

研究論文

004

核分裂片飛跡の放電計数法の研究(I)

—現状と問題点—

古賀妙子, 森嶋彌重, 丹羽健夫, 河合 廣, 西脇 安
真木俊郎*, 吉持正雄*, 坂口茂宏*, 筒井靖明*, 北垣洋一*

Studies on the Spark Counting Techniques of Etched Nuclear Tracks (I)

—Recent Developements and Several Problems—

Taeko KOGA, Hiroshige MORISHIMA, Takeo NIWA, Hiroshi KAWAI,
Yasushi NISHIWAKI, Toshiro MAKI*, Masao YOSHIMUCHI*,
Shigehiro SAKAGUCHI*, Yasuaki TSUTSUI* and Yoichi KITAGAKI*

(Received September 29, 1979)

The fission track counting method which is very effective for neutron monitoring using polycarbonate film has been made rapidly and easily with automatic spark counting method initiated by Cross W.G. and Tommasino L.. We have studied spark counting characteristics using polycarbonate detector films of different thicknesses, aluminized polycarbonate sheets of different aluminum thicknesses for an electrode and positive copper electrodes of different sizes.

As the thickness of detector films decreases, percentage of round etch-pits to all etch-pits increased and spark counting efficiency increased. From our experiments, Makrofol KG 10 μm thick or Lumirror 6 μm thick appear to be more suitable for routine use.

Spark counts of etch-pits below 1000/cm² on Makrofol KG 10 μm thick can be counted with about 10% of relative standard deviation and its measuring range of thermal neutron fluence was about 10⁴/cm²–10⁹/cm² with 1 mg of natural uranium target.

KEYWORDS

Dielectric track detectors, Spark counting characteristics, Polycarbonate films, Personnel dosimetry, Neutron dosimetry, Spark counters, Fission tracks,

1. 緒 論

1960年代の初めの化学的エッチング法の導入によって固体飛跡検出法は一躍その応用範囲を拡げ、ポリカーボネートフィルムを使用した中性子線量測定は非常に効果的な方法として知られるようになった¹⁻⁸⁾。こ

の方法は β 線および γ 線に対して、ほとんど感受性がなく中性子を選択的に測定出来る。ウランあるいはトリウムのような核分裂性物質の中性子照射により検出用フィルム上に生じた核分裂片飛跡を化学処理し、得られたエッチピットの光学顕微鏡による計数は、多数の試料を処理するには時間がかかり、疲労度も大きいため自動的に計数する方法が色々と考案された²²⁾。放電計数もその一つで、まず金属板電極とナイフエッ

* 理工学部原子炉工学科 (当時)

ジ電極に電圧をかけ試料固体を走査して放電パルスを計数する方法²⁾が行われたがさらに迅速に行うため W. G. Cross および L. Tommasino^{9,10)} によって改良, 開発され現在に至っている¹¹⁻²¹⁾。

1972年にコダック社で調査されたトラック検出に関する報告によると約30ヶ国, 約 200の研究で行われた方法のうち, 放電計数法によるものがおよそ5分の1を占めている。欧米では簡便かつ迅速な方法として原子力施設における中性子線量測定^{2,7,9,11,14,19,23,24)}に適用され, 個人中性子線量測定に西独の Jülich および Karlsruhe 原子力研究所, スイス連邦原子炉研究所, アメリカの Brookhaven および Argonne 国立研究所, カナダの Chalkriver 原子力研究所などにおいて自動放電計数法が利用されている²³⁾。核分裂性物質と固体飛跡検出用薄膜の適当な組合せにより測定可能なエネルギーとその中性子フルエンスを変えることが可能となり, 広いエネルギー範囲にわたる中性子線量の測定を行える。また硝酸セルロースを検出用フィルムとしてウラン鉱山のラドンなどの α 放射能の測定にも実用化されている^{30,34)}。

われわれは国内で手に入る種々の厚みのポリカーボネートフィルムおよび色々な厚みのアルミニウム層のアルミニウム蒸着シートを用いた放電計数特性について基礎的研究を行うとともに現在までに行った放電計数法の現状と問題点について総説する^{17,18,25,26,31,32)}。

2. 放電計数法の原理

核分裂片飛跡検出用フィルムと核分裂性物質を密着した検出器ユニットを中性子線霧囲気中におき, 中性子照射された検出用フィルムをはずし, エッチングした後, Fig. 1 に示した放電計数回路における両電極の間にはさむ。一方は銅円板を陽極に, 他方はアルミニウム蒸着ポリカーボネートシートのアルミニウムを陰極に用いた。両電極に電圧をかけると検出用フィルム上の1個のエッチピットを通して放電が生じ, 陰極のアルミニウムがエッチピットを中心にして小範囲飛散して放電が止まる。次に充電によりコンデンサーの電圧が次第にあがり, 次のエッチピットで放電し, 次々と進む。また1回放電したエッチピットではアルミニウム電極部が蒸発してなくなるので同じ所で放電する確率は小さい。計数は数秒で終了するため通常の計数装置では数え落す可能性が大きいので1度放電した孔のあいた検出用フィルムを別の新しいアルミニウム蒸着シートに重ね, 前より低い電圧で放電パルスを計数する。前者を開孔放電(パンチング) 後者を計数放電(カウンティング) と呼ぶ。Fig. 2 はアルミニウム蒸着シートと核分裂片飛跡検出用ポリカーボネートフィルムを重ねた場合の顕微鏡写真でフィルム上のエッチピットの表面密度が大きく, 放電によって生じた2個のアルミニウム蒸発部は一部重なっておりこの中に2

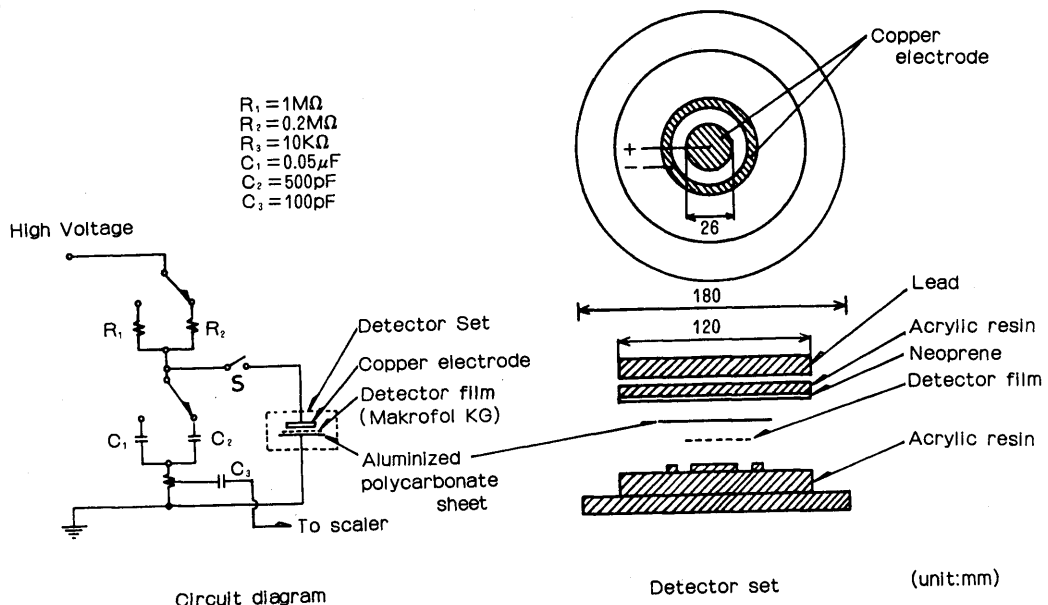


Fig. 1 Circuit diagram and detector set of electrical spark counting system.

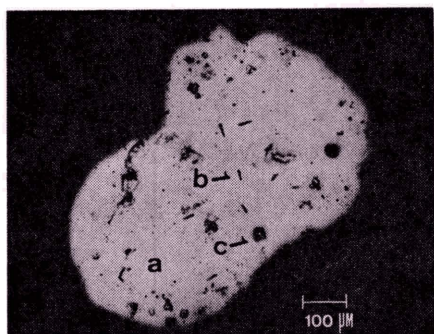


Fig. 2 Microphotograph of the detector film placed on the aluminized sheet.

- a: two evaporated holes of aluminium.
 - b: unperforated etch-pit.
 - c: punched hole.
- (Panlite 18 μm thick)

個のエッチホール（エッチピット部に貫通した孔）と放電せずに孔のあいていないエッチピットが沢山見える。放電計数法によって計数可能なエッチピットの数は陰電極であるアルミニウム蒸着シート上の蒸発孔の大きさに支配される。

3. 実験方法

3.1 材料

- 1) 核分裂片飛跡検出用薄膜として、西独バイエル社製 Makrofol KG 5μm 厚, 10μm 厚, 20μm 厚, 帝人社製パンライト 18μm 厚および東レ社製ルミラー 6μm 厚を用い放電計数特性の比較を行った。Makrofol KG およびパンライトはポリカーボネートフィルムでルミラーはポリエステルフィルムである。
- 2) 核分裂性物質はステンレス板上に電着した天然ウランおよびトリウムを、それぞれ熱および速中性子検出用として用い、電着量は2πガスフロー計数装置（富士電機製 GCS-1A）によりその α 放射能を測定し推定した。核分裂性物質は飛跡検出用フィルムと密着、固定して照射試料とした。
- 3) 陰電極となる Al 蒸着シート上のアルミニウム層の厚み（2.73~28.7 nm）はその電気抵抗値を測定し求めた。

3.2 中性子照射

照射用検出器ユニットは本原子炉（UTR-Kinki）1

ワットで中央黒鉛反射材上および試料照射用ストリンガー照射孔において中性子照射した。熱および速中性子束密度の測定には金箔およびメタリン酸カルシウム（Ca(PO₃)₂）を使用した。

3.3 エッチング法

照射後、飛跡検出用フィルムは核分裂性物質からはずし、60℃ の30%水酸化カリウム溶液に20分間浸してエッチングした。

3.4 放電計数法^{17, 18, 25, 26)}

エッチングした検出用フィルムを **Fig. 3** に示した放電計数装置で計数した。装置の検出部は初期の箱型^{17, 18)} より現在の形に改良され、陽電極板として有効直径 25 mm の銅板を外装はベークライトおよびア



Fig. 3 Photograph of spark counter system.

- a: Detector set
- b: Scaler

クリル樹脂を用いている。通常の計数には検出用フィルムとして Makrofol KG 10μm 厚、および陰電極のアルミニウム層の厚みは約 10nm を用いた。この場合電極間には 1000V の電圧をかけることによりエッチピット部に貫通孔を作り、より低い電圧 500V で放電パルスを計数した。

3.5 光学顕微鏡による観察

検出用フィルム上のエッチピットの長径(a)および短径(b)を光学顕微鏡（ニコン、S-Ke）、倍率400倍で200ケ計測し、離心率 $e = \sqrt{1-b^2/a^2}$ でエッチピットの粒形分布を示した。

4. 結果と考察

4.1 放電計数特性について²⁶⁾

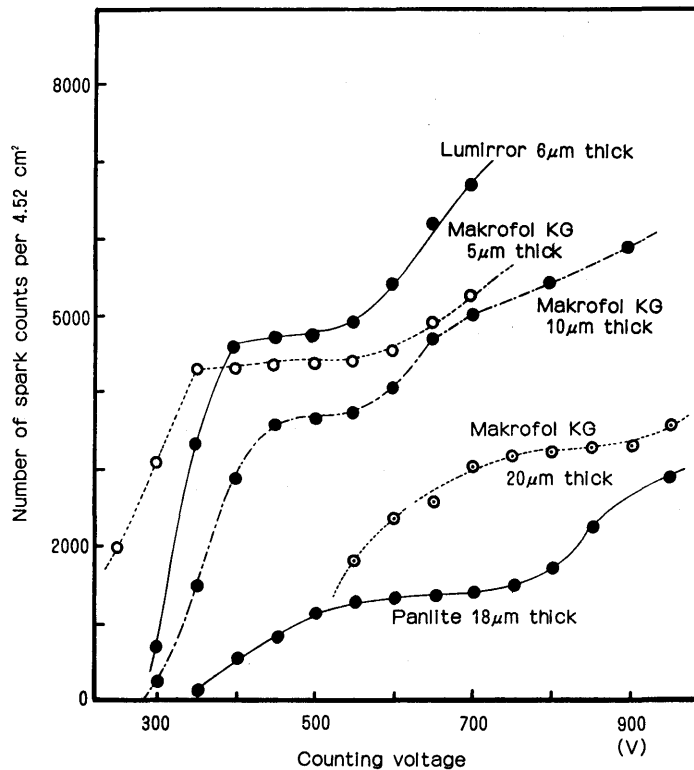


Fig. 4 Characteristics of spark counting plateaus of different detector films.

Table 1 Comparison of characteristics of different detector films

Film	Thickness (μm)	Optimum punching voltage (V)	Optimum counting voltage (V)	Spark counting efficiency (%) (No. of etch-pits: 1000~2000)
Makrofol KG	5	700	450	100
Lumirror	6	700	450	74
Makrofol KG	10	1000	500	77
Panlite	18	1300	700	28
Makrofol KG	20	1300	800	8.4

1) 検出用フィルムの厚みによる比較

飛跡検出用フィルムの5種の厚みについて放電計数特性を Fig. 4, Table 1 に示した。5~20 μm の厚みのフィルムについて、厚みが増加するにつれてプラトー領域は高電圧側に移動し、最適開孔電圧は高くなる。またフィルムが厚くなるにつれて放電計数効率(核分裂性物質より推定したエッチピット数に対する放電計数値の相対値)は急激に減少する。ブランクの放電数(核分裂性物質の0の時の照射フィルムの放電数)は10 μm 厚以上のフィルムについては0であるが

5 μm 厚の Makrofol KG では平均 61/cm² と増加する。このためエッチピットの放電計数法においては、ブランク放電数も少なく計数効率が高いフィルムとして Makrofol KG 10 μm 厚が適当であり、ルミラー6 μm 厚も計数効率がよく Makrofol KG 5 μm 厚よりも機械的に強く、日常の線量測定に適していると思われる。またそれぞれのフィルムに生じたエッチピットの粒形分布を Table 2 に示した。これによると Makrofol KG について、厚みが増加するにつれてエッチピットの長径は大きく短径は小さくなり、 $0.9 \leq e \leq$

Table 2 Size distribution of etch-pits of different detector films

Film	Makrofol KG			Panlite	Lumirror
Thickness (μm)	5	10	20	18	6
Eccentricity					
$0 \leq e < 0.4$	0 %	1.2 %	0 %	0 %	0 %
$0.4 \leq e < 0.5$	0.5	0.8	0	0.7	0.5
$0.5 \leq e < 0.6$	2	1	1	0.8	1.0
$0.6 \leq e < 0.7$	3	2	0.5	2.7	8.5
$0.7 \leq e < 0.8$	9.5	6	0.5	5.0	4.5
$0.8 \leq e < 0.9$	32.5	16	6	16.8	29.5
$0.9 \leq e \leq 1.0$	52.5	73	92	74.0	56
Average major diameter (μm)	10.1 \pm 2.5	13.2 \pm 4.6	14.1 \pm 3.9	15.4 \pm 3.7	8.83 \pm 2.51
Average minor diameter (μm)	4.54 \pm 0.87	3.87 \pm 0.42	3.37 \pm 0.49	5.67 \pm 0.72	3.67 \pm 0.71

Etching conditions: 30% KOH solution, 60°C, 20 min.

Fissile material: natural uranium.

Table 3 Distribution of etch-pits before and after spark-punching of detector films

Film	Panlite (18 μm thick)				Makrofol KG (10 μm thick)			
Fissile material	Uranium		Thorium		Uranium		Thorium	
Eccentricity	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
$0 \leq e < 0.4$	0 %	0 %	0 %	0 %	1.2 %	0 %	0 %	0 %
$0.4 \leq e < 0.5$	0.7	0	1	0	0.8	0	0	0
$0.5 \leq e < 0.6$	0.8	0.5	0.5	0	1	0	0	0
$0.6 \leq e < 0.7$	2.7	0.5	1	0	2	0	0.5	0
$0.7 \leq e < 0.8$	5.0	1.7	3	0	6	0	0	0
$0.8 \leq e < 0.9$	16.8	7.8	5.5	0	16	3	4	0
$0.9 \leq e \leq 1.0$	74.0	89.5	89	100	73	97	95.5	100
Average major diameter (μm)	15.4 \pm 3.7	16.4 \pm 3.4	11.3 \pm 2.7	12.7 \pm 2.0	13.2 \pm 4.6	14.6 \pm 4.1	10.1 \pm 2.8	11.7 \pm 1.9
Average minor diameter (μm)	5.67 \pm 0.72	5.55 \pm 0.72	3.50 \pm 0.81	3.51 \pm 0.46	3.87 \pm 0.42	3.61 \pm 0.58	2.27 \pm 0.42	2.16 \pm 0.32

1.0 の棒状のエッチピットの占める割合が増加する。エッチピット表面密度が高い場合、棒状のエッチピットは放電計数されにくく、厚い検出フィルムの放電計数効率低下する。ここで放電計数前後のフィルム上のエッチピットの粒形分布を **Table 3** に示した。放電計数後、フィルム上の多くのエッチピットは放電計数されずに残っている。放電されずに残留しているエッチピットの粒形分布において、 $0.9 \leq e \leq 1$ の占める割合が増加する。**Fig. 5** に示したように円形に見えるエ

ッチピットが放電されやすい。また同じフィルム上に生じたエッチピットの粒形分布は核分裂性物質すなわちウランおよびトリウムによって若干異なり、 $0.9 \leq e \leq 1.0$ の棒状の占める割合はトリウムの場合の方が大きい。欧米での放電計数に関する研究において核分裂片飛跡検出用フィルムとして Makrofol KG 10 μm 厚を用いたもの^{7,9-11,14,20)}、および 12 μm 厚^{13,19,21,29)} を用いたものなどが大半を占めているが、種々の厚みのフィルムについて比較検討した報告は G. G. Ma-

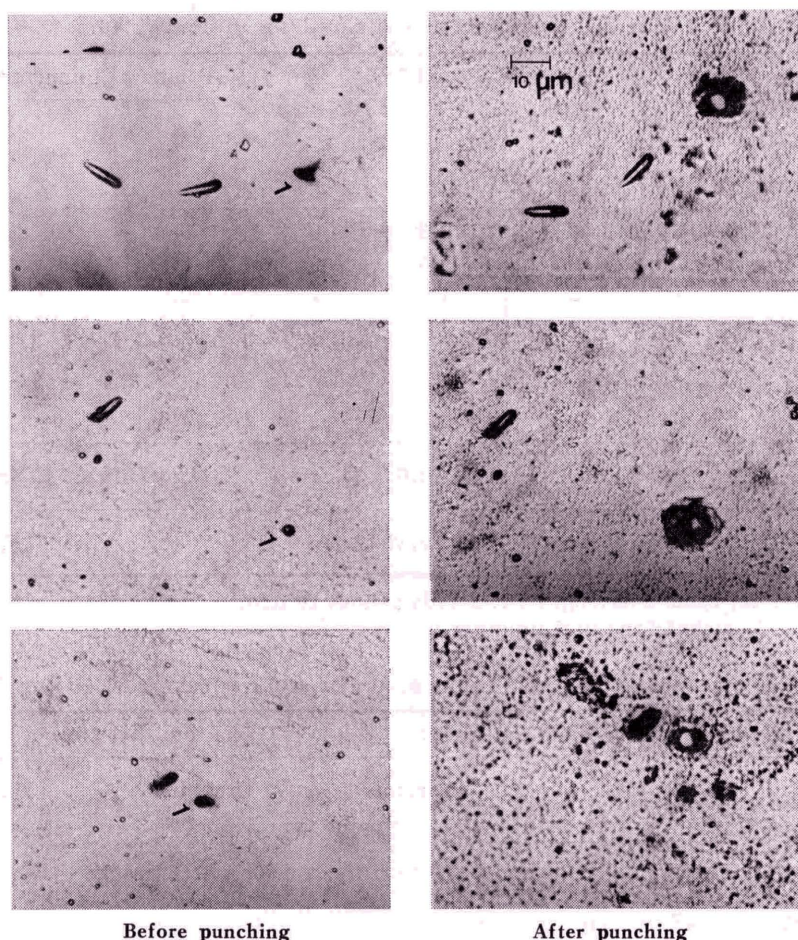


Fig. 5 Microphotographs of etch-pits and etch-holes on the detector film.
(Makrofol KG 10 μm thick)

stinu²⁰⁾ および N. L. Lark²⁹⁾ など多くない。G. G. Mastinu は Makrofol KG 10 μm 厚および Mylar 12 μm 厚について比較し、前者はブランク計数が少なく検出限界も小さいと報告し、N. L. Lark は日常の線量測定には 8 μm 厚が最適であるとしている。検出用フィルムの厚みが増すと放電計数効率低下するのでブランク計数がない範囲で薄い方が望ましい。

2) アルミニウム電極シートのアルミニウム層の厚みによる影響

Makrofol KG 10 μm 厚を用いて、アルミニウム層 2.73~23.7nm 厚のアルミニウム蒸着電極シートによる放電計数特性を Fig. 6 に示した。これによるとアルミニウム層が厚くなるにつれてプラトー領域が短くなり低電圧で多重放電が生じやすい。印加電圧を次第に上げるとプラトー領域に続いて急激に計数が増加

するがこれは1個のエッチホールで複数回の放電が起るためと思われる。これはアルミニウム層が厚くなるとアルミニウム蒸発孔は小さくなり多重放電が生じやすいという報告²³⁾ と一致している。同一種の検出フィルムについての放電計数の場合、アルミニウム層の種々の厚みに対して最適計数電圧は 500~550V と変化しなかった。エッチピット数約 1100/cm² について、アルミニウム層が 2.73~28.7nm と増加するにつれてアルミニウム蒸発孔の直径は約 200 μm から約 150 μm と小さくなり放電計数効率は若干増加する。

3) 放電電圧の影響

Fig. 7 に開孔電圧とフィルム上に生じた貫通孔径との関係を示したが、印加電圧の上昇とともに貫通孔径は増大する。しかしその試料を計数電圧 500V で計数した場合に生じたアルミニウム蒸発孔の大きさはほと

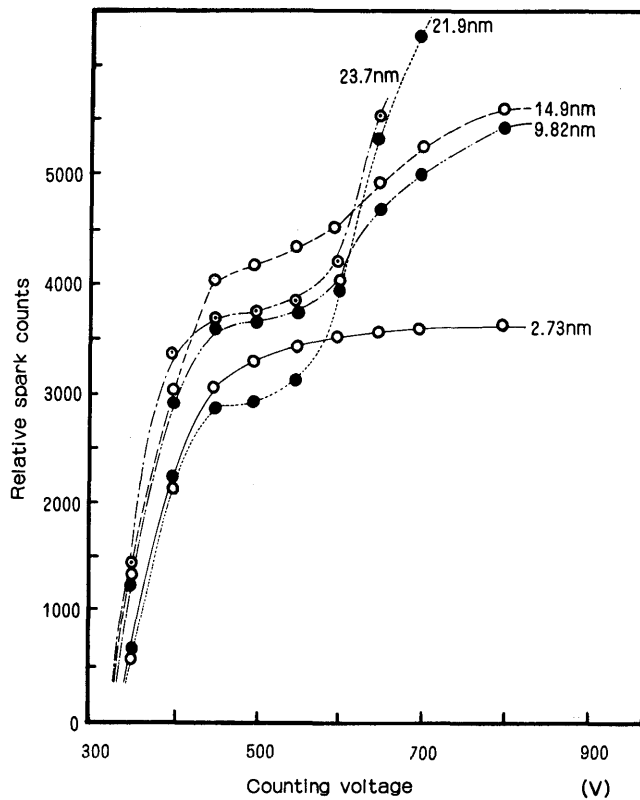


Fig. 6 Spark counting plateaus of Makrofol KG 10 μm thick for different Al thicknesses of aluminized sheet electrodes.

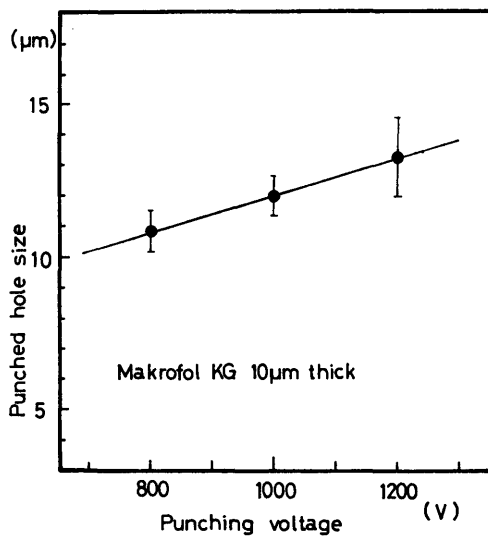


Fig. 7 Relation between punching voltage and punched hole size on detector film.

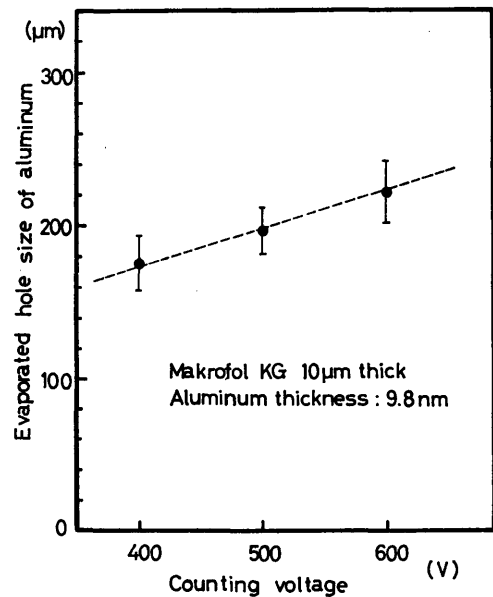


Fig. 8 Relation between counting voltage and evaporated hole size of aluminum on aluminized sheet.

んど変化しなかった。また計数電圧とアルミニウム蒸発孔径の関係を **Fig. 8** に示したが、印加電圧が上る

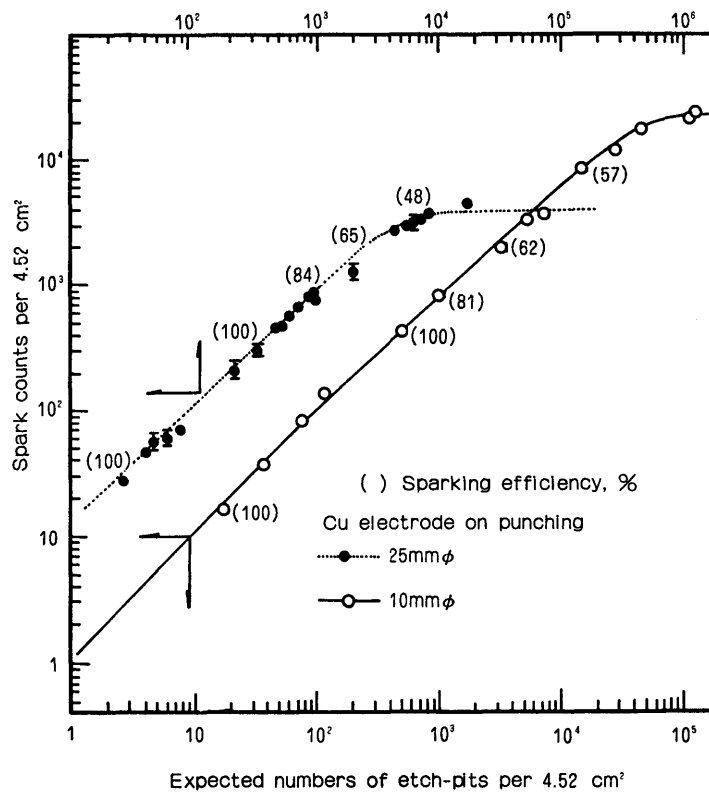


Fig. 9 Relation between spark counts and expected numbers of etch-pits.
(Makrofol KG 10 μm thick)

Table 4 Spark counting characteristics on the size of positive electrode

Diameter of positive electrode (mm)	Diameter of punched hole (μm)	Diameter of aluminum evaporated hole (μm)	Maximum detectable limit (n/cm ²)
10	5.3 \pm 1.2	130 \pm 9.6	2200~3300
25	9.0 \pm 1.9	203 \pm 6.1	700~1000
50	31.4 \pm 6.2	352 \pm 28.0	—

とともに蒸発孔は大きくなり、アルミニウム蒸発孔径は放電計数可能な上限に大きく影響するため、開孔電圧は高く計数電圧は飽和領域内であってもなるべく低電圧での計数が望ましい。

4) 放電検出器の大きさによる影響

放電計数の検出器として有効径 25mm の銅電極を用いてきたが、試料の大きさに合わせて必要な電極として径の異なる 10mm ϕ および 25mm ϕ について放電特性の比較を行い、結果を Fig. 9 および Table 4 に示した。放電計数値と核分裂片飛跡数との関係から、10mm ϕ の電極による飛跡の放電計数可能な上限は 2200~3300/cm² となり 25mm ϕ 電極に比べて約 3~4

倍となり計数範囲は拡大された。放電計数により生じた検出フィルム上の飛跡の貫通孔径およびアルミニウム蒸発孔径は電極径に比例して大きくなる。これらの結果により電気容量の小さい小電極により開孔操作を行い、径の小さい飛跡の貫通孔を生成し、通常の計数操作を行えば放電計数可能な上限が大きくなると思われる。

4.2 放電計数法の検出限界

帝人製パンライト 18 μm 厚を飛跡検出用フィルムとして用いた場合の核分裂性物質より計算した核分裂片飛跡表面密度と放電計数値との関係を Fig. 10 に示した。これによると放電計数値が単位面積当たり約 400 ま

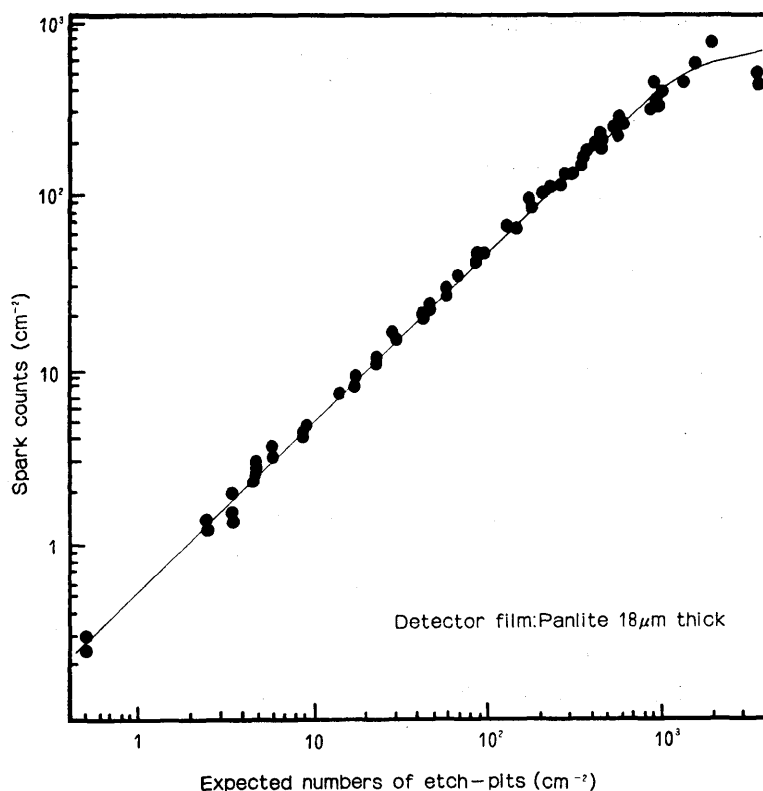


Fig. 10 Relation between spark counts and expected numbers of etch-pits.

Table 5 Maximum detectable limits of spark counting

Researcher	Detector film	Maximum detectable limit	Evaporated aluminum hole size (μm)
D. R. Johnson et. al. ¹⁶⁾	Cellulose nitrate 10-20 μm thick	$\sim 5000/\text{cm}^2$	100-200
E. T. Agard et. al. ¹⁴⁾	Makrofol KG 10 μm thick	$\sim 220/\text{cm}^2$	—
S. Pretre ¹¹⁾	Makrofol KG	$\sim 400/\text{cm}^2$	—
W. G. Cross et. al. ^{9,10,33)}	Makrofol KG	$\sim 5000/\text{cm}^2$	—
F. J. Congel et. al. ¹⁵⁾	Kimfol A 10 μm thick	$\sim 100/\text{cm}^2$	—
A. M. Bhagwat et. al. ²¹⁾	Makrofol KG 12 μm thick	100-1000/ cm^2	140-210
A. Sandell et. al. ²⁸⁾	Makrofol KG 12 μm thick	$\sim 1000/\text{cm}^2$	—
M. Várnagy et. al. ¹⁹⁾	Makrofol KG 12 μm thick	$\sim 50000/\text{cm}^2$	96
Y. Nishiwaki et. al. ^{17,18)}	Panlite 18 μm thick	$\sim 400/\text{cm}^2$	600
"	Makrofol KG 10 μm thick	$\sim 3300/\text{cm}^2$	130

ではエッチピット数との間に対数グラフ上で直線関係が得られそれ以上では飽和状態になる。検出用フィルムとして Makrofol KG 10 μm 厚を用いた場合の関係を Fig. 9 に示したが、これによると放電計数効率率は飛跡の表面密度が大きくなるにつれて減少し、計数可能な上限は 1000/ cm^2 となり、アルミニウム蒸発孔径

は約 200 μm と前者の孔径のおよそ 1/3 と小さくなり、検出限界は蒸発孔径に大きく影響される。

今回われわれの行った実験条件で放電計数可能な上限の最良の値は Makrofol KG 10 μm 厚、10mm ϕ の陽電極の検出器によって行った場合で 3300/ cm^2 となった。これは W. G. Cross^{9,10,33)} らの値とおおむね

一致している。今までに報告された放電計数法の検出限界を Table 5 に示したが M. Várnagy ら¹⁹⁾ は Makrofol KG 12 μ m 厚を用いて 50000/cm² と計数範囲は拡大されている。検出限界はアルミニウム蒸発孔径に依存しているため、放電計数の際の諸条件すなわち放電電圧およびアルミニウム蒸着電極シートのアルミニウム層の厚みなど以外にも検討が必要となるが、検出器も含めた電気回路中の電気容量をより小さくする工夫が考えられる。

しかし計数可能な上限が低く、面倒なエッチング処理が必要である点を考慮して、L. Tommasino らは化学エッチングをさせ、核分裂片飛跡の検出を直接二酸化ケイ素の絶縁破壊の計数によって行い、印加電圧も低く、検出限界の上限も 10⁵ 位まで拡がり計数装置も内蔵した携帯型の線量計としての可能性を報告している²⁷⁾。

4.3 熱中性子フルエンスの測定

飛跡検出用フィルムとして 帝人製、パンライト 18 μ m 厚および Makrofol KG 10 μ m 厚を用いた場合の

熱中性子フルエンスとフィルム上の飛跡の貫通孔の放電計数値との関係をそれぞれ Fig. 11 および Fig. 12 に示した。これにより得られた熱中性子フルエンスの測定可能範囲を Table 6 に示したが Makrofol KG 10 μ m 厚の方が測定範囲は広く、ウラン 100 μ g を使用した場合の放電計数法による熱中性子フルエンスの下限はそれぞれ 10⁶n/cm² および 5 \times 10⁵n/cm² であった。

5. ま と め

わが国で入手出来る種々の厚みの飛跡検出用フィルム、アルミニウム層の厚みの異なるアルミニウム蒸着電極シートおよび種々の大きさの検出器などを用いて放電計数特性の基礎的検討などの総説を行った。今回使用した材料については 10 μ m 厚 Makrofol KG、6 μ m 厚ルミラーが飛跡の放電計数法において良好であると思われ、アルミニウム蒸着電極シートにはアルミニウム層の厚み約 10nm を日常の測定に用いた。従来の光学顕微鏡下での観察は比較的低表面密度のエッチ

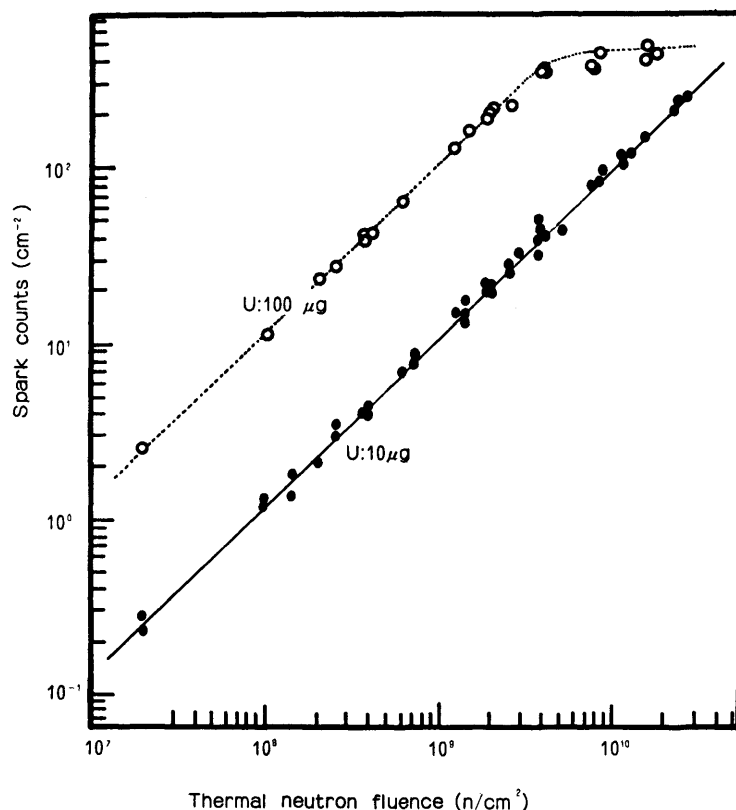


Fig. 11 Relation between spark counts and thermal neutron fluence.
(Detector film : Panlite 18 μ m thick)

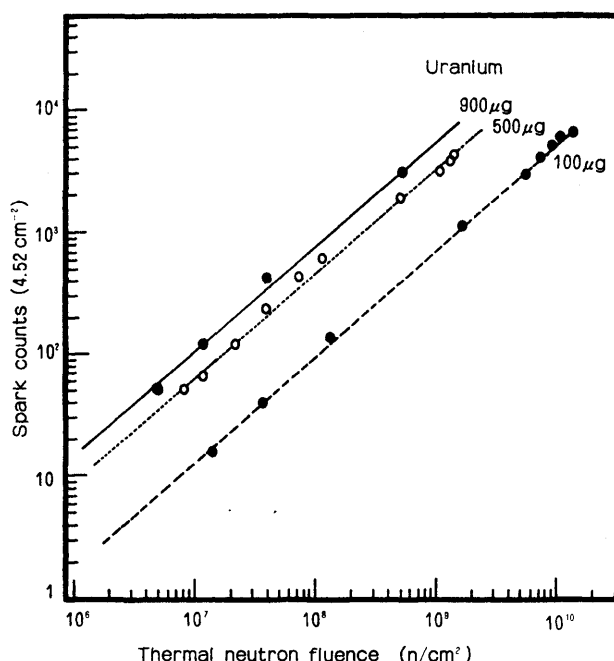


Fig. 12 Relation between spark counts and thermal neutron fluence.
(Detector film: Makrofol KG 10 μm thick)

Table 6 Measurable range of thermal neutron fluence using the spark counting method

Detector film	Fissile material natural uranium ($\mu\text{g}/4.52\text{cm}^2$)	Range of thermal neutron fluence (n/cm^2)
Panlite 18 μm thick	10	10^7 – 10^{10}
	100	10^6 – 10^9
	1000	10^5 – 10^8
Makrofol KG 10 μm thick	100	5×10^5 – 10^{10}
	500	10^5 – 2×10^9
	900	10^5 – 10^9

ピットの試料を多数処理する場合には時間がかかり疲労度も大きく、面倒であるのに比べて核分裂片飛跡の放電計数のみに要する時間は2～3分と非常に迅速かつ簡便に行われる。エッチピット数1000個位の放電計数法の再現性(繰返し実験を行った際の計数値の相対標準偏差)は10%以下で、低レベルの中性子フルエンスの場所の測定に有効である。また反面、現在の実験条件において(Makrofol KG 10 μm 厚, 10nm Al厚)放電計数可能な上限は3300/cm²で、核分裂性物質質量を加減することにより測定範囲は多少拡大するが、高表面密度のエッチピットの計数には顕微鏡による計数

が適していると思われる。

以上のウランまたはトリウムをターゲットとして中性子によりポリカーボネートフィルム上に生じたエッチピットの放電計数する方法は広範囲にモニタリングサービスを実施する場合、他の検出法と比べ次の点ですぐれている。1) ポリカーボネートフィルムの厚みは10 μm 程度でも強靱である。2) 核分裂片トラックを利用するため α 、 β 、 γ 線バックグラウンドに殆んど感受性がない。3) バックグラウンド放電計数はほとんど零である。4) 必要経費は放電計数装置のみで低廉である。問題点としては、1) ターゲットによる

被曝であるが、これはステンレス板に電着された量は最大 1mg でその被曝は $10\mu\text{rem/hr}$ で毎日8時間装着しても月間約2mrem で、電着でなくウラン金属板を直接使用しているスイスなど外国に比べて、 $\frac{1}{3}$ 程度で少ない。2) 現在わが国ではウランおよびトリウムは国際規制物質として計量規制を受ける場合も生じ、線量計として利用者に広く配布した場合、紛失など管理者は不必要な神経を使わなければならない。

そこでウランやトリウムを使わない中性子の計数法として考えられるのはフランスのコダック社の硝酸セルロースフィルム LR-115 などを使用し反跳陽子を放電計数するか²⁵⁾、ホウ素ターゲットあるいはホウ素入り硝酸セルロース³⁵⁾を行う方法があるが、硝酸セルロースは機械的にポリカーボネートより弱く取扱いに細かい注意が必要である点およびバックグラウンド計数が100前後と大きい欠点がある。ポリカーボネートは通常の化学エッチングをしても α 線や陽子などには感受性が非常に少ないことは先に述べたがこのフィルムを電気化学エッチングすることにより可視の大きさ(径0.5mm位まで)までエッチピットを拡大でき肉眼で直接数えることもできる^{36,37)}。これはポリカーボネートを境にして両側に別々にエッチング液と一電極を入れ、両電極間に $\sim 3\text{KV}$, $1\sim 10\text{KHz}$ の高圧高周波を数時間印加する方法である。この方法には1) 通常の化学エッチングに比べて長時間、2) 一度に多数試料を処理できない、3) 高圧、高周波発生装置が必要、4) バックグラウンドが比較的大きい、などの問題があり実用化には更に研究と工夫が必要で中性子のモニタリングには種々の問題点を考慮の上、方法を選択することが望ましい。

この研究は一部日本私学振興財団、昭和52～54年度学術研究振興資金を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) R. GOLD; Nuclear Instruments and Methods, **118**, 383 (1974).
- 2) M. SOHRABI and K. BECKER; ORNL-TM-3605, 1 (1971).
- 3) F. SPURNY and K. TUREK; Nuclear Track Detection, **1**, 3/4, 189 (1977).
- 4) M. A. GOMAA and M. A. EL-KOLDY; Nuclear Instruments and Methods, **134**, 253 (1976).
- 5) J. JASIAK and E. PIESCH; Nuclear Instruments and Methods, **125**, 545 (1975).
- 6) P. F. RAGO, R. B. BARRALL and T. G. CARTER; Health Physics, **26**, 102 (1974).
- 7) W. G. CROSS and H. ING; Health Physics, **28**, 511 (1975).
- 8) T. TSURUTA; 日本原子力学会誌, **14**, 9, 462 (1972).
- 9) L. TOMMASINO and W. C. CROSS; Health Physics, **15**, 196 (1968).
- 10) W. G. CROSS and L. TOMMASINO; Radiation Effects, **5**, 85 (1970).
- 11) S. PRÊTRE; IAEA-SM-167/14, 99 (1973).
- 12) K. BECKER and M. ABD-EL RAZEK; Nuclear Instruments and Methods, **124**, 557 (1975).
- 13) J. JASIAK and E. PIESCH; ibid., **128**, 447 (1975).
- 14) E. T. AGARD, R. E. JERVIS and K. G. MCNEILL; Health Physics, **21**, 625 (1971).
- 15) F. J. CONGEL, J. H. ROBERTS, D. DERIS, J. KASTNER, B. G. OLTMAN, R. GOLD and R. J. ARMANI; Nuclear Instruments and Methods, **100**, 247, (1972).
- 16) D. R. JOHNSON, R. H. BOYETT and K. BECKER; Health Physics, **18**, 424 (1970).
- 17) Y. NISHIWAKI, H. KAWAI, H. MORISHIMA, T. KOGA and Y. OKADA; IAEA-SM-167/22, 117 (1973).
- 18) 森嶋彌重, 古賀妙子, 丹羽健夫, 本田嘉秀, 河合廣, 長野文彦, 西脇安; 保健物理, **10**, 141 (1975).
- 19) M. VÁRNAGY, L. VASVÁRY, E. GYARMATI, S. JUHASZ, T. SCHARBERT and T. SZTARICKAI; Nuclear Instruments and Methods, **141**, 489 (1977).
- 20) G. G. MASTINU; IAEA-SM-175/30, 497 (1974).
- 21) A. M. BHAGWAT, H. SINGH and S. D. SOMAN; Nuclear Instruments and Methods, **138**, 173 (1976).
- 22) 阪上正信; 粒子トラックとその応用, p. 42 (1973), 南江堂, 東京.
- 23) K. BECKER and M. A. RAZECK; ORNL-TM-4460, 1 (1974).
- 24) M. SOHRABI; Health Physics, **27**, 600 (1974).
- 25) 丹羽健夫, 古賀妙子, 森嶋彌重, 河合廣, 西脇安

- ; 保健物理, **14**, 89 (1979).
- 26) 古賀妙子, 森嶋彌重, 丹羽健夫, 河合廣, 西脇安
; 保健物理, **14**, 81 (1979).
- 27) L. TOMMASINO, N. KLEIN and P. SOLO-
MON; Nuclear Track Detection, **1**, 1, 63 (19
77).
- 28) A. SANDELL and L. J. LINDEN; Luft 6/
NFFR-3008, 1 (1977).
- 29) N. L. LARK; Nuclear Instruments and Me-
thods, **67**, 137 (1969).
- 30) D. R. STONE; Health Physics, **16**, 772 (1969).
- 31) H. MORISHIMA, T. KOGA, T. NIWA, H.
KAWAI and Y. NISHIWAKI; The IVth In-
ternational Congress of IRPA, Vol. 4, 1277
(1977).
- 32) H. KAWAI, T. KOGA, H. MORISHIMA, T.
NIWA and Y. NISHIWAKI; IAEA-SM-229/
50 (1978).
- 33) W. G. CROSS and L. TOMMASINO; EUR
4896, 283 (1972).
- 34) K. BECKER; Health Physics, **16**, 113 (1969).
- 35) T. TSURUTA; J. Nucl. Sci. Technol., **14**, 11,
816 (1977).
- 36) G. M. HASSIB, J. W. N. TURN and J. DU-
TRANNOIS; Proceeding of the 9th Int. Con-
ference Neuherberg/München, 905 (1976);
Nuclear Instruments and Methods, **147** 163
(1977).
- 37) R. B. GAMMAGE and A. CHOWDHURY:
Health Physics, **36**, 529 (1979).