

気体放電パラメータ測定(4)

—N₂の電離係数—

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

Measurement of the Gas Discharge Parameters(4)
—The Ionization Coefficients in Nitrogen—

Hirokazu HASEGAWA, and Kuniaki MURAI, Yoshinori SATO
and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

気体放電パラメータ測定装置を使用して、N₂ガスの電離電流を $40 < E/p_0 < 220 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{Torr}^{-1}$ で測定し、各電離係数(α_T , γ_T)を算出した。 α_T については、他の報告例とよく一致したが γ_T については、異なる結果となった。また従来気体放電パラメータを算出するのに使用されている Gosseries 法と筆者らが行なったカーブフィッティング法を比較検討したのでここに報告する。

1. 緒 言

前号では、測定装置の校正にしばしば用いられている H₂ガスの電離係数を測定し、併せて測定装置の信頼性について検討し、報告した。N₂ガスは、絶縁材料として SF₆ガスとの混合ガス⁽²⁾や気体レーザ用ガス媒体⁽³⁾等広く研究されている。今回は、その基礎となる N₂ガスの放電パラメータを測定したので報告する。N₂ガスの放電パラメータ測定の報告例⁽⁴⁾は、数多くあるが、従来のパラメータの算出する方法は、Folkard and Haydon⁽⁵⁾らのように Gosseries⁽⁶⁾のプロット法が使用されている。筆者らは、現在最も適当と考えられる電算機を使用したカーブフィッティング法(線型化最小二乗法)により各係数を算出した。N₂ガスの放電パラメータ α_T/p_0 の値は、底 E/ p_0 領域で H₂ガスのそれに比べて2桁程度小さく、高 E/ p_0 においてほぼ同じ値をとるようである。今回は、また Gosseries 法による算出も行ないカーブフィッティング法の結果と比較をしたので併せて報告を行なう。

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、ここでは省略をする。測定装置において改善した機器についてのみ記す。デジタルボルトメータ(岩通機, VOAC-757) 4 1/2桁表示, 1 μV ~1000 V, $\pm 0.03\%$ of rdg $\pm 0.02\%$ of range, 平衡記録計(理研電子機, SP-J5D) 確度 $\pm 0.3\%$ (直線性 0.2%) 以内検出感度 $\pm 0.1\%$ 以内, ペン速度 0.4 sec/150mm。実験に使用した N₂ガス純度は、99.999%である。チェンバのリーク率は、 1×10^{-6} Torr/min であるのでガス圧 1 Torr の時の1時間後の純度は、99.993%以上となる。

そのため実験時間(20~30分)中の純度の劣化はほぼほとんどないものと考えられる。

2-2 実験方法および解析方法

a. 実験方法は、定常 Townsend 法(SST法)で行なった。すなわち設定気圧 p , 換算電界 E/ p_0 の条件下で電離電流 I をギャップ長 d の関数として測定する(詳しい方法は、前号に記してある)。実験の測定範囲は、 $40 < E/p_0 < 220 \text{ V cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$,

*助手 電気工学科 **教授 電気工学科
***助教授 電気工学科
****北大工学部 電気工学科

$0.95 < p_0 < 70 \text{ Torr}$, $3 < d < 25 \text{ mm}$, $10^{-13} < I < 10^{-9} \text{ A}$ である。

b.解析方法は、測定で求められた電離電流増倍曲線に Townsend 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。

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

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

Gosseries 法は、(1)式を直線化するために考えられた方法である。このプロット式は、電離電流の逆数を取ったものである。すなわち、あるギャップ長 d における電流値を I_d とする。そして一定間隔 Δd 離れたギャップ長 $d + \Delta d$ における電流値を $I_{d+\Delta d}$ とすると(1)式により $I_d - I_{d+\Delta d}$ を取ると(2)式のようになる。

$$Y_d = \exp(\alpha_T \cdot \Delta d) \cdot Y_{d+\Delta d} + \frac{\gamma_T}{I_0} [\exp(\alpha_T \cdot \Delta d) - 1] \dots\dots\dots(2) \text{式}$$

ただし $Y_d = 1/I_d$, $Y_{d+\Delta d} = 1/I_{d+\Delta d}$

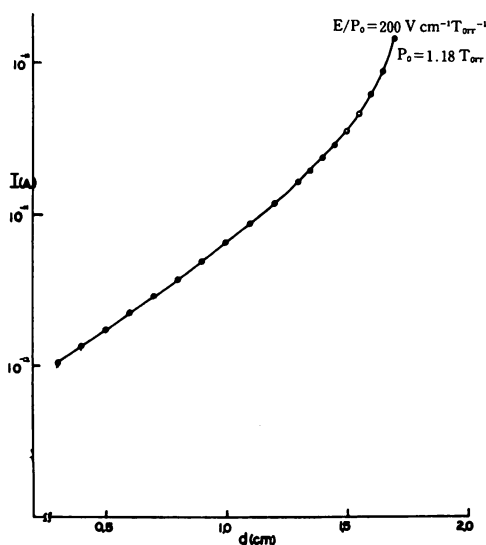


図-1 電離電流増倍曲線

3. 実験結果

3-1 電離係数 α_T の結果

図-1 は、測定した電離電流増倍曲線 ($E/p_0 = 200$) の例である。同様にして測定した曲線より電算機を用いてカーブフィッティングして算出した結果を表-1に示す。この表より α_T/p_0 を E/p_0 に対

表-1 N_2 ガスの各測定値(電算機処理)

$E/p_0 (\text{V} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{Torr}^{-1})$	$\alpha_T/p_0 (\text{cm}^{-1} \cdot \text{Torr}^{-1})$	γ_T
43	1.09×10^{-2}	4.43×10^{-4}
48	2.23×10^{-2}	3.30×10^{-4}
54	3.89×10^{-2}	1.01×10^{-3}
59	6.18×10^{-2}	8.16×10^{-4}
64	9.08×10^{-2}	9.14×10^{-4}
70	1.30×10^{-1}	7.33×10^{-4}
75	1.67×10^{-1}	2.16×10^{-3}
80	2.21×10^{-1}	1.07×10^{-3}
91	3.30×10^{-1}	1.20×10^{-3}
97	4.04×10^{-1}	1.41×10^{-3}
102	4.85×10^{-1}	1.19×10^{-3}
108	5.48×10^{-1}	1.85×10^{-3}
113	6.29×10^{-1}	1.67×10^{-3}
118	7.04×10^{-1}	1.68×10^{-3}
124	7.72×10^{-1}	1.89×10^{-3}
129	8.75×10^{-1}	3.10×10^{-3}
134	9.80×10^{-1}	2.46×10^{-3}
140	1.06	1.86×10^{-3}
145	1.15	2.48×10^{-3}
151	1.26	2.90×10^{-3}
156	1.33	4.63×10^{-3}
162	1.42	6.31×10^{-3}
168	1.62	4.02×10^{-3}
173	1.70	4.25×10^{-3}
179	1.79	4.83×10^{-3}
185	1.82	1.12×10^{-2}
190	1.90	1.23×10^{-2}
196	1.97	1.40×10^{-2}
200	2.06	1.28×10^{-2}
206	2.15	1.35×10^{-2}
212	2.26	1.63×10^{-2}

して表わしたものが図-2である。なお比較のために Folkard and Haydon らの報告例もプロットしてある。測定結果の α_T/p_0 の値は、Folkard and Haydon らの値と比較すると低 E/p_0 領域でよく一致しており、また高 E/p_0 領域では、測定結果の値の方がわずかに低い値 ($E/p_0 = 200$ で約 8%) になっている。

3-2 二次電離係数 γ_T の結果

図-3 は、測定き出した γ_T の値を E/p_0 に対してプロットしたものである。Gosseries プロット法で算出している Folkard and Haydon らの γ_T の値は、図-3 でも明らかなように $E/p_0 = 80$ 前後で極大値を持ちその後一度減少し ($\gamma_T = 0.0040$) $E/p_0 = 600$ 以上で増加して行く。この極大値は、光電子の放出による γ_T や準安定状態からの励起分

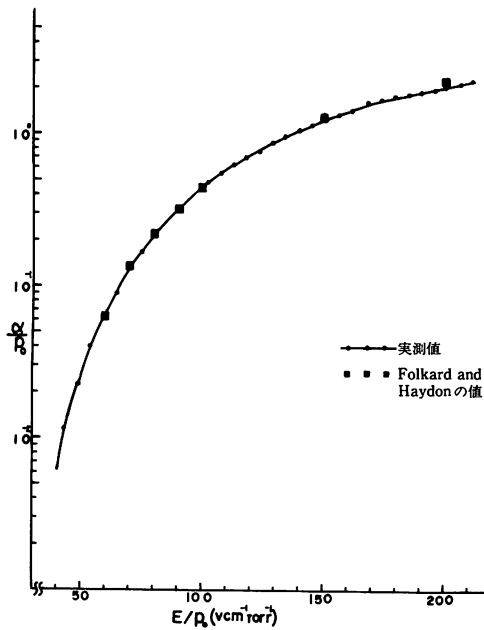


図-2 $2 d/P_0 - E/P_0$

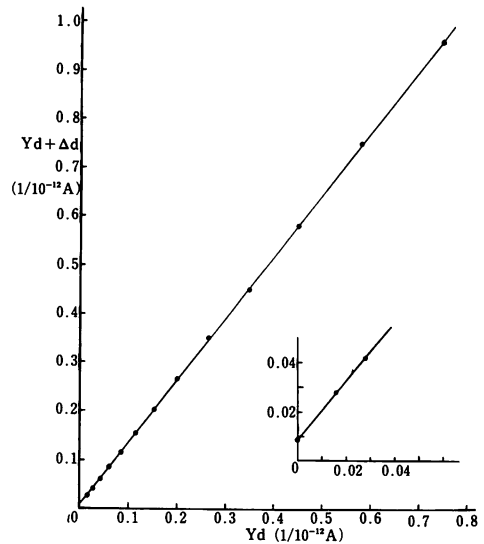


図-4 Gosseries plot ($E/P_0 = 200$)

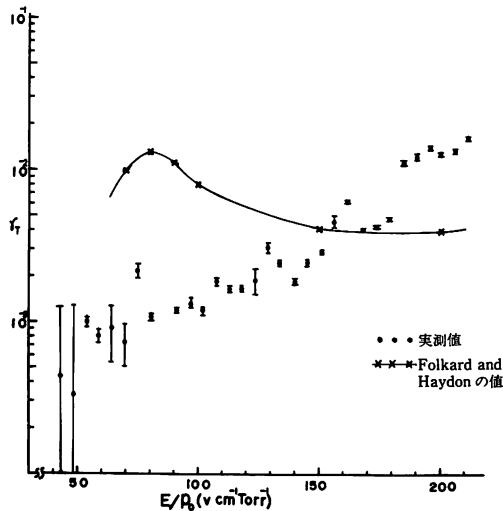


図-3 $\gamma_T - E/P_0$

子による γ_m などの作用と考えられている。しかし測定結果では、多少の変動はあるが単純に増加するような結果となった。

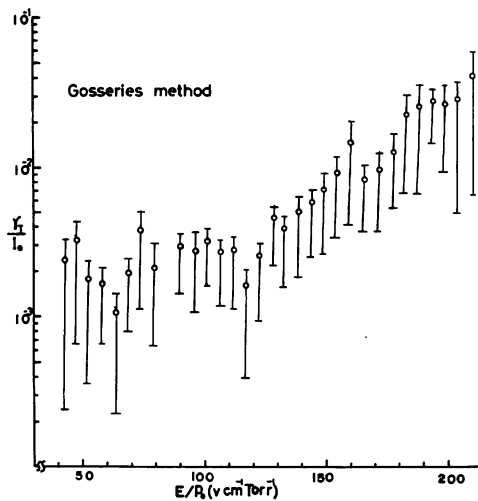
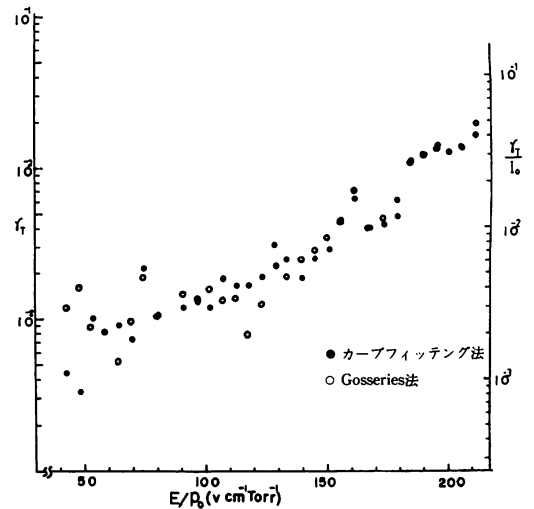
3-3 Gosseries 法による α_T , γ_T

α_T/p_0 については、測定結果と Folkard and Haydon らの報告の値は、よく一致している。しかし γ_T については、Folkard and Haydon らの値のように $\gamma_T \cdot \gamma_m$ 作用と考えられる極大値を持たない。その原因が算出方法の違いにあるかどうか検

討するために本測定データを Gosseries 法で算出している。図-4 は、図-1 の増倍曲線を Gosseries プロットしたものである。これらにより最小=乗法で算出した各パラメータ α_T/p_0 , γ_T/I_0 の結果を表-2 に示す。ただし初期電流 I_0 が一定と仮定すると $\gamma_T \propto \gamma_T/I_0$ であるので本例では、 γ_T/I_0 のままで表わしてある。 α_T/p_0 の結果は、カーブフィッティング法と Gosseries 法の差は、ほとんどなく一致した値(3%以内の違い)となっている。図-5 は、Gosseries 法で算出した γ_T/I_0 を E/p_0 に対してプロットした図である。図より明らかなように γ_T は、極大値をもたない。そして $E/p_0 = 100$ 以下では、バラツキが大きく一定の傾向が見られない。これは、Gosseries プロットにおいて γ_T の値を決定するものが直線の y 切片であるためである。図-4 より y 切片が原点に近い場合、傾きの微小な違いでも γ_T の値は、2~3 倍の変化をする。そのため精度が悪くなると考えられる。また低 E/p_0 領域では、電離電流の増加が小さくなり、プロットの傾きが鈍くなり誤差が更に大きくなると思われる。 E/p_0 が 100 以上では、カーブフィッティング法と同じように上昇して行き、バラツキも同じくらいになる。従って極大値の出現は、解析法の違いではないと思われる。図-6 両方法で算出した γ_T をプロットし合わせたものである。

表-2 Gosseries法による各係数

$E/p_0(V \cdot cm^{-1} \cdot Torr^{-1})$	$\alpha/p_0(cm^{-1} \cdot Torr^{-1})$	$\gamma_t/I_0(A^{-1})$
43	1.07×10^{-2}	2.42×10^{-3}
48	2.22×10^{-2}	3.25×10^{-3}
54	3.98×10^{-2}	1.80×10^{-3}
59	6.17×10^{-2}	1.68×10^{-3}
64	9.09×10^{-2}	1.07×10^{-3}
70	1.29×10^{-1}	2.00×10^{-3}
75	1.66×10^{-1}	3.84×10^{-3}
80	2.21×10^{-1}	2.27×10^{-3}
91	3.29×10^{-1}	2.95×10^{-3}
97	4.04×10^{-1}	2.82×10^{-3}
102	4.86×10^{-1}	3.19×10^{-3}
108	5.49×10^{-1}	2.70×10^{-3}
113	6.29×10^{-1}	2.76×10^{-3}
118	7.04×10^{-1}	1.64×10^{-3}
124	7.72×10^{-1}	2.49×10^{-3}
129	8.76×10^{-1}	4.59×10^{-3}
134	9.78×10^{-1}	3.83×10^{-3}
140	1.06	4.99×10^{-3}
145	1.15	5.70×10^{-3}
151	1.26	7.04×10^{-3}
156	1.32	9.10×10^{-3}
162	1.42	1.46×10^{-2}
168	1.63	8.29×10^{-3}
173	1.69	9.56×10^{-3}
179	1.76	1.25×10^{-2}
185	1.83	2.22×10^{-2}
190	1.92	2.49×10^{-2}
196	1.97	2.75×10^{-2}
200	2.06	2.59×10^{-2}
206	2.16	2.81×10^{-2}
212	2.25	4.09×10^{-2}

図-5 γ_t/I_0 - E/P_0 図-6 カーブフィッティング法とGosseries法による γ_t

5. 結 言

気体放電パラメータ測定装置を用いて N_2 ガスの各パラメータを $40 < E/p_0 < 220$ の範囲で測定した。その結果、電離係数 α_t/p_0 は、Haydon, Jones⁽⁷⁾らの値とよく一致した結果となり、Posin⁽⁶⁾の値より小さく、Bowls⁽⁹⁾の値より大きくなりこの両者の値は正しくないように思われる。また二次電離係数 γ_t については Folkard and Haydon らのように極大値を持つような結果にはならず H_2 ガスの γ_t とほぼ傾向が一致していた。この原因は、現在のところ不明であり、この点を今後研究していくつもりである。最後に本報告の測定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卒研生伊賀君に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 長谷川他, 苫小牧高専紀要, 第16号, 1981
- (2) 伊藤他, 放電研究会資料, ED-79-55, 1979
- (3) 佐々木他, 放電研究会資料, ED-80-101, 1980
- (4) たとえば V N Maller and M S Naidu J. Phys. D: Appl. Phys., vol7, 1974
- (5) M A Folkard and S C Haydon J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., vol 6, 1973
- (6) A Gosseries Physica, Grav. 6 45-72, 1939
- (7) J. Jones J. Phys. D: Appl. phys. vol 1 1968

-
- (8) D Q Posin Phys. Rev. vol50 1936
 - (9) W E Bows Phys. Rev. vol53 1938
 - (10) 長谷川他, 昭和 56 年, 電気学会道支部大会,
No 49, 1981

(昭和 56 年 12 月 1 日受理)

