# 400 kV 級 送 電 線 の 研 究

The Investigation of the 400 kV Class Transmission Lines

永野宏郎\*
Hiroo Nagano

福 田 重 穂\*
Shigeho Fukuda

Tōru Hatta

# 内 容 梗 概

諸外国では 400 kV 級送電線が続々建設され、長距離大容量送電が行われている。わが国では 275 kV 級送電が現在最高の送電電圧であるが、将来さらに大容量の水力、火力発電所が出現する傾向にあり、電力の都心への集中と送電ルートの用地問題、などから短距離においても 400 kV 級送電の必要性があり、また電力の広域運営が叫ばれているなどから、近い将来 400 kV 級送電線が検討される情勢となっている。

400kV級送電では、機器の研究も必要であるが、特に送電線ではわが国の気象条件に合致した設計が必要で、 諸外国の技術をそのまま取り入れることはできない。 400kV 級送電線では最大の問題はコロナと絶縁設計で あるとまでいえる。

コロナの点より考えれば、外径の大きい単導体方式ではほとんど不可能に近く、多導体方式となる。しかし 多導体方式では素導体を 40 cm 前後の間隔に配列するためスペーサが必要で、またこのためねじり現象が発生 し、スペーサとその取付けの問題がある。さらに電線のクリープのため、素導体間の間隔が異なり、また積雪 地方ではスリートジャンプや架線工法上の問題があり、単導体より非常に複雑で解明すべき問題が多い。

本報告ではこれらの諸問題について触れ、これに対する研究を紹介する。

# 1. 緒 言

世界各国における超高圧送電線はスェーデンの  $380 \,\mathrm{kV}$  送電線<sup>(1)</sup> を契機として大戦後、ソ連<sup>(2)</sup>、ドイツ<sup>(3)</sup>、フランス<sup>(4)</sup>などョーロッパ大陸連けい系統が続々完成し、一方アメリカではこれとは別に  $330 \,\mathrm{kV}$ 系統が完成しつつある。そしていまや送電電圧はこれをさら に上回る  $500\sim750 \,\mathrm{kV}$  級のものがアメリカなどで検討されようとしている<sup>(5)</sup>。

わが国では昭和27年に新北陸幹線が 275kV で運転を開始し、その後、佐久間、丸山、西東京などの幹線が続いて運転に入り、今後 & 275kV 級送電線が建設される計画が多い。また一方、将来の電力需要増大を見越して 400kV 級送電の検討が行われている。

日立電線株式会社では、これら 275kV 級送電線の技術的諸問題 について各電力会社と密接な協同のもとに研究を行い、さらに将来の 400kV 級送電線の必要性を認識して研究設備の拡充と 400kV 級 送電線の諸問題について研究を行っている。

本報告はこれらの概要を述べ将来の 400kV 級送電線の諸問題に 触れたいと考える。

#### 2. 400 kV 級送電線の電気的諸問題

## 2.1 送電用導体とコロナ(6)~(8)

超高圧送電線では送電容量から Kelvin 氏の経済断面積で決る導体外径では導体表面電位傾度が高くコロナの発生が著しい。送電線のコロナは送電上コロナ損失となるが、電波網の発達した現在ではコロナ放電によるラジオ周波数帯への妨害(ラジオ障害あるいはコロナ雑音)が重要になり近年世界各国で研究されるようになった。

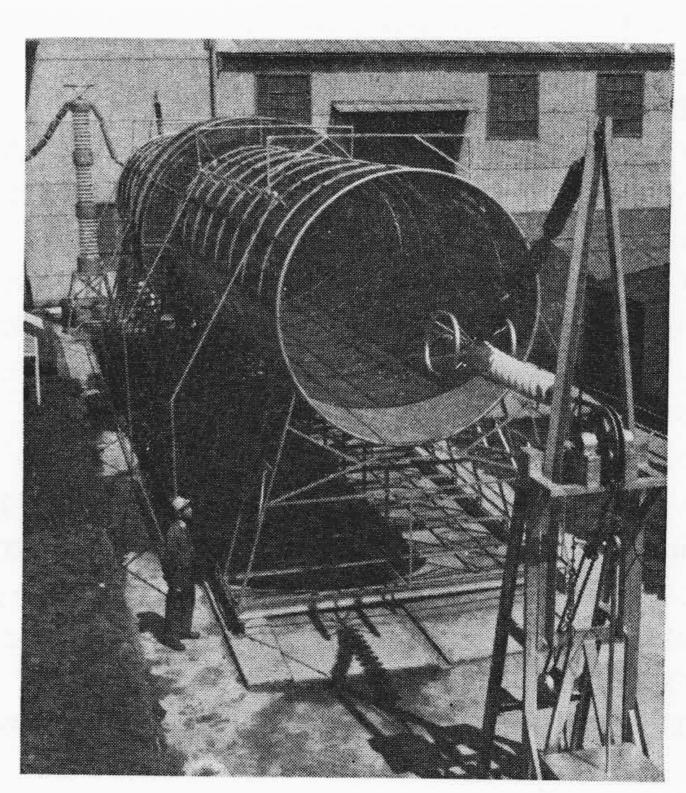
わが国では人口密度が高いため、送電ルートの選定にあたって、 特にラジオ電界の弱い地方、人家密集地をさけられない場合が多く、 気象条件がコロナ雑音にとって良好でないなどコロナ雑音によるラ ジオ障害は切実な問題となっている。

超高圧送電線ではコロナ開始電圧以下になるよう導体を選定する わけであるが、導体表面状態、たとえば架線時の表面傷、付着汚物、 降雨時の水滴などによって、部分的にコロナが発生する。またラジ オ障害量は受信機入力側におけるラジオ信号とコロナ雑音電圧の比

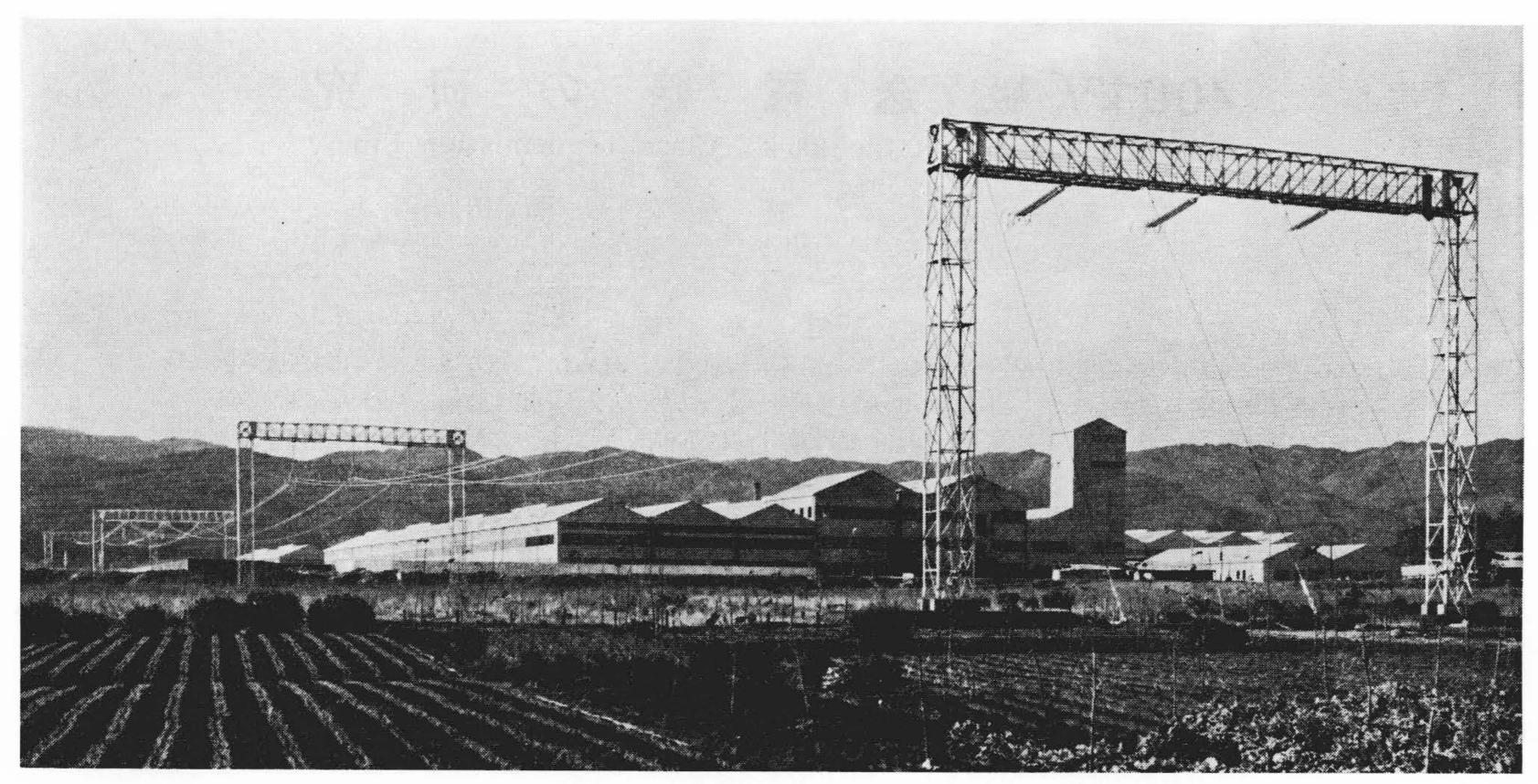
\* 日立電線株式会社電線工場

第1表 400 kV 級送電線の線路定数

導 体	240mm <sup>2</sup> ACSR 4 導体	330mm² ACSR 3 導 体	610mm² ACSR 2 導体
最高回路電圧 (kV)	420	420	420
公 称 電 圧 (kV)	380	380	380
等 価 相 間 距 離 (m)	12	12	12
素 導 体 間 隔 (cm)	40	40	40
素 導 体 外 径 (mm)	22.4	25.3	34.2
秦 導体断面積	241.3 56.29 297.6	$326.8 \\ 52.84 \\ 379.6$	612.4 79.38 691.8
素導体単位長重量(kg/km)	1,110	1,320	2,320
電 気 抵 抗 (Ω/km20℃)	0.0300	0.0296	0.0237
安 全 電 流 (A)	2,680	2,430	2,440
送 電 容 量 (MW/回線)	1,589	1,440	1,445
インダクタンス (mH/km)	0.871	0.929	1.020
静 電 容 量 (μF/km)	0.0129	0.0122	0.0111
特性インピーダンス (Ω)	200	276	302
固 有 負 荷 (MW)	555	523	478
導体表面最大電位傾度(kV/cm)	14.0	15.15	15.45



第1図 超高圧同心円筒の外観



第2図 400 kV 級 試 験 送 電 線

超高圧同心 円筒印加電圧 (kV) 等価相間 離 導 体 表 面 最大電位傾度 (kV/cm) 送電電圧 (kV) 導 (mm²) 導体本数 距 154 160 67 14.8 1 7.0275 8.5 15.0 610 114.5275 240 15.45 8.5102.0 275 330 2 8.5104.214.3 400 610 12.0142.015.45400 330 12.0127.015.15400 240 12.0119.214.0

第2表 超高圧同心円筒と送電電圧の関係

## 率で決まってくる。

これらの事実のため、コロナ雑音の解明は非常に複雑であり、諸 外国の超高圧送電技術をそのまま取り入れるわけには行かない。

コロナは導体表面電位傾度が空気の絶縁破壊値に達すると発生す ると考えられる。しかし導体にはより線効果があり、架線上、表面 に傷や汚物がつきやすく, 高湿時や降雨時には水滴がつくので理論 的には定められない。しかし通常導体を平滑な円筒と仮定してその 表面電位傾度を目安にして比較している。

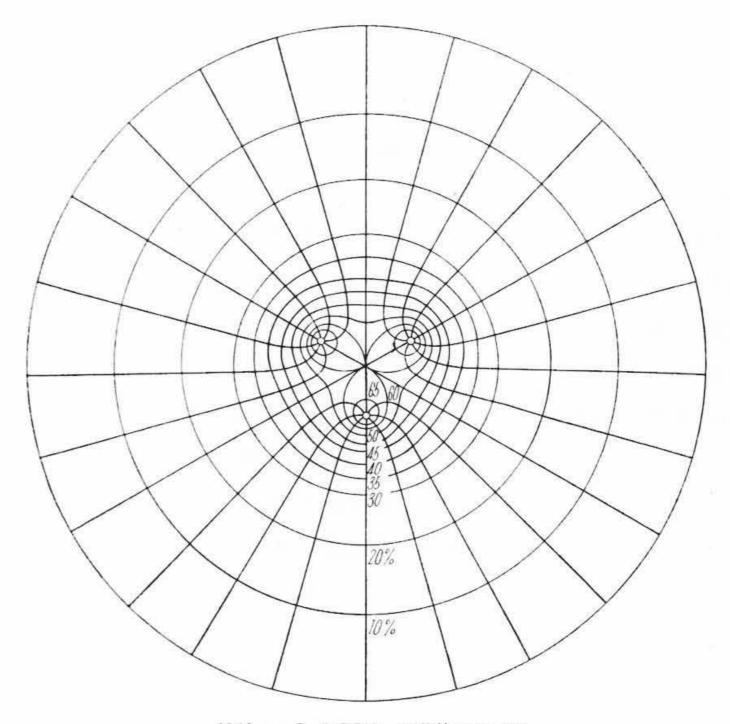
コロナ雑音を考慮した場合, 導体表面電位傾度は 13~15 kV/cm ぐらいにとることが望まれる。第1表は 400 kV 級送電線として考 えられる導体方式についての線路常数を示したものである。

コロナの解明には試験送電線が必要で実験データーも実際に近い ものがえられる。しかし、導体表面状況、気象条件、線種、導体方 式(2,3,4導体)における相互比較を試験するには超高圧同心 円筒が容易である。

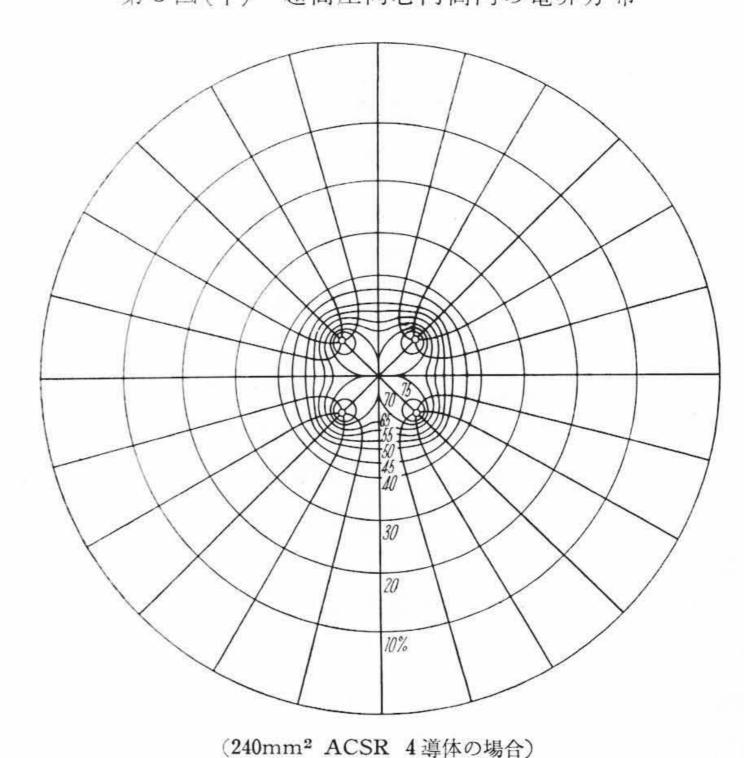
このため直径3m,長さ18mの超高圧同心円筒(第1図)によ ってコロナの研究を続行するとともに 240 mm² ACSR 4 導体, 330 mm² ACSR 3 導体, 610 mm² ACSR 2 導体などの試験送電線に よって研究を行う計画である。第2図に400kV級試験送電線を示す。

試験送電線による研究は別の機会に報告することとしてここでは 超高圧同心円筒について述べる(6)。

400kV 級送電線では多導体方式(2,3,4導体)となる公算が 大きい。超高圧同心円筒内に多導体を架線した場合は近似的に次式 によって導体表面最大電位傾度を求めることができる。



(240mm<sup>2</sup> ACSR 3 導体の場合) 第3図(|) 超高圧同心円筒内の電界分布



第3図(Ⅱ) 超高圧同心円筒内の電界分布

2 導体:

$$G_{2\text{max}} = \frac{V_c \left(1 + \frac{r}{a}\right)}{2 r \log_e \frac{D_c}{\sqrt{2 r a}}}....(1)$$

3 導体:

$$G_{3\text{max}} = \frac{V_c \left(1 + \frac{\sqrt{3} r}{a}\right)}{3 r \log_e \frac{D_c}{\frac{1}{3} (2 a)^{\frac{2}{3}}}}...(2)$$

4 導体:

$$G_{4\text{max}} = \frac{V_c \left(1 + \frac{3 r}{\sqrt{2} a}\right)}{4 r \log_e \frac{D_c}{2^{\frac{1}{8}} r^{\frac{1}{4}} (2 a)^{\frac{3}{4}}} \dots (3)$$

ここで

 $G_{2\text{max}}$ ,  $G_{3\text{max}}$ ,  $G_{4\text{max}}$ : 超高圧同心円筒内の多導体表面電位

傾度 (kV/cm)

 $V_c$ : 超高圧同心円筒印加電圧 (kV)

De: 超高圧同心円筒の半径 (cm)

r: 導体半径 (cm)

2a: 多導体線間隔 (cm)

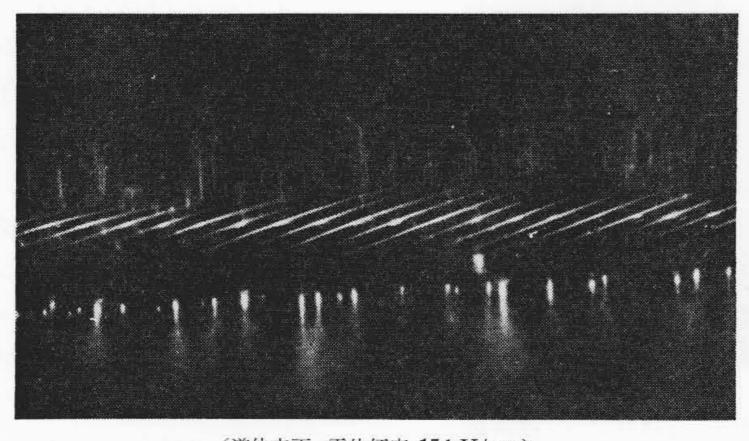
第3回は超高圧同心円筒内に3,4導体を架線した場合の電界分布である。

コロナは導体近傍の電界分布が実際の送電線と近似であれば,同 じ特性を示すことから超高圧同心円筒と実際送電線との対応性がつ けられる。

第2表は(1)~(3)式を用いて各種導体に対する送電電圧と超高 圧同心円筒印加電圧の関係を示す。

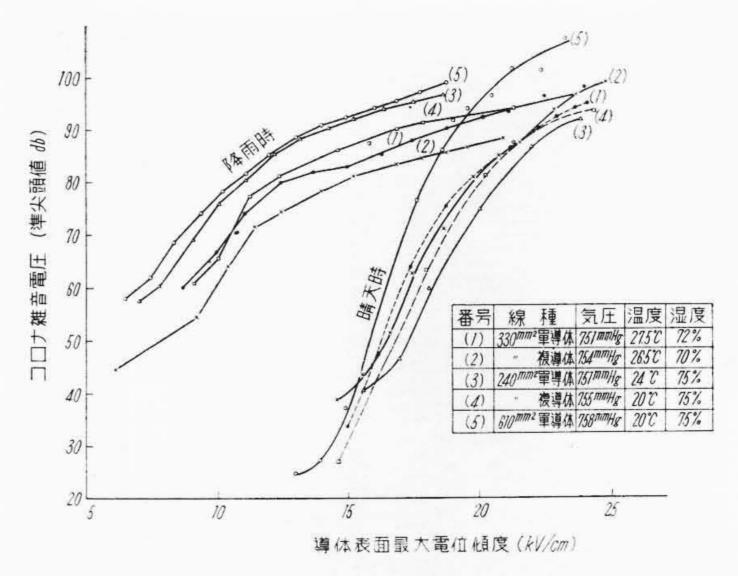
超高圧同心円筒でコロナ現象を観察した結果を要約すると次のよ うになる。

- (a) コロナ雑音を高速度オシロや可視コロナによって観察する と実は導体上からのコロナストリーマ放電による立上りの著しく 速いコロナパルスに原因していることがわかる。
- (b) 電源周波の正の半サイクルに出るコロナパルス(正コロナパルス)は負の半サイクルに出るコロナパルス(負コロナパルス)より波高値が著しく高く,コロナ雑音の最大値は主としてこの正コロナパルスに原因している。
- (c) 晴天時では表面の清浄な導体は導体表面電位傾度が約20 kV/cm 以下では正コロナは発生しない。しかし実際の送電線では導体表面に付着汚物や傷があり、さらに雨天では水滴がつくので、使用電位傾度15 kV/cm ぐらいでも正コロナは発生する。
- (d) 晴天時のコロナ雑音は非常に変動が多く,負コロナは変動が少ないが,正コロナは間けつ的に発生しコロナ雑音の上限,下限はこの正コロナと負コロナによってきまる。



(導体表面,電位傾度 15 kV/cm)

第4図 降雨時導体よりのコロナ発生状況



第5図 超高圧同心円筒によるコロナ雑音電圧特性

- (e) 雨天時ではコロナは導体に付着した水滴の尖端より発生しコロナ放電点は著しく増大し、変動は少なくなり晴天時より15~25dB増加する。
- (f) 晴天時同一表面電界強度では導体外径の大きなものほど正コロナペルスは大きく、コロナ雑音は大である。しかし雨天時には、この傾向は少ないか、ほとんどない程度である。この傾向は多導体においても同じである。
- (g) したがって細い導体を多数用いた方式(2,3,4導体)は 単導体よりコロナの点では良好で、細い導体には架線時の傷や汚 物がつきにくく架線も容易である。400kV 級の単導体方式はこ

の理由によってほとんど不可能と考えられる。

(h) さらに単導体より多導体の方式がインダクタンスの減少と キャパシタンスの増大によって送電安定度を向上させ、送電容量 を増大させる利益がある。

第4図は降雨時導体に付着した水滴よりコロナが発生している状況を示し、第5図はコロナ雑音の測定結果である。

コロナ雑音が問題になるのは降雨時であり,超高圧送電線設計に は降雨時を基準にしなければならない。

降雨時に導体表面電位傾度が同一であれば、多導体方式はほとんど同じコロナ雑音レベルを示すことから 400 kV 級送電線のコロナ雑音レベルの推定が可能である。しかし実際の送電線ではがい子連などのコロナと導体よりの空間波伝播の問題があり、超高圧同心円筒は導体相互の比較とコロナの基本的究明に重点をおくべきであるので、400 kV 級送電線のコロナレベルについては別に述べる。

#### 2.2 超高圧送電線絶縁設計上の二,三の研究

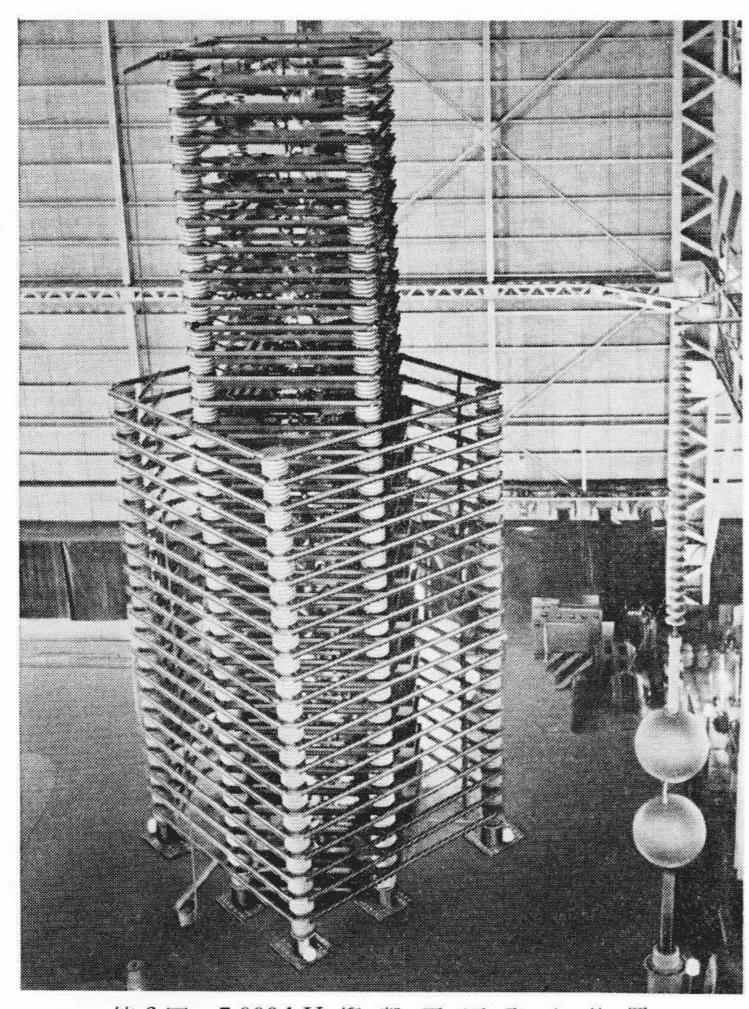
超高圧送電線の絶縁設計として最近諸外国の例をみると,内部異常電圧を対象として運転実績によって系統の基準インパルスレベル(B. I. L.)を決めて行っているようである。そしてこの B. I. L. によって決まるがい子個数に対して,耐雷設計を考える方針のようである。

送電線では防絡装置が付けられるので、実際には防絡装置付がい 子連の50%せん絡電圧を B. I. L. に決定することが必要である。

しかし、防絡装置は外雷に対してがい子を保護するため特にがい子の臨界通絡電圧を高く設計するのが望ましい。現在  $275\,\mathrm{kV}$  級では 50% せん絡電圧をがい子(10 吋標準懸垂がい子)15 個分の $1,345\,\mathrm{kV}$  にとり、がい子を  $1\sim2$  個増結することによって臨界通絡電圧の向上をはかっている。

諸外国の  $400 \,\mathrm{kV}$  級では系統によって異なるが  $1,450 \sim 1,800 \,\mathrm{kV}$  ぐ らい(ドイツでは  $1,425 \,\mathrm{kV}$ , スェーデンでは  $1,500 \,\mathrm{kV}$  など)のB. I. L. を考えているようである。

これらがい子連も 400kV 級では 10 吋標準懸垂がい子に換算して

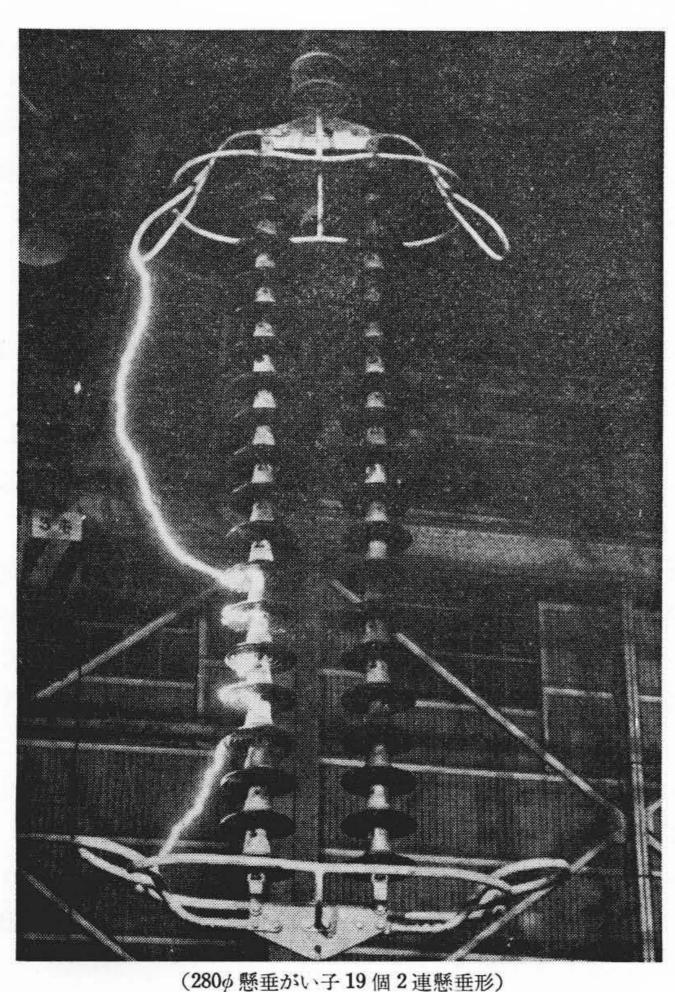


第6図 5,000 kV 衝 撃 電 圧 発 生 装 置

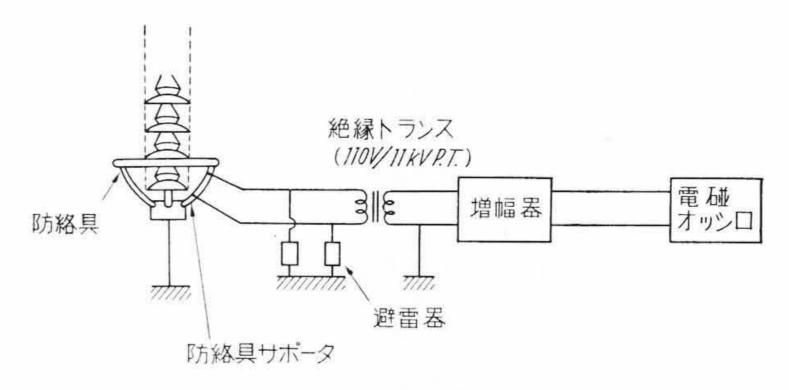
23~25個連ぐらいが考えられ、また塩害を考慮する場合はさらに多くなるのでこのような長がい子連に対する内絡実験が当然必要であるう。

日立電線株式会社では、これら諸問題の研究を行えるよう 5,000 kV 衝撃電圧発生装置を設備している。第6図はその外観である。また第7図は防絡装置の内絡状況の一例を示す。

防絡装置はこのようながい子の沿面内絡を防ぐため、臨界通絡電 圧を高くすることが望ましいが、この臨界通絡電圧をこえた高電圧 の外雷が到来した場合および、塩塵害地方でがい子表面の汚損内絡



第7図 防絡装置の臨界通絡状況の一例



第8図 P.D. 法による招弧時間測定回路

の危険性ある場合には防ぎきれない。特に超高圧直接接地系では内 絡についで起る送電源よりの大電流アークががい子を破損する。

超高圧系統では数サイクルの高速度遮断を採用するので、もしもがい子の沿面内絡が起った場合は防絡装置によってがい子面より大電流アークをすみやかに遠ざける形状のものが必要である。

従来,がい子の耐アーク試験は設備の関係もあり、せいぜい  $3\sim 4$  kA,  $0.1\sim 1$  秒のものであり、がい子連も試験電圧の関係から長がい子連では行っていない。



(写真は5コマ分のみ) 第9図 1,000コマ/秒高速 度映画による防絡装置へ

のアーク移行状況の一例

このため日立電線株式会社では日**立** 製作所日立研究所と協同して150MVA 大容量短絡発電機による超高圧送電**線** 用防絡装置の大電流アーク実験を**行っ** た。

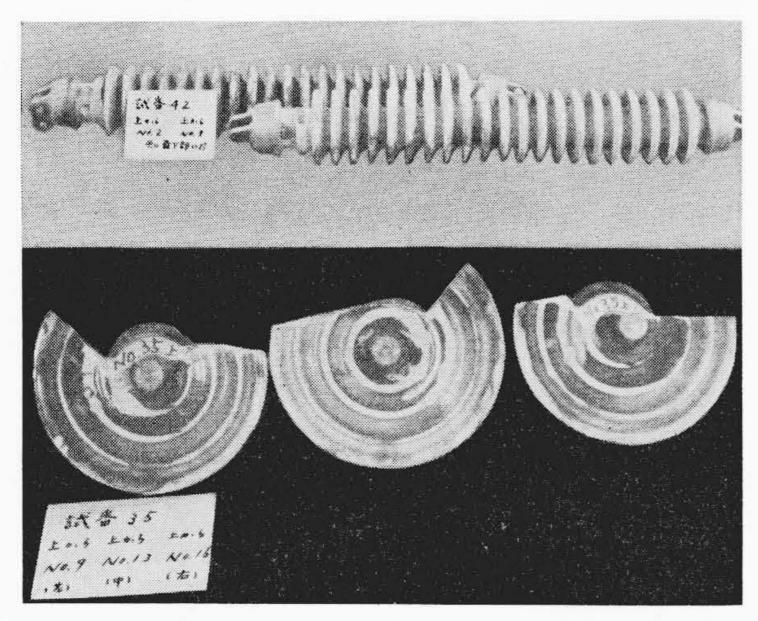
その詳細は別報(9)(10) にゆずり概要を述べる。すなわちがい子の沿面内格を模擬させるため、がい子表面にヒューズを張り、これによって大電流アーク(3~20kA) を発生させた。アーク通電時間は高速度遮断器の働作時間を考慮して 0.1 秒としアークの防絡装置への移行状況は次の方法により総合的見地より判定した。

- (a) P.D. 法(後述)による電線側 防絡装置の招弧時間の測定
- (b) 500 あるいは 1,000 コマ/秒の 高速度映画撮影
- (c) 64 コマ/秒 による映画撮影
- (d) アーク試験後のがい子および 防絡装置の損傷状況の調査

上記測定項目中「(a) P.D.法による電線側防絡装置の招弧時間の測定」は第8図のように防絡装置が招弧した場合,防絡装置のサポータに流れる電流によって電圧降下を検出する方法である。この電圧降下を検出する箇所は防絡装置のサポータ全部に取り付け,アークがどのように防絡装置に移行したか判定できるようにした。

第9図は 1,000 コマ/秒 高速度映画 によるアークの状況の一部である。ま た第10図はがい子の破損状況の一例 を示している。これらの実験の結果

(i) 最近の防絡装置の設計についてはがい子面上のアークを電磁力により防絡装置へ移す形状のものが多



第10図 大電流アーク試験後のがい子破損状況の一例

く使用されているが、10kA 以上の大電流になると電磁力は非常に強く、いかなる形状のものでも2~3サイクル程度で防絡装置へ移るため特に複雑な形状のものを使用する必要はあまりないと考えられる。

しかし,一般的傾向としては耐張形はアーク自身の上昇気流の ため,がい子面よりアークが離れやすいが,懸垂形は対策がむず かしく,汚損の危険性のあるところは電磁力を有効に使用するよ うな防絡装置を使ったほうがよいといえる。

(ii) 数サイクルでは 3kA 以上のアーク電流になるとがい子の破損する機会が多くなる。これはアークが防絡装置に移ってからもがい子連中央にからまり離脱しないことによるもので,400 kV 級では長がい子連となるので,この対策は非常にむずかしく,今後さらに研究しなければならない。

#### 2.3 超高圧送電線短絡時の諸現象

超高圧送電線では直接接地系統が採用せられるので、地絡故障時の電流は相当大きく、このため、送電線に関する短絡時の諸現象の研究とその対策も必要である。

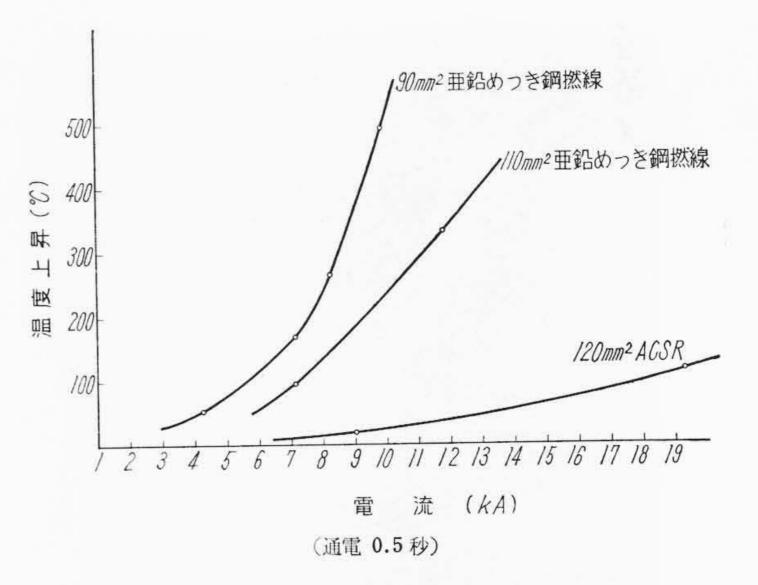
たとえば架空地線では瞬時大電流特性のすぐれたものが必要で、 その温度上昇は第11図のようで、短絡時の架空地線の性能を考慮 しておくことが必要である<sup>(6)</sup>。

また多導体方式では短絡時,素導体間の電磁力によって素導体が 衝突し,スペーサを圧縮するのでその検討も必要でこれについては 機械的諸問題のところで後述する。

## 3. 400 kV 級送電線の機械的諸問題

# 3.1 スペーサの考察(23)

多導体送電方式では 400 mm 前後に素導体が存在するため、風や



第11図 架空地線短絡時の温度上昇

素導体間の電磁力によって素導体が互に衝突する,いわゆるスティッキング現象があり,長径間にわたってこれを防止し,素導体間隔を一定に保持することは電気的にも機械的にも必要である。

スペーサは多導体送電線の各素導体間隔を一定に保つために用いられるものである。しかしこの素導体間隔を一定に保つということは一見簡単なようであるが、多くの問題があり、以下これらの問題点と研究の概要について述べてみたいと考える。

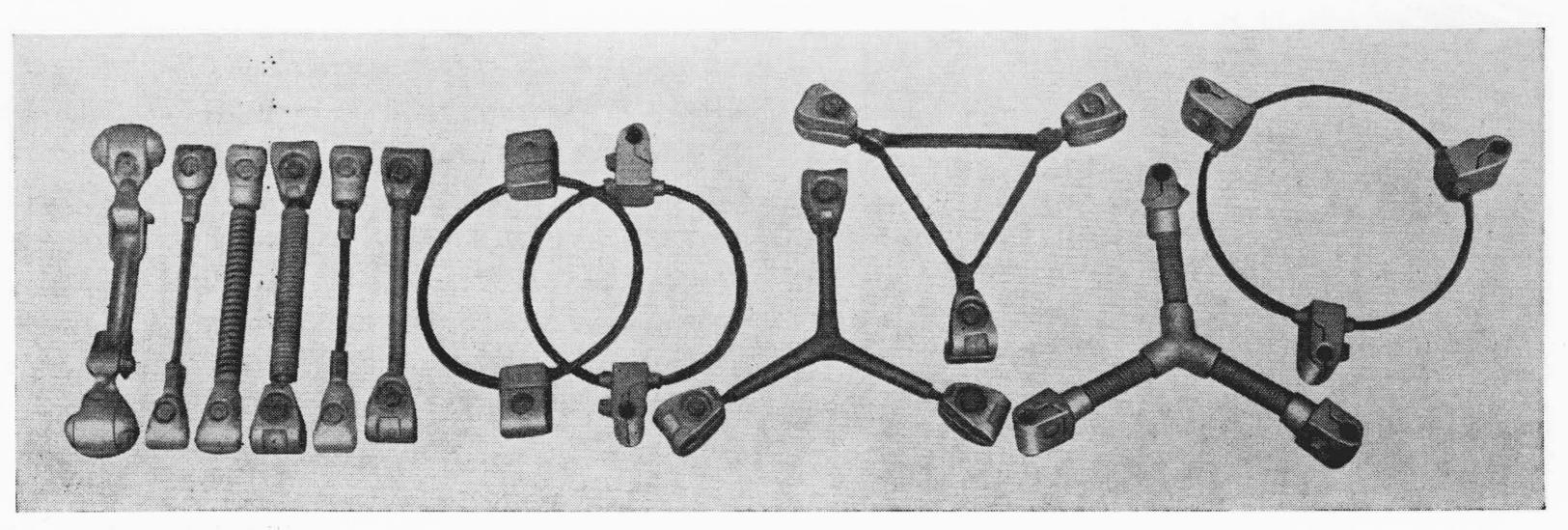
まず送電線は風によって絶えず振動するのでスペーサには繰返し 曲げ荷重が加わる。この結果スペーサ自身およびスペーサを取付け ている送電線に振動疲労を起す。

さらに地理的条件によっては台風時やスリートジャンプ時の大きな振動が起った場合、各素導体の振動はスペーサを媒介として運動し、この大きな荷重によってスペーサを破壊することがある。したがって風や雪の多いわが国では風の少ないヨーロッパで使用されているようなスペーサはあまり好ましくないといえる。

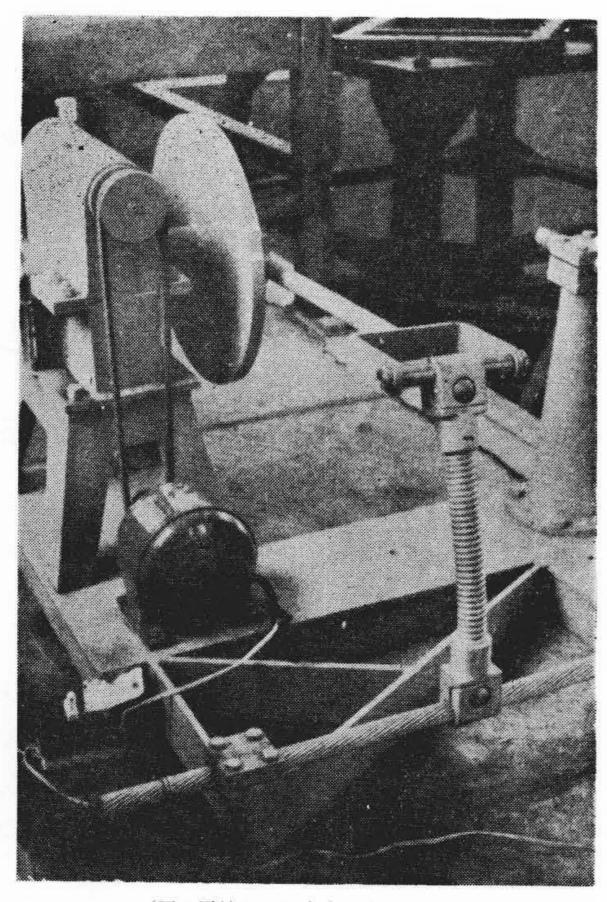
多導体の素導体間隔を乱す原因は風以外に電気力が考えられる。 このうち、特に問題となるのは短絡時に素導体間に働く大きな電磁 力であって、先にも述べたように超高圧直接接地系統では短絡時の 電流は大きく、このため素導体は互に衝撃し、密着するようにな る(15)~(17)。この場合スペーサの圧縮荷重は最高と考えられ、このた めスペーサが破壊しないことが必要である。

一方電気的にはスペーサは超高圧送電線に取付けられるので,スペーサよりのコロナ発生が少ないことが必要である。

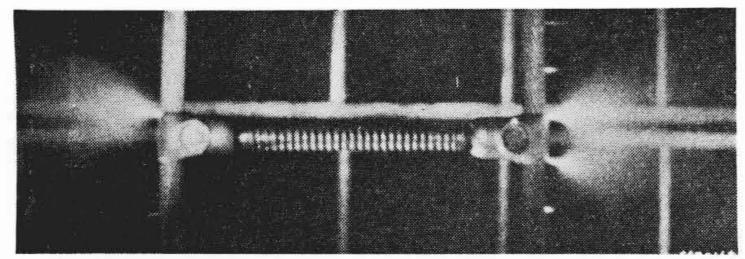
またスペーサは長年月 ACSR と同様な寿命が要求され、スペーサを構成する材質として当然防食性が必要である。特にスプリングを使用したものや、金属の接触電位の大きい材質より構成されたものは、めっき法などの検討も必要である。



第12図 各種の多導体送電線用スペーサ (試作品)



(図は電線ねじれ方向運動の場合) 第13図 スペーサ繰返し曲げ寿命試験の状況



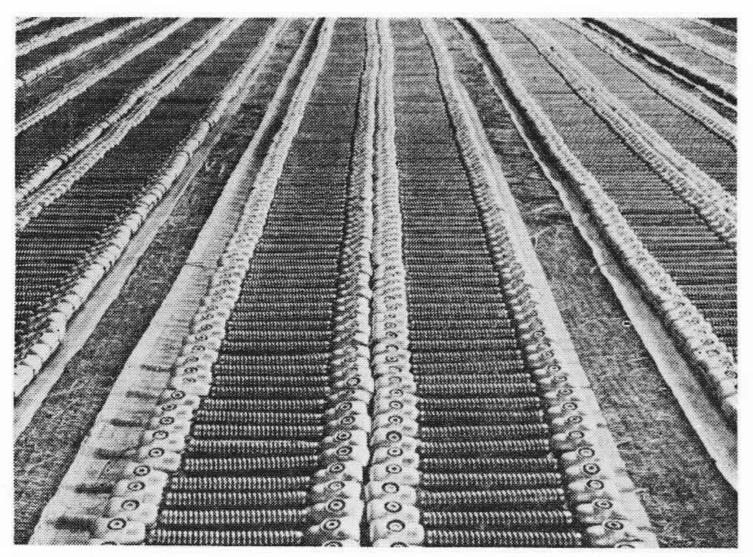
(導体表面最大電位傾度 30 kV/cm, 送電電圧 592 kV 相当, スペーサ可視コロナ開始送電電圧 509 kV 相当)

第14図 超高圧同心円筒内におけるスペーサの可視コロナ試験

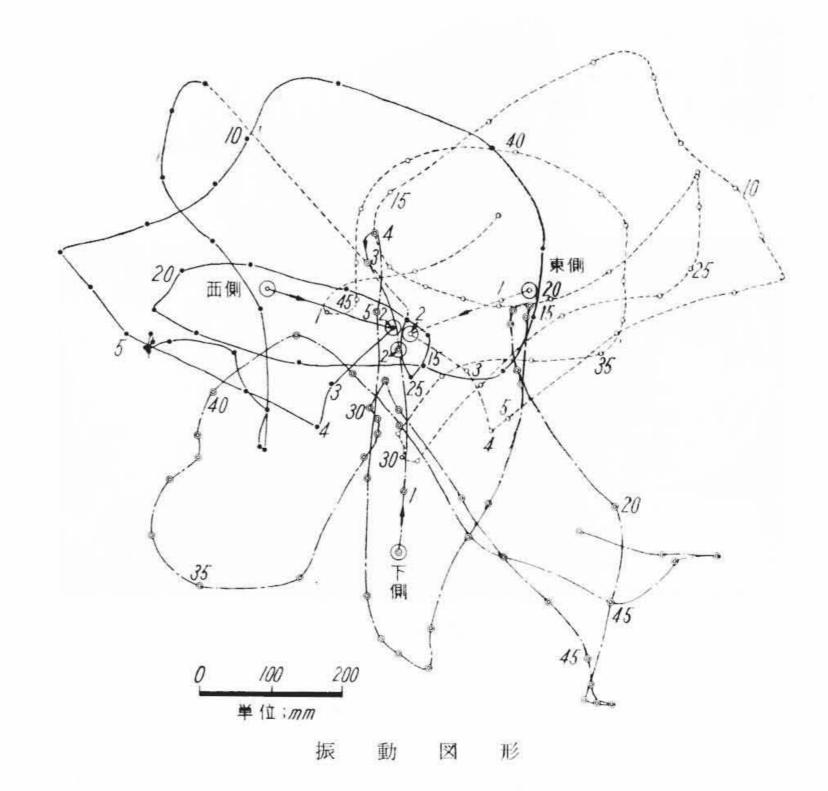
特殊な場合として寒冷地では低温ぜい性が問題で、たとえば、山岳地方で -20~-30 度程度に達する場合があり、このとき、スリートジャンプや突風などによってスペーサに衝撃力が加わると、材質によっては破断することがあるので、その対策も必要である。

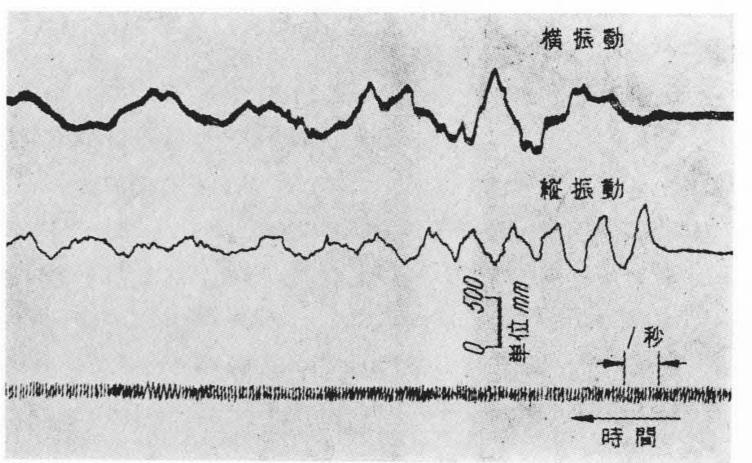
第12図は種々試作したスペーサを示し、これらについて(i) 繰返し曲げ寿命試験、(ii) 圧縮破壊試験、(iii) 引張破壊試験、 (iv) 導体は持力試験、(v) 耐食試験、(vi) コロナ試験など実施 している。この詳細はいずれ別の機会に報告する予定である。

第13図は寿命試験の状況, 第14図はコロナ試験の状況を示し



第15図 スプリング式ボールソケット形スペーサ





恢 期 記 録 (330 mm<sup>2</sup> ACSR 3 導体の場合)

第16図 多導体送電線短絡時の各素導体の振動

たもので、ボールソケット形は上述した試験において良好な特性を うるに適した構造であることがわかった。しかし、送電線の振動が 大きい場合はボールソケット形の連結部にスプリング作用をもたせ た構造のものが適していると考えられる。第15回はこの種のスペーサである。

## 3.2 多導体送電線のねじりとスペーサ間隔

多導体送電線に不均等な風圧が加わったりまた着氷があったような場合素導体が相互にねじれ合い送電線にねん転現象が起ることがある。このような状態では多導体送電線の本来の特性は失われてしまうだけでなく、導体相互の接触によってきずや素線切れを起す恐れがある。それゆえこのようなねじれ現象がさけられるようなスペーサ間隔を検討しなければならない。

多導体送電線がまったくねん転を起さないようにすることは気象 条件のきびしい場合かなり困難と考えられているが、風圧、着氷な どが減少したとき、ただちに復元するような条件でスペーサを配置 しておけば実用上十分であると考えられる。またこのような条件で はねん転もかなり起りにくいものである。

多導体送電線に起ったねん転がほかから力を加えることなく自力で自然に復元するようなスペーサの配置方法について研究するためには実スパンの送電線を用いて実験することが最も望ましい。理論的な計算による方法も考えられるが仮定が入り正確を期しにくい。また縮少した模型線による実験も考えられるがその縮少方法にかなりの困難性がある。

これらの観点から主として実スパン送電線を用いて行った実験か

らスペーサ配置方法を検討した(7)~(9)。 それらの結果を要約すると

- (1) スパン中央部でのスペーサ間隔を大きくすると復元性がよくなる。
- (2) スパン両端部でのスペーサ間隔を小さくすると復元性がよくなる。

これらの結果は仮定を立てて別途に行った理論計算からも説明のつくところであり、結局これらの結果を総合してスパン両端部ではスペーサ間隔を 40~50 m とし、スパン中央部ではスティッキングを有効に防止できるよう 80~100 m のスペーサ間隔とするのが適当と考えられている。このような方法で各種の長さのスパンについて適当とされるスペーサ配置方法が求められた。

また復元性の良否はねん転の強弱すなわちねじれの回数によって 相当変化があるので特に強いねん回力を生ずるような風の吹く場所 などには特別な考慮が必要である。

#### 3.3 多導体送電線短絡時の機械的問題

先にも述べたように超高圧送電系統では直接接地方式が採用せられるので、送電線短絡事故時の電流は相当大きくなることが予想される。

この場合,多導体送電線特有の現象として,素導体に流れる電流 によって素導体間に大きな電磁力が働き,素導体が衝撃し,密着す るとともに,スペーサに圧縮力を及ぼし,電線が振動する。

超高圧系統では高速度遮断器を使用しているので、短絡時の電流は数サイクルで、過電流による導体の温度上昇は考える必要なく、もっぱらこの送電線振動とこれに伴い素導体間の衝撃力、スペーサの圧縮力などの機械的事項が問題であり、超高圧多導体送電線の設計に考慮する必要がある。

この検討を行うためには、実際規模に近い試験線で実験を行わなくては、データーが得られないと考えられる。この意味で、350m 径間長の多導体送電線を建設し、日立研究所の協力をえて、150 MVA大容量短絡発電機による実験を実施した。

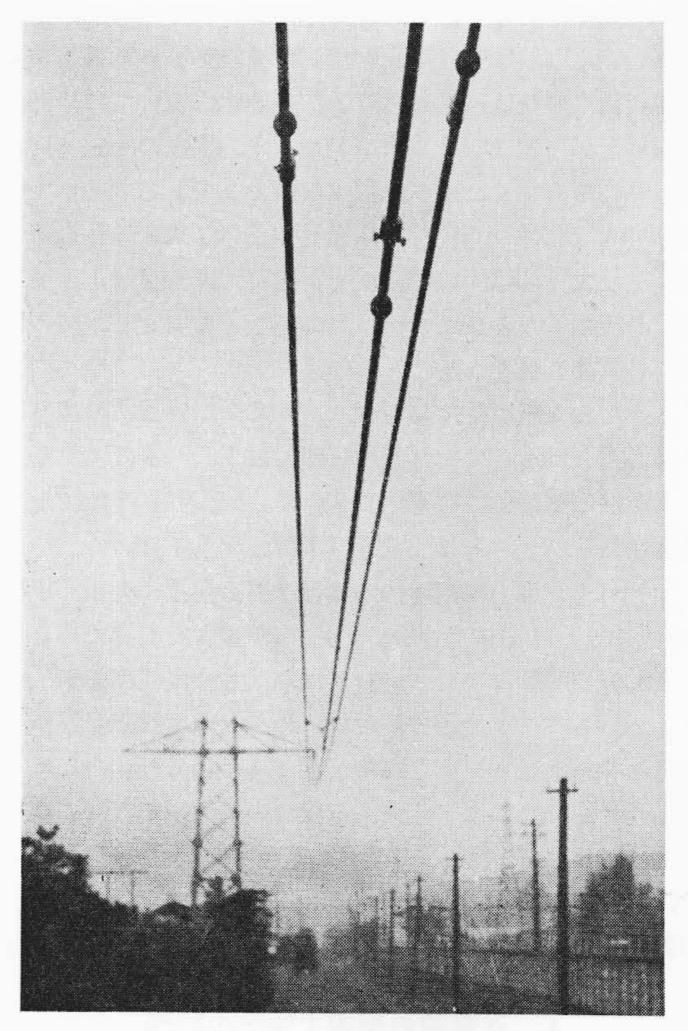
実験を行った多導体送電線は 400kV 級を目標として, 330 mm<sup>2</sup> ACSR 3 導体 (逆三角形配列), 240 mm<sup>2</sup> ACSR 4 導体, 275 kV 級を目標として 330 mm<sup>2</sup> ACSR 垂直配列複導体, 330 mm<sup>2</sup> ACSR 水平配列複導体である。

実験結果の詳細は別報<sup>(15)~(17)</sup> に述べてあるのでここでは省略するが大体 14,000 A 9 サイルク程度の通電ではおのおのの多導体送電線を比較して次のことがいえる。

- (i) 短絡による電線衝突時の衝撃力は複導体の場合約 400~800kg の間にあると考えられ、水平配列に比し垂直配列の衝撃力のほうが大きく、スペーサ間隔の長いほど大きくなる傾向が認められた。 なおこれらの場合電線の衝突速度は 4.2 m/s 以内であった。
- (ii) 3 導体および 4 導体の各素導体間に働く衝撃力は複導体の 場合に比較して低く, その値は 400 kg をこえない。
- (iii) 短絡時のスペーサ応力は一般に圧縮側は引張側に比して高い値でありスペーサ間隔 80 m の場合の荷重を示すと

複導体水平配列: 圧縮側 75 kg, 引張側 62 kg 複導体垂直配列: 圧縮側 99 kg, 引張側 60 kg 3 導体: 圧縮側 57 kg, 引張側 52 kg 4 導体: 圧縮側 66 kg, 引張側 54 kg となり3, 4 導体になるに従いその値は減少する。

- (iv) スペーサには種々なものを取り付けてその運動を観測した。この結果短絡では送電線に直角な平面内の運動がほとんどであることがわかった。
- (v) 短絡時の径間中央における各素導体の振動は映画撮影および夜間豆ランプを導体に取付け測定した。これは 第16 図 に示す

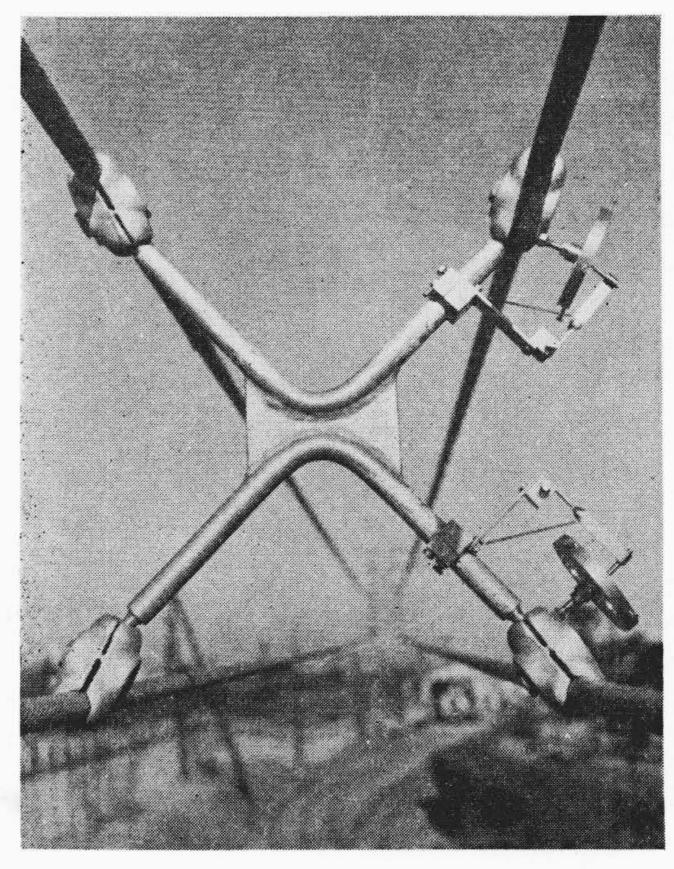


第17図 3導体送電線と短絡時の衝撃力測定器取付状況

ように3導体でもあまり大きい振幅でないことがわかった。 第17図に3導体送電線と短絡時の衝撃力測定器取付状況,第18 図に4導体送電線とスペーサの運動測定器取付状況を示す。

#### 3.4 多導体送電線のスリートジャンプ時の問題

多導体方式を受入れる際、考慮を要する問題に着雪、着氷の脱落 による電線の跳躍がある。単導体においてもこれがせん絡あるいは 支持物倒壊などの重大な事故を招く要因になるが、多導体において はこのほか、スペーサに異状な力が働く恐れがあり、またスペーサ のねん回を起させる原因ともなる。このように多導体の場合には対



第18図 4導体送電線とスペーサの運動測定器取付状況

象となる問題が多いため、これを簡単な縮小模型におきかえることがむずかしく、一般に実径間を利用した模擬スリート落下実験を行っている。従来の観測結果によると、多導体においては単導体のように回転しながら円筒状に着氷が発達せず、風上の一定方向に成長するため、脱落も早く、着氷量も少ないようである。そこで実験には径間 350m の 240 mm² ACSR 複導体ならびに 4 導体の試験線路を建設し、最大 1.2kg/m の鉛塊を電磁石で取り付け、一せい脱落時の電線の跳躍量ならびにスペーサ応力などを測定し、この種送電線設計に必要な資料をうることができた(15)(18)。ここにその一端を紹介する。なお実際に使用したスリート重量は複導体の場合は 425kg、4 導体は 350kg でそれぞれ片線に垂下したものである。

- (i) 電線の跳躍量は複導体 2.35 m, 4 導体 1.77 mで加重による弛度増加量のそれぞれ 2 倍, 1.7 倍に相当する。
- (ii) スペーサ応力は複導体の場合は引張荷重 58 kg, 圧縮荷重 51 kg であり、4 導体の場合はともに約 31 kg 程度である。
- (iii) 電線の跳躍によりスペーサははげしく動揺するが、ボールソケット形スペーサ使用の場合にはねん回現象は生じなかった。
- (iv) スリートジャンプと短絡が重なって起った場合には複導体 垂直配列で認めたのによると、電線の振幅が短絡だけの場合の 2 倍程度になる。

以上, 導体数が増えるとスリートジャンプの減衰が大きく, スペーサの影響もこれにあずかっていることが認められている。

# 4. 送電線の架線工法上の問題

#### 4.1 延線用ゴム張り釣車

送電線は鉄塔上に設けた釣車を通過して延線されて行くため、釣車との接触によって擦過傷あるいは凹みを生じ、コロナ雑音、電線強度の点から黙視できないものがある。従来より ACSR については多角形のループをつくり、それぞれの隅に釣車を配置して延線を模擬した釣車通過試験を行い、釣車の材質、寸法、電線の性能劣化を検討する方法がとられてきた。釣車には耐久の点からもっぱら金属製のものが使用されているが、われわれは早くよりゴム張り釣車の実用を考え、ゴムの変形、はく離のしない特殊な硬質ゴムを軽合金製リムの外間にモールドしたゴムモールド釣車の二、三を試作して、鉄製釣車よりすぐれている点を確認している(14)。 そのねらいは金属接触をさけると同時にゴム変形による接触面積と有効半径の増大にある。そのため 240 mm² ACSR、長さ 40mを正方形に延線し、電線張力 1.5 t を加えて 30 回釣車を通過させ、鉄製釣車との比較実験を行った。ゴムモールド釣車を使用した場合には

- (i) 導体表面の損傷は鉄製釣車の場合のように著しくなく, 釣車通過後もほとんど認められない。内部のアルミ線特に鋼線との接触面の押込み傷もきわめて軽微である。
- (ii) これらの結果はアルミ線  $(3.2\phi)$  の強度にも影響し、

抗張荷重: 試 驗

前 137 kg

鉄 製 釣 車 通 過 後 123 kg

ゴムモールド釣車通過後 134 kg

上記のような良い成績を収めた。

(iii) 釣車通過時の外層アルミのひずみも小さく,笑いの発生程度もゴムモールド釣車の場合には比較的軽くなる効果が判明している。現在ゴムモールド釣車の使用は活発でないが,400kV級送電を目標とする場合にはこれらの特長を生かして,折角コロナ雑音の防止に払われた努力をむなしくしないよう心掛ける必要があると考える。第19回はゴムモートルド釣車試験における導体表面状況の様子を示す。

# 4.2 送電線の永久伸びとプレストレッチ

多導体送電線においては同一弛度で架線しても年月の経過あるい

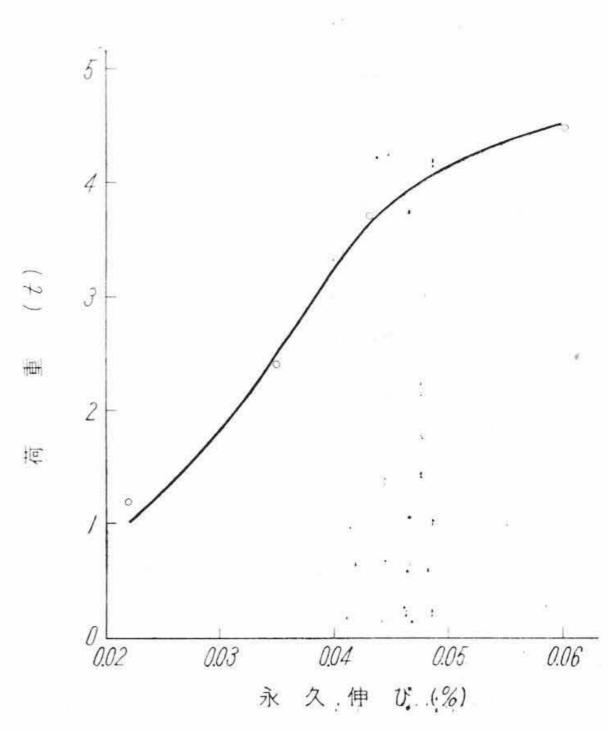


(上: 鉄製釣車,下:ゴム張り釣車)

第19図 鉄製釣車とゴムモールド釣車通過試験 後における導体表面傷の比較

は荷重の変動によって異なった永久伸びが生じ、 弛度が不ぞろいに なりがちである。また現に建設されつつある複導体を将来3~4導 体に変更する場合が考えられる。このような場合にもすでに永久伸 びの出た旧線に新線を添えるため、 弛度をそろえる対策が必要であ り、スペーサのねん回を起させないようにしなけれどならない。こ の弛度不ぞろい防止策には電線のよりの締りと金属のクリープから なる永久伸びを架線前に与えておく方法,・すなわちプレストレッチ を行うのが普通である。問題はこの永久伸びの推定と、それを与え るに必要な荷重対時間条件の選定にしぼられる。測定結果(20)によ ると, 架線張力と想定最大張力の間を変動する繰返し荷重試験にお いては, たとえば 240 mm<sup>2</sup> ACSR, 72 時間負荷の場合には 0.017 %(常温) ~0.045% (-45°C) の永久伸びが生じる。また種々の荷重 を長連続負荷した場合の永久伸びは第20図に示すようにある荷重 をこえると大きくなる傾向がある。したがってプレストレッチによ って与えられる永久伸びの大いさは 0.045% 以下におさえることが 望ましい。実際には長期にわたる弛度実測の過去のデーターから永 久伸びの大いさが決められる。

この永久伸びは仮緊線の際,与えられるのであるが,架線工事の便宜上,高荷重,短時間のプレストレッチが歓迎される。そのため種々の荷重を加えた場合の伸び一時間曲線をあらかじめ求めておかなければならない。これに対しては両端を合金端子で処理した



第20図 72時間荷重後の永久伸びの増加

10 m 長の試料を引張試験機にかけ、3分~72時間の時間を変えて 測定を行った。詳細はすでに報告したので省略するが、これらの曲 線群より工事作業上最も適した荷重条件を選び出すことができる。 プレストレッチは西東京幹線 240 mm² ACSR の複導体化の際適用 された。今後ますます本法利用の機会が増加する傾向にあるので各 種電線について数多くのデーターをそろえておくことが大切と考え る。

#### 4.3 電子計算機の架線設計への応用

送電線の建設工事における重要な問題の一つに電線の弛度および 張力の調整の問題がある。電線の架線張力は与えられた最悪条件 (風圧または被氷荷重の最大)の場合に各径間の水平張力があらかじ め指定された値をとり、また各鉄塔支持点の張力が規定の安全率を 確保できるように選ばなければならない。この計算は径間の水平距 離、高低差などの条件に応じて個別的に行わなければならないから、 結局各鉄塔の支持点について一つ一つ計算することが必要となる。

長距離送電線路では鉄塔数が500~700基程度に及ぶことは普通であり、弛度張力の計算に要する手数は著しく膨大なものとなる。このため従来は、送電線建設工事のたびごとに、多数の設計者をこの計算に振り向けてきた。この計算は相当に複雑で、その労力は大きく、測量結果架線の早急な検討、設計値の決定に大きな障害となっている。

日立電線株式会社ではこれらの設計計算に電子計算機を使って自動化し、ただちに設計解答の処理ができる計画をたて、日立製作所中央研究所と協同してこの計算機を完成した<sup>(21)(22)</sup>。

この電子計算機はHIPAC-Mk1 (Hitachi Parametron Automatic Computer Mark-1) と呼ばれ、演算制御部にパラメトロン、記憶装置に磁気ドラム、磁気ドラム制御回路には真空管が使われている。使用パラメトロンは約 4,500 個、真空管は約 400 本、けた数は2進38行(10進約11 けた)で、国内で試作されている計算機として標準的規模のものである。演算速度は加減算 3 ms、乗算8 ms、除算150msである。記憶装置は磁気ドラムの回転速度5,600 rpmで書き込み、読み出しの待合せに平均5 msを必要とし、記憶容量は1,024 語である。入出力装置には印刷電信用のさん孔テープおよび機械式テープ読取機を使い、約8字/秒の読取速度をもつ出力装置には電信用タイプライタを使用し、印刷の速度は約7字/秒である。

この電子計算機によって,従来手動計算のための不合理な計算式 にかわって,厳密な理論式による迅速な計算が自動的に行えるよう になった。

現在,電源開発株式会社,只見幹線の設計計算を行い所期の目的 を収め,またこのほか関西電力株式会社,黒部第四一新愛本線,姫 路火力線,東北電力株式会社,本名一仙台線などに協力した。

只見幹線,本名一仙台線,黒四一新愛本線などは豪雪地帯を通過するので,電線の荷重条件はきわめて過酷なもので,電線の弛度および張力の調整はそれだけに重要な意義を持っている。これらの1径間当りの計算所要時間および印刷時間は約1分40秒程度で行われ

る。これを熟練した計算手で同様の精密計算を行うと約7時間は必要で、いかに電子計算機によるデーター処理が迅速であるかがわかる。また特に高低差の多い地区で従来の手動計算の計算式による不合理を合わせて解決できる。

将来 400kV 級の超高圧送電線では鉄塔にかかる張力も大きく, この場合電子計算機によって合理的,経済的な架線の検討が精密, 迅速に行えるであろう。

# 5. 結 言

以上、超高圧送電線の諸問題を電気的ならびに機械的な面より取り上げ、日立電線株式会社のこれに対する研究概要を紹介した。

現在 400kV 級送電の検討は各方面から行われているが、技術的 諸問題の基礎研究を十分行って行く必要がある。特に送電線は諸外 国と気象条件が異なり、諸外国の技術をそのままとり入れることは できない。

このような情勢から、ここに紹介した超高圧送電線の研究を、今後もますます発展させ、わが国の 400kV 級送電線の設計建設に貢献したいと考える。

最後に本研究に対し種々御指導いただいた電源開発株式会社林次長,ほか関係各位,東京電力,東北電力,中部電力,九州電力の関係各位,日立製作所中央研究所高田部長,島田主任,日立研究所牧部長,山崎主任,日立電線株式会社電線工場岩田,久本両部長,山本課長,また実験に協力された沼尻,星野,柿崎,小形,岡,大和田各氏に感謝する。

# 参 考 文 献

- (1) A. Rusck: PIEE, 102, 1, 333 (1955)
- (2) S. A. Sovalov: CIGRE No. 410 (1958)
- (3) E. T. Z. A.: 72, (7) (April 1958)
- (4) P. Ailleret, H. Caillez: CIGRE No. 415 (1958)
- (5) Elec. World: 149 (23) 54 (9 June 1958)
- (6) 永野: 日立評論 別冊 28, 18 (昭 33-12)
- (7) 永野, 沼尻: 電東京支大 205 (昭 33)
- (8) 永野, 沼尻: 電四連大 577 (昭 34)
- (9) 林, 永野: 日立評論 41,300 (昭 34-2)
- (10) 林, 永野, 山崎: 電四連大 566 (昭 34) (11) 鈴木, 永野, 岡: 電四連大 592 (昭 34)
- (12) 林, 鈴木, 山本, 星野: 日立評論 別冊 28, 12 (昭 33-12)
- (13) 星野, 小形, 柿崎, 山本: 電東京支大(昭 33)
- (14) 山本,福田,星野,対形:電四連大 596(昭 34)
- (15) 林, 鈴木, 山本, 山崎: 日立評論 別冊 28, 3 (昭 33-12)
- (16) 山本,福田,柿崎,岡:電四連大 593 (昭 34)
- (17) 山本, 柿崎, 星野, 永野: 電四連大 594 (昭 34)
- (18) 福田, 永野, 沼尻, 大和田: 電四連大 602 (昭 34)
- (19) 山本, 岡, 福田: 日立評論 37, 1079 (昭 30-7)
- (20) 岩田, 山本, 岡: 日立評論 別冊 7, 141(昭 29-7) (21) 八田, 島田, 金子: 日立評論 別冊 28, 25 (昭 33-12)
- (22) 八田: 電学誌 78, 1347 (昭 33-10)
- (23) 永野, 大和田, 山路: 日立評論 41, 1361 (昭34-10)