

## トリシネートの静電気感度

黒田英司\*, 永石俊幸\*\*

金属-金属接触が生じない状態におけるトリシネートの静電気感度を求めるために、所定の設定電極間隙長まで両電極を急速に接近させた後、電極を接触させることなく引き離すタイプの接近電極装置を用いて静電気感度試験を行った。その結果、トリシネートの静電気感度は容量、電極間隙長および直列抵抗によって変わった。実験の範囲での最小  $E_{50}$  は、微結晶品の場合は  $300\text{pF}$ 、直列抵抗なしのときの  $39\mu\text{J}$ 、普通の量産品では  $300\text{pF}$ 、直列抵抗なしのときの  $85\mu\text{J}$ 、直列抵抗  $220\Omega$  のときの  $69\mu\text{J}$  であった。トリシネートの感度のロットによる違いや経時変化は、試料のサンプリングに基づく粒度と粒度分布の違いによるものと大きな違いはなかった。金属-金属接触が生じる場合の感度試験で認められた直列抵抗接続による高い感度、微粒子や薄膜状態試料のときの高い感度などは、両電極が接触しない感度試験では認められなかった。また、導電材電極を使用したときも特別に高い感度は認められなかった。

## 1. まえがき

鋭感な静電気感度をもつ起爆薬などの静電気感度試験には、主として接近電極装置<sup>1)</sup>が使用されてきた。接近電極装置には、Wyatt らの接近電極装置のように重力によって、両電極をだんだんと接近させ、最終的には両電極を接触させる試験装置<sup>2)</sup>と、Kirshenbaum 等の装置のように、バネを利用して設定した最接近電極間隙長まで電極を急速に接近させ、両電極を接触させることなく最接近電極間隙長に達した後は引き離す試験装置<sup>3)</sup>の二つのタイプがある。

以前のトリシネートの静電気感度試験<sup>4)</sup>では、モータによる偏心回転体を利用してこを動かし、Wyatt らの装置と同じく、最終的には両電極を接触させる接近電極装置<sup>4),5)</sup>を用い、各種試験条件について詳細な感度試験を行い、種々の条件のもとにおける静電気感度を求め、また、異常に低いエネルギーで発火する現

象を見出した<sup>4)</sup>。

鋭感な起爆薬を取り扱う作業環境のもとでは金属-金属接触は生じないようにされるのが普通であるので、金属-金属接触が生じない気体放電だけに対する静電気感度を検討する必要がある。ここでは、Kirshenbaum らの装置に基づいて設計、製作した最接近電極間隙長が設定できる接近電極装置<sup>6)</sup>を用いて得た金属-金属接触がない場合のトリシネートの静電気感度について検討した。

## 2. 実 験

## 2.1 接近電極装置

ジルコニウム<sup>7)</sup>およびその酸化剤との混合系<sup>8)</sup>などの静電気感度試験に使用した接近電極装置を使用した。この装置は最接近電極間隙長を(以下単に電極間隙長と略記する)  $0.05\text{mm}$  (誤差  $\pm 0.02\text{mm}$ ) まで設定できる。上部電極はスチールレコード針、下部電極は直径  $20\text{mm}$  のステンレス円柱の頂面平坦面である。下部電極を導電材料とした実験では、導電プラスチックはシンド静電気(株)のエンピシロン、厚さ  $0.5\text{mm}$ 、表面抵抗  $10^4 \sim 10^8\Omega$  を、導電性ゴムは東北ゴム(株)の厚さ  $3\text{mm}$ 、体積抵抗率約  $10^6\Omega\text{m}$ 、表面抵抗約  $10^6\Omega$  のものを使用した。試料は下部電極平坦面上または導電材料の表面上に  $30 \sim 50\text{mm}^3$  を山盛り状に盛って設置した。

印加電圧は、高電圧であれば上部電極が試料の方に接近していく段階で、静電力で試料が吹き飛ばされて

2001年6月11日受付

2001年9月14日受理

\*日本工機株式会社

〒961-8686 福島県西白河郡西郷村長坂2-1

TEL 0248-22-7226

FAX 0248-24-3981

現在 産業技術総合研究所

〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1

TEL 0298-54-4790

FAX 0298-54-4783

\*\*九州産業大学工学部

〒813-8503 福岡県福岡市東区松香台2-3-1

TEL 092-673-5655

FAX 092-673-5699

しまうために、特別な試験条件のとき以外は最大2 kVとした。コンデンサは村田製作所製のセラミックコンデンサを、直列抵抗は通常の2 W型高周波抵抗あるいは多摩電気工業の高電圧高周波抵抗を使用した。

## 2. 2 試料

トリシネートは、炭酸ソーダ法によって製造された工場量産品を試料とした。実験はそれぞれの実験の目的に応じて数年の間隔を置いて3回、それぞれ異なったロットA, B, Cについて行った。微結晶品は3ロット, D1, D2, D3について、ロットCと同じ時期に実験を行った。微結晶品は反応温度調節によって微結晶を析出させて製造した工場量産品であり、大きい結晶が普通品ロットCの寸法の半分くらいで、微結晶を多数含んでいる。ロットA'は約7年間保管されていたロットAのことである。なお、感度データを引用した以前の試料は、マグネシウム法によって製造された工場量産品である<sup>4)</sup>。

これらは多量の水(トリシネートの容積の2倍以上)の中に保管されており、泥状または水に混ざった状態のトリシネートをスプーンで時計皿にすくい取り、それを60℃で24時間乾燥し、24時間以上デシケータに保管して試験試料とした。

## 2. 3 密閉試料の作製

一つの試験では、試料状態の均一化と試験の自動化を図るために、イギリスの火薬類試験方法の規格<sup>9)</sup>にならって、プラスチックワッシャを用い、その内部空間に試料を密閉する試験用密閉試料を作成した。

ワッシャは市販の内径3 mm, 外径12 mm, 厚さ0.3および0.5 mmのスチロール製で、その下面に0.3 mmの銅板を貼り、ワッシャを必要に応じて積み重ね貼り合わせて所定の高さとし、中央空間部に試料を入れ、上面をスコッチテープまたはセロテープで塞いで試料とした。

## 2. 4 統計処理法

両電極が接触する試験装置による静電気感度試験では、トリシネートには二つの発火機構があるために、その静電気感度は正規分布には従わないことが以前示されている<sup>4)</sup>。そのために、今回は、初期の実験では、いくつかの試験エネルギーレベルを設定し、そのエネルギーレベルでそれぞれ10~30回試験して発火率を求め、それをエネルギーの対数値を横軸目盛としたグラフにプロットし、それらの適合曲線として描いた感度曲線によって感度を評価した。ここに、エネル

ギーはコンデンサに蓄えられたエネルギーで、 $0.5 \text{ CV}^2$ から計算した値である。

この結果、両電極が接触しない場合には、非常に発火しにくい試験条件のときか試料の状態に局部的ばらつきがあるとき以外は、ほとんどの場合感度曲線はS字型カーブとなり、正規分布に近いことがわかったので、それ以後はそれらの試験結果をProbit法<sup>10)</sup>で解析した。さらにその後の試験では、少ない試験数で50%発火エネルギーを得ることができる統計解析法のLanglie法<sup>11)</sup>やDixon法<sup>12)</sup>を使用して感度試験を行った。試験回数はLanglie法では15回、Dixon法では30, 50または100回とした。

## 3. 試験結果

トリシネートの静電気感度試験は数年の期間を置いて3シリーズ実施した。各試験では比較基準としてコンデンサ容量(以下容量と略記)300 pF, 直列抵抗なし、電極間隙長を0.05 mmとした条件の試験を含んで行った場合が多い。これらの試験結果をFig. 1と2にまとめた。

Fig. 1のIはロットBについて、Dixon法による100回の試験で得た感度曲線、IIはロットCについてDixon法による30回試験の結果である。IIIはロットAについて、1点あたり25回、4点の試験結果をProbit法による解析で得た感度曲線である。ロットAについて、IVは1点あたり10回の試験、Vはその約6ヶ月後に1点あたり25回の試験で得た結果である。

Fig. 2のIは比較参照のためにFig. 1のIを示した。VIIはIの実験に引き続いた実験で、試料入れの時計皿に残りが少なくなったロットBについてのDixon法による50回試験の結果である。VIIIはロットA'についてのLanglie法による試験結果、IXは微結晶品ロットD1についてのDixon法による30回試験の結果、IXはロットBについてLanglie法による試験の結果である。

感度に及ぼす容量の影響を調べるために、ロットAについて100~750 pFのコンデンサを用いて、直列抵抗なし、電極間隙長を0.05 mmとして、いくつかの試験エネルギーレベルにおいて、20回または25回の発火試験を行った。エネルギーと発火率の関係をFig. 3に示す。

感度に及ぼす電極間隙長の影響を調べるために、ロットBの試料について容量を300 pFとして、直列抵抗なしで、0.05~1.0 mmの範囲の電極間隙長においてLanglie法で得た感度試験結果をFig. 4に示す。

感度に及ぼす直列抵抗の影響を調べるために、ロットAの試料について容量を300 pF, 電極間隙長0.05

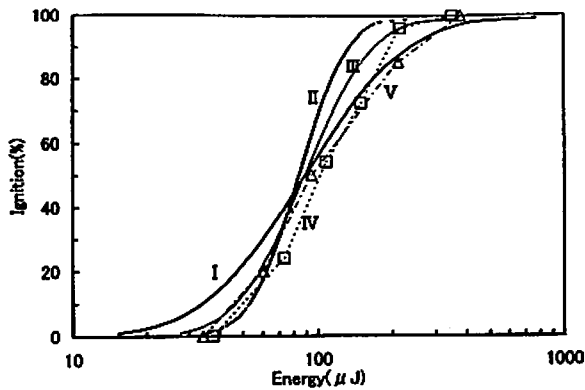


Fig. 1 Electrostatic sensitivity (1) of lead styphnate obtained from various tests ( $C=300\text{pF}$ ,  $R$ : none, gap length=0.05mm).

- I Dixon's up and down method (100 tests, sample: lot B)
- II Dixon's up and down method (30 tests, sample: lot C, see Fig. 7)
- III The Probit method (four levels, 25 tests per one level, sample: lot A, see Fig. 5)
- IV 10 tests per one level (sample: lot A)
- V 25 tests per one level (sample: lot A, see Fig. 3)

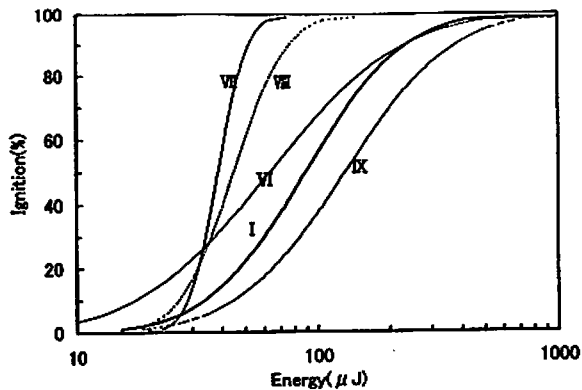


Fig. 2 Electrostatic sensitivity (2) of lead styphnate obtained from various tests ( $C=300\text{pF}$ ,  $R$ : none, gap length=0.05mm).

- I Reference curve from Fig. 1
- VI Dixon's up and down method (50 tests, sample: small leavings of lot B used for the experiment I)
- VII Langlie's method (sample: lot A stored for 7 years, see Fig. 8)
- VIII Dixon's "up and down" method (30 tests, sample: lot D1, see Fig. 7)
- IX Langlie's method (sample: lot B, see Fig. 4)

mm のときに、直列抵抗を、なし、 $20\Omega$ 、 $220\Omega$ 、 $2\text{k}\Omega$ 、 $100\text{k}\Omega$ とした場合について、1点当たり25回、4~6点の試験を行い、その結果をProbit法で

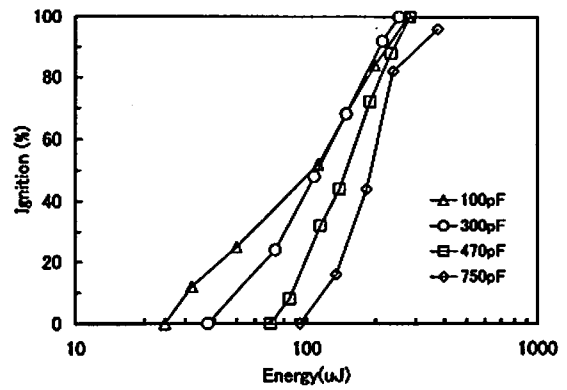


Fig. 3 Effect of capacitance upon the electrostatic sensitivity ( $R$ : none, gap length=0.05mm, sample: lot A, 20 or 25 tests per one level)

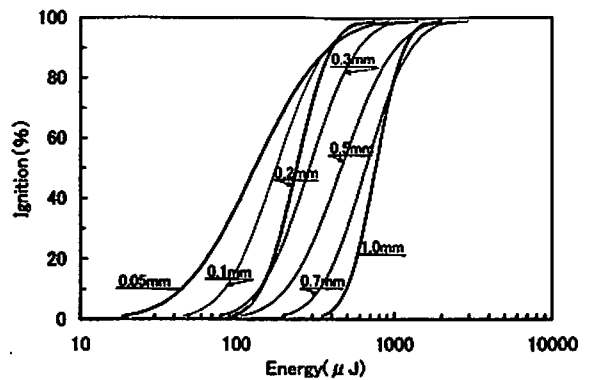


Fig. 4 Effect of gap length upon the electrostatic sensitivity Langlie's method ( $C=300\text{pF}$ ,  $R$ : none, sample: lot B)

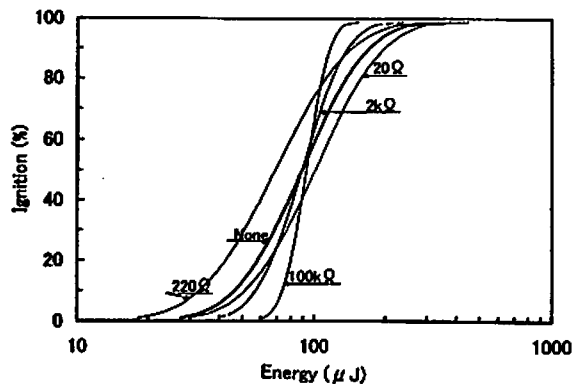


Fig. 5 Effect of series resistance upon the electrostatic sensitivity Probit method (level=4~6, 10~25 tests per one level,  $C=300\text{pF}$ , gap length=0.05mm, sample: lot A)

解析した結果を Fig. 5 に示す。

直列抵抗  $100\text{k}\Omega$  のときに電極間隙長による感度の変化を調べるために、ロット A の試料について容量を

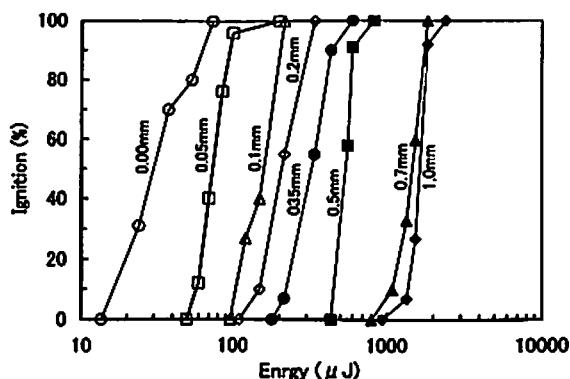


Fig. 6 Relationship between gap length and the electrostatic sensitivity under the series resistance of 100kΩ  
Probit method (level=3~5, 25 tests per one level, C=300pF, sample: lot A)

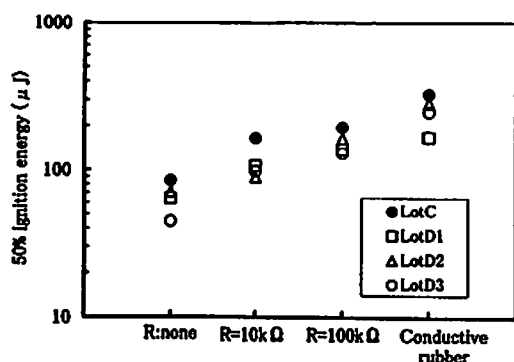


Fig. 7 Electrostatic sensitivity of lead styphnate having the different crystal size  
(Dixon's up and down method with 30 tests, C=300pF, gap length=0.05mm)

300pF とし、電極間隙長を 0.00mm および 0.05mm から 1.0mm について、それぞれいくつかのエネルギーレベルで 10~25 回の試験を行った結果を Fig. 6 に示す。

微結晶品の感度とそのロットによる違いを調べるために、普通品のロット C と微結晶品の 3 ロット (D1, D2, D3) の二種の量産品について、容量 300pF において下部電極上に試料を置き、電極間隙長を 0.05mm として、直列抵抗なし、直列抵抗 10kΩ, 100kΩ で試験し、また、その下部電極上に導電性ゴムを置き、その上に試料を置いて、上部電極と導電性ゴム表面との間隙を 0.00mm、直列抵抗なしとして、Dixon 法でそれぞれ 30 回試験した。各試験条件と 50% 発火エネルギー (以下  $E_{50}$  と略記する) の関係を Fig. 7 に示す。

長期間保管した試料の感度変化および感度に及ぼす導電材料の影響を調べるために、ロット A' 試料について、容量 100pF と 300pF、直列抵抗なしの場合についての普通の感度試験と下部電極上に置いた導電性

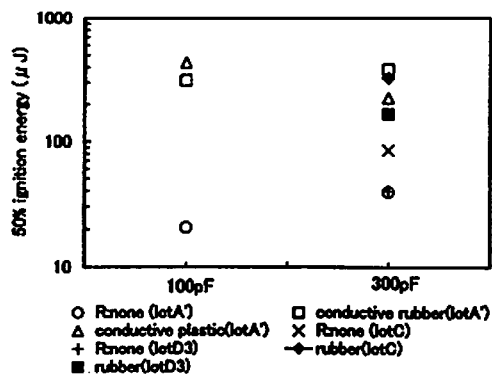


Fig. 8 Electrostatic sensitivity with either the metal electrode or the conductive rubber (Langlie method, sample: lot A')

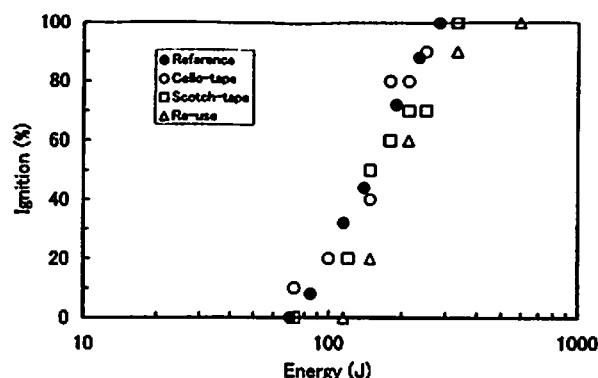


Fig. 9 Electrostatic sensitivity under the closed vessel  
Probit method (10~15 tests per one level, C=470pF, gap length=0.05mm)

ゴムおよび導電性プラスチックを電極とし、上部電極と導電材料表面との間隙を 0.00mm、直列抵抗なしの感度試験を Langlie 法によって行った。Fig. 7 で得たデータと共に結果を Fig. 8 に示す。

密閉試料についてはいくつかの容量といくつかの電極間隙長について試験した。容量を 470pF、電極間隙長を 0.05mm、ロット A' について試料の高さ 0.3mm として、セロテープとスコッチテープで封じたときの試験結果を Fig. 9 に示す。自由堆積状態 (Reference) と不発火であった密閉試料を再使用したときのデータも示した。他の試料高さや電極間隙長についても試験し、試料高さが 0.6mm 以上であればその 1/2 以下の電極間隙長のときは自由堆積状態とほぼ同じ感度が得られた。

#### 4. 結果の検討

Fig. 1 と 2 において、 $E_{50}$  と標準偏差はかなり広い範囲にわたっている。ただ、最も標準偏差の大きい VI (ロット B) と、より高い感度である VII (ロット A') と

VII(ロットD1)を除けば、感度曲線はかなり狭い範囲に分布している。その範囲内ではロットCが高い感度で、標準偏差が小さく、ロットAは中間の感度で標準偏差が大きく、ロットBは低い感度で標準偏差が大きい。

ロットA'は試験した試料のうちでは最も高い感度で、次いでロットD1であった。これらの感度曲線において低発火率の尾部はロットB(I)とほぼ一致している。ロットA'は長期間の実験で残った少量の試料が大量の水の中に保管されていたものである。普通にはトリシネートのサンプリングでは、水中のトリシネートをかき混ぜて水に混じったまたは泥状のトリシネートをスプーンですくい取る。残量が少なくなると水中に浮遊した微粒子の沈澱分によるものが次第に多くなり、この実験のときには微結晶のものが多くなったと考えられる。

Fig. 2のロットD1やFig. 7に示されるように、微粉が混ざると感度曲線の低発火率の尾部または感度曲線の全体( $E_{50}$ )が低エネルギー側に移行して高い感度を示し、一方、大きい粒子が多いと考えられるロットの方が低い感度となっている。また、粒度が揃っている方が標準偏差は小さくなり、一方、粒度分布が広いと一回一回の試験での放電柱と試料の接触状態および試料の状態に違いが生じることもあって、標準偏差が大きくなると考えられる。

このようにトリシネートの静電気感度は、試料の状態、特に粒度と粒度分布によって変化する。粒度と粒度分布の違いは水中保管試料の残量、スプーンによる試料の採取の状況、一度に乾燥した試料量などにより生じ、Fig. 1と2に示す感度曲線の状態から見て、ロット間の違いによるトリシネートの感度変化はサンプリングによって生じる変化と同等かそれ以下と考えられる。このようなことから、ロットA'が経時変化によって特別に高い感度となったわけではなく、また、ロットA, B, C間の感度の違いと同じく、粒度と粒度分布の違いによって生じたと考えられる。なお、VIは試料入れ時計皿上で残量が少なくなり、散らばった分をかき集めて試料としたために微粉の割合が増え、実験の途中から試料状態が変わり、感度が途中で変わったために、特別に標準偏差が大きくなったものと考えられる。

本実験の場合にはFig. 3に示すように容量によって感度が明らかに変化しており、容量が大きくなるにつれて $E_{50}$ は高くなり、標準偏差は小さくなっている。エネルギーに対して発火率をプロットしたときには、Fig. 3に示すように高発火率のところでは感度曲線は収束し、その領域においてはエネルギーで発火率が決ま

ることを示している。一方、電圧に対してプロットしたときには低発火率のところでは感度曲線が収束している。これは低発火率のところでは放電開始電圧が発火感度に大きく関係し、その領域においては主として電圧によって発火感度が決まることを示している。

以前の両電極が接触する試験装置の場合には、容量による感度曲線の変化はほとんど認められなかった。また、ジルコニウムについては、本試験と同じ両電極が接触しない試験でも、導電性粒子であるために放電開始電圧が低下し、容量による感度変化はほとんど認められなかった<sup>9)</sup>。これらの場合には感度曲線の低発火率領域において放電開始電圧が関係しなくなるために、感度曲線は容量によらないものになったと考えられる。

トリシネートの感度は容量100~300pFまでは容量が小さくなるほど高くなり、そのときの高い感度は以前の両電極が接触する試験装置で測定したときの感度に近く、そのときの感度が最も高い感度を示す限界と考えられる。実験の範囲での最小 $E_{50}$ は、微結晶品の場合は300pF、直列抵抗なしのときの39 $\mu$ J、普通の量産品では300pF、直列抵抗なしのとき85 $\mu$ Jであった。

電極間隙長による感度曲線の変化も放電開始電圧が大きく関係しており、電極間隙長が長くなるにつれて放電開始電圧は高くなり、そのときは放電が起きれば発火を生じ、感度曲線は放電開始電圧によって決まるようになる。その結果、電極間隙長が長くなるにつれて $E_{50}$ が高くなり、標準偏差が小さくなったものと考えられる。以前示したように放電の発生の有無は発火の有無よりもかなり小さい標準偏差で生じる<sup>13)</sup>。

Fig. 5に示す直列抵抗による感度の変化は、両電極が接触する場合に比べて非常に小さい。直列抵抗220 $\Omega$ のときに $E_{50}$ は最小値、69 $\mu$ Jを示し、それより直列抵抗が小さくなくても大きくなっても $E_{50}$ は高くなっている。直列抵抗による $E_{50}$ の変化が小さいために明確には決定できないが、そのときの見掛けの時定数0.07 $\mu$ s位のところに最小 $E_{50}$ を示す見掛けの時定数が存在すると考えられ、これは非常に小さい値である<sup>15)</sup>。

Fig. 6に示す直列抵抗100k $\Omega$ において、電極間隙長を変えたときの感度の変化は、電極間隙長が長くなるにつれて $E_{50}$ は高くなり、また、直列抵抗100k $\Omega$ を接続した方が直列抵抗なしの場合よりもすべての電極間隙長において $E_{50}$ が高くなっており、直列抵抗100k $\Omega$ を接続した場合には、最小 $E_{50}$ を示す見掛けの時定数が小さいために、高い感度が得られることはないことを示している。また、電極間隙長0.00mmでの

試験データを記したが、このように接触が起きる場合には間隙があるときよりも高い感度を示す。

Fig. 7において、普通品と微結晶品のいくつかのロットについて、10k $\Omega$ と100k $\Omega$ の大きい直列抵抗を接続するといずれの場合も $E_{50}$ は高くなった。導電性プラスチック、導電ゴムを下部電極とした場合でもFig. 7と8に示すように $E_{50}$ は高くなった。最小 $E_{50}$ を示す見掛けの時定数が非常に小さいためである。導電材料を電極とした場合は、金属-金属接触は生じず、また、導電材料の電気抵抗が直列に接続されるために、低い感度のデータが得られたと考えられる。導電材料の電気抵抗は放電電流が流れると大きく低下するが、そのときの電気抵抗は最小 $E_{50}$ を示すときの電気抵抗よりもかなり高かったためと考えられる<sup>16)</sup>。

トリシネートの静電気感度はロットが異なっても粒度と粒度分布が変わらなければ再現性があり、標準偏差までほぼ一致した。試験のときに試料の量や堆積状態にばらつきがあったとしても静電気感度は大きくは変わらなかった。それらの影響が少ないことが、本実験でのLanglie法でばらつきのない標準偏差が得られた理由であろう。金属粉やその酸化剤との混合系試料の場合には、Langlie法によって得た標準偏差は不規則で、不適当な値と考えられる場合が多かった<sup>14)</sup>。

Fig. 4の直列抵抗なしの場合はLanglie法で試験している。Langlie法による一般的な傾向として標準偏差が小さくなる傾向があるにもかかわらず、ここでは対数単位で0.15~0.36とかなり大きい標準偏差が得られており、直列抵抗なしの方が標準偏差は大きくなるといえるであろう。

Fig. 9に示した試験結果は電極間隙長が0.05mmで、試料の厚さが0.3mmであった。この場合にはスコッチテープで封じた場合もセロテープで封じた場合も自由堆積状態とほぼ同じ感度を示した。このように電極間隙長が試料厚さに比べて小さい場合には、ほぼ自由堆積状態と同じ感度が得られた。

自由堆積状態のときと異なる感度が得られたのは、密閉試料の上面の密閉に用いたスコッチテープ、セロテープを上部電極の針が突き通すことができず、絶縁が破壊されず、放電が起きなかったときである。試料の厚さが0.6mm以上であれば、その1/2以下の電極間隙長であれば問題なく針はテープを突き通すことができるが、それ以上の電極間隙長の場合は、密閉されている試料の量や状態などが関係し、針がテープを突き通したり突き通さなかったりして、放電が起きたり起きなかったりする。この限界近くのFig. 8では、伸びのあるスコッチテープでは不発火の割合がわずかに増え、裂けやすいセロテープの方が適当であった。

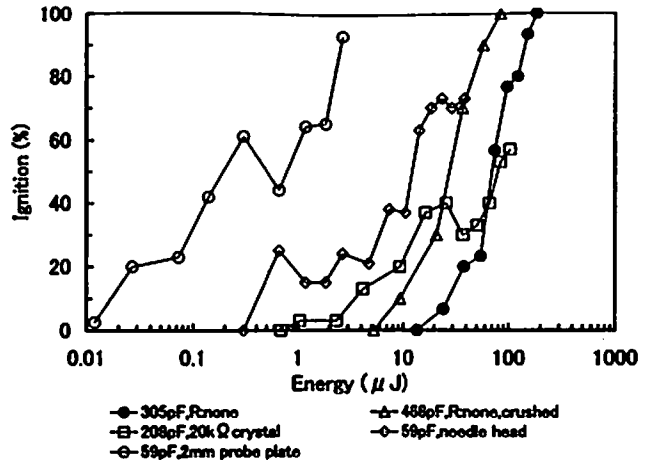


Fig. 10 Effects of series resistance, crystal size and the shape of electrode upon electrostatic sensitivity under metallic contacts

再使用の密閉試料はさらに不発火の割合が増加した。

トリシネートの場合には、自由堆積状態でも密閉状態でもほとんど感度に変わりはなかった。しかしながら、今回の実験と並行して行ったジルコニウム、水素化ジルコニウムなどの金属粉を試料とした実験では、密閉試料では全く発火せず、また、金属-酸化剤混合系試料は自由堆積状態の場合よりも著しく発火しにくくなった。なお、例外として、テトラセンは密閉試料の方が著しく発火しやすくなった。ほとんどの試料については自由堆積状態よりもはるかに鈍感な感度が得られる場合が多いために、この密閉試料を静電気感度試験の一般的試料とはしないことにした。

Fig. 10に両電極が接触する場合の感度データ例を示す<sup>11)</sup>。容量305pF、直列抵抗なし、針先電極の場合は、本実験の場合とほぼ同じ感度である。粉碎したトリシネートの場合は本実験の場合よりも高い感度側に平行移動した感度曲線を与えている。直列抵抗を接続した場合には低発火率が低エネルギー側に延び、針先の代わりに針頭を電極とした場合にはさらに低エネルギー側に延びている。先端が球面の棒電極の場合には、さらに極端に低いエネルギーでも発火している。このように金属-金属接触が起こる場合にはそれによって特別に低いエネルギーで発火が起こるが、接触がない場合にはそのような特別の発火は起こらず、気体放電による発火だけが生じた。

## 5. まとめ

金属-金属接触が生じない状態におけるトリシネートの静電気感度を求めるために、所定の設定電極間隙長まで両電極を急速に接近させ、そして引き離すタイプの接近電極装置を用いて静電気感度試験を行った。

その静電気感度を検討すると共に、以前行った両電極を接触させるタイプの接近電極装置による静電気感度と比較検討して、次のような結論を得た。

- (1) トリシネートの静電気感度は容量100~300pFまでは容量が小さくなるほど、また電極間隙長が短くなるほど高くなった、実験の範囲での最小 $E_{50}$ は、微結晶品の場合は300pF、直列抵抗なしのときの39 $\mu$ J、普通の量産品では300pF、直列抵抗なしのときの85 $\mu$ J、直列抵抗220 $\Omega$ のときの69 $\mu$ Jであった。
- (2) トリシネートの静電気感度のロットによる違いや経時変化は、試料のサンプリングに基づく粒度と粒度分布の違いによるものにほぼ匹敵する程度であった。
- (3) 金属-金属接触が起こる場合の感度試験で認められた直列抵抗接続による高い感度、微粒子や膜状態試料のときの高い感度などは、両電極が接触しない感度試験では認められなかった。導電ゴム電極を使用したときも特別に高い感度は認められなかった。
- (4) トリシネートは試料をプラスチック容器内に密閉した場合でも開放状態とほぼ同じ感度を示した。

#### 文 献

- 1) 黒田英司, 工業火薬, 44, 250(1983)
- 2) R. W. Wyatt, P. W. J. Moore, G. K. Adames and J. F. Sumner, Proc. Roy. Soc. A246, 189(1958)
- 3) M. S. Kirshenbaum, "Proc. of the Conference on the standardization of safety and performance tests for energetic materials", vol. 1, p. 329, ARLCD-SP-77004(1977)
- 4) 黒田英司, 工業火薬, 44, 83(1983)
- 5) 水島容二郎, 工業火薬, 39, 124(1978)
- 6) 黒田英司, 角田信一, 昭和61年工業火薬協会年会講演予稿集, p. 34(1986)
- 7) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 55, 251(1994)
- 8) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 56, 165(1995)
- 9) 工業火薬協会感度専門部会編, 「英国火薬類試験法」, p. 35(1982), 工業火薬協会
- 10) D. J. Finney, "Probit Analysis, Statistical Treatment of the Sigmoid Curve" 2nd ed. Cambridge Univ. Press(1952)
- 11) MIL-STD-331A(1962)
- 12) W. J. Dixon and A. M. Mood, J. A. S. A., 43, 109(1948)
- 13) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 60, 131(1999)
- 14) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 61, 29(2000)
- 15) M. S. Kirshenbaum, "Energetic materials", edited by H. D. Fair and P. E. Walker, (1977), Plenum Press
- 16) 黒田英司, 永石俊幸, 1995年度火薬学会秋季研究発表講演会講演要旨, p. 23(1995)

## Electrostatic sensitivity test for lead styphnate

Eishi KURODA\*, and Toshiyuki NAGAISHI\*\*

In order to evaluate electrostatic hazards in the circumstance under non-metallic contacts, electrostatic sensitivity test of lead styphnate was carried out with the approaching electrode method under the condition that one metal electrode would not be in contact with another metal electrode while approaching. Sensitivity of lead styphnate was strongly dependent on capacitance, gap length and series resistance. In this experiment, the minimum energies of 50% ignition were to be  $39 \mu\text{J}$  with capacitance of  $300\text{pF}$  and no series resistance for small crystals, and for normal mass produced samples,  $85 \mu\text{J}$  with capacitance of  $300\text{pF}$  and no series resistance and  $69 \mu\text{J}$  with capacitance of  $300\text{pF}$  and resistance of  $220 \Omega$ , respectively. The effects of lot variation or aging upon the sensitivity of lead styphnate were almost comparable with those of the particle size or its distribution on sampling. Though the sensitivity was observed to be higher with the series resistance and for small particles or thin film samples under the condition that one metal electrode would be in contact with another metal electrode while approaching, these effects were not recognized in this experiment. The same results were also obtained in the experiment with the conductive material electrodes.

(\*Nippon Koki Co., Ltd.: 2-1, Nagasaka, Nishigou-mura, Nishishirakawa-gun, Fukushima 961-8686, JAPAN

Present address National Institute of Advanced Industrial Science and Technology:  
1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

\*\*Faculty of Engineering, Kyusyu Sangyo University: 2-3-1, Matsukadai, Higashi-ku, Fukuoka 813-8503, JAPAN)