

金属粉に関連する火災の消火方法に関する検証

望月 真*, 山東 俊**, 佐藤 和広*

概要

金属粉火災には、金属部品の切削加工時に発生した火花によって、周囲に飛散していた金属粉に着火する事例がある。家電製品の部材に広く使用されているマグネシウム合金にも同様な火災事例があることから、マグネシウム粉について、その燃焼性状及び消火剤の効果を検証した。

その結果、マグネシウム粉の燃焼に伴う有害物質の生成や、市販の金属粉火災用消火剤散布器及び塩化ナトリウムの消火効果を確認したので報告する。

1 はじめに

金属粉に関連する火災は、年間の発生件数こそ少ないものの、ひとたび発災すれば長時間の活動を余儀なくされる(平成18年の東大阪市の火災では、出火から鎮火までに17日間と4時間を要している)¹⁾ 場合もあり注意が必要である。金属粉から出火に至る事例としては、金属部品の切削、研磨時に発生する摩擦熱及び火花によって、周囲に飛散していた金属粉に着火し、火災となっている。金属粉は、その粒形が小さいほど着火しやすく、消火に水を用いると、より燃焼が促進されるため、消火が困難で延焼拡大危険が大きい。

近年、アルミニウムだけでなくその軽量で、機能性の高さからマグネシウムが航空機、自動車、携帯電話、パソコン等の部材として、その需要が拡大している。

そこで、本検証では、金属粉の中でも、その燃焼温度の高さと普及率からマグネシウム粉(以下「Mg」という)に注目し、その燃焼性状の検証を行った。また、当庁の警防活動基準では、金属粉火災の消火には、水を用いず乾燥砂及びパーライト(真珠岩焼成物)で消火することとされている一方で、金属粉火災用消火剤散布器が市販されていることから、それらの消火効果について比較検証した。

2 検証方法

金属粉の燃焼や火災に関する研究等はこれまでに多々報告されている^{2)~5)} が、多量の金属粉(kg単位)で実験を行った場合、その燃焼性状が均一とはならず、燃焼温度や消火効果を評価するのが難しいという結果であった⁶⁾。このことから、本検証では、あえて少量の金

属粉(g単位)で実験を行い、Mgの基礎的燃焼性状を検証した上で、消火方法について検証した。

(1) Mgの基礎的燃焼性状について

図1のように、ケイ酸カルシウム板上にMg(和光純薬工業株式会社)3g、6g、12g、120gをそれぞれ円錐状に設定し、その底部と頂部に熱電対(K型)を設定し、データロガー(横河電機株式会社)で温度変化を記録した。

着火作業は、ガスバーナーの炎を頂部に接炎し、燃焼に伴う発光が確認できるまで行った。

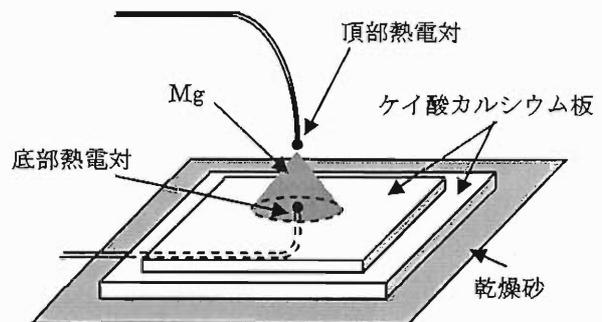


図1 金属粉及び熱電対等の設定状況

(2) 消火剤の効果の比較について

Mg 12gを(1)の通り設定し、着火後、底部の温度が1,000℃に達した時点で、以下の消火剤各300g(写真1)を用いて、その消火効果を比較した。また、Mg及び消火剤の量を10倍にした場合の消火効果も比較した。

ア 塩化ナトリウム (和光純薬工業株式会社)
(以下「NaCl」という)

金属粉火災用消火剤散布器粉末の主成分

イ 乾燥砂 (中目砂)

水防用土のう内の砂を、恒温槽にて 120°C で 12 時間以上乾燥させたもの。

ウ パーライト (三井金属鉱業株式会社、吸油用 4 号)

エ 金属粉火災用消火剤散布器 (宮田工業株式会社)

商品名：金属火災用 (マグネシウム・アルミニウム等) 特殊消火剤散布器 メタレックスミニ SMM-650
あらかじめ消火剤を噴射して取り出し、計量してから使用した。



NaCl

乾燥砂

パーライト

金属粉火災用
消火剤散布器

写真 1 使用した消火剤

(3) 成分分析について

(1) で得られた燃焼生成物を X 線回折分析装置で成分分析した。

試料の一部を乳鉢内で磨り潰し、ガラスパレット上に塗布し、測定した。

ア 使用機器

Mini Flex (株式会社リガク)

イ 測定条件

反射角度 5° ~ 85°

サンプリング幅 0.02°

スキャンスピード 0.2° / s

管電圧 30 kV

管電流 15 mA

窓材 Be

(4) Mg と消火剤の吸発熱性状及び重量変化について
熱重量示差熱分析装置 (以下「TG-DTA」という) を用いて、1,500°C まで加熱し、測定した。

ア 使用機器

Thermo Plus 2 シリーズ

TG-DTA TG8120 (株式会社リガク)

イ 測定条件

雰囲気 空気

気圧 1 気圧

測定温度範囲 室温 ~ 500°C or 1500°C

昇温速度 20.0°C / min

参照試料 アルミナ (Al₂O₃)

測定容器 Al or Pt

(5) 消火剤使用後について

Mg 12g を燃焼させ、NaCl もしくは乾燥砂で覆った後、底部、頂部の両方が 700°C、500°C、300°C を下回った時点で、覆っていた NaCl もしくは乾燥砂を除去し、その後の温度変化を測定した。

3 検証結果と考察

(1) Mg の基礎的燃焼性状について

ア 燃焼温度

Mg 3g、6g、12g、120g をそれぞれ燃焼させた場合の頂部と底部の温度測定結果をそれぞれ図 2、3 に示す。

図 2、3 より、熱電対測定部位における最高温度は、頂部で約 1,250°C、底部で約 1,200°C まで達した。頂部より底部のほうが遅れて高温状態となるため、表層が冷却しても、内部では高温が継続している。

ただし、この K 型熱電対の保障温度は 1,000°C までのため、この温度は正確ではない。1,000°C 以下の温度については、実験後に、実験で使用した熱電対を沸騰水等に入れ、確認したので、ある程度正確な値を示していると考えられる。

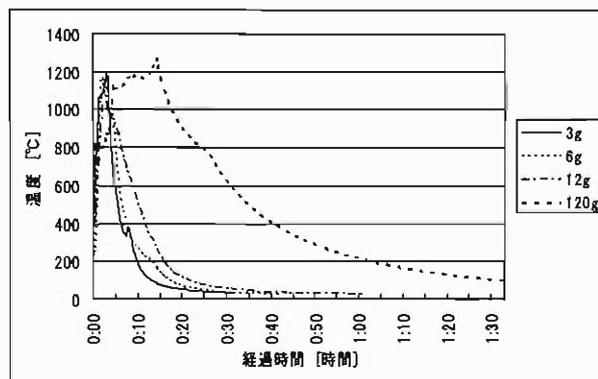


図 2 Mg の燃焼温度と時間的变化 (頂部)

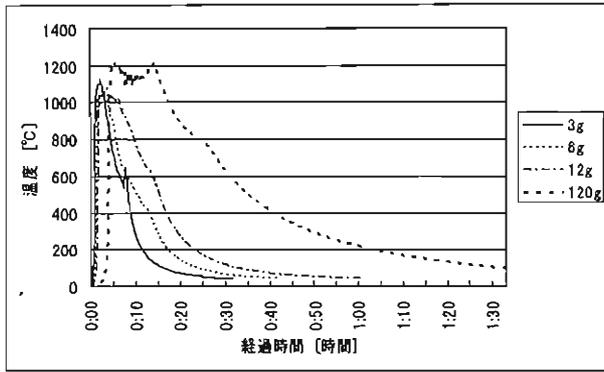


図3 Mgの燃焼温度と時間的变化(底部)

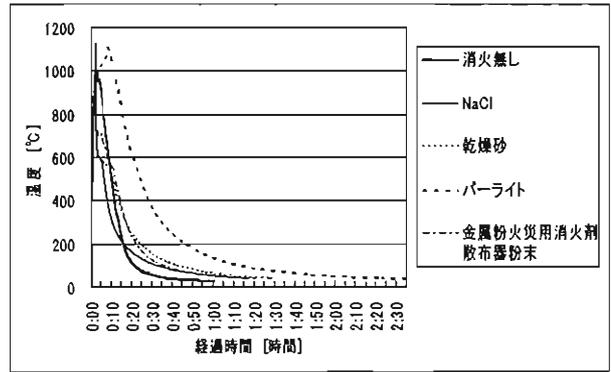


図4 消火効果の比較(Mg 12g 頂部)

イ 燃焼状況

Mg 12gの着火から20分後までの燃焼の様子を写真2に示す。

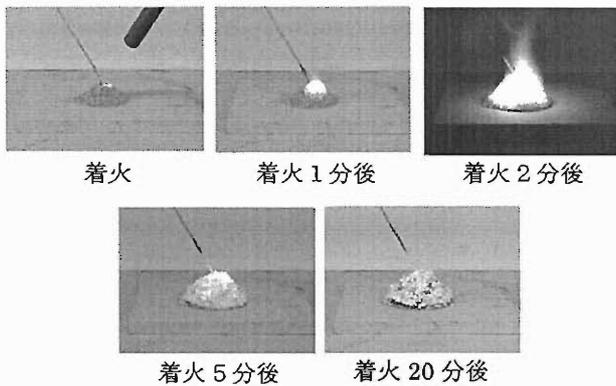


写真2 Mg 12gの燃焼の状況

ウ 燃焼生成ガス

燃焼中に生じる気体を検知管で測定したところ、窒素酸化物を40ppm検知した。

(2) 消火剤の効果の比較について

ア Mg 12gを燃焼させた場合

1,000°C以上の状態が5分以上継続したことから、各消火剤の効果の比較を行えると判断し、実験を行った。各消火剤300gを用いて消火した場合の消火効果を図4、5に示す。

図4、5より、温度を下げる効果は、頂部、底部とも、NaClで最も効果があり、次いで乾燥砂、金属粉火災用消火剤散布器粉末の順であった。パーライトには温度を下げる効果は無く、逆に消火無しの場合よりも高温状態を持続させる結果となった。

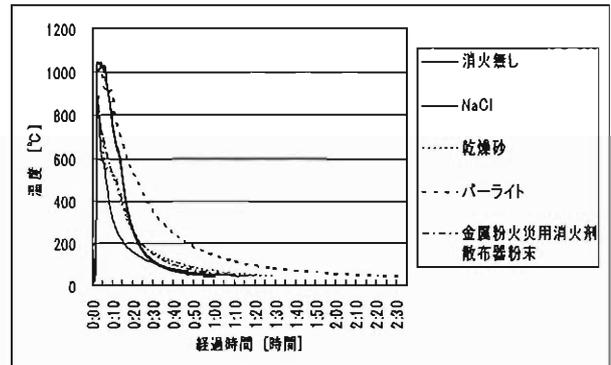


図5 消火効果の比較(Mg 12g 底部)

イ Mg 120gを燃焼させた場合

前アの結果が、Mgの量を10倍にした時でも同様の結果となるのか、Mg 120gを燃焼させ各消火剤の効果の比較を行った結果を図6、7に示す。

なお、この実験では消火剤も同様に10倍(3kg)に増量したが、金属粉火災用消火剤散布器については、1本分(650g)を噴射した。

図6、7より、温度を下げる効果は、金属粉火災用消火剤散布器で最も効果があり、次いでNaCl、乾燥砂の順であった。

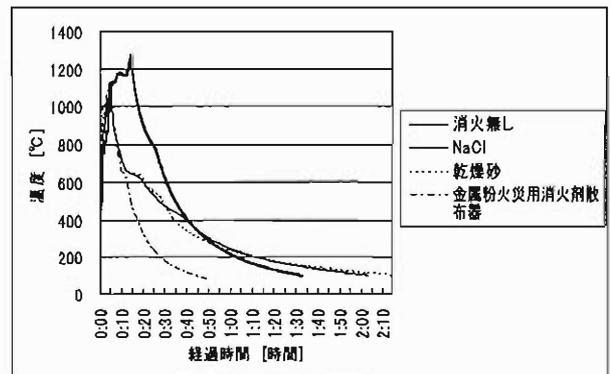


図6 消火効果の比較(Mg 120g 頂部)

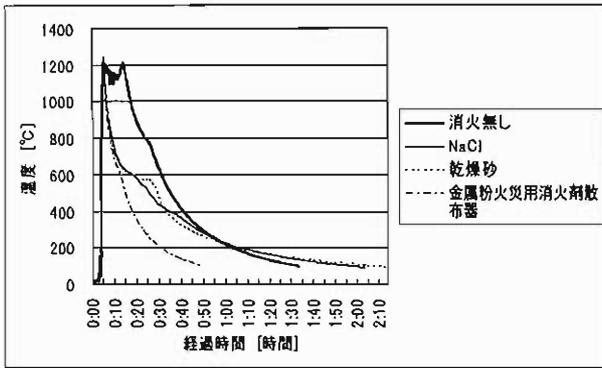


図7 消火効果の比較 (Mg 120 g 底部)

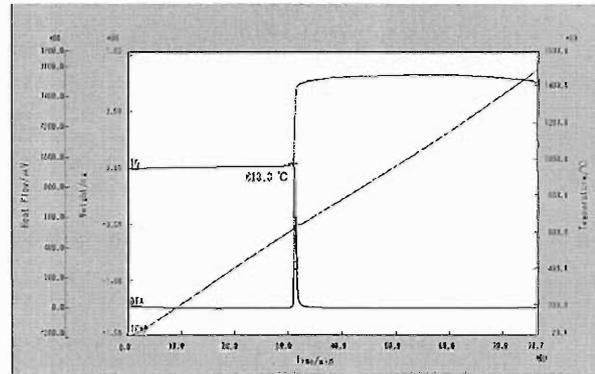


図9 MgのTG-DTA測定結果

(3) 成分分析について

燃焼生成物の断面を写真3に示す。

断面は、外側から順に白色、黒色及び黄色部分が観察された。断面の様子を簡略したものを図8に示す。

燃焼生成物の断面で観察された白色、黒色及び黄色部分をそれぞれX線回折分析装置により分析した結果、白色及び黒色部分は酸化マグネシウム (MgO)、黄色部分は窒化マグネシウム (Mg₃N₂) が主成分であった。

窒化マグネシウムを水と反応させると、急激な発熱とともにアンモニアガスが発生した。このガス濃度を検知管で測定した結果、0.4%であった。

また、Mg燃焼時に、頂部熱電対に付着した白色物は、酸化マグネシウムであったため、燃焼時に発生する煙中にも酸化マグネシウムが含まれていることを示している。



写真3 燃焼生成物の断面



図8 断面の簡略図

(4) Mgと消火剤の吸発熱性状及び重量変化について

Mg及び消火剤として使用したNaCl、乾燥砂、パーライト、金属粉火災用消火剤散布器粉末の吸発熱性状及び重量変化をTG-DTAを用いて測定した。

ア Mgの測定結果 (図9)

618.3°C付近で激しい発熱及び重量増加が観察された。よって、Mgはその温度付近で酸化されたと考えられる。

イ NaClの測定結果

795.8°C付近で重量変化を伴わない吸熱が、また、935.3°C付近で吸熱及び重量減少が観察された。よって、NaClは、795.8°C付近で融解し、935.3°C付近で気化したと考えられる。

ウ 乾燥砂及びパーライトの測定結果

1,500°Cまで吸発熱性状及び重量変化はほとんどみられなかった。

エ 金属粉火災用消火剤散布器粉末の測定結果

183.6°C付近で吸熱及び重量減少が、また、787.6°C付近で重量変化を伴わない吸熱が、また、965.2°C付近で吸熱及び重量減少が観察された。よって、金属粉火災用消火剤散布器粉末は、183.6°C付近で一部成分が気化し、787.6°C付近で融解、965.2°C付近で気化したと考えられる。

(5) 消火剤使用後について

ア NaCl除去後の温度変化

Mg 12 gを燃焼させ、NaClで覆った後、底部、頂部の両方が700°C、500°Cを下回った時点で、覆っていたNaClを除去し、その後の温度変化を測定した結果を図10、11に示す。

図10、11より、NaClを700°Cで除去した場合には、その後温度上昇したが、500°Cで除去した場合には、温度上昇はみられなかった。

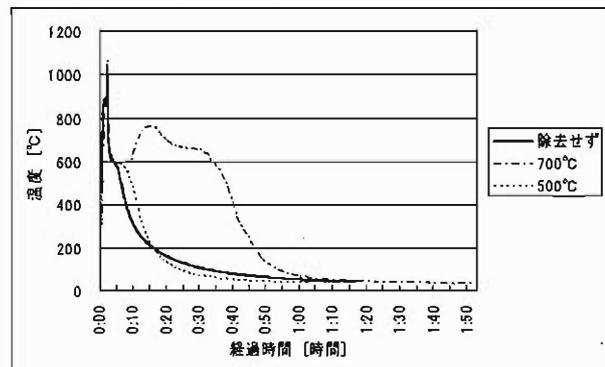


図10 NaCl除去後の温度変化 (頂部)

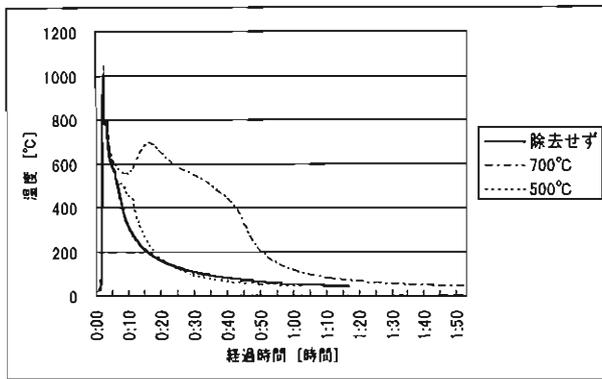


図 11 NaCl 除去後の温度変化（底部）

イ 乾燥砂除去後の温度変化

Mg 12 g を燃焼させ、乾燥砂で覆った後、底部、頂部の両方が 700°C、500°C、300°C を下回った時点で、覆っていた乾燥砂を除去し、その後の温度変化を測定した結果を図 12、13 に示す。

図 12、13 より、乾燥砂を 700°C、500°C で除去した場合では、その後温度上昇したが、300°C で除去した場合は、温度上昇はみられなかった。

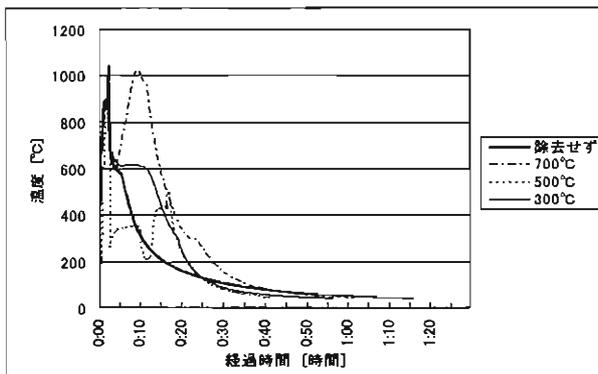


図 12 乾燥砂除去後の温度変化（頂部）

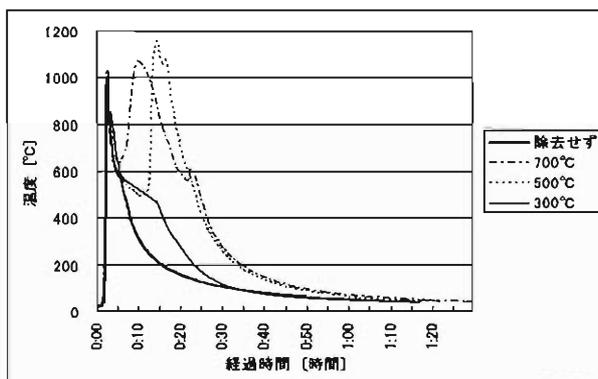


図 13 乾燥砂除去後の温度変化（底部）

ウ 消火剤の効果と消火剤除去後の再温度上昇

前述のように、消火剤を除去すると、再び温度上昇する場合がある。図 9 に示すように、618°C 付近で Mg は酸化発熱するため、冷却が不十分のまま消火剤を除去してしまうと、内部の未反応の Mg が再び燃焼する恐れがある。

3(4)の結果より、NaCl 及び金属粉火災用消火剤散布器粉末は、800°C 付近で融解して Mg を被覆するため、窒息消火が期待できるが、乾燥砂及びパーライトは、1,500°C までは変化しないため、融解による窒息消火は期待できない。乾燥砂の場合では、底部温度 500°C で消火剤を除去した場合、まだ内部で高温状態の Mg があり、表面から空気が流入して酸化発熱した。

また、金属粉火災用消火剤散布器粉末は、内容物のみ使用する（図 4、5）よりも、散布器から噴射する（図 6、7）ほうが、消火効果が高かったことから、窒息消火以外の要因も考えられる。

4 おわりに

消火効果の一つの指標として温度を下げる効果は、検証結果を総合的に判断すると、金属粉火災用消火剤散布器で最も効果が高く、次いで NaCl、乾燥砂、パーライトの順となった。

Mg の燃焼に伴い、吸入すると人体に害がある窒素酸化物(気体)及び酸化マグネシウム(煙粒子)、水との反応でアンモニアを発生する窒化マグネシウムが生成されたことから、Mg の火災では、窒素酸化物及びアンモニアのガス濃度測定、呼吸器及び毒劇物防護衣の装着等、状況により適切な防護措置を取ることや、消火水の Mg 燃焼生成物への接触防止 (Mg 周辺可燃物へ注水する場合) 等の必要性を確認した。

今後、この検証結果が、乾燥砂や市販の金属粉火災用消火剤散布器等の有効な活用方策及び災害現場で活動する職員の安全をより一層向上させる方策に反映されることを望む。

【参考文献】

- 1) 東大阪市消防局警防部予防広報課：アルミ粉体铸造用発熱保温剤製造工場の火災事例、安全工学、Vol.47、No.3、P184～187、2008
- 2) 野田哲也他 3 名：金属火災に関する検証、消防技術安全所報 43 号、P128～134、2006
- 3) 金坂武雄、渡辺勝志：金属火災用消火剤の研究、消防科学研究所報 4 号、P50～56、1967
- 4) 金坂武雄、大中良彦：金属火災事例、火災、Vol.16、No.4、P215～220、1966
- 5) 駒宮功類：金属材料の火災危険性、安全工学、Vol.23、No.6、P361～367、1984
- 6) 消防用設備等に関する ISO 規格との比較検証実験に関する報告書、総務省消防庁、2006

Verification of the Methods for Extinguishing Fires Related to Metal Powder

Makoto MOCHIDUKI*, Shun SANDOU*, Kazuhiro SATOH*

Abstract

Metal powder-related fires include cases in which the metal powder scattered on the surrounding floor ignites due to the sparks produced during metallic part cutting. Since similar fires occur with the magnesium alloys widely used for home electrical appliances, we verified the burning properties of magnesium powder and the effect of fire extinguishing agents.

As a result, we confirmed the generation of toxic substance resulting from the combustion of magnesium powder, and the extinguishing effects of both the off-the-shelf extinguishing systems for metal fires and sodium chloride. The findings are described in this report.