

電力系統の雷害防止

——藤高周平教授の研究業績の一端——

Protection of Electric Power Systems against Lightning
—A Part of Professor Shuhei Fujitaka's Achievements—

麻生忠雄*・河村達雄**

Tadao ASO and Tatsuo KAWAMURA

電力系統における雷害防止はその設計上考慮すべき最も重要な問題の一つである。昨年11月26日逝去された藤高周平教授はこの問題につき30有余年にわたって研究を行なって来た。本文ではこの点につきのべ、あわせてその他電力技術一般への貢献にもふれ、同教授の業績をしのんでみたい。

1. 緒言

昨年11月26日逝去された藤高周平教授の歩んで来られた足跡はまことにわが国における電力技術の発達と軌を一にしており、先生は常にその中心として指導的役割を果たして来られた。しかし中でも電力系統における雷害防止に関する研究は黎明期より積極的に参加され、産学協同の実をあげられた。若くして研究室で完成した外部撮影型陰極線オシログラフを用いて全国を駆け回り、30年近くにわたって行なわれた雷実測は今も関係者の語り草となっている。送電線におけるサージ伝ばん特性の実測からヒントを得て開発され、現在も広く利用されている送電線故障点標定器もかような研究方針の大きな成果としてあげることができる。本文では、まず電力系統における雷害防止に関する研究成果を顧み、あわせてその他の広汎な学術活動にもふれて、藤高教授の研究業績の一端をしのんでみたいと考えている。

2. 高速度ブラウン管オシログラフの開発

送電線の雷サージのような、偶発的でしかもただ一度きりの高速度過渡現象の観測には、特に記録速度の高いオシログラフと確実な現象同期が必要である。わが国では電力系統の成長し始めたころより雷害防止の要望が強くなり、送電線や発電所に一応の対策は施されて来たが、雷そのものの実態が明らかでなかったため避雷法に当を得ない恨みがあった。わが国における本格的な夏期雷実測は、昭和15年前橋地区を中心として始まる。藤高教授は、これを機に野外測定用の簡便な高速度ブラウン管オシログラフを率先して開発し、送電線の雷実測などを積極的に推進した¹⁾。当時のデュフォー型陰極線オシログラフは、きわめて記録速度の高い高性能装置であるが、内部撮影型のために排気操作などに1素子当たり数名の人手を要するものであったが、この後この種の測定には、この高速度ブラウン管オシログラフが在来型に取って代わった。わが国雷害防止の一つの飛躍期といえよう。

高速度ブラウン管は、記録速度を増す必要から螢光膜に螢光効果の高い硫化亜鉛—銀(P11)を使用し、電子加速電圧も10kV程度に上昇させたもので、初期においても記録速度は10cm/μsに達し、雷サージなどの捕そく記録にはほぼ十分な性能を示した。その後加速電圧の上昇、後段加速方式の採用などにより、近年では10m/μsの記録速度をもつ高性能のものも現われている。

高速度ブラウン管の操作に当たっては、強力なビームを時間軸掃引時にごく短時間だけ射出して螢光膜の損傷を防がねばならず、したがって測定に当たっては現象との同期が重要な問題である。藤高教授は、現象同期の高速度スイッチとして火花ギャップに着眼し、その起動によって掃引電圧、輝度制御電圧を取り出す方式を導入した。当時雷観測に試用した高速度ブラウン管オシログラフの回路は、図1のとおりである。輝度制御を統一化するためにカーボラダムを利用したが、これは3点ギャップの利用と同じく野外観測用として簡便かつ確実を目標としたからにはほかならない。その後一般の高速度現象の測定にも、同様の操作回路が広く利用されている。高速度ブラウン管によれば多素子化が容易で、1例として藤高研究室試作の8素子高速度ブラウン管オシログラフ(図2)をあげた。この装置によれば、たとえば2回線送電線の雷サージをすべて同時記録させることができる。なお最近高速度ブラウン管の記録速度を上昇させる一方式として、強力パルスによる電子加速の研究も着手されている。

高速度ブラウン管は雷サージなどの観測用に止まらずその残光性の少ないことから、時間軸をドラム回転で与える回転ドラム型高速度ブラウン管オシログラフに利用できる²⁾。昭和18年には藤高教授らによってこれが実用化され、戦後各所で商用周波ないし中間周波用として実測に供され、電力系統の開閉サージその他異常電圧の機構解明に重要な貢献をした。また高速度ブラウン管の螢光膜を残光性の強いものに代えれば、ただ一度だけ掃引した瞬時現象であっても、暗室内でしばらくこれを観察できる。避雷器統流しゃ断試験などの現象監視装置³⁾は、その一つの応用である。

* 東北大学工学部

** 東京大学生産技術研究所第3部

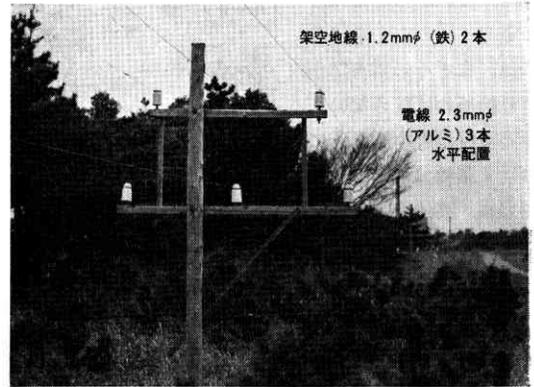
で反射波が到来しているところからせん絡点距離は 51.6 km と判定されたが、実距離は 50.8 km であった。従来線路巡視の結果を待たねば事故点の発見は困難であったが、このように雷サージ波形の分析によって直ちにその位置を判断できたことから、これを期としてわが国で送電線故障点標定法に対する関心がにわかに高まってきた。

(b) 新北陸幹線の雷サージ記録⁵⁾

わが国屈指の重要送電線であり、またわが国で始めて超高压を採用した新北陸幹線 (275 kV, 1 回線) において、昭和 29 年 8 月に 3 相雷サージの完全記録が得られた。進行波理論による波形解析の有効な点など、この種の記録としてはきわめて意義深いものである。図 4 にオシログラムを示したが、3 相波形を基にして雷サージの対地波・線間波を分離し、その減衰変歪、伝ばん速度の差異などを知ることができる。対地波遅れ時間からせん絡点距離を概算すると約 70 km となり、実距離 74 km とよく符号した。なお 3 相長時間記録も同時に得られており、その機圧位相を考慮して C 相鉄塔逆せん絡に起因

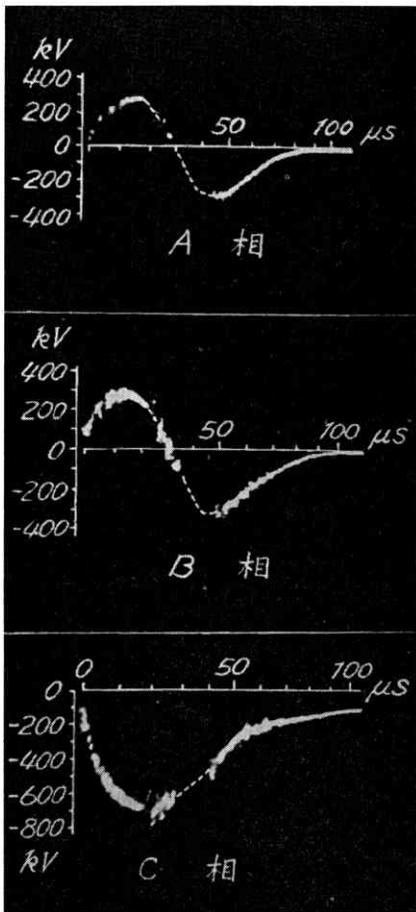
するものと判断された。超高压送電線における一つの雷せん絡機構を示す貴重な記録である。

送電線のがいしが直撃雷によってせん絡することは場合により止むを得ないとしても、線路伝ばんの雷サージが発電所の重要電力機器に絶縁傷害を与えると被害は格段に拡大する。適切な避雷対策を講ずるにはまず雷サージの伝ばん特性を把握する必要がある。藤高教授は西千葉地区に建設された西東京幹線 10 分の 1 縮尺のモデル送電線 (図 5) (2,067m) を利用し、導体が直径 2.3



写真は昭和 33 年に佐久間幹線水平配置 1 回線鉄塔の 1/10 縮尺モデルに改装後のものである。

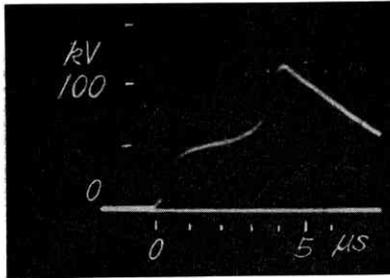
図 5 模型送電線 (千葉実験所)



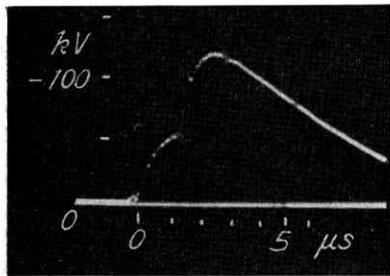
昭和 29 年 8 月 2 日 16 時 31 分
図 4 新北陸幹線 3 相同時記録
(新愛本変電所における記録)

mm 程度の細線でコロナを発生しやすい点に着目して、高電圧衝撃波のコロナ領域における伝ばん特性の研究を強力に推進した⁶⁾。雷サージの伝ばんに伴って送電線に発生するコロナが、その伝ばん特性にもっとも大きな影響を与えるからである。このモデル送電線は、種々架線条件あるいは電圧印加条件を変えて精細に衝撃電圧の伝ばん特性を追跡するのに便利である。その結果送電線のような多導線系線路における高電圧衝撃波のコロナ変歪現象、異常分波現象、不整点異常変歪現象などがほぼ体系的に明らかにされた。モデル送電線におけるコロナ変歪の 1 例を示せば、図 6 のとおりである。正負極性による差はあるが、いずれも特徴のある剪頭波形を呈した。また他方駿河支線など実送電線における高電圧衝撃波の伝ばん特性試験を推進し、これらを基にして協調ギャップなどを対象とした送電線完全しゃへい区間の設定につとめた。

なお、後述の送電線故障点標定器に関連して、藤高教授はごく短い低電圧パルスの実送電線における伝ばん特性を全国にわたって調査すると共に、モデル送電線を利用してこの種のパルスの主として表皮作用に基づく変歪減衰の様相を究明した⁷⁾。図 7 は、モデル送電線における測定波形の 1 例である。送電線を直列放電ギャップでパルス印加後しゃ断し、自由反復反射波として観測したもので、等価的に伝ばん距離を線路長の倍数として伝ばん特性を追跡することができる。対地波と線間波の減衰

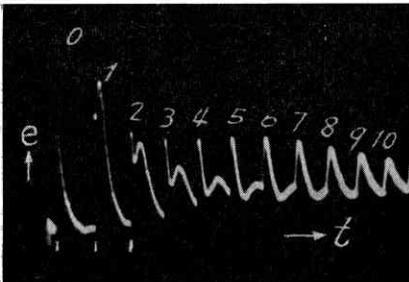


(a) 正極性 原波: 波高値 240kV
波形 (0×3.5) μs

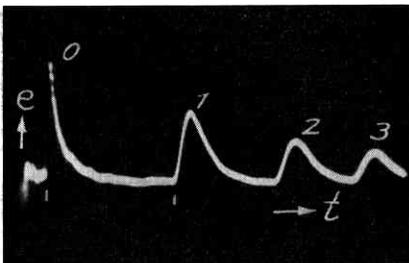


(b) 負極性 原波: 波高値 230kV
波形 (0×3.5) μs

図6 モデル送電線における高電圧衝撃波のコロナ変歪 (モデル送電線: 西東京幹線 1/10 縮尺, 亘長 2,067 m, コロナ開始電圧 54 kV)



(a)
2 導線の 1 線にパルス印加 (線間波・対地波の分波)



(b)
2 導線一括してパルス印加 (対地波)

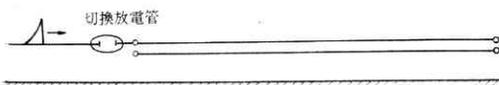


図7 モデル送電線における短パルスの表波作用による変歪 (モデル送電線: 西東京幹線 1/10 縮尺, 対称 2 導線系, 亘長 2,067 m)

変歪の差異が明瞭にうかがわれる。さらに昨年は、微小磁鋼片も試作し、これをモデル鉄塔に設置して鉄塔メンバのサージ電流分流比の測定を行なうなど最近まで意欲的に研究を進めた⁸⁾。

4. 雷放電カウンタに関する研究

藤高教授の最近の雷害防止に関する研究成果の一つとして雷放電カウンタによる大地放電数分布に関する研究があげられる。電力系統における耐雷設計の基本資料を得るためにはまず襲雷に関する基礎的資料を知る必要がある。このため気象庁予報部においては電力気象業務の一環として夏期の雷雨期間気象観測を行なっており、これらの測定結果を基礎として雷雨日数 (Isokeraunic Level, IKL と略称) をもとめ、5年ないし10年の蓄積データは数回にわたって刊行されている。ここで IKL とは雷鳴のあった日数をその強弱にかかわらず全部採録し、年間の発生日数をもって表現する。しかるに実際の測定に当たっては測定点の制約もあり、信頼できるデータを得るためにはかなり長期間にわたって観測を実施せねばならず、さらに国際的の比較という点になるとさらに難点が存在する。一方電力系統の設計に当たっては大地放電数を考慮する必要があるが、現状では十分な資料がまとまっておらず、IKLと大地放電数とが比例するものとして計算が行なわれている。これらの問題を解決するためには測定方法を自動化させることが必要で、この目的に沿うよう提案されたものが雷放電カウンタである。国際的な比較を行なうため国際電力技術会議 (CIGRE) の Study Committee No. 8 に雷放電カウンタに関するワーキンググループが組織され活発な研究が行なわれている。わが国においては藤高教授を主班としていち早くこの計画に参画し、研究の推進に当たった。

雷放電カウンタによる測定ではまず地上高 5 m の水平に架設された 6 条の水平アンテナ (長さ 14 m, 線間距離 15 cm) を利用して落雷の際の電界強度変化をとらえ、これを冷陰極放電管より成る計数回路で計数記録するものである。アンテナの概観を図 8 に示す。計数回路は図 9 に示すが入力パルスはまず抵抗、コンデンサより成る中心周波数 500 c/s の帯域フィルタに加えらる。これは主として、雲間放電によって発生する比較的緩やかな電界強度変化ならびに高い周波数成分を持つ放射性感電成分を除去する。かくして得られたパルスは冷陰極放電管計数回路を動作させ、その動作回数は自動記録装置により記録される。研究室では昭和 35 年雷雨期に本所千葉実験所において観測を開始した⁹⁾。最初は計数回路の誤動作などで苦心を重ねたが、数年後その重要性が認識され、電気試験所、電力中央研究所および各電力会社の協力により拡大され現在では図 10 に示すように全国約 100 箇所の観測点において同時観測を行ない、この或

果は日本のデータとして国際電力技術会議に毎年報告され、国際協力の実をあげるとともにわが国における耐雷設計の基礎資料を提供しつつある¹⁰⁾¹¹⁾。かような問題は長期間にわたり着実な成果の積み重ねが必要となるわけで、所期の目的を達成すべく、今後も引き続き研究に励むつもりである。

5. 電力系統における接地に関する研究

電力系統における耐雷設計上接地抵抗の低減は重要な問題の一つである。藤高教授は発電所における連接接地、接地メッシュ、送電線鉄塔の埋設地線あるいは連続埋設地線などの接地抵抗の改善を強力に推進するとともに高速度ブラウン管オシログラフを駆使してしばしば現地実測を行なった。昭和 28 年 7 月東京電力駿河変電所ならびに駿河支線において電力中央研究所、電気試験所協同で 1,000 kV の衝撃電圧発生器を使用した大規模な現地試験を実施した¹²⁾。この結果送電鉄塔の接地抵抗は埋設地線の有無にかかわらず電圧—電流特性が顕著なループを描くこと、連続埋設地線の連繫効果による抵抗値の急激な低減、連続埋設地線は大地固有抵抗の大きいところで非常に効果的で通常抵抗値の約 50% 以下になし得ることを明らかにした。鉄塔接地の衝撃試験に際し、電圧発生器が被測定鉄塔から相当離れた場所にしか設置できない場合でも、あらかじめ線路の伝ぱん特性を測定しておけば対象鉄塔の塔脚電位を測定することによって間接的に塔脚接地抵抗とその衝撃特性をもとめることを示し測定を容易ならしめた。また昭和 32 年川崎製鉄千葉製鉄所受電用変電所の接地施設に関し、同所の深部の大地固有抵抗がきわめて低いことに着目して深打ち電極の有効な利用とメッシュ電極との併用によって 0.037Ω という非常に優秀な接地を完成した。さらに送電線上でパルスの反復反射波形を観測して、その減衰特性から送電線全線に沿う固有抵抗の平均値をもとめる式を誘導し、現地における適用を行なった。

衝撃接地特性に関する測定器の開発研究としてパルス式アーステスタがあげられる¹³⁾。従来の接地抵抗計は低周波電流を利用しており、したがって架空地線を有する鉄塔では鉄塔単独の塔脚接地抵抗をもとめることは不可能であった。新方式はパルス利用の特長を生かし架空地線の有無にかかわらず単独の塔脚接地抵抗値をもとめることができる。別の特長としてはこの装置は接地抵抗の過渡特性の最大値を指示し、測定結果は耐雷設計上有用な資料を与えることができる。回路構成は図 11 に示すように SCR を利用してパルスを発生させ、接地抵抗による電圧降下と R_v によるそれとを比較し検流計 G によ

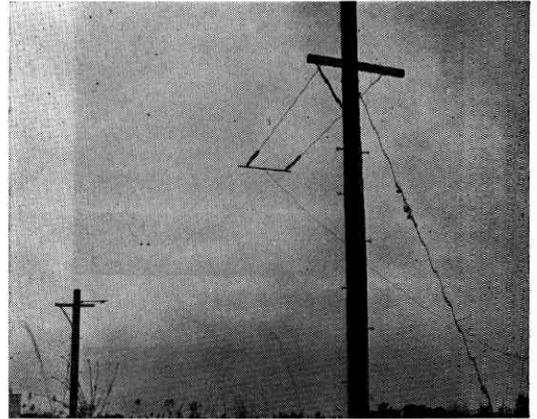


図 8 雷放電カウンタのアンテナ (千葉実験所)

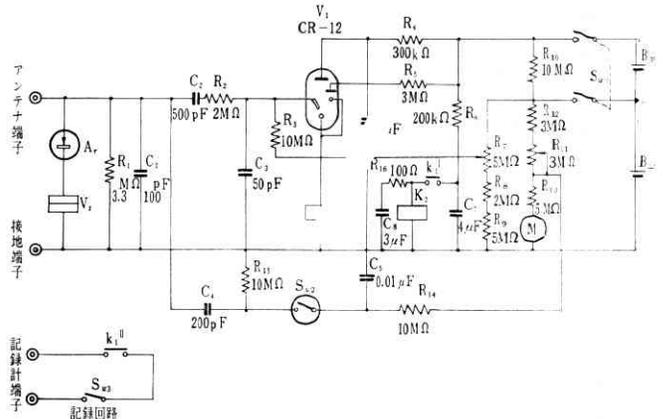


図 9 雷放電カウンタの回路構成

って両者の平衡をとるものである。 R_v に抵抗目盛を施せば接地抵抗値を直読することができる。この方式によれば架空地線を経て隣接鉄塔からの反射がある場合、その到達前にパルスで充電できるように抵抗、コンデンサの時定数を小さくして置けば鉄塔単独の接地抵抗を指示させることができる。測定結果の 1 例を図 12 に示す。測定値が接地抵抗過渡特性の最大値を指示しているのが明らかに認められる。装置の概観を図 13 に示す。

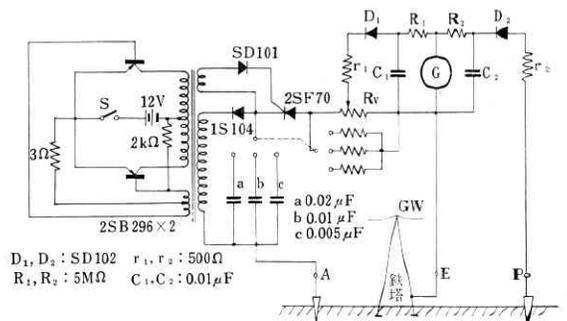


図 11 パルス式アーステスタの回路構成

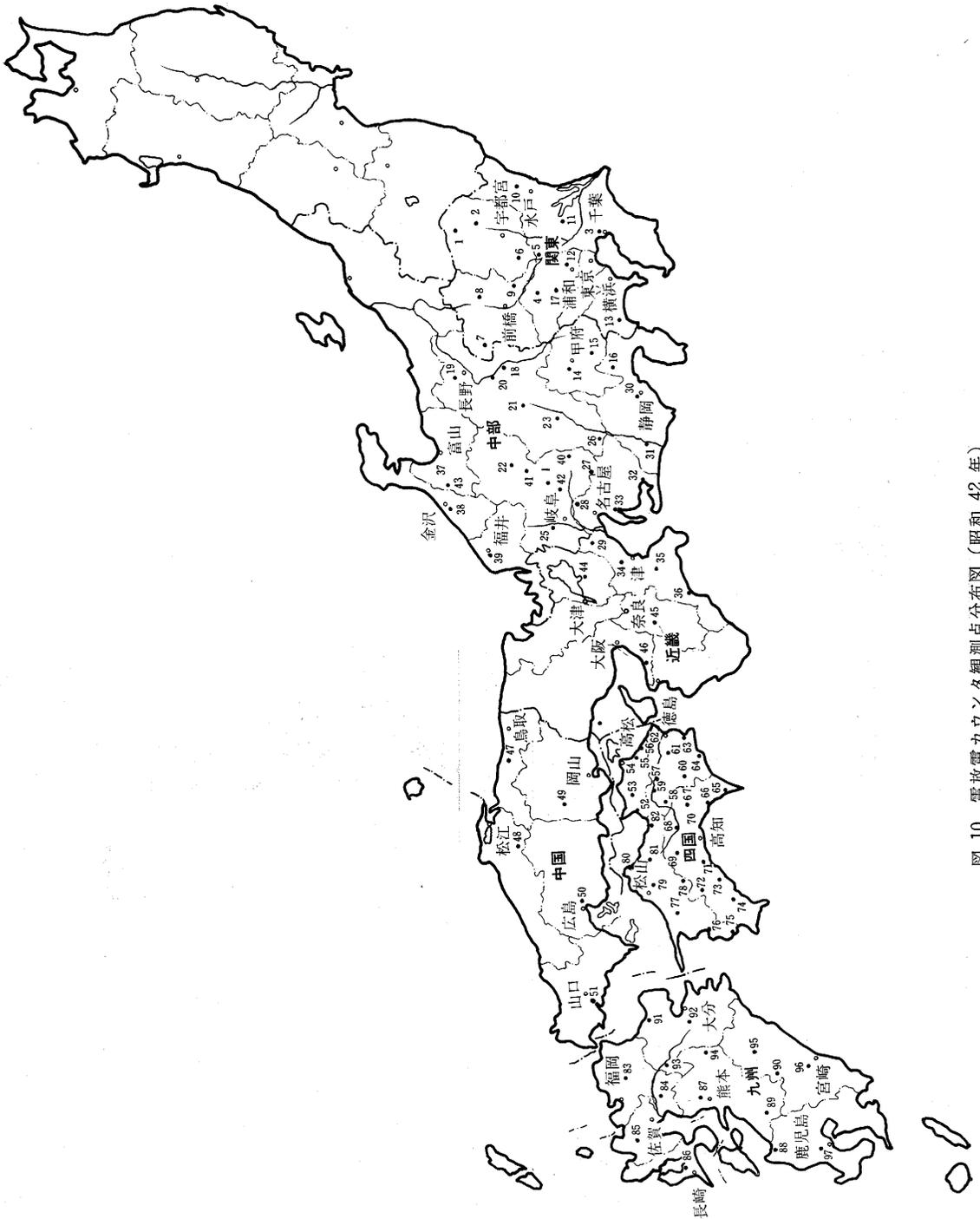


図 10 電放電カウソタ観測点分布図 (昭和 42 年)

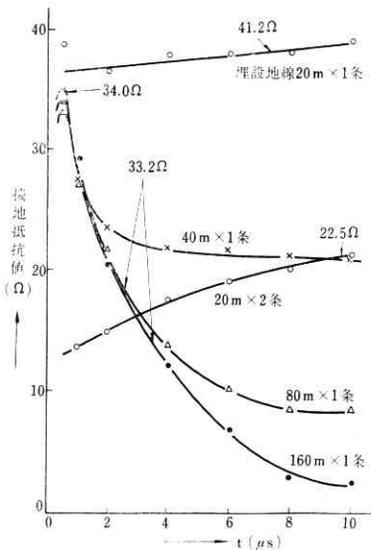
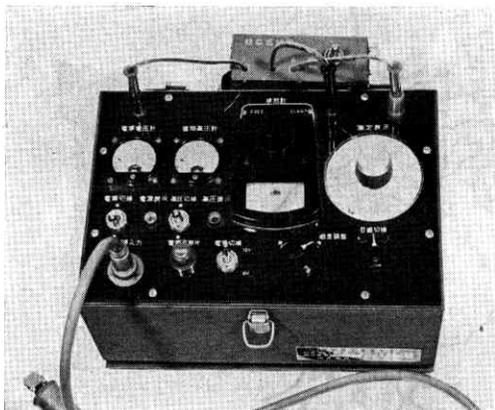


図 12 埋設地線の接地抵抗過渡特性とアーステスタによる結果



上部の小箱は調整試験用の疑似抵抗器である。電源は手前左側のクリップコードで 12V, 10AH の蓄電池を外部接続して使用する。

図 13 パルス式アーステスタ

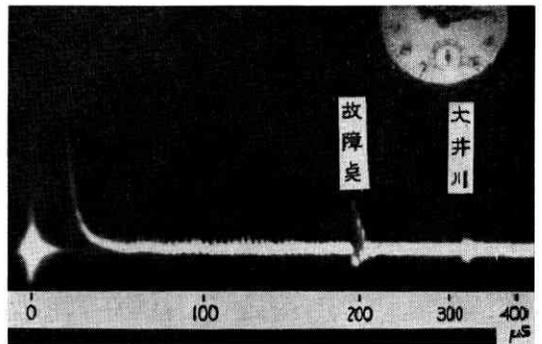
6. 送電線故障点標定器の開発

送電線の雷などによるがいしせん絡事故では、事故しや断で一度地絡アークが消滅すると絶縁がある程度回復し、直後に再投入を強行して一応成功する場合が多い。通信線路のような永久故障の場合と異なって、送電線事故点の検出に電気的方法を適用することが著しく困難なゆえんである。従来は線路巡視員の望遠検査による以外に手段はなかったが、藤高教授は昭和 23 年茨城幹線における雷サージ記録を基としたせん絡点判定に成功して以来、積極的に送電線故障点の脉冲標定方式の開発に着手した¹⁴⁾。これは世界的な一つの送電技術の動向と同期を同じくするものであった。

パルス標定方式の基本は、送電線におけるパルスの伝ぱん特性を利用するにある。パルスの伝ぱん速度はほぼ光速に近いから、たとえば送電線末端から故障点まで

の脉冲伝ぱん時間をもとめることによって、故障点距離を即座に知る事ができる。しかしながら高電圧送電線に結合回路を介してパルスを送出する場合、2,000 pF の結合コンデンサを使用しても波尾長 1 μs 程度のごく短いパルスになって送電線伝ぱん途上の波高値減衰が著しく、当初長距離標定の可能性についてはかなりの疑問をもたれた。藤高教授は昭和 24 年茨城幹線におけるパルス伝ぱん試験を始めとして、全国的な規模で短パルスの減衰特性の調査を推進し、減衰の比較的小さい線間波成分によって数 10 km ないし数 100 km のパルス送受信の可能性を実証して、パルス式標定器実用化の基礎を確立した。また送受信の結合効率を高めうる点に着目して減衰交流パルス利用の研究を進めると共に、送電線結合方式を簡易化するためにアンテナ結合、接地用変圧器結合などの検討も行なった。

送電線事故点を完全に標定するには、事故発生直後地絡に伴う異常サージの妨害を避け、かつしゃ断器開放以前地絡アークが継続している間に測定を完了する瞬時標定の方式が不可欠である。昭和 24 年北陸幹線市荒川発電所における人工地絡試験を始め各所における実地試験の結果は、地絡サージの妨害を排除して故障点の瞬時パルス標定に成功した¹⁵⁾。人工故障試験における故障点標定の 1 例を図 14 に示す。



送電線：大井川—平岡線 (154 kV)
故障点：平岡より 28.7 km

図 14 F 型せん絡点標定器による故障点標定例 (人工故障試験)

当時百花の咲き揃うように、各種の送電線故障点標定器が提案され実用に移された。国際的分類による A 型 (故障サージの往復反射時間を直接観測する方式)、B 型 (故障サージの到着時刻の差を両側線路端で比較する方式)、C 型 (高電圧単一パルスの往復反射時間を観測する方式)、F 型 (低電圧繰返しパルスの往復反射時間を観測する方式) などがそれである。F 型 (藤高式) 故障点標定器は、商用周波の繰返しパルスを用いるもので、故障標定時に反射パルスの反復確認を行ないいうる特徴に加えて、繰返しパルスによる静止像としてブラウン管像を観察できるため、随時送電系統の監視が可能な利点をもつ



図 15 F型せん絡点
標定器

ていて、初期のF型装置においては、地絡サージの妨害を避けるための時限を電話用ダイヤルによって得ていたが、最近ではすべて継電器の時限を利用するようになった。その実用装置の一つを示したものが図 15 である。昭和 30 年前後より送電線故障点標定器の実用化は目覚しく、現在では重要送電線ではほとんど例外なくいずれかの方式のものが設備され、すでに発電電所配電盤の一部と化したかの観がある。

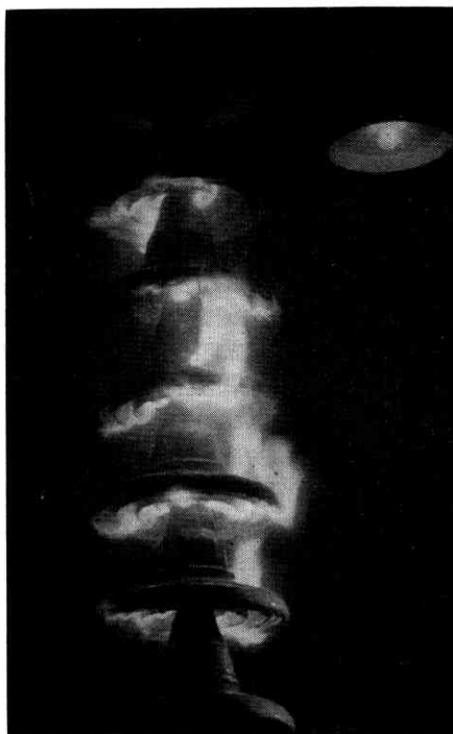
7. 藤高教授の学術活動

藤高教授の学術活動は前述の電力系統における雷害防止に関する研究に止まらず、電力技術一般に広く及んでおり、多くのすぐれた業績をあげられた。これらのうち、おもなものについてふれてみたい。その第一に放電現象に関する研究があげられる。すなわち鯨井教授と協同による静電高電圧発生装置の研究に始まり、火花放電を導く初電子が電極表面にあり、これが電圧印加によって間隙に供給されることを明らかにしたほか、火花放電の光の分析、ラジオアイソトープを利用した放電現象のばらつきの改善、開閉サージ印加による湿度特性、急しゅん波によるせん絡現象などにつき研究を進めた。これらの基礎研究の上に立脚した応用研究としてシリコンクリドノグラフの開発があげられる¹⁶⁾。これは異常電圧測定用として従来広く利用されていた写真乾板利用のクリドノグラフに代わりガラス板に珪素樹脂ワニス塗りを 150°C で約 3 時間焼き付けたシリコン塗布ガラス板を利用するものである。電圧印加後、これに絶縁物粉末をふりかけて得られた電荷図 (dust figure) の大きさによって印加電圧値が測定できる。これは写真乾板のように暗室を必要とせず、簡単に繰り返し使用でき、かつ誤差の小さい測定が可能である等多くのすぐれた特長を持っている。この装置は以後の雷実測において有力な武器として利用されている。

次にあげられるおもな研究として避雷器に関する研究がある。すなわち硫化銅粉末をアルミニウム金属板ではさんだ構造のものについて電気的特性をもとめ、印加電圧が低い場合にはほとんど導電性を持たないが、ある臨界電圧に達すると急激に導電性となり、これにより十分避雷器として利用しうること確かめ、Alcus 避雷器として実用化した。これを契機として避雷器の開発、電力

系統におけるその適用についての研究を開始し、さらに電気学会の避雷器標準特別委員会委員長などをつとめ、この分野の指導的役割を果たした。

学術活動のおもなものの一つとして電力系統における塩害対策に関する研究があげられる。わが国は四方海に囲まれた島国であり、電力設備のがいし、ブッシングなど絶縁物の表面は特に台風時などには塩分により汚損され、この結果耐電圧が低下し、しばしば事故発生の原因となることが知られている。この汚損せん絡現象については早くからその重要性に注目し、研究の推進に当たった¹⁸⁾。研究室における基礎研究としては磁器板を用いて汚損液の固有抵抗、膜厚および塵埃量の変化のせん絡電圧に及ぼす影響などにつき、詳細な研究を行なった (図 16)。さらに汚損量を間接的に測定しうる方法として超音波を応用する監視方法、間欠課電による漏れ電流監視



汚損状態: 3% 塩水ととのこ 40 g/l の混合液をスプレーしたものの
せん絡電圧: 約 50 kV (正常値の約 1/8)

図 16 汚損がはいせん絡試験

装置の開発を行なった。一方電力会社との協同研究として海岸に近接した場所に各種のがいしをつるし、がいし表面の付着塩分量と漏れ電流との関係などにつき調査研究を行なった。これらの成果はそのつど関係学会に報告されたが、特に人工汚損試験法の確立については電気協同研究会に塩害対策委員会を設け、その委員長として試験法確立に多大の功績を残されたことも特筆すべきことである。

特筆すべきものの一つにわが国における鉄道電化に

対する貢献があげられる。国鉄安全会議委員をはじめ、技術委員会の委員長としての責を果たしたの 10 指に余り、その他委員として数多くの研究委員会に参画した。調査研究のおもな問題は水銀整流器付変電所の異常電圧対策、電気機関車主電動機の試験基準の作成、信濃川発電設備絶縁協調ならびに武蔵境変電所異常電圧障害に関する対策研究、154 kV 信濃川送電線における F 型せん絡点標定器の実用化、各種設備および電気車両などの異常電圧防護対策、20 kV 交流電化における高圧絶縁の合理的構成と事故防止などがあげられる。この間昭和 32 年に千手・桃野間 154 kV 送電線の人工故障試験、同年 11 月には東京近郊 66 kV 送電系統人工故障試験にそれぞれ研究室で開発した 8 素子長時間記録ブラウン管オシログラフを駆使して参加、昭和 35 年東北線交流電化区間における異常電圧測定には黒磯変電所において 7 素子高速度ブラウン管オシログラフによる測定を実施する等現場実測による成果も多大なものがあった。さらに昭和 34 年東海道新幹線の建設が計画されるとともに新幹線絶縁協調専門委員会を主宰、沿線の発電状況の調査、変電所、電車線路、車両を通じての絶縁協調について研究を進め、新幹線の絶縁基準の確立をはかりその建設に多大の貢献をされた。

藤高教授の学会運営における功績としては幾多の研究委員会の委員長ならびに評議員、編集、調査、総務各理事、東京支部長、副会長を歴任、さらに電気規格調査会会長として国内ならびに国際規格の制定に指導的役割を果たした。また CIGRE 国内委員会副委員長、Study Committee No. 8 (雷およびサージ部会) の日本代表委員として日本の電力技術を世界に紹介し、その国際的地位を向上させた業績、電気協同研究会理事長として電力界の技術的問題の解決をはかれた点、通商産業省大型プロジェクト MHD 分科会会長として将来のわが国におけるエネルギー問題に対して払われた関心、さらに高電圧技術研究会会長としてわが国における電力技術の向上に対する努力等枚挙にいとまがない。電気学会より与えられた大同電力記念賞金、功績賞は藤高教授の業績を正当

に評価しているものに外ならない。

8. 結 び

藤高教授の業績中主として電力系統における雷害防止の研究について述べてきたが、いま残された足跡をふり返ってみると、教授の業績に改めて感銘を覚えるのである。特に先生は研究室で開発された成果を直ちに実地試験に適用して、いわゆる産学協同の実をあげられ多大の成果を収められた。このことは、われわれの深く敬服するところである。関連分野が今後なお一層進歩することを確信し、ここにつつしんで先生のご冥福をお祈りする次第である。

(1968 年 2 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤高, 大沢, 井上, 磯: 電気学会雑誌 60 (昭 15-8) p. 335, その他
- 2) 藤高, 大竹: 電気学会雑誌 63 (昭 18-6) p. 402
- 3) 藤高, 麻生: 電気 3 学会連大論文集 B-2-32 (昭 25-4)
- 4) 藤高, 麻生: 電気 3 学会連大論文集 B-6 (昭 24-4) その他
- 5) 藤高, 麻生: 電気 3 学会連大論文集 379 (昭 30-4) その他
- 6) 藤高, 麻生: 電気学会雑誌 74 (昭 29-10) p. 1211, その他
- 7) 藤高, 麻生, 田代, 三須田: 電気 3 学会連大論文集 301 (昭 28-5) その他
- 8) 河村, 藤高, 北条, 大平: 電気 4 学会連大論文集 950, (昭 43-3) (発表予定)
- 9) 藤高, 河村: 生産研究 13 (昭 35-6) p. 185
- 10) S. Fujitaka, T. Kawamura, Y. Hirose, S. Tsurumi, K. Kinoshita: CIGRE Study Committee No. 8, Lightning and Surges (1967-6)
- 11) S. Fujitaka, T. Kawamura, 同上
- 12) 武居, 藤高, 法貴, 富山, 広瀬: 電気学会雑誌 74 (昭 29-2) p. 156
- 13) 河村, 田代, 難波: 電気 4 学会連大論文集 189 (昭 38-4)
- 14) 藤高, 藤井, 麻生: オーム 36 (昭 24-11) p. 738
- 15) 藤高, 麻生, 田代, 三須田: 電気学会雑誌 73 (昭 28-2) p. 127
- 16) 藤高, 藤田: 生産研究 5 (昭 28-6) p. 131
- 17) 藤高: 応用物理 4 (昭 10-12) p. 19
- 18) 藤高, 藤田: 電気学会東京支部大会論文集 (昭 34-11) その他

