

マグネシウム火災に対する金属火災用消火薬剤及び ABC 火災用粉末消火薬剤の消火効果に関する検証

根本 昌平*, 楠本 直樹**, 塚原 学***,
海和 晋史****, 町井 雄一郎*****

概 要

本検証は、燃焼しているマグネシウム又は木材に対して、金属火災用消火薬剤又は ABC 火災用粉末消火薬剤を放射した際の燃焼物の内部温度、放射熱量等を測定し、それぞれの消火薬剤の消火効果を確認する目的で行った。

その結果、本検証において金属火災用消火薬剤は、燃焼しているマグネシウムに対して炎の発生を抑えるとともに内部温度及び放射熱量を低下させた。一方、ABC 火災用粉末消火薬剤は、放射することによりマグネシウムの燃焼を促進させ、消火することはできなかった。また、燃焼している木材に対して、金属火災用消火薬剤及び ABC 火災用粉末消火薬剤ともに、直ちに炎の発生を抑え内部温度を低下させた。

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。そこで当庁では、マグネシウム火災にも対応できる装備として、粉末消火薬剤放射装置を製作することとし、消火効果等の確認及び発生ガス等の基礎データを取得するため、燃焼しているマグネシウム並びに木材に対して金属火災用消火薬剤及び ABC 火災用粉末消火薬剤を消火器により放射する本検証を実施した。なお、平成 27 年 4 月より運用開始された粉末消火薬剤放射装置の導入を検討した際、本検証から得られたデータが用いられた。

2 実験期間

平成 26 年 6 月 30 日～平成 26 年 8 月 22 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

実験は、以下の 5 種類について行った。

- ア 堆積燃焼¹⁾しているマグネシウムに対して、金属火災用消火薬剤を放射する。
- イ 堆積燃焼¹⁾しているマグネシウムに対して、ABC 火災用粉末消火薬剤を放射する
- ウ 燃焼している木材に対して、金属火災用消火薬剤を放射する。

表 1 燃焼物の概要

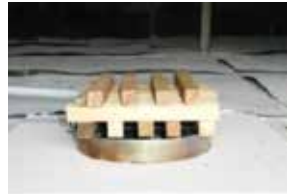
燃焼物 (数量)	形 状 等 (着火方法)
マグネシウム (300 g)	 200 メッシュ通過品、純度 99.8%以上、 消防法危険物第二類 第 1 種可燃性固体に該当 (ガスバーナーで燃焼物の頂部に着火)
木材 (14 本)	 杉材 (1 本の形状 1.5×1.5×20cm) 3 段積み上げ、含水率 10%以下 (ライターで火皿内のエタノール(50ml)に着火)

表2 消火行動方法

消火器を用いた 消火行動方法	燃焼物から1m離れた位置から各消火器の放射を開始し、消火薬剤が燃焼物全体にかかるよう放射する。
-------------------	---

表3 実験に使用した消火器

金属火災用 消火器 ※1、2	消火剤主成分：塩化ナトリウム、チオ尿素、 ホワイトカーボン 薬剤質量：6.0kg 放射時間：約40秒 放射距離：約0.6m 消火対象火災：金属火災
ABC火災用 粉末消火器 ※1	消火剤主成分：第一リン酸アンモニウム、 硝酸アンモニウム 薬剤質量：3.0kg 放射時間：約16秒 放射距離：約3～6m 消火対象火災：A火災、B火災、C火災

※1 内容は、メーカーホームページ (<http://www.gear-m.co.jp>) による。

※2 メーカーでは、「金属火災用散布器」としているが、本検証では、便宜上「金属火災用消火器」と呼称する。

エ 燃焼している木材に対して、ABC火災用粉末消火薬剤を放射する。

オ マグネシウム及び木材の自由燃焼を観察する。

上記実験に使用する燃焼物を表1に示す。また、消火行動の方法については表2に、使用する消火器については表3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4に示す測定機器を用い、表5に示す位置で測定した。

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 消火実験時の映像記録

エ 消火実験時の発生ガスの測定

(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4 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 ～5 W/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
ガス分析装置	多成分ガス検知警報器 イグザム 7000 ドレーゲル社製 GX-2000 理研計器株式会社製

5 実験結果

(1) 燃焼物の内部温度の測定結果

ア マグネシウム

マグネシウムの内部温度 T_{m1} は、図1のとおりに推移した。消火器による放射は、着火から12分後に実施した。なお、マグネシウムの内部温度が100℃以下となるのに要した時間は、自由燃焼で2時間36分、金属火災用消火器で2時間45分、ABC火災用粉末消火器で1時間29分であった。

イ 木材

木材の表面温度 T_{t1} は、図2のとおりに推移した。消火器による放射は、着火から3分後に実施した。

(2) 燃焼物の周囲の温度及び放射熱量の測定結果

ア マグネシウム

マグネシウムの周囲の温度 T_{m2} 、 T_{m3} は、図3及び図4のとおりであった。放射熱量 H_m は、図5のとおりであった。

イ 木材

木材の周囲の温度 T_{t2} 、 T_{t3} は、図6及び図7のとおりであった。放射熱量 H_t は、図8のとおりであった。

(3) 消火実験時の映像記録結果

表6から表10のとおり。

(4) 消火実験時の発生ガスの測定結果

実験により発生したガスの測定結果について、別表に示す。

表5 温度、放射熱量及びガス濃度の測定位置

燃焼物	測定位置
マグネシウム	(単位 : cm)
木材	(拡大図) (単位 : cm)
測定点数	T (温度) : 3点 H (放射熱量) : 1点 G (ガス濃度) : 1点

6 考察

(1) 燃焼物の内部温度について

ア マグネシウム

「自由燃焼」及び「金属火災用消火薬剤」の実験では、消火に要した時間は2時間30分を超える結果となった。一方、「ABC火災用粉末消火薬剤」の実験では消火に要した時間は1時間30分程度であった。これは、「ABC火災用粉末消火薬

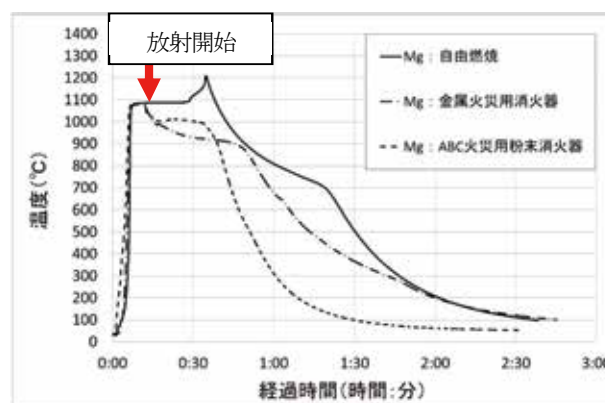


図1 マグネシウムの内部温度(T_m)

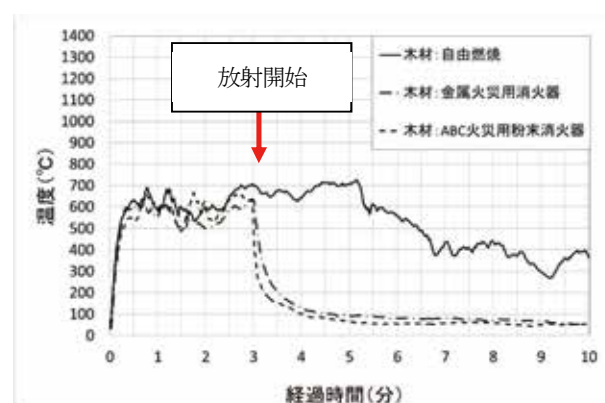


図2 木材の表面温度(T_1)

剤」の放射により燃焼が促進し、燃焼が早期に終息したことによると考えられる。(図1)

イ 木材

「金属火災用消火薬剤」及び「ABC 火災用粉末消火薬剤」の放射後の表面温度は、両方とも直ちに低下した。これは、有炎現象が直ちに抑制されたことによるものと考えられる。このことから、本検証で用いた大きさの木材の表面温度低下に対して、「金属火災用消火薬剤」及び「ABC 火災用粉末消火薬剤」は有効であり、同程度の効果があったものと考えられる。(図2)

(2) 燃焼物の周囲の温度及び放射熱量について

火災の延焼危険において大きな影響を与える火源の周囲の温度や放射熱量を比較した。

ア マグネシウム

「金属火災用消火薬剤」の放射後、周囲温度と放射熱量は、「自由燃焼」と比べて数値が低下した。これは、消火薬剤がマグネシウムの表面を覆ったことによる窒息効果及び冷却効果と考えられる。このことから、「金属火災用消火薬剤」は、周囲温度や放射熱量の低下に有効であると考えられる。(図3～図5)

「ABC 火災用粉末消火薬剤」の放射後、周囲温度は「自由燃焼」よりも高い数値で推移した。これは、消火薬剤放射によりマグネシウムの燃焼が促進したことによるものと考えられる（後述3ア参照）。一方、放射熱量は「自由燃焼」よりも

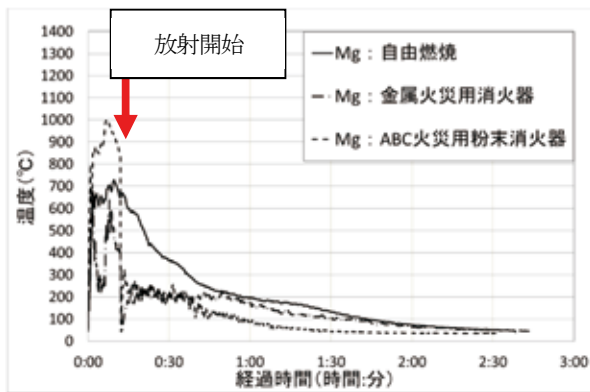


図3 マグネシウムの頂部から上方 40 cmの高さの位置の温度 (T_m2)

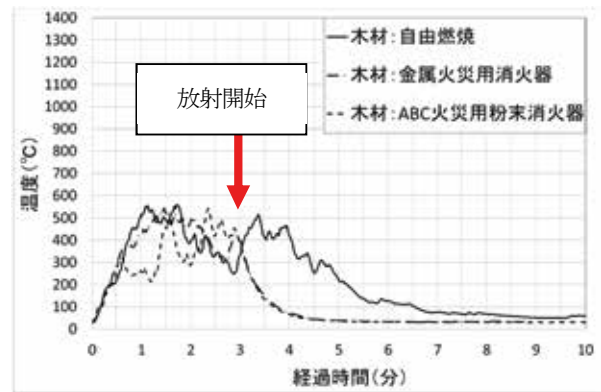


図6 木材の頂部から上方 40 cmの高さの位置の温度 (T_t2)

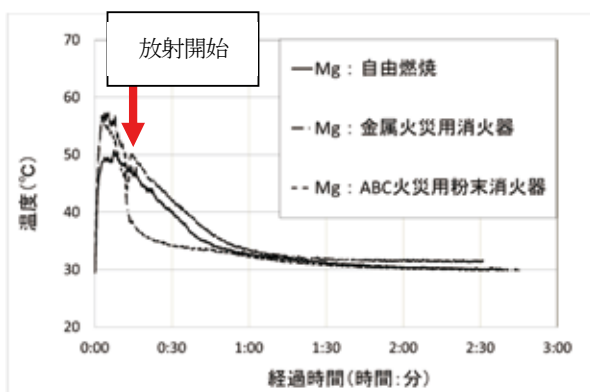


図4 マグネシウムの中心から水平 25 cm移動した位置の温度 (T_m3)

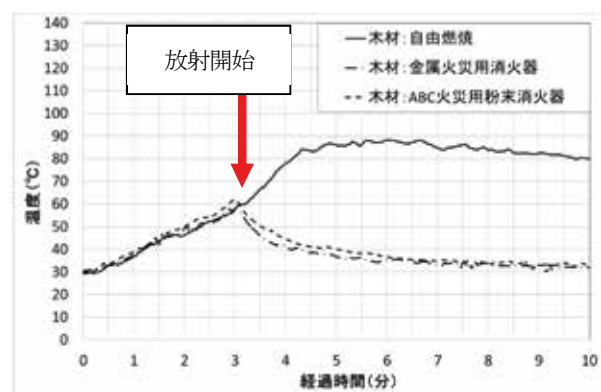


図7 木材の中心から水平 25 cm移動した位置の温度 (T_t3)

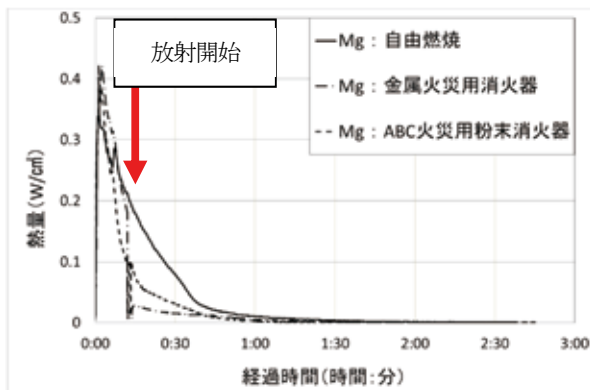


図5 マグネシウムの中心から水平 25 cm移動した位置の放射熱量 (H_m)

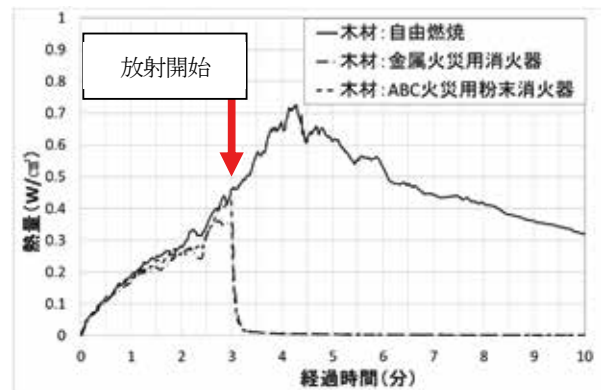


図8 木材の中心から水平 25 cm移動した位置の放射熱量 (H_t)

低かったことから、放射熱は抑制されたと考えられる。これは、消火薬剤の熱分解生成物が、表面の熱量を若干遮蔽したことによるものと考えられる。これらのことから、「ABC火災用粉末消火薬剤」は、放射熱量を抑制するが、マグネシウムの燃焼を促進させると考えられる。(図3～図5)

イ 木材

「金属火災用消火薬剤」及び「ABC火災用粉末消火薬剤」の放射後、周囲の温度及び放射熱量の推移に消火薬剤による大きな差は確認できなかった。このことから、「金属火災用消火薬剤」及び「ABC火災用粉末消火薬剤」は、本検証で用いた

表6 マグネシウムの実験状況

	金属火災用 消火器	ABC火災用 粉末消火器
放射直前		
放射中		
放射直後		

表8 木材の実験状況

	金属火災用 消火器	ABC火災用 粉末消火器
放射直前		
放射中		
放射直後		

表7 赤外画像によるマグネシウムの実験状況

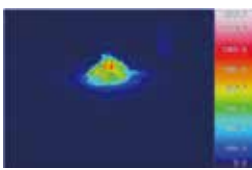
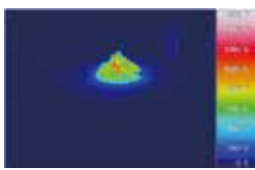
	金属火災用 消火器 (表面最高温度)	ABC火災用 粉末消火器 (表面最高温度)
放射直前	 (1256℃)	 (1477℃)
放射直後	 (404℃)	 (239℃)
放射後1時間	 (239℃)	 (308℃)

表9 赤外画像による木材の実験状況

	金属火災用 消火器 (表面最高温度)	ABC火災用 粉末消火器 (表面最高温度)
放射直前	 (720℃)	 (783℃)
放射直後	 (273℃)	 (248℃)

大きさの木材に対して周囲の温度や放射熱量の低下に有効であり、同程度の効果があったと考えられる。(図6～図8)

(3) 消火実験時の状況(映像)について

実験時に記録した映像から、消火効果等について考察した。

ア マグネシウム

「金属火災用消火薬剤」の放射は、その見かけの放射圧力(燃烧表面における消火薬剤の圧力。本検証ではノズルの形状に依存している。以下同じ。)が低いことから、マグネシウムを飛散させることなくマグネシウムの周囲に消火薬剤を堆積させ、消火薬剤の熱分解や有炎、爆発等危険な現象が観察されなかった。このことから、「金属火災用消火薬剤」は、燃烧しているマグネシウムに対して使用したとき、特段の危険性はないものと考えられる。(表6、表7) ただし、消火薬剤の流動性が非常に高いため、本検証の燃烧物の形状(円錐形)では、消火薬剤が滑り落ちて燃烧物全面を覆い難かった。

表 10 酸化マグネシウムの表層を吹き飛ばす瞬間

時間	ABC火災用粉末消火剤による放射
0.000秒	
0.033秒	
0.066秒	
0.099秒	
0.133秒	

「ABC 火災用粉末消火薬剤」の放射は、その見かけの放射圧力が高いことから、燃焼しているマグネシウム表面の酸化物を破壊し、内部の燃焼しているマグネシウムを飛散させ、燃焼を早めた。(表 10) 放射終了後、燃焼しているマグネシウムに付着した消火薬剤は熱分解して煙を発生させ、マグネシウム表面を完全に覆うことができないことが確認できた。このことから、「ABC 火災用粉末消火薬剤」は、燃焼しているマグネシウムに対して使用したとき、消火薬剤放射により燃焼を早め、且つ、「金属火災用消火薬剤」のように燃焼面を完全に被覆することができないものと考えられる。

イ 木材

「金属火災用消火薬剤」と「ABC 火災用粉末消火薬剤」は、放射後直ちに有炎現象を抑制した。このことから、「金属火災用消火薬剤」と「ABC 火災用粉末消火薬剤」は、本検証で用いた大きさの燃焼している木材の消火に有効であると考えられる。(表 8、表 9)

(4) 消火実験時の発生ガスについて (別表)

ア マグネシウム

マグネシウムのすべての実験において、水素が高い数値で消火の前後に発生している。これは、大気中の水分に由来するものである。また、アンモニア、シアン化水素、可燃性ガス、硫化水素も同様に消火の前後に発生しているが、許容濃度となっている。アンモニア、シアン化水素は大気中の窒素や、「金属火災用消火薬剤」に含まれるチオ尿素、「ABC 火災用粉末消火薬剤」に含まれる第一リン酸アンモニウム及び硝酸アンモニウムの熱分解に由来するものと考えられる。また、「金属火災用消火薬剤」の放射後に発生している硫化水素は、含まれているチオ尿素に由来すると考えられるが、硫黄分を含まない「ABC 火災用粉末消火薬剤」の放射後にも発生していることから、発生源は明確ではない。

なお、別表中、最高濃度で許容濃度以上を示すものがあるが、本検証におけるガス採取方法が局所的であるため、高濃度を示したものと考えられる。また、一酸化炭素については、燃焼物や消火薬剤の熱分解ガスに含まれないことや、発生する水素が干渉ガス(試料気体中に共存し、目標とするガス成分の測定値に影響を及ぼすガス)となっていることから考慮しない。

イ 木材

消火薬剤放射前の発生ガスは、二酸化炭素が比較的高い濃度で発生している。また、水素、アンモニア、シアン化水素、可燃性ガスも低い値で発生しているが、木材の燃焼では一般的に発生するものではなく、発生源は明確ではない。一酸化炭素については、木材の燃焼では一般的に発生するが、水素が干渉ガスとなっているため参考値とする。

放射後の発生ガスは、放射前とほぼ同種であり、放射前より低い値となっている。これは、消火薬剤による有炎現象の抑制が直ちに行われたため、ガスの発生が抑制されたことによるものと考えられる。

7 まとめ

本検証で確認できた事項について、各消火薬剤に対して以下のようにまとめる。

- (1) 「金属火災用消火薬剤」は、マグネシウムの燃焼に対して放射すると、周囲温度及び放射熱量を低下させ、有炎等危険な現象を抑制した。また高い流動性から、本消火薬剤では円錐状の燃焼物の全面は覆い難かった。
- (2) 「金属火災用消火薬剤」は、本検証で用いた大きさの木材の燃焼に対して放射すると直ちに有炎現象を抑制し、内部温度を低下させた。
- (3) ガスの発生に関して「金属火災用消火薬剤」をマグネシウムの燃焼に放射すると、水素が比較的高い濃度で発生した。また、アンモニア、シアン化水素等が低い値で発生した。木材の燃焼に放射すると、有炎現象の抑制と同時にガスの発生も抑制された。
- (4) 「ABC 火災用粉末消火薬剤」は、マグネシウムの燃焼に対して放射すると燃焼を早めてしまい、結果、早期に温度を

低下させた。また、消火薬剤がマグネシウム表面で熱分解したため、表面が完全に覆えなかった。

- (5) 「ABC 火災用粉末消火薬剤」は、木材の燃焼に対して放射すると直ちに有炎現象を抑制し、内部温度を低下させた。
- (6) ガスの発生に関して「ABC 火災用粉末消火薬剤」をマグネシウムの燃焼に放射すると、水素が比較的高い濃度で発生した。また、アンモニア、シアン化水素等が低い値で発生した。木材の燃焼に放射すると、有炎現象の抑制と同時にガスの発生も抑制された。

8 おわりに

上記のまとめを踏まえ、消火薬剤使用に係る留意事項を申し添える。

- (1) 「金属火災用消火薬剤」を、燃焼したマグネシウムに放射する場合、消火薬剤の高い流動性により、燃焼物の形状によっては表面を覆えないことがある。よって、放射する薬剤量や圧力を調整し、燃焼物を有効に覆えるよう放射する必要がある。
- (2) 「ABC火災用粉末消火薬剤」を燃焼したマグネシウムに放射する場合、放射圧力によって表面の酸化マグネシウム層が破壊され、内部の燃焼しているマグネシウムが飛び散ることがある。よって、圧力を抑えて放射する必要がある。圧力が抑えられない場合は、燃焼物から離れた距離から放射するなどの圧力を弱める方策が必要である。

[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

燃焼物	消火 前後	消火方法	平均濃度または 最高濃度	イグザム7000				GX-2009			
				水素 H ₂ [ppm]	二酸化炭素 CO ₂ [vol%]	アンモニア NH ₃ [ppm]	シアニ化水素 HCN [ppm]	可燃性ガス CH ₄ [%LEL]	硫化水素 H ₂ S [ppm]	一酸化炭素※ CO※ [ppm]	
Mg (マグ ネシウム)	放射前	金属火災用 消火器	平均濃度	366	0	9	0	1	0	207	
			最高濃度	1647	0	51	11	6	0	500over	
		ABC火災用 粉末消火器	平均濃度	54	0	18	0	0	0	35	
			最高濃度	1326	0	34	0	0	0	152	
		自由燃焼	平均濃度	99	0	47	0	0.02	0	107	
			最高濃度	489	0	122	2	1	0	500over	
	放射後	金属火災用 消火器	平均濃度	387	0	101	12.7	0.5	11	195	
			最高濃度	1474	0	186	32	5	85	500over	
		ABC火災用 粉末消火器	平均濃度	155	0	183	0.4	2.8	3	217	
			最高濃度	1266	0	273	2.6	23	23	500over	
木材	放射前	金属火災用 消火器	平均濃度	15	0.4	16	0	0	0	43	
			最高濃度	40	0.6	67	0	0	0	126	
		ABC火災用 粉末消火器	平均濃度	46	0.4	3	0.20	0	0	105	
			最高濃度	180	0.6	31	0.72	0	0	430	
		自由燃焼	平均濃度	43	0.9	6	0	2	0	57	
			最高濃度	64	1.6	57	0	2	0	113	
	放射後	金属火災用 消火器	平均濃度	12	0.1	11	0	0	0	12	
			最高濃度	20	0.5	57	0	0	0	25	
		ABC火災用 粉末消火器	平均濃度	9	0.1	8	0	0	0	11	
			最高濃度	15	0.6	42	0	0	0	33	

※ GX-2009の一酸化炭素(CO)センサーは、発生する水素(H₂)ガスにより、干渉の影響を受けるので参考値となる。

Study on the Effects of Fire Extinguishing Agents on Magnesium-Caused Fires with the Agents for Metal Fires and the Powdered Agents for A, B and C Fires as Samples

Shohei NEMOTO*, Naoki KUSUMOTO**, Manabu TSUKAHARA***,

Shinji KAIWA****, Yuuichirou MACHII*****

Abstract

The goal of this study was to confirm the extinguishing effects of the agents designed for use against metal fires and the powdered agents for A, B and C fires on burning magnesium or wood.

In the experiments, fire extinguishing agents for both metal and A, B and C fires were sprayed on burning magnesium or wood, and variables for the internal temperature and radiant heat of the burning items were measured.

The results of these experiments showed that the fire extinguishing agents designed for use against metal fires not only prevent the occurrence of flames in burning magnesium, but also reduce both internal temperature and radiant heat. The fire extinguishing powder agents for use against A, B and C fires, on the other hand, accelerated the combustion of magnesium, and could not be used to extinguish the fire.

In the case of burning wood, those fire extinguishing agents all immediately suppressed flames and reduced the internal temperature.

*Koiwa Fire Station **Yotsuya Fire Station ***Itabashi Fire Station
****Hazardous Materials Identification *****Equipment Safety Section