

第3章 金属スクラップの火災

3.1 火災発生状況

3.1.1 火災発生事例

2008年1月～2011年3月に発生した船舶火災は12件、発生を確認した陸上火災は9件であった（表3.1.1、3.1.2、3.1.4）。2009年の船舶火災が1件と少なかったものの、2010年には6件と大幅に増加し、火災の発生が終息に向かっているとは言いがたい。船舶火災では、船舶火災全体の発生件数が減少傾向にあるなか、2010年の貨物船火災9件のうちの6件が金属スクラップ積載船舶火災であった。

著者らは、2008年～2011年3月に発生を確認した21件すべての金属スクラップ火災について、現地関係者からの聞き取り調査を行い、うち13件については現地での調査を行った。また、7件では火災により焼損した金属スクラップの状況を調査した。

表 3.1.1 船舶火災発生件数及び金属スクラップ積載船舶火災発生件数の推移¹

年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 (～3月)	計 (2008～)
船舶火災発生件数	122	138	118	88	97	86	90	77	—	
(貨物船の火災件数)	(11)	(12)	(16)	(13)	(13)	(14)	(8)	(9)	—	
金属スクラップ 積載船舶火災件数	1	5	3	7	5	3	1	6	2	12

表 3.1.2 陸上施設における金属スクラップ火災の発生確認件数

年	2006	2007	2008	2009	2010	計 (2008～)
陸上施設の金属スクラップ 火災確認件数	3	1	2	3	4	9

表 3.1.3 2005年～2007年（研究開始前）に発生を確認した
金属スクラップ火災の状況（*は爆発）²

	年月	場所	仕向地	天候	状態	確認された主な混在物
船舶 火災	2005.1	横浜港内	海門（中国）		荷役中	
	2005.3	福岡沖	海門（中国）	晴	航行中	
	2005.8	唐津沖	寧波（中国）	晴	航行中	
	2006.1	横浜港内	海門（中国）	晴	荷役中	
	2006.4	三河港内	海門（中国）	晴	荷役中	モーター、家電製品
	2006.6	尼崎港内	海門（中国）	曇	荷役中	スポンジ、ビニールテープ
	2006.6	横浜港内	寧波（中国）	小雨	荷役中	バッテリー

¹ 海上保安庁 2011（船舶火災発生件数及び貨物船火災件数の2011年は未集計）

² 調査により確認できなかった事項は空欄とした。

	2006.7	東京港内	海門（中国）	曇	荷役中	
	2006.11	大阪港内	海門（中国）	晴	荷役中	モーター、バッテリー、エアコン、スポンジ、布、紙
	2006.12	伊豆大島沖	海門（中国）	曇	航行中	(図 3.1.1) ³
	2007.1	伊良湖沖	海門（中国）	晴	航行中	
	2007.3	木更津港内	上海（中国）	曇	荷役中	バッテリー、灯油缶、布、紙、タイヤ、プラスチック
	2007.4	塩釜港内	海門（中国）	雨	荷役中	家電、モーター、電線、バッテリー（図 3.1.2） ²
	2007.11	若松港内	海門（中国）	晴	荷役中	石油ストーブ、燃料タンク、ノートパソコン
	2007.12	姫路港内	海門（中国）	曇	荷役中	モーター、発電機、電線、プラスチック、バッテリー
陸 上 火 災	2005.10*	横浜市	中国	曇	保管中 (コンテナ)	
	2006.4	船橋市		曇	荷役中	バッテリー
	2006.5*	横浜市	中国	曇	保管中 (コンテナ)	高濃度の亜鉛が存在（図 3.1.3～3.1.6） ⁴
	2006.6	松山市		雨	保管中	バッテリー (図 3.1.7、3.1.8) ⁵
	2006.12	川崎市		曇	保管中	バッテリー、灯油タンク、発電機、ポリ容器、タイヤ

表 3.1.4 2008 年～2011 年 3 月に発生を確認した金属スクラップ火災の状況

	年月	場所	仕向地	天候	状態	確認された主な混在物 ⁶
船 舶 火 災	2008.3	門司沖	中国（海門）	曇	航行中	バッテリー、エアコン、パソコン、灯油タンク、家電製品、プラスチック類
	2008.10	大阪港内	中国（寧波）	晴	荷役中	バッテリー、コード、樹脂
	2008.11	東京港内	中国(海門)	晴	荷役中	
	2009.6	阪南港内 (図 3.1.9) ³	中国(寧波)	曇	保管中	灯油タンク、プラスチック類、電線、電池類
	2010.2	千葉港内	中国（海門）	曇	荷役中	プラスチック類、電線
	2010.2	福岡港内	中国（海門）	晴	荷役中	家電製品

³ 写真提供：海上保安庁（第 3 章の中で脚注番号は共通）

⁴ 写真提供：横浜市

⁵ 写真提供：松山市

⁶ 現場調査及び聞き取り調査結果による（空欄は聞き取り調査で混在物が不明であったもの）

		(図 3.1.11) ³				
	2010.4	新潟港内	中国（海門）	晴	荷役中	電線、家電製品、灯油タンク、バッテリー
	2010.4	東京港内	中国（海門）	雨	荷役中	プラスチック類、プリンタトナー、基板、電池類
	2010.6	横浜港内	中国（寧波）	曇	保管中	プラスチック類、電池類
	2010.9	名古屋港内	中国（海門）	晴	荷役中	
	2011.1	川崎港内	中国（海門）	晴	荷役中	家電製品、プラスチック
	2011.2	東京港内	中国（海門）	晴	荷役中	
陸 上 火 災	2008.4	貝塚市	中国	曇	荷役中	モーター、家電製品、プラスチック類、バッテリー
	2008.6	泉大津市		雨	不明	
	2009.9	泉大津市 (図 3.1.10) ⁷		晴	荷役中	家電製品、エアコン、パソコン、電線
	2009.5	名古屋港内		晴	荷役中	灯油タンク、バッテリー
	2009.10	広島港内		曇	保管中	
	2010.5	八尾市		晴	荷役中	家電製品、合成樹脂、ケーブル、バイク
	2010.7	直江津港内		曇	荷役中	
	2010.8	大阪府 (トラック内)		晴	搬送中	バッテリー
	2010.9	広島港内 (図 3.1.12) ⁸		晴	荷役中	家電製品、合成樹脂、電線



図 3.1.1 伊豆大島沖火災（2006.12）



図 3.1.2 塩釜港内火災（2007.4）

⁷ 写真提供：泉大津市

⁸ 写真提供：広島市



図 3.1.3 爆発を起こしたコンテナ
(横浜市 2006.5)



図 3.1.4 コンテナ内部



図 3.1.5 コンテナ内部



図 3.1.6 コンテナ内部



図 3.1.7 松山市での火災 (2006.6)



図 3.1.8 火災が発生した集積場



図 3.1.9 阪南港内火災（2009.6）



図 3.1.10 泉大津市港湾施設火災（2009.9）



図 3.1.11 福岡港内船舶火災（2010.2）



図 3.1.12 広島港内陸上施設火災（2010.9）

2008 年～2011 年 3 月に火災発生を確認した 21 件の調査結果をとりまとめると、以下のとおりである。

(1) 出火時の天候

晴が 12 件、曇が 7 件、雨が 2 件であった。湿度の高いときに火災が生じやすいとする作業者の意見も一部で聞かれたが、全体のデータからは火災発生と天候との関連性は低いと考えられる。

(2) 貨物の品名

インボイスなどに記載されている貨物の品名がわかったケースは 12 件あった。最も多かったのはミックスメタル（Mixed Metal Scrap など英語名を含む）、または雑品という用語を用いているものでそれぞれ 7 件、5 件ずつ（重複を含む）であった。

また、「モータ、・・・などの金属類を主とするスクラップ」のように例示を含む表記もみられた。具体的な品目がわかった例としては、モータ、配電盤がともに 8 件、ラジエターが 5 件、電線・ケーブル・被覆銅線類がともに 4 件、給湯器・湯沸かし器が 2 件などであった。これらは実際に現場でもよく見られるのに加えて、産業系（解体系）スクラップの典型的な品目となってい

るといえる。しかし、第2章でも検討したように、様々な家電製品などの家庭系スクラップも多く見られる場合もある。

HSコードについては、輸出業者や荷主が認識していないことが多く、容易に判明しないことが多い。判明した6件の中では、5件で7204.49900（鉄スクラップのうち、「その他の鉄スクラップ」）、1件は7404.00000（銅スクラップ）であった。火災発生事例以外のヒアリング調査状況と合わせて考えると、ほとんどの金属スクラップは第2章でも検討したように、通関上は7204.49900として取引されているものとみられる。

(3) 金属スクラップ中の混在物

出火した金属スクラップ中の混在物が確認できた事例は15件であり、そのすべての事例でプラスチック類、家電類、灯油タンク、電線など多数の可燃物の混在を確認した。また、焼損した金属スクラップを調査した7件の事例のうち、6件で鉛バッテリーや電池類（リチウム電池、リチウムイオン電池、乾電池）を確認した。

(4) 船舶・積載量

船籍が判明した船舶火災12件のうち、カンボジア8件、ベリーズ2件、中国・シエラレオネが各1件である。乗組員はほとんどが中国人であるが、中国船籍の事例は極めて少ない。

総トン数は、船舶火災の12件で平均1,430トン（最小1,097、最大2,327トン）である。これに陸上火災で積載予定量が判明した3件を加えた15件について、平均1,101トン（最小753トン、最大1,650トン）と1,100トン程度の金属スクラップが積載または予定されていたものである。

船舶の種類は、判明した16件（船舶火災12件、陸上火災4件）すべてでバラ積み船であった。ただし、まれにコンテナ船の場合もあり、2007年以前には金属スクラップを積載したコンテナが爆発事故を発生した事例もあった。

(5) 仕向地

仕向け先が判明した16件（船舶火災12件、陸上火災4件）ではいずれも中国であり、このうち10件が海門（台州）、5件が寧波となっている。浙江省の台州、寧波で金属スクラップのリサイクルが盛んであることを反映したものであると考えられる。

(6) 中国での利用

中国での利用方法は7件についてわかったが、いずれも解体を経た後に金属回収されるものとみられた。解体の大半は手解体であるが、機械も明記されているケースが2件あった。

なお、中国の環境保護部・検験総局・海関など輸入品検査に関係する政府当局、金属スクラップ輸入・リサイクル業者、リサイクルにかかる大学・研究者など、研究期間中に様々な関係者に対して、研究期間中に金属スクラップ火災についてヒアリング調査を行ってきた。しかしながら、日本で金属スクラップ火災が発生している状況については認知されていなかった。また、中国の輸入後においても火災を発生するケースがあるかどうかは不明であり、少なくとも前述の関係者から認識されているという話を聞くことはできなかった。

(7) 出火時の作業状況

火災発生時の状態が判明したのは20件であり、荷役中（クレーンなどの重機を使用してスクラップを移動、または船倉に積み込み中）が15件、保管中が3件、輸送中（トラック搬送中、船舶の航行中）が2件であった。保管中の事例にあっても出火前12時間以内に何らかの作業が行われていたことから、火災発生は金属スクラップの長期間集積よりも荷役等の作業が要因となっている可能性がある。

(8) 消火活動の状況

① 鎮火までに要した時間

火災覚知から鎮火までに要した時間は、最短が消防機関到着前に自力消火した事例であり、最長は鎮火までに約40時間を要した航行中の船舶火災事例であった。陸上施設火災では最長で鎮火までに約12時間を要した。14件の事例で鎮火までに3時間以上を要していた。

② 消火方法

消火方法が判明した事例20件のうち、泡消火剤を使用（放水と併用）した事例が7件であり、それ以外は放水により消火していた。船舶火災の4件では冷却目的で船体外側への放水（船体冷却）を併用していた。

泡消火剤の使用については各事例で評価が異なった。船舶の船倉内に高発泡タイプを使用した事例と陸上施設でスクラップをベニヤ板で囲い高発泡タイプを使用した事例では、消火時間の短縮に一定の効果が認められたと考えられる。

航行中を除くほとんどの事例で、重機等によりスクラップを移動しながら消火していた。スペースが制限されて移動できなかった事例1件では、鎮火までに約12時間を要したことから、重機等によるスクラップの移動は消火時間短縮に効果があると考えられた。

ヘリコプターを利用して放水を行った事例が1件あったが、顕著な効果は認められなかった。

(9) 出火原因

出火原因が特定された事例は2件のみであり、いずれも鉛バッテリーの短絡が原因とされた。また、現場関係者により推定された出火原因としては、バッテリーの短絡が5件、金属と雨水による発熱が2件、金属接触による火花が2件であり、10件は原因が不明であった。

(10) 火災防止に係る状況

本研究を開始した2008年度以降は、金属スクラップ火災による人的被害は報告されておらず、焼損後の金属スクラップの商品価値もほとんど変わらないといわれている。これまでのところ、煙や煤などによる周辺への影響も甚大なものとはなっていない。そのため、金属スクラップ輸出にかかる当事者の被害意識がそれほど大きくない一方で、消火活動にかかる経費や労力が多大となっている状況が見受けられた。

このようななか、関係者に対する聞き取りを行ったところ、金属スクラップ火災の防止方策として、以下の例があった。

- ① 過去に火災が発生した後、集積場でのスクラップの山を一定の高さ以下にしたり分割するようにしたところ、その後発生した火災では延焼が少なかった。
- ② スクラップを高いところから落とさないように注意する。

③ スクラップに水を散布しながら積み込んでいる。

ただし、上記③については金属と水の反応による発熱の可能性があることと、2011 年 1 月に改正された特殊貨物船舶運送規則に定めるその他の固体ばら積み物質（金属くず）の積載方法との関係に注意しなければならない。これについては、3.3 で後述する。

3.1.2 陸上における金属スクラップの保管状況

金属スクラップは船舶や陸上施設で火災を発生した場合には、消防当局による現場検証を含めて、火災原因に関する一定の調査が行われる。また、輸出にあたっては主に船積み前の港湾施設において、バーゼル法の規制対象となる特定有害廃棄物等に当たらないかなどを確認するための税関による貨物検査や、中国当局の規定に基づく船積み前検査が行われる。

しかしながら、輸出手続きに至る前の陸上施設における保管段階においては、火災発生に至ったり、許可業者以外が廃棄物を取り扱っている疑いがあるなどの特別な事情がない限り、取扱い業者に対する行政機関による立入りなどは行われない。一方で、保管場所は高い塀が築かれていて、金属スクラップの保管状況が周囲からはわからないことが多い。

このため、大阪府貝塚市消防本部と大阪市消防本部の協力を受け、2010年10月に上空からヘリコプターによって、大阪府内の金属スクラップの保管状況を調査することができた。特に大阪府の八尾市付近から泉南地域南部にかけて調査を行った結果、八尾市と周辺市の外環状線沿線と、泉南のやや山側の地域には多数の保管場所があり、二大集積地点となっている可能性がある。

表 3.1.5 には、廃棄物処理法違反で廃業となった1箇所を含め、9箇所の確認された保管場所の例を示す。図 3.1.13 には保管場所の写真の例を示す。内部の詳細まで把握できなかったが、次のような特徴がみられた。これらは概ね第2章の検討内容からも補強される。

- ・集積対象は、家庭系と産業系（解体系）スクラップに大まかに分かれているもようである。
- ・冷蔵庫・洗濯機をはじめとする家庭系スクラップが確認された。一部は破砕を行っていると思われる。
- ・コンボによって解体・選別を行っている集積業者が半数程度見られた。廃棄物処分量許可の有無と合わせて検討する必要がある。



(1) 冷蔵庫



(2) バッテリー、自転車など

図 3.1.13 泉南地域の金属スクラップ保管場所の例

表 3.1.5 上空からの調査で確認された大阪府内の金属スクラップ保管場所の例

	所在地	視察の状況	備考
1	八尾市	家庭系スクラップ全般とみられる	2010 年 5 月に火災（バイク 破砕時の鉛バッテリー破損 によるものとみられる）。
2	八尾市	敷地狭く、屋根あるため詳細不明	
3	八尾市	産業・解体系スクラップやエアコンが大半か。 場内で解体・選別を行っているもよう。	
4	八尾市	更地	2010 年 3 月に廃棄物処理法 違反で逮捕、8 月に有罪判決
5	羽曳野市	場内で解体・選別を行っているもよう。 バッテリーらしきものあり。	
6	藤井寺市	自転車が多い。 その他家庭系スクラップ、バッテリーやモニ タと疑われるものもあるとみられる。	
7	和泉市	規模大。 冷蔵庫の破砕を行っているとみられる。	
8	岸和田市	産業・解体系スクラップやエアコンが大半か。 場内で解体・選別を行っているもよう。	
9	貝塚市	規模大。 冷蔵庫・洗濯機とみられる家電（中古かスク ラップ用途か不明）、バッテリーや多数のスク ラップを保管。	

3.1.3 火災原因の事例解析

著者らは、2008～2010年に発生した火災事例のうち11件の現地調査等を実施し、そのうちの7例は以下のとおりであった。

① 2008.3.発生事例（門司沖）（図3.1.14、3.1.15）²

カンボジア船籍の貨物船S号（1,195トン）が、尼崎港にて金属スクラップ753トンを積載、出港後約30時間経過した時点（門司沖航行中）で、船倉内前方から白煙を生じ出火したもので、船倉への海水注入及び船体冷却により消火した事例である。

消火後、船倉内前方に積載された金属スクラップをクレーン車等により除去したところ、船倉前面に変色が認められ（図3.1.16）²、比較的深い位置からの出火と推測されたが、発火源と思われる物件は確認できなかった。積荷の金属スクラップ中には、バッテリー、パソコン類、家電類、電線類、灯油タンク、プラスチック類が含まれていた（図3.1.17～3.1.19）。



図 3.1.14 S号火災の状況
(赤外線写真)



図 3.1.15 消火作業



図 3.1.16 船倉の変色状況



図 3.1.17 灯油タンク



図 3.1.18 バッテリー



図 3.1.19 パソコン類

船倉前面変色部に付着した樹脂様のもの（試料1）、焼損の激しい物件（試料2）及び積荷に混在していた樹脂製ホース（試料3）を参考試料として採取した（図3.1.20～3.1.22）。

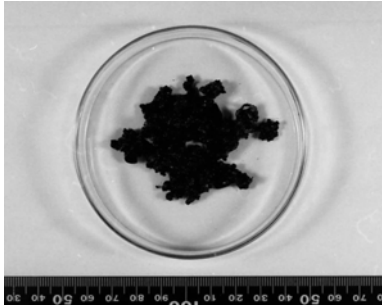


図 3.1.20 樹脂様のもの
(試料 1)



図 3.1.21 焼損物件
(試料 2)



図 3.1.22 ホース
(試料 3)

② 2008.10.発生事例（大阪港内）（図 3.1.23、3.1.24）²

カンボジア船籍の貨物船 S.X 号（1,215 トン）が、大阪港内の岸壁に着岸し、金属スクラップ約 100 トンを積み込んだ時点で出火したもので、クレーンによりスクラップを岸壁上に陸揚げして消火した事例である。

消火後にヤードに保管されていた金属スクラップを調査したが、発火源と思われる物件は確認できなかった。積荷の金属スクラップには、バッテリー、コード類、樹脂類が含まれていた（図 3.1.25）。



図 3.1.23 S.X 号



図 3.1.24 消火後の状況



図 3.1.25 バッテリー

焼損の激しかったコンデンサー様のもの（試料 4）、樹脂様のもの（試料 5）、電線被覆（試料 6）を参考試料として採取した（図 3.1.26～3.1.28）。



図 3.1.26 コンデンサー様のもの（試料 4）

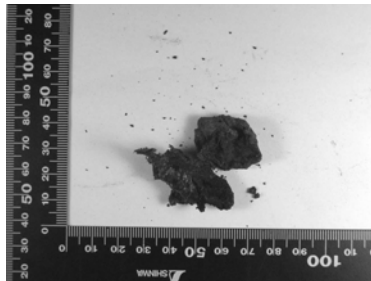


図 3.1.27 樹脂様のもの（試料 5）

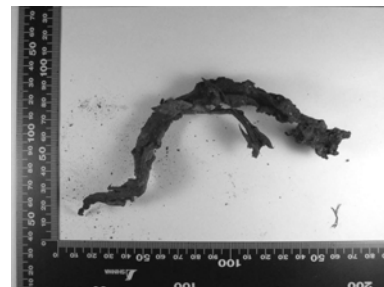


図 3.1.28 電線被覆（試料 6）

③ 2009.6 発生事例（阪南港内）

カンボジア船籍の貨物船 S.Y 号（1,483 トン）が、阪南港内の岸壁に着岸中に出火した事例である。S.Y 号は、火災発生の前日に金属スクラップ約 800 トンを積み込み、翌日積み込みを再開する予定として一旦荷役を中断し、ハッチを開放したままにしていたところ、深夜になって船倉内から出火したもので、クレーンにより一部スクラップを岸壁上に陸揚げしながら消防、海保により消火した。

消火後に、焼損した船倉内の金属スクラップを調査したが、発火源と思われる物件は確認できなかった。積荷の金属スクラップには、プラスチック類、エアコン室外機（アルミラジエータ）、灯油タンク、電池が含まれていた（図 3.1.29～3.1.34）。



図 3.1.29 調査状況



図 3.1.30 プラスチック類



図 3.1.31 アルミラジエータ



図 3.1.32 基板類



図 3.1.33 灯油タンク



図 3.1.34 電池、リモコン類

④ 2010.2.発生事例（千葉港内）

カンボジア船籍の貨物船 T.X 号（1,496 トン）が、千葉港内の岸壁に着岸中に出火した事例である。T.X 号は、金属スクラップ約 700 トンを積み込んだ時点で、船倉中央部に山積みにしたスクラップを重機で均した部分から発煙を認めたことから、発煙部を岸壁上に陸揚げして消火した。

この火災は、乗組員の消火作業により短時間で鎮火された（消防、海保職員の現場到着時にはすでに鎮火済みであった）ことから、ほとんど延焼がなく、発煙は廃ゴルフカート（屋根、シート、エンジン、燃料タンクを取り外した車体下部）からであったことがほぼ特定された。（図 3.1.35、3.1.36）¹

消火後、荷主のヤードに保管されていたゴルフカートを調査したところ、バッテリー架台付近のケーブル類の焼損が最も強く、それ以外の場所はほとんど燃えていなかった。このため、火災の原因はバッテリー架台付近のケーブルに何らかの要因で瞬間的に着火したことによると考えられる。また、バッテリー架台の近くにはオイルタンクがあり、蓋が開いて油が漏出していたこと

から、ケーブルには漏出した油が付着していた可能性もある（図 3.1.37～3.1.39）。なお、この油を採取して分析したところ潤滑油であった。



図 3.1.35 TX 号
(鎮火直後)



図 3.1.36 廃ゴルフカート
(鎮火直後)



図 3.1.37 荷主保管の
廃ゴルフカート



図 3.1.38 バッテリー架台
付近 (焼けが強い)



図 3.1.39 オイルタンク

この事例について、火源としては次の可能性が考えられた。

- ・金属どうしの接触による火花

発煙の直前に廃ゴルフカートを重機で移動する作業をしており、この衝撃で火花が発生した可能性が考えられる。潤滑油の引火点は一般的に高く、ケーブルは難燃性であることから、火花では容易に引火しないが、可能性は否定できない。

- ・バッテリーの短絡

現場調査時には、廃ゴルフカートのバッテリー架台にバッテリーはなかったが、架台の状態や各端子の残存状況から出火時にはバッテリーがあったことが推測され、消火作業などに伴って重機で移動した際に脱落した可能性が考えられた。廃ゴルフカートにバッテリーが設置された状態だったと仮定すると、発煙直前の重機作業でバッテリー電極端子付近に金属が接触して短絡が起こり、スパークが連続的に発生し、ケーブルに着火するだけのエネルギーを発生した可能性が考えられる。

⑤ 2010.4 発生事例（新潟港内）

中国船籍の貨物船（1,590 トン）が、港内の岸壁に着岸中に出火した事例である。火災発生の前日に船倉に積み込んだ金属スクラップ約 600 トンの上に重機を乗せ、スクラップを均す作業をしていたところ、重機が通ったところから発煙したもので、重機等により一部スクラップを岸壁上に陸揚げしながら放水消火した（図 3.1.40）³。

消火後に、焼損したスクラップを調査したところ、配電盤や電線類が多く含まれ、家電製品、樹脂類、灯油タンクも混在していた（図 3.1.41～3.1.43）。関係者から聞き取りの結果、出火元は重機の下にあった無停電電源装置（UPS）であるとして、焼損の激しい UPS と思われるものが示された（図 3.1.44）。この UPS 付近には鉛バッテリーを確認できなかったが、スクラップの中には他にも UPS の混在が確認され、鉛バッテリーが付属していた（図 3.1.45）。また、消火の際に燃えているスクラップを重機で移動していることから、示された UPS は消火中に鉛バッテリーが外れたものである可能性が高く、この火災の原因は重機によりスクラップを圧したために混在していた UPS の鉛バッテリーが短絡して火花を発生し、周囲の可燃物に引火したものと考えられる。



図 3.1.40 消火状況



図 3.1.41 スクラップの状況



図 3.1.42 エアコン用
ラジエータ



図 3.1.43 灯油タンク



図 3.1.44 出火元と
された UPS



図 3.1.45 混在していた UPS
(バッテリー有)

⑥ 2010.4.発生事例（東京港内）

カンボジア船籍の貨物船（1,494 トン）が、港内の岸壁に着岸中に出火した事例である。トラックから重機で直接船倉に積み込む方法で金属スクラップ約 700 トンを積み込んだ時点で船倉内のスクラップから発煙を認めたものである。重機により一部スクラップを岸壁に陸揚げしながら消防、海保により消火した。この火災では、放水消火のほか、高発泡タイプの泡消火を行った（図 3.1.46、3.1.47）³。

消火後に、陸揚げされた焼損の激しい部分を調査したところ、スクラップ中にはモータ、ラジエータなどが多く含まれ、トナーを含むプリンタや UPS と思われるもの（バッテリー付属）が混在していた（図 3.1.48～3.1.51）が、出火元は特定できなかった。



図 3.1.46 火災の状況



図 3.1.47 高発泡タイプ
泡消火の状況



図 3.1.48 陸揚げされた
スクラップ



図 3.1.49 モーター、
アルミ放熱板



図 3.1.50 こぼれたトナー



図 3.1.51 UPS(?)
(バッテリー付属)

⑦ 2010.6.発生事例（横浜港内）

カンボジア船籍の貨物船（1,193 トン）が、港内の岸壁に着岸中に出火した事例である。船倉に金属スクラップ約 700 トンを積み込んだ時点で夕刻となり、明朝再開する予定で一旦作業を中断しハッチを開放したままにしていたところ、深夜になって異臭がし、スクラップからの発煙を認めたものである。重機により一部スクラップを陸揚げしながら消防、海保により消火した（図 3.1.52）³。

消火後に、陸揚げされた焼損の激しい部分を調査したところ、スクラップ中には、モーター、ラジエータなどが多く含まれ、焼け焦げた電池類が混在していた（図 3.1.53～3.1.55）が、出火元は特定できなかった。



図 3.1.52 火災の状況



図 3.1.53 アルミ放熱板



図 3.1.54 焼け焦げた電池



図 3.1.55 電池パック
(電極に溶融アルミ付着)



図 3.1.56 調査時の
船倉の状況



図 3.1.57 船倉の穴

この事例の調査時には、船倉の金属スクラップがすべて岸壁上に陸揚げされた状態であったことから（図 3.1.56）、船倉内を調査したところ、出火場所と推測される位置の船倉底部に小さな穴がいくつかあいていた（図 3.1.57）。関係者によると、これらの穴は出火前にはなかったもので、重機が傷つけたものでもないとのことであった。穴の辺縁は溶けてつららのように垂れ下がっており、また、周囲に溶けた金属片が落ちていたので、これらを参考試料として採取した。

3.1.4 試料の調査

(1) 焼損物件付着物の分析

前項①②の現地調査で採取した参考試料 6 点について、各試料の適量に硝酸を加えて加熱し、付着物を溶出後、濃縮、ろ過、さらに過塩素酸、硝酸を加えて加熱し有機物を分解後、ろ過した。これを硝酸で 50 ml 定量としたものを分析試料として、誘導結合プラズマ (ICP) 発光分析を行い、試料表面に付着している金属成分の存在量を測定した（表 3.1.6）⁹。

表 3.1.6 各試料の表面に付着した主な元素の存在量 (mg)

No.	事例	試料	試料の 大きさ	Na	Al	Cu	Fe	Pb	Li
1		樹脂様のもの	約 3g	50	850	26	5.5	0.4	0.1
2	①	焼損物件	約 5cm 角	16	435	18	4.4	1.5	0.1
3		ホース	約 10cm 長	35	135	20	5	0.3	0.1
4		コンデンサー	約 10cm 角	8.5	26.5	1.9	0.4	0.6	0.02
5	②	樹脂様のもの	約 5cm 角	4.8	3.25	0.2	0.5	0.01	0.01
6		電線被覆	約 3cm 長	7	75	10	3.9	0.4	0.04
参考：海水 50ml 中の存在量				525	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01

測定条件等は以下のとおりであり、定量には装置内蔵の検量線による簡易定量法を使用した。

使用機器：島津製作所社製シーケンシャル形プラズマ発光分析装置 ICPS-7500 型

測定条件：測定波長 160～458 nm

⁹ 比較的多量に検出した元素 4 種、及び参考として鉛、リチウムについて、試料表面の存在量を記載した。海水中の元素存在量は、化学大辞典による。

この結果、試料5を除き、アルミニウムが顕著に検出されたが、火災発生との関連性は不明である。また、鉛、リチウムはほとんど検出されなかったが、鉛蓄電池、リチウム電池と火災の関連性を否定するものではないと考える。

(2) スクラップに混在する物件の分析

第2章の品目調査において、金属スクラップ中に混在していた物件のうち、外観から可燃物と推測される物件9点（試料A～I）（図3.1.58～3.1.66）を採取し、それぞれの成分を分析した（表3.1.7）。



図 3.1.58 褐色布状のもの
（試料 A）



図 3.1.59 白色布状のもの
（試料 B）



図 3.1.60 黄色樹脂様
のもの（試料 C）



図 3.1.61 黄色樹脂様
のもの（試料 D）



図 3.1.62 黒色樹脂様
のもの（試料 E）

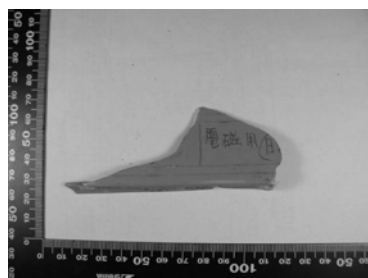


図 3.1.63 灰色樹脂様
のもの（試料 F）



図 3.1.64 電線被覆
（試料 G）



図 3.1.65 発電機給油口
フィルター（試料 H）



図 3.1.66 発電機オイル
フィルター（試料 I）

表 3.1.7 確認された各物件の成分

No.	物件の状態	推定される成分
A	褐色布状のもの	ポリプロピレン系合成樹脂
B	白色布状のもの	ポリエチレン系合成樹脂
C	黄色樹脂様のもの	ポリウレタン系合成樹脂
D	黄色樹脂様のもの	ロックウール
E	黒色樹脂様のもの	ポリアクリルアミド系合成樹脂
F	灰色樹脂様のもの	塩化ビニル系合成樹脂
G	電線被覆（緑色のもの）	塩化ビニル系合成樹脂
H	発電機給油口フィルター付着物	ガソリン
I	発電機オイルフィルター付着物	軽油

試料 A～G については、樹脂様の外観であることから、赤外分光分析（IR）及び熱分解ガスクロマトグラフィー（Py-GC）により物件の成分を確認し、試料 H、I は油分と思われることから、n-ヘキサン可溶分を抽出し、IR 及びガスクロマトグラフィー（GC）を行い、その油種を確認した。使用した装置、測定条件は以下のとおりである。

- IR 装置：SENSIR Technology 社製フーリエ変換赤外分光光度計 TravellIR 型
 条件：測定方法：全反射法
 測定範囲：4000～640cm⁻¹
- Py-GC 装置：島津製作所製ガスクロマトグラフ GC2010 型
 フロンティア・ラボ社製熱分解装置 PY-2020D 型
 条件：ガスクロマトグラフ
 検出器：FID
 カラム：DB5-ms（長さ 30m、内径 0.25mm、膜厚 0.25 μm）
 カラム槽温度：40℃（10min.） - （10℃/min） - 300℃（20min.）
 キャリアガス：He 1ml/min（スプリット比 50:1）
 熱分解装置
 加熱炉温度：600℃
 インターフェース温度：300℃
- GC 装置：島津製作所社製ガスクロマトグラフ GC-17A 型
 条件：検出器：FID
 カラム：CBP1-W25-100（長さ 25m、内径 0.53mm、膜厚 0.25 μm）
 カラム槽温度：80℃（2min.） - （6℃/min） - 310℃（20min.）
 キャリアガス：He 9ml/min（スプリットレス）

この結果、試料 D（ロックウール）を除き、いずれも高分子有機化合物であり、金属スクラップ中には多種にわたる可燃性物質が混在していることが確認された。

図 3.1.67、3.1.68 に試料 A の赤外吸収スペクトル、パイログラム、図 3.1.69、3.1.70 に試料 I の赤外吸収スペクトル、ガスクロマトグラフを例示する。

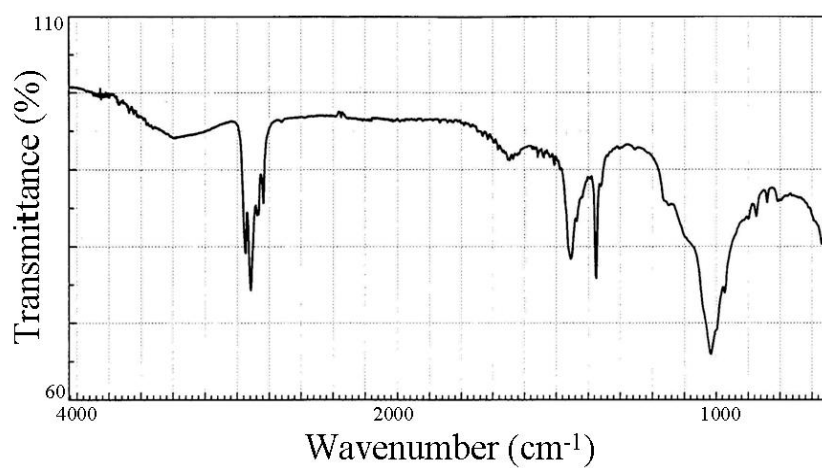


図 3.1.67 試料 A の赤外吸収スペクトル

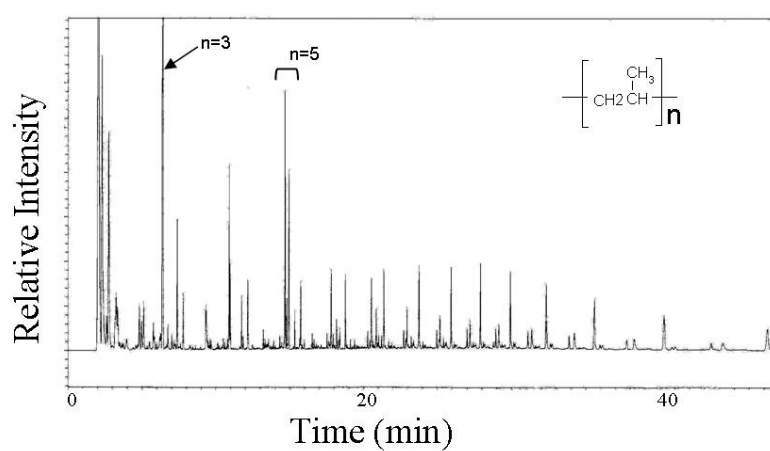


図 3.1.68 試料 A のパイログラム

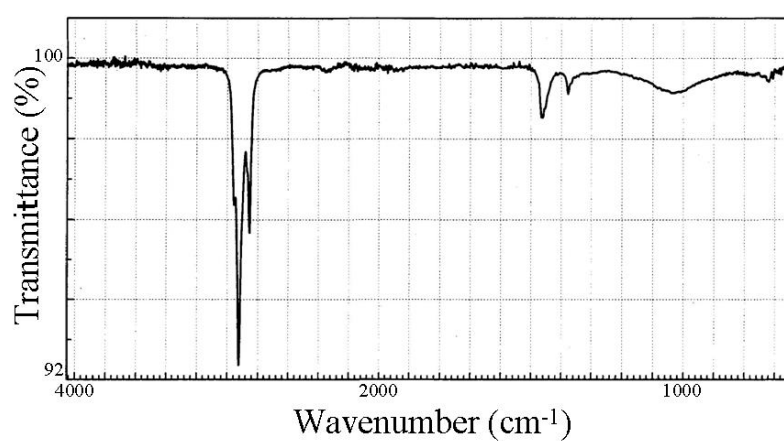


図 3.1.69 試料 I の赤外吸収スペクトル

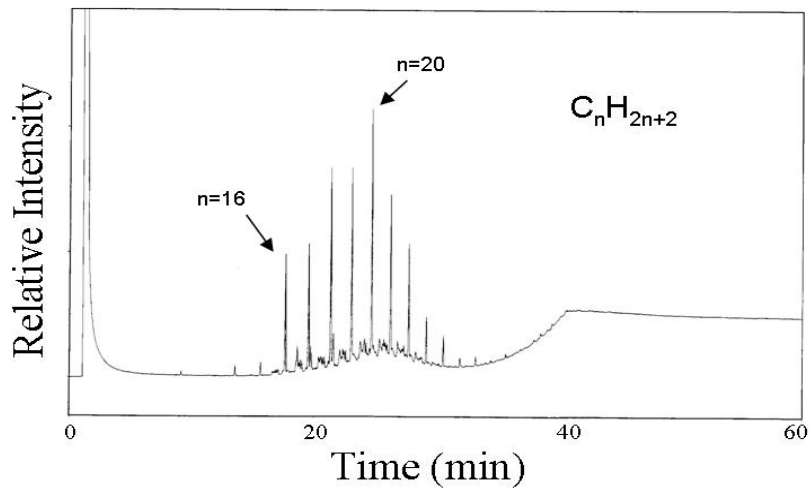


図 3.1.70 試料 I のガスクロマトグラム

(3) 金属スクラップに混在する電池の残電圧測定

第 2 章の品目調査において、金属スクラップ中に多数混在していた電池類について、残っている電圧を測定した（表 3.1.8）。

表 3.1.8 主な混在電池類の種類と最大電圧

電池の種類		最大電圧
乾電池	マンガン(単一～単四)	1.5
	アルカリ(単一～単四)	1.5
	アルカリ9V	9
ニカド電池		12
リチウムイオン電池		2.9
リチウムボタン電池		3

電池類のほぼ 9 割に電圧が残っており、12V の電圧を残していたニカド電池もあった。

この結果から、金属スクラップ中に混在する電池類には高い確率で電圧が残されており、荷役作業などで金属スクラップが圧縮、破碎された場合には金属の接触による外部短絡や金属の貫通による内部短絡によるスパーク発生や発熱の危険性がある。

(4) 金属スクラップ荷役時に発生する粉塵の分析

第 2 章の品目調査において、金属スクラップ中に混在していた古い FAX にはトナーと思われる黒い粉が付着していた。また、プリンタ用のトナーカートリッジも混在していたことから、これらの粉を採取し、電子顕微鏡により外観観察を行った（図 3.1.71～3.1.75）。

また、3.2.3 で行った落下実験において、エアコン用ラジエータを落下させた時に生じた塵（2 回分）を採取し、電子顕微鏡観察を行った（図 3.1.76～3.1.80）。



図 3.1.71 古い FAX



図 3.1.72 トナーカートリッジ

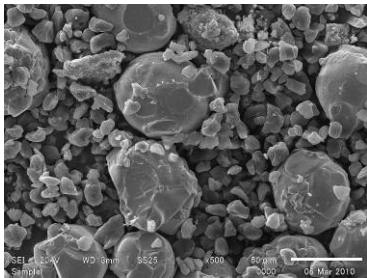


図 3.1.73 電子顕微鏡写真
(古い FAX に付着のトナー)
(倍率：500 倍)

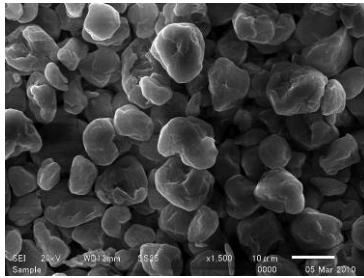


図 3.1.74 電子顕微鏡写真
(エプソン製のトナー)
(倍率：1500 倍)

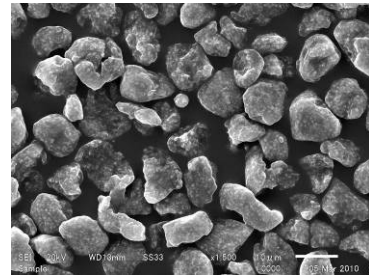


図 3.1.75 電子顕微鏡写真
(中国製のトナー)
(倍率：1500 倍)



図 3.1.76 ラジエータ落下
による塵の発生状況

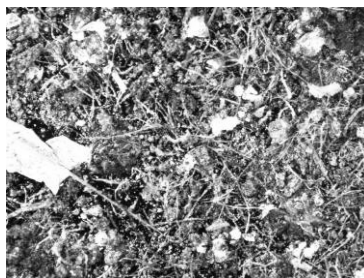


図 3.1.77 塵の拡大写真 1
(倍率：20 倍)

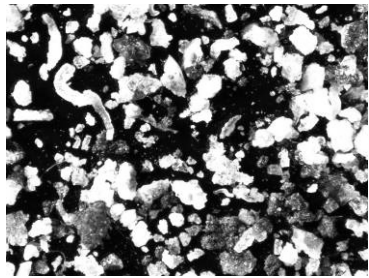


図 3.1.78 塵の拡大写真 2
(倍率：20 倍)

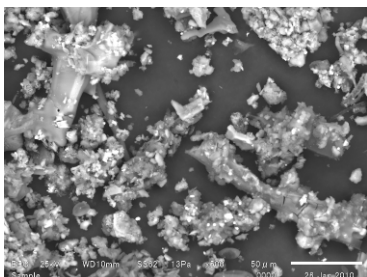


図 3.1.79 電子顕微鏡写真
(塵 1、倍率：500 倍)

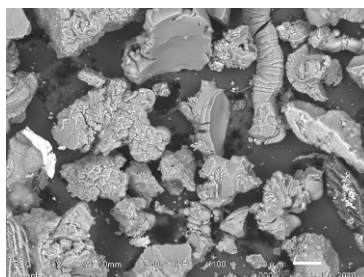


図 3.1.80 電子顕微鏡写真
(塵 2、倍率：100 倍)

さらに、ラジエータ落下時に発生した塵について元素分析を行った。
使用した装置及び元素分析の測定条件は以下のとおりである。

測定機器 日本電子社製分析走査顕微鏡 JSM-6610LA 型

測定条件 加速電圧：25kV

測定時間：15 秒

図 3.1.81、3.1.82 に塵 1、塵 2 の一部から得られた特性 X 線スペクトルを例示する。

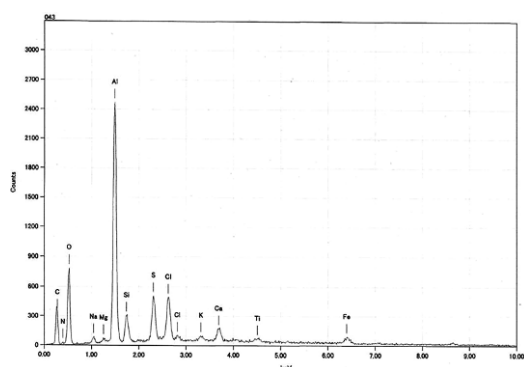


図 3.1.81 塵 1 の特性 X 線スペクトル

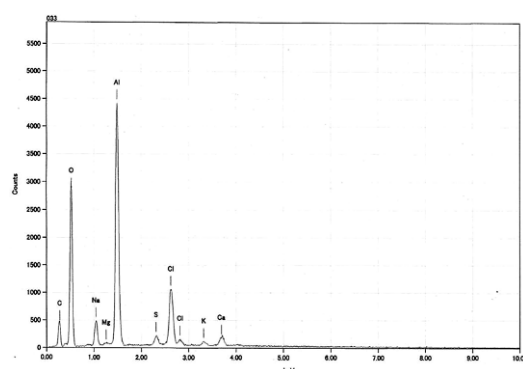


図 3.1.82 塵 2 の特性 X 線スペクトル

塵 1、塵 2 の特性 X 線スペクトルでは、いずれも酸素(O)とアルミニウム(Al)の検出強度が高いことから、ラジエータの素材であるアルミニウムが主に酸化アルミニウムの形となってラジエータ表面に付着していたことが推測される。また、これ以外にも多種の元素が検出されており、拡大写真からも雑多な塵状のものが観察されたことから、金属スクラップの荷役現場では様々な成分の粉塵が発生していると考えられる。

(5) 現場採取サンプルの分析

前項の現地調査事例⑦において採取した、つらら状の部分（参考試料 A（図 3.1.83、3.1.85））及び溶けた金属片（参考試料 B（図 3.1.85））の表面を研磨したところ、いずれも光沢のある金属であったので、これらについて電子顕微鏡観察及び元素分析を行った。



図 3.1.83 船底穴の辺縁部
つらら状の部分 (A)



図 3.1.84 溶けた金属片(B)



図 3.1.85 A の研磨状況
(×8)

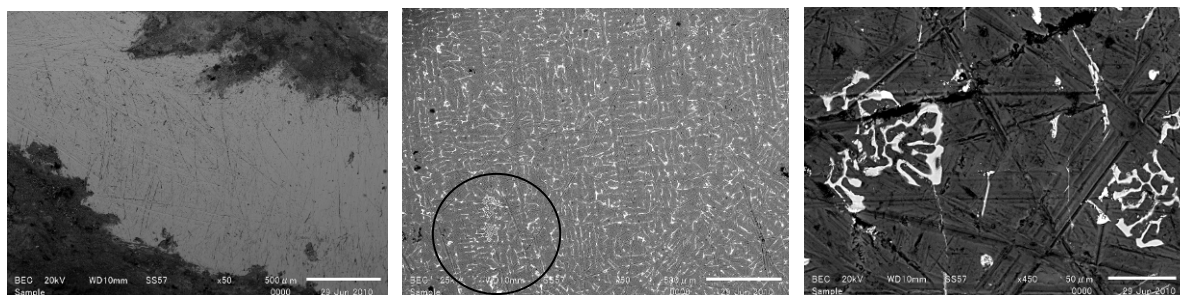
使用した装置及び元素分析の測定条件は以下のとおりである。

測定機器 日本電子社製分析走査顕微鏡 JSM-6610LA 型

測定条件 加速電圧：25kV

測定時間：15 秒

電子顕微鏡により反射電子像（原子番号が大きいほど明るい像が観察される：組成像）を観察した結果、参考試料 A は比較的均一なコントラストであり（図 3.1.86(a)）、参考試料 B は明るい部分と暗い部分が格子柄のようになっていた（図 3.1.86(b)）。また、B の一部には複雑な文様のようにになっている部分もあった（図 3.1.86(b)円内、3.1.86(c)）。



(a) 参考試料 A (×50)

(b) 参考試料 B (×50)

(c) 参考試料 B (×450)

(A の暗い部分は研磨していない部分である)

(文様部の拡大)

図 3.1.86 参考試料 A、B の電子顕微鏡写真 (組成像)

元素分析の結果、参考試料 A は鉄を主体としており、船倉底の鉄板が溶解したものと推測された。参考試料 B は、格子柄の部分のうち暗い部分はアルミニウムを主体とし、明るい部分は銅を主体としていた。また、文様のような部分は、暗い部分はアルミニウムを主体とし、明るい部分は鉄及びクロムを主体としていた。このことから、参考試料 B はアルミニウムが鉄や銅と溶け合った後に固まったものと推測された。

(6) 金属スクラップ荷役時に発生する粉塵の分析

火災発生事例の現場調査において、激しく焼損したエアコン用ラジエータが頻繁に見受けられることから、ラジエータ付着の塵について熱分析を行った。

H21 年度に行った落下実験において、エアコン用ラジエータを落下させた時に生じた塵について、示差熱/熱重量同時測定 (TG-DTA) を行った結果の例を図 3.1.87 に示す。

使用した装置及び測定条件は以下のとおりである。

測定機器 エスアイアイ・ナノテクノロジー社製 TG/DTA6200N 型

測定条件 昇温速度 : 10 °C/min

試料量 : 約 10 mg

雰囲気 : 空気中

TG/DTA 曲線から、急激な吸熱、発熱は見られないものの、昇温に従って 40%以上の重量減少が見られたことから、エアコン用ラジエータに付着した塵は金属だけではなく有機物を含んでいることがわかった。このため、火災が発生した場合、ラジエータに付着した塵が燃焼することによってラジエータ自体が高温になり延焼の要因となりうると考えられる。

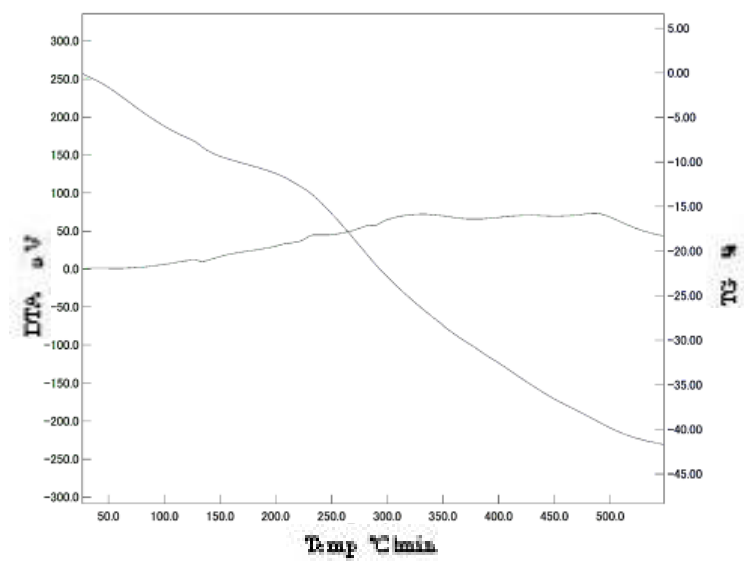


図 3.1.87 塵の TG/DTA の一例

3.2 火災原因の推定、確認実験、調査

3.2.1 火災原因の推定

これまでに発生した火災の状況及び現地調査の結果から、いずれの火災事案も黒煙と異臭を発生しながらの燃焼であること、また、消火後の残渣には有機物が溶融したような状況や油のような付着物を認めたことから、金属スクラップ火災は、金属自体が燃焼しているのではなく、金属スクラップに混在している可燃物の燃焼が主体の火災であると考えられた。

これを踏まえ、火災原因について以下の考察を行った。

(1) 出火の態様

出火の態様としては、以下の3点が考えられる。

- ①何らかの要因で火源が生じ、可燃物に着火、直ちに延焼。
- ②何らかの要因で火源が生じ、これが可燃物に着火後、周囲の状況等により無炎燃焼状態となり、時間経過後に有炎燃焼に移行。
- ③何らかの要因で発熱箇所が生じ、時間経過とともに蓄熱により発火又は可燃物に着火。

過去の事例において最も多い「荷役中」の出火は、②、③の態様によるとは考えがたく、①の態様であると推測され、「集積場に保管中」の火災事例については、②または③の態様である可能性が高いと考えられる。「船舶の航行中」については、集積場の保管と類似した状況ではあるが、船体の揺れや振動によって積荷が移動する可能性がある点が異なっており、これを考慮すると、①、②、③のいずれの態様も可能性があると思われる。

(2) 火源について

金属スクラップの積み込み作業の状況、確認された混在物から考察すると、火源としては以下の可能性が考えられる。なお、放火の可能性については考慮する必要はないと考える。

①金属どうしの接触

金属スクラップの船倉への積み込みや保管場所の移動時には、金属製品のスクラップをクレーン等で掴み、高所から落下させたり、積み重なったスクラップをパワーショベルで圧したりする。このため、落下や圧縮時に金属どうしが強く接触して、その衝撃で火花が発生する可能性があり、現地調査においても、荷役等作業時には日常的に火花が発生しているという言を関係者から得ている。

ただし、通常の金属接触による火花では常温の高分子物質に引火するほどの着火エネルギーを有していないと推測されるので、周囲に可燃性ガスが存在する等の一定の要件を満たした場合には火源となり得ると考える。

②バッテリー、電池類による電氣的要因

複数の事例で、金属スクラップ中にバッテリーや電池類が確認されており、現地調査時にこれらの残電圧を測定したところ、電圧が残っているものが見受けられた。このことから、バッテリー類の電極端子への金属の接触や塩水等の付着によって、短絡やトラッキングがおこり、スパークの発生や発熱の可能性が考えられる。また、コンデンサーについても、電圧を保った状態で混在していれば、接触等で同様の作用を起こす可能性が考えられる。

なお、スパークについては、金属どうしの接触による火花と同様に、一定の要件を満たした場合に火源となり得ると考える。

③金属と酸の反応

現地調査で確認したバッテリー類の中には、破損した鉛蓄電池も見受けられた。鉛蓄電池には電解液として希硫酸が入れられており、破損によって希硫酸が外部に漏出する可能性が考えられる。この際に、金属スクラップ中の金属類と接触することで、反応熱が発生し、これが蓄熱されて火源となる可能性が考えられる。また、金属スクラップの保管場所は屋外（無蓋）の場合がほとんどであることから、雨水と金属類との反応も可能性として否定できない。

④その他

スクラップ中に不飽和油が混在していた場合、酸化熱が発生し、これが蓄熱されて高温となり、火源となる可能性も考えられる。

(3) 燃焼物について

組成調査において、多種類の可燃性物質の混在が確認された。火源が一定のエネルギーを有した時に着火の可能性がある物、及び延焼の過程で引火する可能性のある物として、以下のものが考えられる。

①可燃性液体

スクラップ中には、灯油ストーブや小型発電機が認められたことから、これらに残留していたガソリン等の可燃性液体が蒸発して狭い範囲に充満すれば、着火の可能性が考えられる。また、延焼時には引火する可能性が考えられる。

②可燃性ガス

スクラップ中には圧縮済みの可燃性ガスのボンベが認められたが、仮にガスが入ったままのボンベが存在し、荷役作業等の衝撃によってガスが噴出すれば、着火、引火の可能性が考えられる。

また、鉛蓄電池から漏出した希硫酸と金属類が接触した場合、水素ガスが発生する可能性があり、これが狭い範囲に充満すれば着火の可能性が考えられる。この反応は、水と金属類との接触でも同様の可能性があると考えられ、過去の事例のうち、コンテナの爆発事案（2006.5）では、コンテナ内で金属屑と結露した水分が反応して水素を発生した可能性が指摘されている。

③プラスチック片、紙片、布片、タイヤ、電線

スクラップ中に混在するプラスチック片や紙片、布片、タイヤ、電線の被覆等の高分子物質は、火災が発生すれば、引火して延焼の要因となる可能性が考えられる。

(4) まとめ

以上のことから、金属スクラップ火災は様々な要因が複合して発生しており、すべての火災事例がひとつの原因によるものではないことが推測される。しかしながら、火災が発生するためには燃焼物の存在が不可欠であり、金属スクラップ中に多種の可燃性物質が混在することが火災発生に共通する要因であるのは明らかである。また、鉛蓄電池は電氣的要因として火源となる可能性があるとともに、化学的要因として着火物となり得る水素ガスの発生に関与する可能性もあることから、鉛蓄電池の混在と火災発生との関連をさらに検討すべきものとする。

3.2.2 電池類の危険性

過去の廃棄物施設等での事故事例やミックスメタル事故調査の結果、火災・事故原因としてリチウム電池や鉛蓄電池が原因となる可能性が高いことが判った。リチウム電池に限らず、電池類は、短絡等や内部破壊があった場合には、火災発生の危険性を有している（Lim et al., 2007）。

電池類には多くの種類があるが、その組成等（表 3.2.1）から判断して、リチウム電池が、最も危険性が高いことが予想される。そこで、特に、リチウム電池に注目してその発火火災危険性を検討した。

表 3.2.1 主な電池の構成（一例、インターネット情報から）

電池	陽極	負極	電解液	エネルギー密度	電圧
リチウム電池	二酸化マンガ	リチウム	過塩素酸リチウム+プロピレンカーボネート	280Wh/kg	3V
酸化銀電池	酸化銀	亜鉛	水酸化カリウム	130Wh/kg	1.8V
アルカリ電池	二酸化マンガ	亜鉛	塩化亜鉛	NA	1.5V
リチウムイオン電池	コバルト酸リチウム	グラファイト	6 フッ化リン酸リチウム+炭酸エチレン	160Wh/kg	3.6V
鉛蓄電池	二酸化鉛	鉛	希硫酸	30-40Wh/kg	2.1V

(1) CHETAH による危険性評価（リチウム電池）

様々な電池類のうち、リチウム電池について検討した。リチウム電池は電解液に酸化剤+可燃性液体の構成をしており、元々、高い危険性を有しており、CHETAH による計算でも一定の混合危険性を有していることが示された（表 3.2.2）。また、電極にもリチウム金属が使われている（リチウム自体、消防法・危険物として高い危険性を有している）。

CHETAH（Chemical Thermodynamic and Energy Release Evaluation Program, Ver. 7.2）とは 米国 ASTM が開発した混合危険性評価プログラムで、以下の 4 つの危険性パラメーターから推定することができる。

- 1) 最大分解熱の大きさ
- 2) 燃焼熱と最大分解熱の差
- 3) 酸素バランス
- 4) Y 値

表 3.2.2 CHETAH7.2 による危険性評価の結果

電解液	最大分解熱 (kcal/g)	燃焼熱-分解熱 (kcal/g)	酸素バランス (%)	Y 値 (kcal ² /molg)
1	-0.438 (medium)	-3.199 (medium)	-106.81 (high)	15.949 (low)
2	-0.467 (medium)	-4.319 (medium)	-144.51 (medium)	16.624 (low)

(2) CHETAH による危険性評価（リチウムイオン電池）

CHETAH7.2 による危険性評価手法を、リチウムイオン電池電解液に対しても適用した。表 3.2.3 に結果を示す。ここで、Electrolyte(電解液) 1, 2 はリチウム電池、Electrolyte 3 は、リチウムイオン電池である。電解液構成は、インターネット情報を基に典型的な例(LiPF_6 13%+ $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$)を選択した。計算結果は、リチウムイオン電池の電解液はリチウム電池の電解液に比べて、危険性はやや低いことが明らかになった。

CHETAH (Chemical Thermodynamic and Energy Release Evaluation Program)は、米国 ASTM (American Society for Testing and Materials) で開発された化学物質の混合危険性を評価するプログラムで、その化学組成を基に、その最大分解熱、燃焼熱と最大分解熱との差、酸素バランス及び y 限界($y=10 \times (\text{分解熱})^2 \times (\text{物質の分子量})$)から危険性を判定することができる。

表 3.2.3 CHETAH7.2 によるリチウム電池、リチウムイオン電池の危険性評価結果

Electrolyte	Maximum heat of decomposition (kcal/g)	Fuel value - Heat of decomposition (kcal/g)	Oxygen balance (%)	Y
1	-0.438 (Medium)	-3.199 (Medium)	-106.81 (High)	15.949 (Low)
2	-0.467 (Medium)	-4.319 (Medium)	-144.51 (Medium)	16.624 (Low)
3	-0.412 (Medium)	-0.267 (Medium)	-90.841 (High)	14.984 (Low)

(3) 熱分析、熱量測定

電池類の爆発危険性評価のため、MCPVT（小型圧力容器試験）を使って評価試験を行った。同装置は、消防法で採用されている圧力容器試験を改良したもので試料の温度を上げてその時の圧力を測定することで評価を行うものである（Knorr et al., 2007, 図 3.2.1）。実験の結果、他の電池に比べて著しく危険性が高いこと、特に、水が存在した場合や破損している場合に危険性が増加した（図 3.2.2, 3.2.3）。

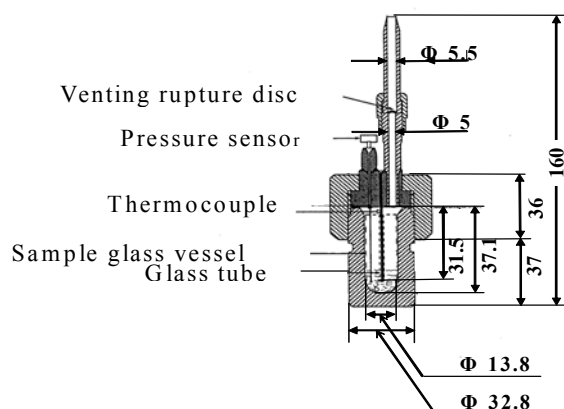


図 3.2.1 MCPVT (小型圧力容器試験装置, Unit:mm) の概要

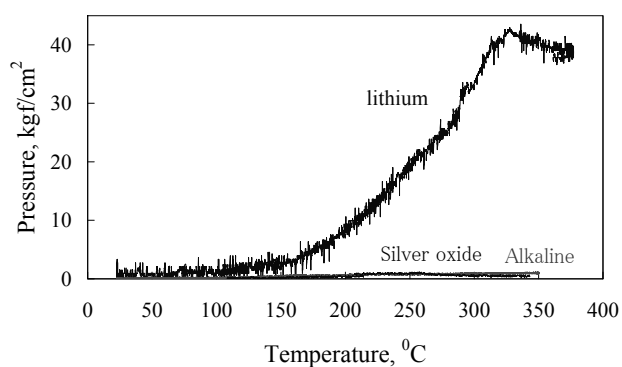


図 3.2.2 リチウム電池、酸化銀電池及びアルカリ電池(いずれも新品)の MCPVT 結果

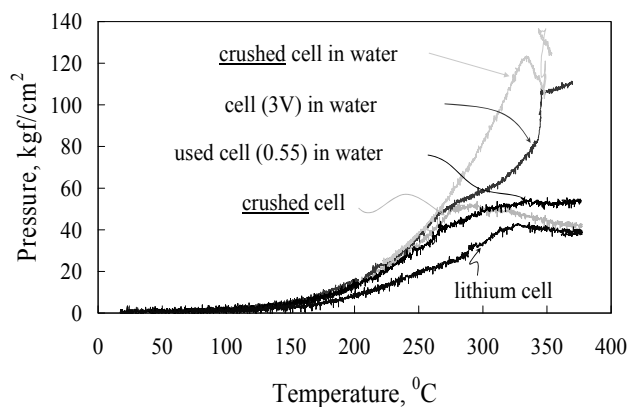


図 3.2.3 リチウム電池の MCPVT 結果(水等の存在の影響、電池破損時の危険性の確認)

金属スクラップと水及び電池の電解液との反応危険性を調べるために、Super CRC を使って実験を行った。Super CRC は米国 Omnical 社製の反応熱量計であり、図 3.2.4 に示すとおり、試験管サイズの反応容器を用いて攪拌、混合及び反応中の試料添加などで発生する熱流束を測定することができる。

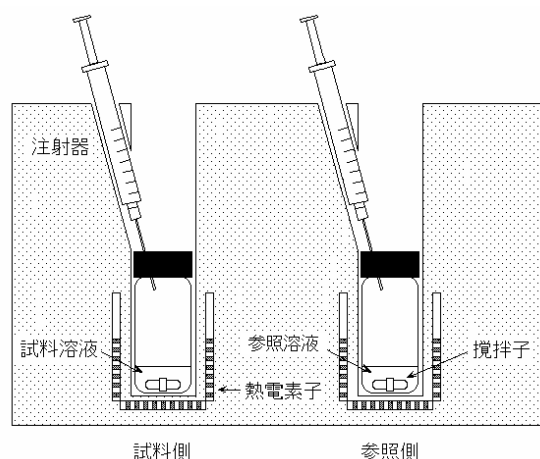


図 3.2.4 Super CRC の概要

この装置では加熱槽中に静置した反応容器中に他の化学物質や反応開始剤などを測定途中で注入することができ、内蔵された磁気攪拌器で攪拌が可能であるから、実際の装置と同様な手順で反応による熱発生挙動を計測することができる。RC-1 と同様な目的で開発された装置であるが、試料量が最大 16ml と少ないことから、より簡易に試験を行うことができ、その分、危険性も少ないことが利点である。標準のガラス製容器の他に、高圧用容器を用いることも可能である。この場合、発熱速度、発熱量、温度の他に圧力のデータが得られる。反応に伴って発生する熱流束はヒートシンク中に試料容器を囲むように埋められているセンサーによって検出される。また、校正用ヒーターによって試料容器の伝熱速度による測定遅れを補正することができる。

Super CRC（高感度熱量計、混合試験用）を使って、横浜市から提供された試料を実験したところ、高い発熱特性を確認した（図 3.2.5）。同試料中には高濃度の亜鉛の存在が確認されている。従って、コンテナ内の金属スクラップ中の亜鉛が水と反応して発熱、また、実験的にも水素を発生することを確認した。したがって、横浜市での爆発事故は、発生した水素の爆発によって起こった可能性が高いことを確認した（消防研究所回答, 2006）。

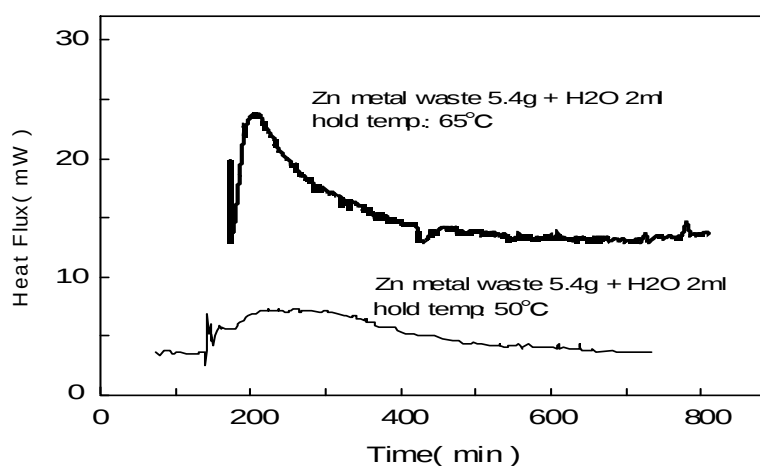


図 3.2.5 Super CRC による結果（スクラップ金属＋水）

また、電解液に対して、走査示差熱分析 DSC を適用した。消防法危険物判定方法に基づき、その危険性を評価した。リチウムイオン電池は、消防法・第 5 類危険物の判定線及びリチウム電池の結果より下にあり、危険性は低いことがわかる（図 3.2.6）。

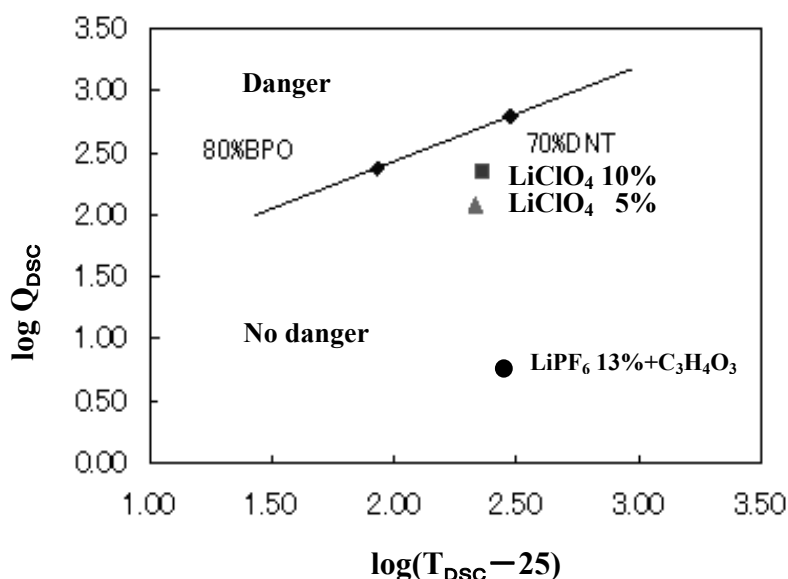
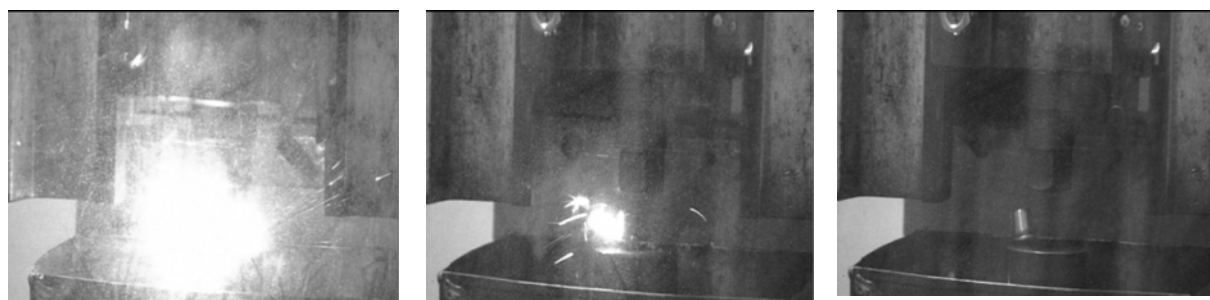


図 3.2.6 リチウム電池、リチウムイオン電池電解液の危険性評価
(T_{DSC}-Onset temperature, Q_{DSC} - heat of reaction)

(4) 落つい感度試験（リチウム電池）

リチウム電池が船舶等への積載時の爆発危険性を調べるため、落つい感度試験及び弾動臼砲試験を行った。これらの試験は火薬類の爆発危険性を評価するためのものである。詳細は JIS（JIS K4810-1979, 火薬類性能試験方法）等に記載されている。

図 3.2.7 は落つい感度試験の様子である。リチウム電池（使用済みも含めて）では、高さ 60～80cm で爆発的な状況になることがわかった。同様の試験を酸化銀電池、アルカリ電池でも行ったが、このような爆発は見られなかった（表 3.2.4）。



(a) リチウム電池（新品） (b) リチウム電池（使用済み） (c) アルカリ電池、酸化銀電池
(いずれも新品)

図 3.2.7 リチウム電池の落つい感度試験の様子（高さ＝80cm）

表 3.2.4 落つい感度試験の結果

	高さ (cm)	結果	備考
リチウム電池 (新品) CR 1220 (new)	100	Yes	激しい爆発
	60-80	Yes	比較的穏やかな爆発
	50-55	1/4 *	比較的穏やかな爆発 (1/4)
リチウム電池 (使用済み)、CR 1220	100	Yes	比較的穏やかな爆発
	70-80	Yes	比較的穏やかな爆発
	60	1/3 *	比較的穏やかな爆発 (1/3)
アルカリ電池 LR 1130 (new)	100	No	不爆
	60	No	不爆
酸化銀電池 SR 1120 (new)	100	No	不爆
	60	No	不爆

*: m/n は、同一条件で n 回試験を行って、m 回爆発が起こったもの

(5) 落つい感度試験 (リチウムイオン電池)

2009 年度は、市販のリチウムイオン電池に対して、同様の方法で落つい感度試験 (落つい高さ ; 1m、(財) 総合安全工学研究所・川越実験室) を行った。リチウム電池とは異なり、爆発的な状態にはならなかったが、電池自体が高温になった。そこで、電池表面に示熱テープを貼って温度上昇の様子を調べた (図 3.2.8)。カシオ NP-20 (3.7V, 中国製) を試料とした。試験後数分して最高 90℃ 程度にまで達した。このことから、条件によっては火災に至るような温度になる場合もあり得ることがわかった。

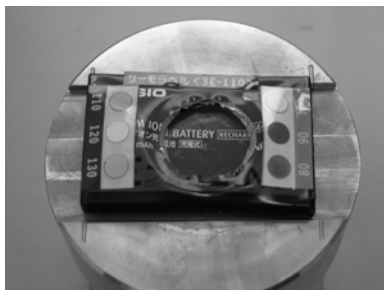


図 3.2.8 示熱テープを貼ったリチウムイオン電池の落つい感度試験結果

引き続き 2010 年度も、リチウムイオン電池の落つい感度試験を行った。使用した電池は、カシオ NP-20 (新品、充電率は 50% 程度) で、条件は 2009 年度と同じである。ただし、表面温度は K 型熱電対で測定した。落つい (重量 : 5kg) の衝突の衝撃で電池内で内部短絡が起こる。落ついの高さは 1m とし、再現性確認のため実験は 2 回繰り返した。

実験の結果、リチウム電池で見られたような爆発は起こらなかった。しかし、徐々に温度が上がった。表面温度は、実験後約 2 分で最高約 120℃ に達した (図 3.2.9、昨年度行った示温温度紙での測定では最高 90℃ であった)。

なお、新品のリチウムイオン電池の充電率は 30% であるが、電池の充電率が高い場合には、低い場合に比べて火災発生危険は大きく増加することが、消防研究センターで別途行われたリチウムイオン電池の大規模な加熱実験から明らかになっており、充電率の影響についても今後検討する必要がある。

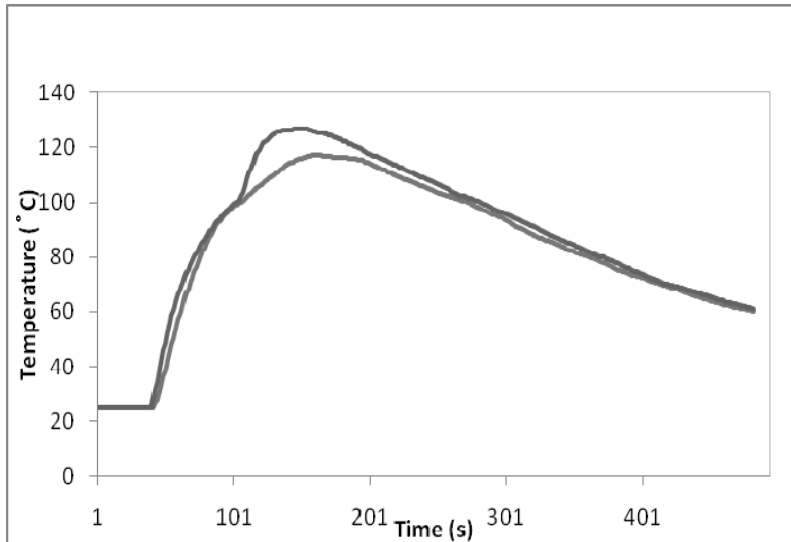


図 3.2.9 リチウムイオン電池の表面温度の変化

(6) 弾動臼砲試験

弾動臼砲試験とは、試験物品約 5g に大きな爆発衝撃を与え、臼砲（重量：110kg）による爆発性と激しさをトリニトロトルエン（TNT）の爆発力と相対比較するものである（図 3.2.10）。弾動臼砲値 B' でもって評価する。 d は、臼砲の揺れ幅である。

$$B' = 100 \times (d_1 - d_0) / (d_2 - d_0)$$

d_0 : ホウ酸 5g の揺れ幅

d_1 : 試験物品 5g の揺れ幅

d_2 : TNT5g の揺れ幅

試験結果（弾動臼砲値：試料の臼砲の振れ幅と TNT のそれとの比から得られる）を表 3.2.5 に示す。これより、リチウム電池（CR2025、CR1216）の爆発威力は中と判断された。一方、CR1220、アルカリ電池（LR44）、模擬電解液の爆発威力は小と判断された。この結果から、リチウム電池は、自己反応性物質と比較して同程度以上の危険性を有していると判断される。



図 3.2.10 弾動臼砲試験の様子

表 3.2.5 弾動臼砲試験結果

		試料量	振れ幅	B'
リチウム電池	CR 1216 (new)	2.6 g, 5.1 g	26 mm, 26 mm	7.8 %
	CR 1220 (new)	3.5 g	21 mm	3.9 %
	CR 2025 (new)	4.6 g	37.5 mm	16.7 %
アルカリ電池 LR 1130 (new)		3.9 g	21 mm	3.9 %
リチウム電池模擬電解液1		5.0 g	19 mm	2.3 %
リチウム電池模擬電解液2		5.0 g	18 mm	1.6 %

(7) 水との反応性

リチウム電池、リチウムイオン電池が金属スクラップに混在していた場合等に（海）水と接触することで短絡（ショート）、発熱発火する可能性について、以下のとおり検討した。

1) 実験場所：海上保安庁海上保安試験研究センター

2) 実験方法：ビーカーに水約 200mL を入れ、電池を入れて温度上昇、ガス発生の有無を調べた。温度は、K 型シース熱電対で測定した。

使用した電池

- ・カシオ NP-20（リチウムイオン電池）
- ・マクセル CR1216, パナソニック CR2025（リチウム電池、ボタン電池）
- ・パナソニック CR-2W（リチウム電池）

また、水としては、蒸留水及び海水（熟成海水、三浦・荒崎で採取）を使用した。

実験の結果、リチウム電池では、ほとんど発熱が見られなかった。リチウムイオン電池では、水ではほとんど変化がなかったが、海水では温度が約 1℃ 上昇し、ガスの発生が見られた。また、水の色は最初、白濁し、その後、茶色に変色した（図 3.2.11）。

結果を要約すると、リチウム電池、リチウムイオン電池と（海）水との反応は穏やかで、急激な発熱は見られなかった。したがって、水が大量にある場合にはリチウム電池、リチウムイオン電池が水と触れても火災の原因にはなりにくい。なお、実験ではわずかにガスが発生していた。これは水素である可能性が高く、コンテナ等の密閉容器で運搬する場合には、発生したガスが蓄積し、爆発する可能性はある。



図 3.2.11 実験の様子

（カシオ NP-20 を水中に放置後約 5 分、左：蒸留水、右：海水（わずかに海水が白濁している））

(8) リチウムポリマー電池の危険性

最近、リチウムポリマー電池からの火災例がいくつか報告されているので、その検証実験を行った名古屋市消防局を訪問し、同局が行った実験内容（松本, 2011）と問題について調査した。リチウムポリマー電池とは、リチウムイオン電池の電解液を何らかの方法でゲル化したものである（図 3.2.12, 定格電圧：3.7V）。軽量、高エネルギー密度であることからラジコン、携帯電話等に使われてきているが、さらに韓国では、ハイブリッド自動車への登載が進んでおり、今後、急速に普及することが予想される（表 3.2.6）。

しかし、韓国企業が有力なメーカーであることがあり、また、リチウムイオン電池が持つ安全装置を有していないといったこと、高エネルギー密度を有することから、誤った方法で充電した場合や何らかの原因で短絡した場合に容易に火災、爆発を起こす可能性がある。金属スクラップに紛れ込んだ場合、電池の破壊、水による短絡（内部、外部）等によって火災を引き起こす危険性は高い。

表 3.2.6 リチウムイオン電池とリチウムポリマー電池の比較（インターネット情報）

	リチウムイオン電池	リチウムポリマー電池
正極	リチウム金属酸化物	リチウム金属酸化物（コバルト酸リチウム）
負極	グラファイト	グラファイト
電解液	有機溶媒	ゲル化物
電圧	3.6V/3.7V	3.7V
重量エネルギー密度	100～250 Wh/kg	130～200 Wh/kg
容積エネルギー密度	250～360 Wh/L	300 Wh/L

1) 火災事例 1

年月日：2009 年 1 月

場所：愛知県名古屋市

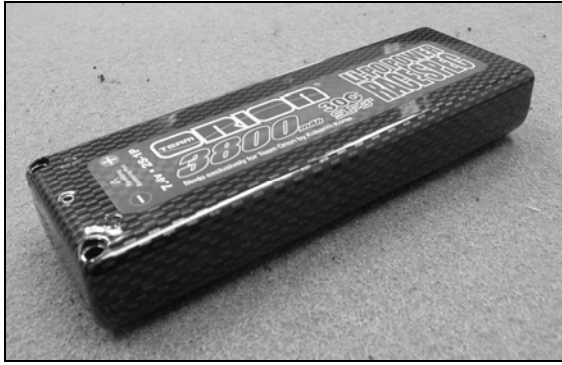
概要及び出火原因：ラジコン用のリチウムポリマー電池をマルチ型充電器（リチウムポリマー電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池及び鉛蓄電池の充電が可能）で充電する際、充電条件を間違えた。その結果、充電開始後数分して、同充電器から出火したもの。電池は、韓国製。名古屋市消防局では、火災の再現実験が行われ、容易に発熱・発火することを確認した（図 3.2.13、松本, 2011）

2) 火災事例 2

年月日：2007 年 8 月

場所：兵庫県神戸市

概要及び出火原因：ラジコン用のリチウムポリマー電池を充電器で充電中、充電開始後約 1 時間で火災となったもの。充電器と電池の間にバランサーを入れるべきところを入れなかったこと、誤充電した可能性があることから火災になったもの（山本ら, 2010）。



容 量 : 3800mAh
出力電圧 : 7.4V
充電電流値 : 3.8A 以下
セル配列 : 2直列1並列
筐体寸法 : 138 mm×47.5 mm×23.5 mm



容 量 : 5000mAh
出力電圧 : 7.4V
充電電流値 : 5.0A 以下
セル配列 : 2直列2並列
筐体寸法 : 138 mm×45 mm×23.5 mm

図 3.2.12 リチウムポリマー電池の例



図 3.2.13 名古屋市消防局での実験（誤充電開始約 1 時間後、出火し、激しい火炎を生じた、松本, 2011）

(9) 実験結果のまとめ

リチウム電池は、その構成から判断して高い発火危険性を有している。また、高温、衝撃等で容易に爆発することが確認できた。従って、電池が破壊されていたりした場合や周囲に水があった場合、高い発火危険性船舶への積み込み時等の落下衝撃の際等には容易に発火し火災に至る可能性がある。

また、リチウムイオン電池はリチウム電池に比べて危険性はやや小さいと言える。しかしながら、一般にリチウムイオン電池は大容量のものが多く、また、新しく開発されつつ電池は高性能のものも多く、危険性が増している場合もある。

その他の電池類として、マンガン電池、アルカリ電池、鉛蓄電池等の電池類も高いエネルギーを内蔵しており、リチウム電池ほどではないが、一定の火災危険性を有しており、必要に応じて対応を取る必要がある。

3.2.3 各種金属等の落下衝撃発火実験

(1) 落下衝撃発火試験（2009 年度）

金属スクラップの船舶への出荷火作業中に時々火災が発生していることから、着火源として、高さ 10～20 m から落下する金属スクラップどうしの衝撃火花が考えられる。高さ 16m から試料を鉄板の床に落下させた場合、時速約 64km での衝突に相当する（表 3.2.7）。そこで、火災現場において金属スクラップに多く入っている物品を落下させてその時の様子をみた。実験は消防研究センター・大規模火災実験場（24m×24m×20m）において、火災に関係ありそうな物品を地上に敷いた鉄板上（厚さ;3mm）に落下させて火花を形成するか否か等、落下時の様子を調べた。

① 落下実験に供した主な試料

- ・ エアコン・ラジエーター（重さ：7.0 kg～10.0 kg）
- ・ アルミ塊（10×10×2 cm）、鉄管
- ・ パソコン、携帯電話（リチウムイオン電池内蔵）
- ・ 電池類（アルカリ電池、リチウムイオン電池（パソコン用、携帯電話用））

表 3.2.7 落下高さと推定衝突速度

落下場所	高さ	推定速度*
2F 回廊	4.05m	32.1 km/h
3F 回廊	7.05m	43.8 km/h
4F 回廊	11.03m	52.9 km/h
5F 回廊	16.04m	63.8 km/h

*：空気抵抗は無いものとして計算した。

② 落下試験の結果

表 3.2.8 に落下試験の結果を示す。火花の形成の有無はビデオ撮影して確認した。エアコン・ラジエーターを約 11m の高さから落下させたところ、火花を生じた（図 3.2.14）。エアコン・ラジエーターは、アルミニウムが多く使われていることから、アルミニウムと鉄（又は、鉄さび）の衝突で火花が出る可能性が高いことがわかった。この火花は、可燃性ガスや粉じんが存在した場合には、着火源になる可能性を有する。

表 3.2.8 落下試験結果

物品	高さ	結果
鉄塊	16.04 m	火花確認できず
アルミニウム塊	16.04 m	火花確認できず
電池類	16.04 m	火花確認できず
エアコン・ラジエーター (重量;7.0 kg)	11.03m	火花確認

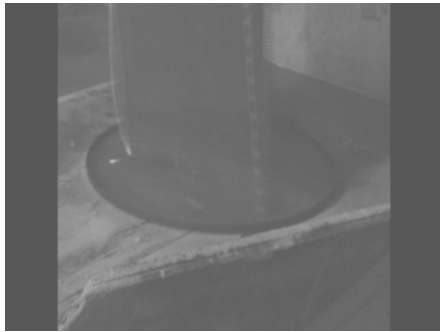


図 3.2.14 落下時に生じた火花（中央左に火花が見える）

(2) 落下衝撃発火試験（2010 年度）

引き続き、荷積み作業時、重機によって船倉への投入時の金属の落下衝撃による火花形成の有無について以下の実験を行い、可能性について検討した（表 3.2.9、3.2.10、図 3.2.15）。

- ・ 場所：消防研究センター総合消火実験棟主実験場
- ・ 実験の内容：2009 年度と同様
- ・ 落下物：表 3.2.2 の物質を鉄板（厚さ；3.0mm、表面にわずかにさびが見られた。）上に自由落下させた。

火花の形成は、衝突時の様子を目視、ビデオカメラ（30 コマ/秒）及び高速ビデオ（NAC 製 HSV-500、250 コマ/秒）によって撮影を行い、火花の発生を確認した。

表 3.2.11 に実験条件、結果のまとめを示す。

表 3.2.9 落下実験に供した試料

物質	重量
銅	4.48 kg
ステンレス	4.42 kg
亜鉛棒	3.46 kg
アルミニウム	3.45 kg
鉄	4.41 kg
放射板（エアコン用）	8.57 kg

表 3.2.10 落下高さ（次の 3 つの高さから自由落下させた。）

落下場所	高さ	推定速度*	推定速度*	衝撃エネルギー** (鉄の場合)
2F 回廊	5.20 m	10.1 m/s	36.4 km/hr	22.9 kgm
3F 回廊	9.20	13.4	48.2	40.7
4F 回廊	13.1	16.0	57.6	57.8

*：空気抵抗は無しとして計算した。

**：重量×高さ、単位；kgm （内田ら, 1992）



図 3.2.15 2F の高さからの落下試験

表 3.2.11 実験結果のまとめ

位置	試料	火花の確認		
		目視	ビデオ	高速ビデオ
2 F	銅	×	×	×
	ステンレス	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	アルミニウム	×	×	×
	鉄	×	×	×
	放射板	×	×	×
3 F	銅	×	×	×
	ステンレス	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	アルミニウム	×	×	×
	鉄	×	映像なし	×
	放射板	失敗		×
	放射板	×		×
4 F	銅	×	×	×
	ステンレス	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	アルミニウム	×	×	×
	鉄	○	○?	×
	放射板	×	×	×
4 F、2 回目	銅	×	×	×
	ステンレス	×	×	×

	亜鉛	×	×	×
	亜鉛	×	×	×
	アルミニウム	×	×	×
	鉄	○	○?	×
4F、3回目	銅	×	×	×
	鉄	○	○?	○

○：火花が形成、×：火花非形成、?：火花が明確ではない

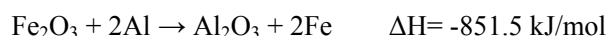
消防研究センター総合消火実験棟主実験場 4F の高さ (13.1m) からの落下試験 (衝突時の速度 ; 16.0 m/s) では、鉄どうしでは、衝突時の火花を観測した(3/3)。その他の金属、落下条件では、火花を観察できなかった。

火花の温度は、金属の沸点を超えているものと推定するが、微小のため、ガソリン等に着火するかどうかはわからない。これらの物質の最小着火エネルギーとの比較が必要である。

3.2.4 テルミット反応発生の可能性

(1) テルミット反応とは

金属スクラップを船舶に積載する作業中に、テルミット反応 (Thermite process) が起こる可能性が指摘された。テルミット反応とはアルミニウム等で金属酸化物を還元する冶金に使われる化学反応の総称である。金属酸化物と金属アルミニウムとの粉末混合物に着火すると、アルミニウムは金属酸化物を還元しながら高温を発生する。この還元性と高熱により目的の金属融塊は下部に沈降し、純粋な金属が得られる。アルミニウムと金属酸化物の金属のイオン化傾向の差が大きいほど、多量の熱を発生する。たとえば、3 価の酸化鉄とアルミニウムの反応では、



発生する熱量は 851.5kJ/mol である。アルミニウム以外の金属でもマグネシウム、銅でもテルミット反応が起こることが知られている。金属スクラップ中で本反応が起きた場合、大量の熱によって金属スクラップ中に存在する可燃物 (例えば、紙、プラスチック類、ガソリン、灯油、トナーカートリッジ (粉) 等が存在することがある) が着火し、火災に至る可能性がある。

他方、火災中、アルミニウムが存在した場合、火災による高温雰囲気形成によって、存在する鉄材 (表面にさびが存在した場合) との間でテルミット反応が起こる可能性はある。2010 年 5 月、横浜市であった船舶火災では積み荷のアルミニウムと船底の鉄との間でテルミット反応が起こった可能性があることが 3.1 で報告されている。

(2) テルミット反応の実験

消防研究センター、海上保安庁海上保安試験研究センター及び横浜市消防局が共同で実験を消防研究センターにおいて以下のとおり行った。

場所：消防研究センター大規模実験場

実験内容：以下の混合物を大略化学量論比の割合で混合し、試料 100g 程度を鉄板に載せ、ガスバーナー、ガソリン (ヘプタン) によって加熱し、反応が起こるかどうか調べた(図 3.2.16、3.2.17)。

- 1) アルミニウム／酸化第二鉄
- 2) マグネシウム／酸化第二鉄
- 3) マグネシウムリボンに着火後、アルミニウム／酸化第二鉄を加熱
- 4) 溶融したアルミニウム（融点：660℃）を鉄板上に滴下して反応が起こるかの確認

実験の結果、1)の条件では、反応は起こらなかった。ガスバーナー、ガソリンでの加熱では、熱画像装置を使った試料表面温度の測定、アルミニウムの融点（660℃）から推定して前者は 700℃以上、後者は 500℃程度であったと考えられる。マグネシウムリボンで高温を発生させた上で加熱した場合には、反応が起こる場合があった。

2)では、条件によっては、反応が起こった。3)では、マグネシウムリボンは容易に着火し、その熱でアルミニウム／酸化第二鉄のテルミット反応が起こる場合があった。

また、酸化した鉄板（下から加熱した場合でも）への溶融アルミニウムの滴下でも化学反応は起こらなかった。

今回の実験結果を要約すると、テルミット反応は、マグネシウム以外は、積み込み作業程度の温度雰囲気では起こりにくく、アルミニウムと酸化鉄ではテルミット反応を起こすためには 1,000℃を超える高温雰囲気であることが必要である。



図 3.2.16 マグネシウムリボンに着火後のアルミニウム／酸化第二鉄のテルミット反応

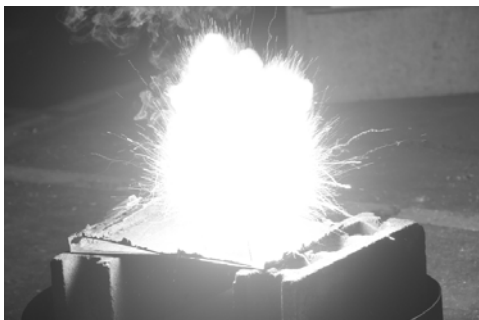


図 3.2.17 マグネシウム／酸化第二鉄のテルミット反応

(3) 熱分析（TG-DTA）実験

混合実験の結果、室温～約 600℃の範囲では、テルミット反応は極めて起こりにくいことが確認されたので、温度を更にして反応が起こるかどうか、財団法人総合安全研究所川越実験室において行った熱分析の結果から検討を行った（消防研究センターが有するリガク製 TG-DTA は

600℃までしか測定が出来ないため)。試料としては、テルミット反応を起こしやすいとされているアルミニウム、マグネシウムのほか、発火危険が高く火災例の多いチタンを対象とした。

1) 実験装置：セイコー電子製 TG-DTA 6300、試料容器：酸化アルミニウム製

2) 試料：試料として、可能性のありそうな以下の系で行った。

- ・アルミニウム／酸化第二鉄(混合割合；8：2.7)
- ・マグネシウム／酸化第二鉄(混合割合；7：3.2)
- ・チタン／酸化第二鉄(混合割合；8：3.6)

3) 実験条件：試料数 mg を TG-DTA を使って、室温～1,100℃の間で 20℃/分で昇温させてみた。

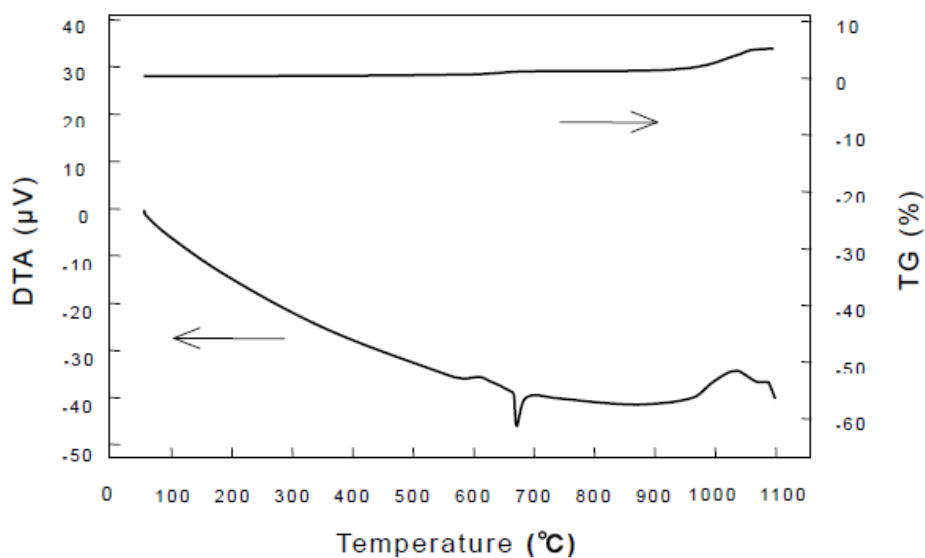
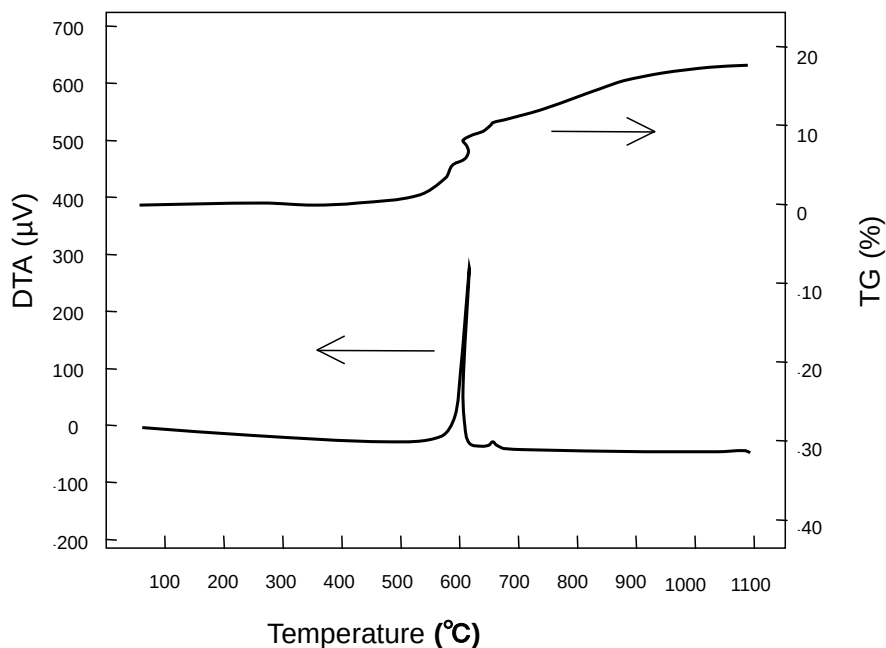


図 3.2.18 マグネシウム／酸化第二鉄及びアルミニウム／酸化第二鉄の TG-DTA 結果

TG-DTA の結果の例を図 3.2.18 に示す。マグネシウム／酸化第二鉄の場合には、ピーク温度約 600℃のシャープな発熱が見られた。これは、テルミット反応に伴う発熱である可能性がある。この時、穏やかな重量増加が見られた。これは、マグネシウムと空気中の酸素との化合によるものと考えられる。

アルミニウム／酸化第二鉄の場合、1,000℃付近で発熱が見られた。チタン／酸化第二鉄の場合、700℃付近から徐々に発熱が見られた。これらの発熱はアルミニウムの空気酸化による穏やかな発熱で、重量増加が見られ、テルミット反応とは関係しない可能性が高い。従って、マグネシウムを除けば、単に雰囲気温度を 1,000℃程度まで上げるだけでは、テルミット反応には至らないことがわかった。

横浜市での船舶火災でテルミット反応が起きた可能性があるが、上記結果から判断すれば、1,000℃を超える温度雰囲気が長く続いたのではないかと推定される。

3.2.5 トナーカートリッジ粉の火災爆発危険性

最近、廃棄物処理施設でプリンター等のトナー粉の粉じん爆発事故が起きていること (Koseki, et al., 2010; (財)総合安全工学研究所, 2008)、組成調査でもトナーカートリッジが見つかったことから、トナー粉の粉じん爆発の可能性と金属スクラップの火災の関係について調べた。トナー粉は、印刷技術の向上と共に最近、その大きさがより細くなり、特に、再生品は粒度分布が広く、微小粉も多く存在し、粉じん爆発性は大きい。トナー粉のメーカーが作成した MSDS によれば、消防法・指定可燃物（合成樹脂）に該当するものもある。

実験の結果は、トナー粉は容易に粉じん爆発を起こし、かつ、その爆発威力も大きいことを確認した。従って、可燃性ガス、ガソリン等の危険物が存在した場合、爆発によって火災が引き起こされる可能性もある。

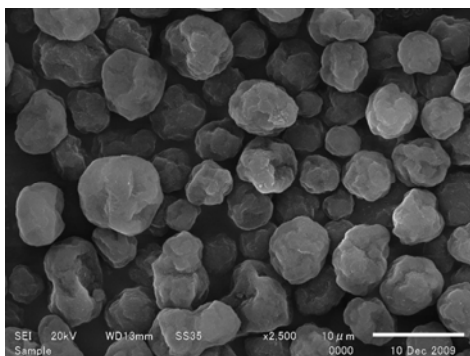
(1) トナーカートリッジ粉の形状

トナー粉を購入して実験に供した。純正品 1 種類（トナー R という）、再生品 2 種類（トナー E 及びトナー C と呼ぶ）電子顕微鏡でトナー粉の形状を調べた（図 3.2.19）。また、粒径分布等を求めた（表 3.2.12）。純正品に比べて、再生品は粒度のばらつきが大きく、また、形状も様々であることがわかる。

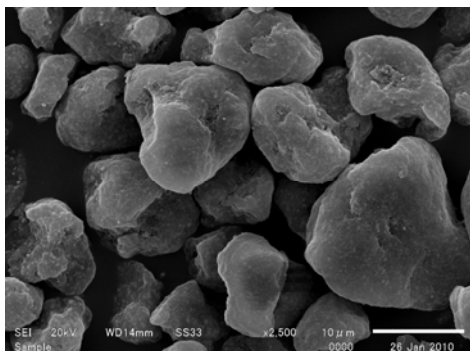
表 3.2.12 トナー粉の粒度分布

	粒径分布 (μm)	L/W (平均値)	平均粒径* (μm)
トナー C	9.57 $\pm$ 4.00	1.31	10.35 $\pm$ 3.41
トナー E	10.34 $\pm$ 2.70	1.43	10.49 $\pm$ 3.72
トナー R	7.13 $\pm$ 1.63	1.10	—

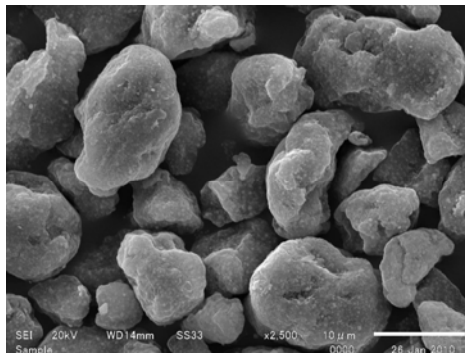
* ; レーザー回折・散乱法



(a) 純正品（トナーR）



(b) 再生品（トナーE）



(c) 再生品（トナーC）

図 3.2.19 トナー粉の電子顕微鏡写真（撮影；海上保安庁海上保安試験研究センター）

(2) トナー粉の爆発危険性

トナーC、E に対して、以下の粉じん爆発に関係ある試験を行った結果、一定の粉じん爆発危険性を有していることがわかった。

1) 爆発下限界濃度

爆発下限界濃度（ g/m^3 ）は爆発に関する最も基本的な特性で、爆発の起こりやすさを示す。粉じん爆発危険性の評価を行う場合、先ず、最初に測定が行われる。

結果は、トナーC,E は、それぞれ、 65 g/m^3 、 75 g/m^3 となった。これらの値は、粉じん爆発性が高いとされる石炭、一般のプラスチックと同程度の危険性を有していると考えられる。

2) 爆発圧力特性

30L 球状容器を用いて粉じん爆発圧力と圧力上昇速度を測定し、最大爆発圧力 P_{max} 、及び K_{st} を求めた。 K_{st} とは、測定した圧力上昇速度（ dp/dt ）を 1 m^3 円筒容器の値に相当するよう次式で修正した値で、爆発の威力を表すパラメーターである。

$$K_{\text{st}} = (dp/dt) \cdot V^{1/3}$$

ここで、 V は容器の容積である。結果は、表 3.2.13 に示す（粉じん濃度は、最大で 1500 g/m^3 まで測定）。

表 3.2.13 爆発圧力特性の測定結果

	トナーC	トナーE
Pmax, kPa	7.8×10^2	7.8×10^2
(dp/dt)max, kPa	546×10^2	615×10^2
Kst, kPa・m/s	170×10^2	191×10^2

表 3.2.13 の結果から、トナーEの方が爆発の威力はやや大きい、いずれも、爆発の激しさは「弱」（爆発クラス St=1、爆発クラスとは、0～3の段階に分かれている（（財）総合安全工学研究所, 2008））に相当する。この値は、石炭、大部分の食品類、木粉、プラスチック等の有機物系粉末に比べるとやや大きく、爆発威力は激しいと言える。他方、アルミニウム粉等の金属粉よりは危険性は小さい。

3) 最小着火エネルギー

トナーC、Eの最小着火エネルギーは、それぞれ、1.9 mJ 及び 1.4 mJ であった。この値は、非常に小さな値で微小なエネルギーで着火することを示し、また、多くの有機物系粉じんよりも小さな値である。従って、石炭、有機物系粉じんよりも容易に粉じん爆発が起こる可能性が高いことがわかる。

4) 爆発限界酸素濃度

トナーC、E、それぞれ 11.2%(粉じん濃度は 520g/m^3 、爆発圧力は 180 kPa)、11.7%(粉じん濃度は 520g/m^3 、爆発圧力は 180 kPa)となった（表 3.2.14）。多くの物質で 13～16%であることから、トナー粉は粉じん爆発を起こしやすい物質と考えられる。

表 3.2.14 爆発限界酸素濃度の測定結果

	トナーC	トナーE
爆 発 限 界 酸 素 濃 度, %	11.2	11.7
粉じん濃度, g/m^3	520	520
爆発圧力, kPa	180	180

(3) トナー粉の火災危険性

火災危険性に関係する可能性のある以下の項目の測定を行ったが、トナー粉の火災危険性は相対的には低いものと判断される。

1) 浮遊粉塵の発火温度

トナーC、E、それぞれ、500℃（トナーCの測定値は 520℃、発火遅れ時間は 1.67 秒）、510℃（トナーEは、530℃、発火遅れ時間は 2.26 秒）を得た。一般の可燃性物質（固体、液体）と比べて発火温度は高く、通常の取り扱いの範囲では自然発火する可能性は小さいと言える。

2) 小ガス炎着火試験（消防法に基づく危険物第2類の試験）

消防法に基づく危険物第2類の小ガス炎着火試験トナーC、Eそれぞれ10回行ったが、いずれも10秒間の接炎で着火せず（トナー粉の表面のみが溶融）、消防法第2類危険物（可燃性固体）としての性状は有していない。

3) 燃焼熱量

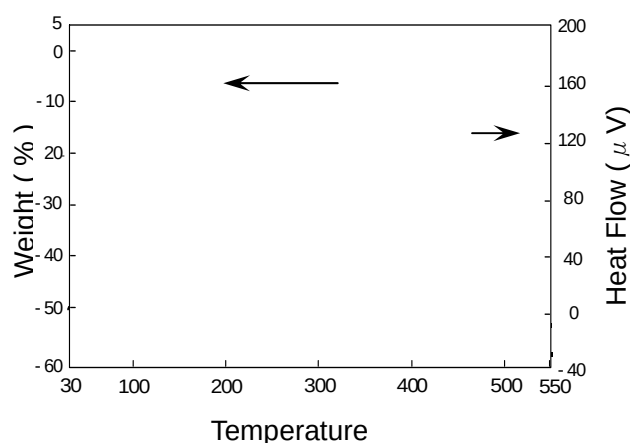
ボンベ熱量計を使って、トナー粉の燃焼熱量の測定を行った。結果を表 3.2.15 に示す。一般の可燃性液体、固体に比べて小さく、火災危険性は大きくはない。

表 3.2.15 トナー粉の燃焼熱量の測定結果

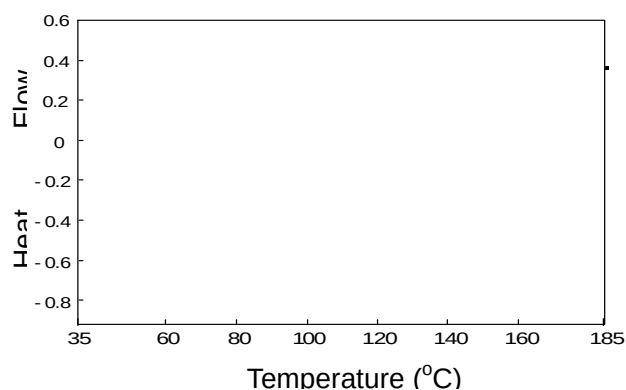
	トナーC	トナーE
燃焼熱量	22.23	22.15
	kJ/g	kJ/g

4) 熱分析

図 3.2.20 (a), (b)にトナーC の TG-DTA, DSC の結果の一例を示す。使用したのは、(株)リガク製 DSC 8230 及び TG-DTA 8120 である。昇温速度は、10 K/min とした。69°C付近にトナー粉表面に塗布されたワックスの融解に伴う、吸熱が見られ、また、185°Cまででほとんど発熱は見られない。この間、酸化による重量増加は見られない。350°C付近から発火に伴う急激な発熱と重量減少が見られた。また、発火後も約 40%の重量が残っており、トナー粉には、金属分、無機物質が多く含まれていることがわかる。従って、室温で一般的な貯蔵を行っている場合には、蓄熱発火は起こりにくいと考えられる。また、ワックスで表面が覆われており、水が存在した場合でも発熱発火の可能性は小さいと考えられる。



(a) TG-DTA の一例 (トナーC)



(b) DSC の一例 (トナーC)

図 3.2.20 トナーの熱分析結果

3.2.6 まとめ

金属スクラップの貯蔵取り扱い中に火災原因となる可能性のある物質について、その火災危険性を実験的に調べた。火災の原因には、様々な可能性が考えられるが、リチウム電池や鉛蓄電池等の電池類が火災現場で見つかったケースもあり、火災を引き起こす可能性があることがわかった。そこで、CHETAH による計算及び実験から電池類の危険性を明らかにした。リチウム電池、リチウムイオン電池は火災源となり得ることがわかった。リチウムポリマー電池も高い火災危険性を有することが明らかであるが、今後、実験的に調べる必要がある。電池類は金属スクラップに混入しないよう、その回収・リサイクルが重要である。また、電池類以外にも多くの危険性物質が混入しており、できるだけこれらの除去をする必要がある。

テルミット反応は、マグネシウム以外は $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上の高温雰囲気でのみ起こる可能性があり、通常の作業条件では容易には起こらない。

3.3 過去の事故事例調査

雑品またはミックスメタルと称される金属スクラップには様々な金属、樹脂類、油分、そして乾電池などの複合化学物質が含有されている。

2008 年度の調査では電池、プラスチック、金属について以下の情報源を中心に事故事例を収集した。

- ・災害情報センター事故事例
- ・消防法危険物に関する事故事例
- ・（独）製品評価技術基盤機構事故情報収集制度における事故事例
- ・その他国外事例

3.3.1 電池の事故事例

大きな事例以外は 1996 年以降のものを収集した。電池事故の総件数は 493 件であったが、約半数は液漏れで、火災や発熱の事例は 211 件であった。発熱、発火はリチウム電池、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、アルカリ乾電池、鉛蓄電池などで発生していた。電池別の事故の発生比率を図 3.3.1 に示す。また、事故の発生した機器は電池を使用する様々な製品であった。

なお、図 3.3.1 で電池と記載されているものは電池の種類の不明な事例が大部分であったが、2 件の鉛蓄電池による火災も含まれる。この 2 件の火災は劣化による液漏れ、が引き金となっていた。

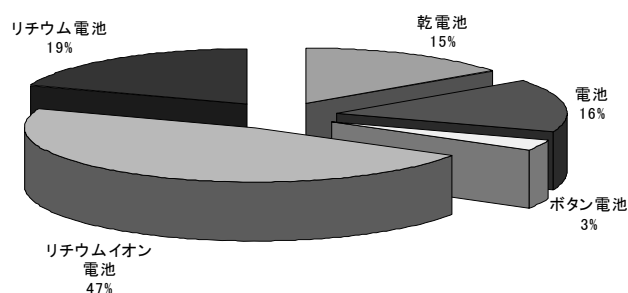


図 3.3.1 電池による発火、発熱事故：166 件（1997－2008 年 1 月）

事故原因の比率を図 3.3.2 に示すが、事故は充電中の過充電が最も多く、電池の設置ミス（短絡）による過電流、破碎工程での中の発熱・発火、液漏れにともなう発火も発生していた。

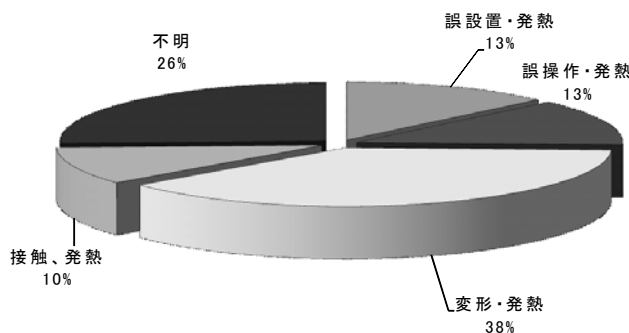


図 3.3.2 電池事故の発生原因

典型的な電池の発火事故事例を以下に紹介する。

〔事例1 電池の誤設置による発熱〕

当該製品のリモコン部に付属の乾電池を入れ5分間程遊んでいたところ、リモコンがかなり熱くなり、乾電池は熱くて持てないほどになっていた。逆装てんした1個の乾電池が充電状態になり発熱したものであった。

〔事例2 電池の変形による発熱〕

携帯電話機の電池パックが外れ、放置していたらじゅうたんが焦げた。犬がバッテリーを噛む等により、リチウムイオン電池に外部応力が加えられたため、バッテリーが内部短絡を生じて熱暴走となり、異常発熱し破裂したものと推定される。他の応力による変形でも同様の発熱事例が報告されている。

〔事例3 電池の誤接触による発熱〕

製造工程で発生した正極体の切断屑等が正極板に付着し、充電後の膨潤で切断屑等がセパレーターを突き破り内部短絡し、発熱した。

3.3.2 プラスチックの事故事例

廃プラスチック・ゴム類による火災事例は多数報告されている(Wakakura et al. 2004)。廃棄物は多様な物質の混合物として取り扱われることが多く、事故の起因となった物質が特定される例は多くない。そのため、廃プラスチックが事故原因と特定された事例は24件にとどまったが、廃棄物火災の多くはプラスチックや廃タイヤなどのゴム、廃木材によるものと推定されている。今回収集した事故の90%以上は産業廃棄物で発生していた。火災は破碎工程、溶融工程、保管中に発生していた。

廃プラスチックはリサイクルが増加しつつあるが、依然として焼却の比率が高い。リサイクルならびに焼却においては前工程で破碎される。破碎工程では金属の火花や摩擦熱によりプラスチックが加熱されたり、火種が発生する可能性がある。廃プラスチックを含む可燃性の廃棄物を移送するベルトコンベアでは火災の発生が数多く報告されている。プラスチックを主成分とする破碎物をコンベア移送する場合、破碎時の金属の衝撃火花または破碎による剪断熱などに由来する高温部分が存在し、火災が発生するとみられる例も少なくない。

また、プラスチックの減容化は輸送、リサイクルで必要な工程であり、加熱を伴うため火災が起きやすい。廃タイヤなどのゴム製品は屋外で長時間堆積保管すると、紫外線によって架橋が切断され、酸化劣化が進行しやすくなる。そのため、屋外保管では酸化熱が蓄積して自然発火する危険性が増大する。発熱量が大きいプラスチックやゴムは火災時の消火が困難な例が多い。大量の廃プラスチック・ゴム類の保管・取扱いには火気管理および温度管理が重要である。

3.3.3 金属の事故事例

金属による爆発・火災事故は増加傾向にあり、その発災した金属の種類も多様化の傾向にある。事故事例については別に示すが、アルミニウムやマグネシウムによる火災が増加している。廃棄物として排出されたものでは、破碎により粉化したこれらの金属が水と接触して発災する例が多

い。アルミニウムや鉄の破碎粉を含有するシュレッダーダストでは、飛散防止の散水や降雨のあと蓄熱する事例が多いことが知られている（図 3.3.3）。

最も事故の多い金属であるアルミニウムの発災工程を比較すると、廃棄工程での火災、爆発が増加傾向であることが明らかになった。

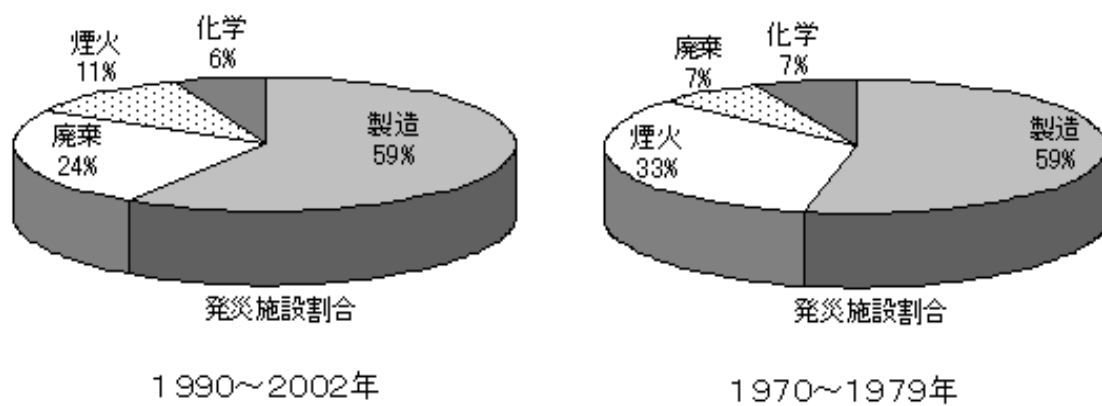


図 3.3.3 アルミニウムの発災工程の変化

3.4 消火実験と消火方法の検討

3.4.1 消火実験

消火に長時間を要している火災事例の多くは、可燃物表面への直接放水に必要な、堆積物を掘り起こすためのバックホウの利用が、何らかの要因により困難な状況にあった。このような状況下にある火災を、多大な泡消火剤の費用負担や環境負荷、長時間の煙害等を伴うことなく、効率的に消火できる技術の開発を目的として、①水、②泡水溶液、③CAFS（圧縮空気泡消火システム）による気水比 20 倍の泡（以下 Dry 泡）を用いて、金属スクラップ堆積物模型火災（図 3.4.1）の消火実験を行った（図 3.4.2）。

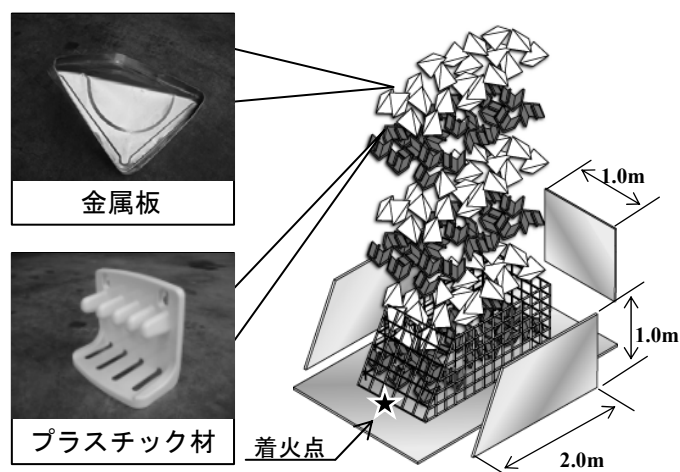


図 3.4.1 火災模型

表 3.4.1 消火実験結果

消火剤	消火結果	放射時間	使用水量	水流量
水	×	300sec	562L	112L/min
泡水溶液	×	300sec	505L	101L/min
Dry泡	○	71sec	130L	110L/min

表 3.4.1 に、実験結果の概要を示す。また、図 3.4.3 と図 3.4.4 に、火災模型内部の温度計測位置と各実験における温度変化を示す。消火剤として水または泡水溶液を用いた場合、堆積物内部の火災を完全に消火することができず、放水の勢いで空気が供給され燃焼が促進される様子も確認された。一方 Dry 泡は、堆積物全体を泡が覆うことにより空気の供給を遮断し、短時間で消火に至った。散水障害のため放水による表面冷却効率が低い火災形態にあつては、消火剤が火源に到達しなくても効果を発揮する泡の封鎖効果による消火手法が有効であることが示唆された。気水比の大きい泡を生成できる合成界面活性剤泡はコンビナート火災用の泡消火剤に比べ安価であることも、利点の一つと考えられる。

ただし、金属スクラップが大規模に堆積されているような現場では、堆積物全体を泡が覆うことが困難な場合もある。Dry 泡を用いた消火技術の実用化にあたっては、今後さらに、大規模堆積物への有効な泡供給法の検討が必要である。



図 3.3.2 水放射による消火

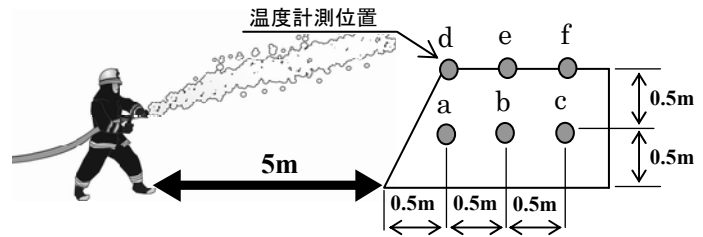


図 3.4.3 模型内部温度計測位置と放射距離

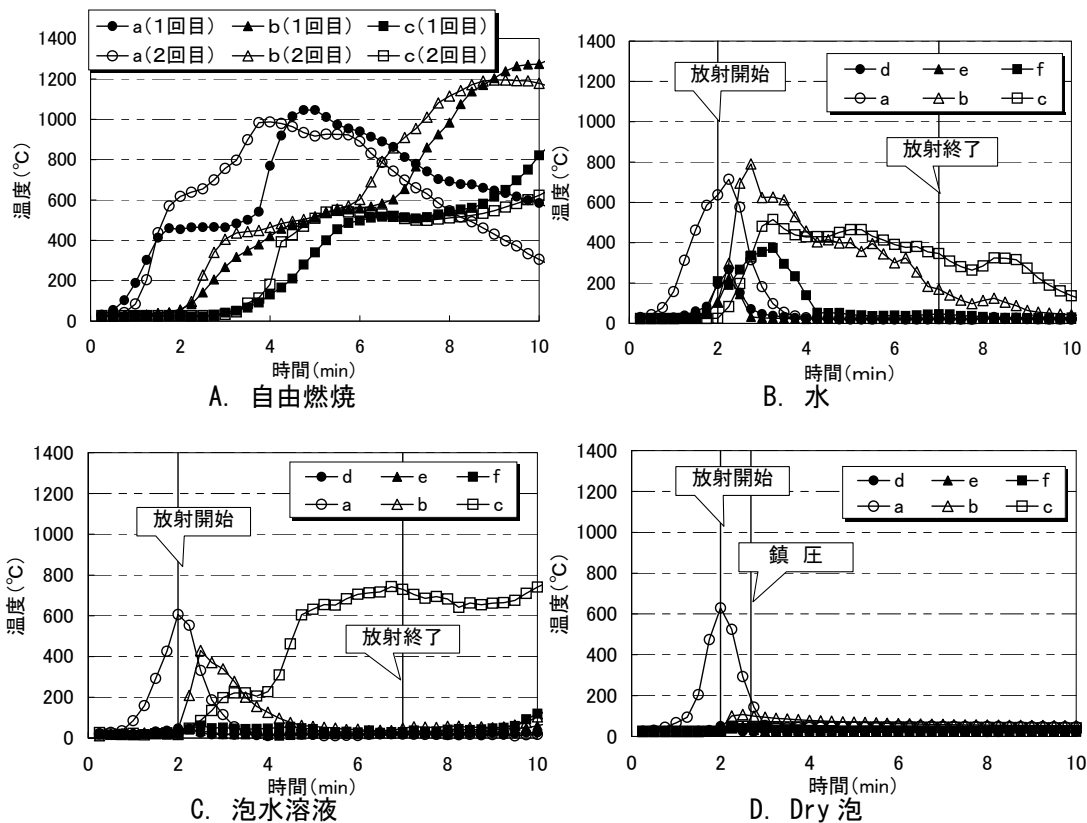


図 3.4.4 火災模型内部の温度変化

3.4.2 消火方法の検討

消火方法の検討にあたっては、アルカリ金属、マグネシウム、アルミニウム、亜鉛等のように水と激しく反応する金属を多く含む金属スクラップの火災と、金属スクラップに混在している一般可燃物の燃焼が主である火災を、区別して考える必要がある。水と激しく反応する金属の火災に注水すると、水素を発生して爆発することがあるため、大変危険である。金属火災用の粉末消火剤か、乾燥砂などを用いる。一方、一般可燃物の燃焼が主である金属スクラップ火災に対する消火戦術は、全国各地で発生している堆積廃棄物火災等（尾川，2003）と同様の、堆積可燃物火災に対する消火戦術として検討するのが適当である。

堆積可燃物火災の消火困難性は、堆積物層の深部にある火源を有効に冷却する手段がないこと

による。消火剤は一般に、水や泡などの水系消火剤と、不活性ガスやハロゲン化物などのガス系消火剤に大別される。水系の消火剤は、主に、可燃物表面を冷却したり覆うことにより、可燃物表面における可燃性ガスや可燃性蒸気の発生を抑え、火災を消火する。したがって、消火剤が可燃物の表面に直接届かないと有効に消火できない。また、サイロやコンテナ等の閉鎖空間内の火災に注水すると、冷却により内部の圧力が一時的に低下し外部から新鮮な空気が流入し、内部の可燃性気体と混合して爆発することがあるので大変危険である。一方、ガス系の消火剤は、主に、気相の燃焼反応速度を低下させることにより火災を消火する。ガスは堆積物層内への浸透性に優れているため、サイロやコンテナ等の閉鎖空間内では、有効に有炎燃焼を停止させることができる。たとえ完全消火させるのに十分な量のガス系消火剤を確保できない場合であっても、内部の可燃性ガスや蒸気を希釈し爆発危険を軽減する働きを有する。しかし、野積みされた廃棄物のような開放空間における火災の場合、ガスは散逸しやすいため消火効果を発揮するのが難しい。但し開放空間であっても、ごみピットのように上面だけが開放された区画内であれば、空気より重いガスを利用することにより、堆積物層内にガス系消火剤を浸透させることが可能である(佐宗、2008)。本研究においては、金属スクラップ積載船の船倉にこの技術を適用できる可能性がある。このように、堆積可燃物火災に対する有効な消火戦術の選択は、火災環境の開放度に依存する。

ガス系消火剤による有炎燃焼停止後に注意しなければならない点として、無炎燃焼の継続が挙げられる。無炎燃焼が継続すると、閉鎖空間内に可燃性ガスが蓄積し、開放時に新鮮な空気が流入し再出火する場合があるため、別途手段により可燃物を十分に冷却する必要がある。有炎燃焼停止後の可燃物の冷却に莫大な時間と費用を費やした事例があることに、留意すべきである。

以上をまとめると、火災環境の開放度により、閉鎖性を高めることが可能であればガス系消火剤を適用し有炎燃焼を抑制しながら水系消火剤により可燃物の冷却を図ること、閉鎖性を高めることが難しい場合はクレーンやバックホウにより未燃の堆積物を除去し防火線を形成するとともに、燃焼中の堆積物をバックホウ等で掘り起こしながら放水し可燃物表面の隅々まで水系消火剤を到達させることが、消火戦術の基本となる。

特に消火が困難な開放空間における堆積物火災の効率的な消火方法の確立を目的として、泡の延焼阻止効果を実験的に調べた(廖ら、2008)。図 3.4.5 に示すように、中央の火源クリブ(木材を井桁状に組んだ火災模型)の両側にあらかじめ水または泡をかけた延焼試験用クリブを設置し、延焼試験用クリブ内の火炎面位置の時間変化を観測した。結果を図 3.4.6 に示す。延焼速度は、何もかけないクリブ、水、泡水溶液、wet 泡、dry 泡の順に低下した。特に dry 泡をかけたクリブは、火源クリブの火勢の衰えとともに自然に鎮火し、側面の一部が焼けるのみに留まった。木材表面における泡の滞留量測定を含む一連の実験から、泡の延焼阻止効果の有効性を確認した。

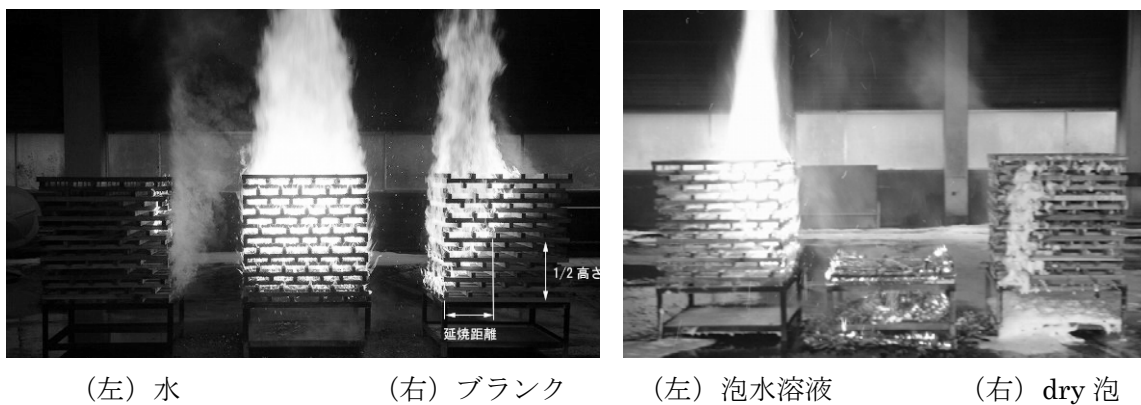


図 3.4.5 延焼阻止実験の様子

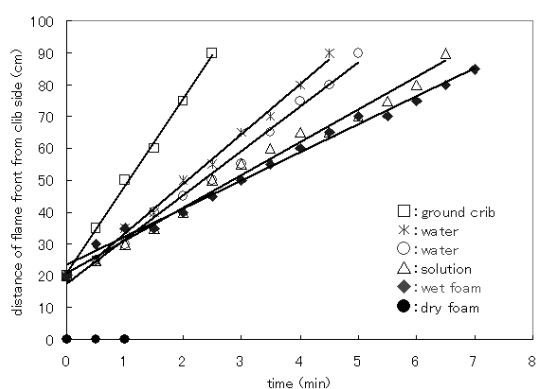


図 3.4.6 クリブ 1/2 高さにおける火炎面の進行速度（延焼速度）

港湾地域では海水の汚染が懸念されるため、泡消火剤の使用が難しいという声が消防機関から聞かれる。環境に配慮した泡消火剤を効率良く利用することにより、火災を速やかに鎮圧し有害な燃焼排出物の拡散を最小限に抑える技術の開発が望まれる。

3.5 火災防止と発生時の対応策

火災や爆発の防止に関する国内法規には消防法（及び火災予防条例）、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、火薬類取締法があり、基本的に物質の危険特性に基づいて保管や取り扱いなどを定めている。そのため、火災や爆発の物性が一様でなく、混合物でもある廃棄物や、金属スクラップは安全法規の規制対象外となることも少なくない。これらの法規の対象とならなくても、火災や爆発の危険がある物質の取り扱いでは、自主的な安全への取り組みが必要である。

例えば、廃棄物の場合は消防法で規定された判定試験によって「危険物」と判定されれば、取り扱い、輸送、貯蔵等に関して規制を受けることになる。また、市町村ごとに制定されている火災予防条例で定められた数量以上の「指定可燃物」に対しては、貯蔵取扱所の位置、構造及び設備の基準など各種技術上の基準が定められている。東京都などの火災予防条例では、1,000kg 以上の再生資源燃料が 2005 年より指定可燃物に追加されている。

しかしながら、金属スクラップがこれらの消防法上の危険物や指定可燃物にあたるとはみられておらず、加えて有価物として取引されているために廃棄物処理施設としての規制も受けていないのが現状である。

本研究を開始した 2008 年度以降は、金属スクラップ火災による人的被害は報告されておらず、輸出業者における経済的損失も少ないとされている。これまでのところ、煙や煤などによる周辺への影響も甚大なものとはなっていない。そのため、全国規模での認識や取組みが十分になされてこなかったが、より大きな被害を招く前に対処策を検討する必要がある。

本研究では昨年度に続き、ここまで検討してきた火災発生事例やその原因の調査結果から、発火や延焼を抑制し、火災防止や消火などに資するための具体的な対応策を挙げることにした。

(1) 異物の除去、電池類・トナー粉などの回収

火災防止のための最も基本的な対策として挙げられるのは、火災発生の原因となる物質が異物として金属スクラップに混入することを避けることである。

電池類は高いエネルギー密度を有し、火災爆発危険性を有している。このうち、鉛バッテリーは 2010 年 4 月の新潟港内火災をはじめいくつかの火災発生事例でも原因と考えられており、優先度が高い。港湾施設における取扱い業者数社のヒアリングによっても、搬入段階などで分別して金属スクラップに混入しないよう取り組まれていることが多いが、その徹底が難しい場合があるとみられる。

リチウム電池等使い捨て電池については、金属スクラップから除去して回収することはなかなか難しいと考えられる。とりわけ、機器に内蔵されている電池類の除去も行うべきであるが、使用者、排出者が機器を分解することは元々、困難となっており、設計・製造段階からの配慮を求める必要がある。トナー粉も製造、使用、再生処理中に時々粉じん爆発を起こしており、金属スクラップに紛れ込まない方が望ましい。その他、ガソリン、灯油等のタンク、塗料等の缶についても、油分が延焼を促進しているため、油分を十分取り除いた上で排出することが望まれる。

大阪府港湾局所管のある港湾施設においては、火災発生事例があった後、火災防止のための対応策が検討されてきた。その結果、施設を主に利用する事業者から港湾局などへ防火管理計画が提出されており、その中では発火源と考えられる異物を徹底的に排除し、鉄のみからなるスクラップしか施設内に搬入しない旨の取扱いが示されている。

(2) 保管段階での安全基準の作成

前述のように金属スクラップや大部分の電池類は、消防法ではほとんど規制がかからない。しかしながら、消防法の指定可燃物の貯蔵、取り扱いに関する基準等を参考に火災防止のための対応策を事業者に指導することも検討する必要がある。

例えば、保管の際の高さについて、火災予防条例（例）では再生資源燃料に対して 5m 以下の適切な高さとして示されており、発火や延焼を防止するためにこれを目安とするのが妥当と考えられる。このほか、山の 3 方向以上にスペースを確保するなど、火災予防と消火対策を考慮する必要がある。また、消火器、消火栓など一定の消防設備を備える必要がある。

(3) 積載方法

3.2.6 で行った落下衝撃発火実験では、鉄どうしの衝突で火花が確認された。実際の作業では、バラ積み船への金属スクラップの積載時に落下させたり、重機で敷均ししたりする作業が行われている。鉛バッテリーが残っていた場合には短絡を生じる可能性もある。これらによる発火を避けるために、できるだけ衝撃を緩和する方法が望ましい。

また、事例は多くないとみられるが、火災防止のために水を散布しながら積載されている場合があった。（陸上施設においては、保管や破砕時において、粉じん発生防止のために散水などの湿潤化を行っている場合もある。）ただし、金属と水の反応による発熱の可能性のあることから、火災防止の観点からは積載時の散水は望ましくないと考えられる。

関連して、2011 年 1 月に改正された特殊貨物船舶運送規則に定める「その他の固体ばら積み物質（金属くず）」の積載方法として、「可能な限り、貨物を乾燥した状態に保つこと」「雨中において船積みをしていないこと」と規定されたことから、現在は雨天での積載は行われていないとみられる。なお、本規則は海上人命安全条約（SOLAS 条約）に基づく固体バラ積み貨物の運送に関する IMSBC（International Maritime Solid Bulk Cargoes）コードが全てのバラ積み貨物に対して国際的に強制化されたことに伴うものであり、上記規則の内容は IMSBC コードで示された運送用件などをそのまま取り入れられたものである。この中で、同規則における「金属くず（英語名：Scrap Metal）」が本研究の対象となっている金属スクラップ（雑品）と一致するものではないが、前述の内容が求められているものである。

(4) 消火方法

堆積物を掘り起こすためのバックホウの利用が可能な状況にある火災では、堆積物を掘り起こしながら可燃物表面へ直接放水するのが、最も確実な消火方法である。船倉等のように、泡による封鎖効率が比較的高い状況下では、気水比の大きい泡による封鎖が、火勢の抑制に有効である。泡による封鎖が困難な大規模堆積物の火災で、バックホウが利用できない場合、現時点では大量放水を優先する。将来的には、泡供給方法の改善も踏まえた上で、泡消火の本格適用も検討する。

(5) 事故時の通報、連絡体制

夜間など日本語の話せない外国人船員のみが当直で、着岸中の船舶から火災が発生した場合に消防への通報に言葉の問題が生じた事例は報告されたことがある。最近では、看板や緊急連絡体制の整備を日本語・英語・中国語で整備されつつある港湾地区もある。ただし、船員や陸上施設の事業者が、火災を過小にみなして自分たちだけで消火活動を行い、消防への通報が遅れたこと

で火災の拡大を招いた事例もある。緊急連絡体制の確立によって、迅速な連絡が可能となることが望まれる。

なお、航行中の火災の場合は、海上保安庁に対する緊急の通報手段は外国船舶からであっても確立されている。

(6) 事後対応、関係当局間の情報共有など

事後対応として、出火した運搬船を直ちに出港させることなく、消防及び海上保安当局の火災原因の調査に協力させることが重要である。港湾施設内に十分なスペースがない場合は容易ではないが、できるだけ金属スクラップの焼損部分を広げた上で、原因となる物質を調査することが望ましい。

また、火災発生時に消火や原因調査にあたる消防、海上保安庁などと、輸出にあたり貨物検査にあたる税関、バーゼル法等にかかる事前相談を行う経済産業省、環境省などの関係当局が、事故原因解明や再発防止のために情報共有を行うことが期待される。

なお、泡消火剤を用いた場合の費用について、高価なために自治体では補てんが困難な場合もある。全国的な特殊火災の消火費用に対する基金などの創設を求める自治体もあり、火災防止の対策を強化するとともに、関係事業者からの拠出についても検討を要する可能性がある。

3.6 安全管理情報提供システムの構築

3.6.1 安全管理情報提供システムの概要

安全管理情報提供システムは、金属スクラップ火災の現状、発生・拡大の原因を明らかにし、金属スクラップなどの廃棄物を取り扱う事業者に加えて、行政や一般市民などに金属スクラップ火災の再発防止に役立つ情報を提供することを目的として構築した。そのために、金属スクラップの火災やその他の関連する廃棄物火災の事故事例の収集、分析を行い、事故の原因を明らかにし、教訓を導出することにより、事故の再発防止に資することを目指した。さらに、より広く利用されるために、安全に関する法規制、物質や化学プロセスの危険性情報、消火方法を含む安全管理手法など、事故事例に関連して収録した方がよいと考えられる情報の内容や、それらの情報を提供する仕組みの検討を行った。具体的なコンテンツとして、一般市民向けの Q&A コーナーの設置、事業者向けの法規制関連情報の提供、事業者や防災に関連する行政機関向けの事故情報、危険性情報の提供を考え、安全管理情報提供システムを構築した。

その結果、安全管理情報提供システムのサイトマップを以下のように定めた。

<http://staff.aist.go.jp/yuji.wada/mixmetal/>

トップページ：金属スクラップの安全管理情報提供システム

└─金属スクラップの安全管理情報提供システムについて

└─金属スクラップの基礎知識・火災事例

├─└─金属スクラップ火災 Q&A

├─└─金属スクラップ火災事例

└─廃棄物、循環資源およびリサイクルに関する事故情報・物質危険性情報 DB

├─└─リレーショナル化学災害データベース (RISCAD^{*1})

├─└─廃棄物および循環資源における安全情報システム

├─└─高エネルギー物質の爆発危険性 DB

└─関連法規

├─└─国内法 バーゼル法、廃棄物処理法、消防法

├─└─国際法など バーゼル条約、GHS^{*2}

├─└─関連情報

├─└─特定有害廃棄物等の輸出入関連情報（環境省 HP）

├─└─バーゼル法関連簡易該当判断システム（経済産業省 HP）

└─プロジェクト関連情報 H20-22 年度報告書

└─お問い合わせ

└─著作権

^{*1} : RISCAD : Relational Information System for Chemical Accidents Database、リレーショナル化学災害データベース

^{*2} : GHS : Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals、化学品の分類および表示に関する世界調和システム

3.6.2 安全管理情報提供システムの内容

(1) 安全管理情報提供システムの目的

金属スクラップの安全管理情報提供システムの目的について、対象者などを明確にするために、以下の通り安全管理情報提供システムに記載した。

・本サイトの目的

本サイトは、上記の課題のうち、金属スクラップ火災の現状、発生・拡大の原因を明らかにし、再発防止に役立つ情報を提供することを目的に上記プロジェクトの中で(独)産業技術総合研究所が構築しました。

「事故情報 DB」では、金属スクラップおよびその他の廃棄物などを扱う方々を対象に、近年の金属スクラップ火災事例の一覧を示しました。また、金属スクラップ火災の原因分析やその防止に役立つと思われる、さまざまな廃棄物火災の事例について、リレーショナル化学災害データベース（RISCAD）などのデータベースにリンクを張りました。「金属スクラップ関連事故一覧」では、いくつかの金属スクラップ火災の原因と推定される「金属と酸との反応」による事例、ならびに、金属スクラップ火災と共通点がみられる、その他の「廃棄物」による事故事例に着目して、事故事例分析を行った結果を示しました。

「関連法規 DB」では、金属スクラップを取扱い、また、輸出を考えておられる方が、金属スクラップ火災に関連した消防法や GHS の他、上記課題全般に関連したバーゼル法、廃棄物処理法、バーゼル条約をすぐに参照できるようにリンクを張りました。

(2) 金属スクラップの基礎知識・火災事例

・金属スクラップ火災 Q&A

一般市民、あるいは、金属スクラップ火災に関する情報を必要とする取扱い事業者を対象に設問を設定し、回答する形で解説を記載した。

・金属スクラップ火災事例

本事業において調査された 2005 年以降の金属スクラップ火災事例の一覧をまとめた。金属スクラップ積載船舶火災と陸上施設、コンテナ内での火災が起きている。記載項目は、発災地（港湾名など）、火災の種類（特に記載のない場合は船舶火災）、仕向地、天候、状態（保管中、荷役中、航行中など）、および、主な混在物、である。

(3) 廃棄物、循環資源およびリサイクルに関する事故情報・物質危険性情報 DB

・リレーショナル化学災害データベース（RISCAD）

金属スクラップ火災の原因分析やその防止に役立つと思われるさまざまな廃棄物火災の事例を収録している RISCAD にリンクを張った。また、利用者の利便性を考えて、あらかじめ RISCAD を「廃棄・資源化」工程で検索した結果（該当事例 301 件）の一覧表へのリンクを張った。

また、金属スクラップ火災の原因の一つとして考えられる「金属と酸との反応」やその他の廃棄物の火災、爆発事例を、(独)産業技術総合研究所が運用する RISCAD 構築の中で事故事例の分析、活用のために開発された「事故進展フロー図を用いた事故分析手法 PFA（Progress Flow Analysis）」を用いて分析した結果を一覧で掲載し、各事故進展フロー図にリンクを張った。

2000 年に神奈川県で起きた金属スクラップの廃棄時の事故事例について、PFA を実施した例を図 3.6.1 に示す。

・廃棄物および循環資源における安全情報システム

京都大学で運用している上記のシステムにリンクを張った。システムは、「事故事例データベース」、「危険物性データベース」、「危険性評価手法データベース」からなる。「事故事例データベース」では、上記 PFA でも取り上げた「清掃工場での水素ガス爆発事故」や、「三重ごみ固形燃料発電所爆発事故」などの廃棄物処理・リサイクルに関する事故事例が収録されている。

・高エネルギー物質の爆発危険性 DB

(独)産業技術総合研究所安全科学研究部門で運用している上記の DB にリンクを張った。廃棄物などに混入し、事故の原因となる高エネルギー物質（過酸化物など）の熱分析データ、各種感度試験データなどが収録されている。

(4) 廃棄物処理施設における関連事故事例の分析

本事業において調査された 2005 年以降の金属スクラップ火災事例に関しては、事故分析手法 PFA を適用するために必要な時系列の事故の経過に関する情報が十分に得られなかったため、関連する廃棄物や金属と酸との反応などの事故事例に事故分析手法 PFA を適用して、原因分析と教訓や再発防止策の抽出を行った。金属スクラップ火災そのものではなくても、関連する事故事例の経過から抽出される原因、対応策や教訓は、金属スクラップ火災の防止や安全対策に十分役立つものと考えられる。

特定非営利活動法人災害情報センター（ADIC）からは、「廃棄物」および「硫酸」、「硝酸」に関連する事故事例（廃棄物：58 件、硫酸、硝酸：136 件）の各種情報（廃棄物：1307 件、硫酸、硝酸：289 件）を入手し、これらの情報を精査して、事故事例分析に耐える詳細な情報のある事故事例（廃棄物：7 件、硫酸、硝酸：2 件）を選択して分析を行った。硫酸は鉛蓄電池の電解液であり、廃棄物中の金属と硫酸との反応による水素の発生、着火、火災の類似事故事例を、硝酸はさらに範囲を広げて、金属と酸との反応による水素の発生が関連する事故事例を想定した。英国環境省（Environment Agency; EA）、米国化学事故調査委員会（US. Chemical Safety and Hazard Investigation Board; CSB）からは、廃棄物処理施設の事故事例（EA：1 件、CSB：4 件）を選択し、分析を行った。分析対象とした事例の一覧を表 3.6.1 に示す。また、2000 年に神奈川県で起きた金属スクラップの廃棄時の事故事例について、PFA を実施した例を図 3.6.1 に示す。

各事例を分析し、得られた教訓を整理し、次のような知見を得た。

各事例から最も多く導出された教訓は、排出者と受入者（処理事業者）との情報共有に関する問題で、これは金属スクラップに対する着火源や燃料となる物質、あるいは、各種の規制対象物質の混入にも通じる問題である。次に多いのは、事業者による安全管理の問題で、貯蔵時の安全ばかりに気を取られていると荷役作業時に事故が起こる、といったことに通じる問題である。化学物質の危険性に関しては、「金属は水素の発生源」や、「燃えにくいものでも燃える」といった教訓は、金属スクラップにも当てはまる。

表 3.6.1 廃棄物処理施設における関連事故の分析対象事例一覧

番号	年	月	日	時刻	事例タイトル	出典
金属スクラップ事例						
1	2000	8	30	13:55	神奈川県横須賀市 鉄くず裁断機で砲弾が爆発	ADIC
金属と酸との反応の事例						
2	1989	9	12	03:56	東京都墨田区 化粧品容器製造工場でアルミニウム粉廃液から水素発生	ADIC
その他の事例						
3	1987	7	10		滋賀県甲賀郡石部町 産業廃棄物焼却処理工場の油泥回収ピットで火災	ADIC
4	1995	7	6	09:59	神奈川県伊勢原市 一般廃棄物処理施設の焼却炉でアルミニウムと水が反応して爆発	ADIC
5	1996	6	11	14:58	神奈川県川崎市 廃アルカリ受入槽でアルミニウムが反応して廃液が流出	ADIC
6	1998	11	9	21:59	福岡県築上郡吉富町 廃液タンクで過酸化化物による爆発	ADIC
7	1999	1	2	18:30頃	栃木県佐野市 野積みタイヤの火災	ADIC
8	2001	7	17	13:30	USA・デラウェア州 廃酸タンクで可燃性ガスによる爆発	CSB
9	2002	5	7	16:15	東京都大田区 廃棄物処理場火災の異常燃焼で消防士死亡	ADIC
10	2003	11	5	05:10	神奈川県大和市 スーパーの生ごみ処理施設で爆発	ADIC
11	2004	3	3		UK・クリーブランド 廃棄物処理施設でリチウム・銅製品のドラム缶火災	EA
12	2003	1	13	16:30	USA・テキサス州 廃棄物処理施設で荷下ろし中に可燃性蒸気が爆発	CSB
13	2003	2	7	09:30	USA・ロードアイランド州 排気ダクト内で反応性物質が生成し清掃中に爆発	CSB
14	2006	10	5	21:00	USA・ノースカロライナ州 廃棄物処理施設で酸素発生器による火災	CSB

事故概要	発生日時（曜日）発生場所
2000年8月30日（水）13:55頃、神奈川県横須賀市 工業団地内にあるスクラップ業者の鉄くず処理工場で、鉄くずの切断中に裁断機付近で爆発が起き、火災が起きた。工場は爆風で鉄骨の骨組みだけを残して全壊し、火災により約700平方mが全焼した。工場の屋根や鉄くずが半径約700mに飛散し、家屋や車両への被害は221件に及んだ。裁断工程を担当していた作業員1名が腕などに重傷を負った。原因は、旧日本海軍の爆薬を含んだ鉄くずを切断したためと推定された。	
背景	
・事故後の調査で草むらや当該工場のスクラップ置き場の鉄くずの山から見つかった長さ約70cm、直径約40cm、重さ約100kgの円筒形の金属塊は、海上自衛隊の調べにより、旧日本海軍の対潜水艦兵器の爆雷であることが確認された。爆雷：潜水艦攻撃用の爆弾。水中に投下または発射され、一定深度に達すると爆発する。 ・爆雷の搬出元とされた県立老人ホーム建て替え予定地は、戦争中には旧日本海軍の対潜学校実習所があり、1955年に市に売却され、1971年に県に転売された。 ・同工業団地内の発災現場から約100メートル離れた場所で、原子力発電所用の二酸化ウランを原料とする核燃料加工工場が稼働中であったが、事務所棟の窓ガラスが約30枚割れた程度で工場に被害はなかった。 ・当該工場は、5年前にも大砲の砲身を裁断中に爆発事故を起こしている。	

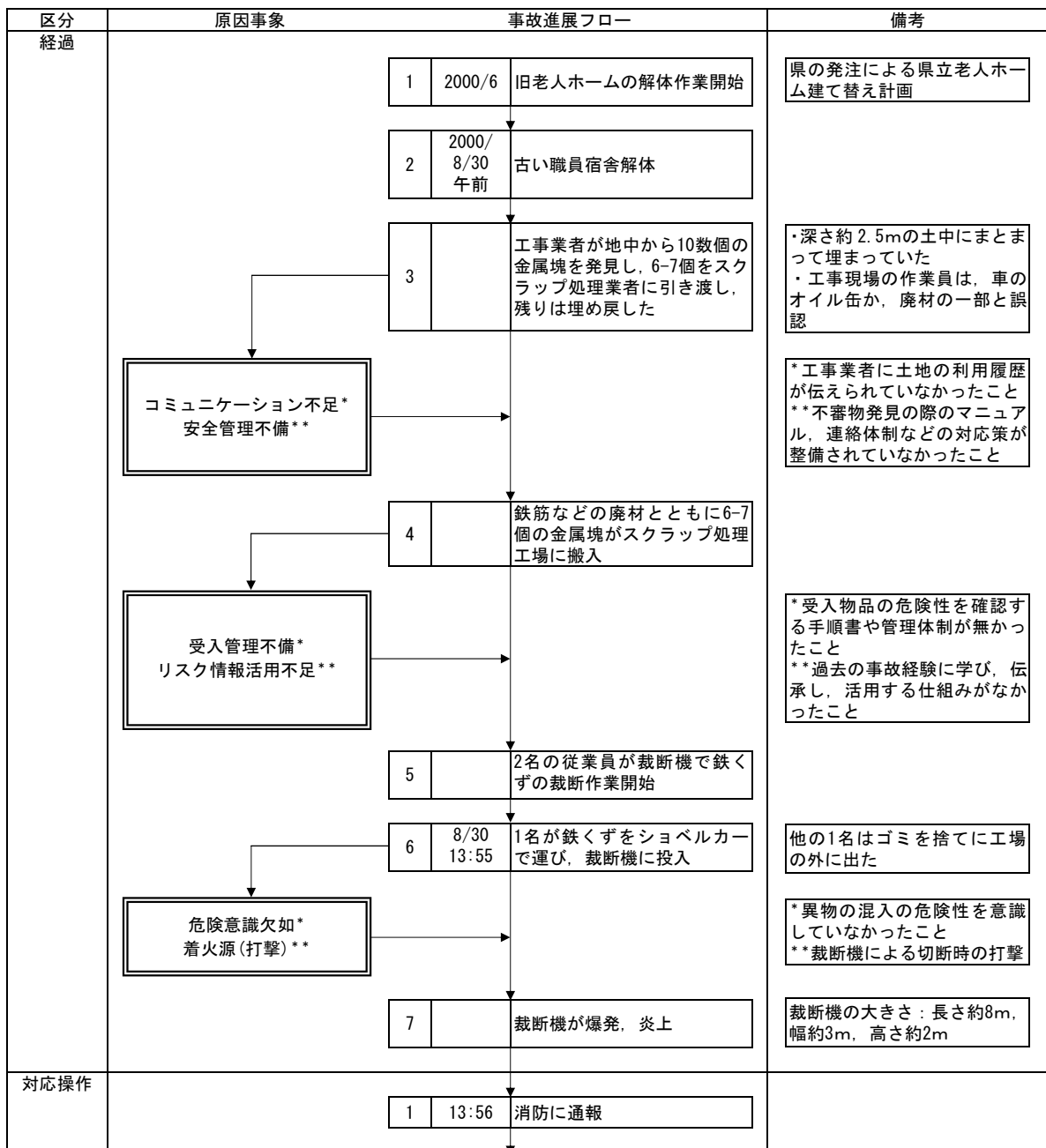


図 3.6.1-1 事故進展フロー図（例）

	<table><tr><td>2</td><td></td><td>重傷者を重機から救出し、病院へ搬送</td></tr><tr><td>3</td><td>15:44</td><td>鎮火</td></tr><tr><td>4</td><td>8/31</td><td>市消防本部が原因調査および現場付近半径600メートルの被害状況を調査</td></tr><tr><td>5</td><td></td><td>同様の金属塊を約120m離れた空き地で発見</td></tr><tr><td>6</td><td>9/1-4</td><td>金属塊は工場内と草むらでさらに1個、鉄くず置き場から4個発見</td></tr><tr><td>7</td><td>9/5</td><td>調査で金属塊の搬出元の解明および埋め戻しが発覚</td></tr><tr><td>8</td><td></td><td>安全が確認されるまで工事の全面中止を決定</td></tr></table>	2		重傷者を重機から救出し、病院へ搬送	3	15:44	鎮火	4	8/31	市消防本部が原因調査および現場付近半径600メートルの被害状況を調査	5		同様の金属塊を約120m離れた空き地で発見	6	9/1-4	金属塊は工場内と草むらでさらに1個、鉄くず置き場から4個発見	7	9/5	調査で金属塊の搬出元の解明および埋め戻しが発覚	8		安全が確認されるまで工事の全面中止を決定	<table><tr><td>重傷1名</td></tr><tr><td>爆発した1個を加え、計7個が搬入された</td></tr><tr><td>金属塊が爆雷であることを確認</td></tr></table>	重傷1名	爆発した1個を加え、計7個が搬入された	金属塊が爆雷であることを確認
2		重傷者を重機から救出し、病院へ搬送																								
3	15:44	鎮火																								
4	8/31	市消防本部が原因調査および現場付近半径600メートルの被害状況を調査																								
5		同様の金属塊を約120m離れた空き地で発見																								
6	9/1-4	金属塊は工場内と草むらでさらに1個、鉄くず置き場から4個発見																								
7	9/5	調査で金属塊の搬出元の解明および埋め戻しが発覚																								
8		安全が確認されるまで工事の全面中止を決定																								
重傷1名																										
爆発した1個を加え、計7個が搬入された																										
金属塊が爆雷であることを確認																										
恒久的 対応策	<table><tr><td>1</td><td>行政責任</td><td>行政機関の安全未確認の根本原因を探り、不備を是正する。</td></tr><tr><td>2</td><td>情報伝達</td><td>掘削を伴う工事では土地利用履歴を情報として伝達する。</td></tr><tr><td>3</td><td>受入管理</td><td>廃棄物発生元、委託者、最終処理業者が書面にて受入物品の危険性、非危険性の相互確認をする仕組みを構築する。</td></tr><tr><td>4</td><td>連絡体制</td><td>不具合が発生した際に即時に管理者に報告をするルールの整備</td></tr><tr><td>5</td><td>安全教育</td><td>不審物を見たら危険かもしれないという危険意識を身につけるような教育を行う。</td></tr></table>	1	行政責任	行政機関の安全未確認の根本原因を探り、不備を是正する。	2	情報伝達	掘削を伴う工事では土地利用履歴を情報として伝達する。	3	受入管理	廃棄物発生元、委託者、最終処理業者が書面にて受入物品の危険性、非危険性の相互確認をする仕組みを構築する。	4	連絡体制	不具合が発生した際に即時に管理者に報告をするルールの整備	5	安全教育	不審物を見たら危険かもしれないという危険意識を身につけるような教育を行う。	<table><tr><td>RISCAD提案</td></tr><tr><td>RISCAD提案</td></tr><tr><td>RISCAD提案</td></tr><tr><td>RISCAD提案</td></tr><tr><td>RISCAD提案</td></tr></table>	RISCAD提案	RISCAD提案	RISCAD提案	RISCAD提案	RISCAD提案				
1	行政責任	行政機関の安全未確認の根本原因を探り、不備を是正する。																								
2	情報伝達	掘削を伴う工事では土地利用履歴を情報として伝達する。																								
3	受入管理	廃棄物発生元、委託者、最終処理業者が書面にて受入物品の危険性、非危険性の相互確認をする仕組みを構築する。																								
4	連絡体制	不具合が発生した際に即時に管理者に報告をするルールの整備																								
5	安全教育	不審物を見たら危険かもしれないという危険意識を身につけるような教育を行う。																								
RISCAD提案																										
RISCAD提案																										
RISCAD提案																										
RISCAD提案																										
RISCAD提案																										
教訓	<table><tr><td> ・ 廃棄物の安全は情報共有から：廃棄物処理では取り扱う物品が多岐にわたるので、受け入れ時に有害危険性、特に、危険物品の混入を把握し、処理業者と収集運搬業者が危険性情報を共有することが大切である。 ・ いつもと違うは事故の前兆：廃棄物にはいろいろなものが混入する可能性がある。いつもと違うと感じたら、危険かもしれないという意識を持てるように教育、訓練することが必要である。 ・ 話すことは最も簡単な問題解決方法である：コミュニケーションを密に取ることは安全のために重要である。連絡体制を管理面から構築すること、および、個人レベルで判断せずに報告、連絡、相談をするように教育することが重要である。 </td></tr></table>		・ 廃棄物の安全は情報共有から：廃棄物処理では取り扱う物品が多岐にわたるので、受け入れ時に有害危険性、特に、危険物品の混入を把握し、処理業者と収集運搬業者が危険性情報を共有することが大切である。 ・ いつもと違うは事故の前兆：廃棄物にはいろいろなものが混入する可能性がある。いつもと違うと感じたら、危険かもしれないという意識を持てるように教育、訓練することが必要である。 ・ 話すことは最も簡単な問題解決方法である：コミュニケーションを密に取ることは安全のために重要である。連絡体制を管理面から構築すること、および、個人レベルで判断せずに報告、連絡、相談をするように教育することが重要である。																							
・ 廃棄物の安全は情報共有から：廃棄物処理では取り扱う物品が多岐にわたるので、受け入れ時に有害危険性、特に、危険物品の混入を把握し、処理業者と収集運搬業者が危険性情報を共有することが大切である。 ・ いつもと違うは事故の前兆：廃棄物にはいろいろなものが混入する可能性がある。いつもと違うと感じたら、危険かもしれないという意識を持てるように教育、訓練することが必要である。 ・ 話すことは最も簡単な問題解決方法である：コミュニケーションを密に取ることは安全のために重要である。連絡体制を管理面から構築すること、および、個人レベルで判断せずに報告、連絡、相談をするように教育することが重要である。																										

図 3.6.1-2 事故進展フロー図（例：続き）

第3章 文献

- 内田早月, 田中誠, 駒田則光, 駒井武: アルミ合金の摩擦火花によるメタンガス着火性、表面処理による着火抑制効果. 資源・素材学会誌, 108 (9), 650-652 (1992)
- 尾川義雄: 廃棄物処理施設等における火災に関する文献紹介. 消防研究所報告 第 96 号, 109-113 (2003)
- 海上保安庁: 平成 20 年海難の現況と対策について (2009)
- 化学大辞典 (1977)
- 佐宗祐子: 廃棄物施設の防火・消火技術の開発. 環境技術会誌 第 132 号, 62-66 (2008)
- 消防研究所長: 横浜市安全管理局長あて回答 (2006)
- (財)総合安全工学研究所, 事故原因調査報告書, 平成 20 年 5 月, 2008
- 橋本治, 山寺昭夫, 阿部薫, 古積博: 廃棄物処理施設の安全管理と防災計画、一廃棄リチウム電池とエアゾール缶の安全対策－. 都市清掃 61 巻 283 号, 227-234 (2008)
- 松本学: ラジコン用バッテリー (リチウムポリマー電池) の出火危険について, 愛知県火災原因調査報告会 (2011)
- 山本忠昭, 柏原隆志: リチウムポリマー電池から出火した火災の調査活動. 消研輯報, 63, 168-173 (2010)
- 廖赤虹, 平岡理弘, 松下修, 坂本直久, 佐宗祐子, 内藤浩由: 泡による火災の延焼阻止効果に関する検討. 平成 20 年度日本火災学会研究発表会 (2008.5, 神戸) 同概要集, 150-151
- Alan Brown: Transport of scrap metal, IGUS-EOS meeting, Stockholm, Sweden (May 2008)
- A. Knorr, H. Koseki, X.R. Li, M. Tamura, K. D. Wehrstedt, M. W. Whitmore: A closed pressure vessel test (CPVT) screen for explosive properties of energetic compounds. J. of Loss Prevention in the Process Industries, 20, 1-6 (2007)
- Koseki H., Iwata Y., Nishimura K.: Recent toner cartridge incidents at recycling facilities in Japan and its hazard of dust explosion. Loss Prevention Bulletin, 213, 12-14 (2010)
- Woo-sub Lim, Xin-Rui Li, Xin-Long Wang, Hiroshi Koseki, Osamu Hashimoto: Thermal reactivity of primary lithium coin-cell batteries. J. of Science Technology Energetic Materials, 68, 120-123 (2007)
- M. Wakakura, T. Uchida, Y. Shimizu, H. Koseki: Hazard evaluation of fires and explosions occurred at waste treatment area in Japan. 3rd NRIFD Symposium, 291-299 (March 2004)
- JIS K 4810-1979, 火薬類性能試験方法
- http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h18fy/180901-3_src/180901-3_4.pdf