

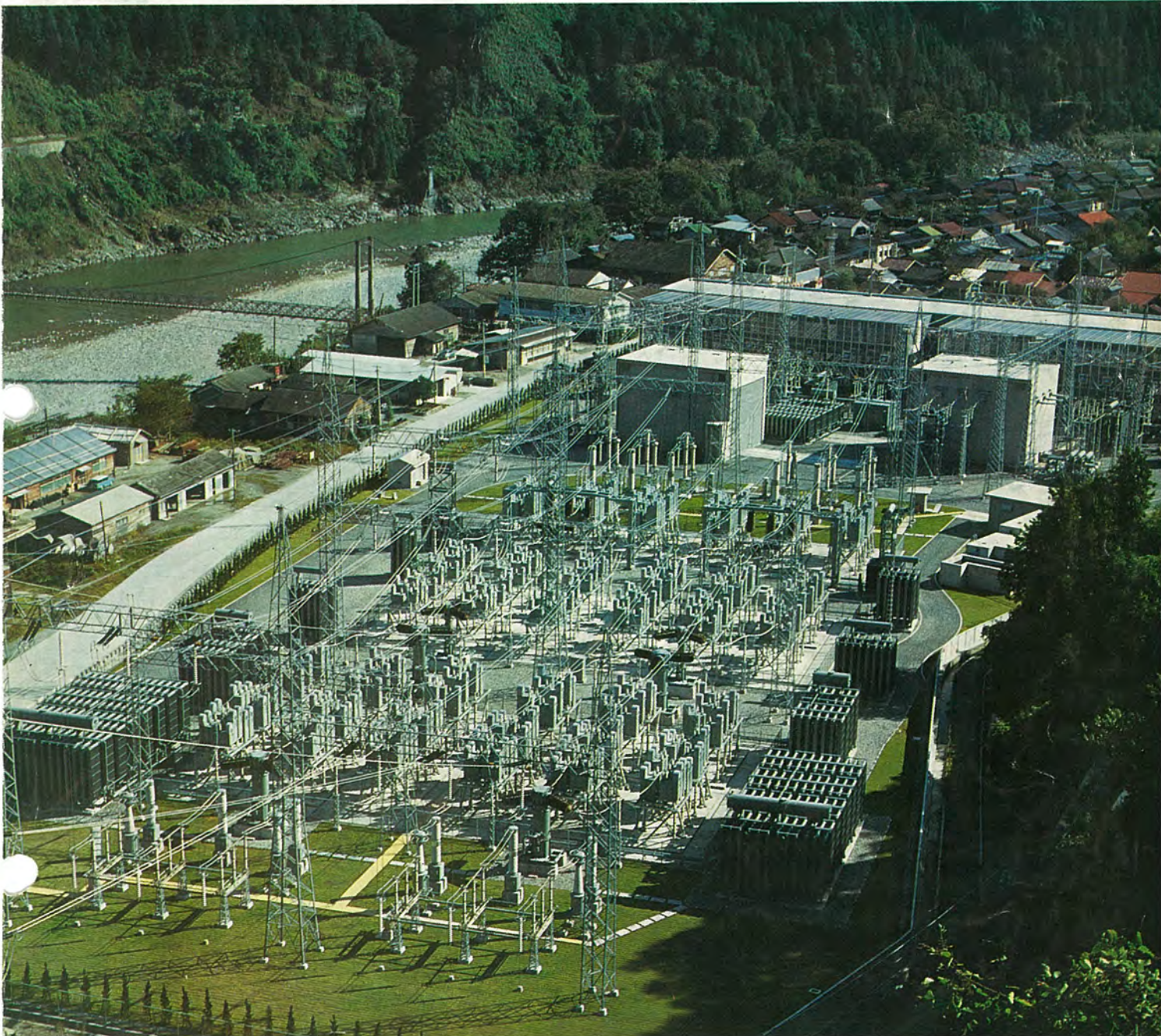
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

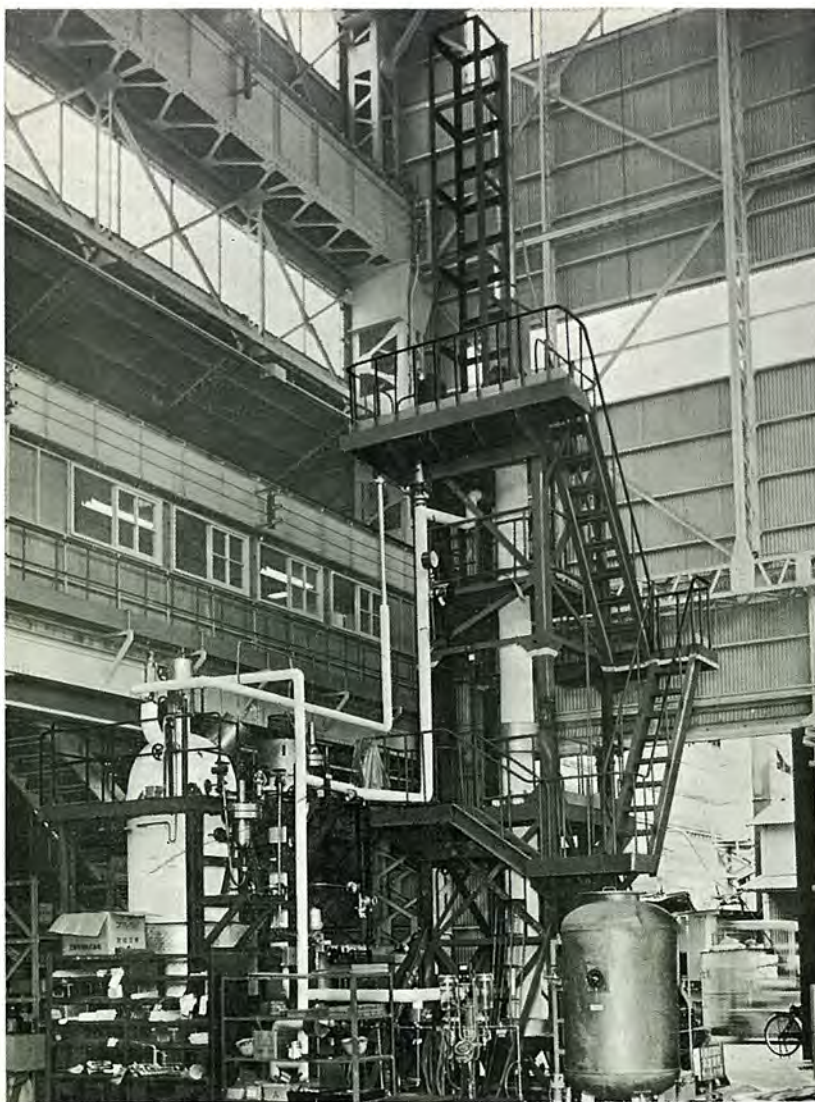
Vol.39 November 1965

電源開発佐久間周波数変換所機器特集

11

電源開発佐久間周波数変換所





原子炉主要機器の国産化を実証！ 動力炉用磁気ジャック形制御棒駆動装置完成

昭和 38 年度より原子力平和利用補助金の交付を受けて、鋭意試作研究中であった陸上動力炉用 ラッチ 式磁気 ジャック 形制御棒駆動装置は、このほど原子炉と同一条件下における特性試験を完了し、原子炉主要機器の国産化を実証するに至った。

この制御棒駆動装置は、駆動機構がすべて圧力密封容器内に置かれ、駆動力は容器壁外部からの磁力による方式であって、いっさいの メカニカル のない完全密封形であり、高温高圧水形の原子炉にはもっとも適合した形式である。

■ 特 長

(1) 完全密封形であるため、原子炉内の一次冷却水の漏えいはまったくない。

(2) スクラムは重力による自由落下によって行なわれる方式であり、スクラムの信頼性が非常に高い。

(3) 駆動力は磁力であり、上下動作はマグネットコイルの励磁・消磁の特定のシーケンスによっており、急速引抜き事故の可能性は存在しない。また電源がそう失すれば必然的にスク

ラムを生じるから、本質的にフェイルセーフである。

(4) この駆動装置はきわめてコンパクトな構成であり、原子炉圧力容器 ヘッド 上にすべての部分が収められ、燃料取り換え作業時にも圧力容器ヘッドから取りはずす必要がない。

(5) 制御棒の位置は アナログ および デジタル の両方式で指示することができる。

今回開発を完了した駆動装置は、30～50 万 kW 級の軽水形発電用原子炉に適合するものである。

■ 仕 様

設 計 圧 力	175 kg/cm ²
設 計 温 度	260°C
制 御 棒 重 量	標準 260 kg
つり上重量	標準 330 kg 最大 650 kg
全ストローク	3,268 mm
速 度	標準約 6.5 mm/sec (40 steps/min)



表紙説明

わが国最初に設置された電源開発佐久間周波数変換所の全景写真である。この変換所は本土東部の 50 c/s 系と西部の 60 c/s 系を連系し、両系統間の運用の合理化を目的として計画されたもので容量は 30 万 kW である。主器である水銀アーク変換装置により交流→直流→交流の変換が行なわれ、50 c/s 系より 60 c/s 系へ、またその逆の方向に電力供給が行なわれ、この潮流方向の切り換えは水銀整流器の格子制御によって迅速に行なわれる。水銀アーク変換装置を用いた周波数変換として、かかる大容量のものは佐久間が世界でも初めてであり、その成果が注目されている。水銀整流器をはじめ直流用機器の大部分は直流送電技術の先進国たるスエーデンの A.S.E.A. 社より輸入されたが、整流器用変圧器をはじめ交流側機器の大部分、冷却設備、配電盤などは国産品が採用され、変圧器、冷却設備、配電盤は当社が担当した。



三菱電機技報

昭和 40 年 第 39 卷 第 11 号

(電源開発佐久間周波数変換所機器特集)

目次

《特集論文》

- 電源開発佐久間周波数変換所の概要……………桑原 進・竹之内達也… 2
 電源開発佐久間周波数変換所純水冷却設備……………塚本昭三・矢野昌雄・鈴木一男・相山英生… 7
 電源開発佐久間周波数変換所 368 MVA, 353 MVA 変圧器……………田村良平・坂田邦寿… 12
 電源開発佐久間周波数変換所周波数変換装置における異状現象の解析……………山田郁夫・岡本公春… 18
 電源開発佐久間周波数変換所交流回路保護および配電盤……………森 健・仁科重雄・長町恒資… 25

《論文》

- 油入 アルミリアクトルと充電用 アルミ 変圧器……………長野光佑・藤岡泰治… 37
 三菱 ケーブル 系統保護用表示線継電装置……………森 健・寺田 真・下迫賀生… 41
 多重故障対策、零相循環電流対策付搬送保護継電方式……………曾我 清・百瀬竜介・加藤三郎・北浦孝一・古谷昭雄… 49
 MELDAP-6000 による高炉原料自動装入装置……………武田英夫・石 雅彦・迎 久雄・渡辺武雄… 59
 電力系統信頼度の考え方と算定法……………豊田淳一・林 重雄・嶋村和也・井上幸美… 66
 シンタックス に基づく ALGOL コンプライ とそれに関する諸問題……………首藤 勝・関本彰次・吉竹成之… 72
 大線源 Co-60 照射装置……………津田栄一・四方三二・林原 毅・三富至道・大野義隆… 80
 電離箱を用いた線量計……………田中 修・池田 洋… 86
 マイクロ 写真用 ジェラフィルム の特性……………太田基義・矢田俊雄・豊田裕康・小林吉三郎… 89
 MELCOM-1530 FORTRAN コンプライ……………菅 忠義・吉江高明・出口博章・浅井邦彦・柳下孝義… 95

《技術解説》

- コアメモリスタック (その 2)……………水上益良…101

《技術講座》

- MATHEMATICAL PROGRAMMING の動向 (その 1)……………福永圭之介・田村坦之…110

《新製品紹介》

- 三菱 エスペット・三菱 ウズ 電流電気動力計完成・温蔵庫 (ダイヤホット W, HW-40 形)・家庭用三菱電気冷蔵庫・新形三菱 オートラジオ (FM/AM および自動同調式)・三菱 ポータブルステレオ 電蓄 PG-850 形“ミュージカ S” 新発売・三菱 テープレコーダー T-165 形《メモパック》新発売……………118

《ニュースフラッシュ》

- 関西電力納め 345 MVA 低騒音変圧器完成・新しい大容量短絡試験設備と SF₆ ガスシヤ 断器の公開披露・300 kV 20,000 MVA OCB の形式試験終了・世界最高速の新聞輪転機用自動紙縫ぎ装置完成・神戸電鉄回生車用電機品完成・熱処理 センタ に新設備完成……………123

《特許と新案》

- 電力用変圧器・位相比較式抑制方式……………126
 最近登録された当社の特許……………127

《表紙》

1. 電源開発佐久間周波数変換所
2. 動力炉用磁気 ジャック 形制御棒駆動装置完成
3. 三菱電力用機器
4. 三菱編機

電源開発佐久間周波数変換所の概要

桑 原 進*・竹之内達也*

General Aspect of Sakuma Frequency Converter Station of The Electric Power Development Co.

The Electric Power Development Co. Susumu KUWAHARA・Tatsuya TAKENOUCHI

High voltage DC transmission technology was first developed in Sweden. In the year 1961 tie-lines of 160MW were laid over the Anglo French Channel for commercial operation. The Electric Power Development Company, realizing that the DC transmission technique is applicable to frequency conversion equipment, set out to construct a Sakuma Frequency Converter Station for the purpose of tying via direct current the eastern power system at 50 cycles and the western at 60 cycles, the difference of which is a fatal drawback in this country. The station is slated to enter into commercial operation in this fall. The apparatus installed are unprecedented in this country and also the largest as AC to DC conversion equipment in the world. Description is made herein on DC machines as the major topics.

1. ま え が き

わが国の電力系統は本州中央部を境として、東は 50 c/s、西は 60 c/s に統一されている。これら二つの地域内は北海道を除いて、すべて超高圧で系統連系されており、昭和 40 年末の系統容量は、50 c/s 系が約 11,000 MW、60 c/s 系が約 16,000 MW になることが予想されている。

佐久間周波数変換所は、これら両サイクル系統を直流によって直接連系することを目的として、電源開発株式会社が建設している設備で、その概要は下記のとおりである。

場 所 静岡県磐田郡佐久間町

出 力 300 MW

電 圧 AC 275 kV

DC ± 125 kV

着 工 昭和 37 年 4 月

運転開始予定 昭和 40 年 11 月

周波数変換所は佐久間ダムとして知られている電源開発会社の佐久間発電所の近くであって、ここで変換されて 50 c/s あるいは 60 c/s の電気は AC 275 kV の送電線によってそれぞれ東京および名古屋地区の大系統と連系されている。図 1.1 はこれらの系統との関連を示すものである。

周波数変換所建設の利点を概略列記すれば下記のとおりである。

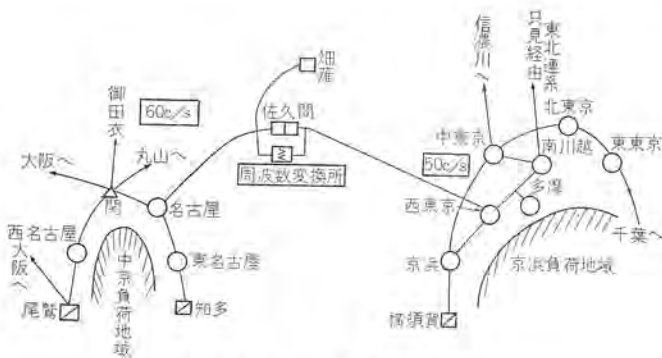


図 1.1 関連系統図

Fig. 1.1 GHV power system showing the position of Sakuma Frequency Converter Station.

(1) 現在の両サイクル切換用の発電所容量は約 300~400 MW といわれるが、火力開発が急速に進み、また系統容量も急激に膨張してきているので、両サイクル間の電力融通をこれら切換発電所のみでまかなうには量的に十分でなくなってきた。

(2) 両系統の直接連系により膨大な運転予備力の節減が図れる。一例として昭和 43 年の節減量は約 380 MW といわれ、この量は系統拡大とともに大きくなる。

(3) 一方のサイクル系統の発電能力に脱落があった時、緊急に他サイクル系統より応援すれば、事故系統の周波数低下をかなり防止できることとなり、事故波及を避けられる。たとえば横須賀火力 340 MW が脱落した場合、50 c/s 単独系統の場合は 0.33 c/s の低下が、両サイクル連系をすれば 0.14 c/s の低下にとどまるであろうことが試算されている。

以下には変換所の設備概略を直流機器などの特殊な問題に重点をおいて紹介したい。主要変圧器、バルブ冷却水設備、交流回路保護方式などは他の論文を参照されたい。

2. 周波数変換装置

周波数変換装置は 50 c/s、60 c/s 側にそれぞれ 2 群の 125 kV 150 MW の交直変換装置を有するもので、図 2.1 に単線接続図を示す。この図において $V_1 \sim V_4$ に示しているバルブ群は 6 相グラーツ接続されており、いわば装置の中心である。通常の運転においては DC リアクトルの中点は電圧は 0 であり、 V_1 と V_3 の間および V_2 と V_4 の間の母線に DC 125 kV が発生する。直流送電の場合には整流器側、インバータ側は離れた 2 点にあるのでこの装置の場合のごとく整流器、インバータを交互に直列接続するわけにいかず幾分複雑になる。

一方海外の直流送電の概況を示したものが表 2.1 であるが、佐久間は出力においても最大級に属し、大いに世界の注目のまとなっておりところである。図 2.2、2.3 に機器配置図と全景写真を示した。

3. バルブ (水銀整流器)

バルブは並列の 4 陽極を有し、6 相グラーツ結線で 1,200 A の定格電流が得られる。定格電圧は 125 kV である。バルブの大略の大き

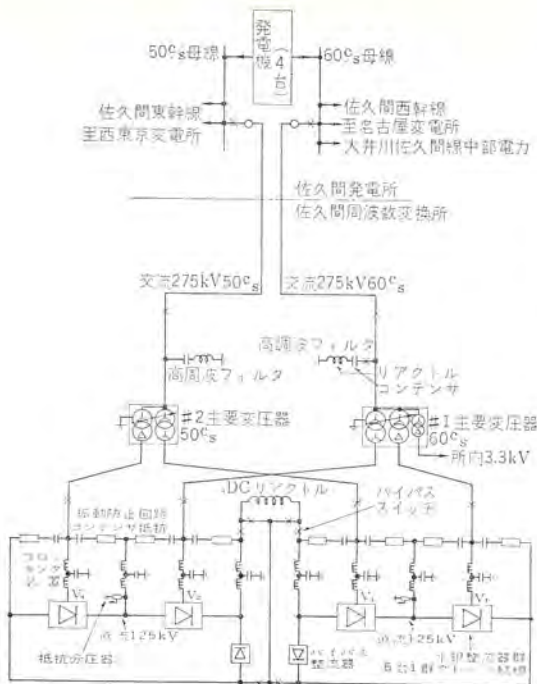


図 2.1 単線接続図
Fig. 2.1 Single line connection diagram.

表 2.1 世界の高压直流設備

	ゴットランド	ドンパ スホル グランド	英仏海峡	ニュー ジ ー ランド	イタリ ー サル デー ニア	コン テ イス カン	佐久間 50-60 c/s	カナ ダ バン クー バー	米国太平洋沿岸 連系	
送電電力 (MW)	20	700	160	600	200	250	300	312 (78)	1,440	1,440
交流系統電圧 (kV)	130 30	220 220	275 225	16 110	220 380	130 150	275	260 (130)	800	800
直流電圧 (kV)	100	±400	±100	±250	200	250	±125	260 (130)	800	800
直流電流 (A)	200	900	800	1,200	1,000	1,000	1,200	1,200	800	800
直流電圧/ パルス群 (kV)	50	100	100	125	100	125	125	130	800	800
無効電力	同期調相 機電力用 コンデン サ	同左	電力用コ ンデンサ	同期調相 機電力用 コンデン サ	同左	同左	電力用コ ンデンサ	—	800	800
直流送電線 (架空) (km) (ケーブル)	— 97	470 —	— 65	580 40	350 98	43 80	母線のみ	41 28	1410	1410
送電方式	1 線大地 帰絡	—	2 線	2 線	1 線大地 帰絡	同左	—	—	1410	1410
運転開始年	1954	—	1961	1965	1965	1965	1965	1968 (1967)	1968	1971

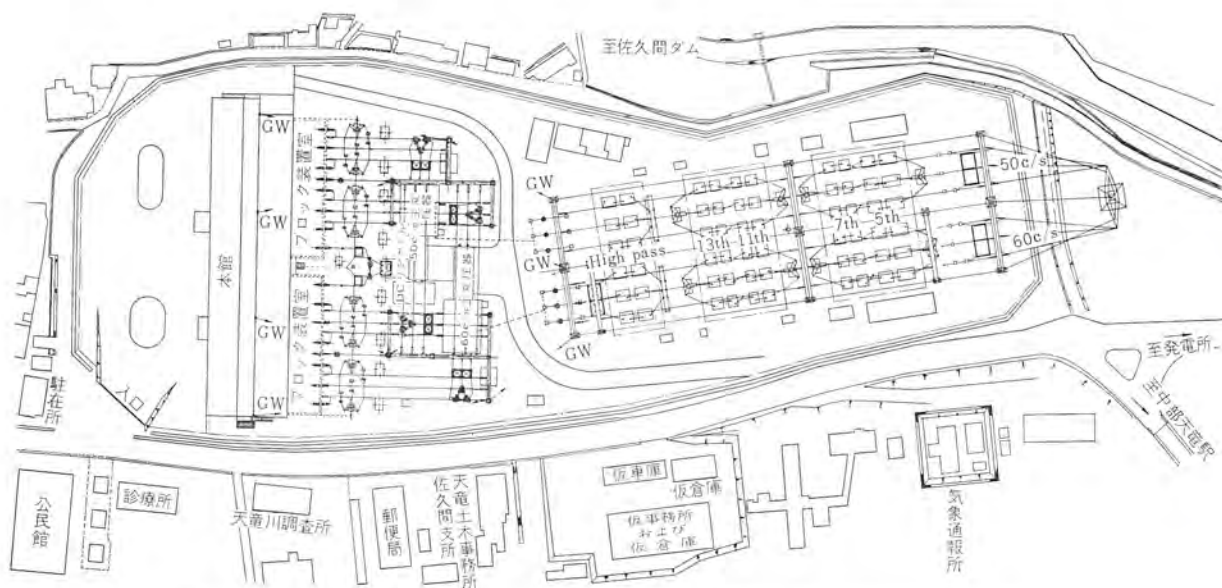


図 2.2 機器配置図

Fig. 2.2 General arrangement of machines.

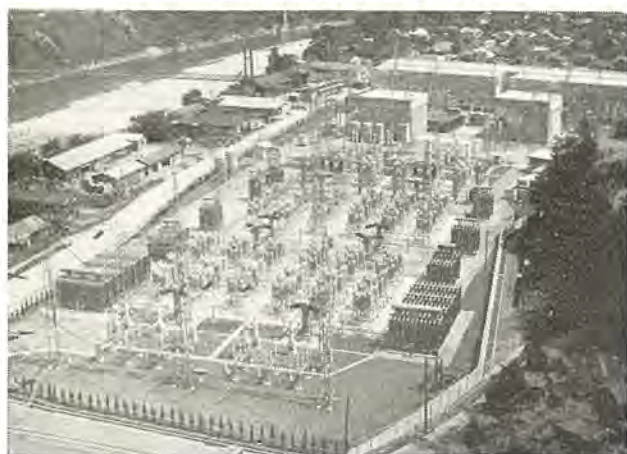


図 2.3 全 景
Fig. 2.3 Complete view of Converter Station.

さは長さ 340、高さ 320、幅 120(cm) で、重量は約 4 トンである。パルスは背圧として補助真空タンクを有する水銀ポンプによって常時排気され、通常内部ガス圧を 0.001 mm Hg 以下に保つ。補助真空タンクの真空度は使用中に次第に悪くなるので、定期点検時などに可搬式の真空ポンプで真空度をあげてやる必要がある。

佐久間に使用されたパルスは英仏直流連系に使用されたパルスとほとんど同じ形であるが、冷却装置が著しく異なっている。すなわち、英仏連系用は陽極および陰極タンクとも空気で冷却しているが、佐久間においては陽極部分の冷却は空気を使用しているが、陰極タンクの部分は純水を使用している。パルス全体は高圧部分にあって大地より絶縁されており、純水は絶縁チューブによってパルス本体に供給されている。陽極冷却用の空気はパルス室よりファンによって陽極柱に送り込まれ、またパルス室に排気される。パルス

室は全体が温度、湿度調整されている。

陽極柱には陽極の他に多数の中間電極が納められ、これらは陽極柱の外部に設けられている CR 分圧器に接続されている。CR 分圧器は無通電期間中の陽極と陰極間の電圧分布を均等にするためのものである。CR 分圧器には、また保護用のギャップがあり、アーク切れなどの異常電圧に対しては放電して分圧器を保護する。

バルブの付属品として陽極電流分流器、陽極リアクトルおよび陰極リアクトルが分離しておかれる。分流器は 2 個以上の陽極が並列して使用される場合に万一陽極の一つだけに通電されれば、他の陽極の電圧はアーク電圧降下だけとなり、他の陽極を点弧するには不十分となるので、これを防ぐために設けられたものである。

陽極リアクトルは転流時新たに点弧したバルブの電流立上りをなめらかにするためのもので、この値が適切を欠くと、電流立上りに振動電流が重畳し、合成電流が点弧初期において再び 0 点を切り、アークの消滅をまねく。振動の様相は変圧器および導体などの C の値によっても影響を受ける。この意味で回路のこれらの C はなるべく小さい方が好ましい。陰極リアクトルはまったくラジオ障害防止対策を目的とするものである。

図 3.1 はバルブ室に据え付けられているバルブを示す写真である。



図 3.1 バルブ Fig. 3.1 Valves.

4. 直流リアクトル

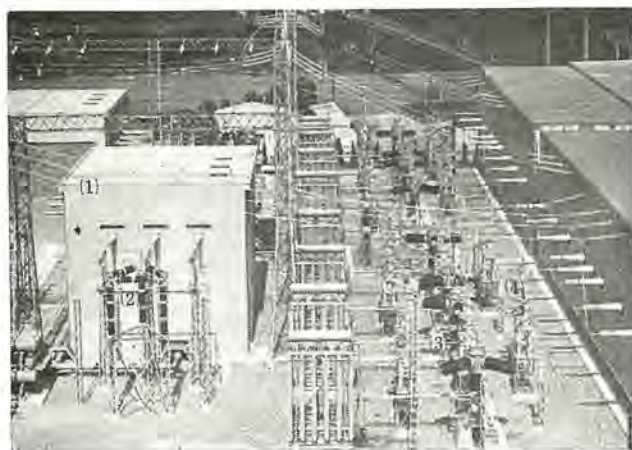
直流リアクトルは直流主回路のちょうど真ん中、150MW の 2 極の間にあり、定格電圧 DC 125 kV、定格電流 DC 1,200A である。直流回路のインダクタンスが十分大きくない場合、制御角が大きく直流電流が小さい時、直流電流が不連続となることがあり、安定な制御を行なううえで好ましくないため、十分大きいインピーダンスが必要である。またこれによって直流電流の振動、異常時の電流変化率、波高値を抑制し、転流失敗などのバルブ事故の発生を防止する。構造は外部ヨークに積層銅板を使用した空心で、DC 100A で 1H、DC 500A 以上で 0.4H のインダクタンスを有する。

直流リアクトルについての騒音は従来の実測例が乏しいので推定が難しいが、佐久間においては人家も近くにあるので二重防音カー方式を採用し、冷却装置も送油風冷式とした。

5. その他の直流用機器

5.1 振動防止回路

振動防止回路は前掲の図 2.1 に示すとおり、バルブの陽極と陰極間に接続されている抵抗とコンデンサの直列回路より成り立っている。この目的は転流時アーク消滅したバルブの陽陰極間に発生する振動電圧を抑制してバルブ動作の安定を計るためである。しかしながら、このような過渡振動電圧はなお相当に高い値となるので、とくに変換装置を起動するとき、あるいは潮流を逆転するときなどには制御角はほぼ 90 度近くの電気角になることもあり、飛躍逆電圧も定常運転時よりも著しく大きくなるので、変圧器その他機器の絶縁設計、機器などの内部、外部のコナ、あるいは有機絶縁材料の誘電体損の増加などの考慮がなされなければならない。振動防止回路のコンデンサは 45,000 pF、抵抗は 2.4 k Ω である。図 5.1 は直流回路部分を示す写真であるが、振動防止用抵抗、直流避雷器、および主要変圧器用建屋を見ることができる。



(1) 主要変圧器建屋 (2) 直流巻線用アクセス
(3) ダンピング用抵抗 (4) キャパシタ
(5) ブロック装置室

図 5.1 屋外直流回路部分

Fig. 5.1 Part of outdoor DC circuit.

5.2 直流用避雷器

主要変圧器バルブ巻線端子の対地間および相間にそれぞれ 1 組直流 125 kV 母線に 1 組、および直流リアクトル保護用としてその端子間と対地間にそれぞれ 1 組設置されている。直流避雷器の端子の電圧波形は常に一方向性であって、電圧は 0 点に達しない。英仏連系の変換所などにおいては避雷器の放電をリレーで検出し、整流器群をブロックして続流シャ断を行なわせる方針が採用されているが、佐久間においては避雷器自体の続流消弧能力を特別に強くして、強制的に続流をシャ断するいわゆる直流避雷器となっている。

6. 無効電力および高調波フィルタ

変換装置の制御遅れ角は 15°, 余裕角は 50 c/s 側は 17°, 60 c/s 側は 19° となっている。このため下記の無効電力が必要であることが計算される。

	順変換器	逆変換器
50 c/s	147 MVA	153 MVA
60 c/s	166 MVA	181 MVA

無効電力の供給方法としてはもちろん同期調相機および電力用コンデンサのいずれも利用できる同期調相機を利用すれば無効電力

の連続的な調整ができるが、コンデンサに比べて高価であり、損失も多く、また高調波電流に対して耐える設計が必要である。これに対してコンデンサを使用すれば高調波フィルタの一部として利用でき、転流作用を改善するなどの利点が多いが、無効電力の調整ができず不便である。いずれにしても一長一短があり、結局同期調相機とコンデンサを両方設置すればきわめてよいが経済的でない。佐久間においてはフィルタ用コンデンサとして所要無効電力の約2/3に当る90MVAをおき、不足分は近くの発電機よりの供給または系統側よりの供給に期待することとしている。

変換装置より発生する高調波電流の次数は $kp \pm 1$ である。 p は整流相数で、佐久間の場合1極運転(150MW)の場合は $p=6$ であり、2極運転(300MW)の場合は $p=12$ である。したがって高調波電流としては5, 7, 11, 13, 17, 19, ...が発生することとなる。実際にはこのほかに制御角の不均衡、変換器群間の不均衡などによってその他の次数の高調波も発生するが平衡状態がよければ問題とするには当たらない。フィルタとしては図6.1に示すとおり、第5, 7, 11, 13調波用の帯域フィルタと第17調波以上に対する高域フィルタを設けた。それぞれ、L, C, Rの三要素によって構成されている。図6.1には各要素の定数と各分路の進相容量を示している。

フィルタ特性は常時の周波数変動範囲ではできるだけ抵抗性であることがのぞましく、 $Q \approx 50$ として定数を選定している。LおよびCともに製作誤差があるので正確に同調点を調整できるようにコンデンサにタックが設けられている。フィルタ電流は周波数変動および系統の高調波インピーダンスによって大きく変化する。系統の高調波インピーダンスはきわめて複雑で、また系統の構成によっても変化する。したがってフィルタ電流の周波数変動に対する変動状況も非常に複雑である。フィルタの高調波電流の設計値は周波数変動、系統の変化などを考慮して決定されている。

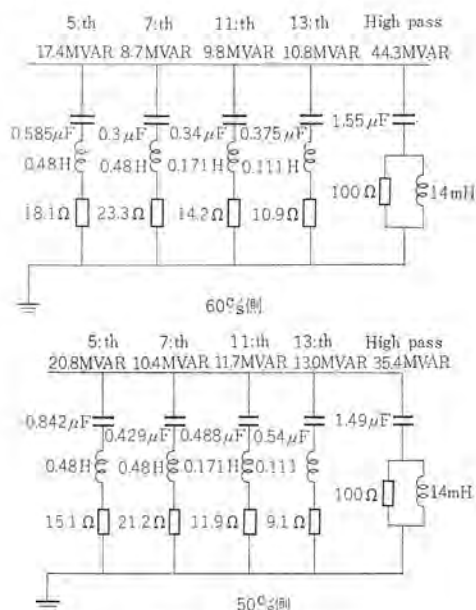


図 6.1 フィルタ定数

Fig. 6.1 Constants of filter elements.

7. 運転および保護

7.1 定電流制御

変換装置の制御は基本的には定電流制御によって行なわれる。すなわち順変換装置側は電流設定値と測定値の比較によって点弧

電源開発佐久間周波数変換所の概要・桑原・竹之内

角 α を制御し電流制御を行なっている。逆変換装置側はさらに電流余裕値を入力として加え、平常運転においては余裕角一定制御を行なう。直流電圧は逆変換装置の逆起電圧としてきまる。

一方、順変換装置の交流側に電圧降下が生じた場合は電流制御は逆変換装置に移り、その点弧角 β の制御にまかされ直流電圧は順変換装置によってきまってくる。逆変換装置の制御電流は設定電流値より常に電流余裕値だけ小さくされている。

図7.1には電圧-電流特性を示すが、点Aは平常運転の場合で、電圧は逆変換装置特性によって決定され、電流は順変換装置の特性によって決定されるが、順変換装置の電圧が降下すれば点Aは点Bに移り、今度は電圧は順変換装置で決定され、電流は逆変換装置により決定されることを示している。

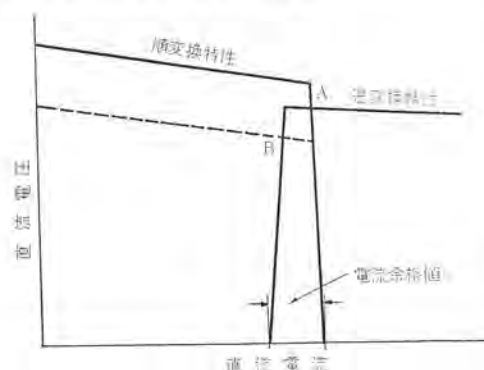


図 7.1 電圧-電流特性

Fig. 7.1 Voltage-current characteristic of converter.

実際の運転は定電力制御で行なわれるが、この場合は電力の設定値と電圧測定値より所要の電流を求め、これと電流測定値を比較して α および β を制御して電力が常に設定電力になるように制御する。英仏連系のような直流送電では制御用の通信回線が必要であるが、周波数変換では順逆変換装置が1個所にあるので通信回線は必要でなく簡単になる。

通常の運転状態においては制御角 α の運転範囲は $10 \sim 20^\circ$ であり、 α がこの範囲を越える場合には変圧器タック位置を自動的に変えて α をこの範囲内に保つようにしている。また逆変換装置の余裕角は60 c/s側で約 19° 、50 c/s側で約 17° である。したがって直流電圧は交流側電圧の変動に応じて変動するので、直流電圧に $125\text{kV} \pm 3\%$ といった制限を設け、これをはずれた場合は変圧器タックによって調整してこの範囲内に入るようにしている。

7.2 運転

変換装置は2極よりなり1極はパルブ12台とバイパスパルブ1台より成る。1極の定格は150MWで1極だけによる運転も可能である。1極運転の場合は停止される方の極はバイパススイッチによって短絡される。変換装置は普通2極運転とする。2極運転は12相運転となり、1極運転の場合の6相運転よりも高調波電流が少なく有利である。

電力設定スイッチは電力方向別に一つずつあり、0MWから300MWまで20MWステップに設定できる。整定速度は50MW/secであってかなり早い。最低電力は変換装置定格の約1割でこれ以下の電力設定値に対しては電流は0となり、通電しない。常時の潮流方向の変更はその時の潮流設定を0とし、逆方向電力設定を任意に選べば行なわれる。

この他緊急応援電力設定スイッチが設けられており、0, 100, 200, 300MWのタックを任意に選べる。これにより緊急時の送電また

は受電電力を事前に設定しておけば、緊急応援電力指令によって常時運転はただちに切り換えられ、緊急応援電力が送電される。緊急応援はその電力方向は正であっても逆であっても任意に変えられる。応援の時間約 0.5 秒である。

7.3 保護

逆弧は整流器においては偶発するものといわれ、陰極タングの過熱、陽極の過冷などによって発生し易くなるが、その発生原因は明確でなく完全に防ぐことはできない。

逆弧発生の場合にはこれを交直電流を比較して検出した場合に故障極の通電をブロックし、バイパスバルブに一時的に電流を移して 1 極運転とする。そしてブロック成功後ある時限を経て自動的に再閉路を行ない定常運転に戻す。したがって一時的には変換電力が半減するが交流系統への影響は少ない。ただし逆弧電流が一時ブロックによってシャ断されない場合には、交流側シャ断器を開く。また逆弧が再閉路時に再発生するような場合はブロック、再閉路を何回か繰り返す。3—4 回目には故障極を永久ブロックし、1 極運転に自動的に移行させる。

交流系統故障時は電圧変動のため一定余裕角制御が間に合わず転流失敗になる場合がある。転流失敗は電流も異常に大きいことはなくまた次の転流の機会に回復する性質があるので普通は放置され回復を待つ。そして転流失敗が継続する場合には初めて故障極を一時ブロックする。

直流回路の保護としては過電流検出によって故障極をブロックし、接地検出によって交流側シャ断器を開放する。

直流機器の保護は従来の交流機器と同様に温度、油流、ガスリーなどが付けられ、故障機器側の運転極を永久ブロックする。

バルブの補機電源は励磁電流、格子 バイパス 装置、陽極空気 ファン、水銀 ポンプなどに使用されているので、電源故障の場合はただちに運転を停止しなければならない。補機電源の電圧降下の許容限度は定格の 60% までで正常運転が可能である。

8. ラジオ障害

変換装置より発生するラジオ障害としては、

- (1) アーク点弧時にバルブより直接ツク(輻)射される障害波と、
- (2) 屋外開閉所導体に流れる高周波振動電流波によるツク射障害波の二つが考えられる。

(1) のツク射波は建物をシールドすることによって障害を防止できるが、佐久間の場合は民家ごく近傍にあるのでとくに厳重なシールドを行なう必要があった。シールドは建物の内側に鉄板を張る

とか、コンクリート内部に金網を入れる方法で行なった結果、50—60 dB の減衰を得ることができた。(2) の屋外開閉所からのツク射に対しては屋内外の境界で導体に高周波防止装置をおいて屋外開閉所に高周波電流が流れないようにしなければならない。このためコイルとコンデンサの組み合わせによるブロック装置をおき、これをアルミメッシュで構成したシールド室においた。以上の方策を取って結果としては非常により障害防止効果を得ている。現在の所、ラジオ、テレビおよび無線通信などにあたえる障害はない。

9. むすび

佐久間周波数変換所は今年 4 月に機器の据付を終わり、5 月より試運転に入った。試運転は初期の段階においては返還負荷法で実施できるが、大部分は両サイクル系統を連系して、実際に潮流を変換装置に通して行なわなければならない。潮流の確保については各電力会社の積極的な協力を得ることができ、予定どおりのスケジュールを達成できたことは感謝に耐えない。またわが国はもとより、世界でも新しい方式であり、不明の点も多く、途中で設計変更をしたものもあり、試運転の途中において重大な困難に会うことも覚悟していたが、それもなく、ほぼ順調に試運転を 9 月上旬に終わった。変換所は予定より幾分早く 10 月中旬には営業運転に入れるものと思われる。

直流送電は新しい技術であり、今後その応用分野も開けてくるものと思われるが、佐久間周波数変換所の建設と運転によってわが国のこの方面における技術の進歩にいささかなりとも貢献できれば幸いである。とくに三菱電機は主要変圧器をはじめ国内製作機器の主要部分を多数受けもったもので関係者の努力に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 電力中研：両サイクル連系問題委員会報告書 37 年 5 月
- (2) C. Adamson & H. G. Hingorani: High Voltage Direct Current Power Transmission (1960)
- (3) 雑誌 Direct Current (1952)
- (4) Hans Witt Insulation Levels and Corona Phenomena on HVDC Transmission Lines (1961)
- (5) 電気協同研究会 直流送電専門委員会
高電圧直流送電 協同研究、9、5 号
" " 12、1 号
" " 19、6 号

電源開発佐久間周波数変換所 純水冷却設備

塚本昭三*・矢野昌雄*・鈴木一男*・相山英生*

Pure Water Cooling System in Sakuma Converter Station of the Electric Power Development Co.

Itami Works Shōzō TSUKAMOTO・Masao YANO・Kazuo SUZUKI・Teruo AIYAMA

Temperature control is an important problem of a mercury rectifier because its dynamic characteristics are influenced by the temperature of the tank. Especially a high voltage high power converter requires an extremely narrow limitation on the optimum temperature of the cooling water, which is $\pm 1^{\circ}\text{C}$ in the case of Sakuma Converter Station. Moreover, for a high voltage converter, insulation with cooling water poses another problem. To reduce the length of the water insulating pipe and to prevent the contamination of it, cooling water of high purity is a vital requisite. This article reports on the pure water cooling system for a high voltage static frequency changer, briefing the system meeting the demands.

1. ま え が き

この水系は電源開発株式会社佐久間周波数変換所に設置された A. S. E. A. 社製水銀整流器の純水冷却系である。変換容量 250kV, 300 MW というわが国最初の高圧大容量の静止形変換装置が対象である。当社は三菱鉱業高島における直流送電をはじめ電鉄用、工業用など多くの液冷式水銀整流器の実績を有し、これまで蓄積されてきた技術が今回の水系に十分発揮されているといえる。

本来水銀整流器は運転温度として限られた範囲をもっている。冷却装置が温度調整装置と呼ばれるゆえんである。高圧大容量となるほどこの温度範囲は狭くなる。このことは当社も高島の直流送電で経験したことである。今回の水系ではこの範囲は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ である。この点で水系要素の設計、温度検出を含めた制御装置に十分の検討が加えられた。さらに高圧変換装置用水系としては絶縁の問題を解決しなければならない。このため冷却水として高純度の純水が要求され、この点でも水系要素の設計、処理や純水水系についてもいろいろ検討が加えられた。

以下はいろいろの問題を解決した純水冷却系について、その構成、制御運転結果などについて報告する。

2. 水系の仕様

水系は変換装置として運転中のメインバルブおよびバイパスバルブを冷却する主水系と組立後のバルブを化成するとき、あるいはスタンバイの状態にあるバルブを冷却する化成水系および主水系と化成水系に水を補給する補給水系に分類される。主水系はさらに 50 サイクル系と 60 サイクル系の変換装置を対とする 2 群の変換装置に対応して第 1 極主水系と第 2 極主水系に分れている。各主水系はそれぞれメインバルブ 12 タンクとバイパスバルブ 1 タンクの冷却水を提供する。また冷却水として高純度の純水が要求されるため補給水系は原水処理装置をもっている。

各水系に与えられた仕様は次のとおりである。

(1) 主水系

バルブ 冷却水量	30 l/min
メインバルブ 冷却水温度	$32^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
バイパスバルブ 冷却水温度	$40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

(2) 化成水系

化成 バルブ 冷却水量	20 l/min
化成 バルブ 冷却水温度	$32 \sim 80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$

(3) 冷却水質

比抵抗	$10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上
不純物	0.1 ppm 以下
pH	約 7

3. 水系の構成

主水系の概略は図 3.1 に示されている。すなわちポンプ水そう、循環水ポンプ、水冷式再冷却器、電動式 3 方向調整弁、主水系水加熱器、バイパスバルブ水加熱器、イオン交換器からなっている。循環水ポンプを出た水は水冷再冷却器に入るが、変換装置の発生熱量すなわち水温に応じて一部はバイパスされる。さらに水温の低いときは主水系水加熱器で仕様温度に加熱される。バイパスバルブ系に分流する水はさらにバイパスバルブ水加熱器で加熱される。各バルブを出た水は一括してポンプ水そうに帰る。循環中の冷却水の純度を保つため冷却水の一部は三方弁を出た後より分れ、つねにイオン交換器をもつ純化系を通してポンプ水そうに帰る。

ポンプ水そうは水系の最高所にあり膨張タンクを兼ね密閉構造で

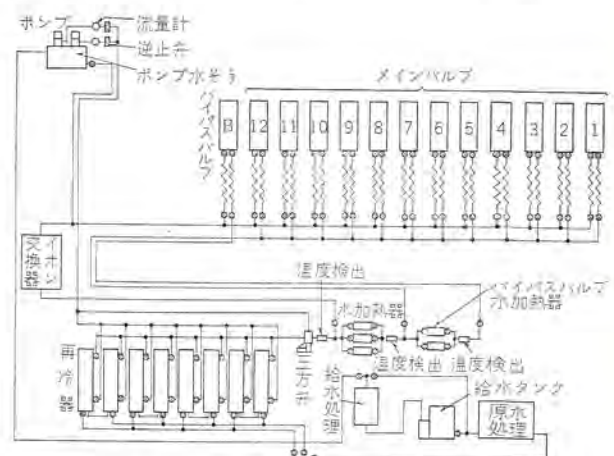


図 3.1 主水系系統図
Fig. 3.1 Schematic of main cooling system.

循環水が空気中のガスを吸収するのを抑制している。循環水量に対し十分な容積をもち水温の急激な変化を緩和している。水系への水の補給はこの水そうから行なわれる。

循環水ポンプは上のポンプ水そうに設けられ、立形で軸は垂直に水面上に導かれ、これにより軸に沿っての漏水を防ぎ、消耗品的な軸封レールは使っていない。ポンプ用電動機は密閉気中、高温気中での運転を考慮してH種絶縁密閉形を採用している。この循環水ポンプは水系に2台設けられ、内1台は常設予備であり、故障時自動的に切り換えられ、循環水の中断が防止されている。

ポンプ水そうにはこのほか水補給制御用に水位計が取り付けられている。この水位計は水そう内の水圧を電氣量に変換するもので、水面の上下の差圧を検出し、密閉構造のため水面の上下により変化する水面上気圧に基づく誤差を防いでいる。水そう内水位は冷却水室の制御盤の計器で表示され、上限、下限で警報される。

再冷器は水-水の熱交換器で各水系ともそれぞれ常用予備をもっている。多管式再冷器で冷却水は冷却管内で再冷器内を往復し、循環水は冷却管外を直交式に流れる。再冷器内部は引き出して洗浄が可能である。今回の再冷器は制御上整流器全発生熱量以上の冷却能力をもっており、したがって整流器が全負荷運転中も循環水はバイパス系に分流することになる。

電動式三方向調整弁（三方弁）は再冷器を通して冷却された冷水と、再冷器をバイパスした温水を混合する混合形で、直流サーボモータで駆動される。この直流サーボモータは後述のようにサイリスタ（シリコン制御整流器）で制御される。サーボモータは軸直結のパイロット発電機をもち、サーボモータの動作速度が制御系にフィードバックされている。三方弁も1台の常用予備が設けられている。

水加熱器はサーキュレーションヒータで2.5kWのステンレスパイプヒータをユニットとしている。変換装置が無負荷のときも循環水温を規定値に保ち、あるいはバイパスバルブ用水温に上昇させるだけの容量にさらに1ユニットの常用予備をもっている。温度制御上ヒータ内流速に制限があり、ヒータケースの断面は制限されている。

常温に近い循環水温の検出にはサーミスタが採用されている。構造上の検討が加えられ、応答速度5秒、検出精度 $\pm 0.5\%$ の仕様が満足されている。検出された水温はトランジスタ式自動平衡形変換器で電圧に変換され制御装置に送られる。85~130%の電源電圧変動に影響されないように直流および交流の定電圧電源を設けている。

循環水温度は30~50°C目盛の水銀温度計でチェックされる。この温度計も構造上の検討を加え、精度、応答速度の向上がはかられている。

イオン交換器はイオン交換樹脂を用いた純水製造装置で、陽イオンと陰イオンの混在したミックス塔が各水系の純化系に設けられている。常設予備が設けられている。樹脂は一定期間で再生される。純化系イオン交換器の出口における水質は $10^7\Omega\cdot\text{cm}$ 以上の比抵抗をもつものである。純化系の分流量は約1%である。水系循環水の水質は制御盤に表示されている。

水系にはさらにリーフバルブが設けられ、いかなるときにも水銀整流器に高い水圧がかからぬよう保護されている。このリーフバルブの動作はフロースイッチで検出される。

以上の構成要素の接水部材料はステンレス鋼であり、また配管材料はステンレスパイプおよび塩化ビニールパイプが採用されている。これは循環水の水質維持を容易にするためである。

化成水系も主水系と同じ構成であるが化成中の高い循環水温を

得るために各化成バルブごとにそれぞれ小循環回路が設けられ、それぞれ単独に手で温度調整されるようになっている。

図3.1に示される原水処理装置は原水を $10^5\Omega\cdot\text{cm}$ 以上の純水にする装置でろ過器とイオン交換器からなる。原水処理装置で処理された水は充水補給装置で $10^7\Omega\cdot\text{cm}$ に精製され各水系に送られる。

4. 水系の制御

水系の運転は循環水ポンプの手動投入のみである。このポンプも故障時は自動的に予備側ポンプに切り換わる。すなわち流量低下、電源トリップにより自動的に切り換わる。運転中のポンプと予備のポンプはそれぞれ独立の流量計をもち、チェックバルブで区分されている。2台のポンプがともに運転不能となったときは整流器側に水系異常の信号が送られ異常に対する処置がとられる。また循環水温が仕様範囲をこえたときも整流器側に水系異常の信号が送られる。各バルブへの冷却水量は水系中の圧力計で規定される。配管抵抗の分布からしてバルブごとに調整しなくても各バルブ冷却水量はだいたい等しく分流している。

5. 温度制御

循環水温はサーミスタで検出され、電圧に変換された後規準値と比較され、その差分に応じて三方弁により再冷器を流れる循環水量が制御され、さらに水加熱器が制御される。これらの制御はともにサイリスタで行なわれる。水温制御に対する外乱は気温の変化と水銀整流器が負荷電流によって発生する熱量の変化で与えられ、後者のほうがはるかに影響は大きい。整流器の発生熱量の変化は整流器の出口における循環水温の変化となって現われるが、前述のようにこの変化はポンプ水そうで大幅に緩和される。

一般に水系の温度制御を考えると水量、流速、熱容量、熱伝達率、変化速度、むだ時間などが問題となる。

メインバルブの温度制御の点からみた水系は図5.1のとおりである。図中の数字は各区間の通過時間である。三方弁出口の温度検出器 D_3 からの信号で三方弁が制御され、水加熱器後の温度検出器 D_1 の信号で水加熱器が制御される。整流器の負荷変化による急な水温変化に対しては三方弁の制御で応答し、室温変化など緩慢な外乱に対しては水加熱器の制御で応じている。水加熱器を制御する温度検出器 D_1 の系では温度設定にある不感帯が設けられ、三方弁と水加熱器の同時制御が避けられている。すなわち設定値より不感帯だけ水温が低下したときに水加熱器は付勢されはじめる。この不感帯はもちろん水温の仕様精度以下でなければならず、今回は 0.3°C に設定されている。

図5.1の水系に対するブロック線図は図5.2のようになる。三方弁および加熱器の制御回路はサイリスタを使用し、ゲインおよび

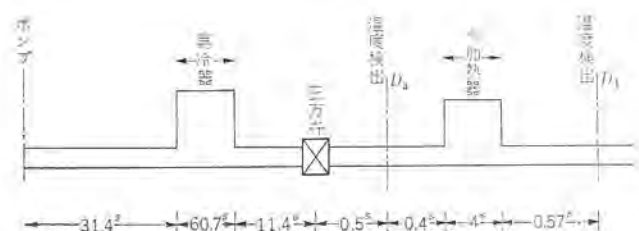


図 5.1 制御上からみた水系図
Fig. 5.1 Diagram of cooling system for temperature control.

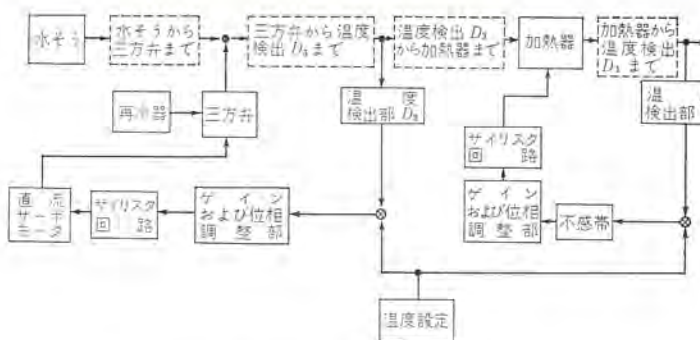


図 5.2 制御系ブロック線図
Fig. 5.2 Block diagram of control system.

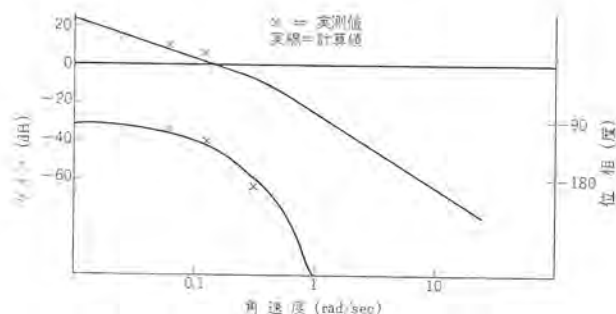


図 5.4 三方弁制御系開路周波数特性
Fig. 5.4 Open loop attenuation characteristics of three way valve control system.

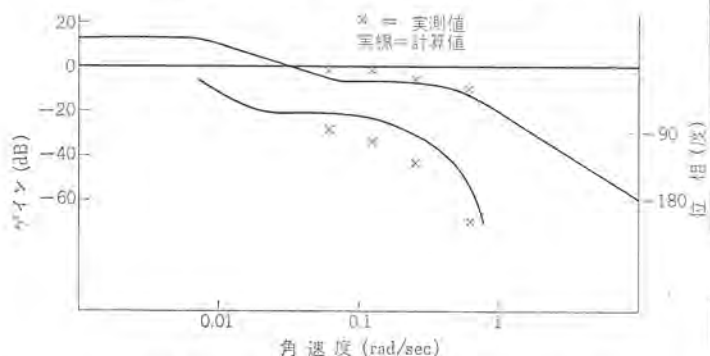


図 5.6 加熱器制御系開路周波数特性
Fig. 5.6 Open loop attenuation characteristics of heater control system.

び位相調整部は トランジスタアンプを採用している。温度検出器 D_2 により三方弁出口水温に応じて三方弁の開度が制御されるが、この系では三方弁の直流サーボモータに直結されたパイロット発電機を用いた速度制御のマイナルーが設けられており温度偏差に応じた速度で三方弁は駆動される。この速度系のマイナルーを設けることにより温度制御系は一次の積分系となり、安定な制御系となり、オフセットもゼロとすることができる。

三方弁駆動回路はサイリスタを逆並列に接続した単相全波整流回路である。検出温度と設定温度は第1段のトランジスタアンプでつき合わされ、偏差は増幅される。増幅された偏差は第2段のトランジスタアンプで三方弁のパイロット発電機の出力電圧とつき合わされてサイリスタのゲート回路の制御信号となる。この偏差の極性により三方弁は開方向または閉方向に駆動される。三方弁制御系のブロック線図は図 5.3 に示され、各常数は表 5.1 に示される。温度制御の周波数領域では速度制御ルーラのゲインは十分大きいのでサーボモータの伝達関数は単に速度フィードバック H の逆数を考

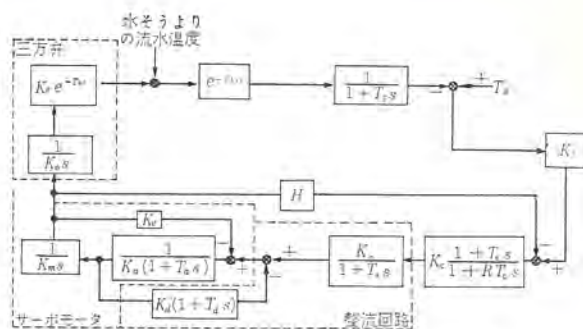


図 5.3 三方弁制御系ブロック線図
Fig. 5.3 Block diagram of three-way-valve control system.

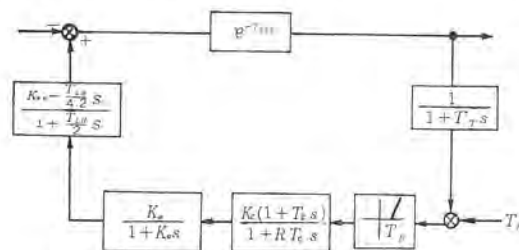


図 5.5 加熱器制御系ブロック線図
Fig. 5.5 Block diagram of water heater control system.

表 5.1 図 5.3 の記号説明

$K\alpha$	移相回路ゲイン	$K\theta$	三方弁・開閉による温度差
$T\alpha$	移相回路時定数	$T\theta$	三方弁・遊び時間
K_d	整流回路レギュレーション	T_{L3}	三方弁から温度検出 D_2 までの通過時間
T_d	整流回路時定数	T_R	サーミスタ時定数
K_a	サーボモータ・レギュレーション	K_I	温度制御系ゲイン調整
T_a	サーボモータ・時定数	K_C	速度制御系ゲイン調整
K_m	サーボモータ・単位化慣性	T_C	速度系位相調整時定数
H	サーボモータ・速度計フィードバック	k	定数
K_v	三方弁・開閉に要する時間		

表 5.2 図 5.5 の記号説明

$K\alpha$	移相回路ゲイン	T_C	時定数
$T\alpha$	移相回路時定数	k	定数
T_{LH}	加熱器内水通過時間	T_d	不感帯
K_r	温度上昇	T_R	サーミスタ時定数
K_C	ゲイン	T_{Lr}	加熱器から温度検出 D_1 までの通過時間

えればよい。三方弁は 40 秒で全開と全閉間の全ストロークを動くが、弁の開閉には遊びがある。三方弁より温度検出器 D_2 までの水の通過時間は 0.5 秒でこれはむだ時間となる。サーミスタ検出器は 2.2 秒の一次遅れをもっている。速度制御系のマイナルーもアンプでゲインおよび位相の調整が行なわれ、クロスオーバー周波数 0.8c/s, -20 dB/decade の傾斜となっている。三方弁制御系の周波数特性は図 5.4 のようになる。ゲイン余裕は約 8 dB, 位相余裕約 50 度である。系のゲインは 0.14/sec. 最大の外乱に対しても 0.09°C の偏差で追従することができる。

加熱器制御回路はサイリスタとダイオードを逆並列接続して各相にそう入した三相交流制御で、比例制御であるがゲインをあげるため位相遅れ回路を付加している。ブロック線図は図 5.5 に示すとおりである。定数は表 5.2 に示されている。このとき加熱量に対する水温変化の伝達関数は、水の加熱器内通過時間を T_{LH} 発熱量に対する水の温度上昇の割合を K_r とすると次式で与えられる。

$$\frac{K_r}{1 + \frac{1}{2} T_{LH} s} e^{-\frac{T_{LH} s}{4.2}}$$

整流回路は単なるむだ時間でなく、サンプリングホールディング系と考えられ 0.008 s の遅れ回路とみなすことができる。この制御系の開路周波数特性は図 5.6 に示される。計算値と実測値に約 30 度の位相差がみられるが、これは加熱器の伝達関数の計算値と実際値の差によるものと思われる。ゲイン余裕 約 12 dB、位相余裕は約 10 度であるが、加熱器は気温変化など緩慢な外乱を補償すればよいからこの程度で十分と考える。このことは現地運転で確認されている。

6. 運転結果

昭和 39 年 8 月、工場において総合組合試験を行ない、9 月いっぱい現地据え付けを実施、引き続き パルプ の化成に入り、本年 4 月以降行なわれていた変換装置の運転試験も終了、9 月に水系の最終整備が行なわれ、以後本格的運転に入っている。図 6.1 は工場試験の状況である。

工場試験あるいは現地試験での最大の試験項目は循環水の純度維持と、温度制御であった。

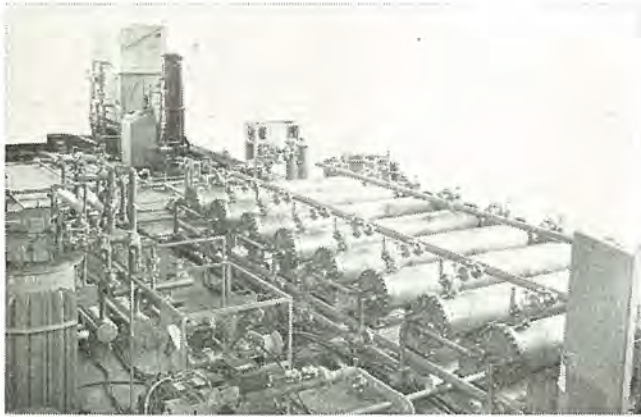


図 6.1 工場試験状況
Fig. 6.1 View of testing plant in factory.

6.1 循環水純度

高圧整流器を大地から絶縁するため循環水は $10^6 \Omega\text{-cm}$ 以上の比抵抗をもつことが要求され、また絶縁水管の汚損を防止するためにも高度の純水であることが必要である。このため水系にはイオン交換器をもつ純化系が設けられているが、イオン交換器の容量、寿命は水系、構成要素の設計、処理により支配される。このため接水部には耐食性の強いステンレス鋼および塩化ビニールパイプが使用され、水系の洗浄に十分な注意が払われた。すなわち各ステンレス鋼製部品は工場で十分な処理、洗浄が行なわれ、現地据え付け、配管に際しても大容量の水処理装置を仮設してユニットごとに十分な洗浄を行なった。このため全水系完成後充水時全水系の最終総合洗浄を行なったが図 6.2 に示すとおり短時間に高純度に達することができた。その後の運転中も循環水比抵抗は余裕をもって $5 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$ 以上に維持されており、イオン交換器の出口水比抵抗は 3 か月以上にわたり $10^7 \Omega\text{-cm}$ が得られている。

6.2 温度制御

現地水系完成後いろいろの試験が行なわれた。図 6.3、6.4 は設定のステップ変化に対する応答を示している。図 6.3 は三方弁制御系で設定をステップ状に変化したときの水温、アンパ出力、三方弁の動作を示している。図 6.4 は加熱器制御系の特性を示している。その後いろいろの負荷での変換装置の試験が行なわれてい

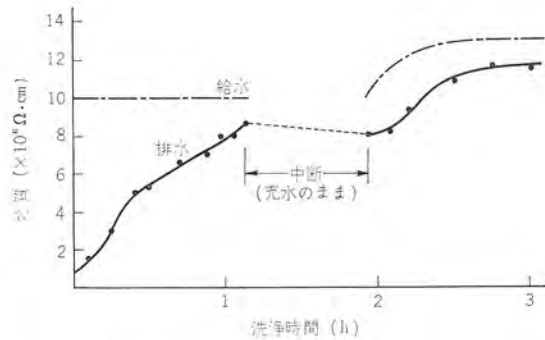


図 6.2 洗浄結果
Fig. 6.2 Washing-performance of cooling system.

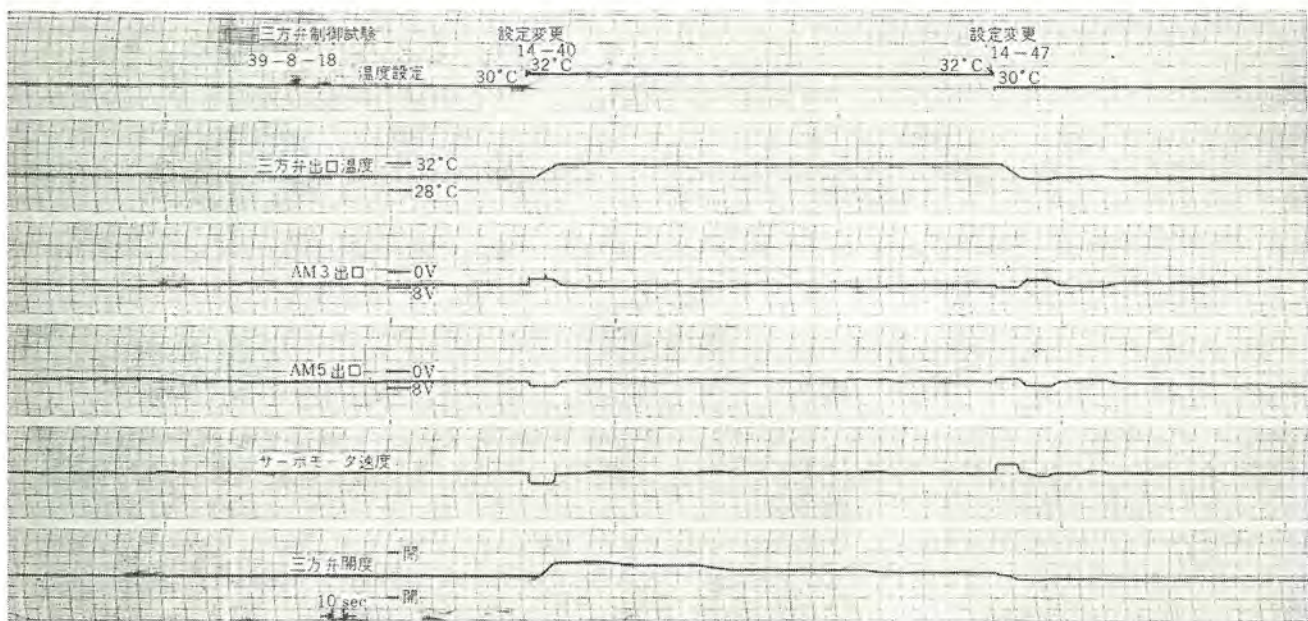


図 6.3 三方弁制御系試験結果
Fig. 6.3 Test results of three-way-valve control system.

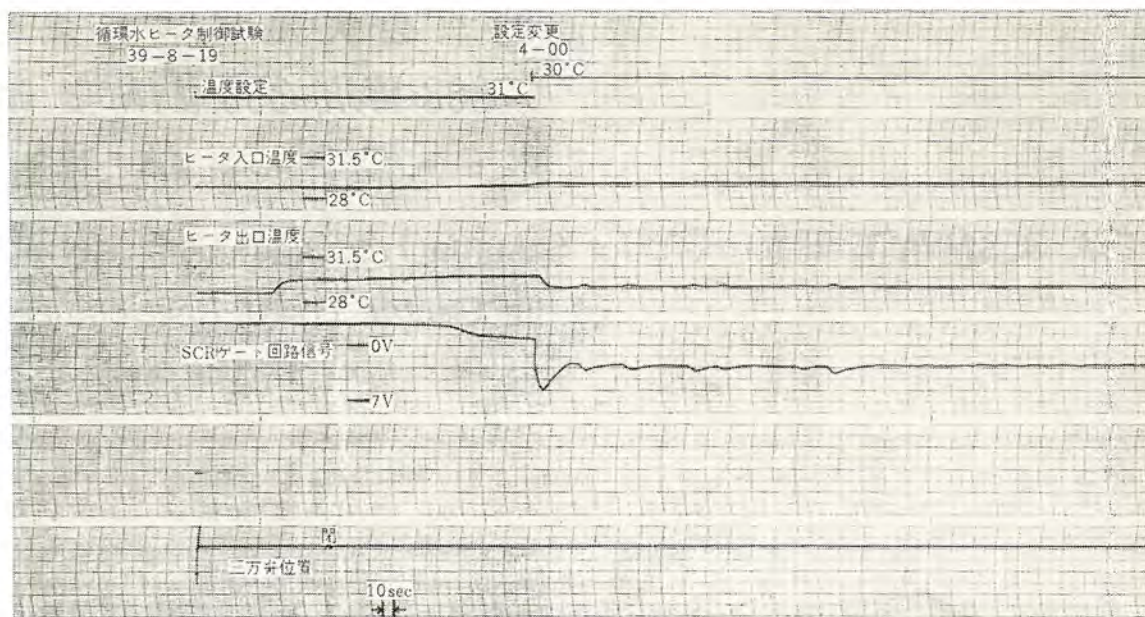


図 6.4 加熱器制御系試験結果 Fig. 6.4 Test results of heater control system.

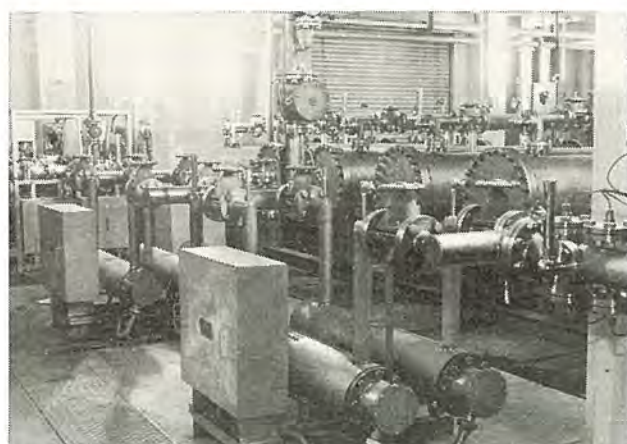


図 6.5 冷却水室の状況 Fig. 6.5 Partial view of pure-water cooling equipment room.

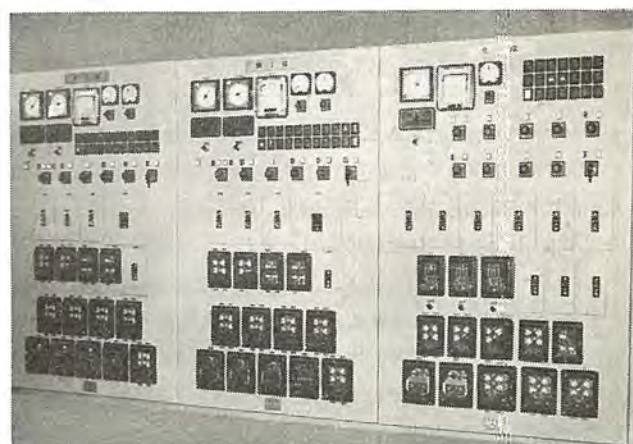


図 6.6 制御盤 Fig. 6.6 Control cubicles.

たが水系は十分仕様を満足している。図 6.5 は現地状況、図 6.6 は制御盤外観である。

7. む す び

以上佐久間周波数変換所の純水冷却系の構成、制御について簡単に報告した。わが国としては画期的な高圧大容量静止形周波数変換装置の純水冷却系を担当し貴重な経験であった。従来から製

作していた工業用あるいは電鉄用水銀整流器用冷却水系よりさらに高度の仕様で、設計、試験、調整の段階でいろいろの問題を生じたが各方面のご指導、ご協力で所期の目的を達成したものと考えている。終始ご指導いただいた電源開発株式会社の関係各位に厚くお礼申し上げます。終わりにこの水系の部品の製作に絶大な協力をいただいた各外注製作会社にこの稿をかりてお礼申し上げます。

電源開発佐久間周波数変換所 368 MVA, 353 MVA 変圧器

田村良平*・坂田邦寿*

368 MVA, 353 MVA Transformers for Sakuma Frequency Converter Station of the Electric Power Development Co.

Itami Works Ryōhei TAMURA・Kunikazu SAKATA

In 1958 3,000 kW 20 kV DC transmission equipment was manufactured by Mitsubishi and supplied to connect Kyūshū Takero Substation to Futago Substation of the Mitsubishi Mining Co. Takashima mine. Only actual results of commercial operation with regard to DC transmission were made available there. But it is a matter of regret that the engineering achievement on the DC transmission has been left, neglected since then. In the meantime increase of recent power demand has come to dictate the tying of the power systems of different frequency from the viewpoint of the business operation in a broad range. This has resulted in the installation of frequency converters by the Electric Power Development Company at the site of Sakuma. Transformers to be used for the purpose have been manufactured by Mitsubishi, being of unparalleled capacity in the world.

1. ま え が き

1954年にスウェーデン、A.S.E.A社によってゴットランド島と本土間に20 MW, 100 kV 直流送電が開始されて以来10年以上経過したが、この間直流送電の特長、利点、経済性をいかに生かすかの研究が欧州大陸を主体に続けられてきた。

この間、直流送電の送電能力、直流電圧はしだいに増大してきており、本年当初営業運転に入ると報ぜられるニュージーランド系統では600 MW, ± 250 kVに達し、また最近実施計画の決定を見た米国太平洋南北連系では実に1,350 MW, ± 375 kVにも及ぶものと報告されている。

ひるがえってわが国内の状況を見るに、一時うわさにのぼった離島開発としての屋久島計画は影をひそめ、ただ営業実績として当社が行なった高島直流送電⁽¹⁾ 3,000 kW 20 kVがあるのみであるが、これも試験送電にとどまったにすぎなかった。しかしながら国内需要の急速な発展に伴い、電力系統の広域運営という観点から異周波系統の直接連系についての検討は依然続けられ、ついに電源開発株式会社により佐久間発電所に近接して300 MW, 2×125 kV 佐久間周波数変換所建設が決定されると同時に、当社はその主変圧器を製作することに決定した。

佐久間周波数変換所納め変圧器は整流器用変圧器として、容量、電圧ともに国内はもちろん国外にもその例を見ないものであり、その設計、製作にあたってはまず、A.S.E.A社におもむいて詳細仕様の打ち合わせを行なったことはもちろん、社内においてはいろいろのモデル実験を行なって設計、製作の資料とした。以下完成納入された主変圧器についての特長を述べて大方の参考にする。

2. 仕 様

主変圧器の仕様は表2.1に示すとおりであるが、次の諸点は仕様上とくに変った点である。すなわち、直流巻線定格電圧に対してB.I.Lは2段上の750 kV（一端印加のみ）と指定され、さらに直流電圧耐圧、225 kV 30分印加が仕様されている。これは

表 2.1 主変圧器 定格

		50 c/s 用		60 c/s 用	
形 式		外鉄形特別三相 送油水冷式 MR 形 LRT 付			
電 圧	交流側	275 kV±11%			
	直流側	104 kV(人)	104 kV(△)	108.3 kV(人)	108.3 kV(△)
絶縁階級	交流側	1,050 kV (中性点 200 kV)			
	直流側	750 kV (直流 225 kV 30 min)			
容 量		353 MVA(176.5 MVA×2)		368 MVA(184 MVA×2)	
% ×		13.3		17.9	

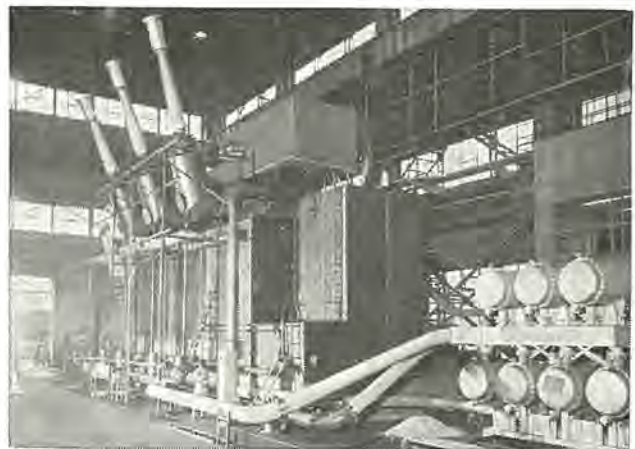


図 2.1 3 ϕ , 60 c/s, 372.5 MVA 主変圧器外観
Fig. 2.1 Special 3 phase 60c/s 372.5 MVA transformer.

整流器回路の動作上、直流巻線の主絶縁にはつねに線間電圧が加圧される（電力用変圧器では常規対地電圧は線間電圧の $1/\sqrt{3}$ ）ことと、整流回路の転流現象あるいはアーチ切れ時の巻線に誘起される電圧が電力用変圧器に比べかなり過酷なためと考えられる。また直流巻線のインパルス試験が一端印加のみになっているのもサージ的異常電圧の侵入について3線一括のケースを考慮する必要がないと判断したことによる。

また50, 60 c/sを問わず直流出力電圧は同一であるにもかかわらず% $\times$ が異なるのは佐久間周波数変換所に連系される佐久間

東西幹線の $\% \times$ の差異を主変圧器の $\% \times$ で調整したものである。

直流電圧の調整のためと、275 kV 側電圧変動に対応するためには負荷時電圧調整器付となっているが、交流巻線中性点側にタップコイルを設けて直接切換とする方式とし、負荷時タップ切換器は、MR 形 F-1200A 用を採用、後述する巻線の都合上一相 2 極計 6 台を使用している。

また主変圧器は騒音対策の都合上屋内設置であるため、建家寸法縮小をはかる必要があり交流側のみエレファント式を採用した。

3. 変圧器設計上の特長

超高压、大容量器であると同時に、整流器用変圧器としての性能も兼ね備える必要があり、従来国内における整流器用変圧器の容量が高々 20 MVA 程度であったことを考えるとこの変圧器の設計、製作はこの点で一大革新であった。

そのため設計、工作、材料の面でも多大の苦心をはらった。以下具体的に変圧器のいろいろな特長について述べる。

3.1 絶縁構成

図 3.1 (b) に示す絶縁構成は従来の超高压、大容量外鉄形変圧器の標準的なものであるが、今回の場合は同図 (a) に示すような鼓形配置を採用し、直流巻線を高压交流巻線の中央にはさみ込む方式とした。この特長としては交直流巻線間、交流巻線接地群一鉄心間のいわゆる主絶縁寸法の総和が標準構造の同図 (b) の場合に比べて 70% 程度まで小さくすることが可能となり、また交流巻線路端近傍の電界集中は標準構造の場合に比べてはるかに総和され、事実線路端主絶縁寸法も標準構造のときの 85% にまで縮小が可能となった。

また直流巻線を交流巻線間にはめ込んだことは直流巻線一大地内の静電容量を小さくすることができ、ダンピング回路そのほかの直流回路の設計に好都合な結果をもたらすこととなった。

これら特長は外鉄形変圧器の設計の自由度がきわめて高いことを示すもので注目値する。

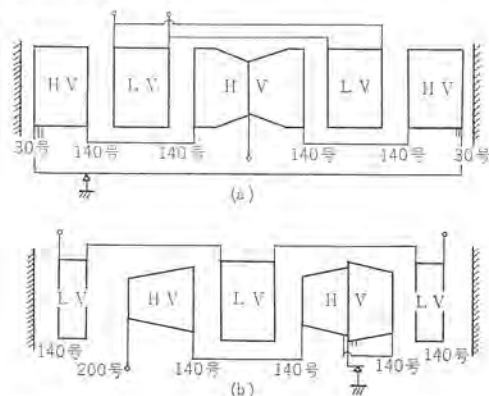


図 3.1 コイル配置 Fig. 3.1 Coil arrangement.

3.2 巻線配置と鉄心構造

当初変圧器は 60 c/s 用 184 MVA 2 台、50 c/s 用 176.5 MVA 2 台計 4 台で計画されたものであるが、変換所敷地が非常にせまいので、主変圧器の据付面積を少なくすると同時に、交流側結線を簡素化すること、変圧器自体の経済性をはかるために最終的には 50、60 c/s 用それぞれ 1 台とすることになった。

ここで問題は整流回路の相数であるが、一般に整流器用変圧器の交流側線路電流は γ 形波状をなし、電力回路の正弦波形とは大

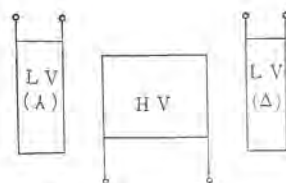


図 3.2 コイル配置
Fig. 3.2
Coil arrangement.

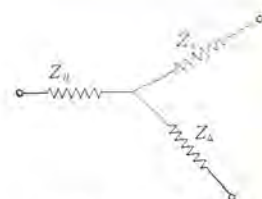


図 3.3 等価回路
Fig. 3.3
Equivalent network.

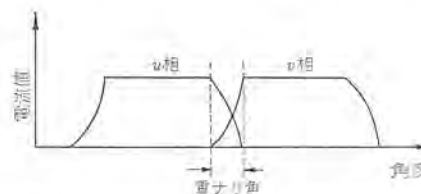


図 3.4 転流説明図 (u, v 相間転流)
Fig. 3.4 Current wave form of rectifier.

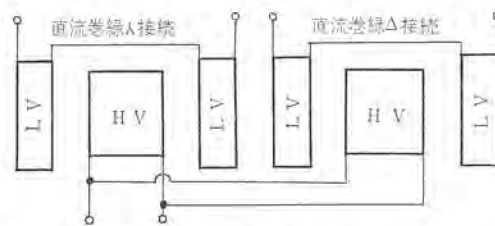


図 3.5 コイル配置 Fig. 3.5 Coil arrangement.

幅に異なるが、整流回路の相数がふえるほどますます正弦波に近づいて行くことになる。このため佐久間周波数変換所でもいわゆる組み合わせ 12 相方式が採用されている。

すなわち主変圧器の直流巻線をそれぞれ λ , Δ 結線とする必要がある。今普通の鉄心構造で図 3.2 のような巻線配置をしたとすると、これは 3 巻線変圧器であるから各巻線のインピーダンスは図 3.3 のような等価回路で表わすことができる。

ここで整流器が転流を起こす場合を考える。整流器の転流というのは図 3.4 のように今まで通電していた整流器はしだいに電流を減じ、次の整流器は逆に電流を増加して行く。この電流増減を物理的に考えると電流の変化は変圧器のリアクタンスのために、ある一定値から瞬間的に 0 値に、また 0 値からある一定値に飛躍することができない。すなわちこの転流期間中のみ変圧器のリアクタンスが整流回路にいろいろな意義をもってくることになる。(こういう意味から整流器用変圧器では電力用変圧器のリアクタンスと別の呼び方をしているが、これがすなわち転流リアクタンスと考えればよい。)

今上述のように λ 巻線が転流した場合 $Z_H \approx 0$ であれば Δ 巻線は転流していなくても、 λ 巻線の転流時の電流により電圧変動を受ける。 Z_H が負であれば Δ 巻線電圧は無負荷電圧より大きくなり、 Z_H が正であれば逆に無負荷電圧より小となる。電圧変動がまったくないようにするためには $Z_H = 0$ の条件が満足されればよい。このため変圧器の巻線は図 3.5 に示すような配置として、 λ , Δ 群間に磁気シャハイを行なった。これは原理的には下式で示すように、 λ , Δ 直流巻線間のインピーダンスを、各群交直流巻線間インピーダンスの総和に等しくしたことで、分離された交流巻線のインピーダンスを 0 にしたことにはかならない。

$$Z_1 = \frac{Z_{12} + Z_{13} - Z_{23}}{2}$$

ここで $Z_{12}=Z_{13} \therefore Z_{12}+Z_{13}=2Z_{12}$
 また各群の直流巻線間には直接的電磁結合がないので
 $Z_{23}=2Z_{12}=2Z_{13}$
 $\therefore Z_1=0$

ただし Z_1 : 分離された交流巻線 インピーダンス
 Z_{12}, Z_{13} : 人, Δ 群の交直流巻線間 インピーダンス
 Z_{23} : 人, Δ 群の直線巻線間 インピーダンス

なお上記磁気シナヘイ用鉄心は主磁束に対しては考慮する必要がなく漏れ磁束に対してのみ寸法を決定すればよい。したがって2台の変圧器を同一タンクに納めた場合に比べて重量、寸法とも小さくて済みそれだけ経済的となった。

3.3 直流励磁⁽²⁾

電力用変圧器と異なり変圧器直流巻線を流れる電流は正弦波とは異なり図3.6のような波形をしている。この場合各サイクルにおける通電期間、最大値などは変圧器に接続される整流器の特性、すなわちアークドロップ、点弧位相の不ぞろいのために不平衡になることがあり、また整流器用変圧器の直流巻線が整流器を通して直列に接続されて、しかも直流側相数が組み合わせ12相(たとえば6相を30度ずらして全体で12相としたような場合)のような場合で脈動電流があるときには変圧器直流巻線電流の1サイクル平均値中には数A程度の直流電流を含むことになる。すなわち直流電流のために変圧器鉄心は直流励磁を受けることになる。この場合の現象は次のように考えることができる。

図3.7のような単相整流回路の電流をそれぞれ i_p, i_{sr}, i_m とする。このときの電流は次のように表わすことができる。

$$i_s = I_s + i_{sr} \quad i_m = I_m + i_{mr} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$i_p = i_s + i_m = I_s + I_m + i_{sr} + i_{mr} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ただし、 i_{sr}, i_{mr} : 直流巻線電流励磁電流中の交流分
 I_s, I_m : " " の直流分

しかしながら整流器用変圧器の交流側にはかならず“交流条件(電流の一周期平均値が0となる)”が成立しなければならない。この交流条件のために式(3.2)中の I_s, I_m 間には次の関係が成立する。

$$I_s = -I_m \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

すなわち励磁電流は直流分を含むことになり、その極性は直流巻線電流中に含まれる直流分と逆方向で大きさが相等しいことに

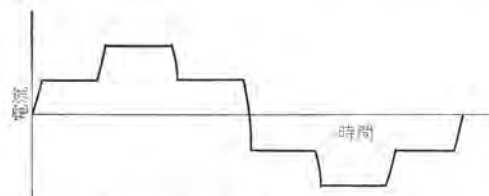


図 3.6 直流巻線電流波形 (三角接続)
 Fig. 3.6 Current wave form of DC winding.

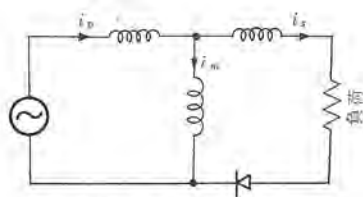


図 3.7 単相整流等価回路
 Fig. 3.7 Single phase rectifying equivalent circuit.

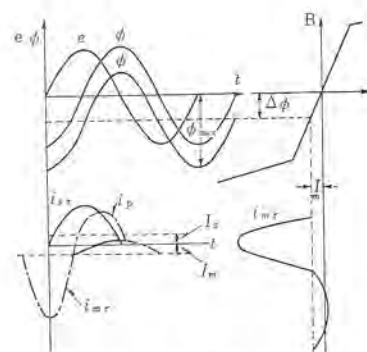


図 3.8 直流励磁を受けた場合の電流波形
 Fig. 3.8 Current wave at DC excitation.

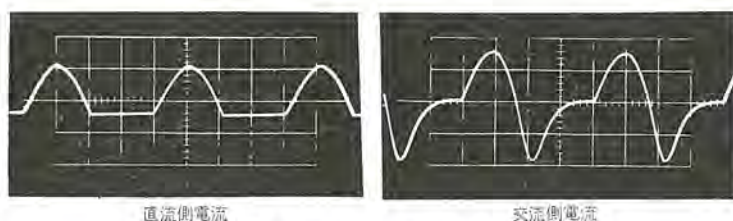


図 3.9 オシログラム波形
 Fig. 3.9 Oscillogram at DC excitation.

なる。これらの関係を図3.8に示す。整流器用変圧器の交流側電流は図中の i_p で示すように直流巻線電流、励磁電流の交流分の和となり、大きく変わいするが、1周期の平均値は0となる。このときの鉄心中の磁束を考えて見るに、上述のように励磁電流中の直流分が整流器用変圧器直流巻線の直流分と等しくなるまで磁束の最大値は一方に 4ϕ だけ変わいし、同図中の ϕ_{max} で示されるものになり、直流励磁を受けないときに比べて 4ϕ だけ大きくなることが分る。(磁束密度も ϕ_{max} に相当する値となる)

これがすなわち鉄心の直流励磁である。図3.9は1 ϕ 2kVA変圧器を使用して半波整流を行なって直流励磁した場合の電流波形を $\omega t = 0$ に取ったものの一例であるが、図の i_p の波形ときわめてよく一致していることがわかる。

上述のようにして直流励磁現象が明らかになったので、電子計算機 IBM 7090 を用いて直流励磁した場合の磁束密度の増加を計算した。概略を述べると、周波数、電圧、巻数、鉄心磁路長、同断面積、使用鉄心の磁束密度—励磁電流特性などを INPUT, DATA として変圧器の B-H 曲線、印加電圧による磁束密度の振動曲線(時間曲線)を計算させ、これら二つの曲線よりさきに述べた“励磁電流の平均値と直流巻線電流の直流分とが等しくなるよう”に図3.10の鉄心動作点 ϕ を決定させて、鉄心が直流励磁を受けた場合の磁束の増加を求めた。そしてこの計算結果と2kVA変圧器を用いた実験での磁束密度の増加を比較したが、きわめてよく一致していることが証明され、佐久間納め変圧器の有効なる手がかりとすることができた。

3.4 安定巻線の省略

中性点直接々地系の人/人結線変圧器では第3調波電流の系統への流出を防止するために、変圧器に三次 Δ 巻線を付加するか、人/ Δ に結線した接地変圧器を使うかの二つの方法が一般的な方法である。

鉄心構造の項で述べたように佐久間納め変圧器では人/人側に

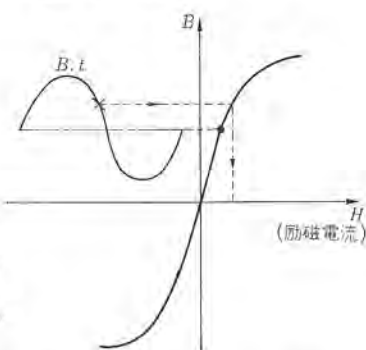


図 3.10 動作点決定説明図
 Fig. 3.10 How to decide the working point of core.

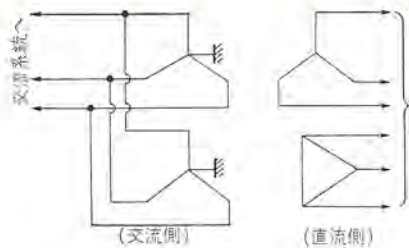


図 3.11 変圧器の接続
Fig. 3.1 Connection diagram.

三次△巻線を省略している。これは人/△側変圧器を前述の人/△接地変圧器と同じ作用を行なわせて、人/人側に三次△巻線を省略したものにはかならない。

今このように人/人、人/△変圧器が接続されたときの第3調波電流の問題がいかなるかを簡単に説明する。

図 3.11 は変圧器の接続を示すものであり、図 3.12 は第3調波電流に対する等価回路を示すものである。図中 S で示したものはすべて第3調波電流発生源であり、これは変圧器鉄心中の磁束に起因するものと考えてよい。

図 3.12 (a) は人/人変圧器の第3調波電流が線路、電源の零相インピーダンスを示し、線路へ流出する第3調波電流 $I_{e\lambda}$ は次のようになる。

$$I_{e\lambda} = \frac{Z_{\Delta}}{Z_{g0} + Z_{e0} + Z_{\Delta}} I_{\lambda}$$

ただし、 Z_{g0} , Z_{e0} , Z_{Δ} : 電源、線路、人/△変圧器の零相インピーダンス

I_{λ} : 人/人変圧器の発生する第3調波電流

また、図 3.12 (b) は人/△変圧器が発生する第3調波電流が、交流巻線、線路、電源より成る零相インピーダンスと△直流巻線の零相インピーダンスに分流することを示し、線路へ流出する第3調波電流 $I_{e\Delta}$ は次のようになる。

$$I_{e\Delta} = \frac{Z_{\Delta 2}}{Z_{g0} + Z_{e0} + Z_{\Delta 1} + Z_{\Delta 2}} I_{\Delta}$$

ただし、 $Z_{\Delta 1}$, $Z_{\Delta 2}$: 交流、直流巻線に分離された零相インピーダンス

I_{Δ} : 人/△変圧器の発生する第3調波電流

結局線路へ流出する第3調波電流は $(I_{e\lambda} + I_{e\Delta})$ となる。

次に人/人変圧器の代わりに人/人/△変圧器を設置したとして、人/△変圧器と並列運転した場合の等価回路を考えると図 3.13 のようになる。図 3.13(a) から次のように考えることができる。すなわち、人/人/△変圧器の第3調波電流は、それぞれ電源、線路、人/△変圧器および人/人/△変圧器の交流巻線の零相インピーダンスの合成値と、人/人/△変圧器の三次巻線の零相インピーダンスにより分流し、この間線路へ流出する分はさらに電源、線路の零相インピーダンスの合成値と交流巻線、人/△変圧器の零相インピーダンスの合成値により分流されたものとなり、線路電流を $I_{e\lambda'}$ とすると、

$$I_{e\lambda'} = \frac{Z_T}{\left\{ \frac{Z_{\Delta}(Z_{g0} + Z_{e0})}{Z_{g0} + Z_{e0} + Z_{\Delta}} + Z_H \right\} + Z_T} I_{\lambda'}$$

ただし、 Z_H , Z_T : 3巻線変圧器として交流巻線、三次巻線に分離された零相インピーダンス

$I_{\lambda'}$: 人/人/△変圧器の発生する第3調波電流

同様に図 3.13 (b) から次のように考えることができる。人/△変圧器の第3調波電流はそれぞれ電源、線路、人/人/△変圧器および人/△変圧器の交流巻線の零相インピーダンスの合成値と、

図 3.12 第3調波電流に対する等価回路 (人/人、人/△の組合せ)
Fig. 3.12 Equivalent circuit for the 3rd harmonics.

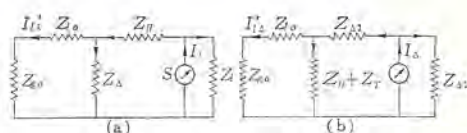


図 3.13 第3調波電流に対する等価回路 (人/人/△、人/△の組合せ)
Fig. 3.13 Equivalent circuit for the 3rd harmonics.

人/△変圧器の直流巻線の零相インピーダンスにより分流し、この間線路へ流出する分はさらに電源、線路の零相インピーダンスの合成値と、人/人/△変圧器の零相インピーダンスにより分流されたものとなる。このときの線路流出分を $I_{e\Delta}$ とすると、

$$I_{e\Delta'} = \frac{Z_H + Z_T}{Z_{g0} + Z_{e0} + Z_H + Z_T} \times \left\{ \frac{Z_{\Delta 2}}{(Z_{g0} + Z_{e0})(Z_H + Z_T) + Z_{\Delta 1}} + Z_{\Delta 2} \right\} I_{\Delta}$$

この場合、線路へ流出する第3調波電流は $(I_{e\lambda'} + I_{e\Delta'})$ となる。以上述べた第3調波流出の現象、ならびに計算式はすべて単相変圧器を三相結線としてモデル回路により、その妥当性を確認した。これ等の結果に基づき佐久間実系統ならびに主変圧器の実際の値を用いて $(I_{e\lambda} + I_{e\Delta})$, $(I_{e\lambda'} + I_{e\Delta'})$ を計算し、直流出力 300 MW 時の含有率を比較すると、前者の場合 0.02% 大きくなるだけでいい人/人/△、3巻線とする必要がないことが明らかとなった。

なお、もし人/人/△3巻線変圧器を採用することになれば、系統地絡事故時の機械力を考慮して三次△巻線容量も交流値容量の 30% 程度必要となるが、今回は三次巻線を設けないことにしたので、それだけ変圧器重量は経済的になったことになる。

3.5 機械力の問題

従来から整流器用変圧器は電力用変圧器に比べて短絡機械力の点ではるかに過酷な状態にさらされるといわれている。これは組み合わされる整流器の種類にもよるもので、たとえば水銀整流器の場合には逆弧現象を起こし、変圧器にとっては直流巻線短絡とまったく同じ条件にさらされる。高圧回路の水銀整流器になるほどの逆弧の回数も多くなり、電力用変圧器の三相短絡、地絡故障などの事故回数に比べて比較にならないほどの確率を覚悟しなければならない。また、整流器逆弧時の巻線電流波形は図 3.14 に一例を示すように直流分の減衰がなく、逆弧整流器が回路から切り離されるまで継続し、普通電力用変圧器の短絡時に見られるような電流波形の減衰が見られない。このことは電力用変圧器の短絡機械力が第1波々高値によって決定されるのに比べ、整流器用変圧器では繰り返し同じ機械力に耐えなければならないことになる。また、直流巻線を通れる逆弧電流の最大値は次式で示される。

$$i = k I_c = k \frac{E_s}{Z_c}$$

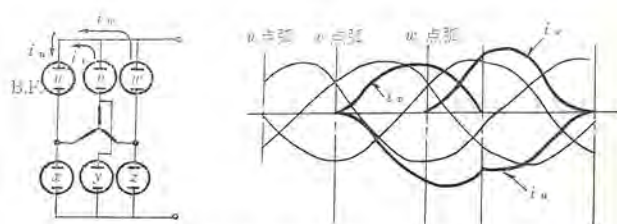


図 3.14 逆弧電流波形
Fig. 3.14 Back-fire current wave form.



図 3.15 1,000 kVA モデル変圧器
Fig. 3.15 1,000kVA model transformer.

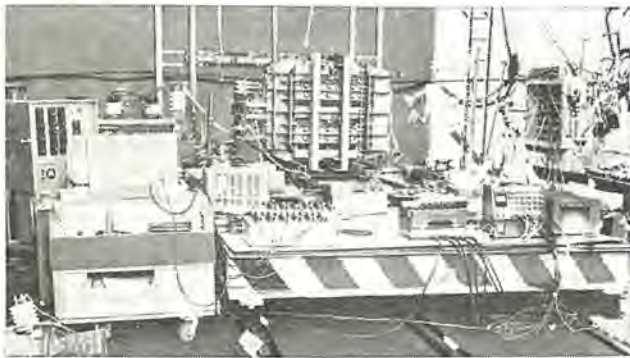


図 3.16 モデル変圧器 AC 短絡試験
Fig. 3.16 AC short circuit test of model transformer.

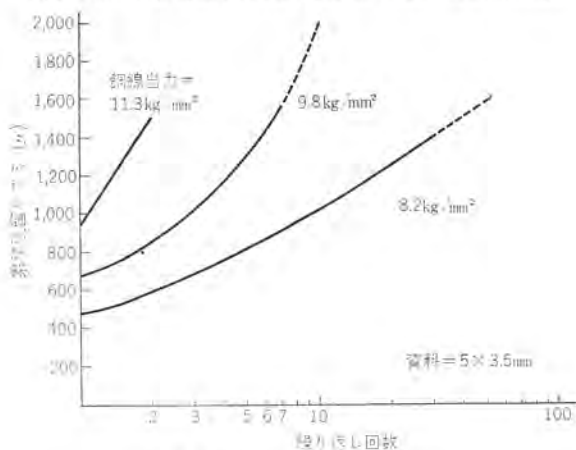


図 3.17 銅線の動的特性
Fig. 3.17 Dynamic characteristics of copperwire.

i : 巻線を通る逆弧電流の最大値
 k : 定数 {逆弧の継続時間、ならびに(直流巻線に換算された抵抗分 R_s /直流巻線に換算されたリアクタンス X_s) により決まる}
 I_e : 三相短絡電流
 E_s : 直流巻線相電圧
 Z_e : 直流巻線相電圧 1 相に換算された系統の正相インピーダンス
 k の値は $R_s \times S=0$ でも 3.2 程度となり、電力用変圧器の三相短絡よりも過酷となる。

このような機械力の問題に対してわれわれはモデル変圧器を製作して主方向、垂直方向機械力の大きさの測定⁽⁴⁾⁽⁵⁾を行なうと同時に、抵抗紙模擬、ならびに電子計算機⁽⁶⁾による計算結果とのつき合わせを行なう、各コイルに働く主方向、垂直方向機械力の

精密計算の方法を確立した。

さらにまた、外鉄形変圧器の U 形コイルの機械的諸特性を単なる直線ハリとしてでなく、さらに曲りハリとして取り扱おう方がよい実測結果と一致すること、またコイルが複導体よりなる場合の応力分布、断面係数の求め方⁽⁷⁾、絶縁材料、とくにラレスボードの静的、動的な応力-ヒズミ曲線の測定、銅線の静的、動的応力-ヒズミ曲線の測定などにより多数の基礎データを得ることができた。

図 3.17 などは、これらデータの中の銅線の動的機械的性質を示す一例であるが、縦軸に累積残留ヒズミを、横軸に銅線に加えられた動加重の繰返し回数を示す。このデータより、今もし従来からいわれているように 0.2% の永久ヒズミを与える応力までを銅線の許容限度として、短絡機械力の繰返し回数を仮定すれば、設計上許容されるべき銅線の許容応力の目安をつかむことが可能となり、これに基づいてコイル無支持スパンの大きさを決定した。また、当然のことであるが機械力の考察を行なう場合、高低圧コイル群の磁気中心を一致させることが必要であるが、図 3.1(a) に示すように主変圧器のコイル幅は直流巻線、交流巻線接地群ならびに直流巻線線路群の間、直流巻線に近い方から 3 枚は完全に同一幅として各コイルに働く垂直機械力を 0 に近づけた。

また、タップコイルは交流巻線接地群の鉄心側すなわち A.T 密度極小の点に配置して機械力の発生を防ぐことにした。

3.6 高調波電流に対する漂遊損

直流励磁の項でも述べたように、整流器用変圧器の巻線電流波形は正弦波と異なり、多数の高調波電流を含む。

この高調波電流の次数は概念的に次式で示される。

$$p = nm \pm 1$$

ここで p : 高調波電流の次数

n : 正の整数

m : 整流器回路の相数

佐久間周波数変換器の場合は $m=6$ 相であるから、高調波次数は 5, 7, 11, 13, 17 高調波電流を含むことになり、表 3.1 に高調波電流の次数とその大きさ(直流巻線定格電流に対する %) を示す。

表 3.1 巻線電流中の高調波成分 (%)

	基本波	5th	7th	11th	13th	17th
60 c/s 用	95	17	11	5	3	1
50 c/s 用	94	18	12	6	4	2

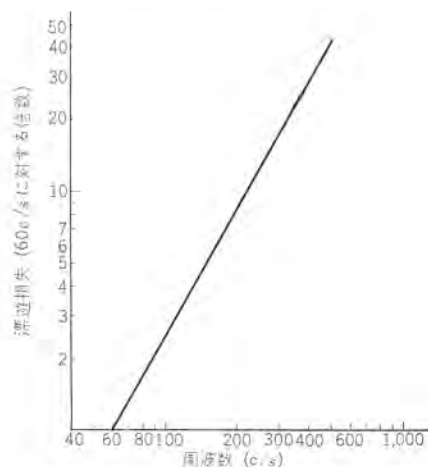


図 3.18 漂遊損-周波数特性
Fig. 3.18 Stray loss-frequency characteristic.

上記のような高調波電流が流れるために、整流器用変圧器として動作中は電力用変圧器と比べて漂遊損が大きくなる。一般にこの漂遊損は周波数の2乗に比例するといわれているが、これらの理論に基づいて佐久間周波数変換器用の漂遊損を一般電力用変圧器と見た場合の漂遊損に対する倍数を計算すると、60 c/s 用で 3.7 倍、50 c/s 用で 3.2 倍となる。この漂遊損の増加の割合は電流密度の採り方、冷却器台数の決定など冷却設計に大きい制限を与えることになるので、予備実験として 125 MVA、330/145 kV 単相単巻変圧器（外鉄形）を用いて漂遊損と周波数の関係を求めたが、この結果によると漂遊損は（周波数）^{1.4}に比例することがわかった。

図 3.18 は製品完成後、佐久間納め 60 c/s 主変圧器を用いて漂遊損と周波数の関係を実測したものであるが、このデータによると、漂遊損は（周波数 1.75）に比例していることがわかる。

3.7 その他

佐久間周波数変換所敷地はきわめてせまく、変換所周辺には民家、公共施設が隣接し、しかも 50 c/s 主変圧器設置位置より 45 m の地点に民家が存在するほどであり、変換所境界線の騒音レベルを 45 ホン程度に抑えるように要求された。このため建設工事施工前に現地でいろいろの音響的試験⁽⁹⁾を行なった。すなわちスピーカより、50 c/s 変圧器の騒音成分に相当する 100, 200, 300, 500, 700 c/s の単純音をそれぞれ発生して距離による減衰特性を実測し、また同じく 100, 300 c/s 単純音を用い残響法により、周囲山腹よりの反射の影響がないことを確認した。これら予備実験により、変圧器建家のシャ音量を設定すると同時に主変圧器の騒音レベルを 73 ホンとすることに決定した。このために主変圧器は二重防音壁構造とし、冷却器は送油水冷式としたが、現地据付後の現地実測結果では十分所期の目的を果すことができた。なお 275 kV 交流側フィルタ回路用リアクトルの冷却器も当社が製作を担当したが、同じような目的から送油自冷式となっている。

主変圧器は 50, 60 c/s とともに外鉄形特別三相式となっているが、変換所全体の補機電源用として 60 c/s 4,500 kVA 275 kV/3.3 kV 所内変圧器は普通三相外鉄形変圧器として製作し、60 c/s 主変圧器の側面に結合付けとして超高圧側ブッシングを省略すると同時に、完全に独立して据え付けた場合に要する断路器、支持ガイシの省略据付面積の縮小にも役立たせている。

4. む す び

A.S.E.A 社との仕様打ち合わせを行なったときから約 2 年の年月を経て、佐久間周波数変換所用変圧器は完成し、現地におけるいろいろの組合せ試験も無事終了して官庁試験を待つのみとなった。

この間現地測定、モデル変圧器による短絡試験による機械力の解明、モデルセットによる回路現象の解明、使用材料の検討など大掛りないろいろの実験を行なって設計資料とした。この間の詳細は、それぞれ学会、文献など機会あるごとに発表してきたのでそれらを参照されることを希望する。

終わりに電源開発株式会社にはとくに製作の機会を与えられたこと、ならびに共同研究会を通じて絶えず技術指導を賜ったことに対し深く感謝の意を表する次第である。

あわせて製作にあたり直接絶えず手伝いだいた広尾前変圧器製造部長、前記の実験、工作を担当された中央研究所、試作研究課、変圧器工作課、変圧器品管課の方々にも深くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 木村：高島一岳路直流送電「試験研究報告書」（昭 33）
- (2) 三宝、坂田、渡辺：変圧器の直流励磁について「電気四学会大会」（昭 39）
- (3) 阿部：直流送電に使用する三相全波回路の逆弧電流値と電流波形「共同研究資料」（昭 38）
- (4) 田村、大谷：外鉄形変圧器短絡強度試験「電気四学会大会」（昭 39）
- (5) 大谷、坂田：整流逆弧による変圧器の短絡方式「電気四学会大会」（昭 40）
- (6) 大谷、渡辺：外鉄形変圧器の電磁力の推定「電気四学会大会」（昭 39）
- (7) 大谷、高橋：コイル複導体の応力測定と解析「電気四学会大会」（昭 40）
- (8) 大谷、高橋、平井：ラレスボードおよび銅線の機械的性質「電気四学会大会」（昭 39）
- (9) 山村：周波数変換所予定地騒音測定について「共同研究資料」（昭 38）

電源開発佐久間周波数変換所 周波数変換装置における異常現象の解析

山田 郁夫*・岡本 公春*

Analysis of Abnormal Phenomena in the Sakuma Frequency Converter of the Electric Power Development Co.

Central Research Laboratory Ikuo YAMADA・Kimiharu OKAMOTO

Numerous abnormal phenomena are involved in high voltage high power frequency converters. Analysis has been made on arc-back short-circuit current and DC excitation of transformer with the Sakuma installation. It is learnt that the current referred to enlarges with the diminution of R/X and of control angle α . It also becomes larger as arc-back producing phase θ_B approaches the spot right after the commutation. By taking R/X , α and θ_B as input and the waveform and magnitude of arc-back current as output, a computing program has been developed. The DC excitation of transformer is considered due to the slip of ripple current of different frequency systems tied, and to irregularity of control angles of forward and reverse of the converter. In the Sakuma installation, the latter predominating and needs its diminution for the prevention of DC excitation.

1. ま え が き

最近高圧大容量の直流送電技術が飛躍的に進歩し、世界の各地において大規模な実用設備が建設され、運転にはいつている。この直流送電技術を使って、世界最大の周波数変換器が佐久間に建設されることになり、当社が主変圧器、保護装置その他の機器の製作を担当することになった。

これら機器の合理的な設計、製作をするにあたり、周波数変換装置の各種異常現象を解析、検討することはきわめて重要なことである。

周波数変換装置の異常現象⁽¹⁾としては、次のようなものがある。

(1) 変換器の故障「逆弧、失弧、通弧、転流失敗、陰極点の消失、スターベーション（アーク電流密度の過大）など」による異常電圧、電流。

(2) 転流現象に伴う電圧、電流の高周波振動。

(3) 運転、制御、保護方式（全電圧起動、負荷の急速シャ断など）による異常電圧。

(4) 直流線路、交流線路の事故（地絡、短絡、断線など）による異常電圧、電流。

(5) そのほか、点弧位相の不ぞろいによる変圧器の直流励磁など。この論文では、逆弧短絡電流および変圧器の直流励磁について、解析した結果を述べる。

1.1 逆弧短絡電流

逆弧短絡電流の大きさや波形を知ることは、変圧器やその保護装置の設計に不可欠であり、古くから模擬装置（200 kW, 300 V という大きなもの⁽²⁾から、15 kW, 200 V という小さなもの⁽¹⁾まで）や、アナログ計算機⁽³⁾を使った解析が行なわれ、また理論的な解析^{(4),(5)}も行なわれている。

今回、逆弧時の短絡回路について微分方程式を解き、回路の抵抗 R と、リアクタンス X の比 R/X 、制御角 α 、および逆弧発生位相を INPUT とし、逆弧電流の大きさ、および波形を OUTPUT とするディジタル計算プログラムを開発したので紹介する。

1.2 変圧器の直流励磁

変圧器が直流励磁を受けると鉄心中の磁束は原点を移動し、結果的には磁束密度が増加したことになり、鉄損の増加、騒音の増大などをきたす⁽⁶⁾。また B-H 曲線上の動作点が移動するため、励磁電流の波形が変わり、第3調波などの高調波の発生が増大し悪影響を及ぼす。

したがってこのような直流送電用変圧器が受ける直流励磁の発生機構については、なんら解析的な検討が行なわれておらず文献もない。

直流励磁の発生原因としては

(1) 順逆変換器の制御角 (α , γ) の不ぞろい、
(2) 異周波系統連係時の直流電流のリップルによる重なり角の変動⁽⁷⁾。

(3) 異周波系統連係時のリップル電流のスリッパ。
などが考えられ、変圧器の各巻線を流れる電流に不平衡が生じて変圧器は直流励磁を受ける。今回 (1) と (3) について解析を試みたので報告する。

2. 逆弧短絡電流

2.1 解 析

図 2.1, 2.2 は解析の基礎となる回路図および電圧-電流の関係を示すものであり、次のようなことを解析の出発点として考えたり、仮定したりした。

(1) 図 2.2 における u , v , w は相電圧波形で、変圧器バルブ側巻線の相電圧を E_s (rms) とする。

(2) バルブ 1 が逆弧したものとする。

(3) R , L は変圧器の抵抗、インダクタンスのみならず、系統のそれらをも含むものとし、各相平衡しているとする。

(4) グレーツ接続の整流器回路においては直流側から流入し、逆弧電流に重畳する直流電流は小さいので無視した。

(5) バルブのアーゴフローは無視した。

(6) $\alpha=0$ のときのバルブ 3 の点弧時を時間の原点に選んだ。

(7) 各バルブの点弧パルスは逆弧時も、正常に出ているものとする。

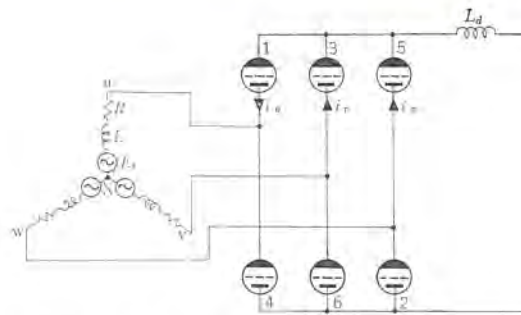


図 2.1 6 相ブレース結線整流器回路
Fig. 2.1 Bridge rectifier circuit.

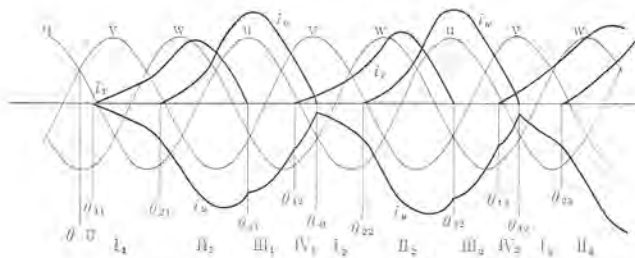


図 2.2 逆弧時の電圧と電流
Fig. 2.2 Voltage and current during arc-back.

(8) θ_{11} で逆弧が始まり、パルズ 3 から 1 に逆弧電流が流入する。パルズ 5 が点弧する θ_{21} まで、この状態が続く。これをインターバル I とする。

(9) θ_{21} でパルズ 5 が点弧し、パルズ 3 と 5 から 1 に逆弧電流が流入する。パルズ 3 が消弧する θ_{31} までこの状態が続く。これをインターバル II とする。

(10) θ_{31} でパルズ 3 が消弧し、パルズ 5 だけから 1 に逆弧電流が流入する。パルズ 5 が消弧する θ_{41} までこの状態が続く。これをインターバル III とする。

(11) もしパルズ 5 が通電している期間中に、パルズ 3 が点弧すると、パルズ 5 と 3 から 1 に逆弧電流を供給する。この状態はパルズ 5 が消弧する θ_{41} まで続く。これをインターバル IV とする。この状態が存在する場合には、インターバル III はパルズ 3 が点弧する θ_{12} で終了する。

第 2 サイクル目以後もどのように、各インターバルを定義することができ、逆弧短絡電流が流れているパルズがどれであるかによって、第 n サイクル目の各インターバルが決定される。

2.1.1 回路方程式

(1) インターバル I_n

図 2.1 の回路：パルズ 1—u—N—v—パルズ 3—パルズ 1 について、次の微分方程式が導かれる。

$$L \left(\frac{di_u}{dt} + \frac{di_v}{dt} \right) + R(i_u + i_v) = \sqrt{2} E_s \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) - \sqrt{2} E_s \sin \left(\omega t + \frac{5\pi}{6} \right) \quad (2.1)$$

$$\text{また } i_u = i_v \quad (2.2)$$

式 (2.2) を式 (2.1) に代入して、整理すると

$$L \frac{di_u}{dt} + Ri_u = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_s \sin \omega t \quad (2.3)$$

第 n サイクル目の初期条件 $[\theta = \theta_{4(n-1)}, i_{u1} = i_{u4(n-1)}]$ を代入して解くと、次式を得る。

$$i_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{E_s}{z} \left[\sin(\theta - \varphi) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{4(n-1)})} \times \sin \{ \theta_{4(n-1)} - \varphi \} \right]$$

$$+ i_{u4(n-1)} \times \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{4(n-1)})} \quad (2.4)$$

ただし $\theta = \omega t$, $X = \omega L$, $\varphi = \tan^{-1}(X/R)$, $z = \sqrt{R^2 + X^2}$
第 1 サイクル目については $\theta_{40} = \theta_{11}$, $i_{u40} = i_{u11} = 0$ である。

(2) インターバル II_n

回路：パルズ 1—u—N—v—パルズ 3—パルズ 1 について前節のように、次の微分方程式が得られる。

$$L \left(\frac{di_u}{dt} + \frac{di_v}{dt} \right) + R(i_u + i_v) = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_s \sin \omega t \quad (2.5)$$

また回路：パルズ 1—u—N—w—パルズ 5—パルズ 1 については次式が得られる。

$$L \left(\frac{di_u}{dt} + \frac{di_w}{dt} \right) + R(i_u + i_w) = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_s \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) \quad (2.6)$$

また明らかに

$$i_u = i_v + i_w \quad (2.7)$$

第 n サイクル目の初期条件 $[\theta = \theta_{2n}, i_{un} = i_{u2n}, i_{wn} = 0, i_{vn} = i_{v2n} = i_{u2n}]$ を代入して解くと、次式を得る。

$$i_{un} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left\{ \sin \left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \sin \left(\theta_{2n} - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) \right\} + i_{u2n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \quad (2.8)$$

$$i_{vn} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left\{ \sin \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{6} \right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \sin \left(\theta_{2n} - \varphi + \frac{\pi}{6} \right) \right\} + i_{u2n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \quad (2.9)$$

$$i_{wn} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left\{ \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \cos(\theta_{2n} - \varphi) - \cos(\theta - \varphi) \right\} \quad (2.10)$$

(3) インターバル III_n

回路：パルズ 1—u—N—w—パルズ 5—パルズ 1 について次のような微分方程式が得られる。

$$L \left(\frac{di_u}{dt} + \frac{di_w}{dt} \right) + R(i_u + i_w) = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} E_s \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) \quad (2.11)$$

$$\text{また } i_u = i_w \quad (2.12)$$

第 n サイクル目の初期条件 $[\theta = \theta_{3n}, i_{un} = i_{u3n}]$ を代入して解くと

$$i_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{E_s}{z} \left\{ \sin \left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{3} \right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{3n})} \times \sin \left(\theta_{3n} - \varphi - \frac{\pi}{3} \right) \right\} + i_{u3n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{3n})} \quad (2.13)$$

(4) インターバル IV_n

このインターバルはパルズ 1 と 3 と 5 が点弧している期間であるから、微分方程式はインターバル II_n のそれと同じである。すなわち式 (2.5), (2.6), (2.7) が成立する。そこで第 n サイクル目の初期条件 $[\theta = \theta_{1(n+1)}, i_{un} = i_{u1(n+1)}, i_{vn} = 0]$ を代入して解くと、次式を得る。

$$i_{un} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left[\sin \left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \times \sin \left\{ \theta_{1(n+1)} - \varphi - \frac{\pi}{6} \right\} \right] + i_{u1(n+1)} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \quad (2.14)$$

$$i_{vn} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left[\sin \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{6} \right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \times \sin \left\{ \theta_{1(n+1)} - \varphi + \frac{\pi}{6} \right\} \right] \quad (2.15)$$

$$i_{wn} = \frac{\sqrt{2} E_s}{z} \left[\varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \times \cos \{ \theta_{1(n+1)} - \varphi \} - \cos(\theta - \varphi) \right] + i_{u1(n+1)} \cdot \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \quad (2.16)$$

2.1.2 単位法による表現

三相短絡電流 I_s は

$$I_s = \frac{E_g}{Z} \quad (2.17)$$

で示される。これを base として逆弧電流を次のように単位法で表現する。

$$k_{un} = \frac{i_{un}}{I_s}, \quad k_{vn} = \frac{i_{vn}}{I_s}, \quad k_{wn} = \frac{i_{wn}}{I_s}$$

$$k_{u2n} = \frac{i_{u2n}}{I_s}, \quad k_{u4(n-1)} = \frac{i_{u4(n-1)}}{I_s} \quad \dots \text{etc.}$$

これらは逆弧電流の三相短絡電流（実効値）に対する倍数を意味する。各インターバルの電流波形の式をこれらを使って整理すると次のようになる。

インターバル I_n

$$k_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left[\sin(\theta - \varphi) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n-1)})} \times \sin\{\theta_{1(n-1)} - \varphi\} \right]$$

$$+ k_{u4(n-1)} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n-1)})} \quad (2.18)$$

$$k_{vn} = k_{un} \quad (2.19)$$

インターバル II_n

$$k_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \sin\left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{6}\right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \sin\left(\theta_{2n} - \varphi - \frac{\pi}{6}\right) \right\}$$

$$+ k_{u2n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \quad (2.20)$$

$$k_{vn} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \sin\left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{6}\right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \sin\left(\theta_{2n} - \varphi + \frac{\pi}{6}\right) \right\}$$

$$+ k_{u2n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \quad (2.21)$$

$$k_{wn} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{2n})} \times \cos(\theta_{2n} - \varphi) - \cos(\theta - \varphi) \right\} \quad (2.22)$$

インターバル III_n

$$k_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \sin\left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{3}\right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{3n})} \times \sin\left(\theta_{3n} - \varphi - \frac{\pi}{3}\right) \right\}$$

$$+ k_{u3n} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{3n})} \quad (2.23)$$

$$k_{vn} = k_{un} \quad (2.24)$$

インターバル IV_n

$$k_{un} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left[\sin\left(\theta - \varphi - \frac{\pi}{6}\right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \right]$$

$$\times \sin\left\{\theta_{1(n+1)} - \varphi - \frac{\pi}{6}\right\} + k_{u1(n+1)} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \quad (2.25)$$

$$k_{vn} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left[\sin\left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{6}\right) - \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \right]$$

$$\times \sin\left\{\theta_{1(n+1)} - \varphi + \frac{\pi}{6}\right\} \quad (2.26)$$

$$k_{wn} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left[\varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \times \cos\{\theta_{1(n+1)} - \varphi\} - \cos(\theta - \varphi) \right]$$

$$+ k_{u1(n+1)} \varepsilon^{-\frac{R}{X}(\theta - \theta_{1(n+1)})} \quad (2.27)$$

2.2 計算

2.2.1 計算プログラム

図 2.3 にフローチャートを示す。回路定数 R/X 、制御角 α 、逆弧発生位相 θ_B を INPUT として与えると、時間 ($\theta = \omega t$) に対する逆弧電流 k_u (逆弧パルズ)、 k_v 、 k_w (健全パルズ) が OUTPUT として得られる。逆弧発生位相はインターバル I の開始時刻 θ_{11} を $\theta_{11} = \theta_B$ と置くことから考慮される。また制御角 α は $\theta_{2n} = 2\pi/3 + \alpha + 2\pi(n-1)$ 、 $\theta_{1(n+1)} = \alpha + 2\pi n$ とすることから考慮される。イ

回路定数 R/X
制御角 α
逆弧位相 θ_B

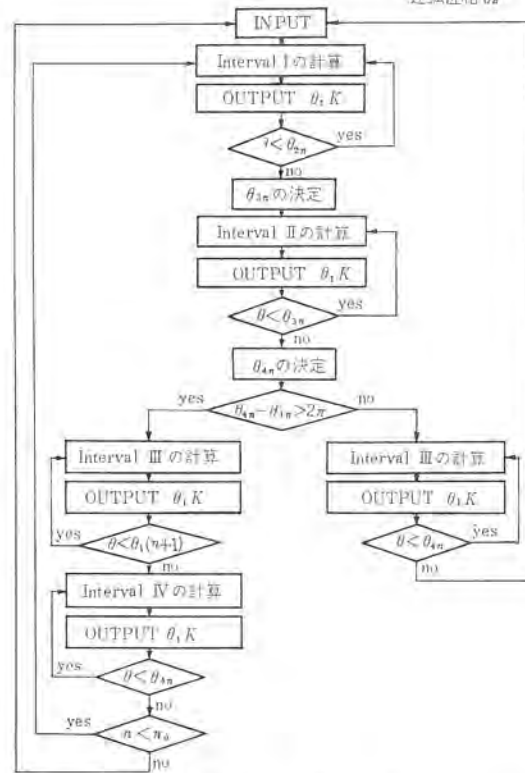


図 2.3 フローチャート
Fig. 2.3 Flow chart of fault current during arc-back.

ンターバル II の終了時刻 θ_{3n} はパルズ 3 の逆弧電流 k_{vn} がゼロになる時刻であるから、

$$k_{vn}(\theta) = 0$$

を満足する θ を求めることにより得られる。ニュートン法から

$$\theta_{3n} = \theta - \frac{k_{vn}(\theta)}{k'_{vn}(\theta)}$$

を繰り返し計算して求めた、パルズ 5 が通電を終わる時刻 θ_{4n} も同様に求められる。

インターバル IV が存在するかどうかは、パルズ 5 がパルズ 1 の点弧時刻よりも早く消弧するかどうかにより決まる。したがって

$$\theta_{4n} > \theta_{1n} + 2\pi$$

ならばインターバル IV は存在し、不等号が逆ならば存在しないことがわかる。

2.2.2 計算結果

計算結果を図 2.4~2.7 に示す。これらの図から、逆弧電流は制御角 α が大きいほど小さくなり、回路の抵抗がリアクタンスに比べ小さくなるほど大きくなることわかる。また消弧直後の逆弧と逆電圧最大時の逆弧とは前者のほうが大きいこともわかる。

インターバル IV が存在する場合は逆弧が継続するに従って大きくなるが、それを図 2.7 に示す。回路抵抗が小さいほど、逆弧電流は大きくなり、増加傾向は長時間継続する。回路抵抗が大きいとインターバル IV は存在せず、したがって逆弧電流は断続する。

2.3 実験結果との比較

図 2.8 に実験に供した模擬回路を示す。抵抗分 R を減らすために Transless とし、サイトロンのアークドロップ (約 10 V) の影響を少なくするために、逆弧回路中のパルズは SCR (正方向降下 1.5 V 以下) を使用した。このような模擬回路の回路定数 R/X は 0.1606 となった。

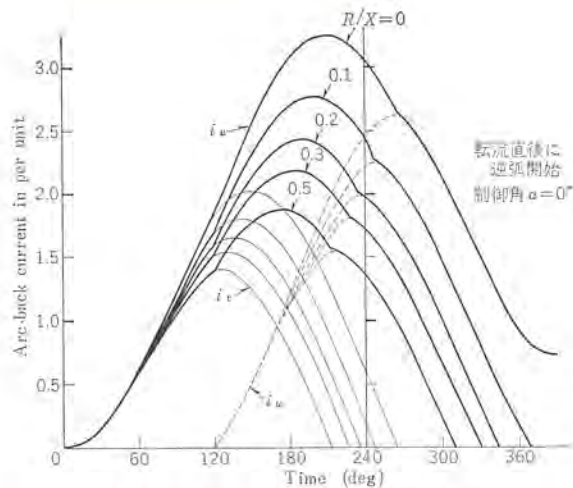


図 2.4 逆弧電流波形の計算値
Fig. 2.4 Computing results of current wave-form during arc-back.

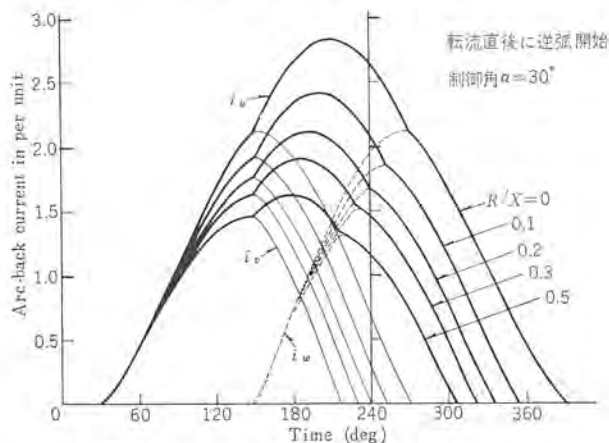


図 2.5 逆弧電流波形の計算値
Fig. 2.5 Computing results of current wave-form during arc-back.

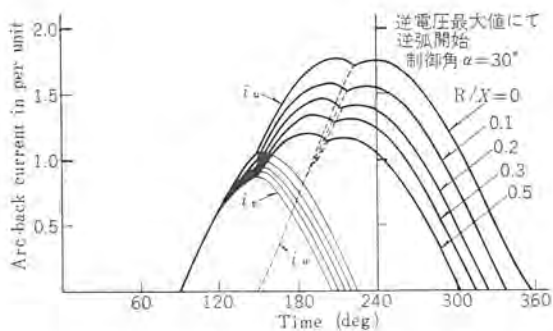


図 2.6 逆弧電流波形の計算値
Fig. 2.6 Computing results of current wave-form during arc-back.

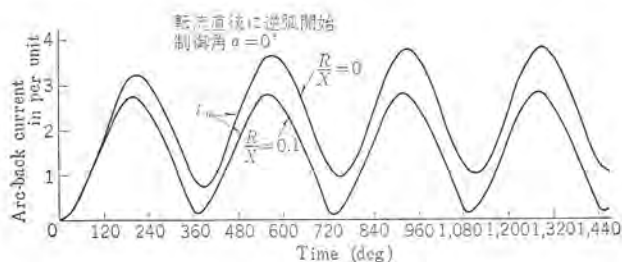


図 2.7 逆弧電流波形の計算値
Fig. 2.7 Computing results of current wave-form during arc-back.

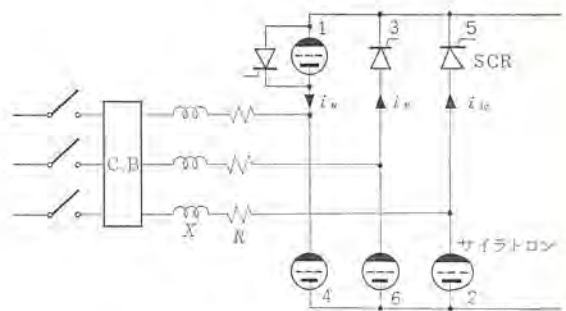


図 2.8 実験回路
Fig. 2.8 Arc-back test circuit.

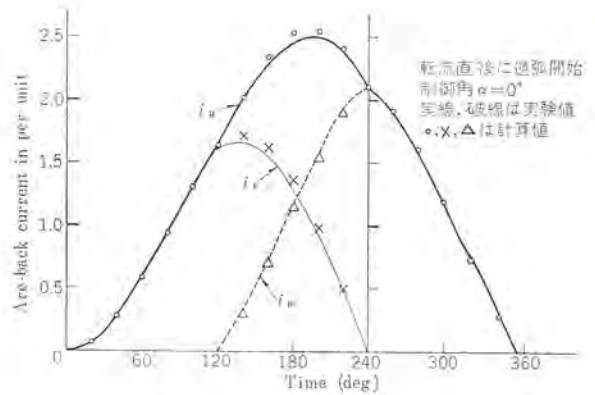


図 2.9 逆弧電流波形の計算値と実験値との比較
Fig. 2.9 Comparison between computational and experimental results of arc-back current.

図 2.9 は実験結果と計算結果を比較した一例である。制御角 $\alpha=0^\circ$ 、逆弧発生位相は転流直後という条件である。計算値と実験値とはその大きさ、波形ともによく一致している。

3. 変圧器の直流励磁

3.1 リップル電流のスリップによる直流励磁

3.1.1 解析

異周波系統を直流を介して連係すると、順逆変換器のリップル電圧の差によってリップル電流が流れるが、異周波のためリップル電流にスリップが生じ、変圧器各巻線に流れるリップル電流に不平衡が生じて、その平均値を求めるとゼロにならず、直流分が発生している、という発生機構が考えられる。

これを次のような順序で解析した。

(1) 順逆変換器の直流電圧中に含まれるリップル電圧を分析する。

(2) 順逆変換器のリップル電圧の差によって、直流電流に含まれるリップル電流が流れると考える。

(3) 直流電流に重畳したリップル電流が変圧器の各巻線に、どのように分流するかを検討する。

(4) 変圧器各巻線を流れる電流を 1 サイクルについて積分して、その平均値を計算し直流分の大きさを知る。

なおこの解析を進めるにあたり次のことを仮定した。

- (a) 制御角 α, γ の各パルスの不ぞろいはない。
- (b) 交流側電圧および回路定数は各相平衡している。

さて順逆変換器の直流電圧の瞬時値は一般に図 3.1 に示したような波形をフーリエ級数に展開して、次式のように表わすことができる。

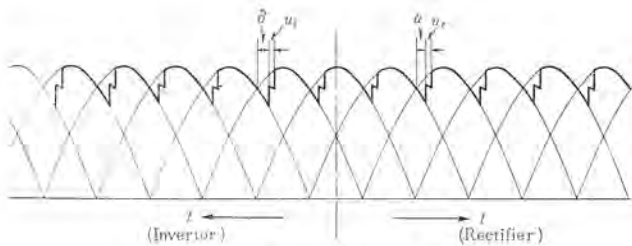


図 3.1 直流電圧波形
Fig. 3.1 DC output voltage of rectifier and inverter.

$$e_{dr} = \frac{E_{dor}}{2} \left[\cos \alpha + \cos (\alpha + u_r) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left\{ \frac{\sin (pn+1)(\alpha + u_r) + \sin (pn+1)\alpha}{pn+1} - \frac{\sin (pn-1)(\alpha + u_r) + \sin (pn-1)\alpha}{pn-1} \right\} \sin pn\omega_r t + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left\{ \frac{\cos (pn+1)(\alpha + u_r) + \cos (pn+1)\alpha}{pn+1} - \frac{\cos (pn-1)(\alpha + u_r) + \cos (pn-1)\alpha}{pn-1} \right\} \cos pn\omega_r t \quad (3.1)$$

$$E_{dor} = \frac{\sqrt{2} E_r \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \quad (3.2)$$

$$e_{di} = \frac{E_{doi}}{2} \left[\cos \delta + \cos (\delta + u_i) \right] - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left\{ \frac{\sin (pn+1)(\delta + u_i) + \sin (pn+1)\delta}{pn+1} - \frac{\sin (pn-1)(\delta + u_i) + \sin (pn-1)\delta}{pn-1} \right\} \sin pn\omega_i t + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left\{ \frac{\cos (pn+1)(\delta + u_i) + \cos (pn+1)\delta}{pn+1} - \frac{\cos (pn-1)(\delta + u_i) + \cos (pn-1)\delta}{pn-1} \right\} \cos pn\omega_i t \quad (3.3)$$

$$E_{doi} = \frac{\sqrt{2} E_i \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \quad (3.4)$$

ただし e_{dr}, e_{di} : 順逆変換器の直流電圧 (瞬時値)
 E_{dor}, E_{doi} : " の無負荷直流電圧 (平均値)
 E_r, E_i : " の交流線間電圧 (実効値)
 u_r, u_i : " の重なり角
 α : 順変換器の制御角
 δ : 逆変換器の余裕角
 p : 変換器の運転相数
 ω_r, ω_i : 順逆変換器の交流電圧の角速度 ($\omega_r = 2\pi f_r$, $\omega_i = 2\pi f_i$)
 t : 時間
 f_r, f_i : 順逆変換器の交流電圧の周波数

式 (3.1), (3.2) において, 第 2, 3 項が直流電圧中に含まれるリップル電圧である。したがってリップル電圧のみに差よって, リップル電流 i_d が流れると考えると, i_d は次式で与えられる。

$$i_d = \frac{E_{dor}}{2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{pn\omega_r L_d} \left\{ \frac{\sin (pn+1)(\alpha + u_r) + \sin (pn+1)\alpha}{pn+1} - \frac{\sin (pn-1)(\alpha + u_r) + \sin (pn-1)\alpha}{pn-1} \right\} \cos pn\omega_r t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{pn\omega_r L_d} \left\{ \frac{\cos (pn+1)(\alpha + u_r) + \cos (pn+1)\alpha}{pn+1} - \frac{\cos (pn-1)(\alpha + u_r) + \cos (pn-1)\alpha}{pn-1} \right\} \sin pn\omega_r t \right] - \frac{E_{doi}}{2} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{pn\omega_i L_d} \left\{ \frac{\sin (pn+1)(\delta + u_i) + \sin (pn+1)\delta}{pn+1} - \frac{\sin (pn-1)(\delta + u_i) + \sin (pn-1)\delta}{pn-1} \right\} \cos pn(\omega_i t - \phi) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{pn\omega_i L_d} \left\{ \frac{\cos (pn+1)(\delta + u_i) + \cos (pn+1)\delta}{pn+1} - \frac{\cos (pn-1)(\delta + u_i) + \cos (pn-1)\delta}{pn-1} \right\} \sin pn(\omega_i t - \phi) \right] \quad (3.4)$$

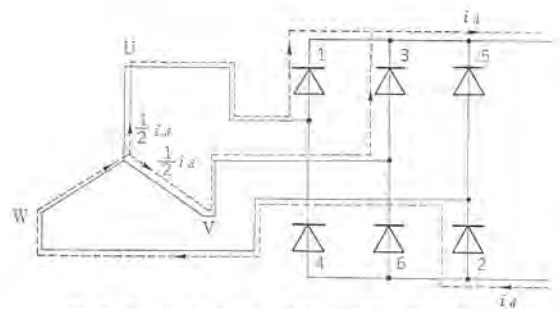


図 3.2 6 相 グレーツ 結線順逆変換器回路
Fig. 3.2 Bridge circuit of rectifier and inverter.

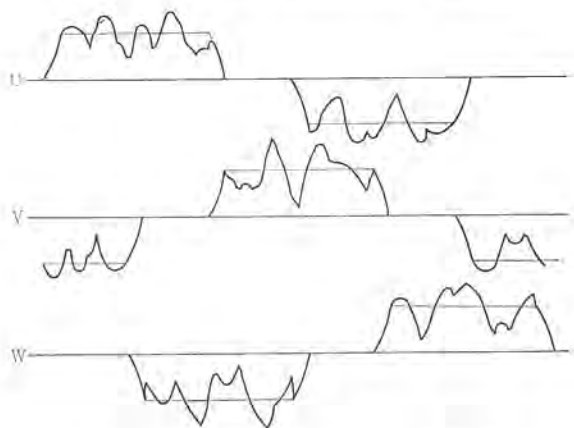


図 3.3 変圧器巻線を流れる電流
Fig. 3.3 Current flowing through valve winding of converter-transformer.

ただし L_d : 直流回路のインダクタンス (抵抗は無視)

ϕ : 時間 t の原点における E_r と E_i の位相差

次にリップル電流が変圧器の各巻線にどのように分流するかを考える。今変圧器が入結線であるとすると, リップル電流は図 3.2 のように流れる。図 3.2 では転流期間中のリップル電流が 2 等分されて, 巻線を通してゆくと考えた場合を示している。バルブにつけた番号は点弧順序を示す。変圧器巻線を流れる電流を考えると図 3.3 のようになる。直流電流にリップル電流が重畳して流れていることを強調して示している。

リップルを含まない直流電流は制御角, 重なり角ともにバラツキがないと仮定しているから, 各巻線について積分するとゼロになる。したがってリップル電流分のみを積分して, 巻線に直流分として残るかどうかを計算する。

3.1.2 計算

前節で述べた解析結果をデジタル計算機で計算するためのフローチャートを図 3.4 に示す。

計算例として佐久間周波数変換所の系統を取り上げ, 図 3.5 に

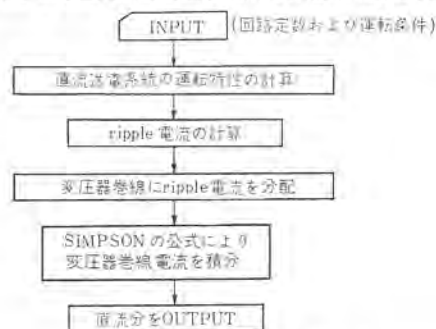


図 3.4 フローチャート
Fig. 3.4 Flow chart of DC magnetization.

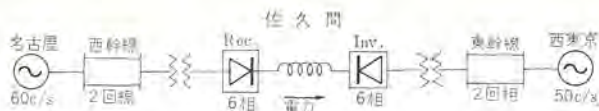
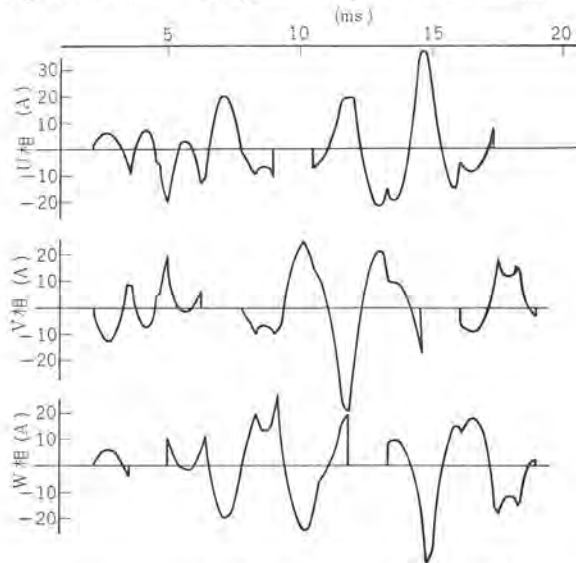


図 3.5 計算した系統
Fig. 3.5 Sakuma FC system computed as an example.



変圧器タップ位置：標準 (0%)，全負荷運転： $I_d=1,200$ A
6 相運転，60 → 50 c/s，交流電圧位相差： $\varphi=30^\circ$ el.
図 3.6 60 c/s 側変圧器 パルブ 巻線を通れるリップル 電流
Fig. 3.6 Ripple current flowing through the valve winding of converter-transformer (60 c/s).

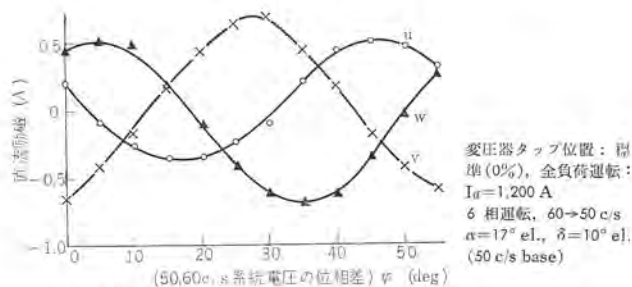


図 3.7 異周波系統の電圧位相差と直流励磁との関係
Fig. 3.7 Relation between DC magnetization and phase angle of different frequency systems.

それを示す。

図 3.6～3.10 に計算結果を示す。図 3.6 はリップル電流が変圧器パルブ側巻線に分流したときの波形(リップル分のみ)である。このリップル電流の平均値がゼロでないならば、直流分が存在することを意味し、変圧器巻線は直流励磁を受けると考えられる。50, 50 c/s 系交流電圧の位相差 φ に対して、リップル電流による直流分がどのように変化するかを示したのが図 3.7 である。図 3.8 は順変換器の制御角 α と直流励磁の大きさとの関係を示したものである。図 3.9 は直流電流 I_d と直流励磁の大きさとの関係である。図 3.10 は直流リアクトル L_d と直流励磁の大きさとの関係であり、 L_d が大きくなるとリップルは小さくなり、したがって直流励磁も小さくなることを示している。

以上の計算結果から、リップル電流のスリッによる直流励磁の大きさは 1 A (平均値) ぐらいであって、変圧器の定格電流の 0.1 % 強となり、問題になるほどの大きさでないことがわかった。

3.2 制御角 α , γ の不ぞろいによる直流励磁

3.2.1 解析

考察を進めるにあたって、次のことを仮定する。

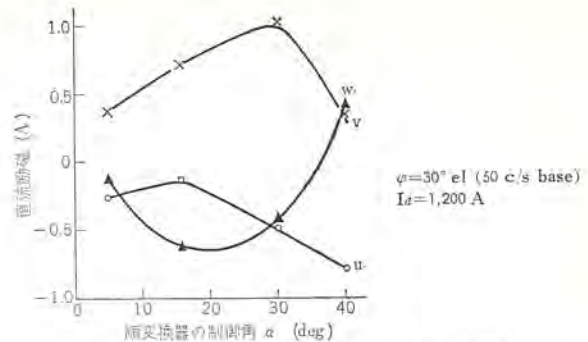


図 3.8 制御角 α と直流励磁との関係
Fig. 3.8 Relation between control angle α and DC magnetization.

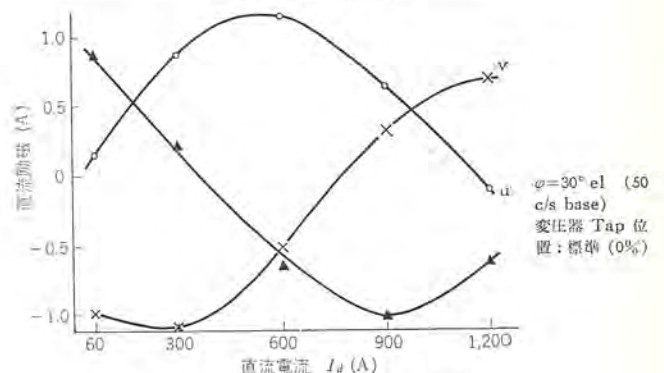


図 3.9 直流電流と直流励磁との関係
Fig. 3.9 Relation between direct current and DC magnetization.

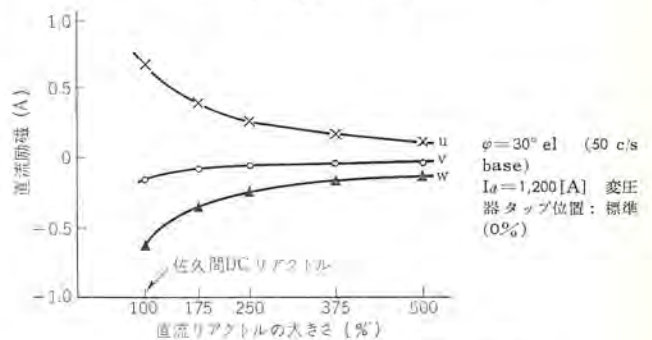


図 3.10 直流リアクトルと直流励磁との関係
Fig. 3.10 Relation between DC reactor and DC magnetization.

(1) 交流電圧は三相平衡している。

(2) 各相の回路定数 (R , L) は平衡している。したがって重なり角には不平衡がない。

(3) 直流電流にはリップルが重畳していない。

図 3.2 のような人結線の変圧器の巻線を通れる電流波形を図 3.11 に示す。順逆変換器の変圧器巻線を通れる電流波形は時間軸の向きを逆にすればまったく同じ波形になるので、一方について考えればよく、ここでは順変換器について考える。

最初の仮定で転流リアクタンスは等しく、交流電圧は平衡しているから、図 3.11 において A と A', B と B' は等面積である。したがって制御角 α に不ぞろいがないときの変圧器巻線の電流は簡単に図 3.12 のように考えてよく、面積 c と面積 c' は等しいので、直流分は存在しない。

転流はグループ I (パルブ No. 1, 3, 5), グループ II (パルブ No. 2, 4, 6) において、それぞれ独立に行なわれ、パルブ 1 の通電期間は自分自身の点弧パルスがきたときから、次に転流するパルブ 3 が点弧するときまでである。ほかも同様である。

図 3.13 は制御角 α に不ぞろいがある場合で、図から明らかな

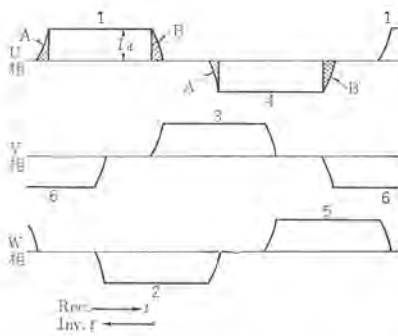


図 3.11 変圧器 バルブ側巻線の各相電流
Fig. 3.11 Current flowing through each valve windings of converter-transformer.

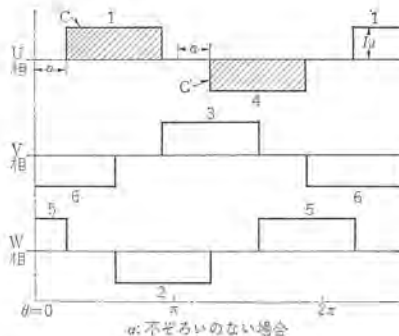


図 3.12 変圧器 バルブ側巻線の各相電流
Fig. 3.12 Current flowing through each valve windings of converter-transformer.

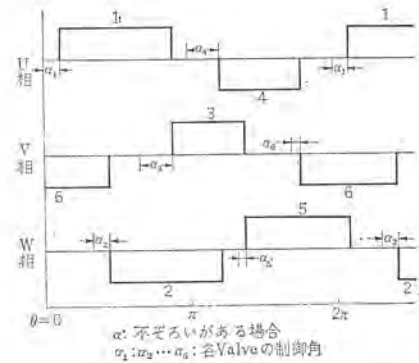


図 3.13 変圧器 バルブ側巻線の各相電流
Fig. 3.13 Current flowing through each valve windings of converter-transformer.

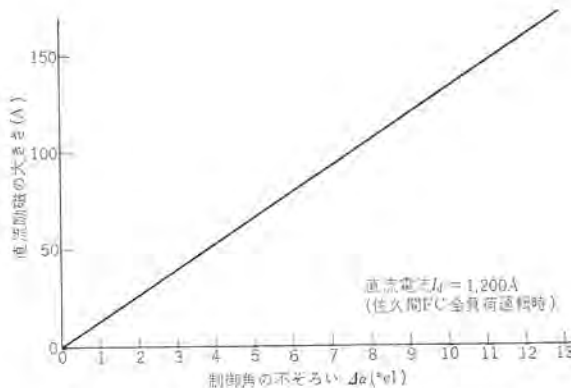


図 3.14 制御角 α の不ぞろいによる直流励磁
Fig. 3.14 DC magnetization caused by unbalance of control angle α.

ように、変圧器巻線には直流分が残る、変圧器は直流励磁を受ける。その大きさはたとえば u 相の巻線の直流分を I_{dmu} とすると、次式で示される。

$$I_{dmu} = \frac{1}{2\pi} \left[\{ \text{バルブ 1 の通電電流} \} \times \{ \text{通電期間} \} + \{ \text{バルブ 4 の通電電流} \} \times \{ \text{通電期間} \} \right] \\ = \frac{1}{2\pi} \left[I_d \times \left\{ \left(\frac{2}{3}\pi + \alpha_3 \right) - \alpha_1 \right\} - I_d \times \left\{ \left(\frac{5}{3}\pi + \alpha_6 \right) - (\pi + \alpha_4) \right\} \right] = \frac{I_d}{2\pi} \{ \alpha_3 - \alpha_1 - (\alpha_6 - \alpha_4) \} \quad (3.5)$$

ただし $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6$: 各バルブの制御角, I_d : 直流電流。

今制御角を α , 各バルブの不ぞろいの分を $\Delta\alpha_1, \Delta\alpha_2, \dots, \Delta\alpha_6$ とすると, $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha_1, \alpha_2 = \alpha + \Delta\alpha_2, \dots$ となり、これらを式 (3.5) に代入すると

$$I_{dmu} = \frac{I_d}{2\pi} (\Delta\alpha_3 - \Delta\alpha_1 - \Delta\alpha_6 + \Delta\alpha_4) \quad (3.6)$$

どのように、v, w 相の直流分 I_{dmv}, I_{dmw} は次式のようになる。

$$I_{dmv} = \frac{I_d}{2\pi} (\Delta\alpha_5 - \Delta\alpha_3 - \Delta\alpha_2 + \Delta\alpha_6) \quad (3.7)$$

$$I_{dmw} = \frac{I_d}{2\pi} (\Delta\alpha_1 - \Delta\alpha_5 - \Delta\alpha_4 + \Delta\alpha_2) \quad (3.8)$$

3.2.2 計算

制御角 α の不ぞろい分 $\Delta\alpha$ が最も直流励磁を大きくするような値をとったとき、すなわち式 (3.6) において

$$\Delta\alpha_3 = \Delta\alpha_4 = \Delta\alpha, \Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_6 = -\Delta\alpha$$

のような値をとったとき、直流分 I_{dmu} は最大になり

$$I_{dmu} = \frac{I_d}{2\pi} \cdot 4\Delta\alpha = \frac{2I_d}{\pi} \cdot \Delta\alpha \quad (3.9)$$

となる。ここで $\Delta\alpha > 0$ は標準の制御角 α より遅れていることを、 $\Delta\alpha < 0$ は進んでいることを意味する。v, w 相についてもどうようであり、制御角 α の不ぞろいによる直流励磁の最大値 (最悪時の値) I_{dm} は次式のようになる。

$$I_{dm} = 2I_d \cdot \frac{\Delta\alpha}{\pi} \quad (\text{rad.}) \\ = 2I_d \cdot \frac{\Delta\alpha}{180} \quad (\text{deg.}) \quad (3.10)$$

佐久間周波数変換所の全負荷運転時 ($I_d = 1,200 \text{ A}$) を例にとってみると、制御角 α の不ぞろいと直流励磁の大きさとの関係は図 3.14 のようになる。これから制御角の不ぞろいが 1.5° el. あると、最悪の場合 20 A (平均値) の直流励磁が生ずることがわかる。

4. む す び

以上高圧大容量周波数変換器における異常現象のうち、逆弧短絡電流および変圧器の直流励磁について解析した結果を述べた。今回開発した逆弧短絡電流の計算プログラムを使って、IBM7090により計算すると、1 ケース あたり 1 秒で逆弧電流波形とその大きさが得られる。

また変圧器の直流励磁はこの解析の結果 リップル 電流のスリップによるものよりも、制御角 α, γ の不ぞろいによるもののほうが圧倒的に大きく、直流励磁を防止するためには制御角の不ぞろいを小さくしなければならないことがわかった。

終わりにこの研究に多くの ヒント を与えてくださった電源開発株式会社三室調査役、またいろいろご検討いただいた電気試験所堀米技官に対して感謝の意を表する。(昭 40-9-6 受付)

参 考 文 献

- (1) 直流送電専門委員会: 高電圧直流送電, 電気協同研究, 19 第 6 号
- (2) C. C. Herskind, A. Schmidt, C. E. Rettig: AIEE Trans. 68, 243 (1949)
- (3) J. K. Dillard, C. J. Baldwin: AIEE Tech. Paper 54-43, Nov. (1953)
- (4) C. C. Herskind, H. L. Kellogg: AIEE Trans. 64, 145~150 (1950)
- (5) 甲斐: 電学東京支部連大 306 (昭 28)
- (6) 三宝, 坂田, 渡辺: 電学連大 591 (昭 39)
- (7) R. Feinberg, W. H. Chen: CIGRE S. C., No. 10 資料 CSC-10-63-8 (1963)

電源開発佐久間周波数変換所 交流回路保護および配電盤

森 健*・仁科重雄*・長町恒資*

AC Circuit Protection and Switchboards in Sakuma Frequency Converter Station of the Electric Power Development Co.

Kôbe Works Takeshi MORI・Shigeo NISHINA・Hisashi NAGAMACHI

Sakuma frequency converter station receives electric power from Sakuma power station over a 275 kV transmission line and operates to convert power at 50~60 cycles. On the extra high voltage side of the main transformers for use in conversion are set up filters to absorb higher harmonics for the protection of the systems. On the other hand power for the control of station service auxiliary machines is obtained by stepping down the high voltage power to 3 kV through delta connection of tertiary windings of the main transformer on the 60 cycle system. The power is connected to auxiliary circuits and also tied to Sakuma power station. Of the control apparatus installed there AC switchboard equipment with AC protective devices as the major assembly is built and delivered by Mitsubishi.

1. ま え が き

電源開発株式会社佐久間周波数変換所は、図 1.1 に示しているように、佐久間発電所より 275 kV 送電線で電力を受け、これを 50/60 c/s に変換するもので、変換用主変圧器の超高圧側には、高調波吸収用のフィルタが設置され、変換装置から発生する高調波を吸収している。一方、所内補機制御のための電力は 60 c/s 系変換用主変圧器 3 次三角結線で 3 kV に降圧され、各種、補機回路に接続されるとともに、佐久間発電所と連係されて、運用の便をはかっている。

これらの設備の制御装置のうち、当社は交流保護装置を主体とする各種交流配電盤設備を製作納入したので、以下これについてその概要を報告する。

2. 変圧器保護

2.1 変圧器保護方式

一般に現在用いられている変圧器の保護方式としては、概略下記のものがある。

(a) 電氣的保護方式

過電流継電器
差動継電器
比率差動継電器など

(b) 熱的保護方式

温度計
抵抗式温度継電器など

(c) 機械的保護方式

ブッフホルツ 継電器

圧力継電器

放圧警報装置など

これらのうち変圧器内部事故（継電器保護範囲内事故）の保護装置としてもっとも多く用いられているものは、比率差動継電器、ブッフホルツ 継電器、圧力継電器である。これらはそれぞれに長所、短所がありすべての変圧器に適合せうるとは言いがたい、とくに今回の佐久間周波数変換所の変圧器におけるように、巻線の一方が変換器に接

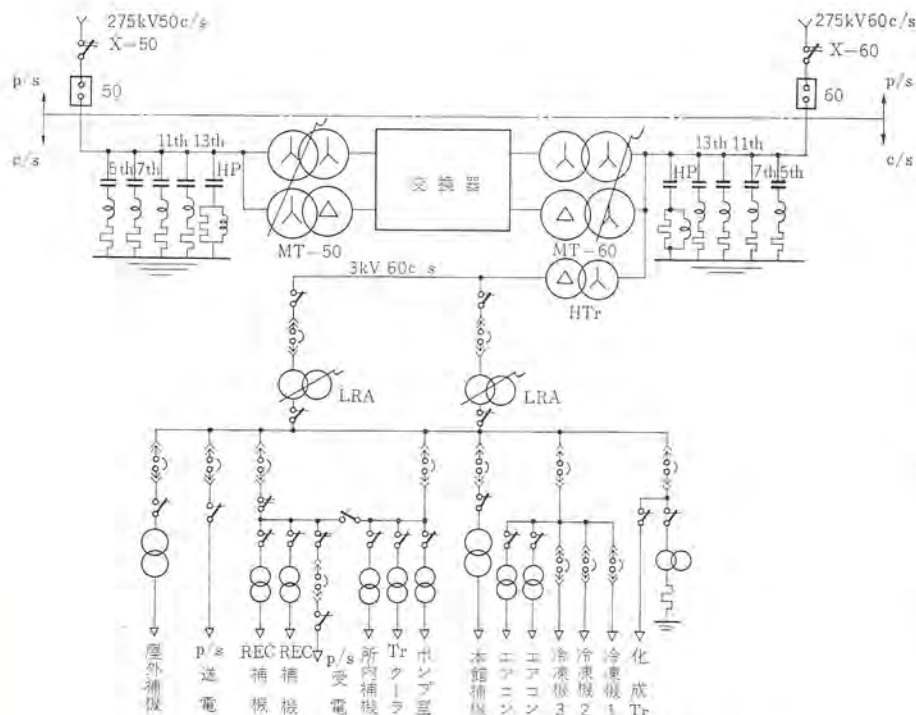


図 1.1 佐久間周波数変換所単線図

Fig. 1.1 Single line diagram of Sakuma frequency converter station.

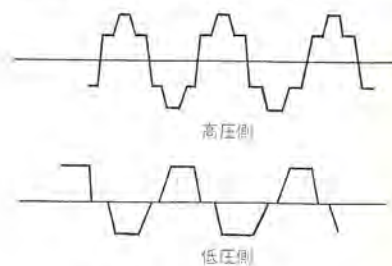


図 2.1 主変に印加される電流波形

Fig. 2.1 Current wave form of main transformer.

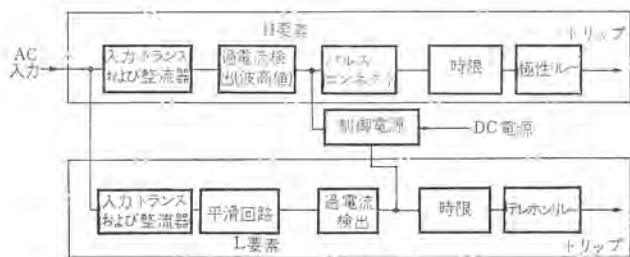


図 2.2 LOB-1-D 形過電流継電器動作原理ブロック線図
Fig. 2.2 Operation principle of type LOB-1-D overcurrent relay.

続され、その印加される波形が図 2.1 のようなものであることを考えるとき電氣的保護として差動保護を行なうにはまだ研究すべき問題を多く含んでいる。このような状態で運転される変圧器の保護方式に関して、当社中央研究所と神戸製作所が共同し中央研究所模擬送電線 (Artificial Transmission Line) を使用して研究を行なっているが、この解明にはいましばらくの時間を要することから今回は電氣的保護として静止形過電流継電器による保護を行なうことにした。

2.2 LOB-1-D 形静止過電流継電器

上述のような理由で過電流継電器とすることに決定したが、これを静止形で製作した。静止形とすることによって

1. 高速度形のもが容易に製作し得る
2. 動作時間を任意に調整することができる
3. 可動部がないので摩耗、さび発生の心配がない
4. 小形にし、かつ特性の異なったものを組み合わせることができる
5. 慣性が小さい

などの特質を有している。これらの特質を生かし、今回の主変保護においては、一次保護と二次保護 (後備保護) の両者をあわせもつ継電器を製作した。これが LOB-1-D 形静止形過電流継電器である。

この継電器には二つの過電流要素を内蔵している。一つは H 要素、他を L 要素と呼び、これは性質の異なる過電流要素である。それをブロック線図で表わすと図 2.2 のようになる。

このブロック線図からも明らかなように、H 要素は瞬時値応答形パルスコンネクト式定限時過電流要素であり、L 要素は平均値応答形定限時過電流要素である。以下順次その動作を説明する。

(1) H要素

継電器の入力トランスで適当な値に変換された電流は一度電圧に変換された後、全波整流 (両波整流) される。この全波整流された波高値に対し、この要素の初段トランジスタが応答するように設計されている。この H 要素を瞬時値応答形としたのは、正弦波はもちろんのこと逆弧などの特殊波形についても考えたからである。つまり、逆弧は直流分を非常に多く含み、継電器入力トランスの直流飽和が考えられるからである。瞬時値応答形とすることによって、継電器のタツ以上が入力があればたとえ若干の直流分飽和があったとしても、そのピーク値に応答し、継電器は確実に動作することが可能となるからである。

また、瞬時値応答形の場合、初段トランジスタは必然的に、ON, OFF の動作を繰り返すこととなる。この時のトランジスタの出力波形は方形波となる。このような場合この方形波をなんらかの形で連続波に変換する必要があるが生じてくる。これを行なうものがこのパ

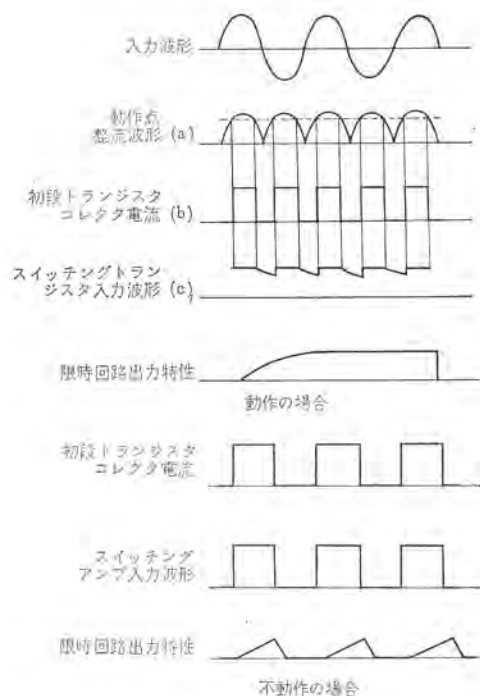
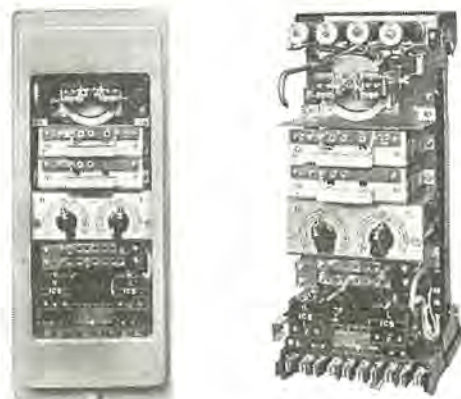


図 2.3 パルスコンネクト説明
Fig. 2.3 Explanatory diagram of pulse connected operation.



(a) 正面 (b) ケースから引き出したところ

図 2.4 LOB-1-D 形静止形過電流継電器

Fig. 2.4 Type LOB-1-D transistorized overcurrent relay.

ルスコンネクト方式である。これにより動作を安定させ、かつ時限も精度よくし、定限時特性を与えることができる。この状態を示すのが図 2.3 である。このパルスコンネクト時間は一般の正弦波の場合は 10 ms 程度で十分ではあるが、逆弧のような特殊な波形に対してはこれでは不十分で約 20 ms 程度は必要となる。この両者のことを考え、パルスコンネクト時間は、10 ms, 20 ms の 2 つのタッチを有し任意に切り換えることが可能であるよう配慮されている。さらに動作時限は、80 ms から 400 ms まで連続的に変化させて整定できるようになっている。

またこの H 要素の最終要素は、高速度、安定した動作、大きな接点容量を有する三菱 MP 形極性継電器を使用している。

(2) L要素

これは平滑回路を有し、入力平均値に応答するようになっている。これは H 要素の後備保護的役割をはたす目的のもので、その目的にそうようタッチも H 要素より低く、時限も 10 倍程度長く設計されている。逆弧などの直流分を多く含んだ波形が長時間印加された場合、継電器入力トランスがその直流分により完全に飽

和し、そのため2次出力が小さくなる。このような状態になってもH要素は確実に動作するはずであるが、万一の場合にこのL要素によって、この継電器としての保護責務を確実に果たすようになっている。

動作時間は0.3秒から3秒までの連続可変形であり、最終要素はH要素と異なりとくに高速度動作たる必要がないので、動作の安定したテレホンリレーを使用している。

図2.4に、このLOB-1-D形静止過電流継電器の写真を示す。

2.3 主変圧器保護装置の模擬送電線による試験結果

2.3.1 概況

これは三菱LOB-1-D形静止過電流継電器による主変圧器保護装置の三菱中央研究所に設置された模擬系統による実動試験結果に関するものである。

今回の試験においては、以下の事項に主目的をおいた。

- (a) 主変の過電流保護に対する保護能力の確認と評価
- (b) 主変から変換器までの回路の短絡保護の確認と評価
- (c) 逆弧の後備保護に対する保護能力の確認と評価
- (d) 主変励磁ラッシュに対し不動作のための整定参考試験
- (e) 佐久間-西東京、佐久間-名古屋幹線の単相再閉路の影響の確認

(f) そのほかの参考試験

2.3.2 系統条件

(1) 実系統

今回の試験の系統構成は、図2.5のとおりで、×印をつけた点線内は休止しているものと考えた。

検討した系統条件を列挙すると

- a. 佐久間 Generator は運転中か、停止中か
 - b. 12相運転をしているのか、6相運転をしているのか
 - c. 電力の変換方向は50→60c/sか、60→50c/sか
- これらの条件のすべてについて試験を行なった。

(2) 故障電流

50c/s側6相運転時、変圧器の2次側端子-Valve間にて2φS3φ事故が発生したときの故障電流を計算し、表2.1に示す。この故障電流は変換器がグレート接続であるため(すなわちインバータ動作のときは他励式であるため)電力の変換方向のいかんにかかわらず同じである。

なお、計算は西東京端には、短絡インピーダンス $0.755\Omega + j6.2\Omega$ の系統が接続されていると考え、変圧器、送電線の抵抗を無視して行なった。

また逆弧短絡電流は継電器にとって Severe な条件となるよう、系統および変圧器の抵抗とリアクタンス比 $R/X=0.2$ として計算した。

表2.1に計算結果を示す。

- a. 佐久間 Generator 停止時の系統
- b. Back Fire の計算

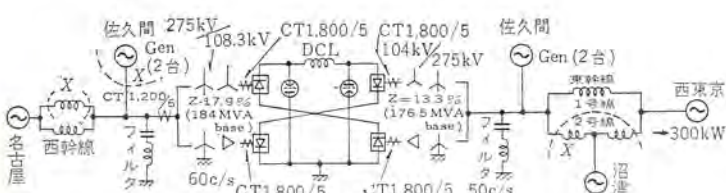


図2.5 実系統 Fig. 2.5 Transmission system.

実系統の $R/wL=0.2$ とすると、逆弧短絡電流 I_{BF} は

$$I_{BF} = kI_{3S}$$

で表わされる。ただし k は定数

したがって

高压側

$$2.4 \times 1145 = 2750A$$

低压側

$$2.4 \times 3030 = 7250A$$

(ただし Peak 値を示す)

模擬系統では $R/wL=0.4$ とかなり大きいので

高压側、低压側とも

$$2.0 \times 10.1 = 20.2A$$

c. 佐久間 Generator 2台運転時の系統

d. 1φG の計算

F_1 における1φGは等価回路を書くとき図2.8のようになる。50c/s Rec. 運転でU相にて1φGを行なったとき、V、W相の V_a/V_e 点弧時の等価回路は、 $E_a > E_d$ 回路に逆起電力があるので短絡電流は小さい。50c/s Inv. 運転のときは $E_d > E_a$ となるだけでまったく同じ等価回路であり、したがって短絡電流は小さい。

F_2 における1φGは Valve Anodecathode 間の短絡であるの

表2.1 故障電流計算結果

case	故障種類	実系統				模擬系統		
		回路電流		Relay電流		回路電流		Relay電流
		高压側 (A)	低压側 (A)	高压側 (A)	低压側 (A)	高压側 (A)	高压側 (A)	低压側 (A)
A	3φS.	1145	3030	4.8	8.4	10.1	5.6 (6.2)	9.5 (9.8)
	2φS.	990	2620	4.1	7.3	8.7	4.85 (5.9)	8.2 (8.2)
	B.F.	2750	7250	11.5	20.0	20.2	11.2 (15.1)	19.2 (19.8)
B	3φS.	1440	3820	6.0	10.6	12.7	7.05 (7.1)	12.0 (10.8)
	2φS.	1250	3310	5.2	9.2	11.0	6.1 (6.9)	10.4 (9.5)
	B.F.	3460	9180	14.4	25.5	25.4	14.1 (18.5)	24.0 (22.2)

[注]

1. 表中 () 内の数字はオシロによる実測値
2. Case A は佐久間 Gen. 停止時、B は佐久間 Gen. 2台運転時で西東京も電源である場合。
3. 3φS. 2φS. の電流は実効値、B.F. は Peak 値である。
4. CT 比は実系統、高压側 1,200/5、低压側 1,800/5、模擬系統、高压側 9/5 (10.6/5)、低压側 5.3/5 (6.05/5) として、Relay 電流を計算した。
() 内は模擬系統の定数換算比で計算した理論的 CT 比、これを使うと実系統と模擬系統の Relay 電流値は一致する。

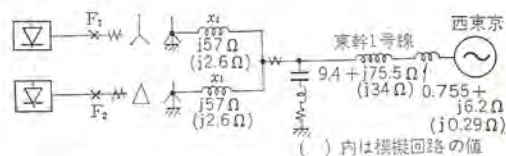


図2.6 佐久間停止時系統図
Fig. 2.6 Transmission system. (Unconnected with Sakuma power station generator)

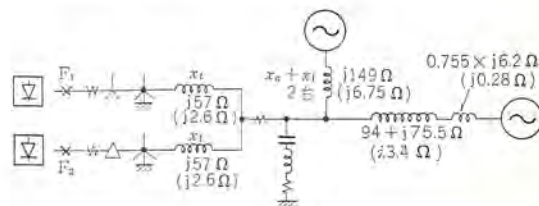


図2.7 佐久間 Gen 2台運転時系統図
Fig. 2.7 Transmission system. (connected with Sakuma power station generator)

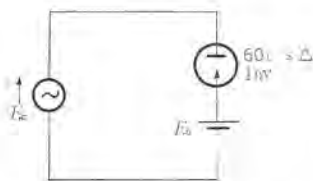


図 2.8 1φG の等価回路

Fig. 2.8 Equivalent circuit of one phase grounding.

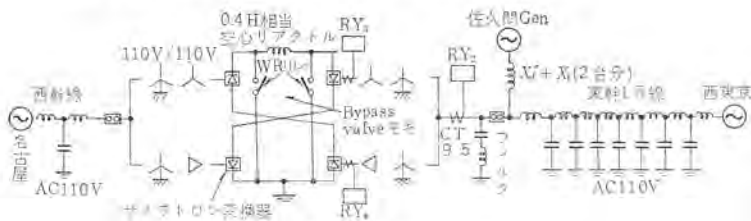


図 2.9 模擬系統

Fig. 2.9 Artificial transmission line.

で Rec のときは逆弧, Inv. のときは通弧となる。

逆弧電流は前とどのように $k=2.4$ として計算できる。

(3) CT 比

変圧器の高圧側, 低圧側に設置される CT の比はそれぞれ 1,200/5, 1,800/5 である。

2.3.3 模擬情況

(1) 中研 ATL (Artificial Test Line)

模擬装置の概要および回路定数については, 図 2.9 を参照されたい。

今回の試験で特記すべきことは次のとおりである。

(a) 供試継電器は 50 c/s 側に入れた。

(b) 東幹 1 号線は 7 等分しておのおのを π 回路で組み立て, 第 20 調波までのインピーダンスを精度よく (5% 以下) 模擬した。(Filter 保護リレーの試験を予想して)

(c) By-Pass Valve の動作は補助継電器を適当なシーケンスに組んで模擬した。

(d) 電圧, 電流の実回路 / 模擬回路の比は計画値の 2 倍を選んだ。すなわち, 50 c/s 側模擬回路の電圧は 110 V, 電流は 6.6 A でインピーダンス比は同じである。これは故障電流を長時間流して流す試験 (L 要素の動作試験) に対して模擬回路の機器を保護するためである。

(2) 故障電流

2.3.2 項で述べたどのような Case について模擬回路の故障電流を計算した。それを表 2.1 に示す。

ただし, 逆弧短絡電流については模擬回路の系統および変圧器の抵抗分が実系統に比べ, どうしても大きくなり, 実測の結果は $R/X=0.4$ であったので, その数値を使って計算した。

(3) CT 比

実系統と模擬系統の CT 二次側電流 (Relay 入力電流) が等しくなるように模擬系統の CT 比を決めればよい。

2.3.1 項 (d) で述べた実系統と模擬系統の電流比を使って CT 比を単純に計算すれば高圧側 10.6/5, 低圧側 6.05/5 となるが, これでは逆弧短絡電流について ATL では実際より小さくなる。ATL の抵抗が大きいのである。これを補償するために CT 比を高圧側 9/5, 低圧側 5.3/5 として実系統と模擬系統の逆弧短絡電流の Relay 入力電流を一致させた。

逆弧短絡電流に対する Relay の動作を最重要視したのである。

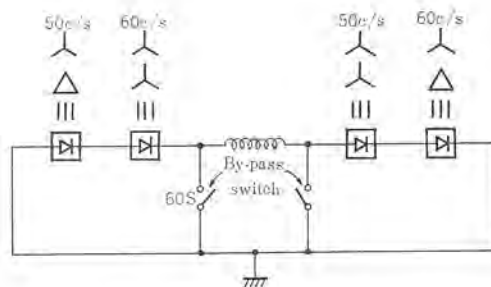


図 2.10 By-pass switch 説明

Fig. 2.10 Block diagram of DC circuit.

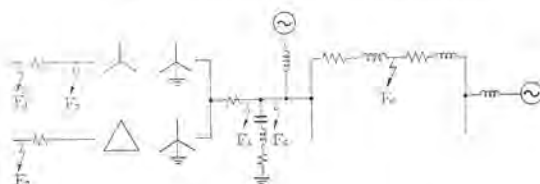


図 2.11 模擬系統における故障点

Fig. 2.11 Fault point in ATL.

表 2.2 リレー 整定 (ATL 試験時)

	RY ₂		RY ₃		RY ₄	
	H 要素	L 要素	H 要素	L 要素	H 要素	L 要素
電流タップ	5.1 A	4.5 A	5.0 A	4.0 A	5.0 A	4.0 A
時 間	80 ms	300 ms	80 ms	300 ms	80 ms	300 ms
Pulse Connect	20 ms	—	20 ms	—	20 ms	—

したがって 2φS, 3φS 事故時の Relay 電流は実際より 12~18% 大きくなったが, これらの事故に対しては低圧側 Relay により必ずひろうことができるので, 試験の目的を十分に満足している。

(4) リレー 整定

ATL による試験は表 2.2 に示すような整定を選んで一連の試験を行なった。

2.3.4 試験概要

(1) 故障種類および故障点

上記 2.3.2, 2.3.3 項の条件を考慮し, 下記の故障を模擬した。

故障種類

- 3 相短絡
- 2 相短絡
- 1 線接地
- Back Fire
- Arc-through

故障点

図 2.11 系統中の F₁ から F₆ である。

運転条件

a 西東京端の状態: G の場合 (西東京端に 300 MW に比べ非常に大きな系統が接続された場合), R の場合 (西東京端に 300 MW の力率 100% の負荷が接続された場合) について

b 佐久間 G: 0 台の場合, 2 台の場合について

c 変換器相数: 12 相の場合, 6 相の場合について

d 変換方向: 50→60 c/s の場合, 60→50 c/s の場合について

(2) 制御方式

a. By-Pass Valve

今回の模擬試験においては、事故発生と同時に By-Pass Valve が動作した場合と、しなかった場合のふたとおりについて試験を行なった。Inverter 運転時 By-Pass Valve が動作しない場合 1 グループが転流失敗し、かつ Rectifier 側の定電流制御機能が失なわれたときは、ほかの Inverter には 2 倍以上の過電流が流れることになる。たとえば、50 c/s 側 Inverter 運転時人側で転流失敗がおけると、△側（低圧）の リレー が動作する。また、By-Pass Valve が動作すると△側には一定の電流（6 相運転に等しい）が流れ、リレーは不動作となる。

以上のことを確認する意味において、By-Pass Valve が動作した場合と、しなかった場合の両者について試験を行なった。

b. 定電流制御

定電流制御方式を採用すると、Inverter 側の事故時に Rectifier 側の電流はある一定値をこえることがない。つまり直流短絡電流を一定値に保つことになる。したがって、この場合 Rectifier 側にある LOB-1-D 形過電流継電器は不動作となる。

しかし当社 ATL においては、定電流制御方式を今回は行っていないため、Inverter 側で転流失敗が起こると、Rectifier 側の電流は直流短絡電流分だけ大きくなる。そのため今回の試験においては LOB-1-D 形過電流継電器は動作したが、定電流制御機能が正常な場合には継電器は動作しない。

c 変圧器事故の模擬

変圧器の内部層間短絡のような事故は模擬することが非常に困難であり、今回は試験できなかった。しかし、変圧器巻線から Bushing にいたる Lead 線における事故（1φG、2φS、3φS）は図 2.9 における F3 点にて事故を起こし模擬した。

（3）逆弧に対する試験

整流器が逆弧を起こした場合の波形は図 2.12 に示すようになる。実系統における CT では約

表 2.3 電発佐久間 F/C 主変圧器保護継電器故障および逆弧、通弧試験結果

試 番 No.	故 障		変 換 方 向	佐久間 Gen	変換器 相 数	西東京 端 状 態	by-pass switch	継 電 器 の 接 点						備 考
	位 置	種 類						51H ₁	51L ₁	51H ₂ 入	51L ₂ 入	51H ₂ △	51L ₂ △	
1	F ₁	1φG.	50→60	0 台	12φ	G	OFF	○	×	×	×	×	×	
2	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
3	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
4	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
5	F ₂	1φG.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	×	
6	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
7	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
8	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
9	F ₁	1φG.	"	2 台	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
10	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
11	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
12	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
13	F ₂	1φG.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
14	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
15	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
16	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
17	F ₁	1φG.	"	"	6φ	"	60S ON	○	○	×	×	×	×	
18	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
19	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
20	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
21	F ₂	1φG.	"	"	"	"	50S ON	○	○	×	×	○	○	
22	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
23	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
24	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
25	"	1φG.	"	0 台	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
26	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
27	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
28	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
29	F ₁	1φG.	"	"	"	"	60S ON	×	×	×	×	×	×	
30	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
31	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
32	"	B.F.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
33	"	1φG.	60→50	"	12φ	"	OFF	×	×	×	×	×	×	
34	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
35	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
36	"	A.T.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
37	F ₂	1φG.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
38	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
39	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	○	○	
40	"	A.T.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
41	"	1φG.	"	2 台	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
42	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
43	"	2φS.	"	"	"	R	"	○	○	×	×	○	○	
44	"	"	"	"	"	G	"	○	○	×	×	○	○	
45	"	3φS.	"	"	"	R	"	○	○	×	×	○	○	
46	"	"	"	"	"	G	"	○	○	×	×	○	○	
47	"	A.T.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
48	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
49	F ₁	1φG.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
50	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
51	"	2φS.	"	"	"	R	"	×	×	○	○	×	×	
52	"	"	"	"	"	G	"	○	○	○	○	×	×	
53	"	3φS.	"	"	"	R	"	○	○	○	○	×	×	
54	"	"	"	"	"	G	"	○	○	○	○	×	×	
55	"	A.T.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
56	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
57	"	1φG.	"	"	6φ	R	60S IN	×	×	×	×	×	×	
58	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
59	"	2φS.	"	"	"	R	"	×	×	○	○	×	×	
60	"	"	"	"	"	G	"	×	×	○	○	×	×	
61	"	3φS.	"	"	"	R	"	○	○	○	○	×	×	
62	"	"	"	"	"	G	"	○	○	○	○	×	×	
63	"	A.T.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
64	"	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
65	F ₂	1φG.	"	"	"	G	50S IN	×	×	×	×	×	×	
66	"	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
67	"	2φS.	"	"	"	R	"	○	○	×	×	○	○	
68	"	"	"	"	"	G	"	○	○	×	×	○	○	
69	"	3φS.	"	"	"	R	"	○	○	×	×	○	○	
70	"	"	"	"	"	○	"	○	○	×	×	○	○	
71	"	A.T.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
72	"	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
73	F ₁	1φG.	"	0 台	"	"	60S IN	×	×	×	×	×	×	
74	"	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	○	○	×	×	
75	"	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	○	○	×	×	
76	"	A.T.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
77	F ₂	1φG.	"	"	"	"	50S IN	×	×	×	×	×	×	
78	"	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	○	○	
79	"	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	○	○	
80	"	A.T.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
81	F ₃	1φG.	50→60	"	12φ	"	OFF	○	○	○	○	×	×	
82	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
83	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
84	"	1φG.	"	2 台	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
85	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
86	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	○	○	×	×	
87	"	1φG.	60→50	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
88	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	

表 2.3 続 き

試 番 No.	故 障		変 換 方 向	佐久間 Gen	変換器 相 数	西 東 端 京 状 態	by-pass switch	繼 電 器 の 接 点						備 考
	位 置	種 類						51H ₁	51L ₁	51H ₂ 入	51L ₂ 入	51H ₂ △	51L ₂ △	
89	F ₃	3φS.	60→50	2 台	12φ	G	OFF	○	○	×	×	×	×	
90	"	1φG.	"	0 台	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
91	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
92	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
93	"	1φG.	"	"	6φ	"	60S IN	×	×	×	×	×	×	
94	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
95	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
96	"	1φG.	"	2 台	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
97	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
98	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
99	"	1φG.	50→60	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
100	"	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
101	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
102	"	1φG.	"	0 台	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
103	"	2φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
104	"	3φS.	"	"	"	"	"	○	○	×	×	×	×	
105	F ₄	1φG.	"	"	"	"	50S IN	×	×	×	×	×	×	
106	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
107	F ₄	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
108	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
109	F ₄	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
110	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
111	F ₄	1φG.	"	2 台	"	R	60S IN	×	×	×	×	×	×	
112	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
113	F ₄	"	"	"	"	G	50S IN	×	×	×	×	×	×	
114	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
115	F ₄	2φS.	"	"	"	R	60S IN	×	×	×	×	×	×	
116	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
117	F ₄	"	"	"	"	G	50S IN	×	×	×	×	×	×	
118	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
119	F ₄	3φS.	"	"	"	R	60S IN	×	×	×	×	×	×	
120	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
121	F ₄	"	"	"	"	G	50S ON	×	×	×	×	×	×	
122	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
123	F ₄	1φG.	"	"	12φ	R	OFF	×	×	×	×	×	×	
124	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
125	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	○	×	×	×	×	
126	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	○	×	×	×	×	
127	F ₄	2φS.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
128	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
129	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
130	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
131	F ₄	3φS.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
132	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
133	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
134	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
135	F ₄	1φG.	"	0 台	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
136	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
137	F ₄	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
138	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
139	F ₄	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
140	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
141	F ₄	1φG.	60→50	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
142	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
143	F ₄	2φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
144	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
145	F ₄	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
146	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
147	F ₄	1φG.	"	2 台	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
148	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
149	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
150	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
151	F ₄	2φS.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
152	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
153	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
154	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
155	F ₄	3φS.	"	"	"	R	"	×	×	×	×	×	×	
156	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
157	F ₄	"	"	"	"	G	"	×	×	×	×	×	×	
158	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
159	F ₄	1φG.	"	0 台	6φ	"	50S IN	×	×	×	×	×	×	
160	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
161	F ₄	2φS.	"	"	"	"	50S ON	×	×	×	×	×	×	
162	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
163	F ₄	3φS.	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
164	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
165	F ₄	1φG.	"	2 台	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
166	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
167	F ₄	"	"	"	"	R	60S ON	×	×	×	×	×	×	
168	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
169	F ₄	2φS.	"	"	"	G	50S ON	×	×	×	×	×	×	
170	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
171	F ₄	"	"	"	"	R	60S ON	×	×	×	×	×	×	
172	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
173	F ₄	3φS.	"	"	"	G	50S ON	×	×	×	×	×	×	
174	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	
175	F ₄	"	"	"	"	R	60S ON	×	×	×	×	×	×	
176	F ₅	"	"	"	"	"	"	×	×	×	×	×	×	

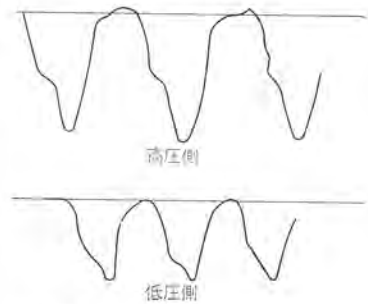


図 2.12 逆 弧 波 形
Fig. 2.12 Wave form of
back firing.

10 c/s までは DC 飽和せず、ほぼ同一の電流波形を二次側に誘起する。ATL において使用する CT もこれと同一の特性を持たせるため改良を行なったが、容量などの点でこれを模擬することは不可能であった。今回使用した CT は逆弧発生 1 c/s 後には DC 飽和して逆弧波形が実際とは非常に異なったものになっている。したがって表 2.3 の逆弧に対する試験結果は実際とはかなり異なったものとなることは明らかである。しかし、この試験は逆弧に対する解析および CT が DC 飽和した場合、電流波高値が小さくなり、継電器の立場としては、よりきびしい試験となると考えられるので試験を行なった。その結果、逆弧発生時には CT に DC 飽和があっても継電器は確実に動作することが証明された。

また、DC 飽和が CT にない場合の継電器動作を検討するため、模擬系統に CT を介することなく継電器を直接々続し、逆弧連続および繰り返し 2 種の試験を行なった。この試験の結果、継電器としては CT の DC 飽和の有無に関係なく、逆弧時には正確に動作することが明らかとなった。

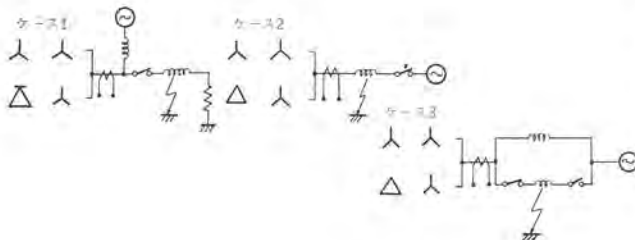
次に逆弧くり返しに対する継電器の動作について述べる。試験は逆弧 3~4 c/s 正常 5 c/s を 3 回繰り返し継電器の動作、不動作を調査した。この場合、H 要素時限 80 ms、パルスコンネクト 20 ms、L 要素時限 0.3 sec のときは、表 2.4 および表 18 にあるように H 要素は動作する。これは、逆弧 3 c/s=60 ms、パルスコンネクト 時間 20

表 2.4 逆弧繰り返し試験結果

条 件					
逆 弧			3~4 c/s		
定 常			5 c/s		
回 数			3 回		
リレー整定					
H 要 素			5 A		
L 要 素			4 A		
パルス コンネクト			20 ms		

No.	電流 (A)	時 間	51H	51L	備 考
401	10.6	H 80 ms L 0.3 sec	○	×	
402	10.6	H 100 ms L 0.3 sec	×	×	

表 2.5 電流佐久間 F/C 主変圧器保護継電器
再閉路試験結果



試番 No.	ケー ス	変換 方向	佐久間 Gen.	変換器 相数	西東京 端の 状態	by-pass switch	継電器の接点						備考
							51H ₁	51L ₁	51 H ₂ 入	51 L ₂ 入	51 H ₂ △	51 L ₂ △	
1	1	60→50	2 台	6φ	R	60S IN	×						
2	"	"	"	"	"	50S IN	×						
3	"	"	"	12φ	"	OFF	×						
4	2	"	0 台	"	G	"	×						
5	"	"	"	6φ	"	50S IN	×						
6	"	"	"	"	"	60S IN	×						
7	3	"	2 台	"	"	50S IN	×						
8	"	"	"	"	"	60S IN	×						
9	"	"	"	12φ	"	OFF	×						
10	2	50→60	0 台	"	"	"	×						
11	"	"	"	6φ	"	50S IN	×						
12	"	"	"	"	"	60S IN	×						
13	3	"	2 台	12φ	"	OFF	×						
14	"	"	"	6φ	"	50S IN	×						
15	"	"	"	"	"	60S IN	×						

ms であるから、 $60+20+\alpha \geq$ 整定時限（ただし、 α は継電器の慣性 ≈ 5 ms）の関係にも示されるように当然動作することになる。一方、L 要素は時限が長いので、60 ms 程度の入力では不動作となる。

また、動作時限を 100 ms とすると、

$$60+20+\alpha < \text{整定時限}$$

となり、不動作となる。

以上のことから、逆弧くり返しに対しては、H 要素はパルスコンネット時間 $+\alpha$ のみかけ上の慣性があるかのようになる。継電器自体の慣性としては、H 要素約 5 ms、L 要素 20 ms 以下である。

逆弧くり返し時の試験結果は表 2.4 を参照されたい。

(4) 不動作確認試験

a. 再閉路試験

(1) 項系統図において、東幹線事故により CB のシャ断器を

5 c/s で開き、20~25 c/s 無電圧状態とし、CB のシャ断器を再投入した場合の継電器の動作を調査した。

この場合も By-Pass Valve が正常に動作した場合、ならびに By-Pass Valve が動作しなかった場合の両者について行なった。

(表 1.5 参照)

By-Pass Valve が動作しなかった場合は、Inverter 側で転流失敗が起こる。そのとき、格子制御角の大きさによって継電器は動作したり、不動作となったりする。つまり、格子制御角が大きければ大きいほど逆弧の状態に近づき、短絡電流が増加して継電器は動作する方向へむかうことになる。

By-Pass Valve が動作した場合には、転流失敗が除去されるので継電器は不動作となる。

b. 励磁ラッシュについて

佐久間 F/C 向変圧器の励磁突入電流値は、変圧器設計者の計算によると 6~7 倍になるという。この突流は 10 c/s 程度継続することが今までの経験から知られている。しかるに佐久間 F/C の場合には、変圧器に Filter が接続された回路に全電圧が印加されるので、2~3 c/s ではあるが、1.5~1.8 倍の電圧が発生し、その過電圧により大きな励磁電流が流れ、励磁突流に重畳する。

また、高圧側（電源側）は人-人 Bank および人-△ Bank が並列に接続されて Bushing CT を通るので、励磁電流は倍増する。

当社 ATL の試験においては、トランス巻線の空心インダクタンスと励磁特性を同時に模擬することが困難なため、実系統と同一条件で励磁ラッシュの試験を行なうことはできなかった。今回の試験の励磁ラッシュは、トランスおよびフィルタ接続時の過電圧による励磁電流の増大であるので、3 c/s 程度しか連続せず、また大きさも実系統より小さく、約 4 倍の電流しか発生していない。したがって、今回の試験は参考的なデータである。

表 2.6 にあるデータおよび図 2.13 (参照) は、いずれも H 要素が動作している場合もあるが、これは時限 80 ms、パルスコンネット 20 ms であるため、(3) 項にも述べてあるように、 $60+20+\alpha >$ 整定時間がいく分 80 ms より長いのは入力 2 波目以後か、30% 以下であるからである。

表 2.6 Filter 接続時の Tr のラッシュカーレント
に対する試験結果

整定タップ: H=5 A L=4 A
ダイヤル: H=80 ms L=0.3 s
PULSE CONN=20

No.	電 圧 (V)	投入位相 (°)	W 相		V 相		U 相		備 考
			51H	51L	51H	51L	51H	51L	
403	220	+ 90	×	×	○	×	×	×	
404	"	+ 60	×	×	×	×	×	×	
405	"	+ 30	×	×	×	×	○	×	
406	"	0	×	×	×	×	×	×	
407	"	- 30	×	×	×	×	×	×	
408	"	- 60	×	×	×	×	×	×	
409	"	- 90	×	×	×	×	×	×	
410	"	-120	×	×	×	×	×	×	
411	"	-150	×	×	×	×	×	×	
412	"	-180	×	×	×	×	○	×	
413	"	+150	×	×	×	×	×	×	
414	"	+120	×	×	×	×	○	×	
415	"	+ 90	×	×	○	×	×	×	

表 2.7 主変過電流保護におけるオシロ一覧

試験の性格	OSL No.	故 障 条 件	試 番 No.	R Y 動 作						備 考
				RY ₂		RY ₃		RY ₄		
				H	L	H	L	H	L	
不動作確認 試 験	1	励磁突入電流の最大の例、佐久間2台	414	○	×	×	×	×	×	RY2のH要素を80msにセット すると動作 I ₀ が故障除去まで流されている。 6相運転でも△入バンクのためI ₀ が故障除去までは流れる。
	2	F6, 1φG, 単相再閉路, 12φ運転, 佐久間2台	11	×	×	×	×	×	×	
	3	F6, 1φG, 単相再閉路, 入人の6φ運 転, 佐久間2台	12	×	×	×	×	×	×	
	4	F6, 1φG, 単相再閉路, By-Pass Valve オフ, 12φ運転, 佐久間2台	599	×	×	×	×	○	×	
動作、不動作 参考試験	5	F5 (F4も同じ) 1φG, 12運転, 佐久間 2台でRY ₂ のL要素が動作した例	126	×	○	×	×	×	×	
保護能力試験	6	F1, F2 整流器側 F1, 1φG, 12φ運転, 佐久間2台	9	○	○	×	×	×	×	
	7	F1, 2φS, 12相運転, 佐久間2台	10	○	○	○	○	×	×	
	8	F2, 1φG, 12相運転, 佐久間2台	13	○	○	×	×	○	○	
	9	F2, 2φS, 6相運転, 佐久間2台	22	○	○	×	×	○	○	
	10	F1, F2 インバータ側 F1, 1φG, 12相運転, 佐久間2台	50	×	×	×	×	×	×	
	11	F1, 1φG, 12相運転, 佐久間2台 Bypass Valve オフ	516	×	×	×	×	×	×	
	12	F1, 2φS, 12相運転, 佐久間2台	52	○	○	○	○	×	×	
	13	F2, 1φG, 12相運転, 佐久間2台	42	×	×	×	×	×	×	
	14	F2, 1φG, 12相運転, 佐久間2台 Bypass Valve オフ	508	×	×	×	○	×	×	
	15	F2, 1φS, 12相運転, 佐久間2台	44	○	○	×	×	○	○	
	16	F3 事故 F3, 1φG, 12相運転, 佐久間2台	81	○	○	×	×	×	×	
	17	逆弧 逆弧	8	○	○	×	×	○	○	

(注) RY 動作……○動作, ×不動作, RY₂, RY₃, RY₄ の位置は図 1.6 による。

(注) とくに記さないものは By-Pass Valve を正常動作においたときである。



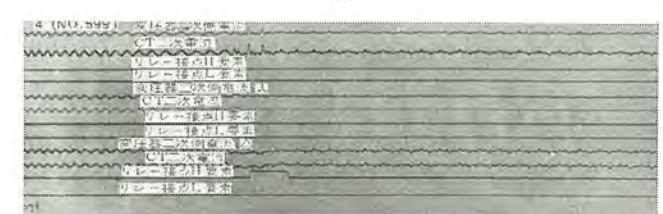
(1)



(2)



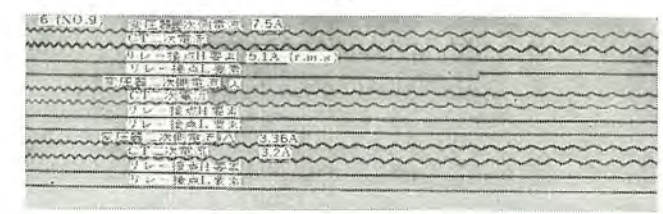
(3)



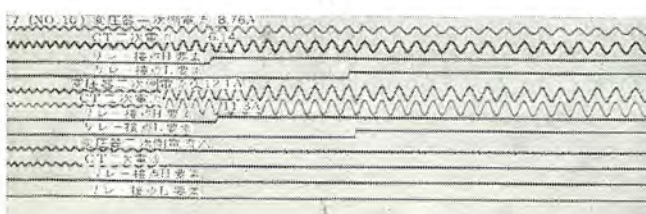
(4)



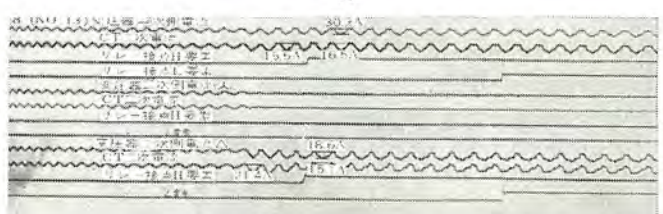
(5)



(6)



(7)



(8)

図 2.13 (a) オシログラム Fig. 2.13 (a) Oscillogram

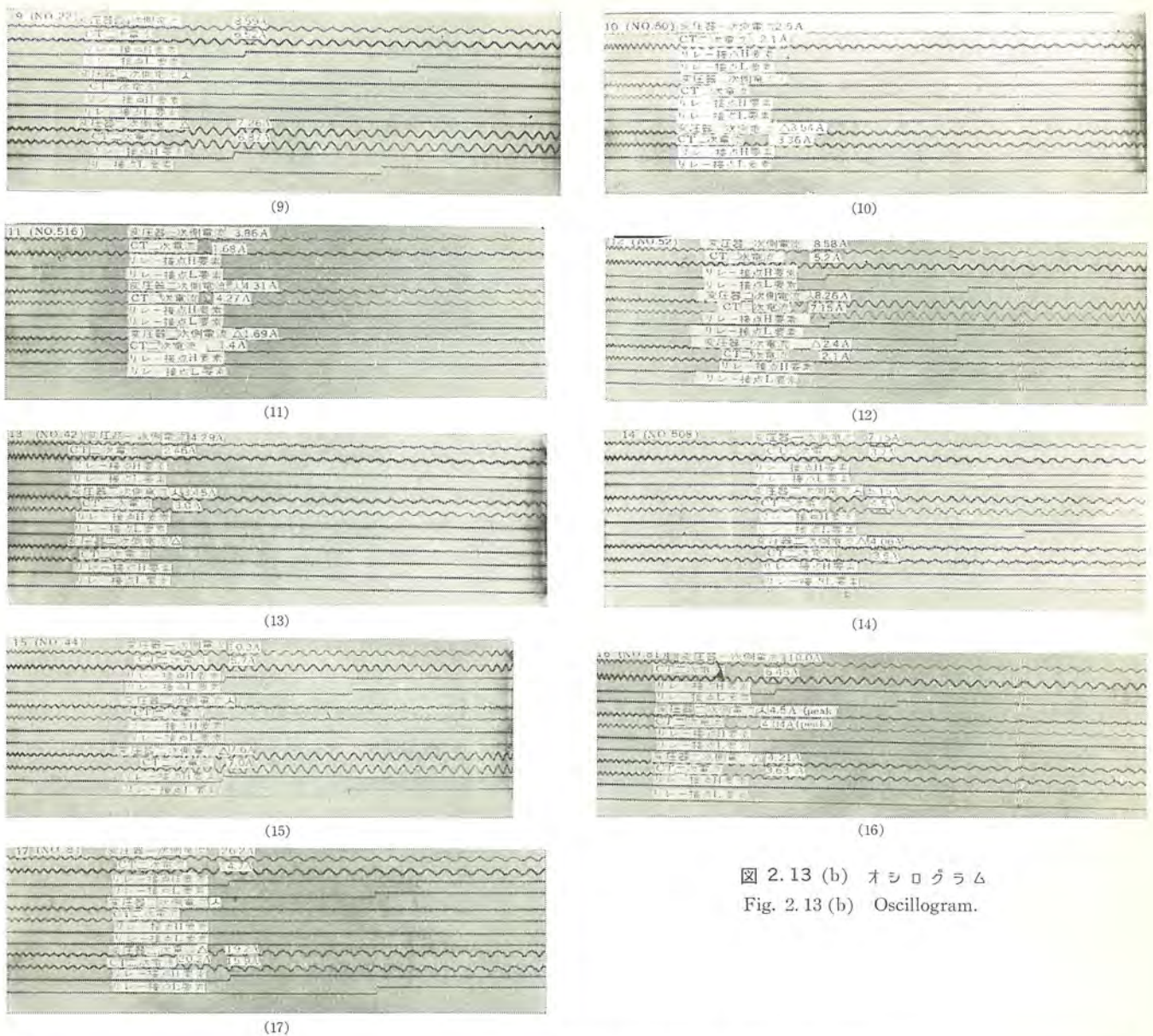


図 2.13 (b) オシログラム
Fig. 2.13 (b) Oscillogram.

3. フィルタ保護

3.1 フィルタ保護方式

日本においてもまた世界においても、直流送電に使用されるフィルタの保護は今まで考えられなかった、というよりはむしろ非常に現象が複雑であり、保護はフィルタのCおよびLに単独にとりつけられた保護装置にたよるしか方法がない、当社においても、この困難な電気の保護をいかにして行なうかを当社中央研究所のATLにおいて試験を行なった結果次の方式が考えられた。この方式がATLの試験結果からは最良の方式と考えられるが、変換装置を動作させた場合ATLでは発見できなかった種々の現象が起こることが考えられる。これらの現象に対するフィルタリレーの動作についてはさらに研究していくつもりである。

- (a) CTはオープンデルタ結線とする。
- (b) 保護継電器は定限時形長時限過電流継電器による。
- (c) 継電器は平均値応答形とする。

3.2 LOB-2-S 形限時付過電流継電器

佐久間周波数変換所において、高調波吸収用フィルタの事故を検出し、フィルタの破損によって起こる系統への影響を最小限に阻止するために新たに開発された過電流継電器をLOB-2-S形限時付

過電流継電器と呼ぶ。

この継電器の目的とするところは、フィルタ事故による系統への影響を最小限に阻止するものであるから、このLOB-2-S形限時付過電流継電器が誤動作した場合のフィルタおよび他の機器に及ぼす影響は非常に重大である。そのため本継電器は高感度平均値応答プラスタイム形過電流要素を複式としてAND回路に結合し信頼度を高めた完全誤動作防止形を採用している。これを図3.1のブロック線図に示す。

またこのLOB-2-S形限時付過電流継電器は図2.2に示すようなCT結線を行ないコンデンサCのバンクをはじめ1 μ G, 2 μ G

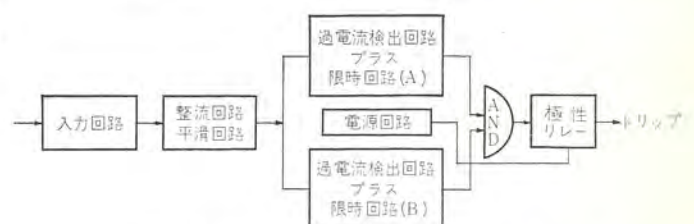


図 3.1 LOB-2-S 形限時付過電流継電器動作原理ブロック線図(第1要素のみを示す)
Fig. 2.1 Operation principle of type LOB-2-D definit overcurrent relay.

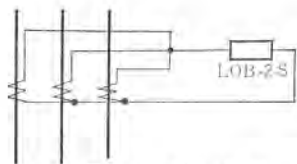


図 3.2 CT 結線
Fig. 3.2 CT Connection diagram.

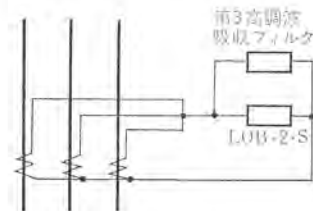


図 3.3 第3高調波吸収フィルタを付加した場合
Fig. 3.3 Connected with 3rd harmonics pass filter.

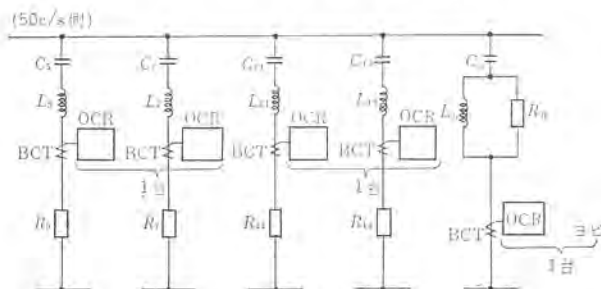


図 3.4 フィルタ構成
Fig. 3.4 Filter composition.

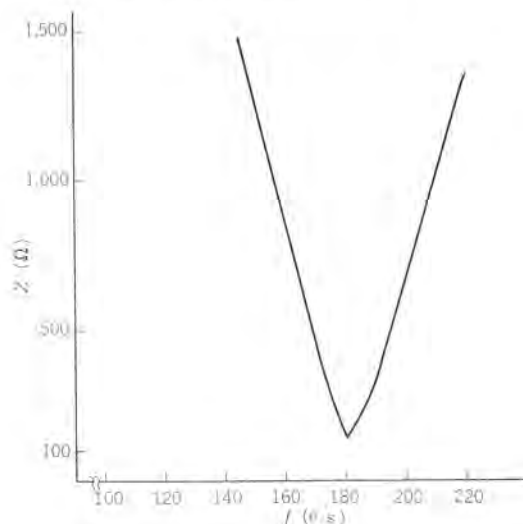


図 3.5 フィルタ周波数特性例
Fig. 3.5 Frequency characteristic of filter.

などの不平衡事故を検出するよう設計されている。この場合、変換器制御角のバラツキ、接地点の有無などにより系統に第3高調波電流が流れることが考えられる。

図 3.2 に示す CT 結線を行なった場合には、第3高調波電流がそのまま LOB-2-S 形限時付過電流継電器に流れ、整定タツプいかによっては動作する場合も考えられる。これに対しては図 3.3 に示すような方法で第3高調波吸収用フィルタを付加し、第3高調波電流による誤動作を防止している。

さらに LOB-2-S 形限時付過電流継電器は図 3.4 に示すようなフィルタ回路に使用され、第5、第7、第11、第13、HPの各フィルタ回路に 50 c/s 側、60 c/s 側ともに設置される。また本継電器は以上のような高感度、高信頼度過電流要素を互いに独立させ



(a) 正面



(b) ケースから引き出したところ

図 3.6 LOB-2-S 形限時付過電流継電器
Fig. 3.6 Type LOB-2-S definite overcurrent relay.

て2個を同一ケースに収納し(5th 用、7th 用)、(11th 用、13th 用)、(HP 用、予備)のように適用している。

この継電器の時限は 3 sec から 30 sec まで連続可変整定が可能で、その誤差は $\pm 5\%$ 以下である。

図 3.5 に第3高調波吸収用フィルタの周波数特性例、図 3.6 に写真を示す。

4. 周波数継電器による保護

4.1 周波数継電器による保護の必要性

佐久間周波数変換所において、50 c/s、60 c/s 系統分離を行なった場合に発生する系統の周波数上昇によって高調波吸収用フィルタには異常電流が流れ、フィルタを破損させる場合がある。佐久間周波数変換所においては系統分離を行なった場合は図 4.1 に示すような大幅な周波数上昇が起こる場合もある。このような場合にはフィルタ保護用の LOB-2-S 形限時付過電流継電器では、その保護目的が系統保護に主眼をおいていることからフィルタ自体の保護には不適當である。このフィルタ自体の保護を行なうものとしては、フィルタ自身にも何らかの保護装置が付加されているとは考えられるし、また佐久間発電所においても十分な保護がなされている。しかし万一の場合を考えたときにはフィルタなどの機器を破損することになるので、これに対する後備保護の目的から周波数継電器を設置した。この目的のため静止形周波数継電器を開発しそれを LFA-1-S 形周波数継電器と呼ぶこととした。

4.2 LFA-1-S 形周波数継電器

以上のような目的に対して以下の事項を考慮し、LFA-1-S 形周波数継電器を製作した。

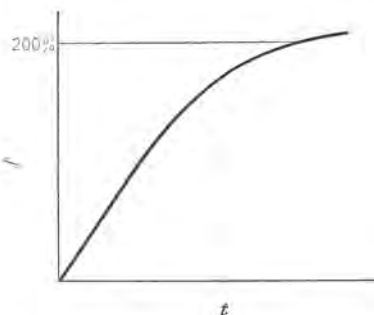


図 4.1 系統分離の佐久間 P/S Gen. 速度上昇曲線
Fig. 4.1 Sakuma power station generator speed up characteristic. (secession of transmission system)

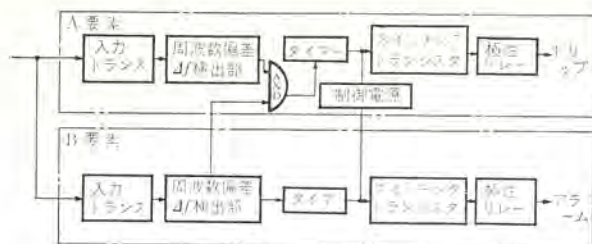


図 4.2 LFA-1-S 形周波数継電器動作原理ブロック線図
Fig. 4.2 Operation principle of type LFA-1-S frequency relay.

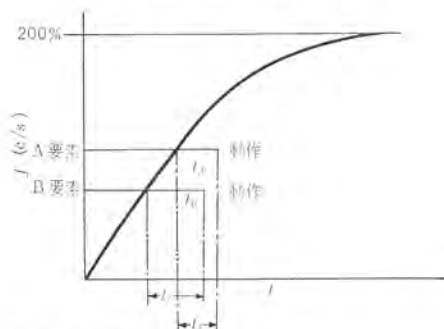


図 4.3 LFA-1-S 形周波数継電器動作条件
Fig. 4.3 Operating condition of type LFA-1-S frequency relay.

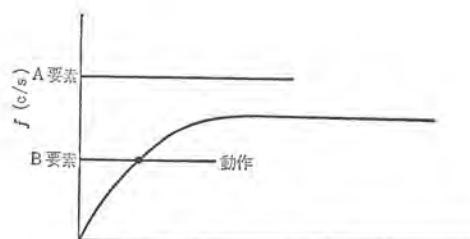


図 4.4 LFA-1-S 形周波数継電器警報表示のみの場合
Fig. 4.4 Alarm display operation of type LFA-1-S frequency relay.



(a) 正面



(b) ケースから引き出したところ

図 4.5 LFA-1-S 形周波数継電器写真
Fig. 4.5 Type LFA-1-S frequency relay.

(a) 周波数上昇に対して適当な感度を有し、かつ適当な時限の後動作する継電器であること。

(b) 誤動作の場合、275 kV 超高压佐久間幹線が全停となるので信頼度の高いものであること。

(c) 被保護機器の強度を考慮すること。

以上の目的を満足させるため、まず本継電器は高整定の A 要素と、仮整定の B 要素を有し、系統の周波数が整定値を越えた時

まず B 要素が動作し、その Δf 検出部の動作を条件に A 要素の動作を可能ならしめるよう AND 回路を構成している。

これをブロック図で示すと図 4.2 のようになる。

今回は本継電器の B 要素を警報に、A 要素をトリップに使用するようにになっている。この A 要素、B 要素の動作条件を図 4.3、4.4 に示す。

また本継電器の写真を図 4.5 に示す。

5. 配電盤設備

5.1 監視制御

5.1.1 監視方式

交流電気量については、通常の交流変電所と、ほぼ同一であるため、特記することはない。

また、各種状態表示については、直流制御関係はすべて、ASEA 社が担当したために、補機関係の状態表示はすべてそこに出され交流盤においては、直流回路断路器を主体とするインターロック条件を用いて、「受電」「準備完了」および、パルプ用断路器の接地表示を行なうにとどめている。

5.1.2 制御方式

(1) スイッチャ制御

スイッチャはすべて操作開閉器による直接制御方式であり、従来の形式のものである。また、断路器制御は命令灯方式が、付随して採用されている。

なお、超高压側シャ断器は、佐久間発電所に設置され、当変換所にはないため、後述する転送シャ断制御以外には、とくにここでは開閉制御を行なっている。

(2) 負荷時電圧調整器の制御

主変圧器の電圧制御 (50, 60 サイクル 共) は、自動および手動制御されるが、自動電圧調整器は ASEA 社のものが、使用されている。一方、所内補機用 LRA は、手動制御のみであり、2 台の LRA は並列運転されない。いずれの場合にも、タップ位置表示器は、計数表示管が使用されている。

(3) 補機回路のインターロック

変換装置用補機はすべて 300 kVA 乾式トランスによりタイ(通)降されて使用されているため、高压交流回路のスイッチャが直接補機条件とインターロックされることなく、もっぱら電気回路相互間のインターロックのみにとどまっている。

すなわち、具体的には 3 kV 補機回路は自己主変圧器三次側より給電されるとともに、最初の起動電源を佐久間発電所よりとっているため、これら相互間のインターロックが、そのおもなものとなっている。またこれらのインターロックは系統図からもわかるとおり、典型的な交流変電所とは相当おもむきを異にするため、インターロックはすべて解除できるようにして、運用上の自由度を増加させている。

(4) 転送引はずし

前述したように 275 kV 側シャ断器は、約 2 km 離れた佐久間発電所に設置されているため、変換所故障の際にはこれを引き外す必要があり、このために転送引き外し装置が納入され、その引き外し条件は次のとおりである。

- 変換所超高压回路保護継電器動作
- 主変圧器重故障
- 所内補機回路全停
- 運転中、パルプ関係補機全停

e. 非常停止指令（手動）

なお、補機回路は 60 c/s 主変圧器 3 次側からとっているため 60 c/s 回路の故障に対しては 50 c/s 側も同時に引き外すが、a, b 項の 50 c/s 回路のみの故障時には、50 c/s 系 シュ断器のみを引き外すようになっている。なお、発電所側の保護継電器動作により変換所補機回路も同時に引き外される逆回路も用意されている。

（5）補機回路の自動再開路

変換器の運転に直接関係ある補機回路には、自動再開路装置が装備されている。これは一般配電線に装備される低速再開路装置とまったく同一のものであるが、各回路ごとに 1 個あて設置するのではなく共通に 1 組おく方式がとられた。また、特定回路に対しては、ほかの回路停止による連動再開路回路も設けられている。

5.2 保護継電器と故障表示

5.2.1 保護継電方式

超高圧回路および主変圧器に対する保護方式は前述のとおりであるが、一方所内高圧回路については、高抵抗接地（100 A）を有する通常の配電系統であるため、短絡地絡とも、過電流保護方式がとられている。ただ、しいて、この回路の特長をあげれば、

（1）発電所と連系されているために、とくに地絡保護に対しては一部方向継電器を使用していること。

（2）補機回路の観点から一部低電圧保護を併用したこと。

（3）特定回路には前述の転送引き外し装置と関連をもたせたことなどである。

5.2.2 故障表示

故障表示器は 2 重ターゲット式を採用した。詳細にわたる表示項目について、ここに記載してもあまり意味がないので主要回路すなわち、超高圧および主変圧器関係分についてのみ、その一覧を表 5.1 に示すことにする。

この表中、重故障はすべて転送シュ断される。なお低圧補機関係の故障表示は、機器そのものの故障については ASEA 制御盤におかれるか、またはローカルな制御盤に設置され、主配電盤にはこ

表 5.1 主回路故障表示項目

表 示 内 容	表 示 文 字	故 障 種 別
変 圧 器 一 次 過 電 流	51MT 一 次	重 故 障
“ 二 次 人	51MT 二 次人	“
“ 二 次 Δ	51MT 二 次Δ	“
第 5 高 調 波 継 電 器	51HW 5TH	“
第 7 “	51HW 7TH	“
第 11 “	51HW 11TH	“
第 13 “	51HW 13TH	“
高 域 “	51HW HP	“
発 電 所 継 電 器	発 電 所 RY	“
変 圧 器 本 体 衝 撃 圧 力 継 電 器	96PTR	重、軽、切換
“ エレファント “	95PEL	“
“ タップチェンジャー “	96P TAP	“
高 整 定 周 波 数 継 電 器	95H	“
低 “	95L	“
LR 用 NFB トリップ	NFB TAP	軽 故 障
“ 同 期 ブレ	25 TAP	“
“ タ ッ プ 誤 差	33 m TAP	“
転 送 装 置 故 障	転 送 故 障	“
変 圧 器 温 度 上 昇	26T TR	“
“ ターナー故障	69TR	“
“ N ₂ 圧力低下	63N	“
“ 油 面 低 下	33Q	“
L R 極 限	上、下限 TAP	“
QF ケーブル油圧	63QOF	“
P D 短 絡	PD 短絡	“

れらを集約したものかあるいは電気回路故障（たとえば NFB トリップ）がおかれている。

5.3 配電盤設備

5.3.1 概 要

配電盤設備としては主制御室におかれる主配電盤のほかに低圧監視盤、所内高圧キューピクル、および屋外低キューピクル、分電盤など、直接、機器制御と連動関係を有しない電源回路一式をすべて納入した。

5.3.2 所内用高圧キューピクル

所内用高圧キューピクルは、所内 パンク 2 次回路および LRA のみ屋外形とし、ファイダ回路は屋内形で納入された。キューピクルの形式はいずれも JEM にある G 級を満足するものであり、シュ断器は 75 MVA の シュ断容量を有する磁気シュ断器が、また CT は プラシマ 形が採用されている。

なお、高圧断路器および 300 KVA 乾式変圧器は特定のものを除き、単独設置形である。このキューピクルは高圧機器の収納が主目的であるため、キューピクルにおける制御は行なわず、ただ単に試験のための表示灯、すなわち、開閉表示、位置表示、命令表示のみを表示するにとどめている。

5.3.3 主配電盤

主制御室に ASEA 制御盤と併置され、主回路および所内高圧回路の監視制御を行なっている。すなわち、主配電盤は前後両面形とし、前面には監視制御器具を、また背面には保護継電器を配置するという典型的な配電盤形態をとっているが、フィルタ、主変圧器関係の保護継電器が主体を占めるために、前後 1 対 1 の対応はできず、主として用途別に分割配置されている。なお、この主制御室には 20 回路の交換回路を有する電話切換台が併置されている。

5.3.4 低圧配電盤その他

低圧監視盤は前述した 300 KVA テイ降用乾式トランス 9 台の二次側に装備される NF プレーカ 盤であり、各種補機の電源となるものである。これらのうち多くは、屋内両面自立形配電盤に収納されているが、特定のものは 300 KVA、乾式トランスと組み合わせられて、屋外キューピクルを構成しているものもある。このほかに数十台におよぶナイフスイッチを主体とした分電箱が、あわせて納入された。

6. む す び

以上、佐久間周波数変換所に納入された交流回路保護継電器と配電盤設備についてその概要を報告したが、静止器による大容量周波数変換技術は、わが国においても最初のものであり、交流回路の保護方式にしても、あるいはまた、監視制御の方式にしても今後の調査研究にまたねばならぬことが非常に多いと思われるがこの報告がこれらの一段階として諸賢の参考に資するところがあれば、幸いと考える次第である。

さいごに本設備の設計製作にあたり、始終ご指導とご助言を賜わった電源開発株式会社各位ならびに中央研究所をはじめとする社内関係者に厚くお礼を申上げる。

油入アルミリアクトルと充電用アルミ変圧器

長野 光 佑*・藤 岡 泰 治*

Oil Immersed Aluminum Reactor and Aluminum Transformer for Charging Condenser

Itami Works Kōsuke NAGANO・Yasuharu FUJIOKA

One oil immersed aluminum reactor and one aluminum transformer for charging condensers have been built to study the practicability of the material to the construction of transformers. In using the aluminum there are two major cases: one is for coils and the other for external structure such as tanks and covers. The latter brings about unquestionable high cost as compared with the conventional materials, whereas the former is sometimes regarded as economical. Nevertheless, the application to the latter sometimes proves economical provided that the transportation weight plays a vital part in consideration of environmental conditions. Manufacturing technique on aluminium apparatus has been acquired anyway through the manufacture of these units.

1. ま え が き

近年、機器の容量増加に伴い、その重量が著しく増大し、輸送上問題をおこすことがしばしばである。これに対する対策として構造上の工夫はもとより、従来から用いられている銅材、鉄材などに注目する傾向が各社ともに現われ、アルミ製の変圧器に注目を集めるようになってきた。当社においても、このアルミ材に関しては、従来から、いろいろと研究がなされ、いろいろ検討も加えられていたが、いまだ変圧器の巻線やタンクなどに、大幅に応用した経験はなかった。そこで、従来よりの研究を生かすと同時に実際の製品を製作して、その体験を得ることと技術の修得とを目的として、ここに2章に示す定格の油入アルミリアクトルと充電用アルミ変圧器とを製作した。従来より、アルミ材は、当社においても、原子炉関係、離相母線関係で多く製品に用いており、化学的性質機械的性質・電気的性質などの面では、十分研究し尽され、またその工作経験も豊かであるが、変圧器関係の巻線やタンクといったたぐいに利用したのは、今回が初めてなので、ここに、その結果を報告する。ここに製作したリアクトルは、タンクはもとより、コンサベータ、ベース、巻線にいたるまで、すべてアルミを用いた。また、ブッシングには、当社で製作した乾式ブッシングを用い、タッパの変換には、無負荷のタッパ切換器により行なうこととした。また、充電用変圧器は、巻線のみアルミを用い、縦続接続形の構造をとった。しかもガイ管に相当する部分は、これも当社で製作したエポキシのガイ管を用いた。油入アルミリアクトルは、当社で、このたび完成した新設大容量短絡試験設備で等価試験用に使用されるためのもので現在据え付けを完了しており、充電用変圧器は、これも、このたび完成した4,000 kV、750 kJ 衝撃電圧発生装置（将来5,000 kVとなる）の充電用電源として活躍している。

2. 定格と仕様

2.1 油入アルミリアクトル

絶縁階級	70 号
短時間定格	20 ms (5 分間隔, 30 回)
定格電流	5,000 A (rms)
リアクタンス	3-4-6-8-10 mH

油 量	12,200 l
総 重 量	13,800 kg
床 面 積	3,000×2,600 mm
高 さ	4,630 mm

2.2 アルミ充電用変圧器

容 量	55 kVA
定格電圧	22,000 V
定格電圧	440-220 V
油 量	1,500 l
総 重 量	3,900 kg
床 面 積	1,230×1,230 mm
高 さ	2,840 mm

3. アルミ材

油入アルミリアクトル、および充電用アルミ変圧器に用いた使用アルミ材料は

タンク、コンサベータ、	} ……耐食アルミニウム合金1種 カパー、その他 } (5052)
導 体 (リアクトル)	

導 体 (リアクトル) ……アルミ平角線 (1/2H)

導 体 (充電用変圧器) ……アルミ丸線

といった材料であるが、表3.1にアルミ材の種類と、その特長を記述し、上記材料を選んだ理由を説明する。表3.1は、いちおうタンク材料に使用できるものをアルミ合金の中から抜粋した。

3.1 タンク材料

現在考えられる構造からして、表3.1から最も5083が適しており、次に続くものが、5052 (52S) と 6061 (62S) とであり、あとは使用可能であるが、上記3種類より劣るものと思われる。

ここに、この3種の引張強さを比較してみると、

5083	29.4 kg/mm ²
5052	19.0 kg/mm ²
6061	12.7 kg/mm ²

となり、5083が最も強い。しかし、実際にタンクなどにアルミ材を使用する場合いろいろな板厚、大きさがあるため、アルミメカに多く流れている材質のアルミ材を使用しないと価格的に非常に高価なものとなる。すなわち、経済性と加工性を考え合わせると

表 3.1 アルミ材料の種類

合金系	呼 称 法		特 長 と 用 途
	AA	JIS	
アルミニウム合金	3003 (3S)	耐食アルミニウム	一般用途、純アルミより強度がやや大きく深絞り成形および溶接性良好、耐食性優秀、建築車両
	5005 (A50S)		3003 とほぼ同等の性能を有し、アルマイト上りの外観が美麗で最近 3003 に代わって使用される傾向が多い。
	5052 (52S)	耐食アルミニウム合金 一種	中程度の強度を必要とする一般用途、成形性良好、耐食性、耐疲労性がよい、溶接性は 3003 より劣るが困難でない、車両および船舶に多く使用される。
	5083	耐食アルミニウム合金 7 種	5052 と 5056 の中間的組成をもつ合金で耐食性溶接性良好、強度は 5056 とほぼ同じ。
	5056 (56S)		5052 とともに耐食性きわめて良く、非熱処理アルミニウム合金中最高の強度を有する。成形加工性はやや劣る。
耐食アルミニウム合金	6061 (61S)	耐食アルミニウム合金 4 種	耐食性よく、中程度の機械的性質を有する一般用材料。
	6063 (63S)	耐食アルミニウム合金	6061 より強度は低いが、耐食性は 6061 よりよい、押出加工性が良好で複雑な断面を有する押出成形材も容易に加工できると、陽極酸化皮膜の外観が美麗であるため建築用材に多く使われる。

5052 が最もすぐれていると判断して、この材質を採用した。

3.2 導体の材料

リアクトルに対しては、アルミ 平角線を用い、充電用変圧器には、アルミ 丸線を用いた。材質は、2S に相当するアルミで、平角線 1/2 H 材、丸線は O 材を用いた。巻線のように繰返し曲げのかかるものは H 材では、簡単に折れてしまい、工作的に不適当なので、1/2 H 材か、O 材を使用しなければならない。

4. 外部構造

4.1 油入アルミリアクトル

この油入 アルミリアクトル は、シヤ 断器等価試験に用いられ、その外観は、図 4.1 に示すとおりである。タンクは、下部、上部の二つに分けられ、溶接はすべてアルゴン 溶接で行なった。アルミ 材は、ガス 切断ができないことと、溶接後のヒズミが大きいことから、その材料採りに工夫することが必要で、ちなみに上部 タンク の材料採りを示すと、下記のごとくなる。

図 4.2 の構造において、アルミメカ より購入した材料は、幅 A



図 4.1 油入 アルミリアクトル
Fig. 4.1 Oil immersed aluminum reactor.

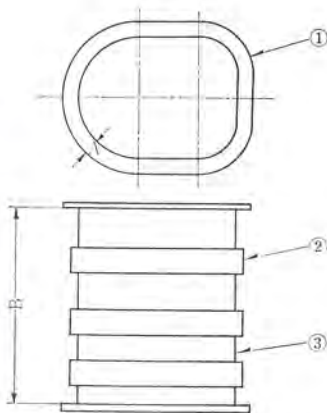


図 4.2 リアクトルのタンク
Fig. 4.2 Tank of reactor.

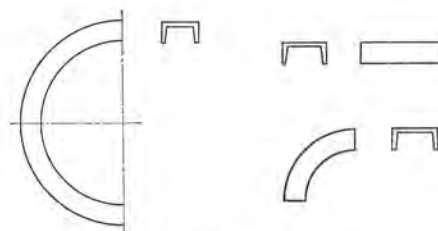


図 4.3 タンクの補強
Fig. 4.3 Reinforcement of tank.



図 4.4 充電用アルミ変圧器
Fig. 4.4 Aluminum transformer for charging condenser.

寸法の板、幅 B 寸法の板、図 4.3 に示す補強となる。切断箇所をできる限り少なくしたことに注意を払われない。このように、アルミ 材を用いる場合には、材料購入の点に注意を払わなければならない。また、アルミタンク、カバー などの表面処理は、耐食 アルミ を使用しているので塗装を行わず、ワイヤブラシ をかけるのみとした。タンク 強度としては、真真空に耐える必要があるが、補強の入れ方を工夫し、鉄の 6mm 厚さに対し、アルミ の 8mm 厚さを用いた。以上の注意のほか、金属との接触の問題などに注意を払って製作した。

4.2 充電用変圧器

この変圧器は、このたび完成した 4,000 kV 衝撃電圧発生装置のコンデンサ 充電に用いられるもので、すでに、実際に活躍している。外観は、図 4.4 に示す。頭部に出ているガイシ は、内部にシリコン 整流器を内蔵しており、変圧器より発生する電圧を全波整流している。変圧器のガイ管には、エポキシ を用い、このガイ管 2 本を真中でボルト で接続した。

5. 中身構造

5.1 油入アルミリアクトル

外観は、図 5.1 に示すとおりである。巻線構造は、図 5.2 に示すように A, B 2 個のコイル に分割し、2 台のタップ 切換器を連動させることにより、リアクタンス 値を変えている。すなわち、タップ 1, 2, ...5 にしたがって、リアクタンス 値が、10, 8, 6, 4, 3 mH と変わる。この構造において A, B, 2 個のコイル のコイル 間隔を大きくとって、A コイル と B コイル とは独立なコイル としたが、これは、リアクタンス の最も小さい 5 のタップ に電圧が印加されても、B コイル には電圧を誘起せず、巻上げの電圧が大きくなり役目を果し



図 5.1 アルミリアクトルの中味
Fig. 5.1 Inside assembly of aluminum reactor.



図 5.4 タップリードのサンプル
Fig. 5.4 Samples of tap lead.

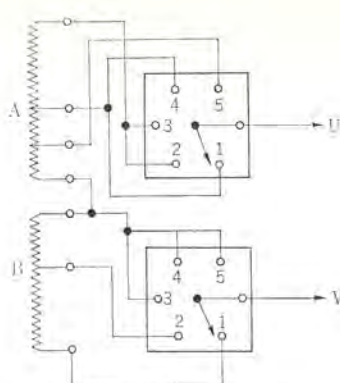


図 5.2 リアクトルの結線
Fig. 5.2 Connection diagram of reactor.

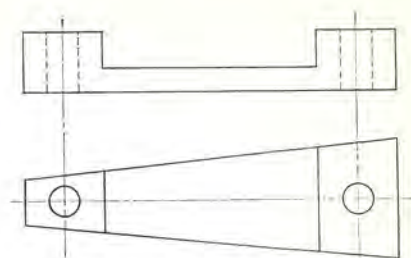


図 5.3 リアクトルのクリート
Fig. 5.3 Cleat of reactor.

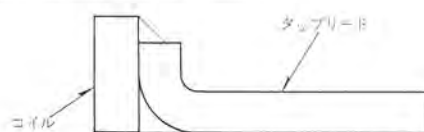


図 5.5 リアクトルのタップリード
Fig. 5.5 Tap lead of reactor.



図 5.6 アルゴン溶接後の破壊状況
Fig. 5.6 Breakdown of aluminum conductors joined by argon arc welding.

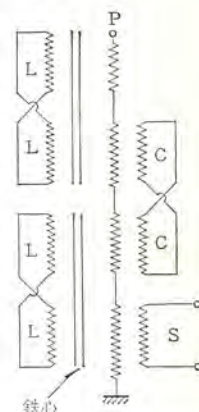


図 5.7 変圧器の結線
Fig. 5.7 Connection of the transformer.

ている。また、2 台のタップ切換器を用いていることから、タップ間に発生する電圧は、小さなものとなり、従来の無負荷のタップ切換器を用いることで製作を可能にしている。コイルセクション間のラジアルスペーサは、図 5.3 に示すプラスチック製のクリートを用いた。実際の組立てにおいては、クリートのミゾの間に、アルミ平角線を連続巻きし、クリートの穴にエポキシを流し込んで固め機械的な強度と絶縁的な強度をとともにもたしてある。

タップリードに関しては、図 5.4 の I および II の方法を採用した。すなわち、図 5.5 のごとく、アルゴン溶接で、タップリードを溶接した。この溶接の強度は、図 5.6 からわかるように、溶接部より切断しないことがわかる。しかし、この溶接は、ロウ付と違って、接触面すべてが溶接されるわけでないことから、接触面積を十分に考慮に入れなければならない。実際の設計に際しては、接続部は、極力少なくすることが肝要である。

5.2 充電用変圧器

巻線構造は、図 5.7 に示す縦続接続形の構造をとった。鉄心は 2 段で、一次巻線は 4 段とし、それぞれ必要に応じて、リーケジコイル、結合コイルを設けた。各コイルの接続は、導体がアルミ丸線なので、アルゴン溶接ができず、機械的に接続した。現在のところアルミハンダは、腐食などの点で信頼がおけず、有力な接続方法はないものと思われる。

6. 従来とアルミ材との比較

これに関しては、従来から、いろいろ検討されてきており、巻線のみアルミにすれば、巻線重量は、ほぼ半分になるといわれている。すなわち、導電率は、 $\text{Cu}:\text{Al}=100:61$ に対し、比重は $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:2.7$ であることから、同一抵抗に対する重量比は、 $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:4.4$ となる。しかし、等価試験に用いられるこのリ

アクトルは、導電率よりも、むしろ機械的強度により導体断面積が押えられるので、上記のことは、適用できず、機械的強度の比を考えに入れなければならない。3 号平角銅線とこのアルミ平角線との抗張力および伸びを示すと、表 6.1 のようになるので、 $\text{Cu}:\text{Al}=2:1$ となり、同一強度を有する重量比は $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:5.4$ となる。また、銅線とアルミ線との価格比は、ほぼ $\text{Cu}:\text{Al}=1:1.2$ であるから、巻線の価格比は $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:6.5$ となり、価格的には、多少安くなろう。次にタンク、カバー、コンパネなどの外部関係をアルミ材にした場合、これも機械的強度により決まる。したがって鉄材とこのアルミ材との強度的比較をすると、表 6.2 のようになり、 $\text{Fe}:\text{Al}=4.1:1.9$ となる。したがって、同一強度を出す場合の重量比は、比重が $\text{Fe}:\text{Al}=7.8:2.7$ であることから、 $\text{Fe}:\text{Al}=1.5:1.1$ となる。価格的には、鉄材とアルミ材との価格比が、平角線の場合と違って、かなり開きがあり、ほぼ $\text{Fe}:\text{Al}=1:7$ であることから、価格の比は、 $\text{Fe}:\text{Al}=1.5:7.7$ となり、問題にならないぐらい、アルミ材を用いたほうが、高価となる。以上、簡単に巻線および外部関係について、比較を行なったが、ここに、このリアクトルの重量比較を表に示すと、表 6.3 のようになる。

表 6.1 抗張力および伸び

	抗張力 kg/mm^2	伸び %
3 号平角銅線	26	34
アルミ平角線	13	10

表 6.2 抗張力および伸び

	抗張力 kg/mm^2	伸び %
鉄材	41	23
アルミ材	19	25

表 6.3 リアクトルの重量

	アルミ材を用いた場合 (kg)	従来の材料を用いた場合 (kg)
巻線材料	370	610
絶縁材料	240	240
コイル押え	10	10
タンクカバー	825	1,120
膨張タンク	95	130
車台、ゲージ	85	115
ブッシング	400	400
その他	175	275
油	12,000	12,000
総重量	14,200	14,900

充電用変圧器に対しては、巻線のみアルミに代えたので、わずか安価となったものと思う。

7. 結 論

以上述べたことをここにまとめてみると、次のようになる。

7.1 価格比

この種のリアクトルでは

(1) 巻線にアルミを用いた場合

巻線の重量比は、ほぼ $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:5.4$

価格比は、 $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:6.5$

(2) タンク、カバー、などの外部関係にアルミを用いた場合

外部関係の重量比、ほぼ $\text{Fe}:\text{Al}=1.5:1.1$

価格比、 $\text{Fe}:\text{Al}=1.5:7.7$

また、充電用変圧器では

巻線の重量比は、ほぼ $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:4.4$

価格比は、 $\text{Cu}:\text{Al}=8.9:5.3$

7.2 アルミ使用のときの注意

巻線の場合

(1) タップ、およびリードの接続は、アルゴン溶接で行なう。

(2) できる限り接続部を減らす。

(3) 溶接のときには、接触面積に十分気を付ける。

タンク、カバー、などの外部関係の場合

(1) 材料採り、および材料購入に注意する。

(2) 溶接は、アルゴン溶接で行ない、溶接部は、できる限り減らす。

(3) 表面処理は、酸洗い、もしくは、ワイヤブラシとなるが、酸洗いの場合は、コンサペータなどの内部に酸が残らないように注意する。また、表面塗装の場合は、さきにアルミ面を特別な塗装で前処理することが必要である。

(4) 金属との接触に注意する。

8. む す び

ここに2台のアルミ製品を製作し、アルミ材の効用を体験したが、今後ますますアルミ材の使用が、発展することを考え合わせれば、変圧器、リアクトルといったたぐいにも、十分アルミ材の採用の可能性が考えられる。現在、この2台の製品は、実際に、当社で活動しており、まゝに詳述したように、価格などの問題点が解決されれば、アルミ材のこの方面での、今後の発展も期待できよう。現状でのアルミ材使用状況を認識していただき、ここにこの報告を終える。最後に製作にあたって援助くださった関係各位に厚くお礼申し上げる。

「三菱電機技報」アンケート抽せん発表

「三菱電機技報」と愛読いただき厚くお礼申し上げます。

本誌においては、39巻8号へ本誌をより良くするため皆様方のご感想、ご意見をお聞かせいただきたくアンケートを挿入致しました。

皆様のご協力により総数 890 枚という多数のご感想、建設的ご意見をお寄せいただきました。

これをもとに本誌をより一層良いものに致すべく編集部一同一層の努力を致す所存でございますので、今後とも倍旧のご支援を賜りますようお願い申し上げます。

アンケートをお寄せいただいた方々の中から、抽せんの結果下記 10 名様が当せんされましたので、ここに発表させていただきます。

なお、賞品「三菱トランスラジオ」(コールメリー)は、菱電運輸株式会社を通じお送り致しますからお受け取り願います。

青木 喬 様	延岡市旭町2丁目中社宅2の3 (旭化成)
安藤雅浩様	岡崎市美合町入込45 (日清紡織)
梅津長徳様	宮崎市丸山町76 (宮崎大学)
川島正澄様	神戸市須磨区戸政町3の9 (川崎製鉄)
近藤正雄様	松山市湊町7の5 (井関農機)
田中佳太郎様	松山市湊町5丁目1の1 (伊予鉄道)
千々岩清明様	佐賀県杵島郡大町町下大町 (杵島炭鉱)
野村直夫様	福井市四ツ井本町902 (北陸電力)
山口 修 様	東京都板橋区稻荷台13 天野一郎様方 (運輸省)
山本鉄雄様	仙台市中江南25の2 (仙台電気工事所)

(以上 50 音順)

三菱ケーブル系統保護用表示線継電装置

森 健*・寺田 真*・下迫賀生*

Mitsubishi Pilot-Wire Relaying for the Underground Cable Line Protection

Kōbe Works Takeshi MORI・Makoto TERADA・Yoshio SHIMOSAKO

The rapid growth of power system has made high voltage underground cable lines prevalent in Japan. This, however, poses another problem of high charging current liable to bring about current and voltage swing at abnormal conditions. In Japan sensitive ground fault protection is required also on such cable system. To provide for the most reliable protection on such cable systems, Mitsubishi has worked out AC wire pilot protection with a charging current compensation scheme unique in Japan. The operation tests and practical operating experience have proved its excellence. This article describes the principle, construction, operation and features of the above scheme together with experimental data obtained on artificial transmission lines (ATL).

1. ま え が き

戦後のわが国における電力系統の発展は、都市に、あるいはその周辺において、高電圧 ケーブル による電源の導入を活発化させ、さらにその傾向を拡大させようとしている。

ケーブル 系統を、架空線系統と比較した場合、その大きな特長は、線路インダクタンスが小さく、キャパシタンスが大きいことで、系統技術上種々考慮すべき問題があり、保護継電方式もその例に漏れない。

ケーブル 系統保護方式としては方式自体の信頼度、伝送路の建設の有利さの点などから、表示線継電方式が賞用されている。しかし ケーブル 系統は上記の特質を有するため、高抵抗接地系で高感度地絡保護を行なう場合、外部事故における継電器動作が問題となっていた。

当社はこれにたいし、電流循環式表示線継電方式、充電電流補償付電流循環式表示線継電方式、方向比較方式の3方式を実用化している。

この論文では上記3方式の概要を述べ、次に充電電流補償方式について原理、解析、実験などの諸検討の主たるものを紹介して、ケーブル 系統保護のご参考に供するものである。

2. ケーブル系統用表示線継電方式

ケーブル 系統用表示線継電方式として、われわれが実用化している方式は、前述のとおり3種があげられる。

2.1 電流循環式表示線継電方式

ケーブル 系統において、異常電圧抑制、リレー 動作の確実化の観点から低抵抗接地にすることがもっとも望ましい。そのような場合や高抵抗接地系でも区間内充電電流が、ある程度以下であれば特別な処置をせず、架空線系統保護用の三菱 HCB 形電流循環式表示線継電方式⁽¹⁾がそのまま適用できる。(図 2.2)

この場合、適用限界として区間内充電電流が継電器の最小保護電流の1/2以下であればよいということが確認されている。上記限界は外部1線地絡故障にたいし定常的に抑制力が動作力に打ち勝つこと、およびケーブル 系統特有のサージと等価な波形を印加した結果から定められている。継電器の耐サージ特性については3章で説明する。

2.2 充電電流補償付電流循環式表示線継電方式

架空線系統保護用の三菱 HCB 形表示線継電方式は、区間両端

の電流を比較する一種の差動方式で高信頼度を有しすぐれた方式であるが、ケーブル 系統の充電電流が外部地絡時、表示線継電器にとって見かけ上の差動電流となること、および ケーブル 系統特有の過渡現象が激しいことから、そのまま有効分の少ない高抵抗接地系の高感度地絡保護に適用できない場合が生ずる。

このような高抵抗接地 ケーブル 系の地絡保護方式として提案実用化されたのが、三菱 NC 形充電電流補償付 HCB 形表示線継電方式で、保護区間内の ケーブル 充電電流に相当する電流を表示線



図 2.1 HCB-4-D 形
表示線継電器
Fig. 2.1 Type HCB-4-D
pilot wire relay.



図 2.3 NC-1-M 形
充電電流補償装置
Fig. 2.3 Type NC-1-M
charging current compensator.

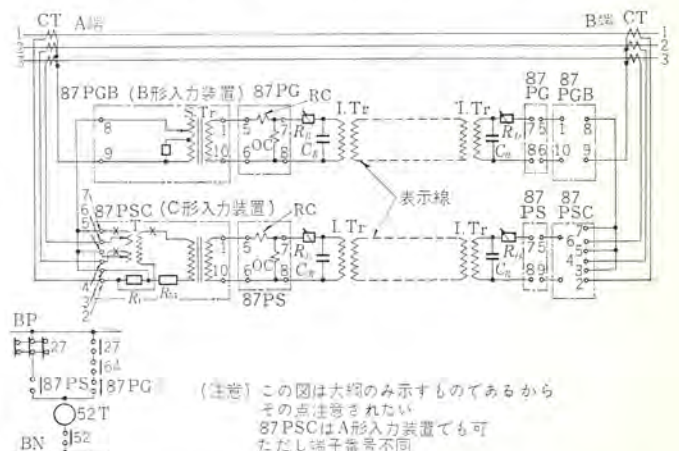


図 2.2 架空線用 HCB 形表示線継電方式
Fig. 2.2 Mitsubishi type HCB pilot-wire relaying system
for overhead transmission line protection.

表 2.1 三菱充電電流補償式ケーブル系保護用
表示線継電装置納入実績 (昭和40年7月現在)

納入先	保護区間	電圧 (kV)	ケーブル 距離 (km)	納入 端子数	納入年度
関西電力	野江 s/s—中本 s/s	70	3.8	2	昭 35
関西電力 堺共同火力	松屋 s/s—堺共同 p/s	70	2.8	2	昭 38
堺共同火力 八幡製鉄	堺共同 p/s—堺北 s/s	70	0.5	2	昭 38 昭 40
中部電力	岩塚 s/s—島森 s/s	140	2.4	4	昭 39
関西電力	大浜 s/s—鳴尾 sw/s	70	2.14	4	昭 40
関西電力	錦 s/s—四條 s/s	70	1.35	2	*
*	四條 s/s—蹴上 p/s	70	3.5	2	*
*	*堺港 p/s—神石 s/s	140	3.0	2	製作中
*	*荻之茶屋 s/s—敷津 s/s	70	5.5	2	*
*	*湊町 s/s—敷津 s/s	70	6.2	2	*
*	*竜神 s/s—三宅 s/s	70	2.1	2	*
*	*木川 s/s—木川支線 分岐点	70	0.2	2	*

* ケーブル故障検出用地絡パイロットワイヤリレー装置として製作中。

継電器入力側に補償してやることにより、充電電流の影響を根本的に除去した方式である。その納入実績を表 2.1 に示す。

この方式を採用した三菱 HCB 形表示線継電方式は、ケーブル系統の地絡保護方式として過渡現象に安定なすぐれた方式であり、表示線継電器自体には、タイムラグを必要としないことが確認されている。この方式の詳細は 3 章以下に述べる。

2.3 方向比較方式

この方式は方向継電器と表示線継電器とを組み合わせ、方向継電器の接点により表示線継電器回路を制御することにより、事故を判別するものである。

この方式の概略を図 2.4 に示す。図 2.4 において、各端に零相電圧、電流で動作し区間内部に事故電流入入を検出する流入検出継電器 67A、区間外部に事故電流出入を検出する流出検出継電器 67B が設けられている。67A の接点は各端の線間電圧を HCB 形表示線継電器に印加するので、内部事故時、各端の表示線継電器は確実に動作する。また外部事故時は各端の流出検出継電器 67B が動作し、表示線継電器の動作コイルを短絡するので誤動作を確実に防止する。

この方式用方向継電器は高調波濾波器内蔵形で、ケーブル系統の過渡電流にたいし十分安定である。この継電器と HCB 形表示線継電器とを併用し、多端子系においても全端確実高速度シャ断を行なうことができる。

当社としては、充電電流補償方式の安価な点、諸種検討の結果納入実績などの点から、この方式を標準方式とする方針である。

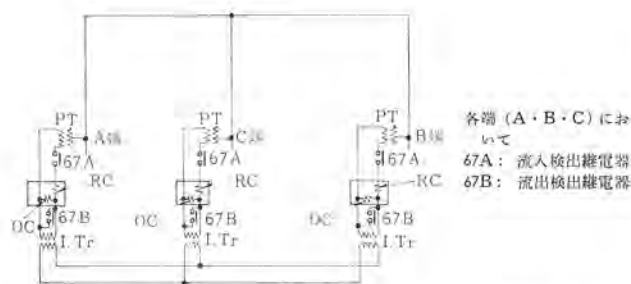


図 2.4 ケーブル系統用 HDB 形方向比較式表示線継電方式
Fig. 2.4 Mitsubishi type HDB directional comparison
pilot-wire relaying system for underground
cable line protection.

3. 充電電流補償方式

この章では充電電流補償方式の原理、動作、構成を説明する。

図 3.1 はケーブル系統 1 線地絡時の等価回路である。系統電圧を E 、零相電圧を V_0 、零相電流を I_0 、区間内充電電流の残留回路における値を I_c 、中性点電流を $3I_R$ 、中性点接地抵抗を R 、1 相対大地充電容量を C 、故障点抵抗を r_g とすれば、以下の式が成立する。

$$V_0 = I_0 Y_0 \quad (2.1)$$

$$Y_0 = 1/3R + j\omega C \quad (2.2)$$

$$I_0 = E/\sqrt{3} (r_g + 1/Y_0) \quad (2.3)$$

$$I_R = V_0/3R \quad (2.4)$$

$$I_c = 3(I_0 - I_R) \quad (2.5)$$

式 (2.1)~(2.5) をといて V_0 、 I_c を求めると、

$$V_0 = \frac{\sqrt{3}RE}{(r_g + 3R) + j3\omega CRr_g} \quad (2.6)$$

$$\frac{I_c}{3} = \frac{j\sqrt{3}\omega CRE}{(r_g + 3R) + j3\omega CRr_g} \quad (2.7)$$

$$I_c = j3\omega CV_0 \quad (2.8)$$

上記により V_0 、 I_c それぞれは故障点抵抗 r_g の影響を受けるが、 I_c と V_0 とは r_g に関係なく比例することが明らかである。

この関係に着目した充電電流補償方式の原理を、図 3.2 に示す。すなわち系統零相電圧 V_0 を適当なコンデンサ C' に印加し、その電流を補助 CT (1) (V_0 側巻数: リレー側巻数 $= a:1$) を使用し、適当な値に変成し、 I_c と逆極性になるようにして、リレーに印加すれば、外部事故時の I_c の影響を完全に排除することができる。なお図 2.2 の Tr は PT 負担を十分小さい範囲に押え、補償電流を整定するための補助トランスである。

この方式を使用した表示線継電器の入力ベクトル図を図 3.3 に示す。本図によれば、外部事故時には両端電流は完全に逆位相となることおよび内部事故時充電電流分が動作入力として印加される形となり、条件がよくなることわかる。

このことから、この装置を使用する際は、補償なしのときの表示線継電器の感度は充電電流にたいして、あまりに上げる必要はなくなり、適用上有利となる⁽²⁾。

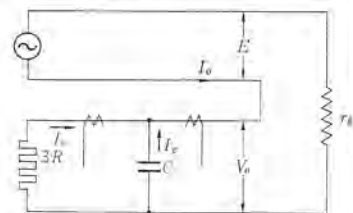


図 3.1 ケーブル系統 1 線地絡時等価回路
Fig. 3.1 Equivalent circuit of the cable system
at one phase grounded.

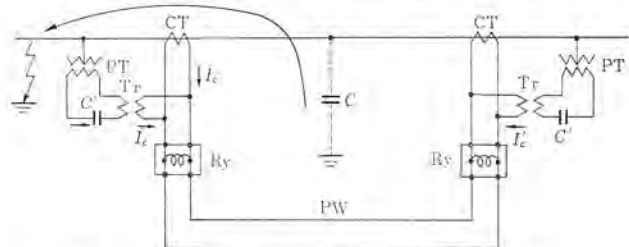
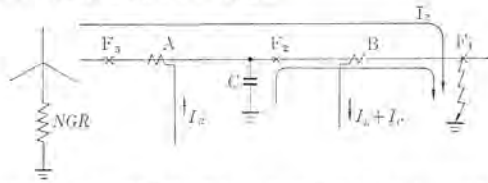


図 3.2 三菱 NC 形充電電流補償方式原理説明図
Fig. 3.2 Principle of the Mitsubishi type NC
charging current compensating scheme.

NGR 100 A (0.5 A) ケーブル 77 kV OF ケーブル約 20 km として
500 A ($I_c \approx 2.5$ A)
CT: 1,000/5 () 内は CT 二次電流



下記ベクトルにおける極性は流入の有効分電流を下向きにとっている
下表の I_c' は補償電流で $I_c' = \frac{1}{2} I_c$

番号	故障点	A端継電器入力電流 (I_a)	B端継電器入力電流 (I_b)
1	F ₁	I_a 流入 I_c 流入 I_c' 流入	I_b 流出 I_c 流入 I_c' 流入
2	F ₃	I_a 流出 I_c 流入 I_c' 流入	I_b 流入 I_c 流入 I_c' 流入
3	F ₂	I_a 流入 I_c 流入 I_c' 流入	I_b 流入 I_c 流入 I_c' 流入

図 3.3 充電電流補償装置付表示線継電器入力ベクトル図
Fig. 3.3 Vector diagrams of charging current compensation scheme.

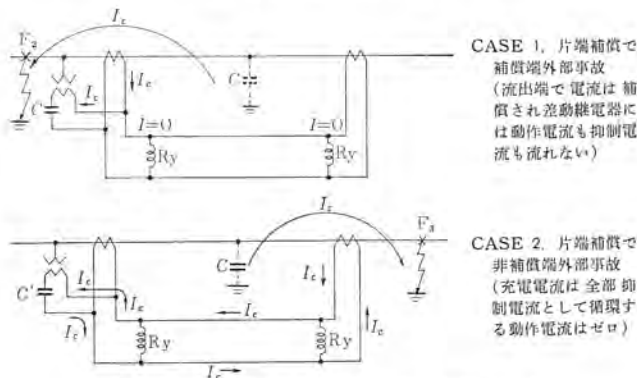


図 3.4 片端補償方式の電流分布
Fig. 3.4 Current distribution by one terminal compensation.

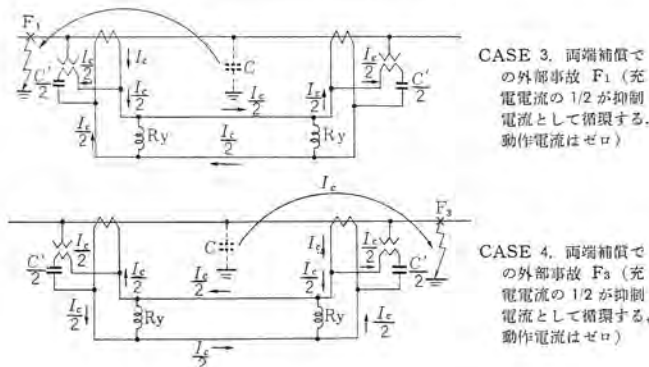


図 3.5 両端補償方式
Fig. 3.5 Current distribution by both terminal compensation.

充電電流補償は区間内充電電流分をなんらかの形で補償していればよいのであるから、片端より補償することも可能である。この場合、および両端補償としたときの、充電電流および補償電流の分布を図 3.4、3.5 に示す。これは、いずれを採用してもよく系統運用上からは、片端補償を電源端におくほうが有利とも思われる。

このような充電電流補償は、後述のように定常的にも過渡的にも補償できるという特長を有する。しかし系統容量は分布定数のため、集中定数的な補償では、わずかな違いを生ずるが、そ

のく違いは HCB-4 形表示線継電器の過渡特性によってカバーする。HCB-4 形継電器は過渡現象不応動特性を有するが、入力装置の飽和変成器による直流分阻止効果と継電器の動作 コイル と並列に構成された高調波通過回路による高調波 バイパス 効果により、上記特性が付与されている⁽¹⁾。このような特性を有するため、区間内充電電流が小さいが、系統として電流動揺が大きいような系統にも適用可能なことは前述のとおりである。

これらの特長を有する充電電流補償方式は、補償電流印加用のコンデンサ、変成器類を リレー 箱に収納し、一般の 60 ないし 70 kV ケーブル 系で約 20 km 程度まで実用に供しうよう設計されている⁽³⁾。

したがって ケーブル 系統で充電電流が大きい場合には、この補償装置を付加するだけで、完全な地絡保護が可能となる。

4. ケーブル系統地絡事故時の過渡現象と継電器動作

4.1 ケーブル系統 1 線地絡時の過渡現象

ケーブル 系統 1 線地絡事故時発生する過渡電流については従来から、諸種の解析、試験が行なわれており、その結果直流分と高調波を含んでいることが確認されている⁽⁴⁾。

そのような直流分および高調波を含む過渡差動電流に対する、三菱 HCB-4 形表示線継電器の安定性については、適当な対策が施されていることは前述のとおりである。

従来はとくに系統外部 1 線地絡事故発生時の現象に多くの関心が向けられていたが、事故除去時について、とくに多くの注意が払われていなかった。ここではとくに外部 1 線地絡事故除去時の過渡現象について検討してみる。

通常 NGL 併用 ケーブル 系統 1 線地絡時の等価回路は、図 4.1 のようになる。一般に ケーブル 系統の C と電源周波数に共振するような NGL が NGR に併用されるので、図 4.1 の場合の電流は

$$\begin{cases} \frac{1}{C} \left(\frac{S}{\omega^2 + S} \right) I_L(S) - \frac{1}{C} \left(\frac{S}{\omega^2 - S} \right) I_R(S) = -\sqrt{2} \frac{E}{\omega} \dots (3.1) \\ \frac{1}{CS} I_L(S) + \left(R_N + \frac{1}{CS} \right) I_R(S) = 0 \dots (3.2) \end{cases}$$

という関係を満足する。ただし故障除去の位相を C の両端電圧がゼロ となったときに選んである。

これを解けば

$$I_R(S) = \frac{\sqrt{2} \omega C E}{CR_N} \cdot \frac{1}{S^2 + \frac{2}{CR_N} S + \omega^2} \dots (3.3)$$

$$I_L(S) = -\sqrt{2} \omega C E \cdot \frac{S + \frac{1}{CR_N}}{S^2 + \frac{2}{CR_N} S + \omega^2} \dots (3.4)$$

逆変換して

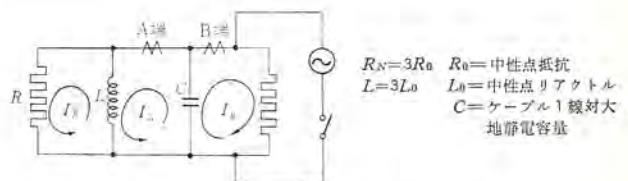


図 4.1 NGL 併用 ケーブル 系統 1 線地絡時の等価回路および電流分布
Fig. 4.1 Equivalent circuit of the cable system with NGL.

$$i_L(t) = -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \cos(\omega_0 t)$$

$$i_R(t) = \frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin(\omega_0 t)$$

ここに $\omega_0 = \left(\omega^2 - \frac{1}{C^2 R_N^2} \right)^{\frac{1}{2}}$

長距離 ケーブル 系統で接地抵抗が比較的高い場合

$$\omega^2 \gg \frac{1}{C^2 R_N^2}$$

とみなすことができるので

$$i_L = -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \cos \omega t \quad \dots\dots\dots (A \text{ 端電流})$$

$$i_R = \frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (B \text{ 端電流})$$

$$v_0 = \sqrt{2} E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t \quad \text{となる.}$$

4.2 充電電流補償装置の動作

充電電流補償装置は前述のとおり、

$$I_C = j\omega C V_0$$

なる関係に着目して補償を行なうものであるから、この装置出力は

$$i_C = -\frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t + \sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \cos \omega t$$

となる。

(1) A 端補償を行なえば

A 端継電器入力電流

$$i_A = i_L + i_C$$

$$= -\frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$$

B 端継電器入力電流

$$i_B = i_R$$

$$= \frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$$

(2) B 端補償のとき

A 端継電器入力電流

$$i_A = i_L$$

$$= -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$$

B 端継電器入力電流

$$i_B = i_R + i_C$$

$$= +\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$$

いずれの場合にも両端電流はが逆位相となり、継電器から見れば外部貫通電流が流れている形となる。すなわち充電電流補償を行なえば、過渡時にも、電流補償が完全に行なわれる。またこれは、A 端 B 端いずれ側から補償を行なっても同じことである。

5. 模擬送電線 (ATL) による試験結果

前述のとおり充電電流補償装置付電流循環式表示線継電器では、定常時にも過渡時にも区間内充電電流が補償され、原理的に問題ないのであるが、実際には CT, PT (D), 充電電流補償装置内の変成器などの過渡特性が加味されてくるので、実際に検討を行なうことが必要である。

ここでは 66 kV (77 kV) 系の比較的小充電電流の少ない場合と、154 kV 系の比較的小充電電流の大きい場合について

て検討した結果を報告する。

5.1 66 kV (77 kV) 系模擬試験

(1) 想定実系統

系統図：図 5.1 による。

NGR 電流 : 200 A
区間内充電電流 : 200 A
NGL 電流 : 200 A
CT 比 : 1,000/5 A

(2) ATL 模擬系統

系統図：図 5.2 による。

(3) 使用器具および整定

継電器 片端電源最小動作値 約 0.35 A
充電電流補償値 1.04 A
詳細は表 5.1 参照。

(4) 試験回路

図 5.3 による。

表 5.1 66 kV ケーブル 系模擬試験使用器具および整定

器具番号	形 名	整 定	備 考
87PG	HCB-4-M	抑制度 STD A タップ開または閉 So : L	いずれにしても誤動作なし。
87PGB	B-2-M	0.1 A	
64PC	NC-1-M	CT タップ 1.04 A CC タップ ×1.0	実系統充電電流 1.06 A
RB	平衡抵抗器	60 Ω	
CR	蓄電器箱	3.5 μF	
I. Tr	絶縁変圧器	1 : 2.6	

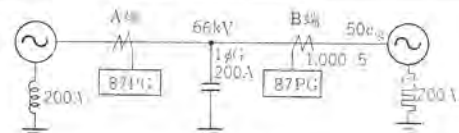


図 5.1 66 kV ケーブル 系想定実系統図
Fig. 5.1 Assumed 66kV cable system for ATL test.

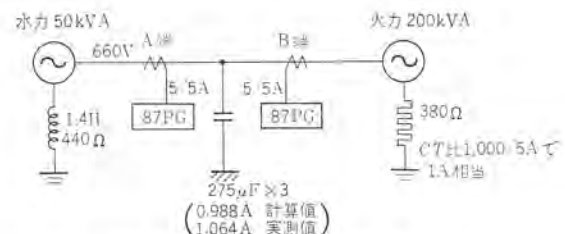


図 5.2 同上用 ATL 系統
Fig. 5.2 System setup for the above ATL test.

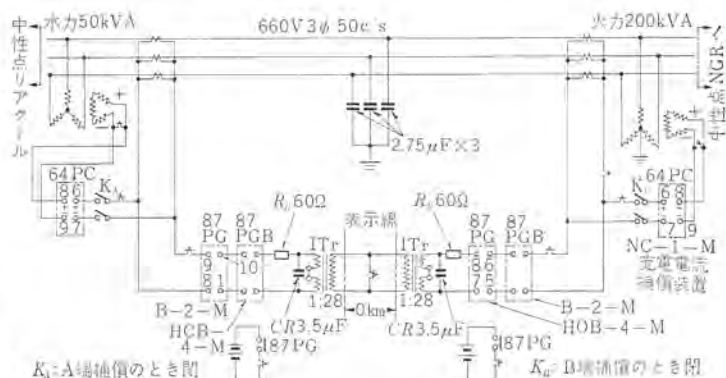
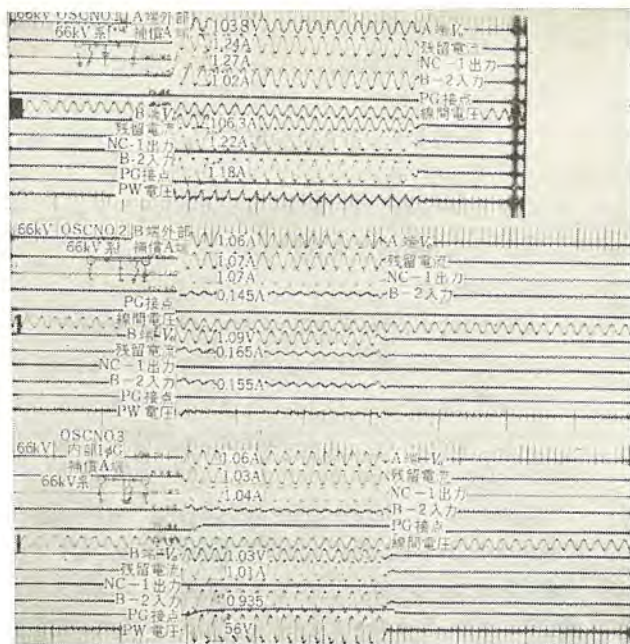
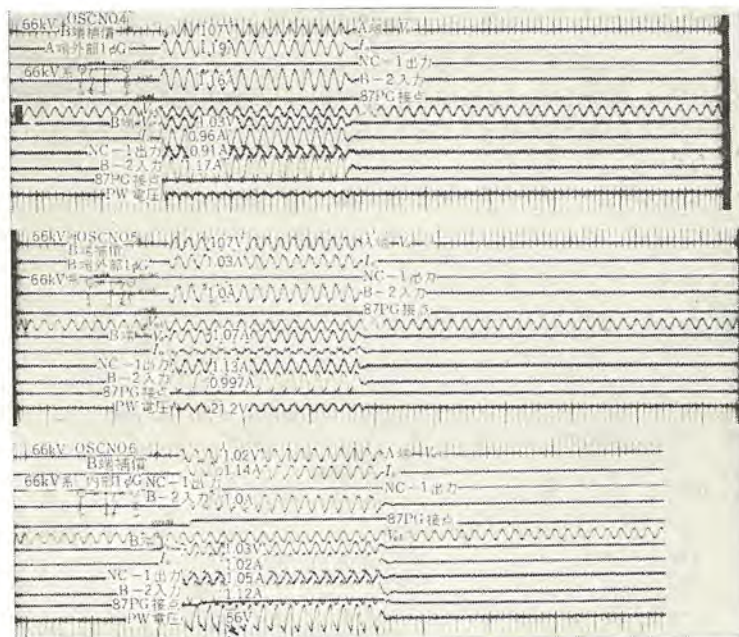


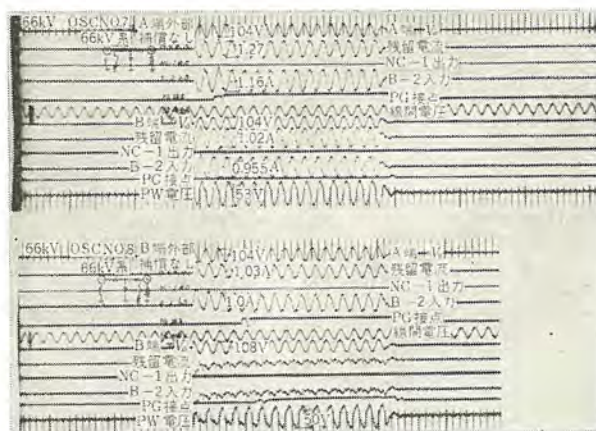
図 5.3 ATL 試験回路詳細
Fig. 5.3 Detailed connection in the test for Fig. 5.2.



(a) A 端補償



(b) B 端補償



(c) 補償なし

図 5.4 66 kV ケーブル 系統 ATL テストオシログラム
Fig. 5.4 Oscillogram of the ATL test for the 66 kV cable system.

表 5.2 66 kV ケーブル 系統模擬試験試験結果

試番	充電電流補償	故障点	A端PG動作	B端PG動作	判定	備 考	オシロ
1	A端	A端外部	×	×	良	試験 #1~#12 は 87PG に Time lag なし.	#1
2	"	"	×	×	良		#2
3	"	B端外部	×	×	良		#3
4	"	"	×	×	良		#4
5	"	内部	○	○	良		#5
6	補償なし	A端外部	○※	○※	—	参考のため行なったもの.	#7
7	"	B端外部	○※	○※	—		#8
8	B端	A端外部	×	×	良	同 上	#9
9	"	"	×	×	良		#10
10	"	B端外部	×	×	良		#11
11	"	"	×	×	良		#12
12	"	内部	○	○	良		#13
13	A端	A端外部	×	×	良	#13~#24 は 87PG に Time lag を付加.	省略
14	"	"	×	×	良		"
15	"	B端外部	×	×	良		"
16	"	"	×	×	良		"
17	補償なし	A端外部	○※	×※	—	※ 過渡現象のあらわれ方で動作しないこともある.	"
18	"	B端外部	○※	○※	—		"
19	B端	A端外部	×	×	良		"
20	"	"	×	×	良		"
21	"	B端外部	×	×	良		"
22	"	"	×	×	良		"
(23)	補償なし	A端外部	○※	×※	—	参考のため行なったもの.	"
(24)	"	B端外部	×※	○※	—		"

(5) 試験結果

表 5.2 および図 5.4 による.

(6) 判 定

補償を行なうことにより, 単体継電器の誤動作はなく良好であった.

5.2 154 kV 系統模擬試験

(1) 想定実系統

系統図: 図 5.5 による.

NGR 電流 : 375 A, 1,125 A
区間内充電電流 : 750 A
区間外充電電流 : 3,000 A
NGL 電流 : 3,750 A
CT 比 : 1,200/5 A

(2) ATL 模擬系統

系統図: 図 5.6 による.

(3) 使用器具および整定

継電器 片端電源最小動作値 約 1 A
充電電流補償値 約 3.13 A
詳細は表 5.3 参照

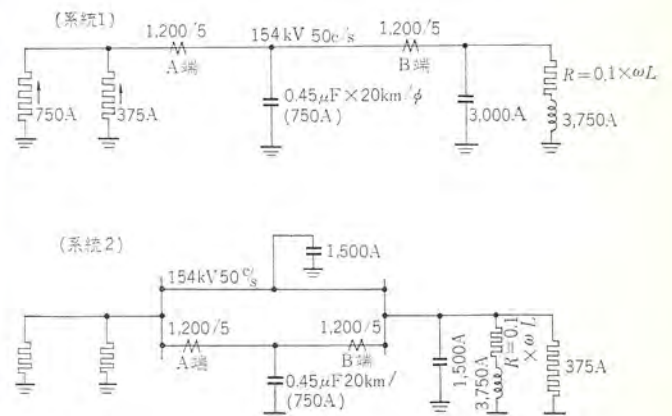


図 5.5 154 kV 想定ケーブル系統
Fig. 5.5 Assumed 154 kV cable system for the ATL test.

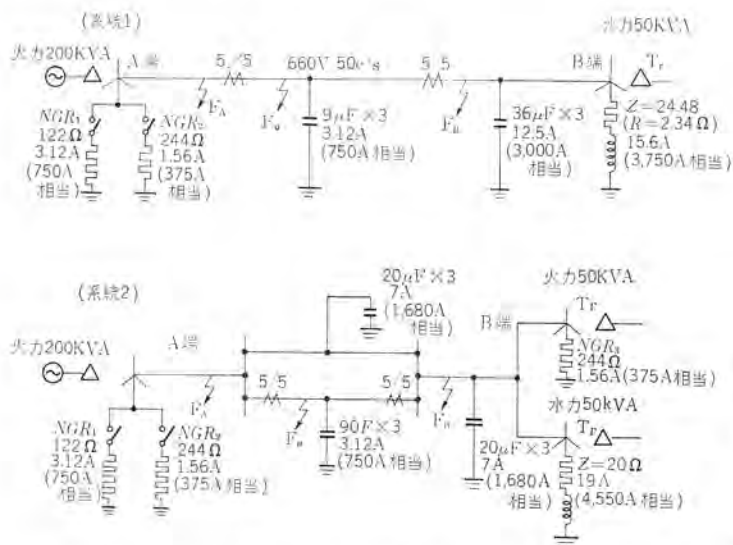


図 5.6 154kV 想定ケーブル系模擬 ATL 系統
Fig. 5.6 System setup for the above ATL test.

表 5.3 154kV 系模擬試験使用器具および整定

器具番号	形 名	整 定	備 考
87PG	HCB-4-M	抑制度 STD A タップ開または閉	いずれにしても誤動作はなし。
87PGB	B-2-M	0.3 A	
64PC	NC-1-M ×2	CT タップ 1.24 A CC タップ×1.0	2 個並列とし、さらにコンデンサを追加して補償 100% とす。
RB	平衡抵抗器	20 Ω	表示線は 1.2 mm φ
CR	蓄 電 器 箱	0.5 μF	20 km 分模擬
I, Tr	絶縁変圧器	1 : 2.8	

(4) 試験回路

図 5.7 参照

(5) 試験結果

表 5.4 および図 5.8 による。

(6) 判 定

この場合も、充電電流補償を行なうことにより誤動作はなく良好であった。

5.3 考 察

上述のように、66 kV (77 kV 系)、154 kV 系の両 ケースについて、模擬試験を行なったが、前者は故障除去後 V_0 が非振動的となって、わりあいすみやかに減衰する ケースとして、後者はとくに V_0 が故障除去後振動的となつて残る ケースとして、それぞれ意味があったと考えられる。

前者においては補償を行なわない場合は、やはり誤動作する ケース がみられ、これは故障継続時に発生しているので、両端電流のベクトル 差に相当する差動電流分が動作入力として、継電器に加わったものと考えられる。これに対しては充電電流補償方式の定常補償が効果的で、誤動作は完全に防止される。

後者においては補償が行なわれない場合、誤動作することがあるが、これは故障除去時に現われる場合があり、一応故障発生中は継電器の比率特性で阻止されていたものが、故障除去時の過渡現象で誤動作したと考えられる。これも充電電流補償により瞬時値補償を行なうことで完全に防止されることは明らかである。

6. 特 長

表 5.4 154kV 系 模 擬 試 験 試 験 結 果

(a) 系統 1 における動作記録

NGR 375 A 相当 (A 端)					NGR 375 A+750 A 相当 (A 端)					NGR なし												
試番	充電電流 補償	故障点	87PG		備 考	試番	充電電流 補償	故障点	87PG		備 考	試番	充電電流 補償	故障点	87PG		備 考					
			A	B					A	B					A	B						
1	A	FA	×	×	5 回テスト A 端電源オシロ	101	A	FA	×	×	5 回テスト A 端電源	201	A	FA	×	×	5 回テスト A 端電源					
2	A	FB	×	×		102	A	FB	×	×		202	A	FB	×	×						
3	A	FO	○	○		103	A	FO	○	○		203	A	FO	○	○						
4	B	FA	×	×	14	104	B	FA	×	×	15	204	B	FA	×	×	16	205	B	FA	×	×
5	B	FB	×	×	15	105	B	FB	×	×	16	205	B	FB	×	×	17	206	B	FB	×	×
6	B	FO	○	○	16	106	B	FO	○	○	17	206	B	FO	○	○	18					
7	なし	FA	○	○	17	107	なし	FA	×	×	18	207	なし	FA	○	○	19					
8	なし	FB	○	○	18	108	なし	FB	×	○	19	208	なし	FB	○	○						
9	なし	FO	○	○	19	109	なし	FO	○	○		209	なし	FO	○	○						
						110	A	FA	×	×												
						111	B	FA	×	×												

(b) 系統 2 における動作記録

NGR 375 A 相当 (A 端または B 端)					NGR 1,125 A (A 端)+375 A (B 端)					NGR なし				
試番	充電電流 補償	故障点	87PG A B	備 考	試番	充電電流 補償	故障点	87PG A B	備 考	試番	充電電流 補償	故障点	87PG A B	備 考
21	A	FA	× ×	5 回テスト A 端電源	121	A	FA	× ×	5 回テスト A 端電源	221	A	FA	× ×	5 回テスト A 端電源
22	A	FB	× ×	"	122	A	FB	× ×	"	222	A	FB	× ×	"
23	A	FO	○ ○	"	123	A	FO	○ ○	"	223	A	FO	○ ○	"
24	B	FA	× ×	"	124	B	FA	× ×	"	224	B	FA	× ×	"
25	B	FB	× ×	"	125	B	FB	× ×	"	225	B	FB	× ×	"
26	B	FO	○ ○	"	126	B	FO	○ ○	"	226	B	FO	○ ○	"
27	なし	FA	○ ○	"	127	なし	FA	○ ○	"	227	なし	FA	○ ○	"
28	なし	FB	○ ○	"	128	なし	FB	○ ○	"	228	なし	FB	○ ○	"
29	なし	FO	○ ○	"	129	なし	FO	○ ○	"	229	なし	FO	○ ○	"



図 5.7 ATL 試験回路詳細
Fig. 5.7 Detailed connection in the test of Fig. 5.4.

以上述べてきた原理、動作、試験結果などから三菱 NC 充電電流補償装置と三菱 HCB-4 形表示線継電装置とを組み合わせ使用する ケーブル 系統保護継電装置の特長とするところは下記のとおりである、

(1) HCB-4 形表示線継電装置の特長がそのまま生かされ、区間内のすべての事故が検出、両端同時にシャ断が可能である。

(2) 区間内充電電流が存在しても、定常的な外部 1 線地絡事故継続時は充電電流による静的補償がきき不動作である。

(3) 外部 1 線地絡故障発生時の直流分および高調波を含む過渡現象にたいしても、すぐれた安定性を有して不動作である。

(4) この故障除去時発生する零相電圧振動にたいしても、この電圧による瞬時補償が完全に行なわれ問題がない。

(5) 区間内充電電流が内部事故時に動作力として作用し動作が確実となる。

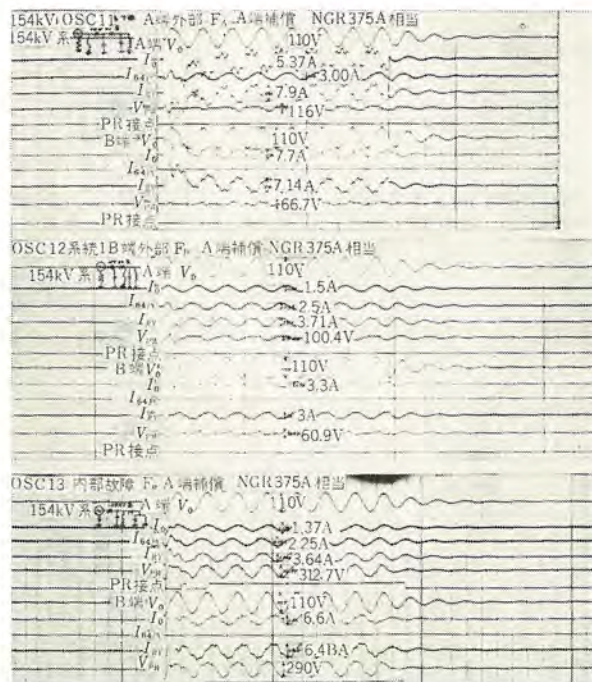
(6) 架空線用地絡保護表示線継電器に充電電流補償装置を追加するだけで、ただちに ケーブル 系用地絡保護表示線継電装置として使用できる。

(7) 70 kV (60 kV) 系の ケーブル 系統 10 (15) km 程度までは標準装置を適用可能なよう設計され、PT 負担も小さい。

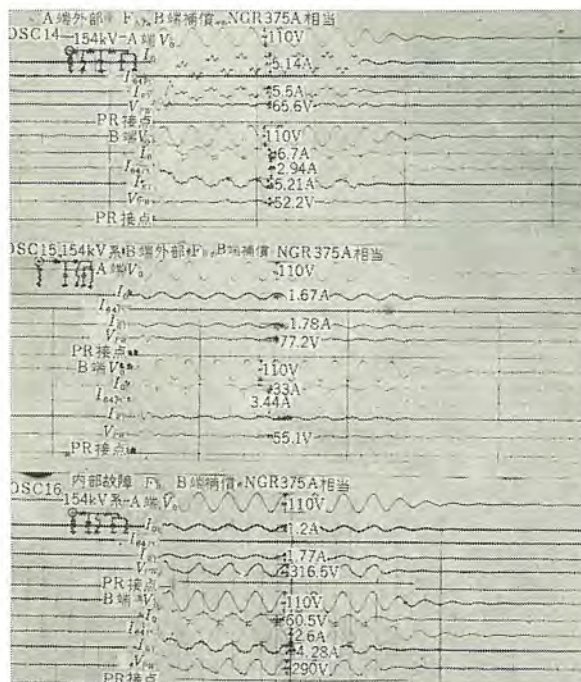
(8) そのほか HCB-4 形表示線継電装置の特長がそのままいわれる。

7. む す び

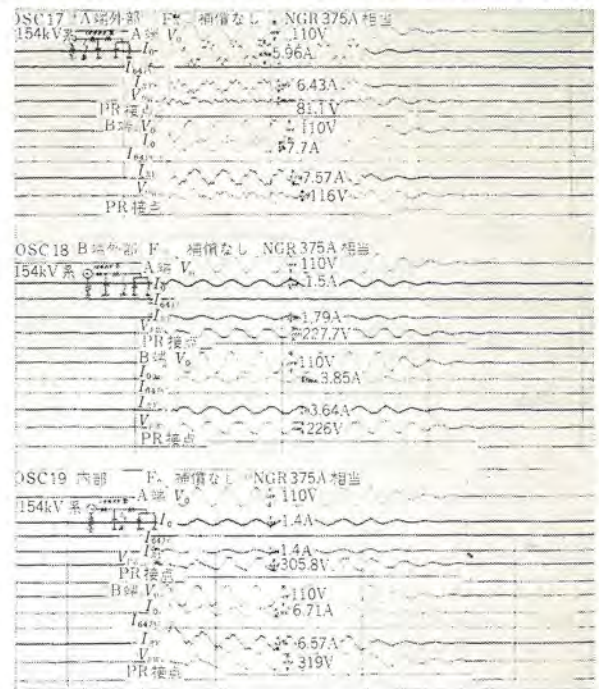
以上当社の充電電流補償式 ケーブル 系統用表示線継電装置の概要について述べた。本方式は ケーブル 系統の地絡保護方式の決定



(a) A 端補償



(b) B 端補償



(c) 補償なし

図 5.8 154 kV ケーブル 系統 ATL テストオシログラム

Fig. 5.8 Oscillogram of the ATL test for the 154 kV cable system.

版として関係各位に好評を博している。

この方式の実用化、諸実験に際しては電力会社関係各位とくに東京電力給電課岡村副長以下各位のご指導におうところが多い、深く謝意を表する。(昭 40-7-27 受付)

参 考 文 献

- (1) 森: HCB-4 形表示線継電装置,「三菱電機技報」38,1038 (昭 39)

- (2) 森, 西浜, 島田: 充電電流補償式 ケーブル 系統用常時電流循環式表示線継電器の適用に関する研究, 39 年電学連大 784
(3) 森, 寺田, 西浜: 充電電流補償式 ケーブル 系統保護用表示線継電器, 38 年電学連大 870
(4) 馬場, 芝瀧, 森: ケーブル 系統 1 線地絡時の零相電圧電流の動揺,「三菱電機技報」32, 1402 (昭 33)

付 録

1. ケーブル系統 1 線地絡故障除去後、零相電圧が振動的となる条件
上記現象が図 3.1 のような系統で起こるとき、その固有振動数は

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - \frac{1}{C^2 R_N^2}} \quad \text{ただし } \omega^2 > \frac{1}{C^2 R_N^2} \quad \text{のとき}$$

ここに C : 1 線対大地静電容量 (F)

R_N : 中性点抵抗値 $\times 3$ (Ω)

ω : 系統角周波数 $\omega = 2\pi f$

また非振動的となるのは

$$\omega^2 < \frac{1}{C^2 R_N^2}$$

のときである。

代表的な系統について振動の有無を調べると、付表 1 のようになる。

付表 1 ケーブル 系統における零相電圧振動の発生

系 統	ケーブル コウ(互)長	ケーブル 静電容量	中性点 接地電流	中性点抵抗	振動の有無	振動周波数
66 kV	10 km	0.5 μ F/km	200 A	380 Ω	非振動的	—
154 kV	100 km	0.45 μ F/km	375 A	240 Ω	振動的	15 周基本周波数

2. NGL, NGR 併用系統で NGR 除外時の検討

この論文ではケーブル 系統で NGL に並列に NGR がそう入された場合につき、解析しているが、NGR が除外された場合の現象につき解析しておく。

(1) 故障継続定常状態

このときの電流ベクトル関係は、付図 2.1, 2.2 に示すように、外部事故時に逆位相入力を得られる。

(2) 過渡状態

上記系統で外部 1 線地絡故障除去時の等価回路は付図 2.3 のようになる。

この系統での電流は、この文の解析にならない、 I_R , I_L を求めると

$$I_R(S) = \frac{1}{S^2 + \frac{1}{CR_N}S + \omega^2} \cdot \frac{\sqrt{2}\omega E}{CR_N}$$

$$I_L(S) = \frac{S + \frac{1}{CR_N}}{S^2 + \frac{1}{CR_N}S + \omega^2} \cdot \frac{\sqrt{2}\omega CE}{\omega^2}$$

これを逆変換して

$$i_R(t) = \frac{\sqrt{2}\omega CE}{CR_N} \cdot \frac{1}{\omega_0} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega_0 t$$

$$i_L(t) = -\sqrt{2}\omega CE \left\{ \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \cos \omega_0 t + \frac{1}{2CR_N\omega_0} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega_0 t \right\}$$

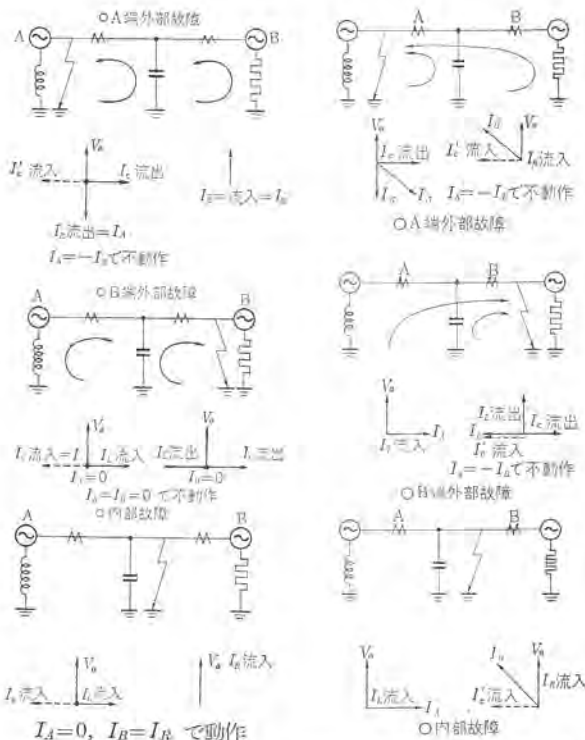
$$v_0(t) = \sqrt{2}\omega E \cdot \frac{1}{\omega_0} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega_0 t$$

もし $\omega^2 \gg \frac{1}{C^2 R_N^2}$ なら

$\omega = \omega_0$ となる。

(a) A 端補償のとき

$$i_A = i_L + CSv_0 \\ = -\frac{\sqrt{2}E}{2R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega t \\ - \sqrt{2}\omega CE \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \cos \omega t \\ i_B = i_R$$



付図 2.1 NGL 系統における補償原理ベクトル図 (A 端補償)

Vector diagram of the compensation on NGL system.

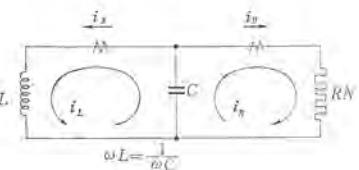
(A end compensation)

付図 2.2 NGL 系統における補償原理ベクトル図 (B 端補償)

Vector diagram of the compensation on NGL system. (B end compensation)

付図 2.3 NGL 系統 (NGR 除外) 1 線地絡故障除去時等価回路

Equivalent circuit when clearing NGL system (NGR except) one phase grounded.



$$= + \frac{\sqrt{2}E}{2R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega t \\ + \sqrt{2}\omega CE \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \cos \omega t$$

(b) B 端補償のとき

$$i_A = i_L \\ = -\frac{\sqrt{2}E}{2R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega t \\ - \sqrt{2}\omega CE \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \cos \omega t \\ i_B = i_R + CSv_0 \\ = + \frac{\sqrt{2}E}{2R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \sin \omega t \\ + \sqrt{2}\omega CE \varepsilon^{-\frac{t}{2CR_N}} \cos \omega t$$

A 端補償、B 端補償いずれにしても表示線継電器入力電流は、完全に逆位相となる。

多重故障対策, 零相循環電流対策付搬送保護継電方式

曾我 清*・百瀬 竜介*・加藤 三郎*
北浦 孝一**・古谷 昭雄**

The Latest Carrier Protective Relaying Scheme as a Countermeasure to Multi-faults and Zero Phase Sequence Circulating Current

Chūbu Electric Power Co., Kiyoshi SOGA・Ryūsuke MOMOSE・Saburō KATŌ
Mitsubishi Electric Corporation, Kobe Works Kōichi KITaura・Akio FURUYA

Problems concerning the latest transmission line protective relay technology involve multi-faults and zero phase sequence current. The carrier protective relaying has been studied on its principle and test results to cope with them. The countermeasure for the multi-faults is attributed to the preferential interruption of the shorted circuit, advanced phase and specified circuit. When a two line fault is met with, they shall be interrupted positively. Against the zero phase sequence circulating current is used Period Deliver Method to change the sending period of carrier waves by $I_0 \cos \theta$ at the two ends. This functions the protection positively even on a system where zero phase sequence circulating current above the resistance grounding current is present.

1. ま え が き

最近の送電線保護継電方式において脚光を浴びている問題に、下記2点がある。

- (a) 多重故障に対する対策
- (b) 零相循環電流に対する対策

この論文は、上記の対策を施した最新の搬送保護継電方式についてその原理、動作を記述するとともに、中部電力、昭和町一大高変電所に設置された PC-337 形搬送保護継電装置の模擬送電線による試験結果を紹介するものである。



図 1.1 PC-337 形搬送保護継電装置
Fig. 1.1 Front view of carrier protective relay panel.

2. 方式概要

2.1 特長

多重故障対策および零相循環電流対策を施した搬送保護継電方式の特長を下記に示す。

- (1) 自己受信阻止方式の採用

この方式は、地絡保護、短絡保護とも各端固有（各端送信周波数差 500 c/s）の搬送波を使用し、他端から送出の搬送波のみ受信することによって、自端搬送波の制御を行ない、(2), (3), (4)

項を満足した故障時送出阻止積放式方向比較式搬送保護継電方式である。

- (2) 非電源端に対する考慮

この方式は、正相電源（背後電源）あるいは零相電源（中性点電流）が1端局にのみ存在する場合でも、故障電流流入端が搬送波を止めたことを非電源端で検出し、トリップ回路を形成するように考慮することによって全端ともトリップ可能とするものである。（この方式は2端子系のみならず多端子系にも適用できる。）

- (3) 多重故障に対する考慮

この方式は、両回線にわたる多重故障の際、短絡回線優先、進み相優先、指定回線優先のいわゆる優先シヤ断を行ない、しかも両回線とも短絡故障の場合は必ず両回線ともシヤ断するものである。

- (4) 零相循環電流に対する考慮

この方式は、共架多回線送電線に適用される場合を考慮し、零相循環電流が有効分電流（中性点抵抗電流）と同程度またはそれ以上ある系統でも保護できるものであり、しかも、循環電流がない場合は従来の方向比較搬送保護装置と同じ高速度シヤ断を可能とするものである。

2.2 動作性能

表 2.1 優先シヤ断条件

ケース	1号	2号	故障形態	動作性能	備考
1	AB (ABC)		単純短絡	故障回線のみトリップ	
2	A	B'	両回線異相地絡	進み相故障回線のみトリップ	
3	AB	A'	両回線短絡、地絡 (2相にわたる)	短絡故障回線のみトリップ	
4	AB	A'B'	両回線短絡、短絡 (2相にわたる)	両回線ともトリップ	
5	ABC	A'B'	両回線3線、2線短絡 (流出端あつても)	*	
6	AB	B'C'	両回線2線、2線 (3相にわたる)	*	
7	AB (ABC)	C'	両回線短絡、地絡 (3相にわたる)	*	5を満足させるため。
8	A		単純地絡	故障回線のみトリップ	
9	A	A'	両回線同名相地絡	指定回線のみトリップ	

* 中部電力株式会社 ** 三菱電機株式会社神戸製作所

(1) 各故障時の動作一覧

(2) 動作スピード

短絡故障時	両端電源	50 ms 以内
	1 端電源	60 ms 以内
地絡故障時	指定回線	75 ms 以内 (1 端電源の場合)
	非指定回線	上記ラッス 60 ms

ただし循環電流あるときは循環電流対策タイマの時限だけ遅れる。

(3) 再閉路動作

(a) 優先条件でシタ断した場合、1, 2 号線り返し再閉路は行なわない。すなわち、1 号線再閉路成功時は、2 号線の再閉路を行なうが、失敗の場合は 2 号線の再閉路は行なわない。

(b) 再閉路は高速度 3 相シタ断 1 回とする。

(c) 再閉路条件は下記とする。

準備完了中、線路側無電圧 (相手端も高速シタ断)、他回線シタ断器入、母線電圧健全 (短絡故障なし)、他回線に潮流あり、(無電圧時間カウント中に一度でも動作すればありと見なす。)

(d) 再閉路投入瞬時に内部故障ある場合は、たとえ両端投入時間にバラツキがあってもすぐにシタ断する。(循環電流あるときでも上記を満足する)

(4) 循環電流対策

有効分電流と同程度以上の循環電流ある場合でも確実に故障回線トリップ、健全回線ミストリップしない。上記を満足する最小有効分電流は、1,500/5 CT 残留回路を使用し、100 A 程度とする。

(5) 誤動作防止対策

(a) 外部故障時の誤動作防止

(b) 脱調故障時の誤動作防止

(c) 故障電流反転時の誤動作防止

(d) 非電源端 PD ヒューズ断時の誤動作防止

表 2.2 PC-337 形搬送保護継電装置構成 リレー一覧

用 途	装置番号	形 名 (継電器)	調整タップ	主 要 素	備 考 (特 注)
短絡故障検出 (送出)	27H	KVA-1-D 形 短絡故障検出	80~95V	シリスタ	搬送故障検出用
同 上 (停止)	27L	KVA-2-D 形	65~80V	同	
地絡故障検出 (送出)	67H	KVB-1-D 形 地絡故障検出	25~50V	シリスタ	
地絡故障検出 (停止)	67L	KVB-2-D 形	2~20Ω	同	
短絡内部方向検出	144SI	KDA-1-D 形 短絡内部方向検出	0.25~20Ω	同	
同上電圧降下方向検出	51H	LOA-3-D 形 過電圧	1~5A	シリスタ	
短絡外部方向検出	144SO	KDA-2-D 形 短絡外部方向検出	0.75~20Ω (3.75~20Ω)	シリスタ	
同上電圧降下方向検出	51L	LOA-3-D 形 過電圧	1~5A	シリスタ	
搬送波受信 (搬送波受信)	51M	同 上	同 上	同 上	
同回線多量故障 送出停止	51UB	LOA-1-D 形 過電圧	同 上	同 上	
地 域 制 止	56	KDS-3-D 形 脱調検出	0.75~20Ω 0~5.9Ω	シリスタ	
地絡内部方向検出	167GI	DGB-3-D 形 地絡内部方向検出	0.075~ 0.3A	可動接点	地絡検出用 (167GI+TL とともに)
同上外部方向検出	167GO	同 上	同 上	同 上	
同上 (和電圧)	67GD	同 上	同 上	同 上	
他回線潮流検出	57	KIA-3-D 形 潮流検出	0.5~1.5A	トランス	再閉路条件用
線路無電圧検出	27E	SEV-1-D 形 電圧検出	5~30V	同 上	
短絡検出 1, 2 次	44S-12	KKS-65-D 形 短 路	0.5~5Ω 1~10Ω	同 上	
短 路 3 次	44S-3	KZ-6-D 形 短 路	3~30Ω	シリスタ	
同上地絡 リレー動作	51S	IT-3C 形 過電圧	4~12A	シリスタ	
地絡検出 (電圧降下)	67GI	DGB-2-D 形 地絡検出	0.075~ 0.3A	可動接点	地絡検出用 (167GI+TL とともに)
電 圧 降 下	64V	SE-3-D 形 電圧検出	25V	シリスタ	非常電圧のみで動作
PD フェーズロップ トリップロック	50	LVB-2-D 形 電圧検出	—	シリスタ	
電圧検出電圧対称	67T	GIT-D 形 電圧検出	—	同 上	
搬 送 波 検 出	85	TPC-6 形 搬 送 波	—	シリスタ	

(e) 全停後電源端 ハンドオフ 時の誤動作防止

2.3 構 成

PC-337 形搬送保護継電装置の構成継電器を表 2.2 に示す。

3. 多重故障対策

3.1 多重故障対策付搬送保護継電方式の原理動作

この方式に使用している搬送継電方式については、2.1 節 (1) (2) に述べたとおりであるが、3.2 節に示すような優先選択継電器を併用することによって、表 2.1 に示す優先シタ断動作を満足させようとするものである。この方式の優先条件動作について図 3.1 によって以下説明する。図は並行 2 回線 1 端子 1 回線分を示している。

[記号説明]

27H: 短絡故障検出高感度 (常時 メーク, 故障で a コン閉)

27L: 短絡故障検出低感度 (常時 オフ, 故障で b コン閉)

27LX: 同上 補助リレー

144SI: 短絡内部方向検出

144SO: 短絡外部方向検出

85: 相手端搬送波受信 リレー (停止で b コン閉)

1A, 1B, 1C: 1 号線各相故障検出要素

1AX, 1BX, 1CX: 同上 補助リレー

2A, 2B, 2C: 2 号線各相故障検出要素

2AX, 2BX, 2CX: 同上 補助リレー

150: 1 号線選択条件

250: 2 号線選択条件

なお、1A~2C の各相故障検出要素は 3.2 節記載の入力によって動作する多相距離継電器である。

3.1.1 単純短絡保護動作 (たとえば 1 号 AB 故障)

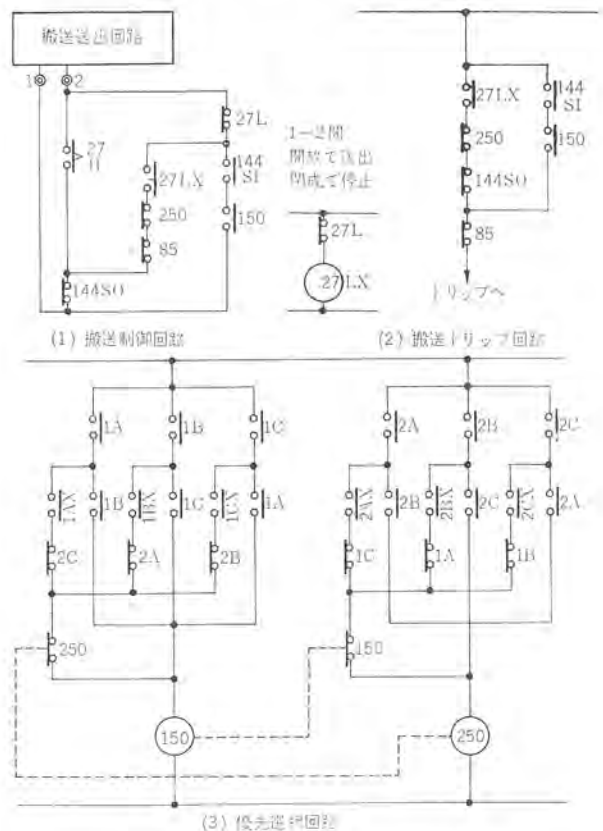


図 3.1 短絡優先条件回路動作説明
Fig. 3.1 Operational principle circuit.

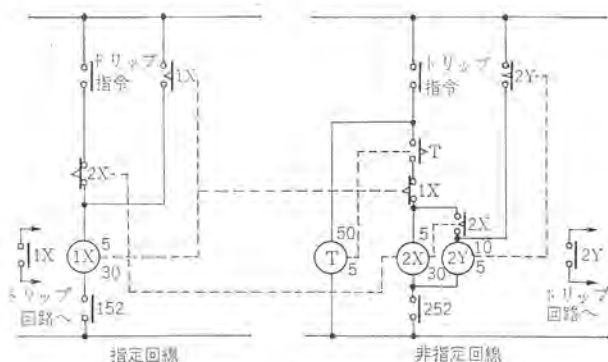


図 3.2 指定回線優先シャ断回路
Fig. 3.2 Operational principle circuit.

両端とも 27L 検出, 144SI 動作, 1A, 1B 動作によって 150 検出, 両端キャリヤ停止, 85b コン閉じ, 両端トリップする. 片端電源の場合は, 上記動作によって電源端搬送停止し, 非電源端では 27LX 動作, 2 号 A~C 不動作のため 250 不動作, 85b コン閉, 144 SO 不動作によって搬送波停止され, 両端トリップする.

3.1.2 進み相優先動作 (たとえば 1 号 A-2 号 B' 故障)

A 相回線側は, 1A, 1AX 動作, ZC 不動作によって 150 検出, B' 相回線側は, 2B, 2BX 動作しても, 1A 動作によってロックされる. ゆえに, A 相回線側は 27L 検出, 144SI, 150 動作によって搬送停止, B' 相回線側は 250 不動作により 244SI 動作しても搬送波停止, トリップすることはない.

3.1.3 重故障優先動作 (たとえば 1 号 AB-2 号 A' 故障の場合)

AB 相回線側は 1A, 1B 動作によって 150 検出, A' 相回線側は 2A, 2AX 動作, 1C 不動作となっても 150 によって, ロックされ, 250 は動作しない.

3.1.4 両回線短絡時両回線シャ断 (たとえば 1 号 AB-2 号 A'B')

AB 相回線側は, 1A, 1B 動作によって 150 検出
A'B' 相回線側は, 2A, 2B 動作によって 250 検出
によって両回線ともトリップする

3.1.5 指定回線優先動作 (たとえば 1 号 A-2 号 A' 故障)

両回線同名相地絡故障に対して, 優先条件を加えるとすれば, いずれかの回線を指定回線とし, 他方を非指定回線として両回線同時にトリップ指令が出た場合は必ず指定回線側のトリップを優先するようシーケンスを構成すればよい. そのため, 非指定回線のトリップ時間を数 c/s 遅らせ, その間に指定回線側にトリップ指令が出た場合は非指定回線のトリップをロックするよう回路を構成する. 上記の原理回路を図 3.2 に示す.

図 3.2 でとくに留意した点は, かりに, 非指定回線の故障が先行し, 上記の遅延時間を経過し, まさに非指定回線にトリップ指令が出ようとした時点で, 遅れて指定回線にトリップ指令が出され, 互いにトリップ回路をロックしあうことのないよう考慮している点にある.

3.2 優先選択継電器の原理動作

この継電方式に使用した優先選択継電器の主回路を図 3.3 に外観写真を図 3.4 に, またその入力導入表を表 3.1 に示す. この継電器は, 4 極誘導シリンダ要素を主要素とし, 基準 (pol) コイル上の磁束 Φ_{pol} を基準として, 動作 (op) コイル上の磁束, Φ_{op} の向きが進みか, 遅れかを判定して動作, または抑制をきめるものである. (ここでは, 進みの時抑制力, 遅れの時動作力に選んでいる.) 表 3.1 において $k'=0$, $k=1$ とすれば, 一般に使

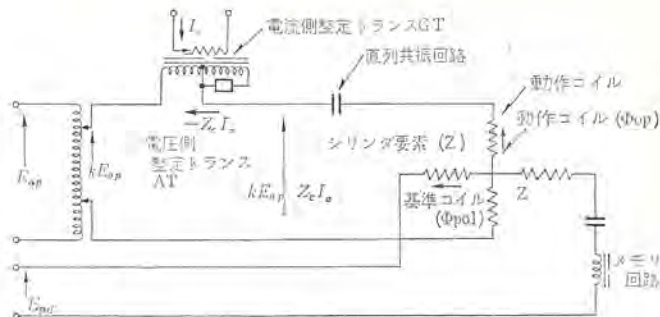


図 3.3 KZD-4 形継電器主回路構成 (1 要素分)
Fig. 3.3 Principle circuit of type KZD-4 relay.

図 3.4 KZD-4-D 形優先選択継電器外観
Fig. 3.4 Front view of type KZD-4-D relay.



表 3.1 KZD-4 形継電器入力導入

相	基準コイル E_{pol}	動作コイル E_{op}	I_{α}
A	E_{BC}	1 号検出	$-Z \{(I_a - kI_a') + k'(I_b - I_b')\}$
		2 号検出	$-Z \{(I_a' - kI_a) + k'(I_b' - I_b)\}$
B	E_{CA}	1 号検出	$-Z \{(I_b - kI_b') + k'(I_c - I_c')\}$
		2 号検出	$-Z \{(I_b' - kI_b) + k'(I_c' - I_c)\}$
C	E_{AB}	1 号検出	$-Z \{(I_c - kI_c') + k'(I_a - I_a')\}$
		2 号検出	$-Z \{(I_c' - kI_c) + k'(I_a' - I_a)\}$

(注) ' 印のものは, 他回線電流を示す.

われている並行 2 回線の選択リレー (両回線の差電流使用) とまったく同じになる. しかしながら, この継電器は前述のように, 両回線故障時にも動作しなくてはならないものであるから, k の値として 0.5 程度に選ぶことが必要となる. このことによって, 両端に設置される優先選択継電器は, 互いに自端から保護区間の 60% までを確実に優先選択せしめ, それ以上の故障に対しては, 両回線選択となるものである. なお, 無電流端の場合は, この選択継電器は無判定となり, 電源端の選択に従うものである.

3.3 方式具体化の際の問題点

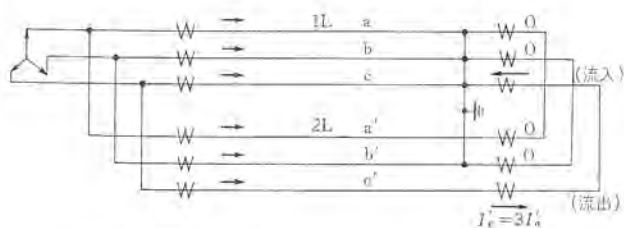
前述の原理動作を具体化するにあたって, 問題となった諸点およびその検討結果を下記に示し, 3.4 節に解決策を述べる.

それらは主として, 表 2.1 の条件表におけるケース 2, 5, 6, 7 の場合である. 以下その解決策を記述する.

3.3.1 限界点における進み相優先動作のパラツキ

たとえば, A-B' 故障の場合を考えると, 至近端故障のときは, A-B' と検出, 相手端近傍では AB-A'B' 検出となるが, その中間点では AB-A' または A-A'B' となる状態が生じる. この場合もし A-A'B' という判定を行なう端があれば, 図 3.1 (3) よりその端は 2 号線をトリップしてしまうことが起こりうる.

3.3.2 3 線-2 線故障時の非電源流出の問題 (たとえば ABC-A'B')



模擬線実測例

$I_a = 5.4 \text{ A}$ (3.3 A) $I_{a'} = 5.7 \text{ A}$ (3.6 A)
 $I_b = 6.3 \text{ A}$ (4.5 A) $I_{b'} = 6.9 \text{ A}$ (5.1 A)
 $I_c = 1.5 \text{ A}$ (15.9 A) $I_{c'} = 15 \text{ A}$ (16.2 A)
 $3I_0 = 4.35 \text{ A}$ (10.8 A) $3I_0' = 4.3 \text{ A}$ (10.8 A)

() 内は残留回路負担 4 Ω 短絡の場合

図 3.5 ABC-A'B' 故障時非電源端流出現象説明
 Fig. 3.5 Current flow at ABC-A'B' fault.

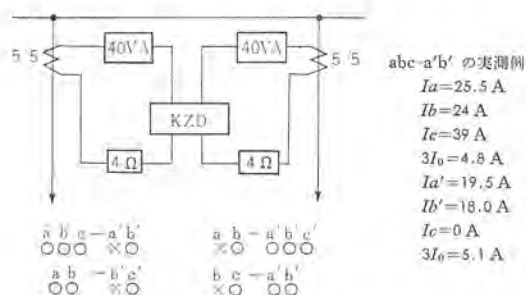


図 3.6 残留回路に抵抗負担あるときの KZD リレーの選択動作 (至近端故障の場合)

Fig. 3.6 Operation of type KZD relay at resistance burden on CT residual circuit.

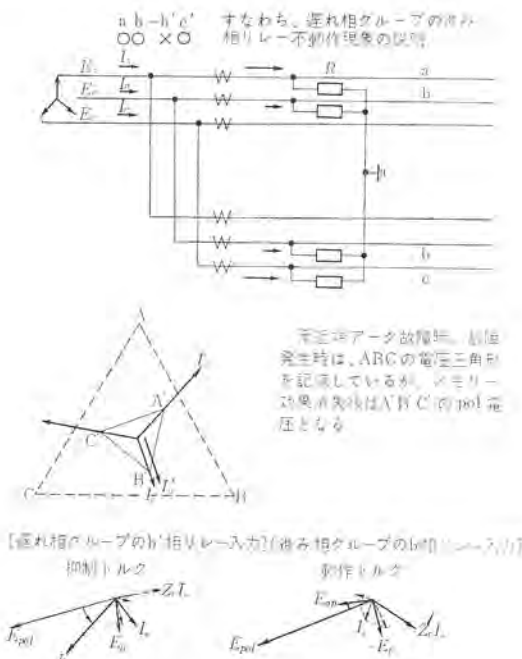


図 3.7 ab-b'c' 至近端アーク故障時の KZD リレーの動作ベクトル図

Fig. 3.7 Vector diagrams of KZD relay's operation at ab-b'c' arc fault.

図 3.5 にその一例を示す。すなわち、非電源端では、2 線故障回線側で、内部検出せず、流出と見てしまう現象が発生し、トリップ不能の現象が起こりうる。なお、参考までに図 3.5 に模擬送電線による実測例を示す。

3.3.3 三相にわたる短絡-短絡故障時の片回線シャ断不能の問題

一般に、1 号線 AB, 2 号線 B'C' のように両回線にわたる三相

故障の場合、図 3.1 の検出リレーとして、1A, 1B, 2B, 2C 動作 150, 250 ともに動作して、1, 2 号とも同時にトリップするべきであるが至近端アーク故障の場合、または至近端故障で CT 残留回路に抵抗負担がある場合には、ab-b'c' のように遅れ相グループの進み相リレーが不動作となることが起こりうる。その現象を解析したものと、図 3.6 に残留回路に抵抗負担があるときの模擬線による動作実測例を、また、図 3.7 に至近端アーク故障の場合のベクトル図を示す。

3.4 問題点解決策

以下、3.3 節の問題点について、どのような解決策をとったかを記述する。

3.4.1 進み相優先動作の確実化

この問題は、優先選択継電器の入力導入に下記考慮を払うことによって解決している。すなわち、表 3.1 の入力導入式において、 $+k'(I_b - I_b')$ で示される補償項を付加することによって A 相リレーに対して遅れ相 B 相の差電流 $I_b - I_b'$ を若干 (10~20%) 補償し、前記のような中間点で必ず進み相側のトルクが強くなるよう考慮を払っている。図 3.8, 表 3.2 に、 $k=0.5$, $k'=0.2$ としたときのベクトル図を示す。図から明らかなように k' をソウ入することによって常に B 相のほうが A' 相より動作力が強くなり、限界点でも必ず A@B' と検出し、A-A'/B' となることなく、進み相優先動作が確実に行なえることとなる。

3.4.2 3 線-2 線故障時非電源端流出対策

本件は図 3.5 から“非電源端では短絡電流なみの零相電流が

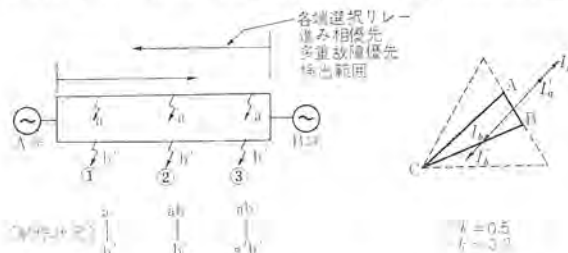


図 3.8 A-B' 故障時平衡点におけるリレー動作説明
 Fig. 3.8 Operation of KZD relay at A-B' fault.

表 3.2 k' ソウ入効果説明

(図 3.8 のリレー動作入力時を示す)

リレー	I_a 入力	ベクトル図	トルク順位
A 相用	$(I_a - KI_a') + K'(I_b - I_b')$ 0.5 0.2		動作力 ①
B 相用	$(I_b - KI_b')$ 0.5		動作力 ③
A' 相用	$(I_a' - KI_a') + K'(I_b' - I_b')$ 0.5 0.2		動作力 ④
B' 相用	$(I_b' - KI_b')$ 0.5		動作力 ②

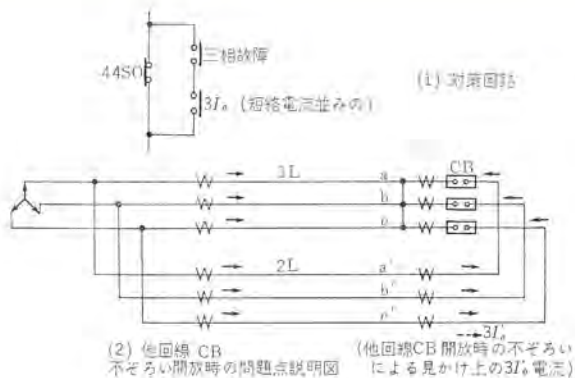


図 3.9 3 線—2 線故障時非電源端流出対策回路
Fig. 3.9 Operational principle diagram.

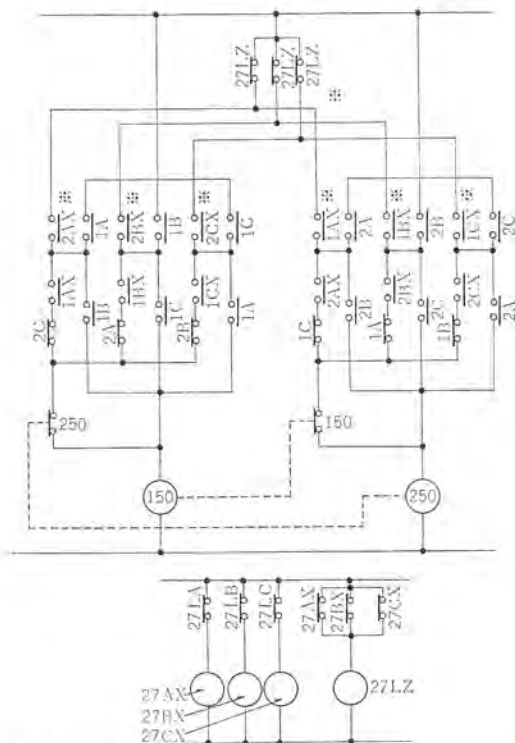


図 3.10 三相にわたる短絡—短絡故障を確実に両回線
検出とするための優先選択回路
Fig. 3.10 Operational principle circuit.

流出すること”に着目して、図 3.9 (1) のように“3 相故障中に過大の零相電流が発生したことによって、外部検出要素 44 SO を無効にする”という方式で解決している。なお、この対策を施すと、図 3.9 (2) のように、他回線の単純な 3φS 故障でシャ断動作に不ぞろいがあり、みかけ上零相電流を発生するような場合に健全回線の外部検出 44 SO をロックし誤動作することが起こるので、他回線にトリップ指令が出たことによって、この 44 SO ロック回路を形成しないよう考慮を払っている。

3.4.3 三相にわたる短絡—短絡故障時両回線シャ断動作確実化

問題となるのは図 3.6、3.7 に示すような AB-B'C' 故障時の B' 相リレーの動作であるからこの場合 B 相リレーが確実に動作していることに着目して、図 3.10※ のように三相故障 (27 LZ b コン閉) に限り自回線と同名相の他回線 リレー 条件を持ってくれば AB-B'C' の B 相不動作の問題はカバーされ確実に両回線トリップせしめることが可能となる。なお、ABC-A'B' の A' リレーの動作についても同様の効果がある。

4. 零相循環電流対策

4.1 必要性と現象の把握

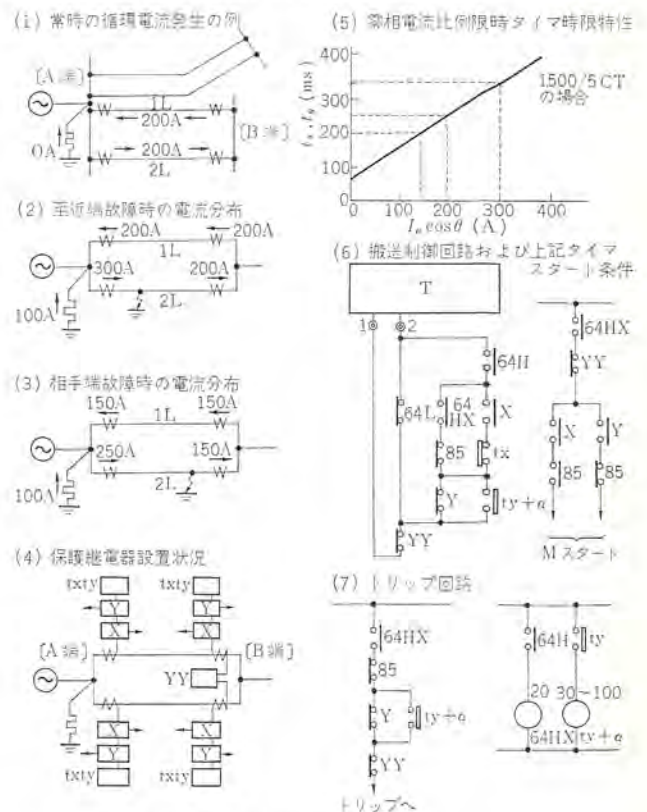
たとえば、図 4.1 (1) のように、異系統 (他回線) が併架され、そこからの誘導によって常時零相誤差電流が環流している系統を考えてみると、かりに、この循環電流が 200 A とし、NGR 電流が 100 A とすれば、図 4.1 (2)(3) のように“内部故障にもかかわらず故障電流が 200 A、または 150 A も流出し、保護でなくなる。この場合図から明らかなように、

外部故障であれば、|流入電流| = |流出電流| であり、

内部故障であれば、|流入電流| > |流出電流| であること

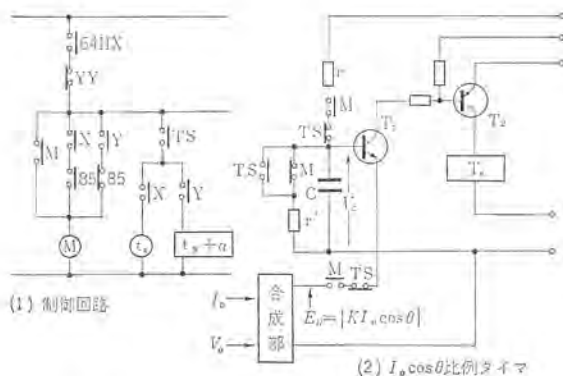
に着目すれば、ここに“各端それぞれ自端電流の大きさをなんらかの形で相手端に伝送し、両端電流値による差動方式を行なわせよ”という考え方が生れる。すなわち保護の対象となる電流量、 $I_0 \cos \theta$ の大きさにより発振装置を制御し、 $|I_0 \cos \theta|$ に関連を有する周波数 (周期) を搬送波にのせて相手端に伝送し、相手端に自端電流量を伝送して差動方式を満足する方式が考えられる。以下、上記の方式を「周期伝達方式」と称することとする。

周期伝達方式の特長は、搬送制御用のうち、外検出要素のほかに、まったく独立に各端とも、零相電流の有効分 $I_0 \cos \theta$ に比例した時限継電器を併置し、各端送信搬送波の送出周期を制御することによって故障回線は必ずトリップ、健全回線は決して動作せず



- X: 各回線別の内部方向検出要素 (167GI)
- Y: 各回線別の外部方向検出要素 (167GO)
- YY: 両回線の和で働く、外部方向検出要素 (67GO)
- t_x : $|I_0 \cos \theta|$ に比例したタイマ (発振用)
- t_y : $|I_0 \cos \theta|$ に比例したタイマ (発振停止用)
- $t_y + \alpha$: 30~100 ms 可変の協調用タイマ
- 64I: 地絡故障検出リレー (低整定)
- 64H: 同上 (高整定)
- 64HX: 同上補助リレー

図 4.1 零相循環電流対策回路原理説明
Fig. 4.1 Principle diagrams of zero phase sequence circular current proof's schemes.



M: 比例限時タイムスタートリレー
 I_0 : 零相電流
 V_0 : 零相電圧
 ED : 4.3 節記載の $|I_0 \cos \theta|$ 比例電圧
 V_0 : コンデンサ端子電圧
 TS : 比例限時タイム接点

図 4.2 GIT 形比例限時 タイマ 原理回路
 Fig. 4.2 Principle circuit of GIT relay.

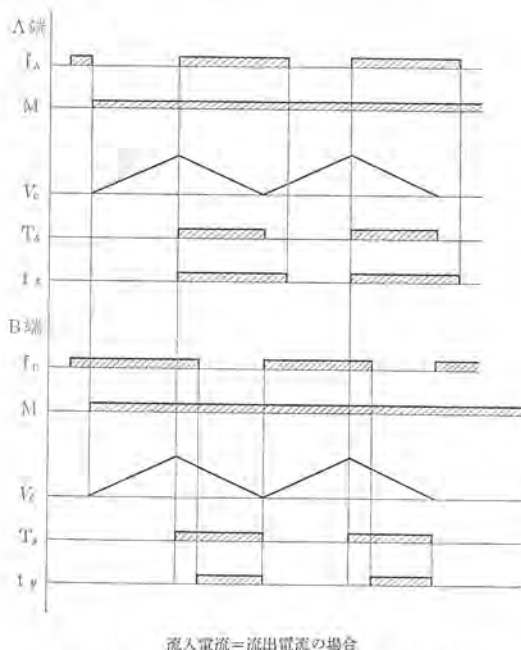


図 4.3 周期伝達方式外部故障時動作状況
 Fig. 4.3 Time chart at external fault.

しかも零相循環電流ないときは従来方式とまったく変わらない保護を行なうものである。

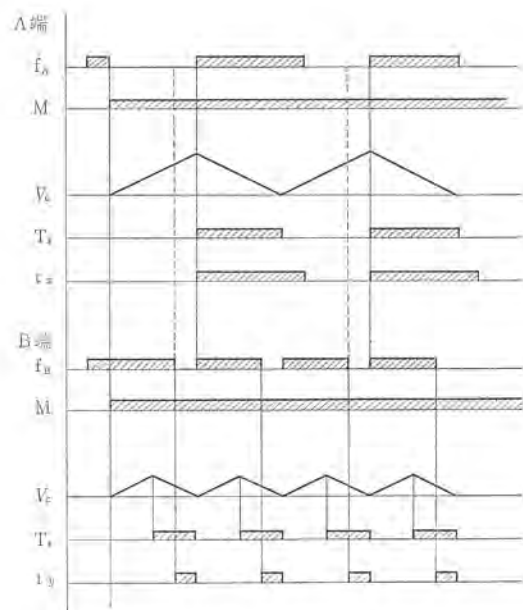
4.2 周期伝達方式の原理説明

以下原理方式の構成図を図 4.1 および図 4.2 に示す。

またこの方式の応動時間関係図を図 4.3 および図 4.4 に示す。なお、これらの図において f_A , f_B はそれぞれ A 端 B 端の送出搬送波を示している。図 4.3 と図 4.4 とを比較すれば両者の差として下記が明らかとなる。

(a) 流入電流=流出電流のときは両端の搬送波送信周期は一致しているが、流入電流が流出電流より大のときは、流出端の送信周期が早くなる。

(b) 上記の搬送波を制御するものは両端の $|I_0 \cos \theta|$ に比例したタイマ T_s の接点であり、その原因となっているものはトランジスタ T_1 のベース、エミッタ間の電位 V_e の変化である。すなわち両者の V_e の周期がちがっている。なお充電時は τ_c の時定数によって、放電時は τ_d の時定数によるものである。



流入電流 (A 端) > 流出電流 (B 端) の場合
 図 4.4 周期伝達方式内部故障時動作状況
 Fig. 4.4 Time chart at inner fault.

(c) 両者の搬送波周期は、相互に伝達され、その結果は流入端では t_x により搬送波再発振し、流出端では t_y により搬送波停止せしめるため、図 4.3 の応動関係では図 4.1 の回路でいずれの場合もトリップ条件は形成されず図 4.4 の応動関係では各周期においてトリップ条件が形成されることが明らかである。なお、一般にこのトリップ条件は第 1 周期のみを利用している。

4.3 零相循環電流対策回路の動作

以下各ケースにおける具体的な動作を図 4.1 によって述べる。

4.3.1 故障回線のトリップ動作 (図 4.1 (2), (3) の 2L 回線)

〔A 端〕は、64HX 動作、YY 不動作、X 動作、85 受信によって、 t_x スタートし、350 ms 後に t_x 動作する。

〔B 端〕は、64HX 動作、YY 不動作、Y 動作、85 停止によって t_y スタートし、250 ms 後に t_y 動作する。なお故障発生後ただちに A 端では X により搬送停止、B 端では Y により搬送波送出となりトリップロックされているが上記のように (250+ α)ms 後に B 端 $t_y+\alpha$ 動作し Y をマスクしてしまうので B 端搬送波停止により両端搬送波停止しトリップに至る。次に図 4.1 (3) 2L の場合もまったく同様に (200+ α)ms 後に自端 $t_y+\alpha$ 動作し、トリップに至る。

4.3.2 健全回線の動作ロック

健全回線では図 4.1 (2), (3) 1L についてながめると常に同一電流が貫通しているから t_x , t_y 同時に動作し余裕時間 α を適当に選べば必ず流入端 (B 端) の X による搬送波停止を t_x によって解除してから流出端 (A 端) の Y を ($t_y+\alpha$) によりマスクすることになり誤動作することはない。

4.3.3 区間外故障の場合

この場合には、一般に両回線の和の外部検出要素が動作し、これらの対策回路を無効としてしまうので 4.3.2 項のような協調動作に責を負わせるケースは少なくなる。

4.3.4 零相循環電流がないとき

この場合には、Y の流出端は生じないから、 t_x , t_y がないのと同じ動作になる。なお、 t_x が動作して流入端の X 動作を無効とする

までには少なくとも 100 ms 以上かかるから、そのためトリップ不能などの現象が出る心配はまったくない。

4.4 $I_0 \cos \theta$ 比例限時継電器の原理動作

この継電方式に使用した比例限時継電器の外観写真を図 4.5 に主回路を図 4.6 に、動作関係図を図 4.7 に、入力-時間特性を図 4.8 に、そして周期（位相）-時間特性を図 4.9 に示す。継電器動作式 $T=280 \text{ m} |I_0 \cos \theta| + 70 \dots \dots \dots (4.1)$

ここで $\begin{cases} T = \text{動作時間 (ms)} \\ I_0 = \text{リレー入力 (A)} \\ m = \text{比例定数 (1, 3/4, 1/2 タップ付)} \end{cases}$

以下、図 4.6, 4.7 によってその動作を説明する。トランス TR_1 , TR_2 に入力 V_0 , I_0 がそれぞれ印加されれば、A 点の電位はほぼ $|2RI_0 \cos \theta|$ になる。（付録 1 参照）この時起動要素（補助リレー M）が動作すれば、A 点の電位は $|2RI_0 \cos \theta|$ 一定、B 点の電位はコンデンサの充電回路により時間とともに高くなり、B 点電位が A 点電位を越えたらトランジスタ TR_1 は導通し、したがってトランジスタ TR_2 も導通し最終要素 R_y を動作させる。充電回路の充電定数は十分大きく選んであるから、動作時間は入力電流に比例して

図 4.5 GIT 形比例限時継電器
Fig. 4.5 Front view of type GIT linear timing relay.

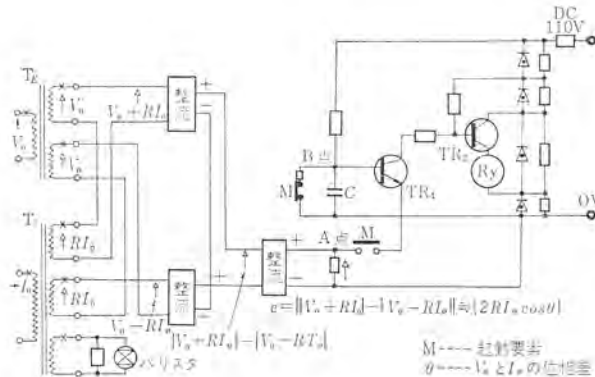


図 4.6 GIT 形比例限時 タイマ 主回路
Fig. 4.6 Principal circuit of GIT relay.

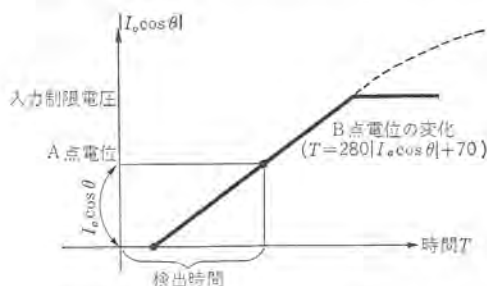


図 4.7 GIT 形比例限時 タイマ 検出原理
Fig. 4.7 Principal diagram of GIT relay.

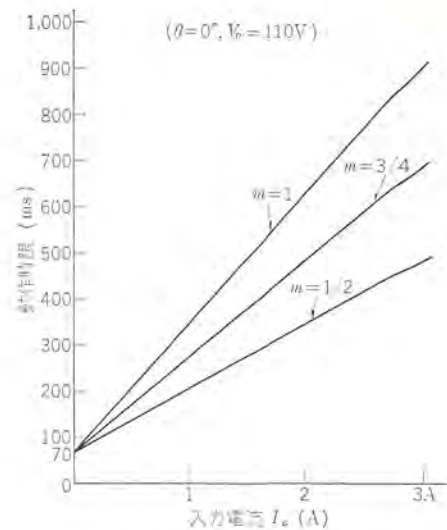


図 4.8 GIT 形継電器入力-時間特性
($\theta=0^\circ$, $V_0=110 \text{ V}$)

Fig. 4.8 Input-operating time characteristic of GIT relay.

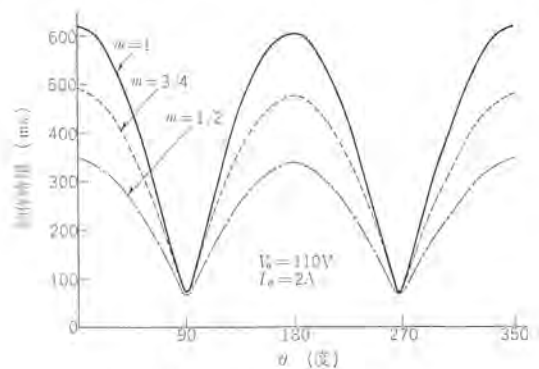


図 4.9 GIT 形継電器周期（位相）-時間特性
Fig. 4.9 Phase characteristic of type GIT relay.

増加しその動作式は式 (4.1) のようになる。なお、充電コンデンサ C の電圧が過大にならぬよう、セーダイオードを併用して図 4.7 のように入力制限を行なっている。

時限特性は、 $V_0=110 \text{ V} \pm 10 \text{ V}$ 、周囲温度 $0 \sim 40^\circ \text{C}$ 、DC 電圧 $90 \sim 130 \text{ V}$ の範囲で、直線性 $\pm 10 \text{ ms}$ 程度のデータが得られている。なお、入力範囲としては $I_0=0 \sim 2.5 \text{ A}$ 、 $V_0=50 \sim 110 \text{ V}$ を考慮している。

また図 4.9 から、動作時限が θ の余弦に比例することが明らかとなる。

5. 適用系統および総合試験結果

5.1 適用系統

この方式を採用した系統例を図 5.1 に、また、運用上の電源扱いを表 5.1 に示す。

5.2 模擬送電線試験系統

5.2.1 試験系統

図 5.2 の系統 A, B, C の 3 ケースを考慮した。

なお、実系統と模擬送電線との比較を表 5.2 に示す。

5.2.2 零相循環電流発生回路

零相循環電流を模擬送電線で発生させる方法としては、

- (1) 一相不平衡として潮流印加する方法
- (2) 一相に不平衡負荷を接続して潮流印加する方法
- (3) 他回線から誘起電圧を印加する方法

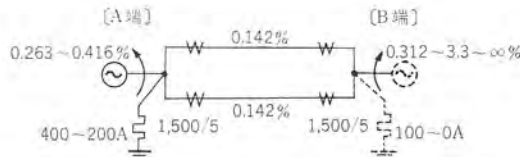
表 5.1 電源扱い条件

	A 端	B 端
短絡	電源端 (固定)	非電源、電源いずれも考慮
地絡	非電源、電源いずれも考慮	同左

上記は電源 SW をいっさいおかげ満足すること。

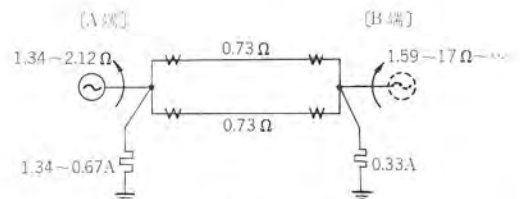
表 5.2 模擬送電線—実系統比較

項目	実系統	ATL 系統	換算比
電圧	154 kV	3.8 kV	1/40.5
コウ長	7.13 km	50 km	7 倍
C T 比	1,500/5	5/5	1/300
電源	—	—	1/12,000



電圧 154 kV
コウ長 7.13 km
中性点接地方式 NGR CT 残留回路使用

(1) 10 MVA ベースの % マップ



(2) リレー換算Ω値 (PT 比 154,000/110, CT 比 1,500/5)

図 5.1 PC-337 形搬送保護継電装置適用系統
Fig. 5.1 System diagram settled type PC-337 carrier relaying.

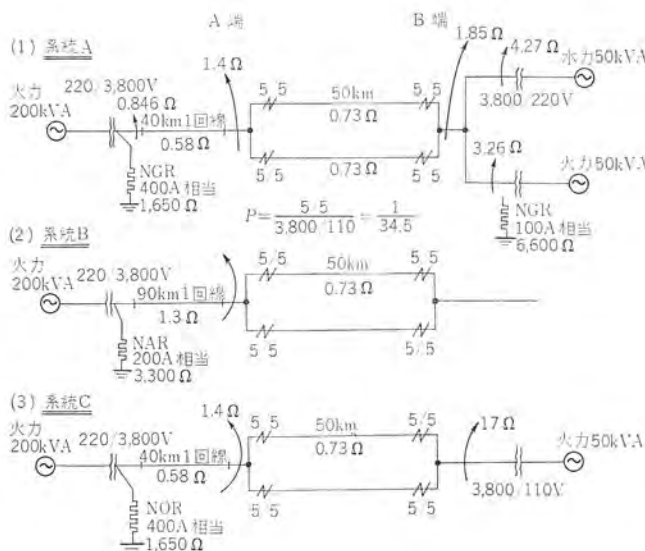


図 5.2 模擬試験系統
Fig. 5.2 Test system by ATL.

表 5.3 図 5.3 回路による実測例

	A ₀	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	備考
健全時	4.0	0.95 ^A	0.95 ^A	1.03 ^A	1.03 ^A	SW ₁ 左入
1φG 故障時	4.1	÷0	—	—	—	同上
"	3.85	÷2 ^A	—	—	—	SW ₁ 右入

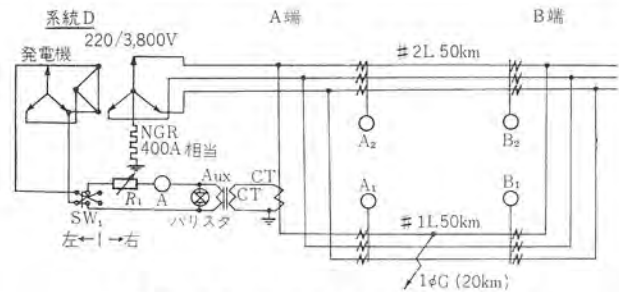


図 5.3 模擬送電線による零相電流発生回路
Fig. 5.3 Zero phase sequence circular current circuit at ATL.

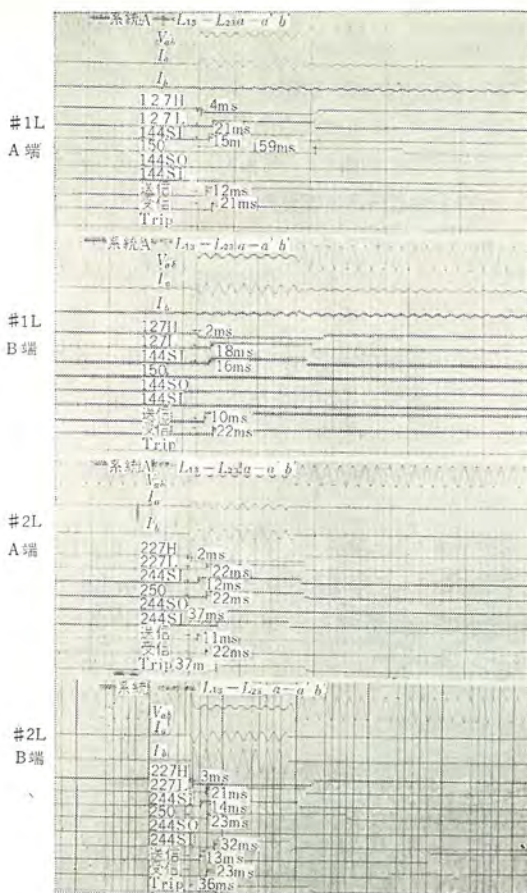


(進み相回線 1 号線トリップ、遅れ相回線 2 号線ロック)

図 5.4 A-B' 故障時動作 オシロ
Fig. 5.4 Oscillograms of A-B' fault.

(4) CT から保護回線に電流を直接印加する方法などが考えられる。今回は、(4)の方法を実験的に試み、きわめて良好な結果が得られた。すなわち、以下の循環電流テストは、図 5.3 のテスト回路で実施した。なおこの方法によって系統一次 300 A 相当の循環電流を流すことができた。実測例を表 5.3 に示す。

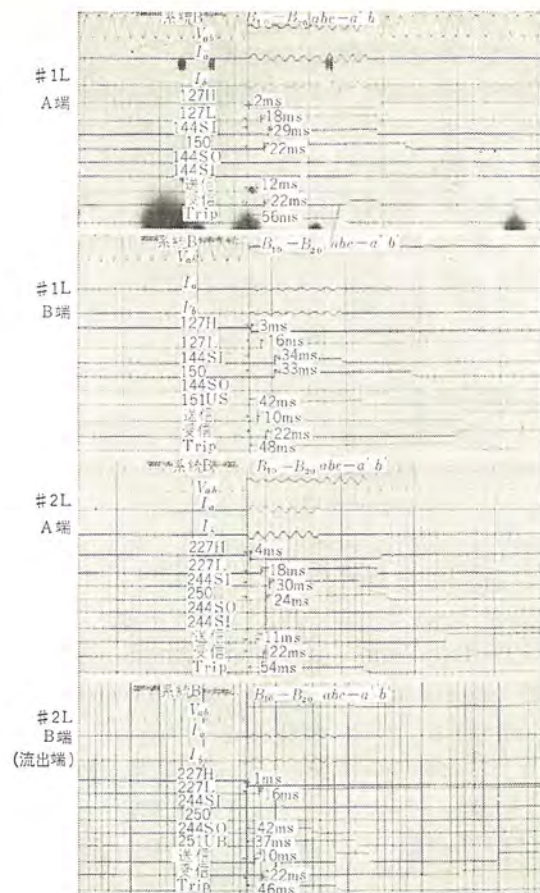
この方法は、SW の切り換えによって循環電流の向きを左、右いずれにも変化でき、しかも故障相と循環電流発生相とを任意に変化し得る点きわめて好つごうの方法である。なお、図 5.3 の二次側のバリスタは、発電機側または変圧器一次側の異常電圧発生を防止するためツウ入したものである。



(地絡回線 1 号線ロック, 多重故障回線 2 号線トリップ)

図 5.5 A-A'B' 故障時動作 オシロ

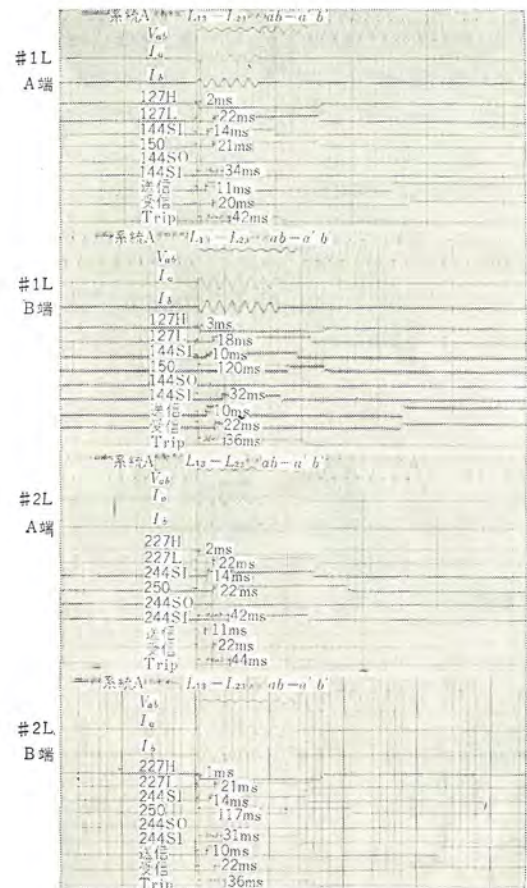
Fig. 5.5 Oscillograms of A-A'B' fault.



(非電源端流出の両回線短絡時両回線ともトリップ)

図 5.7 ABC-A'B' 故障時動作 オシロ

Fig. 5.7 Oscillograms of ABC-A'B' fault.



(両回線短絡時両回線ともトリップ)

図 5.6 AB-A'B' 故障時動作 オシロ

Fig. 5.6 Oscillograms of AB-A'B' fault.



#1L は B 端より故障電流流出しているが循環電流対策回路によってトリップ
#2L は A 端, B 端同一電流貫通し, B 端搬送停止に先だって A 端再送出することによってロック

図 5.8 循環電流あるときの A 相地絡時動作 オシロ

Fig. 5.8 Oscillograms of phase A ground fault with zero phase sequence circular current.

5.3 模擬送電線による総合試験結果

この方式の総合試験は 5.2 節記載の各系統について、約 300 ケース実施し、きわめて安定した動作状況を示すことを確認した。すなわち、両端電源、片端電源および片端無非電源ありのすべてのケースに対して、2.2 節記載の動作性能を 100% 満足していることが確認された。以下参考までに、総合試験時の代表的ものを示す。

6. 検 討

6.1 優先条件に対する検討

表 2.1 の優先条件表において、ケース 7 の本来重故障側のみ、 χ 断すべきケースが両回線 χ 断となってしまうことを許容した点について本章で検討を加える。方式決定にあたって、下記の二つの目標をたていづれを選択すべきかについて検討を行なった。

以下その検討結果を要約する。

〔第 1 目標〕

ABC-B'C' 両回線 χ 断
ABC-A' 短絡回線のみ
 χ 断を満足すること。
この場合 AB-B'C' がい
ずれか片回線 χ 断とな
ることはやむを得ない。

〔第 2 目標〕

ABC-B'C' が片回線 χ 断となる場
合は、しかるべき対策をたてて、両
回線 χ 断とすること。このため
ABC-C', AB-C' など両回線にわた
る三相故障の際両回線 χ 断となる
ことはやむを得ない。(AB-B'C' も
両回線 χ 断)

第 1 目標を満足させる方式として、「各相別に距離継電器を設置し、その動作条件の組み合わせによって、ABC-A'B' を両回線 χ 断、ABC-A' を片回線 χ 断させよう」という方式を試みたが、下記の場合、満足できないことが確認された。

(1) 非電源端に電源が入った場合

(片回線 χ 断すべきところが両回線 χ 断となる。)

(2) 至近端アーク故障の場合

(両回線 χ 断とすべきところが片回線 χ 断となる。)

(3) 両回線とも短絡一短絡故障で故障点がずれた場合

(区間内三相故障にもかかわらず両回線ともキャリヤトリップできなくなるケースが考えられる。)

(4) 残留回路負担が大きいつき

(両回線 χ 断とすべきところが片回線 χ 断となる)

すなわち、第 1 目標の「ABC-A'B' で両回線トリップ」の条件は 3.3.2 項、3.3.3 項に述べたような本質的な問題を含んでおりこの対策をたててゆけば、結局第 2 目標を満足する継電方式とすることが最も信頼性高く実用的であるとの結論に達した。このことは系統安定度の上から見て、両回線にわたる 3 線以上の故障の場合がたとえ両回線 χ 断となっても万一区間内における短絡一短絡故障を切りそこなった場合の影響を考えれば、安全サイドの

割り切り方ということで合理性あるものである。

6.2 周期伝達方式に対する検討

以下、周期伝達方式の各動作について、整定上の問題および検出限界などについて数値例によって検討を行なうことにする。

6.2.1 α の整定基準と検出限界

α は、30 ms から 100 ms まで 10 ms ステップで整定できるよう考慮されている。すなわち α は、健全回線誤動作の限界として

$$I_{max} = 1/2 I_{NGR} + I_R \quad (6.1)$$

で考えるタイマの誤差を考慮して決定される。ここで I_R は、循環電流の最大値を示す。たとえば $I_{NGR} = 400$ A, $I_R = 300$ A とすれば、 $I_{max} = 500$ A、この場合のタイマの時限は約 500 ms、かりに CT 比およびタイマの総合誤差を 10% とすれば、 $\alpha = 50$ ms ということになる。

次に、故障回線検出の限界として、流入電流と流出電流との差は NGR 電流であることを利用すれば、流出端子搬送停止より流入端子再発振の間の時間 Δt は式 (4.1) で $m=1$ の場合とすれば

$$\Delta t = \frac{280}{CT \text{ 比}} I_{NGR} \quad (6.2)$$

で表わされることになる。

たとえば、 $I_{NGR} = 100$ A の場合であれば

$$\Delta t = 280 \times \frac{100}{300} = 93 \text{ ms} \text{ という} \text{ こと} \text{ になり}$$

$\alpha = 50$ ms として、10% 誤差を考えても

$0.9 \times 93 - 50 = 33$ ms の余裕あることが分る。実際のテストでは、 $\alpha = 50$ ms として、100 NGR の系統で 300 A の循環電流でも問題ないことを確認している。

6.2.2 循環電流が故障相と違うときの動作

たとえば、循環電流と故障相とが 120° 異なる場合には、流入電流の値は有効分電流の 1/2 になることもある。しかし、このとき必ず相手端ではその分だけ増しており、両端対称構成としておれば、まったく変わらない動作を行なうものである。

6.2.3 同名相地絡時の動作

この場合には、同名相地絡に対して指定回線優先を満足できない場合が生じ、場合によっては、非指定回線を先行 χ 断してしまうことが起こりうる。しかし、図 3.2 の回路で非指定回線が先行してもまったく問題ない。

7. む す び

以上、多重故障および零相循環電流に対して対策を施した搬送継電方式の動作原理、問題点とその対策および試験結果について述べたのであるが、この論文が多重故障対策および零相循環電流対策という二つの継電方式上の課題になんらかの解決策を示すものとして各位の参考ともなれば幸いである。

付 録 図 4.6 の $2RI_0 \cos \theta$ の証明

$$\begin{aligned} e &= |V_0 + RI_0| - |V_0 - RI_0| \\ &= |V_0 + RI_0 \cos \theta + jRI_0 \sin \theta| - |V_0 - RI_0 \cos \theta - jRI_0 \sin \theta| \\ &= (V_0^2 + R^2 I_0^2 + 2RV_0 I_0 \cos \theta)^{\frac{1}{2}} - (V_0^2 + R^2 I_0^2 - 2RV_0 I_0 \cos \theta)^{\frac{1}{2}} \\ &= (A+B)^{\frac{1}{2}} - (A-B)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ただし、} A = V_0^2 + R^2 I_0^2 > 0 \\ &= \sqrt{A} \left\{ \left(1 + \frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(1 - \frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad B = 2RV_0 I_0 \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \left(1 \pm \frac{B}{A}\right)^{\frac{1}{2}} &\approx 1 \pm \frac{1}{2} \frac{B}{A} \left(\frac{B}{A} \ll 1\right) \text{ を利用すれば、} \\ e &= \sqrt{A} \cdot \frac{B}{A} = 2RI_0 \cos \theta \frac{1}{\left\{1 + \left(\frac{R_0 I_0}{V_0}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}} \\ &\approx 2RI_0 \cos \theta \quad \left[\because \left(\frac{R_0 I_0}{V_0}\right)^2 \ll 1\right] \end{aligned}$$

MELDAP-6000 による高炉原料自動装入装置

武田 英夫*・石 雅彦*・迎 久雄**・渡辺 武雄***

Automatic Charging Control of Blast Furnace by MELDAP-6000

Mitsubishi Electric Corporation, Nagasaki Works Hideo TAKEDA・Masahiko ISHI
Mitsubishi Electric Corporation, Head Office Hisao MUKAI
Mitsubishi TRW Co., Ltd. Takeo WATANABE

Quality of the control system for blast furnaces comes to play a vital part to the production as the capacity increases of late. Though the rapid progress in the electronic computer technology suggests a system to control en bloc blast furnaces together with hot blast stoves and material charging equipment with one computer according to the furnace situation, difficulty in grasping the changes and forming function models of control hampers its practicability. As a step to the materialization of the concept, Mitsubishi has built an automatic charging equipment with the MELDAP-6000 computing logger as its main controls for the Kawasaki Steel Manufacturing Co. The blast furnace operated has a capacity of 2,142 m³, the largest in the world. The article describes how the MELDAP-6000 is applied to the furnace charging as the main topic.

1. ま え が き

近年新設高炉は超大形化の傾向にあり、操業方式も炉内圧力を外気圧より高くするいわゆる高圧操業が採用され、高炉の単位容積当たりの出セシ(銑)量は増大してきている。

このような高炉の超大形化および高炉単位容積あたりの出セシ量の増大により高炉に原料を装入する装入設備に対しては大量の原料をできるだけ短時間内に装入できるようなものが要求される。

機械設備に関しては、従来のスクラップ装入方式から大量の原料を連続して装入できるベルトコンベヤ装入方式に変わりつつあり、また貯銑タンクからの各種原料切り出しは、従来のローカー方式から電磁フィーダおよびショウ(秤)量機などを用い集合コンベヤ上へ自動的にショウ量し連続的に切り出す方式に変わってきている。

このように設備自体が貯銑タンクからの原料切り出しから装入まで一貫した連続プロセスに移り変わることに伴い、これらの設備を制御する制御装置にも原料切り出しから装入まで一貫した完全な自動化が、また制御上の精度による得失が従来より大きな原因として現われるため高精度のものが要求されるようになってきた。

このため将来の方向としては、電子計算機を導入し原料の装入設備、および熱風炉設備など高炉回りの付属設備がすべて炉況の変化に対応し、炉況を最適の状態に維持するよう一体となって有機的に運転を行なうような方向にある。

しかし現在の段階では刻々複雑な変化をする炉況を理解する方法、および制御を行なうための数学モデルがまだ確立されておらず、いきなり電子計算機を導入することはできないし、また高炉設備の制御を電子計算機によりオンラインで行なった例も外国に1件あるだけで、このような製鉄所にとって基幹となる重要設備に対する実績はほとんどないといつてよい。

今回当社は川崎製鉄所第5高炉原料装入設備用電機品を一括納入したが、この装置は当社鎌倉製作所製のコンピューティングロギ(MELDAP-6000)を主幹制御器として構成されており今後の高炉計算機制御の1ステップとして以下概要を説明する。

2. 設 備 の 概 要

2.1 設備の構成

2.1.1 原料切り出し関係

原料ホッパ	22タンク
〔銑石 20タンク〕	
〔コークス 2タンク〕	
ショウ量ホッパ	22タンク
〔銑石 20タンク〕	
〔コークス 2タンク〕	
銑石サージホッパ	2タンク
電磁フィーダ	20台
〔銑石原料ホッパから ショウ量ホッパへの切り出し用〕	
電動フィーダ	2台
〔コークス原料ホッパから ショウ量ホッパへの切り出し用〕	
電動ゲート	20台
(銑石ショウ量ホッパ用)	
集合ベルトコンベヤ	2台
振動フルイ	2台
粉ガイ(骸)輸送関係機器	5台

2.1.2 装入関係

電動ゲート	2台
(コークスショウ量ホッパ用)	
スラストゲート	2台
(銑石サージホッパ用)	
電動フィーダ	4台
装入ベルトコンベヤ	1台
エア操作ゲート	2台
(ヘッドシュート先ゲート用)	
旋回シュート	1台
ベル	3台



図 2.1 高炉遠望

Fig. 2.1 Blast furnace viewed from a distance.

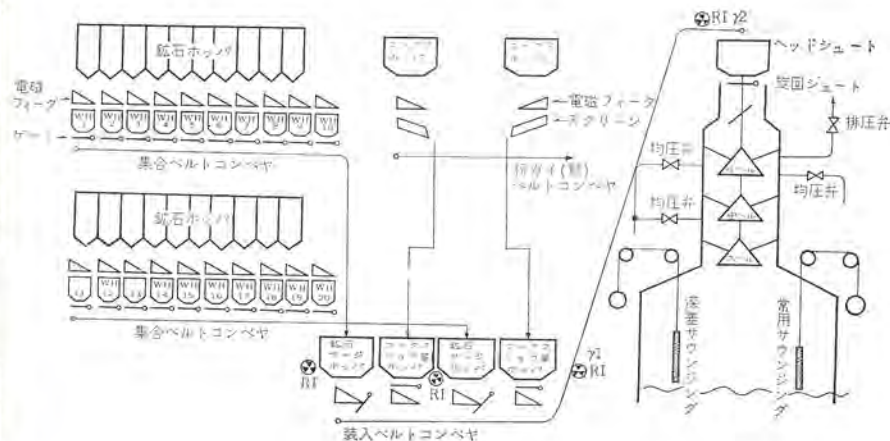


図 2.2 高炉装入設備構成図

Fig. 2.2 Constitution of blast furnace charging installation.

の動作を行ない、原料を炉内に投下する。

均排圧弁	4式
サウンジ	4本
〔常用 2本〕	
〔深差 2本〕	

2.1.3 高炉形式

- 1 高炉容積 2,142 m³
- 2 出セン(銑)能力 平均 3,850 t/d
最高 4,360 t/d
- 3 ペル 3ペル方式
- 4 操業圧力 高圧操業方式

2.2 設備の概略説明

図 2.2 は設備の概略を示す説明図である。

2.2.1 鉱石コークス切り出し系統

原料切り出し関係制御室として計量管理室が設けられている。

鉱石切り出し系統は2系列からなるが、鉱石サージホッパーから原料が排出され空量になって原料がからになるとそのホッパーの系列の選択されたショウ量ホッパーから原料が順次集合ベルトコンベヤ上に切り出される。この切り出しのタイミングは集合ベルトコンベヤ上にブランクベルトを生じないよう、また重ならないように行なわれる。ショウ量ホッパーより原料が切り出されてからになると、電磁フィーダが自動的に起動し設定量だけの原料をショウ量ホッパーに切り出す。また一方コークス系統は鉱石のサージホッパーに当るものがコークスショウ量ホッパーでやはりコークスショウ量ホッパーが空量になると電磁フィーダにより自動的に設定量の原料をショウ量ホッパーに切り出す。

粉ガイ(該)ベルトコンベヤ関係は、コークス電磁フィーダの起動停止に連動して自動的に順序起動停止を行なう。

2.2.2 炉頂装入系統

炉頂装入系統制御室として総合管理室が設けられている。

MELDAP は総合管理室に設置されている。したがって MELDAP により運転される場合には総合管理室より全設備が制御されているわけで、総合管理室照光盤には計量管理室関係の運転状況表示も行なっている。炉内のストックラインレベルが降下することにより装入指令が発せられると、あらかじめ選定されたスケジュールに従って鉱石サージホッパーおよびコークスショウ量ホッパーから原料が自動的に装入ベルトコンベヤ上に順次排出される。装入コンベヤ上の原料が炉頂に到達すると、炉頂の機器がスケジュールに従って一連

3. 制御装置の概要

3.1 制御装置の構成

MELDAP-6000 形 コンピューティングロガー	1式
MELDAP 用 シミュレータ	1式
データ記録用 タイプライタ	2台
バックアップ装置 (トランジスタリパック方式)	2式
メタルクラッド 配電盤	2式
低圧配電盤	2式
電磁制御盤	2式
照光盤	2式
操作盤	2式
電磁フィーダ 制御盤	1式
原料検出装置	1式
ラジオアイントラ利用 コンベヤ上原料検出装置	2点
ラジオアイントラ利用 サージホッパーから(空)検出装置	2点
ショウ量値遠隔伝送装置	22式
ショウ量値設定装置	1式
ショウ量器制御装置	1式
ショウ量器	22台

3.2 制御装置の概略説明

3.2.1 制御器の関連

本設備の主幹制御器は前述のように MELDAP-6000 コンピューティングロガーを主体としているが、製鉄所においては最重要設備の一つである高炉設備をいきなりこのような機器だけで運転することは実績がないため、客先の要請によりバックアップ装置を設けた。

バックアップ装置は当社トランジスタ式無接点継電器“トランジスタリパック”(以下トラサイと略す)により構成されている。

このようにこの設備は多少二重設備気味のところもあるが、原料切り出し設備にはどうしてもデータロガーは必要のものであり、そのデータロガーの容量を増してプロセスコントロールの機能を加えたと考えれば二重投資の部分は少なくなる。

また将来の高炉の計算機制御に対する一布石として、高炉運転保守員に対する実技教育および高炉操業に計算機を応用するため手がかりとなる種々の経験が得られることを考えれば、やはり高炉の計算機制御に対する1ステップの役目を十分果たすものと考え

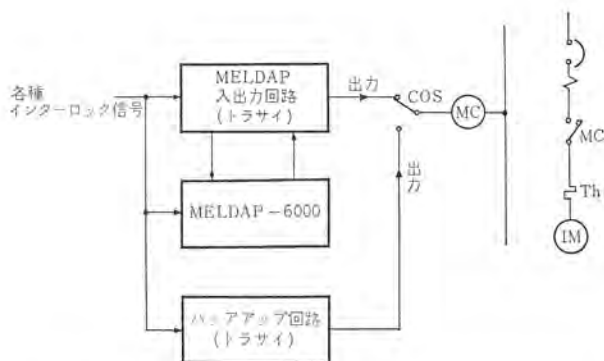


図 3.1 MELDAP-6000 およびバックアップ装置の関連
Fig. 3.1 Relation of MELDAP-6000 with back up apparatus.

える。

さて、このように主幹制御回路は MELDAP を中心としこれに並列にバックアップ装置が入っているわけでその関連は図 3.1 に示す。

各種インタロック信号は、MELDAP およびバックアップ装置に並列に与えられ、とくに二重インタロックの必要のあるところでは MELDAP 入出力回路へも与え、ここで MELDAP 運転時 MELDAP の万一の誤動作の場合に備えて二重にインタロックをかけている。

COS は電磁接触器のコイルの前に入っており、万一 MELDAP が故障した場合、MELDAP 回路を切り放しバックアップ回路のほうへ切り換わるようにしている。

このようにしているので万一どちらかが故障しても故障したほうを切り放し、他のほうで運転を継続することができるわけで、また故障を生じた側も時間に追われずゆっくり修理することが可能である。

3.2.2 MELDAP-6000 の仕様

基本回路	トランジスタスタティック回路 トランジスタ抵抗による NOR 素子
プログラム	内部記憶式
命令方式	単番地式
命令の種類	33 種
1 語の構成	26 ビット
数 値 語	10 進 26 ケタ+符号+パリティビット
命 令 語	操作部 2 ケタ、番地部 4 ケタ
演算時間	基本周波数 2 kc 加減算 6.5 ms 乗算 平均 141.5 ms 除算 平均 196.5 ms
割り込み	最大 20 レベルまで
記憶素子	磁気コア
記憶容量	2,000 語
付属装置	磁気ドラム 6,000 語 入出力機器 アナログ入出力装置 デジタル入出力装置

そのほか MELDAP に関する詳細は「三菱電機技報」Vol. 39 No. 3, 1965 浜岡ほか「MELDAP-6000 工業用 データ 処理装置」にすでに述べられているのでここではふれないことにする。

3.2.3 バックアップ装置の仕様

無接点継電器盤	2 式
---------	-----

MELDAP-6000 による高炉原料自動装入装置・武田・石・迎・渡辺



図 3.2 MELDAP-6000 および操作机
Fig. 3.2 MELDAP-6000 and control desk.

計量管理室用
総合管理室用
タイムスケジュール 盤 1 面
炉頂装入関係スケジュール 設定用

4. 制御方式の説明

4.1 MELDAP の場合

MELDAP の動作機能を大きく分けると次のようになる。

- (1) 鉱石切出し系 1 制御
- (2) 鉱石切出し系 2 制御
- (3) 炉頂装入制御
- (4) 被制御機器動作状況監視
- (5) 動作状況表示
- (6) ショウ量値誤差修正
- (7) データロギング
- (8) 炉内ストックラインレベル沈降速度の演算および記録

4.1.1 鉱石切出し系の制御

鉱石切出し系統は 2 系列に分かれ、それぞれ独立した設備であるので制御動作もそれぞれ系列ごとに分かれ独立して動作する。集合ベルトコンベヤは手動運転のみとし、あらかじめ計量管理室操作盤より運転されている。サージホップ内の原料が装入ベルトコンベヤ上に排出され空量になりゲートを閉じると該サージホップ系列の鉱石切り出しが開始される。

鉱石をどのショウ量ホップから切り出すかの選択は計量管理室操作盤取り付けのショウ量ホップ選択開閉器により行なわれ、選択されたショウ量ホップ内の原料が順次集合ベルトコンベヤ上に切り出される。

この切り出しの順序はサージホップより一番遠いほうのショウ量ホップからでも、またサージホップに一番近いほうのショウ量ホップからでも任意に可能である。

サージホップより一番遠いほうのショウ量ホップから順次切り出す場合、集合ベルトコンベヤ上にブランクベルトを生じないようにかつまた重ならないように切り出すことは割に容易であるが、一番近いほうのショウ量ホップから切り出す場合、集合ベルトコンベヤ上にブランクベルトを生じないようにすることは困難で、今あるショウ量ホップからの切り出しが終わったとすればただちに次のショウ量ホップからの切り出しを開始する。この際ショウ量ホップ間の距離に相当するブランクベルトが生ずることは避けがたい。

このように順序切り出しを行なう際、切り出そうとするショウ量ホップが設定値まで満量になっていることをまず確認し、満量

でなければ一定時間待ち、それでも満量にならなければ警報を発し、その次に切り出すことになっているショウ量ホップに移行する。

ショウ量ホップ中の原料が集合ベルトコンベヤ上に払い出されて空量になると自動的にゲートを閉じ、空量およびゲート閉の条件により設定されただけの原料を貯鉱タンクから電磁フィーダにより切り出す。

この貯鉱タンクからショウ量ホップへの原料切り出しは、トラサイによる無接点継電器回路により行なわれ、電磁フィーダは切り出し精度を上げるためにショウ量器からの信号により切り出し速度を2段階に切り換える。

4.1.2 コークス切り出し系の制御

コークスの切り出しは、鉱石切り出しの際における貯鉱タンクから電磁フィーダによりショウ量ホップに切り出す手続きと同一であるので、この制御は、トラサイによる無接点継電器回路のみにより行ない、MELDAPは後述するショウ量値の誤差修正以外には関与しない。

4.1.3 炉頂装入系の制御

MELDAPによる炉頂装入は、常用サウジング装置により発生するストックラインレベルの降下信号のみにより動作する全自動運転と、操作盤からの押しボタン信号により1チャージだけ動作する自動運転に分けられる。

常用サウジングは高炉の東側および西側にそれぞれ1本ずつ計2本あり、東および西側のストックラインレベルが両方とも設定値より下がった場合、東側のみ下がった場合および西側のみ下がった場合の3とおりに操作盤の切換開閉器により選択できる。

装入開始指令が与えられると、あらかじめプログラムされたスケジュールに従ってC—C—O—Oの基本スケジュールはもちろん、C—C—O—O—Oなどの特殊スケジュールや、C—C—O—OおよびC—C—O—O—Oの複合スケジュールも可能で、鉱石サージホップまたはコークスショウ量ホップから順次装入ベルトコンベヤ上に原料を排出する。装入ベルトコンベヤ上に原料が排出され鉱石サージホップまたはコークスショウ量ホップがからになると、ゲートを閉じ、次のパッチの原料を原料切り出し設備により供給する。

鉱石サージホップの空量は貯鉱タンクに取り付けられているコバルト60を用いたラジオアイソトープによる γ 線の透過度の変化をシンチレーションカウンタにより検出しこれによって検出する。図4.1はこの取り付け状況を示す。

装入ベルトコンベヤ上に排出された原料は、炉頂に運ばれるわけ

であるが、装入コンベヤの入口と出口の2点にセシウム137のラジオアイソトープによる γ 線の透過度の変化をシンチレーションカウンタにより検出する鉱石サージホップの空量検出装置とどのような装置が取り付けられており、原料の通過を検出する。

これらをそれぞれ γ_1 および γ_2 検出点と称している。

図4.2, 4.3はこの取り付け状況を示す。

γ_1 は γ_1 で原料の通過が検出され γ_2 に達するまでの時間をチェックするために用い、装入コンベヤ上の原料のスリップなどによりタイムスケジュールにあわなくなるのを防止する。

γ_2 は γ_1 と γ_2 間の原料の通過時間のチェック用のほかに、原料が確実に炉頂に到達したという検出信号として用い、この信号により炉頂のヘッドシュート先ゲートを開きまた次のパッチの炉頂到達に備え、および均排圧弁など炉頂機器の動作開始指令とする。均排圧弁の動作には普通圧、高圧(特)および高圧(正)の3とおりの動作があり、操作盤の切換開閉器の信号により容易に切り換えることができる。

また旋回シュートの動作は、通常1チャージ装入中は連続旋回であるが、パッチごとの45°または60°旋回も可能で、これも操作盤の切換開閉器から容易に切り換えることができる。

旋回シュートには制限開閉器を取り付けておらず、パルス発電機を取り付けこのパルスカウンタ回路によりカウントして旋回角度信号としている。

4.1.4 ショウ量値の誤差修正動作

鉱石ショウ量ホップおよびコークスショウ量ホップの切り出し量は、総合管理室の設定器によりショウ量器にセットされ、同時にMELDAPにも記憶される。この記憶は設定値変更の場合は新しい値に変更される。

鉱石およびコークスショウ量ホップより原料を切り出しまたは排出する時には、まず設定値の原料が入っていることを確認し、ショウ量値を測定読み取る。切り出しまたは排出動作が完了しホップがからになったことを確認したのち、からのショウ量値を測定読み取る。この満ショウ量値よりからのショウ量値を差し引き、実際の切り出し量を算出し、あらかじめ記憶されている設定値と比較し、誤差量を算出して累計する。この誤差量は+および-の両方について行なわれ、誤差量の累計が+または-の誤差許容値を越えればあらかじめ設定されている修正量だけ次回のショウ量ホップへの切り出しの際+または-量を修正する。



図 4.1 鉱石サージホップ 空量検出装置 線源取付状況

Fig. 4.1 Mounting of irradiation source for the detection of emptied quantity of ore surge hopper.



図 4.2 原料通過検出装置の検出器 取付状況

Fig. 4.2 Mounting of detector of passing material.



図 4.3 原料通過検出装置の線源取付状況

Fig. 4.3 Mounting of irradiation source for detection of passing material.

このように自動的に、一定期間ごとに誤差を清算しているため誤差が累積することがなく炉内原料の配合比はほとんど一定で操業することができる。

原料の配合比があらかじめ計算された配合比に常に一致していることは、高炉操作能率の向上およびセメント鉄成分の安定に大きく役だっている。

4.1.5 動作状況表示

MELDAP から発せられる動作状況表示には次のものがある。

(1) 1 チャージ中のどのパッチの動作を行なっているかを表示する。

(2) 装入回数表示器に 1 チャージ完了ごとに信号を発する。

(3) 鉱石サージホッパの満信号は、切り出し量により満量値が変化するため検出器による満量直接検出は困難である。このため鉱石ショウ量ホッパ中最後のショウ量ホッパが切り出しを完了してから、その原料が集合ベルトコンベヤによって運ばれ鉱石サージホッパに投入されてしまう時間をショウ量ホッパの位置と集合ベルトコンベヤの速度により演算し満信号を発し表示する。

(4) 4.1.4 項で述べたショウ量値の誤差修正動作を行なう場合、修正動作中の信号灯を点灯する。

(5) 待ち、オーバータイムなどの表示信号を発する。

(6) MELDAP の記憶装置内に収められているデータを操作ボックスの押しボタンを操作することにより呼出し表示する。

4.1.6 データロギング

MELDAP で行なうロギングは自動的に印字するものと、運転員が操作ボックスの押しボタンを操作することにより印字するもののふたつがあり、その内容は次のとおりである。

(1) 1 チャージ装入終了時にそのチャージのデータを自動的に印字するもの。

(a) 装入回数

1 日間の装入回数を逐次 3 ケタで印字する。

(b) 装入時刻

装入開始時刻および装入終了時刻を 24 時間方式で 4 ケタで印字する。

(c) 検尺

1 チャージの最初のサウンディングアップの直前に測定した開始検尺および 1 チャージの最後のサウンディングダウンの直後に測定した終了検尺をそれぞれ 2 ケタで印字する。

(d) ストックライン沈降速度

ストックラインの沈降速度を 5 チャージの平均値として演算し 2 ケタで印字する。

$$V = 1/10 \times \sum_{\lambda=1}^{10} (\Delta S_{\lambda} / \Delta t_{\lambda}) \times 3,600 \text{ (m/h)}$$

ただし $\Delta t_{\lambda} = t_U - t_D$ (sec)

$$\Delta S_{\lambda} = s_D - s_U \text{ (m)}$$

t_D : サウンディングダウン時刻

t_U : サウンディングアップ時刻

s_D : サウンディングダウン直後のレベル

s_U : 次のサウンディングアップ直前のレベル

(e) 各コークスショウ量ホッパショウ量値

各ショウ量ホッパごとに 3 ケタで印字する。

誤差修正を行なった場合のショウ量値は赤字で印字する。

(f) コークスショウ量値の合計

二つのショウ量ホッパのショウ量値の合計を 4 ケタで印字する。

(g) 各鉱石ショウ量ホッパショウ量値

MELDAP-6000 による高炉原料自動装入装置・武田・石・迎・渡辺

各ショウ量ホッパごとに 3 ケタで印字する。

誤差修正を行なった場合のショウ量値は赤字で印字する。

(h) 1 側鉱石ショウ量値の合計

1 側の鉱石ショウ量ホッパより切り出された鉱石量を合計し 4 ケタで印字する。

(i) 2 側鉱石ショウ量値の合計

2 側の鉱石ショウ量ホッパより切り出された鉱石量を合計し 4 ケタで印字する。

(j) 鉱石ショウ量値合計

1 チャージの鉱石量を合計して 4 ケタで印字する。

(2) 運転員が操作ボックスの押しボタンを操作することにより印字するもの

(a) 各ショウ量ホッパのショウ量設定値を赤字で印字する。

(b) その時点までのショウ量値の累計を印字する。

4.1.7 ストックライン沈降速度の記録

4.1.6 項の (1) (d) 項にて演算したストックラインの沈降速度を D-A 変換し、電子管式自動平衡形記録計に記録する。

4.1.8 プロセスシュミレータ

MELDAP にはプロセスシュミレータが付属しており MELDAP の動作をプロセス側にもまたシュミレータ側にも簡単に切り換えられるような構造となっている。

このシュミレータは次のように用いられる。

(1) シュミレーション側に切り換えた場合

MELDAP の調整時や故障時に機器本体の故障箇所を短時間に発見し、単独試験が容易に行なえるようプロセスの模擬が行なえる。また機器本体の試験のみならずプログラムのデバックも行なうことができる。

(2) オンライン側に切り換えた場合

シュミレータの入出力信号ラックにより、オンラインで運転時にも MELDAP と外部機器間の信号の受授状況が監視でき、プログラムの進行状況を監視できる。

このようにシュミレータは機器本体およびプログラムのチェックに大きな役割を演ずる。

MELDAP のようなコンピュータングロー、さらには将来電子計算機がプロセスを、オンラインで制御する装置として用いられる場合このような装置の有無が実動率を大きく左右するものと考えられる。

またコンピュータのような装置の運転状況の監視は、相当な熟練者でないと困難であるが、シュミレータがあればそれほどの熟練者でなくても割に容易に行なうことができる。

4.2 バックアップ装置の場合

バックアップ装置の動作機能を大きく分けると次のようになる。

(1) 鉱石切り出し 1 側制御

(2) " 2 側制御

(3) コークス切り出し制御

(4) 炉頂装入制御

(5) 被制御機器動作状況監視

(6) 動作状況表示

図 4.4 は総合管理室無接点継電器盤を示す。

4.2.1 鉱石切り出し系の制御

4.1.1 項で説明した MELDAP の場合とほとんど同じで異なる点はショウ量ホッパの切り出し順序がサージホッパより奥の方のものからのみと限定されていることだけである。

また MELDAP 運転およびバックアップ運転のいずれの場合も

貯鉱タンクよりショウ量ホップへの原料切り出しはトライサイによる無接点継電器回路のみにより行なっている。

4.2.2 コークス切り出し制御

4.1.2 項ですでに述べたとおりバックアップ運転の場合はショウ量値の誤差修正を行なわなければそのほかはすべてバックアップ装置のみにより制御する。この中には粉ガイ関係機器の自動運転も含まれている。

4.2.2 炉頂装入系統

炉頂装入系統はバックアップ運転の場合1チャージのパッチ構成がC—C—O—Oの4パッチ1チャージ、また旋回シュートの運転が1チャージ期間中連続運転となっているほかはMELDAPの場合とどうようである。

炉頂装入系統は炉頂関係機器の数も多く動作も複雑である。と

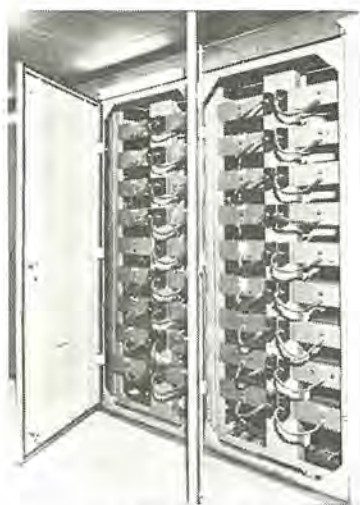


図 4.4 無接点継電器盤
Fig. 4.4 Contactless relaying panel.

くに本設備の場合3ベル式の高圧操業であるので最も複雑なものと考えられる。

このように多数の機器を原料の流れに従ってスムーズに、またはタイムスケジュールどおりに運転するために従来から種々の方法が用いられているが、この設備では当社標準方式のピンボードを用いてスケジュールを設定する方式を用いた。

タイムスケジュールは図4.5に示すとおりである。

タイムスケジュール装置は、鉱石サージホップおよびコークスショウ量ホップからの排出スケジュールのためのAカウンタとこれをセットするピンボードAおよび炉頂機器のスケジュールをタイムスケジュール上から大ベルの動作を含むものと含まないものとに分けそれぞれBおよびCカウンタとし、これをセットするBおよびCピンボードの三つに分けられる。

カウンタの基本パルスは2秒でこれは電源の50 c/sを計数することにより作っている。

このカウンタ回路およびピンボード設定回路はすでに「コンパ式高炉原料自動装入装置」(「三菱電機技報」Vol. 38・No. 3・1964)に述べられている方式とほぼ同一なので詳細についてはここでは述べない。

図4.6はタイムスケジュール盤を示す。

4.2.6 制御機器の動作状況監視

(1) タイムチェック

機器の動作がタイムスケジュールに合って動作しているかどうか確実にチェックすることは、多数の機器が動作して原料を炉内に送り込む高炉原料装入装置ではとくに重要である。機器の動作がタイムスケジュールに合わない、途中で原料がたまってあふれたりかみ込んだり種々不つごうなことが生ずる。

このチェックのためにピンボードにはタイムチェックポイントも設定されており、各タイムチェックポイントの時刻に機器の動作が終了してい

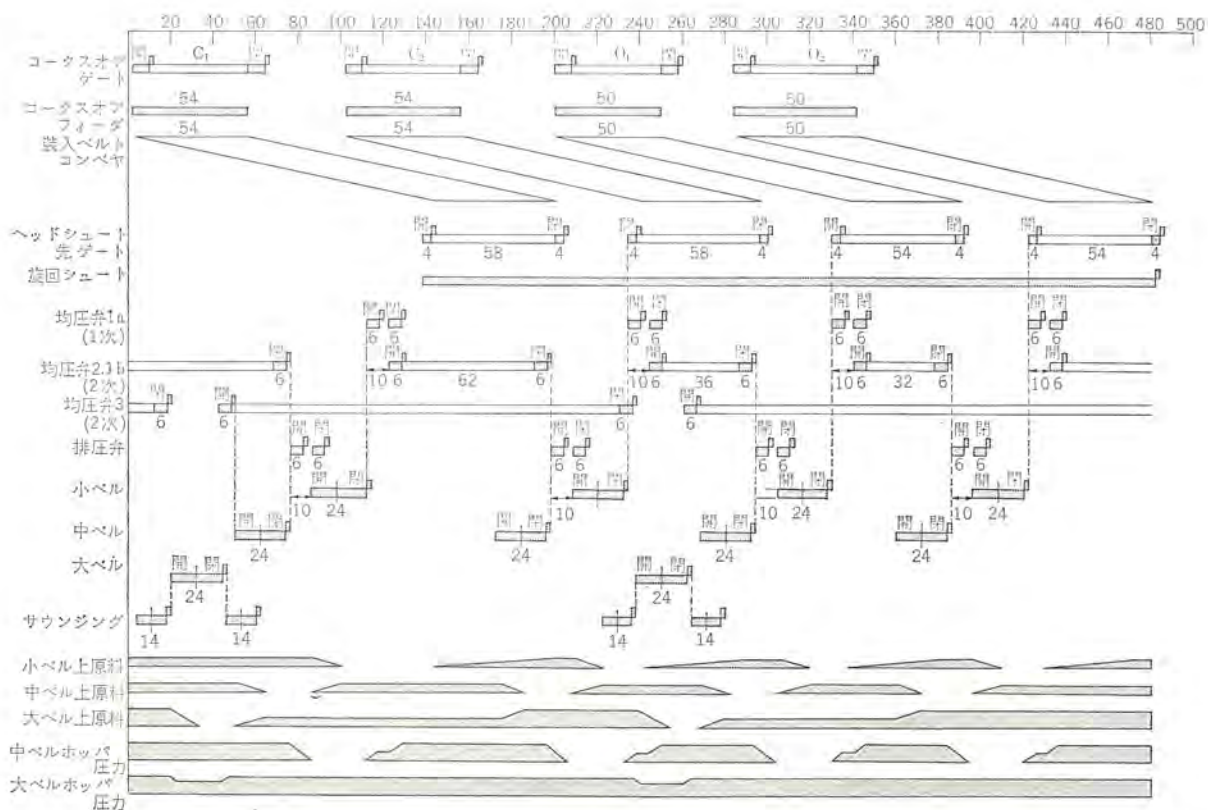


図 4.5 タイムスケジュール

Fig. 4.5 Time schedule.

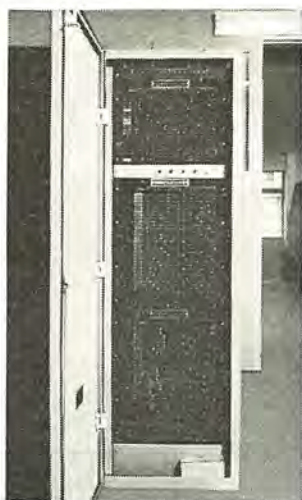


図 4.6 タイムスケジュール盤
Fig. 4.6 Time schedule panel.

るかどうかを設定時刻信号とリミットスイッチの信号を比較している。

もし設定時刻に動作が完了していなければカウンタはその時点で停止し警報を発する。

(2) 故障表示

機器の過負荷、逆転、過巻き、過下げ、タイムオーバーなど種々の故障表示は、照光盤の故障表示灯により表示され同時にブザーにより警報を発する。この表示方式は機器名表示灯と故障名表示灯をそれぞれ二つのグループに分け、機器名と故障名とを組み合わせることで故障機器と故障の種類を知るようにしている。

このようにすることにより最小個数の表示灯で多種の故障表示が行なえる。

(3) トラッキング

高炉原料装入装置のように原料が連続的ではなく1バッチごとのグループになって断続的に輸送される場合、原料の現在位置の表示が必要となる。

この設備では鉱石サージホップおよびコークスショウ量ホップから原料が炉内に投下されるまでの原料の位置をトラッキング回路により追跡し、各時点における原料の位置を原料の種類に分けて照光盤に表示するようにしている。

(4) ITV

この設備にはITVが3セット備えられている。

受像機は総合管理室照光盤に取り付けられており炉頂のペロッドの動作状況および装入ベルトコンベヤに排出された原料の積載状況を監視できるようになっている。

4.2.5 動作状況の表示

機器の運転および動作状況はすべて照光盤に表示される。

照光盤は切り出し系統のみ監視する計量管理室用と切り出し、装入の全系統を監視する総合管理室用がある。

図 4.7 は総合管理室運転室、図 4.8 は計量管理室運転室である。

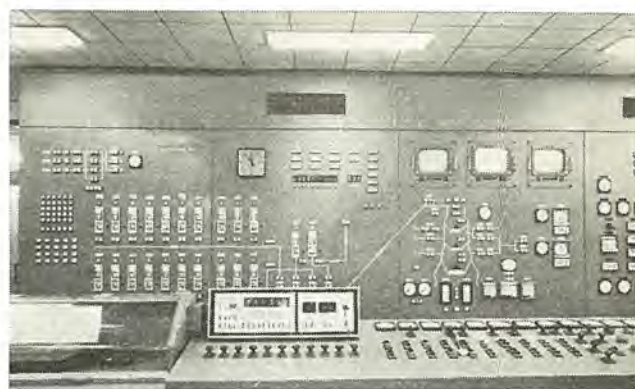


図 4.7 総合管理室運転室
Fig. 4.7 Centralized control and operation room.



図 4.8 計量管理室運転室
Fig. 4.8 Measuring control and operation room.

5. む す び

自由世界第1と称せられる最新鋭高炉に、これまでかつてなかったコンピューティングロガによる制御方式を取り入れ、名実ともに高炉設備としては最新鋭のものを完成することができた。

幾多の新しい試みがとり入れられたにもかかわらず現在好調に運転中であり、高炉の計算機制御の第一歩としての役割は十分果すものと確信する。

この原稿が今後の高炉制御装置の計画になにかのご参考になれば幸いです。

終わりに、この設備の製作にあたり終始熱心に種々ご指導ご教授をいただいた川崎製鉄株式会社千葉製鉄所の各位ならびに社内各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 木内、渡辺、井上：コンベヤ式高炉原料自動装入装置、「三菱電機技報」38, 534 (昭 39)
- (2) 浜岡、深尾、竜田、貴田：MELDAP-6000 工業用データ処理装置、「三菱電機技報」39, 444 (昭 40)
- (3) 笠原、岩井、朝日：γ線の透過を利用したベルトコンベヤ上の高炉用原料検出装置、「三菱電機技報」38, 369 (昭 39)

電力系統信頼度の考え方と算定法

豊田 淳一*

林 重雄**・嶋村和也***・井上幸美***

New Conception of Reliability on Power Systems and Simulation Language for Digital Computers

Seikei University

Mitsubishi Electric Corporation, Central Research Laboratory

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Junichi TOYODA

Shigeo HAYASHI

Kazuya SHIMAMURA・Yukiyoshi INOUE

The power systems in Japan have grown so complex that the planning and operation pose increasingly vital problems for the public utilities. To investigate the fundamentals of system planning, a joint effort has been made by Seikei University and Mitsubishi. The general patterns of the network in this country are radial with the metropolitan areas as centers and the outage has a great bearing on the system reliability. For the radial power system a new calculating method for the reliability has been established applying the composition law of probability, while for the loop system, the stochastic maximum flow method. This article elucidates the conception of local probability introduced in a specified power system, and also utilization of the thought to determine the generating capacity.

1. ま え が き

あらゆる分野における電子計算機の応用研究は非常に盛んであり、各種システムの解析のためのアルゴリズムあるいは問題向アルゴリズムが開発され発表されている。

電力事業においても例外ではなく、従来の手計算を機械におきかえるだけでなく計算機の導入によってはじめて可能になった種々の解法が開発され、新しい応用例の紹介、検討のための国際会議が開かれている。

このような諸般の事情を背景に電力システムの研究と計算機応用プログラムの開発を目的とした協同研究会が開催されている。これは成蹊大学工学部、中央研究所電力システム研究グループならびに鎌倉製作所計算機技術部が参加して行なわれてきているが、ここにこれまでの成果の一部を報告するしだいである。

2. 信頼度計算の意義

年々、鉱工業生産指数とともに電力需要も増大していくが、その増大に伴って電力事業の設備も拡大されなければならない。また設備拡充は、その決定がなされて実際に使えるようになるまでにはかなりの時間遅れを伴い、需要不足がおきたからといってあわてて作りはじめても手遅れになる。したがってこのような設備拡充のためには、なにか基準となるシステムの評価が必要であり、その評価に基づいて設備拡充計画が練られるべきである。

現在広く用いられている基準は、電力の質をあらわす種々の量であり、一般に短期計画に対しては周波数変動、電圧変動を用い、長期計画に対しては系統が平均的にどの程度停電をひきおこすかということが判断の基準になっている。後者の信頼性の測度には、発電機事故、線路事故など不測の事態を考慮しなければならず、どうしても確率的な表現にたよらざるを得ない。これを信頼度という測度で表現し、系統計画の一つの評価基準とすることができ、以下に信頼度の考え方ならびにその算定法について、検討した結果を報告する。

3. 信頼度の考え方と問題点

これまでおもにアメリカにおいて発電機と負荷だけからなる系統に対して信頼度計算の手法が種々開発され実用に供されている。

欧米諸国のように線路構成が網目状に強固な場合は、線路の故障はなかなか供給支障と結びつかないが、わが国のように比較的ループ系統が少なく、また落雷などの発生ひん度が高い場合、線路故障をまったく無視した供給信頼度は、あるいはまちがった結論を導くかもしれない。実際表3.1の統計資料をみてもわかるとおり、わが国では線路故障が供給支障の原因になっている場合が多く、この点からも線路構成をも含めた供給信頼度の算定法の開発が要求されており、2, 3の手法が紹介されはじめている。

それでは、現在実用に供されている信頼度の考え方とはどのようなものであろうか。まずその評価法について分類すると次のようなものが考えられる。

(1) ある期間に発生する停電回数

(2) 1回の停電が持続する時間

具体的には、供給信頼度の測度として平均停電回数が用いられる場合もあり、また平均停電持続時間を用いる場合もあるが一般にはある一つの系統の信頼度として次式を採用することが多い。

$$R = (1 - N \times T) / P \quad \text{.....(3.1)}$$

ただし R = 供給信頼度

N = 平均停電発生回数

T = 平均停電持続時間

P = 考えている期間

表 3.1 年間あたり供給支障統計データ
(A, B, C, D, E 社合計, 12月ピーク時電力: 6,443 MW)

データ	発生回数	支障時間	支障電力合計	1支障当りの	1支障当りの
支障事故の内容	合計	合計	(単位 MW)	平均支障時間	平均支障電力 (単位 MW)
送電線の事故	80	時間 分 19 44	5,256	14.8	66
発電所の事故	35	時間 分 14 41	4,268	25.2	122

しかしながら、停電の発生回数と持続時間が一つの量にたたみ込まれているために、発生回数が少なく持続時間の長い事故特性を持つ系と、発生回数が多く持続時間の短い事故特性のある系を区別できない難点がある。とくに事故特性のまったく異なる発電機事故と線路事故を同時に取り扱うとき、不満足な結果しか得られない場合が多く、便宜的な仮定を設けて処理せざるを得ない。

さらに、停電にもとづく評価のみならず、

(1) 電圧変動

(2) 周波数変動

についても評価につくわえる必要があろう。なぜなら、一般に供給支障が発生したとき負荷シャ断、周波数低下などの手段により、停電にいたることを極力さける方針がとられるのが普通だからである。しかし、これらの量の取り扱いについては、現在いろいろの意見があり定説はないようである。

次に線路構成を含めた場合に、とくに問題となる点について考察する。線路の事故を無視した場合には、系統全体の信頼度のみが算定の対象となるが、線路の事故を含めると線路で結ばれる各地域が分離でき、いわば地域ごとの信頼度といったものが算定できる。

すなわち、線路構成も含めた系統の信頼度には、

(1) 系統全体を一括した供給信頼度

(2) 系統内の各地域ごとの供給信頼度

の二つがあり、算定方式としては、この二つが算定できる形でなければならない。いいかえれば各地域ごとの供給信頼度が算定できて、はじめてその間を結ぶ線路の強さが判断できることになる。

それでは、各地域ごとの供給信頼度はどのようなフィロソフィのもとに決められているのであろうか。これは各地域の供給余力をどのように考えるかによって異なる。すなわち、

(1) 各地域が互いに融通しあえる範囲で融通しあい、そこで余った電力を供給余力とする。

この場合の、系統の状態とその原因は下表のようになる。

状 態	原 因
供給余力正	線路、電電力とも健全 線路にネックがある。 発電力が不足
供給余力正	
供給余力負	

(2) 対象としている地域に重点をおき、ほかの地域は犠牲にしてもその地域に集められるだけの発電力を集め、その地域の負荷に供給する。そのときの状態と原因は下表のようになる。

状 態	原 因
対象としている3地域で供給余力が正	ほかの地域から、その地域にいたる線路にネックはない。
対象としている地域で供給余力が負	ほかの地域から、その地域にいたる線路にネックがある。
全発電力が全負荷を下まわる	発電力不足

(3) ある地域に優先順位がある場合

以上のように三つの考え方により、信頼度計算をおこなうと、当然値が異なってくる。信頼度計算にはその基本的なフィロソフィをはっきり定めて、論じられなければならない。

4. 信頼度計算法のいろいろ

信頼度計算には、次のような算定法が考えられる。

(1) 確率的な計算法

発電機事故、線路事故、負荷を確率事象として取り扱い、その組み合された系統全体の供給確率を確率計算法で出そうとするもの。

(2) シミュレーション的な方法

時間軸を短縮し、各種事故をシミュレーションして信頼性をチェックする方法

(3) Max Flow 法

おもに線路のネックを調べる方法で、線路構成が複雑になった場合、潮流が満足に流れるかをチェックする。ただし確率的な取り扱いは、まだ完全には解決されていない。

(4) Table 法

あらかじめ線路故障が発生したときの潮流表を各種故障に対して準備しておき、線路構成の変更、負荷シャ断などをすみやかに実行する。おもに事故に対する日間運用の対策として利用される。

この報告では、以下、おもに(1)と(3)の考え方に従った信頼度算定法の一つの案を記述する。

5. 放射状系統に対する分割合成法

電力系統の線路構成をループを含まない放射状系統と、ループを含むループ系統に分けて考える。まず放射状系統について考えてみよう。信頼度に関連する系統要素の確率として次のものがある。

(1) 発電機事故率

平均的に100日ごとに4日間続く停止事故が発生するものとするれば、この発電機の事故率は $P=4/100=4\%$ という表現になる。すなわち0.96の確率でG MW(発電機容量)を発生し、0.04の確率で0 MWを発生することになる。

(2) 線路事故率

線路コウ(亘)長100 kmあたり平均的に100回ごとに2時間続く停止事故が6回発生したとするとこの線路の事故率は、

$$P = \frac{2 \cdot 24 \times 6}{100} = 0.5\% / 100 \text{ km}$$

と表現される。すなわち、0.995の確率でC MWの線路容量をもち、0.005の確率で0 MWの線路容量をもつことになる。

(3) 負荷特性

100 MWの負荷が0.7の確率で、80 MWが0.2の確率で、50 MWが0.1の確率で発生するということは、平均的に100日間100 MWの負荷が70日間発生し、80 MWの負荷が20日間発生し、残りの日は50 MWであるということになる。

一般に負荷特性は連続確率分布で与えられる。

以上のような基本要素が組み合されて系統が構成されるわけであり、構成された系統の信頼度確率計算はそれぞれ基本確率の合成で与えられる。

5.1 系統要素の構成と確率特性の変換

いま系統要素の出力(発電力あるいは線路容量、あるいは負荷)X MWが発生する確率を $P(X)dX$ とする。

これは、任意の期間N日の間の $N \cdot P(X)dX$ 日は、この系統要素の出力がX MWであることを意味する。

したがって、

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(X)dX = 1 \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

が、どの系統要素の確率特性に対してもなりたつ。

(1) AND 変換 (並列変換)

図 5.1 のように構成要素 1 と構成要素 2 が並列的に結合されたときその合成出力 $X = X_1 + X_2$ はどのような確率特性になるであろうか。

構成要素 1 の出力が X_1 MW である確率を: $P_1(X_1)dX_1$

構成要素 2 の出力が X_2 MW である確率を: $P_2(X_2)dX_2$

とすると、要素 1 か X_1 、要素 2 か X_2 である同時確率は、

$$P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1dX_2$$

となる。

$X = X_1 + X_2$ (X 固定) を満足するすべての (X_1, X_2) の組み合わせについて確率の和をとればよいから、合成出力が X MW である確率 $P(X)dX$ は次のように与えられる。

$$P(X)dX = \int_{X=X_1+X_2} P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1 \cdot dX_2 \\ = \left[\int_{-\infty}^{\infty} P_1(X-X_2)P_2(X_2)dX_2 \right] dX \quad \dots\dots(5.2)$$

この確率合成の操作を $X = \text{AND}(X_1, X_2)$ と書き、その内容は式 (5.2) の確率計算を含むものとする。

(2) MIN 変換 (直列変換)

図 5.2 のように、要素 1 と要素 2 が直列的に組み合わされている場合、たとえば線路容量 X_1 MW と X_2 MW のものが直列に接続されているとき、その合成容量 $X = \min(X_1, X_2)$ MW はどのような確率法則に従うか。

式 (5.2) とどのような操作により、 $X = \min(X_1, X_2)$

(X 固定) のすべての組み合わせについて確率の和をとる。

$$P(X)dX = \int_{X=\text{Min}} P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1 \cdot dX_2 \\ = \int P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1dX_2 + \int P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1dX_2 \\ \begin{cases} X_1 = X \\ X_2 = X+x \\ x \geq 0 \end{cases} \quad \begin{cases} X_1 = X+x \\ X_2 = X \\ x \geq 0 \end{cases} \\ = \left[\int_0^{\infty} P_1(X)P_2(X+x)dx \right. \\ \left. + \int_0^{\infty} P_1(X+x)P_2(X)dx \right] dX \quad \dots\dots(5.3)$$

この確率合成の操作を $X = \text{MIN}(X_1, X_2)$ と書く。

なお $X < 0$ であれば式 (5.3) の積分領域は $(0, \infty)$ ではなく $(-\infty, 0)$ となる。

例 題

図 5.3 のような系統において、たとえば I 地点における供給余力は、 $\text{MIN}(C_2, X_2)$ と $\text{MIN}(C_3, X_3)$ との和すなわち AND が C_1 の線路を通してきた出力と X_1 の出力との合計である。

すなわち

$$X_I = \text{AND}(X_1, \text{MIN}(C_1, \text{AND}(\text{MIN}(C_2, X_2), \text{MIN}(C_3, X_3)))) \quad \dots\dots(5.4)$$

のように II 地点における供給余力は

$$X_{II} = \text{AND}(X_2, \text{MIN}(C_2, \text{AND}(\text{MIN}(C_1, X_1), \text{MIN}(C_3, X_3)))) \quad \dots\dots(5.5)$$

III 地点における供給余力は

$$X_{III} = \text{AND}(X_3, \text{MIN}(C_3, \text{AND}(\text{MIN}(C_1, X_1), \text{MIN}(C_2, X_2)))) \quad \dots\dots(5.6)$$

となる。

これらの式に含まれる AND , MIN のオペレーションは前述のように式 (5.2), (5.3) の確率合成演算をするものであり、各エレメント C_i, X_i の確率分布を与えれば各地点における確率分布が順次求まる。

5.2 孤立地域の信頼度と信頼度の向上

孤立地域の信頼度は、その地点の電力の確率分布の正の部分の和を求めればよい。(供給余力 X が負であれば、その地域は電力が不足していることになる。)

図 5.4 において、 G を発電力、 L を負荷とし、それぞれの発生している確率を $P_g(G)dG$, $P_L(L)dL$ とすると $X = G - L$ であるから、式 (5.2) の AND を用いて、

$$P(X = \text{AND}(G - L)) = \int_0^{\infty} P_g(X+x)P_L(x)dx \quad \dots\dots(5.7)$$

でもとまる。したがってこの地域の信頼度は

$$\text{PRB}(X \geq 0) = \int_0^{\infty} P(X = \text{AND}(G - L))dX \quad \dots\dots(5.8)$$

で与えられる。この式 (5.8) は米国でよく用いられている信頼度の表現 “LOSS OF LOAD” とまったく同じものである。

いまここで、二つの孤立系統 #1 と #2 が結合された系があるとする。ここで、“自己の地域内に供給支障が発生しない範囲内で他地域の供給支障を助ける” というフィロソフィに基づいて、結合後の各地域の信頼度の向上の程度を算定しよう。

$X_1 < 0$ かつ $X_1 + X_2 > 0$ の確率を合計すれば	#1 地域の信頼度向上の程度 $\Delta \text{LTL}(X_1, X_2)$ が求まる。
$X_2 < 0$ かつ $X_1 + X_2 > 0$ の確率を合計すれば	#2 地域の信頼度向上の程度 $\Delta \text{LTL}(X_2, X_1)$ が求まる。

出力 X_1 の発生する確率: $P_1(X_1)dX_1$

出力 X_2 の発生する確率: $P_2(X_2)dX_2$

として、上表を参照して信頼度の向上を求めると

$$\Delta \text{LTL}(X_1, X_2) = \int \int_{\substack{X_1 < 0 \\ X_1 + X_2 > 0}} P_1(X_1)P_2(X_2)dX_1dX_2 \\ = \int_{-\infty}^0 dX_1 \int_{-X_1}^{\infty} dX_2 [P_1(X_1) \cdot P_2(X_2)] \quad \dots\dots(5.9)$$

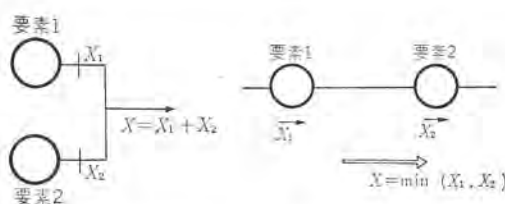


図 5.1 AND 結合
Fig. 5.1 AND connection.

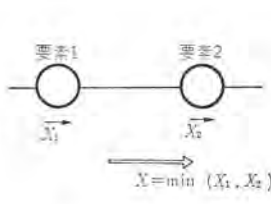


図 5.2 MIN 回路
Fig. 5.2 MIN connection.

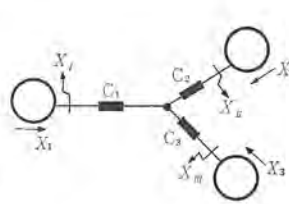


図 5.3 例題構成図
Fig. 5.3 Composition of example.

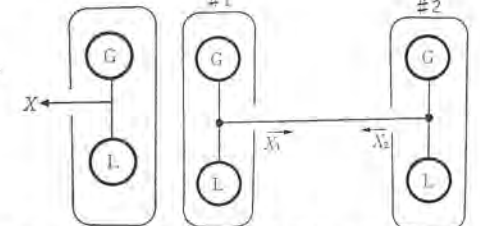


図 5.4 1ユニットの結合
Fig. 5.4 Connection of units.

図 5.5 地域の結合
Fig. 5.5 Connection of region.

$$DLT(X_2, X_1) = \int \int_{\substack{X_1 < 0 \\ X_1 + X_2 > 0}} P_1(X_1) P_2(X_2) dX_1 dX_2 \\ = \int_{-X_2}^{\infty} dX_1 \int_{-\infty}^0 dX_2 [P_1(X_1) \cdot P_2(X_2)] \dots \dots (5.10)$$

となる。以下 $DLT(X_1, X_2)$, $DLT(X_2, X_1)$ の表現は式 (5.9), (5.10) の内容をそれぞれ与えるものとする。

結局孤立地域が結合したのちの各地域内の信頼度は、向上分も含めて次のように与えられる。

地域 1 では

$$R_1 = PRB(X_1 \geq 0) + DLT(X_1, X_2) \dots \dots \dots (5.11)$$

地域 2 では

$$R_2 = PRB(X_2 \geq 0) + DLT(X_2, X_1) \dots \dots \dots (5.12)$$

これを利用して、系統全体の信頼度を求めると、

$$RS = PRB(X_1 > 0) \cdot PRB(X_2 > 0) + DLT(X_1, X_2) \\ + DLT(X_2, X_1) \dots \dots \dots (5.13)$$

となる。この確率は、地域 1 も地域 2 も同時に停電しない確率をあらわしていることになる。

6. 信頼度計算のための計算機語

信頼度計算は前節までに述べたように、数種類の基本演算が複雑に組み合わせられて使用される。われわれは、MELCOM-1530 SIASYSTEM により、つぎのような確率合成の基本演算を行なう命令語を作成した。

Z=AND (X, Y)	式 (5.2) 参照
Z=MIN (X, Y)	式 (5.3) 参照
R=PRB (X ≥ 0)	式 (5.8) 参照
R=DLT (X, Y)	式 (5.11) 参照
C=MPY (A, B)	C=A · B
C=SUM (A, B)	C=A+B

ここで、X, Y, Z は最大 200 個の離散点で与えられる確率密度関数の番地であり、グループ演算が実行される。したがって、各要素のシンボリックネームを X, Y に与えれば、合成された解が Z に与えられる。Z を指定したテンポリアドレスとすることもできる。(例題参照)

計算機のためのフローチャートや、プログラム使用上の約束は付録にまとめることにして、ここでは実施例とそのプログラムを図 6.1, および表 6.1 に示す。

対象とする系統構成が異なっても、例に見るように、簡単なプログラムで問題を解くことができる。

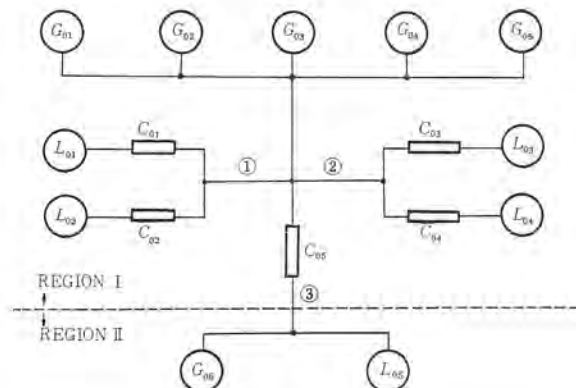


図 6.1 実施例系統図
Fig. 6.1 System diagram of practical example.

表 6.1 図 6.1 の 6 発電所 5 負荷 (G: 発電所, L: 負荷) の REGION II の信頼度を求めるための計算プログラムは次のようになる。

```
T01=MIN (C01, L01)
T02=MIN (C02, L02)
T03=MIN (C03, L03)
T04=MIN (C04, L04)
T01=AND (T01, T02) 地点 ① の出力の確率表
T02=AND (T03, T04) 地点 ② の出力の確率表
T01=AND (T01, T02) 地点 1, 2 の合計確率表
T02=AND (G01, G02)
T03=AND (G03, G04)
T02=AND (T02, T03)
T02=AND (T02, G05) 発電機群出力の確率表
T01=AND (T01, T02)
T01=AND (C05, T01) I の供給余力の確率表
T02=AND (G06, L05) II の供給余力の確率表
R01=PRB (T01) I が孤立のときの信頼度
R02=PRB (T02) II が孤立のときの信頼度
R03=DLT (T01, T02) I の信頼度向上
R04=DLT (T02, T01) II の信頼度向上
R05=SVM (R01, R03) I の地域信頼度
R06=SVM (R02, R04) II の地域信頼度
R07=MPY (R01, R02)
R08=SVM (R07, R03)
R09=SVM (R08, R04) ③ 地点の系統信頼度
```

注 ここで T△△はテンポリアドレスのマスキングである。

[DATE]

G 01, G 02, G 03, G 04, G 05, G 06	
0 kW	0.005
10	0.995

C 01, C 02, C 03, C 04, C 05	
0 kW	0.005
5	0.095
10	0.900

L 01, L 02, L 03, L 04, L 05	
-10 kW	0.80000
-9	0.10000
-8	0.08000
-7	0.01000
-6	0.00800
-5	0.00100
-4	0.00080
-3	0.00010
-2	0.00008
-1	0.00002

[RESULT]

	地 域 I	地 域 II
孤立のとき	R 01=99.992%	R 02=99.501%
結合のとき	R 05=99.992%	R 06=99.936%
総 合	R 09=99.928%	

[COMPUTING TIME]

ALL PRINT OUT で 43 秒

7. ループ状システムに対する考え方と分割合成法の拡張

系統構成がループ状になった場合、これまでに論じた確率的な特性をたまたみ込んでいく合成法は、そのまま拡張できない。そのおもな原因は、ループ内を流れる環流の確率的な処理がきわめてむづかしいことにほかならない。ここではループ状系統の信頼度計算として、われわれが検討し試みたいいくつかの方法を列挙し、その長所、短所を検討することにする。

7.1 すべての事故、組み合わせを調査する方法

#i 発電機の出力が X_i , その確率 $P_i(X_i)$, 状態が m_i 種類,
#j 線路の出力が C_j , その確率 $P_j(C_j)$, 状態が n_j 種類 (i は $1 \sim M$, j は $1 \sim N$) とすると、系統のすべての状態は

$$\prod_{i=1}^M m_i \cdot \prod_{j=1}^N m_j \dots\dots\dots (7.1)$$

種類あることになる。各ケースに対して

$$P = \prod_{i=1}^M P_i(X_i) \cdot \prod_{j=1}^N P_j(C_j) \dots\dots\dots (7.2)$$

の確率に対応し、各状態ごとに各地域が供給可能かどうかをチェックする。各地域ごとに供給停止の発生しない状態に対応する確率をあらゆる組み合わせに関して集めればそれぞれがその地域の地域信頼度になり、また系統内のどこの地域も供給停止が発生しない状態に対応する確率をすべての組み合わせに対して合計すれば、それが系統全体の信頼度になる。

この方法は任意のフィロソフィを信頼度計算に取り入れることが可能であるが、ごく小さな系統でも状態の数が天文的数字になり、たとえば3状態の発電機が10台、線路が8本、5状態の負荷が6箇所としてもそのすべての状態は $3^{10} \cdot 3^8 \cdot 5^6 \cong 10^{13}$ 種類あり1 case 1 ms の計算でも全 case の計算が終わるのに300年くらいかかることになり実現はむずかしい。

7.2 Max-Flow 法

そこで、Signal Flow の方面で利用されている MAX-FLOW、MIN-CUT 法をこの問題に適用することを考える。

これは SINK から SOURCE に流れる最大潮流は、その双対回路の最小 Path の長さであたえられるという原理にもとづいている。たとえば確率要因が含まれない場合は、図 7.1 の系統構成において、発電力、負荷とも線路容量と考えると、図 7.2 のような回路を考え、その相対回路 図 7.3 の MIN PATH をもとめればよい。図の例においては、MAX-FLOW は $5+3+6$ あるいは $8+6=14$ となる。

この図において14のフローが流れるということは、-8、-6の負荷がちょうど満たされることを意味している。

次にこの方法を、確率の場合に拡張することを考える。

一般に MIN-PATH を求める問題において確率的な取り扱い、近似的に次のようにあつかわれている。すなわち、平均値が一番短いパスに着目し、分散は分散の和の形で与えられるとしている。(たとえば PERT における確率的取り扱い。)

もちろん、この近似には、種々問題があり、電力系統構成単位の確率分布は、正規分布のようなものでなく、相当かたよりがあり、この方法によることもかなりむづかしい。

そこで、もう少し厳密に、確率的に長さが変動するパスの中で、最小のものを求める方法はないかを考える。

回路網の始点から終点までに到達するルートはいく本もあり、それぞれは単位要素の確率分布の AND 結合であらわされる確率分布をもっている。これらの中の MIN を一度に求めようとするとき、同じ単位要素の確率分布が、多重に入ってきて、確率の同時性について問題がおこる。すなわち、A、B、C の確率分布をもつパスの最小は、 $\text{MIN}(A, B, C)$ であり、これを $\text{MIN}(A)\text{MIN}(B, C)$ であたえるためには、A、B、C の中に、確率的独立がなければならない。

この確率の同時性を考慮に入れて、厳密に解こうとすると、原理的には、7.1 でのべたすべての組み合わせをチェックする方法とどうように系統が複雑になると、実行が不可能である。

現在、これを解決するために、確率的な期待値で処理することを考えている。

確率的同时性を無視して、放射状の場合に用いた諸ルーティーンを

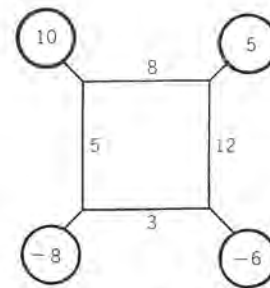


図 7.1 フローネットワーク Fig. 7.1 Flow network.

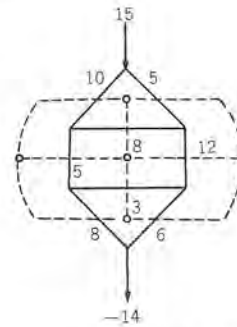


図 7.2 双対回路 Fig. 7.2 Dual network.

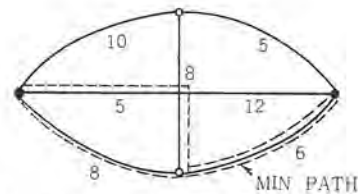


図 7.3 パスネットワーク Fig. 7.3 Path network.

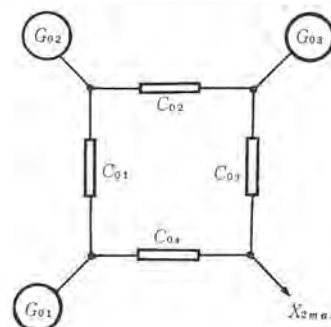


図 7.4 (a) ループ例題構成 Fig. 7.4 (a) Composition of loop example.

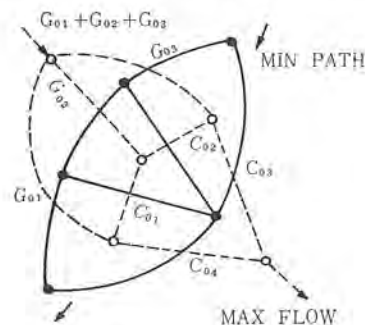


図 7.4 (b) 双対回路 Fig. 7.4 (b) Dual network.

利用して求めた ルー状系統の例を図 7.4, 表 7.1 に示す.

表 7.1 図 7.4 の 3 発電所 1 ルー系で期待し得る最大潮流 X の発生する確率 $P(X)$ をもとめたい. 計算プログラム は次のようになる.

```

T01=AND (C03, C04) PATH #1 C03+C04
T02=AND (C04, C02)
T02=AND (T02, G03) PATH #2 C02+C04+G3
T03=AND (C04, C01)
T04=AND (G02, G03)
T03=AND (T03, T04) PATH #3 C04+C01+G02+G03
T04=AND (G01, T04) PATH #4 G01+G02+G03
T00=MIN (T01, T02)
T00=MIN (T03, T00)
T00=MIN (T04, T00) Maximum Flow Path of Path #1, 2, 3, 4
T01=AND (G01, C01)
T02=AND (T01, C03) PATH #5 G01+C01+C03
T03=AND (C02, G03)
T04=AND (T01, T03) PATH #6 G01+C01+C02+G03
T01=AND (G01, G02)
T01=AND (C02, T01)
T01=AND (T01, C03) PATH #7 G01+G02+C02+C03
T03=MIN (T01, T02)
T03=MIN (T03, T04) Maximum Flow Path of Path #5, 6, 7
T00=MIN (T00, T01) MIN-CH=MAX-FLOW-PATH
T00 12X の発生する確率 P(X) が計算され, 記憶されている.
[DATA]
      GENERATION      CAPACITY
      G 01, G 02, G 03      C 01, C 02, C 03, C 04
      0 kW      0.30000      0 kW      0.20000
      5      0.20000      5      0.20000
      10      0.50000      10      0.60000

[RESULT]
      MAX. FLOW X
      0 kW      0.09799
      5      0.19686
      10      0.44778
      15      0.20278
      20      0.05438

```

8. む す び

はじめに述べたように, 信頼度の概念は, 系統計画上重要な意味をもっており, 線路構成も含めた信頼度の算定法には, いまだ確立した方法がないのが現実である. この報告は, 線路構成も含めた信頼度の算定法として, 放射状系統に対し分割合成法を, また ルー 系統に対し確率的 MAX・FLOW 法を提案している.

ルー 系統の確率的取り扱いには, 問題が残るが, 厳密な解を得るためには本質的に, すべての組み合わせを解くことに等しくなり, 短時間で解を得るには近似式にたよるしかないが, 前節でふれた期待値で論ずる方式から, 十分意味のある信頼度計算が可能である. 今後は, この信頼度の評価基準を利用して, 系統計画の問題を解析し, 合わせて必要な計算機語の確立をはかる考えである.

この研究にあたって, 終始ご指導いただいた成蹊大学工学部福田工学部長, 浅見主任教授ならびに有益な討議をいただいた三浦, 川島両助手, それに協同研究会推進にご助力いただいた中央研究所, 鎌倉製作所の関係各位に, 衷心の深謝を申し上げる.

参 考 文 献

- (1) 豊田: 電学連大 823 (昭 38)
- (2) 豊田: 電学連大 824 (昭 38)
- (3) 豊田: 東京支部大会 206 (昭 38)
- (4) 豊田, 井上: 電学連大 988 (昭 40)
- (5) Generating Reserve Capacity Determined by the Probability Method, G. Calabrese. AIEE TRANS. 66, (1947) p. 1439
- (6) Application of Probability Methods to Generating Capacity Problems. AIEE Committee Report. PAAS p. 1165 Feb. (1961)

シンタックスに基づく ALGOL コンパイラとそれに関する諸問題

首藤 勝*・関本 彰次*・吉竹 成之*

Problems on Syntax Directed Algol Compiler

Kamakura Works Masaru SUDŌ・Shōji SEKIMOTO・Shigeyuki YOSHITAKE

Nowadays ALGOL is in general use as one of the standard programming languages with almost every computer.

Herein is described an ALGOL compiler for use with MELCOM-1530 composed by making use of the property of its syntax that defines the language itself. The compiler is associated with the object language utilizing a special storage celler which deals with the intermediate results of execution in a last-in-first-out fashion.

As the main advantage of this method in composing the compiler, the logic of compilation is very simple and the compiler is fully adaptable to the change of the object language.

1. ま え が き

算数言語 ALGOL 60 のための コンパイラは現在すでに多くの計算機のソフトウェア・システムとして備えつけられており、FORTRAN, COBOL とともにその使用人口はかなりの数に達している。またアメリカのIBM社を背景とするFORTRANとは異なり、ALGOLはIFIP (情報処理国際連合) により世界共通言語として提案されたものであるだけに、純粋な計算機ソフトウェアという立場からはなれた部門においても、情報伝達の便法として広く利用されている。

このような情勢のもとでわれわれはわが社の計算機に備えつける ALGOL コンパイラの基礎研究として ALGOL と取り組んできたが、この研究を具体化するものとして MELCOM-1530 計算機用の ALGOL コンパイラを作成した。

コンパイラを作るに際して、ALGOL の性質を考えてみると、他の計算機用言語とは比較にならぬほどその文法が明確に定義されている点に注目し、syntax directed コンパイラ的な性質のものに仕上げるのが、コンパイラを作る手数の上からもつごうがよいだろうという結論に達した。事実、この場合 コンパイルはソース言語を分析するルーチンと文法にそって意味づけを与えるルーチンとの繰り返しというきわめて単純な形になる。

コンパイラの中間言語には当社中央研究所第三研究部において開発された L₂ 言語を採用している。この L₂ 言語は参考文献(4)に詳しく説明されているが、従来のアセンブラ言語よりもかなり程度が高く、さらに TSC (Temporary Storage Cellar) という特殊な機能を備えている。したがって ALGOL コンパイラはこの TSC の機能を有効に使用するように作られている。

以上2点がわれわれのコンパイラを紹介するにさきだてて説明しておかねばならぬ事であるが、この論文では2章で syntax directed 法を簡単に説明した後、3章でこの方法を利用したわれわれの ALGOL コンパイラの構造を説明している。現在このコンパイラには入出力命令が組み込まれていないので、どの程度の入出力命令を付けるべきかを第四章で述べ、5章では syntax directed 法の問題点ならびにわれわれのコンパイラの改良点について述べている。

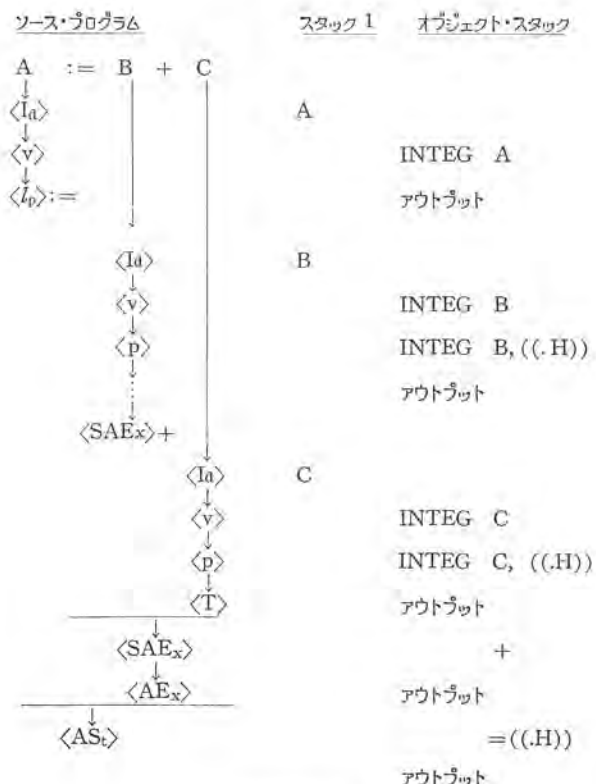
2. Syntax Directed 法

syntax directed 法とはソース言語をそれが持っている文法(syntax)

にもとづいて分析し、その意味をオブジェクト言語で表現することにより翻訳を行なうという方法である。ALGOL のようにその文法が明確に定義されている言語を翻訳する際にはこの方法は非常に好つごうで、コンパイラを作る労力もわずかで済む。

われわれのコンパイラではコントロール・ルーチンと称するものがソース言語の分析を担当し、サブルーチンがオブジェクト言語への変換を担当している。この言語分析の過程で3種類の情報が必要となるので、HTABLE, UTABLE, STABLE という名前をつけて保存しており、コントロール・ルーチンは必要なときにこれらの情報を用いて分析を行なっている。TABLE の内容については後に説明する。

サブルーチンは ALGOL で定義された文法単位 (syntax unit) の個数だけ必要となる。A := B + C という ALGOL プログラムを例題にしてコントロール・ルーチンとサブルーチンの関係を説明する。



オブジェクト・プログラムとしては

INTEG A

INTEG B, ((.H))

INTEG C, ((.H))

+

ただし .H は TSC の最高

=((.H))

要素を表わす番地

を得ることとなる。

この例題からわかるように、コントロール・ルーチンはプログラムを分析し $\langle I_d \rangle$, $\langle v \rangle$, $\langle l_p \rangle$ といった文法単位を定義する。定義されるとその名前の サブルーチン が呼び出され、必要な言語体系の変換を行なった後 コントロール・ルーチン へもどってこれを繰り返す。文法単位 $\langle \text{program} \rangle$ が コンパイラ の終了を知らせる。この例題に使用した $\langle I_d \rangle$, $\langle v \rangle$, $\langle l_p \rangle$, $\langle p \rangle$, $\langle T \rangle$, $\langle \text{SAE}_x \rangle$, $\langle \text{AS}_t \rangle$ はそれぞれ ALGOL で定義されている $\langle \text{identifier} \rangle$, $\langle \text{variable} \rangle$, $\langle \text{left part} \rangle$, $\langle \text{primary} \rangle$, $\langle \text{term} \rangle$, $\langle \text{simple arithmetic expression} \rangle$, $\langle \text{assignment statement} \rangle$ を表わすものである。

syntax directed 法については参考文献 (1), (2) に詳しいので参照いただきたい。

なお、以下の説明および table に使用している略号、 $\langle \text{AE}_x \rangle$, $\langle S \rangle$, $\langle \text{sv} \rangle$, $\langle \text{vI}_d \rangle$, $\langle \text{BE}_x \rangle$, $\langle \text{if cl} \rangle$ は、それぞれ $\langle \text{arithmetic expression} \rangle$, $\langle \text{statement} \rangle$, $\langle \text{simple variable} \rangle$, $\langle \text{variable identifier} \rangle$, $\langle \text{Boolean expression} \rangle$, $\langle \text{if clause} \rangle$ を表わすものである。

3. ALGOL コンパイラの作成

3.1 コントロール・ルーチンの概要

コントロール・ルーチンのブロックチャートを図 3.1 に示す。プログラムの分析には H TABLE, U TABLE, S TABLE, D TABLE という名前の四つのテーブルと last-in-first-out 方式のスタックを二つ使用しているのでこれらを説明する。

(1) スタック 1

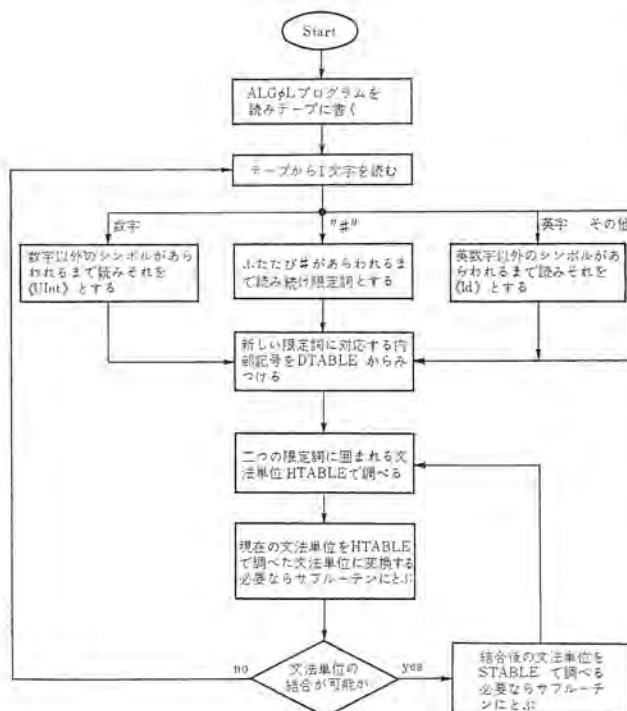


図 3.1 コントロール・ルーチンのブロックチャート
Fig. 3.1 Block chart of control routine.

ソース・プログラムから読み取ったり、コンパイラ内部で作り出した英数字を保存しておくものである。文字単位で取り扱われる。

(2) スタック 2

ソース・プログラムをどこまで分析したかを記憶するもので、文法単位、限定詞 (delimiter) が計算機内部での記号に変換され、必要な情報 (たとえば文字数、演算 タイプ) とともに保存されている。

(3) Delimiter Table (D TABLE)

文法単位および限定詞は計算機内部では 12 ビットの内部記号で表示されている。限定詞とその内部記号との対応表がこの Delimiter Table である。ALGOL プログラムの限定詞のうち、英文字の組み合わせでできているもの (たとえば if, goto) もコンパイラではシンボル “#” で囲まねばならないことにしている。ALGOL プログラムを読むときに限定詞はすぐ区別でき、このテーブルを調べて内部記号に変換される。他方、文法単位に対する内部記号はそれぞれの サブルーチン で与えられる。

(4) Hierarchy Table (H TABLE)

二つの限定詞 $D_\alpha, D_{\alpha+1}$ の先行関係をコンパイラに教えるものである。ここでいう先行関係とは D_α が $D_{\alpha+1}$ よりも hierarchy が高いときには、 $D_{\alpha+1}$ の前のいくつかの文法単位を結合して新しい文法単位が作りうることを示し、逆に $D_{\alpha+1}$ が D_α よりも hierarchy が高いときには新しい文法単位を作るには不十分であることをいう。

Hierarchy Table には $D_\alpha, D_{\alpha+1}$ の先行関係とともに $D_\alpha, D_{\alpha+1}$ の二つの限定詞にこの順序ではさまれる文法単位の関係も保存されている。このテーブルで $D_\alpha, D_{\alpha+1}$ の関係がないときには文法上のあやまりであることを示している。

Hierarchy Table は縦軸に D_α , 横軸に $D_{\alpha+1}$ をとったマトリクスで表現することができる。

(5) Unit Table (U TABLE)

各文法単位にたいして、単一でそれへと解釈を進めうる高次の文法単位をしるしたものである。たとえば 2 章の ALGOL プログラムの分析例においても、“A” という $\langle I_d \rangle$ はそれ単独で $\langle I_d \rangle \rightarrow \langle v \rangle \rightarrow \langle l_p \rangle$ と進むうことがわかる。

横軸に最終的な文法単位 U_α , 縦軸に現在の文法単位 U_0 をとり、その交点には U_0, U_α の関係のときにさらに進むう文法単位の サブルーチン の入口が記入されている。この場合も U_0, U_α の関係がこのテーブルになければ文法的にあやまりである。

(6) Syntax Table (S TABLE)

Hierarchy Table により D_α が $D_{\alpha+1}$ よりも hierarchy が高いことがわかったときに、あらたに作りうる文法単位が何であるかをしるしたものである。

		← 1 ワード →					
		↑ の内部記号					
$D_{\alpha+1} \backslash D_\alpha$	↑	$\times 1$	$+-$	...	$:=$	$;$	...
↑	$\langle p \rangle$	$\langle p \rangle$	$\langle p \rangle$			$\langle p \rangle$	
$\times 1$	$\langle F \rangle$	$\langle F \rangle$	$\langle F \rangle$			$\langle F \rangle$	
$+-$	$\langle F \rangle$	$\langle T \rangle$	$\langle T \rangle$			$\langle T \rangle$	
$;$							
$:=$	$\langle F \rangle$	$\langle T \rangle$	$\langle \text{SAE} \rangle$		$\langle I_d \rangle$	$\langle \text{AE}_x \rangle$	
					$\langle l_p \rangle$	$\langle S \rangle$	
$;$							

図 3.2 Hierarchy table とその計算機内部での表現
Fig. 3.2 Hierarchy table and its representation.

U α		←1ワード→				
U α		<sv>	<v>		<AE α >	
<I α >		<vI α >	<vI α >		<vI α >	
<vI α >		<sv>	<sv>		<sv>	
<sv>		—	<v>		<v>	
<v>			—		<p>	
<p>					<F>	
⋮						

図 3.3 Unit table とその計算機内部での表現
Fig. 3.3 Unit table and its representation.

U α		D α			
U α		<AE α >	<BE α >		<T>
+					<SAE>
:=		<AS α >	<AS α >		
<		<p>	<B α >		
⋮					
if			<ifcl>		
else		<AE α >	<BE α >		

図 3.4 Syntax テーブル Fig. 3.4 Syntax table.

←2ワード→		←2ワード→	←1ワード→
S U M $\Delta \Delta \Delta$		L C $\cdot 000$	タイプ
D E L T A Δ		L C $\cdot 001$	タイプ
$\Delta \Delta \Delta \Delta \Delta \Delta$		$\Delta \Delta \Delta \Delta \Delta \Delta$	$\Delta \Delta \Delta$
⋮		⋮	⋮

△はブランクを表わす

図 3.5 Type list テーブル Fig. 3.5 Type list table.

結合する際一番末尾にくる文法単位 U_α を縦軸に、その一つ前の限定詞 D_α を横軸にとりマトリクスで表わすことができる。両軸の結合点は Unit Table と同じく新しい文法単位の サブルーチン の入口が記入されている。

3.2 変数とそのタイプの処理

ALGOL ソース・プログラム のすべての変数は オブジェクト・プログラム では6文字の オブジェクト 用変数に定義しなおされてあらわれる。これはわれわれの コンパイラ が使用している オブジェクト 言語系 (L_2 言語系) では ALGOL のブロック構造に相当するものがないので、ブロックの機能を生かすために採用したものである。われわれはこの種の内部変数を LC 系統の内部変数と呼んでいる。

変数が タイプ 宣言により定義されると、コンパイラ 内部の Type List Table (TL TABL) には ソース・プログラム 中での形式と、新しく作られた6文字での形式と、その変数に与えられたタイプとが記録される。タイプは限定詞 “integer”, “real”, “Boolean” があらわれたときに記憶されているのでそれを参照することになる。このタイプ情報は <Type Declaration> サブルーチン で消去される。<variable> サブルーチン では Type List Table から自分に定義された内部変数とそのタイプを知り、スタック 1 には自分自身の代わりにこの内部変数をおきかえる。ブロック構造の処理は、限定詞 “begin” が現われたときにそのときの テーブル のカウンタの内容を保存しておき、これを <Unlabelled Compound> または Unlabelled Block> サブルーチン でもとへもどすことにより、そのブロック用に定義された局所的 (local) 変数を テーブル から消去することで実現している。

コンパイラ にはもう1種、AD 系統と呼んでいる内部変数がある。これは コンパイラ が作り出すオブジェクト・プログラム 内でのラベルの役目をするもので、この内部変数も6文字からできているが、その性質上変数の処理に使用した LC 系統の内部変数のように、前にさかのぼって同一の名前が定義されるというようなことはなく、一度限りしか現われない。

3.3 Expression の処理

ALGOL で定義された Expression には算術式 (Arithmetic Expression), 論理式 (Boolean Expression), 指定式 (Designational Expression) と3種あるが、指定式はあともわしにしてここでは算術式、論理式について説明する。算術式、論理式の処理には L_2 言語の持つ TSC の機能を利用している。

すなわち L_2 言語では

- (1) $\dots, P_1 \circ P_2, \begin{cases} P_1' = R \\ P_1' \circ P_2' = R \end{cases}$ (ただし $=R$ は任意)
のときには $P_1 \circ P_2$ は一時記憶を要する命令と解釈し、TSC の要素を1語増し、そこに $P_1 \circ P_2$ の演算結果をストアする。

- (2) $\dots, P_1 \circ P_2, \begin{cases} =R \\ \circ P_2' = R \\ P_1' \circ R = R \end{cases}$ (ただし最上段の $=R$ を除いて他の $=R$ は任意)
のときには $P_1 \circ P_2$ は直前の演算結果と定義し、[] 中の $\sim$ 演算をするときにオペランドとして使用する。

- (3) $\emptyset$ は (TSC の最高要素) $\emptyset$ (直前の演算結果) と解釈する。

そこで $A := B / (C \times D - E)$ という ALGOL プログラム は

```

REAL  A
REAL  B, ((.H))
REAL  C, ((.H))
REAL  D, ((.H))
      *
REAL  E, ((.H))
      -
      /
      =((.H))

```

と翻訳される。

論理式にたいしては演算タイプを LOGIC と指定すれば $-$ が NOT, $+$ が OR, $*$ が AND の論理演算を行なうようになっているので、算術式と同様に処理すればよい。

たとえば $A := (BVC) \wedge D$ ならば

```

LOGIC A
LOGIC B, ((.H))
LOGIC C, ((.H))
      +
LOGIC D, ((.H))
      *
      =((.H))

```

と翻訳される。

3.4 条件命令の処理

条件命令および算術式、論理式に現われる <if clause> は次のように取り扱われる。この場合の ALGOL プログラム は

if <BE α > then <S α > else <S β >; <S γ >

という形をしているが、これをオブジェクト・プログラムに変換すると

GOTO F₂ } <for statement> で処理
 F₂:

3.6 Switch 宣言, GOTO 命令の処理

われわれのコンパイラでは

<designational expression> ::= <label> | <switch designator>
 <switch list> ::= <label> | <switch list>, <label>

と定義している。

(1) go to <label>

この場合は非常に簡単で

L:<label> で処理
 INTEG L<simple designational expression>
 で処理

GOTO ((H)).....<go to statement> で処理

(2) go to <switch designator>

この場合には go to 命令を使用する前に, switch 宣言を用いて使用する switch identifier を定義する必要がある。

switch 宣言 switch SW:=A,B,C

はコンパイラにより

DATA A=SW, B, C

と翻訳される。この命令の意味は先頭に SW という名前のついた三つの番地を確保し、それぞれの番地に A,B,C の番地定数をストアせよということである。SW(0)と書けば A の番地定数を指し、SW(1)と書けば B の番地定数を指す。

ALGOL プログラム go to SW(n) は

A:
 B:
 INTEG n-1=X } <switch designator>
 INTEG (SW((X))) } で処理
 GOTO ((H))<go to statement> で処理
 C:

と翻訳される。

3.7 Array 宣言, 添字付変数の処理

われわれのコンパイラは

<upper bound> ::= <unsigned integer>
 <lower bound> ::= <unsigned integer>

と定義し、array 宣言の機能を大幅に制限している。array 宣言はメモリを予約する命令に、添字付変数は実行時に添字の値を計算するルーチンへのジャンプ命令と予約されたメモリ内から変数の位置を計算する命令に変換される。

array 宣言 array A, B [1:10], C [1:5] は
 REGION B(10), A(10)
 REGION C(5)

と翻訳され、添字付変数 A[n] は

INTEG n=LC.998
 INTEG L₂
 GOTO L₁
 L₂: REAL A
 + (LC.999)

と翻訳される。

添字の値を計算するルーチンは一次元、二次元、三次元用と

種類あり、<bound pair list> 処理の途中でそのときの array identifier の次元数を知り、必要なルーチンにジャンプするように翻訳される。計算した添字の値は“LC・999”番地にストアされる。

3.8 Procedure の処理

(1) Procedure 宣言

procedure 宣言中の procedure identifier, 形式変数 (formal parameter) は <variable> のときと同様に内部変数とともに TLTABL に登録される。しかし <variable> のときとちがって、形式変数にたいしては AD 系統の内部変数が割り当てられる。また procedure identifier にたいしては TLTABL に LC 系統の内部変数を割り当てると同時に PRTABL にも AD 系統の内部変数をとまって登録される。“value” “specifier” があらわれると TLTABL にその情報が追加される。これらの procedure identifier, 形式変数の情報は、その procedure 宣言を含むブロックが閉じられたときにテーブルから消去される。なお、われわれのコンパイラではすべての形式変数にたいして specify が必要である。

procedure body の翻訳は body に含まれていない場合と原則的には同じであるが、形式変数が name タイプの場合には様子がちがう。たとえば S:=S+F というプログラムは、これが body に含まれていない場合あるいは形式変数 S, F が value タイプの場合には (S が value タイプということはあり得ないが)

INTEG ADS
 INTEG ADS, ((H))
 INTEG ADF, ((H))
 +
 =((H))

ただし ADS, ADF はそれぞれ S, F に割り当てられた内部変数である

と翻訳されるが、形式変数 S, F が name タイプの場合には

INTEG L_m
 GOTO ((S))
 L_m: INTEG (ADS)
 INTEG L_{m+1}
 GOTO ((S))
 L_{m+1}: INTEG (ADS), ((H))
 INTEG L_{m+2}
 GOTO ((F))
 L_{m+2}: INTEG (ADF), ((H))
 +
 =((H))

と翻訳される。これは <variable> サブルーチンに value タイプ, name タイプを判別する機能を持たせておいて name タイプの場合には特別なオブジェクト・プログラムを作るようにしてあるからである。

(2) procedure 命令

これにたいして、procedure 命令として procedure identifier があらわれたときには、その procedure identifier をキーワードとして PRTAB から実行されるべき procedure body を知り、実効変数の処理が終わった後その body の入口へジャンプする命令を作る。

実効変数の処理もタイプが value, name により異なる。すなわち実効変数と形式変数との橋渡しをする場所に、value タイプのときならば数式の値そのものをストアし、name タイプのときならば body からのとび込み番地をストアする命令を作る。たとえば (1)

の例題で S が name タイプ、F が value タイプ で実効変数 (k, 10) ならば

```

      INTEG    Ln=S
      GOTØ    Ln+1
Ln:    INTEG    k=ADS
      GOTØ    ((.H))
Ln+1:  INTEG    10=ADF
      GOTØ    procedure body の入口

```

と翻訳される。一方 S, F がともに name タイプ で実効変数 (K, I × 2) ならば

```

      INTEG    Ln=S
      GOTØ    Ln+1
Ln:    INTEG    K=ADS
      GOTØ    ((.H))
Ln+1:  INTEG    Ln+2=F
      GOTØ    Ln+3
Ln+2:  INTEG    I, ((.H))
      INTEG    2
      *
      =ADX
      INTEG    ADX=ADF
      GOTØ    ((.H))
Ln+3:  GOTØ    procedure body の入口

```

と翻訳される。

4. コンパイラの入出力命令

ALGOL 言語の制定がまず算法記述の言語の統一という立場から進められたために、個々の機械に依存する要素を最も多く含む入出力命令に関しては標準の制定が最もすんなりとゆきやすい様相を呈しているのは当然といえる。

実際に ALGOL コンパイラを作るに当たって、入出力機能の扱いについてはコンパイル手法の検討以前にその仕様の決定がまず大きな問題となる。ACM, IFIP など入出力機能に関する標準が提唱され、日本においても標準の検討の動きがみられるが、われわれの今回のコンパイラ作成における主要な目標が ALGOL と L₂ 言語の円滑な接続の実験にあるので、第 1 段階としては入出力機能を最小限に止め、使用上の必要に応じて機能の拡充をはかることにした。われわれの ALGOL コンパイラにおいてはそのオブジェクト言語系 (L₂ 言語系) で入出力機能をすべてサブルーチン的に取り扱っていることからこの方針をとりやすくしている。各命令にもたせる機能の決定については、以前に MELCOM 1101F 用の FORTRAN 形コンパイラ MUSE システムを作成した経験および社内での主として IBM 7090 FORTRAN 使用の実態から、最初に備えるべきものは簡単な処理を簡明に指示できる形であり、多様性に富む一般形式ではないということが知れていたのでできるだけ単純化することにした。

入出力装置としてこの ALGOL コンパイラでは入力をカードリーダ出力をプリンタとそれぞれ標準を定める。

入出力の対象となる情報の形として real, integer および string があるが、real と integer については一個の数を標準形式で入出力処理する機能を基本とする。string については、これの入力および出力の機能が内部での string の処理と併用されることには魅力があるのであるが、今回は前述の TSC の働きが一個の数値

を単位とするものだけを対象とする事情もあるので、FORTRAN におけるホリス情報のような扱いで出力のみ string を許すことにした。これらのほかに、特殊な機能として改行をつけ加える。これはラインプリンタの advance を意味しており、また上記の real および integer の出力ではその右に space を伴う形を標準としたことから、この space と advance が書式制御の最小機能となる。

これらのほかの機能はこれらを単位としてこれに他の機能を組み合わせてプログラムで構成することにして、第 1 段階ではいさゝち省略した。入出力命令の形式は次のとおりである。

```

      readreal  A [i]
      readinteger A [i]
      printreal  A [i]
      printinteger A [i]
      printstring string
      advance

```

5. コンパイラの問題点

これまでの所で ALGOL syntax directed な方法によるコンパイラを MELCOM 1530 を用いて実現する試みについて述べてきた。これとは別にコンパイラでの文法解析のしかたで一般に syntax directed analysis と呼ばれている方法がある。文法解析のやりかたについてのわれわれの方法との対比のために、ここで簡単にそのアルゴリズムについての説明を行なっておく。

この文法解析の方法は任意の phrase structure grammar を持った言語で書かれた一般文章を、その言語の文法系とともに与えたとき) たとえば ALGOL ソース・プログラム と ALGOL 文法系)、与えられた文法系にしたがって文章を解析する。

実際には任意の文法系にたいして解析を実行しうるような syntax directed analysis system を作ることは非常に困難であって、現実のシステムでは、その扱いうる言語群は文法構造に特別な制限を持つものに限るというのが通常である。

以下そのアルゴリズムについての概略の説明を行なう。

まず説明のつごう上、これから使われる言葉の定義をしておく。

(1) $G \rightarrow G_1 G_2 G_3$

(2) $G \rightarrow G_1 | G_2 | G_3$

という書き方で “ $\rightarrow$ ” は “ $\sim$ は $\sim$ によって定義される” ということを表わし、“ $|$ ” は “または” を意味する。(1) をいいかえると “G は $G_1 G_2 G_3$ によって定義される” ということであり、(2) は “G は G_1, G_2 または G_3 のいずれかで定義される” という意味である。

(3) 文法系において定義文の左辺に現われることのある記号を文法単位と呼ぶ。

(4) 文法系の記述に現われる記号で定義詞 $\rightarrow$ の右辺に現われて、かつ左辺に現われないものを terminal character と呼ぶ。(terminal character とは英文の例でいうとアルファベットその他英文を書くための記号のことである。)

(5) 文法系にはすべての文章の文法解析の出発点になるところの sentence または program と呼ばれる文法単位が存在する。アルゴリズムは以下のとおりである。

(a) 読み込まれたソース・プログラムにたいして文法単位 “sentence” を対応させ解析図 (graph tree) の出発点の node S_1 を設ける。“sentence” の定義文の右辺に現われる最初の記号 G にた

いして node S_2 を設け graph 上で S_1 に S_2 を従属させる。

(b) G が terminal character のときこれが被解析文の i 番目の character と一致していれば、 G に対応する node S は i 番目の character を従属させ graph 上 S のすぐ上の node へ success という信号を送り $i+1 \Rightarrow i$ とする。

もし一致しなければすぐ上の node にたいして failure という信号を送る。

success 信号を送ったあとで上から再び照合せよといってきたときには failure という信号を送り従属させていた character を解放し $i-1 \Rightarrow i$ とする。

(c) $G \rightarrow G_1$ のときは、新しい node S_k を S の直下に設け、 G_1 に対する文法の解析照合を同様に行なわせる。

S_k が failure 信号を送ってくると、この信号を S のすぐ上へ送り S_k を消去する。

S の上部 node から解析照合を行なえという指令が再度くると S は S_k にその指令を伝え、これにたいして、 S_k から failure だといってきたときにはこの信号を S の上部 node に伝え S_k を消去する。

(d) $G \rightarrow G_1 G_2 \dots G_n$ のときは、各 G_i にたいして node S_k を S のすぐ下に設け S_k に照合指令を出す。 S_k が success であれば k を 1 だけ カウントアップして カウントアップ回数が n になるまで つぎつぎに新しく S_k を S のすぐ下に設け同様のことを行なう。 カウントアップ 回数が n になったときには S にたいして success 信号を送る。

S_k が failure のときは S_k を消去する。しかる後に k を カウントダウン し、 k に対する S_k が G_1 以下に対応しないときには S_k にたいしてふたたび照合せよという指令を出す。 S_k が G_1 以下に対応するようになったときには S が failure であるという信号を上部に発して S を消す。

success 後に S にたいして再度照合せよと指令されたときには k を G_n に対応する S_k に セット して、これにたいして同様の指令を出す。

(e) $G \rightarrow G_1 | G_2 | \dots | G_n$ のときは、 G_1 にたいして S_k を S の直下に設け S_k に照合せよという指令を出す。 S_k が failure であれば G_2 にたいして S_k と対応関係を付け G_1 のときとどうよりの指令をする。 failure のたびに G_i にたいして G_{i+1} を置き換えるが $i=n$ のときには S が failure であったという信号を発して S を消す。

S_k が success のときには S にたいしてその信号を送る。 S は上部にたいして同じ信号を伝える。

S にたいして再度照合せよと指令がきたときには S_k が success であった G_i について再照合を行なう。

以上のアルゴリズムを簡単な例によって示す。いま sentence 'abc' と文法系

$X \rightarrow Yc$

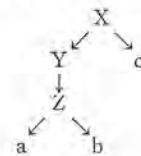
$Y \rightarrow a|Z$

$Z \rightarrow ab$

が与えられたとする。ここで X は文法単位 (sentence) に対応するものである。

まず X に対応して S_1 を セット する。 $X \rightarrow Yc$ であるから Y にたいして S_2 を S_1 の下に作る。 $Y \rightarrow a|Z$ から a にたいして S_3 を S_2 の下に作る。 a は terminal character であるから a と文の最初の character と照合する。この例では一致するので a を S_3 に

従属させ S_3 にたいして success と報告する。 S_3 は S_1 に向かって success と報告する。 S_1 は $X \rightarrow Yc$ から c に対応して S_4 を S_1 の下に設ける。 c は terminal character であるから例文の第 2 character と照合する。この例では $c \neq b$ であるから S_4 は S_1 に failure と報告する。 S_1 は S_4 を消して S_2 にたいして再照合を指令する。 S_2 は S_3 にこれを伝える。 S_3 に対する a は terminal character であるから a を解放して S_2 に failure と報告する。 S_2 は S_3 を消して $Y \rightarrow a|Z$ から Z に対応して S_5 を設ける。 $Z \rightarrow ab$ から S_5 は a にたいして S_4 を設ける。 a は terminal character であるからこれと例文の最初の character と照合する。ここでは一致するから a を S_4 に従属させ S_5 へ success と報告する。 S_5 は $Z \rightarrow ab$ から b に対応して S_6 を設ける。 b は terminal character であるから例文を参照しにゆく。第 2 character は b であるから一致し、 b を S_5 に従属させ S_6 へ success と報告する。 S_6 は success であるからこれを S_1 へ報告する。 S_1 は $X \rightarrow Yc$ から c にたいして S_0 を設ける。 c は terminal character であるから例文を参照すると、 c と第 3 character は一致し c を S_0 に従属させ S_1 へ success と報告する。その結果 S_1 が success で解析は終わった。結果として graph tree



をうる。

以上 コンパイラにおける文法解析部をあずかる アルゴリズム の形式の一例として一般に syntax directed analysis method と呼ばれる方法について説明した。

この論文で紹介した MELCOM 1530 のための ALGOL syntax directed コンパイラは、上記の syntax directed analysis method を文法解析部の アルゴリズム として採用していない。これは コンパイラ 本体の解説のところで明らかにしたように ALGOL syntax の記述を direct に用いて解析し、コンパイルするもので文法解析の アルゴリズム としては ALGOL syntax controlled method を採用している。

これらの方法によると理論的には ALGOL の文法に制限を設けることなくコンパイルすることができる。

しかし実用的な意味および個々の計算機の特性を考えて コンパイラ・システム を設計するとき、いつでも syntax directed analysis による方法はもちろん、われわれが採用しているような方法にしても有利であるとは必ずしもいえない。

たとえば、われわれのコンパイラについて考えるとき、 L_2 のもつ TSC の機能は本質的には procedure の recursiveness を可能にするためにあるもので、これが ハードウェア 化されていない計算機では オブジェクト・プログラム の実行速度にかなり不利な影響を与える。ある実際の目的により ALGOL の文法から procedure recursiveness に関係する定義を除いた場合には TSC を利用することの意味が大幅に減少する。この場合には オブジェクト・プログラム の実行速度を上げるためにも TSC を用いないでも可能な方法を選ぶほうがよいと思われる。

さらに文法的な制限を大幅に行なうことによって言語機能を縮小した場合などには文法解析の方法を直接に文法定義からのそれによらず、同値な アルゴリズム でより解析が簡単な方法を見つけ出

すことも比較的簡単にいくことが多い。そのような特殊な制限のもとに特殊なコンパイル方法を用いることによって、翻訳速度を上げたり、作りだすオブジェクト・プログラムをスムーズしたり、実行速度を上げることを個々の場合について考えることができる。

文法解析機構として先に述べたSyntax directed analysis methodを採用した場合などを考えると、そこに述べられている機能の働きを一見しただけで實際上 ALGOL 程度の文法で表わされるような複雑さをもった言語系を解析するには相当高速な計算機でないといふ実用的な効果を上げ得ないことは明らかである。他方この論文であつていつているような Syntax controlled 方式ののつった ALGOL syntax directed なコンパイラではコンパイル速度はそれに比べて格段に上げられるが、full ALGOL 系を扱う場合には文法記述に用いるコンパイラ内部の information (これらはほとんどがテーブルとなっている) が相当量になる。

またオブジェクト・プログラムについてみると full ALGOL 系に対するそれを考える場合には実行速度、またプログラムの冗長度においてもかなりの不利をまぬがれない。

これは同じコンパイラのそれについても ALGOL の文法系にいかんにか制限を付けるかによって、その仕方と程度に応じて違ってくるものである。

以上に述べてきたことからして、本質的には TSC を活用しほとんど制限のない ALGOL コンパイラを考えようとするわれわれの方法は大容量、高速計算機においてはじめて実用的な意味を持ち、かつそれらの計算機に適したコンパイラ・システムであるといふことができる。

中規模以下の計算機に本コンパイル方法を用いる場合には

ALGOL 文法に目的と計算機の規模・特性に合致するような制限を設けた上に適用すべきである。

6. む す び

われわれの ALGOL コンパイラについて述べてきたが、5章で改良点として述べたごとく、現在まだまだ改良の余地がある。記憶容量が小さい計算機向けに翻訳法を修正してみる必要もあるし、recursive な procedure を生かすために備えている TSC の機能を有効に利用することも考えねばならない。これらが実現されてはじめてわれわれのコンパイラの目標が達成されたことになる。この ALGOL コンパイラが当社の計算機システムプログラムの一助となるならばわれわれの幸せとするところである。

終わりに、このコンパイラの作成にたいして、終始ご指導いただいた豊田部長、中塚主任研究員、計算機使用とカードパンチにご協力いただいた大阪営業所計算機課ならびに伊丹製作所事務管理課の方々に心から謝意を表する。

(昭 40-7-21 受付)

参 考 文 献

- (1) E. T. Irons: A Syntax Directed Compiler for ALGOL 60, Communications of the ACM, 4, 1, 51 (Jan, 1961)
- (2) R. W. Floyd: The Syntax of Programming Languages—A Survey, IEEE Transactions, EC-13, 4, 346-353 (Aug, 1964)
- (3) 首藤, 関本: ALGOL 言語とその Compiling 手法「三菱電機技報」38, 12, 1728 (昭 39)
- (4) 首藤, 魚田, 居原田: 計算機基本言語に関する一考察「三菱電機技報」39, 3, 431 (昭 40)

大線源 Co-60 照射装置

津田 栄一*・四方 三二*・林 原 毅*・三 富 至 道*・大 野 義 隆*

Multi-Curie Cobalt 60 Irradiation Unit

Central Research Laboratory

Eiichi TSUDA・Sanji SHIKATA・Tsuyoshi HAYASHIHARA

Yoshimichi MITOMI・Yoshitaka ÔNO

A multi-curie Co-60 irradiation unit was delivered to Takasaki Laboratory of the Japanese Atomic Energy Research Institute in March, 1964. The device is to handle Co-60 of 300,000~500,000 curies as an irradiation source, aiming at the industrialization of radiation chemistry and the development of radiation engineering and irradiation sources. The irradiation unit is provided with a source shielded and stowed at the bottom of a pool 6 meter deep. It is constructed in the water to have the irradiation source fit for the purpose. Then this is made pass through the underground canal and exposed in three irradiation cells at will, operating in a very flexible manner. This is a large scale installation unprecedented in this country and well comparable to any other facilities in the world.

1. ま え が き

Co-60 などの放射性同位元素から得られるガンマ線の照射効果の研究開発が理学、工学、医学、農学などの各分野で開始されてから、すでに10数年経過している。この各分野におけるガンマ線の照射効果を実験室的なものから工業化することは、1959年ワルツォにおける原子力利用国際会議以来活発になってきた。

欧米諸国では1961年ごろから、ガンマ線照射の工業化が各種行なわれ、ジャガイモを長期間保存するための発芽抑制、羊毛の炭素病菌の殺菌、注射器など医療品の殺菌消毒などのための施設が実動しており、また、エチルプロマイドの製造を行なっている例もある。このほか食肉、鮮魚、果実、穀類の殺虫殺菌処理、あるいは木材プラスチックの合体処理などのパイロットプラントも多数建設されている。これらの照射施設は処理能力を高めるため、数万キュリーから100万キュリーにおよぶCo-60大線源を用いている。大部分の施設は厚いコンクリート壁でシールドされた照射室をもち、照射室の内部の水そうの底に線源を格納して、照射のときは線源を室内に引き上げている。被照射物はコンベアで線源のまわりに運搬しているものが多い。

わが国においては放射線化学反応、たとえば、セリローズ系へのスチレンのグラフト重合やエチレンの高重合などの中間規模試験を行なって、放射線化学の工業化への足がかりとするために日本原子力研究所高崎研究所が設置された。当社では三菱原子力工業株式会社と協同で大線源Co-60照射装置を昭和39年3月、高崎研究所に納入した。この装置は30万~50万キュリーのCo-60を用い、この線源のシールド格納には水を使用している。諸外国の例とは異なり、線源格納プールは照射室外に設置されている。照射室は3室あり、プールとは地下水路によって接続されている。このため線源をプールから照射室へ露出するための機構は従来に

ない方法がとられ、融通性に富んだものとなった。このような大規模照射装置は、わが国では初めてであり、世界でも屈指の装置である。

2. 設計上の要点

線源を効率よく使用し、照射準備などをむだなく行なうために、図2.1のように線源を格納するプールと3つの照射室を長さ約40mの地下水路で接続したものが日本原子力研究所で計画立案された。すなわち、プールの側面から伸びる地下水路の上に3つの照射室が順次配置されており、各照射室の床面の一部が地下水路に対して開口している。プールおよび地下水路は深さ6.6mで、30万~50万キュリーのCo-60を安全にシールドできるような深さ6mの水を満してある。このような施設において照射装置に要求された事項は、

- (1) 線源はプールの底に格納する。
- (2) 線源はプールの底で照射に適した形状の組み立てができること。

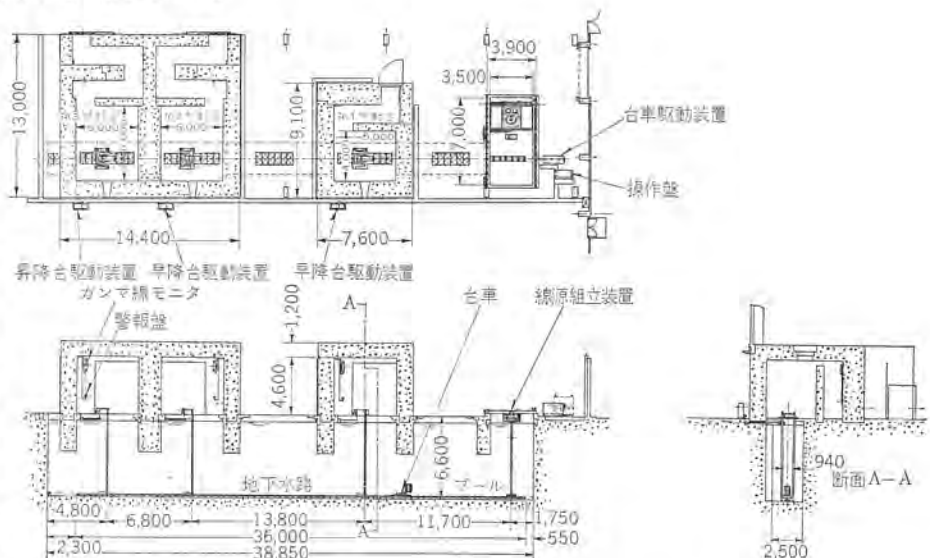


図 2.1 大線源 Co-60 照射施設
Fig. 2.1 Multi-curie Co-60 irradiation facility.

(3) 組み立てた線源は、ラールの底から地下の水路を経て任意の照射室に露出できること。

(4) 二つ、あるいは三つの照射室で同時に照射できること。

(5) 一つの照射室で照射を行なっているとき、それに影響を与えることなく、ほかの照射室で線源の露出格納が行なえること。

(6) 取り扱いが容易で誤操作を生じないようにすること。

(7) 安全性の確保。

などで、(1)～(5)項は、この照射装置に独特の機能を与えるものであり、(6)(7)項は、どのような装置にも要求されることであるが、とくに大線源照射装置では人体をガンマ線から保護するため重要である。

上に述べた要求事項をみたすため

(a) ラールで分解組み立てなど線源の取り扱いには水中マニプレータを使用する。

(b) ラールおよび地下水路にレールを設け、台車を水平移動させる。

(c) 地下水路の底と各照射室の開口部との間を往復する昇降台を設ける。

(d) 線源を組み上げる台(トウ(搭)載台)を設け、これを台車の上にのせる。

(e) 台車の上のトウ載台は昇降台に移し換えて、照射室に露出できるようにする。

(f) 昇降台が照射室に露出しているときは、その下を台車が通過できるようにする。

(g) 台車、昇降台はシーケンス制御によって連動させる。

(h) 装置の制御スイッチは各照射室に対応して設けるが同時に投入できないようにする。

(i) 操作者に対する保護は、ガンマ線エリア・モニタ、照射室トビラのマグネット・キー、照射室内の警報盤などを設け、装置の制御回路と組み合わせて行なう。

照射装置は、このような方式を採用することにし、水中マニプレータで取り扱える線源の形状、台車および昇降台の遠隔駆動と位置決め方法、トウ載台の移し換えの機構、水浸部の材質、安全制御回路の構成などの問題点を開発試作して解決した。

3. 装置の概要

2章で述べたように、照射装置はラールで組み立てられた線源をラールから地下水路へと台車で移動し、目的の照射室の開口部の下で停止し、そこから昇降台に積み換えて照射室に露出する。

また、ある一つの照射室で照射を行なっているとき、これとは無関係にほかの照射室に対して線源の露出格納を行なえるようにする。このような操作が簡単な手順で行なえ、しかも誤操作を生じないようにして操作者の安全を確保できるようにした。照射装置は線源組立装置、線源移動装置、安全制御装置で構成されている。

線源組立装置は水中マニプレータおよび水中マニプレータをラールの任意の位置に移動するためのガーダからなり、線源移動装置は、台車、昇降台およびこれらの駆動装置からなる。安全保護装置は装置全体を制御する操作盤、線源組立装置に取り付けられた組立指示盤、照射室内のガンマ線エリア・モニタと警報盤、および照射室とびらのマグネット・キーから構成されている。

3.1 線源

線源は直径 12 mm、長さ約 300 mm の薄肉ステンレス鋼管に密封された約 2,000 キュリー Co-60 の基本要素で構成する。照射のと

大線源 Co-60 照射装置・津田・四方・林原・三富・大野

きに要求される線源の形状は平行に配置された 2 枚の板状や中空円筒状で、このような形状にラールの底で水中マニプレータを用い容易に組み立てられなければならない。このため棒状線源は 5 本 1 組としてカゴにそう入し、

組立線源の基本単位としている。カゴは図 3.1 のように水中マニプレータの取り扱いが容易なようにトッテや案内がつけてあり、軽量にしてある。

また水中に格納したり、照射のときには空气中にさらされるため耐食性のある材質が要求される。一方、ガンマ線を有効に使うためには線源と被照射体の間に介在物がないのが望ましい。すなわち、介在物がないときの被照射体の線量率を $I_0(r/h)$ とすれば、介在物があるときの線量率 I は

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$

ただし、

μ : 介在物の材質によるガンマ線の吸収係数 (cm^{-1})

t : 介在物の厚さ (cm)

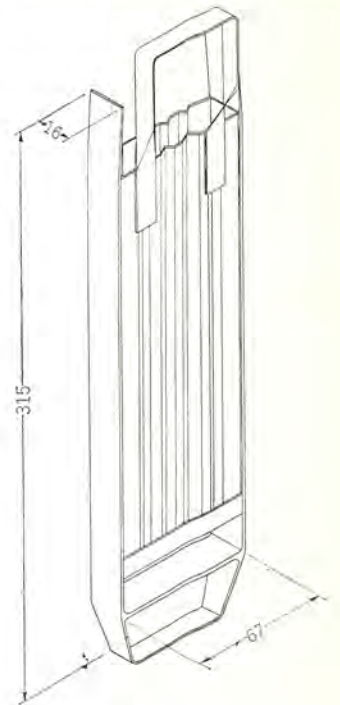


図 3.1 線源カゴ
Fig. 3.1 Co-60 case.

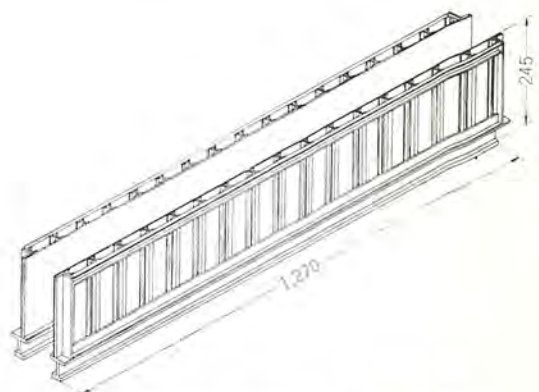


図 3.2 (a) 板状線源組立箱
Fig. 3.2 (a) Basket for parallel slab source.

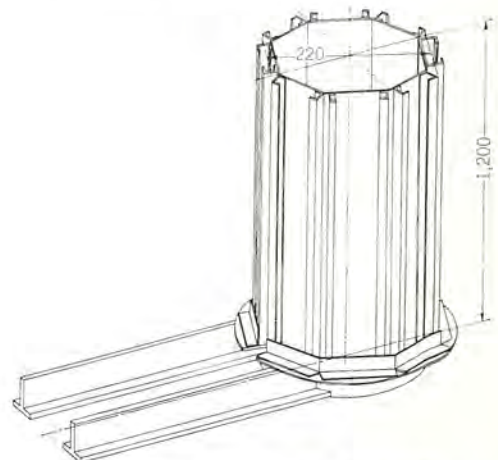


図 3.2 (b) 中空円筒状線源組立箱
Fig. 3.2 (b) Basket for cylindrical source.

表 3.1 線 源 組 立 箱

形 状	線 源 寸 法 (mm)	収容できる線源の強度 ($\times 1,000$ キュリー)
平行板状	1,200(L) $\times$ 300(H)	320
	825(L) $\times$ 1,200(H)	880
中空円筒状	420(D) $\times$ 600(H)	320
	220(D) $\times$ 1,200(H)	320
	170(D) $\times$ 1,200(H)	240

で表わされ、介在物が 1 mm の ステンレス 鋼板であるときは線量率の減衰は約 4% になる。このことからカゴはステンレス 鋼薄板の溶接構造で作ってある。

照射に用いる平行板状線源や中空円筒線源は図 3.2 に示すような組立箱に、さきの線源 カゴをそう入して組み立てられる。線源組立箱もカゴと同じ理由によりステンレス 鋼薄板の溶接構造で、表 3.1 の 5 種類のものが用意された。この組立箱に線源をそう入したとき得られる線量率分布の計算例を図 3.3、3.4 に示す。図 3.3 の線量率分布は 2 枚の板状線源の間の中心線上のもので、全放射線強度を 32 万キュリーとしてある。図 3.4 は 24 万キュリー中空円筒状線源の中心軸上の分布である。

線源をラールに格納するときは線源 カゴに入れたままラールの底に設置されたラックの中にそう入する。線源組立箱は地上に置かれ必要とするものを昇降台と移動台でラールの底に降ろすようにしている。

3.2 線源組立装置

ラールの底で線源を組み立てるため水中マニピレータを用いることにしたが、その操作範囲をラールの底全域に及ぶようにするため水中マニピレータはラール水面上を XY に移動できるガーダに取り付けてある。操作者はガーダに乗ってマニピレータを操作するようになっている。これらマニピレータ、ガーダを総称して線源組立装置と呼んでいる。図 3.5 は、この線源組立装置をラールの底から見たものである。

水中マニピレータは水面下 6 m、人間の手もとからでは約 7 m 下の線源カゴを取り扱うものであるから、軽快な動作が要求される。したがって単純なトンダではなくて、マスタ・スレーブ形マニピレータとした。これは通常のマスタ・スレーブ形マニピレータと同じく、トンダのつかみ動作、手首の回転とねじり動作、腕の前後回転と旋回および上下動作が行なえるものである。

腕は長さ約 6.5 m のパイプで、その上端につかみ動作を行なうための引金式のマスタハンドルと、その回転とねじり動作を行なうた

表 3.2 水中マニピレータの機能

腕の上下ストローク	2,000 mm
腕の傾き角	$\pm 15^\circ$
腕の回転角	$\pm 180^\circ$
手首のあおむけ角	140°
手首のねじり角	$\pm 180^\circ$
つかみ端	100 mm
操作容量(トンダ中心で)	5 kg

めのリストジョイントが取り付けられている。下端には同じく、リストジョイントがあって先端のトンダに回転とねじり動作を行なわせる。これらの動作の伝達にはステンレス 鋼 テーパを用いている。腕の諸動作はローラによる支持金具と、その金具を自在継手式に支えることによって得ている。表 3.2 にマニピレータの機能を示す。マニピレータの軽快な動作を得るためには重量、摩擦抵抗および慣性モーメントを小さくしなければならない。このため腕に用いたパイプがもっとも重量のある部分となるため薄肉の耐食アルミニウム合金管を用いることにしたが、最大操作容量のとき 15 度に傾けても十分剛性のある寸法にした。そのほかの部分も標準マニピレータの材質と同じにして重量軽減をはかり、さらに小形のフロートを腕に取り付けて操作者にマニピレータの重量を感じさせないようにした。このマニピレータは水に浸るものであるからアルミ部分はすべて十分な陽極酸化皮膜処理を施してある。摩擦抵抗を少なくするため軸受部には玉軸受を使用し、耐食性を考慮してステンレス 鋼製のものを用いた。このような考慮の結果、水による抵抗は若干感じられるが十分軽快な動作をうることができた。

ガーダは I 形鋼 フレームをラールの長手方向に移動できるようにし、このフレームをレールにしてケージがラールの短辺方向に移動できるようにしてある。水中マニピレータはケージに取り付けてあり、操作者はケージに乗ってマニピレータを操作する。ガーダおよびケージは電動駆動で、ケージに取り付けられた操作盤(組立指示盤)で操作でき、ラールの任意の位置にマニピレータをもって行くことができる。

3.3 線源移動装置

線源の移動方法は 2 章で述べたように、トウ 載台に線源組立箱をのせ、これを台車で運び昇降台に積み換えて照射室に露出させる。トウ 載台を台車から昇降台へ、あるいは昇降台から台車へ積み換える動作は、水中で完全に目の届かないところで行なわれるものであるから確実なものでなければならない。

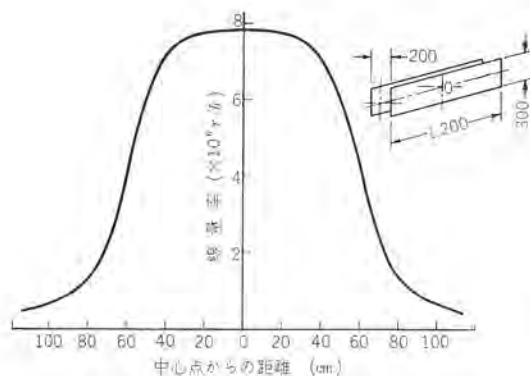


図 3.3 平行板状線源の線量率分布
Fig. 3.3 Distribution of dosage rate along the axis for parallel slab sources.

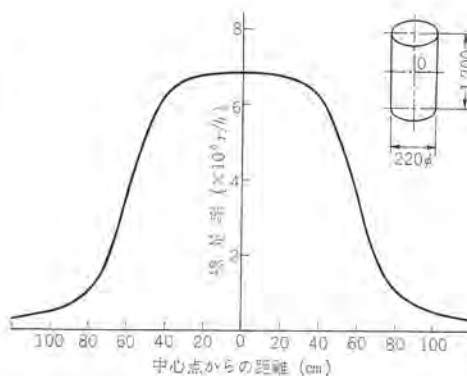


図 3.4 中空円筒状線源の線量率分布
Fig. 3.4 Distribution of dosage rate along the axis for cylindrical source.



図 3.5 線源組立装置
Fig. 3.5 Under-water manipulator.

3.3.1 トウ載台

トウ載台はステンレス鋼製の軽ミジ形鋼の溶接構造で、上面にはアリミジをもった2本のワクがあり線源組立箱を取り付けられるようになっている。下面はミジ形鋼のミジを外に向けて“コ”の字形に組み合わせたワク構造にしてある。“コ”の字ワクは台車にはまり込み、外に向ったミジは升降台にはまり込むようにしてある。したがって線源の積み換え、すなわち、トウ載台の積み換えはつぎのようにして確実にこなされる。台車から升降台への積み換えの場合、升降台はあらかじめ積み換えの位置に下降しており、台車はラールから積み換えの位置にきて、ストップで位置決めされる。このとき、トウ載台のミジが升降台にはまり合う。このようにして、トウ載台は升降台に積み換えられ、升降台とともに照射室に引き上げ露出される。また、トウ載台を升降台から台車へ移し換えるときは、台車が積み換え位置でストップによって位置決めされて停止しており、トウ載台を積んだ升降台が下降してトウ載台が台車の上に乗った位置で停止する。ついで台車がラールの方に向かって進み、このとき台車のピンがトウ載台をひっぱり出して積み換えが完了する。以上のようにして積み換え動作は確実にこなされる。図3.6は地下水路の底における積み換え位置近傍の台車と升降台の状態を示している。

3.3.2 台車および駆動装置

台車を水面下6mのところまで遠隔駆動するためワイヤロープによ



図 3.6 地下水路の底の積み換え位置における線源組立箱をトウ載した台車

Fig. 3.6 Trolley, on which the assembled sources are trans-shipment position, on the bottom of the canal.

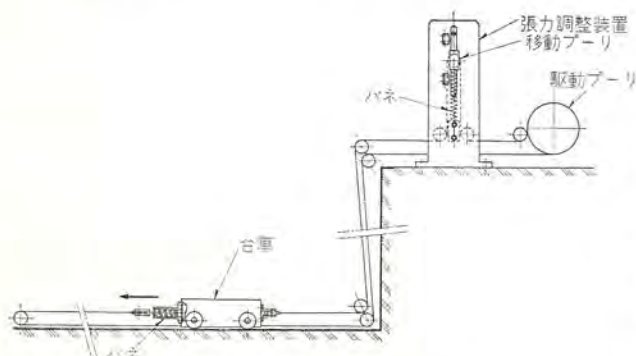


図 3.7 台車の駆動方法

Fig. 3.7 Driving method of trolley.

る駆動方法を採用した。図3.7は、この方法を示すものであるが、台車の両端で固定されたワイヤロープは、いくつかのプーリを経て地上に設置された駆動装置の駆動プーリに巻きつけられている。台車を円滑に駆動するためワイヤロープに一定の張力が加わるよう、パネで押し上げられた移動プーリで張力を調整する機構が取り付けられている。この機構は、ワイヤロープの張力の変化が移動プーリの位置の変化として現われるので、ワイヤロープのユルミや、張り過ぎを検出することができる。また台車のワイヤロープ固定部の一端は、ワイヤロープの定張力より大きい初荷重をかけたパネに取り付けてある。台車が、図3.7の矢の方向に進行しているとき、障害物にあたるとすれば、ワイヤロープの張力が増加して台車のパネがタワミ、みかけ上、ワイヤロープがゆるんだような状態になって、張力調整機構の移動プーリが上へ移動する。また、台車が逆方向に進行しているとき、障害物にあたると、ワイヤロープの張力が増加して移動プーリは押し下げられる。この移動プーリの上下の移動をマイクロスイッチで検出して駆動装置を停止し、ワイヤロープのユルミや、張り過ぎに対する安全装置としている。

台車の位置は、ワイヤロープの200mmの移動で1回転するアイドルプーリとマイクロスイッチによって、200mmごとに操作盤にパルス信号を送り、このパルスの数で検出されている。

しかし、この方法だけでは台車を精度よく積み換え位置に停止させることはむずかしいので、台車をストップにあて、それによるワイヤロープのユルミ、あるいは、張り過ぎを張力調整機構で検出し、この信号とパルスによる信号とで台車が所定の位置に達したことを検出している。ストップは格納位置および第3照射室の積み換え位置では固定式のものでよいが、第1および第2照射室の積み換え位置のストップは台車をその位置で停止させるときだけ作動するようにし、たとえば第3照射室に線源を露出させるときは、台車が通過できるようにしなければならない。このため電磁石駆動による可動式ストップを用いている。

台車は電動駆動で、電磁クラッチを用いて2段変速にし台車の停止位置近傍で低速駆動させている。これらの操作はすべて操作盤で行なわれるが、非常の場合を考慮して手動による駆動も行なえるようにしてある。

台車のレールはステンレス鋼薄肉角管を用い、タワミが0.1mm以下になるよう敷設した。

台車の材料は、ワイヤロープなども含めて、すべてステンレス鋼を用いた。また台車軸受やプーリ軸受には、ステンレス鋼玉軸受を水潤滑で使い、摩擦抵抗の軽減をはかった。

3.3.3 升降台および駆動装置

升降台は、トウ載台をすくい取るような構造にするため“コ”の字形のフォーク状ワク組としており、ローチェンによって照射室床の開口部から地下水路へとつり下げられ、2本のガイドレールの間を車輪でささえられている。升降台の駆動は照射室外に設置された駆動装置によって電動駆動される。升降台の積み換え位置と露出位置の位置決めは駆動装置内で伝導軸の回転数を検出することによって行なっている。この位置検出の機構は升降台の全ストロークに対してほぼ1回転する円板と10回転する円板があり、それぞれにカムが取り付けられ、これらに対応するマイクロスイッチが設けられている。最初の円板はあらい位置決めをするのに用いられ、後者は、その精度を上げるために用いられ、二つの円板のカムが同時にマイクロスイッチをたたいたときに位置が決定される。位置の精度は、ほぼ ± 1 mm以内におさえることができた。駆動装置に

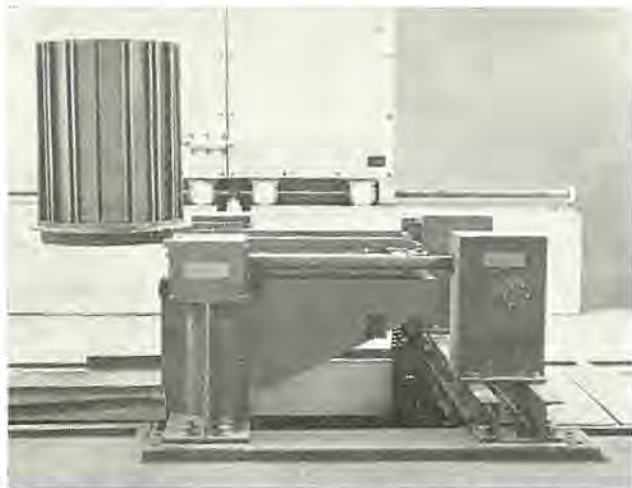


図 3.8 照射室内における線源組立箱をトウ載した升降台
Fig. 3.8 Elevator, carrying the assembled sources in the irradiation room.

は升降台の駆動抵抗が異常に増加したことを検出して事故を未然に防ぐため、ネジパネとネジを駆動軸に組み合せ、これとマイクロスイッチからなるトルクリミッタが設けられている。これは駆動トルクが一定値を超えるとパネの力にうちかってネジが進みマイクロスイッチを作動して駆動回路を切るようにしたものである。

升降台のガイドレールは、直径 120 mm、肉厚 6 mm、長さ 7 m の継目なしステンレス鋼管を 2 本用いたが、最も大きい線源組立箱と、トウ載台をのせて升降台が移動するとき、その車輪によって約 800 kg-cm の偶力が移動荷重として作用して、ガイドレールの間隔が開く方向にタワミが生じる。このためガイドレールの 3 個所にわたって門形ラーメン構造の支持材を入れて、タワミが 0.5 mm 以下になるようにした。

升降台は水中および空気中に交互にさらされるためステンレス鋼を用い、また升降台をつり下げるローチェンもステンレス鋼製とした。

この升降台と駆動装置は各照射室にそれぞれ同じものが設置されている。図 3.8 は中空円筒線源を照射室に露出した状態を示している。

3.4 安全制御装置

線源を希望する照射室で露出したり、格納するためには台車を所定の位置に移動し、また台車と升降台の連動動作を確実にこなわせなければならない。台車と升降台の駆動はすべて操作盤の押ボタンスイッチで行なうようになっている。操作者の安全を確保するため、各照射室には警報盤とガンマ線モニタが取り付けられ、照射室にみだりに立ち入ることができないよう照射室とびらにマグネット・キーを取り付けてある。線源の移動開始は、線源が組み立てられたことを確認してから行なえるよう線源組立装置に指示盤を設けている。

3.4.1 警報盤

各照射室に設置される警報盤は照射準備のため照射室に立ち入る操作者を保護するためのもので、表示灯とブザーによって警報を発するようになっている。また、これには操作盤のキースイッチと同じものが取り付けられて、照射室内へ立ち入った場合、これを投入することによって操作回路をインタロックし、同時に操作盤に作業中の表示を行なわせている。そのほか緊急用の押ボタンスイッチを設けて、万一、照射室に閉じ込められた場合にこれを投入すれば駆動回路を停止できるようにしてある。

3.4.2 組立指示盤

組立指示盤には切り換えスイッチが取り付けられ、線源の組み立てあるいは解体のとき、それぞれ指示されたところに投入すれば、駆動回路がインタロックされ、台車を不用意に動かすことができないようにしてある。作業が完了してスイッチを切ればインタロックが解除される。このスイッチ操作が線源組み立ての場合には、操作盤の照射スイッチが投入可能となって、線源が照射室に露出されることを表示するようになっている。また線源解体の場合は、一連の動作が完了した信号を操作盤に送り次の照射に備えるようにしている。

3.4.3 操作盤

線源の露出・格納はすべて操作盤によって自動的に行なわせるようになっており、1 台の台車と 3 台の升降台を安全確実に順序駆動させるため約 250 個のリレーを用いてシーケンス制御している。操作スイッチは、三つの照射室に対応して、キースイッチ、照射スイッチ、格納スイッチおよび保守点検用の台車と升降台の単独駆動スイッチなどがある。キースイッチは照射室ごとに異なったキーで投入されるもので誤操作が生じないようにしてあり、3 段切換スイッチになっていて、連動、単独および回路を切るようになっている。照射および格納スイッチは台車と升降台の連動制御が行なえるようになっている。したがって、ラールで組み立てられた線源を照射室に露出するためには、キースイッチと照射スイッチ（押ボタンスイッチ）を順番に投入するだけでよい。もちろん、これらのスイッチ回路は照射のための条件が満足しない限りインタロックされているので誤操作は生じないようにしている。照射のための条件は、警報盤のキースイッチが“切”になっていること、照射室のとびらが閉じていること、組立指示盤から線源の組み立て完了の信号がでていることである。これによってキースイッチの投入が可能となる。キースイッチの投入によって照射室に警報を発し、照射室とびらのマグネットキーが施錠され、台車の行き先が決定される。警報が終わると照射可能の表示灯がつき、照射スイッチの投入が可能となって線源の移動が開始される。図 3.9 は、これらの操作回路のブロック線図である。

表示灯は、線源の位置、駆動装置の状態、照射室とびらの状態などを確認するためのものである。台車の位置は、その移動距離が非常に大きいため操作盤上で 200 mm ごとに表示している。この台車の位置の制御と表示はロータリレノイドとロータリスイッチを組み合わせて行なっている。図 3.10 に操作盤を示す。

3.4.4 ガンマ線エリアモニタ

照射室に操作者が立ち入るときの安全のため、各照射室にイオン電離箱を設け、室内のガンマ線量率を測定している。線量率の指示は操作盤で行なわせ、メータリレーによって室内立ち入りの安全線量率を設定できるようにしてある。メータリレーは操作盤のインタロック回路に組み入れてあり、設定線量率を超過すると警報を発

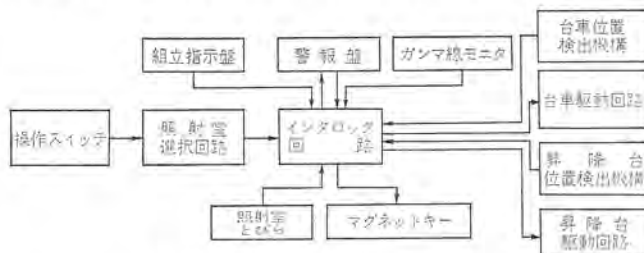


図 3.9 安全制御回路ブロック線図
Fig. 3.9 Block diagram of control and safety circuit.

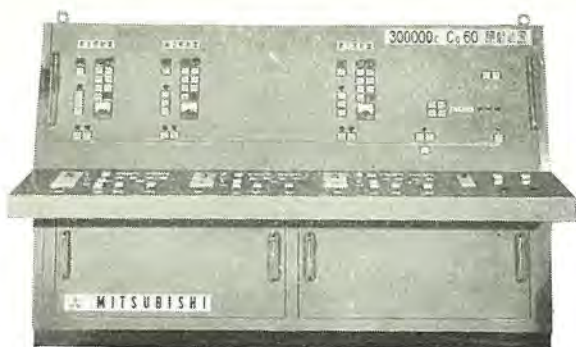


図 3.10 操作盤
Fig. 3.10 Control console.

し、マグネットキーを施錠するようにしてある。

3.4.5 マグネットキー

マグネットキーの操作は操作盤で行なわれるが、照射室の中からは手動で解錠でき、室内にあやまって閉じ込められても容易に脱出できるようにしてある。

4. む す び

わが国における Co-60 照射装置の大規模な工業利用は、この装置が完成したことによって開始されたといえる。この照射装置は放射線化学の工業化を目的としたものであるが、諸外国で多く工業化されているような食品照射や医療品の殺菌消毒などにも十分用いることができるものである。近い将来に、わが国でも Co-60 による食品照射の工業化が行なわれるであろうが、線源を有効に使用するため三つの照射室を用いて線源の露出方法に融通性をもたせた、この装置の考え方は今後の大線源照射装置の設計の一つの指針を与えるものと思われる。

この装置は、当初 10 万キュリーの Co-60 で照射が行なわれることになり、据え付け完了後、種々の操作訓練を経て現在順調に実動しており、取り扱いの容易さ、確実さ、安全性などが確められた。放射線化学反応の工業化は、いままでのところアメリカにおけるエチルブロマイドの製造の一例しかなく、今後の成果が期待されている。

終わりに、装置の設計製作にあたって適切な助言をいただいた日本原子力研究所の重松室長に深く感謝申し上げる。

電離箱を用いた線量計

田中 修*・池田 洋*

Integrating Dose Rate Meter Employing Ionization Chambers

Central Research Laboratory Osamu TANAKA・Hiroshi IKEDA

An instrument has been developed to measure the X-ray or gamma-ray intensity in roentgen per unit time, indicating the total dose simultaneously. It is also possible with this instrument to preset the total dose on a revolution counter. When the preset value is exceeded, the buzzer sounds, and, if desired it will shut down the X-ray apparatus or close the shield of the gamma ray source. It can also be connected to a recorder indicating the intensity rate. The energy range of the detector in 40 keV~1,300 keV and the dose rate ranges from 1 mγ/min to 1,000 γ/min. The kind of probe self-containing the ionization chamber can be altered according to the energy and intensity of the radiation.

1. ま え が き

診断用の X 線, 加速器などによって得られる高エネルギー X 線および放射性同位元素から出るガンマ線の線量および照射線量を測定する目的で電離箱を利用した線量計を研究開発した。この測定器の特長としては、線量率と線量を同時に測れること、線量をリセットできるのであらかじめ定められた線量をうけると自動的に警報を発し、X 線発生装置を停止させたり、放射線源のシャッターを閉ざしたりすることができる。また記録計に接続して線量率を記録させることもできる。

測定できる X 線あるいはガンマ線のエネルギー範囲は 40 keV から

1.3 MeV, 線量率範囲は 1 mγ/min から 1,000 γ/min, 線量範囲は 1γ から $99,999 \times 10^3 \gamma$ で、放射線のエネルギー、強さに応じて電離箱を内蔵したプローブの種類を変えられるようにしている。図 1.1 および図 1.2 は線量計の本体とプローブを示す。

2. 原 理

放射線の照射線量は一般に照射される物質に吸収されるエネルギーを測定して求める。その測定方法は種々あるが、もっとも広く利用されているのは放射線による物質の電離作用で、その電離電流を測る方法である。

空洞電離箱による場合、物質中に消費されるエネルギーの測定には Bragg-Gray の原理をもとにしている⁽¹⁾⁽²⁾。この原理を適用するには実用上かなりの制約があるが、電離箱の壁と箱内の気体の化学的組成をよく似たものにし、空洞の大きさを、その中の気体に吸収されるエネルギー損失が放射線のエネルギーに比べて無視し得る程度に小さくし、放射線のエネルギーに応じて電離箱の壁厚を変えるなどして、Bragg-Gray の原理が成立する条件に適合するようにした。

電離箱内の気体(空気)の容積を $v \text{ cm}^3$ 、これに当る線量を $D(\gamma)$ 、箱内の絶対温度を $T(^{\circ}\text{K})$ 、気圧を $P(\text{mmHg})$ とすれば、電離箱内に生ずる電荷 $Q(\text{クーロン})$ は

$$Q = \frac{273PDV}{3 \times 10^9 \times 760T} \quad (2.1)$$

線量率 $R(\gamma/\text{min})$ に対する電離電流 $i(\text{A})$ は

$$i = \frac{273PRV}{3 \times 10^9 \times 60 \times 760T} \quad (2.2)$$

で与えられる。したがって X 線またはガンマ線による電離電流はそれらの放射線の強度に比例する。したがって電離箱の集電極に集められた電離電流を高抵抗に流し、その両端の電圧を電位計管を含めたインピーダンス変換回路に入れ、差動増幅回路を通して指示させれば、放射線の単位時間当りの強さ、すなわち線量率を示すことができる。

さらにこの線量率指示に対応した出力電圧を速度サーボ機構の入力にすれば、その電圧に比例したサーボモータの回転速度が得られる。このモータの回転軸に回転カウンタを連結すれば回転速度の時間積分が線量率の積分、すなわち照射線量を与えることになる。



図 1.1 線量計本体
Fig. 1.1 Integrating dose rate meter.



図 1.2 線量計プローブ
Fig. 1.2 Probe assemblies.

3. 構 成

線量計の回路構成のブロック線図を図 3.1 に示す。構成を大きく分けて、放射線検出部に相当する電離箱プローブと指示制御回路からできていて、両者は シンハイケーブル[®]で接続されている。プローブは放射線のエネルギー、強度に応じて取り換えができる。

電離箱は円筒形にし、壁材はナイロンで、壁の内面にアカダックを塗り、円筒電極とし、中心電極はアルミニウム棒を使用した。電離箱内の気体は 1 気圧の空気で、電離箱に直結して電位計管および高抵抗を内蔵した柄とともにプローブを構成している。

指示制御回路は、図 3.1 の内 プローブを除いた全体を含み、インピーダンス変換回路には、増幅度 1 の負のフィードバック回路を使用し増幅器の安定性、直線性をよくしている。直流発電機と二相サーボモータは歯車で連結されて一体をなし、AC サーボ増幅器の入力と出力を構成し、入力電圧に比例した回転速度を与える。線量指示の回転カウンタは機械的なプリセット回転カウンタになっている。

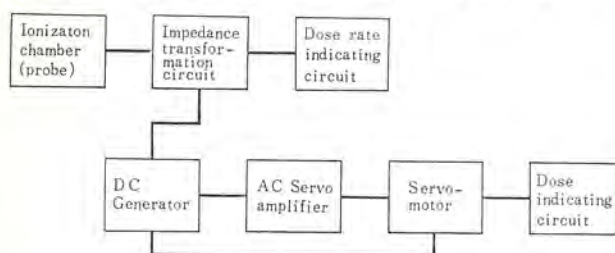


図 3.1 線量計の回路構成のブロック線図
Fig. 3.1 Brock diagram of the circuit of the dose meter.

4. 実 験

インピーダンス変換回路の入力電圧に対する線量率の直線性については、電離電流に等価な回路として乾電池により高抵抗に直流を流し、その電流を変えることにより測定した。この直線性はきわめてよい。測定結果を図 4.1 に示す。

次に二相サーボモータの交流入力に対する回転数およびモータに連結された直流発電機の出力電圧の関係を図 4.2 に示す。モータの回転数は最高 2,000 rpm まで使用しているが直線性はややわるい。

図 4.3 はインピーダンス変換回路の入力電圧あるいは線量率に対する線量指示回転カウンタの回転数の関係を示している。フルスケールになる入力電圧が回転カウンタの 100 rpm と一致するように回路調整しているが、線量率の低いところでは $\pm 5\%$ の誤差がでている。これはサーボモータの交流入力に対する回転数の直線性のわるさ(図 4.2 参照)と回転数の少ないところでの直流発電機のリップル電圧に原因していると考えられる。しかしこの誤差は低線量率用のプローブを使用して、入力電圧を大きくし、モータの回転数をふやすことにより積算量の誤差を少なくすることができる。

円筒形電離箱に一定の強さの放射線が照射されている場合、イオンの再結合による飽和電流 I_s の部分的損失 $(\delta I_s/I_s)_{\text{rec}}$ を計算すると

$$\left(\frac{\delta I_s}{I_s}\right)_{\text{rec}} = \frac{\alpha N_0 P^2 (b-a)^4 [\log(b/a)]^2}{6\mu_+ \mu_- V^2} \quad (4.1)$$

ただし α : 再結合係数 (cm^3/sec)

N_0 : 単位時間に単位体積中に発生するイオン対の数
($1/\text{cm}^3 \cdot \text{sec}$)

P : 気圧 (mmHg)

電離箱を用いた線量計・田中・池田

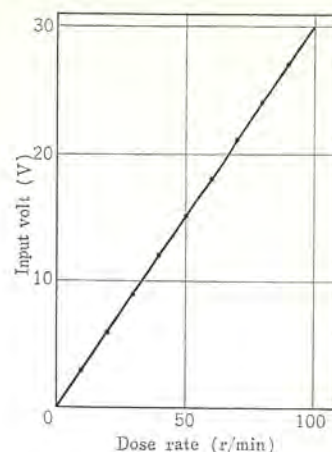


図 4.1 インピーダンス変換回路の入力電圧に対する線量率の直線性
Fig. 4.1 Linearity of dose rate versus input voltage.

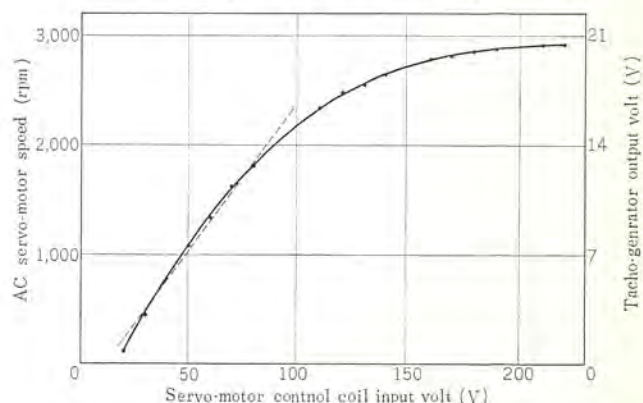


図 4.2 サーボモータの交流入力に対する回転数および直流発電機の出力電圧の直線性
Fig. 4.2 Linearity of servo-motor speed and tacho generator output voltage versus control coil input voltage.

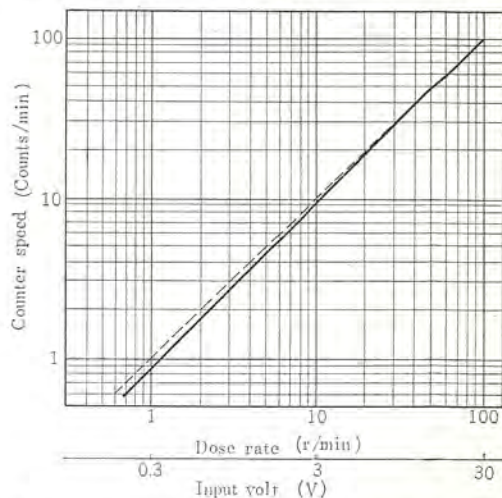


図 4.3 入力電圧(線量率)に対する線量指示回転カウンタの回転数の直線性
Fig. 4.3 Linearity of the dose counter speed versus input voltage.

a : 中心電極の外径 (cm)

b : 円筒電極の内半径 (cm)

μ_+ : 陽イオンの移動度 (cm/sec) (V/cm)⁻¹ (mmHg)

μ_- : 陰イオンの移動度 (cm/sec) (V/cm)⁻¹ (mmHg)

V : 電極間電圧 (V)

が得られる。空気 1 気圧, $\alpha = 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{sec}$, $\mu_+ = 1,070 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$, $\mu_- = 1,350 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$ とし、3 種類の電離箱につ

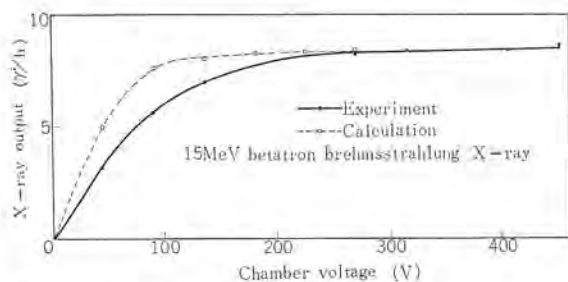


図 4.4 フルスケール 10 γ/h の電離箱の電圧と電離電流特性
Fig. 4.4 Ionization current versus voltage characteristic of a cylindrical ionization chamber. (full scale 10 γ/h)

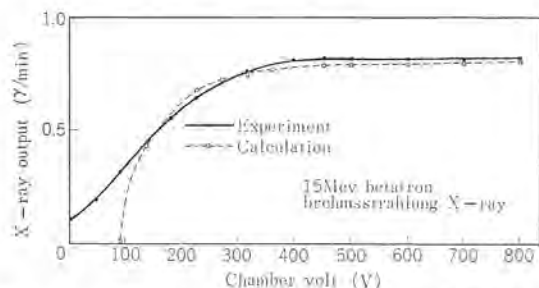


図 4.5 フルスケール 1 γ/min の電離箱の電圧と電離電流抵抗
Fig. 4.5 Ionization current versus voltage characteristic of a cylindrical ionization chamber. (full scale 1 γ/min)

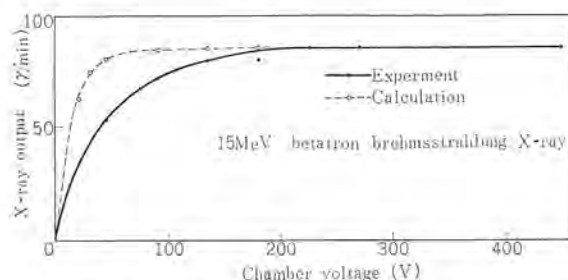


図 4.6 フルスケール 100 γ/min の電離箱の電圧と電離電流特性
Fig. 4.6 Ionization current versus voltage characteristic of a cylindrical ionization chamber. (full scale 100 γ/min)

いて式 (4.1) を使用して計算を行ない、ベータロンによって発生する制動フック(幅)射による高エネルギー X 線 (最高 15 MeV) を利用してそれぞれの電離箱の電圧と電離電流特性をとって比較した。その結果を図 4.4~4.6 に示す。点線が計算値を、実線が実験値を示す。低電圧部における計算値と実験値のくい違いは正負イオンの再結合係数を電極間電圧と無関係に一定としたところにおもな原因がある^{(3)~(5)}と考えられる。

ベータロンによって発生した高エネルギー X 線 (最高エネルギー 15 MeV) を検出し、レコーダで記録した結果の一例を図 4.7 に示す。

校正については、電気試験所で校正をうけた ⁶⁰Co (〜60 mc) 線源を使用して行なうことのできたフルスケール 10 γ/h のウローブ (エネルギー範囲 400 keV~1.3 MeV) では 77.5 mγ/h-met (±4%) の強度に対して、72~73 mγ/h-met を指示した。低エネルギー用ウローブ (10 γ/h) については X 線発生装置 (エネルギー 40~100 keV) からの X 線を利用し、他の大線量用ウローブにおいては、大阪府立放射線中央研究所の ⁶⁰Co (33, 400, 8,000 C) 線源を利用して Victoreen 社の Radcon チェンバ と比較測定を行ない ±5~10% の範囲内で一致をみた。

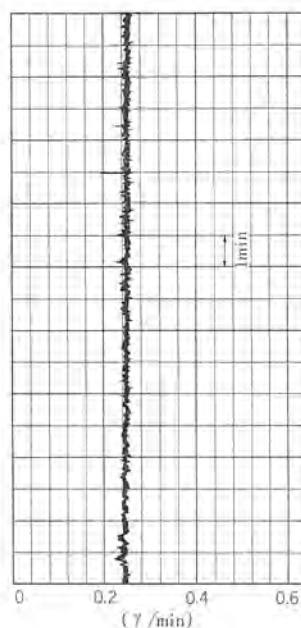


図 4.7 記録計に接続することにより高エネルギー X 線の線量率をフルスケール 1 γ/min のウローブで記録
Fig. 4.7 Record of dose rate of high energy X-ray measured with a recorder connected with the dose meter.

表 4.1 ウローブの種類、感度範囲およびエネルギー範囲

プローブ (名称)	感度範囲	膜材料	膜厚 (mm)	容積 (cm ³)	エネルギー (keV)	精度 (%)
603	1, 3, 10 γ/h	ナイロン	2	648	40~400	±5
703	1, 3, 10 γ/h	ナイロン	4	778	400~1,300	±5
103	0.1, 0.3, 1 γ/m	ナイロン	4	130	400~1,300	±5
102	1, 3, 10 γ/m	ナイロン	4	13	400~1,300	±5
101	10, 30, 100 γ/m	ナイロン	4	1.3	400~1,300	±5
100	100, 300, 1,000 γ/m	ナイロン	4	0.13	400~1,300	±10

これらのウローブの種類、感度、エネルギー範囲などをまとめると表 4.1 のようになる。

5. む す び

問題点として電離箱では、広範囲のエネルギーによる線質特性、校正、大線量率におけるウローブの柄の効果⁽⁵⁾、経年変化など、制御回路においては、サーボモータの不感電圧、直流発電機のリップル電圧などで、現在調査研究中である。

今後の課題としては、もっと大きい線量率 (5,000~10,000 γ/min) の X 線用ウローブと電子線用ウローブを研究、開発の予定である。

線量率の比較校正に当って、いろいろとお世話になった大阪府立放射線中央研究所第一部放射線応用課、古田純一郎博士と大西徳博氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) G. J. Hine and G. L. Brownell; Radiation Dosimetry, Academic Press Inc. • Publishers • New York (1956)
- (2) W. J. Price; Nuclear Radiation Detection, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York Toronto London. (1958)
- (3) B. B. Rossi and H. H. Staub; Ionization Chambers and Counters, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. (1949)
- (4) S. Flüge and E. Creutz; Handbuch der Physik, XLV, Instrumentelle Hilfsmittel der Kernphysik II "Ionization Chambers in Nuclear Physics", by H. W. Falbright.
- (5) 森内; 応用物理 34, 435 (昭 40)

マイクロ写真用ジアゾフィルムの特性

太田基義*・矢田俊雄*・豊田裕康*・小林吉三郎*

Characteristics of Diazo Film for Microfilm Duplicates

Central Research Laboratory Motoyoshi ŌTA・Toshio YADA・Hiroyasu TOYODA・Kichisaburō KOBAYASHI

To take photographs of papers and documents into microfilms was originated more than a century ago, but it is some time before they were made in a general use. In this practice, however, to produce inexpensive films is an important requisite and diazo films are now in relatively popular use. This article describes that original microfilm negatives can be duplicated rapidly with dry and unreversal process on diazo films, together with discussion on characteristics of a diazo film duplicate such as color, exposure light, relative sensitivity, characteristic curves, stability, duplicatability and legibility for printing or enlarging. A result of experiment shows that legible enlarging copies are available from twice reproduced ones.

1. ま え が き

書類や文献類をマイクロフィルムに撮影して利用することは、一世紀以上も前から行なわれているが^{(1),(2)}、一般に利用されるようになったのはきわめて新しいことである。マイクロフィルムが注目されてきたのは技術革新により文献情報が急激に増大し、原本をそのままの形状で保存していたのでは整理や保管に多大な経費がかかり、原本を捜しだすのも困難となってきたためである。このような問題を解決するためマイクロフィルムが使われはじめた。

文献類がマイクロフィルムに撮影されると、原本としていろいろの大きさのものが標準化され、保管・整理・検索・複製を比較的早く行なうことができる⁽³⁾。

このように使用されているマイクロフィルムは現在一般に銀乳剤であるが、これに代わるべき安価な材料としてジアゾフィルムが注目されている^{(4),(5),(6)}。しかしジアゾ感光材の感光波長域が紫外光域であり、また感度が非常に遅いため、全面的にマイクロフィルムにとって代わることはできない。感度が遅いことは撮影時間が長くなるだけでなく、カメラの振動によって解像力も低下する。しかしながら、撮影したフィルムから第2・第3のネガフィルムが必要なときは、撮影時の不利な条件があまり問題とならない。これはジアゾフィルムがネガ画像から直接ネガ画像を得ることができるからである。銀乳剤は一般にネガ画像からネガ画像を得たい場合、中間段階にポジ画像が必要となり、各段階で現像・定着・水洗いなど手数がかかる。このような手数を必要としない複写用ジアゾフィルムの特性を調べたので報告する。

2. ジアゾフィルムと銀乳剤フィルム

ジアゾ感光材料は陽感光紙として広く利用されているが、ジアゾフィルムとしてはあまり一般に知られていない。ジアゾフィルムの分光感度は一般に380~420 nmの近紫外波長域で、感光波長域の狭いものが多い⁽⁷⁾。発色後の吸収波長も個々の物質により非常に違った吸収を示し、狭いものが多い。

銀乳剤フィルムは、現在非常に大量に情報記録手段として使用され、感度・解像力・特性曲線などのセンチメトリが確立されているが、ジアゾフィルムについては感光波長域が近紫外光であること、発色した色が黒色のものが少ないこと、ネガ画像からネガ画像が得られることなど銀乳剤フィルムと異なった性質のためセンチメトリ

は確立されていない。

ジアゾフィルムの特性を列挙すると、

(1) ジアゾフィルムは感光波長域が380~420 nmの短波長であり感度が遅い。

(2) 発色後の分光透過率が可視波長域で異なり色がついて見え、1種類のジアゾ化合物では黒色にならないものが多い。

(3) 焼き付けによる画像の反転が起こらない。

(4) 銀乳剤は微粒子があるが、ジアゾ化合物は粒子がない。

(5) 安定性については焼付け前1~3ヵ月程度⁽⁸⁾、焼付け後は直接太陽光線に当たらない状態で数年程度と思われるが、銀乳剤では撮影前2年、撮影後は半永久的に使用できる。

(6) 乾式処理ができ、暗室がなくても取り扱うことができる。ジアゾフィルムは長期保存にはあまり適さないが、暗室を必要とせず乾式処理ができるので取り扱いが簡単である。

とくに銀乳剤を使用したマイクロフィルムはカメラによる撮影でネガ画像ができ、同じネガ画像を数枚必要なときは一度ポジ画像にしてからさらにネガ画像に焼き付けなければならないが、ジアゾフィルムはネガ画像から直接ネガ画像ができるので非常に手間が省けて有利である。

3. 実 験

複写用フィルムには種々の性質が要求されるが、おもなものを拾ってみると

(1) 引伸し印画紙の感光波長域で十分濃度が上がり、コントラストがつくもの(写真などのハーフトーンのあるものの複写は、あまりコントラストが大きくないほうがよい)。

(2) 特性曲線の直線部が長いもの。

(3) 解像力がよいもの。

このような点に主眼をおき、ジアゾフィルムの特性を調べた。

供試ジアゾフィルムは国産品2種類(A, B)と外国品1種類(C)の合計3種類である。各フィルムの複写用としての性質として、発色・光源による感度・特性曲線・解像力・判読性など⁽⁹⁾を求めた。

3.1 発色と濃度

各ジアゾフィルムともアンモニアガスによる乾式現像方式で、アンタラオザマチック(商品名:KKリコー製ジアゾ乾式焼付け現像機)の現像機の部分だけ使用して現像した。

ジアゾフィルムの現像処理は、未露光部分のジアゾ化合物がアンモ

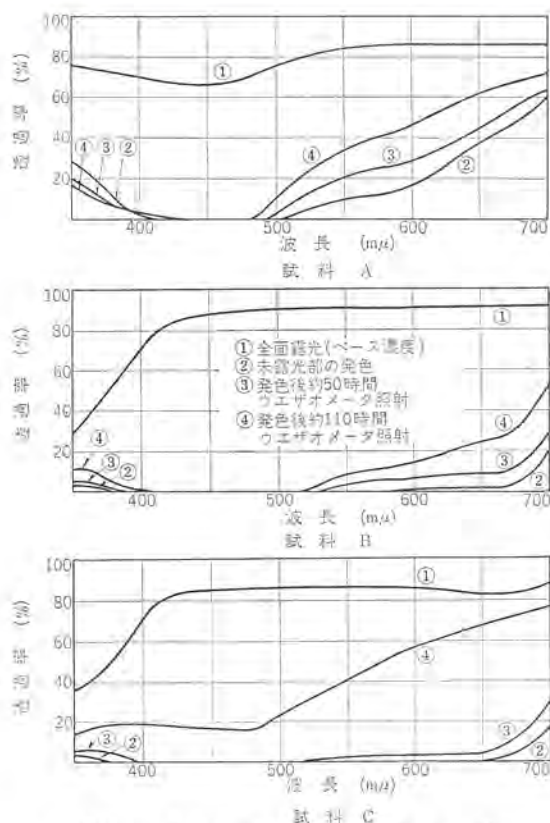
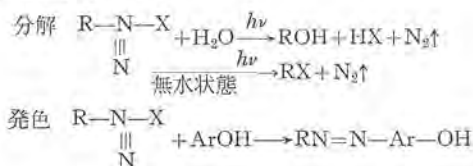


図 3.1 ジェラチンフィルムの発色と退色
Fig. 3.1 Spectral transmission of diazo films and fading.

アガスのアルカリ性ふんい気中でカラーと反応してアザ色素ができて発色する。光の当たった部分は、ジアザ化合物が分解して発色しない。この機構を次に示す。



3種類のジアフィラムの発色状態を図3.1に示す。Aは500 m μ から長波長で透過率が上がり、赤味をおびたセピア色になる。他の2種類(B, C)のフィルムはほとんど同じ透過率を示し、肉眼で黒色に見える。フィルムベースの透過率はAが紫外光までよく透過し、ジアフィラムからジアフィラムに焼き付けるとき紫外光線まで有効に利用される。BとCは同じようなベース濃度を持っているがAに比較すると400 m μ 以下の短波長域で透過率が急に悪くなっている。発色の良否は最終目的として印画紙に引き伸ばすことを目的としているので、途中の段階で肉眼による観察では判断できない。印画紙を焼き付けるのに必要な波長域は350~500 m μ であるが、この波長域の発色濃度とベース濃度の差の積分値はAがやや良い。

分光透過率測定には島津自記分光光度計SV-50A形を使用した。

3.2 光源・感度・特性曲線

ジアゾ化合物の分光感度が紫外域にあるため、露光用光源として紫外光源が必要である。光源を選択する意味で種々の光源について試験した。

使用した光源は、Ricopy-SL 用高圧水銀灯・ケミカルランプ (FL-20BL)・太陽光・三菱電機製 リコー UVF ランプ (FL-20BL-405) の4種類である。各光源を使いステップタブレット (Kodak Photographic Step Tablet No. 2) をジアゾフィルムに密着焼付けを行ない特性曲線を求めた。

ジアザフィルム の複写は一般に銀乳剤 フィルム より コントラスト が 高く

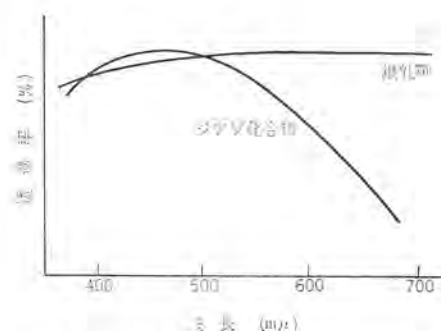


Fig. 3.2 Spectral transmission curves of a diazo compound and a photographic emulsion.

表 3.1 ジェラフィルム の光源と露光時間

光源の種類	照度 ⁽¹⁾ (lux)	適 正 露 光 時 間 (sec)					
		第 2 原 図			第 3 原 図		
		A	B	C	A	B	C
Ricopy SL ⁽²⁾	—	20~25	—	30~35	—	—	—
ケミカルランプ ⁽³⁾	940	150	180	195	50	210	350
太 陽 光	55,000	120	—	—	—	—	—
UVF ランプ ⁽³⁾	100	75	105	135	75	195	220

注 (1) 東芝5号照度計による測定値で可視光補正してあるため紫外線は測定されない。

(2) Ricopy SL は輪転式ジアゾ感光紙焼付機で光源は高圧水銀灯。

(3) 大日本スクリーン製密着プリンタに FL-20BL-405 ケイ光灯を 8 本取付け、約 4 cm の距離から照射する。

なるが、高濃度を得ることはむずかしい。銀乳剤は不透明微粒子で光をさえぎり濃度やコントラストを得ているが、ジアゾフィルムは、ある波長だけ吸収するアゾ染料によってできているため黒色を示さない。ジアゾフィルムも種々のジアゾ化合物を混合させて種々の色に変えたり、黒色にすることもできる。

濃度測定にあたり問題となることは、ジアザフィルムの発色濃度(透過率)が波長によって変化していることである。これに反して銀乳剤は、可視波長域ではほとんど平たい分光透過率(濃度)を持っているので、濃度測定は比較的容易であり、写真濃度計により正確な測定ができる。ジアザフィルムの濃度は視感度中央値 550m μ で測定⁽¹⁰⁾することもあるが、この実験の目的としているものはマイクロフィルム(第1原図)からジアザフィルム(第2原図)に焼き付け、さらに第2原図から同じ種類のジアザフィルム(第3原図)に焼き付けて最終的に第3原図から印画紙に引き伸ばすことであるため、印画紙の感光波長域から考えて 400m μ の透過率を濃度の基準にした。

濃度測定に使用した分光光度計は、測定試料の位置と受光部の位置が 10 cm 程度離れているため、拡散光が測定されず誤差を生ずるが、ジオ化合物は銀乳剤と異なり粒子がないため拡散光が少なく無視した。

4 種類の光源の適正露光量と感度を表 3.1 に示す。太陽光は晴天で 55,000 lux の照度の季節であるが、比較的可視光線が多く紫外光線が少ないため露光時間が長くかかった。Ricopy-SL の光源がいちばん短時間で露光できるが、大きな図面を焼き付けるために作った機械のため紙送りガイドテーパーがあらく、ジアゾフィルムを通すと傷が付きやすくそのままでは使用できない。実験では三菱電機製 UVF ランプを使用した。UVF ランプはジアゾ感光紙焼付け用に開発されたもので、ジアゾ化合物の分光感度と波長域が一致し、ジアゾフィルム焼付けには効率の良い光源である⁽¹¹⁾。UVF ランプは大日本スクリーン製真空焼付機 11 形に 8 本取り付け、ランプ面から 4 cm の距離で焼付けた。

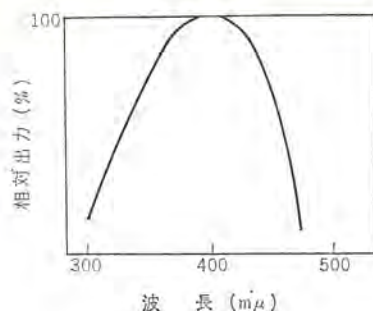


図 3.3 UVF ランプの分光エネルギー
Fig. 3.3 Spectro-energy of UVF lamp.

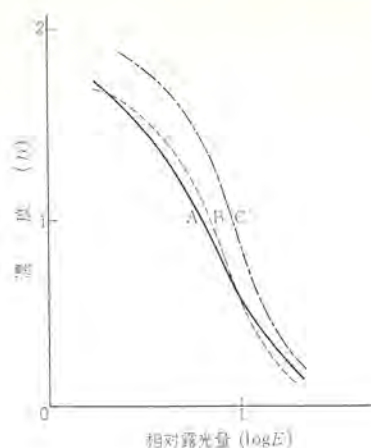


図 3.4 ジアゾフィルムの特性曲線
(第2原図)
Fig. 3.4 Characteristic curves of diazo films. (2nd original)

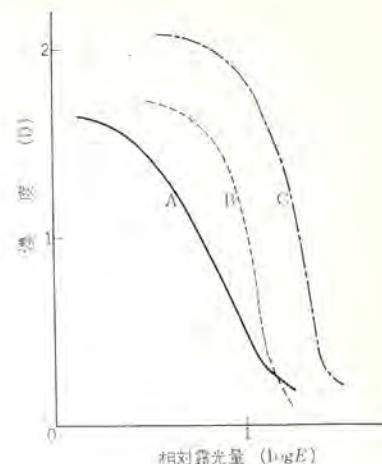


図 3.5 ジアゾフィルムの特性曲線
(第3原図)
Fig. 3.5 Characteristic curves of diazo films. (3rd original)

表 3.2 ジアゾフィルムの感度

試料	露光時間 (sec)		露光時間による感度		ASA 規格による感度	
	第2原図	第3原図	第2原図	第3原図	第2原図	第3原図
A	75	75	1	1	1	1.10
B	105	180~210	0.72	0.39	1.14	1.08
C	135	210~225	0.56	0.35	0.72	1.68

注 感度の基準は試料 A を使用して第2原図を焼き付けたときを1とした。

ジアゾフィルムの感度表示は確立されていないため、ASA 感度に準じたベース濃度に 0.1 加えた点を基準にしたものと、解像力テストチャートを焼き付けて最高解像力が得られる露光時間を基準にしたものの2種類測定したが、特性曲線が異なり両方の値が一致しない。

この実験では実際使用するのに即した後者の感度をフィルム感度とした。

各ジアゾフィルムの特性曲線を図 3.4, 3.5 に示す。感度表示は感光波長域が近紫外光のため照度の測定ができず、照明条件を一定にして照射時間の変化による相対感度で示した。

図 3.4 は第1原図(ステップタブレット)から第2原図に焼き付けた場合の特性曲線であり、図 3.5 は第2原図から同じ種類のジアゾフィルムに第3原図を焼き付けた場合の特性曲線である。図 3.4 では各ジアゾフィルムのガンマ(γ)が 2.1~2.4 の値を示していてやや大きい、図 3.5 では A が $\gamma=2.5$ 、B と C は $\gamma=5.2$ とさらに大きな値となり中間調がでにくいことがわかる。

図 3.4 と図 3.5 で同じジアゾフィルムでも γ が異なるのは、焼き付けるネガフィルムの分光透過率が異なるため、同じ光源を使用して焼き付けても乳剤に到達する光の分布に違いができる。このため、乳剤の分光波長特性に差があり、波長によって特性曲線が違って来るものと思われる。画像に影響する要因としては、照射光源の分光特性、ジアゾフィルムや銀乳剤の分光透過率と分光感度などが考えられる。

3種類のジアゾフィルムで比較的話ンマが低く良いのは A であるが黒色でないため肉眼で判定しにくい。

3.3 ジアゾフィルムの保存性

マイクロ写真としてジアゾフィルムを使用する場合保存性が問題となる。保存性を調べる意味で、発色したジアゾフィルムに光を当てて退色性を見た。照射光源として、太陽光の 20 倍の強度があると

マイクロ写真用ジアゾフィルムの特性・太田・矢田・豊田・小林

いわれているウェザオメータ(東洋精機製作所製 W. O. M-I-B)で 50 時間と 110 時間照射した。照射前後の変化を図 3.1 の分光透過率で示す。

3.4 複写による解像力低下

一般に複写を繰り返すと解像力が低下するのはどうすることもできない。銀乳剤の場合、平行光線で焼き付けたり、ゼラチンに近似した屈折率の液体で銀乳剤に影響のないものをフィルム間に入れて、光が反射されて画像が悪くならないようにする方法もあるが⁽¹²⁾、超精密写真の焼き付け以外は一般にあまり使用されていない。

ジアゾ化合物は種々の化合物があり、屈折率も種々変化するためフィルム間に入れる溶媒の選択がむずかしい。実験では実用性に主眼点をおき真空密着焼付けにとどめた。

オリジナルのマイクロフィルムから引き伸ばすと、原稿の大きさに引き伸ばしても同じ画像が得られない。ある程度の画質の劣化が起こる。第2、第3と焼き付けていくときは、とくにこの点に注意しなければならない。マイクロフィルム撮影用レンズは収差の少ないもので、焦点合せも注意深く行なわなければならない。

画像の精細度を表わすため NBS 解像力テストチャートを使用して解像力を測定した。解像力は撮影フィルムのガンマに大きく関係し、ガンマの小さい濃度コウ配の小さいものはあまり大きな解像力が得られない。濃度コウ配の大きいものは画像がシャープになり解像力も良いものが多い。

解像力テストチャートは3本構成のものが多いが、解像力を測定すると、レンズの収差・回折・乳剤層の光の散乱などで周辺画像は影響を受け、周辺の2本が細くなり正確に解像力を測定するのは困難である。使用した NBS テストチャートは5本構成のもので、中央部3本で解像力を測定した。

ハイコントラスト (high-contrast) NBS テストチャートを 35 mm マイクロフィルムに撮影し、これを第1原図とし3種類のジアゾフィルムに焼き付けた。第2原図、第3原図の焼き付けは 3.2 節で述べた方法により真空密着焼付けを行なった。第3原図からさらに印画紙に原寸大に引き伸ばし、実際肉眼で文字を読む場合と同じ条件で判読性を調べた。

銀乳剤における複写回数による解像力低下について報文⁽¹³⁾があるが、粒状性の有無や発色の差がありジアゾフィルムにはあてはめることができないものと思われる。そこで各段階における解像力

表 3.3 複写回数による解像力低下

試 料	第1原図の解像力 (line/mm)		第2原図の解像力 (line/mm)		第3原図の解像力 (line/mm)	
	ネ	ガ	ネ	ガ	ネ	ガ
A	122	110	98	85.5	85.5	77
B	122	110	110	98	98	85.5
C	122	110	110	85.5	85.5	77

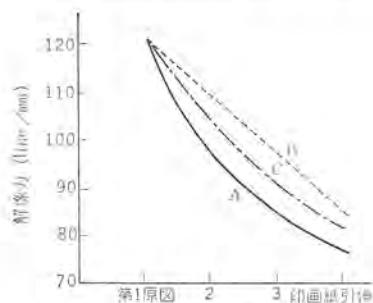


図 3.6 密着焼付けによる解像力
Fig. 3.6 Reproduction of resolution test chart by contact print.

の低下状態を図 3.6 に示し、各 ジェツフィルム 間の解像力を比較した。

銀乳剤フィルム の解像力は乳剤の粒状性と厚さによって大幅に調節できるが、ジェツフィルム は粒子がなく、乳剤層が厚いと高濃度となるが感度と解像力が悪くなる。乳剤層が薄いと解像力と感度が良くなるが濃度が上がらない。ジェツフィルム は粒子がないため良い解像力が期待できる。

実験に使用した NBS テストチャート はマイクロフィルム 用のもので、解像力のステップが 122, 110, 98, 85.5, 77, 68, 61 line/mm となっているため、この値の中間値の解像力が評価できず、誤差が $\pm 10\%$ line/mm 程度含まれている。解像力測定は 100 倍の顕微鏡で観察した。第 3 原図からの引き伸ばしにはフジグラフ と三菱 CH 紙を使用したが生が認められなかった。

A は発色がセピア 色を示しているため顕微鏡を通して肉眼で観察すると、色の差により判別が影響される。そのため色による差をなくするため各段階で印画紙に原寸大 (24 倍) に引き伸ばして観察した。この結果を表 3.3 に示す。

B がいちばん解像力の低下が少なく、C がこれに続き、低下の最も大きいのは A である。

3.5 判読性

3 種類の ジェツフィルム の特性を調べてきたが、重要なことは最終的に引き伸ばしたときの判読性である。判読性に影響する要因としてフィルムの解像力のほかに複写体の状態、文字の種類と細かさ、文字と印刷紙面の濃度差、文字の濃淡などが大きなものである。とくに文字の濃淡と太さについては撮影するとき、よい画像ができるかできないかの境目となる。同じ濃度をもった被写体でも線の太さが違っていると、縮写した場合太い線は濃く、細い線は薄く撮影される。これは光学系やフィルムの特性によっても変化する。

いちばんよい撮影方法は、鉛筆書きのもの、インキ 書きのもの、活字印刷のものとおの文字の大きさや太さなどにより最適露光時間を見だし別々に撮影することである。

一般印刷物では文字より写真の網目のほうが小さい。雑誌や書籍の写真は 100~120 line/inch のスクリーンを使い、雑誌の表紙や口絵などは 133~150 line/inch のものを使う。一般に使用されているスクリーンでいちばん細かいものは 150 line/inch で、網目は 0.0833 mm である。これを解像力に換算すると 6 line/mm となる。

150 line/inch の写真を縮率 1/24 にするとき、 $6 \times 24 = 144$ line/mm の解像力があれば一応写真もマイクロフィルム に撮影できる。しかし写真の網目は、150 line/inch のスクリーン を使用してもすべてが同じ大きさでなく、ハイライト 部分では黒い網目が小さく、シャドウ 部分では大きくなっているため 144 line/mm の解像力があっても忠実に撮影することはできない。ハイライト 部はとんでしまい、シャドウ 部はつぶれたコントラスト の大きい画像となる。

このように ハーフトーン のある画像を忠実に表現することはむずかしい。

文字の判読性については、はっきりした規格がなく、数値として表わすには困難な問題である。とくに日本文字と英字では同じ大きさの活字でも、文字の太さ・幅・文字飾りなど差があり、漢字は字画の多い文字が多く英字より細い線を使っている。同じ太さの線を使っても周辺の画像効果があり、線間隔が狭いと画像は悪くなる。

文字の判読性は個人によっても差があり、読める程度も種々ある。心理的にも影響されるので数値に表わすのは困難であるが、吉田氏⁽¹⁴⁾は日本文字 (漢字を含む) と英字に分類して文字の判読性を数値に表わしている。ここでは文献複写を中心に取り上げたため英文が多いので、英字の判読性のみ取り上げる。

吉田氏と NBS 解像力 テストチャート の使用方法 パンフレット によると原稿の小文字 e を取り上げ次の式で表わしている。

$$L = a \times \frac{h}{n}$$

L: 文字の判読性 a: 撮影解像力 (line/mm)

h: 小文字 e の高さ (mm) n: 縮率 (1/n)

(a) L の値が 8 以上であれば優秀な コピー といえる。

(b) L の値が 5~8 であれば読める コピー といえるが、H や M などの文字のひげ飾りや微細部ははっきりしないが、困難なく読める。

(c) L の値が 3~5 であれば判読できる コピー が得られるが、e, o, c などの細部がつぶれ、困難であるが判読することができる。

(d) L の値が 3 以下であれば、文字の判読は困難である。

この基準で ジェツフィルム を評価すると表 3.4 の結果が得られた。

表 3.4 文字の判読性

	第1原図	第2原図	第3原図
A	7.8	6.1	5.5
B	7.8	6.9	6.1
C	7.8	6.1	5.5

8 ポイント 活字で e の高さが約 1.7 mm で、これを 1/24 に縮写した。判読性も前記通り第 1 原図から第 3 原図まで焼き付け、各ネガ 画像を 24 倍に引き伸ばし原寸大の大きさにして判読性を見た。3 種類の ジェツフィルム とも、困難なく読める複写が得られるので、第 3 原図から引き伸ばした場合だけ取り上げる。第 1 原図と第 2 原図から引き伸ばした複写はさらに良いものが得られる。

B がいちばん判読性が良く、C, A の順になっているが、いずれも大差なく、困難なく読める複写が得られる。

3.6 検討

3 種類の ジェツフィルム を比較すると、光源として UVF ランプ を使用した場合相対感度のいちばんすぐれているのは A である。ジェツフィルム から ジェツフィルム に焼き付ける場合は、焼き付けに使用される波長域で ジェツフィルム の透過率が平らでないため、表 3.2 のように違った感度となり特性曲線も違ってくる。

表 3.5 ジェゾフィルム の 特 性

試 料	発 色 ⁽¹⁾	退 色	相 対 感 度		判 読 性
			第2原図 ⁽²⁾	第3原図 ⁽³⁾	
A	セピア	中	1	1	5.5
B	黒	小	0.72	0.39	6.1
C	黒	大	0.56	0.35	5.5

- 注 1. 肉眼による観察
 2. マイクロフィルムからジェゾフィルムに焼き付けたときの感度
 試料Aを基準
 3. ジェゾフィルムからジェゾフィルムに焼き付けたときの感度
 第2原図試料Aを基準

第2原図から第3原図を焼き付けるときもAの感度は変わらないが、BとCは第2原図を焼き付けるときに比較し約2倍の露光量が必要である。

特性曲線は第2原図と第3原図によって違うが、各ジェゾフィルムについて総合的に γ を見ると

$$A: 2.1 \times 2.4 = 5.0$$

$$B: 2.4 \times 5.2 = 12.5$$

$$C: 2.4 \times 5.2 = 12.5$$

となる。この値は撮影するマイクロフィルムと最後に引き伸ばす印画紙の γ を考えに入れず、ジェゾフィルムだけ考慮した。 γ は製版フィルム程度に高く、写真などの中間調のあるものは画像が非常に悪くなる。

ジェゾフィルムの保存性を退色性で見た。ジェゾフィルムは銀乳剤に比較して不安定で保存可能期間が短く乾式現像のものはジェゾ化合物と発色剤が混合されて塗布してあるためとくに寿命が短い。撮影前の保存性も悪いが、より問題となるのは撮影後の保存性である。

Aは退色が進むにつれて長波長側の透過率が上がり赤味を帯びてくる。Bも同じような性質を示しているが、Aよりやや退色が少ない。Cはいちばん退色が早く、全波長域にわたり透過率が上昇している。

判読性はいずれも困難なく読める複写が得られたため、総合的な評価にあたり退色性と感度に主眼点を置いた。

以上のような観点にたつて3種類のジェゾフィルムを見ると、いちばんすぐれているのがAでB、Cと続く。

4. 実 施 例

実際に画像を記録するために、75 mm マイクロフィッシュからジェゾフィルムAに2度焼き付けて約20倍に引き伸ばした。75 mm マイクロフィッシュは1/20に縮写されたもので、非常に濃度が高く、コント

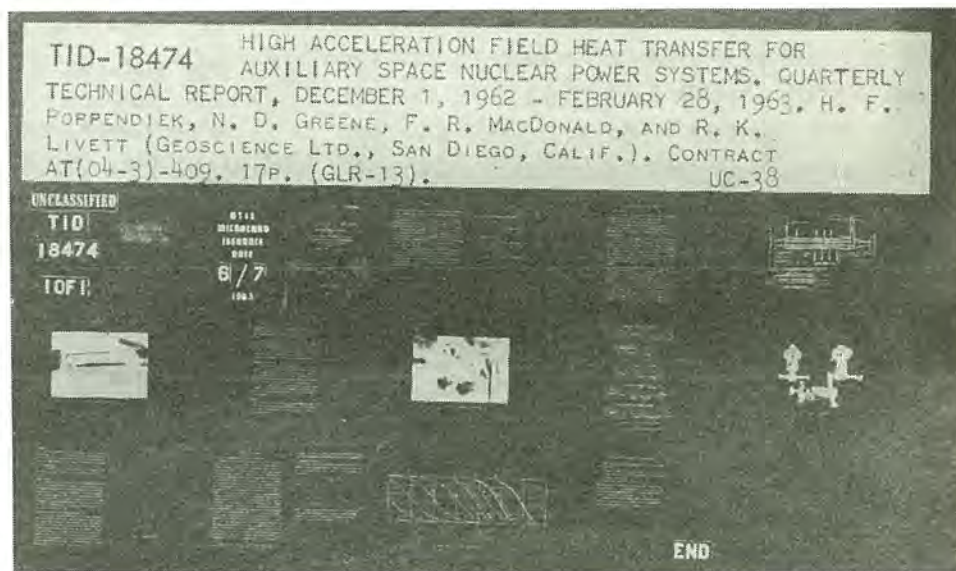


図 4.1 マイクロフィッシュネガ (75×125 mm) Fig. 4.1 Microfiche negative.

- and separator were installed in the containment vessel and several non-boiling water experiments were performed. Boiling and condensing liquid metal experiments will be performed with the boiler and condenser in the vertical position.
- (1)

- and separator were installed in the containment vessel and several non-boiling water experiments were performed. Boiling and condensing liquid metal experiments will be performed with the boiler and condenser in the vertical position.
- (2)

- and separator were installed in the containment vessel and several non-boiling water experiments were performed. Boiling and condensing liquid metal experiments will be performed with the boiler and condenser in the vertical position.
- (3)

(1) 第1原図 (2) 第2原図 (3) 第3原図

図 4.2 マイクロフィッシュから印画紙に引き伸ばした画像
 Fig. 4.2 Enlarging from microfiche on a photographic printing paper.

ラスト も大きい。

引き伸ばしにはマイクロフィッシュを第1原図として、ジアゾフィルムAに2回にわたり密着焼付けを行ない、第1回目を第2原図、第2回目を第3原図として印画紙に引き伸ばした。焼付け条件は実験の項で述べた最良の条件をとった。結果を図4.2に示す。

マイクロフィッシュもジアゾフィルムもいずれもガンマが高く、引き伸ばした画像の細い線や文字飾りが飛んで細くなっている。第3原図から引き伸ばした画像はジアゾフィルムのベース濃度がやや上がり、複写回数も増加したため文字がにじんでいる。

いずれもさほど困難なく読める複写が得られた。

5. む す び

マイクロフィルムからジアゾフィルムに焼き付ける場合のジアゾフィルムの特性を述べたが、保存性にやや難点があるが、用途によっては非常に利用価値があると思われる。

判読性はマイクロフィルムから2回ジアゾフィルムに焼き付けて、さらに印画紙に引き伸ばしても困難なく読める複写が得られた。ジアゾフィルムからジアゾフィルムに焼き付けるとき、発色と分光感度を考慮して必要以外の光をフィルタで除去すると、さらによい画像が得られるようである。

センチメトリに関し銀乳剤フィルムは古くから研究され、ASAやJIS規格が制定され、ほぼ確立されているが、ジアゾフィルムについては制定されていない。この報告では銀乳剤に準じて測定したが、ネガ画像からポジ画像ができることや、粒状性がないことなど銀乳剤フィルムと違う点が多いため、ジアゾフィルムのセンチメトリが確立されることが望まれる。
(昭40-8-5 受付)

参 考 文 献

- (1) G. W. W. Stevens: Microphotography, 1, Chapman & Hall Ltd. London, (1957)
- (2) 吉田: マイクロ写真 225 日刊工業新聞社 (昭38)
- (3) W. E. Perry: Tools of the Office Microfilm 1962, Administrative Management, 23, 11, 40 (1962)
- (4) G. W. Smith: Characteristics of Diazo Film Microfilm Duplicates, The Journal of Photographic Science, 10 83 (1962)
- (5) V. W. Clapp, R. T. Jordan: Re-Evaluation of Microfilm as a Method of Book Storage, College & Research Libraries, 24, 1, 5 (1963)
- (6) Report for Analytical Chemists "Centers for Storage and Retrieval of Scientific Information in the U. S." Analytical Chemistry, 35, 11, Oct. 29A (1963)
- (7) 友田, 川崎: 工業用感光紙の研究, 東工試, 44, 31 (1952)
- (8) 中川: 最近のジアゾ感光紙, 日本写真学会誌, 26, 2 47 (昭38)
- (9) 太田, 矢田, 豊田: 複写用ジアゾフィルムの2,3の特性, 日本写真学会春季研究発表会講演要旨 34 (昭39)
- (10) 中川, 古田: ジアゾ感光紙のセンチメトリ (IV) 日本写真学会誌, 27, 1 (昭39)
- (11) ランダ・照明器具および照明施設, 「三菱電機」, 35, 196 (昭36)
- (12) G. W. W. Stevens: Microphotography, 184, Chapman & Hall Ltd. London (1957)
- (13) E. Yost: Maximization of Resolution in Photographic Duplication, Photographic Engineering, 29, 2, 275 (1963)
- (14) 吉田: マイクロ写真 34 日刊工業新聞社 (昭38)

MELCOM-1530 FORTRAN コンパイラ

菅 忠義*・吉江高明**・出口博章***・浅井邦彦***・柳下孝義***

MELCOM-1530 FORTRAN Compilers

Gakushuin University

Mitsubishi Electric Corporation, Head Office

Mitsubishi Electric Corporation,
Kamakura Works

Tadayoshi KAN

Takaaki YOSHIE

Hiroaki DEGUCHI・Kunihiko ASAI・Takayoshi YAGISHITA

There are ALGOL and FORTRAN as program languages of extensive use for high level scientific computation. Of them FORTRAN is superior to the former in the points of popularity, ease in operation and good efficiency in object program. When mathematical equations in our common use or programs written in English close to our natural everyday language are made an input to the MELCOM-1530, they are analyzed deciphered and translated into machine language automatically by a MELCOM-1530 FORTRAN compiler with proper cheque on their grammatical errors. This article deals with the translation process with this compiler.

1. ま え が き

現在広く使用されているハイ・レベルの科学計算用プログラム言語として、ALGOLとFORTRANがあるが、使用者層の厚さ、使いやすさ、オブジェクト・プログラムの能率という点ではFORTRANのほうがすぐれている。従来はFORTRAN IIが最も広く使用されていたが、新しく作られたFORTRAN IVのほうが多くのすぐれた点を持っているため、使用層はFORTRAN IIからFORTRAN IVへぜんじ移りつつある。

MELCOM-1530ではこれらの点を考慮に入れて、FORTRAN IVを採用した。しかしFORTRAN IVは大形計算機用に考えられたものなので、全要素を取り入れず計算機の規模、コンパイルの能率などを考え合わせて、MELCOM-1530に適した範囲を採用している。FORTRANについては広く知られているのでここでは文法の説明は省略して、MELCOM-1530 FORTRAN コンパイラについて述べる。

MELCOM-1530 FORTRAN コンパイラは、FORTRAN で書いたソース・プログラムをSIA用語に変換する。SIAから機械語への変換は、SIAアセンブラによって行なう^{(1),(2)}。普通これら全過程をFORTRAN コンパイラと呼ぶが、ここでは前者のみをコンパイラと呼んで説明する。

コンパイラを作成するためのプログラム言語も、中間言語と同じSIAを用いたが、コンパイラの作成に必要な命令体系と、実行時に必要な命令体系とは異なる。すなわち、コンパイラ用言語は論理演算を豊富に含み、実行時には四則演算や、トランスファ命令などが主体となる。これら両者を含む命令体系をいつも計算機にもたせるのは、MELCOM-1530のような中形機の場合にはハードウェアの重荷となるので、MELCOM-1530ではこれをスタッド・ロジック方式により解決している⁽³⁾。

FORTRAN システムによる翻訳は大きく分けて次の四つのプログラムを次々と実行して行なう。

- (1) Phase one
- (2) Storage allocation phase
- (3) Phase two
- (4) Pre-SIA phase

2. FORTRAN コンパイラのプロセス

FORTRAN コンパイラを働かせて、ソース・プログラムをSIAプログラムに変換するためには、最小限次の構成を必要とする。

コア・メモリ	8192 語
磁気 テープ・ユニット	3 台
ライン・プリンタ	1 台
カード・リーダー	1 台
カード・パンチ	1 台

磁気 テープ・ユニット 3 台のうち 1 台はシステム・テープに用いて、ほかの 2 台を中間入出力に用いる。コンパイラはソース・プログラムに対応するSIAプログラムを磁気テープに書き、これをSIAアセンブラが読みこみ、機械語に翻訳してオブジェクト・プログラムをパンチする。

2.1 Phase one. Analysis Phase

(1) ソース・プログラムをカード・リーダーから読み込んで、コンテュアス・カードを処理して、完全な一つのステートメントをコア・メモリに作り出す。

(2) コア・メモリの中のステートメントが数式かどうかを次の論理で判定する。すなわち次の条件を満たした場合はnon-arithmetic statementであると判定する。

(a) SYMBOL (...)に続くcharacterが=でない場合。

(b) カッコの中に=のある場合。

(c) カッコの外に'のある場合。

(d) カッコの中で数字のすぐ次にHまたはXのきた場合。

(e) そのほか(最後まで判定のつかない場合)は=があったかどうかで判定する。すなわち、あった場合はArithmetic statement, なかった場合はNon-arithmetic statementと判定する。

(3) このステートメントが数式でない場合には、あらかじめ準備されているステートメントのテーブルを検索して、ステートメントのタイプを決定する。すなわちGO, TO, IF, DOなどを判定する。これにより実行ステートメントかどうかを認識できる。

(4) すべての実行ステートメントに通し番号をつける。この番

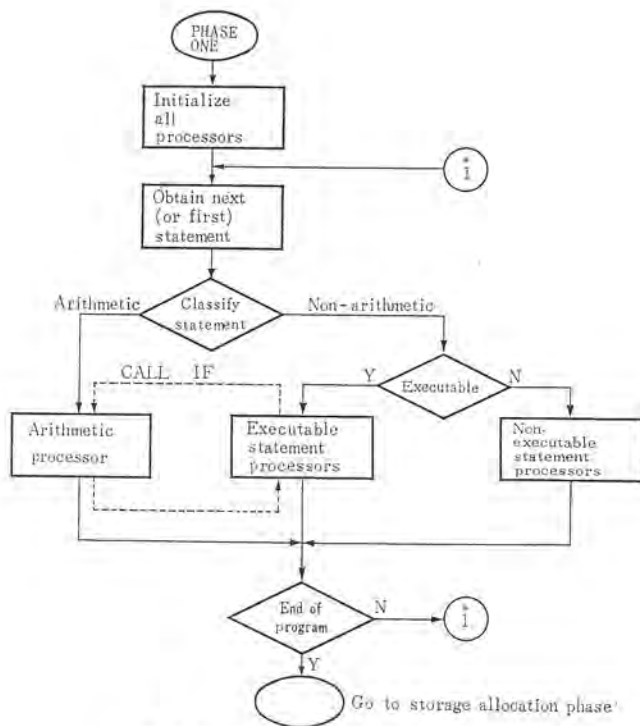


図 2.1 PHASE ONE ブロック線図
Fig. 2.1 Block diagram of PHASE ONE.

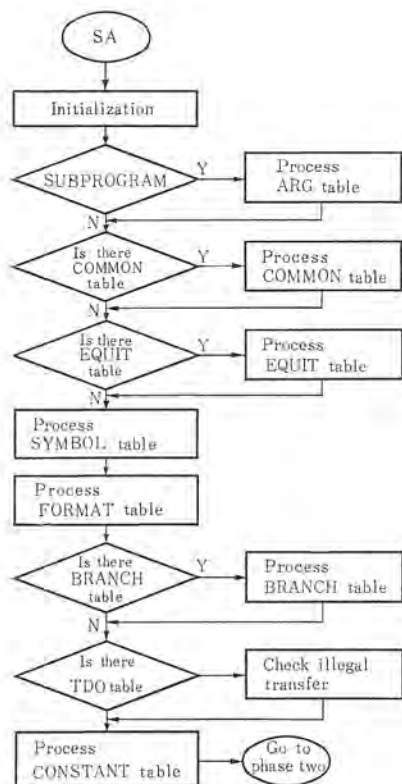
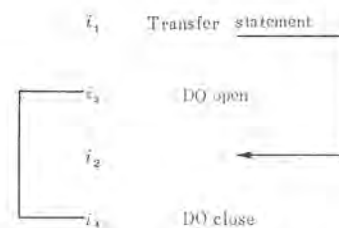


図 2.2 STORAGE ALLOCATION PHASE ブロック線図
Fig. 2.2 Block diagram of storage allocation phase.

号を IFN (Internal Formula Number) と呼び、プログラマーがソース・プログラムにつけた番号を EFN (External Formula Number) と呼ぶ。

(5) プログラム・エラーを検査しながら、ステートメントを分解して Symbol table, Reference table をコア・メモリに、Executable table (これを Table X と呼ぶ) をテープに作成する。

(6) すべてのステートメントをテーブルの形に分解した後、ソース・プログラムのリストとともにエラー・メッセージをプリントする。



i_1, i_2, i_3, i_4 は IFN を表わす。
図 2.3 DO range への illegal transfer
Fig. 2.3 Illegal transfer to DO range.

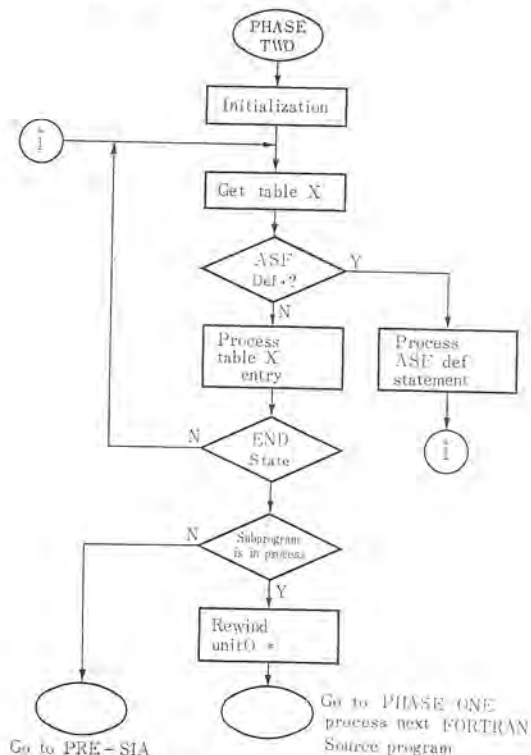


図 2.4 PHASE TWO ブロック線図
Fig. 2.4 Block diagram of PHASE TWO.

2.2 Storage allocation Phase

(1) Phase one で作成したテーブルを Phase two で使いやすい形にする。このとき、行き先のない Transfer statement の検出をする。

(2) DIMENSION, COMMON, EQUIVALENCE ステートメントに従って、メモリの割り当てに必要な SIA 命令を作成する。

(4) DO range の中への Transfer を検出する。DO range の中への Transfer は図 2.3 で示す DO range に対し、次の式で示される。

$$(i_3 > i_1 \vee i_1 > i_4) \wedge (i_3 < i_2 \wedge i_2 < i_4)$$

2.3 Phase two, SIA Code Generator

(1) Executable table をテープから読み込み、Reference table, Symbol table を参照して、ソース・ステートメントに対応した SIA 命令 (正確には Pre-SIA 命令) を作成する。

2.4 Pre-SIA Phase

SIA アセンブラのオブジェクトは relocatable ではないので、サブ・プログラムとメインプログラムまたは SIA で書いた手書きのサブ・プログラムを、それぞれ独立にコンパイルしてリンクするために SIA の前に Pre-SIA phase を設け、そこでサブ・プログラムとメインプログラムのリンクおよび SIA で書いた FORTRAN ライブラリの選択などの処理を行なう。

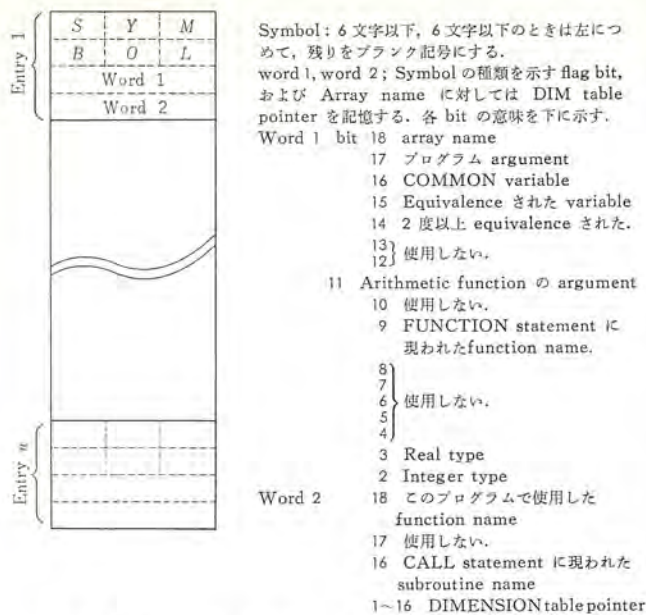


図 3.1 Symbol テーブル Fig. 3.1 Symbol table.

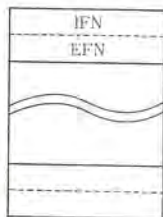


図 3.2 TEIFNO テーブル Fig. 3.2 TEIFNO table.

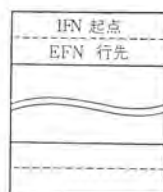


図 3.3 BRANCH テーブル Fig. 3.3 BRANCH table.

行き先を示す EFN は Storage Allocation Phase で TEIFNO table を参照して IFN に置きかえる.



DO n $\theta = \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$
 $\theta_p: \theta$ の Symbol table pointer
 $f: \text{bit } 18=1 \Rightarrow \text{Constant}$
 $=0 \Rightarrow \text{Symbol pointer}$

図 3.4 TDO テーブル Fig. 3.4 TDO table.

3. コンパイル過程において使用する各種テーブル

Phase one でコア・メモリの中に作成するテーブルについて説明しながら, コンパイラの処理について説明する.

3.1 Symbol テーブル

FORTRAN ソース・プログラムに書かれているすべてのシンボルと, そのシンボルがなにに使われたかを記憶しておく表であり, 一つのシンボルについて 4 語を占める.

3.2 Reference テーブル

Reference テーブルは次に示すテーブルの集まりであり, cross reference information を記憶する.

(1) TEIFNO テーブル

EFN と IFN の対応表で, ソース・プログラムにステートメント・ナンバーを持ったステートメントが現われると, 書き込む.

(2) BRANCH テーブル

Transfer ステートメントについて記入し, どこからどこへプログラム

MELCOM-1530 FORTRAN コンパイラ・菅・吉江・出口・浅井・柳下

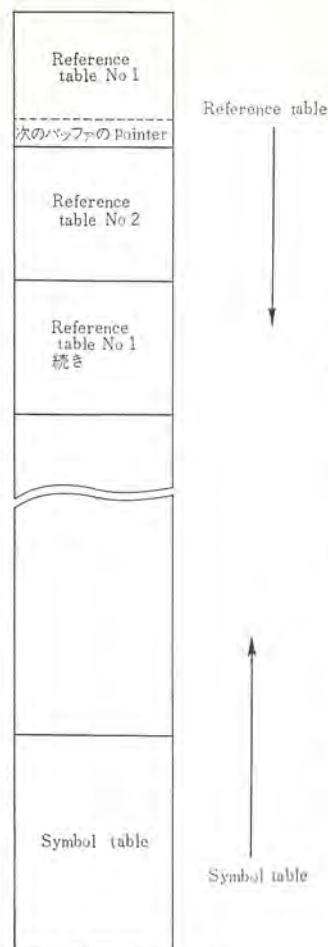
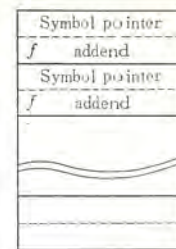


図 3.5 Symbol テーブルと Reference テーブル Fig. 3.5 Symbol table and reference table.



$f=1 \Rightarrow \text{Group end flag}$

図 3.6 EQUIVALENCE テーブル Fig. 3.6 EQUIVALENCE table.

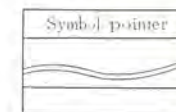


図 3.7 COMMON テーブル Fig. 3.7 COMMON table.

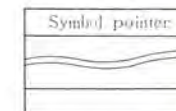
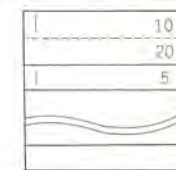


図 3.8 ARG テーブル Fig. 3.8 ARG table.



例 DIMENSION A(10, 20), B(5)

図 3.9 DIM テーブル Fig. 3.9 DIM table.

のコントロールが移るかを示す.

(3) TDO テーブル

各 DO statement に対して下図のようなテーブルを作成する. EFN は DO close ステートメントがきたときに, IFN と換える.

Reference table は各種のテーブル個々に大きさを定めているのではなく, 60 words のバッファをとり, 各バッファを鎖状につないで書き込む. また Symbol table と Reference table は同じエリアを図 3.5 のように使用する.

3.3 そのほかのテーブル

(1) EQUIVALENCE テーブル

EQUIVALENCE statement に対して記入する. テーブルの大きさは 120 words である.

(2) COMMON テーブル

COMMON statement に対して記入する. テーブルの大きさは 60 words である.

(3) ARG テーブル

SUBPOGRAM statement に対して argument の Symbol テーブル pointer を記入する. テーブルの大きさは 60 words である.

(4) DIM テーブル

DIMENSION statement に対して記入し, array の大きさを記憶する. テーブルの大きさは 200 words である.

4. FORTRAN ソース, テーブル, SIA

FORTRAN ソース, Phase one 終了後のテーブルの形, コンパイラが

作成する SIA を簡単な例について説明する。SIA instruction については既知であるとする。

4.1 Unconditional GO TO statement

GO TO n

Unconditional GO TO ステートメントに対し、図 4.1 に示す table X をテープに、BRANCH table をコア・メモリに作成する。Phase two では table X をテープから読み込み BRANCH table を参照して次の SIA を作成する。

SIA: BRN $n'A$

n' : ステートメント・ナンバー n のステートメントに対してコンパイラがつけた番号。

4.2 DO statement

DO $n \theta = \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$

Phase one では、図 4.2 に示す Table X と図 4.3 に示す DO- β テーブルを作成し、TDO table に必要な情報を書き込む。

DO- β テーブルは DO ステートメントが来るつど書き込み、ステートメント・ナンバーを持ったステートメントが来るよこのテーブルを逆に捜して、DO close ステートメントかどうかを判定し、DO close ステートメントであれば、TDO テーブルの EFN を、DO close ステートメントの IFN で置き換える。

Phase two では、この三つのテーブルを参照して、次の SIA を作成する。

SIA:

(1) DO の indexing parameter がパラメタの場合。

αA MVW φ_1/θ

$\alpha A1$ BMH $\theta/\varphi_2/\beta A1$

...

ADD3 $\theta/\varphi_3/\theta$

BRN $\alpha A1$

$\beta A1$ SUB3 $\theta/\varphi_3/\theta$

(2) DO の indexing parameter がコンスタントの場合。

αA SET θ/φ_1

$\alpha A1$ BLH $\theta/\varphi_2/\beta A1$

...

INC θ/φ_3

BRN $\alpha A1$

$\beta A1$ INC θ/φ_3

ただし、 α は DO ステートメントに対しコンパイラが付けた番号を示し、 β は DO close ステートメントの番号を示す。

4.3 ステートメント・ナンバ (EFN) の処理

ステートメント・ナンバ (EFN) を持ったステートメントに対して、コンパイラは常に次の処置をする。

(1) DO- β table に登録されているどうかを調べ (すなわち DO close ステートメントかどうかを調べる。)、もし登録されているならば TDO pointer に従って、TDO テーブル中の EFN を IFN で置き換えて図 4.4 に示す DO close のテーブル X をテープに書く。



Label: Unconditional GO TO statement であることを示す見出し。
IFN: この statement にコンパイラが付けた番号。
BRANCHp: BRANCH table pointer

図 4.1 Unconditional GO TO statement のテーブル X。
Fig. 4.1 Table X of unconditional GO TO standard.

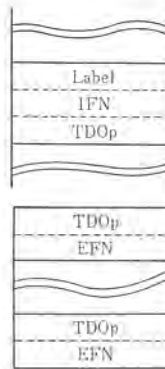


図 4.3 DO- β テーブル
Fig. 4.3 DO- β table.

TDOp: TDO table pointer

図 4.2 DO statement のテーブル X
Fig. 4.2 Table X of DO statement.

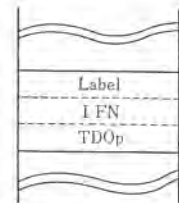


図 4.4 DO close のテーブル X
Fig. 4.4 Table X of DO close.

(2) EFN と IFN を TEIFNO テーブルに書く。

Storage Allocation Phase で TEIFNO テーブルを参照して BRANCH テーブルの EFN (行き先の EFN) を IFN で置き換える。

4.4 DIMENSION, COMMON, EQUIVALENCE

(1) COMMON

PHASE ONE で COMMON テーブルを作成し、このテーブルを参照して Storage Allocation Phase で SIA (COMMON Pseudo Code) を作成する。また COMMON パラメタで equivalence されたものに対しては SYNCOM テーブルを作成する。

(2) EQUIVALENCE

PHASE ONE で EQUIVALENCE テーブルを作成し、Storage Allocation Phase で EQUIVALENCE テーブルと SYNCOM テーブルを参照し、EQUIT テーブルと DUP テーブルを作成する。このとき COMMON エリアの増大を検出して SIA の DS Code を作成する。

実例に基づいてソース・ステートメントと Pre-SIA との対応を示す。

例 1. DIMENSION A(20, 30), B(10)

SIA: A RS F2 600

B RS F2 10

例 2. DIMENSION A(20, 30), B(10), C(5)

COMMON A, C

SIA: A COMMON F2 600

C COMMON F2 5

B RS F2 10

例 3. DIMENSION A(20), B(10), C(5), D(40)

COMMON B

EQUIVALENCE (A(5), B(1))

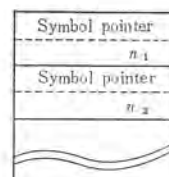
SIA: B COMMON F2 10

COMMON F2 6

D RS F2 40

C RS F2 5

A DS F2 B-12

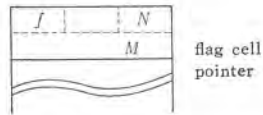


$n1$: Common エリアの何 words 後にメモリを割り当てるかを示す。

図 4.5 SYNCOM テーブル
Fig. 4.5 SYNCOM table.

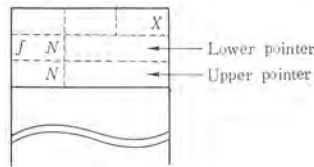
5. 数式の解読

数式の解読はソースステートメントに対して2回スキミングを行なう。最初のスキミングで、まず operand name は Symbol テーブルへとどけ、そのテーブル Pointer を Field と呼ばれるバッファに書



$f=1$: Pointer cell の内容が以下に示すとおり Operator であることを示す。
 1+ 11 Built in
 2- 13 Library
 3× 14 ASF
 4/
 5**
 $f=0$: Pointer cell が Operand pointer であることを示す。
 $f=0, N=1$: Pointer cell が Working counter
 $f=0, N=0$: Pointer cell が Symbol pointer

図 5.1 Field テーブル Fig. 5.1 Field table.



X: mode cell { 0: integer
 { 1: real
 N: level number
 f { 1: Function
 { 0: normal expression

図 5.2 Level テーブル Fig. 5.2 Level table.

Field		Level table	
	SUM	Level No	Pointer
	=	0	L
L	G1	0	L+8
L+1	+	1	L+4
L+2	G2	1	L+6
L+3	*		
L+4	G3		
L+5	+		
L+6	G4		
L+7	+		
L+8	G5		

図 5.3 Field と Level テーブル
 Fig. 5.3 Field and level table.

XX	n
Const 1	
C1	
I1P	
Const 2	
I2P	
Const 3	
I3P	

XX=778: Subscript に variable がまじっている場合
 =008: それ以外
 n: Subscript の次元数
 DIMENSION V (d₁, d₂, d₃)
 $V(c_1 * I_1 \pm a_1, c_2 * I_2 \pm a_2, c_3 * I_3 \pm a_3)$
 に対し計算式は
 $c_1 I_1 \pm a_1 - 1 + d_1 (c_2 I_2 \pm a_2 - 1) + d_1 d_2 (c_3 I_3 \pm a_3 - 1)$
 Const 1: $(a_1 - 1) + d_1 (a_2 - 1) + d_1 d_2 (a_3 - 1)$
 Const 2: $d_1 c_2$
 Const 3: $d_1 d_2 c_3$
 ただし V が real の場合 $\begin{cases} 3 \times c_1 \rightarrow c_1 \\ 3 \times d_1 \rightarrow d_1 \\ 3 \times a_1 \rightarrow a_1 \end{cases}$ とする。

図 5.4 TAU テーブル Fig. 5.4 TAU table.

き込む。Operator も Code 変換をしながら Field に順次書き込む。Field は一つの Operand, Operator に対して 2 words ずつで構成され、Operand, Operator を区別する flag を持っている。(図 5.1 参照)

左カッコ、右カッコに対してはレベル・ナンバーが付加され、Field でのカッコの位置を示す Field pointer とともに図 5.2 で示すレベル・テーブルを作成する。

次に Field とレベル・テーブルの関係を示す。

$$\text{SUM} = G1 + G2 * (G3 + G4) + G5$$

上記の例に対して図 5.3 で示すテーブルを作成する。

また Subscripted variable に対しては DIMENSION テーブルを参照して Subscript の情報を別の TAU テーブルにとどけると同時に、使用する index を割り当て、その index と Subscripted variable の Symbol Pointer を Field に書く。

ただし、一つの式の中で同じパタン の Subscript がくる場合はアドレス計算を2回することのないよう index を割り当てる。

次に Level テーブルを参照して Field をスキミングする。すなわち Level テーブルにより、innermost parenthetical expression を見つけることができ、この innermost parenthetical expression に対してコンパイルを行なう。スキミングの終わった Level テーブルと、Field テーブルは消される。そしてふたたび、新しい innermost parenthetical expression に対してスキミングする。この動作はレベル・ナンバーが0になるまで続ける。

次の例によりコンパイルの過程を簡単に示す。

$$Y = ((A+B) * (E-C * DL) + END) * F + LI$$

		step 1	step 2	step 3	step 4
L	A	TEMP 1	TEMP 1	TEMP 3	0
L+1	+	0	0	0	0
L+2	B	0	0	0	0
L+3	*	*	*	0	0
L+4	E	E	TEMP 2	0	0
L+5	-	-	0	0	0
L+6	C	C	0	0	0
L+7	*	*	0	0	0
L+8	DL	DL	0	0	0
L+9	+	+	+	0	0
L+10	END	END	END	0	0
L+11	*	*	*	*	0
L+12	F	F	F	F	0
L+13	+	+	+	+	0
L+14	L1	L1	L1	L1	0

図 5.5 Field テーブル Fig. 5.5 Field table.

Level No.	Pointer	step 1	step 2	step 3	step 4
0	L	0	L	0	L
0	L+14	0	L+14	0	L+14
2	L	0	0	0	0
2	L+2	0	0	0	0
2	L+4	2	L+4	0	0
2	L+8	2	L+8	0	0
1	L	1	L	1	L
1	L+10	1	L+10	1	L+10

図 5.6 Level テーブル Fig. 5.6 Level table.

step 1	LDAF2	A
	ADDF2	B
	STAF2	TEMP1
step 2	LADF2	E
	STAF2	TEMP2
	LDNF2	C
	MPYF2	DL
	ADDF2	TEMP2
	STAF2	TEMP2
step 3	LDAF2	TEMP1
	MPYF2	TEMP2
	ADDF2	END
	STAF2	TEMP3
step 4	LDAF2	TEMP3
	MPYF2	F
	ADDF2	L1

図 5.7 SIA Fig. 5.7 SIA.

次に数式解読に関係のあるルーチンの構成について述べる。

(1) Control routine

IF ステートメント, CALL ステートメント, Arithmetic ステートメント を分類してそれぞれのルーチンにコントロールを移す。

(2) MASTER routine

Arithmetic ステートメントの initialization を行なう。

(3) IF PRO routine

IF ステートメントの initialization を行なう。

(4) CALPRO routine

CALL ステートメントの initialization を行なう。

(5) ARLES routine

Arithmetic ステートメントの左辺をスキミングする。Arithmetic Function Definition に対しては AFD を処理していることを示す flag をたて、Argument table を作成して ARRES ルーチンに渡す。

(6) ARRES routine

Expression をスキミングして、Field と Level テーブルを作成する。

(7) ARITH routine

Level テーブルを捜して innermost expression の Field での lower pointer と、upper pointer を取り出して EXPR ルーチンに受けわたす。この動作を innermost expression の level が 0 になるまでつづける。

(8) EXPRE routine

ARITH ルーチンから与えられた lower point から、upper point までのかっこのない expression の解読を行ない、Phase two の SIA 作成に必要な情報を テーブル X に output する。また解読の過程で乗算、除算、べき乗 (*、/, **) の operator がくると FACT にコントロールを移す。

(9) FUNC routine

Function name および Argument の処理を行ない、Argument expression は一つの working storage で置き換える。

(10) FACT routine

乗算、除算、べき乗だけでつながれた expression の解読を行なう。

6. む す び

MELCOM 1530 FORTRAN コンパイラは 1530 ユーザに供給され現在実動中であり、種々の科学計算を行なっている。

終わりにコンパイラ作成にあたり、ご支援とご指導を賜わった、三菱原子力 山下俱弘氏、本社企画部 半場哲技師に深く感謝する。

(昭 40-7-19 受付)

参 考 文 献

- (1) 嶋村: MELCOM-1530 ソフト・ウェア (1)-SIA-「三菱電機技報」38, 1445 (昭 39)
- (2) 嶋村: MELCOM-1530 ソフト・ウェア (2)-SIA の構成-「三菱電機技報」39, 360 (昭 40)
- (3) 三上: MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム-そのストアド・ロジック設計-「三菱電機技報」38, 1149 (昭 39)
- (4) MELCOM-1530 FORTRAN 説明書

コアメモリスタック (その2)

〔前号 (Vol. 39・No. 10) の続き〕

水上 益 良*

4. メモリコアの高速測定法

4.1 選別測定と性能規格

多くのコアがあった場合、これがどのような電流で利用できるか(したらよいか)ということと、ある一定の電流で利用可能であるか(何個利用できるか)ということとは趣が異なる。前者では電流パルス特性をコア1個1個について求め、それらの最適駆動電流の平均値をとることになる。後者では次節高速測定法で、一定の駆動電流を与えて、1.0 情報出力を要求される出力レベル(均一な特性のコアを選ぶ目的からその許容レベルおよび範囲はおのずからきまる)でチェックし、適否を判定すればよい。これがいわゆる選別測定と呼ばれるものである。以下選別測定の諸条件および性能項目について考えてみる。

選別電流振幅値は、そのコアを使用するとき用いる電流値(I)であってもよく(ただしこの場合妨害比はすでに述べたように0.6程度)、またそれ以下であってもよい(妨害比は0.63とか0.65程度を選ぶ)。

コア出力のパラッキ(別な形で示せば規格幅)は、直接マトリックスプレーンの S/N に影響するのできびしく押えなければならず、プレーンでの期待性能から 60 mV 程度の $DV1$ に対しては ± 5 mV を標準にしている(同一のプレーン、スタックに組む場合これをさらに小分類することもある)。ゆえにユーザに渡るメモリコアの性能は、選別されたあとのそれを表わしていることになる。これは $DV1$ の分布図(図 4.1)からもうかがえる。

このような選別規格として与える出力幅の狭さは、単なる1情報出力の均一性が目標であるだけでなく、各コアの I_{fr} 電流値の制御も含ませている。すなわち、各コアにも1情報出力差がないものとする。前記出力規格幅は、 I_{fr} として 15 mA 程度のパラッキをゆるすことになる。ゆえに実際選別されたコアには 15 mA 以内の I_{fr} の違うコアが共存していることになる。これは直接問題にならないが、温度特性の相違などに影響を与えている。いずれにしてもこの規格幅は、コアメカの製品歩ドマリに関係してもいるのでやっかいな面も持っている。

T_p ($dV1$ または $\mu V1$) は多数のコアの集ったプレーンの1信号出力の極小値に影響するので、表 5.1 のような公差で押えているが(1個1個のコアの必要条件として)、実際の選別測定で

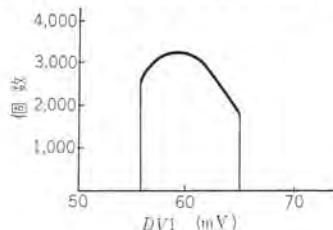


図 4.1 $DV1$ のパラッキ

は、1個1個のコアのピーク値のズレは測定できないのでこれと1情報出力の波高値のチェックを兼ね、ある時間(T_p の平均値)にストローブを入れて1出力情報($dV1_{T_p}$ として)を選別している。

T_s はサイクルタイムに関係するが、 T_p ほど重要でないので $T_{s_{max}}$ が一定値以下というような表現をとっている。

0 情報出力(dVZ)に関しては、メモリの S/N を考える場合、上記 T_p における出力をチェックするのが妥当であるが、微少であることと、必ずしもストローブパルスを採用するとは限らないことから DVZ_{max} をチェックし、ある一定値以下という方法をとる。

なおこれら選別測定の保証は、1個の不良コアの混在も許されないので AQL 0.015% を採用している。

4.2 メモリコアの高速測定法

選別測定は、前記のようにある一つの定まった電流における多数のコアの特性の適否を定めるものであるから、測定電流を変えてチェックする(たとえば電流パルス特性)必要はないが多数のコアを扱うから、なによりもまず高速でなければならない。

コア寸法にもよるが現在では1秒間に3個、10個さらにそれ以上の測定も可能になっている。この高速測定を実現するためには結局巻線治具と波形観測の2点の高速化を行なえばよい。

まず巻線治具系は、図 4.2 に示すハンドラと呼ばれるもので、

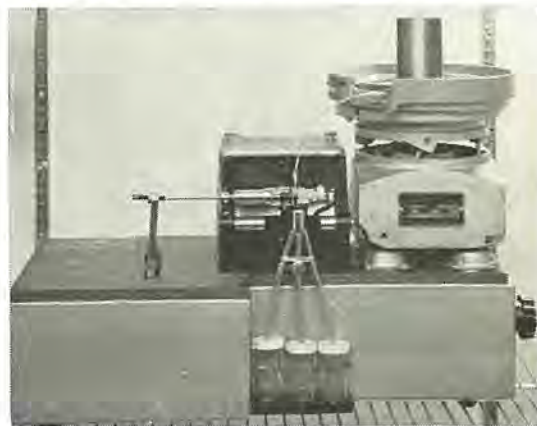


図 4.2 ハンドラ



図 4.3 ハンドラのパイプリータ部

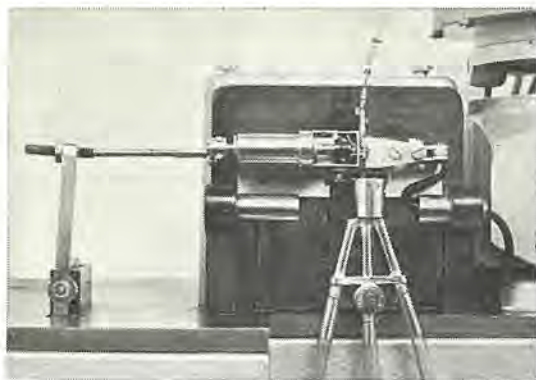


図 4.4 ハンドラのシュートピンコンタクト部

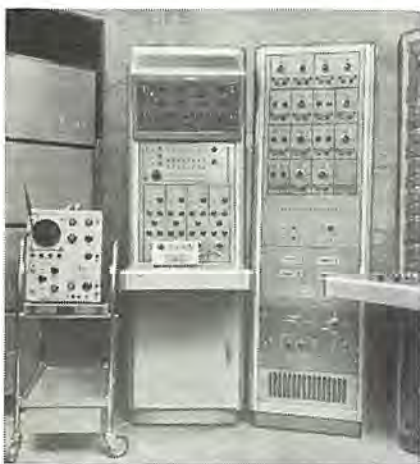


図 4.5 パルスジェネレータとアナライザ

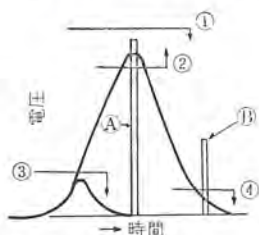


図 4.6 コア出力波形の解析

コアのフィード、巻線、測定、巻線のはどき、類別が行なわれる。すなわち図 4.3 (図 4.2 を上面からながめたもの) のさら(Ⅲ)部に多数のコアを入れ、パイプレータにより一列にコアを並べ、シュート (図 4.2 の $\frac{1}{4}$ 円形のパイプ) に送る。シュートの下端 (図 4.4) に達したコアは真空ポンプにより吸着され、コアの穴にピン (2 本の導線を絶縁物ではりつけたもの) がはいり、一次、二次巻線を施す (ピンはコンタクトにより、トランス回路が形成される)。この状態でパルスジェネレータから一次側にパルスがはいり、二次側にコア出力が発生するのは、電流パルス特性の測定と同じである。測定が完了すればコンタクトが開きピンがコアの穴から抜け、真空ポンプの作動が中止し、所定のポットに入れるパイプ (回転する) にコアが落下する。

図 4.5 はパルスジェネレータおよび出力波形解析装置で、コアからの 1,0 情報出力波形を人間がシンクロスコープ上で判断するのとどのような働きをして、良、不良の判定を行ない、その信号をハンドラに送りこむ機能まで備えている。すなわち図 4.6 のような 1,0 情報出力波形に時間軸と出力軸にそれぞれストロブパルスと電圧

レベルを与え、その時刻の出力の値が定められた電圧レベルの上か下に存在するかによって希望条件をすべて満たしているかどうかを判定するものである。

この場合①電圧レベルは $DV1_{max}$ 、④ストロブパルスと②電圧レベルは $(dV1)_{pmin}$ 、③電圧レベルは DVZ_{max} 、⑥ストロブパルスと④電圧レベルは $T_s max$ を規定している。よってこれをすべて満たしたコアは希望性能 (選別) 規格に合格したコアになり、測定完了時ハンドラにその信号を送り、これがコアを収容する箱の選択 (パイプの回転) を行なっている。

このような測定を有効に行なうには、機械的部分の精度が十分保たれていなければならない。とくに吸着されたコアとピンの相対位置はきびしく調整されなければならない。可動部分であるピン、コンタクトの摩耗、異物の混入によるシュートの閉鎖なども実際面の問題点になっている。もちろんシュート、ピンなどはコア寸法の相違により異なったものを用意しなければならない。

電氣的には、測定に要する時間、その制御 (ホトトランジスタ使用) およびパルスパターンのクロック周波数 (正確には 1 測定サイクル時間) との関係も、より高速測定を行なう場合など問題になる。なお原理的には諸条件を完全に満たすかどうかの判定が行なわれればよいが、電源電圧の変動、測定条件の変化 (たとえば温度) などによる不安定な面も含んでいるので、回路的にそう入されたスタンダードコアとの比較測定およびその絶対値の許容幅 ($\pm 1mV$) の設定も行なっており、また不確実な判定 (電氣的な解析能力面で、ボーダライン上のものの判定) を防ぐ意味で accept, reject のほかに no test を下せるようにしている (このものをリターンさせれば accept か reject にはいることになるが)。

ゆえに情報出力判定では上記絶対値の許容幅があるので、選ばれたコアは選別規格の上下にその値だけ広がっているとみななければならない。これは T_s についてもいえることである。

4.3 電流パルス特性直視装置

多数のコアがそれぞれどの電流で使えるか、また使用したらよいかという場合は、コアメーカーの開発にしばしば現われてくる。これにはすでに述べたようにそのコアの電流パルス特性を 1 個 1 個測定する以外にはないので、その測定には相当の時間を必要とする。しかも I_{pr} の均一性をチェックする品質管理面の、あるいは測定条件 (温度、妨害比、パルス波形……) の相違による特性変



図 4.7 電流パルス特性直視装置

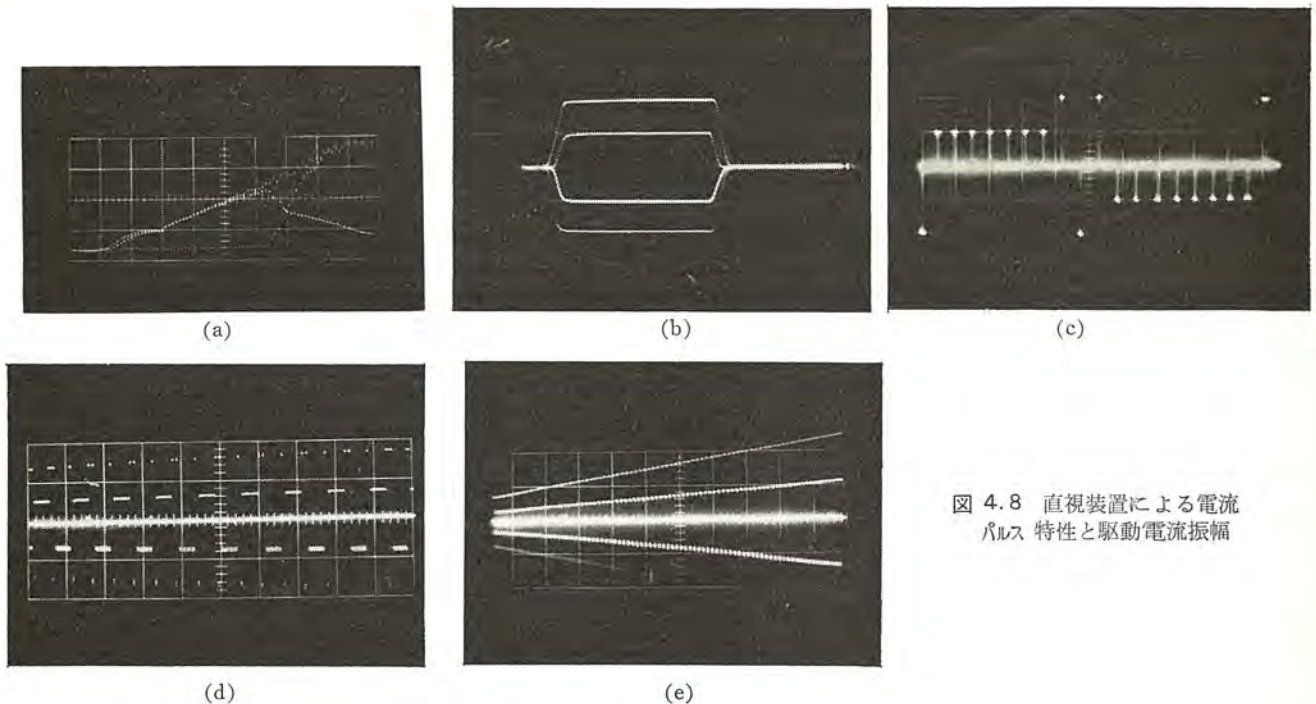


図 4.8 直視装置による電流パルス特性と駆動電流振幅

化の測定（結局は電流パルス特性を測ることになる）などの必要も多い。

これらを短時間に測る一つの便法は、前記高速選別法を適用して、多数の測定点（電流値）で、それぞれの電流値における合格率をチェックすれば、どの電流で使用するのがいちばんベターであるかはわかる（しかしこの方法の難点は、各電流値における出力レベルの決定（等価性）にある）。しかしいずれにしてもおのおののコアがどのような特性であるかはわからず、前記変化特性チェックなどには用をなさない。

図 4.7 はこのコアの電流パルス特性を高速に測定する装置である。その原理は、測定パルスパターン（電流振幅 I_f , I_d ）を順次大にしてゆき（ I_f をシンクロスコーの横軸に与える）ながら、それぞれの I_f 振幅値での $dV1$, dVZ 電圧のピーク値をサンプリングして、ブラウン管（縦軸）上に描かせるものである。すなわちこれは電流パルス特性にはかならず、測定時間は瞬時であり、セット時間で決ってしまう。

図 4.8(a) がその測定例である。4.8(b) は測定パルス波形（ $+I_f$, $-I_f$, $+I_d$, $-I_d$ ）、4.8(c) は固定電流のパルスパターン、4.8(d) は順次その振幅が大になってゆくパルスパターン、4.8(e) はその全容である。

この測定では、出力波形のスイッチングタイム、ピーキングタイムのトレースができないが、そのコアの S/N 判定、駆動電流決定には大いに効果があり、条件変化による測定では非常に有用である。

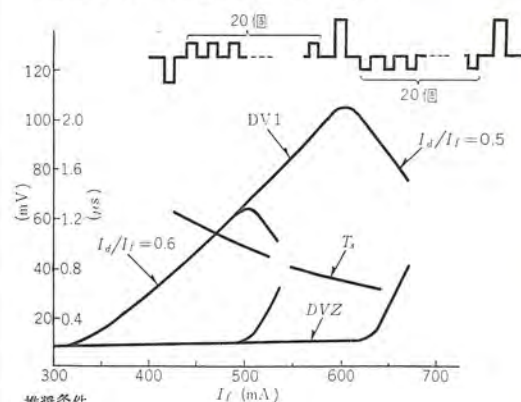
5. メモリコアの性能比較

5.1 メモリコアの性能表示

以上のようにメモリコアの特性は、材料の相違だけではなく寸法、駆動電流、温度さらには測定パルス波形および系列は、たまたま測定回路、測定器によっても変化するから、メモリコアの性能の完全な理解、厳密な比較は困難であり、簡単には行なえない。すなわち別のカタログなどでたとえ同じ特性値が出ていても、それ

表 5.1

条 件	
1. コアの寸法	外径: 50 ± 2 ミル 内径: 30 ± 2 ミル 高さ: 15 ± 2 ミル
2. 測定パルス系列……電流パルス特性図参照	
I_f	$= 450 \text{ mA} \pm 1\%$
I_d (または妨害比)	$= 285 \text{ mA} \pm 1\%$ (0.633)
パルス立上り時間	$= 0.2 \mu\text{s} \pm 0.05 \mu\text{s}$
パルス幅	: $2.5 \mu\text{s}$ 以上
パルスの立下り時間	: $0.5 \mu\text{s}$ 以下
クロック周波数	$= 18 \text{ kc} \pm 1\%$
3. セットノイズ	: $1 \text{ mV}/700 \text{ mA}$
4. 温度	: $22^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$
性 能	
$UV1$ (または $\mu V1_{tp}$)	: 47 mV (46 mV) 以上 55 mV 以下
$DV1$ (または $dV1_{tp}$)	: 45 mV (44 mV) 以上
T_p (または t_p)	$= 0.6 \pm 0.05 \mu\text{s}$ ($0.6 \mu\text{s}$)
DVZ	: 10 mV 以下
dVZ_{tp}	: 0.5 mV 以下
T_s	: $1.2 \mu\text{s}$ 以下
パルス電流特性……1 個のコアによる標準特性	



推奨条件

$\frac{I_d}{I_f} = 250 \text{ mA}$
 $T_r = 0.4 \mu\text{s}$
 $T_w = 2.5 \mu\text{s}$
 サイクルタイム: $5 \sim 10 \mu\text{s}$
 $T = 25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

らは優劣のつけがたいほど性能上差のないコアとはいえないし、逆に数値的に少しの差があっても、はたしてどちらがまさっているかさえ諸種の条件を比べ、詳しく考察しなければ早急な判断を下せないこともある。よってこのような値は大略のめやすを与えるに過ぎないと見るほうが正しい解釈であり、同じ条件における比較測定にたよる以外に方法がないともいえる。

しかしそれはそれとして、メモリコアの性能を規定する特性、項目、測定条件および推奨使用条件をあるコアにつきまとめれば表 5.1 のようになる。

以上理解するまで1個のコアまたは多数のコアの、あるきめられた条件（たとえそれが記憶装置の動作に近いものであっても）での特性値であり、これらのコアを用いたマトリックスプレーン、メモリスタックがどのような性能を示すかは、おのずから別の条件（コアの数、編組方式、コア間隔、誘導、駆動およびセンスインピーダンス、センス負荷抵抗、雑音配置……）があって簡単に推論が下せない面をもっている。逆に考えればメモリコアの性能および規格はマトリックスプレーン、メモリスタックの必要性能を満足するために、均一性を含めた性能として与えられるものであり、ある程度の経験による相関から、規格値などが与えられていると考えてよい。

5.2 メモリコアの分類（サイクルタイム）

コンピュータの演算回路の（基本回路の）速度は、同期式の場合刻時パルスの繰り返し周波数によって表われ、トランジスタでも 2 Mc 近辺であり、将来は 5~20 Mc になるであろう。これに比べ記憶装置のほうは記憶素子のスイッチングタイムによって異なるがはるかに遅く、コアメモリの場合、サイクルタイムは 10~2 μ s であり（語配列方式では 1.5 μ s をきるにいたっている）、1 μ s としても 1 Mc ゆえ、コンピュータの速度はメモリリミットとさえいわれている。

記憶装置の1記憶動作の時間（サイクルタイム）は、駆動パルス系列からみてスイッチングタイムの5倍程度になっている。一方記憶素子としてどのようなメモリコアを用いるかは、おもに設計される記憶装置のサイクルタイムから決められるので、スイッチングタイムが第1の決定要素になる。いいかえれば、コア材料の H_c と寸法が問題になってくる。

このような意味から、そのコアが適用されるサイクルタイムによっていくつかのコアを分類してみると表 5.2 のようになる。ここでサイクルタイムの長いものは低電流駆動を示し、速度を問題にしない自動制御用に多く用いられている。

表 5.2 メモリコアのサイクルタイムによる分類

駆動電流	メモリコア	サイクルタイム
470 mA	501-07, 227-M1	3.5 μ s
500	502-10	4.0
500	501-10, 224-M1	4.5
450	507-10, MC-140	4.5
435	503-10	4.5
500	505-10, MC-138	5.0
385	504-10	6.5
350	506-15, MC-149, 226-M1	8.0
285	501-20, MC-147, 225-M1	10
235	501-30, 50-06	12
720	303-03	1.5
650	MC-18	1.7
500	30-06, 303-05	2.0
400	30-01	3.0
165	30-02	9.0
650	MC-182	0.6 μ s

なおこの中で 501-07, 227 M1 または逆に 505-10, MC-138 といったものはスイッチングタイムと駆動電流値とを考え合わせて特殊な材料（スイッチング係数が一般と異なる）といえそうである。

6. マトリックスプレーン

6.1 電流一致方式編組

図 6.1 は電流一致方式のマトリックスプレーンである。この方式のプレーンには、図 6.2 に示すように直交する X, Y 駆動線と駆動線の一方に平行で全コアを貫通する“0”書込用ディジット線（設計によっては2本もある）および斜め方向に全コアを貫通するセンス線が施されている。

コアの向き、駆動線の電流方向およびセンス線は、図 6.3 の駆動パルス電流で完全な記憶動作が行なわれ、不必要な雑音発生を防ぎ、ディジット、センス線が最短になるように選ばれている。すなわち最短のディジット線は図 6.2 の例以外にない、このためにはそれに平行な駆動線の電流方向は一つおきに変わらねばならない。また選択したコアの row, column 上の半選択コアから発生する半選択電圧をキャンセルするためには、各コアからセンス線に発生する読み出し電圧の極性が row, column 上で正負同数にしなければならない（図 6.2 にはこの編組法のコアの極性を示している）。このようなコア極性の配置と、ストレー結合雑音を小さくするための直角配置、さらにセンス線を最短にするためには図 6.2 のようなコアの向き、駆動線の電流方向とセンス線の巻線法が与えられることになる（一例として図 6.4 のマトリックスプレーンの編組法は、

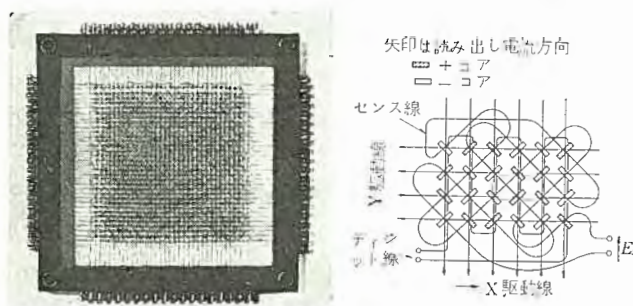


図 6.1 マトリックスプレーン 図 6.2 電流一致方式編組図

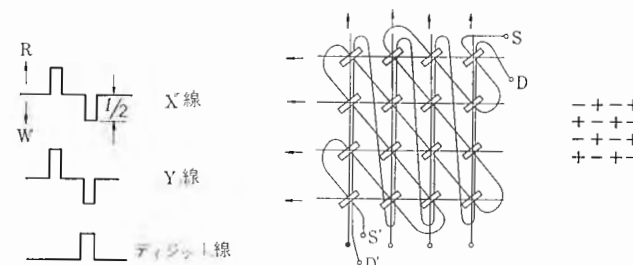


図 6.3 駆動パルスパターン 図 6.4 ディジット線に難点のある編組法

表 6.1 編組法の相違による特性変化

	UV1min	UV1max	UVZmax	
図 6.5	47.9 mV (48.6)	66.3 mV (58)	23.2 mV (15.6)	() 内は all 1
図 6.6	47.1 mV (48.8)	62.5 mV (56.7)	19.5 mV (13.8)	

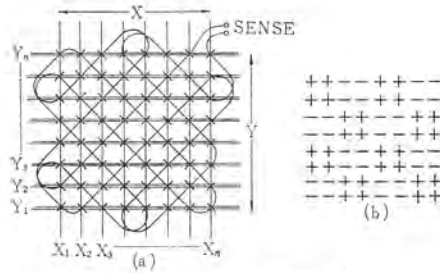


図 6.5 電流一致編組

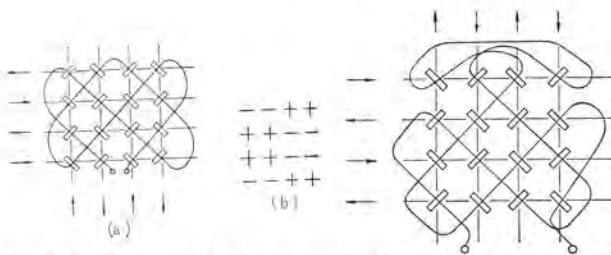


図 6.6 特殊(コアの向き)編組法 図 6.7 電流一致特殊編組法

ディジット線に欠点がある)。

なおプレーンの角のコアの向きがプレーンの対角線方向の場合はセンス線編組法として図 6.5 のように変則的なおりかえし(センス線と駆動線が平行になる中継線を除くために)も可能であり、それによる効果(表 6.1)もうかがえる。しかし対角線に直角の場合は図 6.6 の方法しかない。図 6.7 は X と Y のコアが同数の場合で、編組法が図 6.2 とやや異なって見えるが、コア極性は図 6.2 と同じである。

6.2 編組線と編組線インピーダンス

編組線の径は駆動電流振幅およびコア寸法(おもに内径)から決められる。すなわち 80 ミル コア 寸法における X, Y, D の 0.16 mm φ, S の 0.1 mm φ などである。しかし多数のコアを貫通しなければならない性質上、絶縁被覆の厚い(0 種)ポリウレタン線またはホルマル線が安全性から賞用されている。ハクリ性、被膜強度は作業能率および絶縁性に関係し、コアが駆動線に保持される格好にもなるのでそのほかの特性(表 6.2 は線径と引張り強度、伸びとの関係)も問題になり、特殊の電線として材質面のくふうがこらされている。このため編組されたプレーンの強度としては低周波の共振試験でチェック(断線)されている。

編組線はコアを貫通しているので、コアの数、フレームの大きさおよび編組方式によってその編組線の直流抵抗およびインダクタンスが変わることは自明である(図 6.8)、この場合駆動回路のインピーダンスは、コアからの出力波形に関係し、コア 1 個あたりの駆動インピーダンスの増加は図 6.9 のように出力変化となって現われている。またセンス線に発生する出力電圧をセンスアンプに送りこむ場合センス線のインダクタンスは、インピーダンスマッチングに関係する。すなわちリードアンプの入力抵抗は低いほうがよいので(電力増幅を考慮して)、センス線のインピーダンスはなるべく低くしなければならない(4,000 語で 30 Ω は多すぎる)。このように編組線のインピーダンスは、プレーンの性能に微妙に影響するので設計、工作上の注意が肝要である。

リーケージ抵抗も多数の電線が交差しているのでプレーンのスタティックな特性として最も重要であり、500 V DC で 10 MΩ 以上(64 × 64 の例)という与えかたをしている。

表 6.2 0 種 ポリウレタン 線の物理的特性

線径 (mm φ)	引張り強さ (g)	伸び (mm)
0.08	140	18.5
0.1	215	8
0.12	280	4

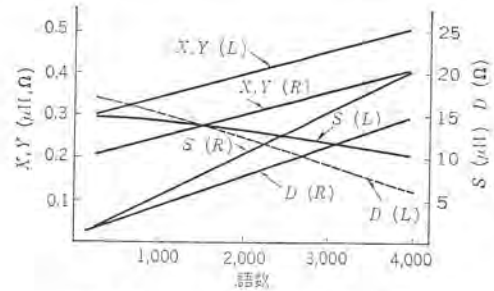


図 6.8 編組線インピーダンス

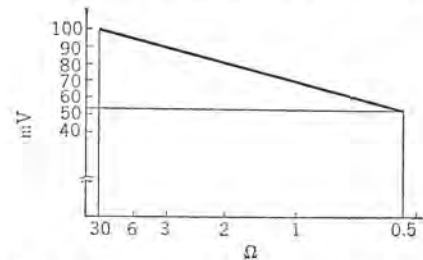


図 6.9 コア 1 個あたりの駆動インピーダンスと出力電圧

6.3 フレーム(巻きワク)

フレームは、駆動線、出力線端子およびスタッキング中継端子板の役割をはたし、材質としてはアクリ、ベークライトさらにエポキシと変化してきている。最近ではプリント板の持ち味が太いに生かされ、両面加工はもちろん、ディジット、センス線が長いための断線や作業能率悪化を防ぐため、中継線をプリントする方法もある(図 6.10)。しかしこれもハンダ付け個所の増大という信頼性面の欠点と不良コアの摘出容易(修理時間小)という利点があい半ばしている。

スタッキング(X, Y 駆動線を 1 語のビット数だけ直列に結ぶ)のハ



図 6.10 64×64 用フレーム

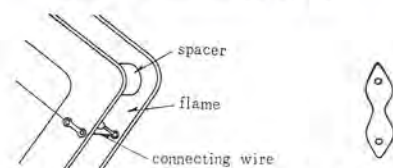


図 6.11 端子板とスタッキング

ンダ付けに際し、駆動線端子のハンダ溶けを防ぐことも留意されねばならず、端子形状も熱伝導をたくみに防いだ Aztec pattern (図 6.11) と称する端子が採用されている。

以上のようにフレームはコア素子を収容するのに必要なものであるが、フレームなしにアレーを形成するマイクロスタック方式(後述)もあり、小化形にはいちばん問題になるところである。

6.4 コア間隔

コア間隔は完成されたプレーンの寸法、編組線の長さ、さらに作業性、誘導雑音などにも影響する。とくにセンス線の短縮は、前述の効果のほかセンス線中の信号の伝わる時間が小になり(高速記憶が可能)、1 情報出力と 0 のそれとの差を利用する時間的弁別も容易になるなどの効果がある。このためコア間隔の縮小は単なる小形化という意味とは別の観点から望まれてくる。50 ミルコアの場合、コア間隔が 1.2 mm 程度で密着するが、これでも誘導雑音面の心配はなく、特性的に問題は出ていない。50 ミルコアで 1.5 ~ 1.3 mm, 30 ミルコアで 1 mm が標準となっている。

大容量の場合の例としてコア間隔を 2 mm から 1.5 mm (50 ミルコアで)にした場合インダクタンスは小に、Cは大になるので遅延のオーダは変わらないが特性インピーダンスが変わってきている。

6.5 編組加工法

プレーンの製造は、上記から明らかなように各材料品のアッセンブリであり、とくに 4 本の線をコアの穴に通す編組作業にかかっている。普通、手編みで標準編組法のプレーンを編む加工時間は語数で異なるが図 6.12 のとおりで、4,000 語 40 ビットの場合 1,000 時間以上となり工賃の問題がでてくる。

このためパイプレーション法で、コアをあらかじめ治具に並べてか

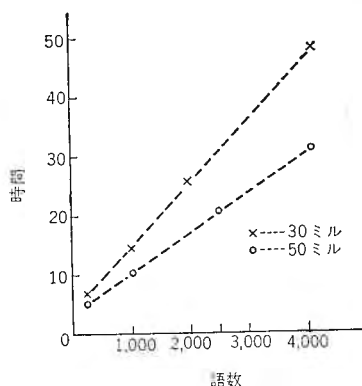
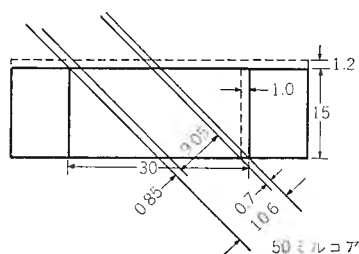


図 6.12 編組加工時間と語容量との関係



内径公差 30±1.0 の最小寸法になった場合の有効長減少 0.7 ミル
高 " 15±1.2 の最大 " 0.85 ミル
編組の場合の有効長(コア治具に許容差を与えず電線が斜めに 1 本通るとして) 9.05 ミル (0.23 mm)
編組の径 (0.11φ 0 種 ポリウレタン) 6.5 ミル (0.166 mm)

図 6.13 50 ミルコアの X, Y, D 線編組余裕度

表 6.3 50 ミルコア 寸法規格

機械編みのコア寸法			手編みのコア寸法
50±1.5	53.5±1.5		50±4
30±1.5	31±1.5	外径	30±4
11.8±0.5	11.8±0.5	内径	15±2
		高さ	

ら手作業による方法、さらに編組線の一部または全部を機械で編組する方法もある。しかしこれには図 6.13 に示すような幅のせまい余裕度、それをせばめない治具精度、さらに表 6.3 に示すような自動編組に用いるコアの寸法公差といった余分の制約を生ずるので、種々の経済性からそれぞれ独自の方法をとっているのが現状である(内径が大で高さが低いほうが編組しやすい)。

7. マトリックスプレーンの S/N 測定

7.1 マトリックスプレーンの特性測定

ある基準(規格幅)で選別した特性良好で均一なコアをマトリックスプレーンに編組しても、編組中にコアの損傷その他の事故および編組ミスも考えられるので、完成されたプレーンの特性チェックが必要であることはいうをまたない。しかもプレーンの測定では、コア単体の測定における材料、部品の必要条件のチェックと異なり、実際の記憶装置としての動作にもっとも近い条件で行なわれ、完成部品としての特性の認知だけではなく性能保証を与えるものでなければならない。よって記憶装置で問題になる半選択雑音を考慮した最悪条件を示す状態でチェックされなければならないし、実際問題としてその測定は高速である必要も生ずる。

測定項目としては、メモリア単体の場合に考えたすべての項目はもちろん、さらに多くの項目があげられる。ただしプレーンの場合コアの集合体であるので、S/N を例にとっても、1 情報出力ではマルチパイプラインがトリガされ、0 のそれではトリガされない電圧の安全幅ということになるのでプレーンの中の最悪の性能を示す 1 個のコアの特性、すなわち $DV1_{min}$ または $UV1_{min}$, DVZ_{max} , などが性能保証として必要になり、同じような意味で T_s_{max} が理解されなければならない。 T_p についてはメモリアの場合に考えたとうよう、情報出力に加味され ($dV1_{T_p, min}$, $\mu V/T_p, min$), 0 情報出力として $dVZ_{T_p, max}$ がとくに重要になってくる。

メモリアの場合は、測定パターンから disturbed, undisturbed を分けて情報出力を $dV1$, $\mu V1$ などと区別したが、プレーンの場合、たとえ駆動の(測定の)パターンとして undisturbed であっても測定法によっては半選択電流が流れることによる disturbed がおこるので、定義としてはややあいまいになってくる(詳しくは後述)。

7.2 マトリックスプレーンのセンス線出力

プレーンの中のあるコアを選択して、その情報出力を読み出すとセンス線には、そのコアの row, column 上の半選択コアから発生する半選択電圧も重畳するので、センス線には

$$V_{sense} = V_{signal} - 2V_h \pm (n-2)(V_+ - V_-)$$

の電圧が現われる(正確には後述)。

- ここで V_h : 選択コアの隣りのコアから発生する半選択電圧
 V_+ : 選択コアの row, column 上にある⊕極性のコアから発生する半選択電圧
 V_- : 選択コアの row, column 上にある⊖極性のコア

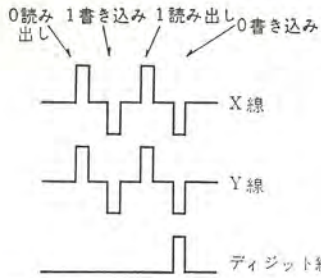


図 7.1 マトリックスプレーン 測定 パルスパターン

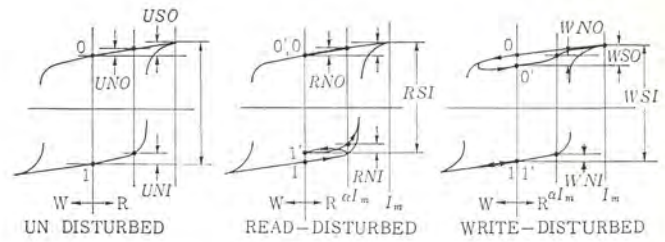


図 7.3 B-H カーブ上に表わした出力 (フラックス 変化幅)

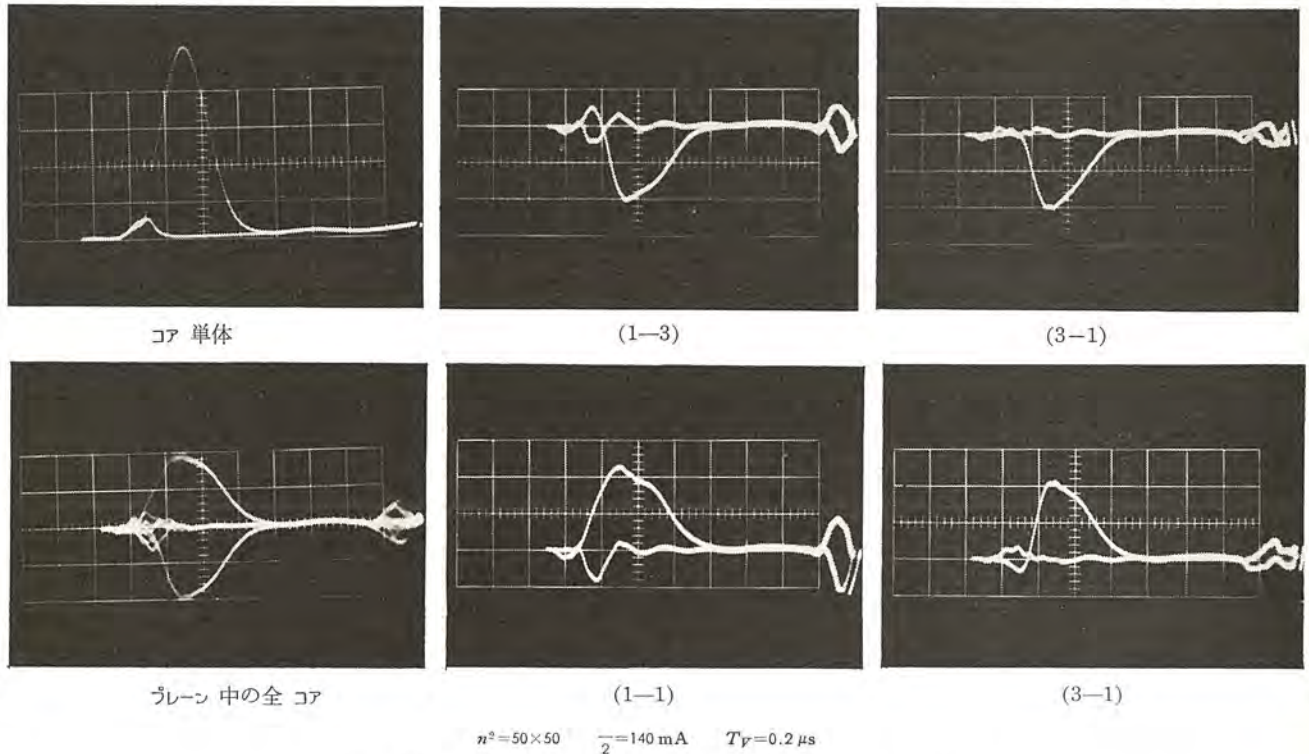


図 7.2 マトリックスプレーン 中の コア の 1,0 出力 波形

から発生する半選択電圧

n : n^2 が語数を表わす

コア単体のときにチェックされる情報出力は V_{signal} に近いものであるから、出力波形はコア単体の場合と大いに異なる。図 7.1 はその測定パターン(コア単体のときと同じく1サイクルで1と0を記憶さす)であり、図 7.2 に出力波形の相違(コア単体とプレーン中のコアとの)を示している。すなわち2項以下の符号、 n の大きさ ($V_+ \sim V_-$) の値によっては、1 情報出力が減少し、0 情報出力が増大してコア単体のそれに比べ著しく S/N が悪くなる可能性がでてくる。

なお図 7.2 の下に書いた数字はコアのアドレスを示しており、編組によるコアの極性が(1-1), (3-3)は正ゆえ、出力は正に出ているが、(1-3), (3-1)は負ゆえ、たとえ読み出しパルスの方が正でも出力としては負に出ている。ほかのコアもどうようである。またこれらの出力にどの程度半選択電圧がそう入されているかというようなことと、詳しい測定法については後述する。

なお情報出力電圧および半選択電圧を、コアのヒステリシスループ上で、それぞれ1回 read, write 方向にジョウ乱が加わった記憶状態(すなわち6種)で示すと図 7.3 のようになる。この場合情

報出力は $\bigcirc S \bigcirc$ 、半選択電圧は $\bigcirc N \bigcirc$ で表わしている。

7.3 チェッカボードパターン

前に触れたように性能保証面の測定条件としては、実際起こりうる最悪の状態を仮定して与えなければならない。このような条件の一つにチェッカボードパターンと称する記憶状態配置がある。

コアの方形性が完全でないため、コアのヒステリシスカーブの $+Br$ と $-Br$ 部の $+H$ 側(読み出し方向)の曲線の傾斜は異なる($-Br$ 側が大)。すなわち半選択コアが1と0の場合、それから発生する半選択電圧(フラックスの変化幅に比例)は異なるとみなければならない。よってプレーン中のすべての $\oplus$ コアに1、 $\ominus$ コアに0が書きこまれている場合(またはその反対)、前式第3項の電圧値の絶対値は最大になる(普通の場合は1, 0がアットランダムに配置されているので、ある $\oplus \ominus$ コアのペアは1,1, 0,0で相殺されるが)。この可能性は非常にまれだが、起こる可能性はある。このような記憶配置をチェッカボードパターンと名付けている。図 7.4 は図 6.7 の編組法によるそれを示している。このパターンを実現する最も簡単な方法は、センス線にフルカレント(I)を流せばよい。

すなわちプレーンの性能保証上使用条件は規定できないので、このような最大雑音が発生する条件でその特性をチェックしなけ

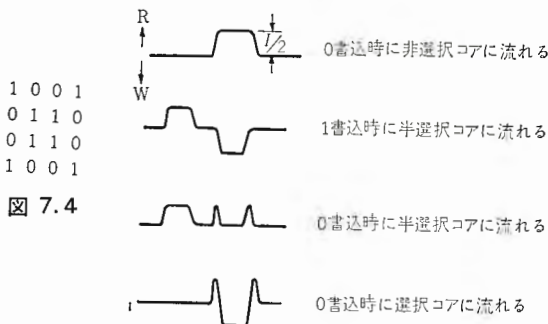
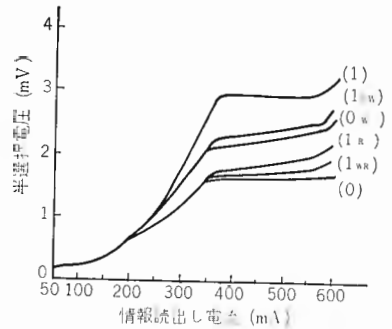
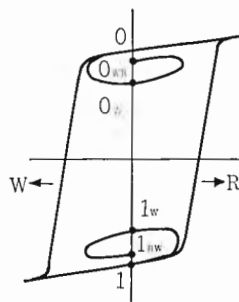


図 7.5 半選択電流とそれが流れる条件



ればならないことになる。ただし厳密な意味ではこのパターンによる測定が必要条件を満たしていても、十分条件ではないことを付言しておく（詳しくは後述）。

7.4.1 0 記憶状態と半選択電圧

メモリアの場合、ジョウ乱をうけない 1 の情報出力を $\mu V1$, ジョウ乱をうけた 1, 0 情報出力を $dV1, dVZ$ とした ($dV1$ では read 方向, dVZ は write 方向に n 回 ジョウ乱が加わるが)。ここでこのような 1, 0 記憶状態の規定だけで十分かどうかさらに詳しく検討して、情報出力および半選択電圧の値をながめてみる。

無ジョウ乱の 1, 0 状態について前者の 1 ($-Br$ に対応した) はありうるが、後者の 0 は再書込時 (図 6.3 参照 write write 方向の $\frac{I}{2}$ 電流を流すので $0w$ となり, $0 (+Br$ に対応した) はありえない (0 状態に 1 回 write 方向に ジョウ乱が加わった状態を $0w$ と表す)。なお $0w$ 状態は図 7.3 の $0'$ (write disturbed) に相当する。

しかしこれら 1, $0w$ は、そのコアが次に読み出されるまで (半選択電圧を考えれば、そのコアの row, column にあるコアが読み出されるまで) read, write アットランダムな ジョウ乱 (図 7.5 は ジョウ乱の分類である) ををうけるので、ジョウ乱をうけた 1, 0 記憶状態 ($1, 0w$ 以外) は無数にある。よって単に情報出力電圧, 半選択電圧といってもその ジョウ乱前歴によってそれぞれ異なることになる。

しかしこれら無数の 1, 0 記憶状態をいくつか作り、その状態からの $\frac{I}{2}$, I 読出し電圧を調べてみると、大体次の 5 種の状態 (図 7.6) に集約される (1_{rw} は 1_r にさらに write ジョウ乱が加わった状態)。

1, 1_r , 1_{rw} , $0w$, 0_{wr}

さてこれら状態からの情報出力電圧 ($[1]$ は 1 情報出力電圧) の値の相違を調べると、

$$[1] > [1_{rw}] > [1_r] > [0w] > [0_{wr}]$$

となり、半選択電圧 ($0w$ 状態からのそれを ($0w$) と示す) は

$$(1) > (1_{rw}) > (0w) > (0_{wr}) > (1_r) > (0_{wr}) > (0)$$

と相違している (7.2 節に示した WNI, RNI, WNO, RNO はそれぞれ (1), (1_r), ($0w$), (0) に相当している)。これを I 電流についてプロットしたのが図 7.7 である。

いずれにしても $\oplus$ コア と $\ominus$ コア から発生する半選択電圧がちょうど同じでない限り (すなわち同じ記憶状態でさらに同じ ジョウ乱状態でない限り)、たとえ $\oplus$ コア と $\ominus$ コア を同数 (row, column 上) にしてもキャンセルされない電圧 (雑音) が、あるコアを選択したとき情報出力に重畳する。

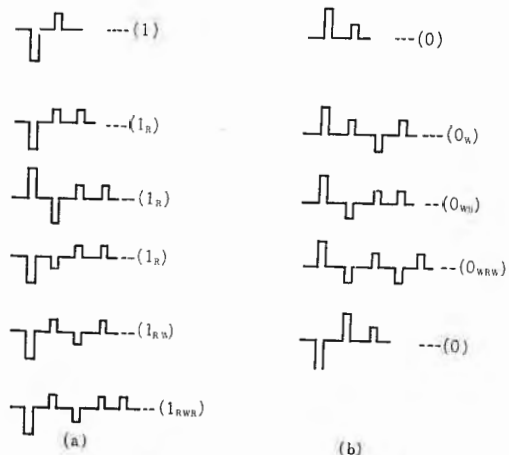


図 7.8 各種 1, 0 記憶状態からの半選択電圧測定 パルスパターン

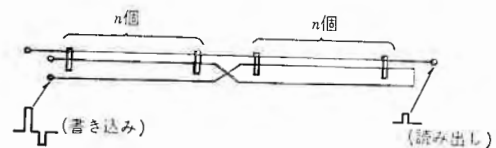


図 7.9 デルタノイズ測定法

ゆえに半選択電圧は $dV1, dVZ$ と同じように コア 単体の性能に直結するものであるから、その測定項目に含ませてもよい。しかしいずれの状態になるかも不明で、1, 0 二つに分けるほどのこともないので、チェックボードパターンの $\oplus \ominus$ コア から発生する残留雑音に等価な値を 1 個のコアで求め、これをデルタノイズとして、プレーンの性能をある程度予測するデータとして与えている。

図 7.8 (a) は 1 記憶状態からの半選択電圧を求める種々のパルス系列, (b) は 0 のそれであり、適当な組み合わせ (詳しくは後述) による両電圧の差を デルタノイズ として求めればよい。実際問題としては、その電圧が小さい (1 mV 以下) ところから多数のコアを直列にしてその平均値をとっている図 7.9)。ただしこの方法では特定の組み合わせ (例 (1_r) と ($0w$)) しか測れないが詳しいことは後述する。なお測定時 コア 以外の結合による誘導雑音を注意しなければならない。

7.5 マトリックスプレーンの一つの測定法

1, 0 センス 出力が接近する最悪の条件は雑音だけで考えると前式から $\oplus$ コア から発生する半選択電圧がすべて最大 (または最小) で、かつ $\ominus$ コア から発生するそれがすべて最小 (または最大) の場合 (チェックボードパターン もその例である) である。よって最悪 1 は最小 1 情報出力と逆方向に最大雑音が発生する場合、最悪 0

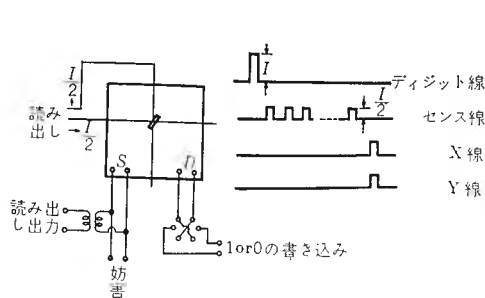


図 7.10 マトリックスプレーン 性能測定法

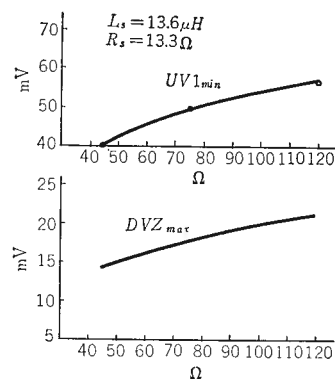


図 7.12 センス線負荷抵抗による特性変化

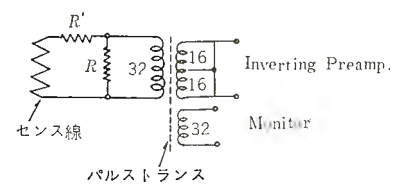


図 7.13 センス線出力回路

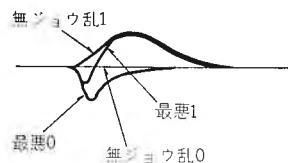
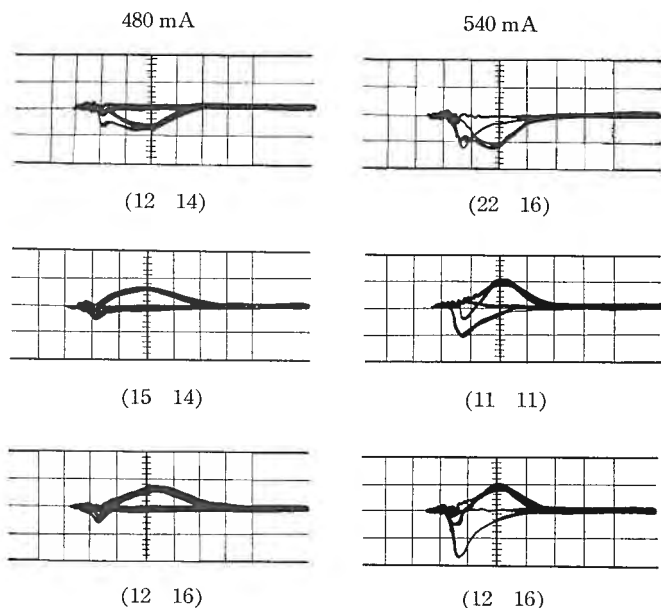


図 7.11 マトリックスプレーンの 1,0 出力波形

は最大 0 情報出力と同方向 (センス線出力は整流されるので逆方向もあるが詳しくは後述) に最大雑音が発生する場合である。メモリの保証はこの両出力が区別できればよい。

このような最悪 1, 0 を発生するには一例として図 7.10 の回路で実現できる。この場合のセンス線出力電圧の測定例が図 7.11 である。すなわち最悪 1 の場合はすべてのコアを 1 にするためにデジタル線に I 電流を流す。次にセンス線に n 個の $\frac{I}{2}$ の妨害パルスを与えて ⊕ コアを read 方向にジョウ乱する (⊖ コアは同時に write 方向にジョウ乱をうける)。ここで所定の ⊕ コア (x_1, y_m) を選択読み出しする。この場合情報出力を図 7.3 で示すと +RSI であり (ジョウ乱の数は別として), 半選択電圧は各コア (選択コアの row, column 上の) とともに +RNI と -WNI になる。しかし $WNI > RNI$ ゆえ 1 出力は RSI (メモリア単体の場合の DVI に相当) より小となる。

どのように最悪 0 は、全コアを 0 にセットし、⊖ コアを write 方向にジョウ乱し、⊖ コアを選択すれば、-WSO, -WNO+

表 7.1 センス線よりあわせ効果

	UV1max	UV1min	DVZmax	(dVZ _{tp})max
all 1	74.3 (70.5)	53.0 (51.8)	14.3 (11.1)	5.5 (4.5)
C. B. P.	65.4 (65.3)	50.5 (53.2)	20.5 (17.4)	5.5 (5.0)

() 内はより合わせ密なもの

RNO が発生し $WNO > RNO$ ゆえ WSO (メモリア単体の場合の DVZ に相当) より大なる電圧がセンス線に出る。

図は 32×32 のマトリックスプレーン中の五つのアドレスについて I 電流をかえて、無ジョウ乱の 1, 0 出力 (センス線に電流を流さない状態) との比較を示している。

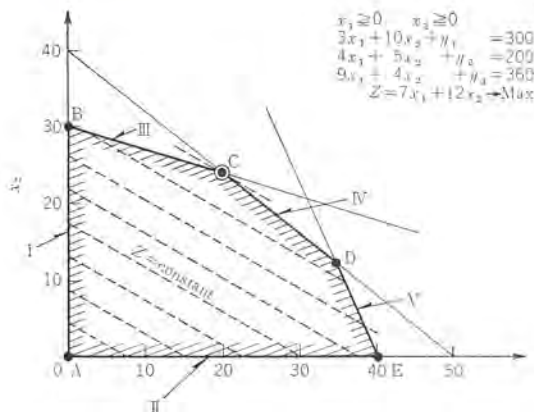
この測定法の問題は

- (a) 1 個 1 個測定しなければならない不便がある。
- (b) 各コアについて 2 回 (1 と 0) 測定しなければならない。
- (c) ジョウ乱をコア測定の場合と同じく一方向のみに与えている。すなわち read, write アットランダムにジョウ乱を加えたほうが S/N が悪くなるなら問題だが。
- (d) チェッカボードパターンではないが、相当大きな残留雑音、すなわち (1_R) と (1) のペアおよび (0) と (0_W) のペアを考えているので (実際には考えられない 1, 0 状態からの半選択電圧を考えている) 最悪 S/N の解析にはまずまずである。

7.6 センス線の負荷抵抗とセンス線より合わせ

コア単体の場合は、センス線の負荷抵抗が 100Ω でも無限大でも問題なかったが、プレーンではその負荷抵抗によって特性が変化するので測定上留意しなければならない。図 7.12 は 50 ミルコアを使用した 2,500 語のプレーンでの変化を示しているが、図 7.13 の R をさらに大にし無限大にすれば dVZ 波形で $0.2 \sim 0.3 \mu s$ 周期の振動がおこるようになる。なお 200Ω 以下では振動はなく UV1 と DVZ との比は一定である。しかしこの場合抵抗の低いほうでは波形の立ち下がりがやや延びる傾向が見られ、 dVZ_{tp} は大きい ($R = 100 \Omega$ で $R' = 200 \Omega$ では振動が残る)。一般に 64×64 程度のプレーンでは $150 \Omega \pm 5\%$ 位が適当である。

センス線は感応線であるから、これに種々の雑音ののることになる。よってセンス線出力端子までおよび端子からの引出線も、そのより合わせ具合では特性に差が生ずるので注意しなければならない。表 7.1 はより合わせの程度による特性の変化をチェッカボードパターンと all 1 の場合で比較したものである (差により合わせたほうがよい)。



端点	基本変数	非基本変数
A	y_1, y_2, y_3	$x_1, x_2 = 0$
B	x_2, y_2, y_3	$x_1, y_1 = 0$
C	x_2, x_1, y_3	$y_2, y_1 = 0$
D	x_2, x_1, y_1	$y_2, y_3 = 0$
E	y_2, x_1, y_1	$x_2, y_3 = 0$

I $x_1 = 0$
 II $x_2 = 0$
 III $3x_1 + 10x_2 = 300$ or $y_1 = 0$
 IV $4x_1 + 5x_2 = 200$ or $y_2 = 0$
 V $9x_1 + 4x_2 = 360$ or $y_3 = 0$

図 2.1 LP の幾何学的意味

る。したがって z の値を変化させると、互いに平行な超平面群を形成する。このうち、制限条件式で作られるツツ多面体と、評価関数で表わされた超平面がただ1点で共有点をもつ z の値を選ぶことができる。このときの z の値が、問題の最大値で、共有点の座標が、最適な $x_1, x_2, \dots, x_n$ である。この最適点はツツ多面体の端点になっている。

図 2.1 に $m=3, n=2$ すなわち2変数、制限条件式3個の例題に対する幾何学的説明図を示す。

図 2.1 において斜線をほどこした領域がツツ領域で、これを実行可能領域 (feasible region) と呼んでいる。●印がツツ領域の端点を、◎印が最適点を示している。

Simplex 法は、LP の問題の最適点はツツ多面体領域の端点になっている、という性質を利用して、

- (1) ツツ多面体領域の端点の求め方
- (2) 端点が最適点かどうか (Optimality) の判定
- (3) 端点の移行

の方法を与えるものである。

(1) 端点の求め方

n 次元空間の一点は、 n 個の超平面の交点で与えられる。今、実行可能領域は、 $x_j = 0$ ($j=1, 2, \dots, n$) なる n 個の平面と、式 (2.2) を等号であらわした m 個の平面 (これは式 (2.6) において $y_k = 0$ ($k=1, 2, \dots, m$) とおいた m 個の平面)、合計 $(m+n)$ 個の平面でかこまれたツツ多面体領域である。この $(m+n)$ 個の平面から n 個の平面を選び出すことにより端点の一つきまる。

式 (2.4), (2.5), (2.6) を表の形にまとめたのが表 2.1 である。これを Simplex 表と呼ぶ。

表 2.1 において、non-basis の欄に書かれた n 個の変数 (非基本変数と呼ぶ) $x_1, x_2, \dots, x_n$ を 0 とおくことにより、 n

表 2.1 Simplex 表 (1)

d	c									
		non-basis	basis の値	C_1	C_2	$\dots$	C_s	$\dots$	C_n	
		basis		x_1	x_2	$\dots$	x_s	$\dots$	x_n	
d_1		y_1	b_1	a_{11}	a_{12}	$\dots$	a_{1s}	$\dots$	a_{1n}	
d_2		y_2	b_2	a_{21}	a_{22}	$\dots$	a_{2s}	$\dots$	a_{2n}	
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
d_r		y_r	b_r	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	a_{rs}	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
d_m		y_m	b_m	a_{m1}	a_{m2}	$\dots$	a_{ms}	$\dots$	a_{mn}	
	z		z_0	z_1	z_2	$\dots$	z_s	$\dots$	z_n	
	$z-c$			z_1-c_1	z_2-c_2	$\dots$	z_s-c_s	$\dots$	z_n-c_n	

$$z_0 = \sum_{i=1}^m d_i b_i$$

$$z_j = \sum_{i=1}^m d_i a_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

個の平面を選び出し、basis の欄に書かれた残りの変数 (基本変数と呼ぶ) $y_1, y_2, \dots, y_m$ について、 m 元連立一次方程式を解けば端点の一つ求まる。この解を基本解 (basic solution) と呼ぶ。基本解は高々 $m+n$ 個存在するが、このうちすべての制限条件を満たすものを基本可能 (basic feasible solution) 解という。

(2) 最適性の判定

表 2.1 において a_{ij} ($i=1, 2, \dots, m$) は、 x_j を1単位使う代わりに y_i ($i=1, 2, \dots, m$) をおのおの、 a_{ij} ($i=1, 2, \dots, m$) 単位使用していることを表わしている。したがって $x_j = d^* a_{ij}$ は x_j が1単位増大するのに伴って、基本変数が増減することにより減少する利益をあらわす。

一方 c_j は x_j が1単位増大することによって直接増大する利益をあらわす。したがって $z_j - c_j$ が正ならば x_j はゼロに保持し、負ならば x_j をできるだけ大きくしたほうが有利となる。すなわち

$$z_j - c_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2.8)$$

がすべての j に関して満たされておれば、そのときの基本可能解が求める最適解である。この最適性を判定する基準を Simplex 判定基準 (Simplex Criterion) という。

(3) 端点の移行

最適性の判定結果、現在の基本可能解が最適解でない場合、最適解を求めるのに次の step を踏む。

$z_j - c_j$ がいくつかの j について負になったとし、この最小のものを $j=s$ とする。すなわち

$$z_s - c_s = \min_j (z_j - c_j) < 0 \quad (2.9)$$

のとき、 x_s を基本変数へ導入する。次に

$$b_r - a_{rs} = \min_i (b_i / a_{is}), \quad a_{is} > 0 \quad (2.10)$$

をみたす y_r を基本変数から追い出す。新たな基本変数 $y_1, \dots, y_{r-1}, x_s, y_{r+1}, \dots, y_m$ について解を求める。この操作を a_{rs} に関して軸変換 (pivot transformation) を行なうという。

表 2.2 は、軸変換を行なった後の Simplex 表をあらわしている。ここで

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_{rs} &= 1/a_{rs}, & \bar{a}_{rj} &= -a_{rj}/a_{rs}, & \bar{b}_r &= b_r/a_{rs} \\ & & (j=1, \dots, s-1, s+1, \dots, n) & & \\ \bar{a}_{is} &= a_{is}/a_{rs}, & \bar{a}_{ij} &= a_{ij} - a_{ir}a_{js}/a_{rs}, & \bar{b}_i &= b_i - b_r a_{is}/a_{rs} \\ & & (i=1, \dots, r-1, r+1, \dots, m) & & (j=1, \dots, s-1, s+1, \dots, n) \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

表 2.2 Simplex 表 (2)

d	c	$\bar{c}_1 \quad \bar{c}_2 \quad \cdots \quad \bar{c}_s \quad \cdots \quad \bar{c}_n$									
		non-basis	basis の値	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\cdots$	$\bar{x}_s$	$\cdots$	$\bar{x}_n$		
		basis									
d_1		y_1	b_1	$\bar{a}_{11}$	$\bar{a}_{12}$	$\cdots$	$\bar{a}_{1s}$	$\cdots$	$\bar{a}_{1n}$		
d_2		y_2	b_2	$\bar{a}_{21}$	$\bar{a}_{22}$	$\cdots$	$\bar{a}_{2s}$	$\cdots$	$\bar{a}_{2n}$		
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
d_r		y_r	b_r	$\bar{a}_{r1}$	$\bar{a}_{r2}$	$\cdots$	$\bar{a}_{rs}$	$\cdots$	$\bar{a}_{rn}$		
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
d_m		y_m	b_m	$\bar{a}_{m1}$	$\bar{a}_{m2}$	$\cdots$	$\bar{a}_{ms}$	$\cdots$	$\bar{a}_{mn}$		
		z	z_0	$\bar{z}_1$	$\bar{z}_2$	$\cdots$	$\bar{z}_s$	$\cdots$	$\bar{z}_n$		
		$z - c$		$z_1 - \bar{c}_1$	$z_2 - \bar{c}_2$	$\cdots$	$z_s - \bar{c}_s$	$\cdots$	$z_n - \bar{c}_n$		

$$z_0 = \sum_{i=1}^m d_i b_i$$

$$z_j = \sum_{i=1}^m d_i a_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{c}_s &= d_r, \quad \bar{c}_j = c_j \quad (j=1, \dots, s-1, s+1, \dots, n) \\ \bar{x}_s &= y_r, \quad \bar{x}_j = x_j \quad (j=1, \dots, s-1, s+1, \dots, n) \\ \bar{d}_r &= c_s, \quad \bar{d}_i = d_i \quad (i=1, \dots, r-1, r+1, \dots, m) \\ \bar{y}_r &= x_s, \quad \bar{y}_i = y_i \quad (i=1, \dots, r-1, r+1, \dots, m) \end{aligned} \right\} (2.12)$$

この結果得られる基本解が

$$y_i = \bar{b}_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (2.13)$$

で与えられる。

軸変換の幾何学的意味は、最初 $x_j=0$ ($j=1, 2, \dots, n$) なる n 個の平面の交点にいた動点が、 $x_j=0$ ($j=1, 2, \dots, n$) なる n 個の平面の交点に移行しており、基本変数と非基本変数の間の変数の交換はただ一つについてしか行なわれていないので、隣接した端点へ移行している。また式 (2.9), (2.10) をみたすものを選び、移行することによる評価関数の増分が最大になる変数を選んでいく。

以上の操作を式 (2.8) がすべての $j=1, 2, \dots, n$ に対して成立するまで続けられ、所要の最適解を求めることができる。

2.2 Dual Simplex 法⁽³⁾

Dual Simplex 法は、表 2.1 において、すべての $j=1, 2, \dots, n$ に対して式 (2.8) はみたしているが、基本解が実行可能でない (non-feasible) ときに用いる。すなわち b_i ($i=1, 2, \dots, m$) の中に負の値が存在するときに、常に最適性を満しながら、基本解が実行可能になるよう、端点の移行を行なうものである。Simplex 法と Dual Simplex 法の関係を示す幾何学的説明図を図 2.2 に示す。

Dual Simplex 法における軸要素のきめ方および、計算の Algorithm は以下のとおりで、Simplex 法の行と列を逆にしたものである。すなわち

$$b_r = \min_i (b_i), \quad b_i < 0 \quad (2.14)$$

をみたす y_r を基本変数から追出す。次に

$$\frac{z_s - \bar{c}_s}{-a_{rs}} = \min_j \left\{ \frac{z_j - \bar{c}_j}{-a_{rj}} \right\}, \quad a_{rj} < 0 \quad (2.15)$$

をみたす x_s を基本変数に導入する。 a_{rs} が軸要素になる

表 2.1 から表 2.2 への移行は式 (2.11) の代わりに

$$\left. \begin{aligned} \bar{a}_{rs} &= 1/a_{rs}, & \bar{a}_{rj} &= a_{rj}/a_{rs}, & \bar{b}_r &= b_r/a_{rs} \\ & & (j=1, \dots, s-1, s+1, \dots, n) & & \\ \bar{a}_{is} &= -a_{is}/a_{rs}, & \bar{a}_{ij} &= a_{ij} - a_{ir}a_{sj}/a_{rs}, & \bar{b}_i &= b_i - b_r a_{is}/a_{rs} \\ & & (i=1, \dots, r-1, r+1, \dots, m) & & (i=1, \dots, r-1, r+1, \dots, m) \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

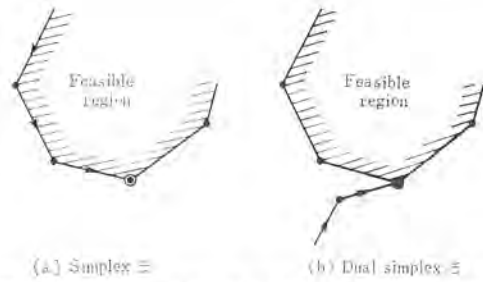


図 2.2 Simplex 法と Dual Simplex 法の対応関係

表 2.3 ゲームの理論における Pay-off Matrix

$R \backslash C$	$1 \quad 2 \quad \dots \quad j \quad \dots \quad n$					
	1	2	$\dots$	j	$\dots$	n
1	a_{11}	a_{12}	$\dots$	a_{1j}	$\dots$	a_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	$\dots$	a_{2j}	$\dots$	a_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	a_{i1}	a_{i2}	$\dots$	a_{ij}	$\dots$	a_{in}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
m	a_{m1}	a_{m2}	$\dots$	a_{mj}	$\dots$	a_{mn}

a_{ij} : Player R が戦略 i を、Player C が戦略 j をとったときに、C から R へ支払われる金額。

式 (2.12) はそのまま採用する。

この結果得られる

$$y_i = \bar{b}_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (2.17)$$

がすべての $i=1, 2, \dots, m$ に対して正になるまで繰り返し計算を続けられよう。

ここで、ゲームの理論と L.P. の対応関係⁽⁴⁾を示すことにより、双対性 (duality) の概念を明らかにする。ゲームの理論で取り扱われている最も簡単なモデルは、二人零和ゲーム、すなわち、2人で競合を行ない、両者の間の支払いの総和がゼロというモデルである。

2人のゲームでは、2人の戦略 (strategy) を行と列に配列し、各人が特定の戦略を用いたときの清算表を作成する。これを清算行列 (Pay-off Matrix) と呼び表 2.3 に一例を示す。

表 2.3 の意味は、R が i 、C が j なる戦略をとったときに、C が R に支払う金額が a_{ij} である。 ($i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$)

混合戦略の問題—R は戦略 i を x_i の確率で選び、C は戦略 j を y_j の確率で選ぶ。ただし $\sum_{i=1}^m x_i=1$, $\sum_{j=1}^n y_j=1$ —が L.P. の問題におきかわる。

今 R について考えてみると、C が j なる戦略をとったときの R に支払われる清算値の期待値は $\sum_{i=1}^m a_{ij}x_i$ 。L を $j=1, 2, \dots, n$ に対する期待値の最小値とすれば、

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{m1}x_m &\geq L \\ a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{m2}x_m &\geq L \\ \dots &\dots \\ a_{1n}x_1 + a_{2n}x_2 + \dots + a_{mn}x_m &\geq L \\ x_1 + x_2 + \dots + x_m &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

が与えられ

$$L = L(x) \quad (2.19)$$

を最大にする $x_1, x_2, \dots, x_m$ を求めれば、これは R にとって Optimal Strategy になる。

の問題で取り扱われる変数の値が、正の整数値かゼロしかとりえないものである。また一部の変数のみが整数値をとる問題を Discrete Programming と呼んでいる。

IP の解法は次のとおりである。まず与えられた問題を通常の LP の問題として解く、この解は必ずしも整数値ではない。そこで技巧的な制限条件 (Cutting Constraints) を新たに付加し、整数解を求める。

Cutting Constraints を作る際の法則は

- (1) 新たに付加された制限条件は、実行可能域を縮めること。
- (2) この制限条件は、実行可能域にある整数格子点の内、少なくとも一つを通ること。
- (3) この制限条件は、実行可能域にあった整数格子点を排除してしまふことはないこと。

であって、この三つの性質をもつ Cutting Constraints を、いかにして求めるかが、IP の本質である。

今式 (2.1), (2.2) をみだし、式 (2.3) を最大化する LP の問題を考える。この問題の LP の最適解が

$$\left. \begin{aligned} y_i &= b_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ x_j &= 0 \quad (j=1, 2, \dots, m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

で与えられたものとする。すなわち表 2.1 が、LP における最終段階の Simplex 表であると仮定する。

かりに b_i が整数でなかったとし、 b_i を整数部分と端数部分にわけると

$$b_i = N_i + f_i \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、 N_i は正の整数、 f_i は

$$0 < f_i < 1 \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

また y_i の行の値を整数部分と、端数部分にわけると

$$a_{ij} = N_{ij} + f_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで N_{ij} はすべて整数で、 f_{ij} は

$$0 \leq f_{ij} < 1 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

次に、

$$k \equiv \sum_{j=1}^n f_{ij} x_j \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

とおけば、 $x_j \geq 0$ 、および式 (3.5) の関係から $k \geq 0$ をみたすまた

$$y_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

の関係は常にみたしている。式 (3.6) を式 (3.2), (3.4) を代入すると

$$y_i + \sum_{j=1}^n (N_{ij} + f_{ij}) x_j = N_i + f_i \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

式 (3.8) の両辺から式 (3.6) を差し引けば

$$y_i + \sum_{j=1}^n N_{ij} x_j - N_i = f_i - k \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

しかるに左辺は整数、右辺は式 (3.3) と $k \geq 0$ から

$$f_i - k \leq 0 \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

をみたさなければならない。式 (3.10) の k を式 (3.6) で書きかえると

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} x_j \geq f_i \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

式 (3.11) に slack 変数 y_{m+1} を導入して整理すると

$$y_{m+1} - f_{i1}x_1 - \dots - f_{in}x_n = -f_i \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

が得られる。これが新しく付け加える Cutting Constraint であ

表 3.1 Simplex 表 (3)

$d \backslash c$	non-basis	basis の値	$c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n$					
			x_1	x_2	$\dots$	x_n		
d_1	y_1	b_1	a_{11}	a_{12}	$\dots$	a_{1n}		
d_2	y_2	b_2	a_{21}	a_{22}	$\dots$	a_{2n}		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
d_m	y_m	b_m	a_{m1}	a_{m2}	$\dots$	a_{mn}		
0	y_{m+1}	$-f_i$	$-f_{i1}$	$-f_{i2}$	$\dots$	$-f_{in}$		
z	z_0	z_0	z_1	z_2	$\dots$	z_n		
$z-c$			z_1-c_1	z_2-c_2	$\dots$	z_n-c_n		

$$z_0 = \sum_{i=1}^m d_i b_i$$

$$z_i = \sum_{j=1}^m d_j a_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

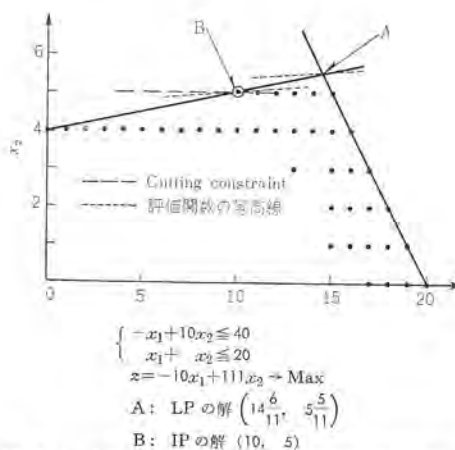


図 3.1 Integer programming の幾何学的意味

る。ここに得た Cutting Constraint が前記の三つの条件を満足していることは容易に証明できる。(証明略)⁽¹¹⁾

新しく作成される Simplex 表は、表 3.1 のようになる。

この表で明らかのように、最適性 (Optimality) はみたしているが、実行可能性 (Feasibility) をみたしていないので Dual Simplex 法により最適性をみたしながら実行可能解を求める。以上すべての解が整数になるまで繰り返し演算を行なう。

2 変数の例題について、LP の解、IP の解、Cutting Constraint を図示したのが図 3.1 である。

4. Decomposition Principle

Decomposition Technique とは、大規模な LP の問題を解くために G. B. Dantzig が開発した手法で⁽¹²⁾、Total System をいくつかの Subsystem に分け、Subsystem 内での最適解を求める操作と、Subsystem 間の結合関係から全体の調整をとる操作を交互に繰り返すことにより、全体の最適解を求めようとするものである。

Subsystem が 2 個の場合について、手法の概略を紹介する。

$$P_0 x_0 + AX + BY = b \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$CX = c \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$DY = d \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

のもとに、 x_0 を最大にする X, Y を求めよう。ここで A, B, C, D は係数行列、 P_0, b, c, d はベクトル、 b は m 要素のベクトル

である。

X_i ($i=1, 2, \dots, k$), Y_j ($j=1, 2, \dots, l$) を実行可能解とすれば

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum_{i=1}^k \lambda_i X_i, & \sum_{i=1}^k \lambda_i &= 1 \\ Y &= \sum_{j=1}^l \mu_j Y_j, & \sum_{j=1}^l \mu_j &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.4)$$

をみたす λ_i, μ_j が存在する。式 (4.6) を式 (4.3) へ代入すると

$$P_0 x_0 + \sum_{i=1}^k \lambda_i (A X_i) + \sum_{j=1}^l \mu_j (B Y_j) = b \dots\dots\dots (4.5)$$

$$x_0 + \sum_{i=1}^k \lambda_i (\pi^* A X_i) + \sum_{j=1}^l \mu_j (\pi^* B Y_j) = \pi^* b \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned} \pi^* P_0 &= 1 \\ \pi^* A X_i &= s \quad (i=1, 2, \dots, k) \\ \pi^* B Y_j &= t \quad (j=1, 2, \dots, l) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.7)$$

式 (4.7) の $k+l+1=m+2$ 個の連立方程式を解き $\pi^*=[\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m]$, s, t の解を求める。

次に

$$\left. \begin{aligned} C X &= c \\ s' &= \min_X \pi^* A X \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.8)$$

$$\left. \begin{aligned} D X &= d \\ t' &= \min_Y \pi^* B Y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.9)$$

で与えられる LP を解き、この解を X', Y' とする。これを新たな実行可能解に導入し、 $s'=s, t'=t$ を満足するまで繰り返し演算を行なう。

5. Nonlinear Programming^{(13), (14)}

一般に Nonlinear Programming の問題は

$$x \geq 0 \dots\dots\dots (5.1)$$

$$g_i(x) \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (5.2)$$

の制限条件のもとで

$$z = f(x) \dots\dots\dots (5.3)$$

を最大にせよ、という形で与えられる。ここで式 (5.1), (5.2) は凸(凹)領域を形成し、 $f(x)$ は凹(凸)関数。

Nonlinear Programming では LP のような一般解法は存在しないので、最急勾配法およびその変形、Quadratic Programming の問題に対しては Simplex 法など、種々の手法が考案されている。

5.1 Direct Differential Gradient Method

LP の問題を最急勾配法で解いた手法を、非線形の問題に一般化したものである。式 (5.1), (5.2) をみたす適当な初期値 x から出発し、 x の変化法として

$$\frac{dx}{dt} = \nabla f(x) - \sum_{i=1}^n K \delta_i(x) \cdot \nabla g_i(x) \dots\dots\dots (5.4)$$

$$\delta_i \begin{cases} = 1, & g_i(x) > 0 \\ = 0, & g_i(x) \leq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (5.5)$$

式 (5.4) の幾何学的意味は LP の場合とまったくどうようである。一般に式 (5.4), (5.5) の解析的な解を求めることは困難であるが、 dx を Δx , dt を Δt におきかえ数値計算により数値解を求めることは可能である。また $f(x), g_i(x)$ の形によっては、

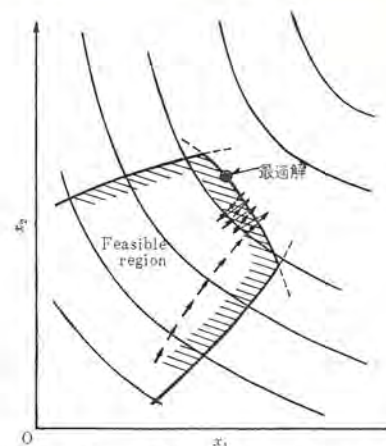


図 5.1 Direct differential gradient method.

アナログ計算機で解くことも可能である。図 5.1 に、2 変数の問題にこの手法を適用したときの動点の軌跡を示す。

この手法は一般的で convex な問題に対してはもちろん最適解は求まり、non-convex の問題でもその local solution は容易に求まるが、その反面 convex な問題に対しては非能率的であるという欠点をもつ。

5.2 Lagrangian Differential Gradient Method

式 (5.4), (5.5) の代わりに

$$\frac{dx}{dt} = \nabla f(x) - \sum_{i=1}^m u_i \nabla g_i(x) \dots\dots\dots (5.6)$$

$$\frac{du_i}{dt} \begin{cases} = g_i(x), & \text{if } u_i > 0 \text{ or } g_i(x) > 0 \\ = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (5.7)$$

を用いる。ここに u_i は $u_i \geq 0$ なる Lagrange 乗数である。式 (5.6), (5.7) により $t \rightarrow \infty$ のとき (x, u) は (x^0, u^0) に収束し、かつ $f(x) \leq f(x^0)$ を満足することは容易に証明できる。ただし $f(x)$ が凹関数、 $g_i(x)$ ($i=1, 2, \dots, m$) が凸関数であることを要する。

これは別の表現をすれば、式 (5.2) および (5.3) の Lagrange 関数 L は

$$L(x, u) = f(x) - \sum_{i=1}^m u_i g_i(x) \dots\dots\dots (5.8)$$

で与えられ、 L の鞍点 (Saddle Point) すなわち

$$\min_{x \geq 0} \max_{u \geq 0} L(x, u) \dots\dots\dots (5.9)$$

をみたす (x, u) を求めると、これが元の問題の最適解になっている。(Kuhn-Tucker の定理)

鞍点 (x, u) は

$$\frac{dx_j}{dt} \begin{cases} = -\frac{\partial L}{\partial x_j} & \text{if } x_j \geq 0 \text{ or } \frac{\partial L}{\partial x_j} < 0 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (5.10)$$

$$\frac{du_i}{dt} \begin{cases} = \frac{\partial L}{\partial u_i} & \text{if } u_i \geq 0 \text{ or } \frac{\partial L}{\partial u_i} \geq 0 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (5.11)$$

から求める。

5.3 Quadratic Programming

式 (5.2), (5.3) における $f(x), g_i(x)$ が

$$f(x) = \sum_j p_j x_j - \sum_{j,k} Q_{jk} x_j x_k \quad (j, k=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (5.12)$$

$$g_i(x) = \sum_j a_{ij} x_j - b_i \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (5.13)$$

ただし Q は $(n \times n)$ 行列で、非負値定符号 (Positive Semidefinite), すなわち評価関数が 2 次の凹関数, 制限条件は線形である。

この問題は前章の Lagrange 乗数を導入し, slack 変数および技巧的変数を用いて, 次に示す LP の問題になおす。

$$\sum_j a_{ij}x_j + y_i = b_i \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (5.14)$$

$$-2 \sum_k Q_{jk}x_k - \sum_i u_i a_{ij} - p_j z_j = -p_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (5.15)$$

のもとに $\sum_{j=1}^n z_j$ を最小にする (x, u) を求める。ただし $y_i \geq 0$, $u_i \geq 0$, $z_j \geq 0$, ここに y_i は slack 変数, z_j は技巧的変数である。

5.4 Projected Gradient Method

評価関数が凹関数, 制限条件が線形の問題に対して J. B. Rosen⁽¹⁵⁾が開発した手法で, 彼はその後, 非線形制限条件の問題にも拡張した⁽¹⁶⁾。

(1) $\nabla f(x^k)$ の計算, ただし x^k は x^0 から出発して k step 目の x の値。

(2) $\nabla f(x^k)$ の, x^k が存在している超平面上への射影を求める。ただし x^k がトツ領域の内部にあるときは $\nabla f(x^k)$ そのもの。

(3) 射影の方向にそって制限超平面群上を生み, 他の超平面と交わる点を x^{k+1} とする。 x^k における射影と, x^{k+1} における射影の方向が逆のときには $\overline{x^k x^{k+1}}$ 上で $f(x)$ を最大にする x^{k+2} を求め, これを新しい出発点にとる。

以上の過程を射影の値が 0 になるまで繰り返す。図 5.2 に一例を示す。

5.5 Separable Programming

式 (5.1), (5.2) で与えられる非線形関数が点 x において各変数 x_j ($j=1, 2, \dots, n$) について separable なとき, すなわち

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \sum_{j=1}^n f_j(x_j) \\ g_i(x) &= \sum_{j=1}^n g_{ij}(x_j) \quad (i=1, 2, \dots, m) \end{aligned} \right\} \dots (5.16)$$

と表わせるとき, 各変数 x_j ($j=1, 2, \dots, n$) に関して $x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^T$ を選べば

$$x_j = \sum_{t=1}^T \lambda_j^t x_j^t, \quad \sum_{t=1}^T \lambda_j^t = 1, \quad \lambda_j^t \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (5.17)$$

をみたとす λ_j^t ($j=1, 2, \dots, n, t=1, 2, \dots, T$) が存在する。そこで, $f_j(x_j), g_{ij}(x_j)$ ($i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$) を

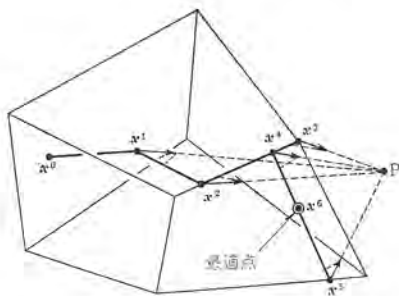


図 5.2 Projected gradient method by J. B. Rosen.

$$\left. \begin{aligned} f_j(x_j) &= \sum_{t=1}^T \lambda_j^t f_j(x_j^t) \\ g_{ij}(x_j) &= \sum_{t=1}^T \lambda_j^t g_{ij}(x_j^t) \end{aligned} \right\} \dots (5.18)$$

で近似式 (5.18) を式 (5.16) へ, その式 (5.16) を式 (5.2), (5.3) へ代入し

$$\left. \begin{aligned} \lambda_j^t &\geq 0, \quad \sum_{t=1}^T \lambda_j^t = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T \lambda_j^t g_{ij}(x_j^t) &\leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \end{aligned} \right\} \dots (5.19)$$

の制限条件のもとで

$$z = \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T \lambda_j^t f_j(x_j^t) \quad (5.20)$$

を最大にする λ_j^t を求めよ, という LP を解く。この λ_j^t を式 (5.7) へ代入して x_j ($j=1, 2, \dots, n$) の近似解を求める。

5.6 Decomposition Technique

大規模の LP を解くのに G. B. Dantzig を用いた手法⁽¹²⁾が, 非線形の問題に拡張されている^{(17), (18)}。

$$x_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5.21)$$

$$x_i \in R_i \quad (\text{convex 領域}) \quad (5.22)$$

$$\sum_{i=1}^n A_i x_i = b \quad (5.23)$$

のもとに

$$z = \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \quad (5.24)$$

を最大にせよ。ここで式 (5.22) は Subsystem 内の制限条件式, 式 (5.23) は, Subsystem 間の連結式である。求解の基本原理は LP の場合とどうようである。

5.7 Cutting-plane Method

評価関数, 制限条件ともに非線形の問題に適用可能であるが, ここでは線形の評価関数の問題に対する解法を紹介する。

$g_i(x)$ ($i=1, 2, \dots, m$) を x^t に関して Taylor 展開し, $x - x^t$ の 1 次の項までを採用し, 式 (5.2) の代わりに

$$g_i(x^t) + \nabla g_i(x^t)(x - x^t) \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (5.25)$$

なる線形の制限条件を用いると, 式 (5.25) を満足する x は, つねに式 (5.2) を満足する。

式 (5.25) のもとで $f(x)$ を最大にする x を求めよ, という L. P. を解く。この解が式 (5.2) を満たすかどうか判定し, 満たないとき, この解を新たに x^t として繰り返し演算を行なう。

図 5.3 に本手法の幾何学的説明図を示す。

6. む す び

以上, まことにおおざっぱに, Linear Programming と Non-linear Programming を中心に, 現在までに開発されている諸手法の概略を紹介した。これらの手法は静的なモデルの最適化の理論の中核をなすもので, 興味ある多くの問題点を含んでいる。

各手法に残された問題点, ならびに今後この分野で研究しなければならない課題をいくつか挙げてみる。

(1) LP に関しては, この論文で述べたように, 一般解法がすでに確立されており, 計算機用システムプログラムも LP/90 など数多く開発されている。今後に残された問題点としては, アナログ

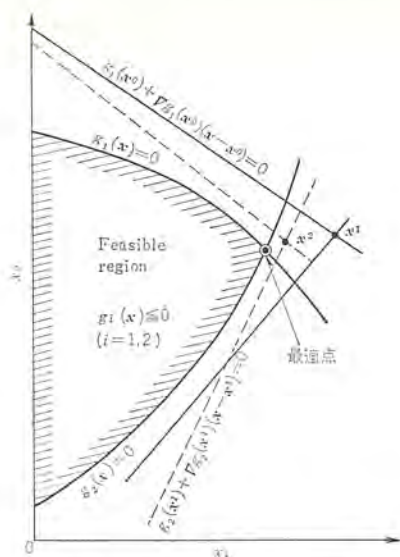


図 5.3 Cutting plane method by P. Wolfe.

またはデジタル方式のLP専用の単能 machine を開発すると、この効用は大きいものと思う。とくにアナログ方式のLP専用 machine を作っておくと、最適化制御システムのSubsystemの最適化に有用である。

(2) 大規模なシステムの最適化に用いられるDecomposition Principleは、今後システムの規模が大形化するにつれて、考え方の本質になるものと思う。Subsystemの最適化は、たとえばアナログ方式の専用単能 machine が受けもち、centralのlarge scale computerで各 subsystem 間の協調をとれば、かなり大規模のシステムの最適化が可能になるであろう。

(3) Integer Programmingのalgorithmは、理論的に収束性が保証され、変数の少ない例題に関しては解が得られているが、変数が少し増すと、相当のiterationの結果、なおかつ解が求まらない。LP解の近傍の整数格子点を目のこつぶしにcheckするという原始的な方法のほうがかえって実用的かもしれない。

(4) Nonlinear Programmingの問題は、最急勾配法が解法の中心になっているため、convexityを仮定しないと解が求まらない。この点に現実の問題との間にgapがある。非線形の問題は、まっこうからこれと取り組むのではなく、なんらかの方法で線形化し、線形の問題に持ちこむのが得策のようである。問題をいかにして線形化するかが今後の問題である。

(5) Mathematical Programmingのむずかしさは、できるだけ計算量を少なくして最適解を求めるという点にあり、ばくだいな計算を行なった結果、真の最適解を見い出す手法よりも、より少ない計算量で最適解に近い解を見い出す手法を開発するほうが実用的である。

(6) 現実の問題を処理する際、すでに開発された手法をなんとか応用しようとするのではなく、モデルをよく検討し、そのモデルに最も適した解法はいかなる方法かを検討すべきで、その結果、必要に応じて新しい手法も数多く生まれてくるものと思う。

なお、次回Mathematical Programmingの動向(その2)では、動的モデルの最適化(Dynamic Programming, 最大原理など)を中心に、Mathematical Programmingの動向(その3)で

は、その他すべての手法(Network Programming, Scheduling, Heuristic Programmingなど)を中心に紹介する予定である。

(昭 40-9-13 受付)

参考文献

- (1) G.B. Dantzig: Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities, in T.C. Koopman (ed.), ACTIVITY ANALYSIS OF PRODUCTION AND ALLOCATION, John Wiley & Sons, Inc., 339 (1951)
- (2) A.W. Tucker: Simplex Method & Theory, in R. Bellman (ed.), MATHEMATICAL OPTIMIZATION TECHNIQUES, Univ. of California Press, 213 (1963)
- (3) P. Huard: Dual Programs, in R.L. Graves & P. Wolfe (ed.), RECENT ADVANCES IN MATHEMATICAL PROGRAMMING, McGraw-Hill Co., 55 (1963)
- (4) G.B. Dantzig: Linear Programming and Extensions, Princeton Univ. Press, 277 (1963)
- (5) T.L. Saaty: Coefficient Perturbation of a Constrained Extremum, Operations Research, 7, 294 (1959)
- (6) E. Simons: Note on Parametric Linear Programming, Management Science, 8, 355 (1962)
- (7) G.A. Korn and T.M. Korn: Electronic Analog and Hybrid Computers, McGraw-Hill Co., 520 (1964)
- (8) I.B. Pyne: Linear Programming on an Analog Computer, Trans. AIEE, Communication and Electronics, No. 24, 139 (1956)
- (9) 福永, 田村: 線形系における多変数最適化制御—数学モデル未知の Linear Programming—, 制御工学 (未刊)
- (10) R.E. Gomory: An Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs, in R.L. Graves & P. Wolfe (ed.), RECENT ADVANCES IN MATHEMATICAL PROGRAMMING, McGraw-Hill Co., 269 (1963)
- (11) A.H. Land and A.G. Doig: An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems, Econometrica, 28, 497 (1960)
- (12) G.B. Dantzig and P. Wolfe: Decomposition Principle for Linear Programs, Operations Research, 8, 101 (1960)
- (13) P. Wolfe: The Present Status of Nonlinear Programming, in R. Bellman (ed.), MATHEMATICAL OPTIMIZATION TECHNIQUES, Univ. of California Press, 233 (1963)
- (14) P. Wolfe: Recent Developments in Nonlinear Programming, in F.L. Alt & M. Rubinoff (ed.), ADVANCES IN COMPUTERS, Vol. 3, Academic Press, 156 (1962)
- (15) J.B. Rosen: The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming, I. Linear Constraints, J. Soc. Ind. and Appl. Math., 8, 181 (1960)
- (16) J.B. Rosen: The Gradient Projection Method for Nonlinear Programming, II. Nonlinear Constraints, J. Soc. Ind. and Appl. Math., 9, 514 (1961)
- (17) Y. Sekine: Decentralized Optimization of an Interconnected System, Trans. IEEE, CT-10, 161 (1960)
- (18) K. Fukunaga and O. Yoshida: Optimizing Control of Large-Scale System Using Modified Decomposition Principle, Preprint of IFAC Tokyo Symposium, III-2, August 25-28 (1965)

新製品紹介

規格形エスカレータ 三菱エスペット

縦の交通機関としてのエスカレータは従来は主として百貨店に使用されていたが、最近ではスーパーマーケット、レジャーセンター、銀行などの中小形ビルにもエスカレータの要望が増してきている。「三菱エスペット」は斯界の要望に応じて、三菱電機が長年のエスカレータ製作の経験を十分活かして、設計を合理化し、仕様を規格化した安価な規格形エスカレータである。

■ 特 長

(1) 国内最初のラハラ化を実施した。従来エスカレータは建物にトラスを架設後の据付調整に長い期間を要し、そのため需要家にご迷惑をおかけしていた。しかしエスペットは工場ではほぼ完全に近い状態に組み立てた後、そのままの姿で設置場所に輸送搬入して架設するので数日後には運転できる。これにより据付期間は大幅に短くなり、納期も短縮でき、需要家にとっては大変都合のよいものとなった。

(2) 800形一種とし、揚程は4.5m以下50mm単位に限定した。これはあらかじめ定められた揚程に製作することで品質も向上し、さらに据付面積を小さくし、建物のハリにかかる荷重を軽減することができた。このような改善により従来は需要家のご要望に応じて製作した意匠が、ある程度の制約を受けることになるが経済的なものとなった。

(3) 踏段は三菱独特のクリートライザ、デマケーションコムを備えて

いる(実用新案第590275号)。この踏段は三菱D形エスカレータですすでにおなじみのもので、高い安全性と美しい意匠は過去の実績が物語っており、他社の追随を許さない最高品質のものである。

(4) 欄干意匠はパネル形のみとし、パネル材には耐摩性、耐引っかかり性にすぐれ、汚れなどがつきにくく、手入れも簡単なメラミン化粧板を使用した。

(5) 上下部乗場の踏段への導入部はスベリ止め模様入りの美しいアルミ板張付のコムプレートを使用し、それ以外のトラス上面はゴムタイル仕上としたマンホールカバーとなっている。コムプレートが長年の使用で摩滅した場合は簡単に取りかえることができる。

上下部乗場の欄干ニューアル部には左右にそれぞれ非常停止ボタンを設け、緊急の場合の操作を容易にした。また乗降をやさしくするため乗場の足元照明用としてコムライトを取り付けた。

■ 標準仕様

揚 程	4,500 mm 以下 (50 mm 単位)
輸 送 能 力	5,000 人/h
速 度	27 m/min
有 効 幅	800 mm
傾 斜 角 度	30°
駆 動 機	ES-300 形、5.5 kW
踏 段	クリートライザ、デマケーションコム付
使 用 電 源	動力用 200/200~220 V 50/60 c/s 照明用 100/100~110 V 50/60 c/s
ゴ ム 手 ス リ	材質：三菱ハイスロン、色：黒、青、えんじ
内 側 パ ネ ル	メラミン化粧板 色 {フレームレッド、ビズケット、キャラメル、 ホワイトグリーン、サーフグリーン、シャドウブルー
外 装	銅板塗装仕上げ黒目地入り 色：オリーブ、アーjentグリーン、ブルーグリーン



三菱エスペット



輸送中の三菱エスペット

三菱ウズ電流電気動力計完成

当社では内燃機関、ガスタービン、各種水力機械などの動力測定用

として、これまで直流電気動力計を多数製作納入し好評を博して

きたが今回 110 kW (150 PS), 2,000~10,000 rpm のウズ電流電気動力計を完成し、三菱重工業京都製作所へ納入した。ウズ電流電気動力計は吸収運転専門の動力計で原理的には単極形高周波発電機に近いものである。計測精度を考慮した構造部分については直流電気動力計の豊富な経験を生かし、電気的部分についてはわが国最大の実績を誇る高周波発電機の経験を生かしユーザの立場に立って取り扱いの容易なものをモットーとして製作した。

動力計セットはウズ電流電気動力計本体、回転計発電機、ハカリ装置、制御装置などより構成される。動力計揺動部に発生した回転力(トルク)はトルクアームを介してハカリ装置に伝達され補助傾棒をへて振り式自動ハカリに指示される。ここで指示されたトルクと回転数により被試験機の出力を測定する。

ウズ電流電気動力計は直流電気動力計に比べて電動機運転ができないことをのぞいてはほとんど遜色がなく、非常に安価であるのでエンジン性能試験用などとしては最も経済的である。

制御装置としては定速度制御、トルク制御が自由に行なえるようになっており、種々の計測が簡単にできるようになっている。図 1 はウズ電流電気動力計の外観であり、図 2 はその制御盤である。

■ 仕様

エンジン性能試験用であり仕様は下記のとおりである。



図 1 110 kW ウズ電流電気動力計



図 2 制御盤

■ 構成

110 kW (150 PS) ウズ電流電気動力計

ハカリ装置

回転計発電機

軸受潤滑装置

制御装置

■ 動力計定格

吸収容量 110 kW (150 PS)

回転数 2,000~10,000 rpm

定格 連続

絶縁 F 種

回転子 GD² 1.8 kg-m²

冷却水量 60 l/min 30°C 以下

■ 特長

- (1) 安価である。
- (2) 小形軽量である。
- (3) 構造簡単で取扱い保守が容易である。
- (4) 高精度である。
- (5) 慣性モーメント GD² が小さい。
- (6) 吸収トルク特性を自由に変えることができる。
- (7) 定速度制御が自由に行なえる。

■ 用途

次のような用途に最適である。

- (1) 各種エンジンの連続試験
- (2) 各種エンジンの一般試験
- (3) 燃料、潤滑油、気化器などの性能試験
- (4) ガス分析試験
- (5) ショーダイナモメータ

■ 標準定格

標準定格は次のとおりである。

形 式	吸収容量 kW (PS)	回転数 (rpm)	冷却水 (l/min)
ED-3	22 (30)	2000~10,000	15
ED-7	55 (75)	"	30
ED-15	110 (150)	"	60
ED-20	150 (200)	"	80
ED-30	220 (300)	2,000~7,500	120
ED-50	375 (500)	1,500~5,000	200
ED-100	750 (1000)	1,000~3,000	400

温かい食事と衛生的食生活をお約束する 温蔵プラス食器乾燥

三菱 温蔵庫 (ダイヤホット W, HW-40 形)

当社で始めて開発された温蔵庫で調理済みの食品温蔵がおもな目的であるが、当社温蔵庫独特の特長として食器乾燥機としても使用できる。庫内の加熱は内箱天井内のダクトに設けたニクロム線ヒータ (350 W) で行なっている。庫内空気は同じダクト内に主ファンを持つ軸流送風機で強制循環し内箱天井手前の穴から吸引された空気が上方に流れて前記ヒータの加熱をうけファンで加圧されて内箱背部の開口部から吹き出される。

食品を腐敗させる細菌類は約 60°C 以上でそのほとんどが死滅するといわれており当社の温蔵庫は吹出空気をバイメタルサーモで制

御して庫内温度を 70±5°C に保っている。すなわち内箱背部の開口部から吹出す温風が食品間を一様に流れて全食品を約 70°C に温めながら内箱天井に吸い込まれる。温蔵にあたっての温蔵庫操作方法は上部前面パネル左部にある開口部をその右のコントロールパネル左側のスライドツマミで閉じ同じパネルの右側にあるタイムスイッチを左方に 45° 回わせば良い。この操作で内箱内の空気は外部とシャ断されて加熱装置はタイマに関係なく連続的に動作する。

次に当社温蔵庫のみの特長であるがこの温蔵庫は食器乾燥機としても使用できる。普通食器はふきんを使用して水分をふきとり

空気中で乾燥させるがこの間に食器は各種の細菌にさらされる機会がある。食器の乾燥はスライドツマミによって前面上部左側の開口部を開く。この開口部は二つに分れており片側は庫内空気循環用ファンの吸入側に通じ、他方は庫内側に通じているので庫内空気の一部が入れ換りながら食器が加熱されるので洗いたての食器もほぼ 45 分程度で完全にしかも衛生的に乾燥させることができる。しかし庫内に食器を入れて加熱乾燥させようとする場合当然ながら食器の量によって所要時間は異なるのでタイムスイッチで運転時間の調節を可能にしている。タイムスイッチツマミを右に回わすと60分以内で任意の時間が選定できる。



温蔵庫 (ダイヤホット W, HW-40 形)
現金正価 ¥ 21,900
月賦正価 ¥ 23,300

変わった使用方法としては暖かいおしぼりや半熟卵の製造、海苔煎餅の乾燥などがある。

また好みによっては テレビ の足をつけて高い位置での使用も可能である。

仕 様

有効内容積	37 l	庫内温度	70°C±5°C
キabinet (トビラ外板、外箱)	冷間圧延銅板製 特殊合成樹脂焼付塗装 高級アルミニウム製 硫酸アルマイト仕上	安全装置	バイメタル式自動 温度調節器および 110°C 温度ヒューズ
(内 箱)	樹脂処理高級 ガラスウール	特殊装置	温蔵、乾燥切替装置
断熱材		付属品	タナ 2 枚 カゴ 1 個 油さし 1 個
温蔵方式	温風循環温蔵方式	製品重量	17 kg
電 源	100 V 50/60 c/s	型式認可番号	▽81-819
入 力	380W		



温蔵庫 (食器の乾燥)

急冷プラス殺菌

家庭用三菱電気冷蔵庫

41 年度家庭用電気冷蔵庫は、今秋各社いっせいに紹介されたが中でも当社は冷蔵庫本来の使命である冷却力という点に大幅な改良を加えスローガンも“急冷プラス殺菌”として MR-075S (66 l), MR-100D (92 l), MR-115B (106 l), MR-115AB (106 l), MR-135D (127 l), MR-175FE (冷凍室 33 l+冷蔵室 130 l), MR-195HE (184 l), MR-265HE (253 l) の 8 機種が発表された。

特 長

(1) 急冷プラス殺菌

急冷の内容はすでに定評のあったすぐれた冷却能力を冷蔵庫の負荷に応じて常に 100% 発揮できるように温度調節器の感温方式を改めたもので、負荷が上昇すればそれを敏感に感知してすばやく冷却するというものである。いいかえれば庫内の温度変化に忠実に温度調節器が作動するわけで負荷の変化および周囲温度の変化によって庫内温度が変わるという過去の冷蔵庫の欠点のある程度は正したものである。そしてすぐれた冷却力がそのまま少ない消費電力量につながり、経済的でしかも忠実なハイファイ形冷蔵庫になったわけである。また殺菌については当社独特の低温用として開発された殺菌灯により庫内の空気殺菌、庫内部品品の殺菌をはじめ食品の栄養価をそこなわずに表面殺菌し食品の衛生的な貯

蔵を目的としたものである。

(2) 強力ワイドフリーザ

最近の食生活の変化にともなって近年の冷蔵庫はフリーザ付きが主流となってきた。そしてこれも今までの簡易フリーザ式から温



MR-115AB 形電気冷蔵庫
現金正価 ¥ 62,600
月賦正価 ¥ 67,000 (12 回)



MR-175FE 形電気冷蔵庫
現金正価 ¥ 102,000
月賦正価 ¥ 109,000 (12 回)

度特性上からもまたその容量からも2枚トビラ本格2温度式に近いワイドフリーザ付きの冷蔵庫となり仕様のにも時代の最先端をゆくものになった。そして過冷防止として効果の高いダンパーがついているため四季を通じてフリーザが使用できる特長がある。

(3) 自動蒸発霜取

霜取方式に関してはオフサイクル式、ホットガス式、ヒータ式と各種の方式をそれぞれの用途に従って使いわけしており8機種がすべて自動霜取になっている。なかでもMR-115AB形はタイマによるフルオートマチック式であり2枚トビラ本格2温度式、MR-175FE形は冷蔵庫側のフロストフリー式に加えてさらに冷凍室側もヒータ式急速霜取方式を新しく採用し名実ともに霜から解放されたものになった。また蒸発に関しても業務用大形機種のMR-195HE、M

R-265HEに新しくヒータ式急速自動蒸発装置が付き小形MR-075S以外すべて自動蒸発式がそろったことになる。

(4) フラッシュタイプライター

トビラを90°開くだけで食品はもちろん、肉皿、野菜入れなどすべての店内付属品がとり出せるフラッシュタイプライターも当社自慢のもので、せまい台所の隅においても十分その機能を果せるのは他社のものにはなく文字通りのコーナタイラといえる。

(5) クールタッチキッチンテーブル

全機種スクエアタイプで、中小形には光沢があり硬度耐熱性ともに高いクールタッチキッチンテーブルがついていて一段と清潔感が強調されている。またコントロールパネルも黒を基調とした豪華で落ついた感じにしたものでいっそう見やすくなり好評である。

新形三菱オートラジオ (FM/AM および自動同調式)

雑音や混信が少なく、すぐれた音質をもつFM放送は、欧米諸国ではすでに著しい普及を見ているが、日本でもようやく、そのきざしがあり、全国に50有余の局が開設された。

オートラジオでFMを受信する場合は、自動車の移動による電界強度の激しい変化や、電源電圧と周囲温度の変化、あるいは振動やエンジンからの雑音など、いろいろと過酷な条件があるが、当社では数年前から、最も実用的なアンテナや、ゼナーダイオードとAFCによる局発の安定化、温度補償、耐震性その他あらゆる事項につ

いて実験検討を加えた結果、きわめて安定かつ高性能でしかも、世界で最も小さく、あらゆる国産車に取付可能な本格的FM/AMオートラジオAR-100形を開発し、仕社に先駆けて、今春より販売している。本機は5個の押しボタンの中、2個がFM用で、ボタンを押すことにより選局とFM・AMの切換は同時に行なわれ、きわめて便利に使用できる。出力回路はOTLのSEPPで、最大6W 16CM丸形のダイナトンスピーカによって、すぐれた音量、音色をもっている。

また、自動同調式のAR-920SD形は、三菱重工業製高級乗用車デボネア純正部品として装備されており、2スピーカ方式を採用しアンテナは電動式である。後部座席にリモコンユニットがあり、選局、音量調整などの遠隔操作が可能である。自動同調装置の機構部には2件の当社実用新案が使用されている。



図1 AR-100形FM/AMオートラジオ



図2 AR-920SD形自動同調式オートラジオ

■仕様

	AR-100形 (FM/AM)	AR-920SD (自動同調)
受信周波数	AM: 530~1,605kc FM: 76~90Mc	AM: 530~1,605kc
同調方式	押しボタン式(5ボタン)および手動式	自動(リモコン可能)および手動
回路方式	高周波1段増幅スーパーヘテロダイン	同左
最大感度	AM, FMとも20dB以内	20dB以内
選局停止感度		DX: 40dB LOCAL: 56dB
最大出力	6W	4W
スピーカ	16cm丸4Ω	16cm×10cm, 8Ω2個
電源電圧	10.5~15.5V, 極性切換式	10.5~15.5V, -アース
外形(本体)	50H×160W×160Dmm	50H×160W×160Dmm
その他	FM, MPX端子付	リモコン・ユニット付属

三菱ポータブルステレオ電蓄 PG-850形《ミュージカS》新発売

当社では、居間、寝室、応接間など好みの部屋で、手軽に迫力あるステレオ演奏が楽しめる、ポータブルステレオ電蓄として、このほ

ど前面スピーカシステム、セラミック、カートリッジなど本格的なステレオ機構を採用した、ポータブルステレオ電蓄(受称ミュージカS)を新発売い

たします。

■ 特 長

(1) ダイナトンスピーカによる前面スピーカ方式採用
音質で昔から定評あるダイナトンスピーカを2個内蔵していますから、すばらしいステレオ演奏が楽しめます。

(2) ステレオ・セラミック・カートリッジ使用

ステレオ専用セラミック・カートリッジを使用していますので、温度、湿度の影響を受けず、最良のステレオ演奏が聞けます。

(3) 軽くて丈夫

ケースは丈夫なプラスチックの三菱ポリプロピレンを使っているのです、キズがつきにくく、またサビたり変色したりする心配がありません。またどこへ持って歩くのも気にならないほど軽くていかすデザインです。

■ 定 格

形 式	2スピード、ポータブルステレオ電蓄
スピーカ	14×8 cm 円形 パーマネントダイナミックスピーカ 2個
出 力	最大 1.2+1.2 (W) 無ヒズミ 1.2+1.0 (W)
モ ー ト ル	単相、2極 インダクションモートル

ターンテーブル	直径 17 cm, モールドプレスシート付き 2スピード (33 $\frac{1}{3}$, 45回転)
ピックアップ	ステレオ・セラミック・サファイヤ針付き
針 圧	8 g
電 源	105 V, 交流 50/60 c/s
消費電力	45 VA 以下
外形寸法	40×11.5×25.5 (cm)
重 量	2.5 kg



PG-850 形三菱ポータブルステレオ電蓄
(愛称 ミュージカ S)

現金正価 ￥6,460
月賦正価 ￥6,800

キャプスタン方式で世界最小

三菱テープレコーダー T-165 形《メモパック》新発売

当社では、このたびキャプスタン・ドライブ式で世界最小、軽量かつ長時間録音のできる高性能トランジスタ式ポータブルテープレコーダー T-165 形を新発売しました。このテープレコーダーは愛称を《メモパック》と呼び、2号テープで往復1時間20分の録音、再生ができるためビジネスマンのアシスタントとして、またレジャーや教養面にも気軽に利用できます。

商談や契約の覚え、会議や打合せの記録、筆記の手助け、電話のメモ代わりに、またインタビューや現場録音にも役立つほか、同窓会、旅先での音のメモリング、速記やタイラの練習などさまざまな用途があります。さらに技術的特長としては、世界で初めてのESC方式(エレクトリック・スピード・コントロール)を採用しており、電池の電圧が下っても、テープスピードが自動的にコントロールされます。ESC方式は、ヒズミ車を無くしたにもかかわらずスムーズに回転するように設計されています。

■ 特 長

(1) キャプスタン式本格派のテープレコーダーで、大形機種なみの性能。

(2) 190×86×48 mm と超小形のためどこにでも手軽に携帯できる。

(3) ESC方式を採用しているので電圧が下っても回転ムラが生じない。

(4) 往復1時間20分の長時間録音、再生可能。

■ 規 格

電 源	単3形乾電池4個(6V)
-----	--------------

使用テープ	2号(46 mm)
録音方式	交流パイアス方式
消去方式	直流消去方式
トラック方式	2トラック、モノラル
テープ速度	2.4 cm/sec
録音時間	1時間20分(往復)
使用トランジスタ	8石
スピーカ	66 mm 丸形ダイナミックスピーカ
電池寿命	連続4時間以上
出 力	最大 200 mW
外形寸法	190×86×48 mm
重 量	650 g (電池を含む)



T-165 形三菱テープレコーダー(愛称 メモパック)

現金正価 ￥13,000
月賦正価 ￥13,900



ニュースフラッシュ

■ 関西電力納め 345 MVA 低騒音変圧器完成

当社伊丹製作所で、かねてより製作中であった関西電力伊丹変電所納め 345 MVA 低騒音負荷時タツ切換変圧器がこのほど完成し、無事 9 月に工場試験を終え出荷された。この変圧器は、関西電力の変電所用としては、初の 300 MVA 級変圧器であり、大容量であるため、負荷時タツ切換器には、MR 社製 F 形タツ切換器を各相に 1 台備えている。また都市近郊に設置されるため、大容量送油風冷式でありながら、騒音は 70 ホン以下と指定されており、このため、本体は二重防音壁付きとし、冷却器は特殊低騒音風胴付きとなっている。また、既設 LRA 付 150 MVA 変圧器と並列運転されるため、コイル配置を特殊とし、別置 LRA 付変圧器と各タツにおけるインピーダンスを一致させ、つねに負荷分担が均一となるよう考慮されている。おもな仕様は次のとおり

特別三相 60 サイクル 外鉄形 送油風冷式 等価 345 MVA
室素封入式 負荷時 タツ切換器付き 低騒音形 70 ホン
一次 262.5 kV ± 25 kV 300 MVA
二次 77 kV 300 MVA
三次 22 kV 90 MVA



関西電力伊丹変電所納め 345 MVA 低騒音変圧器

■ 新しい大容量短絡試験設備と SF₆ ガスシャ断器の公開披露

電力系統の増大ときたるべき 500 kV 送電に備えて鋭意建設中であった新しい大容量短絡試験設備がこのほど完成したので、さきに開発完了し形式試験を行なった SF₆ ガスシャ断器の発表を兼ね、8 月 30 日伊丹製作所に関係者約 100 名を招待して披露会を行なった。この設備は発電機端子三相短絡出力 5,500 MVA という世界屈指の大容量で、等価試験設備、近距離線路故障設備など最新の設備を誇っている。

また、SF₆ ガスシャ断器は空気の約 100 倍もすぐれた消弧性能をもつ SF₆ ガスを利用したシャ断器で簡単な消弧室で消弧性能がきわめて優秀なこと、シャ断時に爆発音がないこと、接触子の損耗が少なく定格シャ断電流を 50 回以上シャ断しても接触子になお使用できるなどの大きい特長がある。今回発表された 168 kV, 10,000 MVA, 300 kV, 25,000 MVA, 定格電流 4,000 A のシャ断器は、昨年すでに形式試験を終わった 84/72 kV, 5,000 MVA, 1,200/4,000 A シャ断器とともに新しい大容量 シャ断器 シリーズ として関係方面の大きい期待がかけられている。



新設大容量短絡試験設備および 300 kV, 25,000 MVA, 4,000 A SF₆ ガスシャ断器の披露会 (ガスシャ断器公開風景)

■ 300 kV 20,000 MVA OCB の形式試験終了

わが国の 300 kV 超高圧系統においては近年の需要増大による大容量発電所の建設とその連系に伴い、系統容量の飛躍的な増加をきたしている。関西電力においてはすでに超高圧系統用 シャ断器において現在の 15,000 MVA の シャ断容量を越えることが予想されるに至った。

当社においては昭和 32 年以来 300 kV の GW 形油 シャ断器を多数製作納入しており 15,000 MVA の 250-GW-1500 形油 シャ断器はわが国最大容量級の機種である。この油 シャ断器は Westinghouse 電機会社の 345 kV, 25,000 MVA 定格の技術を導入したもので基本設計はまったく同一であり、したがって現在の シャ断容量に対して十分の裕度をもっているものである。

このことより今春来 シャ断容量の増加について関係者において打ち合わせを行ってきたが、消弧室のごく一部の部品を変更するのみで従来有していた シャ断容量の裕度を維持した 300 kV, 20,000 MVA の 250-GW-2000 形油 シャ断器として昭和 40 年 7 月関西電力立会のもとにその形式試験を実施しその性能を十分満足していることが立証された。

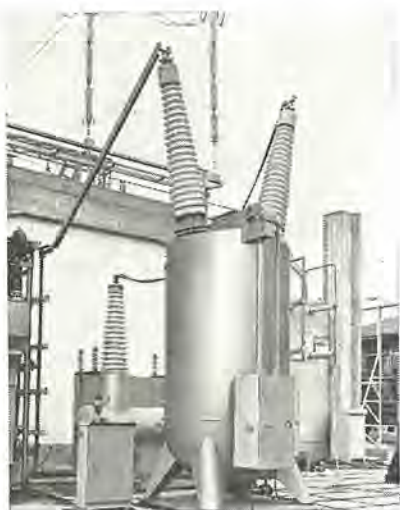
試験は当所に新設された大電力試験設備を使用し、短時間電流試験、JEC 110% の最大 シャ断電流における単相実負荷ならびに Weil 回路等価試験、脱調ならびにキロメートル故障条件による等価

試験など、一連の 20,000 MVA シュ断器として考えられるあらゆる試験を実施し、いずれも予期どおりの好成績を収めた。

この試験により今後製作されるシュ断器はもちろん、既納の 250-GW-1500 形のすべてに對しわずかの改造により 20,000 MVA のシュ断器として使用することが可能であることが証明されたわけである。

この GW 形油 シュ断器のおもな定格は次のとおりである。

形 名	250-GW-2000
定格電圧	300 kV
定格電流	2,000 A
定格 シュ断容量	20,000 MVA
定格投入電流	105 kA
定格短時間電流	42 kA
定格 シュ断時間	3 c/s
定格周波数	60 c/s
標準動作責務	0—0.35 秒—CO—1 分—CO
定格操作電圧	DC 100 V
定格操作圧力	15 kg/cm ²



シュ断試験中の 300 kV, 20,000 MVA GW 形油 シュ断器

■ 世界最高速の新聞輪転機用自動紙継ぎ装置完成

新聞はできるだけ新しいニュースを、印刷しなければならない。原稿メ切の時間を遅くすれば、新しいニュースを集めることができるのであるが、所定の時間までに印刷を終わらなければならないため、新聞輪転機の速度は年々高速になり、現在では最高 680 m/min (15 万部/時) で印刷されている。

給紙部より印刷部へ供給される印刷用紙は、巻取紙の径が 36" の場合約 7,000 m の長さであるが、680 m/min で印刷すると 10 分少々でなくなってしまう。従来は巻取機の径が小さくなると、印刷機を速度を相当低い速度まで降下させて、手動で紙継ぎを行っていた。最近自動紙継ぎ装置付 リールスタンドの開発がなされているが、高速での紙継ぎには十分な信頼性がないため、実際には低速で自動紙継ぎを行なっているのが実状のようである。

このたび三菱重工業と共同で高速自動紙継ぎ装置を製作し、良好な結果と多数の資料を得ることができた。近年紙業界ではコータ

の設置が増え、コータ速度も年々上昇を続けている。コータの給紙もまったく新聞輪転機と同様に行なわれるので、高速コータの給紙装置の設計にも資するところが多い。

新しい巻取機の表面速度を印刷速度にまで加速し、紙継ぎ完了と同時に張力を印加しなければならない。このため巻取機軸を直流電動機で駆動し、紙継ぎ完了と同時に張力制御に切り換える。軸駆動方式であるため、表面駆動の場合起こりがちな、ベルトによるリール表面の損傷とか、ベルトにより発生する静電気による印刷機に対する悪影響などは全然ない。

張力は紙の張力を直接検出して応答の早い張力制御を行なっているため、巻取機径や、印刷機速度、加減速などに関係なく、所定の張力に制御される。給紙のむだを省くため走行中の巻取紙径を、電氣的に測定して紙継ぎ動作を自動的に行なわせている。

■ 神戸電鉄回生車用電機品完成

かねて神戸電鉄から受注し、鋭意製作中であつた回生車用電機器一式が完成し納入された。

神戸電鉄路線はいたるところに最高 50% の連続コウ配を有するためその安全性にはとくに意を注ぎ、従来発電抑速制動によるコウ配運転を行なってきた。今回抑速回生制動を採用し、コウ配運転の利点を活用し電力消費量の軽減をはかるものである。

納入されたおもな電機品は、主電動機、駆動装置、制御装置、空制装置、集電装置、戸閉装置である。

制御装置は MM2 両固定 1 編成を制御する電動カム軸多段式制御装置で、機器はコンパクトでかつ保守点検に便利なように考慮している。さらに急コウ配運転での安全性を確保するため回生制動失効時は発電抑速制動に自動的に切り換わるようにしている。また空気ブレーキ故障の場合の非常発電制動ノッチ、片モータ回路開放の主要項目および特長は次のとおりである。

主要項目

編 成	MM
自 重	32.9 t
定 員	140 人



図 1 MB-3054-B 形主電動機



図 2 CB-77C-1 主制御器

電車線電圧	DC 1,500 V
制御電圧	DC 100 V
制御空気圧	5 kg/cm ²
主電動機	DC 375 V, 224 A, 75 kW×8 最大界磁弱め率 30%
主 回 路	力行：主電動機 4 個直列の 2 群を永久並列接続 電制：4 個直列の 2 群を各群ごとに抵抗制御 回生抑速：4 個直列の 2 群を並列接続（界磁コイル 8 個は直列接続）
制御方式	電動カム軸スイッチ式
ブレーキ方式	抑速：回生ブレーキ 停止：発電ブレーキ+空気ブレーキ

特 長

(1) 回生制動方式は界磁 1/4 電流方式であるので力行特性は普通の直巻電動機と変わらない。また界磁回路の電力損失も少ない。

(2) 回生制動失効時は発電抑速制動に自動的に切り換わる。また切換期間中は空気ブレーキを付加する。

(3) ステップ もどしを行なうので ショック がない。

■ 熱処理センタに新設備完成

当社の誘導加熱試験研究設備として昭和 39 年初頭から活動を開始した熱処理 センタ は着々と整備発展し、その間の成果としては、自動車用 リヤアックスの低 ヒズミ 焼入装置や大容量 タン（鍛）造加熱装置としてすでに発表されており、このほかにも多くの加熱、焼入装置を製作していることは本誌回顧号などでご承知のとおりと思う。

今まではこれら装置の設計にあたっていちいち実験器具を作り不便な能率の上らない方法で試験、測定を行なっていたが、これでは客先からの数多くの実験依頼に応じ切れないため新たに本格的な実験設備を完成し運転を開始した。

ここにその設備の概要を報告し、諸方よりの試験依頼をお待ちするとともに独自の試験研究の分野でもさらに一段と拍車を掛ける所存である。

(1) 万能焼入装置

ワークピース 最大長	1,200 mm
ワークピース 最大径	500 φ
ワークピース 最大重量	50 kg
ストローク	1,200 mm
送り速度	2~30 mm/sec

(2) アックス 低 ヒズミ 焼入装置 (図 1)

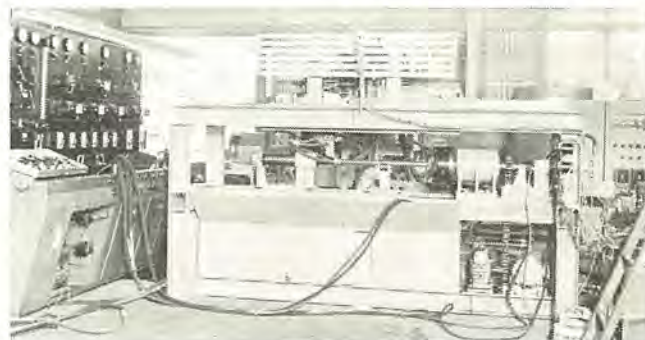


図 1 低 ヒズミ 焼入 装置

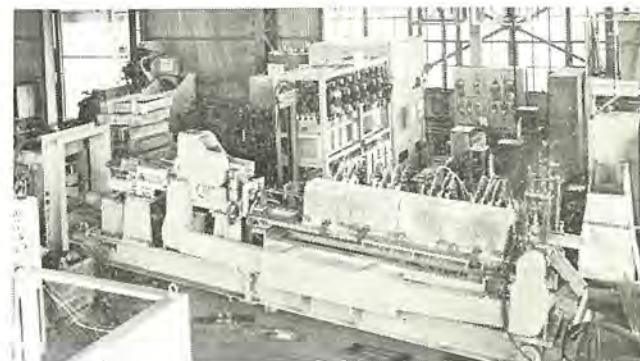


図 2 誘 導 加 熱 装 置

ワークピース 最大長	1,000 mm
フランジ 径	200 φ 以内
ヒズミ 押え精度	軸中央部でフレ が 0.1 mm 以内
ストローク	1,100 mm
送り速度	2~30 mm/sec

(3) 誘導加熱装置 (図 2)

各種金属 プレット を タン 造押出し温度まで加熱するための試験に用いる。

加熱物形状	直径 20~100 φ	一辺 20~80 □
	長さ 40~300	
加熱温度	500~1,300°C	
加熱重量	最大 2,500	最小 500 kg/H

(4) 電源設備

上記誘導加熱試験用の電源として次の各機種を備え、それぞれの装置に任意につなぎ定める。

(a) 10 kc 150 kW 高周波発電機および整合盤各種

(b) 3 kc 300 kW 高周波発電機および整合盤各種

なお 3 kc 300 kW 高周波発電機は近くもう 1 台増設し並列運転による出力増大をはかっている。

(c) 100 kc 100 kW ラジオヒータ

(5) 各種計測器

以上の装置により加熱、熱処理した結果を試験、判定するための各種硬度計、顕微鏡、強度試験機、分析装置などをそろえている。

電力用変圧器

発明者 谷中 頼朝・田中 良平

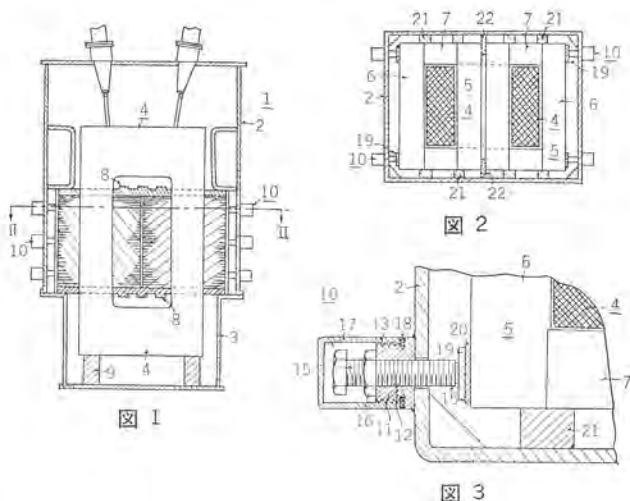
この発明は分割された鉄心成層体を銜合接続してなる変圧器に関する。

従来の電力用変圧器の鉄心は、鉄心成層体を互に緊締するため余分な端ワッおよび締付ボルトなどを必要としたので、磁気特性の低下および騒音発生を伴う欠点があった。この発明は上記の欠点を除去するために適当に分割された鉄心成層体を互いに密着接続して良好な銜合接続を行なうとともに、わずかな時間で分割鉄心の組立のできるようにした変圧器を提供するものである。

実施例について説明すると、変圧器本体 1 は上部タンク 2 と下部タンク 3 を一体に接続した変圧器タンクと、コイル 4 および鉄心 5 とから構成されている。鉄心 5 は適当に分割された複数の鉄心成層体 6 および 7 からなり、鉄心 5 の下面および上面はおのの絶縁支持板 8 によって挟持され下面支持板 8 は下部タンク 3 の上端フランジに、上面支持板 8 は上部タンク 2 の空部に係合して鉄心 5 をタンク内に載架保持している。タンクの両側壁に設けられた複数の締付装置 10 は円筒管状の支持体 11 締付ボルト 15、キャップ 17 を有している。支持体 11 はその内面にメネジ 12 と外面にオネジ 13 とを有し、溶接などにより上部タンク 2 の側壁外面に固着されている。この支持体 11 のメネジ 12 には締付ボルト 15 がう(螺)合し、この締付ボルトの先端は変圧器タンク内に突出している。

そしてこの先端を支持体 11 に対して錠止めするように止めナット 16 が締付ボルト 15 に装置されている。支持体 11 のオネジ 13 にキャップ 17 のネジ部がう合され、支持体 11 との間にそう入されたガスケット 18 を圧迫している。キャップ 17 とガスケット 18 はタンク内に貫通突入した締付ボルト 15 に沿って絶縁油の漏れを防止している。

(特許第 420214 号) (伊藤記)



位相比較式抑制方式

発明者 森 健

この発明は母線、変圧器などの保護に適用できる位相比較式抑制方式に関し、差動継電器に付加すれば十分に動作の確実性を増すことができる。

従来多端子母線を保護する場合、単なる差動継電器では外部事故時に故障端変流器の鉄心飽和によって継電器が誤動作した。このため母線各端子の電流に比例する抑制力を与えることが行なわれたが、この方式は内外事故とも抑制が一定で、内外事故の抑制が不十分であった。この発明はこれを改良し、外部事故では十分な抑制力があり、内部事故では抑制がゼロになるようにし、これを最も簡単な回路で実現するようにしたものである。

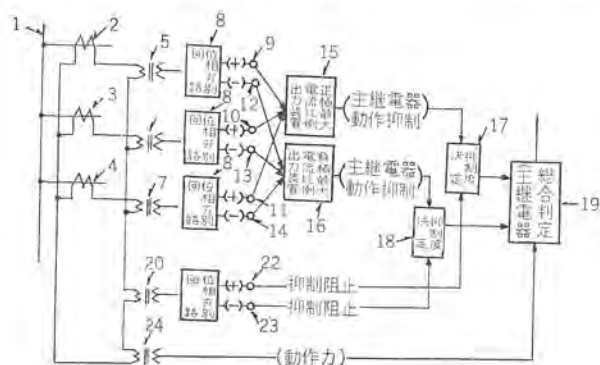
図はその実施例で、(1) は被保護母線、(2)～(4) は各端子の電流を取り出す変流器、(8) は位相弁別回路で各瞬間の各端子電流の位相が正であるか、負であるかを弁別し、正の時端子 (9)～(11) にその端子電流に比例した量を発生し、負の時は端子 (12)～(14) に同様の出力を出す。

(15) は (9)～(11) のうちの最大のものを選択してその量に比例した電圧を発生する装置で、もし代数和電流位相弁別回路 (21) の正極出力がないときは発生した電圧はすべて抑制に使用される (16) は (15) と同じ装置で、(17) は (15) の出力を受け (21) の出力が正でなければ (15) の出力電圧の大きさのみによって、主継

電器 (19) への抑制作用を決定し、(21) の出力が正であれば (21) の出力電圧から差し引いた電圧の大きさによって同回路の (19) に対する抑制作用を決定する抑制制度決定回路である。(18) は (17) と同様である。

この発明は上記のように構成するから、内部事故のときは (15)、(16) の出力は (22)、(23) の出力により消されてしまい抑制力がない状態となる。一方外部事故時には (15)、(16) とともに出力を有し、(22)、(23) は一方しか出力を有せず、したがって抑制力は大きくなる。

(特許第 412102 号) (太田記)



最近登録された当社の特許

名 称	特 許 日	特許番号	発 明 考 案 者	関 係 場 所
脱調検出継電器	40- 2- 5	439086	三 上 一 郎	神 戸
回転体の故障警報装置	40- 2- 5	439087	武 田 克 己	福 山
並行 2 回線用保護継電装置	40- 2- 5	439088	北 浦 孝 一	神 戸
電気弁の不平衡検出装置	40- 2- 5	439089	馬 場 利 彦	伊 丹
負荷電流制御装置	40- 2- 5	439090	武 田 克 己	福 山
負荷電流制御装置	40- 2- 5	439091	武 田 克 己	福 山
位相差検出装置	40- 2- 5	439092	北 浦 孝 一	神 戸
長時限電圧記憶装置	40- 2- 5	439093	三 上 一 郎	神 戸
電気車用電動発電機の制御装置	40- 2- 5	439094	武 藤 哲	神 戸
低負担高感度縦電器	40- 2- 5	439095	森 健	神 戸
関数発生器	40- 2-12	316594	{ 紫 谷 浩 二・桑 田 博 江 塚 昭	鎌 倉
電解加工用電解液供給装置	40- 2-16	439994	前 田 祐 雄・斉 藤 長 男	中央研究所
電解加工用電極	40- 2-16	439995	前 田 祐 雄・斉 藤 義 男	中央研究所
追尾レーダ方式	40- 2-16	439996	遠 藤 義 昭	無線機・鎌倉
乗除算器	40- 2-16	439997	三 好 一 賢	中央研究所
複数電気量の不平衡率検出装置	40- 2-16	439998	藤 井 重 夫	神 戸
電解加工用電解液供給装置	40- 2-16	439999	{ 津 枝 正 介・前 田 祐 雄 斉 藤 義 男	中央研究所
アルミニウム 用電解加工液	40- 2-16	440000	前 田 祐 雄・斉 藤 義 男	中央研究所
電解加工用電解液供給装置	40- 2-16	440001	前 田 祐 雄・斉 藤 義 男	中央研究所
電解加工用電解液供給装置	40- 2-16	440002	{ 前 田 祐 雄・斉 藤 義 男 荒 井 伸 治	中央研究所
電解加工装置	40- 2-16	440003	{ 前 田 祐 雄・斉 藤 義 男 荒 井 伸 治	中央研究所
電解加工装置	40- 2-16	440004	前 田 祐 雄・斉 藤 義 男	中央研究所
飛しょう体誘導方式	40- 2-24	440724	麻 生 和 男	鎌 倉
自動電話機用ダイヤル番号記憶装置	40- 2-24	440725	大 島 羽 幸 太 郎	鎌 倉
放電加工装置	40- 2-25	441018	斉 藤 長 男	中央研究所
	40- 2-25	441020	神 浦 秀 太 郎	長 崎
送電線保護継電装置	40- 2-25	441021	{ 北 浦 孝 一・古 谷 昭 雄 山 内 成 周	神 戸
冷暖房用冷媒回路	40- 2-25	441019	高 橋 克 己	静 岡
天井扇首振旋回装置	40- 2-25	441029	石 橋 進	中 津 川
自動トースター	40- 2-25	441038	大 野 才 三・八 田 尚 治	{ 群 衆 研 究 所 中 央 研 究 所
自動トースター	40- 2-25	441039	野 畑 昭 夫・森 本 敏 夫	伊 丹
直流電動機の制御装置	40- 2-25	441023	細 野 勇	伊 丹
バスダクト	40- 2-25	441024	堀 田 滋 矩	名 古 屋
エンジンクラッチ 制御装置	40- 2-25	441025	三 木 隆 雄	姫 路
圧延 ロール 装置相互間のギャップ 差保持装置	40- 2-25	441026	木 内 修	神 戸・長 崎
圧延 ロール 装置の定比率圧下調整装置	40- 2-25	441027	木 内 修	神 戸・長 崎
直流電動機の制御装置	40- 2-25	441028	細 野 勇	伊 丹
金属加工装置	40- 2-25	441030	前 田 祐 雄・斉 藤 長 男	中央研究所
転送引きはずし継電装置	40- 2-25	441031	天 野 恒	神 戸
複式電磁連絡装置	40- 2-25	441033	宮 崎 秀 夫	姫 路
優先 ショ 断装置	40- 2-25	441032	三 上 一 郎	神 戸
電磁 クラッチ 制御装置	40- 2-25	441034	三 木 隆 雄	姫 路
制御極付半導体整流素子を用いた直流電動機制御装置	40- 2-25	441035	吉 田 太 郎	名 古 屋
巻線形誘導電動機の回転子短絡装置	40- 2-25	441036	木 内 修	長 崎
電気車用電動発電機の制御装置	40- 2-25	441037	武 藤 哲	神 戸
放電加工装置	40- 2-25	441040	斉 藤 長 男	中央研究所
電動機制御装置	40- 2-25	441041	武 田 英 夫・渡 辺 克 己	長 崎
無整流子形直流機	40- 2-25	441042	大 野 栄 一・赤 松 昌 彦	中央研究所
ジューサー	40- 3- 3	441513	{ 武 井 久 夫・服 部 信 道 岩 田 尚 之	群 馬
ジューサー	40- 3- 3	441514	{ 武 井 久 夫・服 部 信 道 岩 田 尚 之	群 馬
関数発生装置	40- 3-20	442662	三 好 一 賢	無線機・鎌倉

次号予定

三菱電機技報 Vol. 39 No. 12

エレベータ特集

特集論文

- 海外における三菱エレベータ・エスカレータ
- 大ビルの昇降機設備
- 中小ビルの昇降機設備
- デパートの昇降機設備
- アパートの昇降機設備
- 病院の昇降機設備
- ホテル用エレベータ
- 自動車用エレベータ
- 人荷用エレベータ、タムウェアおよびセレクトラパーチカルコンベヤの設備計画
- 荷物エレベータの設備計画
- 三菱エレベータの最近の技術的進歩
- 立体駐車場装置
- 三菱エスカレーター

論文

- 関西電力京都河原町 CM-45 形 ネットワークプロテクタ
- 三菱 ナコ 射出成形機用電機品
- 微小電極用小形増幅器
- シヨート・スロット・ハイブリット回路

技術解説

- 最近の車両用変圧器

技術講座

- MATHEMATICAL PROGRAMMING の動向 (その 2)

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
常任委員	明石精
"	安藤安二
"	石川理一
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	北川和人
"	小路誠春
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江晴秋
"	中野光雄
"	馬場文夫
"	山田栄一
委員	大森淳夫
"	尾畑喜行
"	樫本俊弥
"	神崎遼
"	島津大介
"	堀真幸

(以上 50 音順)

昭和 40 年 11 月 22 日印刷 昭和 40 年 11 月 25 日発行
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内)
(電) 東京 (212) 大代表 6111

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店
電話 (291) 0912 振替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本 社 東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地
(三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111

大阪営業所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町 3 の 88・名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
静岡駐在員	静岡市七間町 9 の 10 (池田ビル) (電) 静岡 (54) 7016~7
福岡営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号 天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111
高松営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内 2 の 12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町 3 の 88・名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号・天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台商品営業所	仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山商品営業所	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島商品営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
北九州出張所	北九州市小倉区京町 10 の 281・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町 3 番 1 号長崎交通産業ビル (電) 長崎 (3) 代表 6101
横浜出張所	横浜市中区富士見町 2 の 12 (電) 横浜 (65) 2691~3
新潟出張所	新潟市万代町 69 番地 (電) 新潟 (45) 1378
長野出張所	松本市白坂 212 番地 (電) 松本 (3) 1453
京都出張所	京都市中京区王生坊城町 5 (古橋ビル) (電) 京都 (82) 1245
神戸出張所	神戸市兵庫区西宮内町 82 (万統ビル) (電) 神戸 (68) 1396
静岡出張所	静岡市七間町 9 の 10・池田ビル (電) 静岡 (53) 代表 9186
金沢出張所	金沢市幸町 13 番 28 号 (電) 金沢 (63) 代表 1341
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北 122 の 1 (電) 岡山 (24) 代表 0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船 782 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 神戸 (67) 大代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211
稲沢製作所	稲沢市井之口町 1100 番地 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (721) 大代表 2111
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 88 代表 0431
福山製作所	福山市緑町 1 番 8 号 (電) 福山 (2) 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保 224 の 224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町 1 番 3 号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121
鎌倉製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松 800 番地 (電) 太田 代表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所 1 (電) 京都 西山 (92) 大代表 4171
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部 85 番地 (電) 三田 3 371~4375
三田工場	三田市三輪町 4371~4375
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
伊丹工場	伊丹市大船 800 番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
相模製作所	相模原市小島 110 番地 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
中津川工場	中津川市駒場町 1 番 3 号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121
札幌営業所	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (22) 3976