

マグネシウム火災に対する乾燥砂等の消火効果に関する検証

根本 昌平*, 楠本 直樹**, 山越 靖之***,

塚原 学****, 海和 晋史*****, 町井 雄一郎***

概要

一般に、燃焼しているマグネシウムは、水による冷却消火は困難とされており、代替として、乾燥砂のような不燃性の消火剤で覆う窒息消火が行われている。しかし、その消火剤に明確な基準がなく、また、含水率による消火効果の有無についても明らかになっていない。

そこで本検証では、燃焼しているマグネシウムに対して、様々な試料で覆った場合の消火効果について確認した。実験は、燃焼しているマグネシウムの粉末 300g に対して、乾燥させた土のう用の砂、乾燥させていない土のう用の砂、乾燥砂、水を含ませた乾燥砂、パーライト、水を含ませたパーライト、耐熱クロスでそれぞれ覆い、マグネシウムの粉末の内部温度及び表面温度並びに周囲の温度及び放射熱量等を測定した。その結果、自由燃焼させた場合と比較すると、全ての試料において周囲の温度及び放射熱量等を抑制することができた。また、土のう用の砂、乾燥砂及びパーライトは、乾燥状態に関係なく燃焼しているマグネシウムを爆発させることはなかった。

1 はじめに

平成 26 年 5 月に東京消防庁（以下「当庁」という。）管内においてマグネシウム火災が発生した。その現場において、燃焼しているマグネシウムを窒息消火させるための、乾燥した砂を用意することに時間を要した。そのため、本検証では、乾燥した砂及びパーライト、水分を含んだ砂及びパーライト、耐熱クロスによる消火にどのような差異が生じるかについて、基礎的な消火実験を行った。

2 実験期間

平成 26 年 6 月 26 日～平成 26 年 12 月 5 日

3 実験場所

消防技術安全所燃焼実験棟移動実験室

4 実験

(1) 実験方法

表 1 に示すマグネシウムを堆積燃焼¹⁾させ、表 2 の消火行動を表 3 の試料を用いて行った。実験手順については表 4 に示す。

(2) 測定項目、測定機器及び測定位置

次に示すア～エを、表 5 に示す測定機器を用い、表 6 に示す位置で測定した。

表 1 燃焼物の概要


燃焼物	内 容	
マグネシウム 300g		200 メッシュ通過品 純度 99.8%以上 消防法危険物第二類 第一種可燃性固体に該当

表 2 消火行動方法

粒状の試料を用いた 消火行動方法	容量 2L のステンレス製ひしゃくに粒状の試料を入れ、その粒状の試料を、燃焼物の真上から全面に覆うようにかける行動
布状の試料を用いた 消火行動方法	徒手により布状の試料（耐熱クロス）を把持し、布状試料を燃焼物の真上から全面に覆うようにかける行動

ア 燃焼物の内部温度の測定

イ 燃焼物の周囲の温度及び放射熱量の測定

ウ 可視画像による消火実験時の映像記録

エ 赤外画像による燃焼物の表面温度

*小岩消防署 **四谷消防署 ***装備安全課 ****板橋消防署 *****危険物質検証課

表3 試料

試料 (状態)	概要
土のう砂 (絶乾状態)	消防署に保管されている土のう用の砂を100℃の恒温器で絶乾状態にしたもの。
土のう砂 (含水率1.35%)	消防署に保管されている土のう用の砂。
乾燥砂	一般建築の細骨材(細目)用の川砂を100℃の恒温器で絶乾状態にしたもの。
川砂 (含水率26%)	上記の乾燥砂を、24時間水中に浸し湿潤状態にしたものをバケツに入れ、砂と砂の間を水で満たしたもの。
パーライト	消防署に保管されている不燃性及び断熱性を有する粒状の流出油処理剤 (油吸着剤)。
パーライト (湿潤)	パーライトと水をバケツに入れ、攪拌し、湿潤状態にしたもの。
耐熱クロス	建築工事用シートの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験JIS A 1323 A種に合格した製品。

※ 試料の詳細は、資料1、資料2のとおり

表4 実験手順

実験経過	手順
実験開始	円錐状に堆積させたマグネシウムの頂部をガスバーナーで着火させる。
消火行動開始	内部温度が1000℃で安定したことを確認し消火行動を開始する。
消火行動終了	燃焼物の表面が、試料で隙間なく覆われたことを目視で確認し、消火行動を終了する。
実験終了	内部温度が100℃以下に低下した時点で終了。

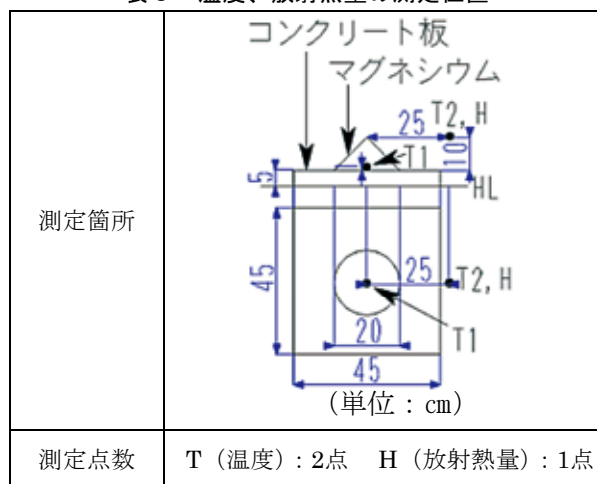
(3) マグネシウムの消火の判断

マグネシウム火災において、水との接触による水蒸気爆発がリスクとして一番大きいものであると考えられる。よって内部温度が、1気圧における水の沸点である100℃を下回った時点で消火と判断した。

表5 測定機器等の仕様

測定機器等	概要
K熱電対	測定範囲：-40℃～1200℃ 素線径0.5mm チノー社製
R熱電対	測定範囲：0℃～1600℃ 素線径0.5mm 東京熱学社製
赤外線映像装置	測定範囲：-40℃～1000℃ NECアビオ赤外線テクノロジー社製
熱流束計	測定範囲：0 W/cm ² ～5W/cm ² メドサーム社製
ビデオカメラ	CCDビデオカメラ 画質：XPモード (30fps) パナソニック社製
データ集積装置	最大30点同時記録 収録間隔：1秒 江藤電機社製

表6 温度、放射熱量の測定位置



5 実験結果

(1) 燃焼物の内部温度の測定結果

燃焼したマグネシウムの消火行動開始後の温度変化は、図1及び表7のとおりであった。なお、消火行動は、着火後10分から13分までの間で開始し、15分には消火行動を終了した。

(2) 燃焼物の周囲の温度及び放射熱量の測定結果

マグネシウムの消火実験による周囲の温度は図2、放射熱量は図3のとおりであった。

(3) 可視画像による消火実験時の映像記録結果

表8のとおりであった。

(4) 赤外画像による燃焼物の表面温度の測定結果

表9のとおりであった。

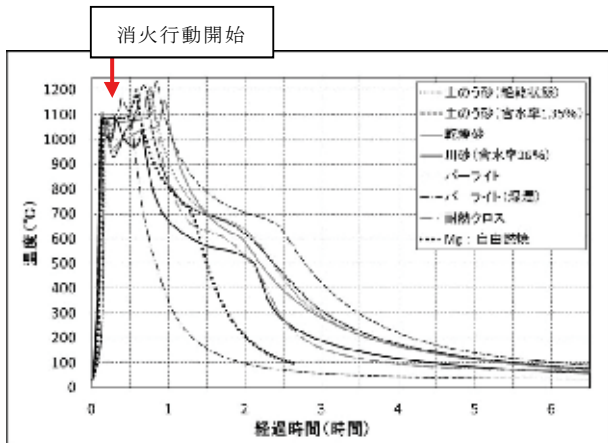


図1 マグネシウムの内部温度 (T1)

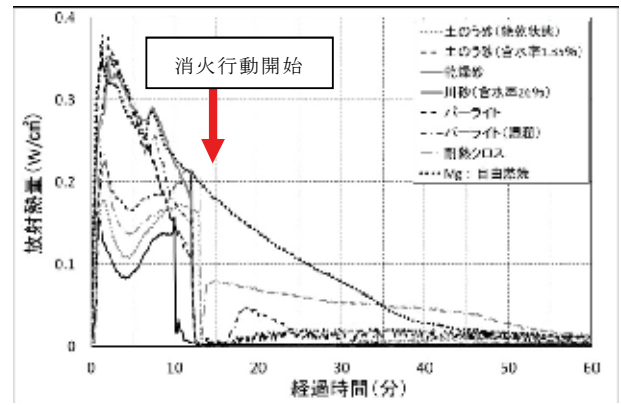


図3 マグネシウムの中心から水平に 25 cm移動した位置の放射熱量 (H)

表7 試料の違いによるマグネシウムの内部温度(T1)の温度降下時間比較

試料 (状態)	着火から1時間後の温度 (°C)	着火から100°C以下に降下した経過時間 (時間:分)
土のう砂 (絶乾状態)	916.5	5 : 23
土のう砂 (含水率1.35%)	830.3	5 : 31
乾燥砂	1101.1	5 : 22
川砂 (含水率26%)	673.1	4 : 26
パーライト	1045.7	6 : 05
パーライト (湿潤)	354.7	1 : 57
耐熱クロス	834.0	3 : 55
自由燃焼	808.5	2 : 36

表8 可視画像によるマグネシウム燃焼状況

試料 (状態)	消火行動直前	消火行動中	消火行動終了15分後
土のう砂 (絶乾状態)			
土のう砂 (含水率1.35%)			
乾燥砂			
川砂 (含水率26%)			
パーライト			
パーライト (湿潤)			
耐熱クロス			
自由燃焼		消火なし	

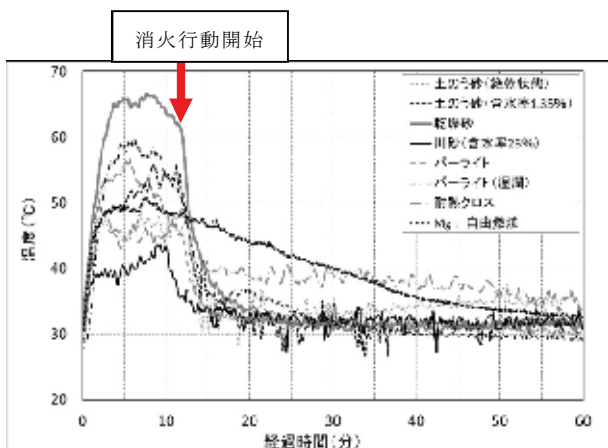



















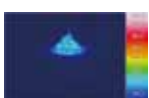
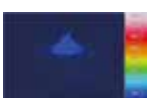


図2 マグネシウムの中心から水平に 25 cm移動した位置の温度 (T2)

表9 赤外面像によるマグネシウムの表面温度状況

試料 (状態)	消火行動 直前 (表面最高温度)	消火行動 終了15分後 (表面最高温度)	消火行動 終了1時間後 (表面最高温度)
土のう砂 (絶乾状態)	 (949℃)	 (390℃)	 (276℃)
乾燥砂	 (1264℃)	 (162℃)	 (238℃)
川砂 (含水率26%)	 (950℃)	 (111℃)	 (215℃)
パーライト	 (1179℃)	 (392℃)	 (249℃)
パーライト (湿潤)	 (1513℃)	 (803℃)	 (103℃)
耐熱クロス	 (918℃)	 (488℃)	 (239℃)
自由燃焼	 (1098℃)	 (606℃)	 (287℃)

備考：土のう砂（含水率 1.35%）は、未測定。

6 考察

(1) マグネシウムの燃焼時及び消火時の周囲の熱環境の変化

全ての試料において消火時の温度低下及び放射熱量低下を確認した。耐熱クロスは、布地の厚さが1.4mmであったため、砂やパーライトに比べると効果は低い、温度及び放射熱量を抑制していたことを確認した。

(2) 乾燥砂と土のう砂の含水率の違いによる消火効果の比較

乾燥砂と土のう砂（含水率1.35%）の消火効果は、表7で示す温度変化から同程度であった。これは、乾燥砂



図4 川砂（含水率 26%）の状態



図5 パーライト（湿潤）の状態

と土のう砂（含水率1.35%）の粒度分布（資料2）に大きな違いがないこと、及び土のうに使用する砂の含水率が1.35%と低い状態であったことによるものと考えられる。

(3) 水分を含んだ砂を使用した場合の消火効果

表8に示すとおり、燃焼するマグネシウムの有炎現象を抑制しながら爆発させること無く覆うことができることを確認した。これは砂に付着した水がマグネシウムの表面で蒸発し、水蒸気爆発に至らなかったためと考えられる。このことからマグネシウムに対して消火に使用する砂は、図4で示すような含水率が高い状態でも急激な燃焼の拡大がないことを確認した。

(4) パーライトによる消火効果

パーライトの内部温度 100℃までの降下時間は、6時間 05分であったことから、実験条件の中で最も消火効果が低い結果となった。これは、パーライトが気泡性の粒子であることから、断熱性が高く、また、覆われた後も、マグネシウムが気泡の空気と反応し燃焼が継続したためと考えられる。一方、パーライト（湿潤）の内部温度 100℃までの降下時間は、1時間 57分であり、実験条件の中で最も消火効果が高い結果となった。これは、表9の赤外面像に示すとおり、パーライト（湿潤）（図5）で覆ったマグネシウムの頂部が露出しており、パーライトが含んでいる水がマグネシウムの燃焼を促進させたことによると考えられる。

(5) 耐熱クロスによる消火効果及び耐熱性能

耐熱クロスの内部温度100℃までの降下時間は、3時間 55分であったことから、砂よりも消火効果が高いことを確認した。このことは、耐熱クロスが砂と同様に周囲の空気を遮断し、マグネシウムの燃焼を抑制したこと、耐熱クロスの厚さが1.4mmであったため内部の熱を放熱し易かったことが原因と考えられる。また、消火行動直前のマグネシウムの表面最高温度が918℃のときに耐熱



(表面：外気面)



(裏面：マグネシウム面)

図6 耐熱クロスの焼損状況

クロスで覆った後でも、図6で示すとおり焼損による欠損がなく、耐熱クロスの耐熱性能が十分にあることを確認した。

7 まとめ

本検証で確認した内容は、次のとおりである。

- (1) 全試料において燃焼するマグネシウムを覆い消火することができた。その内、耐熱クロスは、砂及びパーライトに比べると、周囲温度及び放射熱量の抑制効果が低かった。
- (2) 含水率に関係なく、砂及びパーライトによる消火は、燃焼しているマグネシウムを爆発させることは無かった。
- (3) 本検証の設定では、パーライトは、マグネシウムの内部温度を100℃以下にさせるという意味において、試料の中で最も消火効果が低かった。また、本検証の設定では、パーライト（湿潤）は、マグネシウムの内部温度を100℃以下にさせるという意味において、試料の中で最も消火効果が高かった。

8 おわりに

参考まで、燃焼しているマグネシウムに対する放水の影響について検証したので、その結果について資料3として添付する。

資料1

1 砂の含水率の測定

本検証に使用した砂等の含水状態は、骨材の比重及び吸水率試験（JIS A 1109 普通細骨材）を参考に次のとおり実施した。結果は表1のとおり。

- (1) 試料は、任意の容器のふちまで水平となるように入れ、乾燥前の質量を計測する。
- (2) 試料を恒温器（100℃）で定質量となるまで乾燥させる。
- (3) 乾燥した試料の質量を計測する。
- (4) 計測結果と次式から、含水率を算定する。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{\text{乾燥前の試料}-\text{乾燥後の試料の質量 (g)}}{\text{乾燥後の試料の質量 (g)}} \times 100 (\%)$$

表1 計測状況による試料の含水率

試料（計測状態）	乾燥前の試料の質量 (g)	乾燥後の試料の質量 (g)	含水率 (%)
土のう砂 (安全所持込み時)	2000	1973	1.35
土のう砂 (24時間水に浸した後、湿潤状態)	2000	1556	22.20
川砂（購入直後）	2000	1865	6.75
川砂 (24時間水に浸した後、湿潤状態)	2000	1624	18.80
川砂 (24時間水に浸した後、湿潤状態になったものをバケツ入れ砂と砂の間を水で満たした状態)	—	—	26.0

2 粒度分布の測定

粒度分布の測定は、絶乾状態にした試料 1000g に対して、網目の大きさの違うふるいで実施した。結果は表2のとおり。

表2 消火実験で使用する砂の粒度分布 (g)

試料	2mmを 超える	0.25mm超え 2mm以下	0.25mm 以下
土のう砂	180	805	15
川砂	117	860	23

資料 2

表 1 実験実施日時及び気象状況

試料	実験日	着火時間	消火開始時間	天気	気温(°C)	湿度(%)	気圧(hPa)
土のう砂 (絶乾状態)	7月25日	14:10	14:23	晴れ	32.8	48.10	998
土のう砂 (吸水率1.35%)	8月8日	11:40	11:52	曇り	31.4	55.77	1001
乾燥砂	8月11日	14:35	14:47	晴れ	30.6	54.95	989
川砂 (含水率26%)	8月14日	14:15	14:25	曇り	31.0	51.00	1000
パーライト	8月14日	14:15	14:27	雨	29.5	89.00	1003
パーライト (湿潤)	8月15日	18:23	18:35	晴れ	30.0	66.14	998
耐熱クロス	7月24日	11:00	11:13	晴れ	31.1	60.61	998
自由燃焼	8月21日	14:40	—	晴れ	33.6	54.85	1005

表 2 消火実験に使用した試料について

製品名	内 容
砂 	市販されている一般建築用、園芸用の川砂
パーライト  	<p>天然火山ガラスである真珠岩、または松脂岩を粉砕して、急速に加熱、膨張させたもので、気密性の小気泡からなり、極めて軽い白色の粒子。</p> <p>コンクリートや石膏の骨材へ使用したのが始まりで、耐火用・断熱用の壁材や洗剤・吸油材・園芸用土壌改良材・ろ過材などに用いられている。</p>
耐熱クロス 	<p>瞬間使用温度 : 1650°C 連続使用温度 : 1000°C</p> <ul style="list-style-type: none"> ■サイズ 820mm×1900mm ■厚み 1.4mm ■材質 シリカ繊維 <p>シリカとは、二酸化ケイ素 (SiO₂)、もしくは二酸化ケイ素によって構成される物質の総称である。JIS A 1323 A 種試験 合格品 (日本工業規格 JIS A1323-1995 建築工事用シーートの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験方法により、厚さ 9mm の火花発生用鋼板を溶断するとき、発生する火花に対し発炎及び防火上有害な貫通孔がない場合が合格。)</p>

資料 3

燃焼するマグネシウムに対する放水の影響（参考）

1 はじめに

前述の「マグネシウム火災に対する乾燥砂等の消火効果に関する検証」では、含水率の異なる砂を用いたマグネシウムの（窒息による）消火実験を行い、水分を含む砂と燃焼するマグネシウムの振る舞いについて検証を行った。その中で、禁忌とされていた燃焼するマグネシウムに対する水の接触において、極少量の水では、爆発等の危険な現象を引き起こすことなく燃焼を促進した。このことから、新たな試みとして噴霧放水を行った結果、乾燥した砂等を覆うよりも短時間でマグネシウムの温度を低下させることが確認できた。この事実は、マグネシウム合金火災のような金属火災に対する、活動時間を大きく短縮、または活動時間の長期化を避け得る新たな消火方法としての可能性を秘めていると考えられ、大変興味深い。以上のことから消防技術安全所で行った実験について報告する。本検証では、燃焼するマグネシウムに対して各種条件の放水を実施し、その影響の確認を目的とする。

2 実験期間

平成26年8月15日～平成26年12月5日

3 実験場所

消防技安全所燃焼実験棟移動実験室

4 実験

(1) 工業用噴霧ノズルを用いた噴霧放水による実験

ア 実験方法

表1に示すマグネシウムを平板上と金属皿内でそれぞれ堆積燃焼¹⁾させ、マグネシウム直上に固定した表2のノズルから噴霧放水を実施した。実施手順は以下のとおりとした。

- (7) 平板上で円錐状に堆積させたマグネシウムの頂部をガスバーナーで着火
- (8) 内部温度が1000℃で安定したことを確認し、マグネシウム直上から放水開始
- (9) 内部温度が100℃に低下した時点で実験終了（金属皿での消火実験の場合は、金属皿内から水が溢れることを目視で確認した時点）

表1 燃焼物の概要

燃焼物	内 容	
マグネシウム 300g		200メッシュ通過品 純度99.8%以上 消防法危険物第二類 第一種可燃性固体に該当

表2 工業用噴霧ノズルの仕様

	
放水量	: 0.25L/分(0.2MPa時)
実験時	: 0.5L/分(0.25MPa時)
材質	: 真鍮
放水形状	: 充円錐（展開角70° 0.2MPa時）

表3 測定機器等の仕様

測定機器等	概 要
K熱電対	測定範囲: -40℃～1200℃ 素線径0.5mm チノー社製
R熱電対	測定範囲: 0℃～1600℃ 素線径0.5mm 東京熱学社製
熱流束計	測定範囲: 0 W/cm ² ～5W/cm ² メドサーム社製
ビデオカメラ	CCDビデオカメラ 画質: XPモード(30fps) パナソニック社製
データ集積装置	最大30点同時記録 収録間隔: 1秒 江藤電機社製

表4 温度、放射熱量の測定位置

噴霧放水 (皿なし)	<p>(単位：cm)</p>
噴霧放水 (皿あり)	<p>(単位：cm)</p>
測定点数 T (温度) : 3点 H (放射熱量) : 1点	

イ 測定項目、測定機器及び測定位置

次に示す(ア)~(エ)を、表3に示す測定機器を用い、表4に示す位置で測定した。

- (ア) 平板上で燃焼するマグネシウムに対して噴霧放水を行った場合の爆発の有無及び内部温度等の変化
- (イ) 金属皿内で燃焼するマグネシウムに対して噴霧放水した場合の溜まる水による爆発の有無及び内部温度等の変化
- (ウ) 可視画像による燃焼状況
- (エ) 自由燃焼するマグネシウムの内部温度等の変化

表5 燃焼物の概要

燃焼物	内 容	
マグネシウム 1kg		200メッシュ通過品 純度99.8%以上 消防法危険物第二類 第一種可燃性固体に該当

表6 消防隊用ノズルの概要

名称	ガンタイプノズル (当庁消防隊 現用品)	槍型噴霧ノズル (消防技術安全所 考案品)	
全体写真		 全体 先端部分	
放水条件	展開角度	展開角度	
	ストレート ,10° ,30° ,45°	90°	
	放水量 (0.7MPa)	放水量 (0.5MPa)	
	235L/分	150L/分	
	放水形状	放水形状	放水量 (1.0MPa)
			220L/分
	放水形状	放水形状	噴霧
放水距離	放水距離	放水距離	
水平3m	水平3m	水平1m	

(2) 消防隊用ノズルを用いた実験

ア 実験方法

表5に示すマグネシウムを堆積燃焼¹⁾させ、表6に示すノズルで放水を実施した。なお、ガンタイプノズルは当庁消防隊現有的のものであり、槍型噴霧ノズル²⁾とは、過去に消防技術安全所で試作したもので表6の諸元性能を有するものである。

実験手順は、以下のとおりとした。

- (ア) 円錐状に堆積させたマグネシウムの頂部をガスバーナーで着火
- (イ) 内部温度が1000℃で安定したことを確認し、放水開始
- (ウ) 目視によりマグネシウムの燃焼が終了した時点で放水を終了し、内部温度が100℃以下に低下した時点で実験終了

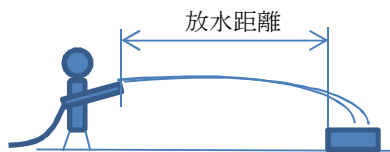


図1 放水による採水方法

イ 測定項目及び測定機器

次に示す(7)、(i)を、表3に示すビデオカメラを用い、可視画像の記録を行った。

(7) ガンタイプノズルの展開角度を変えた場合の燃烧しているマグネシウムの状況

(i) 槍型噴霧ノズルの放水圧力を変えて放水した場合の燃烧しているマグネシウムの状況

ウ 金属柵による採水

上記で使用した消防隊用ノズルについて、図1に示す設定で採水を行った。表6での放水距離に金属柵(36cm×36cm×高さ5cm)を置き、15秒間放水した量を測定した。

5 実験結果

(1) 工業用噴霧ノズルを用いた噴霧放水による実験結果
ア 平板上で燃烧するマグネシウムの内部温度及び放射熱量

結果は、図2のとおり。着火後12分から放水を開始し、実験終了まで実施した。19分経過後、内部温度が100℃以下に降下したので実験を終了した。なお、内部温度がグラフの上限域を超えている部分については、測定不能箇所となる。

イ 金属皿内で燃烧するマグネシウムの内部温度及び放射熱量

結果は、図3のとおり。着火後12分から放水を開始し、皿内の水が溢れた34分の実験終了まで実施した。なお、着火後30分以後の内部温度(T1)の値の乱れは、放水により金属皿に溜まる水が熱電対のシース内に浸入したことによるものと考えられる。なお、内部温度がグラフの上限域を超えている部分については、測定不能箇所となる。

ウ 可視画像による燃烧状況

結果は、表7のとおり、平板上で燃烧しているマグネシウムの噴霧放水直後は、マグネシウム表面での水との反応により、有炎赤熱状態となった。その後は、有炎現象もおさまり、20分経過後には、赤熱状態も確認できなくなった。金属皿内で燃烧しているマグネシウムでは、噴霧放水後の状況は、平板上で燃烧している時とほぼ同様であった。着火後30分に皿内に水が溜まり始め、34分に溢れだすまで特段の変化が見られなかった。

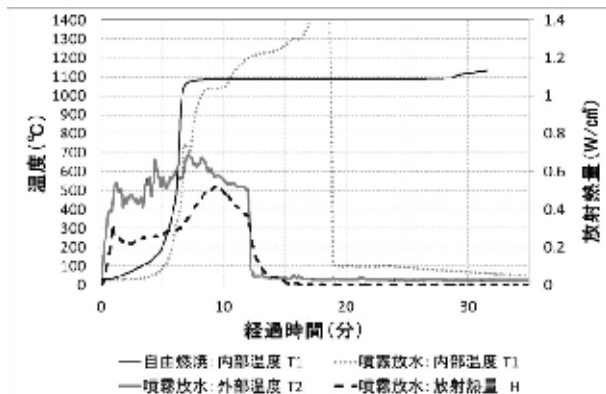


図2 平板上で燃烧するマグネシウムの内外部温度(T1、T2)と放射熱量(H)の推移

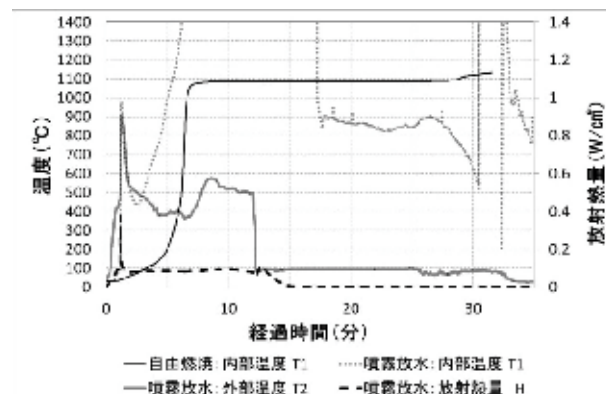


図3 金属皿内で燃烧するマグネシウムの内外部温度(T1、T2)と放射熱量(H)の推移

(2) 消防隊用ノズルを用いた実験結果

ア 可視画像による燃烧状況

表8のとおりとなった。ガンタイプノズルによる放水の内、展開角10°、30°及び45°では、燃烧しているマグネシウムを爆発させることはなかった。ストレート放水では爆発が発生した。また、槍型噴霧ノズルは、燃烧しているマグネシウムを爆発させることはなかった。

イ 金属柵による採水結果

表9のとおりとなった。

6 考察









(1) 平板上で燃烧するマグネシウムに対して噴霧放水した場合について

噴霧放水を行ったところ、燃烧するマグネシウムを爆発させることなく、内部温度等を低下させた。これは、水の粒径が小さく燃烧するマグネシウムの表面上で気化し、燃烧しているマグネシウムの温度を低下させたためと考えられる。(図2及び表7)

(2) 金属皿内で燃烧するマグネシウムに対して噴霧放水した場合について

噴霧放水により溜まった水では、燃烧するマグネシウムが爆発することはなかった。これは、燃烧するマグネシウ

表7 可視画像による燃焼状況

経過時間	平板上で燃焼している マグネシウム	金属皿内で燃焼している マグネシウム
11分 放水直前		
12分 放水開始		
15分 放水中		
20分 放水中		
30分 放水中		
34分 放水中		金属皿から 水が溢れた

ムの表面からの温度降下と、時間をかけて水が溜まったことによる緩やかな底部からの温度降下によるものと考えられる。(図3及び表7)

(3) 消防隊用ノズルから放水した場合について

展開角 10°、30°及び45°のガンタイプノズルの放水では、燃焼しているマグネシウムが爆発せず、一方、ガンタイプノズルのストレート放水では爆発が発生した。これは、噴霧放水では水の粒径や圧力が小さくなり、燃焼しているマグネシウムの内部まで侵入せずに、表面で気化しているためと考えられる。逆に、ストレート放水では、燃焼

表8 放水条件によるマグネシウムの燃焼状況

ノズル種別 展開角	放水開始	放水開始 から1秒後
ガン タイプ ノズル 展開角 10°	 ノズル元圧：0.7MPa 放水流量：235L/分	 燃焼促進
ガン タイプ ノズル 展開角 30°	 ノズル元圧：0.7MPa 放水流量：235L/分	 燃焼促進
ガン タイプ ノズル 展開角 45°	 ノズル元圧：0.7MPa 放水流量：235L/分	 燃焼促進
ガン タイプ ノズル 展開角 ストレート	 ノズル元圧：0.7MPa 放水流量：235L/分	 爆発
槍型 噴霧 ノズル 展開角 90°	 ノズル元圧：0.5MPa 放水流量：150L/分	放水終了直後  燃焼促進
槍型 噴霧 ノズル 展開角 90°	 ノズル元圧：1.0MPa 放水流量：220L/分	

しているマグネシウムの表面を壊し、内部に浸入できる水量、圧力を持つため、高温であるマグネシウム内部まで水が侵入して急激に気化し爆発に至ったものと推測される。

表9 15秒間の放水による金属柵内の採水量

ノズル	ノズル元圧 MPa	展開 角度	放水 距離	採水量 mL
槍型噴霧 ノズル	0.5	90°	1m	268
	1.0			573
ガンタイプ ノズル	0.7	30°	3m	976
	0.7	45°		420

(4) 金属柵による採水について

燃焼しているマグネシウムに対してどの程度の水が実際にかかっているかを算定するために、採水量を計測した。表9から、ガンタイプノズル（展開角度30°，放水距離3m）の放水量が最も多い結果となった。これを1cm²当たりの採水量（mL/分）に換算すると、3mL/分・cm²となった。よって、この数値未満の放水量であれば、燃焼しているマグネシウムに対して爆発現象を発生させない指標になると考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

(5) 燃焼するマグネシウムの爆発について

燃焼するマグネシウムの放水による爆発現象は、所謂、急激な燃焼による圧力上昇によるものではなく、高温となったマグネシウム内部へ到達した水分の急激な蒸発による圧力上昇であると仮定する。この仮定が正しいならば、高温のマグネシウムの内部まで到達しない放水であれば、マグネシウム表面上での反応となり圧力上昇はせず、水蒸気爆発は発生しないことになる。よって、放水方法を検討すれば、爆発をさせない放水は可能であると考えられる。

7 おわりに

2つの実験結果から、噴霧による放水は、マグネシウムの燃焼に爆発のような危険な影響を与えないことが確認できた。

これは、マグネシウムの火災に対する水による有効な消火方法を示唆するものと考えられる。さらに急激な燃焼の拡大を伴わないという意図での安全な消火方法として、燃焼するマグネシウムにまず乾燥砂をかけ、その上から噴霧放水を行うといったことも可能性として考えられる。

また、自由燃焼の実験から、燃焼するマグネシウムはその外側に酸化マグネシウム、内側に窒化マグネシウムが形成されるといった性状が確認できている。このことから、燃焼中のマグネシウムの外側に形成された酸化マグネシウムの殻が破壊され、内部の高温部に水分が接触すると、爆発のような急激な燃焼の拡大が起ころうと考えると、今後、燃焼しているマグネシウムに、どの程度の圧力で水が当たると爆発するのかといった指標を求めることも意

味を有すると思われる。

今回は、燃焼するマグネシウムにかかる水量について測定したが、今後機会があれば、実大規模での実験等を実施し、より現象の見識を深め、さらに本検証結果の信頼につなげたい。

[参考文献]

- 1) 望月真ほか2名：金属粉に関連する火災の消火方法に関する検証、消防技術安全所報 46号、P96～101、2009
- 2) 木田哲夫ほか2名：小屋裏火災等に対する各種槍型噴霧ノズルの有効性について、消防技術安全所報 48号、P16～21、2011

Study on the Extinguishing Effects of Dry Sand and Other Substances against Magnesium Fires

Shohei NEMOTO*, Naoki KUSUMOTO**, Yasuyuki YAMAKOSHI***,
Manabu TSUKAHARA****, Shinji KAIWA*****, Yuuichirou MACHII***

Abstract

Burning magnesium is generally difficult to extinguish with water, but there is an alternative method of putting out fires by smothering them using dry sand or other incombustible fire extinguishing items. There are, however, no definitive standards for these fire extinguishing items, and it is unclear whether their water content has any extinguishing effects.

This study was designed to confirm the extinguishing effects of a variety of different samples used to cover burning magnesium.

The experiments involved the covering of three hundred (300) grams of burning magnesium powder with sandbag sand (dried and non-dried), purchased/processed sand (dried and slightly wet), perlite (dried and slightly wet), and heat-resistant cloth respectively. Variables were then measured regarding the internal and surface temperatures of the magnesium powder, ambient temperature, radiant heat, and so on.

Compared to cases in which the powder is left to burn freely, all of the sample items reduced ambient temperature, radiant heat and other variables.

In addition, none of the sandbag sand, dry sand or perlite caused the burning magnesium to explode, whether in a dried state or not.

*Koiwa Fire Station **Yotsuya Fire Station ***Equipment Safety Section

****Itabashi Fire Station *****Hazardous Materials Identification Section