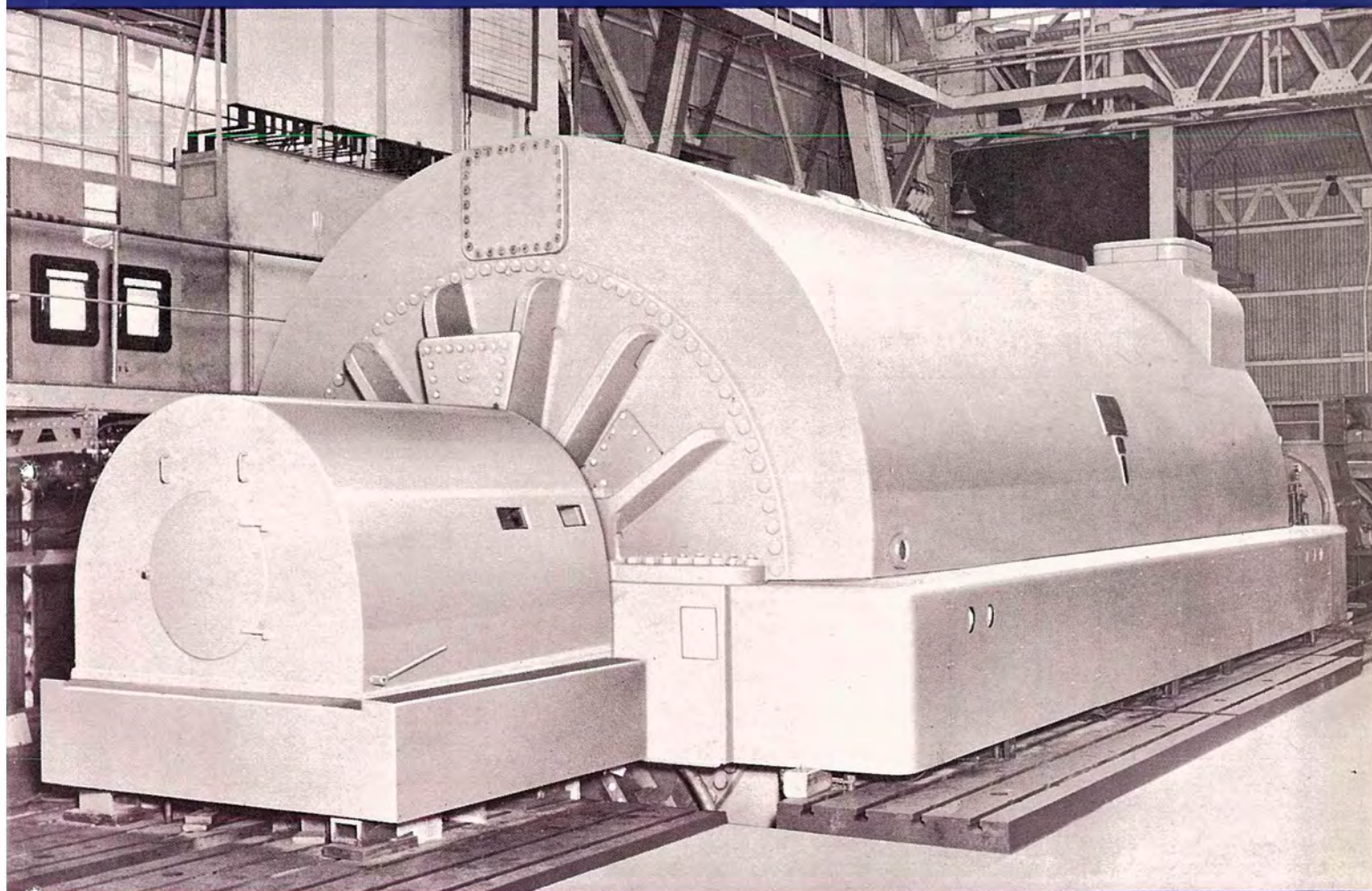


MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

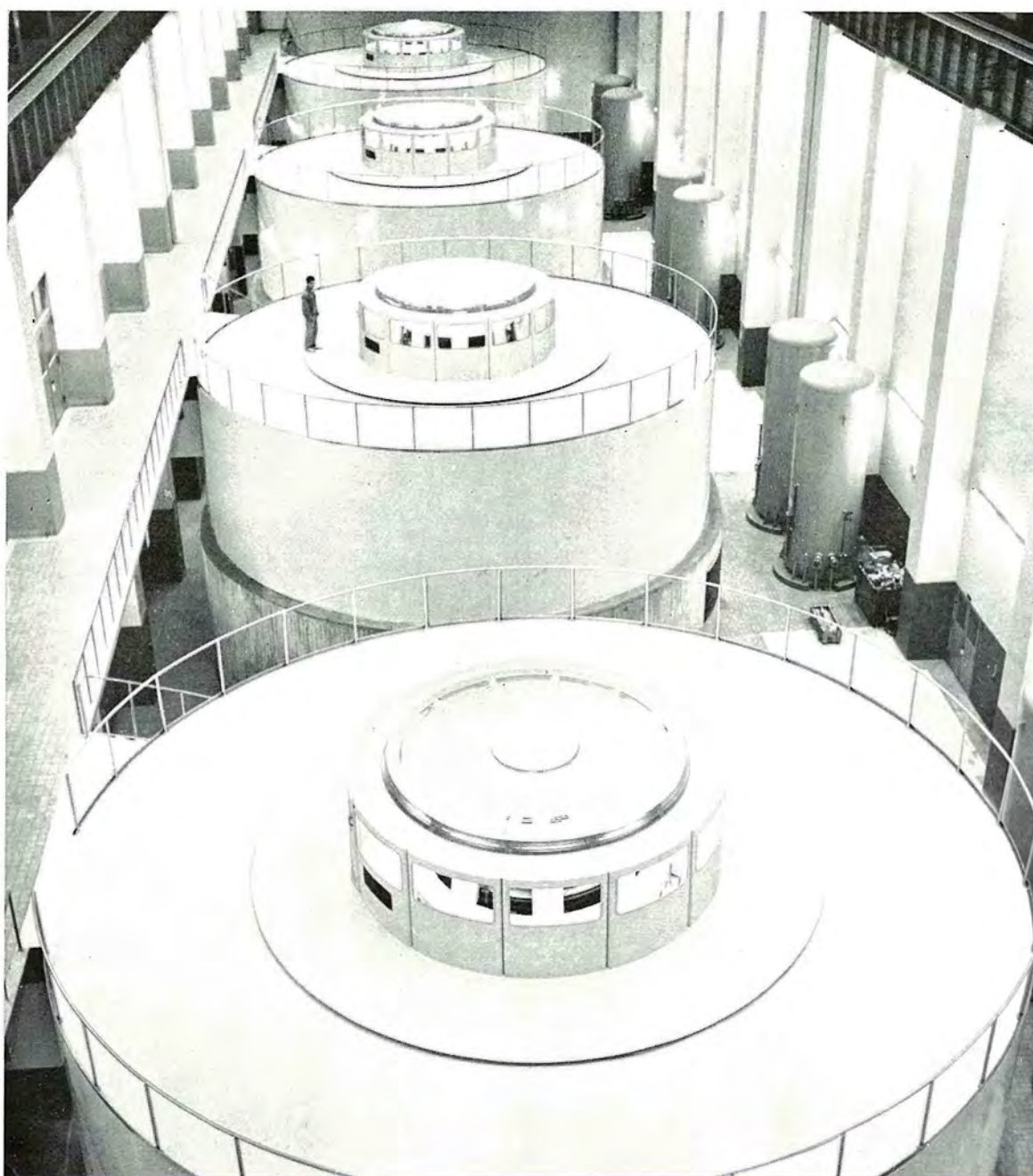
Vol. 36 March 1962

224,000 kVA 内部冷却タービン発電機 (東京電力横浜発電所2号機)





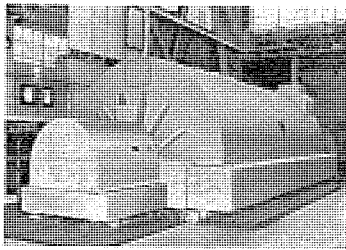
## 電源開発株式会社田子倉発電所の威容



田子倉発電所は只見川をダムで横断しその貯水をダム直下にある発電所に導入し、認可最大出力380,000 kW の規模で、佐久間発電所の 350,000 kW を凌駕して、日本一の水力発電所となった。

| 水 車（新三菱重工業製） |                 | 発電機（三菱電機製） |                            |
|--------------|-----------------|------------|----------------------------|
| 形 式          | 立軸単輪単流ウズ巻フランシス形 | 形 式        | カサ形回転界磁閉鎖風道循環形<br>(空気冷却器付) |
| 最大出力         | 108,000 kW      | 出 力        | 105,000 kVA                |
| 有効落差         | 118.2 m         | 電 圧        | 13,200 V                   |
| 流 量          | 100.7           | 周 波 数      | 50 c/s                     |
| 回 転 数        | 167 rpm         | 回 転 数      | 167 rpm                    |

発電所には上記水車発電機が4台設置されており、うち3台は35年6月、残り1台は36年11月営業運転にはいった。いずれも同形であるが第4号機（写真手前分）は必要ときには70,000 kVA の同期調相機運転が可能である。



#### 表紙説明

本機は224,000 kVA 50 c/s 3,000rpmの内部冷却タービン発電機であり新三菱重工製作の175,000 kWタービンと直結され東京電力横浜発電所2号機として据付けられる。  
50 c/s 機では初の内部冷却であり今後の大容量化に対する指針を与えるものと期待されている。

#### 仕様

|      |                      |
|------|----------------------|
| 容量   | 224,000 kVA          |
| 力率   | 0.85                 |
| 電圧   | 18,000 V             |
| ガス圧  | 3 kg/cm <sup>2</sup> |
| 周波数  | 50 c/s               |
| 回転数  | 3,000 rpm            |
| 短絡比  | 0.64                 |
| 励磁電圧 | 375 V                |



# 三菱電機

昭和37年 第36巻 第3号

## 目次

|                                                                                                                                                                                                                                |                               |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------|
| インド輸出向け超高压変圧器                                                                                                                                                                                                                  | 村上 有・田村良平・谷中頼朝・竹内 実           | 2          |
| 最近の エレファント変圧器                                                                                                                                                                                                                  | 印藤義雄・菅 寿郎                     | 9          |
| 自動車用リアアクスルシャフト高周波焼入装置                                                                                                                                                                                                          | 東田孝彦・中村謙三・門内正治・広瀬徹男           | 13         |
| 不平衡負荷時の横流補償器付 AVR の特性                                                                                                                                                                                                          | 久松章三                          | 21         |
| 航空機用 VHF 帯小形広帯域ブレードアンテナ                                                                                                                                                                                                        | 喜連川隆・武市吉博・水沢丕雄・平岡敏也・浜口道雄・大林愛弘 | 26         |
| サーボ式計算機コンポーネント (2)                                                                                                                                                                                                             | 吉田武彦・三好一賢・柴田忠泰                | 31         |
| トランジスタ・スイッチ を利用した高能率 サーボ増幅器                                                                                                                                                                                                    | 大野栄一                          | 40         |
| 自動追尾レーダ の性能限界 (1)                                                                                                                                                                                                              | 渡部 優                          | 46         |
| AD-201 形デジタル電圧計                                                                                                                                                                                                                | 松元雄蔵・石田哲爾                     | 51         |
| サーミスタ風速計                                                                                                                                                                                                                       | 明石克寛・荻野 治・神頭徳治                | 55         |
| 吸収式調湿機                                                                                                                                                                                                                         | 佐藤 真                          | 64         |
| 坑内冷房 (2)                                                                                                                                                                                                                       | 大門敬始                          | 72         |
| 《 技 術 解 説 》                                                                                                                                                                                                                    |                               |            |
| 高周波誘導加熱装置 (I) 加熱電源の周波数、電力とその概要 (2)                                                                                                                                                                                             | 馬場文夫・東田孝彦                     | 79         |
| 《 文 献 抄 訳 》                                                                                                                                                                                                                    |                               |            |
| 静止インバータによる可変周波数交流電動機駆動方式・誘導加熱・制御用計算機を適用するに当たって・デジタル制御の機能                                                                                                                                                                       |                               | 83         |
| 《 ニュース・フラッシュ 》                                                                                                                                                                                                                 |                               |            |
| ブラジル ミナス製鉄所納め 120 インチプレートミル用電機品出荷・ロケット追尾レーダ成功す (GTR-1 形観測ロケット追尾レーダ)<br>・川崎製鉄納め 新形条鋼ミル電機品完成・新幹線試作車用電気品完成・全開外扇 S F-A 形誘導電動機・15 t 電気ホ<br>イスト生産開始・19 形テレビ受像機完成・クーリングタワー用送風機・バス用換気扇 (E-25F)・カーファン (DC-15A)・イ<br>ンド国鉄向け交流機関車 28 両を受注 |                               | 86         |
| 《 特 許 と 新 案 》                                                                                                                                                                                                                  |                               |            |
| (新) タイムスイッチの調節装置・(新) インバータ                                                                                                                                                                                                     |                               | 91         |
| 《 最近における当社の社外寄稿一覧 》                                                                                                                                                                                                            |                               | 71. 78. 92 |
| 《 最近における当社の社外講演一覧 》                                                                                                                                                                                                            |                               | 30. 93     |
| 《 最近登録された当社の特許および実用新案 》                                                                                                                                                                                                        |                               | 94. 95     |
| 《 表 紙 》                                                                                                                                                                                                                        |                               |            |
| 2. 電源開発株式会社田子倉発電所の威容                                                                                                                                                                                                           |                               |            |
| 3. 広範囲三菱アーク溶接機完成                                                                                                                                                                                                               |                               |            |
| 4. 三菱お座敷クーラ                                                                                                                                                                                                                    |                               |            |

# インド輸出向け超高压変圧器

伊丹製作所 村 上 有\*・田 村 良 平\*\*  
谷 中 頼 朝\*\*\*・竹 内 実\*\*\*

## E. H. V. Transformers for Export to India

Itami Works Tamotsu MURAKAMI・Ryohei TAMURA  
Yoritomo TANINAKA・Minoru TAKEUCHI

Remarkable is the development of large sized heavy electric apparatus for export, which play a vital part in the foreign trade as well as in the demonstration of high technical level of Japan. Of a number of exports those stand out are two-100/90/35 MVA transformers, three-60 MVA transformers and two-90 MVA autotransformers—all for 220 kV—for Punjab State in India. Also worthy of attention are two-67.5/67.5/30 MVA on-load tap-changing transformers at the same voltage as the above and now under manufacturing for Mysore State. This article describes characteristic features of transformers for export in reference to those sent to India.

### 1. ま え が き

大形重電機器の海外輸出はめざましい進展を示し、貿易の一端をにない、わが国のこの面における技術水準を誇示している。(もっとも昭和20年前も台湾、朝鮮、満州に記録的製品のはなばなしい移出はあった)輸出先は広く台湾、朝鮮を初めフィリピン、インドネシア、ビルマ、ベトナム、インドから中近東、南米(ブラジル)、中米(メキシコ、エルサルバドル)、濠洲に及んでおり、就中インドは広大な国土、豊富な人口と電力資源を擁し、長期遠大な電源開発と工業化振興計画を着実に進めており、後進国として電機品の絶好の輸出市場であって、日本だけでなく欧米の重電メーカーの注目するところとなった。

当社は早くからインド政府の電力開発には一役を努め、製品の認識と信用を得てきた。変圧器の納入実績もほぼインド全土にわたり、本文に述べる超高压変圧器をはじめ、延べ800 MVAをすでに輸出し、また200 MVA以上の変圧器を受注製作中であり、欧米の製品に互して声価を高めつつある。

とりわけ首都 Delhi (Shakravasthi) Station を含む Punjab 政府の Bhakra Nangal Power Project の超高压変圧器のほとんど全数7台を一括受注製作納入し、現在現地据付中であり、また引続いて Mysore 州政府の計画する Sharavathi Valley Hydro Electric Project の Bangalore Receiving Station 向けの 負荷時タップ切換超高压変圧器2台を製作中である。このようにインドにお

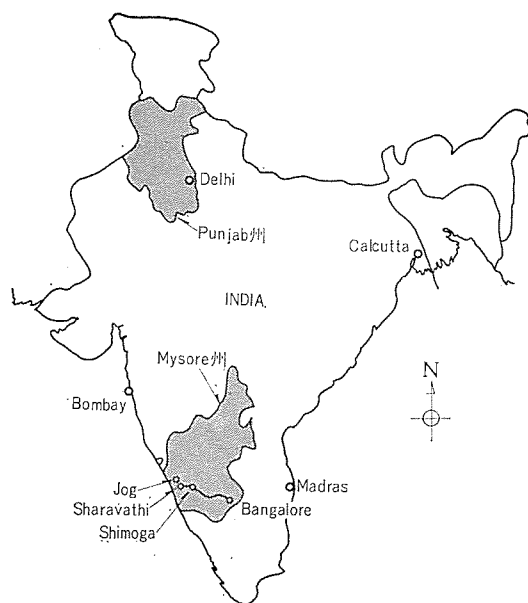


図 1.1 インド全地図  
Fig. 1.1 Map of India.

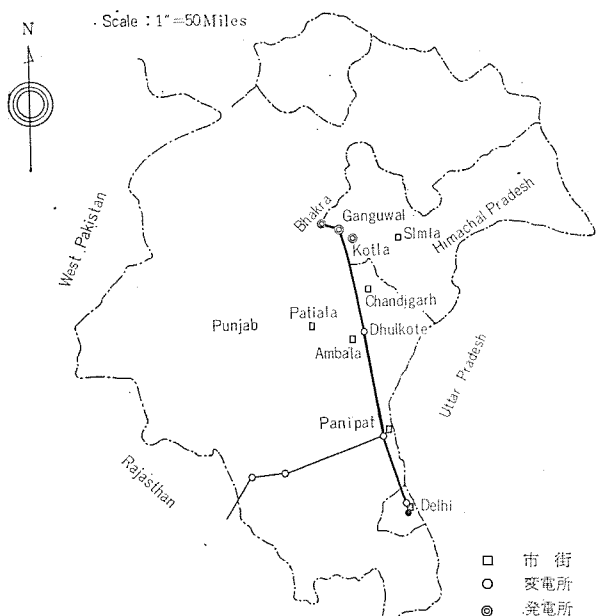


図 1.2 Punjab 州地図  
Fig. 1.2 Map of Punjab State, India.

ける主要な超高压送電計画の主要変圧器を多数納入あるいは受注していることは特記してよいことであろう。

図 1.1, 1.2 にこれら超高压変圧器の納入場所を示す。

## 2. 各変圧器の Specification こうがい

インド超高压変圧器 の仕様の概要はつぎのとおりである。

### 2.1 Delhi Substation (2台)

三相 50 c/s 外鉄形 送油風冷式 (三重定格)

送油風冷式(OFB)/油入風冷式(OB)/油入自冷式(ON)

OFB (100 %負荷) OB (80 %負荷) ON (60 %負荷)

|    |    |                               |      |
|----|----|-------------------------------|------|
| 容量 | 一次 | 100 MVA                       |      |
|    | 二次 | 90 MVA                        |      |
|    | 三次 | 35 MVA                        |      |
| 電圧 | 一次 | 220 kV                        | 星形結線 |
|    | 二次 | 66-33 kV $\pm 3, +6, +9$ %タップ |      |

星形結線

|    |       |                      |
|----|-------|----------------------|
| 三次 | 11 kV | $\pm 3, +6, +9$ %タップ |
|----|-------|----------------------|

三角形結線

|    |    |                           |
|----|----|---------------------------|
| 絶縁 | 一次 | 1,050 kV 全波 1,210 kV さい断波 |
|    |    | 450 kV AC 35 kV (中性点)     |

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 二次 | 450 kV 全波 520 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | 185 kV AC 70 kV (中性点) |
|--|-----------------------|

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 三次 | 150 kV 全波 170 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |          |
|--|----------|
|  | 50 kV AC |
|--|----------|

|        |    |      |
|--------|----|------|
| 温度上昇限度 | 巻線 | 45°C |
|--------|----|------|

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | 油 | 37°C (周囲温度 50°C) |
|--|---|------------------|

|    |            |      |            |
|----|------------|------|------------|
| 重量 | 218,000 kg | 輸送重量 | 124,000 kg |
|----|------------|------|------------|

|    |          |
|----|----------|
| 油量 | 55,000 l |
|----|----------|

|      |     |                  |
|------|-----|------------------|
| 外形寸法 | 床面積 | 8,830 × 6,095 mm |
|------|-----|------------------|

|  |    |          |
|--|----|----------|
|  | 高さ | 9,676 mm |
|--|----|----------|

図 2.1 に外観を示す。

### 2.2 Dhulkote (2台) Panipat (1台) Substation

三相 50 c/s 外鉄形 油入風冷式 (二重定格)

OB (60 MVA) ON (45 MVA)

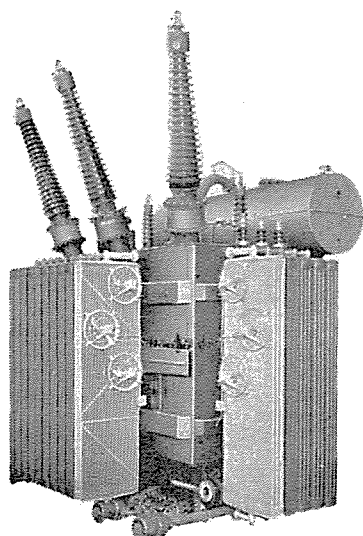


図 2.1 220 kV 112.5 MVA 変圧器

Fig. 2.1 220 kV 112.5 MVA transformer.

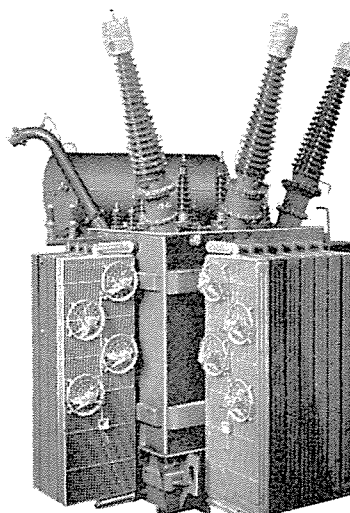


図 2.2 220 kV 60 MVA 変圧器

Fig. 2.2 220 kV 60 MVA transformer.

|    |    |                   |
|----|----|-------------------|
| 容量 | 一次 | 60 MVA            |
|    | 二次 | 60 MVA            |
|    | 三次 | 20 MVA (Unloaded) |

|    |    |                            |      |
|----|----|----------------------------|------|
| 電圧 | 一次 | 220 kV                     | 星形結線 |
|    | 二次 | 66 kV $\pm 3, +6, +9$ %タップ |      |

星形結線

|    |                            |
|----|----------------------------|
| 三次 | 11 kV $\pm 3, +6, +9$ %タップ |
|----|----------------------------|

三角形結線

|    |    |                           |
|----|----|---------------------------|
| 絶縁 | 一次 | 1,050 kV 全波 1,210 kV さい断波 |
|    |    | 450 kV AC 35 kV (中性点)     |

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 二次 | 450 kV 全波 520 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | 185 kV AC 35 kV (中性点) |
|--|-----------------------|

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 三次 | 150 kV 全波 170 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |          |
|--|----------|
|  | 50 kV AC |
|--|----------|

|        |    |      |
|--------|----|------|
| 温度上昇限度 | 巻線 | 45°C |
|--------|----|------|

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | 油 | 37°C (周囲温度 50°C) |
|--|---|------------------|

|    |            |      |           |
|----|------------|------|-----------|
| 重量 | 152,000 kg | 輸送重量 | 91,000 kg |
|----|------------|------|-----------|

|    |          |
|----|----------|
| 油量 | 38,000 l |
|----|----------|

|      |     |                  |
|------|-----|------------------|
| 外形寸法 | 床面積 | 6,170 × 6,910 mm |
|------|-----|------------------|

|  |    |          |
|--|----|----------|
|  | 高さ | 9,575 mm |
|--|----|----------|

図 2.2 に外観を示す

### 2.3 Ganguwal Powerstation (2台)

三相 50 c/s 外鉄形単巻変圧器 送油水冷式(OFW)

|    |    |        |
|----|----|--------|
| 容量 | 一次 | 90 MVA |
|----|----|--------|

|  |    |        |
|--|----|--------|
|  | 二次 | 90 MVA |
|--|----|--------|

|  |    |        |
|--|----|--------|
|  | 三次 | 15 MVA |
|--|----|--------|

|    |    |        |      |
|----|----|--------|------|
| 電圧 | 一次 | 220 kV | 単巻星形 |
|----|----|--------|------|

|  |    |        |      |
|--|----|--------|------|
|  | 二次 | 132 kV | 単巻星形 |
|--|----|--------|------|

|  |    |       |     |
|--|----|-------|-----|
|  | 三次 | 11 kV | 三角形 |
|--|----|-------|-----|

|    |    |                           |
|----|----|---------------------------|
| 絶縁 | 一次 | 1,050 kV 全波 1,210 kV さい断波 |
|    |    | 450 kV AC 35 kV (中性点)     |

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 二次 | 690 kV 全波 800 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |                       |
|--|-----------------------|
|  | 300 kV AC 35 kV (中性点) |
|--|-----------------------|

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 三次 | 150 kV 全波 170 kV さい断波 |
|----|-----------------------|

|  |          |
|--|----------|
|  | 50 kV AC |
|--|----------|

|        |    |      |
|--------|----|------|
| 温度上昇限度 | 巻線 | 60°C |
|--------|----|------|



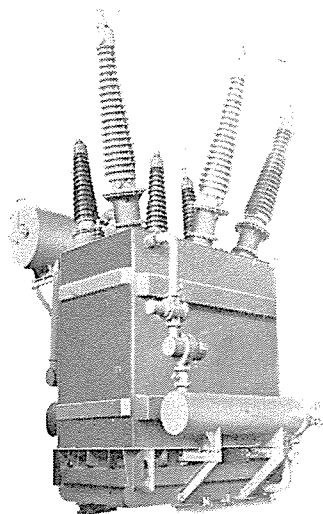


図 2.3 220 kV 90 MVA 単巻変圧器  
Fig. 2.3 220 kV 90 MVA auto transformer.

油 40°C (冷却水入口 32°C)  
重量 109,000 kg 輸送重量 73,000 kg  
油量 27,500 l  
外形寸法 床面積 5,900×5,860 mm  
高さ 9,051 mm

図 2.3 に外観を示す

#### 2.4 Bangalore Substation (2 台)

特別三相式 50 c/s 外鉄形 送油風冷式 (二重定格)  
負荷時タップ切換 (URT 形) 変圧器

OFB (67.5 MVA) ON (34.5 MVA)

容量 一次 67.5 MVA

二次 67.5 MVA

三次 30 MVA

電圧 一次 220-110 kV +5 ~ -15 % 負荷時タップ

星形結線

二次 66 kV

星形結線

三次 11 kV

三角形結線

絶縁 一次 900 kV 全波 1,035 kV さい断波  
395 kV AC

二次 350 kV 全波 400 kV さい断波

140 kV AC

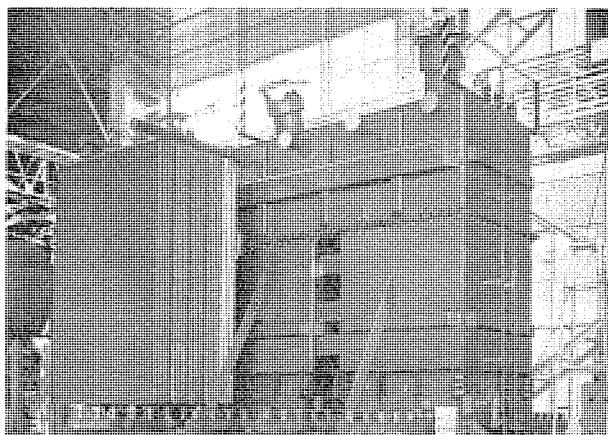


図 2.4 220 kV 82.5 MVA 負荷時タップ切換変圧器  
Fig. 2.4 220 kV 82.5 MVA on-load tap-changing transformer.

三次 110 kV 全波 130 kV さい断波  
34 kV AC

温度上昇限度 巻線 ON 50°C

OFB 55°C

油 45°C (周囲温度 45°C)

重量 240,000 kg 輸送重量 37,000 kg

油量 65,000 l

外形寸法 床面積 9,830×6,540 mm

高さ 9,385 mm

図 2.4 に外部組立中の写真を示す

### 3. インド納入変圧器の問題点

一般に輸出機器で根本的に注意を払わなければならないことは第一に規格の相違である。国内向けの変圧器の場合はもちろん JEC などの熟知されて経験の深い規格に基づいて製作され、しかも需要家の計画、使用条件、あるいは保守の実態もよくわかって納入され、その間疑義の打合せも容易に執成される。しかし海外向け輸出変

表 3.1 変圧器規格比較表

温度上昇限度

|             |    |     | BS                     | ASA            | JEC                        | IEC |
|-------------|----|-----|------------------------|----------------|----------------------------|-----|
| 巻線<br>(抵抗法) | 油入 | 自冷式 | 60                     | 55<br>(最高部 65) | 55                         | 60  |
|             |    | 風冷式 | 60                     |                | 55                         | 60  |
|             |    | 水冷式 | 60                     |                | 55                         | 60  |
|             | 送油 | 自冷式 | 65                     |                | 60                         | —   |
|             |    | 風冷式 | 65                     |                | 60                         | 65  |
|             |    | 水冷式 | 70                     |                | 60                         | 65  |
|             |    |     |                        |                |                            |     |
| 油 (温度計法)    |    | 50  | 55(油保存式)<br>50 (油保存なし) | 50             | 55 (空気に接触なし)<br>50 (空気に接触) |     |
|             |    |     |                        |                |                            |     |
| 周囲温度        |    | 最高  | 40                     | 40             | 40                         | 40  |
|             |    | 平均  | 30                     | 30             | —                          | 30  |
|             |    | 年平均 | 20                     | —              | —                          | 20  |
| 水温          |    | 最高  | 25                     | 30             | 25                         | 25  |
|             |    | 平均  | 20                     | 25             | —                          | —   |

裕度

|         | BS                                   | ASA                                           | JEC                                    | IEC                                                 |
|---------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 能率      | 損失の裕度による                             | 定めず                                           | -1/10(100-η)%                          | 定めず                                                 |
| 損失      | 鉄損 +10%<br>銅損 +10%                   | 全損失 +6%<br>鉄損 +10%<br>(ただし三相1台のときおよび全台の平均は0%) | 全損失の+1/10<br>各損失の+1/7                  | 全損失 +1/10<br>各損失 +1/7                               |
| 無負荷電流   | 定めず                                  | 定めず                                           | +3/10                                  | +3/10                                               |
| 電圧変動率   | インピーダンスと銅損の裕度による                     | +7.5% 2巻線<br>+10% 3巻線<br>単巻                   | +1/7                                   | 定めず                                                 |
| 無負荷電圧比  | ±0.5%または1/10×%インピーダンスで小さい値 (全タップに適用) | ±1/2%                                         | インピーダンス電圧<br>10×定格電圧<br>ただし最大を1/200とする | ±1/200または1/10×%インピーダンスで小さい値                         |
| インピーダンス | 2巻線は±10%<br>多巻線は±15%<br>(定格タップで)     | 2巻線は±7.5%<br>多巻線および単巻は±10%                    | ±1/10                                  | ±1/10 (定格タップ)<br>±1/7 (±5%タップ)<br>(±5%超過のタップは協議による) |

表 3.2 フッシング規格比較表 試験電圧 (BIL 150 以上)

| 系統の<br>BIL | JEC 124 (1952) |              |               |                  | ASA C 76-1 (1958)   |              |               |                      | BS 223 (1956)    |                  |              |              |                    |
|------------|----------------|--------------|---------------|------------------|---------------------|--------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|--------------------|
|            | 絶縁<br>階級       | Dry<br>1 min | Wet<br>10 sec | Impulse<br>±1×40 | Insulation<br>Class | Dry<br>1 min | Wet<br>10 sec | Imp<br>±1.5×40<br>μs | Rated<br>Voltage | Dry<br>Momentary | Dry<br>1 min | Wet<br>30sec | Imp<br>±1×50<br>μs |
| 150        | 20 号           | 70           | 60            | 165              | 23kV                | 70           | 70            | 150                  | 22kV             | 75               | 52           | 55           | 150                |
| 200        | 30             | 95           | 80            | 220              | 34.5                | 95           | 95            | 200                  | 33               | 110              | 76           | 80           | 200                |
| 250        | * 40           | 120          | 100           | 275              | 46                  | 120          | 120           | 250                  | 44               | 135              | 100          | 100          | 250                |
| 300        | * 50           | 145          | 120           | 330              |                     |              |               |                      | 55               | 160              | 125          | 130          | 300                |
| 350        | 60             | 175          | 145           | 385              | 69                  | 175          | 175           | 350                  | 66<br>(88)       | 190              | 150          | 150          | 350                |
| 400        | 70             | 200          | 165           | 440              |                     |              |               |                      |                  |                  |              |              |                    |
| 450        | * 80           | 225          | 190           | 495              | 92                  | 225          | 190           | 450                  | 88<br>(110)      | 245              | 200          | 195          | 450                |
| 550        | 100            | 280          | 230           | 605              | 115                 | 280          | 230           | 550                  | 110<br>(132)     | 300              | 250          | 240          | 550                |
| 650        | * 120          | 330          | 275           | 715              | 138                 | 335          | 275           | 650                  | 132<br>(165)     | 355              | 300          | 285          | 650                |
| 750        | 140            | 385          | 320           | 825              | 161                 | 385          | 315           | 750                  | 165              | 440              | 365          | 350          | 750                |
| 900        | * 170          | 470          | 390           | 990              | 196                 | 465          | 385           | 900                  | (220)            |                  | 400          |              |                    |
| 1050       | 200            | 550          | 460           | 1,150            | 230                 | 545          | 445           | 1,050                | 220<br>(275)     | 575              | 485          | 460          | 1,050              |
| 1300       | 250            | 680          | 570           | 1,430            | 287.5               | 680          | 555           | 1,300                |                  |                  |              |              |                    |
| 1550       |                |              |               |                  | 345                 | 810          | 665           | 1,550                |                  |                  |              |              |                    |

\* 準標準

ASA) ⊙...Type test を実施する

BS) Routine test は Dry 1min だけ

( ) 内 Effectively Earthed System

圧器に対しては国情や客先の好み、取扱い方の実情が異なり、客先の Specification の内容には当社の標準とかけ離れている事項が少なからずある。

さらに言語の違いと質問、照会、回答がほとんど文書によってなされるために意志の疎通が円滑にゆきにくく、問題解決に長い期間を要しがちである。また未開発地域であり、現地における輸送、据付能力などについての情報が把握しにくく、据付工具や消耗品の判断に迷うものが多い。要するに輸出機器に関しては国際的な視野に立って白紙から出発したぬかりのない処置が肝要である。

### 3.1 規格

インド向け電力用変圧器はほとんど英国規格 (BS 規格) British Standard を基本に採用している。BS 規格は 1936 年に制定されたものが久しく通用していたが、1959 年に大幅の改訂があり近代化された。JEC や ASA とは相当に違う点があり、一部の対照表を表 3.1 に示す。

1936 年制定の BS-171 では単に変圧器の定格電圧と系統の接地方式に応じて、定格電圧の倍数をもって加圧試験値、誘導試験値を定めるだけで、絶縁階級の概念および衝撃電圧試験は規定されていなかったが、1959 年の改訂版にはこれが正式に規定された。

本文に述べる変圧器は絶縁耐力試験電圧について インドの実情が加味され BS 規格に全面的には準拠していない。Punjab 州向け超高圧変圧器は全絶縁で Standard 1 に、Bangalore 向け超高圧変圧器は低減絶縁で Standard 2 の範疇にはいる。中性点絶縁についても BS 規格の Category 分類のとおりになっていない。おのおの変圧器の絶縁は 2 節に記述した。

端子記号、端子配列、極性、角変位などについても、BS 規格の基準で一般と相違している。

インド輸出向け超高圧変圧器・村上・田村・谷中・竹内

表 3.3 変圧器形式の称呼略号の比較表

| JEC-120                                            | BS-171                              | ASA-C 57, 12                 |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 乾式自冷式<br>乾式風冷式                                     | AN<br>AB                            | AA<br>AFA                    |
| 油入自冷式<br>油入風冷式<br>油入水冷式<br>送油自冷式<br>送油風冷式<br>送油水冷式 | ON<br>OB<br>OW<br>OFN<br>OFB<br>OFW | OA<br>FA<br>OW<br>FOA<br>FOW |

フッシングの試験電圧の比較を参考に表 3.2 に示す。なお BS 規格には Creepage Distance について規定されており、インドでは概して Flash-over Voltage が高い。

変圧器形式の称呼略号の比較を表 3.3 に示す。インドは BS 規格の称呼によっている。

### 3.2 気象条件

インドは衆知のように酷熱の地であり、地方、時期によっては多湿、雷雨、砂塵にみまわれ、鳥獣害をこうむり、現地の気象条件などのきびしさは想像以上であって、この点を設計製作に考慮する必要がある。

とくに気温が高く日射の強いことから、Specification に周囲温度を高く採り、各国規格の最高周囲温度との差だけ変圧器の温度上昇限度を一般規格より低く規定するのが普通のルールである。2 節に記載したように特別に低い温度上昇限度が客先により規定され、当然変圧器は大きくなるもやむをえない。

インドの変圧器は従来は英国を主として欧州のメーカーの変圧器が多く窒素封入式の変圧器は少なかったが、気象条件と温度変化の大きいことを考慮し、当社納入の大形変圧器は自衛的にも RV 形 (減圧弁式) 窒素封入装置を付属して万全を期している。

前述の フッシングの Flash-over Voltage が高いのは、

わが国の塩害対策と類似の意味で必要と考えられる。

### 3.3 検査、試験

一般に輸出機器はその検査試験を客先が指定した検査会社によって行なわれる。したがって品質を第三者が判定し責任をとる関係上、Specification, Standard および Guaranteed Particulars は金科玉条であり、これにのっとる検査試験は厳密であって、客先の承認ない限り容赦されることはない。これは材料手配、設計にあたり肝に銘じて留意しておくべきことである。

### 3.4 輸送、据付、保守

これらの超高压変圧器は神戸港から船積みされ、海路 Punjab 州向けは Calcutta 港へ送られ、陸揚げして貨車輸送され現地据付完了し、Bangalore 向けは Madras 港へ送り、据付場所へ貨車で運ばれる。

この際、現地鉄道の現有大物貨車、また港の荷揚げ設

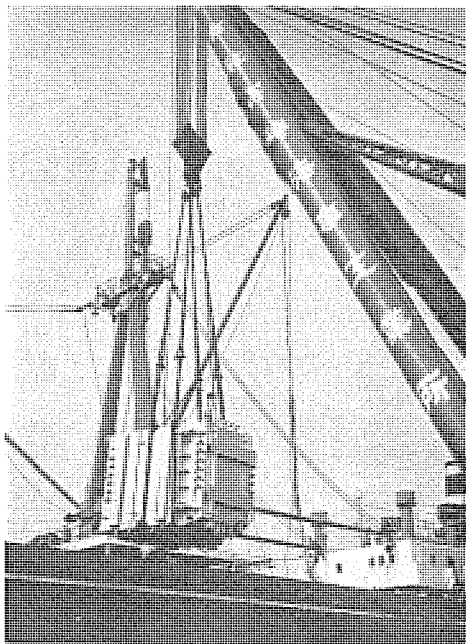


図 3.1 船積中の 60 MVA 変圧器

Fig. 3.1 60 MVA transformer being shipped aboard.

備の調査はもちろん、現地港から据付場所までの正確な重量寸法の輸送限界の資料をえて確認することが、設計の頭初から必須の事項である。

据付けの作業能力、すなわち現地の作業者の非能率、無知識、低技能と技術者の計画の不徹底のため当社指導員の辛苦は並みたいではない。基礎、組立設備機具、あるいは工具の段取りが悪く、部品がそろわないなどのため据付工期が長引きがちであり、このため準備と折衝を早期に立案しておくことが有効である。

インド技術者のレベルを識って、現地運転保守に対する完備した Instruction を整備提供するとともに不慣れな方式は極力さける配慮が望ましい。

## 4. 各変圧器の特長と構造概要

各変圧器の構造上の特長で共通の項目は

### (1) 外鉄形 Form-Fit 構造

(2) 外鉄形 Surge-Proof 絶縁。超高压側巻線は段絶縁方式

(3) RV 形窒素封入装置付

などであるが、これの詳細はすでにたびたび述べられているので省略して他の特長を各変圧器ごとに述べる。

### 4.1 Delhi 変電所向け変圧器

巻線構成は図 4.1 に示すように 4 群外鉄形標準構造である。

ON/OB/OFB の三重定格冷却装置は自冷式標準放熱器 (29 管-14 Feet) 30 個を備え、冷却扇 (0.4 kW) 12 個、送油泵 (2.2 kW) 6 個を配分し、OBF のときに ON/OB の油路を通じて油流の短絡回路ができないようにする自動油流切換弁 6 個 (図 4.2) を有しており、ON/OB/OFB の冷却方式切換えは変圧器本体取付けの温度継電器と制御盤取付けの電流継電器 (ブッシング変流器は本体

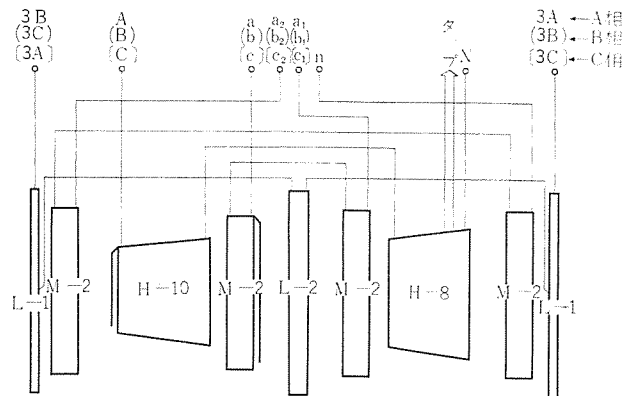


図 4.1 112.5 MVA 変圧器巻線配置図

Fig. 4.1 112.5 MVA transformer, winding arrangement.

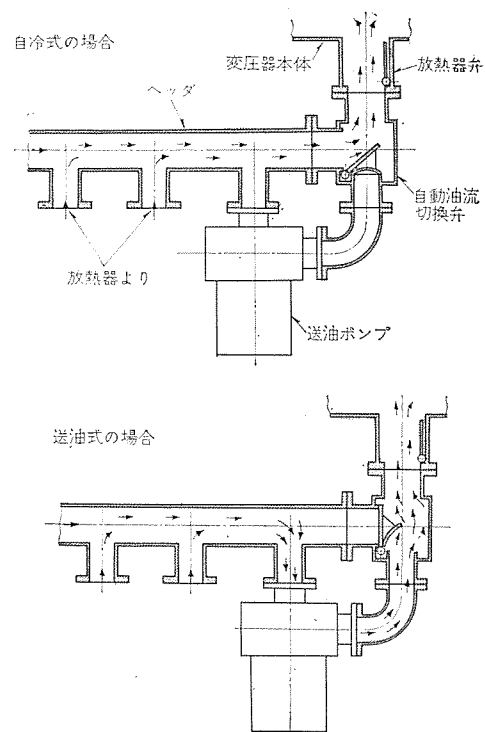


図 4.2 自動油流切換弁

Fig. 4.2 Automatic oil flow path changing valve.





図 4.3 112.5 MVA 変圧器の輸送姿  
Fig. 4.3 112.5 MVA transformer under transportation on rail in Kobe Port.

取付け)の両方により自動的に行なわれる。

輸送は上部タンクを取はずして車両形構造とし、シキ400 B<sub>2</sub> 形大物貨車によりつり掛式で送り、インドでは130ト積低床車によって鉄道輸送した。図4.3にわが国における輸送姿を示す。

この変圧器は等価容量112,500 kVAの超高压変圧器でインドにおける最大容量の記録品であり、わが国輸送変圧器の容量記録であるとともに重量物電機品として記録的である。また自冷容量の67,500 kVAは記録的大容量である。

#### 4.2 Dhulkote Panipat 変電所向け変圧器

絶縁構成は外鉄形標準2群構造である。

ON/OBの二重定格冷却装置は自冷式標準放熱器(29管-14 Feet)21個を備え、冷却扇(0.4 kW)16個を配し、冷却方式の切換えは同じく温度継電器と電流継電器により自動で行なわれる。標準放熱器は高級みがき鋼板をシーム溶接して形造られる独特の構造で、風は数個の放熱器を側面から吹通る。

輸送方法は一体タンクの横倒し式で、神戸港へはトラによる道路輸送、Calcuttaからは130ト積低床車により鉄道で運ばれた。図4.4はインドにおける輸送姿である。

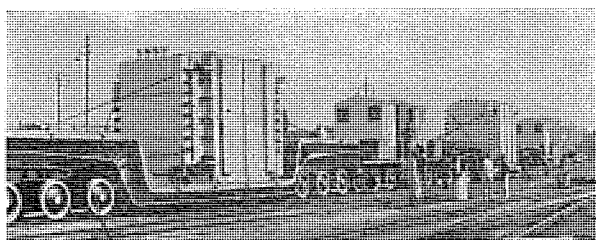


図 4.4 60 MVA 変圧器のインドにおける輸送姿  
Fig. 4.4 Shipping of 60 MVA transformer on rail in India.

#### 4.3 Ganguwal 発電所向け単巻変圧器

絶縁構成は図4.5(a)(b)に示すように2群構造で132 kVと220 kVを連系する線路容量90,000 kVA、自己容量36,000 kVAの三相単巻変圧器である。立地条件

インド輸出向け超高压変圧器・村上・田村・谷中・竹内

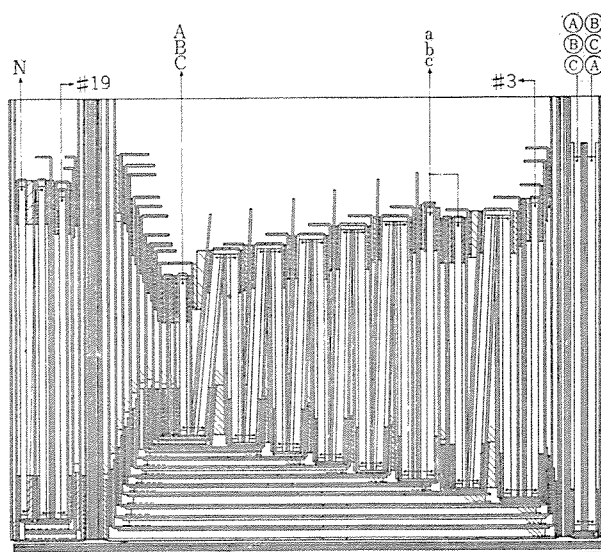


図 4.5 (a) 90 MVA 変圧器絶縁組立図  
Fig. 4.5 (a) 90 MVA auto transformer insulation of winding.

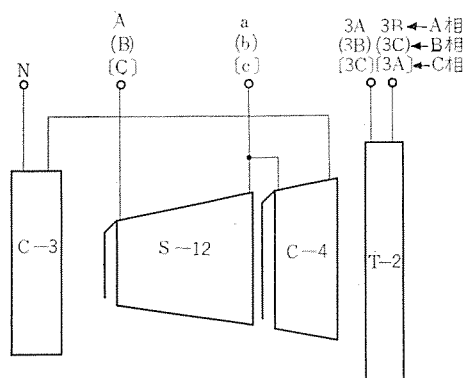


図 4.5 (b) 90 MVA 単巻変圧器巻線配置図  
Fig. 4.5 (b) 90 MVA auto transformer, winding arrangement.

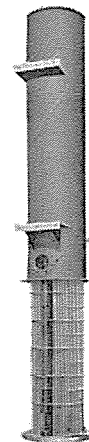


図 4.6 水冷式冷却器  
Fig. 4.6 Oil-water heat exchanger.

から多量の冷却水が得られる関係上、冷却方式として送油水冷式が採用され、300 kW 水冷式冷却器(図4.6)2個(うち1個は常設予備冷却器)にまともって本体周辺は非常にすっきりしている(図2.3)。この冷却器は良質のアルミブラスタ管を使った水冷管とこれが圧着されるネーバル黄銅製の鏡板とから成り、この鏡板は二重になっているので、水冷管と鏡板との接合個所から漏れがあっても油に水が絶対に混ざりえないようになっている。さらに冷却器の油の入口に隣接して送油ポンプが設置されるとともに、油室と水室とを結んで差圧継電器が設けられていて、油圧が水圧より必ず高くなるように監視するので、油に水が混入することは起こらない。なお冷却水の方角は三方コック操作により可逆可能であって水冷管内部のスケールの蓄積を防止することができる。冷却水の流量計としてはオリフィスを用いている。

輸送方法は一体タンクの横倒し式で、神戸港まではトラによる道路輸送、インドでは130ト積低床車によ

り鉄道輸送した。

この超高圧変圧器は製作当時わが国に例の少ない単巻

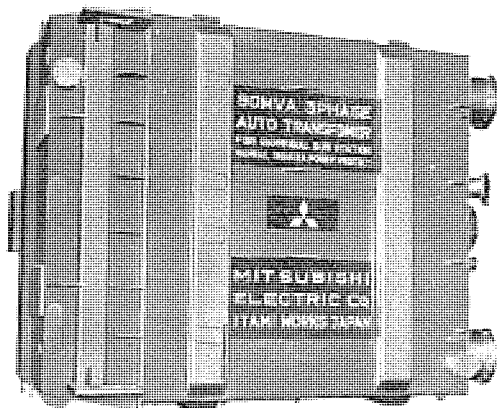


図 4.7 90 MVA 単巻変圧器の輸送荷姿

Fig. 4.7 90 MVA auto transformer packed for shipping.

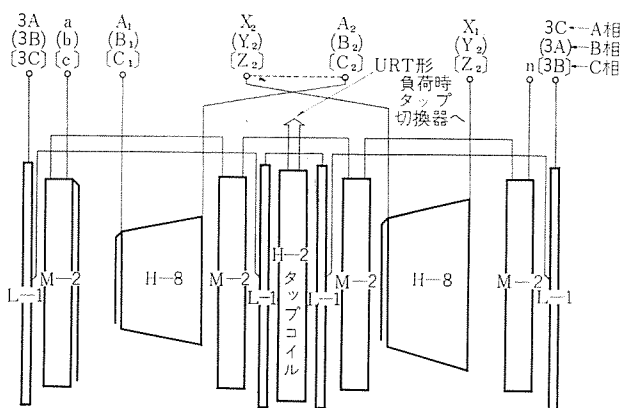


図 4.8 82.5 MVA 負荷時タップ切換変圧器巻線配置図

Fig. 4.8 82.5 MVA on-load tap changing transformer, winding arrangement.

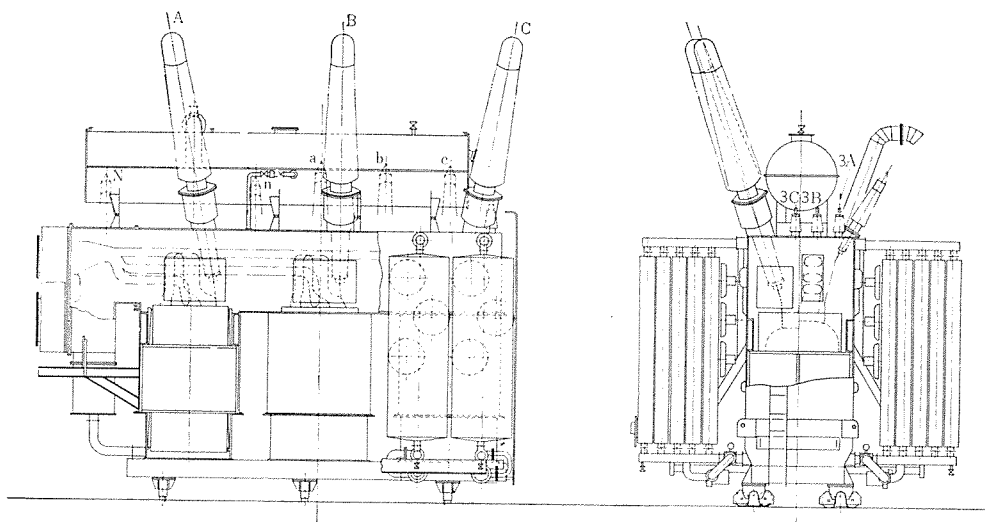


図 4.9 82.5 MVA 負荷時タップ切換変圧器概略図

Fig. 4.9 82.5 MVA on-load tap changing transformer, sectional view.

変圧器としてわが国最大容量の記録品であった。

#### 4.4 Bangalore 変電所向け変圧器

インドにおける 47 トン という輸送重量制限のために特別三相式を輸出変圧器として初めて採用した。

超高圧側が 220-110 kV の共用器でしかも 負荷時タップ切換変圧器 である。図 4.8 に示すように 高圧側タップコイル並列 2 枚を中央に設けて 4 群構成、高圧側直並列切換えに適した配置にし、全体の アンペアターン の平衡を考慮してある。この タップ につながる 負荷時タップ切換器は新規に開発された URT 形 (リアクトル式) で高圧側電圧を +5 ~ 15 % 範囲に調整する (厳密には巻線の タップは 220 kV と 110 kV で異なり、110 kV のときは実質 2 倍の範囲を有している)。図 4.9 は この変圧器の構造を示す。

ON/OFB の二重定格冷却装置は自冷式標準放熱器 (25 管-12 feet) 5 個並べた群を各相 4 群 (うち 1 群は常設予備) すなわち放熱器全 60 個と、冷却扇 (0.4 kW) 36 個、送油ポンプ (2.2 kW) 12 個および 4.1 項で述べた自動油流切換弁 12 個を各群に配し、放熱器面を タンク面 に平行に、各群を内側から外へ冷却扇により吹通すように、冷却装置の荷重をささえる支持物をもって 本体タンク に取付けている。ON/OFB の冷却方式切換えは温度継電器により自動で行なわれる。

輸送方法は横倒し式で、日本では トレーラ による道路輸送、インド では低床車による鉄道輸送をする。

### 5. む す び

最近製作納入の インド向け超高圧変圧器 9 台、4 器種について紹介し、輸出変圧器の特異性と問題点を述べた。Punjab 州, Mysore 州いずれの超高圧変圧器も欧米

のメカと激しい競争を展開し、各部門の多年つちかわれた努力と技術の裏づけが結実して受注に成功したものである。

今後はわが国の産業経済の必然の方向としてますます輸出を延ばしていかなければならない状況と貿易自由化に対処して品質と価格で欧米製品に打ち勝つべき目下の急務から、いよいよ国際的な広義の技術面の向上と研鑽を強く要望される。

## 最近のエレファント変圧器

伊丹製作所 印 藤 義 雄\*・菅 寿 郎\*

## Recent Cable Connected Transformers

Itami Works Yoshio INTŌ・Hisao KAN

Cable connected transformers-the apparatus connected with cables directly-have perfectly come into a practical use in this country, too, because they have features of freedom, from the salt and dust contamination and a small installation space for installation. These points are very appropriate for the circumstances of power plants and substations in Japan, leading wide applications of the units to newly built facilities which are subject to the contamination troubles or are confined to a narrow space of underground hydraulic power house. Up to the present moment Mitsubishi has accumulated much experience of building the units of this kind, their number reaching about thirty including those now under construction.

## 1. ま え が き

変圧器と電力ケーブルを直結した、いわゆるエレファント変圧器は、わが国においても、完全に実用期にはいったといえることができる。エレファント変圧器は塩害に影響をうけないこと、据付空間が小さいこと、などの利点を有し、これらの利点がわが国の国情によくマッチするため、数多くのエレファント変圧器がすでに運転にはいり、また製作されつつある。たとえば、最近の大容量火力発電所はすべて海岸に建設され、また各種の工場も、河岸に埋め立てられた工業用地への進出がさかんであるが、これらはいずれも苛酷な塩害をうけるため、塩害に影響されない利点を生かして、エレファント変圧器が採用される。据付空間の小さい利点を生かした例として

は、水力関係の地下発電所や、ビルディングの地下変電所などがあげられる。当社においても、表1.1に示すように、数多くのエレファント変圧器を納入し、また製作しつつある。

エレファント変圧器については、すでに種々の文献が発表されているので、この稿では、できるだけ重複を避けつつ、当社エレファント変圧器について記述し、ご参考に供したい。

## 2. エレファント部の構造

エレファント部構造の構造には、よく知られているように直接式と間接式があり、間接式は、構造が若干複雑になる欠点はあるが、

(a) 変圧器とケーブルの責任限界点が明確になる。

(b) 現地組立が、変圧器本体の油を抜かずに行なえる。

(c) 変圧器、ケーブルの事故が、互いに波及しない。

などの利点があるため、現在わが国で使用されているエレファント変圧器の大部分が、間接式である。当社で納入または製作中のものも、すべてこの形式をとっている。

エレファント部の構造の分類方法としては、いろいろな方法が考えられようが、基本的に次の2種類に分けられる。

(a) 各相分離形

(b) 各相共通形

当社としては、標準とし

表 1.1 三菱エレファント変圧器一覧表

| 納入先         | 容量<br>(kVA) | 相数 | 周波数 | 電圧 (kV) |    |          | ケーブル         |     | 製作年  | 台数 |
|-------------|-------------|----|-----|---------|----|----------|--------------|-----|------|----|
|             |             |    |     | HV      | MV | LV       | 形 式          | 製作者 |      |    |
| 東北パルプ(石巻)   | 12,000      | 3  | 50  | 66      |    | 3.45     | 60 kV OF 3C  | 住友  | 昭 35 | 2  |
| 八幡製鉄(戸畑)    | 31,250      | 3  | 60  | 66      |    | 11       | "            | 不明  | "    | 1  |
| 東海炭安(四日市)   | 15,000      | 3  | 60  | 77      |    | 3.45     | 70 kV OF 3C  | 大日  | "    | 1  |
| 東洋曹達(富田)    | 22,000      | 3  | 60  | 66      |    | 6.9-3.45 | 60 kV OF 3C  | 住友  | 昭 36 | 1  |
| 三菱化成(四日市)   | 10,000      | 3  | 60  | 77      |    | 3.45     | 70 kV OF 3C  | "   | "    | 1  |
| 八幡製鉄(新洞岡)   | 45,000      | 3  | 60  | 66      |    | 11       | 60 kV OF 3C  | 古河  | "    | 1  |
| "           | 4,500       | 3  | 60  | 66      |    | 3.45     | 60 kV OF 3C  | "   | "    | 1  |
| 関西電力(姫路)    | 180,000     | 3  | 60  | 77      |    | 17.2     | 70 kV OF 1C  | 住友  | "    | 1  |
| 東京電力(横浜)    | 100,000     | 3  | 50  | 147     | 66 | 11       | 140 kV OF 1C | 藤倉  | "    | 2  |
| 八幡製鉄(戸畑)    | 62,500      | 3  | 60  | 66      |    | 11       | 60 kV OF 1C  | "   | "    | 1  |
| " ( " )     | 4,500       | 3  | 60  | 66      |    | 3.45     | 60 kV OF 3C  | 未定  | 製作中  | 1  |
| " (新洞岡)     | 62,500      | 3  | 60  | 66      |    | 11       | 60 kV OF 3C  | "   | "    | 1  |
| 電源開発(若松)    | 90,000      | 3  | 60  | 110     |    | 13.2     | 100 kV OF 1C | 古河  | "    | 1  |
| "           | 10,000      | 3  | 60  | 110     |    | 3.45     | 100 kV OF 1C | "   | "    | 1  |
| 丸善石油(関東)    | 10,000      | 3  | 50  | 66      |    | 3.3      | 60 kV OF 3C  | 住友  | "    | 1  |
| 中部電力(牛島町)   | 50,000      | 3  | 60  | 77      |    | 33       | 70 kV OF 3C  | 未定  | "    | 1  |
| 関西電力(姫路第2)  | 290,000     | 3  | 60  | 275     |    | 24       | 275 kV OF 1C | 住友  | "    | 1  |
| "           | 370,000     | 3  | 60  | 275     |    | 24       | 275 kV OF 1C | 日立  | "    | 1  |
| "           | 15,000      | 3  | 60  | 77      |    | 6.9      | 70 kV OF 3C  | 未定  | "    | 1  |
| 和歌山共同火力     | 85,000      | 3  | 60  | 77      |    | 13.8     | 70 kV OF     | "   | "    | 2  |
| "           | 6,500       | 3  | 60  | 77      |    | 3.45     | 70 kV OF     | "   | "    | 1  |
| 堺共同火力       | 85,000      | 3  | 60  | 77      |    | 13.8     | 70 kV OF     | "   | "    | 2  |
| "           | 6,500       | 3  | 60  | 77      |    | 3.45     | 70 kV OF     | "   | "    | 1  |
| インド(ニューデリー) | 20,000      | 3  | 50  | 33      |    | 11       | 未定           | "   | "    | 2  |



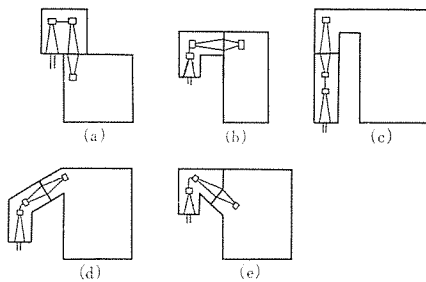


図 2.1 各種の エレファント構造  
Fig. 2.1 Construction of various kinds of elephant.

表 2.1 各種エレファント の利点欠点

| 構 造       | 利 点                 | 欠 点                                                                                           |
|-----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 図 2.1 (a) | 床面積が小さい             | 変圧器高さが高い                                                                                      |
| 図 2.1 (b) | 変圧器高さが低い            | 床面積が大きい                                                                                       |
| 図 2.1 (c) | 変圧器高さが低い<br>床面積が小さい | エレファント部組立時に、本体中の<br>油面を一時下げの必要がある<br>ケーブルを付けての工場試験におい<br>ては、ケーブルビットを設けるか、<br>変圧器を架台上にのせる必要がある |

て、100 kV 以上は分離形、70 kV 以下は共通形を採用している。

また、変圧器側貫通ブッシングとケーブルヘッド（以下 CH と略す）の相対位置関係としては、図 2.1 (a) (b) (c) (d) (e) のように大別できる。(a) (b) (c) は、ケーブルが変圧器下部から立上がる場合に採用される形式の基本的なもので、その利点欠点は、表 2.1 に示されるとおりである。(d) (e) は、(a) (b) (c) の中間的な構造であり、必要に応じて採用される。いずれにしても、表 2.1 からわかるように、どの構造も一利一害があるので、据付場所の条件や、変圧器の大きさ構造などを検討して、それにもっともよく適合するものを採用している。どの構造においても、エレファントケースは、組立上の要求から、いくつか分割されるのが普通である。

つぎに、実際に使用されたエレファントケース構造の二、三の例について、現地における組立順序を説明する。

図 2.2 (a) の構造における組立順序は、つぎののとおりである。

- (1) CH を仮支持ツクの上に組立てる。
- (2) ケース①を上部から CH にかぶせ、CH を①の下部フラッジに取付ける。
- (3) ケース②を水平方向に変圧器貫通ブッシングにかぶせ、本体および ケース①と接続する。
- (4) 仮支持ツクを取はずし、手穴より接続リードを取付け、油を充てんする。

この方式は、八幡製鉄へ納入した各種の 60 kV エレファント変圧器に採用した。

図 2.2 (b) の構造においては、つぎのようになる。

- (1) エレファントケース最下部のフラッジ①の位置を決め、その上に CH を組み立てる。
- (2) ケースを、②③④の順序で組み立てる。

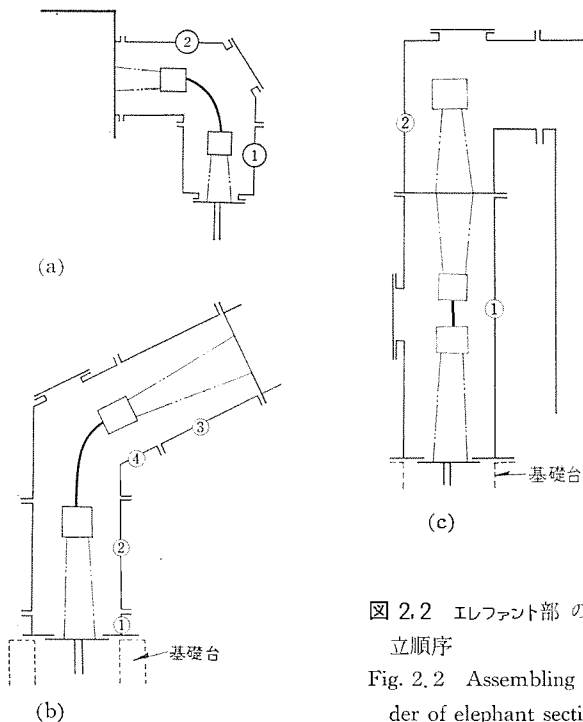


図 2.2 エレファント部の組立順序

Fig. 2.2 Assembling order of elephant section.

- (3) 手穴より接続リードを取付け、油を充てんする。この方式は、東京電力横浜火力発電所向け 100 MVA エレファント変圧器の 140 kV 側に採用した。

図 2.2 (c) の構造では、つぎの方法による。

- (1) CH を仮支持ツクの上に組み立てる。
- (2) ケース①を CH の上部よりかぶせ、その下部フラッジに CH を固定する。
- (3) ケース①の位置を、基礎台によって固定し、仮支持ツクを取はずす。
- (4) 変圧器の油面を所要の位置まで下げ、ケース②に貫通ブッシングを取付けたものを、変圧器本体および ケース①と接合する。
- (5) 貫通ブッシングと CH および変圧器本体間の接続リードを手穴より取付け、油を充てんする。

この方式は、電源開発若松火力発電所向け 90 MVA エレファント変圧器の 100 kV 側に採用した。

図 2.2 (a) の場合は、CH は変圧器によって支持される形となっているが、(b) (c) においては、CH の基礎によってささえられる形となる。一般に、電圧階級が高くなるにつれて、エレファント部の重量が増大し、変圧器だけで支持することが困難となるので、エレファント部自体の基礎を設ける必要が生じてくる。それと同時に、CH を基礎に固定することは、ケーブルの振動防止の面からも望ましいことであるので、通常 100 kV 以上では、エレファント部自体の基礎を設けている。変圧器が大容量で、振動の問題が苛酷になるような場合には、70 kV 程度でも、エレファント部に基礎を設ける場合もある。

いずれの場合にも、CH の位置は、エレファントケース下部フラッジに取付けられたジャッキボルトにより、若干調整できるが、CH は、組み上げられた後は、いずれの方向に

も 20 mm 程度以上動かすことは好ましくないといわれているので、CH の組立位置の決定は、慎重に行なう必要がある。

### 3. エレファント変圧器の問題点

#### 3.1 ケーブル鉛被の疲労

エレファント変圧器においては、変圧器とケーブルが直接接続されているため、変圧器の生ずる振動によってケーブル鉛被が疲労し、破壊するおそれがあるといわれている。この点については、実際のエレファント変圧器における実測値が、数多く報告されているが、いずれもケーブルの許容限度に対し、十分の余裕をもった安全な値であることが、示されている。当社においても、現在までに製作したエレファント変圧器について、多数の測定を行なっ

表 3.1 振幅測定値

|             | 振 幅 (ミ ク ロ ン) |      |
|-------------|---------------|------|
|             | 例 1           | 例 2  |
| 変圧器タンク      | 5.7           | 10.0 |
| エレファントケース下部 | 0.6           | 1.5  |
| ケーブル        | 0.9           | 4.8  |

注 いずれも数点の測定値中、最大のものを示す。

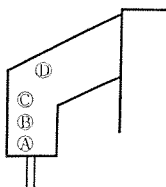
た。その一、二の例を表 3.1 に示すが、いずれもケーブルの許容限度といわれる、振幅で  $30 \mu$ 、ヒズミで  $50 \times 10^{-6}$  に対し、はるかに小さい値であり、この点に関しては、問題がないと考えられる。

#### 3.2 エレファント部の保護

変圧器は、各種の保護装置によって保護されているが、間接式エレファント構造においては、変圧器本体と隔離されているため、本体に取付けてある保護装置の保護範囲にはいらなくなるので、エレファント部自体にも、保護装置を取付ける必要が生ずる場合がある。通常取付けられる保護機器としては、油面計（エレファントケースの油膨張室が、変圧器本体のコンサバータと共通であるときは必要ない）、放圧装置などである。また、衝撃圧力継電器のような圧力継電器を取付けた例もあるが、エレファントケース内では、変圧器本体内における巻線の部分短絡というような小事故はなく、事故としては一線地絡のような大事故となると考えられ、このような事故は、他の継電器によって検知するので、この種の継電器を取付ける必要性は少ないと思われる。なお CH を高い油温の中で使用することは好ましくないが、間接式では、エレファントケース内の油は本体内の油から隔離されているため、ケース内油温上昇は、十分低い値におさえられる。実測の一例を表 3.2 に示す。

表 3.2 エレファントケース内油温上昇値の一例

| 測 定 点 | 温 度 上 昇 (°C) |
|-------|--------------|
| A     | 12.5         |
| B     | 11.5         |
| C     | 10.0         |
| D     | 13.0         |



### 3.3 エレファント変圧器の絶縁協調

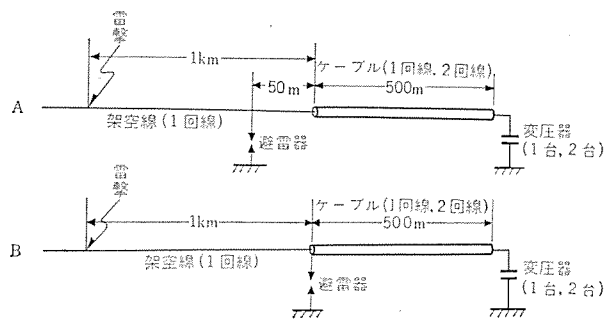
エレファント変圧器は、その端子が外部に出ていないため、変圧器端子へ避雷器を直接接続することができない。それで通常、避雷器は、架空線とケーブルの接続点の付近に設置されることになるが、このような場合には、変圧器と避雷器の保護協調について、検討する必要が生ずる。

一般に、ケーブルのサージインピーダンスは、架空線のそれに比べて非常に小さいので、架空線より衝撃電圧が侵入する場合、ケーブル内へ透過される波高値は小さくなるが、ケーブル内における進行波の往復反射のために、変圧器端子にかかる電圧は、優に変圧器の基準衝撃絶縁強度 (BIL) をこえる場合があり、最悪の条件では、避雷器制限電圧の 2 倍にも達する。

表 3.3 は、図 3.1 で与えられる条件の下で、変圧器端子に生ずる電圧を計算した結果である。これからみて、避雷器は、架空線とケーブルの接続点になるべく近く設置するのが効果的であることがわかる。しかしながら、変圧器の BIL と避雷器制限電圧  $E_a$  の比は通常 1.3 程度であるので、この計算例では、架空線とケーブルの接続

表 3.3 変圧器端子に生ずる異常電圧の計算例  
(図 3.1 参照)

| 雷 撃 点<br>インピーダンス  | $E_0$     | ケーブル<br>回 線 数 | 変圧器端子に生ずる異常電圧    |                   |
|-------------------|-----------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |           |               | アレスタを 0 m<br>に設置 | アレスタを 50 m<br>に設置 |
| $\infty$<br>(定電流) | $3 E_a$   | 1             | $1.28 E_a$       | $1.52 E_a$        |
|                   |           | 2             | $1.1 E_a$        | $1.22 E_a$        |
| 0<br>(定電圧)        | $E_a$     | 1             | $1.12 E_a$       |                   |
|                   | $2 E_a$   | 1             | $1.30 E_a$       |                   |
|                   | $2.5 E_a$ | 1             | $1.37 E_a$       |                   |
|                   | $3 E_a$   | 1             | $1.32 E_a$       | $1.50 E_a$        |
|                   |           | 2             | $1.20 E_a$       | $1.40 E_a$        |



雷撃点：架空線とケーブルとの接続点より 1 km

避雷器：A：架空線とケーブルとの接続点より 50 m

B：架空線とケーブルとの接続点

ケーブル：500 m

回路定数

架空線 サージインピーダンス  $452 \Omega$

伝 播 速 度  $3 \times 10^8 \text{ km/s}$

ケーブル サージインピーダンス  $29.2 \Omega$

伝 播 速 度  $1.5 \times 10^8 \text{ km/s}$

変圧器 侵入容量  $1,000 \mu\text{F}$

避雷器制限電圧  $E_a$

雷サージ  $E = E_0 \Sigma^{-\alpha t} \quad \alpha = \frac{0.693}{40} \times 10^{-6}$

雷撃点インピーダンス  $0 \Omega, \infty$

図 3.1 計算例に用いた回路および回路定数

Fig. 3.1 Circuit and circuit constant used for calculation example.

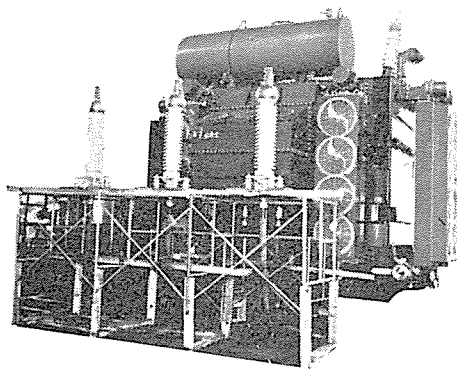


図 3.2 試験用ケーブル および ケーブルヘッド をつけて工場試験中の関西電力姫路発電所納め 180 MVA エレファント変圧器  
Fig. 3.2 180 MVA Cable connected transformer being tested at the factory with the cable connected thereto.

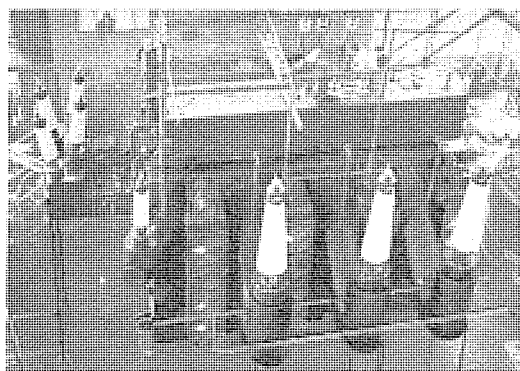


図 3.3 試験用仮ブッシング をつけて工場試験中の東京電力横浜発電所納め 100 MVA エレファント変圧器  
Fig. 3.3 100 MVA Cable connected transformer being tested at the factory with temporary bushings.

点に避雷器を設置した場合でも、保護協調上危険である。これを避けるためには、近接雷を防止することが有効であり、そのためには、架空線に架空地線によるシャハイをほどこす必要がある。このシャハイの範囲としては、ケーブル長の約 8 倍の距離までシャハイすれば、変圧器端子に生ずる異常電圧を  $1.2 E_a$  以下におさえることができる。<sup>(1)</sup> いずれにしても、エレファント変圧器の絶縁協調については、個々の場合について検討し、エレファント構造採用の可否を決定しなければならない。

### 3.4 工場試験

試験される機器を、実際の使用状態にできるだけ近い状態で試験するという工場試験の建前からいえば、エレファント変圧器は、変圧器とケーブルを組合せて工場試験を行なうべきであるが、このような試験では、

(a) 試験用ケーブルが必要であり、またその製作工程、組立工程を、変圧器の試験日程とマッチするよう、調整しなければならない。

(b) 工場における変圧器の占有面積がかなり増大する。

(c) 図 2.1 (c) のような構造においては、表 2.1 にもあげたとおり、変圧器をケーブルの曲げ半径程度床面より持ち上げるか、ケーブルピットを設ける必要がある。

などの点から、製作工場にとってかなりの負担となり、また一方、エレファント変圧器の製作実績もかなりの数に上り、エレファント構造自体にとくに問題のないことが実証されてきたので、試験用ケーブルは取付けずに仮ブッシングを付けて試験する方法が採用される例が多くなっている。ケーブルおよび CH は、ケーブル製作者側で別途に試験される。仮ブッシングを付ければ、変圧器としては、普通構造のものとまったく同様に試験を行なうことができる。また、試験用ケーブルを取付ける場合でも、ケーブル長は通常 10 m 程度であり、問題はない。図 3.2、3.3 に、試験用ケーブルと仮ブッシングを付けて工場試験中の変圧器を示す。

### 3.5 現地試験

現地におけるエレファント変圧器の耐圧試験において、変圧器とケーブルを一括して交流耐圧試験を行なうことは、ケーブルの充電電流をまかなえるような試験設備が現地にはないのが普通であるので、不可能な場合が多い。そのため、ケーブルは、直流電圧を用いて耐圧試験を行なうが、変圧器は原則として直流耐圧は行なわないので、変圧器はケーブルと切離して、交流耐圧試験を行なわなければならない。しかしながら、ケーブルから切離されると、変圧器巻線としては口出し部分がなくなるので、普通の方法では耐圧試験が行えない。この場合、つぎのような各種の方法が用いられる。

(a) 仮ブッシングを取付けて試験を行なう。

(b) 星形結線で中性点を出す場合、中性点だけはエレファント構造とせず、普通のブッシングで引出し、これを用いて一括耐圧を行なう。この方法では、中性点の耐塩害性がそこなわれるわけであるが、常規運転状態では中性点は電圧が生じないことを考慮すれば、実用上さしつかえないと考えられる。

(c) 他巻線からの誘導によって行なう。

いずれの方法でも、多少の困難が伴うので、工場試験をもって現地試験も兼ねるという方法も、監督官庁の了解の下に、しばしば採用される。

## 4. む す び

わが国のエレファント変圧器も実用期にはいり、当社の製作実績もかなりの数に上るので、それらの概要と、経験された問題点について記述してみた。なんらかの参考となれば幸いである。エレファント変圧器は、わが国の国情に適した数々の利点を有しているため、今後ともいよいよ広く採用されてゆくことが予想されるが、当社としては、あらゆる電圧、容量のエレファント変圧器をも製作しうる態勢を整えると同時に、きたるべき超超高压送電にそなえて、460 kV エレファントブッシングの試作も完了していることを付記して、拙稿のむすびとしたい。

### 参考文献

- (1) Ivar Herlitz, Niels Knudsen: Surge Protection of Electric Equipment Connected to Overhead Lines through Cable CIGRE 324 (1952).

## 自動車用 リヤアックスシャフト 高周波焼入装置

東 田 孝 彦\*・中 村 謙 三\*  
無線機製作所  
門 内 正 治\*\*・広 瀬 徹 男\*\*\*

## High Frequency Case Hardening Apparatus for Automobile Rear Axle Shafts

Electronics Works

Takahiko HIGASHIDA・Kenzō NAKAMURA  
Masaharu KADOUCHI・Tetsuo HIROSE

Progress in technique demands small sized and yet strong, durable machine parts. This is attained by case hardening with high frequency. In the past vacuum tube type Radio Heaters were most extensively applied to the purpose for small articles. But large size components, coming in use and calling for hardening of relatively larger case depth, have aroused demand of a motor driven high frequency generator. Mitsubishi has built many high powered hardening apparatus. Of them automobile rear axle shaft hardening apparatus is introduced in this article. The device is automatic and two of them are made to operate alternately so as to work the motor generator in full time. Special caution in electrical and mechanical accuracy in design enables the apparatus to give uniform hardening to three pieces of the work simultaneously. Another case is also taken for the quenching liquid to obviate troubles occurring on the hardness or cracking of the work.

## 1. ま え が き

最近の自動車産業の進歩発展と量産態勢の拡大強化にともない、機械部品は小形軽量にして、強度と耐摩耗性の大きなものを大量に必要とするため、これらの部品の高周波焼入が盛んに用いられるようになって来ている。そのいちじるしい特長は従来の高い周波数(400 kc)の真空管式ラジオヒータによる小さな部品の硬化深度1 mm程度の焼入に加えて、さらに大きなシャフトなどの部品を焼入硬化深度2~6 mm程度に深くするような焼入がきわめて多くなって来ていることである。この焼入用の高周波電源としては周波数が約10 kcあるいは3 kcのような低い加熱周波数で、電力は100~250 kWと大きな容量の電源設備が必要となる。周波数10 kc以下の電源装置としては、真空管式発振装置によらず、当社が斯界にさがけて開発した<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>電動高周波発電機(以下MGと略す)を用いているが、真空管式に比べて保守調整が簡単で、高周波発生能率がよく、消耗部品が少ないなどいくつかのすぐれた特長がある<sup>(5)</sup>。とくにMG式高周波焼入機械装置は量産工場の工作ラインに、一般の工作機械と同様に組入れることができるので、従来行なわれてきた部品の熱処理工場への運搬や、工程上のむだ時間をまったくなくすることができる。

高周波焼入装置は最近とくにMG式電源によるものが多くなりつつあるが、当社ではこれら各種機器単独の製作は各製作場所で行ない、焼入装置としての総合設計すなわち高周波焼入技術に対する総合取まとめは無線機製作所が社内外の多くの焼入技術資料によって行なってい

る。なかでも Westinghouse 社からの高周波誘導加熱機器と高周波焼入技術に関する豊富な資料によって、総合的な焼入装置の設計製作を行ない、つねに顧客の要求をよりよく満足するようにつとめている。

自動車用 リヤアックスシャフトの高周波焼入装置としては、1.0 kc 150 kVA の MG 電源を用いて、1 分間に約 1 本の割合で自動的に焼入できる高周波焼入機械装置を、すでにトヨタ自動車、いすゞ自動車、新三菱重工業株式会社などのご注文により製作、納入して

来ている。今回ここに紹介するアックスシャフト焼入装置は過去数回にわたって改良を加えた最新のもので、量産工場用として、高周波焼入のための加熱電力、焼入送り速度、位置ぎめ、などの精度を向上し、長い寿命ならびに使いやすさなどをとくに考慮したもので、すでにオンラインで日夜量産稼働中である。図1.1はアックスシャフト3本を同時に焼入できる機械装置の正面を示す。

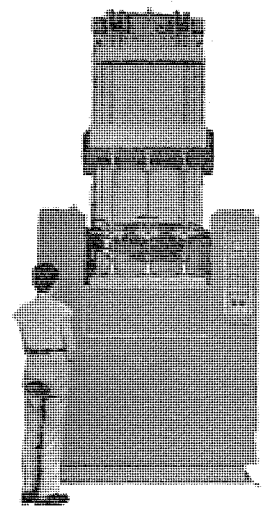


図 1.1 アックスシャフト 焼入機械装置  
Fig. 1.1 Rear-axle shafts case hardening apparatus.

## 2. 装置の概要

## 2.1 アックスシャフトの焼入仕様

自動車の後車輪を駆動するシャフトは一般に図2.1に



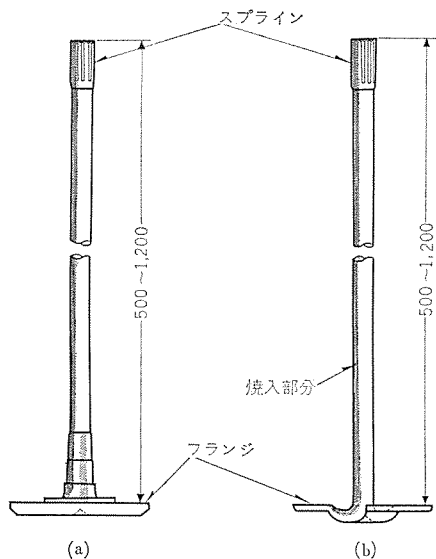


図 2.1 リアアクスルシャフト の一例  
Fig. 2.1 Examples of rear-axle shaft.

示す形状のものが多く、ねじれモーメントに対する強度を増すために、軸長全体の表面層を硬度 ロックウェル ( $H_{RC}$ ) 45 以上に焼入硬化させている。とくに先端部の スプライン 部での折損は自動車組立後の修理取換えが比較的困難であるため強度を強くするように焼入れる必要がある。過去においてリアアクスルシャフトは自動車の エンジンヒューズ であるといわれたこともあったが、折れるような シャフト であっては困ることはもちろんで、硬化層は次第に深くなり、直径 45φ 程度で焼入硬化深度は 4~6 mm、さらには 8 mm までも必要とするようになりつつある。硬化深度 2 mm 以下と 4 mm 程度の アクスルシャフト の強度試験を行なったばあい、同一直径では硬化深度 4 mm のもののほうが強い例が報告されている。焼入硬化深度は正確には 50% マルテンサイト 組織以上の硬化深さをいうが、高炭素鋼の S 45-C 材では  $H_{RC}45$  以上にほぼ合致する。マクロ試験では硬化深度の分布曲線傾度により変色層と必ずしも一致しない場合があるが、一般には硬化深度の判定が比較的簡単であるので マクロ試験法 により深度を測定することが多い。さらに焼入仕様としてはベアリングのハウジング部の耐摩耗性を大きくするために硬化深度 2~3 mm とするものもある。また図 2.1 (b) のようにフランジ部と軸部との境界部より焼入をして、フランジ側の軸強度を増すような方法もある。軸部全長にわたって硬化深度を一定とせず途中から直線的に深度を変え スプライン 部でもっとも深くすることにより、全長にわたって折損の起らないような高周波焼入法も本機では実施できる。

装置の主な性能仕様については表 2.1 に示すとおりで、これ以外に フランジ のない駆動軸や歯車軸などももちろん焼入れられる。とくに同時に 3 本の シャフト を焼入れることができるため、機械動作 1 サイクル 中の加熱、冷却、取付、取はずしの 1 本当たり作業時間が短縮でききわめて量産に適している。もちろんこの方式は 1 本当りの所要 MG 出力が 50kW 以下のものに用いられ、もし 75kW

表 2.1 焼入機械装置主要性能表

|         |                                                               |                              |
|---------|---------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 被焼入物    | 全 長 (mm)                                                      | 600~1,250                    |
|         | フランジ径 (mmφ)                                                   | 300                          |
|         | 軸 径 (mmφ)                                                     | 20~40 (3 本焼)<br>30~60 (2 本焼) |
|         | 硬化深度 (mm)                                                     | 2~6                          |
| 高電周波入力  | 周 波 数 (c/s)                                                   | 10,000                       |
|         | 電 圧 (V)                                                       | 400                          |
|         | 電 力 (kW)                                                      | 150                          |
| 処 理 能 力 | 直径約 20 mmφ 長さ約 600 mm<br>硬化深度約 2 mm にて月約 15,000 本<br>(日 8 時間) |                              |
|         | 直径約 30 mmφ 長さ約 700 mm<br>硬化深度約 3 mm にて月約 10,000 本<br>(日 8 時間) |                              |

程度の電力が必要な シャフト に対しては 2 本同時焼入とすることができる。

## 2.2 構 成

焼入装置全体のブロックダイアグラムは図 2.2 に示すとおりで、3,300 V (または 6,600 V) 主電源入力により MG を駆動させ、高周波出力は、発電機盤より供給する励磁電流により焼入物のそれぞれの位置に応じた一定の出力電圧を生ずる。発電機盤には電源電圧や負荷の変動に対して一定の設定電圧を得るための磁気増幅器と定電圧装置を設けている。MG 出力は 2 台の焼入機械装置へ交互に供給し、どちらか先に焼入準備をした スタンド 側で MG 出力を優先保持して焼入を行ない、この間に他の 1 台の

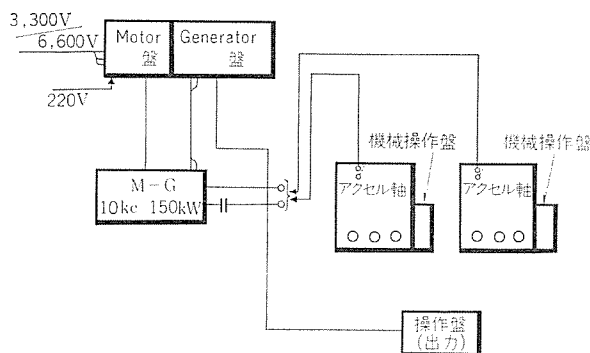


図 2.2 アクスルシャフト 焼入装置総合系統図  
Fig. 2.2 Schematic diagram of rear-axle shafts case hardening apparatus.

スタンドでは被焼入物の取付、取はずしの準備動作ができるようになっており、したがって MG の出力は遊び時間なく、連続稼働できるようになっている。各焼入機械装置への MG 出力は操作盤で調整設定でき、電圧、電流、有効、無効電力などが測定できる。図 2.3 は正面写真である。被焼入物の位置に応じた電力をうるための電圧調整器は機械装置のトビラの中に収容しており、設定がおわれば量産中に不必要に設定値を担当者以外の者が変更したりすることのない

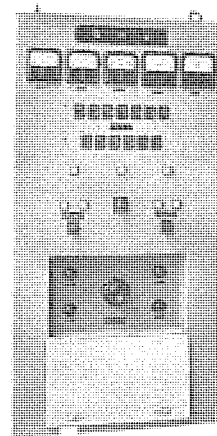


図 2.3 MG 出力操作盤  
Fig. 2.3 Control box for 10 ke MG.

ようにしてある。

10 kc 150 kW 全装置の入力は三相 60 c/s 3,300 V で最大 215 kVA (ただし起動時を除く) と、制御電源入力として三相 60 c/s 210 V 最大約 10 kVA が必要である。また内部機器の冷却のため水圧 2 kg/cm<sup>2</sup> 約 200 l/min の冷却水と、焼入物の急冷焼入用として約 3 kg/cm<sup>2</sup> 150 l/min の焼入用冷却液が必要である。

### 2.3 焼入機械装置

この装置は前述のように量産工場のラインに組込まれるため、できるだけコンパクトで、かつ床面積の小さいことが必要である。図 2.4 に示すように正面上下 センタ 台に被焼入物を垂直に取付け、まず上昇させることにより被焼入物の下端が加熱 コイル 内にはいる。そこで下端の焼入開始位置を停止加熱し、焼入温度になれば下降を始め順次 コイル内 を下方に通過する際に加熱される。コイル内で焼入温度まで加熱された被焼入物に焼入液を全周均一に噴射して急冷し順次連続移動焼入が行なわれる。被加熱物は加熱急冷される間約 60 rpm で回転して軸全周に均一な焼入硬化深度がえられるように、さらにヒズミの少ない焼入軸ができるように考慮している。焼入液の噴射する高さは被焼入物が長く、作業者の高さ程度となるので、液が飛散するのを防止するために自動的に開閉する正面 ドア を設けている。

装置内には上下駆動用の磁気増幅器と、機械動作を全自動で制御する継電器類を設けている。

MG 出力は高周波 ケーブル にて給電され、内部裏面側には、高周波用電磁開閉器および、加熱 コイル に大きな電流を流すための高周波変流器と力率調整用高周波 コンデンサ を備えている。高周波回路の各種配線は極力短くして、電力損失を少なくしている。

焼入液は電磁弁によって制御され、被焼入物に対する液量をそれぞれに調整することにより、3 本均一な焼入が可能となった。

このようにして被焼入物の取付取はずしだけを作業者が行ない、その他のすべての工程はすべて自動的に処理される。したがって作業者はつねに本機を操作監視する必要なく、動作中は別の装置で作業することもでき、機

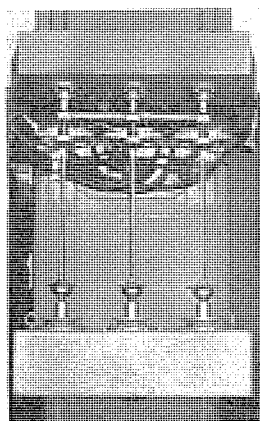


図 2.4 焼入機械装置 シャフト取付部

Fig. 2.4 Shafts holding mechanism of case hardening apparatus.

械の自動 サイクル 終了時にやって来て、正常に焼入動作したか否かを標示灯で知るだけでよい。また最初に被焼入物の焼入条件をきめるためのためし焼をする際には、各個動作に スイッチ を切換え、加熱電力、上下送り、焼入液を任意に調整することができる。

## 3. 高周波出力回路

### 3.1 高周波電力密度と加熱時間

自動車用 リア-アクスルシャフト は一般に直径 20φ から 60φ 程度で、焼入硬化深度は 2~6 mm 程度のものが必要であるので、加熱周波数は 10 kc を用いる。焼入硬化深度を 5 mm 以上 8 mm と深くする場合は 3 kc を用いるとよいが、この装置では 10 kc の高周波電源を用いるものを対象としている。

焼入硬化層が 3 mm ± 0.5 mm のものについては、コイル内の被焼入物の表面積に対して電力密度は  $P$  kW/cm<sup>2</sup> として、加熱時間  $t$  秒のときに焼入加熱ができる。この値については当社のもつ多くの実験 データ による図表より求めた<sup>(5)</sup>。コイル幅  $l$  cm のものについては、焼入送り速度は  $l/t \times 10 = S$  mm/sec として求められる。MG 電源の出力は連続移動焼入であるので次の式より求められる。

$$P_G = nP \times A \times \frac{1}{0.6} < 150 \text{ [kW]}$$

ただし  $n$  は同時焼入本数、 $A$  は コイル 下の被焼入物の面積で、直径  $d$  cm のものは  $A = d\pi l$  cm<sup>2</sup> である。

焼入硬化深度 3 mm の一例

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| シャフト 直径    | 30 φ mm (3 本同時連続移動焼入)        |
| コイル 幅      | 25 mm, 内径 40 φ mm, 巻数 1 回巻   |
| 電力密度       | $P = 1.1$ kW/cm <sup>2</sup> |
| 加熱時間       | $t = 5$ sec                  |
| 送り速度       | 5 mm/sec                     |
| シャフト 入力    | 26 kW                        |
| コイル 電流     | 約 6,000 A                    |
| コイル 電圧     | 約 15 V (コイル 1 個当たり)          |
| コイルインダクタンス | 約 40 μH (コイル 1 個当たり)         |
| MG 出力      | 約 130 kW                     |

### 3.2 高周波変流装置

この装置は図 3.1 に示すように焼入機械装置本体 コラム 部に内蔵している。図の最下段には高周波電磁接触器、その上には高周波 コンデンサ 22 μF が 1 台、24 μF が 2 台計 70 μF 約 700 kVar があって、24 μF から 70 μF までを 1 μF ごとに容量を切換調整することができる。下から 3 段目には水冷式乾式鉄心入高周波変流器があり、この変流器の一次巻線には加熱 コイル の インピーダンス に応じて巻数比を可変調整することができる タップ を備えている。

この回路は図 3.2 に示すように<sup>(7)</sup>、MG 出力側から高周波変流器一次巻線を見た力率が 1 になるようにしている。そのため一次巻線は前節の一例のときは容量 480 kVA、電流 1,200 A となる。図 3.3 は ベクトル 図を示し

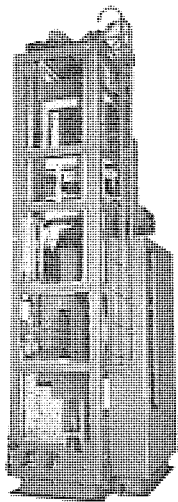


図 3.1 焼入機械装置裏面外観

Fig. 3.1 The internal view of case hardening apparatus.

被焼入物の温度が磁気変態点をこえると MG 出力電流は遅れ電流となるが、連続移動焼入のときは力率調整を被焼入物が焼入温度となったときの条件に合わせておけば大きな無効電力とはならない。また被焼入物の直径が異なるものでもその平均径についての力率調整値を設定しておけばよい。高周波変流器一次端子と高周波コンデンサとを並列に結ぶ導体は極力インダクタンスを少なくするよう平行銅板を用いている。

### 3.3 加熱コイル

高周波変流器二次端子にコイル導体を結び、各被焼入物に対する加熱コイルはコイル導体にそう入接続し、コイル電流を直列に流している。加熱コイルはこの装置の主要な役割をするものであって、電力密度の計算と、コイルと被加熱物の結合度は焼入仕様上綿密に設計されている。一般には1回巻コイルを用いコイル電流は前節の例にも述べたように数千Aの大きな電流を小さな部分に集中にして流すため、電力損失の少ないような形状寸法を選んでいる。またコイル導体も同様にできるだけ電力損失を少なくするようにし、しかも加熱位置は正確に機械駆動軸に合致させる必要があるため強固な構造となっている。とくに注意されている点は加熱コイル3個の場合、コイル導体のものつインダクタンスが加熱コイルインダクタンス（被焼入物に結合したときの値）よりもはるかに小さくさせる必要があることで、そのため幅の広いギャップの少ない平行導体方式を用いている。一般に、誘導加熱で電力損失のもっとも大きい部分は高周波変流器二次側回路の加熱コイルとその導体で、MG出力の約20%にもなるので、加熱コイルと導体の設計ならびに工作は焼入装置全体の能率を左右するともいえる。これらはすべて強制水冷式を採用している。

焼入液は加熱コイルを通過した被焼入物に噴射するが高炭素鋼材に対しては、加熱コイルの出口側に対しある角度をもった焼入液のノズルとなるように、加熱コイルから噴射している。この噴射ノズルは焼入温度から金属のS曲線<sup>(9)</sup>によるマルテンサイト領域にはいる急冷速度を十

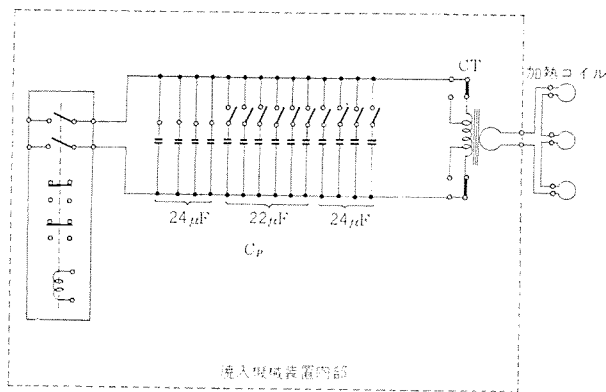


図 3.2 高周波変流装置回路図

Fig. 3.2 Current transformer circuit for 10 kc MG set.

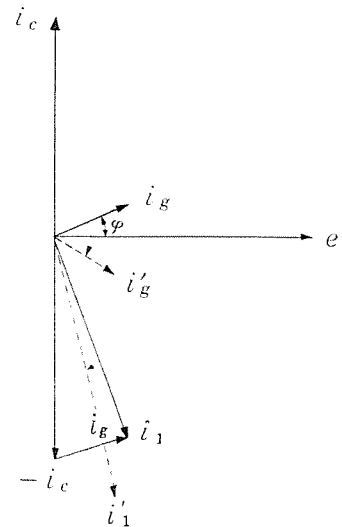


図 3.3 CT 一次回路のベクトル図  
Fig. 3.3 Vector diagram of primary circuit of current transformer.

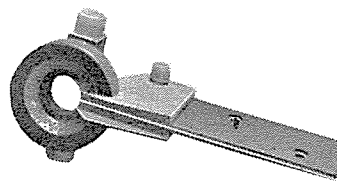


図 3.4 アクスルシャフト 焼入用 加熱コイル

Fig. 3.4 Heating coil and quench assembly.

分満足する液量で噴射する必要がある。とくに焼割れの危険のある形状のものについてはこの角度は十分検討されなければならない。図 3.4 に加熱コイルの形状を示す。図のコイル輪の両側に突起しているのは焼入液の入口で、銅板根本に突起しているものは加熱コイルの冷却水の入口である。加熱コイル端子は右側2枚の平行銅板部で、コイル導体にそう入され導体側で接触面は冷却される構造となっている。

一般的に焼入液は加熱コイルより噴射させるものが多いが、加熱コイル出口側に冷却輪を別置き、被焼入物がコイルを出てからの冷却時間を加減したいような場合には別個に冷却輪を設ける。しかし焼入部の加熱コイルと冷却輪の配置や、液の配管など繁雑となることはさげられない。

## 4. 焼入機械装置

### 4.1 電気制御回路

この焼入機械装置は被焼入物の取付、取はずし以外はすべて連続自動であって、起動押しボタンススイッチを押すだけで図 4.1 の焼入自動動作説明図のようにそれぞれ動作し、全焼入工程が終了すると、最初に取り付けた状態に戻る。上下駆動は直流サーボモータにより設定信号どおりに駆動され、サーボモータに直結されたタコジェネレータ出力により実動信号を帰還して、電源電圧や負荷変動に対しても所定の設定速度 $\pm 2\%$ 以内に保つように定電圧装置と磁気増幅器で制御している。上昇速度は 50 mm/sec の早送りで、下降速度は 2~10 mm/sec の間に可変設定できる。焼入硬化深度を被焼入物の途中で変えたい場合や、

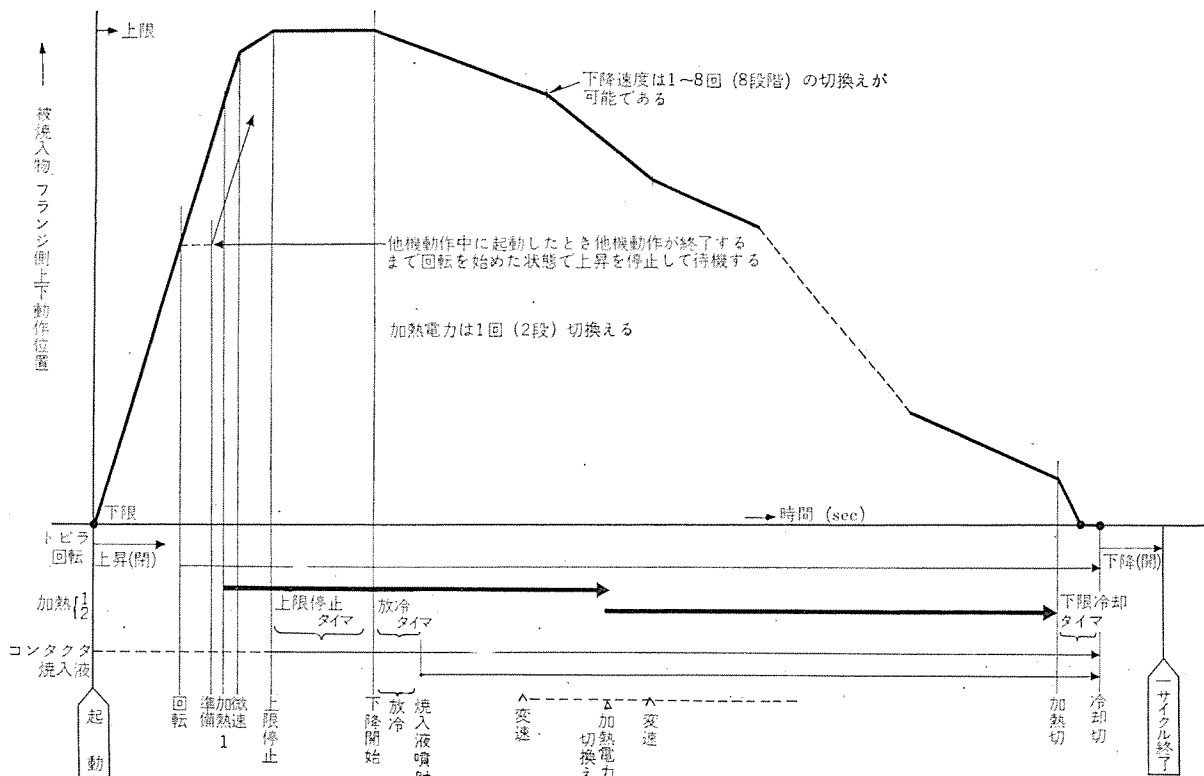


図 4.1 焼入自動動作説明図

Fig. 4.1 Diagram of automatic case hardening work.

被焼入物の直径が途中から異なった アクスルシャフト の場合のために下降速度は下降 ストローク を任意の1~8 区間に分割し、それぞれの各区間ごとの下降速度を任意に プログラム することができる。万一この プログラム どおり動作しなかった場合には焼入工程 1 サイクル 終了時に送り速度不良を標示する ランプ がつくようにしている。焼入電力は被焼入物の形状や焼入硬化深度の仕様によって、被焼入物の軸長の各位置により MG 出力電圧を 1~2 (または 1~4) 段に切換設定することができる。この目的のため上下駆動 ストローク を任意の 1~2 区間に分割し、それぞれの区間ごとに任意に MG 電圧を設定することができるよう配慮している。一般に最初の加熱は停止加熱で、被焼入物は常温から加熱するので焼入温度に達すると力率が大きく変化し、MG 出力電流は過電流となりやすいため比較的低い電圧で停止加熱を行ない、連続移動焼入時は定格電圧にする。また アクスルシャフト の先端部はスプライン部 であるため、その部分の焼入電力密度は軸直線部の焼入電力密度とことなる場合が多い。このように加熱電力も焼入位置に応じて プログラム することができ (電圧調整器は操作盤にあって、信号を焼入機械装置より送る)、万一 プログラム どおり加熱電力が供給されない場合には、焼入 1 サイクル 工程終了時加熱不良標示灯で表示するようになっている。また加熱電力は次の条件が満足されているときだけ動作するような保護回路をもっている。すなわち 加熱コイル その他冷却を必要とする各部が規定どおり冷却されており、被焼入物が上下駆動され、かつ回転していて焼入液が噴射される態勢にあるときにだけ加熱電力が加えられる。焼入液は被焼入物が下

降し始めて一定の時間経過してから噴射し始め、加熱電力が断となった後一定の時間被焼入物を冷却するように、限時継電器でそれぞれ設定することができる。図 4.2 はこれらの自動制御をするための リレー部 で、各部品とも量産機として昼夜連続稼働に適した、長寿命のものを使用している。

焼入機械装置 2 台を交互に動作させて MG 1 台の電力をむだ時間なく使用するため、MG の出力を焼入機械装置 1 台が使用中、他の 1 台の機械では焼入を終わった品物を取はずし、新たに焼入をすべき品物を取付けた状態でとどまっているだけでなく、さらに 起動ボタンスイッチ を押すことにより被焼入物を所定の位置まで上昇させて、高周波電力がその機械装置に加えられ、ただちに焼入をはじめられる状態で待機している。他機の焼入がおわり、高周波電力が断となれば直ちに MG 出力はこの機械装置に加えられて焼入動作が始まる。このようにして焼入機械装置は 1 秒のむだもなく、できるだけ多くの被焼入物を焼入処理することができるようになっている。

自動焼入の操作は起動 押しボタンスイッチ 1 個で行なうが、図 1.1 に示す焼入機械装置の正面右側にある機械操作部の各種 スイッチ 類は、被焼入物をためし焼をするために加熱、焼入液、上下駆動、トビラ 開閉などを各個に操作するための スイッチ および調整器類である。また焼入下降速度は広角度形速度計により測定することができ、ためし焼のときの条件の設定や、機械の保守、点検が容易なようにしてある。

#### 4.2 機械的機構

焼入機械装置の高さは、被焼入物の シャフト 全長 1,250

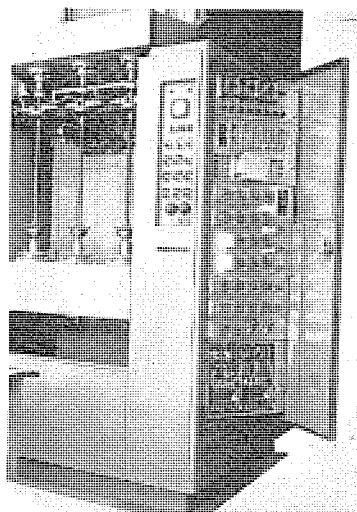


図 4.2 焼入機械装置制御 リレー 部  
Fig. 4.2 Control relay assembly of case hardening apparatus.

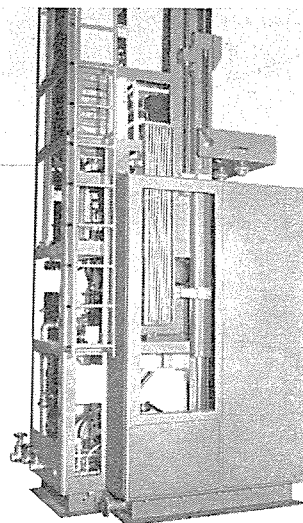


図 4.3 焼入機械装置位置ぎめ制御部  
Fig. 4.3 Cam assembly of case hardening apparatus.

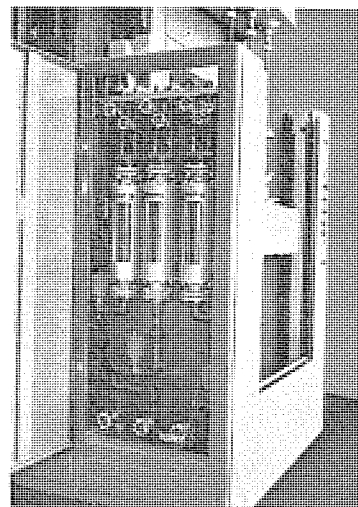


図 4.4 焼入液制御部  
Fig. 4.4 Control unit of quenching water.

mm のものまでが移動焼入できるように設計されているために比較的高く、4,200 mm 弱である。これは据付床面積を小さくするためもあるが、焼入物を後処理する縦形連続送り式の テンパ炉 と比較すると同じ程度である。作業者と機械の関係位置は図 1.1 の状態ではなく機械底面より 300~500 mm 高い作業台を設けるか、あるいは機械底面を床面より同程度埋めた状態が適当である。機械の上下駆動は上下 センタ台 を一体として左右の送りネジにより駆動している。上部 センタ台は被焼入物の長さに応じて上下 センタ 軸間の間隔を任意に設定するため加減できる構造となっており、長さ 600 mm から 1,250 mm のものが取付けられる。上部 センタ台と上下 センタ台 一体となったものに対しそれぞれ背面に平衡重錘を取付けて バランス させ、上下駆動が軽負荷で動かせるようにしてある。またこの センタ 軸に取付けられた被焼入物は、加熱コイルの中心軸に対して、上下 1,250 mm 移動しても中心軸の偏差が皆無に近い精度となっている。焼入上下駆動の位置信号や、加熱接断と加熱変換、速度変換などの位置信号をうするため、図 4.3 に示すように上下 センタ台 と一体となった マイクロスイッチ用ドッグが設けられている<sup>(6)</sup>。アックスシャフトのフランジ側面や、ベアリング部を軸方向に対して端面焼入する場合には、加熱コイルと被加物熱の端面間のギャップの寸法精度を正確に保たないと希望の焼入ができない。このため上限に停止したときの精度は 50 mm/sec の上昇速度で約 1,000 mm の距離を急上昇したときに、 $\pm 0.1$  mm 以内の精度になるように、停止直前にいったん微速に減速して正確に被焼入物の停止位置がえられるようにしている。また上限下限位置信号については万一の事故の場合でも機械部品その他に損傷を与えないよう、上下リミットスイッチを二重に設けて事故が皆無となるようにしてあり、正面トビラは焼入液の飛散を防ぐため自動的に開閉するようにしている。被焼入物を回転させる装置は下部 センタ台内

にあって 60 rpm (または 30~90 rpm 可変) の回転を与えることができる。これは電動式で、とくに完全密閉の防滴構造となっている。

#### 4.3 焼入液

焼入機械装置には、高周波加熱電力の制御とともに焼入のための必要な、焼入液の制御調整用測定器を備えている。とくに 3 本の被焼入物を均一に焼入するためにはそれぞれの焼入液の被焼入物に対する冷却開始温度と冷却速度をそろえるように制御する必要がある。液の流量や噴射開始時間は、配管方法や管の長さによりわずかではあるが異なる場合があるので、本機には図 4.4 に示すように流量計を設けて各本ごとにそれぞれ単独に制御調整できるようにしている。これによってアックスシャフトのフランジ側の焼入硬化深度を容易に均一化させることができた。

焼入液は高炭素鋼の被焼入物を急冷させるためには、真水でもよいが、ソリブルクエンチオイルの水溶液を用いることにより比較的簡単に焼割れを防止することができる。ソリブルクエンチオイルの使用にあたっては定量的なデータが今なお不十分ではあるが<sup>(6)</sup>、液温が比較的広い範囲に変化しても実用上焼入硬化深度が変化しにくいように使用することが得策である。液は被焼入物に噴射する際、蒸気被膜ができないよう圧力を加えて、小さなノズルより一定方向に均等に出す必要がある。またソリブルクエンチオイル水溶液中に混入する異物によりノズルがつまらないう、配管系統の入口にフィルタを設けている。

### 5. 焼入結果

焼入結果に関する詳細なデータの発表はさしひかえるが、ここでは当社がこの装置で同種のシャフトについて 3 本同時に焼入実験を行なった結果や、外国製のシャフトのデータなどから一般的な範囲で述べることにする。

#### 5.1 焼入硬度分布



焼入硬化深度を 3mm とする焼入仕様で、3 節に示す一例により、コイルとシャフトのギャップ 5mm とし、材質 S45C のシャフトを焼入焼戻し調質した後、3 本同時に焼入した。その硬度分布は図 5.1 (a) に示すようになった。焼入装置としてもっとも大切なことはつねに 3 本のシャフトの硬度分布が、シャフトの同じ位置でそれぞれそろっていることであり、さらに毎回の焼入サイクルで処理されるものもすべて均一に焼入されることである。2 本同時焼入の際の焼入硬度分布をそろえることは比較的容易であるが、3 本の被焼入物を均一に焼入することは装置の機構上より最初はなかなか困難であった。この克服のためにはつぎの点にとくに注意した。

- (1) 加熱コイル電流は 3 本直列とする。
- (2) 各本の加熱コイルとシャフトの相対位置は均一にそろえる。もちろんシャフトの形状寸法は均一になるように品質管理されていることが前提である。
- (3) 焼入液の噴射箇所と、液量を 3 本について確実にそろえる。

とくに液の噴射開始時間は被焼入物に液が最初に噴射する時間をそろえることが必要で、1 個の電磁弁によって 3 本に液を送る方式ではそろわないことがあるためそれぞれ別個に電磁弁を設けて噴射開始時間をそろえた。

焼入硬度分布は従来の高周波焼入法では表面層をクッキリとマルテンサイト組織とすることを特長としていた感があったが、図 5.1 (b) に示すような硬度分布曲線をもつもの、すなわち表面層が急激に立上ることなく、内部にはいるに従って緩慢に硬度が低下する焼入法のほうが機械的に強じんである。換言すれば  $A_{C1}$  以上の温度から比較的冷却速度がゆるやかな鋼であるソルバイト組織を残すことである。これは加熱周波数が従来の真空管式に比して低いため、電流浸透深さが増して、硬化深度以上の点まで加熱される一方、内部にある部分は逆に焼入液量を比較的少なくするなどの方法により冷却速度が遅くなるからであると解釈される。

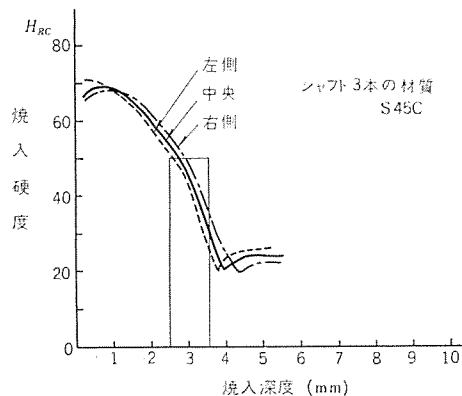
図 5.2 は外国文献のデータ<sup>(10)</sup> であるが、左側は約 50% マルテンサイトまでの境界線がクッキリと見られるが、右側のマクロエッチ断面はハッキリしていない。さらに図 5.3、5.4 にて示すように右側のものは表面のマルテン

サイト組織の下のパライト組織まで拡散層が厚く介在している。

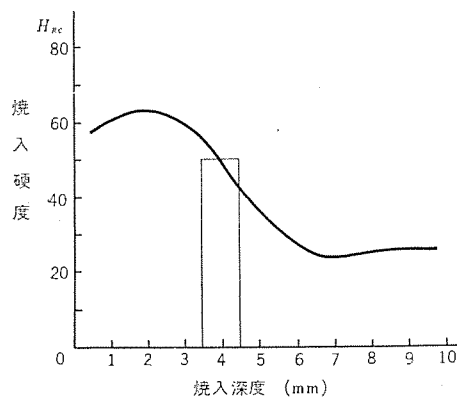
このようにして焼入液による冷却の方法によっても硬化層は若干変化できうるが、最近では軸の強じん性を増すために硬化深度を深くするものが比較的多くなって来ている。

## 5.2 焼割れ、ヒズミ

高周波焼入の問題点は焼割れである。焼割れはアックスルシャフトでは、スプライン部とフランジ側のベアリング部に起こりやすい。スプライン部がとくにキースプラインのものは、冷却速度がキースの形状のために均一になりにくい。歯先部が過熱される点に注意し、この部分での電力密度を比較的小さくし、送り速度を遅くしてスプライン部を均一な温度に加熱したのち、適当な放冷時間を与えて、各部均一に焼入液を噴射急冷させる。またスプライン部先端の端面は軸方向の熱のにげがなく、温度が過大となりやすいため適当な放冷時間をとったうえで、比較的少ない液量により冷却すると焼割れが防止できる。ベアリング部の肩の端面を焼入する場合も過熱をさけ、一定の放冷時間後に焼入液を均一に噴射冷却するとよい。焼割れの防止には以上の配慮に加えトリフルウェンチオイルの水溶液を用いて表面の急冷速度を落す方法が大いに効果がある。



(a)



(b)

図 5.1 焼入硬度分布曲線 10 kc MG による  
Fig. 5.1 Hardness distribution curve.

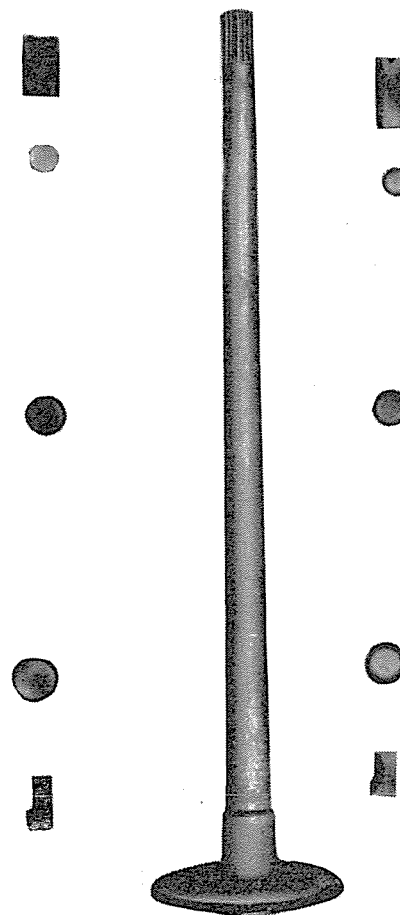


図 5.2 焼入硬度パターン (1)  
Fig. 5.2 Macroetching pattern of rear axle shaft (1).

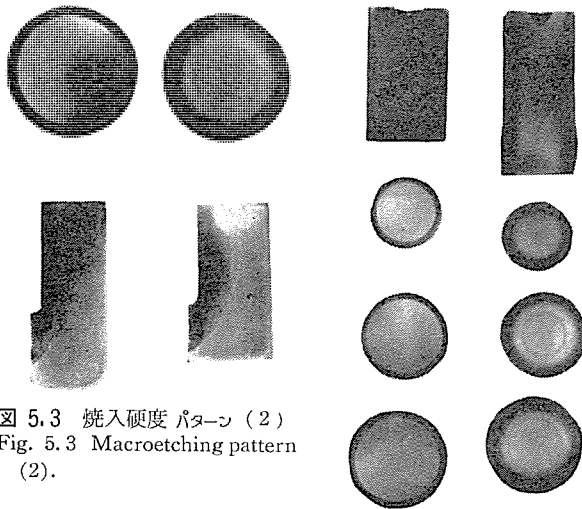


図 5.3 焼入硬度 パターン (2)  
Fig. 5.3 Macroetching pattern (2).

図 5.4 焼入硬度 パターン (3)  
Fig. 5.4 Macroetching pattern (3).

いま一つの焼割れの原因は、焼入直後の処理であって、急に オーステナイト より マルテンサイト となった組織は不安定であるので必ず テンパ を焼入直後に行なうことが望ましく、この装置の納入先ではすべて テンパ 工程に流れるように施行されていることを付言する。

焼入 ヒズミ については、この装置を使用した焼入物では非常に少なく、約 50 % 程度はヒズミ 取を行なう必要がない。この装置では、機械的な精度にとくに考慮が払われており焼入硬化深度が 3 mm 程度の浅いものであったが、全長約 600 mm のもので焼入後のヒズミ を 5/100mm 以下に楽に入れることができた。

この装置では精度のよい垂直駆動で焼入を行ない、加熱も、冷却も被焼入物全周にわたって均一になるように、被焼入物を回転させていることが、このように焼入ヒズミ の少ない理由である。

## 6. 装置の特長

10 kc の電動高周波発電機を用いて、2 台の焼入機械装置により アクسلシャフト の焼入を行なうものであるが、量産機としての特長を列举すると次のようになる。

- (1) 被焼入物の均一な焼入処理ができる。
- (2) MG 電源は音が小さく、小形であって、2 台の焼入機械装置に遊び時間なく交互に電力を供給するので能率がよい。
- (3) 1 ヶ月当たり 10,000 本以上の処理量を持つ量産機として最適であり、かつ全自動式に焼入作業ができるので、作業者を常時必要としない。
- (4) 焼入機械装置を機械工場の作業 ライン に組み込み、一貫した流れ作業ができる。また MG 電源はライン の外に設置して、一般の商用電源同様に高周波

ケーブル にて配線できる。

- (5) 焼入機械装置は精度が高く、垂直移動焼入式であるため焼入物の焼入 ヒズミ が少ない。
- (6) 焼入機械装置は、被焼入物の長さ 600~1,250 mm の広範囲のものを 3 本同時に焼入れることができる。また自動操作のほか手動による単独操作ができるので、量産品のためし焼の場合にも便利である。

## 7. む す び

以上のべたとおり、10 kc 電動高周波発電機による自動車用 リヤアクスルシャフト の焼入装置を当社ではすでに 8 台製作して来ている。リヤアクスルシャフト の焼入法としてはわが国でも最近次第に焼入硬化深度が深くなる傾向にあり、将来さらに 3 kc の MG 電源による焼入装置の需要が見込まれる。MG 電源は従来の真空管式に比して、高周波発生能率がよく、保守調整がきわめて簡単で経済的であり、焼入硬化層が 2 mm 以上を必要とする装置には最適で、高周波誘導加熱装置として今後大いに伸長することが期待される。従来の熱処理工場における各種の困難な問題は、高周波誘導加熱の導入と、焼入熱処理技術の蓄積によって解消されつつあり、今後ますますこの種装置の発達のために努力したいと考える。

稿を終わるにあたって、トヨタ自動車工業株式会社、いすゞ自動車株式会社、新三菱重工業株式会社などの顧客各位に対し、この装置の製作にあたり種々ご指導をいただいたことについて厚く御礼申し上げる次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 生駒：誘導加熱用高周波発電機、「三菱電機」31, No. 7 (昭 32)。
- (2) 馬場・渡辺：MG 形高周波誘導加熱装置の負荷回路調整ならびにその応用、「三菱電機」31, No. 7 (昭 32)。
- (3) 生駒：高周波誘導加熱装置 (III)、「三菱電機」技術解説 35, No. 8 (昭 36)。
- (4) 小滝：高周波誘導加熱装置 (IV)、「三菱電機」技術解説 35, No. 12 (昭 36)。
- (5) 馬場・東田：高周波誘導加熱装置 (I)、「三菱電機」技術解説 36, No. 2 (昭 37)。
- (6) 大森・岩田：高周波自動加熱装置、「三菱電機」29, No. 11 (昭 30)。
- (7) 馬場・松元・東田：電動高周波発電機による誘導加熱について、昭 36 電気関係学会関西連合大会, p. 233。
- (8) 多賀谷・田村：焼入液の冷却能に及ぼす流動速度の影響、「金属学会誌」22, 12 号, p. 631。
- (9) 大和久：S 曲線, p. 135 (昭 28)。
- (10) A. H. Pittaway, R. Wverfel: High Frequency Heating Laboratory Report 「Westinghouse 電機会社」 RNI-14152 A.

# 不平衡負荷時の横流補償器付 AVR の特性

神戸製作所 久松 章 三\*

## Characteristics of Automatic Voltage Regulators with a Cross-Current Compensator under Unbalanced Load

Kobe Works Shōsō HISAMATSU

When synchronous generators are operating in parallel by using voltage regulators with a cross-current compensator and load distribution is unbalanced, how the allotment of reactive power is affected by the abovementioned compensator has been studied through numerical calculators. The result shows that when no load regulating voltage and cross current compensation constant are the same integer, if real power outputs are equally distributed, reactive power outputs are also evenly allotted; the compensators operating as reactive power balancers. Should the real power output be unbalanced, the apparatus operate, with their real powers, to increase the reactive power of a generator having less real power and operate to reduce the reactive power output of other generator.

### 1. ま え が き

横流補償器を有する AVR にて電圧調整を行なっている同期発電機が並列運転しているとき、その負荷配分が不平衡であるとき、無効分出力の配分が横流補償器の効果によりいかなる影響を受けるかを数値計算例について求めたので、ここに紹介する。

### 2. 横流補償器の目的

初めに横流補償器について考えてみることにする。2 台以上の同期発電機を直接母線に接続して並列運転を行なうとき、発電機相互間に無効な横流\*が生ずるのを防ぐために各発電機の誘起電圧が発電出力の遅れ無効分電流に比例して降下するような電圧垂下特性を与えるよう補償を施さなければならない。

自動電圧調整器 (Automatic Voltage Regulator 以下 AVR と略記するものとする) を有する同期発電機では、その誘起電圧を調整するのは AVR であるから、この AVR が調整する電圧が遅れ無効分電流に比例して降下するような補償を与えるようにすればよい。

この無効分電流に対する電流補償を行なうものとして広く用いられているのが横流補償器である。

横流補償器は同期発電機の実出力電流が 100 % 力率のときに発電機端子電圧に対して 90 度進んだ位相で発電機の実出力電流に比例した補償電圧を端子電圧に加えて、その電圧を AVR の調整電圧としたものである。

これは発電機の実出力電流の値およびその位相によって、AVR の調整電圧に対し電流補償を行なったものであり、AVR の電流補償制御の一つである。

### 3. 横流補償器の特性

横流補償を行なったときの電圧ベクトル関係を図 3.1 に示す。

AVR の調整電圧は無負荷時の調整電圧を  $E_0$ 、電流補償が行なわれたときの調整電圧を  $E$ 、発電機の実出力電流を  $I$ 、 $E$  と  $I$  との位相角を  $\theta$ 、( $E$  を基準にして時計方向を正とする。) とすればその間には次の関係式が成立する。

$$E_0 = \sqrt{(E + KI \sin \theta)^2 + (KI \cos \theta)^2} \dots \dots (3.1)$$

ここで  $K$  は電流分による補償効果の割合を示す比例定数とする。式 (3.1) を変形すれば

$$\frac{E}{E_0} = \sqrt{1 - k^2 \cos^2 \theta} - k \sin \theta \dots \dots (3.2)$$

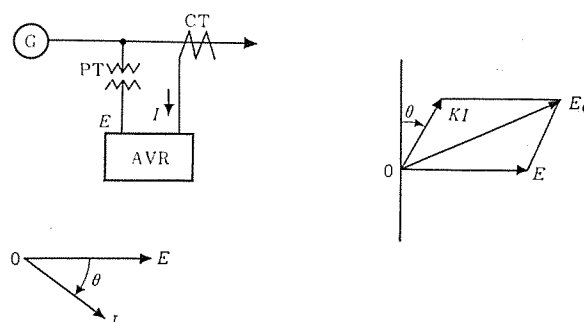


図 3.1 横流補償制御のベクトル関係図

Fig. 3.1 Vector relation diagram of cross current compensation control.

注 \* ここで横流というのは、発電機間の無効分電力の授受により発生する無効分電流と考える。

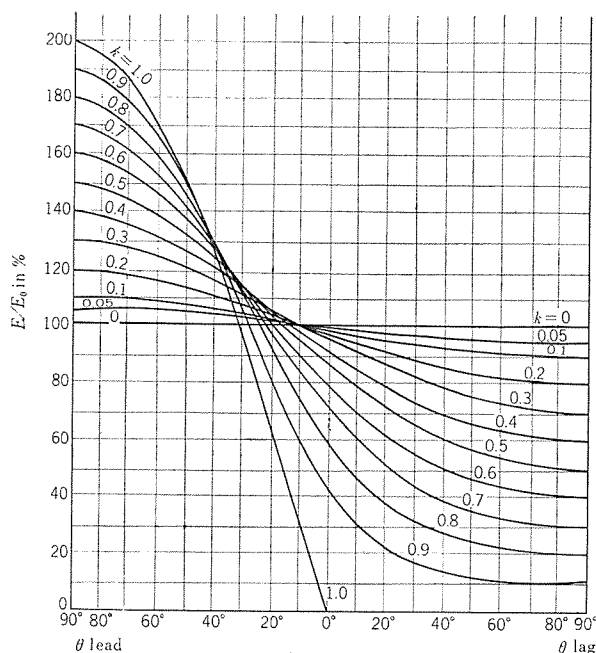


図 3.2 横流補償を施したときの  $E/E_o$  (その 1)  
Fig. 3.2  $E/E_o$  with cross current compensation effected.  
(No. 1)

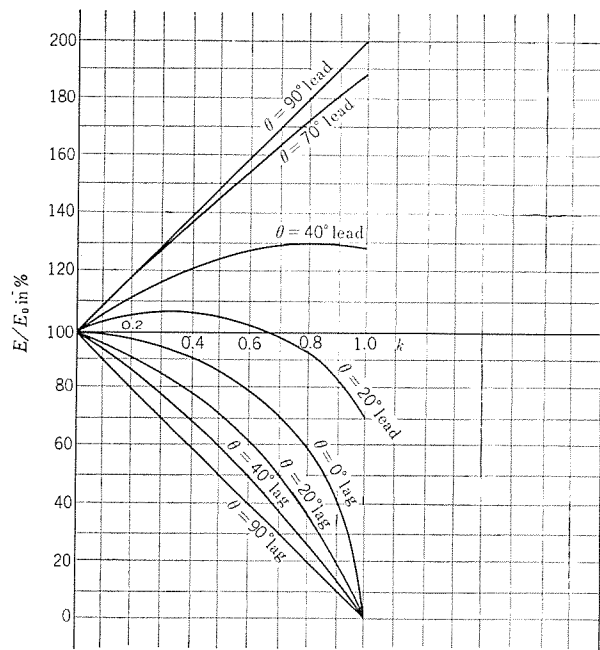


図 3.3 横流補償を施したときの  $E/E_o$  (その 2)  
Fig. 3.3  $E/E_o$  with cross current compensation effected.  
(No. 2)

$$\therefore k = \frac{K \cdot |I|}{|E_o|}$$

式 (3.2) のようになる。ここで  $k$  は電流分による補償効果と無負荷時の調整電圧との比で、これを補償係数とする。

この式 (3.2) が AVR の調整電圧に横流補償制御を行なったときの、発電機電流の大きさとその位相による調整電圧の特性を示すものである。図 3.2, 3.3 はその特

性曲線を示したもので、電流補償を行なったときには、図示のように同期発電機の電圧は変化する。

図 3.2 は電流の位相により AVR の調整電圧が変化する特性を示したもので、電流位相が遅れ位相の場合には AVR の調整電圧は降下特性を示し、進み位相の場合には上昇特性を示している。

図 3.3 は補償係数  $k$  と AVR の調整電圧との関係を示したものであり、 $k$  が増加するに従って補償効果が大となり、また電流の力率によりその効果が変わることを示している。

このように AVR の調整電圧は横流補償器により発電機電流が遅れ位相のとき垂下特性を示し、横流補償制御が行なわれることを示している。

#### 4. 並列運転時の無効分の配分

いま無負荷時の AVR の調整電圧を等しく整定した横流補償器付 AVR を有する同期発電機を並列運転するときには、各発電機の無効分出力がどのような割合で配分されるかを考えてみることにする。

この場合にも当然式 (3.2) の関係は満足されなければならないので式 (3.2) を変形して

$$2 \frac{E}{E_o} k \sin \theta + k^2 = 1 - \left( \frac{E}{E_o} \right)^2 \dots \dots \dots (4.1)$$

式 (4.1) が得られる。

発電機が並列運転を行なっているのであるから、このときの端子電圧  $E$  は各発電機とも同じであり式 (4.1) の右辺の値  $1 - \left( \frac{E}{E_o} \right)^2$  は一定の値となる。すなわち式 (4.1) は次の関係式を満足することになる。

$$2 \frac{E}{E_o} k \sin \theta + k^2 = \text{const} \dots \dots \dots (4.2)$$

この式 (4.2) の示していることは、各発電機の横流補償係数  $k$  が等しいときには位相角  $\theta$  が等しくすなわち力率が等しくなり、また力率を等しくするには補償係数  $k$  を等しくしなければならないことを意味している。

同じ定格の同期発電機が無負荷時の AVR の調整電圧を等しく整定し、負荷電流による補償効果と同じになるように整定\* し各発電機の出力を等しくするように調整すれば各発電機の分担する無効分出力は等しくなり、力率もまた等しくなるような補償制御が行なわれる。

これは横流補償器が無効分平衡器として動作することを意味しており、逆にいうと横流補償器は各発電機の無効分の不平衡をなくすために使用されるものである。

#### 5. 不平衡負荷時の無効分の配分

各発電機の負荷分担が等しいときの無効分の配分については前項において説明したが、ここで各発電機の負荷

注 \* 補償効果と同じにすることは  $k$  の値を同じ値に整定するわけで、これは発電機の定格負荷電流における補償係数が等しくなるように整定すればよい。

分担が異なるときの横流補償器の特性について考えてみることにする。

いま発電機の有効分出力を  $P$ 、無効分出力を  $Q$  とすれば電圧  $E$ 、電流  $I$  およびその位相角  $\theta$  との間には次の関係式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} P &= EI \cos \theta \\ Q &= EI \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

そこで式 (3.1) を変形すれば次の式 (5.2) が得られる。

$$Eo^2 = (E + KI \sin \theta)^2 + (KI \cos \theta)^2 \dots\dots (5.2)$$

この式 (5.2) に式 (5.1) の関係を代入すれば次の関係式が得られる。

$$Eo^2 = \left( E + \frac{KQ}{E} \right)^2 + \left( \frac{KP}{E} \right)^2 \dots\dots\dots (5.3)$$

$$\left( \frac{E}{Eo} \right)^2 = \left[ \left( \frac{E}{Eo} \right)^2 + K \frac{Q}{Eo^2} \right]^2 + \left( \frac{KP}{Eo^2} \right)^2 \dots\dots (5.4)$$

ここで  $\left( \frac{E}{Eo} \right) = e$ ,  $\frac{Q}{Eo^2} = q$ ,  $\frac{P}{Eo} = p$  とそれぞれの値を無負荷調整電圧  $Eo$  との比をとりこの値を用いて式 (5.4) を書きなおすと次の式が得られる。

$$e^2 = (e^2 + Kq)^2 + (Kp)^2 \dots\dots\dots (5.5)$$

$$e^2 = \frac{1}{2} [(1 - 2Kq) + \sqrt{1 - 4Kq - 4K^2p^2}] \dots (5.6)$$

この式 (5.6) が発電機出力と調整電圧との関係を示すものである。

つぎに発電機を 2 台並列運転している場合、各発電機の有効分出力とその無効分出力がいかなる配分関係を示すかを求めてみることにする。

いま、1 号機側の有効分出力を  $p_1$ 、無効分出力を  $q_1$ 、2 号機側の有効分出力を  $p_2$ 、無効分出力を  $q_2$  としてこれを式 (5.5) に代入すれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} e_1^2 &= (e_1^2 + K_1q_1)^2 + K_1^2p_1^2 \\ e_2^2 &= (e_2^2 + K_2q_2)^2 + K_2^2p_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで第 3 項における場合と同じく、各発電機の無負荷調整電圧  $Eo$  および補償定数  $K$  とを同じに整定した場合について考えてみると次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} e^2 &= (e^2 + Kq_1)^2 + K^2p_1^2 \\ e^2 &= (e^2 + Kq_2)^2 + K^2p_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.8)$$

この関係式を数値列について解いてみることにする。

## 6. 数値計算例

普通 AVR または横流補償器が直接対称としている電圧および電流の値は、計器用変成器により変成された二次回路の量であり、この値としては計器用変圧器では 110 V、計器用変流器では 5 A を使用している。そこで AVR あるいは横流補償器の特性を検討する際にはちょうど定格電圧 110 V、定格電流 5 A、定格容量 550 VA の発電機を対称として考えればよいことになる。

この値を用いて考えるときには、前記の  $p, q, K$  の各値は次のような値となる。まず  $K$  の値は定格電流時の横流補償係  $k$  は一般に 6~10 % 程度与えればよいといわれており、このときの  $K$  の値を考えてみると、つぎ

のようになる。

いま  $k=6\%$  との値を考えてみると  $k=K \frac{|I|}{|Eo|}$  より

$I$  が 5 A で、 $Eo$  が 110 V と仮定したときには  $K$  は次のような値となる。

$$K = 110 \times \frac{6}{100} \times \frac{1}{5} = 1.32$$

同じく  $p = \frac{P}{Eo^2}$ ,  $q = \frac{Q}{Eo^2}$  であるので、いま  $P$  が 550 W の

場合について考えると、 $p$  は次のような値と考えられる。

$$p = 550 / 110^2 = 0.0455$$

同様に  $Q$  を 550 Var と考えると  $q$  は次の値になる。

$$q = 550 / 110^2 = 0.0455$$

つぎにこの計器用変成器二次回路の各値を一次側に換算するときには、それぞれ変成比を乗ずればよい。

いま計器用変成器の変成比が 3,300/110 V、計器用変流器の変成比が 500/5 A であるときには  $p=0.045$  なる値は次のように換算される。なおこのときの無負荷調整電圧は 3,300 V に設定されているものとする。

$$Eo = 3,300 \times \frac{110}{3,300} = 110 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} P &= p \cdot Eo^2 \\ &= 0.0455 \times (110)^2 \\ &= 550 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ 一次側} &= 550 \times 3,300 / 110 \text{ V} \times 500 / 5 \text{ A} \\ &= 1,650 \text{ kW} \end{aligned}$$

なおこの値を三相容量にするにはさらに  $\sqrt{3}$  倍すればよいので三相負荷としては次の値となる。

$$\begin{aligned} P' &= \sqrt{3} \times 1,650 \text{ kW} \\ &= 2,860 \text{ kW} \end{aligned}$$

すなわち前記の各変成比により変成された二次回路で 0.045 ユニットの電力は一次側では 2,860 kW に相当する。

一般的に示すと次のような換算式となる。すなわち三相有効分電力  $P'$  は次式で示される。

$$P' = \sqrt{3} \times \text{PT 比} \times \text{CT 比} \times Eo^2 \times p \dots (6.1)$$

同じく三相分無効分電力は次の換算式により示される。

$$Q' = \sqrt{3} \times \text{PT 比} \times \text{CT 比} \times Eo^2 \times q \dots\dots (6.2)$$

そこで式 (5.6) および式 (5.8) について数値計算するにあたって次の各値について求めることにした。

$$\begin{aligned} K &= 1.1 \sim 3.3 && 0.55 \text{ おきに } 5 \text{ 通} \\ p_1, p_2 &= 0 \sim 0.066 && 0.011 \text{ おきに } 7 \text{ 通} \\ q_1 &= (-) 0.033 \sim (+) 0.066 && 0.011 \text{ おきに } 10 \text{ 通} \end{aligned}$$

以上合計 2,450 通りの値を求めた。なお  $q_1$  で (−) は進み無効分電力 (+) は遅れ無効分電力とする。

この計算結果の一例を図 6.1~図 6.8 に示す。

図 6.1, 6.2 はいずれも横流補償を施したときの電圧特性を示すもので、遅れ無効分出力により AVR の調整電圧は降下する特性を示す。

図 6.3~図 6.6 は 1 号機側の有効分が  $p_1$  にて、2 号



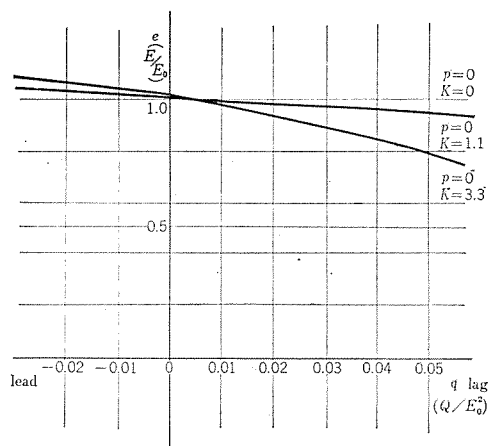


図 6.1 横流補償を施したときの  $E/E_0$  (その 3)  
Fig. 6.1  $E/E_0$  with cross current compensation effected. (No. 3)

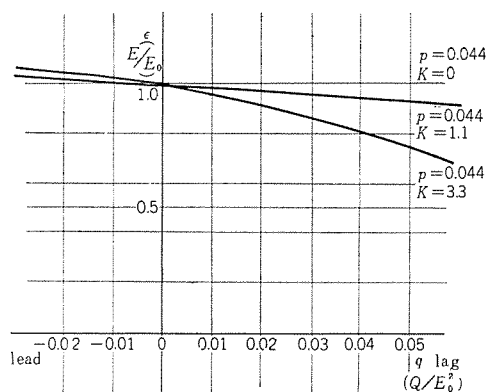


図 6.2 横流補償を施したときの  $E/E_0$  (その 4)  
Fig. 6.2  $E/E_0$  with cross current compensation effected. (No. 4)

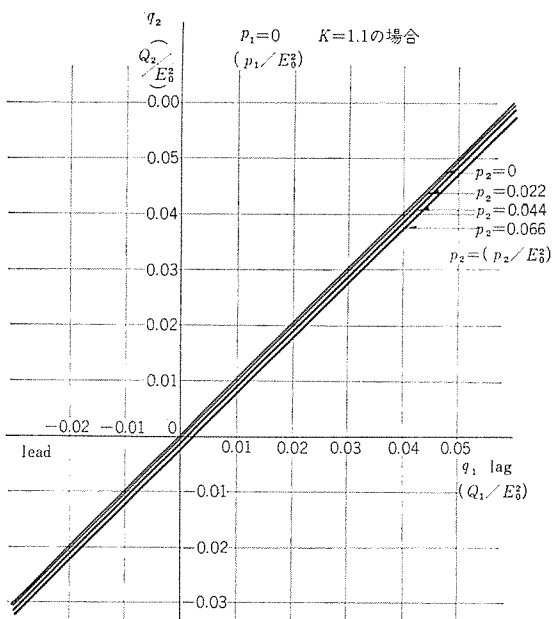


図 6.3 横流補償を施したときの無効分の配分 (その 1)  
Fig. 6.3 Allotment of reactive components with cross current compensation effected. (No. 1)

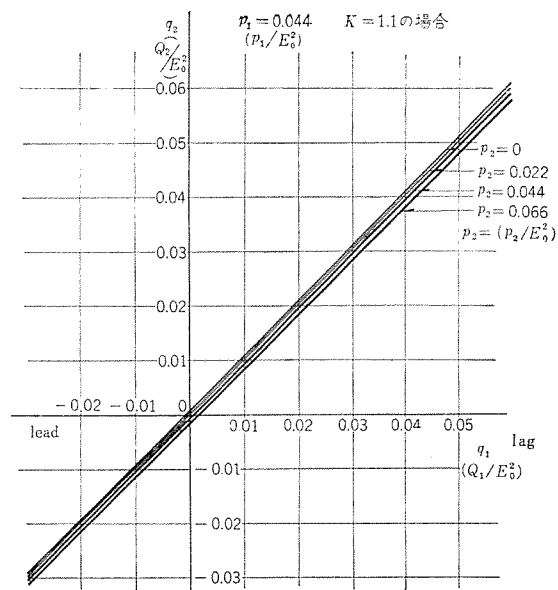


図 6.4 横流補償を施したときの無効分の配分 (その 2)  
Fig. 6.4 Allotment of reactive components with cross current compensation effected. (No. 2)

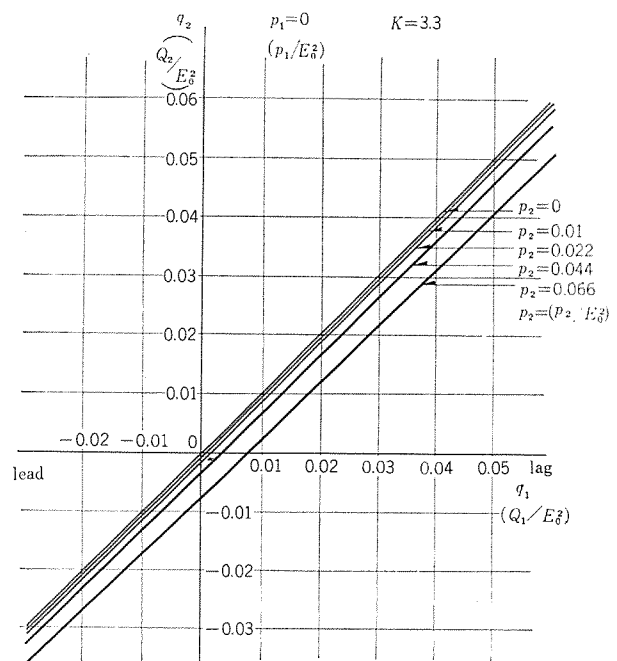


図 6.5 横流補償を施したときの無効分の配分 (その 3)  
Fig. 6.5 Allotment of reactive components with cross current compensation effected. (No. 3)

機側の有効分が  $p_2$  のとき、1号機側の無効分  $q_1$  と2号機側の無効分  $q_2$  との関係を示すものである。

図からわかるように  $p_1=p_2$  の条件では  $q_1=q_2$  でありこれは第3項において説明したように横流補償器が無効分平衡器として動作していることを示すものである。

図 6.7, 6.8 は補償定数による無効分出力の特性を示すもので、有効分出力により無効分出力が変化し有効分

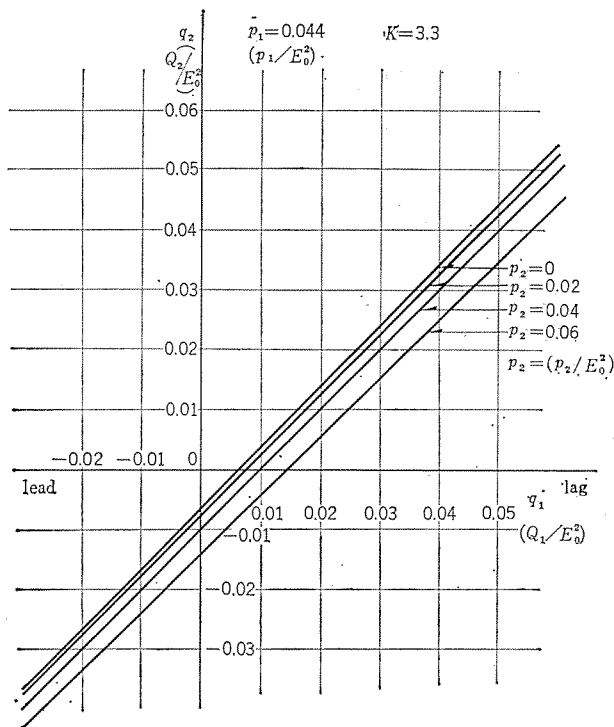


図 6.6 横流補償を施したときの無効分の配分 (その 4)  
Fig. 6.6 Allotment of reactive components with cross current compensation effected. (No. 4)

出力の小なるほうが、無効分出力が大になる特性を示している。これは有効分出力を多く出している発電機はその負担する無効分出力が少なくなり、有効分出力の小なる発電機はその負担する無効分出力が多くなる特性を示している。

## 7. む す び

以上のように横流補償器を有する同期発電機の並列運転時の無効分出力の配分については無負荷調整電圧および補償定数を同じに整定したとき、有効分出力が同じく配分されているときは、無効分出力も均等に配分され、横流補償器は無効分平衡器として動作しているわけである。また有効分出力が不平衡であれば横流補償器はその有効分出力により、有効分出力の小なる発電機側は無効分出力を大に、有効分出力の大なる発電機側は無効分出力を小にするような補償が行なわれることになる。

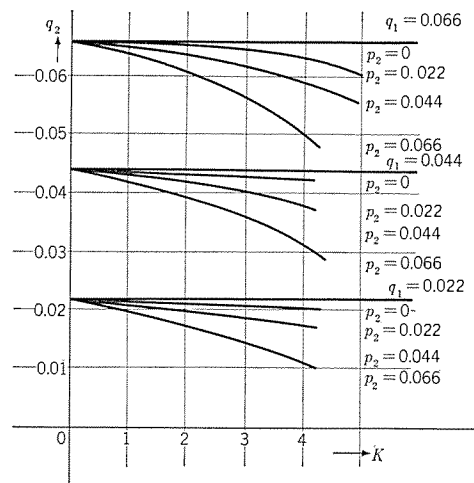


図 6.7 横流補償を施したときの有効分出力と無効分出力の関係 (その 1)  $P_1=0$   
Fig. 6.7 Relation between effective component output and reactive component output when cross current compensation is effected. (No. 1)

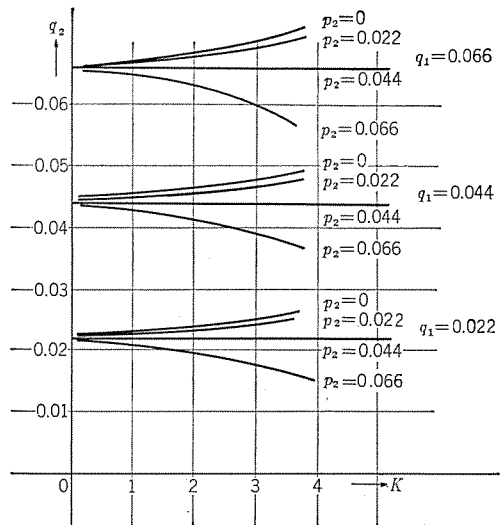


図 6.8 横流補償を施したときの有効分出力と無効分出力の関係 (その 2)  $P_1=0.044$   
Fig. 6.8 Relation between effective component output and reactive component output when cross current compensation is effected. (No. 2)

最後にこの計算は IBM 計算機により行なったが関係各位に非常にごめんどうをおかけしたことに對しここに謝意を表しむすびとする。

# 航空機用 VHF 帯小形広帯域ブレードアンテナ

研 究 所 喜連川 隆\* ・武市吉博\*\* ・水沢丕雄\*\*

無線機製作所 平岡敏也\*\*\* ・浜口道雄\*\*\* ・大林愛弘\*\*\*\*

## A Small-Sized Broadband Blade Antenna in Very-High-Frequency Band for Aircraft

Research Laboratory Takashi KITSUREGAWA ・ Yoshihiro TAKEICHI ・ Motoo MIZUSAWA  
Electronics Works Toshiya HIRAOKA ・ Michio HAMAGUCHI ・ Yoshihiro OHBAYASHI

For aircraft communication in VHF band is extensively used a quarter-wave unipole antenna, but a smaller one has been considered more desirable. Taking an opportunity of the commencement of home production of the medium sized transport YS-11, Mitsubishi studied theoretically a means to approach the aim. As an outcome of the endeavor, a VHF small sized, broadband blade antenna of only one eighth wavelength high has been developed for practical purpose with success. It is a streamlined dielectric shell type enclosing a flat plate radiating element, permitting easy mounting on any plane. The input voltage standing-wave ratio on 50-ohm coaxial feeder is less than 2 to 1 over the frequency band of 118 to 144 Mc. and the radiation of vertically polarized wave is omnidirectional in azimuth.

### 1. ま え が き

航空機の VHF 通信用あるいは UHF 通信用の垂直偏波水平面内無指向性アンテナとして、現在種々の形式の4分の1波長ユニポールアンテナが使用されているが、この種のアンテナにおいては、小形化により空気抵抗および重量を軽減し、しかも電氣的に広帯域性をもたせることが重要な問題である。

中形輸送機 YS-11 (図 1.1) が国産される機会に、この種のアンテナの小形広帯域化の方法について考察し、これを基にして高さ約8分の1波長の航空機用 VHF 帯小形広帯域ブレードアンテナ (Blade antenna) を試作して良

好な結果を得、ただちに実用に供しうるものを完成した。

ブレードアンテナは、空気抵抗を軽減するために外形を“Blade”状にした薄手構造のユニポールアンテナに対する一般的名称であって、今回のものは小形流線形の誘電体外殻の中に板状の広帯域放射素子を収容する構造とした。

以下にこのアンテナの研究の報告として、原理となる小形広帯域化の方法、試作品の構造および実験結果について述べるとともに、これに基づいて完成した製品の主要性能について記す。

### 2. 原 理

従来ユニポールアンテナとしては単一導体ユニポールアンテナ、あるいはたとえば図 2.1 (a) のような折返しユニポールアンテナが主として用いられてきた。いま図 2.1 (a) に示してある従来の折返しユニポールアンテナ図 2.1 (b) のように変形すると、それぞれの等価表示から明らかなように、給電点を従来のものとくらべて反対側に転移した形になるだけで、放射体としての動作を変えることなく、放射導体内伝送線路部に広帯域整合回路を設けうるという利点が生じる。

図 2.1 (b) のように構成した給電線内蔵形折返しユニポールアンテナは、その等価表示から明らかなように、図 2.2 に示した方法で解析しうる。すなわち図のように、放射にあずかるモードの電圧および電流をそれぞれ  $E_u$  およ

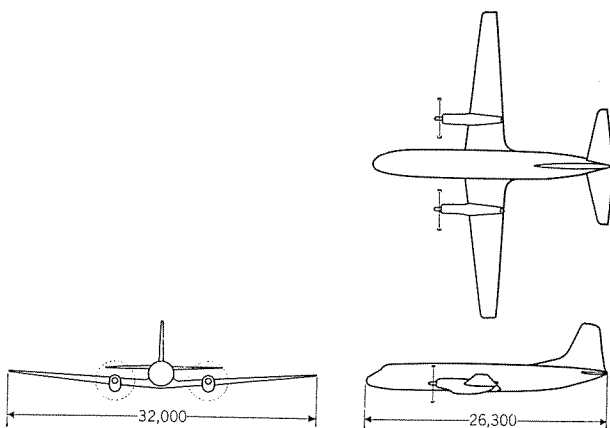


図 1.1 中形輸送機 YS-11  
Fig. 1.1 YS-11 transport.

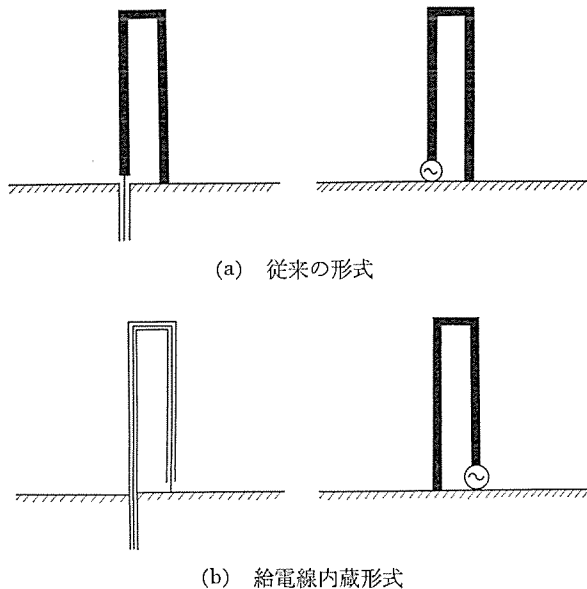


図 2.1 折返しユニポールアンテナとその等価表示  
Fig. 2.1 Folded unipole antennas and their equivalent representation.

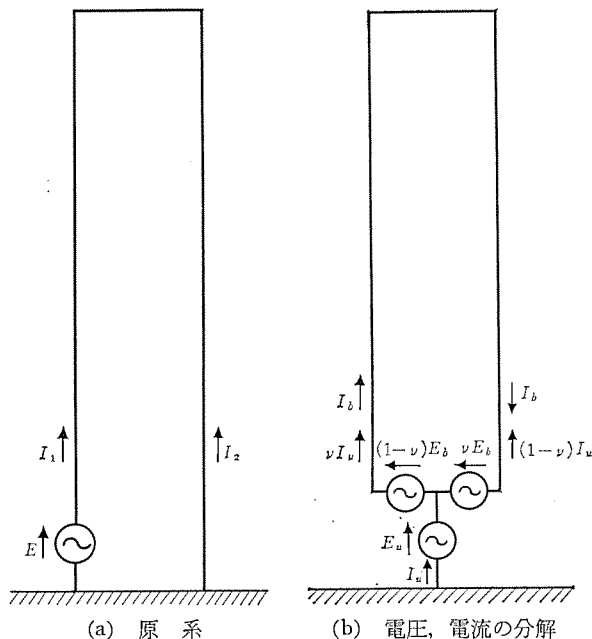


図 2.2 折返しユニポールアンテナの電圧および電流  
Fig. 2.2 Voltages and currents on a folded unipole antenna.

び  $I_u$ , 放射にあずからないモードの電圧および電流をそれぞれ  $E_b$  および  $I_b$  とし, また給電点側導体に対する  $I_u$  の配分率を  $\nu$  とすれば, それぞれのモードに対するアドミタンスを  $Y_u = I_u/E_u = G_u + jB_u$ ,  $Y_b = I_b/E_b = jB_b$  と表わして, 給電点アドミタンス  $Y_a$  は

$$Y_a = \nu^2 Y_u + Y_b = \nu^2 G_u + j(\nu^2 B_u + B_b) \dots (2.1)$$

となる。 $Y_u$  は, 平行導体の等価直径  $d_e$  に等しい直径をもつ単一導体から成る等長のユニポールアンテナの給電点アドミタンスとして, また  $Y_b$  は一端短絡平行線路の入力アドミタンス (純サセプタンス) として求める。

いま式(2.1)で表わされる  $Y_a$  を特性インピーダンス  $Z_0 = 50 \Omega$  の伝送線路の特性アドミタンス  $Y_0$  に整合することを,

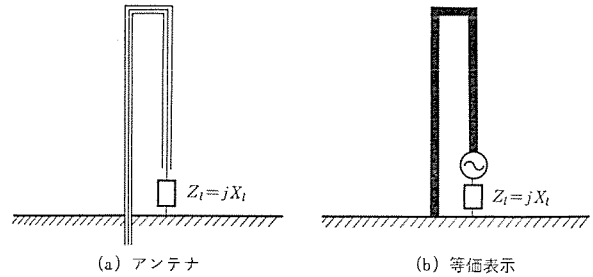


図 2.3 リアクタンス 装荷給電線内蔵形折返しユニポールアンテナとその等価表示

Fig. 2.3 Feeding-line-enclosed folded unipole antenna loaded with reactance and its equivalent representation.

折返し導体の高さ  $h$  が非常に小さくて  $h \approx \lambda/8$  ( $\lambda$  は波長) の場合について考えると, この場合には  $G_u/Y_0$  が非常に小さくなり<sup>(1)</sup>,  $h/d_e = 5$  程度に放射導体を太くしても  $\nu < 1$  であるから  $\nu^2 G_u/Y_0 \ll 1$  となるので, 式(2.1)において  $B_b = -\nu^2 B_u$  とするような方法で整合をとろうとすると, 変成比のきわめて大きい変成器を必要とすることになって実用上不都合である。

そこで図2.3のようにリアクタンス  $Y_l$  を装荷すると, このときの給電点インピーダンス  $Z_a'$  は

$$\begin{aligned} Z_a' &= R_a' + jX_a' \\ &= \frac{\nu^2 G_u}{(\nu^2 G_u)^2 + (\nu^2 B_u + B_b)^2} \\ &\quad + j \left\{ X_l - \frac{\nu^2 B_u + B_b}{(\nu^2 G_u)^2 + (\nu^2 B_u + B_b)^2} \right\} \dots (2.2) \end{aligned}$$

となるから, まず  $h$  と  $d_e$  とによって定まる  $G_u$  および  $B_u$  に対して  $\nu$  および  $B_b$  を適当な値に選定して  $R_a' \triangleq Z_0$  とし, つぎに  $X_l$  の値を加減することによって  $X_a' \triangleq 0$  とすることができる。

小形広帯域化はつぎのような手順によって行なうことができる。まず放射導体の寸法を,  $G_u$  および  $B_u$  が広帯域整合に対して許容しうる最悪値になる限度まで縮小する。つぎに  $G_u$  および  $B_u$  に対して適当な  $\nu$  および  $B_b$  の値を選んで  $R_a'$  を定め, その後  $X_l$  を加減して  $X_a'$  を調整する。最後に放射導体内伝送線路部に,  $Z_a'$

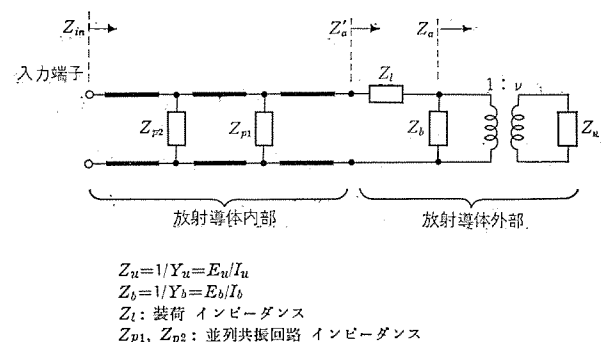


図 2.4 リアクタンス 装荷広帯域整合回路内蔵形折返しユニポールアンテナの等価回路

Fig. 2.4 Equivalent circuit for the broadband-matching-circuit-enclosed folded unipole antenna loaded with reactance.

に対して適合した広帯域整合回路を設けることによって、アンテナに接続された給電線に対して整合をとる。この放射導体内広帯域整合回路として今回は2個の並列共振回路  $Z_{p1}$  および  $Z_{p2}$  を放射導体内伝送線路の適当な個所に並列接続した。以上に述べた小形広帯域化の方法によるアンテナ全系の等価回路を図2.4に示してある。

### 3. 構造

以上の理論的考察に基づいて、航空機の VHF 通信（周波数範囲 118~144 Mc）用小形広帯域 プレードアンテナを設計した。設計に際しては、電気的および機械的の両面から十分の考慮を払って、小抗力、軽量、堅牢で、かつ広帯域特性を有する構造とした。すなわち前述のリアクタンス 装荷広帯域整合回路内蔵折返しユニポールアンテナを板状放射素子の形で構成し、これを流線形誘電体外殻内に収容し、すきまには発泡樹脂をつめた。このアンテナの外観を図3.1に、また構造の概略を図3.2に示してある。以下に電気的および機械的設計の概要を述べる。

電気的な設計は前述の小形広帯域化の手順によった。折返し放射導体は高さ8分の1波長、板状とし、式(2.2)に基づいて  $G_u$  および  $B_u$ 、 $\nu$  および  $B_b$  の計算値から形状寸法を定めた。装荷リアクタンス  $X_L$  はコイルで構成し、その最適形状寸法は実験により決定した。放射導体内伝送線路およびこの伝送線路部の広帯域整合用並列共

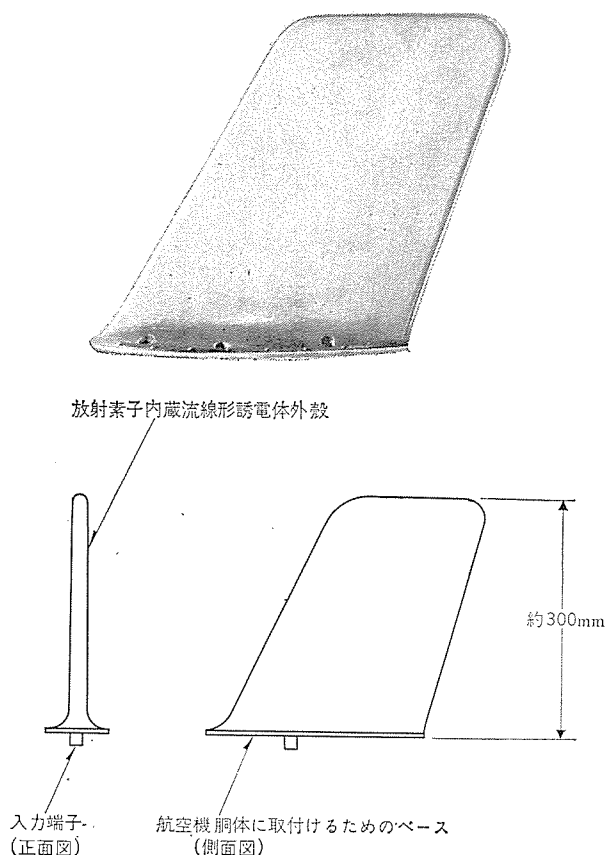


図 3.1 航空機用 VHF プレードアンテナ 外観

Fig. 3.1 Outside view of the VHF blade antenna for aircraft.

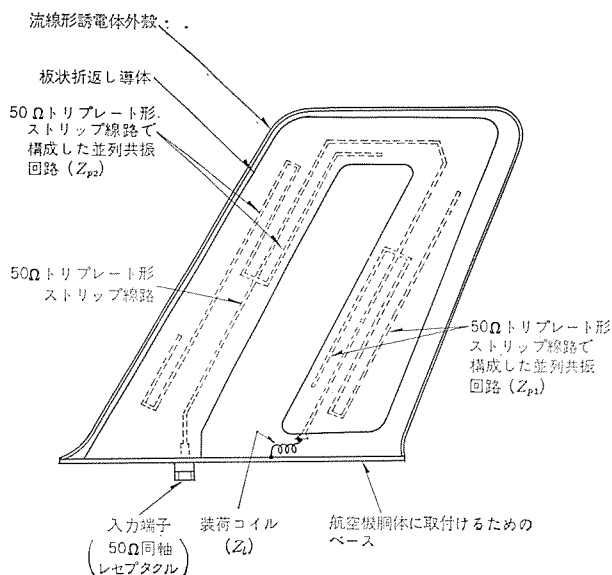


図 3.2 航空機用 VHF プレードアンテナ 構造概略

Fig. 3.2 Structure of the VHF blade antenna for aircraft.

振回路  $Z_{p1}$ ,  $Z_{p2}$  は特性インピーダンス 50  $\Omega$  のトリプレート (triplate) 形ストリップ線路で構成し、並列共振回路の最適の寸法および接続個所は実験によって求めた。

以上のようにして構成した小形広帯域板状放射素子を収容する誘電体外殻は、航空機の飛行条件、収容素子の形状寸法、使用材料の諸性質、加工技術などから、その外形寸法および厚さが決定される。外殻材料としては機械的強度の大きいガラス繊維強化ポリエステル樹脂を用いたが、そのガラス繊維、ポリエステル樹脂とも、過去の長い経験による資料に基づいて選んだもので、MIL-C-9084, MIL-R-7575, MIL-P-8013, および MIL-R-7705 の規格値を十分上回るものである。外殻の外形は、飛行に及ぼす抗力が小さくなるような形状にすべきであり、また軽量かつ堅牢なアンテナとするために、外部からの荷重の影響が小さくなるようにすべきであって、今回は内部に収容される放射素子の形状にもっとも適した NACA 0009 による翼形とした。さらに外殻内のすきまには発泡樹脂をつめて、外殻の座屈を防止すると同時に、放射素子の耐振性を向上させた。その結果外殻の肉厚は国産中形輸送機 YS-11 用としてはかなり薄くても十分となったが、工作しやすい厚さにして、全体としての製作費の低減をはかった。したがってこのアンテナはさらにきびしい飛行条件にも耐えうるものである。

### 4. 実験

試作 プレードアンテナにつき、インピーダンス整合および放射パターン測定を行なった。

#### 4.1 インピーダンス整合

中形輸送機 YS-11 の胴体に擬似した直径約 3 m、長さ約 10 m の導電半円筒上に試作アンテナを取付けて、



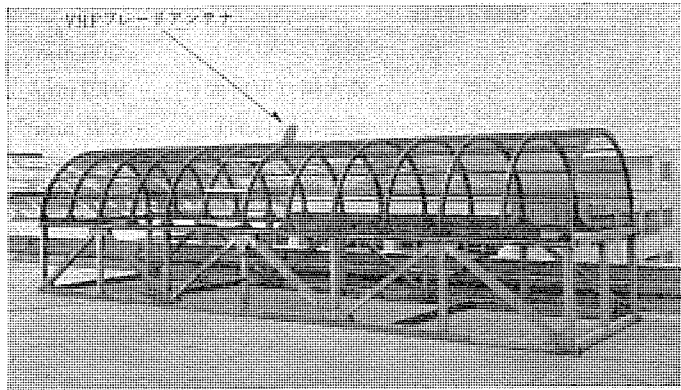


図 4.1 試作 VHF ブレードアンテナ を取付けた インピーダンス測定用胴体擬実物大模型  
Fig. 4.1 Full-scale mock-up of the fuselage for impedance measurement, on which the VHF blade antenna is mounted.

インピーダンス整合の実験を行なった。図 4.1 はその写真である。この擬実胴体の寸法は、アンテナを実機の胴体に取り付けたときと同じ インピーダンス を測定するのに十分な大きさとしてある。

まず、高さ  $h = \lambda/8$  と極端に小形化したために整合に不利な値になった  $G_u$  および  $B_u$  に対して  $\nu$  および  $B_b$  を選定して設計した アンテナ において、 $X_L = 0$ ,  $Z_{p1} = Z_{p2} = \infty$  としたときの給電点 インピーダンス  $Z_a$  が図 4.2 の曲線 I である。つぎに適当な値の  $X_L$  を付加すると給電点インピーダンス  $Z_a'$  は同図の曲線 II となり、最後に  $Z_{p1}$  および  $Z_{p2}$  を接続することによって入力 インピーダンス  $Z_{in}$  を同図の曲線 III とした。50  $\Omega$  同軸給電線に対する アンテナ入力電圧定在波比は、所要周波数範囲 118~144 Mc にわたって 2 以下である。

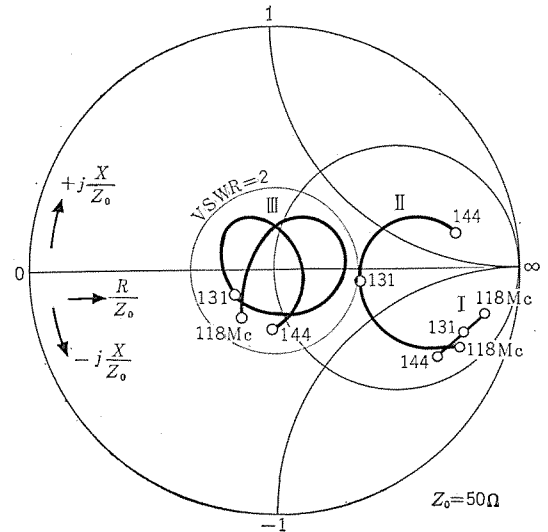


図 4.2 試作 VHF ブレードアンテナ の インピーダンス整合実験結果

曲線 I:  $Z_a$   
曲線 II:  $Z_a'$   
曲線 III:  $Z_{in}$  (入力インピーダンス)

Fig. 4.2 Experimental result of impedance matching of the VHF blade antenna.

curve I:  $Z_a$   
curve II:  $Z_a'$   
curve III:  $Z_{in}$  (input impedance)

#### 4.2 放射 パターン の検討

半径約 4 分の 1 波長の円形地板上に試作 ブレードアンテナ を取付けて放射 パターン の測定を行ない、実用上完全な水平面内無指向性が得られることを確認した。

なおこの種の アンテナ を実際の航空機に取り付けた場合

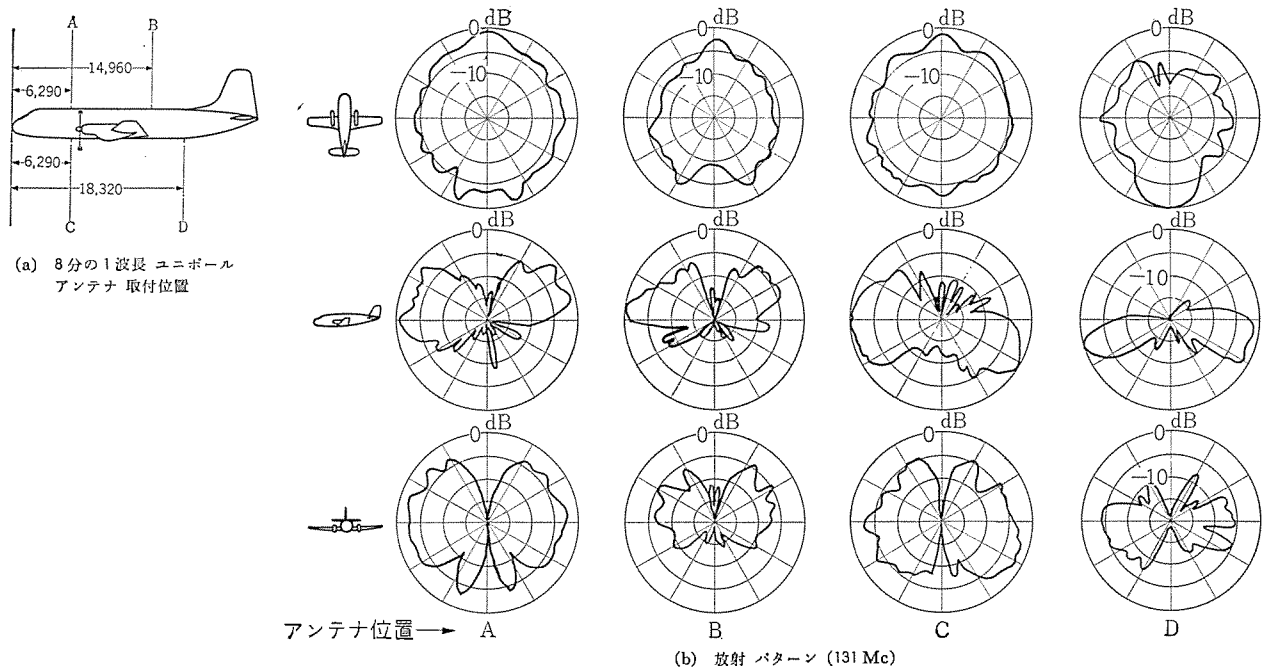


図 4.3 航空機胴体に取り付けた 8 分の 1 波長ユニポールアンテナの放射パターンの模型による測定結果<sup>(2)</sup> (航空機は中形輸送機 YS-11)  
Fig. 4.3 Radiation patterns of a one-eighth-wave unipole antenna mounted on the fuselage of aircraft, measured by means of a model<sup>(2)</sup>. (The aircraft is YS-11 transport.)

に放射パターンがどのようなになるか、また放射パターンの点から考えて最適の取付位置はどこかといった問題についてはすでに研究の結果を報告した<sup>(2)</sup>が、参考のために図4.3に模型実験による結果を示してある。

## 5. 製品とその性能

以上の研究結果に基づいて、航空機の VHF 通信用ブレードアンテナ MAT-3/MAR を製作した。このアンテナは航空機に装備した状態で、きびしい条件下にあっても機械的に異状なく、電気的性能の低下もない。これらの外周条件のうち、とくに高温、低温、湿度および振動について MIL-E-5272 (航空機および関連機器の環境試験通則) の規格を満足するものである。

なおこのアンテナは、米国 Collins 社製ブレードアンテナ 37 R-2 と取付けの互換性をもっている。

ブレードアンテナ MAT-3/MAR の電気的、機械的な主要性能とその諸元はつぎに示すとおりである。

### 5.1 電気的性能

- |              |                           |
|--------------|---------------------------|
| (1) 周波数範囲    | 118~144 Mc                |
| (2) 給電用 ケーブル | 50 Ω 不平衡                  |
| (3) 入力電圧定在波比 | 2.0 以下                    |
| (4) 放射特性     | 垂直偏波水平面内無指向性<br>水平偏波きわめて小 |
| (5) 最大許容入力   | 平均 30 W<br>セム頭 125 W      |

## 5.2 機械的性能

- |          |                    |         |
|----------|--------------------|---------|
| (1) 寸 法  | 全高                 | 306 mm  |
|          | 最大幅 (取付面)          | 94.5 mm |
|          | 長さ (取付面)           | 292 mm  |
| (2) 重 量  | 1.3 kg             |         |
| (3) 空気抵抗 | 1 気圧 400 km/h において |         |
|          | 約 0.4 kg           |         |

## 6. む す び

航空機用 VHF ユニポールアンテナの小形広帯域化を給電線内蔵形折返しユニポール形式によって行ない得、世界最小に属する実用の広帯域ブレードアンテナを得ることができた。

今回の研究は昭和35年度通商産業省鉱工業技術試験研究補助金により、日本航空機製造株式会社のご協力のもとに、当社無線機製作所、世田谷製作所および研究所共同で行なったものである。終始ご指導ご鞭撻を賜った関係各位に深く謝意を表する。(昭36-12-4 受付)

### 参 考 文 献

- (1) Ronold W. P. King: Theory of Linear Antennas, pp. 141~193, Harvard University Press (1956).
  - (2) 喜連川・武市・水沢: 航空機用 VHF 埋込み形アンテナ. 電気通信学会航空電子機器研究専門委員会資料, (昭 35-12).
- 喜連川・平岡・武市・太田・水沢: 航空機用 VHF 無指向性埋込み形アンテナ, 「三菱電機」, 35, No. 5 臨時増刊, pp. 818~823 (昭 36-6).

## 最近における当社の社外講演一覧

| 月 日         | 主催または開催場所            | 演 題                                | 講 演 者         | 所属場所 |
|-------------|----------------------|------------------------------------|---------------|------|
| 36-10-3     | 青 森                  | HK 形 メカニカルデマンドメータ                  | 神 原 昇         | 福 山  |
| 36-10-11    | 神戸和田 クラブ             | 工作機械の数値制御の実際                       | 小 島 一 男       | 無線機  |
| 36-10-13    | 東京電気クラブ              | 対称座標法による相計器理論互差の算定                 | 山 泉 穆         | 福 山  |
| 36-10-17~18 | 菱明社                  | 高圧水銀灯, ケイ光灯 について                   | 山下源一郎         | 大 船  |
| 36-10-20    | 東北大学電気通信所内蔵<br>電器研究会 | 航空機用継電器およびその問題点                    | 戸 谷 利 雄・兼 松 豊 | 名古屋  |
| 36-10-21    | 立命館大学                | 工作機械の数値制御における D-A 変換 サーボの一方式       | 金 森 剛 明       | 無線機  |
| 36-10-21    | 立命館大学                | 電子機器の小形化                           | 津 村 隆・黒田 茂 樹  | 無線機  |
| 36-10-21~22 | 電気関係学会関西支部連<br>合大会   | 大口径 アンテナ                           | 喜連川 隆         | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | UHF 帯 ビーム 切替用 アンテナアレー 方式           | 武市 吉 博        | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | ビジコン の諸問題 (シンポジウム)                 | 鷺 尾 信 雄       | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | 接着鉄心 (2 報)                         | 伊 藤 公 男       | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | 注型樹脂とその応用                          | 穴 山 光 夫       | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | 水銀灯用 ケイ光体 の光学的特性                   | 栗 津 健 三       | 研究所  |
| 36-10-21~22 | "                    | エナメル線 の熱劣化                         | 坂 田 桂 三       | 研究所  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | Search Radar による目標追尾の一方式に関する<br>考察 | 河 野 隆 一       | 無線機  |

## サーボ式計算機コンポーネント(2)

無線機製作所 吉田 武彦\*・三好 一賢\*\*・柴田 忠泰\*\*

## Components of Servo-Computers (Part 2)

Electronics Works Takehiko YOSHIDA・Kazuyoshi MIYOSHI・Tadayasu SHIBATA

In the previous issue were stated addition, multiplication and functional multiplication by means of a computing capacitor. This article covers the following description.

(1) An AC tacho-generator changes the gain with temperature, but very good compensation is available by a method to change excitation voltage through the change of the resistance of a compensating winding self-contained in the generator. Differentiation and integration by using them are also given together.

(2) Mention is also made on a servo system which has broadened the band width and improved static accuracy through a strong tacho-generator feedback.

(3) A transistor chopper for combining an AC computer with a DC system is stated.

(4) Synthesis of a servo computer is explained with an example.

## 1. ま え が き

第1報<sup>(1)</sup>において 計算コンデンサを中心とする 交流サーボ式計算機 の加減乗算について述べたが、今回は微分積分計算を行なうための タコジェネ系、計算コンデンサ そのほかを駆動するための サーボ系、直流計算回路との結合を図るための変調器(チョッパ)などについて、その概略と試験結果を述べ、最後にこれらをまとめて サーボ式計算機を構成する具体例として、簡単化したFCS計算機(Fire Control Computer)について説明する。

## 2. 微 積 分 回 路

## 2.1 微 分 回 路

タコジェネ の出力電圧は回転角の微分値に比例するので、交流サーボ式計算機 の微分回路には、交流タコジェネを使用することが多い。そこで交流タコジェネを使用した場合の微分回路について以下述べる。

タコジェネ の微分回路は図2.1に示すように増幅器AT3、およびAT4\*で構成される。これらの増幅器はそれぞれ後に説明するように タコジェネ励磁アンプ と、出力電圧増幅アンプ であるが、同時に タコジェネ のゲイン が温度その他の影響で変化することを補償する調整器でもある。

## (1) タコジェネ

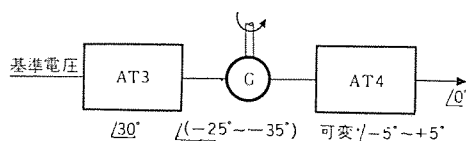


図 2.1 微分回路

Fig. 2.1 Differentiator.

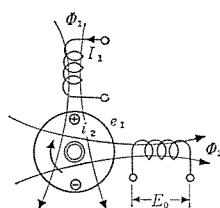


図 2.2 タコジェネの原理

Fig. 2.2 Principle of tachogenerator.

## (a) タコジェネ の原理および性質

図2.2に、タコジェネ の原理を示す。

励磁電流  $I_1$  によって励磁巻線中に生じる磁束  $\Phi_1$  が、回転子導体中に回転数に比例する電圧  $e_1$  を誘起し、この電圧が、回転子導体中に電流  $i_2$  を流す。そして、この  $i_2$  によって発生する磁束  $\Phi_2$  が、出力巻線と鎖交することにより出力電圧  $E_0$  を誘起するのである。したがって、出力電圧は入力軸回転角の変化率に比例し、その極性は、軸の回転方向によって決定される。

図2.3に実験に使用した コントラベス社製 MG 4 BO 102 の外観および、特性を示す。これは モータ と、タコジェネ が直結されており、タコジェネ の出力電圧が励磁電圧に対し約 30 度の遅れを持っている。また、回転子はドラッグカップ形 であり、固定子には温度補償巻線を内蔵している。

## (b) 直線性

タコジェネ の出力電圧は一般に次式のように二つの成分で近似される。

$$E_0 = K_1 \cdot (N/N_s) - K_2 \cdot (N/N_s)^2 \dots \dots \dots (2.1)$$

ここで  $N$ : タコジェネ回転数

$N_s$ : タコジェネ同期回転数

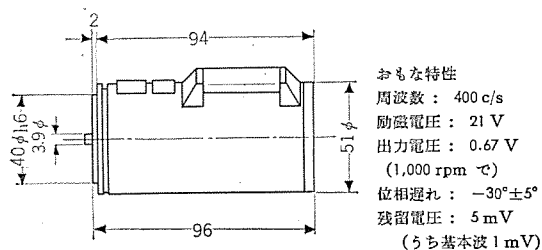


図 2.3 タコジェネ MG 4 BO 102

Fig. 2.3 MG 4 BO 102 tachogenerator.

注 \* A (増幅器), T (タコジェネ), 4 (番号) を表わす。そして増幅器はすべて アダプタ付 である。

式 (2.1) で,  $(N/N_s) \ll 1$  の速度範囲においては, 非直線成分  $K_2 \cdot (N/N_s)^2$  は非常に小さいが タコジェネ の速度が増大するにつれ, 出力電圧の非直線成分は顕著に表われてくる。

図 2.4 は, MG 4 BO 102 について, タコジェネ出力電圧の理想的出力電圧からの変位電圧を, 1,000 rpm, C・W における出力電圧を 100% として, 描いたものである。

(c) 温度変化による影響

図 2.5 は MG 4 BO 102 について, 周囲温度が変化した場合 (回転数 3,000 rpm C・W 一定) の出力電圧特性を示したもので, 周囲温度に対し負の温度特性を持っている。

(d) 励磁周波数による影響

励磁周波数が変化すると, タコジェネ出力電圧 は周波数の増加とともに増大する。これは, タコジェネ電圧 の発電機定数<sup>(2)</sup> (励磁リアクタンス の増大など) の変化によるもの

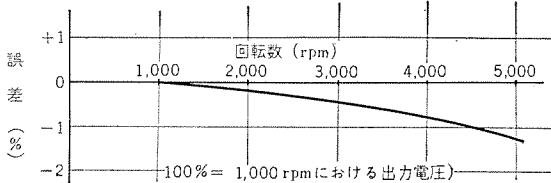


図 2.4 タコジェネの直線性  
Fig. 2.4 Linearity of tacho-generator.

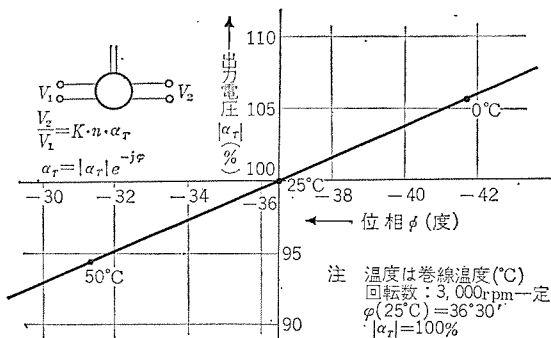


図 2.5 タコジェネの温度特性  
Fig. 2.5 Temperature characteristics of tacho-generator.

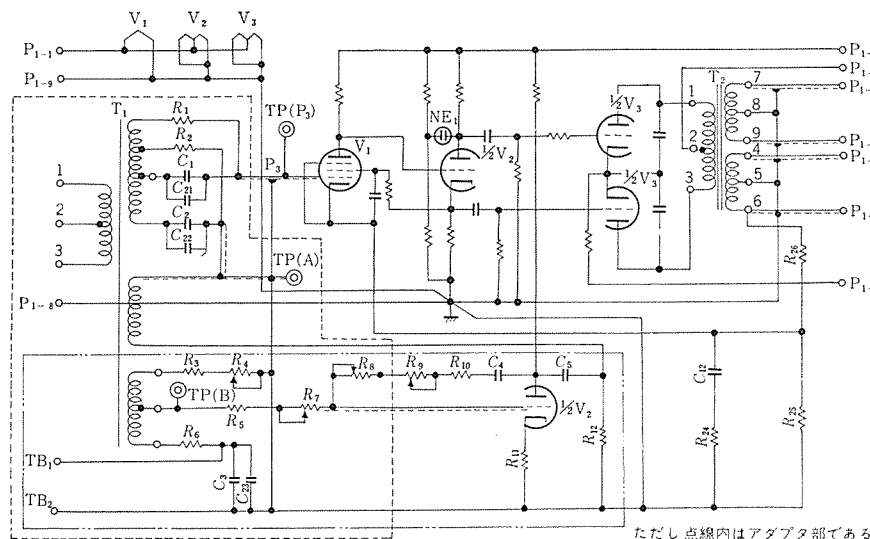


図 2.6 タコジェネ増幅器 AT3 回路図  
Fig. 2.6 AT3 circuit diagram.

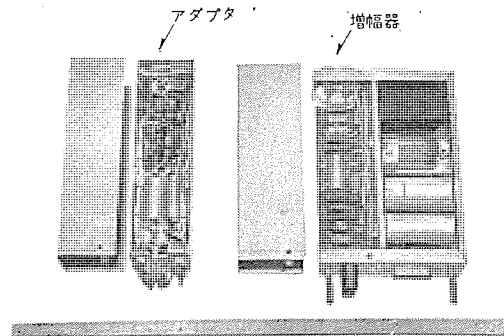


図 2.7 タコジェネ増幅器 AT3  
Fig. 2.7 Tacho-generator amplifier AT3.

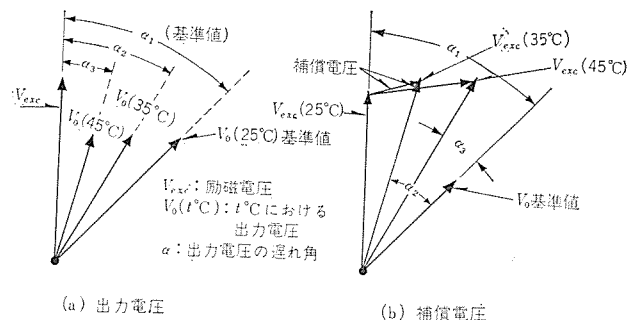


図 2.8 タコジェネ温度補償電圧  
Fig. 2.8 Temperature compensation.

で一般に 1 c/s 当たり 0.04~0.1% の出力変化がある。

(2) タコジェネ増幅器 AT3

タコジェネに励磁電圧を供給するとともに, 周波数および, 温度補償回路を持つ増幅器で, その回路図および外観を図 2.6, 2.7 に示す。

回路図中の鎖線部分が温度補償回路である。タコジェネの出力電圧は, 2.1 (1) で述べたように周囲温度の変化により  $-0.2\%/^{\circ}\text{C}$  の割合で変化するから (図 2.8 (a)) その補償電圧としては図 2.8 (b) に示すような電圧ベクトルが必要になる。このために補償回路は, タコジェネに内蔵する温度補償巻線と  $R_3, R_4, R_6$  および  $C_3$  とで, ブリッジを

構成し, 温度変化にともなう巻線の抵抗変化によって不平衡電圧を点 B に生じる, そして, この不平衡電圧が三極管  $V_2$  によって増幅され補償電圧成分  $V_T$  となる。

また, 周波数補償回路は  $R_1, R_2, C_1, C_2$  にて構成され, 周波数の変化に対し図 2.9 の電圧 AB を生じ周波数補償成分  $V_f$  となる。以上の補償電圧と, 基準電圧  $V_r$  が図 2.10 に示すように加算され, 負帰還をほどこして安定化した AT3 増幅段で増幅されてタコジェネの励磁電圧と成る。そして, 出力電圧はタコジェネの位相遅れを補正するために帰還抵抗  $R_{26}, R_{25}, R_{24}, C_{13}$  により出力端で 30 度の進みを持つ。

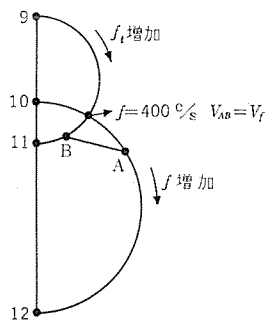


図 2.9 周波数補償回路の円線図  
Fig. 2.9 Frequency compensation.

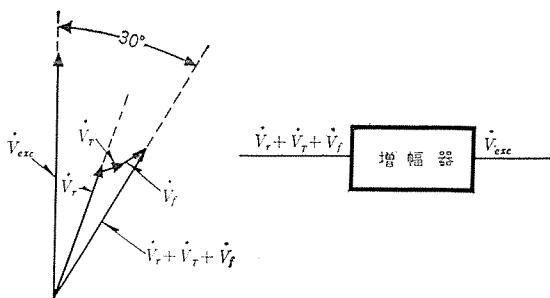


図 2.10 AT3 の系統図  
Fig. 2.10 AT3 Amplifier.

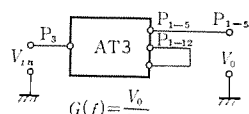
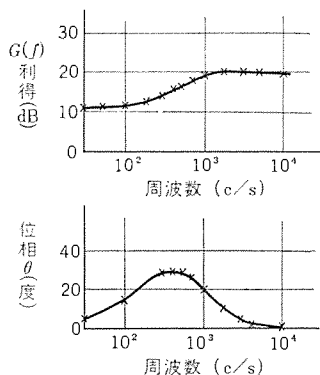


図 2.11 AT3 の周波数特性  
Fig. 2.11 Frequency response.

表 2.1

|       |                                         | 閉ループ特性         | 備 考                                          |
|-------|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|
| 増幅度変動 | ヒータ電圧-20%                               | 6.05           | 開ループにては 1,030                                |
|       | プレート電圧 +10%                             | 0.01 %         |                                              |
|       | プレート電圧 -10%                             | 0.015 %        |                                              |
| 周波数特性 |                                         | 図 2.1 参照       | 増幅段だけ                                        |
| 妨害    |                                         | 3%以下           | DC 電源に AC 重畳                                 |
| ハ     |                                         | -1.5 mV        |                                              |
| 出力電圧  | P <sub>1-11</sub> /P <sub>1-8</sub> (E) | 9.2 V (207.9°) | T <sub>1</sub> の一次側に ±15 V rms (400 cps) を供給 |
|       | P <sub>1-12</sub> /P <sub>1-8</sub>     | 9.2 V (28°)    |                                              |
|       | P <sub>1-4</sub> /P <sub>1-8</sub>      | 115 mV (208°)  |                                              |
|       | P <sub>1-5</sub> /P <sub>1-8</sub>      | 113 mV (28°)   |                                              |

図 2.11, 表 2.1 に試験結果を示す。

### (3) タコジェネ増幅器 AT4

図 2.12, 2.13 に接続および外観を示す AT4 増幅器は、タコジェネの出力電圧の増幅、ゼロ回転数における残留電圧補償、および出力電圧の位相調整を目的とする。

この増幅器は高精度を要するため深い負帰還を施しており、出力電圧の振幅および位相調整のために  $R_5 \sim R_9$ 、および  $C_3$  よりなる回路の帰還定数を可変にしている。そして、振幅は  $R_8$  により、位相は  $R_6$  により安定にかつ正確に調整される。図 2.11 の鎖線部分は残留電圧補償回路で、残留電圧の実数部および虚数部を、別々に補償する二つの部分より構成される。基準電圧に対し 90 度

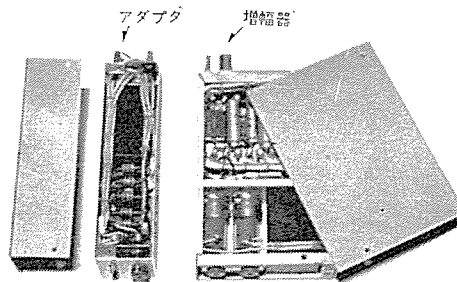


図 2.13 タコジェネ増幅器 AT4  
Fig. 2.13 Tacho-generator amplifier AT4.

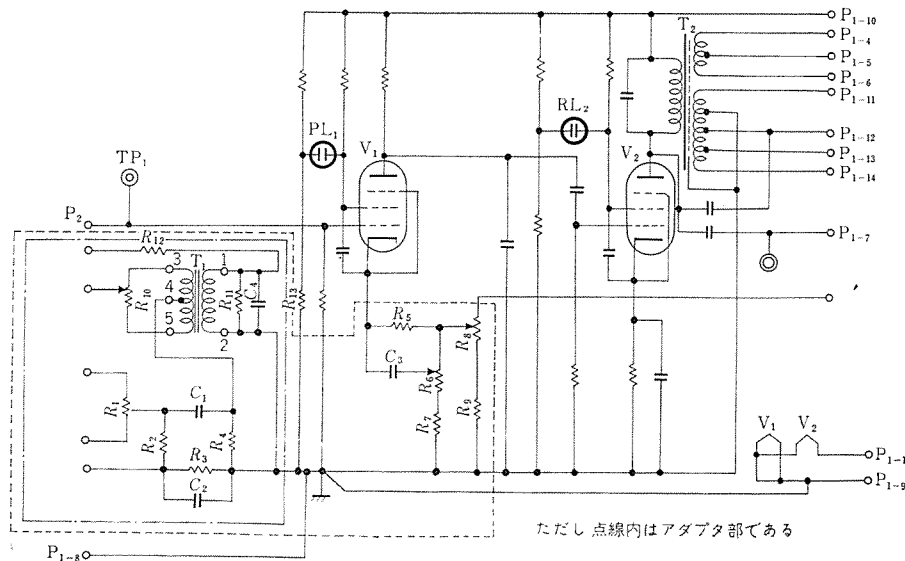


図 2.12 タコジェネ増幅器 AT4 回路図  
Fig. 2.12 AT4 Circuit diagram.

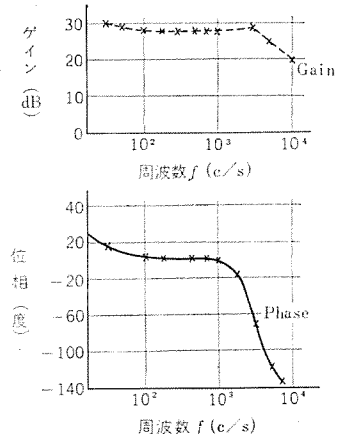


図 2.14 AT4 周波数特性  
Fig. 2.14 Frequency response.

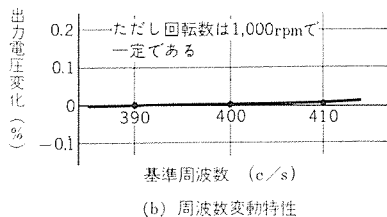
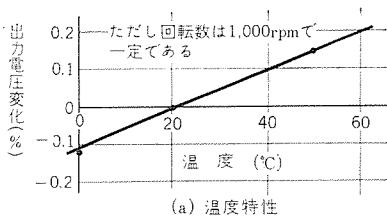


図 2.15 微分回路の総合特性  
Fig. 2.15 Characteristics of differentiator.

表 2.2

| 試験項目          |                      | 試 験 結 果                                                  |              |
|---------------|----------------------|----------------------------------------------------------|--------------|
| 開 ル ー プ ゲ イ ン |                      | 5.860                                                    |              |
| 出力電圧変動        | ヒータ電圧 6.3V 20%       | 0.08 %                                                   |              |
|               | プレート電圧 250 V         | + 20                                                     | 0.02 %       |
|               |                      | - 20                                                     | 0.01 %       |
| 周 波 数 特 性     |                      | 図 2.14 参 照                                               |              |
| 残 留 電 圧       |                      | 7.6 mV                                                   |              |
| 位 相 調 整 範 囲   |                      | 0——→34 度                                                 |              |
| 残留電圧調整範囲      |                      | R <sub>1</sub> (0+j0) %<br>R <sub>2</sub> (0.76+j 2.0) % |              |
| 出力電圧レベル       | 入力(V) rms            | 帰還端子                                                     | 出力電圧 (V) rms |
|               | 0.26                 | P <sub>1-12</sub>                                        | 9.0          |
|               | 0.42                 | P <sub>1-13</sub>                                        | 6.2          |
|               | 0.70                 | P <sub>1-14</sub>                                        | 7.0          |
| 入力インピーダンス     |                      | 680 k                                                    |              |
| 出力インピーダンス     | P <sub>1</sub> - (7) |                                                          | 300 Ω        |
|               | (5)                  |                                                          | 300 Ω        |
|               | (4)                  |                                                          | 100 Ω        |

ただし基準電圧は ±15 V rms (400 c/s) である。

位相を異にする虚数部残留電圧は、AT 3 の出力トランスの三次巻線より可変抵抗  $R_1$  の両端に供給された電圧と CR 回路によって補償され、また実数部のほうは、基準電圧と、 $R_{12}$ ,  $C_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  の CR 回路によって補償される。図 2.14 および表 2.2 に試験結果を示す。

#### (4) 総合

以上の各素子は図 2.1 のように cascade に接続される。タコジェネによって生じる位相遅れは、AT 3 により 30 度矯正し、AT 4 出力端において基準電圧と同相になるように AT 4 の位相調整で微調する。残留電圧および出力振幅は AT 4 により、また、温度変化および周波数変化にともなう出力電圧変動は TA 3 により調整する。図 2.15 は、AT 3, AT 4 および タコジェネ を総合した場合の特性を示したものである。

### 2.2 積分回路

積分回路は、これまで述べてきた微分回路の出力を高利得サーボの入力に帰還することによって得られるが、その性能は微分回路の精度とサーボの性能によって定まる。サーボ系の利得は高ければ高いほど良いわけであるが、図 2.16 に示す系においてループゲインをあげていくと 207 c/s で発振を始めた。このときのゲインは約 500 であり、積分器としてはこれよりやや低いゲインで使用

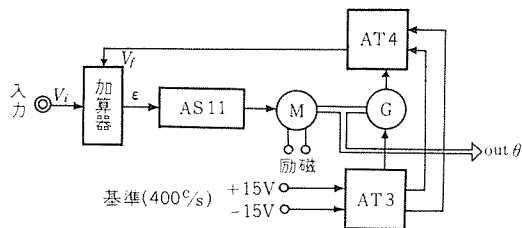
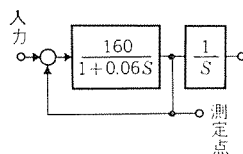
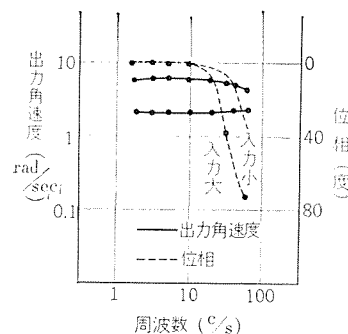


図 2.16 積分回路  
Fig. 2.16 Integrator.



(a) 伝達関数  
図 2.17 積分サーボ周波数特性  
Fig. 2.17 Frequency response of integrator.



(b) 周波数特性

しなければならない。図 2.17 に積分回路の伝達関数と、実測周波数特性を示す。

また、後に述べる積分補償か feed forward 補償によって低い周波数の精度をさらに改善することができる。

## 3. 計算用サーボ系

計算用サーボに要求される条件は入力の性質によって異なるが、サーボ式計算機のおもな用途である FCS や GM 誘導用の計算機などでは、その入力はいずれも航空機などの座標であるから、その運動はなめらかであって、これを追尾する角速度もあまり大きくはない。

つぎに計算用サーボ系のあらましとその性能について述べるが、入力は簡単のために正弦波であると仮定している。

### 3.1 最大出力

サーボモータが与えられると主として歯車比によってサーボ機構の最大出力、たとえば最大振幅、最大速度などが入力周波数の関数として定まる。

モータ軸に換算した機械系のトルクは

$$Jn\dot{v} + Dnv + F \quad (3.1)$$

ここに

$$J: \text{慣性性能率} \quad J = J_M + (J_L/n^2)$$

$$D: \text{粘性摩擦係数} \quad D = D_M + (D_L/n^2)$$

$$F: \text{静止摩擦トルク} \quad F = F_M + (F_L/n)$$

なお添字  $M$  はモータを意味し、 $L$  は負荷を意味する。

$v$ : 負荷の角速度

$n$ : 歯車比 (減速のとき  $n > 1$ )

二相サーボモータではその無負荷角速度を  $V_0$ 、最大出力トルクを  $T_M$  とすれば、機械系に加わる最大トルクは

$$T_M + F_M = D_M V_0 + F_M \quad (3.2)$$

$$\text{また入力} \quad v = V \sin 2\pi f t \quad (3.3)$$

ここに  $V$ : 最大入力角速度、 $f$ : 入力周波数

式 (3.1)、および式 (3.3) より  $V$  を求めると



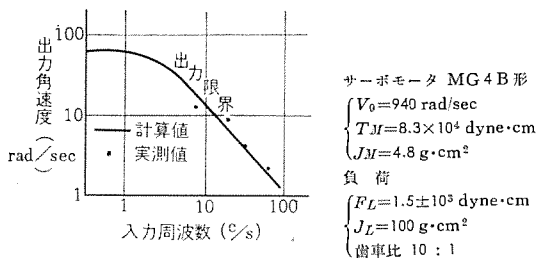


図 3.1 最大出力

Fig. 3.1 Maximum output.

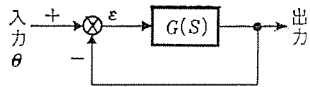


図 3.2  
Fig. 3.2

$$V = \frac{V_0}{n\sqrt{1 + (2\pi f\tau)^2}} \cdot \left(1 - \frac{F_L}{nT_M}\right) \dots (3.4)$$

ここに  $\tau = J/D$

サーボモータとして コントラベス社製 MG4B を選んだ場合の最大角速度  $V$  の計算値と実測値を図 3.1 に示す。

### 3.2 サーボ誤差

サーボの誤差は、線形誤差、非線形誤差、および部品誤差より成るが、まず線形誤差について述べる。

図 3.2 に示す サーボ系 において角度誤差  $\varepsilon$  は

$$\varepsilon(j2\pi f) = \frac{1}{1 + G(j2\pi f)} \Theta \dots (3.5)$$

ここに  $\Theta$ : 入力角度振幅,  $G(j2\pi f)$ : 系の 開ループ周波数特性 である。

$$\varepsilon = |\varepsilon(j2\pi f)| = \frac{\Theta}{|1 + G(j2\pi f)|} \dots (3.6)$$

はじめに述べたように、サーボ式計算機の入力周波数は比較的小さいから  $|G(j2\pi f)| \gg 1$  と仮定できて

$$\text{式 (3.6) は } \varepsilon = \frac{\Theta}{|G(j2\pi f)|} \dots (3.7)$$

このように線形誤差は 開ループ周波数特性 より簡単に求めることができる。

### 3.3 計算用サーボの概要

計算用サーボの一例として 計算コンデンサを検出器とした 追尾サーボについて概要を述べる。

線形誤差を小さくするためには式 (3.7) より、入力周波数における 開ループゲイン が十分大きくなければならず、そのためには cross over 周波数の高いことが要求される。図 3.3 は サーボモータの周波数特性を、小形のポテンシオメータを直結することによって、測定したものである。このように折点周波数が数 c/s 程度のサーボモータを

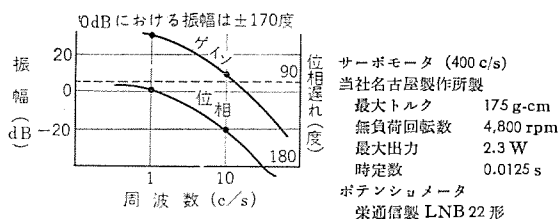


図 3.3 サーボモータ周波数特性

Fig. 3.3 Frequency response of servomotor.

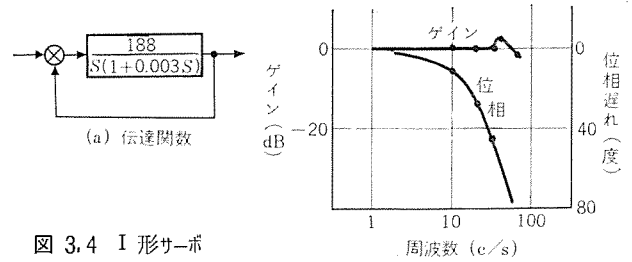


図 3.4 I 形サーボ

Fig. 3.4 Type I servo.

(b) 周波数特性

使って、もっと広い帯域幅を持たせるために、ここではタコジェネ帰還をきわめて強くかける方法を採用した。タコジェネ帰還は系の外乱に対する感度を小さくし、静的精度を向上し、系のパラメータ変化などによる影響を軽減する効果もある。

図 3.4 に、このような方針に基づいて設計したサーボ系の伝達関数と、実測周波数特性を示す。ただしタコジェネループは 2.2 節において述べた積分器と同じものである。

### 3.4 積分補償

式 (3.7) より明らかなように、低い周波数における精度は積分補償によって改善できる。ただし、位相遅れが低い周波数において大きいので、系が飽和した場合にダブリングが悪くなるが、入力がなめらかでその大きさが系の最大出力以下であれば、系が飽和することはない、また必要ならば非線形補償によって行き過ぎなしの制御をすることができる。

図 3.5 に、位相弁別検波器、CR 遅れ回路、トランジスタチョップ、および選択増幅器よりなる積分補償回路を示し、図 3.6 に、これを用いたサーボ系の伝達関数および角度誤差を示す。なお図 3.6 の実線は式 (3.7) による計算値である。

### 3.5 チョップ付補償回路の伝達関数

このように交流サーボでは直流信号でサーボ補償を行ない、その出力をチョップによって交流に変換し二相サ

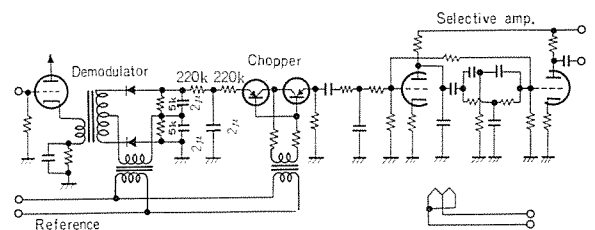


図 3.5 積分補償回路

Fig. 3.5 Integrating equalizer.

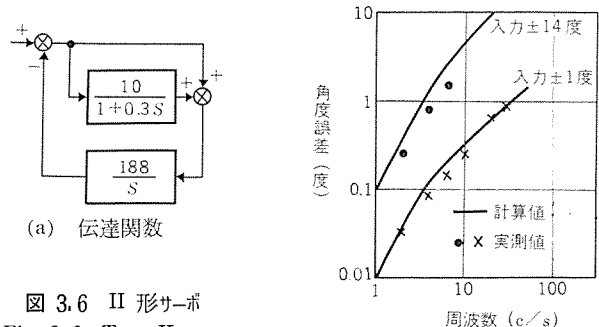


図 3.6 II 形サーボ

Fig. 3.6 Type II servo.

(b) 誤差の周波数特性

—ポモータに供給する場合が多い。このような補償回路の伝達関数を、その都度計算するのはめんどうであるから、代表的な微積分補償回路について計算式を求めておく。

図3.7においてチョップを理想的なスイッチSとし、かつその開と閉の時間は一般に等しくないものとする。

またSのスイッチング周期 $\Delta T$ は回路のどの時定数よりも十分小であると仮定すれば $\Delta T$ 秒間には $e_1(t)$ 、 $e_2(t)$ は直線的に変化すると近似できる。チョップは、はじめの $\alpha\Delta T$ 秒間は閉(ON)としつぎの $\beta\Delta T$ 秒間は開(OFF)とする。ただし $\alpha+\beta=1$

図3.7に示すように、1周期 $\Delta T$ の間の $e_1$ 電圧変化は $\Delta e_{11}$ と $\Delta e_{12}$ の二つの部分から成るとする。

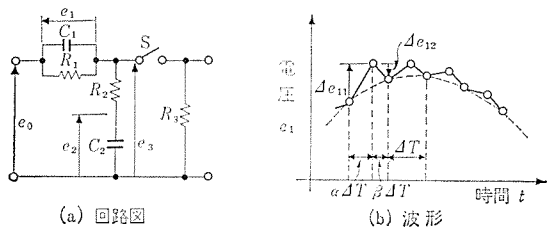


図 3.7 チョップ付補償回路  
Fig. 3.7 Equalizer with chopper.

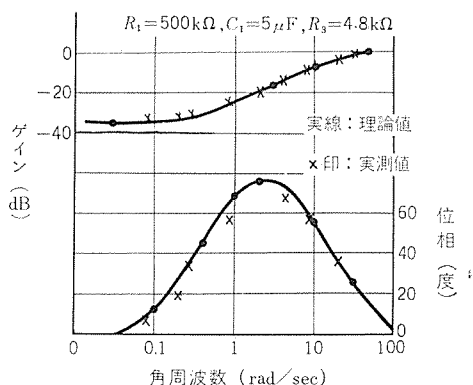


図 3.8 補償回路周波数特性  
Fig. 3.8 Frequency response of equalizer.

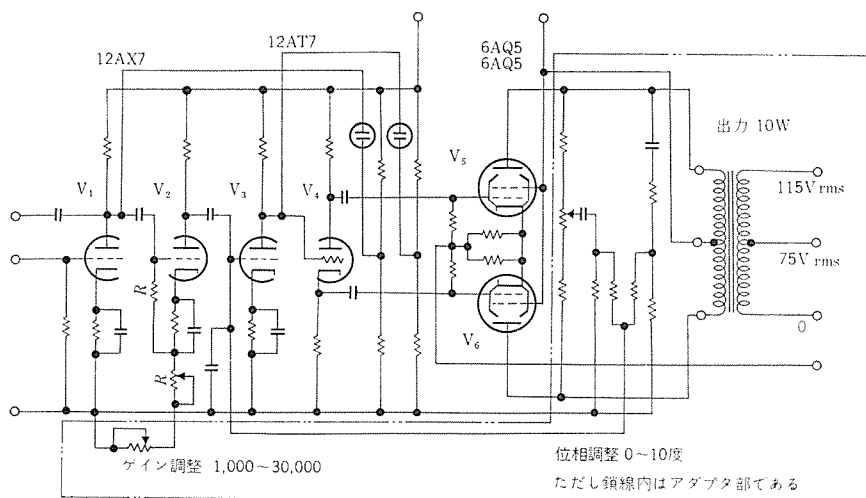


図 3.9 サーボ増幅器 AS 11 回路図  
Fig. 3.9 AS 11 circuit diagram.

$$\Delta e_1 = \Delta e_{11} + \Delta e_{12} \dots\dots\dots (3.8)$$

(1) スイッチが閉の場合

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{e_0 - e_1}{T_3} + \frac{e_0 - e_1 - e_2}{T_2} - \frac{e_1}{T_1} \dots\dots\dots (3.9)$$

ここに

$$T_1 = C_1 R_1, T_2 = C_1 R_2, T_3 = C_1 R_3 \dots\dots\dots (3.10)$$

$$\text{また } \frac{de_2}{dt} = \frac{e_0 - e_1 - e_2}{T_2'} \dots\dots\dots (3.11)$$

ここに  $T_2' = C_2 R_2$

$$\text{仮定から } \frac{de_1}{dt} = \frac{\Delta e_{11}}{\alpha \Delta T}, \frac{de_2}{dt} = \frac{\Delta e_{21}}{\alpha \Delta T} \dots\dots\dots (3.12)$$

(2) スイッチが開の場合

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{e_0 - e_1 - e_2}{T_2} - \frac{e_1}{T_1} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$\text{また } \frac{de_2}{dt} = \frac{e_0 - e_1 - e_2}{T_2'} \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\text{仮定から } \frac{de_1}{dt} = \frac{\Delta e_{12}}{\beta \Delta T}, \frac{de_2}{dt} = \frac{\Delta e_{22}}{\beta \Delta T} \dots\dots\dots (3.15)$$

(3) 全周期について 式(3.9)、(3.11)を式(3.12)に代入すれば式(3.8)から

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{\Delta e_1}{\Delta T} = e_0 \left( \frac{1}{T_2} + \frac{\alpha}{T_3} \right) - e_1 \left\{ \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{\alpha}{T_3} \right\} - e_2 \frac{1}{T_2}$$

$e_2$  についても同様にして  $\dots\dots\dots (3.16)$

$$\frac{de_2}{dt} = \frac{\Delta e_2}{\Delta T} = e_0 \frac{1}{T_2'} - e_1 \frac{1}{T_2'} - e_2 \frac{1}{T_2'} \dots\dots\dots (3.17)$$

この2式をラプラス変換し連立させると、スイッチSの

直前の電圧  $e_3$  は  $\frac{e_3}{e_0} = 1 - \frac{e_1}{e_0}$

$$= \frac{\frac{1}{T_1} + s \left( 1 + \frac{T_2'}{T_1} \right) + T_2' s^2}{\frac{1}{T_1} + \frac{\alpha}{T_3} + s \left\{ 1 + T_2' \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{\alpha}{T_3} \right) \right\} + T_2' s^2} \dots\dots\dots (3.18)$$

出力端子には $e_3$ を包絡線とする断続波形が表われる。

図3.8に、 $C_2=0$ すなわち単なる微分補償回路について、計算値と実測値とを示す。

### 3.6 静止摩擦とバックラッシュの影響

静止摩擦はサーボ機構に不感帯をもたらし、その静的精度を悪くするが、前に述べたサーボは深いタコジェネ帰還を施しているの、その影響はきわめて小さい。

バックラッシュは小振幅において位相遅れを伴って、とくに高精度サーボにおいて最大の問題を提起する。歯車比の大きい低速のサーボでは歯車を2~3枚に割ってバネでずらせることによりバックラッシュ

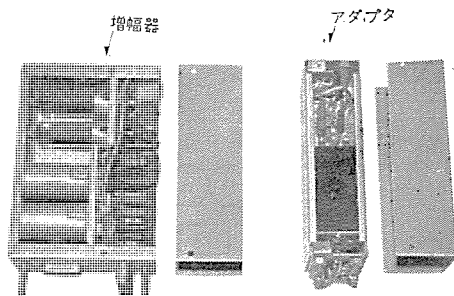


図 3.10 サーボ増幅器 AS11

Fig. 3.10 AS11 Servo amplifier.

をなくす方法が有効である。また非線形補償によってバックラッシュによる振動を防止する方法も発表されている<sup>(3)</sup>。

### 3.7 サーボ増幅器

400 c/s の計算サーボ用として、標準形のサーボ増幅器を開発した。図3.9にその回路図と主要性能を示すが計算コンデンサとともに使用するときには  $V_1$  の PG 間にコンデンサによる帰還をかける。また出力から第3段目への負帰還は、出力インピーダンスの減少、ヒズミの改善、および安定度の向上を図るためである。その外観を図3.10に示す。

## 4. トランジスタチョッパ

直交変換機としてのチョッパは一般に(1)残留電圧の問題にするものと、(2)直線性を要求するものがある

サーボ式計算機あるいはDC増幅器などでは残留電圧がきわめて低いチョッパが要求されるが、トランジスタ(Tr)を用いる場合には、Trの温度依存度の大きいこと、およびON-OFF状態における残留電圧などにより制限を受ける。しかし、負荷インピーダンスが比較的低い場合には十分に実用になるTrチョッパがすでに発表されている<sup>(4)(5)</sup>。

一方直線性を要求するチョッパとしては、機械式チョッパにすぐれたものがあるが、機器の高信頼度、長寿命あるいは機構部品の小形化などの面から、これに答えるTrチョッパの可能性が問題になる。以下Trチョッパの直線性に対する簡単な実験を行なったのでその結果を述べる。

トランジスタチョッパの原理はTrのベースに流れる電流を変化させることによってエミッタ、コレクタ間にON-OFF作用を持たせることである。したがって変換効率はチョッパのON状態の抵抗  $R_{ON}$  とOFF状態の抵抗  $R_{OFF}$  に関係する。一般に  $R_{ON}$  はシリコントランジスタ(SiTr)で数百 $\Omega$ 、ゲルマニウムトランジスタ(GeTr)で数 $\Omega$ である、また、 $R_{OFF}$  はSiTrで10 M $\Omega$ 以上、GeTrではせいぜい1 M $\Omega$ である。これから適当な負荷抵抗の値があることがわかる。普通GeTrチョッパではk $\Omega$  order、SiTrチョッパでは10 k $\Omega$  orderとなる。図4.1はSiTrを用いたチョッパの直線性と、その回路を示すもので駆動電圧として

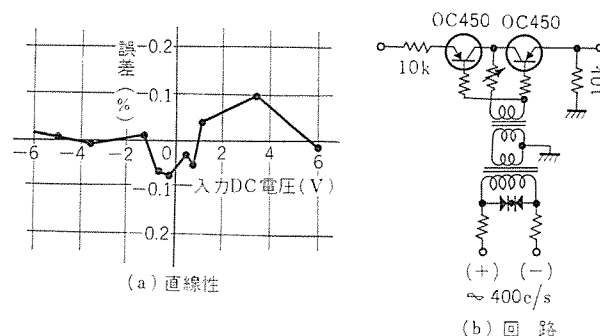


図 4.1 トランジスタチョッパ

Fig. 4.1 Transistor chopper.

は方形波を用いている。そして、トランジスタチョッパが機械チョッパなどとは異なり駆動電極と接点電極が導電的に接続されているので、駆動電極の一部が接点電極(エミッタコレクタ)のほうに現われやすく、これが残留電圧となりその変化がドリフトとなるので、二つのトランジスタを用いこの残留電圧を打ち消すため差動接続にしている。以上の結果としてシリコントランジスタを用いた場合、直線精度 $\pm 0.1\%$ でDCより400 c/sのAC出力電圧に変換できる。

## 5. サーボ式計算機

以上に述べた各コンポーネントによって計算機を構成する手順は、原理上ふつうのアナコムと同様で

- (1) 解こうとする問題について計算式をたてる。
- (2) 安定にかつ精度良く解が求められるように、計算式を吟味し、必要があれば式をたて直す。
- (3) ゲインの配分を適当に定める。

一般にサーボ式計算機は非線形計算に使用することが多いので上記(2)項は、ややめんどうである。そこで以下にFCS計算機を、風修正などの複雑な補正項は省略し、かつ2次元問題として単純化したものについて具体的に説明する。

### 5.1 FCS 計算機

FCS (Fire Control System) とは、射撃の目標をレーダ照準器などによって追尾し、目標速度を算出し、各種の補正を行なって命中点を予測し、砲を指揮する系統のことであり、その計算機には、目標が航空機であってもふつう追尾角速度が数十度/秒の程度であり、その変化もなめらかである上に、三角関数の計算が多いので、サーボ式計算機が適している。

FCSの命中問題の解き方には多くの方式があるが、ここでは例題として、その一つについて説明する。この方式の基本的な考え方は、目標の方向角は保存し、比較的小さな量である見越角を計算によって求め、これを最後に加算することによって砲の方向としていることであって、素子の精度の割に高い命中度が得られる特長がある。また計算にあたっては、近似の少ない厳密な取扱いをしているので、どのような条件(飛行経路など)に対しても高い精度を持っている。そのかわり計算機はやや

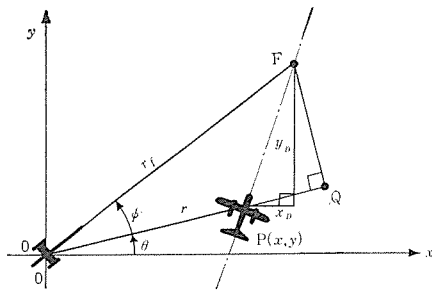


図 5.1 命中三角形  
Fig. 5.1 Hit triangle.

複雑であるが、コンポーネントが小形であるから、比較的コンパクトな計算機にまとめることができる。

## 5.2 入力サーボ

レーダ照準器からシンクロによって伝送された角度および距離の信号を、のちの計算のために機械的回転角に変換する。低い周波数の現象を高い精度で追従するために、まえに述べた積分補償を採用してもよいが、この場合にはレーダ照準器に取付けたタコジェネからの速度信号(Feed forward 補償)またはのちに述べるリジェネレーション信号によって定常速度誤差を打ち消すほうが得策であろう。

## 5.3 速度計算

図 5.1 において目標の現在位置 P 点の直交座標を、レーダ照準器の出力である極座標で表わすと

$$x=r \cos \theta, \quad y=r \sin \theta$$

これから、目標速度の  $x, y$  成分  $v_x, v_y$  はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \dot{r} \cos \theta - r \dot{\theta} \sin \theta \\ v_y &= \dot{r} \sin \theta + r \dot{\theta} \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

一般にレーダの観測値は雑音によって動揺しているからその微分値である  $v_x, v_y$  の  $S/N$  はかなり悪い。一方真の目標は平滑な飛行をしているから、適当な低域濾波器によって雑音はかなり除去することができる。

$$\left. \begin{aligned} v_x^* + \tau \dot{v}_x^* &= v_x \\ v_y^* + \tau \dot{v}_y^* &= v_y \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

によって定義される  $v_x^*, v_y^*$  は  $v_x, v_y$  を一次遅れ要素に通して濾波したものとなる。

## 5.4 リジェネレーション

いま求めた  $v_x^*, v_y^*$  は、その FCS 中では目標速度に関するもっとも確実な信号であるから、この量を利用してレーダサーボ、入力サーボなどの定常速度誤差を補償することができる。またレーダが目標を見失った場合にも、この量を保存しておけば一時的には推測追尾を行なうことができる。

リジェネレーションを行なうには  $v_x^*, v_y^*$  から極座標速度  $\dot{r}^*, \dot{\theta}^*$  を求めなければならない。

$$\left. \begin{aligned} v_x^* &= \dot{r}^* \cos \theta - r \dot{\theta}^* \sin \theta \\ v_y^* &= \dot{r}^* \sin \theta + r \dot{\theta}^* \cos \theta \end{aligned} \right\}$$

これを解いて

$$\left. \begin{aligned} \dot{r}^* &= v_x^* \cos \theta + v_y^* \sin \theta \\ \dot{\theta}^* &= (-v_x^* \sin \theta + v_y^* \cos \theta) / r \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

## 5.5 見越計算

つぎに述べる弾道計算部で計算された、命中点までの

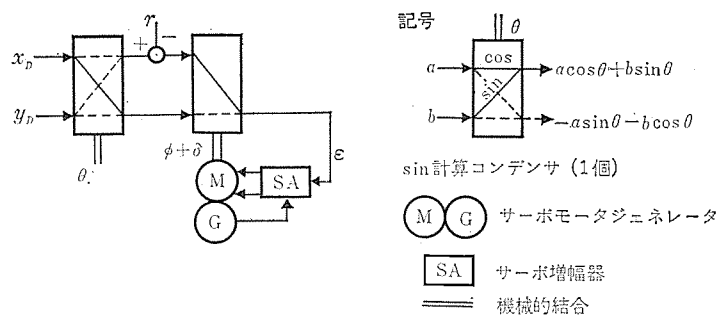


図 5.2 見越角計算  
Fig. 5.2 Lead angle computer.

弾丸の飛しょう時間  $t_f$  を  $v_y^*, u_y^*$  に乗ずることによって見越量  $x_D, y_D$  が求まる。

$$x_D = v_x^* t_f, \quad y_D = v_y^* t_f \quad (5.4)$$

また図 5.1 の  $\overline{OP}$  の  $\overline{OP}$  への投影  $\overline{OQ}$  は

$$\overline{OQ} = r + x_D \cos \theta + y_D \sin \theta$$

また点 F から  $\overline{OP}$  への距離  $\overline{QF}$  は

$$\overline{QF} = -x_D \sin \theta + y_D \cos \theta$$

したがって見越角  $\phi$  は次式から求められる。

$$(r + x_D \cos \theta + y_D \sin \theta) \sin \phi + (-x_D \sin \theta + y_D \cos \theta) \cos \phi = 0 \quad (5.5)$$

また未来距離  $r_f$  は

$$r_f = (r + x_D \cos \theta + y_D \sin \theta) \cos \phi + (-x_D \sin \theta + y_D \cos \theta) \sin \phi \quad (5.6)$$

式(5.5), (5.6)は基本的には図 5.2 のような回路によって解くことができる。この  $\phi$  サーボを Small perturbation method によってやや詳細に検討しよう。

いま適当な時間を  $t=0$  と定めその後の微小時間について考える。ただし入力角  $\theta$  は一定とする。

$t=0$  においては  $\phi = \phi_0, r_f = r_{f0}, \epsilon = 0$  とする。

$t=t$  において  $\phi = \phi_0 + \delta, r_f = r_{f0} + \alpha$  とすれば式(5.5), (5.6)より

$$\epsilon = \delta \{ (r + x_D \cos \theta + y_D \sin \theta) \cos \phi_0 - (-x_D \sin \theta + y_D \cos \theta) \cdot \sin \phi_0 \} = r_{f0} \cdot \delta \quad (5.7)$$

$$\alpha = \delta \{ (r + x_D \cos \theta + y_D \sin \theta) \sin \phi_0 + (-x_D \sin \theta + y_D \cos \theta) \cos \phi_0 \} = 0$$

$\delta$  によって  $r_f$  は変化しないので  $t_f$ , したがって  $x_D, y_D$  も変化しない。式(5.7)から  $\phi$  サーボの開ループゲインが  $r_f$  に比例することがわかる。そこでたとえば式(5.5), (5.6)の両辺を  $r$  で割った式によって計算機を構成すればよい。また計算機の信号には  $r$  におおよそ比例するものが多いので、こうすることによって計算電圧がほぼ一定となり回路の雑音の影響も避けることができる。

## 5.6 弾道計算

各種の補正項を省略して弾丸の飛しょう秒時を次式で表わす。

$$r_f = f(t_f) \quad (5.8)$$

いま目標の  $r$  方向の速度成分を  $v_r$  とすれば近似的に

$$r_f = r + t_f v_r$$

ところが前項で述べた  $\phi$  サーボの安定化のために上式は

$$\frac{r_f}{r} = 1 + \frac{t_f v_r}{r} \quad (5.9)$$

図 5.3 に示す計算回路において  $\psi$  は  $t_f$  サーボのゲインを安定化するためのものである。前節と同様にして

$t=0$  において  $t_f=t_{f0}$

$t=t$  において  $t_f=t_{f0}+\delta$  ( $\delta$ : 微小量) とおく。

サーボ誤差  $\varepsilon$  は

$$\varepsilon = \left\{ -\frac{1}{r} f(t_{f0} + \delta) + \left( v_r \frac{t_{f0} + \delta}{r} + 1 \right) \right\} \psi$$

$$\therefore -\varepsilon = \delta \frac{\psi}{r} \left\{ \frac{\partial f(t_{f0})}{\partial t_f} - v_r \right\} = \delta \frac{\psi}{r} \{ u_s(t_{f0}) - v_r \} \dots (5.10)$$

ここに  $u_s(t_{f0})$  は命中点における弾丸の速度、すなわち存速と呼ばれるもので、一般に  $u_s \gg v_r$  である。

式 (5.10) からほぼ  $\psi \propto r/u_s$  とすれば  $t_f$  サーボのゲインは安定化される。

式 (5.8) によって計算された  $t_f$  は、まえに述べたように、見越計算に使用される。

### 5.7 計算機ブロック図

以上に 2 次元における射撃問題を解くための計算式を導いたが、これらをまとめて図 5.4 のようなブロック図が構成される。

実際の FCS 計算機では、3 次元である上に、重力降下、視差、風、気圧、弾丸初速などについて補正を施さ

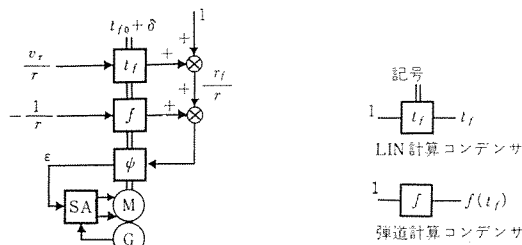


図 5.3 弾道計算  
Fig. 5.3 Ballistic computer.

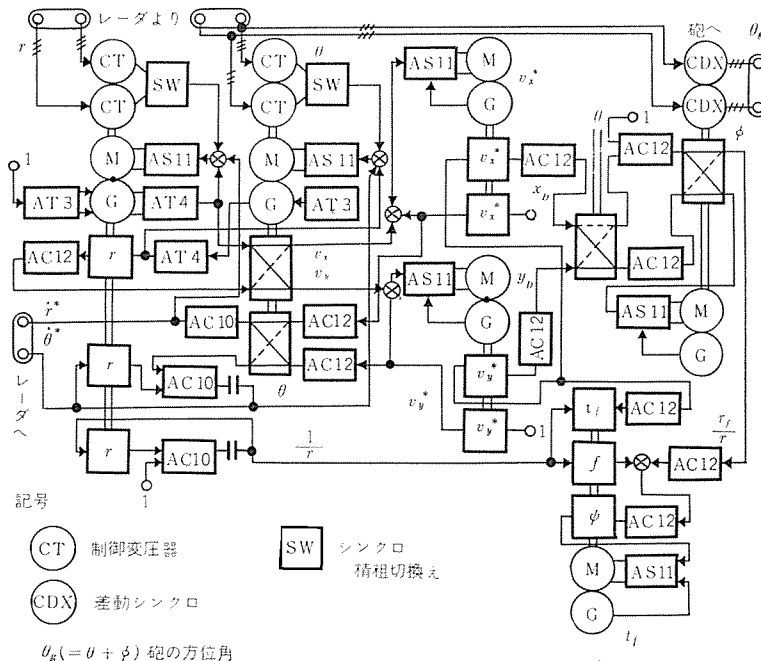


図 5.4 簡単化した FCS 計算機の一例

Fig. 5.4 An example of simplified fire control computer.

なければならず、はるかに複雑となるが、根本的な考え方はこの例と同様である。

## 6. む す び

計算コンデンサを中心とするサーボ式計算機について述べて来たが、ここにそれらの要約と多少の補足を記してみよう。

(1) 計算コンデンサは小形で高精度であり、とくに任意の非直線関数を容易に実現できる長所があり、計算増幅器も簡単なものでよい。サーボ系と組合せて関数乗除算に使用される。(除算は計算増幅器の帰還コンデンサを計算コンデンサによって置き換えることによって行なう。)

(2) 交流タコジェネは温度係数が大きいが、温度が平衡状態に達していれば、補償巻線と増幅器によって、ほとんど完全に補償することができる。

また直線性も比較的良好であって、残留電圧もほぼ打ち消すことができるので交流サーボ式計算機の微積分に十分使用できる。

(3) サーボ系はタコジェネ帰還を強くかけることによって、高い精度、広いパンド幅、および高い安定度を得ることができるが、積分補償、Feed forward 補償、または Regeneration 補償によってさらに性能を改善できる。

計算用サーボにおいてもっとも問題となるのは歯車のバックラッシュである。

(4) サーボ式計算機は非線形マルチループ系であることが多く、その Synthesis の一例として、簡単化した FCS 計算機について具体的に説明した。

最後に、この開発は当所機械課および工作技術課各位の設計、製作両面にわたるご援助によって成ったものであり、ここに深く感謝いたします。

### 参 考 文 献

- (1) 吉田・三好・柴田：サーボ式計算機コンポーネント (1), 「三菱電機」, 35, No. 8, p. 46~53 (昭 36).
- (2) 須藤二全：二相誘導速度発電機の動作特性に関する検討, 電学誌, 78, No. 9, p. 29~35.
- (3) D. Schulkind: Accuracy Requirements of Nonlinear Compensation for Backlash. IRE Trans, on Automatic Control, p. 79~85 (June, 1960).
- (4) I. C. Hutcheon, D. Summers: A Low-Drift Transistor Chopper-Type D. C. Amplifier with High Gain and Large Dynamic Range. The Institution of Electrical Engineers, p. 451~465 (Mar., 1960).
- (5) 猪瀬・永田・木下：温度補償型トランジスタチョッパ, トランジスタ研究専門委員会資料. (昭 34-12-8).

## トランジスタ・スイッチを利用した高能率サーボ増幅器

研 究 所 大 野 栄 一\*

## High Efficiency Servo Amplifiers through the Application of Transistor Switches

Research Laboratory Eiichi OHNO

Described herein is a system adopting a pulse width modulation to obtain fully transistorized servo amplifiers with an output to the extent of 200 W. In general linear amplifiers there is a limit from the viewpoint of theory and efficiency. When a definite allowable value of collector is given, output power to be realized is also restricted. But if output transistors are used in switching mode by the pulse width modulation, it is feasible to have a theoretical efficiency of 100 % and to be capable of controlling 300 W output with a collector loss of only about 6 W in practice. It is also accounted for in the article the principle of the pulse width modulation servo amplifier, its circuit constitution and various characteristics when applied to a basic synchro servo system in practice.

## 1. ま え が き

最近の半導体製品のめざましい発展につれて、自動制御用の各種電気回路のトランジスタ化も急速に行なわれている。ここではパルス幅変調 (PWM) の技術を応用してトランジスタをスイッチングモードで使用し、200 W 程度の大きな出力を得られる高効率サーボ増幅器についてその原理、回路および諸特性を論ずる。

従来一般のサーボ増幅器には B 級プッシュプルのような線形増幅器が用いられているが、現在得られるパワートランジスタの容量から考えると出力 100 W 以上のものを得ることは困難となる。これは B 級では理論効率 78 % のためコレクタに 22 % 以上の損失を生ずるからである。

そこでパルス幅変調によって基本周波数で繰り返され、その幅が入力に比例して変化するようなパルス列に変換し、出力トランジスタをカットオフと飽和の二つの状態を安定状態として使用することにより最低のコレクタ損失で、効率の高い増幅器を実現できる。またこの回路ではトランジスタはスイッチングモードで使用されるため安定でドリフトを生ぜず、特性のバラツキも問題なくなる。

この PWM サーボ増幅器は従来磁気増幅器やサイクロン増幅器を必要としていた分野に用いることができ、小形軽量化が実現されるばかりでなく、その動作に遅れがないことからサーボ系の特性の向上にもつながるものである。

本文の前半ではこのようなすぐれた特性をもつ PWM サーボ増幅器についてその原理、回路構成と静特性を示し、後半では AC サーボ系に応用したものについてサーボ系の特性、とくに安定度に及ぼす影響を考察して等価伝達関数としてむだ時間を考えるべきことを論ずる。

## 2. PWM サーボ増幅器回路と特性

## 2.1 PWM とコレクタ損失

パルス幅変調方式における増幅器の内部損失と出力との関係を知るために図 2.1 のような基本的なスイッチ回路を考える。このスイッチ S を閉開すれば、負荷にはパルス列が印加されるが、そのパルスの高さは電源電圧  $E_s$  に

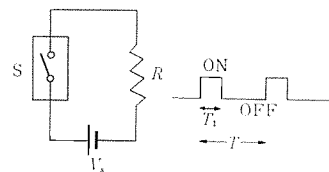


図 2.1 基本スイッチ回路

Fig. 2.1 Basic switching circuit.

等しく、幅はスイッチ S の閉じている時間に等しい。したがって 1 周期  $T$  秒のうち、 $T_1$  秒だけスイッチが閉じているとき、負荷  $R$  に供給される電力の平均値  $P_L$  は

$$P_L = (E_s^2/R) \cdot (T_1/T) \quad (2.1)$$

となる。

この場合スイッチは一種の増幅器とみなされるのであるが、理想的スイッチでは ON 時の抵抗は 0、OFF 時の抵抗は無限となるからスイッチでの電力消費は全然生じない。定格内で動作している接点リレーはほぼ理想的スイッチとして動作し、励磁コイルでの電力消費を除けば、ほとんど損失なしで大きな電力を制御することができる。

しかし機械的なリレーでは周知のように高周波での動作は不確実あるいは不可能となり、また寿命にも限界があり、商用周波のような高い周波数では実用できない。

トランジスタはこの点すぐれたスイッチとして動作する。すなわち完全な静止スイッチとしての特長に加えて、動作速度が高く、制御電力は微小でよい。

一般に図 2.2 のようなエミッタ接地回路におけるトランジスタの静特性は図 2.3 のように表わされる。この回路をスイッチ回路として用いる場合には図 2.3 の A と B



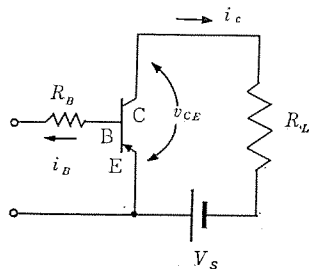


図 2.2 トランジスタ・スイッチ回路  
Fig. 2.2 Transistor switching circuit.

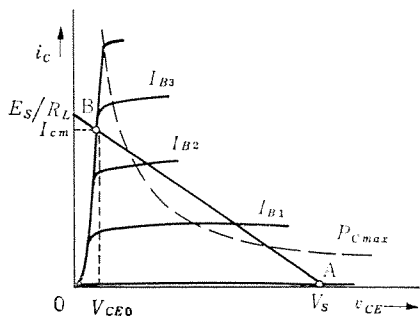


図 2.3 トランジスタ静特性  
Fig. 2.3 Transistor static characteristics.

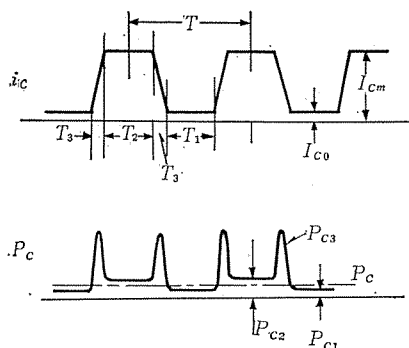


図 2.4 スイッチ動作時のコレクタ電流と損失  
Fig. 2.4 Collector current and collector losses in switching operation.

を二つの安定点として ON-OFF 動作をさせることになる。

まず A 点ではトランジスタはカットオフの状態にありわずかな漏れ電流として  $I_{c0}$  が流れるだけで負荷にはほとんど電圧を生じない。したがって  $V_{CE}$  は最大値  $E_s$  に等しくなり、A 点でのコレクタ損失  $P_{c1}$  は  $I_{c0}$  と  $E_s$  の積となる。

$$P_{c1} \doteq I_{c0} \cdot E_s \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

つぎに B 点ではトランジスタは飽和し、低いインピーダンス素子となり、電源電圧  $E_s$  の大半は負荷にかかる。このときのコレクタ電圧  $V_{CE}$  を  $V_{CE0}$  とすると、負荷に流れる電流  $I_{cm}$  は  $I_{cm} = (E_s - V_{CE0})/R_L$  となる。 $V_{CE0}$  が  $E_s$  に比べて十分小さいとき、これを無視すれば  $I_{cm} \doteq E_s/R_L$  となり、このときのコレクタ損失  $P_{c2}$  は

$$P_{c2} = I_{cm} \cdot V_{CE0} \doteq E_s \cdot V_{CE0}/R_L \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

実際には上述の二つの点の間を移行するためのスイッチング時間が必要であり、その間では  $I_c$ ,  $V_{CE}$  ともに大きな値をとるからコレクタ損失の瞬時値も大きくなる。こ

のスイッチング時間を  $T_3$  とし、この間にコレクタ電流  $I_c$  は直線的に変化すると仮定すれば、この間の平均コレクタ損失  $P_{c3}$  は

$$P_{c3} = \frac{1}{T_3} \int_0^{T_3} \left( I_{cm} \cdot \frac{t}{T} \right) \left( E_s \cdot \left( 1 - \frac{t}{T} \right) \right) dt = \frac{1}{6} E_s \cdot I_{cm} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

また  $P_{c3}$  の瞬時値の最大値は  $E_s \cdot I_{cm}/4$  となる。

したがって図 2.4 のように周期  $T$  で ON-OFF を繰り返す場合の平均コレクタ損失  $\bar{P}_c$  は

$$\begin{aligned} \bar{P}_c &= \frac{1}{T} (T_1 P_{c1} + T_2 P_{c2} + 2 T_3 P_{c3}) \\ &\doteq \frac{1}{T} \left( T_1 E_s I_{c0} + T_2 V_{CE0} I_{cm} + \frac{T_3^3}{3} E_s I_{cm} \right) \quad \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

OFF 時にはトランジスタのベースに逆バイアスをかけて  $I_{c0}$  をほとんど 0 にすることができ式 (2.5) の第 1 項は省略できる。また 60 c/s スwitching の場合には  $T \doteq 166$  ms に対して  $T_3 < 0.1$  ms であり、第 3 項もほとんど無視してさしつかえない。したがって

$$\bar{P}_c \doteq (T_2/T) \cdot V_{CE0} \cdot I_{cm} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$T_2 = T$ , すなわち ON の状態が継続したとき  $\bar{P}_c$  は最大値  $\bar{P}_{cmax}$  となる。

一方負荷  $R_L$  に供給される電力の平均値  $\bar{P}_L$  は

$$\begin{aligned} \bar{P}_L &= \frac{R_L}{T} \left( T_1 I_{c0}^2 + T_2 I_{cm}^2 + \frac{2}{3} T_3 I_{cm}^2 \right) \\ &\doteq (T_2/T) \cdot I_{cm}^2 R_L \doteq (T_2/T) I_{cm} E_s \quad \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

となり、パルス幅  $T_2$  に比例して変化する。

したがってトランジスタのコレクタ損失と、負荷電力との比を  $\gamma$  とすると、式 (2.6) と式 (2.7) から

$$\gamma = \frac{\bar{P}_L}{\bar{P}_c} \doteq \frac{E_s}{V_{CE0}} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

$\gamma$  は一定のコレクタ損失で制御することのできる負荷電力の倍数を表わし、電力制御能力を示すものである。これは式 (2.8) からわかるようにコレクタ耐圧が高いほど、また飽和抵抗の小さいほど大きな値となる。

一例としてゲルマニウムパワー・トランジスタ 2SB214 ではコレクタ耐圧は 75 V あるから、 $E_s$  として 50 V をとると、定格コレクタ電流 (30 A) による  $V_{CE0}$  は約 1 V であるから  $\gamma$  は 50 となる。許容コレクタ損失は放熱板 100 cm<sup>2</sup> のとき周囲温度 40°C で約 6 W であるから、約 300 W の電力をスウィッチングすることができ、このときの能率は 98 % という高い値を示す。

ここで注意すべき点は ON 時にトランジスタを十分飽和させることで、トランジスタの電流増幅率を  $\beta$  とすると  $I_B > I_{cm}/\beta$  を満足するベース電流を流す必要がある。

## 2.2 PWM 交流サーボ増幅器

### (1) 出力段に関する考察

上述のようにスウィッチング形式の増幅器を利用すれば非常に高い能率が得られることが理解できるが、つぎにこのパルス幅変調方式による交流サーボ増幅器を考える。

図 2.5 は出力部の基本回路で、2 個のトランジスタが半サイクルごとに働いて交流出力を得るが、コレクタには電源

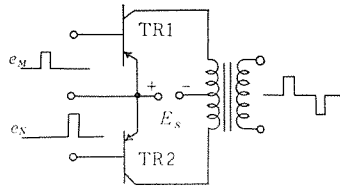


図 2.5 交流成分を生じる PWM 出力段  
Fig. 2.5 PWM output stage with AC component.

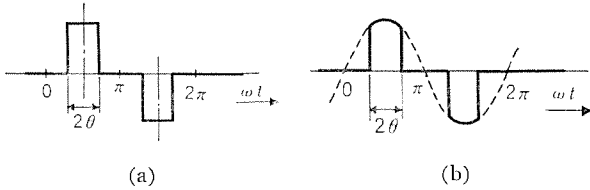


図 2.6 PWM 出力波形 (交流出力)

Fig. 2.6 PWM output waveform with AC component.

電圧の倍の電圧がかかる。この回路では電源に直流を用いるか全波整流波を用いるかにより 図 2.6 (a) (b) のような出力波形となる。

パルス幅を  $2\theta$ 、パルス高さを  $A$  としてこれらの波形をフーリエ級数で表わすと、(a) の場合は

$$y(t) = \frac{4A}{\pi} \left[ \sin\theta \sin\omega t + \frac{\sin 3\theta}{3} \sin 3\omega t + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{\sin(2n-1)\theta}{2n-1} \sin(2n-1)\omega t + \dots \right] \quad (2.9)$$

(b) の場合は

$$y(t) = \frac{2A}{\pi} \left[ \left( \theta + \frac{\sin 2\theta}{2} \right) \sin\omega t + \left( \frac{\sin 2\theta}{2} + \frac{\sin 4\theta}{4} \right) \sin 3\omega t + \dots \right. \\ \left. \dots + \left( \frac{\sin(2n-2)\theta}{2n-2} + \frac{\sin 2n\theta}{2n} \right) \sin(2n-1)\omega t + \dots \right] \quad (2.10)$$

図 2.7 (a), (b) は式 (2.9) および式 (2.10) によって計算した各周波数成分の変化をグラフにしたものである。(b) では  $2\theta = \pi$  となると出力は基本波成分だけになり、高調波分は消えるが、(a) では方形波となり、各高調波も最大となり サージ増幅器 としては好ましくない。また、大出力増幅器の場合、完全な直流電源より全波整流が得やすいため、(b) の方式を使うことが多い。

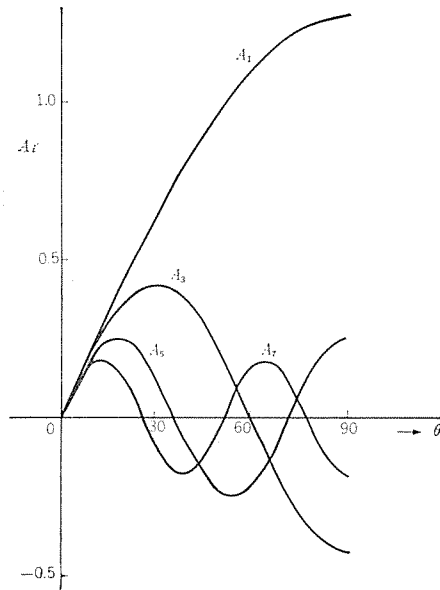
しかし、トランジスタの耐圧の関係でセッ頭値を同じ値  $A$  とすると、(a) のほうが、最大出力は大きくなる。

(2) 交流電圧から PWM 波を得る方法

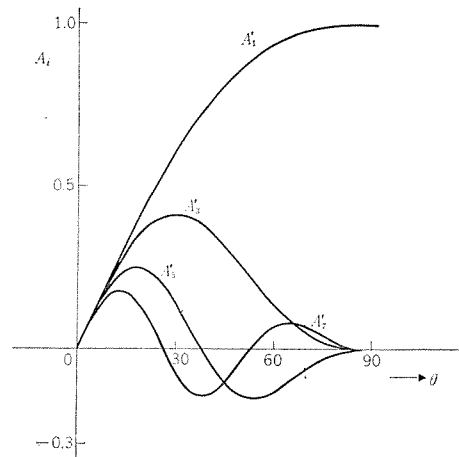
つぎにこのような出力段を制御する入力パルスを交流の信号電圧から得る方法について述べよう。

図 2.8 に示したように互いに 180 度位相の異なる基準電圧  $e_{R1}$  と  $e_{R2}$  に対して、90 度の相差をもった信号電圧  $e_s$  を重畳すると、 $e_s$  の極性によって  $e_{R1}$ ,  $e_{R2}$  のうち、一方は位相が進み、他方は遅れる。これをリミッタによって方形波とし、図に示したように両波形の正および負における重なりをとることにより求める PWM 波が得られる。

このとき得られるパルスの幅  $2\theta$  は図 2.9 のベクトル関係から明かなように



(a) 直流電源のとき



(b) 全波整流された脈流電源のとき

図 2.7 PWM 出力波形に含まれる高調波成分  
Fig. 2.7 Harmonic components in PWM output waveform.

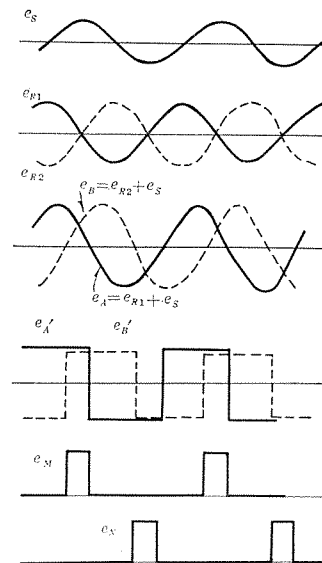


図 2.8 パルス幅変調回路の原理

Fig. 2.8 Principle of pulse width modulating circuit.

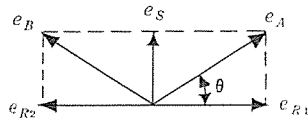


図 2.9 パルス幅変調回路におけるベクトルの関係  
Fig. 2.9 Vector relation in pulse width modulating circuit.

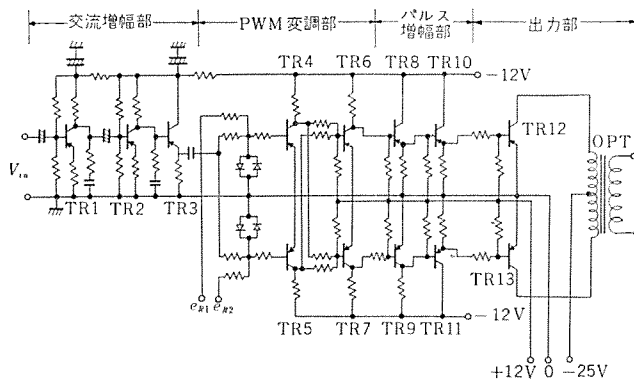


図 2.10 前置増幅器付の PWM サーボ増幅器回路  
Fig. 2.10 PWM servo amplifier circuit with pre-amplifier.

$$2\theta = 2\tan^{-1}(e_s/e_R) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$0 \leq \theta < \pi/2$$

となり、 $e_s$  とともに パルス 幅は  $\tan^{-1}$  の関数でゆるやかな飽和特性を示して増加する。 $e_s$  に対する感度をよくするには  $e_R$  を小さくすればよいが、安定度は低下する。いま シリコンダイオード の正方向電圧降下を図 2.8 (d) を得るための リミッタ として用いることにすれば、 $e_R$  としては最低 2~2 V 必要となり、 $e_R$  と同じ大きさの信号  $e_s$  によって  $\theta$  は  $\pi/4$  となる。

一度この方法で図 2.8 (e) のような幅変調された パルス列を得てしまえば、その後は デジタル回路 と同様な扱いによって電力増幅を行ない 出力トランジスタ を十分飽和させることのできる 駆動パルス とすることは 直結トランジスタ回路により簡単にしかもドリフト などの心配なく行なうことができる。

入力レベル を下げるには前段に交流増幅器を置いて  $e_s$  を増幅する。

### (3) PWM サーボ増幅器 の回路と特性

以上説明したような原理に基づいて実際に トランジスタ回路 の設計を行なった結果が図 2.10 である。

入力はまず トランジスタ TR1~TR3 から成る前置増幅器で約 100 倍に増幅され、エミッタフォロウ により次の変調部へ結合される。変調部では増幅された信号電圧は基準電圧  $e_{R1}$ ,  $e_{R2}$  とそれぞれ抵抗加算され、シリコンダイオード による リミッタ を通って トランジスタ TR4, TR5 で増幅され方波にされる。つぎの TR6, TR7 は  $e_A'$ ,  $e_B'$  の正の重なりと負の重なりから  $e_M$  と  $e_N$  を得るものである。TR8~TR11 は  $e_M$ ,  $e_N$  の電力増幅を行ない、出力段 TR12, TR13 へ継がれる。

出力トランジスタ は 2 SB 214 2 個で、最大出力 200 W トランジスタ・スイッチ を利用した高能率サーボ増幅器・大野

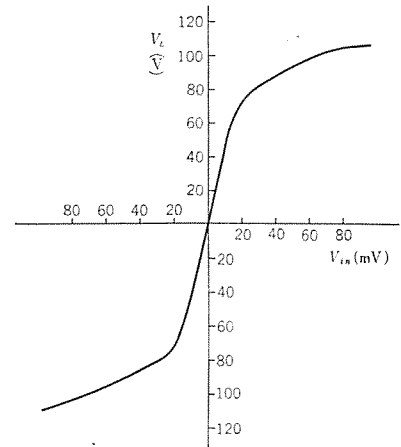


図 2.11 PWM サーボ増幅器 の静特性  
Fig. 2.11 Static characteristics of PWM servo amplifier.

が得られる。

実際に サーボモータ MSX (拘束状態) を負荷としたときの入出力間の静特性を測定したのが図 2.11 である。

## 3. 交流サーボ系への応用と増幅器の伝達関数

### 3.1 交流サーボ系の構成

PWM サーボ増幅器 の動特性を知るために、これを用いた 交流サーボ系 の特性を検討する。

図 3.1 は系の構成を示す ブロック線図、図 3.2 は具体的な回路図である。シンクロ制御変圧器の発生する電圧は系への入力であるシンクロ発信器の回転子の位置と、出力である負荷に直結された制御変圧器の回転子位置との偏差に比例し、これが誤差電圧としてサーボ増幅器に与えら

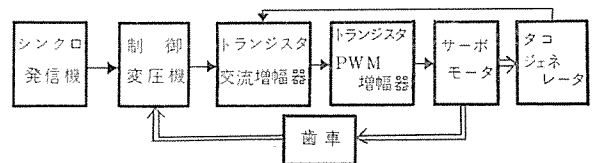


図 3.1 交流サーボ系のブロック線図  
Fig. 3.1 Block diagram of AC servo system.

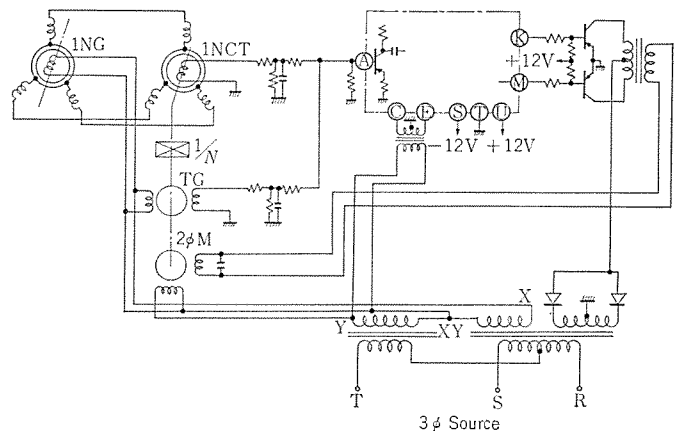


図 3.2 PWM 増幅器を用いた 交流サーボ系 の回路図  
Fig. 3.2 Circuit diagram of AC servo system with PWM amplifier.

れる。発生電圧ゲイン  $K_{CT}$  は 26.5 V/rad, 残留電圧は 70 mV 程度であるが、信号成分より 90 度位相のずれた横軸成分が多いから PWM 変調部で消去され、実効的にはさらに小さくなる。

系を安定化し、適当なダンピング特性を与えるためにサーボモータに直結されたタコジェネレータが用いられる。そのゲイン  $K_{TG}$  は 0.027 V/rad/sec である。

実験に用いたサーボモータは出力 15 W, 制御電力は 50 VA, ゲイン  $K_M$  は 3.14 rad/sec/V, 機械的時定数  $T_M$  は 0.05 sec で歯車比  $N$  は 28.1 である。

ここでサーボモータの伝達特性は 1 次遅れとし、 $K_M/(1+T_M S)$  で近似し、PWM 変調部をもつ増幅器の伝達関数を  $K_A G_A(S)$  とおくと、全体の系のブロック線図は図 3.3 のようになる。

$G_A(S)=1$  と仮定した理想的な場合、系は二次となってその共振周波数  $\omega_n$  とダンピング係数  $\xi$  は

$$\omega_n = \sqrt{K/T_M} \quad (3.1)$$

$$\xi = \frac{1 + K_T}{2\sqrt{K \cdot T_M}} \quad (3.2)$$

ただし  $K = \alpha_{CT} K_{CT} K_A K_M / N$  主ループゲイン

$K_T = \alpha_{TG} K_{TG} K_A K_M$  ダンピングループゲイン

$\alpha_{CT}$  : シンクロ入力抵抗による分圧比

$\alpha_{TG}$  : タコジェネレータ入力抵抗による分圧比

$K_{CT}$  : シンクロ発生電圧係数 (V/rad)

$K_{TG}$  : タコジェネレータ発生電圧係数 (V/rad/sec)

$K_A$  : 増幅器ゲイン

$K_M$  : サーボモータ電圧-速度ゲイン (rad/sec/V)

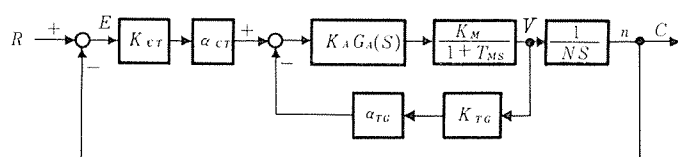


図 3.3 PWM 増幅器を用いた交流サーボ系の伝達関数

Fig. 3.3 Transfer function of AC servo system with PWM amplifier.

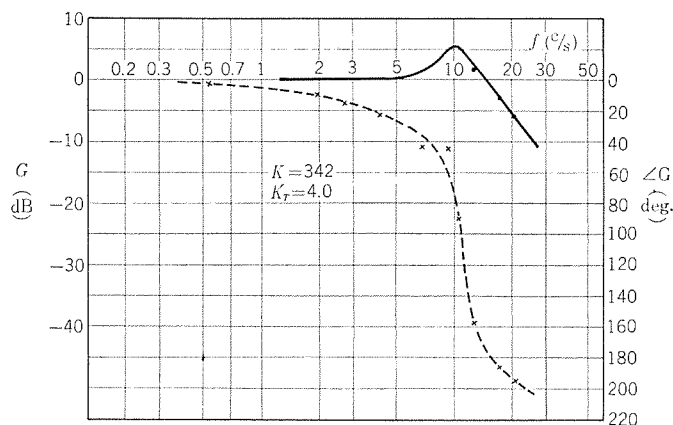


図 3.4 PWM 増幅器を用いた交流サーボ系の周波数応答

Fig. 3.4 Frequency-response characteristics of AC servo system with PWM servo amplifier.

$T_M$  : サーボモータ時定数 (sec)

$N$  : 歯車比

実際に系が飽和を生じない範囲で測定した周波数特性は図 3.4 に示したとおりである。表 3.1 は、この実験結果と式 (3.1), (3.2) から計算した  $\omega_n$  と  $\xi$  の値を比較したもので、計算に用いた各定数の値が実際には非線形であることを考えれば、かなりよく一致していると見る事ができる。

ところが系の安定度に関する問題はこうに簡単ではない。もし  $G_A(S)=1$  とすれば図 3.3 の系は 2 次であるから  $K$ ,  $K_T$  のいかなる値に対しても安定で発振することはないはずである。しかし実際にはある  $K$  と  $K_T$  の組合せに対して不安定領域が存在し、その中では持続振動を生じる。 $G_A(S)$  に適当な伝達関数を導入することによりこの現象を説明できることを次節で示す。

### 3.2 系の安定度と増幅器の等価伝達関数

$G_A(S)=1$  とした図 3.3 の系はつねに安定なはずであるが、実際の系は次のような不安定領域をもっていることが観測された。

#### (1) $K < K_{max}$ の場合

(a)  $K_T < K_{Tmin}$  の範囲で主ループが不安定となり数 c/s から十数 c/s の振動を生じる。 $K_{Tmin}$  の値は  $K$  により変化し  $K$  が大きいほど大きくなる。

(b)  $K_T > K_{Tmax}$  の範囲では TG ループが不安定となり数十 c/s の比較的高い周波数の振動を生じる。 $K_{Tmin}$  の値は  $K$  にあまり左右されず、10 ~ 13 程度である。

(c) したがって系は  $K_{Tmin} < K_T < K_{Tmax}$  の範囲で安定となる。

#### (2) $K > K_{max}$ の場合

$K_T$  の値のいかにかわらずつねに不安定となる。

実験を行なった系ではバックラッシュ防止歯車を用いてこの部分から非線形の介入することを防いでいるから、上記の不安定はサーボ増幅器およびサーボモータの部分の伝達関数に等価的な時定数あるいはむだ時間が存在するためと考えられる。

図 3.3 のブロック線図中  $G_A(S)$  は増幅器のブロックに入れてあるが、上記のようにサーボモータと組合されたものから生じる等価伝達関数と考え、実験と合致するものとしてむだ時間遅れを導入する。

(一般に 1 次遅れで近似されることが多いが、こ

表 3.1 線形領域での  $\omega_n$  と  $\xi$

|            | $K=342, K_T=4.0$ |     | $K=660, K_T=9.8$ |     |
|------------|------------------|-----|------------------|-----|
|            | 計算値              | 実験値 | 計算値              | 実験値 |
| $\omega_n$ | 82.7             | 66  | 11.5             | 90  |
| $\xi$      | 0.6              | 0.3 | 0.9              | 1.0 |

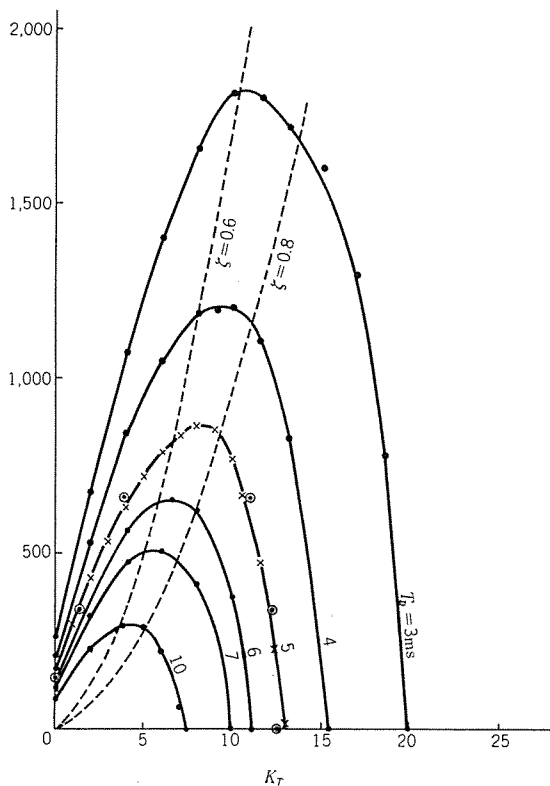


図 3.5 図 3.3 において  $G_A(S) = e^{-T_D S}$  としたときの安定領域 (アナコムによる計算)  
 ●実際の系における測定点  
 Fig. 3.5 Stable regions computed by analog computer when  $G_A(S) = e^{-T_D S}$  in the block diagram of Fig. 3.3.  
 ●measured points in actual system.

れでは上に述べた  $K_{Tmax}$  の存在を説明できない.)

図 3.5 は上述の考えに基づいて

$$G_A(S) = e^{-T_D S} \dots\dots\dots (3.3)$$

とおいた系の安定限界を アナコム により求めた結果を示したものである. ( $T_M = 0.05$  sec の場合) この曲線の下側で系は安定であるから安定領域は前に実系について記したものとまったく同じ傾向を示す. 実系について求めた安定限界における  $K$  と  $K_T$  の値を同じ 図 3.5 にプロットしてみると, 大体  $T_D = 5$  ms とした場合の計算結果と一致することがわかる. これから  $G_A(S)$  としては 5 ms の等価むだ時間を考えることが妥当であると結論されよう.

$T_D = 5$  ms とすると  $K_{max} = 865$  となり, これより大きな  $K$  はこの系では安定化できないことになり, これに

よってこの サ-ボ系 の精度の上限が決まってしまう.

一方式 (3.2) から  $\xi$  を パラメータ として  $K$  と  $K_T$  の関係が求まる. すなわち

$$(1 + K_T)^2 / K = 4 \xi^2 T_M \dots\dots\dots (3.4)$$

図 3.5 の点線は上式で  $T_M = 0.05$  とし  $\xi$  に対応する  $K$  と  $K_T$  の関係をプロットしたもので, これから  $K_{max}$  はほぼ  $0.6 < \xi < 0.8$  に相当し, この範囲の  $\xi$  に対してもっとも安定領域が広いことがわかる.

#### 4. む す び

以上, この論文の前半では パルス幅変調 の技術に応用した高効率の 全トランジスタ形サ-ボ増幅器 についてその原理, 回路構成および静特性について説明した. また後半では実際に基本的な サ-ボ系 に応用した場合の系の安定度の面から増幅器の動特性を論じ, 安定・不安定の面からその伝達関数は約 5 ms の等価むだ時間で表わしうることを知った.

最後に PWM 全トランジスタ形サ-ボ増幅器 の特長をまとめると次のようである.

##### (1) 高効率

トランジスタ を スイッチモード で使用するため出力の約 2% 程度の コレクタ損失 で済み, 効率 98% というすぐれた性能を示す. このため小容量の トランジスタ で, コレクタ損失の 50 倍という大きな出力を制御できることになり, 出力 200 W 程度の増幅器が比較的容易に実現できる.

##### (2) 安定でドリフトのない動作

PWM 増幅器では トランジスタ は スイッチングモード で使用され, その特性の影響はなく安定でドリフトを生じない.

##### (3) 小形軽量

(1) と関連して従来磁気増幅器や サイラトロン を必要とした 電力レベル まで トランジスタ化 され, これらに比べて非常に小形, 軽量化された.

##### (4) 速応性

従来の磁気増幅器形の サ-ボ増幅器 などより小さい 5 ms の等価むだ時間を持ち, この面でも高性能を示す.

この PWM サ-ボ増幅器 によって トランジスタ化 される パワーレベル が大幅に引上げられた結果, 大きな出力を必要とする サ-ボ系 において磁気増幅器や サイラトロン に換わって用いられ, 高性能を発揮している.

(昭 37-1-9 受付)

## 自動追尾レーダの性能限界(1)

無線機製作所 渡 部 優\*

## Maximum Performance of Tracking Radar (1)

Electronics Works Masaru WATANABE

The microwave pulse tracking radar, being in high demand for utilization, is regarded as the most accurate. In this article is discussed the maximum performance attainable of the tracking radar through synthetic studies based on the presentday technological potentiality with available range and accuracy kept in the focus, and is also described key points of future improvement. The most vital and knotty problem lies in the antenna as a servo element. This point, however, is to be discussed in another issue together with examples of system design for three different microwave frequency.

## 1. ま え が き

## 1.1 概 要

本文では、確度が高く、現在もっとも利用要求度の高いマイクロ波パルス追尾レーダについて、とくに大切な性能である有効距離と確度に関して、重点的に検討し、現在の技術の総合にて達しうる能力を明らかにし、今後の問題点を明らかにする。

各章の目的を個別的に略記するとつぎのようである。

- a. 第2章には、一次レーダの最大有効距離を検討する。
- b. 第3章には、トランスポンダを用いる二次レーダの最大有効距離を検討する。
- c. 第4章には、最小有効距離について検討する。
- d. 第5章には、追尾レーダの測定の確度について検討し誤差軽減について検討する。
- e. 第6章には、問題の多いアンテナのサーボ要素としての検討を行なう。
- f. 第7章には、確度1ミルを前提として、有効距離0.65ないし100 kmの追尾レーダの設計を、3種の異なった波長に対して行なって、システム概略設計の例を示す。

## 1.2 有効距離

追尾レーダの有効距離には、最大値と最小値の限界がある。

最大値の生ずる原因は、レーダに帰って来る信号が、距離の増大とともに弱くなり、ついには雑音に埋れてしまうことにより生ずる。したがって、受信機への入力  $S/N$  比と受信機の信号処理能力が大切である。

最小値の生ずる原因は、距離が小さくなったときに、高速移動目標体に対する追尾角速度、角加速度などが大きい値となり、大きい誤差を生じ、場合によってはビームからの逸脱を起こすことにより生ずる。したがって、これは角度追尾サーボの問題である。

またごく近接した目標体に対しては、パルスレーダ自体

が、本来盲目である。これは、主として受信機が送信パルスにより、一時的に抑圧を受けるためである。しかし、多くの場合、これは小さい値であって、角度追尾のほうの問題である。

## 2. 一次レーダの最大有効距離

この章では、トランスポンダを持たない受動的な物体からの反射波を追尾するいわゆる一次レーダの最大有効距離を吟味する。

## 2.1 算 式

追尾レーダも、その最大距離算出には、サーチレーダと同様の考えが適用できる。すなわち

$$R_{\max}^4 = \frac{\sigma P_t A^2 L^2}{4\pi \lambda^2 S_{\min}} \quad (2.1)$$

ただし

$R_{\max}$ : 最大有効距離

$\sigma$ : 目標体の有効反射面積、これは、刻々変化するものである。

$P_t$ : 送信 センター 出力

$A$ : アンテナ 有効面積

$L$ : 空中の透過率  $L = (1 - \text{吸収損失率})$

$\lambda$ : 使用電波の波長

$S_{\min}$ : 追尾レーダが動作しうる最小電力

したがって、 $R_{\max}$  を大きくするには、式 (2.1) の分子 ( $\sigma P_t A^2 L^2$ ) を大きく、分母の ( $\lambda^2 S_{\min}$ ) を小さくするようにレーダの基本設計を行なえば良い。

## 2.2 数量的検討

有効距離に影響する各要素につき、順次検討を行ない現在のマイクロ波パルス追尾レーダの到達限界を検討する。

(1) 目標体反射面積  $\sigma$ 

$\sigma$  は複雑である。ここでは、マイクロ波に対し、ほぼ一定の確率の大きさを持つものとして取扱う。

(2) 送信 センター 出力  $P_t$ 

追尾レーダの送信出力は、マグネトロンを使用する場合に

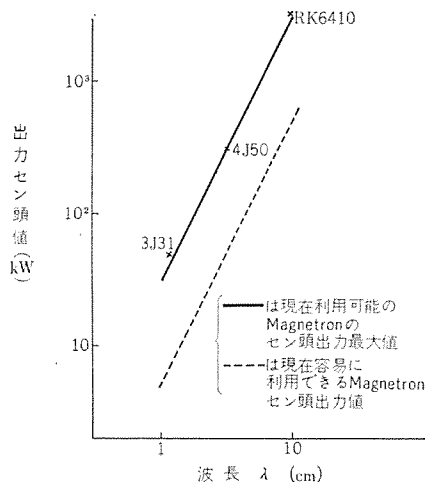


図 2.1 マグネトロン出力  $P_t$

Fig. 2.1 Available magnetron output  $P_t$ .

は、現在図 2.1 の グラフ に示すような値が期待できる。この図のなかで実線で示したものは、現在利用可能のものの中から大出力のものを記した。破線は、現在比較的容易に実現でき多くの製作実績のあるあたりを示した。

このように マグネトロン出力 を、波長  $\lambda$  の 2 乗に比例して増加させようのは、出力が機械的寸法の約 2 乗に比例し、機械的寸法は波長にほぼ正比例するためである。

### (3) レーダアンテナ面積 $A$

レーダアンテナの有効面積  $A$  は、ビーム幅 を一定に保つには  $\lambda^2$  に比例して大きくしなければならない。逆に アンテナ面積 を一定にすると、ビーム幅 は  $\lambda$  に比例して細くなる。

### (4) 空中の透過率 $L$

これは使用波長が短くなって、3 cm あるいはそれ以下となると急激に悪くなる。いましばらく、 $L$  は無視して考察を進め後で考えることとする。

### (5) 最小受信電力 $S_{\min}$

追尾可能の最小入力値  $S_{\min}$  は、つぎのように表わせる。

$$S_{\min} = (nf) KTB \times C \quad (2.2)$$

ただし

$nf$  : 受信総合雑音指数

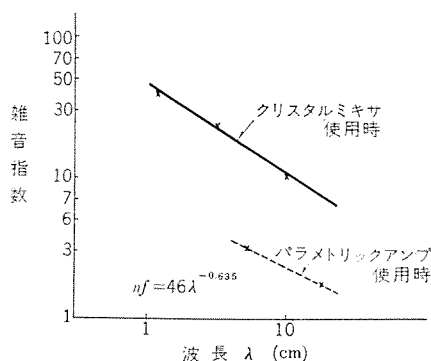


図 2.2 現在の技術における雑音指数

Fig. 2.2 Noise figure in today's technical level.

$KT$  : ボルツマン定数  $\times$  絶対温度

$B$  : 受信機帯域幅

$C$  : 方式による定数

(a) 雑音指数  $nf$

現在、レーダ では、クリスタルコンバータ を初段に用いることが多いが、現在の技術では図 2.2 に示すのがほぼ最良値である。ごく新しい技術ではあるが、パラメトリック増幅装置を用いると、図中破線で示した値までは改善できる。これは当社で得た値である。

(b) 帯域幅  $B$

追尾レーダ の場合

$$B = \frac{\alpha}{\tau} \quad (2.3)$$

ただし  $\alpha$  : 定数 約 1.2

$\tau$  : パルス幅

とすれば十分である。

$\tau$  は、距離追尾の確度および分解能などから定まる。

距離の分解能は、角度の分解能と パラッス がとれるように設計すべきであり、このことから  $\tau$  を決めることができる。その結果を記すと次のようである。

$$\lambda = 2 \times 10^{-8} r \Delta \theta \text{ (sec)} \quad (2.4)$$

$$B = \frac{1.2}{\tau} = 6 \times 10^7 \times \frac{1}{r \Delta \theta} \text{ (c/s)} \quad (2.5)$$

ただし  $r$  : 対象とする距離

$\Delta \theta$  : 角度の分解能

パルス幅  $\tau$  は、システム が対象とする距離と、対象とする精度が定まれば式 (2.4)、(2.5) から合理的に定めうる。これらを  $R_{\max}$  の 1/2 および 3/4 とした場合の  $R_{\max}$  と  $\tau$ 、および  $B$  の関係を図 2.3 に示した。

(c) 方式により定まる定数  $C$

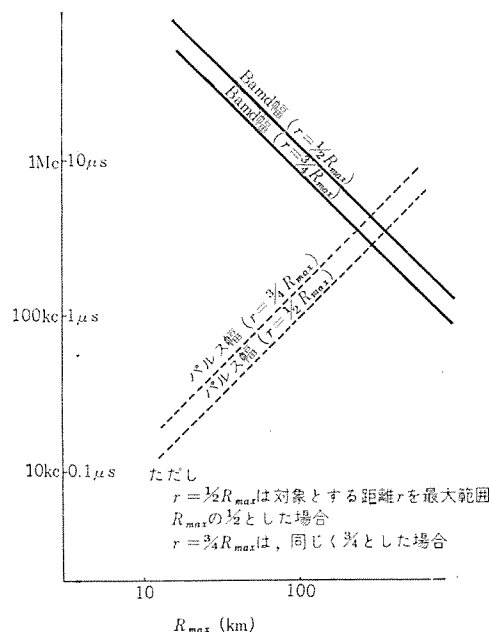


図 2.3  $R_{\max}$  と最適 パルス幅 および受信帯域幅

Fig. 2.3 Suitable pulse width and receiver band width versus maximum range.



式 (2.2) に示した  $C$  の値としては、筆者らの試作した航空機用 追尾レーダ および実験を行なった 2 種の レーダでは、約 10 dB 電圧比で 3 ないし 4 程度であつた。この  $C$  の値は、方式により定まる定数であるが、エコービデオ信号を角度および距離の弁別器で処理する従来の方法では、誤動作を防ぐために、この程度に調定するのが良いところである。

結局  $S_{\min}$  を下げることにについては、 $\eta f$  を下げることに、適当な  $B$  を選定することが大切である。

(1) ないし (5) に検討したことを実験式で表わすと、

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \text{const} \\ P_t &= \text{const} \cdot \lambda^2 \\ A^2 &= \text{const} \cdot \lambda^4 \quad (\text{ただし、ビーム幅一定の条件}) \\ L^2 &= \text{const} \cdot 10^{-\frac{2\alpha R_{\max}}{10}} \\ &\quad (\text{ただし、}\alpha: \text{減衰定数 dB/km}) \\ \eta f &= \text{const} \cdot \lambda^{-0.635} \\ B &= \text{const} \cdot R_{\max}^{-1} \\ C &= \text{const} \end{aligned} \right\} \dots (2.6)$$

表 2.1 アルビスベル社 レーダ による目標体捕捉実験結果

| No. | Serch<br>速<br>(度<br>sector) | 所要時間<br>(sec) | 捕捉距離<br>(km) | 目 標 機          | 備 考       |         |
|-----|-----------------------------|---------------|--------------|----------------|-----------|---------|
| 1   | 30                          | 60            | 24           | P <sub>3</sub> | 複座練習機     | 退 去     |
| 2   | 15                          | 20            | 22           | P <sub>3</sub> |           | 接 近     |
| 3   | 15                          | 12            | 18           | P <sub>3</sub> |           | "       |
| 4   | 15                          | 18            | 20           | P <sub>3</sub> |           | 退 去     |
| 5   | 15                          | 50            | 25           | P <sub>3</sub> | 高度 2,000m | "       |
| 6   | 15                          | 12            | 25           | P <sub>3</sub> |           | 側 面     |
| 7   | 15                          | 35            | 18           | P <sub>3</sub> |           | echo 微弱 |
| 8   | 15                          | 9             | 16           | P <sub>3</sub> |           | 接 近     |
| 9   | 15                          | 12            | 13           | P <sub>3</sub> |           |         |
| 10  | 30                          | 10            | 13           | P <sub>3</sub> |           |         |
| 11  | 30                          | —             | 14           | Venon          |           |         |
| 12  | 30                          | —             | 20           | "              |           |         |
| 13  | 360                         | —             | 18           | Vampire        |           |         |
| 14  | 360                         | —             | 21           | "              |           | 雲 中     |

P<sub>3</sub> の目標機に対する平均  $R_{\max} = 19.4 \text{ km} \approx 20 \text{ km}$

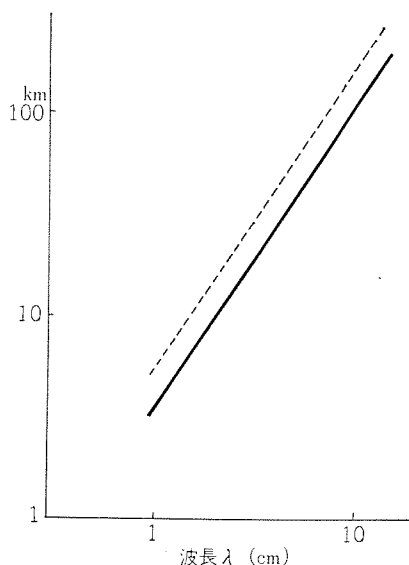


図 2.4 アンテナビーム幅を一定に保ったときの最大到達距離  $R_{\max}$   
Fig. 2.4 Change of maximum range  $R_{\max}$  with wave length when antenna beam width is kept constant.

これを、式 (2.1) に入れると、

$$R_{\max}^3 \times 10^{\frac{2\alpha}{10} R_{\max}} = \text{const} \cdot \lambda^{4.635} \dots (2.7)$$

対数をとって

$$\log \lambda = 0.648 \times \log R_{\max} + 0.0431 \alpha \cdot R_{\max} + C_0 \dots (2.8)$$

$C_0$  を決定するについては、筆者らが実験を行なったことのある スイスアルビスベル社 の 追尾レーダ の実験例を用いる。この場合、実測値の平均として、小形機に対して式 (2.9) のような結果が得られている。表 2.1 参照。

$$\left. \begin{aligned} R_{\max} &= 20 \text{ km} \\ \lambda &= 3.2 \text{ cm} \\ \alpha &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (2.9)$$

これを用いて、 $C_0$  を決定すると、

$$C_0 = -0.294$$

この値を用いて、波長  $\lambda$  により有効距離  $R_{\max}$  がいかになるかわかるかを示すと、図 2.4 のようになる。これを導いた種々の仮定を明記すると、つぎのようである。

- ビーム幅一定 したがって アンテナ寸法 は  $\lambda$  に比例。
- パルス幅  $\tau$  は、 $R_{\max}$  に比例して変える。したがって帯域幅  $B$  は、 $1/R_{\max}$  に比例する。
- 送信電力  $P_t$  は、 $\lambda^2$  に比例して増大する。
- 空中の吸収損失は無視する。
- 雑音指数は、従来の技術を前提とした。
- 比例定数は、スイスアルビスベル社 レーダ の実験値を基礎にして決めている。

上記 a. c. の仮定によると、 $\lambda$  が長くなると、レーダの規模は大きいものとなる。

f. に示した レーダ は、セップ出力値が約 50 kW である

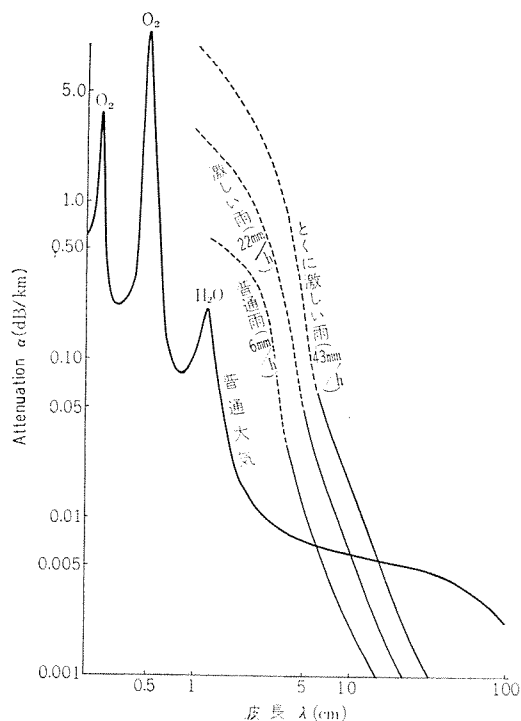


図 2.5 大気中の吸収損失  
Fig. 2.5 Absorption loss in the air.

が、このレーダの用いている3.2 cm帯では、技術的に努力をすれば300 kWまで増加可能である。このときの予想特性は、図2.4中で破線で示した。

f. のレーダは、他社のものに比し、到達距離の長いすぐれたものである。

式(2.9)のC。を決定するに用いた実験データは、表2.1に示した。なおこの実験は、捕捉の場合であって、捕捉後追尾不能になるまで遠ざかって行くときは、 $R_{max}$ は、もっと大きい値になしうるはずである。

#### (6) 空中の吸収損失の算入

空中を電波が伝播するとき、受ける損失を図2.5に示した。これを計算に入れると、図2.6, 2.7を得る。両方の図で $R_{max}$ が $\lambda$ とともに大きくなっている共通原因は、

- マグネトロン送信電力の増大
  - 雑音指数の低下
  - 空中の吸収損失の低下
- であり、図2.6ではさらに、
- アンテナ開口径が $\lambda$ に比例して増大
- が大ききいている。

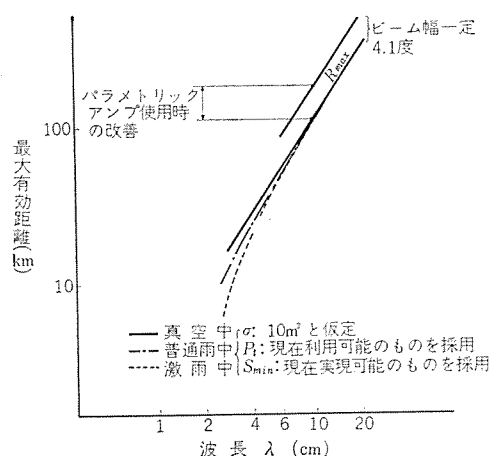


図 2.6 アンテナの開口径を波長に比例させたとき期待しうる最大到達距離

Fig. 2.6 Expected maximum range when the expand of antenna aperture is made proportional to wavelength.

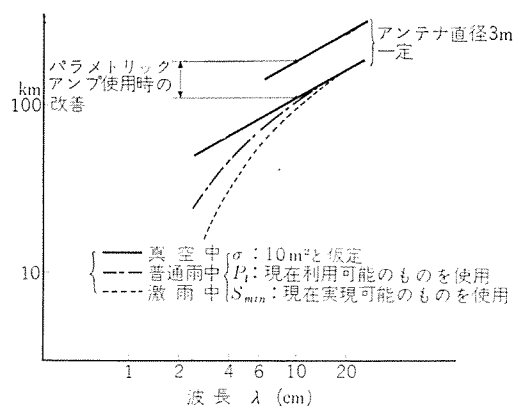


図 2.7 開口径3mのアンテナを使用したとき期待しうる最大到達距離

Fig. 2.7 Expected maximum range when the antenna diameter is 3mφ constant.

図2.6, 2.7は、現在の技術水準の総合で達しうる最大有効距離を、波長との関係で明確に表わしている点で重要である。

### 3. 二次レーダの最大有効距離

二次レーダとは、追尾される物体がトランスポンダを持ち、追尾レーダからの到来電波でトランスポンダの送信機が働き、その電波をレーダが追尾する形式のものである。

#### 3.1 算式

二次レーダのときは、追尾レーダからトランスポンダまでの往路と、逆の帰路が独立に問題となる。最大有効距離は、ともに次式で算出しうる。

$$R_{max}^2 = \frac{GP_tAL}{4\pi \cdot S_{min}} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

- ただし
- $G$ : トランスポンダのアンテナ利得
  - $P_t$ : トランスポンダまたは追尾レーダの送信ヘッド出力
  - $A$ : 追尾レーダアンテナの有効面積
  - $L$ : 空中の透過率
  - $S_{min}$ : 追尾レーダまたはトランスポンダの動作しうる最小電力

式(3.1)で、特異な点は、式の中に入の項が直接的な形で表われてこないことである。

トランスポンダアンテナ利得  $G$  は、ロケット搭載のときなど、輻射パターンが一樣なことを要求される。したがって多くの場合、できるだけ方向にかかわらず一樣に、0dBであることを要求される。したがって、利得  $G$  の形のままで式内に止めて置くのが便利である。

#### 3.2 数量的検討

二次レーダの場合にも、有効最大距離を決定する種々な要素について考えると、その多くのものは一次レーダの場合と同様である。

いま、一例として、つぎのような諸元の場合について検討する。(これは、東大生研4mφアンテナの観測ロケット

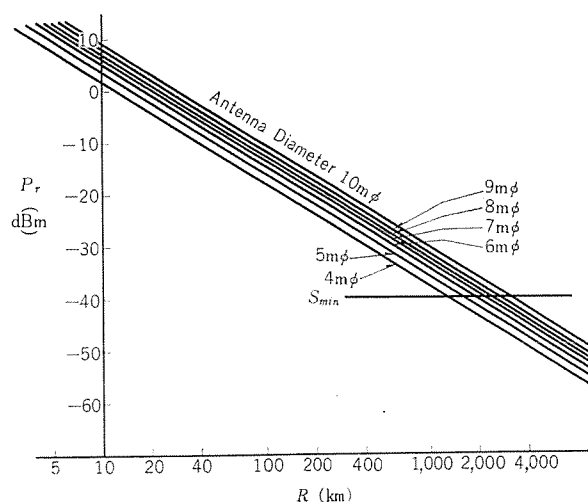


図 3.1 ロケット受信機への入力

Fig. 3.1 Input power to rocket borne receiver.

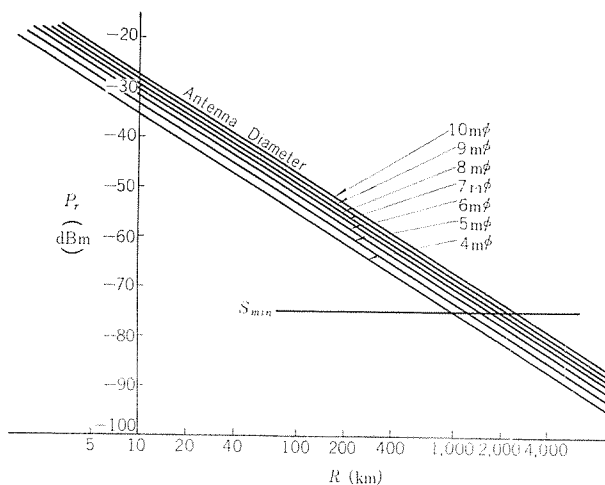


図 3.2 レーダ受信機への入力  
Fig. 3.2 Input power to radar receiver.

追尾レーダの場合である.)

(1) 追尾レーダ諸元

- (a) 送信 セン頭 電力 500 kW
- (b) パルス幅 1  $\mu$ sec
- (c) アンテナ直径 4 m $\phi$
- (d) 最小追尾可能入力 -95 dBm
- (e) バンド幅 5 Mc

(2) ロケット搭載 トランスポンダ諸元

- (a) 送信 セン頭 出力 50 W
- (b) 最小受信感度 -40 dBm
- (c) アンテナ利得 0 dB

レベルダイアグラム を, 図 3.1, 3.2 に示した.

## 4. 最小有効距離

### 4.1 受信機の抑圧による制限

パルスレーダでは, 送信中および送信パルスが終わって直後は, 受信機の過渡現象および T-R 管の復帰時間のために観測不能の部分が生ずる. これは方式によって相違するが, 筆者らの経験では, つぎのように表わせる.

$$R_d = 150 \times (\tau_1 + \tau_2) \dots \dots \dots (4.1)$$

ただし,  $R_d$ : 盲目となる範囲 (レーダからの半径) (m)

$\tau_1$ : 送信パルス幅 ( $\mu$ sec)

$\tau_2$ : TRなどの復帰時間, その他で決まる ( $\mu$ sec)

$\tau_2$  の例としては, 表 4.1 のようなものがある. これらはいずれも筆者らが製作したレーダの例である.

### 4.2 角度追尾サーボ特性による制限

距離追尾回路と角度追尾回路を比べると, 前者は普通の用途に対して, 十分広帯域のサーボ系が構成できることが多く, 利得も高くとれる. したがって高速目標にも

表 4.1 受信機の抑圧

| Freq     | 9,400 mc                | 5,300 mc      | 1,300 mc      |
|----------|-------------------------|---------------|---------------|
| $\tau_2$ | 約 $\frac{1}{4} \mu$ sec | 約 1 $\mu$ sec | 約 2 $\mu$ sec |
| 備 考      | 船用レーダ                   | 気象用レーダ        | 対空レーダ         |

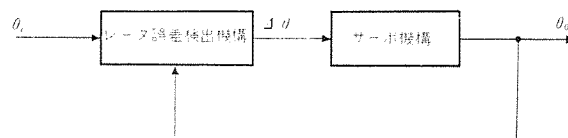


図 4.1 通常の追尾レーダ  
Fig. 4.1 Conventional tracking radar angle tracking concept.

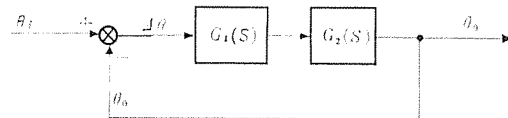


図 4.2 通常の 追尾レーダ の等価回路  
Fig. 4.2 Conventional tracking radar equivalent block diagram.

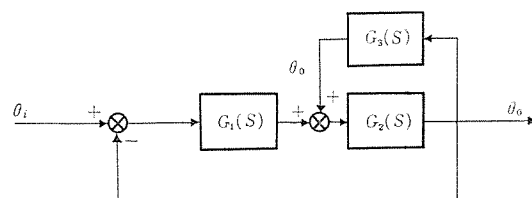


図 4.3 検出速度の正フィードバックによる前段の飽和の防止  
Fig. 4.3 Prevention of failure due to the pre-stage saturation using the positive feed back of detected velocity.

誤差が少なく, 応動も早くて, 距離追尾系が最小距離を制限することは, まずない. しかし, 角度追尾系では, アンテナを機械的に動かさなければならず, アンテナの質量と弾性により定まる機械共振によりサーボ系の帯域幅が制限を受ける. このゆえに, 近接高速目標体を追尾するときに, 誤差が過大となり, 飽和してついにはビームより離脱することが起きる. これを改善するには, つぎの諸点の検討が大切である.

- (1) 入力に要求する性能
- (2) 系の構成法
- (3) 動作中各部の信号レベル
- (4) 各部の飽和レベル

入力が使用目的により変化することはもちろんであるが, 入力に要求するもっとも苛酷な状態を前提として検討することを要する.

系の構成法により相違の生ずることの例を述べると, 通常の追尾レーダは, 図 4.1 のようで, 等価的には図 4.2 のように表わせるが, 余程うまく構成しても, レーダ誤差検出機構は, 飽和を起しやす.

したがって, ある種の計算器を含んだ回路でもって, 速度命令  $\dot{\theta}_0$  のようなものを作って, 後段のほうに和を作って, 前段のほうの飽和を防ぐようなくふうが有効である場合もある. 図 4.3 参照.

リジェネラティブトラッキングといわれるのは, この一種であるといえる.

筆者が提案した計算器を用いて系を構成しても, このような近接高速目標体に対して十分強い系が構成できる. (参考文献 (1) 参照)

## AD-201 形 デ ィ ジ タ ル 電 圧 計

無線機製作所 松 元 雄 蔵\*・石 田 哲 爾\*

## Type AD-201 Digital Voltmeters

Electronics Works Yūzō MATSUMOTO・Tetsuji ISHIDA

Type AD-201 digital voltmeters are electronic counter type analog-to-digital converters. Voltage to be measured is amplified for the purpose of bringing it to the same scaling and is compared with the standard voltage in saw tooth wave form then being converted into pulse having a time width in proportion to the voltage. This pulse width is counted by the use of reference clock pulse, so that the indirect measurement of the voltage is made feasible. Since it is possible to have the measurement of 100 times per second digitally with an accuracy of 0.1% error, the device can be used for not only ordinary voltage measurement, but analog-to-digital conversion in the data processing system, digital control system and analog computers.

## 1. ま え が き

エレクトロニクス を利用した計測において、精度の高いデジタル測定が比較的簡単な方法でできるものとしては、時間とその逆数の周波数がある。それは基準となる周波数が、水晶発振器によって非常に安定で、しかも高精度に発生できるからである。

この装置は測定すべき電圧を、きょ歯状波電圧と比較して、いったん電圧に比例する時間幅のパルスに変換し、この時間中基準水晶発振器の発生する一定周波数のクロックパルスを計数することによって、間接的に電圧を測定する装置である。毎秒 100 回の繰返し速度で、0.05 % の精密さの測定がデジタル的にできるので、普通の電圧測

定に利用できるほかに、データ処理装置、デジタル制御装置、アナログ計算機などの A-D 変換器に使用されている。これらの目的のために入力電圧を、計測と同期して切換える入力切換器（スキャナ）も開発され、AD-201 形 デジタル電圧計の真価を発揮させている。

## 2. 装置の概要

## 2.1 仕 様

- (1) 方式 計数式
- (2) おもな素子 電子管
- (3) 入力信号  $\pm 0.0001 \sim \pm 199.9 \text{ V}$
- (4) 入力インピーダンス (0.2 V), 2 V レンジ 100 k $\Omega$   
20 V, 200 V レンジ 1 M $\Omega$   
レンジ 切換えは手動
- (5) 入力 チャンネル 数 1
- (6) 変換速度 最高毎秒 100 サンプル
- (7) 同 期 内部, 外部, 手動, 同期周期可変
- (8) 正 確 さ フルスケールの 0.1 % + 1 単位
- (9) 表 示 ネオン管 および数値表示管による  
±, 小数点, 10 進数 4 ケタ (0 ~ 2,000)  
および過電圧アラーム
- (10) 出力信号 表示と並列, 純 10 進数, 符号, 小数点
- (11) 電 源 AC 100 V 約 300 VA
- (12) 外形寸法 横 540 mm 高さ 630 mm 奥行 450 mm
- (13) 構 造 電源部, アナログ部, 計数表示部の間  
を接栓にて接続する

## 2.2 電圧測定の原理

図 2.1 は AD-201 形 デジタル電圧計のブロック図である。

入力端子に電圧  $v_i$  を印加すると、入力増幅器とその演

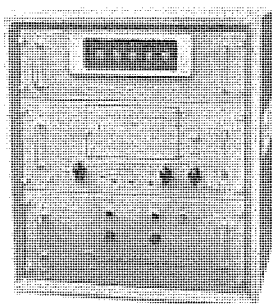


図 1.1 AD-201 形 デジタル  
電圧計  
Fig. 1.1 Appearance of AD  
-201 digital voltmeter.

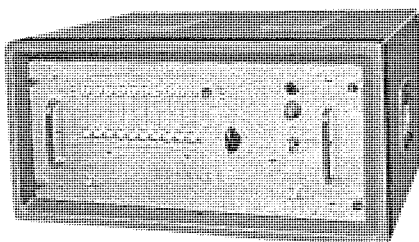


図 1.2  
入力切換器  
Fig. 1.2  
Scanner unit.

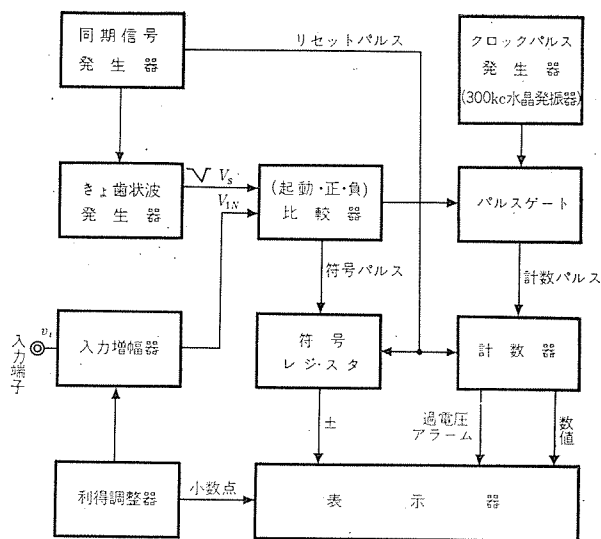


図 2.1 AD-201 デジタル 電圧計 ブロック 線図

Fig. 2.1 Schematic diagram of AD-201 digital voltmeter.

算抵抗を切換える利得調整器のレンジによって、定まった増幅率の増幅が行なわれ、出力電圧  $V_{IN}$  を比較器に送る。この  $V_{IN}$  は各レンジとも、フルスケールの  $v_k$  があつたとき 50 V となる。したがって入力増幅器では 0.2 V レンジで 250 倍、2 V レンジで 25 倍、20 V レンジで 2.5 倍、200 V レンジでは 0.25 倍の増幅が行なわれる。レンジの切換えは手動で行ない、それに対応する小数点の位置はネオン管によって表示される。

一方、同期信号発生器に計測を指令するトリガパルスがはいると、図 2.2  $T_1$  のタイミング位置で、同期パルスが出る。このパルスは計数器と符号レジスタをリセットし、きょ歯状波電圧  $V_s$  を発生させる。この同期パルスの持

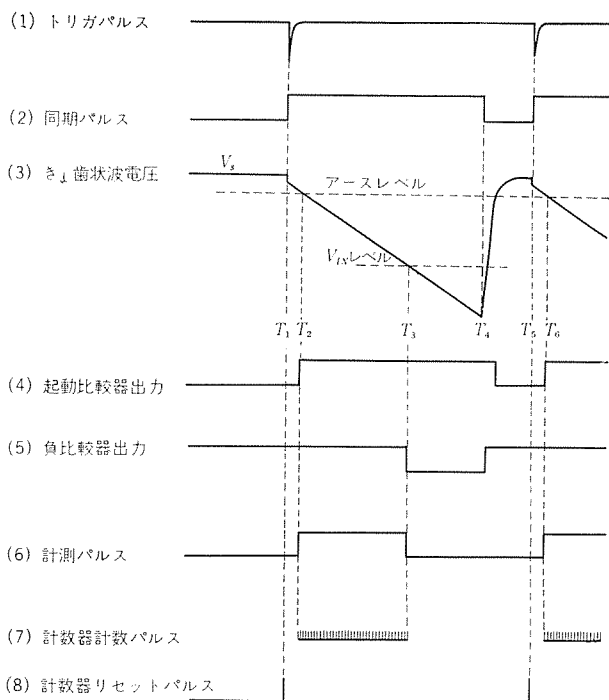


図 2.2 計測の タイミング

Fig. 2.2 Timing chart of voltage measurement.

続している間、きょ歯状波電圧が発生し、数  $V$  の正のクランプレベルから直線的に下降する。 $T_4$  の時間で同期パルスがなくなるとききょ歯状波電圧は元の正のクランプレベルに急激に上昇して、つぎの同期パルスの到来を待つ。

比較器には起動・正および負の 3 個がある。起動比較器はきょ歯状波電圧  $V_s$  が 0 V のレベルに達したとき動作して、パルスゲートを開く計測パルスを発生させる。この  $T_2$  のときからクロックパルスはパルスゲートを通過して計数パルスとして計数器に送られる。

$V_{IN}$  と  $V_s$  が等しくなるとき負比較器が動作して計測パルスを止めて、パルスゲートを閉じる。この  $T_3$  の瞬間に、計数器の計数は止まるから、計数器で計数された値は、 $T_2$  から  $T_3$  までの時間を 300 kc のクロックパルスで計数したことになる。この値がちょうど入力電圧値を示すようにきょ歯状波電圧の周配は正確に調整しておく。

もし  $V_{IN}$  の値が正であるなら、起動比較器が動作した後  $V_s$  と  $V_{IN}$  の値が一致することはない。すなわち  $V_{IN}$  が正ならば負比較器は動作しないという条件を符号レジスタにたくわえて、符号の判定と表示を行なう。 $V_{IN}$  が正のときには、 $V_{IN} + V_s$  の電圧が 0 V のレベルに達したとき正比較器を動作させて、負比較器と同様計測パルスを止める指令を出し、計数器を止める。以後次のトリガパルスがはいるまで計数器の内容は保持され、表示管で表示される。

きょ歯状波電圧は同期パルスが持続している間下降を続け  $T_4$  に達する。ここで同期パルスは止まり、 $V_s$  は急激に正のクランプ電圧に戻る。 $T_4$  では  $V_s$  の値は 50 V をこえているので、 $V_{IN}$  がフルスケールの 50 V をこえていなければ、 $T_4$  の前で必ず計測は終わっている。 $V_{IN}$  が 50 V のとき  $T_3 - T_2$  の時間で計数パルスを 2,000 カウントするようになっている。 $V_{IN}$  が 50 V 以上になっていたとすれば、計数パルスは 2,000 以上計数されるので、計数器のオーバーフローパルスによって過電圧アラーム用のフリップフロップをセットして OVER のネオン管を点灯させる。

もしレンジをまちがえて、入力増幅器が飽和するような場合は、チョップ増幅器が異常な増幅をするため、レンジを正しいところに切換えても、しばらく入力増幅器が正常な動作に回復しないので注意を要する。

同期パルスが止まってから、つぎのトリガパルスを受けて、同期パルスが発生するまで計数器は測定値を保持しているので、この間に、入力切換器のチャネルを切換えたり、測定データの読み出しができる。

### 2.3 特 長

計数形 アナログ-デジタル 変換器<sup>(1)(2)</sup>は相当早い変換速度が得られるが、電気回路は比較的簡単になる上に、電圧を時間幅に変換する回路はアナログ計算機の演算増幅器、積分器(きょ歯状波発生器)、比較器などの技術がそのまま使用できる。AD-201 形デジタル電圧計の特長は次のとおりである。

(1) 測定に要する時間は 7.5 msec であって、10 m

sec 以上の任意の周期で繰返し測定ができる。測定の同期は内部・外部および手動で行なうことができる。内部は内蔵の可変周期発振器の出力パルスによってトリガされる。外部は外部周期入力端子よりトリガパルスがはいったとき測定を行なうので、入力切換器と同期させて多測定点を時分割で測定したりするときに有効である。手動の場合には、押しボタンを押した瞬間の電圧を測定し、測定データを次の計測まで永久保持する。

(2) 計数パルスは寿命5万時間といわれるトロコロン(ビームスイッチング管)計数管によって10進数で直接計数される。このため、表示するのにデコーダは不要で回路は簡単になる。

(3) 測定前の調整は非常に簡単である。

(4) 入力インピーダンスはレンジを切換えても100 k $\Omega$ 以上にしているため、デジタル電圧計を接続したために生ずる測定点の電圧変化は無視できるほど少ない。

(5) 比較器を3台使用することによって、電圧符号の正負の判定を自動的に行なわせるほかに、比較器、きょ歯状波発生器で生ずる測定誤差を少なくしている。すなわち起動比較器の動作時間と正または負比較器の動作時間が等しければ、動作時間のおくれは誤差にはならない。きょ歯状波電圧は起動時の非線形部分は使用せず、直線部分だけを十分の余裕をもって使用できる。

### 3. 回路動作

#### 3.1 電源

この装置は電源の占めるスペースが実質的には半分近くになっている。その原因は、電流量は比較的少なく、リップル電圧が少なく安定度のよい電源を必要とする演算増幅器や比較器などのアナログ演算素子と、安定度はそれほど必要としないが、電流量が大きな計数素子とを含むためである。このため、アナログ部と計数表示部の電源の供給は別にしてある。

#### 3.2 入力増幅器

ドリフトの少ないチョップ増幅器付演算増幅器の増幅率を、レンジ切換スイッチに取付けた演算抵抗を切換えることによって変化させ、各レンジのスケールをあわせる。各レンジのフルスケールの入力電圧に対して、出力電圧は50 Vになるように増幅し、しかも入力インピーダンスを100 k $\Omega$ 以上になるようにするためには、0.2 Vレンジでは250倍の増幅が必要となる。この場合には1段の演算増幅器で安定な増幅を行なうことは不可能なので、演算増幅器を2段カスケードに接続している。この回路は、単一入力のあるときには早い応答は必要としないが、入力切換器を接続した多チャンネルの測定においては、各チャンネルの電圧が大きく変わっても、出力電圧は、起動比較器が動作する前に完全に落ち着く必要があり、かなり早い応答周波数がなければならない。25倍の増幅を行なったとき、3 dB利得減少周波数は16 kcである。

#### 3.3 同期信号発生器

トリガパルスを受けると、8 m secの時間幅の同期パルスを単安定マルチバイブレータが発生する。したがって、トリガパルスの周期を変えることにより自由に測定周期は変えられる。

#### 3.4 きょ歯状波発生器

動作原理で述べたとおり、このきょ歯状波電圧は入力電圧を時間幅の計測パルスに変換する、電圧-時間変換の基準尺度である。したがってその非直線性は直接測定誤差となるため、高利得の演算増幅器を積分器として使用して、良好な直線性を保っている。本器の出力電圧は最初+5 Vにクラップされているが、同期パルスがはいっている間クラップが断たれて、-7.5 V/m secのコウ配で電圧が時間に対し直線的に降下し、約8 m secで-55 Vに達し、同期パルスが8 m sec程度で終わるとふたたび正電圧にクラップされる。このようにきょ歯状波電圧は同期パルスによって発生する。

#### 3.5 比較器

比較器は2段の差動増幅器を使った回路である。<sup>(3)</sup> とくに負比較器は入力増幅器出力電圧 $V_{IN}$ と、きょ歯状波電圧 $V_S$ を差動増幅器の両グリッドに接続する図3.1の回路になる。 $V_{IN}$ と $V_S$ が一致する電圧は0 Vから-50 Vまで変化するが、一致

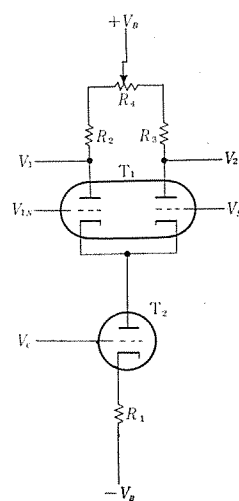


図 3.1 負比較器入力回路  
Fig. 3.1 Input circuit of negative voltage comparator.

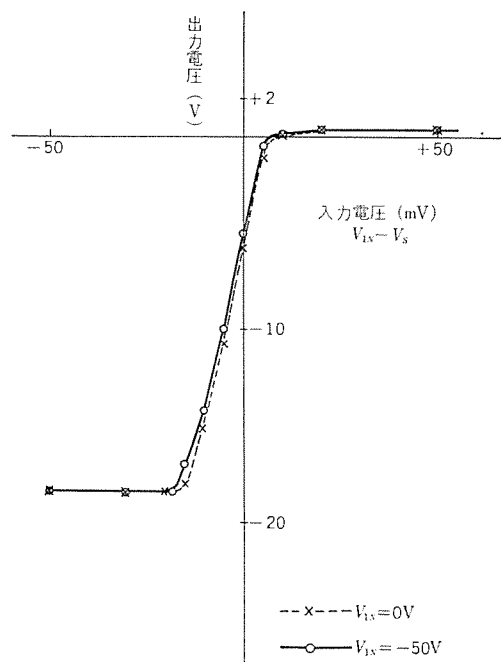


図 3.2 負比較器入出力電圧特性

Fig. 3.2 Characteristics of negative voltage comparator.

した瞬間に、つねに動作しなければ計測パルスの幅に誤差を生じて、電圧測定に誤差となる。この回路は  $V_e$  の値を固定すると  $T_1$  の両カソードに供給される電流の和は、カソード電圧に関係なくほぼ一定となる。したがって  $V_{IN}$  と  $V_s$  が一致したときの  $T_1$  の陽極電圧  $V_1$  と  $V_2$  は  $V_{IN}$  の値に関係なく、つねにほぼ等しい。図 3.2 は負比較器として使用している差動増幅器の入出力電圧特性で、 $V_{IN}$  が 0 V の場合と -50 V の場合における感度差は無視しうる程度に小さい。この差動増幅器出力は波形整形のシュミット回路で増幅される。

### 3.6 計数器

計測パルスのパルス幅でゲートされたクロックパルスは、計数パルスとして計数される。

計数器は直接 10 進の計数ができる計数管である。ビームスイッチング管\*を使用している。この計数管は 300 kc 程度のクロックパルスであれば楽に計数できる上に、負荷電流は 5 mA 程度とれ、デコーダも不要で、直接表示管を点灯できる。

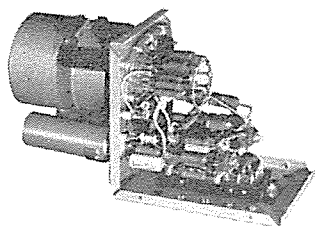


図 3.3 10 進計数器の  
パッケージ内部

Fig. 3.3 Interior view  
of decimal counter  
package.

図 3.3 はビームスイッチング管を使用した 10 進計数器のパッケージ内部の写真である。

計数器は 0 から 1999 まででよいから、最高ケタは 0 と 1 の状態しか必要がないので、双三極管 フリップフロップを採用した。また入力電圧が大き過ぎて、2,000 以上の計数を行なった場合には、計数器は 0 に復帰するが、このとき発生するケタ上げパルスを利用して過電圧の表示を出すフリップフロップをセットして警報のネオン管を点灯させる。

## 4. む す び

AD-201 による電圧測定の結果の一例を表 4.1 に示す。測定は内部同期にして、毎秒 50 回程度繰り返したが、最小ケタで  $\pm 1$  数字以上表示がちらつくことはなく、また 2 数字以上の誤差は認められない。

電源電圧を AC 100 V を中心に  $\pm 5\%$  程度変動させても測定値の変化は認められない。

また電源スイッチを切り、しばらくたってからふたたび電源を投入した場合でも、20 分程度で元の状態に復する。

この装置はアナログ回路とデジタル回路が同居しているため、パルスがアナログ部に誘導されて、雑音となりう

\* トロコトロン管の一種で<sup>(4)(5)</sup> Burroughs 社 (米) の商品名

表 4.1 2 V レンジの入力電圧と表示値

| 入力電圧 $\pm$ (V) | 表示電圧 + (V) | 表示電圧 - (V) |
|----------------|------------|------------|
| 2.0162         | 2.017~(6)  | 2.017~(6)  |
| 1.8039         | 1.804~5    | 1.805~(4)  |
| 1.6068         | 1.607~8    | 1.607~8    |
| 1.4046         | 1.405~(4)  | 1.405~6    |
| 1.2063         | 1.206~7    | 1.207~(6)  |
| 1.0069         | 1.007      | 1.007~(6)  |
| 0.8091         | 0.809~(8)  | 0.809~(10) |
| 0.6047         | 0.604      | 0.604~5    |
| 0.4091         | 0.408~(9)  | 0.409~(8)  |
| 0.2051         | 0.204      | 0.204~5    |
| 0.1066         | 0.105~6    | 0.106~(7)  |
| 0.0849         | 0.084~5    | 0.084~(5)  |
| 0.0647         | 0.064      | 0.064~5    |
| 0.0452         | 0.045~(4)  | 0.045~6    |
| 0.0220         | 0.022~(3)  | 0.023~(4)  |
| 0.0103         | 0.011~(0)  | 0.012      |
| 0.0000         | 0.000      | 0.000      |

( ) 内は時折表示する最小ケタの値

るが、この雑音はほとんど無視できる。

ただ 0.2 V レンジでは入力増幅器の増幅率が 250 倍になるため、若干出力電圧の雑音がふえ、表示のちらつきが増す傾向があるが、 $\pm 1$  数字以上ちらつくことはない。

この装置はすでに防衛大学校その他に納入しているが、実際にデータ処理装置などに A-D 変換器として使用する場合、入力電圧のレベルは 5 V 程度でありこの装置にみるようなレンジの切換えは、特殊用途以外に必要でない。

これらの点を考慮して、簡素化すべき点は簡素化しさらに出力関係に新機軸をとり入れ、より融通性のある使いやすいデジタル電圧計 AD-202 の標準化も近く行なう予定である。

デジタル電圧計は、冒頭にも述べたとおり、データ処理装置やデジタル制御装置、アナログ計算機などにいよいよその用途を広げつつあり、当社ではすでに、逐次比較形 A-D 変換器 AD-101<sup>(2)</sup>、リレー式デジタル電圧計 AD-301、ならびに全トランジスタ式 A-D 変換器 AD-501 を開発、標準化しているが、これらについては稿をあらためて報告する。

おわりにあたり、この装置の製作に対しご協力いただいた当所関係者各位に心から感謝申し上げるとともに、将来の改良のために、なおいっそうのご協力とご援助をお願いする次第である。

### 参 考 文 献

- (1) A. K. Susskind "Notes on Analog-Digital Conversion Techniques" (1957).
- (2) 馬場・渡辺・石田：アナログ-デジタル変換器、「三菱電機」, 34, No. 2, p. 39 (昭 35).
- (3) J. Millman, H. Taub: Amplifier for Comparator "Pulse and Digital Circuit" p. 481 (1956).
- (4) H. Romanus, H. Alfren: Trochotron—A new Family of Switching Tubes, "Tele Tech" (June, 1954).
- (5) K. Kanadia: Decimal Counting Tubes. "Electronic Eng." (Feb., 1954).



## サ ミ ス タ 風 速 計

研 究 所 明石克寛\*・萩野 治\*・神頭徳治\*

## Thermistor Anemometers

Research Laboratory Katsuhiko AKASHI・Osamu OGINO・Noriharu KANTO

Beginning with the discussion of the principle of the thermistor anemometer, it is clarified that general cooling type anemometers have disadvantages of a saturable characteristics towards a higher velocity range and a temperature dependency of the output. Also we show various basic experimental results of a bead thermistor useful in the development of practical instruments.

Then new compensating methods for the foregoing disadvantages in regard to two sorts of thermistor anemometers developed by us are described with their principles, structural constitutions and general characteristics. Finally, calibration equipment specially designed in this study is expounded referring to the methods applied to various anemometers.

## 1. ま え が き

もっとも一般的でかつ標準的な風速測定法は、ピトー静圧管による差圧法である。この方法はよく知られているように Bernoulli の定理に基づき一つの流管の動圧が流速の自乗に比例することを利用している。装置自身は普通 DIN 規格によって製作され、流れ係数が較正によって求められる。この方法は原理が明確で信頼度が高いので規準法としてこれに代わるものは今後も現われないだろうと思われる。しかしながらピトー管法にも欠点はいくつか存在する。まず低速感度が悪いこと、第二に測風部分の寸法が工作上制限されて細かい風速分布測定には適しないこと、第三に温度分布が重畳する気流の速度分布測定に対してほとんど実用できないことなどである。さらにたとえば 0 ないし 100 m/sec 程度のひん度の多い風速範囲をカバーできるピトー管用差圧計には現在のところ、封液式のものしかなく、差圧計自身の種々の欠点、すなわち取扱いの不便さ、たとえば除震対策、鉛直度の確保、メニスカスの動揺、などのほか、遠隔測定の困難さ、密封構造にできないことなどがそのままピトー管測風法の難点をなしている。とくに変圧風胴や大気以外の一般気体の風速測定に対して密封、あるいは耐圧構造とすることが事実上不可能であって適用性の限界を示している。さらに密閉風路で風速分布測定を必要とするような場合には指向性が一つの障碍をなし測風部の走査機構をやっかいなものにしてしまうのである。

熱線風速計は風速の電気的測定法として、かなり長く一般に使用されてきた。すなわち本器はニッケル、白金または タングステン などの細線を電流加熱して風速場において、気流の冷却効果が風速によって変化し、熱線の温度と抵抗とが風速の関数として一義的に決まることを利用して逆に風速を測定する装置である。熱線風速計の測風素子にたとえば Wollaston 線などを用いると非常に

小形に作ることが可能であり、即応度をきわめて大きくなしうるので、任意の風速場の細かい風速分布測定などにはすぐれた威力を発揮する。またとくに低速感度が良好であることから翼面上の境界層内の風速分布測定などに対しては独自の用途を開いてきた。2 ないし 5 ミクロンくらいの線径の Wollaston 線が利用できるようになってから熱線風速計はまた流れの乱れ成分あるいは速度変動の測定、さらに乱れの相関の測定に重用されるようになった。このように種々の長所をもつにもかかわらず熱線風速計は平均風速計の分野ではあまり発展しなかった。その理由は高風速領域に向かって感度が次第に低下しとくに簡単な定電流形などの場合には 5~6 m/sec 以上の気流に対してほとんど実用的な感度を示さないことにある。この欠点を改善するためにかなりの努力がこれまでももたせられた。その中でも Magnan Planiol<sup>(1)</sup> の風速計や Luneau<sup>(2)</sup> の熱線風速計は一般にもよく知られている。前者は第二の素子として気流に対して垂直に熱線を用い、これによって測風用熱線の飽和特性を緩和する方式であり、後者は四極真空管の非直線性を利用して補償を行なうものである。かかる補償形熱線風速計はその開発努力にもかかわらずいまだかつて市販されるには至らなかった。この原因は主として熱線出力が気流の温度にかなり大きく影響されることにある。熱線の動作温度は印加供給電流による熱入力と周囲気流に対する熱放散によって平衡に保たれるが、後者は熱線表面の境界膜温度差に比例するため動作温度が直接に流体温度の影響を受けることになるのである。熱線風速計には、このほかにも多くの付加的な難点が存在する。たとえば、動作抵抗が一般に小さく、接続導線の電気抵抗を無視できないことは遠隔測定にいささか制限を課する。熱線の動作温度がかなり高いために熱膨張によって繰り返したわみを受け、また振動性の破損を起こしやすい。これは熱線自身の感度が必ずしも高くないことに起因している (サ

\* 物理第一研究室

ーミスタなどに比べて) がその同じ事実が電源の容量と安定性確保に実用計器としての障害を与えている。すなわち熱線に印加すべき電流は形式、線径などによっても異なるけれども、数百 mA ないし数 A の大きさになる。したがって電源の大きさが計器の大部分を占め可搬計器としての性格を阻害するだけでなく、直流大電流の安定化の方策も相当複雑なものになる。

サーミスタは共融金属酸化物からなる一種の半導体で温度係数が負の電気抵抗を有し、温度係数の値は通常金属の 10~15 倍に達する。したがってこれを冷却形測定器の検出器として利用すると、かなり高い感度が期待される。種々のサーミスタの中でビード形のものは風速計の目的に適しており、変動速度の測定や乱れ成分の検出のような特殊な要求を課しなければ、平均風速計にまったく好適な特性を備えている。すなわち感度が高いのはもちろんであるが、そのほかに、一般に動作温度が低く爆発性の気体、たとえば水素気流などに対しても安全に使用することができること、加熱電流は 10 mA 前後で足りるので電源が簡単となり安定性も得られやすいこと、遠隔測定が自由に行なえることなどである。しかし一方では高速の飽和特性、周囲温度の影響の問題などは、熱線の場合と同様に残される。とくに後の問題は動作温度水準が低いために熱線の場合よりもむしろいちじるしい。

熱線風速計と同様にサーミスタ風速計にも 2 種類の異なる測定原理が考えられる。その一つは測風素子の電気抵抗または温度レベルをつねに一定に保ち、これに要する供給電流をもって風速の測度とする一定抵抗法であり、他の一つは一定電流を印加した素子両端の電圧降下によって風速を指示させる一定電流法である。また、必要ならば素子を電橋の一枝に接続し一定電流法または一定抵抗法を用いることもできる。一定抵抗法は一般に周囲温度に対する補償が容易であり、感度も高くなしうが、動作条件に維持することがめんどうである。温度補償問題さえ適切に解決できれば、むしろ一定電流法のほうが实际的である。

ここにのべる TA-1 形サーミスタ風速計は一定電流形に属する冷却形風速計であって定常気流の現場向風速測定器としてまとめられ、すでに市販に移されている。この風速計の風速飽和特性改善は直接結合の補償増幅器によって行なわれ、かなり広い風速範囲にわたって、ほぼ直線的な指示が得られている。温度補償は増幅回路にはいる前の風速出力を手動のポテンショメータの目盛に合わせて圧伸する方法によって簡単に解決されている。

また TA-1 形につづいて自動温度補償形サーミスタ風速計の開発を行なった。この計器の検出部には測風サーミスタと温度サーミスタの二つの素子が一体に組入れられている。一般に一定風速における測風素子両端の電圧降下出力は周囲気流温度だけでなく、印加電流によっても変化するが、ある温度範囲および風速範囲に対してこの温度変化とそれを補償するに要する電流との間に一定の簡単

な関係が存在することが実験的に見出された。そこで測温サーミスタの出力によって測風サーミスタに供給すべき電流を自動的に制御させ、かつ風速指示量にはなんらの影響を与えないようにして自動温度補償を可能にしたものである。2 種のサーミスタ素子は風速場の同じ点における測定量を検出できるように同一システムの上に互いに接近して取付けられている。この温度補償の方法は大気以外の種々の気体の風速測定に対してももちろん有効であるが、さらに真空計、ガス分析計その他の冷却形計測器にも応用することができるものである。

この論文は TA-1 形サーミスタ風速計および自動温度補償形サーミスタ風速計の動作原理、特性、構成の概要およびそれらの校正装置、方法に関する総合報告である。

## 2. 一定電流形風速計の原理

### 2.1 熱線風速計の原理

気流に垂直に正対させた熱線の単位長さから平衡状態において気流に伝達される熱量は、

$$H = (a + b\sqrt{V})(\theta - \theta_a) \dots\dots\dots (2.1)$$

で表わされる。これは King の熱線冷却法則<sup>(3)</sup>としてよく知られた関係である。ただし、

$H$  = 熱線の単位長さあたりの熱損失  
 = 平衡状態における熱入力  
 $\theta$  = 熱線の動作温度  
 $\theta_a$  = 気流の温度  
 $V$  = 気流の速度  
 $a, b$  = 常数

である。

熱線の加熱が電流によって行なわれるときには平衡状態において  $H = i^2 R$  が成立する。 $H$  を kcal/h,  $i$  を A,  $R$  を  $\Omega$  で表わせば  $H = 0.86 i^2 R$  となる。以上の関係から次の諸式が導びかれる。

$$\left. \begin{aligned} i^2 R &= (a + b\sqrt{V})(\theta - \theta_a) \\ i^2 R &= (a + b\sqrt{V}) \frac{R - R_a}{\alpha R_a} \\ i^2 R &= (a + b\sqrt{V})(R - R_a) \frac{1 + \alpha \theta_a}{\alpha R_a} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2.2)$$

ただし  $R$  = 熱線の動作抵抗  
 $R_a$  = 気流温度における線抵抗  
 $\alpha$  = 線材の抵抗の温度係数  
 $V$  = 気流速度

これから  $V$  を測定するのに二つの方法が考えられる。一つは  $R$  を一定にして  $i$  を測度とする方法、いま一つは  $i$  を一定にして  $R$  を測定するものである。 $R$  一定のときは、

$$\frac{\partial i}{\partial V} = \frac{i}{4 \left( V + \frac{a}{b} \sqrt{V} \right)} \dots\dots\dots (2.3)$$

となり、 $i$  一定のときは

$$-\frac{\partial R}{\partial V} = \frac{R(R - R_a)}{2R_a \left( V + \frac{a}{b} \sqrt{V} \right)} = \frac{R\alpha(\theta - \theta_a)}{2 \left( V + \frac{a}{b} \sqrt{V} \right) R_a} \dots\dots (2.4)$$

式 (2.3) および式 (2.4) から両方法ともに感度は気流速度とともに減少することがわかる。定電流法と定抵抗法のいずれがより高感度をもつかは、線の種類と動作条件および抵抗と電流の測定方法などによるもので一義的にはきまらない<sup>(4)(5)</sup>。式 (2.1) および式 (2.4) から、また指示量ならびに感度ともに気流の温度によって変化することも認められる。

式 (2.2) を変形すると、

$$\frac{\alpha R R_0}{R - R_a} = \frac{1}{i^2} (a + b\sqrt{V}) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

が得られる。したがって  $i$  を一定

に保つと  $\frac{R_a R_0}{R - R_a}$  が  $\sqrt{V}$  に比例することとなる。この関係は一定電流形熱線風速計の校正に用いられるものである。 $b$  の理論値は  $\sqrt{2(\pi k c_v \rho d)}$  ただし

$k$  = 流体の熱伝導率  
 $c_v$  = 流体の定積比熱  
 $\rho$  = 流体の密度  
 $d$  = 熱線の直径

である。なお King<sup>(3)</sup> は式 (2.1) が  $V_d \geq 0.0187$  の範囲において成立することを理論的に示したが実験的には  $V_d$  の最小値は 0.11 であることが見出されている<sup>(6)</sup>。また式 (2.3) および式 (2.4) から熱線風速計の感度は  $d$  を大きくすると増加することが認められるけれども熱線温度を適当な値に維持するに要する電流値が大きくなるので実際には電源側から制限をうける。

## 2.2 サーマスタ風速計

サーミスタの抵抗と温度との関係は次の理論式に従う。

$$R = J e^{\frac{B}{T}} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

ただし

$R$  = サーマスタの動作抵抗  
 $T$  = サーマスタの動作温度 °K  
 $J$  = サーマスタの常数  $\Omega$   
 $B$  = サーマスタ温度常数 °K

すなわちサーミスタは負の温度係数を持ち、その値は金属の 10~15 倍の値である。この場合にも King の冷却法則を仮定し、上式によって式 (2.5) に類似の公式化を行なうと

$$\frac{1 - \frac{T_a \ln R_a}{B R}}{\ln \frac{R_a}{R}} = \frac{(a + b\sqrt{V})}{i^2} \frac{T_a^2}{B} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

を得る。ただし、

注) 風速に対する感度の低下特性は熱線と気流との相対角度によって異なり、気流に平行におかれた場合がもっとも小さくなる。平行形のものが高速熱線風速計として開発された例もある<sup>(7)</sup>。

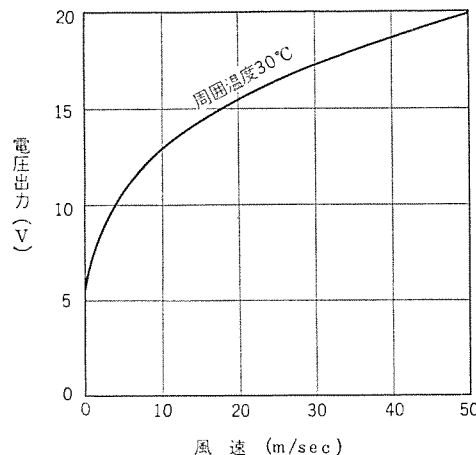


図 2.1 供給電流 10 mA におけるサーミスタの風速特性  
 Fig. 2.1 Air velocity characteristics of thermistor at supply current 10 mA.

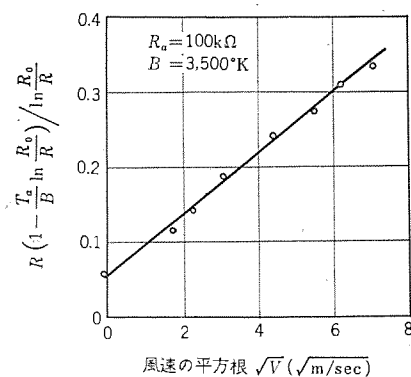


図 2.2 風速変化に対するサーミスタの電気抵抗特性  
 Fig. 2.2 Electric resistance characteristics of thermistor for air velocity variation.

$T_a$  = 気流温度 °K

$R_a$  = 気流温度におけるサーミスタの見かけの抵抗

式 (2.7) が正しければ一定電流形の場合に  $R \left(1 - \frac{T_a \ln R_a}{B R}\right) / \ln \frac{R_a}{R}$  が  $\sqrt{V}$  に比例するはずである。図 2.1

は  $T_a = 303^\circ\text{K}$ ,  $i = 10 \text{ mA}$  におけるビード形サーミスタの代表的な抵抗—風速の実測結果であるが、これに近似値  $R_a = 100 \text{ k}\Omega$  および  $B = 3,500^\circ\text{K}$  を用い式 (2.7) によって上述の関係を求めると図 2.2 のようにまったく直線的な関係が得られる。したがってサーミスタの場合にもほぼ King の法則が成立すると考えることができる。式 (2.7) によって定電流形の感度を求めると、

$$\frac{\partial R}{\partial \sqrt{V}} = \frac{Bb}{2T_a^2 \sqrt{V}} \frac{(iR)^2}{(i^2 R / T_a + a + b\sqrt{V})^2 + \frac{B}{T_a^2} i^2 R (a + b\sqrt{V})} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

となる。抵抗の速度傾斜が正になるのは負の温度係数に対応しており当然であるが、この場合にも感度が風速の増加とともに減少することがわかる。さらにサーミスタ定数  $B$  は一般に大きいので普通の動作条件においては式 (2.7) の左辺の  $\frac{T_a \ln R_a}{B R}$  は 1 よりかなり小さくなる。したがって近似的に

$$R i^2 = \frac{T_a^2}{B} (a + b\sqrt{V}) \ln \frac{R_a}{R} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

が成立するからこの式を電流について微分することにより

$$\frac{\partial R}{\partial i} = - \frac{2iR^2}{i^2 R + \frac{T_a^2}{B} (a + b\sqrt{V})} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

が求められる。これからサーミスタの動作抵抗は供給電流の増加に対してつねに減少し、その変化率は  $i$  が大きいほど小さくなることがわかる。この関係は後に自動温度補償の目的に利用されている。

つぎに式 (2.9) を周囲温度  $T_a$  によって微分すると

$$\frac{\partial R}{\partial T_a} = \frac{(a + b\sqrt{V})}{i^2} \left(1 - 2 \frac{T_a}{T}\right) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

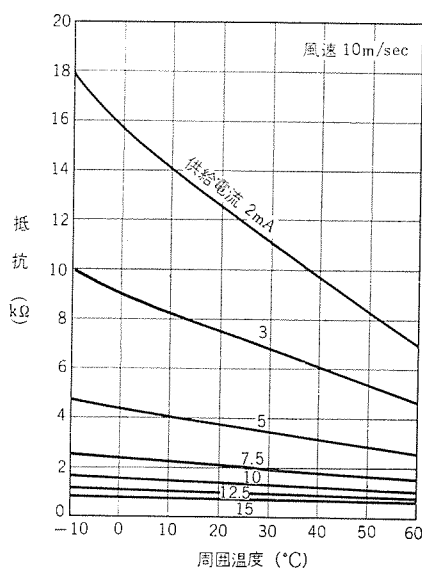


図 2.3 一定風速における風速 サーマスタの周囲温度による抵抗変化  
Fig. 2.3 Resistance characteristics due to ambient temperature variation of thermistor anemometer at a constant air velocity.

通常の動作状態ではほとんどつねに  $2T_a > T$  が成立するので周囲温度を高めるとサーミスタ抵抗はやはり減少し、その割合は電流が大きいほど小さくなる。図 2.3 は印加電流をパラメータとし一定風速におけるサーミスタの抵抗温度の代表的な実測特性を示す。

### 2.3 サーマスタの諸特性

熱線風速計に使用される熱線素子の諸特性はすでに数多く報告されているが、サーミスタ素子の特性についてはあまり公にされていないのでここで主として定電流形風速計素子としてのビード形サーミスタの種々の性質を記述しておく。

図 2.4 は後述の校正風洞によって求められた大気圧の空気流中におけるビード形サーミスタの風速特性を、気流温度と印加電流とをパラメータとして図示したものである。この実験において変化させた温度範囲は  $-10^{\circ}\text{C}$  から  $+60^{\circ}\text{C}$  まで、電流範囲は 2 mA から 15 mA まで、また風速範囲は 0 から 50 m/sec までにわたっている。図 2.5 は図 2.4 を一定風速の場合の抵抗-電流特性としてそれぞれ描き直したものである。すでに指摘したように、これらの図からビード形サーミスタの動作抵抗すなわち今の場合の電圧出力が風速の増加、電流の減少および周囲温度の減少にたがって増加することが明らかに認められる。

風速計の検出部分については、その指向特性も重要な因子である。ある場合には風向を検出するために指向性が鋭いことが望ましいこともあり、局所最高風速測定の場合のように指向感度のまったくない検出器を必要とする場合もある。いずれにせよ任意の風速計において、も

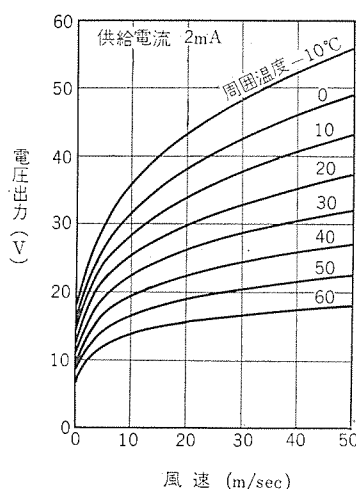


図 2.4 (a) 供給電流 2 mA におけるサーミスタの風速特性

Fig. 2.4 (a) Velocity characteristics of thermistor at supply current 2 mA.

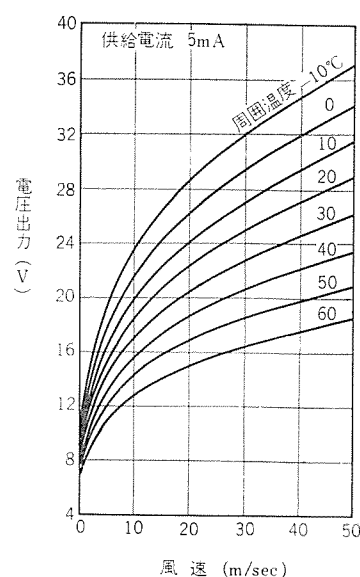


図 2.4 (b) 供給電流 5 mA におけるサーミスタの風速特性

Fig. 2.4 (b) Velocity characteristics of thermistor at supply current 5 mA.

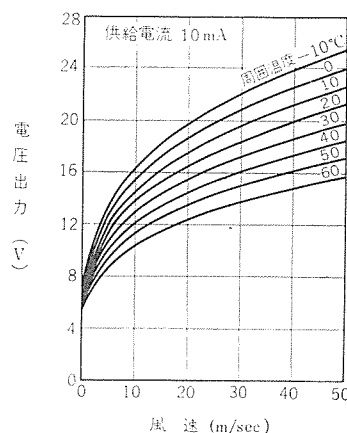


図 2.4 (c) 供給電流 10 mA におけるサーミスタの風速特性

Fig. 2.4 (c) Velocity characteristics of thermistor at supply current 10 mA.

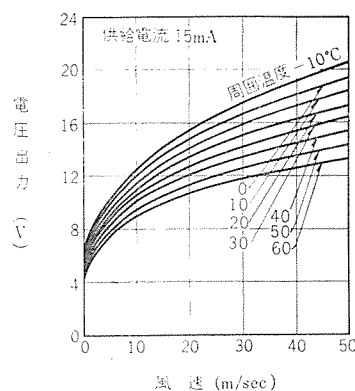


図 2.4 (d) 供給電流 15 mA におけるサーミスタの風速特性

Fig. 2.4 (d) Velocity characteristics of thermistor at supply current 15 mA.

しあればその指向性を指定しておくことが必要である。熱線の指向性は一種の正弦曲線状の特長を示すことが知られているけれども、一般に風向計などに使用されることはほとんどない。風向検出用熱線風速計には多線式のものやシヤヘイ形または熱線-熱電対形などの特殊のものが別に開発されている。したがって単一熱線においてはむしろ

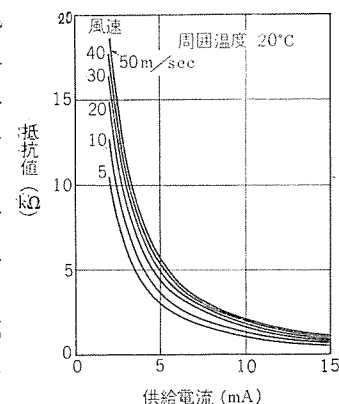


図 2.5 供給電流変化に伴う風速サーミスタの抵抗変化  
Fig. 2.5 Resistance variation of thermistor anemometer for supply current changes.

指向性が少ないほうが望ましい。図 2.6 の実線はビード形サーミスタの指向特性を示すグラフであるが、破線の示す熱線の特性に比べるとはるかに指向性は少ない。したがって任意の小さい不確かな方向性をもつ平均風速場において最大風速を測定するような場合にはサーミスタのほうが熱線よりもすぐれている。

つぎに素子の時間的応答性も風速計においては重要な因子である。熱線は一般に即応度が大きくしばしば速度変動の測定に用いられる。熱線の時定数は数  $100\mu\text{sec}$  程度に低くすることが可能であって、すでに指摘した種々の欠点にもかかわらず、今では任意の気流中の小じょう乱決定に十分な感度を期待できる唯一の方法とみなされている。そのために最近の熱線技術はいっそう細い線径のものを利用する傾向に向かっている。これは変動速度検出以外に用いられない熱膜風速計の出現に端的に表現されていることである。しかしこのような傾向は一般風速測定法においてはむしろ特殊な分野に属するものといえることができるであろう。熱線が本質的に高い時間応答を示すことは必ずしもつねにそれがすぐれているということを意味するものではなく逆に欠点となることも多

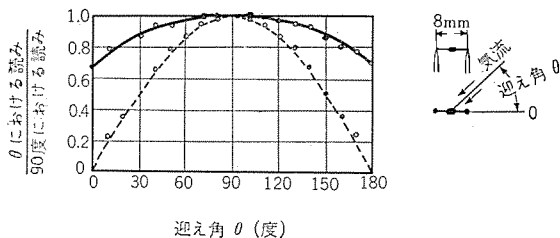


図 2.6 風速サーミスタの指向特性（キャップなし）  
点線は熱線の特性を示す

Fig. 2.6 Directional characteristics of velocity thermistor (without cap). Dotted line shows the characteristics of a hot wire.

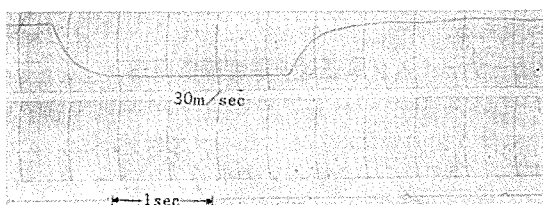


図 2.7 30 m/sec 25°C における 風速サーミスタの時間応答特性（記録紙送り速度 49.5 mm/sec）

Fig. 2.7 Time response of velocity thermistor at 30 m/sec and 25°C (chart speed 49.5 mm/sec).

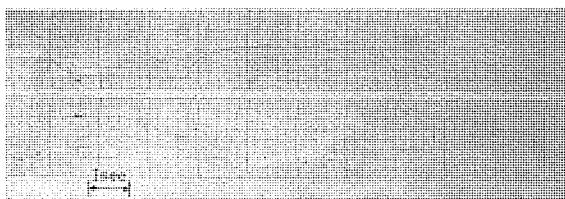


図 2.8 2 m/sec 30°C における 風速サーミスタの時間応答特性（記録紙送り速度 19.8 mm/sec）

Fig. 2.8 Time response of thermistor anemometer at 2 m/sec and 30°C (chart speed 19.8 mm/sec).

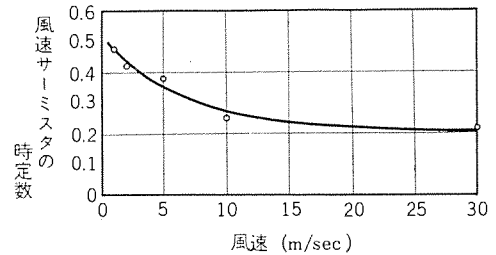


図 2.9 風速サーミスタの時定数と風速との関係  
Fig. 2.9 Relations between Fine constants of velocity thermistor and air velocity

い。すなわち任意の人工気流は多少とも任意の乱れを含んでいるので、その平均風速を測定するような場合には熱線の感度が高すぎてかえって不便であることが経験上示されるのである。一方ビード形サーミスタは一般に熱線より熱容量が大きく、このような目的には有利となる。図 2.7 および図 2.8 にサーミスタの代表的な時間応答の実験結果を示す。同図の (a) は風速 30 m/sec, 周囲温度 25°C, (b) は 2 m/sec, 30°C の場合の結果である。この曲線からサーミスタの時定数を勘定し、風速に対して点綴すると図 2.9 が得られる。これからサーミスタの速度応答時定数は風速増加とともに減少し約 0.5 から 0.2 秒に変化することおよび速度増加に対して飽和する傾向のあることが認められる。かかる傾向は熱線の場合と同様であってその理由を簡単に説明すると以下のとおりである。サーミスタビードの平均動作温度  $\theta$  および気流温度  $\theta_a$  をとると、その時間的な温度上昇率は境膜温度差  $(\theta - \theta_a)$  と風速変化に伴う熱伝達率の差  $(h_1 - h_2)$  との積に比例する。したがってサーミスタの比熱と密度を  $C_p$  および  $\rho$  とすれば次式が成り立つ。

$$C_p \rho \frac{d\theta}{dt} = \sigma (h_1 - h_2) (\theta - \theta_a) \quad (2.12)$$

ここに  $\sigma$  は適当な次元をもつ常数である。初期条件： $t=0$  において  $\theta=\theta_1$  のもとに式 (2.12) を解きある瞬間的な速度変化： $V_1 \rightarrow V_2$  に対する時定数を求めると次式が得られる。

$$t_1 = \frac{C_p \rho}{\sigma (h_1 - h_2)} \quad (2.13)$$

そこで King の冷却法則を仮定し、 $V_2=0$  とすると

$$t_1 = \frac{C_p \rho}{\sigma b \sqrt{V_1}} \quad (2.14)$$

となる。これから基準速度増加とともに時定数が減少しかつ飽和傾向をもつことが明らかに示される。

図 2.8 に対する実験手順は次のとおりであった。一つの保護筒の中にマウントされたビード形サーミスタを気流中におき筒の流入側を 1 枚の紙でカバーし気流の貫流を止めて

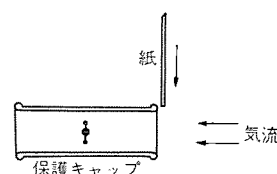


図 2.10 サーミスタの時間応答特性測定原理図

Fig. 2.10 Measuring method of time response for a velocity thermistor.

おく、時間のはじめに保護筒から突然 カバー を取除くとサーミスタは階段関数状の突風にさらされることになる(図 2.10 参照)。このときのサーミスタ出力の時間的変化の模様をオシログラムに記録させたのが図 2.8 の曲線である。オシロ自身の時定数は約  $2\mu\text{sec}$  であった。

実用計測器としては長時間の特性変化および寿命も重要な因子である。そこでサーミスタの出力、感度、時間応答などについて約 1 年間にわたって記録をとったが、ほとんど変化は見られなかった。また熱線技術に一般的なエージング効果もサーミスタには認められない。これはサーミスタの動作温度が熱線に比べてはるかに低く選ばれることおよびサーミスタは焼結物で明確な結晶構造をもたず格子欠陥や粒状境界の変動などに特性があまり依存しないためであると考えられる。しかしながらよこれを含んだ気流とくに油の飛沫を伴う流れの測定中にかなりの特性変化を経験したことがある。これについては熱線よりサーミスタのほうが不利であって、正面面積が大きいこと、動作温度が低いこと、および表面が気孔質であることなどに起因すると思われる。この影響を軽減し、かつ見かけの速度減少のために測風範囲が増加する効果を兼ねさせた目的でサーミスタ素子を種々のスクリーンでフィルタする方法に関しても二、三の実験を行なったがここでは省略する。

#### 2.4 サーミスタ出力の直線化の原理

すでにのべたように風速変化に対するサーミスタの出力特性は飽和性をもつ。この傾向を補償する方法を講じなければサーミスタ風速計は適当な速度範囲に対して実際上有効な測度を与えることができない。熱線風速計の場合のこの問題についてはすでに報告があるが、サーミスタに

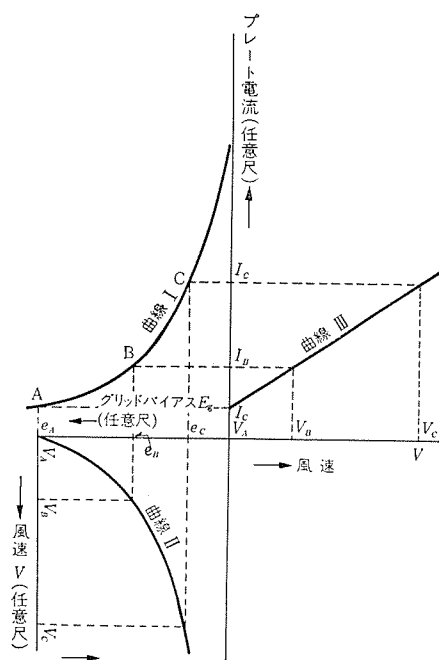


図 2.11 風速サーミスタの出力直線化の原理  
Fig. 2.11 Linearization principle of velocity thermistor out put.

については、まだ確立されていないので筆者の考案した方法の原理をここにのべよう。熱線風速計においては単線の補償方式が少なく電橋形や シャペイ形 のように 2 本以上の熱線を複合させて補償をはかった形式が多いけれどもサーミスタの場合には素子の互換性に乏しいのでこの種の方法はあまり期待できない。そこで単一素子の出力を電気回路的に補償する方法を採用した。すなわち一定電流を印加されたサーミスタの電圧出力をリモートカットオフの直接結合増幅器の制御グリッドに投入した。このようにすると低速領域の高感度出力が圧縮され、高速領域の低感度出力は伸長され、かなり広い風速範囲にわたってプレート電流はほぼ直線的な応答を示すようになる。この状況は図 2.11 に明らかであって、同図の曲線 I は増幅器の動特性を、曲線 II は一定電流のサーミスタの出力対風速特性をそれぞれ示す。かくして図の速度ゼロに対応する増幅器のバイアス  $e_A$  はプレート電流  $I_A$  を  $V_B, V_C$  に対しても同様に  $I_B, I_C$  を結果するから曲線 II の飽和性が III のように緩和されることになる。この際、動特性と風速特性がまったく対称ならば完全に直線的な出力が得られるが一段の増幅によってこれを達成することは困難である。実際的には完全な直線化は不必要であり、高速で適当な感度が得られたならば満足すべきであろう。図 2.12 は  $30^\circ\text{C}$  において 0 から 50 m/sec の速度範囲にわたりこのような補償を行なったサーミスタ出力の代表的な例であるが、これを図 2.4 と比較するときわめて満足な直線化を示している。増幅器としてはたいがい高  $G_m$  のものが適しており、サーミスタの特性、補償風速範囲などによって適当な真空管を選定すればよい。場合によっては鋭いカットオフ特性のほうが適することもある。熱線風速計の場合にはこのような補償はまったく期待できないことを付言する。その理由の第一は入力インピーダンスの整合が困難であること、第二は  $\frac{\partial e}{\partial V} < 0$  のために直接結合が不可能なためである。

#### 2.5 サーミスタ風速計の温度補償原理

サーミスタ風速計のおもな欠点の一つが周囲気流温度の変化に伴う出力変化にあることをすでに述べた。これを

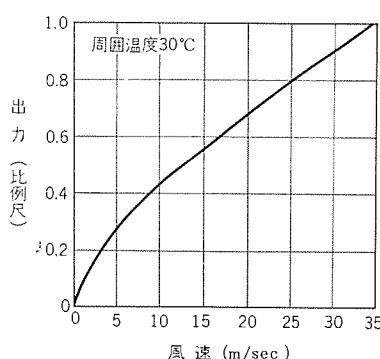


図 2.12 補償されたサーミスタの風速特性例  
Fig. 2.12 An example of compensated velocity characteristics of a thermistor.

補償する簡単な方法はサーミスタの出力自身を制御してつねにある基準温度に対する値に一致させる方法であろう。しかしながらこの方法が有効なのは、任意の相異なる温度水準における出力比が風速変化にかかわらずつねに等しくなる場合に限られる。図 2.4 に示す実験結果は幸いにこの条件をほぼ満足しているが、さらに図 2.13 にこれを見やすい形に再掲した。この図は横軸に気流温度をとり縦軸に出力比をとったもので種々の風速に対して単一曲線が得られることがわかる。したがって  $-10 \sim 60$

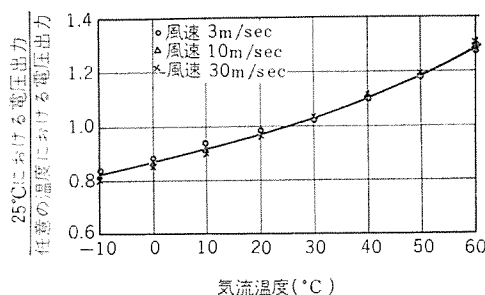


図 2.13 一定供給電流におけるサーミスタの出力比と気流温度との関係  
Fig. 2.13 Relations between output ratio of thermistor at constant supply current and air flow temperature.

°C の温度範囲に対しこの曲線に沿ってサーミスタ出力をポテンシオメータ式に圧伸してやれば 0~50 m/sec の風速範囲の温度補償を行なうことができる。後述の TA-1 形サーミスタ風速計はこのような補償方法を採用したものであって、ポテンシオメータの所要回転角度は実験的に決定されパネル面のダイヤルに直接温度目盛を刻印するようにされている。

つぎに自動温度補償形サーミスタ風速計のために考案した温度補償原理をのべよう。すでに記したようにTA-1形サーミスタにおいては手動のポテンシオメータによって温度補償が行なわれる。したがって気流温度を風速と独立にあらかじめ測定し、温度ダイヤルの読みを風速測定に先だってパネル面上の目盛に合わせなければならない。温度分布が一樣な気流の風速測定の場合にはこのような手続きがさして重要なことではないが、温度分布が重畳する気流において正確な風速分布測定を必要とするような場合には上記の操作は非常にめんどうであり、直読式の特長が失われるだけでなく、實際上不可能でさえある。したがって温度補償の自動化はむしろ緊急な問題になっていた。

図2.4に例示されているように一定電流形サーミスタの風速に対する出力特性はかなり強く気流温度の影響を受けるが、一方供給電流によっても変化を示している。実

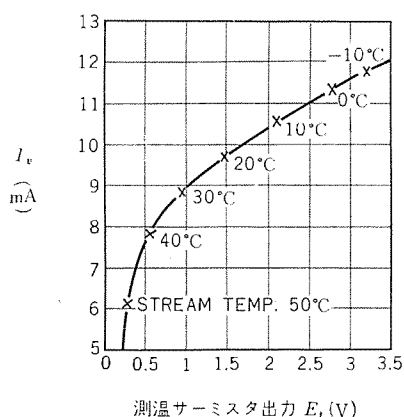


図 2.14 種々の周囲温度における測風サーミスタの所要補償電流 (風速にかかわらず単一曲線で表わされる)  
Fig. 2.14 Compensating current necessary for velocity thermistor at various ambient temperatures. (represented by a single curve irrespective of air velocity)

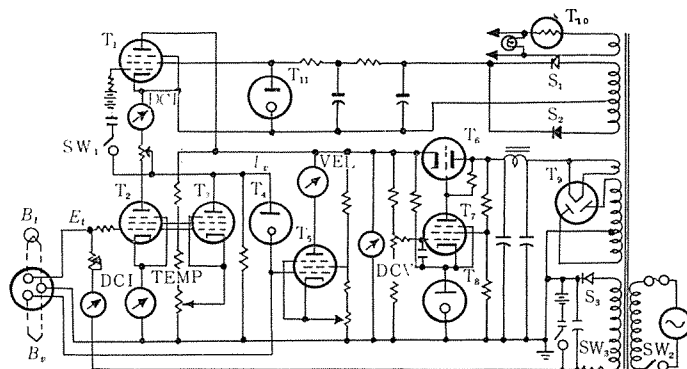


図 2.15 自動温度補償形サーミスタ風速計の回路略図

驗研究の結果、供給電流を適当に選ぶことにより、この出力対風速特性を温度によらない単一曲線に統一しかつ、それをかなりの精度で風速変化に対して無関係となしうることがわかった。したがって測風サーミスタ素子と測温サーミスタ素子（それぞれ  $B_v$  および  $B_t$  と呼ぶことにする）を同一システムに互いに接近して取り付け、 $B_t$  の出力によって  $B_v$  に対する供給電流を、上述の曲線のとおり制御してやれば、温度補償を遂行することができることとなる。図 2.14 はこのような曲線の一例を示すものであって、 $B_t$  の出力  $E_t$  に対する所要補償電流  $I_0$  として表わされている。図 2.14 から明らかなように、 $E_t$  が減少すると（すなわち気流温度が増加すると） $I_0$  は急速に減少する。かかる補償を自動的に行なわせるために図 2.15 のような電子管回路を考案した。この図において  $T_1, T_2, T_3$  および  $T_4$  の部分が補償電流発生器を構成する。定電流装置をなす  $T_1$  のカソード電流が  $T_2, T_3$  および速度サーミスタ  $B_v$  を通る 3 電流に分岐され、そのうち  $T_2$  と  $T_3$  のプレート電流が一定供給電流で動作する測温サーミスタの出力によって制御されるのである。したがって気流温度の任意の上昇は相ついで  $B_t$  の出力電圧の低下、 $T_2$  ならびに  $T_3$  のグリッドバイアスの低下、それらのプレート電流の増加を結果し、結局  $B_v$  に対する供給電流に必要な低下を生じ、よって自動的溫度補償が行なわれることになる。 $T_3$  は高  $G_m$  管で  $20^\circ\text{C}$  より高温の側ではカットオフに保たれ、約  $20^\circ\text{C}$  以下になると急激に分流電流を増加させ、よって図 2.15 の立上がり部分をまかなうようにされている。 $T_4$  は風速測定部をなし、TA-1 形の補償増幅器と同じ

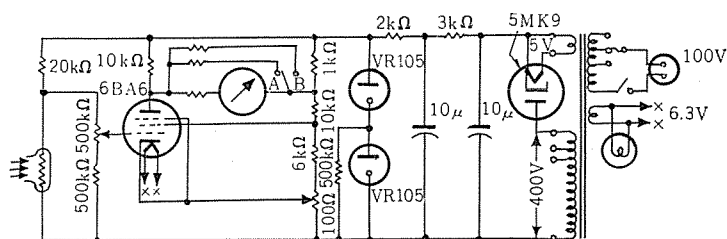


図 3.1 TA-1 形サーミスタ風速計回路図

Fig. 3.1 Circuit diagram of type TA-1 thermistor anemometer.



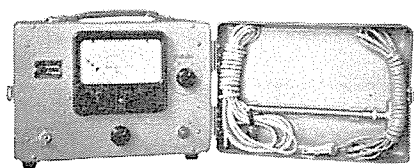


図 3.2 TA-1 形 サーミスタ風速計  
Fig. 3.2 Outside view of type TA-1 thermistor anemometer.

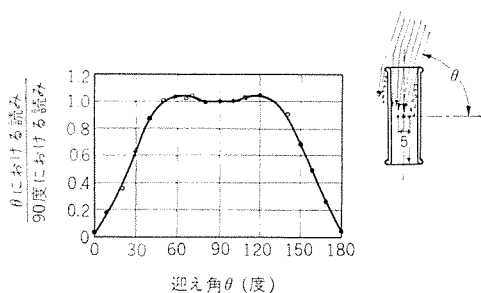


図 3.4 風速サーミスタの指向特性  
(保護キャップを付けたとき)  
Fig. 3.4 Directional characteristics of thermistor anemometer. (with a protective cap)

機能を果たし、速度特性の直線化に役だつものである。

### 3. TA-1 形サーミスタ風速計

図 3.1 に TA-1 形サーミスタ風速計の回路の構成を示す。高圧の直流安定電源 +B から直列大抵抗  $R$  を通して供給されるのでサーミスタ素子に流れる電流はほぼ一定に保たれている。したがって増幅器のプレート電流が風速変化に対して直線的に変わることにはすでにのべたとおりである。一方図の A 点の電位およびスクリーン電位は、分流回路電流の定常性によって大体一定に保たれているから電流計 M の指示が風速にほぼ比例して増大する結果となる。温度補償用ポテンシオメータの抵抗は  $1\text{ M}\Omega$  である。

図 3.2 に 0~12 および 35 m/sec の 2 段切換えとして製作された TA-1 形風速計の外観を示す。全重量は約 6.8 kg である。測風素子は図 3.3 のような測定桿の先端に組込まれ取はずしもある保護キャップに納められている。気流に正対させた場合の風速指示はキャップの有無によらず相等しいが指向性はもちろん変わったものとなる。図 3.4 にキャップに納めた場合の方向特性を示す。この図で注意を引くことは迎え角  $0^\circ$  をはさんで対称な位置にある曲線の隆起であるが、これは同図のスケッチに示すキャップの下側前縁から発達する境界層剥離に伴う流れの絞りによるものと考えられる。

この種の風速計の基本的な利点は簡単な直読式になしうることであってこれがピトー管式などと本質的な相違

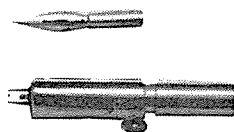


図 4.1 自動温度補償形サーミスタ風速計測風素子の頭部  
Fig. 4.1 Head of air velocity measuring element of automatic temperature compensated type thermistor anemometer.

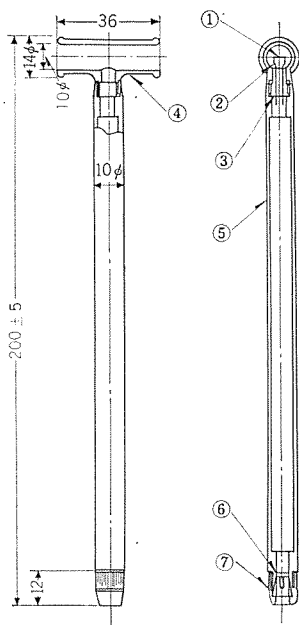


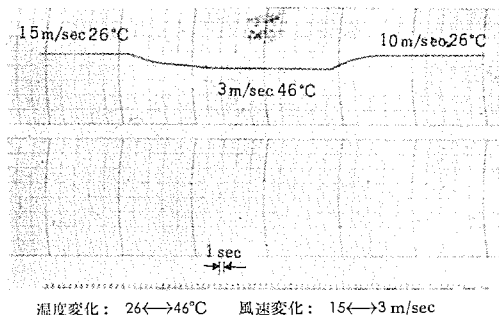
図 3.3 TA-1 形サーミスタ風速計の測風素子  
Fig. 3.3 Velocity pick-up element of type TA-1 thermistor anemometer.

をなす。TA-1 形サーミスタ風速計は今では広く市販され各方面で実用に供せられている。

### 4. 自動温度補償形サーミスタ風速計

この風速計の測定回路は図 2.15 のように、補償電流発生回路、測風回路および電源回路の三つに分かれている。そのうち前二者は第 2 節に詳述してある。電源回路はさらにいくつかに分かれているがそれらの負荷が一種の多段直流増幅器に属するのでいずれも十分な安定化が図られている。

この計器で注意しておくべきことは電流計  $M_1$  の切換えによって気流温度の測定ができることである。その測度は定電流の測温サーミスタの電圧降下である。したがってこの計器は風速温度計と称すべきものである。図 4.1 に本器の検出部の写真を示す。測風サーミスタ素子はニッケル針の間に点溶接され、それに近く近くガラス被覆を施した測温サーミスタ素子が取り付けられている。同軸形の保護キャップは小さなセットネジをゆるめることによって上下方向に着脱することができる。検出部の時定数は



温度変化:  $26 \rightarrow 46^\circ\text{C}$  風速変化:  $15 \rightarrow 3\text{ m/sec}$   
図 4.2 (a) 測温素子の時間応答特性  
Fig. 4.2 (a) Time response characteristics of temperature pick-up element.

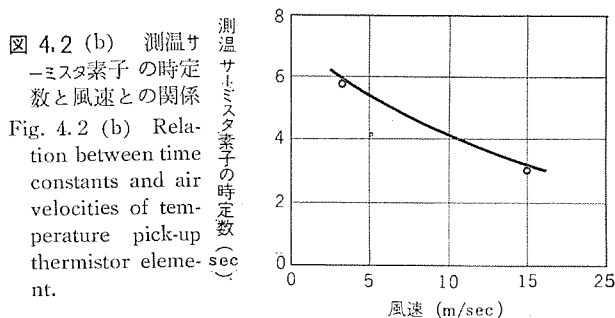


図 4.2 (b) 測温サーミスタ素子の時定数と風速との関係  
Fig. 4.2 (b) Relation between time constants and air velocities of temperature pick-up thermistor element.

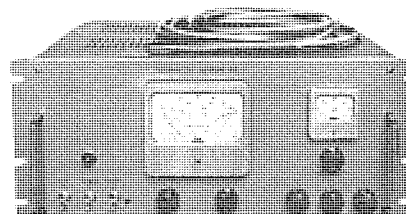


図 4.3 試作自動温度補償形サーミスタ風速計  
Fig. 4.3 Outside view of automatic temperature compensated type thermistor anemometer of trial manufacture.

ほとんど測温サーミスタ素子の応答によって決定されるが、図 4.2 (a) に代表的な測定結果を示す。このときの条件は  $V=3 \text{ m/sec}$ ,  $\theta_a=46^\circ\text{C}$  から  $V=15 \text{ m/sec}$ ,  $\theta_a=26^\circ\text{C}$  に瞬時に変えた場合とその逆の場合である。かかる測定を種々の条件について行ない、それから時定数を求めると温度差の大きさによって強制対流の場合には 3~6 秒、自然対流 ( $V=0$ ) の場合には 14~24 秒の範囲に変化する。図 4.2 (b) は時定数と風速との関係を描いたグラフである。図 4.3 に計器全体の外観を示す。本器はまだ試作段階にあり、試験的な付属品が多数装着されているので大形になっている。指示針には 2 種の目盛があり、一つは  $-10^\circ\text{C}$  から  $60^\circ\text{C}$  までの温度目盛であり、他は風速目盛で 0 から 5.5 から 20 および 20 から 40  $\text{m/sec}$  の 3 レンジにわかれている。計器全体の精度は約 3% である。

表 5.1

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| 風 胴         | 単一掃還 (Göttingen) 形         |
| 全 長         | 2,800 mm                   |
| 測 定 部       | 80×80 mm 正方形断面             |
| 拡散部全長       | 1,800 mm                   |
| 有効拡散角度      | <7 度                       |
| 変流翼列        | 9-薄板円弧翼列, 尾部延長翅付 弦長 90 mm  |
| スクリーン       | ピッチ 15 mm アスペクト比 2.7       |
| 最大流量        | 20 $\text{m}^3/\text{min}$ |
| 測定部における最高風速 | 60 $\text{m/sec}$          |
| 気流温度調節範囲    | $-10\sim 70^\circ\text{C}$ |
| 原動機部        | 通風機-電動機直結形                 |
| 通 風 機       | 単段軸流                       |
| インペラ直径      | 300 mm                     |
| 最高回転数       | 4,000 rpm                  |
| 電 動 機       | 直流双極複巻 (界磁制御方式)            |
| 出 力         | 750 W                      |
| 付属機器        |                            |
| 冷 凍 機       | 開放形往復動圧縮式                  |
| 冷凍能力        | 700 kcal/h                 |
| 蒸発器(気流冷却器)  | 多段 1 通路フィン付熱交換器式           |
| 蒸発温度        | $-25^\circ\text{C}$        |
| 気流加熱器       | アルミカヒータ束                   |
| 容 量         | 3,000 W                    |
| 脱 湿 器       | シリカゲル床 0.5 kg              |
| 熱 絶 縁       | 層状岩綿板                      |
| 平均厚さ        | 60 mm                      |

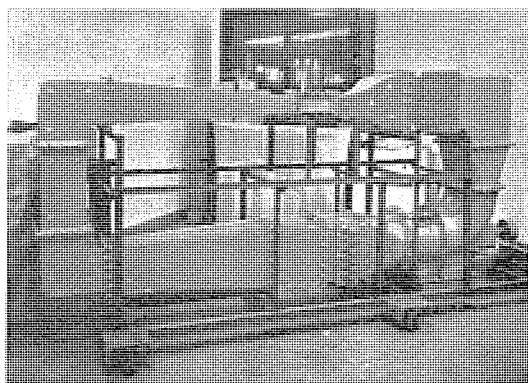


図 5.1 校正装置

Fig. 5.1 Outside view of calibration equipment.

## 5. 校正装置および方法

上述のような種々の風速計の校正は専用として設計した単一掃還形密閉小形計器風胴によって行なわれた。この装置の概略を表 5.1 および図 5.1 に示す。装置の設計においては安定な定常気流を得るために整流問題、および境界層剥離防止の問題などを重点的に考慮した。第 1 点については、コーナの変流翼列、アスペクト比の大きいス

クリーン、第 2 点については送風機セルと拡散筒などに調和のとれた設計が行なわれ満足な結果を得た。電動機は複巻直流 750 W で回転数は 0~4,000 rpm、小形であるが 60  $\text{m/sec}$  の風速を実現する。送風機は単段直結軸流機である。付属設備としては 750 W の冷凍機、3kW の電熱器、シリカゲル脱湿器、外周の熱絶縁および制御盤などを備えている。特別に製作した冷凍機の蒸発器と電熱器は風胴内部に組込まれて気流の温度を  $-10\sim 70^\circ\text{C}$  の範囲に調節するために用いられる。気流の平均温度は風胴の測定部後流中に設置された銅-コンスタンタン熱電対網によって測定され制御盤において平均され熱源の制御に利用される。制御盤は風速調節、測風部および気流温度分布の記録および調節部によって構成されている。風速制御は電動機の界磁電流および整流子電流を変えることにより行なわれる。測定部の気流の風速分布は非常に平たんで乱れも少なく安定である。風胴全体を密封構造としたので、大気以外の気体ならびに圧力に対しても使用することができる。室温から  $-10^\circ\text{C}$  または  $+70^\circ\text{C}$  まで気流温度を変化させるのには約 30 分を要する。しかしこのような極端な条件は実際にはほとんど要求されないものである。

種々の風速計を実際に校正する方法は次のとおりに行なわれる。校正用に製作した直径 4 mmφ のプラントル形小形ピトー静圧管と校正すべき風速計の検出部を風胴測定部の計器取付板に装着し風胴に必要な気体を封入し温度と風速とを種々の値に変化させて熱電対およびピトー管の指示と計器の読みとを校正すればよい。ピトー管の指示はゲッチュン形精密差圧計によって測定する。風胴にはこのほかに排気、充填、ガス分析計用の開孔が設けられている。

## 6. む す び

この研究によって風速測定に有用なサーミスタの種々の特性が明らかになった。これに基づいて 2 種類の実用風速計が開発されたが、その一つ TA-1 形サーミスタ風速計はすでに市販に移されており、いま一つは温度補償が自動化され、気流温度の同時測定が可能なるものである。両者とも風速測定範囲 0~50  $\text{m/sec}$ 、気流温度範囲  $-10\sim +60^\circ\text{C}$  まで使用可能である。今後は種々の気体風速計の開発および計器の小形化に関する研究を計画している。

## 参 考 文 献

- (1) Comptes Rendus de l'Acad. d. Sciences, 176, pp. 287-289 (1923).
- (2) Luneau: Aeronautique, 15, p. 232 (1933).
- (3) King: The Convection of Heat from Small Cylinders in a Stream of Fluid, Phil. Trans. Roy. Soc. 214 (1914).
- (4) Ower: Measurement of Air Flow, chap. X Chapman and Hall, London (1933).
- (5) Goldstein: Modern Developments in Fluid Mechanics, Oxford University Press, 1, chap. VI (1938).
- (6) Weske: Measurement of High Air Velocities by the Hot Wire Method, NACA Tech. Note No. 880 (Feb., 1943).
- (7) Ferrari: Electrical Equipment for the Experimental Study of the Dynamics of Fluid, NACA Tech. Memo, No. 1006 (March, 1942).

# 吸 収 式 調 湿 機

研 究 所 佐 藤 真\*

## Absorption Type Humidity Regulators

Research Laboratory Makoto SATO

Humidity regulation in the field of air conditioning is no less important than temperature regulation. Especially in this country where average humidity is so high as to hamper not only comfortable living but general industrial condition. Furthermore the concept of quality control developed recently in industries put spurs to the problem of dehumidifying technique, which is rather difficult in principle than humidifying though it plays a major part in the humidity regulation. In this article is described among other methods of the humidity control liquid hygroscopic absorbent, with which absorption type humidity regulators are developed. The new device is still in the stage of development, and needs more study to outweigh others perfectly.

### 1. ま え が き

空気調和の分野において湿度調節は、温度の調節と同様に重要であるが、とくにわが国のように平均湿度の高い所では、人の居住性だけでなく一般産業上にも減湿を必要とする場合が多く、品質管理の発展にもなって除湿技術に対する関心が次第に高まるにいたった。

一般に、除湿技術は、加湿にくらべて原理的に困難であるので、調湿問題は、主として除湿のほうに重点がおかれている。現在一般に採用されている除湿法には、冷却法、圧縮法、固体吸湿法、ここにのべる液体吸湿法、あるいはこれらの併用法などがある。このなかで現在広く普及しているものは、冷凍機による冷却法であるが、この方法には乾球温度低減の可能性、小形、操作の容易さなど、いくつかの利点があるけれども、結霜の問題、負荷調整の困難などの欠点があり、一般に40%以下の除湿には適していない。つぎに圧縮法は、湿り空気を圧縮して、その中に含まれている水分を凝縮除去する方法であって、消費動力の大きいことが欠点となっている。また固体吸湿剤法は、シリカゲル、活性アルミナなどの水蒸気吸着能を利用する方法で、かなり低い湿度まで利用することができるが、湿度の調整が困難であり、間欠操作になること、および容量に比して機器が大形になることなどの欠点を持っており、普通には、とくに30%以下の低湿度を必要とする場合に、比較的小容量の装置として特殊な目的に用いられている。

これらに対しリチウム塩水溶液、トリエチレングリコール水溶液などの液体吸湿剤を用いる方法は、操作が連続的で、湿度調節が容易であり、きわめて低湿度まで利用することができ、逆に加湿の目的にも適用することができるなど多くの利点を持っているため次第に注目を集めるようになった。

筆者らは、この方法に着目して、塩化リチウム水溶液を

用いた処理空気量  $10 \text{ m}^3/\text{min}$  の吸収式調湿機を試作し、除湿機としての特性、湿度調節の方法、吸収液の腐食性に対する対策を研究し、ほぼ開発を完了したので、ここにとりまとめて報告することにした。

### 2. 吸収式調湿機の原理

液体吸湿剤による除湿の原理は、常温以下の温度において吸湿剤表面の平衡蒸気圧（濃度と温度との関数）が、それと接触する空気中の水蒸気分圧よりも低くなり、吸湿剤に向かって水分の移動が行なわれる現象にもとづいている。

すなわち、空気中の水蒸気分圧を  $P_1$ 、吸湿剤表面の平衡蒸気圧を  $P_2$  とすれば、 $P_1 > P_2$  のとき空気中の水分は、吸湿剤に向かって移動し平衡に達する。これが除湿の原理である。もし  $P_1 < P_2$  ならば、水分は吸湿剤から空気に向かって移動し加湿の目的が達成される。

以上のことから、同じ吸湿剤を用いても、その濃度ならびに温度を変えることによって、あるときは除湿を、また逆に加湿を任意に行なえるわけであり、このことは、液体吸湿剤法の他の除湿法には見られない特色であるといえることができる。

除湿過程において吸湿剤に空気中の水分が移動すると吸湿剤は希釈されると同時に多量の凝縮熱と希釈熱とを生じ、吸湿剤温度は、いちじるしく上昇する。吸湿剤の温度が上がるとその平衡蒸気圧が上がり除湿能力が下がるので定常に吸収現象を持続するためには、液の冷却を行なわなければならない。したがって調湿機中の吸湿剤と空気との接触器には、冷却器を設け吸湿と冷却とを同時に行なわせるか、または、あらかじめ吸湿剤の温度を低くしておかなければならない。さらにまた接触器出口の液の濃度は吸湿によって低下され、吸湿剤を連続使用するためには、吸湿後の吸湿剤を濃縮してやる必要がある。このために、接触器と並列に再生器を設け、そこで

連続的に吸湿剤を濃縮して、接触器へ送る吸湿剤濃度をつねに一定に保持できるようにしてある。

いま簡単のために吸湿剤は接触器中で、空気から水分を除去する際の凝縮熱＋希釈熱に相当する熱量が冷却器で除去され、操作中等温に保たれているものとし、また除去水分量に比し、十分多量の吸湿剤を用いることにより、操作中その濃度変化を無視することができるとすれば、除湿過程は湿り線図上で次のように表わすことができる。空気－水系の湿り線図（図 2.1）において、任意の点 A（たとえば 図 2.1 では乾球温度 35°C，絶対湿度 0.020 kg H<sub>2</sub>O/kg dry air）で示される湿り空気と、図上太線で示してある温度－蒸気圧曲線を有する一定濃度、一

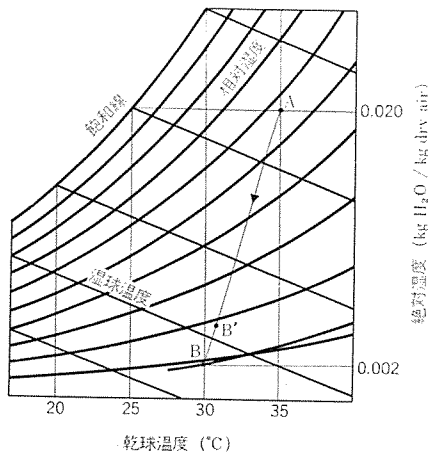


図 2.1 湿り空気線図上の除湿

Fig. 2.1 Humidity removal on the humid air chart.

定温度の液体吸湿剤（図 2.1 では、濃度 45%，温度 30°C の塩化リチウム水溶液を点 B で示す。）とを接触させれば、除湿の過程は AB のように示され、点 B が空気の状態（乾球温度 30°C 絶対湿度 0.002 kg H<sub>2</sub>O/kg dry air）となる。実際の装置では、接触時間が有限であるから接触器出口空気の状態は平衡点 B ではなくて水分の物質移動速度によってきまる上方の点 B' となる。

吸湿剤の再生は、普通吸湿剤を加熱することによって行なう。この際には、除湿の場合とは逆に、吸湿剤表面の水蒸気圧は、吸湿剤の温度上昇のために高くなり、水分は吸湿剤から空気中に向かって移動し液は濃縮される。吸湿剤の平衡水蒸気圧は、100°C 以上の温度では、かなり大きく、除湿過程の蒸気圧差よりも再生過程の蒸気圧差のほうが、はるかに大きいので、一般に再生器は接触器にくらべて小形のものである。

ここで注意すべきことは、液体吸湿剤の特性上、図 2.1 に一例を示すように、常温付近においては液体吸湿剤の蒸気圧曲線は、湿り線図の相対湿度一定の線とほとんど一致することである。これは一定濃度の溶液を用いるならば、常温付近で、つねにはば一定の相対湿度の空気が得られることを意味し液体吸湿剤による除湿法の一つの特長をなすものである。

以下簡単に吸収式調湿機の特長を一括すれば

- (1) 湿度の調整が容易である。  
空気の湿度に無関係に湿度を変化できる。
- (2) 操作は連続的で、装置に可動部が少なく、したがって故障が少ない。
- (3) 低湿度が得られる。冷凍機を併用すれば、露点 -30°C 程度まで容易に実現できる。冷凍機を用いなくても冷却水だけで、相対湿度 20 % 程度まで可能である。
- (4) 同じ装置で加湿もできる。
- (5) 大容量の装置では、単位処理空気量当たりの設備費が低廉である。
- (6) 維持費が低廉である。
- (7) 冷却水の所要量がやや大きい。
- (8) 再生熱源が必要である。

以上吸収式調湿機中の除湿過程の基礎概念ならびにその特長について述べたが、つぎに実際の設計方法と問題点について考える。

図 2.2 に示す吸収式調湿機の除湿部において、温度  $T_1$  [°C] の吸収液  $L_2$  [kg/m<sup>2</sup>·h]、および温度  $t_1$  [°C]、湿度  $H_1$  [kg H<sub>2</sub>O/kg dry air]、エンタルピー  $i_1$  [kcal/kg] の空気  $G$  [kg dry

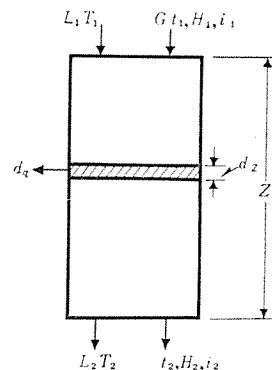


図 2.2 除湿部説明図

Fig. 2.2 Diagram of principle of humidity removing section.

air/m<sup>2</sup>·h] が同時に送入され塔底から温度  $T_2$  [°C]、の吸収液  $L_2$  [kg/m<sup>2</sup>·h] および、空気の状態は、温度  $t_2$  [°C]、湿度  $H_2$  [kg H<sub>2</sub>O/kg dry air]、エンタルピー  $i_2$  [kcal/kg] の空気が排出されるものとする。塔高を  $Z$  [m] とし、微小高さ  $dZ$  における水分の物質収支をとれば次式が成立する。  

$$-G dH = dL \dots \dots \dots (2.1)$$

つぎに基準温度を  $t_0$  [°C]、吸収液の比熱を  $C_L$  [kcal/kg·°C]、 $dZ$  における空気のエンタルピー変化を  $di$  および  $dZ$  の間に冷却水が、系外に取去る熱量を  $dq$  [kcal/m<sup>2</sup>·h] とすれば、熱収支は次のように表わされる。

$$d[C_L L((T - t_0))] + dq = -G di + \lambda dL \dots \dots \dots (2.2)$$

ただし  $\lambda$  は、水が吸収液に吸収される場合に出す凝縮熱と希釈熱との和 [kcal/kg] で、塔内で一定の値をとるものと仮定する。

吸収液境界における熱移動を考える際、一般に接触器内の気－液の接触面積は未知であるから単位容積内の有

効接触面積を  $a[\text{m}^2/\text{m}^3]$  とすれば、塔の単位断面積につき高さ  $dZ$  内にある接触面積は、 $adZ[\text{m}^2/\text{m}^2]$  となる。したがって液境膜における伝熱容量係数を  $h_{La}[\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$  とすれば、液境膜内の伝熱速度は、

$$C_L d(LT) = h_{La}(t_i - T) dZ \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

で表わされる。ただし  $t_i$  は、気-液界面の温度を表わす。

つぎに気-液界面における飽和エンタルピを  $i_i[\text{kcal}/\text{kg}]$  として

$$-G di = K_i a (i - i_i) dZ \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

の形で、エンタルピを推進力とする物質移動係数  $K_i a[\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \Delta i]$  を定義することができる。

また吸収液から冷却管への移動熱量は、

$$dq = h_f a' (T - t_w) dZ \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

となる。ただし  $t_w$  は冷却管の管壁温度、 $h_f$  は管外境膜伝熱係数  $[\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$ 、 $a'$  は冷却管外側表面積  $[\text{m}^2]$  を表わす。

以上の諸式から、塔高方向における湿度変化を求めると、

$$dH/dZ = (1/\lambda G) \{ K_i a (i - i_i) - h_{La}(t_i - T) - h_f a' (T - t_w) \} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

となり、これを積分すれば所要の湿度変化に相当する塔高を決定しうることになる。

除湿部を実際に設計するためには  $K_i a$ 、 $h_{La}$ 、 $h_f a'$  などの係数を実験的に定めかつ  $t_i$  を図式的に決定しなければならない。

一般に冷水塔などを設計する場合には、式 (2.2) 中の  $dq=0$  とおき、空気側境膜物質容量係数  $k_{Ha}$ 、伝熱容量係数  $h_{Ga}$ 、および空気の比熱  $C_H$  に対して

$$h_{Ga}/k_{Ha} = C_H \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

なる Lewis の関係が成立つと仮定し、また  $dL=0$  とすれば

$$(i_i - i)/(t_i - T) = -(h_{La}/k_{Ha}) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

の関係が成立するからこれによって湿り線図上で  $t_i$ 、 $i_i$  を求める方法がとられている。(詳細は、文献(9)参照)

そのほか水量変化を考慮する場合、Lewis の関係が、成立しない場合などについての計算法も提示されている<sup>(11)</sup>。

しかしながら現状では、吸収式調湿機の除湿部のように、物質移動と熱移動が同時に行なわれ、かつ移動面の構造が複雑な場合においては、現象の理論的な解析と同時に、実験による資料の集積が必要になってくる。

### 3. 試作機的设计

#### 3.1 塩化リチウム (LiCl)

塩化リチウムは白色の結晶で、調湿または吸収式冷凍機用に 40% 水溶液が市販されている。毒性はまったくなく化学的にも安定で、殺菌性や臭気の除去能力があることも特長の一つである。除湿の目的には普通、重量%42~45 程度の高濃度の水溶液が用いられる。欠点は多少高

価であること、鉄類を電解腐食させることなどである。

塩化リチウム水溶液の温度と比重との関係を図 3.1、濃度と比熱との関係を図 3.2 に示す。粘度は図 3.3 に示すように高濃度で急激に大きくなる。図 3.4 は塩化リチウム水溶液の平衡図で、除湿の使用に便利なように Bicho-

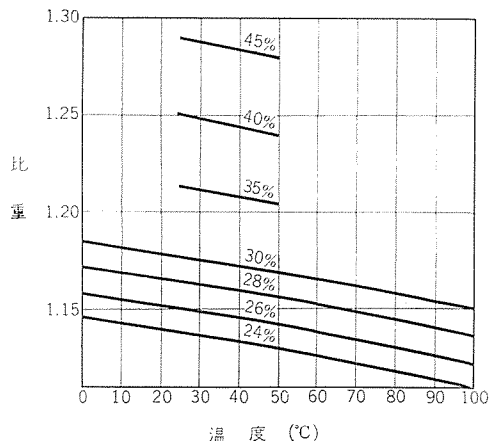


図 3.1 塩化リチウム水溶液の比重<sup>(1)</sup>

Fig. 3.1 Specific gravity of lithium chloride aqueous solution.

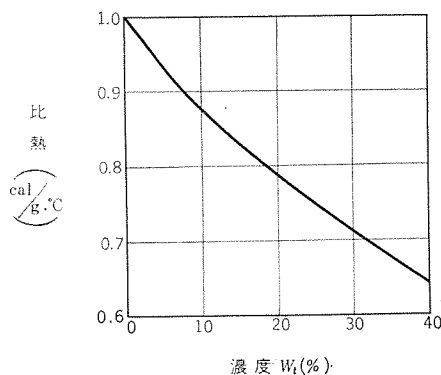


図 3.2 塩化リチウム水溶液の比熱 (18°C)<sup>(2)</sup>

Fig. 3.2 Specific heat of lithium chloride aqueous solution. (18°C)

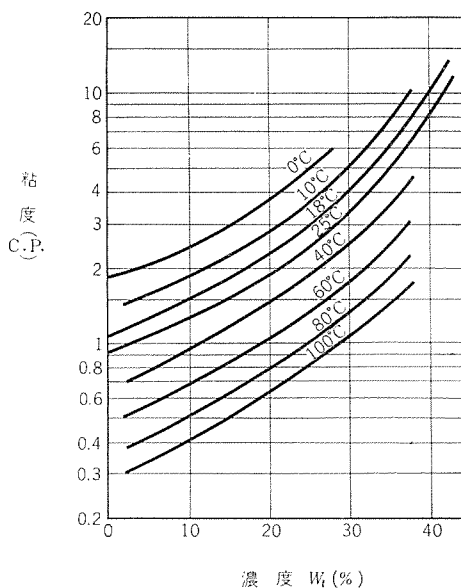


図 3.3 塩化リチウム水溶液の粘度<sup>(3)</sup>

Fig. 3.3 Viscosity of lithium chloride aqueous solution.

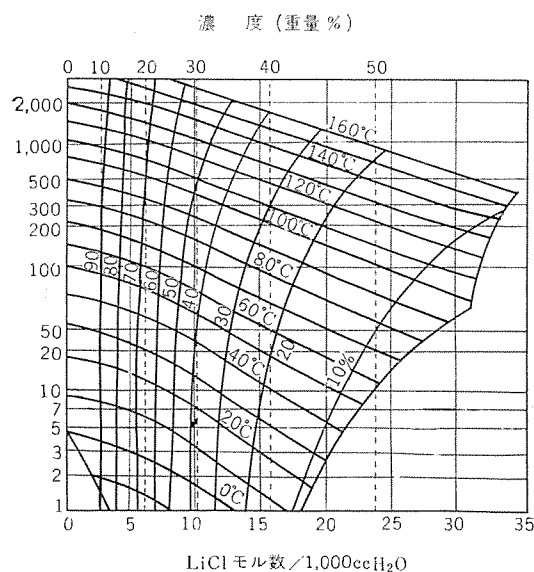


図 3.4 塩化リチウム水溶液の平衡図<sup>(4)</sup>  
Fig. 3.4 Equilibrium diagram of lithium chloride aqueous solution.

wsky によって作られたものである。図中温度を付した右下がりの曲線群は、各表示温度における濃度と水蒸気圧との関係を示し、%を付した左下がりの曲線群は、各濃度、温度の水溶液と平衡にある同温度の空気の相対湿度を示している。

### 3.2 設計計算

液体吸湿剤による除湿装置は、一般に接触器内で除湿と同時に冷却を行ない、吸収熱によって液温が上昇し、平衡水蒸気圧が高くなることを防ぐとともに、空気温度をもある程度調節するようにするのが普通である。このような空気-液接触装置内の物質および熱移動は複雑であり、普通の充填塔、濡壁塔、気泡塔のようなガス吸収装置に適用される設計法や、格子組塔による増湿または冷水過程に適用される設計法は、前述のように適用しにくく、とくに今の試作機のようにフィンチューブ上にスプレーされた液と空気とが並流接触するような複雑なものでは試行錯誤的な研究が必要となるので、簡単な予備実験と公刊のデータに基づき、以下に示す運転条件に対して設計計算を行ない構造寸法を決定した。

#### (1) 設計条件

|                                                    |               |                                       |
|----------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| 装置入口空気                                             | 乾球温度 $t_{di}$ | 35.0°C                                |
|                                                    | 湿球温度 $t_{wi}$ | 27.4°C                                |
|                                                    | 相対湿度 $\phi_i$ | 56 %                                  |
|                                                    | 絶対湿度 $H_i$    | 0.020 kg H <sub>2</sub> O/kg dry air  |
| 処理空気量 $V$ 10 m <sup>3</sup> /min (20°C dry air 基準) |               |                                       |
| 装置出口空気                                             | 乾球温度 $t_{d0}$ | 31.0°C                                |
|                                                    | 湿球温度 $t_{w0}$ | 15.8°C                                |
|                                                    | 相対湿度 $\phi_0$ | 18 %                                  |
|                                                    | 絶対湿度 $H_0$    | 0.0050 kg H <sub>2</sub> O/kg dry air |
| 吸収液 塩化リチウム 45 % 水溶液 平均温度 30°C                      |               |                                       |

#### (2) 接触器

接触器通過空気量  $G$  [kg/h] に対して、通過液量  $L$  [kg

/h] を十分に大きくとり、また冷却水により吸収の際の発熱量分ならびに空気からの顕熱を取去るものとすれば、接触器通過時の吸収液の濃度および温度は、ほぼ一定と考えることができる。

空気から除去する水分  $W$  [kg/h] は、設計条件を満足するためには、10.8 [kg/h] でなければならない。

接触器通過時の吸収液の濃度変化  $\Delta C$  [%] を、たとえば、0.2 [%] 以内におさえるためには、吸収液の入口濃度を  $C_i$  [%] として

$$L \geq \{(C_i - \Delta C) / \Delta C\} W = 2,420 \text{ kg/h}$$

とすることが必要である。

簡単な予備実験の結果によれば、接触器内の物質移動容量係数は、 $K_a = 17,250$  [kg/m<sup>3</sup>·h·ΔH] であった。これから接触器の容積  $\psi$  として 0.098 [m<sup>3</sup>] を得る。

つぎに接触器中の冷却器については、空気流量  $G$  を 723 [kg/h]、吸収液流量  $L$  を 2,500 [kg/h] とし、吸収液は、膜流をなしてフィンチューブ表面を流下すると仮定して計算を行なった。

冷却水が除去する熱量  $Q_r$  は、空気から冷却水への顕熱、水分の吸収熱、および再生器によって吸収液が加熱されることによる熱量の総和であり、いまの場合には 14,110 [kcal/h] となる。

冷却水入口温度を 24 [°C] とし、その温度上昇を 5 [°C] とすれば、冷却水所要量は、2.82 [m<sup>3</sup>/h] となる。また冷却器の総括伝熱係数計算値は  $U = 1,350$  [kcal/m<sup>2</sup>·h·°C] となる。その結果冷却器所要伝熱面積  $A$  として、3.0 [m<sup>2</sup>] を得た。

#### (3) 再生器

再生器では、接触器で空気から除去した水分  $W$  だけを蒸発しなければならない。

再生器の設計条件として次のように仮定した。

|     |      |                                      |
|-----|------|--------------------------------------|
| 空 気 | 入口温度 | 35.0°C                               |
|     | 絶対湿度 | 0.020 kg H <sub>2</sub> O/kg dry air |
|     | 流 量  | 1.8 m <sup>3</sup> /min              |
| 吸収液 | 入口温度 | 30°C                                 |
|     | 濃 度  | 45 %                                 |
|     | 流 量  | 250 kg/h                             |

いま、液を 70°C まで加熱するとし、接触器設計に使用した物質移動容量係数を用い、再生器の物質移動装置としての容積  $\psi_r$  を計算すれば、0.021 [m<sup>3</sup>] を得る。

加熱用電熱器の所要出力は、空気、吸収液ともに 70 [°C] で再生器を出るものとすれば、16.9 [kW] となる。

### 4. 試作機の構造

図 4.1 は試作調湿機の外観を示し、図 4.2 は概念図である。処理空気は、上部から接触器にはいり、液循環ポンプによってスプレーされる吸収液と並流接触する間に除湿され接触器下部からエリミネータ下部にはいり、ここで同伴液滴を除去されて、調和空気として部屋に送入される。

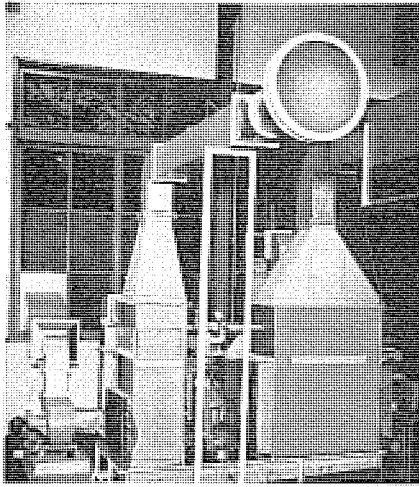


図 4.1 吸収式調湿機

Fig. 4.1 Exterior view absorption type humidity regulator.

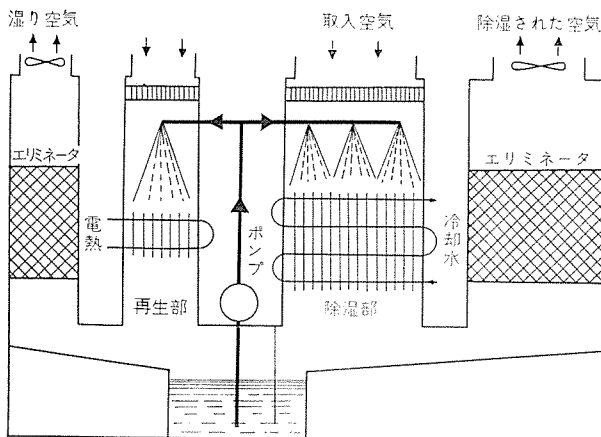


図 4.2 吸収式調湿機概念図

Fig. 4.2 Rough sketch absorption type humidity regulator.

また接触器で希釈された吸収液は、装置下部の溶液そうにもどり、その一部は絶えず再生器に送られ、そこで加熱濃縮されて、ふたたび溶液そうに帰る。

再生器には、別の空気が送入され吸収液の放出する水分をになって再生器エリミネータを通過した後戸外に排出される。

以下に各主要部分を簡単に説明する。

#### 4.1 接 触 器

空気と吸収液とを並流接触させて、物質移動ならびに熱移動を同時に行なわせる装置で、高さ 930 mm、幅 720 mm、奥行 300 mm の直方形容器上部には、鞍形充填物を詰めた Diffuser があり、空気流が均等に接触器内を流過するようにしてある。Diffuser のすぐ下には Solid cone spray nozzle 3 個が配置され、下方の冷却管束の上に吸収液を均等に散布する。

フィンチューブ群の管内側に冷却水が流れ、管外側を吸収液滴と空気の混合流体が流れる。フィンチューブはエロフィン形で、裸管外径 16 mm、フィン外径 28 mm、フィン厚さ 0.3 mm、フィンピッチ 3 mm であり、水平方向ピッチ 31 mm、垂直方向ピッチ 45 mm、12 段 9 列の千鳥形に配置されている。この部分の構造材料としては Spray nozzle を SU

S 27 にしたほかは、すべて亜鉛被覆を施した軟鋼を使用した。

#### 4.2 再 生 器

循環吸収液の一部を加熱濃縮して、溶液そう内の吸収液濃度をつねに一定に保つための装置で、高さ 930 mm、幅 325 mm、奥行 300 mm の長方形である。

接触器と同様に、上部には鞍形充填物を詰めた Diffuser があり 1 個の Solid cone type の Spray nozzle が取付けられている。

吸収液加熱のためには、1 本当たりの出力 400 W のエロフィンヒータ 40 本を用いている。

構造材料は、接触器と同じく Spray nozzle を SUS 27 としたほかは、すべて亜鉛被覆を施した軟鋼を用いた。

#### 4.3 エリミネータ

エリミネータは、接触器ならびに再生器の空気出口側にそれぞれ取付けられてあり、空気流が同伴する吸収液飛沫を除去するためのもので、磁製鞍形充填物を充填した一種のフィルタである。

#### 4.4 液循環用ポンプ

吸収液を接触器ならびに再生器に送るポンプは、装置中央に設けられ、形式は、立形形沈水式渦巻ポンプで、動力 750 W、吐出圧力 0.8 kg/cm<sup>2</sup>、吐出量 40 l/min である。インペラ、シャフト、ケーシングなど吸収液接触部分には、SUS 27 を使用した。

#### 4.5 送 風 機

接触器ならびに再生器用の送風機には、それぞれ 400 W、200 W のターボローアを使用した。

#### 4.6 吸収液溶液そう液面制御系

吸収液濃度を一定に保持するために溶液そう内の液面を制御する方法を用いた。すなわち、液濃度が低くなれば溶液そう液面は上昇し、液濃度が高くなれば液面が降下することを利用したもので、液面の検出には静電容量形の液面検出リレーを使用した。この出力は再生器ヒータの入力回路の一部に連動されそれによって on-off することにより蒸発量を制御し液面の高さを一定に保つようになっている。

#### 4.7 そ の 他

吸収液の一部につねにポンプ吐出側から側路され素焼の濾過筒によって清浄化されるようになされている。そのほか、濾過器の後に比重計ウェルを設けて、液の温度ならびに液比重の測定による液濃度のチェックが行なえるようにしてある。

以上装置各部分の概要についてのべたが、装置の構成材料には、スプレノール、ポンプなどを除き、すべて亜鉛被覆軟鋼板を、パッキン類には、アスベストを使用して腐食問題に備えまた装置の組立には同じ目的からなるべくボルト結合部を少なくし、接触器、再生器なども差し込み構造となるように工夫した。

調湿機全体の寸法は、縦 1,660 mm×横 834 mm×高さ



1,280 mm である。

## 5. 試作機の性能

試作機の除湿能力を測定するために、以下に述べるような性能試験を行なった。

装置の入口側には増湿機を設置して、入口空気の温度ならびに湿度を任意の条件に設定できるようにした。増湿機は、水を加熱して給水する向流接触形充填塔方式で、充填物には 25 mm 磁製ラジリングを使用した。増湿機入口には、衝突板形の エリミネータ を設けて同伴水滴を除去するようにし、また増湿機と調湿機との間には エロフヒータの空気加熱器を設けて装置入口側の空気温度を調節できるようにした。

再生器からの湿り空気は、戸外に放出される。

試運転の試験条件は次のとおりであってつねに一定の値に保たれた。

- (1) 風量 10 m<sup>3</sup>/min
- (2) 循環流量 30 l/min
- (3) 液濃度 45 %
- (4) 冷却水温度 20°C

この性能試験の結果を図 5.1 および図 5.2 に示す。

図 5.1 は、入口空気の絶対湿度を変え、また冷却水流量を変化させて出口空気の乾球温度を変えた場合の出口空気の絶対湿度測定結果である。これからわかるように、出口空気湿度は、入口空気湿度の変化に対して、それほど大きい変化を示さず、出口空気の相対湿度の変化が非常に少ないことがとくに注目される。図 5.1 の性能試験の際の入口空気乾球温度は、28.6~33.4°C の間であり吸収液温度は、25.5~33.0°C (溶液その内の温度) の間であった。

図 5.2 は、冷却水量を変えた場合の入口空気絶対湿度に対する出口空気絶対湿度の実測結果間の関係であるが、これから冷却水量を増加させると出口空気絶対湿度が低下することがわかる。

冷却水量を変化させずに冷却水温を変えても、出口空気絶対湿度は当然変化するが伝達熱量が平均温度差に比

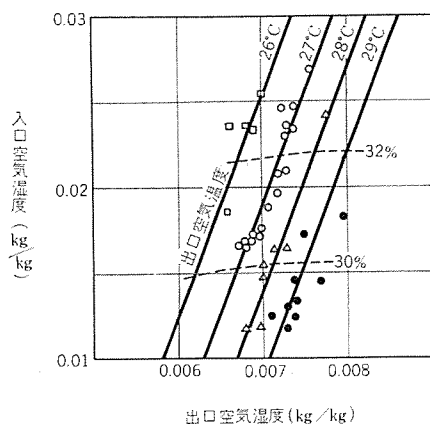


図 5.1 性能曲線 (1)

Fig. 5.1 Performance curves (1).

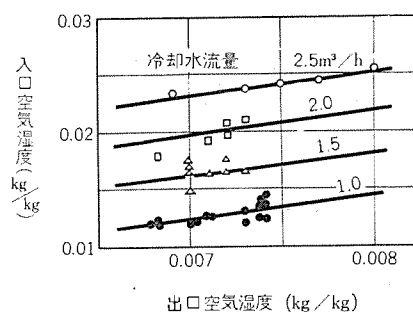


図 5.2 性能曲線 (2)

Fig. 5.2 Performance curves (2).

例するものとすれば水温を変えるほうが、水量を変えるよりも有利なように思われる。この状況における実験は実施しなかったが実際問題として地下水などを冷却水に使用する場合、水温は年間を通じてあまり変化しないことおよび多量の冷却水の温度制御の困難さを考えれば冷却水量を変えて湿度制御を行なうほうが实际的であろう。ただし使用場所によって冷却水温は異なるであろうから冷却水温の変化に対する特性を、装置について測定しておくことも将来必要であると思われる。

以上に試作機の性能測定結果の一例をあげたが、その結果は予想性能より多少控え目になっている。これは設計上の仮定の不完全さに基づくものであるが、関与する現象自体の複雑さから考えてむしろ良好な一致というべきであろう。設計方法の確立は、このような実際の装置の実測結果の集積によってのみ期待することができるがその中でも、とくに重要な問題は、接触器の改良であって、冷却器の構造、配列、寸法など、物質移動ならびに熱移動の両面から今後基礎的研究の必要性が痛感される。

また実際使用上の問題として注意しなければならないことは、装置出口側にある エリミネータ の飛沫除去能力であって試作機に使用した磁製鞍形充填物による エリミネータは、なお完全とはいえず多少の液滴同伴は免がれない。この点については、より完全な エリミネータ開発 のため研究を継続中である。

## 6. 装置構成材料の防食対策

吸湿剤として使用した塩化リチウム水溶液は、金属材料を腐食させる性質があり、たとえば常温で静置浸漬した試験でも普通によく使用される金属材料は、かなり腐食されることが明らかになった。実際の装置において、とくに腐食対策を講じないで運転した結果では、亜鉛メッキ部は完全に腐食されて、多量の白色の腐食生成物を生じ、鋼部分は赤サビを生じて表面は凹凸のはげしい面となり、また銅、黄銅部には緑色の腐食生成物を生じた。SUS 27 を シース に使用した 再生器用アルミヒータ は、はげしく点食されて シース が破れ使用不能になった。

以上の経験に基づいて、吸湿剤に腐食抑制剤を加え、また装置構成材料は、すべて亜鉛被覆軟鋼を使用するものとして、亜鉛被覆軟鋼板の種々の腐食環境に対する試

験を行なった。腐食試験片は、SPC 1-45 mm×20 mm に メッキ-26 AAO 25 を施したものである。

おもに使用した試験溶液は、つぎの 4 種類である。

- A 40 % LiCl 水溶液
- B A + Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (0.3 %)
- C B + グルコン酸ソーダ (Sat.)
- D B + EDTA (Sat.)

#### (1) 常温浸漬試験

常温で 65 日ならびに 165 日静置浸漬した結果を表 6.1 に示す。

#### (2) 煮沸浸漬試験

還流冷却器をつけた 丸形フラスコ内で 7 時間煮沸した結果を表 6.2 に示す。

表 6.1 常温浸漬腐食試験結果  
浸漬時間 65 日

| 試験液 | pH  | 減量 (mg) | mdd   | mm/yr  |
|-----|-----|---------|-------|--------|
| A   | 6.6 | 28.5    | 2.32  | 0.0119 |
|     | 7.3 | 33.6    | 2.73  | 0.0140 |
|     | 8.2 | 23.7    | 1.93  | 0.0099 |
| B   | 6.6 | 0.5     | 0.041 | 0.0002 |
|     | 7.6 | 0.4     | 0.033 | 0.0002 |
|     | 8.2 | 0.9     | 0.073 | 0.0004 |
| C   | 6.6 | 1.4     | 0.114 | 0.0006 |
|     | 7.6 | 4.3     | 0.350 | 0.0002 |
|     | 8.2 | 0.5     | 0.041 | 0.0002 |
| D   | 6.3 | 2.5     | 0.203 | 0.0010 |
|     | 7.9 | 1.4     | 0.114 | 0.0006 |
|     | 8.2 | 1.0     | 0.081 | 0.0004 |

浸漬時間 165 日

| 試験液 | pH  | 減量 (mg) | mdd   | mm/yr  |
|-----|-----|---------|-------|--------|
| A   | 6.3 | 238.0   | 7.63  | 0.0390 |
|     | 7.7 | 89.2    | 2.86  | 0.0146 |
|     | 8.4 | 93.0    | 3.02  | 0.0155 |
| B   | 6.9 | 1.6     | 0.051 | 0.0003 |
|     | 7.6 | 1.0     | 0.032 | 0.0002 |
|     | 8.5 | 1.0     | 0.032 | 0.0002 |
| C   | 6.4 | 2.5     | 0.080 | 0.0004 |
|     | 7.5 | 1.9     | 0.061 | 0.0003 |
|     | 8.5 | 1.1     | 0.035 | 0.0002 |
| D   | 6.8 | 2.0     | 0.064 | 0.0003 |
|     | 7.6 | 1.6     | 0.051 | 0.0003 |
|     | 8.4 | 1.1     | 0.035 | 0.0002 |

#### (3) 前処理試験

クロム酸による被膜をあらかじめ試験前に、試験片上につけておくために、1 % クロム酸ソーダ水溶液中で煮沸を行なってから 0.3 % クロム酸ソーダ入り塩化リチウム 40 % 水溶液中で 6 時間煮沸した結果を表 6.3 に示す。

#### (4) ヘキサメタリン酸ソーダと EDTA を加えた場合

クロム酸塩は陽極抑制剤であり、これに陰極抑制剤といわれるヘキサメタリン酸ソーダを加えてその効果を調べた結果を表 6.4 に示す。

#### (5) 操作時を想定した試験

50°C で 3 時間、試験片に前処理を施し、50°C で 9 時間 80 ~ 85°C で 7 時間試験液中に浸漬した場合の結果を

表 6.2 煮沸浸漬腐食試験結果

試験時間 7 時間

| 試験液 | pH  | 減量 (mg) | mdd   | mm/yr | 備考      |
|-----|-----|---------|-------|-------|---------|
| A   | 6.4 | 290.2   | 5,290 | 27.1  |         |
|     | 7.3 | 239.7   | 4,450 | 22.8  |         |
|     | 8.4 | 324.4   | 5,860 | 30.6  |         |
| B   | 6.2 | 43.9    | 795   | 4.1   | pitting |
|     | 7.3 | 52.5    | 950   | 4.9   | pitting |
|     | 8.3 | 7.4     | 134   | 0.7   | pitting |
| C   | 6.9 | 23.4    | 424   | 2.2   |         |
|     | 7.4 | 35.2    | 637   | 3.3   | pitting |
|     | 8.2 | 17.0    | 308   | 1.6   | pitting |
| D   | 6.2 | 36.1    | 654   | 3.3   | pitting |
|     | 7.7 | 25.4    | 460   | 2.4   | pitting |
|     | 8.2 | 30.5    | 552   | 2.8   | pitting |

表 6.3 前処理試験

前処理 : 1 % Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O-aq (pH 7.5) 中で煮沸  
試験時間 : 6 時間 (煮沸)

| 試験液 | pH  | 前処理時間 (h) | 減量 (mg) | mdd   | mm/yr | 備考      |
|-----|-----|-----------|---------|-------|-------|---------|
| B   | 8.2 | 1         | 7.3     | 154.8 | 0.79  | pitting |
|     | 8.4 | 1         | 10.5    | 222   | 1.14  |         |
|     | 8.4 | 2         | 11.1    | 236   | 1.21  |         |
|     | 8.4 | 2         | 7.1     | 150.6 | 0.77  |         |
|     | 8.3 | 5         | 9.6     | 204   | 1.04  |         |
|     | 8.3 | 5         | 11.6    | 246   | 1.21  |         |
|     | 8.3 | 7         | 10.9    | 231   | 1.18  |         |
|     | 8.4 | 7         | 9.4     | 199.3 | 1.02  |         |

表 6.4 ヘキサメタリン酸ソーダと EDTA を加えた場合

LiCl (40 %) + Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (0.3 %) sol. 800 cc に EDTA 1 g ヘキサメタリン酸ソーダ 2 g を加えてよくかきまぜ pH を 7.5 に調整したものを試験液とした

試験時間 6 時間 (煮沸) (前処理なし)

| 減量 (mg) | mdd   | mm/yr | 備考              |
|---------|-------|-------|-----------------|
| 87.8    | 1,861 | 9.54  | pitting はなく全面腐食 |
| 105.9   | 2,240 | 11.48 |                 |

表 6.5 操作時を想定した試験

前処理 : 1 % Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O-aq (pH 7.3) 中で 50°C. 3 h

試験条件 : 試験液 B, 50°C で 9 h. 80°C ~ 85°C で 7 h

試験中マグネチックスタラで液を カフン

| 試験条件                | pH  | 減量 (mg) | mdd  | mm/yr | 備考      |
|---------------------|-----|---------|------|-------|---------|
| 前処理 + 50°C 3 h      | 7.6 | 0.2     | 4.24 | 0.022 | pitting |
| 50°C 6 h + 80°C 7 h |     | 0.4     | 3.90 | 0.020 | はなかった   |
| 合計                  |     | 0.6     | 4.00 | 0.021 |         |

表 6.5 に示す。

#### (6) スプレノズルの下に試験片をおいて清水による腐食試験

使用した スプレノズルは Solid cone type で試験片は、ノズルの下約 30 cm の所に静置。スプレ圧力は 1 kg/cm<sup>2</sup>、試験時間は 5 時間、その結果を、静水中 5 時間の腐食試験結果とならべて表 6.6 に示す。

以上各種腐食試験結果を総括すると、クロム酸ソーダのような腐食抑制剤を添加することによって亜鉛被覆上の腐食は顕著に抑制されることがわかった。その抑制効果は、表 6.1 に示すように、最初の液-金属接触時期には、多少金属側が消耗されるが、以後長期にわたって顕著な腐食の進行はみられない。これに対して腐食抑制剤を含まない塩化リチウム水溶液は、亜鉛被覆に対してかなりはげしい腐食状況を示す。

表 6.6 スプレによる試験

ソリッドコンスプレノズル下 30 cm の所に試験片をならべて、スプレ圧力 1 kg/cm<sup>2</sup> で試験片上に清水をスプレ

| 試験条件   | 減量 (mg) | mdd   | mm/yr |
|--------|---------|-------|-------|
| スプレ 5h | 0.1     | 2.54  | 0.013 |
|        | 0.1     | 2.54  | 0.013 |
|        | 0.1     | 2.54  | 0.013 |
|        | 0.0     | 0     | 0     |
| 静水中 5h | 0.3     | 7.62  | 0.039 |
|        | 0.6     | 15.24 | 0.078 |

腐食抑制剤としては、従来の冷凍機ラインなどに使用されているクロム酸塩ならびに助抑制剤としてグルコン酸ソーダ、EDTAなどを試験した結果、単独の形でクロム酸塩を使用することとした。グルコン酸ソーダは、温度を高くするとクロムイオンを遊離して緑色の沈殿を生じるので好ましくない。前処理がかなり有効であるゆえ実際の装置においても始動時に前処理を行なった。pH については、6~8 付近であれば、とくにいちじるしい影響はないようであった。またスプレによる浸食は、清水による試験結果(表 6.6) からわかるように、ほとんど問題にならなかった。

以上の考察の結果、装置はすべて亜鉛被覆鋼とし、吸湿剤中には、クロム酸ソーダを約 0.3% 腐食抑制剤として加え、pH は 7~8 程度とすることに決定した。また装置の最初の始動時には、クロム酸ソーダ水溶液による前処理

を行なうように決定した。

このような考慮の後に試作された機器は、腐食問題上ならトラブルはなしに現在稼働を続けている。

## 7. む す び

以上に液体吸湿剤を用いた吸収式調湿法の特長、原理をのべそれにもとづいて塩化リチウム水溶液を吸湿剤とする試作吸収式調湿機の設計ならびに構造概要を述べ、および性能試験結果について詳述した。また実用上重要な塩化リチウム水溶液の金属材料に対する防食対策に関する研究についてもその結果を概説した。

この試作吸収式調湿機を実際の空気調和に適用する際の問題点として、既述のように(1)冷却水量がやや多くなること、(2)再生熱源に電熱を利用する場合には Power cost が多少高くなること、(3)現在のエリミネータでは、なお少量の吸湿剤の飛沫が含有されていることなどがあげられるが、これらに対しては冷凍機併用形式の開発などとともに、今後逐次改良ないし研究を継続する予定である。(昭 37-1-9 受付)

## 参 考 文 献

- (1) Int. Crit. Tables. 3, 77.
- (2) Int. Crit. Tables. 5, 123.
- (3) Int. Crit. Tables. 5, 12.
- (4) 山田：液体吸収剤による除湿について、「化学工学」22, 512 (昭 33).
- (5) 東畑：液体調湿，純新化学工学講座 (昭 35).
- (6) 山田：除湿 (昭 33).
- (7) Air Drying with the Kathabar System, World Refr. 11, 43 (1960).
- (8) Kathabar Humidity Conditioner Engineering Data.
- (9) 藤田重文：「化学工学」90 (昭 31).
- (10) 化学工学便覧. 47 (昭 33).
- (11) 稲積彦二：「化学工学」14, 148 (昭 25); 15, 178 (昭 26); 17, 58 (昭 28).

## 最近における当社の社外寄稿一覧

| 年 月 日    | 寄 稿 先                               | 題 名                                                                                     | 執 筆 者     | 所属場所 |
|----------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|
| 36- 4- 1 | Ausschß Für Funkortung (Düsseldorf) | Answer to a question on "Field Test of 24,000 MC Radar at Tokyo International Airport". | 樫本俊弥・近藤輝夫 | 無線機  |
| 36- 4- 5 | 産業と電機                               | 電力ヒューズと動作特性                                                                             | 岩崎行雄      | 伊丹   |
| 36- 4- 6 | OHM                                 | シリコン大電力用整流器                                                                             | 清水潤治      | 研究所  |
| 37- 4- 7 | 電力社「現場技術」                           | 同期機の界磁喪失および脱調保護リレー                                                                      | 森 健・寺田 真  | 神戸   |
| 36- 4- 8 | 電気学会年報                              | トランジスタイグナイト                                                                             | 三木隆雄      | 姫路   |
| 36- 4- 8 | 電気学会年報                              | AC ダイナモ                                                                                 | 平田 毅      | 姫路   |
| 36- 4- 8 | モータファン                              | トランジスタ点火装置                                                                              | 三木隆雄      | 姫路   |
| 36- 4    | 機械の研究                               | 最近の工作機械用制御装置                                                                            | 蟹江邦雄      | 名古屋  |
| 36- 4    | (単行本)                               | 日本の粘土およびベントナイト (うち受入検査および使用状況)                                                          | 星野克英      | 名古屋  |
| 36- 4-10 | 電気通信学会                              | 共鳴形単向管における電磁界変位の影響                                                                      | 中原昭次郎     | 研究所  |
| 36- 4-10 | 計 装                                 | 超音波による材質の特性検査                                                                           | 松元雄蔵      | 無線機  |

## 坑 内 冷 房 (2)

長崎製作所 大 門 敬 始\*

## Air Conditioning in Pits (Part 2)

Nagasaki Works Keiji DAIMON

Following the previous issue, the captioned description goes into detail of finding the best method of solving difficulties encountered. Formulae are given to determine the cooling ability of the air conditioner applied to the pit together with various items to bring successful results. After much discussion the writer finally gives his viewpoint that it is the most desirable to have ample ventilating air. As for the humidity, its estimation involves a number of factors that make it difficult to bring decisive conclusion. Furthermore there are many problems which need future study. However, it is certain that the air conditioner so designed will help a great deal to solve the questions.

## 6. 冷却能力の決定

冷房装置の冷却能力を決定するには冷房を施そうとする区域の改善の程度を定め、これに要する冷却能力、および冷房装置から冷房区域までの熱損失—冷水管、冷風ダクト通気坑道などを求めこれらを加え合わさなければならぬ。つぎに個々の熱計算法を記述する。図6.1の坑内略図を参照されたい。本文に使用されるおもな記号はつぎのとおりであるが記号に付加される数字は図6.1における位置を示す。

|          |         |
|----------|---------|
| $t$ °C   | 温度      |
| $t_D$ °C | 乾球温度    |
| $t_W$ °C | 湿球温度    |
| $t_u$ °C | 冷水入口温度  |
| $t_o$ °C | 冷水出口温度  |
| $l$ m    | 長さ      |
| $L_p$ m  | 冷水管片側全長 |
| $L_d$ m  | 冷風ダクト全長 |

|                               |                                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| $L_c$ m                       | 長壁切羽全長                                        |
| $r_i$ m                       | 管、ダクトの内半径                                     |
| $r_o$ m                       | 管、ダクトの外半径                                     |
| $Q$ kcal/h                    | 熱量                                            |
| $Q_M$ kcal/h                  | 人体、機械、湧水などによる総発熱量                             |
| $q_o$ kcal/h                  | $Q_M$ の切羽単位長さ当たりの発熱量<br>$q_o = Q_M / L_c + 1$ |
| $W$ kg/h                      | 水量                                            |
| $G$ kg/h                      | 空気重量 $G = V \cdot \gamma_a$                   |
| $V$ m <sup>3</sup> /h         | 空気量                                           |
| $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>    | 水の比重量 $\gamma = 1,000 \text{ kg/m}^3$         |
| $\gamma_a$ kg/m <sup>3</sup>  | 空気の比重量                                        |
| $\gamma_a'$ kg/m <sup>3</sup> | 乾燥空気の比重量                                      |
| $w_i$ m/h                     | 管、ダクト内平均流速                                    |
| $w_o$ m/h                     | 管、ダクト外平均流速                                    |
| $K$ kcal/mh°C                 | 切羽単位長さ当たりの熱伝達率                                |
| $\beta$ kg/mh°C               | 切羽単位長さ当たりの湿度増加率                               |

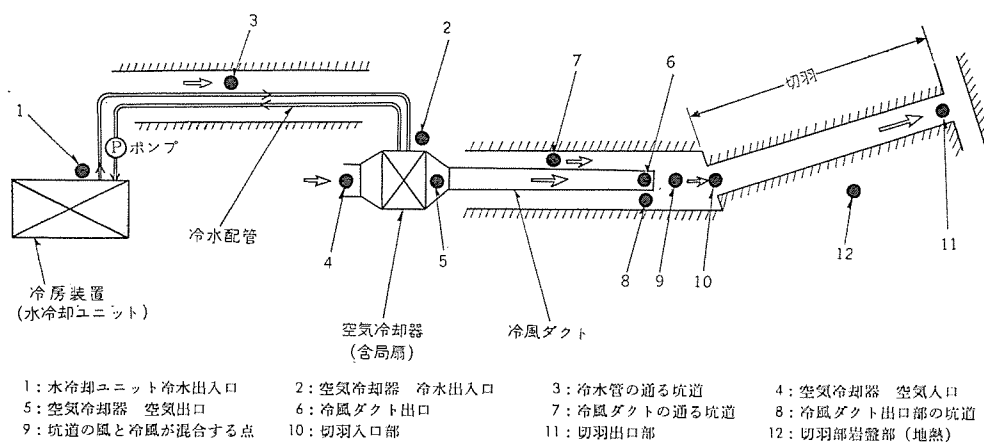


図 6.1 冷房時坑内略図

Fig. 6.1 Arrangement in pit during air conditioning.

|             |                         |                                             |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| $c$         | kcal/kg°C               | 水の比熱 $c=1.0$ kcal/kg°C                      |
| $C_p$       | kcal/kg°C               | 空気の定圧比熱 $C_p=0.24$ kcal/kg°C                |
| $\alpha_i$  | kcal/m <sup>2</sup> h°C | 管、ダクト内側熱伝達率                                 |
| $\alpha_o$  | kcal/m <sup>2</sup> h°C | 管、ダクト外側熱伝達率                                 |
| $\lambda_m$ | kcal/mh°C               | 材料の熱伝導率                                     |
| $\lambda_a$ | kcal/mh°C               | 空気の熱伝導率                                     |
| $i$         | kcal/kg                 | エンタルピー                                      |
| $\nu$       | m <sup>2</sup> /h       | 流体の動粘性係数                                    |
| $Re$        |                         | Reynolds Number $Re=w(2r)/\nu$              |
| $Nu$        |                         | Nusselt Number $Nu=\alpha(2r)/\lambda$      |
| $g$         | m/h <sup>2</sup>        | 重力加速度 $g=1.27 \times 10^8$ m/h <sup>2</sup> |
| $e$         |                         | 自然対数の底 $e=2.71828$                          |
| $X$         | kg/kg                   | 乾燥空気 1 kg 中の飽和絶対湿度                          |
| $x$         | kg/kg                   | 乾燥空気 1 kg 中の絶対湿度                            |
| $T_s$       | °K                      | 局扇入口絶対温度                                    |
| $T_d$       | °K                      | 局扇出口絶対温度                                    |
| $h_s$       | mmHg                    | 局扇入口圧力                                      |
| $h_d$       | mmHg                    | 局扇出口圧力                                      |
| $h$         | mmHg                    | 気圧                                          |
| $k$         |                         | 断熱係数 空気の $k=1.40$                           |

### 6.1 冷水管の熱損失

坑道3の温度が高いため冷水管内に熱が侵入する。冷水管の往復で侵入する熱量は

$$Q=WC(t_{i2}-t_{i01}+t_{i1}-t_{i02})$$

で表わされる。  $t_{i01}$ ,  $t_{i1}$  を知って  $t_{i2}$ ,  $t_{i02}$  を求めるには、まず冷水管の任意の点  $dl$  長さ当たりの熱の移動は

$$WC dt=K(t_{D3}-t)dl \quad (6.1)$$

で表わされる。これを積分して  $l=0$  のとき  $t=t_{i01}$ ,  $l=L_p$  のとき  $t=t_{i2}$  を代入して整理すれば

$$t_{i2}=t_{D3}-e^{-\frac{KL_p}{WC}} \cdot (t_{D3}-t_{i01}) \quad (6.2)$$

上記は冷水の往路であるが復路についてもまったく同様に

$$t_{i02}=t_{D3}-\frac{t_{D3}-t_{i1}}{e^{-\frac{KL_p}{WC}}} \quad (6.3)$$

ここで  $K$  は冷水管の肉厚が厚い場合

$$K=\frac{2\pi r_o}{\frac{1}{\alpha_i}\left(\frac{r_o}{r_i}\right)+\frac{1}{\alpha_o}+2.303\frac{r_o}{\lambda_m}\log_{10}\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (6.4)$$

肉厚が薄い場合

$$K=\frac{2\pi r_o}{\frac{1}{\alpha_i}+\frac{1}{\alpha_o}+\frac{(r_o-r_i)}{\lambda_m}} \quad (6.5)$$

通常の管内流速では乱流状態にあるゆえ、1 atm, 20~100°C 乱流の水側の  $\alpha_i$  は

$$\alpha_i=(2.20+0.03 t_{i01}) \times 10^4 \left(\frac{\gamma w_i}{g}\right)^{0.8} \frac{1}{(2r_i)^{0.2}} \quad (6.6)$$

また管外側については強制対流熱伝達と考えることができるので  $Nu$  を用いて表わせば

$$\alpha_o=Nu\frac{\lambda_a}{2r_o} \quad (6.7)$$

坑内冷房(2)・大門

表 6.1 1 atm における水および乾燥空気の動粘性係数  $\nu$  m<sup>2</sup>/h

| 温度 (°C) | 水                      | 空気                     |
|---------|------------------------|------------------------|
| 0       | $6.458 \times 10^{-3}$ | $47.59 \times 10^{-3}$ |
| 10      | 4.716                  | 50.76                  |
| 20      | 3.636                  | 54.04                  |
| 30      | 2.894                  | 57.35                  |
| 40      | 2.372                  | 60.80                  |
| 50      | 1.002                  | 64.30                  |

表 6.2 空気の Reynolds Number と Nusselt Number との関係 (ただし  $Nu$  は流れの方向が管軸とほぼ平行な場合の概略値である)

| $Re$               | $Nu$  | $Re$            | $Nu$ | $Re$            | $Nu$ |
|--------------------|-------|-----------------|------|-----------------|------|
| $4 \times 10^{-1}$ | 0.324 | $5 \times 10$   | 1.90 | $6 \times 10^3$ | 18.8 |
| $5 \times 10^{-1}$ | 0.354 | $6 \times 10$   | 2.07 | $7 \times 10^3$ | 20.7 |
| $6 \times 10^{-1}$ | 0.376 | $7 \times 10$   | 2.22 | $8 \times 10^3$ | 22.4 |
| $7 \times 10^{-1}$ | 0.396 | $8 \times 10$   | 2.37 | $9 \times 10^3$ | 24.1 |
| $8 \times 10^{-1}$ | 0.414 | $9 \times 10$   | 2.50 | $1 \times 10^4$ | 25.8 |
| $9 \times 10^{-1}$ | 0.430 | $1 \times 10^2$ | 2.63 | $2 \times 10^4$ | 39.6 |
| 1                  | 0.445 | $2 \times 10^2$ | 3.63 | $3 \times 10^4$ | 51   |
| 2                  | 0.60  | $3 \times 10^2$ | 4.39 | $4 \times 10^4$ | 60   |
| 3                  | 0.64  | $4 \times 10^2$ | 5.0  | $5 \times 10^4$ | 72   |
| 4                  | 0.70  | $5 \times 10^2$ | 5.50 | $6 \times 10^4$ | 84   |
| 5                  | 0.76  | $6 \times 10^2$ | 6.05 | $7 \times 10^4$ | 95   |
| 6                  | 0.82  | $7 \times 10^2$ | 6.5  | $8 \times 10^4$ | 106  |
| 7                  | 0.87  | $8 \times 10^2$ | 6.99 | $9 \times 10^4$ | 116  |
| 8                  | 0.91  | $9 \times 10^2$ | 7.3  | $1 \times 10^5$ | 126  |
| 9                  | 0.95  | $1 \times 10^3$ | 7.7  | $2 \times 10^5$ | 221  |
| $1 \times 10$      | 0.99  | $2 \times 10^3$ | 10.7 | $3 \times 10^5$ | 306  |
| $2 \times 10$      | 1.30  | $3 \times 10^3$ | 12.8 | $4 \times 10^5$ | 386  |
| $3 \times 10$      | 1.52  | $4 \times 10^3$ | 14.6 |                 |      |
| $4 \times 10$      | 1.71  | $5 \times 10^3$ | 16.8 |                 |      |

表 6.3 各種物体の熱伝導率  $\lambda$  kcal/mh°C

| 材 料     | $\lambda$   | 材 料       | $\lambda$ |
|---------|-------------|-----------|-----------|
| 有機断熱材   | 0.03~0.06   | アルミニウム    | 175       |
| 無機断熱材   | 0.04~0.10   | 鉄         | 30~50     |
| コンクリート  | 0.66        | 銅         | 320       |
| 岩石      | 1~5         | 水         | 0.52      |
| ポリエチレン管 | 0.288       | 空気 (20°C) | 0.022     |
| 塩化ビニール管 | 0.108~0.144 |           |           |

管外側流体が空気の場合、この  $Nu$  は  $Re$  の関数として表わされる。すなわち

$$Nu=f(Re) \quad (6.8)$$

$$\text{ただし } Re=\frac{w_o 2 r_o}{\nu}$$

空気の  $\nu$  は表 6.1 に示してある。これより  $Re$  を求めさらに表 6.2 より  $Nu$  を求め式 (6.7) を計算すれば  $\alpha_o$  が求まる。また配管の  $\lambda_m$  は表 6.3 に示してある。

式 (6.2)~式 (6.8) の計算により  $t_{i2}$ ,  $t_{i02}$  が求まるが実際問題として冷水の温度上昇が、冷水と外周気温との平均温度差に比して少ない例が多く、この場合の概略値としては次式を使用してさしつかえない。

$$t_{i2}=t_{i01}+\frac{2\pi r_o l(t_{D3}-t_{i01})}{WC\left(\frac{1}{\alpha_i}+\frac{1}{\alpha_o}+\frac{r_o-r_i}{\lambda}\right)} \quad (6.9)$$

上述したように同一管材でもその使用法により損失熱

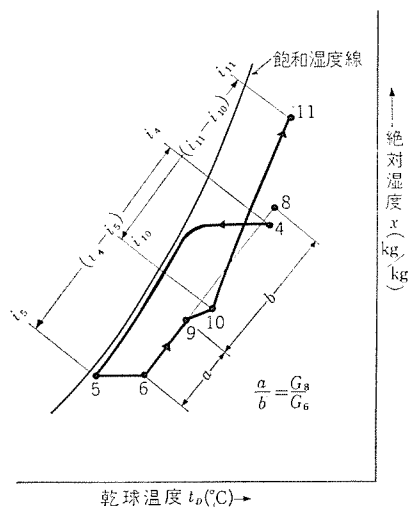


図 6.2 空気線図  
Fig. 6.2 Psychrometric chart.

量が変わって来るので十分の検討を要する。

## 6.2 空気冷却器

冷水より空気に伝えられる冷却能力は

$$Q_2 = WC(t_{i02} - t_{i12}) \quad (6.10)$$

で表わされる。空気入口 4 の状態を知って空気出口 5 の状態を求めるには

$$Q_2 = G_4(i_4 - i_5) \quad (6.11)$$

より  $i_5$  を求め、空気線図 (Psychrometric Chart), 図 6.2 より点 5 を求める。この変化では始め等絶対湿度線に沿い、露点温度にごく近づいて後等相対湿度線に沿って温度および絶対湿度が低下し点 5 に達する。かくして  $t_{D5}$ ,  $t_{W5}$ ,  $G_5$  の冷風が得られる。ここで注意を要するのは冷風ダクトが長いとき、局扇の圧縮量が大となり空気温度が上昇することである。空気が断熱圧縮されたとすれば

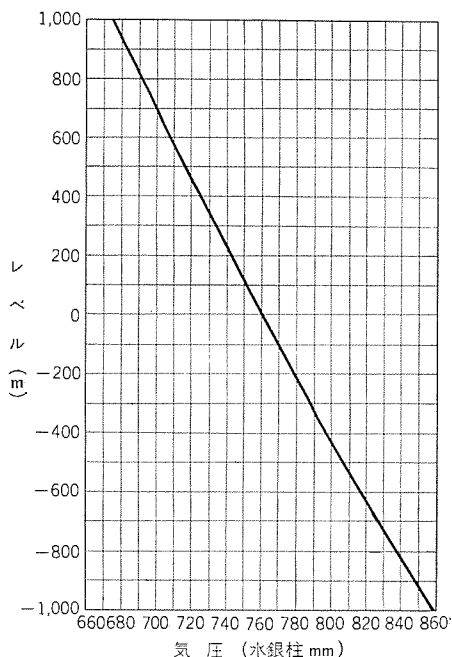


図 6.3 レベルによる気圧の変化  
Fig. 6.3 Change of atmospheric pressure by level.

$$T_d = T_s \left[ \frac{h_d}{h_s} \right]^{\frac{k-1}{k}} \quad (6.12)$$

したがってこの温度上昇  $(T_d - T_s)^\circ\text{C}$  が  $t_{D5}$  に加味されなければならない。この変化は空気線図上には等絶対湿度線上をたどる。

## 6.3 空気線図

気圧は図 6.3 に示すようにその点のレベルにより変わって来る。空気は乾球温度や相対湿度が不変でも圧力の変化により絶対湿度やエンタルピなどが変化するゆえ、問題点が海面レベルとあまり変わらなければ一般の空気線図を使用してさしつかえないが、そうでない場合はその圧力に応じた空気線図を用いなければならない。幸い Paul Weuthen<sup>(3)</sup> によって坑内空気用  $i-x$  線図が各圧力ごとに作成されている。

上記  $i-x$  線図には空気の比重量(たとえば前項の  $\gamma_{a1}$ ) については記述がないので計算する必要がある。乾燥空気の  $\gamma_a'$  は

$$\gamma_a' = 1.2931 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{h}{760} \quad (6.13)$$

で与えられ、またその点の乾燥空気 1 kg 当たりの水蒸気量  $x$  は空気線図より求まるので含湿空気の  $\gamma_a$  は次式で表わされる。

$$\gamma_a = \gamma_a'(1 + x) \quad (6.14)$$

## 6.4 冷風ダクトの熱損失

原則的には空気冷却器を冷房しようとする切羽の直前にもってゆくことが望ましい。坑内状況でやむをえず冷風ダクトを長く設けるときは、熱損失を検討しなければならない。考え方は前項 6.1 とまったく同じである。すなわち点 6 における冷風の温度  $t_{D6}$  は

$$t_{D6} = t_{D7} - e^{-\frac{KL_d}{G_s c_p}} (t_{D7} - t_{D5}) \quad (6.15)$$

ここで  $K$  は式 (6.5) を用いる。ただし同式の  $\alpha_i$  には、空気の熱伝達率を用い、およそ次式で示される。

$$\alpha_i = 1.22 \times 10^4 \left( \frac{\gamma_a \cdot w_i}{g} \right)^{0.8} \frac{1}{(2r_i)^{0.2}} \quad (6.16)$$

また  $\alpha_o$  は式 (6.7) をそのまま使用する。

空気線図上は図 6.2 に示すように等絶対湿度線上をたどり点 6 に達する。実際ダクトからはいくぶんかの漏れが存在するので  $V_6$  の決定にはこのことを考慮しなければならない。

## 6.5 空気の混合

通常切羽への通気量の全量を空気冷却器に通すことはむずかしいので、冷風ダクト出口では温湿度を異にする二つの空気の混合が起こる。混合後の空気量(重量)はもちろん二者の和となり、さらに空気の状態は図 6.2 において点 6 および 8 を結ぶ線上にあり、おのおのの空気量  $G$  の比で内分する点 9 となる。これから  $t_{D9}$ ,  $t_{W9}$ ,  $G_9$  が求まる。

實際上二者の空気が一様に混合するには坑道直径の約

10 倍程度の坑道長さを必要とするようである。

混合後空気が切羽に達するまでの熱損失が無視できない場合はふたたびその損失を計算する必要がある。しかしこの計算は切羽部の熱計算と同一要領なのでここでは省略する。

## 6.6 切羽部の所要能力

切羽部の熱計算はもっとも困難な問題である。坑内気象の解析的な基礎研究がまだ完成されていない現状では、能力の決定およびその効果について一般に適用できる方法が見つかっておらず、したがって現状では経験値や推定によらざるを得ない。すなわち、

岩石温度、湧水、岩盤の種類、湿気などによる坑内気象への影響の度合はおおのの鉱山によって異なるため、一義的に冷房の能力を紙上で求め得ない。そこでまず冷房を施そうとする鉱山の、できればもっとも類似した状態にある切羽、または冷房を施そうとするそのものの切羽の気象状態を十分調査し、つぎにこれをどの程度まで気象を改善するかを定めた上で所要の能力を推定する。切羽での変化を空気線図でたとれば図 6.2 に示すように点 10 より温湿度を増しながら点 11 に達するが、実際の軌跡は曲線となるであろう。2 点間で通気が得た熱量は通気量  $G$  に 2 点間の エンタルピー差 ( $i_{11}-i_{10}$ ) を乗ずることにより求められる。

### (1) 切羽温度の推定

坑内気象に影響を及ぼす要因としては

- 地熱による岩石からの熱放散
- 炭質物および硫化物の自然発熱
- 入気圧縮熱の増加
- 坑内湧水およびこれらの排水溝または管からの放熱
- 坑内の稼働機械、作業員からの放熱

があげられる。このうち局部冷房特に切羽冷房に係するものとしては a, b, d, e が考えられる。いまひとつ

の長壁切羽について考えることとし、a, b から通気に与えられる熱量が地熱温度と通気温度との差に比例し、また切羽内の d, e による全発熱量  $Q_M$  が一様に分布されているとすれば、切羽中の任意の点について長さ  $dl$  間の通気の温度上昇を  $dt$  とすれば次式が成立つ。

$$G C_p dt = K(t_{D12} - t)dl + q_0 dl \quad \dots\dots\dots (6.17)$$

これを置換し積分すれば

$$e^{\left(-\frac{Kl}{GC_p} + c\right)} = K(t_{D12} - t) + q_0 \quad \dots\dots\dots (6.18)$$

ここで  $l=0$  で  $t=t_{D10}$ ,  $l=L_c$  で  $t=t_{D11}$  を代入整理すれば

$$(t_{D12} - t_{D11}) = e^{-\frac{KL_c}{GC_p}} \left( t_{D12} - t_{D10} + \frac{q_0}{K} \right) - \frac{q_0}{K} \quad \dots\dots\dots (6.19)$$

壁からの  $K$  がわかっているとき  $t_{D10}$  を与えれば  $t_{D11}$  が求まり、逆に希望する  $t_{D11}$  を与えれば所要  $t_{D10}$  が求まる。

また一法として 対数グラフ を使用して所要温度  $t_{D10}$  を求めることもできる。図 6.4 に示すように近似の切羽における通気の温度上昇を測定しこれを逆対数目盛に記入する。(a-a) これは切羽の一部にはなはだしい熱量の授受がなければ直線で表わせる。つぎに冷房により希望するたとえば  $t_{D11}$  を  $l=L_c$  点に記し先の a-a 線に平行線を引けば所要  $t_{D10}$  が  $l=0$  点で求まる。

### (2) 切羽湿度の推定

壁面その他からの水分蒸発量はその点の相対湿度  $x/X$  に関係し、いま  $(1-x/X)$  に比例すると仮定すれば、また任意の切羽中の点で長さ  $dl$  についての絶対湿度の増加を  $dx$  とすれば次式が成立する。

$$G dx = \beta \left( 1 - \frac{x}{X} \right) dl \quad \dots\dots\dots (6.20)$$

ここで  $X$  はその点の  $t_D$  より空気線図から求まる。任意の点の  $x$  を  $l$  の関数とした数式で求めるのは困難なので次の手段をとる。すなわち、任意点の予想温度  $t_D$  は式 (6.19) により求まるゆえ図 6.5 に示すように各点の予想

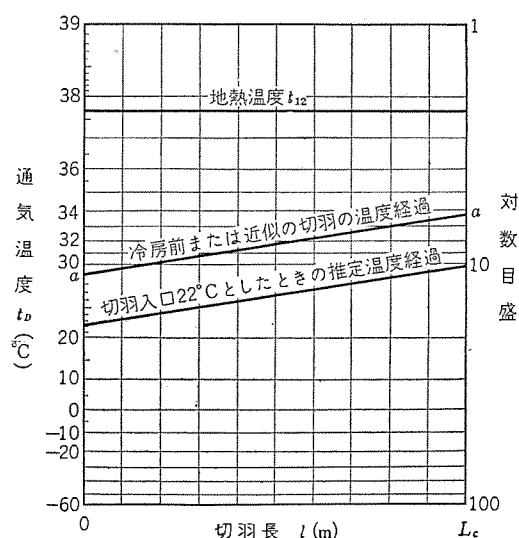


図 6.4 切羽の温度経過

Fig. 6.4 Temperature status in working front.

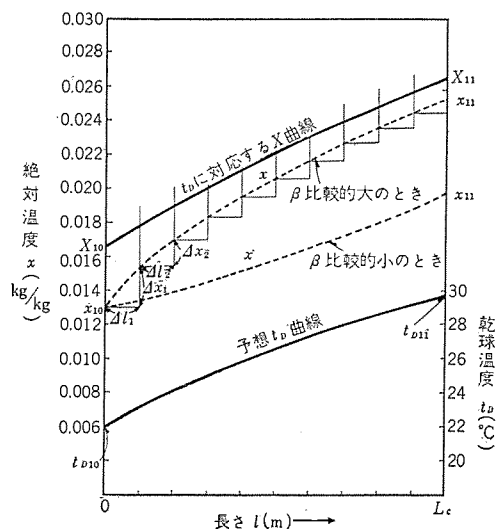


図 6.5 切羽の湿度変化

Fig. 6.5 Moisture changes in working front.



温度に対する  $X$  を記入し  $X$  の曲線を作る。つぎに  $l=0 \rightarrow L_c$  を  $n$  分割 (等分でなくとも良い) し各長さごとに湿度の増加量  $\Delta x$  を計算する。  $n$  区分目の  $\Delta x$  は

$$\Delta x_n = \frac{\beta}{G} \left( 1 - \frac{x_{n-1}}{X_{n-1}} \right) \Delta L_n \dots \dots \dots (6.21)$$

$$\text{ただし等分割のとき } \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_n = \frac{L_c}{n}$$

で示され、 $\beta$  が既知であれば  $n=1$  から順に  $\Delta x$  を求めてゆくことにより  $x$  が求まる。すなわち切羽入口の湿度を  $x_{10}$  とすれば

$$x_n = (x_{10} + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n) \dots \dots (6.22)$$

$n$  番目を切羽出口とすれば  $x_{11} = x_n$

(10, 11 は図 6.1 の位置の記号で  $n$  とは無関係)

かくして切羽内の温湿度の推定がなされるがここで  $K$  や  $\beta$  は風速によりその値が大幅に変化するゆえ注意を要する。  $K$ ,  $\beta$  を決めるための観測をする場合は風速、できれば風量も一致させておくべきで、もしこれができない場合は観測切羽で風速をいくつか変えて  $K$ ,  $\beta$  の変わり方を調べておかなければならない。これらの観測値より前述の式を用いてあらかじめ  $K$ ,  $\beta$  を計算しておく。  $K$  は他に地熱と空気の温度差、 $\beta$  は岩壁の水分を加熱する熱量——これらの多くは地熱から来る——にも関係すると思われるがここでは省略する。ふたたび繰り返すが冷房を施す切羽があるいはそれにもっとも類似した環境下にある切羽について観測資料を集めることが適確な冷房後の温湿度推定の必須条件となる。なお観測の際は切羽の出入口のほか途中の点(できるだけ多く)についても  $L_D$ ,  $L_W$ ,  $V$ , 湿 度 カタ 度などを調べることが望ましい。

また今までの計算では  $Q_M$  が切羽に一様に分布しているとしたが 1 個所に集中されその点における空気の温度上昇が他に比べ明瞭に異なるときは、その点までをいったん区切り前記の計算をし、その点の温度上昇を加え、さらにその後について前と同じ要領で計算すればよい。湿度についても同様である。

## 7. 冷房計画上の注意事項

今まで冷房装置による坑内気象の改善について述べて来たが、坑内の温度を下げるには通常は通気量を増すことがもっとも望ましい。これは冷房時においてもそれ以前においても同様で第一に考えるべきことである。同じ熱量を奪うのに風量が半減すれば通気の温度上昇は 2 倍にならなければならない。このときは入口温度が低下し、岩盤との温度差が増し、したがって通気の得る熱量がその分だけ増大するので余分の仕事が必要となる。要するに風量の限界地点において機械冷却を考慮するということである。

前章で湿度の推定に触れたがとくに湿度の推定には影響する要素が多く問題が多い。壁面から蒸発する水分の気化熱は一部は通気から、一部は地熱から奪われる。したがって通気はこれにより冷却される訳であるが実際問

題として冷却効果は明瞭に出ないようである。現状としてはこの気化熱は考えないほうが賢明である。

凝縮器冷却水は装置の規模を決するに当たってもっとも重要な要素である。冷却水はもちろん水量多く温度が低いほうが望ましく、坑内設置の場合に坑内水で間に合わなければ坑外からの搬入も必要となる。とくに水量、水温の決定には慎重を要する。往々にして実際運転時に不足をきたすからである。計画水量に達しなかったり、予期以上の温度であったりまた水量に変動が激しいと冷房効果は減少し、機械の効率も低下し、運転が不安定になりひいては運転不能、事故の原因ともなりかねない。また冷却水のよごれも問題となる。冷却水中の異物、炭じんなどは伝熱効果の妨げと同時に水路をつまらせますます能力を低下させる。いったん水を澄ませるなり、配管にストレーナを取付けるなどの対策が必要となる。水質の検査はぜひ行なうべきである。

この凝縮器冷却水は圧縮機と蒸発器でなす仕事の熱を奪うため高温となる。(40~50°C) したがってこの配管はなるべく排気坑道を通すようにすべきで、もし入気側を通す場合熱絶縁を考慮する必要がある。時として大きな誤算を生む結果となる。また程度の差こそ少ないが機械室の通気は冷房機器からの放熱があるため排気側に導くのが望ましい。

冷房装置の設置点は上記のほか電源、スペース、搬入の便、点検などの問題で制約されることが多いが、許す限り冷房区域の中心またはなるべく接近させて設置すべきである。

長い切羽などで出口側の条件を押えた場合、入口側温度が低くなり過ぎかえって入口側では作業がやりにくくなる場合もある。このような場合は通気の温度上昇も大で不経済となる。今までの例では長壁切羽では断面積が比較的大きい場合長さが 150~250 m くらい、小さな場合は 100 m くらいがおよその限界らしい。対策としては切羽内の一定間隔ごとに冷却器を並べてゆけば良い。この方法では切羽入口 1 個の場合より少ない冷房能力で同じ温度に保つことができ理想的であるが、配管、冷却器の移動など実際面での問題がある。

冷房装置と空気冷却器との間には実際問題として数百 m ないし千 m をこえる場合もありうる。ここで冷水管の選択が問題となる。何よりも熱損失が少なく、強度的にも十分でなければならない。鉄管に コルク、スチロフォームなどの熱絶縁を施したもの、二重管、合成樹脂管などがあるが、性能、価格、取扱の面からいって肉厚のビニール管がもっとも有望と思われる。坑内湿度が高い場合、冷水管外面に空気中の水分が凝結して熱損失が大きくなるので余裕をみる必要がある。これについては大隅、坂本氏らの研究<sup>(9)</sup>がある。

坑内の湿度が通常低くないことから空気冷却器表面において水分の凝結が起きる。したがって冷却表面はつねにぬれた状態となり、炭じん、岩粉などの多い所ではこ

れが表面に付着し熱交換をいちじるしく悪化させる。水の噴射装置を取付けるなり、定期的な清掃を怠ってはならない。

またいうまでもないが 冷風ダクト には漏れ風量が必ずあるので バイパス風 との混合などの計算には注意しなければならない。

夏冬により坑内温湿度が変わる所ではこれらの観測値、また通風の方向を逆にした場合の変化状況を示す観測値などは冷房負荷推定の貴重な資料となる。比較検討する際には風量、出炭量、通気路の長さ、岩盤温度（地熱）、消費エネルギーの種類と量、坑内断面積、充填方法、湿気などを知っておく必要がある。

## 8. 実 施 例

### (a) 可搬式の一例

MC-8B-F (30 kW) 冷水循環式 4 台を某鉱業所に納入した。レベル-820 m 岩盤温度 43°C、約 60 度傾斜の長壁採炭切羽で冷却水は海水、1 台当たり所要量 150 l/min (入口 32°C)。冷房装置 1 台で二つの切羽を受持ち、おののに空気冷却器を設け冷水管の切換えで交互に使用した。結果は切羽入気温度を 2~4°C 低下、切羽内温度を 0.5~1°C 低下、切羽内 湿カ度 を 2~3 度上昇することができた。図 8.1 に試運転時の坑内配置、表 8.1 に同運転データを記す。

### (b) 定置式の一例

MA-8B-F (75 kW) 冷水循環式 2 台を某鉱業所に納入した。凝縮器 KC-65-25、蒸発器 LB-65-25、冷却水

量 500 l/min (入口 28°C)/台、冷水循環量 300 l/min (出口 8°C)/台 で装置はおのの別個の場所を冷房している。レベル-740 m にある長壁採炭切羽で長さ約 200 m、高さ×幅は約 3.3×3 m、風量は 950 m<sup>3</sup>/min でうち 570 m<sup>3</sup>/min が冷却器を通過する。冷房装置と空気冷却器とは約 500~600 m 離れている。結果は切羽温度 31.8~32.5°C、湿カ度 11~9 が冷房後温度 29.5~30.2°C、湿カ度 14.5~12 となり作業条件が良くなった。図 8.2 に冷房前後の気象変化を示す。なおこの装置の効果については改めて発表がある予定である。

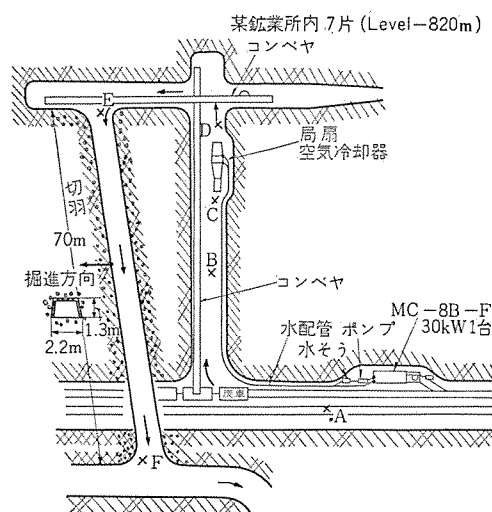


図 8.1 可搬式坑内冷房装置使用実例

Fig. 8.1 Example of portable pit air conditioner in use.

表 8.1 某鉱業所冷房後の温度湿度状況 (1959 年)

注：測定時刻\*は運転前

|        |                          | 7月17日 運転開始 15時30分                                                          |       |       |       | 7月18日 運転開始 9時00分 |       |       |       |       | 7月20日 運転開始 11時30分 |       |       |       |       |
|--------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
|        |                          | 10時30分*                                                                    | 18.00 | 20.30 | 22.30 | 18時00分           | 19.00 | 20.00 | 21.00 | 22.00 | 10時30分*           | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 |
| 測定位置 A | 乾球温度 (°C)                |                                                                            |       |       |       | 31               |       | 30    |       | 31    |                   | 30    | 30.5  | 30.4  | 31    |
|        | 湿球温度 (°C)                |                                                                            |       |       |       | 29.3             |       | 29    |       | 29    |                   | 29.4  | 30    | 29.4  | 30    |
|        | 湿度 (%)                   |                                                                            |       |       |       | 88               |       | 92.5  |       | 85.5  |                   | 96    | 96    | 95    | 93    |
|        | 湿カ度                      |                                                                            |       |       |       | 12               |       | 11.7  |       | 11.7  |                   | 11.7  | 10.6  | 11.7  | 12    |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            |       |       |       |                  |       | 410   |       | 400   |                   |       |       | 166.5 | 211.5 |
| B      | 乾球温度 (°C)                |                                                                            |       |       |       | 30.8             | 31    | 31    | 31    | 30.8  | 31                | 30.8  | 31    | 31    | 31    |
|        | 湿球温度 (°C)                |                                                                            |       |       |       | 29               | 29    | 29    | 29    | 29    | 29.3              | 29    | 29.5  | 29.2  | 29.2  |
|        | 湿度 (%)                   |                                                                            |       |       |       | 87               | 85.5  | 85.5  | 85.5  | 87    | 88                | 87    | 88    | 87    | 87    |
|        | 湿カ度                      |                                                                            |       |       |       | 8.4              | 10.7  | 12    | 11    | 10.3  | 10.1              | 9.8   | 10.1  | 10.3  | 10.1  |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
| C      | 乾球温度 (°C)                |                                                                            | 28.8  | 29.2  | 30.3  | 28               | 25    | 25    | 25.5  | 27    | 31                | 26.5  | 25    | 25.5  | 26    |
|        | 湿球温度 (°C)                |                                                                            | 27.8  | 28    | 28.7  | 27               | 25    | 25    | 25    | 25.9  | 29                | 25.5  | 24.5  | 25    | 25.5  |
|        | 湿度 (%)                   |                                                                            | 92.5  | 92    | 89    | 92.5             | 100   | 100   | 96    | 92.5  | 86                | 92.5  | 96    | 96    | 96    |
|        | 湿カ度                      |                                                                            |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
| D      | 乾球温度 (°C)                | 31                                                                         | 18    | 20    | 20.5  | 17               | 16.5  | 18.9  | 19.0  | 18.2  | 30                | 19    | 19.2  | 19    | 19    |
|        | 湿球温度 (°C)                | 29.8                                                                       | 18    | 20    | 20.5  | 17               | 16.5  | 18.9  | 19.0  | 18.2  | 29.5              | 19    | 19    | 19    | 18.7  |
|        | 湿度 (%)                   | 92                                                                         | 100   | 100   | 100   | 100              | 100   | 100   | 100   | 100   | 97                | 100   | 98    | 100   | 98    |
|        | 湿カ度                      |                                                                            |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            | 171   |       |       | 169              |       |       |       |       | 196               | 183   | 181   | 187   | 170   |
| E      | 乾球温度 (°C)                | 31                                                                         | 20    | 22    | 22.2  | 20               | 19.2  | 21.3  | 21.7  | 21.0  | 30.5              | 22    | 21.4  | 21.5  | 21.5  |
|        | 湿球温度 (°C)                | 30.2                                                                       | 19.7  | 21    | 21.9  | 19.5             | 19    | 21    | 21    | 20    | 30                | 21    | 21    | 20.9  | 21    |
|        | 湿度 (%)                   | 93                                                                         | 97.5  | 92    | 98    | 95.5             | 98    | 97    | 95    | 92    | 96                | 90.2  | 96    | 95    | 96    |
|        | 湿カ度                      | 10.7                                                                       |       | 26    | 24.6  | 30.8             | 30.8  | 24.6  | 23.5  | 29.9  | 14.93             | 26    | 28.7  | 30.8  | 27.4  |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            | 78.5  | 95    | 95    | 66               | 73    | 82.5  |       | 74    |                   | 106   | 102   | 98    | 113   |
| F      | 乾球温度 (°C)                | 31                                                                         |       | 31    |       | 29               | 29    |       | 27.2  | 27.6  | 31.6              | 30.5  | 30.4  | 29.5  | 28.7  |
|        | 湿球温度 (°C)                | 30.5                                                                       |       | 30    |       | 28.3             | 28.3  |       | 26.5  | 27    | 31                | 29.9  | 29.8  | 28.7  | 27.8  |
|        | 湿度 (%)                   | 95.5                                                                       |       | 93    |       | 95               | 95    |       | 95    | 95    | 95                | 96    | 96    | 94    | 93    |
|        | 湿カ度                      | 12.1                                                                       |       | 10.6  |       | 10.5             | 10.9  |       | 15.5  | 14.9  | 10.0              | 10.2  | 11.7  | 12.2  | 14.5  |
|        | 風量 (m <sup>3</sup> /min) |                                                                            |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|        |                          | 運転継続中<br>下記時刻の3回機械を停止した<br>時分<br>19.30—20.00<br>21.30—21.32<br>22.00—22.05 |       |       |       |                  |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |

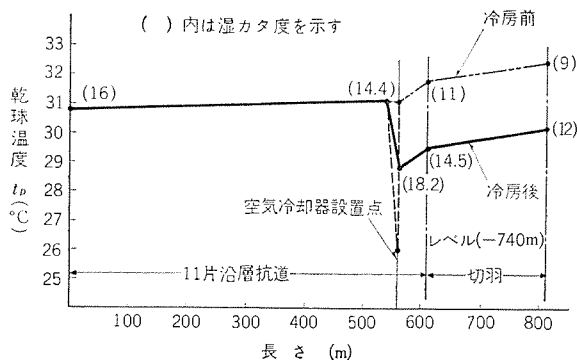


図 8.2 冷房前後の気象状態の変化  
Fig. 8.2 Changes of atmosphere before and after air conditioner operation.

## 9. む す び

以上坑内冷房の概要について記述した。負荷の推定計算の所では式を掲げ、必要な数値はできるだけ併記し利用に便ならしめた。鉱山の担当者の方々に多少なりとも参考になれば幸いである。従来の冷却法には限界があり、採掘が次第に深部におよび気象条件の悪化に苦しみつつある今日、坑内冷房装置の果たす役割は今後限りなく重要性を増してゆくと思われる。しかしながら熱負荷の適確な算定など今後の研究に待つべきものも少なくない。

圧縮機はいうに及ばず冷凍冷房機器全般の専門メーカーである当社は今後とも使用者側の協力を得てこの問題の解決へ努力してゆきたいと願っている。

## 参 考 文 献

- (1) Siegfried Batzel : 切羽作業に対する空気調和の計画と運転, 「グルクアウフ」 8, 40 (1959).
- (2) Werner Hoffmann : 気象調整装置による坑内気象の改善「グルクアウフ」 8, 25 (1959).
- (3) Paul Weuthen :  $i-x$  線図と坑内気象研究上におけるその応用「グルクアウフ」 3, 122 (1954).
- (4) D. R. Scott : The problems of hot and deep mines, colliery engineering, Oct. 407 (1956).
- (5) D. R. Scott : 同上 Nov. 459 (1956).
- (6) D. R. Scott : 同上 Dec. 507 (1956).
- (7) 栗原守 : 端島鉱に於ける坑内冷房に就いて「九州鉱山学会誌」 28, 63 (昭 35).
- (8) 岩原二郎・大門敬始 : 坑内局部冷房装置「九州鉱山学会誌」 28, 6 (昭 35).
- (9) 大隅芳雄・坂本徳長 : 坑内冷却用送水管の熱貫流率に就いて(第一報)「九州鉱山学会誌」 28, 357 (昭 35).
- (10) 日本機械学会 : 機械工学便覧 (昭 26).
- (11) 日本機械学会 : 伝熱工学資料 (昭 34).
- (12) 厚見利作 : 坑内通気論 255 (昭 19).

## 最近における当社の社外寄稿一覧

| 寄稿年月日    | 寄 稿 題                             | 先 名                                                             | 執 筆 者           | 所属場所 |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|------|
| 36- 4-11 | 照明年報                              | ケイ光放電管                                                          | 竹 田 俊 幸         | 研究所  |
| 36- 4-14 | 照明年報                              | 光電効果の応用                                                         | 伊 吹 順 章         | 研究所  |
| 36- 4-14 | 電気学会誌時報                           | 制御電極付素子を使用したイグナイトロンプ点弧回路の設計                                     | 加 藤 又 彦         | 伊 丹  |
| 36- 4-14 | 電気学会誌時報                           | 半導体整流装置の損失測定法                                                   | 加 藤 又 彦         | 伊 丹  |
| 36- 4-14 | 電気学会誌時報                           | 交流駆動系設計への融通性                                                    | 加 藤 又 彦         | 伊 丹  |
| 36- 4-19 | 電波技術                              | モレフトロニクス                                                        | 大久保利美           | 研究所  |
| 36- 4-20 | 電子科学                              | トランジスタステイック方式による論理回路                                            | 嶋 村 和 也・高橋幸四郎   | 無線機  |
| 36- 4-20 | 工業の進歩                             | 三菱デジタル電子計算機 MELCOM-1101F の概要                                    | 嶋 村 和 也         | 無線機  |
| 36- 4-22 | 電気学会誌時報                           | 直流、低電圧回路のサージ保護方式                                                | 加 藤 又 彦         | 伊 丹  |
| 36- 4-24 | 電気工学年報                            | 照射装置その他                                                         | 前 田 良 雄         | 研究所  |
| 36- 4-27 | 電気学会                              | むだ時間をふくむ非整数階積分形制御系                                              | 真 鍋 舜 治         | 研究所  |
| 36- 4-28 | Royal Geographic Society (London) | "Field Test of 24,000 MC Radar at Tokyo International Airport". | 慇 本 俊 弥・近 藤 輝 夫 | 無線機  |
| 36- 5-12 | 日本電気協会                            | 航空選音速風洞駆動用静止レオナード装置                                             | 細 野 勇           | 伊 丹  |
| 36- 5-12 | 日本電気協会                            | 低圧配電線用柱上自動電圧調整器ポールレグ                                            | 早 瀬 道 明         | 伊 丹  |
| 36- 5-12 | 日本電気協会                            | 自動列車制御装置                                                        | 北 岡 隆           | 伊 丹  |
| 36- 5-18 | 日本 IE 協会                          | 電機組立工場におけるメモ・モーションスタディの適用例                                      | 久 保 博 司         | 伊 丹  |
| 36- 6-10 | 電気学会誌                             | 電圧帰還形磁気増幅器                                                      | 浜 岡 文 夫         | 研究所  |
| 36- 6-10 | 電気学会誌                             | コロナ 測定回路の解析                                                     | 原 仁 吾・平 林 庄 司   | 研究所  |
| 36- 6-19 | 電設工業                              | 最近の商店照明技術一(3)一店舗と照明                                             | 小 堀 富 次 雄       | 本 社  |
| 36- 6-19 | 制御工学                              | 赤外線 ガス 分析計                                                      | 安 東 滋・西 岡 直     | 研究所  |
| 36- 6-20 | 電気学会誌                             | 2 進 コード の分類と構成                                                  | 福 永 圭 之 介       | 研究所  |
| 36- 6-26 | 電気学会誌時報                           | 真空開閉器                                                           | 亀 山 三 平         | 伊 丹  |
| 36- 6-27 | 日本分析化学会誌                          | 液状陰 イオン 交換体による アルミニウム の合金中の亜鉛の分離および定量                           | 石 橋 勝・小 巻 仁     | 研究所  |

## 高周波誘導加熱装置 (I)

—— 加熱電源の周波数、電力とその概要 (2) ——

無線機製作所 馬場文夫\*・東田孝彦\*\*

### 3. 各種応用に対する特長

金属材料の熱処理加工のための加熱には、従来燃焼式加熱炉、抵抗炉などがもっぱら用いられてきたが、スケールが生じやすく、均一温度がえられにくく、加熱時間が長く、機械的ヒズミが大きいなど、量産性に乏しい難点があった。高周波誘導加熱はこれらを容易に解消して各種応用に多くの特長をもっている。

#### (1) 熱効率がよく急速加熱ができる

誘導加熱は前章で述べたように、加熱コイルにより誘導電流を被加熱物中に流し、直接加熱するものである。他の熱源から発する熱放射、熱対流、熱伝導による材表面からの加熱法と比較すると大きく熱効率が異なる。誘導加熱では  $1.0 \text{ kW/cm}^2$  の電力密度で加熱することは普通で、たとえば同じ電力密度を放射加熱に Stefan-Boltzman の法則より換算してみると  $3,400^\circ\text{C}$  以上の熱源を用いた場合と同じになる。このような熱源をもつ加熱炉は製作困難であり、非常に熱効率のよいことを示す。表面焼入のときにはさらに  $10\sim 30 \text{ kW/cm}^2$  の大きな電力密度で、加熱物に直接熱エネルギーを供給できるので、急速加熱ができる。従来の浸炭焼入では  $3\sim 7$  時間加熱後さらに加熱し焼入して、実にやっかいな操作を数時間以上かかっていたが、誘導加熱による表面焼入は数秒以下のきわめて短時間に焼入処理ができる。

#### (2) 均一な加熱が任意な部分にできる

誘導加熱は電磁誘導によって直接加熱物を加熱するため、加熱電力量と加熱時間を一定に保ち連続自動加熱をするときには、他の熱的な変化が生ずるものがないため均一な温度に加熱物を処理することができる。

1 個の加熱物の一部分だけを加熱する場合は、その部分だけに誘導電流を流すだけで、他の部分をも加熱させることなく均一な加熱ができる。これは溶接や、鍛造加熱の際にはもっとも多く用いられている。

表面焼入の際には任意の焼入部だけを、加熱周波数・電力密度・加熱時間を適当に選ぶことにより、必要な深さまで、内部温度をあげることなく表面焼入することができる。またシャフトの一部分だけの表面焼入をする場合には、焼入箇所だけを容易に誘導加熱することができるが、浸炭焼入の際には、焼入ない部分にはメッキなどを行なう工程はいり不便である。

#### (3) 焼入物の金属材料が安くなる

従来の焼入物の金属材料としては、合金鋼などが多く用いられていたが、高周波焼入では図 3.1 のように炭素鋼で十分硬度がえられる。しかも内部には強靱な素地を残すことができるため、合金鋼のシャフトに比して小さな機構的寸法となり材料の低減とともに、価格の安い炭素鋼が使用できる。たとえば外径  $100\phi$  歯幅  $20 \text{ mm}$  のギヤは、浸炭焼入では SCM-21 材

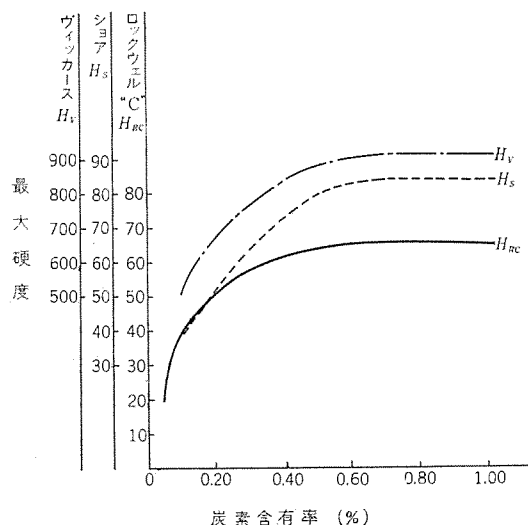


図 3.1 炭素含有率対最大硬度曲線

を用いると約 150 円、高周波焼入では S45C 材を用いることができ約 96 円となり約 33% 材料費が安くなる。さらに前処理、機械加工、焼入、研磨（浸炭のときだけ）費を合計しても高周波焼入は  $10\sim 30\%$  浸炭焼入に比して安く、作業時間も短くなり経済的である。

#### (4) ヒズミの少ない加熱ができる

誘導加熱は表面の誘導電流によって、全体を加熱することなく短時間に均一に加熱が終わるので、ヒズミの少ない熱処理ができる。とくに焼入では表面硬化層だけを急速加熱し、材の中心部には熱応力を与えることなく短時間に焼入加熱ができるのでヒズミは少ない。直径  $30\phi$  長さ  $700 \text{ mm}$  のシャフトを硬化深度  $3.0 \text{ mm}$  に焼入するとき、全長に対するヒズミは  $0.03 \text{ mm}$  程度以下にすることができる。これは急速加熱で硬化層を薄くし、均一な加熱深度で、均一に急冷することは、比較的容易に高周波焼入ではできるため低ヒズミ焼入が可能となる。高周波ロウ付の場合でもロウ付部分だけを短時間加熱できるので低ヒズミのロウ付が可能である。

#### (5) 熱処理工程は機械工場ラインにはいる

高周波誘導加熱では加熱炉のように炉体を加熱して準備することなく、また周囲には高温熱気を発散させないで、きわめて短い時間に熱処理ができる。このため従来機械工場より離れて別に作られていた熱処理工場は不要となり、機械—熱処理—組立工場の運搬やその時間も不要となった。とくに夏期熱処理工場に加熱炉を扱う作業難を解消することができるのは労務管理上からも望ましいことである。高周波焼入では機械加工工程の後いったん留めることなく焼入物を 1 個～数所を順次短時間に

処理して行くことができるので機械加工と同様に焼入、焼戻機へ次々と送って流れ作業ができる。今日では各焼入機は機械工場の一 ライン 中にはいり一貫した流れ作業が可能となり、とくに自動車工場などのような量産工場では非常に工程管理がしやすくなった。焼入機とその高周波電源装置とは M-G 式の場合は比較的離れて設置することが可能であるため、高周波電源は1個所にまとめてそこから各機械 ライン の各焼入機に電力を供給することができるのは、M-G 式の特長でもあり、もはや高周波焼入機は1台の旋盤同様に各 ライン に組込まれつつある。

## (6) 温度制御が簡単である

誘導加熱は加熱物の温度上昇や温度保持、冷却が加熱電源の切断調整により非常に簡単に操作でき、電源制御は炉による加熱法より早く材の温度を変えることができる。しかも加熱物に均一な温度制御が可能である。とくに真空溶解や半導体の精製、単結晶引上などでは  $1,400^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  以下に従来ではできなかった精密な温度制御をして、加熱処理ができる。

## 4. 加熱電源装置の概要

誘導加熱装置は被加熱物に適した周波数で、限られたコイルインピーダンスに大電流、大電力を供給するため、高周波変流装置と高周波発生電源装置、その制御装置からなっている。

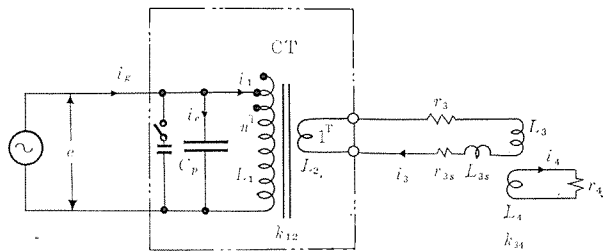
### 4.1 高周波変流装置

#### (1) M-G 式電源用

図 4.1 は M-G 式電源による変流装置の結線図で、図 4.2 はそのベクトル図である。加熱 コイル  $L_3$  に加熱電流を流すためには、電源電圧  $e$  を CT 一次  $L_1$  と  $C_p$  とで同調させ  $i_1$  電流は電源電流より数倍に大きくして、それを CT 巻数比の  $n$  倍とし、 $L_3$  に供給している。高周波変流器 CT は 10 kc 以下の M-G 式の場合は鉄心入として CT 一次二次間の結合を密にすることができる。 $C_p$  は電源側から見た CT 一次回路の力率調整用コンデンサである。これによって、誘導加熱インピーダンスを調整するとともに、ベクトル図  $i_c$  電流は電源電流  $i_g$  の数倍程度の  $i_1$  電流をうる。 $C_p$  はさらに  $L_3$  および被加熱物の寸法が異なったり、温度上昇とともに CT 二次インピーダンスの変化に対しても調整できるように可変式として用いている。また  $L_3$  の大きさに応じて加熱コイル電流、電圧を調整するために CT 一次二次巻線は可変タップ式のものが実用化している。加熱コイル  $L_3$  が  $L_1$  と同じくらいに大きくなるような、大きな被加熱物に電力を供給する場合には CT は使わなく、直接  $C_p$  と  $L_3$  で加熱することもある。

#### (2) Tube 式電源用

図 4.3 は Tube 式電源による高周波変流装置結線図で、M-G 式と同様に加熱コイルは、CT 一次の電流を二次大電流に変換させるとともに、一次高インピーダンスに整合させている。 $C_p$  と  $L_1$  は真空管の陽極同調タンク回路となっていて、加熱コイルの電流はタンク電流を増倍して引出している。また  $L_3$  のインピーダンスが  $L_1$  同等に大きい場合には加熱コイルは直接タンク回路の一部に用いることもある点は M-G 式と同様である。M-G 式と異なる点は加熱コイルインピーダンスは、被加熱物の大きさや、加熱温度の変動に対して、 $L_2$  が陽極発振同調回路  $L_1$  に密結合しているため  $L_1$  が変化することとなり、このため高周波発振周波数は加熱負荷変動に応動する特長をもっている。



$L_3$ ...加熱コイル

$L_4$ ...被加熱物に生ずる誘導インダクタンス

$r_4$ ...被加熱物の固有表面抵抗

図 4.1 M-G 式高周波変流装置

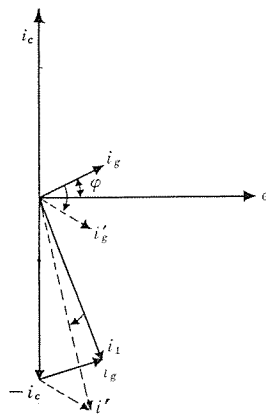


図 4.2 高周波変流装置 ベクトル図

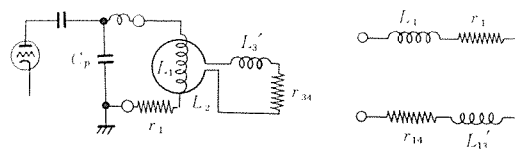


図 4.3 カレント・トランスの等価回路

### 4.2 高周波電源装置とその制御方式

#### (1) M-G 式高周波電源装置

図 4.4 は M-G 式高周波電源装置のブロック図で、この電力制御回路は図 4.5 に示す。商用三相交流電源によって誘導電動機 M を回転させ、高周波発電機 HFG の回転子を駆動させている。HFG の界磁巻線には定電源よりえた励磁直流電流を流すことにより高周波電力を発生する。負荷変動に対して一定出力電圧を発生するためには、HFG 出力電圧を取り出し磁気増幅器に入れて設定電圧との変差を検出し、励磁電流を制御するような帰還回路を用いている。これによって 100% 負荷変動に対して出力電圧変動は 2% 以下に制御することができる。

HFG 出力は低インピーダンスで、加熱電流に比し小さな電流でもあるので、HFG から変流装置までは高周波ケーブルなどで比較的遠くまで(約 50 m 以下)給電することができる。図 4.6 のように HFG は同じ定格のものを 2 台以上並列運転して大きな電力とし、1 個の加熱コイル、変流装置に電力を供給できる。たとえば電源出力 1,000 kW 10 kc が必要な場合には、

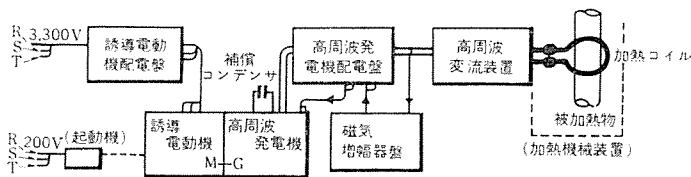


図 4.4 M-G 式加熱装置 ブロックダイアグラム

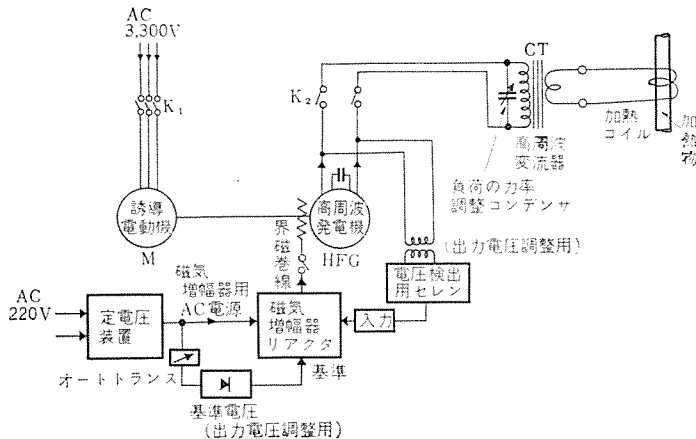


図 4.5 M-G 式電源制御回路

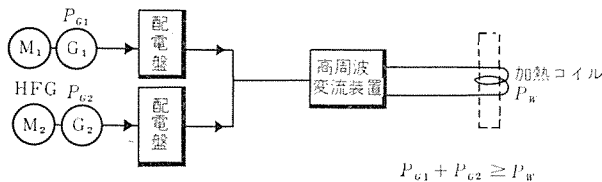


図 4.6 HFG の並列運転

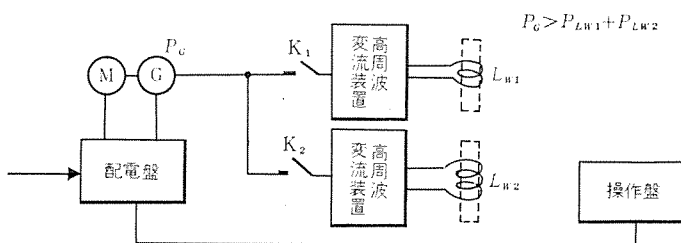


図 4.7 並列負荷接続

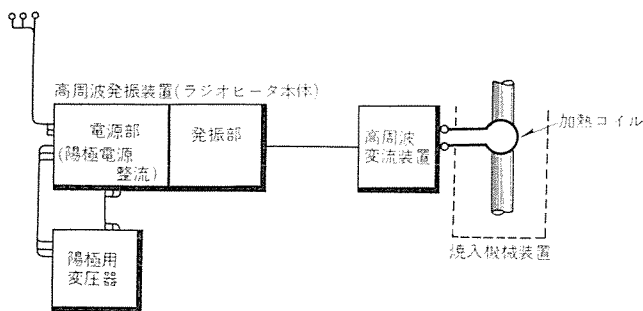


図 4.8 Tube 式高周波電源装置 ブロックダイアグラム

250 kVA 10 kc の HFG を 4 台並列運転とすることは比較的容易にできる。また一方 HFG 電源が大きな容量のものである場合には、1 台の HFG から 2 台以上の加熱ステーションにある高周波変流装置に同時に電力を給電することができる。この負荷並列のときは各ステーションの電力値の総和が HFG 出力以下であることは当然必要である。

## (2) Tube 式高周波発振装置

図 4.8 は Tube 式高周波電源装置のブロック図でこれは従来よりラジオータの発振電源装置と呼んでいる。高周波電力の発生には真空管を用いているので、どんな周波数でも発振させることができるが、誘導加熱用としては一般に 100 kc 以上数 Mc のものが多い。これは商用三相交流電源をトランスで昇圧し、整流管、サイロトンなどで整流し、この陽極直流電力を発振管陽極に与えることにより高周波を発振させている。高周波出力の制御は陽極直流電圧の加減調整と、陽極同調回路素子の調整によって行なっている。この陽極回路は発振周波数を決定する素子からなっているが、高周波出力の調整に対する発振回路方式については当社が特許をもっている。

一方制御、補助電源としては、各真空管のヒータ電圧、直流陽極電圧を一定とする装置により電源電圧の変動に対して一定出力がえられるようにしている。Tube 式高周波電源は発振管陽極インピーダンスが高いため、M-G 式に比して発振装置から変流装置までの長さはあまり長くとれない。高周波出力は使用真空管によってどんな容量のものでも作れるが、発振周波数は M-G 式よりも高いものを製作している。これは高い周波数を必要とする加熱物を対象としているため、比較的小さな寸法形状のものに利用されている。したがってあまり大きな出力を必要とするものが一般には少ないので 100 kW 程度以下の出力のものを標準としている。

## (3) その他の高周波発生装置

火花式発振装置は戦後から国内で比較的用いられていたが、これは放電ギャップにより 10~100 kc 程度の高周波を発生する。放電ギャップの保守調整が比較的困難であり発振周波数や電力がつねに一定にえられにくいので、高周波利用設備の電波法規などの点から最近はあまり用いられず、当社では製作していない。

## (4) Tube 式と M-G 式高周波発生装置の比較

(1) (2) 項で高周波発生装置の概略を述べたが、図 4.1 に比較表としてまとめて検討する。

高周波の発生能率は、Tube 式では直流電力を発振管により高周波に変換してその発振管陽極能率は 50~65 % 程度である。しかしこれは商用電源から直流陽極電源に換算する際の能率 90 % 程度と、各真空管ヒータ電力などを加算すると商用電源に対する能率は約 50 % 程度となる。M-G 式では電動機出力と発電機出力との変換能率は 10 kc のとき 77 % で、周波数が低くなるのにしたがってさらによくなる。商用電源からの電動機出力能率は容量によっても異なるが 88~95 % 程度で、商用電源に対する 10 kc 能率は約 70 % である。

表 4.1 Tube 式と M-G 式高周波発生装置の比較

| 比較項目    | Tube 式                                                            | M-G 式                                                  |
|---------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 周波数     | 10 kc 以上、一般に 100 kc 以上<br>どんな周波数でもできるが、100 kc 以下のセットは M-G 式に比して不利 | 10 kc 以下<br>現在 20 kc 以下のものは製作していない                     |
| 出力      | 100 kW 以下のセットを誘導加熱用に作っている。これ以上のものについては周波数を低くして使用することになるから利用価値小    | 30~1,500 kW<br>小さいものは真空管式に比して開高である                     |
| 効率      | 50 ~ 60 % (10 kc において)                                            | 77 % (10 kc において)<br>85 % (2,500 c/s において)             |
| 装置の並列運転 | 不可能                                                               | 容易                                                     |
| 並列負荷    | きわめて困難                                                            | 容易                                                     |
| 消耗部品    | 真空管 (寿命 3,000~5,000 時間)<br>たとえば 100 kW では約 100 万円 (300 円/時)       | 軸受 (寿命 10,000 時間)<br>たとえば 100 kW では約 6,000 円 (0.6 円/時) |
| 保守調整上の点 | 静止形であるが、真空管の保守調整は比較的難                                             | 回転形であるが注油を 1,000 時間に 1 回程度したらより易                       |
| 価格      | 100 kW 以上であれば M-G 式の同容量、同周波数のものより高い<br>100 kW 以下は比較的安い            | 100 kW 以上は比較的安い                                        |
| 修費      | 真空管消耗費比較的高い                                                       | ほとんど不要                                                 |
| 応用範囲    | 小物の加熱焼入用<br>鉄棒なら 25 φ の小さなものの加熱とくに焼入深度の浅いものに適す                    | 大物の加熱焼入溶解<br>全体熱処理など                                   |

並列運転と並列負荷法による電力供給方式は、Tube 式では発振管を並列にして電力を大きくすることは可能であるが、発振管装置出力の並列運転は不能である。

装置の消耗部品は、Tube 式では真空管 ヒータ の平均寿命が 3,000~5,000 時間であり、100 kW 程度に用いられる真空管は 1 本数十万円という高価なものであるため M-G 式に比して非常に保守費は高くなる。

高周波発生装置全体の価格は、Tube 式では約 5~20 万円/kW、M-G 式では 7~20 万円/kW 程度で、100 kW 以上となると M-G 式は比較的安く、外国では 80 kW 程度が同一価格となるようである。

Tube 式は表から比較的好ましくないように見られるが小さな被加熱物で加熱深度を浅くする場合には M-G 式では不可能なものを容易に小電力密度で加熱することができ、小物の熱処理には十分特長を利用して使用される。しかし最近の大物への熱処理には M-G 式高周波発生装置もますます誘導加熱の応用範囲を増して行くことであろう。

以上高周波誘導加熱用電源装置の一般的な概要を述べたが、次回には装置の詳細説明と仕様について解説する。

## 参考文献

(1) 馬場文夫・渡辺文明：高周波誘導加熱装置，「三菱電

機」，29, No. 7, p. 53 (昭 30)。

(2) 馬場文夫・渡辺文明：高周波誘導加熱の負荷回路の解析ならびに調整法，「三菱電機」，28, 臨時増刊 p. 47 (昭 29)。

(3) 大森淳夫・岩田 博：高周波自動加熱装置，「三菱電機」，29, No. p. 16 (昭 30)。

(4) 佐々静男：特殊鋼の高周波焼入性，「三菱電機」，27, No. 3, p. 25 (昭 28)。

(5) 馬場文夫・渡辺文明：M-G 型高周波誘導加熱装置の負荷回路調整ならびにその応用，「三菱電機」，31, No. 7, p. 42 (昭 32)。

(6) 生駒鉄郎：誘導加熱用高周波発電機，「三菱電機」，31, No. 7, p. 37 (昭 32)。

(7) D. Venable: Radio-Frequency Heating, Westinghouse Reference Book p. 378 (1948)。

(8) 馬場文夫：高周波加熱応用「通信工学講座 3-B」p. 16 (昭 31)。

(9) E. May: Industrial High Frequency Electric Power (1949)。

(10) P. G. Simpson: Induction Heating, Coil and System Design [McG. H] (1960)。

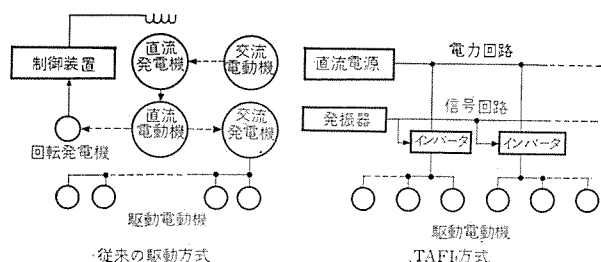
(11) N. R. Stansel: Induction Heating [McG. H] (1949)。

## 静止インバータによる可変周波数 交流電動機駆動方式

C. G. Helmick and Ian M. Macdonald: Adjustable AC Drive System with Static Inverter (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 4, July, 1961, p. 123)

広範囲な速度変化、高能率、精度の高い制御特性、保守の容易さなどの条件を具備する電動機駆動方式として TAFI (the Trinister Adjustable-Frequency Inverter) がある。これはトリニスタを使用した静止インバータから成り、元来化学繊維工業用として開発されたが一群の電動機を制御するのに有効である。

本文は TAFI 方式による電動機駆動の設計上の基本問題を論じたものであり、図に従来の駆動方式と TAFI 方式をブロックダイアグラムで示す。



### (1) トリニスタの特性

スイッチオン・タイムが数マイクロ秒である。問題は回路のシャ断であるが、キャパシタの放電作用を利用するか負荷電流を一時的に開閉装置から分流させる方法がある。負荷が進み力率の場合には電圧が零になる前に電流が零となるので装置は自動的に復帰する。

### (2) 周波数制御

出力周波数の変化は適当な発振回路でトリニスタのゲート回路の開閉を行ない、その発振周波数の制御を行なう。

### (3) 装置の特性

負荷の変動は周波数にはなんら影響しないのが特長である。合成繊維機械のように正確な速度が要求される場合は、発振器の温度制御を行ないドリフトの問題を解決している。

### (4) 電動機負荷特性の影響

第一に電動機は遅れ力率を持つので回路開閉に悪い影響を及ぼす。

第二に電動機はサイクル当たりの電圧が一定であることが望ましい。速度範囲の小さいものは電動機サイズを大きくすればよいが、速度範囲の大きいものでは電圧制御を行なう必要がある。これを行なうのにタップ付変圧器あるいは可変単巻変圧器を用いたものでは可動部分を含むことになる。可動部分を持たない方式としてインバータに印加される直流電圧をサイクルに応じて変えることにより解決できる。

### (5) 電動機の形式

実用的で多く使用されるカゴ形電動機は起動電流が大きいために TAFI 方式には不適である。これに対し、反発電動機は突入電流が小さくまた同期回転を行なうので TAFI 方式に適した電動機である。

### (6) 定格

TAFI 方式で重要な定格は出力 kVA である。大出力用のトリニスタには現在 50 ないし 100 A のものがある。装置の電圧および周波数は現在使用されている電動機に関しては問題にならない。

### (7) 装置の選定

TAFI 方式を選定する場合、周波数、電動機の形式、電圧制御、セツ頭電流、負荷特性などすべての要素を十分考慮しなければならない。

### (8) 経済性

精密な速度制御を必要とする小容量の電動機のグループ制御、たとえば同期電動機を用いた合成繊維巻取機械、高速度電動機制御たとえば内部研削盤、木工機械、ガラス巻取機などに応用して経済的であることを述べている。

回転機を用いたインバータの能率がたかだか 65% であるのに対しこの方式では電力変換損失がないために 90% の高能率であり負荷の特性および周波数を適当に選ぶことにより 20:1 あるいはそれ以上速度範囲を得ることも可能である。

(神戸製作所 辻 順一訳)

## 誘導加熱

John M. Edwards: Induction Heating (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 3, May, 1961, p. 84)

誘導加熱は比較的新しい加熱法で、アックスシャフトやクランクシャフトの焼入、工具類のロウ付、焼鈍など多くの方面に現在広く利用されて来ている。この方法は、被加熱物自体を直接加熱するため熱効率がよく、熱処理速度がきわめて早いのが特長で機械加工工程に組込み、一環した流れ作業ができる。このほかに局部加熱が確実にでき、高い経済性のために従来の加熱法に取ってかわる例が非常に多くなりつつある。

加熱の際の誘導電流の電流密度は被加熱物の表面が最大で、内部にはいるにしたがって加熱周波数により指数関数的に減少するものである。このため目的の加熱深さに応じた使用電源周波数を、被加熱物の材質、形状、電気常数などにより選定する必要がある。

### 焼入

現在では自動車やトラクタのアックスシャフト、ギヤ類、バルブシステム類、クランクシャフト、ロッカーアームシャフトなど多くの工業部品の焼入に用いられている。電力は焼入材の外周部を加熱するだけの量が必要ではあるが、約 1.5~3.0 kW/cm<sup>2</sup> の大電力密度で、1回



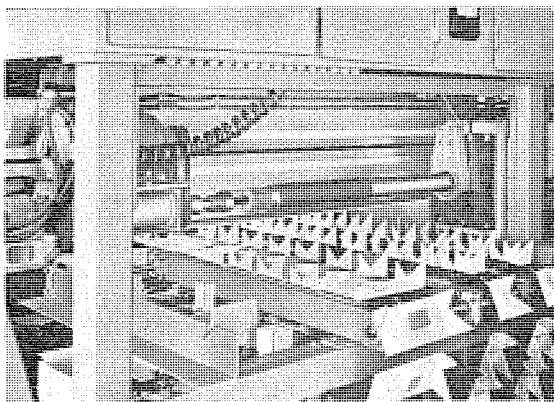


図1 トラクタ アクスル 自動焼入機械

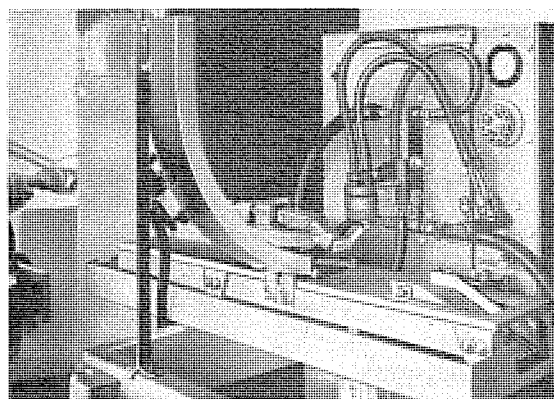


図2 ベアリングレス 焼入装置 400個/時間

巻きの適当な面積と形状をした コイル に供給している。焼入技術として最近注目するものは アクスルの焼入で、軸の内部は強いじん性もち、外周に焼入硬化層があるために、材の強度がいちじるしく増大したことにより、ベアリング、ギヤ 部の関連をもつ大きな部分を機構上小形化することができた。さらに高価な特殊鋼に代わって、安価な炭素鋼が使用でき、機械加工費も節減できるようになった。もう一つの発達としては、図1のような低ヒズミの アクスルシャフト 焼入機械で、焼入工程中は二つの機構の装置で強くまっすぐに引きながら焼入れられるものである。一例として 1041 炭素鋼材のものは硬度  $H_{RC} 50$  で抗張力  $20 t/cm^2$  という強い シャフト ができる。

高速 ロッカーアーム 焼入機械は 46 cm のものを連続水平回転送りによって、コイル、冷却輪の工程を自動送りでき、25 kW の高周波発生器で1時間に100個分を処理できる。一発焼入の例としてベアリングの内面焼入機械がある。図2は外形を低ヒズミにするよう焼入中固定して保持する機構が特長で、10kc 50kW 電源により3秒加熱3.5秒冷却で423本/時間を焼入深度2.3mmに処理でき、電源1台で2台の機械へ交互に電力を供給すると処理量はさらに倍増できる。

#### 熱処理

焼鈍、応力除去、焼パメなどがある。ヨリ鋼ケーブルの応力除去として、12φのものを、10kc 250kW 電源で、長さ90cmの加熱コイル中を85 m/minの速さで通して  $320^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$  に保持している。

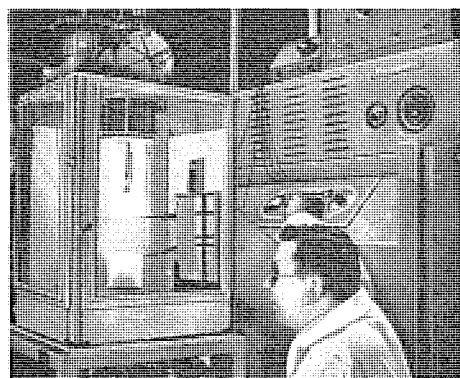


図3 シリコン 単結晶引上げ装置  
10 kW 450 kc 226 g

#### その他

鍛造加熱は従来の炉による加熱法に比して、加熱速度が早く、ランニングコストが安いので利用が多い。7.5 cm 径のものから25~30 cm 径の大きなものも多くなった。出力300 kW では約2 t/hを  $1,100^{\circ}C$  に処理できる。このほかにロウ付、ハンダ付も高い加工速度で処理できるので、コンベヤ装置と組合せて加工ラインに同列として使用されている。薄板の加熱法として、0.25 mm 厚で91 cm 幅の薄鋼板のコーティングを730 m/minの速さで処理している。またアルミニウム材にも利用している。

#### 溶 解

960~3,000c/sの電源による誘導炉では鍛造加熱と同様に0.02~2 t/hの処理量が多く使用されている。とくに半導体の精製や引上げには高周波発振装置が用いられ、ゲルマニウム、シリコン用として広く利用されて来た。シリコンは  $1,450^{\circ}C$ 、ゲルマニウムは  $950^{\circ}C \pm 0.1^{\circ}C$  の精度で温度制御される。このように誘導加熱はきわめて精密な温度制御が比較的容易にできるので、他の加熱方式より多くの有利な点がある。

(無線機製作所 東田孝彦訳)

## 制御用計算機を適用するに当たって

R. O. Decker: Application of digital control computers (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 5, September, 1961, pp. 141~144)

工業プロセスの自動化に計算機制御を適用するに当たっては高度のシステム工学技術を確立しておかなければならない。すなわちプロセス自身の特性と計数形制御計算機によって可能な機能とについて十分に認識した上で技術的経済的に計算機制御の可能性を確かめなければならない。

計数形制御計算機の機能は大別して次の三機能があり各機能にはそれぞれ段階がある。

報告記録の機能ではプロセスの物理量の直接的データ、集計値、平均値、傾向値、効率、運転費用、生産利益などの生産的データ、在庫記録、材料手配、素材計画、請求書類、他の会計機にかけ

る入力データなどの会計用データ、さらに入出力間の相関関係、プロセスの数学的モデルを作るための技術的データなどを走査し記録する。

管理の機能では計算機はプロセスと操作員との連絡者の役割を持ち、プロセスの諸量が品質管理限界、安全限界、材料の供給限界などをこえたり急速に近づいたときに警報を出すことからさらに過去現在にわたっての限界超過量の記録や、記憶されているプログラムによって現在のプロセスに対して必要な処置を判断し操作員に指示を与える。プログラム記憶式の計算機では危険時に通常の走査サイクルを中断してさしあたって必要な諸量を走査できるなど融通性にすこぶる富んでいる。

制御の機能では事故防止、起動停止や操作の切換えなどのシーケンス制御からプロセスの入力を変えて出力を測定記録すること、さらには直接測定できないプロセスの制御すべき量を計測可能な諸量を変数として算出し制御する多変数制御、プロセスの入出力間の相互関係を考慮せずに制御できるよう他の出力を一定に保ち目的の出力を変えるのに数個の入力を同時に変えるようにプログラムしておく non-interacting 制御、制御すべき量の極大極小値を得る方程式を含んだ数学的モデルを基とした最適制御、数学的モデルを確立し制御量を変えたときに起こるじょう乱を予測して行なうフィードフォワード制御などに進む。

これらの機能はデジタル技術の進歩とともに発展して来たもので計算機制御を行なうに当たって熟知していなければならぬものである。またとくにプロセスの安定度は事前に十分に解明しておかなければならない。ついで制御計画をフローチャート化し計算機プログラムにする。プロセスから得られる実験データが不足のときは計算機を open loop として入れ正確なデータの集積に用い制御プログラムを訂正して行き計算機を loop に入れることができる。

システム工学技術とは生産機器、計算機、入出力装置、変換器、計装間を技術的・経済的に協調をとることと定義される。したがってこの技術はプラントの操作方式、限界、機能、計算機のプログラム、機能、計測、計装および経済的要因などにそれぞれ詳細な知識を持った各種の技術者の協同組織から生まれる。計算機制御の開発に当たってはまずそのプロセスに計算機の適用が可能か、計装や計算機が経済的に見合うかの検討に始まり、プロセスの特性の詳細な解明、必要なデータの測定集積、プロセスの数学的モデルの発明に進み、さらに計装を完備するとともに数学的モデルおよび制御のプログラム化にはいる。open loop の実験によってプログラムの修正、検査が行なわれ最後に計算機を系に入れてループを閉じることになる。(研究所 吉江高明訳)

## デ ィ ジ タ ル 制 御 の 機 能

E.R. Ross and F.G. Willard: Digital Control Functions (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 5, September, 1961, p. 137)

固体スイッチ素子の進歩によってデジタル制御の領域が拡大され、新しい技術として脚光を浴びてきた。従来用いられていたスイッチ素子は機械的なもので、形が大きく電力を多く使い、寿命が短く、応答が遅いという欠点がある。固体スイッチ素子ではこのような欠点は比較的少なく、したがってより複雑な機能をもつ制御機器を設計できるようになった。

### デジタル制御の基本的機能

1. 方式: 制御方式には比例制御と ON-OFF 制御とがある。前者は測定量を直接デジタル形に変換したり、いったんアナログ電気信号として取出してから A/D 変換器でデジタル形に変換する。後者はより簡単で基準量より大きい小さいかによって yes か no かのデジタル信号を出す。

2. 情報入力と記憶: 制御下にあるプロセスに対する制御の状態を変更するためのデータを読み込む手段が入力装置である。それには押しボタン、スイッチ、パンチカード、またはテープ・リーダー、電話ダイヤルなどが代表的なものである。入力装置は誤動作のきわめて少ない単純なものが望ましい。

記憶というのは、入力情報とか、制御信号を装置に入れてから多少時間を経てこれを使用するために、これをたくわえて置くもので、フリップ・フロップとか、磁心記憶とか、磁気ドラムなどを用いる。

3. 論理および順序: 論理回路というのは、それに与えられる ON-OFF の信号を判断して、あらかじめ定められた論理方程式にしたがった ON-OFF 制御信号を出すものである。この論理表現は AND, OR, NOT の組合せて表わされるが、また NOR を用いて表わすこともできる。

順序回路とは制御事象の起こる順序、時刻を制御するもので、今まで起こった事象を記憶している記憶回路と、今の事象の継続時間を設定する遅延回路と、つぎの必要な事象を生ぜしめる手段とから成っている。

論理回路と順序回路とはデジタル制御におけるもっとも重要な部分である。

4. 演算回路: デジタル制御機器では演算回路は通常小規模なもので、減算、比較、計数程度のもので間に合う。デジタル計算機とデジタル制御機器との区別は演算機能の大小で区別される場合が多い。

5. デジタル制御: これはデジタル的手法を用いてアナログ的手法より速く、正確に制御をしようとするものである。速度および位置制御がもっとも通常であるが、デジタル的に扱える量ならいかなる量でも制御できる。

基本的には位置量をデジタルに作り出す部分、その量と所望値との減算をする部分、デコードする部分および、それに相当するアナログ制御信号を発生する部分から成るものである。

### 応 用

スタティックな素子を用いたデジタル制御系が現在多くの用途に用いられている。たとえば、自動コンベヤ系、自動燃料供給装置から自動組立工程などにまで用いられているが、デジタル制御技術も素子もまだまだ進歩する可能性がある。

(研究所 中塚正三郎訳)

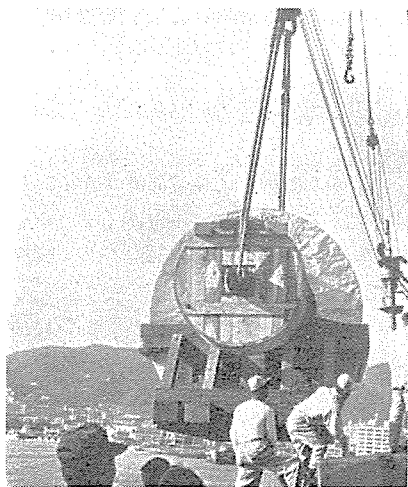
## ■ ブラジル・ミナス製鉄所納め 120 インチ プレートミル用電機品出荷

製鉄用電機品の輸出第一陣としてブラジル・ミナス製鉄所のプレートミル用電機品が続々と出荷中である。その主要機の概略仕様は表のとおりである。

これらの主要回転機に対して制御装置、補機用回転機およびその電源 M-G セット、シリコン整流器などの種々の電気設備のすべてを含む広汎なプラント機器の製作を完了した。

ブラジル・ミナス製鉄所向け プレートミル用主要電機品

| 用途        | 機種    | 仕 様                                                      |
|-----------|-------|----------------------------------------------------------|
| 粗圧延機      |       |                                                          |
| 主ローラー駆動   | 直流電動機 | 台数 1 容量 4,500HP (3,300kW) 電圧 (V) 750 回転数 (rpm) 35/70 備 考 |
| 同上用電源     | 直流発電機 | 2 2,000kW 750 514                                        |
| 駆動用電動機    | 誘導電動機 | 1 4,000HP (3,000kW) 11,000 514                           |
| フライホイール   |       | 1 120,000HP・sec (90,000kW・sec) 514                       |
| 仕上圧延機     |       |                                                          |
| 主ローラー駆動   | 直流電動機 | 2 3,500HP (2,600kW) 750 35/90 Twin Drive                 |
| 立テロール //  | //    | 1 600HP (450kW) 750 200/600 二重電機子                        |
| 主ローラー用電源  | 直流発電機 | 3 2,000kW 750 514                                        |
| 立テロール用 // | //    | 1 500kW 750 514                                          |
| 駆動用電動機    | 誘導電動機 | 1 7,000HP (5,250kW) 11,000 514                           |
| フライホイール   |       | 1 120,000HP・sec (90,000kW・sec) 514                       |



ブラジル・ミナス製鉄所プレートミル用主  
モータ回転子船積  
み(神戸港)

## ■ ロケット追尾レーダ成功す (GTR-1 形 観測ロケット追尾レーダ)

無線機製作所においてこのほど完成し、現地据付調整を進めて来た 東京大学生産技術研究所カッパー-ロケット用 の 追尾レーダは、このほど秋田県道川において第 1 回実用試験に成功した。

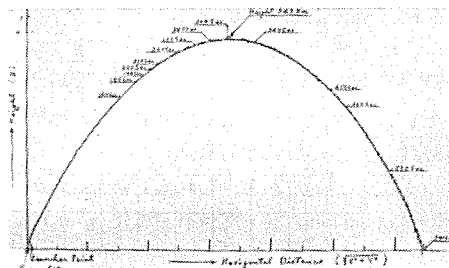
このレーダは、約 2 カ年の間 基礎的システム 検討からその具体化まで、無線機関係の新鋭技術陣を動員し設計製作にあたっていたものである。

東大生研のロケットは、年とともに飛しょう距離が増し、従来の観測装置では、もはや全経路の測定が不能になるまでの成長をとげた。今回追尾測定に成功した カッパー-9L 形ロケット は、電離層観測用のものであり、カッパー-9 形としては電子装置を乗せた最初のものである。

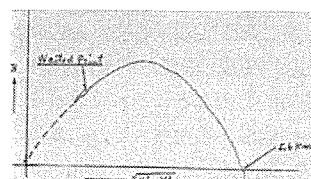
このレーダの製作完成後、各部の試験と調整は万全を期して進めて来たが、何分、ロケットのような高加速度で、しかも遠距離にまで達する物体の追尾を等価的に試験することは困難であり、追尾のときに生ずる現象を机上にて計算し予測を立てるはかなかったが、今回の成功で、まったく所期の設計どおりに動作することが実証できたこととなる。

この種レーダに与えられる困難な問題は、

- (1) 発射直後、レーダ系のアンテナの追尾するべき角速度、角加速度がきわめて大きい値となり、大きい誤差を生じ、電波ビームからの逸脱を生じやすい。
- (2) 遠距離においてきわめて遅い角速度追尾を行なわなければならない。



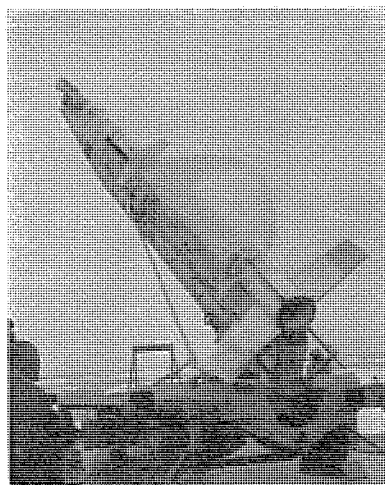
カッパー-9 形追尾の際の飛跡



受動体追尾方式による 小形ロケット飛跡



秋田県道川海岸に  
設置された ロケット  
追尾レーダ



今回発射されたカッパ-9形三段ロケット

ればならない。

(3) 近距離においては受信入力が増大となる。

(4) 遠距離においては受信入力が増大して小さくなる。

などであり、さらにこのレーダでは、トランスポンダ追尾のために円偏波を使用し、反射体追尾のために直線偏波に切換えて使用する必要があったので、これらの総合的解決には種々苦心を要した。

今回の追尾は、ロケットが600mの距離にあるランチャ点より、高度343kmに達し、さらに600kmの遠方海上に落下するまで、全経路をまったく自動的に連続測定したもので、わが国ではもちろん、恐らく世界的にも類例の少ない記録であると思う。(ロケットを途中で捕える方式は多いが、高加速度ロケットをランチャ上より連続追尾するものは、今までのところ知られていない。)

上記のカッパ-9形の追尾に先だって、一次レーダ(受動体追尾方式)により、小形ロケットの追跡を試みたが、これも予定どおりの成功を収めた。

## ■ 川崎製鉄納め 新形条鋼ミル電機品完成

川崎製鉄荏合工場向けとして新形条鋼ミル用電機品を一括受注し、このほど完成納入した。

この設備は、ピレットからHビームあるいはIビームなどの最終製品までを一貫して製造するもので、現在好調に運転されている。

圧延スタンドは、粗圧延・エッジ・仕上圧延からなり、主要回転機は表のとおりである。このほか補助電源としてM-Gセット7組がある。なお、交流電動機は、補助設備に約80台(約60台を新製)、輪送関係に約290台のモーターを使用している。

川崎製鉄(荏合) 新形条鋼ミル主要回転機

| 用途                                  | 機種  | 台数 | 容量(kW)       | 電圧(V) | 回転数(rpm) | 備考     |
|-------------------------------------|-----|----|--------------|-------|----------|--------|
| 粗圧延(U <sub>1</sub> )                | DCM | 1  | 2,300        | 750   | 60/180   |        |
| 仕上圧延(U <sub>2</sub> )               | DCM | 1  | 1,750        | 750   | 60/180   |        |
| エッジ(E <sub>1</sub> )                | DCM | 1  | 550          | 600   | 315      |        |
| 粗圧延(R <sub>1</sub> )                | IM  | 1  | 1,840        | 2,200 | 90       | 客先準備   |
| 粗圧延(R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> ) | IM  | 1  | 3,000        | 2,200 | 720      | 客先準備   |
| 粗圧延(U <sub>1</sub> )用電源             | DCG | 1  | 2,500        | 750   | 514      |        |
| エッジ(E <sub>1</sub> )用電源             | DCG | 1  | 600          | 600   | 514      |        |
| フライホイール                             |     | 1  | 89,500kW・sec |       | 514      |        |
| 駆動電動機                               | IM  | 1  | 3,300        | 2,200 | 514      | M-Gセット |
| 仕上圧延(U <sub>2</sub> )用電源            | DCG | 1  | 2,000        | 750   | 514      |        |
| 駆動電動機                               | SYM | 1  | 2,200        | 2,200 | 514      | M-Gセット |



粗圧延用直流電動機 2,300 kW 750 V 60/180 rpm

## ■ 新幹線試作車用電機品完成

東京大阪間を3時間で結ぶ夢の超特急、東海道新幹線の試作車も5月完成の予定で製作を急がれているが、さきに当社が受注した試作車用の電機品が伊丹製作所でこのほど完成した。

製作した電機品のうちおもなものは、主変圧器、主電動機、シリコン整流器、低圧タップ切換器、電気連結器などであるが、いずれも合理的な設計によって車両用として十分の軽量化を図ったものばかりで、厳重な試験に優秀な成績をもって合格している。

主変圧器は当社独特の外鉄形フォーム・フィットであってすでに量産車での使用が決定されており、主電動機は30%脈流率用として特別に設計されたもので、可とう歯車継手とともに製作され、シリコン整流器は北九州車交直電車などで得られた十分な経験を生かして製作されている。

タップ切換器はその性能を支配する切換開閉器に、カム弁操作の空気式接触器を使用するとともに減流投入、減流遮断を行なって、すばらしい切れ味と、接触面の長寿命を図っており、工場試験における100万回の動作試験で十分その効果を確認することができた。

各機器の定格はつぎのとおりである。

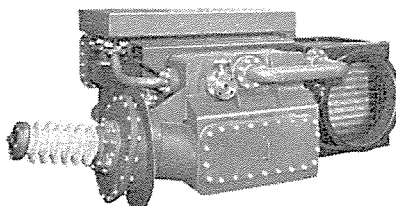
### 主変圧器

形名：TM900、一次容量：1,810 kVA、一次電圧：25 kV、周波数：60 c/s、二次電圧：2,261 V 外鉄形フォーム・フィット、送油風冷式

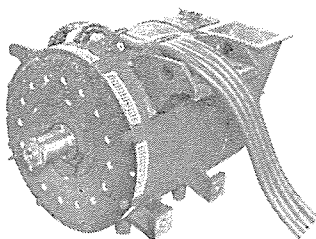
### 主電動機

形名：MT912、連続定格：170 kW 415 V 450 A 2,200 rpm、極数：4、脈流率：30% 界磁2%永久分路、自己通風シリコン整流器

形名：RS904、出力：1,500 kW、電圧：1,660 V、電流：900 A、結線：単相ラジック、強制通風(送風機自蔵)



TM900 形主変圧器

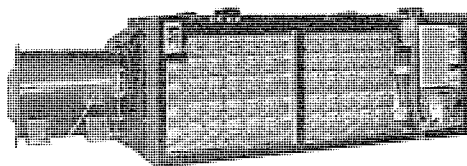


MT912 形主電動機

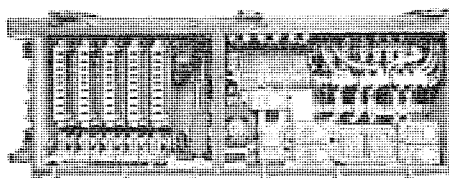
LTC904形 タップ切替器

#### タップ切替器

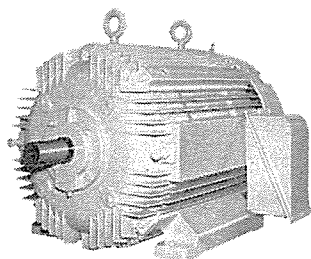
形名：LTC904，方式：電動カム軸空気式，乾式，ノッチ数：25，ノッチ進段時間：0.5～0.7 sec，タップ間電圧：174 V，連続負荷電流：900 A



RS904 形シリコン整流器



### ■ 全閉外扇 SF-A 形誘導電動機



SF-A 形 4060 フレーム誘導電動機は早くから新 JEM 寸法に準拠した SF-A 形に切換え大きな成果をあげてきたが、このほど大容量機に対する受注態勢の整備がほぼ終了した。

これにより 5076 フレーム以下の全閉外扇形電動機のほとんどすべてが SF-A シリーズに切換えられることになる。なお防爆形についても切換準備はほとんど整えられている。

SF-A 形の特長は次のとおりである。

- (1) 外形は新 JEM 寸法に準拠している。
- (2) 冷却効果が飛躍的に改善されたため、小形軽量である。
- (3) 外観が美麗でかつ各部構造に種々の改善がほどこされているので取扱いに便利でかつ信頼度が高い。

### ■ 15t 電気ホイス生産開始

近年電気ホイスは、小形で信頼性が高い、運転操作が容易、設備費が安い、などの特長のため、従来他の起重機が採用された分野にもさかんに進出している。

2 年前に当社が発表した 10t ホイスもその例にもれず、すでに多数各方面に納入され非常に好評を得ているが、最近さらに大容量ホイスへの要望が高まったため、今回 1 段上の 15t ホイスを生産することにした。ダブルレール形を標準機種とするが、据置形などの応用品も製作する。

#### 標準仕様

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| 容量    | 15 t                            |
| 揚程    | 低揚程 8 m 高揚程 12 m                |
| ワイロープ | 直径 22 mm 4 本つり                  |
| 電源    | 200/220 V 50/60 c/s 三相          |
| 巻上速度  | 4.5/5.4 m/min (低速形 3/3.6 m/min) |

巻上電動機 16 kW (低速形は 11 kW)

走行速度 10/12 m/min

走行電動機 3 kW

標準形名 低揚程 HB-15LR

高揚程 HB-15HR

概略重量 低揚程 2,900 kg

高揚程 3,200 kg

操作方式 床上押しボタン

構造その他は 10t ホイスと同一形式を採用しているが、つぎの点について一段の改良をはかっている。

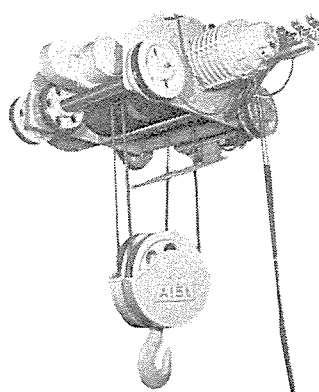
(1) 電磁ブレーキに内径歯車式ブレーキ板を採用したので、ブレーキ板の取付・取はずしが簡単にでき、保守が数段便利になった。

(2) 電磁石、ブレーキ、パネブレーキ板およびブレーキ機構を改良

して、ブレーキ調整ひん度を大幅に引き下げ、かつブレーキの寿命を延長した。

(3) ブレーキパネに二重パネを採用、電磁石部分に衝撃防止装置を付加するなど、制動特性の向上、安全性の増大をはかった。

(4) 各部品も大形化したが、構造の一部を分割などにより分解点検に便利ように変更した。



15t ダブルレール形電気ホイス

### ■ 19 形テレビ受像機完成

大形ブラウン管の広角化が一昨年から行なわれ、110 度偏向管が出現して話題をまいたが、今回発表したワイドスクリーン受像機 MT-630 形は当社製 114 度偏向管を使用し次のような大きな特長を持っている。

(1) 画面が大きくなり非常に見やすくなっている。

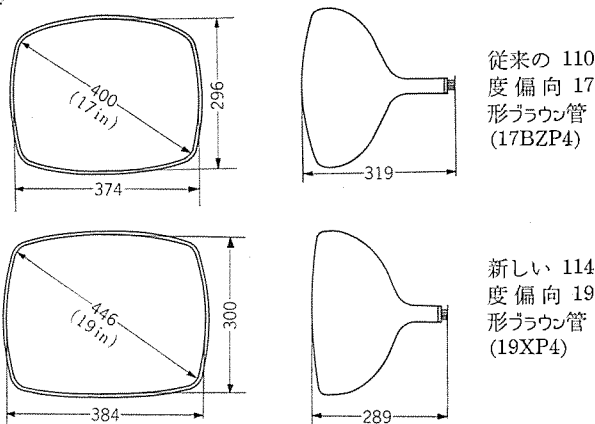
従来の 110 度偏向管に比して四すみが角ばっているためほぼ 3:4 の方形に近くっており、四すみの画像が失われない。したがって従来の 17 形に相当するものが 19 形、21 形に相当するものが 23 形といったぐあいにそれぞれ大きくなっている。また前面は 110 度偏向管のように球面でなく、平面に近いため画面が見やすくなっている。

(2) メモリチューニングシステムの採用。

“メモリ”とは“記憶する”という意味で、従来のチューナーではチャンネル切換を行なうたびにごとにファインチューニング(微調整)を再調整しなければならなかったのが、このシステムの採用により、各チャンネルで一度ファインチューニングを行えば機械的に記憶されるのでほとんど再調整の必要がなくなった。

(3) 高能率トイダル巻偏向ヨークを使用。

90 度、110 度、114 度と偏向角度の増大とともに偏向電力も増加しなければならないが、本機に採用した偏向コイルは高能率であるため約 70 % の偏向電力で済む。したがってこの分だ



110 度偏向と 114 度偏向ブラウン管 の比較

け高圧を上げてフォーカス、輝度を改善することができた。

(4) その他  
音声系統の回路に プリント配線の採用。

ディスクターレット式 小形チューナ使用。

メタルキャビネット使用。  
等々種々の新しい技術を導入している。

本機のおもな仕様は次のとおりである。

|           |                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------|
| 電 源       | 100 V (100, 105, 110 V 3 段切換タップ付)<br>50/60 c/s      |
| 消費電力      | 140 W                                               |
| 受信方式      | インターキャリヤ方式 (1~12 チャンネル)                             |
| 感 度       | 30 dB S/N のとき 40 dB 以下                              |
| アンテナ入力    | 300 Ω 平衡形                                           |
| スピーカ      | ダイアトーン PO-840 形ダブルコン 2 個                            |
| 音声出力      | 無歪 1.8 W 最大 2.5 W                                   |
| AFC       | 平衡形ノコギリ波方式                                          |
| AGC       | 改良形セン頭値 および増幅形平均値整流方式                               |
| ABC 付     |                                                     |
| ブラウン管     | 19XP4                                               |
| 真空管       | 17 球                                                |
| シリコンダイオード | 2 個                                                 |
| キャビネット    | 卓上形脚付 幅 725×高さ 455×奥行 343 mm<br>(脚を付けたときの高さ 840 mm) |
| 重 量       | 35 kg (パッキングケース込)                                   |

なお本機のはかに姉妹機として、とくに教育用に作られた前面トビラ付木製キャビネット入りの 19T-630E 形がある。

## ■ クーリングタワー用送風機

最近都市における冷房機器用冷却水の不足問題は憂慮すべき状況にあり、その対策としてクーリングタワーが大きく取上げられ、

その需要増加は、冷房機器の普及とともに異状な傾向を示している。今回これに使用する送風機の開発研究を行ない、市販に供給する運びとなった。

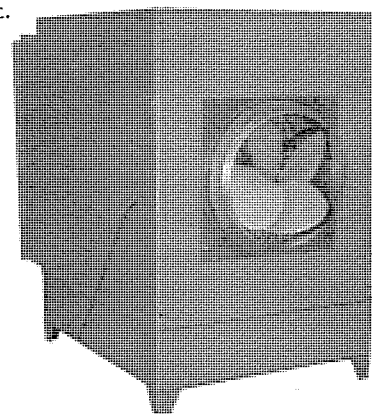
クーリングタワー用送風機 として要求される事項は次のとおりである。

- (1) 比較的低圧 (水柱 10 mm 以下付近) で、効率よく所要空気出力を出しうること。
- (2) 建物の密集地帯に使用することが多く、したがって騒音を低くすることが必要である。
- (3) 水滴が飛散する個所に使用する関係上、耐水性構造とすること。
- (4) 小形、軽量で安価であること。

上記の必要条件を満足する送風機として

- (1) 電動機は三相 200 V 50/60 c/s 6 極全閉形とし耐水性のツース処理とした。
- (2) 羽根は効率、騒音の点から幅広 4 枚 軸流羽根とし、プラスチックコーティングした。
- (3) 軸受部および羽根取付部に特殊な防水機構を設けた。

現在開発完了機種としては次のとおりである。

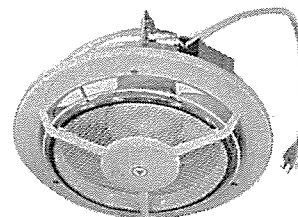


クーリングタワー用送風機

| 形 名    | 電動機出力 (kW) | 羽 根 径 (cm) | 風量 (タワー実測値例) (m³/min) |
|--------|------------|------------|-----------------------|
| KG-40A | 0.1        | 40         | 45                    |
| KG-50B | 0.2        | 50         | 85                    |
| KG-50C | 0.4        | 50         | 125                   |
| KG-60A | 0.75       | 60         | 180                   |

## ■ バス用換気扇 (E-25F)

観光バスに使用するバス用サイクルファン、壁掛扇を開発して全国の公・私営バスに納入して好評を得ているが、今回さらに一般通勤その他の路面バスの車内衛生換気を目的とした新しい専用換気扇を開発した。夏季乗客が満員で雨天に窓を全閉した場合など、車内の温度、湿度ならびに炭酸ガスの上昇は非常に激しい。このときバス用換気扇を吸込形 3 台、吐出形 2 台計 5 台取付ければ 20~24 m³/min の車内汚染空気を新鮮な外気と置換することになり、車内は、人体衛生上の快適条件に近く改善される。この換気扇は日本国有鉄道ならびにバス技術委員会において基礎現実実験を行ない、その結果を業界に公表され、その有用性は認められている。今回これを量産にうつし全国公・私営バスに納入を計画した。これが実現の上は夏でもバスの旅行、通勤が快



バス用換気扇



適になる。

| 仕様       | 標準使用状況                             |
|----------|------------------------------------|
| 交流       | 100 V 60 c/s 5 台/1 両 50 人乗標準車体     |
| 入力       | 41 VA うち 3 台は吸込形                   |
| 回転数      | 1,500 rpm 2 台は吐出形                  |
| 風量       | 8 m <sup>3</sup> /min 車体天井屋外にこの換気扇 |
| コンデンサモータ | 4 極 専用ガーランド を取付け室内                 |
| 金属 4 枚羽根 | 側に換気扇を取付ける。                        |

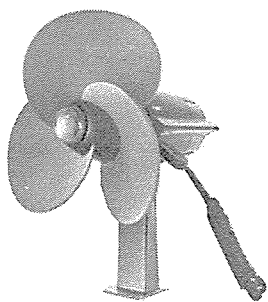
## ■ カーファン (DC-15A)

乗用車、トラック など夏季車内は非常に暑くなるので、運転手に直接涼風を送る目的でカーファンを開発した。

電源は自動車の蓄電池を使用する関係上、消費電力を極力小さくし、騒音の点も十分考慮された小形パーソナルファンである。

とくに最近の交通事故激増に対して、運転手の疲労を軽減する方策として各方面より好評を得ている。

| 仕様      | 構造特長                       |
|---------|----------------------------|
| 直流      | 12 V ゴム製羽根 (ガード なし)        |
| 入力      | 16 W プラスチック製フレーム、ブラケット     |
| 回転数     | 2,000 rpm オイルレスメタル         |
| 風量      | 12 m <sup>3</sup> /min 超小形 |
| 風速      | 100 m/min                  |
| 直流直巻電動機 |                            |
| 羽根径     | 15 cm                      |



カーファン

## ■ インド国鉄向け 交流機関車 28 両を受注

当社を中心とし新三菱重工業、日立製作所、東京芝浦電気の協力を得た日本グループは、昨年 10 月 4 日に国際入札を行なって以来、欧州の著名メーカの連合からなる欧州グループと英国メーカの連合団体である A.E.I. とを競争相手として激しい受注交渉がつけられていたが、ついに昨年 12 月 28 日付で交流機関車 28 両とその付帯電気品 1 式の受注契約を結ぶことができた。

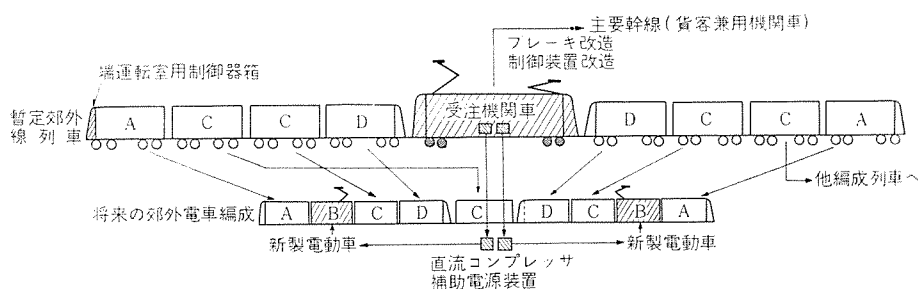
現在インドにおける 25 kV 50 c/s 単相交流電化は主要国策として第二次 5 年計画、第三次 5 年計画と引続き進展しつつあるが、昨年初めに三菱電機が設計製作の代表的全責任を負って誠心誠意をこめ製作納入した日本グループ製イグナイトロン式機関車 10 両は、灼熱の地 インド において 欧州グループ製同形式 100

両とともに運転されているが、まったく主要装置に事故なく好実績を示している。この事実により今回受注の機関車も主要装置は原則的に既納 10 両と同一という条件で契約されたことは、わが国の交流機関車技術の実力を認識されたことを物語るものである。

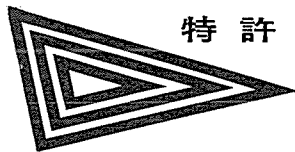
インド国鉄では カルカッタ郊外線 の交流電車運転の実現を急ぐため、別途試作試験後量産化される電動車ができるまで今回発注の機関車を図示のように電車の代わりに用いたのち、本来の主要幹線用旅客・貨物兼用機関車に復するよう決定されているので、列車の両端運転室用制御器具も今回の受注に含まれ郊外電車と同様におおのの端運転室から自動加速および 空気ブレーキの制御がなされる。

この機関車の第 1 両目は早くも来年 (昭和 38 年) 春には現地運転が行なわれることになっているが、その要目はつぎのとおりである。

|           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| 電気方式      | 単相 50 c/s 25 kV                      |
| 様式        | 水冷イグナイトロン整流器式                        |
| 軸配置       | B <sub>0</sub> B <sub>0</sub>        |
| 運転整備重量    | 76 t                                 |
| 車体寸法 (mm) | 13,700 (長さ) × 3,500 (高さ) × 3,105 (幅) |
| 固定軸距      | 2,600 mm                             |
| 車輪径       | 1,090 mm                             |
| 連続定格      | 出力 2,100 kW, 引張力 14.5 t              |
| 速度        | 52 km/h                              |
| 変圧器       | 外鉄形送油風冷式 連続定格 3,000 kVA              |
| 整流器       | 密封水冷式イグナイトロン                         |
|           | 725 V 780 A/2 タンク 計 8 タンク            |



|        |                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------|
| 主電動機   | 直流直巻 6 極, 台車装荷形, 弱界磁 50%<br>連続定格 525 kW 725 V 780 A 940 rpm<br>計 4 台 |
| 駆動装置   | 一段歯車減速, WN ギヤカップリング<br>歯車比 17:66=1:3.88                              |
| 制御装置   | 変圧器一次側タップ制御 永久並列接続弱界<br>磁制御 自動加速制御付 制御電圧 DC<br>110 V                 |
| 補助回転機  | 400 V 150 kVA アルノ相変換機式 三相 50<br>c/s 誘導電動機                            |
| ブレーキ装置 | 電磁直通式空気ブレーキ (将来 真空ブレーキに<br>改造)<br>単車ブレーキ付                            |



## 特 許 と 新 案

### タイムスイッチの調節装置

考案者 神 本 明 輝

この考案は、たとえば冷凍装置などの蒸発器に付着した霜を取るのぞくための発熱線回路を制御するタイムスイッチの改良に関するものである。すなわち図1は、この考案の正面図、図2は図1の(II)-(II)線における断面図、図3はレバー(14)と調節子(17)との関係構造を示す正面図である。

この考案のタイムスイッチの調節装置は、矢印方向に回転する回転円板(6)のセットネジ(9)が衝合するレバー(14)の自由端延長部(18)に、これと同方向に可しゅう動に取付けられた調節子(17)を設け、冷凍装置の発熱線回路への通電時間の調整に際しては、上記レバー(14)の位置を変えることなく調節子(17)だけを出入させてセットネジ(9)のしゅう動長さ、すなわち通電時間の変更を行なうようにしたもので、上記レバー(14)が回動を始めるスタートの位置、すなわちセットネジ(9)が衝合するレバーの位置はつねに一定であるから、調節子(17)を出入させて通電時間を変更してもレバー(14)の作動開始時間に誤差が生じるようなことがない。また、調節子(17)の出入調整は、カム(13)によりこれを行なうので、その出入量はきわめて微細に調整することができるだけでなく、カム(13)を回動する操作つまみ(12)の指標(36)と時間目盛(35)を合わせることで、上記カム(13)は調節子(17)を所定通電時間に相当する長さに自動的に出入させるので、通電時間の変更が容易である。さらに、冷凍装置の発熱線回路への通電時間を長くした場合には、レバー(14)の回動

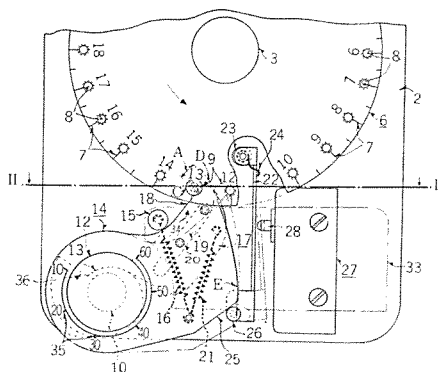


図 1

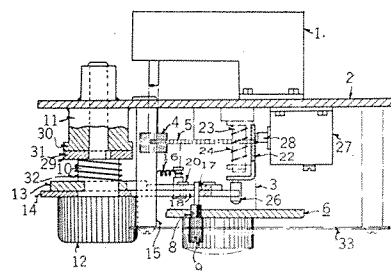


図 2

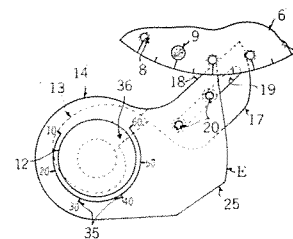


図 3

量が大きくなり、これに伴って揺動杆(22)の変位量も大きくなる。しかるに、マイクロスイッチ(27)を作動させる押しボタン(28)のストロークは一定以上必要としない。したがって揺動杆(22)の変位量が大きいとマイクロスイッチにむりな力が加わってこれを損傷するおそれがあるので、揺動杆(22)のコ(26)に係合するレバー(14)の自由端縁部(25)にコ(26)の逃し面(E)を設け、この逃し面(E)にコ(26)に係合することによってレバー(14)が回動しつつあっても揺動杆(22)の変位が停止するようにしたので、マイクロスイッチ(27)の押しボタンは必要以上に押圧されるようなことのないなど数々の実用的効果を有するものである。

(実用新案登録第 528062 号) (土居記)

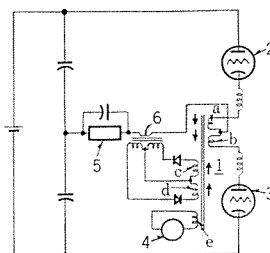
### インバータ

考案者 河 合 登・杉 本 盛 行

この考案は直列な一対の電気弁を有するインバータの転流失敗を検知する装置に関するものである。

すなわち、リアクトル装置(1)に主巻線(a)(b)と補助巻線(c)(d)および検知巻線(e)を設け、主巻線と補助巻線の付勢時の起磁力を互いに逆向きとして常時は平衡しているが電気弁(2)(3)の転流失敗があると不平衡となって検知巻線(e)に電圧を誘起させ警報器、継電器などの作動装置(4)を働かせるようにする。つまり主巻線(a)(b)は電気弁(2)(3)に直列接続され、補助巻線(c)(d)は負荷(5)に直列な変流器(6)により付勢されるように接続されており、電気弁(2)(3)が交互に導電化する健全運転時は主巻線と補助巻線の起磁力は相殺しているが、転流失敗により電気弁(2)(3)

が同時に導電化すると負荷回路は分路される結果主巻線の起磁力は補助巻線の起磁力に打ち勝って検知巻線(e)を付勢し装置(4)を作動させる。



したがってこの考案によればインバータの転流失敗をリアクトル装置の主巻線と補助巻線の起磁力の平衡関係により迅速確実に検知することができる。

(実用新案登録第 522598 号) (山田記)



最近における当社の社外寄稿一覧

| 年 月 日    | 寄 稿 先                 | 題 名                                                                                      | 執 筆 者                  | 所属場所 |
|----------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------|
| 36- 6-27 | 質量分析                  | 超高真空質量分析計 II<br>静作動分析時における イオンポンプ、イオンゲージの振舞                                              | 後藤正之                   | 研究所  |
| 36- 6-27 | 空調調和と冷凍               | 坑内冷房装置                                                                                   | 岩原二郎・大門啓始              | 長崎本社 |
| 36- 6-28 | 商店照明                  | 「最近の商店照明」テキスト                                                                            | 小堀富次雄                  | 伊丹   |
| 36- 6-29 | 講演会テキスト               | 整流器の試験と保守                                                                                | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 6-30 | 電気公論誌                 | 460 kV 用変圧器                                                                              | 村上有・田村良平               | 研究所  |
| 36- 6-30 | 機器による高分子分析            | ポリビニールアルコール 中の不純物                                                                        | 石黒克巳・太田基義              | 無線機  |
| 36- 7-   | オートメーション技術            | デジタル電子計算機 MELCOM-1101                                                                    | 嶋村和也                   | 伊丹   |
| 36- 7- 4 | OHM 誌                 | 内部冷却充填絶縁外鉄形変圧器                                                                           | 村上有・田村良平               | 研究所  |
| 36- 7- 5 | 真 空                   | 真空度 サーボコントロールによる酸化物陰極排気実験                                                                | 立原芳彦・秦卓也<br>小坂橋正康・浅見辰巳 | 研究所  |
| 36- 7- 5 | OHM                   | デジタル 計算機による電力系統問題解析の手法                                                                   | 芝滝寿宏                   | 研究所  |
| 36- 7-10 | 工業材料                  | 注型材料（電気絶縁材料）                                                                             | 柴山恭一                   | 研究所  |
| 36- 7-11 | 電気学会誌時報               | 半導体 スイッチ の推奨すべき定義                                                                        | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 7-11 | 電気学会誌時報               | S. C. R. 使用の逆転可変速直流 モータ 制御                                                               | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 7-11 | 電気学会誌時報               | 大電力用半導体整流器の試験装置                                                                          | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 7-11 | 電気学会雑誌                | 相手端電流補償式距離継電方式開発に関する研究                                                                   | 北浦孝一                   | 神戸   |
| 36- 7-11 | 電気学会雑誌                | 二重四辺形特性の距離継電器開発に関する研究                                                                    | 北浦孝一                   | 神戸   |
| 36- 7-24 | 電気学会誌時報               | 変電所の絶縁保護用線路端 キャップ                                                                        | 岩崎晴光                   | 伊丹   |
| 36- 7-27 | 制御工学                  | 1 kc ヶ形波電源を用いた磁気演算増幅器                                                                    | 浜岡文夫・大野栄一              | 研究所  |
| 36- 7-28 | OHM                   | シタ 断器の電流零点近傍における アーク 動特性                                                                 | 潮恒郎                    | 研究所  |
| 36- 8-   | 電気書院「電気計算」            | 三相誘導電動機の レクチフロー 制御方式                                                                     | 九里英輔                   | 長崎   |
| 36- 8-   | 新三菱重工火力 ラウント<br>懇談会資料 | 大形タービン発電機の現状と将来                                                                          | 技 術 部                  | 長崎   |
| 36- 8-   | 新三菱重工火力 ラウント<br>懇談会資料 | 火力発電所の Data logger computer control に<br>ついて                                             | 本社火力計画課                | 長崎   |
| 36- 8- 4 | 電子工業誌                 | シリコン 整流器変換方式                                                                             | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 8- 8 | 真 空                   | オメガatronによる Ti イオンポンプの 不活性ガス に対す<br>る排気能                                                 | 藤永敦・後藤正之<br>花坂孝雄       | 研究所  |
| 36- 8-12 | 電気学会誌                 | 飽和をふくむ非整数階積分形制御系                                                                         | 真鍋舜治                   | 研究所  |
| 36- 8-16 | 真 空                   | 金属製真空系における残留 ガス                                                                          | 藤永敦                    | 研究所  |
| 36- 8-   | 日本物理学会誌               | 硫化物半導体の光学的ならびに電気的性質                                                                      | 伊吹順章                   | 研究所  |
| 36- 8-   | 工業材料                  | 汎用家庭用電動機の絶縁                                                                              | 森田義男                   | 研究所  |
| 36- 8-   | エレクトロ・ダイジェスト          | 夏に憶う                                                                                     | 石黒克巳                   | 研究所  |
| 36- 8-17 | 図説電気                  | ITV とその応用                                                                                | 上田重夫                   | 無線機  |
| 36- 8-20 | エレクトロニクスダイジェスト        | テレビ偏向系フェライトの問題点                                                                          | 水上益良                   | 大船   |
| 36- 8-23 | 電気学会誌時報               | 大電力用 シリコン N-P-N-P 三極 スイッチ                                                                | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 8-23 | 電気学会誌時報               | シリコン 制御整流素子                                                                              | 加藤又彦                   | 伊丹   |
| 36- 8-25 | 住友電機                  | エルコン試験装置                                                                                 | 潮恒郎                    | 研究所  |
| 36- 8-29 | 電子工業                  | 回顧 10 年三菱電機（株）研究所                                                                        | 石黒克巳                   | 研究所  |
| 36- 8-30 | オートメーション              | 製鉄圧延機の プログラム制御                                                                           | 斉藤 豊                   | 神戸   |
| 36- 8-31 | E. T. J. Japan        | An Approximate Calculation Method of Transient<br>Phenomena in Power System              | 馬場準一・芝滝寿宏              | 研究所  |
| 36- 9- 1 | OHM「国内技術リポート」         | アーク炉による電力動揺およびフリッカの統計的解析                                                                 | 林 重雄                   | 研究所  |
| 36- 9- 2 | 産業と電気                 | プロセス制御用 OPCON 自動最適化装置                                                                    | 福永圭之介                  | 研究所  |
| 36- 9- 2 | 自動制御のための新製品<br>リポート集  | 中性子回折装置用プログラムコントロール装置                                                                    | 吉江高明                   | 研究所  |
| 36- 9- 2 | エレクトロニクスダイジェスト        | 三菱新形トランジスタ VHF/FM 無線電話装置                                                                 | 黒田忠光                   | 無線機  |
| 36- 9- 7 | 電気学会関西大会予稿            | 電動高周波発電機による誘導加熱について                                                                      | 東田孝彦                   | 無線機  |
| 36- 9- 7 | 電気学会関西大会予稿            | 鉄、非鉄判別金属検出装置                                                                             | 馬場準一・松元雄蔵<br>寺本吉一      | 無線機  |
| 36- 9- 7 | 電気学会関西大会予稿            | エンタルピー計算用近似式について                                                                         | 竜田直紀                   | 無線機  |
| 36- 9- 9 | ETJ of Japan          | 空気シタ断器の電流零点近傍における現象<br>The Behavior of air Blast Circuit Breakers<br>around Current zero | 潮恒郎                    | 研究所  |
| 36- 9- 9 | 電気学会誌                 | 電力用シリコン整流素子の絶縁破壊                                                                         | 岡 久雄                   | 研究所  |
| 36- 9-20 | 応用物理学会誌               | CdSe 焼結膜の光導電特性                                                                           | 吉沢達夫                   | 研究所  |
| 36- 9-20 | 図説電気                  | RC-4 形氣象用レーダ                                                                             | 御法川秀夫                  | 無線機  |
| 36- 9-21 | 真 空                   | 超高真空質量分析計 (II)<br>—金属製超高真空装置の問題点および高真空中の<br>残留ガスについて—                                    | 後藤正之                   | 研究所  |
| 36- 9-21 | 電子科学                  | 三菱電機で完成したわが国最初の高温燃料電池                                                                    | 立原芳彦・秦卓也<br>村山三郎       | 研究所  |
| 36- 9-26 | 情報処理学会                | Evaluation of Errors at Numerical Integration of<br>ardinary Differential Equations      | 馬場準一・林 重雄              | 研究所  |
| 36- 9-27 | オーム誌                  | 変圧器の新乾燥法                                                                                 | 神谷友清・岩井博道              | 伊丹   |
| 36- 9-28 | オーム                   | 問題を投げる キロメートル故障                                                                          | 潮恒郎                    | 研究所  |
| 36- 9-30 | 電気学会誌                 | 論理と非線形の統一的表示                                                                             | 真鍋舜治・竹内宏一              | 研究所  |

最近における当社の社外講演一覧

| 月 日         | 主催または開催場所            | 演 題                                                       | 講 演 者                      | 所属場所 |
|-------------|----------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|------|
| 36-10-23    | アナログ技術研究会            | IKC 矩形波電源を用いた磁気演算増幅器                                      | 大野 栄一                      | 研究所  |
| 36-10-23    | 日科技連                 | 偏微分方程式の1解法例                                               | 魚田 勝臣                      | 研究所  |
| 36-10-26~27 | 東京世田谷 s/c            | 自動点滅器 タイムスイッチ                                             | 高 島 登                      | 福 山  |
| 36-10-27    | 原子力計測制御懇談会           | 中性子回析装置等に用いられた計測制御装置について                                  | 宮下 恭一                      | 研究所  |
| 36-10-27    | 関西電子工業 センタ           | 半導体材料                                                     | 藤 林 肇次                     | 研究所  |
| 36-10-27    | 日本分析化学会              | 液状陰 イオン 交換体の分析への応用<br>: 50% ニッケル-マグネシウム 合金束の微量亜鉛分<br>離定量法 | 小 巻 仁                      | 研究所  |
| 36-10-28    | 電子機械工業会              | 欧米の アンテナ 事情                                               | 喜連川 隆                      | 研究所  |
| 36-10-31    | 大阪工業会                | Debugging について                                            | 吉 江 高明                     | 研究所  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | CW レーダにおける速度追尾の一方式                                        | 林 岑 男                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | ホーミングミサイル 最適制御                                            | 麻 生 和男                     | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | トラッキングレーダ における新しい精密長距離 追尾方式                               | 田 隆 吉                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 選択呼出装置における Vrs の動作について                                    | 奥 村 徹                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 医学用 テレメータ                                                 | 忍 足 博                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | AGC 付 トランジスタパルス 増幅器                                       | 三 輪 進                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 計算 コンデンサ の応用                                              | 三 好 一賢                     | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | デジタル 微分解析機の アドレス 指定の一手法                                   | 梶 山 裕                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 任意むだ時間発生器                                                 | 柴 谷 浩二・多 田 淳               | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 試作 トランジスタ化 演算増幅器について                                      | 大鳥羽幸太郎<br>柴 谷 浩二・多 田 淳     | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 関数発生装置の過渡特性                                               | 添 田 実                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 電子機器の信頼                                                   | 市 田 嵩                      | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | 鉄、非鉄判別金属検出装置                                              | 松 元 雄蔵                     | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | MG による誘導加熱装置について                                          | 東 田 孝彦                     | 無線機  |
| 36-10-22    | 立命館大学                | エンタルピ 計算用近似式について                                          | 竜 田 直紀                     | 無線機  |
| 36-10-31    | 日本規格協会               | トランジスタ 回路基礎 (II)                                          | 岡 本 正彦                     | 無線機  |
| 36-11- 2    | 大阪大学工学部              | 超小形回路部品                                                   | 小林 信三                      | 無線機  |
| 36-11- 6    | 日本建鉄船橋               | Measured alaywork                                         | 小島井 繁                      | 本 社  |
| 36-11- 6    | 日本能率協会               | 方法研究・WF                                                   | 奈 川 敏雄                     | 本 社  |
| 36-11- 7~ 8 | 規格協会                 | "組立工場の日程計画" 生産計画の数学的模形                                    | 服 部 寛                      | 本 社  |
| 36-11-14    | 規格協会東京本部             | 機械設計と標準数                                                  | 松 尾 準一                     | 本 社  |
| 36-11-11    | 東京電機大学               | 大電力円偏波直線偏波切換器                                             | 河 村 孝                      | 無線機  |
| 36-11-13    | 東京電機大学               | 位相同期角度変調器の ヒズミ                                            | 小林 信三                      | 無線機  |
| 36-11-13    | 東京電機大学               | 位相同期角度変調器の ヒズミ                                            | 村 山 昇                      | 無線機  |
| 36-11-15    | 神戸造船                 | デュータローコンピュータコントロール について                                   | 松 元 雄蔵                     | 無線機  |
| 36-11-24    | 規格協会関西支部             | 機械設計と標準数                                                  | 松 尾 準一                     | 本 社  |
| 36-11-21    | 日刊工業新聞社              | 数値制御工作機械                                                  | 小 島 一 男                    | 無線機  |
| 36-11-27    | 全国市町村会館              | ラントレイアウト と設備投資                                            | 高 田 真蔵                     | 本 社  |
| 36-11-28    | 大同生命ビル               | ミリ波レーダ                                                    | 近 藤 五郎                     | 無線機  |
| 36-11-24~25 | 日刊工業新聞社<br>名古屋支社工業会館 | 油圧機器と油圧回路                                                 | 金子 敏夫                      | 無線機  |
| 36-11-30    | 神戸大学工学部              | サーボ弁 の デザイン について                                          | 沢 井 昭雄                     | 無線機  |
| 36-12- 4    | 大阪府立工業奨励館            | 米軍信頼性仕様の経過                                                | 市 田 崇                      | 無線機  |
| 36-12- 5    | ミリ波開発総合研究委員会         | 24,000 Mc 高速度フェライトスイッチ                                    | 中原昭次郎                      | 研究所  |
| 36-12- 6    | 電通学会<br>マイクロ波委員会     | T サーキュレータ                                                 | 中原昭次郎                      | 研究所  |
| 36-12- 7    | 電通学会<br>アンテナ研究委員会    | Simultaneous lobing                                       | 立川清兵衛                      | 研究所  |
| 36-12- 7    | 規格協会関西支部             | 標準化について                                                   | 松 尾 準一                     | 本 社  |
| 36-12- 7~14 | 規格協会関西支部             | 社内規格                                                      | 小島井 繁                      | 本 社  |
| 36-12- 9    | 電気学会<br>原子力学会        | BWR の ラント制御                                               | 八 島 英之                     | 研究所  |
| 36-12-11    | 中部 IE 協会             | 設備投資と エンジニアリングエコノミ                                        | 高 田 真蔵                     | 本 社  |
| 36-12-12    | 電子加工懇談会              | 放電加工機とその取扱法 (放電加工技術講習会)                                   | 齊 藤 長 男                    | 研究所  |
| 36-12-13    | 大阪大学                 | VHF 帯および SAF 帯アンテナ                                        | 喜連川 隆                      | 研究所  |
| 36-12-15    | 日刊工業新聞               | 標準時間の設定について                                               | 奈 川 敏雄                     | 本 社  |
| 36-12-20    | 電子機械工業会              | 宇宙通信アンテナ の雑音温度                                            | 喜連川 隆                      | 研究所  |
| 37- 1-19    | 三菱電機東京商品営業所          | 水銀灯照明設計とその実際                                              | 小堀富次雄                      | 本 社  |
| 37- 1-23    | 伊豆箱根鉄道               | 最近の電車で電動機および制御装置について                                      | 松 田 新 市・浅 越 泰 男<br>北 岡 隆 聰 | 伊 丹  |
| 37- 1-24    | MAPI原子力技術発表研究会       | TRR-3 ヘリウム精製装置について                                        | 渡 辺 聰                      | 伊 丹  |
| 37- 1-24    | MAPI原子力技術発表研究会       | PWR 用磁気ジャック形制御棒駆動装置                                       | 渡 辺 聰                      | 伊 丹  |
| 37- 1-30    | 岐阜県                  | 最近の建築照明の考え方                                               | 小堀富次雄                      | 本 社  |
| 37- 1-30    | 中部電力岐阜支店             | 住宅の照明                                                     | 小堀富次雄                      | 本 社  |

~~~~~ 最近登録された当社の特許および実用新案 ~~~~~

| 区 別 | 名 称              | 特許日または登録日 | 特許または登録番号 | 発 明・考 案 者                      | 関係場所      |
|-----|------------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|
| 特 許 | 扉の開閉装置           | 36- 7- 1  | 279345    | 木 下 忠 男                        | 静 岡       |
| "   | 螢光物質の表面処理法       | 36- 7- 1  | 279800    | 栗 津 健 三・秦 卓 也                  | 研 究 所     |
| "   | 天 井 扇            | 36- 8-31  | 282287    | 成 瀬 勇                          | 中 津 川     |
| "   | 扇風機首振装置          | 36- 8-31  | 282288    | 成 瀬 勇                          | 中 津 川     |
| "   | 方向探知機の アンテナ 走査方式 | 36- 9-27  | 283995    | 喜連川 隆・有田不二男                    | 研 究 所     |
| "   | 内燃機関点火装置         | 36- 9-27  | 284003    | 三 木 隆 雄                        | 姫 路       |
| "   | 回転電機の回転子         | 36- 9-27  | 284041    | 山田不知人                          | 長 崎       |
| "   | 制御電極付半導体整流器の御制装置 | 36- 9-27  | 284179    | 岡 久 雄                          | 研 究 所     |
| "   | 方向調整装置           | 36-10- 5  | 284720    | 竹 下 栄 一・大 林 愛 弘                | 無 線 機     |
| "   | 内燃機関点火装置         | 36-10- 5  | 284722    | 三 木 隆 雄                        | 姫 路       |
| "   | 計数型電子計算機         | 36-10-20  | 285384    | 菅 野 正 雄                        | 研 究 所     |
| "   | 積算電力計            | 36-10-20  | 285394    | 山 県 穆                          | 福 山       |
| "   | 水銀放電灯の水銀定量封入装置   | 36- 9- 5  | 282589    | 小 椋 義 正                        | 研 究 所     |
| "   | 反射形 電気ストーブ       | 36- 9- 5  | 282641    | 武 井 久 夫・服 部 信 道                | 菱 電 機 器   |
| "   | 警報装置付自動電熱器具      | 36- 9- 5  | 282642    | {加 藤 義 明・高 橋 賢 二<br>吉 村 四 郎}   | 福 山       |
| "   | 酸化物磁心材料          | 36- 9- 5  | 282643    | {中 村 弘・井 手 平 三 郎<br>高 橋 弘 文}   | 大 船       |
| "   | 時限開閉器対反射形 電気ストーブ | 36- 9- 5  | 282649    | 武 井 久 夫・服 部 信 道                | 菱 電 機 器   |
| "   | 磁気選別装置           | 36- 9-27  | 284162    | 河 合 登・高 島 秀 二                  | 大 船       |
| "   | 開閉扉の錠止装置         | 36- 9-27  | 284172    | 木 下 忠 男                        | 静 岡       |
| "   | ラジオ受信機           | 36- 8-23  | 205712    | 藤 木 一                          | 無 線 機     |
| 新 案 | 螢光灯灯器            | 36- 8-18  | 548057    | 山下源一郎                          | 大 船       |
| "   | 螢光灯装置            | 36- 8-18  | 548059    | 山下源一郎・鈴 木 実                    | 大 船       |
| "   | 螢光灯安定器筐体         | 36- 8-18  | 548060    | 山下源一郎・東 昇                      | 大 船       |
| "   | 螢光灯用安定器          | 36- 8-18  | 548061    | 山下源一郎・東 昇                      | 大 船       |
| "   | 模写電送装置の用紙取付ドラム   | 36- 8-18  | 548058    | 馬 場 文 夫                        | 無 線 機     |
| "   | 埋込型螢光灯器具         | 36- 8-18  | 548062    | 藤 原 三 男                        | 大 船       |
| "   | 扇風機用 スタンド        | 36- 8-18  | 548063    | 新 倉 宗 寿                        | 中 津 川     |
| "   | 扇風機吊持装置          | 36- 8-18  | 548064    | 新 倉 宗 寿                        | 中 津 川     |
| "   | 放電灯用変圧器          | 36- 8-18  | 548065    | 東 昇                            | 大 船       |
| "   | 横軸型電動機軸受装置       | 36- 8-18  | 548066    | 新 倉 宗 寿                        | 中 津 川     |
| "   | 軸受給油装置           | 36- 8-18  | 548067    | 新 倉 宗 寿                        | 中 津 川     |
| "   | 電気湯沸器            | 36- 8-18  | 548069    | 野 畑 昭 夫・馬 淵 公 作                | 菱 電 機 器   |
| "   | 回転電機用端子函取付装置     | 36- 8-18  | 548068    | 勝 間 通 夫                        | 神 戸       |
| "   | 磁気消弧放電間隙装置       | 36- 8-19  | 548559    | 鎌 田 隆 好                        | 伊 丹 研 究 所 |
| "   | 電線端子の締付装置        | 36- 8-19  | 548560    | 魚 住 幸 男・木 野 崎 泰 三              | 名 古 屋     |
| "   | 潤滑油濾過装置          | 36- 8-19  | 548562    | 高 松 茂 利                        | 福 岡       |
| "   | 回転電機の点検蓋         | 36- 8-19  | 548564    | 野 間 通 夫                        | 神 戸・長 崎   |
| "   | 回転電機の点検蓋         | 36- 8-19  | 548565    | 野 間 通 夫                        | 神 戸・長 崎   |
| "   | 螢光放電管            | 36- 8-19  | 548558    | 河 合 登                          | 大 船       |
| "   | 除鉄器              | 36- 8-19  | 548561    | 柳 下 儀 兵 衛・矢 田 雅 敏              | 大 船       |
| "   | 除鉄装置             | 36- 8-19  | 548563    | 山下源一郎・柳 下 儀 兵 衛                | 大 船       |
| "   | 開閉扉の錠止装置         | 36- 8-28  | 548891    | {木 下 忠 男・海 野 賢<br>織 田 隆 嗣}     | 静 岡       |
| "   | 天井埋込型螢光灯器        | 36- 8-28  | 548893    | {高 島 秀 二・山 下 源 一 郎<br>三 上 清 春} | 大 船       |
| "   | 螢光灯灯器            | 36- 8-28  | 548894    | 小 笠 原 善 丸・橋 本 武 雄              | 大 船       |
| "   | 避雷器動作表示装置        | 36- 8-28  | 548892    | {森 直 次・陰 山 長 三 郎<br>川 根 清}     | 伊 丹 研 究 所 |
| "   | 螢光灯 スタンド 支柱取付装置  | 36- 8-31  | 550300    | {高 島 秀 二・山 下 源 一 郎<br>山 崎 肇}   | 大 船       |
| "   | 回転子線輪支持装置        | 36- 8-31  | 550040    | 小 形 博 徳                        | 長 崎       |
| "   | 洗濯機の排水装置         | 36- 9- 5  | 550301    | 武 井 久 夫・服 部 信 道                | 日 本 建 鉄   |
| "   | 螢光放電灯            | 36- 9- 5  | 550302    | {河 合 登・高 島 秀 二<br>山 下 源 一 郎}   | 大 船       |
| "   | 街路灯              | 36- 9- 5  | 550304    | {高 島 秀 二・船 田 淳 三<br>田 中 民 雄}   | 大 船       |
| "   | 螢光灯安定器           | 36- 9- 5  | 550305    | 山下源一郎・東 昇                      | 大 船       |
| "   | 電気卓上天火           | 36- 9- 5  | 550306    | 奥 田 文 一・野 畑 昭 夫                | 菱 電 機 器   |
| "   | 電気 アイロンの端子台      | 36- 9- 5  | 550308    | 小 原 英 一・加 藤 輝 彦                | 菱 電 機 器   |

最近登録された当社の特許および実用新案

| 区 別 | 名 称                  | 特許日または登録日 | 特許または登録番号 | 発 明・考 案 者                  | 関係場所      |
|-----|----------------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|
| 新 案 | 扇風機                  | 36- 9- 5  | 550309    | 〔拓植正治・神谷昭美〕<br>〔今井進〕       | 中 津 川     |
| 〃   | 自動スイッチセット 機構         | 36- 9- 5  | 550303    | 加藤義明・神本明輝                  | 福 岡       |
| 〃   | 操作用つまみ               | 36- 9- 5  | 550307    | 植竹勝人                       | 無 線 機     |
| 〃   | 刷子保持器用絶縁 スピンドル       | 36- 9- 5  | 550310    | 平野昭二・長谷川謙三                 | 伊 丹       |
| 〃   | 回転電機の集電環短絡装置         | 36- 9- 5  | 550311    | 藤山辰之                       | 長 崎 戸 崎   |
| 〃   | インバータ 保護装置           | 36- 9- 6  | 550406    | 藤井重夫                       | 神 屋 長 崎   |
| 〃   | 誘導電動機 の速度制御装置        | 36- 9- 6  | 550407    | 吉田太郎                       | 神 屋 研 究 所 |
| 〃   | 放電加工装置               | 36- 9- 6  | 550408    | 斎藤長男・岩村武志                  | 研 究 所     |
| 〃   | 放電加工電極               | 36- 9- 6  | 550681    | 斎藤長男                       | 研 究 所     |
| 〃   | 巻鉄心締付装置              | 36- 9- 6  | 550682    | 武藤正・西村 稔                   | 福 山       |
| 〃   | 整流装置の過電流抑制装置         | 36- 9- 6  | 550683    | 細野 勇                       | 伊 丹       |
| 〃   | 半導体整流器の事故検知装置        | 36- 9- 6  | 550684    | 加藤又彦                       | 伊 丹       |
| 〃   | 半導体整流器の保護装置          | 36- 9- 6  | 550685    | 加藤又彦                       | 伊 丹       |
| 〃   | 水銀整流器の失弧検出装置         | 36- 9- 6  | 550686    | 室賀 淳                       | 伊 丹       |
| 〃   | 電線保持装置               | 36- 9- 6  | 550409    | 今井進・金井孝素                   | 中 津 川     |
| 〃   | 電気弁の格子制御装置           | 36- 9- 6  | 550687    | 細野 勇                       | 伊 丹       |
| 〃   | 水銀整流器                | 36- 9- 6  | 550688    | 池田和郎                       | 研 究 所     |
| 〃   | 巻鉄心締付装置              | 36- 9- 9  | 550925    | 金井由二                       | 名 古 屋     |
| 〃   | パラメترون単位体           | 36- 9- 9  | 550926    | 福島幾蔵                       | 無 線 機     |
| 〃   | パラメترون単位体           | 36- 9- 9  | 550927    | 馬場文夫・福島幾蔵                  | 無 線 機     |
| 〃   | 扇風機の ネットピース取付装置      | 36- 9-12  | 551091    | 新倉宗寿                       | 中 津 川     |
| 〃   | 扇風機の ネットピース取付装置      | 36- 9-12  | 551092    | 新倉宗寿                       | 中 津 川     |
| 〃   | 扇風機仰角調整装置            | 36- 9-12  | 551167    | 田中幹雄・今井進                   | 中 津 川     |
| 〃   | 殺菌灯器具                | 36- 9-12  | 551274    | 小笠原善丸・山崎 肇                 | 大 船 戸     |
| 〃   | 開閉器操作装置              | 36- 9-12  | 551178    | 天藤憲二                       | 神 戸       |
| 〃   | ガス吹付形 シャ 断器の接触子装置    | 36- 9-12  | 551275    | 潮 恒郎・米沢克昌                  | 研究所・伊丹    |
| 特 許 | 積算記録装置               | 36-10-23  | 285403    | 加藤義明・林 正之                  | 福 山       |
| 〃   | 積算記録装置               | 36-10-23  | 285408    | 岡崎 昭・林 正之                  | 福 山       |
| 〃   | 2周波分離装置              | 36-10-23  | 285537    | 北垣成一                       | 無 線 機     |
| 〃   | 超音波探傷用探傷子            | 36-10-23  | 285548    | 松元雄蔵                       | 無 線 機     |
| 〃   | 接地相検出継電装置            | 36-10-23  | 285586    | 古屋昭雄                       | 神 戸       |
| 〃   | 着火断続器レバー             | 36-10-23  | 285589    | 大島義久                       | 姫 路       |
| 〃   | リアクトル鉄心              | 36-10-23  | 285424    | 山下源一郎・東 昇                  | 大 船       |
| 〃   | 反射形電気ストーブ            | 36-10-23  | 285425    | 武井久夫・服部信道                  | 菱 電 機 器   |
| 〃   | 反射形電気ストーブ            | 36-10-23  | 285426    | 武井久夫・服部信道                  | 菱 電 機 器   |
| 〃   | 真空掃除機                | 36-10-28  | 285804    | 武井久夫・祖父江常雄                 | 菱 電 機 器   |
| 〃   | 螢光高圧水銀灯の製造法          | 36-10-28  | 285864    | 〔小椋義正・大盛真次〕<br>〔粟津健三〕      | 大 船       |
| 〃   | 磁気選鉱機                | 36-10-28  | 285893    | 〔河合登・高島秀二〕<br>〔柳下義兵衛〕      | 大 船       |
| 〃   | 磁気選別機                | 36-10-28  | 285904    | 〔河合登・高島秀二〕<br>〔加藤庸夫・柳下義兵衛〕 | 大 船       |
| 〃   | 導波管型移相装置の広帯域整合方式     | 36-10-28  | 285802    | 喜連川 隆・立川清兵衛                | 研 究 所     |
| 〃   | 広帯域定位相差発生装置          | 36-10-28  | 285803    | 〔喜連川 隆・中原昭次郎〕<br>〔立川清兵衛〕   | 研 究 所     |
| 〃   | 水銀放電灯                | 36-10-28  | 285805    | 小椋義正                       | 研 究 所     |
| 〃   | 位相比較式高周波継電装置         | 36-10-28  | 285806    | 尾畑喜行                       | 神 戸       |
| 〃   | 負荷時タップ切換装置           | 36-10-28  | 285807    | 米沢克昌                       | 伊 丹       |
| 〃   | 巻鉄心の製造方法             | 36-10-28  | 285808    | 伊藤 明・服部大勝                  | 名 古 屋     |
| 〃   | 電力経済配分制御装置の火力発電所模擬回路 | 36-10-28  | 285809    | 前川善六                       | 研 究 所     |
| 〃   | 半導体整流要素              | 36-10-28  | 285810    | 大野才三                       | 研 究 所     |
| 〃   | 水銀整流器の点弧装置           | 36-10-28  | 285811    | 細野 勇                       | 伊 丹       |
| 〃   | 水銀整流器の陰極輝点固定装置       | 36-10-28  | 285812    | 〔阿部久康・池田和郎〕<br>〔高島 淳〕      | 研 究 所     |
| 〃   | 内燃機関の燃料ポンプ           | 36-11- 2  | 286182    | 宮崎秀夫                       | 姫 路       |
| 〃   | 巻鉄心                  | 36-11- 4  | 286324    | 土居誠二                       | 名 古 屋     |
| 〃   | 放電加工装置               | 36-11-20  | 287601    | 齊藤長男・真鍋 明                  | 研 究 所     |
| 〃   | 負荷時タップ切換装置           | 36-11-20  | 287608    | 米沢克昌                       | 伊 丹       |
| 〃   | 磁気消弧放電間隙装置           | 36-11-20  | 287621    | 鎌田隆好                       | 伊丹・研究所    |
| 〃   | 磁気吹消形消弧装置            | 36-11-20  | 287627    | 鎌田隆好                       | 伊丹・研究所    |

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 3 番地 (東京ビル内)<br>(電) 東京 (201) 大 代 表 1 6 1 1        |
| 本社商品事業部       | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル内)<br>(電) 東京 (211) 代 表 2511・2531     |
| 本 社 施 設 部     | 東京都千代田区丸の内 1 丁目 8 番地 (仲 27 号館)<br>(電) 東京 (211) 代 表 1261・1271・1281 |
| 東 京 商 品 営 業 所 | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地<br>(三菱商事ビル 3 階) (電) 東京 (211) 代 表 2511       |
| 大 阪 営 業 所     | 大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (34) 代 表 5251                             |
| 大 阪 商 品 営 業 所 | 大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (34) 代 表 5251                             |
| 名古屋営業所        | 名古屋市中区広小路通り 2 の 4 (電) 本局 (23) 代 表 6231                            |
| 福 岡 営 業 所     | 福岡市天神町 58 番地 (天神ビル内)<br>(電) 福岡 (75) 代 表 6 2 3 1                   |
| 札幌営業所         | 札幌市大通り西 1 丁目 13 番地<br>(電) 札幌 (3) 代 表 9 1 5 1                      |
| 仙台営業所         | 仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内)<br>(電) 仙台 (2) 代 表 6 1 0 1              |
| 富 山 営 業 所     | 富山市安住町 23 番地 2 (電) 富山 (2) 0151                                    |
| 広 島 営 業 所     | 広島市八丁堀 63 番地 (昭和ビル内) (電) 広島 (2) 4411~8                            |
| 高 松 営 業 所     | 高松市寿町 1 丁目 4 番地 (第一生命ビル内)<br>(電) 高松 (2) 代 表 5021 (ビル) 4416 (直通)   |
| 小 倉 出 張 所     | 小倉市京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (52) 8234                               |
| 小 倉 出 張 所     | 静岡市七間町 9 番地 10 (電) 静岡 (2) 2595 (3) 2962                           |
| 金 沢 駐 在 員     | 金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3) 6213                                    |
| 岡 山 駐 在 員     | 岡山市上石井 174 番地 (岡山会館 4 階) (電) 岡山 (3) 2948                          |
| 研 究 所         | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                               |
| 商 品 研 究 所     | 神奈川県鎌倉市大船 782 番地 (電) 大船代 表 3131                                   |
| 神 戸 製 作 所     | 神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (6) 代 表 5041                               |
| 伊 丹 製 作 所     | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                               |
| 長 崎 製 作 所     | 長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代 表 3101                               |
| 無 線 機 製 作 所   | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021                               |
| 名 古 屋 製 作 所   | 名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 1531                            |
| 静 岡 製 作 所     | 静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (3) 0141~0145                                 |
| 中 津 川 製 作 所   | 岐阜県中津川市駒場 (電) 中津川 2121~8                                          |
| 和 歌 山 製 作 所   | 和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代 表 1275                                 |
| 福 岡 製 作 所     | 福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (82) 代 表 1568                               |
| 福 山 製 作 所     | 福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 代 表 2800                               |
| 姫 路 製 作 所     | 姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 代 表 6900                                    |
| 神 奈 川 製 作 所   | 神奈川県鎌倉市大船 800 番地 (電) 大船 代 表 2121                                  |
| 東 京 製 作 所     | 東京都世田谷区池尻町 437 (電) 東京 (414) 代 表 8111                              |
| 福 島 製 作 所     | 福島県郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 1220~1223                                  |
| 伊 丹 製 作 所     | 伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹大代 表 5131                                    |
| 神 奈 川 製 作 所   | 神奈川県鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 大船 4141                                     |
| 京 都 製 作 所     | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所 1                                               |
| 無 線 機 製 作 所   | 東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (414) 代 表 8111                              |
| 東 京 工 場       | 東京都世田谷区池尻町 305 (電) 東京 (414) 代 表 8111                              |
| 札幌修理工場        | 札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札幌 (2) 3976                               |

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 36 No. 4

- 三菱鉱業株式会社古賀山鉱業所納め選炭場総括制御装置
- 180 kW 二極高圧ガス循環ブロウ用三相誘導電動機(モグラモートル)
- 自動追尾レーダの性能限界 (2)
- 6,000 Mc 帯各種導波管
- 自動車装着交流発電機用シリコンダイオード
- 添加剤による耐熱絶縁紙の開発
- 中性子回折装置用プログラムコントロール装置
- イオン・電子切換形パンプ・デ・グラウ形加速器(VC-3 形)
- 電力系統過渡現象の解析法
- 変圧器用接着鉄心 (1)
- 技術解説: 原子炉の計測制御 (3)

ファンシリーズの解説

雑誌「三菱電機」編集委員会

|      |         |      |            |
|------|---------|------|------------|
| 委員長  | 小 倉 弘 毅 | 常任委員 | 宗 山 村 平    |
| 常任委員 | 小 倉 弘 毅 | 委員   | 山 田 柴      |
| 〃    | 荒 井 潔   | 〃    | 片 岡 高      |
| 〃    | 安 藤 安   | 〃    | 慊 岡 善      |
| 〃    | 小 川 清   | 〃    | 関 崎 野      |
| 〃    | 小 堀 富   | 〃    | 関 崎 野      |
| 〃    | 高 井 得   | 〃    | 前 田 祐      |
| 〃    | 中 野 光   | 〃    | 米 野 俊      |
| 〃    | 馬 場 文   | 幹 事  | 井 上 八      |
|      |         |      | (以上 50 音順) |

昭和 37 年 3 月 17 日印刷 昭和 37 年 3 月 19 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 3 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」編集部  
東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 電 話 東 京 (201) 1611  
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  
東京 (291) 0915・0916 振替東京 20018





TA-300 形交流アーク溶接機  
(トランスアクター形)



MA-300 形交流アーク溶接機  
可動鉄心形 (普及品)



TD-200 形直流アーク溶接機  
(トランスアクター シリコン整流器形)

## 広範囲三菱アーク溶接機完成 !!

新しい技術により生まれた 三菱アーク溶接機は いよいよ量産を開始した。

この溶接機は広範囲の電流調整が可能であり、経済性の向上を計った三菱独特の設計による新しい溶接機である。建設、鉄鋼、造船などの溶接作業に広く利用される。

機 種 1. TA-300 交流トランスアクター形 (高級品)

- 特 長
1. 二次無負荷電圧値がつねに一定で アーク が安定である。
  2. 広範囲 (30~300 A) で連続的に溶接電流値の調整ができる。
  3. 自冷式で H 種絶縁の採用
  4. 漂遊負荷損が少なく アーク が安定である。
  5. 小形、軽量、堅ロウ

2. MA-300 交流可動鉄心形 (普及品)

3. TD-200 直流トランスアクターシリコン整流器形 (電磁接触器付)

### 三菱アーク溶接機仕様

| 仕 様                    |                 | 交流アーク溶接機<br>トランスアクター形<br>(高級品) |         | 交流アーク溶接機<br>可動鉄心形<br>(普及品) |         | 直流アーク溶接機<br>トランスアクターシリコン<br>整流器形(電磁接触器付) |
|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------|----------------------------|---------|------------------------------------------|
| 形 式                    |                 | TA-300                         |         | MA-300                     |         | TD-200                                   |
| 電源側                    | 電 圧 (V)         | 200                            |         | 200                        |         | 200                                      |
|                        | 相 数             | 単 相                            |         | 単 相                        |         | 三 相                                      |
|                        | 周 波 数 (c/s)     | 50 または 60                      |         | 50 または 60                  |         | 50 または 60                                |
| 溶接側                    | 定 格 電 流 (A)     | 300                            |         | 300                        |         | 200                                      |
|                        | 電 流 範 囲 (A)     | 30~320                         |         | 40~320                     |         | 20~220                                   |
|                        | 定 格 使 用 率 (%)   | 50                             |         | 50                         |         | 50                                       |
|                        | 無 負 荷 電 圧 (V)   | 約 81                           |         | 約 84                       |         | 約 73                                     |
|                        | 定 格 負 荷 電 圧 (V) | 抵抗分                            | リアクタンス分 | 抵抗分                        | リアクタンス分 | 30                                       |
|                        |                 | 35                             | 0       | 35                         | 0       |                                          |
| 冷 却 方 式                |                 | 自 冷 式                          |         | 自 冷 式                      |         | 強 制 通 風 式                                |
| 絶 縁 の 種 類              |                 | H 種                            |         | H 種                        |         | B 種                                      |
| 外形寸法 (mm)<br>(ハンドルを除く) | 幅               | 460                            |         | 370                        |         | 580                                      |
|                        | 奥 行             | 540                            |         | 565                        |         | 675                                      |
|                        | 高 さ             | 745                            |         | 610                        |         | 1,045                                    |
| 重 量 (kg)               |                 | 約 190                          |         | 約 140                      |         | 約 215                                    |
| 適 用 溶 接 棒 径 (mm)       |                 | 2~6                            |         | 2.6~6                      |         | 1.6~4                                    |