

放電パラメータ測定 (23)

CO₂+SF₆混合ガスの電離係数の測定

長谷川 博 一*・佐藤 義 則**
村 井 国 昭***・下 妻 光 夫****

Measurement of the Gas Discharge Parameter (23)

Measurement of the Ionization Coefficient in CO₂+SF₆ mixtures

Hirokazu HASEGAWA, Yoshinori SATO,
Kuniaki MURAI and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

CO₂+SF₆ 混合ガスの電離係数および電子付着係数等を $100 \leq E/p \leq 400$ V/cm Torr, 圧力 $p = 1 \sim 5$ Torr, ギャップ長 2~20 mm の範囲で測定した。また, 混合率をパラメータにして $[E/p]_{lim}$ を求めた。測定結果より低 E/p では, 電離係数は SF₆ の混合率を増すと減少し, 電子付着係数は増加した。しかし高 E/p では, 電離係数は増加した。二次電離係数は SF₆ の混合率を増すと減少した。

Abstract

The ionization and attachment coefficients have been measured in CO₂+SF₆ mixtures over the range of $100 \leq E/p \leq 400$ V/cm Torr and gas pressures varying between 1 and 5 Torr, gap spacings 2 and 20 mm. The limiting values of E/p , $[E/P]_{lim}$, has been obtained by measuring E/p as a function of percentage pressure.

The ionization coefficient has been decreased and attachment coefficients increased by increasing percentage of SF₆ at low E/p . But The ionization coefficient has been increased by increasing percentage of SF₆ at high E/p . The total secondary ionization coefficient has been decreased by increasing percentage of SF₆ at all over the range.

1. 結 言

SF₆ は, その優れた絶縁性能のため気体絶縁材料として電力設備に使用されており, 設備の簡素軽量などの省エネルギー化に役立っている。しかし, さらに一層絶縁性能を高める研究が行われている。一方は, 他の気体による新たな絶縁ガスの開発¹⁾であり, フロン系ガスが有望視されている。他方, ガスを2種および3種混合することで, より高い絶縁性能にしたり, 絶縁性が良くても高価なガス

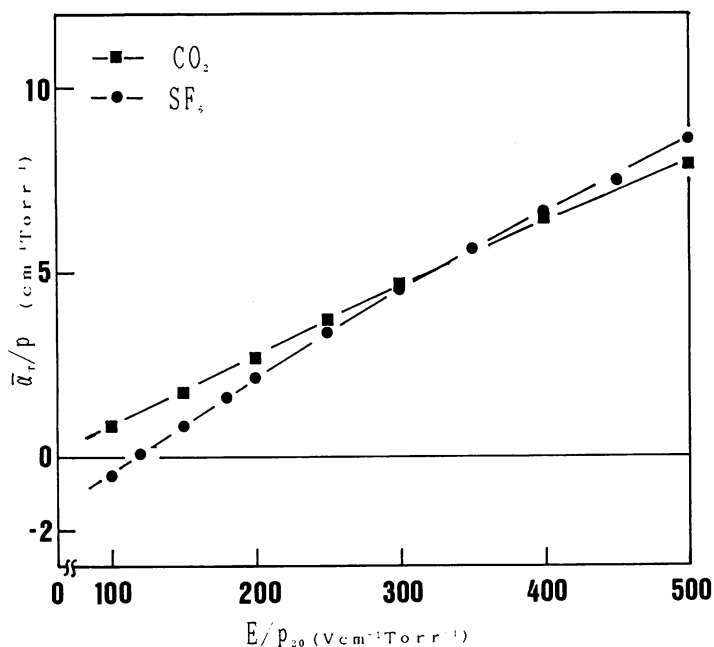
に低絶縁性ではあるが安価なガスを混合して, もとの高絶縁性能に近い性能を引出す絶縁材料の研究²⁾が行われている。これらの混合ガスの効果を相乗効果 (synergism) と呼んでいる。しかしこれら混合ガスの絶縁性能向上の研究をするうえで重要である絶縁破壊の解析に必要な基礎パラメータである電離係数の測定の研究³⁾は, まだあまり多くない。筆者らはすでに絶縁用混合ガスの電離係数を測定すべく, SF₆+air 混合ガスの高 E/p における電離係数測定の報告⁴⁾をした。さらに最近, CO₂ に SF₆ を混ぜることで CO₂ の絶縁耐力を改善する研究⁵⁾が行われているが, これらの混合ガスの電離係数の測定は少なく, Lee(1983)⁶⁾により $75 \leq E/p \leq 140$ V/cm Torr の狭い範囲で測定されている程度である。筆者らは, これらの測定範囲を広げるべ

* 助 手 電気工学科

** 助教授 電気工学科

*** 教 授 電気工学科

**** 助教授 北海道大学

図1 CO₂, SF₆単ガスの $\bar{\alpha}_T/p$ の測定値

く, $100 \leq E/p \leq 400$ V/cm Torr で SF₆ の混合率をパラメータにして CO₂+SF₆ 混合ガスの電離係数を測定したのでここに報告する。

2. 測定装置と実験方法

測定装置は、今までに筆者らが電離係数を測定してきたもの⁷⁾であり、ここでは説明を省略する。実験方法はギャップ長 d に対する電離電流 I をエレクトロメータで測定し、電離電流増倍曲線よりカーブフィティング法で電算機により各係数を算出した。実験中の測定気圧 p は、 $E/p=100, 150$ V/cm Torr で $p=5$ Torr, $E/p=200$ V/cm Torr で $p=3$ Torr, $E/p=300$ V/cm Torr で $p=2$ Torr, $E/p=400$ V/cm Torr で $p=1$ Torr 一定で測定した。また、CO₂ に対して SF₆ の混合率 k を 0~100% 変化させて、分圧比の小さいガスからチェンバに導入して混合の均一化を行うように圧力を設定した。なお、測定気圧 p は、20°C に換算してある。

3. 実験結果と考察

3.1 実効電離係数 $\bar{\alpha}_T/p$

図1は、CO₂, SF₆ ともに単ガスにおける $\bar{\alpha}_T/p$ の測定結果である。図1より SF₆ の臨界換算電界 $[E/p]_{lim}$ は、約 120 V/cm Torr と求まる。また、

$\bar{\alpha}_T/p$ は $E/p=350$ V/cm Torr を境にしてそれより低 E/p では、CO₂ の値の方が SF₆ の値より大きく、高 E/p では、逆に CO₂ の値の方が小さくなっている。図には示していないが CO₂, SF₆ ともに単ガスの $\bar{\alpha}_T/p$ の値は Bhalla and Craggs⁸⁾⁹⁾ の値と一致している。図2は k をパラメータにしたときの $E/p=100 \sim 200$ V/cm Torr における $\bar{\alpha}_T/p$ の測定値である。比較のために Lee の測定値もプロットしてある。Lee の測定値は、 $E/p=103$ V/cm Torr で CO₂ の単ガスの値が本測定値よりわずかに低い値になっているようである。 $E/p=100, 150$ V/cm Torr では、 $\bar{\alpha}_T/p$ は k の増加にともなって単調に減少している。Lee の測定値も同様に単調減少の傾向を示している。さらに $E/p=200$ V/cm Torr では、 $\bar{\alpha}_T/p$ はわずかにうに凸の傾向を示す。Geballe ら¹⁰⁾ により $[E/p]_{lim}$ ($\alpha_T = \eta$ η : 電子付着係数) 以下では放電は生じないこと、またこの値が $p \cdot d$ の大きな場合の放電開始電圧を与えることが報告されており、 $[E/p]_{lim}$ を測定することは絶縁耐力改善を考える上で重要である。図には示していないが CO₂ の単ガスの臨界換算電界 $[E/p]_{lim}$ は、約 30 V/cm Torr であり、図2より CO₂+57% SF₆ 混合ガスのそれは、約 100 V/cm Torr と求められ、CO₂ の単ガスの3倍以上の上昇となっている。図3は、 k をパラメータにしたときの $E/p=300, 400$ V/cm Torr における $\bar{\alpha}_T/p$ の測定値である。 $E/p=300$ V/

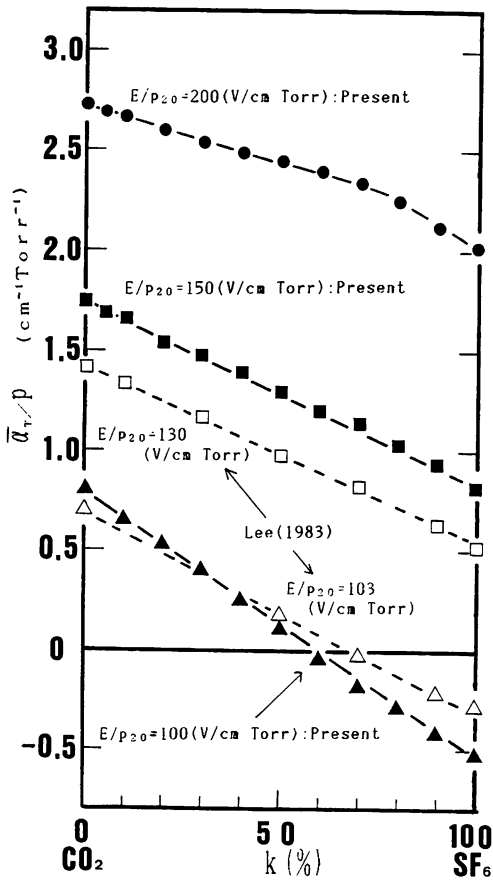


図2 混合率 k をパラメータとしたときの α_T/p の測定値 ($100 \leq E/p \leq 200$)

cm Torr では, $\bar{\alpha}_T/p$ は単調減少の傾向を示す。また $E/p=400$ V/cm Torr では, 逆に単調増加の傾向を示す。さらに高 E/p になると増加の傾きは急な傾向になると考えられる。

3.2 電子付着係数 η/p と二次電離係数 γ_T

図4は, k をパラメータにしたときの $E/p=100, 150$ V/cm Torr における η/p の測定値である。比較のために Lee の測定値もプロットしてある。 k の増加にともなって, Lee の測定値は単調に増加しているが, 本測定値ではわずかにうねに凸の傾向を示す。図5は, k をパラメータにしたときの $E/p=150 \sim 400$ V/cm Torr における γ_T の測定値である。どの E/p においても CO_2 に SF_6 を 10% 混合することで, γ_T は CO_2 単ガスのそれより急激に 1 桁減少している。ここで測定した CO_2 単ガスおよび 10% 混合の $\bar{\alpha}_T$ と γ_T により放電開始条件における開始理論限界電圧 V_r を算出してみる。たとえば, $E/p=$

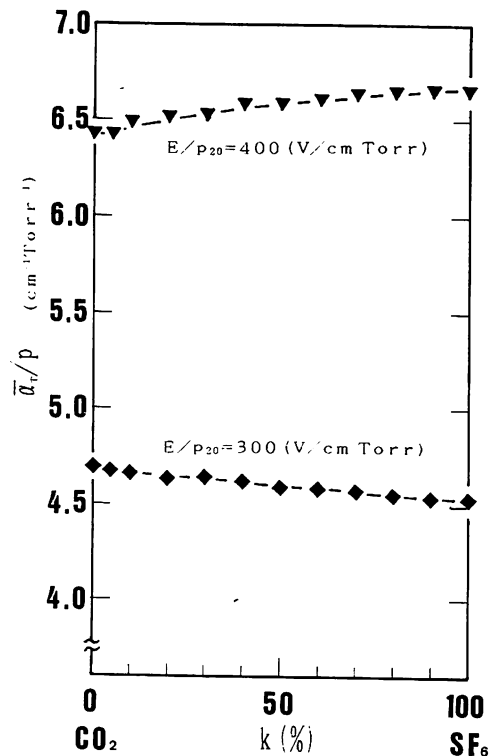


図3 混合率 k をパラメータとしたときの $\bar{\alpha}_T/p$ の測定値 ($300 \leq E/p \leq 400$)

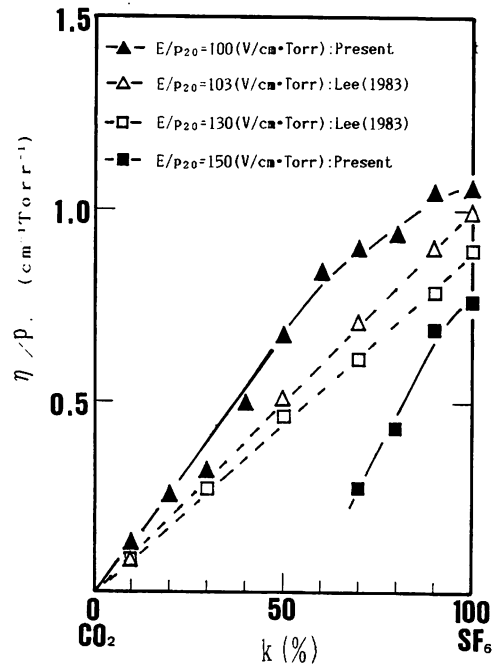


図4 混合率 k をパラメータとしたときの η/p の測定値

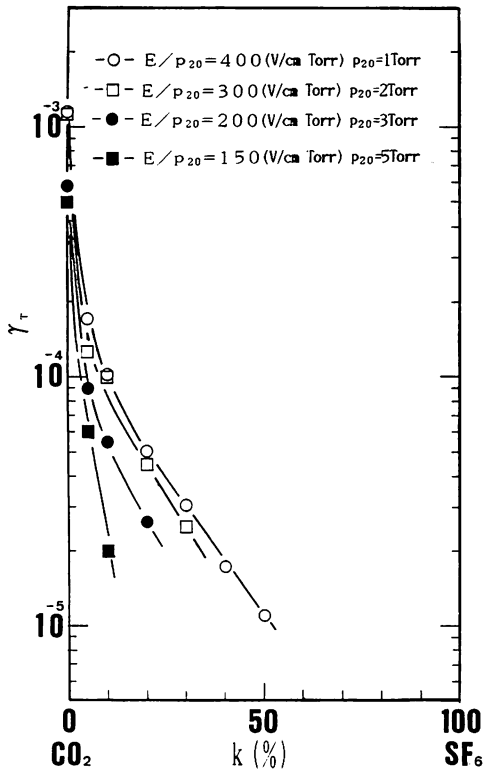


図5 混合率 k をパラメータとしたときの測定値

200 V/cm Torr ($p=1$ Torr) における CO_2 単ガスの V_r は約 546 V であり, また 10% SF_6 のそれは, γ_r が 1 桁減少しているので V_r は約 738 V と求められ, 35% も V_r が上昇するように算出され Lee の報告に合う。ただし, 空間電荷効果は考慮していない。

3.3 絶縁耐力改善に対する測定値の検討

$\text{CO}_2 + \text{SF}_6$ 混合ガスの絶縁耐力改善についての Lee の報告において, 10% SF_6 を混合することで絶縁破壊電圧 (DC) が $p \cdot d = 133 \text{ Pa} \cdot \text{m}$ 一定で球対平板 ($d=30 \text{ mm}$) で CO_2 単ガスのそれに比べ正負極性ともに 1.3 倍以上に上昇するように報告されている。また, 正極性で球対球 ($d=30 \text{ mm}$) では 1.28 倍, 棒対棒 ($d=1 \text{ mm}$) では 2.3 倍の絶縁破壊電圧の上昇が報告されている。これに対し, 今回の測定結果を検討すると SF_6 を混合することで

- 1) α_r/p における $[E/p]_{lim}$ の増加 (57% SF_6 混合により CO_2 単ガスの 3 倍以上)。

- 2) η/p における上に凸の傾向での増加。

- 3) γ_r における急激な減少 (10% SF_6 混合による 1 桁の減少)。

という結果にまとめられ, Lee の報告している絶縁破壊電圧値の改善を定性的にサポートしているものと考えられる。

4. 結 言

$\text{CO}_2 + \text{SF}_6$ 混合ガスの電離係数を $E/p=100 \sim 400 \text{ V/cm Torr}$ の範囲で測定した。その結果, $\bar{\alpha}_r/p$ は低 E/p では単調増加, 高 E/p では単調減少する傾向が明らかになった。また, CO_2 に SF_6 を混合することで, $[E/p]_{lim}$ が上昇し絶縁耐力を改善すると考えられる。また, η/p , γ_r の測定結果も同様に考えられる結果になった。これらは, Lee の絶縁破壊電圧の上昇報告をうらづけるものであり, $\text{CO}_2 + \text{SF}_6$ 混合ガスにおいて相乗効果を示唆することを定性的にサポートするものと考えられる。最後に本報告に御指導御助言いただきました北海道大学工学部田頭昭教授に深く謝意を表します。また, 測定に御協力いただいた第21期生乙部君に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) たとえば Dutton et al, 1973, Proc. IEE, Vol. 120.
- 2) たとえば Takuma et al, 1972, Proc. IEE, Vol. 119.
- 3) Shimozuma et al, 1982, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 15.
- 4) Hasegawa et al, 1988, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 21.
- 5) Malik and Qureshi, 1979, IEE Thans. Electr. Insul., Vol. EI-14 No. 1.
- 6) Lee, 1983, IEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-18 No. 6.
- 7) Hasegawa et al, 1985, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 18.
- 8) Bhalla and Craggs, 1960, Proc. Phys. Soc. LXXVI, Vol. 3.
- 9) Bhalla and Craggs, 1962, Proc. Phys. Soc., Vol. 80.
- 10) Geballe and Reeves, 1953, Phys. Rev., Vol. 3 No. 4.

(昭和63年11月29日受理)