ完成・国鉄機関車用最大容量主電動機三菱で完成・私鉄向け最大容量主電動機近鉄へ納入・大阪市交通局納め ATC 装置受注・両方向直流高速度シャ断器完成 | 1365 |
|--|------|

《特許と新案》

| | |
|--|------|
| 静電フィルタ装置・ポータブルテレビの電源トランス・テレビラジオなどの受信アンテナ・ラジオテレビなどのキャビネット・タイミング装置 | 1309 |
|--|------|

《表紙》

1. 日新製鋼製鉄所納め 6 スタンド連続熱間圧延機用粗圧延機駆動用直流電動機
本スタンドは分塊圧延兼粗圧延をおこなうため一般の分塊圧延機駆動と同一方式でその容量は 主水平ロール駆動電動機
2×2,600 kW 40/80 rpm トップフォワード配置
垂直ロール駆動電動機
2×750 kW 380/875 rpm
であり電源として水銀整流器を使用の逆転のため電機子切換器を使用しの画期的なものである
2. 超高圧電力研究所納め 500 kV 試験送電線用機器
3. 三菱会計機 MAM-51 形
4. 三菱自動脱水洗たく機(カップルオート) CWA-800 形





SPECIAL COLLECTION OF ELECTRIC APPARATUS FOR INDUSTRIAL APPLICATION

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

| | |
|--|------|
| The Latest Industrial Motors..... | 1223 |
| Kenji Koyama • Masahiro Hayashi • Mamoru Etō • Keijirō Shoji | |
| The Latest Automatic Control Apparatus for Rolling Mill..... | 1236 |
| Yutaka Saitō • Yuzō Ogawa | |
| Electrical Equipment for Slabbing Mills..... | 1247 |
| Masahiro Hayashi • Nobuo Kubota • Zennosuke Sano | |
| Electric Equipment for Continuous Hot Strip Mills..... | 1252 |
| Tetsuo Kamiya • Masahiro Hayashi • Nobuo Kubota • Masahiro Takayanagi • Zennosuke Sano | |
| Electric Equipment for Steel Mill Process Lines..... | 1261 |
| Tetsuo Kamitani • Takashi Senba • Toshio Abe • Tarō Hyodō • Junichi Tsuji | |
| Electric Apparatus for Sintering Plants..... | 1276 |
| Masahiro Hayashi • Masahiko Ishi | |
| Exhaust Blowers of The Sintering Furnaces and L. D. Converters..... | 1283 |
| Yasufumi Obata | |
| Electric Equipment for Papermaking Machines and Paper Finishing Process..... | 1286 |
| Tsugio Itō • Hironari Anzai • Akihisa Ōkawa • Zennosuke Sano | |
| Electric Apparatus for Machine Tools..... | 1294 |
| Tarō Yoshida • Yasuo Sakai • Eiji Mishina | |
| Electric Equipment for High Frequency Induction Hardening..... | 1299 |
| Kenzō Nakamura • Nagao Suzuki | |

TECHNICAL PAPERS

| | |
|---|------|
| Physical Properties of Silicon Carbide..... | 1311 |
| Takeo Okada • Katsunobu Awane • Toshihiro Kōzaki • Keizō Kōno | |
| Spark Source Mass Spectrometry for Special Problems..... | 1320 |
| Junjiro Kai • Masayo Miki • Keiji Watanabe | |
| Air Conditioning Apparatus for Thermoelectric Power Plant..... | 1326 |
| Tsuneo Andō | |
| Type ME-40R Simple Radio Repeaters for 400Mc Multiplex Systems..... | 1332 |
| Toshio Numata • Masaaki Sasada • Mikio Nakagawa • Akio Sato | |
| Selection of Motors in Iron and Steel Works (No. 1)..... | 1338 |
| Kenji Ichikawa | |

APPLICATION OF COMPUTERS FOR USER-SERIES

| | |
|---|------|
| Load of Rolling Mill Motor and Slip of Ilgner System..... | 1345 |
| Yasuyuki Hamazaki | |

TECHNICAL LECTURE

| | |
|--|------|
| SCR Inverter and Its Applications (5)..... | 1351 |
| Eiichi Ōno • Masahiko Akamatsu | |

| | |
|-------------------|------|
| NEW PRODUCTS..... | 1360 |
|-------------------|------|

| | |
|-----------------|------|
| NEWS FLASH..... | 1365 |
|-----------------|------|

| | |
|-------------------------------|------|
| PATENT AND UTILITY MODEL..... | 1309 |
|-------------------------------|------|

COVER EXPLANATION

- DC motors for driving roughing rolls of a six stand continuous hot rolling mill delivered to the Nisshin Steel Works, Kure Plant.
The stand is for both blooming and rough rolling, the motors used being of the same system as that for driving a blooming mill in general. The details of the machines are as follows.
Two—2,600 kW main horizontal roll driving motors 40/80 rpm, top forward arrangement.
Two—750 kW vertical roll driving motors 380/875 rpm.
The electric power is fed from mercury rectifiers to the motors of an epochal design using armature change-over devices for reversing.
- Apparatus for A 500 kV test transmission line delivered to the High Voltage Power Laboratory.
- Mitsubishi accounting machine MAM-51.
- Type CWA-800 automatic washing machine.

UDC 621.313.13-83

最近の工業用電動機

小山建次・林 昌宏・衛藤 護・東海林恵二郎

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1223～1235

最近の工業用電動機のうち、主要機種である、直流電動機・誘導電動機・同期電動機、そのほか特殊電動機につき、最近の進歩の内容を紹介するとともに一部機種については、最新の規格、標準定格寸法などを示し、応用面上の参考資料として、交流直流を問わず工業用電動機として一つの論文にまとめ、需要家各位の参考に資するものである。

UDC 621-83:669.161.18

鉄鋼プロセスライン用電機品

紙谷鉄男・兵頭太郎・辻 順一・錢場 敬・安部登志雄

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1261～1275

製鉄には多数のプロセスラインがあるが、最近各鉄鋼メーカーは市場確保のため品質向上、増産ならびに新製品の研究に力をそそがれ、この方面の技術は次第に高度化しており、将来は計算機制御の導入が考慮されすでに実用段階にはいつているものもある。本文は共通的な一般概論、使用電動機の特長、実際のラインの代表的な制御システムを紹介するものである。

UDC 621-523

最新の自動制御装置

斉藤 豊・小川裕三

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1236～1246

製鉄、製紙、化学その他各種工業界における自動制御装置の導入は近年とくに目ざましく、半導体の著しい進歩とともに部分装置のマイナーループ自動制御から、小形電子計算機を導入したローカルなコンピューターコントロールへと逐次移行しつつある。このような情勢下にあつて、最も進歩著しい鉄鋼界における圧延機制御装置においても、制御速度、信頼度、制御演算、小形化が要求され、電子計算機との接続運転が可能であることも必須条件となつてきた。この号においては、エレクトロニクス、とくにデジタル制御方式を採用した圧延機関係の最新の自動制御装置について、実例により紹介する。

UDC 621.313+621.316.7:669.162.2

焼結設備用電機品

林 昌宏・石 雅彦

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1276～1282

本文は焼結設備用電機品全般にわたつて記述し、下記のような内容となつてゐる。

- (1)焼結設備の概要……焼結設備全体の構成と各プロセスの説明
- (2)制御装置の概要……焼結設備に用いられる制御装置のうち、特色のあるものの説明
- (3)制御方式……インターロックのとり方、運転方法、監視方法および保護装置に関する説明
- (4)自動制御……各種マイナーループ制御系およびデータ処理装置について ○ ての説明
- (5)直流電動機……焼 ○ 結設備用直流電動機の標準仕様

UDC 621-83:621.771.1

分塊圧延機用電機品

林 昌宏・久保田伸夫・佐野善之助

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1247～1251

分塊圧延設備の近代化は、回転機設計技術および制御方式の進歩、プログラム制御・計算機制御の導入、電源設備の静止化など電気機器の発達に負うところが大きい。本文では、最近の分塊圧延設備について、主電動機の概要とその特長およびGD²の値を紹介し、トップホワードと新ボトムホワードの両駆動方式の比較を行なつてゐる。ついで電源方式の比較検討を行ない、さらに最新の制御方式について述べてゐる。

UDC 621.61:669.162.2

焼結炉および転炉用排風機

大旗康文

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1283～1285

焼結炉は近年大形化し、それにとともに主排風機も大容量化してきて、このために運転経費を節約するために高効率の送風機が要求されてきて、含じん量の少ない場合には翼形送風機が使用できるようになった。一方、製鋼法としては平炉が転炉にとってかわられそうな状態になつてきている。転炉についても近年は翼形送風機が用いられてきている。

UDC 621-83:621-771.2

連続熱間圧延機用電機品

紙谷鉄男・林昌弘・久保田伸夫・高柳正弘・佐野善之助

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1252～1260

最近の連続熱間圧延機用電機品について、その問題点として、主電動機の特長、テーブルモータに永久磁石の採用、自動化、AGCについて述べてある。

UDC 621-83:676.2

製紙、紙加工機用電機品

伊藤嗣郎・安斎広成・大川明久・佐野善之助

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1286～1293

抄紙機駆動制御装置の備えなければならない条件は種々あるが、この条件を満たしてしかも取扱いや保守が容易で安価な制御装置として、当社ではT-100システムを開発した。電源装置としては効率良好で静止形であるサイリスタレオナード装置が使用される。直流回転機には小形で効率のよい一般工業用標準電動機を使用する。減速電動機には取付けスペースの小さい立形減速電動機を開発した。

紙加工機用電機品には、速応性、高能率、急加減速の要求に答えてサイリスタ電源、T-100システム、○ 張力制御方式などが急速に採用されている。

UDC 621.316.78

工作機用電機品

吉田太郎・酒井靖夫・三品英二

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1294～1298

最近の工作機械の著しい技術的高度化には、電機品の技術的進歩が大いに貢献している。最適の工作機械に対する需要家の要求である作業の高速化、操作の自動化、加工精度の向上、保守の容易さ、加工性能の万能化、安価で信頼性のある機械を満すために、最近の電機品の著しい技術的向上とも相まって、目覚ましい発達を遂げる電気制御装置は主要な役割をもっている。ここでは、サイリスタ、トランジスタなどの半導体素子を使用した、制御装置の無接点化、プログラム制御装置、直流電動機制御ならびに二、三次元ナライ制御装置について紹介し、さらに電解、○放電加工機ならびに数値制御についても最近の例をあげて紹介している。

UDC 621.365.52.029.5.002.5:621.785.6

高周波焼入装置用電機品

中村謙三・鈴木条夫

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1299～1308

誘導加熱は多くの特長を持つため、その応用範囲も広く諸方面に利用されているが、なかでも高周波焼入はその特長を最大限に利用した応用分野であろう。当社は誘導炉、誘導加熱装置、高周波焼入装置、半導体精製装置等、誘導加熱応用装置を製造しているが、本文はとくに高周波焼入装置とその電機品に焦点を絞って説明した。説明の順としてまず誘導加熱の原理、特長について触れ、ついで高周波焼入装置全体の構成、さらに各個に細かく項を設けて記述している。

UDC 548.52.

シリコンカーバイドの物理的性質

岡田武夫・栗根克稔・香崎銀博・河野慶三

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1311～1319

シリコン・カーバイドはエネルギーギャップが2.8eVあり、耐熱半導体として有望であるが、純粋な単結晶を再現性よく製作することは非常に困難である。われわれはLely法による単結晶を製作しある程度結晶製作上の再現性を確認し、かつその晶癖についていくらかの新しい知見を得た。

また製作された結晶について電気測定、光学測定および電子スピン共鳴測定を行ない、従来の測定範囲をいくらか広げることができた。

この報告は結晶製作およびこれの測定についての結果をまとめたものである。

UDC 543.51.062:543.3:539.23

スパーク放電質量分析法の特殊な応用

甲斐潤二郎・三木将代・渡部勁二

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1320～1325

水溶液の分析および絶縁物上薄膜の分析に関してスパーク放電質量分析法の応用を試みた。水溶液試料は直径約3mmの水滴を高純度の銅および黒鉛の電極面上で乾燥せしめて試料電極とする。内部標準法の採用により、10～100PPb (atomic fraction) の濃度で存在する不純物を±20%の相対偏差内で定量できる。絶縁物上の薄膜は、高純度金属電極を接触せしめて支持し、試料電極とする。約6mm²の面積の試料を用いて、100Å程度の厚さの薄膜中の2% (atomic fraction) の濃度で存在する不純物を±15%の相対偏差内で定量できることが示された。また、これらの ○ 実験結果から、絶対感度は鉄に対して10⁻⁴～10⁻³μgであることがわかった。 ○ た。

UDC 628.84:621.311.22

火力発電所の空気調和装置

安藤常男

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1326～1331

火力発電所中央制御室の冷房負荷は計算上むづかしい面があり、一般ビルなどの負荷計算と異なり周囲温度、場所等による変化が大きく実際に施行使用してのち判明したことも多く約40冷凍トン必要であった。

すなわちMC-8×30kWまたはPF-20×2台使用することにより初期の目的を達することができた。その実施例およびサービスビル、スイッチギヤールームの冷房換気装置例を説明した。

UDC 621.396.65

ME-40R形400Mc帯SS-PM多重回線用簡易中継機

沼田敏男・笹田雅昭・中川幹雄・里 昭夫

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1332～1337

①建設費が反射板に比し低廉、②無局舎・無給電、③全固体による高信頼度、④遠隔監視による日常点検、などの特長をもつ本機につき、回線設計の計算過程を示したのち、実際の設置状況の予測から、トランジスタの能力、電源装置の経済性を勘案し、最適設計諸元を利得約50dB、出力+10dB以下とした、と設計の根拠を示し、無人、無給電の要求によるコールドスタンバイ方式の予備機、障害時の切換・警報回路を含む機器構成、および諸元、諸特性、実用化回線例について述べた。

UDC 669.16:621.313.13

製鉄用電動機の選定(その1)

市川健二

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1338～1344

大製鉄所では10,000台以上、400MWに及ぶ大小各種の電動機を有し、新工場建設に際しては全建設費に占める割合は大きく、また生産の向上、製品の品質の良否に影響をあたえることも多いので電動機の合理的な選定は技術の進歩とあいまって重要なものとなっている。製鉄所内でも各工場によって環境、用途等に可成の差異があるのでそれらに適した電動機を選ぶべきである。またその要点の一つとしてできるだけ統一規格を有するシリーズから選ぶ方が技術的経済的に有利で納期も短いことが多い。このような観点から本文では製鉄所で広く用いられる各種電動機の ○ 特長を記し、その選定について述べた。

UDC 621.313.13.016-56:621.771.1

圧延電動機の負荷およびイルグナー装置の回転速度

浜崎晏行

三菱電機技報 Vol.40・No.8・P1345～1350

圧延用直流電動機の負荷、およびそれに直流電力を供給するイルグナー装置の回転速度の変化は、非常に複雑である。したがって、人力で計算すると、大変な時間を要する。そこで、電子計算機を利用して計算することを計画し、かなり正確な一実測値と一致する一結果を得た。ここに、その計算方法および計算結果を紹介する。

UDC 621.314.5:621.316:621.313

SCRインバータとその応用(その5)

大野栄一・赤松昌彦

三菱電機技報 Vol.40:No.8・P1351～1359

サイリスタ(SCR)の出現によって技術的に急激な発展をみせているインバータについて解析してきたが、今回は最終回として電動機制御への応用について述べる。この分野で最も重要なものは可変周波数インバータによる誘導電動機の駆動と、同期電動機による無整流子電動機で、従来直流機に限られていた精密速度制御の分野に応用できるものとして発展が期待される。

また直流機制御の分野でもサイリスタレオナードのほかにDCチョッパが開発され、電車や蓄電池車などの直流電源の場合にすぐれた特性を発揮するものである。

最近の工業用電動機

小山 健次*・林 昌宏**・衛 藤 護***・東海林恵二郎***

The Latest Industrial Motors

Head Office

Kenji KOYAMA

Kōbe Works

Masahiro HAYASHI

Nagasaki Works

Mamoru ETŌ・Keijirō SHŌJI

Industrial motors cover a wide variety ranging from general purpose induction machines to special purpose DC ones. The most outstanding in the latest progress is insulation materials made from various kinds of synthetic resin. For small and medium capacity motors are used polyester group synthetic resin enamelled wires, thus class E insulation superseding class A material. Larger sized motors, however, are insulated with epoxid resin. Class F and class H then have come in use one after another. Further development is advent of semiconductors which innovate the operation control method of motors. Variable speed motors are another epochal products to broaden the motor applications as outcomes of advancing engineering.

1. ま え が き

工業用電動機はその範囲は非常に広く、一般 ハン用誘導電動機のようなものから、直流電動機のような特殊なものまで、用途に応じ多種多様なものがあり、限られた紙面では全体について記述できないので、本文ではそのうち最も一般的によく使用されている 直流電動機・誘導電動機・同期電動機、その他特殊電動機の数例につき、最近の進歩、規格、標準などの現況につき説明し、需要家各位の参考に供したい。

最近の進歩として第1にあげられるのは絶縁材料をはじめとする機械の構成材料の進歩であり、とくに絶縁物についての進歩は著しく、各種合成樹脂材料が盛んに使用され、中小形電動機の絶縁には ポリビニールホルマル 線 (PVF) に代わり ポリエステル 系合成樹脂エナメル 線 (PEW) が用いられ、従来の A 種が E 種に変更されたほか、中大形機の B 種以上の絶縁では、エポキシ 系の合成樹脂が用いられ、B 種か F 種に、また高圧用には無溶剤の サーマスチックワニス が使用され、耐熱度を重視するところにはシリコン 系の H 種絶縁が用いられるようになった。

第2にあげられることは、電動機本体とは直接関係がないようであるが、半導体整流器 (サイリスタ) の急速な進歩発達により各種の電動機はその運転制御の方式が改善された。これにより、たとえば、直流電動機では整流性能の向上が考案改良され 従来の駆動系における性能は応答性、その他大幅な進歩を示した。同期電動機ではその励磁系にとり入れられ、回転励磁機が不要となったほか、トルク特性が改善されつつあり、誘導電動機では速度制御が従来に比べ大幅に改良された。

第3にあげられることとして、可減速用電動機として絶えず変化する速度で用いられるものは、回転系の GD² が制御上大幅に減少され、たとえば直流電動機における 800 番シリーズの出現となった。

その他電動機の騒音についても、とくに高速機 (2P 誘導電動機など) については各種の騒音対策が取り入れられ、新しい形式のものの出現となった。以下各種電動機について述べることにする。

2. 直流電動機

2.1 最近の進歩⁽¹⁾

2.1.1 整流性能

直流機はきびしい整流条件に耐える技術的裏づけがあって、はじめて電動機の慣性を小さくすることが可能となる。したがって直流機で最も大切なのは整流能力の向上と確保にあり、この目的のために種々の手段を用い さらに研究をつづけている。整流能力向上の手段としてよく用いられるものにつぎのものがある。

(1) 磁気回路の断面積を十分に広くとり、所定の過負荷時に磁気飽和の影響をうけぬようにする。急に負荷をかけたり速度を変えたりするようなきびしい運転の場合は、整流磁束回路を成層構造として、ウズ電流による整流磁束の時間おくれを小さくし、過渡時の整流悪化をふせぐ。

(2) ブラシ および ブラシ 保持器は直流機の心臓部であり、その電氣的、機械的性能には十分検討が加えられている。ブラシの物理的、電氣的特性を吟味するとともに機械的動特性を向上させるため、スプリットブラシ、タンデムブラシ とし、さらに ブラシ を整流子円周方向にスタグする場合もある。

(3) 整流子構造を熱的、機械的に安定なものとする。とくに条件のきびしいものには銀入り整流子とすることもあり、構造をアーチバンド式、スプリングマウント式としたり、高速のものは、シュリンクリング式となる。

(4) 電機子巻線方式を十分吟味して、リアクタンス電圧を可能なかぎり低くおさえる。均圧巻線の設計、スロットダンパ、トレッペン巻線などの採用、補極鉄心・補償巻線の設計などについても十分の考慮が払われている。

(5) 当社では、電機子回路に特殊結線を採用して大幅に整流帯を広げることに成功した。

2.1.2 GD² の低減と負荷特性

電動機の GD² は、電機子外径を D 、鉄心長を L とすると大体 D^4L に比例する。ゆえに GD² を低減する根本は、電機子外径を小さくすることであって、当然のことながら軸方向の鉄心長が長くなり通風構造上不利となるが、これは合理的な構造設計を行なうことにより、ある程度解決される問題である。

一般に電機子外径が大きく鉄心長の短いものは整流が楽であるが、電機子外径が小さく鉄心長が長くなると整流が苦しくなるので、整流技術の向上なしには、GD²を下げることはむずかしい。当社では、後述のSD形直流機でGD²を従来の系列より約30%以上低減し、また最近製作した大形圧延用直流電動機においても、GD²を旧形の約65%に下げること成功した。

電機子外径Dは、整流能力、通風効果との関連もあるので、Dをいくらでも下げることはできない。Dが限界きて、なおGD²が問題となる場合には電動機を分割して、いわゆる2重電機子、ツンデム電機子構造としてさらにGD²の低減をはかる。

GD²の低減と同じく重要なことは、制御系のなかの駆動要素としての電動機の負荷特性であり、負荷と回転速度の関係が比例直線的であることを要求されることがある。しかもこの速度変動率が電動機の界磁調整範囲および電圧制御範囲において一定であれば、制御系の動作上好都合であり、電動機の設計、調整の段階で十分考慮を要するが、そのために電動機寸法が大きくなることもあるので、経済性を考えて電動機特性と制御装置の特性とについて、全体からみてバランスのとれた設計としなければならぬ。

2.1.3 重量の軽減と新しい材料

寸法・重量の軽減は、すべての電動機の課題であり電動機内部の電磁的諸定数の増大と、それにとまなう通風冷却方式の改善・機械構造部分の強度の検討・整流能力の向上および新しい材料とくに絶縁材料の適用とその処理工作法の採用などにより、寸法・重量の低減は著しいものがあり、たとえばSD形直流機では機械の単位重量あたりのトルクを、従来の系列より約20%増大させ小形軽量化に成功している。

絶縁材料もわれわれの取り扱い範囲の直流機においては、すべてB種絶縁を採用しており、さらにエポキシ絶縁合成マイカなどを使うことにより、電動機の許容温度上昇限度を高くとることが可能で電動機の基本寸法も小さくなってくる。

2.2 新系列電動機

2.2.1 工業用直流電動機⁽²⁾⁽³⁾

(1) スーパーラインD形 (通称SD形)

当社では工業用直流電動機の標準化に際し、電動機外形寸法をIEC (国際電気工業委員会) の推奨規定のミリメートル系にあわせて国際性のある新系列の三菱スーパーラインD形直流電動機を昭和37年に完成し、生産台数もすでに数千台を突破している。

SD形は日本電機工業会 (JEM 1170) の工業用直流電動機標準規格に準拠した電動機で、軸中心高さが112~315mmまでの7つ番に対する標準電動機系列を形成しており、7つ番は軸中心高さで呼称している。この規格は、アメリカの規格NEMAに準じて制定されたもので、特長はつぎのとおりである。

- 基底回転速度を9種類とした。
- 界磁制御による速度調整範囲は最高1:4まで
- 過負荷耐量は、全速度範囲に対し150%一定
- B種絶縁に対する温度上昇限度は70degであるが、自己通風機の場合はこれを60degとして10°Cの余裕をつけている。すなわち自己通風機において、電圧制御による基底速度未満の低速連続運転に対して熱的余裕を与えている。SD形の標準定格を表2.1に示す。SD形の基本外形寸法は表2.2のとおりで、7つ番は17種類ある。

IEC規定のインチ系のSeries II (アメリカ、イギリス、カナダなど) とミリメートル系のSeries Iとは、きわめて近似した寸法となっており、SD形標準電動機はミリメートル系はもちろん、インチ系にもわずかの調整で適用可能で、小形電動機の寸法標準化の最先端をいくものである。

SD形電動機の特長はつぎのとおりである。

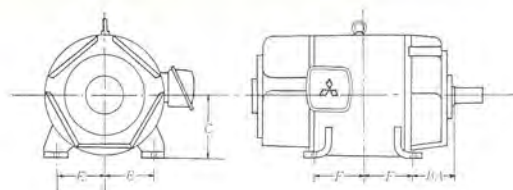
- 電圧制御と界磁制御の併用により、回転速度を自由に広範囲にかえることができ、しかも速度負荷特性が直線的である。
- B種絶縁を採用し、機械の単位重量あたりのトルクを、従来の系列より約20%増大させ、小形軽量化をはかった。

表 2.1 SDおよびSM形直流電動機の標準定格と7つ番 (防滴保護形)

| 出力 (kW) | 回転速度 (rpm) | 標準基底速度と弱め界磁による標準最高回転速度および適用7つ番 | | | | | | | | |
|------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | → 3,500 | 2,500 | 1,750 | 1,150 | 850 | 650 | 500 | 400 | 300 |
| 0.37 | | | | | | 3,000 112 L | 2,600 132 L | 2,000 132 M | 1,600 130 M | |
| 0.55 | | | | | 3,200 112 L | 3,000 112 M | 2,600 132 M | 2,000 132 M | 1,600 132 L | |
| 0.75 | | | | 3,500 112 L | 3,200 112 L | 2,800 112 L | 2,600 132 M | 2,000 132 L | 1,600 160 L | |
| 1.1 | 4,000 112 L | 4,000 112 L | 3,500 112 L | 3,000 132 M | 2,800 132 M | 2,600 132 L | 2,600 132 L | 2,000 160 M | 1,600 160 L | |
| 1.5 | 4,000 112 L | 4,000 112 L | 3,300 112 L | 3,000 132 M | 2,600 132 L | 2,600 132 L | 2,600 160 M | 2,000 160 L | 1,600 180 L | 1,200 180 L |
| 2.2 | 4,000 132 M | 3,700 112 L | 3,300 132 M | 2,800 132 L | 2,600 160 M | 2,600 160 L | 2,600 160 L | 2,000 180 L | 1,600 180 L | 1,200 200 L |
| 3.7 | 3,700 132 M | 3,700 112 M | 3,000 132 L | 2,800 160 L | 2,600 180 M | 2,400 180 L | 2,400 180 L | 2,000 200 M | 1,600 225 M | 1,200 225 L |
| 5.5 | 3,500 132 L | 3,500 132 L | 3,000 160 M | 2,800 180 M | 2,600 180 L | 2,400 200 L | 2,000 225 M | 1,600 225 L | 1,200 250 M | |
| 7.5 | 3,500 160 M | 3,500 160 M | 3,000 180 L | 2,800 180 L | 2,500 200 M | 2,200 225 M | 2,000 225 L | 1,600 250 M | 1,200 280 S | |
| 11 | 3,500 160 L | 3,300 160 L | 3,000 180 L | 2,600 200 L | 2,500 225 M | 2,200 225 L | 2,000 250 M | 1,600 280 M | 1,200 280 M | |
| 15 | 3,500 180 M | 3,300 180 L | 3,000 200 M | 2,600 225 M | 2,400 225 L | 2,200 250 M | 1,800 280 S | 1,600 280 M | 1,200 315 M | |
| 18.5 | | 3,100 180 L | 3,000 200 L | 2,600 225 L | 2,400 250 M | 2,000 280 S | 1,800 280 M | 1,600 315 S | 1,200 355 M | |
| 22 | | 3,100 200 M | 3,000 200 L | 2,600 225 L | 2,400 250 M | 2,000 280 M | 1,800 280 M | 1,600 315 M | 1,200 355 M | |
| 30 | | 3,100 200 L | 2,700 225 L | 2,400 280 M | 2,200 280 S | 2,000 315 S | 1,800 315 M | 1,600 355 M | 1,200 355 L | |
| 37 | | | 2,700 225 L | 2,400 280 S | 2,200 280 M | 2,000 315 S | 1,800 315 M | 1,600 355 L | 1,200 400 M | |
| 45 | | | 2,400 250 S | 2,200 280 M | 2,000 315 S | 1,800 355 M | 1,600 355 L | 1,600 400 M | 1,200 400 L | |
| 55 | | | 2,400 280 S | 2,200 280 M | 2,000 315 S | 1,800 355 M | 1,600 355 L | 1,600 400 M | 1,200 450 M | |
| 75 | | | 2,200 280 M | 2,000 315 S | 1,800 355 M | 1,600 355 L | 1,600 400 M | 1,600 400 L | 1,200 450 L | |
| 90 | | | 2,000 280 M | 2,000 315 M | 1,800 355 L | 1,600 400 M | 1,600 400 L | 1,600 450 M | 1,200 450 L | |
| 110 | A 種 | ↑ SD | 2,000 315 S | 2,000 355 M | 1,800 355 L | 1,600 400 L | 1,600 450 M | 1,600 450 L | 1,200 500 M | |
| 150 | | | 1,900 355 M | 1,800 355 L | 1,700 400 M | 1,600 450 M | 1,600 450 L | 1,200 500 M | 1,200 560 S | |
| 185 | | ↑ B 種 | | 1,700 400 M | 1,600 400 L | 1,600 450 L | 1,400 500 M | 1,200 500 L | 1,200 560 M | |
| 220 | | | | 1,600 400 L | 1,500 450 M | 1,500 500 M | 1,300 500 L | 1,000 560 S | 1,200 560 L | |
| 300 | | JEM 1170 はこの機までの定格を定めている | | 1,500 450 M | 1,500 500 M | 1,400 500 L | 1,200 560 M | 1,200 550 L | | |
| 370 | | | | 1,500 450 L | 1,400 500 L | 1,200 560 M | 1,200 560 L | | | |
| 450 | | | | 1,500 500 M | 1,300 560 S | 1,200 560 L | | | | |
| 520 | | | | 1,300 500 L | 1,200 560 M | | | | | |
| 600 | | | | 1,250 550 S | ← C 種 | | | | | |

C 種は NEMA MG 1 工業用直流電動機の限界を示し、これより大きい定格は三菱独自のものである。

表 2.2 スーパーライン直流電動機の基本外形寸法



| スーパーライン D：略称 SD | | | | | 対 応 NEMA ワ ク 番 |
|-----------------|----------|-------|-------|-----|----------------------|
| ワ ク 番 号 | 寸 法 (mm) | | | | |
| | C | E | F | BA | |
| 112 L | 112 | 95 | 79.5 | 70 | 185 A |
| 132 M | 132 | 108 | 89 | 89 | 215 A |
| 132 L | | | 101.5 | | 216 A |
| 160 M | 160 | 127 | 105 | 108 | 254 A |
| 160 L | | | 127 | | 256 A |
| 180 M | 180 | 139.5 | 120.5 | 121 | 284 A |
| 180 L | | | 139.5 | | 286 A |
| 200 M | 200 | 159 | 133.5 | 133 | 324 A |
| 200 L | | | 152.5 | | 326 A |
| 225 M | 225 | 178 | 155.5 | 149 | 365 A |
| 225 L | | | 178 | | 366 A |
| 250 S | 250 | 203 | 155.5 | 168 | 404 A |
| 250 M | | | 174.5 | | 404 A |
| 280 S | 280 | 228.5 | 184 | 190 | 444 A |
| 280 M | | | 209.5 | | 445 A |
| 315 S | 315 | 254 | 203 | 216 | 504 A |
| 315 M | | | 228.5 | | 505 A |

IEC Publication No. 72-1 による

| スーパーライン M：略称 SM | | | | |
|-----------------|----------|-----|-----|-----|
| ワ ク 番 号 | 寸 法 (mm) | | | |
| | C | E | F | BA |
| 355 S | 355 | 300 | 225 | 280 |
| 355 M | | | 250 | |
| 355 L | | | 280 | |
| 400 S | 400 | 335 | 280 | 300 |
| 400 M | | | 300 | |
| 400 L | | | 315 | |
| 450 S | 450 | 375 | 300 | 335 |
| 450 M | | | 315 | |
| 450 L | | | 335 | |
| 500 S | 500 | 425 | 325 | 375 |
| 500 M | | | 355 | |
| 500 L | | | 400 | |
| 560 S | 560 | 475 | 385 | 410 |
| 560 M | | | 410 | |
| 560 L | | | 450 | |

寸法はメーカ標準である

| スーパーライン M: 略称 SM | | | | |
|------------------|----------|-----|-----|-----|
| ワ ク 番 号 | 寸 法 (mm) | | | |
| | C | E | F | BA |
| 355 S | 355 | 300 | 225 | 280 |
| 355 M | | | 250 | |
| 355 L | | | 280 | |
| 400 S | 400 | 335 | 280 | 300 |
| 400 M | | | 300 | |
| 400 L | | | 315 | |
| 450 S | 450 | 375 | 300 | 335 |
| 450 M | | | 315 | |
| 450 L | | | 335 | |
| 500 S | 500 | 425 | 325 | 375 |
| 500 M | | | 355 | |
| 500 L | | | 400 | |
| 560 S | 560 | 475 | 385 | 410 |
| 560 M | | | 410 | |
| 560 L | | | 450 | |

寸法はメーカー標準である



図 2.1 スーパーライン D 直流電動機(防滴保護形)
Fig. 2.1 Super-line D DC motor (Drip proof).



図 2.2 スーパーライン D 直流電動機(全閉外扇形)
Fig. 2.2 Super-line D DC motor (Totally Enclosed Fan Cooled).

(c) 電機子径に比べて鉄心長が長く、従来の系列の GD³ を、約 30% 以上低減したので、加速・減速の時間を短くすることができる。

(d) 基本形式は、横軸両ブラケット形防滴保護構造であるが(図 2.1 参照) 管通風形・他力通風形(電動送風機装架)・全閉自冷形などに容易に変形でき、さらに取付、構造などを一部変形して、簡単にフランジ形・全閉外扇形(図 2.2 参照)・全閉内冷形・減速電動機などに交換できるので、弾力性をもった適用範囲の広い標準直流機である。

なお最近、小形機用として立テ形減速電動機系列の開発を完了し生産を開始した、従来の横形にくらべて据付面積が減少し、保守点検はさらに容易となった(図 2.3 参照)。

(e) 応用付属品 回転計発電機・電磁ブレーキ・電動送風機・速度制御用パイロット発電機などを標準化しており、容易に取り付け可能である。

SD 形は、徹底した標準化と合理化により、低価格短納期の工場態勢のもとで生産を行なっている。



図 2.3 スーパーライン D 立テ形
直流減速電動機
Fig. 2.3 Super-line D DC
geard motor (Vertical type).



図 2.4 スーパーライン M 直流電動機
Fig. 2.4 Super-line M DC motor
(Duct ventilated).



図 2.5 ミルタイプ 600 番系列 KM 形
直流電動機
Fig. 2.5 Mill type, 600 series, type
KM DC motor.

(2) スーパーライン M 形 (通称 SM 形)

SD 形より上の中形機を形成する標準系列で、定格に対するワッ番適用を表 2.1 にしめす。SM 形も SD 形とほぼ同じ特長を有するが重量的な面からフランジ形は標準外とし、用途上から横軸両ブラケット形として管通風、他力通風に適する標準構造となっている(図 2.4 参照)。

IEC では、SM 形相当の大きさのものに対する基本寸法は、まだ推奨されていないが、当社は全世界にききかけて ISO (国際標準機関) の推奨標準数系列を参考にして軸中心高さ、そのほかの寸法をきめており(表 2.2 参照) 合理化された中形標準機が整備されている。

2.2.2 圧延補機用直流電動機

(1) 600 番標準系列 (図 2.5 参照)

当社の 600 番系列直流電動機を KM 形とよび、負荷の変動がはげしく、過酷な用途に適するよう電氣的・機械的にかん丈に計画されているので、圧延補機ばかりでなくラオセライン そのほか広く使用されている。

アメリカ鉄鋼技術協会規格 AISE に準じて制定された JEM 1109

(1956)規格は、その後大形 3 ック 番および通風口寸法が追加され、JEM 1109(1961)となった。

KM 形は本規格の適用をうけ、1952 年に生産を開始して以来、信頼度が高く十分な実績をほこっている。1961 年の規格改定に際して、互換性をそこのうことなく全面的に再設計して、新 600 番系列を完成した、この電動機のおもな特長はつぎのとおりである。

a. F 種エポキシ絶縁を採用し、温度上昇は B 種なみにおさえているので寿命が長くなり、耐振性ならびに信頼度が向上した。

b. 世界ではじめて丸形鋼板フレームを採用し、特性の均一化をはかり、機械的・電気的性能を向上させた。

表 2.3 に基本定格、ワッ 番、基本外形寸法をしめす。

(2) 600 番低速度系列

当社は上述の標準系列のほかに、分塊組立延など熱間可逆圧延における各個ロール駆動用として、電気設計が標準と異なる低回転速度専用の特殊系列を有しており、その特長はつぎのとおり

a. 標準系列より高いトルクを出す。

b. 定格電圧 220V で標準系列の約 1/5 の回転速度が得られる。

したがって、標準機で供給電圧を下げて約 1/5 回転速度とする場合に比べて電流が小さく、配線ケーブル寸法およびコンタクト類も小さくてすむので全体からみて経済的である。

表 2.4 に当社の低回転専用の 600 番系列電動機の標準定格および基本外形寸法をしめす。標準定格には、特別に設計した B 系列と 440V 標準機として設計したものの電圧を 220V までおとして定格とした A 系列とがある。

なお基本寸法は、600 番標準機と同じであるが実際の電動機の配置を考慮して片軸端とし、端子箱を反負荷側端面に設けてある (図 2.6 参照)。

(3) AISE 新規格 800 番系列 (802~818 まで)⁽⁴⁾

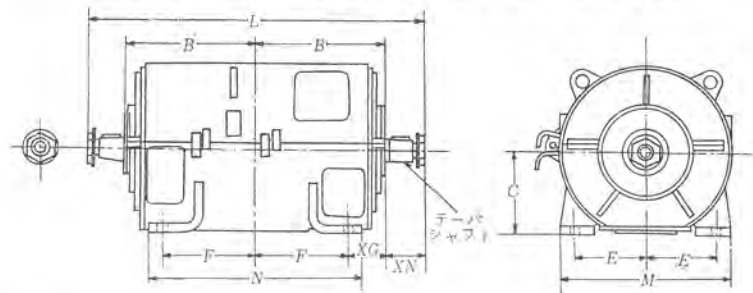
アメリカでは、1965 年 12 月に AISE 600 番規格を改定し 1 年間の猶予期間付きで、あらたに 800 番系列が制定された。新系列は 600 番より容量をアップし、しかも取付寸法を 600 番形に合わせている。表 2.5 にその定格をしめす。

たとえば、表 2.3 の 616 番は、110 kW 460/1150 rpm であったが、同一取付寸法の 816 番では 150 kW 480/1200 rpm となり、トルクが増加している。

設備が高速大形化するにつれてミルの能力を最高度に発揮させるために、主ロール駆動電機はもちろんスクリュウダウン・サイドガード・フィードローなどの補機電動機の特長もまた重要視されるようになり、主ロール特性にマッチした速応性と、信頼度のさらに高い補機電動機が要望され、電動機設計技術の向上とあいまって新系列 800 番の誕生をみるにいたった。

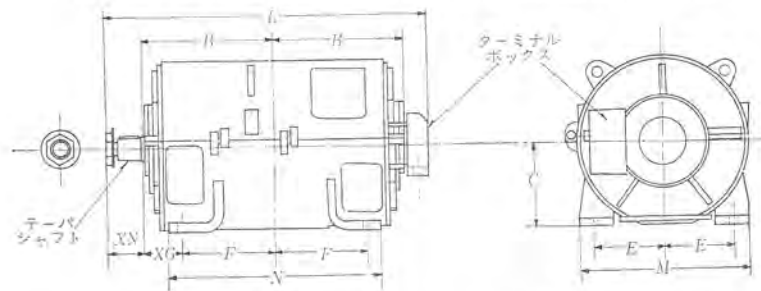
従来の 600 番系列に対する規格上の主要変更点はつぎのとおり

表 2.3 標準 KM 形直流電動機の基本定格、基本寸法表



| ワッ番 | 出 力 (kW) | 回転速度 (rpm) | 寸 法 (mm) | | | | | | | | |
|-----|-------------|---------------|----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|
| | | | L | B | C | E | F | M | N | XG | XN |
| 601 | 3.7 | 1,025/2,050 | 834 | 305 | 193 | 158 | 210 | 380 | 485 | 95 | 112 |
| 602 | 5.5 | 900/1,800 | 834 | 305 | 193 | 158 | 210 | 380 | 485 | 95 | 112 |
| 603 | 7.5 | 800/2,000 | 940 | 343 | 215 | 178 | 228 | 432 | 535 | 115 | 127 |
| 604 | 11 | 725/1,800 | 990 | 368 | 228 | 190 | 240 | 458 | 560 | 128 | 127 |
| 606 | 19 | 650/1,950 | 1,074 | 394 | 254 | 210 | 265 | 508 | 625 | 129 | 143 |
| 608 | 26 | 575/1,725 | 1,208 | 445 | 285 | 238 | 315 | 578 | 725 | 130 | 159 |
| 610 | 37 | 550/1,650 | 1,276 | 476 | 311 | 260 | 330 | 622 | 775 | 146 | 162 |
| 612 | 55 | 515/1,300 | 1,396 | 520 | 339 | 285 | 362 | 685 | 840 | 158 | 178 |
| 614 | 75 | 485/1,200 | 1,542 | 590 | 374 | 318 | 405 | 762 | 950 | 185 | 181 |
| 616 | 110 | 460/1,150 | 1,714 | 660 | 406 | 342 | 445 | 825 | 1,040 | 215 | 197 |
| 618 | 150 | 420/1,050 | 1,792 | 698 | 450 | 380 | 495 | 915 | 1,155 | 203 | 198 |
| 620 | 205 | 390/975 | 1,980 | 762 | 530 | 458 | 560 | 1,055 | 1,320 | 202 | 228 |
| 622 | 280 | 360/1,080 | 2,192 | 838 | 584 | 508 | 655 | 1,155 | 1,575 | 183 | 258 |
| 624 | 370 | 340/1,020 | 2,444 | 914 | 609 | 535 | 710 | 1,205 | 1,728 | 204 | 308 |

表 2.4 KM 形低回転専用直流電動機の標準定格と外形



| ワッ 番 | A 系 列 | | | | B 系 列 | | | | 寸法 L (mm) |
|------|----------------------|---------------|------------------|----------------------------|----------------------|---------------|------------------|----------------------------|--------------|
| | 定 格 トルク (kg·m) | 定 格出力 (kW) | 回 転 速 度 (rpm) | IR+ブ ラシ電 圧降 下 (V) | 定 格 トルク (kg·m) | 定 格出力 (kW) | 回 転 速 度 (rpm) | IR+ブ ラシ電 圧降 下 (V) | |
| 601 | 4.5 | 1.8 | 390 | 66.4 | 3.9 | 0.9 | 225 | 90.7 | 605 |
| 602 | 7.3 | 2.7 | 360 | 64.1 | 6.3 | 1.3 | 200 | 84.5 | 805 |
| 603 | 10.9 | 3.7 | 330 | 54.0 | 10.3 | 1.8 | 170 | 79.2 | 890 |
| 604 | 17.9 | 5.5 | 300 | 49.1 | 17.6 | 2.8 | 155 | 74.3 | 943 |
| 606 | 34.2 | 9.5 | 270 | 39.3 | 34.8 | 5 | 140 | 61.3 | 1,008 |
| 608 | 51.7 | 13 | 245 | 32.3 | 50.6 | 6.5 | 125 | 53.8 | 1,131 |
| 610 | 76.2 | 18 | 230 | 29.5 | 73.1 | 9 | 120 | 46.8 | 1,223 |
| 612 | 119.5 | 27 | 220 | 28.8 | 119.5 | 13.5 | 110 | 43.7 | 1,318 |
| 614 | 172 | 37 | 210 | 27.1 | 167 | 18 | 105 | 44.7 | 1,461 |
| 616 | 268 | 55 | 200 | 23.7 | 277 | 27 | 95 | 39.9 | 1,638 |
| 618 | 385 | 75 | 190 | 20.1 | 424 | 37 | 85 | 39.3 | 1,734 |

注) 220 V, 管通風, 連続定格, L 以外の寸法は表 2.3 と同じ



図 2.6 600 番系列低回転専用 KM 形直流電動機
Fig. 2.6 Low speed 600 series KM DC motor.

表 2.5 AISE 800 番 直 流 電 動 機 定 格 表 (230 V)

| フレーム | 全閉 1 時間、強制通風連続 | | | | | 全 閉 直 巻 30 分 | | 全閉 30% Time on duty cycle | | | | | | 最高安全 速 度 (rpm) |
|------|----------------|-------|-------|-------|------------|-----------------|-------|---------------------------|-------|------|-------|------|-------|----------------------|
| | (kW) | (rpm) | | | | (kW) | (rpm) | 直 巻 | | 複 巻 | | 分 巻 | | |
| | | 直 巻 | 複 巻 | 純 分 巻 | 加減速度 | | | (kW) | (rpm) | (kW) | (rpm) | (kW) | (rpm) | |
| 802A | 3.7 | 900 | 1,025 | 1,025 | 1025/2,050 | 4.8 | 750 | 4.1 | 840 | 3.7 | 1,080 | 3.7 | 1,130 | 3,600 |
| 802B | 5.5 | 800 | 900 | 900 | 900/1,800 | 7.5 | 675 | 5.9 | 780 | 5.5 | 950 | 5.5 | 1,000 | 3,600 |
| 802C | 7.5 | 800 | 900 | 900 | 900/1,800 | 10.1 | 675 | 7.5 | 800 | 7 | 940 | 6.8 | 1,000 | 3,600 |
| 803 | 11 | 725 | 800 | 800 | 800/2,000 | 14 | 620 | 11 | 725 | 10.8 | 840 | 10.3 | 880 | 3,300 |
| 804 | 15 | 650 | 725 | 725 | 725/1,800 | 19.5 | 580 | 15 | 650 | 13.8 | 775 | 12.5 | 800 | 3,000 |
| 806 | 22 | 575 | 650 | 600 | 650/1,950 | 29.1 | 500 | 22 | 575 | 21.2 | 690 | 19 | 715 | 2,600 |
| 808 | 37 | 525 | 575 | 575 | 575/1,725 | 48 | 450 | 30 | 570 | 26 | 625 | 26 | 630 | 2,300 |
| 810 | 52 | 500 | 550 | 550 | 550/1,650 | 67 | 440 | 45 | 550 | 39.2 | 615 | 33 | 600 | 2,200 |
| 812 | 75 | 475 | 515 | 515 | 515/1,300 | 101 | 420 | 63 | 510 | 55 | 580 | 45 | 565 | 1,900 |
| 814 | 110 | 460 | 500 | 500 | 500/1,250 | 150 | 400 | 85 | 515 | 82 | 565 | 63 | 560 | 1,700 |
| 816 | 150 | 450 | 480 | 480 | 480/1,200 | 198 | 400 | 110 | 500 | 103 | 540 | 82 | 535 | 1,600 |
| 818 | 190 | 410 | 435 | 435 | 435/1,100 | 242 | 360 | 137 | 485 | 122 | 490 | 100 | 470 | 1,500 |

JEM 123 により HP→kW 換算を行なった

- 屋外使用可能
- 速度変動率が規定された
- 冷時より熱時にいたる速度変動ならびに基底速度の裕度が規定された
- 802~818 電動機は、可変電圧整流器電源による運転に適したものとす
- 分巻界磁（複巻機に分巻界磁をふくむ）は、停止連続運転したときに規定の温度上昇限度をこえぬこと
- 802~818 に対する通風は、整流子側⇔負荷側の両方向より行なえること
- 自己通風の規定は削除された
- 全閉 5 時間定格が削除され、あらたに全閉形において 30% Time on duty cycle が規定された。すなわち duty cycle を 5 分とし、このうち 1.5 分が on load、3.5 分が off load の反覆連続使用定格で、実際の使用条件に近いものとなっている。

- 温度上昇限度は、新旧とも B 種 75 deg である。

800 番系列は従来の 600 番系列にくらべてトルクあたりの GD² が低減するので、制御性能の向上が期待され、しかも取り付けが新旧フレームで同一という大きな特長を有する。近い将来わが国でも規格化されようが、低慣性効果が顕著にあらわれる スクリューダウン そのほかの用途に対し、当社は AISE 規格を準用してすでに製作中である。

2. 2. 3 JEC 54' 規格の変更の要点と趣旨

電気規格調査会規定の JEC 54 (1954) 直流機規格が 1965 年 4 月に改定され、時代の要求にマッチした最新版となった。整流に関して新しい見解を発表したこと、端子記号が大幅に変わったことが主要点であり、以下簡単におもな改定点を説明する。

(1) 標準電圧 従来は発電機と励磁機に規定されていたが、これを電動機と励磁機に対して規定されることとなった。これは発電機標準電圧が、電動機電圧として用いられていた実情に合わせたものである。

(2) 整流 旧規格では、良好な整流とは「火花発生がきわめて少なく、ブラシまたは整流子がいちじるしく摩耗または破損することのない整流をいう」と定義があいまいなため、使用者・製作者とも必要以上に無火花整流の確保に神経を使っていたが、これが整流子荒損をまねく原因の一つになっていたことも見のが

最近の工業用電動機・小山・林・衛藤・東海林

表 2.6 直流機の温度上昇限度 (deg) JEC 54 (1965)

| 項 | 機 械 の 部 分 | A 種絶縁 | | E 種絶縁 | | B 種絶縁 | | F 種絶縁 | | H 種絶縁 | |
|----|---|--|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
| | | 温 抵 度 抗 計 法 | 計 法 | 温 抵 度 抗 計 法 | 計 法 | 温 抵 度 抗 計 法 | 計 法 | 温 抵 度 抗 計 法 | 計 法 | 温 抵 度 抗 計 法 | 計 法 |
| 1 | 電 機 子 巻 線 | 50* | — | 65* | — | 70* | — | 85* | — | 150* | — |
| 2A | 多 層 界 磁 巻 線 | 50* | 60 | 65* | 75 | 70* | 80 | 85* | 100 | 150* | 125 |
| 2B | 低 抵 抗 界 磁 巻 線 および 補 償 巻 線 | 60 | 60 | 75 | 75 | 80 | 80 | 100 | 100 | 125 | 125 |
| 2C | 露出した単層界磁 巻線 | 65 | 65 | 80 | 80 | 90 | 90 | 110 | 110 | 135 | 135 |
| 3 | 鉄心その他の機械的 部分で絶縁した巻線 と近接した部分 | 60 | — | 75 | — | 80 | — | 100 | — | 125 | — |
| 4 | 鉄心その他の機械的 部分で絶縁した巻線 に近接しない部分、 ブラシおよびブラシ 保持器 | 機械的に支障なく、かつ付近の絶縁物に損傷を起 さない温度 | | | | | | | | | |
| 5 | 整流子およびスリッ プリング | 65 | — | 70 | — | 80 | — | 90 | — | 100 | — |
| 6 | 軸 受 (自冷式) | 表面で測定するとき 40 deg. メタルに温度計素子を 埋入して測定するとき 45 deg. ただし、水冷式軸受 または耐熱潤滑剤によるときは、注文者・製造者間 でそのために協定すること。 | | | | | | | | | |

注) 全閉形であって、機体内の空気またはガスが外部と流通することがなく、空気またはガス冷却器を内蔵しない直流機では、* 印の付してある温度上昇限度を上表の値よりも 5 deg 高く定める。

せない事実である。そこで新規格では、整流子およびブラシに有害な火花を 5 号以上とし、4 号以下を無害火花とした。

(3) 過負荷耐量 旧規格では 150%，試験時間 1 分間であったが、新規格では IEC 規格に準じて 150%，15 秒となった。

(4) 温度上昇限度 旧規格は A、B 種絶縁のみであったが、E・F・H 種絶縁に対する温度上昇が追加された (表 2.6 参照)。A、B 絶縁のうち、整流子の温度上昇限度が、それぞれ 5 deg さがり、A 種 60 deg B 種 80 deg となった。

(5) 課遊負荷損 可変速度電動機に対して損失増加分を規定した。すなわち補償巻線のない (ある) ときは、基準出力の

1% (0.5%) を基底速度における漂遊負荷損とするが、ほかの速度での損失はこの値につぎの係数を乗ずる。

| 速度比 | 係数 |
|---------|-----|
| 1.5 : 1 | 1.4 |
| 2 : 1 | 1.7 |
| 3 : 1 | 2.5 |
| 4 : 1 | 3.2 |

(6) 端子記号 JEC 54 (1954) に規定されている端子記号は、昭和14年に制定された古いもので、技術の進歩にともない種々の巻線をもつ機械があらわれるなど、従来の規格では不備な点が多く、規定の解釈にも相違があって記号法に関する思想を統一すべき気運にあった。

旧規格では標準と異なる回転方向に対する極性と、端子記号の関係が明確でなかったが、新規格では反直結側からみて右回転方向の電動機を基準として各巻線の端子記号を決め、左回転や発電機の場合は記号はかえずに極性を切りかえるようにしたことが大きく異なる点である。

2.3 GD² と動特性⁽⁵⁾

自動制御の発達にともなって、加速・減速・可逆運転などにおける速度の応答性をすぐれたものとするため、直流機の動特性のうち GD² の値が重要な課題となってきた。

(1) 各種駆動方式の比較

所要の特性と条件が満足されるならば、通常単電機子形で製作されるが、さらに必要な場合は2電機子・3電機子などのタンデム電機子や2重電機子・双電動機駆動方式として GD² を下げることができる (図2.7参照)。

参考までにタンデム駆動方式における GD² の減少と価格の増加を図2.8に示す。これにより分割台数を増すほど GD² は下がるが、一方、製作価格が上昇することがわかる。また据付け面積も増大する。

(2) 起動トルクと GD² の関係

直流電動機を n 回転速度まで加速するに要する時間および電流値は次式であらわされる。

GD² : 電動機軸に換算した全慣性性能率 (kg-m²)

n : 回転速度 (rpm)

t : 加速時間 (sec)

T : 平均加速トルク (kg-m)

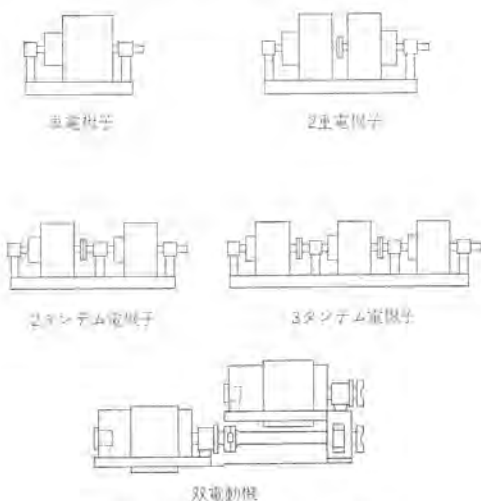
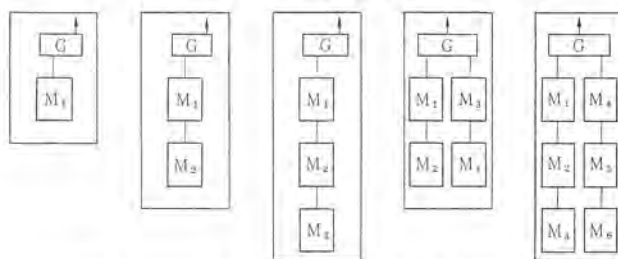
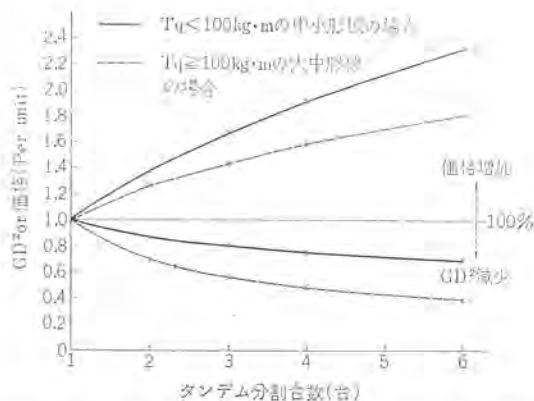


図2.7 電機子の分割
Fig. 2.7 Armature arrangement



説明 G:減速機またはピニオンスタンダード M₁~M₄:各分割駆動電動機
駆動電動機配置要領

図2.8 直流電動機のタンデム駆動と GD²
Fig. 2.8 Moment of inertia on DC tandem motors.

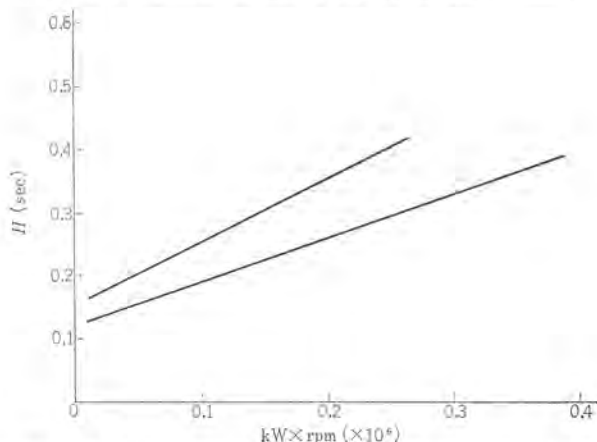


図2.9 標準形直流電動機の H 定数 (基底速度において)
Fig. 2.9 H constant of standard DC motors (at base speed)

kW : 電動機の定格出力

i : 定格電流に対する加速電流の値 (%)

$$t = GD^2 \times n / 375 \times T \quad (\text{sec})$$

$$i = GD^2 \times n^2 / 3,650 \times kW \times t \quad (\%)$$

回転速度が n_1 から n_2 にかわった場合に、回転体に蓄積されるエネルギー Pt は

$$Pt = GD^2 (n_2^2 - n_1^2) / 730,000 \quad \text{kW} \cdot \text{sec}$$

であらわされ、この値を電動機の定格出力 kW で除したものを H 定数 (H constant) とよび各種の計算に使われる。すなわち

$$H = GD^2 (n_2^2 - n_1^2) / 730,000 \times kW \quad \text{sec}$$

定格トルクで定格速度まで加速する時間は

$$t = GD^2 \times n / 375 \times T = GD^2 \times n^2 / 375 \times 974 \text{ kW} \\ = GD^2 \times n^2 / 365,000 \text{ kW} = 2H \text{ となる}$$

図2.9は標準直流電動機の基底速度における H 定数の概略値をしめす。

(3) 始動時定数 (T_M)

始動時定数 T_M は、電気回路における時定数 L/R に相当するもので、電気回路にインダクタンス L があると電流の上昇がおさえられ

るように、電動機回路でも慣性があって回転速度が早く上らぬ。電動機の回転速度が最終の回転速度の63.2%に達するまでの時間が、電動機の始動時定数である。

R : 電動機回路抵抗 (Ω)

K_F : 電動機電圧係数 ($E-IR$)/rpm

E : 電動機端子電圧 (V)

K_T : 回転力係数 kgm/l

I : 定格電流 (A)

$$T_M = GD^2 \times R / 375 \times K_F \times K_T \text{ sec}$$

$$= 2H \times IR / E - IR \text{ sec}$$

通常の電動機の IR ドロップは、3~7%であるから、 T_M は定格トルクで定格回転速度まで加速する時間(2H)の約1/20であると考えればよい。

3. 誘導電動機

誘導電動機は工業用電動機の中核的存在であり、需要に応じ特性・保護方式・構造・通風方式などにおいて多種多様なものが製作されているが、そのすべてを限られた紙面で紹介することは不可能であり、また記録的製品の紹介や技術的特記事項の説明は本誌その他により折にふれなされているので、本文では最近の話題として絶縁および低騒音化について簡単な解説を試みたい。

3.1 絶縁

最近の進歩の第1は絶縁である。

3.1.1 ハン用E種電動機(本誌 Vol. 40, No. 3 参照)

E種絶縁は合成化学の発達により合成絶縁材料の耐熱性が改善されたために電動機の許容温度上昇限度を引き上げて電動機の小形化をはかるものであり、従来のA種絶縁とB種絶縁の間に位しており、欧州において普遍化されたものである。

E種絶縁が新しい絶縁階級として世界的に認められたのは、1954年のIEC大会においてであり、かなり古い話であるが、アメリカがこれをAIEE規格に取り入れなかったため、欧州よりもアメリカ側に傾倒していたわが国では一般に広く受け入れられるところとはならなかった。

しかるに電動機の市場競争が激化するにともない、世界的に小形化と価格低減とが促進され、わが国においても欧州でのE種電動機に対抗するために、ドイツDIN規格を参考にして1964年にJEM 1180(寸法規格)とJISC 4210(特性規格)がE種電動機の規格として制定され、国内各社はハン用E種電動機の生産をいっせいに開始するにいった。

これらのハン用E種電動機はIEC寸法に基いて製作され、国際的に統一された外形寸法となっているが、わが国の特殊事情によって独自の動きをみせている面もある。

その一つは、欧州ではハン用E種電動機はそのほとんどが全閉外扇形であり、開放形はむしろ特殊扱いであるのに対し、わが国では開放形E種電動機も標準系列化されて、特性もJISC 4210に明示されている点である。

これは全閉形と開放形間の販売価格差により、今までのわが国ではハン用電動機においては開放形の需要率が圧倒的に多く、約80%強対20%弱の比率になっているため、いま直ちにE種電動機の標準を欧州なみに全閉外扇形1本に統一することはいろいろな問題がおこることが考えられたからである。

当社においては、古くから需要家の要望があれば、その仕様のいかなを問わずE種絶縁の電動機を製作してきており、またつ

最近の工業用電動機・小山・林・衛藤・東海林

図 3.1 SF-E 形 スーパーライン E
モータ
Fig. 3.1 Type SF-E super-line motor



図 3.2 SB-E 形 スーパーライン E
モータ
Fig. 3.2 Type SB-E super-line motor.

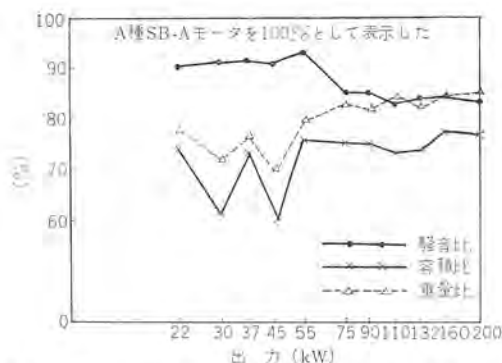


図 3.3 中容量E種電動機とA種電動機の重量容積騒音比較(低圧 開放形 4極 電動機)

Fig. 3.3 Comparison of weight, volume and noise of medium capacity class E motor with those of class A motor.

ーンモータ・フラットモータなどE種絶縁を標準として採用した系列的製品を市場に送り各方面でご愛用いただいていたが、これらの豊富な実績により全閉外扇形および開放形のハン用E種電動機の系列を完成し、即納体制を確立している。

これら三菱ハン用E種電動機は図3.1, 3.2に示す外観を持ち、その最も大きな特長は小形、軽量で、とくに開放形では現行A種電動機に比べると図3.3のとおりである。また著しい小形化にもかかわらずトルク特性はA種ハン用電動機の値に比べてまったく見劣りなく、騒音、 GD^2 も少なくなっている。

3.1.2 当社誘導電動機のE種絶縁適用方針

三菱ハン用E種電動機を紹介したついでに、当社誘導電動機のE種絶縁適用方針を下記のとおりに紹介しておく。

(1) E種絶縁は主として600V以下の低圧機で約150kW以下の小中容量機に適用するのが妥当であり、この範囲の電動機はE種絶縁を標準とする。

(2) 3,000V級の電動機および約150kW以上の大容量低圧機では、E種絶縁は技術的には製作可能であるが不経済となり、むしろB種絶縁を推奨する。

(3) 6,000V級の電動機ではB種絶縁が標準であり、E種(A種はもちろん)は製作しない。

高圧機においてE種絶縁を推奨しない理由は、対地主絶縁としてのマイカに代用できる合成材料はまだ発明されておらず、したがってE種絶縁の場合にもマイカラップ(またはマイカテープ)を使用し、また高圧機には電線として平角線を使用するが合成樹脂被覆電線(ポリエステルエナメル線などのE種用)は平角線では丸線と

異なり、熱衝撃性が弱く信頼性が低いために二重ガラス線の使用を余儀なくされる結果、高圧機のE種絶縁はやむを得ずB種絶縁に近似してきて價格的にも大差なくなるので、E種絶縁とするよりはむしろB種として小形化するほうが経済的に有利なためである。

高圧機の絶縁はNEMA規格がB種絶縁にその標準を改訂したのをはじめ、内外各社とも最近B種絶縁を標準とする傾向にあり、当社においてもつぎに述べるダイエポキシ絶縁を採用して高圧機の絶縁はB種を標準としたいと考えている。

3.1.3 ダイエポキシ絶縁 (本誌 Vol. 40, No. 6 参照)

当社においてはすでに10数年前に不飽和ポリエステル系樹脂を使用したダイヤラシック絶縁を開発し、その優秀な絶縁性は各方面で高く評価されているが、さらに研究開発に不断の努力を続けてきた結果、従来のポリエステル系とは異なる材料、処理方法による新しい絶縁を開発した。

この新しい絶縁はダイエポキシ絶縁と称し、定格電圧6,600Vまでの高圧大形回転機に適用されるもので、コイルを鉄心に入れ、ウサビ打ち・結線・コイルの緊縛を行ない巻線を完成し、この完成された固定子を真空圧入タンクに入れ、高真空のもとでエポキシレジンを含浸圧入し、コイルおよびつなぎ部分も含め巻線全体を一体化する絶縁方式であり、つぎのような特長をもっている。

(1) 絶縁組織が強固に一体化されており、導体の膨張収縮に十分に順応し、機械的な振動や衝撃に対して強く、長年月にわたって絶縁に亀裂発生のおそれはない。

(2) 表3.1に示すように耐薬品性・耐溶剤性が非常にすぐれている。

(3) 固定子全体をエポキシレジンで真空圧入含浸するので、コイルのみでなく結線線やつなぎ部分も耐水・耐塩害にすぐれている。

(4) エポキシレジンにF種絶縁の耐熱性を有するが、これをB種用として使用するため絶縁の寿命、信頼性が向上している。

図3.4にモデルコイルのAIEE No. 511 モートレット法による絶縁組織の耐熱寿命を示す。

表 3.1 レジンの化学薬品浸せき後の変化

| | | | | | | | | |
|----|----|---|---|-----|---|---|---|---|
| 3% | % | 硫 | 酸 | | 変 | 化 | な | し |
| 3% | % | カ | 性 | ソーダ | | | | |
| 3% | % | 食 | 塩 | 水 | | | | |
| アセ | ト | ン | | | | | | |
| ベン | ゼ | ン | | | | | | |
| アル | コー | ル | | | | | | |
| トリ | タ | レ | ン | | 少 | し | 膨 | 張 |
| ガソ | リ | ン | | | 変 | 化 | な | し |
| ド | ソ | ン | ス | 油 | | | | |

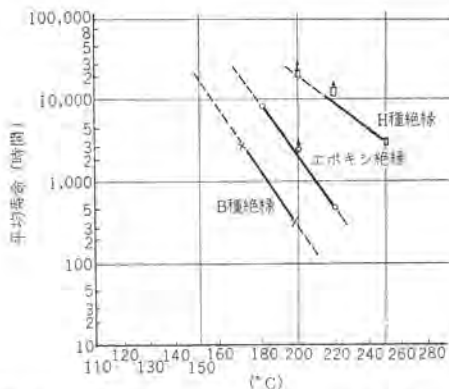


図 3.4 AIEE No. 511 モートレット法による絶縁組織の耐熱寿命

Fig. 3.4 Heat resisting life of various insulation.

(5) 耐電圧強度がすぐれている。

(6) 機械的強度がすぐれており、シリコンゴム絶縁に比べて5倍以上の強度を有している。

(7) 製作工程において固定子全体を水中に浸せし、絶縁抵抗の測定、耐圧試験を行ない十分な品質管理を行なう。

これらの特長により、ダイエポキシ絶縁では湿気・ジニア・腐食性ガスのある場所でも絶縁自体がこれに対抗できるように強化されているため、電動機の保護形式を全閉外扇形より防滴保護形に簡易化することが場合によっては可能となったが、今後とも絶縁方式の進歩改良によって保護方式の簡易化は増加する傾向にあると考えられる。

3.2 低騒音化 (本誌 Vol. 40, No. 6 参照)

最近めだつ傾向の第2は、低騒音電動機の要求が増加していることであろう。

誘導電動機の騒音は、従来は主としてビルやホテルなど多数の人間が集まる場所に設置されるターボ冷凍機用電動機を主体に関心が寄せられてきたが、最近では化学工場、石油製精工場、その他で電動機を屋外で使用するものが多くなり、電動機を含めて各種機械の騒音が公害問題として重要視されるにいたった。

低騒音電動機の詳細は上掲の論文で紹介済みであるが、騒音の大きさの評価には個人差、気分差があって客観的な評価がきわめてむずかしく、また音圧レベルが同じでもその周波数により人間の耳に聞こえる大きさが図3.5のように異なるため、これに関連して需要家各位の理解と協力を必要とするところがあるので、これについて下記のとおり紹介したがようお願いしておきたい。

3.2.1 騒音測定

誘導電動機の騒音は図3.6に例示するような可聴周波数の全域にわたって存在し、その測定はJEM 1020「三相誘導電動機試験法」の規定により、指示騒音計の聴感補正回路は音圧レベルの大きさには無関係にA特性を用い、電動機主壁面から1mの点で測定することになっている。この点はJISZ 8731「騒音レベルの測定方法」の「まずB特性で測って60ホン未満のときはA特性で、60ホン以上85ホン未満のときはB特性で、85ホン以上のときはC特性で測定する規定とは違っており、そのため需要家の間で電動機の騒音評価について混乱や疑義を生ずるきらいがあった。

とくにファンやポンプなど相手機械と結合した状態での総合音が高いとき、その責任の所在を追求するうえでJEMとJISの測定法の相違が表面化し、いずれの評価法が正しいのか問題化する場合もみられたが、JEMがA特性を採用するに際しては音

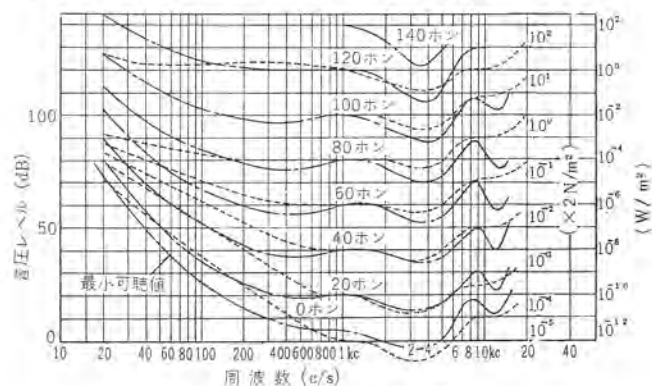


図 3.5 聴感曲線

Fig. 3.5 Fletcher-Munroe and Robinson-Dodson curve.

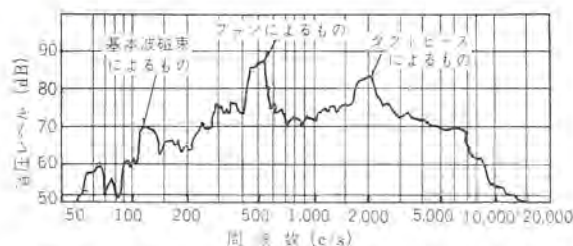


図 3.6 高速度電動機の周波数分析例
Fig. 3.6 Frequency analysis curve of high speed motor.

の大きさ・うるささ・やかましさ・難聴限界など、音のもつ諸相を多角的に検討したうえで、聴感の周波数特性にもっとも近いものとしてA特性を選定したものである。

ISO や IEC でも騒音測定は A 特性だけを用いることを提案しており、外国の諸文献でも A 特性を支持したものが多く、これら内外の動きにより現行 JIS を A 特性に改訂すべく関係者の間で検討されており、近い将来には騒音測定はすべて A 特性に統一され、無用の混乱はなくなるものと思われる。

3.2.2 駢音協調

低騒音化の問題で注意すべき第2の点は、周囲騒音や相手機械との騒音協調である。

低騒音電動機は、経済性を度外視すれば技術的には製作不可能限界はなく、無騒音電動機も製作可能であるが、騒音を下げようとすればするほど、その低下すべき騒音レベルに応じて寸法・重量・価格が増すので、慎重にその騒音許容限界を決定しなければ必要以上に高価な電動機を使用することになる。

しかも電動機を設置する場所には、他の機械も多数据えつけられるであろうが、多数の音が同時に存在する場合の大きさは最大レベルをもつ音によってほぼ決定されるので、周囲騒音や負荷機械の騒音との協調なく、電動機の騒音だけを低くしても全体の騒音レベルは決して低くならない。

したがって低騒音電動機の要求は、騒音の許容限界の適確な理解を伴わなければ無意味であり、むだな設備投資を招くにすぎない。

当社は 今後とも価格、特性の面でよりすぐれた低騒音電動機を製作するように努力中であるが、需要者各位におかれても上記の点を念頭におかれて、適切な低騒音電動機を選定されるよう希望する次第である。

4. 同期電動機

4.1 最近の進歩

4.1.1 絶縁

同期電動機の絶縁はB種絶縁が標準として使用され、すべて合成樹脂系ワニスが使用されている。とくに 6,000 V 以上の高圧機および化学工場に使用されるものでは リーマラシックエポキシ か リーマラシックポリエステルワニス を含浸する。手打ち巻きの界磁 コイル は コイルの表面は裸であるため、尿素工場をはじめとして 化学・石油化学工場では、絶縁抵抗低下をひきおこしやすいので、裸表面をポリエステル か エポキシワニス で処理した ワニスガラステーラで ローベング し、表面に強固な薄絶縁層を形成し、絶縁抵抗の低下を生じないように処置している (実用新案申請中)。

またセメント・鉱石等の粉砕ミルに使用するもので、とくに環境の悪い場合にはシリコンゴム・コーティングなどの方法で耐摩減性にも十分な留意がなされている。

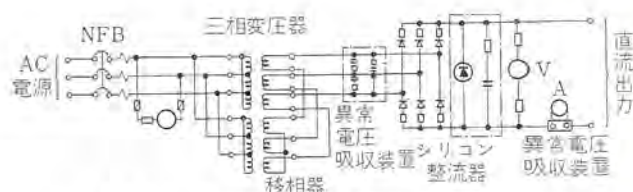


图 4.1 移相器式静止励磁装置接线图
Fig. 4.1 Connection diagram of phase shifter type static exciter.

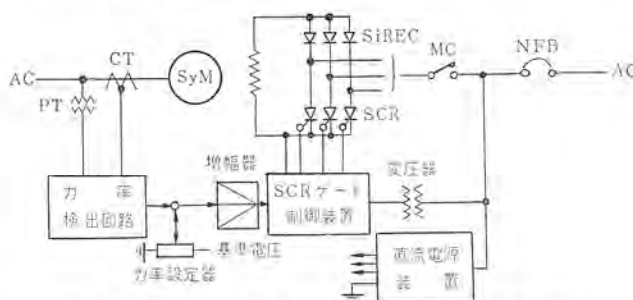


図 4.2 サイリスタ 静止励磁装置 (自動力率調整装置付)
Fig. 4.2 Connection diagram of SCR type static exciter
with automatic power factor control equipment.

4.1.2 励磁方式

従来使用されてきた 直流励磁機を使用する励磁方式は、最近
はほとんど使用されず、半導体整流器を使用した静止形が盛んに
使用されている。

(1) 位相器式静止励磁方式

現在標準として盛んに使用されている励磁方式で 図 4.1 のように、変圧器と位相器を直列に接続し、その出力をシリコン整流器で整流し、電動機の界磁に供給する。

シリコン整流器の入出力側には サージアブソーバ やアレスターを接続し、サージ電圧からシリコン整流器を保護している。界磁電流の制御は位相器を手動か電動で操作し、交流側電圧を制御して行なっている。もちろん自動力率調整装置を付属せしめることもできる。

(2) サイリスタ 静止励磁方式

図4.2のような回路でサイリスタの点弧角を制御して電動機の界磁電流を制御する方式で、自動、手動いずれでも可能である。

この回路の特長は、励磁回路に速応励磁時の時間遅れがほとんど存在しないということで、チップや圧延機などで瞬間的に過負荷が加わると、ほとんど時間遅れなしに励磁を強め、電動機のトルクを増大できるという利点がある。

4.1.3 制御方式

従来は同期電動機の同期引き入れは タイマ などを使用した 強制引き入れがほとんどで、また起動渋滞や脱調も タイマ や過電流リレーを使用してきたが、当社では トランジスタサイパックの論理要素と RC の充放電回路を基本とする スタティックスリップションを使用し、最適位相、最適速度を検出して同期投入を行い、起動渋滞は制動巻線の温度上昇をシミュレートして検出し、また脱調は界磁に誘起する交番電圧を検出してリレーを動作せしめる というように最近の半導体技術を駆使したすぐれた制御方式を採用している。

4.1.4 ブラシレス同期電動機

交流発電機と同様に 同期電動機も ブラシレス 励磁方式が製作できる。とくに集電環や整流子が存在しないため、ブラシレス 同期電動機は 防爆モータとしてすぐれた構造を有し、化学や石油化学工場などで将来盛んに使用されると考えられる。詳細は本誌 Vol. 40, No. 6「電動機特集号」を参照願いたい。

4.1.5 2極同期電動機

最近、高炉ブローア、大形ターボコンプレッサ用として2極同期電動機が注目されている。構造的には2極タービン発電機と大差がなく、大容量機でも容易に製作できる。起動方式は容量が大きいものが多いため（普通5～6,000 kWから30,000 kW程度）起動用電動機によるか、低周波起動方式によることが多い。当社も高炉ブローア用として9,200 kW、7,000 kWそれぞれ1台ずつの実績を有している。

4.2 動特性と応用

4.2.1 起動特性

同期電動機で駆動される負荷の起動特性を大きく分類すれば、次の3種類に分けることができる。

クラスA：起動トルク、引入れトルクともに大きな値を必要とする負荷

クラスB：引入れトルクのみ大きな値を必要とする負荷

クラスC：起動トルク、引入れトルクともに小さな値で十分である負荷

クラスAに属するおもな負荷はボールミル・パンパミキサ・ピータ・ラインシャフト・ロッドミル・チューブミル・ラバーミルなどで、起動トルク、引入れトルクともに100%トルク以上要求されることが多い。この場合は普通形の同期電動機は適用できず、クラッチ付き同期電動機か誘導同期電動機を使用する。とくに誘導同期電動機は巻線形誘導電動機として起動するため大きなGD²を持つ負荷でも起動でき、すぐれた起動特性を有し、セメントミルなどに盛んに使用されている。しかしその反面、励磁電流が過大、効率が若干低いなどの欠点も持っている。

突極形で相巻線形起動巻線を有するシンプレックス電動機は、現在ではほとんど製作されなくなっている。

クラスBに属するおもなものは遠心力ブローア・遠心力ファン・プロペラファン・ジョルダン・遠心力ポンプの一部などで、引入れトルクが100%近く要求される。これらを駆動する同期電動機としては、GD²が過大でない限り、低抵抗カゴ形起動巻線を有する標準形同期電動機が適用されるが若干マシンサイズが大きくなることは避けられない。

クラスCに属する負荷は前述の負荷以外のほとんどの負荷で、同期電動機がよく使用される負荷としてはコンプレッサ・ポンプ・ブローア・ファン・各種発電機・チェッパ・リファイナ・パルプグラインダ・ジョルダン・圧延機などで、これもGD²が過大でないかぎりカゴ形起動巻線を有する標準形同期電動機を使用する。

4.2.2 負荷GD²

前述のクラスBおよびCの負荷で、GD²が過大な場合はカゴ形起動巻線付き同期電動機を使用すると、カゴ形起動巻線が過熱し、熱疲労で折損事故をひき起こすおそれがある。カゴ形起動巻線付きが使用できるGD²の限界を知る目安として、次のような式が使用できる。

$$\text{加速可能 } GD^2 = 5.6 \times kW \times \left(\frac{1000}{N} \right)^2 \times \frac{1}{PF} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

kW = 電動機定格出力

N = 電動機定格回転数

PF = 電動機定格力率

カゴ形起動巻線付きが使用できない場合は磁極に単一鋼塊を使用したダンパレス形を使用する。磁極に単一鋼塊を使用するため起動時、磁極表面に大きなウエ電流が流れ、加速トルクが発生する。



図 4.3 焼結ブローア駆動 4,500 kW ダンパレス同期電動機回転子
Fig. 4.3 Rotor of 4,500 kW damperless type synchronous motor for blower used in sintering.

磁極表面に発生する熱損失は磁極頭・磁極体・スパイダシャフトへと容易に熱が放散するので、磁極表面が過熱することはない。また構造が簡易であるため、4P機などの高速機に使用されることが多い。

しかし同期運転中の諸性能が劣り、起動トルク特性が高抵抗カゴ形起動巻線付きと類似し、その特性を変化させることが困難であるなどの欠点を有するため、適用範囲を限定したほうがよい。このダンパレス形を使用する代表的負荷として製鉄用の焼結ブローアがある。

図 4.3 に 4,500 kW 8P 焼結ブローア用ダンパレス同期電動機の回転子を示す。

5. 特殊電動機

特殊電動機といってもその範囲は多岐にわたるので、おもなものについてその概要、特長について述べる。

5.1 AS モータ

AS モータはカゴ形誘導電動機と、ウエ電流継ぎ手とを連結した変速度電動機であり、AS という名称は Adjustable Speed Motor の略称である。構造としては AS カップリングと IM を共通軸として組み立てたものであり、容量が大きいものは別置きとしたものもある。

交流電源より簡単に速度制御をする場合に使用され、速度比としては最高 1 : 10 程度まで可能であるが、速度の低いところで常時使用するときはスベリ相当の電力をウエ電流として熱発散させる必要があるため、重力効率は悪い。また一般に容量が大きくなると空冷式では不十分で、水冷式にすることも考えられるが、むしろ次のレクチフローのほうが得策である。当社の標準としては表 5.1 のとおりである。

表 5.1 標準 AS モータ

| AS モータ出力 (電動機出力) (kW) | 電動機 定格回転数 (rpm) | AS カップリング 出力軸最高回転数 (rpm) | 速度制御範囲 (定トルク負 荷に対し) | 最高回転数における AS カップリング出力 (kW) |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 0.4 | 1,680 | 1,500 | 1 : 10 | 0.36 |
| 0.75 | 1,690 | 1,500 | 1 : 10 | 0.66 |
| 1.5 | 1,700 | 1,500 | 1 : 10 | 1.32 |
| 2.2 | 1,710 | 1,500 | 1 : 10 | 1.99 |
| 3.7 | 1,720 | 1,550 | 1 : 10 | 3.33 |
| 5.5 | 1,720 | 1,550 | 1 : 10 | 4.95 |
| 7.5 | 1,720 | 1,550 | 1 : 10 | 6.75 |
| 11 | 1,730 | 1,600 | 1 : 10 | 10.2 |
| 15 | 1,730 | 1,600 | 1 : 10 | 13.9 |
| 19 | 1,730 | 1,600 | 1 : 10 | 17.6 |
| 22 | 1,740 | 1,650 | 1 : 5 | 20.9 |
| 30 | 1,740 | 1,650 | 1 : 3 | 28.4 |
| 37 | 1,740 | 1,650 | 1 : 2.5 | 35.1 |

注) 上表は4極、60 c/s の場合の回転数を示すもので、これ以外の場合には同期速度の比にほぼ比例して上記回転数も変わる。

AS モータの特性は 駆動側は標準 カゴ形 IM となんら変わりがない。トルクを伝達する電磁 カップリングはスベリと励磁の変化により、図 5.1 のとおり変化する。したがって、もし一定励磁にしておくと、負荷変動すなわちトルク変動により速度が大幅に変動するので、一般に負荷変動に応じ励磁を自動的に加減し、速度を一定にする 自動速度調整装置 (ASR) を設け、図 5.2 のような定速度特性を得ている。

5.2 レクチフロー

レクチフロードライブ方式とは 巻線形誘導電動機、直流電動機および半導体整流器を組み合わせ、広範囲の速度制御を連続的に、しかも効率よく行なうものであり、昔のクレマまたはセルピウス方式の回転変流機の代わりに 静止半導体整流器を用いたもので、当社の商品名である。IM の 2 次電力を直接機械的出力として負荷へ返還する直結式レクチフロー (図 5.3) と、別個に設けた直流電動誘導発電機セットで電源へ返還する、変形レクチフロー方式 (図 5.4) とがある。この方式は IM のスベリ 2 次入力に見合う直流電動機が必要になるので、速度制御範囲が大きくなるに比例して D. C. M もまた大きくなるが、一般巻線形 IM の 2 次抵抗制御による 2 次損失がほとんど D. C. M を介して回収されるので、効率がよく特長がある。制御特性としては 自動速度制御装置 (ASR) なしでも十分運転可能であるが、ASR を付加すると速度変動率の少ない分巻特性が得られる。図 5.5 に速度制御原理 図 5.6 に ASR 付きの簡易結線を示す。用途としては速度制御範囲 2:1 以下程度のものに使用するものが多い。

5.3 AISE 標準 AC モータ

DC に対する圧延補機モータは 古くから JEM 1109 として国内では規格化され すでに各社で多数製作されているが、AC に対するものは、国内規格としてはまだ審議中である。原規格 AIS E STANDARD No. 1-A は アメリカで 1961 年規格化し、最新版としては 1964 年版のものが発行されており、日本においてもこの規格を基準として製作中であり、当社におてもすでに主要 ック番については製作納入の実績を有するものである。その標準定格並びに特性を表 5.2 に示す。

このモータの特長は 停動トルクが 325~425 % と非常に大きく 採っており 製鉄補機駆動用として好適で、外形寸法、軸端寸法などは規格で統一されている。ック番称呼は AC 1~AC 50 までを採り 1~50 の数字を 5 倍すると、基準出力の馬力を示すようになっている。極数は 45 kW まで 6 極、110 kW まで 8 極、190 kW まで 10 極を採用している。参考までに現用の当社 クレーン用巻線形 IM の標準定格 (JEM 1065, 1066 準拠) を表 5.3 に示すから比較参照されたい。なお詳細は本誌 Vol. 39, No. 6 を参照願いたい。

5.4 減速電動機

減速電動機は カゴ形誘導電動機と減速機を組み合わせ 一体としたものが多く 減速比の大きさにより、1 段減速より 3 段減速のものまであり一般工業用として、低速駆動の用途に用いられる。その標準を表 5.4 に示す。可変速度を要求されるものには 直流電動機駆動の減速電動機を用いることがある。従来は 図 5.7 のような横形の形式が主であったが 最近 は 前掲 図 2.3 のごとく、駆動軸は横方向に出る新方式の減速電動機を開発した。本図は紡

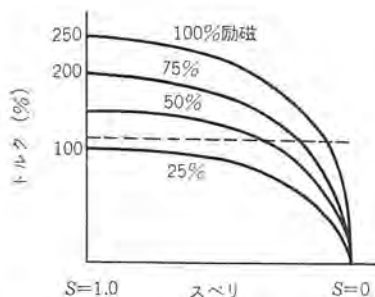


図 5.1 スリップトルク特性
Fig. 5.1 Slip-torque curve.

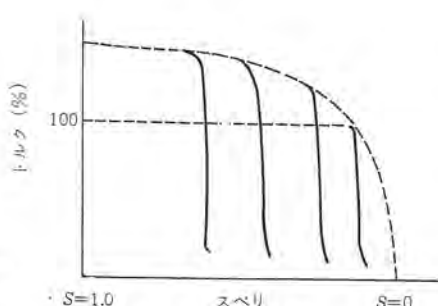


図 5.2 スリップトルク特性
Fig. 5.2 Slip-torque curve.

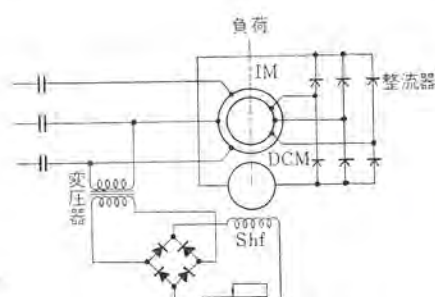


図 5.3 直結式原理図
Fig. 5.3 Principle of direct connection.

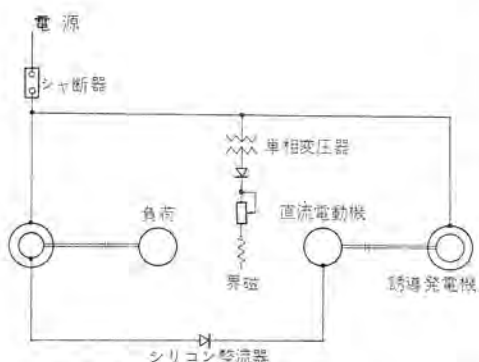


図 5.4 変形式原理図
Fig. 5.4 Principle of modified system.

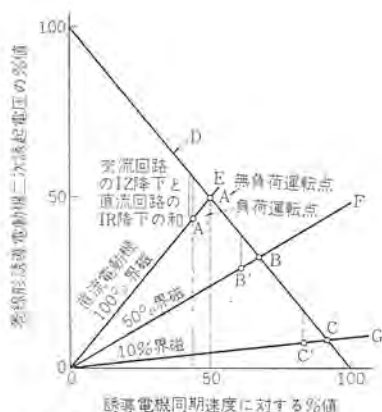


図 5.5 速度制御原理図
Fig. 5.5 Principle of speed control.

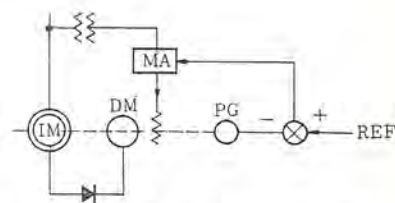


図 5.6 ASR 付レクチフロー原理図
Fig. 5.6 Principle of rectiflow with ASR.

表 5.2 AISE Standard Mill Motor 定格

| ワ ク 番 号 | 回 転 数 (rpm) | 全 自 閉 形 冷 却 ト ル ク (kg·m) | 温 度 上 昇 限 度 と 出 力 (kW) | | | | | 二 次 特 性 | | |
|---------|----------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|------------|
| | | | 85°C 全 自 閉 形 1 時 間 | 80°C 保 護 形 1 時 間 | 80°C 保 護 形 連 続 | 80°C 保 護 形 連 続 | 80°C 防 滴 形 連 続 | 二 次 電 圧 (V) | 二 次 電 流 (A) | 抵 抗 (Ω) |
| AC 1 | 1,200 | 3.18 | 3.7 | 4.6 | 3.7 | 4.6 | 3.7 | 140 | 19 | 3.50 |
| AC 2 | 1,200 | 6.36 | 7.5 | 9.4 | 7.5 | 9.4 | 7.5 | 195 | 26.5 | 3.50 |
| AC 4 | 1,200 | 12.72 | 15 | 18.7 | 15 | 18.7 | 15 | 266 | 38 | 3.50 |
| AC 8 | 1,200 | 25.45 | 30 | 37.5 | 30 | 37.5 | 30 | 250 | 75 | 1.75 |
| AC 12 | 1,200 | 38.17 | 45 | 56 | 45 | 56 | 45 | 300 | 92 | 1.75 |
| AC 18 | 900 | 74.68 | 67 | 84 | 67 | 84 | 67 | 260 | 162 | 0.875 |
| AC 25 | 900 | 103.73 | 95 | 119 | 95 | 119 | 95 | 305 | 190 | 0.875 |
| AC 30 | 900 | 123.78 | 110 | 138 | 110 | 138 | 110 | 340 | 207 | 0.875 |
| AC 40 | 720 | 206.67 | 150 | 187 | 150 | 187 | 150 | 275 | 335 | 0.437 |
| AC 50 | 720 | 256.82 | 190 | 238 | 190 | 238 | 190 | 310 | 375 | 0.437 |

注 1) 回転数は 60 c/s である。

2) 全閉自冷形のトルクは 100% 負荷の値を示す。

3) 温度上昇限度は抵抗法である。

4) 二次電圧の許容値は ±10%。

5) 抵抗値は外部の二次回路入抵抗値を示す。

表 5.3 KE-A 形 クレーン 用電動機一覧 (JEM 1015 1066 準拠)

| ワ ク 番 | kW | rpm (P) | 軸 中 心 高 心 | Wt(kg) GD ² (kg·m ²) | ワ ク 番 | kW | rpm (P) | 軸 中 心 高 心 | Wt(kg) GD ² (kg·m ²) |
|---------|-----|--------------|--------------|--|-----------|-----|-------------|--------------|--|
| KE 1621 | 2 | 1,200 (6) | 160 | 80 0.2 | KE 3240 | 30 | 720 (10) | 320 | 670 10.1 |
| KE 1824 | 3 | 1,200 (6) | 180 | 95 0.26 | KE 3246 | 40 | 720 (10) | 320 | 740 12.8 |
| KE 2030 | 5 | 900 (8) | 205 | 180 0.71 | KE 3468 B | 50 | 720 (10) | 345 | 910 17.7 |
| KE 2329 | 7.5 | 900 (8) | 230 | 215 1.51 | KE 3468 B | 60 | 720 (10) | 345 | 980 20.5 |
| KE 2531 | 10 | 900 (8) | 250 | 270 1.88 | KE 3981 B | 75 | 720 (10) | 390 | 1210 31.0 |
| KE 2535 | 15 | 900 (8) | 250 | 310 2.57 | KE 3981 B | 100 | 720 (10) | 390 | 1380 39.0 |
| KE 2837 | 20 | 900 (8) | 280 | 410 4.0 | | | | | |

表 5.4 減速電動機標準表 (GM-RH 形, H 形, R 形)

| 種 類 | | R H 形 | | | | H 形 | | | | | | | | R 形 | | | |
|-----------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-----------|-----|-----|--|
| 減速段数 | | 3 段 減 速 式 | | | | 2 段 減 速 式 | | | | | | | | 1 段 減 速 式 | | | |
| 極 数 | | 8 | 6 | 4 | 4 | 8 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | |
| 標 準 | 50w | 3.5 | 4.6 | 7 | 10.3 | 16.5 | 22 | 30 | 33 | 45 | 50 | 75 | 100 | 150 | 300 | 500 | |
| 同 転 数 | 60w | 4.2 | 5.6 | 8.4 | 12.4 | 20 | 27 | 36 | 40 | 54 | 60 | 90 | 120 | 180 | 360 | 600 | |
| 減 速 比 | | 215 | 215 | 215 | 145 | 45 | 45 | 33 | 45 | 33 | 30 | 20 | 15 | 10 | 5 | 3 | |
| キ コ ワ ッ ト | 0.4 | GM-0.4-RHL | GM-0.4-RHK | GM-0.4-RHJ | GM-0.4-RHH | GM-0.4-HH | GM-0.4-HC | GM-0.4-HF | GM-0.4-HF | GM-0.4-HF | GM-0.4-RF | GM-0.4-RF | | | | | |
| | 0.75 | GM-0.75-RHM | GM-0.75-RHL | GM-0.75-RHK | GM-0.75-RHJ | GM-0.75-HJ | GM-0.75-HH | GM-0.75-HG | GM-0.75-HG | GM-0.75-HG | GM-0.75-RG | GM-0.75-RG | | | | | |
| | 1.5 | GM-1.5-RHN | GM-1.5-RHM | GM-1.5-RHL | GM-1.5-RHK | GM-1.5-HK | GM-1.5-HJ | GM-1.5-HH | GM-1.5-HH | GM-1.5-HG | GM-1.5-RG | GM-1.5-RH | | | | | |
| | 2.2 | GM-2.2-RHP | GM-2.2-RHN | GM-2.2-RHM | GM-2.2-RHL | GM-2.2-HL | GM-2.2-HK | GM-2.2-HJ | GM-2.2-HH | GM-2.2-HH | GM-2.2-RJ | GM-2.2-RH | | | | | |
| | 3.7 | GM-3.7-RHR | GM-3.7-RHP | GM-3.7-RHN | GM-3.7-RHM | GM-3.7-HM | GM-3.7-HL | GM-3.7-HK | GM-3.5-HJ | GM-3.7-HH | GM-3.7-RK | GM-3.7-RJ | | | | | |
| | 5.5 | GM-5.5-RHS | GM-5.5-RHR | GM-5.5-RHP | GM-5.5-RHN | GM-5.5-HN | GM-5.5-HM | GM-5.5-HL | GM-5.5-HK | GM-5.5-HJ | GM-5.5-RL | GM-5.5-RK | | | | | |
| | 7.5 | GM-7.5-RHV | GM-7.5-RHS | GM-7.5-RHR | GM-7.5-RHP | GM-7.5-HP | GM-7.5-HN | GM-7.5-HM | GM-7.5-HL | GM-7.5-HK | GM-7.5-RM | GM-7.5-RL | | | | | |
| | 11 | | GM-11-RHV | GM-11-RHS | GM-11-RHR | GM-11-HR | GM-11-HP | GM-11-HN | GM-11-HM | GM-11-HL | GM-11-RN | GM-11-RM | | | | | |
| | 15 | | | GM-15-RHV | GM-15-RHS | GM-15-HS | GM-15-HR | GM-15-HP | GM-15-HN | GM-15-HM | GM-15-RP | GM-15-RN | | | | | |
| | 19 | | | | GM-19-RHV | GM-19-HV | GM-19-HS | GM-19-HR | GM-19-HP | GM-19-HN | GM-19-RR | GM-19-RP | | | | | |
| 22 | | | | | GM-22-HW | GM-22-HS | GM-22-HR | GM-22-HP | GM-22-HN | GM-2-RR | GM-22-RP | | | | | | |
| 30 | | | | | | GM-30-HV | GM-30-HS | GM-30-HR | GM-30-HP | GM-30-RS | GM-30-RR | | | | | | |
| 37 | | | | | | GM-37-HW | GM-37-HV | GM-37-HS | GM-37-HR | GM-37-RV | GM-37-RS | | | | | | |
| 50 | | | | | | | GM-50-HW | GM-50-HV | GM-50-HS | GM-50-RW | GM-50-RV | | | | | | |

横形, 非防爆形減速電動機以外の形名は次の通りであります。

立 形 減速電動機……………末尾に V を追加する

耐圧防爆形 減速電動機……………末尾に X を追加する

安全増防爆形 減速電動機……………末尾に A を追加する

防 食 形 減速電動機……………末尾に C を追加する

特 殊 形 減速電動機……………末尾に S を追加する



図 5.7 GM-2.2-HJ 形 減 速 電 動 機
2.2kW 4P 33/40 rpm スライドベース 付

Fig. 5.7 Type GM-2.2 HJ reduction geared motor.

績用として製作したもので据付け面積の減少，保守が容易になるなどの特長がある。

5.5 その他

その他，特殊電動機としてはその用途に応じいろいろあるが，最近問題になりつつあるものとしてサイリスタ電動機がある。本機はまだ実用段階ではないが，近い将来必ず工業用電動機の新勢力として脚光を浴びるものと思う。本機は最近の半導体の進歩によ

りサイリスタによる静止形，可変周波数および可変電圧・電源を自由に得ることにより，従来交流電動機（誘導電動機，同期電動機など）では十分制御しえなかった特性を，従来の直流機以上のものをえんとするものであり，現在研究中のもので，すでに小形のものでは実用化されようとしている。

6. む す び

以上，一般工業用電動機のうち主要機種についての最近の動向について概説したわけであるが，各機器の詳細についてはすでに「三菱電機技報」に発表されているものもあり，文中に番号を入れておいたので参照願いたい。変速電動機については，その標準定格外形寸法などをつとめて文中に採り入れてあるので，電動機を選定に際して参考とせられたい。

参 考 文 献

- (1) 高月ほか：「三菱電機技報」38, 836 (昭39)
- (2) 小山ほか：「三菱電機技報」36, 1320 (昭37)
- (3) 小山：「電気計算」昭38年8月号，1337.
- (4) Iron and Steel Engineer Feb, 1966, p. 139.
- (5) W. R. Harris : Machine Design, Nov, 1957.

最新の自動制御装置

斎藤 豊*・小川 裕三*

The Latest Automatic Control Apparatus for Rolling Mill

Kōbe Works Yutaka SAITO・Ūzo OGAWA

Remarkable is the introduction of automatic controlling apparatus in engineering circles of steel manufacturing, paper making and chemical production. With an aid of semiconductors which have made great advance, it has been gradually shifting from minor loop automatic control of component devices to local computer control taking up a small electronic computer. Under the circumstances it is regarded as an essential condition to possess capability of connected operation with electronic computers in the controls of rolling mills in steel industry where progress is in rapid succession and quick responsibility, high reliability, skillfull operation and effort to turn the apparatus small are keenly called for. The paper reports practical examples on digital control systems in the installations in question.

1. ま え が き

製鉄、製紙、化学、電力その他各種工業界における自動制御装置の導入は近年非常に目ざましいものがあり、その最たる製鉄圧延関係の自動制御について説明し、最近当社が製作し、納入した最新の自動制御装置を下記の分類にしたがって紹介することにする。

- (1) プロダック方式による圧延機自動位置制御装置
- (2) サーボテンシオメータ式各種自動プリセット装置
- (3) 自動コイルハンドリング装置
- (4) 圧延機の自動減速装置
- (5) ストリップの伸率計測装置
- (6) 製作納入の自動プリセット装置
- (7) 制御機器

これら自動制御装置は、エレクトロニクスによるデジタル制御を主体とし、マイナールールの自動制御を行なっているが、計算機との接続も容易である。

2. プロダック方式による圧延機自動位置制御装置

プロダック方式による圧延機ロール、サイドガイドなどの自動位置制御装置については、これまでも本誌で紹介したが、プロダック方式による自動位置制御装置は、とくに製鉄圧延機に応用され、エレクトロニクスによるデジタル制御なくしては、その能力を十分に発揮することはできないまでになってきた。デジタル電子計算機との組合せ使用においても、デジタル制御装置であるだけに、入力信号、フィードバック信号ともにデジタル信号を有しているの、その結合はきわめて容易である。

この章では、プロダック方式による制御装置の概説と、本方式の最大の特長であるデジタル減算器のデジタル理論について解説し、他の章で、製作納入した自動プリセット装置について紹介する。

2.1 プロダック方式による制御

図 2.1 は、計算機を含む圧延機プログラム制御のブロックダイヤグラム、図 2.2 は主ロール位置の自動プリセット制御のブロック図で、これによりプロダック方式を説明する。

2.1.1 パンチカードの読出しと減算回路 DDD

図 2.3 はパンチカードの一例であるが、たとえば、主ロール開度を 2 進化 10 進 (BCD) コードで穴あけした IBM カードをカードリーダー

で読出し、この基準信号 R と、ロールの実際の開きのデジタル信号 F とをデジタル差異検出器 (DDD) に与えて、引算を行ない、その差信号 D をうる。この差信号はデジタル 2 数の差の絶対値であるが、 $R > F$ の場合に得られるキャリー $C = [1]$ 、 $R \leq F$ の場合に得られる $C = [0]$ を用いて、ロールの上げまたは下げ方向を決定する。

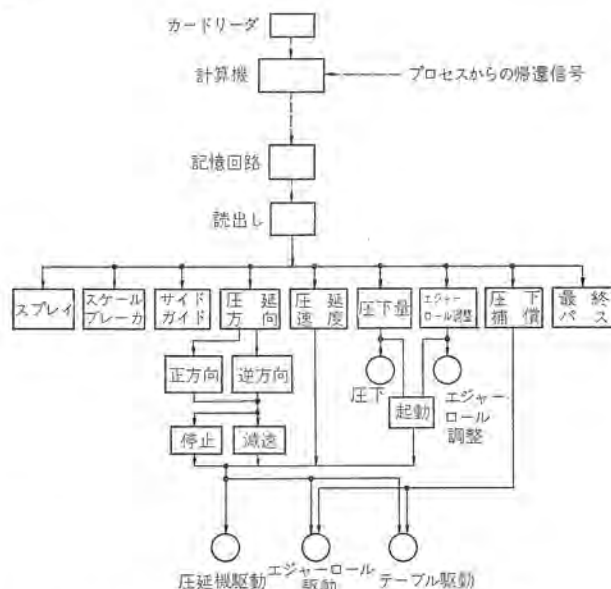


図 2.1 圧延機の計算機制御ブロックダイヤグラム
Fig. 2.1 Block diagram of computer control for rolling mill.

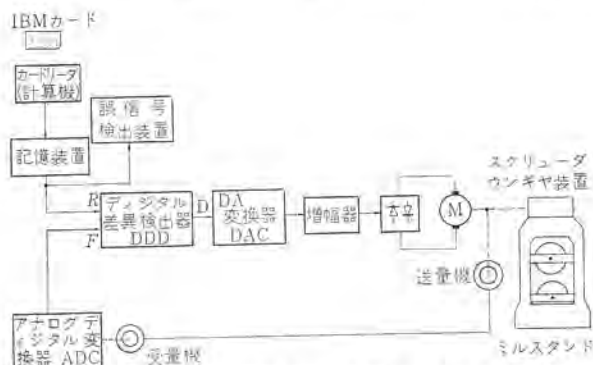


図 2.2 主ロール圧下制御ブロックダイヤグラム (プロダック方式)
Fig. 2.2 Block diagram of main roll position regulator. (prodac system)

| Screw Down (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | Side Guide Opening (mm) | | | | | | | | | | Mill Speed (rpm) | | | | | Draft Comp (%) | | | | | edger (mm) | | | | Screw Down | | | | | |
|-----------------|------|--------|---|---|---|------|---|---|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------|----|----|----|--------|----|----|----|------|----|------------------|----|-----|----|----|----------------|-----|----|----|----|------------|----|----|----|------------|----|--------|---------|---------|--|
| FINAL PASS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 例 (mm) | | | | | |
| NO. | YES. | ×1,000 | | | | ×100 | | | | ×10 | | | | ×1 | | | | ×0.1 | | | | ×1,000 | | | | ×100 | | | | ×10 | | | | ×10 | | | | | ×1 | | | | | ×1,000 | | | |
| パスナンバー | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | ↓ | | | |
| 1 | X | | | X | X | | | | | X | | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,850.0 | | |
| 2 | X | | | | X | X | X | X | | | | | | X | | | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | 1,725.5 | | |
| 3 | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,600.0 | |
| 4 | X | | | | | | X | | | X | | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,450.5 | |
| 5 | X | | | | | | | X | | | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,215.0 | |
| 6 | X | | | | | | | | X | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,083.0 | |
| 7 | X | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 862.5 | |
| 8 | X | | | | | | | | | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 630.0 | |
| 9 | X | | | | | | | | | | | X | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 527.5 | |

図 2.3 プログラムカード (IBM カードの例)

Fig. 2.3 Programmed card.

2. 1. 2 デジタルアナログ変換器 DAC

デジタル 差異検出器の差出力 D をアナログに変換する回路で、キャリー C が [1] の場合には ロール 上げの方向の DA 変換器を、 C が [0] の場合には ロール 下げの方向のそれを働かせて差信号 D に比例したアナログ 出力を出す。

2. 1. 3 増幅器、レオナード装置

DA 変換器の出力を増幅し、静止レオナードの場合には、点弧パルス を発生し、圧下電動機を駆動する。

2. 1. 4 ロール位置の検出

ロール 位置は、ギヤ 装置を経て、パルス 発信機による パルス の数を可逆カウンタ にて計数することにより得られる。可逆カウンタの出力 F はデジタル 差異検出器 DDD の入力として用いられる。

2. 1. 5 ロールの位置

ロール 位置のゼロ は、可逆カウンタの出力をゼロ にリセットした点で定められる。通常は、手動にてロール を圧下し、ある規定の圧延力に達したとき、リセット 押し ボタンを押し、可逆カウンタをリセットして、ゼロ 位置を決める。

ロール の位置制御は $R > F$ または $R < F$ である間は差信号 D により、ロール 上げ、または ロール 下げの制御を行ない、 $R = F$ に達したとき圧下電動機は停止する。

2. 1. 6 プロダック方式による制御の特長

デジタル 信号を用いて、加減算を行なうので、制御精度が高く、温度の変化、電圧の変動などによる精度の低下がなく、機械装置との関連において、設定精度はいかほどでも高くすることができる。またデジタル 表示はきわめて容易である。

制御要素としては、まとまった機能ごとにトランジスタ NOR をプリント 配線板に組込んだプロダック NOR カードを用いているので、保守点検に便利で、結線上の煩雑さもなく、トラブル もきわめて少ないので、信頼性を高度に維持することができる。

この他、基準信号が何らかの原因により、誤信号があった場合にはただちにこれを見つけて、警報を発し、リセット 装置の出力を停止するよう、パリティチェック 方式による誤信号検出装置を用い

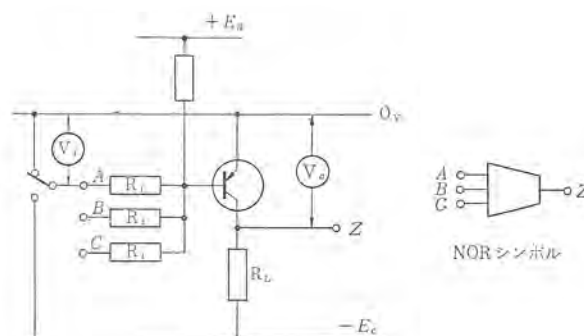


図 2.4 トランジスタ NOR
Fig. 2.4 Transistor NOR.

ている。

2. 2 デジタル論理回路

プロダック 式自動 リセット 装置の制御回路は、論理回路で構成されており、これに用いているおもな演算には、加算、減算、カウンタ などがある。たとえば、図 2. 2 のブロック 図の DDD では、減算器を用いており、基準入力信号 R を作る段階で、サイドガイドでは、材料の幅にマージンを加えた開度を基準信号とするので、加算回路を必要とする。デジタルコード には、純 2 進コード、2 進化 10 進 (BCD) コード、3 増レコード (excess-three code) などがあるが、他の章に紹介する リセット 装置では、純 2 進コードと、BCD コードの 2 種を用いているので、これについて説明する。

2. 2. 1 デジタル要素

図 2. 4 は一般によく知られているトランジスタ NOR で、各入力端への入力電圧を $0[V]$ にするとその出力は $E_c[V]$ となり、入力のうち一つ以上 $-E_c[V]$ の入力電圧が与えられると、出力は $0[V]$ になる。この二つの事象 0 、 $-E_c$ をそれぞれ $[0]$ 、 $[1]$ と定めれば、NOR の一般論理式は、下式で示される。これは NOR の名称の由来でもある。

$$Z = \overline{A+B+C+\dots}$$

上式の“+”、“ $\overline{}$ ”はそれぞれ論理和、否定の論理記号である。デ・モルガンの定理によるまでもなく上式は、さらに次のように変

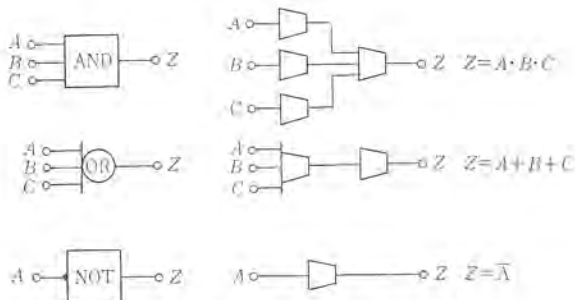


図 2.5 NOR を用いた論理要素
Fig. 2.5 Logic element by "NOR".

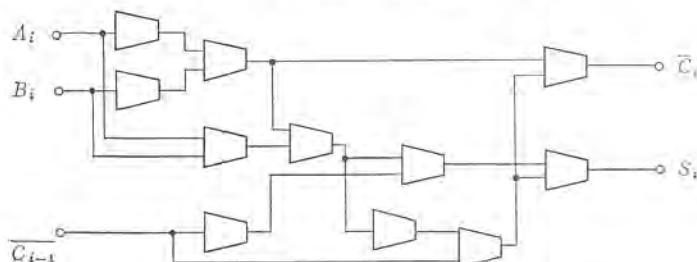


図 2.6 全加算器 Fig. 2.6 Full adder.

形され、NOR による回路構成変形上重要なものである。

$$Z = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdots$$

ここに“ \cdot ”は論理積の記号である。図 2.5 は NOR で構成した基本論理要素 AND, OR, NOT である。

2.2.2 純 2 進数の加算

純 2 進数の加算では、2 を基数にしているの、次の法則で加算が行なわれる。

$$\begin{aligned} [0] + [0] &= [0] \\ [1] + [0] &= [1] \\ [1] + [1] &= [1 \ 0] \\ [1] + [1] + [1] &= [1 \ 1] \cdots \cdots (2.1) \end{aligned}$$

式 (2.1) は 2 数のほかに、下位からの桁上げ数も含めた場合の一例で、図 2.6 の全加算回路を用いれば、1 桁 3 数の加算ができ、これを 2 進数の桁数だけ並列に用いれば、デジタル 2 進数の 2 数の並列加算を行なうことができる。

2.2.3 2 進数 10 進数 (BCD) の加算

10 進法における 1 桁内では 2 進法により演算や表示を行ない、10 進の桁ごとには、10 進法の法則にしたがって演算を行なうコードを Binary Coded Decimal Code と呼んでいる。

(1) 10 進の桁上げがない場合

このときは各桁は、1, 2, 4, 8 の全加算回路だけでよい。

例 1. $A=453, B=240$ の加算

$$\begin{array}{r} \text{BCD : } A \quad 0100 \quad 0101 \quad 0011 \\ \quad \quad B \quad 0010 \quad 0100 \quad 0000 (+) \\ \hline \quad \quad S' \quad 0110 \quad 1001 \quad 0011 = 693 \end{array}$$

(2) 10 進の桁上げがある場合

BCD コードであるから、各桁の和の最高値は、下位からの桁上げも加えて 19 である。また上位への桁上げを要するものは和が 10~19 である。したがって純 2 進が表わした 10~19 に純 2 進の 6 を加えれば、その桁の Sum は 0~9 となり、桁上げ信号を上位に送れば目的は達せられる。(1) と (2) とを総合すれば、BCD コードの 2 数の和が、6~9 のときは、6 を加えず、Sum が 10~19 のものには 6 を加え、かつ、桁上げ信号 [1] を上位に送るようにすればよい。ここにおいて、16~19 では桁上げ信号

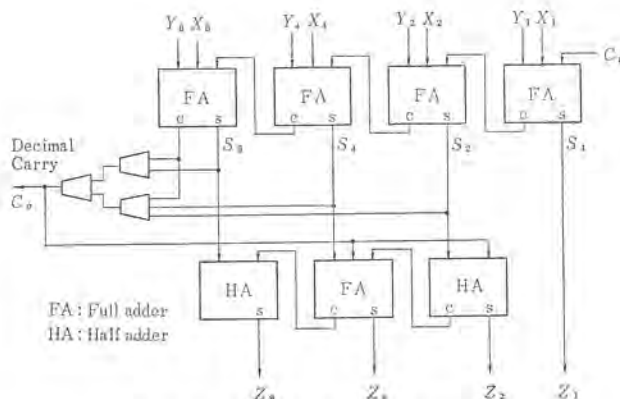


図 2.7 BCD 10 進 1 桁全加算回路
Fig. 2.7 Full adder for BCD code.

は自動的に得られるが、10~15 では、この数字間での共通事項により、桁上げ信号を作って、前者の桁上げとの論理和で 10~19 に対して 6 を加えるようにすればよい。

例 2.

| (和の結果) | (演算数) | (桁上) | (和の結果) | (桁上) | (BCD) |
|--------|-------|------|-----------------------|--------|-------|
| 10 | +6 | | [1010]+[0110]=[1] | [0000] | |
| 11 | +6 | | [1011]+[0110]=[1] | [0001] | |
| : | : | | : | : | |
| 15 | +6 | | [1111]+[0110]=[1] | [0101] | |
| : | : | | : | : | |
| 19 | +6 | | [1]+[0011]+[0110]=[1] | [1001] | |

2 数の和の結果が 10~19 の場合に必要の桁上げ信号 (carry) は下式によって得られる。

$$10 \text{ 進 } \text{キャリー} = C + S_8(S_4 + S_2)$$

ここに C は BCD 最上位 8 のキャリーで、和が 16~19 のとき得られ、 S_8, S_4, S_2 は BCD 8, 4, 2 の桁の和の信号である。図 2.7 は BCD 加算回路図である。

2.2.4 純 2 進数の減算

純 2 進数の減算は、1 の補数を用いて、加算を行ない、置数が減数より大であれば、加算結果をそのまま用い、置数が減数より小さいか、等しければ、加算結果の補数を用いる。

いま 2 進数を Y 、その補数を Y_c 、ビット数を K とすると、 Y_c は一般に下式で表わされる、

$$Y = 2^K - Y_c - 1 = 2^K - \bar{Y} - 1$$

$$Y_c = 2^K - Y - 1$$

いま $(X - Y)$ の引算を行なうと、下式のようになる。

$$X - Y = X - [2^K - \bar{Y} - 1] = (X + \bar{Y}) - 2^K + 1$$

(1) $X > Y$ の場合

$$X - Y = (X + \bar{Y}) - 2^K + 1$$

となり、 $(X + \bar{Y}) > 2^K - 1$ であり、桁上がり (Carry) を $(X + \bar{Y})$ の最下位に加えてやればよい。

例 3. $K=7, X=27_{(10)}, Y=20_{(10)}$ とすれば、

$$\begin{array}{r} X = 0011011 \quad X = 0011011 \\ Y = 0010100 \quad \bar{Y} = 1101011 (+) \\ \hline \textcircled{1}. 0000110 \\ \quad \quad \quad \textcircled{1} (+) \\ \hline 0000111 = 7 \end{array}$$

(2) $X \leq Y$ の場合

$$X - Y = X - 2^K + \bar{Y} + 1$$

$$X + \bar{Y} = 2^K - (Y - X) - 1 = (Y - X) \text{ の補数}$$

すなわち $Y - X$ をうるには $(X + \bar{Y})$ の補数を作ればよい。

例 4. $K=7, X=20_{(10)}, Y=27_{(10)}$ とすれば,

$$\begin{array}{r} X=0010100 \quad \bar{X}=0010100 \\ Y=0011011 \quad \bar{Y}=1100100 (+) \\ (X+\bar{Y})=1111000 \\ (X+Y)=0000111=7 \end{array}$$

2.2.5 2進法10進(BCD)の減算

BCDコードの減算では、引かれる数と引く数の9の補数の和を用いる。9の補数 Y_{9c} の定義はつぎのとおりである。

$$Y_{9c}=10^K - Y - 1$$

BCDの減算では2数の大小関係によって、2進法と同様、エンドアラウンドキャリーが得られ、これによって2数の大小を区別することができる。BCDの場合も2進法と同じで、 Y_c を Y_{9c} 、 2^K を 10^K として式を作れば、

$$X - Y = (X + Y_{9c}) - 10^K + 1$$

(1) $X > Y$ の場合

$X > Y$ では必ず $(X + Y_{9c}) > 10^K$ であるから、carryを用いて上式の+1に振向けることができる。

例 5. $K=3, X=496, Y=135$ の例では、下記の手順により、正しい減算結果が得られる。

$$\begin{array}{r} X=0100 \quad 1001 \quad 0110 \\ Y_{9c}=1000 \quad 0110 \quad 0100 \\ \hline \text{①} \quad \text{①} \quad (+) \\ 1101 \quad \text{①}0000 \quad 1010 \\ \text{エンドアラウンドキャリー} \rightarrow \text{①}0011 \quad 0110 \quad \text{①}0000 \quad \leftarrow 10 \text{進ケタ上げ} \\ \hline 0011 \quad 0110 \quad 0001 = 361 \end{array}$$

(2) $X \leq Y$ の場合

$$\begin{aligned} X - Y &= X - 10^K + Y_{9c} + 1 \\ X + Y_{9c} &= 10^K - (Y - X) - 1 \\ &= (Y - X) \text{ の } 9 \text{ の補数} \end{aligned}$$

すなわち、 $X - Y$ をうるには $(X + Y_{9c})$ の補数を作ればよく、このときはエンドアラウンドキャリーはない。

例 6. $K=3, X=135, Y=496$ の例では、下記の要領により、演算を行なえば、正しい答が得られる。

$$\begin{array}{r} X=0001 \quad 0011 \quad 0101 \\ Y_{9c}=0101 \quad 0000 \quad 0011 (+) \\ D=0110 \quad 0011 \quad 1000 \\ D_{9c}=0011 \quad 0110 \quad 0001 = 396 \end{array}$$

2.2.6 9の補数

BCDコードによる1, 2, 4, 8の項についての9の補数のラール式表示は次のとおりで、この式を満たす回路を用いて、 Y_{9c} 、 D_{9c} を作れば、BCDの減算を自由に行なうことができる。

$$\begin{aligned} (A_1)9C &= \bar{A}_1 \\ (A_2)9C &= A_2 \\ (A_4)9C &= \bar{A}_4 \cdot A_2 + A_4 \cdot \bar{A}_2 \\ (A_8)9C &= \bar{A}_8 + A_4 + A_2 \end{aligned}$$

2.3 論理素子

デジタル演算あるいはシーケンス制御を行なうのには、[0], [1]の二つの事象をもつオンオフ制御素子を必要とするが、トランジスタNOR, トランジスタNAND, パラメトロンなどの無接点リレーが用いられる。しかし、トランジスタNORなどの個々のものをいちいち結線していたのでは、作業が悪く、スペースが大きくなるばかりでなく、誤結線、接触不良の問題が生じ、保守点検もなかなか容易でない。こ

最新の自動制御装置・斎藤・小川

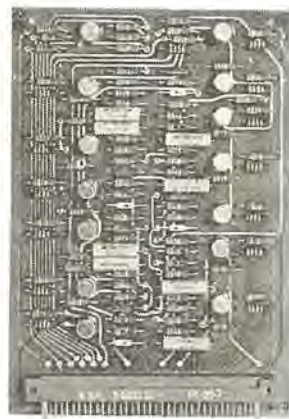


図 2.8 フロダック NOR カード
Fig. 2.8 Prodac NOR card.

表 2.1 フロダック NOR カード

| カード名 | 用 途 |
|------|-------------------------|
| AA | 全加算回路2組 |
| AAS | 全加算1組 半加算2組 |
| AC | BCDケタ上げ回路1組 |
| AD | BCD減算時の9の補数回路4組 |
| BS2 | バイステابل・アンプ1組 |
| CB | パルスカウンタ2進およびBCD1ケタ |
| CD | PB & BCDの可逆カウンタCEと併用 |
| CE | " " " |
| DC | リレー駆動、ランプ点灯用パワー NOR 4組 |
| DD | 中出力 NOR 8組 |
| DF | DA変換用定電流回路4組 |
| GA | NORカード 2入力 NOR 10組 |
| GB | 6入力 OR 4組 |
| GC | AND信号切換用4組 |
| GD | 3入力 NOR 8組 |
| GH | 5入力3組 6入力2組 NOR |
| IC | ネオン管、ニクシー管点灯用 |
| KA | BCD→Decade変換回路 |
| MA | フリップフロップ6組 |
| NN | 12入力 NOR または OR 2組 |
| PB | Oscillator 3c/s~10kc/s |
| PC | パルス整形 |
| SD | シフトレジスタ4組 |
| SM3 | シュミット回路3組 |
| TA | タイマ (1.67 msec~22 sec) |
| ZR | 定電圧回路、カード DF と組合せ使用 |
| 030 | XD, ダイオードブリッジ6組 |
| 032 | 分圧回路10組 |
| 033 | マイクロリードリレー2個とTMポテンシヨ 8個 |
| 034 | " " 4個と R 8個 |
| 037 | 微分 RC 12組 |

れを図2.8に示すように一つのまとまった機能ごとに、プリント配線したカードに部品を取付け、コネクタによる差込み接続を行なうようにすれば、上記の問題は解決し、保守はきわめて容易となる。図はCBカードで、2進4ビットまたはBCD1ケタのアップまたはダウンカウンタとして用いられている。表2.1はフロダックカードの一覧表である。

3. サーボポテンショメータ式自動プリセット装置

図3.1は本方式による自動プリセット装置の原理説明図で、図3.2はサーボプリセット装置のユニットの一例である。サーボモータには

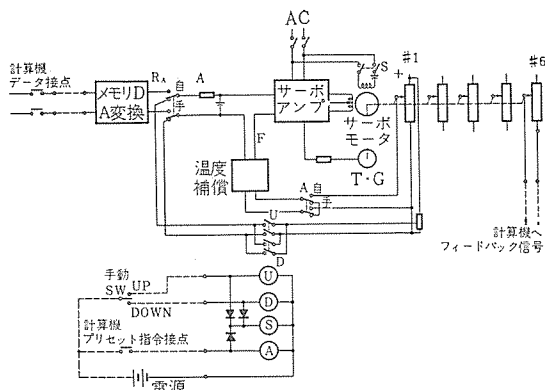


図 3.1 サーボモータポテンシヨ式プリセット制御原理
Fig. 3.1 Principle of servomotor potentiometer type preset control.

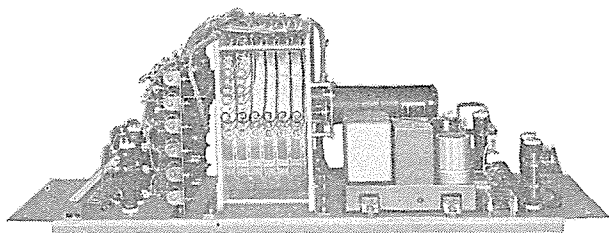


図 3.2 サーボパネル
Fig. 3.2 Servo unit.

多連ポテンシヨメータが連結されており、ポテンシヨメータ位置設定フィードバック用、各種基準値用、計算機へのフィードバック信号用、位置指示用などから構成されている。

3.1 計算機による自動プリセット

図 3.1 において、計算機から与えられるデータパルス信号を、本装置の入力端にある記憶装置に記憶するとともに、DA変換器でアナログ信号に換える。このアナログ信号 R_A を基準として、ポテンシヨメータのフィードバック信号 F が等しくなるまで、サーボモータを駆動し、 F が R_A に等しくなった時点で停止する。

計算機へのフィードバック信号は、計算機内で比較照合され、正しく設定された時点で、プリセット指令接点を開き、リレー A は消勢される、手動操作の回路を構成する。

3.2 手動によるプリセット

手動スイッチにて UP または DOWN の接点を閉じれば、リレー U または D の接点の開閉あるいは切換によって、手動スイッチ操作中サーボモータを駆動することができる。

4. 自動コイルハンドリング装置

タンデムミルへのコイルそう入、出側におけるコイルの取出しのためにコイルハンドリング装置を必要とする。従来は手動によっていたものであるが、以下に自動コイルハンドリングのあらましを説明する。

4.1 入側自動コイルハンドリング装置

自動コイルハンドリングに必要なデータはコイルの幅と外径であり、コイル幅は、コイルを移送する場合とか、支持タナ、アンコイラのトラバース制御、サイドガイド開度の設定などに必要である。またコイル径は、コイルの巻きぐせを直すときの巻きほぐし量とか、アンコイラへコイルをそう入するときのコイルリフト制御に必要である。ここでは、コイルをタンデムミルに運搬するまでのコイルハンドリング装置と、出側のそれについて一例をつぎに列挙する。

(a) コイル幅自動測定装置

コンベヤ上で、両サイドから測定用探針を出し、デジタルにて幅を測定する。

(b) コイル径自動測定装置

トランスファビーム上にて測定する。

(c) トランスファビーム自動移送位置制御装置

ミルセンタライン上にあるコイルカーの中心線にビームに乗ったコイルの幅方向の中心線が一致するようビームの移送を制御する。

(d) コイル巻きほぐし、巻きもどし長さ自動制御装置

コイルカー上のコイルのパンドを切断した後、巻きぐせを直すために、コイルの巻きほぐし、巻きもどしを行なう。

(e) コイルカーリフト自動位置制御装置

コイルの径の中心をアンコイラ軸中心に一致させるための位置自動制御装置である。

(f) 左および右支持タナ自動位置制御装置

巻きほぐして、巻きぐせを直したコイルシートを支持タナに乗せて、ストリップをささえる。

(g) アンコイラトラバース自動位置制御装置

コイルの幅の大きさを加味して、必要にして十分な開度にアンコイラを開き、コイルカーを移送して、中心が一致した時点で、アンコイラ開度をコイル幅＋余裕の値に自動セットし、コーンを拡張して、コイルをリールに固定する。コイルの幅は、サイドガイドの開度プリセットにも利用される。

4.2 出側自動コイルハンドリング装置

圧延されたストリップはテンションリールに巻きとられるが、出側におけるコイルハンドリングにはつぎのようなものがある。

(a) 尾端自動停止装置

圧延終末において、テンションリールに巻きとられたコイル径を考慮し、尾端が最終段スタンドを抜けた時点から、尾端がリールの適当な位置に停止できるように、リールモータの停止を制御するものである。

(b) コイルリフト自動制御装置

巻取られたコイルの外径に応じて、リールからコイルを受取ってくるリフトの位置制御装置である。

5. 圧延機の自動減速装置

シングル、タンデムの圧延機によって、また圧延の目的によって圧延機の減速制御は種々あるが、ストリップ尾端や、圧延中における溶接点の切断を防ぐために用いる自動減速装置について、製作例について説明する。

5.1 シングルスランドの尾端自動減速装置

5.1.1 原理

図 5.1 は装置の外観で、図 5.2 は圧延機とリール、パルス発信機の関係配置図である。図 5.3 により自動減速の原理を説明すると、ストリップを巻き取るとき、その長さ比例するパルスをカウントし、全長に相当するパルス数を L の逆カウンタに記憶させる。つぎに逆方向圧延でコイルを巻きほぐすとき、同じ発信機のパルスで減算し、一定のパルス数 L_r に達したときに信号を出すようにする。言い換えれば、パイオフ側のコイルに巻かれているストリップ長さが一定値に達したとき信号を出すことになる。いま、減速時の減速率 α は一定とし、減速を始めて速度が 0 になったときパイオフ側のリールのスリッパ量が、0 になるものと仮定すると減速をかける時間と、ライン速度との間には次の関係がある。

v_0 : 最高ライン速度

v : 減速をかけるときのライン速度

t : カウンタが一定のパルス数 L_r に達してから減速をかけるまでの時間



図 5.1 自動減速装置
Fig. 5.1 Automatic speed reduction apparatus.

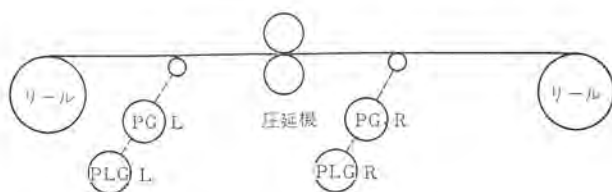


図 5.2 可逆圧延機
Fig. 5.2 Reversing mill.

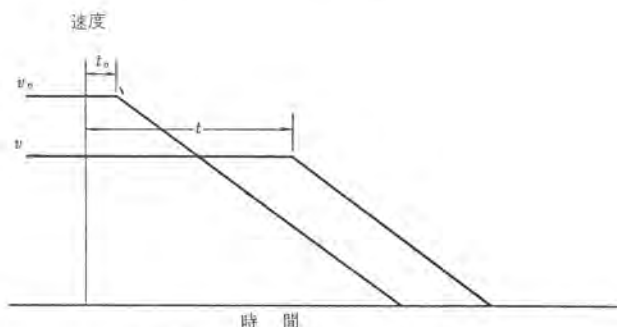


図 5.3 ライン速度と減速時間
Fig. 5.3 Line speed vs. speed reduction time.

t_0 : 最高ライン速度におけるカウンタが一定のパルス数 Lr に達してから減速をかけるまでの時間

$$kLr = v_0 t_0 + \frac{v_0^2}{2\alpha} = vt + \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$t = \frac{v_0 t_0}{v} + \frac{v_0^2 - v^2}{2\alpha v}$$

$$= \frac{2\alpha v_0 t_0 + v_0^2}{2\alpha v} - \frac{v}{2\alpha} \dots\dots\dots (5.1)$$

カウンタが一定のパルス数 Lr に達したとき信号を出すので、その後式 (5.1) で関係づけられているように、ライン速度に応じたタイマで減速時間を決めればよいことになる。

式 (5.1) で表わされるタイマは、第1項目の速度に反比例するすなわち定距離のタイマと、第2項目の速度に比例するタイマの遅延時間の差となっているので、それを実現できるマイマを作りごく短時間の間に式 (5.1) に相当する値をプリセットしてその後一定周波数のパルスを送りプリセット値に達した時点をもって、減速開始時点としている。

5.1.2 動作説明

図 5.2 の可逆圧延機に示されているように、圧延機の左側と最新の自動制御装置・斎藤・小川

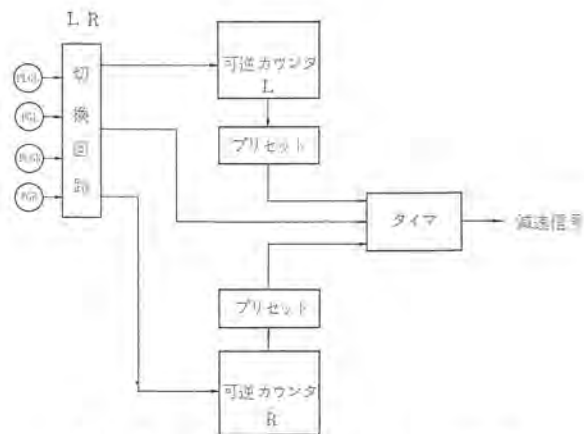


図 5.4 自動減速装置ブロック線図
Fig. 5.4 Block diagram of automatic speed reduction system.

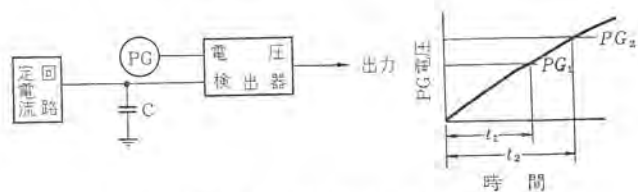


図 5.5 速度比例タイマ
Fig. 5.5 Speed proportion-timer.

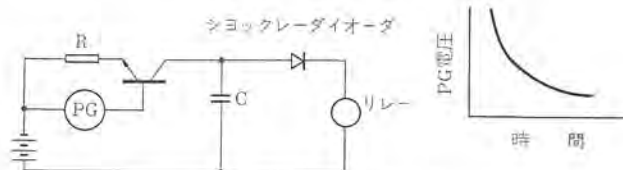


図 5.6 定距離タイマ
Fig. 5.6 Constant length-timer.

右側にパルス発信機 PLG と速度発電機 PG を取付け、それぞれストリップの長さに比例したパルス数と、速度に比例した電圧を取り出すようにする。

最初右側のリールにストリップを巻き取るものとする、図 5.4 のブロック線図に示す可逆カウンタ R にパルス発信機 PLGR のパルスが読み込まれ、巻き取られたストリップ長さを記憶する。次に圧延方向を変え、左側のリールに巻き取る時には、右側のリールは、巻戻しとなり可逆カウンタ R には今度は減算の方向にパルスを入れる。可逆カウンタが記憶しているパルス数は、リールに巻き取られているストリップ長さに比例するので、このパルス数を適当な値にリセットしておけば、残留ストリップ長さが常に一定の値に達したときに、タイマに起動信号を送ることができる。

タイマが起動すれば、ライン速度に応じて式 (5.1) を満足するような時間が経過した後、減速信号を出し、一定の減速率で減速が始まる。

左側のリールは、巻き取り側にあるので、可逆カウンタ L には、加算方向にパルス発信機 PLGL のパルスを送り、巻取量を記憶させる。最初の圧延のときには、L, R ともに可逆カウンタには、巻取量が記憶されていないので、手で減速をかける必要があるが、別のラインでコイルの長さが判明しているときにはこの値をリセットするようにすれば、最初から自動運転が可能となる。

式 (5.1) を満足するタイマは式 (5.2) で明らかのように、定距離タイマと速度比例タイマとの時間の差が減速時間となるので、これらのタイマの動作から述べる。

(1) 速度比例タイマ (図 5.5 参照)

コンデンサ C の両端の電圧 (V_C) と定電流回路の電流値 (I) と時間 (t) との間には次の関係がある。

$$CV_C = \int Idt = I \cdot t$$

$$V_C = \frac{I \cdot t}{C} \dots\dots\dots (5.2)$$

指速発電機の電圧 (V_G) と V_C 電圧とを比較し、 $V_G = V_C$ のとき、出力を出すような電圧検出器を設ければ、遅延時間と速度とが比例したタイマを作ることができる。

(2) 定距離タイマ (図 5.6 参照)

速度比例タイマのときには、定電流回路でコンデンサを充電したが、ここでは、定電流の代わりに、速度に比例した電流でコンデンサを充電するようにする。

$$CV_C = \int Idt = \int \frac{V_G}{R} dt = \frac{V_G}{R} \cdot t$$

$$t = \frac{CV_C \cdot R}{V_G} \dots\dots\dots (5.3)$$

$CV_C R$ は、一定の値であるから、遅延時間 (t) は、速度発電機の電圧 (V_G) に反比例する。

コンデンサの両端には、ショックレーダイオードを通じてリレーを励磁するようにすれば、コンデンサが一定電圧に充電されたとき急にこのダイオードが導通を始め、リレーがピップアップする。

この両タイマの出力が、図 5.7 のフリップフロップにはいる。式 (5.1) で明らかなように遅延時間 t は必ず正であるので、定距離タイマの方が、速度比例タイマより時限が長く、したがって、速度比例タイマの出力信号でフリップフロップを反転させゲート 1 を開いて、発振器のパルスを通させる。その後、定距離タイマが動作してフリップフロップをふたたび反転させるとゲートは閉じて、パルスは阻止される。

サンプリング時間を t_s 、60 c/s 発振器でカウントする時間を t_a とすれば、減速時間 t との間には次の関係がある。

$$t = t_s + t_a \dots\dots\dots (5.4)$$

このサンプリング時間をカウンタの計数時間で定距離タイマのいちばん長い時間より長い一定の値に決め、サンプリング時間中は、ゲート 2 を開き、ゲート 3 を閉じ、サンプリング時間が終わるとゲート 2 を閉じ、ゲート 3 を開くようにする。このサンプリング時間の間に式 (5.1) に相当したパルスがゲート 1、2 を通じて可逆カウンタに読み込まれ、サンプリング時間が終了すると、ゲート 3 を通じて、60 c/s のパルスが可逆カウンタの減算端子にはいりパルスが引算される。そしてその残留パルス数がサンプリング時間に相当するプリセット値に達したとき式 (5.4) を満足する減速時間が得られることになる。

5.2 ダンデムコールドミル自動減速装置

コールドミルでは通常、インゴット 3 本分のストリップを溶接して 1 本のコイルにしたものを圧延する。溶接箇所は張力に弱いので、通常の圧延速度で圧延すると、破断するおそれがあり、溶接点がペ

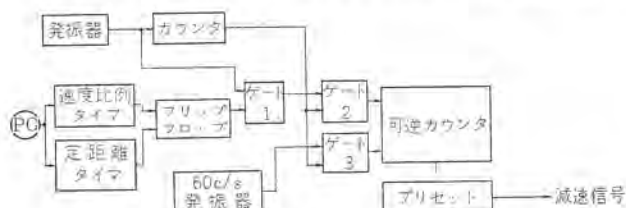


図 5.7 タイマの構成
Fig. 5.7 Block diagram of timing circuit.

イオフリール中の外側より何層めかにある間に、全スタンドに減速指令を出し、溶接点が No. 1 スタンドにはいる直前に予定の減速値に達することが理想的である。溶接箇所の圧延が終われば、ふたたび加速し、第 2 溶接点での減速、加速を行ない、コイルの尾端において、圧延完了の減速を行なう。

減速制御に必要なデータ、条件によって制御の方式も異なるが、一つの例として、つぎのようなものがある。すなわち、運転中の No. 1 スタンド圧延機の最高速度、そのときの圧延機速度、圧下率などの諸データと、パイオフリール中のコイルの総ラップ数、第一、第二溶接点のラップ数、板厚などの与示条件から、次の式が満足する時点で減速指令を出すようにしている。 L_1 を圧延中の状態で計算される、減速指令時点から、所定の減速速度に達するまでに足る板の長さとし、 L_3 をコイルのラップ数から計算される長さとするれば、

$$L_1 \leq L_3 \dots\dots\dots (5.5)$$

が成立するコイルのラップ数に至ったとき減速を開始すればよい。式 (5.5) の L_1 は次のとおりである。

$$L_1 = \frac{t}{2} v_a \cdot \eta_a \left(1 - \frac{\eta_a^2}{\eta_s^2} \right) \dots\dots\dots (5.6)$$

ここに t : 最高圧延速度から、最緩速 (停止) に至る減速期間

v_a : No. 1 スタンドの入側速度

η_a : 通常運転時の速度基準界磁調整器の位置

η_s : 緩速時の " "

一方 L_3 は、

$$L_3 = \pi(n - n_w)(D_i + 2hn_a) + L_2 \dots\dots\dots (5.7)$$

で与えられ、

ここに n : パイオフリールの瞬時ラップ数

n_w : 減速を要する点のラップ数

D_i : パイオフリール巻心径

h : 板厚

L_2 : パイオフリールと No. 1 スタンド間の距離

以上、式 (5.6) と (5.7) で刻々変化するものは式 (5.7) の n で、パイオフリール軸に連結されたパルス発信機のパルスで得られる。その他はすべて任意固定の値であり、式 (5.6)、(5.7) を構成する制御回路の出力 v_1 と v_3 とを比較し、式 (5.5) の点が得られたときに接点出力を出し、減速を開始するのである。減速装置盤の外観は、スクリュウダウンリセットや、コイルハンドリング装置 (図 7.9) とよく似ている。

6. ストリップの伸率計測装置

6.1 概要

本装置は、入側のブライドルロールと出側のブライドルロールの間にある圧延機を速度を制御することにより生ずるストリップの伸張の度合を % で表示または、制御する能力があり、次の特長を有する。図 6.1 は伸率計の外観である。

- (a) デジタル回路で演算するので精度がよい、(0.1 % 以下)
- (b) 半導体部品の採用により信頼度が高い。
- (c) 表示は、一般的にはデジタル方式であるが、アナログ方式も可能であり、記録計を付けることもできる。
- (d) カード装テン (墳)、チェック回路により、保守、点検が容易である。

6.2 原理

図 6.2 は、圧延機との関係図で、入側と出側のブライドルロール

のそれぞれにパルス発信機を取付け、この二つの出力を伸率計に供給する。いま入側出側のブライドルロールの直径が同一とすると、入側、出側のパルス数は板の長さに比例するので、伸率計内入側のカウンタがある時点から、たとえば1,000パルスを数え上げたときに、ゲートによって入力パルスを阻止すれば、同じ期間中に出側のカウンタが計数したパルス数は、1,000以上の値を示し、1,000の値を無視すると、そのパルス数は、そのまま小数第1位までの%で板の伸張率を表わすことができ、演算回路も非常に簡単になる。

$$\frac{\text{出側パルス数} - \text{入側パルス数}}{\text{入側パルス数}} \times 100$$

$$\text{例 } \frac{1,025 - 1,000}{1,000} \times 100 = 2.5\%$$

6.3 動作説明

図6.3は、伸率計のブロック図で6.2節で説明したように、入側のパルス発信機および出側のパルス発信機のパルス出力は、ゲート1、2を経て10進カウンタにはいる。



図 6.1 伸率計 Fig. 6.1 Elongation meter.

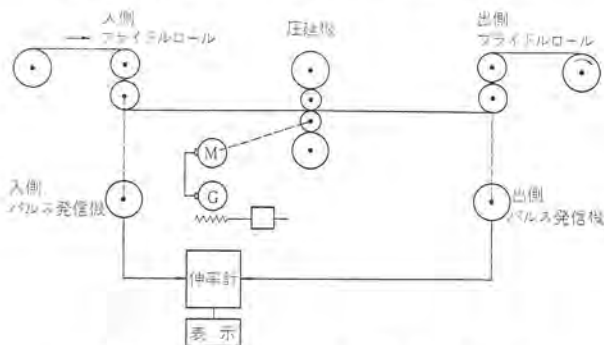


図 6.2 圧延機と伸率計との関係
Fig. 6.2 Relation between mill and elongation meter.

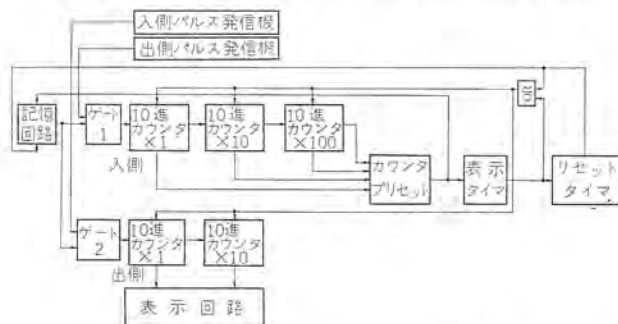


図 6.3 伸率計ブロック線図
Fig. 6.3 Block diagram of elongation meter.

ゲート1、2の開閉は同時におこなわれ、入側と出側のブライドルロール径の等しいときには入側のカウンタが1,000を数えたときにゲート1、2を閉じ、所定の時間経過後ふたたび開く。

いま、ゲート1、2が開くと入側、出側のカウンタは同時に入力パルスをカウントし、入側のカウンタが1,000をカウントしたときに、カウンタプリセットが出力を出し、記憶回路が反転して、ゲート1、2を同時に閉じる。出側のカウンタは、通常の伸率は下二ケタで十分であり、制御信号もこの二ケタで十分であるから、 $\times 100$ のケタのカウンタは設けていない。

出側の下二ケタの出力は、デジタル表示の場合には、10進表示器で、伸率を%で表示する。アナログ表示の場合には、D-A変換器で、デジタル量からアナログ量に変換し、指示計器で指示する。制御する場合には、基準量との差をデジタル演算して、その誤差分をD-A変換器で、アナログ量に変え、制御信号とする。

表示をおこなう方法には、二とおりあり、その一つは、サンプリングタイムで伸率を演算し、次に表示タイムで、一定時間表示しリセットをかけふたたびサンプリングタイムと繰返す方法で図3.1にその方法を示す。別の方法は、前のサンプリングタイムに演算した伸率を記憶する方法で、これでは、表示タイムが不要となり常時、伸率を表示している長所があるが、回路は前の方法より複雑となる。

リセットタイムは、いずれの場合でも必要で、時限はきわめて短かく、カウンタが、確実にリセットされた後ゲート1、2を開くようにしている。

入側と出側のブライドルロールの径が一般には、異なるので、次のように入側カウンタに係数 K を掛け、ロール径の補正をおこなう。

$$\text{伸率} = \frac{P_0 D_0 \pi - K P_i D_i \pi}{K P_i D_i \pi} \times 100$$

$$= \frac{P_0 - K \left(\frac{D_i}{D_0} \right) P_i}{K \left(\frac{D_i}{D_0} \right) P_i} \times 100$$

ここで、ロール径補正のため、入側カウンタの計数値を K すなわち $K = D_0/D_i$ だけ補正すれば、出側のパルスカウンタの計数値そのものが正しい伸び率を与える。

$$\text{伸び率} = \frac{P_0 - P_i}{P_i} \times 100 \quad [\%]$$

ここに、

D_i : 入側ブライドルロール径

D_0 : 出側ブライドルロール径

K : ロール径差補正係数 D_0/D_i

P_i : 入側カウンタへの入力パルス数

P_0 : 出力カウンタへの入力パルス数

係数 K の設定は、 $D_0/D_i \times 100.0\%$ として、入側のパルス数 P_i に応じた値にしてある。

7. 圧延機制御用自動制御装置製作例

前章までは、ラック方式や、サーボポンプ式による自動リセットや自動減速制御について説明してきたがこれらを実際に用い、製作納入した自動制御装置について紹介する。

7.1 120" ホットプレートミル用自動プリセット装置

三菱レイノルズアルミニウムKK、富士工場に主ロール用と、入側および出側サイドガイド用の自動リセット盤2面を製作納入した。表7.1におもな仕様を記載してあるが、記載外仕様としてつぎのようなものがある。

(a) プリセット値は IBM カード 2 枚にわたりセン(穿)孔され、19 パス までである。このため 2 枚の IBM カードが正しく 2 台のマニュアルカードリーダーにソウ(挿)入されたか否かを検査するカードチェック装置を設けた。カードチェック押しボタンを押すことにより、カードは自動的にチェックされ、もし異なったスケジュールのカードであったり、順序がまちがっていれば、カードチェックランプは点灯せず、またスケジュールナンバの表示灯も点灯しない。このときは、パス進め押しボタンの回路はロックされ、運転することができないようにしている。図 7.1 はそのプログラムした IBM カードの一例である。

(b) サイドガイドの自動設定は、材料のある側は、材料をセンタリングした後、あるマージンを取り、開いて停止する。

7.2 60" 熱間可逆粗圧延機用自動プリセット装置

日新製鋼 KK、呉製鉄所に納入した自動プリセット装置のおもな仕様は表 7.1 に記載してある。図 7.2 はそのキュービクルの外観である。プリセット基準信号は、ロール開度およびドラフト補償量をパンチした IBM カードを用い、常に 2 スケジュールを 2 台のマニュアルカードリーダーにソウ入して、適宜スケジュール変更ができるようにしている。

7.3 タンデムホットストリップミル用自動プリセット装置

図 7.3、7.4 は八幡製鉄 KK、戸畑製造所、第 3 ストリップ工場に納入した 6 スタンドタンデムホットストリップミルの主ロール、サイドガイドおよび速度の自動プリセット装置である。おもな仕様は表 7.2 に一覧表として示してあるが、主ロール用 6 セット、サイドガイド用 8 セットはプロダック方式を採用し、圧延機速度用 6 セットは、サーボモータボテン



図 7.1 プログラムカード (一例)
Fig. 7.1 Programmed card.

シヨ式を用いている。図 7.3 のプログラム設定盤は、常に 2 スケジュール分のロール位置、板幅とマージンの和でサイドガイドの開度および圧延機速度をセットしておき、操作盤上のスケジュール選択押しボタンで、選択するようにしてある。操作盤では、任意スタンドの制御対象を自動から除外することができ、材料の温度低下による補償装置(コールドバーコンペン)の補償度選択押しボタンにより、プリセット中あるいは、AGC 運転中でもロール開度を修正して温度低下による圧下補償を行なうことができるようになっている。図 7.5 は主制御盤、図 7.6 は主ロール、サイドガイドプリセット盤である。

7.4 タンデムコールドストリップミル用自動プリセット装置

これは日本鋼管 KK 福山工場 5 スタンドコールドミル用に製作され、

表 7.1 プロダック式プリセット装置仕様

| 項目 | 納入先 三菱レイノルズアルミニウム | 日新製鋼 |
|------------|--|---|
| 圧延機 | 120" ホットプレート | 60" 熱間可逆 |
| 主電動機 | 2×2,250 kW | 2×2,620 kW |
| 圧下電動機 | 4× $\frac{150 \text{ kW}}{375 \text{ kW}}$ | 2× $\frac{75 \text{ kW}}{150 \text{ kW}}$ |
| スクリュウダウン台数 | 1 | 1 |
| 位置制御 | 0~508 mm | 0~600 mm |
| 設定単位 | 0.1 mm | 1 mm |
| 設定精度 | 0.1 mm 以内 | 0.5 mm 以内 |
| バス回数 | 19 | 15 |
| 入側サイドガイド台数 | 1 | なし |
| 位置制御 | 3,556 mm max | |
| 設定単位 | 1 mm | |
| 設定精度 | 1 mm 以内 | |
| 出側サイドガイド台数 | 1 | なし |
| | 入側サイドガイドに同じ | |
| 圧延機速度 | 6 ステップ | なし |
| ドラフト補償 | 5 ステップ | 5 ステップ |
| テーブル群選択 | 6 モード | なし |
| 制御 | 半自動 1 半自動 2 全自動 | 半自動 (全自動) |
| デジタルコード | 純 2 進 | BCD |
| 設定器 | IBM カード マニュアルカードリーダー | IBM カード マニュアルカードリーダー |
| 据付 | 1965 年 5 月 | 1965 年 11 月 |



図 7.2 PRODAC キュービクル
Fig. 7.2 PRODAC cubicle.



図 7.3 自動プリセット装置(八幡、戸畑)
操作盤と設定盤
Fig. 7.3 Automatic preset device operation panel and setting panel.



図 7.4 自動プリセット装置(八幡、戸畑)
各自動位置制御盤
Fig. 7.4 Automatic preset device each automatic position control panel.

主ロールの自動プリセット装置のほかに、サイドガイド位置制御を含む自動コイルハンドリング装置、自動板厚制御装置、サーボモータポテンショによる各種自動プリセット装置、クラシファイヤ等から構成される。主ロール開度、サーボモータポテンショによる自動プリセット装置、クラシファイヤ等はデジタル電子計算機の指令によりプリセット動作を行ないかつ停止する、またマニュアル運転も可能である。おもな仕様は表7.2に示してある。

7.4.1 主ロール、サイドガイド自動プリセット装置

電子計算機よりのBCDコードプログラム信号により、1～5スタンド圧延機主ロールおよびサイドガイドの自動位置設定を行ない、主ロールの設定完了は電子計算機の指令で行なわれる。

7.4.2 サーボモータポテンショプリセット装置

基準信号および運転開始、停止はすべて電子計算機の指令によるが、手動にて操作することも可能である。これによるプリセットの対象はつぎのとおりである。

- (a) 圧延マスター機速度 1セット
- (b) 1～5スタンド圧延機速度 5セット
- (c) ペイオフリール張力リミット設定 1セット
- (d) テンションリール張力リミット設定 1セット
- (e) コイル幅、コイル径補償 2セット
- (f) スタンド間張力リミット設定 4セット
- (g) 各スタンドローラ補償 5セット
- (h) #1スタンドドラフト補償 1セット

図7.7はサーボプリセット盤である。

7.4.3 自動コイルハンドリング装置

4章で説明した各自動コイルハンドリング装置が製作され、納入された。図7.8はそのうちの一つである。

7.4.4 クラシファイヤ

板厚に応じた各種ゲージ範囲は計算機によって計算され、このデータパルス信号を受取って、記憶し、X-rayゲージ装置からの板厚偏差信号と比較して、ゲージ範囲を選択し、パルスでそのゲージの板の長さを計算機に送り、Loggingする装置である。図7.9はその外観で、内部の4個のポテンショメータは、手動で、ゲージ範囲を設定する場合に使用される。

8. 制御器機

図2.8に示すプロダックカードのほかに、電子計算機を含む最近のデジタル、アナログ制御に対応して、最新の技術を結集した各種制御要素を開発製作した。これを写真で紹介すると、図8.1は新形A103トランジスタ演算器、図8.2はP801形電圧リレー、図8.3

表 7.2 仕様 (八幡, 日本鋼管)

| 項 目 | 納入先 | 八 幡 (戸 畑) | 日 本 鋼 管 (福 山) |
|---|-------------|--|--|
| 圧 延 機 | | タンデムホットストリップ | タンデムコールド |
| 主 電 動 機 | | 1×4,500 HP 1～3 STD 1×4,000 HP 4.5 STD 1×3,000 HP 6 STD | 2×2×930 kW 1 STD 2×2×1,300 kW 1～5 STD |
| 主 ロ ー ル 圧 下 電 動 機 | | 2×55 kW 2 STD 2×55/110 kW 4 STD | 2×75/150 kW 6 STD |
| スクリュウダウン 台 数 位 置 制 御 設 定 単 位 設 定 精 度 | | 6 0～29,99 mm 0.01 mm 0.01 mm 以内 | 5 0～6 mm 0.01 mm 0.005 mm 以内 |
| サイドガイド 台 数 位 置 制 御 マ ー ジ ン 設 定 単 位 設 定 精 度 | | 8 1,890±95 5 mm 単位 0～95 mm 5 mm ±5 mm | 5 1,880±20 2 mm 単位 0～20 mm 2 mm ±1 mm 以内 |
| コイルハンドリン グ | | — | プロダック式制御 支 持 棚 2 台 アンコイラトラバース 1 台 たてローラガイド 1 台 他 |
| 速度プリセット 台 数 速 度 範 囲 設 定 精 度 | サーボモータポテンショ | 6 124～2,340 FPM (1～6 STD) ±0.3%(POT) ±0.5%(Mill SPD) | 5 645～5,500 FPM (1～5 STD) ±0.3%(POT) ±0.5%(Mill SPD) |
| 制 御 | | 2スケジュール手動 選択自動プリセット BCDコード コールドバーコンベン付 | 計算機信号で 自動プリセット BCDコード |
| 設 定 器 | | 設定盤10進スイッチ | 電子計算機出力 |
| 据 付 | | 1965年10月 | 1965年5月 |



図 7.5 主制御盤
(八幡, 戸畑)
Fig. 7.5 Main control
panel.



図 7.6 主ロール、サイドガイド
プリセット盤(八幡, 戸畑)
Fig. 7.6 Main roll side guide
preset panel.



図 7.7 プリセットサーボ盤
(日本鋼管)
Fig. 7.7 Preset servo
panel.

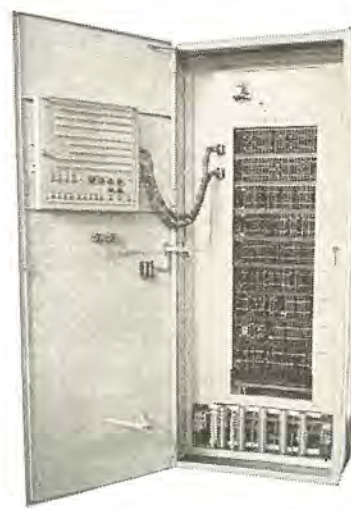


図 7.8 コイルハンドリング制御盤
(日本鋼管)
Fig. 7.8 Coil handling control
panel.



図 7.9 クラシファイヤ盤
Fig. 7.9 Milling machine panel.

はマイクロサーボポテンシオメータ、図 8. 4 はラダー形抵抗 DA 変換器などでこのほか、同一構造の各種サイリスタ点弧装置、1,600 c/s リアンプ、ランプジェネレータ、定電圧電源器など F3 シリーズが多数製作されている。

9. む す び

以上、最近製作納入された自動リセット装置、自動コイルハンドリング装置について紹介し、どのような機器を使用して、どのような制御方式によって自動リセット、ないしはコイルハンドリングを行なっているかが、おおかたご理解いただけたものと思う。これらの装置はデジタル制御方式を採用しているので、信頼度高く、コンパクトに、しかも保守が容易であって、将来デジタル電子計算機を追加する場合でも、組合せがきわめて容易であることがわかるであろう。これら多くの自動装置が今後ますます活用され、機械の寿



図 8. 1 トランジスタ式演算器
(A 103 形)
Fig. 8. 1 Transistor type
operator.



図 8. 2 P 801 形電圧
リレー
Fig. 8. 2 Type P 801
voltage raley.



図 8. 3 マイクロサーボポテンシオメータ
Fig. 8. 3 Micro servo potentio
meter.

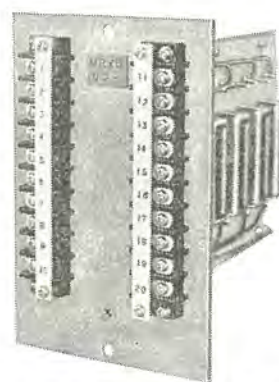


図 8. 4 抵抗 DA 変換器
Fig. 8. 4 Resistance DA
converter.

命を延ばし、生産量を上げ、品質が向上し、しかも安全に運転が行なわれてこそ、労働条件が改善され、国民生活の向上が期待されるというものであろう。

分塊圧延機用電機品

林 昌 宏*・久保田伸夫*・佐野善之助**

Electrical Equipment for Slabbing Mills

Kōbe Works Masahiro HAYASHI・Nobuo KUBOTA

Itami Works Zennosuke SANO

Modernization of slabbing mills owes greatly to the progress of the design technic of rotating machines and control systems, introduction of program control and computer control, and change of electric power supplies into static operation. That means the development of electric equipment lies in the renovation of the steel manufacturing industry. The text of the paper deals with an outline of main motors in connection with the latest blooming and rolling mills, their specific features and the values of GD^2 being introduced together with. Also comparison is made in it between two driving arrangement of top forward and new bottom forward, and comparison of electric power supply systems is taken up after that. The latest control system is also touched upon herein.

1. ま え が き

戦後の日本における製鉄業の発達は目ざましいもので、なかでも圧延設備の近代化が強力に進められてきた。電気産業の圧延技術におよぼす影響は非常に大きなものであり、今日分塊圧延機の進歩も電気品の発達によってなしとげられたといつて過言ではない。電氣的に見て分塊圧延設備の発達は次の三つに大きく分類される。

(1) 回転増幅器の出現を契機とする制御方式の進歩がある。これは磁気増幅器、さらにトランジスタ増幅器と進歩してきたが、最近是个々の機械の制御性能はもちろんに述べるプログラム制御や計算機制御とともに全プラントの高度な運営を図るシステム制御技術の時代になってきた。

(2) 1957年に米国ウェスティングハウス社が Jones & Laughlin 社に納入して口火を切ったプログラム制御は、従来運転員によって行なわれていた操作を自動化して生産量の増加と品質の向上を図ったものであるが、現在はすでに計算機制御の時代を迎えている。

(3) 従来、わが国においては熱間可逆圧延機の電源としてはイルグナ式電源がもっぱら採用されてきた。しかしヨーロッパにおいては、十年も前からこの種の可逆圧延電動機の駆動はほとんど、水銀整流器による静止レオナード装置に置き換えられている。これはこの方式がほかの方式に比して格段に効率がよく、電力源単位が低くなるという大きな利点のほか種々の利点があるからである。近年わが国においても電力系統が拡充されたこと、および交流電圧の変動を抑制する方法が発見されたことにより静止レオナードの時代が訪れ、当社においても、多数の実績があるが、最近ではさらに性能の格段にすぐれたサイリスタの出現により半導体素子による静止レオナードが大々的に採用されるようになった。

プログラム制御については別項で述べられてあるが、以下に主要な問題点について述べる

2. 主直流電動機 (図 2.1 参照)

分塊圧延用直流電動機は、ひんばんできびしい逆転および圧延負荷のため電氣的、機械的に大きな衝撃と過負荷をうける。単機最大トルクはほかの圧延電動機にくらべてはるかに大きく、特性

として、

- (a) 機械的に強固な構造である。
- (b) 過負荷耐量の大きい。
- (c) 速度変動率が小さい。

などが要求される。

圧延用直流電動機にはアメリカの NEMA 規格に対応する日本電機工業会規格 JEM 1157 (1961) があり、金属圧延ロールを駆動する出力 150 kW 以上の電動機について温度上昇、過負荷耐量などをこまかく規定している。規格は可逆、非可逆に分類されており、分塊用はそのうちの可逆の項の適用をうける。表 2.1 に温度上昇限度、図 2.2 に過負荷耐量をしめす。なおヨーロッパ系の過負荷トルクはアメリカ系と異なり、基底速度において常用最大 250 %、非常最大 300 % となっている。

(1) 圧延作業能率の向上のため加速、減速、逆転をすみやかにこなす必要がある。電動機は GD^2 を極力小さくするよういろいろの考慮が払われている。一般に GD^2 の大きい電動機は整流的に楽であるが、短時間逆転の場合の加減速電流が大きくなり無効電力が増加する。 GD^2 を小さくするには電機子外径を下げるのが根本であるが、整流条件が苦しくなるので整流技術の向上とあいまって、はじめて GD^2 の低減が可能となる。

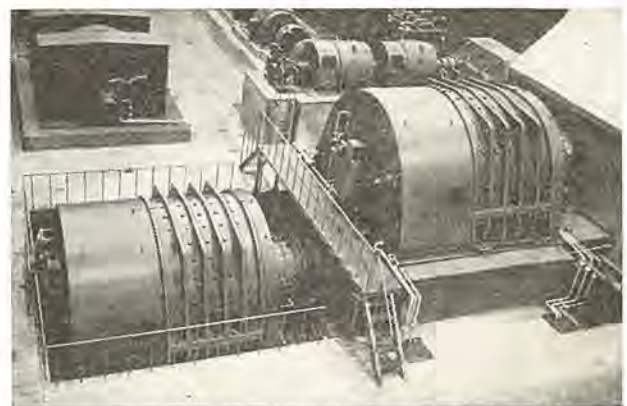


図 2.1 2-2250 kW, 20/70 rpm 直流電動機

トップホワード トウインドライブ 方式

Fig. 2.1 Top forward type twin drive 2-2250 kW DC motor for hot reversing mill.

表 2.1 温度上昇限度 (deg) JEM 1157

| 項 | 電 動 機 の 部 分 | 測 定 法 | 可 逆 | |
|---|---|-------------|------------|------------------------------|
| | | | 100 % 出力運転 | |
| 1 | 電機子巻線ならびに2, 3項以外の巻線 | 温度計法 抵抗法 | 50 70 | |
| 2 | 多層界磁巻線 a. 基準速度から基準速度の125%までで運転の場合 | 温度計法 抵抗法 | 50 70 | |
| | b. 基準速度の125%をこえて運転の場合 | 温度計法 抵抗法 | 50 70 | |
| 3 | 裸表面をもった単層界磁巻線および裸銅巻線 | 温度計法 抵抗法 | 60 70 | |
| 4 | 鉄心その他の機械的部分で絶縁した巻線と近接した部分 | 温度計法 | 50 | |
| 5 | 整流子 | 温度計法 | 65 | |
| 6 | 鉄心その他の機械的部分で絶縁した巻線に近接しない部分、ブラシおよびブラシ保持器 | | | 機械的に支障なく、かつ付近の絶縁物に損傷をおこさない温度 |

(注) 基準周囲温度の限度は、40°C とし、標高は、1000 m 以下とする

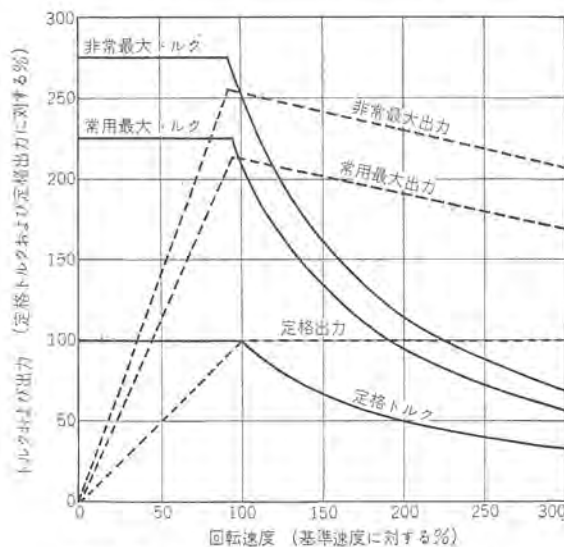


図 2.2 過負荷耐量 (JEM 1157 可逆)
Fig. 2.2 Overload capacity (JEM 1157 Reversing)

図 2.3 は熱間可逆圧延用直流電動機の kW/rpm に対する GD^2 の値をしめす。最近の新設計機 (2600 kW, 40/100 rpm 級) では GD^2 を旧形の約 65 % まで下げることに成功した。

(2) 可逆式電動機の逆転時間は NEMA 規格では、表 2.2 のごとく規定しており、国内でもめやすとして参考にされている。

電動機は強制励磁による急速加減速を行なうので、急激過大な電流変化に対してフレーム内での磁束変化のおくれをなくすため、成層フレーム構造として過渡時の整流向上をはかっている。

(3) 圧延設備の大形化にともない、2組の電動機を使用して上下ロールを各個駆動する双電動機駆動 (Twin drive) 方式を採用するものが多く、さらに逆転時間を短かくして圧延能力を高めるため2重電機子構造として GD^2 を小さくする場合もある。主電動機の逆転時間を短かくしてもライブテーブル (live table) やロール圧下など補機の動作時間との協調の問題があり、全体として検討せねばならぬ。

最近では設計技術の進歩により単機出力限度が向上しており、一般に単電機子形が価格、効率、保守そのほかの点ですぐれているので、所要の性能および条件を満足すれば製作可能な範囲で単電機子形が採用される傾向にある。

当社では現在、4500 kW, 40/80 rpm 級電動機を単電機子形で製作中であり、しかも設計技術の進歩により従来の 2×2250 kW, 40/80 rpm (二重電機子形) の場合より GD^2 を下げることに成功

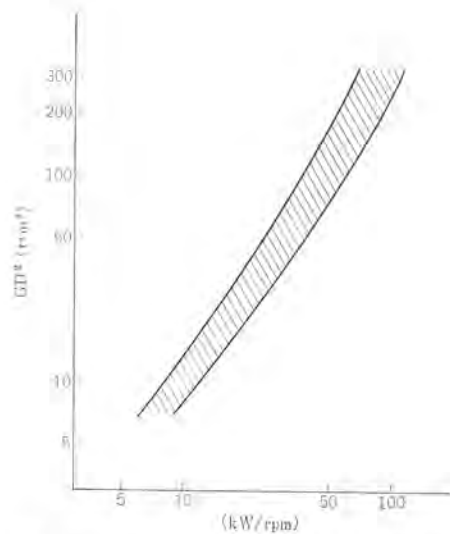


図 2.3 熱間可逆圧延用直流電動機 GD^2
Fig. 2.3 Moment of inertia of hot reversing DC motor.

表 2.2 熱間可逆圧延電動機の逆転時間 (NEMA MG 1-23.45)

| 電動機速度 (正転および 逆転基準速度 の%) | 無負荷運転における逆転時間 (sec) | |
|----------------------------------|--|--|
| | HP × Base speed (rpm) ≤ 250,000 で、しかも Speed ratio ≤ 2 : 1 | HP × Base speed (rpm) > 250,000 または speed ratio > 2 : 1 |
| 100 | 1.5 | 2 |
| 150 | 2.5 | 3 |
| 200 | 4 | 5 |
| 240 | — | 7 |
| 300 | — | 12 |

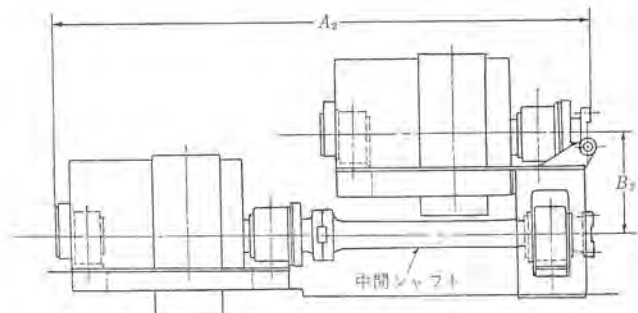


図 2.4 トップホワードのツインドライブ式可逆圧延電動機
Fig. 2.4 Top forward twin-drive reversing mill motor.

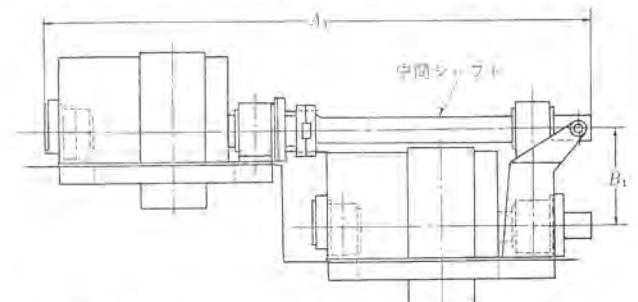


図 2.5 ボトムホワードのツインドライブ式可逆圧延電動機
Fig. 2.5 Bottom forward twin-drive reversing mill motor.

した。経済的、技術的にみて、4500~5200 kW, 40/80 rpm まで単電機子の製作が可能で GD^2 も十分小さくすることができる。

双電動機駆動方式の場合、上下ロール駆動軸の軸間中心距離は機械メーカーからの指定によるが、この値によって電動機は外径の制限を受ける。双電動機駆動では電動機とロールとの間のユニバーサルカップリングの両側面の面圧が完全にバランスしていない場合は、1回転に2回のスラストが電動機軸に作用し、軸方向に振動をおこすので、この振動を吸収するため整流子側軸端に当社独特の油

ンパを取り付けてある（図 2.1 参照）。油ダンパはダッシュポットの原理を応用したもので軸端に設けた円板とダンピング室内の油とで構成されている。さらにこの円板はミル側に引かれる力に耐えるスラスト軸受のシユウ動面をも兼用している。なおミル側から電動機側に押されるスラストは負荷側に設けたスラスト軸受がうけもつ。

（4）電動機の配置としては、図 2.4 のように上電動機を前（ミル側）に下電動機を後（反ミル側）におくトッパワード方式と、その逆の図 2.5 のボトムワード方式の 2 種類がある。

トッパワード形の特長は

a. 中間軸を取りはずさずにヨークを 2 分割にできる。

b. スラスト軸受の点検が容易である。

の 2 点にあるが、上電動機の基礎が若干複雑になり、ミル側に中間軸を抜出すために、トロコなどの付属装置およびミル側スペースの確保などいろいろの考慮が必要である。

また上下電動機の軸中心距離はフレームの強度上の問題から同一電動機であれば、その最小値はボトムワード形より大きくなる傾向にある。すなわち、ボトムワード形であるとフレームの上部を切り欠いて軸中心距離をさらに短縮することが可能であるが、トッパワードの場合はフレーム下部を切り欠くことになり、フレームつり上げ時にこの部分に曲げモーメントがかかるため、同程度の切り欠きを行なうと強度上苦しくなるからである。

当社はトッパワード形、ボトムワード形とも十分の製作経験を有しており、そのいずれを採用するかは使用者側の意向およびいろいろの条件（たとえば、アタッチドエッジ電動機の場合の主電動機との関係位置）により検討されねばならないが、いずれの方式が採用されても容易な保守点検が行なえるように計画している。

当社は従来のボトムワード形に改良をくわえ、トッパワード形におとらない保守点検容易な新ボトムワード形式の計画を終わり、現在製作工事に適用中である。

3. 補機用直流電動機

圧延補機用には JEM 1109 (1961) 600 番系列 KM 形直流電動機が使用される。当社は KM 形を標準化して以来多くの製作実績を有する。その間互換性を損なうことなくいろいろと内容を改善してきたが、現在 KM の形の特長はつぎのとおりである。

（1）エポキシ絶縁を全面的に採用しているので耐用年数が長い。

（2）全世界ではじめて丸形のフレームを採用し機械的、電気的特性を向上させた。

なおアメリカ AISE 規格が改定され 600 番形より容量アップし、しかも取付け寸法を 600 番形に合わせた新系列 800 番形が制定された (Dec. 1965)。トルクあたりの GD^2 が減少するので制御性能の向上が期待される。

わが国でも近い将来 800 番形の JEM 規格が制定されようが、当社はスクリュウダウンのほか GD^2 減少のメリットが大きい個所には、すでに AISE 800 番形規格を準用して製作中である。

4. 通風方式

圧延用直流電動機は低速回転で運転されるため、また直流発電機は定格速度を高くとるので開放形ならば自己通風で十分冷却可能であるがホコリの付着を防ぐため、いずれも清浄な空気による強制通風を行なう。通風方式は通常非循環形で、ダウンドラフト方式とする場合が多い。

分塊圧延機用電機品・林・久保田・佐野

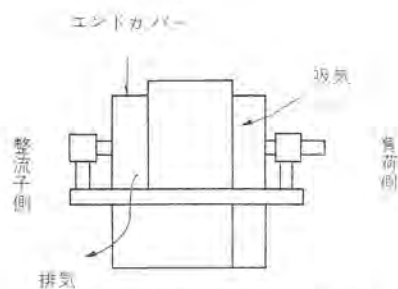


図 4.1 ダウンドラフト方式
Fig. 4.1 Down draft system.

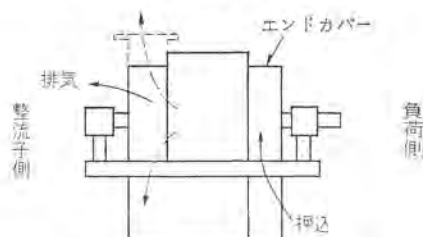


図 4.2 アップドラフト方式
Fig. 4.2 Up draft system

ダウンドラフト方式は、電動機負荷側エンドカバーから室内の清浄空気を機内に吸いこみ、整流子側下方から地下風道を通して室外へ排気する方式（図 4.1）で通常専用の電気室を設ける。なお、アップドラフト方式は、地下風道を通して送風機から送られてくる清浄空気を電動機負荷側エンドカバーから機内に押し込み、整流子側から排気する方式（図 4.2）で整流子カバーから直接機外に排気する場合と、上方（下方）に設けた風道を通して機外に導く場合とがある。いずれの場合も回転油膜式のフィルタを使用する。

以上の非循環形のほかに循環形もあるがふんいきそのほかの条件により、いずれの方式を採用するか決定される。

5. 電源方式

5.1 イルダナ方式

交流電源に対する負荷を緩和するため通常フライホイール付の誘導電動機駆動の直流発電機を使用するが、交流電源がピークに強い場合は整流器運転が採用されるすう勢にある。

直流発電機は、もちろん成層フレームとしてけわしい負荷に対処するとともに整流技術の向上により次第に容量×回転速度の積を高くとるようになってきた。直流主発電機の整流子の保守にはとくに留意し、当社の実用新案である整流子面の清浄装置（昭 38-15202）を取り付け高圧空気を吹き付けてカーボナストのたい積を防いでおり、整流子を常に清浄に保つための有効な武器となっている。

誘導電動機およびフライホイールの容量は、従来は経験的に決められることが多かったが、最近ではモデル圧延スケジュールにもとづき電子計算機で計算を行ない、合理的な容量を決定するようになった。従来は誘導電動機の容量は主電動機の等価連続出力より小さくとられてきたが、ランダム圧延を行なうものでは圧延負荷のかかる時間が長くなるので誘導電動機の容量が大きくなり、最近では主電動機出力に近い容量を選定されるものが多くなってきた。

なおイルダナ方式の場合、従来はスリッパによる誘導電動機 2 次電力をスベリ調整器の液体抵抗器に熱として捨てていたが、これを図 5.1 のようにレクチフロー方式として 2 次電力を整流器を通し、セツに直結された直流電動機に供給することにより電力を回収する方式があり、現在当社で製作中である。

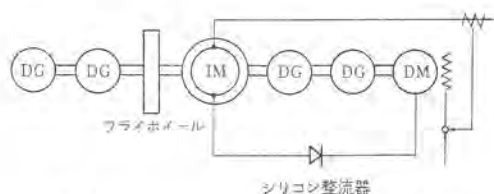


図 5.1 レクチフローイルグナ方式説明
Fig. 5.1 Rectiflow ilgner system.

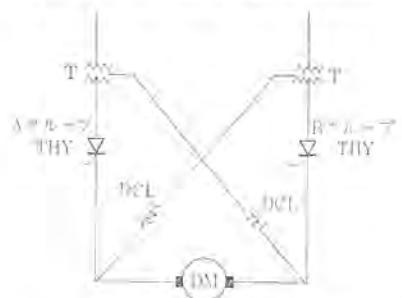


図 5.2 十字結線方式静止レオナード装置
Fig. 5.2 Cross connection type static Leonard system.

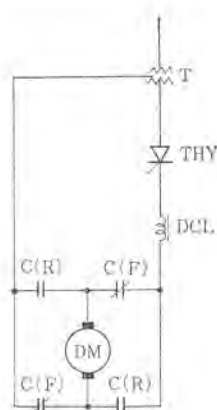


図 5.3 主回路切換え方式静止レオナード装置
Fig. 5.3 Main current change-over type static Leonard system.

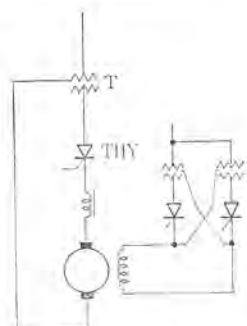


図 5.4 界磁切換方式静止レオナード装置
Fig. 5.4 Field change-over static Leonard system.

5.2 静止レオナード

可逆圧延用静止レオナードではイルグナ方式などの電動発電機と異なり、整流器に流れる電流の方向が一方であるため、回生制動の必要なくこの種の逆転駆動電源に用いる場合には次の3種類の方法が用いられている。

- (1) 2組の整流器を用い正転時と逆転時で別の整流器を使用する方法。十字結線または逆並列結線
- (2) 1組の整流器と主回路切換え開閉器を用いる方法。主回路切換え方式
- (3) 1組の整流器と直流電動機の界磁切換え回路を用いる方法。界磁切換え方式

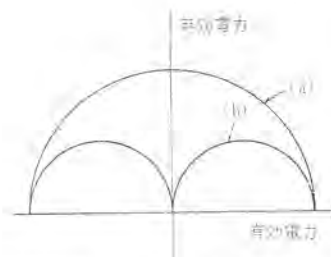


図 5.5 力率曲線 Fig. 5.5 Power factor curves.

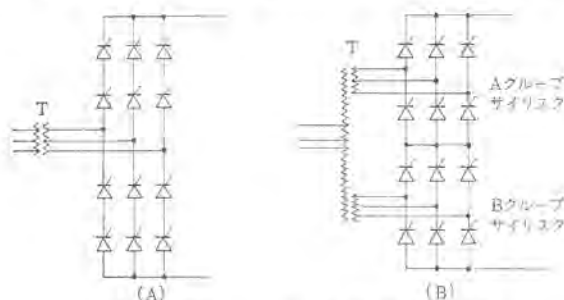


図 5.6 サイリスタ主回路接続方法
Fig. 5.6 Connection diagram of thyristor main circuit.

(1)の2組の整流器を用いる方式はその略図を図5.2に示すように十字結線を用いるか、または逆並列接続された2組の整流器によって、たとえば正方向回転時にはAグループの整流器を用い、その回生時からはBグループの整流器に通電を開始して直流電動機の電流方向を逆転し、電力を回生して減速させ、引き続いて逆転させる方法であり、逆転に要する時間は最も短かく制御性能ももっとも良好である。

(2)の1組の整流器を用いる方法は図5.3に示すように、直流電動機の電機子回路に主回路切換え器Cを設けて、これによって整流器に加わる電圧の極性を変換させ、回生制動および引き続いて逆転を行なわせる方法であり、経済的には最も有利となる。この場合切換え器は完全な無電流で開閉を行なわせるのが接点の摩擦も少なく理想的である。

(3)の1組の整流器と直流電動機の界磁電流の極性を切り換える方法は、図5.4に示すように界磁の極性を切り換えて電機子電圧の極性を変換させて回生制動および逆転を行なわせるものであり、逆転時間は3方法のなかで一番長い。また経済的には主回路切換え方式に次いで有利であるが、直流電動機の整流条件がきびしくなるので電動機の整流保守には注意する必要がある。

なおイルグナ方式をサイリスタ方式とした場合の電気室のスペースは約70%に減少して、基礎工事が簡単になる。

次に整流器をこの種の電源に採用すると線路力率が悪化するという欠点がある。イグナイトロン整流器はその順方向阻止電圧、逆方向耐圧ともに大きく、直列接続するということを行なわれなかったが、この点サイリスタ素子は、その順方向阻止電圧、逆方向耐圧ともにさほど大きくないためにDC 750V程度の電圧であると2個直列接続するということが行なわれる。このとき図5.6(A)に示すように、単に2個のサイリスタ素子を直列接続し変圧器二次巻線に接続すると、図5.5(a)に示すようにイグナイトロン整流器の場合と同様に力率が悪化するが、2個のサイリスタ素子をそれぞれ別々に変圧器の二次巻線に接続して図5.6(B)に示すAグループ、Bグループとも整流器運転の状態よりまずBグループのみを整流器領域からインバータ領域まで制御し、次いでBグループをインバータ運転のまま、Aグループを整流器領域からインバータ領域まで制御す

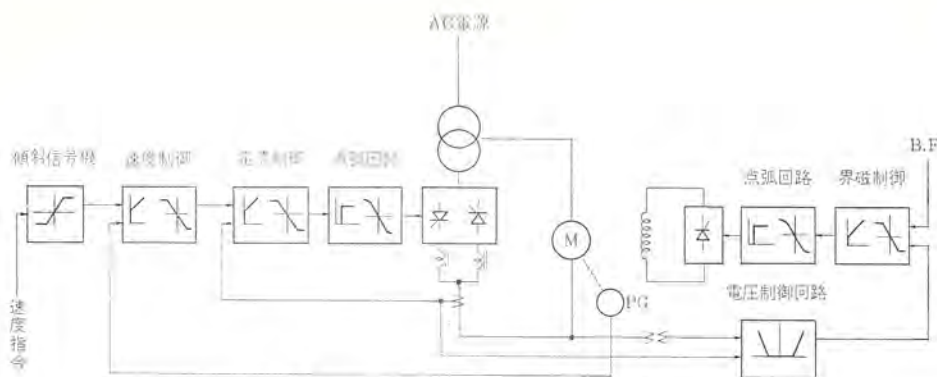


図 6.1 主電動機制御簡略結線図
Fig. 6.1 Schematic diagram of main motor.

ると図 5.5 (b) に示すように線路力率が大幅に改善される。

6. 制御方式

図 6.1 に主電動機の制御回路を示す。電源には逆並列結線サイリスタを使用して、その制御回路にはトランジスタ式演算増幅器を使用している。この回路の特長は、従来電動機の電機子電圧と界磁制御を別々に指令を与えて制御していたのを、電機子電圧が定格電圧に達したあとは、逆起電圧制御により基準電圧の指令によって界磁制御が行なわれて、基底速度から最高速度までの制御が行なわれることであり、基準信号は傾斜信号器により一定の傾斜

を有する信号に変換されて速度制御系に与えられ、基準信号の大きさによって界磁制御が自動的に行なわれるようになっている。このため速度信号が単一化され、プログラム制御や計算機制御の場合の信号の導入が容易となり、テーブルとの同期や圧下率補償が良好な効果をおさめることができる。電流制限は速度制御系のマイコンに電流制御系を設けてあるので、急速に確実な電流制限を行なうようになっている。電流制御と速度制御系

とを有しているためにロール径補償および負荷平衡が容易に確実に行なわれるようになっている。

7. むすび

以上分塊圧延設備の電気品について主要点を述べたが、今後はさらに設備を合理化最適化して生産能力の増大を図る必要があるが、この点圧下をはじめとする補機的设计に注意する必要がある。今後は鉄鋼メカ、機械メカと協力してさらに最適の設備を製作するように努力しなければならない。

連続熱間圧延機用電機品

紙谷 鉄男*・林 昌 弘*・久保田伸夫*・高柳 正 弘*・佐野善之助**

Electric Equipment for Continuous Hot Strip Mills

Kōbe Works

Tetsuo KAMITANI・Masahiro HAYASHI

Nobuo KUBOTA・Masahiro TAKAYANAGI

Itami Works

Zennosuke SANO

From the viewpoint of improving productivity in the latest steel and iron industries, the equipment is ever increasing in the size and operation speed. Among them the most conspicuous is the improvement of quality, and yield and also elevation of productivity in connection with continuous hot strip mills because of their huge scales. Electric apparatus for use with them have made wonderful progress too, by taking up up-to-date technology in the sphere. This article describes the electric apparatus built by Mitsubishi for the operation of continuous hot strip mills and the outstanding features of recent electrical, engineering achievements in which the Company takes pride.

1. ま え が き

最近の製鉄業界において生産性向上の見地から設備の大形化、高速化が行なわれている、なかでも連続熱間圧延機はその設備が大規模であるため品質、歩留りの向上、実動生産率の向上が目ざましいものがある。電機品としても、この分野における進歩は驚くばかりで常に技術の先端を切っており、大形で高度に自動化された設備を供給するようになってきた。

以下に戦後、当社の製作してきた連続熱間圧延機用電機品について最近の技術の進歩について述べる。

2. 粗 圧 延 機

表 2. 1 は八幡製鉄(堺)向けに製作した同期電動機の仕様であり、そのおもな特長はつぎのとおりである。

- (1) 過負荷 300 % に耐えるように脱出トルクを与えている。
- (2) 耐熱特殊合金を使用した強力な始動兼制動 カゴ形巻線を磁頭に備え、加速や負荷角の動揺による制動巻線の過熱折損事故を防止するため、材質、形、寸法、隣接接続構造を十分検討して製作している。そのためソリッドポール形回転子を使用した圧延用同期電動機に比較して、高能率で制動作用のすぐれたものになっている。
- (3) コイル絶縁には高圧用 ダイアレジン(サーマラスチック)絶縁を採用し、起動時および過負荷の際にうける熱と機械的なストレスに十分耐える構造となっている。
- (4) 力率を 80 % 進みにして脱出トルクを増大せしめるとともに、進相 kVA を電源に供給して工場の力率を改善するため、無

表 2. 1 粗圧延用同期電動機仕様

| スタンド番号 | 歯車比 | 電 動 機 の 定 格 | | | |
|----------|-------|-------------|------------|------------------|--------------|
| | | 出 力 (kW) | 電 圧 (V) | 回 転 速 度 (rpm) | 脱出トルク (%) |
| スケーラブレーカ | | 750 | 3,300 | 514 | 300 |
| (R 1) | 将来設置 | 3,700 | 11,000 | 450 | 300 |
| R 2 | 25.65 | 3,700 | 11,000 | 450 | 300 |
| R 3 | 20.99 | 3,700 | 11,000 | 450 | 300 |
| R 4 | 12.58 | 5,200 | 11,000 | 450 | 300 |
| R 5 | 9.55 | 5,200 | 11,000 | 450 | 300 |
| R 6 | 6.52 | 5,200 | 11,000 | 450 | 300 |

負荷、過負荷時とも一定の進相 kVA を供給するような自動界磁制御を行なっている。

- (5) 非常停止用として、発電制動回路を設けている。

3. 仕 上 圧 延 機

3. 1 仕上用主直流電動機(図 2. 1 参照)

従来の連続式熱間圧延機では、各ロールを無負荷で所定圧延速度まで起動してから圧延材料を送りこむので、電動機の速応性はあまり問題にならず、電動機回転速度の瞬時降下を小さくするため GD² の比較的大きな電動機が用いられていた。

しかしながら、最近は加速圧延方式が採用され、中速度で圧延材料を入れてから所定の高速まで加速して圧延を行ない、圧延終了後中速に急速に減速するようになり、かつ AGC のためひんばんに加減速が要求されるようになり、電動機の速応度が重要な課題となり、連続冷間圧延電動機と類似の特性が要求されるようになった。

この電動機も圧延用直流電動機一般の共通的な特長である。

- (a) 機械的にとくになんじょうであること。



図 3. 1 仕上用主直流電動機

Fig. 3. 1 Finishing stand DC motors for continuous hot strip mill.

表 3.1 温度上昇限度 (deg)

| 項 | 電動機の部分 | 測定法 | 非 可 逆 | |
|---|--|-------------|------------------------------|----------------|
| | | | 100 % 出力連続 | 125 % 出力2時間 |
| 1 | 電機子巻線ならびに2、3項以外の巻線 | 温度計法 抵抗法 | 40 60 | 55 80 |
| 2 | 名層界磁巻線 | 温度計法 抵抗法 | 50 70 | 65 90 |
| | a. 基準速度から基準速度の125%までで運転の場合 | | | |
| 3 | b. 基準速度の125%をこえて運転の場合 | 温度計法 抵抗法 | 40 60 | 55 80 |
| | | | | |
| 3 | 裸表面をもった単層界磁巻線および探銅巻線 | 温度計法 抵抗法 | 50 60 | 65 80 |
| 4 | 鉄心その他の機械的部分で絶縁した巻線に近接した部分 | 温度計法 | 40 | 55 |
| 5 | 整流子 | 温度計法 | 55 | 65 |
| 6 | 鉄心その他の機械的部分で絶縁した巻線に近接しない部分、ブラシおよび、ブラシ保持器 | | 機械的に支障なく、かつ付近の絶縁物に損傷をおこさない温度 | |

注) 基準周囲温度の限度は、40°C とし、標高は、1,000 m 以下とする

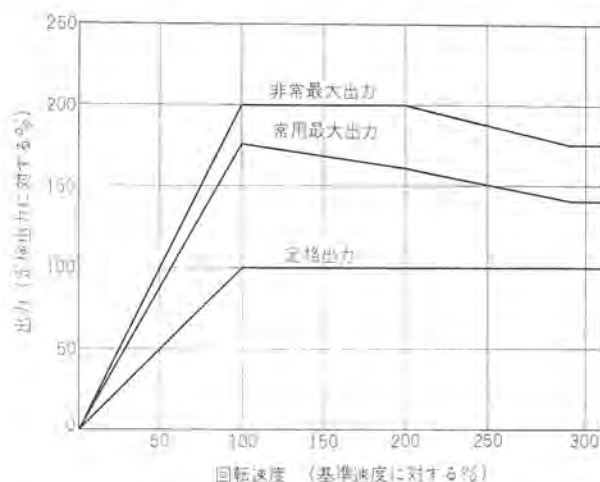


図 3.2 過負荷耐量 (JEM 1157 非可逆)

Fig. 3.2 Overload capacity.

(b) 電気的な過負荷耐量の大きいこと。

(c) 速度変動率が小さいこと。

の諸条件を具備すべきことはもちろん、日本電機工業会規格 JEM 1157 (1961) のうちの非可逆の項の規定をうける。表 3.1 に温度上昇限度、図 3.2 に過負荷耐量をしめす。

(1) 表 3.2 に当社で製作した最近の加速圧延ミルの定格を示す。加速を早めるため全スタンドとも 2 タンデム電機子構造を採用し、さらに電機子径を小さくし、構造的には回転部を鋼板溶接構造として GD^2 の減少をはかってある。 GD^2 を小さくすると必然的に整流が苦しくなるが、整流技術の向上により GD^2 はますます減少していく。図 3.3 に連続熱間圧延直流電動機の kW/rpm に対する GD^2 の値をしめす。なお各スタンドはタンデム電動機であるが、電氣的に直列に接続されているので負荷バランスは確実に行なわれる。

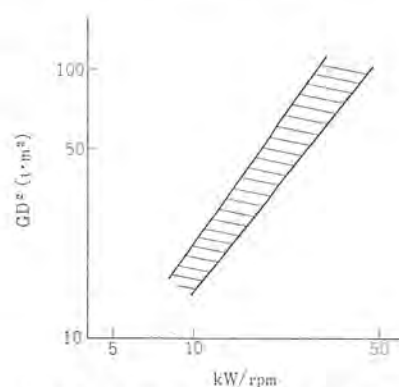
(2) 主電動機は各スタンド間の速度協調がとれるようアナログコンピュータで十分検討をくわえ、速度変動率、瞬時速度降下率、機械的なネジリ振動の問題についても十分注意して計画している。

(3) 中間速度で無負荷運転のときに、急に圧延材料をかみこむため過渡整流条件がきびしい。したがって過渡時の整流を良好にするため電動機を成層フレーム構造とすることは常識であるが、熱間圧延の主電動機に成層フレームを採用したのは昭和 31 年に当社が世界で最初であり、これは現在ではこの種電動機に不可欠の条件となってきた。

連続熱間圧延機用電機品・紙谷・林・久保田・高柳・佐野

表 3.2 熱間仕上圧延用主電動機仕様

| スタンド 番号 | 歯車比 | 電動機の定格 | | | | 水銀整流器 の容量 (kW) |
|------------|-------------|------------|-----------|---------------|---------------|----------------------|
| | | 出力 (kW) | 電圧 (V) | 回転速度 (rpm) | 駆動方式 | |
| 八幡製鉄(堺) | 1 4.79:1 減速 | 2×2,250 | 2×600 | 150/390 | 2 タンデム 電機子 | 1-4,960 |
| | 2 2.88:1 " | 2×2,600 | 2×600 | 150/365 | " | 1-5,700 |
| | 3 1.97:1 " | 2×2,600 | 2×600 | 150/365 | " | 1-5,700 |
| | 4 直結 | 2×2,600 | 2×600 | 110/275 | " | 1-5,700 |
| | 5 " | 2×2,600 | 2×600 | 150/365 | " | 1-5,700 |
| | 6 " | 2×2,250 | 2×600 | 175/430 | " | 1-4,960 |
| 日新製鋼(呉) | 1 5.46:1 減速 | 2×2,250 | 2×600 | 150/375 | " | 1-4,860 |
| | 2 2.62:1 " | 2×2,250 | 2×600 | 150/375 | " | 1-4,860 |
| | 3 直結 | 2×2,250 | 2×600 | 90/225 | " | 1-4,860 |
| | 4 " | 2×2,250 | 2×600 | 115/295 | " | 1-4,860 |
| | 5 " | 2×2,250 | 2×600 | 150/375 | " | 1-4,860 |
| | 6 " | 2×1,850 | 2×600 | 175/430 | " | 1-4,020 |

図 3.3 熱間連続圧延用直流電動機の GD^2 Fig. 3.3 GD^2 of main drive motors for hot strip mill (speed up rolling).

(4) 各電動機の反負荷側には速度検出用の精密パイロット発電機を直結しているが、その精度を確保するため発電機全体を電動機軸端に完全にオーバーハングしており、当社のこの種ミルの標準方式となっている。

なお仕上ロール取換え時のロール寸動用として、冷間圧延に用いられているインチングドライブ装置を電動機軸端に取り付ける方式が採用されることもある。

3.2 通風設備

電気室は数百メートルにもおよび、通風は通常非循環ダウンドラフト方式を採用しており、押込通風機により回転油膜式エアフィルタを通して電気室に送りこまれた空気は、主回転機の誘引通風機により機械を冷却したのち屋外に排出される。

長大な電気室内の空気温度の平均化をはかるため、押込通風機は熱源に応じてその位置の選定を行なわねばならぬ。

3.3 仕上圧延機制御

仕上圧延電動機の電源としては従来から水銀整流器が採用されてきた。当社は昭和 32 年度に日新製鋼呉製鉄所に DC 600 V、1,200 kW のイグナイトロン整流器による 3 スタンドの各個駆動方式を最初として、昭和 33 年度に八幡製鉄戸畑製鉄所に No. 2 熱間連続圧延機用電機品として 6 スタンド各個駆動方式、昭和 38 年度に八幡製鉄堺製鉄所の No. 3 熱間連続圧延機に 6 スタンドの各個駆動方式、昭和 40 年度に日新製鋼呉製鉄所に 6 スタンドの各個駆動方式の電機品を納入した。

整流器電源の場合の主回路接続を図 3.4 に示す。図において

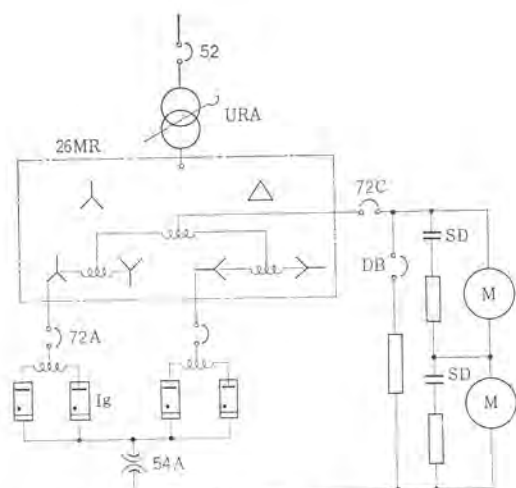


図 3.4 仕上圧延機主回路接続
Fig. 3.4 Rectifier and armature circuit of finishing mill.

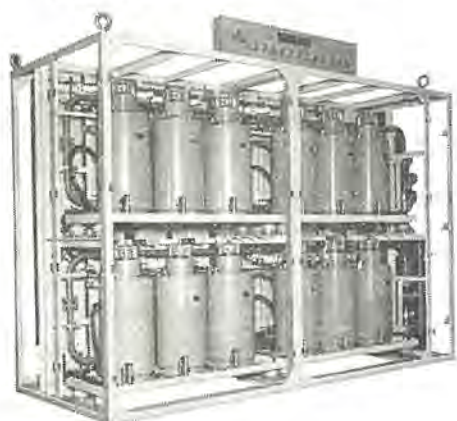


図 3.5 日新製鋼納め仕上圧延機用 イグナイトロン整流器
Fig. 3.5 Ignitron rectifier cubicle for hot strip mill motor delivered to the Nisshin Seikō Co.

電源シヤ断器 52 を経て負荷時タップ切換変圧器 URA が接続され、次に整流器用変圧器 26 MR が接続される。26 MR から陽極シヤ断器 72 A を介してイグナイトロン整流器が各相に接続されて高速度シヤ断器 54 A を経て主電動機が接続される。主電動機は先に述べたようにタンデム電機子構造になっており、負荷パランスの見地から直列に接続されている。電動機の負側端子は準高速度シヤ断器 72 C を経て 26 MR の中性点端子に接続されている。

整流器運転の場合の問題点としては、第 1 に減速時の制動エネルギーを回生吸収し得ないこと、第 2 に基底速度以下の低速運転の場合に電動機を定格電圧以下で使用するために力率が低下することである。そのため、図のように減速コンタクタ SD により減速用抵抗器に機械エネルギーを放散させるようになっている。非常停止は別の非常停止シヤ断器 DB により制動抵抗器が接続されるようになっている。かつてはスタンドの速度設定を変更する場合の減速エネルギーの吸収が主であったが、最近は、巻取り温度およびスラブ重量の増加から圧延中の温度降下が大きく、これを補償するために加速圧延が一般的に行なわれるようになった。このために圧延材の後端が各スタンドを離れると同時に通板速度に減速させて圧延材の先端が巻取機に達すると各スタンドをいっせいに加速させる。このため圧延ピッチの関係から急速に減速させる必要があり、従来行なわれている発電制動では減速とともに減速電流が減って減速時間が長くなるが、減速電流を一定になるように制御しているために 5 秒以内の減速が可能である。

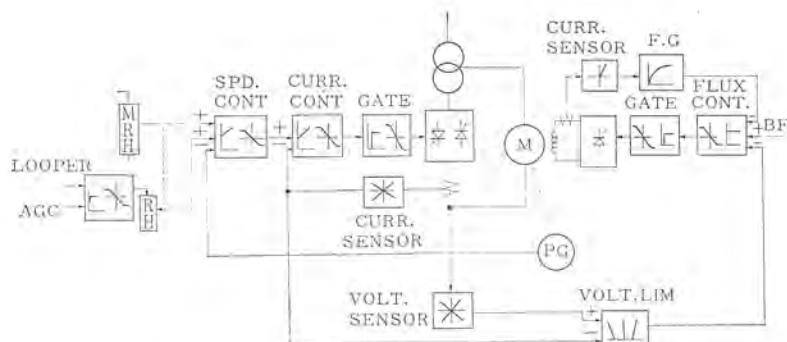


図 3.6 仕上圧延機速度制御回路
Fig. 3.6 Schematics of speed control system.

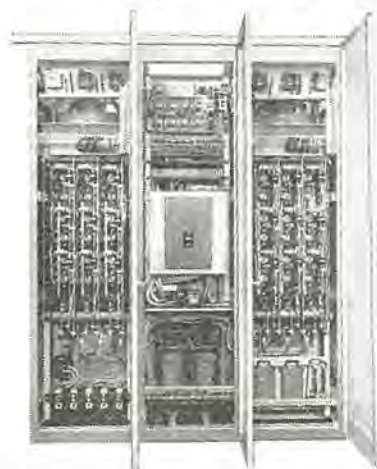


図 3.7 日新製鋼納め仕上圧延機用 サイリスタ界磁電源盤
Fig. 3.7 Thyristor cubicle for field circuit of hot strip mill motor delivered to the Nisshin Seikō Co.

力率を良好に保つために電源に負荷時にタップ切換変圧器を設けている。タップ位置は速度設定用可変抵抗器と連動して電源電圧を設定できるようになっている。

図 3.5 に日新製鋼向けイグナイトロン整流器を示す。

図 3.6 に仕上圧延機の制御回路を示す。図は電機子電源にサイリスタを採用した場合で示している。従来イグナイトロン整流器は単機容量が大きく、そのために回生制動用に整流器を設けることは経済的に不利であったが、この点サイリスタ素子は 1 個の通電容量が比較的少なく、並列接続によって所要の電流容量をうるため容量の選択が自由であり、制動用インバータを経済的に製作することができる。

水銀整流器の場合、逆弧の保護のために各相に陽極シヤ断器が設けられている。逆弧が発生した場合には陽極シヤ断器によってその相の整流器のみを回路から切り離して、一定の消弧時間後に再投入して運転を継続するようになっている。

サイリスタの場合にはこの逆弧に相当する事故はなく、電源設備としては一定容量の素子の直並列接続によって構成されているため、事故の発生した素子のヒューズまたは素子全体の取り換えを行なって運転を継続することができる。

先に述べたように以前の熱間連続圧延機では電動機の固有の速度変動を押さえるように設計されていたが、最近は電動機の GD² を小さく設計して急速な加減速を行なうようになってきたためにスタンドの速度制御系の設計が急速に発達してきた。

図 3.7 に日新製鋼向け界磁サイリスタ電源盤を示し図 3.8 に鉄板の先端噛込時のオシログラフを示す。スタンドの速度制御としては

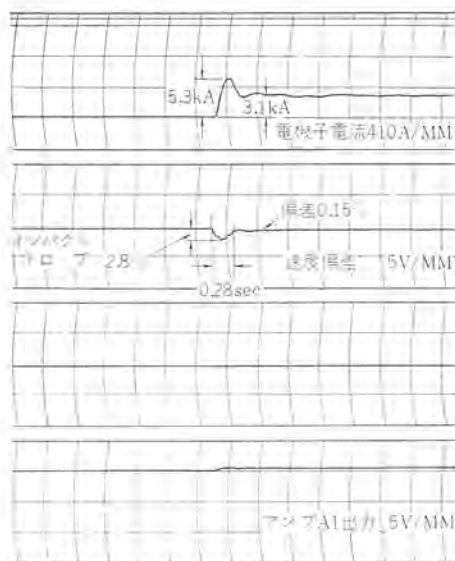


図 3.8 ホットストリップミルの代表スタンド速度特性
Fig. 3.8 Oscillogram of speed characteristic of typical stand for hot strip mill.

幅込時の瞬時速度降下率、回復時間、固有速度変動率の3点が重要である。

図 3.6 で速度の基準信号が精密パイロット発電機の電圧と比較されて演算増幅器にはいり、その出力が電流制御回路の基準値となっている。このため従来の電流制限方式に比べて正確急速な電流制限特性が得られるようになっている。

電動機の界磁はやはりサイリスタ変換器によって励磁されて、十分応答速度の速い制御が行なわれている。このサイリスタの定格電圧は界磁の定格電圧に対して十分高く取られて、電流を増加するときは数倍の強制励磁により急速に増し、また電流を減少させるときはインバータとして動作せしめて電流を急減させるようになっている。

界磁の制御回路は、界磁電流の制御をマイナーループとして有する制御で、電動機の逆起電圧を一定に保つ。逆起電圧が基底速度以下の場合には電圧制限回路の制限特性のために、界磁電流は電圧基準によって定まる強め界磁相当の電流になる。

電動機が速度が上昇して基底速度に達すると、電機子電圧も定格電圧となり電圧検出器の出力は電圧制限回路の制限電圧に近くなり、速度がなお上昇すると電圧検出器の出力は電圧制限回路の制限電圧をこえて基準電圧を打消すように働き、界磁電流基準を減少せしめて逆起電圧を一定に保つように界磁電流を制御する。すなわち、加減速中においても基底速度以下では界磁を最大として電機子電圧を変えて速度を変え、基底速度以上では電機子電圧を一定として界磁を変えて速度を変化せしめる制御が自動的に行なわれるようになっている。

速度の基準としては速度設定用抵抗器 MRH 以外に、ループの位置制御用信号、速度の微調整、AGC の信号が加えられるためこれらの全システムの制御状態を最適にするように計画されねばならない。

4. テーブル電動機

ホットランテーブル用直流電動機は全閉防水形を採用し 600 番形以上にきびしい過負荷耐量を要求される特殊電動機で、悪循環におかれるので電氣的、機械的に十分考慮を払う必要がある。

なおホットランテーブル用直流電動機として界磁に永久磁石を用いた連続熱間圧延機用電機品・紙谷・林・久保田・高柳・佐野

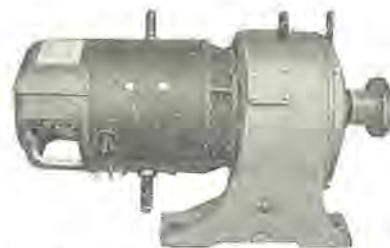


図 4.1 ホットランテーブル用永久磁石励磁直流電動機
Fig. 4.1 Permanent magnet DC motors for mill hot run table.

る新方式電動機は

- (a) 界磁励磁電源がいらない
- (b) 界磁用の配線ケーブルが不要となる
- (c) 各ロール間のスピードマッチングをより正確に行なうことが可能である。

などの長所がある一方、永久磁石そのものが高価なため電動機単体ではコストアップとなる。ただし制御器具関係および上記(a)、(b)のコスト減を考慮に入れるとほぼ折合う見通しである。当社はすでにこの新形直流電動機の開発を終わり製作態勢を完了している。図 4.1 はホットランテーブル用永久磁石励磁直流電動機をしめす。各磁石には着磁用の小コイルを取付けてあるので電動機の分解、再組立に際して着脱磁が簡単に行なえる。

5. 自動化

仕上圧延機の分野における最近の自動化は制御技術の進歩によって大きな発展を見せており、そのおもなものは

- (a) 製品制御の AGC を良好に動作させるための圧下駆動系およびスタンド速度制御を含めたループシステムの最適化
- (b) 運転員の負担軽減、ロール組換えなどの短縮による設備利用度の改善、製品の歩留りの向上、品質の向上のための各種の自動化であり、いずれもサイリスタ、トランジスタの半導体素子を用いた検出器として、ホットメタル検出器、ロードセルなどによって静止器化、高性能化をはかっている。

5.1 自動クロップシャー

ホットストリップミルにおいて粗圧延機で圧延されたストリップは、その先端および尾端の形状が不正規になっており、仕上スタンドにはいる前にロータリクロップシャーでストリップ先端および尾端を切断する。自動クロップシャーは先端および尾端切断の際の歩留りを向上させるものであり、その内容は

- (a) ライン速度検出用メジャリングロール
- (b) ストリップおよび幅検出器
- (c) シャーナイフ位置検出器
- (d) 演算増幅器、ゲート回路からなる演算回路
- (e) ワードレオードまたは静止レオード駆動系

である。

図 5.1 は自動クロップシャー機器配置を示す。粗圧延機を出たデイレテーブル上のストリップは、メジャリングロール No. 1 の手前で減速されて一定速度となり、ストリップおよび幅検出器でストリップ位置またはストリップ一定幅を検出後、演算回路でシャー速度および切断タイミングを演算し、シャー駆動系に信号を与えて切断する。切断後はリセット位置にすみやかに復帰する。図 5.2 (a) および図 5.2 (b) は自動頭端切りおよび自動尾端切りのクロップ長さのヒストグラムを示す。

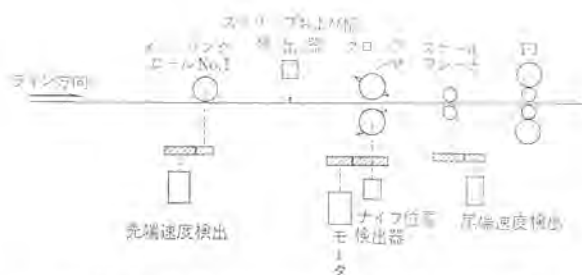


図 5.1 自動クロップシャー機器配置図
Fig. 5.1 Layout of components for the automatic crop shear.

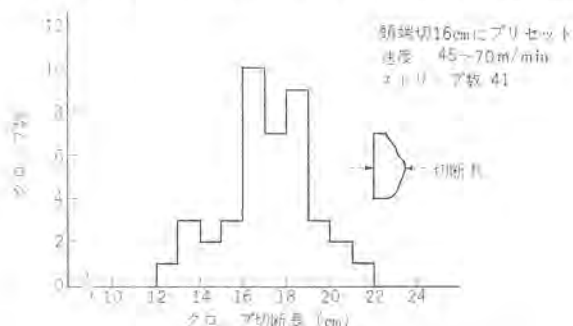


図 5.2 (a) 自動頭端切ヒストグラム
Fig. 5.2 (a) Histogram of auto head end crop.

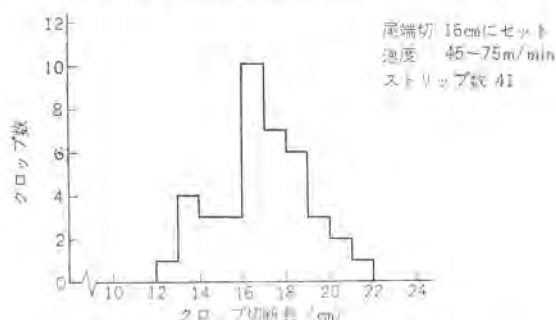


図 5.2 (b) 自動尾端切ヒストグラム
Fig. 5.2 (b) Histogram of auto tail end crop.

5.2 圧下

ホットスリッパミルにおける圧下電動機は、従来のロール上下動作およびレベリング動作を行なうことはもちろん、AGC（自動板厚制御）システムの要素として重要な意味をもっている。

AGC についてはあとに詳細に述べてあるが、圧下スクリー移動速度を適度に早くすること、および圧下制御系の応答を早くして電動機加速時間を短縮することが良好な AGC を行なわせる条件である。このためには機械側においてはスクリーピッチを大きくしてスクリー移動速度を早め、バックアップロールジョックのベアリングの摩擦トルクを小さくするとともに、電気側では駆動電動機としてトルクあたりの GD² の小さい ミルタイア AISE 800 番シリーズの電動機を使用し、電動機駆動装置としてサイリスタレオナードを使用して、応答速度の向上および加速時間の短縮をはかっている。

5.3 ルーパ

一般に圧下を上下することにより、前後スタンドとの間のスリッパ張力が影響を受け製品板厚に影響をおよぼす。したがってスリッパ張力を一定に保つことが必要であり、ルーパ制御はミル速度制御を応答させスリッパ張力を一定になるようにする。ルーパ機構としては電動式ルーパと、油圧式または空気圧式ルーパの2系統がある。

電動ルーパはトルクモータに接続されたアームによりルーパロールを下下させる。このときルーパロールの高さにかかわらずスリッパの張

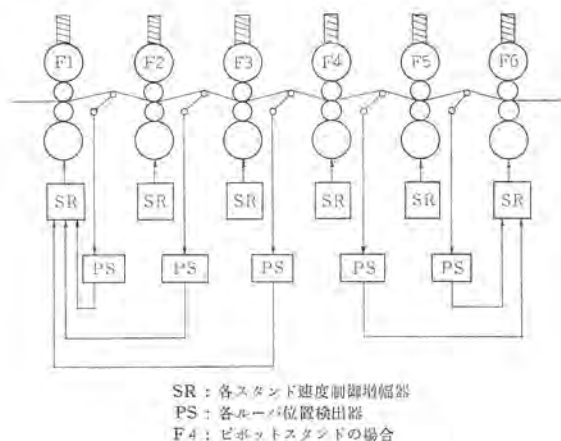


図 5.3 ルーパ位置制御系
Fig. 5.3 Looper position control system.

力が一定となるよう、トルクモータの電流をルーパロールの高さに応じて変化させる。

油圧式または空気圧式のルーパは、油圧または気圧によりアームを動作させ、ルーパロール高さが一定範囲内ではスリッパ張力が一定となる機構となっている。

ルーパトルクアームに取り付けのルーパロール位置検出器で検出された位置信号とルーパ高さ基準信号が比較され、誤差信号が関係スタンド速度制御系に与えられてルーパ高さが一定になるよう制御する。図 5.3 は仕上 6 スタンドのルーパ位置制御系を示す。スリッパがあるスタンドにかみ込まれると、ロードセル信号で検出し、そのスタンド後方のルーパは自動的に上がり設定高さ位置付近で位置制御が動作し、設定高さになるよう制御される。同様にスリッパがルーパ後方スタンドを抜ける直前にルーパを下下している。

5.4 ロールクラウンコントロール

AGC 装置はスリッパの長手方向の板厚を均一にするものである。しかしながらスリッパは幅方向にも板厚を均一としなければならぬし、また圧延上の問題として中延びや耳波のないフラットな形状のスリッパの圧延が必要である。この幅方向の厚みおよび形状はロールクラウン、板幅、板材質、ロール径、圧下量などで決定されるものであり、AGC が圧下制御を行なうつごう上ロールクラウンの制御の問題となる。

ロールクラウンコントロールは油圧シリンダにより、ワークロールまたはバックアップロールのクラウンを制御するものであり、クラウンの変化量は油圧シリンダに加わる油圧を変化せしめて行なわれる。図 5.4 はロ

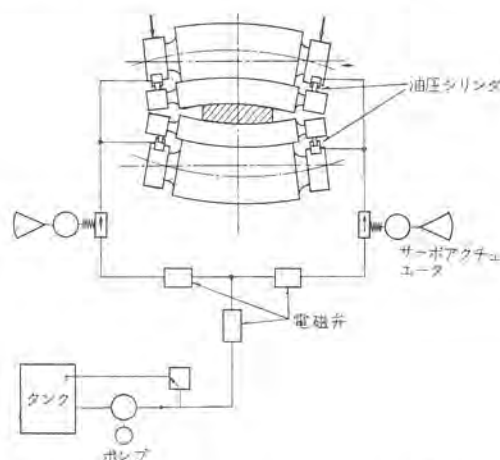


図 5.4 ロールクラウンコントロール概略
Fig. 5.4 Schematic diagram of roll crown control.

ールクラウンコントロールシステムの概略図を示す。ロールクラウンコントロールの操作機にワークサイドおよびドライブサイドの油圧設定器があり、サーボ弁により油圧が設定値に保たれる。またストリップがスタンドにかみ込まれている間のみ、油圧がかかるようタイミング制御が行なわれている。ロールクラウンコントロールは仕上全スタンドに行なわれることもあり一部のこともあるが、実際の幅方向の板厚および形状の検出については、現状は運転員の経験に頼っており、この方面の開発が今後の問題となっているが、アメリカにおいては計算機制御の対象として試みられている。

5.5 仕上イン칭ング駆動およびスピンドル位置調整装置

ホットストリップミルにおけるロール組換えの回数は、1日4～6回の多きにわたるので組換え時間の短縮はそのまま生産量増大につながる。仕上イン칭ング駆動は仕上ロールをイン칭ング駆動用電動機により、1～4rpmで低速回転させ、ロール組換え位置を検出し自動停止させる。この方法はミル主電動機の微動運転による方法に比較して素早くロール組換え位置にスピンドルを固定することができる。またスピンドル位置調整装置はワークロールの径およびパスライン高さによらずスピンドルの高さ位置をサーボ機構で自動的に決めるようにしたもので、イン칭ングドライブとあわせてロール組換え時間短縮を可能ならしめている。

5.6 ホットランテーブル

各テーブルは個別駆動方式であり、ホットランスプレーによりストリップは適正な巻取温度となりダウンコイルマンドレルに巻取られる。テーブルは複数セクションにわけられ、ストリップ先端がマンドレルに巻取られるまでの期間、およびストリップ尾端が最終スタンドを抜けてからの期間、テーブル上のストリップのうねりをなくすために、各セクションの速度を自動的に変化せしめている。ホットランスプレーは最適温度制御を行なうためには計算機により制御されるが、シーケンスコントロールも行なうように設計される。

5.7 ダウンコイル・コイルハンドリング

コイルハンドリングの目的は、自動操作およびシーケンスコントロールによる操作員数縮少とホットコイル取換えを正確にして、コイルに傷を付けないことである。

自動操作についてはマンドレルの自動停止がある。これは低温ストリップ検出器と1個のパルス発信器を使用し、コイル径によらずストリップ尾端を所定の位置に停止させるものである。

シーケンスコントロールは、機械の動作時間および最適動作タイミングを検討のうえに設計が行なわれており、運転員は複数個のダウンコイルの選択を行なうだけとなっている。

6. ホットストリップミルのAGC（自動板厚制御）

6.1 AGCの原理

ホットストリップミルのAGCに対しては圧延力を利用したgagemeter方式が採用されており、一般に圧下調整によるgagemeter-screw方式と張力制御によるgagemeter-tension方式の併用方式が採用されている。この方式は下記式(6.1)、(6.2)を基本原理とするものである。

$$h = S_0 + F/M \quad \text{.....(6.1)}$$

h : 板厚

S_0 : 材料のかみ込んでいないときのロール間ギャ

F : 圧延圧力

M : 圧延機のバネ定数

$$F = f(R', B, h_E, h_D, t_E, t_D, \mu, K) \quad \text{.....(6.2)}$$

連続熱間圧延機用電機品・紙谷・林・久保田・高柳・佐野

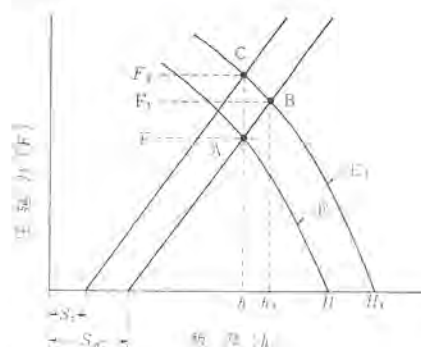


図 6.1 圧下 AGC Fig. 6.1 Screw down AGC.

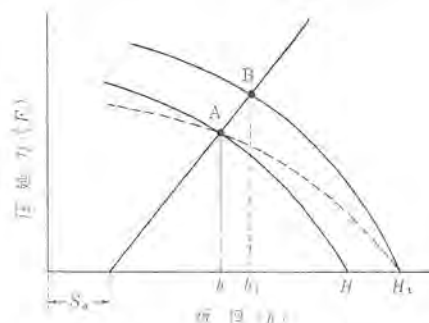


図 6.2 張力 AGC Fig. 6.2 Tension AGC.

R' : 弾性変形を受けたワークロール径

B : 圧延材幅 h_E : 入側板厚

h_D : 出側板厚 t_E : 入側張力

t_D : 出側張力 K : 圧延材の二次元降伏応力

μ : ワークロールと圧延材間の平均摩擦係数

板厚は図 6.1 に示すように式 (6.1)、(6.2) の交点 A での板厚 h となる。もし板厚 H が H_1 に変化したとすれば、板厚は塑性式 E_1 との B の板厚 h_1 に増加する。このときの式 (6.1) に相当する弾性式は

$$h_1 = S_0 + F_1/M \quad \text{.....(6.3)}$$

AGC はこの h_1 をもとの h に自動的に調整するものである。すなわち圧下を $(S_0 - S_1)$ だけ移動させ弾性式と塑性式が Ah の延長の交点 C で交わるようにすることである。これが gagemeter-screw 方式であり、このときの関係式は下記のとおりとなる。

$$(S_0 - S_1) = 1/M(F - F_1) \quad \text{.....(6.4)}$$

圧下の移動量 $(S_0 - S_1)$ は、圧下機構に取付けたセルシオン電動機あるいはポテンショメータ等の電気変換器によって信号を取り、圧延力は圧延機のロードセルから取り出し、両者の信号が平衡するまで圧下装置を移動させて板厚制御を行なっている。

板厚を制御するほかの方法はストリップの張力を変えて板厚を制御する方式で、これは gagemeter-tension 方式といわれている。この原理を図 6.2 に示している。塑性式 (6.2) において張力を変えれば圧延力は変化する。したがって板厚が H に変化したとき、板厚は h から h_1 に増加するのでストリップの張力を変えて塑性曲線を点線のように変え、弾性式と A 点で交わるようにして板厚を h に変化させるものである。この方法は経済的で応答も早く板の形状の影響も少ない利点があるが、板幅に影響するのでその使用には注意を要する。一般に張力制御は板厚も薄くなり、わずかの板厚変動を精密に調整する場合に使用される。

6.2 板厚変動

熱間圧延コイルの板厚変動の原因として下記のものが主として

あげられる。図 6.3 参照

(a) テンペラチャ・ランダウン (Temperature rundown)

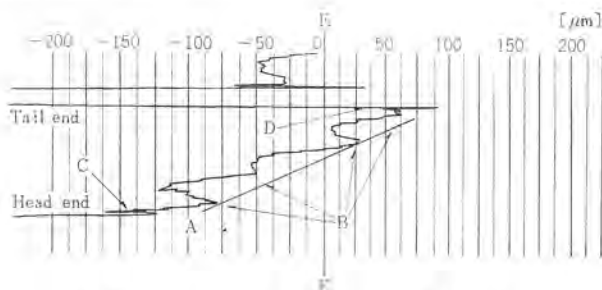
これは圧延材料が仕上スタンドにはいるときに先端と尾端で熱損失により温度差ができる。それがそのまま板厚の誤差として表われる現象である。すなわち温度の高いところは所定厚みで圧延されるが、温度が低くなると厚くなり、尾端に向かってコウ配をもって板厚が次第に厚くなる。この誤差量はスラブの大きさならびに仕上り板厚によって異なるが一般に 0.1~0.2 mm くらいの値となり、薄物の場合ストリップの長さが長くなるのでこの現象は顕著に表われる。

(b) スキッド・マーク (Skid mark)

これは加熱炉の中で炉の構造上スラブをのせているスキッドの部分に、ほかの部分より温度の低い部分ができる。この部分が圧延されるとその部分の板厚は厚くなり、最大誤差 0.1 mm 長さ 45m ぐらいの三角形状の変動がスキッドの数 (3~4) だけ生ずる。この現象は加熱時間を長くしてよく焼けば減少するが、加熱費用ならびに生産性の点で不経済である。

(c) ヘッドエンドディップ (Head end Dip)

これはストリップの先端に急に板厚が減少する現象で、スキッドマークが先端のすぐ後ろに存在するような短かいスラブのときとか、あるいは先端が早い速度でデスケリングスライの中を通り、人工的に温度の高い先端ができたときとか、あるいは炉の中の異常な加熱



A : Temperature rundown B : Skid mark
C : Head end dip D : Tail end jump

図 6.3 板厚変動 Fig. 6.3 Gage variation.

で先端が正常なときより高温になったとき、あるいはスタンドの速度設定が悪く通板中に先端に異常な張力がかかった場合に生ずる。

(d) テイルエンドジャンプ (Tail end Jump)

これはスタンド間の張力が過度に強くして圧延を行なった場合に生ずるもので、尾端の板厚が厚く出る現象である。スタンド間の張力が強い場合は、尾端がスタンドを離れるとスタンド間の板の張力が急減するため、その前のスタンドの圧延力が増し板厚が急増する。この変動は 0.15~0.25 mm くらいになる。

6.3 制御方式

6.2 節で述べたような機械ならびに操作上の問題から生ずる板厚変動を自動的に制御して、所定の板厚を生産するため AGC が設置されているが、この方式の一例を図 6.4 に示している。圧下制御を行なうスタンドの数は、その数が多いほどその効果は大きいが設備費の割にその効果の比率は小さくなるので、その点を勘案してシステムが組まれる。しかし最も多いのは 3 個のスタンドに圧下制御を設置するものである。この 3 個のスタンドをどのスタンドにするか、たとえば #2, #3, #4 スタンドにするか、#3, #4, #5 スタンドにかはっきりした定説はないようであり、各製鉄会社での特有の圧延操作の点から選定されている場合もある。たとえばストリップの製品の形状の問題から #5 スタンドの圧下を調整することをきらいところでは、#2, #3, #4 スタンドを選定される。しかしスキッドマーク除去の点では #3, #4, #5 スタンドの選定が有効であるといわれている。またスタンドの数は圧延スケジュールで圧延馬力の大きなスタンドがある場合はその圧下制御のスタンド数、およびその設定スタンドの選定は十分考慮されるべき点である。

図 6.4 において AGC システムの機能ならびに必要な特性を説明する。

6.3.1 スタンド電動機速度制御

最近のスタンドの電動機は水銀整流器あるいはサイリスタのような静止電源による速度制御方式が採用され、速度応答が早くしかも速度変動も少ないものとされている。これはスタンド間の張力を可能な限り少なくすること、通板時ストリップの先端のヘッドエンドディップを少なくすること、ルーラコントロールおよび圧下装置などの信号に

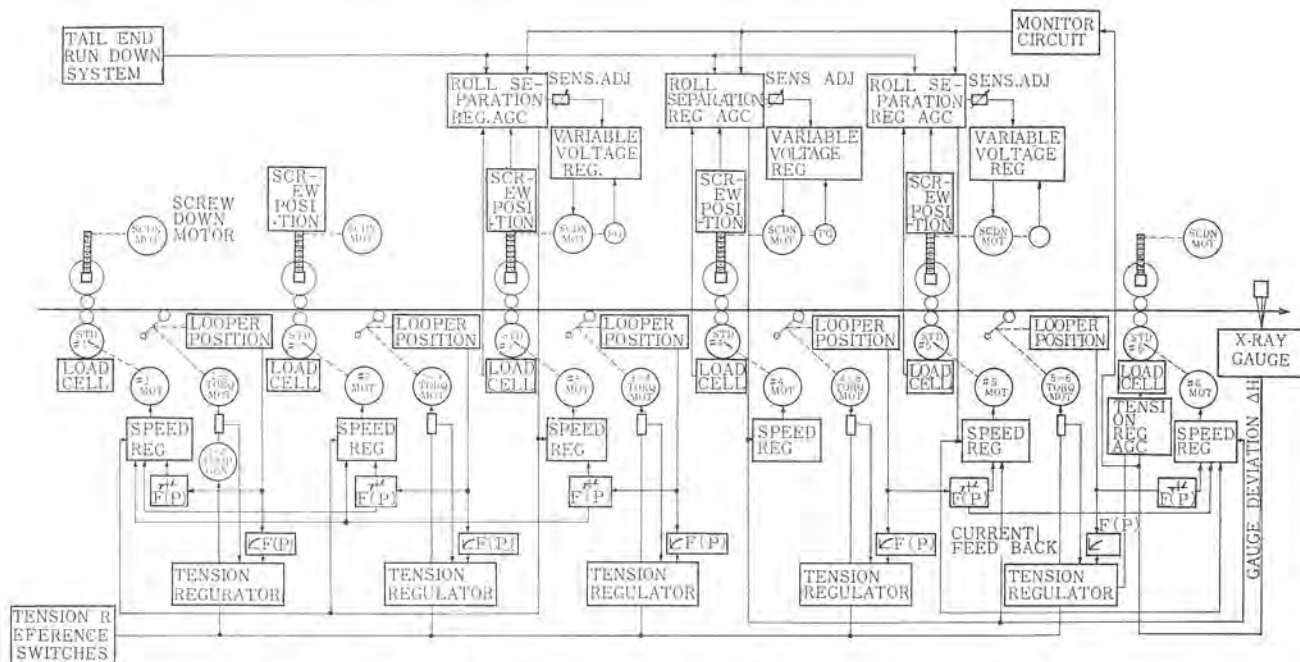


図 6.4 ホットストリップミル AGC システム

Fig. 6.4 Hot strip mill AGC system.

遅れなく追従してスタンド間のループ量を常に所定値にしてストリップの張力を一定に保持することを可能ならしめるために必要な特性である。

6.3.2 自動ループ制御

スタンド間のループはスタンドの速度制御とスタンド間のストリップの張力制御の二つの役目を行なう。ループの駆動方式としては電動駆動と油圧駆動の2方式があるが、ここでは電動式について述べる。電動式の場合ストリップの張力を一定にするために直流トルク電動機を使用し、それをワードレオナード制御とし、電機子電流を常に一定にして電動機軸のトルクを一定にしている。

ただしループの機構上ストリップの張力は、ループの角度によって異なるので、ループの高さによってモータの軸トルクを所定の関係式によって変化させ、ループの高さのいかにかわらずストリップの張力を一定する制御が行なわれる。ループの回転軸にポテンショメータあるいはセルシオン電動機を取り付け、ループの高さの変化を電気信号に変換し、スタンド電動機速度制御を行なってループの高さを所定値に保持する。このループの張力は大きいほどストリップの通板性もよくまたループの安定性もよい。またスキッドマークの除去に有効であるが、板幅を狭くするので適正な値に選定する必要がある。またループの高さは板の通板性ならびにループの制御の安定性の観点から適当な値に選定される。

上記のループ制御は、圧下制御を行なう場合ループの変動が生ずるので、ぜひ必要なものである。たとえば#4スタンドの圧下が下方に移動すれば、入側の材料の速度は減少し#4-#3スタンド間のループ量は増加する。したがって#3スタンドの速度を下げてそのループの高さを減少させる。しかし#3スタンドの速度を減少すれば、当然#2-#3スタンド間のループも変動することになる。すなわち一個所の圧下の操作が瞬間に各スタンドのループ変化として表われることになる。そのために基準スタンドを#4スタンドとし、#3-#4間スタンドのループによって#3、#2、#1スタンドの速度制御を同時に操作し、また#4-#5間スタンドのループによって#5、#6スタンドの速度も同時に操作する。

6.3.3 #5-#6 スタンド間張力制御

すでに述べたように板厚は張力を変えることによって制御することができる。この方式では#5-#6スタンド間のトルクモータのトルクを調整してストリップの張力を変えて板厚の精密調整を行なっている。

すなわち#6スタンドのロードセルからの信号、あるいはX線厚み計からの信号によってトルクモータの電流を変化させて制御する。ほかの方式では#6スタンドの速度制御によって張力制御を行なうものもある。この場合にはループは固定となる。

6.3.4 圧下制御

この制御回路の原理を図6.5に示している。ホットストリップミルのAGCでは gagemeter system を採用するため板厚の基準をロードセルの信号から取る。ストリップ先端がスタンドにかみ込んだのち、わずかの時間経過後の圧延力を記憶回路にメモリしておき、その圧延力を基準にして板厚の変動による圧延力の変化が出ればその差信号により圧下が移量し、圧下移動 ΔS と圧延力 $\Delta F/M$ とが平衡するまで圧下電動機は駆動される。このメモリ回路は図のように静止形を使用するか、あるいはサーボ機構を使用するものがある。圧下移動のフィードバック量の変換器としては、圧下機構に取り付けたPGの電圧の積分値で行なうか、あるいは圧下軸にリーフスプリングあるいはテレスコープシャフトとユニバーサルジョイントの組み合わせ

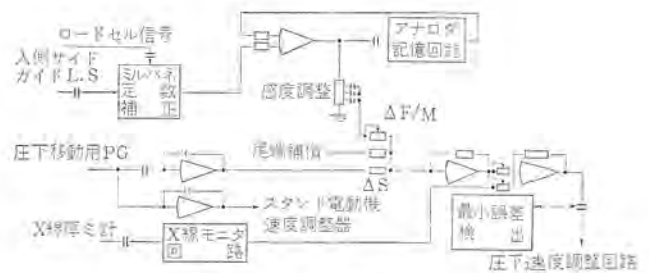


図 6.5 圧下 AGC システム

Fig. 6.5 Screw down AGC system.

せによる機構を使用し、それにポテンショメータあるいはセルシオン電動機を結合してバックラッシュの影響を受けないものとした方式を使用している。圧下の応答性の早いことは良好な AGC 動作のためには必要なことであり、最近サイリスタ電源を使用することが多くなりつつある。

6.3.5 圧下制御によるスタンド速度の予測制御

たとえばスタンドの圧下が動作した場合、当然スタンド間のループに変動が生ずる。その変化量を少なくするために圧下移動を始めると同時に、移動信号 (PG 出力の変化) によって #2、#1 スタンドの速度を同時に変化させ、#2-#3、#1-#2 スタンド間のループの変化を少なくするようにしている。圧下が停止すればその補正量は除去される。

6.3.6 パネ定数補正

ミルパネ定数が変化する現象は確実にはつかめていないが、ロールのベンディングとフラットネスがその原因になっていることは事実である。したがってパネ定数は板幅と製品の厚みによって変化すると考えてよい。すなわち幅の広いものを圧延すれば、圧延力の増加に対するロールのベンディングが少ないので定数が高くなる。そのために仕上スタンドの入側のサイドガイドの調整によって自動的にパネ定数を補正するようにしている。

6.3.7 感度選択

これは ΔS と $\Delta F/M$ との関係を適宜調整するもので $\Delta S = \Delta F/M$ とすれば 100% の“チューニング”を取ることになる。各スタンドのこの調整器の操作により、各スタンドの負荷分担を適宜変化させることができる。また材質などによりこれを調整し、オーバーチューニングを防止して動作を不安定にならぬようにすることが必要である。

6.3.8 X線モニタ

すでに述べたようにホットストリップミルでは、ある製品に対する板厚の基準は圧延力から取るので、最初に運転者がセッティングした圧下量が間違っていればそのときの圧延力に相当した板厚になるように制御される。またパネ定数の変動もあるので、X線厚み計で板厚誤差を測定して正しい板厚が出るような圧下量に修正することが必要である。このX線モニタ回路を動作させれば、その誤差信号によって圧下制御ならびに張力制御が行なわれ、所定厚みになればそのときの圧延力を基準とし gagemeter system だけで所定厚みのものが圧延される。この状態を図6.6に示している。

6.3.9 尾端板厚調整

尾端がスタンドをぬけた場合スタンド間の張力がなくなるため板厚が厚くなり、その部分は以後のスタンドで圧延されるのでかなり長い“オフゲージ”の板ができる。これを補償するために尾端が前のスタンドを抜ける少し前から、#3、#4、#5スタンドの圧下を種々の実測結果からの資料により決定した値だけ予測して順次下方に移動させ尾端の板厚制御を行なう。

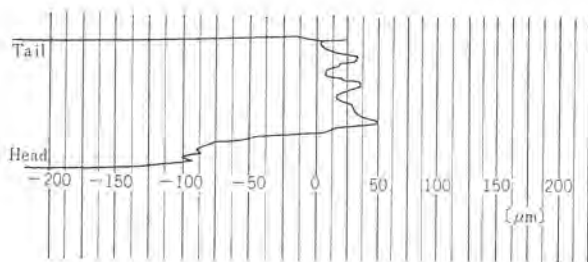


図 6.6 X線モニタ回路使用による板厚制御
Fig. 6.6 Gage control by means of X-ray monitor circuit.

6. 3. 10 張力制限

#5-#6スタンド間の張力制限によって板厚の密調整を行なうが、すでに述べたようにこの張力を余り強くすると板幅に影響する。したがって張力範囲を制限し、その張力が制限値をこえればその量を検出し#3, #4, #5スタンドの圧下を制御し、#5-#6スタンド間の所定の張力範囲内で板厚制御が可能なように前のスタンドで板厚を減少させるものである。

6. 3. 11 圧下リセット

圧延完了後に圧下制御を行なっているスタンドのロール間ギャップは、初期のロール間ギャップにリセットしなければならぬ。これは圧下移動量が積分回路にメモリされているのでこの値がゼロになるように圧下の位置制御を行なってリセットする。ただし圧延中手動操作で行なった調整量ならびにX線モニタ回路からの修正量は圧延中の圧下移動量から差引かれてリセットされる。この方式により自動的に先端から所定厚みなるスタンドの圧下セットが行なわれることになる。

AGCシステムの機能の概要を述べたが、その効果は一例として図 6.7 と図 6.8 を比較すればあきらかである。しかしむずかしい点はスキッドマークの除去であり、材料がよく加熱されていれば理想的な板厚制御としての効果が得られる。温度の低い場合は技術的な困難な問題が含まれてくる。いずれにしても良好な AGC の

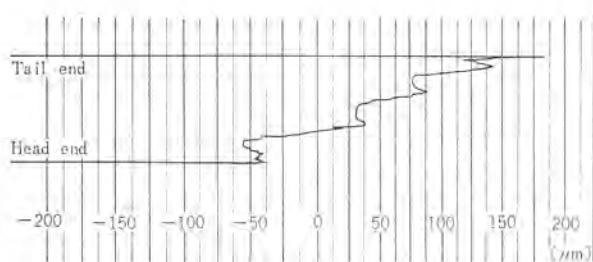


図 6.7 板厚変動 (without AGC)
Fig. 6.7 Gage variation.

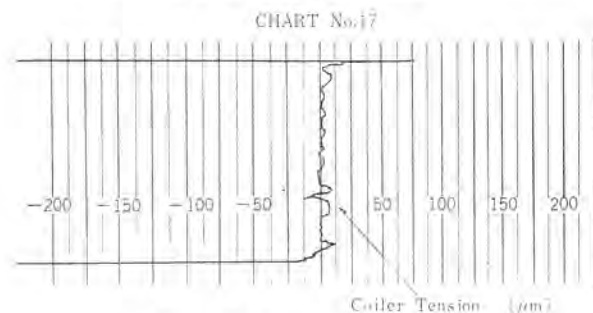


図 6.8 板厚変動 (with AGC)
Fig. 6.8 Gage variation.

動作をうるには当然のことながら

- (1) 材料の加熱
- (2) ルーパの制御
- (3) スタンドおよび圧下の速度制御

が十分検討されるべきであり、この点理想的な AGC のシステムの完成には課題が残っているように思う。

7. む す び

以上最近の問題点について概要を述べたが、この種設備の計画に際しておおかたのご参考になれば幸いである。終わりに種々ご指導を賜った客先関係者に深く感謝する。

鉄鋼プロセスライン用電機品

紙谷 鉄男*・銭 場 敬*・安部登志雄*
兵頭 太郎**・辻 順一**

Electric Equipment for Steel Mill Process Lines

Kōbe Works Tetsuo KAMITANI・Takashi SENBA・Toshio ABE
Head Office Tarō HYODŌ・Junichi TSUJI

In steel mill process lines where a good many motors are in operation for driving the installations, it is essential to synchronize the speed of each motor over a wide operation range. In such cases the Ward Leonard System is the most appropriate. The reason is that DC motors in use have a peculiar characteristic of changing the speed mostly in proportion to the motor terminal voltage. Also it is practicable to have accurate control of relative speed and tension control among various driving sections with ease by means of automatic regulators such as thyristors. This article makes brief introduction to representative examples applied to actual lines as well as basic ideas needed in planning driving systems of given process lines.

1. ま え が き

工業用プロセスラインにおいて多数の電動機によって駆動される場合、広い運転速度範囲にわたって各電動機の速度が同期化することが必要である。この場合ワードレナード方式が最適であるが、その理由は直流電動機は大体電動機の端子電圧に比例して速度が変わる固有の特性を持っていること、または各駆動部間の関係速度の精密な制御ならびに張力制御が電動機の界磁を手動調整器あるいはサイリスタのような自動調整器によって簡単に行ないうることである。本文はあたえられたプロセスラインの駆動システムを計画する場合に必要な基礎的概念ならびにその実際のラインに適用した場合の代表的な例を簡単に紹介するものである。

2. 概 論

2.1 概 要

一般に直流電動機の速度はその端子電圧に比例して変化すると考えるのが普通であるが、実際には端子電圧と電機子電圧降下(IRドロップ)との差、すなわち電動機の逆起電圧に比例して変化する。直流電動機の定常状態における基本関係式は、

$$e = a\phi\omega + ir \quad (2.1)$$

$$t = b\phi i \quad (2.2)$$

e : 端子電圧, i : 電機子電流
 ϕ : 1極あたりの磁束, r : 電機子抵抗
 t : トルク, ω : 電動機速度

式(2.1), (2.2) から

$$e = a\phi\omega + \frac{tr}{b\phi} \quad (2.3)$$

上記の式に0記号を付し、各変数の定格値を表わせば式(2.1), (2.2)は

$$e_0 = a\phi_0\omega_0 + i_0r \quad (2.4)$$

$$t_0 = b\phi_0 i_0 \quad (2.5)$$

となり、これは定格電圧、速度、磁束、電流、トルクにおける電動機の動作を表わしていることになる。

式(2.3)を再編成し、式(2.4), (2.5)を結合すれば

$$\frac{t}{t_0} = \frac{e_0}{i_0 r} \frac{e}{e_0} \frac{\phi}{\phi_0} - \frac{\omega}{\omega_0} \frac{\phi^2}{\phi_0^2} \frac{e_0}{i_0 r} \left(1 - \frac{i_0 r}{e_0}\right)$$

上式は次のようにユニット単位として表現される。

$$T = \frac{E}{D} \phi - W \phi^2 \frac{1-D}{D} \quad (2.6)$$

T : ユニット単位のとルク

E : ユニット単位の端子電圧

ϕ : ユニット単位の磁束

W : ユニット単位の数値

D : 定格電圧に対するユニット単位の数値

式(2.6)は以後の本文を通じて低電圧で動作させる直流電動機の動作を予測するうえで使用されるものである。

2.2 電動機速度へのIRドロップの影響

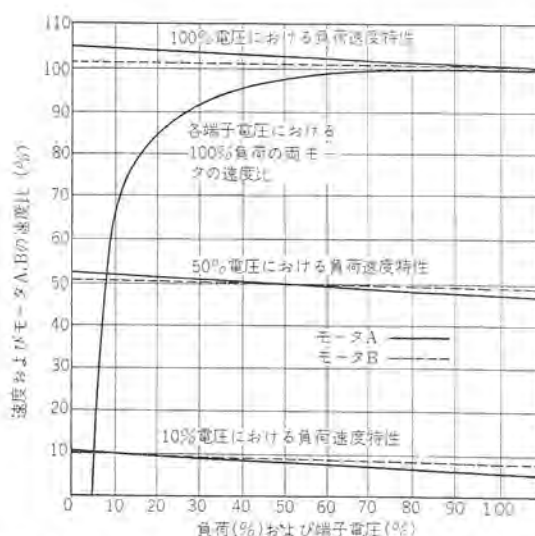
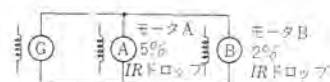


図 2.1 モータの負荷速度特性およびモータ A, B の端子電圧に対する速度比

Fig. 2.1 Load speed characteristic of motor and speed ratio against terminal voltages of motor A and B.

端子電圧が減少するにつれて、IR ドロップは端子電圧に対し次第に大きな比率となり、その速度に対する影響も重要となってくる。ことに多くの電動機が並列に運転され同一の可変電圧発電機から給電される場合には注意すべきものとなる。

一例として、75 kW で 2% の IR ドロップを有する電動機と 1.9 kW で 5% の IR ドロップを有する電動機が並列に同じ母線に接続されている場合の図を 図 2.1 に示す。すなわち定格電圧で定格負荷がかかった両電動機を界磁調整によって速度を一致させておき、それを順次電圧を下げていったときの速度差である。この場合両電動機間には機械的結合がないとしているので当然速度差が生じ、その速度差の比率は低電圧の場合にはかなり大きなものとなる。IR ドロップが等しければその速度はいかなる電圧でも一致する。

2.3 電動機負荷への IR ドロップの影響

一般工業でのワードレオナード制御方式のものでは、電動機は処理される材料によって機械的に結合されている。たとえば製鉄ではストリップ、製紙ではフェルトあるいはワイヤなどである。この条件では、電動機は機械的結合で駆動するのと同じであるから、全運転速度範囲にわたって一致するが、IR ドロップの差は別の様相を呈することになる。

図 2.1 と同様の電動機が鉄板のような非弾性材料によって機械的に結合されており、その動作電圧が減少する場合を考える。この場合レバの負荷が一定のままであると仮定すれば、大きな IR ドロップを有するピンチロールの負荷は“零 IR 補償”と記入した線に沿って最初の全負荷状態より次第に少なくなる。これはピンチロールの IR ドロップが大きいので、レバより低い速度になる傾向が強いが鉄板で結合されているので、低い速度では回転しえないからである。ピンチロールの負荷はある動作電圧に対し、速度-負荷曲線上でピンチロールの速度が、レバの速度と一致する負荷で平衡状態となる。この場合に昇圧機 B を使用して IR 補償を行ない、たとえば 60% 補償を行なえばピンチロールの IR ドロップは 2% となってレバのそれと等しくなるので、ピンチロールの負荷は全運転範

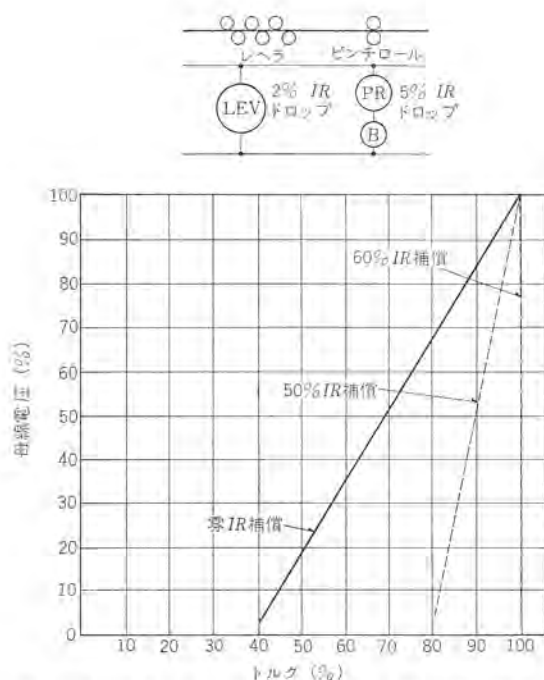


図 2.2 負荷変動を減少させるための IR 補償の効果
Fig. 2.2 Effect of IR compensation to reduce load variation.

囲にわたって変化しないことになる。(図 2.2 参照)

2.4 IR 補償の形式

全運転範囲にわたって負荷の良好なる配分を確保するための各電動機の IR ドロップ補償の方法は、操作上の要求、電動機のサイズ、費用ならびに好ましい回路構成などによって異なるが、2.3 の方法をあげる。

2.4.1 抵抗そう入による IR ドロップの均等化

図 2.3 (a) に示すように共通発電機で給電される電動機の電機子回路に直列に抵抗をそう入して、いちばん大きな IR ドロップを有する電動機にほかの IR ドロップを合わせる方式である。この方法の利点は経済的で簡単に調整が容易なことである。しかし容量の大きなものでは抵抗の損失が大きく能率が悪く、また各電動機が速度調整のために界磁弱めて使用する場合は、低い電圧でトルクが弱まり良好な運転ができなくなる欠点を有する。

2.4.2 電動機サイズの選定

これは電動機の IR ドロップを均等化するために、指定された容量相当の電動機でなく全体の IR ドロップを勘案して電動機のワット数を大きくする方法である。この方式は一般には高価となるが、連続に低速運転をすることが要求された場合、通風効果が薄くなり温度上昇の点からワット数を大きくする必要が生じた場合には両者の点のかねあいでのこの方法の採用が有利になることもある。たとえば 7.5 kW 1,750 rpm の電動機を 110 kW 850 rpm の電動機との速度協調を取るために、IR ドロップを 2.5% にする必要があるとする。7.5 kW の IR ドロップは 4.5% なので 11 kW 1,750 rpm の電動機を使用する。11 kW は 3.8% の IR ドロップなので $3.8 \times 7.8 \times 11$ 、すなわち 2.5% の IR ドロップとなるので要求に一致することになる。この方法では 2.4.1 項の方法のような欠点はない。

2.4.3 昇圧機による補償方式

昇圧機を電動機に直列に接続して IR 補償する方式であるが、最も普通に使われる方式である。(図 2.3 (b)) 昇圧機の出力電圧は電機子電流に比例して変化するように調整されている。昇圧機に直巻界磁を巻くか、あるいは図 2.3 (b) のように電機子回

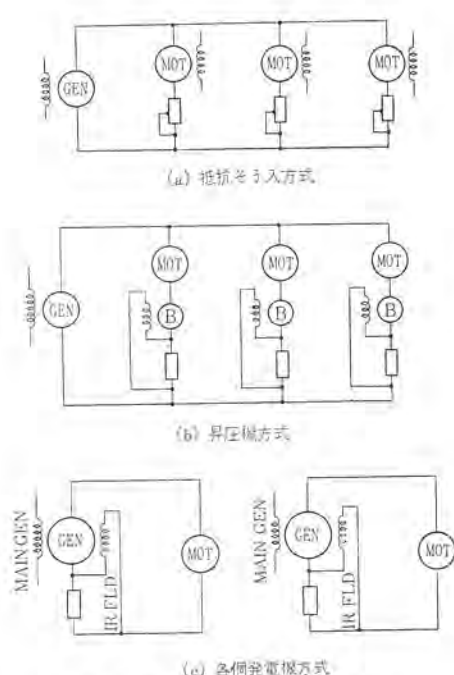


図 2.3 IR ドロップ補償方式
Fig. 2.3 IR drop compensation system.

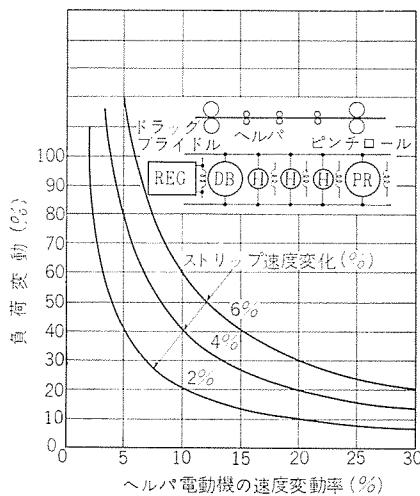


図 2.4 負荷変動を減少するための速度変動の影響
Fig. 2.4 Influence of speed change to reduce load variation.

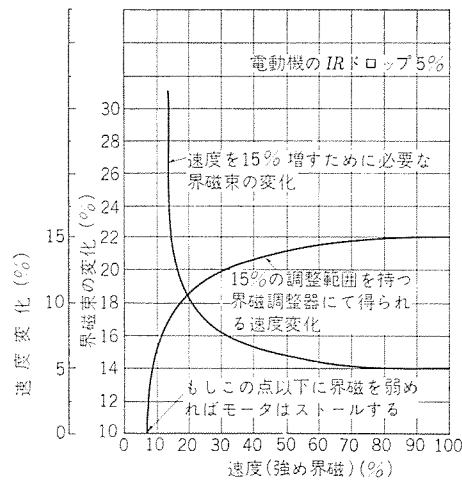


図 2.5 電圧を減少した場合の界磁調整器の効果
Fig. 2.5 Effect of field regulator when voltage is reduced.

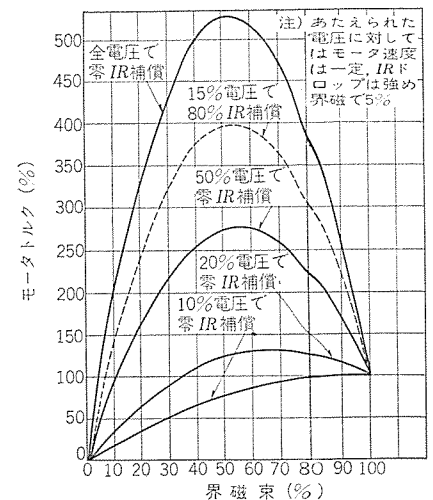


図 2.6 電圧を減少した場合の界磁とトルクの関係
Fig. 2.6 Relation between the field and torque, when voltage is reduced.

路の抵抗の電圧によって励磁される分巻界磁を巻くことによって行なわれるが、後者のほうが IR 補償量が簡単に調整しうるので一般に採用されている。昇圧機の電圧は電機子回路の抵抗、そう入抵抗、配線の電圧降下を補償しうる値に選ばれる。またその飽和曲線は使用範囲の間は直線にして、負荷電流に比例した電圧を発生するようにしている。この方式は他の 2. 4. 1, 2. 4. 2 項の方式に比較して高価となるが、非常に融通性に富んでいる。また低電圧でのトルクの減少もなくなり、良好な運転結果が得られる。また昇圧機によって各電動機が各単独に微動運転が可能となり、ライン操作上非常に扱いやすい設備となる利点もある。

2. 4. 4 各個発電機による方法

図 2. 3(c) に示すように各駆動機ごとに専用の発電機を設ける方式であるが、IR 補償は各発電機に IR 補償巻線を巻いて行なう。この方法は IR 補償ということよりも、全ラインの操作システム上から速度、張力、ルー調整などの要求から選定の基準をおく場合が多く、この点については別項で述べる。

2. 5 垂下特性および並列運転電動機群の張力への影響

機械的に結合された電動機の広い運転範囲にわたって均等な負荷分担のために、すべての機械の IR ドロップを 100 % 補償を行なえば望ましい運転が得られると思われるが、これは必ずしも正しくない。

可変電圧制御方式でのすべての電動機は負荷が多くなるにつれて速度が上昇する（電機子反作用による）、いわゆるしり上り特性にならぬように一定の垂下特性を有すべきである。多くの場合、IR 補償量はおおよそ 80 % を最大としている。このようにすれば電動機負荷の外乱に対し、各電動機の負荷変動を少なくしうる。図 2. 4 に垂下特性の効果を図示している。例として、ラインの張力を決めるテンションブライドル、ヘルパーロール、ライン速度を決めるピンチロールの構成を示す。運転者がブライドルの張力を増せばピンチロールの負荷が増し、当然ピンチロールの速度は下る。ヘルパーロールはストリップに接触しているので、ヘルパー電動機の下り、その負荷も変化する。図 2. 4 では 2, 4, 6 % の速度変化があったとき、ヘルパー電動機の垂下特性の値によっていかに負荷が変化するかを示している。たとえばラインスピードが 2 % 変化しても、ヘルパー電動機の垂下特性が 7 % ならば 30 % の負荷変動があること

になり、15~20 % ならば負荷変動は 4~6 % に減少する。したがって電動機に適当な垂下特性を持たせることはラインの安定な運転を保証するために必要なことであり、また調整も容易となる。

ヘルパ電動機の垂下特性は、抵抗そう入によるか、あるいは直巻界磁にて固有の速度変動率を持たせる方法が採用されている。しかし後者は、急速な減速が必要な場合にはトルクが減少するので不利である。

2. 6 低速における電動機界磁調整

界磁調整が速度調整のために使用される場合には、低電圧での運転は所定の % 速度変化に対して、電動機界磁磁束は大きな変化を要求される。逆に一定の範囲の分巻界磁の調整では、低電圧での運転の場合 全電圧運転のときより、その速度変化は小さくなる。この影響は電機子の IR ドロップによって起因されるのであるが、図 2. 5 にそれが図示されている。一つの曲線は端子電圧が下がって運転速度が低くなった場合、全電圧のときに界磁弱めで 15 % 増速可能であった調整器から可能な調整範囲の限界を示している。ほかの曲線は、運転速度の全範囲にわたって運転速度を 15 % 増すために要求される磁束の % 変化を示すものである。もし、IR 補償を行なえば、その調整範囲を広げることが可能となる。ダンサーロール調整器、あるいはルー調整を電動機界磁で行なう場合、十分な制御が可能かどうか注意を要する。

2. 7 弱め界磁での最大トルク

ルー調整、あるいは負荷調整のために電動機界磁の調整を行なうものでは低電圧での運転に対し、とくに注意する必要があることを述べた。電動機の界磁が弱められれば電動機の逆起電圧が減少し、電流が増加する。トルクは電流と磁束の積に比例するので、ある点以上磁束が減ると逆にトルクが減る限界点があるはずである。このことを図 2. 6 に示している。各曲線は電動機の下り速度はささえられた電圧に対し、全負荷時の逆起電圧で示される速度で一定に保持されていると仮定している。このような状態は電動機界磁で張力制御を行なう巻取機の変電圧制御のときに該当する。界磁を弱めにより生ずる最大トルクは、電圧が減少するにつれて低くなり、低電圧では界磁を弱めることはトルクの増加でなく減少となることに注意すべきである。

IR 補償の効果は点線によって示されている。端子電圧が 15 %

の場合、その最大トルクはもし 80 % IR 補償を行なえば 110 から約 400 % に増大される。

図 2.6 の曲線は式 (2.6) から磁束に関して微分し、その式をゼロとすれば

$$\frac{dT}{d\phi} = \frac{E}{D} - 2W\phi \frac{(1-D)}{D} = 0$$

$$\text{最大トルクの点は、} \quad \phi = \frac{E}{2W(1-D)} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

この式を式 (2.6) に代入すれば

$$T_{\max} = \frac{E^2}{4WD(1-D)} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

式 (2.8) が弱め界磁で電動機の出しうる最大トルクとなる。

この最大トルクに対する電流は式 (2.7)、(2.8) から得られる (ユニット単位で)

$$I = \frac{T}{\phi} = \frac{E}{2D} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

この関係式は、電動機を低電圧で運転する場合、必要なトルクの点で昇圧機が必要かどうかを決定するのに役立つものである。しかし必要なトルクに相当する電流が電動機の整流限界を越えれば、トルクよりも電流で制限を受けることになる。

2.8 低電圧における定電流制御

電動機の定電流制御を界磁で行なう場合の特性を図 2.7 に示している。これはレバとピンチロール間のストリップの張力を制御するためにピンチロールの界磁に電流調整器を設け、電機子電流を一定になるように界磁を調整するものである。この場合速度が可変電圧によって低下するにつれて、界磁は順次弱められる。これは電動機の IR ドロップによって定電流になるには、調整器は界磁弱めで動作する。したがって電動機のトルクは電流が変わらなくても減少していることになる。すなわちストリップの張力は低下する。図 2.7 の上の曲線は、ピンチロールがストリップに後面張力を与えるために発電機として動作する場合である。この場合は電機子電流を所定値に保つために界磁が低速では強められる。すなわち張力は増加することになる。図の点線は昇圧機などの IR 補償装置を取付けた場合のものである。両者の IR ドロップが等しい場合のみ張力は一定となる。



図 2.7 電圧を減少した場合定電流制御での界磁速度あるいは張力の変動

Fig. 2.7 Variation of field flux or tension when voltage is reduced at constant current.

2.9 歯車比

一般に標準の歯車比が電動機の基底回転数で、ちょうどライン速度に一致することは困難である。電動機の界磁調整でこの歯車比の不一致を調整するのが普通である。すなわちラインの最高速度での電動機の回転数が、基底回転数と最高回転数の間にあるように歯車比を選定する。しかし速度変動率をよくするためと、また過負荷耐量の点からできるだけ基底回転数に近い値で歯車比を選ぶのが望ましい。そのほかに電動機の IR ドロップの変化の補正を界磁で行なうため、また界磁の温度変化による補正を考慮しなければならぬが、一般的に基底速度より 15~20 % 高い速度で歯車比を選定される。たとえば 183 m/min のラインで 600 mm のピンチロールは 96 rpm で回転する。これに 1,150/1,450 の電動機を使用すれば、歯車比は 14:1 で電動機の回転数は 1,340 rpm となる。

リール電動機の歯車比はカムアンドレルとフルコイルを巻取ったときの回転数が電動機の界磁調整による回転数の範囲内にはいるように選定されなければならぬ。カムアンドレルの場合には歯車比は最高回転数よりいくぶん低い値で選び、フルコイルのときには、そのときの回転数と電動機の基底回転数の差は 10~15 % の余裕を持つのが望ましい。これは界磁の温度変化の補正を考慮するためであるが、発電機あるいは昇圧機での電流調整を行わない単なる電動機の逆起電圧制御のみでの張力制御の場合は、この余裕値については今までに述べた低電圧での操作を検討してその値を決めなければならない。

2.10 各個発電機方式と共通発電機方式

プロセスラインに対して、各個発電機方式か共通発電機方式のいずれを採用するかは、主として両方式の運転上の利点を設備費と比較して決めるのが普通であり、対象とするラインによって、その優劣は異なる。一般には両方式を併用したものが最近の高速ラインに多く採用されている。中間程度の運転速度範囲のものでは共通発電機方式が最も経済的である。しかし速度範囲が増してくると、各電動機の IR ドロップ補償が必要となり、大電流の昇圧機を共通発電機に追加しなければならなくなる。このような特殊な昇圧機の費用は、各個発電機方式よりも高価なものにする傾向を生ずる。IR 補償昇圧機を使用しても、ラインの中に大容量の電動機で発電機として動作するものがある場合には、共通発電機方式が設備費の点で有利である。たとえばフリーニングラインのような場合は、パイオフルならびにテンションガイドが発電機として動作するので共通発電機の容量がかなり小さくなる。

ラインの各駆動電動機が速度調整、張力調整、ルーラ調整等の必要な場合には各個発電機が有利になることが多い。各個発電機方式は費用のほかに、簡単に単独運転が可能であり、母線のサイズも小さくなり、また各電動機の馬力を有効に使用しうる流動性に富んだスケジュールが容易に組める利点も有している。

3. プロセスライン用回転機

プロセスライン用電機品には被処理材を扱う主機に関する電機品と、補助設備用電機品とがある。前者は生産の合理化にとともに、作業の連続化・高速化とともに広範囲の連続した処理速度の調整 (じつに 1:12 の幅をもつものもある) が高精度に要求され、その電機品に自由自在に制御できる直流機が広く使用される。後者はほとんどライン速度に関係なく一定速度で運転され、おもに交流機が使用される。プロセスライン用直流機には、いうまでもなく機械を駆動する電動機と、電源となる発電機・昇圧機・励磁機などが

ある。

3.1 直流電動機

プロセスライン用電動機には、一部のものを除いて高精度のセン(揃)速運転が要求されるとともに広範囲の速度制御が要求され、これにマッチした電動機としてすぐれた制御性をもつ直流電動機が多く使用される。このプロセスライン用直流電動機として、当社ではJEM 1170規格に準拠した標準仕様に加え、NEMA規格を参考に広範囲の標準仕様を作成し、一般工業用直流電動機 スーパーライン D (SD形) 系列・スーパーライン M (SM形) 系列として発表していることは承知のとおりである。その詳細(定格・適用ワット・外形寸法など)は本号掲載の「最近の工業用電動機」を参照されたい。

3.1.1 直流電動機の基本仕様

- (1) 適用規格 JEC 146 (1960)・JEC 54 (1965) (一般事項)、JEM 1170 (1963)・NEMA MG 1 (定格・特性) に準拠する。
- (2) 使用条件 基準周囲温度の限度 40 deg., 使用場所の高度 1,000 m 以下。
- (3) 定 格 連続定格を標準とする。
- (4) 温度上昇限度 絶縁B種とし、温度計法による主要巻線温度で、自己通風機 60 deg., 強制通風機 70 deg., 全閉形機 75 deg., 圧延補機用電動機 75 deg. を標準とする。
- (5) 界磁方式 他励または安定巻線付他励を標準とする。
- (6) 過負荷耐量 150 % 1 分間を標準とする (JEC 54 では 15 秒間) NEMA 規格も同じであるが、界磁制御を行なうものでは過負荷耐量について図 3.1 のように定めている。

3.1.2 保護・通風方式について

回転機の形式については JEC 146 (1960) 「回転電気機械一般」規格により、外被形式は開放形と全閉形の 2 種類で閉鎖形という呼び方はなくなった。またこれまで強制通風の形式表示が管通風形、電動送風機装架形ともに他力通風形であったが、管通風のものを管通風形、電動送風機装架のものを他力通風形と表示することになった。プロセスライン用直流機の形式の選定にあたって、使用

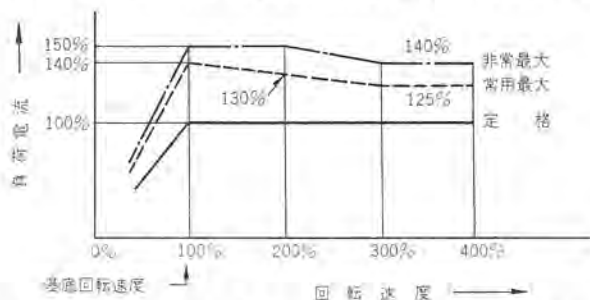


図 3.1 回転速度と過負荷耐量 (NEMA, MG 1 による)
Fig. 3.1 Rotating speed vs. overload capacity.

場所のフイ気、ラインの使用条件、ラインの配置を考慮せねばならない。

3.1.3 速度制御方式とトルク・出力の関係

直流電動機の大いなる特長は速度制御がきわめて容易かつ円滑に行なえることで、その制御方法には基本として電圧制御方式・界磁制御方式のふたつとあり、それぞれ異なった特性である。

(1) 電圧制御方式の特性

この制御方式は電動機の端子電圧を変化して速度制御するもので、界磁電流は一定に保つ。特性は電機子電流を一定にして電圧を変化するとトルクは一定となり、出力および回転速度はほぼ端子電圧に比例して変化する。このようすを図 3.2(a) に示す。回転速度 0 まで調整可能である。

(2) 界磁制御方式の特性

電動機の端子電圧を一定に保ち、界磁電流を変化して速度制御するもので、特性は電機子電流一定とし、界磁電流を変化するとトルクは界磁電流に比例的・回転速度は反比例的に変化し、出力は一定に保たれる。曲線にすると図 3.2(b) のとおりである。

直流電動機は速度制御はこの 2 方式を基本に電動機の使用法により、単独にあるいは組み合わせで使用する。さらに変形応用したいいくつかの制御方法がある。図 3.2(c) は電圧制御と界磁制御を組み合わせた曲線である。

最近のプロセスラインでは大部分が界磁制御と併用して電圧制御(いわゆるレオード制御)による速度制御が広く行なわれている。

3.1.4 電動機選定上の注意

プロセスライン用電動機には一定速度で運転する一般用電動機と、特殊な使用をするリール用電動機やルーラー(およびルーパ)用電動機などがある。

(1) 一般用電動機

この電動機は大部分ライン設定速度に対し運転中一定速度に保たれる。界磁調整範囲は通常ロール径やカッターの摩耗を考慮して 1:1.5~1:2 程度とされている。

(2) リール用電動機

パイオフリール、テンションリールおよび類似品のスクラップボラ用電動機はマンドレル駆動が多く採用され、運転中コイル径の変化に関連して回転速度が変化する。界磁調整範囲はコイルの最小径および巻き太りによる最大径をカバーし、若干の余裕をもたせた広い幅が要求される。このため必然的に回転速度が低くなるとともに体格が大きくなる。この電動機は自身の体格が大きくなり、さらに大きな慣性をもつコイルを駆動するので、その加減速時間と過負荷耐量に注意せねばならない。非常に短時間の加減速を要求される場合は、慣性を小さくするため電動機を分割し、カップリングまたはクラ

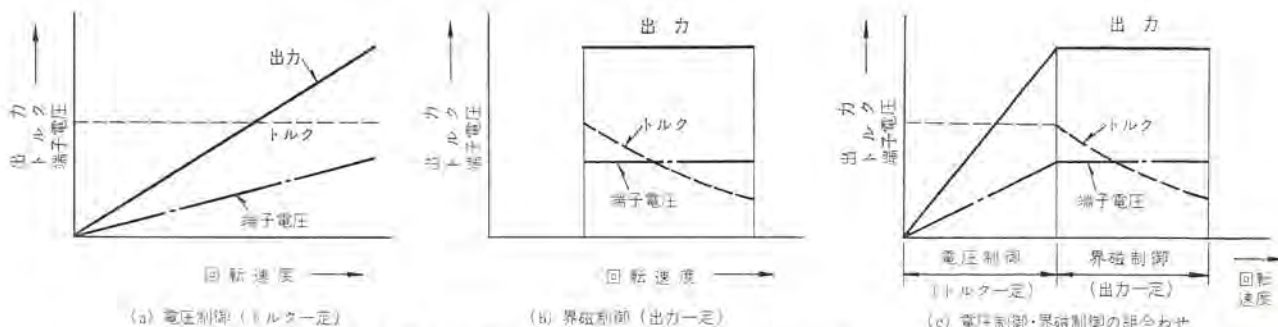


図 3.2 速度制御方式と特性

Fig. 3.2 Speed control system vs. characteristic.

表 3.1 ブレーキ選定基準

| 電動機用途 | ブレーキトルク (電動機基底速度 トルクに対し) | 備 考 |
|--------|--------------------------------|--|
| 一 般 用 | 約 50 % 以上 | |
| リール用 | 約 30 % 以上 | GD ² を小さくする必要がある場合は 20 ~ 30 % とすることがある。 |
| ループカー用 | 約 50 % 以上 | 圧延補機用直流電動機 (600 番) 使用の場合はワタ番に対応するブレーキとする。 |

ッチなどで直結することもある。

(3) ルーパカー (および ルーパ) 用電動機

これまでは他励磁分巻特性の圧延補機用直流電動機 600 番シリーズ (KM 形) が多く採用されてきたが、この電動機は運転中ほとんどストールしており、定格電流に近い電流が連続的に流れると、整流子面とブラシ間に局部的過熱をおこし、焼ききずを生じたり、電解現象を生じやすいので注意を要する。当社はこのような点を考慮して、この用途には自由度のある一般工業用直流電動機を適用し、ブラシ電流密度をさげた電動機を採用することを推奨する。

3.1.5 ブレーキ選定基準と注意事項

プロセスライン用電磁ブレーキには当社標準 DB 形 (ドラム形) 直流分巻電磁ブレーキを使用し、小容量機では円板形ブレーキ (当社形名 LB 形、DD 形) を使用するものもある。ブレーキは電動機の反駆動側 (整流子側) に装架するのを原則とし、電動機トルクにくらべ大きいものは駆動側に装架 (この場合ホイールは多くカップリング兼用) する。

(1) ブレーキ選定基準

当社ではプロセスライン用ブレーキが大部分保持用であることを考慮し、原則として表 3.1 のとおりとしている。

(2) ブレーキ選定上の注意

ブレーキ選定基準は上記を原則とするが、ルーパカー前後のグライドルロール・ピンチロールやシャワー用など大きなブレーキトルクを要求されるものもあるから注意し、機械メカとうちあわせ選定せねばならない。またリール用ブレーキは GD² の大きさが電動機の加減速時間を長くしたり、過負荷を大きくすることもあるから、あまり大きくならないよう注意を要する。

3.2 直流発電機

これまでプロセスライン用電源として直発電機が可変電圧発電機・昇圧機・定電圧発電機として用いられてきたが、サイリスタが発達し広く採用されるようになって次第に回転機が姿を消すようになった。完全にサイリスタ電源化したラインも作られており、やがて回転機は姿を消してしまいうさだ。しかしながら、現在なお回転機が多く使われており、当社では一般工業用電動機の標準ワット数を適用している。発電機は NEMA MG 1 を参考に標準定格を定め、昇圧機はワット数を基準に電流と励磁 AT から定格を定めて制御要素にマッチした適用をしている。基本仕様は 3.1.1 項に準ずる。

電動発電機の直結用カップリングは当社製ギヤフレックスカップリング (形名 MGC) を標準としている。

4. プロセスライン

4.1 連続酸洗設備 (Continuous Pickling Line)

熱間圧延されたストリップの表面の酸化物 (スケール) を取り除くために連続的に処理するのがこの設備である。大きいコイルを作るために熱延コイルを溶接し、酸洗されたストリップは必要なサビ

止め処理を施したうえで製品とし、あるいは冷間圧延工程へ送られる。酸液は従来から硫酸が使用されているが、最近の傾向として塩酸を使用する方式が採用されるようになっている。

4.1.1 入側部

このセクションはひんばんな起動停止が行なわれるために加減速時間を短縮することが要求され、これはアンコイラマンドレルの電動機を含む機械およびコイルの GD² により制限される。ライン速度は酸洗部、出側部にくらべてかなり高くするのが普通であり、このセクション速度はアンコイラが基準となる。コイルはアンコイラマンドレルにより定張力巻戻しが行なわれる。ルーパカーで張力制御を行なっているとき、先行ストリップを送り出す場合は No. 1 ライドルの電動機容量が問題となるため、通板用として補助電動機が設けられる場合がある。ルーパが所定の量に達すると入側は減速し酸洗部と同一速度となり、ルーパ位置制御が行なわれる。

4.1.2 酸洗部

所定の速度が酸洗効果を上げるためには酸タンク内のルーパ位置を一定に保つことが必要である。このセクションの速度の基準は No. 3 ライドルであり、No. 2 ライドルの速度と比較するとともに磁気検出器により No. 2 ライドルを制御してタンク内のカタリルーパを定位置に保持する。磁気検出器の設置方式として埋込式とパイプ内入式があるが、高温の酸による腐食のため従来の試験からも後者の方式が望ましい。

4.1.3 出側部

このセクションの速度基準は No. 5 ライドルであり、冷延工程の要求に応じるためにテンションリールにより定張力巻取りが行なわれる。巻取りはベルトラップ巻とグリップ巻の方法があるため、電流制御はリール側で行ない、速度制御回路を設けている。

4.1.4 ループ貯蔵方式

入側部と酸洗部の間はダブルルーパカーを使用し、貯蔵量の増大を図り材料の腰折れやきずの発生を防いでいる。ルーパカーは張力制御を行なっているがストリップ破断の場合は電圧制限回路か、あるいは過速度リレーにより事故発生を防止している。酸洗部と出側部の間はフリールーパであるが、ピットを深くし、ピット数も 1 ~ 3 個として光電式ルーパ制御を行ない、出側操作時にも、酸洗部の連続運転を行なえるようにしている。

4.1.5 コイル操作

ストリップの処理設備の中でも入側部、出側部のコイル操作時間が問題になるのがこの酸洗ラインであり、この時間短縮のため、あるいは操作員数減少のために種々の付帯設備が設けられるので以下その項目を列記する。

(1) 入側部

- コイル幅中心をライン中心に合わせる自動装置
コイル中心をマンドレル中心に合わせる自動装置
- 自動減速装置
- 溶接完了後ストリップをフラッシュトリミングに送りトリミング完了までの一連の自動シーケンス

(2) 出側部

- ストリップ長さ計数装置
- 巻取り数計数装置
- ストリップ尾端定位置停止装置
- 溶接部検査のため溶接部検出定位置停止装置
- ターレット形サイドトリミング自動コイル抜き取り装置
- マンドレル定位置停止装置

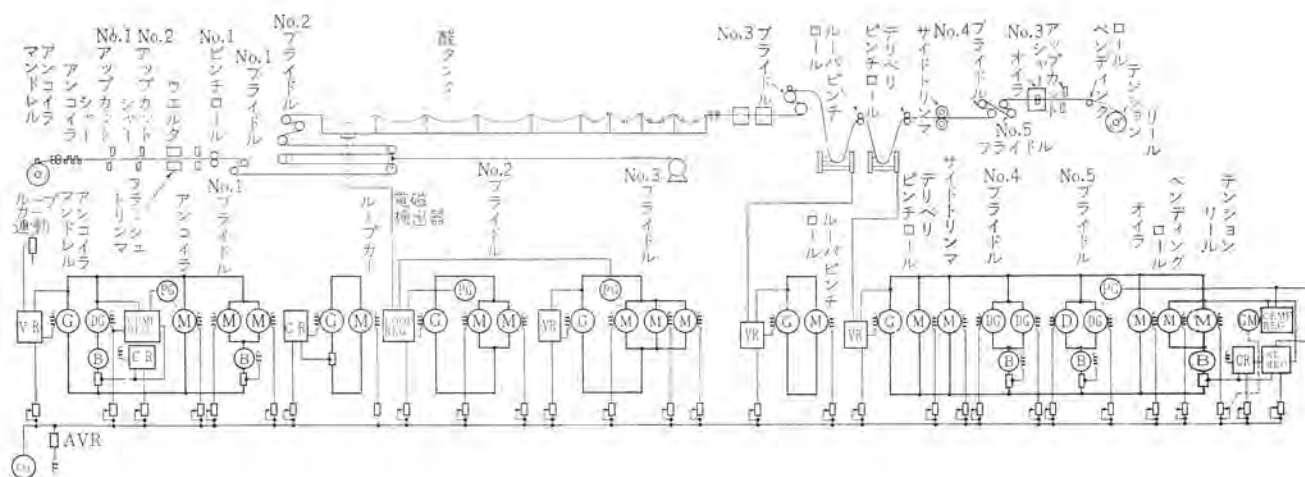


図 4.1 連続酸洗設備

Fig. 4.1 Continuous pickling line.

4.2 電解清浄設備 (Electrolytic Cleaning Line)

冷間圧延されたストリップの表面の油および汚物を取り除くために連続的に処理するのがこの設備である。ライン速度を一定に保つことが重要であるが、この設備ではラインを停止して溶接あるいは切断作業を行ない、電解清浄されたコイルサイズを合わせたうえで次の焼鈍工程へ送る。ラインは入側からパイオフリールで定張力巻戻しされストリップは多数のヘルパロールを有するタンク内で電解清浄される。電解液は通常オルソフェイ酸ソーダ、あるいは碱性ソーダが使用される。清浄されたストリップはブライドルを通りテンションリールにより定張力巻取りが行なわれる。

以上の駆動電動機は普通は1台の発電機による共通母線方式がとられるが、容量の関係からヘルパモータは別の発電機から給電する例もある。ヘルパモータのグループわけには注意が必要であり、これが正しく行なわれないと加減速時にストリップにすり傷が発生したり、局部的にヘルパモータの過負荷の原因を生じることがある。テンションブライドルは速度制御を行ない、入側あるいは出側の張力変化に対してもライン速度を一定に保つように考慮を払っている。テンションリールでの巻取りには広範囲な張力設定を必要とすることがあり、この場合には機械損補償を行なうとか、電動機2台をクシ形に配置し中間クラッチを接断することにより所要の張力範囲を得ることができる。

電解電源は低圧大電流(たとえば20V 10,000A)のシリコン電源が用いられ、ラインの運転停止とともに電源の開閉を行なうのが普通である。また大電流切換開閉器を使用して極性切換を行ない電解生成物の付着を防止し清浄能力の向上を計っている。付帯設備としてこのラインでは通常パイオフリールとタンク間の距離が短いので、コイル操作のミスを防ぐ意味で尾端自動減速装置の設置は有効である。

4.3 連続焼鈍設備 (Continuous Annealing Line)

冷間圧延されたストリップは非常に硬く加工性に乏しいので加熱してストリップの機械的性質を改善する必要がある。そのためにストリップを熱処理するがその方法は大きく二つある。

(a) コイル焼鈍 (Coil Annealing)

コイル状のストリップを炉内で長時間にわたる熱処理サイクルを与えて焼鈍する。

(b) 連続焼鈍 (Continuous Annealing)

ストリップを短時間、熱処理サイクルに応じた温度分布の炉に通す鉄鋼プロセスライン用電機品・紙谷・兵頭・辻・銭場・安部

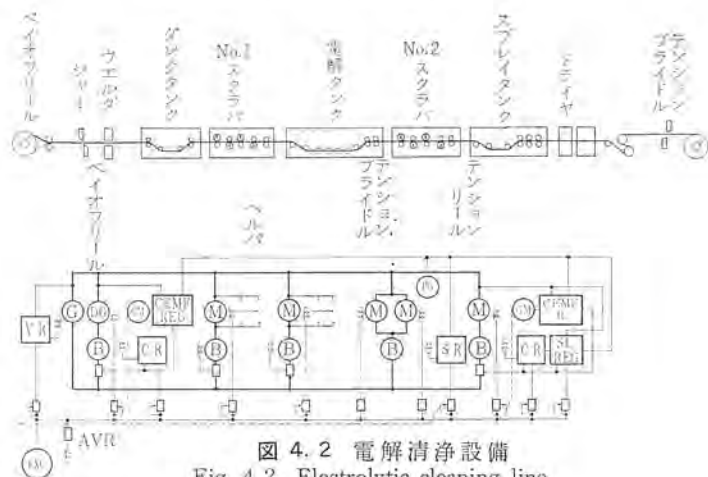


図 4.2 電解清浄設備

Fig. 4.2 Electrolytic cleaning line.

ことによって連続的に焼鈍する。

連続焼鈍は、コイル焼鈍に比べて焼鈍時間が短いので処理能力が大であり、コイル状でないで品質の均一性、表面の平滑性、ストリップの形状性の良いことが特長であり、そのために主としてブリキ原板の製造に用いられる場合が多い。1936年に初めての連続焼鈍設備が23m/minの速度で設置されて以来、1959年ころから305m/minのライン速度をこえるものができ、最近ではライン速度610m/min、生産量60t/hに達するものがある。

ラインは入側、センタ、出側の3セクションによって構成され、各セクション間にはルーラタワーが設置され、センタセクションの炉内に定められた速度で連続的に焼鈍するために、入側および出側は過電圧によって125~135%の過速度を出す能力をもっている。

入側セクションは冷延コイルを巻戻し、オフゲージ部分の切断、先行ストリップとの溶接によるつなぎ、冷間圧延中ストリップ表面に付着した不純物を除去する電解式清浄装置等によってなる。

センタセクションは焼鈍炉、炉内張力を設定するテンションデバイス、それに炉外からの張力変動をさけるためのルーピングビットなどによってなる。

出側セクションは焼鈍されたストリップを巻取る装置および巻終わりにストリップを切断する装置等によって構成される。

このラインの一般的な電気制御方式を図4.3に示す、電氣的にも入側、センタ、出側の3セクションにわけられる。

4.3.1 入側セクション

パイオフリールはコイルの巻戻しに際して、タイト状態でしかも多行しないように後面張力を与えるために張力制御を行なっている。2

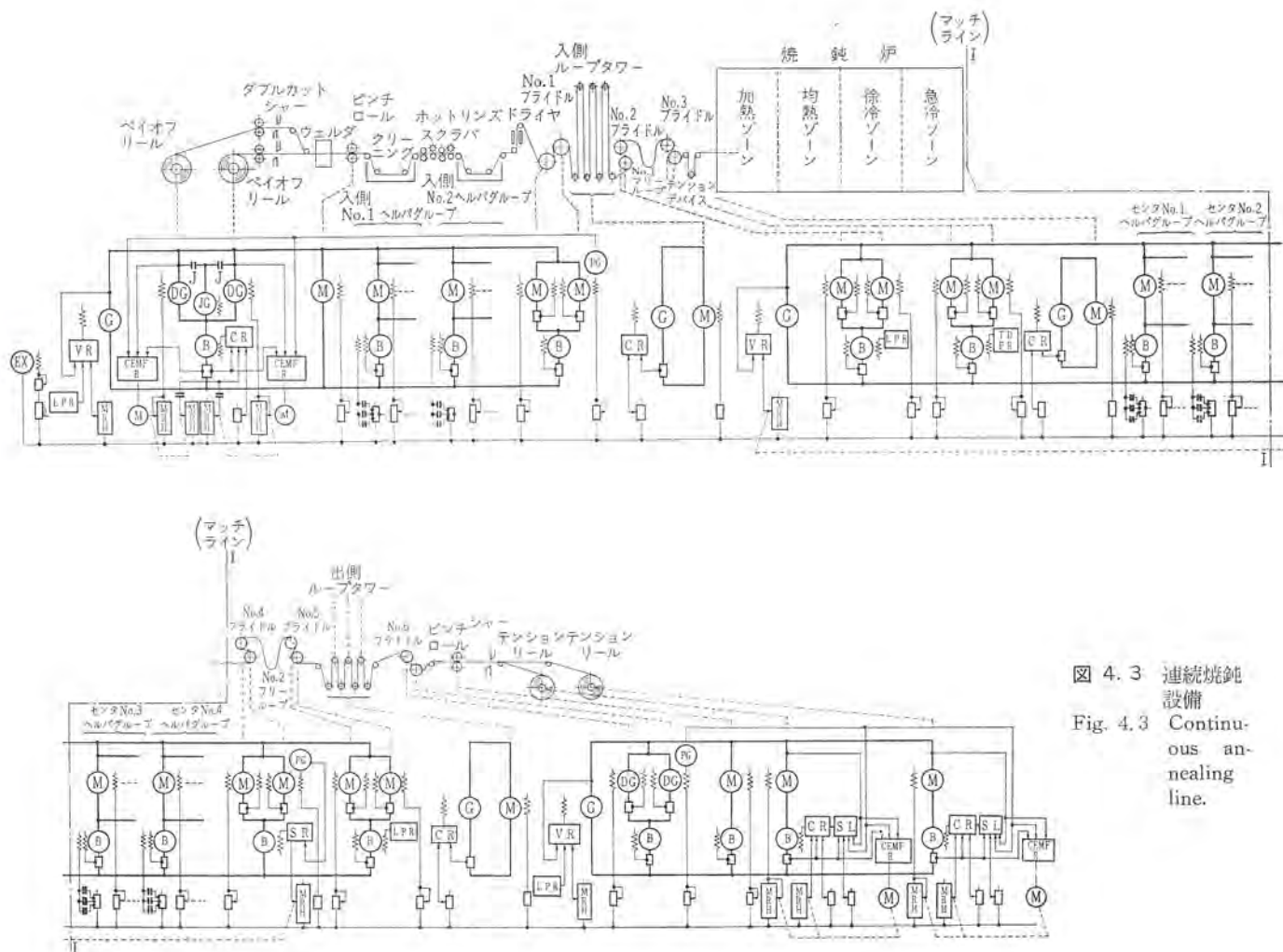


図 4.3 連続焼鈍設備
Fig. 4.3 Continuous annealing line.

台のベイオフリールは交互に使用されるもので、1台がラインに接続されて運転中の場合、他の1台はコイル装入、溶接準備等のために自由に寸動ができるようになっている。

電解清浄装置およびスクラブラッシュ装置にはヘルパロールがあり、液中で運転されるシンクロールなどのウェットロール用電動機群とデフレクタロールなどのドライロール用電動機群とにわけて制御している。

入側セクションの速度はセンタセクションの速度によって決定され、入側ルーラタワーに十分にストリップが貯蔵されているときはセンタと同一速度で運転される。入側セクションを停止して再起動を行なう際は入側ルーラタワーが所定のストリップ貯蔵量になるまでセンタより高速で運転され、その値は任意に設定し、所定の位置に達すると自動的にセンタの速度に同期するように制御している。

入側ルーラタワーは定電流制御を行なった直流電動機によって駆動され、設定した張力でストリップを貯蔵する。

4.3.2 センタセクション

センタセクションはラインの中核をなすもので、連続式焼鈍炉内では自動温度制御装置による精密な温度分布と、張力制御している直流電動機で駆動されているテンションデバイスによって精密に炉入口の張力が与えられ、さらに直流電動機駆動の数十台の炉内ヘルパロールによって、張力分布が整定され、ストリップの通過速度により熱処理サイクルが施される。したがって張力と速度については十分な精度をもって制御している。センタセクションの速度はラインのペースメカとしての基準値が与えられ、それに対してNo.4ブライドルの速度をパイロット発電機で検出して速度制御し、熱処理サイクルの精密な確保を行なっている。

入側ルーラタワーを出たストリップはNo.2ブライドルにはいる。このブライドルは入側ルーラタワーの張力に対応してストリップを送り出すものである。No.1フリールーラは入側ルーラタワー出口のストリップ張力が変動しても炉内に影響を及ぼさない目的のもので、ルーラ量は常にある一定値になるようにルーラコントロール装置により、No.2ブライドルを制御している。

No.3ブライドルによって送り出されたストリップはテンションデバイスにはいる。テンションデバイスはルーラタワーと同じく定電流制御を行なった直流電動機によって駆動され、炉入口の張力を定めているが、炉内で加熱急冷などによって生ずるストリップの急激な伸縮に対しても張力変化を吸収できるダンサロール形式のもので、それらの外乱によって生ずるダンサロールの位置変動を検出しNo.3ブライドルに信号を与え、ダンサロールの位置制御を行なって常にダンサロールが通常位置にあるように制御している。

一定速度で定められた張力を与えられたストリップは連続式焼鈍炉内にはいる約650～750℃にまで加熱される。炉は加熱ゾーン、均熱ゾーン、徐冷ゾーン、急冷ゾーンの4個の部分で構成され、おのおのゾーンでは垂直方向にストリップは往復されるので、合計数十台のヘルパロールを有しており、ヘルパロールによって図4.4のように、定められた張力分布になるように加減速時の慣性補償、運転時の機械損補償を行なっている。

炉を出たストリップはセンタの基準となるNo.4ブライドルによって引っぱられ、No.2フリールーラを経てNo.5ブライドルに送られる。No.2フリールーラもNo.1フリールーラと同様に、出側ルーラタワーの入口の張力変動による悪影響をシャ断するためのもので、ルーラ量

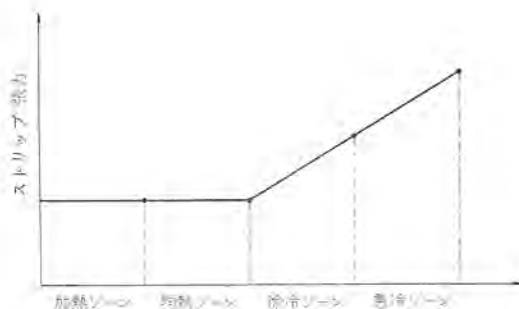


図 4.4 焼鈍炉内のストリップ張力の分布
Fig. 4.4 Distribution of strip tension inside the annealing furnace.

は一定値になるようにルーラコントロール装置によって No. 5 ブライドルを制御している。ストリップは電流制御を行なった出側ルーラタワーを通過して出側セクションに続く。

4.3.3 出側セクション

2 台のテンションリールは交互に使用されるもので、パイオフリールと同様に 1 台が運転中の場合、ほかの 1 台はコイルハンドリング等のために寸動できるようになっている。テンションリールは巻取張力を設定値どおり一定にするために張力制御を行なっている。出側セクションの速度は入側の場合と同様に、所定のルーラタワー位置（貯蔵量の少ない位置が通常位置となる）になるように制御している。

4.3.4 その他

以上ラインの電氣的制御について記したが、ラインの高速化に伴って炉設備の増強が問題となり、誘導加熱が採用されるようになってきた。誘導加熱はとくに高速で板の薄い場合にその効果も著しく、制御性の良さと相まって高く評価されている。

近年最新技術として注目されるようになった計算機制御（Computer Control）が、1963 年に初めてプロセッシングラインの分野に導入され、それが連続焼鈍であるために、ここで簡単にラインプロセッシングラインにおける計算機制御を紹介する。

計算機制御導入の目的は

- (a) 製品コストの低減
- (b) 品質の均一化および向上

の二つの大きな問題を解決、遂行することである。ライン制御はもちろんのこと、炉の問題、歩下りの問題、その他計算可能な経済性を追求し、一方データ収集およびそれに基づくフィードバックコントロール、あるいは生産計画に基づく製品の管理を行なって目的を達成するものである。具体的には

- (a) 溶接個所の追跡およびそれに基づく制御
- (b) 製品コイル重量の監視およびそれに基づく制御
- (c) 板厚、板幅、材質によるライン制御の設定
- (d) プロセスの監視、記憶、集計およびそれに基づく制御
- (e) 製品データの記録
- (f) その他、システムプロテクション

などが挙げられる。

4.4 連続電気スズメッキ設備（Electrolytic Tinning Line）

薄鋼板にスズメッキを施したものを、一般にブリキ板と称し、耐食性、加工性にすぐれ、とくに食品かん詰などに多く用いられる。

ブリキ板を製造する設備として、ホットディップによるものと電気メッキによるものがあり、前者は熔融スズ中に鉄板を通す方式で、電気メッキ方式の出現でその影は薄くなった。1937 年に初めて連続的に電気メッキによるブリキ板が生産されて以来、その発達はめざましく、ブリキ板の 90 % 以上が電気メッキ方式によって生産さ

れている。連続電気メッキ設備には大別して次の三つの方式がある。

(a) アルカリライン（Alkali Type）

最高ライン速度は 300 m/min くらいが限度である。

(b) フェロスタンライン（Ferostan Type）

この形式は (a) と同様にストリップはメッキ部で垂直に送られるので Vertical Type とも称し、最高ライン速度は 400 m/min 限度といわれている。ラインの構成として、製品はコイルとシートと両方できるように出側にシーアセクションを有していることが多い。

(c) ハロゲンライン（Halogen Type）

この形式はストリップがメッキ部で水平に送られるので Horizontal Type とも称し、機械的構造上、高速ラインに適し、最近では 670 m/min のものもあるが、高速のためにフライングシーアのセン断能力をこえるので製品はコイルとして巻取り、別のシーアラインでシートにするのが普通である。

ラインは入側、センタ、出側の 3 セクションによって形成され、入側とセンタ間にはフリールーラまたはルーラタワーによってストリップを貯蔵する設備があるが、高速ラインではフリールーラの揺れが大きいので、タイト状になるように張力をかけたルーラタワー形式が採られる。センタと出側間はタイトになっているのが普通であるが、高速ラインの場合はスニッパシーアの能力上、センタの速度変動が大きくなるので、ルーラタワーを設ける。したがって入側または出側（ただし出側ルーラタワーがある場合のみ）はセンタに比べて 120～130 % の過速度を出す能力を持っている。

入側セクションはコイルの巻戻し、先行ストリップとの溶接によるつなぎを行ない、ルーラ貯蔵用のフリールーラまたはルーラタワーを経てストリップはセンタセクションに送り込まれる。

センタセクションでは電解清浄、酸洗でストリップ表面を清浄して電気スズメッキを行ない、光沢のあるメッキ板にするためにメソッドコーティングを行なって、化学処理、塗油装置を経て出側セクションに送り出される。出側セクションでは製品をコイルに巻き取る装置があり、さらにシート状の製品にする場合は、フライングシーアでセン断し、X線厚み計、ピンホール検出器などで検定し、パッキングする。

ハロゲンタイプの一般的な電気制御方式を図 4.5 に示す。電氣的にも入側、センタ、出側の 3 セクションにわけられる。

4.4.1 入側セクション

パイオフリールは溶接時間短縮のために 2 台あり、1 台が運転中にほかの 1 台は寸動専用の発電機で溶接機までストリップを準備できるようになっている。パイオフリールから巻戻すストリップはタ行しないように後面張力をかけるが、その値を一定にするために電流制御と逆起電力制御とによって張力制御をしている。したがって入側セクションのペースメーカーは No. 1 ブライドルとなる。

入側セクションの速度はルーラため込みときにセンタセクションから高速で運転し、所定の貯蔵量に達するとセンタセクションの速度と同期して運転するよう制御している。ストリップは No. 1 ブライドルを通過して入側ルーラタワーに送り込まれるが、入側ルーラタワーは一定張力で静止あるいは上下するように定電流制御による張力制御を行なっている。

4.4.2 センタセクション

センタセクションはラインの中核をなすものでメッキ設備を有するが、ここでは図 4.5 のように出側ルーラタワーのある場合で、フェロスタンのようにセンタと出側間がタイトになっているときはセンタセクションのブライドルは 2 セットとなり、制御方式も変わってくる。

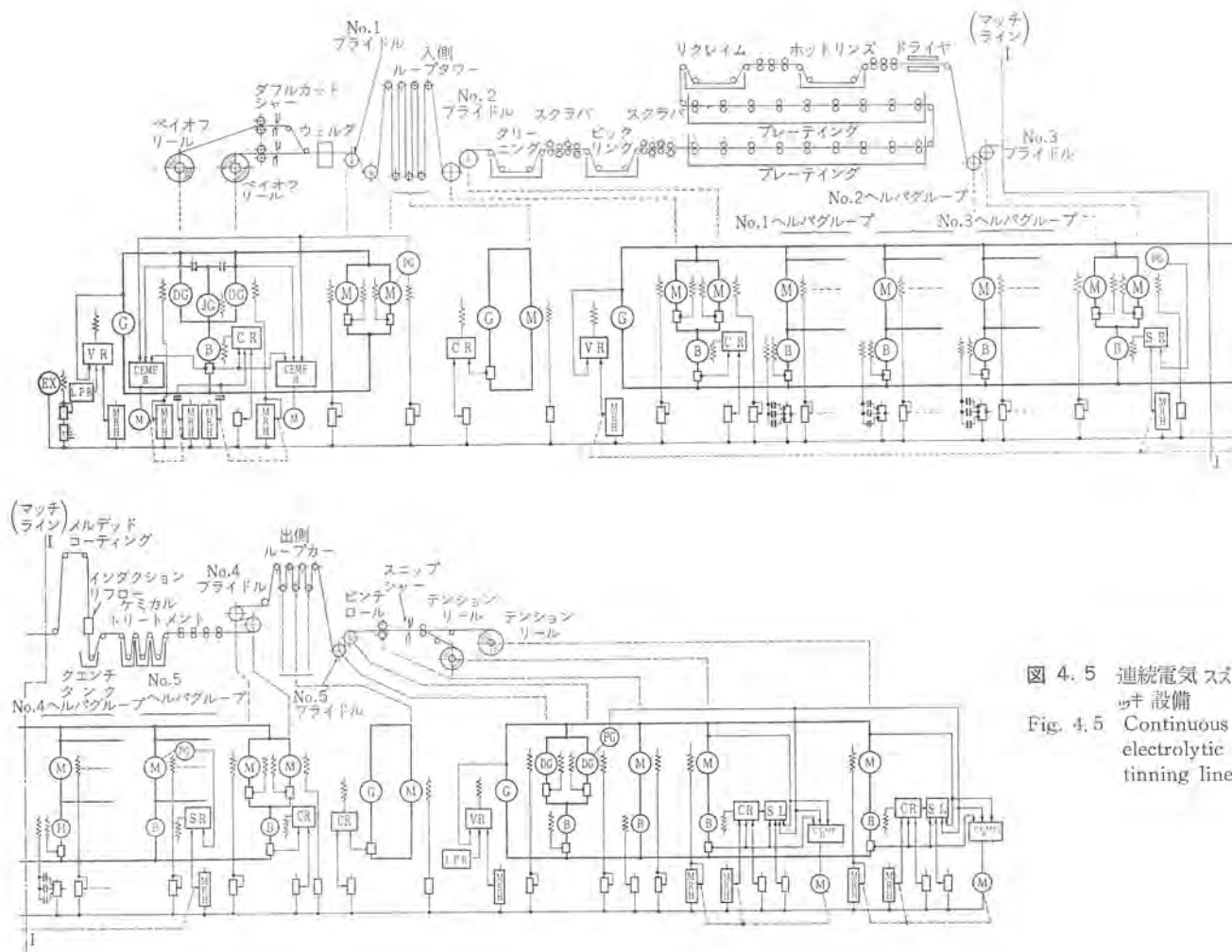


図 4.5 連続電気スズメッキ設備
Fig. 4.5 Continuous electrolytic tinning line.

メッキおよびメルテッドコーティングにとってライン速度の変動は望ましくないもので、No. 3 プライドルを速度制御することによってセクタセクションの速度変動率を1%以下に制御して製品の均一化を計っている。

入側ルーパターを出たストリップはNo. 2 プライドルに送られるが、このプライドルは電流制御を行ない、No. 3 プライドルまでのストリップの張力を決定している。この張力はストリップのタルミによるメッキ電極部の短絡、あるいはメッキ電流変動の因を除き、ストリップのタ行をなくするために必要なものである。No. 2 プライドルによって一定張力を与えられたストリップはクリーニングタンク、ピッキングタンクおよびスクラブラッシュで表面の清浄化を行なうが、ここで完全に清浄しないとメッキむらを生じ、表面の円滑性も欠けるのでシリコン整流器により、直流低電圧大電流を流して強力な電解清浄を行ない、最近ではクリーニングピッキングで合計 60,000 A に達するものがある。

表面を清浄されたストリップはプレーティングタンクにはいる。プレーティングタンクは1階と2階との2グループにわかれていて、数セットないし数十セットの直流低電圧大電流シリコン整流器装置を有してストリップの表面および裏面にメッキを施す。もちろん用途に応じて、デフエレンシャルコーティングを行なうが、その場合は設備容量の使用率を極力高くするために、電磁弁(空気)操作式三菱大電流切換装置によってタンクの電極を切り換える方式を採用している。メッキ電流とメッキ量は比例するので、均一の製品を出すためにのおののメッキ電源装置は図 4. 6 のように可飽和リアクタによる電流制御を行ない、さらに表面と裏面とにのこのトータライザを設けて

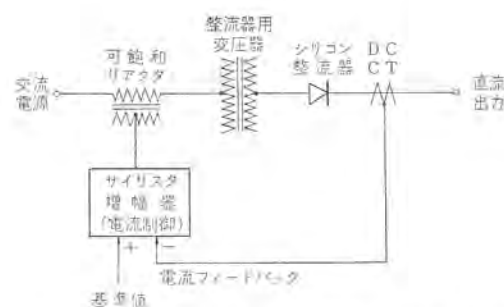


図 4. 6 シリコン整流器の可飽和リアクタによる電流制御簡略図
Fig. 4.6 Schematic diagram of electric current control with saturable reactor of silicon rectifier.

全体のメッキ量を制御し、品質の管理を行なっている。

メッキを終えたストリップはリクレーマタンク、ホットリンズタンクを通して洗浄され、ドライで乾燥してセクタセクションのペースメーカーであるNo. 3 プライドルに送られ、メルテッドコーティングを行ない、化学処理されてNo. 4 プライドルに送られる。No. 4 プライドルはNo. 3 プライドルとの間の張力を一定に保つために電流制御による張力制御を行なって、コンダクションリフロー、あるいは化学処理のコンダクタロールとストリップとの密着を助け、接触不良による電氣的スパークによるストリップ表面の汚染を防止している。

メルテッドコーティングは別名リフローと称し、ストリップ表面に微粒状で弱い付着力でメッキされているスズを加熱して溶し、均一に広がらせてクエンチタンクで冷却し、光沢のあるメッキ板にするもので次の二つの方法がある。

(a) コンダクションリフロー (Conduction Reflow)

当初から使われている方式で、ストリップに直接電流を流して、抵抗損失加熱による方法である。

(b) インダクションリフロー (Induction Reflow)

約 100 kc の高周波をストリップに対してコイル状に流す、いわゆる Longitudinal-flux 方式と呼ばれる方法で、その誘導電流によって加熱する方式である。

インダクションリフローの特長は次のとおりである。

- (a) ライン速度の高速化が可能である。
- (b) 制御性がすぐれ、的確なリフロー制御ができる。
- (c) 製品のメッキ量が均一である。
- (d) 高周波独特の表皮作用により、メッキ層から加熱する。
- (e) 装置がコンパクトである。

これらの長所は、総合してすぐれた光沢をもった製品の生産に寄与しており、最近のラインではコンダクションリフローとインダクションリフローとを併設しているもの、あるいはインダクションリフローのみのものが多く用いられている。ライン速度のみを考慮したとき、コンダクションリフローとインダクションリフローとの使用限界は 350~400m/min くらいとされており、それ以上の高速ラインではコンダクションリフローは適さない。

メソッドコーティングを終えたストリップは耐食性を持たせるために化学処理を行なうが、ここでも電気的に処理し、直流低電圧大電流シリコン整流器を使用して制御する。ストリップは乾燥され、塗油して No. 4 ブライドルを通して出側ルーラタワーに送り込まれる。出側ルーラタワーは入側ルーラタワーと同様に電流制御を行なっている。

4.4.3 出側セクション

出側コイルハンドリング時間短縮のために 2 台のテンションリールがあり、交互に使うことは入側のパイオフリールと同様であり、巻取張力を一定にするために電流制御と逆起電圧制御を行なっている。出側セクションの速度も、入側と同様であり、出側ルーラタワーの通常位置のみが貯蔵量の少ないところであることだけが異なる。

4.4.4 その他

以上概略を説明したが、わが国に設置されているラインは出側にシャークセクションを有し、出側ルーラタワーのないものが多いが、高速化の傾向はこのラインにおいても例外ではなく、それとともに機械的配置も変遷している。シャークセクションについては別項“連続セクション設備”を参照いただきたい。

4.5 連続熔融亜鉛メッキ設備 (Continuous Galvanizing Line)

薄鋼板に亜鉛メッキを施したものを一般にトタン板と呼ばれ、防シユウ(錆)性、溶接性、塗装性にすぐれ、かつ低価であるところから最近自動車界の発達、家庭用品の充実などによって、その需要は高まっている。

1837 年にイギリスで熔融による亜鉛メッキが特許として登録されて以来、主としてアメリカで経済性をもって発達してきた。トタン板を連続的に生産する設備として種々の形式のものがあるが、ラインに焼鈍設備があるかどうか、またストリップ表面の清浄を溶液でするかどうかによって区別され、一般には次の二つに大別されている。

(a) センジミヤ方式 (Sendzimir Type)

この方式は 1936 年に初めて設置された。ラインに焼鈍設備を有するので冷延コイルを材料としてメッキすることができる。ストリップ表面の清浄は酸化炉などによって処理するが、電解清浄による

場合もあり、この方式は U. S. Steel 方式とも称される。

(b) クックノートマン方式 (Cook-Norteman Type)

別名 Wheeling 方式とも称し、上記方式よりも遅れて実用化されたが、1953 年ころから著しく発達してきた。この方式は焼鈍炉を持たないので焼鈍されたコイルを材料とするため、多種生産にすぐれている。表面処理は酸洗、アルカリ洗浄などにより、さらにフラックス処理によって清浄作用を行なってメッキを行なうが、フラックス処理をしない場合もある。

以上どちらとも熔融亜鉛溶液中にストリップを通してメッキする方式 (Hot Dip Galvanizing) であるが、最近第 3 の方式として電気亜鉛メッキラインが脚光を浴びており、表面の円滑性、メッキ量の均一性、薄メッキの可能性の点ですぐれたものがあり、わが社ではすでにその製作実績を有し、好調に運転されている。亜鉛メッキラインは入側、センタ、出側の三つのセクションにわかれ、各セクション間にはストリップを貯えるためのルーラカーがあり、センタセクションのライン速度を変更することなく、入側および出側のコイルハンドリングまたはパイリングが行なえるようになっている。最近のものではライン速度 167 m/min に達するものがあり、高速のために出側はコイルングのみで別のシャークラインでセクション断してシートにする場合もある。

このラインの一般的な電気制御方式を図 4.7 に示す。電気的にも入側、センタ、出側の三つのセクションから構成される。

4.5.1 入側セクション

入側セクションはパイオフリール、シャーク、溶接機そしてブライドルなどによって構成され、連続してストリップをセンタセクションへ供給することを第 1 目的とする。2 台のパイオフリールと 2 台のレベラは交互に使用されるもので、入側アイドルタイムの短縮化を計っている。パイオフリールは後面張力を与えるために張力制御を行なっている。

No. 1 ブライドルは入側ライン速度の基準となるものである。

入側セクションの速度は、センタセクションの速度によって決定されるが、入側ルーラカーが所定の貯蔵量位置にまで達していないときは、センタ最高速度の 120~135 % 程度の過速度でルーラカーを回復させることができるように制御している。入側ルーラカーは電流制御を行なうので、ストリップの張力が一定になるように制御している。

4.5.2 センタセクション

センタセクションはラインの中核をなすもので、清浄装置でストリップの表面処理を行ない、炉で予熱あるいは焼鈍して、熔融亜鉛のはいつているポット炉を通してメッキし、ラインレベラで形状を正す。炉は温度制御されており、同一サイクルでメッキするために No. 3 ブライドルで速度制御を行なう。センタのライン速度を精密に制御し、均一なメッキを行なう。

ダンスロールは普通空気式のシリンダによって引っぱられて、炉内の張力を一定に保つが、炉内の急激な温度変化などによるストリップの伸縮を吸収するためにロールは上下に動く形式になっている。したがってダンスロールを一定の位置に制御するために No. 2 ブライドルはダンスロールの位置制御を行なっている。炉内は数台のファネルロールがあるが、通常のヘルパロールと異なり、長い炉内でのストリップの移行を補正するためにその速度をライン速度に対して大幅に変えようよう制御している。ポット炉の出口には 2 台のコーティングロールがあり、メッキ厚をこれによって決定づけるので、ライン速度に対してある比率で運転でき、また単独で任意の値でも運転できるように制御しており、デイレクションアルコーティングもできるようになっている。

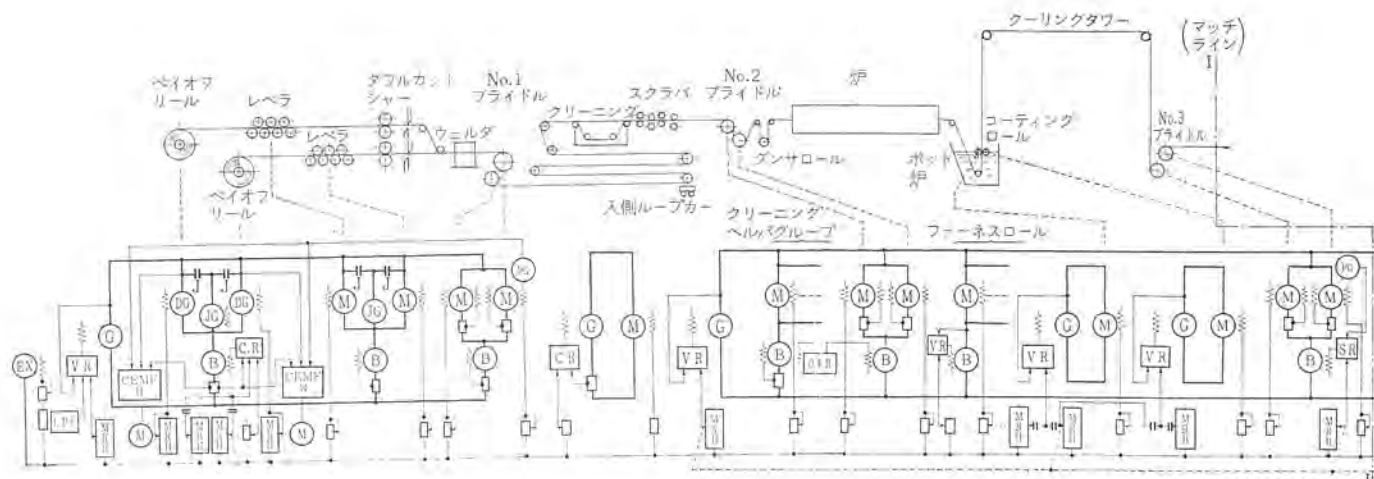
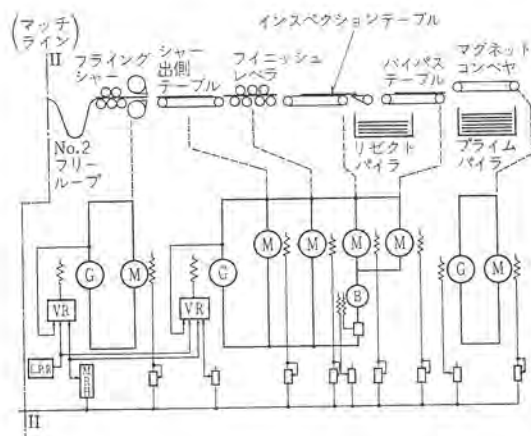
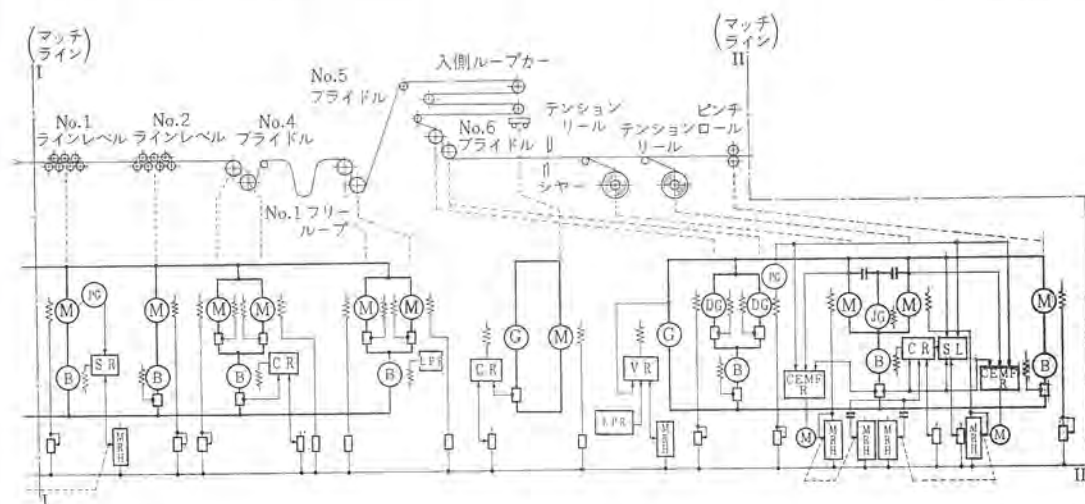


図 4.7 連続熔融亜鉛メッキ設備
Fig. 4.7 Continuous galvanizing line.



No. 3 フライドルと No. 4 フライドル 間には 2 台の ラインレバがあり、1 台は厚物用、他の 1 台は薄物用で、とくに薄物においてはテンションをかけてレベリングするテンションレベリングが必要のために、No. 4 フライドルでレベリングのための張力制御を行なっている。テンションレベリングのすぐれていることは、すでに理論的にもまた実際的にも証明されており、ことにセンジミヤ形式の場合は炉内のストリップのヒズミが大きく、テンションレベリングによってストリップの幅方向および長さ方向のヒズミを容易に正すことができ、その効果は大である。

No. 4 フライドルと No. 5 フライドル間のフリーループはテンションカットのためのもので、出側ルーパカー入口の張力変動がいたずらにテンションレベリングに影響することを防いでいる。No. 5 フライドルはフリーループのルーラ量が一定になるようにルーラコントロール装置によって制御している。出側ルーパカーは入側のそれと同様に電流制御によ

る張力制御を行なっている。

4. 5. 3 出側セクション

出側セクションはコイルングセクションとシヤリングセクションとによってなる。コイルングとシヤリングとは随時に切り換えるようになっており、いずれの場合でも出側セクションの速度はセンタセクションの速度によって決定づけられるが、出側ルーパカーが短端の所定位置にまで回復していない場合は、センタの最高速度の 120~135 % くらいの過速度で運転できることは入側セクションとまったく同じである。

2 台のテンションリールはベイオフリールと同様に交互に使うものであるが、熔融亜鉛メッキの場合、ストリップの端がオーパコートになるため、コイルング時にはしばしば減速してストリップ間にダンボール紙をそう入するので、加減速がひんばんに行なわれるから慣性補償には注意を要する。もちろん完全なタイトコイル作成のために、電流制御と逆起電圧制御によって張力制御を行なっている。シヤリングの場合は、フライニングシャーによってセン断されたシートはフィニッシュレバによって最後のきょう正を行ない、プライムパイラへ、マグネットコンベヤによってパイリングされる。

4. 5. 4 その他

以上ラインの電氣的制御について記したが、このラインは多種類のトタン板を製造することが多く、材料の板厚、板幅、材質、あるいはメッキ厚が大幅に異なるので、張力の設定範囲、ラインの連続運転速度範囲が非常に広く、その制御精度は高いものを必要とされる。

メッキラインとして直接メッキを左右する部分の制御はいうにおよばず、ストリップのレベリングのよしあしもその製品を価値づけるの

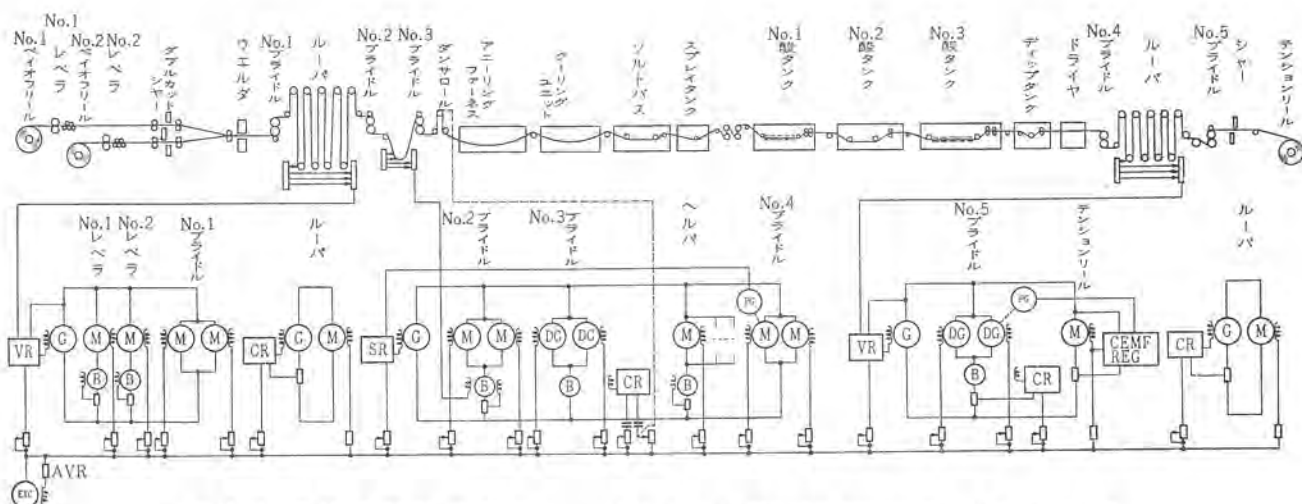


圖 4.9 連續燒鈍酸洗設備

Fig. 4.9 Continuous annealing and pickling line.

側の線を切断してロータリヤーで所定の長さに切断し、パイラに積込まれる。またライム途中にX線ゲージを置いて厚みを測定したり、ピンホールデテクタを用いてピンホールを検出する。それによって自動的に合格した鋼板だけがゲートの操作により、No. 1 ライムパイラと No. 2 ライムパイラに交互に積重ねられる。リジェクトパイラには不合格の板が投入される。以上が従来のシャーライン概説であるが、次に最近の制御回路の傾向について述べる。

図 4.10 連続セン断設備（フライングシヤ一方式）

Fig. 4.10 Continuous shearing line.

まず第一に従来の MG のワードレオナード 制御回路に変わって、サイリスタを用いた静止レオナードが用いられるようになった。サイリスタ電源を用いることの特長として

- (1) きわめて効率が低いこと
- (2) パッケージ形であるので、据付け配線が容易で小形で場所をとらない

(4) 制御回路部品は、ほとんどララグインユニットを使用しているため保守は容易である

(5) 制御性も良好で高度の制御を行なえる

などの利点があり、欠点としては

(1) 逆転が容易にできない

(2) 回生制動が容易にかけられない

などがあげられる。

一例として、コンビネーションシャーラインの電気制御方式を図 4. 10 に示す。このラインではペイオフリールおよびテンションリールとも加減速時の慣性補償電流がテンションパワーより小さくてよいため、片方向の 6 アームサイリスタを用いており、No. 2 ライドルのみ モータリングとジェネレタリングの両方で用いられるため、インバータ付きサイリスタを用いている。またさらに複雑なデジタル制御回路を用いたシャーラインがある。その電気制御方式を図 4. 11 に示す。このラインの仕様はラインスピード 120 m/min, カット数最大 45 カット/min, セン断精度 ± 1 mm というきびしい精度が要求される。これをデジタル方式を用いることによって満足させる。つまりストリップの長さをパルス発振器でパルス数にし、あらかじめ書込みセットした長さか

らダウンカウンタで、このパルス数を引き去り、残りが0になった点でローラ電動機を停止する。

次にライン中に用いられるシートを選別する装置として、シングルシートクラシファイアという精度の高い装置がある。これは検定員の押しボタン信号、ピンホール検出器信号、 β 線厚み計信号のいずれか一つ以上の判定を受けたシートを確実に選別し、 $\#1$ プライムパイラおよび $\#2$ パイラに分類する装置である。特長としてシートセン断位置の直前、直後各 α mm以内にピンホール検出器等による格落ち品の判定がされている場合には、セン断前後のシート2枚を格落ち品として選別する。ただし α mmはシート送りを模擬するシフトレジスタの分解能である。制御回路には、すべてトランジスタNOR回路を組んだプロダクトカードを採用している。格落ち品シートクラシファイ動作を詳述すると

(1) シャー前のストリップの移動は、シンク□発信器およびシンク□受信機で伝えられ、パルス周波数としてシミュレータ用シフトレジスタに与えられる。

(2) 各検定器信号は、ストリッパと同じ流れを模擬するシフトレジスタに乗せられ、乗せられた信号はシャワーの位置で外に取出される。

(3) シヤーを通り抜けたストリップの先端は、シート検出器で検出され、その信号はシートシフトレジスタに乗せられる。

(4) ストリップを切断したとき、格落ちの判定が外に取出されているときには、シートレジスタの信号を格落ち シートシミュレータ(シフトレジスタ)に移し、 $\#1$ コンパのシートの速度でこのシフトレジスタ

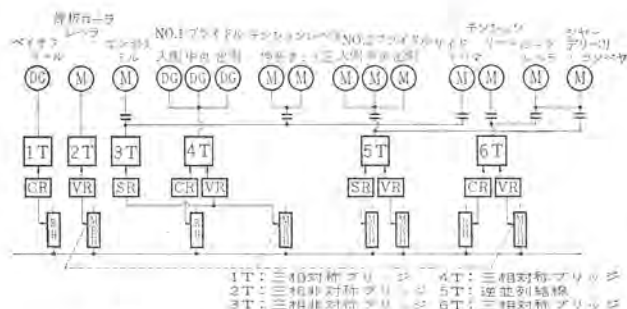


図 4.11 連続せん断設備 (ダイシャー方式)
Fig. 4.11 Continuous shearing line.

をシフトする。

(5) #1パイラ検出器の信号を格落ち・シートシフトレジスタの信号が一致して取出せるときは、#1パイラ検出器によって検出されたシートは格落ち品で、#1パイラに送られるべきものである。

4.9 コイル準備ライン (Coil Preparation Line), サイドトリミングライン (Side Trimming Line), スリッターライン (Slitter Line)

ライン構成としてはいずれも似ているので、コイル準備ラインについて記すことにする。このラインは、スキャンミルで調質圧延されたストリップをメッキラインにかける前に必要な処理を行なうもので、その目的は次のとおりである。

(a) 厚みを測定し規格はずれの部分、表面の悪い部分などはリベクトコイルとして取除き、またサイドトリムによりストリップの縁切りを行なう。

(b) 規格内のストリップを溶接し、メッキ用として大きなコイルに巻取る。

このラインはフリーラタイアとテンションタイアがあるが、最近の設備は高速化のために後者の方式がとられ、最高速度は、1,200 m/min に達する。そのために制御装置はプロセスラインの中でもとくに応答度と精度の高いものが要求され、速度範囲を広くとることこのラインの特長である。

コイルはパイオフリールにより定張力巻展しを行ない、サイドトリムで所定の寸法に縁切りされたのち、テンションリールで巻取られる。このためパイオフリールで、定電流制御と逆起電圧制御をテンションリールでは逆起電圧制御を行なっている。

また高速ラインでは、ストリップ速度に対するサイドトリムの速度が縁切り効果に影響をおよぼすため、常にライン速度と所定の関係を保つように制御を行なう。なお、付帯設備としてX線厚み計

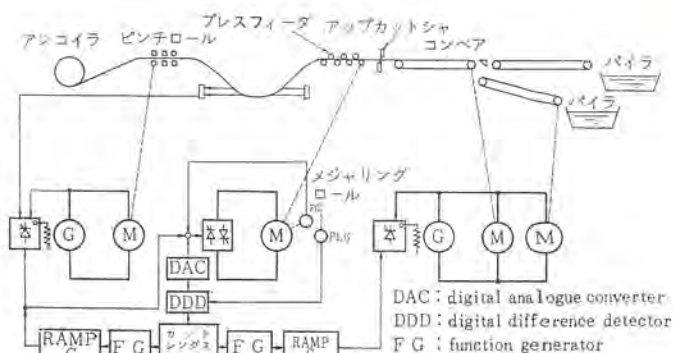


図 4.12 連続せん断設備 (アウカトシャ方式)
Fig. 4.12 Continuous shearing line.

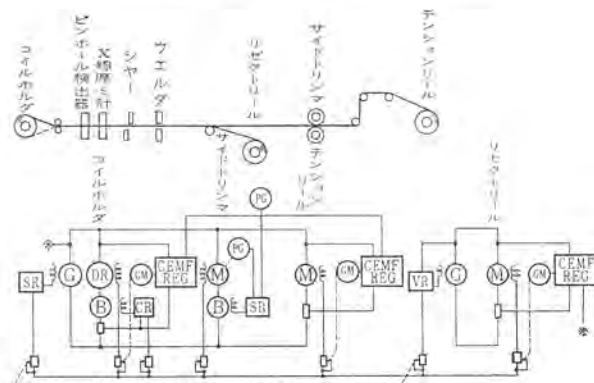


図 4.13 コイル準備ライン
Fig. 4.13 Coil preparation line.

とピンホール検出器がおもなものである。

5. む す び

以上 プロセスライン 用電機品の概要を述べたが、圧延設備の大形化、高速化にともない、その関連設備としてのプロセスラインも生産計画の一端を荷なうものとして、その重要性はさらに増加し、設備規模の増大、高速化がはかられている。技術的にはサイリスタレオナードをはじめとする静止器化、各セクションの自動化が行なわれつつあり、さらに計算機によるデータ処理からライン制御へと進んでいる。

当社はプロセスライン 用電動品に関しても数多くの実績をもって、今後とも各方面の要請にこたえるべく不断の努力を続けている。

焼結設備用電機品

林 昌宏*・石 雅彦**

Electric Apparatus for Sintering Plants

Kōbe Works

Masahiro HAYASHI

Nagasaki Works

Masahiko ISHI

Sintering plants were originated for the purpose of treating ore fines in the old days. But with the enlargement of blast furnace capacity and the advancement of operation technique, such physical and chemical demands for blast furnace materials as the elevation of productivity, uniformity of quality, improvement of the coke ratio and stability of furnace situation have come about keenly and part played by sinter as artificial ore has become important. Now to produce a large quantity of high grade sintered ore multiple unit control equipment, various minor group control devices and data loggers are in extensive use. Under the circumstances, Mitsubishi has been building electric apparatus for use with sintering plants in a great number. The article herein describes electric apparatus extensively used for Dwight Lloyd sintering installations.

1. ま え が き

焼結設備は、古くは粉鉱処理という目的から出発したが、高炉の大形化および操業技術の急速な進歩にしたがい、生産性の向上、品質の均一化、コークス比の改善および炉況の安定など、高炉原料に対する物理的・化学的要求が強まり、人工鉱石としての焼結鉱の役割が大きくなってきた。

このようにして焼結鉱の高炉原料に占める役割が大きくなってきたため、焼結設備もバッチシステム、のグリーンワールド方式から連続プロセスのドワイトロイド方式(DL式)と進歩し、総括制御装置や種々のマイナールーの制御装置の採用により大量生産に適した設備に改善されてきた。当社はすでに多数の焼結設備に電機品を製作納入しており、ここにその概要を述べる。

2. 焼結設備の概要

DL式焼結設備は大略図2.1に示すような系統によって構成されている。

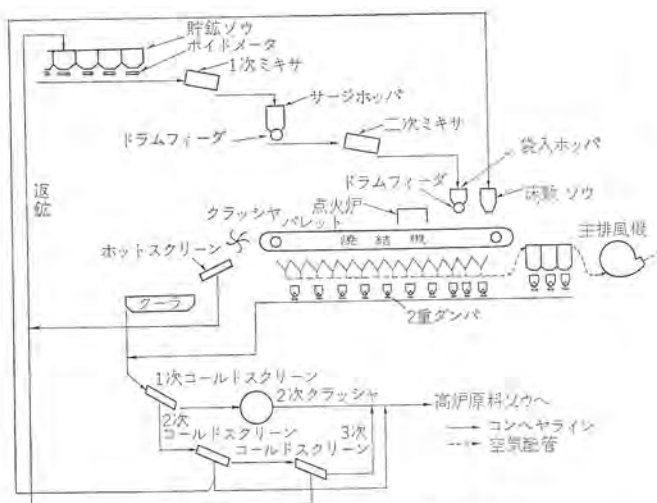


図 2.1 DL式焼結設備系統図

Fig. 2.2 System diagram of DL sinter installation.

2.1 前半系統

原料は貯鉱ソウよりボイドメータにより切り出され、ベルトコンベヤによって一次ミキサに運ばれ、ここでカクハンされるとともに水が添加される。次いで原料はサージホッパに運ばれ、ここで一次貯蔵される。サージホッパ内の原料はサージホッパ下ドラムフィーダによってベルトコンベヤに排出され、2次ミキサに運ばれる。2次ミキサではふたたびカクハンされるとともに水分調整用の水が添加される。2次ミキサを出た原料はベルトコンベヤによって装入ホッパに運ばれる。

2.2 後半系統

装入ホッパ内の原料を装入ホッパ下ドラムフィーダにより焼結機パレット上に切り出す。切り出されたパレット上の原料は点火炉の下を通過する際に点火され、ウインドボックスに吸引される空気で燃焼しつつ進行し、パットの出口に至るあいだに十分焼成される。燃焼用空気は主排風機により吸引される。焼結機により焼成され焼結鉱となった原料はクラッシャにより粉砕され、ホットスクリーンによってフルイわけられた後、クーラに運ばれて冷却される。クーラを出た焼結鉱は、スクリーンおよびクラッシャからなる整粒設備により粒度を一定にして成品となり高炉貯鉱ソウへ送られる。

図2.2は装入側から焼結機を見たものであり、右側から装入ホッパ下ドラムフィーダ、点火炉という順序である。

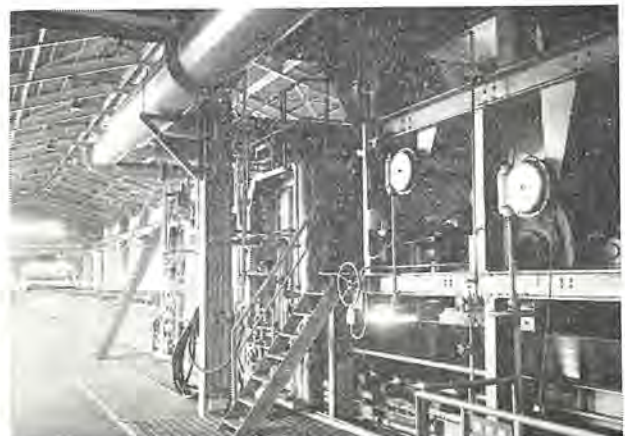


図 2.2 焼結機 Fig. 2.2 Sinter machine.

後半系統の中には副系統である返鉱系統が含まれている。この系統は ホットスクリーン、3 次コールドスクリーン のフルイ下鉱および主送風管 メインサイクロン から 2 重 ダンプ によって取り出された粉鉱を返鉱として貯鉱に送る。

2.3 床敷系統

2 次コールドスクリーンのフルイ下鉱は床敷鉱として床敷に送られる。

3. 制御装置の概要

焼結設備は普通高圧 (交流 3300 V または 3000 V) 電源を受電し、これから各種必要に応じた電圧および直流電源を得る。したがって高圧 低圧および交流 直流の各種配電盤が設置されるが、ここでは特色ある制御装置についてのみ説明することとする。

3.1 無接点継電器整

図 3.1 に無接点継電器盤の内部配置を示す。無接点継電器盤は無接点継電器としてトランジスタサイパックを用いている。この回路は図 3.2 に示すとおりユニットシャシ方式で組み立てられており、ユニット外部配線との接続はマルチコネクタにより接続される。

ユニットシャシは主幹回路は順序起動回路・故障検出回路・連動信号回路等各機能ごとに、また電動機制御回路は各電動機ごとに、一つのユニットに組み立てられている。したがって複雑な回路にもかかわらず制御装置の保守点検は非常に簡単に行なうことが可能であり、電動機のユニットのように同一仕様の回路を多数用いる場合、予備ユニットを用意しておけば万一故障の場合も簡単に復旧することが可能である。

トランジスタサイパックについては「三菱電機技報」Vol. 34, No. 12 (昭 35) 吉田ほか「トランジスタ制御方式」にすでに述べられているのでここではふれないことにするが、製鉄 製鋼関係だけでもすでに、鉄鉱石整粒設備・焼結設備・高炉装入装置等のあらゆる主要設備に多数納入され、きわめて高い信頼性を示している。



図 3.1 無接点継電盤
Fig. 3.1 Transistor relay panel.

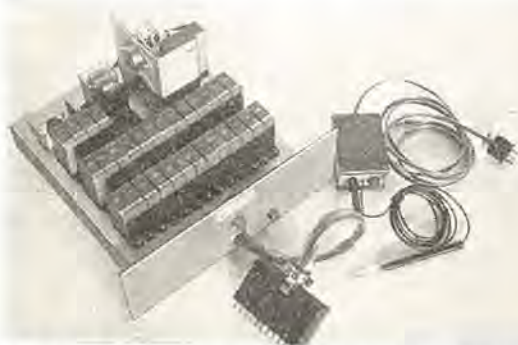


図 3.2 ユニットシャシ Fig. 3.2 Unit chassis.

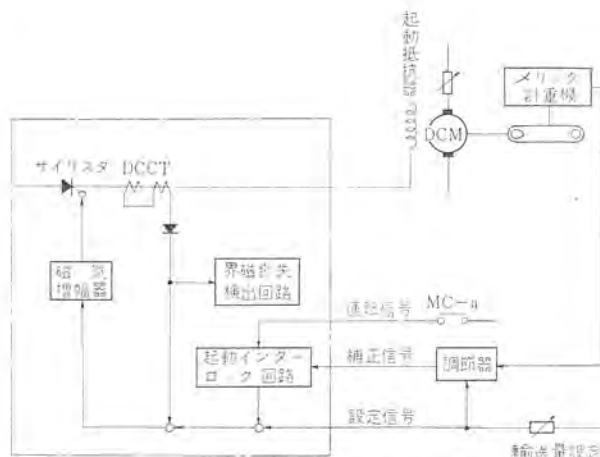


図 3.3 サイリスタによる界磁制御回路
Fig. 3.3 Field control circuit operating on thyristor.

3.2 直流機制御盤

直流発電機および直流電動機の界磁制御の方法には次の二つの方法が用いられる。

(1) 直流電源を用い界磁調整抵抗によって制御する方法。

(2) 交流電源を用いサイリスタにより制御する方法。

(1)の場合は 5. 2. 2 項で後述することにしてここでは (2) の場合をポイドメータ用直流電動機の例によって説明する。

図 3.3 において まず輸送量設定信号が与えられるとこの信号に比例して磁気増幅器はサイリスタの点弧角を制御し、電動機を設定回転数で運転する。運転中実際切出し量と設定量とのあいだに誤差が生ずれば調節器から補正信号が発せられ、これによって電動機の回転数を実際切出し量と一致するまで増減する。補正信号回路にはいっている起動インターロック回路は起動時において補正信号が大きく出ている場合、電動機に過大な電流が流れるのを防ぐため、起動後一定時間 (10~15 秒) 補正信号をゼロに保つためである。

また直流変流器の回路に界磁ツウ失検出回路を設け、界磁電流が一定値以下になった場合、電動機停止信号を出す。

直流電動機の場合、界磁電流によって制御するという考えから更に一歩進んで、サイリスタによる静止レオード方式もすでに実用化されている。

4. 制御方式の説明

4.1 インターロック

4.1.1 連動運転機器間のインターロック

各機器間のインターロックは、フローの下流側から上流側の機器にインターロックをとっている。したがってフロー中のある機器が停止した場合その機器より上流側機器は次々にインターロック停止を行ない、原料または焼結鉱のタイ積を防いでいる。

4.1.2 各ホッパーのレベルと機器間のインターロック

(1) サージホッパーのレベルと上流機器とのインターロック

サージホッパーのレベルが上限に達していなければ、上流側機器は順序起動あるいは運転状態にあるが、原料の輸送量がふえてきて最上限のレベルスイッチが作動すると上流側機器はいっせいに停止を行ない原料がホッパーよりあふれるのを防ぐ。

ホッパー内の原料が減り、最上限レベルがもとに復すると上流側機器は自動的に再起動する。

(2) 装入ホッパーのレベルと機器間のインターロック

装入ホッパがわりの状態で順序起動した場合は、焼結機と装入ホッパ下ドラムフィーダは起動せず、装入ホッパ上のオシレーティング・ベルトコンベヤより上流側の機器が順序起動し原料を輸送する。

装入ホッパに原料がたまり、中限レベルを越えると焼結機と装入ホッパ下ドラムフィーダが自動的に起動し焼結を開始する。

運転中装入ホッパ内の原料がふえて最上限までくると最上限レベルスイッチが作動し、オシレーティング・フィーダよりサージホッパ下ドラムフィーダまでの機器をいっせいに停止して原料の輸送量を一時的に止める。原料が減って最上限のレベルスイッチが元に戻ると自動的に再起動する。

(3) 床敷ツウと床敷系統機器間のインターロック

床敷系統の起動に当っては床敷ツウのレベルが中限以下にあることが条件となる。床敷ツウのレベルが中限以上であれば床敷系統は起動せず、また運転中レベルが上限になるといっせいに停止する。このような場合、床敷ツウに送られる原料は、正逆転コンベヤにより成品系統へ流路を変更される。

いっせいに停止後、レベルが中限以下になれば床敷系統は自動的に再起動し、また正逆転コンベヤは流路を床敷へ切り換える。

4. 1. 3 連動運転機器と単独運転機器とのインターロック

単独運転機器のおもなものに次のものがある。

- (1) 主排風機
- (2) ファーバルポンプ(焼結機)
- (3) 点火炉送風機
- (4) 減速機油ポンプ(一次ミキサ・2次ミキサ・焼結機・クラウ)
- (5) 点火炉重油ポンプ
- (6) クラウブロ
- (7) ホットスクリーン冷却ファン
- (8) 二重ダンパ
- (9) 防じんブロ

これらの機器はいずれも連動運転開始前に単独運転を行なう。

(1)～(3)項の機器は、その運転インターロックを全設備非常停止回路に入れ、これらの機器が何らかの原因で停止した場合は全設備を停止させる。このように最重要インターロックとしてとられているから、別にインターロック・パイパススイッチを設け、試験調整時および順序停止時などこれらの機器を運転する必要がなくなった場合、他の機器の運転に支障のないようにしている。

(4)、(5)項の機器は、各々その機器と関連ある連動運転機器とのあいだにインターロックをとり、故障その他の原因により該機器が停止した場合、連動運転機器もインターロック停止し、その機器より上流側の機器もインターロック停止する。

(6)～(9)項の機器は、万一故障停止しても直ちに他の機器または生産に大きな影響をおよぼさないため、他の機器とはインターロックをとっていない。しかし機器の状況は後に述べる故障表示装置等により表示される。

4. 2 運 転

4. 2. 1 操作場所の選択

焼結設備においては、4. 1. 3項で述べた以外のほとんどすべての機器は連動運転を行なう。

連動運転機器は各系統ごと一括して運転され、運転室操作盤に取り付けられている系統「連一断一単」切換開閉器により系統を一括して連動運転するか、各機器ごとに単独運転を行なうかを選択する。また現場機側には各機器ごとに「連一断一単」切換開閉器が設置されている。したがって連動運転を行なう場合、系

統の「連一断一単」切換開閉器の「連」ノッチが選択されていることと、該系統に属する全機器の現場「連一断一単」切換開閉器が「連」ノッチに入れていることが必要条件である。

連動運転機器の単独運転は、機器の試運転調整のためだけに必要なものであるから、現場機側からのみ行なえるようにしている。すなわち操作盤の系統「連一断一単」切換開閉器を「単」ノッチに入れば、該系統の機器は現場機側の開閉器を「単」に入れることにより運転を、また「断」に入れることにより停止することが可能である。単独運転機器は操作盤に各機器ごとに設けられている。操作場所選択開閉器により選択された場所から、各機器ごとの操作開閉器によって運転される。操作場所としては、低圧電動機によって駆動される機器は操作盤および現場機側、高圧電動機によって駆動される機械はこれにさらに高圧配電盤が操作場所として追加される。

4. 2. 2 連動点検

連動運転を行なうためには前項で述べたように、操作盤の系統「連一断一単」切換開閉器が「連」ノッチにはいっていることおよび該系統に属する機器の現場機側「連一断一単」切換開閉器が全機「連」ノッチにはいっていることが必要である。

連動運転を開始する前に「連動チェック」押しボタンを押すとこれらの連動条件ができていない機器の照光盤運転表示灯が点灯する。

4. 2. 3 順序起動

順序起動はトランジスタサイバックとC、R要素により構成された主幹回路の信号により、一定時間間隔で下流側より上流側へとフローに沿って起動を行なう。順序起動押しボタンは焼結機前半系統と後半系統およびダスト系統用に各々設けている。

前半系統のみ連動運転を行なう場合は前半系統の「連一断一単」切換開閉器を「連」ノッチに入れ、順序起動押しボタンを押せば、オシレーティング・ベルトコンベヤよりボイドメータまで順序起動を行なう。後半系統のみ連動運転する場合も同じようにして、最下流側成品コンベヤより装入ホッパ下ドラムフィーダまで順序起動を行なう。ダスト系統は、最下流側機器が後半系統に属する機器につながっているため、後半系統起動後でないと順序起動ができない。

このようにグループを分けたのは次のような理由による。

(1) 運転開始時、サージホッパや装入ホッパに原料がない場合、原料が貯蔵ツウより切り出され、焼成されて後半系統に至るには30分以上の時間がかかり、後半系統を空運転することは損失である。

(2) なんらかの原因で焼結機を止める場合、焼結機前半をいっせいに停止し、後半のみ運転して、焼結機やクラッシュおよびクラウ中の焼結鉱を払い出し完了できるように、焼結機後半のみでも連動運転を可能にしている。

焼結機前半系統および後半系統を一貫して起動する場合には、それぞれの切換開閉器を「連」ノッチに入れ、後半系統の順序起動押しボタンを押すことにより、前後半系統共一貫して順序起動することが可能である。このとき、前節インターロックの4. 1. 2項(2)で述べたように、装入ホッパがからであればクラッシュの起動完了後、直ちに前半系統の順序起動に移り、装入ホッパのレベルが中限レベルを越えたとき、焼結機と装入ホッパ下ドラムフィーダが順序起動するようにしている。

4. 2. 4 停 止

停止の方法には系統順序停止、系統一斉停止および全系統非常停止の三つの方法がある。

まず系統順序停止は各系統ごとに設けられている順序停止押しボタンを押すことにより、フローの上流側より輸送物の流れに従い一定時間間隔でグループ停止を行なう。

系統いっせい停止は各系統ごとに設けられているいっせい停止押しボタンを押すことにより、該系統のみいっせい停止を行なう。

全系統非常停止は、操作盤および現場に設けられている非常停止押しボタンを押すことにより、全系統いっせいに非常停止を行なう。

4.2.5 ボイドメータの運転

ボイドメータは貯鉱ソウより原料を混合コンベヤ上に切り出す。したがって連動運転時には混合コンベヤが運転していることがボイドメータの運転条件となる。ボイドメータは焼結機前半系統に属するが、起動時や停止時において、混合コンベヤ上に切り出された原料の配合比を変えないようにするためには、起動時停止時共に常に一番奥のソウから行なう必要がある。

この順序起動停止を行なうための信号は、順序起動回路と

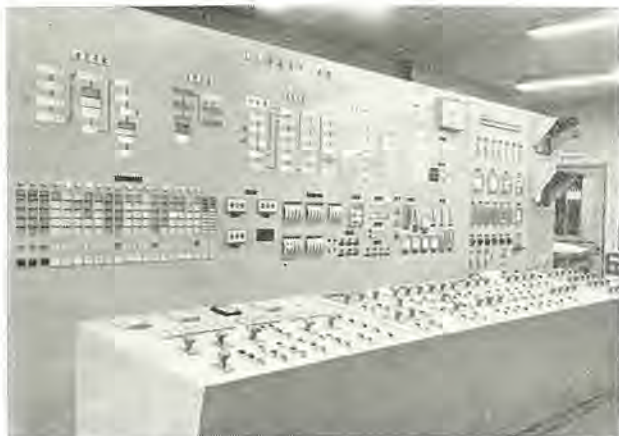


図 4.1 照光盤および操作盤
Fig. 4.1 Illuminated diagram panel and control desk.

表 4.1 照光盤表示内容および方式

| 表示内容 | 表示方式 |
|-------------|---|
| 連動条件の確認 | 操作盤の「連動チェック」押しボタンを押すことにより該系統中連動条件のできている機器の表示灯が点灯する。 |
| 機器の運転表示 | 連動または単独運転の如何にかかわらず、電動機が起動すると該機器の表示灯が点灯する。 またいかなる場合でも機器が停止すれば該機器の表示灯は消灯する。 |
| 故障停止 | 過負荷、ベルトスリップまたは切断、ベルト片寄り、シャーピン切断等により機器が故障停止した場合、該機器の表示灯を点滅させるとともに故障原因表示灯を点灯する。また同時に操作盤のブザーが鳴吹する。 |
| インターロック停止 | インターロックにより機器が停止した場合は該機器の表示灯が消灯する。 |
| シフト切換 | 選択された流路を矢印表示灯で表示する。 |
| 貯ソウの在量表示 | 貯ソウ中の在量を象形表示灯で表示する。 |
| 移動コンベヤの位置表示 | 位置表示灯により表示する。 |
| 二重ダンパ動作表示 | 二重ダンパ開を表示灯により表示する。 |
| 各種電源電圧の表示 | 高圧・低圧各主回路交流電圧およびワードレオナード主回路直流電圧を電圧計により表示する。 |
| 可変電動機の回転数 | 回転計により表示する。 |
| 燃焼状態 | ウインドボックスの温度および負圧を指示計で表示し、レット上の原料燃焼状態を表示する。 |

じく C, R タイマより構成される無接点継電器回路より発する。

ボイドメータ群がいったん起動完了した後は、操作盤の各ボイドメータ選択開閉器により任意のボイドメータを連動運転から除外したり、追加したりすることが可能である。

4.3 監視装置

総括制御装置においては多数の機器を中央運転室から集中制御するものであるから、全機器の状況を容易に監視できる装置が必要である。このためには操作盤の前面に照光盤を設け、これに各機器の状態を表示するようにしている。

図 4.1 は照光盤の一例である。

表示の内容および方式は表 4.1 に示すとおりである。

4.4 保護装置

4.4.1 主回路無電圧保護

交流低圧電動機は、低圧キ電盤に収納された各系統ごとのノーヒューズブレーカにより主回路電源を供給される。あるノーヒューズブレーカより給電されている系統内に、接地あるいは短絡等により異常な電流が流れると、ノーヒューズブレーカが瞬時にトリップし、故障を他の系統に波及しないようにする。このような場合全系統の非常停止を行なう。また運転開始時には、全系統のノーヒューズブレーカが投入されていないと、運転ができないようインターロックされている。

4.4.2 過負荷保護

各電動機ごとに過負荷継電器を取り付け、ある電動機が過負荷になるとその上流側機器をインターロック停止させる。故障が除去されると、過負荷継電器をリセットし、ふたたび順序起動押しボタンを押すことにより停止した機器を再起動する。

4.4.3 シャーピン保護

クラッシュヤ焼結機のような機器に対しては減速機を保護するために、減速機と電動機とのカップリングにシャーピンをソウ入し、これの切断により機器の保護並びに電動機停止するようにしている。その他の事項は 4.2 項と同じである。

4.4.4 ベルトスリップまたは切断保護

ベルトコンベヤに速度開閉器を取り付け、ベルトスリップあるいは切断等によりベルト速度が設定速度以下に下った場合、コンベヤ上に原料あるいは焼結鉱がタイ積して、機器の破損または電動機の焼損を生ぜしめないよう、電動機を停止させる。その他の事項はと同じである。

4.4.5 ベルト片寄り保護

ベルトの両側に制限開閉器を取り付け、ベルトが片寄りを起こした場合該機器駆動電動機を停止させる。その他の事項は 4.2 節と同じである。

5. 自動制御

5.1 自動制御系の構成

焼結設備には最高品位の焼結鉱を最大生産量製造するために種々の自動制御装置が取り入れられている。しかし最初の原料切り出しより焼成完了するまで 30 分以上の時間を要するため、全体としての自動制御系はまだ用いられておらず、各所にマイナールの制御系を設けて制御している。これらの制御系の一例を図 5.1 に示す。

5.2 自動制御系の概略説明

図 5.1 に示す自動制御系の一例に基づき概略説明する。

5.2.1 原料の配合比制御

貯鉱ソウからの原料切り出し量は各銘柄ごとに設定される。

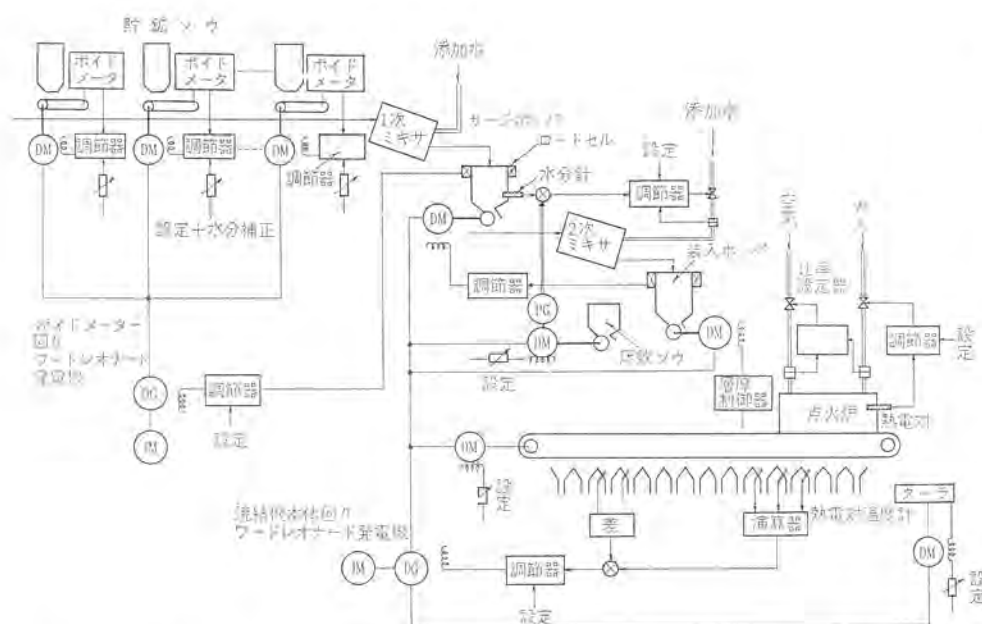


図 5.1 自動制御系統図

Fig. 5.1 Automatic control system diagram.

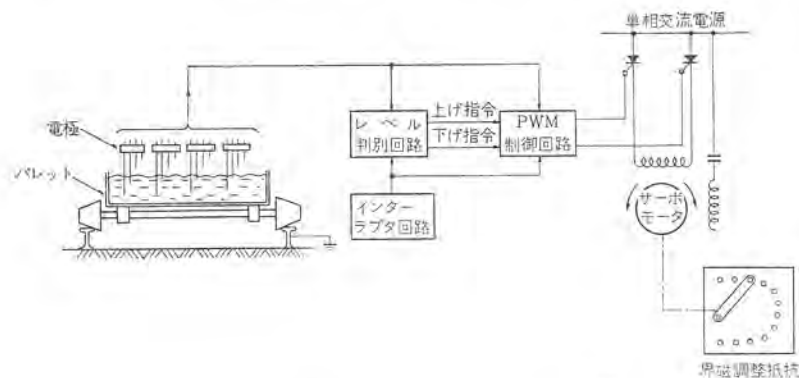


図 5.2 層厚制御方式ラック線図
Fig. 5.2 Block diagram of layer thickness control system.

Fig. 5.2 Block diagram of layer thickness control system.

この設定値は原料中に含まれている水分量により、あらかじめ水分補正されている。

ポイドメータにより切り出された原料は 混合コンベヤによりサージホッパへ運ばれるが、サージホッパの中の原料量を常に一定に保つよう、貯艀缶からの切出し量を制御する。このためサージサップ中の原料量をロードセル等により検出し、PID 調節器を通して、ポイドメータまわりワードレオナード発電機の界磁を調節し、ポイドメータ駆動用直流電動機を電圧制御する。

ポイドメータは切出し量をあらかじめ設定された値に保つよう、切出し量を PID 調節器に信号として送り、PID 調節器は設定値との偏差をなくするよう、直流電動機の界磁を制御する。

5.2.2 焼結機回りの速度制御

この速度制御の基幹は、焼結機本体回りワードレオード発電機の電圧制御である。この制御回路は、焼結機およびその前後の機器の速度を一定比率で制御し、原料の流れをスムーズにすることにある。

これにはまず 焼結完了点近くの三つの ウィンドボックス 内の排ガス温度を測定し、この温度を演算器に入れて最高温度点の位置を算出する。最高温度が常に設定位置にくるよう PID 調節器を通して発電機界磁を制御して電圧制御を行ない、ペレット速度を制御する。このとき点 火炉のすぐ近くの 2 個所の ウィンドボックス 温度をも同時に測定し、両 ウィンドボックス 間の温度 コウ配によりききに

述べた演算器より PID 調節器に与えられる信号に補正を加えるのが普通である。

焼結機本体駆動用、クーラ駆動用および床敷ソウ下ロールフィーダ駆動用直流電動機の界磁は、各々手動設定され、主回路電圧のみにより一定比率で速度制御される。装入ホッパ下ドラムフィーダ駆動用直流電動機は、パレット上の層厚の変動により、またサーージホッパ下ドラムフィーダ駆動用直流電動機は装入ホッパ内の原料量の変動により、各々これらの値を一定に保つようPID調節器を通して界磁制御される。

図 5.2 はパレット上の層厚を 4 レベル検出可能な電極を 4 組用い、層厚レベルの変動に応じて装入ホッパ下ドラムフィード駆動用直流電動機を、界磁調整抵抗によって制御する場合のブロック図である。

各電極はパレットの幅方向に配置されており、各点の層厚に応じて原料に接している電極の本数が異なる。4本の電極のうち、長いほうの2本は設定レベル以下を、また短いほうの2本は設定レベル以上を検出する。したがって電極は設定レベルが中間の2本の電極間にくるように取り付けられる。

各組の電極からの信号は、レベル判別回路に送られ、層厚が設定レベルより高いか、あるいは低いかを判別し、下げまたは上げ指令を PWM (パルス幅変調) 制御回路に送る。PWM 制御回路では、設

定レベルよりはすれている度合をデジタル方式で判別し、レベル判別回路からの制御方向信号と組み合わせ、界磁調整抵抗を正または逆のどの方向にどれだけの幅制御するかを決定する。制御はインテララタ回路によって規制される一定の時間々隔でも行なわれ、インテララタ回路からの信号がない場合、すべての回路はリセットされている。

この方式の特長とするところは、デジタル方式を取り入れているので4点の電極のうちどれか1点の電極が設定レベル以下の信号を出している場合、4点のレベルの平均が設定レベル以上であっても必ず上げ信号を出すレベル上げ優先方式となっていることである。これは一個所でも ϕ ウ(凹)部を生じてはならない層厚制御の目的に一致する。

5. 2. 3 原料の水分制御

1次ミキサ内で水を添加された原料は、サージホップに運ばれる。サージホップに取り付けられた水分計により原料中の水分を測定し、PID 調節器を通して2次ミキサ内に添加される水分を制御し原料中の水分を設定値に合わせる。これにより生の原料の水分は一定に保たれるが、実際パレット上の原料の水分は、装入ホップから供給される生の原料中の水分のほか、床敷ソウより供給される床敷鉋の量により変化するので、床敷鉋が多い場合、添加水は多い目にしておかなければならない。このため床敷ソウ下ドラムフィーダの

回転数を指速発電機によって検出し、この信号を水分計によって検出した水分量信号に補正として加えるようにする。

5.2.4 点火炉の燃焼制御

点火炉の温度制御は点火炉の天井付近の温度を検出し、この検出信号を PID 調節器を通して燃料の量を制御する。空気量は燃料の量に対して一定の比率を比率設定器により設定しこれにより制御する。

5.3 自動制御系におけるデータ処理装置の導入

近年各種プロセスの計算機制御化が計られており、近い将来焼結設備においても当然考えられなければならない問題である。しかし焼結プロセスはいったん運転状態に入ると連続運転であり起動、停止の一連のシーケンスを計算機の機能とすることは、いたずらに計算機の規模を大きくするだけでデータロギングとの密接な関連性もなくその意義は小さい。またシーケンスのロジックはソフトウェアで作りあげるほどの柔軟性を必要としないところから、従来のハードウェアロジック(無接点継電器盤等)により制御するのが得策と考える。

したがって計算機制御は現在個々に行なわれているマイナールー制御系の間にたってこれらの制御系を有機的に関連づけ、高品位の焼結鉱を最大量生産するような面で考えられるべきである。制御箇所としては次のようなものが考えられる。

- (1) 原料の配合比制御における設定値の指令
- (2) 水分制御における設定値の指令
- (3) 最高温度点の演算による焼結機本体回りの速度指令

これらの目的を達成するためには次のような事項をデータの採集によってまず明らかにしなければならない。

- (1) 原料の化学成分・粒度・コークス量・石灰石量・水分量などと通気度および品質との関係
- (2) 通気度・負圧・層厚とパレット速度および生産性との関係

表 5.1 計測点とロギング項目

| 項目 | 手動入力 | 計測 | 演算 | 項目 | 手動入力 | 計測 | 演算 |
|----------|------|----|----|---------|------|----|----|
| 生産計画量 | ○ | | | 粉コークス水分 | | ○ | |
| 生産量 | | ○ | | 配合原料水分 | | ○ | |
| 平均生産量/日 | | | ○ | 原料別粒度 | ○ | | |
| 達成率 | | | ○ | 成品塩基度 | ○ | | |
| 作業時間 | | | ○ | 成品成分析値 | ○ | | |
| 作業開始 | ○ | | | 成品強度 | ○ | | |
| 終了 | ○ | | | 層厚 | | ○ | |
| 年月日 | ○ | | | 床敷厚 | | ○ | |
| 直組 | ○ | | | 風箱温度 | | ○ | |
| 平均作業時間/日 | | | ○ | 圧力 | | ○ | |
| t/h | | ○ | | 風量 | | ○ | |
| 過不足量 | | | ○ | ストランド速度 | | ○ | |
| 焼結歩留り | | | ○ | 焼結 | | | ○ |
| 成品歩留り | | | ○ | クーラ | | ○ | |
| 生産率 | | | ○ | 点火灯温度 | | ○ | |
| 原料銘柄使用量 | | ○ | | ガス流量 | | ○ | |
| 分析値 | ○ | | | 空気流量 | | ○ | |
| 原料分有鉄分 | | | ○ | 点火強度 | | | ○ |
| 石灰石使用量 | | ○ | | 主ブロック温度 | | ○ | |
| コークス | | ○ | | 圧力 | | ○ | |
| 返鉱 | | ○ | | 流量 | | ○ | |
| 全原料 | | | ○ | B T P | | | ○ |
| 床敷 | | ○ | | 通気度 | | | ○ |

(3) 返鉱量、粒度と生産性および強度との関係

(4) 最高温度点の正確な予知と生産性との関係

したがって表 5.1 に示すようにデータ処理装置は生産管理のためのデータのみならず、プロセス解析のためのデータロギングも行なう。

6. 直流電動機

ポイドメータ・ドラムフィーダ・焼結機およびクーラなど可変速制御を必要とするところに用いられる直流電動機は、出力と回転速度を任意に選定できるため無統制な仕様定格で製作されがちである。このことは生産性の向上を妨げるとともに、機械の計画に際しても不便である。そこで従来の焼結機用直流機の製作経歴を検討した結果、標準定格表として出力・基底速度・弱め界磁による最高回転速度を JEM 1170 に準拠し表 6.1 を作成したのでご参考に供する。表中には適用ワット番号も示した。焼結機用直流機は設置されるツインギが悪いのですべて全閉防じん形として製作されるが、特殊仕様として屋外形とすることもある。

電動機は全閉外扇形(図 6.2 参照)として据付け面積の減少を計っているが(ただし小形機は全閉形)、トルクが大きくなると発生熱量に対する外扇冷却効果が減じ、体格が大きくなるので全閉外扇形は 280 フレームまでとし、それを越えるものについては電動機フレームに空気冷却器を装荷する全閉内冷方式を採用して標

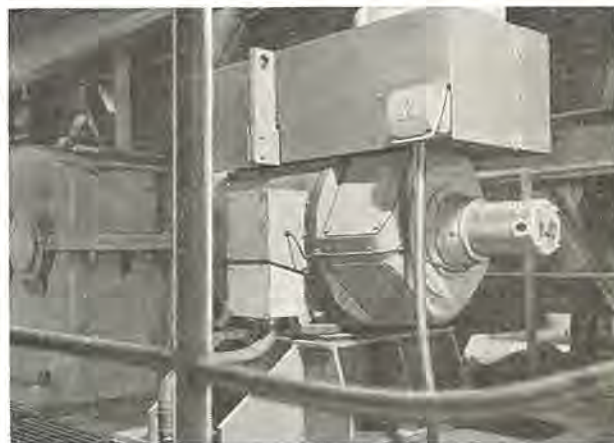


図 6.1 スーパーライン D 直流電動機(全閉内冷形)
Fig. 6.1 Super-line D DC motor (Totally-enclosed air to air cooled)

表 6.1 全閉形直流電動機ワット番号適用

| 出力 kW | 1.150 | 850 | 650 | 500 | 400 | 300 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.1 | 3,000 160M | 2,800 160L | 2,600 180M | 2,000 200M | 1,600 200L | |
| 1.5 | 3,000 160L | 2,600 180M | 2,600 180L | 2,000 200L | 1,600 225L | 1,200 225L |
| 2.2 | 2,800 180M | 2,600 180L | 2,600 200L | 2,000 225L | 1,600 250S | 1,200 250M |
| 3.7 | 2,800 180L | 2,600 200L | 2,400 225L | 2,000 250S | 1,600 280S | 1,200 280M |
| 5.5 | 2,600 200L | 2,600 225L | 2,400 250M | 2,000 280S | 1,600 280S | 1,200 280S |
| 7.5 | 2,600 225M | 2,500 250S | 2,200 280S | 2,000 280M | 1,600 280S | 1,200 280M |
| 11 | 2,600 225L | 2,500 250M | 2,200 280M | 2,000 280S | 1,600 280M | 1,200 315S |
| 15 | 2,600 250M | 2,400 280M | 2,200 280S | 1,800 280M | 1,600 315S | 1,200 315M |
| 18.5 | 2,600 250M | 2,400 280S | 2,000 280M | 1,800 315S | 1,600 315M | 1,200 355M |
| 22 | 2,600 280M | 2,400 280S | 2,000 280M | 1,800 315M | 1,600 355M | 1,200 355M |
| 30 | 2,400 280M | 2,200 280M | 2,000 315S | 1,800 355M | 1,600 355M | 1,200 355L |
| 37 | 2,400 280M | 2,200 315S | 1,800 315M | 1,800 355M | 1,600 355L | 1,200 400M |
| 45 | 2,200 280M | 2,000 315S | 1,800 355M | 1,600 355L | 1,600 400M | 1,200 400L |

注 1) 過負荷許容率 150%、B 種 75deg (周囲温度 40°C 以下)

2) 全閉外扇形のうち、160 フレームは全閉形

表 6. 2 全閉形直流電動機基本取付け寸法

| | | C | E | F | BA | 保護形式 |
|--------------------------------------|-------|-----|-------|-------|-----|------------------------------|
| ス ー ン に ラ イ ン D | 160 M | 160 | 127 | 105 | 108 | 全 閉 形 (a) |
| | 160 L | 160 | 127 | 127 | 108 | |
| | 180 M | 180 | 139.5 | 120.5 | 121 | |
| | 180 L | 180 | 139.5 | 139.5 | 121 | |
| | 200 M | 200 | 159 | 133.5 | 133 | |
| | 200 L | 200 | 159 | 152.5 | 133 | |
| | 225 M | 225 | 178 | 155.5 | 149 | |
| | 225 L | 225 | 178 | 178 | 149 | |
| | 250 S | 250 | 203 | 155.5 | 168 | |
| | 250 M | 250 | 203 | 174.5 | 168 | |
| ス ー ン に ラ イ ン M | 280 S | 280 | 228.5 | 184 | 190 | 全 閉 内 扇 形 (b) |
| | 280 M | 280 | 228.5 | 209.5 | 190 | |
| | 315 S | 315 | 254 | 203 | 216 | |
| | 315 M | 315 | 254 | 228.5 | 216 | |
| | 355 M | 355 | 290 | 247.5 | 268 | |
| | 355 L | 355 | 290 | 280 | 268 | |
| | 400 M | 400 | 335 | 290 | 300 | |
| | 400 L | 400 | 335 | 317.5 | 300 | |

準系列の整備を完了した(図 6. 1, 表 6. 2 参照)。

全閉内冷機の特長は 標準 ブラケット 形電動機の寸法をまもっている点にある。すなわち電動機は標準 フレーム を使用し、両側 ブラケット を回して通風口を上に向けて、その間に冷却器を装着する

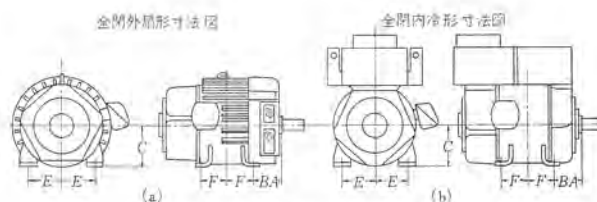


図 6. 2 全閉外扇形寸法図

Fig. 6. 2 Dimensions of totally enclosed fan cooled motor.

方式をとっているのです。取り扱いが容易でしかも安価に製作できる利点を有する。表 6. 2 に全閉形直流電動機の基本取付け寸法を示す。

7. む す び

焼結設備用電機品に関し、その概要を述べた。

計算機・計装々置等の装置およびサイリスター・トランジスタ等の半導体部品の目ざましい進歩により、焼結設備用電機品も日進月歩で進歩している。またこれらの装置および部品を活用することによって、焼結設備は高い生産性のみならず 高い品質のものを生産できるよう考えられていくものと思われる。

本文に記述されている内容に関しては不備な点も多いと思われるが、諸賢のご批判を仰ぎ今後もより良い焼結設備用電機品を製作したいと考える。

焼結炉および転炉用排風機

大旗康文*

Exhaust Blowers of Sintering Furnaces and L. D. Converters

Nagasaki Works Yasufumi OHATA

In spite of a brisk demand of iron and steel, rich iron ores are hardly available in Japan. Smelting of iron, then, must resort largely to poor quality ores, and as a result sintering of mine smalls comes in a necessary function in the industry. As the capacity of smelting furnaces increases, main exhaust blowers are enlarging in their sizes. On the other hand steel mills are seeking for higher efficiency and coming to use converters in place of open-hearth furnaces, this also requiring high capacity blowers. To cope with the situation exhaust blowers of type FB plate model ones and type FJ turbo-blade style ones selected recently. The latter blowers are new developments of high efficiency while the former units have high resistance against wear.

1. ま え が き

国内鉄鉱資源に乏しいわが国は輸入鉄石に依存する割合がきわめて大きい、多年にわたる鉄鋼生産増強により富鉄が枯渇しつつあり貧鉄処理などによる粉鉄の増加がいちじるしい。また一方、鉄鉱原料品質の改良によって溶鉄炉の出鉄(鉄)量を増加し、コークス比を低下させるために鉄鉱原料を整粒せねばならない。これら粉鉄を整粒するものとして、焼結炉があり近年この焼結設備が急増し、大容量化している。一方では製鋼能率増強のために平炉から転炉へ切り換えが進められている。

2. 焼結炉用排風機

2.1 焼結炉

焼結炉には連続したパレットが低速で移動するドワイト・ロイド式、焼結なべが固定しているグリーンワルト式、焼結なべが移動するAIB式の3種がある。ドワイト・ロイド式およびAIB式は大形炉に適しており、近年はこの前者が多く用いられている。図2.1にドワイト・ロイド式焼結炉の系統図を示す。貯鉄タンクAに粉状石灰、コークス粉、粉鉄などが納められている。これらは混和機で所定の

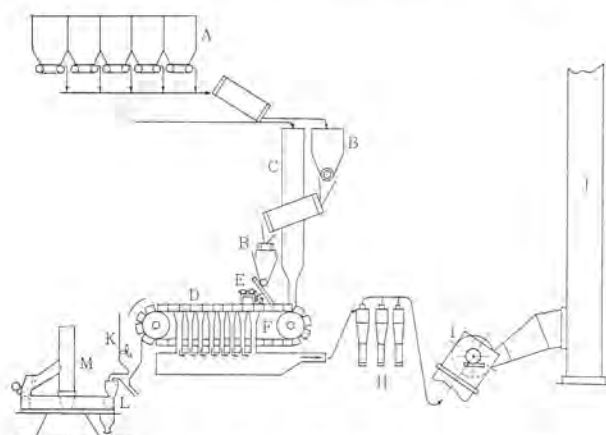
割合に混合加湿され漏斗Bにたまる。漏斗Cには小塊の床敷鉄が入れてあって、それぞれパレットD上に一定の厚さだけ積み重ねられる。Eは点火炉でコークス炉ガスまたは重油で点火される。

燃焼空気はパレット上方から吸込まれ、ウインドボックスF、集合管G、集じん器Hを経て排風機Iに吸込まれたあと、煙突Jに吐出される。一方パレットD上の焼結鉄は砕鉄機K、コウシフレイL、冷却装置Mを経て貯鉄タンクに入れられる。

2.2 仕様と特性

排風機の取扱う気体は非常に強いじんアイを含んでいるので、コークス中の灰分や集じん器の性能によって使用できる排風機の形式が異なってくる。図2.2は吸込気体中の含じん量による形式選定基準を示している。縦軸に許容含じん量、横軸に発生風圧(吸込気体温度20℃吸込圧力760mmHgに相当する空気の場合)を取っている。この図はモデル送風機による摩耗試験多年の実績および文献をもとにして決めたもので、1年間連続運転可能な許容限界を示している。

焼結炉用排風機の発生風圧は、標準状態で約1,800~2,100mmAqであり、含じん量は通常は0.3gr/m³以下である。このよう



A: 貯鉄タンク B: 漏斗 C: 漏斗 D: パレット E: 点火炉
F: ウインドボックス G: 集合管 H: 集じん器 I: 排風機
J: 煙突 K: 砕鉄機 L: コウシフレイ M: 冷却装置
図2.1 ドワイトロイド式焼結炉の系統図
Fig. 2.1 Schematic diagram of the Dwight-Lloyd sintering plant.

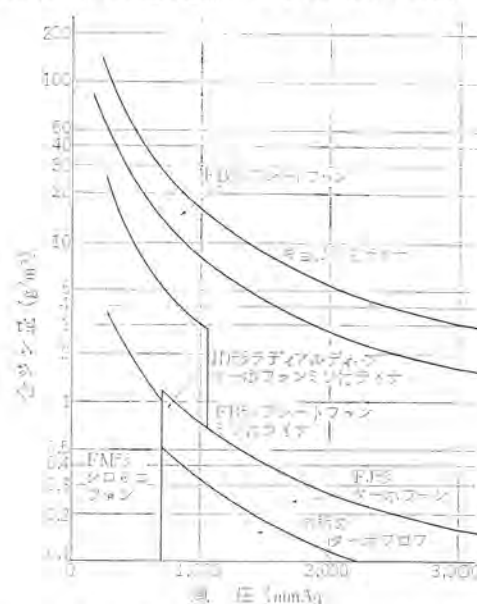


図2.2 含じん量による形式選定基準
Fig. 2.2 Selection chart of allowable dust loading.

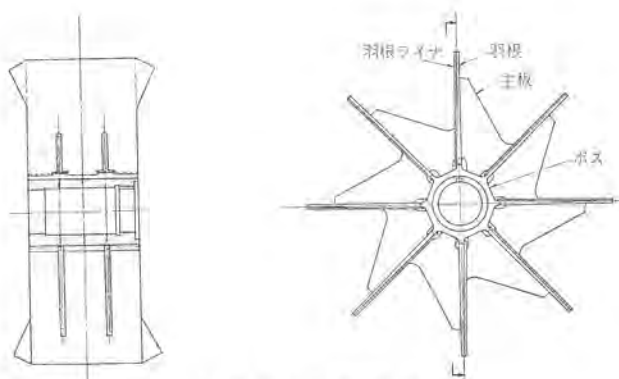


図 2.3 FB 形 扇 車
Fig. 2.3 Wheel assembly of type FB blower.

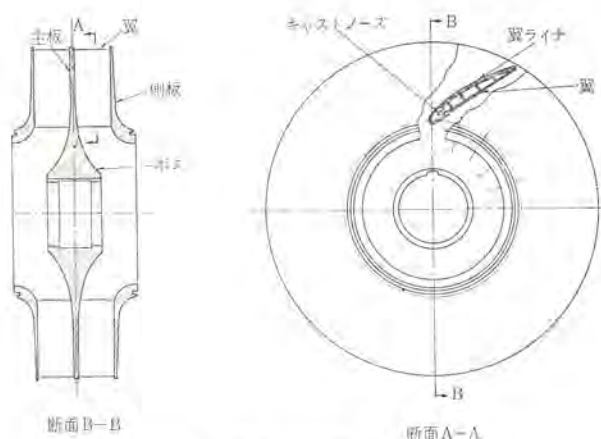


図 2.4 FJ 形 扇 車
Fig. 2.4 Wheel assembly of type FJ blower.

な条件で使用できる排風機の形式は FB 形 ラート形排風機と FJ 形翼形排風機が選ばれる。図 2.3 に FB 形排風機扇車構造を示す。図 2.4 に FJ 形排風機扇車構造を示す。FB 形および FJ 形排風機の比較を示すと下記のとおりとなる。

2.2.1 扇車強度

焼結炉用排風機は標準状態での発生風圧が 1,800~2,100 mmAq と大きいために扇車周速は 160~190 m/sec と高速になり、羽根および側輪の応力が非常に大きくなる。FB 形の羽根は羽根自身に働く遠心力に耐えればよく、応力状態も簡単であるうえにボスとの溶接強度は X 線検査で確認できる。これに反し FJ 形は応力状態が複雑なうえに羽根と主板、および羽根と側輪の溶接強度が確認できないので強度上かなりの余裕を取らねばならぬ。また、FJ 形は応力が大きくなるので高級な材料を使用しなければならぬので高価となる。

2.2.2 耐摩耗性

じんアイを含む気体を扱う扇車では羽根の表面にライナを張り、定期的に取りかえるのが普通である。羽根そのものを取りかえると、この修理費は非常に高価なものとなる。常識的な耐久年限を 2 年と考えれば、FB 形は 1 gr/m³ 以下、FJ 形は 0.15 gr/m³ 以下の含じん量の場合に使用するのが望ましい。

2.2.3 効 率

図 2.5 に FB 形および FJ 形の特性を示す。実線は FB 形、点線は FJ 形の特性を示す。翼形羽根を用いた FJ 形は非常に効率がよい。しかし経済性を考える場合には、購入据付費利息、耐摩耗性による保守費、効率による電力費などすべてにわたって考慮せねばならない。

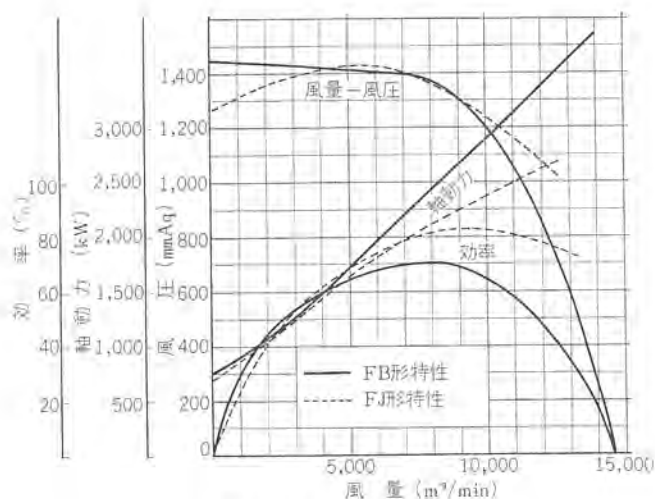


図 2.5 特性曲線
Fig. 2.5 Characteristic curve of FB and FJ.

表 2.1 焼結用排風機

| 納入先 | 住金和歌山 | 住金和歌山 | 住金小倉 |
|-------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 形 式 | FB 形 1 台 | FB 形 1 台 | FJ 形 1 台 |
| 形 名 | FB 7120 両吸込 | FB 7132 両吸込 | FJ 22101 両吸込 |
| 風 量 | 9,000 m ³ /min | 10,000 m ³ /min | 8,000 m ³ /min |
| 風 圧 | -1,200 mmAq | -1,350 mmAq | -1,250 mmAq |
| ガス温度 | 120°C | 130°C | 120°C |
| 回 転 数 | 900 rpm | 900 rpm | 1,185 rpm |
| 電動機出力 | 2,900 kW | 3,700 kW | 2,300 kW |
| | 納入済み | 納入済み | 製作中 |

2.2.4 耐熱性

気体の温度は 120°C~150°C とそれほど高くないが、温度変化を考えると側輪のない FB 形がすぐれている。

2.2.5 騒 音

騒音は FB 形 FJ 形とも大差がない。

2.2.6 軸 受

FB 形の軸受は自動調心水冷軸受が標準で、油浴を併用することもある。FJ 形は自動調心軸受で強制潤滑を行わねばならない。

以上の種々の条件を考えて機種を選定するが、この場合、含じん量については集じん装置の良否によって大幅に変化し、指定値の 2 倍にも達することがあるので注意せねばならない。表 2.1 に納入済みおよび製作中の焼結炉用排風機を示す。

3. 転炉用排風機

3.1 転 炉

従来平炉製鋼法が多く用いられていたのに対し、近年、鉄鋼増産にあたり平炉から転炉への切り換えが行なわれている。転炉には多数の形式があるが、LD 転炉により高い生産能力が得られるようになりこの形式が多く用いられている。LD 転炉は転炉上部から酸素ランスにより、純酸素を吹き込む純酸素上吹転炉であり、平炉工場から小面積で済み設備が非常に安価になる。転炉は酸素吹込みにより 1,600°C にも達する排ガスを多量に生じ、このガス中には Fe₂O₃ を主成分とする粒度のきわめて細かいじんアイを多量に含んでいて、公害問題上このじんアイを集じん器でとらねばならない。また、この排ガスの熱量を利用するためにボイラが設置される場合が多い。図 3.1 に LD 転炉の系統図を示す。転炉 A に

表 3.1 転炉用排風機

| 納入先 | 住 金 和 歌 山 |
|-----------|---------------------------|
| 形 式 | FB形 2台 |
| 形 名 | FB 7144 両吸込 |
| 風 量 | 765,000 m ³ /h |
| 風 圧 | 950 mmAq |
| ガ ス 温 度 | 78°C |
| 集 ジ ン 装 置 | 湿 式 |
| 駆 動 装 置 | 流体接手 |
| 風 量 制 御 | 入口ダンパ |

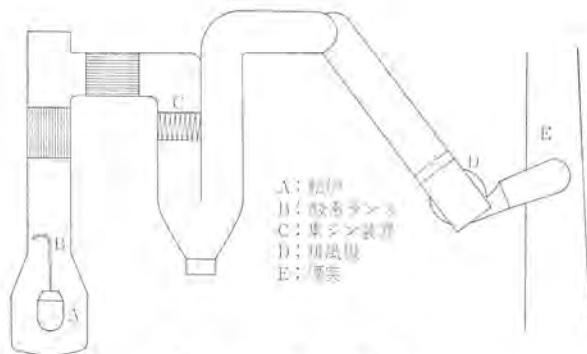


図 3.1 転炉系統図

Fig. 3.1 Schematic diagram of converter system.

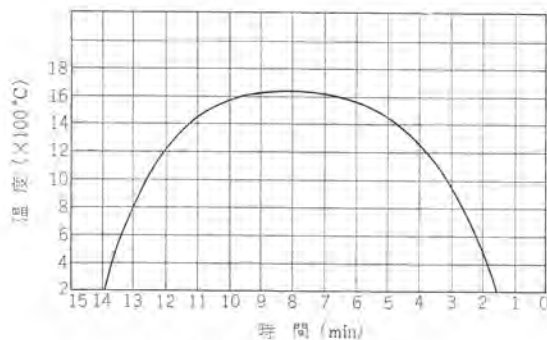


図 3.2 ガス温度変化図

Fig. 3.2 Gas temperature chart.

溶セ(銑)が入れられ酸素ランス B がそう入され酸素が吹込まれる。1,600°C に達する排ガスはボイラチューブを加熱しながら集じん器 C にはいり、集じんされた残りのガスは排風機 D を通り煙突 E に吐出される。

排ガス中のじんアイの量は溶銑 1 ton あたり 10~15 kg であるが、煙突からの排ガス中の含じん量は排ガス 1 m³ あたり 150 mgr 以下になるよう集じんされる。この排ガスに含まれるじんアイは 30~100 ミリミクロン程度の微粉である。

集じん装置には電気式の乾式集じん装置と水を用いる湿式集じん装置が用いられている。

3.2 仕様と特性

転炉の性質上、排風が必要な時間は酸素吹練時間のみであり、ほぼ 1 サイクル 30 分中 15~20 分間排風機が運転され、10~15 分は排風は停止される。また、排ガス温度も酸素吹練に応じて変化する。このように起動停止をひんばんにくりかえす必要があるため、電動機で起動停止を行なえば電動機に無理をかける。図 3.2 にガス温度の変化を示す。このために流体接手を使用したり、クラッチを使用したり、あるいは排風機は連続運転し、ダンパで制御する方法などが取られているが、ガス温度の変化が大きい点などから考えて流体接手による速度制御を行なうことがのぞましい。

排風機を通る気体の温度は湿式集じん装置の場合、60~80°C、乾式集じん装置の場合は 150~200°C 程度である。排風機の必要風圧は、湿式集じん装置の場合 800~1,000 mmAq、乾式集じん装置の場合は 500~700 mmAq 程度であり、標準状態では、湿式 1,300~1,500 mmAq 乾式集じん装置の場合は 850~1,200 mmAq 程度である。

含じん量が 150 ミリグラム/m³ 以下と小さく、粒度が細いので羽根の摩耗は少ないが、気体温度変化が大きいため熱応力に対して強い送風機がのぞましい。湿式集じん装置の場合に、排ガス中の腐食成分が水分とともに凝縮して腐食を生ずる場合があるので、腐食に対して注意する必要がある。また、じんアイが水分とともに羽根に付着して振動を生ずる場合がある。このため、湿式集じん装置の場合には、じんアイのたいせきの少ない FB 形が適していると考えられる。乾式の場合は FJ 形が効率よく経済的と思われる。

表 3.1 に製作中の転炉用排風機を示す。

4. む す び

焼結炉用および転炉用排風機として、従来 FB 形プレート形送風機に対し効率の高い FJ 形翼形送風機を開発して製作を進めている。これから用途や使用条件により、この効率の高い FJ 形翼形送風機と耐摩耗性の良好な FB 形プレート形送風機をもって需要家各位のご期待に沿い、また、ご要望に答えたいと考えている。

製紙, 紙加工機用電機品

伊藤 嗣郎*・安斎 広成*・大川 明久*・佐野善之助**

Electric Equipment for Paper-making Machines and Paper Finishing Process

Kōbe Works

Tsugio ITÔ・Hironari ANZAI・Akihisa ÔKAWA

Itami Works

Zennosuke SANO

There are many necessities essential to paper machine drives. To fill these essential needs through lower costs, improved system accuracies and easy maintenance, the T-100 systems have been developed and applied successfully in a number of industries. For a power source, thyristor Leonards are widely used because of its easy foundation and high efficiencies. Compact and highly efficient DC rotating machines, our superline D and M standard motors, are well received. Vertical geared-motors rated below 7.5 kW are suitable for paper industries for its small installation spaces.

Demands for quick response, high efficiency and rapid acceleration and deceleration are met successfully with the thyristor power source, tensioncontrol and the T-100 systems.

1. ま え が き

中国において2世紀に発明された紙の製造方法は、ゆるやかに世界各国に広まったが、それ以来16世紀の永い間ずっと手ス(漉)きで製造された。

18世紀の末にフランスで発明された長網式機械スキの方法は19世紀の初頭にイギリスにおいて完成された。また時期を同じくして円網式抄紙機もイギリスにおいて完成した。最初は水車で駆動され生産も小規模であったが、需要の増加・駆動装置の発展・抄紙機械の改良・発明のおかげで、それ以来約1世紀半を経た今日では、ワイヤ幅約9m 運転速度900m/minの新聞抄紙機や、設計速度1500m/min 運転速度1200m/min以上のティッシュ抄紙機などがアメリカやヨーロッパにおいて運転されている。

当社でも昭和37年に、ワイヤ幅7100mm 運転速度1000m/minの新聞抄紙機用電機品を2セット製造し連入し、現在ソリカムスで好調に運転中である。続いて昭和39年にはワイヤ幅6960mm 運転速度600m/minのオンマシコータ付き食品用板紙抄紙機用電機品を製造し、同じくソ連に納入した。

技術の進歩はますます速度を早めており、抄紙機においても生産量を増加し紙質を改良し機械寸法を小さくするための研究が不断に続けられており、金属工業における連続製造方式にも比すべき、パーティカルホーミングマシンや、高速で板紙を抄造するためのインパーホム、脱水能力を増すためのプレスロールの改良など種々の技術のテストや実用化が進められている。

紙加工機用電機品についても抄紙機におけるばあいと同様に、回転機・制御装置・制御方式等が急速に進歩しており、より少ない設備費・設備面積より少ない保守要員でより良い製品を大量に生産するために努力が続けられている。

2. 抄 紙 機

2.1 構 成

抄紙機は全体としてみると1台の機械であるが図2.1のようにそれぞれ独立したセクションから構成されている。

抄紙機の目的は約0.5%ぐらいの繊維を含んだストックから相互にからみ合った繊維を取り出して乾燥することである。そのた

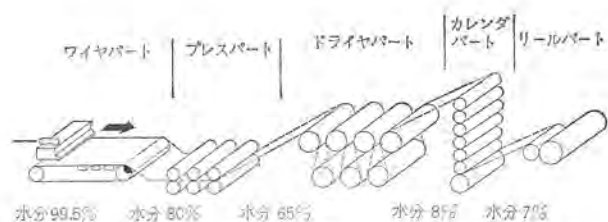


図 2.1 抄紙機略図および水分含有率

Fig. 2.1 Schematic diagram of paper machine and water contents of the web.

めには100%のストックから約99.5%の水分を取り去らなければならない。その手段として、まずワイヤパートでは金網の上にストックを乗せて、テーブルロールとワイヤとの間の脱水作用により水分を除き、更にワイヤの下からサクショボックスに水分を除去する。

プレスパートでは洗タ機(ワッシャー)の絞り器の要領で水分を絞り出す。ドライパートに入る所の水分が少ないほど、ドライの蒸気消費量が少なくて済むので、プレスパートではできるだけ多量の水分を絞り取るように工夫される。

ドライパートでは、プレスで機械的に取り除けなかった水分を蒸気で熱せられた多数のロールに押し付けて水分を蒸発させて乾燥する。

カレンダーパートでは数段に積み上げられたロールの間を通るうちに、ロールの圧力と摩擦のために、紙質を堅密にし、紙に平滑性を持たせ、ある程度の光沢をつけるのに使用される。

リールパートは、連続的に製造される紙を一定量ずつロール状に巻き上げて、抄紙機から取りはずすのに使用される。

2.2 抄紙機駆動装置の備えるべき条件

(1) 抄紙機は連続して運転されるものであって、機械が停止することによる損失が大きい。機械の停止時間を最少限に抑えるためには故障が少ないこと、故障が起きたばあいは故障部品を短時間に取り換えること、できるだけ制御装置が簡単で部品の数が少なく、保守が容易であること。

(2) 抄紙機は年間を通じて停止するのはごく短時間で、あとは連続に使用されるので、製品のコスト引き下げのために効率の高い電機品であること。

(3) 長時間連続して運転しても品質が一定であるためには、

長時間運転を行なっても運転速度が変化しないこと。

(4) 正常な運転を続けるために各セクション間の速度差を微細に設定でき、しかも設定された速度が長時間にわたり正確に保たれること。

(5) 清掃・保守等のために必要な「寸動」あるいは「低速運転」を行なうことができること。

2.3 T-100 制御装置

19 世紀の末に抄紙機の駆動に蒸気機関に代わって電動機が使用され、また 20 世紀初頭に電動機による抄紙機の多数電動機方式による駆動が始められた。駆動方式は大別して、単一電動機方式と多数電動機方式とに分かれる。単一電動機方式では、主電動機軸を設けてこれを変速電動機で駆動し、抄速を決定する。各セクションは差動歯車と無段変速装置とによって任意のドラールに調整されて駆動される。

多数電動機方式は各セクションに駆動電動機を設けて駆動する方式である。あらゆる種類の外乱に対しても常に一定の関連速度を保って長時間連続運転を行なう必要があるため、各社各様の制御方式を採用しているが、大別すれば、速度制御方式と位置制御方式とに分かれる。

速度制御方式は、アナログまたはデジタルに各セクションの電動機速度を制御するものであって、制御が全く電気的に行なわれて機械的な機構を必要としないために応答速度が早く、摩耗部品がないため保守が簡単容易で、理想的な方法である。ただし今まではアナログの 0 型の制御装置を使用していたので、定常偏差をある程度以下にすることができず、低速度の抄紙機やパルプマシンに限って使用されていた。

位置制御方式は、各セクションの電動機回転角位置を合わせるように制御するものである。位置制御のみを行なう単純位置制御方式では、応答速度が遅く、制御精度をあげると安定性が悪くなる欠点をもっている。これを補うためにパイロット発電機により速度制御をおこない、それに位置制御を併用する複合位置制御方式がひろく使用されている。

当社のものは、各セクション電動機のそばに一對のコンパリーを用意し、そのうちの一つは基準周波数によって指定される回転数で回転し、他の一つは、直流電動機速度に比例した回転数で回転する。そのセクションのドラールはコンパリーに掛ったベルトの位置を調整して制御される。セクション電動機が指定の速度をはずれると、コンパリー中に設置された遊星歯車が回転して、回転数差をパイロット発電機が回転数差の時間積分したものをシンクロ発信器がそれぞれ信号を発して増幅器を経て修正作用を行なうものである。

回転角度差を検出するのに機械機構を必要とするものでは、高速で回転する機械機構の潤滑と、摩耗部品の保守とがやっかいであり、また可変周波数発生装置などの回転装置の取り付けスペースの必要なこと、機械機構が特殊なため増設、改造が容易でないなどの欠点がある。

当社ではアナログ式の速度制御方式で、純電気的に速度制御を行なう方式で、応答速度が早く（機械時定数の大、小にかかわらず速度制御応答速度が 0.2 秒以内）しかも 2 型の制御系であるために、定常偏差はもちろん減速時における一定加速度変化の指令信号に対しても誤差なく追従する T-100 システムを製作している。アナログで制御を行なうので周波数発生装置等の特殊な装置は必要でなく、複合位置制御を使用した電機品より安価に製作でき、純電気式であるため保守が容易である。アナログ制御であるた

製紙、紙加工機用電機品・伊藤・安斎・大川・佐野

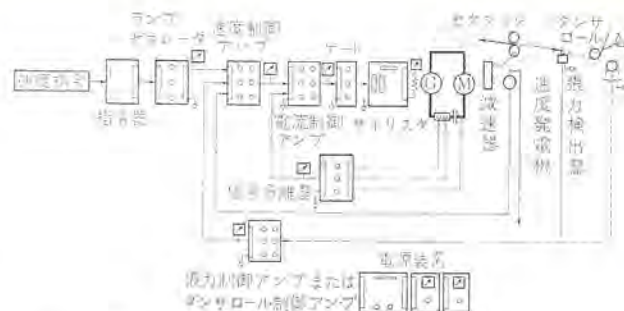


図 2.2 T-100 システムブロック線図

Fig. 2.2 Block diagram of T-100 sectional drive system.

め装置が簡単で保守も容易であり、特殊な装置を必要としないうえにあらゆる種類の現有設備の改造・増設が、簡単にできる利点がある。

ウェスティングハウス社では昭和 38 年に製作開始してから、昭和 41 年までの 4 年間に抄紙機 28 セット、紙加工電機品を含めて紙関係だけで 62 セットの T-100 システムの電機品を製作している。

当社では 640 m/min (15 万部/時間) の高速自動紙継装置や、コア電機品に使用して好成績を得ている。

T-100 システムよりも更に高精度の速度制御を要求される場合には純電気的・デジタル速度制御装置としてパルスセツを製作している。

2.3.1 T-100 制御システム

図 2.2 は T-100 システムの標準ブロック図である。ブロック図の各ブロックに対応する制御器具があり、ブロック図をほとんどそのまま結線図として使用することができる。4 つの帰還回路がありそれぞれに 1 つずつの制御装置があるが、張力制御とダンサロール制御とは使用しないときもあるし、使用するときでも両者を同時に使用することはない。一番内側のループは電圧および電流を制御する。運転中には電流制御装置として働き、停止時には電圧制御装置として働く。また速度制御装置と相まって良好な電流制限特性を有する。

速度制御ループは通常、電流ループに指令信号を与えることにより速度制御を行なう。張力制御ループは張力検出器の出力により、速度指令信号を増減して張力制御を行なう。張力制御なしで紙通ししたのち張力制御を開始するとき出力の急変を起さないように注意してある。

ダンサロール位置制御ループはダンサロールが常に中心位置にくるように位置制御を行なう。紙張力はダンサロールの空気圧によって制御を行なう。

2.3.2 T-100 の応答特性

紙関係の駆動装置に対して要求される特性には、長時間運転時の定常速度変動が少ないことと同時に、負荷急変時あるいは信号を急変したときの過渡応答が早くしかもオーバーシュートが少ないことが要求される。T-100 システムの応答特性は下記の通りである。

定常偏差

T-100 システムの速度制御ループは 2 型の制御系であるので、理論的にはゼロであるが、実際には演算増幅器の増幅度は有限であるので、50 % 負荷変動に対し最高速度の ± 0.02 % 程度である。

ドリフト

T-100 システムの 8 時間のドリフトは、下記の条件において、最高速度の ± 0.1 % 以内である。

(1) 制御装置の周囲温度が 20~40°C の範囲内で、5°C/h 以

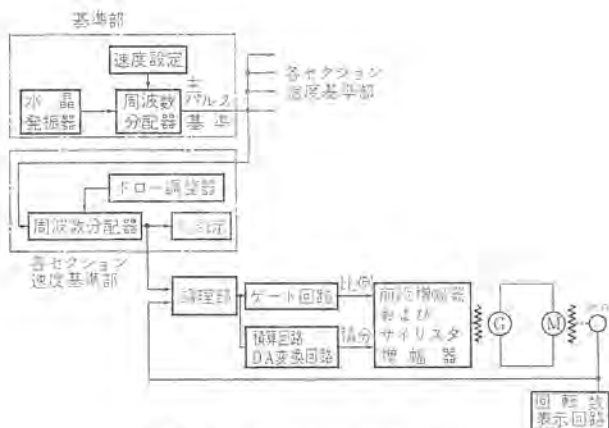


図 2.3 パルセッタブロック線図
Fig. 2.3 Block diagram of pulsetter.

内の温度変化であること

(2) 交流電源電圧変動が定格電圧の $\pm 10\%$ 以内

(3) 周波数変動が $\pm 0.5 \text{ c/s}$ 以内

T-100 システムの速度制御応答時間

T-100 システムの速度制御系は機械時定数の大小にかかわらず 0.16 秒から 0.2 秒である。

T-100 システムの速度制御系は 2 型の制御系であるので、一定加速度の加速および減速指令に対して誤差ゼロで追従する。

これは各セクションの機械的構成その他が各々異なる抄紙機あるいはコータの駆動装置にとってはとくに必要な性質である。

2.4 パルセッタ

パルセッタとは当社のデジタル速度制御装置の商品名で、速度制御精度が 100% 負荷変動で $\pm 0.2\%$ 以内を要するときなどに使用する。図 2.3 はパルセッタのブロック図である。

基準部はラインの運転基準速度を設定する部分で、速度設定押しボタンにより、水晶発振器の固定周波数を 10 進の周波数分配器により設定けた数だけ分割し、固定周波数から間引いて速度の基準となる周波数をとりだす。

各セクション速度基準部は各セクションの速度基準を設定する部分で、ドロー調整器の設定により、運転基準速度よりドロー分だけ低い速度基準周波数をとりだす。たとえばドロー 10% のばあいは、ラインの基準速度の 90% に相当する周波数がとりだされる。

論理部は速度基準パルスと電動機に直結されたパルス発信機のパルスとの比較回路で、一致消去回路と整形回路とよりなり、パルセッタの最も特長のあるところである。図 2.4 に一致消去回路と整形回路の説明図を示す。入力 A にパルスがはいると (b)-(1) のように波形整形され、一定時間幅のパルスとなる。さらに次段の波形整形回路 2 にはいると (b)-(2) の波形のように一定時間おくれた一定時間幅のパルスに変換され、ゲート 2 に禁止信号がはいっていないければ、これが出力として A に現われる。

いま入力 B にパルスがはいり波形整形回路 3 で整形され、(b)-(3) の波形になったとすると、波形 (b)-(1) と波形 (b)-(3) とが重なり合う時点でゲート 1 が動作し、波形整形回路 5 を経て (b)-(4) の波形に整形される。これがゲート 2, 3 の入力に禁止信号としてはいるためゲートは閉じ、波形整形回路 2, 4 よりのパルスを遮断する。入力 A, B に (c) のようなパルスがはいったとする、入力 B にパルスがはいって、つぎに入力 A にパルスがはいるときには、出力 A はそのパルスだけ出力が出ない。

逆に入力 A にパルスがはいってつぎに入力 B に入力があるときには、出力 B はそのパルスだけ出力が出ない。このように交互



図 2.4 一致消去回路、整形回路
Fig. 2.4 Coincidence pulse canceller.

にパルスが入れ換わるとき出力に出るパルスが消えるので、パルスの数がその数だけ少なくなる。このように基準パルスとパルス発信機のパルスが時間的に重なり合ったとき、および交互にはいったときは両方のパルスが消去されるので、積算回路の動作が非常に正確になる。

積算回路は可逆 2 進計数回路が数段直列に接続されており、パルスをつぎつぎに送り、その状態を記憶して DA 変換回路の入力にはいる。DA 変換回路は定電流制御回路を有し、入力のパルス出力の状態により、それに比例した電流値に変換する。この積算回路は積分制御系であり、速度制御の精度を高くすることができるが、積分制御系のみでは応答速度がおそくなる。応答速度を速くするために、論理部の出力パルスをゲート回路で DA 変換して増幅器に入力する比例制御系を備えている。

ゲート回路と積算回路の出力を前増幅器とサイリスタ増幅器で増幅して発電機界磁を制御し、電動機を速度を制御する。ここでは直流発電機を電源とするばあいについて述べたが、もちろん電源にサイリスタを使用することもできる。

2.5 静止レオナード装置

抄紙が高速化するにしたがって高度の性能が要求される。応答速度の早い点から、イグナイトロン整流器が採用されていた。イグナイトロン整流器は本質的に時間遅れがなく、電圧・負荷の変動に対して非常に反応度の高い制御ができ、また定常状態の制御特性もきわめてすぐれており、静止器で据付け容易で騒音がないこと・効率が良好なこと・保守が簡単なことなどあいまって抄紙機駆動装置の電源装置として大幅に採用されるようになった。しかしイグナイトロン整流器は比較的単機容量が大きく、容量の小さいものには割高になるので、単一電動機方式においてはラインシャフト駆動電動機電源に採用されるか、比較的小容量のヘルパ駆動電動機電源には従来と同様、電動発電機を使用したレオナード装置が採用されていた。

多数電動機方式においても、イグナイトロン整流器は共通母線方式の母線電源に使用され、各セクション電動機は昇圧機を直列に接続して速度制御を行なう方式が採用されていた。

イグナイトロン整流器はタンクの温度を過温に保たないと、逆弧・アーク切れ等の異常現象を起こし運転不能になるのでその温度制御が重要であり、風冷式に比して数段冷却効果のよい水冷方式が採用されてきた。しかしながら水冷式を採用するばあい、閉路循環式とするため、温水ソウ・再冷器等の付属機器が必要となり、その据付けも比較的やっかいであった。

サイリスタはイグナイトロン整流器に比して非常に小形であり、そ

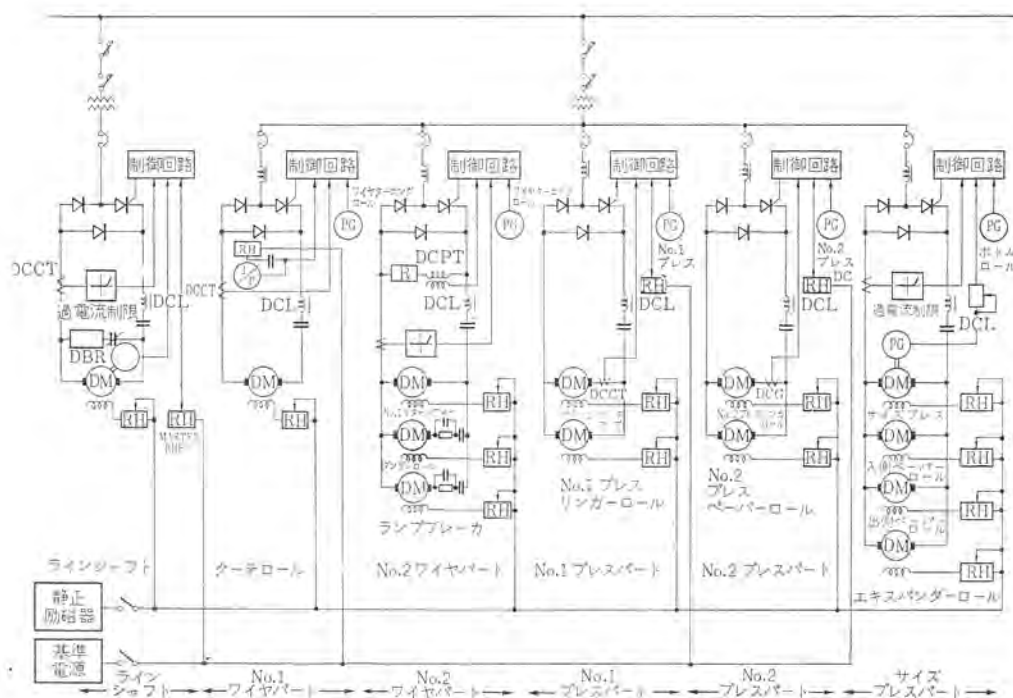


図 2.5 三菱製紙納め抄紙機用サイリスタレオナード簡略結線図
Fig. 2.5 Connection diagram of thyristor leonard for paper machine for Mitsubishi Seishi Co.



図 2.6 三菱製紙納め抄紙機用サイリスタレオナード装置
Fig. 2.6 Thyristor Leonard for paper machine for Mitsubishi Seishi Co.

の一素子の通電容量は、小は数百ミリアンペアから大は 300 アンペア程度まで各種生産されている。しかもイグナイトロン整流器と同様本質的に時間遅れがないので速応性の高い高性能の制御が可能でありまたその運転効率もイグナイトロン整流器のアーチドロップに相当する順方向電圧降下が非常に小さいので、さらに良い効率が得られる。また原理的に逆弧やアーク切れ等の異常現象は起きず、したがってその温度制御も簡単に風で冷却すればよいので、冷却に要する付属機器も特別考慮する必要がない。このようにイグナイトロン整流器に比較して数段使いやすくなりしかも単機容量を十分小さくできるので、単一電動機方式ではヘルパ電動機用電源にも採用することができる。多数電動機方式においても各個電源方式が経済的に十分採用し得る。

静止レオナード装置による当社の製紙関係の製作実績は、多数電動機方式では東北パルプ石巻工場納め 440 V、1400 kW があり、これは GU-21 形水冷密封式イグナイトロン整流器を共通母線方式の電源として使用している。

単一電動機方式では十條製紙八代工場に 600 V、840 kW 1 台、山陽パルプ岩国工場に 440 V、286 kW 1 台、東洋パルプに 750 V、1000 kW 1 台を納入したがいずれも水冷密封式イグナイトロン整流器を使用している。

サイリスタレオナード装置の実績には、三菱製紙八戸工場納めの単一電動機方式抄紙機用電機品がある。図 2.5 に簡略結線図を

製紙、紙加工機用電機品・伊藤・安斎・大川・佐野

図 2.6 にサイリスタレオナード電源装置の外形図を示す。

ラインシャフト電源装置は 440 V、660 kW で速度制御を行っている。

ヘルパ電動機用電源ではサクションチローラがサクションボックスの真空圧を空電変換して電流制御を行なうほか、No. 1、No. 2 プレスパートは電流制御を、サイズプレスパートは速度制御を、それぞれ行なっている。

2.6 直流回転機

製紙工業における工程は一貫した流れ作業であって、その工程における電動力設備は広範囲の機種にわたっている。木材からパルプを作る前半工程では、ほとんど交流電動機が用いられる。直流電動機はパルプから紙をつくる抄紙機

とそれを仕上げるスーパーカレンダー・ワインダおよびコータなどに使用される。直流電動機が使われる理由として、

- (1) 広範囲にわたる速度を必要とする。
- (2) 精密な速度、ドロー調整を必要とする。

などがあげられ、大容量のラインシャフト用主電動機を除けば、当社の一般工業用直流電動機 スーパライン D および スーパライン M の適用範囲内であることが多い。(詳細は別掲の最近の工業用電動機を参照) (表 2. 1)

標準仕様

| | |
|----------|--|
| 適用規格 | JEC-146 (1960), JEC-54 (1965), JEM 1170 (1963) |
| 電 圧 (V) | 110, 220, 440, 600, 750 |
| 絶 縁 | B 種 |
| 温度上昇限度 | 60 deg (開放形に含まれるもの) 75 deg (全閉形に含まれるもの) |
| 過負荷耐量 | 常用最大 150 % (とくに指定のあるものは除く) |
| 計画上の注意事項 | はつぎの点があげられる。 |

2.6.1 小さな速度変動率

速度変動率はできるだけ小さくし直線性をもたせ各電動機の負荷特性を一致させる。「紙切れ」や「シワ」が生じないようにするには負荷が変動しても抄速ドローが常に一定に保たれることが必要であるが、そのためには電動機は速度変動率はできるだけ小さくしなければならない。一般に普通の分巻電動機は速度変動率は、基底速度で 5~15 % であるが、抄紙機およびオフマシニングでは 3 % 以内に抑える必要がある。その方法としては、電動機の主回路の電圧降下を検出して差動直巻線を励磁し、それを調整する方法をとっている。しかしあまり励磁を強くするとシリ上がり特性を助長することになるので注意を要する。

2.6.2 ファンイ気に対する考慮

ファンイ気は湿度が高く紙粉が多いので、整流子面の損傷や絶縁抵抗の低下を防ぐため電動機は保護形式は、管通風形(通風機は電動機と別に置いて管を通して通風する)または全閉形、全閉外

表 2.1 製紙工業用直動電動機の標準定格とワット番および基本外形寸法

| 用途例 | 出力 (kW) | 回転速度 (rpm) | ワット番号 | 基本外形寸法 | | | 重量 (kg) | GD ² (kg-m) | 備考 |
|---|------------|---------------|-------|--------|---------|-----|------------|---------------------------|------------------------------|
| | | | | A | B | C | | | |
| スリッター モーター ヘルパ モーター (全閉形) | 0.75 | 1,750 | 112 L | 224 | 413.5 | 112 | 45 | 0.06 | |
| | 1.5 | " | 132 L | 260 | 514.5 | 132 | 76 | 0.09 | |
| | 2.2 | " | 160 L | 312 | 630.5 | 160 | 125 | 0.23 | |
| | 3.7 | " | 180 M | 350 | 657.5 | 180 | 170 | 0.43 | |
| | 5.5 | " | 180 L | 350 | 695.5 | 180 | 185 | 0.55 | |
| セクション モーター ウインダ モーター スーパーカ レンダモ ーター ヘルパ モーター (開放形) | 7.5 | 1,750 | 180 M | 350 | 657.5 | 180 | 170 | 0.43 | ブラケット 形 (スーパー ラインD) |
| | 11 | " | 180 L | 350 | 695.5 | 180 | 185 | 0.55 | |
| | 15 | " | 200 M | 394 | 737.5 | 200 | 230 | 0.7 | |
| | 18.5 | " | 200 L | 394 | 775.5 | 200 | 250 | 0.9 | |
| | 22 | " | 200 L | 394 | 775.5 | 200 | 250 | 0.9 | |
| | 30 | 1,150 | 250 M | 494 | 917.5 | 250 | 460 | 2.7 | ブラケット 形 (スーパー ラインM) |
| | 37 | " | 250 M | 494 | 917.5 | 250 | 460 | 2.7 | |
| | 45 | " | 280 M | 554 | 1,034.5 | 280 | 650 | 4.3 | |
| | 55 | " | 280 M | 554 | 1,034.5 | 280 | 650 | 4.3 | |
| | 75 | " | 315 S | 620 | 1,113.5 | 315 | 870 | 7.8 | |
| | 90 | " | 315 M | 620 | 1,164.5 | 315 | 980 | 8.8 | |
| | 110 | " | 355 M | 700 | 1,333 | 355 | 1,150 | 21 | |
| | 150 | " | 355 L | 700 | 1,398 | 355 | 1,300 | 25 | |
| | 185 | " | 400 M | 790 | 1,455 | 400 | 1,900 | 37 | |
| | 220 | " | 400 L | 790 | 1,510 | 400 | 2,060 | 41 | |
| | 300 | " | 450 M | 890 | 1,523 | 450 | 2,480 | 62 | |
| | 370 | " | 450 L | 890 | 1,588 | 450 | 2,720 | 69 | |
| ラインシャ フトメイ ンモーター (開放形) | 370 | 1,000 | 500 L | 980 | 1,747 | 500 | 3,890 | 118 | ベデスタ ル形 |
| | 450 | " | 560 S | 1,100 | 1,792 | 560 | 4,660 | 182 | |
| | 520 | " | 560 M | 1,100 | 1,842 | 560 | 5,100 | 197 | |
| | 600 | " | — | 1,300 | 2,480 | 720 | 6,100 | 350 | |
| | 700 | " | — | 1,300 | 2,550 | 720 | 7,000 | 410 | |
| | 800 | " | — | 1,800 | 2,750 | 800 | 7,500 | 560 | |
| | 1,000 | " | — | 1,800 | 2,850 | 800 | 8,500 | 700 | |

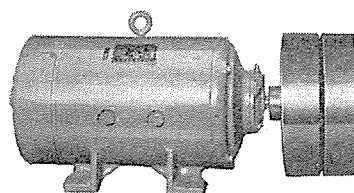


図 2.7 スリッターモーター (ナイフドラム直結)
Fig. 2.7 Slitter motor with knife drum.

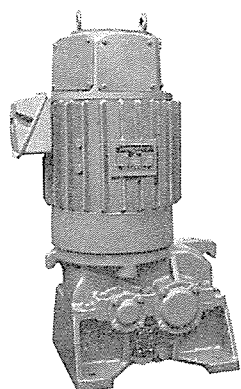


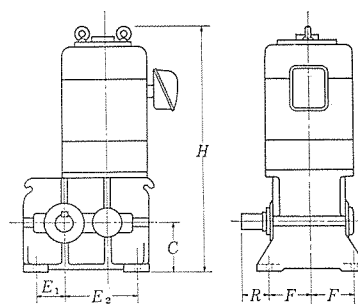
図 2.8 立形減速電動機
Fig. 2.8 Super line DC geared motor (Vertical type)

扇形とする場合が多い。

2.6.3 外形寸法の制限

外径方向に制限を受けるものは電機子鉄心長を長くし、軸方向に制限を受けるものには外径を大きくし、あるいは絶縁階級を

表 2.2 立形減速電動機基本寸法 (全閉形)



| RPM | kW | C | E ₁ | E ₂ | F | H | R |
|-------------|------|-----|----------------|----------------|-----|-------|-----|
| 52.5 100 | 0.37 | 112 | 75 | 165 | 110 | 512 | 65 |
| | 0.75 | 132 | 85 | 185 | 125 | 649 | 70 |
| | 1.5 | 160 | 105 | 245 | 150 | 788 | 90 |
| | 2.2 | 180 | 130 | 280 | 150 | 939 | 90 |
| | 3.7 | 225 | 155 | 335 | 175 | 1,014 | 100 |
| | 5.5 | 250 | 180 | 400 | 195 | 1,085 | 115 |
| 101 360 | 0.37 | 112 | 75 | 165 | 110 | 512 | 65 |
| | 0.75 | 112 | 75 | 165 | 110 | 614 | 65 |
| | 1.5 | 132 | 85 | 185 | 125 | 740 | 70 |
| | 2.2 | 160 | 105 | 245 | 150 | 884 | 90 |
| | 3.7 | 180 | 130 | 280 | 150 | 939 | 90 |
| | 5.5 | 225 | 155 | 235 | 175 | 1,040 | 100 |
| | 7.5 | 250 | 180 | 400 | 195 | 1,085 | 115 |

上げて全体を小さくすることができるが特殊設計となる。一例として、図 2.7 に外径寸法制限をうけるスリッターモーターをしめす。

2.6.4 電動機の回転速度の選定

電動機の体格はトルクに関係があつて、回転速度を高くするとほど小さくなる傾向にあるが、逆に整流が苦しく、振動、騒音が増加し、機械的強度も問題となり、減速機も大きくなるのでおのずから制限がある。一般に界磁調整による速度設定範囲は、5~10%程度あれば十分である。当社では基底速度は中容量機に対しては 1150 rpm、小容量機に対しては 1750 rpm を標準としている。

2.6.5 減速電動機の採用

製紙工業に限らず一般に電動機は減速機を通して負荷と直結されているが多い。スペースを小さくするために小容量機では、減速機に電動機をオーバーハングさせたいわゆる減速電動機が使用される。この減速電動機は従来すべて横形であつたが、当社ではとくに 7.5 kW 以下の小形機用として、さらにコンパクトでかつ取り扱いに便利な横出力軸の立形減速電動機の製作を開始した。(図 2.8, 表 2.2 参照)

2.6.7 その他

精度の高い制御をするために次の点に留意すべきである。

(1) 応答を早くするため発電機、昇圧機の界磁コイルのタイムコンスタントを小さくする。

(2) 速度検出用パイロット発電機の電圧脈動率はできるだけ小さくする必要があり、その結合方法にも十分注意しなければならない。

3. 加工用電機品

3.1 ワインダ・張力制御および張力検出器

3.1.1 ワインダ

製紙工業では他の製鉄工業などと同じく、製品は無限に長い

張力制御器は張力の比較のみでなく、最初に張力を印加するとき、急激に張力が掛って、紙切れを起こすことのないように制御する機能をも持っている。

3.2 スーパーカレンダー

抄紙機のカレンダーは金属製ロールだけから構成されているので、圧力を増すとが押しつぶされてしまうのであまり光沢は付けられない。

スーパーカレンダーは抄紙機のカレンダーよりもさらに光沢を必要とする紙に対して使用される機械でチルドロールとコットンロールあるいはペーパーロールとを交互に積み重ねてあり、この間に紙を通し、上から圧力を加えるとチルドロールと弾性に富むコットンロールやペーパーロールとの摩擦によって、強い光沢が得られる。

通常一番下のロールを駆動し他のロールはそれぞれロール表面の摩擦によって回転する。駆動には広範囲にわたる円滑な制御を必要とするところから、ワードレオナード制御が使用される。

巻戻機と巻取機とはカレンダー駆動電動機から機械的変速装置により中心駆動により制動あるいは駆動されるばあいが多いが、特に大型のものでは直流回転機により電気制動あるいは駆動する。

運転速度も年とともに増加しており数年前には300~400 m/min 程度であったが、最近では600~800 m/min になっている。

通紙速度は8~12 m/min 程度が選ばれる。損紙を少なくするためには低速で加圧した方がよいが、加圧したまま停止するとコットンロールやペーパーロールが変型してしまって使用できなくなるので、最高速度の1/50~1/100の低い速度で運転中にロール加圧による急激な負荷の変動があっても、絶対に停止することは許されない。

巻戻機、巻取機を電氣的に制御するにはワインダの巻戻機と同様に逆起電圧を紙速度に比例する様に制御し、電機子電流を制御する方式が一般に行なわれているが、紙張力を直接な検出して張力制御を行なう方がよい製品が得られる。

3.3 輪転印刷機

印刷機2台、折機1台とで1セットになっており、印刷機折機それぞれに駆動電動機を備えており、この印刷機と折機のセットが幾組か組合わさって印刷機を構成しており印刷内容によって種々の組み合わせによって印刷される。印刷機および折機それぞれに1台の電動機をもってこれをクラッチを介して直結してラインシャフトに連結して運転される。駆動電動機には誘導電動機あるいは直流電動機が使用される。誘導電動機の場合はリアクトルあるいはサイリスタにより電圧制御を行なう。直流電動機の場合は直流発電機あるいはサイリスタレオナード装置より給電される電圧制御が一般的である。ラインシャフトの回転速度が、1450 rpm (50 c/s 地区)、1750 rpm (60 c/s 地区) を越えるものには直流電動機を使用する。

3.4 全自動紙継装置

常用運転速度かそれに近い運転速度で走行紙と新巻紙との紙継ぎを自動的に行なう装置で、1900年にアメリカにおいて初めて製作された。紙継ぎの方法は大別して2つあり、その1つは新巻紙の先端にノリをつけておき、新巻紙を駆動して走行紙と同じ速度になるように制御し、走行紙を新巻紙に押し付けてノリ付けを行ない走行紙の残紙をナイフで切断するもの。もう1つはA、B 2種のノリを合わせると接着力を発揮し、Aだけでは接着力のないノリを用意し、Aノリを新巻紙の先端に塗布しておき、新巻紙を走行紙に押し付けてその摩擦力により新巻紙を回転させて走行紙と同期させ、巻戻し紙が少なくなったときに新巻紙の表面にBノ

リを吹き付けてAノリとBノリとを合わせて接着力を発揮させて、新巻紙の先端を走行紙に接着し残紙を切り取る方法である。

重いロールや薄い紙には後者は使用できない。最近では前者の方が多く使用されている。

2本あるいは3本アームのタレットに紙ロールを装着して1つの紙ロールを巻き戻している間に新しいロールを装着して、旧紙の残りが少なくなるとタレットを回転して、新巻紙をノリ継位置まで回転させ、新巻紙を駆動し、走行紙と同期したときにブラシあるいはロールによって走行紙を新巻紙に押し付けて接着させ、ナイフにより旧紙の残りを切断し、再びタレットを回転させて運転位置に至れば、一連の紙継ぎ動作の終りとなる。全自動紙継装置は、電気的あるいは光学的に旧紙コイル径を測定して紙継開始を行なうものであって新紙の装着以外には全く人手を要しないものである。

新巻紙の駆動には、紙コイルの表面にベルトあるいはロールを接触させて、これを速度制御することによって駆動し、紙継後の張力制御には、紙コイル表面に接触するベルトの張力を機械的あるいは電氣的に制御するものと、紙コイルの駆動も、運転中の張力制御も紙コイルの中心のコアに減速機を経てつながれた直流回転機によって行なう方式とがある。紙コイル中心から動力の伝達を行なうものの方が、紙表面を損傷することがなく、また静電気の発生による印刷機中のトラブルが皆無であり、加速と張力制御とを別の機構によって行ない、常にどちらかが遊んでいるというような無駄もなく、装置をコンパクトにすることができて合理的である。

一番の利点は、機械ブレーキを使用する方式では加速を行なうばあいに、紙の張力のみによって紙ロールが駆動されるので、薄い紙や、張力をあまりかけられない紙を処理するときには起動時間が長くなるが、中心軸駆動方式では制動用電動機が電動機として働き、動力を供給するので定速運転時と同じ紙張力を保ったまま短時間に加減を行なえることである。

また高速機においては、駆動装置から紙ロールに加えるべき動力が増大し、しかも、速応性を要求されるのであるが、紙ロールの表面を駆動する方式では動力伝達能力におのずから限界がありまた、スリップのために速応制御を行なうことはできない。

中心軸駆動方式では電動機と紙ロールとは減速機によって強固に結合されているので駆動タ力が増大しても、いかに速応性が要求されてもこの要求に十分答えることができる。

当社では、中心軸駆動方式のもので電動機をタレットのおのお

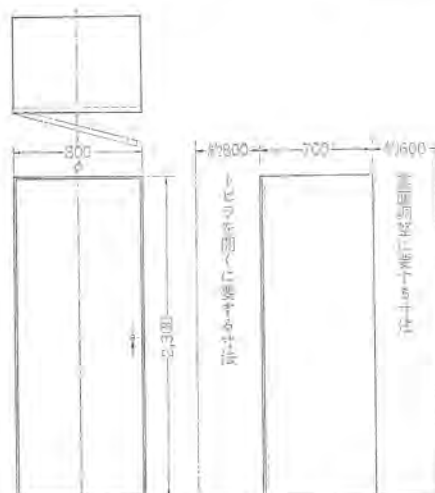


図 3.2 全自動紙継装置外形
Fig. 3.2 Full automatic flying splicer control panel.

ののアームに装架して加速および、張力制御を行なう方式の全自動紙継制御を標準品としており、

運転速度 130 m/min~680 m/min
 ノリ継速度 50 m/min~680 m/min
 紙幅 813~1626 mm

3本アームのターレット用、すなわち3台の直流電動機の

- (1) 新リールの加速
- (2) 旧紙と新リール表面とのセン速
- (3) ノリ継制御
- (4) 張力制御
- (5) 制動

等すべての制御機能を、図3.2の寸法の制御盤1面に収納している。この寸法は、上記の能力を有する制御盤としては世界最小のものである。

3.5 コータ

紙の印刷性や発色性を向上させたり、紙の不透明度を増すために紙に顔料を塗布して乾燥させるための機械装置をコータという。乾燥したのち、つや出し、調湿等の装置を備えたものもある。コート紙が最初に商品として製作されたのは19世紀の中ごろである。初期にはブラシ塗料を紙に塗布していたが、それより一世紀を経た今日では次々と新しい塗布方法が実用化されている。

ロールの表面で塗料を塗布するロールコート、ロールで塗布した塗料のうち余分のものを狭い吹き出し口から吹き出す空気流によって吹き飛ばす方式のエアナイフコート、さらに最近ではロールによって塗布した塗料の余分のものを金属板でかき落とすブレードコートが使用されている。ブレードコートは高速で運転することができるので、外国では現有のコータをブレードコートに改造することが行なわれており新設のコータはほとんど全部ブレードコートになっている。

コータの駆動は直流電動機による各個駆動方式が一般的であり、ライオンシャフト方式は、テストコータのように小型のものに使用される。コータは損紙を少なくするために25 m/min/sec すなわち、750 m/min まで30秒で加速するなど急加減速が要求されるので、GD²の異なる各セクションをセン速しつつ加減速を行なう技術が要求される。

コータの巻き戻しおよび高速紙継ぎ制御は印刷機の全自動紙継装置と同じ装置が使用できる。ただし最近の傾向としてコータが高速化幅広化が行なわれると、幅の広い直径の大きい、重い紙ロールをターレットに装架しなくてはならぬためにターレットが大型化し高価となり、機械幅がターレットの部分だけとくに大きくなり、また、精密な工作および据え付けが必要となるが、最近ではトランスファタイプと称する方式の巻戻装置が実用化されている。

図3.3に示すように新巻紙は、固定された台上に置き、地上に設置した直流電動機により中心軸駆動方式により駆動する。紙継ぎ時には駆動されたスライスロールとナイフその他の機構が、紙ロール表面に近付き紙継ぎ動作を行なう。ナイフが動作すると同時に地上に設置した電動機は速度制御から張力制御に切換えられる。旧コアは取り外して、アームが傾斜位置から直立位置に戻り新巻紙のコアに固定される。新巻紙の直径が一定値以下になるとアームを傾斜させる。アーム上に移った紙コアは駆動側のアームに設置している直流電動機により張力制御を行なう。新巻紙を台上に置けば再び最初と同じ状態となりこれにより連続的に給紙することができる。この方式によれば重い紙ロールを回転させる必



図 3.3 トランスファタイプ巻戻機動作
 Fig. 3.3 Transfer type unwinder drive sequence.

要がないので、機械構造が小さくなり、取付けスペースが小さくなることのほかに、重量の種々異なる紙ロールが固定していて、重量が常に一定である機械部分が前進するので、新巻紙表面とスライスロールとのギャップを常に一定に保つことができる。電動機への給電が簡単である等の利点があるが、その中で特筆すべきものは、1つの紙コイルを処理するのを2台の電動機で手分けして行なうために電動機の界磁制御範囲の2倍のコイル径変化に対して張力制御を行なうことができる点である。

すなわち、ターレット式のばあいではコイル径変化範囲をする界磁制御範囲をもった直流電動機を2台または3台用意する必要があるが、トランスファタイプであればコイル径の変化範囲の半分の界磁制御範囲をもった電動機2台でことたりる点である。一般に直流電動機の界磁制御範囲は1:4であるので、トランスファタイプでは1:8のコイル径変化まで標準の直流電動機で制御することができるので、電機品をより安価に製作することができる。1台の直流電動機で1:8の界磁制御範囲をもったものは、特殊な設計になる。ターレット式では、この特殊品を2あるいは3台必要とするので非常に高価になる。

4. む す び

各産業とも、電気保守担当者の数を減らす傾向にあるが、T-100システムを使用すれば装置が純電氣的であるので、損耗することがなく直流増幅器は全部共通に使用できる標準品であるため、保守の手間を大幅に省くことができ、電気保守担当者の数を減らすことができる。さらに電源装置にサイリスタオード装置を使用すれば、ラシ・整流子などの点検・手入れの手間を省くことができる。

当社は多数の実績を有し、故障のない部品を使ってすぐれた製品を製作し、需要家各位のご好評を得ている。また海外にも多数の設備を輸出している。

今後ますます研究、開発に努力し各位のご期待に沿いたいと念願するものである。
 (昭41-6-11受付)

工作機用電機品

吉田 太郎*・酒井 靖夫*・三品 英二**

Electric Apparatus for Machine Tools

Nagoya Works
Kōbe WorksTarō YOSHIDA・Yasuo SAKAI
Eji MISHINA

Recent remarkable attainment of high grade technique in machine tools is derived from the progress of electric apparatus for use with them. Users demands for machine tools involve high speed in operation, automatization, improvement of processing accuracy, easy maintenance, versatility of machining, inexpensive cost and dependability, almost limitless requisites. Nevertheless, wonderful development of electric apparatus has gone a long way toward fulfilling the demands. Herein are introduced control equipment turned contactless by the use of semi-conductor elements, program controls, Thyristor leonard controls of DC motor and two and three dimensional copying system and numerical controls as applications of the above, and also developments of electrolytic and discharge processing machines, with practical examples.

1. ま え が き

最近の工作機の性能は、作業の高速度化、運転操作の自動化、加工精度の向上、加工性能の万能化などにおいて、著しい発達が見られる。これらは機械自体の進歩によるところが大であるが、同時に電機品の技術的進歩によるところも多い。とくに、電気制御装置は主要なやくめを果たしている。

電気制御装置の傾向としては、サイリスタ、トランジスタなどの半導体素子を大幅にとり入れて、複雑高度な制御を行なわせ、同時に信頼性が高く、かつ保守が容易なものとしている。さらに自動制御技術、計数制御技術を多方面に導入している。これらは経済的にみて、価格面でも、性能に比較して決して割高ではなく、十分に実用的なものとなってきている。

2. 最近の工作機用電機品

最近の工作機は技術的に著しい高度化が見られ、一般的傾向としては作業が高速度化し、操作がますます自動化されている。高速度化は工具の発達、機械自体の機構の改良と呼応するものであり、自動化は人手不足の問題と熟練を不要とする問題を解決するものであるといえよう。いずれも電機品の技術的進歩によるところが多いが、他方、同時に加工精度も著しく向上したので、これらかなり電気制御に依存している。

広範囲の精度の高い速度制御、あるいは精密制御（位置決めなど）のために直流電動機の使用が多くなり、電源には電動発電機の代わりにサイリスタの使用が多くなってきた。いわゆるワードレオード方式に代わるサイリスタ静止レオード方式である。サイリスタの進歩改良による信頼性の向上とあいまって、制御回路も安定したものが製作できるようになった。標準化によって価格の点からも容易に使用しうるものになってきた。

一方、慣性の大きい負荷をひんぱんに加、減速を行ない、しかも広範囲精密な速度制御の場合（たとえばブレーキ）にはワードレオード方式も適用されている。ただし、この場合も界磁増幅器にはサイリスタを応用し、従来の回轉増幅器によるものより格段にすぐれたものとなっている。

高ひん度数動作、あるいは複雑な自動シーケンス回路には

信頼度の高いリレー素子が必要とされるが、無接点リレー制御を取り入れることによって、これに答えることが可能となった。当社のトランジスタサイバックは、すぐれた無接点リレーとして各種工作機に應用され効果をあげている。

ハン用機を専用機的使用する手段として、プログラム制御方式があり、最近需要が多いが当社ではトランジスタサイバックを使用したプログラム制御装置を多数製作している。

今一つ、最近の新しい技術として最も注目されるべきものに、ナライ制御がある。従来わが国における工作機の二、三次元ナライは、外国メカによる電気式 ON-OFF 制御と油圧制御によるものがその大半を占めていた。しかし近年の自動車産業を中心とする大幅な形彫機の需要は国産ナライ機の開発を早め、その方式も電気式連続ナライが主流をなしてきている。当社の MELDAS-2200 形連続式二、三次元ナライ制御装置は、この要請にもとづいて開発した高性能のナライ制御装置で、電気式追値サーボ機構によるものである。特殊な自動ベクトル調整装置を使用することによって、象限切り換えを必要とせず、またエラーコンスタント、速度コンスタントのナライが行なえるすぐれた特長を持つものである。すでに 40 数台の製作納入実績をもち、各需要家の好評を得ている。

また、特殊加工機として電解加工による超硬合金加工機を完成したほか、高能率放電加工機を製作し、いずれも好評を博している。

さらに数値制御装置においても従来各種製作してきているが本格的な実用期に対応できるよう態勢を整えてきている。

3. ナライ制御装置

MELDAS-2200 形連続式二、三次元ナライ制御装置は 検出ヘッド増幅部と自動ベクトル調整装置、送りの直流モータ駆動のサーボ増幅部（サイリスタ制御）、それ無接点シーケンス制御回路などから構成されており、全体として信頼度の高い安定な制後系となっている。その特長とするところは、

(1) 三次元の無接点トレサヘッドを使用しているので連続的に高精度の検出ができる。

(2) モデルに対する接触圧が軽く、モデルを傷つけない。

(3) 連続量検出ヘッドと可逆式サイリスタ制御による直流モータ

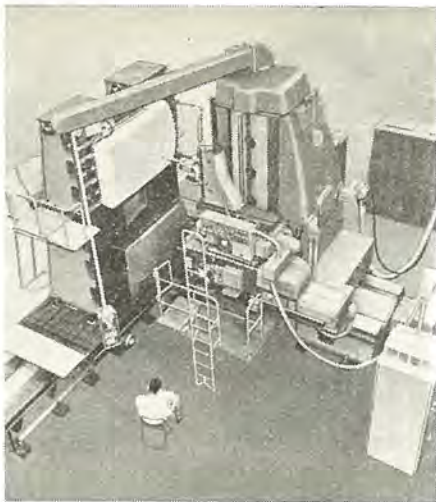


図 3.1 MIBフライス中グリ複合作業機(ナライ)
Fig. 3.1 MIB combined milling and boring machine tool.

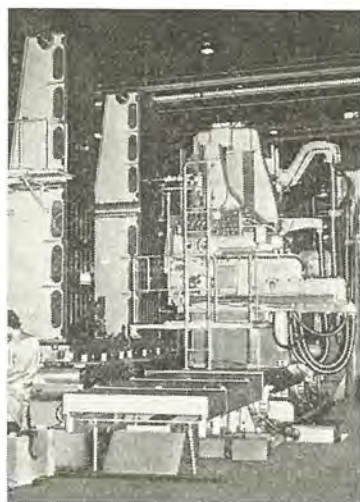


図 3.2 MIBフライス中グリ複合作業機(ナライ)
Fig. 3.2 MIB combined milling and boring machine tool.

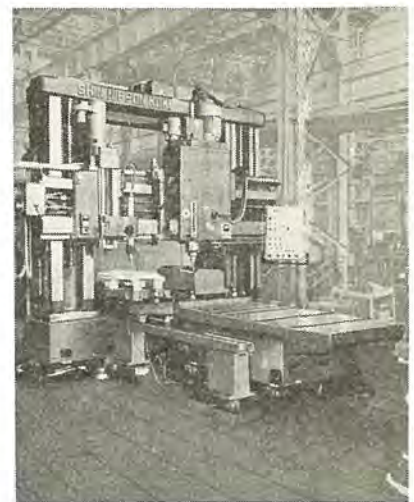


図 3.3 PK-80 立て中グリ盤(ナライ)
Fig. 3.3 PK-80 vertical boring mill.

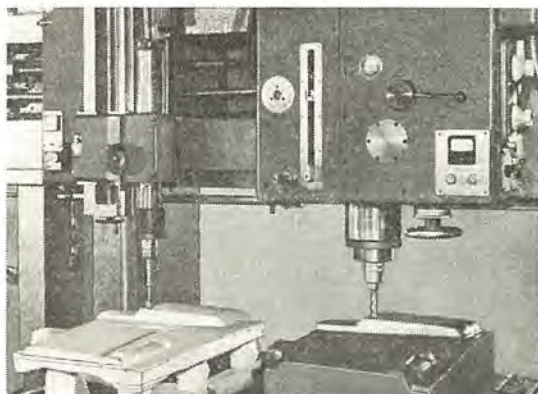


図 3.4 PK-80 立て中グリ盤(ナライ)
Fig. 3.4 PK-80 vertical boring mill.

表 3.1 二、三次元ナライ制御装置納入実績

| 適用機械名 | 注文元 | 納入先 | 台数 | 制御方式 | 送りモータ容 量 |
|------------------------------------|-------------|----------------|---------|--------------------------|-------------------------|
| MIB フライス中グリ複合作業機 | 三菱重工 広島機 | 本田技研 日産自動車他 | 19 | 連続式, ON-OFF 式, 二, 三次元 | 5 kW×3 |
| PK-80 立て中グリ盤 | 新日本工機 | | 17 | 連続式, 二次元 | 2 kW×1, 1.2 kW×2 |
| PK-120 | " | " | 4 | 連続式, 二, 三次元 | 2 kW×2, 1.2 kW×1 |
| PK-200 | " | " | 1 | 連続式, 二次元 | 3 kW, 2 kW 1.2 kW 各1 |
| VTM 形 プラノミラ ダクスタイル加工機 (フライス) | 存工業 | 山川工業他 | 2 | 連続式, ON-OFF 式, 二次元 | 2.2 kW×2, 1.1 kW×1 |
| ターニング旋盤 | 大同機械 | 久保田鉄工 | 2 | 連続式, 二次元 | 一軸油圧サ ーボ |
| プレーナ | OM製作所 | 三菱電機 三長 | 1 | " | " |
| DAT 形 旋盤 | 久保田鉄工 | プレス工機 | 1 | " | " |
| Z 形 フライス盤 | 新潟鉄工 | | 引合 中 | " | " |
| | 豊田工機 | | 1 | " | " |



図 3.5 ナライ制御盤
Fig. 3.5 Profiling control panel.



図 3.6 ナライ操作盤
Fig. 3.6 Profiling operation panel.



図 3.7 MT-21 形無接点連続検出ヘッド
Fig. 3.7 Type MT-21 contactless continuous detection head.
連続サーボ制御(3軸とも)とを組み合わせた連続ナライであるから、切削面がなめらかである。

(4) 検出器として差動トランスを使用し、回路はトランジスタを用いて無接点化しているので、故障がなく保守が容易。

(5) 自動ベクトル調整装置による象限切り換えなしのナライを行なっているので段差が生じない。

工作機用電機品・吉田・酒井・三品

(6) エラー・コンスタント・速度・コンスタントのナライであるので精度が高い。

(7) ピックフィードは、各軸の送り量をスプロケットの回転数を近接スイッチによってカウントすることにより、一定量を正確にフィードすることができる。ピックフィード中もナライをおこなうので三次元立体面を完全にナライすることができる。

(8) 検出ヘッドに特殊な連続位置検出用のアタッチメントをつけることにより、同時三次元ナライが可能である。

(9) 表面、輪郭ナライについて各種ナライモードが製作可能である。

図 3.1 ~ 3.7 は最近のおもな適用機種 MELDAS-2200 形ナライ制御装置用制御盤および操作盤、ならびに検出ヘッドを紹介するものである。

このほかにも、ホブ盤(電気式一次元ナライ)、フライス盤、プレーナ、立て旋盤、ダクスタイル加工機(フライス)など数々の機種に適用され、いずれも高性能を発揮している。

表 3.1 は、二、三次元ナライのおもな納入実績を示すものである。

4. 直流電動機制御装置

4.1 サイリスタレオナード方式

工作機では数 kW 以下の小容量の電動機を使用する 때가多く、従来は交流電動機の極数変換とか電磁式クラッチにより段階的に変速していたが、工作機の高効率、高性能と自動化の推進を目的



図 4.1 サイリスタレオナード 制御装置
(1.1 kW 以下)
Fig. 4.1 Thyristor Leonard controls.

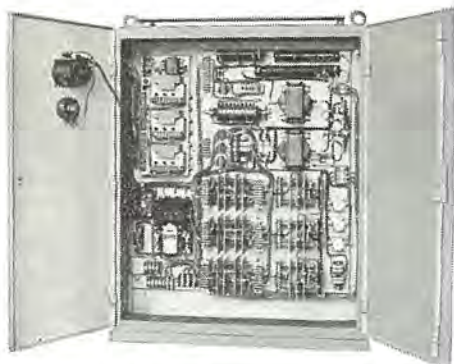


図 4.2 サイリスタレオナード 制御装置
(三相全波方式 7.5 kW)
Fig. 4.2 Thyristor Leonard controls.



図 6.1 プログラム
制御装置
(サイリスタ 盤用)
Fig. 6.1 Program
controls.



図 6.2 ロールグラインダ
用制御盤
(自動切込み プロコン)
Fig. 6.2 Program con-
trols for roll grinder.

として広範囲、無段階でしかも精度の高い速度制御の要求が多くなってきた。これらに適合するものとして、直流電動機のサイリスタ静止レオナード方式が各種工作機に広く採用されるようになってきた。電動機容量によって、単相半波制御方式(数百 W まで)、単相全波(またはセンタタップ)制御方式(0.5~4 kW)、あるいは3相全波制御方式(4 kW 以上)を選択適用している。

特長としては、

- (1) すぐれた自動制御系により無段階、広範囲の速度設定が容易にえられ、負荷変動に対して速度変動が少ない。
- (2) 理想的な起動特性が得られる。
- (3) サイリスタ、トランジスタなどの半導体を使用しており、故障がきわめて少なく信頼度が高い。
- (4) 小形軽量で取付けスペースが少なく済み、設置が容易である。
- (5) 標準化により、無段階速度制御装置として価格の点でも有利になってきた。

4.2 ワードレオナード方式

ブレーナ、大形旋盤などのように慣性の大きい負荷をひんばんに加減速を行なう場合、あるいは大容量でかつ広範囲精密な速度制御が必要な場合には、従来のワードレオナード方式によるのがサイリスタ静止レオナードによる場合よりも有利となってくる。

急速加減速を行なうためには、発電機界磁をサイリスタ増幅器によって励磁を行なうので従来の回転増幅器による場合より格段に進歩したものとなっている。とくにブレーナのように慣性体の直線運動を行なうものは停電時にも安全急速に停止する必要がある、静止レオナードではえられない安全性を持たせることができる。

4.3 直流定電圧電動機による駆動

ロールグラインダ、旋盤などのように可変速駆動で連続的に速度を変えたいが余り精度は必要としない用途には、直流定電圧電源を使用した分巻電動機が適している。

電源にはシリコン整流器やセレン整流器が用いられるが、界磁用電源も共用としうるし、速度制御も界磁電流と界磁抵抗器で調整するのみであるので、回路が簡単であり安価でもある。この場合起動は起動抵抗を順次短絡することにより行ない、必要なら制動抵抗器で制動を行なう。電動機は定出力特性となるので低速では大きなトルクを使用でき、切削負荷などには最適な形である。欠点は大幅な調整範囲が取れないことで1:6程度をこえると可変電圧制御によったほうが有利となってくる。

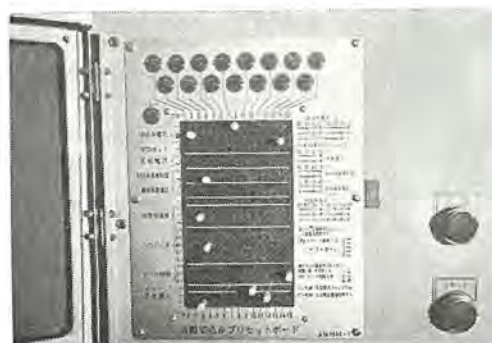


図 6.3 自動切込みプリセットボード
Fig. 6.3 Automatic cut-in preset board.

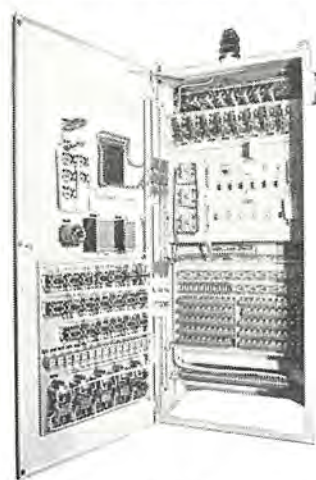


図 6.4 盤内部(ロールグラインダ、自動切込み、プロコン)
Fig. 6.4 Panel interior.

5. 無接点制御

非常に数多い動作あるいは複雑な大なる自動シーケンス回路には、当社のトランジスタサイパック(トランジスタ無接点リレー)を採用することによって高い信頼性が得られる。次にトランジスタサイパックの代表的な使用例として、プログラム制御装置を紹介する。

6. プログラム制御装置

プログラムボードによるシーケンスプログラム方式の工作機は汎用機を専用機化するものとして多種少量生産の場合の自動化に大いに貢献するものであり、最近需要が多い。当社では、制御素子として

トランジスタサイパックを用いた無接点方式のプログラム制御装置を製作し、その長寿命と高信頼性により広く好評を博している。フライス盤、旋盤、ロールグラインダなどに多数製作したが、今後ますます各種工作機に適用されるものと期待される。以下、一例としてロールグラインダの場合について説明する。

従来、操作者の手動によって行なわれていた、ロールグラインダのト(低)石切込みをト石の摩耗を補償しながら自動的に切込んでゆく自動切込み運転化し、同時に、種々の運転条件をあらかじめプリセットしたプログラムに従って運転するようにプログラムプリセット制御化した。

自動切込み運転はト石切込み用として、短時間定格のサーボ直流電動機を使用し、これをサイリスタサーボアンプによって駆動する。ト石電動機の負荷を検出し、これをサーボアンプに帰還して、これが常に一定になるようにト石切込みサーボによってト石の位置制御を行なう。

プログラムプリセット制御は、制御盤面に取付けたダイオードマトリクスを形成しているプリセットピンボードに種々の運転条件をプリセットし、この信号をトランジスタサイパックで構成されている論理回路によって処理することによって行なっている。

プリセットされる種々の運転条件のうちおもなものとして、往復台の反転信号、ト石電動機の切込み電流、切込み用サーボモータの速度制限値、ト石電動機速度、往復台速度、一工程当りのトラバース(往復台の往復回数)、タリー動作時間(ト石のロール端部での滞在切込みの小時間)、などが制御面のプリセットボードにて行なわれる。

7. 電解ならびに放電加工機

7.1 電解加工機

電解加工機は、金属成形加工の分野に技術革新をもたらす製品として製作、販売開始後3個年半余であるが、国内、海外に納入し、昭和41年2月、東独ライプツヒ国際見本市において最優秀機械として金メダルを獲得した。当社の電解加工機の特長は、

- (1) 電極が減らない。
- (2) 加工速度が速い。
- (3) 仕上面が良好である。
- (4) 被加工物の硬度に無関係に加工できる。
- (5) 独特のガス混入方式により条コン(痕)のない面が得られる。

などである。現在、最大加工電流2,000 A, 5,000 A, 100,000 Aのものがあり、加工電流は可飽和リアクタにより小電流から最大加工電流まで連続調整でき、送り機構は油圧サーボ(当社製SV-C3サーボ弁)により加工電圧一定制御を行なっている。特殊用途では超硬合金電解加工機がある。従来主として研磨あるいは放電加工にたっていた超硬合金の加工法に代わって、独特の断続電流と正負両方向電流を制御することにより、超硬合金だけでなく高炭素鋼も加工できる。図7.1はMC-20V形で最大加工電流2000 A, 最大加工速度34 g/minのものを示す。

7.2 三菱 DIAX 放電加工機

放電加工機は放電現象を利用して抜き形、ダイキャスト形、モールド形、引抜、押出し形、鍛造形などの形彫りおよび穴あけ加工を行なうものである。電源では大きく分類して抜き形加工に有利なコンデンサ式弛張共振電源と、底付き形加工上に有利な電極消耗の少ない電源にわけられる。当社では抜き形用電源では、独特の高周波重ジョウ方式のDM-201形機(油圧制御式中形機)とDM-51形

工機用電機品・吉田・酒井・三品

表 7.1 DM-220 形加工性能

| | | |
|---------|-----------|-----------|
| 電 源 | 200/220 V | 50/60 c/s |
| 最大ピーク電流 | 150 A | |
| 最大加工量 | st/Cu | 6 g/min |
| | st/Al | 7.5 g/min |
| 電極消耗比 | 荒加工 | 0% |
| (重量消耗比) | 中加工 | 0% |
| | 精加工 | 5~20% |



図 7.1 MC-20V 形電解加工機
Fig. 7.1 MC-20 V electrolytic processing machine.



図 7.2 DM-220 形三菱 DIAX 放電加工機
Fig. 7.2 Mitsubishi DiAx discharge processing machine.

(電動サーボ弁式小形機)の2種類がある。底付き形用電源としては三菱大容量サイリスタを用いた直流チョッパを使用した高速加工、電極低消耗回路とコンデンサ弛張式 LRC 回路を用いた仕上加工、低消耗回路とを内蔵した DM-220 形放電加工機と抜き形用 DM-201 形機にカッパルできる小容量の電極低消耗電源がある。図7.2と表7.1に、DM-220 形機の外観と加工性能を示す。

8. 数値制御装置

工作機の数値制御は数年前に開発されたが、従来どちらかといえば試験的に使用されていたにすぎなかった。しかし昨今では熟練工の不足、機械能率の向上、不況時の問題などから数値制御化の必要性が現実の問題になってきた。そのうえ具体的に数値制御装置を導入した場合の経済性比較計算を行なった場合、数値制御化が有利である例が多くなってきている。

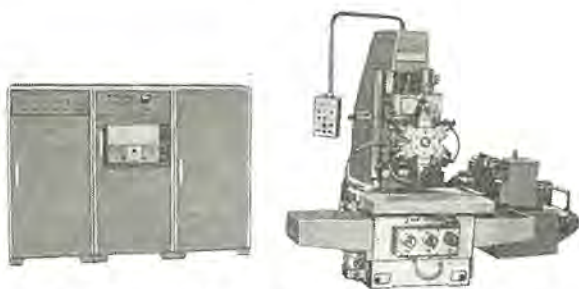


図 8.1 MELDAS-2413 三次元 フライス 盤数値制御装置
Fig. 8.1 Numeric controls of three dimensional milling machine.

他方アメリカではすでに本格的な実用期にはいっており、わが国でも今後数年の間に、アメリカ並になるものと予想される。当社においては、数年前から自動位置決め装置、位置決め+直線切削装置、三次元連続切削装置など各種のものを製作しているが、いずれもパンチテープ（EIA 標準コード）により指令を与え、位置検出器は高精度レゾルバを使用し、制御部は電子計算機の技術を活用して全トランジスタ化したもので、きわめて高性能のものである。とくに連続切削装置は計算演算機構を装置内に内蔵しているので、円弧直線内ソウ近似計算、ミーリングの切削時のカット径補正計算などをすべて自動的に行なうことができ、きわめて実用的なものである。

また、用途によってはさらに簡易で実用的なデジタル制御装置も製作しており、工作機の今後の自動化のすう勢に十分対処でき

るよう態勢を整えてきている。

9. む す び

以上、最近の新しい工作機用電機品のうち主として電気制御装置について説明した。工作機械は今後ますます技術的に高度化し新しい機能のものも研究開発されるものと思われる。これにともなう電機品、とくに制御装置はさらに高性能なものが必要になってくるであろう。この場合、機械、電機品はもはや別々なものではなく一体となって相互にその長所を生かして行くことが、いつそう必要になる。われわれとしては、工作機械メーカ各位のご指導、ご協力を得て、性能の向上に努力していきたいと考えている。

（昭41-6-17受付）

参 考 文 献

- (1) 吉田、梶野：SCRの小容量直流電動機への応用「三菱電機技報」37, No. 5 (昭38)
- (2) 吉田、酒井、宮：トランジスタ制御方式「三菱電機」34, No. 12 (昭35)
- (3) 吉田、宮：工作機のプログラムコントロール「三菱電機技報」37, No. 11 (昭38)
- (4) 馬場ほか：工作機械数値制御装置(1)～(3)「三菱電機」34, No. 3 (昭35), 34, No. 12 (昭35), 35, No. 8 (昭36)

高周波焼入装置用電機品

中村 謙三*・鈴木 條夫**

Electric Equipment for High Frequency Induction Hardening Apparatus

Itami Works Kenzō NAKAMURA

Kōbe Works Nagao SUZUKI

With its many distinctive features induction heating has made ways in various fields of industries. Particularly high frequency hardening is most appreciated as a means to make use of the outstanding merits of the techniques. The Company manufactures induction heating apparatus such as furnaces, heaters, high frequency hardening apparatus, zone refining devices and many other applications. This article lays stress on the description of high frequency hardening apparatus and electric equipment going together with them.

1. ま え が き

金属体に誘起される誘導電流のジュール損によって、その金属体を加熱する誘導加熱は比較的新しい技術の一つであり、誘導炉として戦前から用いられているが、焼入などの真に誘導加熱の特長を発揮する応用は、わが国では戦後になってようやく盛んに用いられるようになり、今日では高周波焼入を採用していない機械メーカーはないとさえ考えられるほどである。

当社においてもその重要性に着目し、戦前すでに研究をはじめ、昭和 23 年には工場設備として生産活動に利用している。さらに昭和 28 年ごろには設備として販売をはじめたが、それまでの間社内設備として数多く生産し、製造実績を積み重ねていた。昭和 28 年には 10 kV 高周波発電機(MG)の開発に成功し、次いで MG 式高周波焼入装置も完成させ、その販売量は年を追って高まり、総計は MG 総出力にして約 12,000 kVA (炉用を除く)、ラジオヒータ総出力約 1,500 kVA、焼入機約 80 台、加熱機約 100 台に達している。

以下わが社の誘導加熱装置、とくに高周波焼入装置について紹介する。

2. 高周波焼入装置の構成

2.1 MG 式焼入装置

高周波発電機(MG)を高周波電源としておりその構成を図 2. 1 に示す。MG は並列運転が容易に可能であるから、大電力を要するときは必要台数を並列に運転して供給できるし、また逆に大容量の MG を用いて小容量複数台の負荷のそれぞれに同時に電力を供給することもできる。図 2. 2 はこれらの関係を示すが、この点はラジオータではまねのできない長所である。

2.2 ラジオヒータ式焼入装置

その構成を図 2.3 に示す。交流電源は陽極用変圧器により昇圧されたのち、数千～2 万 V 程度の直流に整流されて真空管発振回路に加えられ、発生した高周波電力は出力用変流器 (CT) により加熱コイルに伝えられる。

2.3 その他の高周波電源

火花式発振装置は比較的安価に製作できるため初期には多く使用されたが、放電現象を利用するため動作が不安定であること、

放電キップの保守調整が困難であることなどの欠点があり、MGおよびラジオの製作技術が発達した現在ではほとんど製作されていない。この方式はわが社では製作していない。

その他に近時非常な勢で発達しつつある半導体（トランジスタ、サイ

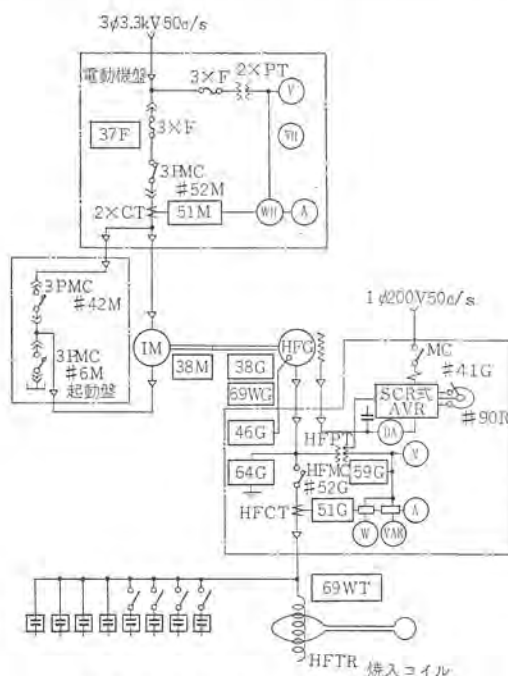


Fig. 2.1 Diagram of high frequency hardening oven.

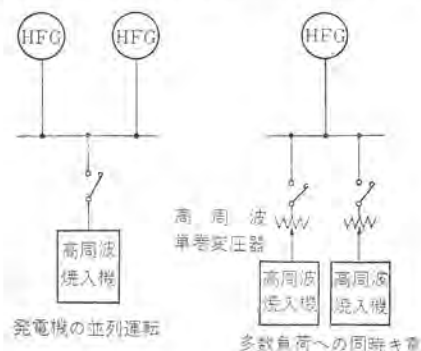


図 2.2 給電方式
Fig. 2.2 Feeding system.

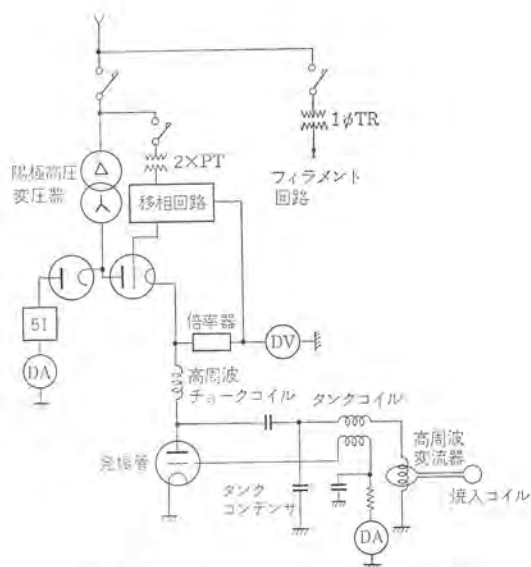


図 2.3 ラジオヒータ式焼入装置

Fig. 2.3 Diagram of radio frequency hardening oven.

リスト)を用いる発振回路を使用することも考えられるが、また技術的経済的にその線まで到達していない。

3. 高周波発電機 (MG) 式高周波電源

3.1 高周波発電機 (MG)

高周波焼入装置用電源として使用されるものは、一般に出力周波数 1,000 c/s 程度以上であるが、回転機として製作可能なものは使用材料の機械的限界より 20,000 c/s 以下である。焼入装置電源としては、1,000 c/s, 3,000 c/s, 10,000 c/s, 20,000 c/s 級の高周波発電機が使用され、これまでに多数製作納入した。高周波発電機の形式としては、その界磁方式によって単極形および多極形が

表 3.1 高周波発電機標準定格

| 高周波発電機 | | | 誘導電動機 | | 構造 |
|--------|---------|-------------|--------|---------------|---------------|
| 周波数kc | 出力(kVA) | 電圧(V) | 出力(kW) | 電圧(V) | |
| 1 | 60 | 400/800 | 66 | 220/440/3,300 | モノブロック横形または立形 |
| | 100 | " | 107 | 440/3,300 | " |
| | 175 | " | 187 | " | " |
| | 250 | " | 265 | " | " |
| | 350 | " | 375 | " | " |
| | 500 | " | 535 | 3,300 | 直結式横形 |
| | 700 | " | 780 | " | " |
| | 1,000 | " | 1,100 | 3,300/6,000 | " |
| | 1,250 | " | 1,400 | " | " |
| | 1,500 | " | 1,650 | " | " |
| 3 | 30 | 200/400 | 34 | 220/440 | モノブロック横形または立形 |
| | 50 | 400/800 | 57 | 220/440/3,300 | " |
| | 100 | " | 113 | 440/3,300 | " |
| | 150 | " | 167 | " | " |
| | 200 | " | 221 | " | " |
| | 300 | " | 329 | " | " |
| | 400 | " | 437 | " | " |
| | 500 | " | 600 | 3,300 | 直結式横形 |
| | 600 | " | 720 | " | " |
| | 800 | " | 950 | " | " |
| | 1,000 | " | 1,180 | 3,300/6,000 | " |
| | 1,250 | " | 1,470 | " | " |
| | 1,500 | " | 1,700 | " | " |
| 10 | 15 | 200/400 | 19 | 220/440 | モノブロック横形または立形 |
| | 30 | " | 35 | " | " |
| | 50 | 200/400/800 | 58 | 220/440/3,300 | " |
| | 75 | " | 87 | 440/3,300 | " |
| | 100 | 200/400 | 115 | " | " |
| | 150 | 400/800 | 171 | " | " |
| | 250 | " | 285 | " | " |
| | 350 | 800 | 450 | " | モノブロック横形 |
| | 700 | " | 850 | " | " |



図 3.1 300 kVA, 3,000 c/s 横形高周波発電機
Fig. 3.1 300 kVA, 3,000 c/s horizontal type high frequency generator.



図 3.2 300 kVA, 3,000 c/s 立形高周波発電機
Fig. 3.2 300 kVA, 3,000 c/s vertical type high frequency generator.

あるが、その用途から速応性が要求されるため多極形を採用し、その構造は駆動用電動機と共通軸、共通ツクのいわゆるモノブロック方式がほとんどである。わが社の標準定格は表 3.1 のとおりであり、多極形については立形でも横形でも需要家の要求により製作している。

3.1.1 構造

高周波発電機セツトは発電機が単極形の場合駆動用電動機と継手による直結式、多極形の場合は駆動用電動機と共通軸、共通ツクのモノブロック式を採用している。モノブロック方式は図 3.3、3.4 のような構造であるため、直結、心出し、ベツトが不要で取扱い容易しかも小形軽量で据付面積も小さく非常に経済的である。わが社では高度の技術と豊富な経験を生かして、1,000 c/s については 500 kVA, 3,000 c/s については 400 kVA, 10,000 c/s については 250 kVA までモノブロック方式を採用している。

最近据付面積の節約の意味で立形高周波発電機が流行している。当社でも昭和 39 年から 20 台製作納入したが、以下簡単に立形機、横形機の比較を述べてみたい。

3.1.2 立形機と横形機の比較

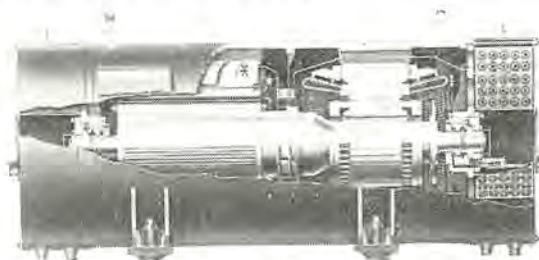


図 3.3 横形高周波発電機構造
Fig. 3.3 Construction of horizontal high frequency generator.

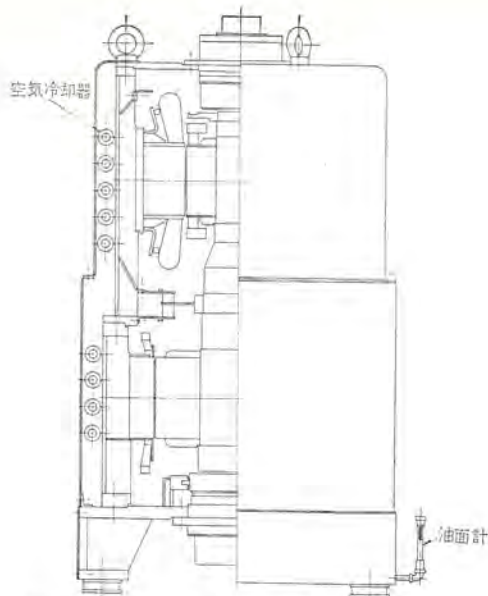


図 3.4 立形高周波発電機構造
Fig. 3.4 Construction of vertical high frequency generator.

立形高周波発電機の構造は図 3.4 横形高周波発電機は図 3.3 のとおりである。立形機と横形機の相違はおもに軸受部や空気冷却器の配置である。

(1) 特長

a. 立形機

(a) 据付面積が同一定格の横形機の約 50% である。したがって台数の多い場合は非常に有利となる。

(b) 高周波発電機は空隙が小さいが、このような機械に対してはバランスがよい。

b. 横形機

(a) 軸受部の構造が簡単である。

(b) 軸受の交換が立形機にくらべて容易で保守点検に便利である。

(2) 軸受

立形機は上部（電動機側）にガイドベアリング、下部（発電機側）にはスラストベアリングを設けている。ガイドベアリングはグリス潤滑、スラストベアリングは油潤滑を採用している。油潤滑は下部軸受端に付属させた粘性ポンプにより行なっているため、回転子が回っている間は自動的に給油される構造となっている。

横形機は電動機側にラジアル球軸受、発電機側に円筒コロ軸受を使用し、小中容量のものはグリス潤滑、大容量のものは油潤滑を採用している。

(3) 軸受の交換

立形機における下部スラスト軸受の取り換えはむずかしく時間のかかるものとされているが、わが社では軸受交換が簡単にできる特殊な構造を開発した。これによれば下部スラスト軸受交換のため発電機全体を分解する必要はなく、発電機セット全体を 40cm 程度のブロックの上にのせ、ボルトの操作のみで簡単に軸受部のみの分解ができる。

横形はカートリッジ構造を採用しているため、軸受の交換は非常に簡単であり、人力またはホスト程度のものでフケットをはずし、回転子を抜くことなく軸受内輪を引張って両側の軸受を同時に抜くことができる。

(4) 効率、騒音、振動について

a. 効率

高周波誘入装置用電機品・中村・鈴木



図 3.5 誘導電動機盤
Fig. 3.5 Motor panel.



図 3.6 高周波発電機盤
Fig. 3.6 Generator panel.

高周波発電機セットの損失は大別して電気損と機械損にわけることができる。立形でも横形でも電気的設計は同一であるので、電気損は同一である。機械損についてはその大部分がファン損失および通風損失であるが、これらはどちらの形式でもほとんど大差ない。したがって立形でも横形でも総合効率はほぼ同一である。

b. 騒音

騒音としては通風騒音と電磁騒音が考えられるが、実際問題となるのは電磁騒音である。電磁騒音は発電機出力周波数によって決定されるものである。わが社では電磁騒音の発生周波数と固定子の固有振動数を検討して固定子関係の設計を行なっているため、立形でも横形でも低騒音である。

c. 振動

振動は発電機セットの剛性およびダイナミックバランスの精度によって決定される。したがって立形でも横形でも差異はない。

3.2 高周波発電機用制御装置

制御回路は誘導電動機回路、高周波発電機回路などから構成され、制御盤の構成は電動機起動盤、電動機盤、高周波発電機盤となる。

3.2.1 発電機出力制御

高周波発電機の出力制御方式には定電圧制御、定電力制御、定温度制御、プログラム制御など種々の方法があるが、その用途によ

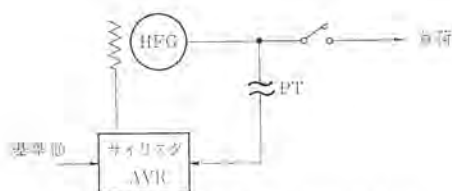


図 3.7 定電圧制御スケルトン
Fig. 3.7 Constant voltage control.

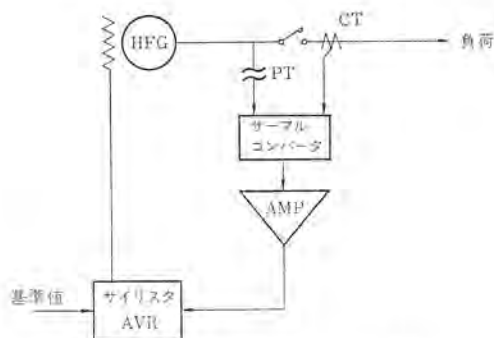


図 3.8 定電力制御スケルトン(その1)
Fig. 3.8 Constant power control.

って適当な方法が採用される。これまで製作したものはほとんど定電圧制御による電力制御であり、この方式の特長は価格が他のものに比して安くしかも制御精度が割合よいことである。

(1) 定電圧制御

定電圧制御のスケルトンは図 3.7 のとおりである。これはサイリスタ自動電圧調整器の電圧設定ボリュームを調整することにより、定格電圧の 30~100% まで任意の値に設定ができる。

(2) 定電力制御

定電力制御のスケルトンは図 3.8 または図 3.9 のとおりである。図 3.8 はサマルコンバータにより電力を検出し、これによって発電機電圧を自動制御するものである。図 3.9 は定電圧制御回路に自動力率検出回路または力率リレーを付加し、負荷の力率を 1.0 になるよう自動制御し定電圧回路で電圧制御を行なうものである。図 3.8 の場合は負荷力率を制御せず電圧のみで電力制御を行なうため、負荷力率の変動が激しい場合は発電機出力が最大限に利用されないきらいがある。これに比して図 3.9 は自動力率補償および自動電圧調整を行なっているので完全な電力制御が行なえる。

(3) 定温度制御

定温度制御のスケルトンは図 3.10 のとおりである。これは自動力率回路と負荷温度検出回路とを設け、負荷温度を検出した信号で電圧制御を行ない定温度制御を行なうものである。定温度制御でいちばん問題となるのは負荷温度の検出精度とレスポンスタイムである。

(4) プログラム制御

高周波焼鈍、焼結などに有用なものである。すなわちあらかじめ温度変化を時間関係として設定しておき、これにしたがって電力制御を行なうものである。

以上のように種々の制御方式があるが、どの方式を採用するかは焼入れ・焼鈍し・鍛造・ロー付けなどの用途および製品の品質レベル、価格を検討して決定する必要がある。

3.2.2 電動機起動方式

駆動用電動機は多極形の場合カゴ形、単極形の場合は巻線形を使用している。カゴ形誘導電動機は起動時に大きな突入電流が流

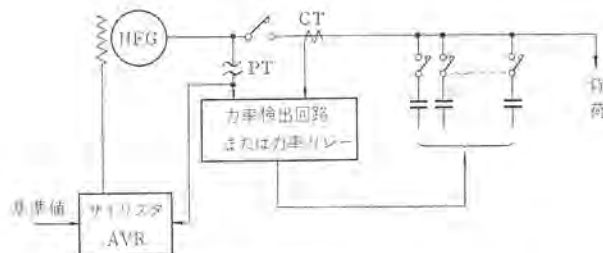


図 3.9 定電力制御スケルトン(その2)
Fig. 3.9 Constant power control.

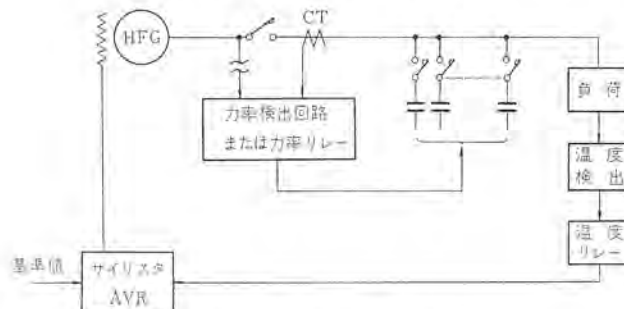


図 3.10 定温度制御スケルトン
Fig. 3.10 Constant temperature control.

れるため、設置工場の受電容量との関係でこれをおさえる必要がある場合も生じる。標準起動方式は次のとおりである。

(1) 全電圧起動

600% 程度の起動電流が流れるが、これさえ許容できる電源容量があれば最も経済的なものである。

(2) 減電圧起動

減電圧起動としてはスターデルタ起動、起動補償器式起動があるが、保守の面、価格の面からスターデルタ起動を推奨しており、これまでもほとんどこの方式を採用している。スターデルタ起動は全電圧起動の 1/3 の起動電流となり、電源への影響は緩和される。起動補償器式はスターデルタ起動とほぼ同様な起動電流となるが、保守点検に難点があり、値段も高いのであまり採用していない。

3.2.3 保護装置

保護運動として発電機セッスを停止させるものと、停止させず発電機の出力電磁接触器を開放するものと 2 種類あり、これらはベル警報と同時に故障表示器に表示される。標準保護回路として下記のものが付属している。

(1) 電動機過電流保護

誘導電動機に過負荷または故障による過電流が流れた場合は入力主断器を開放する。

(2) 電動機軸受過熱

軸受温度が設定値以上に上昇した場合は温度継電器が動作し入力主断器を開放する。

(3) 発電機過電流保護

出力電流値が設定値以上になった場合過電流継電器が動作し、発電機主回路および界磁回路を開放する。

(4) 発電機過電圧

出力電圧値が設定値以上になった場合過電圧継電器が動作し、発電機主回路および界磁回路を開放する。

(5) 発電機温度異常

何らかの原因で発電機温度が異常に上昇した場合は固定子温度継電器が動作し、発電機主回路および界磁回路を開放する。

(6) 出力回路接地

高周波主回路が接地した場合は接地継電器が動作し、発電機主回路および界磁回路を開放する。

(7) 発電機軸受過熱

軸受温度が設定値以上に上昇した場合は、温度継電器が動作し、入力シャ断器を開放する。

(8) 発電機冷却水保護

発電機冷却水が断水あるいは減少した場合は流水継電器が動作し、発電機主回路および界磁回路を開放する。

3.2.4 サイリスタ自動電圧調整器

加熱電力の調整は発電機出力電圧を制御して行なうものが普通であり、その電圧調整装置は非常に重要なものである。わが社では発電機の励磁装置として静止励磁器を標準としており、サイリスタ自動電圧調整器により電圧調整を行なっている。

サイリスタ自動電圧調整器は

- (1) 信頼性が高く、保守が簡単で、消耗品がない。
- (2) 速応性がよい。
- (3) 精度が高い。
- (4) 小形軽量である。

などの特長を有しているので負荷変動そのほかの外乱があっても、速応性がきわめてよく、電圧精度も高いものである。電圧調整範囲として30~100%を標準としている。

3.3 並行運転

大形歯車の一発焼入れ、ピレットの大形化など熱処理容量が増大するにつれて、複数台の発電機を並行運転することが行なわれる。

高周波発電機が並行運転をするためには、発電機の周波数が等しいことが絶対条件である。これだけが満足されていれば、総合出力を無視した場合並行運転は可能である。しかし実際の並行運転では総合出力が問題となり、各発電機の出力の合計と並行運転

状態での総合出力が等しくなければ意味がない。各発電機的能力を十分に発揮させるためには次の条件が満足されなければならない。

- a. 各発電機の周波数が等しい。
- b. 各駆動用電動機のトルクスベリ特性が同一である。

駆動用電動機のトルクスベリ特性によって有効電力の配分が行なわれ、高周波発電機の特性の相違、励磁電流の相違によって無効電力の配分が行なわれる。したがって並行運転を行なう発電機は特性が一致していることが望ましい。自動電圧調整器によって端子電圧を一定に制御することはもちろんであるが、各発電機の内部誘導起電力に違いがあった場合、無効横流が発生するのでこれを押えるために自動電圧調整回路に横流補償装置を設けている。高周波発電機の並列投入は強制並列であって回転数、端子電圧、位相角のことなるものをいきなり並列に結んで同期運転を行なう。並列投入後わずかの時間回転子位相角が動揺するだけである。したがって何らの同期化装置も不必要で、ボタンを押すだけで発電機を並列に投入したり、シャ断したりできる。複数機の励磁方式としては各機ごとに自動電圧調整器を使用する単独励磁方式と複数機に共通に1個の自動電圧調整器を使用する共通励磁方式とがあるが、客先仕様に適合した方式を決定し採用している。

4. ラジオヒータ式高周波電源

真空管発振器を用いた高周波加熱装置を一般にラジオヒータと呼ぶが、わが社では誘導加熱用ラジオヒータをEH形(Eddycurrent Heater)、誘導加熱用ラジオヒータをDH形(Dielectric Heater)と称している。表4.1にわが社のEH形ラジオヒータの標準定格を示す。

4.1 周波数

ラジオヒータの発振周波数は比較的自由に選択できるものであり、

表 4.1 EF 形 ラジオヒータ 標準仕様

| 形 名 | 公称出力 (kW) | 周 波 数 (約 kc) | 発 振 管 | 整 流 管 | サイラトロソ | 電 源 入 力 (kVA) | 冷却水流量 (l/分) | 外形寸法 (mm) (幅×奥行×高さ) | 構 造 | 備 考 |
|----------|--------------|-------------------------------|------------|-------------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----|----------------|
| EH-05 R | 5 | 400 | 7 T 58 R | 3×4 H 74 | 3×4 G 74 | (210 V) 12 | | 750×800×1,600 | 開放形 | 簡易形、環境良好な工場に適す |
| EH-10 R | 10 | 400 | 8 T 11 R | * | * | { * } 19 | | 900×1,400×1,700 | * | * |
| EH-10 R | 20 | 400 | 2×8 T 11 R | 3×4 H 73 | 3×4 G 63(A) | { * } 35 | | 1,100×1,600×1,800 | * | * |
| EH-30 | 30 | 400 | 8 T 74 | 3×5 H 69 B | 3×5 G 69 A | { * } 50 | 45 (2.5 kg/cm ²) | 1,100×1,800×1,800 | * | * |
| EH-10 W | 10 | 400 または 4 Mc | 8 T 11 | 3×4 H 74 | 3×4 G 74 | { * } 19 | 25 (2 kg/cm ²) | 1,600×1,200×1,800 | 密閉形 | 高安定性形 |
| EH-15 W | 15 | 400 または 4 Mc | 8 T 33 | * | * | { * } 28 | 25 { * } | * | * | * |
| EH-20 W | 20 | 200 または 400 | 8 T 76 | 3×4 H 73 | 3×4 G 63(A) | { * } 37 | 35 { * } | * | * | * |
| EH-30 W | 30 | 200 または 400 | 8 T 74 | 3×5 H 69 B | 3×5 G 69 A | { * } 55 | 45 (2.5 kg/cm ²) | 2,400×1,500×1,800 | * | * |
| EH-40 W | 40 | 100 のうち 200・どれか 300 ひとつ | 8 T 75 | * | * | 75 | 70 { * } | * | * | * |
| EH-100 W | 100 | 50 のうち 100・どれか 200 ひとつ | 9 T 64 | 3×7 H 37(A) | 3×7 G 57(A) | (6.6/3.3kV) (210V) 170 10 | 140 (3 kg/cm ²) | 2,600×1,500×2,200 (受電盤を含まず) | * | 高圧受電盤別置 |
| EH-150 W | 150 | * | 9 T 38 | * | * | { * } 250 { * } 15 | 210 (3.5 kg/cm ²) | * | * | * |
| EH-200 W | 200 | * | 2×9 T 64 | * | * | { * } 330 { * } 20 | 160 { * } | * | * | * |
| EH-300 W | 300 | * | 2×9 T 38 | — | — | { * } 500 { * } 30 | 250 (4 kg/cm ²) | * | * | * |
| EH-100 V | 100 | * | 9 T 46 | 3×7 H 57(A) | 3×7 G 57(A) | { * } 170 { * } 10 | 30 (2 kg/cm ²) | 2,600×1,500×2,200 (受電盤を含まず) | 半密閉 | 冷却水の不自由な場所に適す |
| EH-150 V | 150 | * | 9 T 83 | * | * | { * } 250 { * } 15 | 40 { * } | * | * | * |

MG のように極数と回転速度に束縛されることはないが、数十 kc 以下（とくに 30 kc 以下）の周波数では電流深度の点で 10 kc と大差なく、また焼入深度も必然的に深くなるため焼入れされる品物の寸法も大形となり、その結果出力の大きい装置が要求されるのが普通であるから、このような周波数においては特殊な要求がない限り MG に対して利点をあげることができなくなる。このような理由によりわが社では 50 kc 以下の周波数を要求される場合には MG 式を推奨している。

標準周波数としては小出力のものでは約 400 kc、50 kW 以上の大出力のものでは 100~200 kc としているが、目的に合わせて自由に選択できるわけであり、モシン針やメータ用ピボットの焼入れなど 10 Mc 程度の高い周波数のものを製作したこともある。

4.2 高周波出力

ラジオヒータの出力は発振管の陽極出力で定義される。高周波電力を測定することは非常に困難であるため、通常は陽極直流入力の約 60%（発振効率）をもって陽極出力としている。使用する発振管が決ったらその最大定格をラジオヒータの出力と称するのが一般である。

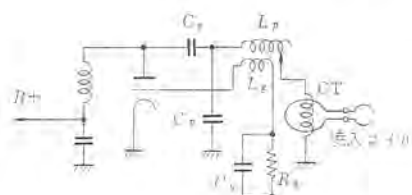
4.3 回路方式

ラジオヒータの構成は電源部と発振回路と加熱コイルインピーダンスに整合するための出力変流器 (CT) に大別される。

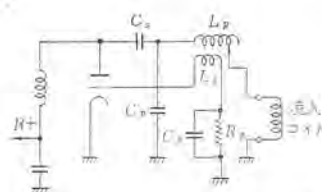
ラジオヒータの出力制御は通常発振管陽極電圧を制御して行なうが、これは高圧整流に用いるサイラトロン点弧角を制御することにより行なわれる。また高周波出力の開閉もサイラトロンの点弧の入・切により行なうのが常であり、電源開閉器は作業停止時と事故シャ断時のみ開閉するから高周波出力のひんぱんな開閉にかかわらず電源開閉器の接点が消耗するような心配はない。

電源電圧変動の激しい場所において安定した出力をうるために近時自動電圧調整器を要求されるが、わが社は Ramey 形磁気増幅器を変形した広角度移相回路を使用したサイラトロン点弧角制御方式により良好な安定性能を得ている（特許）。この方式による陽極電圧制御は温度制御を行なう場合も使用され、半導体精製などでは 1,500°C 近辺で $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内の高精度制御を行なっている。

発振回路は陽極同調自動発振形であり、加熱コイルは直接または CT を介して共振回路の一部を形成する（図 4.1）ため、被加熱材の温度上昇やコイルと被加熱材間のギャップ変化による加熱コイルインピーダンスの変化は、発振周波数の変化となって表われるため、



(a) 入力コイルインピーダンスの低いとき



(b) 入力コイルインピーダンスの高いとき

図 4.1 発振回路構成
Fig. 4.1 Oscillating circuit.

離調によって陽極電流が過大になるような心配はない。しかし 30 kc 以下の周波数の発振は比較的困難である。

ラジオヒータに接続される誘導加熱コイルのインピーダンスが高い場合は直接共振回路に接続できるが、高周波焼入れの場合は一般に 1~2 回巻き程度のインピーダンスの低いコイルが使用されるため出力用高周波変流器 (CT) を用いるのが普通である。焼入コイルは被焼入物の形状寸法に応じて取換え使用するため、そのつど調整を要するよう思えるが、実際は発振回路の内部インピーダンスが非常に高いため、若干の負荷インピーダンスの変動は発振状態にそれほど影響を与えないし、また自動発振回路であるため、前に述べたような理由で調整はほとんど不要である。したがって構造を単純にするうえからも CT には可変タップを設けないのが普通である。

5. 整合装置と焼入機械

高周波電源について 3 および 4 章で説明したが、この章ではその負荷側について説明する。

5.1 整合装置と部品

ラジオヒータの場合は焼入コイルは直接、または CT を通して発振器に接続して出力を供給するが、MG の場合は低インピーダンスの焼入コイルを発電機出力回路に整合させるための整合用高周波変圧器（わが国ではまずラジオヒータ式高周波焼入が発達し、次いで MG 式が発展したためラジオヒータの習慣でこの整合変圧器のことを変流器 CT と呼ぶ人が多い。）と力率改善用の高周波コンデンサを使用する。これら部品を収納したものが整合装置である。

この他の高周波用部品として電磁接触器、計器用変成器、指示計器、保護継電器および自動力率制御装置などがあり以下に説明する。

5.1.1 高周波変圧器（図 5.1、5.2）



図 5.1 VH 形高周波変圧器（二次端子側）乾式水冷式二巻線
Fig. 5.1 High frequency transformer, VH type Dry, water cooled separate winding type.



図 5.2 VH 形高周波変圧器（一次端子側）
Fig. 5.2 High frequency transformer, VH type Dry, water cooled separate winding type.

表 5.1 整合用高周波変圧器標準定格

| 形 名 | 周 波 数 (kc) | 容 量 (kVA) | 一 次 電 圧 (V) | 二 次 電 圧 (V) |
|--------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| VH 23 | 3 | 600 | 800 | 40~80 |
| VH 33 | 3 | 1,200 | 800 | 50~100 |
| VH 110 | 10 | 300 | 400 | 20~50 |
| VH 210 | 10 | 600 | 800 | 40~80 |
| VH 310 | 10 | 1,200 | 800 | 50~100 |



図 5.3 CP 形 高 周 波 コ ン デ ン サ
Fig. 5.3 Oilfilled self cooling HF condenser type CP.

現在わが社が製作している高周波変圧器は炉用、加熱装置用の単巻線形と、焼入用の二巻線形の2種ありいずれもリアクタンスを小さく押えるよう小形にして水冷式を採用している。とくに焼入れ用では共振回路内に変圧器がはいるため発電機出力の数倍の容量を必要とするから、ことさらにインピーダンスを低くする必要があるので、焼入コイルの交換に応じて広い範囲の巻数比切換えが要求されるから一次二次コイル交互配置の特殊なコイル形状を採用している(特許)。

焼入コイルのインピーダンスは非常に低いので、一般に二次コイルは1回巻であることが多いがこの特殊構造のコイルでは2回巻以上の二次コイルも容易に製作できる。

5.1.2 高周波コンデンサ (図 5.3)

高周波コンデンサは前述のように力率改善用として回路に並列に用いるほか 10 kc および 20 kc の場合は発電機の内部リアクタンス補償用として発電機に直列に接続される。コンデンサに生ずる損失は誘電体損失が主であり、高周波になると非常に大きくなる。従来は油入紙コンデンサを使用し水冷形であったが、最近ではポリエチレンを絶縁体とし 10 kc 以下においては水冷をやめている。これらのコンデンサはカンにタワミ性をもたせて内部の油の膨張収縮に応じているから、これを妨げるような取付けをしてはいけな。また周囲温度が 40°C をこえないように注意すべきである。

なお 1 μ F は 10 kc 400 V かけたときほぼ正確に 10 kVA の無効電力を流す。いかにすると 25 A の電流が流れる。無効電力は静電容量と周波数に比例し、電圧の自乗に比例するから覚えやすく便利である。

5.1.3 高周波用電磁接触器

高周波発電機の出力回路開閉用や力率改善用コンデンサの投入シャ断用など高周波電力を確実に開閉する接触器が必要である。わが社では表 5.3 のような高周波電磁接触器を用いているが、新しく交流操作の高



図 5.4 HFE-P 形 10 kc 用 PT (左)
HFE-P 形 10 kc 用 CT (右)
Fig. 5.4 High frequency potential transformer and current transformer.

表 5.2 高周波コンデンサ標準定格

| 形 番 | 周波数 (kc) | 電 圧 (V) | 電 流 (A) | 容 量 (kVA) | 静電容量 (μ F) | タ ッ プ | ケース寸法 (幅×厚×高さ) |
|---------|-------------|------------|------------|--------------|--------------------|----------------------------|-------------------|
| CP-01 A | 1 | 400 | 187 | 75 | 75 | kVA 37.5×2 | 370×170×620 |
| CP-01 B | | 800 | 225 | 180 | 45 | kVA 90×2 | 370×170×620 |
| CP-01 C | | 1,300 | 164 | 200 | 20 | kVA 100×2 | 370×170×620 |
| CP-03 A | 3 | 400 | 337 | 135 | 45 | kVA 33.8×4 | 350×150×500 |
| CP-03 B | | 800 | 360 | 288 | 24 | kVA 72×4 | 350×150×500 |
| CP-03 C | | 1,300 | 221 | 285 | 9 | kVA 95×3 | 350×150×500 |
| CP-10 A | 10 | 400 | 612 | 245 | 24.5 | kVA 35×7 | 350×150×340 |
| CP-10 B | | 800 | 350 | 280 | 7 | kVA 70×4 | 350×150×340 |
| CP-10 C | | 1,300 | 260 | 340 | 3.2 | kVA 85×4 | 350×150×340 |
| CP-10 D | | 600 | 351 | 210 | 8.8 | kVA 35×6 | 350×150×260 |
| CP-10 E | | 400 | 412 | 165 | 16.5 | kVA kVA 15+30×5 | 350×150×240 |
| CP-10 F | | 400 | 356 | 142.5 | 14.25 | kVA kVA kVA 7.5+15×30×4 | 350×150×240 |
| CP-20 A | 20 | 400 | 400 | 160 | 8 | kVA 160×1 | 350×150×240 |
| CP-20 B | | 800 | 350 | 280 | 3.5 | kVA 280×1 | 350×150×240 |
| CP-20 C | | 1,300 | 245 | 320 | 1.5 | kVA 80×4 | 350×150×260 |

表 5.3 高周波電磁接触器定格

| 定 格 電 圧 | 400 V | | 800 kc | |
|-----------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | 各周波数における定格電流 (A) | | 各周波数における 定格電流 (A) | |
| | 1/3 kc | 10 kc | 1/3 kc | 10 kc |
| FN-152 A | 125 | 100 | — | — |
| FN-156 H | 250 | 200 | 125 | 100 |
| FL-302 H | — | — | 250 | 200 |
| FL-302 DH | 500 | 375 | 500 | 375 |
| FD-602 H | 750 | — | 600 | — |
| FD-752 HB | 1,500 | 1,000 | 850 | 850 |

表 5.4 高周波用電磁接触器定格

| 形 名 | 項目 周波数 (kc) | シ ャ 断 容 量, 通 電 容 量 と も 必 要 な 負 荷 | | | | | | | | | | 通電容量のみ 必要な負荷 | |
|---------|-------------------|----------------------------------|------------|----------------------|---------------|------------|----------------------|---------------|------------|----------------------|------------|-----------------|--|
| | | コンデンサ開閉器 | | | | | | 電 源 開 閉 器 | | | | タ ッ プ 切 換 用 | |
| | | 3 極 (2 極) 並 列 | | | 3 極 (2 極) 直 列 | | | 3 極 (2 極) 直 列 | | | | 3 極 (2 極) 並 列 | |
| | | 電 圧 (V) | 電 流 (A) | コンデンサ 容量 (kVA) | 電 圧 (V) | 電 流 (A) | コンデンサ 容量 (kVA) | 電 圧 (V) | 電 流 (A) | 高周波電 源容量 (kVA) | 電 圧 (V) | 電 流 (A) | |
| M-65 H | 1 | 400 | 110 | 45 | 800 | 55 | 45 | 400/800 | 55 | 25/40 | 400/800 | 150 | |
| | 3 | " | 100 | 40 | " | 50 | 40 | " | 50 | 20/40 | " | 125 | |
| M-105 H | 10 | " | 75 | 30 | " | 40 | 30 | " | 40 | 15/30 | " | 100 | |
| M-105 H | 1 | 400 | 175 | 70 | 800 | 80 | 65 | 400/800 | 80 | 35/65 | 400/800 | 200 | |
| | 3 | " | 150 | 60 | " | 75 | 60 | " | 75 | 30/60 | " | 200 | |
| M-155 H | 10 | " | 125 | 50 | " | 60 | 50 | " | 60 | 25/50 | " | 150 | |
| M-155 H | 1 | 400 | 225 | 90 | 800 | 130 | 105 | 400/800 | 130 | 50/100 | 400/800 | 300 | |
| | 3 | " | 200 | 80 | " | 120 | 100 | " | 120 | 45/100 | " | 300 | |
| M-305 H | 10 | " | 150 | 60 | " | 100 | 80 | " | 100 | 40/75 | " | 200 | |
| M-305 H | 1 | — | — | — | 800 | 250 | 200 | 400/800 | 250 | 100/200 | 400/800 | 600 | |
| | 3 | — | — | — | " | 200 | 160 | " | 200 | 75/150 | " | 500 | |
| N-602 H | 10 | — | — | — | " | 150 | 120 | " | 150 | 60/120 | " | 400 | |
| N-602 H | 1 | 400 | 600 | 240 | 800 | 400 | 300 | 400/800 | 400 | 150/300 | 400/800 | 1,000 | |
| | 3 | " | 500 | 200 | " | 300 | 240 | " | 300 | 125/250 | " | 800 | |
| N-650 H | 10 | " | 400 | 160 | " | 200 | 160 | " | 200 | 75/150 | " | 600 | |
| N-650 H | 1 | — | — | — | 800 | 500 | 400 | 400/800 | 500 | 200/400 | — | — | |
| | 3 | — | — | — | " | 450 | 360 | " | 450 | 175/350 | — | — | |
| N-650 H | 10 | — | — | — | " | 350 | 280 | " | 350 | 150/300 | — | — | |

周波電磁接触器を開発した（表 5. 4），小形であるから従来の接触器に比較して便利に使用できる。

5. 1. 4 高周波計器用変成器と指示計器（図 5. 4）

3kc 以上の PT と CT には微細鉄粉を使用した磁心を用いて特性の向上を計っている。高周波指示計器として電圧計は整流形を電流計，電力計および無効電力計は熱電形を使用している。また高周波用保護継電器としては過電圧，過電流および接地検出継電器をそれぞれとくに製造し使用している。

5. 1. 5 自動力率制御装置

わが社では早くから炉用自動力率制御装置を使用しているが，これは力率（正しくは無効電力）検出に熱電素子およびメーサリレーを用いコンデンサの順序投入にモータ駆動のカムを使用するなど応動速度の遅いものであった。このため高周波焼入れのように変化が早いものには使用できないので，新しく高周波焼入れとして無効電力検出から順序制御までのすべての動作を半導体化した自動力率制御装置を開発した。この装置を併用することにより高周波発電機の出力が十分に利用できるようになり処理能力が一段と向上した。装置の詳細は筆を改めて紹介したい。

5. 2 高周波焼入れ機械

誘導加熱の特長は前に説明したが，その特長を十分に発揮するためにはその目的に合わせて設計された加熱機械または焼入れ機械を用いる必要がある。とくに高周波焼入れ機械では焼入れに水を使ううえに高周波変圧器，焼入コイルなど水冷を要するものが多い。このため水をいかに扱うかと言うことが一つの問題になってくる。また複雑な焼入パターンを要求されることが多いため焼入コイルの形状はもとより，焼入コイルとワークピース間の相互位置，加熱時間，送り速度等が非常に重要な要素を占める。要求される品物の形状は種々あり焼入パターン等もそれに依りて多様であるため，その要求にこたえて設計される高周波焼入れ機の構造動作は簡単に説明しつくせるものではないがわが社が製作した高周波焼入れ機の一部を簡単に紹介する。

5. 2. 1 ピボット焼入

図 5. 5 は 8Mc 3kW のラジオヒータと組み合わせて積算電力計のピボットを自動的に焼入れる装置であり，加熱されたピボットは油中に落し込んで焼入れる。

5. 2. 2 カムシャフト焼入れ機

MG が開発される前はラジオヒータと組み合わせて 400kc 30kW 程度で焼入れることが多かったが，このような高い周波数ではカムの卵形にとがった部分が過熱して思わしくなかった。MG を用



図 5. 5 ピボット焼入装置
Fig. 5. 5 Pivot hardening machine.



図 5. 6 HM-3 V 1 A 形カムシャフト専用焼入れ機
Fig. 5. 6 Cam shaft hardening machine type HM-3 V 1 A.
いて大電力で焼入れるようになってからはほぼ均等な深さに焼入れられるようになり好結果を得ている。図 5. 6 はカムシャフト専用の焼入れ機であるが，焼入コイル，制御回路を切り換えるようにしたら普通の立形焼入れ機で焼入れられることも可能であり実施した例がある。

5. 2. 3 車輪，ギア焼入装置

典型的な一発焼入れ機である。とくに歯車では歯底を焼入れることにより，歯の強度が増大するという利点があるが，このためには周波数の選定がとくに重要である。歯形の表面に沿って一定の深さに焼入れることは，非常に大電力密度を用いきわめて短時間に焼入れを完了することにより可能であるが，膨大な電源を必要とし不経済であるため一般には用いられず，歯の中心部を若干残してほぼ全体を，そして歯底にも焼がはいる程度に焼入れることが一般である（図 5. 7）。このような焼入れは普通の高周波焼入れとほぼ同様な電力密度を用いて可能であるが，歯のモジュールに対



図 5. 7 歯車の焼入れパターン
Fig. 5. 7 Macroetch pattern of gear.



図 5. 8 HM-2 V 1 A 形小形歯車焼入れ機
Fig. 5. 8 Gear hardening machine type HM 2 V 1 A.

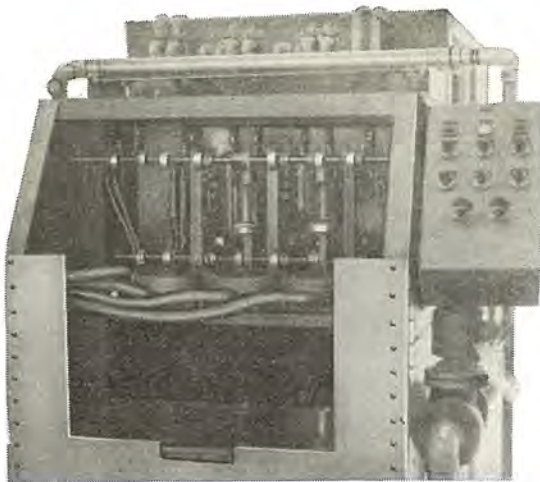


図 5.9 3 軸式歯車焼入装置
Fig. 5.9 Gear hardening machine 3 spindle type.

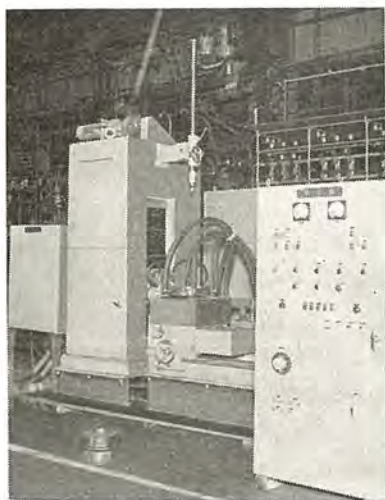


図 5.10 HM-1V1A 形 ハン用高周波焼入機
Fig. 5.10 Universal high frequency hardening machine, type HM 1V1A.

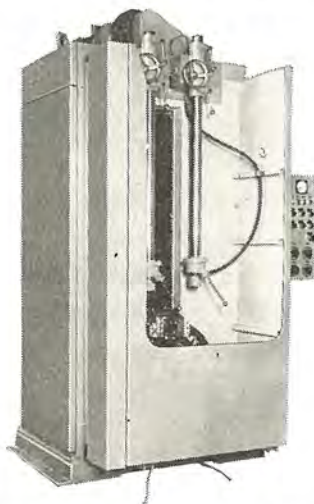


図 5.11 HM-1V2A 形立テ形焼入機
Fig. 5.11 Vertical scanner hardening oven, type HM-1V2A.

して周波数が高すぎると歯先部のみに熱がはいり、低すぎるとむしろ歯底部が過熱するため、周波数の選定が重要になる。図 5.8 は直径 300φ 程度の歯車、車輪等を一発焼入する焼入機であり、図 5.9 は同程度の歯車のほか小さな歯車も能率よく焼入れられるようにした焼入機である。小さな歯車のときは 1 個あたりの所要電力が小さくてすむため歯車の大きさに応じて 2 個または 3

高周波焼入装置用電機品・中村・鈴木

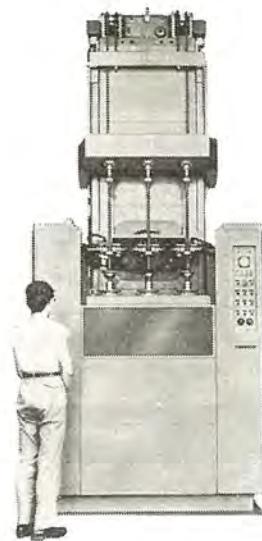


図 5.12 HM-1V3A 形小形焼入機
Fig. 5.12 Vertical scanner hardening oven, type HM-1V3A.

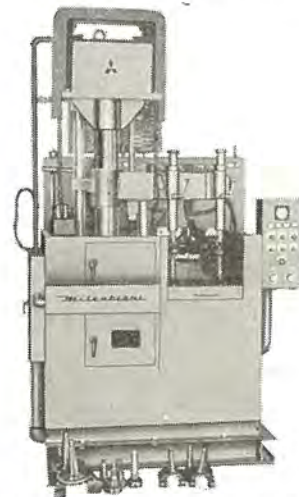


図 5.13 HM-3V2A 形小形立テ形焼入機
Fig. 5.13 Small vertical scanner hardening oven, type HM-3V2A.

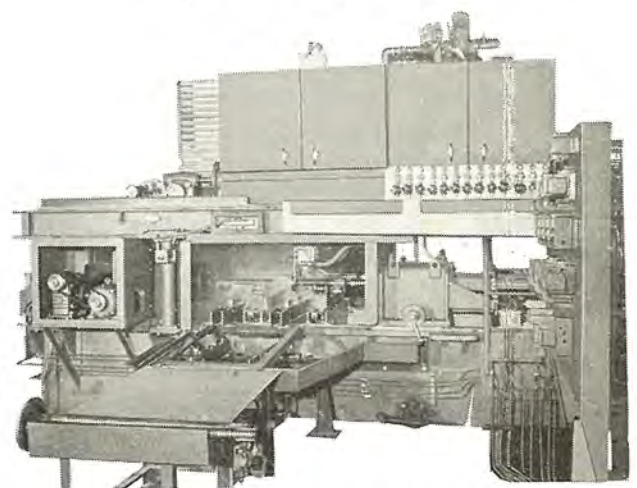


図 5.14 HM-1H3A 形低ヒズミ焼入機
Fig. 5.14 Low distortional rear axle hardening machine, type HM-1H3A.

個同時に焼入れできるようになっている。直径 2m にも及ぶような大形歯車の場合は大電力を要して一発焼入れは不可能であるし、モジュールも大きくなるのが普通であるから一般に一歯ずつ焼入れる。図 5.10 は小形軸類の移動焼入れ、上記のような一発焼



図 5.15 ピストンピン高周波焼入装置
Fig. 5.15 Piston pin hardening machine.

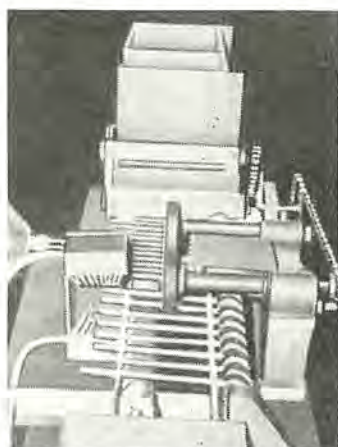


図 5.16 扇風機シャフト先端部分焼入機械装置
Fig. 5.16 Electric fan motor shaft hardening machine.

入れおよび大形歯車の一発焼入れができるハン用形の高周波焼入機である。

5.2.4 立テ形移動焼入機

移動焼入れは高周波焼入れの典型的な形態の一つであり、最も多く見ることができる。図 5.11～5.13 にその例を示す。焼入冷却水を噴射するつごうから立テ形としたものが多くワークピースの下から上に向かって焼入れていく。一般には焼入コイルが固定しておりワークピースが昇降する形式が多いが、焼入機の全高が高くなるため長いシャフト、ロール類を焼入れるための装置では焼入コイルが昇降するようにした例もある(図 5.11)。ただし可トウ(撓)性のある高周波電力ケーブルを要し、高周波電力の損失を無視できなくなるため一長一短があり、目的、状況に応じてどちらを採用するか慎重に考慮すべきであろう。

5.2.5 低ヒズミ焼入機

高周波焼入れに限らず焼入れに当たってヒズミと割れは熱処理技術者にとって頭の痛い2大問題である。割れについては形状(鋭

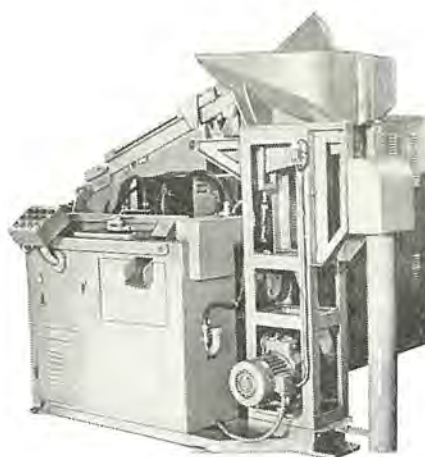


図 5.17 バルブステム端面焼入機
Fig. 5.17 Valve stem and hardening machine.

角部をなくすなど)、局部過熱の防止、冷却速度の調整等種々の方法が考えられ、絶対的な方法はないが、ヒズミに対してはラレスクエンチなどヒズミを機械的に防止する方法でほぼ目的を達しており、高周波焼入れでも似たような方法がしばしば用いられている。先に製作したリヤクスル低ヒズミ焼入機も同様な考えに基づくものであり、リヤクスルの焼入れ中に発生するヒズミを防止(抑制)する機構をもち、その効果は焼入れ後のヒズミ取り工程を省略できることをみても明らかである。

第1号機をいすゞ自動車に納入したがその後諸方の自動車会社に続々採用願っている。

5.2.6 その他の焼入れ

以上説明したものは標準的な焼入機であるが、品物の形状、寸法、焼入れ仕様によっては特殊な構造の焼入機を要することも多い。図 5.15 はピストンピン焼入機であり 400 kc 30 kW ラジオヒータと組み合わせられたものである。ピストンピンは焼入コイル中に水平に回転しながら通過して焼入れられる。図 5.16 は扇風機軸先端の焼入機であり、軸は2本の角ネジの上に乗って横方向に送られる。図 5.17 は自動車エンジン用のバルブステム端面焼入機であり、構造は扇風機軸焼入機と類似の原理によっている。

6. む す び

以上高周波焼入装置について電気部品の紹介に重点を置いて説明した。わが社の高周波焼入装置用の電機品についてほぼ一とおり標準定格を記してあるから高周波焼入装置のみならず高周波誘導加熱装置についての何らかのご参考になるものと信ずる次第である。
(昭 41-6-11 受付)



特許と新案

静電フィルタ装置

考案者 上田 時 芳

この考案は、たとえば放電加工装置における加工液の口過に用いられる静電フィルタ装置の改良に関するもので、とくに負電極と正に帯電した微粒子との間のコロナ放電の際に生じる電子数を多くして、微粒子の帯電量を増し、正電極から受けるクーロン力の増大を計って集じん率を向上させることを目的とするものである。

すなわち、図1および図2に示すように、一側に液体流入口(2)を、また他側に液体流出口(3)を有する容器(1)内に、所定間隔をあけてそれぞれほぼ平行に集電極(4)を重ね積したもののにおいて、上記集電極(4)のうち、負電極(4')の極面を仕事関数の小さい金属、またはその酸化物からなる金属膜(6) (たとえば亜鉛あるいはスズ)によって被覆したもので、上記負電極(4')が電子を放出しやすい金属膜(6)によって被覆されているから、この負電極と正に帯電した微粒子との間のコロナ放電の際に生じる電

子数が多くなり、したがって微粒子の帯電量も増し、その結果、正電極から受けるクーロン力も大きくなって、集じん率が著しく向上する効果を有するものである。

(登録実用新案 769468 号) (土居記)

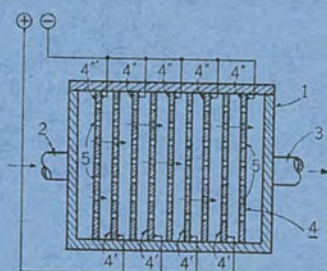


図 1

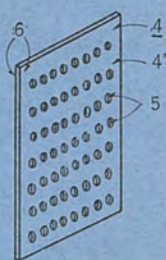


図 2

ポータブルテレビの電源トランス

考案者 杉田 重雄・柳 川 滋

トランジスタを用いた超小形の交直両用のポータブルテレビジョン受像機は、屋外においては電池を電源とし、また屋内においては電灯線 (AC 100 V) を電源とするため、天井用の電源トランスを必要とするが、この電源トランスは他の部品と比較して相当重量があるため、この電源トランスをキャビネット内の片寄った位置に装着すると、受像機の平衡が極度にくずれて持ち運びに不便である。したがって電源トランスのキャビネットへの装着位置が限定される欠点がある。

この考案は、このような欠点を除去しようとするもので、図1および図2に示すように、偶数個の鉄心(5)(5')にそれぞれ巻回した一次線輪(6)(6')、ならびに二次線輪(7)(7')とをそれぞれ直列に接続して所定の電圧変成比をうるように、偶数個に分割した電源トランス(4)(4')を、キャビネット(1)の重心が平衡する位置にそれぞれ分散して配設するようにしたもので、キャビネット(1)の

平衡度を自由に調節することができるばかりでなく、分割した電源トランス(4)(4')の漏れ磁束を、この両電源トランスによって互いに打ち消すように配置することもできるので、上記漏れ磁束のブラウン管(2)への影響を減少させる効果をも有するものである。

(登録実用新案第 769431 号) (土居記)

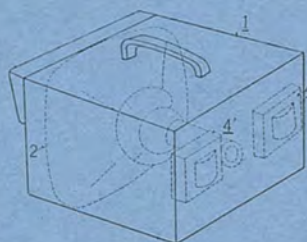


図 1

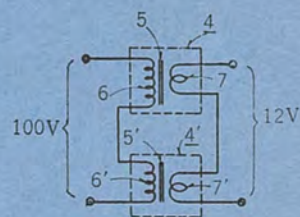


図 2

テレビ、ラジオなどの受信アンテナ

考案者 倉田 清・柳 川 滋

この考案は、たとえばテレビジョン受像機における室内用ロッドアンテナ、あるいはラジオ受信機における短波用ロッドアンテナの改良に関するものである。

すなわち、図1および図2に示すように、キャビネット(1)に伸縮かつ回動自在に装着された引伸式ロッドアンテナ(3)に、柔軟な絶縁体からなる調整環(4)をシュウ動自在にカンソウ(嵌挿)し、

この調整環(4)の貫通孔(5)に上記アンテナ(3)の外周面に軽く接触して、これを適当な位置に保持する複数の突子(6)を設けるようにしたもので、上記調整環(4)の存在によりアンテナ(3)の方向、あるいは長さの調整が人体の影響を受けることなく、きわめて迅速かつ確実に進行することができるばかりでなく、調整環(4)の貫通孔(5)に設けた突子(6)は、この調整環の軽快な移動に役

たつものである。

(登録実用新案第758045号)(土居記)

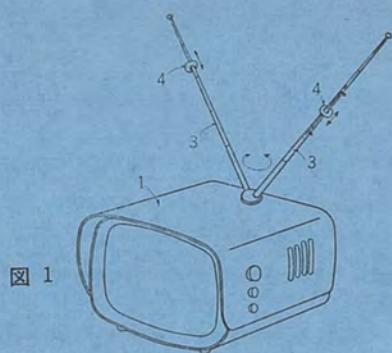


図 1

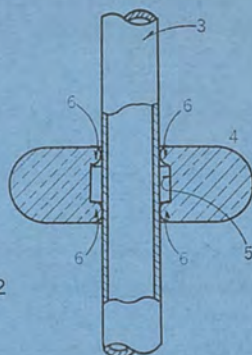


図 2

ラジオ、テレビなどのキャビネット

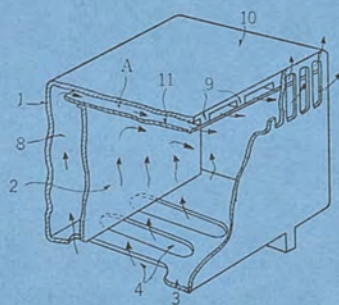
考案者 岡本 春樹・牟田 克己

この考案は、ラジオ、テレビなどのキャビネット内において、たとえば真空管および変圧器などから発生する熱により、キャビネットの天板が変形しないようにしたキャビネットの改良に関するものである。

すなわち、図に示すように、キャビネット(1)の天板(10)の内面に、所定間隔をあけて前後方向に延長する複数条の突条(9)を設けるとともに、この突条には上記天板(10)の内面と対向して空ゲキ(A)を形成するシヤ熱板(11)を定着し、さらに上記空ゲキ(A)と上記キャビネットの底板(3)の通気孔(4)とを連通する冷空气流通路(8)を整形シヤーシ(2)によって形成するようにしたもので、キャビネット(1)内の熱空気を、シヤ熱板(11)によって天板(10)に接触させないだけでなく、シヤ熱板(11)と天板(10)との間に形成された空ゲキ(A)に、底板(3)の通気孔(4)から導入した冷空气

を流通させるようにしたから、天板(10)はまったく加熱されることがなく、変形あるいは過熱による火災の原因となるようなことのない実用的効果を有するものである。

(登録実用新案第755246号)(土居記)



タイミング装置

考案者 新川 清美

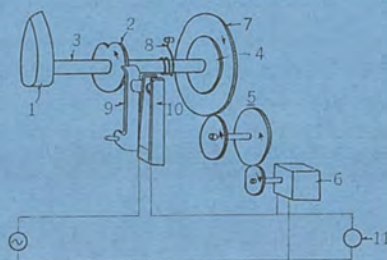
セットタイマなどのタイミング装置における駆動源としては、従来ウズ巻きバネと脱進機とを用いた機械的方式や、同期電動機を用いた電気的方式が実施されているが、前者は機構が複雑になり、また後者は、セットタイマなどの被作動負荷が大形になると同期電動機も大形のものが要求される欠点がある。

この考案は上記欠点をなくし、小形で駆動力の大きいタイミング装置を提供するものである。

すなわち、操作つまみ(1)およびカム(2)を有する操作軸(3)の端部に摩擦クラッチ(4)を装着し、この摩擦クラッチには歯車群(5)を介して同期電動機(6)に連結された歯車(7)を結合させる。また操作軸(3)の外周には、ウズ巻きバネ(8)を巻回してこれにその内端を固定している。したがって、タイマをセットするために操作軸(3)を矢印方向に図示位置まで回転させると、カム(2)の凹部(凹)部に落ち込んでいた作動杆(9)の自由端がカム(2)の外周に接するので、スイッチ(10)が閉合し、同期電動機(6)および負荷(11)に通電される。また上記操作軸(3)の回転によりウズ巻きバ

ネ(8)が巻き込まれるので、操作つまみ(1)から手を離すと、操作軸(3)はウズ巻きバネ(8)の付勢力と同期電動機(6)の回転力とによって復帰回転する。したがって、カム(2)の凹部に作動杆(9)の自由端が再び落ち込むと、スイッチ(10)が開いて同期電動機(6)および負荷(11)の動作が停止する。上記のように、この考案はウズ巻きバネ(8)の付勢力を同期電動機(6)の回転力に和働させているので、比較的大形のセットタイマ等のタイミング装置としても小形の同期電動機でよく、小形、軽量になる効果がある。

(実用新案登録第766707号)(幸島記)



シリコンカーバイドの物理的性質

岡田 武夫*・粟根 克昶**・香崎 銀博**・河野 慶三**

Physical Properties of Silicon Carbide

Central Research Laboratory Takeo OKADA・Katunobu AWANE・Toshihiro KŌZAKI・Keizō KŌNO

Silicon carbide (SiC) is semiconductor of an unusually large energy gap, which, together with its great chemical stability, enables the substance to be used for high temperature semiconductor devices. Study has been made on it by many researchers. At present, the vapor growth at high temperature is the most promising in producing its crystal, but to have pure single crystal of good reproducibility is very difficult because of its high temperature.

It is, however, confirmed that a certain degree of the reproducibility is available by the Lely method (sublimation method) and new information has been obtained about crystal habit. Moreover, the range of measurement has been expanded through electrical, optical and electron spin resonance experiments with the crystals produced.

1. ま え が き

シリコンカーバイド（以下 SiC）は、エネルギーギャップが 2.8 eV あり、耐熱半導体として有望で、従来多くの研究が行なわれている。結晶製作は現在のところ高温の気相成長が最も有望な方法であるが、高温であるがために純粋な単結晶を再現性よく製作することは非常に困難である。

われわれは Lely 法による単結晶を製作しある程度結晶製作上の再現性を確認し、かつその晶癖についていくらかの新しい知見を得た。また、われわれのつくった結晶について電気測定、光学測定および電子スピン共鳴測定を行ない、従来の測定範囲をいくらか広げることができた。この報告は結晶製作およびこれの測定についての結果をまとめたものである。

2. 結晶成長——成長過程の究明

SiC の結晶製作にあたって、安定な高温炉の製作およびそれによる Lely 法に基づいた結晶成長の概観については以前に報告した⁽¹⁾⁽²⁾。

この Lely の昇華再結晶法⁽³⁾による単結晶の製作においては、比較的簡単に成長させることができる反面、再現性のある良好な成長を行なわせることは非常に困難である。これはこの方法の欠点である成長条件の制御が容易でないことに原因があると思われる。すなわち、核の発生、空ドゥ内成長領域の局所的な温度分布、原料 SiC の定常的な気化、およびそのガスの流れの状態などの条件を任意の状態に制御して保つことが困難であるという点に問題がある。これは同じルツボで同時に成長した結晶を観察した場合、いろいろな晶癖のものが見られ、また不純物濃度に関しても個々の結晶で異なると同時に、一つの結晶内においても濃度コウ配が見られることから十分想像でき、成長条件が場所的、時間的に一様でないことを示すものと思われる。したがって、再現性のあるような成長を行なわせるためには、とくに上記のことを考慮し、発熱体、ルツボ、そのほかの構造物の改良を行ない、その影響を調べるとともに成長状態の詳細な観察から成長過程の解明に努力することが必要である。筆者等はこのことに努めてきたもので、ここでは成長過程について考察した結果を報告する。

まず結晶製作法を説明すると、図 2.1 に示したルツボを Kroll

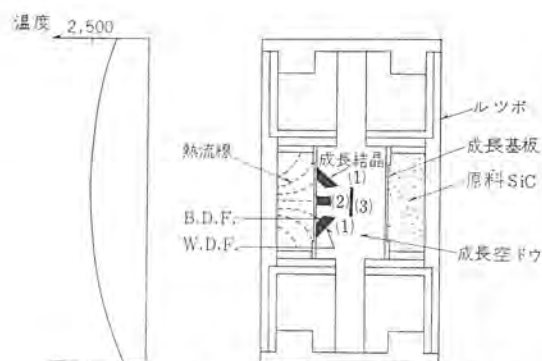


図 2.1 ルツボの構造および成長状態
Fig. 2.1 Structure of crucible and state of growing.



図 2.2 ルツボの中の成長状態
Fig. 2.2 Growing state in the crucible.

形発熱体の中に入れ、昇温脱ガスしたのち、アルゴンフイ気中で、1,950°C~2,500°C の間を 30°C/min の速度で温度を上げていく。この期間では原料 SiC（あらかじめ高純度 Si と C を 2,000°C で反応させて作った β -SiC）の外側周辺で分解蒸発した気体分子、または原子は急激な温度コウ配のついた原料 SiC の内部をとり空ドゥ壁（多孔質黒鉛）に到達する。この成長基板上では高過飽和状態にあるためふたたび晶出し核形成が行なわれる。その後数時間 2,500°C 一定に保ちこれを成長させるのである。4 時間後の成長状態の概観を図 2.2 に示した。この方法で成長過程を調べた結果を順を追って記述する⁽⁴⁾。

2.1 成長状態の時間変化

成長時間（2,500°C 一定に保つ時間）を種々変え、その成長状態の変化を顕微鏡観察した。まず温度上昇期（1,950°C~2,500°C）の



図 2.3 成長初期の結癖
Fig. 2.3 Crystal habit in the initial state of crystallization.

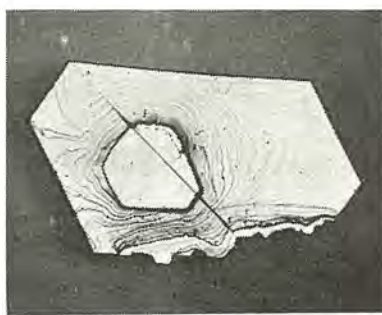


図 2.4 層成長を示す表面模様
Fig. 2.4 Surface pattern showing the layer growth.



図 2.5 ウズ巻き成長を示す表面模様
Fig. 2.5 Surface pattern showing the spiral growth.



図 2.6 ホウ素添加結晶表面上に見られる六角スパイラル
Fig. 2.6 Hexagonal spiral on the surface of Boron doped crystal.



図 2.7 格子不整をもつホウ素添加結晶の X 線振動写真—(6H+4H+15R) 多形結晶—
Fig. 2.7 X-Ray oscillation photograph of Boron doped crystal with disordered structure. —(6H+4H+15R) polytype crystal—



図 2.8 発達の良い面をもつ結晶
Fig. 2.8 Crystals with badly developed face.



図 2.9 両面ともよく発達した結晶
Fig. 2.9 Crystals with well developed faces.



図 2.10 等高線模様をもつ発達の悪い面
Fig. 2.10 Badly developed face with contour line.



図 2.11 ウズ巻き模様をもつ発達のよい面
Fig. 2.11 Well developed face with spiral pattern.

間)においては、結晶核の形成が行なわれるとともにそれらが合体して一つの棒状結晶に結晶化していく。やがて成長期にはいり平衡状態になるとこの棒状結晶の伸びに著しい成長がないのに対し、その側面の成長が始まりC面が発達してくる。約30分後までのこの変化の様子を図2.3に示した。成長中期以後ではC面の発達はあまりないのに対しこの面上で、二次元核形成→層成長(図2.4)、あるいはらせん転位の形成→ウズ巻き成長(図2.5)を続けて結晶の厚さを増していくようである。このらせん転位は結晶内部の不純物の不均一分布によるストレス、あるいは成長結晶同志の衝突による外部的なストレスの結果生じたヒズみにより形成されるものと考えられる。たとえば、ホウ素を高濃度に添加した結晶の表面にはとくにウズ巻き模様(図2.6)が多く観測されるが、X線解析の結果でも相当格子不整の生じていることがわかり、このことは上記の考えかたの妥当性を裏付けるものである。(図2.7)

2.2 結晶面の表面模様

結晶成長においては媒体から結晶表面に分子または原子が供給

されることにより成長が行なわれるが、結晶面はその結晶成長が行なわれる唯一の場所でありここには成長の軌跡が残っているはずである。したがって成長過程を究明する場合、表面観察は非常に重要なことであると言える。そこで多くの結晶表面を観察した結果次のようなことがわかった。

(1) 成長結晶は一般に六角平行平板晶であるが、その成長場所の上下の温度に差があると、C軸に平行な断面は台形状の形をとり、必ずその広い面(Well developed face. 以後 WDF と略す)を低温側に向け、狭い面(Badly developed face. 以後 BDF と略す)を高温側に向けて成長している(図2.1の(1)および図2.8)。しかしこの温度差が小さい場合には両面共、同程度に発達した平行平板晶になる(図2.1の(2)および図2.9)。

(2) この面の表裏に表面模様の相違が見られる。すなわち BDF 上では不規則なあるいは規則正しい等高線模様か、またはウズ巻き模様が見られるのに対し、WDF 上にはウズ巻き模様かまたはほとんど鏡面に近い美しい面を示す。そしてこれらの組み



図 2.12 ウズ巻き模様をもつ発達が悪い面
Fig. 2.12 Badly developed face with spiral pattern.



図 2.13 著しい模様をもたないよい面
Fig. 2.13 Well developed face with no surface pattern.

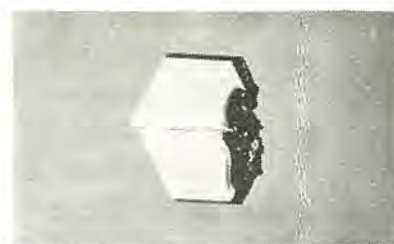
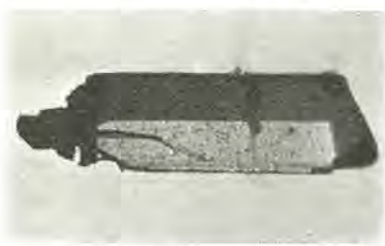


図 2.14 分解の生じている結晶
Fig. 2.14 Crystal with decomposed part.



(a) C軸に垂直な断面



(b) C軸に平行な断面

図 2.15 部分的に窒素を添加した結晶の断面
Fig. 2.15 Section of a partially nitrogen doped crystal.

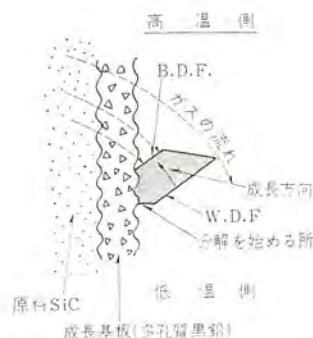


図 2.16 ガスの流れと成長方向
Fig. 2.16 Gas flow and growing direction.



(a) 4時間後の成長状態



(b) 8時間後の成長状態

図 2.17 非常に薄い平行平板晶—成長壁に平行な成長—
Fig. 2.17 Very thin planar crystal. —Growing state parallel to the substrate—

合わせは次の二種類が大多数である。

(a) BDF が複雑な等高線模様 (図 2.10) のとき、WDF はウズ巻き模様 (図 2.11)。

(b) BDF がウズ巻き模様 (図 2.12) のとき、WDF は鏡面 (図 2.13) で著しい模様は見られない。このことから BDF 上のほうが成長活動が著しいことが予想される。

成長後期 (4 時間後) のものでは、(b) の場合のほうが多く見られる。また表面の分解現象は WDF 側の根元のところから必ず始まっている。(図 2.14)

2.3 成長方向および成長速度

2.2 節で観察されたことから結晶面の表裏で成長速度に相違のあることが十分予想される。そこでこの情報をうるために、窒素が SiC に混入すると着色 (緑色) することを利用して成層ツィグを途中でアルゴンから窒素に変える実験を試み、成長した結晶の断面を観察した結果、図 2.15 に示すような結果を得た。これより次のようなことが考えられる。

(1) C 軸に垂直な方向での成長は、時間がたつにつれ成長速度は徐々に減少している。

(2) これに対し C 軸に平行な方向では一定の成長を続け、とくに BDF 側で著しい成長が生じており、WDF 側ではほとんどみられない。この方向の見かけの平均した成長速度を求めると、約 $110 \mu/h$ という値が得られた。

2.4 成長過程の考察

以上 2.1, 2.2, 2.3 節の実験結果から、次のような成長過程が考えられる。すなわち成長壁を通過して空ドウ内にはいつてくる気体分子または原子は高温部分から、ルツボ上下面の低温部に向かって方向性をもったガス流になって流れていると考えられる。(これは原料 SiC の断面の熱流線からも十分予想されることである)。成長初期においては、まず 2.1 節に示したように棒状結晶に成長し、続いて C 面が発達してくる。この面の高温側では、上記のようなガスの流れのために高過飽和状態にあり、低温側の面では低過飽和状態にあると考えられる。

このように考えると前者では成長活動が著しく後者ではほとんどないこと、また成長の最終段階においては、原料 SiC の凝固のためガス流に対する抵抗が増し、そのために成長空ドウへのガスの流入が減少してくるので過飽和度はさがり、BDF ではウズ巻き成長が主体をなし、WDF 上では著しい成長はなく、先端より高温と考えられる根元では、逆に分解現象が始まるものと想像される。これが 2.2 節に示した表面状態の相違を説明するものではないかと考えられる。この様子を図 2.16 に示した。また C 面を成長壁に平行にして成長しているものをときどき見かけるが、このような結晶は非常に薄くまた両面ともに同程度によく発達し、著しい表面模様はみられず、両面共相違もないのが特長である。これを図 2.1 の (3) および、同一結晶の 4 時間後と 8 時間後の成長状態を図 2.17 に示した。この場合は両結晶面は同じような

ガスフイ 気中 (ガス 流れ) にあるため、同程度の成長を行ない、また周囲の温度が成長壁に垂直なものより高いため結晶化熱の放散が容易でなく、低過飽和状態にあり、したがって成長速度が小さく薄く成長するものと考えられる。

以上から平行平板の良好な単結晶を成長させるためには、温度分布、とくに成長結晶周辺の温度分布の対称性および適当に小さな温度コウ配のあることが重要であることがわかる。

3. 結 晶 構 造

3.1 多形 (Polytype) の存在

SiC は結晶構造として非常に多くの種類の多形 (Polytype) の存在が古くから知られており、現在でも新しい多形の発見が報告されている。しかし成長条件と多形結晶との関係については完全には解決されていない。これは成長温度が非常に高いこと、および現在までの製作方法がおもに Lely 法に基づくものであり、成長領域の局所的な成長条件を制御することが困難であったことに原因すると考えられる。筆者等はこの方法の改良を重ね、ある程度の再現性をもって成長させることができるようになったので、多形結晶成長への不純物効果について調べている。

まず結晶構造について簡単に説明すると、大別して、低温度 (1,500°C~2,000°C) で成長する β -SiC (立方晶系) と高温度 (2,000°C~2,700°C) で成長する α -SiC (立方晶系およびリョウ (菱) 面体晶系) にわけられる。 α -SiC はさらに多くの多形にわけられるが、それらはすべて Si 層と C 層からなる SiC 2 重層が C 軸方向に最密充テンをなすものである。この場合ある層に注目すると、その

上下の隣接層との関係において立方最密充テンと六方最密充テンの2種類があり、この組み合わせ方が種々考えられる。したがってそのくりかえし周期の異なるものができて、多くの多形が可能になるのである。現在までに知られているものでも 44 種類⁽⁵⁾の多きに至っている。その中でも一般によくみられる SiC の多形の種類を表 3.1 に示した。この中で 4, 6 等の数字は 1 週期を構成する層の数を表わし、C, H, R は格子の対称性を表わすもので、おのの Cubic (C), Hexagonal (H), Rhombohedral (R) cell に属することを表わしている。また A, B, C は上下隣接層の位置を区別するもので、h, k はその層の積み重ね方を区別するもので、六方最密充テン (h) と立方最密充テン (k) を表わしている。

3.2 X線解析 (振動結晶法) による多形の判定

このように α -SiC は、格子定数 C_0 のみが異なるので多形の判定はX線解析 (振動結晶法) により C_0 の値を求め、その回折ハーン (斑) 点の指数付けをすればできる。不純物効果を調べるため添加した不純物は、窒素、ホウ (硼) 素、アルミニウムである。添加する量の定量性の点でまだ問題は残っているが、現在までに判明した

表 3.1 SiC の 多 形

| 結 晶 構 造 表 示 法 ⁽⁶⁾ | | | | 格子定数 (Å) ⁽⁷⁾ | |
|------------------------------|----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| Thibault | Ramsdell | Classical ABC notation | Wyckoff and Jagodzinski | a_0 | c_0 |
| β -SiC | 3C | ABC | k | 4.349 | — |
| α -SiC | 4H | ABAC | hk | 3.073 | 10.05 |
| | 6H | ABCACB | hkk | 3.073 | 15.07 |
| | 15R | ABCBCACB ACBCACB | hkkhk | 3.073 | 37.70 |

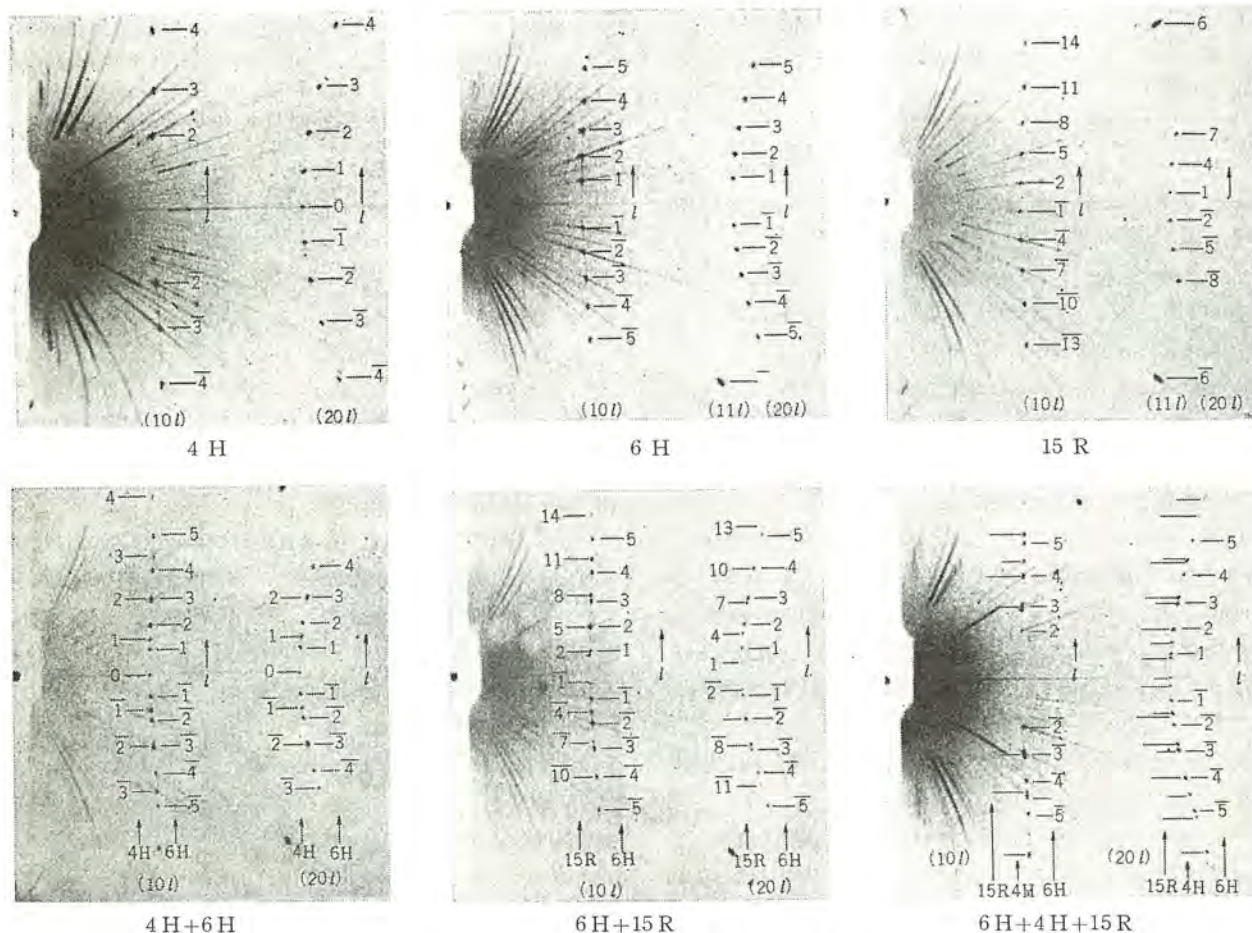


図 3.1 各多形結晶の振動写真
Fig. 3.1 Oscillation photograph of each polytype crystal.

表 3.2 Al 濃度と SiC 多形の間の関係

| Al 添加結晶 (数字: 原料 Si+C に加えた Al の重量 % を表す) | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|--------------------------|---------|-------------------|
| 0.1 | | 0.5 | | 2.1 | | 3.0 | | 5.0 | | 10.0 | |
| # 251-1 | 6 H \approx 15 R | # 297-1 | 6 H \approx 15 R | # 250-1 | 15 R \approx 4 H \gg 6 H | # 270-1 | 6 H | # 256-1 | 6 H \gg 4 H | # 257-1 | 6 H \gg 4 H |
| # 296-1 | 6 H \approx 15 R \approx 4 H | # 297-2 | 6 H \gg 15 R \approx 4 H | | | # 274-1 | 15 R \gg 6 H | # 256-2 | 15 R \gg 4 H \gg 6 H | # 257-2 | 4 H \approx 6 H |
| # 296-2 | 6 H | # 297-3 | 6 H \approx 15 R | | | # 280-1 | 15 R \gg 4 H | # 256-3 | 6 H \gg 4 H | # 257-3 | 6 H \gg 15 R |
| # 296-3 | 6 H | # 297-4 | 6 H \gg 4 H | | | # 280-2 | 6 H \gg 15 R \approx 4 H | # 299-1 | 4 H \approx 6 H | # 257-4 | 4 H \approx 6 H |
| # 296-4 | 6 H | | | | | # 298-1 | 15 R \gg 4 H \gg 6 H | # 299-2 | 4 H \approx 6 H | | |
| | | | | | | | | # 323-1 | 4 H | | |

注) \approx , \gg 等の記号は回折強度の関係を表す。

点について定性的にしてみる。成長温度は 2,500°C 一定である。まず全体を通じて共通な点として、

1. 一つのルツボの中で成長した多数の結晶のうち、1 個の結晶が完全に 1 種類の多形であることは珍しく、大部分は三種類の多形 (4 H, 6 H, 15 R) が共存した形で成長している。すなわち、C 軸方向に parallel growth しているのである。これらの代表的な振動結晶法写真を図 3. 1 に示した。

2. 不純物の種類に関係なく 6 H が主体をなしている。

次に各不純物添加結晶の特長として、

(1) 窒素添加結晶

添加しない高純度結晶と同じく、6 H および 6 H+15 R が主体で 4 H はあまりみられない。

(2) ホウ素添加結晶

やはり (1) の場合と同じであるが、著しい格子不整 (積層欠陥) を生ずるのが特長である。この一例を図 2. 7 に示した。

(3) アルミニウム添加結晶

上記 (1) (2) に比べて 4 H の成長がとくにめだち、6 H+4 H+15 R の parallel growth が多くみられ、4 H 単独のものも少数ながら見いだされた。アルミニウム濃度 (蒸発源である β -SiC の製作時における Si+C 粉末に対するアルミニウムの添加割合を wt % で示す) と成長した多形結晶との関係の一例を表 3. 2 に示した。これから次のような傾向が見られる。すなわち濃度の小さいとき (0.1~0.5 %), parallel growth の形で、6 H が主体であるが、濃度が増すと (2~3 %), 15 R の成長がめだち、さらに増すと (5~10 %) 15 R がきわめて減少するのに対し、4 H の成長が著しくなる。以上の結晶を考察する場合、測定データの数に比べ、ルツボ当たりの成長数が非常に多く信頼性に欠けることは否定できない。

また温度効果を当然考慮にいれなければならないが、これについては、W. F. Knippenberg⁽⁸⁾が詳しく調べている。それによると、2,500°C の成長温度では 6 H および 6 H+15 R が主である。したがって上記の結果において、窒素およびホウ素添加結晶の構造は温度により影響されることが大きいのにに対し、アルミニウム添加結晶のそれはその濃度に左右されることが考えられる。以上についてはさらに多くのデータの蓄積および成長条件の制御が必要であるが、温度効果と不純物効果の適当な組み合わせを詳細に調べていけば、筆者等の目的とする各多形結晶を任意に成長させることも不可能ではないかもしれないと思われる⁽⁹⁾。

4. 光学的性質

hexagonal SiC と cubic SiC の吸収端付近における光吸収を測定した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。多重反射を考慮した透過率 T の次式を使って吸収係数 α を求める。

$$T = \frac{(1-R)^2}{\exp(\alpha d) - R^2 \exp(-\alpha d)} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、 R は反射率、 d は試料の厚さである。

図 4. 1 に吸収係数 α 対光子エネルギー $h\nu$ を示す。これを $\alpha^{1/2}$ 対 $h\nu$ でプロットすると、ほぼ直線になり間接遷移に基づく吸収であることがわかる。そこで、次に示す Macfarlane & Roberts⁽¹²⁾ の式を使い解析する。

$$\alpha = A \left[\frac{(h\nu - E_g + k\theta)^2}{e^{\theta/T} - 1} + \frac{(h\nu - E_g - k\theta)^2}{1 - e^{-\theta/T}} \right] \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

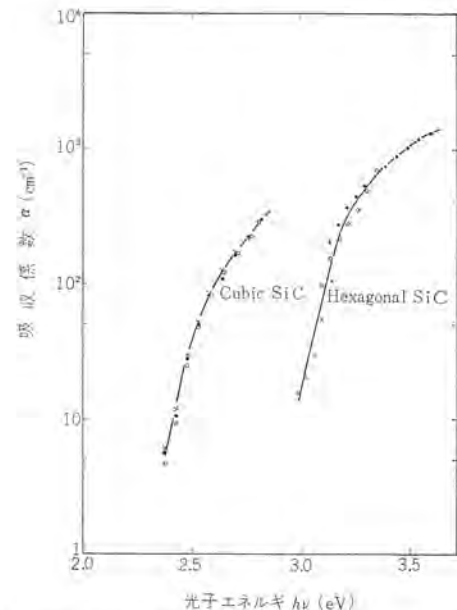


図 4.1 室温での cubic と hexagonal SiC の吸収スペクトル
Fig. 4.1 Absorption spectra of cubic and hexagonal, type 6 H, silicon carbide at 300°K.

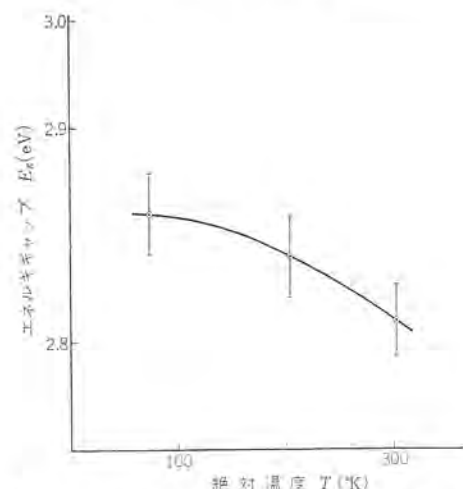


図 4.2 Hexagonal SiC に対するエネルギーギャップの温度変化
Fig. 4.2 Eg vs. T for hexagonal SiC.

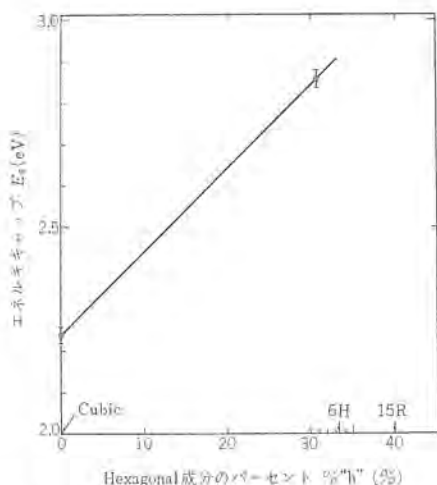


図 4.3 Hexagonal 成分の割合に対する室温でのエネルギーギャップの変化

Fig. 4.3 A plot of E_g against percent "hexagonal" at 300°K.

ここで、 $k\theta$ はフォノンエネルギー⁽¹³⁾である。

図 4.2 に hexagonal SiC の最小エネルギーギャップ E_g の温度変化を示す。図 4.3 に室温での E_g 対結晶の hexagonal 成分の割合 % "h"⁽¹³⁾を示す、cubic SiC (おもに cubic で % "h" は 0 %) では $E_g = 2.24 \pm 0.02$ eV, hexagonal SiC (おもに 6H で、% "h" は 33 %) では $E_g = 2.86 \pm 0.02$ eV となり、結晶の hexagonal 成分の割合 % "h" が増すとエネルギーギャップ E_g が大きくなることから、Kobayashi⁽¹⁴⁾の OPW 法によって得られた cubic SiC エネルギーバンドの構造によると、価電子帯の最大 $k = (0, 0, 0)$ から、伝導帯の最小 $k = \frac{2\pi}{a}(1, 0, 0)$ への間接遷移に基づく最小エネルギーギャップは 2.2 eV であり、上の測定結果に近い値である。

なお、4,200 Å と 6,200 Å のところに不純物による吸収が観測された。これは結晶成長炉のフニイ気中に不純物として含まれるホウ素とか窒素に原因しているものと思われる。

5. 電気的性質

製作された Al をドーピングした p 形と窒素をドーピングした n 形の hexagonal SiC および窒素をドーピングした n 形 cubic SiC の電気伝導度、ホール係数を 1,300°K まで、直流法で測定した。⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾

成長炉から取り出した結晶を、C 軸に垂直な面を研磨して表面層を取り除いた平行平板は四つ葉のクワパ形に切れ目を入れる。⁽¹⁶⁾ その端に、タングステンを乗せ水素を含む還元性フニイ気中で加熱すると n 形にも p 形にも比較的低抵抗のオーム接合が得られる。端子付のとき、結晶表面に生じたカーボンの伝導層はサンドブラストで除去し、タングステン端子上へモリブデン線をスポット溶接して測定リードとした。

SiC をアルゴンまたは真空中で加熱すると、図 5.1 に示すように、結晶表面にカーボンの伝導層を生ずるが、水素を含む還元性フニイ気では、これが除去される。高温での測定ではこの点に注意を要する。

電流対電圧特性を調べて、結晶の温度上昇とか空間電荷の効果がほとんど影響しない電流範囲で、van der Pauw⁽¹⁶⁾の方法で測定し、比抵抗 ρ と、ホール係数 R_H を次式で求める。

$$\rho = \frac{1}{\alpha} \frac{\pi d}{2 \ln 2} (R_1 + R_2) f\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \quad (5.1)$$

$$R_H = \frac{V_H d}{BI} \quad (5.2)$$

ここで、 d は試料の厚さ、 $f(R_1/R_2)$ は van der Pauw⁽¹⁶⁾によりグラフで示されている。次にキャリアの数 P と、移動度 μ_H は一応ホール因子を除いて次式で求める。

$$P = \frac{1}{R_H e} \quad (5.3)$$

$$\mu_H = \left| \frac{R_H}{\rho} \right| \quad (5.4)$$

最高温度付近でのホール係数の測定値には、ほぼ 10 % の誤差があるが比較的低温では数 % 以下である。また温度を上げたあとの測定値の再現性は 5 % 以内である。

p 形 hexagonal SiC の電気伝導度の温度変化を図 5.2 a に、キャリア濃度の温度変化を、図 5.2 b に、移動度の温度変化を図 5.2 c に示す。なお、500°K での n 形 hexagonal SiC の移動度は約 $50 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ で、n 形 cubic SiC の移動度は約 $70 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ である。

p 形 hexagonal SiC のキャリア濃度の温度変化のデータ (図 5.2 b) を compensation を考慮した次式で解析する⁽¹⁷⁾。

$$\frac{P(P+N_D)}{N_A - N_D - P} = \frac{N_V}{g} \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right) \quad (5.5)$$

ここで、 $N_V = 2(2\pi m_a^* kT/h^2)^{3/2}$ 、 g は価電子帯とアクセラ準位の

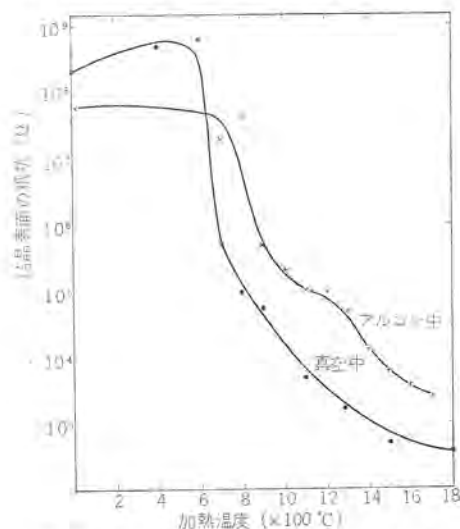


図 5.1 加熱による結晶表面の抵抗変化

Fig. 5.1 Surface resistance as a function of the heating temperature.

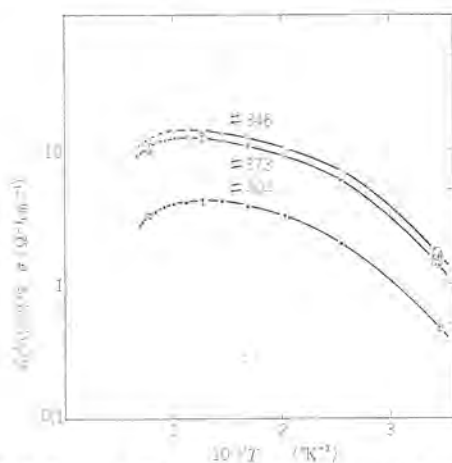


図 5.2 (a) Al をドーピングした hexagonal SiC の電気伝導度の温度変化

Fig. 5.2 (a) Conductivity (σ) in the hexagonal SiC samples as a function of temperature.

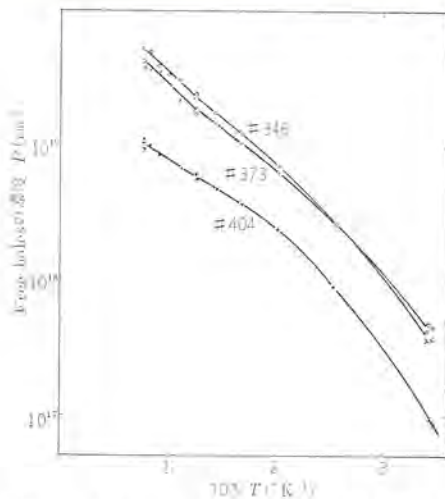


図 5.2 (b) Free hole 濃度の温度変化
Fig. 5.2 (b) Concentration (p) in the hexagonal SiC samples as a function of temperature.

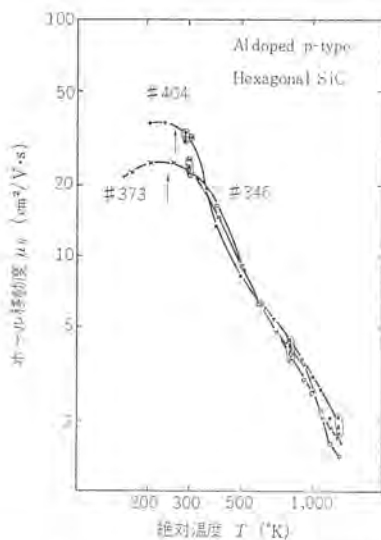


図 5.2 (c) p 形 hexagonal SiC のホール移動度の温度変化
Fig. 5.2 (c) Hall mobility (μ_H) in the hexagonal SiC samples as a function of temperature.

縮退に関係した因子である。解析結果を、結晶成長条件とともに表 5.1 に示す。

さらに図 5.3 に、少数不純物中心間の平均距離の逆数（ほぼ $N_D^{1/3}$ に等しい）に対する多数中心のイオン化エネルギー E_i を示す。結果として次の関係を得る。

$$E_i \approx 0.25 - 4 \times 10^{-5} N_D^{1/3} \text{ eV} \quad (5.6)$$

すなわち、レベルの深さは、イオン化した多数中心の間の平均距離の逆数（出払い領域以下では、イオン化した多数中心の濃度は compensate している少数中心の濃度にほぼ等しい）が増すにつれて、浅くなる。

p 形 hexagonal SiC の移動度の温度変化のデータ（図 5.2 c）を van Daal⁽¹⁸⁾ の測定結果と比べると、400°K から 700°K の間で測定誤差をこえた明らかなくばみを生ずる。これは不純物のドーザ量の違いに基づくのだろうが、不純物散乱 μ_{imp} を考慮するだけでは解釈しにくい。3.2 節に述べたように、結晶の X 線解析の結果から Al の濃度を増すと 6H のほかに 4H の合体が多くなることがわかった。この多形の違いがキャリアの散乱に影響したものと思われる。そこで、単一多形結晶での測定を行なう必要がある。

表 5.1 結晶の製作条件とアクセラタのイオン化エネルギーおよびアクセラタとドナーの濃度

| | Al 混合比 | 温度 (°C) | 時間 | EA (eV) | NA (cm ⁻³) | ND (cm ⁻³) | ND/NA (%) |
|-------|--------|---------|----|---------|------------------------|------------------------|-----------|
| # 346 | 1 wt% | 2,500 | 4 | 0.138 | 9.3×10^{19} | 2.3×10^{19} | 25 |
| # 373 | 1 | 2,500 | 4 | 0.152 | 8.2 | 1.2 | 15 |
| # 404 | 1 | 2,300 | 40 | 0.177 | 1.5 | 0.6 | 40 |

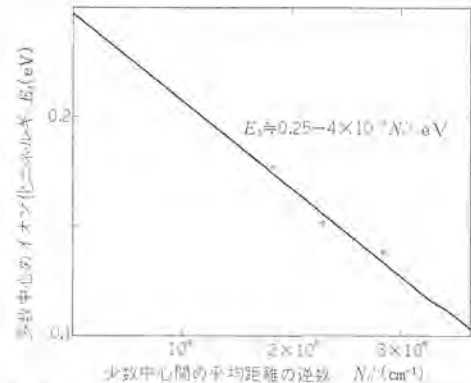


図 5.3 多数中心のイオン化エネルギー対少数中心間の平均距離の逆数
Fig. 5.3 Ionization energy of the majority centers vs. the reciprocal mean distance of the minority centers.

なお、この p 形 SiC の移動度を低下させている結晶格子の散乱機構が、 μ_{pol} による μ_{pol} か、音響と光学振動の混合したものによる散乱 μ_{ac-opt} かは現在のところ、解明されていない。

6. SiC の電子スピン共鳴

SiC の電子スピン共鳴（以下 ESR）による研究については、Van Wieringen⁽¹⁹⁾、Ludwing と Woodbury⁽²⁰⁾、Hardeman⁽²¹⁾ の報告がある。われわれも製作した結晶について X band および 5,000 Mc/S の ESR 装置をもちいて研究を進めてきた。

SiC は 3 章にも述べたように多くの多形があるが、これらの多形のうち 6H 形 SiC は大形の結晶が最も得やすい。6H 形結晶は IV 族半導体の最も一般的な結晶形であるダイヤモンド構造と類似しているが詳細な点で異なっている。6H 形 SiC では Si または C のおのおの原子の位置（サイト）に等価でない 3 個のサイトがある。このうち 2 個のサイトは k サイトと呼ばれ、その周囲の原子の配置は第 2 近接原子まではダイヤモンドと同じ cubic 構造となっている。また他の 1 個のサイトは h サイトと呼ばれ、その周囲の原子配置は最近接原子ではやはりダイヤモンドと同じ cubic になっている。このように 6H 形結晶はかなりダイヤモンド構造に近い構造

表 6.1 IV 族半導体の性質

| 母材 | ダイヤモンド | SiC | Si | Ge | Vac. |
|--------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 不純物 | N | N | P | P | H |
| 結晶系 | キュービック | 6H | キュービック | キュービック | — |
| エネルギーギャップ E_g (eV) | ~6 | 2.86 | 1.2 | 0.79 | — |
| イオン化エネルギー E_i (eV) | >0.4 | ~0.09 | 0.045 | 0.012 | 9.6 (IS→BS) |
| 軌道半径 r_0 (Å) | — | 5.5 | 25 | 70 | 0.53 |
| 電子密度 $\phi(0)^{1/2}$ /cc | 1.95×10^{24} | 0.7×10^{24} | 0.44×10^{24} | 0.21×10^{24} | 2.32×10^{24} |
| g factor | 2.0024 | 2.0036 | 1.9985 | 1.563 | — |

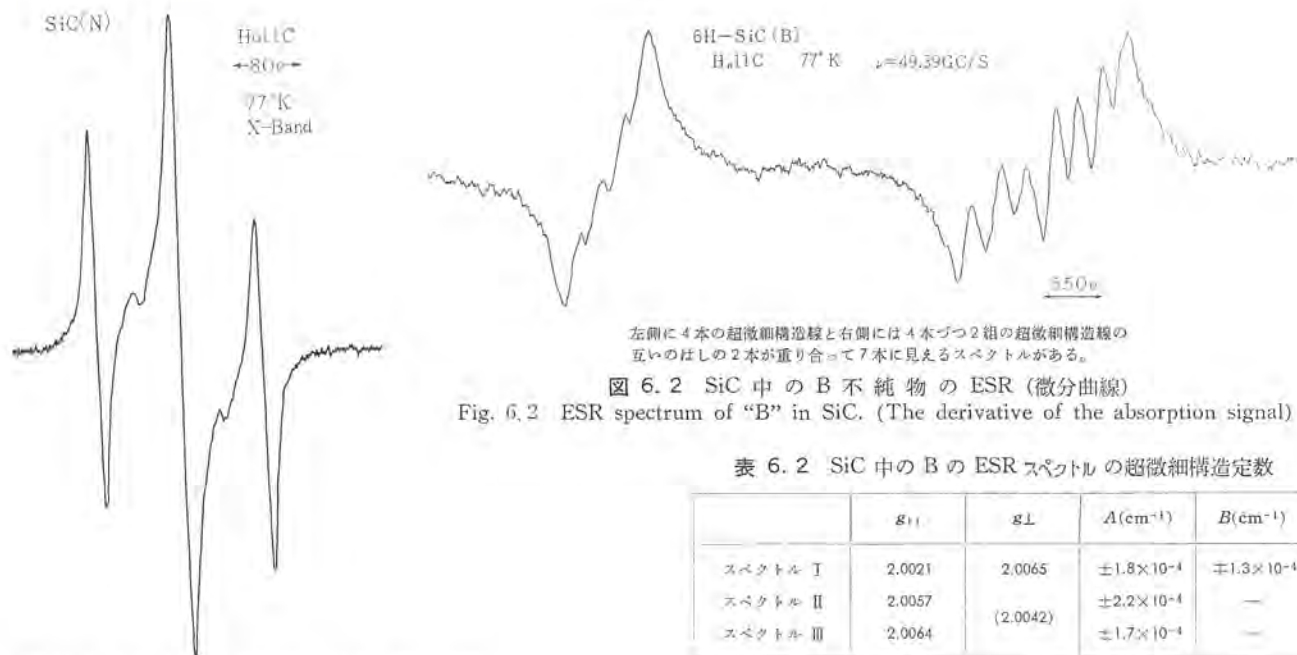


図 6.1 SiC 中の N 不純物の ESR (微分曲線)
Fig. 6.1 ESR spectrum of N in SiC (The derivative of the absorption signal)

となっているが、表 6.1 からわかるように、半導体では不純物原子に束縛されている電子でもその軌道半径 r_0 は原子間距離にくらべて大きく、その軌道内に数個～数十個の原子を含むようなものでは近接原子だけではなく、かなり遠方の原子もその性質に影響を与えうるので 6H 形特有の性質が表われてくることがある。その典型的な例はホウ素(B)不純物を含む SiC の ESR で表われるが、これは 6.2 節で説明する。

6.1 SiC 中のドナーの ESR

SiC では窒素不純物が最も一般的なドナーとなっている。天然産ダイヤモンドでも一般に窒素がドナー不純物として含まれている。SiC 中の窒素不純物の ESR は図 6.1 のようで、 g は 2.0036 である。ESR 信号は結晶軸の方向によらず等方的で、窒素の核スピン $I=1$ による 3 本の超微細構造線 (h. f. line) が現われている。この超微細構造 (h. f. s) 分離の大きさから窒素原子核の位置での束縛された電子の密度 $|\psi(0)|^2$ が計算できる。SiC 中の窒素不純物の ESR による g 値と h. f. s から計算した $|\psi(0)|^2$ を比較のため、他の半導体についてのデータを表 6.1 にあげる。

6.2 SiC 中のアクセプタの ESR

P 形 SiC にはホウ素(B)をドーパしたものとアルミニウム (Al) をドーパしたものがあるが、そのイオン化エネルギーは 0.25 eV (Al)、 >0.26 eV (B) と SiC 中の N のイオン化エネルギー約 0.09 eV に比べても深いし、他の 1 V 族半導体の 0.045 eV (Si)、0.0104 eV (Ge) に比しても非常に深い不純物準位となっている。このためにその基底状態の波動関数は S 形ではなく、P 形に近くなっている。ESR スペクトルは C 軸と静磁場 H_0 のなす角 θ によって変化する。これを式に表わすと、

$$\begin{aligned} h\nu &= g\beta H_0 - m[(Ag_{\parallel}/g)\cos^2\theta + (Bg_{\perp}/g)\sin^2\theta] \quad \dots\dots (6.1) \\ g^2 &= g_{\parallel}^2 \cos^2\theta + g_{\perp}^2 \sin^2\theta \end{aligned}$$

となる。

h はラングの定数 m は核スピンの量子数で B 不純物の場合、 $m = \frac{3}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, -\frac{3}{2}$ の四つの値を取りうる (超微細構造線)。さらに B 不純物では N 不純物の場合と異なって、6H SiC 特有

左側に 4 本の超微細構造線と右側には 4 本づつ 2 組の超微細構造線の互いのはしりの 2 本が重り合って 7 本に見えるスペクトルがある。

図 6.2 SiC 中の B 不純物の ESR (微分曲線)

Fig. 6.2 ESR spectrum of "B" in SiC. (The derivative of the absorption signal)

表 6.2 SiC 中の B の ESR スペクトルの超微細構造定数

| | g_{\parallel} | g_{\perp} | $A(\text{cm}^{-1})$ | $B(\text{cm}^{-1})$ |
|-----------|-----------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| スペクトル I | 2.0021 | 2.0065 | $\pm 1.8 \times 10^{-4}$ | $\pm 1.3 \times 10^{-4}$ |
| スペクトル II | 2.0057 | (2.0042) | $\pm 2.2 \times 10^{-4}$ | — |
| スペクトル III | 2.0064 | | $\pm 1.7 \times 10^{-4}$ | — |

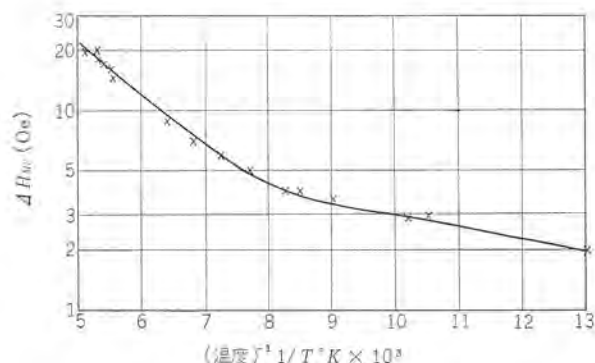


図 6.3 SiC 中の N 不純物の T_1 の温度依存性
 $T_1 = h/\pi g B (\Delta H_{sr})$

Fig. 6.3 Temperature dependence of N impurity in SiC (by line broadening method).

の三つのサイトのちがいによるスペクトルの g 値がおおの異なる図 6.2 に示すように、サイトのちがいによるスペクトルの分離があらわれる。この三つのスペクトルから得られた各サイトの g 値と定数 A, B を表 6.2 に示す。SiC 中の Al 不純物については明確に Al による ESR だと断定できるようなスペクトルは得られていない。

6.3 スピン格子緩和時間と不純物準位の構造

Si, Ge 等の半導体ではスピン格子緩和時間 T_1 の温度変化は温度が上がるにつれて、低温では T^{-1} から T^{-4} へと変わり、さらに温度を上げると $1/T_1 = R \exp(-\Delta/RT)$ 形の温度依存性を示すことが知られている⁽²²⁾。このような温度依存性は Orbach Process と呼ばれ、基底状態の上にエネルギー Δ だけはいれた励起状態が存在することにより起こる。

半導体の場合このような準位の構造は Valley-Orbit Splitting と呼ばれるもので起こると考えられている。SiC 中の N 不純物の ESR から T_1 の温度依存性は図 6.3 のような変化を示し、これから Δ は N でも B でもほぼ同じ約 50 meV が得られた⁽²³⁾⁽²⁴⁾。Si について Castner⁽²⁵⁾ はリン (P) で $\Delta = 10.6$ meV、ヒ素 (As) で 19.8 meV を得た。この点についてはさらに詳しく実験するとともに他の実験手段による検証を進める必要がある。

7. む す び

SiC はまた未知の問題を多く含み、他の結晶と異なる特異な性質を有し研究の対象としては非常に興味深い結晶である。

しかし現時点においては、これらの特異性質を有力な武器として新しい Device を組み上げるには、まだ SiC に関する知見が浅すぎるうらみがある。今後この特異な結晶に対する研究がより深く行なわれることを期待する。

参 考 文 献

- (1) 岡田, 栗根: 「三菱電機技報」 **37**, 1484 (昭 38)
- (2) 岡田, 栗根: 応用物理学会 10 月 (昭 38)
- (3) A. J. Lely: Ber. deut. keram. Ges., **32**, 229 (1955)
- (4) 岡田, 栗根, 河野, 香崎: 日本物理学会 10 月 (昭 40)
- (5) W. F. Knippenberg: Philips Res. Repts., **18**, 191 (1963)
- (6) J. R. Oconnor and J. Smiltens: Silicon Carbide-A high temperature semiconductor, 138 (1960)
- (7) N. W. Thibault: J. Min. Soc. America, **29**, 327 (1944)
- (8) W. F. Knippenberg: Philips Res. Repts., **18**, 271 (1963)
- (9) 岡田, 栗根: 日本物理学会 4 月 (昭 41)
- (10) 岡田, 香崎: 応用物理学会 10 月 (昭 38)
- (11) 岡田, 栗根, 香崎, 山下: 日本物理学会 10 月 (昭 39)
- (12) G. G. Macfarlane and V. Roberts: Phys. Rev., **97**, 1714 (1955)
- (13) W. J. Choyke, D. R. Hamilton and L. Patrick: Phys. Rev., **133**, A 1163 (1964)
- (14) S. Kobayasi: J. Phys. Soc. Japan, **13**, 261 (1958)
- (15) 香崎, 栗根, 河野, 岡田: 日本物理学会 4 月 (昭 41)
- (16) L. J. van der Pauw: Philips Res. Repts, **13**, 1 (1958)
- (17) H. J. van Daal, W. F. Knippenberg and J. D. Wasscher: J. Phys. Chem. Solids, **24**, 109 (1963)
- (18) H. J. van Daal: Philips Res. Repts, Suppl 1 (1965)
- (19) J. S. Van Wieringen: SEMICONDUCTOR AND PHOSPHORS, Edited by M. Schön and H. Welken (Interscience Publishers, INC. >N. Y., 1958) p. 367
- (20) G. W. Ludwig and H. H. Woodbury: Phys. Rev., **124**, 1083 (1961)
- (21) G. E. G. Hardeman: J. Phys. Chem. Solids, **24**, 1223 (1963)
- (22) C. B. P. Finn, R. Orbach and W. P. Wolf: Proc. Phys. Soc., **77**, 261 (1961)
- (23) 岡田, 下地, 河野: 日本物理学会 10 月 (1964)
- (24) 岡田, 栗根, 香崎, 河野: 日本物理学会 4 月 (1965)
- (25) T. G. Castner, Jr.: Phys. Rev., [I] **8**, 13 (1962)

スパーク放電質量分析法の特殊な応用

甲斐潤二郎*・三木 将代**・渡部 勁二**

Spark Source Mass Spectrometry for Special Problems

Central Research Laboratory Junjirō KAI・Masayo MIKI・Keiji WATANABE

Spark source mass spectrometry is applied to the analysis of impurities in water and in a surface film on an insulator. A drop of water about 3 mm in dia. is evaporated on a high purity copper electrode or graphite electrode, the residue being left on the surface. The internal standard method is applied and impurities at a concentration of 10 to 100 ppb in atomic fraction are quantitatively determined with a relative deviation of $\pm 20\%$. A piece of insulator with a surface film is supported with a high purity metal electrode in contact with the film. Impurities at a concentration of 2% in the film with an area of 6 mm^2 and 100 \AA in thickness are found to be determined with a relative deviation of $\pm 15\%$. These results show that only about 10^{-4} to $10^{-3}\text{ }\mu\text{g}$ of iron is needed for detection.

1. ま え が き

真空スパーク形イオン源を備えた Mattauch-Herzog 形二重収束質量分析器を用いる固体物質質量分析法の研究が近年さかんとなり、スパーク放電質量分析法 (Spark Source Mass Spectrometry) とよばれる一分野を形成するようになってきた。これは、通常、金属および半導体中の微量不純物の分析を対象としており、われわれも、さきに開発した MS-115 形質量分析器⁽¹⁾を用いて定量分析法の体系化に目標を置いた研究をすすめてきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

一方、スパーク放電の特長を活用し、試料の取扱いと解析法とをくふうすることにより、スパーク放電質量分析法はより広く応用できることがしだいに明らかとなり、すでにいくつかの研究が報告されている。絶縁物の分析⁽⁵⁾、局所分析⁽⁶⁾、ガス成分の分析⁽⁷⁾、水溶液の分析⁽⁸⁾などがそれである。そして、試料消費量が少なく、高感度であること、各元素に対する感度差が少ないこと、試料処理が簡単であることなどのスパーク放電質量分析法の利点は、これらの応用分野においても失われていない。

ここでは、このような特殊な応用例として、水溶液の分析法および絶縁物上の薄膜の分析法に関してわれわれが実験したところをのべ、考察を加えることにする。

2. 水溶液の分析法

スパーク放電質量分析法で、たとえば金属試料を分析するときには試料表面によごれがあれば、かなりの高感度で検出される。場合によっては $1/100$ 単原子層のよごれであっても検出されるといわれる⁽⁹⁾。したがって、高純度物質で作った保持電極の上に水溶液中の不純物を析出させてスペクトルをとれば、その分析が可能である。この技術は Ahearn によって開発された⁽⁸⁾。すなわち、高純度シリコンの上に電着法 (同じシリコンを陽極とする) あるいは液滴乾燥法で液中の不純物を析出させて分析し、検出感度として 1 ppb 程度を得た。

水溶液試料の場合は内部標準の添加を自由に行なうことができる。われわれはこの点に着目し、とくに定量分析を目的として、内部標準を加えた場合の検量線の作成法に関して実験した。

2.1 実験方法

(1) 試料電極の作成

試料溶液としては、蒸留水に、マンガン・鉄・銅・亜鉛・銀の塩

を溶解し、これらのイオンを $0.01\sim 160\text{ ppm}$ (atomic fraction) の範囲で含むものを数種類用意した。

試料中の不純物を保持電極上に液滴乾燥法で析出させた。保持電極としてはつぎの2種類を用いた。

銅：三菱金属製 純度 99.999%

黒鉛：United Carbon Products (U. S. A) 製 Ultra Purity (分光分析電極用)

これらは図 2. 1 に示すように先端がひろがった形に施盤で成形する。このとき、パイトから不純物 (とくに鉄) が電極上に付着し検出されることがわかったので、黒鉛電極の成形にはセラミックパイトを用い、また銅電極は銅製のパイトで成形したのち、希硝酸および希塩酸で処理し水洗した。

試料とする水溶液をスポイドでとり、保持電極の先端につけると、図 2. 1 のように直径約 3 mm の水滴となつてつり下げられる。電極先端の形を図のようにしておかないと水滴は上方にはいあがり、電極端面に有効に不純物を析出させることができない。これを赤外線ランプで乾燥させるのであるが、水滴が小さくなるにしたがい、上方にはい上がるので図のように直流電圧をかけて水滴を下に引っ張り、この電界を次第に強くしてゆく必要があった。

このようにして得られる試料電極をスパーク電極の1極として取り付ける。対向電極としては保持電極と同じ材質で作し、先端をとがらせたものを用いる。図 2. 2 はイオン源におけるスパーク電極の取り付け状況を示す。

(2) 使用装置と条件

装置は、三菱 MS-115 形固体用2重収束質量分析器で、つぎのような条件で使用した。

(a) スパーク条件：4 Mc/s, 約 20 kV の高周波を $300\text{ }\mu\text{s}$ の間持続し、これを 60 c/s で繰り返す。

(b) 加速電圧：13.6 kV

(c) 磁場の強さ：12.8 k Oe

(d) 使用乾板：Ilford Q 2

(e) 現象条件：ID-19 使用, 20°C 5分間

分析にあたっては試料保持電極の端面全体をスパークで走査した。実際には、走査は試料保持電極のみを動かして行ない、対向電極は固定しておいて、イオンの加速系に対するスパークの位置が変わらぬようにした。

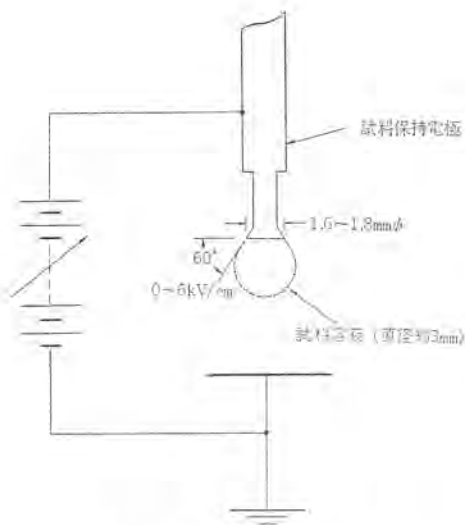


図 2.1 試料電極の作成
Fig. 2.1 Preparation of sample electrode.

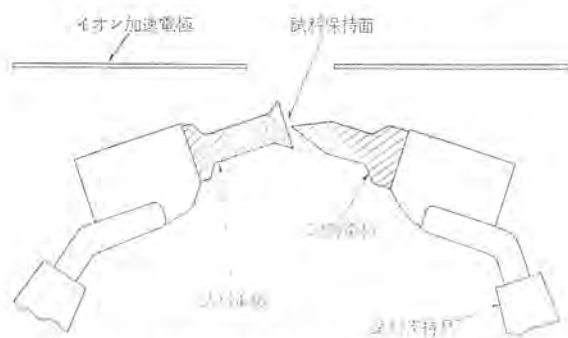


図 2.2 イオン源における電極の取付け
Fig. 2.2 Electrode pair mounted in the ion source.

2.2 実験結果

各試料ごとに1枚の乾板を使用し、モニタ・イオン量 3.5×10^{-10} ユーロンの露出を7回行なった。この間検出される各イオンの強度は、後述するように、変化する。そこで最初の露出で得られたスペクトルを用いて検量線を作成した。

さて、検量線としては、内部標準元素と定量すべき元素の所定の同位体スペクトル線の黒化度の比を、それらの元素の濃度比に対してプロットすることがまず考えられる。これは分光分析で普通行なわれている方法に対応するものであって、このとき内部標準元素の濃度は一定に保っている。この方法による検量線をここでは仮に「黒化度比—濃度比」形の検量線とよぶことにする。図 2.3 は、銅電極を用いて得られた鉄の検量線で 4 ppm の亜鉛を内部標準として、横軸に亜鉛の濃度 C_{Zn} に対する鉄の濃度 C_{Fe} の比 C_{Fe}/C_{Zn} を、また縦軸に亜鉛のスペクトル線の黒化度 D_{Zn} に対する鉄の黒化度 D_{Fe} の比 D_{Fe}/D_{Zn} を、それぞれ対数目盛でとってある。黒化度 D には $(I_0 - I)/I$ を使い、乾板の特性曲線の直線部分にあるもののみを採用した。

亜鉛には5個の、鉄には4個の同位体がある。図 2.3 は用い得る同位体スペクトル線的全組み合わせについてプロットしてある。この図で $C_{Fe}/C_{Zn} = 0.5, 2, 3$ の試料の亜鉛の濃度は実は 4 ppm ではなく、それぞれ 44 ppm, 33 ppm, 5.4 ppm である。これらの試料から得られた測定点も同じ直線上にのることから、今の場合、黒化度の比には濃度比のみが関係し、濃度の絶対値は関係せぬように思われる。

質量スペクトルを利用する場合の一つの利点は同位体の存在である。われわれは、通常の固体試料の分析のための検量線作成に、

スパーク放電質量分析法の特殊な応用・甲斐・三木・渡部

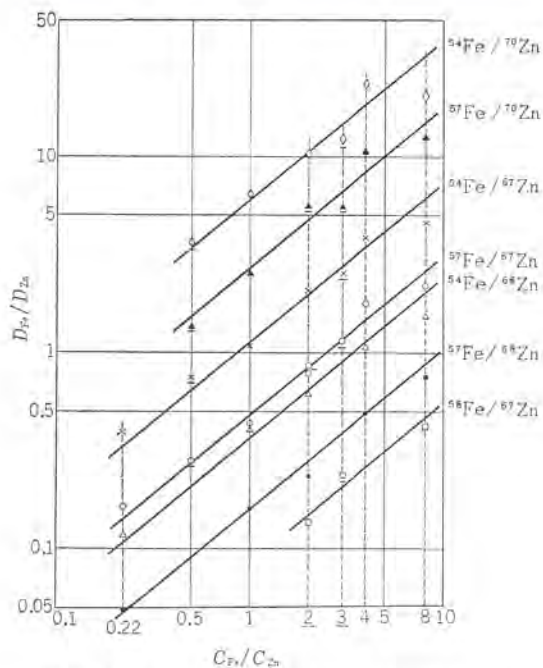


図 2.3 鉄の検量線（「黒化度比—濃度比」形）
試料保持電極：銅

Fig. 2.3 Calibration curves for iron.

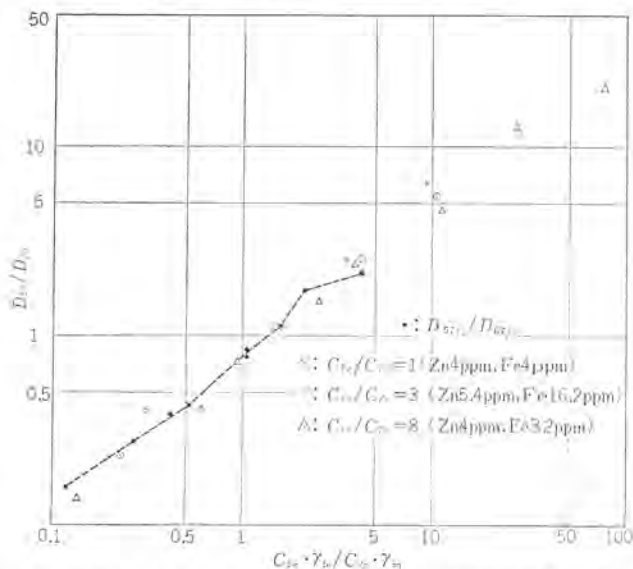


図 2.4 鉄の検量線（「黒化度比—濃度・同位体存在率比」形）
試料保持電極：銅（点線は「黒化度比」形の検量線）
Fig. 2.4 Calibration curves for iron.

すでに同位体を利用している⁽²⁾⁽³⁾。そしてこのとき5つの仮定が必要であった。この仮定のもとでは、同時に撮影された一連のスペクトル線について考えるとき、一つのスペクトル線の単位面積あたりに飛来するイオンの個数は、その元素の濃度と、そのスペクトル線の同位体存在率との積に比例して決まることになる。このことから、横軸には濃度の代わりに濃度と同位体存在率との積の比をとって検量線を作ることが考えられる。図 2.4 は図 2.3 のデータのうち $C_{Fe}/C_{Zn} = 1, 3, 8$ の場合の各同位体の全組み合わせをとって作った検量線である。

この方法は、別の見方をすれば、内部標準元素の各同位体のおのおのを独立に内部標準にとったと考えることができる。ここでは仮に「黒化度比—濃度・同位体存在率比」形の検量線とよぶことにする。これと「黒化度比—濃度比」形の検量線とを比較するために、図 2.3 のうちの ^{57}Zn と ^{57}Fe の組み合わせの検量線を破線で記入した。図から両者は一致することがわかる。したがっ

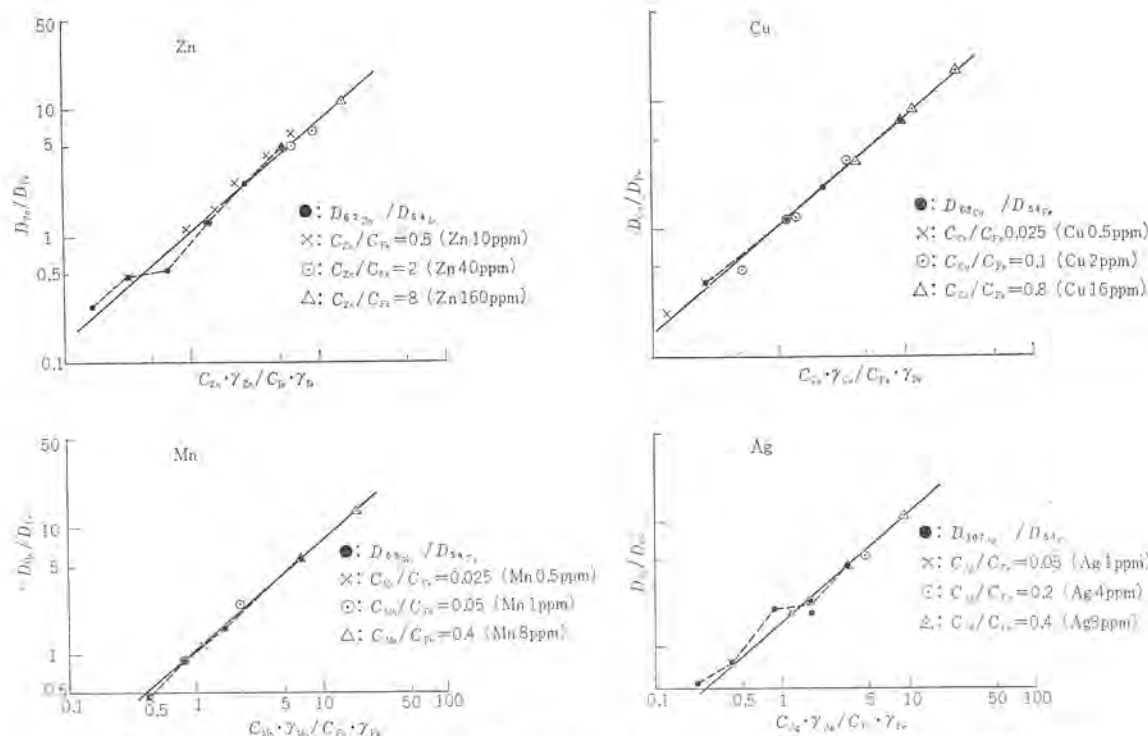


図 2.5 亜鉛, マンガン, 銅, 銀の検量線 (「黒化度比—濃度・同位体存在率比」形), 試料保持電極: 黒鉛 (点線は「黒化度比—濃度比」形の検量線)

Fig. 2.5 Calibration curves for zinc, manganese, copper, and silver.

て、たとえばいくつかの適当な存在率の同位体をもつ元素であれば、1種類の濃度の試料だけで内部標準法による検量線を描き得ることになる。このことは図 2.5 に示す黒鉛電極を使った実験結果からも明らかである。この場合、試料溶液は内部標準としての 20 ppm の鉄と、ほかにマンガン、銅、亜鉛、銀を含むものであって、その濃度は図中に記入した。そして、この図においても「黒化度比—濃度比」形の検量線を破線で記入した。

以上にのべてきた検量線の傾斜が、乾板の特性曲線の直線部分の傾斜に一致することは明らかである。したがって、一枚ごとにこの特性が変動することの多い Q2 乾板を使用する場合、この種の検量線の作成には困難がともなう。これをさけるためには、縦軸に黒化度の比ではなくイオン電流の強度比をとればよい。このためには図 2.6 に示したような乾板の特性曲線を作る必要がある。これは、たとえば、1回の露出で得られたスペクトル線のうちからいくつかの同位体をもつものをえらび、その黒化度を同位体存在率に対して両対数でプロットして得られる。この図は鉄のスペクトル

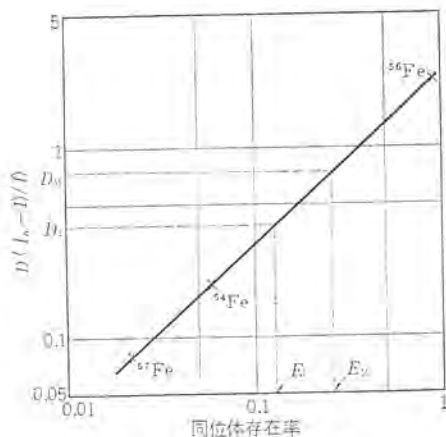


図 2.6 特性曲線
Fig. 2.6 Characteristic curves.

を用いた場合を示した。

イオン強度比を求めるには、まず目的元素 M のスペクトル線の黒化度 D_M を測定して、図から決まる横座標の値 E_M をそのスペクトル線の同位体存在率 r_M で割った値を求める。内部標準元素 I のスペクトル線についても同様の値 E_I/r_I を求め、この二つの値の比をとる。すなわち目的元素と内部標準元素とのイオン強度比 I_M/I_I は $(E_M/r_M)/(E_I/r_I)$ で与えられる。図 2.7 は黒鉛の保持電極を用いた実験によって得られた結果を示す。このような検量線をここでは仮りに「イオン強度比—濃度比」形の検量線とよぶことにする。

2.3 考 察

図 2.7 をみると、この検量線は全部が 45° よりもややゆるい傾斜をもっていることがわかる。このことはこれらの元素の濃度

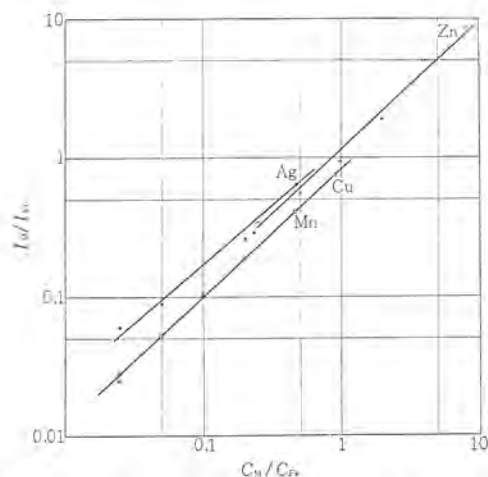


図 2.7 亜鉛, マンガン, 銅, 銀の検量線 (「イオン強度比—濃度比」形) 試料保持電極: 黒鉛

Fig. 2.7 Calibration curves for zinc, manganese, copper, and silver.

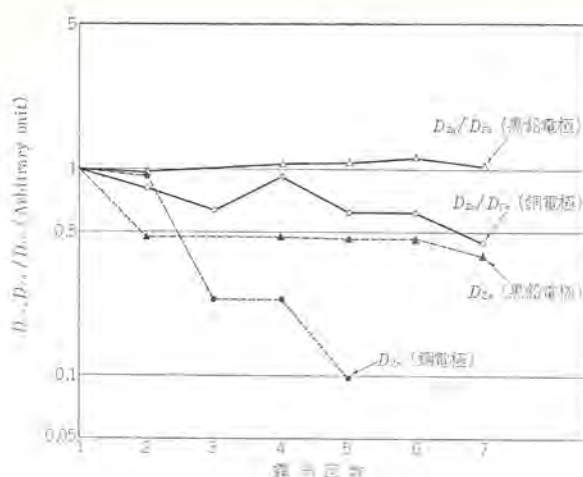


図 2.8 露出回数による黒化度の変化
Fig. 2.8 Variation of line densities with the number of exposures.

と内部標準である鉄の濃度との比が生成したそれぞれの一荷イオン量の比に対してげん密には比例しないことを意味する。したがって、検量線を作るときに、実際に濃度比を変えることなく同位体存在率を利用する「黒化度比・濃度・同位体存在率比」形の検量線は、標準試料数が少なくても非常に便利な方法ではあるが、きびしさを欠くことになる。この間の議論のためには、今後ともデータの蓄積が必要であることは言うまでもないが、「黒化度比・濃度・同位体存在率比」形の検量線を作るときには、分析すべき試料濃度にできるだけ近い濃度をもつ標準試料を用いるべきであると考えられる。

試料溶液中の各元素の定量可能下限は、試料溶液をつける電極面の大きさ、水滴の大きさ、露出量などによって異なってくるが、今回の実験条件のもとでは、保持電極が銅の場合 10~100 ppb、黒鉛の場合 100~300 ppb であることがスペクトル線の黒化度から考えられる。また、肉眼による検出は、これらの値より 1 ケタ低いところまで可能である。この実験では 3.5×10^{-10} クーロンの露出量をとっているが、これをもっと長くすればどうなるであろうか。図 2.8 は一つの試料電極で 1 回につき 3.5×10^{-10} クーロンの露出を 7 回行ない、亜鉛と鉄の黒化度の比および亜鉛の黒化度につき、その変化を調べた結果である。

保持電極が銅のときには亜鉛の黒化度は露出回数とともに減少し、鉄に対する黒化度比もやや減少している。これに対し、保持電極が黒鉛のときには、亜鉛の黒化度は最初減少しているが、2 回目以降はあまり変化せず、また鉄に対する黒化度比もほとんど変化していない。

このことは黒鉛の保持電極では試料が内部まで浸透する度合いが大きいことを示している。したがって 1 回目の露出で比べたときには、上にのべたように、銅を保持電極としたほうが定量下限が小さくなるのであろう。黒鉛の保持電極の場合には、露出量を大きくすることにより定量下限を小さくすることができるが、銅の場合には 1.4×10^{-9} クーロン以上の露出はほとんど意味がないといえる。

つぎに、定量精度は図 2.7 の各測定点のバラツキから考えて $\pm 10 \sim 20\%$ 程度であると思われる。図 2.7 の実験には硫酸塩を溶解した試料溶液を使用した。銀を除く各金属を塩酸に溶解して作った試料溶液による実験でも、この図と 20% 以内で一致する結果が得られた。また、亜鉛については、保持電極に銅を用いても図 2.7 とほとんど一致する検量線が得られた。

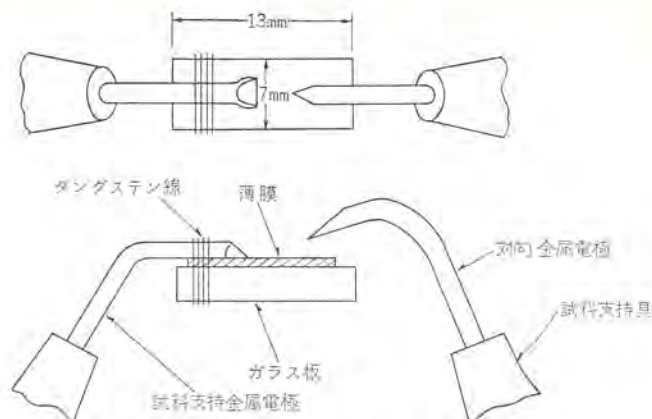


図 3.1 試料保持法
Fig. 3.1 Supporting of sample.

3. 絶縁物上の薄膜の分析法

絶縁物上に蒸着ないし付着した薄膜の分析は、薄膜技術や一般管球技術、あるいは真空を使った実験などにおいて必要な場合が多い。試料が少量しかないときや分布が問題になるときなどに通常の分析手段が適用できないことがある。われわれはこのような問題にスパーク放電質量分析法を応用することを試みた。その結果、試料処理をとくに必要とせず、そのままの形で分析できること、少量でも分析できること、定量分析も可能であること、などその有用性を確かめることができた。ガラス板上の薄膜を対象として検出感度と定量性に関して実験したところをのべる。

3.1 実験方法

(1) 試料電極の作成

ガラス板上に蒸着した白金薄膜を用いて検出感度の検討を行ない、また分析値既知のニッケル-鉄合金薄膜を用いて定量性を調べた。これらの薄膜試料は、図 3.1 のようにして試料支持具に取り付けた。すなわち、薄膜のついたガラス板を適当な大きさ(約 13 mm × 7 mm)に切り、これを高純度で分析の妨害をしない元素からなる金属電極にダングステン線でしばりつける。この金属電極はガラス板上の薄膜に対するリード線と放電電極とを兼ねるもので、図に示したように一端を平らに加工した。このようにして作った試料電極と、先端をとがらせた対向金属電極とを一組としてイオン源に組み込んだ。

(2) 使用装置と条件

使用装置と条件は、2.1 節(2)に述べたところとほとんど同一であるので省略する。

試料電極と対向電極との間に高周波電圧を印加して接近させてゆくと薄膜と金属電極との間に放電が起り、薄膜の成分がイオン化され検出される。このとき金属電極はもちろんのこと、ガラス板の成分もイオン化される。したがって、純度と成分に関して選んだ金属電極と、薄膜を除いたガラス板を使ってあらかじめ同じ条件で分析しておく必要がある。

3.2 実験結果

(1) 白金薄膜による実験

スライドガラス上に白金を蒸着して試料とし、膜厚と検出感度との関係を調べた。白金膜厚は 80 Å と 940 Å の 2 種類で金属電極にはニッケルを用いた。

分析にあたってはガラス板の位置は固定しておき、支持金属電極の先端から約 2 mm はなれたガラス板上に対向金属電極の先端をあて、左右に約 3 mm 幅で往復させた。白金薄膜は沿面放電的

表 3.1 白金膜における膜厚と定量下限

| 白金膜厚 (Å) | 露出量 (クーロン) | 露出時間 (sec) | 定量下限 (atomic %) |
|-------------|-----------------------|---------------|--------------------|
| 940 | 4.8×10^{-10} | 16 | 0.45 |
| 80 | 6.2×10^{-11} | 20 | 1.7 |

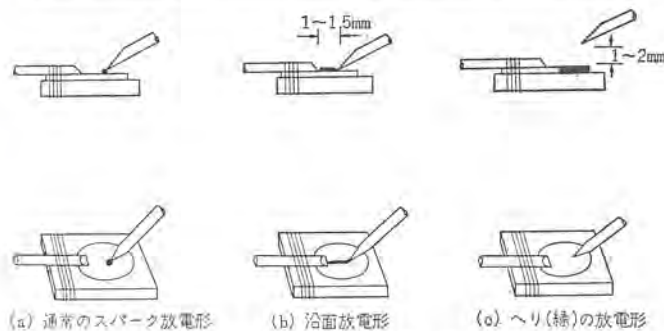


図 3.2 放電形式
Fig. 3.2 Types of spark discharge.

なスパーク放電によって走査され、分析後とり出してみると、2 mm × 3 mm の面積の膜がほとんど消滅していることがわかった。

乾板上に得られた白金のスペクトル線の黒化度 D を測定し、これを各スペクトル線の同位体存在率に対し両対数でプロットして、前掲の図 2.6 と同様の特性曲線を描いた。定量可能な黒化度は $D = 0.05$ であるので、これに対応する横座標値から定量可能下限が求められる。この結果を表 3.1 にまとめた。この表は、2 mm × 3 mm の面積の白金膜が全部消費された場合の値を示したものである。このため膜厚 940 Å の場合は実際には 3 回にわけてかけた露出により得られた値を総合して算出した。

(2) ニッケル-鉄合金薄膜による実験

試料としたニッケル-鉄合金は、ニッケル 82 wt %、鉄 18 wt % になるように蒸着源の合金配合を調整して蒸着したものであり、その組成変動は ±1 % 以内であることが確認されている。

実験には膜厚が 680 Å, 1,750 Å, 2,370 Å の 3 種の試料を用いた。これらは同一の蒸着源から半連続的に蒸着されたものである。また、金属電極としては三菱金属製の純銅 (99.999 %) を用いた。

さて、試料電極と対向電極との間に高周波電圧を印加して、対向電極を薄膜に近づけてゆくと放電が起こり、薄膜の成分がイオン化されて検出されるのであるが、このときの放電の様子から大別すると、図 3.2 に示すような三つの放電形式があることがわかった。すなわち

- (a) 通常のスパーク放電形 金属間のスパーク放電に似ており、放電は局部的で、放電の跡は円形の穴があく。
- (b) 沿面放電形 膜表面を伝わる放電
- (c) へりの放電 対向電極と膜面とが 1 ~ 2 mm 離れている状態で蒸着膜のへりが光りはじめ、放電を生じて膜がへりから消耗してゆく。この程度の電極間隔では通常の金属間ではスパークを生じない。

このような放電形式と膜厚との関係を調べたのが図 3.3 であって、実験回数で各放電形式の起きた回数を割ったもの、すなわち各放電形式の起きる確率を膜厚に対してプロットしたものである。これからわかるように、(a) の放電形式は膜厚の大きい側に、また (b) の放電形式は膜厚の薄い側にかたよっている。

分析は各膜厚について 2 ~ 3 個の試料を用いて行なった。そして各試料につき 1 枚の乾板を用い、数回スペクトルを撮影した。得

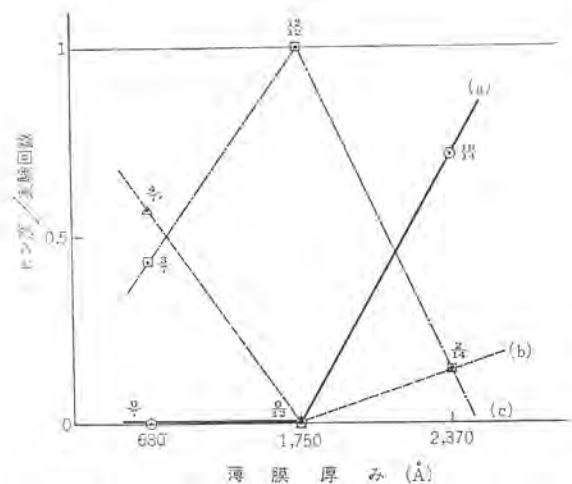


図 3.3 膜厚と各放電形式のヒン度
(a) (b) (c) は放電形式 (図 3.2 参照) を示す
Fig. 3.3 Probability for occurrence of each type of discharge.

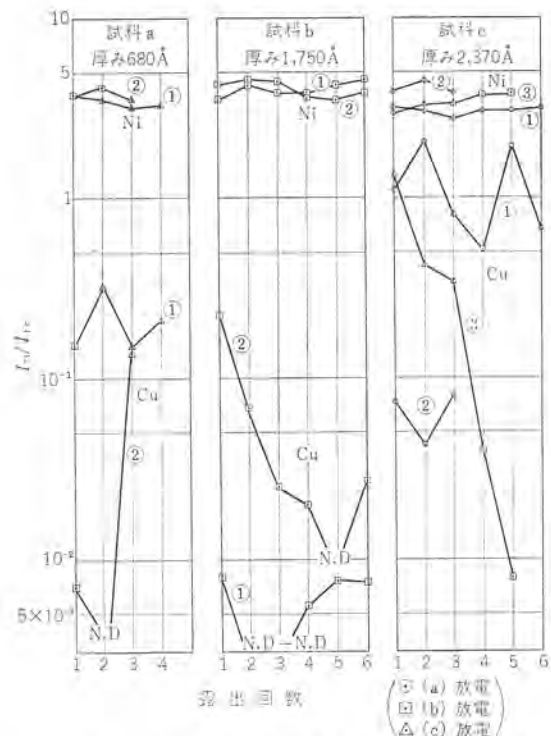


図 3.4 ニッケル、銅の鉄に対するイオン強度比の変化
Fig. 3.4 Variation of ion intensity ratio of nickel and copper to iron with the number of exposure.

られたニッケルおよび鉄の一価イオンのスペクトル線を用い、2.2 節にのべたように乾板の特性曲線を作って、それぞれのイオン強度の比 I_{Ni}/I_{Fe} を求めた。図 3.4 はこの値を各試料についての露出順に示したものである。分析に際しては用いた銅電極もイオン化されて検出される。そこで銅の一価イオンのスペクトル線を用い、鉄イオンに対する強度比 I_{Cu}/I_{Fe} を求めて図 3.4 に併記した。また図の各点の印によって前述の放電形式の区別をつけた。

3.3 考察

ごく簡単に考えると定量可能下限は膜厚に反比例するよう思われるが、表 3.1 の結果をみると膜厚が 1/12 程度に薄くなっても定量可能下限は約 4 倍になる程度の変化しか示さない。このことは放電形式が膜厚によって変化することも関係して、薄い膜厚のときに、むしろ有効なイオン化が行なわれることを示している

表 3. 2 ニッケル-鉄合金薄膜におけるニッケルの相対感度係数

| 試料 | 膜厚 (Å) | 実験 番号 | 測定 回数 | I_{Ni}/I_{Fe} 平均値 | 相対偏差 (%) | ニッケルの相 対感度(S/A) (鉄:1) |
|------|-----------|----------|----------|------------------------|-------------|-----------------------------|
| a | 680 | 1 | 4 | 3.4 | ± 9 | 0.74 |
| | | 2 | 3 | 3.7 | ±11 | 0.60 |
| b | 1750 | 1 | 6 | 4.0 | ±15 | 0.87 |
| | | 2 | 6 | 4.1 | ±15 | 0.89 |
| c | 2370 | 1 | 6 | 3.0 | ±10 | 0.65 |
| | | 2 | 3 | 4.0 | ±10 | 0.87 |
| | | 3 | 5 | 3.4 | ±15 | 0.74 |
| 平均 値 | | | | | | 0.79 |

思われる。薄膜の分析にとっては好都合な現象だといえる。

図 3. 4 から、 I_{Ni}/I_{Fe} の値はかなり安定しているのに比べて、 I_{Cu}/I_{Fe} の値は測定ごとに大きく変動していることがわかる。このことは銅イオンの生成に変動があることを示している。そして銅イオンの生成は放電形式に依存しており、生成量は (a)、(b)、(c) の順になっている。とくに (c) の形式の放電に際しては銅イオンの生成が認められない場合もある。これらのことは放電形式から予想されるところである。

表 3. 2 には各試料ごとに得られた I_{Ni}/I_{Fe} の平均値と相対偏差とを示してある。 I_{Ni}/I_{Fe} の値は放電形式と少し相関性をもっているようであるが、それを無視した場合の相対偏差は ±15% 以内にはいっている。

I_{Ni}/I_{Fe} の値はそのままニッケルと鉄の濃度比を示すものではない。それは、これらの元素のイオン化効率や乾板における感度に差があるためである。通常の固体の分析の場合には、いわゆる元素の相対感度係数⁽⁴⁾を求めておいて、イオン強度比から元素の濃度比を算出することが行なわれる。そこで、逆に、このニッケル-鉄合金薄膜を標準試料と考えてニッケルの相対感度係数(通常鉄を標準として1にとる)を求め、これを表 3. 2 に併記した。

すなわち平均値として 0.79 が得られた。また一方、この薄膜の蒸着源に使ったニッケル-鉄合金を標準試料として通常の方法で分析し、固体試料の分析におけるニッケルの相対感度係数を求めると 0.75 という値を得た。薄膜試料の測定値に ±15% の相対偏差があることを考えれば、両者はよく一致しているといえる。したがって、薄膜試料に対しても通常の固体試料の分析における相対感度係数を使用して分析値を算出できると考えられる。

4. む す び

スパーク放電質量分析法の水溶液、および絶縁物上の薄膜の分析への応用を試みた結果、金属元素についてつぎのようなことがわ

かった。

(1) 内部標準法を適用すれば、直径約 3 mm の水溶液試料中の 10~100 ppb (atomic fraction) 程度までの微量不純物を ±20 % の相対偏差内の精度で定量することができる。

(2) 絶縁物上の薄膜の分析が可能であり、約 6 mm² の面積の試料を用いて、100 Å 程度の薄膜中の 2 % (atomic fraction) 程度の不純物を定量することができる。相対偏差は、1,000 Å 程度の膜厚のとき ±15% であった。また、適当な標準試料がなくとも、通常の固体試料の分析における相対感度係数を用いて分析値の算出が可能と思われる。

(3) 分光分析法では検出に必要な元素の最小量、すなわちいわゆる絶対感度は、通常、10⁻¹ μg とされている。この実験から得られた定量可能下限から、この使用条件下での固体質量分析器の鉄についての絶対感度を求めてみると、水溶液の実験データからは 10⁻⁴~10⁻⁵ μg となり、薄膜の実験データによると 10⁻³ μg となる。

これらの分析法は試料量が少なくすみ、感度が高いことを利用して種々応用が考えられる。また、この報告では金属元素のみを取り上げたが、ハロゲンやイオウ、リンなどの非金属元素に対する適用の可能性も見出されつつある。今後ともデータの蓄積に努力したい。

この研究にあたって電極として使用した高純度銅は、三菱金属鉱業(株)大阪製煉所の仲西久嘉分析課長のご好意でいただいたものである。論文を終えるにあたり深く感謝の意を表わします。

(昭 41-2-1 受付)

参 考 文 献

- (1) 甲斐, 尾形:「三菱電機技報」37, 576 (昭 38)
- (2) 秦, 甲斐, 三木:「三菱電機技報」37, 930 (昭 38),「質量分析」11, No. 22, 30 (1963)
- (3) 甲斐:「質量分析」11, No. 22, 37 (1963)
- (4) 甲斐, 三木:「質量分析」; 12, No. 26, 81 (1964)
- (5) J. A. James, J. L. Williams: Advances in Mass Spectrometry, 157 (1959), Pergamon Press, London.
- (6) W. M. Hickam, G. G. Sweeney: Rev. Sci. Instr., 34, 783 (1963).
- (7) P. R. Kennicott: J. Electrochem. Soc., 111, 1101 (1964)
- (8) A. J. Ahearn: J. Appl. Phys., 32, 1197 (1961)
- (9) A. J. Ahearn: Sixth National Symposium on Vacuum Technology Transactions, 1 (1960), Pergamon Press, London.

火力発電所の空気調和装置

安藤 常男*

Air Conditioning Apparatus for Thermoelectric Power Plant

Osaka Sales Office

Tsuneo ANDO

After much experience Mitsubishi engineers are now successful in the air conditioning of the central control rooms of thermal power plants. As a nature of the site, the calculation of heat load was confronted with a number of undeterminable factors. This led to unexpected troubles with the installations designed at first. It has been now discovered that about 40 Refrigerating Ton is needed to carry through the purpose in panel-board rooms of the latest plant. Employment of one unit of type PF-40 Air Conditioners is good for the above requirement, but for the provision of periodical inspection, two units of type PF-20 meet better the requirements.

1. ま え が き

火力発電所では、ボイラ盤・タービン盤などは分散配置されていたが、多奈川発電所第1期工事から各盤は一室にまとめられ、中央制御室として計画された。もちろん石炭燃焼の場合に空調設備はなかったが、新鋭火力発電所が建設され重油燃焼自動制御などが大幅に取り入れられるにしたがい、関西電力では姫路第1火力発電所、多奈川発電所において中央制御室の各計器盤ならびに室内の空調工事が採用され、あらたに建設される火力発電所の空調および付随する換気設備等をほとんど当社が特命施工をしている。

2. 事故対策

当初採用された中央制御室空調設備には、15馬力のパッケージ形が設置され、姫路第1火力発電所では当社製、多奈川発電所ではウェスチングハウス電機会社製が使用されたが、冷却水温が高く高圧で停止する回数が多く、電磁接触器のバイメタルが焼け、ついに圧縮機用モータの焼損が数回起り当社に対して事故原因の調査が命ぜられた。

2.1 調査の結果

(1) 冷却水温度が高くなるのは主発電機の水素冷却用その他機器の冷却水の排水を一括海水で熱交換し、その水を循環使用しているためで夏季で36°C以上の水となる場合が多い。

(2) 建設当時の負荷計算が約 $\frac{1}{2}$ であった。各計器盤のラック個数内部発熱が意外に多く、また光天井の熱量の計算値も少なく中央制御室位置にもよるが周囲温度が40°C以上に上昇することも考えていなかった模様であった。

2.2 改良点

上記調査の結果冷凍機容量および風量が不足しているため、負荷計算のやりなおしを行ない、開放形30kWを使用することとした。その後新設される発電所には、PF-40X形パッケージ冷房装置を採用した。PF-40X形冷房機の仕様は次のとおりである。

| | |
|-------|----------------|
| 形 名 | PF-40 X |
| 圧 縮 機 | MX-8 形半密閉形 |
| 気 筒 数 | 8 |
| 冷 媒 | R-22 |
| 電 動 機 | 30 kW |
| 回 転 数 | 1,730 r. p. m. |

| | |
|-------|----------------------------|
| 送 風 機 | FS-1164 形 |
| 風 量 | 340 m ³ /min |
| 電 動 機 | 7.5 kW |
| 冷房能力 | 1,175,000 kcal/h 凝縮温度 42°C |

3. 新設火力発電所中央制御室およびリレー室空調設備

3.1 概 要 (図 3.1, 3.2, 3.3)

発電所における中央制御室の大きさは、発電機容量7,500 kVA 2基のときも、156,000 kVA 2基のときもほぼ一定で2基に対し

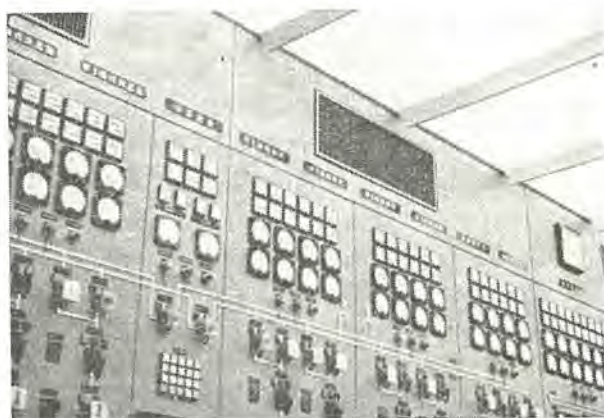


図 3.1 計器板上部の吹出口
Fig. 3.1 Discharge grill above panel board.



図 3.2 計器板内部の三方吹出口
Fig. 3.2 3-way discharge grill behind panel board.

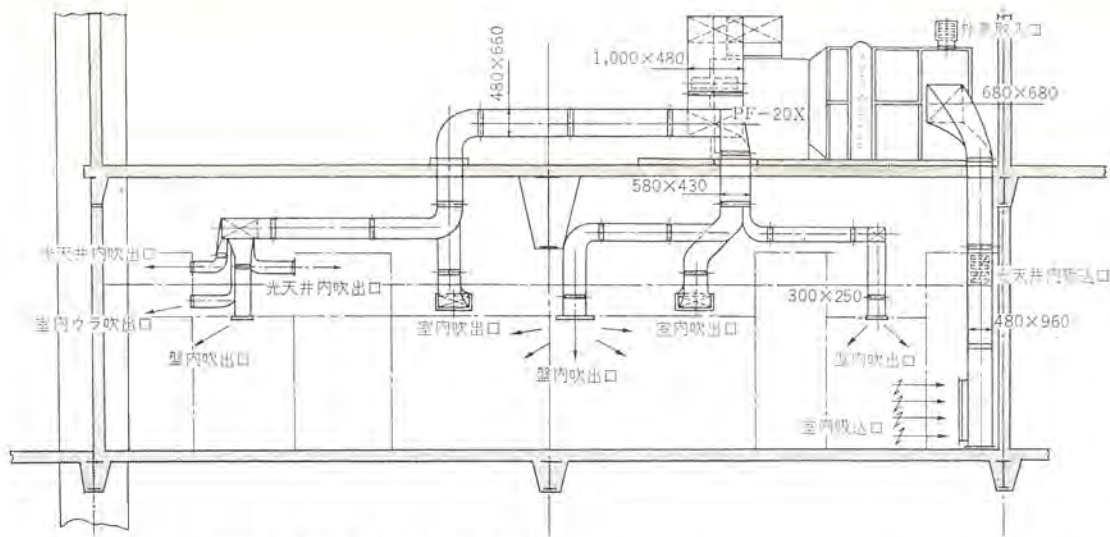


図 3.3 計器板機器並びにダクト配置
Fig. 3.3 Layout of air conditioner, duct and grill at panel board room.

表 3.1 空気調和換気設備実施例

| 発 電 所 | 発電機 kW×台数 | 冷 凍 機 |
|-----------|--|---------------------------------------|
| 姫路第1発電所 | 66,000×1 75,000×1 156,000×1 250,000×1 | DU-80 ユニテヤ 2台 後変更機種未定 |
| 多奈川発電所第1期 | 75,000×2 | PF-40 30kW |
| 大阪発電所 | 156,000×4 | MC-8 30kW 2台 DU 80 2台 プレッシャライズ 12基 |
| 住友共同発電所 | 75,000×2 | MC-8×30kW |
| 和歌山共同発電所 | 75,000×2 | MC-8 30kW 附属ビル PF-30 2台 |
| 尼崎第3発電所 | 156,000×2 | MC-8 30kW プレッシャライズ 2基 |
| 尼東発電所 | 156,000×2 | PF-20×2台 DU 150 B×1 プレッシャライズ 2基 |
| 堺共同発電所 | 75,000×2 | MC-8 30kW 附属ビル PF-30 PF-20 |
| 堺港発電所 | 250,000×2 | PF-20×2台 EU-80×1 プレッシャライズ 2基 |
| 多奈川発電所第2期 | 156,000×2 | MC-8×30kW プレッシャライズ 2基 |
| 姫路第2発電所 | 325,000×2 | PF-20×2 プレッシャライズ 2基 |

1室で約 250 m³ 程度である。制御室上部に機械室を設け、PF 40 X 形をすえ付けダクト吹き出しは各計器盤と天井の間のファイアボードに吹き出し口を設けかつ各計器内部は三方吹き出しエアチャンパを取り付け、トビラにはグリルをつけた。また室内後部から還気ダクトを取り付け空氣の循環を行なっている。

3.2 施行例

当社施工の発電所空調工事は表 3.1 のとおりであるが負荷の計算例をのべる。

(1) 施行場所 関西電力尼東第二発電所

(2) 設計温湿度条件

火力発電所の空気調和装置・安藤

| | | 乾球温度 (°C) | 湿球温度 (°C) | 露 点 (°C) | 関係湿度 (%) | 全 熱 量 (kcal/kg) | 飽和湿度 (kg/kg) |
|--------|---------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|-----------------|
| 夏 季 | 外 気 温 度 | 35 | 30.1 | 28.7 | 70 | 23.9 | 0.025 |
| | 室内周囲温度 | 45 | | | | | |
| | 室内 温 度 | 27 | 19.5 | 15.8 | 50 | 13.35 | 0.0112 |
| 冬 季 | 外 気 温 度 | 0 | -1.7 | -4.7 | 70 | 1.58 | 0.0027 |
| | 室内周囲温度 | 5 | | | | | |
| | 室内 温 度 | 20 | 15.1 | 12.0 | 60 | 10.15 | 0.0087 |

(3) 室内発熱体

| | | |
|-------|----------|-------------|
| 中央制御室 | 在室人員 | 10 名 |
| | 配電盤 | 一式発熱体 40 kW |
| | ボイラー 盤 | |
| | 電気盤 | |
| | 照明 ケイ 光灯 | |
| リレー 室 | 在室人員 | 0 |
| | ケイ 光灯 | 一式発熱体 17 kW |
| | リレー 盤等 | |

(4) 構築物の熱通過率

平面壁の熱通過率 k は

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

ここに

α_1 : 壁外面と外気間の熱伝達率 (kcal/m²・h・°C)

α_2 : 壁内面と室内空気との間の熱伝達率 (kcal/m²・h・°C)

δ : 壁材料の厚さ (m)

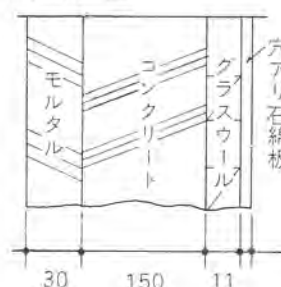
λ : 壁材料の熱伝導率 (kcal/m²・h・°C)

C : 空気層の熱伝達率 (kcal/m²・h・°C)

である。

いま構築物の熱通過率を計算すると

(a) 内 壁



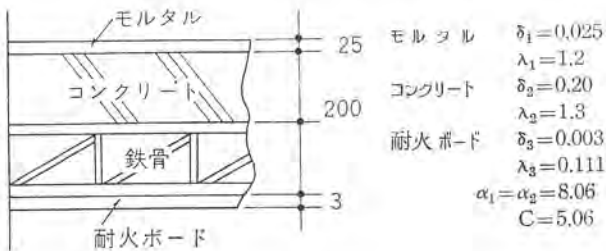
| | |
|--------|--------------------------|
| モルタル | $\delta_1=0.03$ |
| | $\lambda_1=1.2$ |
| コンクリート | $\delta_2=0.15$ |
| | $\lambda_2=1.3$ |
| グラスウール | $\delta_3=0.011$ |
| | $\lambda_3=0.036$ |
| | $\alpha_1=\alpha_2=8.06$ |

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{8.06} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{0.15}{1.3} + \frac{0.011}{0.036} + \frac{1}{8.06}}$$

$$= 1.41 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

(b) 天井

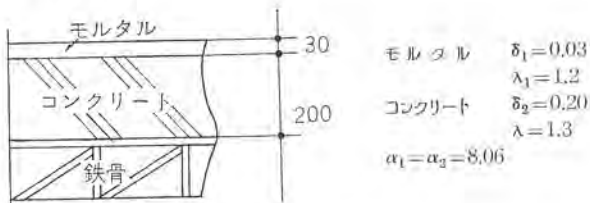


$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{C} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{8.06} + \frac{0.025}{1.2} + \frac{0.20}{1.3} + \frac{1}{5.06} + \frac{0.003}{0.111} + \frac{1}{8.06}}$$

$$= 1.57 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

(c) 床



$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{8.06} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{0.20}{1.3} + \frac{1}{8.06}}$$

$$= 2.34 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

(5) 中央制御室 (3階)

a. 冷房・暖房負荷

室内面積 $16 \text{ m} \times 15.1 \text{ m} = 242 \text{ m}^2$

室内容積 $16 \text{ m} \times 15.1 \text{ m} \times 3.6 \text{ m} = 871 \text{ m}^3$

上記室内の冷房、暖房負荷は次のようになる。

| 項 目 | 数 量 | 熱通過率 | 冷 房 負 荷 | | | 暖 房 負 荷 | | |
|-------|------------------|------------------------------------|-----------|---------------|---------------|-----------|--------|-------|
| | | k kcal/m ² · h·°C | 温度差 °C | 顕 熱 kcal/h | 潜 熱 kcal/h | 温度差 °C | kcal/h | |
| 内壁 | 東側 | 16 m×3.6 m | 1.41 | 18 | 1,462 | | 15 | 1,218 |
| ” | 西側 | 16×3.6 | 1.41 | 18 | 1,462 | | 15 | 1,218 |
| ” | 南側 | 15.1×3.6 | 1.41 | 18 | 1,383 | | 15 | 1,150 |
| ” | 北側 | 15.1×3.6 | 1.41 | 18 | 1,383 | | 15 | 1,150 |
| 天 井 | 16×15.1 | 1.57 | 18 | 6,840 | | 15 | 5,680 | |
| 床 | 16×15.1 | 2.34 | 18 | 10,170 | | 15 | 8,480 | |
| 人 | 顕熱 | 10人×55 kcal/h | | 550 | | | | |
| | 潜熱 | 10人×85 kcal/h | | | 850 | | | |
| 室内発熱体 | 40 kW×860 kcal/h | | | 34,400 | | | | |
| TOTAL | | | | 57,650 | 850 | | 18,896 | |

安全率を 10 % とすると

冷房負荷 $(57,650 + 850) \times 1.1 = 64,300 \text{ kcal/h}$

暖房負荷 $18,896 \times 1.1 = 20,750 \text{ kcal/h}$

顕熱比 S. H. F. は

$$\text{S. H. F.} = 57,650 / 64,300$$

$$= 0.894$$

送風の状態を乾球温度 16.5°C, 湿球温度 15.9°C, 露点 15.6°C と
して全熱量 (エンタルピー) は 10.70 kcal/kg

b. 送風量

冷房に必要な風量は

$$V = \frac{Q_s \cdot v}{C_p \cdot \Delta t_s} \text{ で求められる。}$$

ここに

V : 風量 m³/h

Q_s : 室内顕熱負荷 kcal/h

v : 空気の比容積 m³/kg

C_p : 空気の比熱 kcal/kg · °C

Δt_s : 室内と送風との温度差 °C

いま

$$Q_s = 64,300 \text{ kcal/h} \quad v = 0.836 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_p = 0.24 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad \Delta t_s = 27 - 16.5 = 10.5^\circ\text{C}$$

であるから送風量 V は

$$V = \frac{64,300}{0.24 \times 10.5} = 25,600 \text{ kg/h}$$

または

$$V = \frac{64,300 \times 0.836}{0.24 \times 10.5} = 21,300 \text{ m}^3/\text{h} = 356 \text{ m}^3/\text{min}$$

c. 夏季新鮮空気取入れ時の冷却負荷

外気取入れ量を 10 % とする。

外気と送風との間の冷却負荷は

$$25,600 \times 0.1 \times (23.90 - 10.70) = 33,800 \text{ kcal/h}$$

室内空気と送風との間の冷却負荷は

$$25,600 \times 0.9 \times (13.35 - 10.70) = 61,100 \text{ kcal/h}$$

この合計

$$33,800 + 61,100 = 94,900 \text{ kcal/h}$$

が夏季新鮮空気取入れ時の冷却負荷となる。

d. 冬季送風温度

冬季送風温度は

$$20 + \frac{20,750}{0.24 \times 25,600} = 23.7^\circ\text{C}$$

したがって湿球温度 16.5°C 露点 12°C とすると空気線図より
エンタルピーは 11.10 kcal/kg となる。

e. 冬季新鮮空気取入れ時の加熱負荷

c. 項により外気取入れ量を 10 % であるから

外気と送風との間の冷却負荷は

$$25,600 \times 0.1 \times (11.10 - 1.58) = 24,400 \text{ kcal/h}$$

室内空気と送風との間の冷却負荷は

$$25,600 \times 0.9 \times (11.10 - 10.15) = 21,850 \text{ kcal/h}$$

この合計

$$24,400 + 21,850 = 46,250 \text{ kcal/h}$$

が冬季新鮮空気取入れ時の加熱負荷となる。しかし発電機始動
後は室内発熱量との差、つまり $46,250 - 34,400 = 11,850 \text{ kcal/h}$ が
このときの加熱負荷となる。

(f) 機種を選定

上記 a～e より

| 送風量 | 還気量 | 新鮮外気量 | 冷房時吹出温度 | 冷房能力 | 暖房時吹出温度 | 暖房能力 |
|------------------------|------------------------|-----------------------|---------|--------------|---------|--------------|
| 360m ³ /min | 324m ³ /min | 36m ³ /min | 16.5°C | 94,900kcal/h | 24°C | 46,250kcal/h |

室内条件を上記のようにするために、冷凍機容量としては、P F-40 X 1 台で十分であるが、発電機 2 基のため、一基定期検査で長期停止することがある。このために、PF-20 X 2 台使用した。(図 3. 4, 3. 5)

PF-20 X 形冷凍機標準仕様

| | |
|--------|-------------------------|
| 形 名 | PF-20 X |
| 圧 縮 機 | MX-4 形 半密閉形 |
| 気 筒 数 | 4 気筒 |
| 冷 媒 | R-22 |
| 圧縮機電動機 | 15 kW |
| 回 転 数 | 1,715 r. p. m. |
| 送 風 機 | FS-1134 |
| 風 量 | 200 m ³ /min |

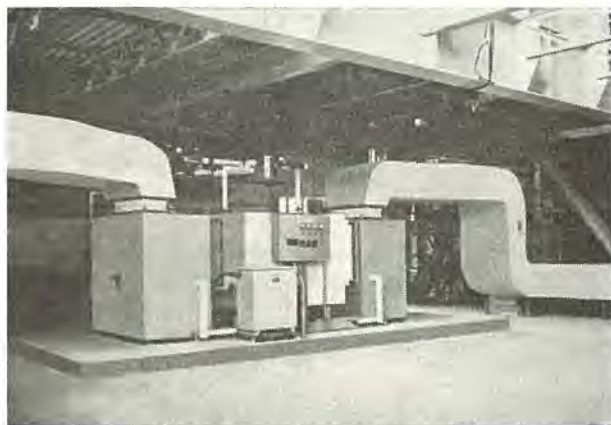


図 3. 4 PF-20 X 形 冷房機の据付け

Fig. 3. 4 Errrection of PF-20 packaged air conditioner.

送風機電動機 3.7 kW

冷房能力 57,500 kcal/h

その他

空気加熱器(蒸気用) H 7123×1400 EL, 蒸気圧 0.35 kg/cm²
2 台

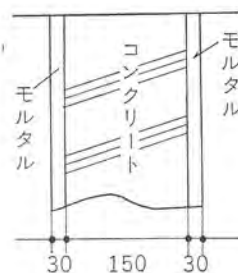
空気 〇 過器 マルチパネルフィルタ 1 台

1 1/2 sec×2,200 H 風量 400m³/min

(6) リレー室(3階)

室内面積 15.6 m×6.7 m=105 m²

室内容積 15.6 m×6.7 m×4.5 m=470 m³



モルタル $\delta_1=\delta_3=0.03$
 $\lambda_1=\lambda_3=1.2$
コンクリート $\delta_2=0.15$
 $\lambda_2=1.3$

$$k = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{8.06} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{0.15}{1.3} + \frac{0.03}{1.2} + \frac{1}{8.06}}$$

$$= 2.56 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

スキ間風による負荷

$$\text{顕熱} : 15.6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 6.7 \text{ m} \times \frac{1}{0.836 \text{ m}^3/\text{kg}} \times 0.7 \text{ 回/h}$$

$$\times 0.24 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (45^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C})$$

$$= 1,695 \text{ kcal/h}$$

$$\text{潜熱} : 15.6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 6.7 \text{ m} \times \frac{1}{0.836 \text{ m}^3/\text{kg}} \times 0.7 \text{ 回/h}$$

$$\times 715 \text{ kcal/kg} \times (0.0252 \text{ kg/kg} - 0.0112 \text{ kg/kg})$$

$$= 3,940 \text{ kcal/h}$$

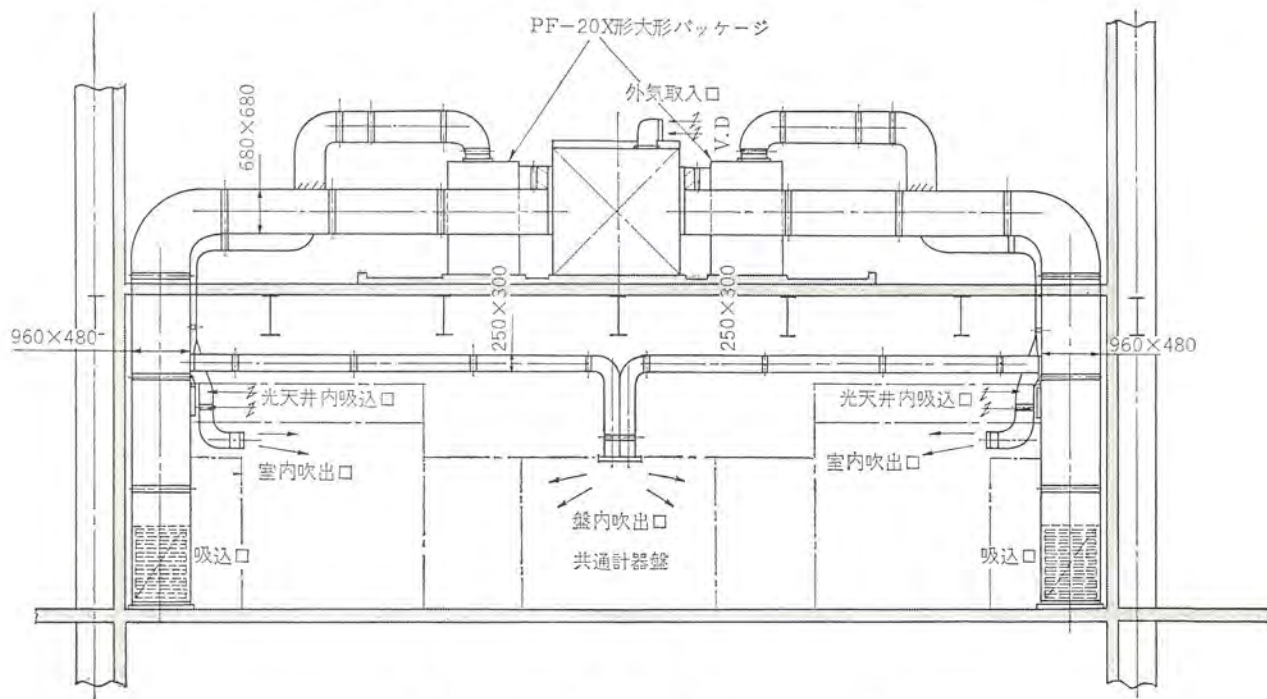


図 3. 5 PF-20 形 冷房機の据付け

Fig. 3. 5 Errrection of type PF-20 X packaged air conditioner.

となる

冷房能力 45,000 kcal/h

三菱電機技報・Vol. 40・No. 8・1966

送気風量 732 m³/min

室内換気回数 31 回/h

(3) 機器の選定

a. A, B室系統

全風量はA室, B室およびバッテリー室の風量の合計で406 m³/min となる。

機器の選定を下記のとおり行なった。

(a) 送風機 # 4 1/2-D シロツコ 形

風量: 450 m³/min 静圧: 40 mmAq

回転数: 555 rpm 軸動力: 6 kW

(b) 電動機: # 7.5 kW, 4 P, 440 V

(c) フィルタ: フィレドシ P 15/500

(d) 給気パッケージ

寸法 3,500 mm × 2,500 mm × 2,200 mm

b. C, D室系統 (第2系統)

CおよびD室の全風量 944 m³/min

(a) 送風機: # 6 1/2-D シロツコ 形

風量: 956 m³/min 静圧: 40 mmAq

(b) 電動機: 15 kW

(c) 給気パッケージ

寸法 4,500 mm × 2,500 mm × 2,500 mm

(d) 排気扇: KF-50-B 形 有圧換気扇

風量: 152 m³/min 4 台

5. む す び

以上火力発電所における空調設備, 換気設備等の一例を述べたが, 施工にあたり, 客先電力会社関係各位のご指導と社内関連部門の援助を得て運転結果としては所期の目的を達し, 客先のご満足を得ているが, 日進月歩の技術革新に沿うために, なおいっそうの研究を重ねてより良い装置を設計, 施工したい。

ME-40 R 形 400Mc 帯 SS-PM 多重回線用簡易中継機

沼田 敏男*・笹田 雅昭*・中川 幹雄*・里 昭夫*

Type ME-40 R Simple Radio Repeaters for 400 Mc Multiplex Systems

Communication Equipment Works Toshio NUMATA・Masaaki SASADA
Mikio NAKAGAWA・Akio SATO

Type ME-40 R simple radio repeaters have many distinctive features such as; low construction costs in comparison with the reflectors, not requiring special shed and power supply, high reliability because of all solid state, and facility of daily inspection from a remote distance. They are proved advantageous in the installation at mountainous districts where ordinary 400 Mc band multiplex systems are hard to set up. This article describes, about the new devices, the base of the design in anticipation of practical installation, the ability of transistors and economy of power supply to decide the gain of 50 dB and the output power of +10 dB. It also touches upon a reserve unit of cold standby system and a number of related information.

1. ま え が き

400 Mc 帯 SS-PM 多重は、小容量簡易回線用として、広い需要がある。しかし、山岳の多いわが国では、常に、その伝搬路の障害が問題となり、近距離でも、山岳回折伝搬の期待できない地点では多額の費用を投じて、中継局を設置するか、あるいは、置局計画を変更せざるを得ない場合がある。

また、マイクロ波回線に比較して、波長の長いことは機器構成の簡略化の点では利点になるが、反射板、あるいは回折網が実用できない欠点をともない、この解決が望まれていた。

ここに紹介する 400 Mc 帯簡易中継機は、半導体技術を応用した直接増幅方式中継装置で、伝搬上の欠点を解決する一手段として、実用に供して良好な成績をおさめたので報告する。

2. 簡易中継機の特長

ME-40 R 形簡易中継機の特長は次のとおりである。

(1) 建設費用は、マイクロ波帯反射板と比べて、たいていの場合、かなり廉価である。

構成材料費・運搬費・現地組立費用および用地面積は、マイクロ波回線の反射板建設に比較して格安である。

(2) 無局舎、無給電である。

中継機本体はきわめて小形であり、熱損失が少ないので、全天候型キョウ(簗)体に収容し、空中線柱に取り付けられる。また、電源としては、バッテリーローディングによる太陽電池システムあるいは空気電池を使用する。

(3) 高信頼度機器である。

活性素子はすべて固体化するのみならず、無接点化を行ない、使用部品を極力減らす回路構成を採用している。また、中継増幅器は予備機およびその自動切換え回路を備えている。

(4) 保守、運用上の考慮を払っている。

山間へき地に置局されるため、最低限の日常点検が有人基地局で行なえるよう、簡単な遠方監視機能および、チェック機能を有する。また発振回路、レベル検知回路を有し、現地での点検を容易にできるように設計した。

3. 設計基準および回線設計

図 3. 1 に示すように、伝搬路に山脈がつかなり、回折伝搬損失がきわめて大きい場合に双方の基地局に対し、完全な見通しがある山頂を選定して増幅中継機を設ける場合を想定して回線設計を行なう。

中継機入力 P_{IN} 、および出力 P_{OUT} は、式 (3. 1)、(3. 2) で与えられる。

$$P_{IN} = P_t - L_f + G_t - L + G_r - L_{fp} \quad (3. 1)$$

$$P_{OUT} = P_r - L_{fr} - G_r + L' - G_d + L_{fp} \quad (3. 2)$$

P_t : A 基地局送信電力 (dB)

P_r : B 基地局所要受信入力 (dBm)

G : 空中線利得 (dB)

L, L' : 伝搬損失 (dB)

L_f : 給電線損失 (dB)

添字 t, r はそれぞれ送信、中継、受信を示す。

今、簡単のため、送受信、および中継機の空中線利得および給電線損失が等しいとすると、中継機に必要な増幅利得 G_0 は式 (3. 3) で示される。

$$G_0 = P_{OUT} - P_{IN} = L + L' + 4L_f - 4G + P_r - P_t \quad (3. 3)$$

実用にあたって、使用素子の能力、電源消費量などの点から、中継機出力が制約の一つとなり、この最大値を P_{0max} とすると、許容伝搬損失 L_{max} は式 (3. 4) で与えられる。

$$L_{max} = L'_{max} \leq P_{0max} - P_r - 2L_f + 2G \quad (3. 4)$$

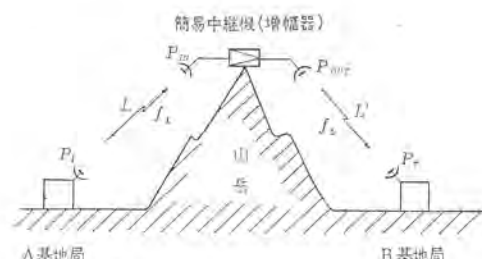


図 3. 1 簡易中継回線モデル
Fig. 3. 1 Model of repeating system.

表 3.1 回線設計例

| 項 目 | 送信点→中継点 | 中継点→受信点 |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| 伝 搬 距 離 (km) | 40 | 40 |
| 空 中 線 | 30 φm パラボラ (4 mφ パラボラ) | 3 φm パラボラ (4 mφ パラボラ) |
| 送 信 出 力 (dBm) | +37 | |
| 給 電 線 損 失 (dB) | -2 | |
| 送 信 空 中 線 利 得 (dB) | +19 (-21) | |
| 伝 播 損 失 (dB) | -117 | |
| 中 継 空 中 線 利 得 (dB) | +19 | |
| 給 電 線 損 失 (dB) | -2 | |
| 中 継 機 入 力 (dBm) | -46 (-44) | |
| 中 継 機 利 得 (dB) | | 50 |
| 中 継 機 出 力 (dBm) | | +4 (+6) |
| 中 継 空 中 線 利 得 (dB) | | +19 (-21) |
| 給 電 線 損 失 (dB) | | -2 |
| 伝 搬 損 失 (dB) | | -117 |
| 受 信 空 中 線 利 得 (dB) | | +19 |
| 給 電 線 損 失 (dB) | | -2 |
| 受 信 入 力 (dBm) | | -79 (-75) |
| スレシヨールドレベル (dBm) | | -99 (-97) |
| ドロップアウトマージン (dBm) | | 20 (22) |
| 雑 音 レ ベ ル (dBm) | -104 (-102) | -108 (-106) |
| 入 力 レ ベ ル (dBm) | -46 | -79 (-75) |
| 高 周 波 S/N (dB) | 58 (56) | 29 (31) |
| PM 改 善 係 数 (dB) | | 13 (9) |
| 通 話 路 S/N (dB) | | 42 (40) |

| | | |
|------|-------|-------------------------|
| 計算諸元 | 変調方式 | SS-PM |
| | 変調指数 | 0.4 rad/ch (0.2 rad/ch) |
| | 受信帯域幅 | 400 kc (600 kc) |
| | 雑音指数 | 10 dB (10 dB) |
| | 伝送容量 | 12 CH (24 CH) |

この中継方式は、入力周波数干渉を起こすので設置上の制約、および許容まわり込み D/U (D : 所要波, U : 不要波) にもとづく中継機利得の制約が生じる。

所要 D/U は、中継機利得の安定化の点から、約 20 dB と推定されるが、この値が、遅延ヒズミとして回線品質を劣化させる程度を検討してみる。

文献(1)によれば、直接入力波 D とまわり込み干渉波 U による準漏話雑音は、式(3.5)および(3.6)で示される。

$$2 \text{ 次: } S/D'_2 = -20 \log \frac{2\pi^2}{\sqrt{5}} r_q \tau^2 \theta^2 f_h^2 \times \sqrt{1 - \frac{5}{2}k + \frac{5}{3}k^3 - \frac{1}{12}k^5} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$3 \text{ 次: } S/D'_3 = -20 \log \frac{\pi^3}{\sqrt{5}} r_p \tau^3 \theta^3 f_h^3 \times \sqrt{1 + 13.3k^2 - 10k^4 - \frac{R^8}{63}} \dots\dots\dots (3.6)$$

r_q : $r \cos \Omega_0 \tau$干渉波の直交成分

r_p : $r \sin \Omega_0 \tau$干渉波の同相成分

r : 直接波と干渉波の振幅比 (D/U)

τ : 干渉波の直接波に対する遅延時間

θ : 実効位相偏差

f : 測定 CH の副搬送波周波数

f_h : 最高 CH の副搬送波周波数

k : f/f_h

式(3.5), (3.6) は PM 方式で τ が十分小さい場合に成立する。400 Mc 帯においては、干渉波はおもに空中線系に支配されるがまわり込み干渉波の通路差を最悪値 300 m と仮定すると、

$$\tau = 10^{-8} \text{ sec.} \dots\dots\dots (3.7)$$

24 ch SS-PM 方式は $\theta = 0.2 \text{ rad/ch}$ であり、最悪値を示す。最高 ch, すなわち $k=1$ とし $r_p=r_q=0.1$ ($D/U=20 \text{ dB}$ に相当)

ME-40 R 形 400 Mc 帯 SS-PM 多重回線用簡易中継機・沼田・笹田・中川・里

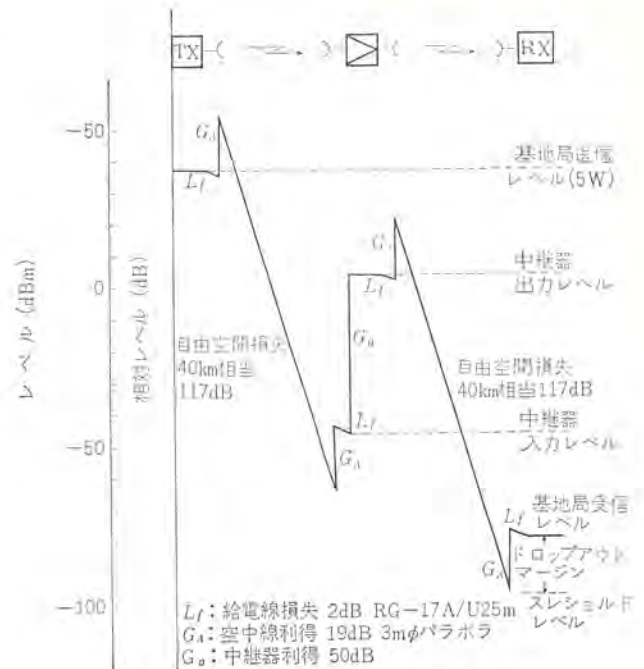


図 3.2 簡易中継方式による回線設計例
レベルダイヤグラム (120 CH の場合)

Fig. 3.2 Level diagram of repeating system.

の数値を式(3.5), (3.6)に代入すると、準漏話雑音として、次の結果が得られる。

$$\left. \begin{aligned} 2 \text{ 次ヒズミ: } \frac{S}{D_2} &= 64.5 \text{ dB} \\ 3 \text{ 次ヒズミ: } \frac{S}{D_3} &= 81.0 \text{ dB} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.8)$$

この値は、所要準漏話雑音に対し、十分余裕がある。なお、24 ch 以下の場合および、通路差 300 m 以下の場合にはさらに条件の良いことは明らかである。実際の伝搬路においては地勢に支配される多様な干渉波が存在すると考えられるが、中継機単体の設計上の問題としてのまわり込み干渉波は、直接波に対し、20 dB あればよいことがわかった。以上の考察より、中継機の許容最大利得 G_{0max} は次式で与えられる。

$$G_{0max} \leq \text{中継機入出力端のまわり込み量} - 20 \text{ dB} \dots\dots\dots (3.9)$$

中継機入出力間のまわり込み量は実験的に次の量が得られる。

- (1) 中継機空中線間の自由空間損失
= 45 dB (空中線相互間隔 10 m 相当)。
- (2) 空中線前方対後方 (側方比)
= 25 dB (3 φ パラボラ, 利得 19 dB)。
- (3) 直交偏波減衰量 = 15 dB

したがって、空中線相互間の結合減衰量は、次式で与えられる。

$$45 + 15 + 2(25 - 19) = 72 \text{ dB} \dots\dots\dots (3.10)$$

よって、一応の目安としての中継機利得は式(3.9)から、

$$G_{0max} \leq 72 - 20 = 52 \text{ (dB)} \dots\dots\dots (3.11)$$

式(3.11)の結果を、式(3.3), (3.4)に代入し、実用上の見地から使用トランジスタの能力、電源装置の経済性を勘案すると現時点の最適設計諸元は次のようになる。

中 継 機 利 得 約 50 dB

中 継 機 出 力 +10 dB 以下

この性能をもって、現在広く実用化されている 400 Mc 帯全周波数受信用機および 3 mφ パラボラ 空中線と組み合わせて得られる回線設計例は、表 3.1 のとおりであり、レベルダイヤグラムを図 3.2 に

示す。表 3.1 によれば、都市雑音を無視するものとして、 $S/N \geq 40$ dB を得るに、 $40 \text{ km} \times 2$ 、計 80 km の山越え回線を構成することができる。

なお、中継機の雑音指数は、14 dB 以下（受信機、雑音レベル換算 -100 dBm ）であるため、中継機入力レベルと比較すれば十分な C/N である。また、中継機が、所要波以外の周波数に対し、不要伝搬の原因とならぬよう、遅延ヒズミ、および π 波器の温度特性の許す限り、狭帯域にすべきであることは、もちろんである。

表 3.1、図 3.1 より容易に推定できるように、中継点が両基地局の中央にある場合が最も、長区間伝送ができる。なお、この中継機のみで多中継を行なうことは、実用的でない。

4. 中継機の構成と定格

簡易中継機は、その系統図を図 4.1 に示すように、主要部は入出力分波器（空中線共用装置）および、UHF トランジスタによる利得可変のストレートアンプによる増幅部である。増幅部はそれぞれの方向について予備機を有し、系の信頼度を高めている。その構成を図 4.2 に示す。利得は中間トランジスタのベース電流を变化することにより、約 20 dB の調整ができ、所要利得に設定する。

また、予備方式は、コールド・スタンバイ方式で消費電力のてい減を図り、高周波の入出力切り換えは待機時と動作時にトランジスタの入出力インピーダンスが変化することを利用し、接続ケーブル長を適当に選定し、とくに切り換え回路用素子を用いることなく、行なう

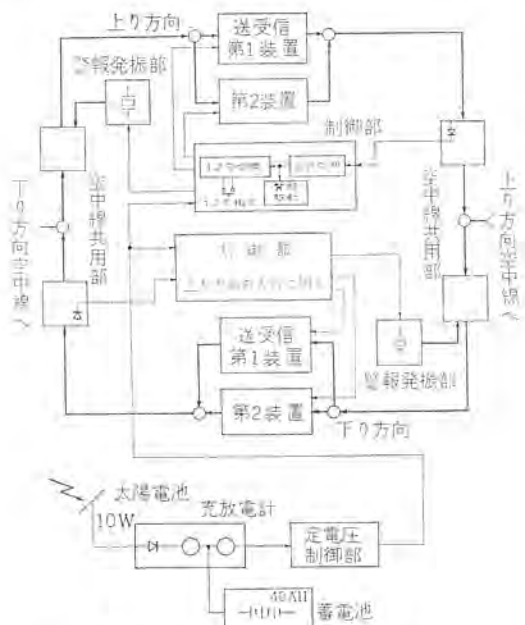


図 4.1 簡易中継機系統図
Fig. 4.1 Block diagram of repeater set.

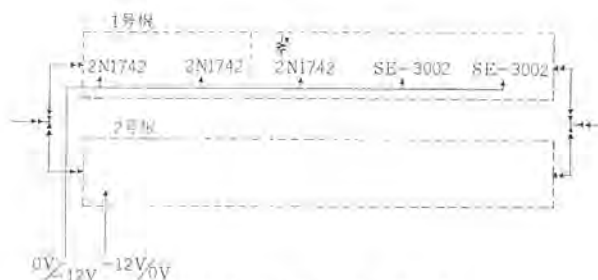


図 4.2 増幅部構成
Fig. 4.2 Block diagram of repeating amplifier.

ている。増幅器の出力は、出力監視により常時監視する。出力断の原因は相手局送信障害による場合と、中継機内増幅器故障による場合とがあるが、前者の場合、中継機より警報信号を送出する。

(1) 相手局送信障害の場合、増幅器出力断から、約 0.2 秒後、警報発振部内の水晶発振器が動作し、受信周波数と同一で、レベルもほぼ等しい信号を増幅部入力に加え出力監視は増幅器出力有の状態となり、さらに 0.2 秒を経て水晶発振器の動作を停止し、再度出力断の状態となる。これは 1、2 号機に割りあてた固有の繰返し周期で行なわれ、断続パルス信号によって基地局に警報伝送を行なうと同時に、動作中のセットの識別を可能とする。

(2) 増幅器障害の場合、内蔵の水晶発振器から増幅器へ入力を加えるが、出力は現われず、約 2 秒後に、現用、予備機の切り換えを行なう。現用、予備とも故障の場合には、中継機出力はなく、中継機障害と判定する。

このような監視方式により、制御回路構成が簡単となり、また基地局にて、回線障害の発生箇所の識別をすることができる。

以下におもな定格を記す。

- | | |
|----------------|--|
| (1) 周波数範囲 | 335~470 Mc |
| (2) 最大利得 | 50 dB |
| (3) 利得調整範囲 | 約 20 dB |
| (4) 最大飽和出力 | +10 dBm |
| (5) 標準定格出力 | +7 dBm |
| (6) 安定度 | 環境条件内で設定利得に対し、 ±3 dB 以内 |
| (7) 高低調波抑圧度 | 30 dB 以下 |
| (8) 増幅帯域幅 | ±2 Mc 以内 (3 dB 低下点間) |
| (9) 入出力インピーダンス | 50 Ω |
| (10) 電源電圧電流 | $14.4 \text{ V} \pm \frac{20}{10} \%$ 80 mA 以下 |
| (11) 警報発振周波数 | 受信周波数 |
| (12) 警報発振繰返し周期 | (無入力時) 現用、約 1.2 秒、予備、約 0.4 秒 |
| (13) 予備切り換え時間 | 約 2 秒 |
| (14) 出力監視設定点 | 標準出力以下約 10 dB |
| (15) 環境条件 | -30°C ~ +50°C (蓄電池を除き) RH 40~100 % |

5. 中継機の性能特性

5.1 中継機主要部

(1) 増幅器

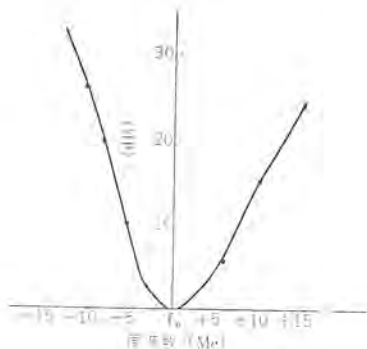
増幅器の帯域特性、入出力特性および利得の温度特性を図 5.1 に示す。帯域特性は温度補償用 チタコンを用いて同調のズレをなくし、利得変動は、当社製温度可変抵抗、セミスタを用いて $-30^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ の範囲で実用上問題ない程度に変動を押えるように設計した。

(2) 制御部

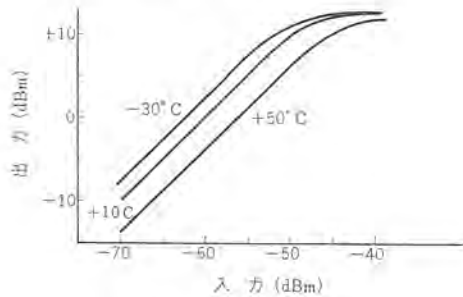
相手局障害および中継機障害の判別を行ない、相手局障害時には、警報信号を送出し、中継機障害時には、予備機への切り換え動作を行なう。自動切り換え機能は $-30^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$ の範囲で確実に行なわれる。

(3) π 波器

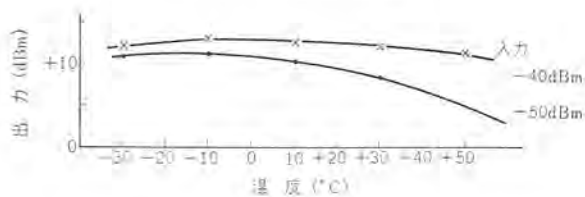
分波器を構成する π 波器の帯域特性を図 5.2 に示す。半同軸 3 段誘導結合で構成し、400 Mc 帯の多重信号伝送に必要なかつ十分な狭帯域特性を得ている。



(a) 帯域幅



(b) 入出力特性



(c) 出力変動

図 5.1 増幅器単体特性
Fig. 5.1 Characteristics of repeating amplifier.

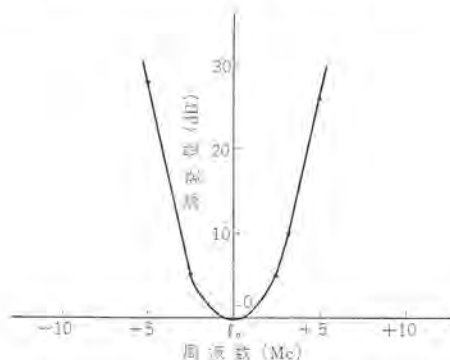


図 5.2 □ 波器特性
Fig. 5.2 Characteristics of filter.

(4) キョウ体

キョウ体は長時間直射日光による内部温度上昇の軽減と防滴、防湿に留意し、内ハコを完全密閉した二重構造としている。図 5.3 はキョウ体内各部の温度変化の一例であるが、キョウ体天井の温度は、ほぼ直射日光の入射角によって定まり、炎天下に暴露した外箱が 25°C 以上の温度上昇するのに対し内部温度は、二重キョウ体の効果により、外周囲温度に対しわずかに最高 7.8 度の温度上昇にとどまっている。

(5) 太陽電池の電源

この中継機の消費電力は約 1 W であるから、太陽電池が廉価で使用できる。公称出力 10 W の太陽電池と、60 AH のアルカリ蓄電池を組み合わせた場合、わが国で最も日照時間の少ない地域

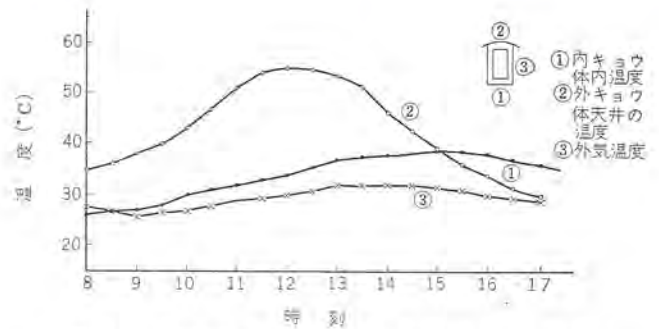
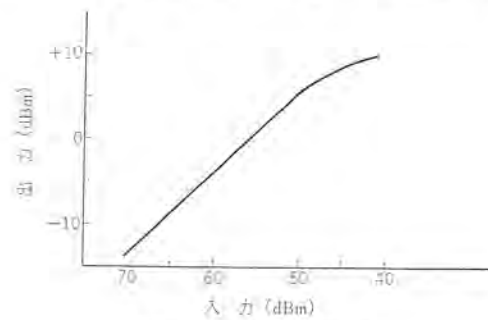
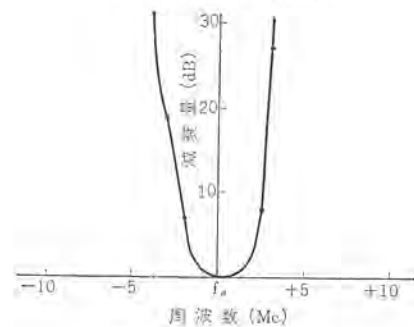


図 5.3 時刻によるキョウ体内部の温度変化
Fig. 5.3 Response of interior temperature against exterior heating of the cabinet depending on the time.



(a) 中継機入出力特性



(b) 中継機帯域特性

図 5.4 中継機特性
Fig. 5.4 Characteristics of repeater set.

表 5.1 空中線特性

| 直 経 | ビーム幅 (半値幅) | 利 得 (Gt) | F/B |
|--------|------------|----------|----------|
| 3.8 mφ | 10° | 22 dB | 25 dB 以上 |
| 3.0 mφ | 18° | 19 dB | 25 dB 以上 |

の使用を想定しても許容無日照期間 25 日の電源供給能力を有する。

5.2 簡易中継機総合特性

この中継機の総合利得特性、帯域特性を図 5.4 に示す。利得特性は増幅器単体の場合より利得が低下するが、これは入出力分波器損失、接続ケーブル損失、その他切り換え回路部分による損失が加わって生ずるものであり、帯域特性は入出力分波器の狭帯域 □ 波器により 3 dB BAND は 2 Mc 以内の特性を得ている。

5.3 空中線指向特性

入出力空中線の放射角は、使用する空中線の指向特性により、大きく左右される。本機に用いる空中線の指向特性は表 5.1 に示すような特性であり、入出力放射角をかなり広範囲に選定することができる。

5.4 中継機の信頼性

各部品の選択については、とくに考慮をはらっているが、信頼度を表わす尺度としての MTBF (平均故障間隔) で表わせば、

表 6.1 宮崎県企業局回路設計値および実測値

| | 簡易中継局 | | 簡易中継局 | |
|--------------|---------|---------|---------|-------------|
| | 石一局→弓木局 | 渡川局→弓木局 | 石一局→渡川局 | 渡川局→石一局 |
| 周波数 (Mc) | 415.7 | 415.7 | 460.2 | 460.2 |
| 区間 (km) | 7.9 | 1.5 | 1.5 | 7.9 |
| 自由空間損失 (dB) | -102.8 | -88.4 | -89 | -103.7 |
| 送信給電線損失 (dB) | -5 | -11.5 | -2.4 | -1.1 |
| 送信空中線利得 (dB) | 22 | 22 | 16 | 22 |
| 受信 # (dB) | 22 | 16 | 22 | 22 |
| 受信給電線損失 (dB) | -1 | -2.5 | -11.5 | -5 |
| 回折損失 (dB) | -4.5 | -0.7 | -0.7 | -4.5 |
| 全区間損失 (dB) | 69 | 65 | 66 | 70 |
| 送信出力 (dBm) | +37 | +10 | +37 | +10 |
| 受信入力 (dBm) | -32 | -55 | -29 | -60 |
| 実測値 | | | | |
| 送信出力 (dBm) | +37.4 | +10 | +37 | +9.5 |
| 受信入力 (dBm) | -32 | -48 | -29 | -61 |
| 直接波入力 (dBm) | | -97 | | -100 dBm 以下 |

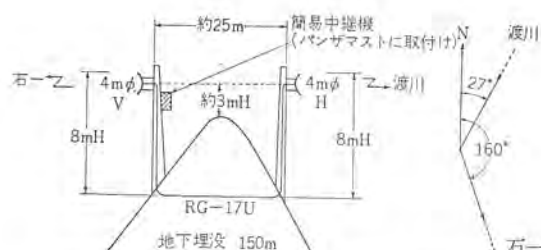


図 6.1 空中線設置状況および入出力放射角 (宮崎県企業局曲線)

Fig. 6.1 Installation of equipment at MIYAZAKI's radio link.



図 6.2 空中線設置状況および入出力放射角 (北海道企業局曲線)

Fig. 6.2 Installation equipment at HOKKAIDO's radio link.

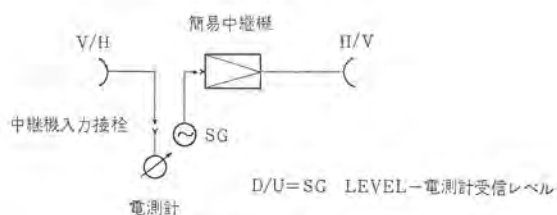


図 6.3 D/U 比実測法

Fig. 6.3 Block diagram for the measurement of D/U.

予測値 200 日である。なお、本機設計の母胎となった新幹線列車無線電話トンネル用中継機 120 台余についての実測信頼度は MTBF 400 日である。先の予測値計算はどの部品一つが故障しても装置故障とみなしており、実際にはその後の技術的改良とげん選した部品の使用、調整試験段階での十分なエージングなどによって新幹線用のものと同程度、あるいはそれ以上の MTBF を有しているものと推定される。

表 6.2 北海道電力回線設計値および実測値

| | 簡易中継局 | | 簡易中継局 | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | 旭川→美瑛 | 瑛→富良野 | 美瑛→旭川 | 旭川→美瑛 |
| 周波数 (Mc) | 415.7 | 415.7 | 460.2 | 460.2 |
| 区間 (km) | 27.5 | 22.3 | 22.3 | 27.5 |
| 自由空間損失 (dB) | -113.6 | -111.9 | -112.8 | -114.5 |
| 送信給電線損失 (dB) | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 空中線利得 (dB) | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 受信空中線利得 (dB) | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 受信給電線損失 (dB) | -2.0 | -1.2 | -1.2 | -2.0 |
| 回折損失 (dB) | — | — | — | — |
| 全区間損失 (dB) | 79.6 | 77.1 | 78.0 | 80.5 |
| 送信出力 (dBm) | +37 | +7 | +37 | +7 |
| 受信入力 (dBm) | -42.6 | -70.1 | -41.0 | -73.5 |
| 実測値 | | | | |
| 送信出力 (dBm) | +37.0 | +7.5 | +37.0 | +10.5 |
| 受信入力 (dBm) | -51.6 | -64.5 | -38.0 | -77.5 |
| 直接波入力 (dBm) | | -106.5 | | -112.0 |



(a) 簡易中継機内部



(b) 簡易中継機および太陽電池、蓄電池

図 6.4 中継装置

Fig. 6.4 Repeater set.

6. 実用化回線例

すでに実用化回線として設置されている 2 例につき回線設計値、実測値、および空中線設定条件と性能等を以下に記す。

6.1 宮崎県企業局小丸川系多重回線

この回線は昭和 40 年 9 月より実用化回線として使用されている。伝搬路は距離的に短いが、山岳回折波が利用できない区間で、回線設計値とその実測値を表 6.1 に示す。また、設置状況は概略図 6.1 のとおりである。

6.2 北海道電力、旭川～富良野間多重回線

先例と同じく回折波が利用できない中距離区間である。回線設計値と、その実測値を表 6.2 に、空中線設置状況を図 6.2 に示す。山頂平タン部に設置した 2 空中線間の回り込み D/U 比は図 6.3 の方法で測定し、約 33 dB あり、エコヒズミに対して十分マージンのある値が得られている。この回線は昭和 41 年 1 月末より開設されて良好に動作している。



(a) 宮崎県企業局 弓木中継局渡川向け空中線設備



(b) 宮崎県企業局 弓木中継局石一向け空中線設備
および簡易中継機



(c) 美瑛中継局 空中線設備および局舎



(d)

図 6.5 簡易中継局現地据付状況

Fig. 6.5 Installation of repeater set.

7. む す び

以上、ME-40 R 形簡易中継機の概要および実施例について紹介したが、実施二例はいずれも現在まで無事故で良好に動作中であり、この中継機によりこれまで 400 Mc 帯多重回線の設置が困難とされていた地域においても、中継を経済的に容易に行なえることが確認され、今後、その効果が多方面の 400 Mc 帯多重回線計画に活用されることが期待できる。

この方式の実現にあたっては、郵政省電波監理局をはじめ、九州、北海道の両地方電波監理局、宮崎県企業庁、北海道電力株式会社殿その他多くの関係各位より絶大なる支援を賜った。ここ

に深くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) S. T. Meyero : Nonlinearity in FM Radio System to Multipath Propagation, Proc. IRE, May 1946.
- (2) 林新二 : マイクロウェーブ通信方式, コナ社 (昭 33-11)
- (3) 菅原, 鼎山 : FM 無線工学 日刊工業 (昭 36-7)
- (4) 阿部, 沼田他 : 400 Mc 帯多重直接増幅中継方式 (昭 40-11) 電関学会関西連大会
- (5) 沼田, 笹田 : 無線機制御機能の半導体化, (昭 39-4) 電 4 学会連大会

製鉄用電動機の選定(その1)

市川 健二*

Selection of Motors in Iron and Steel Works (No. 1)

Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.

Kenji ICHIKAWA

A large iron and steel works possesses many motors of different capacities totalling above ten thousand units and aggregating four hundred thousand kW. In constructing new plants the cost of motors accounts for a large portion of the total construction cost. Their operations also govern largely the production and the quality of products. Then consideration in logical selection of motors is as important as the progress of manufacturing technique. Even in the works each plant many have different circumstances and dissimilar working assignment. Selection of the motors shall be made with these points in mind. As one of points in guidance it is suggested to choose a series of machines having unified standards, which helps procure the motors in a short period of delivery time at economical prices. The article elucidates the features of various motors.

1. ま え が き

十数年来の設備合理化と技術のめざましい進歩によって、製鉄所の諸設備の電動化、自動化は著しい発展を見せ、電動機の大形化、多数化をもたらした。

某大製鉄所における電動機の実勢は、1966年1月現在

電動機 (MG セットを含まず)

| | |
|------|----------|
| 台 数 | 10,300 台 |
| 合計出力 | 405 MW |

である。

鉄鋼一貫の大製鉄所においては、電動機は誘導機・同期機・直流機・交流整流子機などあらゆる種類のものが数多く使用され、それらに対して種々の制御が行なわれている。このように製鉄所の電動機応用はこの分野において 質量ともに横綱的存在であって、その技術は日進月歩であり、いろいろのむずかしい問題もっている。

製鉄所における電動機の応用は、大は単機 10,000 kW 以上の大形機から 小は 1 kW 以下に至る広範囲に及ぶ。各種生産工程についておもな用途を記すと次のようになる。

(1) 製鉄、製鋼工場

高炉、焼結用大形送風機・巻上機・装入機・圧縮機・ポンプ・起重機・コンベヤ

(2) 圧延工場

圧延機およびその補機

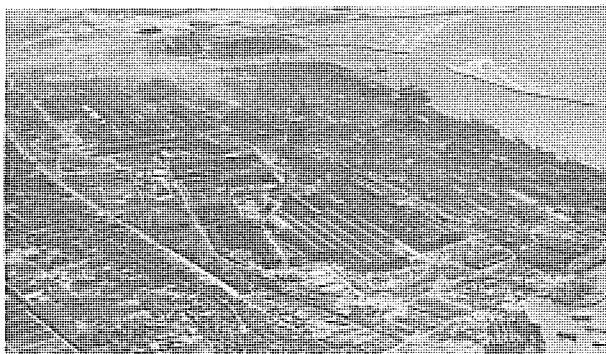


図 1.1 臨海大製鉄所の全景

Fig. 1.1 Full view of the large iron & steel works.

分塊圧延機・熱間帯鋼圧延機・厚板圧延機・軌条圧延機・大形圧延機・棒鋼圧延機・線材圧延機・冷間帯鋼圧延機・調質圧延機

ラオスライン

酸洗い・清浄・セン断・メッキ

この中でもとくに圧延機駆動用は 電動機として最も花形で、その容量も巨大なものであり、一設備として連続熱間帯鋼圧延機などでは 数万 kW に及ぶものもあり、直流電動機では単機で分塊圧延機駆動用等として、6,000 kW 程度のもので製作されている。

なお この種電動機中 とくに直流電動機はその制御性がよいので重要な地位を占めており、これの電源として従来から回転式電動発電機が広く用いられているが、最近サイリスタの発達により 静止化される傾向にある。またその制御性がよいのと保守の便なためなどの理由により、すでに 1,000 kW 程度のものまで実用されており、その容量も次第に大形化される傾向にある。

以下 製鉄機械の駆動に用いられる電動機の機種・形式・定格などの合理的な選定について述べたいと思う。図 1.1 は某臨海大製鉄所 (粗鋼年産能力 500 万 t) の全景である。

2. 電動機の特長と機種の選定

2.1 カゴ形誘導電動機

電力の発生、送配変電とも交流で行なわれるのが普通であるから、交流電源が容易に得られ、交流電動機の採用が一般に有利である。

カゴ形誘導電動機は構造が簡単で、安価であり 機械的にも電氣的にもがんじょうで、制御方法 起動装置も最も簡単であって、定速度駆動用としてはとくに、難点がなく、ポンプ 送風機その他の駆動用として最も広く用いられるものである。某製鉄所では、ポンプ駆動用としての 1,500 kW のものが最大である。

カゴ形誘導電動機は、起動電流の大きい割には 起動トルクが小さいという起動時の欠点を補うために、特殊カゴ形が小形機を除いて広く用いられる。JIS C 4201によれば、起動トルクは次のようになっている。

| 回転子の構造 | 記 号 | 起動トルク (%) |
|-----------|-----|-----------|
| 普通カゴ形 | C | 125 以上 |
| 特殊カゴ形 1 種 | K 1 | 100 以上 |
| 特殊カゴ形 2 種 | K 2 | 150 以上 |

表 2.1 起動階級と起動時入力

| 起 動 階 級 | 1 kW あたりの入力 (kVA) | |
|---------|-------------------|---------|
| A | — | 4.2 未満 |
| B | 4.2 以上 | 4.8 未満 |
| C | 4.8 以上 | 5.4 未満 |
| D | 5.4 以上 | 6.0 未満 |
| E | 6.0 以上 | 6.7 未満 |
| F | 6.7 以上 | 7.5 未満 |
| G | 7.5 以上 | 8.4 未満 |
| H | 8.4 以上 | 9.5 未満 |
| J | 9.5 以上 | 10.7 未満 |
| K | 10.7 以上 | 12.1 未満 |
| L | 12.1 以上 | 13.4 未満 |
| M | 13.4 以上 | 15.0 未満 |
| N | 15.0 以上 | 16.8 未満 |
| P | 16.8 以上 | 18.8 未満 |
| R | 18.8 以上 | 21.5 未満 |
| S | 21.5 以上 | 24.1 未満 |
| T | 24.1 以上 | 26.8 未満 |
| U | 26.8 以上 | 30.0 未満 |
| V | 30.0 以上 | — |

注) 1. 1 kW あたりの起動時入力 (単相の場合)

$$= \frac{EI_{st}}{1000 \times \text{定格出力 (kW)}}$$

1 kW あたりの起動時入力 (三相の場合)

$$= \frac{\sqrt{3} E I_{st}}{1000 \times E_{st}' \times \text{定格出力 (kW)}}$$

ここに E : 定格電圧 (V)
 I_{st} : 全負荷電流に近い拘束電流 (A)
 E_{st}' : I_{st} に対するインピーダンス電圧 (V)
 I_{st} : 起動電流

2. 0.2 kW 以上 37 kW 以下の低圧三相誘導電動機または単相誘導電動機の銘板には、起動階級を記載するものとする。

特殊カゴ形1種は主として起動電流を制限し、2種は主として起動トルクを大きくするために回転子を特殊な構造としたものである。

起動時の入力電流を電源容量、電圧降下などの見地から指定制限するために起動階級が規定されている。(JIS C 4204) 誘導電動機の起動階級とは、起動装置を用いない場合の出力 1 kW あたりの起動時入力の階級をいい、出力 kW あたりの入力 kVA によってわけ、表 2.1 の記号で表わされる。

したがって電源容量が十分であって、起動電流による電圧降下が問題にならない場合は、特殊カゴ形2種として起動階級も下位 (1 kW あたりの起動時入力が高い階級) にとるほうが起動トルクが大きくとれ、起動時間も短縮される。(ただし起動電流が大きいくほど、過電流保護継電器の選択がむずかしくなり、起動接触器などの損耗も大きいから注意を要する) 逆に電源容量が十分でなく、電圧降下などが問題になる場合は、特殊カゴ形1種として起動階級を上位にとるべきである。製鉄所で使用される誘導電動機の起動階級は、D～H 程度が多いようである。なお加速に要する時間 t_a (sec) は次式で計算される。

$$t_a = \frac{GD^2 \times n}{375 \times T_a}$$

n : 起動後最終回転数 (rpm)

T_a : 電動機の平均加速トルク (kg・m)

GD^2 : 機械側と電動機の GD^2 の和 (kg・m²)

したがって、送風機など GD^2 の大きい負荷を起動する場合には起動時間が長くなり、起動中に負荷 GD^2 の得た運動エネルギーと等しい熱損失が回転子中に発生するので、起動時間が長いと回転子を過熱するおそれがある。一般に誘導電動機の発生トルクはスベリの値により大きく変化するので、起動時間をやや正確に算出する場合には次式が用いられる。(図 2.1)

$$t_a = 0.6 \times \left(\frac{GD^2}{kW} \right) \times \left(\frac{f}{P} \right)^2 \times \frac{T_m + 0.6 T_s}{T_m \cdot T_s}$$

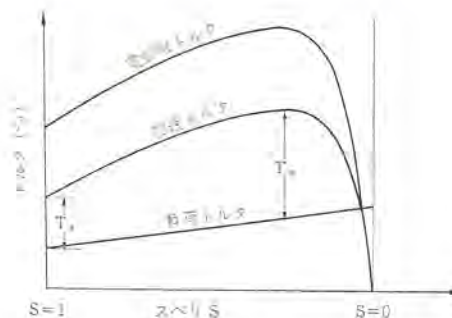


図 2.1 誘導電動機加速時のトルク

Fig. 2.1 Torque curves of an induction motor during acceleration.

t_a : 起動時間 (sec)

GD^2 : 機械側と電動機の GD^2 の和 (kg・m)

kW : 電動機定格出力 (kW)

f : 周波数 (c/s)

P : 極数

T_m : 最大加速トルクの定格トルクに対する割合 (%)

T_s : 起動時加速トルクの定格トルクに対する割合 (%)

大略の値として起動時間が 15 sec 程度であれば安全であるが、これを越える場合は、回転子を巻線形とするなど特別の考慮を払う必要がある。このような理由から NEMA 規格では、標準カゴ形誘導電動機で連続 2 回起動できる GD^2 の範囲が示されている。送風機ポンプを例にとれば、起動時に必要な電動機トルクには、起動トルクと流体を送るのに必要な負荷トルクの和が要求されるので、送風機ポンプは吐出口を閉じ、無負荷状態で起動するのがよい。ポンプは一般に普通カゴ形または特殊カゴ形電動機を選べよいが、軸流ポンプ、斜流ポンプなどでは起動時所要トルクが大きいくものがあるから注意を要する。(その場合は 2.2 項で述べる巻線形誘導電動機を採用する必要がある)

現在標準カゴ形誘導電動機として統一寸法を有するものは

JEM 1110 (1963) 0.2～95 kW 200 V A 種絶縁

JEM 1180 (1965) 0.2～45 kW 200 V E 種絶縁

JEM 1160 (1961) 37～200 kW 3 kV A 種絶縁

などである。世界的な電動機の小形化の傾向に従い、規格が制定された上記の低圧 E 種電動機は、開放形 (0.4 kW 以下の開放形は標準品としては、製作しないことになっている)、全閉形の 2 極 0.2～15 kW、4 極 0.2～15 kW、6 極 0.4～11 kW に対して、外形寸法については JEM 1180 に、特性については JIS C 4210 に示されている。(JEM 1180 では、2 極、4 極の場合は 45 kW まで、6 極では 30 kW まで追加規定された) 表 2.2 はその外形寸法を、表 2.3 は 4 極の場合の特性を示している。

JEM 1110 の A 種低圧電動機と比較し、その優劣を簡単に述べると、

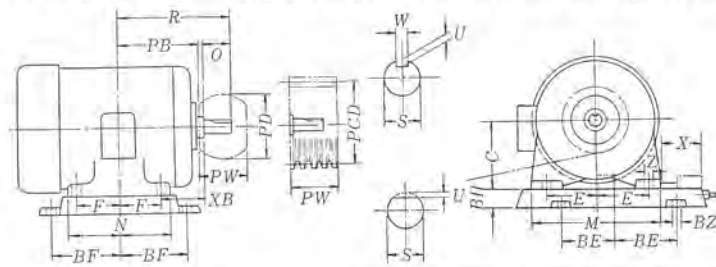
(1) 長所

温度上昇が高くとも、最近の技術、材料の著しい進歩によって小形となり、外形寸法重量 GD^2 は 1/3 程度によって多少差異があるが大幅な減少となっている。またトルク特性、とくに起動特性にすぐれている。価格は現在かなり低くなっているが、大量生産すればさらに安価となるのは当然である。

(2) 短所

特性が多少悪くなっている。すなわち全負荷時の効率、力率は低く、始動電流、無負荷電流などが多少大きくなっているが、実用上はなんらさしつかえない程度である。表 2.4 は E 種電動機

表 2.2 全形低圧三相カゴ形誘導電動機 (一般用 E 種) 寸法



| 定 格 出 力 | | | ワ ク 番 号 | 電 動 機 | | | | | | | | | ベ ー ス | | | | | | | | | |
|---------|------|------------|------------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-----------------------|-------|---------|-----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| 2 極 | 4 極 | 6 極 | | C | E | F | M | N | XB | R | PB | 取 付 穴 径 Z | 軸 | | | | | BE | BF | BH | BZ | X |
| | | | | | | | | | | | | | S | S 公差 | Q | W | U | | | | | |
| 0.2 | 0.2 | — | 63 | 63 | 50 | 40 | 135 | 115 | 40 | 103 | 80 | 7 | 11 | h 6 | 23 | — | 1 | 50 | 80 | 30 | 13 | 40 |
| 0.4 | 0.4 | — | 71 | 71 | 56 | 45 | 150 | 125 | 45 | 120 | 90 | 7 | 14 | h 6 | 30 | 5 | 3 | 55 | 85 | 30 | 13 | 40 |
| 0.75 | 0.75 | 0.4 | 80 | 80 | 62.5 | 50 | 170 | 135 | 50 | 140 | 100 | 10 | 19 | h 6 | 40 | 5 | 3 | 65 | 90 | 30 | 13 | 40 |
| 1.5 | 1.5 | 0.75 | 90 L | 90 | 70 | 62.5 | 185 | 160 | 56 | 168.5 | 118.5 | 10 | 24 | h 6 | 50 | 7 | 4 | 70 | 105 | 30 | 13 | 40 |
| 2.2 | 2.2 | 1.5 | 100 L | 100 | 80 | 70 | 225 | 180 | 63 | 183 | 133 | 12 | 24 | h 6 | 50 | 7 | 4 | 80 | 115 | 40 | 13 | 50 |
| 3.7 | 3.7 | 2.2 | 112 M | 112 | 95 | 70 | 245 | 180 | 70 | 200 | 140 | 12 | 28 | h 6 | 60 | 7 | 4 | 95 | 115 | 40 | 13 | 50 |
| 5.5 | 5.5 | 3.7 | 132 S | 132 | 108 | 70 | 275 | 190 | 89 | 239 | 159 | 12 | 32 | h 6 | 80 | 10 | 4.5 | 110 | 120 | 45 | 13 | 60 |
| 7.5 | 7.5 | 5.5 | 132 M | 132 | 108 | 89 | 275 | 230 | 89 | 258 | 178 | 12 | 32 | h 6 | 80 | 10 | 4.5 | 110 | 140 | 45 | 13 | 60 |
| 11 | 11 | 7.5 | 160 M | 160 | 127 | 105 | 325 | 270 | 108 | 323 | 208 | 15 | 42 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | 125 | 165 | 50 | 15 | 70 |
| 15 | 15 | 11 | 160 L | 160 | 127 | 127 | 325 | 310 | 108 | 345 | 230 | 15 | 42 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | 125 | 185 | 50 | 15 | 70 |
| 18.5 | — | — | 180 M | 180 | 139.5 | 120.5 | 360 | 310 | 121 | 351.5 | — | 15 | 48 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | — | — | — | — | — |
| — | 18.5 | — | | | | | | | | 351.5 | 231.5 | | 48 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | 140 | 185 | 55 | 15 | 80 |
| 22 | — | — | 180 L | 180 | 139.5 | 139.5 | 360 | 360 | 121 | 370.5 | — | 15 | 48 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | — | — | — | — | — |
| — | 22 | 15 | | | | | | | | 370.5 | 250.5 | | 48 | h 6 | 110 | 12 | 4.5 | 140 | 205 | 55 | 15 | 80 |
| 30 | — | — | 200 L | 200 | 159 | 152.5 | 405 | 390 | 133 | 395.5 | — | 19 | 55 | m 6 | 110 | 15 | 5 | — | — | — | — | — |
| — | 30 | 18.5 22 | | | | | | | | 395.5 | 275.5 | | 55 | m 6 | 110 | 15 | 5 | 160 | 230 | 60 | 20 | 100 |
| 37 | — | — | 225 S | 225 | 178 | 143 | 455 | 370 | 149 | 402 | — | 19 | 55 | m 6 | 110 | 15 | 5 | — | — | — | — | — |
| — | 37 | — | | | | | | | | 432 | 282 | | 60 | m 6 | 140 | 15 | 5 | — | — | — | — | — |
| 45 | — | — | 225 M | 225 | 178 | 155.5 | 455 | 395 | 149 | 414.5 | — | 19 | 55 | m 6 | 110 | 15 | 5 | — | — | — | — | — |
| — | 45 | 30 | | | | | | | | 444.5 | 294.5 | | 60 | m 6 | 140 | 15 | 5 | — | — | — | — | — |

表 2.3 E 種全閉形電動機特性

| 定格出力 [kW] | 極 数 | 同期速度 [rpm] | | 全 負 荷 特 性 | | 始動電流 I _{st} (各相の 平均値) [A] | 参 考 値 | | |
|--------------|-----|------------|--------|-----------|---------|--|--|--|----------------|
| | | 50 c/s | 60 c/s | 効 率 [%] | 力 率 [%] | | 無負荷電流 I ₀ (各相の 平均値) [A] | 全負荷電流 I ₁ (各相の 平均値) [A] | 全 負 荷 率 [%] |
| 0.2 | 4 | 1,500 | 1,800 | 以上 | 以上 | 以下 | 1.5 | 1.8 | 10.5 |
| 0.4 | | | | 56.0 | 53.0 | 12 | 2.0 | 2.8 | 9.0 |
| 0.75 | | | | 63.5 | 63.0 | 18 | 2.8 | 4.2 | 8.0 |
| 1.5 | | | | 69.5 | 70.0 | 28 | 4.3 | 7.3 | 7.5 |
| 2.2 | | | | 75.5 | 75.0 | 48 | 5.5 | 10.0 | 7.0 |
| 3.7 | | | | 78.5 | 77.0 | 66 | 9.0 | 16.1 | 6.5 |
| 5.5 | | | | 81.0 | 78.0 | 110 | 13 | 24 | 6.0 |
| 7.5 | | | | 82.5 | 77.0 | 165 | 16 | 32 | 6.0 |
| 11 | | | | 83.5 | 78.0 | 210 | 23 | 45 | 6.0 |
| 15 | | | | 84.5 | 79.0 | 310 | 29 | 61 | 5.5 |
| | | | | 85.5 | 79.5 | 405 | | | |

表 2.4 E 種電動機の温度上昇限度

| 電動機の部分 | 温 度 計 法 | | 抵 抗 法 | |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|
| | 開 放 形 | 全 閉 形 | 開 放 形 | 全 閉 形 |
| 固 定 子 巻 線 | 65 | 70 | 75 | 75 |
| カゴ形回転子巻線 | 制限しない | | | |
| 鉄心その他の機械的 部分で絶縁した巻線に 近接した部分 | 75 | 75 | — | — |
| 軸 受 (自冷式) | 表面で測定するとき 40 deg メタルに温度計素子を 挿入して測定するとき 45 deg とする。ただし耐熱 性の良好な潤滑剤を使用する場合は、表面で測定 するとき 55 deg とする。 | | | |

の温度上昇限度を示す。

このように新しく開発された E 種電動機は、据付面積が少なく
てすみ、機械との共通台座も小形になるので、圧延補機 ロールグ
ライダなどの工作機械そのほかに広く適用されるであろう。現在す
でに E 種にほとんど切り換わっている。

なお、上記の低圧標準電動機の標準電圧は、200 V であるので
これらの標準電動機を数多く使用する圧延機周辺などでは、入手
の容易なことと互換性の関係上、配電設備の経済性をある程度
犠牲にしても 200 V を採用しなければならない場合が多い。こ
のような理由から 0.75~37 kW の標準電動機は 200, 400 V 両端
子とも外部へ引き出すことを標準とするように、筆者は機会ある

ごとに提唱しているが、実現すれば使用者側には非常に利益が多
いことと思う。

次に特殊カゴ形には、二重カゴ形と深ミツカゴ形がある。前者は
回転子のスロットの中に上下 2 個の導体を入れ、上部導体は黄銅な
どの比較的抵抗の高いものを用い、下部導体には抵抗の低い硬引
電気銅の導体を用いる。なお下部導体の漏れリアクタンスが大き
くなるような構造となっている。起動時には回転子に電源周波数の
電流が流れるので、主としてリアクタンスによって電流の配分が定ま
り、漏れリアクタンスの大きい下部導体よりも、抵抗の高い上部導体
に電流が集中し、二次抵抗の高い誘導電動機として起動させる。
そのために起動電流は比較的少なく、起動トルクは大きい。

運転時には、二次周波数がきわめて低いスベリ周波数となるので、リアクタンスは無視しうようになり、電流は抵抗に従って分配され、主として下部の低い抵抗の導体に電流が集中するので、速度変動率の増大や効率の低下が避けられる。深ミジカゴ形は起動時には表皮作用で電流が導体の上部に集中し、運転時には導体全部に電流が分布するので、二重カゴ形と同様な特性が得られる。これらの特性を比較すると

- (a) 効 率 深ミジカゴ形のほうが幾分よい。
- (b) 力 率 深ミジカゴ形のほうがよい。
- (c) 最大トルク 深ミジカゴ形のほうが幾分大きい。
- (d) 起動特性 二重カゴ形のほうがよい。

カゴ形誘導電動機の故障の多い点をしいてあげれば、とくに中形以上のものでは、回転子の二次導体と連結環との接続部分が起動電流に伴う熱ヒズミによって、破損することがあるということである。

一般に負荷の GD^2 の大きさを評価する目安として、 H constant と称する起動定数を考えることがあり、この値が大きいほど回転子の熱せられる度合いが大きいと考えられる。

$$H = \frac{GD^2 \times n^2}{130 \times kW \times 10^3} (\text{sec})$$

GD^2 : 電動機回転子を含む負荷 GD^2 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

n : 定格回転数 (rpm)

kW : 定格出力 (kW)

H は定格回転力がすべて GD^2 の加速に使われたと仮定した場合の起動に要する時間の $1/2$ を示しており、 $H \times kW$ は、回転部の得たエネルギー (kW, sec) を示すものである。

2.2 巻線形誘導電動機

巻線形誘導電動機の二次側回路に抵抗をそう入して起動する場合には、起動電流の少ない割合に起動トルクが大きく、クレーンなどの大きな起動トルクを要するものや、起動電流を制限される機械を駆動するのに適当である。また二次抵抗値を調整することにより、多少の速度制御が可能であるからポンプの吐出量制御などにも用いられるが、速度は負荷の大小により不安定となるから製鉄所では、速度制御用としてはあまり用いられない。

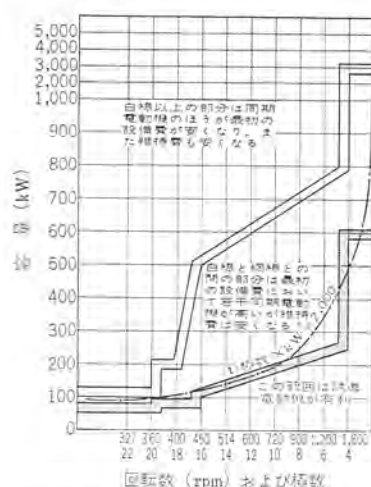


図 2.2 同期電動機と誘導電動機との使用区分
Fig. 2.2 Sphere of using synchronous motors or induction motors.

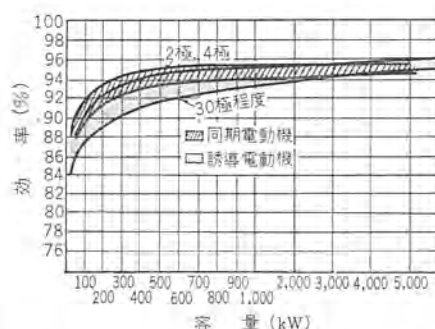


図 2.3 同期電動機と誘導電動機の効率比較 (全負荷時同期電動機の力率は1とする)
Fig. 2.3 Comparison of efficiency between synchronous motor and induction motor (Assumed power factor of synchronous motor is unity at full load operation).

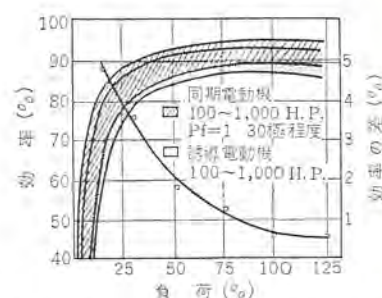


図 2.4 同期電動機と誘導電動機の負荷の変化による効率の変化
Fig. 2.5 Efficiency curves of synchronous motor and induction motor when their loads vary.

表 2.5 各種規格の比較

| 規格名 | 形 式 | 出 力 HP および kW | 極 数 | 時間定格 | 停 動 トルク % | 絶 縁 級 | 外形寸法 |
|------|---------------------|------------------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------|------------------|
| AISE | 全閉自冷形 | 5 HP | 6 | 60分 | 325~425 | B | AISE No. 1-A |
| | 保護形 閉鎖形 | 250 HP | 8 10 | 連続または 60分 | | | |
| JEM | 全閉自冷形 | 2 kW 150 kW | 6 | 30分 | 225 以上 | とくに指定なし | JEM 1066 |
| | | | 8 10 | または 60分 | | | |
| NEMA | 全閉自冷形 および 開放形 | 1 1/2 HP 150 HP | 4 | 30分 | 275 以上 | A または B | NEMA MG1-3092 |
| | | | 6 8 | または 60分 | | | |
| DIN | 全閉外扇形 | 5.5 kW 135 kW | 4 | 25 % ED | 40 % ED において 250 % | 指定なし | DIN-42681 |
| | | | 6 8 10 | 60 % 100 % | | | |

製鉄所における用途として忘れることのできないのは、分塊、厚板圧延機(可逆)用としてのイルグナーセットである。急激な圧延セン頭負荷に対しては、MGセットの速度を落として電動機トルクを強めるとともに、蓄勢輪のエネルギーを利用するので電源に対しての負荷変動が緩和されるのである。単に巻線形誘導電動機に蓄勢輪を直結し、これを圧延機駆動用として、圧延機と直結して用いられる場合も多い。(例 熱延工場の粗スケールプレーカ)

起重機用電動機としては、起動トルクに富む直流直巻電動機がよいが、直流電源設備が必要であり、設備費・運転費などを考慮に入れて交流巻線形誘導電動機が最も有利であると思われる。この観点から JEM 1065, 1066 が 1952 年に制定され、統一寸法・特性を有することになったが、設計上・材料上の技術進歩がめざましい現在、アメリカの AISE が 1961 年に新標準を発表した。わが国でも電気学会、電気工業会において製鉄会社・起重機会社などの意見を織り込んだ現行 JEM 修正案、AISE 規格の採用案、DIN (ドイツ) 規格案などの審議を続行中である。したがって遠からず新規格が新たに生れてくるとと思われる。表 2.5 は、起重機用巻線形誘導電動機の各種規格の比較表である。新規格案の共通した点の一つをあげると、現行 JEM よりも停動トルクが著しく大きくなっているということである。

2.3 同期電動機

同期電動機は工業用動力として多くの用途に使用されているが、誘導電動機に比べて

- (1) 力率の調整が自由で、進み力率でも遅れでも、系統の力率改善という副作用が得られる。
- (2) 空ゲキがで、構造が堅ろうである
- (3) 通風が良好で、機械の寸法が小さい

表 2.6 同期電動機に要求される各種負荷の代表的なトルク値
(NEMA から製鉄所に関係深いものの抜粋)

| 応 用 | 全負荷トルクに対する % トルク | | |
|------------------|------------------|--------|-------|
| | 起動トルク | 引入れトルク | 脱出トルク |
| 送風機 (遠心力式) | | | |
| 吸込または吐出弁閉 | 40 | 60 | 150 |
| 吸込または吐出弁開 | 40 | 100 | 150 |
| 圧縮機 (往復動式) | | | |
| 空気・ガス・無負荷起動 | 40 | 30 | 150 |
| 送風機 (軸流式) | | | |
| 吐出口開 | 40 | 100 | 150 |
| 電動発電機 | 60 | 30 | 200 |
| ポンプ (遠心力式 横形) | | | |
| 吐出弁閉 | 40 | 60 | 150 |
| 吐出弁開 | 40 | 100 | 150 |
| 圧延機 | | | |
| 構造用鋼材およびレール粗圧延機 | 40 | 30 | 300 |
| 構造用鋼材およびレール仕上圧延機 | 40 | 30 | 250 |
| マーチャントミル | 60 | 40 | 250 |
| 棒鋼連続圧延機 | 100 | 60 | 250 |
| 熱延帯鋼連続圧延機 | | | |
| 粗スタンド | 50 | 40 | 250 |
| 鋼管圧延機 | 60 | 40 | 250 |

(4) 一般に能率が良い。

(5) 負荷の軽重にかかわらず一定速度である。

などの利点があり、大容量機に適し、とくに低速機において有利である。しかし起動は誘導電動機に比べて複雑で直流励磁電源が必要であり、大きな起動トルク・引入れトルクを必要とする負荷に対しては起動電流が大になり、あるいは同期引込みが困難であるという欠点がある。誘導電動機と同期電動機の経済的な使用区分を図 2.2 に示す。図 2.3 は効率比較、図 2.4 は負荷の変化による効率の変化の比較を表わす。同期電動機に要求される起動トルク、引入れトルク、脱出トルクの製鉄所に関係の深い各種負荷に対する代表的な値は表 2.6 のとおりであるがその選定にあたっては、場合に応じた値としなければならないことはいうまでもない。

同期電動機はカゴ形誘導電動機として起動するのが普通であるから、起動巻線としてはカゴ形電動機の回転子と同様な導体を励磁頭に備える場合が多い。

製鉄所においては、圧延機駆動用・MG セット駆動用・ポンプ・コンプレッサ駆動用などほとんどが無負荷起動する場合に用いられるが、とくに起動トルクの大きい負荷に対しては、誘導同期電動機、ソリッドポール形同期電動機などを用いることもあるが製鉄所向けとしては、用途は比較的少なくセメントミル用などに用いられることが多い。また、負荷を起動しつつ起動するものなど、起動トルク、引入れトルクなどの大きなものを必要とする同期電動機には、誘導同期電動機を用いることもあるが、これは巻線形誘導電動機として起動し、同期化後は同期電動機となるのであるが、低電圧大電流の直流を流す関係上、その電源が必要となるので、げん密に一定速度の運転を要求される場合を除き、巻線形誘導電動機として終始使用するほうが得策である。

なお従来大多数の高炉送風機が蒸気タービンにより駆動されていたが、最近の製鉄所は共同発電方式が採られることが多くなり、電力料金が比較的安価で、構内に自家発電設備を持たないこと、タービン駆動に比較して当初の設備費が低く、運転操作・保守点検が容易であるなどの理由から、電動機駆動が多くなりつつある。(電源に対する信頼度が重要な条件になるが) 効率の良い送風機駆動用としては、高速大容量の同期電動機が適当である。しかし送風機の GD² が非常に大きいため、2 極機のカゴ形起動

表 2.7 双電動形可逆圧延機の MG 駆動電動機の比較 (参考)

| | イルグナ式 | ワードレオナード式 |
|---------------------|----------------------|-------------------|
| 1. 被駆動圧延機 | 分塊圧延機 | 半連続式熱間可逆粗圧延機 |
| 2. 主電動機 | | |
| 主ローラ駆動 | DC 2×3,500 HP | DC 2×3,000 HP |
| 立ローラ駆動 | — | DC 600 HP |
| 3. 主発電機 | | |
| 主ローラ用 | DC 2×3,000 kW | DC 3×1,650 kW |
| 立ローラ用 | — | DC 500 kW |
| 4. MG 駆動電動機 | | |
| 出力 | 巻線形誘導電動機 5,000 HP | 同期電動機 8,000 HP |
| 同期回転数 | 428 rpm | 600 rpm |
| 重量 | 55.5 t | 56 t |
| 電圧・周波数 | 3,300 V 50 c/s | 6,600 V 50 c/s |
| 最大トルク | 275 % | 300 % |
| 圧延時の最大 セン頭負荷(実績) | 定格出力の 150 % | 定格出力の 200 % |
| 巻線・温度上昇 | B 種 50°C | B 種 40°C |
| 力 率 | よくない | 系統の力率改善も可能 |
| 効 率 | 比較的良好 | 良 |
| 5. 蓄勢輪 重量 | 88 t | — |

(注) 被駆動機の種類、温度上昇、MG 回転数等が異なるので完全な比較にはならない。

巻線では自己起動は無理であるので特殊な起動法が必要であり、低周波起動方式、起動用誘導電動機による起動方式などが採用されている。

大製鉄所においては、背後電源設備も巨大なものであるから、大容量の同期電動機を用いた場合のセン頭負荷もさほど問題にならなくなっており、種々の圧延機駆動用(熱延工場の粗圧延機等)にも用途が拡大されている。今半連続式熱間圧延機の可逆粗圧延機電源用 MG セット駆動電動機について考えよう。ストリップの粗圧延機は分塊、厚板圧延機に比べて被圧延材が長く、もしイルグナセットとすると後尾を圧延する時点では、MG セット(蓄勢輪を含む)の回転速度は極度に低下し、蓄勢輪の効果が少なく、電源に対して大なるセン頭負荷を負担させる場合があり、また直流発電機電圧制御上にも問題が残るわけである。

表 2.7 に一例を示すように MG 駆動電動機の重量は、同期電動機としてもイルグナ式の場合と比較して多少の増加となるが、イルグナ式の場合は 88 t におよぶスベリ蓄勢輪や、スベリ調整装置などの付属装置が必要となるので、経済的にはやや不利である。したがって電源周波数の低下なども考慮して、被圧延材が長く、薄い場合には、電源さえ強固であれば同期電動機を用いるほうが多少利点が多いと思われる。なお従来からの定説によれば、1 パスの圧延時間が長いもの(目安として 6 sec 以上のもの)は、同期電動機駆動電動発電機方式とし、圧延時間が短かくセン頭負荷の割合が大きいものは、イルグナ方式とするのがよいといわれている。

往復動圧縮機は回転数が低く、アンローダを使用して無負荷起動するので起動トルク、引入れトルクとも小さい値でよい場合が多い。このような条件から 250 kW 程度以上の電動機には、同期電動機を用いて有利なことが多い。しかし電流脈動が大きい場合とか起動電流を制限する必要がある場合、小形の場合には、誘導電動機を用いるほうがよい。

2.4 直流電動機

直流電動機の一般用途のうち、製鉄所で用いられる割合は非常に多くなっている。これは主として製鉄圧延用に使われるものが多く、とくに多数のセン頭負荷に対しその速度トルクなどの特性が機械側の要求を満足させるという優秀な性能を具備しているからである。

直流機をその励磁方式から大別すれば、直巻電動機、分巻電動

機と、それらの特性を組み合わせた複巻電動機の3種となる。直巻電動機は起動トルクが強く、揚重機用にきわめて適当な特性をもっているのであるが、経済性の面から交流機のほうが有利であることは前に述べた。したがって某製鉄所ではリフトトラックなど一部の電気車に用いられている程度である。

次に自動制御の急速な進歩発展に大きな役割を果たしているのが他励分巻電動機である。その特長を列記すると

- (1) 速度を広範囲かつ円滑に変化させることができ、しかも界磁を主体とする制御電力が小さく、制御効率が良い。
- (2) 交流機における回転速度はその極数・電源の周波数などによりほとんど限定されるが、変化し得ても不安定であるが、他励分巻電動機では任意の安定な回転数を選定することができる。
- (3) 1:5程度速度範囲では界磁制御で定出力の特性とすることができる。
- (4) 負荷の要求に応じて一定速度・垂下特性・トルク特性・定出力特性など必要な特性を簡単に作ることができる。
- (5) 直流機は速度制御はこれを純電気的に行なうことができ、増幅装置に直接接続できるので、制御が簡単で能率がよい。
- (6) 最大トルク、GD²など運転系の要求に対する設計の自由度が大きい。

他励電動機は圧延工場の圧延機、プロセスラインの駆動用に広く用いられ、その特性を発揮している。図2.5は6スタンド連続冷間圧延機駆動用主電動機群の壮観である。広範囲の速度制御を円滑安定に行なうには、MGセットを必要とするワードレオード方式が広く用いられるが、熱延工場、仕上圧延機駆動用には、水銀整流器を電源とする静止レオード方式が実用されている。これはワードレオード方式に比較して制御特性・経済性にすぐれているが、可逆制御・回生制動を必要とする場合には、逆並列回路を必要とし、冷間圧延機・可逆圧延機にはまだ実績は少ない（わが国では、分塊圧延機用に一部使用されている程度である）。

水銀整流器よりもさらに性能がすぐれ、取り扱いが簡単であるサイリスタを用いた静止レオード方式も中形以下の電動機に対して実用されているが、アメリカでは熱延工場の仕上、分塊工場の可逆ミル電源として実用されており、わが国においても現在分塊ミル用に計画中と聞いている。

したがって近い将来は水銀整流器はすべてサイリスタ化され、小形電動機の電源はもちろん、数千kWに至る大形機の電源もサイリスタ化されることは必至であると考えられる。



図2.5 圧延用直流電動機群
Fig. 2.5 DC motors for rolling mill.

直流電動機で統一規格を有するものは次のとおりである。（一般的には、JEC-54（1965）「直流機」に規定されている）。

2.4.1 圧延用直流電動機 JEM 1157（1961）

150 kW をこえる加減速度の圧延用直流電動機に適用され、可逆用（分塊、厚板ミルなど）と非可逆用（熱間仕上圧延機、冷間圧延機、可逆冷間圧延機など）に分類され、おのおのについて温度上昇、過負荷耐量などの諸性能を定めている。冷間圧延機などの巻取機駆動用電動機は大容量のものであるが、GD²を極度に小さくしなければならないし、外形寸法に制約を受ける場合もあるので、絶縁階級、温度上昇などが特殊になることが多く、この規格は適用されない。規格に掲載されていることではないが、圧延機駆動用電動機は大形化するにつれて、これを2分し、上下ロールをべつべつに駆動するツインドライブ方式が採用されることが多くなった。この方式の利点には、

- (a) 電動機のGD²が小となり、加減速特性が良い。
- (b) 機械側との連結部のピニオンスタンドが不用である。
- (c) 上下ロールの径の不同を、電動機回転速度調整により補償できる。

などがあげられる。

図2.6は分塊圧延機の場合のツインドライブとシングルドライブの構造図であり、表2.8は各駆動方式の場合の比較例である。分塊厚板圧延機の場合に問題になるのであるが、ツインドライブには、上ロール電動機が後にある場合と、図2.6のようにトップホード方式といわれ、上ロール電動機が前にある場合との2種類の方式がある。トップホード方式のほうが新しく、その長所は次のような点があげられる。

- (1) 下ロール電動機を分解点検する場合に、従来の方式では中間スピンドルを取り除く必要があった。
- (2) 下ロール電動機の駆動側軸受は、従来のものでは中間軸受スタンドの中にはいていたので、運転中の軸受点検または分解点検が困難であった。（トップホード式の場合は、分解点検に要する時間は従来のものと比較して1/3以下に短縮されている）。
- (3) 重量30 tにおよぶ中間軸受スタンドが不要となった。
- (4) 電動機室内の見通しがよくなり保守に便となった。

表2.8 主電動機形式の比較例

| | 単電動機形 | 二重電動機形 | 双電動形 |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| 全重量(t) | 135 (100%) | 158 (117%) | 176 (130%) |
| GD ² (t・m ²) | 190 (100%) | 155 (82%) | 145 (77%) |

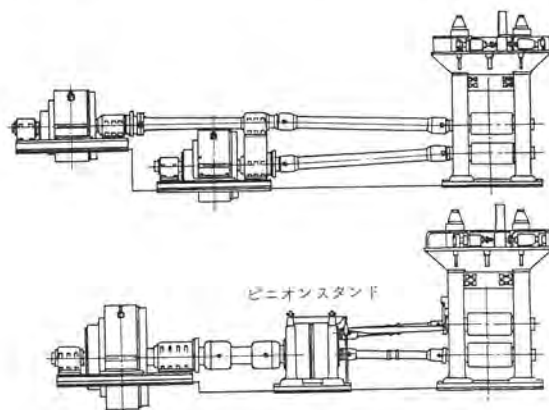


図2.6 双電動機駆動と単一駆動
Fig. 2.6 Twin drive and single drive.

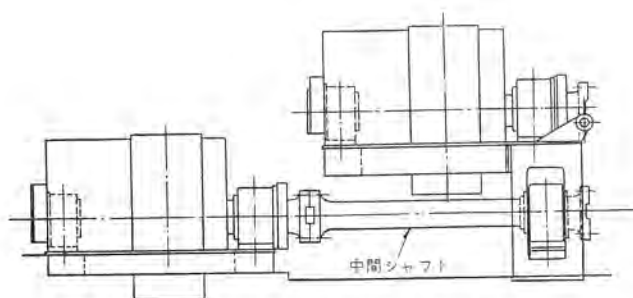


図 2.7 トップホードのトウインドライブ式可逆圧延電動機
Fig. 2.7 Top forward twin-drive reversing mill motors.

欠点としては、中間軸またはそのカップリングなどの万一の事故の場合に、中間軸を引き出すに要する時間が長いことである。

2.4.2 圧延補機およびクレーン用直流電動機

JEM 1109 (1961)

この規格によるものは、3.7~370 kW に至る全閉形の分巻・直巻・複巻各電動機について、外形寸法、最大トルク、温度上昇など諸性能を規定しており、ジヤイの多い場所において過酷な使用にたえるものであり、分塊・厚板・熱圧各工場の圧延補機に多く用いられている。

JEM 1109 は、AISE standard No. 1 を参考としたもので、600 番シリーズと呼ばれている。AISE では、昨年 12 月従来の規格を改訂し、800 番シリーズと呼ばれる新系列を発表した。これは従来の 600 番シリーズと取り付け寸法、基底回転数は変えずに(ワッ番の大きいものでは、多少基底回転数が高くなっているものがある)出力を約 35 % 大きくしている。また GD^2 、電動機時定数などは小さくなり、過渡的な応答も一段と向上しており、加減速のひんぱんなスクリューダウン、可逆圧延機の前後面テーブル騒動用などに好適である。わが国でも逐次新系列が取り入れられると思われる。

2.4.3 工業用直流電動機 JEM 1170 (1963)

150 kW の直流電動機について、同一出力に対していくつかの基底速度を有する数種のワッ番を有し、防滴保護自己通風形を標準としている。(全閉形・開放管通風形・開放他力通風形などへの変形も容易である) 温度上昇、過負荷耐量など諸性能をも規定しているが、過負荷耐量については、筆者は 200 % 1 分間とすべきだと思っている。現規格では 150 % 1 分間となっているが、150 % では実際の使用に際して過負荷継電器の動作することが多く、過負荷継電器の整定値をあげる必要が生じ、危険となるからである。製鉄所においては、主としてプロセスラインの駆動に用いられる。この規格は、IEC の推奨案によるものであって、その標準外形寸法には Series I (mm 系)、Series II (inch 系)、の二つの系列があり、外形寸法に多少の差異がある。国内では、すでに各製造者は思い思いにこの二つの系列のどちらかによって製造しており(独自の寸法によっているものもある)、使用者側では互換性の点で不便を感じている。それゆえ、早急に外形寸法の国内統一が待たれるのである。表 2.9 は、この規格に規定されている出力および回転速度などの一覧表である。

表 2.9 出力および回転速度

| 定格出力 (kW) | 基 底 速 定 (rpm) | | | | | | | | | 定格電圧 (V) |
|--------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| | 3,500 | 2,500 | 1,750 | 1,150 | 850 | 650 | 500 | 400 | 300 | |
| | 界磁調整により得られる最高回転速度の限度 (rpm) | | | | | | | | | |
| 0.37 | — | — | — | — | 3,000 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | — | 110 または 220 |
| 0.55 | — | — | — | 3,200 | 3,000 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | — | |
| 0.75 | — | — | 3,500 | 3,200 | 2,800 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | — | |
| 1.1 | 4,000 | 4,000 | 3,500 | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | — | |
| 1.5 | 4,000 | 4,000 | 3,300 | 3,000 | 2,600 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | |
| 2.2 | 4,000 | 3,700 | 3,300 | 2,800 | 2,600 | 2,600 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | |
| 3.7 | 3,700 | 3,700 | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | |
| 5.5 | 3,500 | 3,500 | 3,000 | 2,800 | 2,600 | 2,400 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | |
| 7.5 | 3,500 | 3,500 | 3,000 | 2,800 | 2,500 | 2,200 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | 220 |
| 11 | 3,500 | 3,300 | 3,000 | 2,600 | 2,500 | 2,200 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | |
| 15 | 3,500 | 3,300 | 3,000 | 2,600 | 2,400 | 2,200 | 1,800 | 1,600 | 1,200 | |
| 18.5 | — | 3,100 | 3,000 | 2,600 | 2,400 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,200 | |
| 22 | — | 3,100 | 3,000 | 2,600 | 2,400 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,200 | |
| 30 | — | 3,100 | 2,700 | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,200 | |
| 37 | — | — | 2,700 | 2,400 | 2,200 | 1,800 | 1,800 | 1,600 | 1,200 | |
| 45 | — | — | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,200 | |
| 55 | — | — | 2,400 | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,200 | |
| 75 | — | — | 2,200 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,200 | |
| 90 | — | — | 2,000 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,200 | |
| 110 | — | — | 2,000 | 2,000 | 1,800 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | — | |
| 150 | — | — | 1,900 | 1,800 | 1,700 | 1,600 | 1,600 | — | — | |

複巻電動機は、分巻と直巻の特性を合わせ有する中間的なものであり、定電圧圧延補機などに多く用いられる。

以上、直流電動機の適用について簡単に述べたが、自動制御の即応性を高めるために、回転部の GD^2 は極度に小さくする傾向にある。初期の熱間仕上圧延機用電動機では、むしろ GD^2 を大きくして帯鋼をかみ込んだときの瞬時速度降下を小さくするような傾向にあったが、最近では瞬時降下を自動制御により急速に回復できるように、 GD^2 、加速遅れを小さくするよう設計されている。

2.5 直流機以外の可変速度電動機

ウエ電流カップリングと誘導電動機を結合したもの(AS 電動機)や交流分巻整流子電動機があげられる。いずれも直流電源の必要でないところに利点があるが、前者は熱損失が多くて効率が悪く、後者はブラシの移動に時間がかかり、速度の急変の必要ある場合に即応性に問題があり、直流電源が比較的容易に得られる製鉄所ではあまり用いられない。

2.6 減速電動機

電動機と減速機をまとめて結合した構造のものであって、摺付け面積が少なくすむので広く用いられる。電動機はプロセスラインにおいて、直流電動機がまれに用いられるほかは誘導電動機が多く用いられる。現在では同一出力に対して低速軸回転数(同期)に種々のものがあり、統一規格がなく外形寸法もメーカーによりまちまちである。筆者は同一出力に対しては、その容量にもよるが 2 段階程度の回転数(例 50 c/s の場合、100, 30 rpm)のものについて統一規格を設け、出力・低速軸回転数・外形寸法などを規定するようにし、ユーザ側もこれをできるだけ利用すれば経済面・納期面・保守面(互換性)に大いに利益があると思っている。



電子計算機利用シリーズ

UDC 621. 313. 13. 016-56 : 621. 771. 1

圧延電動機の負荷およびイルグナ装置の回転速度

浜崎 晏行*

1. ま え が き

鋼塊、厚板、大形鋼などのように、比較的大形で、短い鋼材を圧延する場合には、圧延電動機にかかる負荷は、短時間で、著しいピーク負荷となり、これが、繰り返される。

この場合、圧延機としては、逆転式が、採用されるために、圧延電動機には、制御そのほかの面から、直流電動機が、用いられる。

これに、直流の電力を、供給する装置としては、現在のところ、ハズミ車を併用した交流直流変換機——イルグナ装置——が、採用されている。イルグナ装置では、急激で、大きな負荷の変化は、ハズミ車の効果により、交流直では、平滑化され、電源に与える影響を、緩和することが、できるとともに、誘導電動機の容量を、いくぶん小さくできる特長がある。

この場合、問題になるのは、圧延電動機の負荷およびイルグナ装置の回転速度である。この二つの、時間に対する変化は、非常に複雑で、人力で計算すると、大変な時間を必要とし、また不正確でもある。そこで、電子計算機を、使用して計算を行なった。

イルグナ装置の回転速度の変化についても、数種類の実測値と、かなり良く合う結果を、得たので、ここに報告する。

現在、見積りなどで、大いに利用している。また、ある設備に対する適当な、パススケジュールを、決定するのに、利用できる。

2. 圧 延 馬 力⁽¹⁾⁽²⁾

鋼材の圧延トルクは、一般式としては、式(2.1)で、表わされる。

$$T = 1.39 \times H \times A \times D \times 10^{-6} \dots\dots\dots (2.1)$$

ただし

T : 圧延トルク(ton-m)

H : kw-h/ton · pass

A : 鋼材の断面積(mm²)

D : ロール直径(mm)

A は、与えられる値で、 D は、圧延設備が、決まれば決まる値であるから、 H を、あらかじめ実験値から求めておけば、圧延トルクを求めることができる。この方法としては、SPC法(Specific power consumption)、HHT法(Hp-hour per net ton)などがあるが、HHT法の方が、良く使われているようである。

2.1 SPC法

鋼材の断面積の、最初とそのパスとの比、と断面積の変化量に対するkW-secの実験的に得られた関係とから、圧延馬力を求めるものである。

$$Diff = 100 \times SPEED \times \frac{A_n}{A_{n-1}} \times (A_n - A_{n-1}) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A_n \% = \frac{A_{n-1}}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$kW = Diff \times SPC \dots\dots\dots (2.4)$$

ただし

$Diff$: 体積変化量(mm³/sec)

$SPEED$: 圧延速度(m/sec)

A_n : n 回目のパス終了時の、鋼材の断面積(mm²)

$A_n \%$: n 回目のパス終了時の断面積の、最初の断面積との比(%)

SPC : 単位断面積の変化量に対する kW-sec(kW-sec/mm³)

式(2.3)で得た値により、図2.1より、SPCを求め、式(2.2)、(2.4)より、圧延馬力を求める。

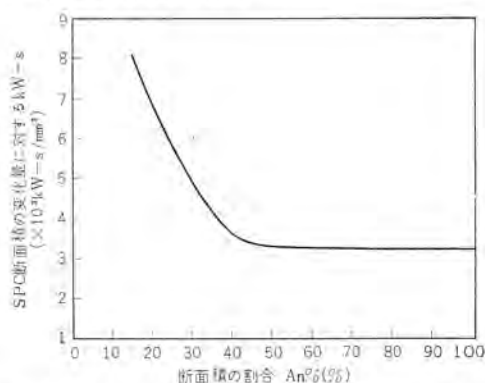


図 2.1 断面積の割合と、単位断面積変化量に対する kW-sec の関係

Fig. 2.1 SPC curve, percentage of original area versus kW-sec per cubic mm displaced.

2.2 HHT法

長さ方向の伸び率(Elongation)と、伸び率に対するkW-sec/tonの実験的に得られた関係から、圧延馬力を求めるものである。

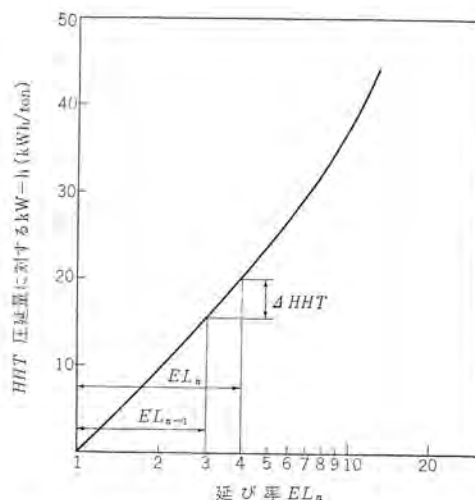


図 2.2 伸び率と圧延量に対する kW-h の関係
Fig. 2.2 HHT curve, Elongation versus kW-h per net ton rolled.

* 神戸製作所

$$EL_n = L_n / L_0 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$TPH = 3.6 \times 10^{-3} \times W \times T \times SPEED \times D \dots\dots\dots (2.6)$$

$$kW = TPH \times \Delta HHT$$

ただし

EL_n : n 回目のパス終了時の伸び率

L_n : n 回目のパス終了時の長さ(mm)

TPH : 圧延量(t/h)

W : 幅(mm)

T : 厚さ(mm)

$SPEED$: 圧延速度(m/sec)

D : 密度(g/cm³)

kW : 圧延馬力(kW)

ΔHHT : 圧延量に対する kW-h の変化分(kW-h/t)

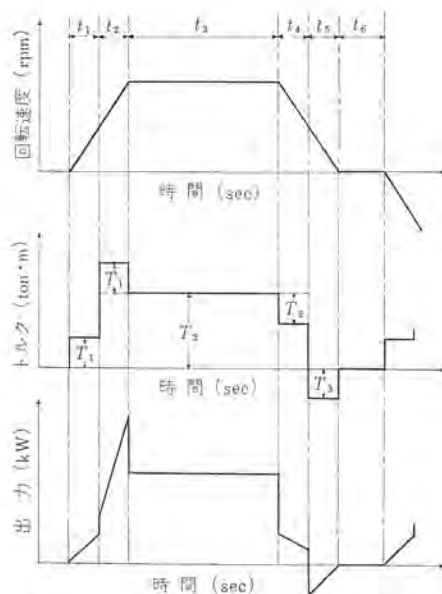
式(2.5)で求めた値により、図2.2から ΔHHT を求める。式(2.6)で求めた TPH と、この ΔHHT から、式(2.7)により圧延馬力を求める。

この、2.1、2.2節で述べた方法で、圧延馬力を求めるのに必要な、図2.1、2.2は、実験的に求められているものであるが、この値は、材料、温度、圧延機などにより、大きな差があるので、十分の注意が必要である。

3. 圧延用直流電動機の負荷

圧延用直流電動機の、時間に対する、回転速度・トルク・出力の関係の一例を、図3.1に示す。このような負荷が、一つの鋼材の圧延が、終わるまで、十数回繰り返される。

なお、図3.1は、圧延速度が、圧延用直流電動機の基底速度以下の場合であり、基底速度を、こえる場合には、少し、ちがった形になる。



ただし t_1 : 加速時間 t_4 : 減速、圧延時間 T_1 : 加速トルク
 t_2 : 加速、圧延時間 t_5 : 減速時間 T_2 : 圧延トルク
 t_3 : 圧延時間 t_6 : 停止時間 T_3 : 減速トルク

図 3.1 圧延用直流電動機の回転速度、トルク、出力の変化
 Fig. 3.1 Time vs mill motor's speed, torque, power.

3.1 回転速度

圧延速度まで、決められた加速率で、加速される。圧延速度で圧延し、決められた減速率で、減速され、最後に停止する。しばらく、停止した後、今後は、逆方向に加速され、以下同じことが繰り返される。

この間に、鋼材のかみ込みおよび吐き出しが、行なわれる。かみ込み、吐き出しの速度は、鋼材の種類や、各工場により異なるが、だいたい、厚板の場合には、圧延速度で、鋼塊などの場合には、圧延速度の20~100%のようである。すなわち、図3.1において、 $t_2 = t_1 = 0$ の場合もあり、 $t_2/(t_1 + t_2) = 0.2 \sim 1$ の場合もある。

圧延速度が、圧延用直流電動機の基底速度を、こえる場合には、加速は、基底速度までは、強め界磁で、その後は、界磁を弱めて、行なわれるので、加速率は、弱まり、図3.1とは、少しちがった形になる。

3.2 トルク

圧延トルク、加速トルク、減速トルクを、重ね合わせた形になる。

3.3 出力

3.1、3.2節の、回転速度、トルクの関係から、求められる。すなわち、基底速度以下では

$$\text{出力} = \text{定格出力} \times \text{必要トルク} / \text{定格トルク}$$

の関係から、基底速度以上では

$$\text{出力} = \text{定格出力} \times \text{必要トルク} / \text{定格トルク} \times \text{基底速度} / \text{回転速度}$$

の関係から、求められる。

3.4 加減速率と、最大トルク

いちばん大きなトルクは、加速トルクと、圧延トルクが、重なったとき、すなわち t_2 の期間である。圧延電動機の最大トルクは、常用最大225%、非常最大275%(規格JEM 1157参照)であるが、加速率を、大きく採りすぎると、この値を、こえる場合がでてくる。逆に小さく採ると、圧延時間が、長くなってしまふ。この二つの関連から、適当な、加速率が、決められる。

この二つの関係を、調べてみる。

一つのパスの圧延時間($t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$)は、式(3.1)で表わせる。

$$T = \frac{1}{N_0} \left(\frac{L}{\pi D} + \frac{N_{in}^2 - N_0^2}{2N_a} + \frac{N_{out}^2 - N_0^2}{2N_d} \right) + N_0 \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right) \dots (3.1)$$

ただし

T : 圧延時間(sec)

L : 鋼材の長さ(mm)

D : ϕ -丸直径(mm)

N_0 : 圧延速度(rps)

N_{in} : かみ込み速度(rps)

N_{out} : 吐き出し速度(rps)

N_a : 加速率(rps/sec)

N_d : 減速率(rps/sec)

圧延時間の、加減速率のちがいによる差を、検討する、簡単のために、

$$N_{in} = N_{out}$$

$$N_a = N_d$$

とおくと、式 (3.1) は、

$$T = \frac{1}{N_0} \left(\frac{L}{\pi D} + \frac{N_{in}^2 - N_0^2}{N_a} \right) + \frac{2N_0}{N_a} \dots\dots\dots (3.2)$$

となる。したがって、加速率 N_{a1} と、 N_{a2} の場合の、圧延時間の差 ΔT は、

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_2 - T_1 \\ &= \left(\frac{1}{N_{a2}} - \frac{1}{N_{a1}} \right) \left(N_0 + \frac{N_{in}^2}{N_0} \right) \dots\dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

となる。

式 (3.3) の関係を、 $N_0=40$ rpm, $N_{a1}=40$ rpm/sec, $N_{in}=20$ rpm にした場合の、 N_{a2} と ΔT との関係、すなわち、加速率を、40 rpm/sec にした場合と、変えた場合との、圧延時間との差と、加速率との関係を、図 3.2 に示す。

一方、トルクについて、考えると

$$T_{acc} = GD^2 \times N / 375 \times t \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし

- T_{acc} : 加速トルク (t-m)
- GD^2 : $G D^2$ (t-m²)
- N : 回転速度 (rpm)
- t : 加速時間 (sec)

式 (3.4) において

$$\begin{aligned} N &= N_0 \\ t &= N_0 / N_a \end{aligned}$$

であるから、式 (3.4) は、

$$T_{acc} = GD^2 \times N_a / 375$$

となる。

$N_a=40$ rpm/sec の T_{acc} を、100%として、他の場合との比は、

$$T_{acc} \% = (N_a / 40) \times 100 \% \dots\dots\dots (3.5)$$

式 (3.5) の関係を、図 3.2 に、式 (3.3) と、同じ図上に示す。

図 3.2 から、加速率を、いたずらに上げて、トルクのみ、大きくなり、圧延時間としては、たいして減少できないことが、わかる。

加減速時間の値としては、次の値が、参考になる。アメリカの NEMA 規格⁽³⁾では、逆転時間の標準値として、表 3.1 のような値を、規定している。

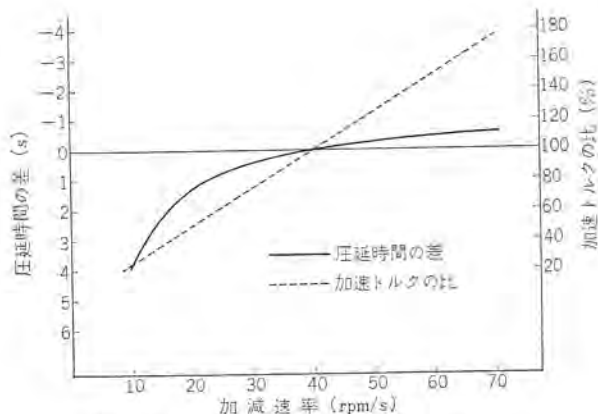


図 3.2 加減速率と、圧延時間、加速トルク

Fig. 3.2 Acceleration rate versus pass time, acceleration torque.

表 3.1 圧延用電動機の逆転時間

| 電動機回転速度 | 逆 転 時 間 |
|-----------|---------|
| 基底速度との比 % | 秒 |
| 100 | 1.5 |
| 150 | 2.5 |
| 200 | 4.0 |

ただし、出力 (kW) \times 基底速度 $\leq 186,000$
界磁制御範囲 2:1 以下の場合

| 電動機回転速度 | 逆 転 時 間 |
|-----------|---------|
| 基底速度との比 % | 秒 |
| 100 | 2 |
| 150 | 3 |
| 200 | 5 |
| 240 | 7 |
| 300 | 12 |

ただし、出力 (kW) \times 基底速度 (rpm) $> 186,000$
界磁制御範囲 2:1 をこえる場合

4. 圧延用直流電動機の負荷計算

3 章で、述べた各事項を、もとにして、圧延用直流電動機の電流の RMS (二乗平均) を求めた。

厳密に言えば、圧延用直流電動機の負荷を、検討するのに、電流の RMS だけで、判断するのは、必ずしも、正しくない。負荷を、電流の RMS で、判断するのは、電動機の温度上昇が、抵抗損によるという考えかたによっている。しかし、電動機では、抵抗損だけでなく、ほかに鉄損などがあるが、これを、無視したことになる。また、RMS が、100% 以下であっても、電動機各部の熱時定数の関係で、一時的に、規定の温度上昇を、こえることもありうる。

しかし、今問題にしている圧延用直流電動機のように、低回転速度の電動機では、損失の大部分は、抵抗損で、しめられていることや、一つの鋼材を、圧延し終わるのに要する時間は、たかだか 3 分程度であり、電動機の熱時定数に、比べれば小さいことなどから、圧延用直流電動機の負荷をみるのに、電流の RMS で、判断して、大きな誤差はないものと、考えられる。

各パス時間 ($t_L = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$) は、鋼材の長さ、加減速率、かみ込み、吐き出しの速度および停止時間から計算される。

鋼材の長さは、鋼材の比重に変化がないものと仮定して、入力データとして与えられた鋼材の幅および高さから、計算される。

t_1 および t_6 は、加減速率と、かみ込みおよび吐き出し速度から、 t_2 および t_4 は、圧延速度と、かみ込みおよび吐き出し速度から計算される。 t_3 は、鋼材の長さから、 t_2 および t_4 の期間に圧延された長さを、さし引いた長さと、圧延速度から、計算される。また t_0 は、入力データとして、与えられる。

一方、電流は、基底速度以下では、トルクに比例し、基底速度以上では、出力に比例する。(回転速度、電圧、電流による電動機の効率の変化は、無視した。)

$t_1 \sim t_6$ と、それに対応する電流値より、RMS は、計算される。全パスでの RMS とともに、各パスでの RMS を、求めている。

5. イルグナ装置の回転速度の変化

イルグナ装置は、図 5.1 のように、構成されている。直流電動機の負荷の急激な変化に対して、ハズミ車の効果により、交流値では、負荷は平滑化され、比較的変動を、少なくすることができる。

また、負荷の一部を、ハズミ車が、分担するから、直流発電機に対して、少し誘導電動機の容量を、小さくできる。しかし厚板圧延のように、鋼材が長い場合には、ハズミ車の効果が、多少減少するので、誘導電動機の効果は、それほど小さくできない。

誘導電動機容量/直流電動機容量⁽⁴⁾で、この関係を、表わして、分塊圧延では 0.81 程度、厚板圧延では、0.90 程度、条鋼圧延では 1.00 程度が、採られている。

図 5.1 において、回転速度と、時間の関係は、式(5.1)で表わされる。

$$T_{IM} - T_{LOAD} = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dN}{dt} \quad (5.1)$$

ただし

T_{IM} : 誘導電動機のトルク(t-m)

T_{LOAD} : 負荷トルク(t-m)

GD^2 : 系の GD^2 (t-m²)

N : 回転速度(rpm)

t : 時間(sec)

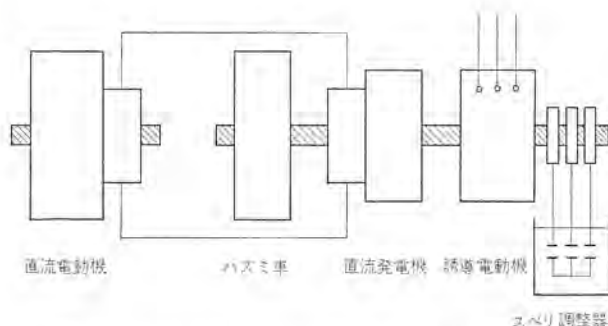
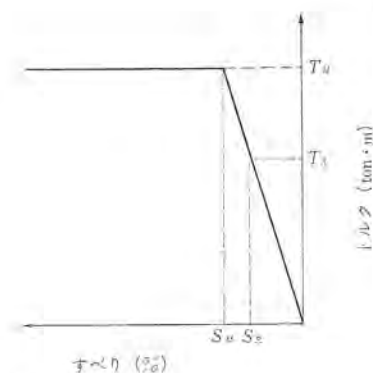


図 5.1 イルグナ方式 Fig. 5.1 Ilgner system.



S_R : 定格スベリ(%)
 T_R : 定格トルク(ton-m)
 S_M : スベリ調整器の動作し始めるスベリ(%)
 T_M : スベリ調整器が動作し始めるトルク(ton-m)

図 5.2 誘導電動機のスベリ、トルクの関係

Fig. 5.2 Slip versus torque of induction motor.

T_{LOAD} は、直流発電機の、入力トルク・ハズミ車の風損トルク・軸受の損失トルクなどから、なりたっている。

3.4 節で、述べた方法で、時間に対する直流発電機の出力は、求められている。

$$kW = kW_{DCG} + kW_{LOSS}$$

ただし

kW : 負荷(kW)

kW_{DCG} : 直流発電機の出力(kW)

kW_{LOSS} : 損失(kW)

と置く、

$$T_{LOAD} = kW \times 0.974 / N \quad (5.2)$$

また

$$N = N_0 \times (100 - S) / 100$$

したがって

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N_0}{100} \times \frac{dS}{dt} \quad (5.3)$$

ただし

N_0 : 誘導電動機の周期回転速度(rpm)

S : 誘導電動機のスベリ(%)

次に、スベリ調整器の特性を仮定して、誘導電動機のスベリ、トルクとの関係を図 5.2 のように、仮定する。

すなわち

$S \leq S_M$ の場合

$$T_{IM} = T_R \times S / S_R \quad (5.4)$$

$S > S_M$ の場合

$$T_{IM} = T_R \times S_M / S_R \quad (5.5)$$

で表わされる。

式(5.1)に、式(5.2)、(5.3)、(5.4)、(5.5)を代入して、整理すると

$S \leq S_M$ の場合

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{37500}{GD^2} \left\{ \frac{T_R}{S_R} \times S - \frac{kW \times 97.4}{N_0(100 - S)} \right\} \quad (5.6)$$

$S > S_M$ の場合

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{37500}{GD^2} \left\{ \frac{T_R}{S_R} \times S_M - \frac{kW \times 97.4}{N_0(100 - S)} \right\} \quad (5.7)$$

が、得られる。この式(5.6)、(5.7)を、解けば、時間に対するスベリの変化が、得られる。

式(5.6)、(5.7)を、直接解くのは、困難なので、計算機の特長を利用して、数値解法で、計算する。

すなわち、 $f(0)$ および $f'(x)$ が、与えられて、 $f(x)$ を、求めることである。

$$f\{(n+1)\Delta x\} = f(n\Delta x) + [f'(n\Delta x) + f'(n\Delta x)]\Delta x/2$$

が、 Δx が、ごく小さい範囲で、成立する。

したがって、与えられた条件を入れて

$$f(\Delta x) = f(0) + [f'(\Delta x) + f'(0)] \times \Delta x/2$$

となり、 $f(\Delta x)$ を、求めることができる。ついで

$$f(2\Delta x) = f(\Delta x) + \dots$$

$$f(3\Delta x) = f(2\Delta x) + \dots$$

$$\dots \dots \dots$$

$$f(n\Delta x) = f\{(n-1)\Delta x\} + \dots$$

を、順次、数値として、求めることが、できる。

しかし、式(5.6)、(5.7)を、解くだけでは、問題が、残った。すなわち、誘導電動機のトルクを、式(5.4)、(5.5)のように仮定したが、これは、スベリ調整器などの制御系の時間遅れを、ゼロとした式であるために、スベリと時間の関係の、実測値とは、差が生じた。この点についての修正が、必要であるので、便法であるが、修正を加えて、計算を行なった。

イルグナ方式の変形として、イルグナ方式に、静止セルピウス方式(三菱電機形名レクチフ)を併用した方式のものがあるので、この方式についても、計算できるようにしてある。

レクチフは、図5.1において、スベリ調整器の代わりに、整流器を置き、得られた直流電力を、誘導電動機に機械的に結合された直流電動機に、供給し、軸出力として、誘導電動機の二次電力を、回収する方式である。したがって、式(5.5)、(5.6)を、この直流電動機の出力トルクを、加えた形に、修正して、解けばよい。

この場合には、この直流電動機の電流のRMSおよび回収された電力(kW-h)も、計算されている。

見積用として、利用する場合には、回転速度の降下の最大値を入力データとして与え、誘導電動機の容量を求めることもできる。

6. 計算結果

計算結果—出力データの一例を、図6.1、6.2に示す。図6.1には、おもに圧延関係の諸値を、図6.2には、おもに電気関係の諸値を、打ち出している。すなわち、次の諸値である。

- (a) 鋼材の寸法(幅×高さ×長さ)
- (b) 圧下量、圧下の割合
- (c) 断面積、断面積の変化量、変化の割合
- (e) 延び率
- (f) 圧延馬力、圧延トルク

以上図6.1参照

(g) 圧延用直流電動機の諸値

- a') 出力、b') 回転速度、c') GD^2 、d') 加速率、減速率、
- e') 加速トルク、減速トルク

(i) イルグナ装置の GD^2

(j) 鋼材のかみ込み、吐き出しの速度

(k) 時間、 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$

(l) $t_1 \sim t_6$ に、対応する直流電動機の諸値

- a') 回転速度、b') トルク、c') 出力、d') 電流

(m) $t_1 \sim t_6$ に対応する誘導電動機の諸値

- a') スベリ、b') トルク、c') 出力

(n) あるパスでの

- a') $t_1 + t_2 + \dots + t_6$ 、b') 直流電動機の出力のRMS、電流のRMS、c') 誘導電動機の出力のRMS

(o) 全パスでの

- a') 時間、b') 直流電動機の電流のRMS、c') 誘導電動機の出力のRMS

以上図6.2参照

イルグナ装置の、スベリと時間の関係の、実測値と、計算値の比較の一例を、図6.3に示す。これは、厚板圧延の場合の例である。比較的良好に、合っているが、条件に少し不明な点があり、仮定した値を入れたこともあるが、まだ、十分であるとは言えない。今後も、検討を加えてゆく必要は、残っている。

7. む す び

以上、圧延用直流電動機の負荷、およびイルグナ装置の回転速度の変化の電子計算機による計算について述べた。

現在の時点では、一応満足すべき結果の得られるプログラムになっている。

なお、より深い解析を行なって、より正確な方向へ、進むとともに、自動的に、圧延スケジュールを、組むことを考えたい。

| SLABBLING, BLOOMING MILL | | | | | ROLLING PASS SCHEDULE | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-----------|-------|-----------------------|--------|-------|------------|---------|-------|---------------|------|-------|--------|---------|---------|
| 6PS, 50S-6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INGOT DIMENSIONS | | 780. X | 1510. X | 2060. | NO. OF PASS | | 15 | MOTOR DATA | | 1 | ROLLING PITCH | | 2.5 | | | |
| 1. DIMENSION, REDUCTION, ROLLING SPEED AND SO ON IN EACH PASS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PASS | THICK | WIDTH | REDUCTION | | A | R | E | A | LENGTH | ELONG | ROLL | ROLL | ROLL | REV/ | ROLLING | ROLLING |
| | MM | MM | MM | PER | SECTION | DIFFER | RATIO | | | ATION | DIA | RPM | SPEED | PASS | HORSE | TORQUE |
| | | | | CENT | CM**2 | CM**2 | | | MM | | MM | | M/SEC | | POWER | TN |
| | 780.0 | 1510.0 | | | 11778.00 | | | | 2060.00 | | | | | | | |
| 1 | 730.0 | 1482.0 | 50.0 | 6.41 | 10818.60 | 959.40 | 0.919 | 2242.68 | 1.09 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.62 | 18570. | 337.05 | |
| 2 | 680.0 | 1489.0 | 50.0 | 6.85 | 10125.20 | 693.40 | 0.936 | 2396.27 | 1.16 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.66 | 18100. | 328.51 | |
| 3 | 630.0 | 1462.0 | 50.0 | 7.35 | 9210.60 | 914.60 | 0.910 | 2634.21 | 1.28 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.73 | 20000. | 363.00 | |
| 4 | 582.0 | 1469.0 | 48.0 | 7.62 | 8549.58 | 661.02 | 0.928 | 2837.88 | 1.38 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.79 | 19550. | 354.83 | |
| 5 | 536.0 | 1439.0 | 46.0 | 7.90 | 7713.04 | 836.54 | 0.902 | 3145.67 | 1.53 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.87 | 20250. | 367.54 | |
| 6 | 492.0 | 1445.0 | 44.0 | 8.21 | 7109.40 | 603.64 | 0.922 | 3412.76 | 1.66 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 0.95 | 19820. | 359.73 | |
| 7 | 449.0 | 1412.0 | 43.0 | 8.74 | 6339.88 | 769.52 | 0.892 | 3826.99 | 1.86 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 1.06 | 20620. | 374.25 | |
| 8 | 408.0 | 1418.0 | 41.0 | 9.13 | 5785.44 | 554.44 | 0.913 | 4193.75 | 2.04 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 1.16 | 20200. | 366.63 | |
| 9 | 367.0 | 1380.0 | 41.0 | 10.05 | 5064.60 | 720.84 | 0.875 | 4790.64 | 2.33 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 1.33 | 20400. | 370.26 | |
| 10 | 328.0 | 1388.0 | 39.0 | 10.63 | 4552.64 | 511.96 | 0.899 | 5329.36 | 2.59 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 1.48 | 20500. | 372.07 | |
| 11 | 288.0 | 1295.0 | 40.0 | 12.20 | 3729.60 | 823.04 | 0.819 | 6505.44 | 3.16 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 1.80 | 21600. | 392.04 | |
| 12 | 250.0 | 1302.0 | 38.0 | 13.19 | 3255.00 | 474.60 | 0.873 | 7453.97 | 3.62 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 2.06 | 21400. | 388.41 | |
| 13 | 220.0 | 1250.0 | 30.0 | 12.00 | 2750.00 | 505.00 | 0.845 | 8822.79 | 4.28 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 2.44 | 18100. | 328.51 | |
| 14 | 200.0 | 1254.0 | 20.0 | 9.09 | 2508.00 | 242.00 | 0.912 | 9674.11 | 4.70 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 2.68 | 12700. | 230.50 | |
| 15 | 190.0 | 1250.0 | 10.0 | 5.00 | 2375.00 | 133.00 | 0.947 | 10215.87 | 4.96 | 1150. | 40.0 | 2.41 | 2.83 | 6800. | 123.42 | |

図6.1 計算結果(出力データの一例)

Fig. 6.1 An example of out put data.

| 2. MILL MOTOR AND INDUCTION MOTOR DATA | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-------------|----------|--------------------|------------------|--------------|------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|---------|
| MILL MOTOR | 10000 HP | 40. / | 80. RPM | MOTOR GD**2 = | 600.0 TM**2 | ROLL GD**2 = | 150.0 TM**2 | | | | |
| RATE OF ACCEL. = | | | | 40.00 RPM/SEC | RATE OF DECEL. = | | 80.00 RPM/SEC | FRICTION TORQUE = 0. TM | | | |
| ACCEL. TORQUE = | | | | 80.00 TM | DECEL. TORQUE = | | 160.00 TM | MOTOR TORQUE = 181.50 TM | | | |
| INDUCTION MOTOR | 10000. HP | SYN. SPEED | 514. RPM | | | | | | | | |
| RATED SPEED 499. RPM AT | | | | 3.00 PER CENT SLIP | RATED TORQUE | 14.56 TM | GD2MG | 700.0 TM**2 | | | |
| ALLOWABLE MAX.SLIP = , 60.00 PER CENT | | | | | | | | | | | |
| SLIP AT MAX.TORQUE = 3.60 PER CENT | | | | | | | | | | | |
| ENTRANCE SPEED FACTOR = 0.50 | | | | | | | | | | | |
| 3. REQUIRED TORQUE AND HORSE POWER IN EACH PASS CYCLE | | | | | | | | | | | |
| PASS NO. | REV/ PASS | ROLL RPM | REV MADE | TIME SEC | REQRD TORQUE TM | HORSE POWER | MOTOR CURRENT PER CENT | INDUCTION SLIP PER CENT | MOTOR TORQUE TM | DATA OUTPUT HP | |
| 1 | 0.62 | ACCEL | 0.0 | | 80.00 | 0.0 | | | | | |
| | | ENTRY | 20.0 | | 0.50 | 417.05 | 2203.2 | 44.1 | 0.10 | 0.49 | 343.1 |
| | | ROLL | 40.0 | 0.25 | 0.50 | 337.05 | 11485.4 | 229.8 | 1.31 | 6.37 | 4449.6 |
| | | LEAVE | 40.0 | 0.25 | 0.37 | 177.05 | 22970.9 | 185.7 | 2.10 | 10.18 | 7055.4 |
| | | DECEL | 20.0 | 0.13 | 0.25 | -160.00 | 18564.5 | 97.5 | 2.13 | 10.34 | 7167.2 |
| | | STOP | 0.0 | | 0.25 | | 9751.7 | -88.2 | 1.81 | 8.78 | 6102.4 |
| | | TOTAL TIME= | | 2.50 | | | 4875.8 | 0.0 | 0.58 | 2.81 | 1979.6 |
| | | | | 4.37 | RMS = | 8250.4 | -4406.4 | 100.8 | | | 4166.3 |
| | | | | | | | 0.0 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 14 | 2.68 | ACCEL | 0.0 | | 80.00 | 0.0 | | | | | |
| | | ENTRY | 20.0 | | 0.50 | 310.50 | 2203.2 | 44.1 | 2.50 | 12.15 | 8386.8 |
| | | ROLL | 40.0 | 0.25 | 0.50 | 230.50 | 8551.3 | 171.1 | 2.89 | 14.01 | 9633.1 |
| | | LEAVE | 40.0 | 2.30 | 3.46 | 70.50 | 17102.6 | 127.0 | 3.94 | 19.11 | 13000.1 |
| | | DECEL | 20.0 | 0.13 | 0.25 | -160.00 | 12696.2 | 38.8 | 3.63 | 16.11 | 10990.6 |
| | | STOP | 0.0 | | 0.25 | | 3883.4 | -88.2 | 3.13 | 15.07 | 10338.6 |
| | | TOTAL TIME= | | 1.50 | | | 1941.7 | 0.0 | 1.52 | 7.37 | 5136.8 |
| | | | | 6.46 | RMS = | 10011.1 | -4406.4 | 106.8 | | | 10520.5 |
| | | | | | | | 0.0 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 15 | 2.83 | ACCEL | 0.0 | | 80.00 | 0.0 | | | | | |
| | | ENTRY | 20.0 | | 0.50 | 203.42 | 2203.2 | 44.1 | 1.28 | 5.21 | 4342.0 |
| | | ROLL | 40.0 | 0.25 | 0.50 | 123.42 | 5602.2 | 112.1 | 1.61 | 7.82 | 5446.9 |
| | | LEAVE | 40.0 | 2.45 | 3.68 | -36.58 | 11204.4 | 68.0 | 2.14 | 10.37 | 7185.2 |
| | | DECEL | 20.0 | 0.13 | 0.25 | -160.00 | 6798.0 | -20.2 | 1.84 | 8.92 | 6199.5 |
| | | STOP | 0.0 | | 0.25 | | 6798.0 | -88.2 | 1.55 | 7.52 | 5244.9 |
| | | TOTAL TIME= | | 2.50 | | | -2014.8 | 0.0 | 0.51 | 2.46 | 1730.6 |
| | | | | 7.68 | RMS = | 5225.6 | -1007.4 | 58.5 | | | 5452.3 |
| | | | | | | | -4406.4 | | | | |
| | | | | | | | 0.0 | | | | |
| TOTAL ROLLING TIME THROUGHOUT ALL PASSES | | | | | | | 76.75 SEC | | | | |
| TOTAL RMS OF D.C.MOTOR CURRENT | | | | | | | 127.0PERCENT | | | | |
| DUMMY TIME FOR RMS=100PERCENT | | | | | | | 47.1SEC | | | | |

図 6.2 計算結果 (出力データの一例)

Fig. 6.2 An example of out put data.

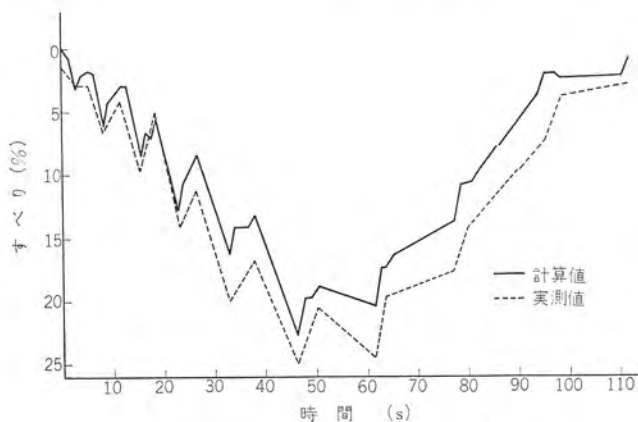


図 6.3 イルグナ装置の時間とスベリの関係 (実測値, 計算値の比較)

Fig. 6.3 Time versus slip of ilgner system, data obtained by test and calculated data.

参考文献

- (1) R. E. Marrs, P. E. Perron : Iron and Steel Engineer, p. 105, April 1963.
- (2) A. J. Winchester : Iron and Steel Engineer, p 92 July (1961)
- (3) NEMA 規格 : MG-1, PART 23
- (4) 電気学会技術報告 : 第 44 号, p. 5



技術講座

SCRインバータとその応用(その5)

— 電動機制御への応用 —

大野 栄一*・赤松 昌彦*

1. ま え が き

この講座も自励式インバータを中心としてその原理から応用へと稿を重ねてきたが、今回は最終回として、サイリスタ応用の中でも最重で興味の多い電動機制御関係への応用について述べよう。

サイリスタの出現は電動機制御の分野にも多大の革新をもたらした。とくに、従来高級な速度制御、加速度制御あるいはトルク制御などは直流電動機に限られていたが、サイリスタインバータのめざましい発展により、可変周波数駆動や無整流子電動機など交流電動機の応用分野が大きく開かれつつある。

また直流電動機制御に関しても、従来の回転機電源によるワードレオナードや水銀整流器による静止レオナードが、いまやサイリスタに全面的に置きかえられようとしており、そのほかにもインバータと同様な技術を使ったDCチョッパが、電車や蓄電池車など直流を電源とする場合の新しい技術として注目されている。

また直接インバータとは離れるが、交流の位相制御による電圧制御を行なうリアクトル制御に代わるものや、巻線形誘導電動機の2次励磁制御など多くの応用面があり、それぞれ適した分野に発展しつつある。

2. サイリスタによる電力の変換と制御

サイリスタはすでによく知られているように、きわめてすぐれた電力の変換素子である。電力変換における主要因は入力と出力がそれぞれ直流か、または交流かということで、それらの組み合わせによって表2.1に示すように5形態が存在する。これらはまた、出力である電動機に対しては制御装置と考えることができる。

(1) DCチョッパ……サイリスタを理想的な電力スイッチとして用い、高い周波数でオンオフさせてそのパルス幅の比を変え、一定電圧の直流から可変電圧の出力を得るものである。

技術的にはインバータの転流と同一部類に属するが、用途は直流機の制御のほかに、一般の直流安定化電源である。

(2) インバータ……この講座の主題で今さら説明の必要はないが、交流電動機制御用としては可変速度用の可変周波数インバータと、超高速用の高周波インバータが重要である。

表 2.1 サイリスタによる電力変換制御の基本方式

| 入力(電源) 出力(電動機) | 直 流 | 交 流 |
|-------------------|-------------------------|---------------------|
| 直 流 | DC チョッパ (DC-DCコンバータ) | 位相制御整流 (静止レオナード) |
| 交 流 | インバータ | 交流位相制御 サイクロコンバータ |

(3) 位相制御整流……最もよく知られたサイリスタによる整流で、直流電動機の電機子制御に用いたとき、サイリスタ静止レオナードと呼ばれる。点弧位相を 90° 以上にして交流電源へ電力回生を行なうインバータとして動作することもできる。

(4) 交流位相制御……サイリスタを逆並列接続したもの、または対称形サイリスタにより、交流電源を点弧位相により電圧制御するもので、誘導電動機のリアクトル制御に代わって、1次側、2次側の交流回路の制御に用いられる。

(5) サイクロコンバータ……一定周波数の交流電源から、ほかの定周波数または可変周波数の交流を得るもので、整流器とインバータの働きを結合したものである。後述するようにインバータと同様、交流電動機の新しい制御法として期待される。

以下、これらのサイリスタ電力変換装置のうち、インバータとチョッパを中心に電動機制御への応用について各方式を説明していこう。

3. 交流電動機の変周波数駆動

3.1 方式

誘導電動機や同期電動機は、本質的に電源周波数と極数で決まる同期速度を中心に回転するものであるから、この電源周波数によって速度制御を行なうのは、最も理想的な制御法といえることができる。従来こうした用途に適した、安定で信頼度の高い可変周波数電源を得ることが困難なために広く普及しなかったのであるが、サイリスタインバータによって手軽に高い性能をもつ電源が得られるようになったため、多大の関心が寄せられているものである^{(4)~(10)}。

可変周波数駆動といっても表3.1に示すように、変換器としてインバータを使用するかサイクロコンバータによるか、また電動機は誘導機か同期機か、さらに制御法が他制か自制かによって六つのものが考えられる。ここで他制とはインバータまたはサイクロコンバータの出力周波数を電動機の回転とは関係なく、外部の発振器などの

表 3.1 交流電動機の変周波数駆動

| 区 分 | 変 換 器 | 電動機 | 制御法 | 備 考 |
|---------|-----------|-----|-----|---------------------------|
| 可変周波数駆動 | インバータ | IM | 他制 | 一般用・とくに多数電動機の调速制御 |
| | サイクロコンバータ | IM | ・ | 低速用、起動、Jog用 |
| | インバータ | SM | ・ | 脱調、乱調に問題あり 高精度用 |
| | サイクロコンバータ | SM | ・ | 脱調、乱調に問題あり 実用性小 |
| 無整流子電動機 | インバータ | SM | 自制 | 一般用、可逆運転用 (直流無整流子電動機) |
| | サイクロコンバータ | SM | ・ | 一般用、低速大容量用 (交流無整流子電動機) |

信号により制御するものをいい、自制とはこれに対して電動機の回転を検出し、それに応じてインバータまたはサイクロコンバータの出力周波数を制御する方式をいう。

同期電動機を対象とする場合、他制式は速度帰還なしで完全な同期運転が確保できる利点があるが、脱調や乱調の問題を生じやすく、一般的に用いるのは無理が多いので、上述の自制式としてこの問題を解決している。この無整流子電動機については4章で改めて説明する。

したがって可変周波数駆動で最も重要なものは、誘導電動機を可変周波数インバータで駆動するもので、とくにせんい工業における場合のような多数の電動機の揃速制御には最も適した方法であり、実際にもすでにかなり普及しはじめている。

インバータに代わって直接交流電源からの変換ができるサイクロコンバータも用いられるが、誘導電動機を対象とするものでは、同期速度の $\frac{1}{3}$ 程度までの低速用に限られる。

これら可変周波数電源は周波数とともに、電動機の磁気飽和をさけるため、ほぼそれに比例して出力電圧も変化させることが必要となる。以下具体的な方式について説明する。

3.2 可変直流電圧可変周波数インバータ方式

可変周波数駆動方式においては周波数とともに出力電圧をも変えなければならないことは前に述べたが、この一つの方法として

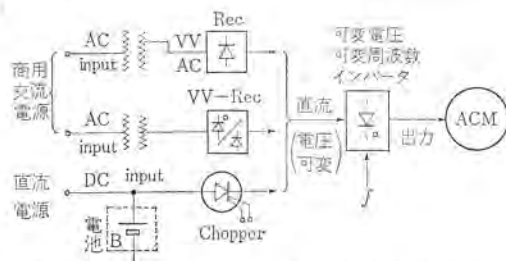


図 3.1 可変直流電圧式可変周波数駆動方式

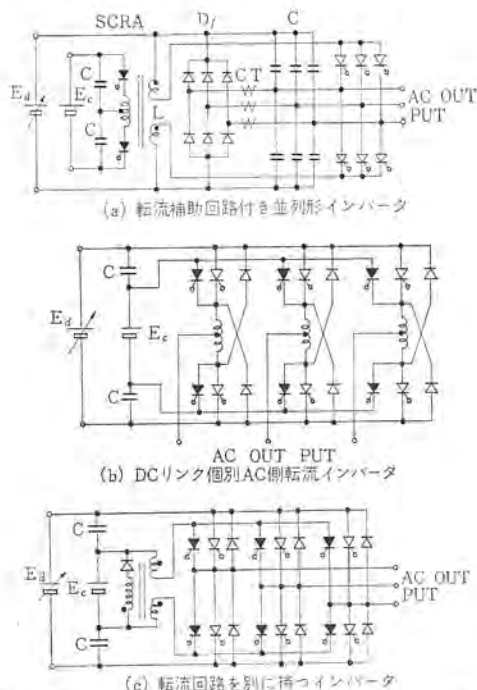


図 3.2 電動機駆動用三相SCRインバータ（DC電圧可変）

直流電源電圧を可変とする方法があり、この場合の構成を図3.1に示している。

この方式において、電圧変化範囲の狭い場合は、通常の方波インバータでよいが、周波数および電圧の変化範囲が広いと、低周波低電圧時の転流能力低下をなくす手段を持つ。図3.2のようなインバータを使用しなければならない。

この一つの手段として、並列形方波インバータに転流補助回路を付加した筆者等の転流方式（図3.2(a)）は⁽⁶⁾、比周波数 $f \cdot t_{OFF}$ （回路ターンオフタイム(sec)と動作周波数(1/sec)との積）が $3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$ 以下の比較的的低周波数に適しよう。

またBradley氏等のDC Link方式⁽⁷⁾のうち、補助サイリスタの共用されたDC側転流方式は、転流リアクトル蓄積エネルギーの帰還と、この帰還のためゲート休止期間（無出力期間）とによる制約のため、やはり比較的的低周波数に適しよう。他方同じく個別AC側転流方式（図3.2(b)）は上記に比べ補助SCR数が多くなるが、転流損失がきわめて少なく、高周波高効率用に適すると言える。

また、宮入氏等による転流回路を別に持つ方式（図3.2(c)）は、きわめて転流損失が小さく、高周波で非常に高い効率となること報告され、これによると比周波数が $2 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-2}$ で約90%の効率が得られている⁽⁸⁾。したがって、この転流方式における低い逆バイアス電圧となるために生ずる素子ターンオフタイムの遅延と、きわめて高い dV_F/dt の再印加電圧になるために生ずる、素子の V_{BO} の低下という二つの問題点が、大容量素子に対しても解決されると思われる将来に期待される。

3.3 PWM多重可変周波数インバータ方式

PWMインバータによる出力電圧制御と高調波の除去および大容量化については（その4・40巻6号）に詳しく述べたが、この出力電圧制御法を可変周波数インバータに適用すれば、直流電源電圧一定のまま、波形の良好な可変電圧可変周波数インバータ装置が得られる⁽¹⁰⁾。この構成例を図3.3に示している。

この方式は、主回路および制御回路が複雑となるが、整流装置が簡単化される点と、大容量化に必要な並列接続または並列運転

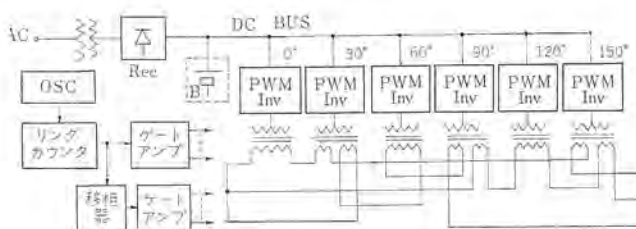


図 3.3 PWM多重式可変周波数駆動用インバータ

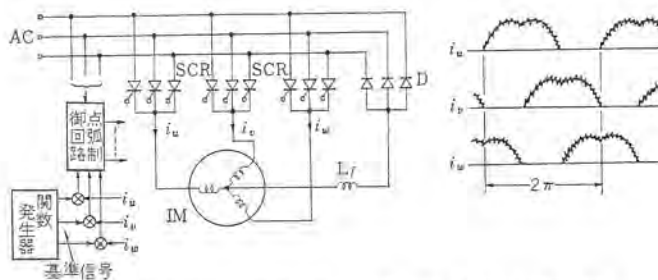


図 3.4 サイクロコンバータによる誘導電動機の低周波運転制御

または多重化の点とを考慮すれば、大容量可変周波数電源装置としてきわめて有利な方式である。この方式により単機数百 kVA のものがすでに製作されており、並列運転を考慮すれば千 kVA 以上のものも容易に実現できる。

3.4 サイクロコンバータによる可変周波数駆動

インバータ方式では自動転流であるため、過電流に対する限界が自動転流能力に制約されるが、サイクロコンバータを電源他励転流を主とする低周波出力整流領域で動作させれば、きわめて安定な転流が得られる。この一例を図 3.4 に示している。この例では電動機を半波形で動作させているが、各相ともにクロスコンネクションコンバータを用いた例などが試みられている⁽⁸⁾。

これらの用途は、通常商用周波数電源で直接駆動し、微速運転時に切り換えて用いられる。また、この方式に合わせて極数を選んでは、定周波数の大容量機にも適すると思われる。

3.5 電動機特性

可変周波数駆動時の誘導電動機特性は、周波数に対する電圧の関係を適当に調整することによって広い範囲で良好なもの得られる。

最も理想的なものは、誘導機の 2 次電圧が常に周波数に比例するように 1 次の端子電圧を調整した場合に得られ、そのときのトルク-速度曲線は図 3.5(a) のように同じ形のまま水平に移動したのとなり、スベリに対応した 2 次周波数に関しては完全に同一の特性が得られる。

しかし実際の場合には、2 次電圧を正確に周波数に比例した値に保つことは複雑な制御系を必要とするので、実用的な方法としては 1 次電圧 E_1 を周波数 F に対して

$$E_1 = k \cdot F + E_{10} \dots \dots \dots (3.1)$$

によって決めればよい。(k は比例定数)⁽⁶⁾

E_{10} は 1 次のインピーダンス降下分を補償するもので、通常定格電圧の 5~10 % 程度となる。このような電圧制御による特性の例を図 3.5(b) に示した。

次にインバータ駆動の際、問題とされる波形の影響であるが、三相インバータであれば 3 の倍数の高調波は消えるのでさほど大きな影響はなく、われわれの実験でも正弦波駆動時に比べて 4~5 % 程度の効率低下を生ずるのみであった。またさらに少ない効率低下になるという計算結果も報告されている。

振動トルクについては第 5、第 7 調波により $6f$ の成分が生ずる可能性があり、とくに精密を要する場合には注意しなくてはならないであろう。

サイクロコンバータの場合には、さらに交流電源の脈動分が加わるので影響は大きくなる。

電動機としては誘導電動機のほかに同期電動機も用いられる。

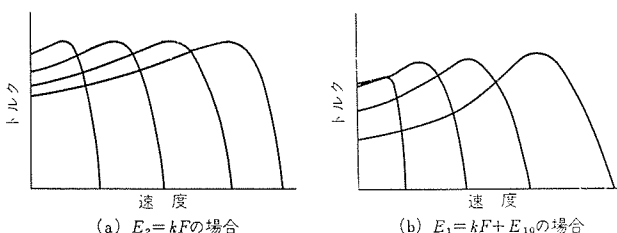


図 3.5 可変周波数駆動時の誘導電動機特性

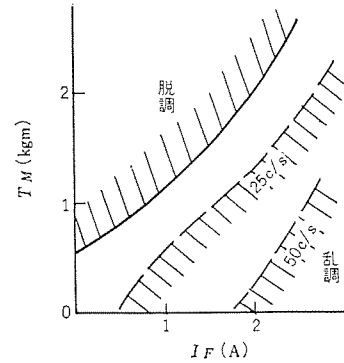


図 3.6 同期機の安定動作範囲

この場合には常時スベリがゼロで速度偏差のない運転が得られるので、とくに高精度の同期回転源として有効である。ただ同期機特性として、低い周波数において不安定となり、乱調を生じやすくなるので注意しなくてはならない。また急速な速度変更やトルク変化を行なうと加速トルクが過大となって脱調する。この脱調トルクは、界磁を強めれば大きくなるが、逆に乱調を生じやすくなり、結局図 3.6 に一例を示すような範囲に使用域が限定される。⁽¹¹⁾

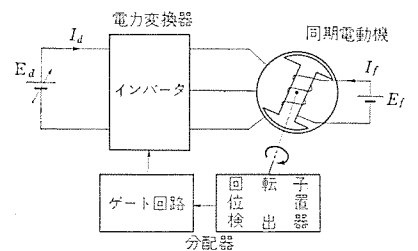
したがって、実用的には非同期トルクをも持ったリラクタンس電動機や、ヒステリシス電動機が便利となり、大容量機の場合には次に述べる無整流子電動機として、乱調を押えた使用法を考える必要がある。

このほか、高周波インバータと誘導機を用いた超高速電動機も増速歯車なしの直結駆動用として、また電動機の小形軽量化として注目されており、サイリスタインバータの用途は広い。

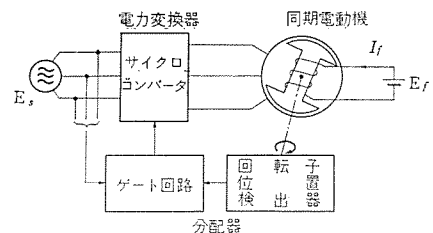
4. 無整流子電動機

4.1 方式

インバータやサイクロコンバータを用いて同期電動機を駆動した場合、誘導機に比べて脱調や乱調現象が存在するために使用上かなり制約を受ける。これは同期機の負荷角が自由に変化するために生ずるので、これを固定すれば解決する。これを実現したのが図 4.1



(a) 直流無整流子電動機 (インバータ式)



(b) 交流無整流子電動機 (サイクロコンバータ式)

図 4.1 無整流子電動機の構成

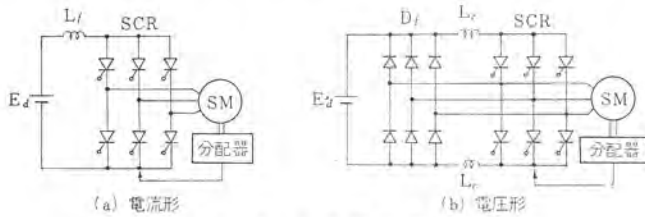


図 4.2 インバータ式無整流子電動機

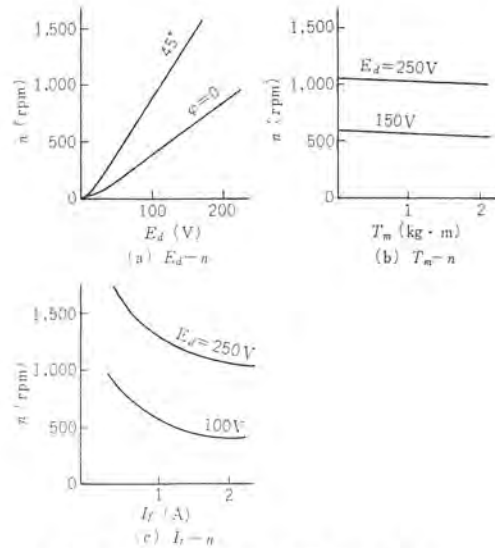


図 4.4 直流無整流子電動機の特性

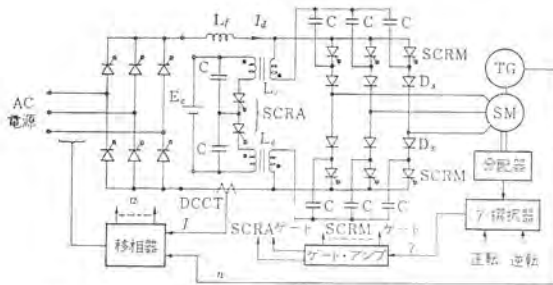


図 4.3 転流補助回路付き電流方形波 インバータ式無整流子電動機の構成

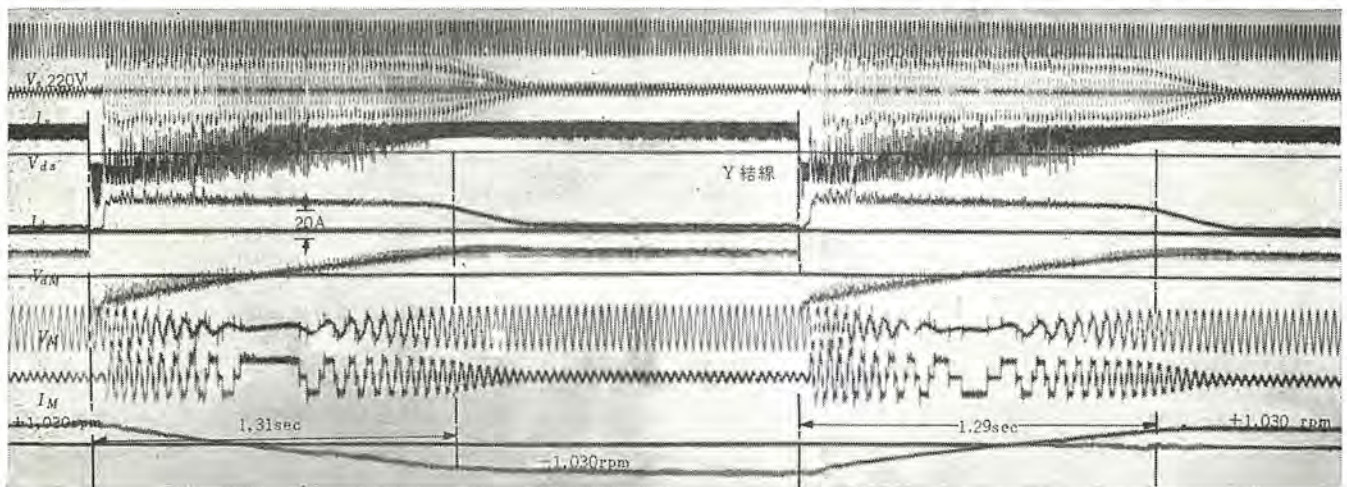


図 4.5 直流無整流子電動機逆転時のオシログラム

に示したように、回転子に分配器を直結し、これによってサイリスタを選択的に導通制御するいわゆる自製式の無整流子電動機である。

これには、電力変換部にインバータを用いるか、サイクロコンバータを用いるかによって直流無整流子電動機と交流無整流子電動機がある。

このような無整流子電動機は古くから Alexanderson らによって、サイクロコンバータを変換装置としたものが開発され⁽¹²⁾、理論的にも Stöhr らによってかなり詳細に論じられている⁽¹³⁾。その後あまり実用化が進まなかったが、サイリスタの出現後再検討され、用途によっては直流機に代わるすぐれた方式と言える。^{(14)~(20)}

無整流子電動機では、電機子の逆起電力による他励転流が可能であるため、インバータの転流回路を省くこともできるが、起動時や低速時の転流能力を確保し、電動機の性能を向上するためには自動転流能力をもつことが望ましい。

またインバータを電圧形とするか、電流形とするかも問題点であるが、筆者らは電流形とすることにより制御特性、効率等がきわめて良好であるとともに、回生、逆転も容易で、直流機の静止レ

オードと同等のものが得られる見通しを得た。⁽¹⁵⁾(図 4.2)

この考え方をサイクロコンバータにも適用して同期速度以上まで特性の良好な方式を得ることもできる。⁽²⁰⁾

4.2 インバータ式無整流子電動機

インバータ式無整流子電動機を実際に従来の直流機と同じように低速や可逆運転が自由にできるようにするためには、低速時の転流能力を十分に与えることが必要になる。これに対して図 3.2 (a) に示したような転流補助回路がきわめて有効な働きをする。

また上に述べたように、無整流子電動機用のインバータとしては電流方形波形式とすることが好ましいことが知られている。図 4.3 はこれらの点を考慮した回路の実施例である。図の左端のサイリスタ整流器は、ゲート位相 α を制御して電動機電流を制御するとともに、 α を 90° 以上にして他励インバータとして動作させ、回生も行なう。

図 4.4 は直流無整流子電動機としての静特性の例で、良好な分巻電動機特性を示す。また図 4.5 は分配器の位相を切り換えて逆転を行なったときの過渡現象のオシログラムである。⁽¹⁷⁾

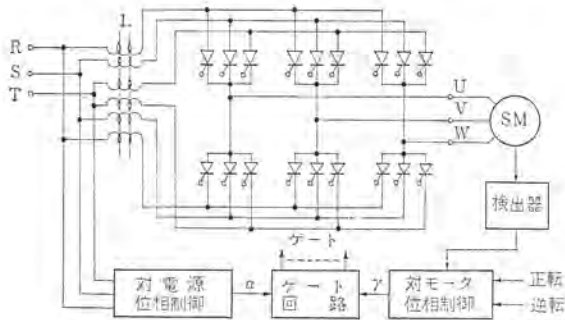


図 4.6 サイクロコンバータ式交流無整流子電動機

4.3 サイクロコンバータ式無整流子電動機

インバータ式では、AC を電源とするとき一度直流に変換してから、ふたたび AC に変換したのに対し、AC-AC 直接変換器としてのサイクロコンバータを用いて、同様の分配器による自制制御を行なえば、図 4.1(b) の交流無整流子電動機が得られる。(19),(20)

具体例として三相電源全波方式の一例を図 4.6 に示す。図において、従来の全波サイクロコンバータと異なる点は、交流側リアクトルをすべて結合したことである。これにより電流が平滑にされて電動機電流波形が一段と改善されるとともに、電動機逆起電力による他励転流（負荷転流）が円滑に行なわれ、対電源側同期速度に制限されないで、高速度まで安定な運転ができることが確かめられた。また、この平滑リアクトルは、インバータ式において直流平滑リアクトルと等価であるため、万一の転流失敗に対しても過電流制限作用を発揮し、素子破壊を防ぐとともに転流失敗に対する自己復帰性を向上させる。

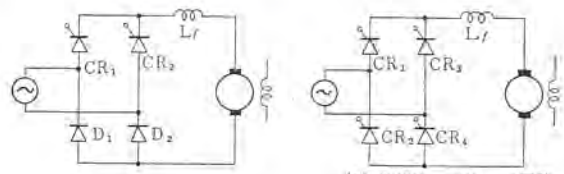
サイクロコンバータ式の一般的特長は、負荷転流に失敗しても電源転流で必ず自己復帰すること、とくに低周波（低速度）における高い安定性である。また、特別な自励転流回路を必要としないことも特長と言えよう。反面 所要サイリスタが、数と耐圧の面で多くなり、高速域で負荷転流にたよる結果、電機子電流の界磁電流に対する比（少し詳しくは $L_e \cdot I_a / M_{af} \cdot I_f$ 、 L_e は電機子電流インダクタンス、 M_{af} は電機子と界磁との相互インダクタンス）として転流限界がそれぞれの制御角 γ に対応して存在し、通常の $\gamma = 30^\circ$ に対し通常の同期電動機では、その転流限界電流が定格界磁で定格電流の 2 倍程度となるようである(18)。したがって弱め界磁にすればこれに比例して流し得る電機子電流も減少するため、実用上弱め界磁ができず、この解決が必要となろう。また、 γ を大きくすることによる高速運転は、サイリスタ印加電圧の上昇をとまない好ましくない。

したがって、サイクロコンバータ式無整流子電動機は、低速大形機に向くものと思われる。

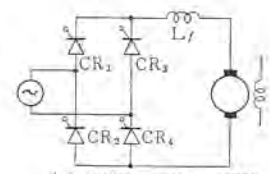
5. 直流電動機のサイリスタ制御

5.1 方式（静止レオードと DC チョッパ）

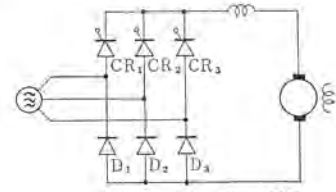
前章までに交流電動機の可変周波数駆動や無整流子電動機について述べたが、これらはむしろ今後の発展が期待されるもので、現実にもっと多く用いられているのは、直流電動機の制御を対象にしたサイリスタ静止レオードである。これはサイリスタの最も基本的な使い方である整流を基本技術としているため、早くから普及しはじめ、現在では回転機電源によるワードレオードや、水銀整流器



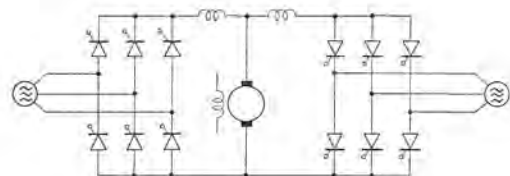
(a) 単相混合ブリッジ回路



(b) 単相全波ブリッジ回路（回生可能）

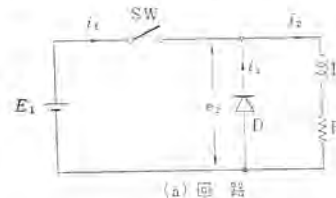


(c) 三相混合ブリッジ回路

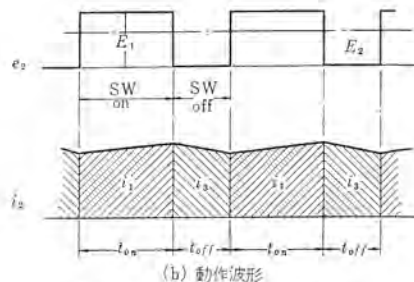


(d) 三相全波ブリッジ回路（回生、逆転可能）

図 5.1 サリスタ静止レオード回路



(a) 回路



(b) 動作波形

図 5.2 DC チョッパの基本回路

による静止レオードに代わって完全に王位を奪い、10,000 HP 級の大容量機をはじめ各種容量のものが標準化されている。

ここでは詳細は略すので他の文献(21),(22),(23)によられたいが、このような静止レオードも、回生時には直流機のエネルギーを交流電源に変換する他励インバータとして動作することを注記しておく。(図 5.1)

次に、インバータの技術と関連して新しく登場した直流機制御の方式として重要なものに DC チョッパがある。これは図 5.2 に示すように直流電源と負荷の間にオンオフスイッチを設けて、このスイッチの開閉によって負荷の電圧電流を制御するものである。

このスイッチにサイリスタを用いて静止化することによって効率よく直流電力の変換ができ、直流機の制御に用いられる。(24)~(27)

5.2 チョッパの基本動作

図 5.2 から出力電圧平均値 E_2 は

$$E_2 = E_1 \cdot t_{on} / (t_{on} + t_{off}) = \alpha \cdot E_1 \dots \dots \dots (5.1)$$

$$\text{ただし } \alpha = t_{on} / (t_{on} + t_{off})$$

また定常時の電力平衡の関係から電流の平均値に関して

$$I_2 = I_1 / \alpha \dots \dots \dots (5.2)$$

が成り立つ。これらから DC チョップは可変変圧比 α をもった直流トランスと言うことができる。 α は オンオフ の比で決まるが、実際上 $t_{on} + t_{off}$ を一定とする PWM (パルス幅変調)、 t_{on} を一定とする PFM (パルス周波数変調) のほか これらの混合方式としてたとえば電流脈動率一定方式などの制御法がある。

次に チョップ にとって重要な問題は転流であるが、これはインバータの場合とまったく同様であり、この講座の(その2、その3)⁽²⁾⁽³⁾を参照されたい。一般にチョップ回路としてよく用いられるのは、(その2)⁽²⁾の図 2.5(c) の B 形と(g) の D 形である。前者は LC を用いるもので、チョップがオンとなる時間が一定となるため、パルス周波数制御により出力の調整を行なうのに対し、後者では補助サイリスタを用いるため任意の時間にオンオフできる特長があり、より一般的であろう。

図 5.3 はこの D 形転流による チョップ 回路の転流動作を示したものである。図 5.3(b) の t_1 において CR_1 がゲートすると負荷に電流を流すとともに C_1 の電荷が反転して図 5.3(a) の極性と逆になる。次に t_2 において CR_2 をゲートすると、この C_1 の電荷は CR_1 を逆流しようとしてこれをターンオフし、その後負荷を通じて放電し、ふたたび最初の極性にもどる。転流が成功するためには $V_{C1} < 0$ の期間である t_1 が CR_1 のターンオフ時間より長ければよいから、負荷電流を I_L とすると必要な C_1 の容量は近似的に

$$C_1 \geq I_L t_{off} / E_1 \dots \dots \dots (5.3)$$

となる。

この転流回路の改良変形方式を図 5.4 (a), (b), (c) に示す。(a) はリアクトルにツウを付けて主電流が増したとき C_1 の充電電圧を高くして転流能力を増したもの、(b), (c) は C_1 の電荷の反転を CR_2 がゲートしたあとで生じさせることにより、 CR_1 の転流

は多少おくれるが、 t_{on} が長くなっても V_{C1} が放電によって低下することを防ぐものである。

このようにすれば図のインピーダンス Z からなる補助充電回路をソウ入したり、 L_3, D_3 からなる軽負荷時の補償回路を付加することでもできて効果的である。これらの点は離線や負荷変動の多い電気車の制御において実用上重要な点となる。

図 5.4 の (d), (e), (f) は補助サイリスタの代わりに可飽和リアクトルを用いたもので、B 形転流の変形改良方式の例である。(d) は B 形基本形の L を SR (Saturable Reactor) におきかえて t_{on} を長くしたものであり、(e) は SR にツウを設けて負荷電流とともに t_{on} を長くした方式である。しかしある限度以上では、逆に t_{on} が短くなる性質を示し、過負荷制限の働きもするものである。(f) は制御巻線をもった SR_2 を付加して I_C により t_{on} も変化できるようにしたものである。

5.3 電気車制御への応用

現在電車線は国鉄の一部以外はほとんど直流であり、このほか電池車も含めて DC チョップ の応用範囲は広い。これらの車両制御に用いる場合には 力行とともに制動が問題となるが、DC チョップ を使えば、図 5.5 に示すような回路によって発電制動も回生制動も自由に行なうことができる。しかし電車の場合は架線の離線や無電圧区間があるため、回生制動を行なう場合にはこの対策を考えておく必要がある。

図 5.6 は実際に当社により開発され、昨秋帝都交通で現車試験を行なって実用化の成果を得た方式の主回路結線である。この方式では主電流のリツルが一定となるように制御され、無接点、連続制御が実現された。制動は発電制動である。実用上の最大の問題点は 600 V および 1,500 V の高圧に対するサイリスタの直列接続であるが、われわれはリアクトル分割巻線により解決した⁽²⁰⁾。

図 5.7 は Battery Car の例で回生制動を採用している。このようなものは Battery 運搬車やフォークリフトに実用されはじめており、起動抵抗器や接点を用いないため保守も簡単になり、さらに損失も減って Battery の充電回数を減らすことができるなど、

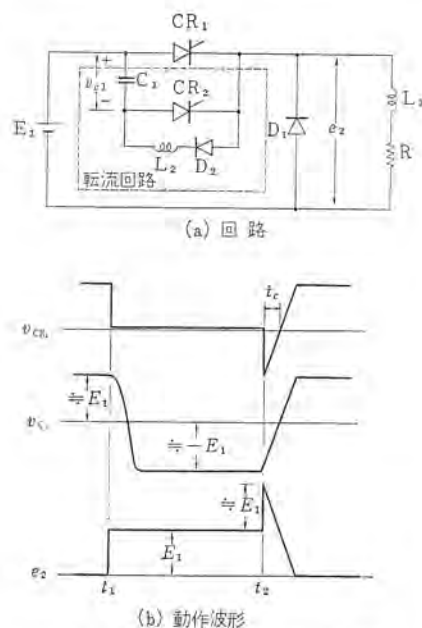


図 5.3 DC チョップ 転流動作 (D 形転流)

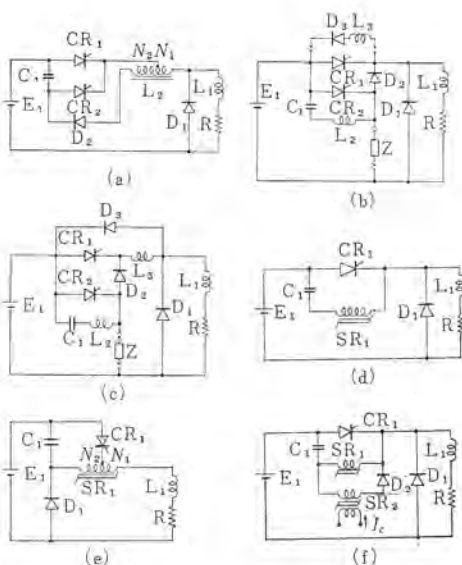


図 5.4 種々のチョップ 回路

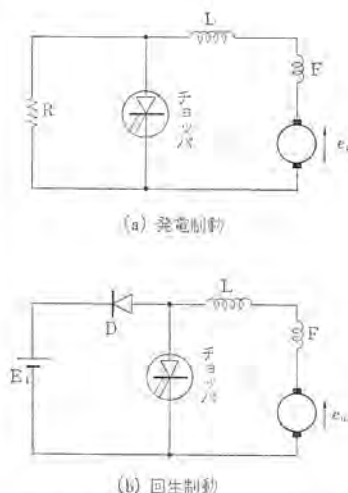


図 5.5 チョップ による制動回路

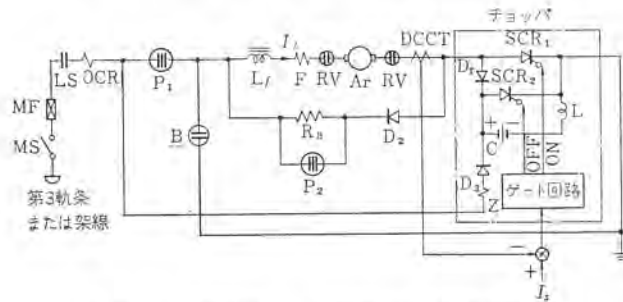


図 5.6 電気車のチョップ制御（発動制動切替付）

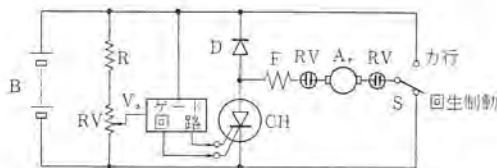


図 5.7 バッテリーカーのチョップ制御（回生制動付）

大きな効果を示している。(27)

さらに最近話題になっているように都市排ガスの点から、無煙火および深夜余剰電力の利用（夜間充電）の点からも電気自動車に注目を浴びており、この制御方式としても期待される。

6. 巻線形誘導電動機の制御

6.1 方式

比較的高性能を要求されない応用分野において、直流機に代わって、安価な巻線形誘導電動機がよく使われてきた。すなわち、可飽和リアクトルによる1次電圧制御と2次抵抗のコンタクトによるステップ制御との組み合わせであるリアクトルコントロール方式、あるいは部分定速度制御に適した静止セルピウス、さらにまた定出力運転に適したフレマ方式などである。

サイリスタによる1次電圧制御は、図 6.1 のように交流位相制御スイッチとしての用法で、従来の可飽和リアクトルを小形軽量化した。(29)、(30) また静止セルピウス方式においては他励インバータ部の水銀整流器に付随する諸問題を解決し、2次抵抗制御方式においては、無接点化と連続制御を可能にした。(28) とくに DC チョップによる電圧制御は、AC Switch 方式に比べ高調波が少なく高性能を期待できる。

さらに、静止セルピウスと同じ2次励磁の一種である、サイクロコンバータあるいは自動転流インバータによる2次励磁方式は、従来の静止セルピウスが同期速度以下に限られ、制動をかけられないという二つの欠点を解消するものであるため、今後定速制御方式としての期待は少なくない。また、同様にして原動機速度の変化する用途に対する誘導発電機としても有望である。

6.2 二次抵抗制御

二次側に直列接続した抵抗器の実効抵抗を変化してスベリ制御するもので、大別して図 6.2 のようにチョップ式と位相制御 AC Switch 式とがある。チョップ式において、チョップのスイッチング周期を T 、チョップの OFF 期間を T_{OFF} とすると、整流器直流端子から見た実効抵抗 R_{eff} は約次式で与えられる。

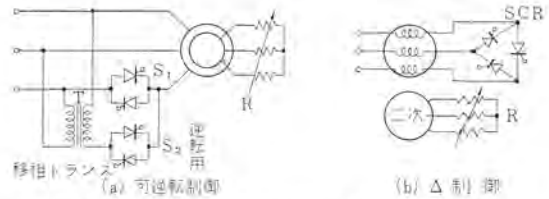


図 6.1 誘導電動機の一次電圧制御

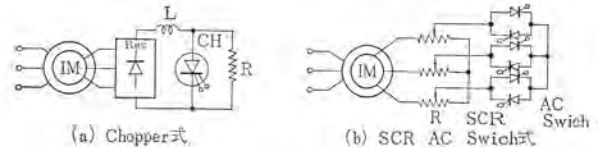


図 6.2 誘導電動機二次抵抗制御

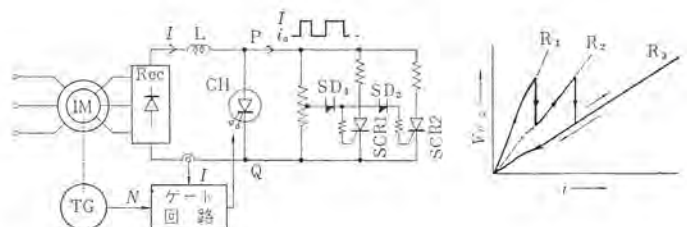


図 6.3 チョップ式二次抵抗制御

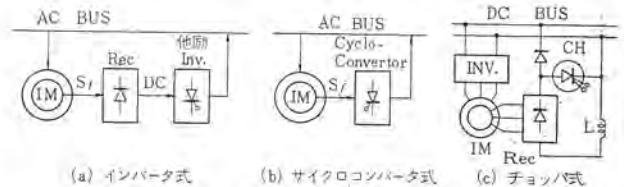


図 6.4 誘導電動機の二次電圧制御

$$R_{eff} = \frac{T_{OFF}}{T} R \dots\dots\dots (6.1)$$

すなわち $D \sim R$ まで変化する可変抵抗器と見なせる。しかし、速度制御範囲および負荷の変動範囲が広い場合、最低速度最低負荷時に必要な最大抵抗値に R を選び、これを一定にしておくと、逆に最大トルクすなわち最大電流時に、チョップ PQ 間印加電圧が非常に高くなり好ましくない。

したがって負荷トルクに応じて、抵抗値を何段かに切り換える必要がある。この操作には負荷が急変するようなときに追従する必要があるが、これに対する筆者らの一つの方法を図 6.3 に示している。

同図において、抵抗 R に流れる電流は断続されたパルス電流である。したがって、チョップが OFF となって PQ 間電圧が増し、所定値に達すれば、まず PNPN ダイオード SD_1 がブレイクオーバーして、SCR₁ を点弧させる。したがって PQ 間電圧は一度低下する。さらに電流 i が増加してくれば、次に SD_2 がブレイクオーバーして SCR₂ が導通する。次にチョップが ON になれば、抵抗器電流 i はゼロとなり PNPN ダイオードおよび SCR はすべて自然消弧する。このようにして、チョップの ON-OFF に際して、その電流に完全に追従して自動的に最適抵抗値が選択され、広範囲の制御に適応するものが得られる。

表 7.1 各種サイリスタによる電動機制御方式の比較

| 分類 | 方式 | 構成 | 制御方式 ^{*3)} | 駆動方式 ^{*1)} | 速度範囲 | 速度変動 ^{*2)} (%) | 応答性 | 逆転 | 回生 | 効率(%) | おもな用途 |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|------|-------------------------|-----|-------------|----|---------------|-------------------|
| 可変周波数 駆動 | インバータ式 | INV+IM (SM) | 他制 | 自励 (A~E, G) | 1:50 | 3~5 (SMは0) | 普通 | 可 | 困難 | 60~85 | センイ工業 高速駆動 |
| | サイクロコンバータ式 | CYC+IM | * | 他励 (F) | 1:10 | 3~5 | * | 可 | * | * | 低速、微速運転 |
| 無整流子 電動機 | 直流 CLM | INV+SM | 自励 (分配器) | 自励 (C, D) 他励(F) | 1:30 | 5~10 | 良好 | 可 | 容易 | 70~85 | 可逆運転 圧延機等 |
| | 交流 CLM | CYC+SM | * | 他励 (F) | 1:10 | 7~15 | * | 可 | * | 70~90 | 低速可逆運転 |
| 可変直流 電圧制御 | サイリスタレオナード | THR+DCM | 自励 (電源) | 他励 (F) | 1:50 | 7~15 | * | 可 (装置2倍) | 可 | * | 圧延機抄紙機 工作機等 |
| | DC チョッパ | CH+DCM | 自他 制御 | 自励 (B, D) | 1:50 | 5~10 | * | 可 (*) | 可 | 60~85 | 電車、電池車等 |
| 巻線形 誘導電動機 制御 | 1次電圧制御 | ACS+IM | 自励 (電源) | 他励 (F) | 1:10 | 5~ | 遅 | 可 (*) | 不 | 60~80 | 巻上げ機、ホイスト 等 |
| | 2次抵抗制御 (DC チョッパ) | IM+REC+CH (2次) | 自他 制御 | 自励 (B, D) | 1:10 | 5~ | * | 不 | 不 | (低速) 20~90 | ファン、キルン等 |
| | 2次励磁 (静止セルピウス) | IM+REC+INV (2次) | 自励 (電源) | 他励 (F) | 1:2 | 6~20 | * | 不 | 不 | 60~90 | ファン、ポンプ 周波数変換等 |

注) * 1) 記号は駆動方式の分類による。本講座(その2)表2.2参照。 * 2) 制御系なし(閉ループ)の場合。

* 2) サイリスタのオンオフ制御が外部より独立に行なわれるのが他制; 出力、電源等系の内部により行なわれるものを自制とした。

* 4) 略号 INV: インバータ, CYC: サイクロコンバータ, THR: 制御整流器, CH: チョッパ, ACS: 交流位相制御スイッチ, REC: 整流器, IM: 誘導電動機, SM: 同期電動機, DCM: 直流電動機, CLM: 無整流子電動機。

6.3 二次電圧制御(二次励磁)

巻線形誘導電動機を効率よくスベリ制御するには、スベリに比例する二次電力を有効に処理しなければならない。その代表的なものが、電源に帰還するセルピウス方式と、直結されたほかの電動機に流し込むクレマ方式である。ここでは、インバータ技術を応用したセルピウス方式を図6.4にあげておいた。

図6.4(a)は最も広く用いられ、水銀整流器時代から静止セルピウス方式として知られているものであるが、この欠点は広範囲の速度制御用に対して、同期速度付近で運転中その力率がきわめて悪くなることである。このため制御範囲の広いものには、コンデンサやタック付きトランスによる力率改善手段が講ぜられる。

また他の欠点は制動のかけられないことである。これらの理由により主として、狭い速度範囲の定速度制御として応用される場合が多い。

図6.4(b)はサイクロコンバータによる二次励磁方式で、回生制動が可能で、同期速度の上下にわたる速度制御ができるが、今後の発展にまつところが多い。また広範囲の速度制御用に対する力率の問題も前記(a)と同じである。

図6.4(c)はバッテリーロコの駆動に用いられた例で、二次整流電力を、チョッパによる回生の原理によりバッテリーに帰還した一種のセルピウス方式である。⁽²⁴⁾

7. む す び

以上、各種のサイリスタによる電動機制御方式について述べてきたが、これをまとめて表7.1に示す。これらは静止レオナードや交流機の電圧制御のような、従来 MG や イグナイトロンあるいは可飽和リアクトルなどで、ある程度実施されてきたものをサイリスタ化するものと、インバータ・チョッパおよびサイクロコンバータのようにサイリスタによって初めて技術的にも実用段階にはいったものに大別できる。

後者に属するものでは、誘導電動機の変周波数インバータによる速度制御、同期電動機と可逆インバータを組み合わせた直流無整流子電動機、同じくサイクロコンバータを組み合わせた交流無整流子電動機などの交流機の周波数制御が最も重要なものであり、従来の直流機万能の制御分野は今後大きく変化すると考えられる。

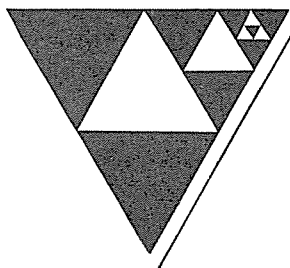
また直流機の制御法としても DC チョッパによる新方式が登場し、電車や、最近話題になっているバッテリー自動車等に関連してその発展が期待される。

このようにここ数年間急激な発展を遂げたサイリスタインバータ、チョッパ等は今後多くの方面に実用され、新しいエネルギー変換装置として普及していくことであろう。(昭41-6-14受付)

参 考 文 献

- (1) 大野: SCR インバータとその応用(その1), 「三菱電機技報」39 No. 2, pp. 80~84 (昭40)
- (2) 大野: SCR インバータとその応用(その2), 「三菱電機技報」39 No. 6, pp. 76~82 (昭40)
- (3) 大野, 岸本: SCR インバータとその応用(その3), 「三菱電機技報」39 No. 10, pp. 116~24 (昭40)
- (4) 大野, 赤松: SCR インバータとその応用(その4), 「三菱電機技報」40 No. 6, (昭41)
- (5) C. G. Helmick, I. M. McDonald: Adjustable Frequency AC Drive System with Static Inverter, Westinghouse Engineer, pp. 123~26, July 1961
- (6) 大野, 赤松: SCR 可変周波数インバータによる交流電動機の速度制御, 「三菱電機技報」38 No. 6, pp. 97~105 (昭39)
- (7) D. A. Bradley, et al: Adjustable Frequency Inverters and their Applications to Variable Speed Drives, PIE E 111 No. 11, pp. 1833~46, (1964).

- (8) B. Annies : Steuerumrichter für Käfigläufermotoren, AEG Mitt. 54 ($1\frac{1}{2}$), (1964).
- (9) 宮入, 常広 : 転流補助回路を別にもつ電動機駆動用 SCR インバータ, 「電学誌」86 (4) (昭41)
- (10) C. W. Flairty : A 50 kVA Adjustable Frequency 24 Phase Controlled Rectifier Inverter.
- (11) 大野, 赤松 : SCR 可変周波数 インバータ による交流電動機制御, 「電気関西支部大会」S4-6 (昭39)
- (12) E. F. W. Alexanderson, A. H. Mittag : The Thyatron Motor, E. E. 53 pp. 1517~23, (1934).
- (13) M. Stöhr : Die Typenleistung Kollektorloser Stromrichter-motoren bei der einfachen Sechssphasenschaltung, Arch für Elektrotech, 32 11, 12, (1938).
- (14) 宮入, 常広 : SCR を用いた無整流子電動機の研究, 「電学誌」82 (11), pp. 1741~50 (昭37)
- (15) 大野, 岸本, 赤松 : サイリスタ 無整流子電動機, 「三菱電機技報」39 No. 9, pp. 55~62 (昭40)
- (16) 宮入, 常広 : 無整流子電動機の直流機としての解析およびその特性, 「電学誌」85 (9), pp. 1585~94 (昭40)
- (17) 赤松, 大野 : 無整流子電動機の可逆運転, 「電気連合大会」395 (昭41)
- (18) 佐藤 : 無整流子電動機の研究, 「電学誌」84 (8) (昭39)
- (19) 林, 倉重 : AC SCR 電動機について, 「電気連合大会」581 (昭39)
- (20) 林, 大野ほか : サイクロコンバータ 式 サイリスタ 電動機, 「三菱電機技報」40 No. 6 (昭41)
- (21) 吉田, 梶野 : SCR の小容量直流電動機への応用, 「三菱電機技報」37 No. 5 (昭38)
- (22) 細野, 佐野ほか : 工業用 サイリスタレオナード 装置 「三菱電機技報」40 No. 2 (昭41)
- (23) L. F. Stringer : Thyristor DC Drive System for a Non-Ferrous Hot Line, IEEE Int'l. Conv., march, (1966).
- (24) K. Heumann : Pulse Control of DC and AC Motors by Silicon Controlled Rectifiers, Intermag Conf., 5-1, April, (1963).
- (25) R. E. Morgan : Time Ratio Control with Combined SCR and SR Commutation, IEEE Trans, 83 (73), pp. 366~71, July (1964).
- (26) 小原, 大野 : 電車の チョップ 制御, 「三菱電機技報」40 No. 2 (昭41)
- (27) N. Mapham, J. C. Hey : The Control of Battery Powered DC Motors Using SCR's in the Jones Circuit, IE EE Int'l Conv, 12 part. 4, march, (1964).
- (28) L. Abraham, U. Patzschke : Pulstechnik für Drehzahlsteuerung von Asynchronmotoren, AEG Mitt. 54 ($1\frac{1}{2}$) (1964).
- (29) 吉田 : SCR の交流電動機制御への応用, 「三菱電機技報」37 No. 5, (昭36)
- (30) K. Heumann, F. Koppelman : Kontaktloseschalten mit Steuerbaren Halbleiterelementen im Niederspannungsbereich, ETZ-A, 86 (17), (1965).



新製品紹介

SCG 形小形ギヤードモートル系列完成

SCG 形小形ギヤードモートルは、当社標準単相モートルにギヤ機構を組み合わせて、一体構造としたギヤードモートルの新系列である。モートルはコンデンサ起動単相モートルを採用しており、歯車は転位ハスパ歯車を採用している。

コンベヤ、包装機械、農事機械、木工機械などの用途に適する。

■ 特 長

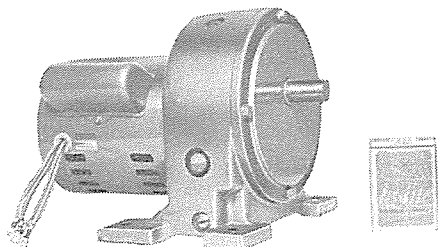
(1) 騒音・振動が少なく効率が高い

減速歯車はハスパ転位歯形を採用しているため、騒音および振動が少なく高効率であり、円滑な運転が得られる。

(2) 寿命が長い

減速歯車は高精度の機械加工がなされ、高周波焼入れを施しているため歯の強度が高められ、耐摩耗性が增大するので、きわめて長寿命である。

(3) 起動電流が小さく、起動トルクは大きい



SCG-200 形ギヤードモートル 50/60 rpm.

モートルは高性能で定評ある三菱コンデンサ起動形単相モートルを使用しているため起動電流が小さく、起動トルクは大きく、しかもトルク特性は良好である。

(4) 小形軽量

小形軽量に製作されているため取扱いが容易であり、構造が簡単であるから保守点検も便利である。

(5) 据え付けが容易

据付け足は減速軸に対し、対称に配置されており、かつ据付面積が少なくすむように製作されている。

(6) 一貫した生産

モートル部分もギヤ部分も同一工場でごん重な品質管理のもとに一貫生産をしているため、調和がよくとれ均一な性能を有している。

■ 仕 様

SCG 形ギヤードモートル仕様一覧

| 形 名 | SCG-100 | SCG-200 | SCG-300 |
|-------------------|----------------|---------|-----------|
| 電 動 機 容 量 (W) | 100 | 200 | 300 |
| 使 用 電 動 機 | コンデンサ起動形単相モートル | | |
| 定 格 | 連 続 | | |
| 極 数 | 4 | | |
| 電 圧 (V) | 100 | | |
| 周 波 数 (c/s) | 50 | | 60 |
| 出 力 軸 回 転 数 (rpm) | 15 | 50 100 | 18 60 120 |
| 減 速 方 式 | 3 段 | 2 段 | 3 段 2 段 |

SA-250 形 半 自 動 溶 接 装 置 新 発 売

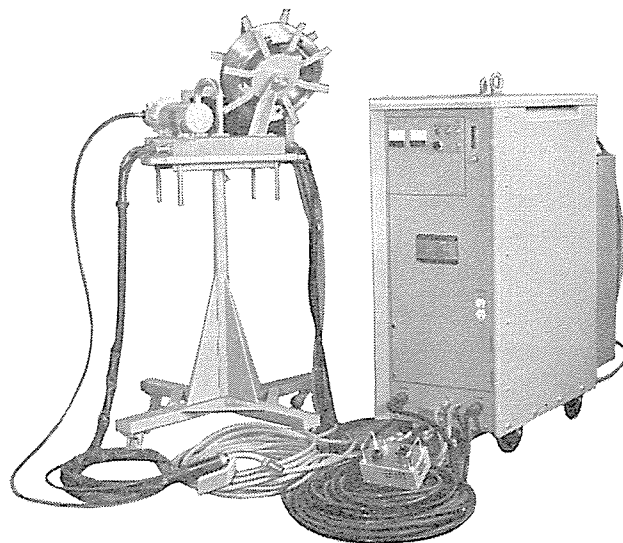
近年車両、造船、自動車などの各産業界における溶接作業の自動化はめざましく、とくに半自動溶接装置は手溶接に比べ作業能率の向上および良好な溶接性が得られるため広範囲に普及しつつある。SA-250 形半自動溶接装置は今回開発した制御装置内蔵のCM-500 C 形三相定電圧直流アーク溶接機を採用しており、装置全体が非常にコンパクトになり作業性が向上した。この装置はコンジットチューブを通してワイヤを送り込むラッシュェルタイプで、とくに厚板の溶接に適するよう水冷の溶接トーチを使用している。

■ 特 長

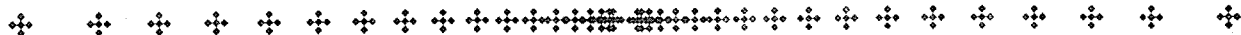
(1) 溶接トーチの交換だけでラッシュェルタイプの溶接が可能である。

(2) 制御装置内蔵のため装置全体がコンパクトにまとまっている。

(3) アークスポットタイマを取り付けることによってアークスポット溶接ができる。



キャタピラ 三菱納め SA-250 形半自動溶接装置
(スタンドは要求により付属したもの)



※ ワイヤ送給装置はご要求により取りつけます。

1361

NEWS FLASH

■ 超高压電力研究所納め 500 kV 試験送電線用機器 完成

数年後に迫ったわが国の 500 kV 送電に備えて、超々高压送電機器の実証的研究、および塩害問題の研究のため、超高压電力研究所、武山研究所構内に 500 kV 試験送電線が建設されることとなった。当社もその主要機器の製作を担当し、去る 5 月 17 日にこれらの機器の完成披露展示会を開催した。

■ 変圧器

この変圧器は、単に 500 kV 試験送電線の充電用変圧器として使用されるだけでなく、この変圧器の製作、運転の経験が、実系統用変圧器の製作に対して有用な資料となるようにとくに考慮しており、絶縁設計、工作方法などいずれも将来の 500 kV 級変圧器に採用する標準によって設計製作したほか、発電機用変圧器および連系用変圧器の両方の形式の変圧器に対する経験を積むため 500 kV 側に、とくに 275 kV タップを設け、また試験内容についても開閉サージ試験、コロナ試験など、超々高压変圧器において必要な各種試験を実施した。

この変圧器の完成により、先にメキシコから大量に受注した 400 kV 級各種変圧器、リアクトルの製作経験とあいまって、500 kV 級変圧器の生産態勢は完全に整ったといえよう。

この変圧器のおもな特長は次のとおりである。

(1) 絶縁構造は、従来から好評を得ている外鉄形絶縁構造にさらに改良を加えた新しい絶縁構成で、多くの絶縁モデル試験、電界模写、モデル変圧器による電位振動測定などのデータをもとに

して合理的に配置された絶縁物により、コロナ開始電圧、および絶縁耐力が非常に高いこと。

(2) 高压側 ブラッシングとして、将来の 500 kV 耐塩害 ブラッシングの標準となるべき、世界最大級の 8 m ガイ管を使用した。三菱 OTF 形 コンデンサブラッシングを装備していること。

(3) 当社独特の外鉄形 フォームフィット構造を採用しているため 500 kV 変圧器があるにもかかわらず、付属品を取りはずすのみで組立輸送されること。

仕様概要

| | | | |
|-------|-----------------------|---|----------|
| 形 式 | 外鉄形 フォームフィット 構造 油入自冷式 | | |
| 相 数 | 単相 | | |
| 周 波 数 | 50 c/s | | |
| 容 量 | 10,000 kVA | | |
| 電 圧 | 一次 | 63-66-69-72-75 kV | |
| | 二次 | $500/\sqrt{3}$ kV ± 27.5 kV | |
| | 二次 | $275/\sqrt{3}$ kV ± 27.5 kV (中性点に MRD 形負荷時タップ切換装置付属) | |
| 絶縁階級 | 三次 | 3,000 V (500 kV 線路端) | |
| | 一次 | 60 号 | |
| | 二次 | 衝撃波試験電圧 | 1,550 kV |
| | | サイ断波試験電圧 | 1,780 kV |
| | | 開閉サージ試験電圧 | 1,320 kV |
| | | 商用周波試験電圧 | 680 kV |
| | 二次タップ | 200 号 | |
| | 二次中性点 | 80 号 | |

なお同時に製作納入された調整用変圧器は、上記変圧器への供給電圧を 0 から 66 kV までほとんど連続的に変化するためのもので、2 種の負荷時タップ切換器を組み合わせたもので、絶縁階級、タップ切換点数の面で画期的なものである。

仕様概要

| | | | |
|------|------------|--------------------|-----------|
| 三相 | 50 c/s | 油入自冷式、CR-MRD-URA 形 | 5,000 kVA |
| 一次電圧 | 66 kV、二次電圧 | 0~66 kV | |
| 切換点数 | 三相 | 34 点、単相 | 306 点 |

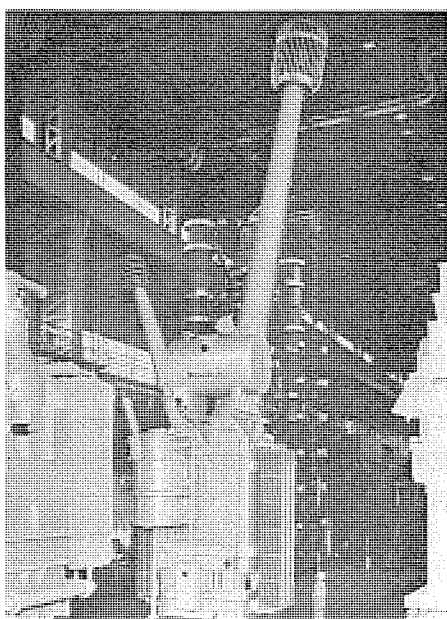
■ 断路器

形式は水平 1 点切で、単極単投、空気操作、接地装置付きである。

おもな特長としては

(1) 接触部：回転端子部および接触部は、長年の使用実績のあるリバーシラフ形接触子を使用している。この接触子は電磁力を利用して接触圧力を増加させる設計であるから、常時の接触圧力は低く軽快な開閉操作ができるとともに大きな短時間電流を保証することができる。

(2) 支持ガイシ：支持ガイシは下ひだ 5 段積となっているが、



超高压電力研究所納め 500 kV 10 MVA 変圧器

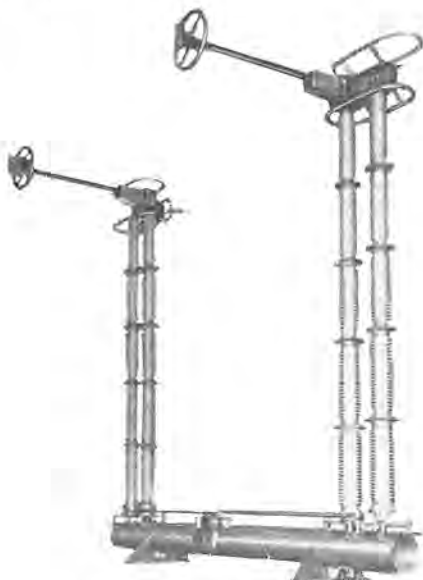
地震、短絡などを考え端子水平荷重 500 kg に耐えるため、とくに補助ガイシを設け 4 柱式となった。このため架線の張力などで操作が影響をうける問題はない。

(3) 接地装置：接触部はリパルスレーザ形接触子を用い、ブレードは捻回方式としたため操作は容易である。

(4) ベース：ベースはスパイラル鋼管を用いた強度の高いベースを使用した。

(5) 空気操作装置：本体ベースに操作装置を直結し、制御箱と手動操作装置のみを下方のウツに取り付けた構造で、据付けが容易である。図は 500-HSF-40 G 形断路器の単極外形写真である。仕様は次のとおりである。

| | |
|----------|----------------------------------|
| 形 名 | 500-HSF-40 G |
| 定格電圧 | 525 kV |
| 定格電流 | 4,000 A |
| 定格短時間電流 | 53 kA 2 秒 |
| 耐電圧試験値 | |
| 商用周波 対地間 | 740 kV 極間 850 kV |
| 衝撃波 | " 1,675 kV " 1,930 kV |
| 汚 損 | 塩分付着密度 0.03 mg/cm ² で |
| | 霧中耐圧値および活線洗浄耐圧値 410 kV |
| 重 量 | 4,000 kg (一相分) |
| 操作方式 | 空気操作 15 kg/cm ² -g |
| 制御電圧 | DC 100 V |



500-HSF-40 G 形断路器

■ 避雷器

500 kV 級送電系統建設に際し、避雷器は経済的絶縁設計上その根幹をなす重要機器のひとつである。

当社では、従来から高電圧系統用として超高圧まで自立できる永久磁石消弧式 SSV 形オートバルブ 避雷器を多数製作納入し、良好な運転実績を得ているが、これらの実績をもとにし、今回超高圧電力研究所納めとして 500 kV 系統用 SSV 形 420 kV 避雷器を完成した。

武山究研究所の 500 kV 試験送電線は、電源容量がきわめて小

い値であるため避雷器動作時、続流シャ断後の再起電圧がきわめて高く、再点弧しやすい系統条件になっているが、この避雷器は非直線性の良好な特性要素と、強力な磁力によってアークを消弧するチャップを用いているため続流シャ断が確実で、さらにこれを汚損や機械的強度を考慮した独特の配置にして、3 段のガイ管内に密封したもので全長約 7.6 m である。

実際の組立試験結果も良好で、今後の 500 kV 系統に適用できる有用なデータが得られている。

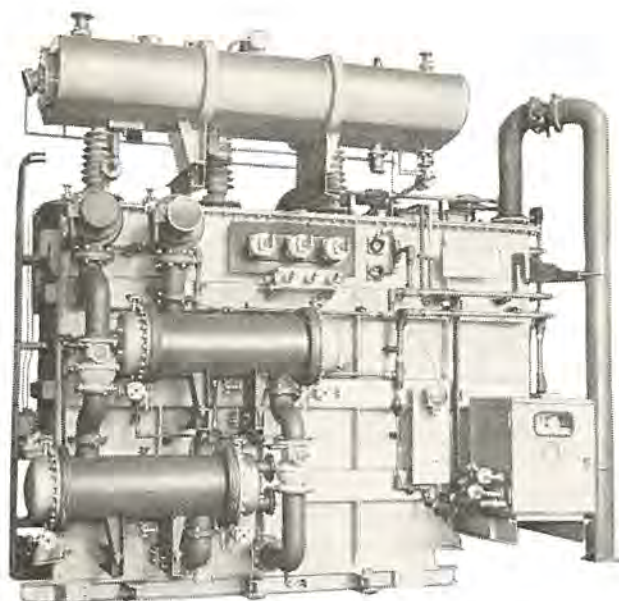


SSV 形 420 kV 避雷器

■ 関西電力北浜変電所納めクーリングタワー方式水冷変圧器

当社では、このたび東京電力に引き続き関西電力（北浜 s/s）納め送油水冷式変圧器を完成した。これは大阪市中心部の負荷激増により都心に変電所を新設するのに用地問題、公害問題などがあるため、これらの点で有利な水冷式を採用した。この変圧器は普通的水冷式変圧器と異なり、必要床面積を最小にするため屋上に設けられた冷却塔と地下の変圧器に取り付けられた冷却器を直接接続しており、冷水そうおよび水そうを省略している。このように冷却トウと冷却器が直接接続されているため、両装置の設置場所の高さの差だけの圧力が冷却器にかかることになり、この圧力に耐えうる二重管式の特殊な構造の冷却器が用いられている。またこの変電所は無入変電所であるので、各補機類の起動停止などはすべて自動で行なわれる。

これら水冷式変圧器設置の都心変電所に納入する場合は、その立地条件などに合致した最適の設計を行なう必要があるが、当社では冷却器等各機器の標準化を遂行し将来の客先の要求に応じられる状態にある。



15,000 kVA 変圧器 75.25/6.9 kV 送油水冷式 LRT 付

北浜変電所納め機器の仕様は下記のとおりである。

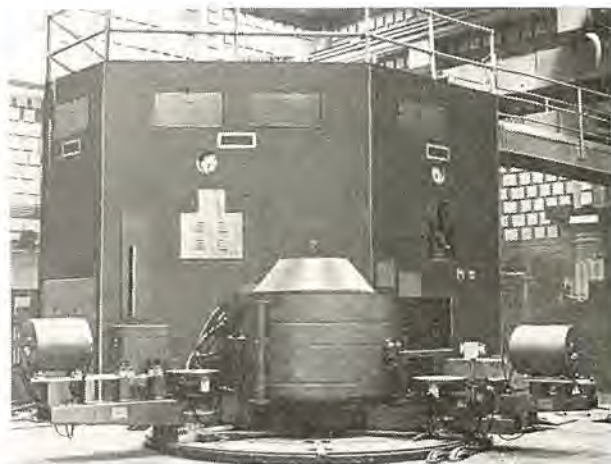
変圧器 15,000 kVA×3 75.25/6.9 kV 送油水冷式
(内1台将来設置)
45,000 kVA×2 77/22 kV 送油水冷式(将来設置)
冷却トウ 500,000 kcal/H×3 全アルミ製(内1台将来設置)

■ 中性子回折装置 アメリカミズリー大学より受注

国内向け中性子回折装置は、そのすべてを独占的に製作納入しており、すでに8台の納入実績をもっている。一方、輸出1号機は1965年5月に米国アイオワ大学所属エームス研究所に据え付け納入し、現在、中性子回折実験に活躍している。今回の輸出2号機は米国ミズリー大学の研究用原子炉(5 MW 軽水炉)に据え付けられるもので、去る5月国際入札の結果、当社に契約決定した。この成約をみたのは上記エームス研究所に納入した実績が大きく寄与している。

中性子回折装置は、原子炉の実験孔から強い熱中性子ビームを取り出し、平行ビームにそろえ、これをモノクロメータで単一波長の中性子ビームにし、ゴニオメータで試料に照射して、その回折像を角度分布として精密に測定する装置である。

ミズリー大学向けの装置は、エームス研究所納入のものと同形である。これは一つの実験孔で2台の装置を運転できる複式中性子回折装置で、原子炉実験孔から上下2本の中性子ビームを接近して取り出し、同一回転軸上の上下に配列した2個のモノクロメータ単結晶で独立した2本の単色中性子ビームをうるとともに、それらの波長を連続可変にできることを大きな特長としており、研究の経済性からも画期的な方式である。この複式中性子回折装置のうち1台は、単結晶・粉末試料両用の通常の2軸回折装置で、他の1台は、単結晶試料の非弾性散乱のエネルギー分析器付きの3軸回



ミズリー大学より受注したものと同形の複式中性子回折装置(アイオワ大学エームス研究所に納入据付たもの)

折装置である。この3軸回折装置は、モノクロメータの角度設定も自動化できるようにしたもので、非弾性散乱の研究において constant-Q 法と呼ばれる測定法が行なえるものである。装置は、直径 1,800 mm、高さ 1,000 mm の2段重さねにしたモノクロメータシヤ蔽体を含めて、重量約 30 t に及ぶもので、しかも角度精度 $1^\circ/100$ の自動位置決めが行なえる大形精密機械である。

中性子測定装置ならびに制御装置の電子回路は、すべて半導体化され、とくに制御装置の論理回路には約 400 枚の NOR カードが用いられる。回折された中性子の計測とゴニオメータおよびモノクロメータの角度設定などのすべての指令は、穿孔テープによって与えられ長時間の無人運動が行なえ、将来は、計算機と結合してオンライン制御を行なうことも可能である。

この装置の据え付けは、明年9月に行なわれることになっている。

なお、これとは別に上記エームス研究所から、すでに納入した複式中性子回折装置と組み合わせて用いる2サークルゴニオメータ1台も本年5月末受注した。これは中性子回折装置のフレキシビリティを大きくするものとして試料をオイル軸のまわりに回転し、プログラム制御させるものである。

原子力開発の先進国である米国に、このような原子炉実験装置を輸出できることは意義深いことである。現在米国をはじめとし欧州各国からも多数の引合いがあり、今回の受注により今後の海外進出にいっそうの期待がもたれる。

■ 新形 CL 形限流形電力ヒューズ完成

昭和38年に CLS 形電動機用限流形ヒューズを発表したが、小形で大きな負荷容量をもち、大きな起動電流のひんばんな開閉にも耐えることから好評を得ている。以来多量製作しているが、今回その技術を応用して、小形高性能のハン用 CL 形限流電力ヒューズを完成した。このヒューズの定格電圧は6kVであるが、過電圧が低いので3kV回路にも使用できる。またヒューズ筒は磁器で屋内外兼用である。

なおこの機会に、従来から発売している PL 形、CLS 形の小型高性能化も行ない PT 用 1 A の PL 形ヒューズからハン用 CL 形 5~100 A、電動機用 CLS 形 200 kW~800 kW 用 (50~200 A) ヒューズまで小型、軽量の限流形電力ヒューズの全シリーズを完成した。

特 長

- (1) 同一定格では最小の小型軽量ヒューズである。
- (2) 規格最高級の大シヤ断容量をもっている。
- (3) 正確な電流-時間特性を保証する。
- (4) 完全密閉で、ガスも音も出さない。
- (5) ヒューズ筒は屋内外兼用である。
- (6) すぐれた限流特性をもち、大きな定格電流でも細い電線が保護できる。

仕 様

7.2 kV 5~100 A シヤ断容量三相非対称 800 MVA



CL 形 7.2 kV 50 A 断流形電力ヒューズ
シヤ断容量三相非対称 800 MVA

■ 国鉄機関車用最大容量主電動機完成

日本国有鉄道 EF 90 形電気機関車用として、当社が鋭意製作中であった MT 56 形主電動機がこのほど完成した。

EF 90 形電気機関車は日本国有鉄道の輸送近代化の一環として、東海道高速貨物列車けん引のため試作されているが、当社もその一翼をになって、MT 56 形主電動機的设计および製作を行なった。MT 56 形主電動機は狭軌各軸駆動用としては最大容量を有する記録品である。要目は次のとおり。

方 式 直流直巻補極付き、他力通風形

定 格 1 時間 650 kW 750 V 930 A 1,200 rpm

連 続 615 kW 750 V 880 A

動力伝達方式は半つりかけ式であって、図 1 に示すようにゴムを介して車輪に連結された中空車軸上に、主電動機がコロ軸受によってつりかかる構造となっている。中空車軸およびコロ軸受部分が主電動機内部に大きく食い込むため、構造上種々の障害があったが、これを克服して簡潔な設計とすることができた。

絶縁は車両用主電動機としては最もすぐれた F 種エポキシによるポイドレス絶縁としている。絶縁層からの熱放散がきわめてよいため、比較的少ない通風量で十分な性能を発揮できる。

主電動機完成後、鉄道技術研究所の手によって広範囲に行なわれた特殊温度上昇試験も、良好な成績をもって終了した。

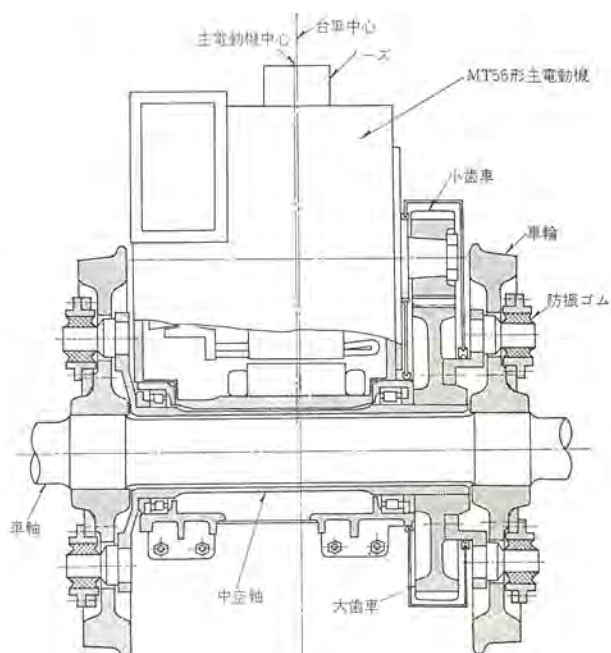


図 1 EF 90 形電気機関車 主電動機および駆動装置構造



図 2 MT 56 形主電動機外観

■ 私鉄向け最大容量主電動機近鉄へ納入

かねて近畿日本鉄道より受注し、製作中であった新通勤車用主電動機が完成し納入された。今回納入された主電動機は公称 155 kW、実容量 160 kW という私鉄用としては画期的な容量の記録品であるが、豊富な製作経験によって最新の技術を駆使し従来の標準軌間、860 mm 車輪用主電動機と同一の大きさにおさめることができた。

新通勤車は大阪線では MT 編成、名古屋線では MTT 編成で運転され、T 車の多い編成であるにもかかわらず大容量主電動機の採用により、従来の MTM 編成車に匹敵する性能をもっている。

なおこの新通勤車は 9 月から営業運転される予定である。



MB-3110-A 形主電動機

特長

(1) 絶縁は当社が業界で他社にさきがけて採用した F 種エポキシ一体固化絶縁。

(2) 高端子電圧主電動機であるが電機子を重ね巻とし、整流子片数を多くしているの、高速からの安定した電気ブレーキが可能である。

(3) 主極巻線の巻数を多くし、電機子反作用による磁束のヒズミを最小にしている。

要目

| | |
|-------|---------------------------------|
| 形式 | 直流直巻、保護形、自己通風式、WN ドライブ |
| 形名 | MB-3110-A |
| 一時間定格 | 155 kW, 675 V, 256 A, 1,650 rpm |
| 連続定格 | 140 kW, 675 V, 230 A, 1,750 rpm |

なお、当社は近畿日本鉄道より引き続き特急車用 180 kW 主電動機を受注し現在鋭意製作中である。

■ 大阪市交通局納め ATC 装置受注

当社では、帝都高速度交通営団、日本国有鉄道向けに多数の ATC 装置を納入してきたが、このたび新たに、大阪市交通局から新路線である 2 号線向け ATC 装置を受注した。2 号線は東梅田—天王寺間の路線で、43 年度完成する予定であるが、この路線の内東梅田—谷町 4 丁目間は 42 年 3 月末開通の予定である。

受注した ATC 装置はフェールセーフを十分考慮した無接点回路にて構成される。従来この装置は電車の前後両運転台にそれぞれ 1 台ずつ装置を装備して使用しているが、このたびの装置は車両の引通し線を使用して装置の主機能構成部を片運転台のみに集約使用する片運転台装架である。しかし運転上の扱いは両運転台装架のものと同じで、運転上の扱いは両運転台において同一の操作により使用される。

列車編成は McMTc を基本ユニットとし、ATC 装置はこの基本ユニットに 1 組装備される。基本ユニットごとの連結には電気連結器が使用される。この装置の回路構成は電気連結器間に引通し

線が不要な回路構成であるが、ATC 設備区間ならびに ATC 非設備区間での ATC 切替が可能な構成にしている。

受注した ATC 装置は 6 ユニット分、別に 1 ユニット予備を含み、合計 7 ユニットである。これらの装置は今年末に納入の予定で 42 年の春にはこの装置を装備した車両が走行することになる。

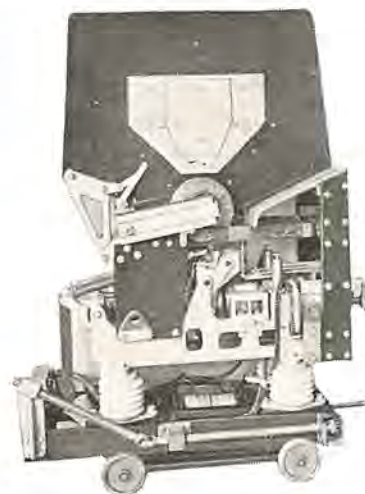
■ 両方向直流高速度シャ断器完成

すでに多数の製作実績をもちそのすぐれた性能を認められている AHF-30 形直流高速度シャ断器の電磁保持、衝撃開放形を基本構造とし、両方向に対する引はずし特性を付与するために保持電磁石とは別に引はずし電磁石を付加した BHB-30 形両方向直流高速度シャ断器を開発した。

このシャ断器は正、逆方向に対する対称電流目盛および非対称電流目盛の設定が可能であり、非対称電流目盛のとき、正方向目盛の設定値いかにかわらず逆方向目盛値をほぼ一定に保つことができる。このため電気鉄道における電源容量増大に伴う並列電源間の母線連絡用、一般直流回路における整流器の正極用などにこのシャ断器を使用し、その回路の保護を合理的に行なうことができる。

このシャ断器のおもな定格はつぎのとおりである。

| | |
|----------|--|
| 形式 | BHB-30 形 |
| 定格電圧 | DC 1,500 V |
| 定格電流 | 3,000 A |
| 方向性 | 両方向性 |
| 定格シャ断容量 | 50,000 A |
| | 突進率 3×10^6 A/S の回路における推定短絡電流最大値 |
| 定格投入操作圧力 | 5 kg/cm ² (空気投入操作方式) |
| 定格投入操作電圧 | DC 100 V, 200 V (電気投入操作方式) |
| 標準動作責務 | 0-30 秒-CO |
| 重量 | 530 kg (電気投入操作方式、引出形) |



BHB-30 形 直流高速度シャ断器
DC 1,500 V 3,000 A

次号予定

三菱電機技報 Vol. 40 No. 9

照明特集

特集論文

- 園芸における人工光源の応用と将来
- $MgO : Mn, Li$ および $CaO : Mn, Li$ 中の Mn^{4+} および Mn^{2+} イオンの ESR と放射線照射効果
- ラビッド・スタート形ケイ光ランプ用透明導電性被膜
- 高圧水銀ランプの長寿命化のための電極設計
- 金属添加物入り水銀灯の特性と問題点
- キャノンカルパフィルム用水銀ランプ
- 暗室用ケイ光ランプ
- 照明経済の比較計算に関する諸構成要素とその応用
- 人工霧発生装置と光の霧中透過
- 高圧水銀ランプによるトンネル照明
- 半導体素子を使用した小形調光装置

普通論文

- 避雷器と汚損問題
- 電鉄変電所用 レクチフォーマ
- 最近の コータ 用電機品
- MELISS 文獻機械検索 システム—MELCOM-1530 の利用—
- ZKG 形 マイクロバウダクラッチ とその応用
- 製鉄用電動機の選定 (その2)
- 電子計算機利用シリーズ
- 電子計算機による三相誘導電動機の特性算定

技術解説

- 配電用避雷器の特性とその応用

技術講座

- 室内照明の設計指針

三菱電機技報編集委員会

| | |
|------|-------|
| 委員長 | 小倉弘毅 |
| 副委員長 | 片岡高示 |
| 常任委員 | 明石精二 |
| 〃 | 安藤安二 |
| 〃 | 石川理一 |
| 〃 | 宇佐見重夫 |
| 〃 | 大野寛孝 |
| 〃 | 北川和人 |
| 〃 | 小堀富次雄 |
| 〃 | 鈴木正材 |
| 〃 | 祖父江晴秋 |
| 〃 | 馬場文夫 |
| 〃 | 山田栄一 |
| 〃 | 横山茂 |
| 委員 | 尾雲義人 |
| 〃 | 尾畑喜行 |
| 〃 | 神崎遼 |
| 〃 | 林昇寿 |
| 〃 | 堀真幸 |
| 〃 | 松元雄蔵 |

(以上50音順)

昭和41年8月22日印刷 昭和41年8月25日発行

「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)
(電) 東京 (212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
電話 (291) 0912 機替東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場 所在地

| 本 社 | 東京 都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111 |
|----------|---|
| 大阪営業所 | 大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231 |
| 名古屋営業所 | 名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311 |
| 福岡営業所 | 福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231 |
| 札幌営業所 | 札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111 |
| 仙台営業所 | 仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (21) 代表 1211 |
| 富山営業所 | 富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151 |
| 広島営業所 | 広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111 |
| 高松営業所 | 高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001 |
| 東京商品営業所 | 東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111 |
| 大阪商品営業所 | 大阪市北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231 |
| 名古屋商品営業所 | 名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311 |
| 福岡商品営業所 | 福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代表 6231 |
| 札幌商品営業所 | 札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111 |
| 仙台商品営業所 | 仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (21) 代表 1211 |
| 富山商品営業所 | 富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151 |
| 広島商品営業所 | 広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111 |
| 高松商品営業所 | 高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001 |
| 北九州出張所 | 北九州市小倉区京町10の281・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234 |
| 長崎出張所 | 長崎市大黒町3番1号・長崎交通産業ビル (電) 長崎 (3) 代表 6101 |
| 横浜出張所 | 横浜市中区富士見町2の12 (電) 横浜 (65) 2691~3 |
| 新潟出張所 | 新潟市万代町69番地 (電) 新潟 (45) 1378 |
| 長野出張所 | 松本市白坂212番地 (電) 松本 (3) 1453 |
| 京都出張所 | 京都市中京区壬生坊城町5 (古橋ビル) (電) 京都 (82) 1245 |
| 神戸出張所 | 神戸市兵庫区西宮内町82 (万統ビル) (電) 神戸 (68) 1396 |
| 静岡出張所 | 静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡 (53) 代表 9186 |
| 金沢出張所 | 金沢市幸町13番28号 (電) 金沢 (63) 代表 1341 |
| 岡山出張所 | 岡山市西長瀬字村北122の1 (電) 岡山 (24) 代表 0331 |
| 中央研究所 | 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 商品研究所 | 鎌倉市大船782番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111 |
| 神戸製作所 | 神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 神戸 (67) 大代表 5041 |
| 伊丹製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 長崎製作所 | 長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211 |
| 稲沢製作所 | 稲沢市井之口町1100番地 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9 |
| 和歌山製作所 | 和歌山市岡町91番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9 |
| 鎌倉製作所 | 鎌倉市上町屋325番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 1111 |
| 通信機製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 北伊丹製作所 | 伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131 |
| 名古屋製作所 | 名古屋市中区東区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (721) 大代表 2111 |
| 福岡製作所 | 福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡 (88) 代表 0431 |
| 福山製作所 | 福山市緑町1番8号 (電) 福山 (2) 代表 2800 |
| 姫路製作所 | 姫路市千代田町840番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251 |
| 相模製作所 | 相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131 |
| 静岡製作所 | 静岡市小島110番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111 |
| 中津川製作所 | 中津川市駒場町1番3号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121 |
| 大船製作所 | 鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111 |
| 郡山製作所 | 郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山 (2) 1220~3 |
| 群馬製作所 | 群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 太田 代表 4311 |
| 無線機製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 京都製作所 | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小学園所1 (電) 京都 西山 (92) 大代表 4171 |
| 伊丹製作所 | 三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三市 三輪 4371~4375 |
| 三田工場 | 東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京 (414) 代表 8111 |
| 相模製作所 | 相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131 |
| 世田谷工場 | 東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京 (414) 代表 8111 |
| 札幌営業所 | 札幌市北二条東12丁目98番地 (電) 札幌 (22) 3976 |