交流および直流電圧印加時のSF₆およびCO₂を含むSF₆混合ガスのPD時系列特性

正員 大塚 信也* 学生員 高村 正樹*
学生員 江口 和寿* 正員 匹田 政幸*

PD Time-sequential Properties of SF₆ and SF₆ Gas Mixture Including CO₂ under ac and dc Voltage Applications

Shinya Ohtsuka*, Member, Masaki Koumura*, Student Member, Kazuhisa Eguchi*, Student Member, Masayuki Hikita*, Member

This paper deals with partial discharge (PD) time-sequential properties of SF₆/N₂/CO₂ ternary gas mixture as well as SF₆ and SF₆/N₂ gas mixture under ac and positive dc voltage applications. The measurements were carried out by changing the gas pressure up to 0.6 MPa and applied voltage with the *N*-shape characteristics of breakdown voltage vs gas pressure for each tested gas considered. We obtained experimental results of gas pressure dependence of maximum peak value of PD current pulse as well as relationship between the time interval of PD pulses and the peak value of PD pulse. We discuss the mechanism of increase in breakdown voltage by adding CO₂ into SF₆/N₂ gas mixtures in terms of change of PD type from streamer to leader discharge.

キーワード：SF₆ ガス，混合ガス，部分放電，時系列特性

Keywords: SF₆ gas, gas mixture, partial discharge, time-sequential properties

1. まえがき

SF₆ ガスは、優れた絶縁特性・消弧性能を有するが温室効果ガスの一種であるため、SF₆ の使用量・排出量低減を目的とした代替ガスの開発やSF₆ の回収・リサイクル技術に関する研究が多数行われている⁽¹⁾⁽²⁾。

現在、SF₆ 代替ガスに関する研究として、SF₆ 混合ガス化^{(1)~(3)}あるいはSF₆ を含まないN₂あるいはCO₂ ガス（ただし10気圧以上の高気圧化⁽¹⁾⁽⁴⁾，あるいは固体絶縁物とのハイブリッド絶縁方式の採用⁽¹⁾⁽⁵⁾）の絶縁特性に関する研究などが行われている。特にSF₆ 混合ガスは、0.7 MPaの20%SF₆/80%N₂ 混合ガスを用いた245 kV GIL が運転され始めた⁽³⁾ ように最も実用化に近い方式である。

筆者等もこれまで、SF₆/N₂ 混合ガスにCO₂ を混合したSF₆/N₂/CO₂ 3種混合ガスの絶縁特性に関する研究を体系的に行っており^{(6)~(10)}，特に実器相当の同軸円筒電極を用いた実験で、CO₂ 混合により絶縁破壊電圧が上昇すること

を確認し、10%SF₆/30%N₂/60%CO₂ 混合ガスを0.9 MPaまで加圧することで0.5 MPaのSF₆ とほぼ同等の絶縁耐力となることを明らかにしている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。この結果は、混合ガス化によりSF₆ 使用量を0.5 MPaのSF₆ と比べて82%低減できることを示している。このようなCO₂ 混合による破壊電圧上昇機構は、高気圧領域までリーダ放電への転移が抑制されていることに起因していることを示唆した⁽⁶⁾。これらの解釈は、CO₂ の解離により生じるCOはN₂ より高い解離エネルギーを持つことや、不平等電界下での絶縁破壊電圧-ガス圧力特性ならびに部分放電（PD）発光特性

図1 実験装置の構成

Fig. 1. Experimental setup.

* 九州工業大学工学部電気工学科
〒805-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1
Department of Electrical Engineering, Kyushu Institute of Technology
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 805-8550

の測定結果から考察された⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾。

本論文では、 $\text{SF}_6/\text{N}_2/\text{CO}_2$ 混合ガスの絶縁破壊機構ならびに CO_2 混合によるリーダ放電への転移抑制効果を更に検討するため、直流ならびに交流電圧下で、絶縁破壊電圧のガス圧力依存性（絶縁破壊電圧の N 字型特性）を考慮して印加電圧とガス圧力を変化させて $\text{SF}_6/\text{N}_2/\text{CO}_2$ 混合ガスの部分放電（PD）電流パルス時系列特性（以下では PD 時系列特性と呼ぶ）を詳細に調べた。また、比較検討のため、 SF_6 および SF_6/N_2 混合ガスの PD 時系列特性を同様に測定した。更に、それらの結果から PD 電流パルスの発生時間間隔と波高値の関係を統計解析し、PD 時系列特性を定量的に評価すると共にストリーマ放電からリーダ放電への PD 形態の変化を議論した。

2. 実験装置と方法

図 1 に PD 時系列特性測定のための実験装置の構成を示す。装置構成は基本的に従来と同様である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。圧力容器

図 2 交流および正極性直流電圧印加時の各試験ガスの絶縁破壊電圧と正極性部分放電開始電圧のガス圧力依存性

Fig. 2. Gas pressure dependence of breakdown and positive PD inception voltages for each tested gas under ac and positive dc voltage application.

図 3 正極性直流電圧印加時の各試験ガスの PD 時系列特性 ($V_n = 0.8$)

Fig. 3. PD time sequential properties of each tested gas of positive dc voltage application ($V_n = 0.8$).

内に設置した針対平板電極（先端曲率半径 0.5 mm，ギャップ長 10 mm，電界不平等係数 14.5）に正極性の直流電圧ならびに交流電圧を印加し，PD を発生させた。試験ガスは， SF_6 と SF_6 混合ガス（50% SF_6 /50% N_2 混合ガスおよび本電極条件下で 50% SF_6 / N_2 混合ガスにおいて最も絶縁破壊電圧が高くなる CO_2 混合割合である 50% SF_6 /49% N_2 /1% CO_2 混合ガス⁽⁶⁾⁽⁷⁾）の 3 種類とした。何れのガスも 0.1～0.6 MPa の範囲内でガス圧力を変化させた。

図 2 に、各試験ガスの交流および正極性直流電圧印加時の部分放電開始電圧 V_{PD} および絶縁破壊電圧 V_B のガス圧力 P 依存性を示す（瞬時値表示）。同図から明らかなように、各試験ガスの V_B と V_{PD} は、交流および直流電圧でほぼ同一である。これまでと同様に、 V_B - P 特性における V_B の最大値を V_{Bm} ，そのときのガス圧力を P_m とそれぞれ定義する⁽⁶⁾。50% SF_6 /49% N_2 /1% CO_2 混合ガスの P_m は 0.4 MPa であり、 SF_6 および 50% SF_6 /50% N_2 混合ガスと比べて高気圧側にシフトしている（ SF_6 および 50% SF_6 /50% N_2 混合ガスの P_m は 0.2 と 0.25 MPa である）。試験ガスにより V_B と V_{PD} は異なるため、各試験ガスの絶縁特性を規格化して議論できるように (1) 式で定義される規格化電圧 V_n を導入する⁽⁹⁾。

$$V_n = (V_a - V_{PD}) / (V_B - V_{PD}) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 V_a は印加電圧である ($V_a > V_{PD}$)。なお、 $V_a = V_{PD}$ では $V_n = 0$ ， $V_a = V_B$ では $V_n = 1.0$ となる。

PD 電流の時系列特性は、50 Ω のインピーダンス整合回路を介してロングメモリデジタルオシロスコープ（500 MS/s，500 MHz）で測定した⁽⁹⁾。直流電圧印加時は 1 ms 間を、交流電圧印加時には、正の半サイクルをそれぞれ測定した。

3. 実験結果

3.1 正極性直流電圧印加時の特性 正極性直流電圧印加時の 1 ms 間における各試験ガスの典型的な PD 時系列特性を図 3 に示す。0.1 MPa では、図 3 (a-1～c-1) のように何れのガスも 5 mA 以下の小さなパルスが連続的に

図 4 正極性直流電圧印加時の 1 ms における各試験ガスの PD パルス数と最大 PD 電流波高値の規格化電圧依存性

Fig. 4. Normalized voltage dependence of PD pulse number and maximum PD current for each tested gas for 1 ms under positive dc voltage application.

発生している。印加電圧を上昇しても試験ガスによる顕著な相違は認められなかった。これに対し、ガス圧力を増加させると、図 3 (a-2, b-2) のように各試験ガスの P_m 付近になると 5 mA を越える大きなパルスが散発的に発生するようになった。一方、図 3(c-2) のように P_m に達しない圧力条件では、そのような大きなパルスの発生は見られなかった。同図 (c) の 50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスでは、 P_m となる 0.4 MPa でそのような大きなパルスの発生が確認された。このように、各試験ガスの PD 時系列特性は、 P_m により特徴づけられるがほぼ同一であることがわかった。

図 4(a), (b) に、図 3 のような直流電圧印加 1 ms 間における各試験ガスの PD パルス数 N ならびに PD 電流パルスの最大波高値 I_{Pmax} の規格化電圧 V_n 依存性をそれぞれまとめる。本統計結果は、10 回の測定データを平均化したものであり、ノイズならびに反射パルスの影響を除去するため、10 ns 以内に発生したパルスで直前のパルスよりも波高値の小さなものは統計から除外している。

図 4(a) から、パルス数 N は、 V_n に比例して上昇し、圧力と共に増加していることがわかる。また、試験ガスによる顕著な差は認められず、特に 0.1 MPa と P_m ではほぼ等しい。一方、 I_{Pmax} は図 4(b) からわかるように、基本的に N と同様に V_n に比例して上昇している。 P_m になると 5 mA を越える大きなパルスが発生するようになり、 I_{Pmax} は V_n の増加に対し急激に大きくなる。ただし、0.1 MPa と P_m での I_{Pmax} は、各試験ガスでほぼ等しい。このように、0.1 MPa および P_m のパルス数 N と I_{Pmax} の V_n 依存性は試験ガスによらずほぼ一致しており、直流電圧下での PD 時系列特性は V_B - P 特性の N 字型特性で規格化すると統一的に取り扱えることが示唆される。また、本結果から、CO₂ 混合により、他の試験ガスよりも高いガス圧力

までパルス数ならびに大きなパルスの発生が抑制されることが示された。

3.2 交流電圧印加時の特性 交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの典型的な PD 時系列特性を図 5 に示す。0.1 MPa の $V_n = 0$ 付近 (即ち V_{PD} 付近) では、図 5 (a-1 ~ c-1) のように最初に 10 mA を越える大きなパルスが発生した後に小さなパルスが継続するような特性である。 V_n を増加すると、図 5 (a-2 ~ c-2) のように最初の大きなパルスの発生はなくなった。また、これらの図からわかるように、SF₆ と混合ガスの間では PD 時系列特性に明らかな相違が認められる。即ち、SF₆ では PD パルスは連続的に発生しているのに対し、混合ガスでは PD パルスの発生がない間欠区間が存在し、パルス群が局在する櫛の歯状の分布となる。なお、図 5 (a-3 ~ c-3) に示すように、ガス圧力を P_m に増加させると、図 3 に示した直流電圧印加時と同様に、10 mA を越える大きなパルスが発生するようになった。このように、交流電圧印加下の PD 時系列特性は、 P_m により特徴づけられるという点は直流電圧印加時と同一であるが、SF₆ と混合ガス間に明確な特性差が認められた。

図 6(a), (b) に、図 5 に示した交流印加電圧の正の半サイクルにおける各試験ガスの PD パルス数 N ならびにそれらの I_{Pmax} の V_n 依存性をそれぞれ示す。なお、本解析結果は、図 4 と同様の平均化処理ならびにパルス除去を行っている。

図 6(a), (b) から、パルス数 N と I_{Pmax} は、基本的に混合ガスは SF₆ より小さいことがわかる。また、図 6(a) のようにパルス数 N は、SF₆ では V_n に比例して増加しているが、混合ガスでは飽和傾向を示すことがわかる。一方、図 6(b) のように、何れのガスも P_m 近くで 10 mA を越える大きな PD パルスが発生するようになり、 I_{Pmax} はおお

図 5 交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの PD 時系列特性

Fig. 5. PD time sequential properties of each tested gas for a positive half cycle under ac voltage application.

図 6 交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの PD パルス数と最大 PD 電流波高値の規格化電圧依存性

Fig. 6. Normalized voltage dependence of PD pulse number and maximum PD current for each tested gas for a positive half cycle under ac voltage application.

よそ V_n の増加に伴い大きくなっている。その大きさは直流の場合 (図 4(b)) より大きい。このように、交流電圧下においても、 CO_2 混合によりパルス数ならびに大きなパルスの発生が抑制されていることが示された。また、0.2 MPa の図 4 と図 6 の結果を比較すると明かなように、交流電圧下の CO_2 混合による抑制効果は直流の場合より大きなことがわかる。

4. 考 察

4.1 大きな波高値を有する PD 電流の発生 以上の結果から、ガス圧力が P_m に近づくとき PD 時系列中に直

流では 5 mA、交流では 10 mA を越えるような大きな PD 電流パルスが離散的に発生し (図 3, 5), そのような大きな電流パルスの最大波高値 I_{Pmax} は V_n と伴に増加することがわかった (図 4(b), 6(b))。ここで、交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの 10 mA を越える PD 電流パルス個数を図 7 に示す。50%SF₆/50%N₂ 混合ガスを除いて、発生個数は V_n と伴に顕著に増加し、 $V_n = 0.8$ では、SF₆ では平均 90 個程度、50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスでは平均 30 個程度発生することがわかる (発生パルス全体数に占めるこれらの割合は、共に 0.4%程度である)。なお、直流でも同様に、5 mA を越えるような大きな電流

図 7 交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの 10 mA を越えるパルス数の規格化電圧依存性

Fig. 7. Number of PD pulses over 10 mA for each tested gas for a positive half cycle under ac voltage applications.

図 8 PD 時系列特性における I_P と T_D の定義

Fig. 8. Definition of I_P and T_D in PD time-sequential properties.

パルスの発生個数は V_n と共に増加し、1 ms 間に $V_n = 0.8$ では、SF₆ では平均 10 個程度、50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスでは平均 20 個程度発生した⁽⁹⁾。これらの結果は、詳しくは後述するが、このような大きなパルスはリーダ放電に対応しているものと考えられるため、ストリーマ放電とリーダ放電の識別に基づく絶縁診断の際の基礎データとしての活用が考えられる。

4.2 PD 電流パルスの発生時間間隔と波高値の関係

前節で対象とした大きな波高値を有する PD 電流パルスの発生機構を更に議論するため、図 8 のように、PD 電流パルスの発生時間間隔を T_D 、 T_D 後に発生する電流パルスの波高値を I_P とそれぞれ定義し、 T_D と I_P の関係を検討する。

図 9 に、図 3 に示した正極性直流電圧印加時の各試験ガスの PD 時系列特性の I_P - T_D 特性を示す（10 回の測定データの累積）。同図から、同一 T_D においても I_P はばらつきを有することがわかる。この同一 T_D における I_P のばらつきは、それ以前に発生した PD の空間電荷による針電極先端近傍の局所電界の時間的不均一性、および針先端に向かう PD の空間的な発生場所の相違に起因するものと考えられる。次に、 P_m 以下の I_P - T_D 特性は、例えば図 9

(a-1 ~ c-1) のように、 T_D が大きくなるほど I_P の最大値は大きくなるような「くさび形」状に分布している。一方、 P_m になると、例えば図 9 (b-4, c-4) のように、数 10 ns 以下の時間領域に大きな I_P が現れ「V 字型」状の分布になることがわかる。即ち、これらの結果から、図 3 で確認された P_m になると発生する 5 mA を越える大きな PD パルスは、長い T_D を経過して発生しているのではなく、数 10 ns 以下の短いパルス間隔で発生していることがわかる。なお、図 5 に示した交流電圧印加時の PD 時系列特性も、図 9 と同様に P_m になると I_P - T_D 分布は「V 字型」状になることを確認しており⁽¹⁰⁾、交流電圧下で P_m になると発生する 10 mA を越える大きな PD パルスは、直流の場合と同様に数 10 ns 以下のパルス間隔で発生していることがわかった。ここで、図 9(d) に示すように、数 10 ns 以下の時間領域を T_A 、それ以上の時間領域を T_B と定義する。

ガス圧力を増加させていき P_m になると、領域 T_A に大きなパルスが発生するようになり、 I_P - T_D 分布は「くさび形」状から「V 字型」状に変化することは上述の通りである。Takahashi ら⁽¹¹⁾ は、0.1 MPa の SF₆ 中で本実験と同一サイズの針対平板電極に直流電圧を印加して PD 時系列特性を調べ、 I_P - T_D 分布が「V 字型」状になる理由を正イオンの移動によるコロナ緩和作用に基づき説明している。即ち、領域 T_A では、針電極径方向への正イオンの拡散によりコロナ緩和の作用が強まるため T_D と共に I_P は小さくなる。一方、領域 T_B では、軸方向（ギャップ空間）への正イオンのドリフトによりコロナ緩和の作用が弱まるため T_D と共に I_P は大きくなる、と説明している⁽¹¹⁾。

他方、図 9 の各試験ガスの I_P - T_D 特性を 10 mA 以下を拡大して条件ごとに図 10 のように重畳して示すと、以下のことが指摘される。即ち、0.2 MPa、 $V_n = 0.2$ の図 10(b) で、 T_A と T_B の両領域で 50%SF₆/50%N₂ 混合ガスと 50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスの I_P - T_D 分布は非常によく一致している。一方、同圧力で $V_n = 0.8$ の図 10(c) では、領域 T_B では両ガスの I_P - T_D 分布は等しいものの、領域 T_A では 50%SF₆/50%N₂ 混合ガスは大きな I_P を有するパルスが発生しているが 50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスでは発生はなく、 I_P - T_D 分布は異なっている。また、SF₆ の I_P - T_D 分布は、0.2 MPa、 $V_n = 0.2$ の図 10(b) ではこれら混合ガスの分布と異なるが、同圧力で $V_n = 0.8$ の図 10(c) では一致している。このような各試験ガスの I_P - T_D 特性の変化を、各試験ガスを構成するガス分子のイオンの移動度の相違によるコロナ緩和作用の影響だけにに基づき解釈することは困難と思われる。特に、2 種と 3 種混合ガスに対して、領域 T_B での I_P - T_D 特性は同一であり領域 T_A だけの特性が一致しない理由を、1%の CO₂ 混合による拡散状態の変化に基づき説明することはできないであろう。従って、領域 T_A での大きな I_P を持つパルスの発生は、イオンの移動が影響を受けた結果と考えるよりも、PD 形態の変化によるものと考えの方が、以下の点からも妥当であると思われる。即ち、領域 T_A における大きな PD パ

図 9 正極性直流電圧印加時の各試験ガスの I_P - T_D 特性

Fig. 9. I_P - T_D properties of each tested gas under positive dc voltage application.

図 10 図 9 における各試験ガスの I_P - T_D 特性比較

Fig. 10. Comparison of I_P - T_D properties of each tested gas shown in Fig. 9.

ルスは、ガス圧力 P_m で発生し、且つ直前のパルス発生後の数 10 ns 以内に発生していることから、リーダ放電の発生を示唆するダブルパルス現象⁽¹²⁾に相当するものと解釈できる。そのため、この領域 T_A で発生する大きな PD パルスはリーダ放電に対応するものと考えられ、 I_P - T_D 分布の「くさび形」状から「V 字型」状への変化は、リーダ放電発生に起因した変化と理解できる。

従って、このような大きな PD パルスがリーダ放電であるかの検証は必要であるが、 CO_2 混合により PD パルスの発生数ならびにリーダ放電に相当する大きな PD パルスの発生が高気圧まで抑制されることが示された。また、本結果は、 CO_2 混合により高気圧領域までリーダ放電の発生が抑制されているため、より高気圧までコロナ緩和作用が持続し絶縁破壊電圧が上昇するという従来の検討⁽⁶⁾⁽⁷⁾を支持

図 11 交流電圧印加時の正の半サイクルにおける各試験ガスの I_P-T_D 特性比較

Fig. 11. Comparison of I_P-T_D properties of each tested gas for a positive half cycle under ac voltage application.

するものである。

なお、図 5 に示した交流電圧印加時の PD 時系列特性を、図 10 のように各試験ガスの I_P-T_D 特性を条件ごとに重畳して示すと図 11 のようになる (30 mA 以下を拡大)。図 10 の直流の場合と比較すると、混合ガスの I_P-T_D 特性は直流の結果とほぼ同一であるが、SF₆ は直流の結果より I_P がずっと大きくなっていることがわかる。この結果は、混合ガスは印加電圧の極性反転の影響を受けにくいことを示唆するものと考えられる。

5. む す び

本研究では、CO₂ 混合による SF₆/N₂/CO₂ 混合ガスの絶縁破壊電圧上昇機構を検討するため、50%SF₆/49%N₂/1%CO₂ 混合ガスおよび SF₆、50%SF₆/50%N₂ 混合ガスの PD 時系列特性を正極性直流電圧ならびに交流電圧下で、絶縁破壊電圧のガス圧力依存性 (N 字型特性) を考慮して印加電圧およびガス圧力を変化させて詳細に実験により調べた。その結果、CO₂ 混合により PD パルスの発生数ならびに大きな電流波高値を持つパルスの発生、即ちリーダ放電の発生が高気圧領域まで抑制されていることが示された。また、PD パルスの時系列特性 (I_P-T_D 特性) のパターンの変化、即ち「くさび形」状から「V 字型」状の変化によりリーダ放電発生の識別ができる可能性があることがわかった。今後は、CO₂ 混合による高気圧領域までのリーダ放電の転移抑制のメカニズムを明らかにするため、PD 発光の光学測定に基づきリーダ放電発生条件を検討していく予定である。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費若手研究 (A) により実施したものである。記して感謝する。

(平成 15 年 5 月 26 日受付, 平成 15 年 8 月 4 日再受付)

文 献

- (1) 「SF₆ の地球環境負荷と SF₆ 混合・代替ガス絶縁」, 電気学会技術報告, No.841 (2001)
- (2) L.G. Christophorou and R.J. Van Brunt: "SF₆/N₂ Mixtures Basic and HV Insulation Properties", *IEEE Trans. DEI*, Vol.2, No.5, pp.952-1003 (1995)
- (3) G. Schöffner, W. Boeck, and A. Diessner: "Attenuation of UHF signals in GIL", *Proc. of 12th ISH*, Vol.2, pp.453-456 (2001)
- (4) M. Shiiki, M. Sato, M. Hanai, and K. Suzuki: "Dielectric performance of CO₂ gas compared with N₂ gas", *Gaseous Dielectrics IX*, pp.365-370 (2001)
- (5) H. Goshima, M. Yashima, and H. Fujinami: "Investigation of dielectric characteristics of compressed nitrogen, air and gas mixtures as alternative insulating gases for SF₆", *CRIEPI Report*, No.T97027 (2002) (in Japanese)
五島久司・八島政史・藤波秀雄:「SF₆ 代替ガスとしての高気圧窒素・空気および混合ガスの絶縁特性」, 電中研報告, No.T97027 (1998)
- (6) S. Ohtsuka, S. Nagara, M. Koumura, Y. Hashimoto, M. Nakamura, and M. Hikita: "Insulation properties of CO₂/N₂/50%SF₆ gas mixture under nonuniform field", *T. IEE Japan*, Vol.121, No.7, pp.830-836 (2001-7) (in Japanese)
大塚信也・永良俊治・高村正樹・橋本洋助・中村道昭・匹田政幸:「不平等電界における CO₂/N₂/50%SF₆ 混合ガスの絶縁特性」, 電学論 B, **121**, 7, pp.830-836 (2001-7)
- (7) S. Ohtsuka, M. Koumura, M. Cho, Y. Hashimoto, M. Nakamura, and M. Hikita: "Insulation properties of CO₂/N₂ gas mixture with a small amount of SF₆", *Gaseous Dielectrics IX*, pp.295-300 (2001)
- (8) S. Ohtsuka, M. Koumura, M. Cho, M. Shiiki, K. Suzuki, and M. Hikita: "Flashover voltage characteristics of CO₂/N₂/SF₆ gas mixture under uniform field", *T. IEE Japan*, Vol.122-B, No.3, pp.429-435 (2002-3)
大塚信也・高村正樹・趙 孟佑・椎木元晴・鈴木克巳・匹田政幸:「平等電界における CO₂/N₂/SF₆ 混合ガスの絶縁特性」, 電学論 B, **122**, 3, pp.429-435 (2002-3)
- (9) M. Koumura, K. Eguchi, S. Ohtsuka, M. Cho, M. Nakamura, and M. Hikita: "Time-sequential characteristics of partial discharge in SF₆/N₂/CO₂ gas mixture under dc non-uniform field", *Proc. of 2001 J-K Joint Symp. on ED and HVE*, pp.337-340 (2002)
- (10) S. Ohtsuka, M. Koumura, K. Eguchi, M. Cho, M. Nakamura and M. Hikita: "Time-sequential of partial discharge pulses and impulse light emission characteristics in SF₆/CO₂/N₂ gas mixture", *Proc. of the 13th Annual Conference of Power & Energy Society, IEE Japan*, Vol.B, pp.382-383 (2002) (in Japanese)
大塚信也・高村正樹・江口和寿・趙 孟佑・中村道昭・匹田政幸:「SF₆/N₂/CO₂ 混合ガスの部分放電時系列およびインパルス発光」, 平成 14 年電気学会電力・エネルギー部門大会, Vol.B, pp.382-383 (2002)
- (11) T. Takahashi, N. Hayakawa, S. Yuasa, S. Okabe, and H. Okubo: "Space charge behavior and corona stabilization effect in SF₆ gas viewed from sequential generation of a dc partial discharge", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.34, pp.1878-1884 (2001)

-
- (12) H. Okubo and N. Hayakawa: "Electrical insulation diagnosis and breakdown prediction of gas insulated power apparatus based on partial discharge mechanism", Gaseous Dielectrics IX, pp.199-204 (2001)

大塚 信也 (正員) 1971年1月16日生。94年3月九州大学

工学部電気工学科卒業。96年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。98年12月九州大学大学院システム情報科学研究科電気電子システム工学専攻博士課程修了。96年4月~98年12月日本学術振興会特別研究員。99年1月日本学術振興会特別研究員PD。同年2月日本学術振興会特別研究員PDを辞退した後、九州工業大学工学部助手、現在に至る。主として、SF₆代替環境低負荷形絶縁媒体ガスの絶縁特性、部分放電測定に基づく電力機器の絶縁診断技術の開発、および超伝導工学に関する研究に従事。博士(工学)。低温工学協会、放電学会会員。

高村 正樹 (学生員) 1977年5月10日生。2000年3月九州工業大学工学部電気工学科卒業。2002年3月同大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。同年4月九州電力株式会社入社、現在に至る。

江口 和寿 (学生員) 1978年5月15日生。2001年3月九州工業大学工学部電気工学科卒業。2003年3月同大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。同年4月東京電力(株)入社、現在に至る。

匹田 政幸 (正員) 1953年10月23日生。82年3月名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年4月同大学助手、89年同講師、92年同助教授を経て、96年4月より九州工業大学工学部電気工学科教授、現在に至る。工学博士。主として、エネルギー機器の高性能化に関する研究に従事。85年8月~87年7月MIT高電圧研究所客員研究員。95年電気学会論文賞、96年電気学会進歩賞。

応用物理学会会員、IEEE会員。