

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol.45 July 1971

電気炉・加熱装置および船用電機品特集

7

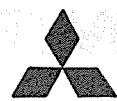
トピー工業(株)豊橋製造所納め 120t UHPアーク炉



未来を開拓する



三菱電機技報



電気炉・加熱装置および船用電機品特集

目 次

《電気炉・加熱装置特集論文》

三菱 UHP アーク炉	田口 堅・山本利栄・川口一二三	827
トピー工業(株)向け大容量アーク炉用変圧器—最近の外鉄形炉用変圧器について—	末永晋一・小林英雄	834
三菱-BBC 30トン 8,500 kW 低周波誘導炉	田口 堅・広川利雄	841
パッケージ形低周波誘導炉	広川利雄・林 稔・白須浩藏	846
三菱-BBC 鋳鉄用みぞ形低周波炉	広田欣至・安孫子 博・岩佐康彦	853
三菱鍛造圧延用誘導加熱装置	藤室雅司・喜多村弘明・松尾 茂	857
三菱高周波熱処理装置	酒井良雄・上田時芳・君塚 齊	867
三菱サイリスタ式誘導加熱用高周波電源装置	塚本昭三・川畑隆夫・山本吉彦・熊野昌義・君塚 齊・矢野禎成	873

《船用電機品特集論文》

船用交流発電機の最近の動向	高橋卓夫・林 弘幸・南 喜代志	881
最近の船用補機電動機	森田 清・芝 昌義・前田文生	887
原子力船「むつ」の一次系電気設備		
機関室無人化高速コンテナ船用電機品	梅田泰広・藤田 洋・岡 富士郎・田井昌輝・舛田征也・吉島宇一・富永隆弘	891
機関無人化船用データロガー	鶴 史雄・井上隆治	900
最近の機関室自動化装置	松岡宣雄・秋山 始	908
タンカーの自動荷役制御装置	山地正城・木戸正克	912
	桂木義夫	920

《普通論文》

84 kV プラグイン形ガスシャン断器	富永正太郎・田辺俊雄・堤 透	929
超音波探傷器 FD-210 形	佐藤春治・大力健市	935
電子計算機用カップルドフィルム形記憶装置		
尾崎 弘・谷口慶治・小島一男・蒲生容仁・上坂達生・南部 元	939	
60/70 kV 級全天候形キュービクル	米沢克昌・田辺俊雄・田中久男・平河宏之	944
《新製品紹介》		953
新系列 LG 形抵抗器・CU 形コントローラシリーズ・MCU 形コントローラ・磁気エスコート装置		

《ニュースフラッシュ》

東北大学 理学部向け中性子分光器完成・LAWS-3-D 形 各相表示線維電装置・常磐線 ATC 自動試験装置完成・原子力船“むつ”訓練用シミュレータ完成		956
--	--	-----

《特許と新案》

高圧水銀放電灯・レーダ方式・フレキシブルコンテナ・FM-AM バンド切換装置・レーダ方式・水槽の水取り出し装置・ジグザグミシン操作装置		879 & 927
---	--	-----------

《ハイライト》



表紙 1 トピー工業(株)豊橋製造所納め 120 トン UHP アーク炉

最近超高電力(UHP)アーカー炉の設置が活発になってきているが、当社では BBC-KRUPP との技術提携による上記 UHP 炉を完成した。

その炉用変圧器は国内最大容量であり、がんじょうな炉体、液圧式の電極制御装置と、全油圧式の炉体操作機構をもち、UHP 炉にふさわしい機能をそなえている。

表紙 2 三菱マイクロコントローラ

表紙 3 三菱サイリスタ

表紙 4 巨船を動かす三菱船用電機品



**SPECIAL EDITION : (1) ELECTRIC FURNACES & HEATING EQUIPMENT
(2) MARINE ELECTRIC APPARATUS**

CONTENTS
SPECIALLY COLLECTED PAPERS (1)

Mitsubishi UHP Arc Furnaces.....	K. Taguchi • T. Yamamoto • H. Kawaguchi...827
UHP Arc Furnace Transformers for Topy Steel Co. —Recent Shell Form Arc Furnace Transformers—	S. Suenaga • H. Kobayashi...834
Mitsubishi-BBC 30 Ton 8,500 kW Mains Frequency Crucible Induction Furnaces.....	K. Taguchi • T. Hirokawa...841
Packaged Type Induction Furnaces.....	T. Hirokawa • M. Hayashi • K. Shirasu...846
Mitsubishi-BBC Channel Type Induction Furnaces for Cast Iron.....	K. Hirota • H. Abiko • Y. Iwasa...853
Mitsubishi Induction Heaters for Forging and Rolling.....	M. Fujimuro • H. Kitamura • S. Matsuo...857
Mitsubishi High Frequency Induction Heat Treatment Equipment.....	Y. Sakai • T. Ueda • H. Kimizuka...867
High Frequency Static Converters for Induction Heating	S. Tsukamoto • T. Kawabata • Y. Yamamoto • M. Kumano • H. Kimizuka • S. Yano...873

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (2)

Recent Trend of Marine AC Generators.....	T. Takahashi • H. Hayashi • K. Minami...881
The Latest Induction Motors for Marine Use.....	K. Morita • M. Siba • F. Maeda...887
Electric Apparatus for Nuclear Reactor on the N. S. "Mutsu"	Y. Umeda • H. Fujita • F. Oka • M. Tai • Y. Masuda • U. Kichijima • T. Tominaga...891
Electric Apparatus for Container Ships with Unattended Machinery Spaces.....	F. Tsuru • T. Inoue...900
Data Loggers for Ships with Unattended Machinery Spaces.....	N. Matsuoka • H. Akiyama...908
Recent Automatic Operation of Engine Room Machinery.....	M. Yamaji • M. Kido...912
Automatic Cargo Pumping System for Large Oil Tankers.....	Y. Katsuragi...920

TECHNICAL PAPERS

84 kV Plug-in Type Gas Circuit Breakers.....	S. Tominaga • T. Tanabe • T. Tsutsumi...929
Ultrasonic Flaw Detectors Type FD-210.....	H. Sato • K. Dairiki...935
Coupled Film Memory for Digital Computers	H. Ozaki • K. Taniguchi • K. Kojima • Y. Gamo • T. Uesaka • H. Nanbu...939
Class 60/70 kV All-Weather Type Cubicles.....	Y. Yonezawa • T. Tanabe • H. Tanaka • H. Hirakawa...944

NEW PRODUCTS

953

NEWS FLASH

956

PATENT AND UTILITY MODEL

879 & 927

HIGH LIGHT Decoloring with Ozone in Exhaust Water of Dying Factory

COVER :

UHP Arc Furnace, 120 T Delivered to Toyohashi Works, the Topy Steel Co.

Installation of Ultra-High-Power (UHP) arc furnaces is very pervasive in the latest steel industry. Mitsubishi has completed the UHP furnace mentioned above through technical cooperation with BBC-KRUPP. It has many notable features ; the transformer for this furnace is of the largest capacity among the home built units. Robust furnace construction, an electro-hydraulic electrode regulator and All-hydraulic arc furnace operating mechanism enable it to be worthy of the function as an UHP apparatus.

HIGHLIGHT

染色工場排水のオゾンによる脱色

1. 染色排水処理へのオゾンの適用

最近、河川水の汚濁がはなはだしく、工場排水処理に対する要請がますますきびしくなっているが、従来の処理方法では満足すべき処理ができない状況である。

当社はこれに対し、オゾンがきわめて有効な手段であることに着目し、早くから北海道工業開発試験所（第2部 第3課長 池畠昭氏）の指導を得て、オゾンによる水処理技術の研究を進め、井水浄化装置、工場排水処理装置などの開発に取り組んできた。

オゾンは酸素元素のみからなる理想的な酸化剤で、その酸化力が天然元素中、フッ素について強いため、従来の酸化剤で分解しきれなかった成分も容易に分解処理することができ、また、余剰オゾンは水中で容易に自己分解して酸素となるので、残留して悪い影響を及ぼすことがない。

染色工場の排水成分は多種多様で、その色相・濃淡・排水量がきわめて変動的であり、したがってこれに見合はん用的な処理システムを設定することは技術的に困難とされており、従来凝集沈殿処理、薬液による酸化処理、活性炭による吸着処理などが行なわれているが、これらの処理はいずれも脱色が不完全であり、また凝集沈殿処理はスラッジの発生が多く、活性炭法はきわめて高価であるなどの欠点があった。

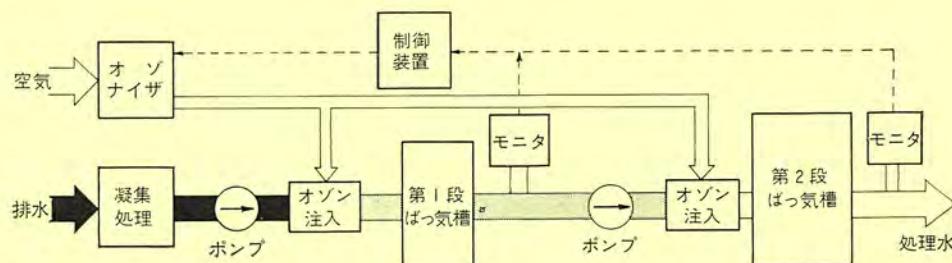
前述のとおりオゾンは染色排水処理に対してもすぐれた脱色効果が期待されたので、昨年、北海道工業開発試験所が中心になって、京都市染織試験場、黒川工業城陽工場および当社が協力し、小形の処理装置を用いて実地試験を行ない、その有効性が確認された。

2. 工業化を目指した実規模試験

このたびこの技術の実用化を目指して、メーカーである当社とユーザーである黒川工業城陽工場は工業化試験を計画し、46年度通産省補助金の交付を受けて、北海道工業開発試験所、京都府立中小企業総合指導所および京都市染織試験場の指導協力のもとに、経済効果をふくめた実規模の試験を行なうことになった。

オゾンによる実規模の水処理はわが国で最初のものである。

染色工業は伝統的な技法を生かした小規模の工場が多く、これらの工場でも容易に使用できるはん用的・経済的な排水処理装置の開発が急務であるので、この工業化試験は昭和47年3月完了を目標に行なうが、この試験装置のフローチャートは図示のとおりである。なお、オゾナイザのオゾン発生量は1.8 kg/h、最大処理水量は100 m³/h、制御装置により連続的に自動運転が可能である。



試験装置のフローチャート

3. 处理装置の特長

(1) すぐれた脱色効果

オゾンを使用しているため脱色効果は活性炭法、次亜塩素酸ソーダ法よりすぐれている。

(2) 安い処理費

凝集沈殿処理とオゾン処理を組み合わせることによって、それぞれの特長が相乗的に作用しあい、処理費が安くなる。

(3) スラッジの減少

上述の相乗効果によりスラッジの発生が少なくなる。

(4) 二次公害なし

オゾンは短時間に自己分解するので余剰オゾンによる二次公害がない。

(5) 簡単な保守・管理

オゾンは空気と電力を原料として簡単に発生および制御ができ、装置の保守・管理はもとより、自動化・省力化が容易である。

(6) 小形

処理装置全体として従来のものより小形になり、敷地面積も小さくてすむ。

4. 期待される効果

この試験研究が所期の成果をおさめることによって、経済的な染色排水処理を提供できる。また、この技術は上水処理、ぬきなど産業排水処理、さらには、下水の再利用などへ幅広い応用が期待される。

UDC 621.365.2

三菱UHPアーク炉

田口 堅・山本利栄・川口一二三

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P827~833

わが国においてもUHPアーク炉の設置が盛んになってきたが、最近納入した三菱電機の80トン35MVA, 120トン56MVA UHPアーク炉の概要と構造上の特長、BBC方式による液圧式電極制御装置の特性について報告する。また、UHPアーク炉計画上の問題点について述べ、関係各位の参考に供する。



UDC 621.314.042.53: 621.365.2

トピー工業(株)向け 大容量アーク炉用変圧器 —最近の外鉄形炉用変圧器について—

末永晋一・小林英雄

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P834~840

最近の製鋼アーク炉の大形化とともに、アーク炉用変圧器も従来と大容量器が出現してきている。

今回、トピー工業㈱に、154kVよりの直落して56MVAという記録的な大容量器を作成、納入したので、紹介するとともに、当社のアーク炉用変圧器について解説する。



UDC 621.365

三菱-BBC 30トン8500kW低周波誘導炉

田口 堅・広川利雄

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P841~845

るつば形低周波誘導炉は、鉄溶溶解用としてすぐれた特長を持ち、キュボラに替わるべき溶解機としてその使用量の増加は著しいものがある。しかし、その構造的問題から容量がキュボラに比較して小さく、溶解能力も少ない欠点があり、キュボラに匹敵するだけの大量の溶解能力を持つ大形高電力炉の出現が待望されていた。この要望にこたえて当社では昭和45年に、国内某社に30トン8,500kWという世界屈指の大形高電力炉を4基納入し、現在好調に稼動している。本文では、この炉の概要について記述するとともに、大形高電力炉のもつ特長、問題点およびその対策についても言及した。



UDC 621.365

パッケージ形 低周波誘導炉

広川利雄・林 稔・白須浩蔵

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P846~852

低周波誘導炉の飛躍は、ここ数年めざましく、大小鉄物メーカーがこぞってその導入に踏み切ってきた。年々の生産規模拡大とともに各工場敷地がますます狭隘になっていく現状では、占有スペースが小さく、しかも、短期間に納入され、投資効果の大きな誘導炉設備の必要性が高まっている。

プラントものとして取扱ってきた誘導炉設備を、仕込生産品として短納期、コンパクト化したパッケージI形炉の実績・経験をもとに、今回、パッケージII形炉を開発したので、その概要・仕様、ならびに特長について記述した。



UDC 621.365

三菱-BBC 鋳鉄用みぞ形低周波炉

広田欣至・安孫子 博・岩佐康彦

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P853~856

鋳造工場の合理化による生産性向上のために、誘導炉の果す役割は大きいがるつば形低周波炉(Crucible Type Induction Furnace)とともに、みぞ形低周波炉(Channel Type Induction Furnace)が、鋳鉄の保持炉(Holding Furnace)として非常にすぐれた能力を有することが認識され、今後ますます需要が増大するといわれている。本文では、この鋳鉄用みぞ形低周波炉について当社の標準を紹介するとともに、その特長や耐火材に対する考え方を述べる。また、みぞ形炉の心臓部であるインダクタ(Inductor)の原理および設計上の考え方について、その概要を紹介し参考に供する。



UDC 621.365.5

三菱鍛造圧延用 誘導加熱装置

藤室雅司・喜多村弘明・松尾 茂

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P857~866

運転経費はもちろんのこと、省力化と工場環境の観点から、今日では誘導加熱は必ず(須)の加熱手段として、鍛造・圧延・押出の広い用途に用いられている。当社では、それら誘導加熱装置の標準機を数多く製作してきたが、一方、新しい分野での新応用のヒータと高性能高能率の大容量ヒータを開発した。又論文では、それら装置の概要・性能・特長と特色ある加熱コイルについて述べる。



UDC 621.365

三菱高周波 熱処理装置

酒井良雄・上田時芳・君塚 齊

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P867~872

高周波誘導加熱装置の進歩は、近年著しいものがあり、技術的問題点も生まれてきた。高周波熱処理の分野では、高度の自動化が要求され、それに付する問題点も種々あるが、それらの技術的動向を、焼入・焼なまし・焼もどしについて検討した結果を報告するとともに、具体例をあげて説明する。また実際に自動化された製品についていくつかを紹介する。



UDC 621.314.63: 621.365.5

三菱サイリスタ式 誘導加熱用高周波電源装置

塙本昭三・川畑隆夫・山本吉彦・熊野昌義・君塚 齊・矢野績成

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P873~878

誘導炉や焼入・鍛造などの高周波誘導加熱用電源として、従来はMGが用されていた。世界的な電源機器の静止化の気運ともあいまって、その高周波用の一分野として誘導加熱用サイリスタ高周波電源装置は、高周波大容量サイリスタの進歩とともに近年急速に実用化の段階に達してきた。当社では、今高周波誘導加熱用に要求される電源として3kHz, 300kW, 800Vのサイリスタ高周波電源装置を製作した。本装置はサイリスタ固有の特性である無接点スイッチであり、保守の容易性・高効率・高速度応答・低騒音などのかずかずの長を有している。本文では、本装置の構成、加熱試験、MGとその並連などの各種試験結果について報告している。



UDC 621.313.322:629.12

船用交流発電機の最近の動向

高橋卓夫・林 弘幸・南 喜代志

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P881~886

近年わが国造船業界の躍進ぶりはまさに目をみはらせるものがあり、数年前まではまさかと思われた大形船が次々と実現している。これに伴ない船内電源としての交流発電機は総容量、単機容量ともにますます増大し、いっぽう高度の自動化船の出現は、発電機の近代化、すなわち信頼性の向上、および保守点検の簡略化への強い要求となってあらわれた。当社は交流船の初期より数多くの実績を有し、また現在もこのような時代の流れに沿って、よりすぐれた発電機を製作すべく努力を続けているが、ここでは船用交流発電機について、当社の経験を通してながめた最

近の動向とともに、当社の標準仕様・構造などについて紹介し、需要
家各位のご参考に供したい。

UDC 621.313.333:629.12

最近の船用補機電動機

森田 清・芝 昌義・前田文生

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P887~890

近年船舶の巨大化、高速化ないし自動化の進展により、船用補機電動機も大容量化、多様化とともに信頼性、性能向上が要求される。本文は機関部および甲板部の補機電動機の特長と最近の傾向について述べている。

UDC 681.142.004

機関無人化船用データロガー

松岡宣雄・秋山 始

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P908~911

船の機関部の自動化に伴う、機関の無人化の世界的な傾向の中にあって、我が国においても昭和44年に日本海事協会が機関の無人化規則を制定して以来、新たに建造される船ではこの規則の適用を受けて夜間無当直船として就航するものが増えている。無人化の実施に伴い自動化機器は信頼性と安定性をいう厳しく追求されるようになった。本文では大阪商船三井船舶(株)所属のMO貨物船「笠木山丸」(117,000トン)に積載されたデータロガー MELDAP-1300のシステムを紹介し、さらに現在の船用ロガーの主流を占めているワイヤード ロジック方式の次に登場するであろう小形の計算機を中心としたシステムについて述べている。

UDC 621.039.56:629.124.79

原子力船「むつ」の一次系電気設備

梅田泰広・藤田 洋・岡 富士郎・田井昌輝
樹田征也・吉島宇一・富永隆弘

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P891~899

わが国最初の原子力船「むつ」は米国のサンバナン号、西独のオットーハーン号について、商船としては世界で三番目のもので、純国産技術による熱出力36MWt の三艤船用原子力プラントをとう載している。当社は本船の原子炉部の主要電機品を製作納入したが、本文では、主冷却水ポンプ用キヤンドモータ、補機起動盤、制御計装盤、炉出力自動制御および核計装設備の概要を紹介するとともに、安全性確保のための特殊の設計条件についても述べている。

UDC 621.31:629.12.011.56-519

最近の機関室自動化装置

山地正城・本戸正克

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P912~919

最近の船舶における自動化は昭和40年前後の開発期を終え、実用化の段階に入っている。その実用化も最近コンピュータの導入によりさらに高度化されつつあるが、ここでは現在実用化されている機器の中で機関室まわりのものを取りあげ、その機能を説明している。とくに最近は機関室無人化船が多くなっているので、機関室無人化を中心について述べている。

UDC 621.31:629.12.011.56-519:621.869.8

機関室無人化 高速コンテナ 船用電機品

鶴 史雄・井上隆治

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P900~907

船の乗組員の労力削減と船の運航の安全性向上を目的として、船舶に自動化が導入されて約10年になる。この間自動化の内容は多様化、高度化し最近では機関室無人化にまで進展した。当社の電機品を積載し、機関室無人化の船級マークを取得した船もすでに数10隻就航している。今回さらに三菱重工業横浜工場で建造された日本郵船所属高速コンテナ船「鎌倉丸」の電機品を一括納入し、目下日本海事協会の機関室無人化(NK-MO)のマーク取得のため、船内調整中である。2基2軸船の特異性とNK-MOの特異性を中心に、本船の配電系統、主機遠隔操縦装置および警報装置などについて述べる。

UDC 621.86-55-523:629.623.56

タンカーの自動荷役制御装置

桂木義夫

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P920~925

近年、タンカーは運航費の低減、運転員の減少などの海運界の合理化推進により超大型化しつつあるが、これにともなって荷役作業の省力化、荷役時間短縮が強く要望されるようになった。

今回、従来の荷役制御盤の機能の他に、JSS装置 (Jet Strip System) 自動集油装置 (Auto. Gathering System)、荷役状態表示装置 (Display Unit) の三機能を加えた制御装置を開発した。これらの装置は、今後コンピュータ制御される超自動化船への移行過程における最新の装置としての技術的意義とともに、機関室無人化自動化船の荷役システム用として期待される、まさに、その概要を紹介し参考に供する。

UDC 621.316.57-064.242

84kV プラグイン形ガスしゃ断器

富永正太郎・田辺俊雄・堤 透

三菱電機技報 Vol. 45 No. 7 P929~934

はん用のしゃ断器に駆動装置を取付け、主回路の接続および断路を自動的に行なう構造とすることによって、しゃ断器自体に断路機能を持たせ、従来しゃ断器の前後に設置していた断路器を省略することができる。このアイデアを84kVの標準形ガスしゃ断器に拡張して通用し、プラグイン形ガスしゃ断器を開発した。なお、この装置は主回路の接地装置も備え、さらにコンデンサ形計器用変圧器も組込み可能な構造をしている。

最近の変電所縮小化の傾向に伴って、今後このような複合機器が各方面に採り入れられると予想される。

UDC 534.8-8: 681.89

超音波探傷器FD-210形

佐藤春治・大力健市

三菱電機技報Vol. 45·No. 7·P935~938

超音波探傷器は非破壊検査法の一つとして、検査時間が短い、コストが低い、などの特長をもっているため重要な位置を占めている。最近では特に鉄骨橋梁の溶接部検査や船舶の溶接部検査など、高所あるいは交流電源の得られにくい場所で使用する機会が多くなってきた。このたび製作したFD-210形超音波探傷器は、これらの背景のもとに開発したもので、次のような特長をもっている。(1)小形軽量、(2)直流・交流兼用可能、(3)蓄電池1回充電により7時間以上連続使用可能、(4)溶接部検査用としての機能はほとんど満足されている。



UDC 681.142.04: 159.953: 621.318

電子計算機用カップルド フィルム形 記憶装置

尾崎 弘・谷口慶治・小島一男・蒲生容仁・上坂達生・南部 元

三菱電機技報Vol. 45·No. 7·P939~943

本文ではカップルド フィルム形記憶素子を用いた、16Kバイト記憶装置の開発およびこの装置を用いて得られた実験結果について述べる。記憶素子については反磁界の影響を受けない磁性膜の結合構造を求め、またうす電流の影響、伝ば特性、磁界分布を最適にし、かつ工作性のよいストリップ線の構成法を決定した。周辺回路については(1)語駆動回路にトランジスタマトリックスを使用しこれをスタックに直結した。(2)書き込み音の消去にトランジスタを用い、エミッタホロウ付極性判別回路を用いてサイクル タイムの短縮をはかった。本試作装置はサイクル タイム250ns、
○ アクセス タイム80nsで安定に動作した。



UDC 621.316.344

60/70 kV級 全天候形キューピクル

米沢克昌・田辺俊雄・田中久男・平河宏之

三菱電機技報Vol. 45·No. 7·P944~952

完全密閉パネル構造の採用と内部に点検通路を設けることによって気象条件や環境条件に無関係に信頼性の高い運転ができる全天候形キューピクルを製品化した。外被構造は高層建築に用いられているカーテンウォール式のパネル方式とし、内蔵機器はカートリッジ化して製品の高品質性と標準化による量産性を高めたものである。主要機器相互間と制御回路間には接地電位の金属隔壁があり、作業の安全性確保と事故の進展防止を図っており、さらにエアリング方式を採用して、外気温度の変化に伴うキューピクルの呼吸作用を防止し、内部が常に清浄な乾燥空気で満た
○ されていて、内蔵機器の信頼性が高度に維持されるようにしている。



三菱 UHP アーク炉

田口 堅・*山本 利栄*・川口一二三*

Mitsubishi UHP Arc Furnaces

Itami Works Ken TAGUCHI・Toshie YAMAMOTO・Hifumi KAWAGUCHI

In Japan UHP (UHP means ultra high power operation) arc furnaces are now being installed extensively. On the part of Mitsubishi, 80 ton 35 MVA and 120 ton 56 MVA UHP arc furnaces with BBC electro hydraulic electrode control system have been manufactured.

Herein are introduced the talking points and outline of those arc furnaces and electro-hydraulic electrode control system of them for the reference to those who are planning to install the arc furnace in future.

1. まえがき

数年前、米国の W. E. Schwabe によって提唱されたアーク炉の超大電力 (UHP : Ultra-High Power) 操業⁽¹⁾は、その高い生産性から急速に普及し、わが国においても設置の動きが活発化している。当社でもこの動きに対応して研究を進めるとともに、欧州最大のアーク炉および電機メーカーである Krupp, BBC 各社と技術提携を行ない、液圧電極制御装置による、80トン 35 MVA および 120トン 56 MVA HP ないし UHP アーク炉を製作し、昭和46年初めに納入した。

ここに、その UHP アーク炉および液圧制御装置の特長と概要を紹介し、設備計画上の留意点について述べ、関係各位の参考に供したい。

2. UHP アーク炉の仕様

80トンおよび120トン炉の主要目はつぎのとおりである。いずれも炉体操作はすべて油圧式とし、動作の円滑化と遠方操作に便なるようにした。各炉の概略寸法を図2.1に示す。

2.1 トピー工業納め 120トンアーク炉

(1) 炉体

形名:	SSKD-650/56形
炉容量:	120トン
炉かく(殻)内径:	6.5m
材料装入:	炉ふた(蓋)旋回炉頂装入式
炉ふた押上げ・旋回:	油圧式
傾動:	油圧式 出鋼側45度、除さい側15度
とびら開閉:	液圧式
電極制御装置:	液圧式 最大電極速度100mm/s
給電方式:	複導体 水冷ケーブル方式
使用電極径:	600m

(2) 変圧器

三相 60Hz, 送油水冷式, 屋内用
外鉄形 フォームフィット構造
定格容量: 56/56/25 MVA (67.2 MVA 2時間)
一次電圧: 154kV
二次電圧: 741~171V (21タップ)
三次電圧: 33kV

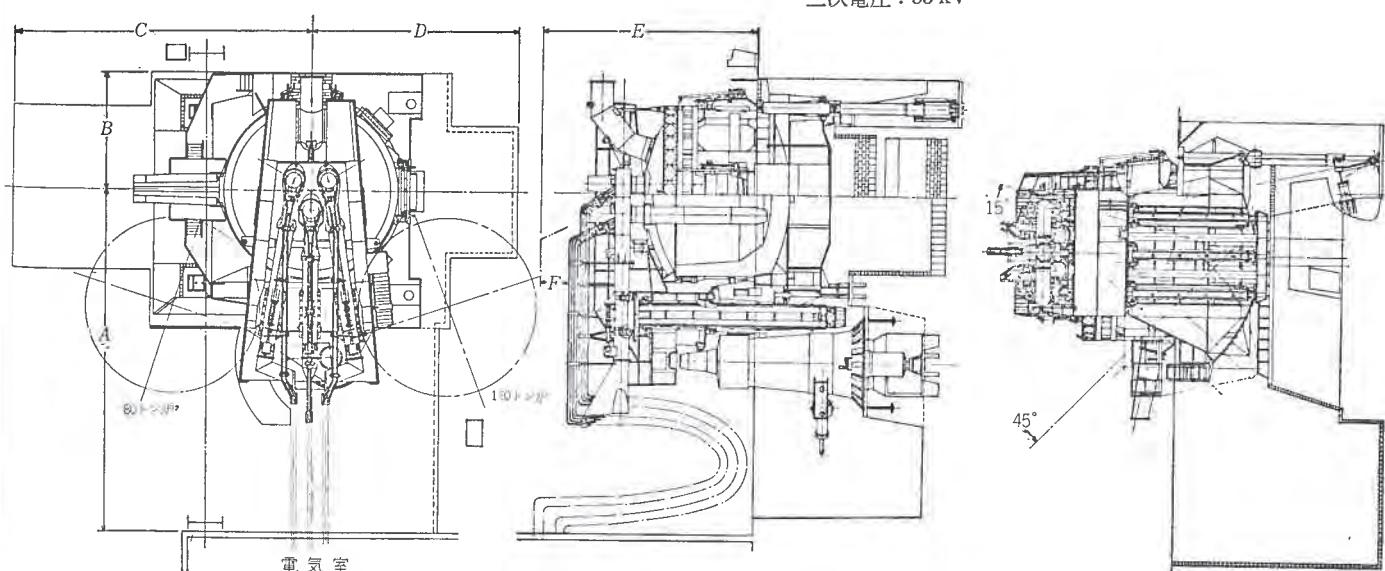


図 2.1 アーク炉外観図
Outline drawing of arc furnaces.

形 式	炉容量 tons	各 部 寸 法 mm					
		A	B	C	D	E	F
SSKD 600	80	12,700	4,300	12,500	7,600	11,200	4,600
SSKD 650	120	13,000	4,650	13,000	8,000	11,600	4,600

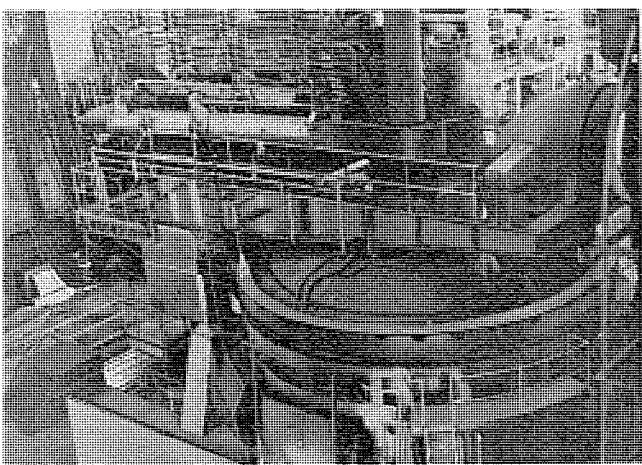


図 2.2 120トンアーク炉
120 t Arc furnace.

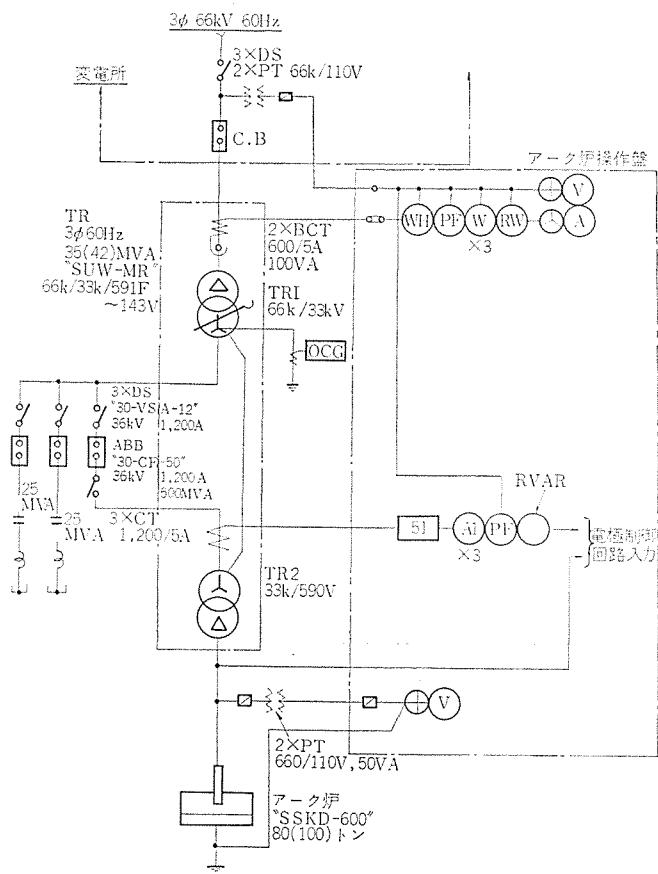


図 2.3 80トンアーク炉 単線結線図
Skeleton diagram of 80 t arc furnace.

MR 形 負荷時 タップ 切換器付き

なお、一次・二次間に約 33 kV の中間電圧を引き出し、ここに負荷開閉用 しゃ断器を入れて、三次巻線には力率改善用 コンデンサ 25 MVA を入れている。詳細については本号別論文を参照願いたい。

図 2.2 は操業中の 120 トンアーク炉である。

2.2 某社納め 80 トンアーク炉

(1) 炉 体

形 名： SSKD-600/35 形

炉 容 量： 80 トン (最大 100 トン)

炉 か く 内 径： 6.0 m

使 用 電 極 径： 550 mm

そ の 他 は 120 トン 炉 と 同 じ

(2) 変 压 器

三相 60 Hz, 送油水冷式、屋内用

外鉄形 フォームフィット構造

定格容量： 35 MVA (42 MVA 2 時間)

一次電圧： 66 kV

二次電圧： 591~143 V (23 タップ)

MR 形 負荷時 タップ 切換器付き

本変圧器も 66 kV よりいったん中間電圧に落し、ここに タップ 切換器と負荷開閉用 しゃ断器を入れる方式である。力率改善 コンデンサ もこの中間電圧巻線に接続している。図 2.3 に 80 トンアーク炉の単線結線図を示す。

3. 三菱 UHP アーク炉の構造上の特長

UHP 化にともなう最大の問題は、炉内の アークエネルギー 密度の増大と大電流にともなって生じる諸現象である。この対策としての当社のアーカー炉の特長を述べる。

3.1 複導体の採用

UHP アーク炉においては、炉母線のリアクタンスを小さくすることが耐火物の寿命延長および効率向上のため不可欠であるが、水冷ケーブル および アーム 上の導体の使用本数を増して 8 本にし、その広がりを大きくして導体断面積を増さずに自己幾何学的平均距離を大きくし、リアクタンスを減少させるようにした。図 3.1 に示す両者の自己インダクタンスはほぼ等価である。

変圧器から電極に至る三相導体はすべて三角形配置を行ない、中央相の導体こう長を長くし、かつ相互インダクタンスのバランスをとり、三相リアクタンスを平衡化し、特定相に発生する ホットスポット の低減を行ない、各相のリアクタンスの不平衡率を 5 % 以内におさめることができた。

3.2 水冷ケーブル

米国の炉メーカーでは断面積が 4,000~5,000 mm² の水冷ケーブルを使用しているようであるが、大きい直径のケーブルは曲げ半径の関係で使用中無理がかりやすく、寿命低下をさけるため水冷銅管を 8 本構成にしているので、冷却水を水冷ケーブル一銅管一コンタクトと直列に流して水回路を単純化するために水冷銅管と同じように 1 相当たり 8 本構成にした。水冷ケーブルは 10 A/mm² 以上の電流密度で使用してもなんら問題はないが、アーカー炉の場合に負荷電流変動、特に短絡時の電磁力による振動のため寿命低下をきたすので、電流密度を相当低い値におさえた。

また、中心スパイラル構造は、ねじれと素線の振動のために生じるスパイラルとの摩擦による素線切れの問題がある⁽²⁾ので、その後、振動疲労に対する検討を加えて、より線構成を中実形とし、導体外周を水冷する構造にした。

また、出湯時にマストの高さが、電極ストロークの約半分以下にな

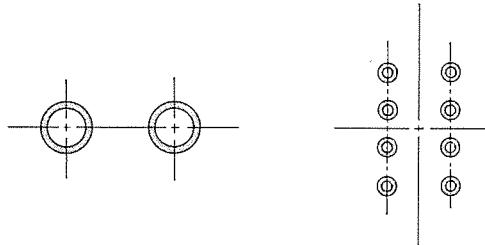


図 3.1 水冷母線の構成例
Examples of water cooled heavy current bus arrangement.

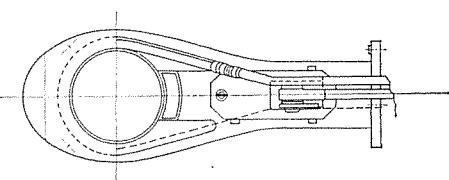
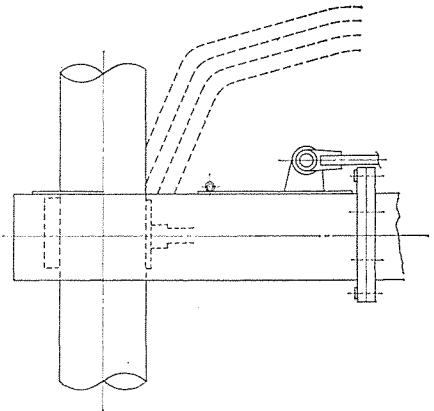


図 3.2 電極ホルダ Electrode holder

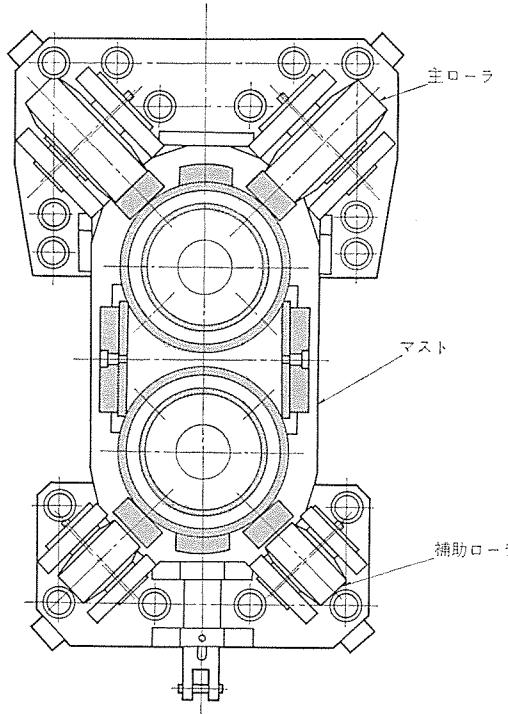


図 3.3 マスト支持構造 Mast support mechanism.

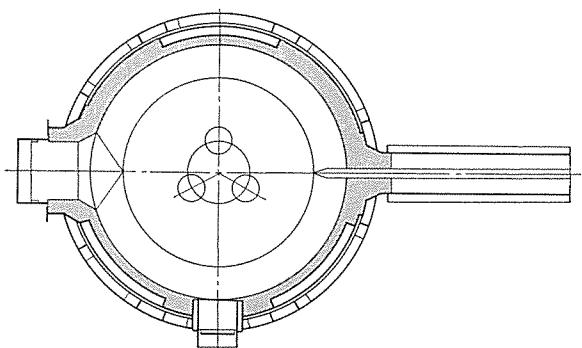


図 3.4 水冷ボックス配置図 Arrangement of water cooling boxes.

らないと傾動できないようにインターロックをとり、水冷ケーブルの長さを短くして回路リアクタンスを減少させた。

水冷ケーブルを短くするために炉用変圧器中心と炉心をずらして配置する方法もあるが、水冷ケーブル相互間のねじれようとする電磁力が好ましくないので、両者を一致させて配置した。

3.3 電極ホルダ

UHP アーク炉においては必然的に低電圧大電流操業を行なうことになり⁽¹⁾、たとえば 120 トン 56 MVA アーク炉においては定格電流は 60 kA を越える。したがって、當時および短絡時に導電部である水冷導管および電極は強大な力を受け、電極に働く電磁力によってホルダにねじりモーメントが加わる。この力に対して十分な強度をもち、かつ揺れを極力小さくするためにホルダを従来の銅鋳物製にかわって、すべて鋼板溶接構造にし、その剛性と電極とコンタクトの接触圧力を増した。また、大電流は 8 本の水冷銅管から直接銅製の 2 個のコンタクトブロックを経て黒鉛電極に給電する構造にした。このコンタクトの幅は電極との接触効率を良くするために小さくし、電極径の直径公差に対しても十分な接触を保ちうる構造にしている。水冷銅管と銅ブロックを接合し、直接電流および冷却水通路を形成するとともに従来使用していたライナは使用せず、電極との接触部が効率よく水冷されるようにしてコンタクト部の寿命延長を図った。ホルダの外観を図 3.2 に示す。最初の試作品では期待した成果が得られなかつたが⁽²⁾、その後、コンタクトの材質・形状・冷却構造・加工方法に改良を加え、80 トン・120 トン各炉とも好結果を得ることができた。

3.4 マスト支持方法

マストは 2 本の電極昇降シリンダを兼ねており、斜め 45 度方向から 4 個のローラで支えている。このため、重い電極をささえ、短絡時の電磁機械力や速応性のよい液圧電極制御装置との組合せによつてもほとんど電極の揺れが生じない。このために相間短絡のおそれがないので、電極ピッチャーカークを従来より約 10% 小さくできた。マスト支持構造を図 3.3 に示す。

3.5 バランスシリンダの使用

さきに述べたように、UHP アーク炉においては、電極アーム・マスト等の強度上の必要から重量が必然的に重くなるので、大きな重いスクラップ溶解時に電極折損の危険がより多くなる。これを防ぐために電極制御用シリンダのほかにバランス用シリンダを採用し、電極以外のすべての重量とバランスさせて電極がスクラップなどにのつたときに電極に過大な力がかからないようにしている。このため、現在まで電極接続部のゆるみによる折損以外ほとんど折損事故が生じていない。

3.6 水冷ボックス

運動功率を低くし、回路リアクタンスの平衡化および減少、電極ピッチャーカークの縮小を図っても、耐火物損耗指數⁽³⁾は従来炉 (RP 炉) の 1.5~2 倍にもなるので、とくに炉壁耐火物の損耗が大きくなるのは避けられない。この対策として 120 トン炉では、ホットスポット部に水冷ボックスを設けた。ホットスポット部のレンガ溶損後も水冷ボックスむき出しで使用できるように、炉壁レンガの中に埋めこむ図 3.4 の方法をとった。運動開始後まもなく操業の不慣れもあって水冷ボックスがむき出しへなってしまったが、そのまま使用して 180 チャージ以上に及んでいる。

3.7 炉ふた(蓋)

炉ふたは塩基性レンガが使用され、非常に重量が重くなるので、炉ふたリングは水冷ジャケット構造にしないで、厚肉鋼管による周方向の水冷と十分な補強板を入れられる構造にし、炉ふた押上げ・旋

回装置も余裕あるものとした。

4. 液圧式電極制御装置

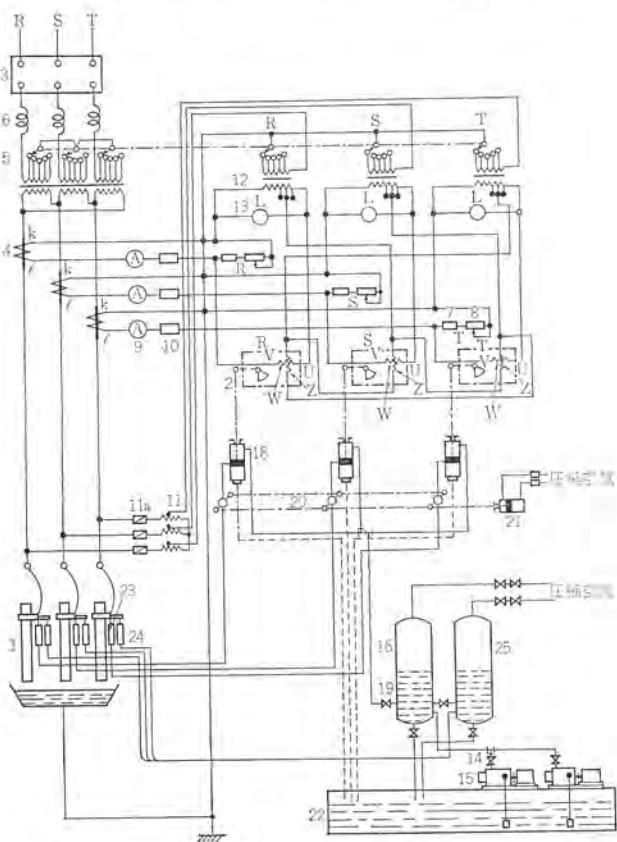
二つの炉にはいずれも液圧式電極制御方式を採用した。この方式は電極昇降マストを液圧により直接駆動しているので、可動部の慣性が非常に小さく、即応性の良い制御が可能である。

4.1 作動液

粘性が低く、温度による粘度変化が少ないと、および安全性のうえから水をベースにして油を若干加えた 01 W 形エマルジョン液を使用している。なお、寒冷地においては不凍液を混合して凍結による機器の破損を予防する。

4.2 液圧制御回路と機器

制御回路の基本構成を図 4.1 に示す。制御液は水ポンプ 15 によって圧力タンク 16, 25 に送り込まれる。各圧力タンクには約半分の圧縮空気を充たしてエネルギーの蓄積器として働く。ポンプ容量が小さくてすむようにしている。圧力はバランス用圧力タンク 25 からバランスシリンダ 24 へ常時加えられていて、マストの自重を完全に補償する。16 は制御用圧力タンクで液圧は制御弁 18 を介して制御シリンダ 23 に送



- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. アーク炉 | 15. 液圧ポンプ |
| 2. 制御弁駆動装置 | 16. 電極制御用圧力タンク |
| 3. 主回路シャン断器 | 17. 手動操作バルブ |
| 4. 変流器 | 18. 制御弁 |
| 5. 炉変圧器 (タップ切換器付き) | 19. ストップバルブ (液圧用) |
| 6. 直列アクトル | 20. ストップバルブ (自動制御用) |
| 7. 最大電流制限抵抗 | 21. 空気シリンダ |
| 8. 電流調整抵抗 | 22. タンク |
| 9. 電流計 (電極電流) | 23. 昇降シリンダ |
| 10. 二次側電器 | 24. バランス用シリンダ |
| 11. 三相単巻変圧器 | 25. バランスシリンダ用圧力タンク |
| 12. 単相補償変圧器 | 26. ストップバルブ (空気用) |
| 13. 信号灯 (電極電圧) | 27. ストップバルブ (液圧用) |
| 14. バルブ (チェック付き) | |

図 4.1 液圧式電極制御回路図
Circuit diagram of electro-hydraulic electrode control system.

られる。制御弁駆動装置によって入力信号電流の変化に応じて制御弁の開閉を行ない、電極を制御する。

制御弁駆動装置は二相交流トルクモータを用いて非常に低慣性に作られており、制御弁も液圧サーボ增幅器付きである。図 4.2 に外観を示す。

4.3 制御特性

制御装置の詳細についてはすでに報告されている⁽⁴⁾が、制御装置にダンパーを設けて、図 4.3 のような特性を持たせ、溶解期・精錬期にその外乱信号の大きさが異なることに対応させて適当な大きさの操作信号をうるようしている。なお、動作点 A, A' などは任意に調節できる。すなわち、微小入力ではオイルダンパーと A 点の調節によってその出力を殺し、小さな外乱によるむだな電極の動作をなくし、スクラップによる電極短絡などが生じた場合には、動作点が C 点になり、高速で電極を上昇させて主回路シャン断器の過電流トリップを防ぐ。このような制御特性をもたせることによって 6~7 m/min という高速の電極速度と慣性の小さい制御装置で、必要なときにのみ速く、不要なときは応答性がよすぎて余分な動作を行なうことがない電極制御装置を実現している。図 4.4 に制御弁駆動装置に単位入力を加えたときの応答特性を示す。遅れ時間はほとんどなく、



図 4.2 制御装置
Control device (Regulator and servo-valve).

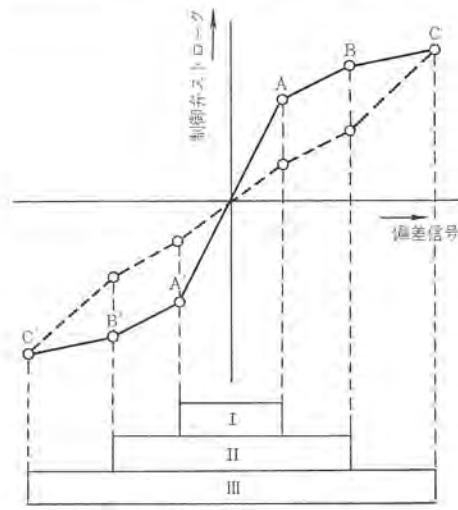


図 4.3 制御弁駆動装置特性
Characteristic curve of regulator.

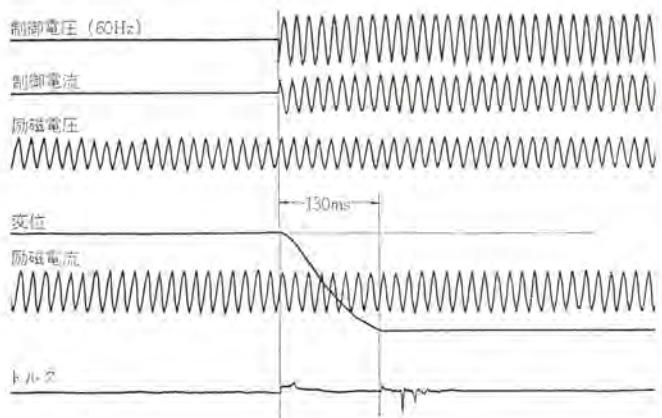


図 4.4 制御弁駆動装置応答特性
Regulator response for stepped input.

130 ms で全ストロークを動いている。なお、使用中に若干の空気が作動液に混入して制御シリンダ内にたまると、応答性がそこなわれる所以、定期的に空気抜きを行なう。

4.4 高速電極制御装置の意義

剛性の高い電極昇降機構とむだ時間の小さい応答性の良い液圧制御装置によって、高速の電極昇降装置を実現した。高速制御装置の利点として次のようなことがあげられる。

- (1) 溶解期にスクラップのたな落ちによる電極間短絡に対して高速で逃げることができ、過電流によるしゃ断器トリップを少なくできる。
- (2) しゃ断器の動作ひん度が少なくなるので、寿命が長くなり、点検の手間も少なくなる。
- (3) 材料装入・出湯などで電極引き上げ時の時間が短縮できる。電極ストローク 4.2 m の場合、全ストロークを動くのに 6 m/min では 42 秒、4.2 m/min では 60 秒を要し、約 20 秒の差が生じる。したがって、1 回の操業サイクルに 3 ~ 4 分の時間の節約ができる。UHP 操業では溶解時間が短いので、この時間も無視できない。
- (4) 電流変動の回復特性がよく、過電流による主回路トリップが少なくなり、平均供給電力がふえる。

5. アーク炉特性と電機品の選定

5.1 受電電圧

受電電圧を直接ケーブルでアーカー炉電気室へ引き込み、油入エレファントブッシングを経て変圧器に接続される、いわゆるじか落とし方式が採用されている。

UHP 炉では受電系統短絡容量に比べて炉変圧器容量が大きくなるため、アーカー炉の負荷電流変動による系統の電圧フリッカが深刻な問題になることが多い。したがって、系統へ及ぼす電圧フリッカの軽減、受電容量、変電所からアーカー炉電気室までのケーブル敷設費などから、60~150 kV の超高圧より直接降圧させるじか落とし方式が採用されることが多い。

5.2 フリッカ

UHP 炉においては必然的に低功率で運転されるので、アーカーが安定し、回路特性的にも無効電力の動搖が少ないので、フリッカの発生の度合は小さくなるといわれる。しかし、わが国においても数台の運転例しかなく、いまだその特性が十分には握されていない。

80 トン炉が設置された系統は十分な短絡容量があるので、問題はなかったが、120 トン炉の系統はクリチカルバスで短絡容量が小さく、

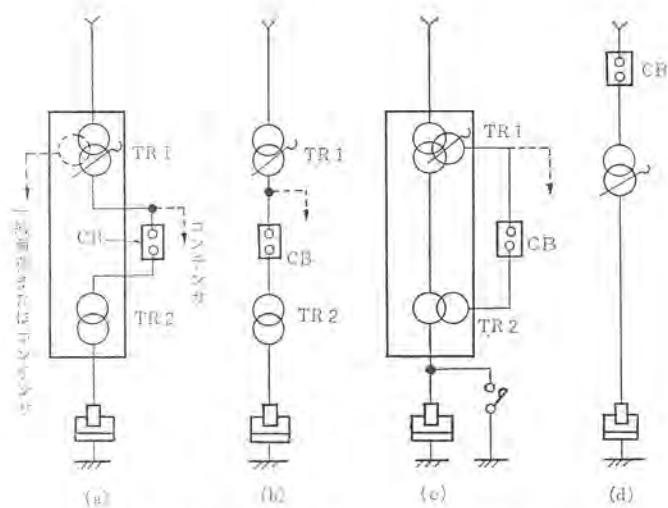


図 5.1 炉変圧器構成例
Examples of arc furnace transformer arrangement.

フリッカの影響が問題になるので、専用回線が完成するまで RP 操業を行なっている。この場合、大型炉に発生するといわれるサイクリックフリッカによる電圧変動 ΔV_c (サイクリックな無効電力の変動が炉変圧器容量 S の 60% あると予想して算出された。 $\Delta V_c = 0.6S \cdot X_0 \cdot X_0$: 母線のインピーダンス) を 0.65% 以下にするように運転容量が決められたが⁽⁵⁾、実際の運転では予想値のおよそ 60% ぐらいであった。

なお、電力会社の母線でのフリッカはもちろんあるが、系統短絡容量が非常に小さい場合には、自工場内のフリッカによる影響および受電電圧降下によるアーカー炉負荷電力の低下の問題にも留意を要する。

5.3 高ひん度開閉器

アーカー炉は操業中に材料装入、アーカーの短絡による過電流、除さい、出鋼などのためにひんぱんに電力開閉が行なわれ、負荷時タップ切換器付き変圧器の場合で 50~100 回/日にもなる。そのため変圧器より中間電圧をひき出し、そこに 5~10 万回の開閉実績寿命をもつ 30 kV 級空気しゃ断器を使用した。

なお、無負荷タップ切換器を使用する場合には、負荷開閉しゃ断器 2 台を断路器によって単独に切り離しうるようにして保守点検の便と故障時に備えることを推奨したい。

5.4 変圧器の構成

じか落とし変圧器においても、高ひん度開閉器の定格電圧の関係でいったん 20~30 kV の電圧をとり出す必要があるため、変圧器の構成は図 5.1(a) の方式とした。調整および炉用変圧器を同一タンクに収納して送油水冷式とし、変電所よりのケーブル引込は、エレファンタントブッシングを使用してコンパクトにまとめてアーカー炉電気室に入れた。

ほかに、図 5.1(c)(d) 方式の実施例もあるが、変圧器の信頼度、しゃ断器の価格・保守・点検等の点からタップなしの大電流炉用変圧器と調整変圧器の組合せ方式にした。

UHP 炉では、変圧器のインピーダンスも設計上許容できる値まで小さくすることが必要であるが、外鉄形変圧器を採用して並列コイル数を多くし、機械的強度をぎせいにしないで容易にインピーダンスを低くすることができる。

ただ、変圧器容量が大きくなると、調整変圧器と炉用変圧器を置いて一つのタンクに入れることは、アーカー炉電気室スペース・製作・輸送コスト上からかえって不利になる。このような場合には、図 5.1(b) 方式にして二つの変圧器に分けて設置するか、調整変圧器を変

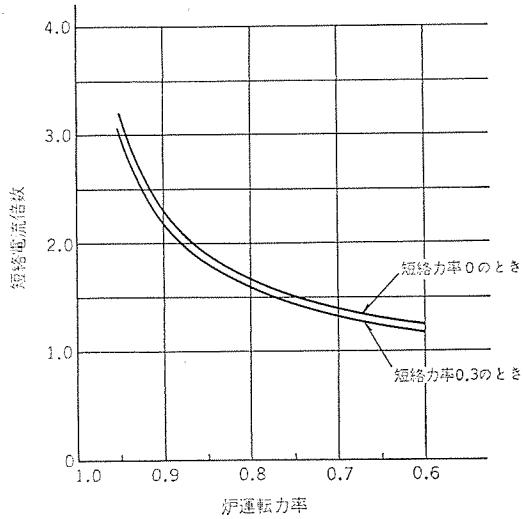


図 5.2 アーク炉運転力率と短絡電流

Furnace power factor vs. short circuit current ratio to rated current.

電所またはアーク炉建屋の近くの屋外に設置すれば、アーク炉電気室を大幅に小さくできるし、屋外設置変圧器は水冷式にしなくともよ。

5.5 タップ切換器

次のような点を考慮して、いずれも MR 形 抵抗切換式負荷時タップ切換器が使用されている。

(1) 引き継ぎ検討されている計算機による複数台のアーク炉のデマンドおよび負荷率制御などにそなえて、ひんぱんにかつ小さざみで負荷調整ができる。

(2) タップ切換えのつど、いちいち主回路を開かなくてもすみ、アークの再点弧を行なうための操業状態の乱れも生じないので、通電率が高くなる。特に、短時間で溶解する UHP 炉では、無負荷タップ切換器によるタップ切換のための通電率低下の影響が大きい。

(3) 主回路しゃ断器の開閉ひん度を少なくでき、耐用期間・保守点検の間隔も長くなる。

(4) 変圧器が大きくなり、電気室のスペースをとる。

(5) 価格が高くなる。しかし、変圧器容量が大きくなるとタップ切換器の占める割合は小さくなる。

(6) タップ切換器室内の油入れかえ、接点の点検・取換えなどの保守の手間がふえる。

また、適用にあたっては、アーク炉はひんぱんにアーク短絡をくりかえすので、タップ切換中に短絡電流をたびたび切換えること、および負荷電流変動が大きいので通電損失が見かけより増すため、十分な通電容量をもつことなどに留意しなければならない。図 5.2 にアーク炉の運転力率と短絡時の電流の割合を示す。

したがって、設備計画にあたっては、これらを考慮のうえに決定しなければならないが、今後、変圧器の大容量化と計算機制御の導入とともに負荷時タップ切換器の採用が多くなってくるであろう。

5.6 炉運転力率と変圧器容量の決定

炉の運転力率・変圧器容量・電圧はつきのような点を考慮して決定した。

(1) 溶け落ち後の耐火物損耗指数が RP 炉の 2 倍を越えない。

(2) 炉変圧器を含む全体の力率があまり悪くならないようにする。少なくとも 60% 以上にする。

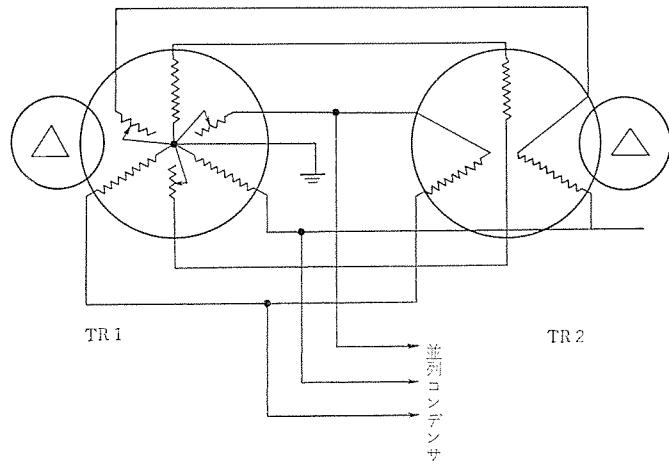


図 5.3 クロスター 結線図
Cross star connection of transformers.

(3) 周囲にスクラップがある間はロングアークとして運転力率を高めにする。

(4) 電圧変動を系統に応じて見込む。

(5) 最低電圧はシングルスラグ法かダブルスラグ法により、溶湯の保温とスラグの加熱のために必要な電力から決める。

従来、概念的にいわれている回路電力最大になる力率 70.7% や、アーク電力最大になる最適電流点（一般に、力率 72~75% ぐらいの点にある）での運転は皮相的な表現であり、運転条件を検討する場合にはこれらの表現にとらわれることなく、アークの安定、炉全体の効率、耐火物の寿命などを総合的に検討したうえで決めなければならない。

5.7 力率改善用コンデンサ

120 トン炉の場合には調整変圧器の三次巻線に、80 トン炉では二次側の定電圧巻線にコンデンサを負荷変化に応じて開閉できるように、12.5 MVA 2 パンクに分けて、スペースのうえからいづれもアーク炉電気室近くの屋外においている。なお、35 MVA 変圧器は、図 5.3 のように、クロスター結線方式とし、タップ切換えによって炉電圧を調整してもコンデンサ端子電圧が変化しないようにしている。（図 2.3 参照）

従来、アーク炉は 85~90% の高い力率で運転されるのが普通であったが、UHP アーク炉では力率改善設備が不可欠となってきた。一般に、並列コンデンサが用いられる

(1) コンデンサ用開閉器の寿命やケーブル敷設費、コンデンサのコストなどから 10~30 kV 級の電圧が使用される。

(2) コンデンサのスペースがかなり大きくなり、室内の冷却換気の問題もあるので、アーク炉電気室にはコンデンサ用開閉器のみとして近くの屋外におかれる。

(3) 炉電圧の調整を行なってもコンデンサ端子電圧が変化しない個所に接続されることが多い。図 5.1(b) のように、調整電圧母線に接続する方法は、炉電圧の調整によってコンデンサの等価容量が変化するので、炉の運転力率をいつも一定にして使用する場合以外はコンデンサの利用率が悪くなる。しかし、負荷調整により、コンデンサの容量の調整を開閉器によって行なう必要がなく、改善力率も一定範囲に保たれる利点があるので、開閉器のコストと炉運転条件の両者を勘案して決める。

(4) 炉負荷の変化に応じてコンデンサ容量を調整する必要は一般に少ないが、系統容量が小さくてコンデンサによる電圧上昇が大きい

場合には、バンクをいくつかに分けてかなりひんぱんに開閉を行なう必要がある。

この場合には(3)で述べた方法が有利である。

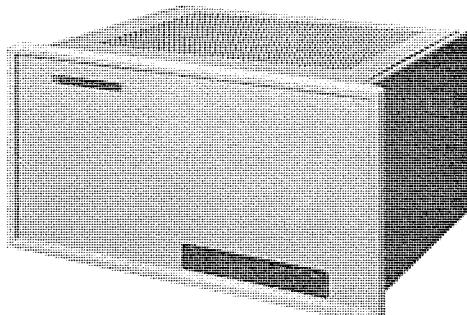
(5) 改善力率は100%にしたほうが有利である。90%に改善する場合の設備費差額はわずかである。

(6) アーク炉負荷には大量の高調波を含むので、コンデンサの直列リアクトルの容量の選定には注意を要する。

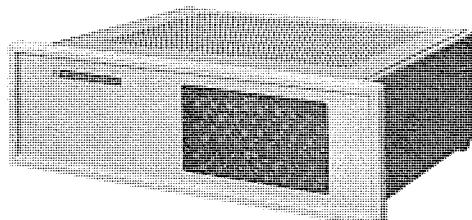
6. アーク炉の計算機制御

いずれの設備も計算機による溶解プログラム制御、あるいはデマンド・負荷率制御が計画ないしは検討されている。

溶解プログラム制御装置は、最近当社で開発したマイクロコンピュータを使用した演算制御装置で、材料装入量に対して投入電力量が設定値になると、その値に応じてあらかじめ決められた電圧・電流を選択し、炉内状況に応じて最適な操業条件を選んで溶け落ちまでの制御を行なうもので、通電停止時の熱損失・酸素吹精時の反応



演算制御ユニット（基本装置）



入出力ユニット

図 6.1 プログラム制御用マイクロコントローラ
Micro controller for program controller

熱補正や、追加予告信号発信・炉壁の受熱量変化による溶け落ち検出などの付加機能をもっている。本装置は近く運転にはいる予定である。図6.1にその外観を示す。

また、これと並行して材料の自動ひょう（秤）量、副原料の自動配合、装入装置なども設備されている。

さらに範囲を広げて計算機による制御対象としては、

(1) 複数台のアーク炉負荷を含むデマンド・負荷率制御

(2) 材料（スクラップ、副原料）の切出し・配合

(3) 溶解制御

(4) カーボン量・酸素吹精量計算

(5) 酸化・還元期反応制御

(6) 出湯温度制御

(7) 造塊場・連続铸造機等との連けい

(8) データロッギング・監視

などがある。

スクラップヤードから造塊までの一貫したメタルフローシステムとして、各省力化機器とその制御のための本格的な計算機の導入もそう遠くないことと思われる。

7. む す び

最近納入した当社のUHPアーク炉の特長および計画にあたっての問題点について述べた。いずれも運転開始後、日も浅いので、本格的な運転結果についてはあらためて報告したい。本稿が多少なりともUHPアーク炉計画上の参考になれば幸いである。終わりに当社にUHPアーク炉製作の機会を与えていただいた両社、ならびに関係各位に感謝の意を表するしだいである。

参 考 文 献

- (1) W. E. Schwabeほか : Jour. of Metals, p. 75~80 (Jan., 1965)
- (2) 鈴木 : 三菱製鋼技報, 5, No. 1, 3 (昭46)
- (3) W. E. Schwabe : Fifth International Congress on Electro Heat, No. 123
- (4) H. Eggelingほか : BB Rev., 55, No. 3, p. 91~96 (1968)
- (5) 笠原 : アーク炉超大電力操業時のフリッカ問題、電気加熱シンポジウム予稿 (昭45-7)

トピー工業(株)向け大容量アーク炉用変圧器 —最近の外鉄形炉用変圧器について—

末永晋一*・小林英雄*

UHP Arc Furnace Transformers for Topy Steel Co. —Recent Shell Form Arc Furnace Transformers—

Itami Works Shin-ichi SUENAGA・Hideo KOBAYASHI

An order has been placed with Mitsubishi for a 120 ton arc furnace and related electric equipment by the Topy Co. Of the apparatus thus ordered, an arc furnace transformer is of an epochal large capacity that has opened up a new field. Power is received at 154 kV and stepped down through the transformer direct for the supply to the arc furnace. The transformer is rated 56 MVA and of a shell type form-fit construction, being a unique product well commented in the circles. Recent trend in this field is high power operation. The scale is further moving upward and ultra high power is coming into use. This makes the transformer becoming larger and larger in capacity.

This article describes Mitsubishi arc furnace transformers as well.

1. まえがき

このたび、トピー工業(株)より 12 ton 電気炉、および関連する機品を一括受注する機会に恵まれ、アーク炉用変圧器としては新天地を開く、記録的大容量器を製作・納入したので、ここに紹介するとともに、この稿を借りて最近のアーク炉用変圧器について解説する。なお、当社はアーク炉用変圧器をすべて外鉄形 Form-Fit 式で製作しており、ユニークな製品として好評を博している。

近年、製鋼アーク炉の大出力・高能率化が著しく、いわゆる High Power (HP) 操業時代にはいり、さらには Ultra High Power (UHP) に移行しつつある。これとともに、アーク炉用変圧器も続々と大容量器が出現している。最近、当社が製作した 10 MVA 以上のアーク炉用変圧器とアーク炉出力との関係を図 1. 1 に示す。

1.1 アーク炉設備の回路方式

一般的なアーク炉設備の回路方式は図 1. 2 の (a) で示される。

アーク炉の電源として他の工場負荷と同一の母線より供給を受けると、アーク炉固有の操業中の炉内での短絡や、アークの不安定性のために、アーク炉の大容量化とともに、母線は大幅な電源変動を受け、

またちらつき現象（フリッカ）もともなうため、他の工場負荷に悪影響が及んで不適当になる。したがって、安定な大容量の電力をうるために 60 kV, 70 ~ 140 kV 等の高電圧で受電し、これに直接アーク炉設備を接続する、いわゆるじか落とし方式が採用される。この場合、このような高電圧の架空線を工場内に張りめぐらすのは不経済であり、またアーク炉の電気室はほとんど製鋼棟の一角に設置されるので、スペース的にもむずかしい。したがって、高電圧のケーブルの普及とともに、ケーブルで受電所より直接に炉用変圧器に導入される例が多くなり、この方式が最近では一般化している。

このようなじか落とし方式では、従来の方式より、外雷にさらされやすくなるので、変圧器はサージ電圧に対して強固なものにするとともに、避雷器等で十分保護されなければならない。また、直列リクトルはこの方式では容量が大きいために不要になる。

さて、このような高電圧を炉用電圧まで落とすのに 図 1. 2 の (b) または (c) の方式がある。

(b) は電源側変圧器でいったん 20 kV または 30 kV に落とすとともに、ここで電圧調整を行ない、炉専用のしゃ断器 CB2 を介して炉側変圧器に至る。したがって、炉用変圧器は電源側変圧器と炉側

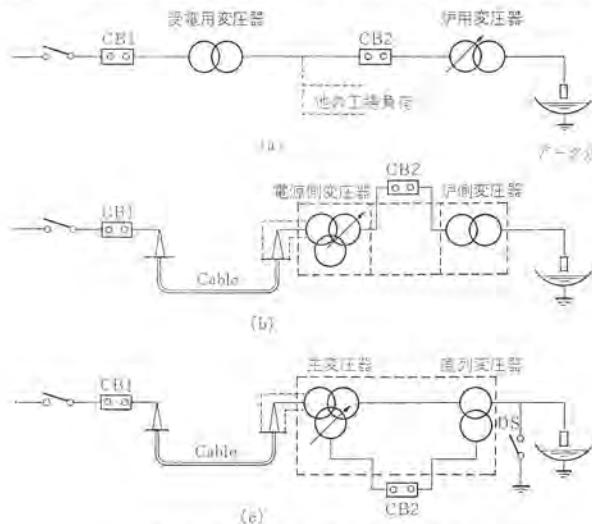


図 1. 2 アーク炉設備の回路方式
Electric circuit for arc furnace.

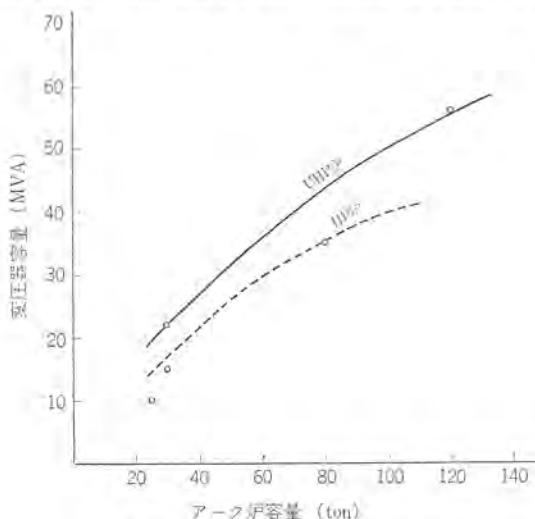


図 1. 1 変圧器容量—アーク炉容量
Capacity of transformer—capacity of arc furnace.

変圧器の二つが組み合わされたものとなる。

(c)は炉側電圧を電源側の主変圧器と炉側の直列変圧器とに半分ずつ分ける。電圧調整は、主変圧器の三次タップ巻線によって直列変圧器を励磁し、直列変圧器の二次電圧を変えて行なう。この方式ではタップ巻線と直列変圧器との間のしゃ断器CB 2を開放し、直列変圧器を一種のチョークコイルとして使用して負荷電流を閉塞するものである。このとき、炉には直列変圧器の励磁電流が流れるので、DSによって短絡する。

(b), (c)を比較してみると、回路構成としては、(b)がシンプルで信頼性が高い。(c)ではDSを短絡しないと、炉に電圧が残って危険であり、これを炉の短絡ごとに操作することになる。経済的には(c)のほうが小容量器では有利であるが、じか落とし方式の大容量器になれば(b)と(c)の差は縮まり、特に外鉄形で(b)、内鉄形で(c)方式で製作する場合にはほとん変わらなくなる。これは外鉄形が、後述するように、大容量器として低電圧・大電流のコイルを作りやすいことによる。

1.2 アーク炉用変圧器の特長

(1) 一般的な特長をあげると、つぎのようになる。

(a) 二次側が低電圧(数百V)、大電流(数万A)によよぶ。
(b) 二次側電圧を広範囲に(最高電圧と最低電圧との比は2:1~5:1にも及ぶ)、しかもひんぱんに切り換えなければならない。このために遠隔電動操作のできる無負荷タップ切換器か、負荷時タップ切換器が設けられる。

(c) 負荷の変動が激しく、120%2時間の過負荷運転を要求され、さらにアーク炉固有の操業中の炉内の短絡も加わって、非常に過酷な使い方をされるため、熱的・機械的に十分強固な構造でなければならない。

(2) 設置される場所が、製鋼棟と同一のふんいきであることが多く、じんあいにさらされるため、これに十分に対処しなければならない。

(a) ブッシングは粉じんががい子に付着し、内絡を起こしてがい子またはブッシングが破壊し、さらには異常電圧が発生して変圧器の内部事故に至ることがあるので、十分に清掃に努めなければならない。じか落とし方式であると一次側がエレファント構造であるため、この点より安全である。

(b) 二次側の銅板端子も、圧縮空気を吹きつけるなどして清潔に保たなければならない。

(c) 冷却方式はスペース的な制約も加わり、ほとんど送油水冷式である。まれに小容量器で送油風冷式、自冷式が採用される。

(3) 構造的な特長については3章で説明する。

1.3 アーク炉用負荷時タップ切換器

最近の大容量器では操業能率をあげるため、負荷時タップ切換器が必要になっている。アーク炉用として特殊なことは、

(1) タップ切換中に、炉が短絡したとき、定格電流の1.5~2.0倍の短絡電流が流れ、これをしゃ断しなければならないこと。

(2) 炉の操業過程の初期には、電流の変動が激しく、高調波電流をしゃ断しなければならないこと。

(3) タップ切換回数がひんぱんで、1日に100回以上にも及ぶことがある。

等があげられ、いずれも一般電力用よりは過酷な性能が要求される。これを使用者側よりみれば、3項が十分に満足されればよく、長寿命で、点検・取り換えが容易なものが要望される。

2. トピー工業納め変圧器

2.1 回路方式

前述の図1.2の(b)を採用。154kVをOFFケーブルで直接電気室に導入し、変圧器はエレファント構造である。

外雷に対しては模擬計算により、受電所の避雷器で、変圧器は十分保護されることを確認したうえ、ケーブルの途中および変圧器端には避雷器は設置していない。

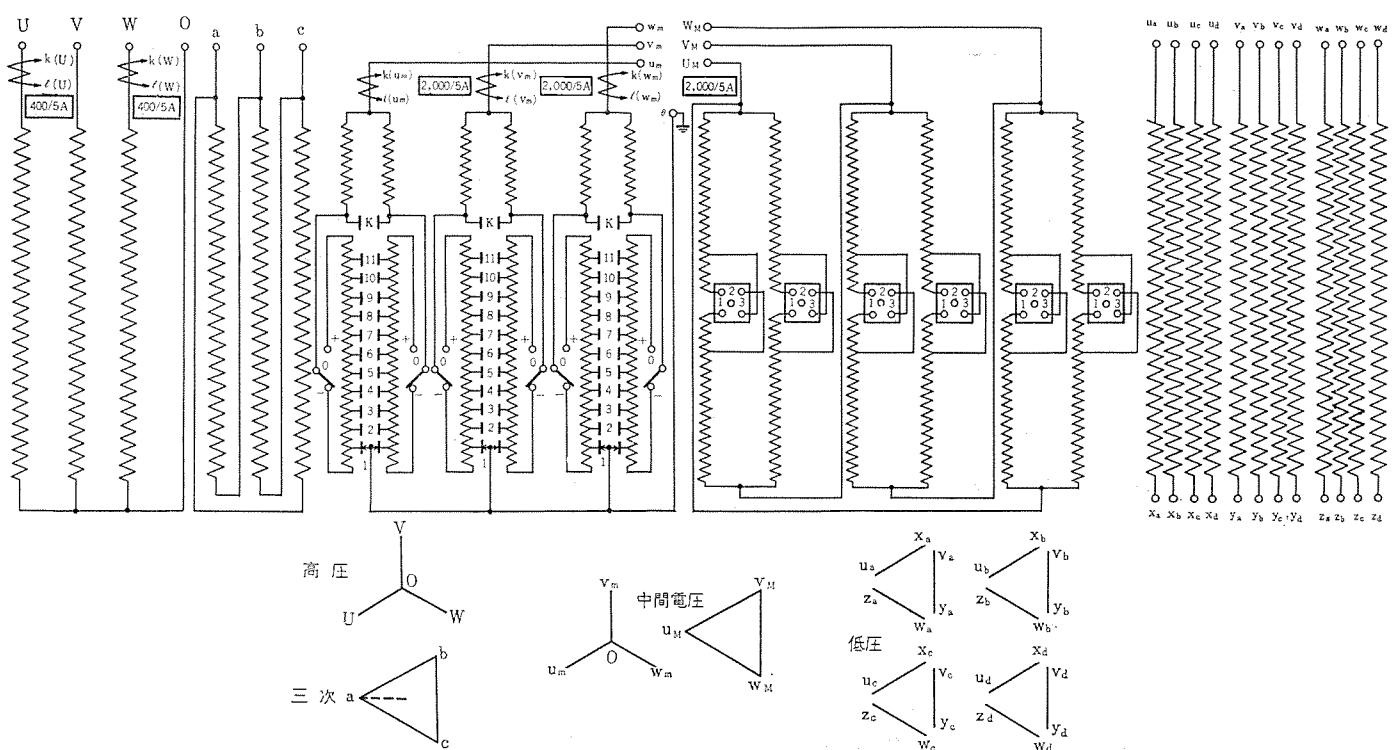


図 2.1 トピー工業納め変圧器結線図

Connection diagram of transformer for Topy Steel Co.

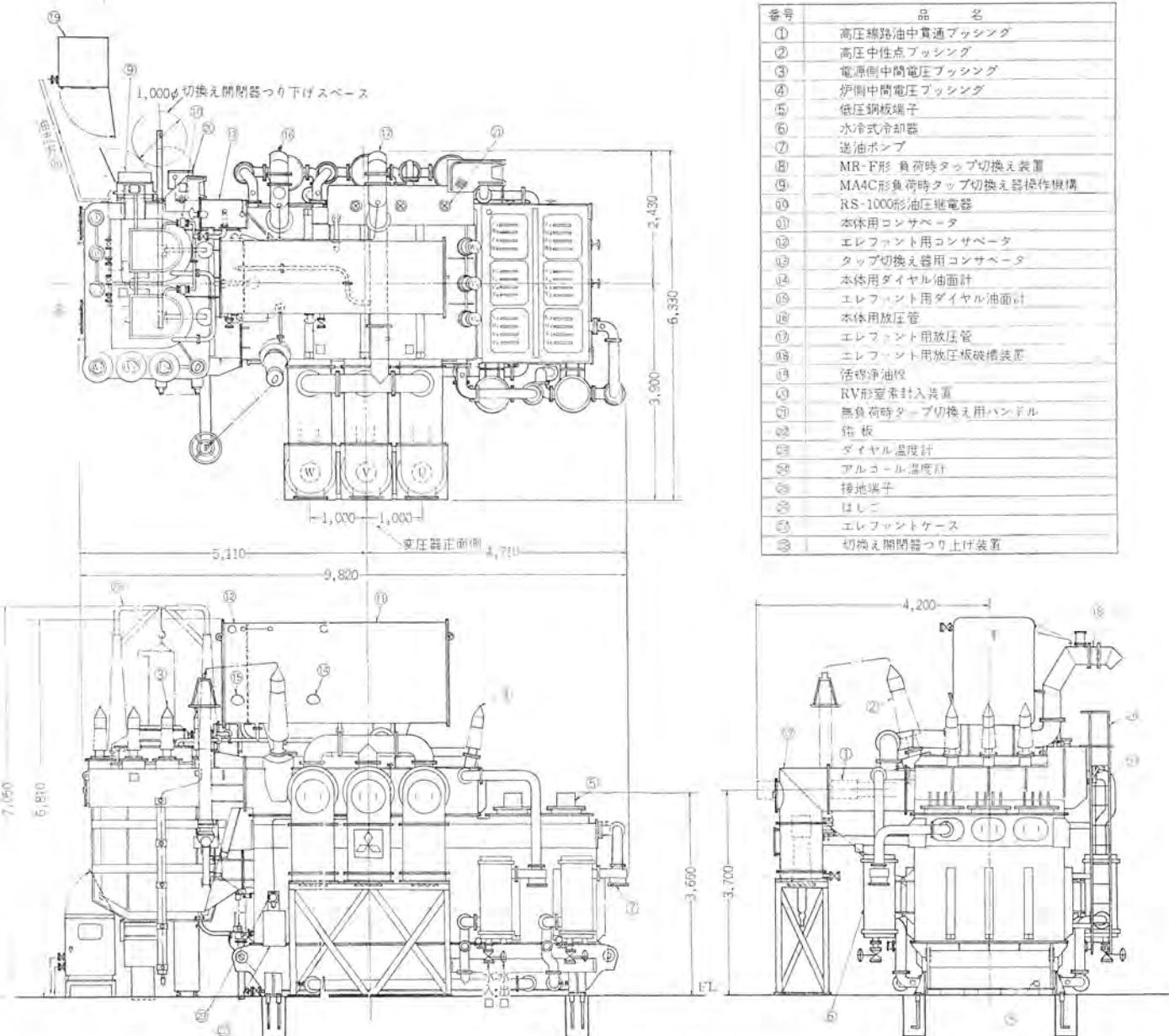


図 2.2 トピー工業納め変圧器外形図
Outline drawing of transformer for Topy Steel Co.

このようにして受けた 154 kV を電源側変圧器で一度中間電圧に落とし、炉専用の 30 kV のしゃ断器を経て炉側変圧器を励磁している。

力率改善用のコンデンサは、電源側変圧器に設けた三次巻線に接続している。

このように、本アーカー炉の回路方式は、オーソドックスかつシンプルである。これは、また、これまでの経験がそのままじか落とし方式にも通用することを意味し、このような記録的な大容量炉に対する信頼性を一段と高めるものである。ここに、かさねて強調しておきたい。

2.2 仕様および特長

(1) おもな仕様はつきのとおりで、本変圧器は前述の電源側変圧器と炉側変圧器を一つのタンクに納めたものである。この 2 鉄心構造およびその得失については後述する。使用者側より見れば、据付面積がそれほど大きくないことは、従来のような製鋼棟の一角に設けた電気室と同じ程度の大きさで、このようなじか落とし方式の

大容量器が設置できることを意味し、その利するところが大きい。このことは、また、既設炉アーカーの増量にも適用できる。

変圧器定格

三相、60 Hz、送油水冷式、外鉄形

高圧： 56,000 kVA 154,000 V

低圧： 56,000 kVA

電圧

F 741-F 712-F 684-R 655-F 627～171 V(21 点)

電流

43,600～45,400～47,300～49,400～51,600～51,600 A

三次： 25,000 kVA 33,000 V

中間電圧： 33,580～R 29,000～7,748 V

重量： 141,500 kg

油量： 57,950 l

総重量： 194,000 kg

(2) 120 % 2 時間の過負荷に対し、冷却水 30°C で、巻線の温度

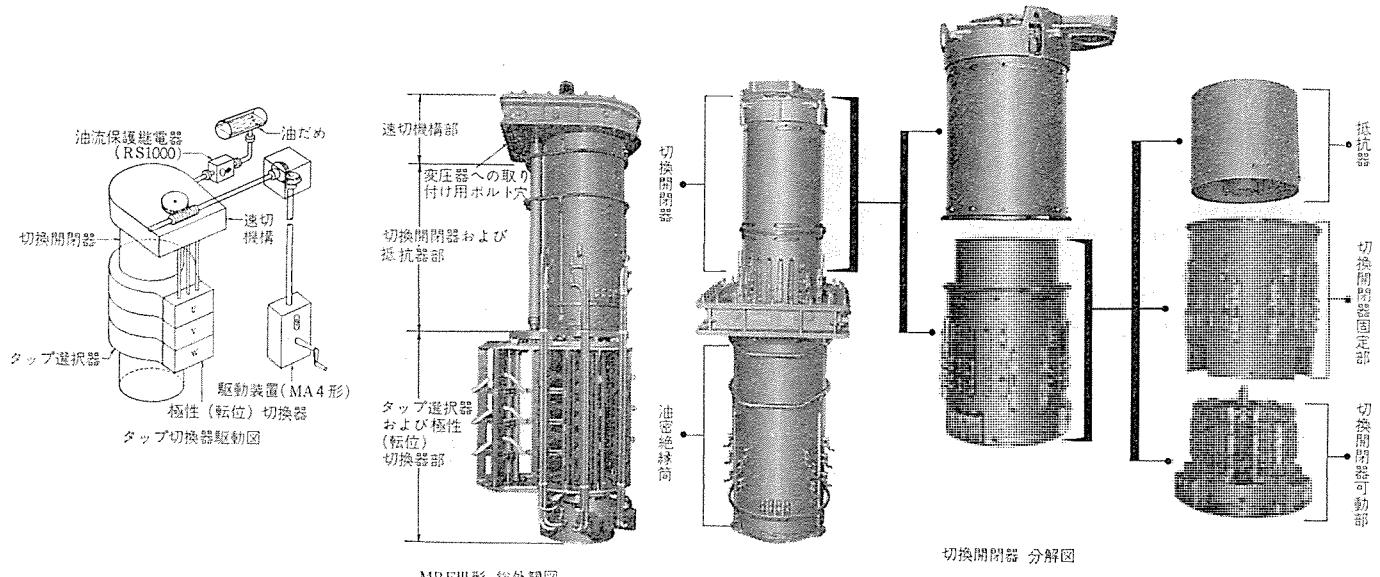


図 2.3 MRF形 負荷時 タップ 切換器

On-load tap changer type MRF.

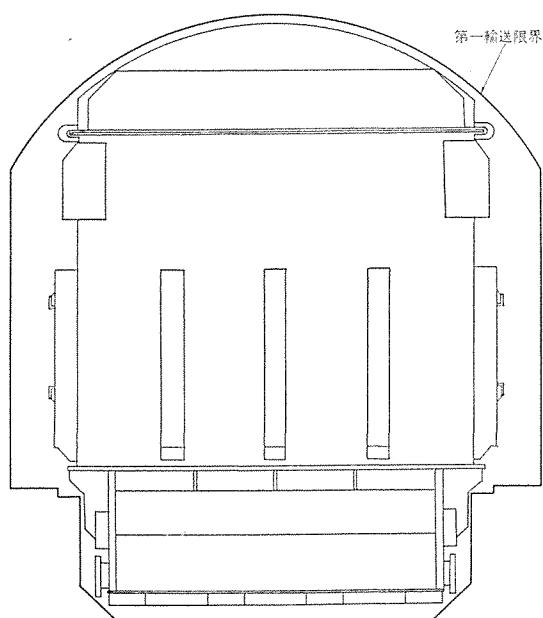


図 2.4 トピー工業納め変圧器本体輸送図
Sketch of transformer for Topy Steel Co. in transport.

上昇を 65°C (冷却水温度が JEC-168 どおりの 25°C 以下であれば、この値は 70°C) として従来の値より 10°C 高くしている。これは巻線絶縁に HI-L 耐熱処理絶縁紙を使用しているため、当社の HI-L 紙が広く認められるとともに、アーカー炉用変圧器にも採用されてきている。

(3) 図 2.2 であきらかかなように、付属品の種類が多い。変圧器に設けられるものはひととおり設けられているという感がある。炉側変圧器の無負荷 タップ 切換器は、炉に合わせて設定される。

(4) 本変圧器の性能上の容量は、高圧 56 MVA、低圧 56 MVA、三次 25 MVA。これらを合計して 2 で割り、等価容量は 68.5 MVA 。

実質等価容量は、電源側変圧器が、高圧 56 MVA 、中間電圧 $56 \times \frac{33,580}{28,410} = 66.2 \text{ MVA}$ 、三次 25 MVA で、炉側変圧器が、高圧 $56 \times \frac{775}{627} = 69.2 \text{ MVA}$ 、低圧 $56 \times \frac{775}{627} = 69.2 \text{ MVA}$ で、これら全部を合計して 2 で割って、実に 142.8 MVA となる。

2.3 おもな付属品

(1) 水冷式冷却器

水管の清掃作業が行ないやすい直管形にし、変圧器タンクに取り付けやすく床面積も少なくてすむ縦形配置にしている。1台当たりの冷却能力が大きいため、必ず予備冷却器を備えるのが常識で、今回も 5 台中の 1 台は常設予備としている。

(2) 負荷時 タップ 切換器

西独の専業メーカー MR 社との技術提携によって製作し、これまでに一般電力用も含めて約 1,000 台の納入実績がある MR 形を、アーカー炉用に部分的に強化したものを使用している。今回は、電流容量の関係で、MRF 形が 2 台並列である。

MR 形は 4 抵抗切換式であるため、各接点の負担が小さく、長寿命である。切換開閉器は、蓄勢バネ機構によって駆動され、切換時間は短くて約 0.06 秒で、しかも回転運動機構であるので、衝撃は小さい。タップ選択器は、ゼネバ歯車機構によって駆動され、確実な接触状態を保つことができる。全体が非常にコンパクトであり、変圧器に取り付けやすいなどの特色を有している。

前述のように、アーカー炉用の負荷時 タップ 切換器はひんぱんに使用されるため、保守・点検が重要であるが、MR 形では、おもに消耗する切換開閉器が、変圧器油とは別の油室に入れられており、これを単独で取り出して接点等を簡単に点検でき、また切換開閉器ごとに新品と取替え可能である。切換開閉器室の汚損油は、活線浄油機によって変圧器を止めないで浄化することができる。等のすぐれた点が多い。

2.4 工作上の問題点

(1) 2 鉄心構造のため、鉄心積作業が複雑になる。まず、電源側変圧器の鉄心積を行ない、次に炉側変圧器に取りかかるが、このときは作業面が 3 面になり、V 相鉄心のレッグ部がむずかしくなる。

(2) 変圧器 2 台分のリード結線を、一つの上部タンクで行なわなければならず、繁雑になる。

(3) 車両限界に入るため、炉側変圧器の銅板端子の位置が低くおさえられ、銅板コイルとの接続部が短く制限された。普通、この接続はタンク内で行なうのであるが、今回はタンク外から行なう作業手順を案出した。

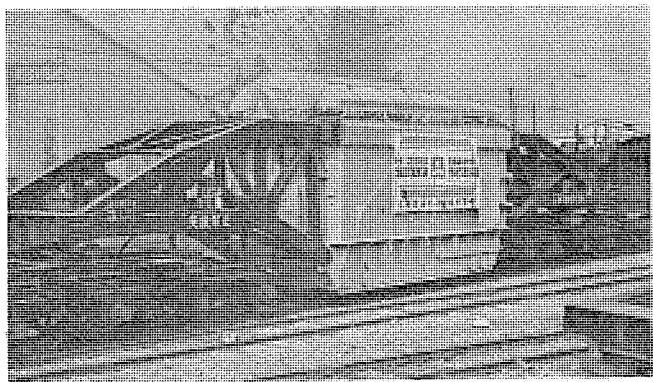


図 2.5 トピー工業納め変圧器本体輸送荷姿
Transformer main assembly packed for transport for
Topy Steel Co.

など、工作は複雑化するが、一方では板金加工の簡素化、組立完了時の絶縁物の最終乾燥工程が半減、現地での据付作業が短縮化される等の利点が多く、総合的に 2 鉄心は有利になっている。ただし、さらに大容量になれば、輸送上の制約が大きく加わり、この方式では経済性がそこなわれてくる。

2.5 輸送について

各種付属品は取りはずして本体・上部タンク・MRタンクに 3 分割し、窒素を封入して輸送した。

本体は、当社所有のシキ 120 B 形車両に応じて第 1 輸送限界に納めた。図 2.5 のようなシャーベルつり掛式のため、変圧器タンクも車両のメンバーになり、タンクを強固なものとしなければならないが、外鉄形変圧器は後述のように本来輸送に適しており、補強もさほどがんじょうにする必要はない。2 鉄心構造のために重心は幾何学的中心よりずれるが、これは 30 mm 程度炉側変圧器のほうへ移動した。なお、重量はシキ 120 B 形車両の限界である 110 ton 以内である。

3. 構造詳細

3.1 コイルおよびコイル配置

後述する炉側の低電圧・大電流コイル（銅板コイル）を除き、すべて巻線形の外鉄形く形コイルである。これを図 3.1 のように、各コイル間に絶縁物および油げき（隙）を設け、サンドイッチ状に重ね、さらにグループ絶縁を施した後、高・低圧コイルグループを交互に配置する。

このコイルグループ数（H-L 数）は、外鉄形の場合で最低 2 H-L であり変圧器の容量に応じ（炉側変圧器では銅板コイルの並列数と同

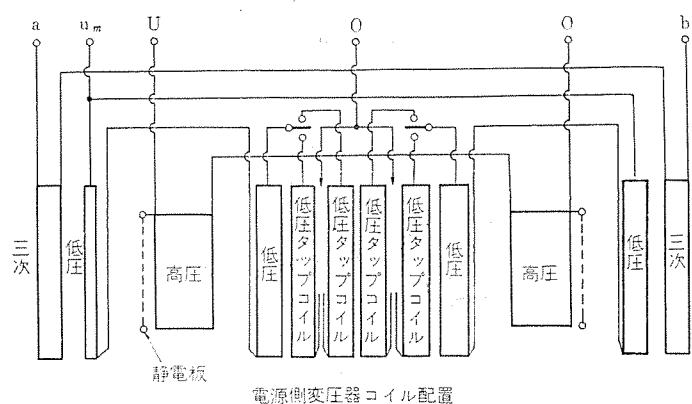


図 3.3 トピー工業納め変圧器コイル配置
Coil arrangement of transformer for Topy Steel Co.

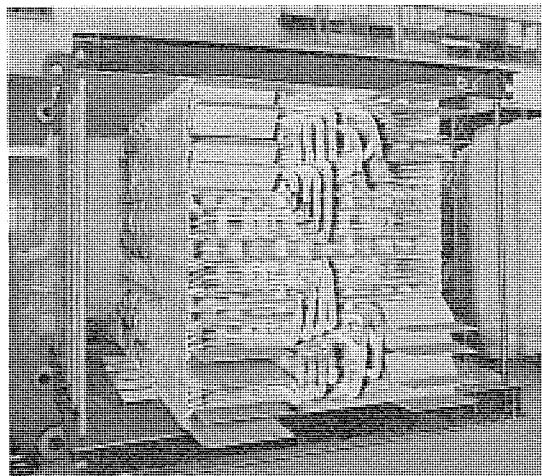


図 3.1 外鉄形コイルグループ（トピー工業納め炉側変圧器）
Shell form coil group (Arc furnace transformer for
Topy Steel Co.).

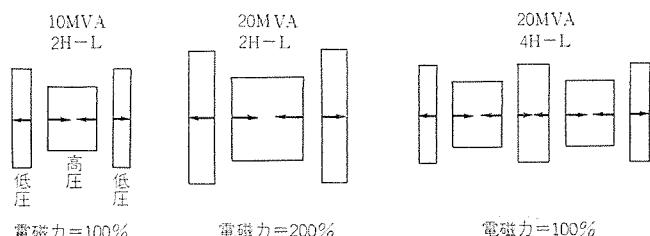
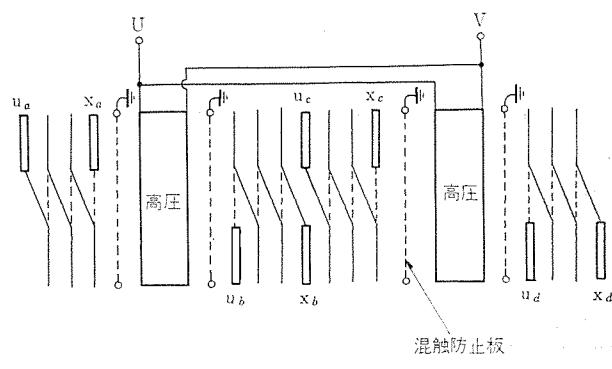


図 3.2 外鉄形コイルに働く短絡電磁力
Short circuit forces of shell form transformer.

数）、経済性を考慮して決定される。この場合、図 3.2 のように、H-L 数が増せば、短絡時にコイルが受ける電磁機械力は逆に減少する。このことはインピーダンスを小さく設計しても変圧器は弱体化しないことを意味し、低インピーダンスを要求される大容量炉に、外鉄形が本質的に適合することを示している。なお、短絡電磁力は、コイルに対しては圧縮力として働き、低圧コイルの分は鉄心のレッグ部に及ぶが、これは鉄心と一緒に成了したタンクによって強固におさえられる。

また、外鉄形く形コイルは、コイルとコイルの対向面積が大きく、コイルと対地との対向面積が小さい。したがって、コイル間静電容量が大で、対地静電容量が小になり、サージ電圧に対する初期電位分布が良好で、変圧器はサージプローフになる。このことはじか落とし方式に対して好ましいことである。

トピー工業向けのものは図 3.3 のようなコイル配置を採用している。炉側変圧器は完全な 4 H-L、電源側変圧器は高圧—低圧が 4 H-L、高圧—三次が 2 H-L である。したがって、炉の短絡時の電磁力は



炉側変圧器コイル配置

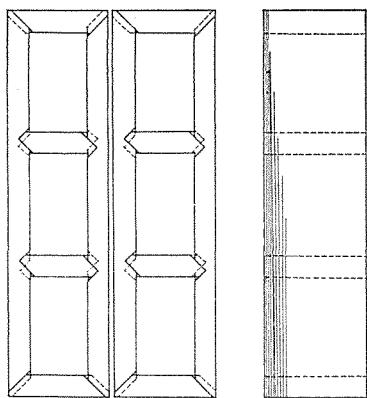


図 3.4 外鉄形 3 相鉄心
Shell form 3 phase core.

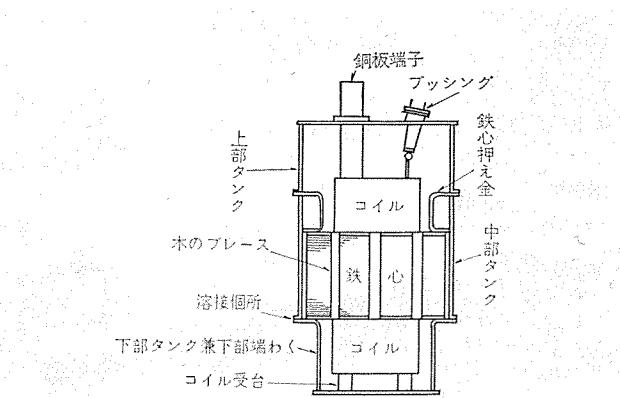


図 3.5 外鉄形 Form Fit 構造
Construction of shell type Form-Fit transformer.

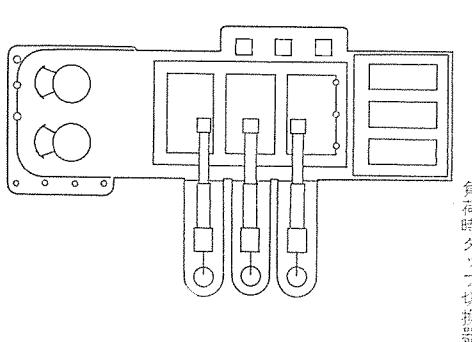


図 3.6 トピー工業納め変圧器内部構造図
Interior construction of transformer for Topy Steel Co.

1 H-L の 1/4, つまり 56 MVA に対して 14 MVA 相当に低減されている。

炉側変圧器に設けられている混触防止板は、高圧一低圧コイルを完全に隔離するためである。

3.2 鉄心およびタンク構造

外鉄形鉄心は図 3.4 のように、同一幅の鉄心をコイルに密接してコイルを囲んで積み上げた簡単なものである。これを図 3.5 のように、中・下部タンクで締付けているため、鉄心締付ボルト等の局部加熱・漂遊損失発生の因となるものはいっさい不要で、しかもも強固である。冷却は鉄心とタンク壁との間の油げきで行なう。

このような外鉄形の鉄心とタンクが一体となった構造を Form-Fit と呼ぶ。変圧器はがん強で、コンパクトになり、重量が軽くて輸送に便利で、横倒し輸送も可能である。タンクは全溶接構造で、パッキンを使用しないので油漏れの必配がない。油量が大幅に少なくてすむ。コイルと鉄心の冷却効果がない等のすぐれた点が多い。また、2 鉄心すなわち二つの変圧器を同一タンクに入れることも容易で、よく行なわれる。

トピー工業納めの変圧器は図 3.6, 3.7 のように、経済性をそこなわない範囲で、両鉄心の寸法・重量を調整して、電源側変圧器と炉用変圧器を同一タンクに収納することができた。さらに、本変圧器は車両形としたため、タンク長手方向には十分な補強を施してある。また、両鉄心およびコイルが平等に冷却されるように下部タンクにくふらをこらし、油ポンプを配置してある。

3.3 銅板コイル・銅板端子

炉側変圧器の炉側のコイルは、低電圧・大電流であるため、巻数が少なく、導体の所要断面積は大となる。このため、外鉄形では図

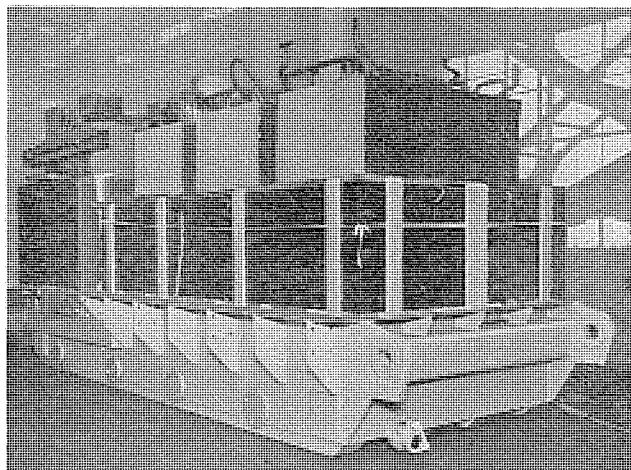
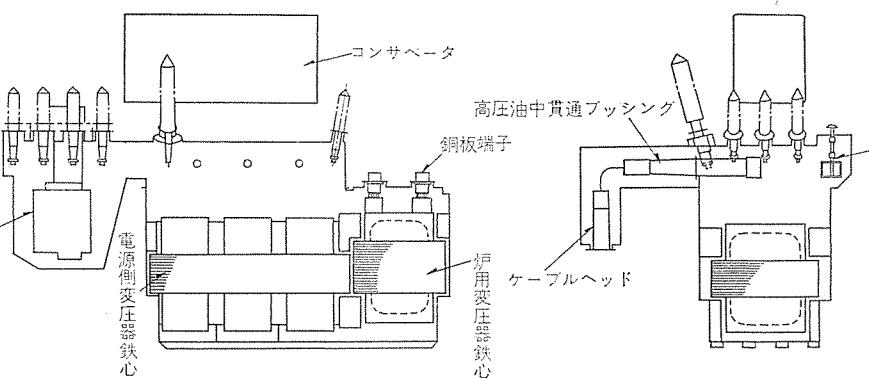


図 3.7 トピー工業納め変圧器鉄心積完了姿
Stacked core of transformer for Topy Steel Co.

3.8 のような銅板コイルを用いる。銅板コイルの各巻回間には冷却のための油げきを設けるので、特に各巻回間用の絶縁バリアーを必要とせず、裸銅板そのままを使用できる。したがって、冷却効果がよく、工作も簡単、そのうえ機械的にも強固になり、申し分がない。

銅板の厚さは、渦電流損失を減少させるために約 6 mm とし、これは鉄心の経済性から 400 mm 以下程度に選び、それ以上の断面積が必要なときには並列数を増してゆく。この並列数は、前述の H-L 数のことから、炉側変圧器の高圧側は普通 20~30 kV 以下であるため、絶縁は少なくてすみ、簡単にしかも経済性をそこなわないで増加でき、それとともに短絡時の電磁機械力は分散され、まさに一石二鳥である。このように外鉄形は、銅板コイルと H-L 数の増加に

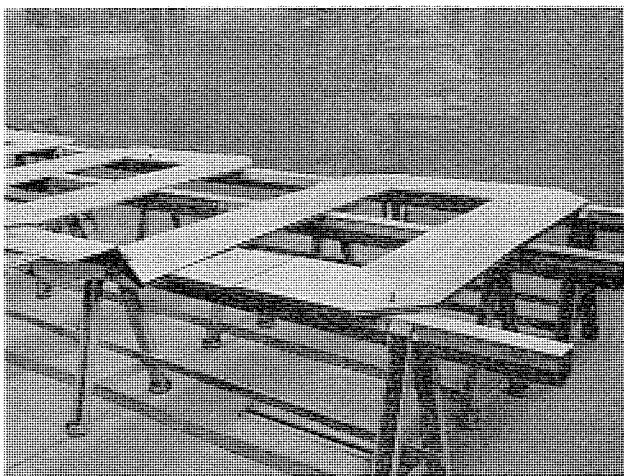


図 3.8 銅板コイル Copper plate coil.

て、大容量アーチ炉用変圧器を容易にしかも確実に製作することができます。

口出し端子には、図3.8のような油密構造の銅板端子を用いる。トピー工業向けでは図2.2のように、1φ当たり8個している。なお、端子部分を小形化するために、水冷端子を要望されることがあるが、保守に問題、特に水漏れの可能性が残り、それだけ信頼性が落ちるため、銅板端子を採用している。

4. む す び

以上のように、最近ではじか落とし方式が普及しつつあり、これらのアーチ炉の電源方式として、一般化することと思われる。トピ

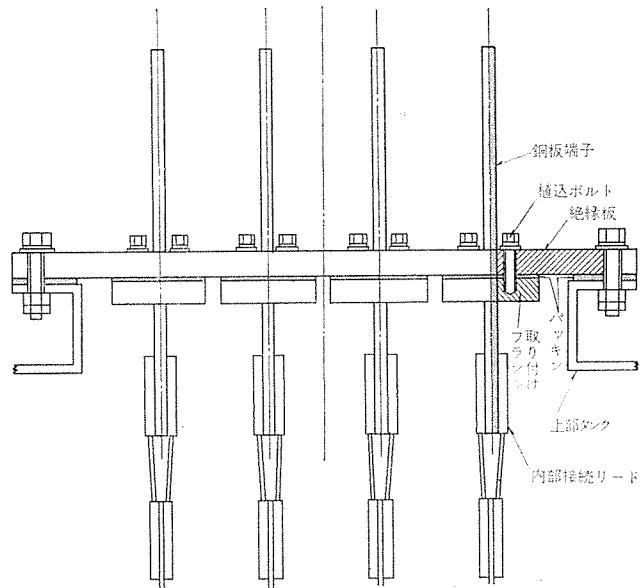


図 3.9 大電流用銅板端子
Copper terminal for heavy current.

ー工業納めのように、電源側変圧器と炉側変圧器とを一体化して製鋼棟の電源室に収めるのは、この程度の容量が経済性からは限度であり、これ以上になると、炉側変圧器のみを電気室に入れて、電源側変圧器を近傍に設置する方式が採用されることになろう。

最後に、このような記録的な大容量器を製作させていただいたトピー工業に感謝の意を表したい。

三菱-BBC 30トン 8,500kW 低周波誘導炉

田口 堅*・広川 利雄*

Mitsubishi-BBC 30 ton 8,500 kW Mains Frequency Crucible Induction Furnaces

Itami Works Ken TAGUCHI・Toshio HIROKAWA

With excellent features for melting cast iron, mains frequency crucible induction furnaces are on the sharp increase of their operating amount as melting equipment to replace the cupola. However, they have drawback of smaller capacity and less melting ability than the cupolar due to constructional problem. Then advent of large high power induction furnaces having a large melting ability to be favorably compared with the cupola has been long awaited. Answering to it, Mitsubishi worked out in 1970 high power induction furnaces rated at 30 ton, 8,500 kW, outstanding capacity in the world, and delivered four units to a leading foundry. They are operating now successfully. This article outlines the furnace and also makes mention of the advantages and problems of high power induction furnaces and countermeasures for them.

1. まえがき

鋳造工場の合理化と公害対策のために、鉄鉱溶解によるつぼ形低周波誘導炉が多用されてきたが、人件費節減、材料・溶湯搬送の合理化、スペース節減および管理の容易化等の理由によって、単機容量が大型化してきている。また、生産性向上をねらって大電力の炉、すなわち、より多くの溶解能力のある炉が望まれてきている。

当社では大形・高電力低周波誘導炉を独占的に納入してきたが、昭和45年国内の某社に、わが国最大かつ最高電力炉である30トン8,500kWのつぼ形低周波誘導炉を4基完成し納入した。世界的に見ても30トン炉の設置台数はそれほど多くなく、その電力もBBC社が、General Motors, Central Foundry, Defianceに納入した6,000kWが最大で、多くは2~3,000kWにとどまっており、その意味でもこの炉は世界最大級のものである。

以下にこの炉の概要を述べる。

2. 設備概要

このプラントでは、30トン8,500kWのつぼ形低周波誘導炉4基によって毎時40トン以上の鉄鉱溶解湯を出湯し、大形みぞ形保持炉を通じて鋳造ラインへ給湯している。この溶解設備の構成機器はつぎのとおりである。

(1) 30トン8,500kWのつぼ形低周波誘導炉	4基
(2) 空気しゃ断器	4基
(3) 変圧器(負荷時タップ切換器付き)	4基
(4) 三相平衡装置	4組
(5) 力率改善用コンデンサ	4組
(6) 炉傾動・炉ふた(蓋)開閉用油圧装置	4基
(7) 集中制御装置	1式
(8) 制御盤および操作スタンド	各4面
(9) 冷却水監視盤	1式
(10) 計重装置	4組
(11) グリース集中給油装置	4基
(12) 電気室冷却用クーラー	1式

この設備の写真を図2.1~図2.5に示す。

この設備では、各炉は1回に9トンずつ出湯し、材料装入は3トンずつ行なうように計画され、これらを自動的に行なうために、集中制御室を炉後方2階に設置し、そこに集中制御デスク、計装盤および電光表示板からなる集中制御装置が据え付けられている。集中制御室には、このほかに制御盤・冷却水監視盤・材料切り出し装置・計重装置記録盤および炉傾動炉ふた開閉操作スタンド(炉操業床上の炉横に設置している)との間のインターホーン装置が設置されている。炉の受電電圧は22kVであり、一次側開閉・過負荷保護・短絡保護用には空気しゃ断器を用い、炉用変圧器(負荷時タップ切換器付き)によって、二次側定格電圧2,640Vにおとされる。相平衡用および力率改善用コンデンサは、損失の少ないフィルムコンデンサを採用し、発生熱損失を減少させるように配慮している。変圧器・コンデンサ室は密閉され、水冷式クーラーにより冷却されている。計重装置は、普通

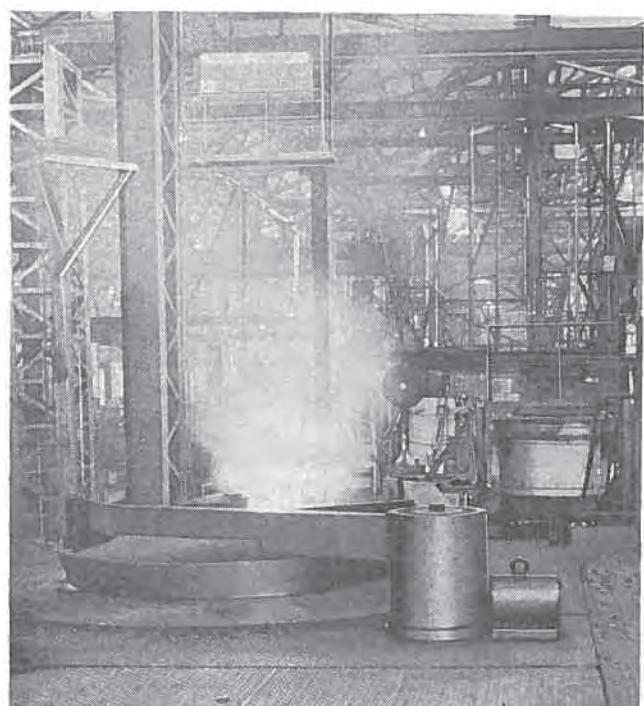


図2.1 溶解設備中の30トン炉
30 ton furnaces in the melting plant.

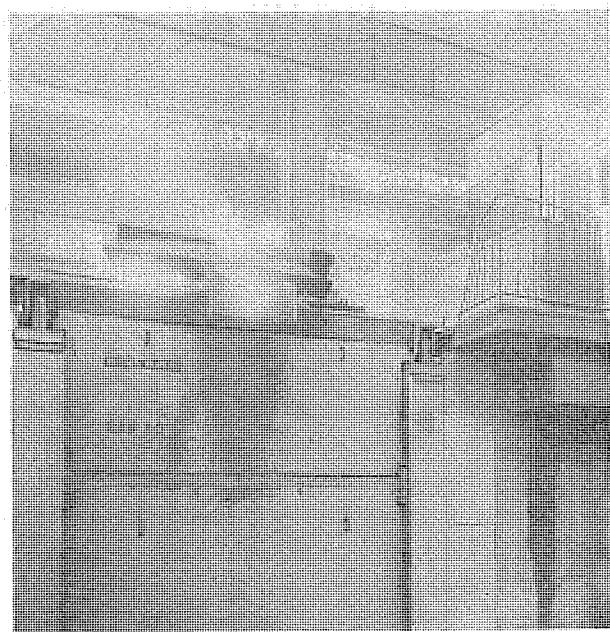


図 2.2 出湯中の 30トン炉
Pouring operation from 30 ton furnace.

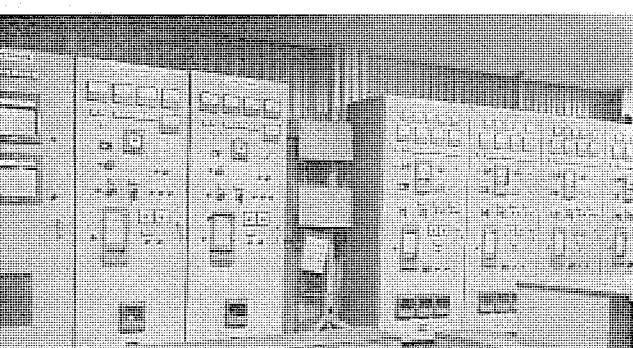


図 2.3 集中制御室
Central control room.

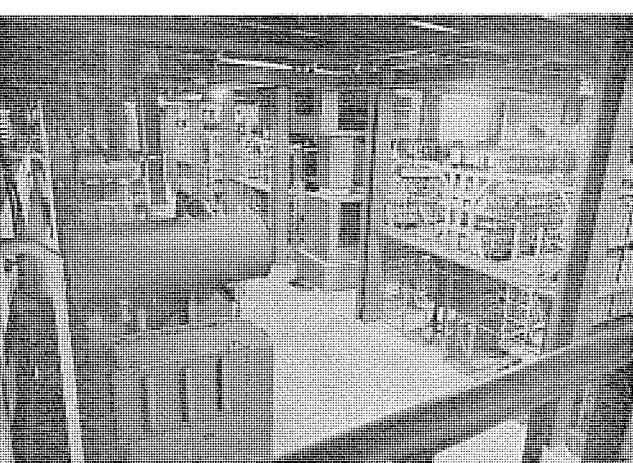


図 2.4 コンデンサ室
Condenser room.

炉体の下を 4 個の ロードセルで支持しているが、本設備では炉体基礎が深くなること、大容量の炉の安定性の問題および要求精度の点などから、2 個の ロードセルを炉体背後の支柱上に取り付ける方法を採用した。その他、炉体軸受部の給油を簡単にするためにグリース集中給油装置も設備されており、保守の簡易および保守作業者の安全を配慮している。

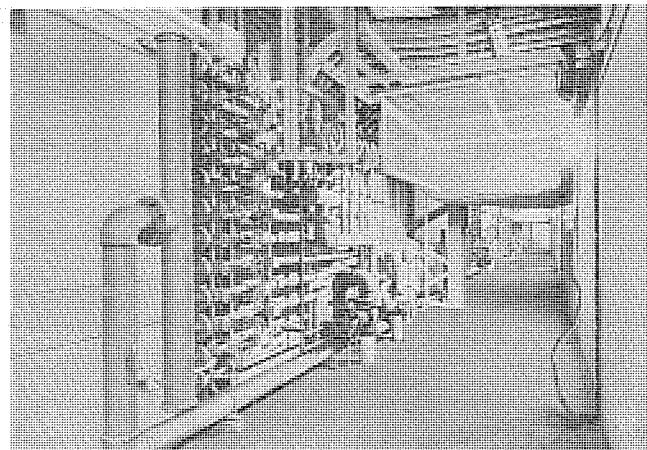


図 2.5 冷却水配管
Piping arrangement for cooling water.

3. 機器仕様

(1) 低周波誘導炉

- 形名： IT-11/8,500/60 形
形式： 無鉄心水冷式るつぼ形
容量： 30 トン
電力： 最大 8,500 kW, 定格 7,500 kW 2,640 V
基準溶解率： 15.5 t/h (1,500°C)
基準原単位： 484 kWh/t (1,500°C)
保温電力： 275 kW
炉室構造： 酸性耐火材 ステンレス式
冷却水量： 66 m³/h
炉体重量： 66.5 トン (総重量)

(2) 空気しゃ断器

- 形名： 20-CF-50 形
定格： 25 kV 600 A 500 MVA

(3) 変圧器

- 形式： 屋内用、送油水冷式、内鉄形
定格： 9,000 kVA 3 φ 60 Hz
一次電圧 22 kV, 二次電圧 2,640 V (定格) 他 33 タップ,
URA 形 電動式負荷時 タップ 切換器付き内蔵 リア
クトル 4,500 kVA

(4) 油圧装置

- 圧力： 210 kg/cm²
吐出量： 2 × 65 l/min
傾動： 手動切換え弁による手動操作
炉ふた開閉： ソレノイド弁使用の押しボタン操作

(5) 保護装置

つぎのような故障に対して警報を発し、主回路を開くように設計されている。

- (1) 過負荷
- (2) 冷却水流量減少
- (3) 冷却水温度上昇
- (4) 変圧器温度上昇
- (5) 変圧器送油ポンプ故障
- (6) 変圧器内異常発生
- (7) 変圧器用冷却水流量減少

- (8) 二次過電圧
- (9) タップ 切換え渉渉
- (10) コンデンサ 室 溫度上昇
- (11) 湯漏れ、または接地
- (12) 空気しや断器空気圧低下
- (13) 空気しや断器空気圧上昇
- (14) 無電圧、欠相

4 炉体構造

図4.1は炉体側面図、図4.2は炉体平面図を示し、これらの図中の品番を使用して炉体構造をつぎに説明する。文中の数字は図中の品番を示す。

傾動支持わく①は、傾動架台⑩に取り付けられており、出湯口の両側にある傾動軸受②を中心にして回転できる。また、後部は2本の柱の上に乗っている。2本の傾動シリンダ③が、傾動架台上の軸受にささえられ、他端は傾動支持わくにはめこまれている。傾動支持わくには、炉ふた旋回用シリンダ⑤も取り付けられている。炉体 プラットホーム④は、炉かく⑨と傾動支持わくに溶接またはボルト締めされており、後部 プラットホーム⑪は、基礎に取り付けられた軸受に支持され、スキッドレール⑫により傾動中に開くようになっている。炉ふた旋回アーム⑥は炉ふたシリンダにとりつけられており、カムとカムみぞによって炉ふた⑦を最初に垂直に持上げ、その後に旋回させる。炉ふたには旋回式小ふた⑧が付属している。炉かく⑨は、傾動支持わく中へそう入され、支持わく上の2本のピンにより位置決めされ、8本のボルトで支持わくにボルト締めされる。水冷ケーブル⑯は、コイルに電力と水とを同時に供給する。この炉には、6本

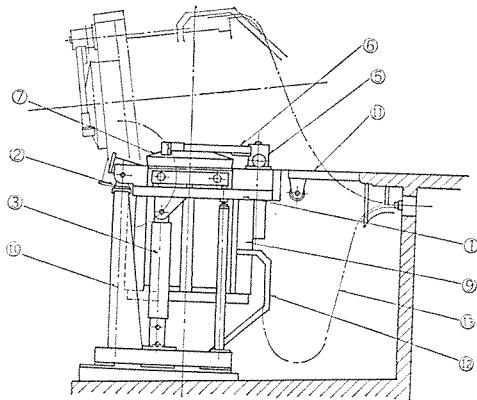


図4.1 30トン炉側面図
Side view of 30 ton furnace.

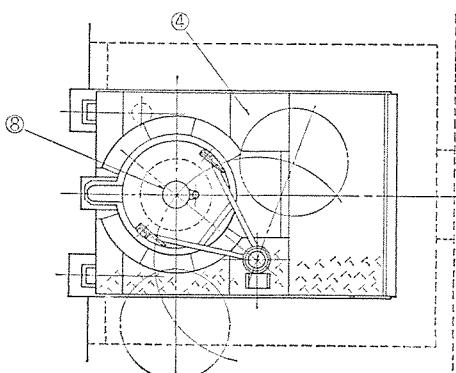


図4.2 30トン炉平面図
Floor plan of 30 ton furnace.

の水冷ケーブルが使用された。

炉体内部は特に図示していないが、コイルの振動を、鉄心、上部・下部コンクリートおよび炉かくによって、一体的に吸収するとともにライニング膨張力に対抗できる強固な構造となっている。そのほか8,500 kWの高電力に対して特殊な構造上の配慮がなされている。

図4.3～図4.5に工場組立中の炉体写真を示す。

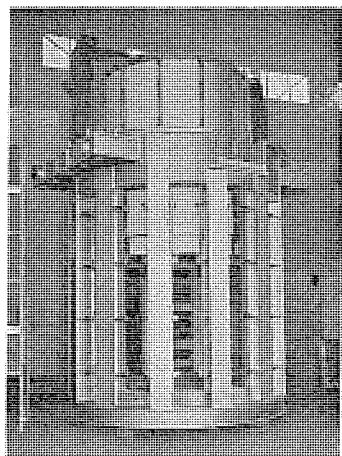


図4.3 炉かくへのコイル組込み作業
Assembly work of coil into furnace frame.

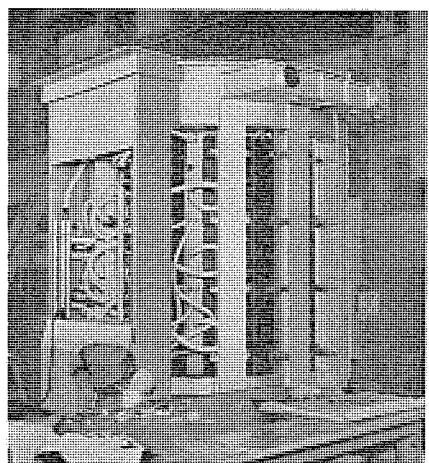


図4.4 組立中の炉本体
Furnace body in assembly work.

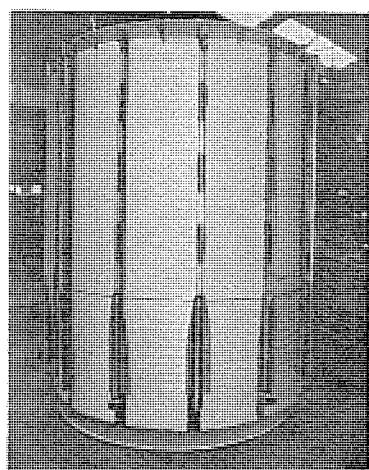


図4.5 コイル
Coil assembly.

5. ライニング

炉室ライニングは、スウェーデン産のスベンスカシリカ HF-4 を使用し、電動バイブレータ 3 台によってスタンプし、約 7 人の作業員により約 16 時間で築炉を完了させた。

この炉に使用されるスタンプ機およびこれに添加されるほう酸には、約 55 kg の水分が含有されており、焼結時にその大部分が、ライニングの外に放出されることになるので、コイルおよび絶縁構造には特別の配慮をした。大電力であるため、必然的にコイル電圧を高くしなければならないが、すでに国内各社に納入・か動している 7 基の 23 トン 5,100 kW 炉の経験および測定データを基礎にして、焼結時およびその後の数チャージの水分の挙動を模擬し、この問題を解決することができた。この結果、焼結は小・中形炉と同等の昇温速度で自動焼結装置を用いて行ない、非常に良好な結果を得ている。

また、大形炉に対する空前の高電力であるため、その過大な湯運動がもっとも懸念された。前述の 23 トン 5,100 kW 炉による測定データおよび各種手法によるシミュレーションにより、大形炉の湯運動に関する新理論を打ち立てるとともに、確信をもって設計・製作することができた。実運転によってこの理論の裏付けがなされ、懸念は霧消し、まったくなんの問題もなく操業されている。現在、さらにいっそうの高電力化の可能性に挑戦しつつある。

6. 集中制御装置

集中制御装置は、集中制御室に設置されている集中制御デスクおよび計装盤と、炉横の操業床上に設置されている操作スタンドならびに操業床背後の高所に取り付けられている電光表示板とから構成され、炉が 9 トン出湯、3 トンずつ 3 回チャージの一定電力連続操業に対して、1 人の制御者で 4 台の炉を制御することを目的として設計された。

集中制御デスクには、各種スイッチ・表示灯およびインターホン装置が取り付けられており、計装盤には、電力計・チャージタイム・溶解サイクルタイム・操業サイクルタイム・溶落通報用 kWh カウンタ・溶解用 kWh カウンタ・チャージ回数表示灯・チャージ総数カウンタ・計重装置指示計が各炉ごとに取り付けられており、電気時計も取り付けられている。操作スタンドには、傾動用手動切換弁、炉ふた開閉用押しボタンスイッチ、油圧ポンプ用スイッチおよび集中制御用各種スイッチ、ランプ類が取り付けられており、電光表示板は各炉ごとに、通電中・材料装入・溶落除さい(岸)・出湯・炉異常を表示するようになっている。

つぎに、集中制御の手順を説明する。この場合、集中制御室に 1 人のオペレータ、炉上に作業者がいるものと考える。

(1) 材料装入

材料装入を要求する表示は、チャージタイムまたは出湯完了信号により自動的に出されるが、材料装入開始は、周囲の安全を確認したうえで手でボタンを押して行なわれる。材料装入開始から完了までの間、操作スタンドと電光表示板に材料装入中のランプを点灯して表示する。装入が遅延して設定時間を超えると、過熱されないように主回路が自動的にしゃ断される。1 溶解サイクル(9 トン溶解)中の何回目のチャージであるかは計装盤上の表示管で表示され、出湯完了信号でリセットされる。

(2) 溶解

3 チャージ完了後は、溶落用 kWh カウンタの設定で溶落完了が通知されて主回路が自動的にしゃ断される。このとき、電光表示板には

溶落・除さい、操作スタンドには除さいの表示灯が点灯する。

(3) 除さい

前記表示が出れば、作業者は除さいを行ない、操作スタンドで除さい完了のボタンを押して集中制御室へ連絡する。

(4) 升温

除さい時にはスラグの除去を容易にするために、一般的に溶湯温度はかなり低く、したがって出湯温度までの昇温が必要となり、ふたたび主回路を投入する。出湯温度に達したときに溶解 kWh カウンタが溶解完了の通報をし、主回路を自動的にしゃ断する。昇温を時間で設定するほうが簡単な場合には昇温タイマをセットして昇温のボタンを押せば、所定の時間後に主回路がしゃ断されて溶解完了の通報を発することもできる。

(5) 保温

受湯側の都合または溶解サイクルの調整などで、保温操作が必要な場合に保温のボタンを押せば、自動的に変圧器タップ 1 が選択されるとともに主回路が投入されて保温される。保温操作を終えるときにボタンを押せば、主回路がしゃ断されて変圧器タップが保温前のタップに戻る。

(6) 測温

昇温完了後、出湯前に必要に応じて測温指令を出すことができる。

(7) 出湯

溶湯の分析、測温などが完了すれば、前炉の受湯可能、計重可能状態の確認ならびに材料装入装置および排煙フードが炉上にないことを確認して出湯のボタンを押し、操作スタンドおよび電光表示板にランプを点灯して知らせる。作業者は出湯表示の表示を確認して 9 トンを出湯し、出湯後に操作スタンドで出湯完了のボタンを押して集中制御室へ連絡する。出湯完了の信号によってすべての計器はリセットされ、次の溶解サイクルに入る。

(8) その他

操業サイクルタイムによって主回路 OFF 時間を測り、規定時間を超過すれば、オフタイム超過の表示を出して警報を発する。溶解サイクルタイムは、1 溶解サイクルの主回路 ON 時間のみ動作し、オペレータに作業進行の目途を与える。1 日の材料装入総数は、カウンタによって計数される。

7. 試験

記録的な高電力炉であるため、操業状態で各種の試験を行なった。そのうちのおもな試験結果についてつぎに述べる。

(1) 溶解試験

炉壁にスラグが付着する傾向があるので炉特性が変化し、測定値はかなりばらついたが、妥当な値としてつぎの結果を得た。

基準溶解率 15.5 t/h (1,500°C)

基準原単位 470 kWh/t (1,500°C)

(2) 構造物の温度上昇試験

炉かく底、鉄心およびコイルホルダの温度上昇試験を行ない、つぎの結果を得て、安全であることを確認した。

炉かく底は炉内溶湯からの熱伝導に加えて誘導加熱されるが、強度メンバであるはり(梁)の温度は、安全限界内にあることが確認された。

鉄心の温度は、ほとんどの所では設計温度を下まわったが、リード付近で若干高い温度を示した。しかし、局部的であること、絶縁物との間に熱絶縁があり、絶縁物の温度は安全限界内にあることから

安全に使用できるものと判断した。

コイルホルダも鉄心とほとんど同程度の温度を記録した。

これらの温度は熱電対を被測温部に取り付け、記録計で連続記録して得た。

8. 特長、問題点およびその対策

大形高電力炉はつぎのような特長を持っている。

- (1) 大形キュボラに匹敵する溶解能力をもつ。
- (2) 空気汚染のおそれがない。
- (3) 溶湯温度を正確に、かつ容易に管理できる。
- (4) 溶湯成分を正確にうることができる。
- (5) 操業コストが低い。
- (6) 装入材料が安価である。

一方、つぎのような問題点もあり、各ケースによって検討されなければならない。

(1) るつぼ形誘導炉は、装入材料を直接溶湯に装入しなければならないため、装入材料としては乾燥していることが条件となる。

一方、大形高電力炉では、溶解能力が著しく大きいため、装入材料が大量に必要であり、しかも乾燥していなければならない。これは材料貯蔵場所の確保、材料乾燥設備の検討を必要とするであろう。

(2) 大形高電力炉では、溶解時間は短いが、分析・除さい・測温・出湯に要する時間は短縮されていない。したがって、全操業時

間に占める非通電時間のパーセンテージは、小形低電力炉に比べて大きくなり、操業率は低下することになる。このことは、大形高電力炉において除さい時間・出湯時間の減少が重要な問題であることを意味している。

出湯時間の減少は、みぞ形保温炉を設置して大きな取りなべで1回に出湯するようにすれば達成できる。

除さいを30トン炉で人力で行なうには、あまりにも過酷な作業であり、除さい時間の短縮とあいまって除さい機の使用が必要であろう。この観点から当社は、すでに昭和45年に除さい機の試作品を完成し、その試用も行なって実用に耐えることを確認し、現在製品化を進めている。

9. むすび

以上、30トン8,500kW炉の概要をのべたが、大形化にともなう技術的な困難も克服され、鋳鉄溶解用炉として、生産性の向上、生産設備の合理化に、今後、この種の大形高電力炉が十分その性能を発揮し、主力溶解機として使用されることに確信を持った。

この炉の操業経験をもとにして、さらに大形高電力炉の開発を進めていくつもりである。

最後に、本炉納入後に試験データ採取にご協力下さったユーザに心から感謝申しあげる。

パッケージ形 低周波誘導炉

広川 利雄*・林 稔*・白須 浩蔵*

Packaged Type Induction Furnaces

Itami Works Toshio HIROKAWA・Minoru HAYASHI・Kōzō SHIRASU

Remarkable is the rapid progress of low frequency induction furnaces in recent years. Foundries of large scales as well as small ones have ventured to install them unanimously. With the increase of the scale of production, every plant is more and more pressed for the site area. Under the circumstances induction furnaces are greatly appreciated of their small floor spaces and short period of delivery and installation for the benefit of quick return in the investment.

Induction furnace installations handled as plant equipment have been changed to compact size and stocking products of short delivery time by the development of packaged units type I. Based on the experience on them packaged furnaces type II are now introduced to the market. Their outline, specification and features are described herein.

1. まえがき

低周波誘導炉が、鋳物工場近代化の一翼をになって近年飛躍的に発展し、現在もその途上にあることは、衆目の一致するところである。自動車産業に代表される大規模な鋳物工場はもちろんのこと、中小鋳物メーカーにおいても、低周波炉のもつ種々の特長を生かすべく、その導入が顕著になってきている。溶解設備に対して電源設備の占める割合が比較的大きい誘導炉において、全体をいかにコンパクトにまとめて短期間に納入するかは、広大な市場を有する中小鋳物メーカーにアピールする大きな要素であった。というのも、中小鋳物メーカーが、誘導炉の新設、または増設を計画する場合、工場を新設して設置することはまれで、その大半が既設工場の一角に今までの生産を落とさないように短期間の内に設置することを必要とするからである。最近では、公害問題解消・労働条件改善・安価な溶解材料の入手などの問題から誘導炉が他の設備にとって変わりつつあり、

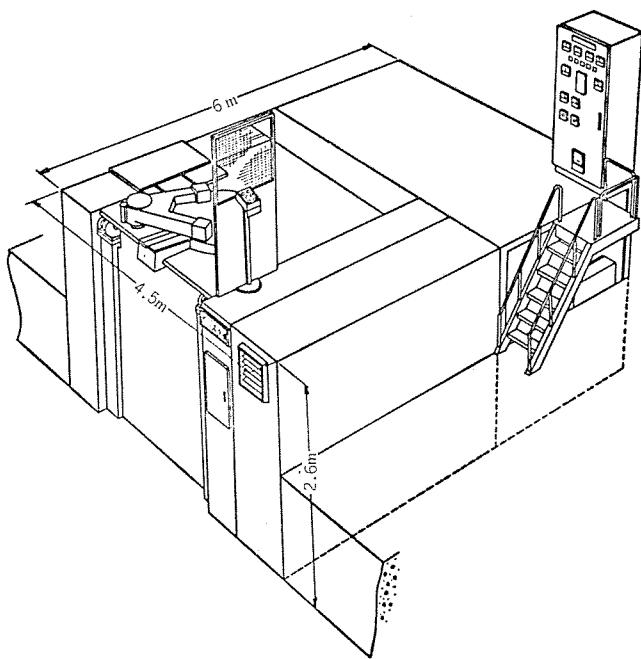


図 1.1 パッケージ形 低周波炉 全体図
General view of packaged type furnace.

それをますます進展させるためにも前述のコンパクト化、短納期化は顧客の要求を満たす大きな条件と言える。

このような意図から、中小鋳物メーカーに適合する炉の容量として

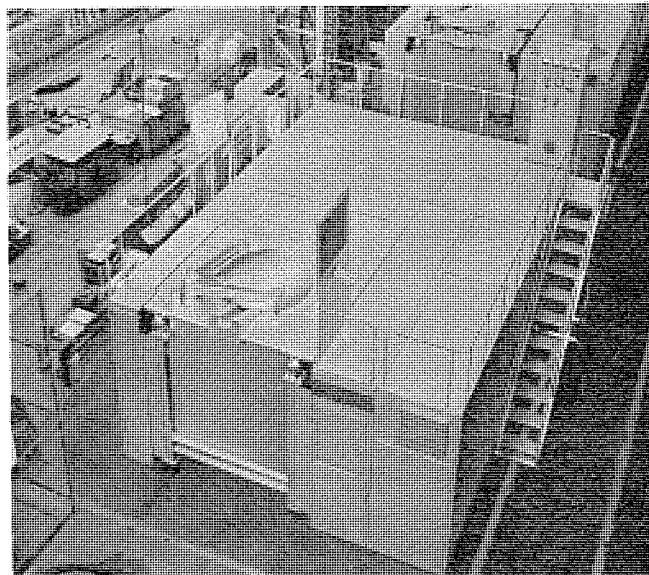


図 1.2 パッケージ形 低周波炉外観（上面）
Top view of packaged type furnace.

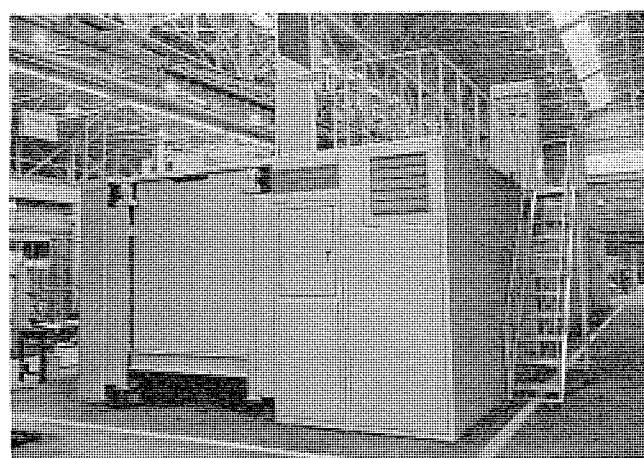


図 1.3 パッケージ形 低周波炉外観（前面）
Front view of packaged type furnace.

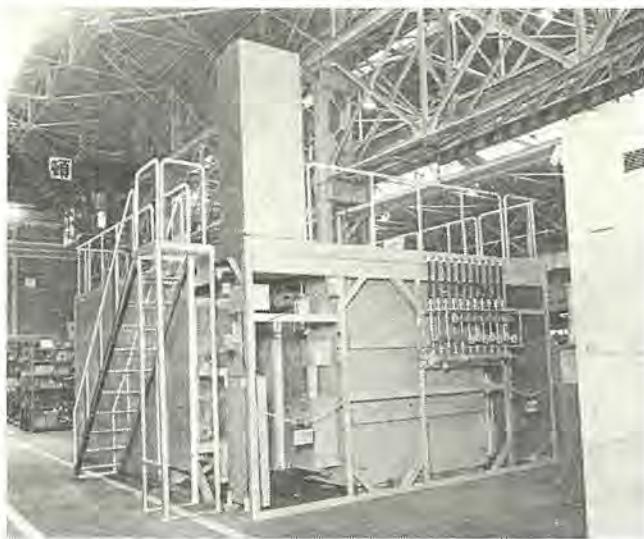


図 1.4 パッケージ形低周波炉外観（後面）
Rear view of packaged type furnace.

3.5トン炉が選定され、昭和43年末に“3.5トンパッケージI形低周波誘導炉が開発されたのである。後述する種々の特長をもつて3.5トン炉クラスにおいては圧倒的な強みをみせ、すでに納入台数は20数基にも及び、現在好評のうちに実動されているが、今回その実績・経験をもとに、また顧客の意見も折り込んで新しい“3.5トンパッケージII形低周波誘導炉”を開発したので、その概要・仕様・特長などについて述べ、参考に供したい。図1.1～1.4は外形図および写真を示す。

2. パッケージII形低周波誘導炉の概要

誘導炉は、構造および使用周波数によって次のように大別される。

- (1) 有鉄心(みぞ)形誘導炉
- (2) 無鉄心(るっぽ)形誘導炉
 - (a) 低周波炉
 - (b) 中間周波炉
 - (c) 高周波炉

このうち、本文でとりあげるパッケージ形誘導炉は、(2)-(a)項の無鉄心形低周波誘導炉にある。無鉄心形低周波誘導炉は、原理上空心コイルを使用するため、コイル自身の力率が十数%と非常に悪く、この力率改善用に大量の進相用コンデンサを必要とする。また、負荷は単相でありながら三相電源から給電するために、三相バランサ装置としてコンデンサおよびリアクトルを必要とし、これらを簡単に示せば図2.1になる。負荷力率は、操業中にかなりの変化を示すので、それに応じて進相用コンデンサの総容量の半数程度を電磁接触器によって開閉して調整する。また、電力も溶解の進展、出湯などとともにあって変化し、保温・焼結に必要な低電力をも加味して、変圧器には8タップを設けている。

これらは、誘導炉に関して一般に言えることで、パッケージ炉についても変わりないが、パッケージ炉が他の炉と異なるのは次の点にある。

- (1) 冷却水設備(冷却塔・冷却水ポンプ)を除くすべての機器が幅4.5m、奥行6m、高さ2.6mのわく内に組込まれていること。わくの上面が操業床となっていること。
- (2) 短納期を目的にした仕込生産品にしたこと。

幅4.5m、奥行6mという数字の出された根拠は、工場建屋の柱

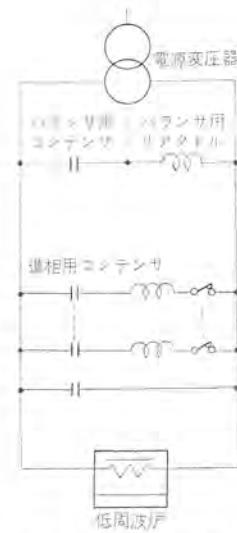


図 2.1 簡略回路図
Power supply diagram of coreless furnace.

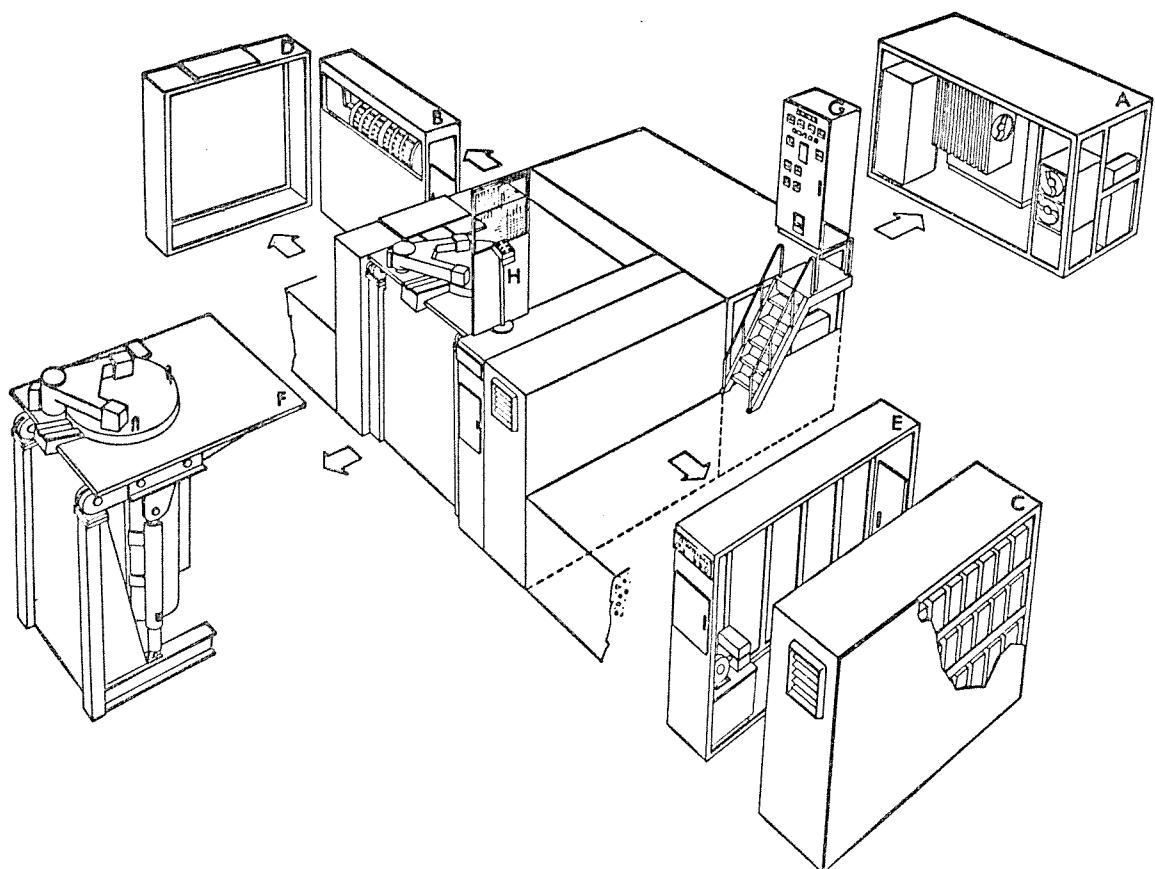
間隔内に本炉が設置できなければならないことから発生しており、このコンパクト化を可能にしたのは、バランサ用リアクトルを変圧器に内蔵して一体化したこと、フィルムコンデンサを使用してスペースの縮小、および発熱量減少による換気装置の縮小、炉体の小型軽量化などが大きな要因となっている。わが国においては、50Hz、60Hz地区があり、また、炉が設置される工場の変電設備はほとんど高圧、つまり6kVまたは3kVであるために仕込み生産としたパッケージ形炉では、そのすべての条件を満足させなければならない。したがって、二重定格の機器が大部分を占めるが、コイルなどの二重定格困難なものは、あらかじめ両者を用意することになる。溶解材料搬送方法・ルートも顧客によりまちまちで一定していないため、プラットホーム上にはなにも設置せず、材料搬送の障害にならないようになるとが好ましいが、操業に必要な操作盤のみはそれができないので、設置位置をプラットホームの左・右どちらにでも移転できるように配慮している。

図2.2は本設備の構成を示すが、図から明らかなように、下記の8ユニットから成り立っており、それぞれ単独に分割できる。

- (a) トランスユニット
- (b) 水冷ケーブル支持ユニット
- (c) コンデンサユニット
- (d) 炉体点検ユニット
- (e) 油圧発生装置ユニット
- (f) 炉体
- (g) 操作盤
- (h) 操作スタンド

それぞれ分割可能な各ユニットは、工場において単独に組み立て、配線ができる、現地搬入後はユニットを組み合わせてボルト締めし、あらかじめセットされたケーブルホースなどを簡単に接続するだけで工事が完了する。各ユニットの上面は、組み立てられた状態で4.5m×6mの広さになり、これがプラットホームとして使用されるようにがんじょうな鉄板でできている。

トランスユニット内には、受電設備としての受電盤、バランサ用リアクトル内蔵の電源変圧器、低圧補機動力への給電用低圧分電盤、炉冷却水監視用リレー類、およびコンデンサ冷却用換気ファンが系統的に、しかも保守点検の便を考慮して有効に配置されている。トランスユニットは、開放形であるので、発熱の換気は十分である。冷却水用流水リ



A トランジスタユニット
B 水冷ケーブル支持ユニット

C コンデンサユニット
D 炉体点検ユニット

E 油圧ユニット
F 炉体

G 操作盤
H 操作スタンド

図 2.2 パッケージ形低周波炉ユニット構成図

Cut-away picture of packaged unit.

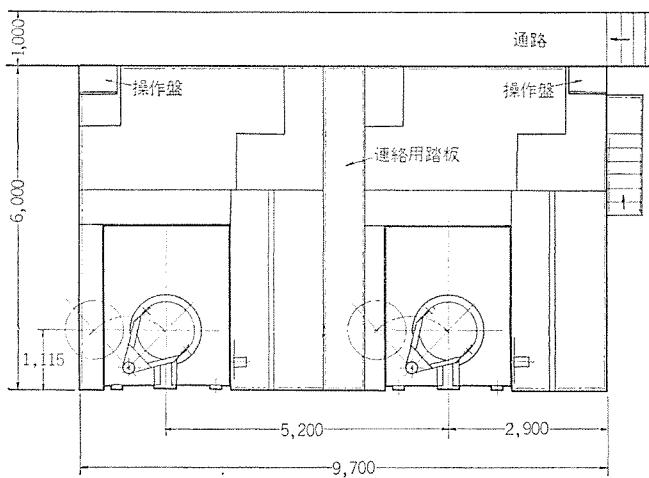
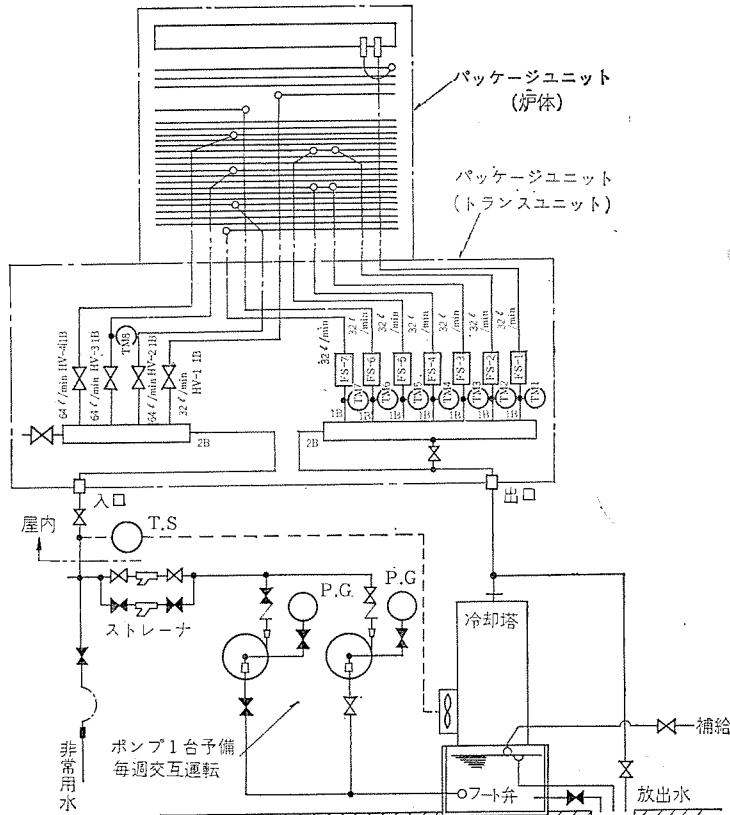


図 2.3 2 炉並列配置図
Layout of 2 set of packaged furnace.

レ、温度リレーは、炉の近くに入り込まなくとも監視できるようにわくの外面に取り付けられ、作業者の安全が配慮されている。

コンデンサユニットには、進相用コンデンサ、バランサ用コンデンサ、およびその調整用コンタクタ類が収納されている。コンデンサは低 $\tan \delta$ で注目されている。このコンデンサユニットは完全に密閉された部屋にしてコンタクタ類をじんあいから保護するとともに、コンデンサからの発熱を除去するための通風ダクトをも兼用している。

コンデンサわくと一対になって密閉室を構成しているのが油圧発生装置ユニットであるが、この中には油圧発生装置が収納され、また、



コンデンサの点検用スペースとなっており、炉体のすぐ横に配置されて油圧配管の縮小が図られている。

配線用ケーブル類は、各わく上端のコナを利用し、補強アングルにラックをつくりその中をはわせている。

このようにすべてがコンパクトに設計されているため、故障時の搬出を心配される向きもあるかと思われるが、各わくの上面床板は必要に応じて取りはずしが可能で、機器搬出も容易に行なうことができる。心配はない。炉を複数基並列に設置する場合には、作業性を考慮して炉間隔は5.2mを標準にし、単独設置の場合とまったく同様に並べることができ、炉間のスペースに渡り板を載せて固定するだけである。

冷却水設備は、下記の理由によって、炉とは別に必要に応じてどこにでも設置できるものにした。一般的に冷却水設備は屋外に据え付けられるものであること、顧客によつては市水を使用したり、他の機器に使用している冷却水設備を兼用したりするからである。冷却水設備は、温度降下能力が大きい特殊な形式の冷却塔および予備を含めて2台のうず巻きポンプで構成されている。図2.4は、冷却水設備の概略系統図を示す。

3. 機器仕様

現在、需要される鉄物としては鉄鉱が圧倒的に多いが、アルミ・銅合金も適用できるように設計されている。

(1) 鉄鉱溶解用

形名：ISNG 3.5/800
形式：無鉄心るっぽ形
定格容量：3,500 kg
定格電力：800 kW 1φ 50/60 Hz
基準溶解率：1,450°C……1.49 t/h
1,500°C……1.43 t/h
1,550°C……1.37 t/h

基準電力消費量：1,450°C……535 kWh/t
1,500°C……557 kWh/t
1,550°C……583 kWh/t

炉室構造：酸性耐火材つき固め式

注出方式：油圧傾動式

炉ふた開閉方式：上昇旋回油圧操作式

冷却水量：12 m³/h, 5 kg/cm², 入口温度 35°C 以下
変圧器：3φ 50/60 Hz 1,000 kVA
一次電圧 6,900 F-6,600 R-6,300 F V
3,450 F-3,300 R-3,150 F V
二次電圧 1,120 F-1,060 R……235 V 8タップ
バランサ用リアクトル内蔵
電動式無負荷タップ切換器付き

(2) 銅合金溶解用

形名：ISNC 3.6/720
形式：無鉄心るっぽ形
定格容量：3,600 kg
定格電力：720 kW 1φ 50/60 Hz
基準溶解率：1,100°C……2.36 t/h

基準電力消費量：1,100°C……305 kWh/t

炉室構造：中性耐火材つき固め式または黒鉛るっぽ式
注出方式：油圧傾動式

炉ふた開閉方式：上昇旋回油圧操作式

冷却水量：17 m³/h, 5 kg/cm², 入口温度 35°C 以下

変圧器：3φ 50/60 Hz 1,000 kVA

一次電圧 6,900 F-6,600 R-6,300 F V

3,450 F-3,300 R-3,150 F V

二次電圧 1,120 F-1,060 R……235 V 8タップ

バランサ用リアクトル内蔵

電動式無負荷タップ切換器付き

(3) アルミ溶解用

形名：ISNA 1.3/400

形式：無鉄心るっぽ形

定格容量：1,300 kg

定格電力：400 kW 1φ 50/60 Hz

基準溶解率：700°C……0.65 t/h (純アルミ)

0.73 t/h (ダイカストアルミ)

730°C……0.63 t/h (純アルミ)

0.71 t/h (ダイカストアルミ)

3φ 50 60Hz 6.6 3.3kV

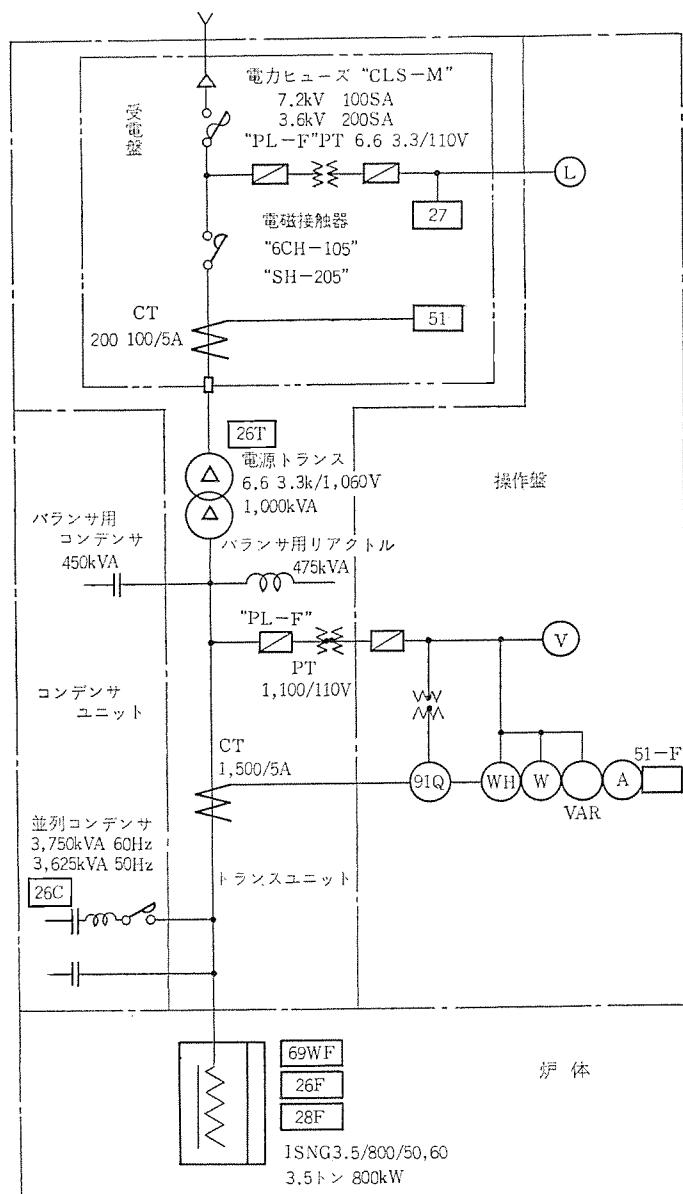


図 3.1 主回路単線結線図
Single line diagram of main circuit for packaged furnace.

基準電力消費量 : 700°C	615 kWh/t (純アルミ)
	550 kWh/t (ダイカストアルミ)
730°C	635 kWh/t (純アルミ)
	565 kWh/t (ダイカストアルミ)
炉室構造 :	中性耐火材つき固め式
注出方式 :	油圧傾動式
炉ふた開閉方式 :	上昇旋回油圧操作式
冷却水量 :	10 m ³ /h, 5 kg/cm ² , 入口温度 35°C 以下
変圧器 :	3 φ 50/60 Hz 500 kVA
	一次電圧 6,900 F-6,600 R-6,300 F V
	3,450 F-3,300 R-3,150 F V
二次電圧	1,120 F-1,060 F-1,000 R-235 V

(4) 保護裝置

保護装置として次のものを具備しており、故障時には警報とともに故障の種類を表示し、故障内容によっては主回路を切り放す。

表 3.1 保護裝置一覽表
List of alarm devices for furnace

故障の種類	故障表示灯記入文字	自動措置	
		警報	主回路開
主回路欠相又は低電圧	欠相、低電圧	○	○
主回路過電流	過電流	○	○
冷却水量減少	炉冷却水量減	○	○
冷却水温度上昇	炉冷却水温度上昇	○	○
湯もれまたは接地	湯もれ、接地	○	□
変圧器温度上昇	変圧器温度上昇	○	—
コンデンサ室温度上昇	コンデンサ温度上昇	○	—
フィルタ目詰まり	フィルタ目詰まり	○	—

して表わしたものである。

4. 特 韶

低周波誘導炉が持つ公害解消、作業環境の改善、溶湯成分の自在な調整などの一般的特性についてはすでによく知られているので、ここでは、パッケージ形炉が従来形の低周波炉に比べて、いかなる特長を有するかを列記することにする。

図4.2は、まったく同仕様の一般形低周波炉の配置図を示すが、これを図4.1と比較すれば、パッケージ形炉の持つ特長が明白にわかる。

(1) コンパクトである

炉体・電機品のすべてが、幅4.5m、奥行6m、高さ2.6mの箱体に収納されており、この上面は操業床（プラットホーム）を形成している。このプラットホームは、炉の操業に必要な十分な広さを有し、この下にすべての電機品を納めているので、一般形炉の配置図で見る電気室が不要になる。つまり、4.5m×6mの敷地を工場内に占めるだけであるから、設置場所に苦慮する必要がなく、中小鉄物メーカーの狭い敷地に設置するには最適の炉と言いうことができる。

(2) 据え付けが容易である

従来、この種の一般形炉で、機器搬入・据え付け・組み立て・配線に1か月の期間を要していた。プラントとして取りまとめるために現地工事とせざるを得ず、それが建屋・基礎日程・機器搬入日程・工場の操業状況に左右され、また、逆に工場の正常操業を阻害していた。

今回、すべての機器を各ユニット別に工場で組み立て、完成品を現地で組み合わせるだけにしたため、搬入後から出湯まで4日間という超短期間に現地工事を完了させることが可能になった。また、据え付け後の設置場所移転も簡単で、合理的なレイアウトを行なうことができる。

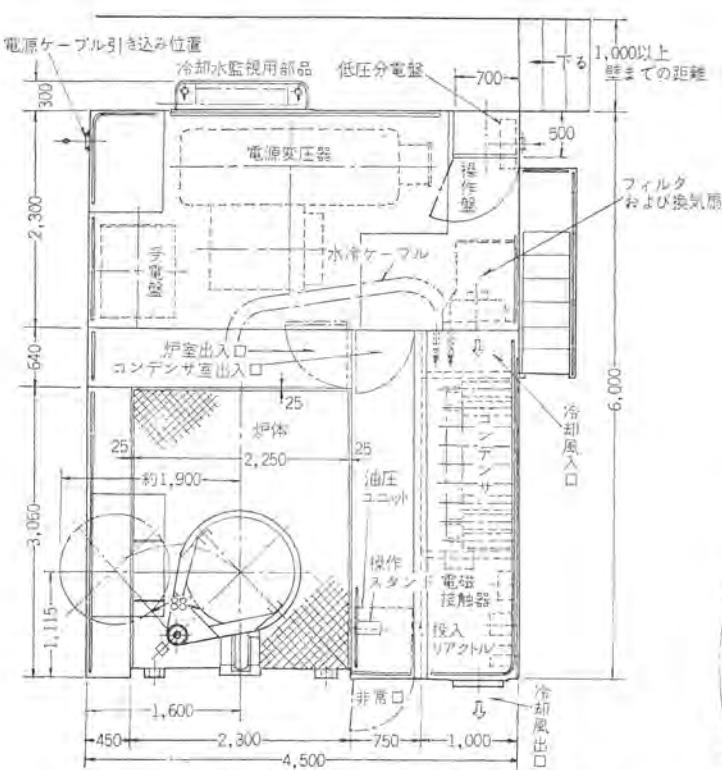
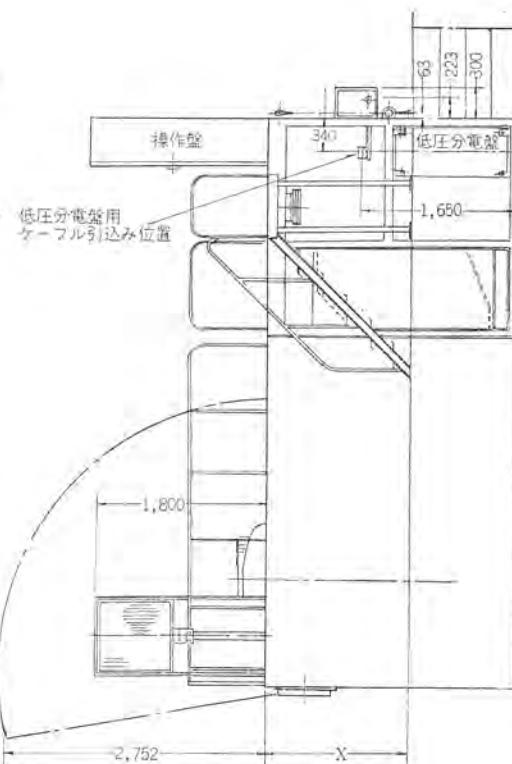


図 4.1 パッケージ形低周波炉平面図、側面図



General layout of packaged furnace.

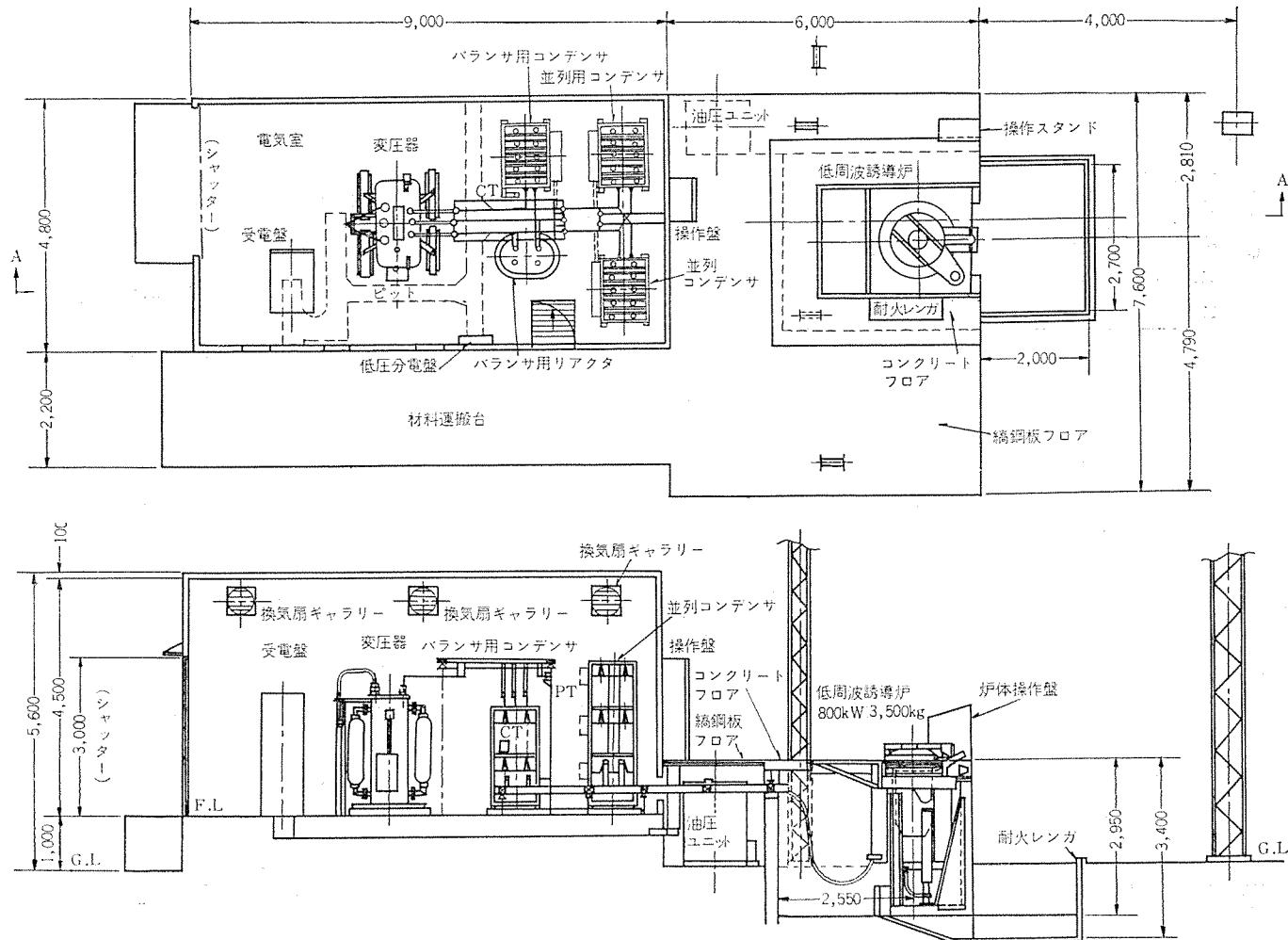


図 4.2 一般形低周波炉配置図

General layout of ordinary type 3.5 t coreless induction furnace.

(3) 短納期である

これだけの大設備を既成品としたことによって、納期が大幅に短縮された。即効的な投資効果が得られ、生産性が高くて経済的な操業が可能である。

(4) 設備費が低廉である

一般形低周波炉を設置する場合、炉体の基礎・プラットホーム・電気室の建屋・基礎などの客先で準備するものも少なくなく、換気・防じんなどを考慮すれば相当高価な基礎・建屋費が必要になる。その点、パッケージ形炉設置の場合には、プラットホーム・電気室が不要になり、炉体およびわくの基礎だけでよい。また、場合によっては基礎・建屋をいっさいぬきにして、工場のフロアへ直接置くことも可能であり、設備費の低廉さは一般形炉と比較にならない。

前述の意図をもとに開発されたパッケージ形Ⅰ号炉が、顧客の要求をどの程度満しているかは興味深い問題であり、ダイレクトメールによる調査を行なった。その結果、所期の目的が十分に達せられていることに意を強くし、パッケージ形Ⅱ号炉にもその特長を全面的に反映させた。

購入の理由として、

(a) パッケージ炉の持つ利点を認め、他社の炉より多少高くても総合的設備費としては、同一ないしは低くなると判断したからである。

(b) 将来移転の計画があり、そのときの解体・組み立てが容易である。

の2点が最も好感をもたれ、また、メリットとしては、占有スペースが

小さいことが第一にあげられている。どこの工場においても、年々生産規模が拡大されて工場敷地が狭くなっていく現状では、占有スペースの小さい設備が、多少の価格差も問題にされないことを表わしている。これは、よりもなおさず顧客が本当に必要としている新しいタイプの炉といふことができる。

しかし、その反面、改良を要する点として顧客から指摘されたものに次の2点がある。

(1) エアフィルタの掃除をひんぱんに行なう必要がある

(2) 電気室点検スペースが比較的少ない

パッケージ形Ⅱ号炉においては、これを次のように改良した。

(1)項に関しては、空気取り入れ口のスペースを広げ、エアフィルタの数を2枚から3枚にふやすとともに、風速を下げてエアフィルタ目詰まりの減少を図った。(2)項は、フィルムコンデンサ使用、およびそれにともなう発熱量減少による換気装置の縮小、ならびに合理的配置の再検討で改良を加えて十分なスペースを得た。

顧客において、本炉がどのように使われているかを参考までに述べると、溶解材料としては、せん(銑)ダライ・戻り材を主体にしたものが多く、1日平均12~14時間操業で、1か月250トン前後の出湯が行なわれているようである。ほとんどの顧客においては、夜間空炉にしているが、24時間操業・週末空炉で500トン以上の出湯を得ている顧客もあり、パッケージ化のメリットとともに、炉の優秀な性能が実証されている。1回の材料装入量は、200~300kg程度が多く、場合によっては350~400kgも行なわれており、目安としている炉容量の1/10装入もそれほど困難ではないことがうかがえる。

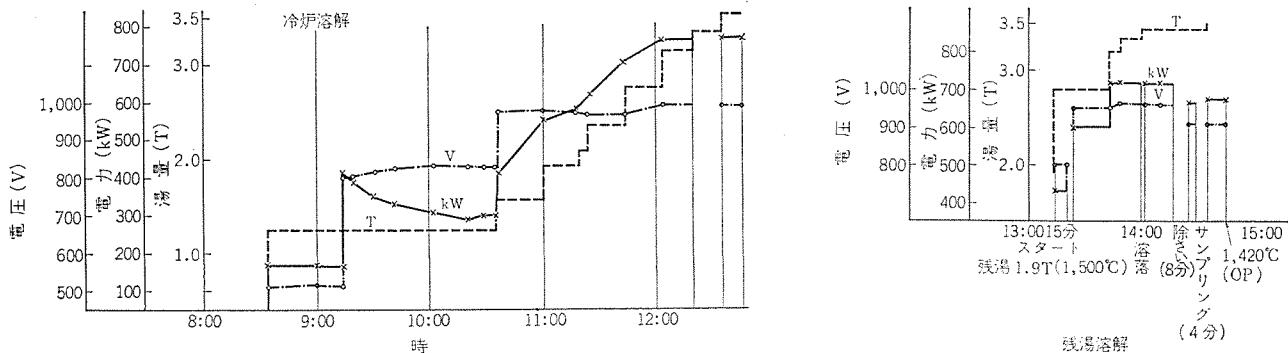


図 5.1 溶解例

Example data of power input and charge in melting process.

誘導炉が持つ本質的な特性に加えて、前述のようないろいろな特長を有するパッケージ形炉は、設備計画の簡易さ・経済性などから魅力のある設備に違いない。

炉体については、すでに国産最大の30トンという超大型炉の製作実績が示すとおり、技術的になんらの問題点もなく、また、各電機品についても、総合電機メーカーの利点を最大限に生かし、両者の有機的な結合で本装置が完成されている。

5. 試験データ

本文記載のパッケージ形II号炉に関する試験データとしては、溶解

表 5.1 負荷試験データ
Test melting data.

変圧器タップ	二次電圧V	二次電流A	有効電力kW	無効電力kVAR	コンデンサ容量タップ値
1			40	0	0.7
2	480	400	180	-20	0.7
3	730	620	440	-40	0.7
4	870	725	630	+30	0.8
5	940	800	740	+40	0.8
6	1,020	850	840	+45	0.8
7	1,080	900	960	+50	0.8
8	1,150	950	1,020	+60	0.8

試験のみをあげた。前述のパッケージ形I号炉で詳細な試験データ(性能・換気・油圧・冷却水・振動・剛性)を得ているので、II号炉に関しては割愛した。

表5.1は全負荷時の性能データを示し、図5.1は、ある顧客における冷炉溶解と残湯溶解の例を示す。

6. むすび

プラントとして現地工事が多数含まれる低周波炉を、仕込生産が可能で、短納期・コンパクトな炉に変革して業界の注目を集めたパッケージ炉について、構造・性能・特長などを述べた。まったくユニークな炉として、その経済性・合理性を高く評価されたパッケージI形炉の実績・経験をもとに、顧客の意見を取り入れて開発されたII形炉は、よりいっそう、顧客に満足されるものと確信している。中・小形低周波炉の今後の進路は、このパッケージ化にあると推測され、3.5トン炉のみならず、現在2トン炉についても、パッケージ化が進められている。

最後に、パッケージ形炉開発にご尽力いただいた関係者のかたがた、データ収集のためにご協力いただいた顧客のかたがたに、深く謝意を表したい。

三菱-BBC 鋳鉄用みぞ形低周波炉

広田 欣至*・安孫子 博*・岩佐 康彦*

Mitsubishi-BBC Channel Type Induction Furnaces for Cast Iron

Itami Works Kinji HIROTA・Hiroshi ABIKO・Yasuhiko IWASA

For the sake of improving the productivity through the rationalization of foundries, induction furnaces play a vital role. It has been recognized that channel type induction furnaces have a remarkably excellent capability as the holding furnace of cast iron as well as the crucible type induction furnace. In consequence demands for them are expected to make a sharp increase in future.

This article introduces, in reference to the channel type induction furnace, the standard type of the company together with its features and our point of view on the refractory. Also brief description is made herein of the principle and the design on an inductor, the heart of this furnace.

1. まえがき

铸造工場の構造改善は、経済規模の拡大に伴って、わが国にとつて急務とされ、ここ数年来、飛躍的に合理化の方向に歩みつつあるが、铸造分野における多様性が、ともすれば体质の改善をさまたげている傾向が強い。

当社は、すでに多数の铸造用低周波炉を納入しているが、その大半は、溶解用のつぼ形低周波誘導炉(Crucible type induction furnace)であり、長い歴史を有するキュポラ(Cupola)にないすぐれた特長をもつ溶解機として広く認識されている。しかし、溶解機が溶解機として高能率を発揮するためには、铸造ラインの要求するタイミングに合わせて、溶湯を供給する溶湯保持炉を溶解機と铸型の間に設けるべきであるとの考え方から、みぞ形低周波炉(Channel type induction furnace)の需要が、増加してきた。

みぞ形低周波炉については、铸造用の場合、溶湯温度が高いことや、耐火材の選定、操業上派生する問題などがすべて解決されたとはいえない点があり、今後の研究によって改良していく必要がある。本文では、当社のIRV形铸造用みぞ形低周波炉について、その概略を紹介するとともに、この形式の炉の心臓部ともいいくべきインダクタの原理および設計上の考え方を述べる。

2. 鋳鉄用みぞ形炉

2.1 用途および利点

铸造工場の合理化を推進するには、溶解材料の搬入から製品の搬出までの一つの流れの中で、溶解部門と铸造部門とを同調させ、かつ不良製品を減らすためにも均一な成分温度の溶湯が供給でき、両部門の能力を十分に発揮させる必要がある。

みぞ形炉は、両部門の間にあって需給関係のバランスがくずれても、成分・温度を変動させないで溶湯を保持する保持炉としての機能を発揮する。これにより、溶解機は铸造ラインの要求と関係なくその能力を最大限に発揮し、また铸造ラインは溶解機の供給サイクルと無関係に円滑なか働を可能にする。

このみぞ形炉の設置によって得られる利点は、次のようなものである。

(1) 溶湯効果により、铸造ラインの要求がピークのときでも溶解サイクルには関係なく溶湯を供給することができる。

(2) 溶解機は、铸造ラインの要求する注湯サイクルに無関係に溶解・出湯スケジュールを維持できる。

(3) 緩衝効果により、溶湯の成分・温度の偏差をなくしてくれる。すなわち、溶解機からの溶湯の成分・温度のバラツキは保持中に適当に平均化される。

(4) 昇温能力があるので、所要の出湯温度に調整できる。

上記の主要な利点のほかに、铸込み作業はシフト開始と同時に始められ、またキュポラの初湯や铸込みの余り湯を収容でき、捨湯の大幅な減少による歩どまりの向上などの利点がある。

2.2 IRV形みぞ形炉の構造および特長

みぞ形炉の構造は、一般に溶湯を保持する炉体と発熱部であるインダクタ(Inductor)との二つの主要部分から構成されている。

現在、铸造用として300kW, 500kW, 800kWの3種類のインダクタを標準とし、これらを炉体に取り付けて表2.1に示すような幅広い能力をもつ炉として、IRV形シリーズを製作している。

この炉は铸造の保温および昇温用として製作されるもので、特につぼ形低周波炉、キュポラなどの溶解機からの溶湯の保持炉に適し、上記利点を十分に満足させる機能をもっている。

炉本体は、図2.1に示すように、ティーポット形の鋼板溶接構造とし、熱放射表面積や強度面を考慮して鏡板を用い、その上部には、取りはずし可能な炉ぶたがあり、再築炉の場合には取りはずしたう

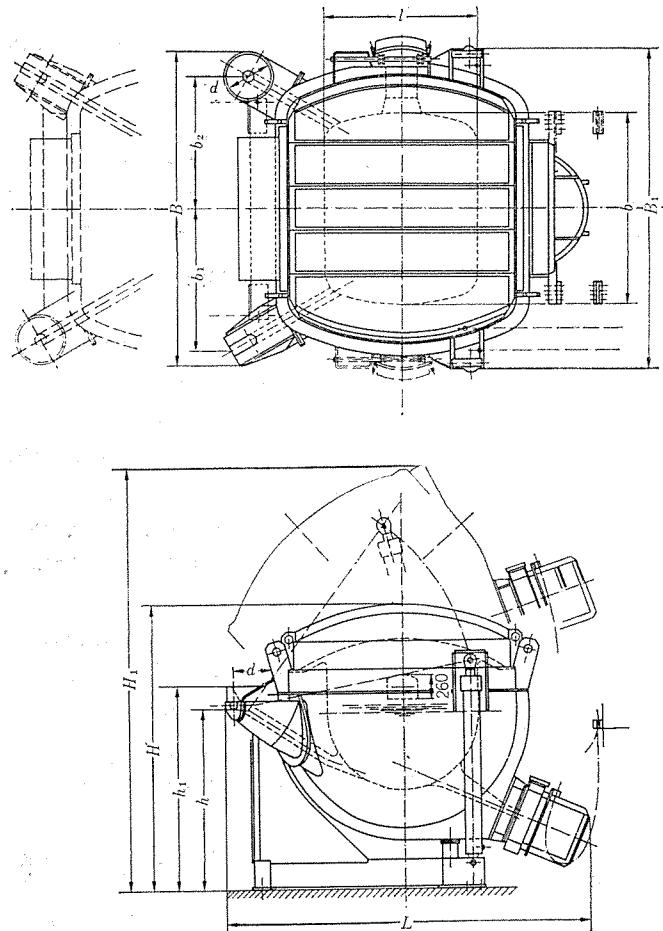
表2.1 IRV形铸造用みぞ形低周波炉標準表
List of standard channel induction furnaces type IRV
for cast iron.

形 式 IRV	炉 容 量 t		インダクタ電力 kW		1,500°C 近辺 での昇温能力 t/h·100°C	電力消費量 kWh/t·100°C
	総容量	有効容量	300	—		
5	5.6	3.5	300	—	7.6	39.5
			300	—	7.0	42.8
			—	500	14.4	34.7
6	9.6	6	300	—	5.8	51.7
			—	500	13.2	37.9
			500	—	11.4	43.8
7	15.1	10	500	—	22.2	36.0
			—	800	11.0	45.5
			500	—	21.8	36.7
8 a	28	20	500	—	9.7	51.2
			—	800	20.6	38.8
			500	—	—	—
9	35	25	—	—	—	—

え容易に施工できる構造にしている。傾動は油圧方式によって、湯口を中心に行なわれ、出湯量をスムースに調整でき、また設定角度以上に傾動しないように保護装置を備えている。

炉への溶湯の装入は、炉内下方に通ずる受湯口から行なわれるためスラグの混入がなく、また出湯の際も炉内下方から出湯口を経て出湯されるので、スラグの混入を防ぐことができる。さらに、受湯と出湯との両湯口が同一傾動軸線上にあるので、湯口の移動が少なくて溶湯の搬送に便利であり、また受湯と出湯が同時に行なえる。なお、受湯口および出湯口は分離可能な構造になっており、耐火材補修に便利で、交換も可能である。そのほか、炉体側面に除さい口を備えている。

インダクタは、鉄心・加熱コイル・ケース・耐火材などから構成されているが(図3.1参照)、発熱部である関係上、みぞ部の温度が炉内温度より高く、この温度差は鋳鉄の場合 100~150°C 前後であるので、炉体よりインダクタの耐火材の寿命が短くなる。この場合、炉の操業を長期間休止しないで短時間で寿命のきたインダクタを、あらかじめ築炉して乾燥された予備インダクタと交換できるように分離構



形名	略号	B	B_1	H	H_1	L	b	I	d	h	h_1	b_1	b_2
IRV-5		2,460	2,360	2,800	3,700	3,600	1,300	1,200	350	1,800	2,100	1,050	950
IRV-6		2,680	2,560	3,000	3,950	3,900	1,500	1,400	400	1,900	2,200	1,180	1,055
IRV-7		3,100	2,926	3,600	4,850	4,280	1,700	1,700	450	2,405	2,800	1,330	1,200
IRV-8		3,600	3,640	3,736	5,550	4,900	2,000	2,000	450	2,420	2,720	1,575	1,455
IRV-8a		4,100	4,200	3,800	5,600	4,900	2,500	2,000	450	2,400	2,650	1,850	1,700
IRV-9		4,200	4,380	4,600	6,500	4,900	2,400	2,000	500	3,450	3,750	1,865	1,715

図 2.1 IRV 形 みぞ形炉の外形図および寸法表
Range of sizes and dimensions of channel induction furnaces type IRV.

造としている。

インダクタは、同一の設計方針に基づいて製作されており、その特長を下記に示す。

- (1) コイルは水冷方式で冷却している。
- (2) ケースは水冷方式にして小形化している。
- (3) 十分な断熱材を用いて熱損失を小さくしている。
- (4) 高マグネシア質耐火材による流し込み方式の採用。これによって施工が容易になり、また湯ざしに対しても強固な一体構造を形成する。
- (5) インダクタ交換が容易に行なえる構造である。

なお、インダクタの設計上の問題は、3章に示す。また、一例として図2.2に、か礎中のIRV-7形500kW 15/10t炉を示す。

2.3 電源設備

この炉は、商用周波電源をそのまま使用でき、るっぽ形低周波炉に比べて力率が良いため、力率改善用並列コンデンサも少量ですみ、電機品は安く経済的である。

電源機器の組み合わせは、図2.3に示すように、受電盤・電源変圧器・三相平衡装置・並列コンデンサ・操作盤から構成される。

インダクタはリアクタンスが大きくて力率が悪いため、並列コンデンサとのL-C並列共振回路を用いて電源側から見た力率を100%近くまで改善しているが、この回路は単相負荷であるので、三相電源をバ

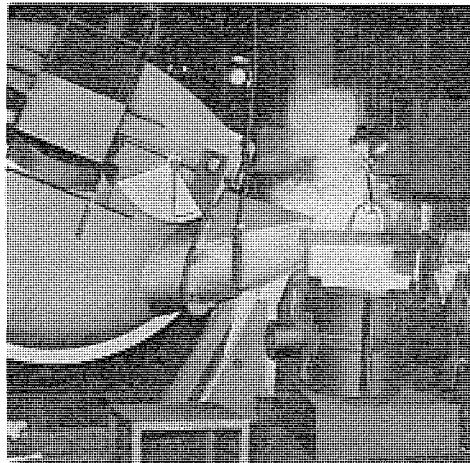


図 2.2 IRV-7 形 鋳鉄用 みぞ形 低周波炉
Type IRV-7 channel type induction furnace for cast iron.

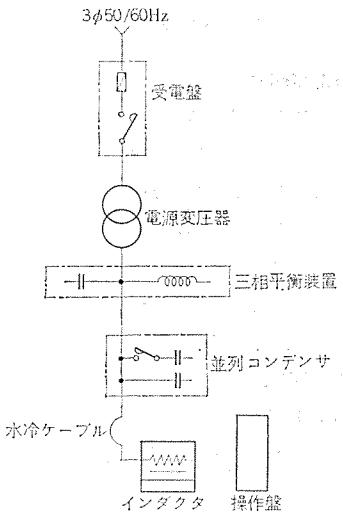


図 2.3 みぞ形炉主回路結線図
Skeleton diagram of channel induction furnace

ランスさせるために、リアクトルとコンデンサよりなる三相平衡装置を経て、電源変圧器の二次側に結線される。電源変圧器には、インダクタ電力が広範囲に調整でき、遠隔操作ができる無負荷タップ切換器を設え、そして一次側は電力ヒューズとコンタクタを組み合わせた受電盤を経て三相電源につながれる。なお、並列コンデンサは固定群と若干の調整群となりなり、調整群はインダクタ寿命期間中、みぞ部耐火材の損耗経過に応じて力率を補償する。

操作盤には、主回路の制御スイッチ類のほかに、電圧計・電流計・電力計・無効電力計・力率計・電力量計などの計器、さらにインダクタ冷却水の流量・水温、電源変圧器の温度、主回路の過電流、欠相および低電圧などを指示する警報装置が収納されている。そのほか、付帯機器として、水ポンプ・油ポンプ・換気扇などのスイッチ類を収めた低圧分電盤がある。

上記電源設備以外の付帯設備として、傾動用油圧装置（操作スティックおよびパワユニット）・冷却水塔などがある。

2.4 耐火材

みぞ形炉自身の歴史は、非常に古いにもかかわらず、鉄用みぞ形炉が非鉄用みぞ形炉と比較してその発展が遅れていたのは、その耐火材に問題が多かったためである。しかしながら、近年耐火材の改良および新しい施工法の出現、さらに交換可能なインダクタの開発に伴って、その需要が急速に増大してきた。

鉄用みぞ形炉の場合、出湯温度は1,500°C前後であり、発熱部であるインダクタみぞ部およびその近辺の溶湯の温度は1,600°C以上にもなり、溶湯に直接接触する耐火材は、この高温に耐えることが必要である。また、炉体構造は、るっぽ形炉と比較して複雑であるため、耐火材の選定および施工法を十分に検討する必要があり、逆に耐火材の特性に合った構造設計が必要である。さらに重要なことは、この炉は非常に多量の耐火材で築炉され、乾燥・加熱を絶え使用できるまでにはかなりの日数を要するため、操業上はもちろん経済的にも耐火材には十分に安定した長寿命が要求される。

上記条件を考慮して製作したIRV形鉄用みぞ形炉の耐火材の特長を、炉体・インダクタ・炉ぶたの三つに分けて下記に示す。

2.4.1 炉体

炉体耐火材、特に直接高温の溶湯に接し、しかも多量の溶湯を保持し、さらに湯量の変動による温度変化というきわめて過酷な使用条件を要求される部分の耐火材としては、アルミナ(Al_2O_3)含有量95%程度の高アルミナ質キャスタブルまたはスタンプ材を用いている。その裏張りには、炉の熱損失および万一の湯漏れを考慮した高品質の耐火レンガ・耐火断熱レンガ・アスペスト板を使用し、レンガの目地にはりん酸塗結合のモルタルを、そして複雑な個所には、レンガの切断加工による品質低下および施工上のミスを避けるために、キャスタブル施工を行なっている。

2.4.2 インダクタ

インダクタ耐火材は、その機能上および設計上の問題から、非常に高温な溶湯に耐え、しかも形状が複雑で薄い耐火層での強度および施工性が要求される。さらに、経済性からもこの耐火材として、マグネシア(MgO)含有量98%の高マグネシア質キャスタブルを使用している。

この高マグネシア質キャスタブルは高アルミナ質耐火材よりも溶融点は高く、キャスタブルであるために施工は容易である。また、実際に使用した場合、アルミナ質耐火材の場合のように浸食されて耐火材が減るのではなく、むしろ酸化物が付着してふえる傾向にあり、湯漏れの

危険性はきわめて少ない。

2.4.3 炉ぶた

炉ぶた耐火材は、直接溶湯には触れず、溶湯からのふく射熱をしゃ断して熱損失を減少させ、溶湯を大気からしゃ断する目的をもっている。しかしながら、溶湯面上のふんい気が炎となって耐火材をなめたり、万一この耐火材が損傷してはく離した場合には、炉体耐火材上部に冷却によるクラックが発生したり、新しい空気に触れた溶湯の酸化物によって耐火材が浸食されるなどの危険性がある。この点を十分考慮して、高アルミナ質(Al_2O_3 70%)キャスタブルを使用しており、施工技術面にも十分な検討がなされている。

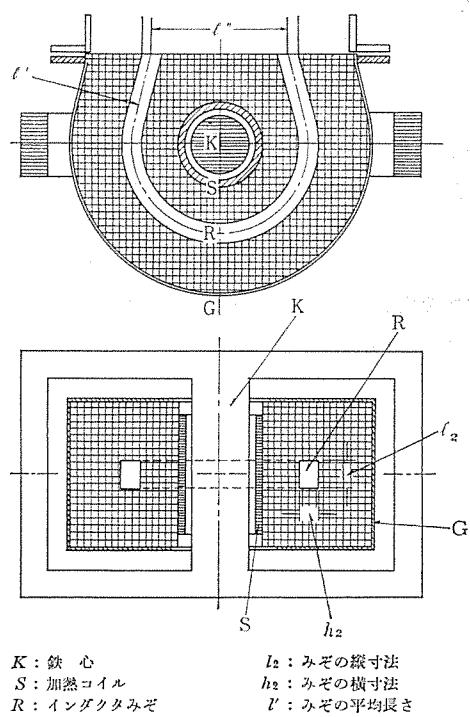
3. インダクタの電気特性

3.1 インダクタの理論原理

インダクタのみぞおよび加熱コイルの幾何学的配置は、基本的には二次コイルが巻数1の変圧器と同じである。すなわち、図3.1に示すように、けい素鋼板積層鉄心Kを中心にして加熱コイルSがあり、耐火材で形成されたみぞRはこれと同心対称に配置され、このみぞ中の溶湯が二次コイルを形成している。

さて、加熱コイルに電圧を加えると、二次回路を形成する溶湯に電流が誘起され、これによってみぞ中の溶湯そのものが発熱し、加熱コイル電流と二次溶湯電流による電磁反発力によって、みぞ内の溶湯にかくはん作用が生じる。また、発熱による溶湯の密度変化とピンチ作用もこのかくはん効果を助長することになる。炉内温度はこのかくはん作用と熱伝導によって各部がきわめて平均して上昇する。

なお、同方向に電流を通じる導体には相近寄る電磁力が働く。導体が流体であるときにはその流体内に平行に流れている電流のため、流体自身は縮小しようとする力が生じる。ところで、この低周波誘導炉のように大電流を通じるものでは、この力は相当大きなものになる。電流密度がある程度以上に過大になると、断面縮小とともに、ますます電流密度が増し、ついには溶湯が切れて電路を開くことにな



K : 鉄心
S : 加熱コイル
R : インダクタみぞ
G : インダクタケース

l₁ : みぞの総寸法
l₂ : みぞの横寸法
h₁ : みぞの深さ
l'₁ : みぞの平均長さ
l''₁ : みぞのスロート部寸法

図3.1 インダクタ断面図
Sectional view of inductor.

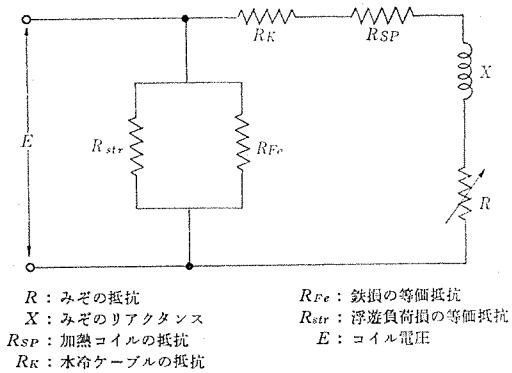


図 3.2 インダクタの等価回路図
Equivalent circuit diagram of channel inductor.

なる。電路が開けばもちろん断面を縮小しようとする力も消えるから、また電路がつながって上記のことを繰り返す。このような現象をピンチ効果(pinch effect)といい、みぞ形炉ではこのピンチ効果を起こさないように、みぞ内湯圧を考慮して適当な電流密度以下に押えねばならない。

3.2 インダクタの等価回路

みぞ形低周波炉におけるインダクタの電気的等価回路は、図3.2のように表わすことができる。図中の加熱コイルの抵抗 R_{SP} ・水冷ケーブルの抵抗 R_K ・鉄心の電力損失 P_{Fe} およびインダクタケースの浮遊負損失 P_{str} は、インダクタみぞ内に誘起される電力に比べて非常に小さいので無視すると、インダクタのみぞ内に誘起される電力 P は次のように表わされる。

$$P = I_R^2 \cdot R$$

$$I_R^2 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

$$\therefore P = \frac{E^2}{R^2 + X^2} \cdot R$$

ここで、 $R/X=1$ のときに電力は最大になり、これを P_0 とすれば、 $P/P_0=f(R/X)$ という関係が成立つ(図3.3参照)。インダクタの設計上に最も重要なことは、この P/P_0 か 100% 近辺で安定した投入電力がえられるように、抵抗 R およびリアクタンス X を選定することである。

ここで、抵抗 R は、みぞの断面積を a とすると、 $R=f\left(\frac{1}{a}\right)$ という関係があり、またリアクタンス X は、コイルとみぞ間の平均幾何学的距離を l とすると、 $X=f(l)$ という関係が成立つ。設計的にみぞの断面積を大きく、みぞとコイル間の平均幾何学的距離は近くするのが望ましいが、電気特性の低下は多少犠牲にしても、インダクタ

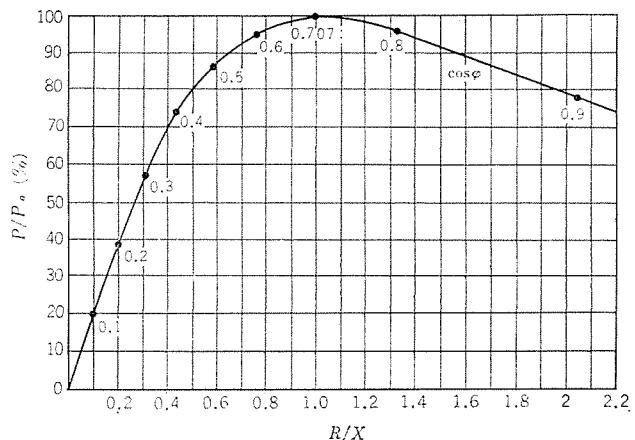


図 3.3 みぞ定数 R/X に対するインダクタ電力特性
Inductor power characteristics for channel factor R/X .

の寿命、や金学的要件を十分に満足させることに重点をおいて、上記寸法を決定すべきであり、電気特性の低下は効率改善用の並列コンデンサを設置して解決するのが好ましい。

4. む す び

以上に述べたことは、鋳鉄用みぞ形低周波炉の概説にすぎないが、鋳造工場に今後、大幅に採用されていくであろうと思われるこの形式の保持炉については、稿を改めて、設備計画に際してのレイアウトや、プラントとしての考え方、耐火材の問題などを論じたい。また、本文では、省略したが、設備として実際に操業した場合の非常用対策、特に停電時の冷却水断水によるコイル焼損と炉内溶湯の冷却凝固の防止というめんどうな問題があり、これに対しては自家起動式の小型ディーゼル発電機の設置を推奨している。現実に、停電時にこの発電機によって、10時間以上保温電力を投⼊して高価な耐火材の再築炉を防ぎ得た事例があり、発電機に対する投資効率は悪いようにも思われても、一度長時間停電が起れば、非常用電源がない場合には、比較にならない費用がかかることになる。費用は別にしても、炉の休止期間が1ヶ月近くになり、生産減少をきたすトラブルは絶対にさけるべきであるので、計画に際しては、これらのこととを最重要視する必要がある。まえがきにも述べたように、鋳鉄用みぞ形低周波炉は、幾多の長所を有しているが、操業形態によって派生する問題には、改良すべき点が多く、今後とも需要家各位のご協力を得て、真の鋳造工場の合理化にふさわしい設備として使用いただけるように、研究努力を重ねていく所存である。

三菱鍛造圧延用 誘導加熱装置

藤室 雅司*・喜多村弘明*・松尾 茂*

Mitsubishi Induction Heaters for Forging and Rolling

Itami Works Masaji FUJIMURO・Hiroaki KITAMURA・Shigeru MATSUO

From the viewpoint of operation cost, labor saving and environmental sanitation of plants, induction heating is used in a wide scale as a means of heat generation in industrial plants. Its application covers a wide range of forging, rolling and exclusion. Manufacture of induction heaters by Mitsubishi dates back to the year of 1962, when the concept of electric heating was not spread widely. Since then, the application of this new heating source has made great strides with the progress of Japanese metal working industries. To cope with the trend, Mitsubishi has been manufacturing a good number of standard induction heaters. Now the Company has developed heaters applicable to a new field and those of large capacities with high performance and high efficiencies. This paper describes the outline, performance and advantages of them and heating coils of characteristic features.

1. まえがき

三菱電機の誘導加熱の歴史は昭和10年の誘導炉製作に始まるが、鍛造・押出し・圧延などのいわゆる加熱装置と呼ばれるものの製品第1号は昭和37年のことであった。当時はまだ鍛造用加熱装置として誘導加熱を利用することは比較的めずらしく、革新的なことであったが、その後自動車工業をはじめ、その下の鍛造専業工業が工場合理化と省力化のためにこぞって新鋭設備として誘導加熱を採用したために飛躍的に発展した。当社はいち早く1kHz, 3kHz, 10kHzの高周波発電機を用いた300~800kW程度の標準化ピッチャ式ビレットヒータを開発・製品化して急増する需要に供し、実績の上に数々の改良を加えて確固たる技術的基盤を築きあげた。また、昭和39年ごろから伸長してきたアルミ業界の要望に答えて、300~800kWのシンプルな構造で操作容易なアルミ押出し用低周波ビレットヒータを標準化・製品化し、幾多の特長から幸いにして需要家各位より好評をいただいた。

今日では、運転費などの経済的裏づけはもちろんあるが、人手不足や公害防止の観点から、誘導加熱は必要な加熱設備であり、ごくボピュラーな加熱装置として使用されている。当社では前記の中・小容量の標準形鍛造用ビレットヒータ・押出し用ビレットヒータとは別に、設備の大容量化の求めに答えてより高性能・高効率な大容量ビレットヒータを開発し、他方さらに専用化された高能率で経済的なヒータを製品化した。大容量鍛造プレス用ビレットヒータと大容量押出しプレス用ビレットヒータは前者の例である。この鍛造プレス用ビレットヒータは世界空前のものであり、60Hzと420Hzの二重周波電源によって単重40~150kgの鋼片を鍛造温度まで10t/hの能力で連続・自動的に均一に加熱でき、プレスが停止した場合でも保温加熱ができるよう設計されている。すべてが全自動制御付きで操業効率を高めている。大容量押出しプレス用ビレットヒータも記録品で、直径410mm ϕ 、長さ1,100mmのアルミビレットを±10°Cに均一加熱できるようになっている。また、長手方向にも均熱できるように軸方向の磁界分布に特別な配慮をしたコイル構造を採用している。後者の例では、钢管や钢管の端部をアセットするための加熱にU字形加熱コイルと導用搬送機構を開発し、従来のバッチ式炉と比べて大きな能率改善を行なった。また、ホーミングマシンとの組み合わせが容易なナット製造用のバー

ヒータを作りし、合理化が遅れていた業界の製造態勢の一新向上に役に立った。今、また数々のご注文をうけ、より耐久性のある、より便利なヒータの開発に努めている。

鉄鋼業界にもすでにパイプや鋼板の連続ライン設備の一つとして、各種誘導加熱装置を納入して実績を積み重ねてきたが、中でも最近納入した電気すずメッキライン(ETL)の800kWラジオヒータによるリフレット装置は世界最大級で、わが国初の実績であり、好調裏に実動中である。鉄鋼産業においても誘導加熱の認識は高まりつつあり、スラブやインゴット用誘導加熱装置がわが国に出現するのもそう遠くはない。大電力大容量の加熱装置には耐火材や電磁振動などの技術的経験的な問題も多いが、なによりも30トン高電力誘導炉をはじめ大形誘導炉の実績第1位の当社では、その技術を駆使して大形加熱装置の研究開発に努めている。

MG電源に対するものとして、サイリスタインバータがあるが、当社では数3kHz数100kWのものの開発を進めており、まもなく製品化する。近く、各周波数の容量別標準化シリーズを準備して発表することになろうが、インバータ電源およびヒータとの組み合わせについては、つぎの機会に詳しく述べたい。

ここでは、最近開発製品化した鍛造・押出し・圧延用加熱装置について、その概要・特長・性能などを述べる。

2. ビレットヒータ

2.1 概要

ビレットヒータは誘導加熱装置の応用分野としては主力であり、鍛造・押出しなどの各業界から多くの需要をいただいている。その期待に答えるために従来の多くの経験と実績に基づいて標準化を完成し、使いよくて耐久性のある安定した装置を提供して各業界の合理化・公害防止に貢献している。その容量は鍛造用ビレットヒータで800kW、押出し用ビレットヒータで600kWまでが一般的であるが、最近では大容量のビレットヒータも採用されるようになってきた。とくに、鍛造用ビレットヒータで現在までに800kWを越えるものが6,7台わが国だけでも製作されている。このたび、当社が製作した住友金属納めビレットヒータはわが国はもちろん、世界でも例を見ない大容量で、総容量4,400kW(60Hz 2,000kW, 420Hz 2,400kW)、最大処理量10t/h、ビレットサイズ70~177mm×580~1,500mmである。また、昨年納入したア

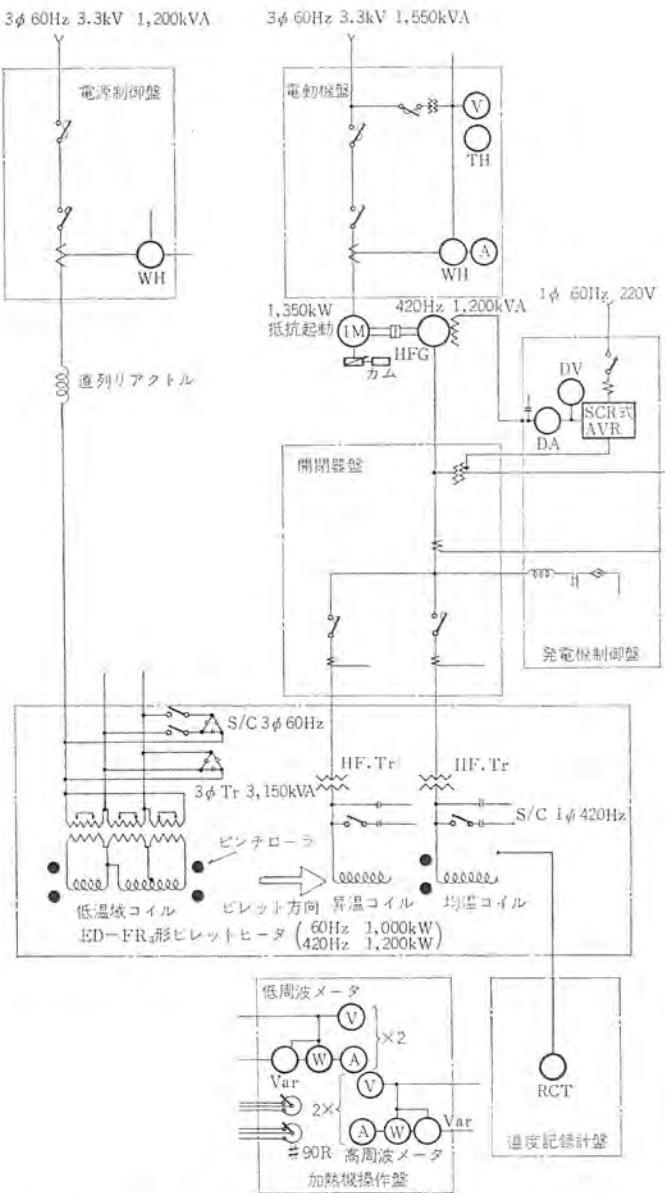


図 2.1 ビレットヒータの電気系統図（1系列分を示す）
Single line diagram of billet heater.

表 2.1 加熱仕様
Specification of induction heater.

定格	加熱機定格	3φ 60 Hz 2,000 kW	
	高周波発電機定格	1φ 420 Hz 1,800 V	2,400 kW
	誘導電動機定格	1φ 420 Hz 1,800 V	1,200 kVA
	起動方式	3φ 60 Hz 3.3 kV	1,300 kW
	所要電源	抵抗起動	MG 用 3φ 60 Hz 3.3 kV 1,600 kVA × 2
仕様	所要冷却水	低周波用 3φ 60 Hz 3.3 kV	1,200 kVA × 2
		ヒータ 88 T/h, MG 2×21 T/h	(2~3 kg/cm², 35°C 以下)

加熱仕様	素材材質	炭素鋼	
	加熱温度	°C	1,260~1,280
	素材寸法	mm	70~170 × 580~1,500
	最大単重	kg/ケ	150
	サイクルタイム	s/ケ	35~60
	最大処理能力	kg/h	10,000
	加熱コイル		3種類

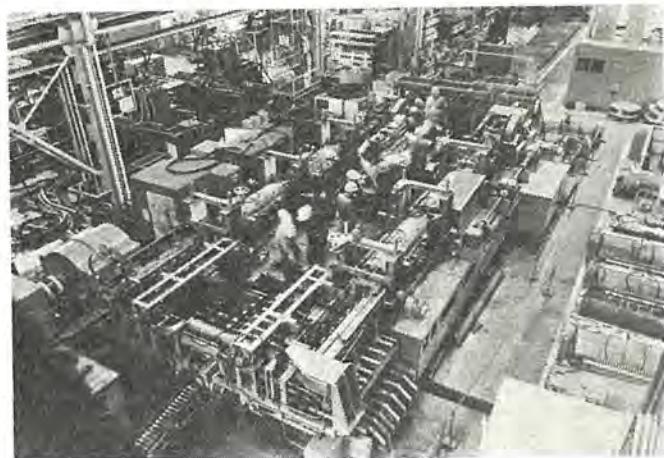


図 2.2 大容量鍛造用ビレットヒータ
Large capacity billet heater for forging.

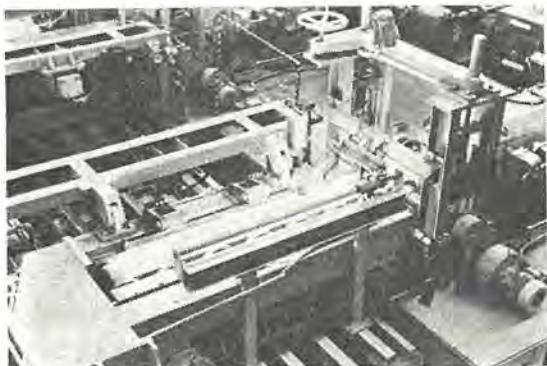


図 2.3 大容量鍛造用ビレットヒータ送出部
Discharging equipment of large capacity billet heater for forging.

ルミビレットヒータも定格容量 850 kW、ビレットサイズ 10~16"φ × 400~1,100 mmL とわが国最大級のビレットヒータである。以下これらビレットヒータの概要・特長などについて記述する。

2.2 大容量鍛造用ビレットヒータ

このビレットヒータの電気系統図を図 2.1 に、加熱仕様を表 2.1 に、またビレットヒータの外観を図 2.2 に、送出部を図 2.3 に示す。なお、主要な電気機器は電気室内に設置されている。

2.2.1 装置の説明

このビレットヒータは 2 系列から構成されており、電気的・機械的に独立している。通常は 2 系列で運転されるが、万一 MG またはヒータ本体が故障しても 1 系列のみ（処理量は半分になる）で運転が可能であり、一連のラインをストップさせることもなく、被害を最小限に押えることができる。ビレットの送り方式はビンチローラ式であり、加熱コイル電源は 60 Hz と 420 Hz の二重周波を採用している。

ビレットは装置の中央部に供給され、振分装置によって 2 系列に交互に振分けて供給される。振分けられたビレットはレシーバでいったん受け、送入口ローラに衝撃なく載せられるようにしている。送入口ローラ上ではビレットは菱形形状となって送入ビンチローラに送られる。ここで上・下のビンチローラにかみ込まれて推力が与えられ、コイル内を通過しながら誘導加熱される。コイルは 3 ブロックから成り、最初のコイルは 60 Hz の低周波コイルで、このゾーンで 700~900°C に昇温される。つぎに、420 Hz の昇温コイルで 1,100~1,200°C にし、最後は 420 Hz の均温コイルで最終加熱温度 1,260~1,280°C に加熱されると同時に、半径方向、長手方向の温度むらをなくすよう考慮され

ている。これら 3 ブロックのコイル間には中間ピンチローラが設けられている。このローラはビレットに送り推力を加算すること、ダミー・ビレット(最終ビレットを取り出すための長い棒)の長さを制限することおよびビレットの溶着を防止する効果がある。

均温コイルを出た加熱完了ビレットは、コイル出口にある送出しピンチローラにかみ込まれてすばやく取り出される。これはビレットの冷えを防止するとともに、長手方向の温度むらをなくすためである。送出しピンチローラを出たビレットは送出しローラで搬送され、先端のストップに当たると同時に送出しローラの片側のローラ(フリーローラ)が下方にダウングラムしてビレットは下方に落下される。このビレットを長いアームレバーが引っかけて 2 系列の中間にある搬出ローラ上にのせる。この搬出ローラは駆動すると同時に、先端が下方に傾斜して客先設備であるレデュースロールシュータ上にビレットをシートインさせる。

以上、1 系列について述べたが、他方の系列も同様であり、2 系列のヒータからビレットは交互に同一タクトで取り出される。

加熱コイルの下部は整合箱になっており、高周波コンデンサ・高周波変圧器・低周波変圧器などが収納されている。整合箱の上側は完全に密閉されていて、水やスケールなどが箱内に入ることはない。また、箱内には風洞装置より有圧空気が引き込まれているので、電気品は空冷され、しかも箱内が有圧であるために外部よりじんあいが入ることはない。

搬送装置のメカは、鍛造ラインで使用されるのに適したシンプルでメンテナンスがしやすく、耐久性のある構造にできている。駆動源は電動と空気シリンダである。給油は電動ポンプによる集中給油で、人手を要しない。

2.2.2 装置の特長

(1) 表 2.1 に示すように、ビレットサイズは非常に大きく、また範囲が広いために電源周波数は二重周波を採用している。すなわち、キューリーポイントまでを 60 Hz、それ以上を 420 Hz としている。よって、均熱化はもちろん、効率良く加熱することができる。

(2) 60 Hz の低周波コイルは三相平衡回路にしてあるため、三相電源を有効に使うことができ、そのうえ、結線にくふうをこらしているため、ビレットがコイル内に強く吸引されることはない。したがって、衝撃が小さくてコイルやスキッドレールに悪影響を及ぼさない。(特許出願中)

(3) (1) 項で述べたように、60 Hz と 420 Hz を採用してビレットが溶着しにくく、また均熱もされて理想的な昇温カーブを描くようにコイルを構成している。そのうえ、万一を考慮して送出しピンチローラの表面に独特の細工を施しているので、ビレットが溶着されて出ることはない。

(4) ヒータ 2 系列からビレットは交互に出なければならない。送入ピンチローラの速度を 2 系列ともに同一速度にし、ビレットを 1 ピッチ分ずらして始動しても、ビレットがローラにかみ込まれたときに接するローラ外周の位置がビレットの形状、その他の外乱によって異なるためにビレットの送り速度が異なる。よって、2 系列交互に同一タクトで加熱して取り出すことは困難になり、後工程に支障をきたす。そこで、駆動源に三菱 AS モータを使用して 2 系列のせん(揺)速運転を行なうようにしている。その方法は、基準サイクル(タクト)をタイムでカウトして 2 系列のビレットがこの基準に対してどれだけずれているかを検出し、その程度に応じて AS モータを自動的に増・減速させる。

(5) プレスなどの故障でビレットをプレス側に送りたくない場合、

またなんらかの原因でビレットが正常に加熱されていないときには、押しボタン操作でバイパスすることができる。また、プレスの故障などがやや長い場合には、ビレットをコイル内で適正な温度に保溫して待機させることができる。この方法は、切換 SW を保溫加熱に切換えるだけであらかじめセットした電圧と時間で加熱電源が ON, OFF されて保溫される。プレスの故障などが直れば、ただちに適正なビレットを取り出すことが可能で、むだがない。

(6) ビレットは最初の 1 本から最後の 1 本まで加熱して取り出すことができる。運転を終えるときには後続ビレットが供給されないので、コイル内にはいっている最後のビレットはピンチローラで送ることができない。したがって、このようなときには最終加熱という押しボタンを操作すれば、ダミー・ビレット(長い菱形の棒)が自動的に投入されて最後のビレットを押し出してくれる。このダミー・ビレットはピンチローラ間にまたがる長さを有し、またそれが自身が加熱されにくくて変形しにくいような形状と材質を有する。ダミー・ビレットの先端がコイルを通過すると、そのコイルの加熱電源は自動的に OFF される。最後のビレットまで加熱されて押し出されると、ダミーは送出しピンチローラの手前で自動的にリターンして元のさやにおさまる。

(7) スケールの掃除がしやすい。

(8) コイルの交換が容易である。ビレットの種類が多いためにコイルは 3 種類あり、これらを短時間で交換できるように特に心出しが簡単にできるようにしている。すなわち、各ブロックのコイルはそれぞれのコンベッド上に載せてあり、これを位置決めガイドにそって載せるだけで心出しおよび取付けは完了する。

2.3 大容量押し出し用アルミビレットヒータ

このビレットヒータの電気系統図を図 2.4 に、加熱仕様を表 2.2 に、また外形図を図 2.5 にそれぞれ示す。

2.3.1 概要

このアルミニウムビレットヒータの定格容量は 850 kW (最大 930 kW) と単機容量としては国内最大であり、またビレット径が 10~16"φ、長さ

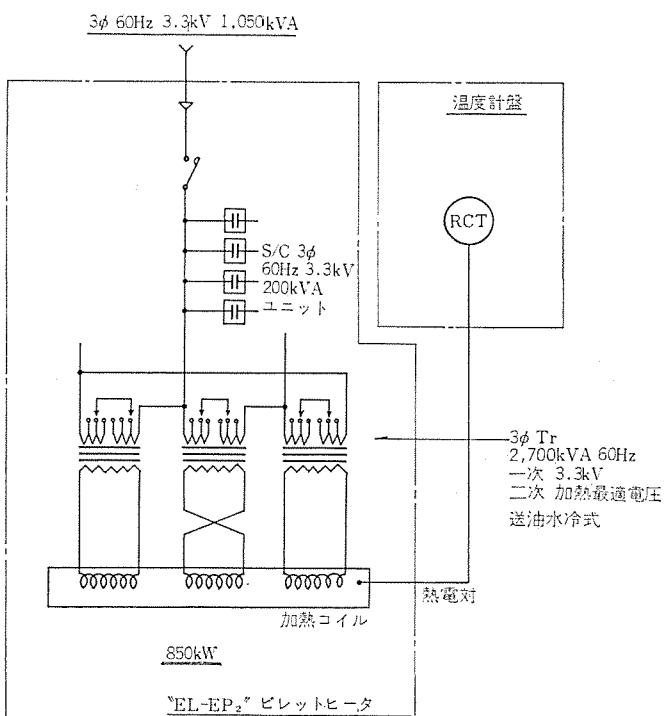


図 2.4 アルミニウムビレットヒータ電気系統図
Single line diagram of aluminum billet heater.

表 2.2 加熱仕様
Specification of induction heater.

定格	加熱機定格 加熱機最大 加熱機電源 所要冷却水	T/h	3φ 60 Hz 3.3 kV 850 kW 3φ 60 Hz 3.3 kV 930 kW 3φ 60 Hz 3.3 kV 1,050 kVA 27 (2~3 kg/cm ² , 32°Cにおいて)
加熱仕様	素材材質 加熱温度 素材寸法 処理量 加熱コイル	°C mm kg/h	純アルミおよびアルミ合金 (63S) 常用 450, 最高 560 10"φ, 12"φ, 14"φ, 16"φ×400~1,100 L 4,600 (純アルミ 14"φ×1,100 L, 350°C に均一加熱時) 4種類

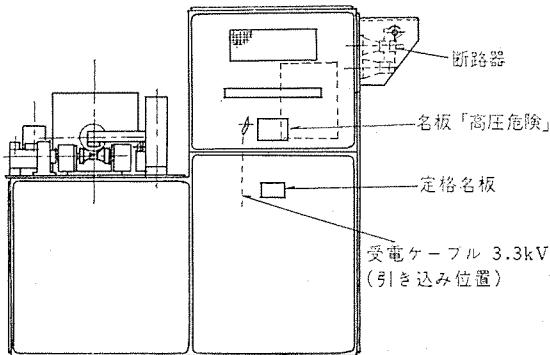
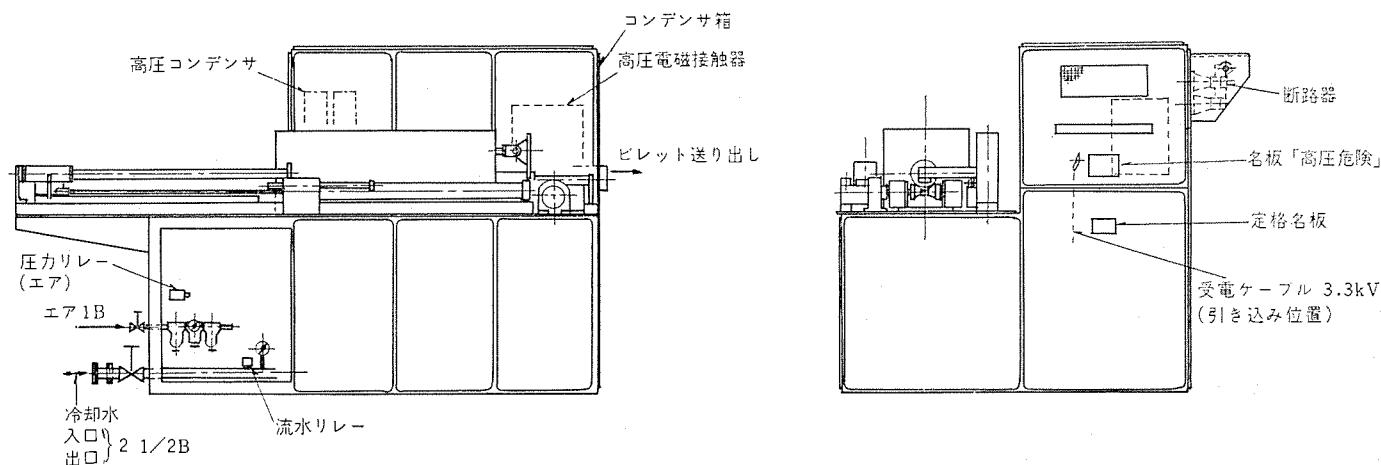
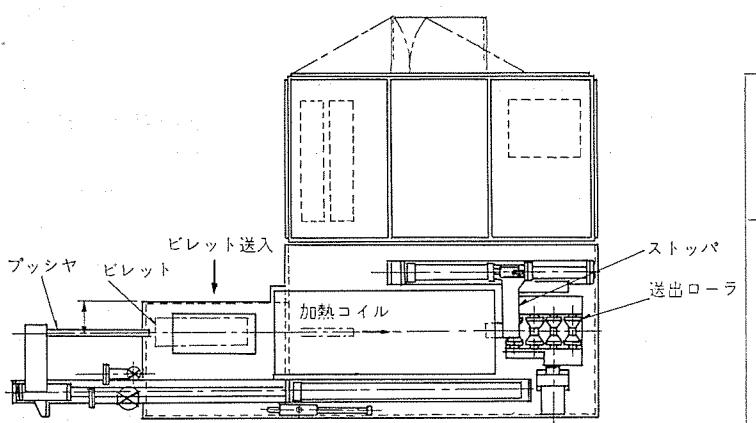


図 2.5 アルミビレットヒータ 外形図
Outline of aluminum billet heater.

が 1,100 mm と従来のものと比較してはるかに大きく、これも国内最大である。従来は 6~8"φ が主流であったが、船舶・車両・コンテナなどの需要増加によって大きなサイズのビレットが必要とされるようになってきた。なお、丸ビレットのほかに、平角ビレットの加熱も将来可能であるように考慮されている。

2.3.2 装置の説明

機器の構成、方式については従来のヒータとほとんど変わりはない。すなわち、コイルは三相で 2 本加熱である。コイル入口側に供給されたビレットは空気ラリンド駆動のブッシャでコイル入口側半分に送入され、2 番目のビレットで最初のビレットが出口側半分に移動され、この状態で加熱電源を投入する。最初の 1 本目の加熱時間は半分であるために加熱不十分で使用できないが、つぎのビレットからは適温に加熱されて 1 本づつ取り出される。

このビレットヒータの特長は、

(1) 三相均一加熱方式である。一般的に、ビレットサイズが大きくなると、径方向・長手方向ともに均熱しにくいが、径方向について 2 本加熱（2 段階加熱）を行なっているので、ヒータを 2 台必要とせず、また長手方向については当社が特許申請中の相のつぎ目および両端を 2 層巻にしてその部分の磁束密度を増し、均一加熱を可能にしている。なお、三相コイルのためにテーパヒートも簡単にできる。

(2) ビレット重量が非常に大きいため、ビレットとレール間の摩擦力は、小径ビレットでは想像できないほどに大きくなる。これは重量

による密着度の増大と、若干のむしれ（ビレットとレール間）現象があるためと推測される。このため、シリンドサイズおよび各部の強度に十分な考慮がはらわれている。

3. エンドヒータ

3.1 概要

鋼棒・钢管のアセット前部加熱には、U 形コイルによる誘導加熱方式が最適である。U 形コイルによるバーエンドヒータ（鋼棒端部加熱装置）は、昭和 43 年末に開発して製作納入した。ヒータ容量は、2.5 kHz 1,200 kW であった。その後、3 kHz 600 kW のパイプエンドヒータと、3 kHz 1,600 kW のバーエンドヒータを納入し、現在 3 kHz 1,200 kW のパイプエンドヒータを製作中であり、大形エンドヒータに関しては、国内最大の実績を誇っている。

当社製エンドヒータの最大の特長は、アセット用ヒータとして不可欠なすべての条件（良好な温度特性、がんじょうなメカ、信頼性の高い電気品、保守点検の容易性）を具備しているという点である。

以下、エンドヒータの概要とその特長について記述する。

3.2 装置の構成

エンドヒータの電気系統図の一例を図 3.3 に示す。図では、高周波発生装置として、誘導電動式高周波発電機を使用しているが、サイリスタインバータ式とカップルさせることももちろん可能である。

高周波発電機（以下 HFG と呼ぶ）は、1 台または 2 台以上を並

列運転し、それを発電機盤で3系列に分岐させ、各系列にコンタクタ、整合変圧器、力率改善用コンデンサを設け、加熱コイルの各ブロックに対応させている。負荷が少なくて、HFGの何台かを運転しないですむ場合には、ナイフスイッチ(KS)を開いておけばより経済的な運転ができる。

A, B, C各ブロックの加熱コイルは、図3.4に示すように、一体化されて一つの加熱コイルを構成している。

バーエンドヒータの機器配置の一例を図3.5に示す。このバーエンドヒータの加熱仕様を表3.1に示す。表よりわかるように、このヒータは、素材長さ、素材径、加熱部長さの範囲が広いこと、ストレート材だけ

表3.1 EM-UC3形バーエンドヒータ定格、仕様の一例
Example of specification of type EM-UC 3 bar end heater.

定格	加熱機定格 高周波発電機定格 誘導電動機定格	1φ 3kHz 800V 1,600kW 1φ 3kHz 800V 600kVA 3台 3φ 60Hz 6.6kV 650kW 3台
起動方式	リアクトル起動	
所要電源	3φ 60Hz 6.6kV 780kVA×3	
所要冷却水	55T/h (2~3kg/cm ² , 32°C以下)	
加熱仕様	素材材質 加熱温度 素材寸法 加熱部長さ サイクルタイム 最大処理能力 加熱コイル	炭素鋼 1,200~1,250 mm 60φ~30φ×615~1,740L (ストレート材およびテーパ材) mm 130~630 s/本 6~20 kg/h 5種類

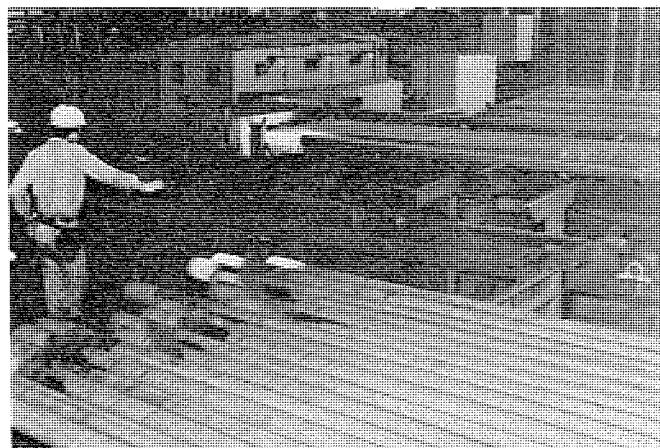


図3.1 アップセッタ用パイプエンドヒータ
Pipe end heater for upsetter.

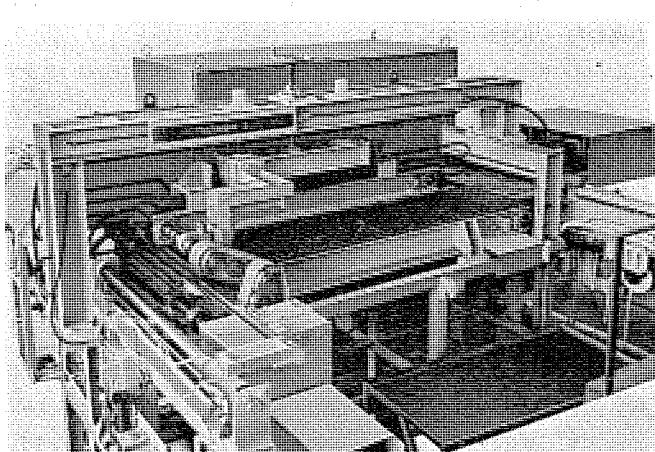


図3.2 アップセッタ用バーエンドヒータ
Bar end heater for upsetter.

でなく、異形材も多種類あり、しかも6秒、タクトで加熱処理するという過酷な条件のもとで現在好調に実動中である。

3.3 最適温度分布の加熱

加熱コイルは、図3.4に示すように、3分割する形式をとり、各ブロックごとに、コンタクタ、整合変圧器、力率改善用コンデンサを設けているため、各ブロックごとに電力調整ができる。

通常、先端部は端末効果によって過熱気味になるが、先端部用整合変圧器のタップ調整によってこの過熱をおさえることが可能である。バー材の場合には、先端部は若干高めに調整されるが、パイプ材の場合には過熱されると、溶融に至るおそれがある。

また、非加熱部との境界部に当たる図3.4のAブロックは、非加熱部への熱伝導によって温度低下気味になるが、変圧器タップ調整によって、電力密度を上げることができるので、他部分と同一温度にことができる。

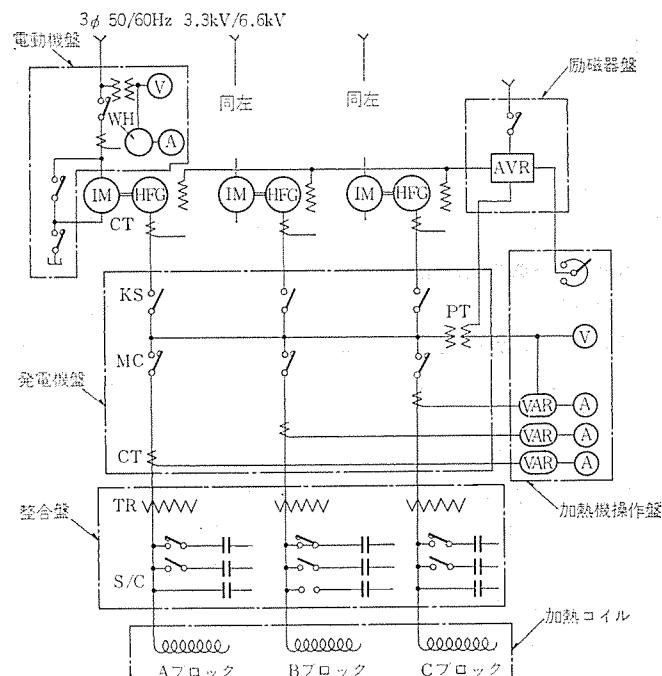


図3.3 EM-UC3形エンドヒータ電気系統図
Single line diagram of type EM-UC 3 induction end heater.

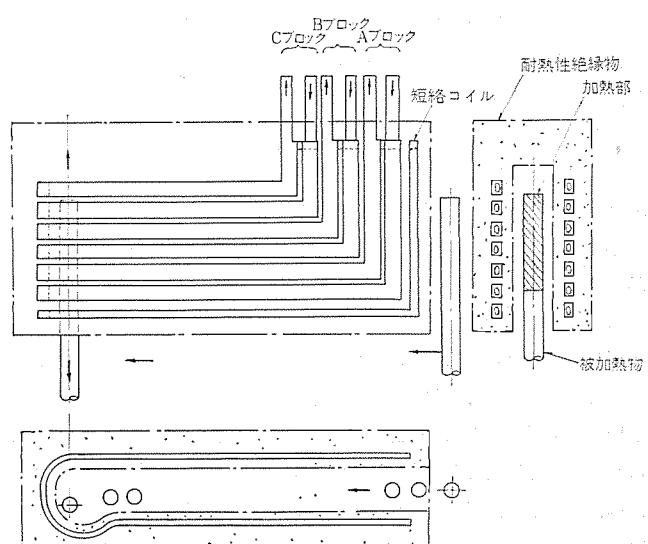


図3.4 U形加熱コイル構造図
Cross sectional view of type U induction coil.

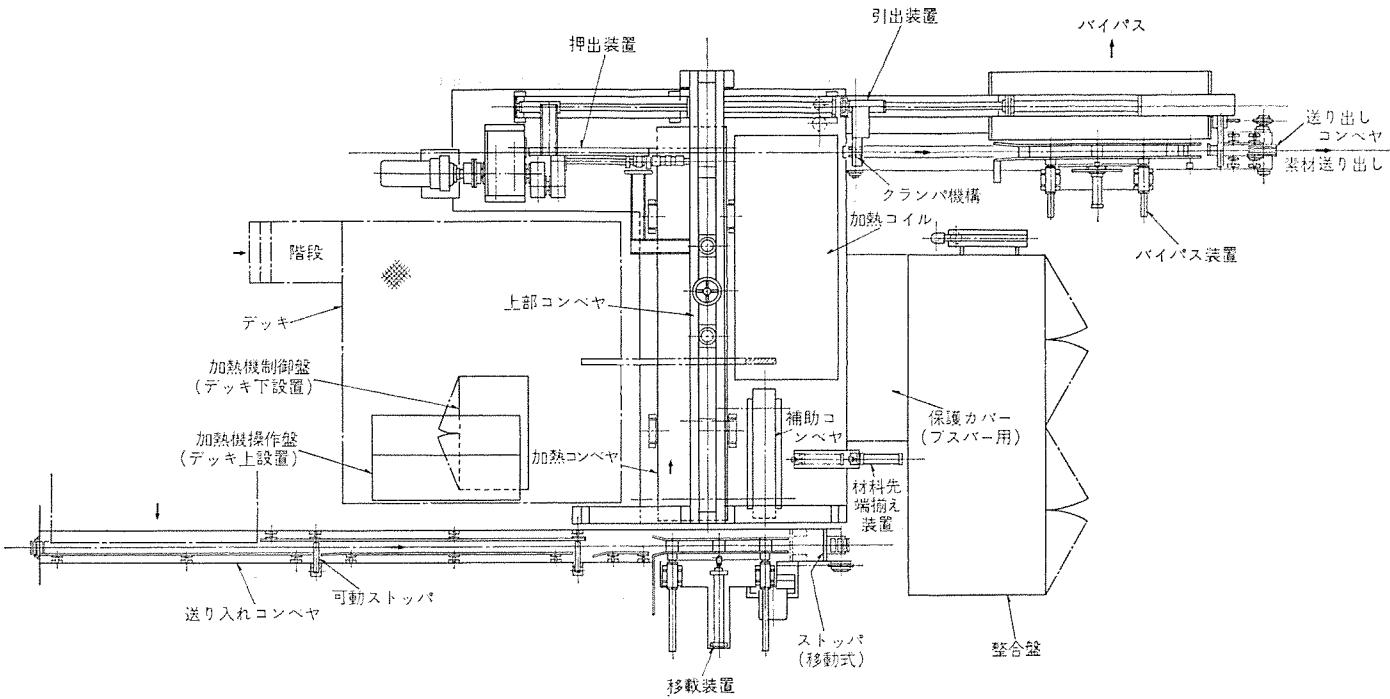


図 3.5 EM-UC 3形バーエンドヒータの一例
Example of type EM-UC 3 bar end heater.

3.4 境界部の明確化

加熱部と非加熱部との境界部分が、図 3.6(a)に示すように、明確でないと、アセット時に坐屈現象を起こす。当社では、図 3.4に示す短絡コイルを設け、非加熱部に至る磁束を極小にして非加熱部の誘導加熱をおさえ、図 3.6(b)に示すように、境界部の温度こうばいを急にして境界部を明確にした。

この短絡コイルの効果は、境界部の明確化ばかりでなく、漏れ磁束による送り機構の誘導加熱を抑制する効果をもつ。同様な効果をうる他の方式として、通常考えられる積層鉄心では、短絡コイルよりも電力項は少ないが、構造的に煩雑で、経済的でない。

3.5 材料の送り方式

加熱コイルは、図 3.4に示すように、入側オープン、出側クローズド形式であるので、入口側で加熱に必要な長さを決めるために先端そろえを行なっておけば、そのまま横送りができる、加熱長さの調整、搬送を容易に行なうことができるので、安定した装置といえる。

また、出口側では、材料の軸に沿って、加熱側に押し出すか、または非加熱側に引き出すかのいずれかによって材料を簡単に取り出すことができる。一般に、非加熱部が長いパイプエンドヒータの場合には、非加熱側にローラで引き出し、非加熱部の短いバーエンドヒータの場合には加熱側に押し出す方式を探っている。

バー材の横送りは、上下コンベア式、パイプ材の横送りはコンベア式が一般的である。

3.6 加熱効率と均一加熱

出口側をクローズドタイプにしているので、出口側での熱放散損はわずかである。また、出口側をオープンにする場合には磁束の乱れが著しいために先端部に過熱を起こし、とくにパイプ材の場合には溶融に至ることがあるが、クローズドタイプの場合には、磁束は材料の軸方向に円形ソレノイド形とどうようして生ずるので、材料の局部加熱はない。

どうように、パイプ材の場合に入口側オープンにすると、局部的な過熱を生じて温度むらの原因になるため、入口側の磁束の乱れのあ

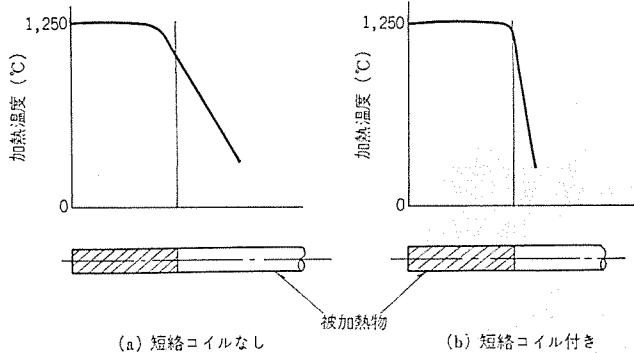


図 3.6 溫度分布曲線
Temperature distribution curve.

るところを急速に通過させるように傾斜を設ける。(図 3.7(b))

また、パイの場合、コイルに接近している上・下部は他部より温度が上昇しやすいために円周方向の温度むらが生じやすいが、図 3.7(b)に示すように、固定ビーム上にパイを截せてコンベアの爪で押しながら送ると、パイは回転しながら横送りされるので、円周方向の均一加熱が可能になる。

バー材の場合には、図 3.7(a)に示すように、上下コンベアでクラップしながら送るか、または非加熱部が長い場合には、下部コンベア上にバー材を載せて送る方式でも、円周方向に均一な温度分布が得られるので、パイ材のように回転しながら送る必要はない。

3.7 電気的特性

表 3.1 に示したバーインヒータについて、加熱試験を行なった結果、加熱に必要な電力量 Q の値をそれぞれ図 3.8 および図 3.9 にグラフ化した。

加熱所要電力量は、円形ソレノイドコイルでビレットまたはバー材を加熱した場合の値と比べても、極端に大きくなっていない。すなわち、加熱効率は通常のビレットヒータと大差ないと言える。図には表わされていないが、U形コイルの上下の間隔を大きくすればするほど加熱効率は低下し、長尺物を加熱するコイルで短いものを加熱すれば加

熱効率が低下する。なお、同一コイルで加熱長さが等しくて径が異なるものを同一サイクルタイムで加熱する場合、加熱コイルに印加すべき電圧はほぼ同一でよい。ただし、径が異なるものといつても40~60φまたは30~40φの各範囲に対してである。

Q の値はコイル無効電力とコイル有効電力の割合を示すものであるが、これによって効率改善用コンデンサの容量が決められる。たとえば、60φの場合にコイル有効電力を1,500 kWとすれば、 Q は10であるからコンデンサ所要量は15,000 kVAになる。

3.8 特長

- 三菱EM-UC3形エンドヒータは、上述したように、
- (1) アップセッタに最適な温度分布の加熱ができる。
 - (2) 加熱効率が良い。
 - (3) 材料の搬送機構は無理がなくてがんじょうである。
 - (4) 各機器の信頼性が高い。
 - (5) 大容量機の実績が豊富である。

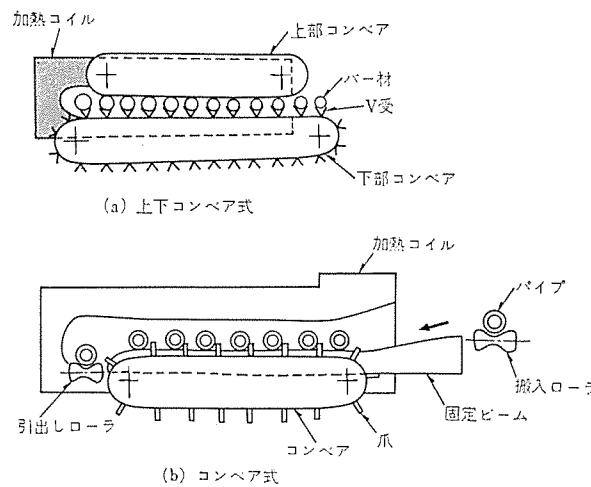


図 3.7 EM-UC3形エンドヒータの送り方式
Transfer mechanisms of type EM-UC3 induction end heater.

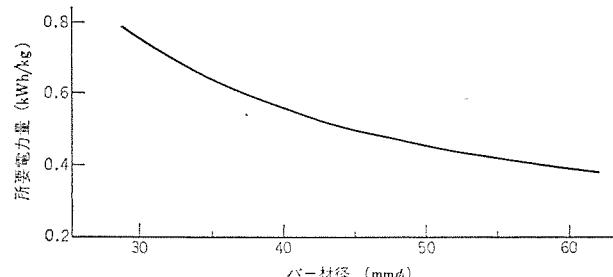


図 3.8 所要電力量 (1,250°C 加熱時)
Required kWh for steel bar end heating to 1,250°C.

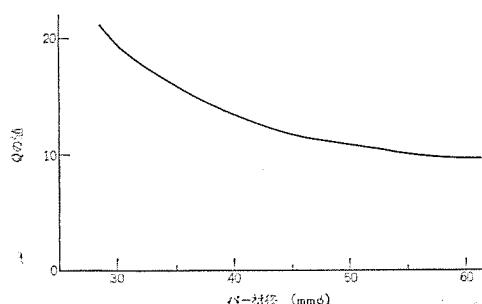


図 3.9 Q の値 (1,250°C 加熱時)
Q-value for steel bar end heating to 1,250°C.

などの特長を有しております、ユーザーに安心して使用頗るるものといえる。

4. バーヒータ

4.1 バーヒータの構造

バー材を自動連続的に送って、順次加熱し、先端から切断・鍛造を一度に行なう高速自動熱間鍛造法を、ナット業界をはじめベアリング業界などで鍛造作業の省力化と工場合理化のために採用される企業が多いが、そのバー材の加熱に誘導加熱装置が用いられている。

誘導加熱装置は、バー材をつぎつぎにトンネル形コイル内を通過させて1,200~1,280°Cに加熱する誘導加熱装置本体、バー材を数回ストップして1本ずつ自動的に取り出すバーラック、高周波発電機およびいくつかの制御盤から構成される。図4.1は機器配置図の一例(多数台設置)である。図4.2は運転実動中のバーヒータである。

(1) 加熱機本体

バー材を安定して自動送りするピッチローラは、自動变速可能な電動機駆動で、バー材の処理速度に応じた回転速度で確実にバー材を加熱コイル内に、さらにホーマに送り込む。バー材はコイル間のサポートで支持され、宙づりの状態で数ブロックのコイル内を進行する。サポートは加熱機の容量が小さいときは固定リング、大きいときは回転ローラである。

ホーマは1組または2組のローラを持っており、ホーマの特性にもより異なるが、平均速度の4~8倍の速さで間けつ的にバー材をカッタ金型上に引っぱりこむ。したがって、後続のバー材は常に先行のバー材に1サイクルごとに引きはなされては追いつく動作を繰り返す。このように、平均処理速度でバー材を送る加熱機と断続的に速い瞬

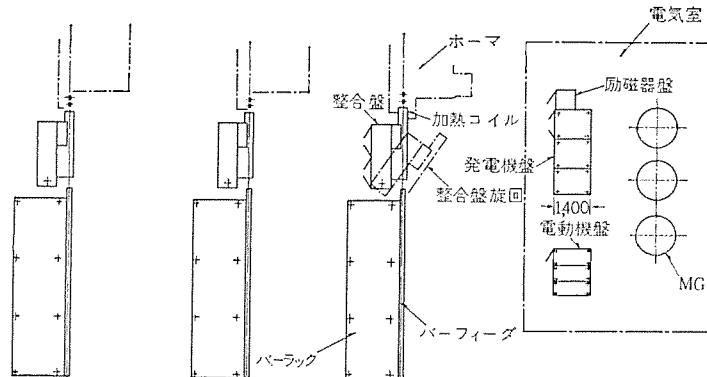


図 4.1 バーヒータ機器配置図の一例
Example of bar heaters layout.

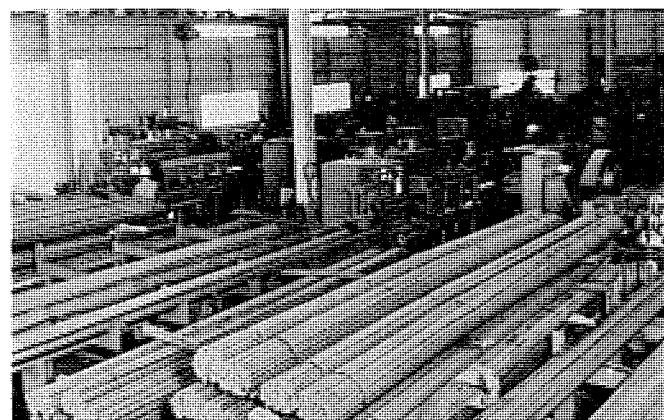


図 4.2 実動中のバーヒータ
Induction bar heaters on line.

間速度のホーマとの、ピンチローラの周速度が異なるので、バー材がホーマのピンチローラに噛み込まれると、加熱機はピンチ力を解き、再び新しいバー材がやってくれれば、ピンチさせる必要がある。この動作のためにピンチローラはエアシリンダによって持上げ可能にしている。なお、バー材寸法に応じた適正なバネ圧をピンチローラに与えるために調節用ハンドルを取り付けているが、バー材直径を示す目盛があるので便利である。ピンチローラには耐摩耗性処理を行なっている。

(2) バーラックとフィーダローラ

バー材は、通常2トン1束に結束されているが、バーラックには2束チャージすることができる。傾斜面に並んだバー材は、1本ずつキッカによってフィーダローラ上にけり出され、ローラによって加熱機ピンチローラ部まで送られる。フィーダローラは、バー材がピンチローラに至るまでに先行のバー材に追いつくようにピンチローラより周速度を速くし、通常1.2~1.5倍にとっている。バーラックやフィーダローラは重量物を扱うので剛性が必要である。

また、フィーダローラを中心にしてバーラックとは反対側にエプロンがあり、ホーマが調節段階で試し打ちなどした際にリターンされてきたバー材を何本かストックできるようになっている。エプロンに積載されるバー材は、ある温度に加熱されているため、エプロンには耐熱・耐熱ひずみのほかにバー材を再び使用するために曲がらせないようにする配慮が払われている。

(3) 加熱コイル

水冷銅管をつる巻き状に巻いて機械的維持と電気絶縁処理を行なったものである。コイル内側の耐火材として耐熱管と耐火セメント方式がある。耐熱管は取り換えるに便利であるが、熱衝撃やバー材の曲がり、先端・後端のたれなどの外力によって割れやすいという欠点があり、好ましくない。耐火セメントは保守に難はあるが、寿命は比較的長い。いずれにせよ、補修のことを考えて予備コイルは必要である。

耐火材内壁寸法を小さくすれば、それだけ銅管コイル内径も小さくなり、電気効率の向上・電力原単位の節約の他に発電機や加熱機の容量を小さくして設備費の減少を図ることができる。しかし、バー材の多少の曲がりやスケールの堆積によって円滑にバー材を送ることがむずかしく、またホーマのピンチローラの推力不足をまねいで寸足らずの製品ができる可能性があるので、極端な効率向上を求めて内径を小さくすることは戒めなければならない。

加熱材の直径が10mm以上も異なるときは、一般にはコイルをそれぞれ専用化し、取り換えて使用する。コイルは入手で持ちおろし可能な重量である。

(4) 整合盤

整合盤には、加熱コイルと並列共振回路を構成して大電力を発生するコンデンサおよび整合変圧器が内蔵されている。加熱コイルやサポートも整合盤からの腕に一体に取り付けられている。また、バー材が通過する直上には操作盤が取り付けられており、電源の開閉・加熱機の運転のための操作器具はもとより、電気計器・速度計のほかにそれらを希望値に設定するための調節器があり、集中制御が可能である。

さらに、たとえばハテバー社AMP-30などの中容量以上のホーマの場合、機械を保守するときに加熱コイルや整合盤がじゃまになるので、整合盤はコイルもろとも35°旋回可能になっている。

(5) 高周波発電機および配電盤

16~40φのバー材の加熱には3kHzまたは10kHzの高周波電源

が必要である。それらは性能と信頼性がなによりたいせつであると思われるが、当社はこれまでの輝かしい実績と経験によって要望に十分おこたえできることを確認している。

4.2 並列運転方式

表4.1は、あるユーザに納入・実動中のハテバーAMP-30、ペルツァーGH-30ホーマ用バーヒータの加熱能力表であるが、3台の加熱機とも同じ容量で、3kHz 650kWである。今、高周波発電機と加熱機を1対1の対応にすれば、発電機容量として650kWまたは700kWが必要であるが、図4.3のように、3台の発電機と3台の加熱機とを並列運転することにして負荷の組み合わせを考えれば、600kWの発電機3台で十分足りることになった。

つぎに、並列運転方式の得失を考えてみる。

長所

(1) 発電機容量の総和を少なくし、設備費をきげることができる。

(2) 軽負荷(たとえば加熱機3台とも25φ処理)のとき、発電機は2台を運転して1台を休めることができる。したがって、運転経費の節減となる。

(3) 発電機が、万一1台故障したときでも、加熱機の運転休止をなくし、生産能力の減少を最小におさえることができる。

(4) いずれの加熱機も1¹/₄"の最大製品が生産できる加熱能力をもっている。

(5) 発電機・加熱機3台とも同一容量であるので、予備品の共有化ができる。

短所

(1) 運転が1台案と比べてやや複雑である。たとえば、電力の調整は整合変圧器のタップ切換えによらなければならない。

(2) 接地事故などの場合、どの系統が悪いのかをすぐに判断できかねる。

そこで、ホーマや加熱機が多数台配置される場合、中容量・大容量のときには並列運転方式、小容量のときには単独運転方式が経済性・操作性を考えて望ましいと思われる。

4.3 バーヒータの問題点

加熱機とホーマとはバー材を通して機械的に結ばれ、かつ両者とも自動高速運転が可能ため、それぞれの特長をフルに生かすにはいろいろと配慮が必要である。以下に、問題点とその対策を述べる。

(1) 加熱コイルは、ホーマから離れていると、熱放散のために図4.4に示す温度低下をきたし、鍛造上好ましくない。そこで、コイルをホーマのピンチローラに極端に近づけて熱効率の向上を図っている。

表4.1 バーヒータ能力表
Heating capacity of 3kHz 650kW bar heater.

ヒータNo.	1. 2	3	
ヒータ容量	3kHz 650kW	3kHz 650kW	
ヒータ台数	2	1	
ホーマ形名	GH-30	AMP-30	
加熱能力	バー材直径 36φ 32φ 28φ 25φ 25φ	製品ナット(寸法) W 1 ¹ / ₄ W 1 ¹ / ₈ W 1 ¹ / ₈ W 7/ ₈ W 3/ ₄	処理量 1,600 kg/h 1,300 1,180 790 780

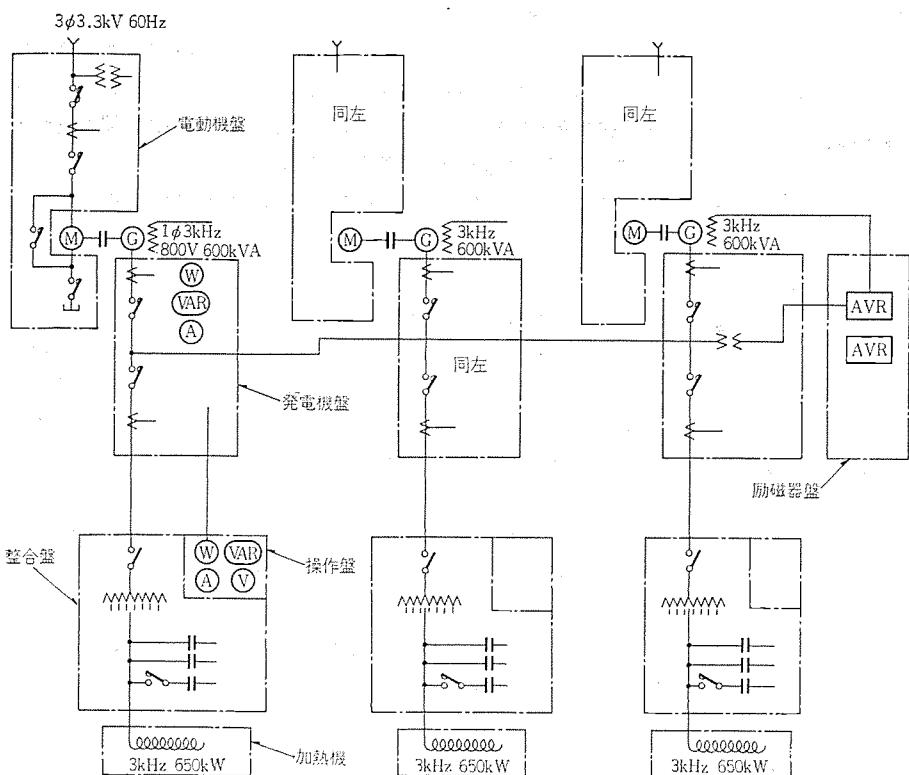


図 4.3 並列運転の主回路系統図
Single line diagram of main circuit for parallel running.

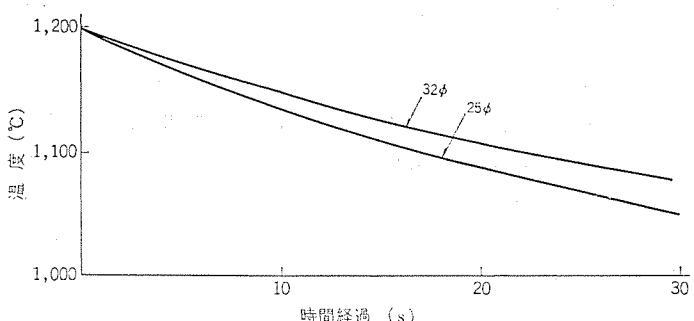


図 4.4 溫度降下曲線
Temperature falling curve.

そのため、重油炉使用を考えて水冷 ジャケットが取り付けられているホーマでは、構造的に一考を要する。また、いずれのホーマもコイル近くのカバーは非磁性材料を使用すべきことは当然である。

(2) ホーマの調整運転の際に、加熱されたバー材をリターンさせることがあることはすでに述べたが、バー材が太くて重く、またコイルブロック数が多いヒータでは、リターンのためにひばしでつかんで少しづつ後退させる作業は至難である。したがって、中・大容量のホーマ用の加熱機ではコイル間のサポートは正逆転可能な回転ローラが望ましい。コイル数も少なくてバー材も細い加熱機では、サポートは固定ガイドで十分である。

(3) ホーマが切断中にカッタにバー材が押し圧をかけたり、ホーマのピンチローラに大きな負荷トルクがかかったりするような加熱機の駆動機構では具合が悪い。また、後続バーのホーマへの送り込みも、ピンチローラからはずれた先行バーの運転に支障のない方法を考案すべきである。

(4) コイルキャップを極端に小さくすることの弊害は前に述べたが、バー材自身に大きな曲りがあってはならない。この点は重油炉の場合とは特に異なるので、注意を必要とする。

(5) コイル内にスケールが堆積すれば、ノロ状にとけ、コイル耐火材をいためたり、クラックの発生原因ともなったりするので、運転前には必ずスケールを除去することが望ましい。しかし、耐火材自身もクラックが発生しにくい形状、スケールにおかされにくい材質の検討と研究が必要であることは言うまでもない。

(6) 操作盤が別盤の場合、加熱機の近くに置くべきであるが作業のじゃまになることが多い。この欠点を補うためにバー材の送り、加熱状態が一目でわかる位置にある整合盤に取り付けた。

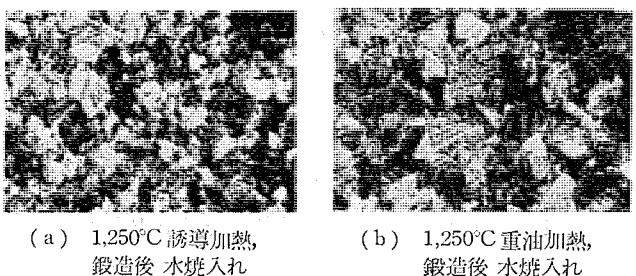
(7) 運転中にホーマを止めれば、バー材の送りも止まるが、そのまま放置すれば、コイル内のバー材は過熱されて溶けるおそれがある。また、運転中に作業者が操作ボタンを押したり、保護装置が働いたりして加熱電源がしゃ断されたとき、そのまま放置すれば、加熱不十分なバー材がホーマに送られることになり、カッタや鍛造型をいためる。そこで、自動運転の場合にはバー材の送りと加熱電源とは互いにインターロックをとり、一方が OFF になれば必ず他方も OFF にすることが絶対必要である。

今後、ホーマに端材自動処理装置がつけられて、それぞれ無人化に近くなるので、これらの処置はたいせつである。さらに、二重保護の意味で温度計を取り付け、加熱温度の良否をチェックさせることもある。

4.4 冶金的考察

ナットの製造に、誘導加熱で加熱した場合と重油炉で加熱した場合とでは、金属学的性質がどのように異なるかを調査した。

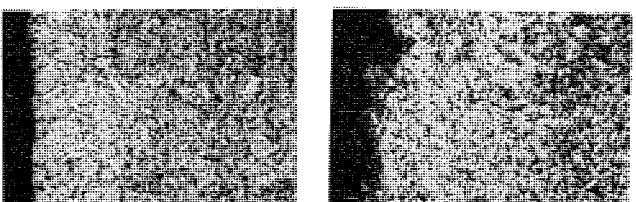
図 4.5 のオーステナイト結晶粒度の写真では、重油炉の場合には粒



(a) 1,250°C 誘導加熱,
鍛造後 水焼入れ
(b) 1,250°C 重油加熱,
鍛造後 水焼入れ

処理: 250°C × 30 min 加熱, Viell & Bain 試薬

図 4.5 オーステナイト結晶粒度 (倍率 100×1/2 倍)
Austenite grain size.



(a) 誘導加熱,
鍛造後 水焼入れ
(b) 重油加熱,
鍛造後 水焼入れ
処理: 5% ピクリン酸

図 4.6 表面層の金属組織 (倍率 400×1/2 倍)
Micro structure for surface layer of metal.

表 4.2 重油と誘導加熱の経済比較

Comparison of cost between oil heating and induction heating.

重油炉	
1日 24時間運転 平均 8トン処理では重油 (119円) を 1.8 kJ 使用する。	
鋼材 1kgあたりの燃料費は	
$\frac{1,800 \times 9}{8,000} = 2.03 \text{ 円/kg}$ である。	
誘導加熱	
32φ 1,100 kg/h 処理するのに、3 kHz 500 kVA の MG が必要。コイルは共用のため 32φ コイルで 28φ 材を加熱すると電力原単位は 0.460 kWh/kg である。電気代を 1 kWh あたり 3.76 円としたとき、Mot 入力側では	
$0.542 \times 3.76 = 2.03 \text{ 円/kg}$ である。	
基本料金は 1月につき 1kW あたり 390 円とすれば鋼材 1kg あたり	
$\frac{390 \times 590}{8,000 \times 25} = 1.15 \text{ 円となる}$	
スケーリロスは重油炉 3% に対し、誘導加熱 0.5% であるので、材料は 2.5% 節約できる。材料費を 1kg あたり 45 円とすれば材料節約費は	
$0.025 \times 45 = 1.13 \text{ 円/kg}$ となる。	
以上加算すれば	
$2.03 + 1.15 - 1.13 = 2.05 \text{ 円/kg}$ である。	

子もあらくて粒度番号も 4 番であるが、誘導加熱ではこまかくて 5 番である。図には省略したが、焼き戻し後も粘度の大きさに変化がなく、誘導加熱の場合にはち(緻)密である。これは誘導加熱の場合には常温から 1,250°C まで 30~50 秒で昇温するために高温で保持される時間が少なく、粒子の粗大化が生じないからである。金属組織を示す図 4.6 では、脱炭層の厚さに差がみられ、重油炉では 0.1 mm であるが、誘導加熱では 0.05 mm である。

さらに、誘導加熱の場合には、常に一定温度の安定したバー材がホーマに送られてくるので、製品のバラツキがわずかなことはもちろんである。

4.5 重油炉との運転費 比較

25~32φ の丸棒鋼を 1,250°C に加熱でき、32φ のとき 1,100 kg/h のときの能力をもつ重油炉と誘導加熱装置とで 28φ を 770 kg/h で処理するときの両者の加熱費を比較した例を表 4.2 に示す。重油炉の燃料費と、誘導加熱の電気代に鋼材歩どまり分を勘案した費用とはほぼ同額である。作業者の人件費、炉の始動時間とあと始末、作業能率や温度均一が製品の品質向上に果す費用については未調査であるが、これらを考えれば、明らかに誘導加熱が経済的であろう。

4.6 通電加熱との比較

通電加熱方式には、回転ロールで給電する移動加熱と クランプ でつ

かむ静止加熱がある。

回転ロール式はコイル状に巻かれた長くて細い線材の加熱に適している。定尺物の直材の加熱には固定 クランプ 方式しかないが、クランプ 部の冷えのほかに、バー材の前半と後半とでは鍛造時間に差があるので、温度に差を生じて具合が悪い。

当社では通電加熱の運転経費の安さと、誘導加熱の制御性の特長を生かすべく、両者を組み合わせた加熱方式を考案し、研究中である。

4.7 大容量用バーヒータ

38~50φ 材を 1,250~1,280°C に 7.7 T/h の能力で加熱してギャラントを鍛造する大容量用バーヒータを受注して製作中である。国産 1 号機であることは言うまでもないが、これまでのヒータにない次のような創意くふうがこらされている。

(1) 低周波 1,200 kW と高周波 2,100 kW (内、ブースター用 300 kW) の二重周波電源を用いて効率のよい加熱を目指している。

(2) ホーマのピンチローラからカッタに至るまでの温度低下を防ぐため、300 kW の能力をもつブースターコイルを設けている。

(3) ホーマが緊急停止した場合、加熱機内のバー材を保溫するためにスタンバイ機構を設け、修理が終われば直ちに鍛造再開可能な機能を持たせている。

(4) バー材温度を測温して加熱温度の良否を監視する。

(5) 加熱機は、ホーマ点検のために自動操作で旋回可能である。

(6) バーラックは最大 10 トン タンプ でき、自動供給が可能である。

(7) 加熱機内のバー材のリターンが可能である。しかも、自動的にエプロンに キックアウト できる。

1 日も早く運転実動に入れたいものと全員努力している。

省力化を図り、ホーマの自動高速性能をフルに発揮するため、今後のバーヒータは特殊事情がない限り、すべて誘導加熱になるものと考えられる。当社は国内外の有力メーカーである ハーベ (スイス)、ネドウェーフ (オランダ)、ペルツァ (西独) および阪村機械のホーマと組み合わせたヒータを納入した実績があり、これらの経験を生かしてさらに耐久性がある経済的なヒータの製作開発に努めている。

5. む す び

以上、当社の誘導加熱装置とその最新の技術について述べた。

技術の進歩は目ざましいが、さらに一日一日の積み上げによってその技術を伸ばしていきたいと念願している。拙文が設備計画の参考になれば幸甚である。

三菱高周波熱処理装置

酒井 良雄*・上田 時芳*・君塚 齊*

Mitsubishi High Frequency Induction Heat Treatment Equipment

Itami Works

Yoshio SAKAI・Tokiyoji UEDA・Hitoshi KIMIZUKA

High frequency induction heating equipment has made great strides recently. Technical problems have been summarized intensively. In the field of high frequency heat treatment, automatization of high degree is now called for. Questions accompanying it is in variety. Technical tendency concerning them have been studied on such matters as quench hardening, annealing and tempering. Then the results are reported herein together with the description of practical examples. In addition, products made available through this automatization actually are introduced.

1. まえがき

誘導加熱の工業界へのデビューは、1932年にTOCCO社によってフランクシャフトのペアリングの焼入れに、その端緒を切られて以来すでに40年を数え、初期における表面焼入れへの応用のみならず、すぐれた加熱方式として、溶解・鍛造・熱処理と、加熱を必要とするあらゆる分野において著しい発展がみられる。

本文では、熱処理の分野におけるわが社の動きの一端を紹介して参考に供したい。

2. 高周波熱処理の技術的動向

前述のように、誘導加熱の歴史は必ずしも短くはなく、したがって、その技術的問題点も大幅に解決されたとみる向きも少なくないと思われるが、実際には未解決の問題が多く、また最近では、公害・人手不足などの面から高周波熱処理装置も高度の自動化を要求されるが、これらに付随する問題点もあり、すべてを紹介するわけにもいかないが、その一端を述べたいと思う。

2.1 や金的な問題

いうまでもなく、誘導加熱の基本的特長は下記の2点である。

- (1) 急速加熱である。
- (2) 保持時間がゼロである。

これらの大きな特長のために、誘導加熱が有望視されるとともに、逆にペアリングメーカーなどから、はたしてそんな短時間（一般には炉で数分ないし数時間かかったものが、数秒ないし数分の処理時間に短縮される）で合金鋼の加熱ができるか、という疑いの目で見られるゆえんもあるが、この辺の考えは、焼入れパラメータと称しているArrheniusの式からの展開式である。

$$P = T(C + \log t)$$

T: 加熱温度（絶対温度）

t: 加熱時間

C: 定数

において、*P*が一定であれば、*T*と*t*をどのように組み合わせても、焼入れのための加熱効果は一定だという考えに基づき、誘導加熱においては、*T*を大きくして*t*を短くしているのが基本原理である。もちろん、上式中の*C*の値は材料などの要因によって異なり、実験で求めている。

また、急速加熱のために結晶粒の大きさ、素地への合金元素の固

溶化率、残留オーステナイト量なども、炉における比較的ゆっくりした加熱の場合と異なった問題もあり、与えられた焼入れ仕様に対して、最適条件をみつけだすことが必要である。これらのこととは焼入れのみでなく、焼きもどし、焼きなまし、その他へ誘導加熱を応用したときにも同様で、当社としても、これらのノウハウの蓄積に重点を置いていている。

2.2 焼入れによる変形に関する問題

高周波熱処理の長所の一つにあげられるものとして、熱処理による変形が少ないということがあるが、物によっては結構ひずみが問題になることがある。つぎに述べる2例はその代表的なもので、実際の装置については後述するように独自のくふうがこらしてある。

例1：アクスルシャフトの場合

アメリカのWestinghouse社が、1959年ごろInternational Harvester社へ納入したのが世界で初めての装置になったLow distortion axle hardening machineを訳して、アクスルシャフト低ひずみ焼入機とし、Westinghouse社の技術を基にしてさらに改良を加えて売り出したのが昭和39年であるが、現在までに二十数台を数えるにいたった。

低ひずみ焼入機のメリットとしては、

- (1) ひずみ取り工程を省略または縮少できる。
- (2) C量の多いシャフト（特に、SAE 1050以上のクラス）の場合には、ひずみ取りによるクラックを防止できる。
- (3) シャフトの疲れ限度のバラツキが少なくなる。

があるが、(1)についても、現在の国内のアクスルシャフトの製造工程では、省略できることはまずないと考えなければならない。

最近のように、乗用車のアクスルシャフトの製造方式として、アップセッタによってフランジを熱間成形し、軸部は冷間押出し機によって冷間成形する方式が主流になってくると、冷間押出しによる残留応力が、焼入れ後のひずみ合格率をいっそう低下させることになる。われわれの経験によると、ひずみ合格率に影響がある要因のうち、焼入れ前の加工工程における残留加工応力が最もきいているようである。

図2.1は、ノルマライズされた乗用車用のアクスルシャフトの焼入れひずみの状況を示したもので、この例では91%が合格している。

例2：ペアリングの場合

外径11.8~89.60mmφ、肉厚4~11mmぐらいのピローブロック用ペアリングのインナーレースの焼入れでは、図2.2の曲線①に示すように焼入れによって変形が発生する。これはペアリングレースの一端の近く

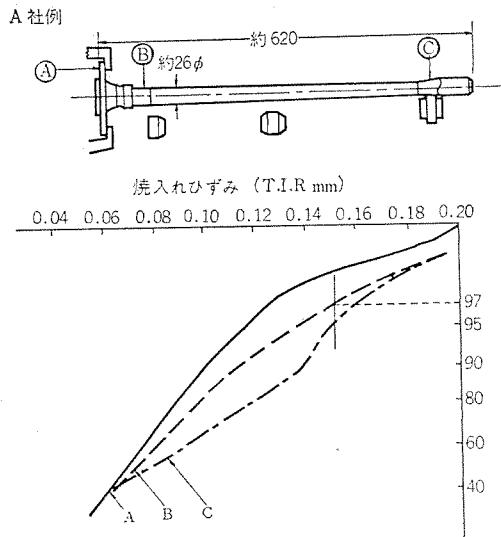


図 2.1 アクスルシャフトの焼入れひずみ
Distortion of a hardened axle-shaft.

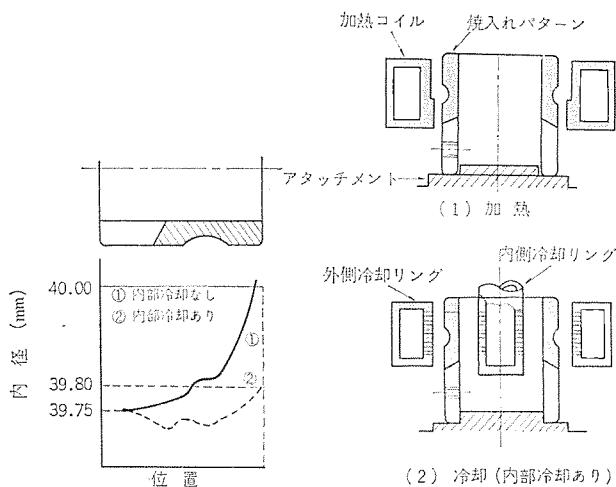


図 2.2 ベアリング(インナーレース)の焼入れにおける変形
Distortion of a hardened bearing.

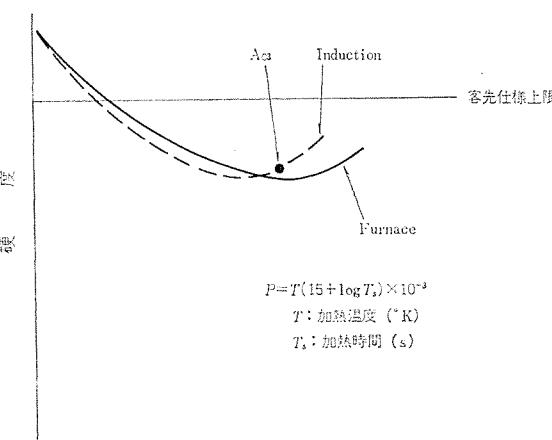


図 2.3 焼きなまし Master Curve
Master curve for steel annealing.

(ボールみぞの反対側)に締付けネジ用のネジ穴があり、これの割れを防ぐために、図のように一端のみを局部的にスラブ焼きを行なっているからであるが、これを同図の曲線②のように、適切な時間に適切な量の内面冷却を行なえば、ほぼフラットな形の変形になる。このように、変形を防止するためには、加熱冷却中に発生する内部応力

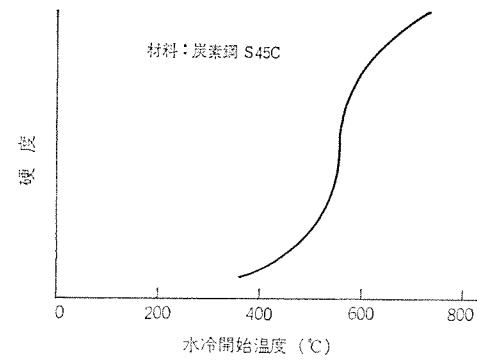


図 2.4 水冷開始温度と焼きなまし硬度
Relations between quenching temperature and annealed hardness.

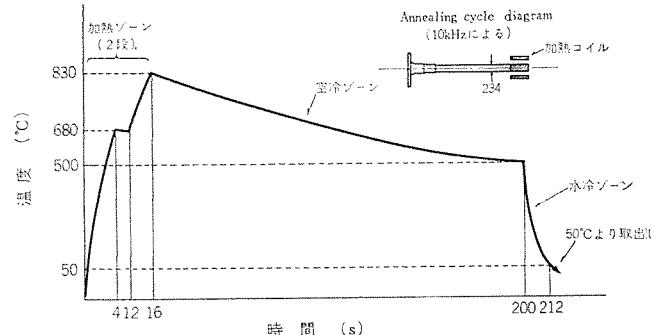


図 2.5 焼きなましサイクル図
Annealing cycle diagram.

ができるだけ上手に分布させることが重要である。

2.3 焼きなまし

誘導加熱による焼きなましについては、2.1節で述べたように、焼きなましについてのパラメータを考えて加熱温度 T を高くし、加熱時間 t を短くするのが基本であるが、その他に、相変態による加熱温度の上限、全体加熱による温度分布を考慮して、ある程度は加熱時間を長めにする必要がある。ここで示す例は、冷間押出し材のアクスルシャフトのスラブ端部のスラブ転造前の軟化焼きなましであるが、図 2.3 のパラメータと焼きなまし硬度との関係図、図 2.4 の水冷開始温度と硬度との関係図を基に、さらに処理能力を考慮して、2段加熱として図 2.5 のような温度曲線の工程を描くように装置を設計した。

2.4 焼きもどし

熱処理ラインの構成として、高周波焼入れの後工程に、高周波焼きもどしを採用しようとする傾向がふえてきているが、高周波焼きもどしでの問題点は、第一に短時間焼きもどしにおける Metallurgical な検討が不足していることと、第二に特に加熱時間が 1~5 秒程度の場合には、それ以上の加熱時間の場合にくらべて、焼きもどしパラメータの値が同一硬度に焼きもどす場合に低くなる現象も見られるが、これらをいかに解析するかなどであろう。

2.5 検査設備の自動化

高周波熱処理ラインの自動化については、単一部品量産ラインでは、すでに搬送関係の自動化を積極的に押しすすめている。したがって、ライン中でもっとも自動化が遅れているのは、やはり検査設備であろう。図 2.6 は、B 社のあるリアクスルシャフト熱処理ラインのブロック図であるが、表 2.1 に示した品質特性と検査ひん度からもわかるように、サンプリングによってチェックを行なう硬度・焼入れ深さはともかくとして、ひずみ取り、割れチェックなどが自動化の大きな要因

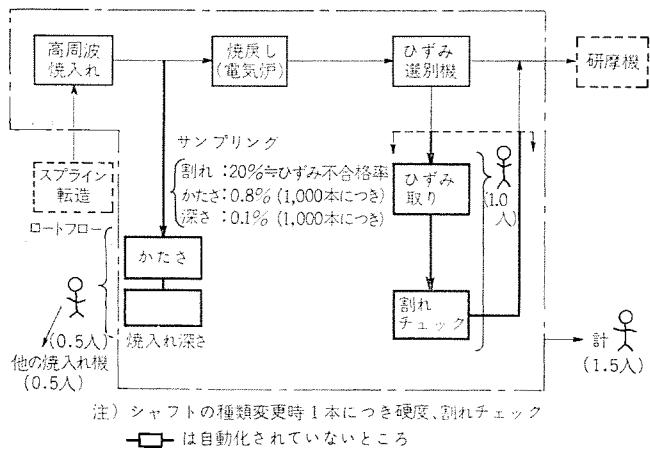


図 2.6 リヤアクスルシャフト熱処理ラインのブロック図 (B 社 G 車)
Block diagram of rear-axle-shaft heat treatment line.

表 2.1 品質特性と検査ひん度
Characteristics of quality and inspection frequency.

大項目	小項目	検査ひん度
硬度	表面硬度	◎
	内部硬度	○
	内部硬度分布	△
硬化層深さ	焼入れ深さ	◎
	組織	○
	結晶粒度	×
ひずみ	ひずみ(寸法変化曲り)	◎
われ	われ(きれつ)	◎
応力	内部応力分布	×

◎ひん度大(特に重要) ○ひん度大 △ひん度中 ×ひん度小

にならることは事実であり、今後は、これらの自動化が問題になろう。

その他、高周波熱処理に関する問題点として、非常にライン速度の早い鋼線・薄鋼板などの低温熱処理における温度制御の問題、パイプチューブ製造過程における誘導加熱の特殊応用などの興味のある問題も多いが、詳細は次の機会にしたい。

以下に、当社が最近製作した高周波熱処理装置の数例を紹介する。

3. 自動化装置の例

高周波焼入装置の自動化の方向としては、前工程・後工程をつなぐライン化された装置と、ストックヤードを前・後に設けた装置との二つに大別される。

3.1 ステアリングナックル自動高周波焼入装置

軸部の耐疲労強度向上を目的とした焼入機であり、前工程の機械加工ラインから作業者によって供給コンベアに位置ぎめし、セットされる。ストック量は10本である。コイル送り機構のついた焼入機本体の入口と出口にマニピュレータがあり、オートローダは、ナックルをチャッキングして焼入機にセンタリングする。焼入れが完了すると、アンローダがナックルをチャッキングして、センタからとりはずし、出口側のコンベアの上にはなす。コンベアにのったナックルは、そのまま焼きもどし炉の中に送られる。焼入装置の外観は図3.1に示す。自動化にあたって焼入機で特に留意するところは、コイル停止精度・焼入液温度・焼入液濃度などである。これらは焼入れ深度に敏感に影響するので、じゅうぶんな管理が必要である。軸付根部の焼入れ深度のバラツキを、2.5~4.0 mmの範囲におさえている。チャックの動作と原理を図3.2に示す。

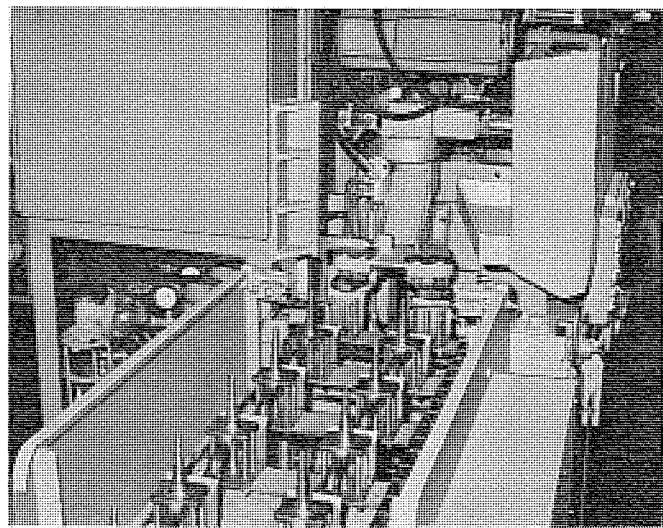


図 3.1 ステアリングナックル自動高周波焼入装置
Automatic high frequency hardening equipment for steering knuckle.

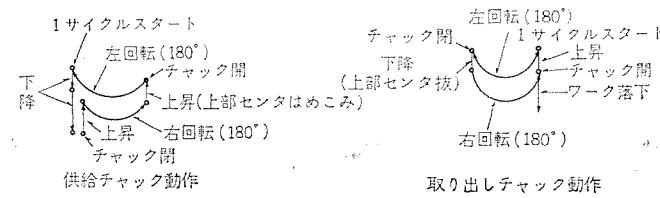
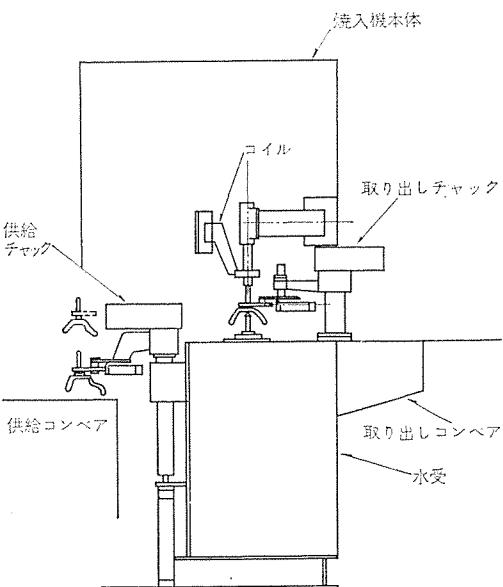


図 3.2 チャック動作
Operation diagram of chuck.

サイクルをスタートさせると、供給チャックは下降して供給コンベアのナックルチャック位置で停止し、ナックルをつかんで上昇し、右回転して後に上昇し、センタリングしてナックルをはなし、左回転して元の位置に戻る。

取り出しチャックは、焼入れ完了信号によって左回転し、ナックルをつかみ、上部センタから抜くために下降して右回転し、ナックルを取り出してコンベアの上にはなし、上昇してストップする。

この焼入機の能力は、10 kHz 100 kVA の MG と組み合わせた場合に1時間あたり180本である。

3.2 クランクシャフト自動高周波焼入装置

乗用車エンジン用4気筒 クランクシャフト全自動焼入機であって、ピン

ステーション、ジャーナルステーションの2ステーションより成立っている。コイルは割形コイルであるが、二次導体に特長があり、コイルに直列電流が流れるように、接点付きの構成になっている。この装置は、ライン用であって機械加工ラインと一体化され、ストックヤードをもたない。油穴の洗浄後、シャータから直接撃入機フィーダで受け取り、後工程の

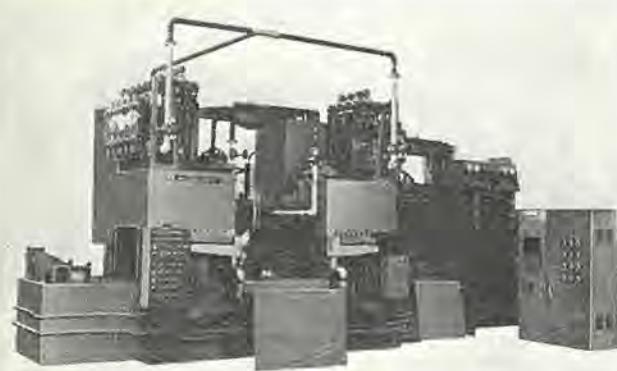


図 3.3 クランクシャフト自動高周波焼入装置
Automatic high frequency hardening equipment for crank shaft.

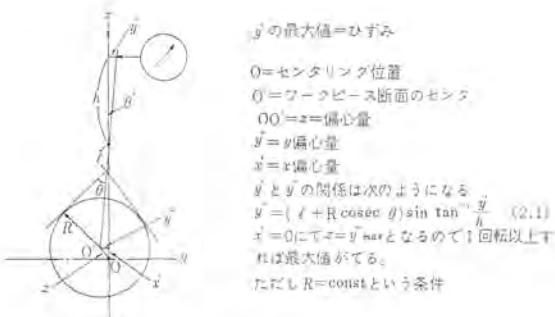
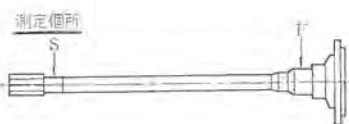


図 3.4 測定原理
Principle of measurement.



単位 mm

ワーク No	F	S
1	0.23	0.14
	0.25	0.15
2	0.17	0.10
	0.18	0.10
3	0.16	0.16
	0.165	0.17
4	0.19	0.12
	0.19	0.115
5	0.19	0.14
	0.20	0.16
6	0.18	0.15
	0.185	0.155
7	0.19	0.18
	0.20	0.195
8	0.18	0.06
	0.185	0.065
9	0.19	0.08
	0.19	0.07
10	0.20	0.13
	0.21	0.12

図 3.5 測定データ
Measurement data.

焼きもどし炉と完全に一体化している。装置の外観を図3.3に示す。ジャーナルおよびピンステーションには、それぞれたわみ抑制装置とラジアル方向の位置ぎめ板がついている。フィーダで送られてきたワークピースは、リフタで持上げられ、センタリングされてアキシャル方向の位置がぎめられ、またラジアル方向は、位置ぎめ板が上昇し、ワークピースのバランス部の機械加工基準面の肩部を押して位置をきめる。このラジアル方向位置の保持と焼入れ中に生ずるたわみを防止し、コイルとワークピースがタッチしないようにするために、たわみ抑制装置では握するようになっている。

3.3 アクスルシャフト自動高周波焼入装置

アクスルシャフト低ひずみ焼入装置(横形全自动式)は、三菱電機技報Vol. 39(昭40)、三菱電機技報Vol. 42(昭43)に紹介したので、ここでは後工程について説明する。

焼入れされたシャフトはひずみの規格範囲内にあるかどうかを判定するひずみ選別機にはいる。ひずみ選別機は、フランジ側ペアリング部・シャフト中央部・スプライン部の各設定値について、OKかNGかを選別し、OKホールのシャータか、またはNGホールのシャータへアクスルシャフトを流す。ひずみ選別機の測定原理と測定データを図3.4、図3.5に示す。ライン構成は、すべて自動化されているので、無人運転可能である。ただし、本ラインで品質保証上、焼入れ硬度・焼入れ深度・焼割れの各検査を行なう必要があるが、そのための人員は、各工場の品質管理体制によって異なる。また、選別機からNGとしてNGホールへたまつたシャフトは、後工程の作業者が処理する。したがって、完全自動化をはかるには、まだ数多くの問題を残しているが、とくに、自動探傷装置と自動ひずみ取り装置の実現が必要である。ひずみ選別機と低ひずみ焼入機の組み合わせによって、良好なシャフトがスムーズに流れるライン化が実現した。ひずみ選別機は、チャックでコンペアにのせられ、コンペアで両センタ位置まで運ばれる。両センタ位置にはいるまでエアで測定個所のチリを払う。センタリングされたシャフトは、ヘッドストックのケレで約3回転する。検出器の分解能は5/1,000であり、選別機全体の機差は2/100である。設定値は、プラス・マイナスに振り分けられるので、設定値はひずみ規格値の1/2になる。選別機の要点としては、振り分け能力、原点位置の固定化、分解能のよい検出器の選択、センタリング精度の向上、スケール除去などである。アクスルシャフトのひずみ測定個所の接触子には、超硬合金を使用している。測定点が高周波焼れ入されているので、表面硬度はHRC 55以上になっているため、接触子の形状維持のためには材料の選択は重要である。

低ひずみ焼入機の新しいものとして、ピストンロッド低ひずみ焼入機を作製したが、原理的には前述の文献で紹介しているので、ここでは特長と主機能を列挙する。

特長

- (1) 長軸で、単重が大きなワークピースの焼入れができる。
- (2) 焼入れひずみは0.2~0.5mmの範囲である。
- (3) ピストンロッド数種類についてローダ、アンローダにはん用性がある。
- (4) ストレートシャフトのはん用性をもった焼入機である。
- (5) コイルの取り付け・取りはずしが簡単である。
- (6) ローラサポートが5個そう入されている。
- (7) 可変範囲が広いので、テールセンタはラックで送る構造にしているため送りやすい。
- (8) ドラックチェーンをつかってぎ装関係のまとまりをとるように

した。外観を図 3.7 に示す。

主機能

(1) 最大取り付け長さ	1,800 mm
(2) 最小取り付け長さ	400 mm
(3) コイル送りストローク	1,950 mm

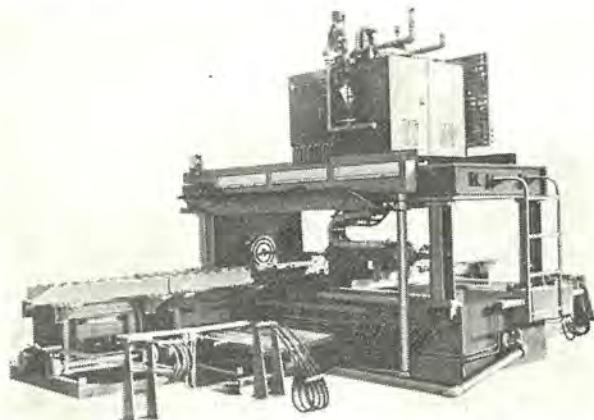


図 3.6 ピストンロッド自動高周波焼入装置
Automatic high-frequency hardening equipment for piston rod.

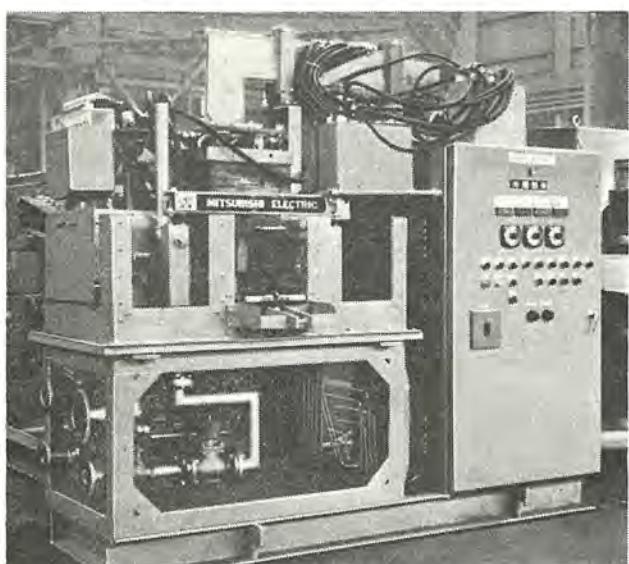


図 3.7 ローラシャフト自動高周波焼入装置
Automatic high-frequency hardening equipment for roller shaft.

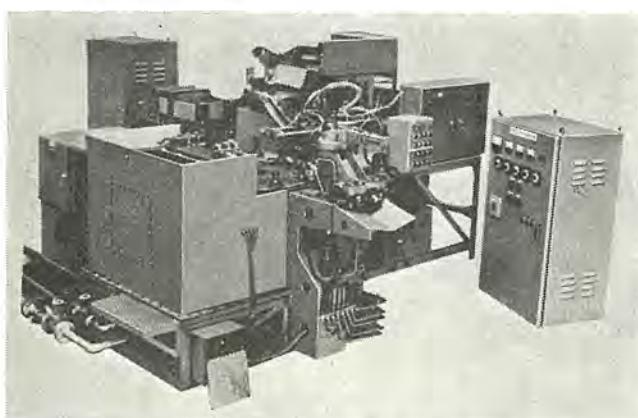


図 3.8 ベアリング自動高周波焼入装置
Automatic high-frequency hardening equipment for bearing.

(4) 取り付け可能重量	85 kg
(5) チャッキング可能直径	30~90 mm ^φ
(6) コイル送り速度	4~20 mm/s
(7) コイル前進速度	35 mm/s
(8) 焼入物回転速度	75 rpm
(9) 焼入装置全長	4,791 mm
(10) 焼入装置幅	1,928 mm
(11) 焼入装置高さ	3,317 mm
(12) 焼入装置重量	10 t

横形焼入機であり、ピストンロッドは完全ストレートシャフトなので、焼入れには困難さはなく、10 kHz 150 kW の MG を使用して 2~4 mm の焼入れを行なっている。

3.4 ローラシャフト自動高周波焼入装置

本装置は、ブルドーザのトラックローラシャフトを焼入れする一発焼入装置である。コイルには半円形のコア入りコイルを使用し、フランジの両端を 1 度に焼入れする。後工程がライン化されていて、前工程には 60 本の供給機がある。この供給機には 3 個のゲートがあり、ワークピースが、スムーズに供給できるように考慮されている。図 3.7 に外観を示す。この装置の特色は、シーテ方式を使う供給機にある。自然落下方式は、ワークピースの停滞を起こしやすいが、各シーテの端に油圧シリンダで開閉するゲートを設けて、ワークピースの流れがスムーズになるようにしている。焼入機本体内には、供給機から受取って後工程へ送り出すフィードカムがあり、ゲートの開閉とシーテへの送り出しに、むだ時間がないように考慮されている。表面焼入れのために加熱の均一化と冷却の均一化をはかる目的で、ワークピースの回転数は、1 ターンコイルの回転数と比較して、5 割以上多い約 120 rpm としている。また、自動機においてワークピースの焼入れ位置に対するコイルとの相関関係は大きな問題であるが、ローラシャフトは、センタ穴基準ではなくて端面基準であるため、ヘッドストックは、2 重スプリング機構している。表面焼入れの場合、コイルとワークピースのギャップが加熱効率・パターンに大きく影響する。とくに、コア入りの場合には、ギャップによってパーミアンスの影響が大きくなるので、コイルの変形に注意する必要がある。したがって、コイルにそう入してあるコアは、特殊なハンダ処理をして固定するとともに、コイルには電流容量、焼入れ液水路として必要な量以上に多くの銅量をもたせている。

3.5 ベアリング自動高周波焼入装置

本装置は、バイブレータ式のバーツフィーダをもつ、典型的なストックヤード方式の自動機である。特殊ベアリングのピローブロックの内輪を焼入れする装置である。ベアリングの内輪という形状上の問題と、軸受鋼の焼入れという問題とで未知の点が多く、開発に多くの時間を要した。

本装置の外観を図 3.8 に示す。図に見られるように、焼入装置はターンテーブル式の 2 軸であり、4 インデックスからなっている。4 インデックスは、供給位置・加熱位置・冷却位置・取り出し位置になっている。問題点の対処方法であるが、冷却方式については、円筒の内部と外部とに独立した冷却リングを設けたことであり、特に内部冷却については、外部冷却リングに対して一定の位置を保つことができるようになるため、冷却位置の位置ぎめをかねていることである。さらに、焼入液の噴射速度を一定にするため、冷却リングの幅を薄くし、焼入液の入口の数を通常より多くしていることである。この冷却方式が、表面硬度のバラツキ、焼入れひずみの減少に大きな効果をあげている。また、高周波焼入れ特有のコイル形状にくふうを行

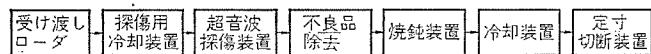


図 3.9 焼鈍ラインの構成
Construction of annealing line.

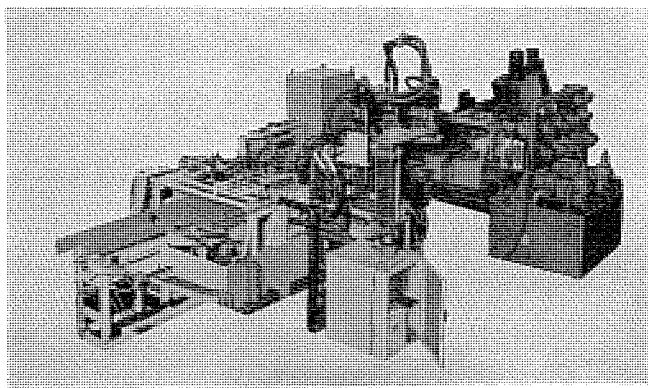


図 3.10 アクスルシャフト自動高周波焼鈍装置
Automatic high frequency annealing equipment for axle shaft.

なったことはもちろんであるが、加熱位置から冷却位置までの時間をコントロールして、加熱温度を均一化するようにして、円筒の内外部の硬度差をおさえた。また、ベアリングの内輪は、200~500gの軽いものであるから自重だけでは電磁力によって浮上する。その浮上をおさえる機構が必要であるが、そのために加熱する部分に触れることになって硬度ムラの生ずる原因となるので、浮上防止機構には、種々のくふうをこらした（特許出願中）。

3.6 アクスルシャフト自動高周波焼鈍装置

焼鈍装置としても高周波誘導加熱は数多く導入されているが、こ

こではライン化された一例として、アクスルシャフトスプライン部の焼鈍ラインを紹介する。

この装置は、冷間押出しで製造されたアクスルシャフトの後工程、高周波焼入れラインにはいる前工程となり、スプライン部の軟化焼鈍が主目的である。図3.9にライン構成を示すが、本ラインは、スプライン部の探傷、焼鈍およびアクスルシャフトの定寸切断を全自動で行なうためのラインである。本ラインは、集中制御盤によって前工程とも接続、連動されている。外観を図3.10に示す。前工程からシャフトを受取って切断装置にはいるまでのシャフトの搬送は、ウォーキングビーム式ローダ（油圧駆動）によって連動している。冷間押出しによって、シャフトの内部に生ずる欠陥の有無を超音波で検出した後に焼鈍位置にはいる。焼鈍コイルは、2個からなり、2段加熱を行なって表面と内部との温度差がないように考慮してある。

4. むすび

以上、高周波熱処理装置の技術的動向、最近の装置の概略について簡単に述べた。

高周波熱処理装置は、自動車業界・機械工業界などを中心に急速に高度化している。

技術革新とともに、省力化の方向はますます進み、高周波熱処理装置に要求される機能も複雑になってゆくと思うが、当社はこの意味で研究開発の責務を感じる次第である。

終わりにこの文が、関係者の参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 酒井、上田：三菱電機技報、42、No. 3 (昭43)
- (2) 酒井、君塚：三菱電機技報、42、No. 3 (昭43)

三菱サイリスタ式誘導加熱用高周波電源装置

塚本昭三*・川畠隆夫*・山本吉彦*
矢野禎成*・熊野昌義**・君塚齊**

High Frequency Static Converters for Induction Heating

Itami Works Shozo TSUKAMOTO・Takao KAWABATA

Yoshihiko YAMAMOTO・Sadanari YANO

Central Research Laboratory Masayoshi KUMANO・Hitoshi KIMIZUKA

Motor generators have been mostly used for the power source of high frequency induction heating such as in induction furnaces or for quenching and forging. However, the global trend in turning the power supply machines into static operation has affected on this field and now high frequency static converters have rapidly come into practical use by aid of the development of high frequency high power thyristors.

At present Mitsubishi produces 3 kHz 300 kW 800 V thyristor type high frequency static converters to meet the requirements of the industrial heating. The apparatus has features of using contactless switches, the characteristics peculiar to the thyristor, easy maintenance, high efficiency, quick response and low noise. This article describes the composition of the device, heating test, parallel running with MG and various test results.

1. まえがき

誘導炉や焼入・鍛造などの高周波誘導加熱用電源として、従来はMGが用いられていた。世界的な電源機器の静止化の気運ともあいまって、その高周波応用の一分野として誘導加熱用サイリスタ高周波電源装置は、高周波大容量サイリスタの進歩とともに近年急速に実用化の段階に達してきた。当社では、今回高周波誘導加熱用に要求される電源として3 kHz 300 kW 800 Vのサイリスタ式高周波電源装置を製作した。本装置はサイリスタ固有の特性である無接点スイッチであり、保守の簡易性・高効率・高速度応答・低騒音などのかずかずの特長を有している。本装置の構成、加熱試験、MGとその並列運転などの各種試験結果について以下に報告する。

2. 三菱サイリスタ式高周波電源装置の特長

サイリスタ式高周波電源装置の特長を以下に述べる。

従来の電動発電機を用いた回転形の高周波電源装置に比べて、サイリスタ式高周波電源のまず第一にあげられる利点は、静止器として

表2.1 高周波電源装置の比較表
Comparison of static frequency convertor with motor generator.

比較項目	サイリスタ式高周波電源	回転式高周波電源
保守点検	容 易	比較的 困 難
寿命	半 永 久 的	摩耗部分あり
基礎工事	安 価	高 価
チーンブロック(保守用)	不 要	必 要
天井はり強度	不 要	必 要
搬入	容 易	困 難
据付工事	容 易	比 較 的 困 難
重量	小	大
振動	小	大
騒音	小	大
効率	90%程度	85~80%
起動	非常に簡単	大容量になるほど手数がかかる
応答	速 い	おそ い
負荷力率	自動調整	調整が必 要

の特長であるが、そのほかにも表2.1のように多くの特長があげられる。さらに、三菱サイリスタ式高周波電源の特長は、

(1) 負荷回路の共振周波数(負荷電圧)に同期して制御される自制式インバータである。

(2) 負荷が変動する際、周波数は自動的に変化し、インバータの出力端子よりみた負荷回路の力率が、常に進み力率で一定になるよう制御される。

(3) 負荷の変動による周波数の変化に対しても、サイリスタの余裕角が一定になる余裕角一定制御(特許申請中)を行なっているので、サイリスタは負荷の変動に対しても常に安定に転流する。

(4) 起動を安定にするための起動回路(特許申請中)を設けているので、円滑に起動する。

(5) 出力電圧を一定に制御するために定電圧制御を行なっている。

(6) 過負荷を防止するために電流制限回路が付属されている。

(7) 負荷回路の短絡・開放に対しても、過電流・過電圧保護回路によって瞬時に電源を開放し、保護する。

(8) インバータと電動発電機の並列運転、インバータ同志の並列運転、さらにタンク回路の並列運転も可能である。(特許申請中)

(9) セットの主要部分である三菱サイリスタは、圧接構造・センタードットによって高い信頼性が実証済みである。

3. 静止形誘導加熱の概要

主回路系統図を図3.1に示す。

基本回路構成は、サイリスタ「整流装置」とサイリスタ「インバータ装置」との組み合せによるAC→DC→AC変換装置である。

受電変圧器によって降圧された後、サイリスタの三相ブリッジ回路によって構成されるサイリスタ順変換装置によって、交流を直流に変換し、直流リアクトルによって電流を平滑にし、インバータ装置によって再び直流を交流に変換している。インバータ装置は、出力周波数に同期した信号をあたえるために、出力電圧を検出して「余裕角一定制

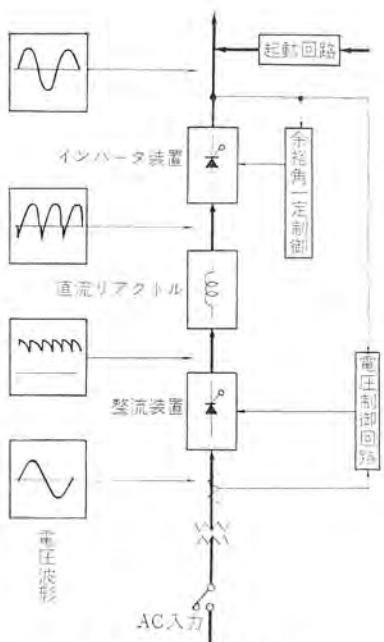


図 3.1 主回路系統図
Skeleton diagram.

御」を行なっている。一方、出力電圧一定の制御を行なうために出力電圧を検出し、電圧制御回路によって順変換装置を位相制御している。サイリスタを保護するために、交流電流を検出し、電圧制御回路によって、電流を一定値以上流さぬように制限している。起動回路によってサイリスタインバータの起動を円滑に行なうことができる。装置の保護のために、ほかに過電圧を保護する過電圧保護回路と、負荷の不整合による周波数の異常を検出する周波数検出回路とが設けられている。

4. 試作装置の仕様と構成

形式：屋内形水冷式

出力：容量 300 kW, 電圧 800 V, 周波数 3 kHz (2,850~3,200 Hz), 相数 単相

入力：電圧 3,300 V, 周波数 50/60 Hz, 相数 三相 三線式

装置は整流器用変圧器・直流リアクトル盤・高周波インバータ主回路



図 4.1 高周波インバータ装置
3 kHz 300 kW static frequency inverter.

盤・高周波インバータ制御盤より構成される。図 4.1 に高周波インバータ主回路と高周波インバータ制御盤との外形を示す。高周波インバータの心臓部であるサイリスタインバータ用素子に接続されているサーボアブレーキ用抵抗は、サイリスタとともに水冷されている。高周波インバータの主回路盤には、順変換装置・逆変換装置・起動回路・リレーシーケンスがおさめられている。制御盤にはカードユニットがおさめられている。

5. 静止形誘導加熱電源の基本動作

5.1 高周波インバータの基本形

高周波インバータの基本形には、直列インバータと並列インバータおよびその折中案である直並列インバータがある。その基本的な特長を比較すれば表 5.1 のようになる。直列インバータはコイル電流と、インバータ電流が同一で、インバータには負荷の無効電流も流れるが、インバータ電圧はコイル電圧の数分の一である。一方並列インバータでは、負荷回路の Q によって Q 倍されたコイル電流は、並列コンデンサとの間で循環するだけで、インバータや直流フィルタには流れないと、MG と簡単におきかえられる。また、保護の容易性、動作の安定性、負荷変動に対する制御の速応性などから、一般に誘導加熱負荷に対しては、並列インバータのほうが適している。

5.2 回路動作

図 5.1 はインバータ回路の動作を説明するための負荷を含めた回路図である。負荷（誘導加熱装置）に並列に接続されているコンデンサ C は、力率改善用のコンデンサである。サイリスタ CR1 および CR4 が通電していて、コンデンサ C の上側が正に充電されているときに、

表 5.1 インバータ回路方式の比較
Comparison of basic scheme of inverter circuits.

	直列インバータ	並列インバータ
出力電圧波形	く形波	正弦波
出力電流波形	正弦波	く形波
基本波コイル電圧	$= Q \times \text{インバータ電圧}$ 電圧基本波	$= \text{インバータ電圧}$
基本波コイル電流	$= \text{インバータ電流}$	$= Q \times \text{インバータ電流}$ 電流の基本波
直流フィルタ	直流コンデンサ	直流リアクトル
逆並列ダイオード	負荷の無効電流ループとして必要	不用
サイリスタの dv/dt	大	小
サイリスタの di/dt	小	大
転流重なり	なし	配線のインダクタンス等で生じる
転流失敗に対する保護	負荷インピーダンスが小さく困難	直流リアクトルの働きで容易
動作の安定性	負荷変動に対して劣る	安定
回路		

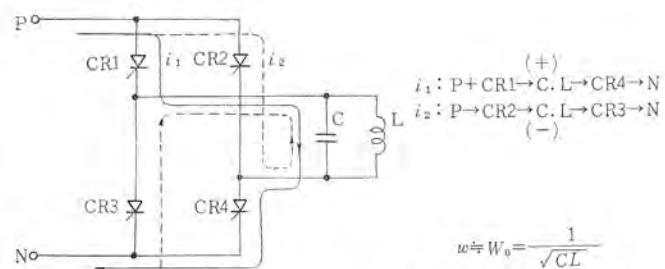


図 5.1 インバータの動作図
Basic circuit of inverter.

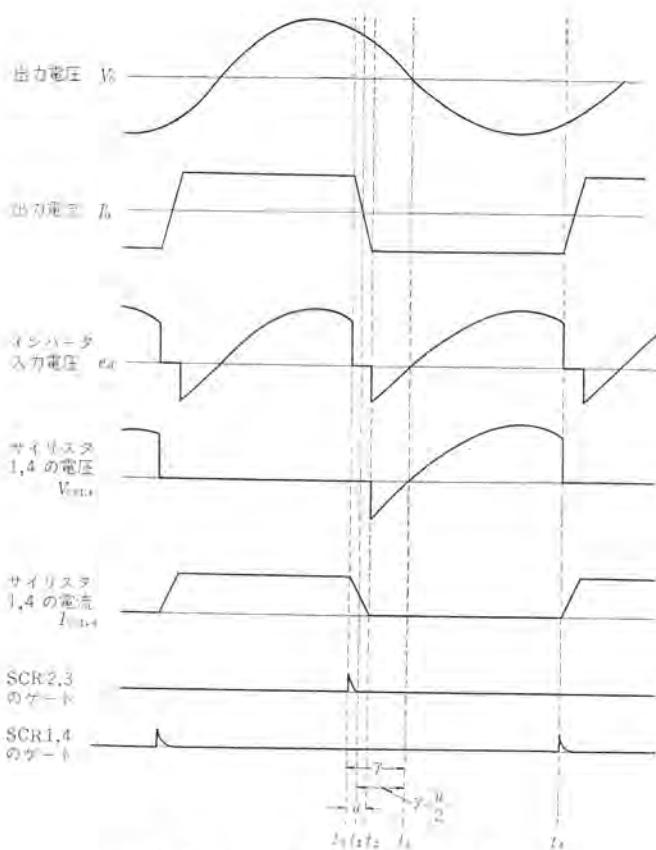


図 5.2 インバータ電圧・電流波形
Voltage and current waveforms.

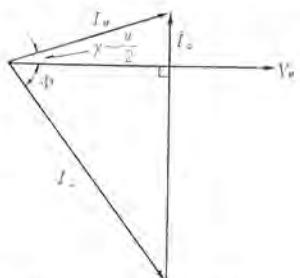


図 5.3 インバータ電圧・電流ベクトル図
Vector diagram.

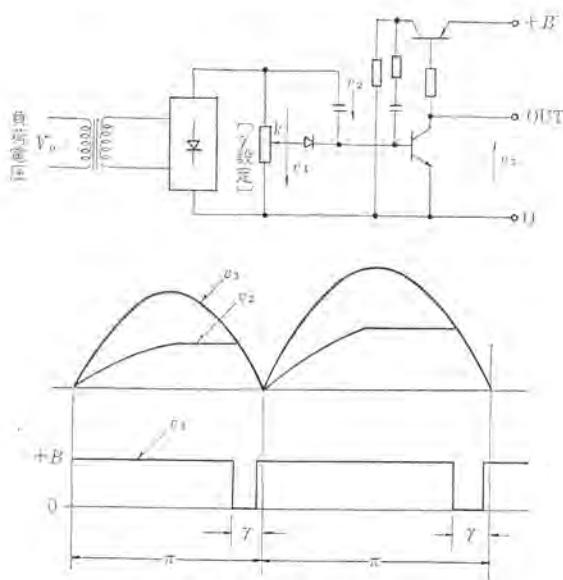


図 5.4 余裕角一定制御回路
Inverter timing circuit.

CR 2, 3 を点弧すると、CR 1, 4 はコンデンサ C によって逆バイアスされ、消弧する。このように、CR 1, 2, CR 3 と 4 を交互にオン・オフすると、ほぼ負荷と力率改善用コンデンサによってできる共振周波数で発振を続ける。負荷電圧波形は、負荷が非常に力率の悪い遅れ負荷であるためにほぼ正弦波形になる。図 5.2 はインバータの電圧・電流波形を示し、図 5.3 は力率改善用コンデンサを含めた負荷の電圧・電流のベクトル図を示す。

インバータの出力電流 I_o は負荷電圧 v_o に対して $(\gamma - \frac{u}{2})$ だけ進んでいる。各サイリスタの余裕角 δ は、

$$\delta = \gamma - u$$

で示される。

ここで、 u はインバータ内およびインバータと力率改善用コンデンサを含めた負荷間の配線インダクタンスなどで生じる転流重なり角である。このため、できるだけ配線インダクタンスを小さくする必要がある。

コンデンサの所要 kVA P_C は、

$$P_C = P_L \sin \phi + P_L \cos \phi \cdot \tan\left(\gamma - \frac{u}{2}\right)$$

となる。

ここに、 ϕ ：誘導加熱負荷の遅れ角

$P_L \sin \phi$ ：誘導加熱負荷の無効分

$P_L \cos \phi$ ：誘導加熱負荷の有効分

となり、加熱負荷の無効分より加熱負荷の有効分の $\tan\left(\gamma - \frac{u}{2}\right)$ 倍だけ余分に必要になる。

加熱負荷の抵抗分を R 、インダクタンスを L とすると、負荷に流れ電流 I_L は、

$$I_L = V_o / \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

一方、 $\tan \phi = \frac{\omega L}{R} = Q$ とし、 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ とすると、電流進み角 $\left(\gamma - \frac{u}{2}\right)$ は、コンデンサ電流を I_C として、

$$\tan\left(\gamma - \frac{u}{2}\right) = \frac{I_C - I_L \sin \phi}{I_C \cos \phi} = \frac{\omega C - R^2 + (\omega L)^2}{R} \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$= (RC\omega_0)(1+Q^2) \frac{\omega}{\omega_0} - Q$$

となる。上式より、 γ を一定に制御すると、加熱負荷の L , R の変化により、 ω が共振周波数 ω_0 に対し自動的に変化する。

各部の電圧・電流・電力などの関係式は、インバータ入・出力間で、電流と電力の保存則を適用すれば、次のようになる。

$$\text{出力電圧 } V_o/Ed = \frac{\sqrt{2}\pi}{4} / \cos(\gamma - u) + \cos \gamma$$

$$\text{サイリスタ電圧最大値 } V_{oR}/Ed = \frac{\pi}{2} / \cos(\gamma - u) + \cos \gamma$$

$$\text{直流電流 } RI_d/Ed = \pi^2/8(1+Q^2) \cdot \{\cos(\gamma - u) + \cos \gamma\}$$

$$\text{出力 } \frac{P_{out}}{(Ed)^2} = \pi^2/8(1+Q) \cdot \{\cos(\gamma - u) + \cos \gamma\}$$

ここで、 Ed : 直流電圧

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

とする。

図 5.4 はインバータの余裕角一定制御の原理を示したものである。

出力検出電圧 v_1 は、その電圧を分圧して波高値整流した電圧 v_2 と比較され、それらが等しくなったときにサイリスタの点弧パルスを発生する。この方式を用いれば、出力電圧の大きさや周波数が変化

しても、常に一定の位相で点弧パルスを発生させることができ、かつその位相 γ は常に $0 \sim \pi/2$ の間に設定することができる。

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{\hat{v}_2}{\hat{v}_1} = \sin^{-1} k$$

ただし、 \hat{v}_2 、 \hat{v}_1 はそれぞれ電圧 v_2 、 v_1 の最大値を示す。 k は v_1 の分圧比を表わす。

6. 試験結果

6.1 効率

$Q(\omega L/R)=2.5$ の負荷で高周波インバータを運転した場合の出力に対するインバータ効率を図 6.1 に示す。

出力 75 kW (25% 負荷) 以上の範囲において、効率は 90% 以上であり、定格出力 300 kW では 92% となり、従来の電動発電機と比較してすぐれている。

6.2 サイリスタ電圧・電流波形

サイリスタに印加される電圧は負荷電圧と同一波形であり、オフ電圧に対する直列接続素子の分圧は良好である。一方、送電圧印加時の蓄積キャリアによる過電圧に対しても、サイリスタ素子特性を選択、組み合わせて良好な分圧を行ない、過電圧を吸収している。

図 6.2 は、出力電圧 800 V 運転時に直列接続の 2 個のサイリスタにかかる電圧と、おのおののサイリスタにかかる電圧波形を示す。サイリスタの送電圧時間はほぼ 30 μs であり、素子のターンオフタイムに対して余裕のある運転を行なっている。

図 6.3 は並列に接続されたサイリスタに流れる電流で、このときの負荷電圧 $V_L=800$ V、直流電流 $I_d=630$ A、インバータの出力 $P_0=325$ kW である。このとき、素子に流れる電流の不平衡分は約 6% であり、そのほかすべてのアームにおいて、各並列素子に流れる電流のバラツキは 10% 以内にはいっている。分流については、構造的にアノードリアクトル・素子・バー配置に十分留意されている。

脈流重なり期間は定格時に 10 μs であり、サイリスタ電流の di/dt はほぼ 50 A/ μs である。

6.3 起動時の電圧、電流

図 6.4 はインバータ起動時の負荷電圧 V_L のオシログラムを示す。負荷電圧は約 8 ms で定格電圧 800 V に達しており、オーバーシュートもなく、円滑に起動している。

6.4 加熱試験

高周波インバータを電源として、磁性鋼 $32\phi \times 1,000$ を加熱した場合の電圧・電流・周波数のオシログラムを図 6.5 に示す。図中に被加熱材の温度変化を実線で示している。

ヒータコイルは、 $75\phi \times 30$ T および $86\phi \times 16$ T を直結密着配置とした。

被加熱材をコイル内に装入したときの負荷回路の Q 値は、常温時で 2.8 である。被加熱材の温度が $500 \sim 600^\circ C$ に達するまでは、タング回路の Q 値は低く、かつ被加熱材の固有抵抗 ρ が増加するために、負荷回路の等価抵抗が増加して Q が減少する。したがって、負荷インピーダンスは低く、さらに低下する方向に変化して電流が増加する。

インバータには、電流制限回路があるため、電流が制限値まで増加すると、以後は定電流電源となり、負荷電圧は負荷のインピーダンスに比例して変化する。700°C 付近になると、被加熱材の μ の減少が顕著となってうず電流の浸透深さが増加するので、等価抵抗は減少はじめ、 Q がしだいに増加して負荷インピーダンスも増加する。

負荷のインピーダンスが増加するに伴って負荷電圧は増加し、定格値

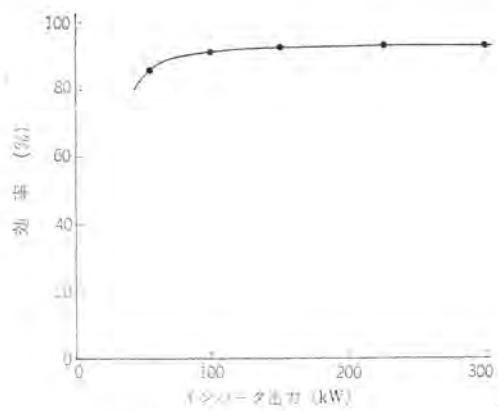


図 6.1 効率曲線
Efficiency curve of inverter

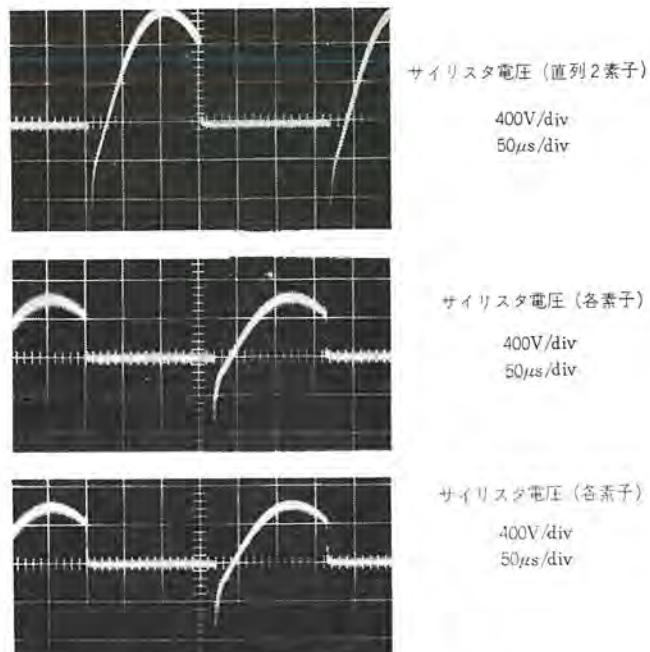


図 6.2 サイリスタ電圧波形
Thyristor voltage waveforms.

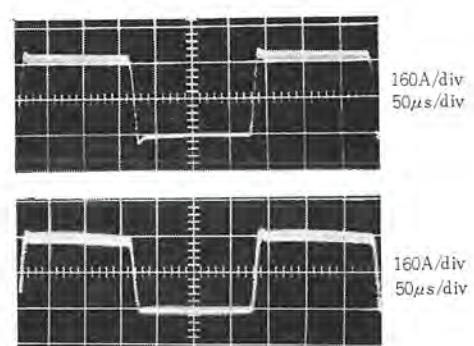


図 6.3 サイリスタ電流波形
Thyristor current waveforms.

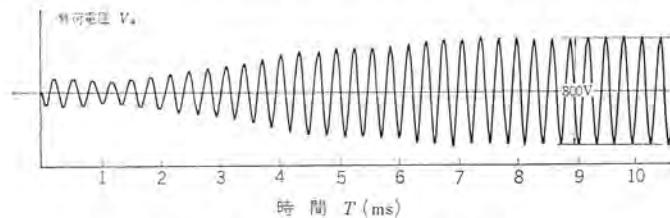


図 6.4 インバータ起動時のオシログラム
Starting oscillogram of thyristor inverter.

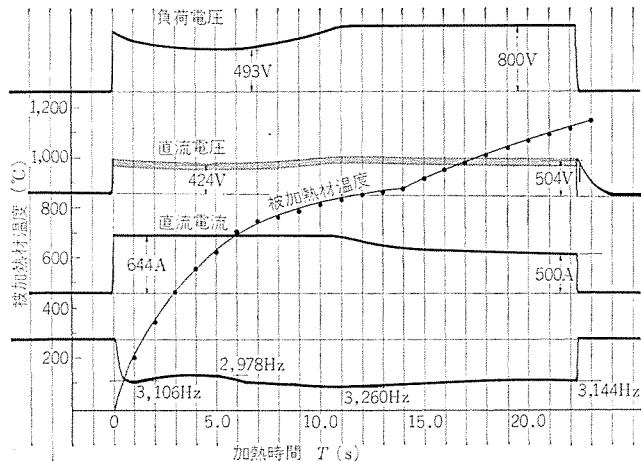


図 6.5 誘導加熱時のオシログラム
Oscillogram at heating by thyristor inverter.

800Vに達すると、定電圧動作となり、負荷インピーダンスの増加とともに電流が減少する。

一般に、磁性体を常温から1,200°C程度まで加熱する場合には、起動から被加熱材の温度がキュリー点を越えるまでは定電流動作になり、それ以後は定電圧動作になる。

磁性鋼の1,000°C以上のときのQと400~500°CのときのQとの比は約7である。

インバータの発振周波数は、等価抵抗の変化とは逆になり、500~600°Cまでは周波数が減少し、それ以後は、等価抵抗の減少と等価インダクタンスの減少によって増加している。

7. 並列運転

7.1 高周波インバータと電動発電機(MG)の並列運転

既設のMG装置と新しく設置される高周波インバータとの並列運転システムを、図7.1に示す。MGにより電圧が設定され、一方、インバータをMGの出力電流に等しくなるように電流追従制御すれば、既設のMG装置になんら手を加えないでも安定な並列運転を行なうことができる。この場合、インバータの動作周波数は、MGの動作周波数に等しくて固定されるため、前述の加熱負荷の特性変化に対する自動マッチングの性質は生かされない。MGが力率1で運転するには、負荷の無効電力と有効電力の $\tan(\gamma - \frac{\alpha}{2})$ 倍のコンデンサが必要になる。

図7.2は、高周波インバータとMGとの並列運転時の各電圧と電流のオシログラムである。MGを単独で運転しておいてインバータを起動すると、MGの負荷電流は急速に減少して単独運転時の約半分に減少する。一方、インバータの電流は、MGの電流に等しくなるまで急速に上る。続いて、負荷電圧を減少させて負荷を減らすと、MGの電流低下に追随してインバータの電流も減少する。

図7.3は、インバータ投入時の現象を拡大したものである。

7.2 インバータ同志の並列運転

複数個のインバータを並列運転する場合にはMGの場合と異なり、その内部インピーダンスが非常に小さく、単に個々のインバータを電圧制御したのみではバランスのとれた並列運転はできない。

このため、図7.4に示すように、電圧制御ループに加えて互いの電流制御ループも設けてある。ここで各インバータの位相制御ループは、

$$V_{ref1} - V_1 + k(I_1 - I_2) = 0$$

$$V_{ref2} - V_2 + k(I_2 - I_1) = 0$$

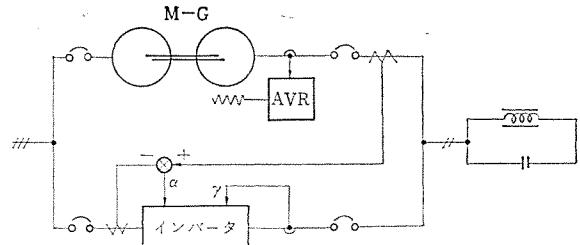


図 7.1 インバータと電動発電機の並列運転システム
Parallel running system (with motor-generator).

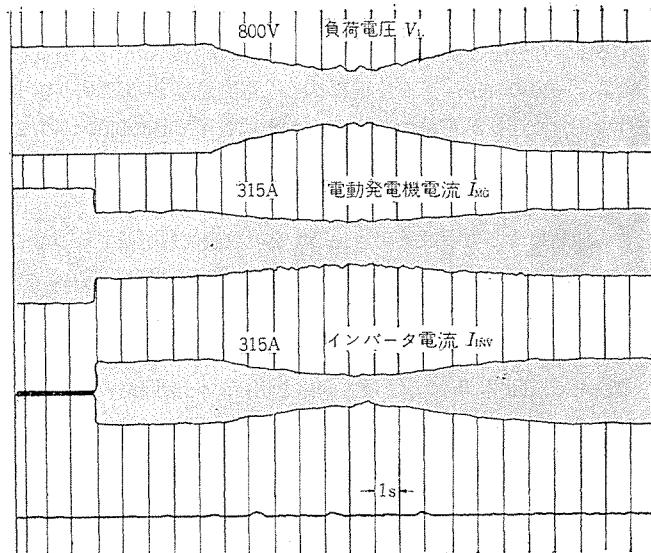


図 7.2 インバータと電動発電機の並列運転時のオシログラム
Parallel running characteristics of thyristor inverter and motor-generator.

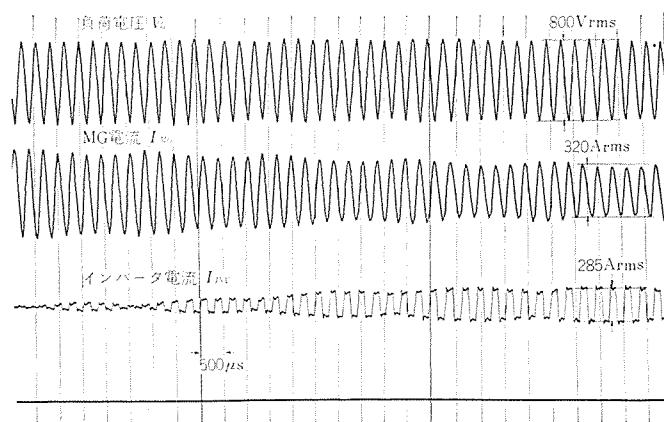


図 7.3 インバータと電動発電機の並列投入時のオシログラム
Parallel running characteristics of inverter and motor-generator (starting).

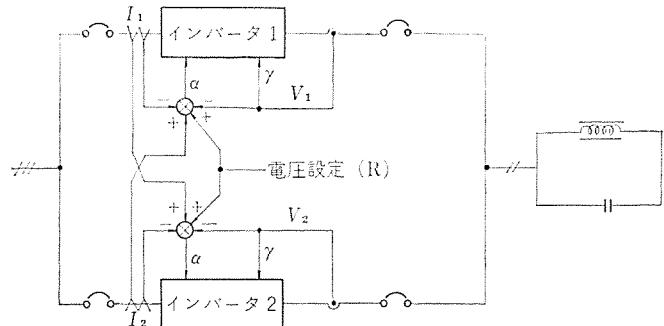


図 7.4 インバータ同志の並列運転システム
Parallel running system.

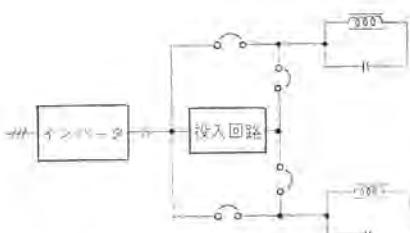


図 7.5 負荷の並列運転システム
Parallel running system of loads.

となるように制御されている。上式において、 $V_1 = V_2$, $V_{ref1} = V_{ref2}$ とすると、 $I_1 = I_2$ となり、各インバータの電流は等しくバランスする。

なお、一方のインバータが停止しても、電流帰還ループを切り離すだけで正常な運転が可能である。クロス接続された電流制御ループを省略しても実用上さしきりはない。

7.3 負荷回路の並列運転

誘導加熱負荷と力率改善用コンデンサを複数個並列運転するシステムにおいて、インバータの運転中に一部の接続を行なう場合、通常、タンク回路の初期条件が異なって投入時過渡現象を生じ、転流失敗を起こしやすい。

このため、図 7.5 に示す投入回路を用い、タンク回路の追加投入を行なう必要がある。なお、投入回路としては抵抗またはサイリスタスイッチを用いる。

このほか、タンク回路の並列運転システムでは、タンク回路間の配線

インダクタンスの影響で並列運転条件に制約が生じるため、このインダクタンスはできる限り小さくしなければならない。

タンク回路の並列運転は一般にはむずかしく、適用する場合には十分に検討する必要がある。

8. む す び

以上、今回試作完了した静止形高周波電源 800 V 3 kHz 300 kW を中心に、サイリスタインバータ式高周波電源の概要を紹介した。誘導加熱用高周波電源としてはすでに電動発電機が多くの実績を有しているが、サイリスタの進歩によって静止形もようやく実用期に入り、今後は誘導加熱用高周波電源も静止化の時代になるものと思われる。今回、3 kHz の開発完了による数百～3 kHz の静止形高周波電源の標準系列完成を機に、今後の発展を期待するものであるが、サイリスタの進歩によるよりいっそうの向上に努力を続けるつもりである。

終わりに、種々ご援助をいただいた伊丹製作所・北伊丹製作所そのほかの関係各位に厚くお礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) 塚本ほか：3 kHz 300 kW 高周波誘導加熱用サイリスタインバータ、昭和 46 年電気四学会、505
- (2) K. Gabler, W. Faust : Semiconductor Static Frequency Changers for Induction Heating and Melting, Brown Boverie Review, 53, No. 10 (1966-10)



特許と新案

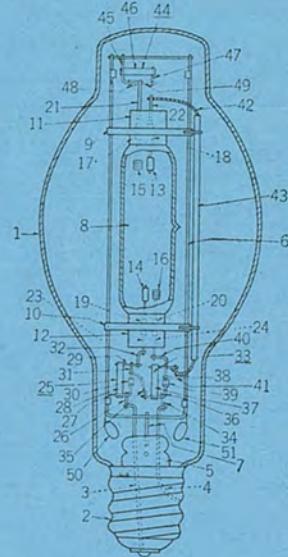
高圧水銀放電灯

考案者 土橋理博・若林正雄

この考案は、高圧のサージ電圧を利用して発光管の放電を開始させないようにした高圧水銀放電灯に関するものである。

図に示すように、この考案の放電灯は、外管内に3個の放電開始用バイメタルスイッチを備え、第1のバイメタルスイッチ(25)の熱応動による開放で、安定器に生ずるサージ電圧を一方の主電極(14)と補助電極(16)間に印加して両電極間に放電を開始させ、同様に、第2のバイメタルスイッチ(33)の開放により、他方の主電極(13)と補助電極(16)間に放電を開始させて、両主電極(13), (14)をこの放電により加熱し、この状態でさらに第3のバイメタルスイッチ(44)の作動により、両主電極(13)・(14)間に高圧のサージ電圧を印加させているので、両主電極間の放電はきわめて容易に開始され、それだけ封入アルゴン圧力を上げてスパッタリングを防止することができる。また定常放電に至る前に主電極と補助電極間でアーカ放電が行なわれ、その熱により管内の水銀が蒸発するので、低温度における始動に対してもきわめて有利な条件となる。

(実用新案第891191号)(大須賀記)



レーダ方式

発明者 近藤輝夫・岩部昭

この発明は、たとえば移動中の艦船や航空機に積載されたレーダ装置に用いても、レーダ自身の移動速度と無関係に固定目標を有効に消去するようにしたレーダ方式に関するものである。

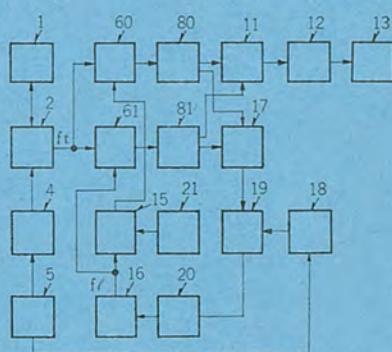
この種の従来方式では、位相検波器の基準信号をコヒーレント発振器によって発生させているが、コヒーレント発振器により、送信信号に完全に位相および周波数の同期した中間周波信号を発生させることができない。またレーダ自身が移動している場合、固定目標からの反射信号も位相が変化し移動目標の識別が困難であった。

この発明はこのような欠点を除去したもので、以下図について説明する。図において(1)は空中線、(2)は送受切換器、(4)は発振器、(5)は変調器、(60)(61)は混合器、(15)は局発混合器、(16)は可変発振器、(80)(81)は中間周波増幅器、(11)は位相検波器、(12)は消去回路、(13)は指示機、(17)は周波数誤差検出器、(18)はクラッタゲート発生器、(19)はクラッタゲート回路、(20)は自動周波数制御回路、(21)は水晶発振器である。

今送信周波数を f_t 、中間周波数を f_i 、可変発振器(16)の発振周波数を f_l としたとき、受信信号は f_t で混合器(60)(61)に与えられ、中間周波数 $f_i - f_t$, $f_t - f_l$ に変換される。この信号は誤差検出器(17)により正あるいは負の出力を得て、可変発振器(16)の周波数 f_l を減少あるいは増加させるよう制御する。レーダ自身が静止しており、固定目標を受信したときは $f_i - f_t = f_t - f_l$ の関係を

満足する周波数となり、混合器(60)(61)の出力および中間周波増幅器(80)(81)の出力の周波数は完全に一致し、位相検波器(11)の出力には、一定の振幅信号が得られる。受信信号が f_d なるドップラ偏移を受けているときは、混合器(60)(61)に生じた中間周波数は $2f_t + f_l - f_d$ 、および $f_t - f_d - f_l$ となるから、 f_t が f_d だけ高くなっている定常状態になり、位相検波器(11)の出力は一定となる。このため消去回路(12)で消去され指示機(13)には、固定目標によるものは全く表示されない。この原理により、レーダ自身が移動していく固定目標からの反射信号がドップラ偏移を受けている場合も、効果的な固定目標の消去ができるものである。

(特許第539393号)(山川記)



特許と新案

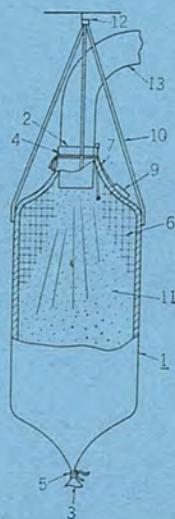
フレキシブルコンテナー

考案者 大久保貫一

この考案は、上部に注入口と下部に放出口をもつゴム引布などからなり、粉体を収容して輸送する場合に使用されるフレキシブルコンテナに関するもので、粉体の出し入れや輸送中の動搖などで発生する静電気を除外して、相当量の粉体が静電気に吸引されて内壁に付着したり、火花放電による爆発の危険をなくすことを目的とする。

図において、(1)は上部と下部にそれぞれ注入口(2)と放出口(3)をもつゴム引布などからなる主体で、粉体(11)を出し入れするときはつりひも(10)でフック(12)につるす。輸送中はひも(5)によって注入口(2)と放出口(3)を緊締するが、粉体を注入するときは注入口(2)を、また放出するときは放出口(3)を開く。(6)は主体(1)の内面にはりめぐらした導電網で、これはアルミ線混織布の内張りでも、銀入塗料を塗布したものでもよい。(7)はアース線で、粉体の動搖で発生した静電気を導電網から取り出して逃がす。

(実用新案第893449号)(萩原記)



FM・AM バンド切換装置

考案者 岸 博武

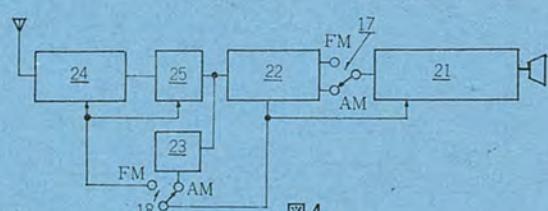
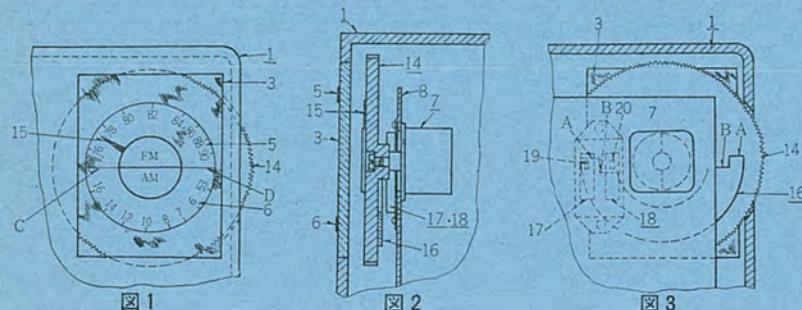
この考案は、ラジオ受信器において、同調つまみを回転操作することにより、FM(周波数変調)と、AM(振幅変調)のバンドを、ダイヤルの表示変換と連動して自動的に切換えるようにしたバンド切換装置の改良に関するもので、この考案は特に、バンド切換時に発生する雑音を除去しようとするものである。

図1～図3において、(1)はキャビネット、(3)はFM用目盛(5)とAM用目盛(6)とを設けた目盛板、(7)はバリコで、このバリコンにはFMバンド用の可動翼(10)と固定翼(12)、およびAMバンド用の可動翼(11)と固定翼(13)とがそれぞれ収納されている。(14)は同調つまみ、(15)は同調用指針、(16)は両先端部に高部(A)と低部(B)とが形成し、上記同調つまみ(14)の背面に設けられたC字形の操作片、(17)(18)は作動子(19)(20)を上記操作片(16)に対応させたバンド切換スイッチで、このバンド切換スイッチ(17)(18)は、上記同調つまみ(14)の回転に伴って移動する上記操作片(16)により作動されるもので、上記同調用指針(15)がFM用目盛(5)

とAM用目盛(6)との間の両境界部(C)(D)を通過するときに、FMバンドからAMバンドに、あるいはAMバンドからFMバンドに自動的に切換えられるよう構成されているが、上記操作片(16)の両先端部に形成された高低部(A)(B)によって、上記両切換スイッチ(17)(18)の切換作動時機に時間差が生じるようになされている。言いかえれば、一方の切換スイッチ(18)がAMまたはFMバンド側に反転するときに、他方の切換スイッチ(17)は常にFMバンドの位置にあるようにしている。このようにした理由は、図4に示すように、一方の切換スイッチ(18)の反転時に生じた接点間のスパークによる雑音が、AMコンバータ(23)、AM・FM中間周波増幅器(22)、またはFM・AM中間周波増幅器(22)を通じて、AMおよびFMの検波出力となって現われる度合が、FMのほうがAMと比較してきわめて小さいためである。

この考案は、上記のように構成することによって、バンド切換時に生じたスパークによる雑音が検波出力となって現われる度合がきわめて小さく、バンド切換時の雑音除去に著しく貢献するものである。

(登録第877016号)(土居記)



船用交流発電機の最近の動向

高橋 卓夫*・林 弘幸*・南 喜代志*

Recent Trend of Marine AC Generators

Nagasaki Works

Takuo TAKAHASHI・Hiroyuki HAYASHI・Kiyoshi MINAMI

Recent progress of Japanese shipbuilding world is literally opening one's eyes wide. Construction of huge ships never dreamt of a few years ago is now coming into reality one after another. With this development AC generators for power sources on board ships are increasing in their unit capacity as well as of the total capacity.

On the other hand, the embodiment of automatic operation of vessels has come to demand strictly the modernization of generators, that is, improvement of reliability and simplification of maintenance and inspection. From its rich experience, Mitsubishi has been trying hard to manufacture excellent AC machines to meet the requirement of the age.

In this article is described the recent trend of those AC apparatus viewed through the company's experience and also standards and construction of them.

1. まえがき

近年わが国造船業界の躍進ぶりは、まさに目をみはらせるものがあり、建造量のみならず、その技術水準でも常に世界をリードし、数年前ではまさかと思われた大形船が次々と実現している。船の大形化により船内電源としての交流発電機は、総容量・単機容量ともにますます増大し、また冷凍用大電力を消費するコンテナ船の出現はこれにさらに拍車をかけている。

いっぽう、人手不足を反映した高度の自動船の出現は、発電機の近代化すなわち信頼性、および保守点検の簡略化への強い要求となって現われた。当社は、交流船の初期より数多くの船用交流発電機を製作してきたが、このような時代の流れに沿って、さらにすぐれた発電機を製作すべく絶え間ない努力を続けている。

以下、船用交流発電機について当社の経験を通してながめた最近の動向とともに、当社発電機の標準仕様・構造などについて紹介し、需要家各位のご参考に供したい。

2. 船用交流発電機の最近の動向

2.1 容量・回転数・原動機

主発電機はタービン船の場合はタービン駆動、ディーゼル船の場合はディーゼル駆動とする一般的な原則はとくに変わりはないが、ただ機関室無人化船では、タービン船の場合でも、急速起動の可能なスタンバイディーゼル発電機を1台は必ず設置する。容量としてはタービン発電機(T/G)・ディーゼル発電機(D/G)とも着実に増大し、1,750 kVA T/G + 850 kVA D/G あるいは 3×1,100 kVA D/G 程度が、大形タンカーでは多くみられるが、さらに近年消費電力の多い高速コンテナ船が現われて、単機容量も飛躍的に大きくなり、現在2,500 kVAのものも製作されている。さらに数年先には大形の超高速コンテナ船の出現が考えられ、これとともに発電機もより大容量のものが製作されるであろう。

回転数についていえば、タービン発電機は現在ほとんどといってよいぐらい4極 1,800 rpm である。将来単機容量が大きくなれば、電力用と同じく2極 3,600 rpm 機に移ることも考えられるが、しかしここ当分は変わらないものと思われる。いっぽうディーゼル発電機の

ほうは、エンジンの信頼性および性能の向上とともに依然として高速化・大容量化の一途をたどっており、現在は 1,700 kVA のものが10極 720 rpm で製作されるまでにいたった。

数年前までみられた14極 514 rpm 機、あるいはそれより低速のものは姿を消し、代わって従来 200 kVA どまりであった8極 900 rpm のものが 500 kVA ぐらいまで製作されるようになった。なお、非常用発電機は寿命はさして問題とならないため、500 kVA 程度までは小形軽量な4極 1,800 rpm または 6P 1,200 rpm で製作されている。

2.2 励磁方式

過去の励磁方式の変遷をふりかえってみると、昭和20年代後半になって、それまでの直流船に代わり交流発電機を主電源とする交流船が登場してきたが、当時は励磁用の直流機を発電機軸端に直結したいわゆる回転励磁方式であった。昭和32~33年になり、当時急速な発達途上にあったシリコン整流器(初期はセレン整流器)と、励磁用リクトルおよび変流器を使った、いわゆる複巻静止自励方式が出現した。これはそれまでの直流回転励磁方式に比べて、過渡特性・保守点検の容易さなどあらゆる面で格段にすぐれており、理想的な励磁方式として圧倒的に市場に迎えられた。しかし船舶の自動化はいっそう進み、これによる乗組員の削減は、さらに保守点検の少ない発電機の要請となり、これに応じてクローズアップされてきたのがブラシレス励磁方式である。ブラシレス方式が最初に採用されたのは昭和39年ごろであるが、発電機で最大の手間であるブラシ回りの保守点検の手間を解消できるという特長のため、シリコン整流素子の信頼性の向上ともあいまってこの方式が広く採用されてゆき、現在ではわが国でも標準の励磁方式といえるまでに至った。当社では昭和39年に三菱重工業(株)神戸造船所に 937.5 kVA のブラシレス発電機1号機を納めて以来、約1,000台に近い納入実績を有し、現在では船用の交流発電機の約70%をブラシレス方式で製作している。表2.1に当社における励磁方式別の生産実績を示す。頭初、ブラシレス方式は、複巻静止自励方式に比べその過渡特性がいくぶん悪くなるのが欠点とされていたが、最近はそれも改善され、当社の例では時定数の短い円筒形回転子構造・複巻特性を有する新励磁回路の採用により、80% 突入 kVA (力率 40% 以下) に対しても電圧降下は

表 2.1 三菱船用交流発電機の生産実績
Manufacturing record of Mitsubishi marine AC generators.

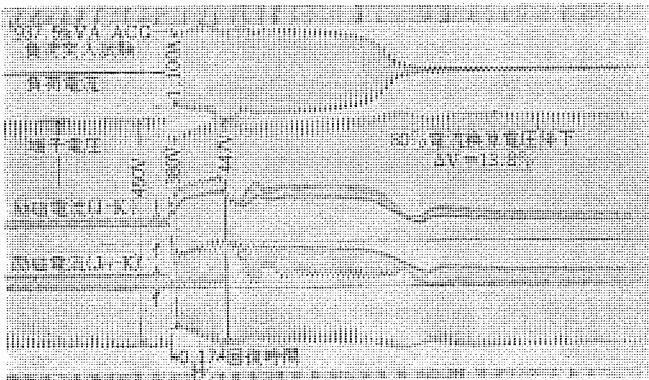
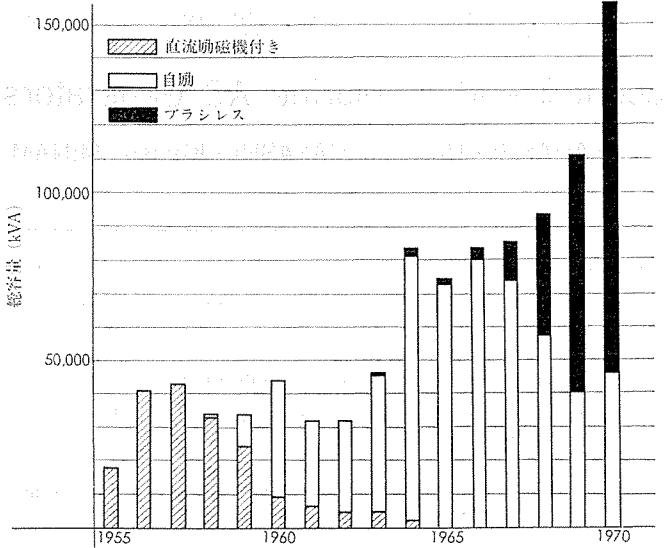


図 2.1 誘導電動機起動試験 (937.5 kVA ブラシレス
交流発電機)

Induction motor line start test on 937.5 kVA brushless generator.

15% 以下、回復時間は 0.2 秒前後と、自励式にまさるとも劣らない過渡特性を有している。(図 2.1 参照)

現在のところ、小容量機ではまだ自励式が採用されることが多いが、これも漸次 ブラシレス 化へ進むものと思われる。

2.3 絶縁

船用交流発電機は長く B 種絶縁が広く標準的に使われてきた。しかしここ 2~3 年の間に F 種相当の絶縁材料としてエポキシ系のものを中心に安価で信頼性のあるものが次々に開発され、発電機を含めた回転機に次第に採用されつつある。当社はいち早く F 種絶縁の生産ラインを完備し、現在大半を F 種絶縁で製作している。B 種より耐熱区分の高い F 種絶縁を採用すればそれだけ発電機は小型化され、据付スペースの点でメリットがある。しかしこれに伴って絶縁部のみならず、排気温度、フレーム温度など、発電機全体に従来よりある程度温度が高くなるのは避けられず、この点ともすれば「発電機は熱くなつてはいけないもの」との先入観によって不安を持たれることがある。しかしこれはいずれ理解していただけるものと思われる。過去に A 種絶縁から B 種絶縁に移ったように、絶縁材料の進歩とともに耐熱区分の高い F 種絶縁へ早晩全面的に移っていくものと思われる。

2.4 電圧

現在船用の交流発電機は特殊なものを除き、すべて 450 V 級 (小

形機は 225 V) の低圧が採用されている。ところが前記のように発電機の単機大容量化は進んでおり、これを低圧で製作することは発電機設計上の自由度が少くなり製作困難になるばかりでなく、大電流のため母線容量・しゃ断器容量も大きくなり、不経済なものとなってくる。これを避けるためにはたとえば 3,300 V などの高圧を採用すればよいわけであるが、今度は各部絶縁の耐圧強度の強化、あるいは低圧系 (小容量電動機負荷用として) のための降圧トランジスタの設置などの余分な出費が必要となる。したがってその判断はあくまで総合的に決めるべきであるが、一応発電機を中心にみればその経済的なクロスポイントは 4 極機で 3,000 kVA, 10 極機で 2,500 kVA 程度ではないかと思われる。その意味では現在の実績はこのポイントに近づいており、近い将来高圧化の具体的検討も始まるであろう。

2.5 外被形式・冷却方式

海水を使用する空気冷却器も備えた全閉内冷形発電機が登場したのは昭和 35 年である。

その特長は

(1) 機内への異物の侵入がなく、常に清浄に保たれ絶縁物の汚損・劣化、あるいは通風阻害などが皆無である。

(2) したがって発電機の寿命が長くなる。

(3) 点検・手入れ・清掃の手数・時間および労力が大幅に軽減される。

(4) 全閉形であるため、騒音が減少する。

(5) 発電機の発生損失が冷却水によって外部へ持ち去られるため、機関室の余分な温度上昇が避けられる。

などがある。このため当社では現在 4 極機 (T/G) はすべて全閉内冷形を採用している。

ディーゼル発電機には全閉形が標準的に採用されるまでにはいたっていないが、こちらのほうは発電機開口部にエアフィルタを装備するものが次第にふえている。これは無論機内のよごれを少なくし、信頼性の向上および点検・手入れの手間をはぶくことを主眼としているが、船内艤装中の発電機内部汚損の防止にも有効である。

2.6 回転子構造

従来交流発電機の回転子は 2 極 3,600 rpm 機を除きすべて突極形構造であったが、近時国内外において 2 極機と同じ構造の、いわゆる円筒形構造のものが相次いで出現した。

円筒形発電機は次のようないくつかの特長を持っている。

(1) 回転子鉄心は一体であり、突極機のごとくダブティル、あるいは極間つなぎがなく、回転子は機械的にがんじょうである。

(2) 突極機と違って界磁コイルは回転子周上に分布した、いわゆる分布巻であり、また固定子鉄心同様通風ダクトを有しているため冷却効果が大幅に改善され、それだけ発電機は小型軽量になる。それにより騒音も低下する。

(3) 時定数が突極機に比べて著しく小さくなり、その結果非常に応答度の高い発電機が得られる。

(4) 界磁コイルは分布巻であり、また突極機と異なり界磁側に簡単にスキーができるため、発電機出力電圧波形が良好になる。

当社はこの特長に注目し、いち早くその開発を進めていたが、昭和 42 年から船用発電機は全面的に円筒形に標準を切り換えた。図 2.2 にその回転子を示す。

円筒形発電機はどちらかといえば高速機により適した構造であるが、ディーゼルエンジンの高速化を考えると今後ますますその特長が発揮されるものと期待できる。

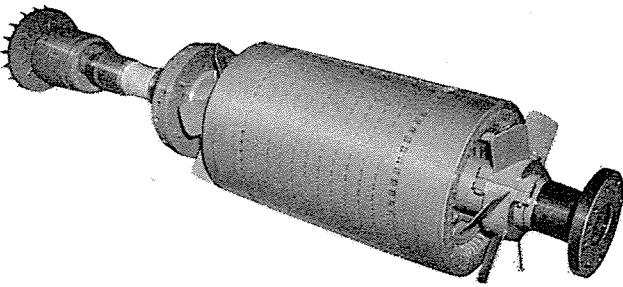


図 2.2 円筒形発電機回転子
Rotor assembly of cylindrical type AC generator.

3. 三菱船用交流発電機の標準仕様

3.1 準拠規格

当社では、下記各船級協会規則や船舶安全法などの法規・JIS・JEC・JEM-Rなどの規格に従って製作している。

- (1) NK 規格 日本海事協会鋼船規則
- (2) AB American Bureau of Shipping
- (3) LR Lloyd's Register of Shipping
- (4) NV Det Norske Veritas
- (5) BV Bureau Veritas
- (6) USSR Register of Shipping of the U. S. S. R.

3.2 標準仕様

- (1) 形式 横軸円筒回転界磁形（形名……SFC）
- (2) 外被形式 全閉内冷形 空気冷却器付き または開放保護防滴形
- (3) 定格事項
 - (a) 標準出力：表 3.1 のとおり
 - (b) 端子電圧：450 V, ただし約 500 kVA 以下は 225 V も可
 - (c) 相数：3
 - (d) 力率：0.8 (遅れ)
 - (e) 周波数：60 Hz
 - (f) 極数：4 極～12 極
 - (g) 絶縁種別：F 種または B 種
 - (h) 定格：連続
- (4) 通風方式

通風方式は、いわゆる“軸方向一方通風”を標準としている。開放防滴形の場合、冷却風は反原動機側から吸入され、機内の発熱部分を有効に冷却したのち、原動機側に排出される。いわゆる“両吸込方式”（原動機側および反原動機側の両方から吸い入し、固定子中央から排出するもの）とは異なり、原動機側からは吸気しないため、原動機より排出される油蒸気・水蒸気などの発電機内への侵入も最少限に押えることができ、機内汚損も少ないという利点を持っている。なお発電機内の汚損ができるだけ少なくし、保守点検の簡易化を図るため、エアフィルタを装備することも可能である。

(5) 軸受方式

軸受け回りは次のように分類できる。

- (a) 軸受形式：スベリ軸受とコロガリ軸受
- (b) 給油方式：強制給油と自冷式（オイルリング方式とグリース潤滑）
- (c) 支持方式：ブラケット形とペデスタル形
- (d) 軸受方式：両軸受方式と片軸受方式

当社では、これらを発電機容量と極数によって適宜組み合わせて

表 3.1 標準出力
Standard output capacity.

力率 0.8 遅れ

出 力		出 力	
kVA	kW	kVA	kW
2,500	2,000	625	500
2,250	1,800	500	400
2,000	1,600	450	360
1,750	1,400	400	320
1,563	1,250	350	280
1,375	1,100	300	240
1,250	1,000	250	200
1,125	900	200	160
1,000	800	150	120
875	700	125	100
750	600	100	80

表 3.2 標準軸受方式
Standard of bearing type.

kVA kW	POLE rpm	4	6	8	10	12
		1,800	1,200	900	720	600
2,500	2,000					
2,250	1,800					
2,000	1,600					
1,750	1,400					ペデスタル形
1,563	1,250					
1,375	1,100					
1,250	1,000					
1,125	900					
1,000	800					
875	700					
750	600					
625	500				ブラケット形	
500	400					
450	360					
400	320					
350	280					
300	240					

使用している。支持方式についての当社の標準を表 3.2 に示す。

(6) 標準特性

(a) 整定電圧変動特性……定格力率 (0.8) で、無負荷から全負荷まで負荷を漸変させた場合の電圧変動特性、定格電圧の ±2.5% 以内。

(b) 間接電圧変動特性……JEM-R-2016中の第3種、つまり無負荷時に発電機定格の 80% に相当する投入負荷に対する電圧降下は 15% 以内。

(7) 標準励磁方式

保守簡易化的面と励磁調整容量を小形化するため、ブラシレス方式を標準としている。ブラシレス方式では交流励磁機を介して、発電機に励磁を与えるため、励磁装置の容量が静止自励方式の場合の 1/10～1/20 になり、励磁装置は小形軽量となる。

なお励磁装置は静止自励方式と同様、無負荷励磁分をリアクトルから、負荷励磁分が変流器から供給される。リアクトルと変流器はそれぞれ強めにセッティングしておき、過励磁分を自動電圧調整器 (AVR) に分流している（特許申請中）。回路図を図 3.1 に示す。この方式は

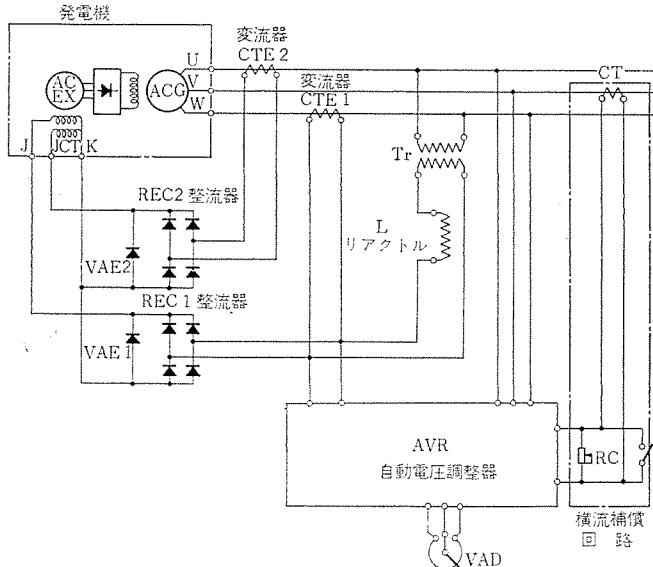


図 3.1 ブラシレス発電機励磁回路図 (BE-22 方式)
Type BE-22 exciting circuit for brushless AC generator.

静止自励方式と同様に突入負荷に対する瞬時電圧変動特性がすぐれている。電動機起動時のオッショを図 2.1 に示す。またこの方式は発電機のわずかな残留電圧によって電圧が自己確立できる点も自励式と同様である。

4. 発電機の構造

船用交流発電機はその重要性を考慮して、船体振動および油気・湿気に対しても万全を期して、主要材料、寸法を定め、製作しているが、主要部分について以下説明する。

4.1 固定子

固定子わくは、鋼板溶接構造が標準で小容量機にあっては鋳鉄を

用いることもあるが、いずれも、十分な剛性を持たせると同時に振動の少ない構造とし、また、機内の冷却効果が均一となるように考慮している。

固定子鉄心は円形に打抜いたケイ素鋼板を軸方向にブロックに分割して積層し、両端に堅固なクランプを置いて加圧し、キーで固定子わくに固定する方式を採用し、固定子鉄心のブロックの厚み、ダクトの数は最大の冷却効果が得られ、温度が均一となるように理論的にかつ実験的に決めている。

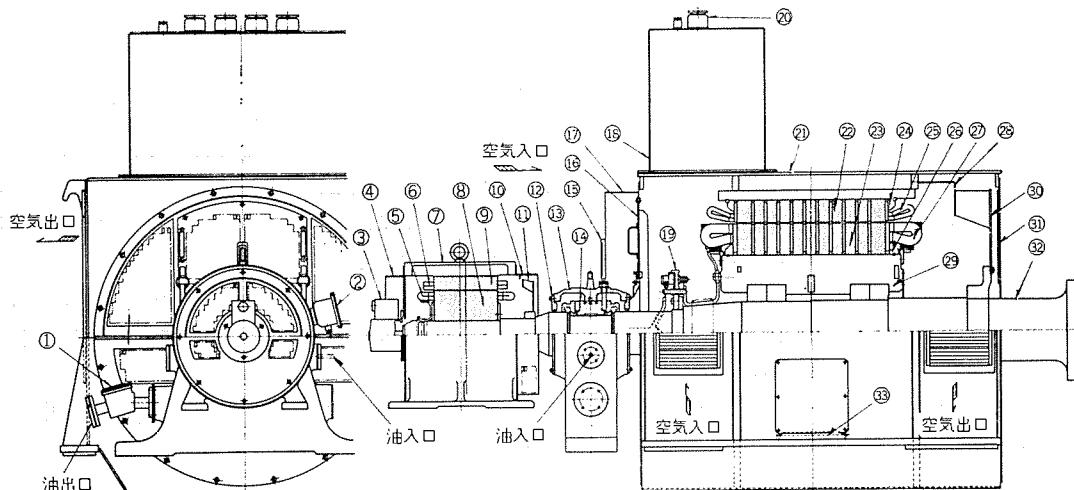
固定子コイルは素線として二重ガラス巻線や耐熱性合成エナメル線を用い、マイカラップ、マイカテープ、ガラステープなどの耐熱性無機管の材料を対地絶縁とし、ワニスとしては耐熱性の高いエポキシ変成サーモセットワニスを含浸させたものを鉄心スロット内におさめてあるので、絶縁抵抗・絶縁耐力が大きく耐油・耐薬品性・耐水・耐湿性にすぐれたものとなっている。したがって船内の悪いふんい気中にあっても、その特性劣化はない。

4.2 回転子

回転子は円筒形回転界磁方式を標準とし、軸・スピーダ・鉄心・コイル・クランプ・ダンパ巻き線・ファンから構成されている。

軸材は各船級規格に合格した高級鍛鋼製で、回転子鉄心は機械的、磁気的特性のすぐれたケイ素鋼板あるいは薄鋼板を円形に打抜き、これを軸方向に積層し、両端をクランプで強固に締付けこれをスピーダかまたは軸に押込んでいる。

回転子コイルは二重ガラス巻き銅線を素線とし、マイカラップで対地絶縁を施し鉄心の外周に均等に分布させるべく設けられたスロットに収納しワニス含浸処理を行ない、コイル端部は抗張力の高いガラスバインディングテープで強固に固定し、過速度時の大きな達心力に対しても十分耐える構造としている。なおディーゼルエンジンなどによる高調波トルクを吸収し、並列運転が円滑に行なえるように強力なダンパ巻き線を備えている。



1	のぞき窓	10	カバー	19	回転整流器	28	風受
2	端子箱	11	ファン	20	グラウンド	29	スパイダ
3	回転計発電機	12	オイルシール	21	固定子わく	30	ファン
4	カバー	13	軸受台(ベデスタル)	22	固定子鉄心	31	カバー
5	回転子コイル	14	軸受	23	回転子鉄心	32	軸
6	固定子コイル	15	温度計	24	固定子クランバ	33	スペースヒータ
7	固定子わく	16	のぞき窓	25	固定子コイル		
8	回転子鉄心	17	カバー	26	回転子クランバ		
9	固定子鉄心	18	端子箱	27	回転子コイル		

図 4.1 開放保護防滴形発電機組立断面図 (ブラシレス形)
Brushless marine AC generator general assembly (open protected drip-proof type).

ファンは鋼板製の遠心力ファンで発電機軸上の原動機側に1個設けるのを標準としており、機械的にも十分な強度を有し機械損、騒音をできるだけ少なく最良の通風効果を得るように考へてある。

4.3 軸受

発電機容量が100 kVA未満の小容量機の場合、または顧客の指定による場合にはころがり軸受を採用することもあるが、すべり軸受を標準とし、中容量以上は原動機と潤滑油を共用した強制給油方式とし、軸受支持方式は容量と極数ごとにより表3.2を標準としている。(なお、船主などの要望によりブラケットの範囲でもペデスタル形で製作することもある) ブラケット、ペデスタルはいずれも鋳鉄製で軸受金はホワイトメタルを用い、油漏れの防止については船の傾斜も考慮するとともに、細部の構造にも万全を期している。発電機は極力軸電圧の発生がないように配慮しているが工作上の誤差などによる軸電圧の発生を考慮して反直結側の軸受台もしくは軸受に絶縁を施し軸電流回路の形成を防止している。(図4.2参照)

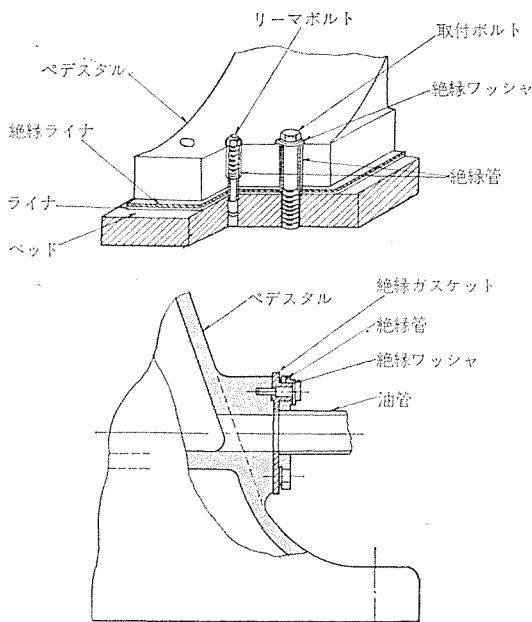


図4.2 軸電流防止絶縁要領
Insulation of shaft current.

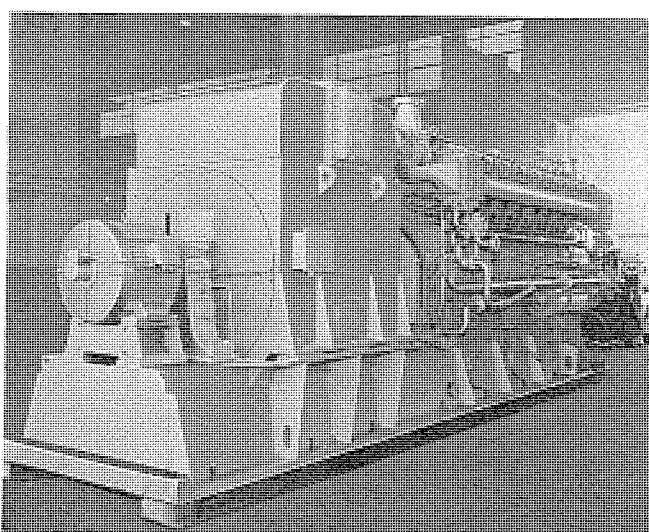


図4.3 空気冷却器積載形ディーゼル形発電機
Diesel driven marine AC generator, totally enclosed type with air-cooler.

4.4 交流励磁機

交流励磁機はブラシレス発電機の主要部分であり、その仕様、特性は船内電源の特異性を十分考慮し余裕のある設計をしている。

構成は直流励磁巻線を固定子とし、三相交流の電機子巻線を回転子に配したいわゆる回転電機子形交流発電機で、反原動機側の軸端に配置してある。外被形式は発電機に準じ発電機が開放防滴形の場合は開放防滴形を、発電機が全閉内冷形の場合は全閉外扇形を採用し、絶縁種別も発電機本体に合わせている。

4.5 回転整流器

ブラシレス交流発電機の心臓部であり、整流素子の選定にあたってはモデルテスト、寿命試験などによりその性能を確認し、過大遠心力、過負荷運転、サーボ電圧、突発短絡時の過電流に対しても十分耐えるようにしている。

整流回路としては三相全波回路(グレーツ結線)を採用し、シリコンダイオードはその保護装置とともに対地絶縁を施されたヒートシンクに取り付けられる。ヒートシンクはダイオードの熱放散用であると同時に電気回路の一部となっている。

4.6 空気冷却器

空気冷却器は固定子わくの上に積載し、海水を冷却水として使用するので、管材には耐食性のある復水器用継目なし黄銅管(BSTF-2, 3, 4)を標準とし、これを二重管とし、この内管にもしきれつが発生しても、海水が機内に浸入しないように万全の対策をとっている。万一、内管が破損した場合には漏えい(洩)した海水が二重管の細みぞ(溝)を通り両側の管板部にたまり、水室に設けられた漏水検知器に導かれ、漏水の発見が可能である。

管板は耐食性のすぐれたネーパル黄銅、水室には鋳物を用い、防食亜鉛を取り付けて電気化学的腐食を積極的に防止している。

5. 最近のおもな製作例

最近の製作歴の中から代表的なものを表5.1に列記した。

合理化のために近年、標準船が強く呼ばれているが、発電機においてもその傾向があり、船主、造船所が異っても発電機は同一仕様を要求されるケースが多く、高速コンテナ船向けの2,500 kVAタービン発電機(図5.1)がその良い例である。

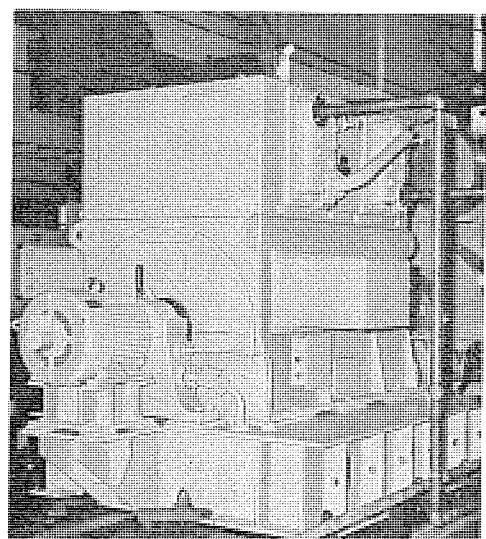


図5.1 三菱重工(神戸)納め 高速コンテナ用ブラシレス交流発電機
2,500 kVA 450 V 4 P 1,800 rpm F種 全閉内冷形
Brushless AC generator for high speed container ship
totally enclosed with air-cooler.

表 5.1 船用交流発電機代表的な最近の製作例
List of typical marine generators recently manufactured.

船主	造船所(船番)	容量 kVA	電圧 V	rpm	絶縁	規格	電磁方式	外被形式	台数	製作年月
日本カーフェリー	三菱重工(神戸) S. 1022	712.5	450	720	B	JG	自励	防滴	3	S. 45-8
BAN SHIPPING	日本海重工 S. 152	700	450	720	B	BV	自励	防滴	2	45-8
AEGEAN BULK TRANSPORT	三菱重工(広島) V. 217	962.5	450	600	F	LR	ブラシレス	防滴	3	45-8
SEASPRAY OIL TRANSPORT	三菱重工(長崎) S. 1672	1,750	450	1,800	B	AB	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	45-6
日本水産	石川島重工(呉) S. 2217	1,625	450	1,800	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	1	45-7
日本水産	石川島重工(呉) S. 2217	1,625	450	720	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	1	45-7
セントラルフェリー	住友重機(浦賀) S. 943	837.5	450	720	B	JG	自励	防滴	3	45-10
大洋商船	三菱重工(長崎) S. 1686	1,250	450	1,800	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	1	45-9
大洋商船	三菱重工(長崎) S. 1686	1,250	450	600	F	NK	ブラシレス	防滴	1	45-9
三光海運	三菱重工(下関) S. 686	375	450	720	B	NK	ブラシレス	防滴	2	45-9
MOSUOLD SHIPPING	三菱重工(横浜) S. 918	712.5	450	720	F	NV	ブラシレス	防滴	3	45-9
LIBERIAN TULIP TRANSPORT	三菱重工(横浜) S. 914	1,062.5	450	1,800	F	BV	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	45-10
LIBERIAN TULIP TRANSPORT	三菱重工(横浜) S. 914	312.5	450	1,800	F	BV	ブラシレス	防滴	1	45-10
SOCIEDID	三菱重工(広島) V. 215	750	450	720	F	LR	ブラシレス	防滴	3	45-10
CHEVRON TRANSPORT	三菱重工(長崎) S. 1679	1,562.5	450	1,800	F	AB	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	45-6
CHEVRON TRANSPORT	三菱重工(長崎) S. 1679	500	450	1,800	F	AB	ブラシレス	防滴	1	45-5
東京船舶	常石造船 S. 243	500	445	720	B	NK	自励	防滴	2	45-10
JAPAN LINE	三菱重工(広島) V. 221	812.5	450	1,800	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	1	45-11
JAPAN LINE	三菱重工(広島) V. 221	625	450	720	F	NK	ブラシレス	防滴	2	45-11
日本水産	日立(水島) S. 4321	787.5	445	600	B	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	3	45-11
山下新日本汽船	佐世保重工 S. 216	1,625	450	1,800	B	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	1	45-12
山下新日本汽船	佐世保重工 S. 216	900	450	600	B	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	45-12
UNITED OVERSEAS CORP.	三菱重工(長崎) S. 1673	1,375	450	1,800	F	BV	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	45-12
UNITED OVERSEAS CORP.	三菱重工(長崎) S. 1673	537.5	450	1,200	F	BV	ブラシレス	防滴	1	45-12
日本郵船	三菱重工(神戸) S. 1024	2,500	450	1,800	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	46-4
日本郵船	三菱重工(神戸) S. 1024	1,625	450	720	F	NK	ブラシレス	全閉 クーラ付き	2	46-4

なお、最近ディーゼル発電機においても、全閉内冷形でブラシレス発電機(図4.3)が多く製作されている。

次第である。

参考文献

- (1) 甲斐：三菱自動交流発電機、三菱電機、32, No. 8 (昭33)
- (2) 高原、元木：ブラシレス交流発電機、三菱電機技報、38, No. 11 (昭39)
- (3) 馬場：船用交流発電機の最近の動向、三菱電機技報、40, No. 5 (昭41)

最近の船用補機電動機

森田 清*・芝 昌義*・前田 文生**

The Latest Induction Motors for Marine Use

Nagoya Works Kiyoshi MORITA・Masayoshi SIBA
Nagasaki Works Fumio MAEDA

Recently the shipping world has taken the policy of operating ships of larger size and higher speed with the object of improving the economy in the navigation. At the same time there has been a trend of turning the machines on board to automatic to cope with the shortage of available crew members as well as of securing the safety. This has induced enlarging the capacity and complicating the apparatus. Marine electric equipment is of no exception and larger motors come into demand day after day. In addition, higher efficiency and reliability are called for as indispensable requisites of those apparatus. Under the circumstances Mitsubishi has been building machinery used in engine rooms and for deck operation based on its new and high technology to meet the requirements. This article describes the features of the latest products and trend in the circles.

1. まえがき

最近の海運界は運航採算性の向上を目的として船舶の大形化、高速化がなされ、乗組員の不足に対処しては船内労力の削減と運航の安全性を保持するために諸設備の自動化・合理化が急ピッチで進められている。船舶の大形化は必然的に設備機械の大形化・多様化に連り、これを駆動する電動機も大容量化し、特殊仕様も増加している。一方、小形化による性能向上とともに信頼性の高い機械が要求される。当社は時代の流れに即応して、常に新しい技術を駆使し、機関部および甲板補機用電動機を多数製作納入しているが、以下最近の造船業界のすう勢に対処した補機電動機の特長、傾向について概説する。

2. 機関部 補機電動機

2.1 絶縁階級

当社は昭和40年いち早く船用E種電動機シリーズを完成し、現在までに広い分野で使用されているが、さらに、次の新しい業界の要望に沿うべく船用F種電動機を他社に先がけて昭和44年に開発完了し、すでに6隻分、280台を製作納入している。これは近年合成化学のめざましい進歩とともに、熱的安定性に富み、しかも電気的、物理的にも非常にすぐれた絶縁材料の開発によるほか、新しい改良を加えた合理的な設計、豊富な実績と研究から生まれた電動機製造

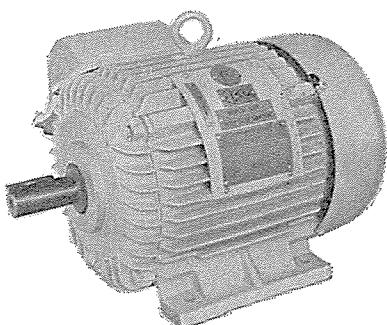


図 2.1 5.5 kW 4P 船用F種電動機
Type SF-E 5.5 kW 4P induction motor with class F
insulation for marine use.

技術の進歩の結果といえよう。この船用F種電動機は、JEM-R 2044 (IEC 準拠) のE種絶縁に対し当社独自の考え方から適用ワク番号を一段落としたもので、画期的に小型化された点が大きなメリットとなっている。

2.2 外被形式と絶縁

船内で使用される電動機として、宿命的ともいえる使用環境から電動機のコイルエンド部分に多量の塩分が付着し、停止時の吸湿によって巻線の絶縁抵抗を低下させ、ついには起動時に電動機を焼損させるという事故が幾度か発生した。このような場合、電動機の取り付けられる環境を大きく分類すると、二つの条件が存在すると推定される。

- (1) 塩分が電動機に付着しやすい環境
 - (2) 濡気が多くかつ温度差も大きく、露点を結びやすい環境
- 電動機メーカーとして対処するためには、前者に対しては全閉外扇形を採用する。後者に対しては特にスペースヒータを付けるか、低電圧乾燥をする、または特に絶縁を強化することが考えられる。湿気に対して当社では、とくに数種類の船用絶縁を準備し、用途に合わせた最適な絶縁設計を行なって品質を向上させるよう努力している。たとえばその用途としては次のように分類している。

- (1) Aふん囲気 操舵機、甲板補機油圧ポンプ
- (2) Bふん囲気 サーモタンクファン
- (3) Cふん囲気 上記以外の一般用途

ふん囲気に対するおもな絶縁の考慮点は次のとおりである。

- (1) Aふん囲気 特殊電線、スロット絶縁、ワニス
- (2) Bふん囲気 特殊電線、ワニス
- (3) Cふん囲気 ワニス

2.3 電気的特性

電気的特性については、主として低起動電流を要求されることがある。起動電流は定格電流に対し、約500~800%であるが、必要以上にこの値を制限されると、電動機単体のコスト上昇で逆に経済性を欠く場合もあり、スターデルタ起動器または起動補償器の使用を考慮せねばならない。なおこの際電動機の選定に当たっては、トルクは電圧の自乗に比例して減るため、負荷の反抗トルクおよび負荷のGD²について調査しておく必要がある。

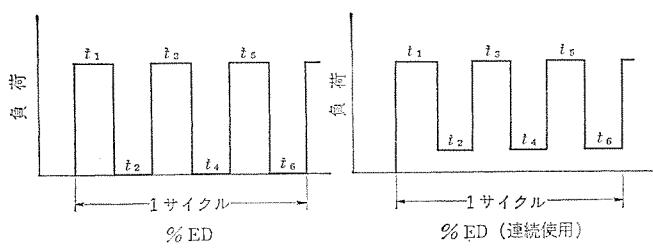


図 2.2 % ED と % ED 連続使用の関係
Relation of % ED with % ED continuous.

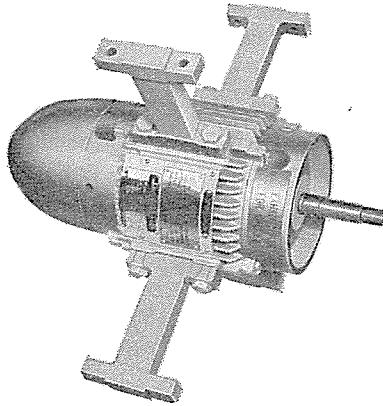


図 2.3 0.75 kW 4 P 機関室通風機用
Three-phase induction motor for engine room vent fan.

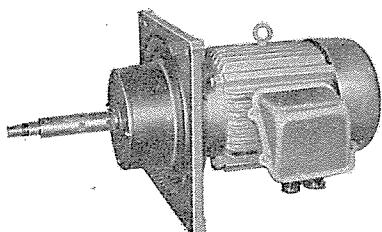


図 2.4 7.5 kW 4 P 油清浄機用（補機メーカー T 社）
Three-phase induction motor for oil purifier.

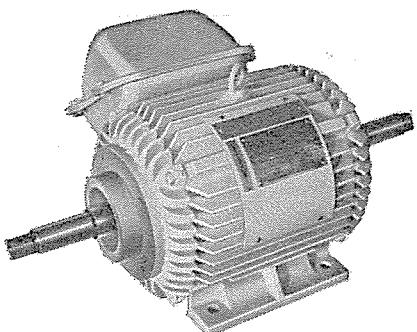


図 2.5 1.5 kW 4 p グラインダ用
Three-phase induction motor for grinder.

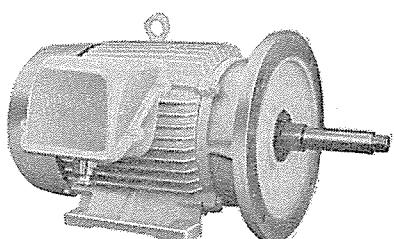


図 2.6 15 kW 4 P L 80 フランジ サーモタンクファン用
15 kW 4 P L 80 Flange induction motor for thermotank fan.

また運転定格については操舵機用が1時間定格とする以外は従来連続定格が使用されてきたが、最近では%ED(連続使用)や短時間定格の名板表示とし、電動機を合理的に使用はじめている。

%EDと%ED(連続使用)は、次のように表わされる。

$$\%ED = \frac{(t_1 + t_3 + t_5)}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6)} \times 100\%$$

%ED(連続使用)とは、上記停止時間が無負荷運転となる点のみ異なる。

2.4 特殊形状

従来特殊形状の船用補機三相誘動電動機としては、次のようなものであった。

- (1) 軸流内装式送風機
- (2) 油清浄機
- (3) 造水装置
- (4) グラインダ
- (5) 操舵機

最近の電動機はより機械にマッチした構造として、特殊形状が要求されてきている。現在もっとも多く標準形状が採用されているポンプも非常に小形化され、ポンプ側軸受を一部兼用するような立形フランジ形やポンプに組込まれたものを計画されているようである。最近の特殊形状の傾向としては、次のようなものがある。

- (1) フランジ形 L 50, L 10, L 80 フランジ
特殊 フランジ、両面 フランジ 足付形
- (2) シャフト材質 SUS 52, SUS 27
- (3) シャフト形状 テーパ、スライス
軸端 ネジ（オネジ、メネジ、特殊 ネジ）
両軸、手動 ハンドル 付
- (4) 軸貫通部 オイルシール 付
ラビリンス 付
水切り フリンジ 付

2.5 防水形

当社船用補機電動機の防水形性能基準は、JIS F 8001（船用電気器具の防水検査通則）に準拠して次の標準仕様を設定している。

- (1) 第3種散水形：機関室内で使用され飛まつ状の水分が浸入するおそれのある場合で、機関室通風機などに使用される。
- (2) 第2種注水形：機関室内で使用されるが、清浄作業またはポンプ、バルブなどの故障などにより、注水されるおそれのある場合で漁工船用補機などに使用される。JEM-R 耐水形相当である。
- (3) 甲板防水形：甲板上で使用されるもので第2種注水検査に合格し、かつ浸水のこん跡がない構造を有する。
- (4) 水陸両用形：機関室内で使用され、通常は浸水しない状態にて運転されるが、浸水しても短時間は水中にて運転可能なもの

表 2.1 JIS F 8001 防水検査通則の分類表
Extract of JIS F 8001.

検査の種類	適用
第一種 散水	防滴構造のもの
第二種 散水	防まつ構造のもの
第三種 散水	風雨に耐える構造のもの
第一種 浸水	防浸構造のもの
第二種 浸水	防水構造のもの
第一種 注水	防水構造のもの
第二種 注水	波浪に耐える構造のもの

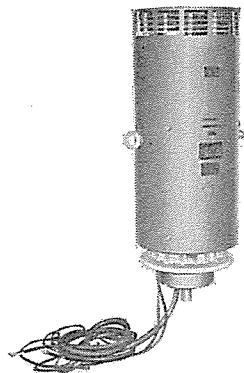


図 2.7 37 kW 4 P 消防兼ビルジ 用水陸両用形
Three-phase induction motor for fire and bilge pump

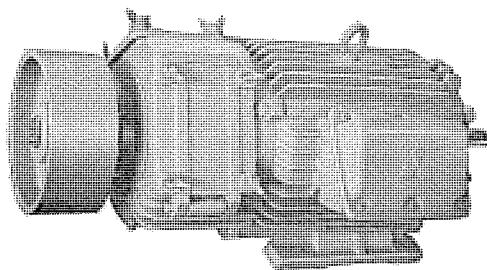


図 2.8 3.7 kW 6 P カーエレベータ用
KF-E (クレーン用巻線形)
Type KF-E 3.7 kW 6 P three-phase induction
motor for car-elevator.

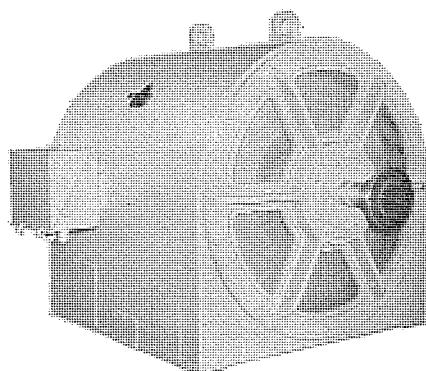


図 2.9 200 kW 22 P 440 V 60 Hz 主循環水ポンプ用
Three-phase induction motor for main circulating pump.

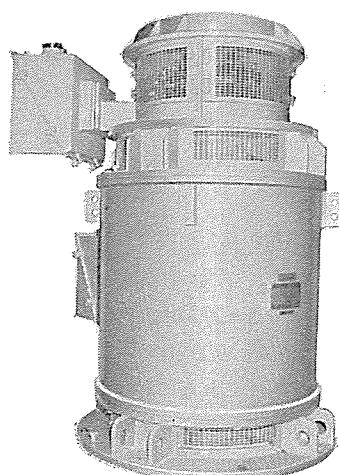


図 2.10 750 kW 8 P 440 V 60 Hz バウスラスター用
Three-phase induction motor for bow thruster.

表 2.2 バウスラスター電動機設計要目一覧表
Specifications of bow thruster motors.

kW	P	電 壓		電 流		回転数	立 形	横 形
		V1	V2	I1	I2			
112	6	440	465	185	145	1,170	CE 45998 315 L	CE 22021 315 L
150	6	440	465	250	195	1,170	CE 45998 315 L	CE 22021 315 L
225	6	440	540	360	250	1,170	CE 45998 4000	CE 22022 400 S
260	6	440	540	415	290	1,170	CE 45998 4000	CE 22022 400 S
300	8	440	520	480	340	880	CE 45998 4500	
375	8	440	520	600	425	880	CE 45998 4500	
450	8	440	500	715	540	880	CE 45999 5040	CE 22023 5040
525	8	440	500	850	630	880	CE 45999 5040	CE 22023 5040
600	8	440	630	940	575	880	CE 45999 5045	CE 22023 5045
635	8	440	630	990	605	880	CE 45999 5045	CE 22023 5045
675	8	440	630	1,060	645	880	CE 45999 5045	CE 22023 5045
750	8	440	630	1,160	715	880	CE 45999 5045	CE 22023 5045
825	10	3,300	930	180	540	700	CE 45999 5650	
900	10	3,300	930	195	585	700	CE 45999 5650	

(注) 1. 起動トルクは 50~100%，最大トルクは 160% 以上
2. バウスラスターの共通仕様
防滴保護形、立形または横形、巻線形回転子
B種絶縁、30 分定格、玉軸受、スペースヒーダ付

でビルジ兼消防ポンプなどに使用される。

(5) 水中形： 必ず水中で運転されるものでアクティブラダーなどに使用される。

現在水中形はわが国では使用されたことはないが、外国ではすでに実績があり、今後採用が考えられる。

2.6 用途および環境

タンカーの大型化、LPG および LNG 船の増加、コンテナ船の大形高速化およびカーフェリーの高級大形化などで、電動機の用途環境も特殊なものが増え、その仕様は多様化しつつある。とくに顕著な変化としては、最近船舶の操縦性能向上のためにバウスラスターが装備されるケースが増えており、すでに 750 kW といった大容量電動機を相ついで製作納入している。図 2.10 にバウスラスター電動機の外観を表 2.2 に設計要目を示す。

また現在製作中または引合の新しい用途としては次のようなものがある。

- (1) イナートガスファン
- (2) 耐圧または安全増防爆形
- (3) 油水分離機
- (4) 低騒音形
- (5) コンテナ用冷凍機
- (6) カーエレベータ
- (7) 耐放射線用

3. 甲板補機電動機

一般に甲板補機電動機は暴露甲板に装備されるため、全閉防水形構造で、がんじょうなかご形ポールチェンジ方式とし、ディスク形直流電

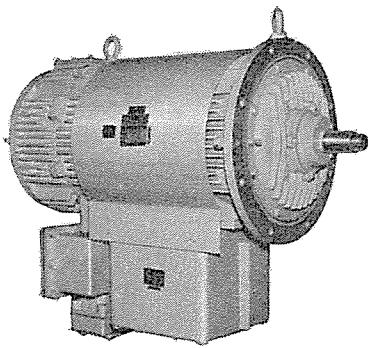


図 3.1 5t×30m 新 HSC 形 カーゴウインチ 電動機
New type HSC cargo winch motor.

磁ブレーキ付きが大半をしめている。

3.1 新 HSC 形 カーゴウインチ

当社におけるカーゴウインチは、昭和 27 年に HWK 形交流ウインチを作成して以来、今日まで実に 800 台以上の製作実績を有する。カーゴウインチの改良発展の経緯をたどると、その主たるものは、カーゴウインチとしての過酷な使用条件において、いかにかご形電動機の温度上昇を抑えるかがその中心になっており、機械の形式、制御方式などもすべて電動機の改良、開発とともに変化しており、その意味で新 HSC 形ウインチは技術と歴史を集成したものといえよう。次に新 HSC ウインチの特長をあげる。

(1) シングルロータの採用

4/8 極と 16(24) 極が同一鉄心に組込まれてるのでコイルエンドの占める割合が短く、したがって軸方向の長さが短く、全体的にコンパクトに設計されている。

(2) 起動時、制動時の発生損失が小さい

電動機を小径長駆動形にして GD^2 が小さくなるように設計しているため、起動時・制動時の発生損失が小さくなり過酷な荷役に対しても安全に運転できる。

(3) シールドポールベアリングの採用

軸受構造を単純化するとともにメインテンスフリーとした。

(4) F 種絶縁の採用

耐熱特性のすぐれた F 種絶縁の採用でさらに高信頼のウインチモータとなった。また電動機の巻線を効果的に保護するために 24 極側コイルエンド部 3 個所に温度検出素子（クリクソンサーモスタット）を埋込んでいる。

(5) ファンモータの効果的冷却構造の採用

ファンモータを両軸として電動機内外部にファンを設け、風を効果的に循環させ熱交換効率を向上させている。

(6) ブレーキ部取扱いの容易化

従来、外部に設けていた重量物のマグネットコアを内装式にかえ、ギヤップの調整や、ライニング取換時の保守、点検が容易になった。

3.2 ウィンドラス、ムアリングウインチ

ウィンドラスとムアリングウインチは、使用目的は異なるが電動機の特性、構造はほとんど大差がない。

一般に 4/8/16 極、または 4/8/24 極の極数変換方式による 3 段速度で定格ノッチは 8 極である。外被形式は全閉防水形で冷却は自然放熱（自冷）をしている。

固定子鉄心は 4/8 極と 16(24) 極がおのの独立して同一のわく

表 3.1 デッキクレーン用電動機定格一覧表
Ratings of deck crane motors.

用途	出力 kW	電流 A	極数 P	回転数 rpm	定格	備考
巻	24/24/10	41/56/40	4/8/16	1,630/810/340	30% ED	ファン電動機付 Ts 150% 以上 Tm 150% 以上 TB 150% 以上
	24/24/6.5	42/53/62	4/8/24	1,620/820/220	30% ED	
	32/32/13.7	54/73/55	4/8/16	1,650/820/350	30% ED	
	32/32/8.4	53/69/90	4/8/24	1,610/815/215	30% ED	
	40/40/10.8	66/80/95	4/8/24	1,600/810/220	30% ED	
ふぎょう (俯仰)	*10.5	18/15	6/12	1,090/550	15% ED	Ts 150% 以上 Tm 150% 以上 TB 150% 以上 ただしツイクリーンの場合 TB 200% 以上
	*15/7.5	26/21	6/12	1,090/545	15% ED	
	20/10	35/27	6/12	1,070/540	15% ED	
	25/12.5	43/35	6/12	1,100/550	15% ED	
	30/15	51/40	6/12	1,090/545	15% ED	
	35/17.5	60/45	6/12	1,090/540	15% ED	
旋	*7.5/3.75	14/12	6/12	1,085/550	15% ED	△起動 Ts = 130-160% Tm = 160-180% TB = 100% ただし Ts はランインスタートの場合の値
	*10/5 (11.5/5.5)	18/15 (20/16)	6/12	1,090/550 (1,085/545)	15% ED	
	15/7.5	29/20	6/12	1,085/520	15% ED	
	20/10	36/27	6/12	1,080/525	15% ED	
	25/12.5	46/32	6/12	1,100/520	15% ED	
	30/15	54/36	6/12	1,090/505	15% ED	
閉	32/32 (30/30)	51/61 (47/58)	4/8	1,660/830 (1,660/830)	25% ED	Ts 150% 以上 Tm 150% 以上
	*40/40	63/73	4/8	1,650/830	25% ED	
	45/45	71/80	4/8	1,630/820	25% ED	

* は計画値を示す

内に組まれ回転子鉄心も、また同一軸に組立てられたタンデム形式となっている。

4/8 極の固定子コイルは一つの巻線にしてスロット内に納められたコンシケントポール方式にしてあり、B 種絶縁が標準で耐熱、耐湿性にすぐれたワニスを含浸している。

4/8 極の回転子は一般に特殊かご形で、16(24) 極はトルクの大きい高抵抗かご形を採用している。

3.3 デッキクレーン

輸送の合理化にともなって荷役装置も変化と進歩をとげているが、スポットティング性能のよいデッキクレーンによる省力化が、在來の固定ブームによるけんか巻き荷役方式にとってかわりつつある。

当社ではカーゴウインチの豊富な製作経験をもとに、機械メーカーと共に共同で取扱いが容易な高い信頼性をもつ機器を製作している。

デッキクレーン用電動機は、巻き上げ、ふぎょう（俯仰）、旋回の組み合わせのほか、グラブ付の場合は開閉用電動機が追加組み合わせられる。駆動方式は、すべて交流かご形ポールチェンジ、全閉防水形誘導電動機で、F 種絶縁を採用し、荷役機械に適した特性をもたせている。

表 3.1 にデッキクレーン用電動機の定格表を示す。

4. むすび

船舶の機関部および甲板部の補機電動機の特長、構造ならびに最近の傾向について述べた。

船内労力の節減による運航採算性の向上が、今後の船舶における最大の課題であり、省力化・合理化のための補機電動機の役割はますます大きくなる。当社もこれらに対処して新技術の研究開発に努め、保守点検が簡易でより信頼性の高い船用電動機を提供していくたい。

原子力船「むつ」の一次系電気設備

梅田 泰広*・藤田 洋*・岡 富士郎*
田井 昌輝**・枠田 征也**・吉島 宇一**
富永 隆弘+

Electric Apparatus for Nuclear Reactor on the N. S. "Mutsu"

Nagasaki Works Yasuhiro UMEDA・Hiroshi FUJITA・Fujio OKA
Kobe Works Masateru TAI・Masaya MASUDA・Uichi KICHIJIMA
Head Office Takahiro TOMINAGA

The N. S. Mutsu, the first ship of the kind built in Japan, is the third realized as a vessel of commerce in the world, following the Savanna in U. S. A. and the Otto Hahn in West Germany. It is powered by a Mitsubishi PWR type marine reactor plant constructed through pure Japanese technique and rated at thermal output of 36 Mwt.

Mitsubishi Electric Corp. has participated in this project, supplying the principal electric apparatus. This article describes the outline of canned motors used for main coolant pumps, auxiliary starting panels, control instrument panels, automatic controls of reactor power and nuclear instrumentation. It also touches upon the special condition in the design for the security of safety.

1. まえがき

わが国最初の原子力船「むつ」はすでに船体部の工事を終え、現在在定係港においてぎ(艤)装中であるが、本船には純国産の技術で製造された三菱PWR形原子力プラントが積載される。当社は三菱原子力工業(株)より原子炉部の主要電機品を受注製作し、このほど好成績をもってすべてすべての機器の納入を終わった。

これらは日本原子力船開発事業団の原子炉部設計基本方針にもとづいて、船の航海中に通常遭遇するあらゆる船体条件の下でも原子炉を安全に運転できるよう、機器の多重化、回路のフェイルセーフ化による信頼性・安全性の確保とともに、耐環境性をじゅうぶん考慮して設計製作されている。

ここでは主冷却水ポンプ用キャンドモータ、一次系制御計装盤、補機盤、原子炉自動制御および核計装設備についてその概要を紹介する。なお当社は乗組員訓練用シミュレータも製作納入したが、これについては別途報告の予定である。

2. 適用法規・規格と設計条件

2.1 適用法規・規格

本船の電機品諸装置は次の法規・規格および関係法令を適用している。

- (1) 船舶安全法および関係法令(原子力船特殊規則をふくむ)
- (2) 海上における人命安全のための国際条約(SOLAS, 1960)
- (3) 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律
- (4) 放射線同位元素などによる放射線障害防止の技術的基準に関する法律
- (5) 日本海事協会鋼船規則および原子力船船級登録のための暫定指針

2.2 電機品の設計条件

適用法規・規格および炉設計基本仕様にもとづいて次の設計条件により設計製作し、安全性を確保している。

2.2.1 主冷却水ポンプ用キャンドモータ

(1) 周囲条件

周囲温度 60°C, 補機冷却水入口温度 37°C

(2) 強度に関する条件

(a) 船体運動による加速度

上下方向加速度 $1 \pm 0.82 g$ (4~15 cpm)

横方向加速度 $\pm 0.65 g$ (4~15 cpm)

前後方向加速度 $\pm 0.20 g$ (4~15 cpm)

(b) 衝撃加速度

各方向に対し静荷重にて 1.0 g

(c) 振動加速度

各方向に対し 100~1,200 cpm にて 1.0 g

(3) 性能に関する条件

(a) 100%炉出力の場合

横 摆 30° (3~9 cpm) 定傾斜 10°

縦 摆 10° (4~15 cpm) トリム 5°

上下方向加速度 $1 \pm 0.6 g$ (4~15 cpm)

(b) 部分出力の場合

横 摆 45° (3~9 cpm) 定傾斜 15°

縦 摆 15° (4~15 cpm) トリム 10°

上下方向加速度 $1 \pm 0.6 g$ (4~15 cpm)

(c) 原子炉の安全確保のための装置の作動条件

横 摆 60° (3~9 cpm) 横定傾斜 60°

縦 摆 20° (4~15 cpm) 縦定傾斜 20°

上下方向加速度 $1.0 \pm 1.0 g$ (4~15 cpm)

その他の各方向加速度 1.0 g

2.2.2 制御計装設備

(1) 周囲条件(共通仕様)

温 度 $45^\circ C$, 湿 度 95%

横 摆 45° (3~9 cpm) 定傾斜 15°

縦 摆 15° (4~15 cpm) トリム 10°

衝撃加速度 各方向に対し 1.0 g

振動加速度 各方向に対し 100~2,000 cpm にて 1.0 g

なお原子炉の安全確保のため、共通仕様としての周囲条件のほかすべての装置は前記 2.2.1 項(3)の(c)の条件を適用している。

(2) 電源条件

(a) 計装用電源 AC 115 V, 1φ, 60 Hz

電圧変動率 瞬時 ±5% 減変 ±5%

周波数変動率 瞬時 ±5% 減変 ±3%

(b) 一般電源

AC 440 V 3φ, AC 115 V 1φ 60 Hz

電圧変動率 +6%~-10%, 周波数変動率 ±5%

(c) 非常用電源

DC 104 V 電圧変動 95 V~112 V

DC 24 V 電圧変動 18 V~28 V

以上の電源条件に対し正常に動作し、また次のような電源変動に対して損傷されることなくまた誤動作をしない。

(a) 計装用電源

瞬時電圧変動率 ±15%, 瞬時周波数変動率 ±5%

(b) 一般電源

瞬時電圧変動率 +20%~-25%

瞬時周波数変動率 ±6.5%

3. 主冷却水ポンプ用キャンドモータ

本機は原子炉を冷却し、放射能をおびた高温高圧の一次冷却水を強制循環させるポンプ（ポンプは三菱重工業製）の駆動用で原子炉冷却装置の中では最重要機器の一つであり、きわめて高い信頼度が要求される。

3.1 要目

出力 200/30 kW

電圧・周波数 440 V 60 Hz

回転数 1,770/870 rpm (4/8 極 2段速度)

定格 連続

絶縁種別 H 種

モータ形式 立形カゴ形三相誘導電動機

ポンプ形式 立形単段遠心式ポンプ

流量 1,165 m³/h

全揚程 37.5 m

設計圧力 135 kg/cm²g

吸込圧力 110 kg/cm²g

設計温度 333°C

吸込温度 271°C

台数 2 台

3.2 特長

主冷却水がモータ内に侵入するため、全体が耐圧構造であること、水潤滑軸受であること、コイル部分はキャップにより主冷却水から隔離されていること、モータ外周には熱交換器を有すること、モータとポンプ間に軸貫通部がなく主冷却水の外部への漏れが皆無であることなど、キャンドモータとしての特長のほかに、

(1) 原子炉定常運転時は全速運転とし、起動時および炉停止後の余熱除去時には電力節約のために半速運転とするため、ヒータは極数変換による2段速度方式とした。

(2) 腐食生成物の発生をなくすため軸受など特殊部品を除き、接液部はすべて、18-8ステンレス鋼またはこれと同等以上の耐食性を

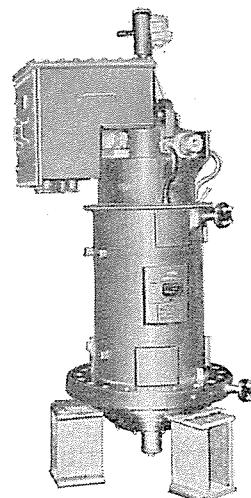


図 3.1 主冷却水ポンプ用キャンドモータ
Canned motor for main coolant pump.

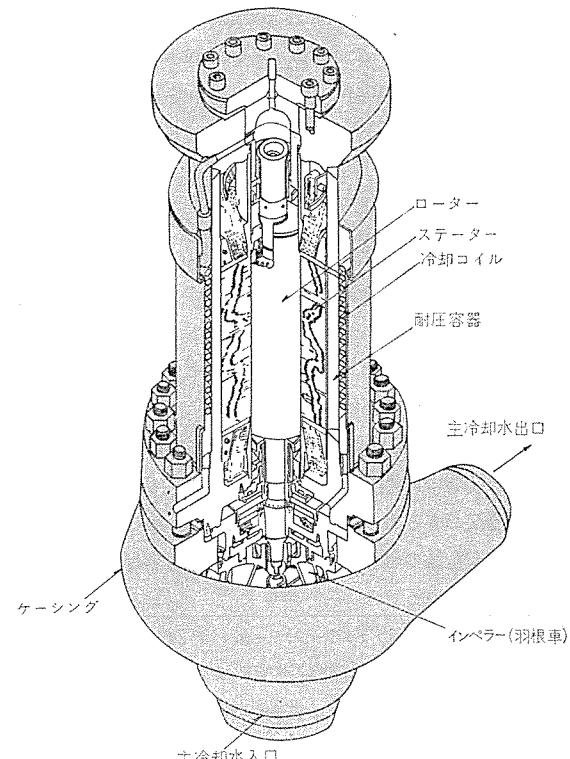


図 3.2 主冷却水ポンプ断面図
Sectional view of main coolant pump.

有する材料を使用した。

(3) 耐圧部材料は、原子力一次系主要機器として、安全をじゅうぶんに考慮するとともに所要の材料試験をすべて実施した。

3.3 構造

モータは立形であり、ポンプの上部に取付けられる。絶縁はH種でコイルは信頼性を高めるために形巻コイルとした。また上部および下部ラジアル軸受は、それぞれ自動調心の機能をもつ特殊軸受を採用した。スラスト軸受は均圧機構をもつキングスペリー方式のものを用いた。いずれも水潤滑としての特殊性を考慮して、軸受材質、寸法、クリヤランスを決定し特殊加工を施すなど最もよい軸受特性を發揮するために、設計、工作両面から検討し万全を期した。また船用機器として動搖、振動が軸受に及ぼす影響を考慮し、一方所定の傾斜時でも軸受に異常をきたさず運転できることを確認した。また回転子は單体部品から組合せ後に至るまで数回にわたって動的バランスチェック

を行ない、残留アンバランス量を少なくした。なお、モータトップにはボイド発生を検出するためにガスディテクターを設けた。

4. 補機・制御計装盤

制御対称が原子炉一次系であるため安全性に最大の重点をおき、実績のある回路・部品を使用し、装置の簡略化、ユニット化、小型軽量化により保守点検を容易にし、また回路の多重化、フェイルセーフ化で故障や誤操作時の安全を確保している。

その他、難燃性、耐湿性材料の使用、振動、衝撃に対する配慮、さらに計装回路では雑音についてのじゅうぶんな対策を施している。

4.1 補機・制御盤

三菱船用集合起動器盤S形（片面形）およびD形（両面形）で構成され、その内容は表4.1のとおりである。外観を図4.1に示す。

4.2 電圧可変器盤

加圧器ヒータに印加する電圧を0～440Vの範囲に変化させ、ヒータの出力を微調節するものであり、仕様は下記のとおりである。

形式 電動式誘導電圧調整器（B種絶縁）

電圧 一次側 440V 3φ 二次側 0～440V 3φ 60Hz

容量 20kVA (16.2kWヒータ)

精度 土1% 応答速度 10秒以内

制御方式 FCE形調節計の信号 (DC 0～50mA) により自動制御する。動作特性を図4.2に示す。

4.3 制御計装盤

制御計装盤のほとんどが中央制御室に設置されており、その配置を図4.3に示す。

4.3.1 中央制御盤

通常運転時に、操作あるいは監視ひん度の高い操作器ならびに計器、および緊急時に迅速に操作を要する操作器が取付けられており、起動・停止などの特別な場合を除いてほとんどの盤で原子炉の運転が可能である。盤中央部には下記の色別により原子炉系統の状態を示すグラフィックラインを設けている。

機器象形板 マンセル N5
主冷却水系統 スカーレット

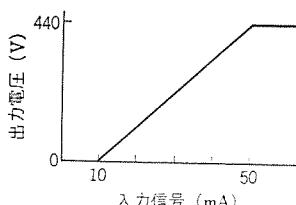


図4.2 電圧可変器盤の出力特性

Output characteristics of voltage adjuster.

表4.1 起動器盤の構成
Details of starter panels.

盤 名 称	盤 形 式	定 格 電 壓	し ゃ 断 容 量	お も な 負 荷
No. 1 配電盤室 集合起動器盤	両面形 7面	AC 440V	100 kA	主冷却水ポンプ（低速） 補機冷却水ポンプ 加圧器ヒータ
No. 2 配電盤室 集合起動器盤	両面形 7面	AC 440V	100 kA	主冷却水ポンプ（低速） 補機冷却水ポンプ 加圧器ヒータ
No. 1 原子炉補機室 集合起動器盤	片面形 5面	AC 440V	25 kA	緊急用注水ポンプ 充てんポンプ
No. 2 原子炉補機室 集合起動器盤	片面形 5面	AC 440V AC 115V	25 kA	緊急用注水ポンプ 充てんポンプ
通風機室 集合起動器盤	片面形 2面	AC 440V	25 kA	管理区域排気通風機 稀釈通風機
原子炉補機室 非常用集合起動器盤	片面形 3面	DC 103V	15 kA	格納容器スプレーポンプ 低圧緊急用注水弁
主冷却水ポンプ 起動器盤	片面形 2面	AC 440V		主冷却水ポンプ（高速） 注）減電圧起動

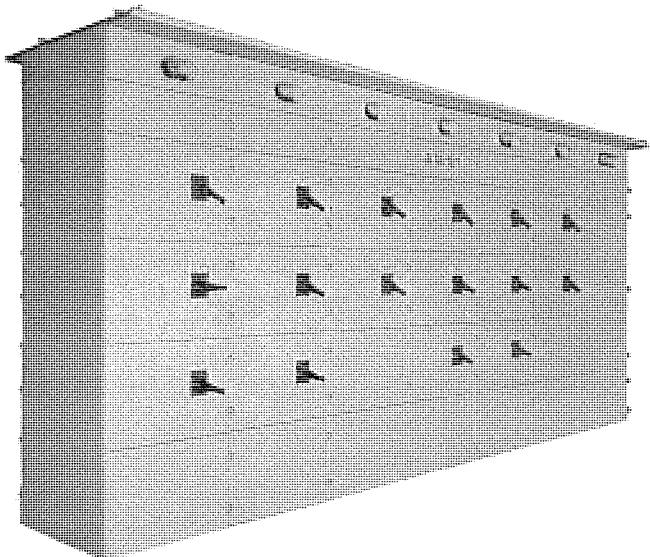


図4.1 No. 1 配電盤室 集合起動器盤
No. 1 group starter panel.

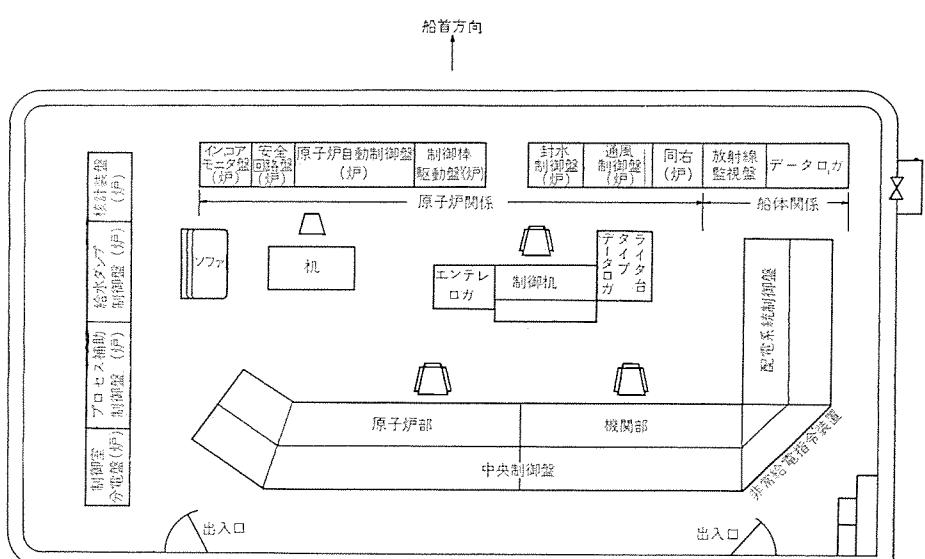


図4.3 中央制御室 配置図 Arrangement of centralized control room.

体積制御系統	ブラウン
余熱除去系統	オレンジマスター
薬品添加系統	バイオレット
冷却材補給系統	ブルーグレー
封水系統	ネービーブルー
補機冷却系統（海水）	ビリジアン
補機冷却系統（清水）	ブルーグレー
蒸気系統	アイボリー
給水系統	ブルーグレー

合計 123 点のアラーム窓は盤上部に配置し、ロッドストップとスクラム関係を赤色、その他のアラームを白色にて表示を行なう。盤の電源は一般電源と計装用電源の 2 系列で供給され（いずれも AC 115 V 60 Hz 1 φ），とくに計装用電源は 30 kW 2 台の MG セットの常時並行運転による電圧変動率（瞬時漸減とも）±1 % の電源である。

原子炉中央制御盤の外観を図 4.4 に示す。

4.3.2 プロセス補助制御盤

中央制御盤の補助盤として、プラントの起動停止時、事故発生時あるいは、プラントの試験時に操作監視の重要度の高い操作器をまとめている。図 4.5 にその外観を示す。

4.3.3 封水制御盤

制御棒駆動装置封水系統の計測器、弁操作回路および警報回路を収納している。

4.3.4 通風制御盤

原子炉室、原子炉補機室などの管理区域の通風換気系統の送風機、弁、ダンパ類を操作あるいは圧力の監視を行なう盤である。

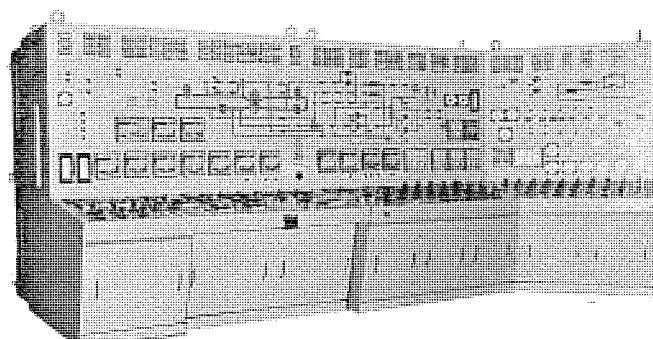


図 4.4 原子炉部 中央制御盤
Centralized control console.

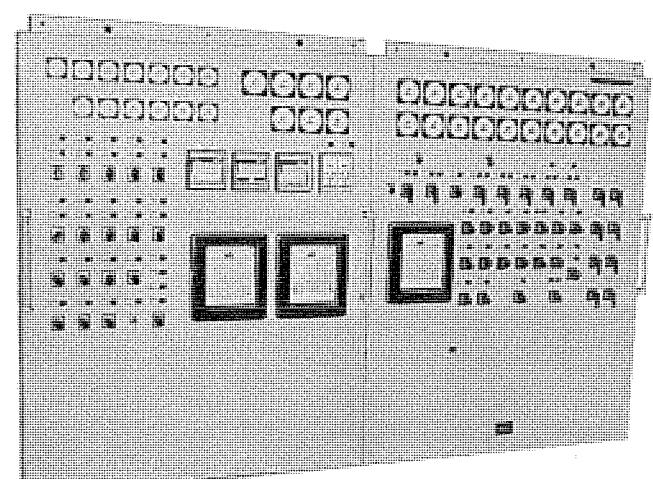


図 4.5 プロセス補助制御盤
Auxiliary console for process control

4.3.5 給水ダンプ制御盤

原子炉一次系の熱出力をタービンに伝達するための主蒸気発生器に取付けられた検出器により、自動的に給水弁の開度を調節する給水制御系統と、運転中の負荷変動による過渡現象を吸収するダンプ制御系統からなっている。

4.3.6 その他の制御盤

原子炉廃棄物の処理系統の制御を行なう廃棄物処理制御盤、制御

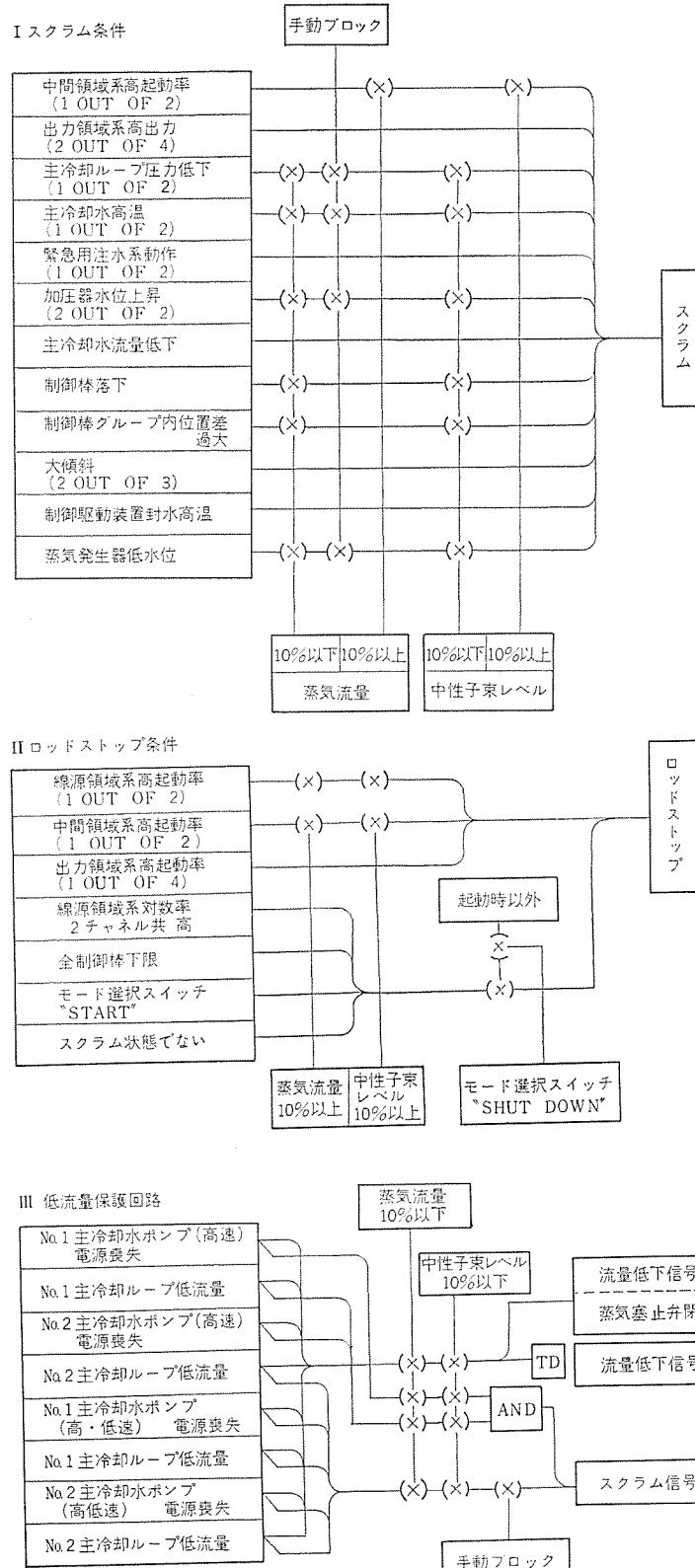


図 4.6 安全回路の動作条件
Operational function of safety controls.

室が使用不能になったときのための操舵室非常制御盤および原子炉補機室非常制御盤、薬品添加操作盤、サンプリング盤、制御棒駆動装置給電盤、加圧器ヒータ接地继電器盤、制御室分電盤、サンプリング室分電盤、原子炉補機室分電盤などを納入している。

4.4 安全回路盤

原子炉運転の安全を確保するため、原子炉が危険な状態に近づいた場合にはロッドストップやスクランの信号を確実に発し、計測装置の誤動作によるスクラン指令発生はできるだけ防止せねばならない。そのため、1 out of 2 方式や 2 out of 4 方式の論理回路で構成されている。その動作を図 4.6 に示す。

4.5 工場試験

動作試験、電源電圧変動試験、耐圧試験、絶縁抵抗測定、消費電力測定のほかに、環境試験として室温 50°C にて 4 時間の通電試験を行ない動作を確認した。

5. 原子炉出力自動制御設備

本制御システムは、原子炉プラントを定常時および過渡時において、安全正確にかつ信頼度の高い運転を行なうために装備され、主とし

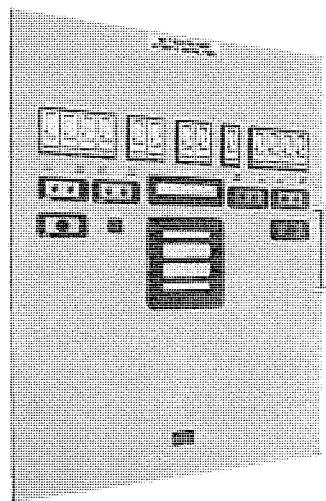


図 5.1 No. 2 原子炉出力自動制御盤
Automatic power control panel of reactor No. 2.

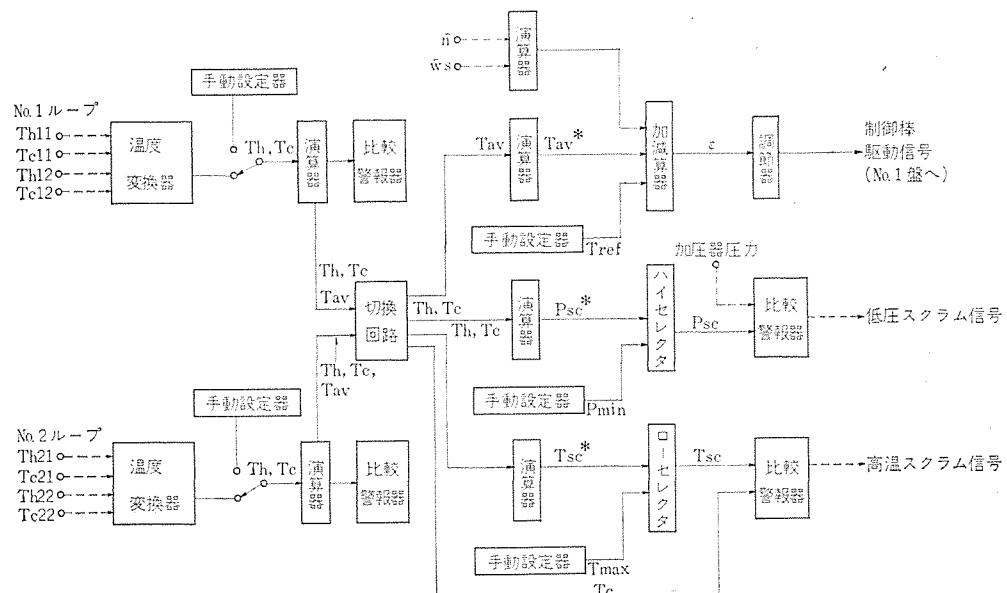


図 5.2 No. 2 原子炉出力自動制御盤 シーケンス図
Sequence diagram for reactor automatic power controls (No. 2).

て、核計装設備、給水・ダンプ制御設備から信号を受けて、炉出力部安全保護設備、プロセス計装設備に制御出力を送るとともに、中央制御盤において記録指示警報などを行ない、運転員に対して必要な情報を与えるものである。

このシステムは、No. 1 原子炉出力自動制御盤（以下 No. 1 盤と記す）と No. 2 原子炉出力自動制御盤（以下 No. 2 盤と記す）とに分れており、それらのおもな機能は、No. 2 盤は原子炉主冷却材高温配管側温度および低温配管側温度を測定し、手動切換および原子炉部安全保護設備からのループ流量インターロック信号による自動切換によって選択された信号を、炉出力制御回路、低圧スクラン回路および高温スクラン回路に送り、あらかじめ定められた条件により演算を行ない、制御棒駆動信号、低圧スクラン信号、高温スクラン信号を発するものである。

また、No. 1 盤は、No. 2 盤からの制御棒駆動信号および中央制御盤からの信号により、どの制御棒を動かすかを決定する制御棒切換回路および手動自動選択回路と、制御棒位置検出部よりの信号により各制御棒の位置信号を中央制御盤に送る制御棒位置回路、自動制御運転の制御棒位置が適当であるかどうかを監視する制御棒プログラム回路から構成されている。

5.1 おもな仕様

(a) 主冷却水温度検出器	白金測温抵抗体 (200Ω 0.25 級)
(b) 位置信号検出器	セルシン式送受信器による ポテンショメータ駆動方式
(c) 主冷却水温度計測範囲	245°C~315°C
(d) 主冷却水圧力計測範囲	75 kg/cm²~150 kg/cm²
(e) 演算器	加減算回路、平均値回路、係数回路、比較回路、高域ろ波回路、位相補償回路および遅延回路
(f) 定数設定器	模擬温度入力信号、基準温度信号、最小圧力信号および最大温度信号
(g) 制御棒の数	全 12 本、4 グループ 自動制御棒 4 本、2 グループ 手動制御棒 8 本、2 グループ

5.2 機能説明

(1) No. 2 原子炉出力自動制御盤

No. 2 盤は、図 5.2 に示すように、2 ループ × 2 組の高温配管側温度信号 T_h と低温配管側温度信号 T_c (T_h, T_c とも白金測温抵抗体の出力) を温度変換器により電圧信号に変換し、競売回路によって高いほうを選択した後、演算器で T_h, T_c の平均値 T_{av} および差 T_d を求め、それらの値を比較警報器で上下限値と比較し、その範囲を越えていると警報信号を中央制御盤に送る。

一方、上記 T_{av} および T_d は、切換回路を通って、炉出力制御回

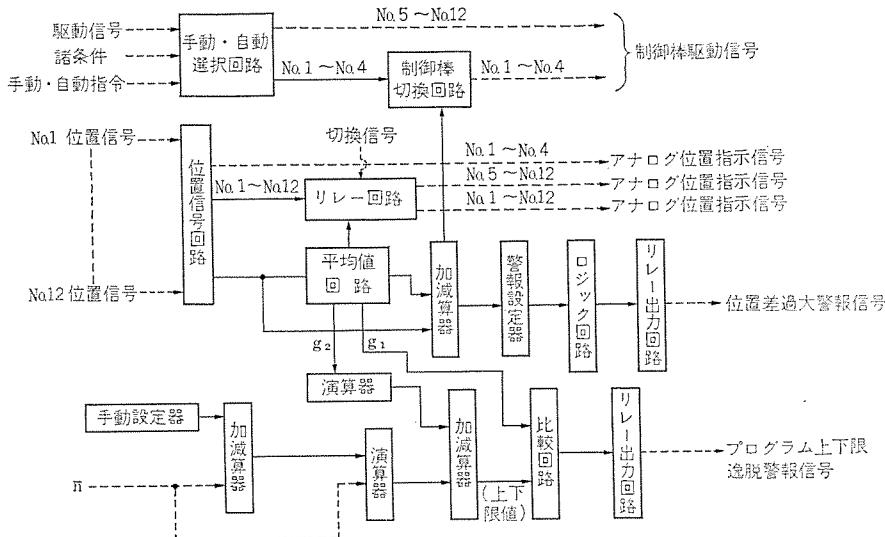


図 5.3 No. 1 原子炉出力自動制御盤 シーケンス 図
Sequence diagram for reactor automatic power controls (No. 1).

路、低圧スクラム回路および高温スクラム回路に送られる。この切換回路は、No. 1 または No. 2 のループ流量が低下したとき、そのループの温度信号の代わりに正常なループの温度信号を上記3回路の入力信号とするためのリレー回路である。

炉出力制御回路では、前記 T_{av} 信号に進相補償を行ない、核計装設備からの出力領域平均中性子束信号 \bar{n} 、給水・ダンプ制御設備からの蒸気流量信号 \bar{W}_s および手動設定器による基準温度信号 T_{ref} が適当に演算される。その加減算出力すなわち出力偏差信号 ε は、つぎのようになる。

$$\varepsilon = \frac{1}{1+\tau_1 S} \left(1 + K \cdot \frac{\tau_2 S}{1+\tau_2 S} \right) T_{av} + (\bar{n} - \bar{W}_s) \cdot \frac{\tau_3 S}{1+\tau_3 S} K_q - T_{ref}$$

この出力偏差信号が調節器に与えられ、調節器の4個の設定レベル（大きいほうから、 $L_1 L_2 L_3 L_4$ とする）と比較され、つぎのような駆動信号を No. 1 盤に送る。

$\varepsilon \geq L_1$ のとき	2本引抜信号
$L_1 > \varepsilon \geq L_2$ のとき	1本引抜信号
$L_2 > \varepsilon > L_3$ のとき	停止信号
$L_3 \geq \varepsilon > L_4$ のとき	1本そう入信号
$L_4 \geq \varepsilon$ のとき	2本そう入信号

低圧スクラム回路では前記切換回路を経て、 T_h 、 T_c 信号を受け、適当に演算されてハイセレクタに入り、手動設定器からの最小圧力信号 P_{min} と比較され、大きいほうの信号がスクラム圧力設定値 P_{sc} 信号となり、比較警報器で実際の加圧器圧力信号と比較され、加圧器圧力が前記 P_{sc} より低くなった場合にスクラム信号が発せられ、原子炉部安全保護設備に送られる。

高温スクラム回路では、前記2回路と同じように切換回路を通して T_h 、 T_c 信号を受け、それぞれに演算を行ない、ロセレクタで手動設定器からの最大温度信号 T_{max} 信号と比較され、小さいほうの信号がスクラム温度設定値 T_{sc} 信号となり、比較警報器で低温配管側温度信号 T_c と比較され、この T_c が T_{sc} を越えたときスクラム信号が発せられ、低圧スクラム回路の場合と同様に、原子炉部安全保護設備に送られる。

(2) No. 1 原子炉出力自動制御盤

No. 1 盤は、図 5.3 に示すように、主として制御棒切換回路、自動手動選択回路、制御棒位置回路およびプログラム制御回路の4回

路から構成されている。

制御棒切換回路および自動手動選択回路では、他の制御設備からの中性子束信号や蒸気流量信号などの条件が満足された場合に中央制御盤の“自動”運転が可能になり、No. 2 盤からの駆動信号が制御棒切換回路に送られ、後述の制御棒位置回路からの制御棒位置差信号が常に一定の範囲内にあるように、駆動制御設備に駆動信号を送る。前記の諸条件が満足されない場合や“手動”運転の場合には、No. 2 盤からの制御棒駆動信号はカットされ、その代わりに中央制御盤の手動による駆動信号が制御棒切換回路に送られ、“自動”と同様に、駆動信号を駆動制御設備に送る。

制御棒位置回路では、制御棒位置検出部（セルシン発信器）からのポテンショメータによる位置信号を位置信号回路で電圧信号に変換す

る。これらの信号は、一つは、直接中央制御盤に送られて6台のアナログ位置指示計と2台のデジタル位置指示計に指示される。もう一つは、平均値回路、加減算器を通じて、各グループ内の制御棒の位置差が算出され、警報設定器で設定値と比較され、制御棒の位置差が過大になった場合に、ロジック回路、リレー回路を通して、位置差过大警報信号を中央制御盤または原子炉部安全保護設備に送る。

プログラム制御回路では、“自動”制御グループ制御棒が適当な反応度を示す範囲が、炉出力および“手動”制御グループ制御棒の位置の平均値の関数となるので、炉出力信号として核計装設備から出力領域平均中性子束信号 \bar{n} を受けて、加減算回路、演算回路で計算し、また、“手動”制御グループ制御棒平均位置信号 g_2 を計算し、その両信号より定常状態における“自動”制御グループ制御棒の存在する範囲をプログラム範囲上下限値を設定する。

炉出力が変動するとき、過渡的に上記プログラム範囲上限または下限を逸脱することがあるが、ある限定された時間内に、通常は復帰する。しかし、クセノンや核分裂生成などの毒物のために、上記範囲を設定時間以上逸脱した場合、出力リレーを動作させて中央制御盤上に表示する。さらに g_2 の関数として、プログラム範囲の外側に自動制御範囲を設定する。

もし、自動制御棒がこの自動制御範囲を逸脱したら、警報を発生し中央制御盤に表示するとともに、手動自動選択回路にインターロック信号を送り自動運転から手動運転に切換える。なお、これらのプログラム範囲上下限値、自動制御範囲上下限値は、切換スイッチにより中央制御盤のアナログ指示計に指示される。

5.3 制御盤

各構成機器は保守の点からユニット方式を採用し、ロジック回路部分はノイズに強いDTL方式の半導体プリントカード方式としている。また、制御回路の定数設定や主冷却ループ基準平均温度設定のための手動設定器、各部回路の入出力をチェックする切換スイッチと指示計、表示灯などを盤前面に配置している。

6. 核計装設備

核計装設備は、炉心からの中性子束レベルを計測して原子炉の起動、安全保護および自動制御に必要な情報を出す装置である。

原子炉の起動から全出力運転状態にわたって中性子束レベルを計

測するため、計測範囲は約10けたの広範囲にわたる。一種類の計測装置では全域をカバーすることができないので、線源領域、中間領域、出力領域の3系統に区分して計測し、それぞれの領域で互いに測定範囲の一部をラップさせて使用する。また各領域とも冗長度をもせてあり、次のようなチャネル数になっている。

線源領域……………2チャネル

中間領域……………2チャネル

出力領域……………4チャネル

それぞれの領域の計測分担範囲を図6.1に示す。

中性子検出器として、線源領域には比例計数管2本、中間領域に

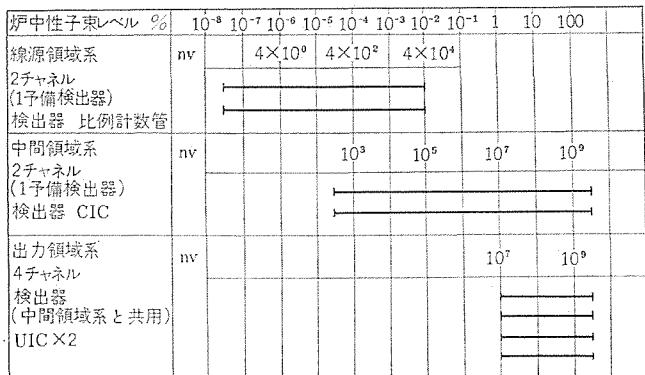


図 6.1 核計装測定範囲
Range coverage of nuclear instrumentation system.

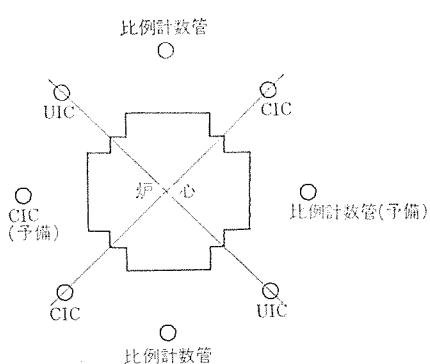


図 6.2 核計装用検出器配置
Detector location of nuclear instrumentation system.

は γ 線補償形電離箱2個、出力領域には γ 線非補償形電離箱2個を用いている。ただし、出力領域の2チャネルは、中間領域の γ 線補償形電離箱を共用する方式を採用している。このほかに、比例計数管および γ 線補償形電離箱が1個ずつ予備として用意されている。これらの検出器は、1次シャヘイタンク内に設けられた8個の計測孔内に図6.2のような配置で設置される。

核計装設備の代表仕様を表6.1に示す。

6.1 線源領域

ブロック図を図6.3に示す。線源領域は、原子炉の停止時から起動の途中まで炉出力にして約10⁻²%までの範囲を受持ち、対数計数率と起動率を計測する。

検出器からの信号は1~10⁶cpsのパルス信号で、耐雑音性をよくするために、原子炉上部に設置された前置増幅器により信号増幅して中央制御室の測定回路に伝送される。比例増幅器により増幅された後、波形整形積分回路により、中性子束レベルに比例した電流信号に変換し、対数増幅器により対数変換する。対数レベル信号は起動率増幅器に加えられ、中性子束レベルの変化分に比例した起動率信号としてDPM(Decade Per Minute)の単位で表わされる。出力は-1~+10 DPMである。

対数増幅器出力および起動率計出力は二安定増幅器に加えられ、

表 6.1 核計装設備仕様
Nuclear instrumentation system.

線源領域系および中間領域系

項目	周囲条件	22°C±5°C 常温	温度 45°C
(1) 対数レベル指示	±3% FS	±5% FS	
(2) 対数レベルトリップ再現性	±1% FS	±3% FS	
(3) 対数レベルトリップ応答速度	0.35 s (75 dpm で) 以下		
(4) 起動率指示	±3% FS	±5% FS	
(5) 起動率トリップ再現性	±1% FS	±3% FS	
(6) 起動率トリップ応答速度	0.35 s (75 dpm で) 以下		

出力領域系

項目	周囲条件	22°C±5°C 常温	温度 45°C
(1) 出力直線性	±1% FS	±3% FS	
(2) トリップ再現性	±1% FS	±3% FS	
(3) トリップ応答速度	0.02 s (130 %ステップ入力で) 以下		

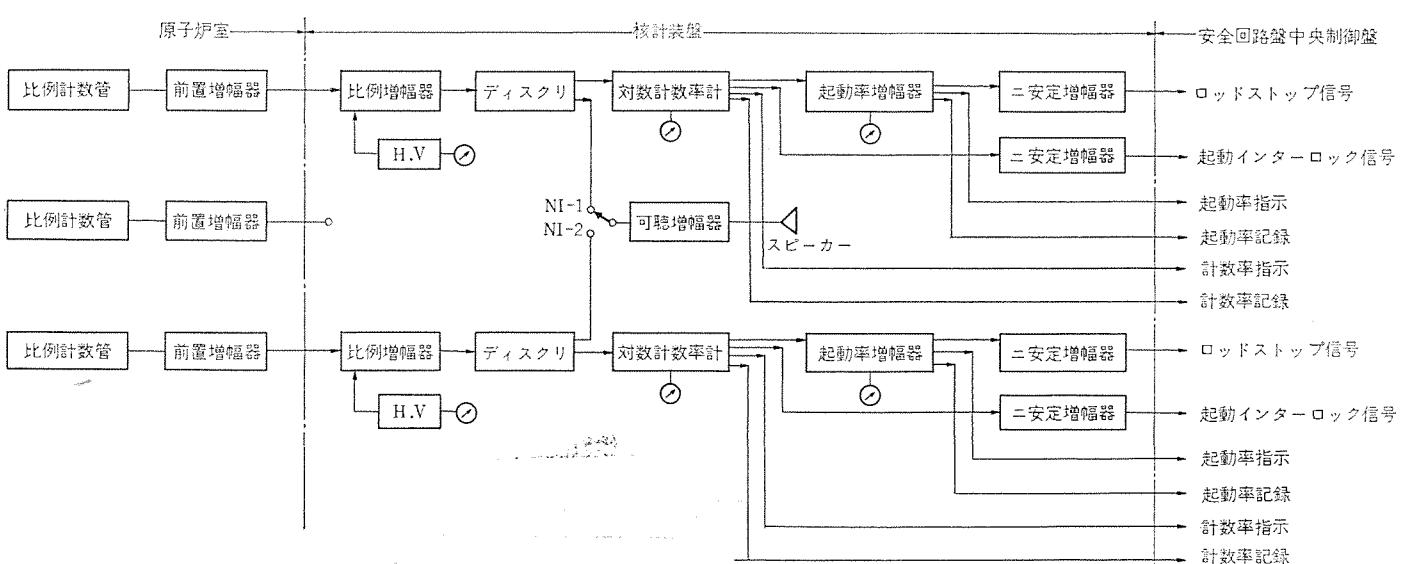


図 6.3 線源領域系ブロック図
Source range block diagram.

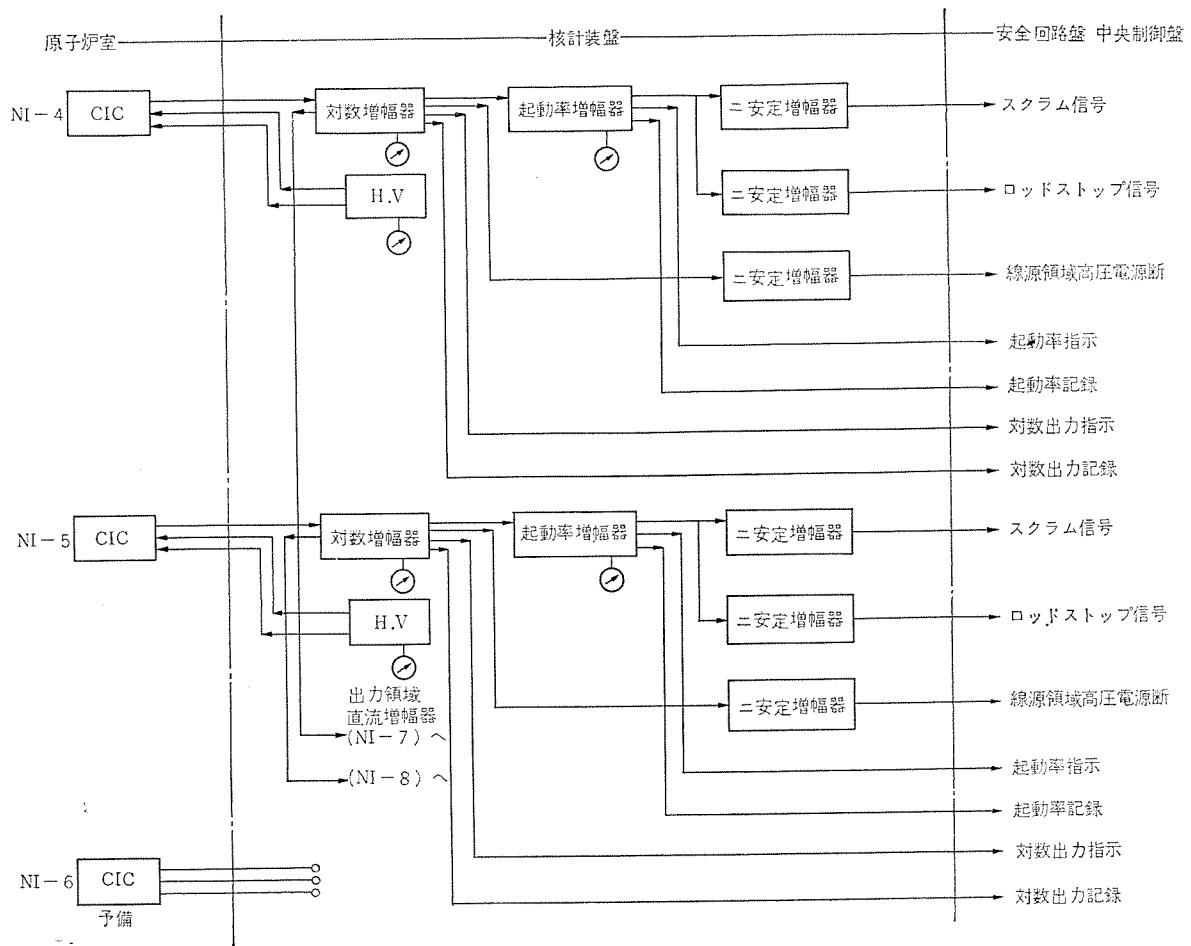


図 6.4 中間領域系ブロック図
Interme diate range block diagram.

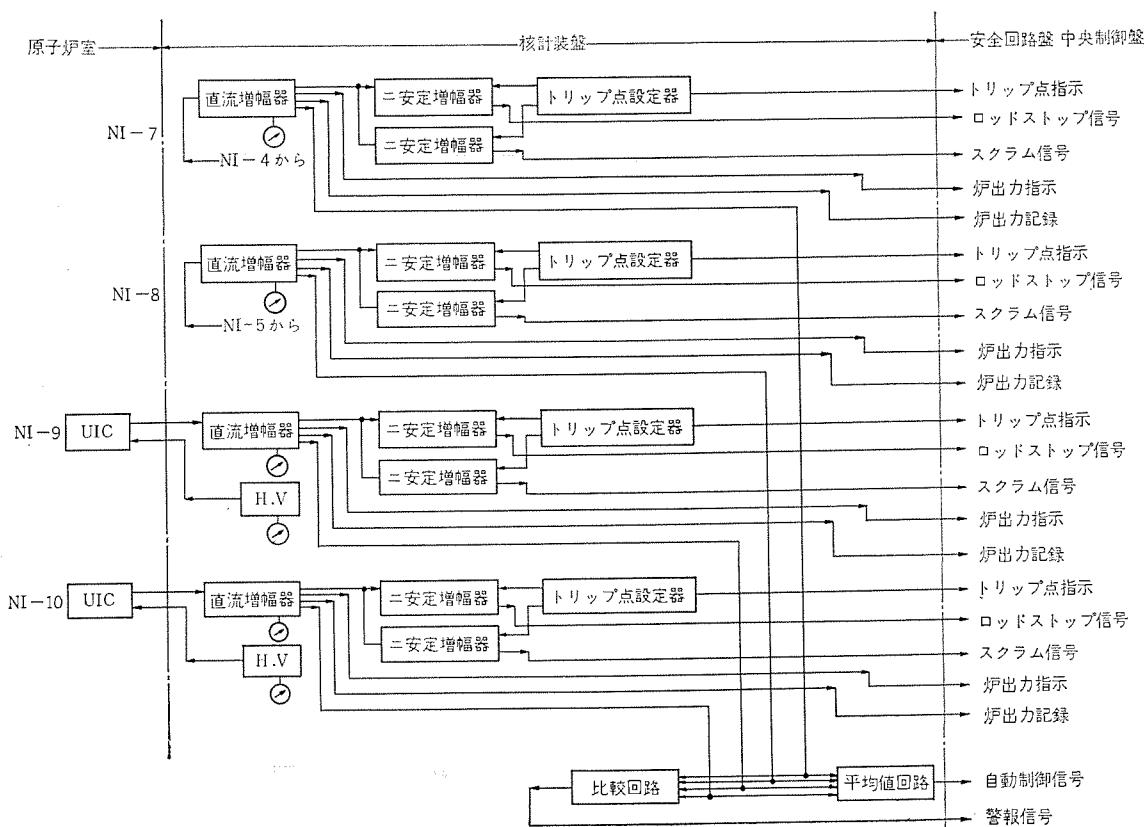


図 6.5 出力領域系ブロック図
Power range block diagram.

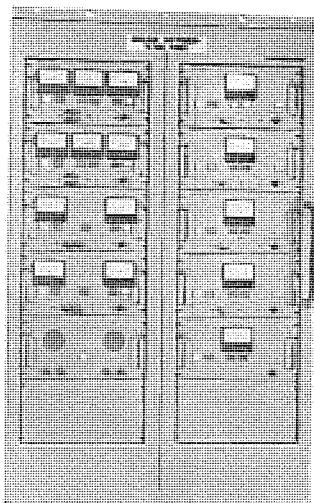


図 6.6 核計装盤
Nuclear instrumentation panel.

高起動率 ロッドストップ 信号および起動 インタロック 信号を安全保護系へ出し、また、炉停止時に反応度が異常に増加した際にアラーム 信号を発する。

高起動率 ロッドストップ 信号は、炉出力が定格出力の 10 %以上になると、低出力 インタロック 回路により除外される。

検出器には比例計数管を用い、炉中性子束 レベル が線源領域の計測範囲をこえた場合には、中間領域からの信号により検出器への高圧電源が自動的に切れ、炉中性子束 レベル がさがった場合は自動的に投入される。そして、起動完了後も検出器の引き上げは行なわない。

6.2 中間領域

ブロック 図を図 6.4 に示す。

中間領域は、原子炉の起動の後半より全出力運転状態まで、炉出力にして $5 \times 10^{-5} \sim 150\%$ までの範囲の対数出力および起動率を計測する。

検出器からの信号は $1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-3} A$ の直流電流信号であり、対数増幅器により炉中性子束 レベル の対数に比例した信号に変換される。その信号は起動率増幅器に加えられ、線源領域の場合と同様の起動率信号を出す。

対数増幅器出力および起動率計出力は二安定増幅器に加えられ、高起動率 ロッドストップ、高起動率 スクラム 信号を安全保護系へ出す。また、炉中性子束 レベル が中間領域の計測範囲になった場合、線源領域の高圧電源しゃ断信号を出す。高起動率 ロッドストップ、高起動率 スクラム 信号は、炉出力が定格出力の 10 %以上になると低出力 インタロック 回路により除外されるようなシステムになっている。この領域の検出器は出力領域と共用するため対数増幅器の入力端から、対数変換素子を通して出力領域へ信号を伝送する。

6.3 出力領域

ブロック 図を図 6.5 に示す。

出力領域は原子炉の出力運転中に用いられ、原子炉出力をかなり正確に計測する必要があること、運転中の安全保護および自動制御系への信号はすべてこの領域から出されるなど、核計装中でも最も重要な役割りをはなす。炉出力にして約 1 ~ 150 % の範囲の炉中性子束 レベル の % 出力および平均 % 出力を計測する。

検出器からの電流信号は直流増幅器で増幅され、二安定増幅器に加えられる。この二安定増幅器の ロッドストップ、スクラム 点は、運転 モード により自動的に変化する。高出力 ロッドストップ および高出力 スクラム 信号を安全保護系へ出す。また炉出力が 10 % 以上になったことを知らせる信号がついている。

検出器には、 γ 線非補償形電離箱 2 個および中間領域の γ 線補償形電離箱 2 個（共用）を用いている。

6.4 付属箱および可聴箱

各チャネルの主要部分は、それぞれ線源領域箱、中間領域箱、出力領域箱としてまとめられているが、それら、各箱の出力信号を処理して安全保護系、自動制御系への信号として変換するために付属箱が設けられた。また低計数率時に聴覚により中性子束 レベル 変化を知るために可聴箱が使用されている。

付属箱では、競争回路により対数計率出力、対数出力、起動率の最大信号およびスクラム 点設定信号の最小信号を出す。比較回路により出力領域の出力レベル 偏差が規定値より大きくなったときに警報信号を出すようにしている。そのほかに、平均値回路により、出力領域の炉出力の平均値を求め、自動制御系での制御棒引抜き制御用として用いている。

6.5 振動対策

船用核計装として耐振性についてじゅうぶん検討した。すなわち中性子検出器は実測の結果、前述の設計条件の振動・衝撃ではまったく影響のないことを確認し、また微少電流を扱う中間領域のケーブルには RG-149/U 低雑音 ケーブル を使用し、測定回路内にも RG-58 A/U 低雑音処理 ケーブル を使用することにより、振動による雑音を無視できる程度に抑えることができた。

7. む す び

原子力船「むつ」向けの主要機器の概要について紹介したが、これらは昭和 42 年より基本設計に着手し、約 3 年を費して万全な設計製作を行なった。このあと、船内での運転調整を経て、47 年春には原子力第一船の輝しい誕生とともに、じゅうぶんその役割りを果すものと信ずる。

終わりに、これら キャンドモータ および炉制御計装設備の設計製作にあたり日本原子力船開発事業団、三菱原子力工業（株）をはじめ関係各位のご指導とご協力をいたいたいたことを記し、感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 日本船舶機関学会編：船舶電気工学便覧 14-2 (昭 45)

機関室無人化 高速コンテナ船用電機品

鶴 史雄*・井上 隆治*

Electric Apparatus for Container Ships with Unattended Machinery Spaces

Nagasaki Works Fumio TSURU・Takaharu INOUE

A decade has passed since automatization was taken up in ships for the purpose of saving the labor of the crew and improving the safety of navigation. For these years the details of the automatization have become multifarious and higher grade. Now unattended machinery spaces have come into reality. Several tens of vessels are at sea with Mitsubishi electric apparatus carried on board and a class mark of unmanned engine room. Under the circumstances, a high speed container boat of N. Y. K. S. S. Kamakura-maru, built in the Mitsubishi Kobe Shipyard and fully equipped with Mitsubishi electric machines is making thorough provision to obtain the mark of unattended machinery space (NK-MO) from the Nippon Kaiji Kyokai.

This article describes the electric distribution system, remote control of main engines and alarms of the ship with unique features of tow-unit two-shaft turbines and NK-MO as a nucleus of the topic.

1. まえがき

海上輸送の革命児として登場したコンテナ船は、新しい輸送手段として脚光を浴び、スピード化と合理化、荷主へのサービス向上という目的のため大形高速化が強力に推進されている。今回、三菱重工業(株)神戸造船所建造、日本郵船(株)および大阪商船三井船舶(株)発注の高速コンテナ船は40,000 PS タービン2基を有し、コンテナ1,850個(うち冷凍コンテナ200個)を積載して、常用26.25ノット、最高30ノットの速度をだすことができる。この高速コンテナ船に当社は、発電機、補機モータはじめ主機遠隔操縦装置(タービンリモートコントロール)、機関部制御監視用コントロールコンソール、グラフィックパネル、主配電盤、冷凍コンテナ用補助配電盤、補機モータ用集合起動器など、ほとんどの電機品を一括納入した。

これらの電機品は機関室の無人化(NK-MO)の規定に適合し、数多くの特長をあげることができる。とくに主機が2基2軸のため主機遠隔操縦装置も2セット備えていること、また配電系統がタービン発電機2,500 kVA 2台、ディーゼル発電機1,625 kVA 2台と非常に大容量であり、440 V級配電系統としては記録的なものである。

以下本船の主要電機品についてその概要を紹介する。

2. 配電設備

配電設備としては主配電盤、冷凍コンテナ用補助配電盤、補機制御用集合起動器盤とがあり、在来のコンテナ船の配電設備と比較して規模、系統ともに数倍のものである。

2.1 配電系統

40,000 PS 推進用タービンを2基装備しているので、プラント用補機類の所要電力も在来船の約2倍となっている。またコンテナ1,850個のうち200個が冷凍コンテナ(40フィート)であり、約2,000 kWの電力を要する。これら補機類と冷凍コンテナの所要電力をまかなうために、本船の発電装置は合計8,250 kVAと類をみない大容量となっている。

2.1.1 発電機

本船の発電装置は非常に大容量で、低圧機としては限界に近い2,500 kVA タービン発電機は業界注目のうちに製作を行ない、工場テ

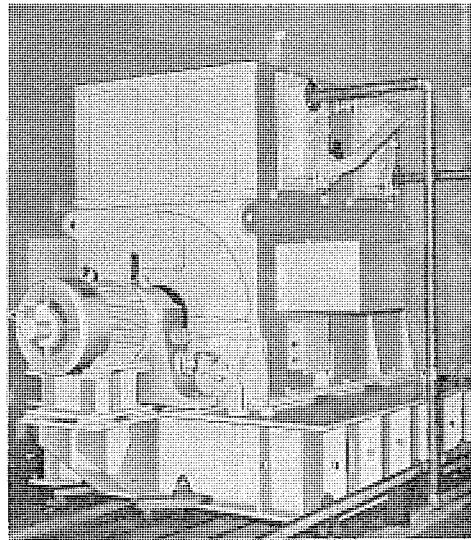


図 2.1 2,500 kVA 4極 ブラシレス 交流発電機
Brushless AC generator for container ship 2,500 kVA
4 poles 1,800 rpm.

ストでは計画値を大きく上まわる好成績を得ている。

本船積載の発電機の要目は次のとおりである。

(1) タービン発電機……… 2台

2,500 kVA 450 V 60 Hz 4極 1,800 rpm 3,208 A,
功率80% (遅れ), F種絶縁, 連続定格 ブラシレス方式,
全閉形 空気冷却器付き

(2) ディーゼル発電機……… 2台

1,625 kVA 450 V 60 Hz 10極 720 rpm 2,085 A,
功率80% (遅れ), F種絶縁, 連続定格 ブラシレス方式,
全閉形 空気冷却器付き

これらタービン発電機、ディーゼル発電機とも円筒界磁ブラシレス励磁方式で、空気冷却器の装備とあいまって機関室無人化船の発電機にふさわしく保守点検を皆無とすることができる。

タービン発電機は内部故障、すなわち発電機内部より主配電盤のしゃ断器までの短絡事故等を比率差動継電器により検出し、急速消磁を行なって事故の拡大を未然に防ぐことができる自動励磁停止装置を備えている。

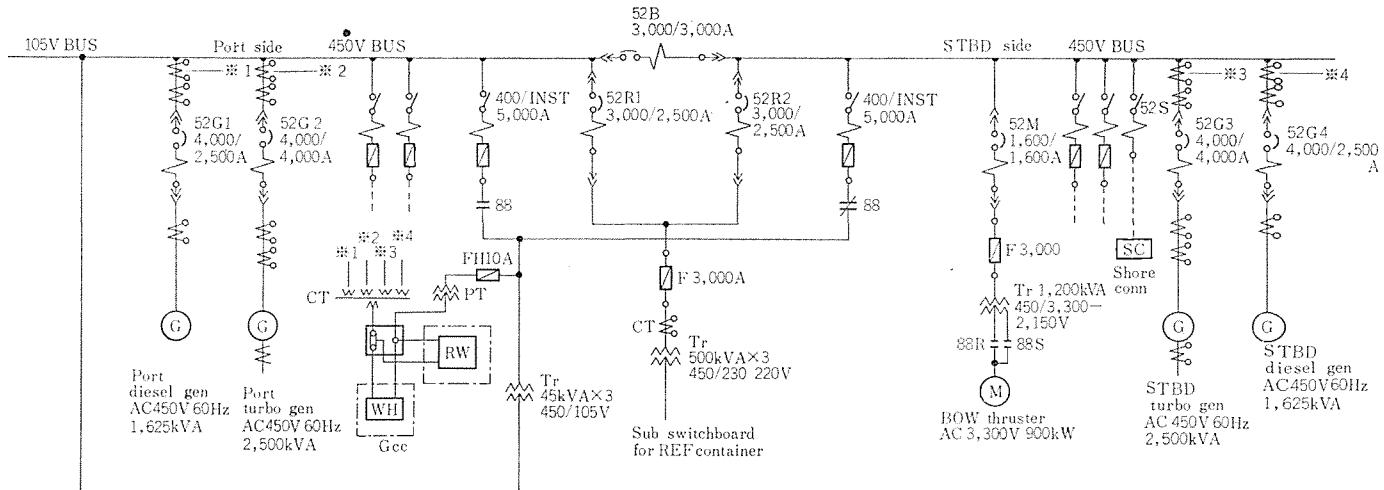


図 2.2 電路系統図

Single line diagram of main switch board.

2.1.2 電路系統

図 2.2 に本船の電路系統を示す。

主母線は、区分しや断器 (bus tie breaker) を介して左舷と右舷に分かれている区分しや断方式 (Split supply system) を採用し、給電の連続性を確保している。

この給電方式の特長は、片舷母線短絡などの事故発生時には、まず区分しや断器がトリップし、ひき続き短絡舷の運転発電機用しや断器がトリップするので健全舷は事故の影響をうけずに給電を続けることができる。給電の連続性確保の意味で、この方式は非常に信頼性の高いもので艦船などの配電系統に採用されるが、商船への採用はきわめてまれである。

区分しや断方式の採用と併せて、給電の連続性確保のため給電用しや断器、区分しや断器および発電機用しや断器間には完全に協調がとれるよう選択しや断特性を付加している。

系統は左舷、右舷に分かれ、それぞれ各舷にタービン発電機、ディーゼル発電機が接続されて、左舷、右舷の母線は常時区分しや断器で接続して一体の母線となっている。

重要補機の集合起動器盤は、主配電盤と列盤となり主母線に直結されている。とくにプラント関係の重要補機は左舷、右舷の両母線からも給電可能なように、電源の転換装置を備え負荷管制を行なうと同時に給電の連続性確保を付与している。

2.2 主配電盤

主配電盤は全長 23.5 m で、その大きさは船用船電盤の製作史上最高のスケールを誇るものである。

盤の構成は左舷、右舷のプラント補機類の集合起動器盤と、転換負荷集合起動器盤を列盤とするもので、左より左舷ディーゼル発電機盤、左舷タービン発電機盤、左舷 440 V 給電盤、中央部背面に区分しや断器盤、冷凍コンテナしや断器盤、バウスラスターしや断器盤、自動同期投入装置、自動負荷分担装置を収納する同期盤、右舷は 440 V 給電盤、タービン、ディーゼル発電機盤とからなり左舷、右舷対称の配置となっている。

主配電盤外観を図 2.3 に示す。

主配電盤の主要構成部品である気中しや断器はタービン発電機、ディーゼル発電機用に “DB-100 形” 区分しや断器、冷凍コンテナ給電用しや断器に “DB-75 形” バウスラスター給電用しや断器に “DB-50 形” をそれぞれ使用している。

これら各しや断器間には完全なる協調がとれるように、発電機し

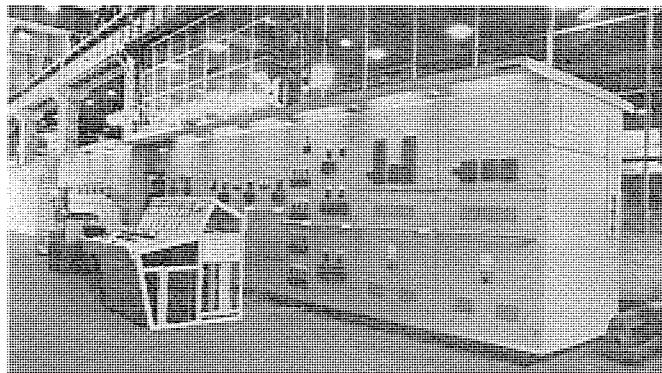


図 2.3 高速コンテナ船用主配電盤
Main switch board for container ship.

や断器と区分しや断器間、各給電用しや断器と区分しや断器、発電機しや断器間にしや断の順位を与えて、選択しや断を可能としている。

左舷、右舷の同期盤には、それぞれ自動同期投入装置および負荷分担装置を装備している。区分しや断器開路時は各舷母線に接続されている発電機間で、区分しや断器閉路時には 4 台の発電機間で負荷の分担、移行および周波数の制御を連続して行なっている。

右舷同期盤には、XET-C 形 自動同期投入装置を装備して各発電機間の自動同期投入および、区分しや断器開路時には左舷、右舷の母線は個々に給電を続けながら母線間の自動同期投入も可能である。

XET-C 形 自動同期投入装置は今回、モデルチェンジを行ない、電圧インターロック回路とセルフチェック回路を追加し、サイリスタの採用で信頼性の向上と小型化を行ない、発電機の無人運転の必需品としての条件を具備している。

XPF-C 形 自動負荷分担装置も、自動同期投入装置同様にモデルチェンジを行ない一段と性能の向上をはかった。主要回路はすべてシリコン半導体により無接点化しており、またプリントカード化しているので長寿命で安定した性能を保持できる。チェックを必要とする箇所は、すべてチェック端子を設けて、盤内のチェックメーターにより簡単にチェックが行なえる。装置の調整箇所は必要最小限にとどめて、調整箇所はすべて盤面にでており容易に調整設定が行なえる。

発電装置の制御、すなわち計測器類の計測、しや断器の投入、しや断ディーゼルエンジンの遠隔停は、すべて機関制御室の発電機制御盤 (generator control console) で行なうが、非常時は配電盤上で

もしゃ断器の単独投入、しゃ断が行なえる。

左舷、右舷の440V給電盤には陸用しゃ断器も含めて36回路の給電しゃ断器を装備している。

母線上での推定短絡電流が99,800A(対称値)と格段に大きく給電回路しゃ断器にはトライパックシリーズNFT-100~NFT-800(しゃ断容量AC500V, 150,000A, 対称値)形を使用し、発電機4台運転時の故障短絡電流でも余裕をもってしゃ断できる。

2.3 発電機の自動運転

主電源の確保は船舶の安全な運航上もっとも重要なことであり、停電事故(black out)は機関的重大事故の一つである。発電装置の自動化スケジュールは、停電事故の発生を可能なかぎり押え、たとえ停電しても主電源の復旧が自動的にかつ迅速に行なえるように計画されている。本船の常用発電機はタービン発電機であって、速応性を有するディーゼル発電機をスタンバイ発電機としている。船内の最大の電力消費源である冷凍コンテナの積載状態で、タービン発電機の運転台数が異なってくる。

表2.1に発電機の運行状態を示す。

常用発電機、すなわちタービン発電機の運転時における種々のトラブルに応じてディーゼル発電機を自動起動させ、電圧確立後にタービン発電機と切り換えるか、または並行運転を行なって異常発電機を保

表2.1 発電機の運転スケジュール
Operating scheme of generators.

	常用発電機	予備発電機
通常航海	タービン発電機 2台	ディーゼル発電機 2台
出入港	タービン発電機 2台	ディーゼル発電機 2台
荷役	タービン発電機 2台	ディーゼル発電機 2台
停泊	ディーゼル発電機 1台	ディーゼル発電機 1台

表2.2 発電機自動起動スケジュール
Automatic starting scheme of diesel generators.

運転発電機	原因	設定値%	時間	切换状態	自動起動スケジュール
T/G…1台	通常負荷	105	10	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 同一舷のD/G自動起動
	低電圧 過電圧 低周波数	90 106 95	5 5 5	停電切換	同一舷、他舷のD/G 2台 同時に自動起動
	しゃ断器トリップ (原動機異常)		瞬時	停電切換	同一舷、他舷のD/G 2台 同時に自動起動
	しゃ断器トリップ (母線短絡)		瞬時	停電切換	同一舷、他舷のD/G 2台 同時に自動起動
	しゃ断器トリップ (発電機異常)		瞬時	停電切換	同一舷、他舷のD/G 2台 同時に自動起動
T/G…2台	過負荷	105	10		非重要負荷選択しゃ断
	1台のしゃ断器トリップ (原動機、発電機異常)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 (瞬時) 同一舷のD/G自動起動
	しゃ断器トリップ (母線短絡)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 (瞬時) 同一舷のD/G自動起動
T/G…1台 D/G…1台	過負荷	105	10	並行運転	非重要負荷選択しゃ断
	しゃ断器トリップ (原動機、発電機異常)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 残り1台のD/G自動起動
	しゃ断器トリップ (母線短絡)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 残り1台のD/G自動起動
T/G…2台 D/G…1台	過負荷	105	10		非重要負荷選択しゃ断
	しゃ断器トリップ (原動機、発電機異常)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 残り1台のD/G自動起動
	しゃ断器トリップ (母線短絡)		瞬時	並行運転	非重要負荷選択しゃ断 残り1台のD/G自動起動

(注) 表中 D/G……ディーゼル発電機
T/G……タービン発電機

護し電源のそ失を防止している。

スタンバイ発電機の自動起動スケジュールは、常用発電機の運転状態あるいは異常のケースにより異なっている。停電事故を最小限に押えるが、故障の条件では無停電切り換えが困難な場合もあるので、この場合はスタンバイ発電機の電圧確立後に故障発電機のしゃ断器を引きはずし、同時にスタンバイ機のしゃ断器を投入して停電時間を可能な限り短くしている。

この自動起動スケジュールの採用と区分しゃ断方式の採用で、本船の電源設備において停電事故の発生は非常に確率が小さい。

表2.2に常用発電機の運転状態における自動起動条件を、図2.4に常用発電機1台運転時、過負荷による自動起動過程のフローチャートを示す。タービン船の機関室無人化(MO)船の電源装置の製作実績は、製作中あるいは就航中のものを含むと相当数であるが、区分しゃ断方式を採用した(MO)船の電源装置は初めてである。

発電装置の自動化の心臓部ともいえる、自動起動プログラムは系の安定を最終目的として、安定した動作を行なわせるための回路構成上の配慮はもちろん、無接点形各種検出端の採用で寿命、信頼度、保守点検の面で在来船の装置に比べてはるかに進歩している。

2.4 重要補機の電源確保

在来船の重要補機の電源系統は2系統母線方式を採用しているが、その根源は同一母線であるため、母線短絡などの重大事故に対してはほとんどがプラント停止にまで至り、船舶の運航停止もやむを得ないのが現状であった。区分しゃ断方式と電源の転換装置の採用で、本船のような2プラント装備船は片舷母線短絡で停電が発生しても、1プラントは健全に動作して減機運転が可能である。各舷のプラントの専用補機は各舷母線に直結し、潤滑油ポンプなどの最重要補機は、

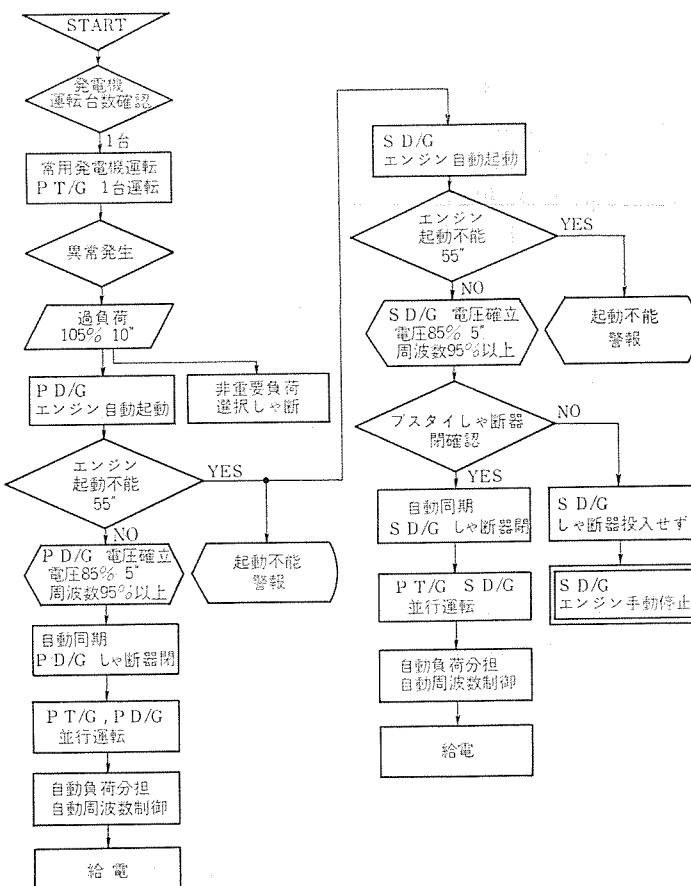


図2.4 自動起動フローチャート
Flow chart of automatic operation.

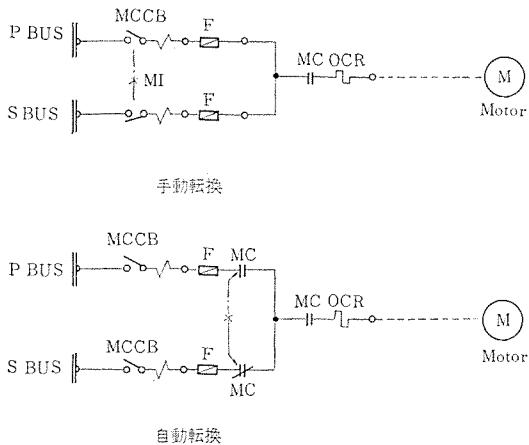


図 2.5 電源転換装置結線図
Connection diagram of power automatic transfer system.

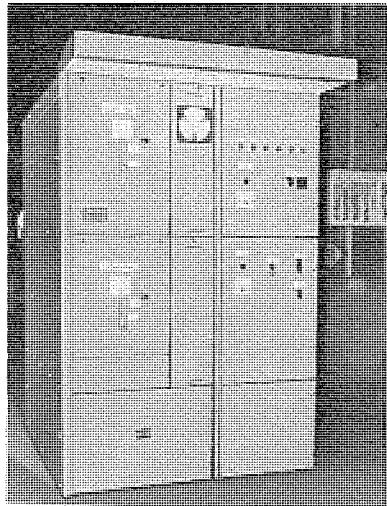


図 2.6 高圧集合起動器盤
High voltage group starter panel for bow thruster.

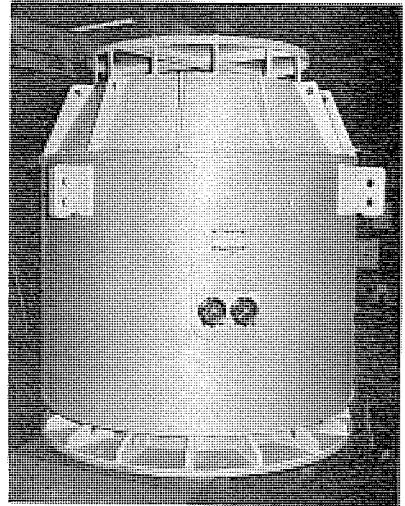


図 2.7 バウスラスター電動機
Marine AC motor for bow thruster.

いずれの母線からも給電可能となるように電源の転換装置を介して両母線に接続されている。

片舷母線に短絡事故の発生時には区分しゃ断器がトリップし故障舷母線を切り離し、発電機用しゃ断器をトリップさせるので、健全舷はそのまま給電を続けることができる。すなわち故障舷のプラントは停止するが、健全舷のプラントと各舷共通の潤滑油ポンプなどの最重要補機は電源の転換を行なって正常に運転しているので、片舷による航行が可能である。片舷電源での航行は相当の負荷制限を受けるが、4段階に選択して行なう選択しゃ断装置 (preference trip device) で、発電機の過負荷保護は完全に行なわれる。

電源の転換装置は自動転換形 (ABT) と手動転換形 (MBT) があり、各舷プラントの専用負荷で、プラントの運転、停止に関係なく給電を要するものを自動転換とし、また各舷のプラント補機以外の補機で重要視されるものを手動転換としている。

図 2.5 に各転換装置の簡略結線図を示す。

2.5 高圧盤の採用

船体の巨大化による操船性の低下は宿命的なものである。しかし係留、荷役時間の短縮は運航の採算性に大きく寄与するので、本船は操船性能向上のためバウスラスターを装備している。バウスラスター電動機の仕様は下記のとおりである。

バウスラスター駆動用電動機

900 kW 3,300 V 60 Hz 10 極 188 A, B 種絶縁, 1 時間定格, 全閉外扇立形, 三相かご形誘導電動機

バウスラスターは 900 kW と非常に大容量で、440 V は適当でないため部分的に高圧化されている。高圧 (3,300 V) 系統の採用は船用高圧機器として日本海事協会 (NK) の認定を初めて取得した。なお当社では、すでに昭和 44 年にロイド (LR) 船級に同種のものを納入している。バウスラスター電動機は、起動補償器と昇圧を兼ねた変圧器による減圧起動方式で、高圧接触器には真空スイッチを使用したブロックパネルを起動用、運転用に各 1 ユニットずつ用い、低圧の変節油ポンプ用スターを列盤とした集合起動器形である。

保護装置としては負荷側にリアクトルとアレスターを併用し、サーボ保護も完全に行なっている。商船への高圧系統採用は、大容量化の一つをたどる今日では時間の問題である。そういう時点での本船への高圧採用は、とくに意義のあるものとなっている。図 2.6 に高圧集

合起動器盤を図 2.7 に高圧バウスラスター電動機を示す。

3. 機関部の自動化

一般の商船において採用されてきた機関部の自動化の内容として、次のようなものがあげられる。

- (1) 作業環境の改善
- (2) 主機のリモートコントロール
- (3) 発電機、ボイラーバーなどの補機類の自動化
- (4) 异常発見のための監視の自動化
- (5) データロガーなどによる運転状態の自動記録

ここでは、主機遠隔操縦装置および警報装置について述べている。

3.1 機関室中央制御盤

機関室の中には防音と空調を施した中央制御室が設けられており、この中に機関部の集中監視制御ができる中央制御盤とグラフィックパネルが装備されている。中央制御盤は左より発電機制御盤、タービン制御盤、ボイラ制御盤および補機制御盤の順に並んでいる。図 3.1 にタービン制御盤を示す。

3.2 主機遠隔操縦装置

本船は 2 基 2 軸船であるが、各舷の主機はまったく独立しており、したがって遠隔操縦装置も両舷の関連性はない。一般に 2 軸船の場合、各機の負荷分担、回転数の差異など問題になるが、本船の場合

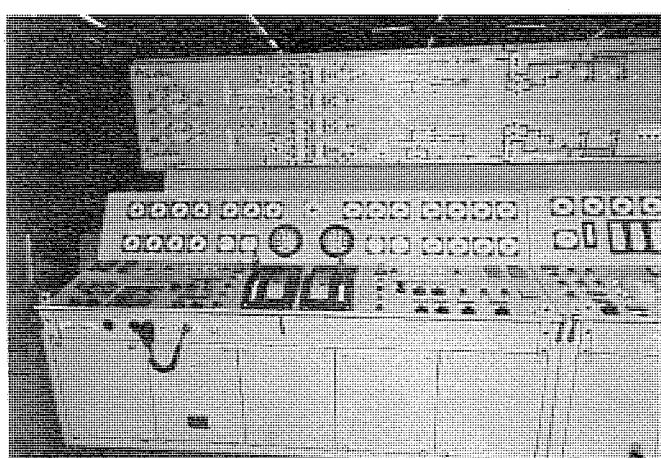


図 3.1 タービン制御盤
Turbine control console.

は軸馬力が等しくなるように各機の回転数が手動設定される。

3.2.1 主タービン要目

形 式	三菱 MS 40 船用蒸気タービン 2基
連続最大出力	40,000 PS × 135 rpm / 1基当たり
常用出力	35,000 PS × 130 rpm / 1基当たり
後進出力	16,000 PS × 95 rpm / 1基当たり
蒸気条件	60 kg/cm² 510°C
復水器真空	722 mmHg

3.2.2 制御対称および制御方式

- (1) 前進ノズル弁 電気油圧サーボ
- (2) 後進操縦弁 電気油圧サーボ
- (3) 後進中間弁 電気油圧
- (4) 後進注水弁 電気油圧
- (5) ドレン弁 電気空気
- (6) 前進危急停止弁 電気油圧
- (7) 後進危急停止弁 電気油圧
- (8) 抽気弁 電動弁
- (9) 給水ポンプ再循環弁 電動弁

3.2.3 主タービンの危急停止条件

- (1) 潤滑油圧力低下
- (2) タービン過回転
- (3) 高低圧タービン軸受異常摩耗
- (4) 高低圧タービン異常振動
- (5) 主復水器真空低下
- (6) 手動トリップ
- (7) 無電圧

上記のうち(3), (4), (5)はバイパス可能としている。

3.2.4 機器構成

- (1) ブリッジコントロールレバー (テレグラフ組込み)

(2) 機関室コントロールレバー (テレグラフ組込み)

- (3) 機側テレグラフレシーバ
- (4) 前進ノズル弁電気ポジショナー
- (5) 後進操縦弁電気ポジショナー
- (6) 前進ノズル弁開度発信器
- (7) 後進操縦弁開度発信器
- (8) プロペラ回転発電機
- (9) プロペラ回転停止検出器
- (10) タービンラスト軸位置検出器
- (11) タービン振動検出器
- (12) サーボ増幅器リレーラック

3.2.5 船橋操縦

機関室を無人化するためには、主機を船橋より操縦できることが絶対条件である。機関室を無人化していない船でも、船橋から主機を操縦できるようにした船は数多く就航しているが、機関室で機関員が機関を監視しており、機関室よりの許容範囲内で船橋操縦ができるようになっている。しかし機関室無人化船では、機関部を監視する人はいらず、船橋ではいわば盲運転することになる。したがって機関の安全装置が非常に重要な意味をもつ。本船では主機のプロペラ増速、出力制限のための回転数リミッタ、ボイラーオーバーライドによる出力制限など、積極的な機関保護とタービン監視計器による主機の異常検知により主機トリップを行なうなど、船橋で安心して主機の操縦が行なえるように配慮している。

3.2.6 回転数制御

図3.2は本装置の概略ブロックダイヤグラムである。プロペラの回転数を究極的に決定する指令信号は、コントロールレバーに連絡したリニアシングルから得られる。指令信号は傾斜信号発生器に伝達される。傾斜信号発生器は、指令信号に20秒～60秒の時間遅れを持たせるもので、最適のプラント条件に合わせて最終的にセットされる。傾斜信号

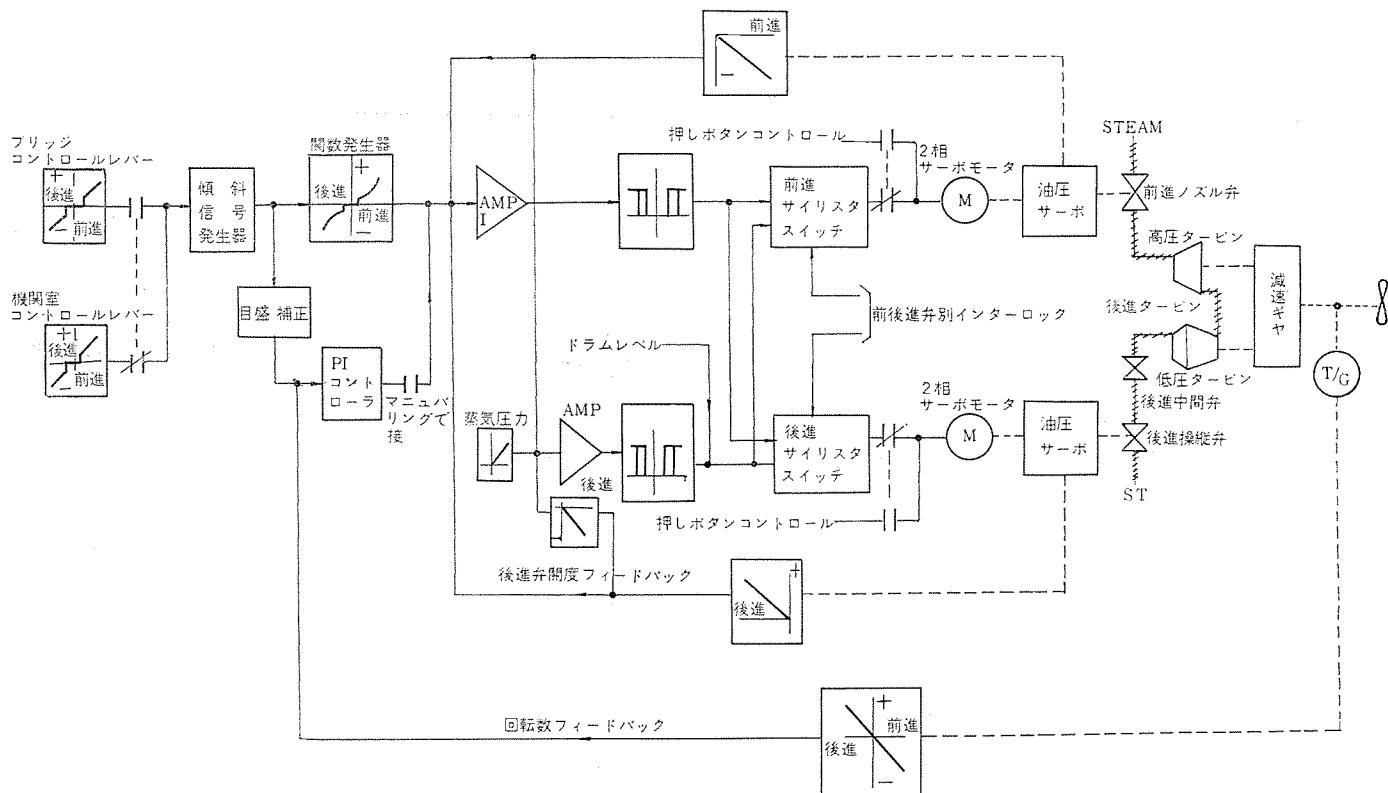


図 3.2 タービンリモートコントロールブロックダイヤグラム

Block diagram of turbine remote controls.

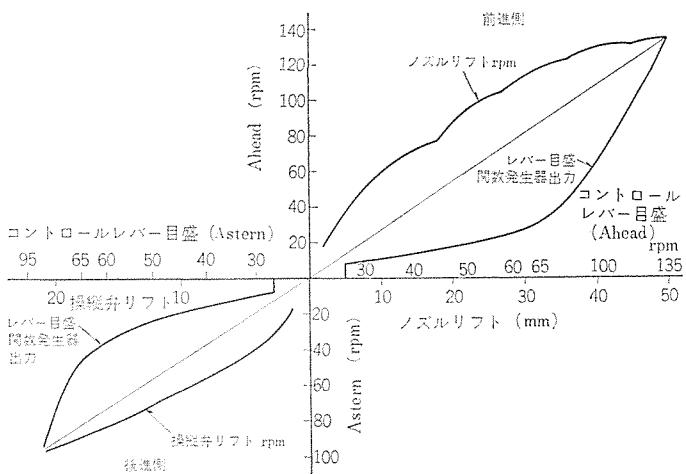


図 3.3 関数発生器の特性
Characteristics of function generator.

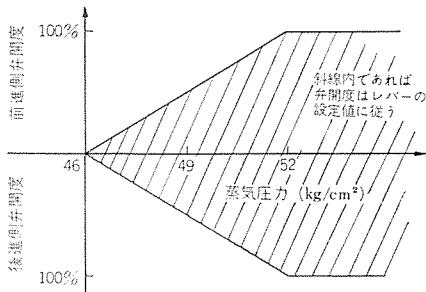


図 3.4 蒸気圧と弁開度との関係
Relation between steam pressure and valve position.

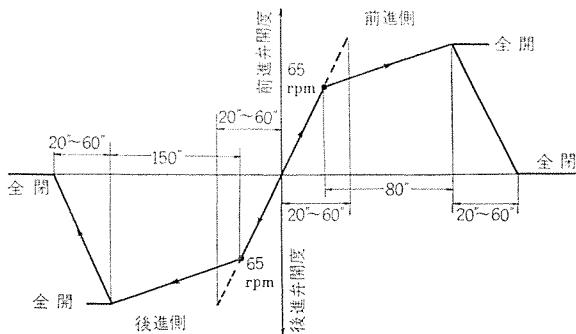


図 3.5 弁開閉 タイムスケジュール
Time schedule of valve travelling.

発生器を通った指令信号は、関数発生器に伝達されてそこで3乗特性に変換される。関数発生器は次の理由により必要である。

すなわちタービン出力はほぼ弁開度に比例し、かつ回転数の3乗に比例する。したがって弁開度は、コントロールレバーの位置で決まる回転数に直線性をもたせるためには、ほぼ回転数の3乗に比例することが必要である。本船はマニュピリング領域 $0 \sim \pm 65 \text{ rpm}$ はさらに拡大された目盛となっているため、3乗以上の特性としている。図3.3に関数発生器の特性を示す。

差動増幅器 AMPI の入力は、この関数発生器の出力と弁開度フィードバック信号および PI コントローラの出力信号の和である。弁開度フィードバック信号は、弁の位置を正確に決める基本的フィードバックで、開いている弁のほうのみフィードバックされる。また PI コントローラの出力はマニュピリング領域 $(0 \sim \pm 65 \text{ rpm})$ でのみ伝達される。AMPI の出力は、トランジスタ3位置リレーで ON-OFF 信号に変換されて該当サイリスタスイッチを導通させる。サイリスタスイッチは、2相サーボモータを所定の位置まで駆動する。モータの回転は、油圧機構を介して弁の開度を

変化させタービンへ流入する蒸気量を加減する。

回転数フィードバック信号は、マニュピリング領域での系の速応性と系の精度向上（設定回転数と追従回転数とのエラーを小さくする）のために使われる。回転数フィードバックの効果は、最終的には海上試運転後に決定されるが、当社で開発されたタービンシミュレータを使用して、海上運転前にあらかじめ設定できるようになっている。

3.2.7 ポイラオーバライド

ボイラオーバライド信号として次の2点を採用した。

(1) ボイラ蒸気圧低下

(2) ボイラドラムレベル

蒸気圧は圧力一電流変換器により $0 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ が $4 \sim 20 \text{ mA}$ の電流信号として検出される。蒸気圧が安全圧以下に下ると蒸気圧力制御回路が動作し、他の信号をオーバライドして前進弁または後進弁を閉め込んで圧力低下を押える。蒸気圧と弁の閉め込み量の関係を図3.4に示す。すなわち弁全開の場合は、蒸気圧 52 kg/cm^2 で弁閉動作にはいり 46 kg/cm^2 で全閉となる。

一方、ボイラドラムレベルが安全レベルより高くなると前進弁または後進弁はレベルが安全値に回復するまで断続的に閉め込まれ、レベルの上昇を押えてタービンへのキャリオーバーを防止している。

いずれの場合もボイラが正常状態に回復すれば、弁は設定値までふたたび自動的に開弁する。

3.2.8 プログラムコントロール

前進または後進弁がプロペラ 65 rpm 相当の開度以上になると、開弁速度は図3.5に示すタイムスケジュールに従う。

3.2.9 ブレーキング

ある前進速度で運転中に急速にコントロールレバーを停止位置に戻した場合は、前進弁が閉まると同時に後進弁が開き、後進タービンにブレーキ蒸気を通し、船を急速に停止させる。同様な方法は、後進から停止する場合も用いられる。一般に船は慣性が大きいため、蒸気弁を全閉してもプロペラはかなり速い回転数で遊転をつづけるため、停止までにはかなりの時間がかかる。したがって従来機関員が回転計をみながらブレーキ蒸気の加減をしていた。本船では回転数に応じて自動的にブレーキ蒸気量が変わり、プロペラを急停止させる。

3.2.10 オートスピニング

熱の不均等分布によるタービンロータのひずみを防止するために、タービン停止時には、自動的に前進および後進弁を交互に微開させ、タービンを微速で前進または後進方向に回転させる。もともと高速回転の、しかも慣性の大きいタービンを安定に微速回転させることは、容易ではないが、低圧タービンの第2歯車の回転を無接点近接スイッチで検出し、その信号で弁開閉を指令させることにより、安定な微速回転数を得るようにしている。

3.2.11 フェイルセーフ

何らかの原因でコントロールレバーの指令信号がなくなった時、弁開度フィードバック信号がなくなった時、および回転数フィードバック信号がなくなった時は、弁が全開または全閉になったりしないように、その時の弁開度を保持するような安全回路を設けている。

3.2.12 ミミックボード

作動の進行状態が一目でわかるように、また各チェックポイントの電圧が測定できるようにミミックボードを設けている。これにより故障時の復旧作業に要する時間を短縮している。

3.2.13 押しボタンコントロール

コントロールレバーによる回転数制御回路が故障した時のバックアップ手

段として、押しボタン操作による2相サーボモータの開ループ制御回路を設けている。

3.3 ボイラーバーナの自動本数制御

本船の自動燃焼装置はボルカノ社製が採用されているが、当社ではその中のバーナ本数制御装置を納入した。各舷のボイラあたり5本のバーナが装備されており、各バーナは次の3通りの方法により点火消火作動を行なう。

- (1) ボイラ機側での押しボタンによる点火消火
- (2) ボイラ制御盤での押しボタンによる順序点火消火
- (3) 自動燃焼装置の信号による自動点火消火

ベースバーナは機側で手動着火、No.2およびNo.3バーナはイグナイタによる自動着火、No.4およびNo.5バーナはNo.2およびNo.3バーナの呼火による自動着火方式としている。

ロジックはすべて無接点カード化され、最終電磁弁の駆動はサイリスタにより行なっており信頼性を向上させている。

3.4 警報装置

機関室の無人化が進めば進むほど、警報装置の重要性は被警報装置の信頼性向上と同じく増大してきた。本船の場合、機関室関係の警報点数は約400点にもおよび、その一点一点は機関室コンソールおよびグラフィックパネルに表示されている。各警報点を種類分けすると次のようにある。

温度警報	146点
液面警報	51点
圧力警報	46点
補機停止警報	75点
その他の警報	72点

機関室無人運転の場合は、これらの警報は対象機器ごとに分類され各居住区に延長警報される。

従来ランプとブザーによる警報が一般的であったが、本船のように警報点が400点にもなると、警報が発せられた場合とつさに警報点を確認することは、非常に困難となる。とくに機関室無人運転の場合、各居住区で警報の種類を詳細に判別しようとすれば、ランプをその数だけ設けなければならない。本船では、警報内容を確実に報知するために、機関室は従来どおりのランプとブザーによる警報、居住区の延長警報は、音声警報と代表ランプ1個による警報としている。

3.4.1 機関室の警報装置

ランプによる警報と一口でいっても、そのランプの作動状態は、各船級協会および顧客の違いにより幾通りもある。当所では、これらの仕様の違いをすべて満足させることのできる多機能性をもったAN-4形アンシエータを開発した。特に機関無人化船では延長警報が絶対必要であるため、延長警報回路が容易に接続できるようにしている。また電動機などの正常停止時には、停止警報を出さないような機能も持たせている。表3.1にAN-4形アンシエータカードの種類と機能を示す。カードの素子はAN-4形用として、とくに開発した三菱ハイブリッドICを使用している。そのため信頼性が一段と向上しているとともに、多機能を有しているにもかかわらず非常にコンパクトになっている。本船の警報ランプの作動状態を図3.6に示す。

3.4.2 音声による延長警報

約400点の警報点は次の16にグループ分けされている。

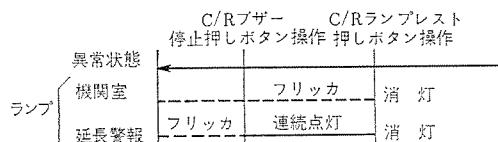
- (1) 右舷主機トリップ
- (2) 左舷主機トリップ
- (3) 右舷主機減速要求(40点を含む)

表3.1 AN-4形アンシエータ
Type AN-4 annunciator.

カードの種類	用途	自動リセット	ランプリセット	カード1枚あたりの収納点数
AN-4-1	アンシエータカード	有	有	2
AN-4-2	アンシエータカード	有	無	2
AN-4-3	アンシエータカード	無	有	2
AN-4-4	アンシエータカード	無	無	2
AN-4-5	アンシエータカード	有	有	2
AN-4-6	アンシエータカード	無	無	2
AN-4-T	タイマーカード	2~30秒可調整		2
AN-4-8&F	ブザーおよびフリッカーカード	450点分のランプをフリッカーカーさせることができる		1

1. 電動機停止および休止補機アラーム

- (1) 手動停止時はアラームを出さない
- (2) 自動発停する電動機が正常停止した場合はアラームを出さない



2. (1) 以外のアラーム (圧力 レベル 温度 過負荷アラーム等)

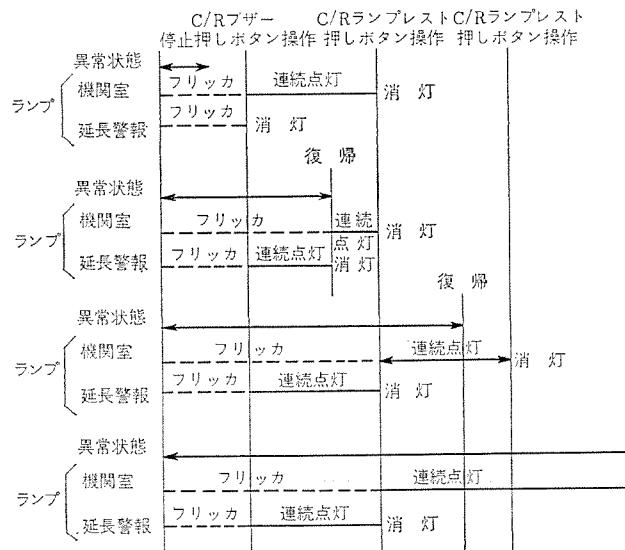


図3.6 警報ランプのタイムチャート
Time chart of alarm lamps.

- (4) 左舷主機減速要求(40点を含む)
 - (5) 主タービンリモコントラブル(2点を含む)
 - (6) 右舷ボイラ燃料油危急しゃ断
 - (7) 左舷ボイラ燃料油危急しゃ断
 - (8) ボイラ系統異常(40点を含む)
 - (9) 給水ポンプ系統異常(16点を含む)
 - (10) 右舷ターボ発電機トリップ
 - (11) 左舷ターボ発電機トリップ
 - (12) 発電機系統異常(83点を含む)
 - (13) 造水装置および給復水系統異常(25点を含む)
 - (14) 補機停止および運転超過(60点を含む)
 - (15) 冷凍コンテナ、冷蔵庫異常(7点を含む)
 - (16) 一般異常(1~15以外のすべての警報)
- これらのグループの音声内容は、あらかじめテープに録音されており、再生ユニットのチャネル1からチャネル16に対応している。再生ユ

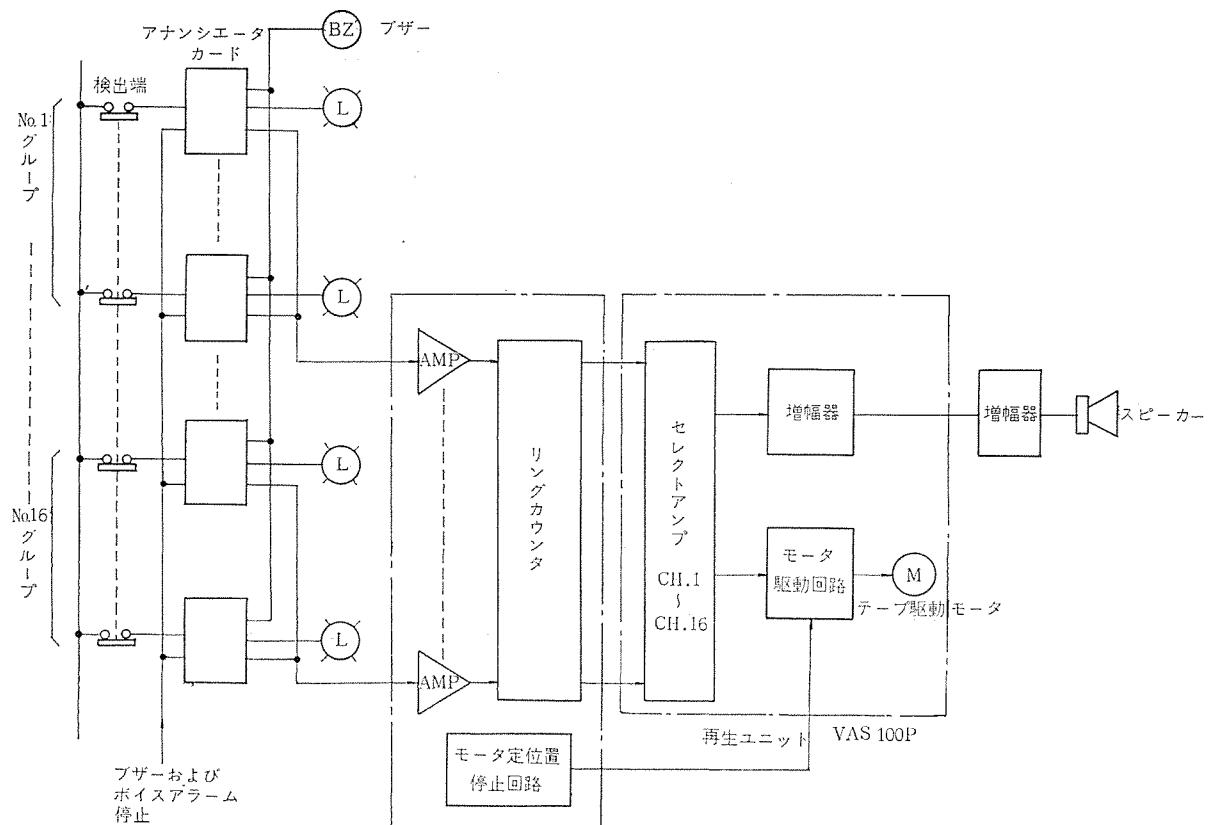


図 3.7 音声警報 ブロックダイヤグラム

Block diagram of Voice alarm.

ニットは1台8チャネルを標準としているので、本船では2台の再生ユニットを並行動作させている。録音テープは、全周約2mのエンドレステープで8トラックを有し、各トラックに独立した再生ヘッドを設けている。たいていの場合、警報内容は5秒間あれば十分放送できる。したがってテープの速度は1周5秒で十分であるが、テープの寿命を長くするため、1周20秒とした。したがってテープ1周で警報は4回繰り返される。図3.7に音声警報装置のブロック線図を示す。

あるグループ内に警報が発生すると、リングカウンタはいかなる場合もチャネル1より順次カウントし、警報が発生している該当チャネルで停止し、再生ヘッドに通電される。テープ駆動モータが回転し、音声警報がなされる。警報内容を1回放送すると、リングカウンタは、次のチャネルから順次カウントを再開し、もし他のグループで警報が発生していないければ、チャネル16からチャネル1に戻り、さらに前述のチャネルまできてカウント停止する。したがってそこで2回目の音声警報がなされる。

もし同時に2グループ以上で警報が発生した場合は、チャネルの若い順番に交互に放送される。機関室でブザー停止の押しボタンを押すと音声警報も停止する。ただし、放送の途中で押しボタンが押された場合でも、テープ駆動モータは放送が完了するまで回りつづける。す

なわち放送の途中で音声が切れる事ではなく、また放送が途中から始まることもない。

4. む す び

本文では「鎌倉丸」の電機品の概要について述べたが、引き続き三菱重工業(株)神戸造船所建造、日本郵船(株)所属「鞍馬丸」、日本钢管鶴見造船所建造、日本郵船(株)所属「北野丸」および三菱重工業(株)神戸造船所建造、大阪商船三井船舶(株)所属の同形船の高速コンテナ船にも主要電機品を納入した。コンテナ船は今後ますます高速化、大型化される傾向にあるが、コンテナ船の就航により、世界貿易の拡大と物資の流通の迅速化が期待される。本文が高速コンテナ船の電機品の発達の一助になれば幸いである。

最後に本船の電機品の製作にあたり、絶大なご指導ご援助を賜わった日本郵船(株)、大阪商船三井船舶(株)はじめ三菱重工業(株)ほか関係者各位に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 米原、船舶の自動化、電学誌、J.I.E.E.J 11/70

機関無人化船用データロガー

松岡宣雄*・秋山始*

Data Loggers for Ships with Unattended Machinery Spaces

Kamakura Works Nobuo MATSUOKA・Hajime AKIYAMA

In keeping with the world trend of building ships with unattended machinery spaces, the Nippon Kaiji Kyokai set up a regulation for unmanned engine rooms in 1969. Since then among vessels newly constructed, a good number of them have entered service under application of the regulation.

Unattended navigation rigidly calls for high reliability and stability on the automatic machines on board.

This article introduces data logger MELDAP-1300 system carried on a MO ships, Kasagisan-maru of the Mitsui O. S. K. Lines, Ltd. (117,000 DWT). Description is also made on a system having a small computer as its nucleus and being expected to come on next to the wired logic system now playing the major role in the data logger.

1. まえがき

近年各国で建造される新鋭自動化船には、英國ロイド船級の UMS (Unattended Machinery space) をはじめ各船級協会の定める機関部無人化規格の適用を受けるものが多い。これは世界的な乗組員の不足に対処するため、定員の合理化をいっそう推進せねばならない社会状勢を反映しており、機関部の主要機器の制御、監視、データ処理等に使用する自動化機器の信頼性が着実に向上してきたことにより、無人化の実施が可能となった。

わが国においても日本海事協会(以下NKと呼ぶ)が昭和44年9月にディーゼル船、昭和45年9月にタービン船の「機関の無人化」に関する規則(NKの場合はMO規則と呼ぶ)を発表した。これを契機として無人化のMO規則の適用を受ける船が多数建造されるようになった。当社では、ジャパンライン(株)が三菱重工業(株)広島造船所で建造した、昭和44年11月にわが国で初めてMO符号を取得された鉱石兼用船「ジャパンマグノリア」号94,465トンに、MELDAP-1300形データロガーを納入したのをはじめ、ロイドUMS規格適用の鉱石運搬船やNK-MO規則適用のオイルタンカー、鉱石運搬船、コンテナ船など多数に同形のデータロガーを納入してきた。

当社では昭和41年に当時すでに発表されていた各国の無人化船の規格を参考にして、これらの規格に定める環境条件に合格する機関部用のデータロガーMELDAP-1300、およびスキャニングモニターMELDAP-1100を開発し、以来このタイプの装置を多数製造し、納入先の各船で良好な(稼)動実績を得ていた。このため、最近の無人化規格適用船向けのデータロガーについても、すでに安定した技術が確立されているMELDAP-1300を用いてシステムを構成し、きびしい信頼性確保の要請にこたえて機関部の無人化に役立つ装置を次々と納入してきた。

本文では機関の無人化規格適用のMELDAP-1300、および現在主流を占めているWired Logic方式のロガーに代わって、近い将来登場てくることが予想される小形の計算機を中心として、システムを構成するコンピューティングロガーについて述べる。

2. 機関の無人化規格適用のデータロガー MELDAP-1300

2.1 NK-MO船 笠木山丸 納め MELDAP-1300

本船は大阪商船三井船舶(株)が三菱重工業(株)広島造船所で建

造した、昭和45年11月に完成した鉱石運搬船117,571トンである。本船に納入したMELDAP-1300は入力点数121点、當時監視点数12点の規模でスキャニング速度0.5秒/点のロガーに當時監視機構を付加している。図2.1はMELDAP-1300の外観、図2.2はブロック図、表2.1は入力点の一覧を示す。

このシステムの入力121点のうち118点は、温度・圧力・回転数・電流・変位(または角度・位置)などのアナログ入力であり、残り3点は流量積算データである。時刻データは親時計よりパルス信号で与えられ、ロガー内部にてデジタル回路により構成している時計回路で計数される。アナログ入力118点のうち表2.1の一覧表でスキャナ入力点欄に◎印で示す12点が當時監視入力である。これらの入力点はNK-MO規則において、周期10秒を越えるスキャニング方式のみによる監視が禁じられている重要な入力である。

このロガーの監視・記録・デジタル表示などの機能は、すべてシリコントランジスタを主体とした論理回路で組立てられている。次に監視・記録・デジタル表示の主要機能について述べる。

監視は前記のとおり、重要入力点12点はそれぞれの入力点の1点ごとに対応した當時監視機構によって、またその他の入力点はプログラムボード、ピンボード、およびA/D変換器などのアナログとデジタルの回路を使用して行なわれる。當時監視入力点に異常が発生すれば當時監視機構によって検出し、通常の走査監視に異常入力点の警報

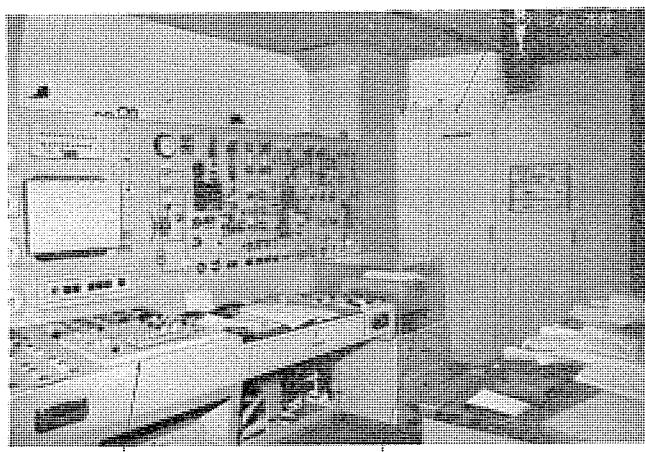


図2.1 船用データロガー MELDAP-1300
Marine data logger MELDAP-1300.

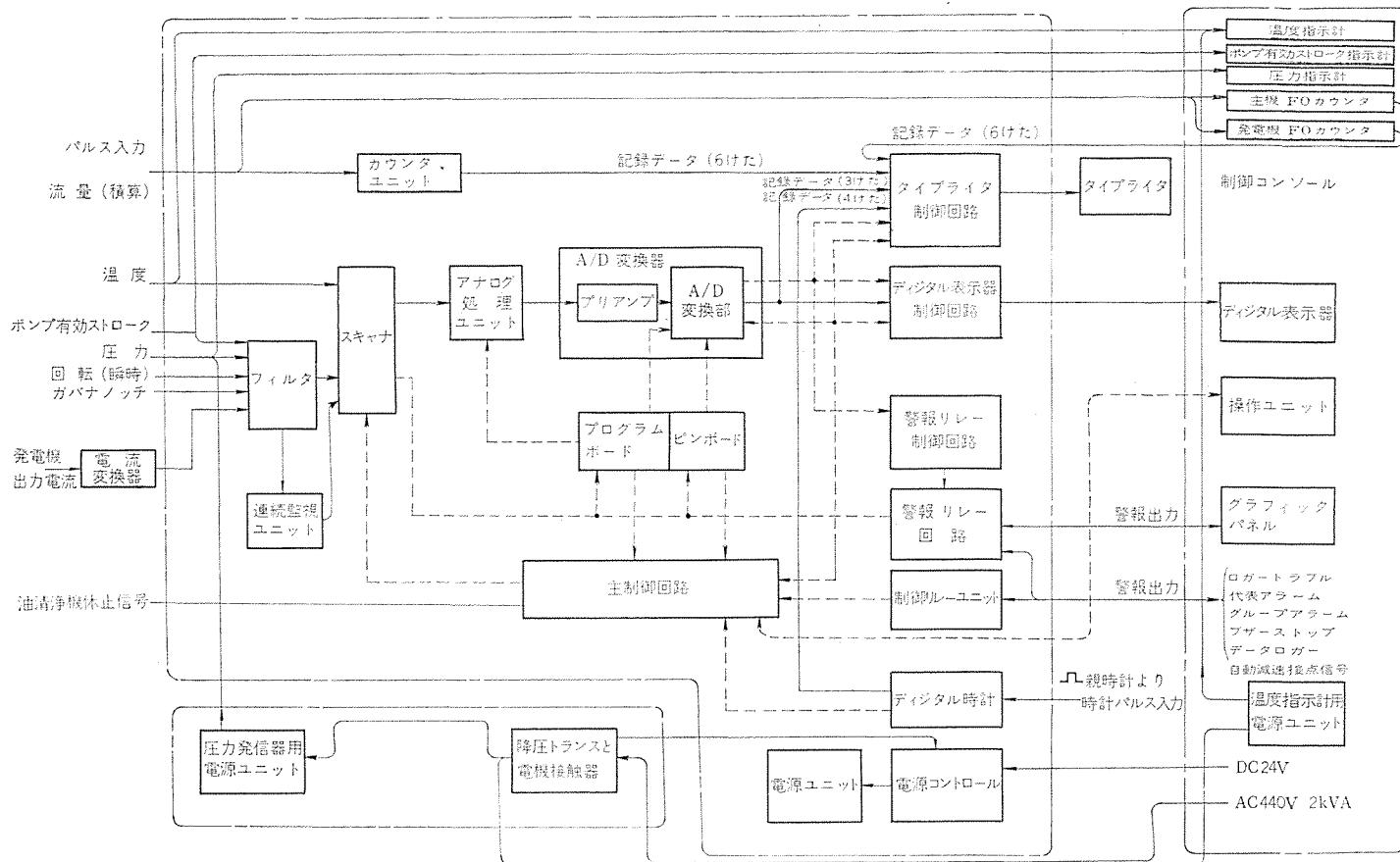


図 2.2 笠木山丸 納め MELDAP-1300 ブロック図
Block diagram of MELDAP-1300 for S.S. KASAGISAN MARU.

表 2.1 笠木山丸 納め MELDAP-1300 入力点一覧表
Input list of MELDAP-1300 for S.S. KASAGISAN MARU.

入力点番号	入力項目	スキャナ入力点	デジタル表示項目	記録項目	警報項目	入力点番号	入力項目	スキャナ入力点	デジタル表示項目	記録項目	警報項目
1	時刻	○	○	○		68, 69	1, 2号空気冷却機冷却海水出口温度	○	○	○	
2	主軸回転数 (rpm)	○	○	○		70	冷却海水清浄ポンプ出口温度	○	○	○	①
3	ガバナーノッチ	○	○	○		71, 72	スターンチューブペアリング温度(船首, 船尾)	○	○	○	①
4	ポンスマーカー	○	○	○		73, 74	トンネルシャフトペアリング温度(船首, 船尾)	○	○	○	①
5	F.O 消費量					75	発電機 F.O 消費量	○	○	○	①
6	シリンダ油消費量					76	発電機冷却清水入口圧力	○	○	○	①
7	主機 F.O 入口圧力	◎	○	○	①	77	発電機冷却清水入口温度	○	○	○	①
8	主機 F.O 入口温度	○	○	○	①	78	発電機冷却海水入口圧力	○	○	○	①
9~16	主機シリンダ排気ガスモニタ温度	○	○	○		79	1号発電機電流	○	○	○	①
17, 18	主機 No. 1~8 シリンダ排気ガス温度	○	○	○		80	1号発電機 L.O 入口圧力	○	○	○	①
19, 20	主機 No. 1, 2 過給機回転数	○	○	○		81	1号発電機 L.O 入口温度	○	○	○	①
21	過給機 L.O 入口圧力	◎	○	○	①	82	1号発電機冷却清水出口温度	○	○	○	①
22, 23	No. 1, 2 過給機 L.O 出口温度	○	○	○	①	83	1号発電機過給機排ガス出口温度	○	○	○	①
24	掃気空気ボックス圧力	○	○	○		84~89	1号発電機 No. 1~6 シリンダ排気ガス温度	○	○	○	①
25	掃気空気ボックスコモン温度	○	○	○		90	2号発電機電流	○	○	○	①
26, 27	掃気空気 No. 1, 2 空気冷却機空気入口温度	○	○	○		91	2号発電機 L.O 入口圧力	○	○	○	①
28, 29	掃気空気 No. 1, 2 空気冷却機空気出口温度	○	○	○		92	2号発電機 L.O 入口温度	○	○	○	①
30~37	掃気空気ボックス No. 1~8 温度	○	○	○	①	93	2号発電機冷却清水出口温度	○	○	○	①
38	ベアリング L.O 入口圧力	◎	○	○	①	94	2号発電機過給機排ガス出口温度	○	○	○	①
39	クロスヘッド L.O 入口圧力	◎	○	○	①	95~100	2号発電機 No. 1~6 シリンダ排気ガス温度	○	○	○	①
40	ベアリング L.O 入口温度	○	○	○	①	101	3号発電機電流	○	○	○	①
41	スラストベアリング L.O 温度	○	○	○	①	102	3号発電機 L.O 入口圧力	○	○	○	①
42	ジャケット冷却清水入口圧力	◎	○	○	①	103	3号発電機 L.O 入口温度	○	○	○	①
43	ジャケット冷却清水コモン入口温度	○	○	○	①	104	3号発電機冷却清水出口温度	○	○	○	①
44~51	ジャケット冷却清水 No. 1~8 出口温度	○	○	○	①	105	3号発電機過給機排ガス出口温度	○	○	○	①
52	ビストン冷却清水入口圧力	◎	○	○	①	106~111	3号発電機 No. 1~6 シリンダ排気ガス温度	○	○	○	①
53	ビストン冷却清水コモン入口温度	○	○	○		112	ボイラ蒸気圧力	○	○	○	①
54~61	ビストン冷却清水 No. 1~8 出口温度	○	○	○	①	113	ボイラ F.O 入口温度	○	○	○	①
62	燃料弁冷却清水入口圧力	◎	○	○	①	114~116	No. 1~3 C 重油清浄機ヒータ出口温度	○	○	○	①
63	燃料弁冷却清水入口温度	○	○	○		117	主機 L.O 清浄機ヒータ出口温度	○	○	○	①
64	燃料弁冷却清水出口温度	○	○	○	①	118	発電機 L.O 清浄機ヒータ出口温度	○	○	○	①
65	機関部室温	○	○	○		119	C 重油常用タンク温度	○	○	○	①
66	冷却海水圧力	◎	○	○	①	120	C 重油澄タンク温度	○	○	○	①
67	空気冷却機冷却海水入口温度	○	○	○	①	121	A 重油常用タンク温度	○	○	○	①
合計点数						12点		118		72	

○連続監視点 ○上限監視点 ○下限監視点

とデータ処理の動作を割込ませる方式をとっている。警報出力は各入力点ごとに接点信号で出力され、機関部制御室のグラフィックパネルに表示されるとともに、接点信号による代表アラーム信号がロガーの故障警報信号などと一緒に船内の警報システムに接続されている。

記録はA/D変換器によって、デジタル化された計測データ・積算データ・時刻データを、定刻記録・任意記録・異常値記録などの印字指令(コントロール信号)により、タイプライト制御回路がIBM-735形タイプライタをコントロールしてプリントする。

デジタル表示は、A/D変換器によってデジタル化された計測データやピンボードに設定してある警報設定値を、任意呼出し表示や異常値表示の表示指令(コントロール信号)により、デジタル表示制御回路が投影式デジタル表示器に出力する。なおこのロガーではアナログ入力データは有効数字3けた、積算データは6けた、設定値は2けた、時刻は4けたの十進数で取扱われている。また装置の操作は制御コンソール上に設けられたロガー専用の操作ユニットにより行なっている。

2.2 MELDAP-1300の信頼性

NKが定める機関の無人化符号MOを取得する船では、就航後3カ月以上の試用期間を経たのち、船主の申し出により各機器の状況を検査し、これに合格しなければならない。この検査の際には本船の航海中に発生した自動化機器の異常状態、故障の種別、発生日時、原因などの記録の提出を求められ、自動化機器のか動状況が思わしくない場合は、MOを取得することができない。またMO取得後においても、万一自動化機器が順調にか動しない事態が発生すると、機関無人化の状態での運転に支障をきたし乗組員に大きな負担がかかる。このような事情より、自動化機器の信頼性に対してこれまでよりさらにきびしい要求がなされる。自動化機器へのいっそくの信頼性確保の要求は、うえに述べたNK-MOだけでなく、各国の船級協会が定める無人化規定の適用を受ける場合でも変わりはない。

MELDAP-1300では設計・加工・試験の各プロセスにおいて、次の6点を徹底することにより十分な信頼性を得ている。

- (1) 安定した回路方式の論理素子の使用と上手な回路の組み方
- (2) 信頼性の高い部品の使用
- (3) 十分な機械的強度の確保
- (4) 良好なワーカンシップの維持
- (5) 十分なエージングとヒートランによる信頼性と安定性の確保
- (6) 全製品に対しての耐環境試験の実施

うえにあげた事項のうちより(1),(5),(6)について実際にどのような方法がとられているかについて述べてみたい。まず(1)では雑音・電源電圧変動・温度変化に対して、非常に安定なシリコントランジスタによるスタティック回路方式の論理回路素子を使用している。さらに当社のデータロガーは、昭和35年に陸上プラント向けのロガーを作成して以来、一貫してトランジスタスタティック回路を論理回路素子として使用してきたため、長年の経験によりこの素子を用いて上手に安定な論理回路を組む技術が確立されている。次に(5)については、(a)トランジスタダイオードの半導体をプリント基板に組み込む前の部品段階、(b)カードに組み立てた段階、さらに、(c)装置としての総合試験の段階において全号機に対し、(a)は150°C 200時間、(b)は60°Cで200時間、(c)は装置の調整終了後に55°Cでのランニング試験を含めて200時間以上のエージングおよびヒートランを行なっている。さらに(6)については各国船級協会の定める温度試験を工場出荷前の立合試験として実施する以外に、独自に温度

0~55°C、湿度85~100%のサイクル試験を全製品に対して実施している。

このように機関の無人化規定の適用を受ける装置では非常にきびしい製造方法を取っているため、メーカーにおける製作費用も従来の機器に比べてかさむが、無人化運転により安全な航海を行なうためには、ある程度の費用の増加はやむを得ないものと考える。

2.3 MELDAP-1300の保守性

当社は前記のように高い信頼性と安定性を、MELDAP-1300の全号機について確保するよう努力しているが、出荷後の製品がいずれもまったく故障もなくか動しているかと言えば、決してそうではなく非常に少ない件数ではあるがやはり故障を経験している。ここにおいて故障を未然に防ぐ予防保守(preventive maintenance)と、故障修理のための保守が問題になり装置としての保守性が問われる。

MELDAP-1300でも、保守の容易さについては十分な考慮を払っておりその要点を次にあげる。

(1) 予防保守が容易に行なえる

装置のか動状態を点検するため、計測精度と各部の直流電源電圧が毎日の点検(daily maintenance)で手軽にチェックできる。また入港時や入きょ(渠)時に、メーカーのサービス員により各部回路の動作状態を手早く点検できるよう、装置のすべての回路はパッケージ化(プリント基板による)またはユニット化されており、装置のどの部品も保守用ケーブルまたは器具を使用して手前に引き出せるようになっていいる。

(2) 故障修理の保守が容易に行なえる

前述のようにMELDAP-1300のすべての回路は、パッケージ化またはユニット化が行なわれているため、とくに回路の大部品を占める論理回路の故障修理は、プリントカードのさし換えによって行なうことができるため、故障修理の時間が短縮でき、かつ回路について詳しい知識を持たない人でも、トラブルシューティングガイドを頼りに交換法により修理を行なうことができる。またこの装置では主要な9件のアイテムについてセルフチェックを行なっており、故障が発生した場合には、それがどの部分でどの動作に関係して発生したものかが直ちに確認できるようになっている。

(3) 説明書類の充実

MELDAP-1300では操作方法・保守方法・故障修理・回路の詳しい説明書が充実しており、保守のレベルに応じてそれに関する資料が読めるように編集されている。

3 船用データロガーの将来

現在機関の無人化規定の適用を受けるデータロガーでは、一般に次に示す3とおりの方式の装置が使用されている。

(1) スキャニングにより入力点を監視して、デジタル的にデータ処理を行なう方式

(2) 常時監視機構により連続的に監視を行ない、データ処理はデジタル的に処理する機構を附加して行なう方式

(3) 上記(1),(2)を組み合わせた方式

これらの方程式のシステムは、いずれも製作面で標準化が行なわれているとはいえない、仕様および機能をすべて回路によって作り上げている、いわゆるWired logic方式の装置であるため、完全な標準化が困難であり、注文生産の部分があることにより、製造メーカーにおいては生産性の低いことが問題となり、併せて最近の労務費の高騰により1システムごとに人手をかけて作り上げてゆくこの方式の装置は、

製造面で量産が可能な計算機に比べて不利な面が多い。このような情勢よりやがて Wired Logic 方式のシステムに代わって、小形の計算機を使用したコンピューティングロガーが登場してくるものと思われる。このような機種の変遷は陸上の設備に使用するシステムではすでに数年前に経験しており、計算機の信頼性の向上と相まって船においてもその時期は割合早くやってくるものと考えている。

次にコンピューティングロガーシステムについて考えてみたい。このシステムに使用する計算機のハードウェアは、陸上設備で多数使用されている小形の計算機に船用化対策を施したものとなろう。これを在来の Wired logic 方式のロガーと比較すると、次に示すいくつかの特長を指摘することができる。

(1) ハードウェアは小形化が進むとともに信頼性の向上が期待でき、船舶積載機器として十分な信頼性を持つことができる。

(2) 製造面で量産が期待できることから生産規模の拡大により、将来製品価格の安くなることが期待できる。

(3) ロガーの機能を現在のロガーの範囲にとどめるか、さらに効率計算とトリップシーケンスの記録などの若干のデータ処理を付加する程度とし、かつソフトウェアを繰返し使用できるようにすれば生産性の向上が期待でき、現在のロガーに近い費用で設置できるものと思う。

(4) 計算機の場合は資料が一般教養的なものから、取扱い説明書に至るまで豊富にある。

(5) オペレータや保守員の教育の機会が多く、育成が容易である。

(6) テストプログラムによる自己診断ができるため、保守性がよい。

両者を詳細にわたって比較すればこのほかにも多くのコンピューティングロガーシステムの特長をあげることができるが、ここに示した6点の大きな特長をみても、近い将来コンピューティングロガーシステムが、現在のシステムに代わって登場するであろうことが容易に想像できる。ここに示した6点の特長のうち特に(3)は重要であるため、この点について説明を付け加えておきたい。すなわちコンピュータロガーシステムを使用する際でも、ハードウェアおよびソフトウェアの仕様を徹底的に標準化することによって、初めて設置費用の引き下げが可能となることを強調しておきたい。たとえば次の例を考えればこの事情は理解いただけると思う。コンピューティングロガーの場合は中核に計算機を使用するため、プログラムの組み方と入出力装置の組み合わせによって、ある程度思いどおりの機能を持つシステムを作ることができるが、そのシステムの仕様がシステム構成、ソフトウェア、ハードウェアの各面において標準仕様と異なるものとなった場合は、システム設計、ソフトウェア

およびハードウェアのシステム構成等は、そのシステムだけのために製作されることになり、これらの面で標準仕様の技術を繰返し使用するという条件がくずれてくる。その結果システムの完成まで多くの人手が必要となりシステムの製作費用は割高となる。

このように計算機を使用した場合でも、標準仕様のシステムを採用したときには、その技術を繰返し使用できるため設置費用は割安となるが、標準以外の仕様を織り込む場合は、ある程度の費用の増加を見込む必要がある。しかしながら、一方では計算機を使用するためユニット的に標準化が行なわれているハードウェアを組み合わせたうえで新たにアプリケーションプログラムを作ることにより、特色あるシステムを作り得るフレキシビリティを持っていることもこのシステムの特長の一つと言えよう。

最後に現在試験的に実施され注目を集めている高度集中制御システムと、コンピューティングロガーシステムを簡単に比べてみたい。集中制御システムにおいても、その中核には小形の制御用計算機が使用されているが、その設置費用はコンピューティングロガーに比べてばくだいなものとなっている。このように中核に同じ程度の小形の計算機を使用しても、計算機に課す仕事の内容と規模が異なれば、ハードウェアおよびソフトウェアの費用は大きく変わる。すなわち高度集中制御システムでは航法・荷役・機関部のデータ処理と制御を行なっており、このシステムと先に述べたコンピューティングロガーシステムを比較すると、後者の機能は前者の機関部のデータ処理の機能の一部分を行なうにすぎず、機能およびプログラムは前者の数十分の一の規模となる。

4. む す び

機関の無人化実施により、自動化機器は信頼性と安定性の確保をいっそうきびしく追求される時代となり、装置メーカーはこれにこたえるべく製品試験の強化、製品の改良、新製品の開発などの手段をつくし懸命に努力している。

そしてデータロガーは、現在の Wired logic 中心の傾向は信頼性・安定性の確保や保守性、製造面での生産性の面でやがて限界に達し、これに代わる新しいシステムが登場してくる。筆者は次に登場する新しいシステムは小形の計算機を中核とするものであろうと予想している。

最後に MELDAP-1300 をご採用いただき、無人化規定適用のシステム作りのうえで種々ご指導をいただいた日本海事協会、船主、造船所の関係者各位に厚くお礼申し上げる次第である。

最近の機関室自動化装置

山地 正城*・木戸 正克*

Recent Automatic Operation of Engine Room Machinery

Nagasaki Works Masamura YAMAJI・Masakatsu KIDO

Recent technique of turning ships to automatic operation was taken up sometime about 1965, but it has passed the period of development and entered into practice. Introduction of computers has made epochal progress in this kind of engineering, and the automatic operation has been promoted to higher degree.

Of a variety of apparatus employed for this purpose, herein are described devices in the engine room and their function. Especially mention is made on unattended machinery spaces of vessels, for the number of ships with unmanned engine room is on the increase nowadays.

1. まえがき

わが国の造船技術革新に伴う研究開発は、世界水準をこえるものがあるが、自動化に関しては国内事情の相違もあって、近時欧州各国の技術向上が著しく、新造船ではもはや機関室無人化は通常化した感があり、さらに既就航船の無人化改裝が盛んに実施されている状況である。かかる情勢に対処し、今後ますますひつ迫する乗組員不足を解決し、運航採算性と安全性の飛躍的向上をはかるため、わが国でも高度の集中制御および監視による自動化の研究が推進されつつある。当社でも、昭和36年以来、船舶自動化に関する研究開発に取組み、数々の製品を実用化し、多数のとう（搭）載実績をつみ重ねてきたが、機関室無人化システムの確立のために、さらに高信頼性機器および新製品の開発を積極的に行なっている。機関室無人化船に関しては、昭和42年に就航した20万トンの大形ディーゼルタンクのNV-EO適用船を皮切りに、多数の機関室無人化船の自動化機器を製作納入してきた。あとで述べられるブリッジコントロール付き主機リモコン装置、データロガー、高度の警報装置、各種監視盤やコンソールがそれらの具体的製品であるが、そのシステムはおおよそ次のようなものである。

(1) 船橋からの主機遠隔操縦を可能とし、船橋内に機関の重要な部分の監視のためのパネルをおき、場合によってはモニター、テレビを設置して主機や補機の運転状況の監視ができるようになっている。

(2) 無人運転を実施中万一異常が発生したときは、船橋および機関部職員居室に各種警報が発せられる（主機自動停止警報・発電装置異常警報・一般異常警報・火災警報など）。場合によっては、音声警報装置で異常に関する情報を自動的に伝達する。

(3) 機関室にエアコンされた中央制御室を設け、コンソール・グラフィックパネル・データロガー・リモコンパネルなどを備え、主機関や主要補機の遠隔操縦・遠隔監視を可能にしている。

(4) 発電設備では、とくにスタンバイ発電機の自動起動装置、自動同期投入装置、自動負荷分担装置などを備え、電源の確保のためのあらゆる手段を講じている。

(5) 主機操縦装置と関連して、プラントモードの自動切換えや補機の自動起動自動切換えを大幅に採用し、さらに各種の自動調節（温度・圧力など）を行ない、プラントの安全性を高めている。

2. 機関室無人化の要点

機関室無人化といつても運転準備操作はすべて手動で行なわれ、また出入港運転の際は制御場所で機関が監視されており、いわゆる無人運転は行なわれない。外洋に出て通常航海状態になって機関各部が安定した時点から機関の無人運転がはじめられる。機関室を無人化、すなわち当直者がいなくとも在来船と同等以上の安全性の確保が要求されるのは当然である。そのため船級協会により大体次のような点が無人化船に対して規定されている。

(1) 通常の運転状態（常用航海状態）のもとで、少なくとも24時間の推進装置の無人運転が可能であること。

(2) 船橋から簡単な操作で推進機関の安全な運転操作、すなわち増減速・発停・前後進操作ができるような操縦装置を設けること。

(3) 重要な機器の運転および監視ができるような制御場所を設けること。

(4) 異常状態の発生による損傷の防止および被害の波及防止の手段を講ずること。ただし、異常状態の発生が直ちに重大な損傷に発展する可能性のないものについては警報のみでさしつかえない。

(5) 補機の異常に際し、推進機関をできるだけ停止せしめない手段を講ずること。すなわち重要補機の自動起動・自動切換・順序起動など、特に主電源の確保はスタンバイ発電機の自動起動・自動投入などの手段により十分考慮を払う必要がある。

(6) 船橋・制御場所・機関室・機関士居住区域間に通信装置を設けること。また、機関室の警報を船橋および居住区へ延長することも考慮されるべきである。

(7) 警報装置は間けつ異常確認が可能なものであること。すなわち無人運転中に発生した異常が自然に正常に復帰しても、それをあとで確認できる装置であること。

(8) 機関室の火災予防・検知および消火装置については、特別な考慮を払うこと。

機関室の無人化の成否については、以上述べたような装備を設けるだけではなく、関連する多くの機器の信頼性が高いということが必要条件である。したがって無人化適用船に装備する機器の性能や品質については、各船級協会とも厳重にチェックするよう規定している。とくに自動化の中心となる電子機器については、当社では主機リモコン装置・発電装置用・警報装置用を問わず、すべてユニット単位でパネル組立前に常温にて最低200時間のエージングを行ない、

装置として組立後 50°C または 55°C で 4 時間から最高 8 時間の通電試験を実施しており、船用自動化装置として耐環境性と信頼性向上に努めている。

注) 機関室無人化に関する規則

(1) ノルウェー 船級協会 (NV)

Recommendations for Periodically Unmanned Engine Plants-Class EO Motor Ship.

1966年1月に制定し、1967年 Recommendation の表現のまま規則に編入された。付与される符号は EO (Max-Hours) で時間表示は最長無人化可能時間を示したものである。

(2) 英国 ロイド 船級協会 (LR)

Recommendations for Automatic and Remote Controls in Ships having Unattended Machinery Spaces.

1968年3月に規則化された UMS の符号が付与されるが、これは Unattended Machinery Spaces に由来している。

(3) 米国船級協会 (AB)

Shipboard Automatic and Remote Control Systems (Section 46)
1968年に案が発表され、1969年に改正案が制定された。ACCO の符号が付与されるが、これは Automatic Control System For Unattended Engine Room Certified に由来している。建造中に検査を受けたときは、その頭に+（クロスマrk）が付く。

(4) フランス 船級協会 (BV)

Guidance Note-Automated Ships Technical Granting Conditions of Special Marks (NI 134-BM3)

1968年3月に規則化され、適用船には AUT の符号が付与される。若干程度を落した自動化船には (AUT) が付与される。また建造中に AUT の検査を受けなかった場合は AUT (AUT) のごとくアンダーラインがつく。AUT Automated Ships の意味である。

(5) 日本海事協会 (NK)

自動制御および遠隔制御（鋼船規則第38編）

船舶の自動制御・遠隔制御に関する指針

ディーゼル船の無人化に関しては 1969 年 9 月に制定され、続いてタービン船に関しては 1970 年 5 月に最終審議を終わって 7 月には制定された。機関の無人化船に対する符号 MO は、船級付記符号とはせず、単に船級登録原簿に記載するに止めるということになっている。

(6) その他の船級協会

西独 ロイド 船級協会 (GL) は、1967 年 2 月に規則化され、付与される符号は特ない。証明書が発行される。イタリア 船級協会 (RI) も 1968 年に Recommendation を発表したが、適用は貨物船に限定しており、IAQ の符号が付与される。

3. タービンリモートコントロール装置

この装置は、主機タービン操縦弁をブリッジまたはエンジンコントロールルームからリモートコントロールする装置で、設定器を所定の目盛にセットするだけで、前後進切換・起動・停止・増減速・急逆転等が、あらかじめ決められたプログラムどおりに自動的に行なわれるワンタッチコントロール方式である。制御方式は電気油圧方式で信号伝送回路・制御回路は電気回路であり、操縦弁駆動には油圧シリンダを用いている。

3.1 制御システムの説明

最近の自動化船のほとんどが採用している制御方式を図 3.2 に示す。タービンリモートコントロール装置が実用化された初期のものは、ブリッジまたはコントロールルームよりワンタッチにてタービンの蒸気弁の開度

を制御する方式で、回転数制御といった点からは開ループの一方向制御であり、これには次のような不具合点があった。

(1) プロペラ回転数は弁開度の 3乗根に比例しているので、特に操縦性を要求される出入港時の低回転数域で回転数の微調整が困難である。

(2) 蒸気条件は常に一定でないので弁開度と回転数の関係は一義的に定まらず、所定の回転数を維持するために操縦者は絶えず回転数を見ながら弁開度を調整しなくてはならない。

(3) 湾内に入ったときなどは過渡状態の連続であり、回転数の整定には速応性が要求される。船は行足がある場合その大きな慣性のため、たとえば、弁は閉まっていてもプロペラ回転数は遊転を続ける。こうした場合回転を停止させるためには、従来の勘に頼り適度の逆転蒸気を入れる必要がある。これらの欠点を補うためにプロペラ回転数に比例したスピードフィードバック信号を導入し、図 3.3 に示すような比例器および積分器により、制御系の応答性および精度を高めることができるようになった。比例器はコントロールダイヤル設定値とプロペラ回転数信号に偏差があれば、その偏差に比例した電圧を見かけ上の設定入力として加算し、プロペラの回転数を目標値（ダイヤル設定値）にすばやく追従させる。積分器は制御系（機械系も含む）のガタによるオフセットを積分し、プロペラの回転数が完全にダイヤル設定値に一致するまで、電流増幅器に入力電圧として加算される。本シ

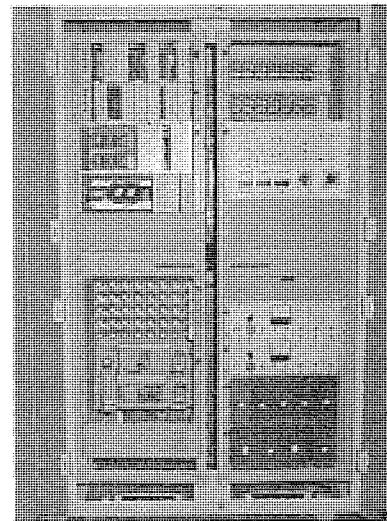


図 3.1 タービンリモコン装置用リレーパネル
Relay panel for main turbine remote controls.

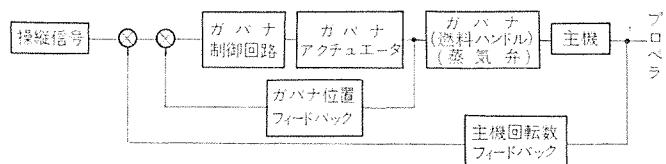


図 3.2 タービンリモコンシステムブロック図
Block diagram of turbine remote control system.

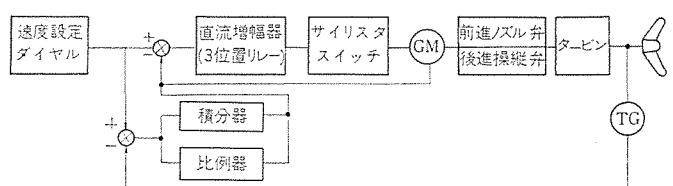


図 3.3 タービンリモコンへの PI コントローラの適用
Turbine remote control system with PI controllers.

表 3.1 タービンリモコン装置のおもな機能
Principal functions of turbine remote control system.

No.	機能およびインターロック	説明	No.	機能およびインターロック	説明
1	操作場所	<ol style="list-style-type: none"> ブリッジ——コントロールレバーによる コントロールルーム——押しボタンによる 機側——手動操作 	6	関数発生器	コントロールレバー目盛とプロペラ回転数の関係が正比例になるようにコントロールレバーの出力信号をノズルバルブリフトとプロペラ回転数の関係に応じてある関数に変換する。
2	回転数フィードバック	<p>マニウバリング領域のみ回転数フィードバックにより回転数制御を行ない、ノルマル領域では弁開度フィードバックのみとし回転数フィードバックは行なわない。</p> <p>回転数フィードバックが行なえる条件</p> <ol style="list-style-type: none"> 回転数フィードバックスイッチが正常ノッチ コントロールレバー マニウバリング領域 コントロールレバー ノルマル位置でも ノズル弁がマニウバリング位置の場合 	7	オートスピニング	タービンを停止して3~4分たつと、ロータの熱分布が変化して主軸がたわむ、このため、すぐ回転させると振動がある。これをさけるため、主軸が停止して1~2分後、自動的に蒸気を入れ前進側、後進側交互にわざかずつ主軸を回転させる方式。
3	タイムスケジュール	<p>コントロールレバーの出力に傾斜信号発生器 (time ratio controller) を接続し設定信号を遅延させる。</p> <p>前進増速および後進増速に設けるが、減速にはつけない。 タイムスケジュール ON-OFF スイッチは C/R におく</p> <p>特殊仕様として主機異常振動検出により上記に優先して別のタイムスケジュールが行なわれる場合がある。</p>	8	後進中間弁の閉鎖	モードスイッチにより閉鎖させる マニウバリングで中間弁閉となる
4	ブレーキ特性	<p>ダイヤル停止時のみプロペラ回転方向と逆の弁を開きブレーキ効果を与える。 ダイヤル停止時以外ではプロペラ回転方向と逆の弁を開かない範囲でブレーキ効果を与える。</p>	9	モードスイッチ	<p>モードスイッチは下記の条件によりノルマルからマニウバリングに自動的に切り換わる。</p> <ul style="list-style-type: none"> レバーコントロールの場合 <ol style="list-style-type: none"> コントロールレバーがマニウバリング領域 前進ノズル弁がマニウバリング領域 押しボタンコントロールの場合 <ol style="list-style-type: none"> 前進減速または後進増速押しボタンを押して、前進ノズル弁がマニウバリング領域になったとき 注) ノルマルからマニウバリングへは手動により任意に切り換えできる。 <p>モードスイッチがノルマルからマニウバリングに切り換わるとき運動して、 後進中間弁閉 → 開 ドレン弁(3個)閉 → 閉</p>
5	オーバーライド特性	<ol style="list-style-type: none"> ガバナモータの上限リミッタを蒸気圧力によって自動調整する ドラムレベル高の場合はインラプタにより断続的に閉め込む、回復すれば自動復帰する 	10	前進弁トリップ	次の条件でトリップする <ol style="list-style-type: none"> タービン過速度 L.O. 圧力低下 ボイラーエンジン共トリップ 手動トリップスイッチ (W/H, C/R 機側) 無電圧 HP, LP スラスト ト袖受異常 異常振動 主復水器 真空低下
			11	後進弁トリップ	次の条件でトリップする <ol style="list-style-type: none"> L.O. 低下 手動トリップスイッチ (W/H, CR 機側) 無電圧
			12	タービントリップ後の再起動	コントロールレバーが停止位置およびガバナモータがバルブ全閉位置に復帰していなければ再起動できない。
			13	オーバーラップ	前進切換えのとき、ボイラードラムレベルの変動を小さくするために前進弁と後進弁をオーバーラップ (10%以下) させる。
			14	ターニングギヤインターロック	ターニングギヤが完全離脱の位置をリミットスイッチにより検出し、ターニングギヤが脱とならないときは前進、後進いずれのガバナモータも操作できない。
			15	後進中間弁インターロック	後進中間弁が全開していないときには後進操縦弁用ガバナモータは操作できない。 なお、後進中間弁はバイロット電磁弁通電にて閉電源 OFF にて開となる。
			16	テレグラフインターロック	テレグラフ指令と逆の方向にコントロールレバーを操作してもガバナモータは動作せず、同時に誤操作警報が出る。 押しボタンコントロールの場合、テレグラフインターロックはないが誤操作警報は出る また、テレグラフの制御電源 OFF のときには、テレグラフのインターロックが解除され、コントロールレバー操作によりガバナモータはいずれの方向にも動作できる。
			17	フェイルセーフ Fail Safe	コントロールレバー出力信号、弁開度フィードバック信号、プロペラ回転数フィードバック信号が断線した場合、主タービンを現状維持させる。
			18	警報 Annunciator	<p>WRONG DIRECTION POWER FAILURE HP & LP THRUST EMER HP & LP VIBRATION OVER SPEED AUTO SPIN TROUBLE OVER RIDE FEATURE REMCOON TROUBLE EMERGENCY TRIP AST GUARD ULV NOT OPEN TELEGRAPH NO VOLT</p>

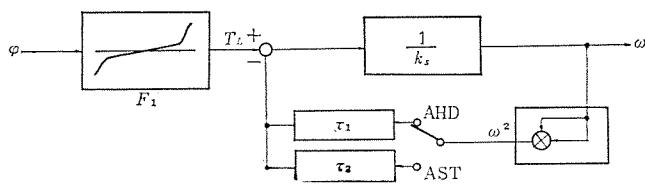


図 3.4 主タービンのシミュレーション
Simulation of main turbine.

システムは複雑なインターロックを有しているが、ON-OFF 制御を使用することによって回路構成を簡単にしている。ON-OFF 制御信号を発生する電流増幅器は3位置形リレーであり、その出力は3種ある。一つは前進増速用または後進減速用、一つは前進減速用または後進増速用、もう一つはガバ停止信号用である。このように一つの信号を前進用と後進用に使用しているが、同時に前進側と後進側に信号がでることは許されないので、弁開度フィードバック装置に組み込まれたリミットスイッチにより、前進弁・後進弁のどちらか一方にのみ信号が送られるようにインターロックされている。直流増幅器（3位置リレー）出力はサイリスタスイッチ（無接点開閉器）に送られ、サイリスタスイッチのON-OFFによりガバモータが制御されるわけである。

3.2 タービンシミュレーション

主機 タービンリモートコントロールシステム に回転数 フィードバックを取り入れることにより、プロペラ 回転数の応答は早くなり精度もよくなった。しかしながら比例定数および積分定数を プラントに合った最適な値に調整しないと、系の安定性を乱し ハンチングを起こす可能性がある。この調整のためには船を実際に運転する必要があり多大な時間および費用を要していた。

このためにタービンを模擬した、いわゆるタービンシミュレーターなる装置を使用して、リレーパネルとカップルテストを行なうことによって、これらの定数を決めたいという要望が高まり、シミュレーターを作製した。次にこの装置について簡単に説明する。タービンの全機能を数式で模擬するためには、ばくだいな手間を必要とするのでここでは、式(3.1)に示す基本的な運動方程式を使用した。

$$k d\omega/dt = T_E - T_P \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

ただし、 k : タービンローター 減速歯車（プロペラを含む）の回転部
の プロペラ 軸に換算しての慣性 モーメント
(kg-m/s²)

T_E : タービントルクで弁開度 α の関数

T_P : プロペラトルク で回転数 n の 2乗に比例する

$$\omega : 2 \pi / 60 n \text{ (rad/s)}$$

図3.4はこれらの関係をブロック線図で表わしたものである。プロペラトルク定数は前進側と後進側とで若干異なるので、回転数の正負でこれを切換える。

以上のようなタービンシミュレータを完成しすでに数多くの実績を残している。

3.3 タービンリモコンのおもな機能

機関室無人化とともにその機能は高度化されている。最近のおもな機能を表にしたものが表3.1である。

4. ディニガルリモートコントロール装置

近年 ディーゼル 主機関の大形化にともない、従来機械式で行なわれていた機関制御室または機側での操縦を船橋操舵(舵)室に設けられたコントロールレバーにより ワンタッチコントロールする方式が採用されるよ

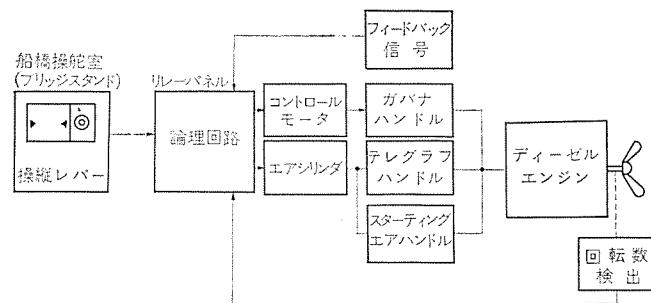


図 4.1 ディーゼルエンジンリモコン装置の系統図
Flow diagram of diesel engine remote control system.

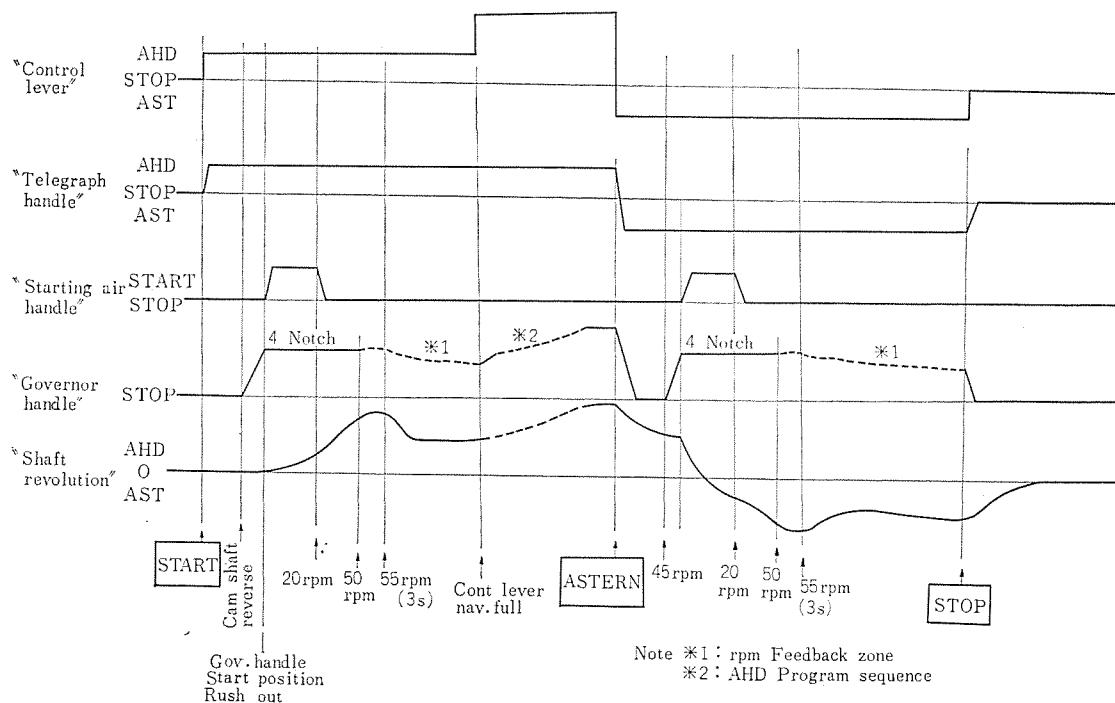


図 4.2 起動動作 Start-stop operation.

うになった。

従来は電気油圧方式および電気空気方式があったが性能の向上と据え付け保守の容易なことから電気式が推奨できる。制御方式は図4.1に示すように指令および論理回路は電気信号としガバナハンドルはコントロールモーターにより、テレグラフハンドルおよびスタートイングハンドルは、エアシリンダにより駆動される。したがって、船橋操舵室に設けられたコントロールレバーによって、主機の起動・停止・前進・後進および速度制御をワンタッチでコントロールすることができる、船の無人化運転には最適の装置である。

ブリッジスタンダードに組み込まれた操縦レバーを所要の回転数に設定することにより前後進の切り換えエンジンの起動停止および増減速が所定のプログラムに沿って自動的に行なわれる。

本装置は、操縦レバー指令信号とプロペラ回転数フィードバック信号およびガバナハンドル位置フィードバック信号との偏差をトランジスタサーボアンプにより検出、增幅しプロペラ回転数が、操縦レバー設定回転数になるようにコントロールモーターを駆動する。操縦レバー指令に対しプロペラ回転数の追従の速応性および精度を向上させるために、PIコントローラ（比例積分器）を使用している。操縦レバーの操作によって、エンジンの前後進の切り換えおよび起動はリレーパネル内であらかじめ構成されたプログラムにより行なわれ、エンジン着火後は操縦レバーで設定された回転数になり、操縦レバーは30 rpm位からレバー最高回転位置まで連続制御が可能である。

本装置の機能およびインターロックは次のとおりである。

(1) 操作場所の切り換え

エンジンの操作は、船橋より遠隔自動で、制御室より手動で行なわれるが、この操作場所の切り換えが、ブリッジスタンダードおよび制御室に設けられた切り換えスイッチにより行なわれる。また遠隔操縦が不可能となる条件が発生したときは、自動的に操作場所が、制御室に切り換わる。

(2) 起動 シーケンス

図4.2に示されるように、操縦レバーが操作されると、あらかじ

めリレーパネル内で組まれたプログラムに従って主機が着火する。

(3) 急速逆転 シーケンス

図4.3に示されるように、急速逆転の場合は、船の行足が大きいので後進着火のために通常の場合よりも多くの燃料を必要とする。さらにエンジン着火後は、船体振動およびエンジンの過速度などの影響を少なくするために、燃料を一度絞り、徐々に増加させていく。

(4) プログラムコントロール

エンジン着火確認後、ガバナハンドル駆動用設定信号直後に設けられた傾斜信号発信器の出力信号により、エンジンが急激な負荷変動をしないよう、ガバナハンドルは、ゆっくり上昇する。

(5) 自動減速

操縦レバーが、NAV. FULLで運転中に、下記条件のいずれかが発生すると、ガバナハンドルは自動的に25%負荷相当の位置まで下がる。

- (a) クランクケースオイルミスト上昇
- (b) 掃気室温度上昇
- (c) 排ガス温度上昇
- (d) シリンダ注油停止
- (e) ジャケット出口温度上昇
- (f) ピストン出口温度上昇
- (g) F.O. 入口圧力低下

表4.1 非常停止の条件および方式
Emergency stop functions.

No.	条件	停止方式
1	主機 LO 圧力低下	機械式
2	過給機 LO 圧力低下	機械式
3	ピストン冷却水 圧力低下	電磁弁
4	ジャケット冷却水 圧力低下	電磁弁
5	燃料冷却水 圧力低下	電磁弁
6	過回転	電磁弁
7	過回転	機械式
8	手動スイッチ(ブリッジスタンダード)	電磁弁
9	手動スイッチ(制御室コンソール)	電磁弁

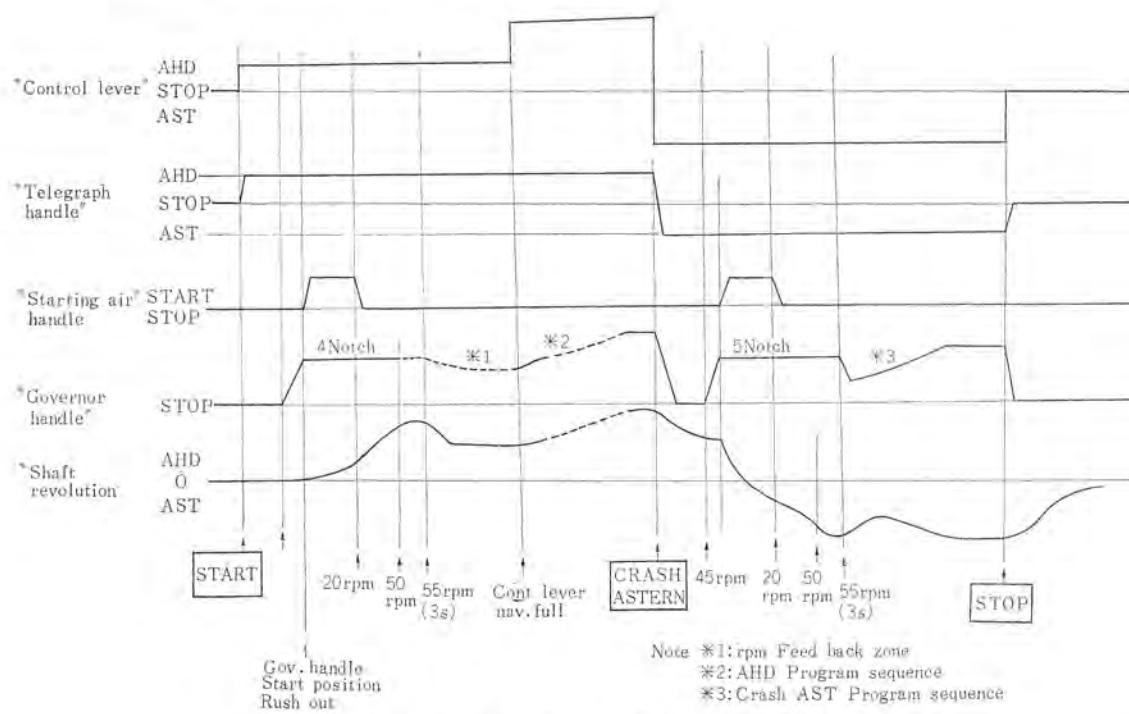


図4.3 急速逆転動作

Crash astern operation.

Note *1: rpm Feed back zone
*2: AHD Program sequence
*3: Crash AST Program sequence

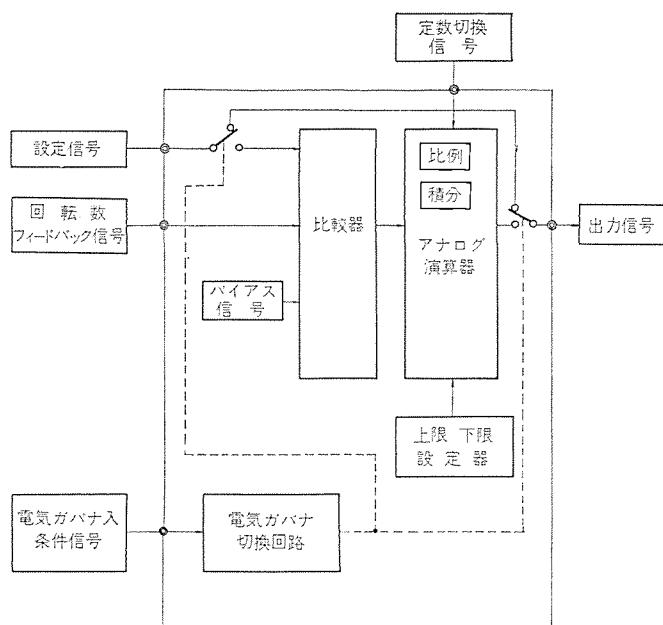


図 4.4 電気ガバナ概略図
Flow diagram of electric governor.

(6) 非常停止

非常停止条件および非常停止方式を表 4.1 に示す。これらの条件により、いったん非常停止装置が動作すると条件が解除されても、操縦レバーおよびガバナハンドルを停止位置に戻さなければ、再始動できないように電気的インターロックが設けられている。

(7) 危険回転数の自動回避

プログラムコントロールに従って増速中、エンジン回転数が危険回転数域にはいれば、プログラムコントロールがバイパスされて、その領域は自動的に増速する。

(8) 始動空気中間弁インターロック

始動空気中間弁が、開度 50 %以下のときは、スターティングハンドルはロックされ、中間弁が聞くとリレーが励磁されてロックがはずれ、スターティングハンドルが動作する。

(9) フェイルセイフ

操縦レバー出力信号、エンジン回転数フィードバック信号または、ガバナハンドルフィードバック信号が断線した場合主エンジンを現状維持させたまま操縦場所を船橋から制御室に自動的に切り換える。

(10) 電気ガバナ装置

ディーゼル主機の制御には、従来スピーダーを用いたいわゆる油圧ガバナが広く使用されていたが高速域でのすぐれた性能に対して低速域では感度が悪く、通常はガバナを殺した状態で使用している。最近、ディーゼル主機が船橋よりワンモーションにて全領域回転数制御することが多くなるにつれて、この低速域でのガバナ特性の改善が要求されるようになった。そこで、この領域では、回転数を電気的に検出し、電子演算装置による電気ガバナが開発され、当社のディーゼルリモコン装置には、すべて採用されている。電気ガバナの構成を図 4.4 に示す。

「電気ガバナ入」の条件信号がはいると、電気ガバナ切換回路により、従来(設定信号)=(出力信号)となっていた回路を切りはなし、設定信号は、回転数フィードバック信号と比較されるための比較器に、また出力信号は、アナログ演算器の出力へ結合される。このアナログ演算器は、比例器および積分器より構成されている。

いま、比較器の出力偏差信号を ε とすると

$$\text{比例器の出力} = -K_P \times \varepsilon \quad K_P : \text{比例定数}$$

$$\text{積分器の出力} = -\frac{1}{K_I} \int \varepsilon dt \quad K_I : \text{積分定数}$$

となる。定数は、プロペラ回転数が 25 rpm 以下のときと以上のときで 2 段に切り換えられる。

一方、このアナログ演算器に、上限および下限の制限を与えるために、上限下限設定器よりの信号がこれに与えられ、アナログ演算器は、これらの上限下限の範囲内で変化する。

5. バーナリモートコントロール装置

ボイラの負荷が上昇すると自動燃焼制御装置(ACC)の作用によりバーナの燃油圧力が自動的に増加してボイラの燃焼量は増加していく。しかし、バーナ使用数が同じであると、燃油圧力が最大まで上昇しても燃油量には限度がある。したがってボイラ負荷が増大したとき、バーナ使用数を増加する必要がある。またボイラ負荷が減少する場合は逆にバーナ使用数を減少する必要が生じてくる。このようなバーナ使用数の増減を、完全自動または遠隔手動で行なうための制御装置が、バーナリモコン装置であり次のような機能を有する。

(1) 機側操作盤からの遠隔手動

機側に設けられた操作盤からボイラを監視しながらすべてのバーナの点火消火が遠隔手動でできる。通常、ベースバーナは機側にて直接点火・消火の操作が行なわれる。機側操作盤に設けられた、ベースバーナ F.O. ピストンバルブの開押しボタン(鉤)を押すことによりバルブをあけ、ハンドトーチまたは電気式イグナイターにより点火して、ボイラを完全に消火するとき以外はこのバーナは常に燃焼しておき、他のバーナの点火のための火種としておく。

(2) 制御室からの遠隔手動操作

制御室のボイラ制御盤に設けられた操作スイッチにより、ボイラまわりの各種計測器を監視しながら No. 2 バーナ以降のバーナの点火・消火が遠隔手動でできる。ベースバーナについては、点火・消火の遠隔操作はできないが、ボイラ制御盤に設けられたベースバーナ点火表示灯によりその状態を知ることができる。またこの操作の場合は、通常点火および消火インターロックが設けられる。すなわち、No. 3 バーナを点火するために点火押しボタンを押しても、No. 2 バーナが点火していないければ No. 3 バーナは点火しない。また No. 3 バーナを消火するために消火押しボタンを押しても、No. 4 バーナが消火していないければ No. 3 バーナは消火しない。

(3) 制御室からの自動操作

バーナの点滅を ACC 装置で判断してバーナ使用数を自動的に変化させる。

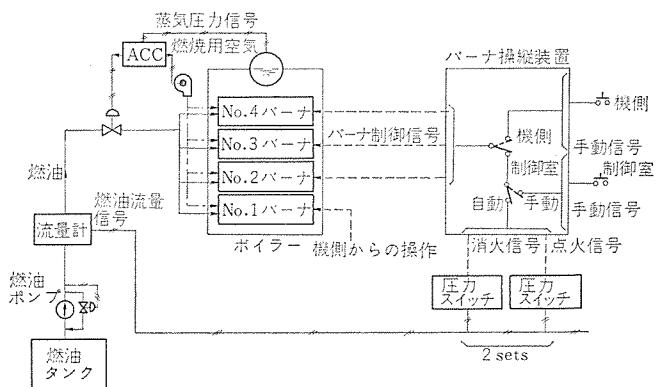


図 5.1 バーナリモコン装置
Skeleton diagram of boiler burner remote controls.

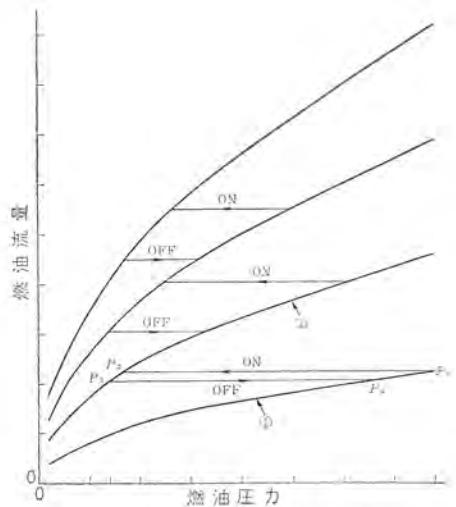


図 5.2 バーナ点火・消火に対する圧力変化
Pressure change on burner ON-OFF.

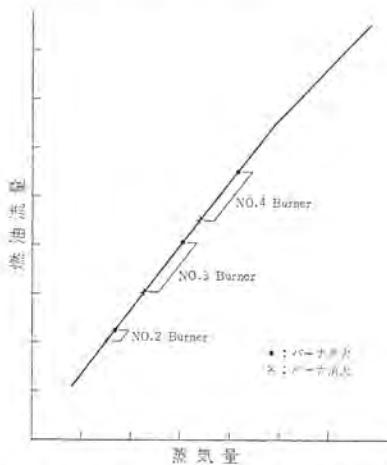


図 5.3 各バーナの点火・消火圧力スイッチの設定点
Set points of pressure switch for each burner.

図 5.2 に、燃油圧力とバーナ点火・消火の関係を示す。

曲線①はベースバーナのみ点火している場合の関係であり、ベースバーナだけでは燃油量に限度がある。そこで燃油圧力を検出してこれが P_1 以上になると No. 2 バーナを点火させる。No. 2 バーナが点火すると、燃油圧力と流量の関係は曲線②に沿って変化する。燃油圧力は No. 2 バーナが点火した瞬間に P_2 まで下るが、負荷が増加すると再び上昇する。再びこの圧力が上昇し、あらかじめセットされた圧力になると No. 3 バーナが点火される。

一方バーナの消火動作はこれとまったく逆に、燃油圧力が低下するに従ってバーナが消火していく。

この自動操作の場合にも、点火および消火インターロックが設けられており、点火の場合は、No. 2→No. 3→No. 4 消火の場合はこれと逆の順序でないとシーケンスが進まないよう回路が構成されている。

図 5.3 は、ボイラの発生蒸気量と燃油流量の関係およびバーナの点火、消火の状態を示したものである。

(4) 火炉バージシーケンス

バーナを点火する前のバージは、機側操作盤上の押しボタンを押すだけで、リレーパネル内であらかじめ構成されているプログラムに従って自動的に行なわれる。

またバーナが消火した場合も同様にプログラムに従ってアフターバージが自動的に行なわれる。

(5) 蒸気噴霧シーケンス

燃油圧力が低下した場合、バーナの燃焼が悪くなるので、燃油圧力を検出してある一定圧力以下になった場合（自動的）に蒸気噴霧弁を開放してバーナの燃焼を安定なものにする。

(6) フレームアイのはたらき

バーナの点火・消火を検出するためのものでバーナの突端の光度によりリレーを ON-OFF させている。

フレームアイにより失火が検出されると燃油弁・空気弁を閉じるための消火動作が自動的に行なわれ、同時に失火警報を出す。

6. 監視装置

6.1 コンソール

制御室コントロールコンソールは主タービンの監視・遠隔操縦・主ボイラの自動燃焼装置・燃油バーナの遠隔監視制御、および船の発電設備をコントロールルームから集中制御するための制御盤である。

6.2 警報装置

6.2.1 特長

船の自動化が進み、無人化規格を取得する船が増大するにつれて警報装置の重要性が高まってきた。当社でもこれらの要求に応じて、複雑な機能を有する警報装置を製作しているがこれらの特長は、次のとおりである。

(1) 船舶の機関室無人化規定に適合するように、構成されている。たとえば、

- (a) 延長警報を接続することが容易である
- (b) 電動機など手動停止させたとき、アラームしないようアラームロックをすることができる
- (c) ブザー停止とフリッカ停止を分けることができる

(2) 内部回路は IC を使用し、実装密度を上げると共に、高信頼度のものである。

(3) 検出端はアラームシステムがいくつに分かれても、その片線はすべて共通線となっており、計画から、配線、チェック、メインテナンスを含めて非常に容易に行なうことができる。

(4) タイマー付きのものは 30 秒まで、連続可調整である。

(5) 仕様が変わってもアンシェータカード本体は 1 種類でまかなえ、カードのジャンパーピンを変更すれば良いので互換性の点ですぐれている。

警報装置の構成を図 6.2 に示す。



図 6.1 制御室コントロールコンソール
Centralized control console.

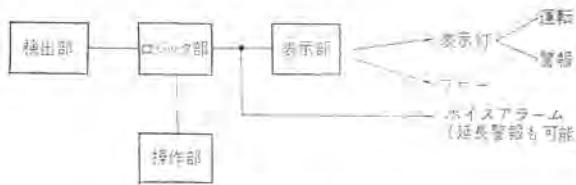
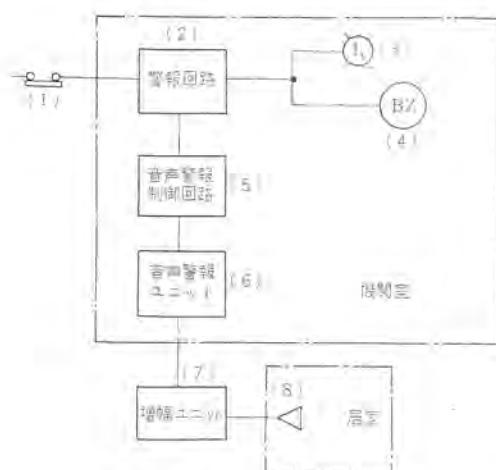


図 6.2 警報装置の構成
Block diagram of annunciator.



タンカーの自動荷役制御装置

桂木 義夫*

Automatic Cargo Pumping System for Large Oil Tankers

Nagasaki Works Yoshio KATSURAGI

Tankers are turning to super large tonnage of late because of general trend of rationalization in the shipping world such as cutting down the operation expenses and reducing the number of crew. In line with this, curtailing the time and labor in cargo pumping is strongly desired. To cope with the situation, a new control system of ships has been developed by incorporating a jet strip system (JSS), an automatic gathering system (AGS) and a display unit in addition to the old function of cargo control panel. This system will give significant technological meaning to super large tankers of automatic operation controlled with a computer. It is also expected to apply to the cargo pumping system of vessels with unattended engine rooms. This article introduces the outline of the new devices.

1. まえがき

近年タンカーは、運航費の低減、運転員の減少などの海運界の合理化推進により超大型化しつつあるが、これにともなってカーゴオイルの荷役時間の短縮、操作人員の減少、安全性の増大などが必要となり、カーゴオイル荷役装置の自動化が強く要望されるようになった。タンカーの荷役方法は

- (1) 陸上タンクの条件(流量、圧力)
- (2) 本船側の条件(許容喫水、トリム)

が決まれば、大体2、3種類に限定されるもので、タンクの荷役順序と弁開閉順序の最適プログラムを設定し、自動荷役制御装置にその操作を行なわせれば入手を要さず、自動的に荷役を行なうことができる。

元来、カーゴオイルの荷役は、荷油弁の操作、ポンプの制御などがからみあって、複雑な操作や判断を伴い、しかも人間のかんに頼る作業も多いために、作業員の肉体的、精神的疲労が大であった。

通常、荷油弁の半数以上がリモコン操作されているが、操作員として2~3名が夜間も含めて作業にあたっているのが現状である。本装置は、プログラム制御を行なうことによって操作人員を減少させるだけでなく、人による操作ミスをなくし、安全かつ能率よく荷役を行なうことを目的として製作したもので、三菱重工業(株)長崎造船所建造タンカー「沖の島丸」(出光タンカー(株))に積載され、昭和45年8月より就航している。本装置は、コンピュータ制御システムによる超自動化船への移行過程における最新の自動化装置としての技術的意義をもつのみでなく、機関室無人化クラス自動化船の荷役システムとして最も期待できる。ここにその概要を紹介する。

2. 特長

従来のカーゴオイル荷役装置のほとんどは、荷油弁の遠隔制御を採用し、積荷時におけるオーバフローの監視、揚荷時のタンクレベルの監視、荷役時の管系構成および荷油弁の開閉を行なって、荷役作業の簡便化をはかっているが、これとてまだ常に監視を必要とし、諸計器を見ながら操作をしなければならない。本装置ではこの点の改善に着目し、タンカー荷役の完全自動化を目的として、遠隔制御盤の機能のほかに次の3装置を装備している。

2.1 ジェットストリッピング装置 (JSS-Jet Strip System)

本装置は荷役の最終段階において、集油ポンプとジェットポンプを組合わせたシステムで、カーゴタンクの原油を吸引するときに使用し、本装置で制御される各弁は、本制御盤から遠隔またはワンタッチ押ボタンにより全作動がシーケンシャルに操作される。また、集油ポンプの吐出弁開度は、セパレーションタンクの液面信号によって自動的に制御され、集油時のセパレーションタンクの液面を一定に制御するよう設計されている。

2.2 自動集油装置 (AGS-Auto. Gathering System)

本装置は、カーゴタンクの原油のさらえ作業順序をプログラム制御する装置で、カーゴタンクの液面を検出すると同時に、プログラム設定ピンボードに設定された順序に従って、さらえ油管系の各弁を自動開閉する。また設定プログラムは、自動さらえ運転中でもピンボードの設定を変更することによって任意に変更することができる。この油さらえ作業は、さらえ不要タンクのとばし設定や、さらえ作業回数のセットを設定盤で行なうことができる。

2.3 荷役状態表示装置 (Display Unit)

本装置は、荷役作業における荷油ポンプ管系、ショーコネクション管系、集油ポンプおよびシーチェスト管系の関連弁が正しく開閉され、正常な管系が構成されているか否かが一目で判別できるよう、制御盤上に各管系別の表示灯を色別させて表示するための装置である。本装置は、以上の機能を持たせると同時に、もし管系のライン構成に誤りがあれば“ライン構成不良”の警報を発する機能を持たせている。

3. 設計上の要点

この自動荷役制御装置を設計するにあたって、将来のコンピュータとの接続による有機的なコントロール、また船内の各サブシステムごとのミニコンピュータによるコントロールなども考慮に入れ、各装置の機能・配置、構造などに人間工学上の検討を加えて設計を進めた。以下順を追ってその要点を述べる。

3.1 電源回路

- (1) 給電系統を2系統としている。

荷役作業中の給電系統故障による作業中断などをなくすため、440 V 60 Hz 3φを2系統引き込んでいる。

- (2) 弁開閉電源回路のグループ分け

電源投入時の突入電流防止のため、電磁弁回路を 10 グループに分け、各グループごとに設定時間をずらして順次電源投入を行なっている。

(3) 電源区分

論理回路用・警報装置用・表示灯回路用などの電源区分は、自動運転時、手動運転時または各装置の休止時などにも、関連装置の運転に支障のないようその区分を行なっている。

3.2 弁開閉表示回路

弁開閉表示回路は、弁の作動を確認するために重要な回路で、開・閉の確認とともに弁の作動時間が 30 秒程度かかるので、開表示・作動中表示など表示灯を色別して表示させている。

3.3 警報装置

本装置には、メモリー要素を持った三菱 AN-3 形サイリスタ式アンセタを使用し、システムの過渡状態などにおける瞬時変動も確実にキャッチするよう考慮している。

3.4 論理回路とリレー回路

論理回路は、すべてシリコンランジスタによる NOR カードとしてまとめており、本船のタービンリモートコントロール装置、バーナリモートコントロール装置との互換性も考慮して保守の簡易化を行なっている。また論理回路用入出力リレー、電磁弁回路用リレーなど各用途に応じて選定し、接点の接触不良などによる事故を起こさぬよう考慮している。

3.5 設定盤、表示盤への人間工学的配慮

AGS 設定盤と表示盤は一对として配置し、AGS 順序設定の簡易性を考慮し、さしつみプラグを採用、表示盤については各種インターロック信号とシーケンス順序表示灯をフローチャート形式にまとめて、視覚的に見やすい形にまとめている。とくに荷役状態表示盤は、ポンプ・シーケスト・タンクの接続管系別に色別表示させ、点灯したときに発色し、消灯時は白色にまとめるなどの考慮をし、誤認防止をはかっている。

3.6 構造

各装置の論理カード、リレー、ヒューズ、スイッチ類、電源装置などを各機能ごとにブロック化してコンパクトにまとめて配置している。また制御盤自体のコンパクト化、保守の簡易化、組立工数の低減のため、リレー盤などもすべて一体の制御盤としてまとめ、外部ケーブル接続工事を極力少なくするなどの考慮をはらっている。盤内には通路をもうけ、盤前部と渡部に分けて盤内を各ブロックに仕切り、保守・点検などの便をはかるなどの工夫がなされている。

4. 機能と構成

本装置の機能と構成を説明する前に、本船の荷役関係の概略仕様を紹介すると次のとおりである。

254,000 DWT	36,000 PS	タービンタンカー
荷役ポンプ	5,000 m³/h	3 台
集油ポンプ	2,000 m³/h	1 台
さらえ油ポンプ	250 m³/h	1 台
ジェットポンプ	650 m³/h	1 台
バラストポンプ	2,500 m³/h	1 台
遠隔制御弁総数		104 弁

4.1 機能ごとの分類と構成

本装置は次のような機能を集約した荷役制御盤として製作され、上甲板荷役室に設置されている。概略外観は図 4.1 盤内状態は図 4.2、各機能ごとの分類と構成については、表 4.1 に示すと

おりである。

4.2 電源回路

電 源	440 V 60 Hz 3 φ
主電源 トランス	440/110 V 60 Hz 1 φ
	10 kVA × 2
弁制御回路	110 V 60 Hz 1 φ 10 グループ
その他制御回路	110 V 60 Hz 1 φ
表示灯用電源	DC 24 V, 18 V, 14 V, 6.3 V
ブレーカ	NF 50 B, BU-2 形 計 27 台
コンタクタ、リレー類	一式
論理回路用電源	DC 24 V, 12 V, -6 V, 0 V 350 VA 1 台

4.3 グラフィックパネル

パネル前面操作部に、荷役管系を模擬したグラフィックパネルを装備させ、各弁の操作スイッチを配置するとともに、各管系は機能ごとに次のとおり色別している。

カーボメインライン	茶
ストリップライン	黒
パラストライン	青
AGS, JSS ライン	黒

そのほか弁、タンクなども各機能ごとに 4 色に分類し、ラインを色別して見やすくしている。

4.4 監視部

パネル前面監視部には、荷役ポンプ用回転計、ポンプタービン用吐出圧、

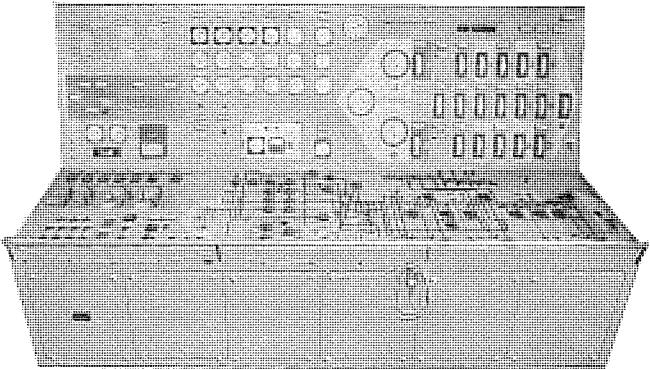


図 4.1 自動荷役制御盤
Automatic cargo pumping control console.

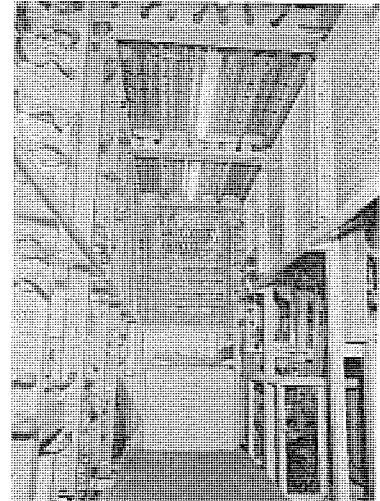
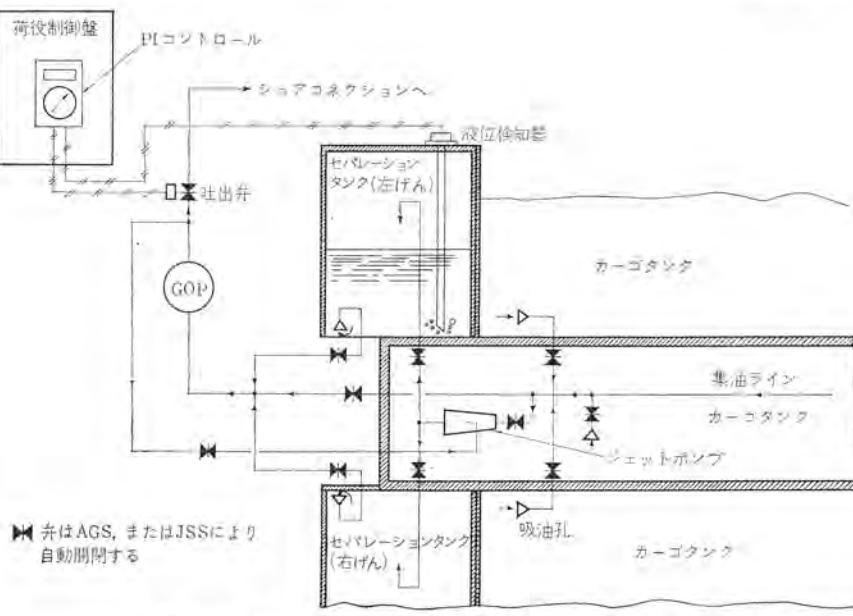


図 4.2 盤内構造
Internal view of cargo pumping control console.

表 4.1 各機能ごとの分類と構成
Functions and arrangements for control console.

分類	機能(装置)	説明
監視部 (盤面直立面)	1. 各荷油ポンプの圧力計、回転計	COPタービンの回転数と吸込圧吐出量の監視
	2. 各タンクのレベル計	各タンクレベルの監視
	3. 荷役状態表示盤	荷役時の管系組合せを色別表示
	4. 警報表示灯類	タンクレベル警報、荷役時のランプ構成不良警報その他
	5. AGS シーケンス表示盤	自動集油装置のシーケンス進行状態を表示およびさらえ回数の設定と表示
操作部 (盤面斜面)	1. 各弁遮離開閉押しボタン	管系グラフマック内に各弁の遮離開閉スイッチ、押しボタンを配置
	2. タンクレベル計測スイッチ	タンクレベルの計測
	3. COPタービン非常停止スイッチおよび遮離速度制御スイッチ	COPタービン遮離制御
	4. AGS シーケンス設定盤	自動集油プログラムの順序設定
	5. JSS 起動押しボタン	ピンボード
	6. AGS 起動・停止押しボタン	ジェットストリッピングシーケンスのワンタッチ起動・停止押しボタン
	7. 荷役状態表示盤用チェックスイッチ	自動集油シーケンスのワンタッチ起動・停止押しボタン 状態表示をチェックするための機械入力スイッチ
盤内	1. 電源盤	弁制御電源、警報電源 JSS、AGS 用電源等盤内の全電源を集約したもの
	2. 各弁保護ヒューズ盤	溶断表示付きとして一括装備
	3. 各弁保守点検用オフスイッチ盤	各弁回路ごとに保守用として一括装備
	4. JSS 準理回路ユニット	すべて無接点リレーを採用
	5. AGS 準理回路ユニット	すべて無接点リレーを採用
	6. 警報装置ユニット	AN-3形無接点アシセータを使用
	7. 弁開閉入力信号用リレーユニット	入出力信号のインターフェースとしてはすべて有接点リレーを採用
	8. 弁開閉指令信号用リレーユニット	



吸込圧力計、各タンクのレベルメータ、ポンプ用非常停止スイッチ、起動要請スイッチなどを各機能ごとに配置し、適宜グラフィック化して配置している。

4.5 ジェットストリッピング装置

JSS 装置の概略を述べると、ジェットポンプが液体だけでなくガス体も吸引できる点を利用して、ジェットポンプと荷油ポンプを組合せ、急速ストリッピングを行なうものである。すなわち、気体と液体の分離装置を備えたストリップレス方式に比べると、残油吸引にジェットポンプを用いるため、空液分離タンクが正圧で運転される利点がある。概略ブロック図を図 4.3 に示すが作動概要は、

(1) ジェットポンプで吸引された液体(原油、海水)とガス(または空気)の混合物は、セパレーションタンクへ入り液体とガスに分離される。

(2) セパレーションタンクから液体のみが集油ポンプに吸引され陸揚げされる。集油ポンプ吐出量の一部は、ジェットポンプの駆動液として回流される。

(3) セパレーションタンクのレベルを所定値に保つため、セパレーションタンクのレベル信号で、集油ポンプの吐出弁開度を自動制御する。すなわち、レベルが低下はじめると、レベル信号により吐出弁を絞る方向に制御する。すると集油ポンプの吸引量が減少し、レベルは増加はじめめる。反対にレベルが上昇はじめると吐出弁を開方向に制御し、これらの作動によってレベルが一定に保たれる。

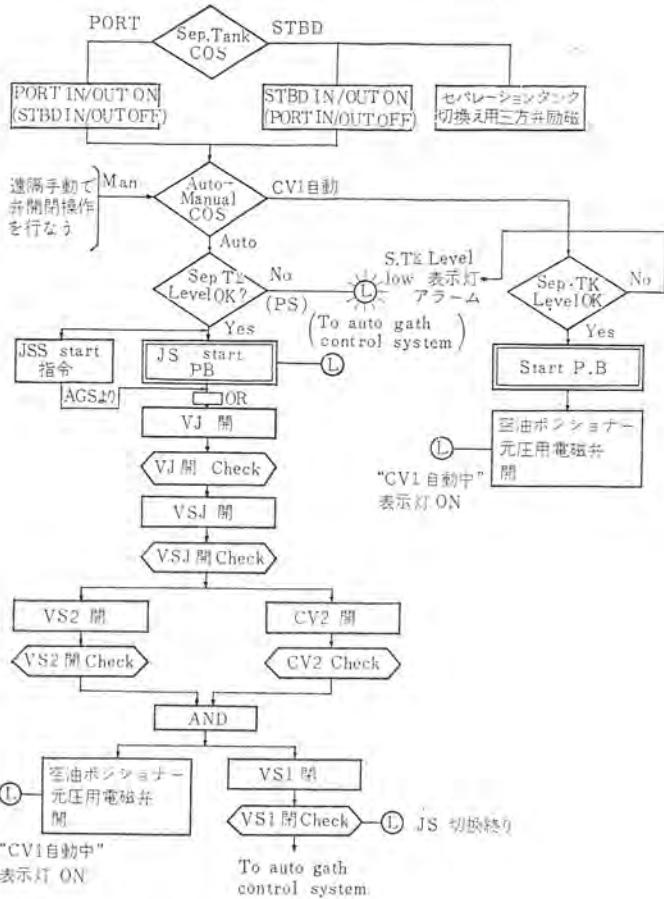
以上のような動作を行なわせるため、JSS 関連弁は、制御盤上のワンタッチ起動押しボタンにより、自動的にシーケンシャルな開閉が行なわれる。その流れを図 4.4 のフローチャートに示す。

本装置の論理回路用 NOR 素子は約 50 個(カード 12 枚)にまとめられ、1 ユニットとして盤内に収納され、入出力リレー約 35 個は 2 ユニットにまとめられている。JSS 装置の運転は以上に述べた自動制御のほか、切換スイッチによって手動モードが選択でき、JSS 作業を行なうとき、任意のモードを決定して作業を進めることができる。

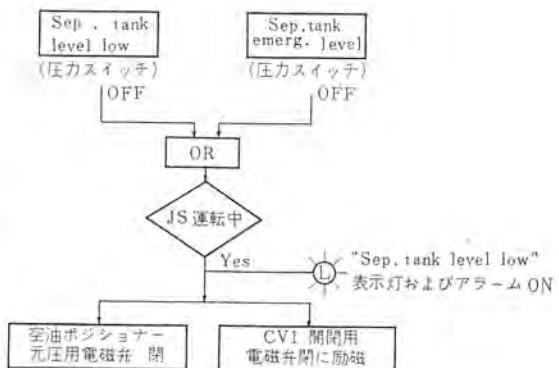
4.6 自動集油装置

本装置は、タンカーの油さらえ作業を自動化するために開発したもので、荷役制御盤に設置されたさらえ順序設定盤(ピンボード)、シーケンス表示盤により、終了液位の検出および弁の開閉を自動的に行なって、あらかじめ設定したさらえ順序により自動的に全カーゴタンクの残油さらえを行なうものである。本装置は前項の JSS 装置や遠隔液面指示装置、低液位検出装置、荷油弁油圧装置などと連動して作動する。関連装置と項目、信号との関係を表 4.2 に示す。本装置の作動をブロック図で示せば、図 4.5 となる。これらのシーケンスの流れおよびインターロックをミックルボード形式にまとめたのが AGS 表示盤で図 4.6 にこれを示す。

また AGS 装置の機能と構成をまとめれば表 4.3 のようになる。AGS 装置を運転する場合は、図 4.5 に示すとおりの各インターロック条件を満足させておく必要があるが、その前に図 4.7 に示すシーケンス設定盤の設定ピンをあらかじめ設定したさらえ順序に従って設定しておかなければならない。以上の条件を満足して AGS 装置は定められたプログラムに



非常操作シーケンスフローチャート
(Sep. tank level low)



(Sep. tank level low reset)

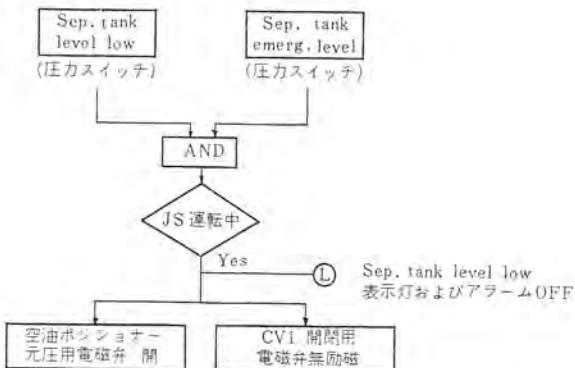


図 4.4 JSS 操作シーケンスフローチャート
Flow chart for JSS control.

表 4.2 AGS 関連装置
Relative apparatus for AGS.

関連装置	関連項目	信号の内容
JSS 装置	セパレーションタンクの液位	JS 連転のコントロール範囲にあるか否か
	自動-手動切換指令	切換スイッチにより、自動-手動の切換を指令する
	セパレーションタンク切換指令	右、左いずれのセパレーションタンクを使用するか、切換スイッチにより指令する
低液面指示装置	低液位(LN)	各タンクの液面計の計測可能最低点を LN 信号として受け、タンクの油さらえ終了に関連した指令とする
低液位検出装置	低液位(LNI)	特定の 2 タンクに装備し、上記 LN に換るものとしてタンクの油さらえ終了信号とする
荷油弁油压装置	弁開閉指令信号	各タンクの集油ラインのタンク付弁、およびセパレーションタンクの吸込弁の開閉指令信号を与える。これらの弁は、AGS 装置使用時は手動操作不能のインターロックを設けている
	弁開閉指示信号	開および閉の信号をフォードバック信号として使用している

表 4.3 AGS 装置の構成要素と機能
Components and functions of AGS control.

構成要素	機能
シーケンス設定盤(ビンボーフ)	各カゴオイルタンクに対応するコードは、プラグとストリッピングの順序を示すソケットから構成される自動集油を開始する前に、運転員がプラグをソケットにそろえてストリッピングの順序を設定する
さらえ回数設定器	さらえ回数を設定、表示する 選択スイッチにより 1 回さらえ、または 2 回さらえを設定する。1 回さらえの場合は、全タンクのストリッピングを 1 サイクル行なって終了し、2 回さらえの場合は 2 サイクル行なって終了する。3 回さらえを行なうときは 2 サイクル目を選択スイッチを再度 2 回さらえにセットすればよい
シーケンス表示盤	さらえ作業シーケンスの進行状態を示すもので AGS 装置の運転インターロックも含めたミニタブレットとしてまとめられている
セパレーションタンク表示灯	AGS 運転時右舷または左舷いずれのセパレーションタンクを使用しているかを表示するための表示灯である
弁開閉不良警報器	AGS 進行中弁開閉動作に不良があれば、シーケンスを次にとばすと同時に警報を発する
液位検出器切換スイッチ	特定 2 タンクの液位検出を液面計で行なうか、低液位検出器で行なうか、選択するためのスイッチである
さらえ時間設定器	さらえ低液位検出さらえのさらえ時間を設定するための設定器である
さらえ終了信号スイッチ	人為的に低液位信号を出して、一定時間後次のタンクへ移行させるための偽信号用スイッチであり、低液位検出機構が故障したときの非常用として使用する

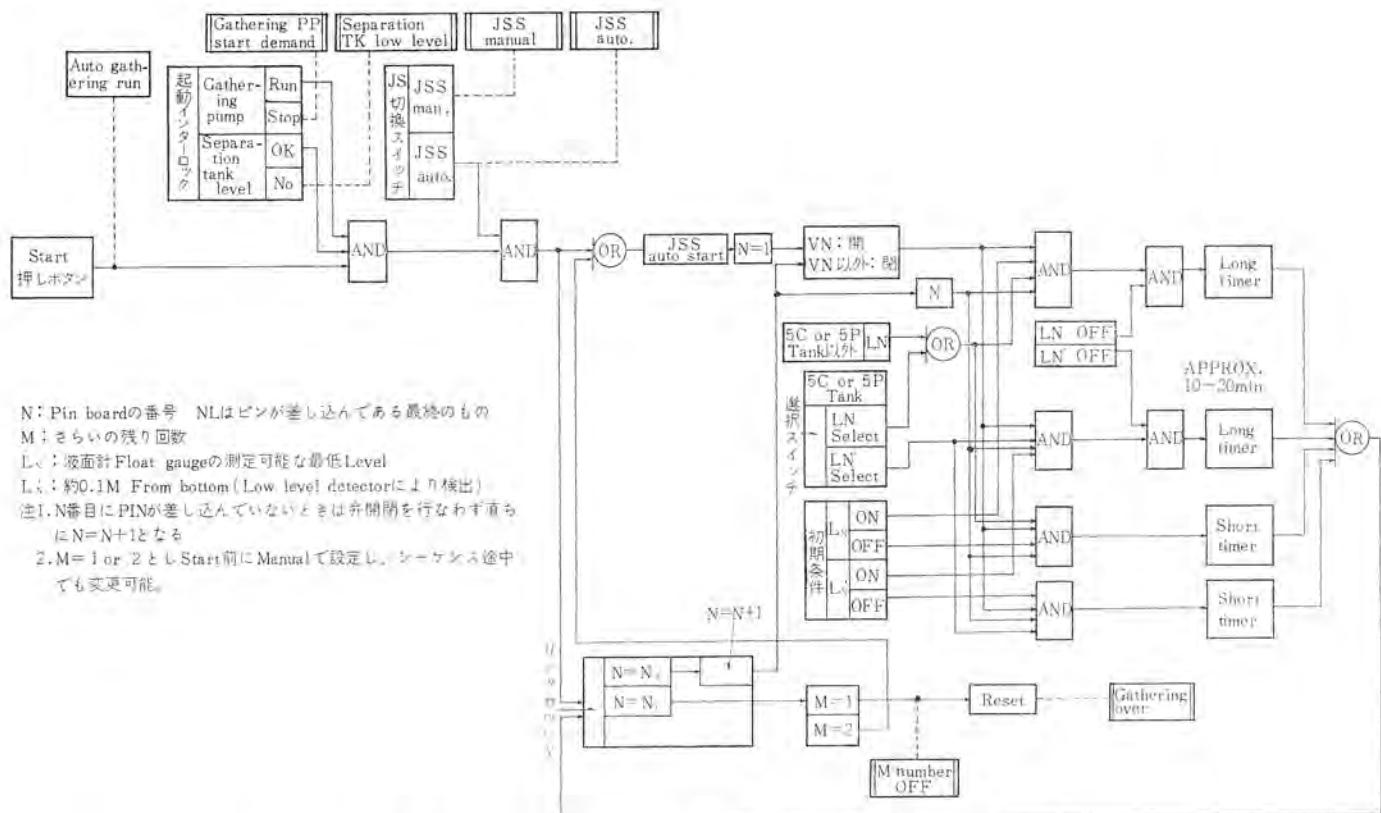


図 4.5 AGS シーケンスブロック図

Sequence diagram for AGS control.

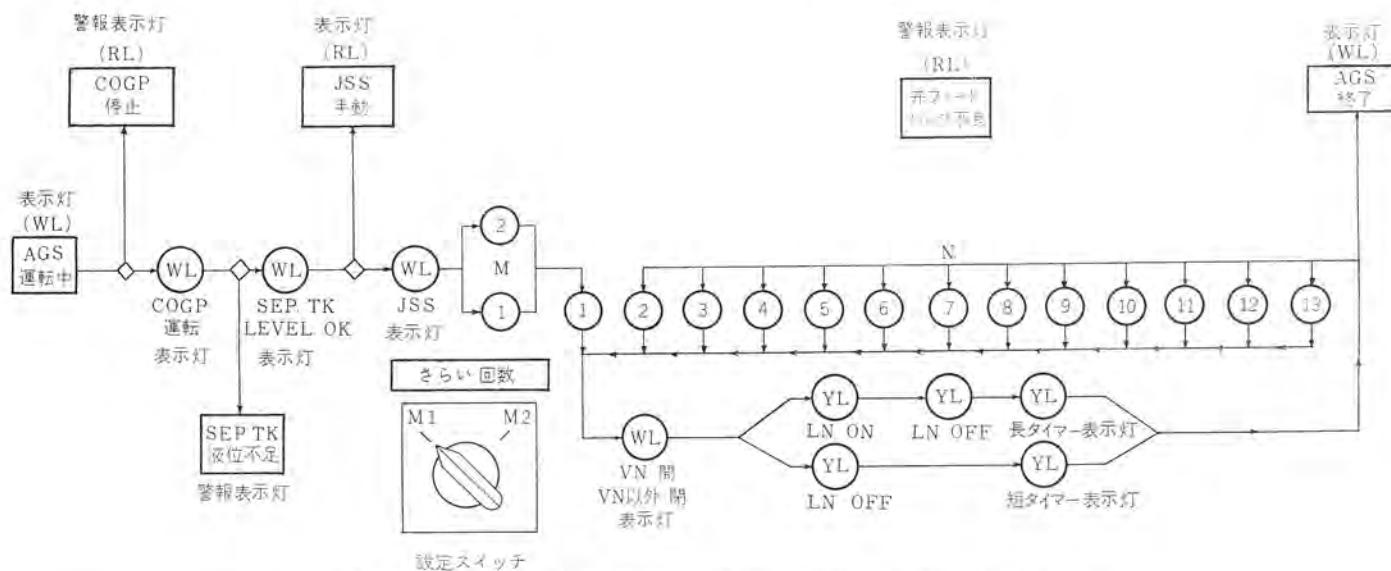


図 4.6 AGS シーケンス表示盤

Sequence display for AGS control.

従って自動運転を行なう。

さらえ順序設定回路は、NOR 素子で リングカウンターとバイアリーカウンターを組合わせて製作し、順序設定ピンの設定の有無を入力として使用し、順序設定および自動とばし回路を作っている。また、さらえ時間の設定は、操作部に時間設定タイマーと論理回路に無接点タイマーを採用して、運転員の判断が必要なときに適宜、時間設定が行なえるよう、また特定条件時間は固定タイマーを使用するなどの考慮をはらっている。本装置の NOR 素子は、約 550 個(カード 110 枚)にまとめ、8 ユニットに収納し、入出力用リレー約 200 個は 7 ユニットに収納している。

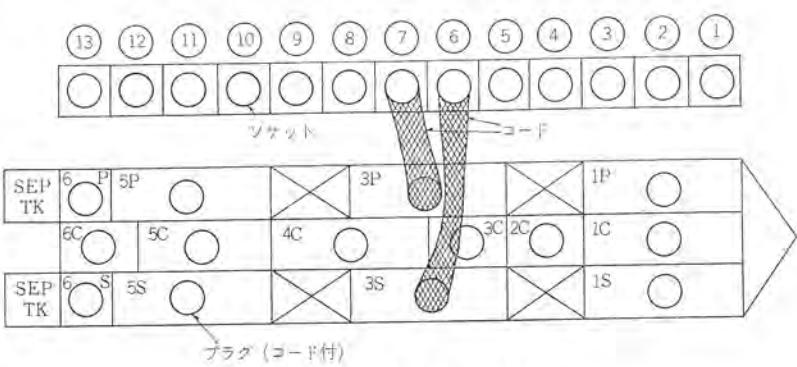


図 4.7 AGS プログラム設定盤
Program setting board for AGS.

4.7 荷役状態表示装置

荷役作業を行なう場合、一般に各時点における荷役状態を知るために、従来は制御盤上に設けられたグラフィックパイプラインを目でたどって、各弁の開閉状態を運転員が確認し、パイプラインの構成ができるか否かを判定しなければならなかった。本装置は、ラインチェックの機能と、ライン構成不良警報の機能を持たせて、このようなはん雑な動作と時間の節減を行なう目的で製作した。

本装置は、ポンプとタンク、ポンプとショアコネクション、ポンプとシーチェスト、ショアコネクションとタンクの接続状態を、ポンプ・タンク・ショアコネクション・シーチェストのそれぞれに該当する表示灯を点灯させることによって表示する。表示盤とチェックスイッチの構成および概略機能は次のとおりである。

(1) ショアコネクションとポンプ表示灯は特有の色で区別

ショアコネクションは積荷時を対象とし、ポンプ表示灯は揚荷時およびバラスト排水時を対象として、それぞれのラインがたがいに構成されたとき表示灯の同色表示灯がそれぞれ点灯する。

(2) ポンプ、ショアコネクション、シーチェスト、各タンクの点灯条件を区分

ポンプ表示灯は運転時、後述のチェックスイッチにより点灯。

ショアコネクション表示灯は、メインラインのブロック弁閉、ショアコネクション弁閉などにより点灯させている。

シーチェスト表示灯は、バラストラインの構成とポンプ運転の信号、各タンク表示灯は、ポンプとタンクのライン構成とポンプ運転信号および積荷時のショアコネクションライン構成の信号をインターロックとして使用している。

(3) 揚荷・積荷時のラインチェック

揚荷・積荷時のライン構成を分割し、各荷役ライン以外のライン構成となったときは、警報を発するよう計画されている。

(4) チェック用セレクトスイッチ

各荷役作業にとりかかる前にラインチェックを行ない、作業開始直前の確認を行なうよう計画されている。

概略以上のような機能を持っているが、本装置の検出端には各弁の開閉リミットスイッチを使用し、表示回路は各リミットスイッチの増幅リレーとダイオードですべて構成されている。

このような表示装置は、運転員の労力節減と操作ミスによる事故の防止に大きく寄与するので、今後種々の応用面で採用されると考える。

5. むすび

最近の海運造船業界の傾向からみて、今後の船舶の制御システムはコンピュータを中心とした超自動化の系列と、各サブシステムごとにワイヤードロジック方式のプログラム制御を採用した、いわゆるエコノミックタイプの機関室無人化クラスの自動化の二つの系列に分れると考えられる。

本文で紹介した自動荷役制御装置は、超自動化システムへの足がかりとしての意義と、同時に後者の系列に適合した画期的な最新のシステムとして位置づけができる。

終わりに本装置の設計製作にあたって、種々ご指導とご協力をいただいた出光タンカー(株)および三菱重工業(株)長崎造船所の関係各位に深謝申しあげる次第である。

===== 最近登録された当社の実用新案 =====

名 称	登 錄 日	登 錄 番 号	発 明 者	関 係 場 所
電力量の遠隔計量装置	44-11-26	888115	佐藤安俊	福山製作所
直巻整流子電動機の速度制御装置	44-11-26	888116	{遠藤吉隆・太田誠 飯田隆彦	商品研究所
押鉛式同調装置	44-11-26	888117	大下昌行	京都製作所
低騒音変圧器	44-11-26	888118	白井満	伊丹製作所
電磁接触器	44-11-26	888119	有本智美	名古屋製作所
電動機速度制御装置	44-11-26	888120	藤井学・三好明好	商品研究所
内燃機関点火装置	44-11-26	888121	日野利之	姫路製作所
小形直巻整流子電動機の速度制御装置	44-11-26	888122	藤井学	商品研究所
複ビームアンテナ	44-11-26	888112	伊藤卓司	鎌倉製作所
可接導波管	44-11-26	888124	池上駿一郎・川口政之	鎌倉製作所
積算電量計	44-11-26	888126	小袋勝久	商品研究所
煮炊器用補助具	44-11-26	888127	鶴谷嘉正	群馬製作所
機関点火用配電器	44-11-26	888123	浅山嘉明・荒川利弘	姫路製作所
カバー類の取付装置	44-11-26	888125	貴志之保	神戸製作所
カラー受像管	44-11-26	888128	藤村健男	京都製作所
直流分再生回路	44-11-26	888129	坂上義和	京都製作所
点火時期調整装置	44-11-26	888130	齊藤実	姫路製作所
機関点火時期調整装置	44-11-26	888131	齊藤実	姫路製作所
極大極小値検出装置	44-11-26	888132	岡上公彦	中央研究所
極大極小値検出装置	44-11-26	888133	岡上公彦	中央研究所
三角波発振回路	44-11-26	888134	松倉欣孝	中央研究所
警報装置	44-11-26	888135	上田健二	神戸製作所
圧縮目盛表示装置	44-11-26	888136	朝日照夫	神戸製作所
スイッチ	44-11-26	888137	岩上和孝	姫路製作所
磁気 フラッチ式電磁接触器	44-11-26	888138	西迫静隆	名古屋製作所
自己復旧形限流素子付電磁開閉器	44-11-26	888139	丸地謙二	名古屋製作所
変化率導出装置	44-11-26	888140	齊藤豊	神戸製作所
サーボ弁	44-12- 8	889212	吉田和彦・破魔武司	鎌倉製作所
電動圧縮機の防振支持装置	44-12- 8	889216	石橋進	静岡製作所
電気掃除機	44-12- 8	889219	加藤悟	群馬製作所
冷蔵庫の庫内凍結防止装置	44-12- 8	889220	荒野皓也・織田隆嗣	静岡製作所
電極コイル巻線機	44-12- 8	889221	市川忠夫・丸本晃司	大船製作所
自動温度冷蔵庫	44-12- 8	889222	荒野皓也・辻幹夫	静岡製作所
製氷皿の氷はく離用兼貯氷用容器	44-12- 8	889223	荒野皓也・吉田匡一	静岡製作所
モールド形変成器	44-12- 8	889213	光本晃造・横山栄一	福山製作所
電動工具	44-12- 8	889214	入江厚・補信昭仁	福岡製作所
積算計器用パルス発信装置	44-12- 8	889215	武谷勝次	福山製作所
ラジオ受信機	44-12- 8	889217	藤木一・佐伯多門	京都製作所
電動バルブ装置	44-12- 8	889218	奥田安男	名古屋製作所
信号灯取付装置	44-12- 8	889224	岩垂邦治・立石俊夫	神戸製作所
ジグザクミシンの千鳥幅限定装置	44-12-11	889782	森田稔	和歌山製作所
高出力インピーダンス増幅器	44-12-19	890600	壱井芳昭・梅田義明	中央研究所
電気アンカ	44-12-23	890790	大沢紹清・慶野長治	群馬製作所
トランジスタ継電器	44-12-24	591886	吉田太郎・酒井靖夫	名古屋製作所
溶接装置	44-12-25	891158	早川隆昭・後藤徹	名古屋製作所
計数回路	44-12-25	891160	岡田武夫	中央研究所
ガスレーザー管	44-12-25	891161	岡田武夫	中央研究所
管用気密接合	44-12-25	891163	小笠原信雄	中央研究所
制御整流装置	44-12-25	891164	横畠洋志	伊丹製作所
電気ホイストの絶縁装置	44-12-25	891165	藤木博愛	福岡製作所
電気ホイストの走行駆動装置	44-12-25	891167	脇山嘉之	福岡製作所
衣類暖房器	44-12-25	891159	小原英一・高沢正二	商品研究所
真空掃除機の床用吸込口	44-12-25	891162	{武井久夫・加藤悟 飯塚保	群馬製作所



特許と新案

レーダ方式

発明者 近藤輝夫・岩部昭

この発明は遠距離性を増すようにしたパルス圧縮レーダ方式に関するもので、送信側では通常の高周波パルスを送信し、受信側で一定の位相関係を合わせて合成することにより、パルス圧縮を行なうようにしたものである。

この発明を図1で説明すると、(22)は送受信アンテナ、(23)は送受切換器、(24)は送信機、(25)は変調器、(26)は混合器、(27)は第1局部発振器、(28)は中間周波増幅器、(29a)～(29e)は混合器、(30)は第2局部発振器、(35)は基準発振器、(31a)～(31e)はフィルタ、(32a)～(32e)は移相器、(33)は検波器、(34)は指示器である。

この構成で(22)～(28)は、通常のパルスレーダ送受信装置を構成する。第2局発(30)は、基準発振器(35)の周波数 f_d をてい(通)倍または混合して一定周波数差 f_d を有する局発信号 $f_{L_1} \sim f_{L_5}$ を発生し、混合器(29a)～(29e)で中間周波増幅器(28)の出力と混合することにより、一定周波数差 f_d を有する信号 $f_1 \sim f_5$ に変換する。フィルタ(31a)～(31e)は、それぞれ中心周波数が $f_1 \sim f_5$ で帯域が f_d なる特性を有するので、これらの出力の合成波は図2に示すように帯域幅 $5f_d$ の信号となる。しかも第2局発 $f_{L_1} \sim f_{L_5}$ は、すべて同一の基準発振器(35)から得られたものであるから、常に一定の位相関係を有するので、移相器(32a)～(32e)を調整することにより、合成波は $1/5f_d$ に圧縮されたパルス信号となる。

このようにして得られた出力は、送信パルスレベルを E_0 、第2局発の

数を n とすると、出力レベル nE_0 となるので、その受信電力は $(nE_0)^2$ となる。一方雑音は、雑音レベルを N_0 とするとパルス圧縮後のレベルは nN_0 となるので、得られるSN比は nE_0^2/N となり従来の方法の n 倍となる。

(特許第528670号)(山川記)

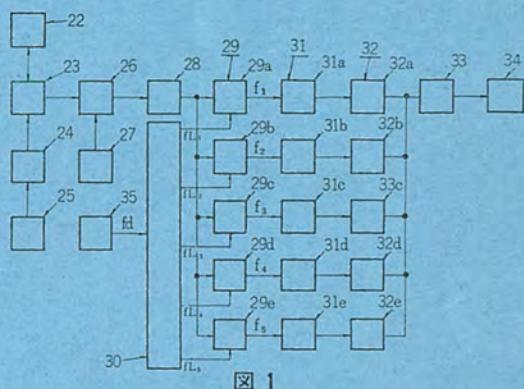


図1

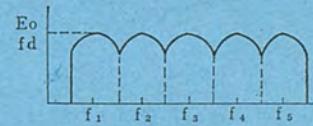


図2

水槽の水取り出し装置

考案者 三宅良明・河原隆夫

この考案は、上部開放形水そう(槽)において、水の落差を利用してそう内の水を取り出す水取り出し口の改良に関するものである。

従来のこの種水そうにおける水取り出し口は、図1に示すように、水そう(1)の最低部に水取り出し管(2)を接続したり、また図2に示すように、水そう(1)の底面より高い位置に水取り出し口(5)を設けたりしているが、上記図1のものにおいては弁(3)を開くと水そう(1)内の水が完全に流出してしまうので、特別の水位表示装置などがないかぎり、水そう(1)内の水を使い果し、たとえば水そう(1)内に発熱体を設けた加熱水そうの場合には、から焼き状態になるおそれがある。また、上記図2のものにおいては、そう内の水が完全に排水しきれなく、そう内底部に常に一定量の水が残留することになり、洗浄時などに不便である。

この考案は、かかる点に着目してなされたもので、図3に示すよ

うに、水そうの最底部に水取り出し管(2)を接続するとともに、その自由先端に弁(3)を、そして内方端に流量制御器(6)を着脱自在に装着しうるようとしたものである。そして、上部流量制御器(6)

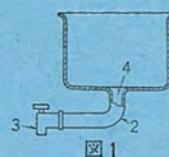


図1

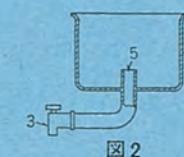


図2

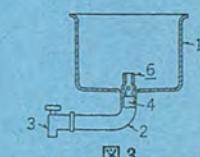


図3

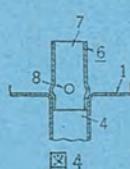


図4

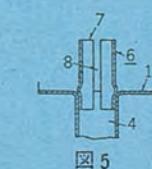


図5

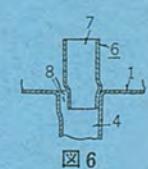


図6

特許と新案

は図4に示すように、上部に水取り出しの通水量に支障をきたさない流量の大なる流出口(7)を設け、また側壁には水そうの最低部に対向して、上記上部の流出口(7)よりも流量の小なる流出口(8)がそれぞれ設けられている。

この考案はこのように構成されているので、水そう(1)内の水位が流量の大なる流出口(7)より上部にあるときは、両流出口(7)(8)から水が流出するため従来とおりの流量にて弁(3)から水を取

り出すことができるが、水そう内の水が流出口(7)よりも下位になったときには、流量の小なる流出口(8)からのみ流出するため、弁(3)から取り出す流量は、水面が流量の大なる流出口(7)の位置を境にして急激に減少するため、そう内の水量が少なくなったことを容易に外部から感知することができる実用的効果を有するものである。なお、図5および図6は、流量制御器(6)の他の実施例を示すものである。

(実用新案第871795号)(土居記)

ジグザグミシンの操作装置

考案者 本田英三

この考案は、ジグザグミシン本体に装着したダイヤル等の操作とは無関係に、ミシンアーム外部から別個の操作ハンドルを抜き差し自在にそら入し、この操作ハンドルにより、ししゅう・模様縫いなどが自在に行ない得られるように千鳥振幅量を調節するとともに、上記操作ハンドルの取付方向をミシン操作者の得手に合わせて、自在に調節することができる操作装置を提供しようとするものである。

図1～図5において、(1)はミシンアーム、(5)は従来周知の縫目リンクで、この縫目リンク(5)が揺動すると、連続棒(6)などを介して針棒(図示せず)に伝達され、この針棒がジグザグ運動を行なうようになされている。(7)は段付ねじ、(8)により回動自在にミシンアーム(1)に装着された千鳥加減レバーで、この千鳥加減レバー(7)は上部縫目リンク(5)と、すべり駒(9)を介して互いに連結されており、上部千鳥加減レバー(7)を回動操作して縫目リンク(5)との関係

位置を変換することにより、針の千鳥振幅量が調節できることは従来周知のとおりである。(13)は上端面に十字形のみぞ(14)を設けたブッシュで同心的に上記千鳥加減レバー(7)に定着されている。(16)はミシンのトップカバー(17)にあけられた透孔(22)から、上部ブッシュ(13)のみぞ(14)に係合部(18)をそら(挿)脱自在にかん(嵌)させた操作ハンドルで、この操作ハンドル(16)の取手部(19)を、たとえば指先によって反復回動操作することにより、千鳥振幅量の調節を手動で変換することができるようとしたものである。

この考案は、アーム(1)の上面をおおうトップカバー(16)に載せた操作者の指先、たとえば親指によって操作ハンドル(16)を操作するようにしたもので、従来のようにアーム前面のダイヤルを指でつまんで操作するようにしたものと比較して、きわめて軽快にかつ確実に行ない得られるものである。また、ミシンをテーブル内に格納する場合、あるいはミシンを運搬する場合には、操作ハンドル(16)をミシン本体から取りはずすことができるので、便利である。さらにまた、操作ハンドル(16)がかん合するブッシュ(13)のみぞ(14)を十字形に形式したので、操作ハンドルの取付方向を、ミシン操作者の得手の方向に自在に変えることができる実用的効果を有するものである。

(実用新案第873088号)(土居記)

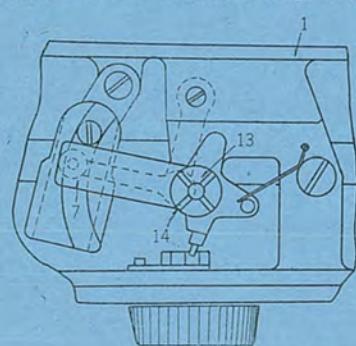


図1

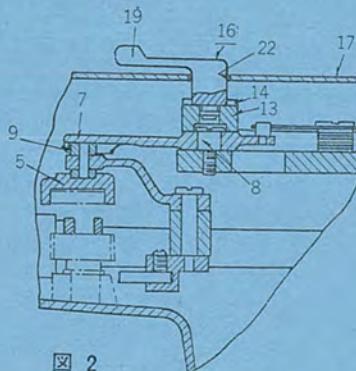


図2

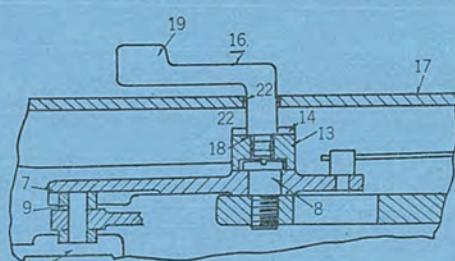


図3

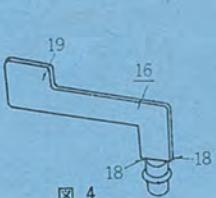


図4

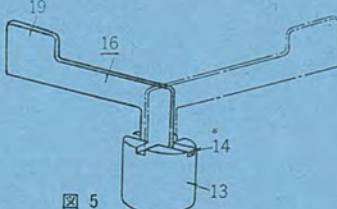


図5

84 kV プラグイン形 ガスしゃ断器

富永正太郎*・田辺俊雄*・堤透*

84 kV Plug-in Type Gas Circuit Breakers

Itami Works

Shotaro TOMINAGA・Toshio TANABE・Tooru TSUTSUMI

Through the attachment of driving mechanisms, circuit breakers of general purposes are rearranged to operate in connecting and disconnecting the main circuit automatically. Thus it becomes possible to use circuit breakers given a line separating function for eliminating the disconnecting switches set up in front and in the rear of circuit breakers in the old practice. With practical use of this idea to 84 kV standard gas circuit breakers, plug-in type units have been developed. The new apparatus have an earthing devices of the main circuit and also a construction to enable a condenser type potential device to be set in.

Along with the recent trend of building compact substations these combined apparatus are expected to find the way in various fields.

1. まえがき

今回、プラグイン形ガスしゃ断器を開発し、各種の試験を行なってすべての性能の確認を完了したので、ここにその概略を説明する。

プラグイン形ガスしゃ断器は標準形のガスしゃ断器に駆動装置を設け、しゃ断器自体を移動させることによって断路機能を持たせたものである。このような考えは従来よりあったが、10~30 kV程度の比較的に入小形・軽量なしゃ断器に限られ、操作方法も人力によるか、小動力によるものであった。今回のものは定格 72/84 kV 1,200/2,000 A 3,500 MVA、可動部重量約 3t であり、したがってそれだけ大きな動力と大容量の駆動装置を備えたものである。図 1. 1 にその外観を示す。

近年、機器の据付け面積を縮小することが変電所の建設コストの引き下げにつながる傾向はますます強くなり、ガスしゃ断器の技術を基にして開発されたガス絶縁開閉装置は、SF₆ガスのすぐれた絶縁特性を高度に利用して機器のスペースを大幅に縮小しており、すでに実系に採り入れられている。プラグイン形しゃ断器も機器スペースの縮小を目的としたものであるが、従来の単独機器の一つの応用例であり、しゃ断器・断路器・接地装置等を機能的に組み合わせて一体とするだけで、機器の据付け面積を相当に縮小することができる。

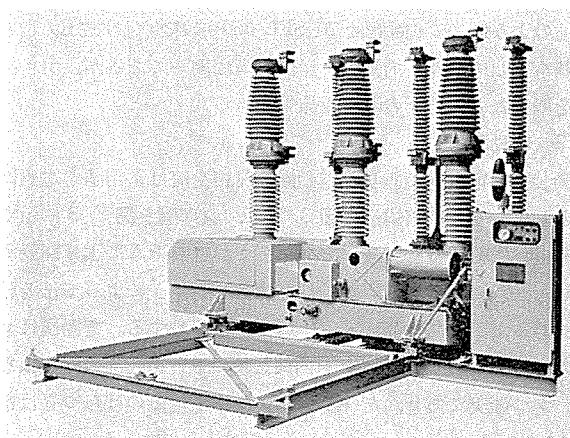


図 1.1 プラグイン形ガスしゃ断器
72/84 kV 1,200/2,000 A 3,500 MVA
Plug-in type gas circuit breaker
72/84 kV 1,200/2,000 A 3,500 MVA

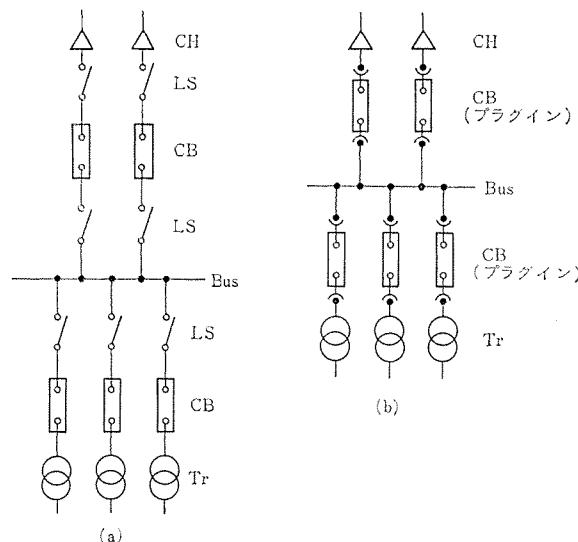


図 1.2 変電所単線結線図例
Example of single line diagram of substation.

従来、図 1.2 (a) に示すようにしゃ断器の前後に断路器を設置しているが、しゃ断器自体を移動させて、断路機能を持たせることによって断路器を省略することができ、同図 (b) のように機器の簡略化をはかり、機器のスペースを縮小することができる。

すなわち、プラグイン形ガスしゃ断器は、従来の単独機器とガス絶縁開閉装置との間に位置するもので、変電所合理化の一方法として今後このような方法が各方面に広く採用されるものと思われる。

2. 定格事項および特長

プラグイン形ガスしゃ断器の定格を表 2. 1 に示す。表では便宜上、しゃ断器部・断路器部・接地装置等を機能別に区分して示した。

しゃ断器本体としては昭和 42 年に開発以来、すでに 800 余台の納入実績を持つ 70-SFL-350 形ガスしゃ断器を用いているので、

- (1) しゃ断性能がきわめてすぐれている。
 - (2) 絶縁協調が良い。
 - (3) 操作音が小さい。
 - (4) 構造簡単で、外形寸法が小さい。
 - (5) 耐振性能がすぐれている。
- などの SFL 形ガスしゃ断器が元来備えている特長がそのまま生

表 2.1 定格事項 Ratings.

しゃ断部		断路部	
定格電圧	72/84 kV	定格電圧	72/84 kV
定格電流	1,200/2,000 A	絶縁階級	60/70 号
定格しゃ断容量	3,500 MVA	定格周波数	50/60 Hz
絶縁階級	60/70 号	定格電流	1,200/2,000 A
定格周波数	50/60 Hz	定格短時間電流	22/27 kA
定格しゃ断電流	28.1/24.1 kA	定格操作電圧 AC	200 V (3相)
定格再起電圧	JEC-II 号	定格制御電圧 DC	100 V
定格投入電流	76.5/65.5 kA	定格断路(接続)時間	50 s
定格短時間電流	28.1/24.1 kA	操作電動機定格	0.4 kW
定格しゃ断時間	5 サイクル	移動距離	850 mm
定格開閉時間	0.04 s		
定格投入時間	0.2 s		
定格操作電圧 DC	100 V		
定格操作圧力 15 atg			
定格引きはすし電圧 DC 100 V			
定気タンク容量 100 l			
接地装置		コンデンサ形計器用変圧器	
定格短時間電流 22/27 kA		一次電圧 77/ $\sqrt{3}$ kV	
操作方式 手動 3 相同時操作		二次電圧 110/ $\sqrt{3}$ kV	
		絶縁階級 70 S 号	
		定格周波数 60 Hz	
		二次負担 20 VA	
		二次端子 u-v	
		誤差階級 3.0 級	

かされており、さらに

(6) 変電所の機器据付け面積を縮小できる。

しゃ断器の前後に従来使われていた断路器 2 台を省略でき、また断路部固定側支持がい(碍)子の一部をコンデンサ形計器用変圧器に換えることも可能である。

(7) 取り扱いが簡単で、誤操作のおそれがない。

しゃ断器・断路器・接地装置などの機能を兼ね備えた複合機器であるが、内部に機械的・電気的インターロックが効果的に設けてあり、制御装置が一個所にまとめてあるために取り扱いは簡単である。

(8) 運転中の消費電力が少ない。

駆動装置は効率の良い減速装置で大きな減速比を得ているため、比較的小さい動力ですむ。

(9) 遠方操作が可能である。

各部の状態表示、異常時の警報、操作が遠方制御盤で行なうことができるので、無人変電所にも適している。

(10) 構造が簡単で、点検・保守が容易である。

しゃ断器本体を点検レール上に引き出すことにより、駆動装置・主回路接触子などの点検も容易にでき、運転中の主接触子の接触状態が外から確認しやすい構造である。

などの多くの特長を備えている。

3. 構造および動作

プラグイン形ガスしゃ断器の概略寸法は図 3.1 に示すが、つぎのような主要部分から構成されている。ただし、しゃ断器本体の詳細についてはすでに紹介した資料があるので、ここでは他に付加した部分を主として説明する。

- (1) ガスしゃ断器
- (2) 駆動装置
- (3) 主回路接続部(断路部)
- (4) 固定側支持がい子
- (5) 制御装置
- (6) 接地装置
- (7) インターロック装置
- (8) コンデンサ形計器用変圧器

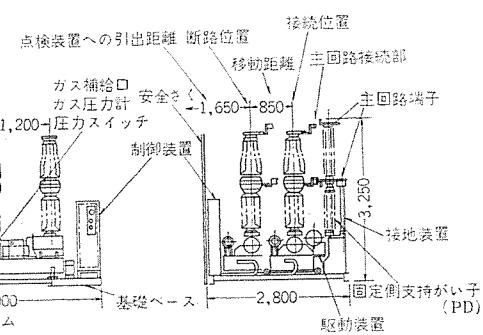


図 3.1 外形図
Out-line dimensions.

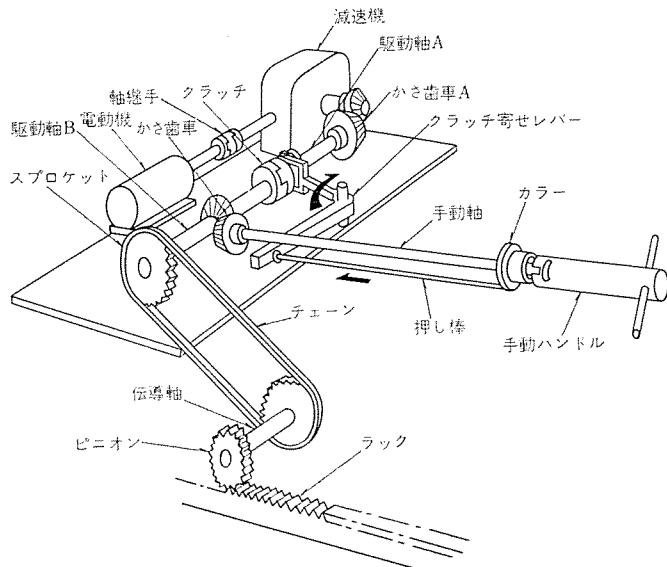


図 3.2 駆動装置動作説明図
Operating mechanism for disconnection.

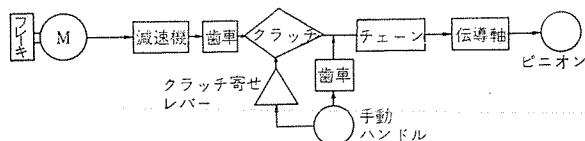


図 3.3 駆動装置原理図
Mechanism diagram.

3.1 ガスしゃ断器

前述のように、しゃ断器は 70-SFL-350 形床据付け式ガスしゃ断器を基本としており、消弧室・操作機構は同一であるが、フレームの剛性を増すなどの若干の改良を施している。

3.2 駆動装置

駆動装置は電動式であり、電動機は三相交流はん用誘導電動機を標準としており、概略構造を図 3.2 に、原理図を図 3.3 に示す。

電動機が回転すると、減速機を介してかさ歯車 A により駆動軸 A を回し、クラッチを通して駆動軸 B を回し、チェーンによって伝導軸の両端にあるピニオンを回転させてラック上を移動する。電動機は運転時にのみ解放する摩擦ブレーキを内蔵しており、可動部の停止はなめらか、かつ確実であり、だ(精)行および停止位置のばらつきはほとんどない。

減速機は 1 組のウォーム歯車からなり、大きい減速比をうるとともに、しゃ断器を停止位置に固定保持する。すなわち、しゃ断器本体に操作時の振動、あるいは地震力などの外力が加わってもウォーム歯

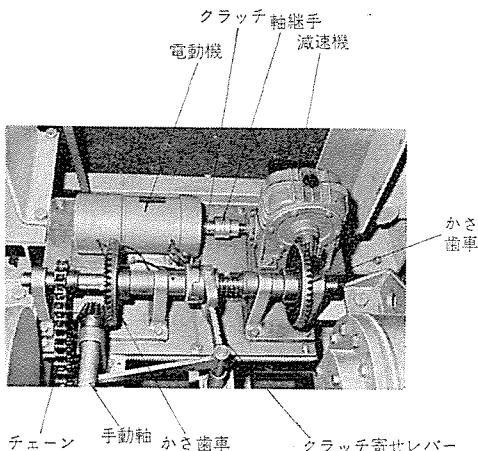


図 3.4 駆動装置 (主要部分)
Operating mechanism (main parts).

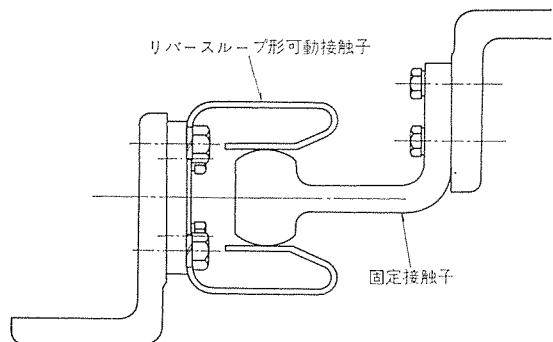


図 3.5 主回路接触子
Disconnecting contacts.

車の自己保持作用によって、しゃ断器移動方向のズレを防ぐ構造にしている。また、ウォーム歯車は完全密閉容器に組んで良好な潤滑と防じんを確実にしている。

クラッチは駆動軸AとBを常時連結しており、手動操作時に図3.2に示すように、手動ハンドルを手動軸の先端に押し込むことによりカラーで押し棒を矢印の方向に押し、クラッチ寄せレバーを矢印方向に回転させてクラッチを切り離す。その後、手動ハンドルを回転すれば手動で断路・接続操作を行なうことができる。クラッチは上記のように電動機を被駆動側より機械的に切り離すため、手動操作中に万一誤って電動機を駆動させても動力は伝わらない構造としている。

また、駆動装置をユニット化してすべてしゃ断器フレーム上にのせてあり、点検時にはしゃ断器とともに点検位置まで引き出せるので、安全に点検できる。

駆動装置の主要部分を図3.4に示す。

3.3 主回路接続部（断路部）

主接触子の構造を図3.5に示すが、可動接触子は当社の断路器に広く使われているリバースループ形可とう（撓）接触子を用い、単純な部品構成で信頼性の高いものとしている。また、可とう接触子をしゃ断器側に取り付け、しゃ断器点検時に接触圧のチェックを行ないうる便を考慮している。

3.4 固定側支持がい子

前記の図3.1に示すように、しゃ断器消弧室と向き合って固定側支持がい子が立っている。支持がい子は標準のSPがい子を用い、断路部の一部を構成する固定側主接触子をささえるとともに、プラグイン形ガスしゃ断器全体としての主回路端子を備えている。また、下側の端子部は後述する接地装置の取り付けにも兼用している。

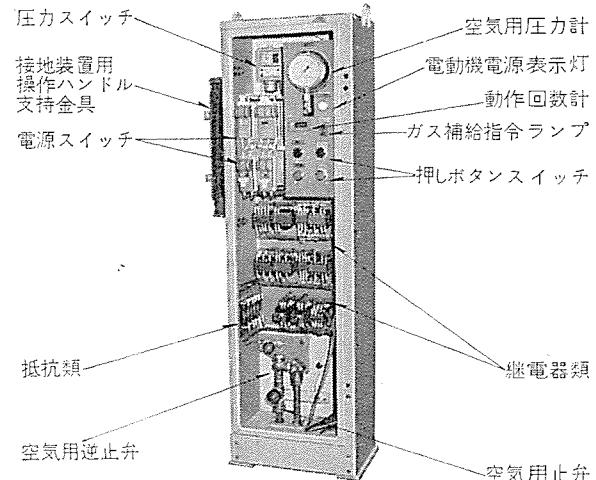


図 3.6 制御箱
Controlling housing.

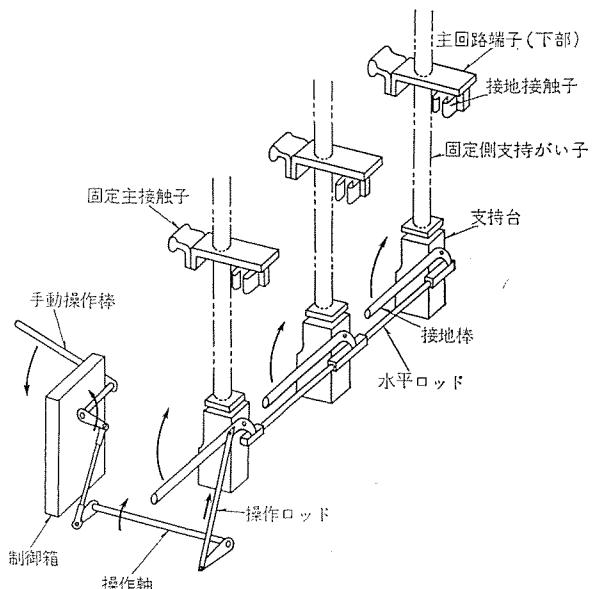


図 3.7 接地装置
Earthing device.

3.5 制御装置

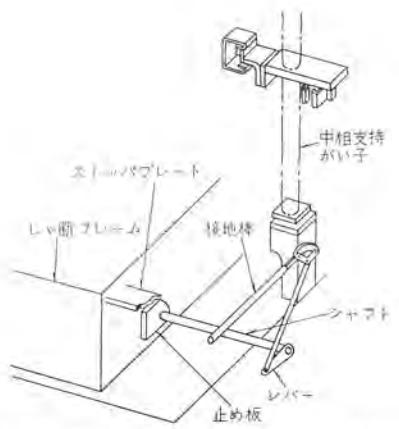
現場操作盤として、基礎ベースの前面に制御箱を設けている。制御箱の構造を図3.6に示すが、各種继電器・タイマーなどをしゃ断器操作時の振動や湿気から保護する構造としている。ただし、SF₆ガス系統はしゃ断器に対して元来封じきりであるため、圧力計・圧力スイッチとともにしゃ断器フレーム上に取り付け、可動側に封じ切りとしている。なお、フレーム前面にガス補給口を設け、しゃ断器を断路位置に移動すれば、容易に補給しうる構造となっている。

また、制御箱の側面に接地装置の操作ハンドルを取り付けてあり、制御箱のところですべての現場操作が可能である。

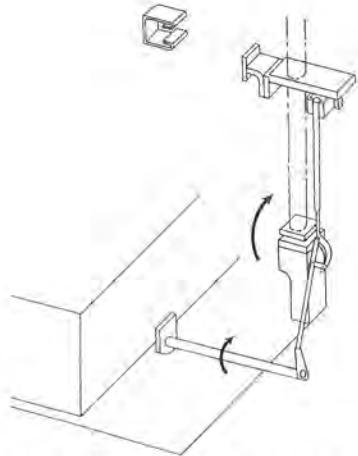
3.6 接地装置

図3.7に構造を示すが、接地棒は各相の固定側支持がい子下部の支持台にピンで支持され、相間方向に約90°回転して固定側下部端子の接地を行なう。

操作レバーに手動操作棒をさし込んで下方に押すと、操作軸が矢印方向に回転し、操作ロッドを介して接地棒を矢印方向に回す。各相の接地棒は水平ロッドで連結されているので、3相同時動作を行ない、3相ともに接地される。中相の下部には図3.8に示すよう



(a) しゃ断器接続状態における接地装置のインターロック



(b) 接地装置投入時におけるしゃ断器移動のインターロック

図 3.8 接地装置の機械的インターロック
Mechanical interlock of earthing device.

なインターロック装置を備えている。中相の接地棒に連動して止め板が約90°回転する。したがって、同図(a)のようにしゃ断器が接続位置にあれば、しゃ断器フレーム底面のストッププレートが止め板の回転を妨げるために接地装置は投入できない。一方、同図(b)のようにしゃ断器が完全断路位置にある場合、止め板の回転は自由になり、接地棒を投入すると、止め板は起き上がった状態となる。したがって、このとき、誤ってしゃ断器を接続位置へ移動しようとしても、止め板が移動を妨げることになり、機械的インターロックを構成する。

3.7 インターロック装置

プラグイン形ガスしゃ断器は複合機器であるため、誤操作の防止と安全のために内部に各種のインターロックを設けてある。

機械的インターロックには前項の接地装置に関するものほかに断路操作に関するものがあり、作動原理を図3.9に示す。しゃ断器の操作伝導軸に取り付けられたカムによって動くロックピンがばねで常に下方へ押されており、しゃ断器が投入状態であれば、図3.9(a)のようにロックピンはピン受けの穴にそう入されてしゃ断器の移動を鎖錠している。しゃ断器が開極状態にあれば、同図(b)のようにロックピンはカムによって上に引き上げられており、しゃ断器の移動は自由である。

電気的インターロックはしゃ断器の投入制御回路、断路部の駆動制御回路に設けてあり、しゃ断器移動中または渋滞警報発生中にはしゃ断器の投入を鎖錠し、しゃ断器投入状態、接地装置投入状態または渋滞警報発生中には駆動装置を鎖錠している。なお、ここで言う渋

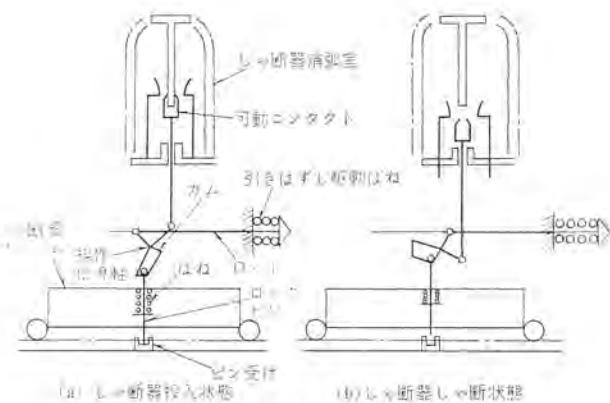


図 3.9 機械的インターロック
Mechanical interlock of disconnecting part.

表 3.1 インターロック一覧表
List of mechanical and electrical interlock.

各部の状態		各部の操作			
しゃ断器の位置	しゃ断器の状態	接地装置	しゃ断器 投入操作	電動操作	手動操作
断路位置	開極	解放	○	○	○
	接 地	○	××	×	○
	解 放	—	××	×	○
	接 地	—	××	×	○
接続位置	開極	解放	○	○	×
	接 入	解放	—	××	×
移動途中(電動)	開極	解放	×	—	—
	接 入	解放	×	×	○
渋滞警報発生時	開極	解放	×	○	×

ただし ○印は操作可能(インターロックが解かれた状態)であることを示す

×印は電気的インターロックにより操作不能であることを示す

✗印は機械的インターロックにより操作不能であることを示す

渋滞警報とはしゃ断器に移動指令を与えた後、所定の時間経過しても、しゃ断器が最終停止位置に到達しなかった場合、電動機電源の停電あるいはその他の故障によってしゃ断器が途中位置で停止していることを表示するものである。

これらインターロックをまとめて表3.1に示す。

3.8 コンデンサ形計器用変圧器

プラグイン形ガスしゃ断器には仕様によってコンデンサ形計器用変圧器を設けることができる。たとえば、中相固定側支持がい子と置き換えることによって、全体の寸法・構造をまったく変化させずに設けることができる。

4. 操作および点検

しゃ断器の開閉、断路部の接続、断路操作は通常遠隔操作で行ない、遠方監視が可能であるが、現場においては、制御箱(図3.6参照)に設けた押しボタンスイッチによる直接操作が可能である。

また、AC電源の停電等により電動機による駆動ができない場合には、先述のように手動ハンドルによって移動操作をすることができる。

接地装置の操作は手動操作棒によって行なう。

しゃ断器の点検はレールの延長上に点検レールを取り付け、安全などを開いて安全な点検通路まで引き出して行なうが、点検用延長ケーブル、延長空気配管をつないで点検位置でしゃ断器開閉操作を行なうことができる。なお、延長ケーブルによって接続した場合、遠方制御指令を受けないような構造にしており、作業の安全を図っている。

5. 試験結果

しゃ断器本体は標準的なガスしゃ断器をそのまま使用しているので、今回の開発にあたっては、プラグイン形ガスしゃ断器として新たに付加された部分の機能検証を重点に行なった。おもな試験項目は以下のとおりである。

- (1) 構造点検
- (2) 抵抗測定
- (3) 温度試験
- (4) 断路部開閉試験
- (5) 接地装置開閉試験
- (6) 短時間電流試験
- (7) 耐電圧試験
- (8) 漏気試験
- (9) 参考試験
 - (a) 互換性試験
 - (b) 課電無負荷開閉試験
 - (c) 耐圧力試験

表 5.1 開閉特性試験
Operation test.

制御電圧 V	操作電圧 V	開路制御電流 A	閉路制御電流 A	開路時間 S	閉路時間 S	開路速度 cm/s	閉路速度 cm/s
DC 75	AC 180	0.21	—	2.4	—	2.5	—
75	180	—	0.21	—	32	—	2.5
75	220	0.21	—	2.2	—	2.6	—
75	220	—	0.21	—	32	—	2.6
100	200	0.28	—	2.4	—	2.5	—
100	200	—	0.28	—	32	—	2.5
125	220	0.36	—	2.3	—	2.6	—
125	220	—	0.36	—	32	—	2.6

表 5.2 手動開閉試験
Manual operation test.

連続開閉試験	接続操作			断路操作		
	最大操作トルク kgm	ハンドル操作回数 回	結果	最大操作トルク kgm	ハンドル操作回数 回	結果
前	2.4	16	良	2.3	16	良
後	2.2	16	良	2.2	16	良

表 5.3 最低動作試験
Minimum voltage for controlling device.

連続開閉試験	最低制御電圧(定格操作電圧にて)		最低操作電圧(定格制御電圧にて)	
	接続V	断路V	接続V	断路V
前	38	38	145	145
後	38	38	145	145

表 5.4 接地装置開閉試験
Operation test of earthing device.

連続開閉試験	閉動作		開動作	
	最大操作力 kg	結果	最大操作力 kg	結果
前	18	良	12	良
後	18	良	12	良

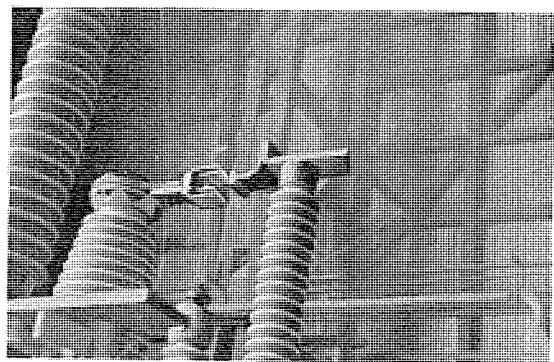


図 5.1 課電無負荷開閉試験における発弧状況
Charging current interruption test of opened circuit breaker.

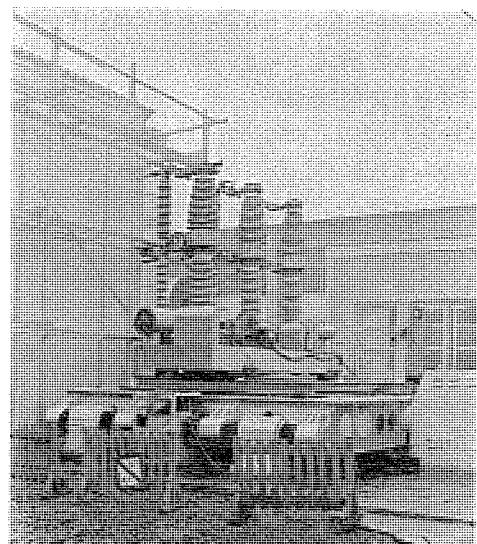


図 5.2 実体の耐震試験
Earthquake test.

- (d) 耐震試験
- (e) せん(閃)絡電圧試験
- (f) 連続開閉試験
- (g) 支持がい子をわみ測定

これらのうち、おもな試験について結果の概略をつぎに述べる。

5.1 構造点検

主回路接触子の取り付けには可動側・固定側ともに組立治具を使用するため、基準寸法内に取り付けることが容易であり、しゃ断器間の互換性を持たせることができる。

5.2 温度試験

通電々流 2,000 A で主回路接続部、がい子 フランジ等の温度上昇値はすべて規格値内であることを確認した。

5.3 断路部開閉試験

連続 10,000 回 試験前・後で特性変化はなく、異常のないことを確認した。連続試験後の結果を表 5.1、手動開閉試験結果を表 5.2 に、最低動作試験結果を表 5.3 に示す。

5.4 接地装置開閉試験

手動操作棒を取り付けて最大操作力を測定した。結果を表 5.4 に示す。また、手動で連続 100 回の開閉操作を行ない、異常のないことを確認した。

5.5 短時間電流試験

主回路および接地装置に 27 kA 三相 2 秒間通電して各部に異常のないことを確認した。

5.6 耐電圧試験

各相主導電部間、主導電部大地間、しゃ断器接続状態での同相極間で衝撃波 400 kV、商用周波 160 kV、またしゃ断器断路状態での固定側支持がい子 同相極間で衝撃波 460 kV、商用周波 215 kV に十分耐えることを確認した。

5.7 漏気試験

しゃ断器本体の SF₆ ガスの部分については、連続開閉試験の前後においてすべてのシール個所とともにハロゲンリークディテクタで検知しうる漏れはなかった。

また、ゴムホース・空気タンクを含む圧縮空気系については、12時間で圧力降下 3 %以下の基準を十分満足した。ただし、現在フレキシブル配管として高圧ゴムホースを使用しているが、金属ホースおよびプラグイン式配管の開発を進めており、最終方式決定はこれらの実用性能試験結果によることにしている。

5.8 課電無負荷 開閉試験

プラグイン形しゃ断器は、荷電状態（しゃ断器開極状態）で主回路の断路接続を行なうために、しゃ断器消弧室がい子に対する充電々流しゃ断性能が要求される。試験中の状況を図 5.1 に示す。同図に見られるように、主回路接触子の開離直後および接続直前の数秒間、主接触子間にアーキが発生する。しかし、充電々流値は 84 kV 印加時で約 0.4 mA と小さいためにコンタクトの荒れ、その他の異常は認められなかった。

5.9 耐震試験

図 5.2 に示すように、しゃ断器を大形加振機に載せて実機で振動試験を行なった。主回路接触子は接続状態ではしゃ断器と固定支持がい子の振動によって水平方向に多少のずれを生じるが、可動接触子の接触部を十分長くとっているので常に完全な接触状態を保ちうる。また、しゃ断器移動方向の振動に対しては、ピニオンがウォーム減速機の自己保持性と電動機のブレーキによって回転を止められているので、ラックとかみ合って確実にしゃ断器の移動を防ぐ。試験の結果、エルセントロ 地震に対しても問題なく耐えることが確認された。

6. 適用方法

プラグイン形ガスしゃ断器は、しゃ断器・断路器・接地装置・計器

用変圧器などの機能を持つ複合機器であり、前述のようないくつかの特長を持っているが、その特長を十分に生かすために適用にあたっては、下記の諸点を考慮する必要がある。

(1) 従来、しゃ断器の前後に設置していた断路器 2 台分の据付けスペースは不要となるが、プラグイン形ガスしゃ断器自体の据付け面積は 4 m × 3 m 程度必要である。

(2) 屋内専用で、床据付け形である。

(3) 建屋の天井高さは 5.5 m 程度あればよい。

(4) 主回路端子が上下に配置され、下部の端子の床面からの高さが約 2,000 mm と低いので、下部端子をケーブルヘッドに接続し、上部端子を天井の母線に接続する方法をとれば、最も無理のない配置ができる。

(5) しゃ断器の前面に安全たなを設け、その前面通路に約 2 m の点検空間を設けるとよい。

変電所の縮小化を目標として開発されたガス絶縁開閉装置は、機器価格が従来の単独機器に比較してかなり高いという問題があり、経済性のある範囲はかなり限定される。プラグイン形ガスしゃ断器は、従来の単独機器と同程度の価格で相当のスペース縮小を図ることができるため、従来形単独機器とガス絶縁開閉装置との中間的な需要に応じるもので、都市近郊の屋内変電所、特に無人変電所での使用に適している。

7. むすび

しゃ断器に引出し装置を設けて断路機能を持たせたものは、従来配電系統の低圧しゃ断器で実用されていたが、今回このアイデアを 70 kV 系に拡張して適用し、プラグイン形ガスしゃ断器として開発し、諸性能検証試験を完了したので、その概要を紹介した。しゃ断器本体としては、過去 4 年間の実績をもつ標準形ガスしゃ断器をそのまま利用し、断路部・駆動装置・接地装置・インターロック装置等を一体として組み合わせたもので、変電所縮小化の一方法として、今後このような複合機器の使用が予想される。

なお、本しゃ断器の開発に際して終始、有意義なご助言をいただいた関西電力（株）の関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

超音波探傷器 FD-210 形

佐藤 春治*・大力 健市*

Ultrasonic Flaw Detectors Type FD-210

Kamakura Works Haruji SATO・Kenichi DAIRIKI

The ultrasonic flaw detector holds an important position among the devices for non-destructive inspection with its features of short testing time and low cost. Recently it is especially appreciated in such application as to the inspection of welds of steel framed bridge beams or of ships when placed in a height or in a locality where AC power supply is hardly available. A newly completed ultrasonic flaw detector type FD-210 is the one developed with all these conditions taken into account and has the following merits: (1) small sized and lightweight, (2) adaptable to both DC and AC power, (3) operable for above 7 hours with one charge of batteries, and (4) satisfying nearly all the functions needed for the inspection of welds.

1. まえがき

最近あらゆる分野で有害欠陥の排除ということが重要な課題となっており、これにともない超音波による非破壊検査装置が、材料、部品および製品の品質管理に限らず、検査結果の商取り引きの手段として大きくクローズアップされてきた。

当社が日本で初めて超音波探傷器を実用化した昭和24年ごろは、大形鉄鋼品の検査を主としていたが、その後、厚鋼板・条鋼・鋼管・薄鋼板・各種溶接部などに使用されている。最近では特に、造船所における船体溶接部や鉄骨橋りょう(梁)の溶接部の探傷が増加してきており、これにともない超音波探傷器も、よりポータブル形のものが望まれるようになってきた。

FD-210形超音波探傷器は、このような背景のもとに製作したものである。ブラウン管以外はすべて半導体化したため小形軽量となった。しかも交流直流兼用にしたので持ち運びのひん繁な現場用として威力を発揮する。

2. 特長

(1) 全半導体化したため小形軽量であるとともに信頼性が高い。

(2) 電源は交流・直流兼用できるので使用場所が任意である。また蓄電池は充電可能である。

(3) 前面操作つまみを少なくしたため現場用として最適である。しかも、各つまみは誤って触れても回らないよう、ステップ式とロック式を採用した。

(4) ゲート回路と警報回路を内蔵しているため、船舶等の溶接部探傷には最適である。

(5) 電源が自動しゃ断されるので常に一定範囲の性能で使用できる。

(6) 送信部を半導体化したが、他の標準機種(FD-180・FD-160)に比べて、遠距離分解能・增幅直線性等においてもそんしょくがない。

(7) 増幅直線性が良いので定量的測定が可能である。

(8) 時間軸の直線性が良いので厚み測定もできる。

(9) ブラウン管は内面目盛のものを使用しているので、視差がなく正確に読み取れる。

(10) セラミック振動子を使用した垂直探触子・斜角探触子・分割形探触子・可変角探触子および局部水浸探触子を、そのまま接続できる。

(11) 交流電源で使用するときはFDP-210B形チャージャーを用いるが、蓄電池で使用するときと寸法・重量は増加しない。

(12) 音速が精密に設定できるので、斜角探傷時、試験片による時間軸校正の手間が省ける。

(13) FDP-210B形チャージャーは定電流、定電圧回路を採用したので、過充電のおそれがない。

(14) ブラウン管前面に補助目盛板を取り付けることができる。この補助目盛板は、溶接部の探傷を行なうとき、距離振幅補正曲線を描くためのもので標準付属品としている。

3. 構造

この装置は操作の簡易化と軽量化をはかっており、図3.1にその外観を示す。操作部分を特に少なくし前面パネルをシンプルにしている。補助操作部分は左側面に配置した。またケースの取りはずしが容易であり、作動させながら保守点検ができる。図3.2にバッテリーパックとチャージャーの接続状態を示す。

図3.3に電気系統図を示す。各電気部品は機能別に整然と並んでおり、接続部は明確に示されている。



図3.1 FD-210形
超音波探傷器
の外観

Exterior view of type FD-210 ultrasonic flaw detector.

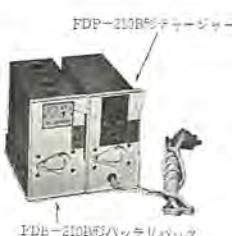


図3.2 バッテリーパックとチャージャーの接続
Connection of battery pack and charger.

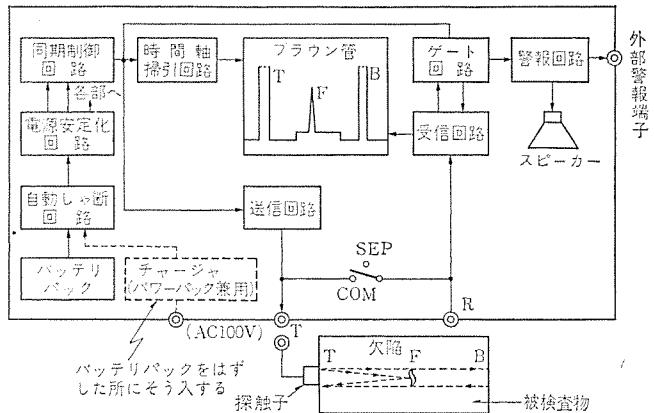


図 3.3 FD-210 形 超音波探傷器の電気系統図
Block diagram of type FD-210 ultrasonic flaw detector.

ト基板に取り付けているので、高信頼性と保守点検の簡易化および小形軽量化が実現できた。この装置は交流・直流兼用できるが、直流で使用するときはFDB-210B形バッテリパック、交流で使用するときはFDP-210B形チャージャを後方よりそう入して使用する。

4. 主要性能

(1) 測定範囲 (NDI方式)

25 mm～4.5 m (ブラウン管フルスケール鋼中縦波換算)。ただし、音速設定は1,400～6,400 m/s (精度±150 m/s)。

(2) 探傷周波数

1～5 MHz (周波数切換なし、10 MHzも探傷可能)。

(3) ブラウン管图形の寸法

縦軸64 mm、時間軸80 mm、NDIS標準目盛付き、しかも内面目盛式ブラウン管使用。

(4) 表示方式

AスコープDC表示、不飽和形。

(5) 総合感度

探傷周波数5 MHzの場合、利得を14 dB低下させても学振STB-III V51-1のエコー高さは50%以上得られる。(PE=最大、REJECTION=OFF)。

(6) 近距離分解能

探傷周波数2 MHzの場合、鋼板10 mm完全分離。5 MHzの場合、鋼板5 mmを完全分離。

(7) 遠距離分解能

探傷周波数2～5 MHzの場合A級。1 MHzの場合C級。(NDIS-2101-’66による)。

(8) 増幅直線性

64 mm 1級 (NDIS-2102-’67による、1～5 MHz内)。

(9) 時間軸直線性

±1%

(10) アッテネータ

0.5 dBステップで最大70 dBまで調整可能。

(11) ゲート

ブラウン管縦軸6～100%の任意の位置に警報レベル設定可能。ゲート位置は0～500 mm(鋼中縦波換算)。ゲート幅は10 mm～500 mm(鋼中縦波換算)に設定可能。

(12) 警報

スピーカー(約2 kHz)

(13) 探傷法

一探触子または二探触子法

(14) 使用電源

直流電源:FDB-210B形バッテリパック使用(鉛蓄電池6 V×6 AH)。
交流電源:FDP-210B形チャージャ使用(AC 100 V±10%, 50/60 Hz
約20 VA)。

(15) 連続使用時間

FDB-210B形バッテリパック1個で約7時間以上。

(16) 外形寸法

約220(幅)×150(高さ)×367(奥行)mm。

(17) 重量

約6.5 kg (FDB-210B形バッテリパックを含む)。

5. 各種探触子

探触子の形式、探傷周波数および振動子の寸法は用途に応じて選定しなければならないため、各種のものを用意している。当社の探触子は、特殊ダンパー(特許申請中、特願昭43-90075、その他)を採用しているため、雑エコーの少ない性能を得ている。表5.1に当社の標準系列を示す。探触子の被検査材との接触面の曲率半径は、別途指定により製作している。

図5.1に各種探触子の一例を示す。

表 5.1 探触子の標準系列
Standard series of probes.

形式 振動子の寸法(mm)	垂直 (水晶)	垂直 (セラミック)	分割形 (セラミック)	斜角 (セラミック)	可変角 (セラミック)	局部水浸
30φ	0.4, 1, 2 MHz	—	—	—	—	—
25φ	1, 2 MHz	—	—	—	—	—
20φ	2, 3, 5, 10 MHz	2, 5 MHz	2, 5 MHz	—	—	水晶 3.5 MHz
10φ	5, 10 MHz	2, 5 MHz	2 MHz	—	—	—
10×20	—	—	—	(入)0～65° 2 MHz	—	—
20×20	—	—	—	1 MHz, 45° 2, 5 MHz 各45°, 70°	—	—
10×10	—	—	—	45°, 70° 2, 5 MHz	(入)0～65° 2 MHz	—

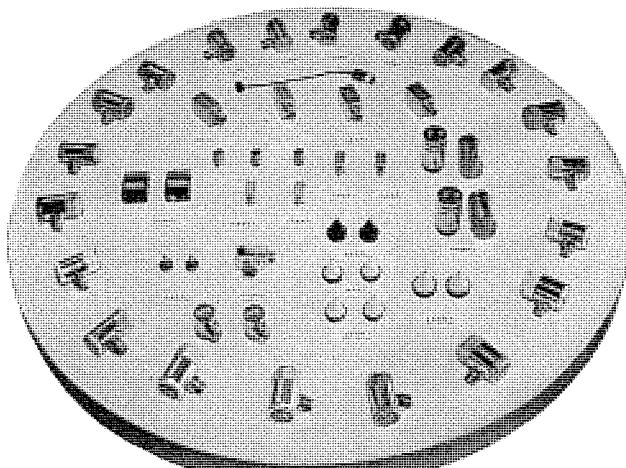


図 5.1 各種探触子
Various probes.

6. 電気的特性の測定結果

6.1 安定性、その他

(1) 蓄電池を完全充電状態から自動しゃ断電圧まで変化させたとき、感度の変化は 1 dB 以内、送信パルスの移動はフルスケールに対して 2 % 以下、ゲートマーカの移動は鋼中縦波換算で、2 mm 以下である。

(2) 周囲温度を -5°C ~ $+45^{\circ}\text{C}$ まで変化させたときの感度の変化は 2 dB 以内である。

(3) この装置の探傷ケーブル (MLM 形) は RG-62/U、長さ 2 m 標準付属品としているが、ケーブル長さが変化したときの特性変化を表 6.1 と図 6.1 に示す。

表 6.1 探傷ケーブルの長さによる特性変化
Characteristic change depending on probe cable.

ケーブル長さ(m)	2 MHz, 水晶 20φ の場合			5 MHz, 水晶 20φ の場合		
	感度(dB)	送信パルス幅(%)	遠距離分解能(dB)	感度(dB)	送信パルス幅(%)	遠距離分解能(dB)
1	+2	90	X=30	+2	90	X=36
2(基準)	0	100	X=22, Y=30	0	100	X=34
3	0	103	X=22, Y=30	-1	105	X=34
5	-1	115	X=21, Y=30	-2	123	X=36
7	-2	120	X=20, Y=26	-3	138	X=38
10	-5	150	X=20, Y=22	-7	175	X=40

注 1) 遠距離分解能の欄で X は鋼材 6 mm 段差の反射波の分解能である。

注 2) 遠距離分解能の欄で Y は鋼材 9 mm 段差の反射波の分解能である。

注 3) 感度の変化については図 6.1 のグラフにも示した。

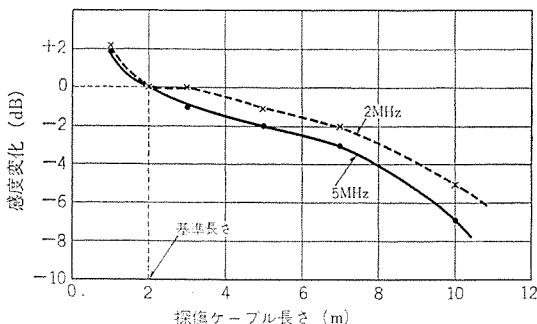


図 6.1 探傷ケーブル長さによる感度変化
Sensitivity stability depending on probe cables.

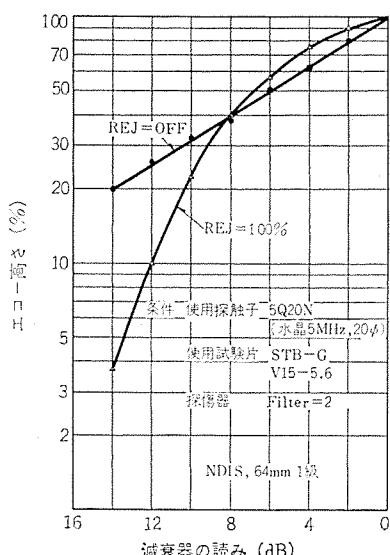


図 6.2 縦軸直線性
Linearity of amplifier.

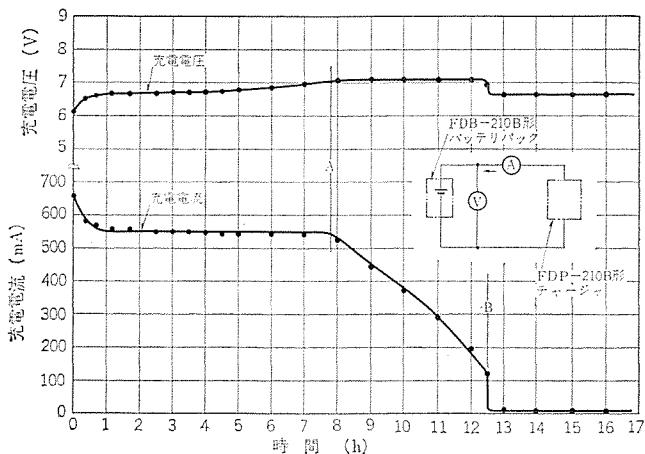


図 6.3 充電特性 Charging characteristic.

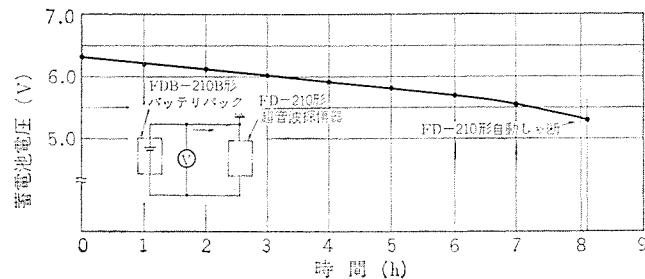


図 6.4 放電特性 Discharging characteristic.

6.2 増幅直線性

リジェクション特性を図 6.2 に示す。増幅直線性は $\text{REJ}=0$ で NDI 標格 1 級に入っている。図 6.2 は探傷周波数 5 MHz の例である。

リジェクションをかけると、特性は非直線になり ダイアミックレンジが狭くなる。これより小さい雑エコーを消失できる。

6.3 充電特性、放電特性

充電特性を図 6.3 に示す。充電開始後 A 時点までは定電流で充電する。それ以後は定電圧 (約 6.6 V) にて充電していく。また、充電電流は徐々に減少して B 時点になると急激に減少する。この間充電電圧・電流はすべて自動的にコントロールされる。

充電は B 時点で完了するが、さらに充電を続けても蓄電池への悪影響 (過充電) はない。図 6.3 は完全放電したものと充電したときの充電特性で約 12~13 時間で充電を完了しているが、さらに 16 時間まで充電特性を示した。なお チャージャを切り離すと蓄電池電圧は約 6.6 V となる。図 6.4 に放電特性を示す。これによると約 7 時間は十分使用できることがわかる。

7. ブラウン管波形

(1) 近距離分解

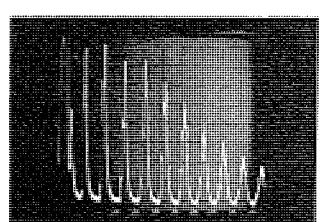


図 7.1 ブラウン管波形
(鋼板 5 mm, 5 MHz)

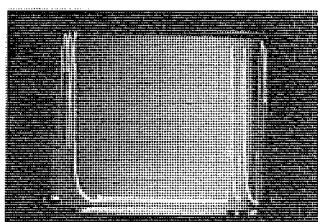


図 7.2 ブラウン管波形
(遠距離分解能)
C. R. T. pattern (steel plate 5 mm, 5 MHz).

図 7.1 に探傷周波数 5 MHz で鋼板 5 mm を測定したときのラウンド管波形を示す。

(2) 遠距離分解

図 7.2 に探傷周波数 3 MHz で鋼材 6 mm 段差を測定したときのラウンド管波形を示す。

8. 測定上の注意点

測定上の注意について若干具体例を示す。

(1) 接触媒質と感度との関係

表 8.1 に探傷面荒さをパラメータにして接触媒質と感度との関係について測定した結果を示す。表面が荒くなると、グリセリンは水やマシン油より感度良く測定できる。表面状態がよくなると、水を使うことによりエコーの最大値は、容易に得られやすい。

(2) 探触子の接触圧力

一般に探触子に使用している振動子は手荒く取り扱うと破損しやすいので注意しなければならない。精密探傷時の接触圧力は、3種類(水・マシン油・グリセリン)の接触媒質と3種類の探傷面の荒さ(▽▽▽, ▽▽, ▽)での実験によると、3~4 kg 程度が適当である。

表 8.1 接触媒質と感度との関係(測定値)
Relation of couplant and sensitivity (tentative data).

探傷面の荒さ	接 触 媒 質		
	グリセリン	マシン油	水
▽▽▽	0 dB(基準)	+0.4 dB	-0.6 dB
▽▽	-0.2 dB	-2.4 dB	-4.0 dB
▽	-7.7 dB	-13.1 dB	-12.9 dB
備考	エコーの最高値がややスムーズに得られにくく。	エコーの最高値がスムーズに得られにくい。	エコーの最高値がスムーズに得られる。

9. 装置の信頼性

故障修理後、次の故障まで正常に動作する時間(MTBF)は約1,750時間程度である。(Earlesの値による予想値)。したがって1日当たり5時間使用すると、350日間は正常に動作するということが予測できる。

10. 応用例

図 10.1 は、FD-210 によって JCR 用ブースタエンジンの燃料検査を行なっているところである。

図 10.2 はハンドスキャナを示すが、本体として FD-210 を使用している。ハンドスキャナは、おもに厚鋼板のラミネーション探傷に威力を發揮する。

図 10.3 は警報ランプである。これは、FD-210 前面パネルのジャックにさし込んで使用する。部品 No. AL-660 は指輪式、AL-661 はちょう(貼)付式であり、いずれも発光ダイオードの光により警報が得られる。



図 10.1 JCR 2段ロケットブースタエンジンの超音波検査
Ultrasonic inspection of JCR 2 stage rocket booster engine.



図 10.2 ハンドスキャナ
Hand scanner.

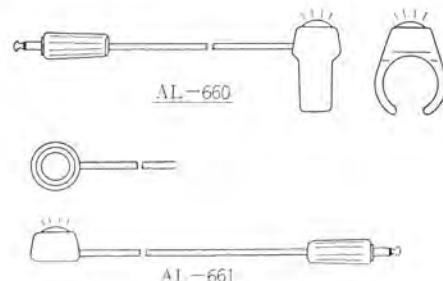


図 10.3 警報ランプ
Alarm lamp.

11. むすび

非破壊検査の一環として超音波探傷器が各所で用いられているが、最近、特に現場用として軽量で持運びの便利なもの、しかも蓄電池式のものが要求されてきた。

FD-210 超音波探傷器は従来の探傷器の性能を落すことなく、このような要求に十分こたえられるものと思う。少しでも非破壊検査の役にたてば幸いである。

おわりに終始、ご指導いただいた関係各位に、厚くお礼申し上げる。
(昭和 46-4-14 受付)

電子計算機用カップルド フィルム形記憶装置

尾崎 弘*・谷口 慶治**
小島 一男*・蒲生 容仁+・南部 元+
上坂 達生++

Coupled Film Memory for Digital Computers

Osaka University Hiroshi OZAKI・Keiji TANIGUCHI
Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Kazuo KOJIMA・Yoshimi GAMO・Hajime NANBU
Mitsubishi Electric Corp., Sagami Works Tatsuo UESAKA

The paper describes the development of the memory of 16 K byte provided with coupled film memory elements and also the test result obtained by using it. About the memory elements, coupled construction of magnetic films immune from the effect of demagnetizing field has been sought for.

Also a method has been determined to compose strip wires which are least affected by eddy currents, have good propagation characteristics, optimum magnetic field distribution and good workability. Regarding electronic circuits, (1) transistor matrices are used for word drive circuits and these are connected direct to the stack, (2) transformers are used for the cancellation of digit-current-noises and polarity detector with emitter followers so as to reduce cycle time. This trial model has operated steadily at a cycle time of 250 ns and an access time of 80 ns.

1. まえがき

磁性薄膜を記憶素子として用いることにより、高速記憶装置を実現できることが指摘されて⁽¹⁾以来、これまで多くの研究が行なわれてきた。たとえば、スクラッチパッド用の小容量高速記憶装置としては、容量 128 B (バイト=8 ビット) サイクルタイム 60 ns 程度のものがあり⁽²⁾、また主記憶用としては、容量 100 KB サイクルタイム 500 ns のもの⁽³⁾などが発表されている。記憶素子も開磁路から半閉磁路へと進み、さらに閉磁路で高密度記憶素子の実用化研究が行なわれている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

筆者らは素子および周辺回路の設計法について、研究⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾してきましたが、これらをもとに述べる特長をもつ 16 KB の記憶装置を試作し、サイクルタイム 250 ns、アクセス時間 80 ns で安定に動作することを確認した。また、実装問題も含めて記憶容量がサイクルタイムにあたえる影響を調べた。

本試作記憶装置の特長を次に挙げる。

(1) ガラス基板上に、磁性薄膜とストリップ線とを集積化したものを対向させたカップルド フィルム 形記憶素子を用いており、この素子は、蒸着のみで形成できるので製造が簡単である。

(2) このため、2 枚の磁性薄膜の間隔(隙)が小さくできるので、強固な半閉磁路を形成でき、安定な記憶特性をもっている。

(3) 書込み雑音の消去にトランジスタを用いており、従来の方式⁽¹¹⁾に比べて、終端の処理が簡単である。

(4) 読出し電圧については、けた線の近端側と遠端側の出力が合成されるので、信号の伝ば(播)による減衰が補償される。

(5) 読出し系にエミッタホワリ付きの極性判別器を用いるとともに、メモリレジスタを再書き込みループからはずしてサイクルタイムの短縮をはかっている。

(6) 変形スイープ回路⁽¹²⁾を用いてストローブ発生時間の制御を容易にしている。

(7) 情報書き込みには実用的な見地から消費電力を小さくするた

め RZ 方式を採用している。

本文では、カップルド フィルム メモリスタック および周辺回路の設計法と実装法について述べ、試作装置により記憶容量とサイクルタイムの関係を求めた結果について述べている。

2. 記憶装置の構成とサイクルタイム

けた系の構成は図 4.2 に示すようになっており、サイクルタイム T_c は図 2.1 のタイミング 図からつぎのように表わされる。

$$T_c = T_p' + T_{dd} + T_{dr} + T_{dw} + T_{df} + T_{sr'} + T_{sn} \dots \dots \dots (2.1)*$$

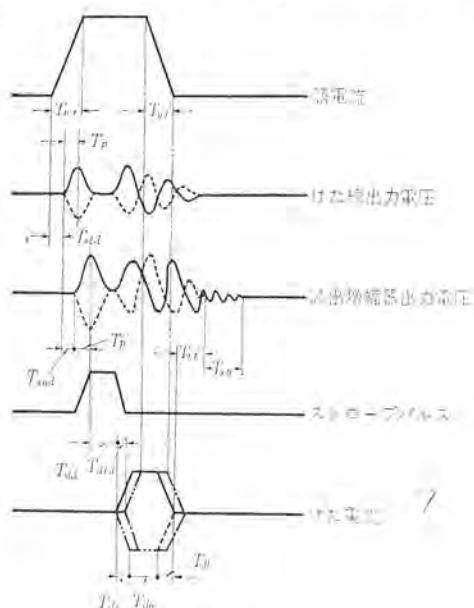


図 2.1 カップルド フィルム 記憶装置のタイミング 図
Timing chart of the memory.

* 書込み雑音が発生しない理想的な場合におけるサイクルタイムは、

$$T_c = T_{sta} + T_{swa} + T_p' + T_{dd} + T_{dr} + T_{dw} + T_{df}$$

であるが、 $T_{sta} + T_{swa} + T_{dd} \ll T_{sr'} + T_{sn}$ であるから、式 (2.1) のようになる。

$$T_{dw} \geq T_{wf} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

ここで T_{sad} : 読出し増幅器の遅延時間

T_{wz} : 読電流の立ち上がり時間

T_{wif} : 語電流の立ち下がり時間

T_p : 読出し電圧の ピーキング 時間

$T_{p'}$: 読出し增幅回路出力における読出し電圧のピークング時間

T_{dd} : ストローブパルスにより読み出し電圧の極性を判別してからけた電流が流れ始めるまでの時間

T_{data} : けた駆動回路から書き込み位置までのけた電流の伝
ぱ(播)時間

T_{std} : 読出し位置からけた線出力端子までの読出し電圧の伝ば時間

T_{dr} : けた電流の立上がり時間

T_{dw} : けた電流の パルス 幅

T_{df} : けた電流の立下がり時間

$T_{sr'}$: けた電流が立下がってから読み出し增幅回路出力端子で書き込み雑音電圧が減衰するのに要する時間

T_{sn} : 書込み雑音が減衰してからシステム雑音が減衰するのに要する時間

である。

図 2. 1 で $T_p = f(T_{wr})$ であるが、渦電流による影響が小さくなるようにプレーンを設計すれば⁽¹⁰⁾、語電流の立上がり時間内に磁性薄膜のスイッチが終了する。したがって、 $T_p \approx T_{wr}/2$ と近似できる。また、読み出し電圧を三角波で近似した場合、読み出し増幅回路の帯域幅 B と読み出し電圧のスイッチング時間 ts との間に $B > 2/ts$ の関係があれば、 $T_p' \approx T_p$ と近似できる。これらの関係と式(2.1), (2.2) から、サイクルタイムはつぎのようになる。

$$T_c = \left(\frac{T_{wr}}{2} + T_{sr'} \right) + (T_{dd} + T_{wf} + T_{ar} + T_{df}) + T_{sn} \quad \dots \dots \quad (2.3)$$

式(2.3)で第1項は主としてメモリスタックの構造に依存する項であり、第2項は主として周辺回路の特性によって定まる項である。この各項の値については後述する。

3. 記憶素子およびスタック (7)(8)(10)(12)

3. 1 カップルド フィルム記憶素子

磁性薄膜メモリプレーンでは外部磁界の影響、妨害の影響、ビット密度の向上などに対して素子の磁路を閉じた構造にするのが決定的に有利である。平板形磁性薄膜メモリプレーンでは、この磁路の閉じた構造を実際に作るに一般的に二つの方法がある。一つはフェライトなどのフラックスキーパーを用いる方法であり、もう一つはカップルドフィルム形のものである。カップルドフィルム形記憶素子は、図3.1のように語線・けた線などのストリップ線をはさんで、2枚の磁性薄膜がお互いにわずかの間げき(隙)を介して磁気的に結合し、半閉磁路を作るものである。フラックスキーパー形に比べて、すべて薄膜で構成できるので作りやすいという利点がある。この形の素子では、2枚の膜の磁気的な結合の強さが素子の記憶特性を左右する大きな要素であり、この結合の強さは2枚の膜の間げきできまり、その関係を図3.2に示している。この図は $0.6\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ の角形の蒸着膜(膜厚約 $1,500\text{ \AA}$ 、ガラス下地上に蒸着したもの)について調べたもので、膜の間げきが $40\text{ }\mu\text{m}$ 以下では出力電圧は完全に飽和しており、磁気的な結合が完全であることが示されている。このときの出力電圧値は、

薄膜が一様に磁化しているとして磁束密度から計算した値にほぼ一致し、また実際に一様に磁化していることもカーボン効果によって確かめられている。膜の間げきが $40 \mu\text{m}$ 以上になると、書き込み磁界が消えた瞬間から自己の反磁界により端に反対方向の磁区が表われ一

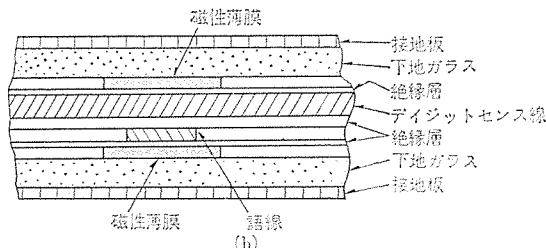
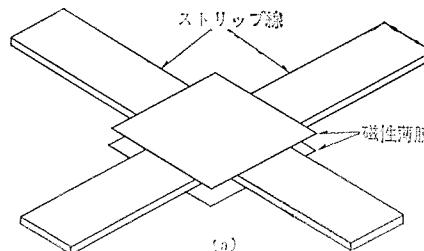


図 3.1 素子の構造
Cross section of the memory element.

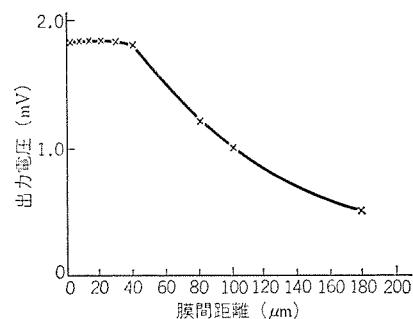


図 3.2 膜間距離と読み出し電圧の関係
Readout voltage vs. distance between the two films.

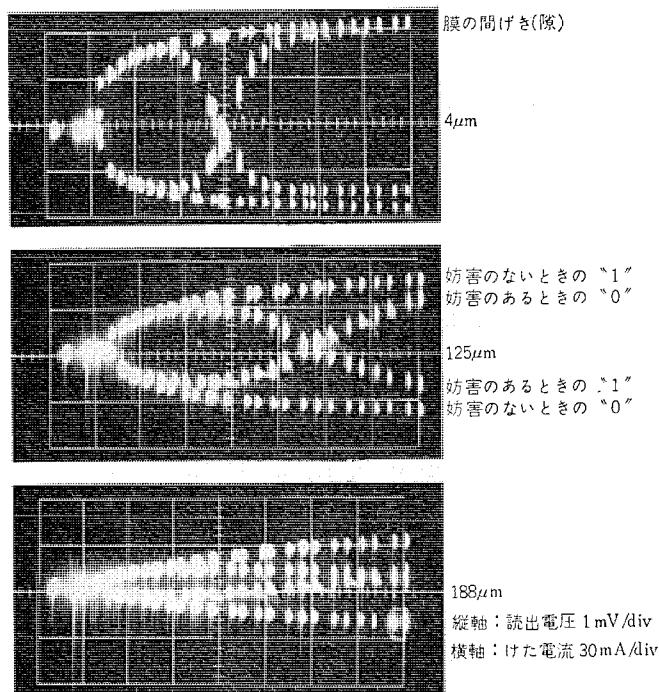


図 3.3 妨害による破壊 Disturbance characteristics.

表 3.1 メモリスタックの電気的特性
Electric characteristics of memory stack.

語 駆 動 電 流	I_W 400 mA
け た 電 流	I_D ± 50 mA
出 力 電 壓	V_S ± 2 mV
語 線 直 流 抵 抗	R_W $2.6\Omega/144$ ピット
ディ ジ ッ ツ 線 直 流 抵 抗	R_D $6\Omega/512$ ワード
特 性 イン ピ ーダ ンス	Z_0 22Ω
伝 ば 時 間	t_d 3 ns/128 ワード

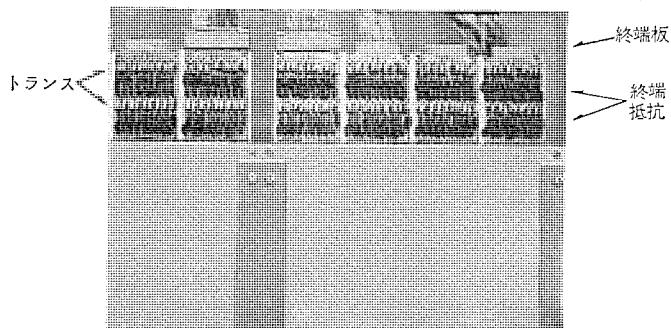


図 3.4 けた線の終端抵抗と書込み雑音消去トランス
Digit noise cancellation transformers and matching resistances of digit-sense lines.

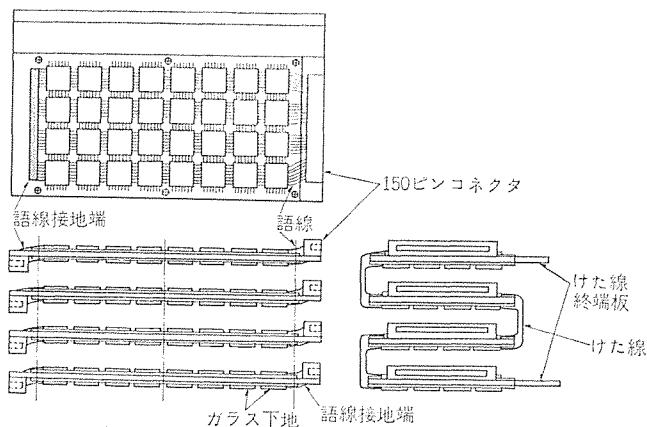


図 3.5 スタックの構成
Stack construction.

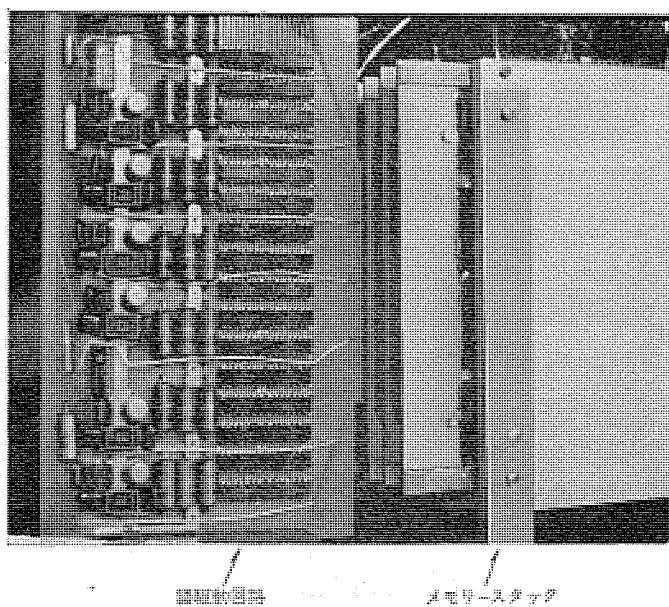


図 3.6 語駆動回路とメモリスタックの結合
Interconnection between the word drive circuit and the memory stack.

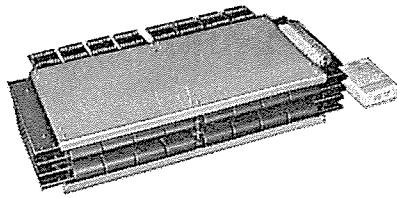


図 3.7 カップルドフィルムメモリスタック
Coupled film memory stack.

様でなくなる。このように間げきが大きくなると、ストリップ線と交差する磁束の割合が減り、さらに、膜の磁化の一様性が失なわれるため、磁束自身の絶対量も減少し、両方の効果で急速に結合の効果が減少し、 $100\mu\text{m}$ 以上の間げきになると、結合効果はほとんど失なわれてしまう。つぎに妨害によるくずれ方を図 3.3 に示す。これは約 6,000 個の妨害パルスを加えた後の出力電圧を、妨害なしの場合の出力電圧と比較したもので、膜の間げきが大きくなても、妨害によるくずれ方には特にはっきりした傾向はでていない。出力電圧の大きさは、妨害のあるなしに関係なく同じであり、膜の間げきが大きくなったときにも妨害によって減少するのではなく、上述したように書き込みが終わった瞬間に減少してしまっていることを示している。

つぎに素子の各部分の寸法についてはつぎのように決定した。

まず素子間ピッチ（ピット密度）については、おもに工作上の理由から 1 mm と決め、このピッチでの素子のクリープ特性および膜の磁気的結合状況から、薄膜の寸法を $0.6\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ 、2枚の膜の間げきを $40\mu\text{m}$ 以内にすることとした。この間げきの中に語線・けた線・絶縁層が入るが、ここでは減衰定数が最少になるようにふり分け、さらに工作上の問題も配慮して語線を $5\mu\text{m}$ 厚、絶縁層を $8\mu\text{m}$ 厚、けた線を $12\mu\text{m}$ 厚とした⁽¹²⁾。

語線の幅は、渦流の影響と語電流による磁性薄膜上の磁界分布を計算して 0.5 mm とした。また、けた線の幅は渦流の影響と減衰定数を考慮し、これらを最少にする寸法として 0.3 mm とした。

3.2 メモリスタックの構成

上述したカップルドフィルム形メモリ素子を、1枚のガラス下地上に 32×36 個蒸着し、この下地ガラスを金属基板の上に 32枚はりつけてメモリプレーンを構成した。このプレーンの容量は、128語各144ピットである。これを背中合わせに重ねて、アッパローワ構造をとった。このメモリプレーンを4段重ねて、けた線をプレーン内の線と同じ特性インピーダンスのフラットケーブルで接続した。表 3.1 はスタックの概略の電気的特性を示したものである。けた線の終端については雑音を減らすため図 3.4 に示すように終端板をとりつけ、ここに終端抵抗とトランスをとりつけて、その後をコネクタで外部に引き出すようにした。語線の終端については図 3.5 に示すように、接地端を層ごとに交互にふり分け、他端 (128×8) を 150ピンコネクタ 8個を用いて外部に引き出した。このように両側に交互にふり分けることにより、コネクタ間の空間を大きくして語駆動回路を直接スタックにとりつけられるようにした。これにより語電流の立ち上がりを速くし、雑音の低減をはかった。図 3.6 は語駆動回路を接続した状態を示したものであり、図 3.7 はスタックの外観を示したものである。

4. 周辺回路

4.1 語駆動回路

語駆動回路は、128語を1単位とし、 8×16 のトランジスタマトリク

スで構成した。トランジスタマトリクスを用いたのは、高速化のためと、語線の電位変動による誘導雑音を防ぐためである。図4.1は語駆動回路を示したものであり、この回路はトランジスタマトリクス、ベース駆動回路、およびエミッタ駆動回路に分けられる。ベース駆動回路は直結方式であり、エミッタ駆動回路はトランス駆動方式である。タイミングパルスはエミッタ駆動回路のみに加えられ、動作原理はつぎのとおりである。まずベース駆動回路の一つのトランジスタが導通すると、選ばれたベース共通線の電位は $-5V$ から $0V$ 近くに上昇する。つづいて、エミッタ駆動回路の一つのトランジスタを導通すると、選ばれた語線に電流が流れれる。

4.2 けた系回路

4.2.1 構成

図4.2はけた系の構成を示したものである。図で左上の回路は、けた駆動回路、SAは読出し増幅回路、右下の回路は極性判別回路である。けた駆動回路においてIは情報入力であり、U、Lはアップ

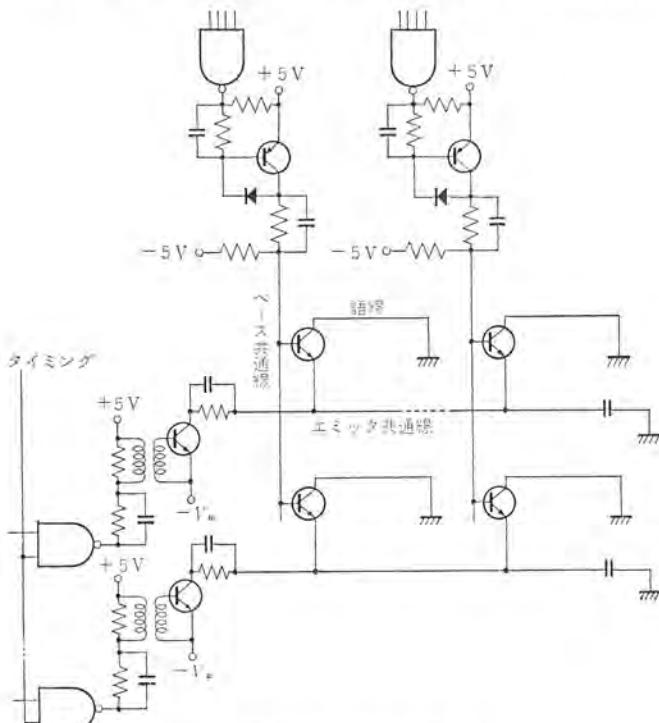


図4.1 語駆動回路
Circuit diagram of the word driver.

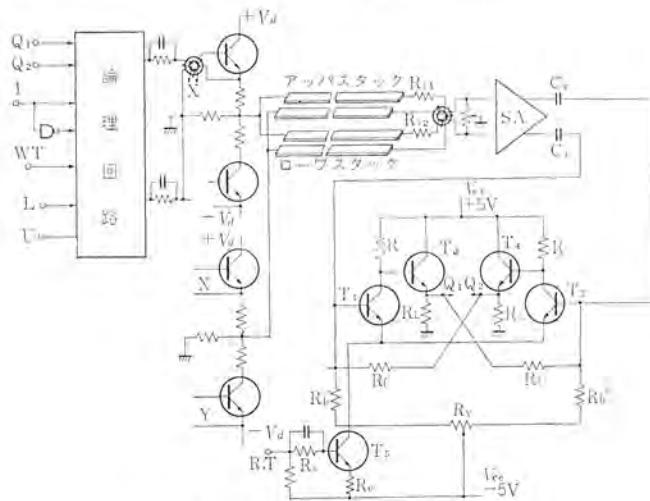


図4.2 読出しけた駆動回路図
Circuit diagram of digit-sense section

スタックか、ローワースタックかを選択する信号である。WT, RTは書き込みタイミングパルスと、読み出しタイミングパルス入力である。

4.2.2 書込み雑音の消去法⁽⁹⁾⁽¹¹⁾

メモリスタックをアップローカ方式により構成する場合、図4.2に示すように、トランスを読み出し増幅器側に用いると、(14)の方式に比べて終端抵抗の数が減り、終端板の部分が小さくできる。

また本方式では、けた線の伝播時間が無視しうる場合には、アップスタックとローワースタックのけた線の抵抗とインダクタンスが等しくなるよう、外部に抵抗とインダクタンスを付加してやればよいので調整が容易である。トランスの巻線はけた線側の2本の線（一次側）をより合わせておけば、一次側と二次側（センス側）の間に安定な結合が得られ、書き込み雑音の減衰が速くなる。

4.2.3 極性判別回路

極性判別回路⁽¹³⁾は磁性薄膜記憶装置の読み出し回路に適しているが、これにエミッタホロウ回路を付加することにより、判別時間を短縮させることができる。

図4.2のSA回路に接続されている回路は、極性判別回路を示したものである。試作した極性判別器は、入力電圧が $0.15V$ で動作し $0.2V$ 以上では判別時間は一定になり、その値は 10ns である。

また、この回路が情報を保持してから雑音により反転するときの入力電圧は約 $2V$ である。

4.3 タイミング回路

タイミング回路は、語系タイミングパルスとけた系タイミングパルスの2系統にし、けた系タイミングパルスは、可変ストローブパルス発生器⁽¹⁵⁾を通してアドレス信号によりパルスの発生時間を変化させている。

5. 試作結果

5.1 動作試験結果

図5.1にサイクルタイム 250ns で動作させたときの各部の波形を示している。センス信号に続くやや低周波の雑音は、後述のごとく記憶容量に依存するものであるが、この装置ではシステム雑音より速く減

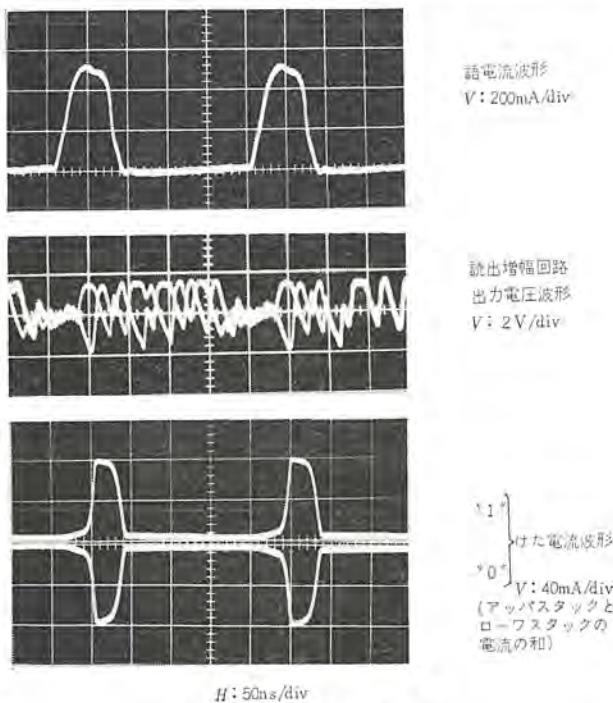


図5.1 動作波形
Selected waveforms during regeneration of "1" and "0"

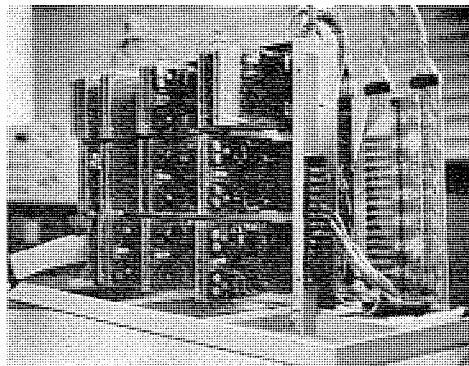


図 5.2 16 KB カップルドフィルム 記憶装置
16 KB coupled film memory.

表 5.1 遅延時間
Delay time.

T_{wr}	T_{sn}	T_{dd}	T_{nf}	T_{dr}	T_{df}
30 ns	30 ns	8 ns	30 ns	15 ns	15 ns

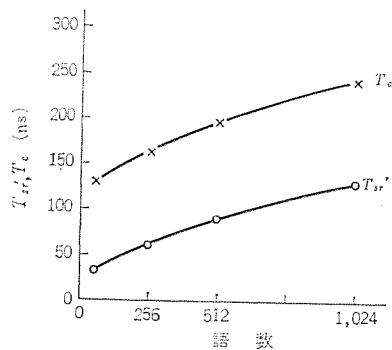


図 5.3 語数とサイクルタイムの関係
Relation between the number of words and the cycle time.

衰している。長く持続する高周波のシステム雑音は、装置全体の接地系を強くすること、特に回路の接地とスタックの接地の間のインピーダンスを小さくすること、論理レベルの信号配線をツイストペアにすることなどが、これを小さくするのに有効である。これらをさらに徹底することにより、サイクルタイム 220 ns で十分安定に動作しうるものと考えられる。

アクセスタイムは語系にトランジスタマトリクスを採用し、さらにこれをスタックに直結して配線による遅れを除いたこと、読み出し系に高速の極性判別回路を用いたことなどにより約 80 ns が得られた。図 5.2 は装置の外観を示したものである。

5.2 記憶容量とサイクルタイムの関係

表 5.1 は試作した装置を使用して 2 章で述べた T_{dd} , T_{sn} , T_{wf} , T_{dr} , T_{df} について測定したものであり、図 5.3 の下側の曲線は、記憶容量(語数)と $T_{sr'}$ の関係を実測した結果を示したものである。表 5.1 の値は記憶容量にはほとんど関係せず、ほぼ一定であることから、記憶容量とサイクルタイムの関係は図 5.3 の上側の曲線のよ

うにほぼ直線関係になることがわかる。

6. むすび

カップルドフィルム形 16 KB メモリスタックを用いて記憶装置を試作し、高速記憶装置を設計する場合に必要な多くの資料を得た。これによると

(1) カップルドフィルム形要素を設計するときには、2枚の磁性薄膜の結合を完全にするため、その間げきをある一定の値(0.6 mm × 0.6 mm の磁性薄膜では 40 μm)以内におさえ、渦流の影響を少なくするためにストリップ線の幅は磁性薄膜の幅よりせまくし、厚さも可能な限り薄くする。

(2) 書込み雑音の消去にトランスを用いる方法は終端の処理が簡単になり、トランスのけた線側の巻線はより合わせて用いると書き込み雑音の減衰が速い。

(3) 読出し回路にエミッタホロワ付きの極性判別器を用い、再書き込みループからメモリレジスタをはずすことにより、アクセスタイム 80 ns・サイクルタイム 250 ns が得られた。

(4) 記憶容量がサイクルタイムに与える影響は、記憶容量を大きくすると書き込み雑音の減衰に時間がかかり、測定した範囲では、記憶容量に対しほぼ直線的にサイクルタイムが増大している。

今後改善すべき問題点としては、つぎのようなものがある。

- (a) 素子を小形化し、駆動電流を小さくする。
- (b) 素子を小形化し、ストリップ線長を短くして、高速化をはかる。
- (c) 周辺回路を集積化し、小形化する。
- (d) 装置の接地系をより完全にしシステム雑音を低減させる。

最後に本研究の機会を与えた計算技術部、金属材料研究部ならびに大阪大学工学部尾崎研究室、中央研究所、鎌倉製作所および相模製作所の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) M. S. Blois, Jr : J. A. P., 26, 8, p. 975 (1955-01)
- (2) W. Anacker, et al : IBM Journal, 10, 1, p. 41 (1966-01)
- (3) E. E. Bittmann : FJCC, 26, 1, p. 93 (1964)
- (4) 大島, ほか : 電子計算機研究会資料 EC 69-7 (昭 44-05)
- (5) 磯崎, ほか : 昭 45 信学全大 856
- (6) 磯崎, ほか : 昭 45 信学全大 859
- (7) 上坂, ほか : 昭 43 信学全大 346
- (8) 上坂 : 学振 137 研究会資料 No. 41 (昭 44-01)
- (9) 谷口, ほか : 信学論 C 51-C, No. 8, 383 (昭 43-03)
- (10) 谷口, ほか : 信学論 C 52-C, No. 1, 65 (昭 44-01)
- (11) 谷口, ほか : 昭 43 信学全大 930
- (12) 谷口, ほか : 磁気記録研究会資料 MR 68-27 (昭 44-01)
- (13) 蒲生, ほか : 昭 40 電連合大会 1850
- (14) 新田, ほか : 信学論 C 51-C, No. 11
- (15) 谷口, ほか : 昭 45 信学全大 867

60/70 kV 級全天候形キュービクル

米沢 克昌*・田辺 俊雄*・田中 久男*・平河 宏之*

Class 60/70 kV All-Weather Type Cubicles

Itami Works Yoshimasa YONEZAWA・Toshio TANABE・Hisao TANAKA・Hiroyuki HIRAKAWA

Employment of completely sealed-off construction and installation of an interior passage have introduced a new production of all-weather type cubicles to be operated with high reliability independent of weather and environmental conditions. The housing construction is of a panel type on the curtain wall system used in lofty buildings. The apparatus contained inside are of a cartridge type which enables the products to be manufactured in quantities through the improvement of quality and the standardization. Between each of the principal apparatus and also between control circuits are metallic sealing panels having grounded potential so as to safeguard the operators and to avoid the spread of faults. Moreover, an airing system is employed to prevent the breathing of the cubicle occurring with the change of outside and inside temperatures, thus the interior being all the time filled with clean dry air to maintain high reliability of the equipment.

1. まえがき

昭和27年に23 kV 1,000 MVA 2,000 A 空気しゃ断器を収納した特高キュービクルが製作されてより約20年を経過し、当社が製作した10 kV以上のいわゆる特高キュービクルは6,000面以上となった。

とくに、導入初期においては都心部などの屋内開閉設備用として小形化、保守の安全性の向上、火災のおそれから油なし開閉装置の供給などを主目的として採用されたのに対して、昭和40年ごろよりは飛躍的に増大する工業用受変電設備用として耐塩害、耐腐食性ガスなどの環境対策および変電所のパッケージ化による信頼性の向上などを主目的とした特高キュービクルが多数採用されるにいたり、その使用電圧も69 kV、80.5 kV、115 kVにおよんでいる。

キュービクルという用語の定義が明確でない点から、最近では建築物的な建屋式変電所をプレハブ化したようなものから、固体絶縁をとり入れた超小形の開閉設備まで、各種の形式のものが製作されているが、当社としては特高キュービクルはあくまでも、電力会社特高キュービクル規格要領、あるいは単位閉鎖配電盤規格JEM-1153、JEM-1114(近くJEM-1244に改訂される)などに規定されているいわゆるMetal-Enclosed Switchgearの規格に準拠して設計製作し、これらの規格によって規定されている使用者側に対する寄与性能を忠実に保有させるように配慮している。

60/70 kV級の高電圧回路においても20/30 kV特高キュービクルの構造をそのまま延長したキュービクル⁽¹⁾⁽²⁾(当社ではロック形と呼んでいるもの)が製作されて現在までに約700面の実績を有しているが、最近積雪・吹雪などが多い寒冷地や、砂じん(塵)などの多い海浜地区などにおいて、保守点検通路つきの特高キュービクルが多く要求されるようになったため、保守点検用の通路を内部に設けた60/70 kV級の全天候形特高キュービクルを開発したので、以下にその概要を報告する。

2. 特長

(1) 小形化されている

断路器・しゃ断器などにキュービクル専用に製作された機種を用い、機器配列を合理的にすることによって全体としてむだな空間がなく、

外形寸法は一般の建屋式変電所の場合の約70%である。

(2) 接地電位の金属隔壁がある

JEM-1114の単位閉鎖配電盤の形の分類に従えば、3X級に相当する。すなわち、主回路のおもな機器は相互に接地金属隔壁で離隔されており、主回路側と監視制御盤側とは接地金属でそれぞれ離隔されている。これによって保守作業の安全性が完全に保証され、また事故の波及が防止されている。

(3) カートリッジ方式である

しゃ断器・断路器・避雷器・計器用変圧器などの内蔵機器および制御配線・空気配管・制御器具などを収納する低圧制御室は、標準化されたカートリッジとして工場内で製作・試験され、これを回路条件に応じてパッケージしたキュービクルであるので、現地工事期間が短く、しかも信頼性の高い設備が供給される。

(4) 完全密閉、エアリング方式を採用している

排気ガスを放出しないSF₆ガスしゃ断器の採用と、長年の実績によって裏付けされた気密技術により完全な密閉構造となっている。

密閉形キュービクルの場合には、換気式にくらべて10%以下の年間汚損蓄積量であることが証明されており、このために機器の信頼性が向上し、保守点検期間が延長されるので、大幅な保守・点検の省力化が可能である。

また、完全密閉構造であるので、乾燥空気をキュービクル内に送り込んで、温度変化によって生ずるキュービクルの呼吸作用を防止することが経済的に可能である。屋内設備の場合でも高温になると機器の金属接点などの劣化が生じるが、乾燥空気を送るエアリング方式では、呼吸作用の防止によって腐食性ガスによる絶縁物や金属接点の劣化が皆無になるほか、結露現象なども完全になくなる。

(5) 外観が美しく、高度の品質を長年間にわたって保持する。外壁部は、量産された鋼板製パネルに高品質の防錆(銅)処理を行なったものであるから、近代的な外観と品質を長期にわたって保持できる。

(6) 増設に備える先行投資が不要で、かつ短時間停電による増設が可能である

キュービクル外被は簡単に取りはずしができるパネル構造であるので、増設分の現地据付けは無停電で可能で、主回路のつなぎ込みの

時間のみ停電すればよく、短時間で増設工事を完了することができる。

3. 性能

3.1 キュービクルの一般定格

表3.1に示す。

3.2 外被構造部の耐候食性能

側壁部は溶融亜鉛めっき鋼板(厚さ1.2mm)に塗装を行なったものであり、その特性と塗装仕様を表3.2と表3.3に示す。

さらに、特殊用途として、海洋性環境用や寒冷地向けなどの特殊仕様の塗装を行なうこともできる。

また、銅・ニッケル・バナジウムなどの合金元素を添加して耐候性を向上させた耐候性鋼板を用いた場合には、無塗装でも良好な耐候性を期待できるとされている。

キュービクルの場合には表面色の指定を受ける場合が多く、また、耐候性鋼板の初期の黄さびが問題になることもあるので、当社では耐候性鋼板の場合でも塗装を行なうこととしている。この場合、塗装の密着性は一般鋼板の場合と比較してかなり良好であり、したがって補修塗装の周期も長くできることが大きな特長となる。

当社では、上記の各種鋼材およびそれぞれの塗装方式による試片を用いて日本各地で暴露試験および工場内で加速劣化試験を行なっており、その結果、標準として前記したように、溶融亜鉛めっき鋼板に表3.5の塗装を行なえば、海岸地帯や化学性ガスのふんい気中でも良好な耐候性を示すことを確認している。

表3.1 一般定格
Ratings.

定格電圧	69 kV	80.5 kV
母線定格電流	600 A	600 A
定格短時間電流	28.1 kA	24.1 kA
絶縁階級	60号	70号
準拠規格 キュービクルの形 回路方式	JEM-1153 JEM-1114-3X 三相3線式	

表3.2 亜鉛めっき鋼板の性質
Properties of zinc-plated steel.

被膜厚み		製造方法	特性
付着量	被膜厚		
122~305 g/m ² (両面)	8.5~21.1 μ (片面)	溶融亜鉛めっき クロメート処理 磷酸塩処理 無処理塗油	耐食性がすぐれている プレス加工性が良好 塗装後の表面仕上がり良好

表3.3 亜鉛めっき鋼板の塗装仕様
Coating specification of zinc-plated steel.

	パネル切断面	パネル外面	パネル内面
塗装下地処理	ウォッシュプライマ 塗膜厚さ 10 μ	同左	同左
下塗塗装	アクリルアルキッド 樹脂プライマ 塗膜厚さ 30 μ	同左	
中塗塗装	フェノールアルキッド 樹脂サーフェン 塗膜厚さ 25 μ		
仕上塗装	フェノールアルキッド 樹脂エナメル 塗膜厚さ 25 μ	フタル酸樹脂エナメル 塗膜厚さ 25 μ	同左

3.3 母線性能

3.3.1 機械的強度

機器の動作による振動は可どう(撓)線で接続するので対象外とし、主として短絡強度を対象として設計されている。材質にはアルミ合金を用いることを原則にしており、強度計算には資料⁽³⁾⁽⁴⁾を参考にしているほか、接続・締結部などには当社のアルミの大電流離相母線の多くの実用経験を生かして、接続部分は高張力鋼ボルトとさばねを用いて締付け、接触面はめっきなしでコンパウンドを用いる方式にしている。

3.3.2 温度上昇限度

新JEM-1153(1970)では、アルミニウムコンパウンド法に対する55度と規定している。

当社でも55度の上昇は許容できると考えているが、最近の規格類での規定値(電力用しゃ断器、新JEC-181では40度、電力用規格B-203アルミより線用圧縮端子では45度)などを参考にして、原則として温度上昇値は40度を越えないように設計している。

3.3.3 母線材料

上述のようにアルミ合金を原則とし、JIS H 4195(アルミニウムおよびアルミニウム合金導体)のA 6101 SBSCを用いている。形状は一般には平板であるが、大電流容量で短絡電流定格の大きいものではチャネル材なども用いる。

3.4 内蔵機器

3.4.1 しゃ断器

SF₆ガスを用いたパッファ式ガスしゃ断器⁽⁵⁾を内蔵している。これは動作時に消弧ガスを外部に放出しないので、キュービクル外被の強度は内圧上昇を考慮する必要がなく、キュービクルのバルブ構造化を可能にした。

3.4.2 断路器

乾式ブッシングの中央を回転軸として回転させる2点切り断路器を用い、主回路のおもな機器と母線室との間を金属隔壁で仕切る構造にしている。電圧変成器盤や避雷器盤には刃形1点切り断路器を用い、変圧器盤では大容量の場合にはしゃ断器を用いるが、小容量のものでは、励磁電流しゃ断装置をもった断路器とする。

3.5 エアリングの性能

3.5.1 エアリング量

キュービクルは密閉構造になっているが、気温変化の周期程度の長い緩慢な変化に対しては外部と通気性がある。キュービクル実体での測定結果や、太陽エネルギーを模擬した赤外線ランプによる模擬試験の結果からつぎの計算方式を定めている。

実測によれば、晴天時は一般に外気温とキュービクル内部の温度とは図3.1のように、キュービクル内温度の変化の幅は外気温のそれより大きく、時間的に1~4時間おくれており、しかも下降のこうべきつい傾向にある。キュービクル内温度が下降する時間帯では、温度低下による容積減少分に相当するだけの空気が外部から侵入する

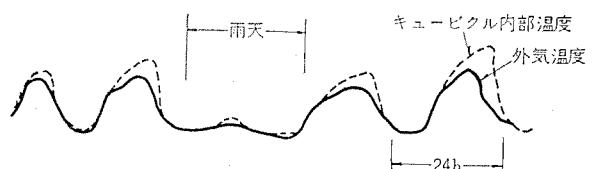


図3.1 一般的な外気温度とキュービクル内温度の変化
General transition of temperature of out-side and in-side of the cubicle.

と考えられ、その量はつぎのようになる。

すなわち、

ここで、 ΔV ：等価体積変化量 (m^3)

ΔT : キューピクル 内平均温度の変化量 ($^{\circ}\text{K}$)

T : キュービクル内平均空気温度 (°K)

V : キュードル 容積 (m^3)

つぎに、温度の下降する時間 t を考慮して式(3.1)の ΔV に応する送気量を求めると、次のようなになる。

$$Q = \alpha \frac{\Delta V}{t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

ここで、 Q ：送気量 (m^3/hr)

t : キューピクル 内空氣溫度下降時間幅 (hr)

α : 空気温度変化の過渡的要因を考慮に入れるための係数

上記の各種試験結果から、一般的環境に適用する具体的な数値として次の値を採用することとしている。

すなわち、外気の1日間の平均温度変化量=15°C

太陽照射による キュービクル 内平均温度上昇=10°C

$$(\Delta T = 15 + 10 = 25^\circ\text{C})$$

年間平均外気温度 = 20°C

($T=27$)

t=5 hr

って、式(3.1), (3.2)

気温が上昇していく時間帯では、キューピクル内部から空気が外部へ流出するので、この間では送気の必要はない。そこで、エアリング装置の運転は、キューピクル内温度が下降する間のみでよいので、これを自動的に行なう方法として、光電管スイッチを用いることにして、ほぼ日没時から日出時までの夜間のみに、コンプレッサを運転してエアリングを行なうことにしてある。

3.5.2 エアリング空気の性質

7.5~9.5 kg/cm²·g に圧縮された空気はそのままでは 100°C 近い高温であるが、外部冷却器で外気温 プラス 5°C 程度にまで冷却して、水分の大半を除去し、盛夏期（外気温 40°C）でも大気圧での露点温度が約 5°C、冬期（外気温 5°C）での露点が約 -18°C になるような乾燥空気にしている。

また、化学的腐食性ガスを含んだ空気をコンプレッサが吸入した場合でも、吐出されたエアリング空气中では、化学性ガスの成分が相当量減少していることが確かめられているので、この方式は内蔵機器の劣化防止に有効である。

3. 5. 3 除湿效果

図3.2に実体キュビクルでの測定例を示す。湿度は自動記録紙からの読み取りの便宜上、気温の最高・最低時点のみの値を絶対湿度に換算してプロットし、これらを直線で結んでいるので、必ずしも日々の最高・最低絶対湿度とはならないが、エアリング効果を知るうえでは十分である。

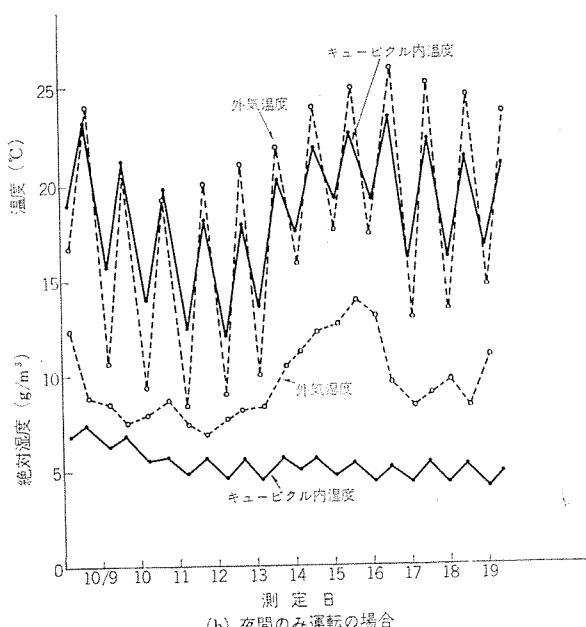
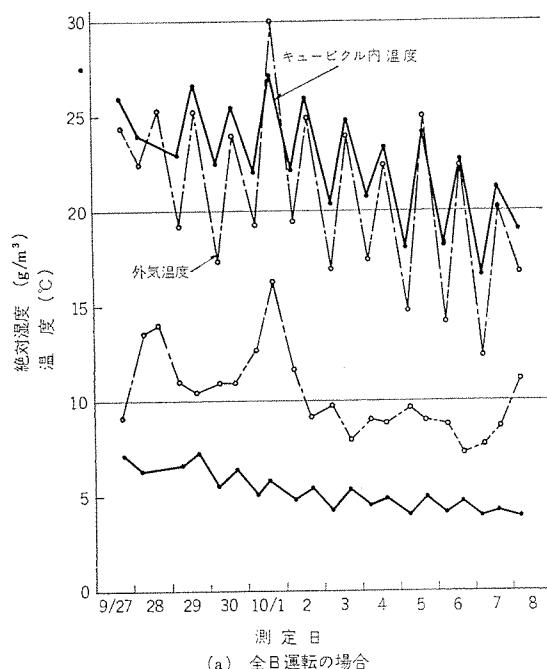


図 3.2 エアリングの効果
Effect of “AIR”-ing.

これによれば、エアリングコンプレッサを全日運転した同図(a)の場合と、夜間のみ運転(b)の場合では、絶対湿度の低下の速度、すなわちエアリング効果は同程度で、その時定数はいずれも、90~120時間(4~5日)程度である。これによって夜間運転のみでも全日運転と同程度の効果があることがわかる。

3. 6 汚損防止性能

密閉構造であるので、海岸近辺の重汚損地域や金属微粉じん(塵)の多い鉄鋼メーカー構内などにおいても、内部の汚損量はきわめて少ない。外被をパネル構造とした全天候形での長期現地試験は未完了であるので、従来形による実測結果を以下に記す。従来形は低圧制御室点検用の外部に露出したとびらが各盤ごとに3~4枚あり、そのパッキン部から空気の流入出が考えられるが、全天候形では全体で通路の出入口が2ヵ所(2回線受電方式では4ヵ所)あるのみなので、密閉効果は従来形よりもいっそう高いものと思われる。

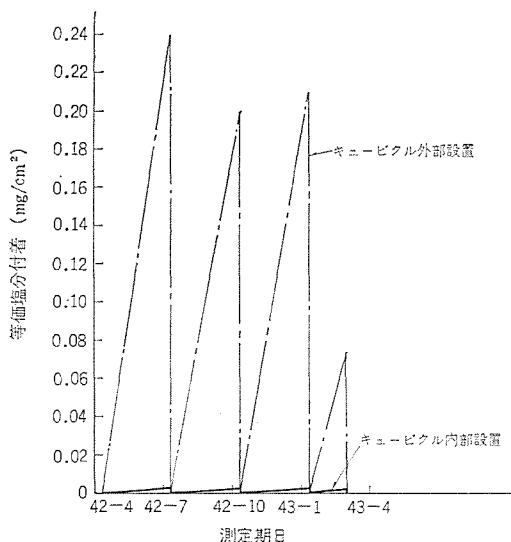


図 3.3 キューピクル内外設置がい子の汚損量
Equivalent salt deposit on the porcelains of inside and outside of the cubicle.

3.6.1 測定方法

- (a) 場所: 某製鉄所構内変電所 (海岸より約 300 m)
- (b) 測定方法: キューピクル外部と内部にそれぞれパイロットがい子を設置し、3カ月および10カ月半の蓄積汚損等価塩分付着量を求めた。
- (c) がい子種別: 屋内支持がい子 C-20 (表面積 1,230 mm²)
- (d) 設置方法: キューピクル内は、低圧室のとびらに近接させて4個。キューピクル外部は、キューピクルのすぐ傍に、雨洗効果を防止するために雨よけケースを設けてその内に4個設置した。(いずれも無電圧)

3.6.2 測定結果

図 3.3 に示す。キューピクル内に設置されたものでは、蓄積汚損度は、3カ月間で 0.002 mg/cm² 程度、10カ月半放置したもので 0.003 mg/cm² で、蓄積の進展度はきわめて低い。一方、キューピクル外部に設置したものでは、3カ月で 0.2 mg/cm²、10カ月半で 0.934 mg/cm² であることから、内部の汚損は外部よりも 2 倍低いといえる。

一般の換気式キューピクルでは、年間蓄積量は設置場所などの条件によって異なり、0.006~0.0344 mg/cm² であるので⁽⁶⁾、これらと比較した場合でも当社キューピクルの汚損防止効果は、一般換気式の少なくとも 2 倍以上といえる。

4. 構造

4.1 標準ユニットの形状と寸法

図 4.1 (a)~(g) に代表的な機器盤ユニットの形状と寸法を示す。

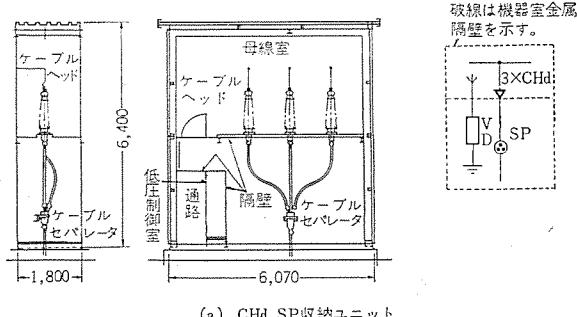
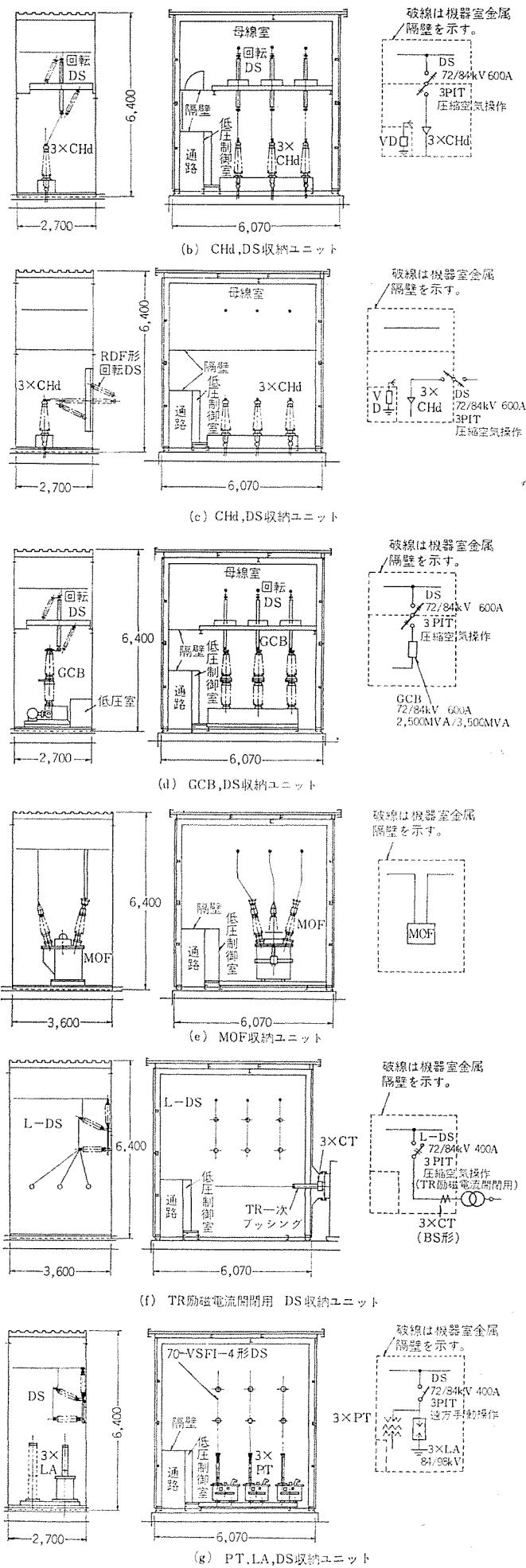
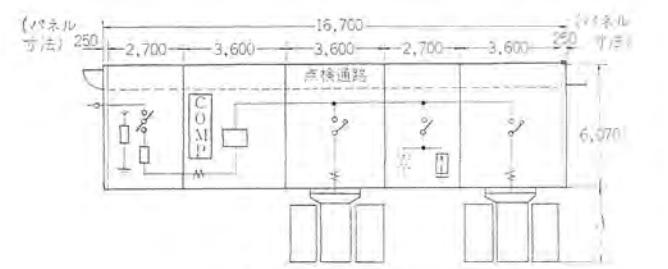
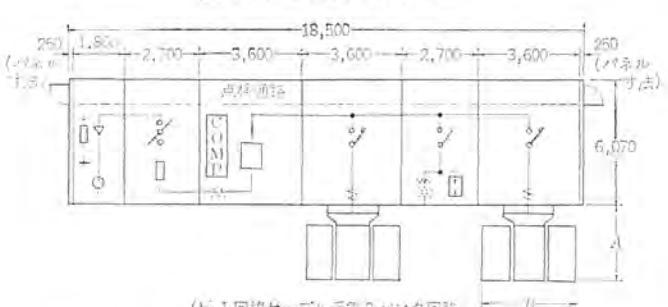


図 4.1 標準ユニットの形状と寸法
Outline and dimensions of standard cubicle-units.

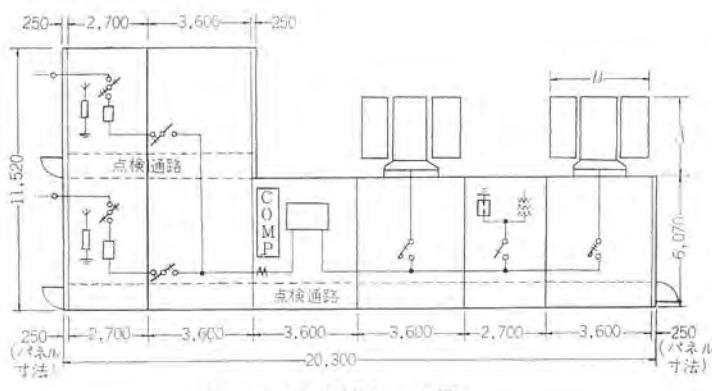




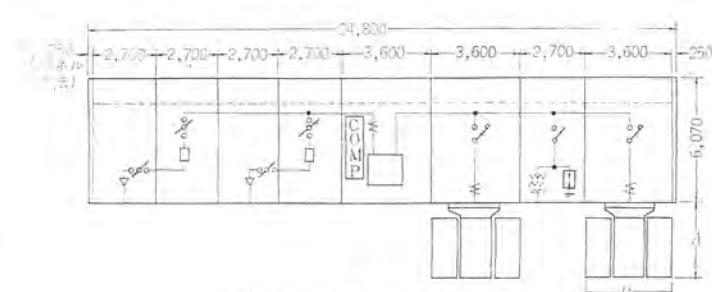
(a) 1回線架空線受電2パンク回路



(b) 1回線ケーブル受電2パンク回路



(c) 2回線架空線受電2パンク回路



(d) 2回線ケーブル受電2パンク回路

図 4.2 回路構成と配列
Circuit constitution and arrangement.

変圧器容量 kVA	60 kV			70 kV		
	A	B	H	A	B	H
3,000	2,800	2,550	3,550	2,900	2,650	3,550
5,000	3,150	3,100	3,700	3,200	3,100	3,700
7,500	3,600	3,100	3,600	3,750	3,100	3,700
10,000	3,400	3,750	4,700	3,500	3,850	4,800
12,500	3,500	3,850	4,800	3,600	3,950	4,900
15,000	3,600	4,300	4,900	3,700	4,400	5,000
20,000	4,000	4,800	5,000	3,900	4,900	5,100

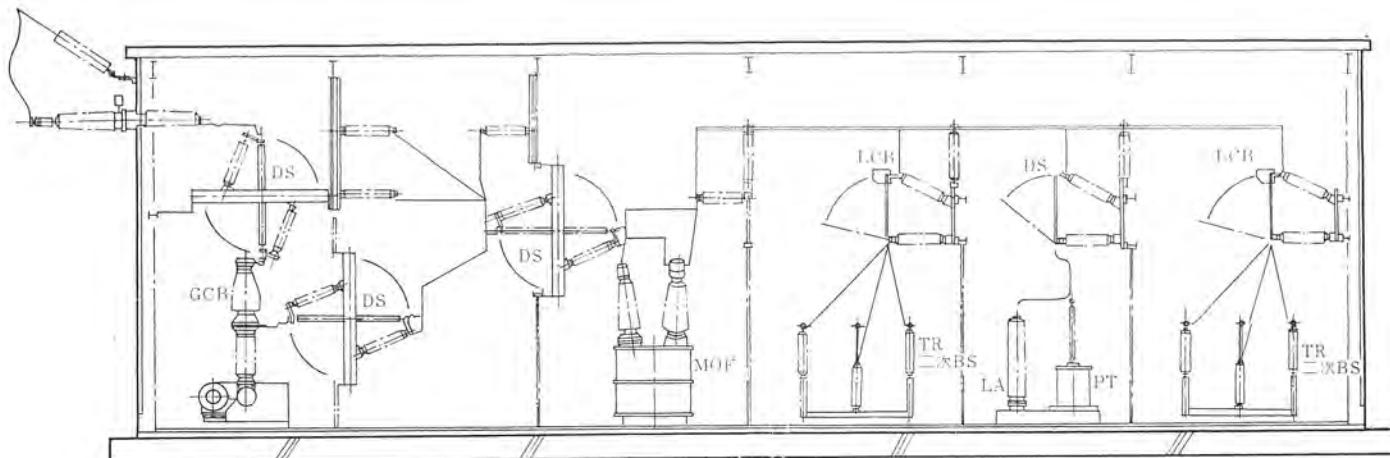


図 4.3 機器配列の一例
Example of apparatus-arrangement.

4.2 構成

図 4.1 の各ユニットを回路スケルトンに応じて組合わせ、配列して各種の回路構成のキュービクルが形成されるが、その数例を図 4.2 (a)～(d) に示す。また、2回線架空受電、変圧器2パンクの例で機器配列を図 4.3 に示し、図 4.2 (a) の場合の外形写真を図 4.4 に示す。図示の外形寸法は標準条件で用いるもので、積雪 1m 以上の場合には若干大きくなるが、内蔵機器やカートリッジ類は同一品である。

4.3 外被構造詳細

4.3.1 パネル

3.1 頃に記述した亜鉛めっき鋼板（厚さ 1.2 mm）をプレスしたもに、縁部に補強を施して幅 0.9 m 長さ 6 m および 3 m のパネルとし、これを鉄骨にとりつけて外被を形成する。この方法は、近年高



図 4.4 外観の一例
Example of appearances.

層建築物の場合に広く行なわれているカーテンウォール工法と同様のものである。また、パネルはキューピクルの外見上の美観を左右するものであるので、押型のデザインは、機械機能的要素と近代的意匠要素とを満足させたキューピクル専用のものにしている。

4.3.2 パネル間のシール

パネル相互間は気密性・水密性を完全とするために図4.5に示すように、バックアップ材をそう入後、シリコン系コーティング材でシールする。このコーティング材が密閉性を左右する最も重要なものであるので、当社では厳密な調査の結果、耐候性・耐疲労性・耐寒性・復元性・作業性その他で、他の材料よりも格段と優秀なシリコン系を採用することにした。また、パネル相互間以外に、電力ケーブル、制御ケーブルおよび空気配管類の引込口も特に重要なシール箇所であるが、これらの部分も図4.6、図4.7に示すような構造にしている。

4.3.3 上面パネル

屋根に相当する上面のパネルは、デッキプレート形状とし、特に雨水と直射日光条件が外壁部パネルよりきびしいことを考慮して、次のような処理を行なったものにしている。すなわち、亜鉛めっき鋼板を心材として、その表面を、耐水性・耐薬品性に富んだ樹脂類を含浸させたち(緻)密なアスペクト防食層で包み、さらに耐候性・耐食性にすぐれた表面被覆で仕上げたものにする。これによって熱・音・振動に対するしゃへい性を持つものとなるが、キューピクル用としてとくに内面にはさらに断熱処理を行なったものを用いている。

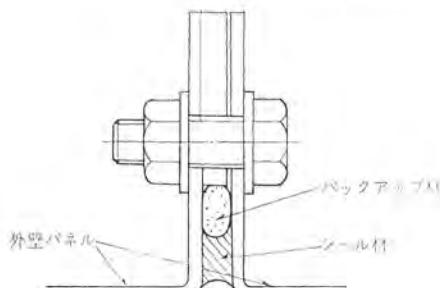


図4.5 外壁パネル相互間シール構造
Sealing structure between each of panels.

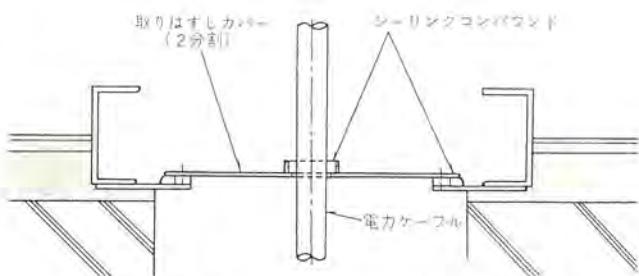


図4.6 電力ケーブル引込口シール構造
Sealing structure of power cable entrance.

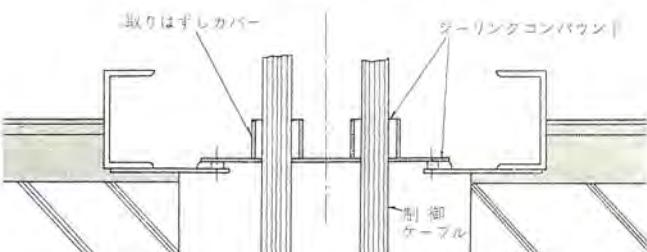


図4.7 制御ケーブル引込口シール構造
Sealing structure of control cable entrance.

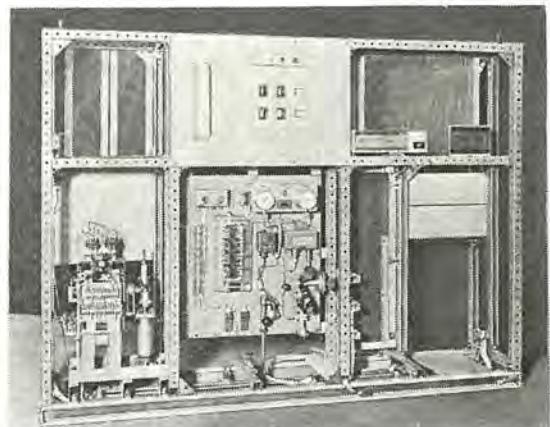
4.4 カートリッジ

4.4.1 高圧機器カートリッジ

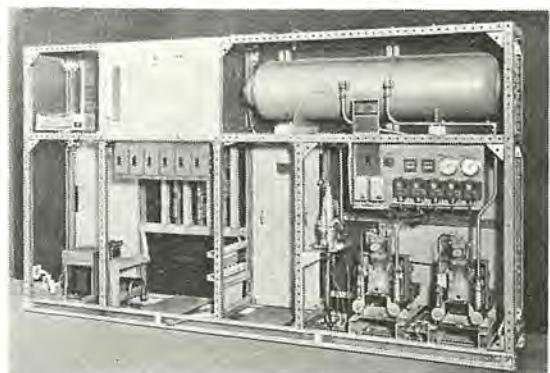
しゃ断器・断路器・避雷器・変成器類などの高圧側機器を、搬入用車輪を着脱できるベースの上に組立て、制御線・配管などをこのベースの上で接続したものを高圧機器カートリッジと呼んでいる。工場内で機器をカートリッジに組立てた後、結線チェック・動作試験・耐圧試験などを終了して出荷する。現地では、機器搬入用レール上に高圧機器カートリッジをおき、車輪をとりつけて、レール上を所定位置まで移動させた後にレール上に固定する。すなわち、レールを最終的に機器取付け台として用いる方式である。

4.4.2 低圧室カートリッジ

制御操作回路の各器具や、配線・配管類を各盤単位ごとにとりまとめてパネル内に組込んだものを低圧室カートリッジと呼んでいる。これらの写真を図4.10(a),(b)に示す。受電盤の低圧室カートリッジには、受電断路器の操作機構、受電しゃ断器の操作盤、高圧室への入口とびら、照明灯、エアリングノズル、サーキュレータ、内部点検窓などが一括して組込まれている。さらに、制御線・接地母線・空気配管などもカートリッジ内部で完成されていて、結線・配管類のチェック、絶縁抵抗測定、その他に必要なすべての試験は、高圧向け機器とは別個に実施できるようになっている。工場試験を終わったものは、低圧室カートリッジ類でまとめて現地に送られ、現地では高圧機器カートリッジと同様に、レール上を移動して所定位置に固定される。固定後、制御線は多心コネクタにより、配管類は継手により、高圧機器カートリッジおよび隣接の低圧室カートリッジに接続するだけで、すべてのキューピクル内の配・結線、配管作業は完了になる。また、低圧室カートリッジ



(a) 受電しゃ断器盤 低圧室 カートリッジ



(b) MOFコンプレッサ盤 低圧室 カートリッジ

図4.8 低圧室カートリッジの外観
Appearances of low-voltage cartridges.

は、点検通路の片側に並べて配置されるので、点検通路と高圧機器室との間の金属隔壁の機能も果たしている。

4.4.3 カートリッジ方式の利点

このようなカートリッジ方式にすることによって、次のような利点が得られる。

(1) 配・結線、配管作業がこれらの試験も含めて工場内で実施するので、高品質が保証できる。

(2) 標準化されているので、カートリッジ専門の量産ラインで内蔵機器とは別個に製作できるので、作業効率が上がる。

(3) 現地でのカートリッジ搬入時間はきわめて短く、しかも現地作業につきものの誤結線や結線チェックの繁雑さが皆無になり、現地工期は大幅に短縮できる。

4.5 エアリング装置

4.5.1 エアリング装置の構成

図4.9にエアリング装置の構成を示す。2台のコンプレッサは6時間ごとに交互に自動切換えて運転され、空気圧はアノローグで7.5~9.5 kg/cm²gの間に調整される。吐出空気は外部クーラおよび油水分離器を経て空気タンクにたくわえられる。キューピクル内部へは減圧弁で減圧した後に送り込むので、配管内でのドレン発生はきわめて少な

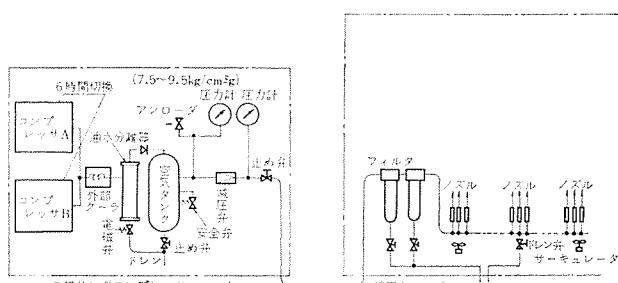


図4.9 エアリング装置の構成
Constitution of "AIR"-ing apparatus.

い。キューピクル内には大気圧で放出するためのノズルが低圧室カートリッジに取付けてある。また、寒冷地でキューピクル内部温度が-15°C程度以下になるとが考えられる場合には、露点温度を下げるために吸着剤方式の除湿器を用いることもある。

4.5.2 構造と制御方式

図4.10にコンプレッサユニットの外観を示し、図4.11に制御回路図を示す。サンセットタイマは夜間運転のみ行なうためのもので、タイマTSは2台のコンプレッサの6時間ごとの切換用であり、電磁継電器20WQはコンプレッサ停止時にドレンを排出するためのものである。限時継電器2A1, 2A2でドレン排出30秒後に次のコンプレッサが起動するようにしている。

4.5.3 一般計装用空気を用いる場合

大規模な工場設備で計装用空気源がある場合には、これからエアリング用空気の供給を受けることができるようがあり、この場合には、

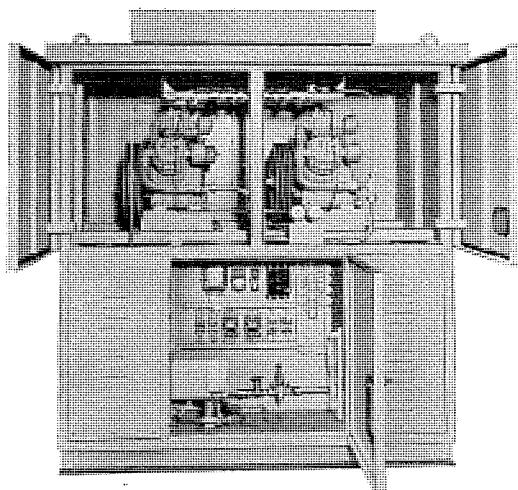


図4.10 エアリングコンプレッサユニットの外観
Exterior view of "AIR"-ing compressor unit.

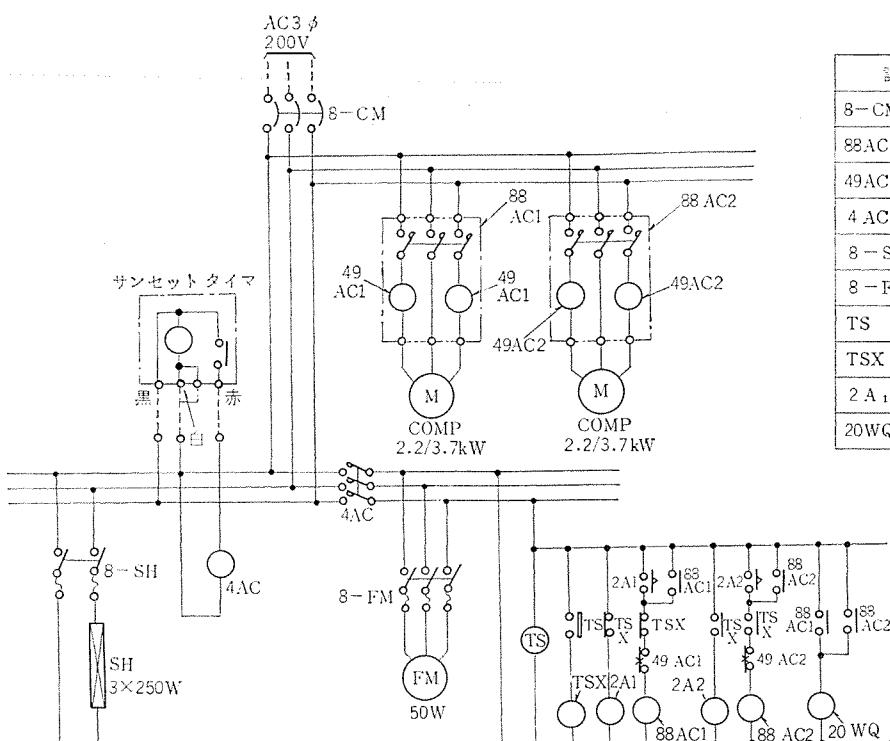


図4.11 エアリングコンプレッサの制御回路
Control circuit diagram of "AIR"-ing compressor.

記号	名称
8-CM	ノーヒューズしゃ断 ^部
88AC ₁ , 88AC ₂	電磁接触子
49AC ₁ , 49AC ₂	サーマルリレー
4 AC	電磁接触子
8-SH	スペースヒータ(SH)用SW
8-FM	換気扇(FM)用SW
TS	タイマ
TSX	辅助継電器
2A ₁ , 2A ₂	限時継電器
20WQ	電磁継電器

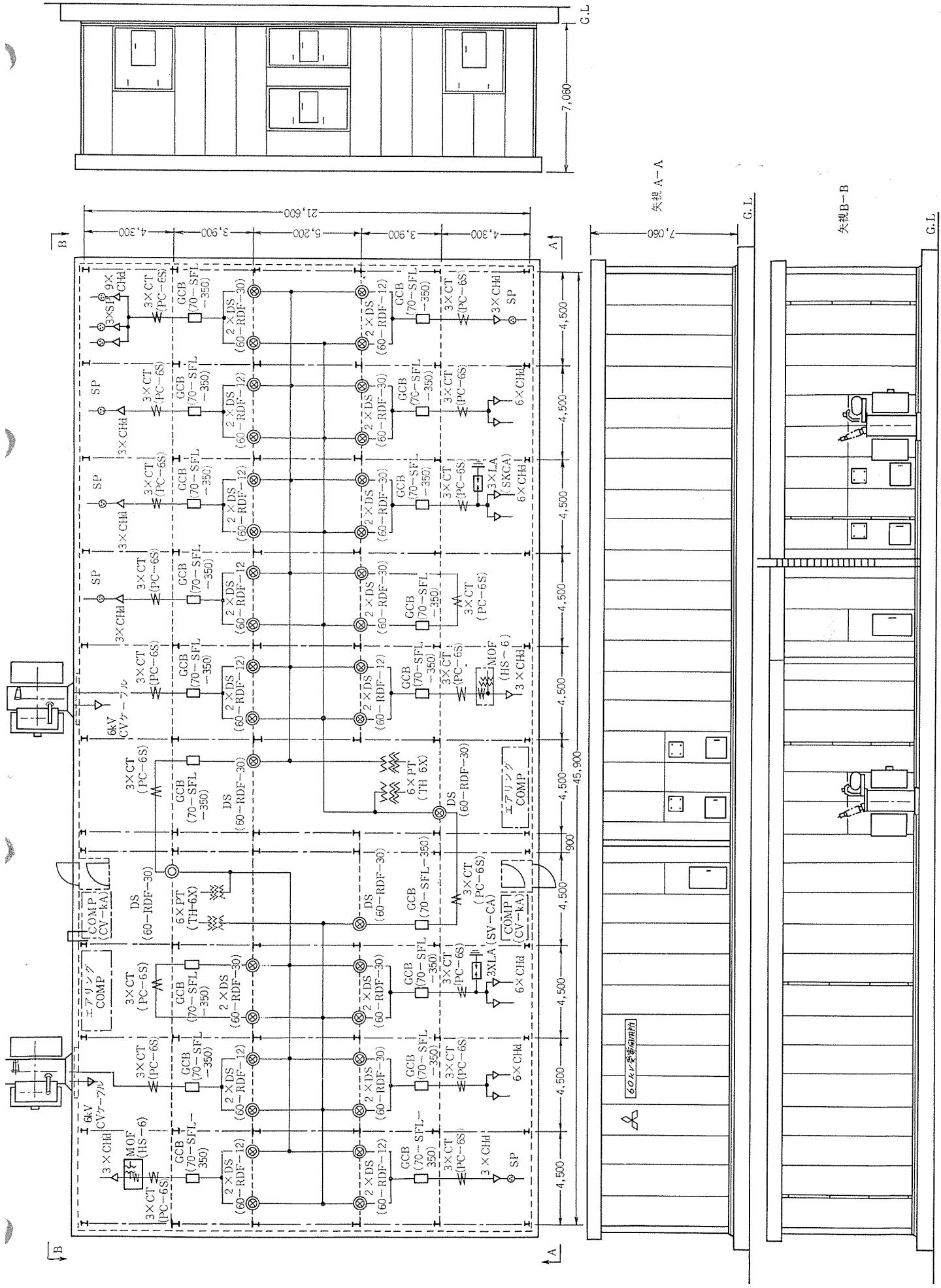


図 4.12 大容量キューピクル単線図

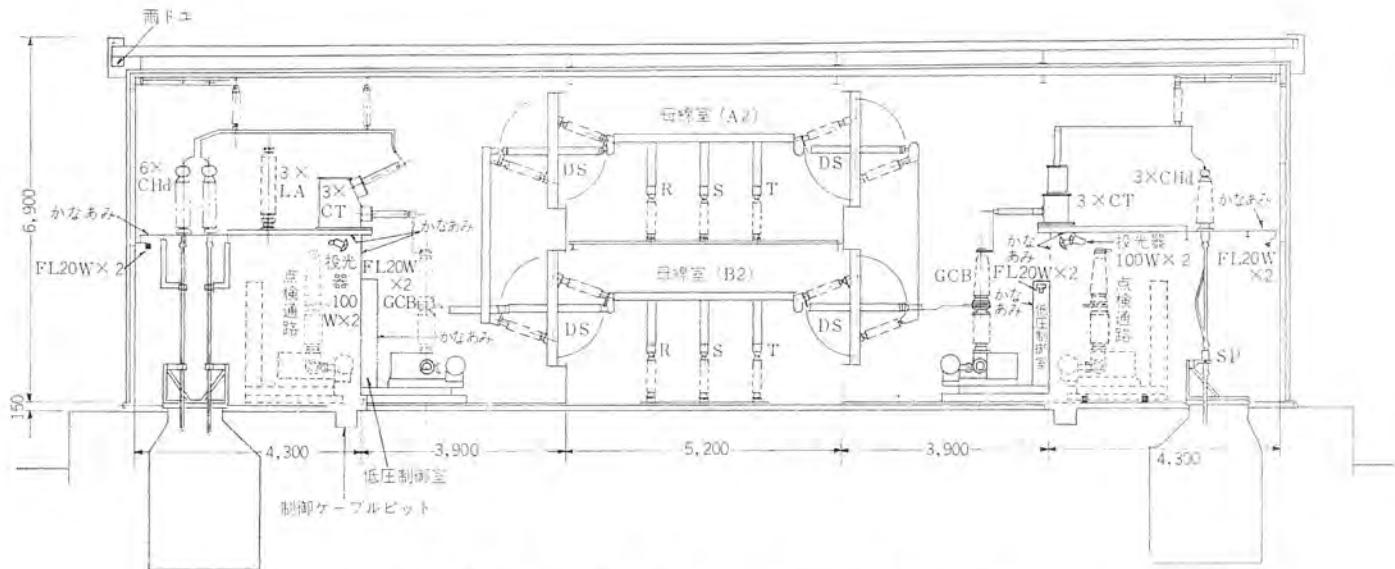


図 4.13 機器配置図

Arrangement of apparatus.

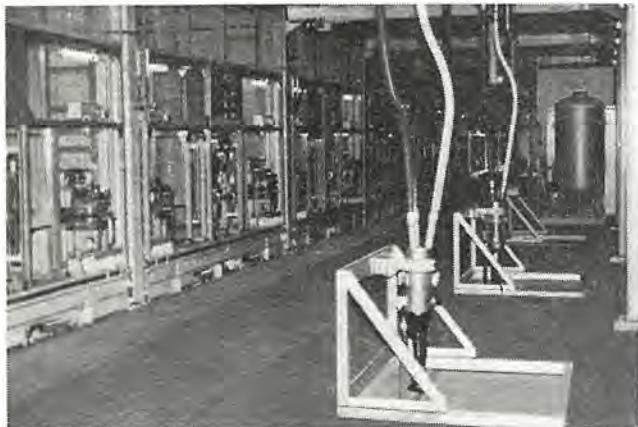


図 4.14 内部状況
Interior view.

観写真である。

特長としては、外被パネルはすべて耐候性鋼板で形成されており、各高圧機器相互間と低圧室間には完全に接地金属があり、またしゃ断器は短時間に入れ換え可能なように、点検通路にはしゃ断器移動用レールがあることなどがあげられる。

当社ではこのような大規模な設備の製作に当たっても、上記のように外被構造についてはパネル化された鋼板を用い、内部についてはカートリッジ方式を用いて、工場でも、現地でもきわめて作業効率がよい、高品質な設備を納入することができた。

5. むすび

以上、当社のパネル方式・カートリッジ方式・エアリング方式を基本的特長とするキュービクルについて記述したが、使用者側からの評価も高く、製作実績は急速な伸びを示しているので、さらにこれらの方針を定格容量面でも、構造方式の面でも高度に発展させたものを製作すべく努力を続けている。

参考文献



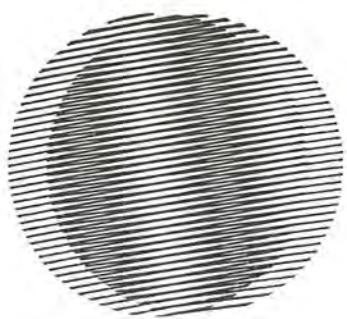
図 4.15 外観
Exterior view.

図 4.12 のコンプレッサユニットは不要になる。必要な空気量は、3.5.1 項の計算で求められる。雑用空気を用いる場合は、一搬に露点温度が高いので、除湿器を用いる必要がある場合もある。

4.6 大規模開閉設備の例

以上は標準形についての記述であるが、これらの技術を用いてさらに規模の大きいキュービクルを製作することができるが、69 kV 2,500 A 定格で 2 重母線方式の例をあげる。図 4.12 は、単線結線図、図 4.13 は機器配列図、図 4.14 は内部写真、図 4.15 は外

- (1) 田和、平河：10~100 kV 特高キュービクル、三菱電機技報 42, No. 6 (昭 43)
- (2) 田和、渠川ほか：最近の水道プラント受電設備の傾向、三菱電機技報 43, No. 10 (昭 44)
- (3) 日本電機工業会：技術資料第 85 号、アルミニウム導体 (昭 41-11)
- (4) 電気事業連合会：電力規格 B-204、母線用アルミパイプ (昭 45-9)
- (5) 富永、田辺、佐藤：新形中容量 SF₆ガスしゃ断器 SFL シリーズ、三菱電機技報 43, No. 10 (昭 44)
- (6) 特高キュービクル規格専門委員会：特高キュービクル規格要項を屋外用に準用する場合の汚損対策、電気協同研究会電気協同研究 第 24 卷 第 3 号 (昭 43-9)



新製品紹介

新系列 LG 形 抵抗器

従来の特殊ステンレス鋼板製グリッド抵抗片に、さらに高抵抗値をもつ抵抗片を開発し、実績をもとにした設計基準を確立し、制御方式別に系列化しあつ標準化をはかった。

■ 特長

(1) 剛性の高い高抵抗片

高い抵抗値でも剛性が従来品とかわらないものとし、簡単に抵抗値を変化できる形状としている。(特許出願中)

(2) 小形化

(1) 項によって従来品に比較しわく数の大幅低減を可能にした。

(3) 端子のサービス穴

電流値の大小により細いねじも使用できるようサービス穴を設けている。

(4) 端絶縁の強化

対アース間の絶縁距離を十分とった端絶縁の形状とし、かつ熱と強度に強いポリエチル樹脂としている。

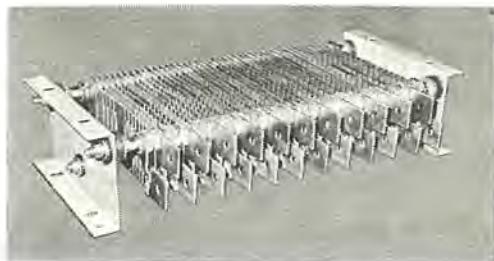
(5) 種類が豊富

開放形のほかに感電防止板付きなど多くの保護構造が容易に得られる。

■ 定格と仕様

L G 形 抵 抗 片			温度上界限界 (°C)
形 名	1枚当たり抵抗値 (Ω)	電 流 容 量 (A)	
LG-A-23	0.0115	120	連続 300 間欠 350
LG-A-16	0.0165	104	
LG-A-12	0.0228	88	
LG-B-12	0.0352	76	
LG-B-08	0.0437	62	
LG-C-12	0.0763	52	
LG-C-10	0.0905	47	
LG-D-10	0.0905	40	
LG-D-08	0.1008	36	
LG-E-08	0.173	28	
LG-G-16	0.32	21	
LG-H-16	0.44	19	

[名古屋製作所]



新系列 LG 抵抗器

CU 形コントローラシリーズ

荷役機械用直接制御式の CN 形 コントローラは、昭和38年以來各方面に多くの使用実績を得てきただが、このたびさらに改良した CU 形を完成した。

■ 特長

(1) 配線の容易化

従来品と外形寸法を変えず、箱の奥行を大きくして配線スペースを十分とり配線を容易にした。

(2) レンジ容量の向上

電動機の一次側接触子にはアーグリッドを取り付け、レンジ容量を増加して消耗の減少をはかった。

新製品紹介

(3) 同時接触可調整

各接触子はカムとの開閉位置を調整できるため、同時接触が容易に行ないうる。（新案出願中）

(4) 操作性軽快

ひんぱんな操作に合うよう操作力はきわめて軽く、ノッチ感覚が軽快である。

(5) 保守点検容易

接点、接触子は従来品と取付上互換性をもたせ、接触子は個々に独立しているので交換が容易である。

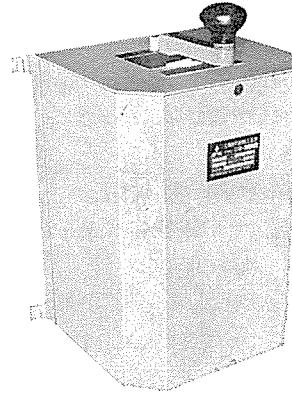
(6) 機種豊富

水平ハンドル式のほかに、たて形ハンドル式、ユニバーサル式等用途に合ったものが選択できる。

■ 定格と仕様

	主接触子	中接触子	補助接触子
定格電圧 V	220/440	220/440	220/440
連続通電容量 A	130	70	50
定格電流 A (B級2号)	190/90	55/25	30/5
最大電動機定量 kW	45	22	—
寿命	電気的(万回)	100	
	機械的(万回)	250	
箱フレーム(段数)		4, 20	
ノッチ数(可逆)	各7ノッチ		
備考	主回路用(アーケグリッド付き)		制御回路用

[名古屋製作所]



CU形コントローラ

MCU形コントローラ

MCU形コントローラはCU形のシリーズで、内部に組込んだ小形電動機によって駆動するようにしたもので、用途・接触子・電動機容量はCU形コントローラと同一である。

(直接45kW、半間接55kW AC 200/400V)

■ 特長

(1) 直接制御の遠隔操作

手動操作と同一緩急速度で動作するため、クレーンの直接制御の遠隔操作が可能になった。

(特許出願中)

(2) 経済的

他の遠隔操作方式にくらべて経済的である。

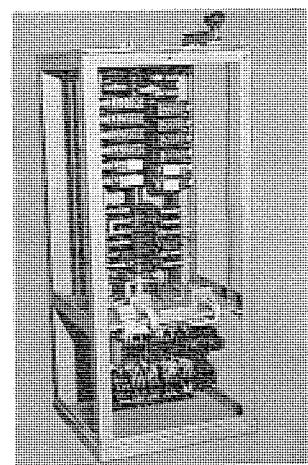
(3) 保守点検容易

駆動部は一括引出形のため保守点検が容易である。

(4) 手動操作も可能である。

■ 仕様

箱構造	床置自立防じん(塵)形
スイッチ数	10, 18(段)
ノッチ数	左、右各4ノッチ以内
短絡方式	平衡短絡
制御電圧	AC 200V 50/60Hz
操作方法	押しボタン式ほか
操作内容 (ボタン数)	横、走行用各1個 巻上げ1個、巻下げ2個(低速、高速)



MCU形コントローラ

[名古屋製作所]

磁気エスコート装置

最近、物的流通機構の合理化が進み、ハンドリングの自動化・省力化について見直され、新しい装置が製品化されつつある。

ここに紹介する MG 形磁気エスコート装置は、これら自動化の一環として仕分業務を受持つよう開発された。MG 形は読み取り・書き込み・記録の 3 種により構成されるもので、搬送コンベヤに取付けた記録板に対応させて品物を積込み、同時にその物の仕分先情報を書き込み装置により書き込み、品物をエスコートしながら搬送し、分岐コンベヤへの各乗移り点直前に読み取り装置を設け該当する品物のみ仕分けるものである。

■ 特長

- (1) 中規模の仕分装置として最適
- (2) 記録板の記憶は半永久的（停電中も保持できる）
- (3) 品物と対応して情報処理しメンテナンスが容易

■ 記録板

保持力の強い特殊金属板で、仕分先情報をここへ残留磁束の形で記憶される。残留磁束方向は、コンベヤ進行方向に対して直角で、コンベヤ速度に無関係に情報処理ができる。通常コンベヤの内側などに、等ピッチまたは連続的に設置して使用される。

■ 書込み装置

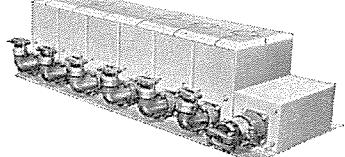
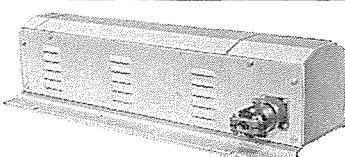
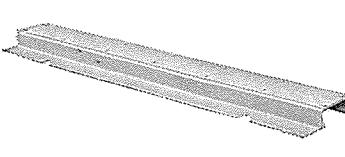
開口部分をもつ DC 電磁石で、上部を通過する記録板へ無接触で情報を書き込む。記録板との空間は、0~9 mm とれるから通常の工作精度で使える。論理値としては、十方向磁束・無磁束・一方向磁束の 3 点が得られる。

■ 読取り装置

記録板の磁束を検出するもので、出力としてリレー接点がとり出せる。このリレー接点の組合せにより、仕分け先が決定される。

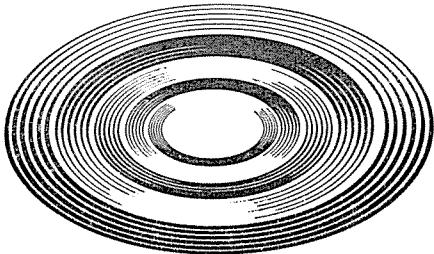
■ 形名一覧表

社内で長期間にわたる試用を経て実用化し、多数のユーザで当装置は実際のか（稼）動にはいっている。なお製品としては次表に示す 6 ビットまでシリーズ化されている。（特許出願中）

名 称	形 名	外 観 (6 ビット用を示す)
読 取 装 置	MG-2 R MG-3 R MG-4 R MG-5 R MG-6 R	 読取装置
書込装置	MG-2 S MG-3 S MG-4 S MG-5 S MG-6 S	 書込装置
記 録 板	MG-2 S MG-3 S MG-4 S MG-5 S MG-6 S	 記録板

[名古屋製作所]

NEWS FLASH

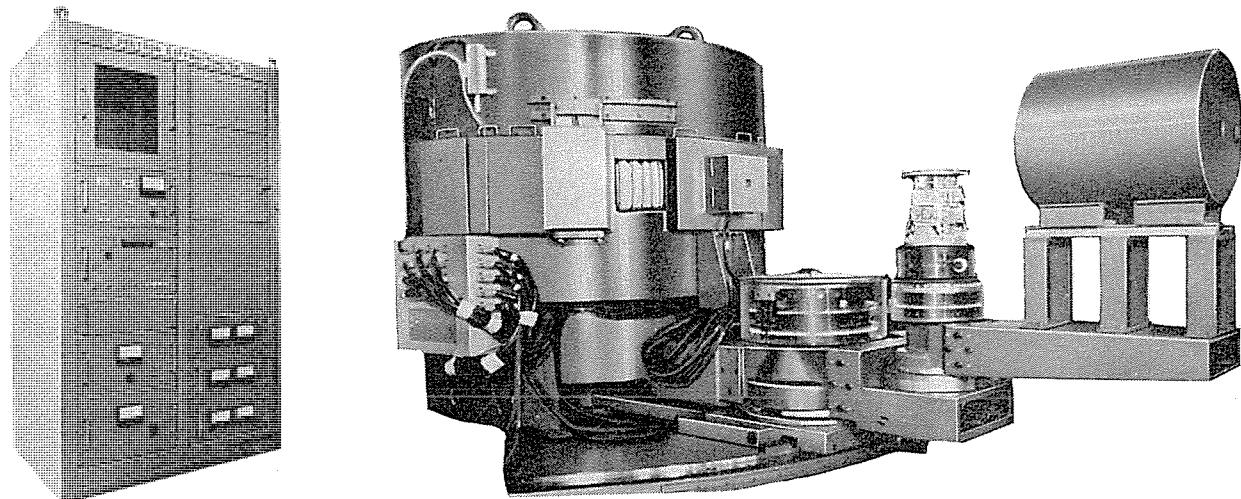


東北大学 理学部向け 中性子分光器完成

東北大学 理学部より、日本原子力 東海研究所の JRR-2 原子炉に設置される、中性子分光器 (NX-1331) がこのほど完成し、工場試験も好調に終了して出荷された。

当社では、この1年間に、メキシコ AEC 向け中性子回折装置 (NX-1330)、韓国 AEC 向け中性子回折装置 (NX-1320)、東北大学 金属研究所向け 中性子回折装置 (NX-1314) をそれぞれ納入している。

今回の装置の特色としては、従来は、単色中性子の取り出し角度を変更するときには、モノクロメーターシールド内の木材やボロンパラフィンをしゃへい材とするセクターシールドを差し換える方法をとっていたが、今回、製作したものは、東北大学石川教授ご考案により、この部分にジヤバラを組みこんで、水をしゃへい材とした可動シールドという新しい方式を採用して、放射線の漏れを減少させ、実験能率の向上を計ると同時に測定角度を任意に選択できるようにした。



東北大学 理学部向け 中性子分光器

[神戸製作所]

LAWS-3-D 形 各相表示線継電装置

ケーブル系統または比較的距離の短い直接接地系 超高圧送電線の保護方式として、パイロット継電方式が最も信頼性が高い方式とされているが、今般、各相比較形の表示線保護継電装置を製品化したので、その概要を紹介する。

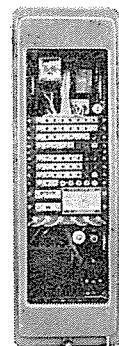
この装置は、1回線に対して3組（二重化の場合は4組）設置して、保護区間内の単純短絡・地絡故障はもとより異相地絡保護も確実に行なわせようとするものである。

■ 仕様

- (1) 整定範囲 1.5~6 A
- (2) こう(亘)長 20 km まで

■ 特長

- (1) 各相の電流比較をしているゆえ、多重事故に対しても確実に内外の判定を行ない、保護区間のすべての事故を全端子同時に瞬時しゃ断が可能である。



LAWS-3-D 形 表示線継電器

- (2) その性能は片端電源の場合でも同様である。
 - (3) 抑制コイルを有し、かつ飽和変圧器のおかげで動作はきわめて安定であり、外部事故における誤動作のおそれはまったくない。
 - (4) 直流分やパルスあるいは高調波などに対しても、動作感度がきわめて低いのでケーブル系統の保護に使用できる。
- その他表示線の定数に特性が影響されない、動作VAが小さいなどの特長がある。
- 1号機は、わが国初の山陽新幹線用超高压275kV関西電力新神戸変電所国鉄新六甲変電所に納入されている。

[神戸製作所]

常磐線 ATC 自動試験装置完成

常磐線から宮城地下鉄千代田線乗り入れ用車両に日本国有鉄道では、在来線区としては初めて、ATC（自動列車制御装置）を採用し、最新形保安装置として注目を浴びた。

このたび当社では、同車両のATC装置に続き、ATC自動試験装置を完成、松戸電車区および同区我孫子派出所に納入し、実用にはいった。

これらの試験装置は各車両ごとに毎日行なう仕業検査、1か月に1度行なう交番検査に使用するものであり、車両(ATC)検査業務の能率向上、省力化に大きく貢献することが期待されている。

■ 試験方法

試験用電留線（松戸、我孫子いずれも4本）所定位置に電車を停車し、先頭車両に設けた端末箱から、遠隔操作箱および試験用接続ケーブルを取り出し、車上のATC装置と接続する。次に車上で遠隔操作箱を用いて試験開始を指示し、試験装置に自動的にあらかじめ定めた試験を行なわせ、最終の「正常」表示で終了する。

■ 試験項目

- | | |
|----------------|----------------|
| (1) 仕業検査 | (2) 交番検査 |
| (a) ATC動作試験 | (a) 受信器特性試験 |
| (b) 車内信号表示確認試験 | (b) 故障検出動作確認試験 |
| (c) 速度計指示確認試験 | (c) 照査特性動作確認試験 |
| | (d) 車内信号表示確認試験 |
| | (e) 速度計指示確認試験 |

■ 特長

- (1) 取扱いがきわめて簡単、容易
- (2) 検査時間が短い、仕業検査の場合2分/1台以下
- (3) 省力化機器である。車上作業のみで試験ができる。

■ 仕様

- (1) 使用電源： AC 100 V, ±10%, 50/60 Hz
- (2) 試験方式： 自動試験、手動試験
- (3) 試験種別： 仕業検査、交番検査
- (4) 試験制御： ダイオードマトリックスを用いた固定プログラム自動試験制御方式
- (5) 記録方式： プリンタによる試験結果自動記録



図1 ATC自動試験装置操作架、プリンタ



図2 ATC自動試験装置遠隔操作箱

[鎌倉製作所]

原子力船“むつ”訓練用シミュレータ完成

わが国初の原子力船“むつ”的乗員訓練用シミュレータが、このほど青森県むつ市の“むつ”定係港のシミュレータ室に据付け調整を完了し、訓練をはじめている。

世界に造船技術を誇るわが国でも、米国・ソ連・西独に続いて原子力船の建造が進められている。原子力第一船“むつ”はいま青森県むつ定係港でぎ装工事が進められているが、原子力船の運転にはこれまでの船舶とは異なり、豊富な知識と熟練した高度の技術が必要とし、“むつ”的諸試験航海に先立って乗組員の訓練に迫られている。原子力船“むつ”訓練用シミュレータは、こうした背景のもとに原子炉部に重点をおいて模擬している。

この訓練用シミュレータは、“むつ”的制御室と同じ中央制御盤、加圧水形原子炉・タービン機関部などの動特性を模擬するアナログ計算機、運転状態の監視および状態設定のための指導員盤、訓練の度合いを判定する記録装置および空調器などから成っている。

中央制御盤は、約800個の記録器・指示計・コントローラおよびランプスイッチが機能表示されたグラフィックパネルに組込まれている。アナログ計算機は、EA 7250形標準要素を基本とし、高精度演算増幅器230台、コンパレータ用演算増幅器110台、関数乗除算要素15台、関数発生器要素35台、飽和要素などを収容しており、この種のシミュレータシステムとして最大の規模となっている。

このシステムの特長は

- (1) EA 7250形アナログ計算機の高精度要素を使用し、スケール変換に独特の手法を加えており、高精度の演算を可能としている。
 - (2) パッчボードを省き固定結線としたため信頼性が高い。
 - (3) 専用アナログ計算機としており、数学的モデルとの対応がわかりやすい。
 - (4) 起動から全出力運転まで5段階の初期条件を設定しており、任意の状態が簡単に再現でき能率的に、系統的に訓練を行なうことができる。
 - (5) 事故時など極端な訓練も短期間に、経済的に繰返し十分な訓練ができる。
- などである。

[鎌倉製作所]



図1 ぎ装工事中の“むつ”

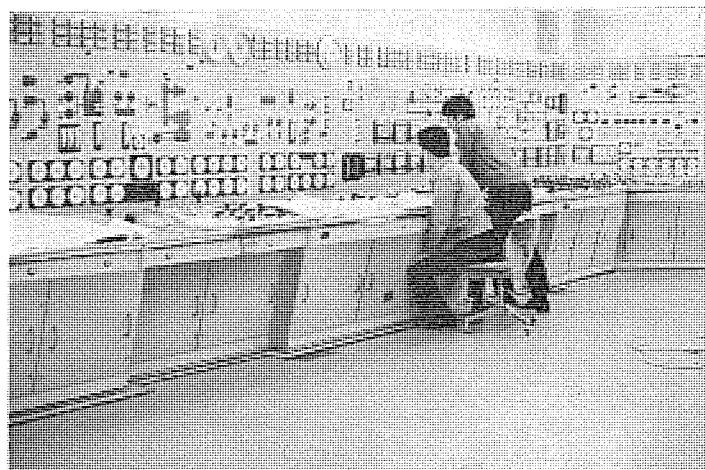


図2 中央制御盤

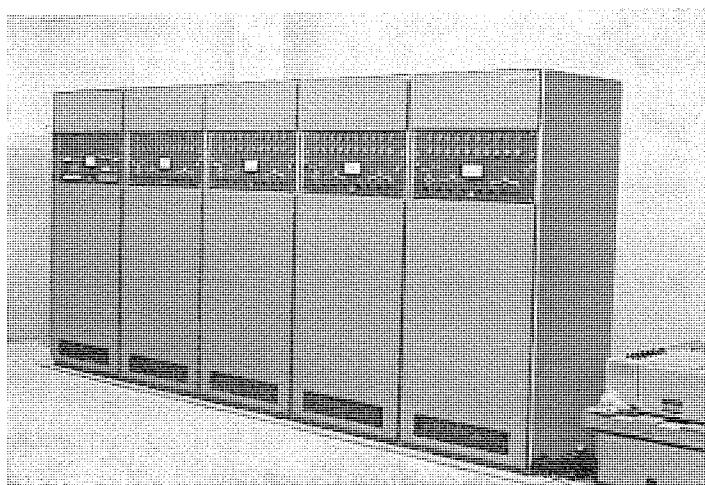


図3 “むつ”的動特性を模擬するアナログ計算機

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2番3号(三菱電機ビル) (西 100) (電) 東京(03) 218局2111番

大 阪 営 業 所	大 阪 市 北 区 梅 田 町 8 番 地 (西 阪 神 ビ ル) (西 530)	(電) 大 阪 (06) 343局1231番
名 古 屋 営 業 所	名 古 屋 市 中 村 区 広 井 町 3 丁 目 88 番 地 (大 名 古 屋 ビ ル) (西 450)	(電) 名 古 屋 (052) 561局5311番
静 岡 出 張 所	静 岡 市 伝 馬 町 16 の 3 番 地 (明 治 生 命 静 岡 支 社) (西 420)	(電) 静 岡 (0542) 54局4681番
福 岡 営 業 所	福 岡 市 天 神 2 丁 目 12 番 1 号 (天 神 ビ ル) (西 810)	(電) 福 岡 (092) 75局6231番
長 崎 出 張 所	長 崎 市 丸 尾 町 7 番 8 号 (長 崎 底 艇 会 館) (西 852)	(電) 長 崎 (0958) 23局6101番
札 幌 営 業 所	札 幌 市 北 2 条 西 4 丁 目 1 番 地 (北 海 道 ビ ル) (西 060-91)	(電) 札 幌 (011) 261局9111番
仙 台 営 業 所	仙 台 市 大 町 1 丁 目 1 番 30 号 (新 仙 台 ビ ル) (西 980)	(電) 仙 台 (0222) 21局1211番
富 山 営 業 所	富 山 市 桜 木 町 1 番 29 号	(西 930)
富 山 営 業 所	富 山 市 桜 木 町 1 番 29 号	(電) 富 山 (0764) 31局8211番
広 島 営 業 所	広 島 市 中 町 7 番 32 号 (日 本 生 命 ビ ル) (西 730)	(電) 広 島 (0822) 47局5111番
岡 山 出 張 所	岡 山 市 駅 前 町 1 丁 目 9 番 地 (明 治 生 命 館) (西 700)	(電) 岡 山 (0862) 25局5171番
高 松 営 業 所	高 松 市 鶴 屋 町 2 番 1 号	(西 760)
新 潟 営 業 所	新 潟 市 東 大 通 1 丁 目 2 番 地 23 号 (北 陸 ビ ル) (西 950)	(電) 新 潟 (0252) 45局2151番
東 京 商 品 営 業 所	東 京 都 千 代 田 区 丸 の 内 2 丁 目 2 番 3 号 (三 亜 電 機 ビ ル) (西 100)	(電) 東 京 (03) 218局2111番
関 東 商 品 営 業 所	関 東 商 品 営 業 所	
大 阪 商 品 営 業 所	大 阪 商 品 営 業 所	
名 古 屋 商 品 営 業 所	名 古 屋 商 品 営 業 所	
福 岡 商 品 営 業 所	福 岡 商 品 営 業 所	
札 幌 商 品 営 業 所	札 幌 商 品 営 業 所	
仙 台 商 品 営 業 所	仙 台 商 品 営 業 所	
北 陸 商 品 営 業 所	北 陸 商 品 営 業 所	
広 島 商 品 営 業 所	広 島 商 品 営 業 所	
高 松 商 品 営 業 所	高 松 商 品 営 業 所	
東 京 機 器 営 業 所	東 京 機 器 営 業 所	
大 阪 機 器 営 業 所	大 阪 機 器 営 業 所	
静 岡 機 器 営 業 所	静 岡 機 器 営 業 所	
浜 松 機 器 営 業 所	浜 松 機 器 営 業 所	
中 央 研 究 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(西 661)
生 产 技 术 研 究 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(西 661)
商 品 研 究 所	鎌 倉 市 大 船 2 丁 目 14 番 40 号	(西 247)
神 戸 製 作 所	神 戸 市 兵 庫 区 和 田 崎 町 3 丁 目 10 番 地 の 1	(西 652)
伊 丹 製 作 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(西 661)
三 田 工 場	三 田 市 三 輪 町 父 々 部 85 番 地	(西 669-13)
長 崎 製 作 所	長 崎 市 丸 尾 町 6 番 14 号	(西 850-91)
稻 沢 製 作 所	稻 沢 市 姫 町 1 番 地	(西 492)
和 歌 山 製 作 所	和 歌 山 市 岡 町 9 1 番 地	(西 640-91)
鎌 倉 製 作 所	鎌 倉 市 上 町 屋 3 2 5 番 地	(西 247)
通 信 機 製 作 所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(西 661)
北 伊 丹 製 作 所	伊 丹 市 瑞 原 4 丁 目 1 番 地	(西 664)
熊 本 第 一 工 場	熊 本 市 竜 田 町 弓 削 7 2 0 番 地	(西 862)
熊 本 第 二 工 場	熊 本 県 菊 池 郡 西 合 志 町 御 代 志 9 9 7	(西 861-11)
名 古 屋 製 作 所	名 古 屋 市 東 区 矢 田 町 18 丁 目 1 番 地	(西 461)
旭 工 場	尾 張 旭 市 下 井 町 下 井	(西 488)
福 岡 製 作 所	福 岡 市 今 宿 青 木 6 9 0 番 地	(西 819-01)
福 山 製 作 所	福 山 市 緑 町 1 番 8 号	(西 720)
相 模 製 作 所	相 模 原 市 宮 下 1 丁 目 1 番 5 7 号	(西 229)
姫 路 製 作 所	姫 路 市 千 代 田 町 8 4 0 番 地	(西 670)
静 岡 製 作 所	静 岡 市 小 鹿 3 丁 目 18 番 1 号	(西 420)
中 津 川 製 作 所	中 津 川 市 駒 場 町 1 番 3 号	(西 508)
大 船 製 作 所	鎌 倉 市 大 船 5 丁 目 1 番 1 号	(西 247)
郡 山 製 作 所	郡 山 市 栄 町 2 番 2 5 号	(西 963)
群 馬 製 作 所	群 馬 県 新 田 郡 尾 島 町 大 字 岩 松 8 0 0 番 地	(西 370-04)
藤 岡 工 場	藤 岡 市 本 郷 字 別 所 1 1 7 3 番 地	(西 375)
京 都 製 作 所	京 都 市 乙 訓 郡 長 岡 町 大 字 馬 場 小 字 図 所 1 番 地	(西 617)
長 野 工 場	長 野 市 大 字 南 長 池 字 村 前	(西 380)
ラ ジ オ 工 場	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地	(西 661)
札 幌 営 業 所	札 幌 市 北 2 条 東 1 2 丁 目 9 8 番 地	(西 060)
札 幌 工 場	札 幌 工 場	(電) 札 幌 (011) 231局5544番

次号予定

三菱電機技報 Vol. 45 No. 8

海中作業基地（シートピア計画）の電気設備および住宅の空調特集

《海中作業基地の電気設備特集論文》

- 科学技術庁海中作業基地の構想
- 海中作業基地用電気機器の概要
- 海中作業基地“シートピア”（本体）
- 海中作業基地の居住用電気品
- 海中作業基地用通信装置および生体テレメータ
- 監視用 ITV
- 海中作業基地用動力機器（水中モートル、スタータおよび変圧器）
- 海中作業基地における照明設備

—海中居住実験計画—

《技術解説》

- 海中作業基地の展望
- 油中コロナによるガス発生
- 生体テレメータ
- スチレンーブタジエヌースチレンブロック共重合体の構造と性質
- 帝都高速度交通営団納め千代田線用量産形回生ブレーキ付チョッパ制御電車

三菱電機技報編集委員会

委員長	正木茂雄	常任委員	湊武雄
副委員長	神崎邇	"	武藤正
常任委員	石川理一	"	福家章
"	上田重夫	委員	待鳥正
"	宇佐見重夫	"	北垣成一
"	北川和人	"	田附和夫
"	古賀亨	"	南日達郎
"	小堀富次雄	"	秦卓也
"	鈴木正材	"	林昇寿
"	牧野六彦	"	松元雄藏

(以上50名)

昭和46年7月22日印刷 昭和46年7月25日発行「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼发行人

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

正木茂雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地
(郵便番号162)

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12番地

高橋武夫

発行所

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(郵便番号100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」

(電)(03)218局2323番

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1(郵便番号101) 株式会社オーム社書店

(電)(03)291局0912番 振替東京 20018