HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	N2とCH4の混合ガス中における電離電流の増倍と電離係数
Author(s)	下妻, 光夫; 田頭, 博昭; 長谷川, 英機
Citation	北海道大學工學部研究報告, 104, 35-44
Issue Date	1981-05-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41676
Type	bulletin (article)
File Information	104_35-44.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第104号（昭和56年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 104 (1981)

N_2 と CH_4 の混合ガス中における電離電流の増倍と電離係数

下 妻 光 夫* 田 頭 博 昭** 長谷川 英 機*

（昭和55年12月27日受理）

Ionization Current Growth and the Ionization Coefficients in N_2 and CH_4 Mixtures

Mitsuo SHIMOZUMA, Hiroaki TAGASHIRA and Hideki HASEGAWA

(Received December 27, 1980)

Abstract

A N_2 and CH_4 gas mixture is often used in the investigation of the electrical breakdown process by a high speed camera. The Townsend first ionization coefficient and the Townsend total secondary ionization coefficient (α / p_{20}, γ_T) in mixtures of N_2 and CH_4 have been measured by the steady state Townsend method for $40<E/p_{20}<500$ V cm^{-1} $Torr^{-1}$ ($121<E/N<1520$). According to the experimental results, α/p_{20} of the mixtures lies in between the α/p_{20} values of the respective pure gases. α/p_{20} of the mixture can be represented by a linear function of the fractional CH_4 partial pressure k for $E/p_{20}<100$, but this linear relationship tends to break down at higher E/p_{20}. The results also show that γ_T of the (N_2+(10%)CH_4) gas increases with E/p_{20} but decreases rapidly with k for a fixed E/p_{20}. A possible explanation of this rapid decrease is given in terms of quenching of an excited state of the N_2 molecule by the CH_4 molecule.

1. 緒　　言

気体の放電進展過程の解明は，超高速度カメラ（例えば，イメージコンバータインテンシファイアカメラ，以後 I. I. と記す）法，光電子増倍管による法，電子計算機によるシミュレーション法などによって，Air, N_2, O_2, H_2, SF_6 など多くのガスについて実験的に，理論的に行なわれている。これらの中で I. I. 法は，放電に伴う発光の時間的，位置的な変化を直接ストリーク，フレーム写真に撮影するものであり，写真画像解析により，多くの情報を得ることができる。しかし，この方法の欠点は，電子密度と発光強度が対応しているという仮定を置くことである。励起分子・原子の発光励起解消による発光寿命 τ（$=\tau_0(1+P/Pq)^{-1}$, τ_0：真空中での寿命，P：気圧，Pq：クェンチング気圧[1]）が長いガスでは，発光の遅れのため発光強度分布と電子密度分布とが必ずしも一致しなく，放電進展の厳密な解析は，困難になると考えられる。N_2 ガスの放電進展過程を I. I. 法で解析する場合，CH_4 ガスを少量（体積比率10%程度）混合し，この問題を解決しようとする試みがある。[2),3)] この CH_4 は，大きな解離衝突断面積を持っており，（臨界値は約

* 電気工学科（電気物性工学講座）
** 電気工学科（電気応用工学講座）

10 eV)[4] また，CH_4 放電からの発光は，観測されていない（解離生成された CH, H, C などからの発光が，わずかに認められている)。CH_4 を N_2 に混合すると，N_2 励起分子（N_2^*）と CH_4 との衝突で CH_4 の解離が起り，N_2^* の非発光励起解消を行なう確率が高くなると考えられ，（N_2 の最強度発光は，$C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$ 遷移による 2nd Positive Band からのものであり，$C^3\Pi_u$ は約 11 eV である）等価的発光寿命を短縮することになる。しかし，N_2 に CH_4 を混合することにより，N_2 単ガスの放電進展過程と異なることが考えられる。従って，CH_4 を使用する場合この混合ガスの放電諸特性を把握する必要があるが，現在までに殆ど研究されておらず Wagner[1]，や Raether[5] らによって，この混合ガスの電離係数（パルス法による α_T）や電子ドリフト速度（V_-）などが，狭い範囲で測定されているだけであると思われる。

筆者らは，N_2，CH_4 単ガスおよび N_2 と CH_4 の混合ガスの放電基礎パラメータ（α_T，γ_T：二次電離係数など）の測定を定常タウンゼント法（SST 法）により広い範囲（$40 < E/p_{20} < 500$ Vcm^{-1} $Torr^{-1}$，以後 E/p_{20} の単位を省略する，E：電界，P_{20}：20℃における気圧）にわたり行なった。CH_4 の N_2 に混合する割合 k %の変化に対する α_T，γ_T の振舞いも観測した。また，N_2 の準

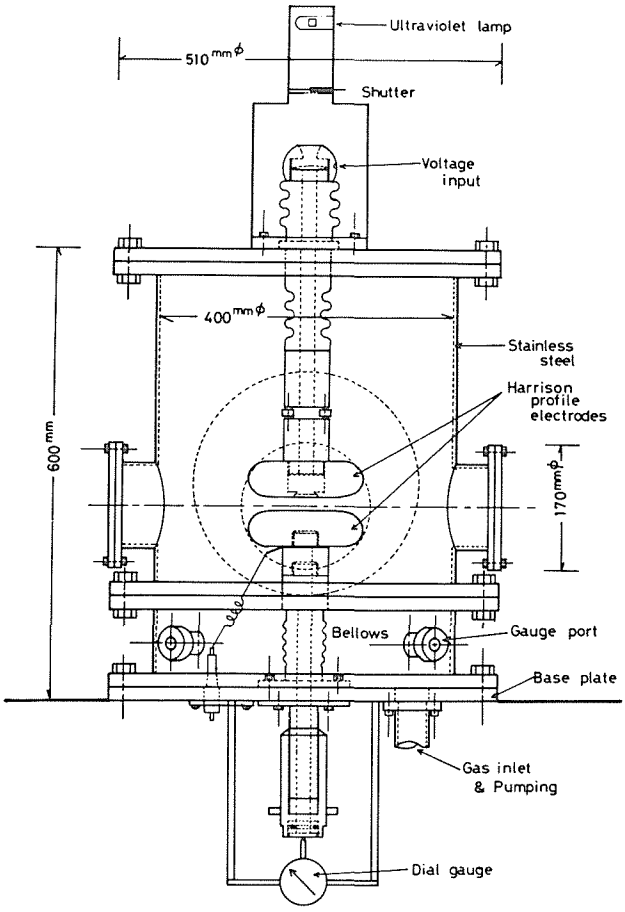

図 1 放電チェンバ

安定励起分子（$A^3\Sigma_u$ など）が関与していると思われる，低 E/p_{20} での電離電流成長曲線に認められた興味ある現象についても報告する。

2. 実験装置と測定方法

図1に本実験で使用した放電チェンバを示す。直径 40 cm（内径），高さ 60 cm，ステンレス製である。油回転，油拡散真空ポンプで約 2×10^{-6} Torr(20℃時)まで真空引きができ，漏れ率 2×10^{-5} Torr/min であり，一実験（約 30 分）中に 10 Torr のガス純度が 99.995%程度となる。使用電極は，Harrison 型[6] の A_u 蒸着したもので陰極中央部に石英板（直径 3 cm）を埋め込み，背面より紫外線照射（重水素放電管により）し，電極間に電子放出させる。真空電流の順方向，逆方向加電時の電流比は，約 10：1 ある。電離電流の測定（10^{-13}～10^{-6} A）は，振動容量型エレクトロメータで行なった。直流電源（0～10 kV）は，10^{-5} の安定度を持つものを使用した。気圧の測定（1～50 Torr）は，U 字型オイルマノメータ（DC 704 拡散ポンプ用オイルを使用）を用い，読み取り顕微鏡により 1/100 mm の精度で行なった。測定器，直流電源等は，測定精度を向上させるため，交流安定化電源を通して 50 H_z, 100 V の電源を供給されている。使用したガス純度は，N_2+10% CH_4 が，N_2（99.99%），CH_4（99.0%）を均一に混合したボンベ封入のもの，N_2 単ガスが，99.999%，CH_4 単ガスが 99.95%である。

電離電流の測定は，定常タウンゼント法により行なった。測定した電離電流（I）とギャップ長(d)の電離増倍曲線のガスの違いによる変化を観測し，この I, d のデータを電算機を使い，最小二乗法および線型化最小二乗法[7] によりタウンゼントの式にカーブフィッテングし，放電パラメータを算出決定した。

3. 実 験 結 果

3. 1 N_2 と N_2+CH_4 における電離電流発達の比較

図2に $P_{20}=12.5$ Torr 時の $E/p_{20}=57.8$, 67.4, 77.0 における N_2 と $N_2+(10\%)CH_4$ の電離電流を点線と実線で示してある。図から明らかなように，N_2 の電離係数が小さいにもかかわらず[9]，電離電流の増倍が $N_2+(10\%)$ CH_4 より激しい。これは，N_2 の二次電離作用（γ_T 作用）が非常に大きいことによると思われる。この γ_T 作用は，これら E/p_{20} 範囲では，N_2 の 2 nd Positive Band からの光子（約 3.5 eV）放出による γ_T[1]，または準安定励起分子（$A^3\Sigma_u$ など）による γ_m などが支配的であろう[10] と考えられる。N_2+CH_4 混合ガスの特性は，γ_T 作用の急激な電流増倍が見られず単純な直線増加を示している。これは，前述したように N_2 の $C^3\Pi_u$ 励起分子などが CH_4 中性分子と衝突し，N_2^* のエネルギーを CH_4 の解離エネルギーとして消費され，非発光励起解消を起すため γ_P 作用が減少するものと思われる。また，$C^3\Pi_u$，$B^3\Pi_g$ からカスケーディングにより $A^3\Sigma_u$ レベルへ遷移する N_2^* も減少すると考えられるので，γ_m 作用も減ると思われる。

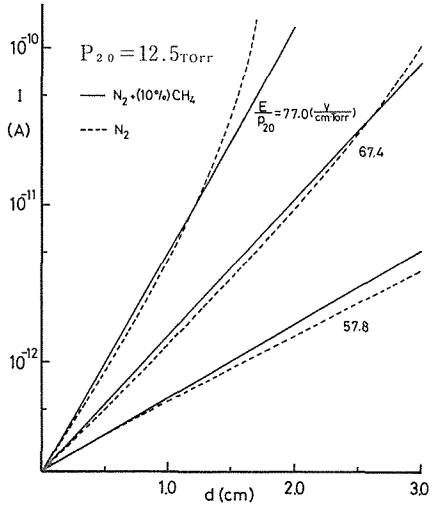

図 2　N_2, N_2+（10%）CH_4 の電離電流曲線

従って，この混合ガスの γ_T 係数は，CH_4 の混合比が増すとともに，絶対値が減少するため算出決定が困難となることが予想される。CH_4 単ガスの電離電流成長曲線は，図示していないが，$E/p_{20}=100$，$P_{20}=5$ Torr，で 10^{-13}～10^{-6} A まで5～6桁 exp（$\alpha_T \cdot d$）のみの特性（lnI－d 曲線が全く直線的に上昇する）であることが確認されている。[9] しかし，混合ガスでも，CH_4 単ガスでも E/p_{20} が増加していくと正イオンの持つエネルギーが増加し γ_i 作用が無視できなくなり，γ_T 係数が測定可能となる。

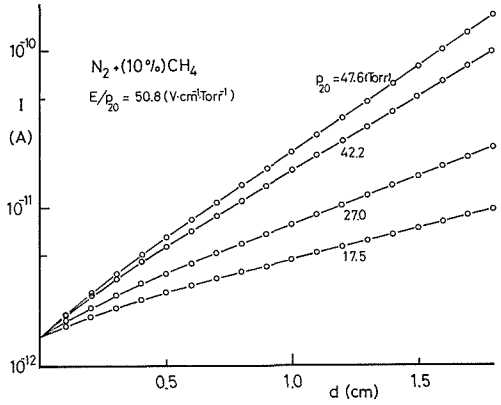

図 3　N_2+（10%）CH_4 の気圧に対する電離電流曲線

3. 2　混合ガスの低 E/p_{20} における電離電流（$40<E/p_{20}<100$）

図2中，$E/p_{20}=57.8$ 点線のギャップ長小領域において，直線からずれる電子付着性ガス（SF_6，O_2 など）に似た傾向（以後，わん曲特性と記す）が認められる。N_2+CH_4 の同一 E/p_{20} には，この傾向が明らかではない。N_2 では，$N_2+e \rightarrow N_2^-$ の過程は認められているが，N_2^- は非常に不安定であり短時間で電子分離するものと言われている。[11] 従って定常状態では，電子付着した負イオンではなく，電子付着によるものではないと考えられる。電子エネルギー非平衡領域においてもこの様な傾向が現われる可能性がある。しかし，N_2 で $E/p_{20}=60$，$P_{20}>5$ の条件では非平衡距離が，$p \cdot d<0.1$ cm・Torr と考えられており説明は困難である。図3に混合ガスでの $E/p_{20}=50.8$ における各気圧による電離電流曲線を示してある。明らかに混合ガスでもわん曲特性が見られる。この特性は，電離増倍が大きい E/p_{20} の高い（$E/p_{20}>100$）測定曲線では，明らかには認められなくなるようであり，CH_4 の混合比を上げていくことによって少なくなることが確認されている。従って，N_2 に原因があると思われる。今までに多くの研究者により N_2 の電離係数測定や電離電流の観測が行なわれてきた[12]が，実験条件が $E/p_{20}<100$ で $p \cdot d>50$～60 であるものが多く，このわん曲特性は，明らかに認められなかったものと思われる。この特性の原因究明のため気圧依存性の有無について図3の測定データを $P_{20} \cdot d$ 対 I プロットしたものが図4である。各気圧による測定電流点が非常によく一本の曲線に乗っていることが認められ，気圧依存性が明らかではなく E/p_{20} に関する現象と考えられる結果が得られた。比較のため，図中に点線で直線を示してある。

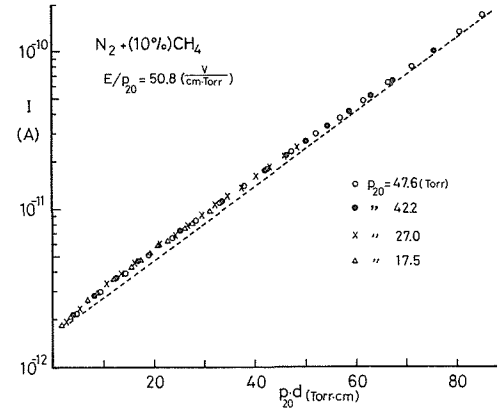

図 4　N_2+（10%）CH_4 の電離電流対 p・d 特性

次に，このわん曲特性が二次作用に関した現象ではないかと考え，タウンゼントの電離電流成長式(1)を(2)式のように変形してプロットしたのが，図5である。

$$I=I_{oT}\frac{\exp(\alpha_T\cdot d)}{1-\gamma_T\{\exp(\alpha_T\cdot d)-1\}} \tag{1}$$

$$\frac{I_{i+1}}{I_i}=\exp(\alpha_T\cdot h)+I_{i+1}\frac{\gamma_T}{I_{oT}}\{\exp(\alpha_T\cdot h)-1\} \tag{2}$$

ここで，I_i：i 番目のギャップ長 d_iにおける測定電流値，I_{i+1}：i+1 番目の d_{i+1} における測定電流値，h：一定ギャップ長間隔（$h=d_{i+1}-d_i$），I_{oT}：初期電子電流

(2)式の I_{i+1}/I_i 対 I_{i+1} のプロットは，α_T，γ_T，I_{oT} が d に対して変化しない一定値であるなら，直線となる。また，(2)式の右辺二項目が一項目に比し非常に小さいなら（$\gamma_T\fallingdotseq 0$ なら）I_{i+1} の値に無関係に I_{i+1}/I_i は，exp（$\alpha_T\cdot h$）の値を取ることになる。ここで，$E/p_{20}=50.8$ のとき $\alpha_T/p_{20}=0.05$，$I_{oT}=1.0$，$P_{20}=47.6$，$\alpha_T=2.38$，$d=1.8$，$h=0.1$ の条件で，$\exp(\alpha_T\cdot h)\fallingdotseq 1.27$ でこれに対して $\gamma_T\{\exp(\alpha_T\cdot h)-1\}=0.00027$ となり（$\gamma_T=0.001$ を仮定）I_{i+1} を 100 にとっても(2)式右辺二項目は 0.027 と一項目の約 2%にすぎず，この分だけ上昇することになる。図において，d>0.7 cm の条件では一定値を取ることが見られ，それ以下の d に対して d が小さくなるに伴い，上昇する傾向が明らかである。この部分がわん曲特性の測定電流値に相当する。放電空間における電子エネルギー平衡領域では，α_T が d に対して一定値を取ると考えるべきである。従って，γ_T（$=\gamma_i+\gamma_p+\gamma_m$）の d 依存性，あるいは，$I_{oT}$ の時間的変化と考えることが妥当であると思われる。しかし，I_{oT} の変化は，1 時間当り 0.5%以下であることが実験的に確認されている。また，d<0.7 cm でこの特性がなくなることも考えらると，γ_T に原因を求めるべきであろうと考える。γ_P と

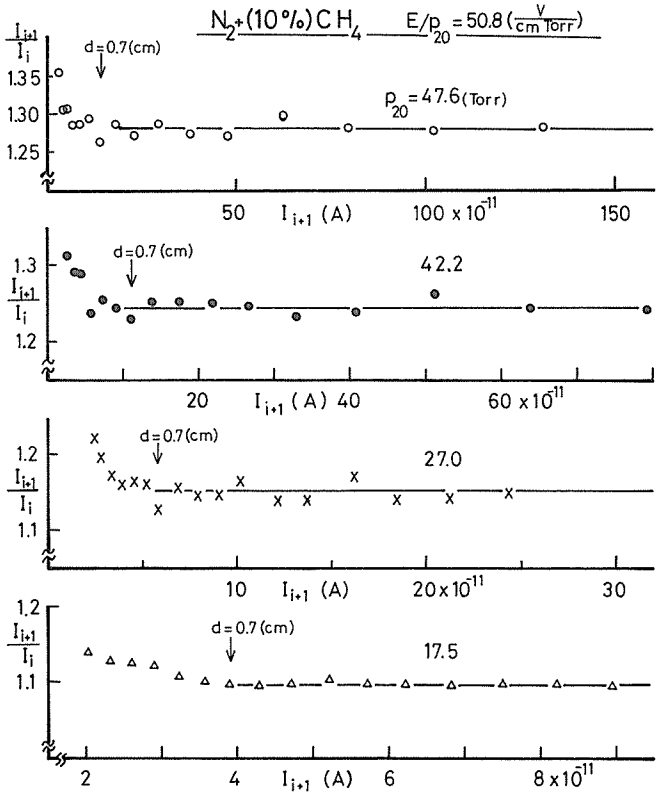

図 5　(2)式を使った I_{i+1}/Ii 対 I_{i+1} 特性

γ_m は，陰極へ到達する光子数，励起分子数に関するものであり，ギャップ長の変化に対して，それぞれ変化すると考えることができ，ギャップ長が小さければ光子・励起分子のギャップ外への飛散割合は少ないと思われる。γ_P の主因は，N_2 の 2 nd Positive Band からのものであろうと考えると，低 E/p_{20} で小ギャップ長の条件では，C レベルより A レベルへの中性分子の遷移確率は高いと思われる（ボルツマン方程式法による励起周波数の結果は，$C^3\Pi_u$：10^7，$A^3\Sigma_u$：5×10^7 1/sec[13]）。従って，このわん曲特性の原因が電荷を持たぬ準安定励起分子によるものであろうと思われる。ここで，ギャップ中で生成される N_2^* を陰極に拡散で到達する以前にギャップ外へ流す実験を，放電チェンバ内に送風機を入れ，外部より磁石駆動して行なった。気圧を 10^{-5} Torr にし，光電子電流の測定を，送風機の始動および停止の場合につき行ない全く測定電流に影響がないことを確認した。ガスを封入し電離電流の測定を，$P_{20}=8.5$，$E/p_{20}=60$，$d=2$，の条件で送風機を停止→送風→停止の順に操作し行なった。この一例が図 6 (a)である。明らかに送風することで電流の減少が見られる。次に，送風時における電離電流の成長曲線を測定したのが，図 6 (b)の点線である。比較のため送風しない場合の電流も実線で示してある。送風することで，わん曲特性が減少することがわかり，また送風の有無にかかわらず，d が大の領域では電流増倍率が変わらない(電離係数が同じ)。これらの結果から，わん曲特性の原因は，N_2 の準安定励起分子($A^3\Sigma_u$ など）の拡散による陰極面への到達で起る二次電離作用が支配的であると考えることができる。また，この様なわん曲特性のある電離電流成長曲線からの電離係数測定は，(2)式のプロットをすることで，行なうことができると思われる。

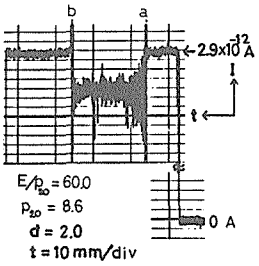

図 6 (a) 電離電流の送風の影響，（a：送風機駆動，b：送風機停止）

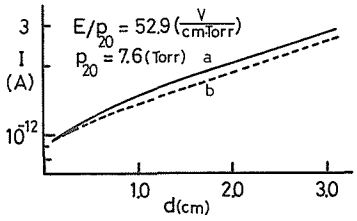

図 6 (b) 送風状態による電離電流曲線（a：送風なし，b：送風時）

3. 3 混合ガスの高 E/p_{20} における電離電流（$100<E/p_{20}<500$）

高 E/p_{20} 領域では，二次電離作用の影響が大きくなり電離電流の増倍が激しくなる。また低 E/p_{20} で認められたわん曲特性は，確認されなかった。$E/p_{20}=204$ における各気圧についての電離電流を $p_{20}\cdot d$ プロットしたのが図 7 である。$p_{20}\cdot d<16$ Torr・cm の範囲内では，各気圧によって違いが見られず p・d 則に従っている。それ以上では，気圧依存性が見られ気圧が高いと電離電流が大きくなることが見られる。この測定値より γ_T を(1)式より算出すると図 8 の○印となる。N_2 単ガスの同一条件での γ_T も比較のため図中に×印でプロットした。N_2 の γ_T は，P の上昇で減少す

る気圧依存性が明らかに見られ，γ_P が支配的であることがわかる。しかし，混合ガスの γ_T は，N_2 のそれと逆の傾向であり，絶対値も約1/5と小さくなっている。絶対値の減少は，前述したように CH_4 による N_2^*（$C^3\Pi_u$）の非発光励起解消が増加することにより γ_P が減少するためと考えられ，混合ガスの γ_T は，γ_m，γ_i が主因であると思われる。図からわかるように，$P_{20}=4.36$ と 0.76 との混合ガスの γ_T の差は，約2倍でこの相異による電流値の差も約2倍と計算され，電流の測定誤差により生じたものではないと思われる。このプロットした測定は，使用したギャップ長がそれぞれ違い，気圧が上昇するごとにd範囲が狭くなっている（$P=4.36$ で $0.1<d<0.5$ cm，$P=0.76$ で $0.1<d<3.0$ cm）。従って，γ_m のギャップ長依存性による傾向と考えることもできるのではないかと思われる。しかし，現在の所明確な説明はできない。

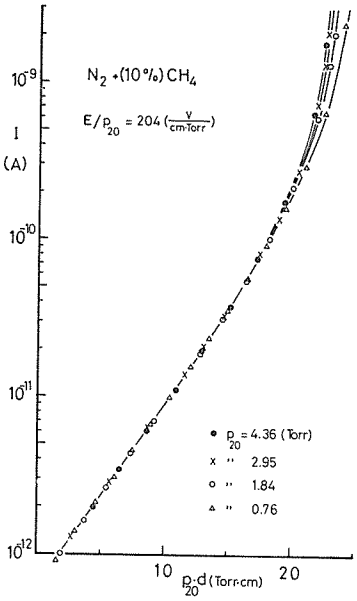

図7　高 E/p_{20} の電離電流対 p・d 特性

3. 4　電離係数 α_T，二次電離係数 γ_T の算出法

低 E/p_{20} 領域（$40<E/p_{20}<70$）での電離電流曲線には，d の小さい部分にわん曲特性が現われるため，単に(1)式を使い線型化最小二乗法により各係数を算出することができない。従って(1)式を変形した(2)式を用い，γ_T の無視できる範囲のデータをプロットし一定値に漸近する特性（図5参照）を利用して α_T のみを算出した。この方法による α_T 算出報告はないため妥当性を吟味するため N_2 単ガスの α_T を算出した所，多くの研究者により発表されている値と非常によい一致を得た。故にこの方法の信頼性は十分であると思われる。

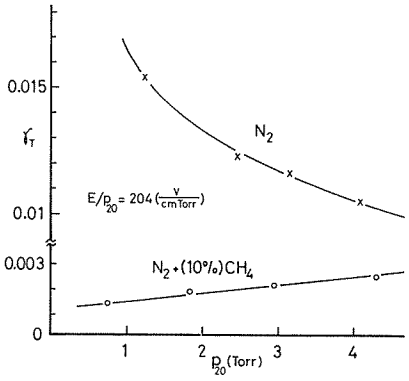

図8　N_2+（10%）CH_4 と N_2 の γ_T の気圧依存性

高 E/p_{20} 領域（$70<E/p_{20}<500$）での電離電流曲線には，わん曲特性が見られないので(1)式を使い電算機で線型化最小二乗法カーブフィッティング法により一度にパラメータを算出決定する方法を用いた。なお，N_2 と CH_4 の混合比を変化させる測定では，低 E/p_{20} でも CH_4 の混合比が大きい時わん曲特性が現われないので，(1)式を使った。

3. 5　電離係数 α_T

図9に N_2+10% CH_4 の α_T を●印で示す。また，N_2，CH_4 単ガスの筆者らの測定値と Forkard ら[10] の N_2，Cookson[14] の CH_4 の値も比較のためのプロットしてある。混合ガスの特性は，N_2 と CH_4 単ガスの値の中間に位置している。N_2+CH_4(1：1)の α_T は，Wagner[2] によって報告されているが，E/p_{20} の範囲が狭い（$50<E/p_{20}<75$）。また $E/p_{20}=55$ で N_2 の α_T より約35%高く，$E/p_{20}=75$ で N_2 とほぼ同じとなり，更に E/p_{20} が高くなると交鎖する傾向と見える結果である。このことからあまり信頼性がないものと思われる。一般に混合ガスの α_T を求める場合，混合する単ガスの α_T を混合比に配分し求める方法が用いられる。これは，混合比と α_T との

間に直線関係が存在する仮定を置ける時のみ有効である。$N_2+10\%CH_4$ 混合ガスでは，$E/p_{20}<100$ でほぼ混合ガスの α_T が混合比に合うようであり，また $E/p_{20}>100$ でその関係が崩れることが図からわかる。本実験での $N_2+10\%\ CH_4$ の α_T の E/p_{20} に対する値は(3)式で計算ができる。式中の a_0，a_1，a_2 は，表1の値をとる。

$$\frac{\alpha_T}{p_{20}}=\exp(a_0+a_1(E/p_{20})+a_2(E/p_{20})^2\} \qquad (3)$$

表1 (3)式の a_0，a_1，a_2 の値

$\frac{E}{P_{20}}\left(\frac{V}{cm\cdot Torr}\right)$	a_0	a_1	a_2
50 — 100	−8.64	0.144	-6.21×10^{-4}
100 — 200	−3.31	3.58×10^{-2}	-7.27×10^{-5}
200 — 500	−0.577	9.32×10^{-3}	-8.79×10^{-6}

表1 (3)式の a_0，a_1，a_2 の値

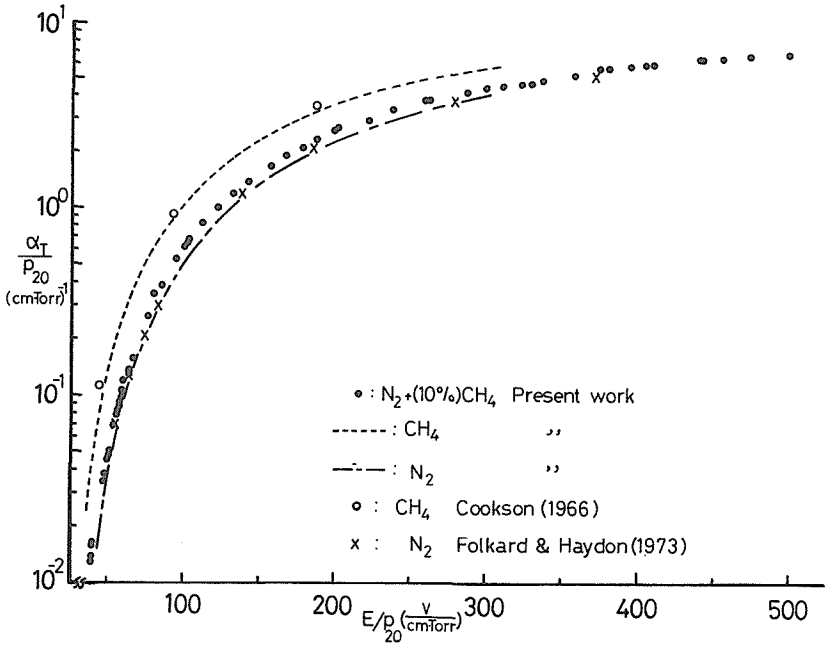

図9 N_2+ (10%) CH_4，N_2，CH_4 の電離係数

N_2 に CH_4 を混合し，この混合比 k に関して混合ガスの α_T がどのような振舞いを見せるかを実験した結果が図10である。3種類の E/p_{20} について行なった。$E/p_{20}=59.5$ では，k に対して α_T が一次関数的に変化している。また，$E/p_{20}=200$ では曲線的な傾向が見られ，直線近似による値より最大10%程度の隔りがある。このことから，低 E/p_{20} では，混合比 k による α_T の算出は大きな誤差を生まないと思われる。しかし，高 E/p_{20} では，少量の CH_4 混合で α_T が急増するため，直線近似はできないと考えられている。

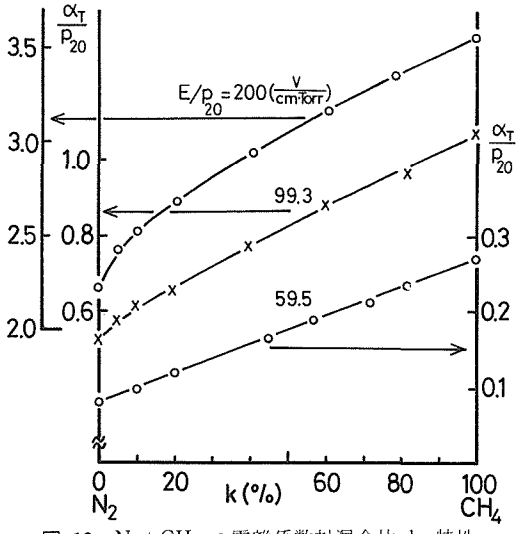

図10 N_2+CH_4 の電離係数対混合比 k 特性

3. 6 二次電離係数 γ_T

図11に，$N_2+10\%\ CH_4$ の γ_T の測定結果

を示す。バラツキが見られるが E/p_{20} の上昇に伴い γ_T も増加する傾向が明らかに認められる。このバラツキは，測定値に含まれる誤差によって生じるもの，また前述した気圧依存性などが原因と考えられるものも含まれている。$E/p_{20}<55$ の測定値がないのは，電流成長曲線がわん曲特性を持つ範囲であり γ_T を算出することが不可能である理由による。算出された γ_T は，N_2 や H_2 の γ_T より 1/5～1/10 と小さいようである（$E/p_{20}=200$）。また，CH_4 の γ_T より 10^3 倍程度大きい（$E/p_{20}=200$ で約 5×10^{-7}）ことがわかる。CH_4 の混合比を大きくすることで γ_T を更に小さくすることができると思われる。現在までに報告されている N_2+CH_4（1：1）は γ_T は，Raether[5]，Davisら[15]の 10^{-5}～10^{-6} の値である。本実験結果は，$E/p_{20}<100$ で 10^{-4} 程度，$E/p_{20}>100$ で 10^{-3} から E/p_{20} の増加で上昇する傾向を示している。Folkard ら[10]や Maller ら[16]の N_2 の γ_T は，$E/p_{20}=100$ 近辺で最大値を持つ特性が得られているが本実験結果では見られない。彼等の算出法は Gosseries プロット[17]を用いている。この方法は，測定値の逆数プロットであるため，二次作用の大きく影響する測定電流値が原点付近にプロットされ，α_T を求める場合には精度が上がる可能性がある。しかし γ_T を求めることは誤差を多く含むことになると思われる。

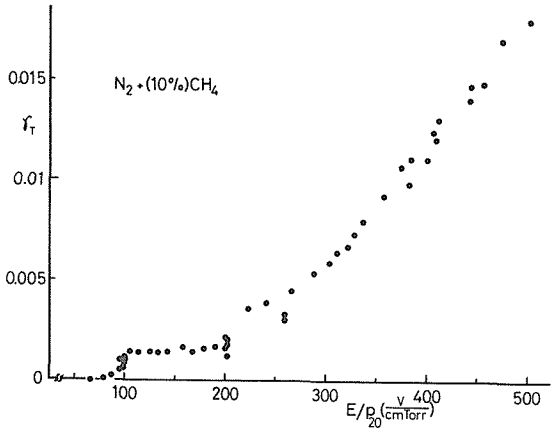

図 11　N_2+（10%）CH_4 の二次電離係数 γ_T 特性

次に，N_2 に混合する CH_4 の割合 k に対する γ_T の振舞をプロットしたのが図 12 である。$E/p_{20}=99.3$, 200 の二特性を示すが，両方とも少量の CH_4 混合で急激な γ_T の減少が見られる。これは，前述のように CH_4 のため N_2 の励起分子の非発光励起解消の増加と一致するものと考えられる。E/p_{20} が高いと減衰が少ないのは，二次作用に正イオンの役割が大きくなって来ているものと考えられる。

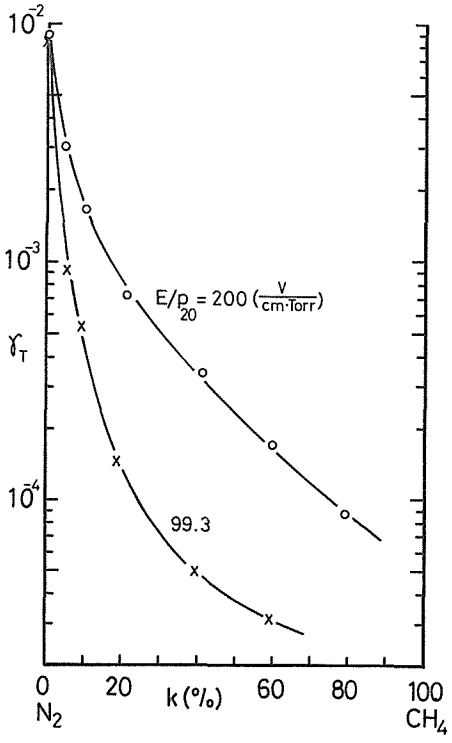

図 12　N_2+CH_4 の γ_T 対 K 特性

4. 結　　言

N_2 と CH_4 の混合ガスの電離電流成長曲線を測定することで次の結果が明らかとなった。

i）．N_2 と N_2+CH_4 の電離電流の比較において，CH_4 が N_2 の励起分子を非発光励起解消させ，二次電離作用を抑制するため，同一 E/p_{20}, P_{20} の条件でも N_2+CH_4 の電流増倍が小さくな

る。

ii). 低 E/p_{20} において混合ガスの電離電流曲線に，電子付着性気体に見られるようなギャップ長の小さな部分でわん曲する非直線性の傾向を認めた。この特性が N_2 の準安定励起分子（$A^3\Sigma_u$ など）による二次作用（γ_m）の影響であると思われる実験結果を得た。

iii). わん曲特性の存在する電離電流曲線からの α_T の算出方法は，(2)式を使ったプロットにより行なうことができることを提案した。

iv). $N_2+10\%\ CH_4$ の α_T を $40<E/p_{20}<500$ の範囲で測定し，α_T/p_{20} の関係式(3)を示した。また，CH_4 混合比 k に対する α_T の値は，$E/p_{20}<100$ で直線的に変化し，$E/p_{20}>100$ では非直線な上に凸の傾向を示すことを明らかにした。

v). $N_2+10\%\ CH_4$ の γ_T を $70<E/p_{20}<500$ の範囲で求めた。バラツキが大きいが，E/p_{20} の増加に伴い γ_T も上昇する結果を得た。また CH_4 混合比 k に対する γ_T の振舞いも，少量の CH_4 混合で急激に減衰する結果として得られた。

参 考 文 献

1) Legler W, 1963, Zeitschrift für Physik, 173, 169-183
2) Wagner K H, 1966, Zeitschrift für Physik, 189, 465-515
3) Bayle P, Bayle M and Morales E, 1980, J. Phys. I; Appl. Phys., 13, 563-573
4) Winter H F, 1975, J. Chem. Phys., 63, 3462-3466
5) Raeter H, 1964, Electron avalanche and breakdown in gases (Butterworths: London)
6) Pearson J S and Harrison J A, 1969, J. Phys. D; Appl. Phys., 2, 77-84
7) Tomas RWL, 1966, Proc. 7th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, Belgrade, 1, 271-274
8) Shimozuma M, Sakai Y, Tagashira H and Sakamoto S, 1977, J. Phys. D; Appl. Phys., 10, 1671-1682
9) 下妻，酒井，田頭，坂本，1977，電気学会放電研究会資料，ED-77-35
10) Folkard M A and Haydon S C, 1973, J. Phys. B; Atom. Molec. Phys., 6, 214-231
11) Britwistle D T and Herzenberg A, 1971, J. Phys. B; Atom. Molec. Phys., 4. 53-70
12) Kontoleon N, Lucas J and Virr L E, 1973, J. Phys. D; Appl. Phys., 6, 1237-1245
13) Taniguchi T, Tagashira H and Sakai Y, 1978, J. Phys. D; Appl. Phys., 11, 1757-1768
14) Cookson A H, Ward B W and Lewis T J, 1966, Brit. J. Appl. Phys., 17, 891-903
15) Davies D K and Jones E, 1963, Proc. Phys. Soc., 82, 537-542
16) Maller V N and Naidu M S, 1974, J. Phys. D; Appl. Phys., 7, 1406-1411
17) Gosseries A, 1939, Physica, 6, 458-472