

400kV 級送電線コロナの基礎研究

Basic Corona Study on 400 kV Class Transmission Lines

永 野 宏 郎*
Hiroo Nagano

内 容 梗 概

超高圧送電線のコロナ特性は導体選定上重要なものであるが、将来 400 kV 級送電線が建設される場合には、ますますその重要性を増してくると思われる。

送電線コロナの研究は 275 kV 系統の建設以来、各方面で行われているが、コロナ特性に及ぼす要因が非常に多く、これらの研究は実用上のデータを早急に必要とした関係上、基礎研究は割合少ない。

本論文はこの理由から、コロナの解析上有用な手掛りとなる基本特性を種々検討したものである。すなわち、10, 20, 30, 40 mmφ のアルミパイプを単導体あるいは複導体(2~4 導体)にした場合のコロナパルス、コロナ雑音、コロナ損を晴天、雨天時において、超高圧同心円筒を使用して実験したものである。この結果、コロナの基本特性をある程度明らかにすることができ、275 kV 級より 400 kV 級への推定に対して、有効な根拠を与えたと考えられる。

1. 緒 言

わが国の電力需要は増大の一途をたどり、すでに 275 kV の送電電圧では、近い将来送電容量が不足するため、これより電圧階級一つ上の 400 kV 級送電について検討が進められつつある現状である。さらにまた、大都市への電力供給をもつ電力会社では、一部すでに用地問題などから、大都市周辺に 400 kV 級外輪線を建設しておきたいということもあって、400 kV 級送電線の設計、建設は具体化されてきた。

超高圧送電線ではコロナによって導体を選定されるといわれているが、400 kV 級となれば、275 kV 級で考えられているより、導体のコロナ特性の研究は重要になってくる。400 kV 級送電線のコロナ特性は、現在運転されている 275 kV 級系統の特性より、ある程度推定することができる。しかし、275 kV 級の場合は、実用上のデータを早急に必要とした関係で、過去の導体コロナに関する基礎研究は割合少ない。したがって、400 kV 級送電線のコロナ特性を推定する根拠に対して、その研究は十分とはいえない。

日立電線株式会社では亘長 540 m の 400 kV 級試験送電線を建設して、400 kV 級送電線の電氣的、機械的総合実地実験を続行中であるが、これとともに超高圧同心円筒やほかのモデルを使ってコロナの基礎研究を行っている。

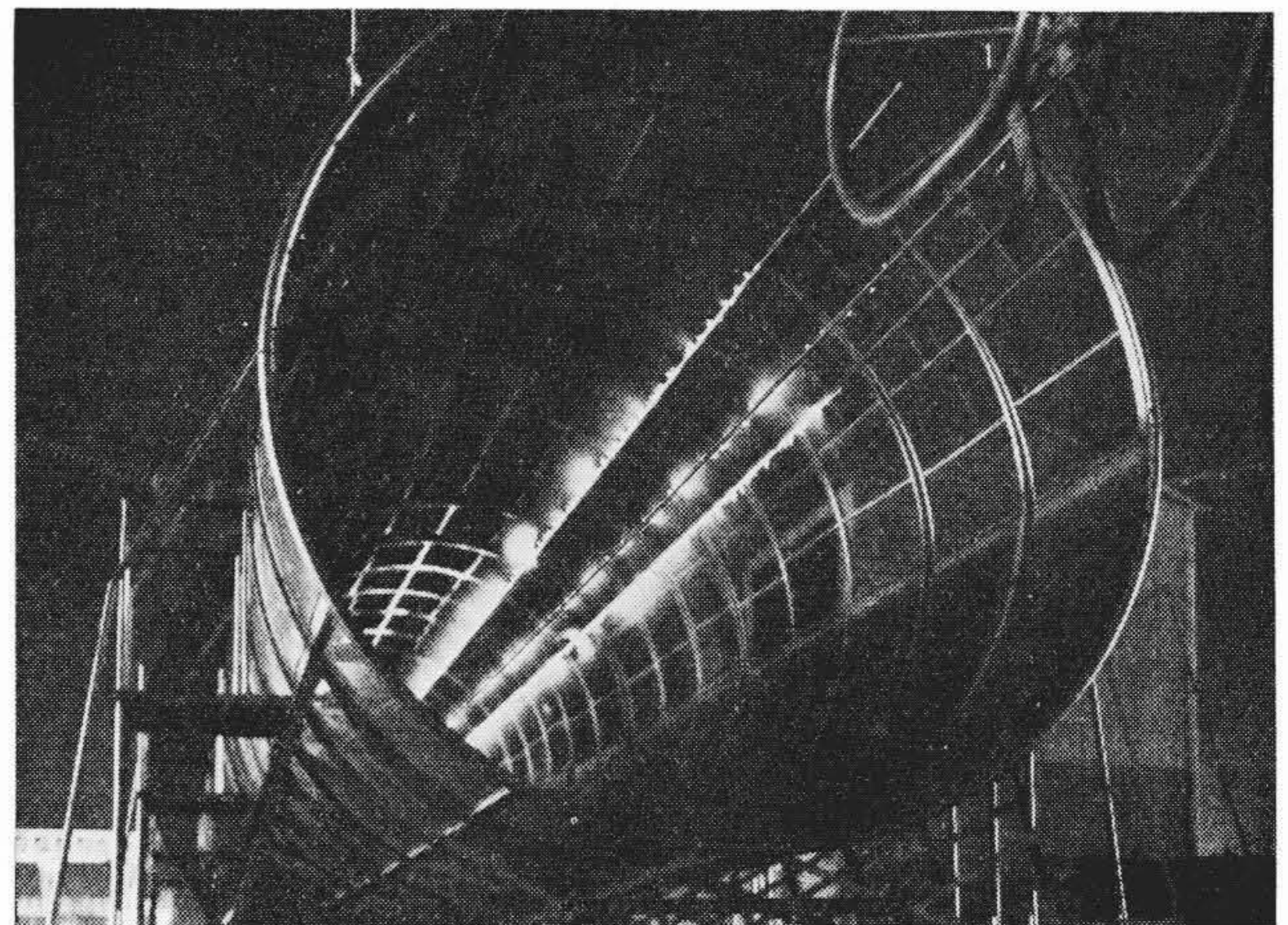
本報告はコロナの基礎研究の一環として、超高圧同心円筒を使用して各種の実験を行い、これに検討を加えたものである。すなわち、導体として、10, 20, 30, 40 mmφ の各アルミパイプを使用し、これを単導体、2, 3, 4 導体の組合わせとして、超高圧同心円筒中におのおの架線した。測定は晴天、雨天のおおのの場合におけるコロナ雑音、コロナ損について行うとともに、コロナ雑音の原因であるコロナパルスの波高値とその発生ひん度分布、コロナパルス波形の観察を主とした。

将来 400 kV 級送電線のコロナを解析するうに、これらコロナの基本特性が重要な手がかりになればと考える。

2. 実 験 概 要

2.1 実 験 装 置

第1図は本実験に使用した超高圧同心円筒装置とコロナ実験状況である。超高圧同心円筒は、直径 3 m、長さ 18 m で、外部円筒は長さ 1 m ずつに分割され、大地より絶縁してあって、適当にガード電



(直径 3 m、長さ 18 m、人工降雨装置付)
(20 mmφ アルミパイプ 3 導体実験中)
第1図 超高圧同心円筒

極がとれるようになっている。さらに人工降雨が可能なように 32 個の注水ノズルを備え、注水ノズルヘッドを調節することによって降雨量および水滴の状態をある程度変化できるようになっている。この超高圧同心円筒の詳細はすでに報告⁽¹⁾したのでここでは省略する。

第2図は超高圧同心円筒によるコロナ雑音、コロナ損コロナパルス測定回路である。

コロナ雑音の測定は 300 kV、2,000 PF の結合コンデンサ接地側抵抗よりインピーダンス整合抵抗を通して取り出され、同軸ケーブルによってノイズメータに導かれる。ノイズメータは妨害波測定器規格によってつくられたもので、コロナ雑音変動を統計的に測定するため、記録装置を備えている。コロナ雑音電圧と測定値はシグナルゼネレータによって校正されている。

コロナ損の測定は同心円筒接地側の抵抗にコロナ電流と充電電流による電圧降下が現われるので、これを電流要素とし、一方印加電圧を結合コンデンサによってコンデンサ分圧し、電圧要素とした。これらの電圧はそれぞれ電力増幅され、ワットメータの入力としてある。コロナ損測定上注意しなければならないのは、結合コンデンサの損失であって、これは印加電圧、温度によって変化する。このため、電圧要素にはコンデンサ損失による位相差が影響し、コロナ損測定上の誤差になる。この結合コンデンサは電圧、温度による損失変動は少ないようであるが、無損失ではないので、電圧要素増幅

* 日立電線株式会社電線工場

回路には位相調整器を挿入し、コロナが発生しない場合はワットメータの指示値が常に零になるよう調整される。また、電流要素増幅には、晴天時、外径の大きい導体ではかなり波高値の大きいコロナパルスが発生し、増幅器の入力が飽和することが考えられるのでこれを防止するため、商用周波にはきわめて位相誤差の少ないよう時定数の小さなCR回路を入力側に並列に入れてある。このコロナ損測定器はその指示値から、電圧要素、電流要素の増幅度を考慮することによって、高压側のコロナ損を求めることができる。800 kV 無損失コンデンサを使用し、シェーリングブリッジで測定した結果では、このコロナ損測定器の測定結果とよく一致した。

コロナパルスはコロナパルス分布計数装置によって記録測定した。コロナパルス分布計数装置はすでに報告⁽¹⁾してあるので、本報告では詳細は省略するが、コロナパルス波形の波尾振動による誤動作と計数装置の分解能による計数落しを注意しなければならない。この意味で、シンクロスコープによりコロナパルスを計数している時間幅を連続走査する方法が試みられた。第3図はこれを示したオシロであって、これよりコロナパルス計数装置をチェックできる。

以上の測定装置は第4図に示すようにセットされている。

超高圧同心円筒の高電圧交流電源は 500 kV 試験変圧器で行ったが、特に注意した点は波形と電源電圧変動である。すなわち、コロナ雑音は電源波形がもちろん影響するが、コロナ損測定には本装置では電源波形の高周波によるコロナ損が入ってくる。(シェーリングブリッジによる測定ではこの影響はない。) したがって試験変圧器一次側にはリアクトルを入れて、二次側静電容量と並列共振をとるようにした。この結果、波形ひずみはほとんどなくなり、自動定電圧装置が使用可能となった。予備実験ではコロナ開始電圧付近においてコロナパルスの変動は電源電圧の変動に大きく左右されることがわかったのでこの方法はコロナ測定上好結果を与えた。

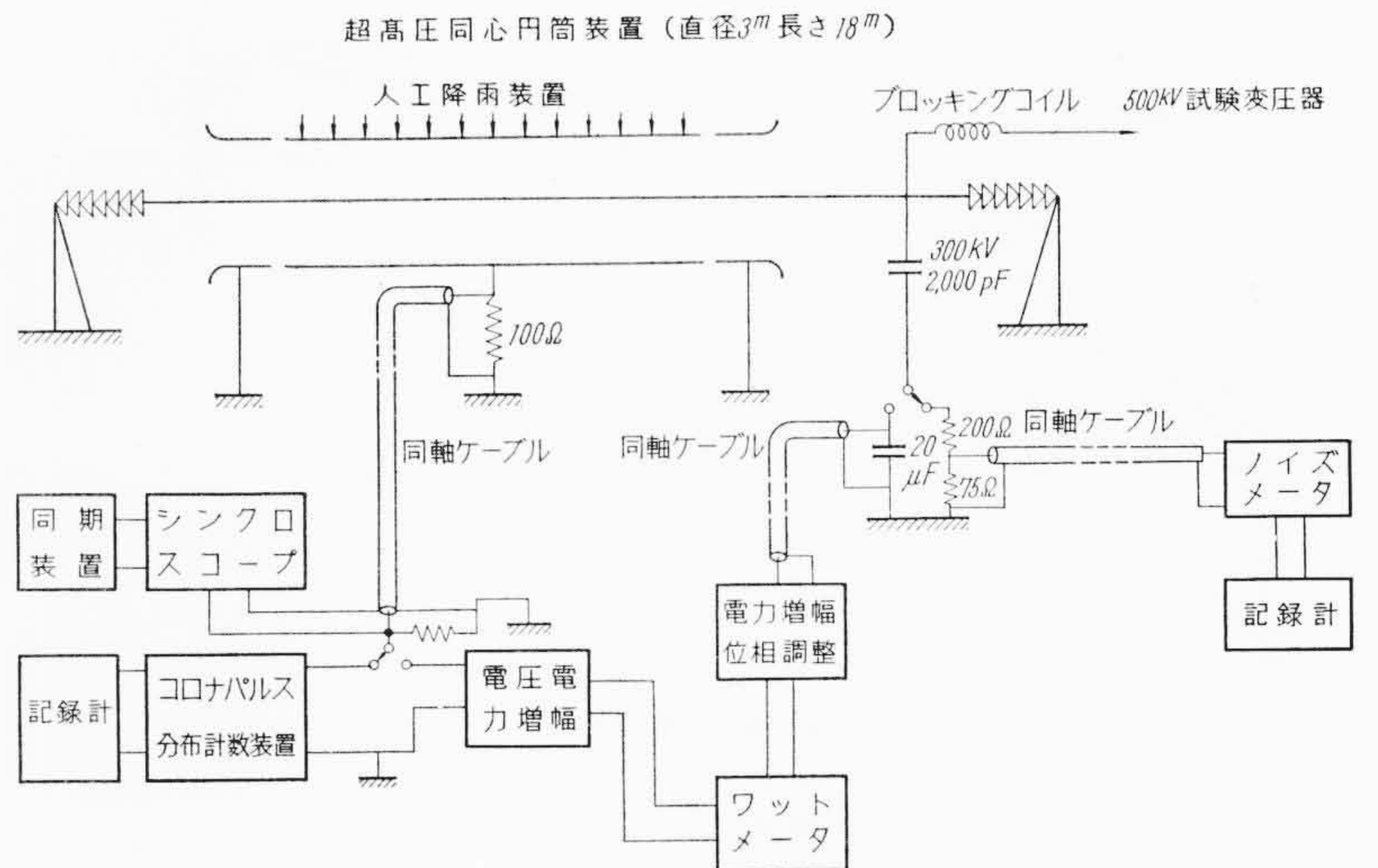
2.2 導 体

超高圧送電線では外径の大きい単導体方式よりも、外径の小さい2～4導体方式が用いられる傾向にある。380～500 kV 送電の場合、諸外国の状況や、導体表面電位傾度を考えると、2導体は 30～40 mmφ、3導体は 25～35 mmφ、4導体は 20～30 mmφ の素導体外径である。したがって導体は 20～40 mmφ を対象に考えておけばよいが、コロナの基本特性を考えるうえで、10mmφ も実験することにした。また、通常の ACSR ではより線効果があり、特に複導体では向いあった素導体外側が導体表面最大電位傾度になり、より線効果の影響も大きいと考えられ、諸特性の比較を単純化する意味でアルミパイプで実験した。なおこれらのアルミパイプの基本特性が実際の ACSR とどの程度特性値に差があるか参考までに二、三の例について実験を行った。

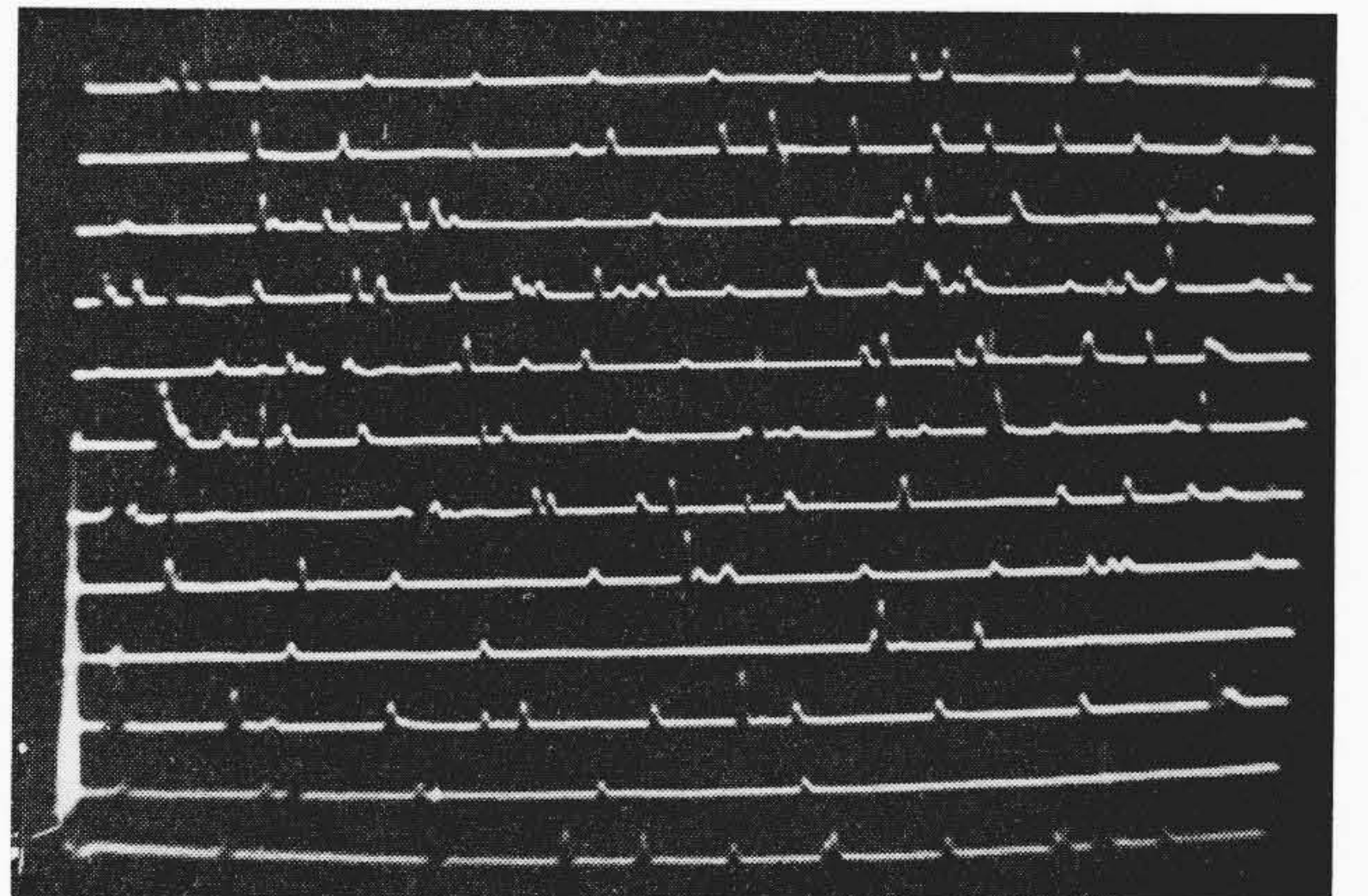
3. 実 験 結 果

3.1 コロナ雑音測定結果

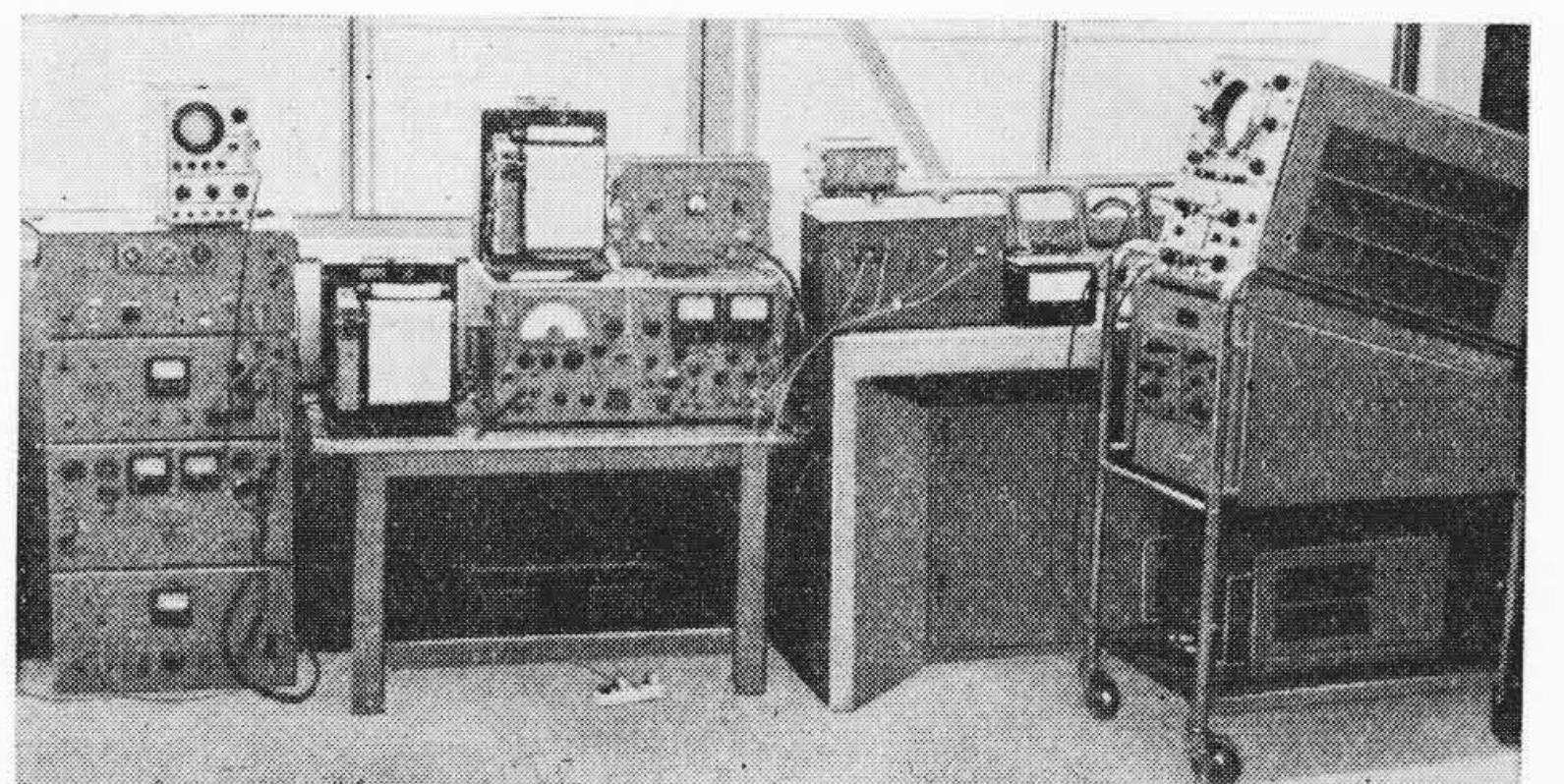
第5図は 10～40 mmφ アルミパイプ単導体のコロナ雑音測定結果である。この図からわかるように外径の大きい導体ほど、同じ導体表面電位傾度ではコロナ雑音が大きい。これは既報⁽¹⁾でも述べたようにコロナストリーマの伸び方が導体表面近傍の電位傾度の様子によって異なるからで、針端電極よりのコロナストリーマのエネルギーが小さく、コロナパルス波高値が低いのも同じ理由によるものと思われる。コロナ雑音の導体外径による増大は 10mmφ の導体を



第2図 超高圧同心円筒によるコロナ雑音、コロナ損、コロナパルス測定回路



(連続掃査時間は左上より右下まで 1.2 ms)
第3図 シンクロスコープによるコロナパルス連続走査オシロの一例

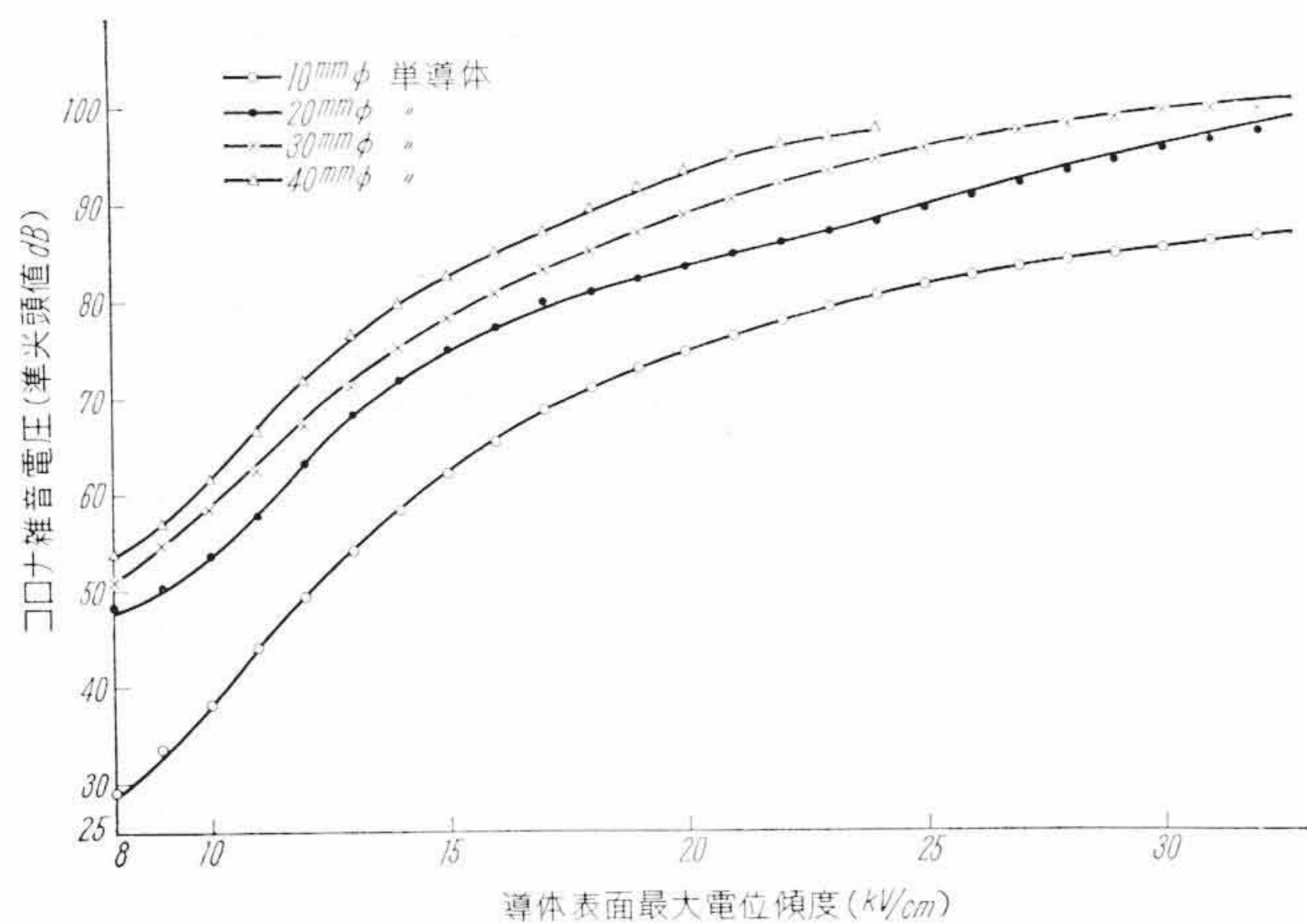


(左より、コロナパルス分布計数装置、ノイズメータ、コロナ損測定器、シンクロスコープ)
第4図 コロナ測定装置

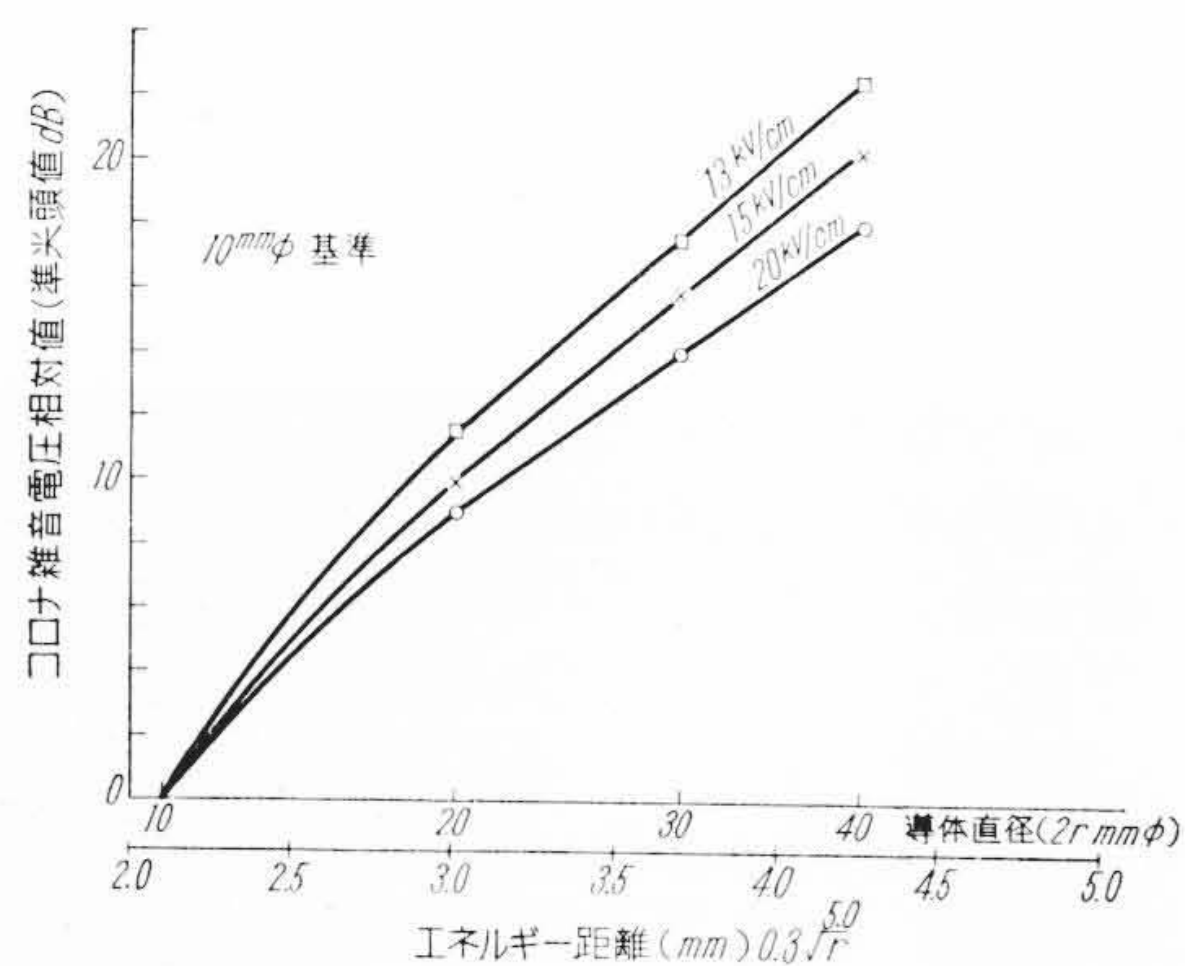
基準にとれば、第6図のように示される。

降雨の場合はコロナ放電は導体に付着した水滴の先端より発生するので⁽²⁾、コロナ放電点の数が多く、したがってコロナパルス発生ひん度は大きい。この場合、ノイズメータはパルス数による指示値の増加特性は飽和状態に近く、したがって、ノイズメータの指示はコロナパルス波高値によると考えてよい。コロナパルスとコロナ雑音の関係はコロナパルス測定結果において述べる。

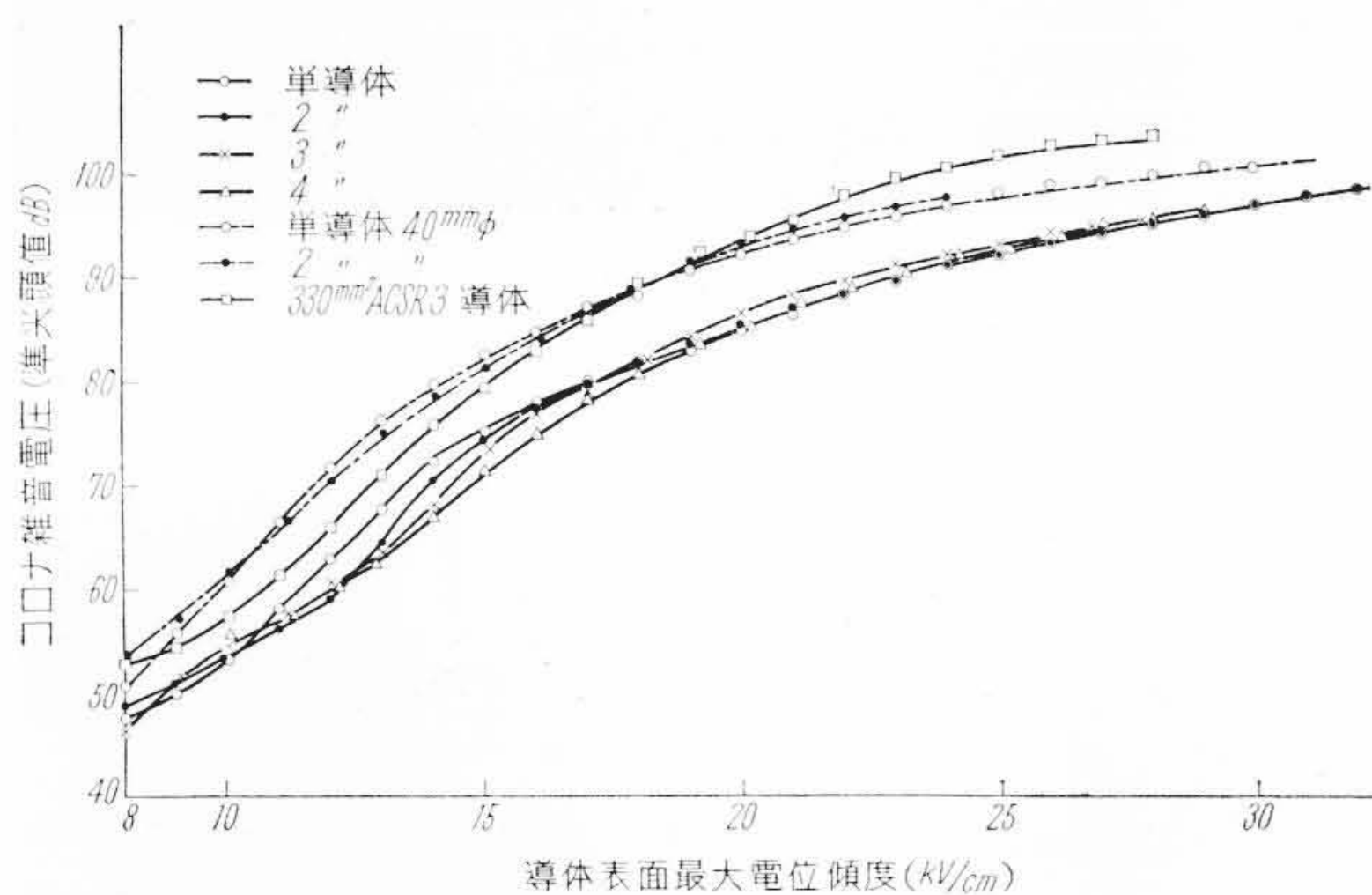
次に素導体を 20 mmφ および 40 mmφ アルミパイプとし、素導体本数が増加したとき、導体表面最大電位傾度を同一にとって比較



第5図 アルミパイプ単導体のコロナ雑音特性

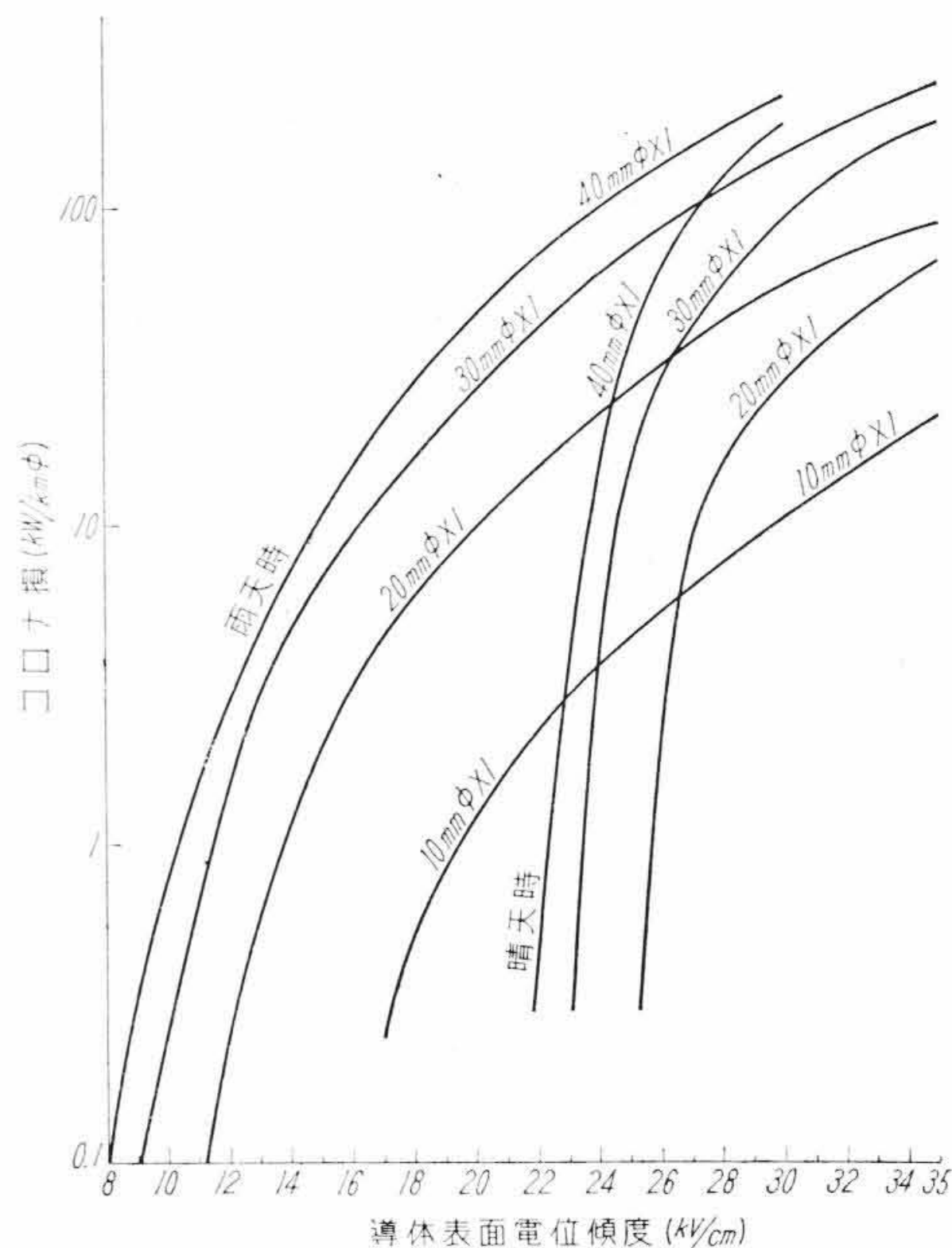


第6図 導体直径によるコロナ雑音変化特性

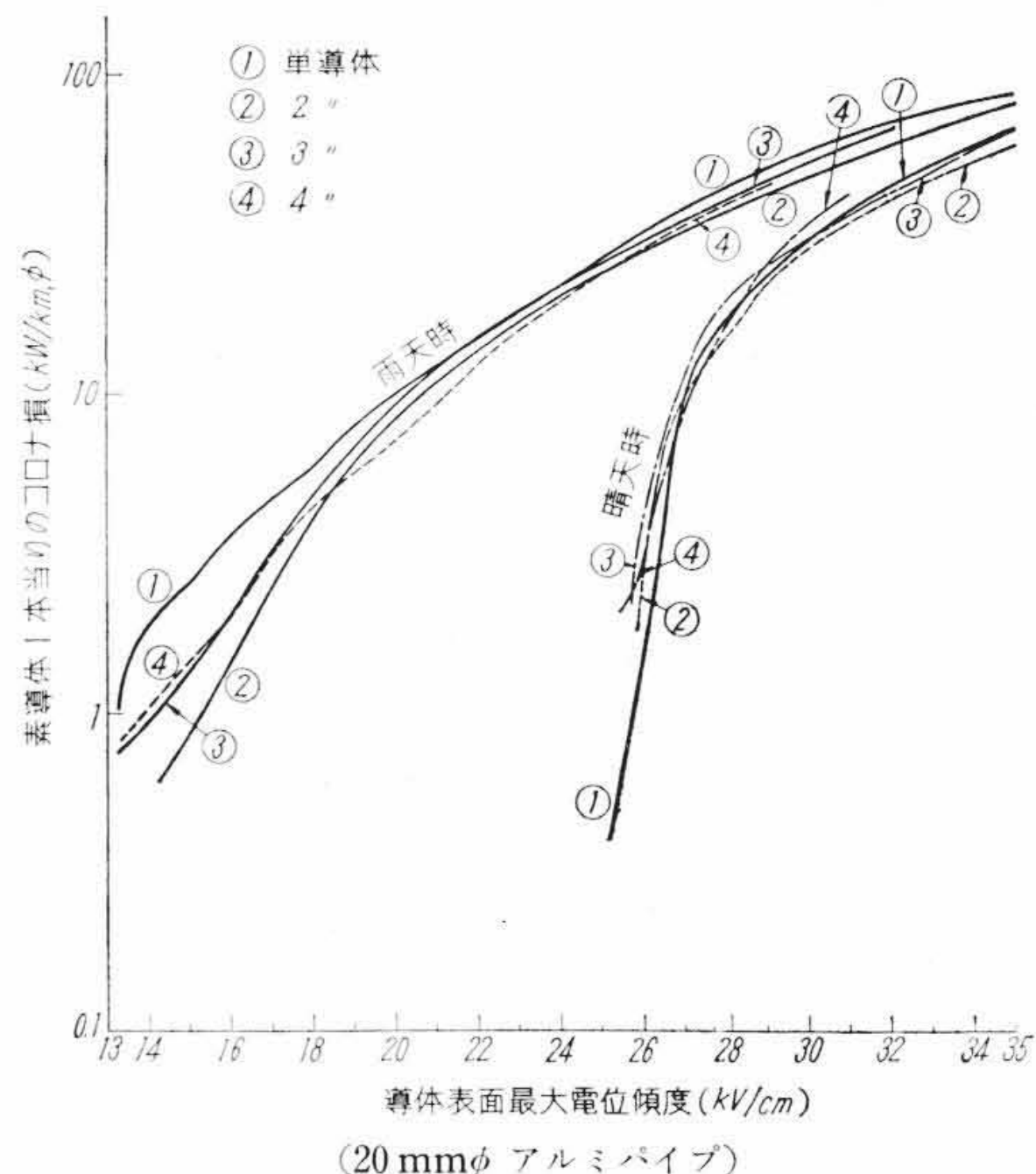


第7図 20mmφ アルミパイプのコロナ雑音特性

すると第7図のようになる。すなわち、同一導体表面最大電位傾度では素導体本数の増加によるコロナ雑音の変化は少ない。導体表面最大電位傾度が15kV/cmのときは、むしろ素導体本数が増えると、コロナ雑音は低下する傾向にあるが、導体表面最大電位傾度20kV/cmでは、これと逆になる。この理由は明確ではないが、導体表面電位傾度が高くなると、導体に付着した水滴は導体下部より電位傾度の高い方向に移動し、コロナ雑音が多くなるからではないかと推定される。同様なことは大きな外径の素導体にしたときもみられる。なおアルミパイプと比較するため、330mm² ACSR 3導体の測定結果を第7図中に同時に示したが、降雨の場合も、導体のより線効果の影響が少し存在することがわかる。特に電位傾度の非常に高い場合は、導体に付着した水滴が高電界のため飛散するので、より線効果の影響が著しいのではないかとと思われる。



第8図 単導体のコロナ損測定結果



第9図 複導体のコロナ損測定結果

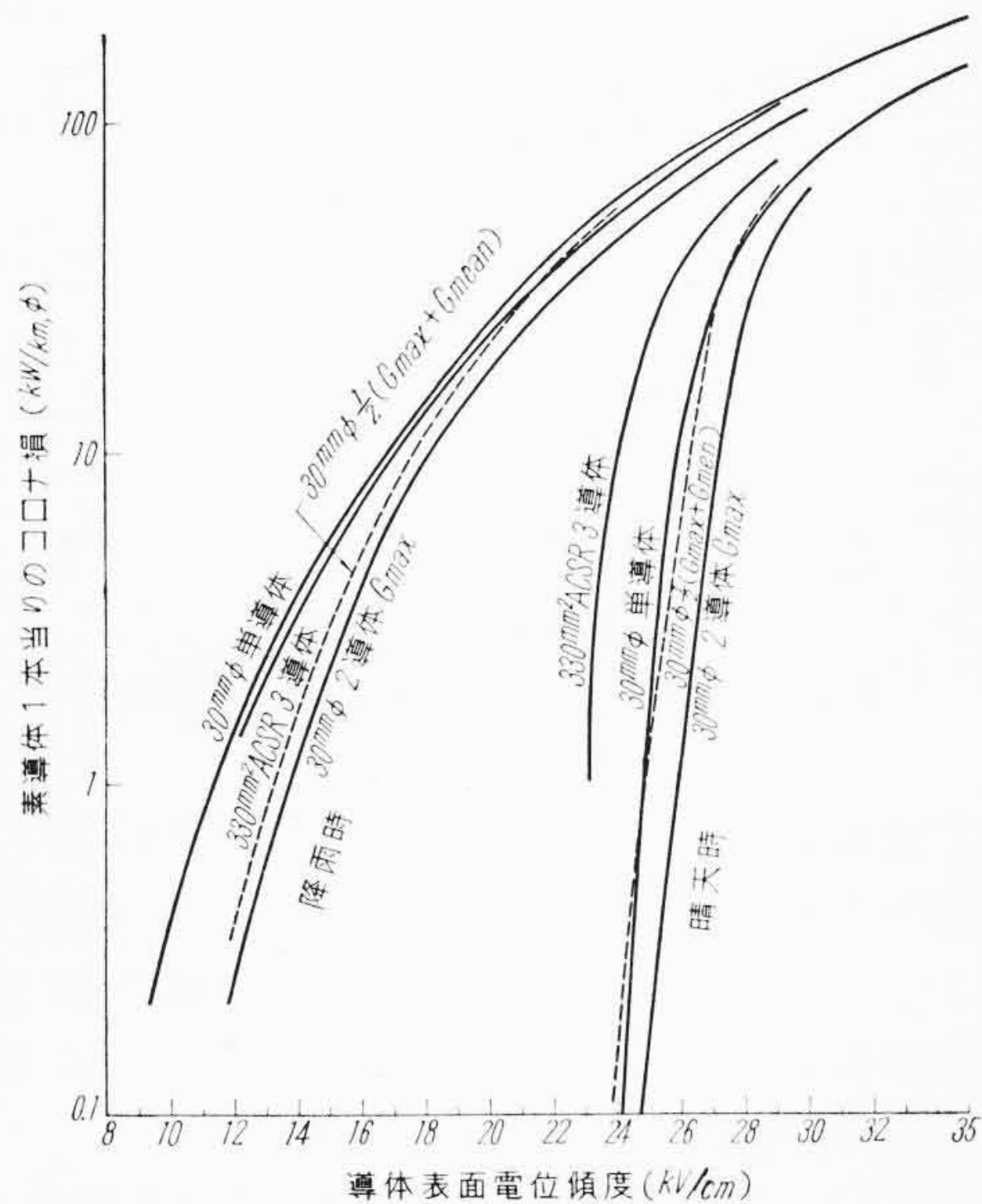
以上雨天の場合について述べたが、晴天の場合は、コロナ放電点の数が少なく、コロナ雑音に対しては信頼性が乏しいので、実測値は省略する。

3.2 コロナ損測定結果

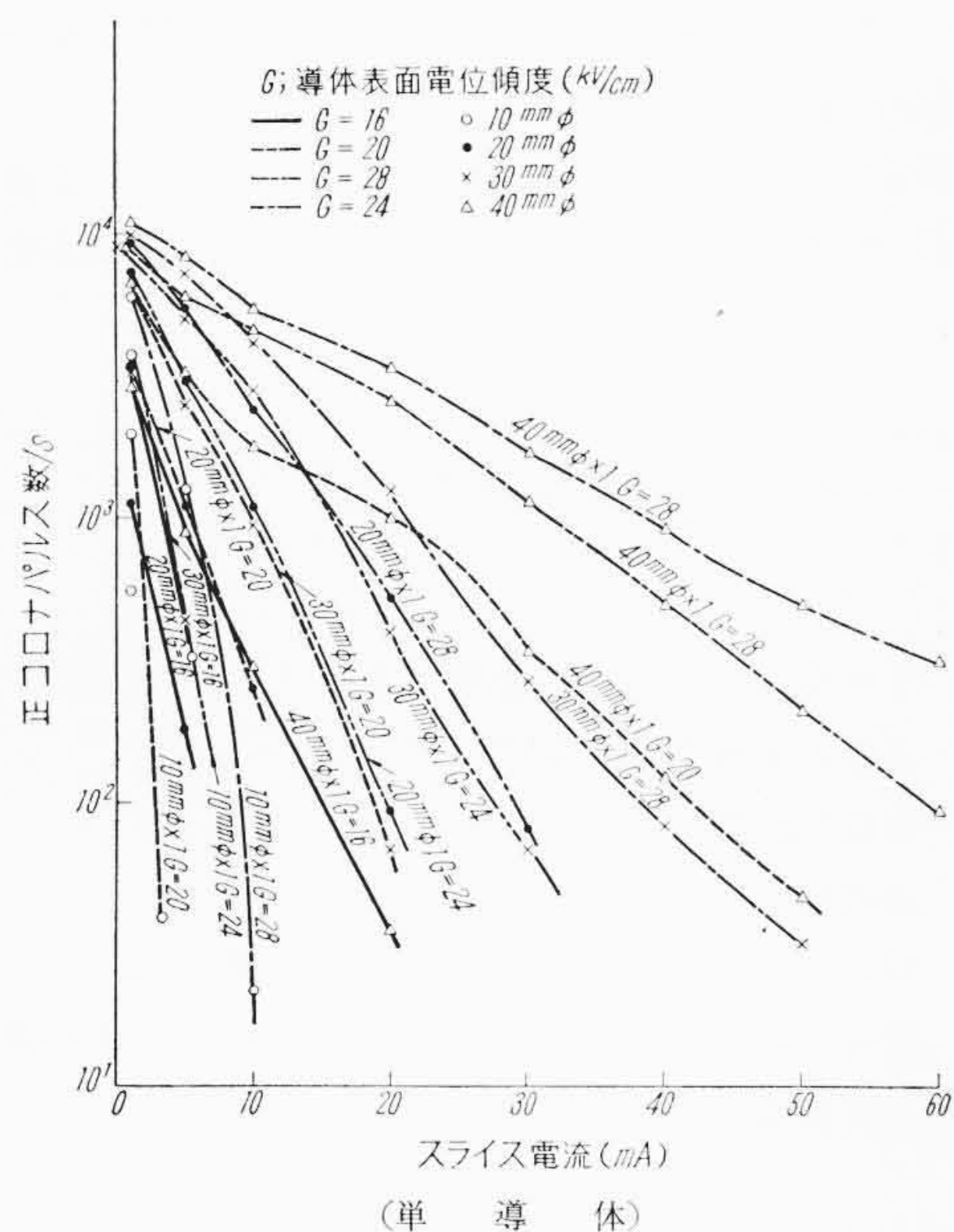
第8図は10～40mmφアルミパイプ単導体のコロナ損測定結果である。コロナ損はコロナ雑音と異なり、導体表面電位傾度と印加電圧に関係する。すなわち、導体表面電位傾度が同一でも、相間距離が変われば、コロナ損は変ると考えられるので、第8図の結果から直ちにコロナ損は比較できないが、導体外径が大きくなると、一般にいわれているように⁽³⁾同一表面電位傾度ではコロナ損は導体外径の2乗に大体比例するようである。

複導体の場合は、コロナ損についてのデータは少なく、また、導体表面電位傾度は素導体表面上一様でないため、その平均値をとるか、最大値をとるか疑問である。

E. Cahen氏などは平均値と最大値の中間値を提唱している。しかし、ここでは、コロナ雑音と比較する意味もあって、一応導体表面最大電位傾度をとって測定結果を整理してみた。第9図および第10図はそれぞれ、20mmφ、30mmφアルミパイプ複導体のコロナ損を素導体1本当りに換算して示した。この結果20mmφの場合は



第10図 複導体コロナ損測定結果



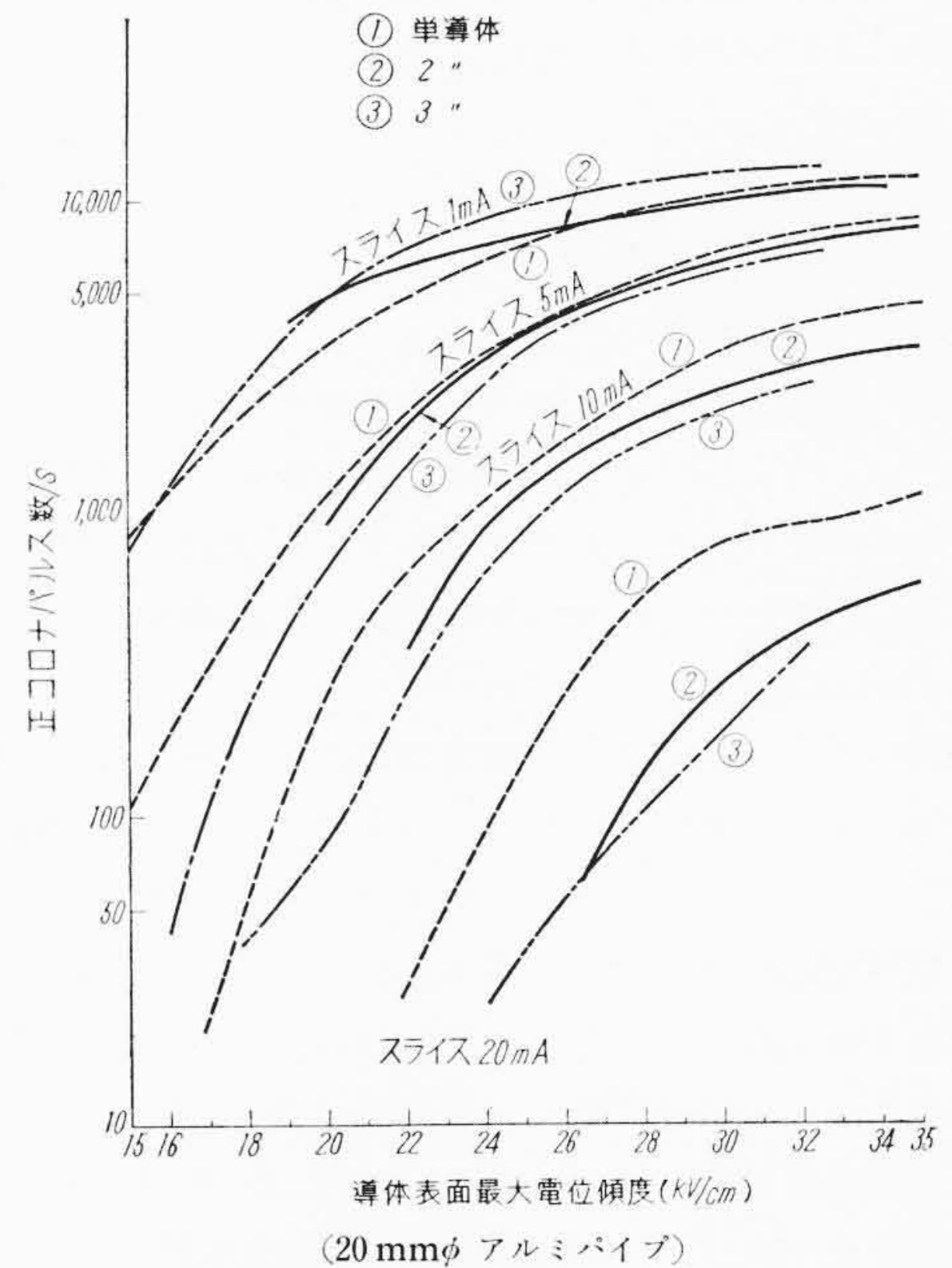
第11図 導体径による正コロナパルス特性

複導体のコロナ損は素導体本数に大体比例する。しかし、導体外径が大きい場合には、素導体1本当りのコロナ損は単導体より少なく、晴天時では E. Cahen 氏の提唱する電位傾度をとれば大体単導体と一致する。雨天時では高い電位傾度ではやはり同様なことがいえるが、低い電位傾度では非常にコロナ損が小さい。これは複導体の利点の一つとも考えられる。

3.3 コロナパルス測定結果

コロナパルスはコロナ雑音、コロナ損を解析する上、重要な手がかりを与えるので、この研究は重要となってきた。特にコロナ雑音測定器は正コロナパルス繰返しひん度とその波高値に関係するので⁽²⁾、この測定はコロナ雑音解析の基本となる。

第11図は10~40 mmφ アルミパイプ降雨時の正コロナパルス特性を示したものである。すなわち、縦軸は横軸に示されたスライス電流以上の波高値をもつコロナパルスひん度を示している。この図では、コロナ電流について示しているが、これはコロナ電流のインピーダンスが非常に高く、定電流源とみなせるからである。第11図のようにコロナパルスはガウス分布に近く、導体径が大きくなると、ある波高値以上の正コロナパルスひん度は急激に増大する。しかし、スライス電流を増加させると、正コロナパルスが全然発生しな



第12図 複導体のコロナパルス特性

い極限があり、この極限值は導体外径によって決っている。すなわち、第11図ではこの範囲は示していないが、コロナパルスひん度 $10^2/s$ ではスライスの増大とともに急激に曲線は零に近づく。この点は、導体外径が大となればスライス電流値の大きい方向に移行する。このように、コロナパルス特性が導体径によって変わるのは、太い導体ほど、導体近傍の電位傾度の変化がゆるやかになり、コロナストリーマが伸び、コロナパルス波高値が大となることで定性的に説明される⁽¹⁾。

次に素導体径を一定にして素導体本数を増した複導体では、正コロナパルス測定結果は第12図のようである。これより、導体表面最大電位傾度が同一では、素導体本数が増加するにしたがって、ある一定値以上の波高値をもつ正コロナパルスひん度は減少する傾向にあることがわかる。

4. 考 察

以上コロナの基本特性について特に単導体と複導体の比較を示した。これらについて二、三考察を試みる。

4.1 コロナパルス波高値と導体径

F. W. Peek 氏⁽⁵⁾によれば、同心円筒内におかれた理想的な導体、すなわち、非常に清浄なめらかな円筒導体のコロナ開始電位傾度は単導体の場合、次式によって与えられる。

$$G_s = G_0 \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで

- G_s : 単導体コロナ開始導体表面電位傾度 (kV/cm) (波高値)
- G_0 : 標準状態における空氣の破壊強度 = 30 kV/cm (波高値)
- r : 導体半径 (cm)

したがって半径 D cm の同心円筒でのコロナ開始電圧を V_0 とすれば(1)式より

$$G_0 = \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r}} \right) \frac{V_0}{r \log_e D/r} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式より

$$G_0 = \frac{V_0}{(r + 0.301 \sqrt{r}) \log_e \frac{D}{r}} \dots\dots\dots (3)$$

導体の中心から x 離れたところの電位傾度 G はコロナ開始寸前では空間電荷がほとんど存在しないと考え

$$G = \frac{V}{x \log_e D/r} \dots\dots\dots (4)$$

(3) 式と (4) 式を比較すると

$$x = r + 0.301 \sqrt{r} \dots\dots\dots (5)$$

すなわち、導体表面より $0.301 \sqrt{r}$ の所の電位傾度は空気の破壊強度 G_0 になっていることを意味し、導体表面より $0.301 \sqrt{r}$ の間の空気がイオン化されるためのエネルギーを供給しなければコロナは発生しないと考えた。F. W. Peek 氏はこの距離をエネルギー距離 (Energy Distance) といっている。

コロナ開始電圧以上では、空間電荷のため、導体表面近傍の電界はもはや (4) 式では表わされない。コロナパルスは空間電荷の再結合や移動などのゆらぎのため、コロナストリーマ放電による過渡現象によって不規則に発生すると考えられる。コロナ開始が上述のような F. W. Peek 氏の考え方に立脚すれば、コロナ開始電圧のごく近傍のコロナパルスは導体径に当然関係するはずである。すなわち、コロナ開始直後のコロナストリーマは、F. W. Peek 氏のいうエネルギー距離まで伸び、この距離の大きい導体外径の太いものほど、コロナのエネルギーが大きくて、コロナパルス波高値は高いと考えられる。

超高压送電線では、導体表面電位傾度がコロナ開始以下に設計されるわけであるが、導体表面上の不整（架線時の傷、付着汚物、水滴など）のためコロナ放電が部分的に起るような状態では、導体径とコロナ開始直後のコロナパルス波高値の研究は重要と考えられる。第 6 図は横軸にエネルギー距離をとって示したがこのようにコロナ雑音が、導体径の大きいほど大となるのは、コロナ放電面積の増大によって導体の不整が増し、コロナ放電点の増大もあるが、第 11 図でもわかるように以上で述べたコロナパルス波高値にも関係している。

複導体の場合は、コロナ開始電位傾度が F. W. Peek 氏の示した (1) 式が素導体でも成り立つかどうか疑問がある。

C. J. Miller⁽⁶⁾ 氏の実験結果によれば、複導体のコロナ開始電位傾度は、複導体表面最大電位傾度と同じ表面電位傾度をもつ単導体を複導体の中心に仮想し、この仮想単導体（これは一般にいわれている静電容量の等価導体とは異なる）の半径 R が、F. W. Peek 氏の実験式に従うというものである。すなわち、複導体のコロナ開始電位傾度 G_d は (6) 式のようになる。

$$G_d = G_0 \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{R}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで R は次式の解として与えられる。

$$R \log \frac{D}{R} = \frac{nr \log \frac{D}{1 + \frac{r}{a} (n-1)}}{\frac{1}{n} \frac{n-1}{a^n}} \dots\dots\dots (7)$$

G_d : 複導体のコロナ開始最大表面電位傾度 (kV/cm)

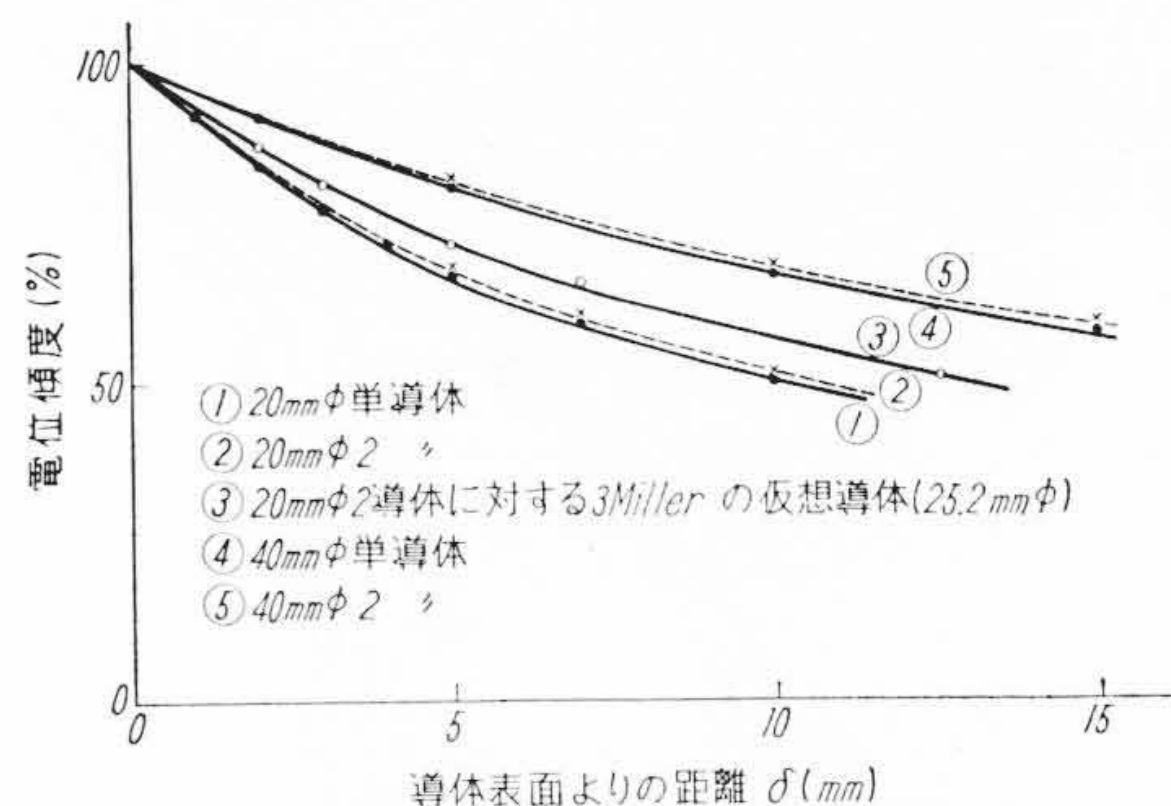
D : 円筒半径あるいは等価相間距離 (cm)

n : 素導体本数

r : 素導体半径

a : 複導体半径 (2 導体の場合は素導体間隔の $\frac{1}{2}$) (cm)

本実験ではアルミパイプが理想的に清浄な状態ではなかったもので、単導体においても F. W. Peek 氏の示したコロナ開始電位傾度より低い電位傾度でコロナが開始している。(F. W. Peek 氏のコロナ開始電位傾度は導体表面のなめらかさが現実に到達できる極限の状態での値と考えられる。)したがって、コロナ開始電位傾度が複導



第 13 図 導体表面よりの電位傾度減少率

体の場合、素導体が、F. W. Peek 氏の式に従うのか、C. J. Miller 氏のいう仮想単導体が F. W. Peek 氏の式に従うのか明確に結論できない。しかし傾向としては C. J. Miller 氏の実験結果に近い。すなわち同じ素導体径において、素導体本数が増加すると、複導体のコロナ開始最大表面電位傾度は低下する傾向にある。

上述のようにいずれの場合でも導体表面からの距離によって電位傾度が減少する割合（これを導体表面よりの電位傾度減少率とかりにいう）が、複導体の場合、同じ素導体径の単導体より小さくなることは定性的にわかる。

いま、簡単な 2 導体の場合について考えてみたい。2 導体の導体表面最大電位傾度のごく近傍では次式によって、電位傾度が近似される⁽¹⁾。

$$G = \frac{V}{\left(x - \frac{a^2 + r^2}{x} \right) \log_e D / \sqrt{2ar}} \dots\dots\dots (8)$$

ここで

G : 2 導体中心より x の距離における電位傾度 (kV/cm)

V : 導体の大地電圧 (kV)

$2a$: 素導体間隔

r : 素導体半径

D : 同心円筒半径あるいは等価相間距離 (cm)

x : 素導体間の中心より素導体中心を結ぶ線上の距離

(8) 式は導体表面上すなわち $x = a + r$ では次式のようになる。

$$G = \frac{V \left(1 + \frac{r}{a} \right)}{2r \log_e D / \sqrt{2ra}} \dots\dots\dots (9)$$

いま、導体表面電位傾度を 100% とし、導体表面より微小距離 δ の場所における電位傾度を単導体および 2 導体について (8) 式の計算より % の値で示せば、第 13 図のようになる。第 13 図の電位傾度減少率の様子は導体外径の大きいものほどその傾斜はゆるやかである。これは定性的にも述べたが、コロナ開始電位傾度およびコロナ開始直後のコロナパルス波高値がこの電位傾度減少率の様子によって決まるとすれば、2 導体と単導体ではその差はわずかであるが、2 導体のほうがゆるやかである。したがって 2 導体はその素導体径よりやや径の大きい単導体の電位傾度減少率に近似している。これを C. J. Miller 氏の仮想単導体と比較してみると、第 13 図中に示したように 2 導体の場合と異なる。C. J. Miller 氏はコロナ開始電位傾度を実験的に求めただけであって、導体近傍の電位傾度のことには触れていないが、筆者は導体近傍の電位傾度減少率が同じならば同じコロナ開始電位傾度をもつはずであるという仮定のもとに比較している。したがってもしこの仮定に立てば複導体のコロナ開始電位傾度は近似的には素導体が F. W. Peek 氏の式に従うと考えられる。すなわち、複導体は細い導体を使用しているにもかかわらず、導体表面電位傾度を下げることができ、さらに素導体近傍の電位傾度減少率は素導体外径と同じ単導体の様子に近く、したがってコロナ

パルス波高値は小さい。これは複導体の有利性を示すものである。

素導体本数が増加すると電位傾度減少率は先に述べたようにゆるやかになることがわかった。したがって素導体本数の増加とともにコロナストリーマが伸展しコロナ電流は増加する。しかし、線路に伝はんするコロナパルス電圧はコロナパルス電流と線路のサージインピーダンスの積と考えるならば、サージインピーダンスは素導体本数の増加とともに低下するので、線路を伝はんするコロナパルス電圧は両者の相殺となる。

晴天時のコロナパルス分布は導体表面状態によって大きく影響されるので、コロナ雑音も素導体本数によってどうなるか明確ではない。米国の tidd の実験結果⁽⁷⁾は素導体本数とともに 10 dB 程度コロナ雑音が増加しているが、導体表面状態やコロナエージングなどの詳細が不明であるので、このデータは一般的傾向を示していないと考えられる。

本実験では晴天時のコロナパルスひん度が非常に少なく、やはり明確ではないが、コロナ雑音はほとんど同一か、少し増加する傾向にあった。

降雨時、複導体ではコロナ雑音は素導体本数の増加に対して減少する傾向にあるが、コロナ放電は主として、導体下部に付着した水滴より発生し、この点は必ずしも導体表面最大電位傾度の点と一致しないことおよび空気中の水蒸気分子がコロナより発生したイオンをトラップし、空間電荷の運動を抑制し、コロナストリーマ伸展の機構になんらかの影響を考えなければならないこと、などのためさらにくわしい研究を必要とする。

4.2 コロナ損と導体径

コロナ損に関する研究はいままでに各方面で行われ、コロナ計算式が多く提唱されている。これらのコロナ損計算式は全コロナ領域と部分コロナ領域に適用範囲がわけられる。本実験のようにアルミパイプを使った導体では、コロナ開始後直ちに全コロナ領域に移行する。

コロナ損については本実験では種々な特性がわかったので、コロナパルスと同様、物理的意味を考えてみたい。

コロナ電流はコロナ雑音として作用するいわゆるコロナパルスと無パルス性のものがあると考えられるが、コロナ損として測定されるのはこれらの電流のうち、電源周波成分だけである。(電源波形がひずんでいるとその高調波もコロナ損となる) この電源周波成分のうち、電源電圧と同相の成分がコロナ損となり、充電電流と同相分が見掛上コロナによる静電容量増加となる。

いまこの前者に相当するコロナ電流に着目し、導体表面単位面積当りの電流を i とすれば、単導体の場合導体半径 r ではコロナ損は印加電圧と $2\pi ri$ の積になる。したがって

$$P = G \cdot r \log_e D/r \cdot 2\pi ri \times 10 \dots \dots \dots (10)$$

P : コロナ損 (kW/km³φ)

G : 導体表面電位傾度 (kV/cm)

r : 導体半径 (cm)

D : 等価相間距離 (cm)

i : 実効コロナ電流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

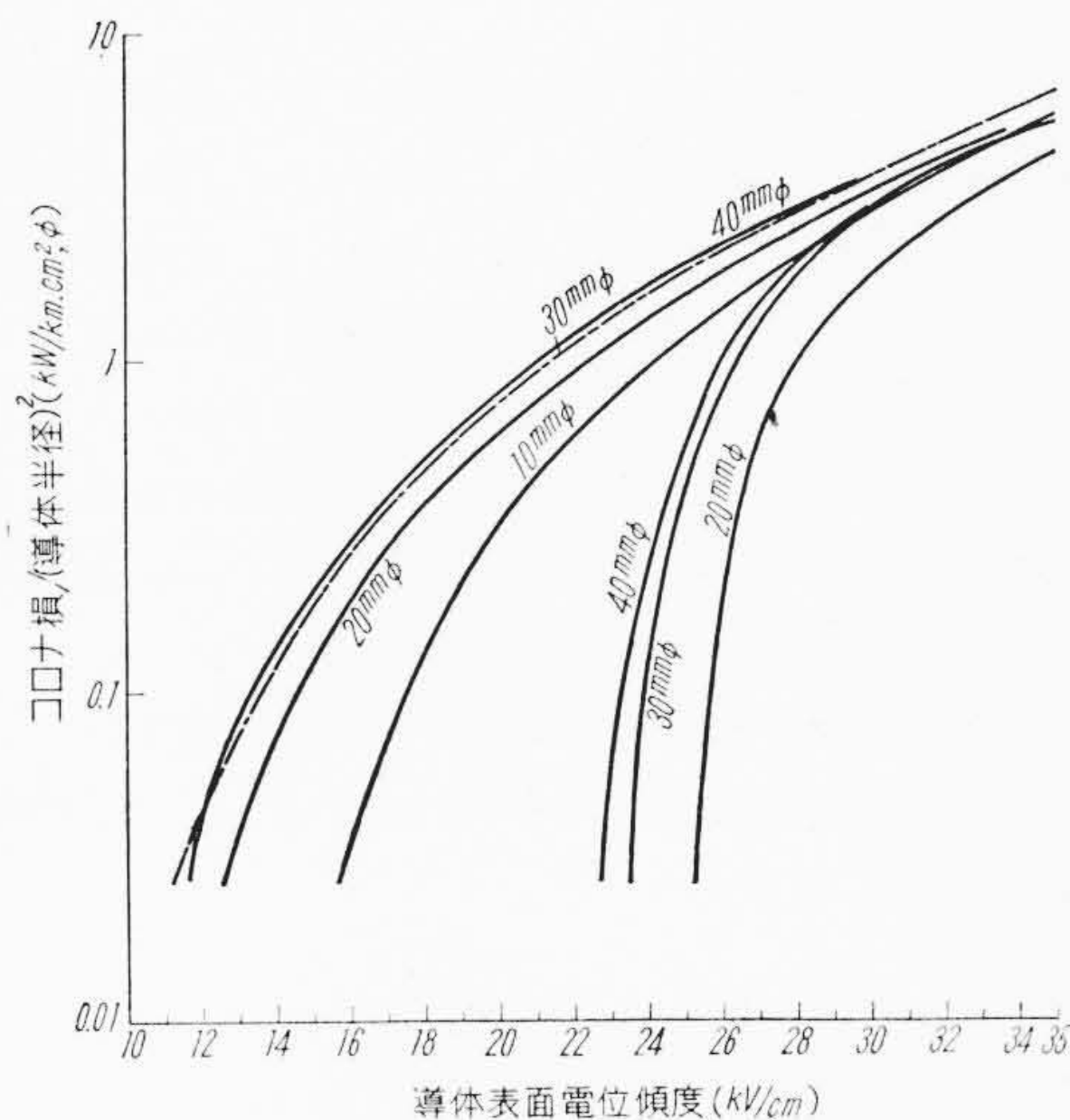
(10)式より

$$\frac{P}{r^2} = 2\pi \log_e \frac{D}{r} \cdot G i \dots \dots \dots (11)$$

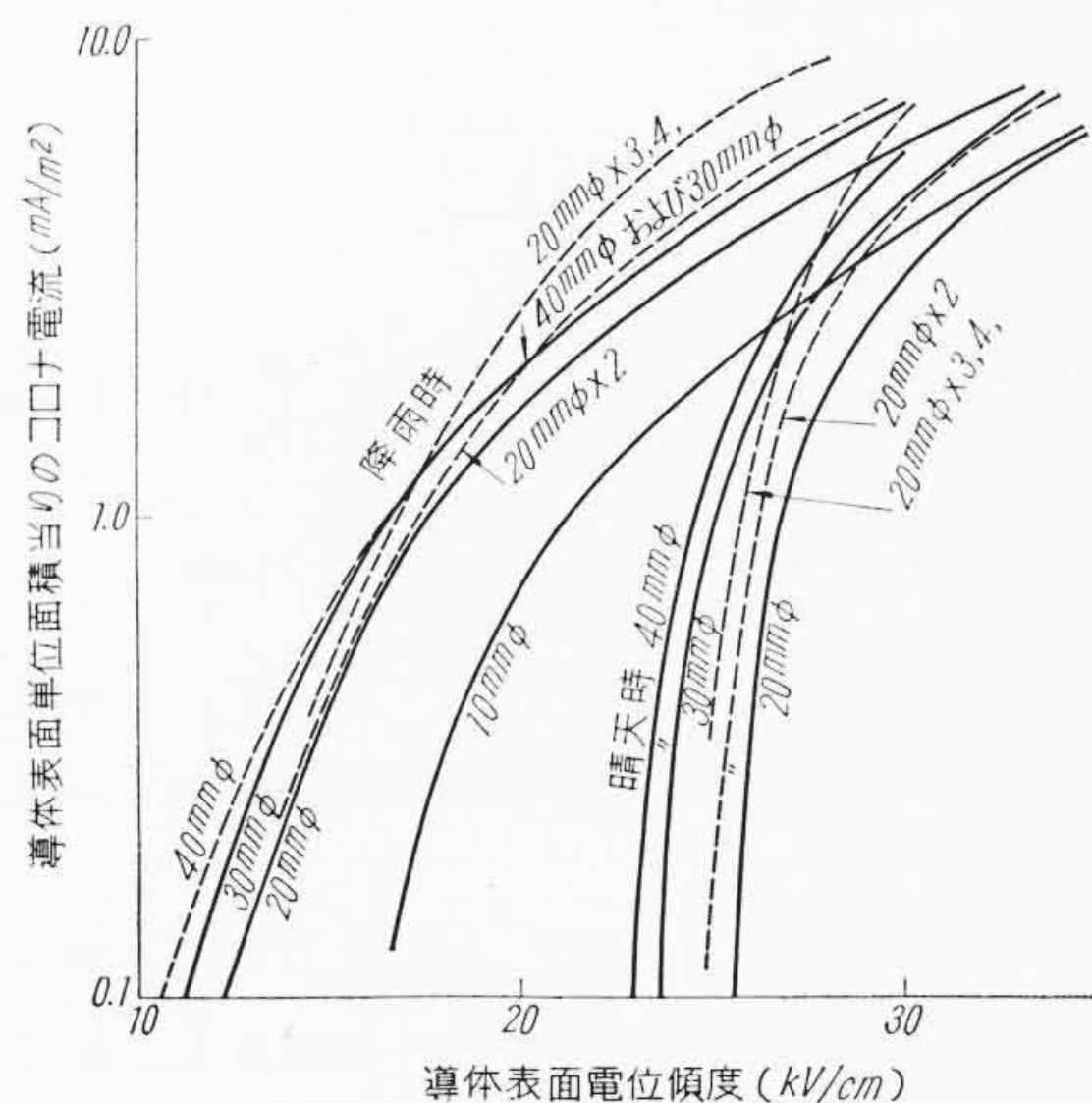
ここで i は導体表面電位傾度 G およびコロナ開始電位傾度 G_s の関数と考えられる。すなわち、

$$i = F(G - G_s) \dots \dots \dots (12)$$

コロナ損は単導体の場合には $\log_e \frac{D}{r}$ の値があまり変らない実用の太い導体では、一般にいわれているように、導体表面電位傾度



第 14 図 コロナ損/(導体半径)² 特性



第 15 図 導体表面単位面積当りのコロナ電流特性

が同じならば、導体半径の 2 乗に比例する。しかし導体径が非常に小さい場合は、コロナ開始導体表面電位傾度は(1)式にも示すように高い値となり、コロナ開始電位傾度の関数である i の値が太い導体に比べて小さく、また $\log_e D/r$ の値も変わってくるので、(11)式にも示すように、コロナ損は導体半径の 2 乗に比例しなくなることがわかる。第 8 図の測定結果を P/r^2 に書きなおしたのが第 14 図で導体外径の小さい場合は異なってくるのがわかる。

いま (12) 式をさらに考察するため、実験結果より i を求めてみた。第 15 図はそれを示す。この結果コロナ開始電位傾度からの差をとれば、大体曲線は横軸に平行移動させて一致するようで(12)式に想定される関数が実験的に証明される。

単導体の結果を複導体に拡張する場合、導体表面電位傾度が素導体表面上同一でないため、複雑である。

すなわち、素導体表面上 θ における電位傾度 G_θ は(13)式のものである。

$$G_\theta = G_{av} \left[1 + \frac{r}{a} (n-1) \cos \theta \right] \dots \dots \dots (13)$$

ここで

$$G_{av}: \text{素導体表面平均電位傾度} = \frac{V}{nr \log_e \frac{D}{r_e}}$$

$$r_e: \text{等価導体径} = (nr)^{\frac{1}{n}} a^{\frac{n-1}{n}}$$

V : 大地電圧

n, D, r, a : (7)式と同一

θ : 素導体中心よりの角度で、最大電位傾度の位置を

$\theta=0$ とする。

しかし、コロナが発生すると空間電荷のため、素導体表面上の電位傾度は(13)式と著しく変わってくる。すなわち、(13)式から考えれば、 G_{av} がコロナ開始より非常に大きくなれば、素導体内側の $\theta=\pi$ においてもコロナの発生が予想される。第 1 図の可視コロナ観察でもわかるように実際は高電位傾度でも $\theta=\pi$ ではほとんどコロナは発生しない。したがって、単導体のように単位表面積当りのコロナ電流を複導体に拡張するには疑問がある。それゆえ複導体ではコロナを発生している導体表面の平均電流を考えてみたい。

いまコロナは素導体表面上 $\theta=0\sim\pm\frac{\pi}{n}$ だけ発生していると仮定してその間の平均電位傾度をとることにする。この平均電位傾度 G_{av}' は(14)式で表わされる。

$$G_{av}' = \frac{V \left[1 + \frac{nr}{\pi a} (n-1) \sin \frac{\pi}{n} \right]}{nr \log D/r_e} \dots\dots\dots (14)$$

一方この素導体表面上で単位表面積当りの平均コロナ電流を i とすれば、複導体のコロナ電流 I は

$$I = \frac{2\pi r}{n} i \times n = 2\pi r i \dots\dots\dots (15)$$

したがってコロナ損 P は

$$P = VI = G_{av}' nr \log D/r_e \cdot 2\pi i \left/ 1 + \frac{nr}{\pi a} (n-1) \sin \frac{\pi}{n} \right.$$

$$\therefore \frac{P}{nr^2} = G_{av}' 2\pi i \log D/r_e \left/ 1 + \frac{nr}{\pi a} (n-1) \sin \frac{\pi}{n} \right. \dots\dots\dots (16)$$

これは単導体の場合を拡張した式で $n=1$ とすれば単導体の場合になる。(16)式からコロナ損は大體導体本数に比例し、導体半径の 2 乗に比例することがわかる。

ここで以上のように仮定した場合、複導体の単位表面積当りの平均コロナ電流 i がどのような特性を示すか、単導体と比較するため第 15 図に示した。この結果、平均コロナ電流は単導体の場合より多くなり、先に仮定した導体表面上 $\theta=0\pm\frac{\pi}{n}$ のみコロナが発生するということは正しくなく、複導体の場合は $\theta=\pm\frac{\pi}{n}$ 以上までコロナが発生していると考えざるを得ないと思われる。

以上のようにコロナ損を導体表面単位表面積当りの平均電流として巨視的に分解して考えた結果、同心円筒で求めた測定値を実際の送電線に適用する場合次のように考えなければならないのではないかと思う。すなわち、同心円筒では実際の送電線の印加電圧と異なり、コロナ雑音やコロナパルスでは、同心円筒直径が大きい場合、導体近傍の電界分布を実際の送電線に近似すればよいが、コロナ損は本文で述べたように、対地電圧とコロナ電流の積として表わされると考えると(17)式のように換算しなければならない。

$$P = P_c \frac{\log D/r_e}{\log D_c/r_e} \times \frac{1}{L} (\text{kW/km}\phi) \dots\dots\dots (17)$$

ここで P : 送電線コロナ損 (kW/km, ϕ)
 P_c : 同心円筒によるコロナ損測定値 (W)
 D : 送電線等価相間距離 (cm)
 D_c : 同心円筒半径 (cm)
 L : 同心円筒半径有効長 (m)
 r_e : 等価導体半径 (cm)

しかし、本文でのように導体表面単位表面積当りのコロナ電流に着目しコロナ損を算出する場合はこの必要はない。(17)式に示した換算は 400 kV 級試験送電線と超高压同心円筒で同一気象条件で比較したいと考える。

なおコロナ損特性を示す場合、線路の充電電流に対して示すと、より一般的となるので、よい方法であるが、コロナ雑音と比較する意味で、導体表面電位傾度をとった。

5. 結 言

以上、400 kV 級送電線のコロナの基本的諸特性を調べるため、超高压同心円筒中に 10~40 mm ϕ アルミパイプを 1~4 導体にした場合のコロナ雑音、コロナ損、コロナパルス実験結果を述べ、これに対して定性的な検討を行った。この結果を要約すれば次のようになる。

(1) 導体表面電位傾度が同一の場合、外径が大となるとコロナパルス波高値が増大し、コロナ雑音が大となる。これはコロナパルスが発生するときの導体近傍の電位傾度の変化により定性的説明が可能である。

(2) 素導体径が同一の複導体群では、同じ表面最大電位傾度をとるよう印加電圧を調整した場合、素導体本数が増すにしたがって、ある値以上の波高値をもつコロナパルスひん度は減少する傾向にある。これは特に降雨時、複導体の有利性を示すものである。

しかし、晴天時は、考察に述べたとおり、コロナパルス波高値はわずかであるが、素導体本数の増加とともに増大すると思われるので、コロナパルスひん度の大きい長い送電線ではコロナ雑音は増大すると考えられる。これについては別に試験送電線による結果を報告したい。

(3) コロナ損に対しては、導体表面単位表面積当りのコロナ電流(コロナ電流密度)に着目し、単導体について定性的な説明を試み、またこれを複導体への拡張についても考えてみた。さらにコロナ電流密度の考え方から、同心円筒で得られた測定結果を実際の送電線に換算する方法を推察した。

(4) しかし、コロナ電流密度の考え方が、導体周辺の空間電荷の裏付けを必要とするので、これに対してはさらに研究を要する。

以上コロナの基本特性を単導体より出発して、400 kV 級送電線として考えられている複導体送電線のコロナの基本特性の解析上、有効な手掛りをつかむことができたと考える。

最後に本研究にご協力いただいた第一研究課遠藤、志賀両君に対しお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 永野：日立評論 別冊 28 号 18 (昭 33-12)
- (2) 永野、沼尻：日立評論 別冊 35 号 9 (昭 35-5)
- (3) 送電専門委員会：送電線のコロナ計算について (昭 34-8)
- (4) E. Cahen：AIEE, 67 (pt. 3) 1118 (1948)
- (5) F. W. Peek：Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering (1920)
- (6) C. J. Miller：AIEE 75 (pt. 3) 1029 (1956)
- (7) G. D. Lippert, W. E. Pakala, S. C. Bartlett, B. J. Sparlin：AIEE 77 (pt. 3) 1302 (1958)