

ジルコニウムと過塩素酸カリウム混合物の 反応性に及ぼすコーティング剤の影響

中村英嗣 *†, 柴崎 敦 *, 秋吉美也子 **, 谷口弘幸 ***

*九州工業大学大学院工学研究科 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1

†Corresponding address: nakamura@che.kyutech.ac.jp

** (独)産業技術総合研究所 〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1 中央第5五

*** 日本化薬(株)姫路工場 〒679-2133 姫路市豊富町豊富3903-39

2005年6月20日 受付 2005年8月25日 受理

要旨

ジルコニウムの粉末を種々のコーティング剤でコーティングすることにより表面処理した。この表面処理をしたジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物との反応性を、熱分析法、摩擦感度試験、静電気感度試験、落つい感度試験などを行うことにより検討し、以下の結論を得た。

ジルコニウム粉末の空気中での酸化反応はコーティング処理により抑制されるが、ステアリン酸の場合の効果は少なかった。ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の熱反応性も同様な効果が認められた。未処理のジルコニウム粉末を用いた過塩素酸カリウムとの混合物は、起爆薬類のアジ化物に非常に近い熱感度、摩擦感度、静電気感度特性を持っている。しかし、落つい感度試験では不爆であった。表面処理をしないジルコニウムと過塩素酸カリウム混合物の反応性は重金属アジ化物に類似していた。各種のコーティング剤で処理したジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物の場合でも、処理により感度は低下するものの、危険性は大きいと判断される。

1. 緒言

ジルコニウムは高い反応性と大きい燃焼熱を持つために、二酸化鉛¹⁾、過塩素酸カリウム²⁾、クロム酸バリウム³⁾、酸化鉄⁴⁾などの酸化剤と混合して、点火薬、着火薬、延時薬などの燃料成分として各種の火工品に用いられている¹⁾。ジルコニウム単体および酸化剤混合物ともに、粉碎、乾燥、篩分、秤量、混合などの取り扱い時に、発火や爆発の事故例が数多く報告されており、安全性の上で問題があることが知られている^{5), 6), 7), 8)}。

Karlowitzらは、ジルコニウム粉末の表面を酸処理することにより、静電気に対する発火感度を低下させることを報告している⁹⁾。また、著者らは、ジルコニウムと二酸化鉛や過塩素酸カリウム混合物の反応性は、用いるジルコニウムの表面物性に大きく影響されることを報告した^{10), 11)}。ジルコニウム-酸化剤混合物はその用途が軍用に限られていたため、取り扱いに対する文献はあまり公表されていなかった。近年、自動車用ガス発生剤の点火薬としての用途が増加するにつれて事故例も著しく増加しており、日本で報告された事故事例も平成7年以降では8件に上っている。

ジルコニウムは、その用途の多様化にともない新規物性を持った試料も出現している。しかし、これらのジルコニウムの表面物性と反応性、とりわけ各種感度との関連についての文献は未だに少ない。本研究では、粒子径の比較的細かいジルコニウム粉末試料をコーティング剤で表面処理した場合の過塩素酸カリウム混合物との各種感度を測定し、その反応性の特徴について検討した。また、アジ化鉛(Pb(N₃)₂)、アジ化銀(AgN₃)およびジアゾジニトロフェノール(DDNP)などの起爆薬類の各種感度も測定し、ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物との比較検討を行った。

2. 実験

2.1 試料

ジルコニウムはCHEMETAL GMBH 社製、type II class Iの水蓄された粉末試料を用いた。重量法による純度は97.8 wt %であった¹⁰⁾。過塩素酸カリウムは市販試薬を水溶液から再結晶し、乾燥、粉碎、篩分(250メッシュパス)して用いた。ジルコニウム粉末のコーティング剤として、日本化薬(株)製工業品のFig. 1 (1)に示す構造を持つフッ素樹脂

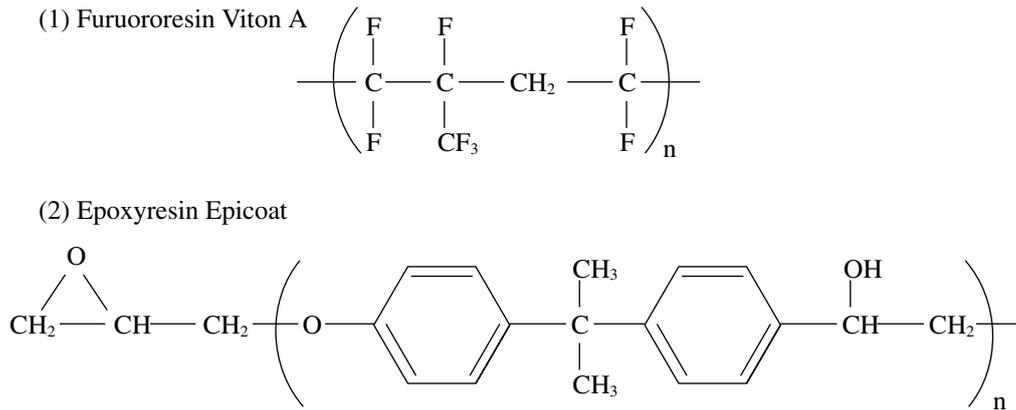


Fig. 1 Chemical structure of Viton A and Epicoat.

Viton A, 工業品のエポキシ樹脂Epicoat (Fig. 1(2)) および市販試薬の高級脂肪酸であるステアリン酸 ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) を用いた。フッ素樹脂Viton Aの密度は 1.7556 g cm^{-3} , エポキシ樹脂Epicoatのそれは 1.2189 g cm^{-3} , ステアリン酸 0.9408 g cm^{-3} であった。

ジルコニウムの粉末のコーティングは以下の方法で行った。すなわち, 所定の量のコーティング剤をアセトン 1000 mL に完全に溶解し, この中にジルコニウムの粉末 1 g を入れ, 5分間攪拌した。これをメンブレンフィルター(富士フィルム(株)製FR40)を用いて吸引ろ過し, デシケータ中で24時間乾燥して試料とした。この間, 空気中の酸素との接触を避けるために, 粉末試料の取り扱い時にはアルゴン雰囲気にしたドライボックスを用いた。

ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の反応の量論式は(2)式で示され, 等量比はジルコニウム 57 wt %, 過塩素酸カリウム 43 wt % となる。



本実験での混合物試料では, この等量比を中心にしてジルコニウム過剰および過塩素酸カリウム過剰にとることとした。

アジ化鉛, アジ化銀およびジアゾジニトロフェノールは中国化薬(株)製の工業品をそのまま用いた。

2.2 純度分析, コーティング剤の定量および表面物性の測定

ジルコニウムの粉末の純度分析はマンデル酸を用いる重量法によった¹²⁾。平均粒子径および表面状態の観察は日本電子(株)製走査型電子顕微鏡JSM-2型を用いた。比較のために, これとは別に粒子径の測定を(株)島津製作所製粒度分布測定装置SALD-2000A型で, 溶媒に蒸留水を用いて行った。コーティング剤の定量は(株)柳本製作所製有機元素分析装置CHNコーダM3型による元素分析により決定した。ジルコニウムの粉末の結晶性はリガクX線回折装置ロータフレックスRU-200および日本データム(株)製JDX-3500Kを用

いて, 粉末法により検討した。X線光電子分光(ESCA)は日本電子(株)製光電子分光装置JPS-90S型を用いて行った。

2.3 各種感度の測定

熱感度の評価のための熱分析は, 理学電気(株)製示差熱分析装置TAS-300型および自製の示差熱分析装置を用い, 試料量5~7 mg, 昇温速度 20 K min^{-1} , アルミナ製容器および石英製開放容器を用いて行った。雰囲気はジルコニウムのみの場合は空气中で, 混合物の場合はアルゴン雰囲気下で行った。アジ化鉛, アジ化銀およびジアゾジニトロフェノールの熱分析はステンレス耐圧容器を用いた示差走査熱量計(DSC)を用いて, 試料量2 mg, 昇温速度 20 K min^{-1} で行った。

摩擦感度試験はBAM式摩擦感度試験器を用い, JIS K 4810 に従って行った¹³⁾。静電気感度試験は針状電極を用いた接近電極法により測定し, データの解析にはDixon法を用いた¹⁴⁾。起爆薬類の測定には球状電極を用いた固定電極法によった。落つい感度試験は蔵持科学(株)製落つい感度試験機を用いて, 火薬学会規格に準じて行った¹⁵⁾。起爆薬類の感度試験ではいずれの試験でも1/6爆点を求めた。

3. 結果および考察

3.1 コーティング剤の特性と表面処理したジルコニウムの粉末の物性

Fig. 2に, 種々のコーティング剤の熱分析の結果を示す。フッ素樹脂は耐熱性の樹脂として知られている。Fig. 2に示す熱分析の結果から, フッ素樹脂Viton Aは昇華による重量減少を示すが, 発熱反応は起こさず, $455 \text{ }^\circ\text{C}$ で小さな吸熱ピークを示した後に樹脂の酸化が起こり, $500 \text{ }^\circ\text{C}$ では反応は終了した。エポキシ樹脂Epicoatは $60 \text{ }^\circ\text{C}$ で転移を起し, $346 \text{ }^\circ\text{C}$ で重量減少を伴う酸化による発熱反応を起こす。しかし, $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上でも10%以上が酸化されずに残った。ステアリン酸は $40 \text{ }^\circ\text{C}$ で転移をした後に融解(融点 $72 \text{ }^\circ\text{C}$)するとともに, $198 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上で酸化や蒸発による重量減少を示す。 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上ではほとんど残っておらず, 耐熱性の効果は劣ると推定される。

ジルコニウム表面に存在するコーティング剤の元素分析の結果からコーティング量が計算できる。Table 1の第2欄に、種々のコーティング剤のアセトン溶液で表面処理した場合の付着量の測定結果を示す。求められたコーティング剤の付着量は同一濃度ではエポキシ樹脂Epiccoat が最も大きく、フッ素樹脂Viton Aやステアリン酸は小さかった。5 gのコーティング剤をアセトン1 Lに溶解した溶液で処理した場合の付着量は、フッ素樹脂Viton Aでジルコニウム1 g 当たり3.6 mg, エポキシ樹脂Epiccoatで31.5 mg, ステアリン酸で1.9 mgであった。しかし、エポキシ樹脂Epiccoatの場合にはコーティング剤濃度が10 g/アセトン1 Lとなると、乾燥させた場合に粒子の凝集が認められた。後述するジルコニウムの粒子径およびコーティング剤の密度から、球状粒子を仮定するとコーティング層の厚みが計算できる。5 gフッ素樹脂Viton A/アセトン1 Lの溶液で処理した場合には0.003 μm , 10 g/アセトン1 L溶液では0.012 μm であった。

未処理のジルコニウム粉末およびフッ素樹脂Viton Aで処理したジルコニウム粉末の走査型電子顕微鏡による表面状態の観察結果から、以下のことが判った。未処理のジルコニウム粉末は0.2~8 μm の粒子からなり、この電顕法で求めたジルコニウム粉末の平均粒子径は2.7 μm であった。一方、光透過法で求めた平均粒子径は、粒子の二次凝集により電顕法で求めた平均粒子径より大きく、3.5 μm であった。フッ素樹脂Viton Aで処理した試料では、コーティング剤により微粒子が凝集したためか1 μm 以下の粒子が少なくなっているのが観察された。この傾向はエポキシ樹脂Epiccoatの場合にも観察されが、ステアリン酸処理の場合には微粒子の存在も認められた。これらの微粒子の凝集は感度の低下効果に期待が持てる。

Fig. 3に、未処理のジルコニウム粉末およびフッ素樹脂Viton AおよびEpiccoatで処理したジルコニウム粉末のESCAスペクトルの測定結果を示す。未処理のジルコニウム粉末の表面には酸化層の存在が認められた。コーティング剤で処理した場合にも酸化層の存在は認められたが、酸素に起因するピークはコーティングしない場合に比較して小さかった。また、フッ素樹脂Viton Aで処理した場合には炭素およびフッ素、エポキシ樹脂Epiccoatの場合には炭素に起因するピークが認められた。粉末X線回折では、未処理のジルコニウム粉末およびコーティング剤で処理したジルコニウム粉末ともにジルコニウムのみの回折線を示した。この結果からコーティング剤での処理によってもジルコニウムの結晶性は変わらず、また新規の化合物の生成もないと判断できる。

3.2 ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の熱反応性

Fig. 4(1)~(4)に、未処理のジルコニウム粉末およびフッ素樹脂Viton Aで処理したジルコニウム粉末のみの空気中での熱分析の結果を示す。未処理のジルコニウム粉末は空気中で加熱すると326 $^{\circ}\text{C}$ から徐々に、332 $^{\circ}\text{C}$ で酸化による激しい発熱反応を示した。フッ素樹脂Viton Aで処理した場合にはこの酸化反応は高温側に移動し、10 g Viton A/アセトン1 L溶液で処理した場合には激しい発熱反応の温度

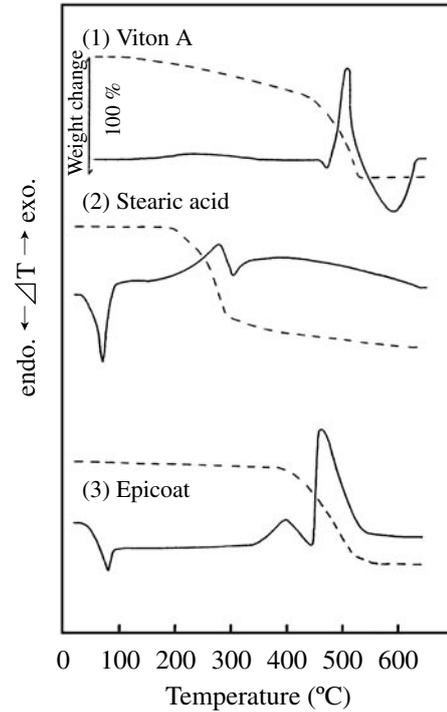


Fig. 2 Thermal analysis of Viton A, stearic acid and Epiccoat in air. (Solid line; DTA, dotted line; TG)

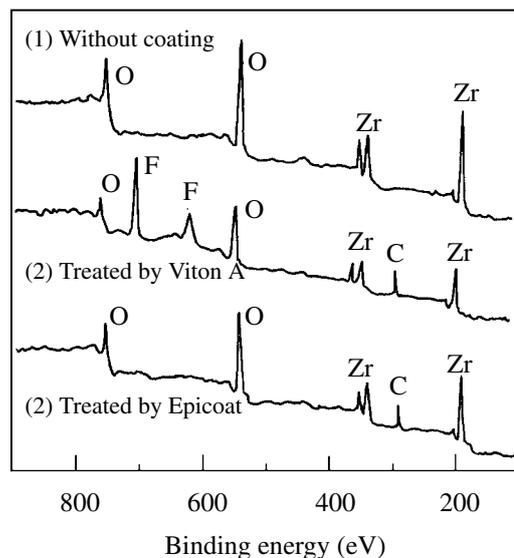


Fig. 3 ESCA spectra of Zr powder.
 (1) Zr without coating,
 (2) Zr treated by 10 g Viton A/1 L acetone,
 (3) Zr treated by 1 g Epiccoat/1 L acetone

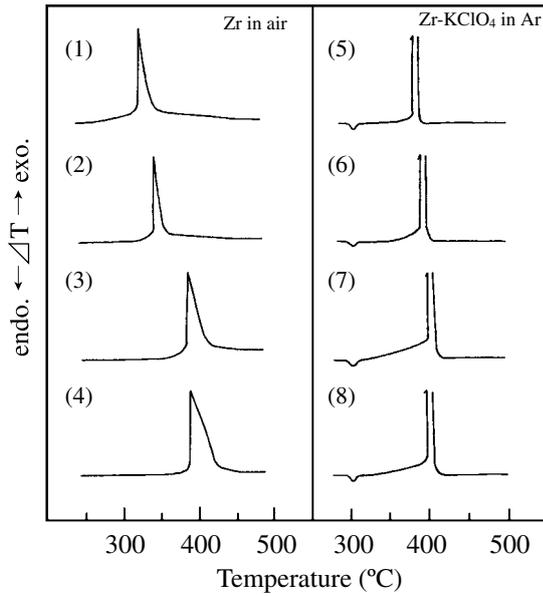


Fig. 4 Effect of Viton A coating on the thermal reactivity of zirconium powder in air (1~4) and its mixture with potassium perchlorate in Ar (5~8). (1), (5); Zr without coating, (2), (6); treated by 2 g Viton A/1 L acetone, (3), (7); treated by 10 g Viton A/1 L acetone, and (4), (8); treated by 20 g Viton A/1 L acetone

は453 °Cになった。Fig. 4 (5)~(8)に、過塩素酸カリウムと未処理のジルコニウム粉末およびフッ素樹脂Viton Aで処理したジルコニウム粉末の混合物のアルゴンガス雰囲気中での熱分析の結果を示す。未処理のジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物をアルゴンガス雰囲気中で加熱した場合は、403 °Cで発火を伴う激しい発熱反応を示した。10

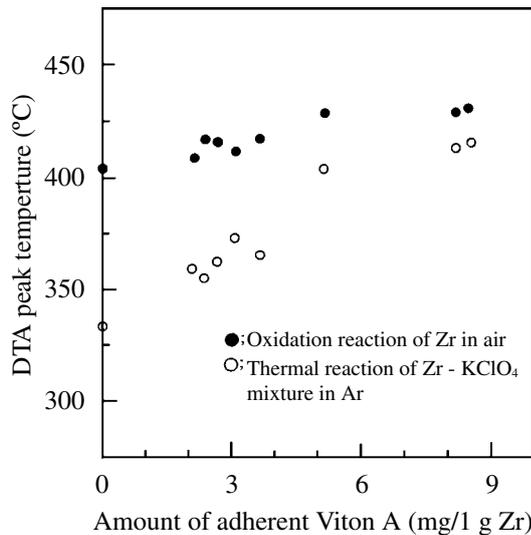


Fig. 5 Effect of Viton A coating on the reactivity of zirconium in air and its mixture with KClO_4 in Ar.

g Viton A/アセトン1 L溶液で処理したジルコニウムではこの激しい発熱反応の温度は427 °Cと高温側に移動した。

Fig. 5に、種々の濃度のViton Aでコーティングしたジルコニウム粉末のみの空気中での発熱反応のピーク温度およびジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の不活性ガス中での発熱反応のピーク温度を示す。ジルコニウム粉末のみの空気中での発熱反応のピーク温度は、コーティング量の増加とともに高温側に移動した。コーティングしないジルコニウムの単体の酸化反応は270 °C付近から徐々に、320 °C付近から急激に起こる。しかし、コーティング剤のViton Aの酸化反応は455 °C付近からの開始するため、300~400 °C付近ではコーティング剤はジルコニウム表面にまだ残っており、酸化反応の抑制効果を果たすものと思われる。Viton Aでコーティングしたジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の不活性ガス中での発熱反応のピーク温度もコーティング量の増加とともに高温側に移動した。しかし、この効果は単体の酸化反応ほど大きくはなかった。ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物では、(1)ジルコニウムの単体の酸化反応、(2)ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の反応および(3)コーティングの影響を受けない過塩素酸カリウムとコーティング剤との反応が並行して起こっていると思われる。これらの3つの反応の寄与についての定量的な検討は行っていないが、混合物の反応にコーティングの影響が少ない理由は、(3)の過塩素酸カリウムとコーティング剤との反応の影響が考えられる。

Fig. 6に、種々の濃度のEpiccoatでコーティングしたジルコニウム粉末のみの空気中での発熱反応のピーク温度およびジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の不活性ガス中での発熱反応のピーク温度を示す。ジルコニウム粉末のみの空気中での発熱反応のピーク温度は、コーティング量の増加とともに高温側に移動した。ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の不活性ガス中での発熱反応のピーク温度

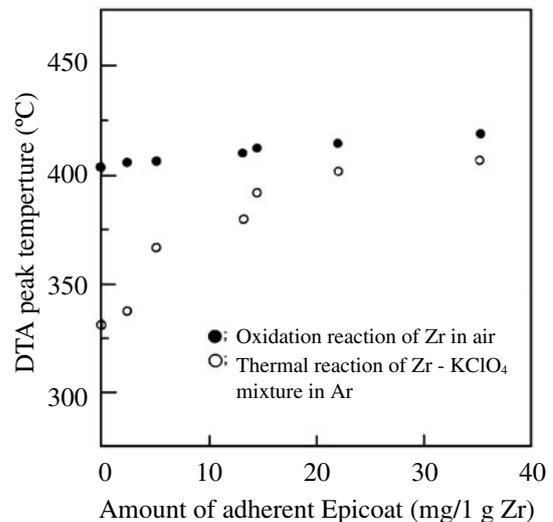


Fig. 6 Effect of Epiccoat coating on the reactivity of zirconium in air and its mixture with KClO_4 in Ar.

Table 1 Effect of surface coating on the friction sensitivity of zirconium-KClO₄ mixtures.

Concentration of coating agent (g/1 L acetone)	Amount of coating agent (mg/1 g Zr)	Friction sensitivity	
		1/6 explosion point (kgf)(N)	50 % explosion point (kgf)(N)
Without coating		1.2(12 N)	2.0(19 N)
Viton A			
0.5	0.25	2.0(20 N)	2.9(28 N)
1.0	3.05	2.0(20 N)	2.9(28 N)
2.0	2.30	2.0(20 N)	2.5(25 N)
5.0	3.62	2.0(20 N)	2.9(28 N)
10.0	5.23	2.0(20 N)	3.0(30 N)
20.0	8.55	3.6(35 N)	4.0(39 N)
Epiccoat			
1.0	4.68	2.8(27 N)	3.4(34 N)
2.0	14.76	3.2(31 N)	3.9(38 N)
5.0	31.54	3.6(35 N)	4.4(43 N)
10.0	41.17	5.2(51 N)	8.2(80 N)
Stearic acid			
0.5	1.05	1.2(12 N)	2.2(22 N)
1.0	1.38	1.6(16 N)	2.2(22 N)
10.0	4.08	2.0(20 N)	2.6(25 N)
15.0	7.85	2.4(24 N)	2.7(26 N)
20.0	17.83	2.4(24 N)	2.8(27 N)

もコーティング量の増加とともに高温側に移動したが、この効果は単体の酸化反応ほど大きくはなかった。これらの傾向はViton Aでコーティングした場合と同様であった。フッ素樹脂 Viton Aは付着性ではEpiccoatに劣るが、同一付着量で比較するとその効果は耐熱性のある前者が抑制効果が大きかった。ステアリン酸で処理したジルコニウムおよびその過塩素酸カリウム混合物の熱分析は、未処理のジルコニウムおよびその過塩素酸カリウム混合物と大きな差異はなかった。これは低温でのステアリン酸の蒸発によると思われる。

3.3 ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物および起爆薬の各種感度

過塩素酸カリウムと未処理のジルコニウム粉末およびコーティング剤で処理したジルコニウム粉末混合物の摩擦感度試験を行った。Table 1には、コーティング濃度、コーティング剤の付着量および1/6爆点および感度曲線から求めた50 %爆点を示す。摩擦による発火の場合には酸化剤粒子と還元剤との接触が重要であるため、コーティング膜の厚みが感度に影響すると思われる。コーティング剤の種類により付着量が異なるため相対的な比較は出来ないが、いずれのコーティング剤で処理した場合にも摩擦感度は低下した。エポキシ樹脂Epiccoatでコーティングした場合も摩擦感度は低下し、フッ素樹脂Viton Aで処理した場合と同一のコーティング量で比較すると同等かやや良い感度低下効果を示した。ステアリン酸でコーティングした場合も摩

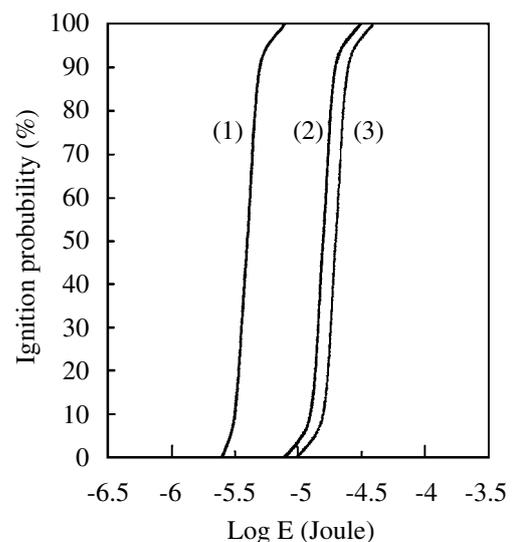


Fig. 7 Effect of Viton A coating on the electrostatic sensitivity of zirconium-KClO₄ mixtures.
 (1) Zr without coating,
 (2) Zr treated by 2 g Viton A/1 L acetone,
 (3) Zr treated by 10 g Viton A/1 L acetone

Table 2 Sensitivities of primary explosives.

Species of primary Explosives	Thermal sensitivity		Drop hammer 1/6 explosion point (cm)	Friction 1/6 explosion point (kgf)	Electrostatic 1/6 explosion point (J)
	T _{DSC} (°C)	Peak temp. (°C)			
Pb(N ₃) ₂	302	342	over 50	0.040	0.014
AgN ₃	316	380	40~50	0.010	0.003
DDNP	166	179	5~10	1.000	0.125

T_{DSC}; Temperature at which exothermic reaction commences

Peak temp.; Temperature which shows the maximum peak in DSC

擦感度は低下したが、その効果は前二者には劣った。

Fig. 7に、過塩素酸カリウムと未処理のジルコニウム粉末およびフッ素樹脂Viton Aで処理したジルコニウム粉末混合物の静電気感度試験の結果を示す。この感度曲線で、縦軸は%で表した発火率、横軸はエネルギーをJouleで表した値の常用対数値とした。フッ素樹脂Viton Aで処理した場合には一定量以上の付着では静電気感度は著しく低下した。エポキシ樹脂Epiccoatやステアリン酸でコーティングした場合も静電気感度は低下した。

Table 2に、起爆薬類の各種感度測定結果を示す。起爆薬類のアジ化鉛、アジ化銀およびジアゾジニトロフェノールの発熱分解のピーク温度はそれぞれ342 °C、380 °C、179 °Cであり、アジ化物は比較的熱的には安定であるといえる。未処理のジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物のそれは332 °Cであり、この混合物はアジ化物に近い熱的特性を持っていると言える。アジ化鉛、アジ化銀およびジアゾジニトロフェノールの摩擦感度試験での1/6爆点はそれぞれ0.04 kgf (0.39 N)、0.01 kgf (0.10 N)、1.2 kgf (12 N)であった。未処理のジルコニウム粉末を用いた過塩素酸カリウム混合物の1/6爆点は1.2 kgfであり、アジ化物より低感度であるものの、DDNPに近い感度を持ち、摩擦に対する危険性は非常に大きいことが判かる。アジ化鉛、アジ化銀およびジアゾジニトロフェノールの静電気感度試験での1/6爆点は14 mJ、3 mJ、125 mJであった。未処理のジルコニウム粉末を用いた過塩素酸カリウム混合物の1/6爆点は4.0 μJであり、起爆薬類より高い静電気感度を示した。本研究では、ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物と起爆薬類の測定法が異なるので、相対的比較は出来ないが、起爆薬と同程度あるいはそれ以上の静電気感度を持つ可能性がある。ジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物の落つい感度試験ではコーティング剤での処理の有無に係わらずいずれの試料も50 cmの落高でも不爆であり、アジ化物と同様に打撃には鈍感であることが判かった。

以上の結果から、未処理のジルコニウム粉末を用いた過塩素酸カリウムとの混合物は起爆薬類のアジ化物に非常に近い感度特性を持っている。さらに、各種のコーティング剤で処理したジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物の場合でも、処理により感度は低下するものの、危険性は大きいと判断される。

4. 結論

種々のコーティング剤のアセトン溶液で表面処理した場合の付着量は、エポキシ樹脂Epiccoat が最も大きく、フッ素樹脂Viton Aやステアリン酸はこれに比較して小さかった。ジルコニウム粉末の空気中での酸化反応はコーティング処理により抑制されるが、ステアリン酸の場合は効果が少なかった。ジルコニウム-過塩素酸カリウム混合物の熱反応性も同様な効果が認められた。未処理のジルコニウム粉末を用いた過塩素酸カリウムとの混合物は、落つい感度試験では不爆であるものの、起爆薬類に非常に近い熱感度、摩擦感度、静電気感度特性を持っている。各種のコーティング剤で処理したジルコニウム粉末と過塩素酸カリウム混合物の場合も、処理により感度は低下するものの危険性は大きいと判断される。

謝 辞

起爆薬の試料提供とその各種感度測定に便宜を図っていただいた中国化薬(株)に謝意を表す。

引用文献

- 1) F. L. McIntyre, "A Compliment of Hazard and Test Data for Pyrotechnic Composition", p. 223 (1980), U. S. Army Armament Research and Development Command, Large Caliber Weapon System Laboratory.
- 2) *ibid.*, p. 225.
- 3) *ibid.*, p. 386.
- 4) *ibid.*, p. 352.
- 5) 田村昌三監訳, "プレスリック 危険物ハンドブック 第5版", p. 699 (1998) 丸善.
- 6) 全国火薬類保安協会, "平成16年事故防止対策委員会報告書", p. 10 (平成17年3月).
- 7) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, Vol. 56 (No.2), 78 (1995).
- 8) 黒田英司, 永石俊幸, 火薬学会誌, Vol. 56 (No.4), 165 (1995).
- 9) P. Karlowitz, G. Norwitz and J. Cohen, *J. Electrochem. Soc.*, 108 (No.7), 659 (1961).
- 10) 中村英嗣, 石松毅志, 原泰毅, 工業火薬協会誌, Vol. 51 (No. 6) 383 (1990).
- 11) H. Nakamura, T. Maruyama, M. Akiyoshi and Y. Hara, 火薬学会誌, Vol. 60 (No. 3) 118 (1999).
- 12) 日本分析学会編, "分析化学便覧", p. 73 (1981) 丸善.
- 13) 日本規格協会編, 日本工業規格, JIS K 4810 (1979) 日本規格協会.
- 14) 火薬学会編, 火薬学会規格, ES-25 (1988) 火薬学会.
- 15) 火薬学会編, 火薬学会規格, ES-2 (1) (1988) 火薬学会.

Effect of zirconium coating on the reactivity of zirconium-potassium perchlorate composition

Hidetsugu Nakamura^{*†}, Atsusi Sibasaki^{*}, Miyako Akiyoshi^{**},
and Hiroyuki Taniguchi^{***}

Zirconium powder was treated by the acetone solutions which contained coating agents such as fureororesin Viton A, epoxyresin Epicoat, and stearic acid. Then, sensitivities of zirconium powder with and without coating, and their mixtures with potassium perchlorate were studied by thermal analysis, friction sensitivity test, electrostatic sensitivity test, etc. The results were as follows.

The mixture of zirconium powder with potassium perchlorate had high sensitivities, which were resemble to primary explosives such as lead azide, though it misfired in drop hammer test. The coating of zirconium made its oxidative reactivity in air and the thermal reactivity of its mixture with potassium perchlorate in Ar lower. The coating also made the sensitivities of its mixture with potassium perchlorate lower, but the mixture still had a explosion hazard because of its high sensitivities in friction and electrostaticity.

Keywords: Zirconium, Potassium perchlorate, Sensitivity, Thermal analysis, Coating

^{*}Department of Applied Science for Integrated System Engineering, Kyushu Institute of Technology (KIT), Sensui-machi, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, 804-8550, JAPAN

[†]Corresponding address: nakamura@che.kyutech.ac.jp

^{**}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Higashi1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8565, JAPAN

^{***}Nippon Kayaku Co.,Ltd, Toyotomi-machi, Himezi-shi, 679-2133, JAPAN