

負極性直流沿面コロナの開始電圧*

— 絶縁物と湿度の影響 —

大塚 昭 広**

菅原 宣 義***

保 莉 和 雄***

土 方 正 範***

(昭和54年4月27日受理)

Threshold Voltage of the Negative DC Surface Corona

— Effects of Various Insulators and Humidity —

by Akihiro OTSUKA, Noriyoshi SUGAWARA, Kazuo HOKARI
and Masanori HIJIKATA

We have studied the influences of insulators and humidity on the threshold voltage of the negative DC surface corona. Acryl resin, Phenol resin (Bakelite) and glass have been used for sample plates for the electrical insulator. Experiments of the surface discharges with and without the backing electrode using the needle-to-blade of the razor gap have been tested in room air and dry air at 760 mmHg pressure. The radius of curvature of the needle was 0.2 mm and gaps were 10 and 20 mm. The corona onset voltage and the corona threshold voltage have been measured with the various insulators. Electromagnetic oscillograph has been used to measure the corona current and the voltage and photo-currents which has been measured with the photomultiplier tube.

1. 緒 言

高電圧工学が目ざす主要な目的は高電圧の発生とその絶縁性能の向上にある。放電現象の探求は古くから行なわれてきたが、現象はきわめて複雑であり、各種気体中放電において、まだ明らかにされていない点も数多い。ましてや、固体や液体に関する研究¹⁾および複合誘電体の界面における放電の研究²⁾は多くの工学者、物理学者が取り扱っているが明確なメカニズムが示されていない。それは、放電現象が気体の種類、圧力、電極の形状、配置によって異なるのみでなく、加える電圧の性質、通電電流の大きさによっても大いに影響されるからである。

* 昭和53年10月電気四学会北海道支部大会にて一部発表

** 北見工業大学工学専攻科 (現在、サンボット株式会社)

*** 北見工業大学電気工学科

また複雑を予想される放電のなかでも時間的経過が非常に速い火花放電の機構は簡単に解明しつくされるものではない。

しかし、最近の技術の進歩によって気中放電現象を始めとして、沿面放電においても曙光をあげつつある。その結果として、電気絶縁材料および絶縁方法もまた大いに進歩しつつある。超高電圧大容量の送電時代になってきた今日では、直流送電が世界各国で採用されつつあり、今後も重要な送電方式として注目されている。このため、直流高電圧の絶縁に関する研究が重要となってきた。

また、コロナ放電による微粒子の帯電現象を利用した工業的応用として、電気集塵器^{3),4)}、静電塗装⁵⁾などがあり、これらは直流高電圧を使用する。ここでは高電圧電極支柱の絶縁性能が重要となっている。このように、直流沿面放電に関する基礎的研究が重要な問題となっている。そこで、負極性に関して、絶縁物の材質を変え、空気および乾燥空気中におけるコロナオンセット電圧およびコロナ開始電圧を測定した。

前報⁶⁾では可動電極に銅製刈型電極を用いたが、今回は電極の均一性を高めるために安全かみそりの刃を可動電極(以後 Blade 電極と記す)として使用した。これは銅製可動電極の場合には実験毎にピカールで鏡面仕上げをするので角が丸味をおびるためである⁷⁾。

本実験は背後電極なしおよび背後電極付きの条件で行ない、ギャップ長は 10 mm および 20 mm とした。また電磁オシログラフでコロナ電流、フォトマルの光電流および印加電圧を同時測定した。

2. 実験方法

本実験に使用した電極配置を図-1に示す。図からわかるように、背後電極なしの場合は試料板が電極台から 3 mm 空中にあり、背後電極付きの場合には背後電極と可動電極(Blade 電極)とが電氣的に結合されている。負極性直流高電圧は針電極に印加され、針は試料と 30° の角度をなすように固定されており、上下のみ移動可能である。使用した針は“三ノ五”の“がす針 5号”であり、太さ 0.71 mm のものの先端を曲率半径約 0.2 mm の半球状にしてあり、針と対向する Blade 電極は可動範囲 0~25 mm 程度、刃先の長さ 36 mm、厚さ 0.11 mm、刃先角度 12.64° であり、試料面との接触状態は図-2のように固定した。

Blade の処理方法

- (イ) 塗料用シンナーで油成分をおとす。
- (ロ) アルコールでふく。
- (ハ) 気中 10 mm ギャップで 5 μ A のコロナ電流を 10 分間流す。
- (ニ) 乾いたガーゼでふく。

針電極および上記処理過程を終えた Blade 電極を実験毎に新しいものに取り替えた。

試料の亚克力板、ペークライト板およびガラス板は厚さ 3 mm、大きさ 100×100 mm で

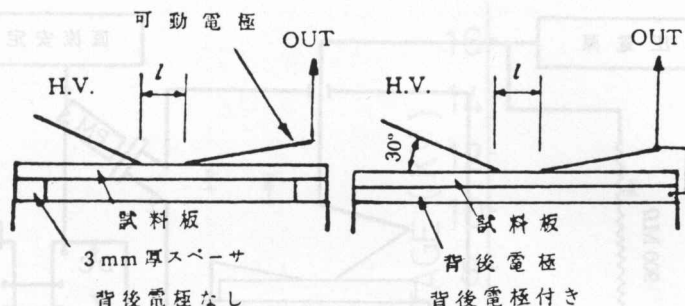


図-1 電極系の幾何学的配置

Fig. 1. Geometrical arrangements of electrode system.

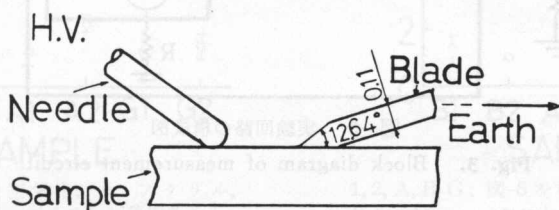


図-2 電極の状態

Fig. 2. Setting of electrodes.

あり、純水とアルコール処理により電荷を除去するとともに、約 40°C の恒温槽内で 30 分以上乾燥させ、実験に使用する毎に静電電位計により表面電位が $\pm 100\text{ V}$ 以内であるものを使用した。

針に印加する高電圧は直流高電圧電源から直接針に印加し昇圧する方法 (以後 Direct と記す) と R, C ($R=200\text{ M}\Omega$, $C=0.5\text{ }\mu\text{F}$) によってなめらかに昇圧する方法 (以後 Smooth と記す) の二通りで、コロナオンセット電圧およびコロナ開始電圧を測定した。

実験回路は図-3 に示す。スイッチ No. 1 は電流計指示値が $0.01\text{ }\mu\text{A}$ 以上になった時にオシログラフ感光紙上に同期信号を入れるのに使用した。同期信号を入れたときの電圧をコロナ開始電圧とし、コロナオンセット電圧はオシログラフ感光紙上のパルス状コロナ電流と光パルスとが同時に出た最低の電圧とした。電極を入れる容器内は 760 mmHg 一定に保ち、PM 用の窓は厚さ 5 mm のガラスを使用した。この容器内は室内空気 (相対湿度 $28\sim 35\%$) または乾燥空気とした。乾燥空気は容器内の圧力を 0.1 Torr までひき、低温除湿した空気をシリカゲルを通して 30 分以上の時間をかけて送気し、圧力を 760 mmHg になるように減圧または加圧した。

印加電圧の上昇速度は毎秒 200 V であり、抵抗 R でコロナ電流を記録した。 R の値は電流量に応じて $998\text{ }\Omega$ から $4.89\text{ k}\Omega$ まで適当に使用した。スイッチ No. 2 は昇圧方法 Smooth の場合における電流計保護スイッチである。

なお、本実験では紫外線照射は行っていない。

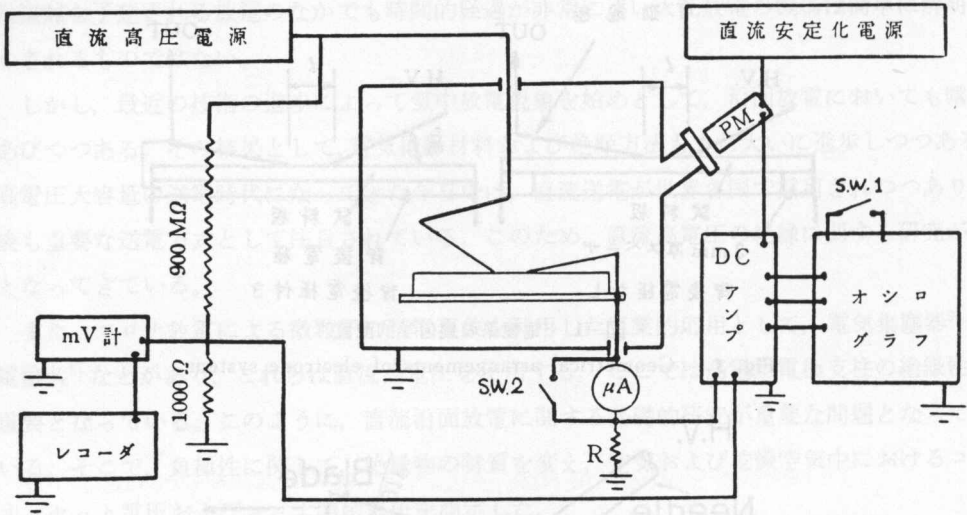


図-3 実験回路の構成図

Fig. 3. Block diagram of measurement circuit.

3. 実験結果および考察

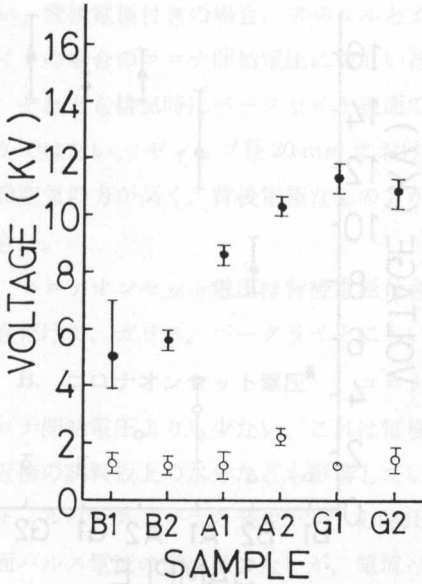
3.1 水分の影響について (図-5~11 参照)

A. コロナ開始電圧 沿面放電における空気中の水分は試料の材質によらず大なり小なり影響している。それは沿面放電が沿面だけの二次元的なものでなく、ギャップ空間を含めた三次元的現象であり、雰囲気中の水分の影響を考慮しなければならない。特に、試料板近傍の水分は沿面放電において最も重要である。またベークライトのような吸水性の強い絶縁材料の場合は恒温槽への挿入時間の相違、いわゆる材料内部および表面の乾燥状態でコロナ開始電圧にかなりのバラツキを生じる。特に乾燥空気中における実験において顕著であった。乾燥空気中の場合、アクリル、ベークライト、ガラスともギャップ長に関係なく電流パルスの発生する割合が少ないことがわかった。電流パルスおよび光電流パルスの波高値は空気中より乾燥空気中の方が大きい。

A-1. 昇圧状態が Direct の場合 ギャップ長 10 mm および 20 mm における空気と乾燥空気の差が少ない。背後電極付きの場合、10 mm ギャップのコロナ開始電圧の差は一層少なく、バラツキに含まれる。ギャップ 20 mm になると背後電極の有、無に関係なくコロナ開始電圧は乾燥空気の方が高くなる。

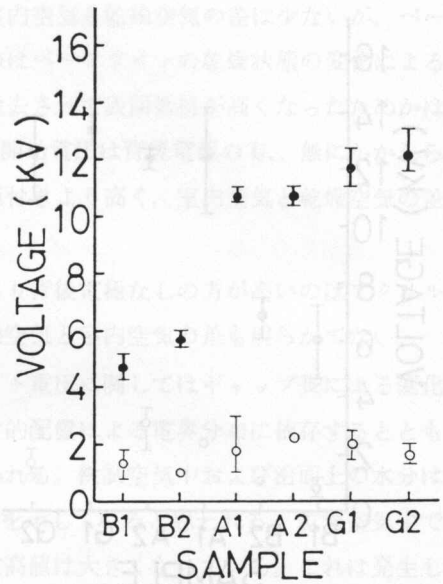
コロナオンセット電圧についてみると、背後電極なしの場合、アクリルおよびガラスは室内空気より乾燥空気の方が若干高い。ベークライトの場合は変化があまりはっきりしていない。背後電極付きのコロナオンセット電圧は背後電極なしのそれより低い。

A-2. 昇圧状態が Smooth の場合 10 mm ギャップのコロナ開始電圧はベークライト、アクリル、ガラスとも室内空気より乾燥空気の方が高く、背後電極なしの場合の方が変化が著



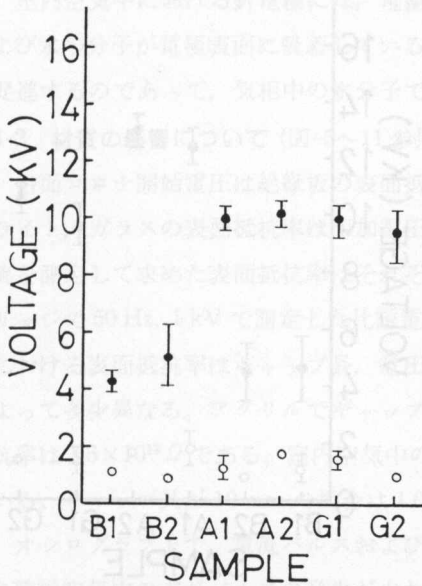
1; 空气中, 2; 乾燥空气中, A; アクリル, B; ベークライト, G; ガラス, 背後電極なし, Gap; 10 mm, 昇圧状態; Direct

図-4 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 4. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



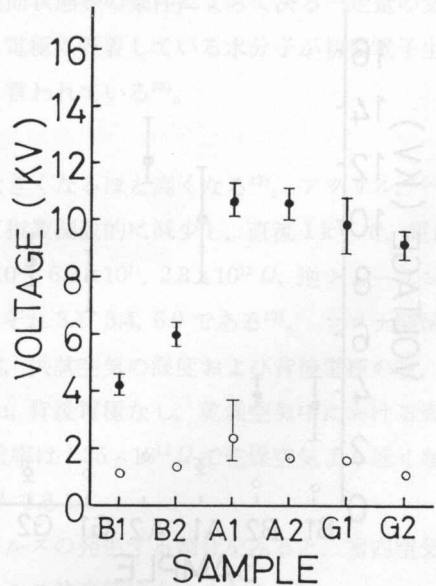
1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極なし, Gap; 10 mm, 昇圧状態; Smooth

図-5 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 5. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



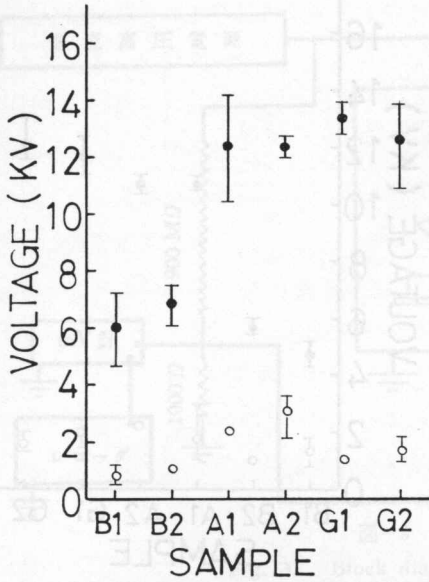
1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極付き, Gap; 10 mm, 昇圧状態; Direct

図-6 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 6. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



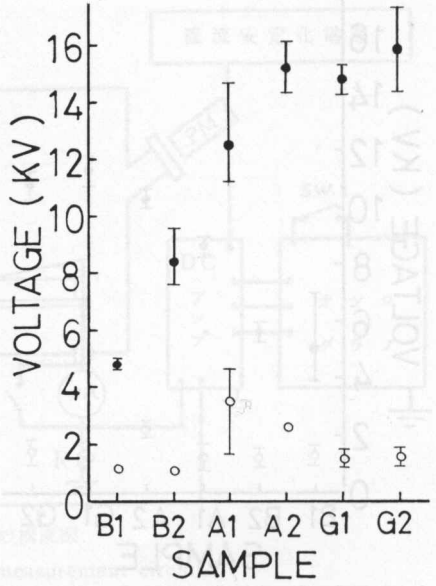
1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極付き, Gap; 10 mm, 昇圧状態; Smooth

図-7 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 7. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



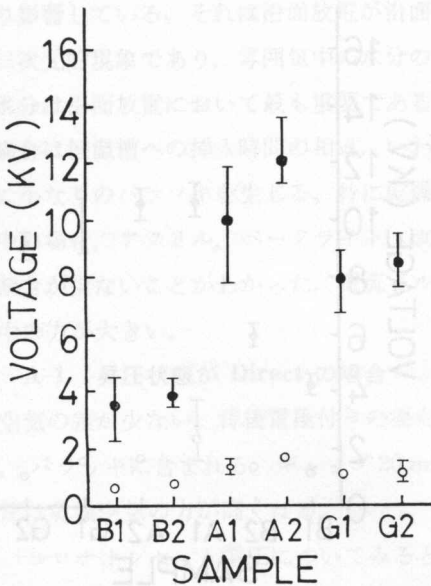
1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極なし,
Gap; 20 mm, 昇圧状態; Direct

図-8 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 8. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



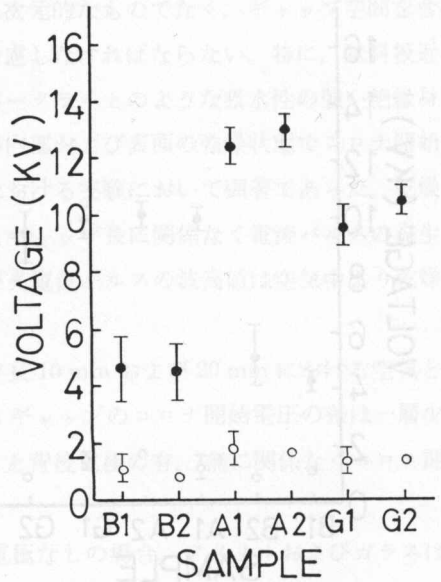
1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極なし,
Gap; 20 mm, 昇圧状態; Smooth

図-9 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 9. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極付き,
Gap; 20 mm, 昇圧状態; Direct

図-10 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 10. Corona onset voltage and corona threshold voltage.



1, 2, A, B, G; 図-5を参照, 背後電極付き,
Gap; 20 mm, 昇圧状態; Smooth

図-11 コロナオンセット電圧とコロナ開始電圧
Fig. 11. Corona onset voltage and corona threshold voltage.

しい。背後電極付きの場合、アクリルとガラスは室内空気と乾燥空気の差は少ないが、ベークライトの場合のコロナ開始電圧に著しい差があるのはベークライトの乾燥状態の変化によるのか、それとも排気時にベークライト表面の水分も除去されて表面抵抗が高くなったためかは明らかではない。ギャップ長 20 mm におけるコロナ開始電圧は背後電極の有、無にかかわらず乾燥空気の方が高く、背後電極なしの方が背後電極付きより高く、室内空気と乾燥空気の差も大きい。

コロナオンセット電圧は背後電極付きの場合より背後電極なしの方が高いのはアクリルの場合だけで、ガラス、ベークライトにおいては乾燥空気と室内空気の差も明らかでない。

B. コロナオンセット電圧 コロナオンセット電圧に関してはギャップ長による変化はコロナ開始電圧よりも少ない。これは電極の幾何学的配置による電界分布に依存するとともに針近傍の試料板上の水分なども影響していると思われる。供試空気中および沿面上の水分はトリチェルパルスコロナの発生^{8),9),10)}を助長する働きを示していると思われる。乾燥空気中では沿面パルス電流の発生は少ないが、電流パルスの波高値は大きくなっている。これは発生した電子雪崩が空気中の水の分子が存在しないことで進展を妨げられないことによるものと思われる。水分は放電の抑制作用をもつ反面、初期電子生成の促進という相反する性質をもつことになる^{11),12)}。従って、図からわかるように、一般には室内空気中より乾燥空気中のコロナオンセット電圧は高い。

室内空気中における針電極には、電極材料、表面状態等の条件によって決る一定量の気体および水の分子が電極表面に吸着している。これら電極に吸着している水分子が初期電子生成を促進するのであって、気相中の水分子ではないと言われている¹²⁾。

3.2 材質の影響について (図-5~11 参照)

沿面コロナ開始電圧は絶縁板の表面抵抗率が大きくなるほど高くなる¹³⁾。アクリル、ベークライト、ガラスの表面抵抗率は印加電圧によって指数関数的に減少し、直流 1 kV で、電圧・電流を測定して求めた表面抵抗率はそれぞれ 8.6×10^{15} , 6.3×10^{11} , $2.3 \times 10^{13} \Omega$ 、逆シェーリングブリッジで 50 Hz, 1 kV で測定した比誘電率はそれぞれ 3.1, 5.4, 6.9 である¹³⁾。コロナ開始電圧における表面抵抗率はギャップ長、電圧印加状態、供試空気の湿度および背後電極の有、無によって多少異なる。アクリルでギャップ長 20 mm、背後電極なし、乾燥空気中における表面抵抗率は $1.5 \times 10^{12} \Omega$ である。室内空気中の表面抵抗率は $1.25 \times 10^{12} \Omega$ で乾燥空気より低くなっている。ギャップ長が 10 mm の場合は $1.07 \times 10^{12} \Omega$ である。

オンロググラフ上で、電流パルスおよび光電流パルスの発生する割合をみると、室内空気中より乾燥空気中の方がパルスの発生が少ないが、パルス波高値は大きくなる。

次に背後電極なし、ギャップ 20 mm、乾燥空気中におけるコロナ開始電圧における表面抵抗率はアクリル、ガラス、ベークライトに関してそれぞれ 1.5×10^{12} , 1.58×10^{12} , $8.1 \times 10^{11} \Omega$ である。背後電極なしの場合アクリルとガラスを比べるとコロナ開始電圧はガラスの方が高くな

っている。しかし背後電極付きの場合アクリルはガラスよりもコロナ開始電圧が高い。これは表面抵抗率だけがコロナ開始電圧に影響するのではなく、材質の比誘電率が影響していると思われる。ガラスの比誘電率はアクリルより大きいので、背後電極の存在が比誘電率の差をコロナ開始電圧の大きな差としている。つまり、比誘電率が大きくて背後電極が存在する場合、コロナの進展が助長されるものと思われる。背後電極なしの場合より背後電極付きの方が一般にコロナ開始が低くなることから裏付けられるが、電界分布が異なることも考慮しなければならない。また、アクリル、ガラス、ベークライトのパルス電流の発生割合はベークライト、ガラス、アクリルの順番に多くなっている。特にベークライトの場合は波高値が小さく、発生率が密である。

コロナオンセット電圧についてみると、ベークライトが一般的に低く、バラッキも少ない。コロナオンセット電圧はコロナ開始電圧に比べて顕著でないが、沿面において、背後電極の有、無にかかわらずベークライト、ガラス、アクリルの順に高くなっている。背後電極の有、無でコロナオンセット電圧を比べると背後電極付きは背後電極なしより差が小さい。

4. 結 言

沿面放電におけるコロナオンセット電圧およびコロナ開始電圧を種々な材質について測定したところ次のことが明らかとなった。

- (1) コロナ開始電圧は背後電極付きの場合より背後電極なしの方が高くなる。
- (2) コロナ開始電圧は固有表面抵抗率に依存し、背後電極付きの場合は材質の比誘電率も関係してくる。
- (3) パルス電流の発生は、供試空気の水分に影響され、コロナ開始電圧はパルス電流の発生率に依存する。
- (4) 室内空気中の水分はコロナ開始電圧を低くするが、一方では電子の移動を抑制する作用もある。

本実験を通して、不平等電界における沿面放電では材質によって特有の放電現象を示すことがわかってきたのでさらに一層研究を深めるとともに、沿面放電のパルス状電流の発生機構についての研究を気中放電と比較、検討を加えながら明らかにしていきたい。

終りに、本実験に協力された本学学生石川，土屋の両君に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) たとえば、後村・岡田・金子・沢田・酒井・坂本： S 53 年電気四学会北海道支部連合大会，No. 104.
- 2) たとえば、池田・岡本： S 40 年電気四学会連合大会，No. 59.
- 3) 川崎： 電気学会論文誌，Vol. 99-B，No. 1，1979.
- 4) 増田・服部・萩原・井関・酒井： 静電気学会誌，p. 78-106，Vol. 2，No. 2，1978.
- 5) 杉本・高木・杉山・高橋： 静電気学会誌，p. 298，Vol. 2，No. 5，1978.

- 6) 菅原・保莉・土方：北見工業大学研究報告，第10巻，第1号，1978.
- 7) 大塚・石川・土屋：北見工業大学電気工学専攻科論文，昭和54年3月.
- 8) 細川・近藤・三好：電気学会雑誌，Vol. 89-9, No. 972, 1969.
- 9) 細川・近藤・三好：電気学会雑誌，Vol. 90, No. 6, 1970.
- 10) 細川・木下・近藤・雨宮・玉河・三好：電気学会論文誌，Vol. 92-A, No. 8, 1972.
- 11) 御所：電気学会論文誌，Vol. 94-A, No. 8, 1974.
- 12) 御所：電気学会論文誌，Vol. 94-A, No. 9, 1974.
- 13) 川島・鳳：電気学会放電研究会資料，ED-75-10, 1975.

up and Shutdown Policies of Thermal Generating
Units with Constrained Total Nitrogen
Oxides Emissions (Part 3)

by Yoichi NAKAMURA and Seisaku YAMASHIRO

In a previous paper, we reported on the scheduling method which decides the optimum operating pattern with a constrained total nitrogen oxides emissions from thermal generating units. In this paper, we report on the scheduling method which decides the optimum operating patterns in the strict sense, we must consider the commitment of the generating units. However, these commitments are in geometric progression. In this paper, we create a level E ($0 < E < 1$), and reserve the unit which ratio of unit's maximum unit cost of generating is greater than E , and we will get the commitment of generating units. By using this method, we create the commitment of generating units, and we can avoid considering every commitment, and we can reduce the memory requirement and computing time. Applying our method to the model system, we can see that the computing time is reduced by increasing the value of E , and the solution is slipped out from the optimum operative pattern, but this difference is very little.

1. ま え が き

電力系統の拡大、火力発電所より排出される窒素酸化物(NO_x)の規制強化等が顕著であり、電力系統の最適運転の決定手段について述べた「費用最小化運転」の最適化手法、季節・年別入出力可能なすべての並列発電機群について考慮する必要がある。しかし、この並列発電機群の数は、系統構成全変機台数の増加により幾何学的に増大する。従って、これには優先順位等により、一部の並列発電機群についてののみ最適化問題を考えることとなる。しか