# ガス計数管における自己消滅ストリーマモードの基 礎特性

**亀谷,均** 九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

井尻, 秀信 九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

大垣,英明 九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

高橋,祐邦 九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

他

https://doi.org/10.15017/17609

出版情報:九州大学大学院総合理工学報告. 6(2), pp.203-215, 1985-01-01. Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University バージョン: 権利関係:

総合論文

ガス計数管における自己消滅ストリーマ モードの基礎特性

亀谷 均・井尻秀信\*・大垣英明\*\*<</li>
高橋祐邦\*\*・日隈精二\*\*・今別府 悟\*\*
浦瀬賢治\*\*・藤田泰之\*\*・前迫浩範\*\*
桑折範彦\*\*\*・的場 優\*
(昭和59年9月28日受理)

## Characteristics of the Self-Quenching Streamer Mode in a Gas Counter

Hitoshi KAMETANI, Hidenobu IJIRI, Hideaki OHGAKI, Yuho TAKAHASHI Seiji HIGUMA, Satoru IMABEPPU, Kenji URASE, Yasuyuki FUJITA, Hironori MAESAKO, Norihiko KOORI and Masaru MATOBA

An investigation on the self-quenching streamer mode using a small cylindrical gas counter has been carried out. The charge characteristics of the counter are presented, together with the influence of various parameters such as concentration of ethyl alcohol, anode diameters, incident X-rays energies and gas mixtures.

The results show that the occurrence of the double streamer is suppressed with an increasing in the concentration of ethyl alcohol and the self-quenching streamer mode can be observed clearly even in the case of using a thin anode wire, for example,  $20 \,\mu m$ . It is also found that the 50 %-transition avalanche size depends on the initial deposited charges. The mechanism of the occurence of the self-quenching streamer is also discussed.

### 1. 序

放射線計測用のガス計数管は,1900年代初頭のガ イガーカウンターの発見<sup>132</sup>に始まり,1940年代の比 例計数管の概念の確立を経て<sup>334</sup>,放射線計測の基礎 的手段として広く応用されてきた.また,開発の過程 で,ガス計数管の動作モードは,ガス増幅をともなわ ない電離箱モードを加えて,1)電離箱モード,2)比 例モード,3)ガイガーモードの3種のモードに整理 され,その動作メカニズムの解明が様々な角度から行 なわれてきた.

ところが,最近ガス計数管の心線付近に発生するス

トリーマに関係する動作モードがガス計数管における 新しいモードとして議論されるようになってきた.平 等ギャップ中に発生するストリーマ現象は,古くは 1935年に H. Raether がウィルソン霧箱によって電 子なだれが平等ギャップ途中でストリーマに移行する 図形を得て初めて明らかにされた<sup>5)</sup>. さらに Meek<sup>6)</sup>, Loeb<sup>7)</sup> および Fletcher<sup>8)</sup> 等によってストリーマ発 生に関する理論的な考察が行なわれた.

一方, ガス計数管におけるストリーマ現象の発生に 関しては, 1974年 S. Brehin 等<sup>9)</sup> が心線印加電圧が 通常の比例モードより高い場合に,比例モードでもガ イガーモード でもない 新しい 放電モードが 現われる ことを見い出してから研究されるようになってきた. 彼らは,ガス計数管中での この 新しい 放電モードを pseudo-Geiger mode (疑似ガイガーモード) と呼 び不感時間の測定および心線方向の写真撮影等を行な

エネルギー変換工学専攻博士課程

<sup>\*</sup> エネルギー変換工学専攻

<sup>\*\*</sup> エネルギー変換工学専攻修士課程

<sup>\*\*\*</sup> 工学部応用原子核工学科

い,不感時間が 330 µsec, 心線方向の電子なだれの ひろがりが 1 cm という結果を報告している.

その後,多くの研究者によってこの新しいモードの 基礎的な研究がなされ,G. Battistoni 等<sup>10</sup> はこの新 しいモードを limited streamer mode (制限スト リーマモード) あるいは G. D. Alekseev 等<sup>11</sup> は high-current mode(高電流モード)と呼んでいるが, これらの言葉は同一の現象を表わしているものと考え られる.最近ではこの比例モードでもガイガーモード でもない新しいモードは self-quenching streamer (SQS) mode<sup>12</sup> と呼ばれることが多くなってい ることから,ここでは自己消滅ストリーマモードと呼 ぶことにする.

この自己消滅ストリーマモードは,

- 比例領域から更に高い電圧を陽極心線に印加すると制限比例領域でこの領域より極めて大きなパルスが遷移をともなって観測される.
- しかし、従来のガイガーモードのように電子な だれが心線方向に広がらない<sup>11)13)</sup>.
- 3) 不感時間が短い12)14).

等の特徴をもつことから比例モードでもガイガーモー ドでもないとされている.

自己消滅ストリーマに関する研究は、ベースガスと 消滅ガスの混合ガスに更に第2の消滅ガスを添加した 混合ガスを用いる場合が多い. E. P. de Lima はこ の第2の消滅ガスを photoionizing vapour と呼ん でいるが、ここでは第2種消滅ガスと呼ぶことにす る<sup>140</sup>. 通常ベースガスとしてはアルゴン等の希ガス、 消滅ガスとしてはメタン、二酸化炭素等の多原子分子 がおよび第2種消滅ガスとしてはエチルアルコール、 メチラール、ベンゼン等が用いられている. 消滅ガス と第2種消滅ガスの役割をはっきり区別することはで きないが、消滅ガスには陰極からの2次電子発生の抑 制の働きがあり、第2種消滅ガスには光子の吸収の働 きがあるとされている.

第2種 消滅ガスの効果については主に E.P. de Lima 等<sup>14</sup> および Alekseev等<sup>12</sup> によって研究されて いる。Lima 等はアルゴン+イソブタン混合ガスに第 2種消滅ガスとしてベンゼンおよびトリエチルアミン を混合し,第2種消滅ガスの出力パルスの形状,安定 性および不感時間に及ぼす影響について調べている. その結果第2種消滅ガスが計数率プラトーに重要な影 響を与えること等を示している.一方 Alekseev等は アルゴン+メタンガスにメチラールを添加してメチラ ールの含有量による電荷特性,計数率特性および不感 時間への影響について調べた.その結果,比例モード での出力信号の大きさは,メチラールの含有量によっ てほとんど変化しないが,自己消滅ストリーマモード のそれは大きく影響を受けることを示した.

自己消滅ストリーマが安定に動作するには、比較的 太い陽極心線が必要であると言われ、ほとんど 50 µm 以上の陽極心線を使用して自己消滅ストリーマの研究 が行なわれてきた.<sup>9)13)15)</sup>自己消滅ストリーマの発生の 心線径依存性に関する実験は、Atac 等が 50 µm から 150 µm の 直径の陽極心線を用い、比例モードと自己 消滅ストリーマモードの出力信号の大きさの変化を測 定した例があるが<sup>13)</sup>、細い心線に関してはまったく報 告されていない.

一方、ガス計数管中の混合ガスと相互作用させる線 源は、 $^{55}$ Fe からの 5.9 KeV のX線が用いられる場 合がほとんどであり、一部の実験に $^{123}$ 15) $^{161}$   $\beta$  線およ び  $\alpha$ 線が用いられている.入射エネルギーの自己消滅 ストリーマモードに及ぼす影響に関する系統的な実験 例はまったくないが、Alekseev 等が $^{55}$ Fe からの 5.9 KeVX線と $^{90}$ Sr からの $\beta$ 線を用いて比較実験を行 なっている $^{120}$ .その結果、混合ガス中での吸収エネル ギーの差による比例モードからの自己消滅ストリーマ モードへの遷移点におけるアバランシュサイズ(Avalanche size:電子なだれの大きさを表わし、初期電 離電荷数 × ガス増幅率で与えられる.)に変化はない としている.

我々は自己消滅ストリーマモードの研究の目的を自 己消滅ストリーマの発生メカニズムの解明とこのモー ドの位置検出計数管への応用<sup>17)18)</sup>においていること から、上述の実験を踏まえて、次の4点について系統 的に自己消滅ストリーマに関する基礎データの収集を 行なった.1)エチルアルコールおよびメチラール等 の第2種消滅ガス含有量は、温度を制御しない限り周 囲の温度変化によって変化する.従って、実際の装置 に自己消滅ストリーマモードを利用することを想定す ると、温度変化に伴う自己消滅ストリーマモードへの 影響を知る必要がある.そこで、室温付近でエチルア ルコールを添加し量を変化させた場合の自己消滅スト リーマを安定にさせる為には、陽極心線は比較的太いも のが必要であると考えられ、通常この種の実験には50

µm から 200 µm の 心線が 使われてきた。 抵抗心線 ' 型ガス計数管で位置検出を行ない、良好な分解能を得 るには陽極心線の抵抗値を大きくする必要がある.と ころが自己消滅ストリーマが安定に働くとされている 太い心線を用いたのでは,位置分解能が劣化すること になるため、現在まで自己消滅ストリーマの発生が報 告されていない細い心線によって、この自己消滅スト リーマの発生が実現するかどうかを調査した.3)荷 電粒子にたいする自己消滅ストリーマの発生メカニズ ムの研究は、初期電子密度の影響を調べる必要がある 為,入射エネルギーを変え自己消滅ストリーマの発生 状況を調べた. 4)従来計数管ガスとしてよく使用さ れるアルゴン+メタン混合ガスに対する自己消滅スト リーマモードに関する系統的な実験は行なわれていな い、我々はこの混合ガスにエチルアルコールを添加し 自己消滅ストリーマ発生の状況について調べた. 又, 他の消滅ガス(二酸化炭素、プロパンおよびイソブタ ン)を使用した場合の例についても言及する.

#### 2. 実験装置

本実験に使用した実験装置の構成を Fig. 1 に示 す.装置は、ガス計数管,混合ガス供給装置,信号処 理システム および 軟X線発生装置 から構成されてい る.必要な混合ガスを混合供給装置で作りこれをガス 計数管に供給する.又,軟X線発生装置で必要なエネ ルギーのX線を発生させガス計数管にX線を入射させ る.ガス計数管から得られた信号は信号処理システム によって処理される.次に各部の説明を行なう.

#### 2.1. ガス計数管

Fig. 2 に本実験に使用した ガス計数管の構造図を 示す. このガス計数管には高電圧を印加し易いように 円筒型のカソード(真鍮製で内径 12 mm,長さ 100 mm)を採用した. 陽極心線は円筒型カソードの両端 のテフロン製の円板の中心に固定されている. 円筒型 カソードの両端付近にはガスの導入口と排気口が備え てある. 又カソードの中央部および端に直径 2 mmの X線入射用の窓を設けた. この窓にはアルミニウムを 蒸着させた 6 µm のマイラーを貼った.

陽極心線には 実験の 目的により, 直径 10  $\mu$ m, 20  $\mu$ m, 25  $\mu$ m, 50  $\mu$ m, 80  $\mu$ m, 100  $\mu$ m, 125 $\mu$ m, 150  $\mu$ m および 200  $\mu$ m の 9 種類の心線を用いた.80  $\mu$ m およ び 150 $\mu$ m の陽極心線には, マンガニン線を,それ以 外の直径のものにはステンレス鋼線を用いた.









Fig. 3 Gas flow system used in the experiments.

#### 2.2. 混合ガス供給装置

Fig. 3 に本実験に用いた混合ガス供給装置の模式 図を示す. まず アルゴンガスと 消滅ガスを それぞれ 調整器を通すことによって 1.3 atm に減圧し,体積 流量計でガスの混合比を決め,混合器でアルゴンガス と消滅ガスの混合を行なった. この混合ガスは,恒温 槽(0℃ から 50℃ までの恒温を得ることが可能)中 に入れたトラップ中を通過することによってトラップ

- 205 ---





Fig. 4 Electronic circuit for the measurements.

の中の第2種消滅ガスと混合する.第2種消滅ガスの 混合比は,恒温槽の温度を調整することで変化させて いる.

#### 2.3. 信号処理システム

Fig. 4 に信号処理システムの構成を示す. 陽極心線に高電圧を印加し,X線をガス計数管に入射させる ことによって 陽極心線から信号が得られる訳である が,この信号はまず電荷有感型プリアンプで増幅され る. 電荷信号は 88 pF のフィードバックコンデンサ ーと 100 M の抵抗で積分し,70 µsec の時定数で微 分した後に増幅している.プリアンプで増幅された信 号はスペクトロスコピィアンプ (CANBERRA 2010) で,1 µsec の整形時定数で整形,増幅した後当研究 室で開発した RDC システム<sup>19</sup> によって処理される.

#### 2.4. 軟X線発生装置

ガス計数管の開発に際して、その動作メカニズムの 解明 および 較正テストには 適当な線源が 必要となる が、従来この目的には主に <sup>55</sup>Fe からのX線が用いら れてきた.それはX線によるテストで良好な結果が得 られれば、軽荷電粒子の検出器として十分使用できる という経験があり、ガス計数管の動作メカニズムを知 る上で極めて有用な線源であるからである.しかし、 1) 強度が弱い、2) 付与エネルギーが単一である、と いった問題点も合わせ持っている.

このような問題点を改善する目的で Fig. 5 に示す X線発生装置を開発した.<sup>20)21)</sup>この装置は陰極,第1陽 極,第2陽極およびターゲットで構成されている. 陰 極には直径 7  $\mu$ m の炭素 ファイバーを数10本束ねた ものを用い,第1陽極に1kV前後の電圧を印加する ことで電子の強電界放出を計っている.第1陽極の前 に更に第2陽極を配置することにより Butler 型の電 子銃<sup>22)</sup> を形成し電子ビームの収束性を良くしている. ターゲットはビームラインに対して 45° 傾けて置き, X線をビームラインに直角の方向からマイラー膜を通 して取り出した.ターゲットの材料としては Al, Ti, Fe および Ni を用い,必要なエネルギーに応じてタ ーゲット材料の選択を行なった.

真空は 600 *l*/sec の油拡散ポンプで引き, 1×10<sup>-6</sup> Torr 付近の 真空度でこの 装置を 運転した. 通常, 50  $\mu$ A (ターゲット上で)の電子をターゲットに衝撃 させてX線を発生させ,マイラー膜を通して真空中か ら空気中に導き,更にガス計数管にX線を入射させて いる.しかし,このX線には特性X線だけでなく連続 X線も含まれる為,適当な空気層と 20  $\mu$ m の厚さの Ti と 20  $\mu$ m の Ni を吸収材として使用することによ り準単色のX線を作り実験に用いた.

#### 実験結果と考察

## 3.1. 第2種消滅ガスの自己消滅ストリーマに与える影響

ガス計数管の陽極心線に直径 50  $\mu$ m のステンレス 鋼線を用い,入射X線のエネルギーを 4.5 keV に設定 して,第2種消滅ガス(ここではエチルアルコールを 採用した.)のストリーマ発生に与える影響について 調べた.アルゴンおよびメタンガスの流量をそれぞれ 70 cc/min および 30 cc/min とし,アルゴンの混合 ガスを作り,恒温槽の温度を 0°C,5°C,14°C および 29°C と変えることで,エチルアルコールの含有量を 変化させた.その結果エチルアルコールの含有量を れぞれ1.7%,2.4%,4.0%,5.6%および9.2%と なった.又,エチルアルコールを含まない場合につい ても比較の為に実験を行なった.

**Fig. 6** は心線印加電圧の関数として表わしたア バラシュサイズを電荷量(pC) で表わしたものでパ ラメータをエチルアルコール含有率にとっている. 図中の矢印は50%遷移電圧 *Vir*を表わす. ここで



Fig. 5 Ultra soft X-ray generator.

Table 1.	Avalanche size	at	the	50 %-transition	voltage	for	different
	concentrations	of	ethy	yl alcohol.			

Concentration	Temperature	50 %-Transition	Avalanche size at $V_{tr}^s$		0. (0)
$\begin{array}{c} \text{of } C_2H_5\text{OH} \\ (\%) \end{array}$	(°C)	(kV)	$Q_{tr}^{p}$ (pC)	$Q_{sr}^t$ (pC)	Qrt/Qtr
0	_	2.45		_	_
1.7	0	2.45	14.5	14.5	10
2.4	5	2.45	13	103	7.9
4.0	14	2.45	12	88	7.3
5.6	20	2.44	10.4	70	6.7
9.2	29	2.43	10	63	6.3

50 % 遷移電圧とは、 陽極心線から 得られる全信号数 に対して自己消滅ストリーマへ遷移する信号の数が半 数になる時の印加電圧を言う.又このとき,比例モー ドにある信号と自己消滅ストリーマモードにある信号 が共存している訳であるが,比例モードにある信号の 大きさを Q<sup>2</sup><sub>tr</sub> と表わし自己消滅ストリーマモードに ある信号の大きさを Q<sup>2</sup><sub>tr</sub> と表わすことにする.この図 に特徴的なことは次の点である.1) 通常の比例領域 から更に電圧を印加するとアバランシュサイズが飽和 傾向を示しはじめる点があるが,その点の印加電圧お よびアバランシュサイズともにアルコール含有量が減 少するにつれて大きくなる.2) アバランシュサイズ はエチルアルコールの含有率の変化に対して比例領域 ではエチルアルコール含有率の変化の影響が大きくな る.更に自己消滅ストリーマモードのアバランシュサ イズはこの影響を更に強く受ける.

本実験を通して得られた 50 % 遷移点における 電圧  $V_{ir}^{i}$  およびアバランシュサイズ  $Q_{ir}^{i}$ ,  $Q_{ir}^{i}$  等を Table 1 に表わし, これを更に Fig. 7 に表わした. Fig. 7 (a) は遷移電圧  $V_{ir}(V_{ir}^{i})$  のエチルアルコール依存 性を示すもので, 図中の白丸( $\circ$ ) は比例モードから 自己消滅ストリーマモードへ遷移するもののうちダブ ルストリーマへ遷移する 信号の数が 50 % を含める点 の 電圧  $V_{ir}^{i}$  をエチルアルコールの含有率の関数とし



Fig. 6 Measured avalance size as a function of the anode high voltage for different concentration of ethyl alcohol. The 50%-transitions for the X-rays occur at a position indicated by the arrow.

て表わしたものである. この図から次のことが読み 取れる. 1) エチルアルコールを含有しない場合は, *Vir と Vfr がほとんど*一致する. つまり, 比例モー ドから自己消滅ストリーマモードへ遷移するものとダ ブルストリーマへ遷移するものがほとんど同時に表わ れる. 2) エチルアルコールの含有率が多くなるにつ れて *Vir* は,ほぼ一定に保たれるが *Vfr* はしだいに大 きくなる. このことはエチルアルコールの含有率が増 大することにより,ダブルストリーマの発生が抑制さ れることを意味している. Fig. 7 (b) は 50 %遷移点 における比例モードおよび自己消滅ストリーマモード のアバランシュサイズの変化を示す. エチルアルコー ル含有率が3%付近まではアバランシュサイズの変化



は急激であるがそれ以上エチルアルコールの含有率を 増加してもアバランシュサイズの大きな変化はない.

cohol.

これらの実験結果から第2種消滅ガス(エチルアル コール)の役割は次に述べることであると考えること ができる.まず自己消滅ストリーマの発生メカニズム の定性的な解釈<sup>13)</sup>について説明する.通常の比例領域 から更に心線印加電圧を上げてゆくと,電子なだれの 生成がそれまでと異なる様相を呈して,アバランシュ サイズの飽和現象が表われる.これは,陽極心線付近 の電子に比べてドリフト速度の遅い陽イオンが電子な だれの後方にとり残されこの空間電荷によってその付 近の電界が弱められ、実効的な心線印加電圧が下がる 為と考えられる.このようにアバランシュサイズの飽 和現象が表われると陽イオンと先行する電子なだれの 間に電界の弱められた空間ができエネルギーの小さな 電子が存在するようになり、この電子と陽イオンの再 結合が生ずるようになる、その結果再結合による光子 が生成され、光子による電離がふたたび起る、電子な だれの後方のイオン群の端に生じた光電離による電子 は、イオン群に向ってドリフトし新しいなだれを形成 する、この現象が連続的に発生することによりストリ ーマが陰極に向けて生長する、しかし陰極近くで電界 が急激に弱まるためストリーマの生長が止まる、Fig. 6 および7から分かるようにエチルアルコールは、自 己消滅ストリーマモードに大きな影響を与えている。 このことから、上述した再結合による飛程の長い光子 を吸収する働きをエチルアルコールが担っているもの と考えられる、又、ダブルストリーマの発生を抑える 働きを持っていることが分る。

3.2. 陽極心線径の自己消滅ストリーマ発生に与え る影響

陽極心線径を変えて、自己消滅ストリーマの発生の 変化について調べた.本実験に使用した混合ガスは68 % Ar+26% CH<sub>4</sub>+6% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH で、入射X線のエ ネルギーは 4.5 keVとした.又,陽極心線には直径 10  $\mu$ m, 20 $\mu$ m, 25 $\mu$ m, 50 $\mu$ m, 80 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 150 $\mu$ m および 200 $\mu$ m の9種類を用いた。

Fig. 8 に実験結果を示す. 従来自己消滅ストリーマの発生は,比較的太い陽極心線に限られるとされてきたが,本実験では 25 µm および 20 µm の直径の 陽極心線でもはっきり自己消滅ストリーマが起ることが観測された. Fig. 9 は 50 %遷移電圧付近でのアバランシュサイズの波高分布を示す. Fig. 8 あるいは Fig. 9 から明らかなように,心線径が細くなるにつれて,比例モードと自己消滅ストリーマモードのアバランシュサイズの差が小さくなる傾向にある. その為25

μm 位の細い心線になると比例モードと自己消滅スト リーマモードのそれぞれの出力信号が重なり合うよう になる.このような理由で,細い心線で自己消滅スト リーマモードの信号が見落されていた可能性もある.

陽極心線径が 10 µm の場合, Fig. 8 および Fig. 9 から自己消滅ストリーマが発生したかどうか判断し 難いところであるが,心線印加電圧が 1.85 kV 付近 からアバランシュサイズの曲線の傾向が異なってきて いること,又比例モードと自己消滅ストリーマモード のアバランシュサイズの差が他の心線径の場合の傾向 から類推して非常に小さいと考えられること等から, この場合も自己消滅ストリーマモードが生じているも のと考えられる.

**Fig. 8** から 50 %遷移電圧  $V_{ir}$  および その電圧に おける アバランショサイズを 読み取るとともに 50 % 遷移電圧における各心線表面での電界の強さを計算し **Table 2** にまとめた.更にこれらの結果を **Fig. 10** に表わした.この図から,陽極心線径と 50 %遷移 電 圧  $V_{ir}$  とはほぼ比例関係にあること および 陽極心線 径 d と 50%遷移電圧における  $Q_{ir}$  の間に  $Q_{ir}^{i}=ce^{d}$ なる関係があることが分かる.

Raether は一定の電荷量(電離指数約20)に達す るとストリーマへの遷移が起るとしているが<sup>5)</sup>,非 一様電界中では心線径が細くなると遷移が起る点での 電荷**Q**<sup>2</sup>,が急激に大きくなる.又,Meek は電子な だれ頭部の正イオン雲の中に,気体中の光電離作用に より発生した電子を引き入れるだけの空間電荷電界が 発生すること,つまり正イオン空間電荷電界と外部電 界とが等しくなることがストリーマへ遷移する条件 であるとしている<sup>9</sup>.しかし本実験では心線径が細 くなると心線表面上の電界が大きくなる傾向にある。

Anode diameter	50 % transition	Avalanche	size at $V_{tr}^s$		Electric field on the anode wire at $V_{ir}^{s} \times 10^{5}$ (V/cm)	
(µm)	(kV)	$Q_{ir}^{p}(pC)$	$Q_{tr}^{s}(pC)$	Qir/Qir		
10				_		
20	i — i		·	l —		
25	2.22	19.5	59	3.0	2.88	
50	2.46	11.2	72	6.4	1.79	
80	2.68	9.5	102	10.7	1.34	
100	2.79	8.9	100	11.2	1.17	
125	2.97	8.3	115	13.9	1.04	
150	3.14	8.0	130	16.3	0.954	
200	3.37	7.0	155	22.1	0.823	

 Table 2.
 Avalanche size and the electric field at the 50 %-transition voltage for different anode diameters.





Raether および Meek の理論は、ほぼ正しいと考 えられているが、我々の実験結果は細い心線径の場合 に彼らの理論に当てはまらない.しかし、心線が細く なるにつれて電子なだれが心線に廻り込み易くなる<sup>23)</sup> ということを考慮すれば、定性的には細い心線の場合 の実験結果もほぼ彼らの理論で解釈できる.つまり、 心線が細くなるにつれて心線への電子なだれの廻り込 みが大きくなり、心線印加電圧を上げることによって 電荷がある値に達しても、陽イオンによる空間電荷電 界がそれほど大きくならず、更に電圧を上げなければ ストリーマへの遷移が起らないものと解釈される.

0



400 AVALANCHE SIZE (CH.)



0

## 3.3. 入射エネルギーの自己消滅ストリーマ遷移に 与える影響

200

直径 50 µm の陽極心線を用い, ガスの混合比を 66 % Ar+28% CH4+6% C2H5OH とし, ガス計数管 への入射エネルギーを 1.7keV, 3.7keV, 5.2keV, 6.6 keV および 7.6 keV と変化させることによっ て,入射エネルギーがストリーマに与える影響につい て調べる実験を行なった.

その結果を Fig. 11 に示す. Alekseev 等12) は入 射エネルギーが異なる場合でも同一の電荷量に達する と遷移が起るとしているが,我々の精密な実験から同 一電荷量で50%遷移が起るものでないことが明らか になった. それと同時に, 同一電圧で起らないことも 分かった. Fig. 11 の実験結果を Table 3 に数値デー タとして表わし、これを Fig. 12 に示した. この図 から 50 %遷移電圧における 比例モードの アバランシ ュサイズ Qfr が, 我々の 測定したエネルギー範囲で 入射X線のエネルギーに比例することが分かる。

Table 3. Avalanche size at the 50%transition voltage for different X-ray energies

200

400

X-ray energy	50% transition	Avalanc at	he size	$Q_{tr}^{s}/Q_{tr}^{p}$
(keV)	(kV)	(pC)	(pC)	
1.7 3.7 5.2 6.6 7.6	2. 49 2. 46 2. 45 2. 44 2. 43	9.6 10.7 11.1 12.1 12.8	77 74 68 70 69	8.0 6.9 6.1 5.8 5.4

## 3.4. ガス混合比の自己消滅ストリーマ遷移に与え る影響

Fig. 13 は陽極心線を 50 µm およびX線のエネル ギーを 4.5 keV とし、 消滅ガス (CH4) の量を変化 させた場合のアバランシュサイズの電圧特性を示す. Fig. 13 から 50 %遷移電圧におけるアバランシュサ イズ等を読みとり Table 4 にまとめた。

メタン含有量が適度にある場合、混合比が異なって



Fig. 10 50%-transition voltage  $V_{tr}^s$ , the electric field and the avalache size at  $V_{tr}^s$  as a function of the anode diameter.

Table	4.	Avalanche	size at	the	50%
		transition	voltage	for	dif-
		ferent gas	mixture	es.	

Gas mixture Ar: CH <sub>4</sub> : C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	50%- transition voltage V <sup>s</sup> r (kV)	Avala size a $Q_{ir}^{p}$ (pC)	anche at $V_{ir}^s$ $Q_{ir}^s$ (pC)	$Q_{tr}^{s}/Q_{tr}^{p}$
$\begin{array}{c} 85 : 10 : 5 \\ 78 : 16 : 6 \\ 66 : 28 : 6 \\ 47 : 47 : 6 \\ 33 : 61 : 6 \\ 9 : 85 : 6 \end{array}$	2. 10	28	185	6.6
	2. 22	14	110	7.9
	2. 46	11.2	70	6.4
	2. 68	9.4	66	7.0
	2. 84	9.3	67	7.2
	3. 10	10.3	51	5.0



も,50% 遷移電圧における アバランシュサイズに大きな変化は見られない.しかし消滅ガスを含まない混合ガスの場合には、印加電圧のわずかな増加によっても、アバランシュサイズの激しい変化が起り、自己消滅ストリーマ発生の有無は確認出来なかった.第2種 消滅ガスの混合割合を変えても50%遷移電圧には、ほとんど変化を示さなかったが、消滅ガス(CH<sub>4</sub>)の量 を変化させた場合には50% 遷移電圧が大きく変化する.このことから消滅ガスと第2種消滅ガスと問の 働きに違いがあることが分かる。

Fig. 14 は消滅ガスに プロパン, イソブタンおよび 二酸化炭素を 使用した場合の 実験結果を 示す. 又, Fig. 15 はアバランシュサイズの波高分布を示す. 消 滅ガスにプロパン, メタンおよび二酸化炭素を用いた 混合ガスでは,比例モードおよび自己消滅ストリーマ モードともに同じようにアバランシュサイズの変化を





示している. ところが, 50 % 遷移電圧付近の電圧で 得られたアバランシュサイズの波高分布は, 消滅ガス の種類により異なる傾向を示している. 消滅ガスにメ タンを用いた場合には, 比例モードのピークと自己消 滅ストリーマモードのピークがはっきり分離している が, プロパン, 二酸化炭素およびイソブタンを消滅ガ スに用いた場合も比例モードのピークのそれが自己消 滅ストリーマモードのピークに連続的につながってい ることが分かる. 又,メタンを消滅ガスに用いた時が, 50 % 遷移電圧における自己消滅 ストリーマモードの アバランシュサイズが最も大きくなる. これらのこと から, 自己消滅ストリーマモードを用いた位置検出を 考えるとき, 消滅ガスにはメタンを選択するのが好ま しいものと考えられる.



Fig. 13 Avalanche size for  $Ar+CH_4+C_2H_5OH$  mixtures in different volume proportions.



Fig. 14 Avalanche size for different gas mixtures.





Fig. 15 Variation of the avalanche size for various quenching gases.

#### 4. 結 論

単心線型ガス計数管における自己消滅ストリーマモ ードへの,第2種消滅ガス(エチルアルコール),陽 極心線径,入射エネルギーおよび混合比に対する影響 に関する一連の実験を行ない次の結論を得た.

1) 第2種消滅ガス(エチルアルコール)は,比例 モードよりも自己消滅ストリーマモードへ与える影響 が非常に大きく,自己消滅ストリーマを安定に発生さ せる.つまりエチルアルコールにはダブルストリーマ の発生を抑える働きがあることが明らかになった.

2) 室温付近の温度で温度変化が生じてもストリー マ発生に与える影響はそれほど大きくない.従って自 己消滅ストリーマを位置検出に利用する際,アルコ ルの温度コントロールの必要がなく使い易い.

 現在まで自己消滅ストリーマは比較的太い心線 (50 µm 以上) で発生するものと解釈されていたが, 直径 20 µm の陽極心線でも自己消滅ストリーマの発 生が確認された.

4) 心線径が変化する場合, 50 % 遷移電圧 でのア バランシュサイズ **Q**<sup>2</sup>, および心 線表面での 電界強度 は一定にならないことが明らかとなった.

5) Alekseev 等は,入射エネルギーが異なる場合 でも同一電荷量に達するとストリーマへの遷移が起る としたが,我々の実験から同一電荷で50% 遷移が起 らないことが分かった.又,自己消滅ストリーマのア バランシュサイズには,入射エネルギーの影響にほと んど受けないことが明らかとなった.

#### 謝辞

本実験を遂行するに当って助言及び御協力を頂いた 工学部の隈部功教授及び栄武二氏に感謝いたします。

#### References

- H. Geiger and W. Müller: Phys. Zt. 29 (1928) 839.
- H. Geiger and O. Klemperer: Z. Phys. 49 (1928) 753.
- M. E. Rose and S. A. Korff: Phys. Rev. 59 (1942) 850.
- 4) S. A. Korff: Electron and Nuclear Counters (Van Nostrand, 1955) p. 13.
- Raether: Electron Avalanches and Breakdown in Gases (Butterworth, London, 1964)
- 6) J. M. Meek: Phys. Rev. 57 (1940) 722.
- 7) L. B. Loeb: Phys. Rev. 74 (1948) 210.
- 8) R. C. Fletcher: Phys. Rev. 76 (1949) 1501.
- S. Brehin, A. Diamant Berger, G. Marel, G. Tarte, R. Turlay, G. Charpak and F. Sauli: Nucl. Instr. and Meth. 123 (1975) 225.
- G. Battistoni, E. Iarocci, M. M. Massai,
   G. Nicoletti, Nucl. Instr. and Meth. 164

昭和60年

(1979) 57.

- G. D. Alekseev, D. M. Khazins and V. V. Kruglov : Lett. Nvov. Cim. 25 (1979) 157.
- 12) G. D. Alekseev, N. A. Kali ina, V. V. Karpukhin, D. M. Khazins and V. V. Kruglov: Nucl. Instr. and Meth. 177 (1980) 385.
- M. Atac, A. V. Tollestrup and D. Potter: Nucl. Instr. and Meth. 200 (1982) 345.
- 14) E. P. de Lima, M. Salets S. C. P. Leite, A.J.P.L. Policardo and M.A.F. Alves: IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30, No. 1 (1983) 90.
- T. Mulera, A. Del Guerra, V. Perez-Mendez, G. Schwartz: IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30, No. 1 (1983) 355.
- S. Margulies: IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-31, No. 1 (1984) 141.

- M. Atac and F. Bedeschi: IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-29, No. 1 (1982) 396.
- H. Kametani, T. Sakae, K. Komatsu, H. Ijiri and M. Matoba: Nucl. Instr. and Meth. 225 (1984) 113.
- M. Matoba, H. Kurokawa, T. Sakae, H. Ijiri, H. Kametani and K. Komatsu: Nucl. Instr. and Meth. 224 (1984) 173.
- 20) A. W. Kolfschoten, H. W. Vanderven and A. Buijs: Nucl. Instr. and Meth. 188 (1981) 477.
- 21) H. Ijiri et al.: to be published.
- 22) J. W. Butler: Digital Computer Techniques in Electron Microscopy 6 th Int. Cong. Electron Microscopy (1966)
- H. Okuno, J. Fischer, V. Radeka and A. H. Walenta: IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26, No. 1 (1979) 160.