

# マグネシウムおよびチタニウムと過塩素酸カリウム混合系の 静電気放電による発火感度

黒田英司\*, 永石俊幸\*\*

三種のマグネシウムと過塩素酸カリウム混合系およびチタニウムと過塩素酸カリウム混合系について静電気放電による発火感度試験を行った。これらの静電気放電による発火感度は、上部電極の針先と試料表面の位置関係によって、50%発火エネルギーは大きく変化した。50%発火エネルギーは針先と試料間に空気間隙がある静電気粉塵点火感度試験条件のときは低く、針先が試料中に埋まっている静電気感度試験条件のときは、その埋まる深さの増加にともなって、マグネシウムおよびチタニウム両混合系とも50%発火エネルギーは高くなるが、その変化状況は両混合系で異なった。なお、静電気感度試験で試料状態が一定でないときは、50%発火エネルギーは大きくばらつき、同一試験条件におけるその最大値と最小値の比が10倍以上になる場合もあった。これらの混合系の静電気放電による発火感度は、静電気感度試験条件の場合も、静電気粉塵点火感度試験条件の場合も、同一混合系では最小50%発火エネルギーを示す見掛けの時定数は両者で一致し、また、静電気感度試験の方が最小50%発火エネルギーは高くなり、そのときの電極間隙長は長くなった。

## 1. まえがき

我々は静電気放電による発火感度のうち、試料内放電に対する発火感度を静電気感度<sup>1)</sup>、試料外放電(上部電極が試料表面の上部にあり、電極間に空気間隙がある場合の放電)に対する発火感度を静電気粉塵点火感度<sup>2,3)</sup>と称している。起爆薬や爆薬の静電気感度については、今までに詳細な数多くの研究がなされてきた<sup>4~7)</sup>。また、金属粉単体に関しては、粉塵爆発の分野で、粉塵雲の着火感度試験<sup>8~10)</sup>が行われてきた。しかしながら、金属粉と酸化剤の混合系からなる火工品組成物については、粉塵爆発の分野では全く試験されたことがなく、また、火工品組成物を扱う分野では、静電気感度も静電気粉塵点火感度も、ある固定された一つの試験条件で得られた感度データが報告されているにすぎない<sup>11,12)</sup>。

静電気放電による発火感度には多くの因子が影響す

るが、金属粉-酸化剤の混合系に関しては、それらの因子とそれらの感度への影響に関してはまだ明らかにされていない。既報<sup>1~3)</sup>において、いくつかの金属粉-酸化剤混合系について、静電気感度および静電気粉塵点火感度への電極間隙長、直列抵抗および静電容量の影響を検討した。なお、静電気感度試験のときには、試験条件を一定にしても、大きくばらつく感度データが得られた<sup>1)</sup>。

ここでは、マグネシウムおよびチタニウムと過塩素酸カリウム混合系について、さらに詳しく静電気放電による発火感度に影響する因子に関して実験を行い、静電気感度特性を明らかにし、また、静電気粉塵点火感度との関係および静電気感度データが大きくばらついた原因について検討する。

## 2. 実験

### 2.1 静電気感度試験装置

固定電極装置を使用し、上部電極は市販のスチールレコード針、下部電極は直径6mmのステンレス棒の頂面平坦面である。この下部電極に内径6mm、外径20mm、高さ15mmのポリテトラフルオロエチレン(以下PTFEと略記する)円筒体をかぶせ、その頂面がステンレス電極頂面より1~3mm高くなるように固定し、できたくぼみ内に試料を設置した。試料の高さが3mm以上の場合には、試料量を少なくし、その設置と

1996年2月16日受理

\* 日本工機株式会社技術管理室  
〒105-0003 東京都港区西新橋2-36-1  
新橋桜ビル3F

TEL 03(3436)1225  
FAX 03(3433)5505

\*\* 九州産業大学工学部  
〒813-0004 福岡市東区松香台2-3-1  
TEL 092(673)5655  
FAX 092(673)5699

試験後の試料または残渣の処理が簡単にできるように、下部電極に内径6mm、厚さ1mm、長さ約15mmのポリ塩化ビニールチューブの一部をかぶせ、そのチューブ内に試料を入れた。チューブは試験ごとに交換する。電気回路は既報<sup>1~3)</sup>と同じである。

## 2.2 試料

マグネシウム(Mg)は三種について試験した。Mg(M1002)は既報<sup>1,2)</sup>と同じもので、Cerac社製、平均粒子径10 $\mu$ m、Mg(M45)はLNR60適合品で、平均粒子径14.5 $\mu$ m、Mg(M15)はMIL-P-14067適合品で、325 mesh通過97%、平均粒子径13 $\mu$ mである。Mg(M1002)は箔が丸まった形状、Mg(M45)は板状不定形で微粒子を含み、Mg(M15)は球状粒子であるが、粒子径が揃っていないで、微粒子も含んでいる。チタニウム(Ti)は大阪チタニウム(株)製、grade TSP-350で350 mesh通過100%のもので、不定形である。

酸化剤の過塩素酸カリウム(KClO<sub>4</sub>)は片山化学工業(株)から購入した試薬特級品で、乳鉢粉碎して270 mesh通過のものを用いた。混合比は、Mg-KClO<sub>4</sub>、Ti-KClO<sub>4</sub>混合系とも、既報<sup>1)</sup>の試験により最も鋭感であることが示された(50:50)の重量混合比とした。

## 2.3 試料の設置と統計処理方法

試料は平坦にならしたときに設定予定の試料の厚さになると想定される量をPTFE円筒体の中心部のくぼみ部またはポリ塩化ビニールチューブ内に注ぎ、下部電極を3~5回たたいてならすことによって設置した。そのときにたたく強さは、注意深くできるだけ一定になるようにした。試料の厚さは電極間隙長に関係なく、特に断らない限り、上部電極の針先が試料中に1mmの深さに埋め込まれるような厚さ、すなわち、試料の厚さは設定電極間隙長より1mmだけ厚くなるようにした。静電気粉塵点火感度試験のときは、試料の厚さは電極間隙長の約半分かまたは1mmの小さい方とした。

統計処理方法としては50%発火エネルギー(以下E<sub>50</sub>と略記する)データをできるだけ少ない試験数で求めるために、Langlie法<sup>13)</sup>を使用した。試験回数は1シリーズ15回である。エネルギーは0.5CV<sup>2</sup>で計算し、試験エネルギー水準はJで表わしたコンデンサに貯蔵されたエネルギーの常用対数値で設定した。

## 3. 実験結果

### 3.1 電極間隙長および直列抵抗とE<sub>50</sub>の関係

Mg(M1002)-KClO<sub>4</sub>混合系については、既報<sup>1)</sup>においてコンデンサ容量10.7nFにおいて電極間隙長および直列抵抗とE<sub>50</sub>の関係を求めた。試験した容量と最小のE<sub>50</sub>を示した直列抵抗の積、見掛けの時定数は約200 $\mu$ sであった。また、いままでに容量が異なっても

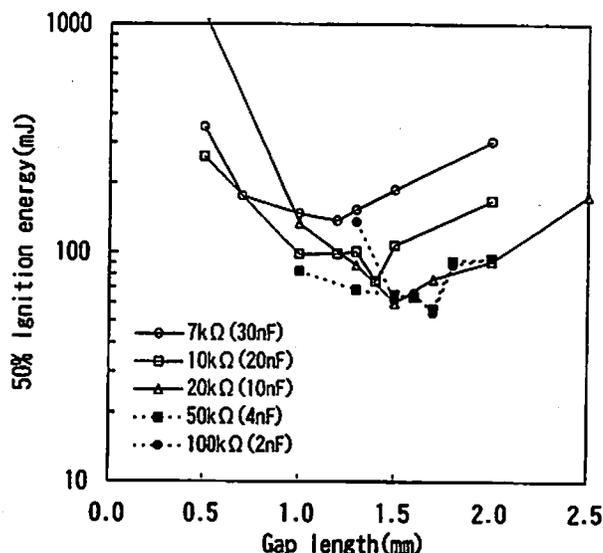


Fig. 1 Relationship between 50% ignition energy and gap length for Mg(M1002)/KClO<sub>4</sub> composition

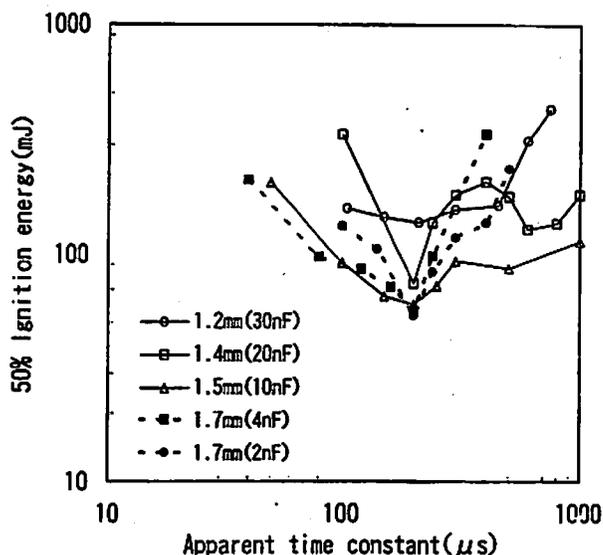


Fig. 2 Relationship between 50% ignition energy and apparent time constant for Mg(M1002)/KClO<sub>4</sub> composition

同じ見掛けの時定数において、最小E<sub>50</sub>を示すという規則性が認められている<sup>1,14)</sup>。

そこで、それぞれ約30, 20, 10, 4および2nFの容量において、ほぼ同じ見掛けの時定数となる直列抵抗のもとで、電極間隙長とE<sub>50</sub>の関係を求めた。結果をFig. 1に示す。ついで、その試験で最小E<sub>50</sub>を示した電極間隙長のもとでそれぞれ直列抵抗とE<sub>50</sub>の関係を求めた。その結果を見掛けの時定数とE<sub>50</sub>の関係としてFig. 2に示す。

他のマグネシウムMg(M45)およびMg(M15)とKClO<sub>4</sub>の混合系については、コンデンサ容量30nFと4nFで、まず、いくつかの電極間隙長において予備的

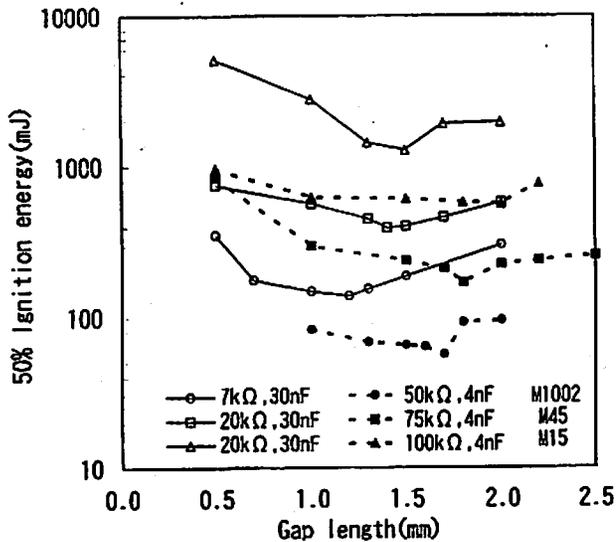


Fig. 3 Relationship between 50% ignition energy and gap length for 3 kinds of Mg/KClO<sub>4</sub> compositions

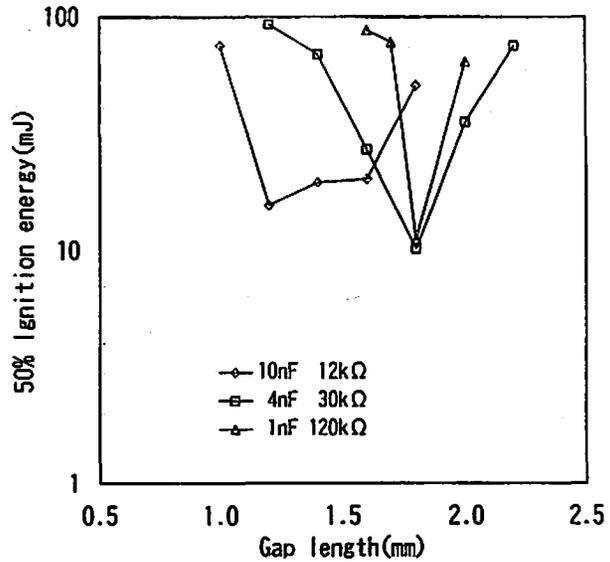


Fig. 5 Relationship between 50% ignition energy and gap length for Ti/KClO<sub>4</sub> composition

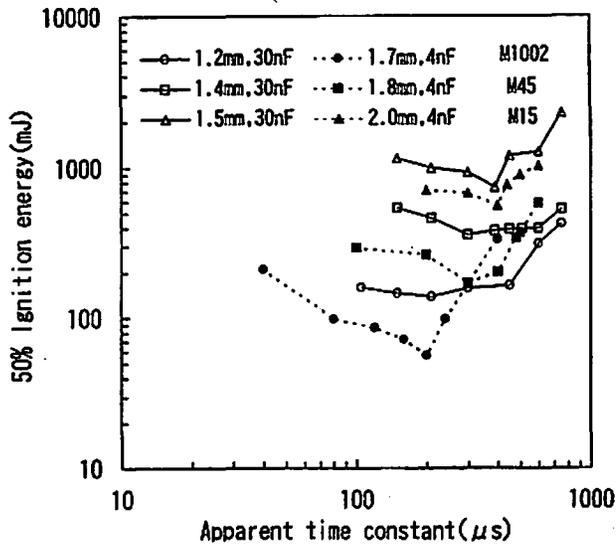


Fig. 4 Relationship between 50% ignition energy and apparent time constant for 3 kinds of Mg/KClO<sub>4</sub> compositions

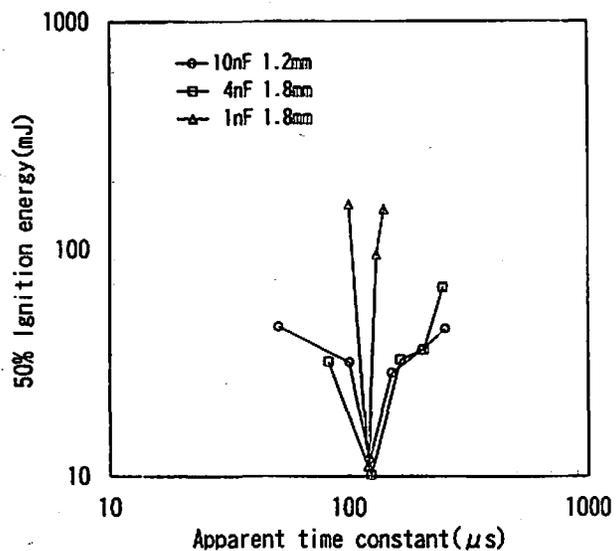


Fig. 6 Relationship between 50% ignition energy and apparent time constant for Ti/KClO<sub>4</sub> composition

にいくつかの直列抵抗と $E_{50}$ の関係を求め、最小 $E_{50}$ を示した直列抵抗を用いて、電極間隙長と $E_{50}$ の関係を求めた。結果をFig. 3に示す。ついで、その実験で得られた最小 $E_{50}$ を示した電極間隙長のもとで、直列抵抗と $E_{50}$ の関係を求めた。その結果を見掛けの時定数と $E_{50}$ の関係としてFig. 4に示した。比較のために前記したMg(M1002)とKClO<sub>4</sub>混合系の相当するデータもこれらの図に記入した。

Ti-KClO<sub>4</sub>混合系については、既報<sup>1)</sup>において見掛けの時定数は約120 $\mu$ sであることが示された。そこで10, 4, 1 nFのコンデンサ容量で、それぞれ見掛けの時定数が120 $\mu$ sになる直列抵抗のもとで、電極間隙長

と $E_{50}$ の関係を求めた。結果をFig. 5に示す。得られた最小 $E_{50}$ を示す電極間隙長のもとで、直列抵抗と $E_{50}$ の関係を求めた。得られた結果を、見掛けの時定数と $E_{50}$ の関係としてFig. 6に示す。

### 3.2 試料の厚さと $E_{50}$ の関係

金属粉-酸化剤混合系の静電気感度試験の初期段階で、上部電極の針先と試料表面との位置関係(以下ここでは便宜的に上部電極の針先と試料表面間の長さを試料の厚さと呼ぶ)によって発火し易さが大きく変わることが観測された<sup>1,14)</sup>。そこで試料の厚さと $E_{50}$ の関係を調べた。

Mg(M1002)混合系については10nF、静電気感度試

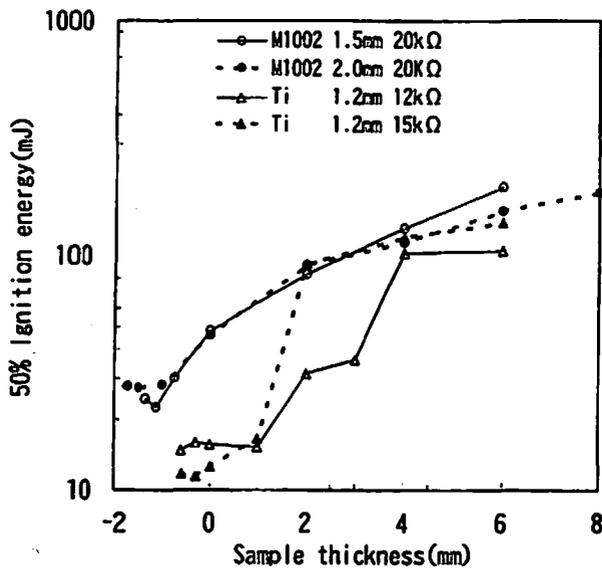


Fig. 7 Relationship between 50% ignition energy and sample thickness for Mg(M1002)/KClO<sub>4</sub> and Ti/KClO<sub>4</sub> compositions

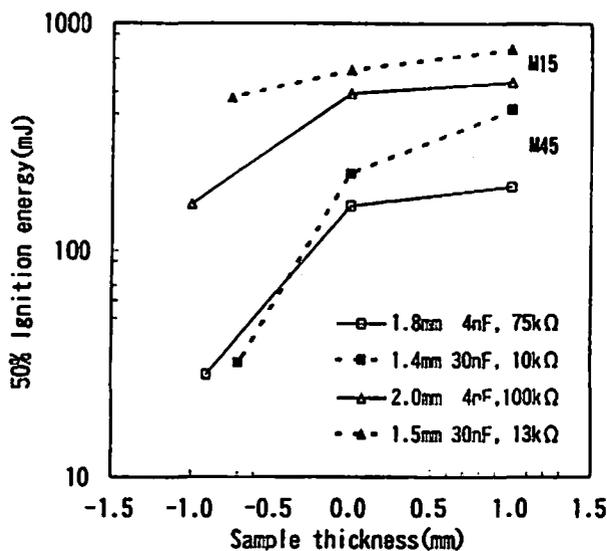


Fig. 8 Relationship between 50% ignition energy and sample thickness for Mg(M15)/KClO<sub>4</sub> and Mg(M45)/KClO<sub>4</sub> compositions

験で最小  $E_{50}$  を示した直列抵抗  $20k\Omega$ 、電極間隙長  $2.0mm$  と他にその条件から少し離れた同じ直列抵抗、電極間隙長  $1.5mm$  で、また Mg(M45) と Mg(M15) 混合系については、 $30nF$  と  $4nF$  の両方について、それぞれ見掛けの時定数が  $300\mu s$  と  $400\mu s$  となる直列抵抗、最小  $E_{50}$  を示した電極間隙長で、いくつかの試料の厚さについて試験した。Ti 混合系については、 $10nF$  において最小  $E_{50}$  を示した直列抵抗  $12k\Omega$ 、電極間隙長  $1.2mm$  と他に少し異なった条件の同じ電極間隙長、直列抵抗  $15k\Omega$  について試験した。これらの実験で得られた結果を Fig. 7 と 8 に示す。

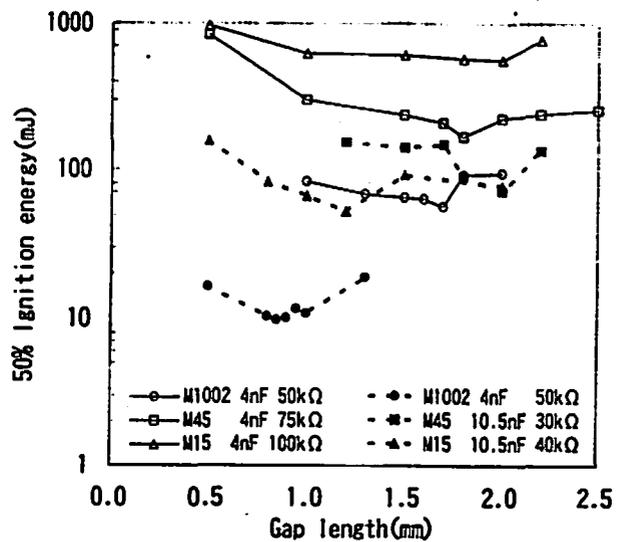


Fig. 9 Relationship between 50% ignition energy and gap length from electrostatic sensitivity (solid line) and dust ignition sensitivity by electrostatic discharge (dotted line) for 3 kinds of Mg/KClO<sub>4</sub> composition

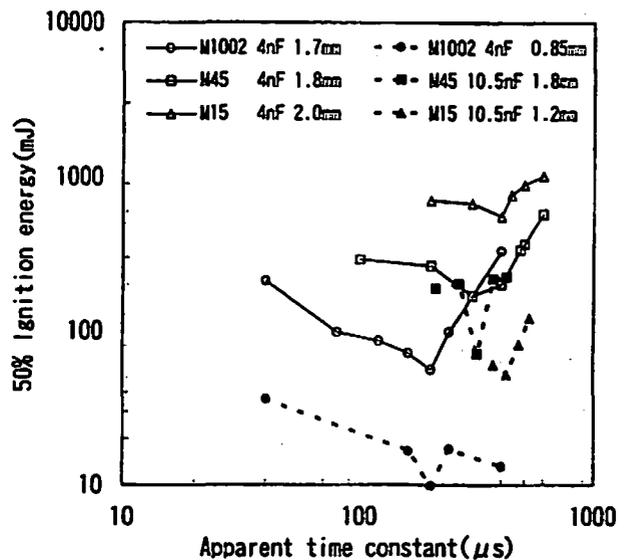


Fig. 10 Relationship between 50% ignition energy and apparent time constant from electrostatic sensitivity (solid line) and dust ignition sensitivity by electrostatic discharge (dotted line) for 3 kinds of Mg/KClO<sub>4</sub> composition

### 3.3 電極間隙長および直列抵抗と静電気粉塵点火感度試験による $E_{50}$ との関係

3種のマグネシウムとKClO<sub>4</sub>混合系については、まず静電気感度試験で最小  $E_{50}$  を示した直列抵抗で電極間隙長と  $E_{50}$  の関係を調べた。このときに最小  $E_{50}$  を示した電極間隙長において直列抵抗と  $E_{50}$  の関係を調べた。これらの結果を Fig. 9 と 10 に示す。

## 4. 考察

### 4.1 静電気感度データのばらつき考察

金属-酸化剤混合系の静電気感度試験結果は、既

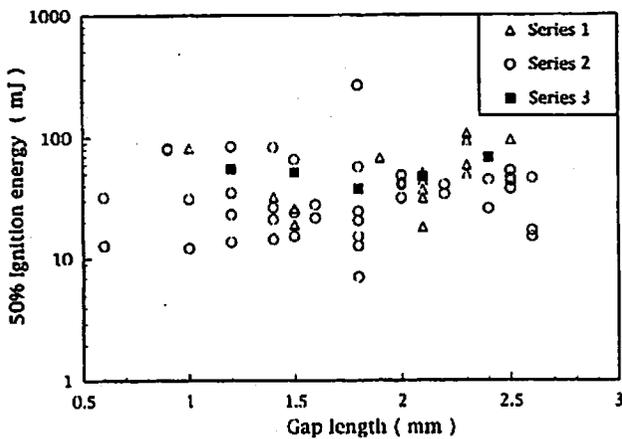


Fig. 11 Relationship between 50% ignition energy and gap length for series of 3 experiments of Mg(M1002)/KClO<sub>4</sub> composition

報<sup>1,14)</sup>に述べたように、Mg-KClO<sub>4</sub>、Ti-KClO<sub>4</sub>混合系などが、非常に大きくばらついた。一つの例をFig.11に示す。Mg(M1002)-KClO<sub>4</sub>混合系について、コンデンサ容量10nF、直列抵抗20kΩで多数の電極間隙長において行った静電気感度試験の結果である。これはシリーズ1とその数ヶ月後に行った同じ試験方法によるシリーズ2および今回の試験方法で得たシリーズ3のE<sub>50</sub>データを示している。

シリーズ1と2の静電気感度試験では、試料層の厚さは設定した電極間隙長の約3倍かまたは3mmの小さい方とし、それらの試験では、試料を載せた下部電極をたたいて、試料を平坦にならすという動作を必ずしも十分には行ってはいない<sup>14)</sup>。二つの実験間には約半年の期間があるので、試料の状態には違いが生じたと考えられる。今回は試料の厚さを上部電極の針先から試料表面までの厚さとし、それが約1mmになるように設定し、特に試料の状態ができるだけ一定になるように、必ず下部電極を3~5回程度たたいて、試料を平坦にならすようにした。

シリーズ1と2では、E<sub>50</sub>のデータが大きくばらついている。各電極間隙長におけるE<sub>50</sub>の最小値と最大値の比が10倍以上になる場合もあった。今回のシリーズ3のE<sub>50</sub>データは電極間隙長に対して規則的關係があることから、ばらつきは小さいと考えられる。

Fig. 7と8に示すように、試料の厚さ(ここにいる試料の厚さは、試料層の厚さから設定電極間隙長を減じた値をいう)はE<sub>50</sub>データに大きく影響し、厚さが増すとE<sub>50</sub>はだんだんと高くなっている。しかしながら、シリーズ1と2では試料の厚さがほとんどの場合今回の2倍以上あるにもかかわらず、E<sub>50</sub>データは今回のデータよりも、低いエネルギー側にあるものが多い。このことは試料の厚さ以上に、試料の状態がE<sub>50</sub>に大

きく影響することを示している。すなわち、今回のように下部電極をたたいて試料を平坦にならすことによって、試料内部の空隙がなくなり、また、試料のかさ密度が増して内包する空気量が減り、そのために放電による内部空間内での、また大気中への試料の吹き飛ばされ易さも減る。

シリーズ1や2では試料ができるだけふわふわの状態に設置されるように注意して、うまく試料が一様に設置されたように見えたときには、下部電極をたたかない場合があった。このときには内包される空気量が多くなり、放電によって局部的に試料が吹き飛ばされ易くなる場合があり、また、金属粉単体も金属粉-酸化剤混合系でも空気中の酸素との接触が多ければ発火しやすくなり、これらによってシリーズ1や2では、E<sub>50</sub>の低いものが多くなったと考えられる。

別の種類のマグネシウム粉について、比較のために簡単な試験を行った。平均粒子径はMg(M15)に近く約14μmであるが、これは球状粒子で、粒子径が比較的にそろっていて微粒子を含んでいない。上部電極の針先から1mmの試料の厚さのときも、空気間隙があった場合も、3Jのエネルギーで発火を生じなかった。金属粉およびその酸化剤との混合系の発火には、着火のし易さと飛散し易さの面から、微粒子または薄膜の存在が重要な役割を持っているといえる。

#### 4.2 静電気感度特性の検討

静電気放電による発火感度試験では、最も鋭感な感度データが得られる試験条件で試験を行うことが原則である。しかしながら、最も鋭感な試料状態を再現性良く作るということが非常に困難であったために、今回の静電気感度試験では、試料の状態ができるだけ一様で、一定となるような方法を取り、ばらつきのないE<sub>50</sub>データが得られるような条件で試験し、静電気感度特性を検討した。そのような条件のもとで得られた最小E<sub>50</sub>データとそのときの電極間隙長、見掛けの時定数をTable 1にまとめた。

いくつかのコンデンサ容量で試験したMg(M1002)とKClO<sub>4</sub>混合系では、それぞれ容量が小さくなるほど最小E<sub>50</sub>は低くなり、そのときの電極間隙長は長くなり、直列抵抗は大きくなるが、コンデンサ容量と直列抵抗の積、見掛けの時定数はほぼ一定であるという規則性が認められる。この関係はFig. 3と4のMg(M45)およびMg(M15)混合系の場合にも認められる。ただ、Fig. 5と6のTi混合系では、容量による最小E<sub>50</sub>とそのときの電極間隙長の変化が前述の規則性から少し逸脱している。これは今回の静電気感度試験の試料の厚さが1mmであり、Fig. 7に示されているように、この厚さまで空気間隙があった場合の感度が維持されている

Table 1 Electrostatic sensitivity characteristics

Composition	Capacitance (nF)	Series resistance (k $\Omega$ )	Apparent time constant ( $\mu$ s)	Gap length (mm)	Minimum 50% ignition energy (mJ)
Mg(M1002)-KClO <sub>4</sub>	30	7	210	1.2	138.0
"	20	10	200	1.4	74.5
"	10	20	200	1.5	59.9
"	4	50	200	1.7	56.6
"	2	100	200	1.7	53.8
Mg(M45)-KClO <sub>4</sub>	30	10	300	1.4	359.7
"	4	75	300	1.8	169.8
Mg(M15)-KClO <sub>4</sub>	30	13	390	1.5	941.3
"	4	100	400	2.0	562.3
Ti-KClO <sub>4</sub>	10	12	120	1.2	15.5
"	4	30	120	1.8	10.2
"	1	120	120	1.8	11.2

ことと関係して、試料状態のばらつきなどの実験誤差の影響が大きくて生じたと考えられる。

三種のMgとKClO<sub>4</sub>の混合系の静電気感度では、同じコンデンサ容量で最小E<sub>50</sub>の低いものほど、そのときの見掛けの時定数は小さくなり、かつ電極間隙長は短くなるという規則性が認められる。すなわち、4nFでは、Mg(M1002)混合系が最も鋭感で、最小E<sub>50</sub>は56.6mJ、電極間隙長は1.7mm、見掛けの時定数は約200 $\mu$ s、Mg(M45)混合系はそれぞれ169.8mJ、約300 $\mu$ s、1.8mm、Mg(M15)混合系は、562.3mJ、約400 $\mu$ s、2.0mmとなっている。ただ、Mg(M45)とMg(M15)混合系の30nFにおける電極間隙長とE<sub>50</sub>の関係を調べたときの直列抵抗が大きすぎたが、最小E<sub>50</sub>を示す条件から少しはずれた場合でも、放電開始現象など感度に特別に影響する因子がない場合には、そのときの関係が維持され<sup>1,10)</sup>、規則性が認められるとしてよいであろう。

金属粉と酸化剤の混合系の静電気感度試験では、試料の状態が一定であれば、Fig. 7と8に示すように、試料の厚さによってE<sub>50</sub>が変化することがわかった。ただ、その変化状態がMg混合系とTi混合系では異なっている。ここに試料の厚さとは、前記したように、上部電極の針先から試料表面までの長さであり、試料厚さ0とは針先が試料表面に接しているときであり、プラスの数値は試料の中に針先が進入しているときで、進入の深さをいう。マイナスのときは針先と試料表面間に空気間隙があるときで、針先と試料表面間の間隙幅を示す。

Mg混合系では三種のMgとも、試料の厚さが0のと

きは、空気間隙があるとき(マイナスの厚さ)よりも高いE<sub>50</sub>となっている。それに対して、Ti混合系では試料の厚さが0のときと空気間隙があるときでほとんどE<sub>50</sub>は変わらない。さらに1mm近く針先が試料中に侵入しているときまで、その低いE<sub>50</sub>が維持されている。試料の厚さがそれ以上に厚くなるにつれて、MgおよびTi混合系ともだんだんとE<sub>50</sub>は高くなっていき、ある厚さ以上では一定値に漸近する傾向が認められる。

これらの試験は、静電気感度試験で最も低いE<sub>50</sub>を示す条件とそれから少し逸脱した条件で行ったが、Fig. 7に示すように、Mg混合系では差異がないが、Ti混合系では差異が認められた。このような違い、および試料厚さ0近くでのE<sub>50</sub>の試料によるの違いには、金属の比重、粒子形状、粒度分布、試料の嵩密度などが関係していると考えられる。

今回の静電気感度試験では、特別に針先が試料中に1mmだけ侵入した試料厚さで試験したが、このときは試料の厚さによってE<sub>50</sub>が大きく変化したり、Ti混合系のように、空気間隙がある場合のE<sub>50</sub>が維持されている範囲にあることがわかった。静電気感度試験のときの試料の厚さはもっと厚くする必要があり、どの程度の厚さにするかについてはもっと詳細な検討が必要である。なお、静電気粉塵点火感度試験では、試料の厚さは電極間隙長の半分としたが<sup>2)</sup>、これは妥当であったことを示している。

3種のMgとKClO<sub>4</sub>の混合系についての静電気粉塵点火感度は、静電気感度の場合と同じ見掛けの時定数で最小E<sub>50</sub>を示した。静電気感度結果では最小E<sub>50</sub>と見

掛けの時定数およびそのときの電極間隙長間に規則的關係があったが、静電気粉塵点火感度試験結果では、Mg(M45)とKClO<sub>4</sub>混合系がこの両方の關係から逸脱している。この逸脱は再実験の結果再現性のある現象であることが示された。試料の飛散状態の違いと關係して生じたものと考えられる。

最後に、見掛けの時定数は放電柱(熱源、すなわち一種のホットスポット)の持続時間<sup>15)</sup>、電極間隙長は放電柱の温度、圧力および容積と關係<sup>16)</sup>しており、今後静電気放電による発火感度データによって火工品組成物の発火機構を検討する予定である。

## 5. まとめ

- (1) MgおよびTiとKClO<sub>4</sub>混合系の静電気放電による発火感度は、試料の状態が一定であれば、上部電極の針先と試料表面の位置關係によって大きく変化する。なお、試料の状態が一定でない場合には、E<sub>50</sub>の最大と最小の比が10倍以上にもなるようなばらつきを生じる場合がある。
- (2) Mg混合系では、針先が試料の表面に接しているときは、電極間に空気があるときよりも高いE<sub>50</sub>を示す。Ti混合系では、針先が試料表面に接しているときのみならず、1 mm試料中に埋まっているときまで、電極間隙に空気がある場合のE<sub>50</sub>が維持される。それ以上に試料の厚さが増せば、それにもなってE<sub>50</sub>は高くなる。
- (3) Mg-KClO<sub>4</sub>とTi-KClO<sub>4</sub>混合系の静電気感度は、静電気粉塵点火感度の場合と同じようにいくつかのコンデンサ容量で試験したときに、容量が小さいほど最小E<sub>50</sub>は低くなり、そのときの電極間隙長は長くなるが、見掛けの時定数は一定である。
- (4) Mg三種とKClO<sub>4</sub>の各混合系は、静電気感度試験では同じコンデンサ容量での試験において、最小E<sub>50</sub>が低いものほど、見掛けの時定数は短くなり、そのときの電極間隙長は短くなる。静電気粉塵点火感度試験ではその關係から逸脱する場合があっ

た。また、静電気感度の方が、それぞれの試験条件において最小E<sub>50</sub>は高く、そのときの電極間隙長は長くなったが、最小E<sub>50</sub>を示す見掛けの時定数は両者で一致した。

## 文 献

- 1) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 56, 71(1995)
- 2) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 56, 84(1995)
- 3) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, 57, 41(1996)
- 4) B. L. Fedroff and O. E. Sheffield, "Electricity, extraneous and hazards associated with it" in "Encyclopedia of explosives and related items" PATR-2700, vol. 5(1972)
- 5) R. M. H. Wyatt, P. W. J. Moore, R. J. Adams and J. F. Sumner, Proc. Roy. Soc., London, A246, 189 (1958)
- 6) M. S. Kirschenbaum "Electrostatic sensitivity", in "Energetic materials" edited by H. D. Fair and R. F. Walker, Plenum Press(1977)
- 7) 黒田英司, 工業火薬, 44, 250(1983)
- 8) 内藤道夫, 梅津実, 安全工学, 8, 107(1969)
- 9) K. N. Palmer, 日本化学会訳編, 「粉じんの爆発と火災」, P. 319(1981), 丸善
- 10) J. Hartman, J. Nagy and M. Jacobson, US Bureau of mines RI4835(1951)
- 11) F. L. McIntyre and R. M. Rindner, ARLCD-CR-80047(1980)
- 12) P. S. Wang and G. F. Hall, MLM-3252(1985)
- 13) MIL-STD-331A, Sample analysis by H. J. Langlie from Publication No. U-1792(1972)
- 14) 永石俊幸, 桜井郁水, 黒田英司, 火薬学会秋季研究発表講演会要旨, P. 21(1995)
- 15) 黒田英司, 永石俊幸, 静電気学会講演論文集, 93, P. 429(1993)
- 16) E. Kuroda and T. Nagaishi, Proc. of the 23th Int. Pyrotechnic Seminar, P. 751(1997)

## Ignition sensitivity by electrostatic discharge of Mg/KClO<sub>4</sub> and Ti/KClO<sub>4</sub> compositions

by Eishi KURODA\* and Toshiyuki NAGAISHI\*\*

Ignition sensitivity test by electrostatic discharge was carried out for three kinds of compositions of Mg/KClO<sub>4</sub> and a composition of Ti/KClO<sub>4</sub>. It was shown that the energy of 50% ignition was dependent upon the distance between a test sample surface and an upper needle electrode. The energy of 50% ignition was small for the test on the dust ignition sensitivity by electrostatic discharge, in which there was air gap between an upper needle electrode and a test sample. For the normal test, in which an upper needle electrode was buried into a test sample, the energy of 50% ignition became larger in both Mg/KClO<sub>4</sub> and Ti/KClO<sub>4</sub> compositions. The deeper an upper electrode was buried into a test sample, the more the energy increased. The dependence upon the depth was different from each other in both compositions. There were instances where the energies of 50% ignition were scattered over ten times from the minimum to the maximum in each experiment if a sample was piled on the electrode in the different state. The apparent time constant with the minimum energy of 50% ignition for the given compositions coincided each other when an upper electrode was buried into a sample or not. In the normal test, the larger minimum energy of 50% ignition and the longer gap length were observed.

(\*Nippon Koki Co., Ltd., Shimbashi-sakura Bldg. 3F, 36-1, 2-chome, Nishi-shimbashi, Minatoku, Tokyo 105-0003, JAPAN)

\*\*Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo University, 2-1-3 Matsuka-dai, Higashi-ku, Fukuoka 813-0004, JAPAN)