

気体放電パラメータ測定 (7)

—He ガスの電離係数—

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

Measurement of the Gas Discharge Parameter (7) —The Ionization Coefficients in Helium—

Hirokazu HASEGAWA and Yoshinori SATO, Kuniaki MURAI
and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

He ガスの電離係数等を測定した。そして時間を経過させることにより、リーク不純物の混入を増加させ、各パラメータを測定し、不純物の影響を検討した。その結果は、不純物の影響を考慮すると比較したデータと一致した。

Abstract.

Authors measured the ionization coefficients in Helium, also measured these parameters of increased leak impurities after the lapse of time, and discussed the influence of leak impurities. Then the results in the present measurement values agreed with their corresponding data in considering influence of leak impurities.

1. 結 言

He ガスの研究は、多くの研究者によって行なわれている。He ガスは、電力機器のガス絶縁材料 (SF₆ ガスとの混合による劣化改善、絶縁性能向上、コストの低廉化など)、回転機器冷却 (H₂ ガスに代わるもの)、ガスレーザの混合ガス材料 (CO₂ ガスレーザ、Ne-He ガスレーザ等) など数多く使用されている。He ガスの電離係数の測定の報告は、Davies et al⁽⁴⁾ (1962), Chanin and Rork⁽²⁾ (1964), Dutton et al⁽³⁾⁽⁵⁾ (1965, 1967) 等、最近では下妻ら⁽⁶⁾ (1980)、酒井ら⁽⁷⁾ (1981) など数多くなされている。しかし Penning 効果が大きく表われる He ガスの電離係数は、わずかな不純物混入

でも数十%変化することが報告されている。筆者らは、この He ガスの放電基礎パラメータを測定⁽⁸⁾ 算出し、また不純物混入に対する影響も検討するため、時間を経過させることによりもれ不純物の混入を増加させ、各パラメータも測定算出したので報告する。

2. 実験装置、実験方法および解析方法

2-1 実験装置

放電チェンバ、真空排気系装置については、(1) に詳しく述べてあるので、本論文では省略する。Fig. 1 は測定系全体のブロック図である。測定装置のうち改善した機器について述べると、荒引き、背圧用油回転ポンプ (アルカテル社 M 2012 A 型排気速度 250 l/min, 到達圧力 7.5×10^{-5} Torr 以下)、デジタル温度計 (熱電対式, タケダ理研 (株), TR 6824, $-50^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$, 測定精度 ± 0.5 of rdg $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$, 分解能 0.1°C , 温度係数 $\pm (0.01 \text{ of rdg} + 0.3 \text{ digit})/^{\circ}\text{C}$)。実験に使用した純 He ガスは、99.

* 助 手 電気工学科

** 助教授 電気工学科

*** 教 授 電気工学科

**** 北 大 工学部電気工学科

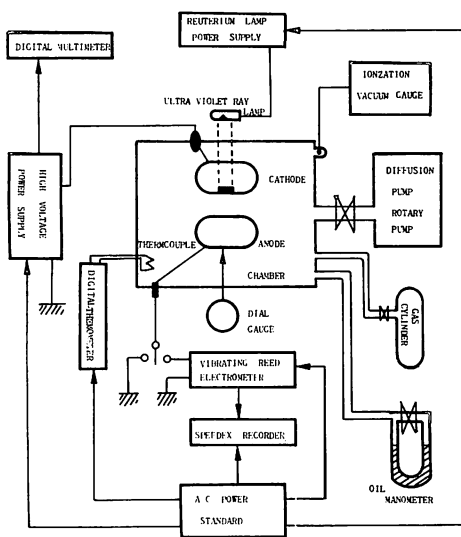


Fig. 1 測定系ブロック図

9999% (日本酸素) である。ガス圧 1 Torr 中での一実験時間 (15~20 分) 内のガスの純度は, 99.99% 以上である。

2-2 実験方法および解析方法

1. 実験方法は, Steady-State Townsend 法で行ない, 電離電流増倍曲線を求めた。実験の測定範囲は, $25 < \text{換算電界 } E/p_0 < 160 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{Torr}^{-1}$, $0.8 < \text{ガス圧 } p_0 < 3 \text{ Torr}$, $3 < \text{ギャップ長 } d < 25 \text{ mm}$, $10^{-13} < \text{電離電流 } I < 10^{-9} \text{ A}$ である。また不純物 (N_2 , H_2 , O_2 , H_2O など) による大気からのリークの影響を調べるため, 時間を経過させて (0.5, 1, 4, 20 時間) 測定を行なった。Fig.2 は, 時間経過させた時の $E/p_0 = 158 \text{ V cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ での電離電流増倍曲線である。

2. 解析方法は, 測定された電離電流増倍曲線に Townsend の電離電流成長式(1)式を用いてカーブフィッティング法により, 電算機を用いて各放電パラメータを算出する。

$$I = I_0 \frac{\exp(\alpha_T \cdot d)}{1 - \gamma_T [\exp(\alpha_T \cdot d) - 1]} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし I_0 : 初期電流, d : ギャップ長, α_T : 電離係数, γ_T : 二次電離係数

3. 実験結果

3-1 電離係数 α_T の結果

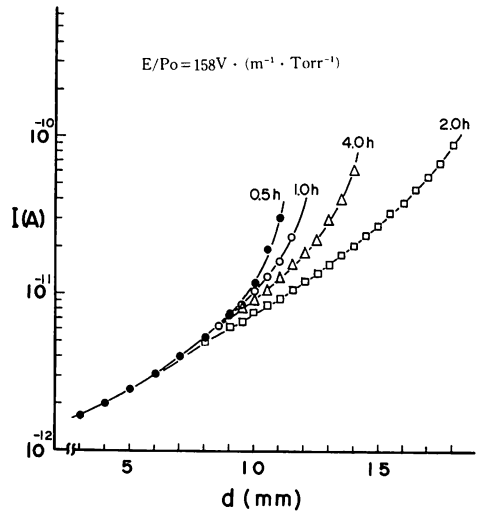


Fig. 2 電離電流増倍曲線

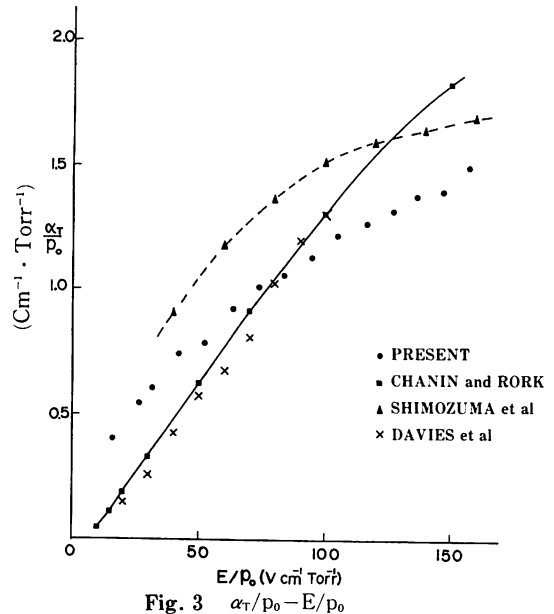
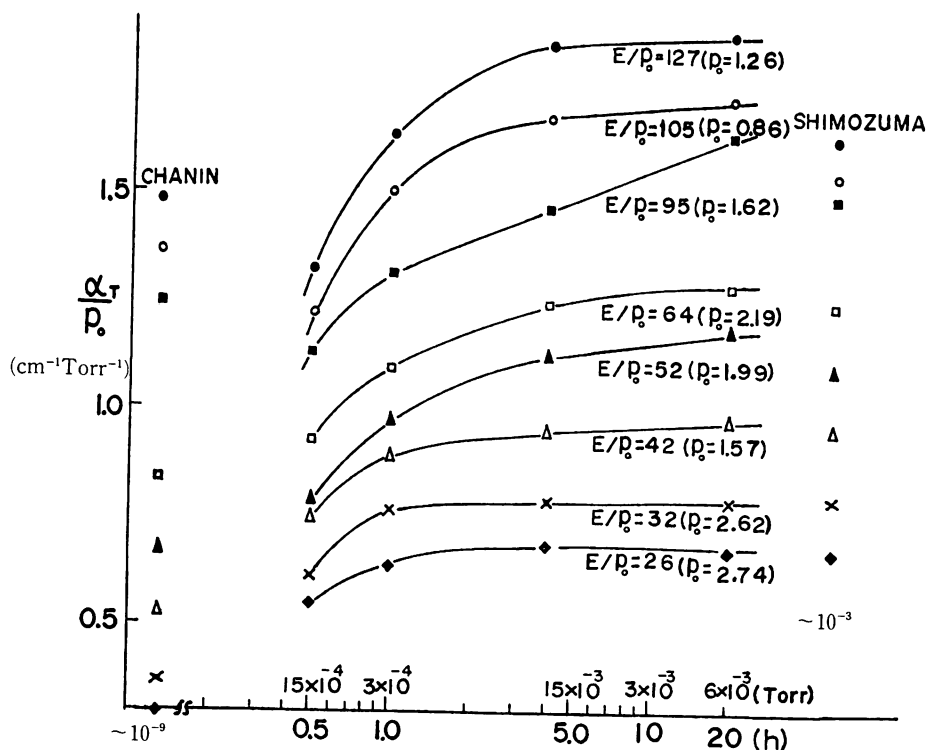
Fig. 3 $\alpha_T/p_0 - E/p_0$

Fig. 3 は, 測定値 α_T/p_0 を E/p_0 に対してプロットしたものである。比較のため Chanin and Rork, Davies et al や下妻らの値も載せてある。本測定値は, バラツキがあり, 不純物の影響を受けているのがわかる。Chanin and Rork や Davies et al の値に比べると $E/p_0 = 80 \text{ V cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ 程度で交差し, それより低い E/p_0 では本測定値は, Chanin and Rork や Davies et al の値より大きくなり, それより高い E/p_0 では, 小さい値となっている。また下妻らの値よりは, 小さな値となっている。

Fig. 4 は, 時間を経過させてもれ不純物の混入を増加させた時の α_T/p_0 の値である。もれ不純物

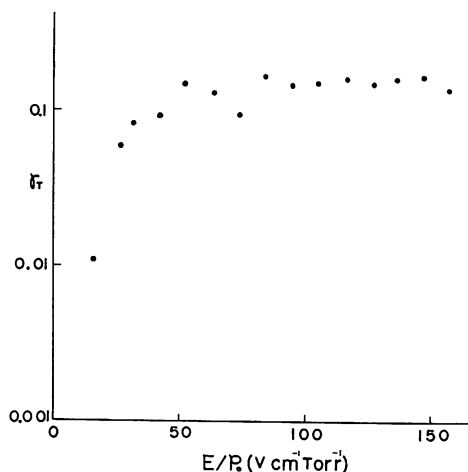

 Fig. 4 α_T/p_0 の時間経過値

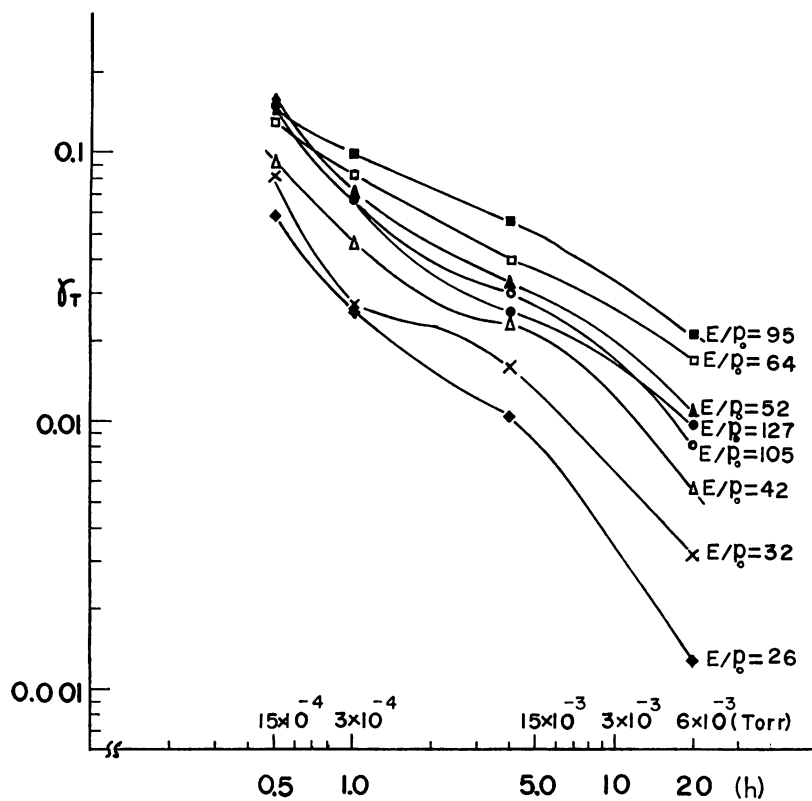
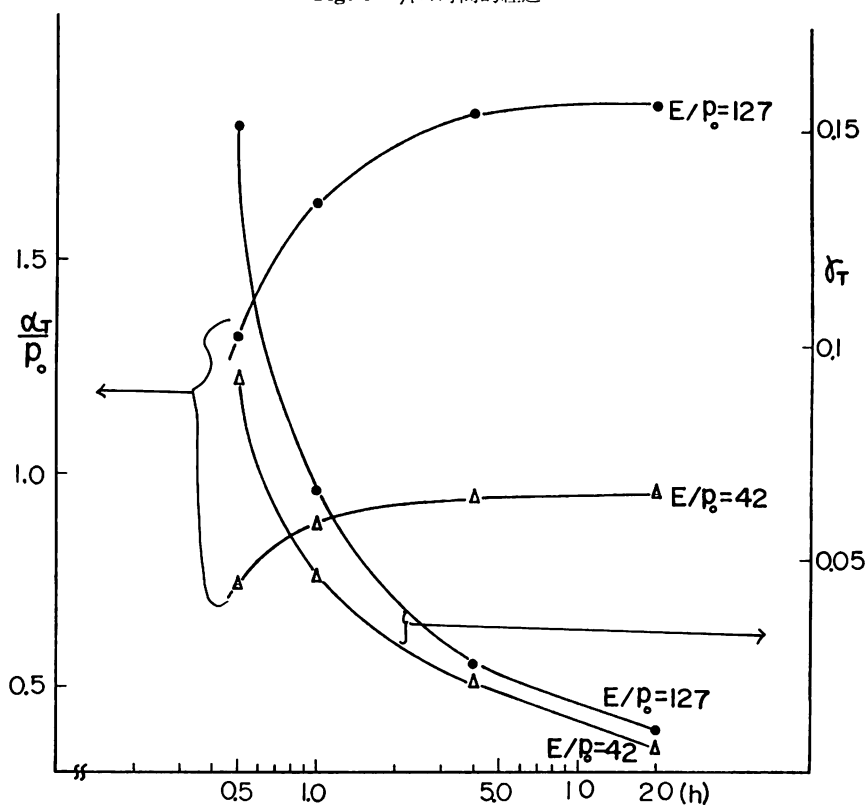
の増加に対して α_T/p_0 が増加するのがわかる。しかも 10^{-4} Torr のオーダまでは、 α_T の値は大きく変化している。しかし 10^{-3} Torr のオーダになると飽和しはじめる傾向になる。この α_T/p_0 の増加は、不純物分子と He 準安定励起原子との衝突による不純物分子の電離 (Penning 電離) が加わるためと考えられる。比較のために曲線の両側に Chanin and Rork の値と下妻らの値もプロットした。Chanin and Rork の測定装置は、到達真空度 10^{-9} Torr, リーク率 10^{-10} Torr min $^{-1}$ であり、高純度を保ったままでの測定である。 $E/p_0 = 64$ V cm $^{-1}$ Torr $^{-1}$ 以下では、本測定値の延長上になる。また下妻らの測定装置は、到達真空度 2×10^{-6} Torr, リーク率 4×10^{-5} Torr min $^{-1}$ であり 10^{-4} Torr 程度の不純物が混入している。下妻らの値も本測定値の線上に一致する。しかし $E/p_0 = 80$ V cm $^{-1}$ Torr $^{-1}$ 以上では Chanin and Rork の値とは一致しない。これは、Chanin and Rork のパラメータ算出が三点法によるものであり、データの取り方によって算出される α_T の値が大きく変わる場合があり、精度の高い算出ができないと考えられる問題点を含んでいる。

3-2 二次電離係数 γ_T の結果

Fig. 5 は、二次電離係数 γ_T の値を E/p_0 に対してプロットしたものである。測定したガス圧力 $p_0 = 0.85 \sim 3$ Torr と一定ではないが $10^{-1} \sim 10^{-2}$ の範囲にある。また $E/p_0 = 50$ V cm $^{-1}$ Torr $^{-1}$ 以上になると $0.1 \sim 0.2$ の中に入っている。

Fig. 6 は、 γ_T を経過時間に対してプロットした


 Fig. 5 $\gamma_T - E/p_0$

Fig. 6 γ_T の時間的経過Fig. 7 $\alpha_T/p_0 \cdot \gamma_T$ - 経過時間

ものである。不純物混入の増加に伴い γ_T は、減少している。0.5 h と 20 h との間では、約 1 桁小さくなっているのがわかる。 γ_T が減少するのは、Penning 電離による He の励起原子のエネルギーが吸収され、励起原子に関する二次作用たとえば γ_m (準安定原子による陰極からの電子放出作用) や γ_p (励起原子からの光子による電子放出作用) などが小さくなるためと考えられる。

Fig. 7 は、 α_T と γ_T を同一図面にプロットしたものである。 α_T/p_0 の増加と γ_T の減少の状態がよくわかる。

4. 結 言

He ガスの電離係数を不純物混入を考慮しながら測定した。不純物を考慮すると Chanin and Rork とは $E/p_0=64$ 以下ではよく一致した。下妻らとは全 E/p_0 で一致しているようである。また不純物の影響は、 α_T では時間ともに増加する。しかし γ_T は減少することがわかった。この結果より純 He ガスの電離係数は、測定値より小さな値になることがわかる。最後に本報告に御指導御助言いただいた北大工学部田頭教授に深く謝意を表わ

すとともに測定に協力いただいた第 14 期卒業生伊賀君に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 長谷川・佐藤・村井・下妻, 苫小牧高専紀要, 第 16 号, 1981
- (2) L. M. Chanin and G. D. Rork, *Phys. Rev.*, 133A, 1005, 1964
- (3) J. Putton, F. L. Jones and D. B. Rees, *Proc. Phys. Soc.*, Vol. 85, 1965
- (4) D. K. Daves, F. L. Jones and C. G. Morgan, *Proc. Phys. Soc.*, Vol. 80, 1962
- (5) J. Dutton and D. B. Rees, *Brit. J. Appl. Phys.*, Vol. 18, 1967
- (6) 下妻・田頭・長谷川・村井, 電気学会放電研究会資料 ED-80-68, 1980
- (7) 酒井・浅野・林, 昭和 56 年電気学会全国大会論文集, 1981
- (8) 長谷川・佐藤・村井・下妻・田頭, 昭和 57 年電気学会全国大会論文集, 1982

(昭和 57 年 11 月 30 日受理)

