

平成 25 年度
環境研究総合推進費補助金 研究事業
総合研究報告書

有害危険な製品・部材の安全で効果的な
回収・リサイクルシステムの構築
(3K113011)

平成 26 年 3 月

(独)国立環境研究所 寺園 淳

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 23 年度～平成 25 年度）

所管 環境省

国庫補助金 45,058,000 円（平成 23 年度～平成 25 年度の総計）

研究課題名 有害危険な製品・部材の安全で効果的な回収・リサイクルシステムの構築

研究期間 平成 23 年 4 月 1 日～平成 26 年 3 月 31 日

研究代表者名 寺園 淳（(独)国立環境研究所）

研究分担者 吉田 綾（(独)国立環境研究所）
中島謙一（ 同上 ）
肴倉宏史（ 同上 ）
小口正弘（ 同上 ）
岩田雄策（消防研究センター）

研究協力者 古積 博（消防研究センター）
金 小瑛（京都大学大学院）

目次

総合研究報告書概要	1
本文	
1. 研究背景と目的	7
1.1 研究背景	7
1.2 研究目的	7
2. 研究方法	8
2.1 事故事例の調査解析	8
2.2 危険性評価試験	8
2.3 国内における使用済み電気電子機器と電池類の分別・処理状況	9
2.4 処理施設における物質の挙動・取扱い	9
2.5 安全で効果的な回収・リサイクルシステム	10
3. 事故事例の調査解析	11
3.1 火災事故・環境汚染事例の収集	11
3.2 金属スクラップ火災事例の調査	11
3.3 廃棄物処理施設の火災事故事例	15
3.4 電池類に関連する火災事例	18
4. 危険性評価試験	19
4.1 リチウムイオン電池等の圧力容器試験器を用いた危険性評価試験（平成24年度）	19
4.2 リチウムイオン電池等の圧力容器試験器を用いた危険性評価試験（平成25年度）	21
4.3 リチウムイオン電池等の落つい感度試験を用いた危険性評価試験	24
4.4 トナーの粉じん爆発に関する危険性評価試験	24
4.5 東日本大震災後に発生したがれき火災の調査と蓄熱発火に関する危険性評価試験	28
5. 国内における使用済み電気電子機器と電池類の分別・処理状況	48
5.1 自治体における使用済み電気電子機器の分別・処理状況の調査推計	48
5.2 自治体における電池類の分別方法の詳細調査	58
5.3 自治体における使用済みの電池類と電気電子機器の分別排出状況の詳細調査	61
5.4 事業者における電気電子機器の保有および使用済み排出実態	81
6. 処理施設における物質の挙動・取扱い	88
6.1 自治体の破碎施設における金属挙動	88
6.2 自治体の熱処理プロセスにおける金属挙動	97
7. 安全で効果的な回収・リサイクルシステム	100
7.1 電池類（小型二次電池）	100
7.2 トナー	103
7.3 海外のリサイクルシステム（電池類を中心に）	104
7.4 国内の回収・リサイクルに向けた検討	108
8. 結論	110
9. 謝辞	113
10. 参考文献	114

1 1. 研究発表	115
論文発表	
学会等発表	
1 2. 知的財産権の取得状況	116
研究概要図	117
英文概要	118

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

研究課題名：有害危険な製品・部材の安全で効果的な回収・リサイクルシステムの構築

研究番号：3K113011

国庫補助金清算所要額：45,058,000 円（平成 23 年度～平成 25 年度の総計）

研究期間：平成 23 年 4 月 1 日～平成 26 年 3 月 31 日

研究代表者名：寺園 淳（(独)国立環境研究所）

研究分担者：吉田 綾（(独)国立環境研究所）、中島謙一（同上）、肴倉宏史（同上）、小口正弘（同上）、岩田雄策（消防研究センター）

研究協力者：古積 博（消防研究センター）

研究目的

自治体や民間の処理施設や輸出現場などで有害危険な製品・部材が不適切な取扱いを受けることによって、金属スクラップの火災を含む事故や、重金属などによる環境汚染を生じる事例がこれまで報告されてきた。具体的には、主として電気電子機器に含有される電池類・トナーや水銀を含有する健康機器をはじめとして、十分な回収・リサイクルシステムがないために上記の事故や環境汚染が懸念されてきた事例に注目する。本研究では、家庭や事業所から廃棄される有害危険な製品・部材を抽出し、火災事故や環境汚染に至る原因や現在のフロー・処理過程を把握するとともに、代替策として安全面や資源回収の観点からも望ましい回収・リサイクルシステムの構築を目的とする。以上より、処理段階での事故リスクを減少させるとともに、消費者の分別意識や資源回収効率が向上し、製品設計への提言も適切になされるリサイクルシステムの構築を目指す。

研究方法

1) 火災事故・環境汚染事例の収集・解析、有害危険な製品・部材の抽出、危険性評価試験

自治体・民間の処理施設や輸出現場などにおける火災・爆発事故や環境汚染について、先行して構築した研究実績・関連データベースの活用とヒアリング調査によって、事例を収集し、関連品目、原因、被害状況などを解析した。被害の大きさや既存の回収・処理システムの整備状況を勘案して、主として電気電子機器に含有される有害危険な製品や部品を抽出した。金属スクラップや廃棄物に関連した火災が発生した際には、情報収集と原因究明に努めた。

処理施設における火災・爆発事故などの危険性を評価するために、電池類とトナーを取り上げて、想定される各種処理・取扱い状況を模擬した危険性評価試験を行った。事故の原因究明と火災回避条件の検討を行って、事故防止対策を提示した。

東日本大震災後に発生したがれき火災にも対応して、現地調査と原因究明実験を行うとともに、震災廃棄物を含む RPF 固形燃料に関して、蓄熱発火に伴う火災の危険性を評価した。

2) 有害危険な製品・部材の国内フローの調査

有害危険な製品・部材として、主に使用済みの電池類と電気電子機器を取り上げ、国内フローの調査を行った。まず、一般廃棄物としての WEEE の排出・処理実態の整理と自治体ごみ処理における WEEE の

収集・処理および含有部品・金属元素の物質フローの概略を推定した。また、すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを知るために、東京都23区における分別方法を調査した。さらに、自治体における多様な排出経路における使用済みの電池類と電気電子機器の詳細調査を実施し、消費者（一般家庭）から排出される有害危険な使用済み製品の分別排出にかかる基礎情報と課題を把握した。

加えて、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出実態を把握するためのアンケート調査を行い、保有・排出状況、廃棄依頼先と選定理由などを把握した。これによって、使用済み電気電子機器の国内フロー把握に資する基礎情報とした。

処理施設における物質の挙動・取扱いとして、自治体の施設において使用済み電気電子製品を含む粗大・不燃ごみの破碎選別処理における産物の素材・部品組成および金属含有量を調査し、粗大・不燃ごみの組成や処理における素材・部品や各種金属元素の分配挙動を推定した。また、熱処理プロセスにおける金属の分配挙動についても熱力学解析を行った。

3) 安全・効果的な回収・リサイクルシステムの構築

電気電子機器に利用される電池類を取り上げ、国内と海外における回収・リサイクルシステムを調査した。トナーについても、民間における処理施設での管理方法と通知などの関連規制を調査した。使用済みの電池類、電気電子機器に関する危険性評価試験や分別・処理状況の調査結果をもとに、有害危険な製品・部材の回収・リサイクルのための改善策を短期的目標と中長期的目標に分けて検討した。

結果と考察

自治体・民間の処理施設や輸出現場などにおける火災・爆発事故や環境汚染について、先行して構築した研究実績・関連データベースの活用とヒアリング調査によって、事例を収集した。バッテリーやリチウムイオン電池の火災事例、ならびにトナー粉は粉じん爆発の事例が確認されたほか、保守点検不十分なバッテリー（無停電電源装置、UPS）の火災が指摘された。

金属スクラップ火災について、港湾・船舶での事例しか件数が把握できないものの、2012年の発生が顕著に増えていた。金属スクラップの輸出先はすべて中国であり、スクラップの内容はモーター・エンジン・配電盤・ケーブルなどの工業系雑品の場合が多いが、家電も多く含まれる場合もある。金属スクラップ火災の特徴として、これまでほとんどのケースで人災がなく、直接的な経済影響もみられなかったが、最近では交通への影響や停電など既に多数の影響・リスクが顕在化しつつある。火災原因については、大規模火災であるほど原因の調査が困難であり、通常は不明で終わることが多い。

電池類の中では、火災予防の観点から、角形積層乾電池、リチウム電池、リチウムイオン電池は注意が必要な対象とみられ、回収・処理における対策を検討するのが望ましいと考えられる。

廃棄物の火災危険性を大きく分けて次の3つの物品について調べ、火災予防に役立つ知見を得た。

まず、リチウムイオン電池およびリチウム電池については、小型・軽量の電池で携帯電話、ノートパソコン等に広く使用されているが、加熱しながら温度と圧力を同時に測定できる密閉式圧力容器試験器を試作し、それらの危険性を調べた。その結果、リチウムイオン電池およびリチウム電池は加熱されると熱暴走を起し、分解ガスを放出して火災拡大につながる危険性が高いことがわかった。リチウムイオン電池が熱暴走を起す原因として、充電されたリチウムイオン電池中には反応性の高い物質が生成していてそれが外部加熱によって激しく分解することが明らかとなった。また、リチウム電池は外部加熱によって激しく分解することが観察された。両者とも火災の延焼を促進させる危険性があるため、可燃物と隔離した状態に分別して保管することが火災予防上重要であるといえる。両者とも衝撃による破壊によって、電池の表面温度が120℃程度まで上昇することが観察された。周囲の環境や破壊される電池の個数によっては、火災原因物質となる可能性が考えられるため、電池に強い衝撃を与えないことが火災予防上大切であることがわかった。

次に、トナーの回収処理中に粉じん爆発が起きていることから、粉じん爆発の防止を目的のために雰囲気中の酸素（酸素）濃度を下げた場合の粉じん爆発の激しさの低下、最小着火エネルギーの増大への効果を調べた。トナー粒子は、年々、微小化し、現在では、直径8μm程度のものが多くなっている。トナー粉は酸素濃度の減少と共に必要な放電エネルギーは大きくなり、酸素濃度16%以下では、最小エネルギーは1,000mJを超えた。作業員の立ち入らない箇所の酸素濃度を下げるといった工夫である程度爆発

を防ぐことができる。

東日本大震災で発生した震災がれきの火災防止のために、現地調査に加えて、主に微生物の活動に伴って生じる発熱や、それに伴って生じるガスに焦点を当て測定を行った。熱分析と発生ガスの分析結果より、条件（適度な水分の存在・断熱状態・熱容量・空気流入量等）がそろえば、室温付近の貯蔵や堆積であっても、微生物の活動によって生じた熱が引き金となり火災に至る可能性があることがわかった。また、宮城県で製造された震災廃棄物を含む RPF 固形燃料に関して、蓄熱発火に伴う火災の危険性を評価した。震災がれきや RPF の火災予防対策として、発酵しないように水が混入しないことや大量に堆積させないことが重要である。また、密閉空間で貯蔵する場合には試料によっては可燃性ガスや二酸化炭素を発生する場合もあるので、換気にも配慮すべきである。

一般廃棄物としての使用済み電気電子製品の排出実態調査結果、全国自治体を対象に実施した使用済み電気電子機器の収集・処理実態のアンケート調査結果を用いて、一般廃棄物処理における使用済み電気電子製品およびそれらに含まれる部品や金属類の収集・処理フローの概略を推定した。

自治体の分別状況調査の結果、年間 1 人あたり約 2kg の使用済み電気電子製品が一般廃棄物として排出されていると推計された。この量は家庭からの電気電子製品の推計使用済み量(年間 1 人あたり約 5kg)の約 4 割に相当し、残りの約 6 割は小売店や不用品回収業者など自治体以外のルートで回収されていると考えられた。自治体へ排出される使用済み電気電子製品の収集方法は全体の 85%が粗大・不燃ごみ、収集後の処理方法は破碎が全体の 8 割、直接焼却と直接埋立がそれぞれ全体の 5%前後と推計された。排出時に電池類が取り外されていない製品について、収集後に清掃センター等で取り外しを行っている自治体もあるものの、収集量全体の半分以上が取り外されずにそのまま処理されていると推計され、排出時の電池類取り外しの徹底に課題があると考えられた。

すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを知るために、東京都 23 区における分別方法を詳細に調査した。その結果、水銀の含有状況で異なる区が一部あるものの、乾電池は拠点回収か不燃ごみで収集されていた。ボタン電池と小型二次電池は店頭回収とされていたが、コイン型などのリチウム電池や自転車用バッテリーについては明確でなかった。多様な電池の種類に対するわかりやすい分別排出の方法が求められる。

消費者（一般家庭）から排出される有害危険な使用済み製品の分別排出にかかる基礎情報と課題を把握することを目的として、東京都における多様な排出経路について詳細調査を実施した。電池類の有害物質として、水銀非含有表示のマンガン電池、アルカリ電池は 9 割以上と多いが、6～10%程度はまだ水銀が含有されている可能性のある乾電池が排出されている。鉛についても、現在排出されている多くのマンガン電池には鉛が含有されていると考えられた。排出されている筒型アルカリ電池はまだ使用推奨期限を迎えていないものが大半であったが、逆に筒型マンガン電池と角形積層乾電池は 1990 年代を含め古い電池の排出が多い。乾電池回収拠点や不燃ごみなどの排出経路に対する、所定の対象外の電池類や異物の混入について、乾電池の重量が大きいためそれらの重量比は小さいが、混入禁止の表示や、近い場所で一次電池、二次電池とボタン電池の回収ボックスの整備なども進める必要があると思われる。粗大ごみにおいても、電動アシスト自転車の二次電池や無停電電源装置由来ともみられる鉛蓄電池などが排出されていたため、今後のさらなる普及に伴った回収システムの構築が必要である。絶縁実施率は乾電池で 2%（乾電池拠点回収に混入された二次電池で 3.1%）と低かったために、絶縁実施の周知や回収場所でのテープ設置などが必要である。

事業者からの排出実態については不明な点が多く、不適正なルートへ流れたりする状況や要因などが十分把握できていないことから、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出実態に関する調査を行った。保有状況を見ると、OA 機器ではパソコン、パソコン用ディスプレイ（液晶式）、コピー機（複写機）・複合機が 90%程度と高いことに加えて、無停電電源装置（UPS）も保有している事業所が 46%に上っている。その他の機器として、事業所であっても家庭用機器の保有率は高く、家庭用冷蔵庫・冷凍庫で 94%となっている。排出先では、コピー機、ファクシミリはリース会社が多く、リース分はリース会社に引き渡されている傾向が見える。その他では全体的に産業廃棄物収集・処理業者の割合が高い傾向にある。また、不用品回収業者という回答も多くの品目で 5%前後存在する。乾電池と小型二次電池は自治体も 3 割程度あった。電池類の分別や自主回収制度は十分周知されていないことが伺えた。

処理施設における物質の挙動・取扱いとして、自治体の破碎施設における金属挙動については、破碎選別処理における産物の組成と物質収支から投入物の組成を推定すると、調査対象とした粗大・不燃ごみは重量で電子基板や電池類をそれぞれ1%弱含んでいたと考えられた。特に電池類について同施設では処理前に人手による取り外しを行っているものの、電池類を破碎選別処理の対象物から完全に除くことは難しい現状が明らかになった。また、粗大・不燃ごみを構成する素材・部品の破碎選別処理における分配率を推定したところ、全体的に使用済み電気電子製品のみでの処理における過去の調査結果と同様の傾向を示した。電子基板は約40%が可燃残渣へ分配して焼却へ回っていると、約50%は不燃残渣へ分配して最終処分されていると推定された。また、今回の調査では電池類はほとんどが不燃残渣へ分配しており、破碎選別処理へ混入した場合には多くがそのまま最終処分へ向かうと考えられた。

一般廃棄物の熱処理（焼却および溶融）プロセスにおける投入物中の各元素の生成物への分配挙動について、熱力学解析により溶融プロセスのメタル相における金属の分配挙動解析を行った。解析の結果、溶融メタルは、Fe-rich相とCu-rich相の二相分離を起こしており、貴金属(Au,Ag,Pd)はCu-rich相に強い分配傾向を持ち、Ni,Cr,Si等はFe-rich相への強い分配傾向を有することが明らかとなった。これらの結果より、Cu-rich相を選択的に分離することにより、貴金属含有銅原料として高付加価値化の可能性が明らかとなった。

使用済み電気電子機器における取扱いを含めて、電池類を中心とした海外のリサイクルシステムについてレビューを行った。EUのWEEE指令では、廃棄された機器を回収後、電池を事前分別し、電池は電池指令に則って処理する必要がある。欧米、台湾、韓国では、日本よりも対象の広い電池類を電池メーカーなどの経済的な負担でリサイクルされていることを把握した。2013年4月から小型電気電子機器リサイクル法が施行されたが、回収や処理・リサイクルの段階における火災・爆発などの事故防止といった安全対策もあわせて考えるべきであることを指摘した。さらに、管理されたルート（システム）での対策強化とあわせて、金属スクラップなど管理されていない不適正なルートへの混入防止を兼ねた回収率の向上も見据えるべきである。

主に電池類を想定した回収・リサイクルにおける短期的課題と中長期的課題を、回収率向上、資源回収、有害物質管理、安全対策の目的別にまとめた。本研究における電池類などの調査結果を踏まえて、短期的課題として、有害危険な製品・部材に対する周知徹底、家庭・事業者に対する絶縁の協力依頼強化、前処理時の危険性への注意喚起、処理施設における火災防止対策（湿潤化、防火設備など）などを指摘した。中長期的課題として、家庭・事業者が排出しやすい回収システムの構築、小型電気電子機器リサイクル制度などでの電池類取外しなどの主体と手順検討、有害危険な部材（電池類など）の取外しが可能な製品設計、有害危険な取外しが困難な製品のメーカー・店舗による回収などを指摘した。

環境政策への貢献

金属スクラップ火災が港湾・船舶、および陸上で年間10件程度以上発生しているが、その多くは原因不明のまま終わっている。関係機関とも連携して情報共有に寄与するとともに、現場と実験から得られる火災メカニズムと予防方法の助言を行っている。危険性評価試験の結果からは、リチウムイオン電池、リチウム電池、トナー粉に対する火災発生条件と防止対策を示した。また、東日本大震災の仮置場で発生する火災に対して、微生物による原因を明らかにすることで、火災発生防止対策につなげた。

国内における使用済み電気電子機器や電池類の排出・分別処理状況と処理プロセスを明らかにすることによって、それらに含まれる有害性・資源性物質の挙動と、その適正管理のための方策を示すことができた。環境省に対しては金属スクラップへの家電混入の実態や小型家電リサイクルに伴う電池類などの混入状況を提示することで、家電、小型家電のリサイクルにおける回収率向上や安全面などの配慮にも貢献している。

研究成果の実現可能性

主に電池類を想定した回収・リサイクルにおける課題として、実現可能性が高いものは7章に短期的課題として挙げている。すなわち、有害危険な製品・部材に対する周知徹底、家庭・事業者に対する絶縁の協力依頼強化、前処理時の危険性への注意喚起、処理施設における火災防止対策（湿潤化、防火設備など）、JBRCなどの既存回収システムの周知、パーゼル法などの運用強化（同法該当品リストの構築を含む）などを指摘した。中長期的課題として、家庭・事業者が排出しやすい回収システムの構築、小

型電気電子機器リサイクル制度などでの電池類取外しなどの主体と手順検討、有害危険な部材（電池類など）の取外しが可能な製品設計、有害危険な取外しが困難な製品のメーカー・店舗による回収などを指摘した。経済的インセンティブ、回収システムにおける有害物質管理フレームなどについては、具体的な改善内容を詰めた上で、経済性や社会的受容性もあわせてさらに検討が必要である。

結論

自治体・民間の処理施設や輸出現場などにおける火災・爆発事故や環境汚染について、事例を収集した。バッテリーやリチウムイオン電池の火災事例、ならびにトナー粉は粉じん爆発の事例が確認されたほか、保守点検不十分なバッテリーの火災が指摘された。金属スクラップ火災について、2012年度の発生が顕著に増えていた。金属スクラップの内容は工業系雑品の場合が多いが、家電が多く含まれる場合もある。火災原因については、通常は不明で終わることが多い。

電池類の中では、火災予防の観点から、角形積層乾電池、リチウム電池、リチウムイオン電池は注意が必要な対象とみられ、回収・処理における対策を検討するのが望ましいと考えられる。

廃棄物の火災危険性を大きく分けて次の3つの物品について調べ、火災予防に役立つ知見を得た。

まず、リチウムイオン電池およびリチウム電池については、加熱されると熱暴走を起こし、分解ガスを放出して火災拡大につながる危険性が高いことがわかった。また、リチウム電池は外部加熱によって激しく分解することが観察された。両者とも火災の延焼を促進させる危険性があるため、可燃物と隔離した状態に分別して保管することや、電池に強い衝撃を与えないことが火災予防上大切であることがわかった。

次に、トナー粒子は年々、微小化している。作業員の立ち入らない箇所の酸素濃度を下げるといった工夫である程度爆発を防ぐことができる。

東日本大震災で発生した震災がれきの火災防止のために、現地調査に加えて、主に微生物の活動に伴って生じる発熱や、それに伴って生じるガスに焦点を当て測定を行った。条件（適度な水分の存在・断熱状態・熱容量・空気流入量等）がそろえば、室温付近の貯蔵や堆積であっても、微生物の活動によって生じた熱が引き金となり火災に至る可能性があることがわかった。

自治体の分別状況調査の結果、年間1人あたり約2kgの使用済み電気電子機器が一般廃棄物として排出されていると推計された。この量は家庭からの電気電子製品の推計使用済み量（年間1人あたり約5kg）の約4割に相当し、残りの約6割は小売店や不用品回収業者など自治体以外のルートで回収されていると考えられた。自治体へ排出される使用済み電気電子製品の収集方法は全体の85%が粗大・不燃ごみ、収集後の処理方法は破碎が全体の8割、直接焼却と直接埋立がそれぞれ全体の5%前後と推計された。排出時に電池類が取り外されていない製品について、収集量全体の半分以上が取り外されずにそのまま処理されていると推計され、排出時の電池類取り外しの徹底に課題があると考えられた。

すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを東京都23区で調査した結果、乾電池は拠点回収か不燃ごみで収集されていた。コイン型などのリチウム電池や自転車用バッテリーについては明確でなく、多様な電池の種類に対するわかりやすい分別排出の方法が求められる。

東京都における多様な排出経路における詳細調査を実施した結果、マンガン電池、アルカリ電池の5～8%程度はまだ水銀が含有されている可能性のある乾電池が排出されていると考えられた。所定の対象外の電池類や異物の混入を防止するため、近い場所で一次電池、二次電池とボタン電池の回収ボックスの整備なども進める必要があると思われる。粗大ごみにおいても、電動アシスト自転車の二次電池や無停電電源装置由来ともみられる鉛蓄電池などが排出されていたため、今後のさらなる普及に伴った回収システムの構築が必要である。絶縁実施率は乾電池で2%と低かったために、絶縁実施の周知や回収場所でのテープ設置などが必要である。

事業者における電気電子機器等の保有状況を見ると、OA機器ではパソコン、パソコン用ディスプレイ（液晶式）、コピー機（複写機）・複合機が90%程度と高く、無停電電源装置（UPS）も保有している事業所が46%に上っている。排出先では、不用品回収業者という回答も多く、品目で5%前後存在する。電

池類の分別や自主回収制度は十分周知されていないことが伺えた。

処理施設における物質の挙動・取扱いとして、自治体の破碎施設における金属挙動については、破碎選別処理における産物の組成と物質収支から投入物の組成を推定すると、調査対象とした粗大・不燃ごみは重量で電子基板や電池類をそれぞれ 1%弱含んでいたと考えられた。特に電池類について同施設では処理前に人手による取り外しを行っているものの、電池類を破碎選別処理の対象物から完全に除くことは難しい現状が明らかになった。電子基板は約 40%が可燃残渣へ分配して焼却へ回っていると同時に、約 50%は不燃残渣へ分配して最終処分されていると推定された。また、今回の調査では電池類はほとんどが不燃残渣へ分配しており、破碎選別処理へ混入した場合には多くがそのまま最終処分へ向かうと考えられた。

使用済み電気電子機器における取扱いを含めて、電池類を中心とした海外のリサイクルシステムについてレビューを行った。EU の WEEE 指令では、廃棄された機器を回収後、電池を事前分別し、電池は電池指令に則って処理する必要がある。欧米、台湾、韓国では、日本よりも対象の広い電池類を電池メーカーなどの経済的な負担でリサイクルされていることを把握した。2013 年 4 月から小型電気電子機器リサイクル法が施行されたが、回収や処理・リサイクルの段階における火災・爆発などの事故防止といった安全対策もあわせて考えるべきであることを指摘した。

主に電池類を想定した回収・リサイクルにおける短期的課題と中長期的課題を、回収率向上、資源回収、有害物質管理、安全対策の目的別にまとめた。短期的課題として、有害危険な製品・部材に対する周知徹底、家庭・事業者に対する絶縁の協力依頼強化、前処理時の危険性への注意喚起、処理施設における火災防止対策などを指摘した。中長期的課題として、家庭・事業者が排出しやすい回収システムの構築、小型電気電子機器リサイクル制度などでの電池類取外しなどの主体と手順検討、有害危険な部材（電池類など）の取外しが可能な製品設計、有害危険な取外しが困難な製品のメーカー・店舗による回収などを指摘した。

1. 研究背景と目的

1.1 研究背景

自治体や民間の処理施設や輸出現場などで有害危険な製品・部材が不適切な取扱いを受けることによって、金属スクラップの火災を含む事故や、重金属などによる環境汚染を生じる事例がこれまで報告されてきた。具体的には、主として電気電子機器に含有される電池類・トナーや、水銀を含有する健康機器をはじめとして、十分な回収・リサイクルシステムがないために火災・爆発事故や環境汚染が懸念されてきた事例に注目する。

これらの有害危険な製品・部材に関しては、民間の自主的回収の対象を除いて、自治体ごとの分別・廃棄方法に委ねられることが多く、全国で統一的なフローや回収後の取扱い方法の多くは不明である。一方、処理・リサイクルの過程で火災・爆発事故や環境汚染が散発的に発生するものの、死傷者が出ずに甚大な被害にならないものが多いために、十分な原因究明や対策の検討ができていない。今後、各種処理施設で複合的要因により大きな被害に至る可能性や、レアメタルを含む金属類の回収の必要性を考えれば、安全で効果的な回収・リサイクルシステムの構築が必要不可欠である。

本研究では、有害危険な製品・部材の特定の後、全国的なフロー調査、ならびに事故原因や金属挙動の解析を含む処理プロセスの調査などで得られた知見をもとに、短期的な目標として各種処理施設における安全管理指針や、中長期的な目標として、製造者への情報提供・提言が適切になされる回収・リサイクルシステムの提示を目指すものである。これは、有害危険な製品・部材による全国的な事故・環境リスクの低減に寄与できる点で社会的な貢献が大きい上に、実験による火災回避条件の特定、レアメタルを含む各種金属の回収効率の評価などを通じた、学術的貢献も大きいものと期待される。さらに、日本国内のみならず、回収・リサイクルシステムが整備されていないアジア諸国に対しても、有害危険な製品・部材に関する具体的な安全管理指針を含む提言を提供できることが期待される。

1.2 研究目的

自治体や民間の処理施設や輸出現場などで有害危険な製品・部材が不適切な取扱いを受けることによって、金属スクラップの火災を含む事故や、重金属などによる環境汚染を生じる事例がこれまで報告されてきた。具体的には、主として電気電子機器に含有される電池類・トナーや水銀を含有する健康機器をはじめとして、十分な回収・リサイクルシステムがないために上記の事故や環境汚染が懸念されてきた事例に注目する。本研究では、家庭や事業所から廃棄される有害危険な製品・部材を抽出し、火災事故や環境汚染に至る原因や現在のフロー・処理過程を把握するとともに、代替策として安全面や資源回収の観点からも望ましい回収・リサイクルシステムの構築を目的とする。以上より、処理段階での事故リスクを減少させるとともに、消費者の分別意識や資源回収効率が向上し、製品設計への提言も適切になされるリサイクルシステムの構築を目指す。

2. 研究方法

2.1 事件事例の調査解析

自治体・民間の処理施設や輸出現場などにおける火災・爆発事故や環境汚染について、先行して構築した研究実績・関連データベースの活用とヒアリング調査によって、事例を収集し、関連品目、原因、被害状況などを解析した。被害の大きさや既存の回収・処理システムの整備状況を勘案して、主として電気電子機器に含有される有害危険な製品や部品を抽出した。

金属スクラップや廃棄物に関連した火災が発生した際には、情報収集と原因究明に努めた。

2.2 危険性評価試験

処理施設における火災・爆発事故などの危険性を評価するために、想定される各種処理・取扱い状況を模擬した危険性評価試験を行った。事故の原因究明と火災回避条件の検討を行い、事故防止対策を検討した。東日本大震災後に発生したがれき火災にも対応して、その原因究明を行った。

2.2.1 リチウムイオン電池等の圧力容器試験器を用いた危険性評価試験

リチウムイオン電池が昇温し火災に至る危険性が考えられることから、平成 24 年度に圧力容器試験器を用いてリチウムイオン電池が昇温した場合の危険性を調べた。試作した試験装置を使うことで、コインタイプだけでなく、最大で単三程度までの大きさの電池類の危険性を明らかにすることができる。また、危険性の比較のために有機過酸化化物で熱量計の標準物質として用いられているジ-tert-ブチルパーオキシド (DTBP) (試料量: 10g) についても測定を行った。

平成 25 年度はリチウムイオン電池の激しい分解が短絡等による電気エネルギーによるものか、あるいは反応性の高い物質による暴走反応によるものかを調べることを目的として、引き続き圧力容器試験器を用いた危険性評価試験を行った。また、圧力容器試験および示差断熱型熱量計によってリチウム電池 (コイン型電池) の加熱分解を調べた。

2.2.2 リチウムイオン電池等の落つい感度試験を用いた危険性評価試験

リチウムイオン電池が外部からの衝撃によって破壊され、火花および火炎を発生するかを落つい感度試験を用いて調べた。試験は JIS K 4810 (火薬類性能試験方法) に規定する試験方法および火薬学会規格 (IV) (感度試験方法) に従って試験を実施した。

2.2.3 トナーの粉じん爆発に関する危険性評価試験

トナーの回収処理中に粉じん爆発が起きていることから、その対策のために最近使用されているトナーの実態、また、トナーの危険性評価の実験を行った。特に、粉じん爆発の防止を目的に雰囲気の空気 (酸素) 濃度を下げた場合の粉じん爆発の激しさの低下、必要着火エネルギーの増大への効果を調べた。

2.2.4 東日本大震災後に発生したがれき火災の調査と蓄熱発火に関する危険性評価実験

2011 年 (平成 23 年) 3 月に起きた東日本地震以後、被災建物等から生じたがれきの処理が滞り、同年夏以降には被災地各地ではがれき火災が起こって対応に苦慮していた。そこで、平成 23 年度は現地を訪問して実態の調査およびがれきを採取し、火災原因の調査、対応策の検討を行った。原因の調査は、消防研究センターの熱分析機器 (TG-DTA、C80 および TAM) を使用し、室温付近での微少発熱の検知によった。試料としては、採取物そのもの、採取物に水を加えたものおよび酸化エチレンガス (EOG) で滅菌したものを使用し、その差を調べた。

平成 24 年度は、がれき内部の温度が 90°C 程度まで上がり、危険な状況にあった石巻市のがれき置き場の現地調査を行い、また、がれき類 (主に腐食した畳や木材チップ類) や、国立環境研究所より提供された模擬がれき類 (稲わらペレットや剪定葉) の火災危険性について熱分析 (TG-DTA、C80 および TAM) を行った。実験の詳細については、昨年度報告書を参照されたい。また、発生するガスについても、ガスク

ロマトグラフを使って分析した。

平成 25 年度は、宮城県で製造された震災廃棄物を含む RPF 固形燃料に関して、蓄熱発火に伴う火災の危険性を評価した。RPF (refuse paper and plastic fuel) 等の再生資源燃料は蓄熱により自然発火する危険性を有し、本研究で用いた RPF 固形燃料には震災廃棄物由来の有機物が含まれている。

2.3 国内における使用済み電気電子機器と電池類の分別・処理状況

有害危険な製品・部材として、主に使用済みの電池類と電気電子機器を取り上げ、国内フローの調査を行った。

2.3.1 自治体における使用済み電気電子機器の分別・処理状況

一般廃棄物としての使用済み電気電子製品の排出実態調査結果、全国自治体を対象に実施した使用済み電気電子機器の収集・処理実態のアンケート調査結果を用いて、一般廃棄物処理における使用済み電気電子製品およびそれらに含まれる部品や金属類の収集・処理フローの概略を推定した。

まず、茨城県日立市において実施した使用済み電気電子機器排出実態調査の結果に基づき、自治体への年間排出量（一般廃棄物としての自治体による年間収集量）を推計した。また、一般廃棄物としての使用済み電気電子機器の収集・処理方法について全国自治体を対象に行ったアンケート調査の結果に基づいて、WEEE の収集・処理実態と傾向を再整理、分析した。さらに、排出から収集、一次処理、破碎選別以降の処理におけるフローを自治体別に推計し、合算することで日本全体のフローを推計した。最後の、この推計結果に使用済み電気電子機器や処理産物の金属元素含有量、処理プロセス内の金属元素分配率を用いて、使用済み電気電子機器が含有する金属元素の自治体ごみ処理におけるフローの試算を行った。

2.3.2 自治体における電池類の分別方法の詳細調査

すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを知るために、東京都 23 区における分別方法を調査した。すなわち、各区における電池類を含む家庭ごみの排出方法や絶縁指示などの情報をホームページで調べ、すべての種類の電池類の分別方法について、可能な限り詳細な把握に努めた。

2.3.3 自治体における使用済みの電池類と電気電子機器の分別排出状況の詳細調査

消費者（一般家庭）から排出される有害危険な使用済み製品の分別排出にかかる基礎情報と課題を把握することを目的として、自治体における多様な排出経路における使用済みの電池類と電気電子機器の詳細調査を実施した。すなわち、東京都および関係機関の協力を得て、不燃ごみ、粗大ごみ、小型電気電子機器回収、電池の拠点回収といった多様な経路で排出された電池類に対して、種類、個数・重量などの基礎情報を把握した。電気電子機器に電池類が装着（含有）されていた場合は、電池類と機器との組合せについても調査し、その記録を取った。排出された電池類について、有害物質の含有状況、所定の対象以外の電池類の混入、絶縁の実施状況、電気電子機器からの取外し状況などについて整理し、安全性、有害性、資源性の管理の観点から今後の課題を検討した。

2.3.4 事業者における電気電子機器の保有および使用済み排出実態

使用済み電気電子製品の国内フローにおいて、事業者からの排出実態については不明な点が多い。そこで、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出実態を把握するためのアンケート調査を行い、保有・排出状況、廃棄依頼先と選定理由などを把握した。これによって、使用済み電気電子機器の国内フロー把握に資する基礎情報とした。

2.4 処理施設における物質の挙動・取扱い

自治体の施設において使用済み電気電子製品を含む粗大・不燃ごみの破碎選別処理における産物の素

材・部品組成および金属含有量を調査し、粗大・不燃ごみの組成や処理における素材・部品や各種金属元素の分配挙動を推定した。また、熱処理プロセスにおける金属の分配挙動についても熱力学解析を行った。

2.5 安全で効果的な回収・リサイクルシステム

電気電子機器に利用される電池類を取り上げ、国内と海外における回収・リサイクルシステムを調査した。トナーについても、民間における処理施設での管理方法と通知などの関連規制を調査した。使用済みの電池類、電気電子機器に関する危険性評価試験や分別・処理状況の調査結果をもとに、有害危険な製品・部材の回収・リサイクルのための改善策を短期的目標と中長期的目標に分けて検討した。

以上の結果と考察を、3章～8章において示す。

3. 事故事例の調査解析

3.1 火災事故・環境汚染事例の収集

都内の火災事例を中心に調査した「廃棄物処理施設等に係る安全対策検討委員会」（2007）によれば、破砕処理に伴う異常現象の発火源としてはスプレー缶が多く含まれ、リチウム電池も散見されていた。(社)全国市有物件災害共済会(2009)が2009年にまとめたマニュアルでは、事故の根本原因の約7割が爆発・発火危険物の混入となっていた。先行研究「有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況の把握と適正管理方策（2009～2011年度）」では、バッテリーとリチウム電池を含む電池類の発火可能性と、トナー粉の粉じん爆発の可能性が指摘された。災害情報センターの災害情報データベースからは、バッテリーやリチウムイオン電池の火災事例、ならびにトナー粉は粉じん爆発の事例が確認されたほか、保守点検不十分なバッテリー（無停電電源装置、UPS）の火災が指摘された。

環境汚染としては、2010年から2011年にかけて都内の焼却炉において排ガス処理装置出口の水銀濃度が自己管理値等を越えたためにごみ焼却の停止をされた事例があり、原因は不明ながら、廃業した事業者や一般家庭からの廃棄物が水銀の排出源となった可能性も疑われた（谷川, 2011）。大阪府の金属スクラップ業者の排出水から微量PCBが検出され（大阪府環境農林水産部, 2012）、トランス等の不適正な収集・処理が疑われ、金属スクラップ業者などの廃棄物処理法によらない回収・処理が課題と考えられた。以上より、通常の廃棄物処理設備で事故が発生しやすいもの、および金属スクラップ業者によって不適切に取り扱われやすいものとして、使用済み電気電子機器に含まれる電池類やトナー（カートリッジ）、有害金属などを対象に、安全で効果的なシステム構築を目指して今後の検討を行う。

3.2 金属スクラップ火災事例の調査

3.2.1 平成23年度の金属スクラップ火災

先行研究「有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況の把握と適正管理方策」を実施した前年度までの傾向に引き続き、今年度も金属スクラップの輸送、貯蔵中に火災が発生している。表3.2.1は、平成23年度に発生したことが確認された金属スクラップ火災事例である。このうち、尼崎市および川崎市内での火災の現場を調べた。ことからその現状、および原因究明に関連した調査を行った。

表 3.2.1 平成23年度に確認された金属スクラップの火災事例

年月日	場所	火災概要, 金属スクラップ概要	仕向地	消火活動
2012年 1月19日	尼崎市東海岸町	港湾のヤードで保管中の金属スクラップ等8,000m ³ から出火	中国	消火に43時間要した
2012年 3月30日	川崎市川崎区千鳥町	港湾のヤードで保管中の金属スクラップ100m ³ から出火	中国	消火に約7時間要した
2012年 1月21日	下関沖北西29km	船舶火災, DE CHENG (カンボジア船籍) 1451トン	韓国 (愛知県より)	海上保安庁が実施 (詳細不明)

火災の概要は以下のとおりである。

(1) 尼崎市・金属スクラップ火災 (図 3.2.1)

発生場所：兵庫県尼崎市東海岸町 16 番地 公共 3 号岸壁

発生年月日：平成 24 年 1 月 19 日 23 時頃

覚知年月日：平成 24 年 1 月 19 日 23 時 27 分頃 (NTT 加入電話)

鎮火年月日：平成 24 年 1 月 21 日 18 時 22 分 (覚知から 42 時間 55 分後)

確認された主な混在物：金属スクラップのほか、様々なプラスチック類、電気電子製品・部品

仕向予定地：中国

状態：大量に堆積されてあった。

火災概要：出火当日は、夕方 6 時まで作業員がおり、作業が行われていた。それから約 5 時間経過後の夜 11 時頃に出火した。従って、現場は無人の状態であり、消防への連絡は、対岸の事業所からなされた。港に沿った長さ約 220m、幅 25m の集積場のうち、北側 120m に金属スクラップが置かれていた。出火地点は積み上げられたスクラップの最北部分であった。約 8,000m³ のスクラップが焼損した。金属類の他、プラスチック類、ウレタン類があったとされたほか、事後の現地調査では灯油タンク、ファンヒータ燃料タンク、洗濯機、掃除機、扇風機、ラジカセ、ラジエーター、コイル、コンプレッサ、自転車なども確認された。負傷者等なし。

原因：不明。原因の確定には至らなかったが、深夜、作業が全く行われていない時に出火したこと、スクラップ金属中に電池類や様々な電子部品があり、電池類の短絡 (外部、内部) その他によって発熱が起これ、その蓄熱によって徐々に内部温度が上がり、その後、存在した油類、トナー等の有機物の発火、火災になった可能性も考えられた。

消火活動：約 42 時間にわたって火災は継続し、大量の煙によって周辺工場、住民に被害が出た。消火開始 30 分後から泡消火剤を使用した。東と北側に壁があったために消火作業が難航した。東に隣接する石油化学施設への延焼を防ぐよう努められた。



(a) 金属スクラップ



(b) カラートナー粉が漏れたコピー機

図 3.2.1 火災を発生した金属スクラップ (2012 年 1 月、尼崎市)

(2) 川崎市・金属スクラップ金属火災

発生場所：川崎市川崎区千鳥町 7 番

発生年月日：2012 年 3 月 30 日 2 時頃

鎮火年月日：2012 年 3 月 30 日 9 時 9 分

確認された主な混在物：国内の間屋・解体業者から回収された金属スクラップ。事後の現場調査では焼損した現物は輸出後のために確認できなかったが、同種の保管物からモーター、エンジン、配電盤、ケーブルなどが多かったとみられる。

仕向地：中国

状態：金属スクラップ 2,100m³ 程度を高さ 7m まで積んで保管していた。

火災概要：金属スクラップ 2,100m³ から出火・焼損。出荷が作業時間中でないため、蓄熱発火の可能性が高いとみられる。負傷者等なし。

消火活動：泡消火剤使用。また、高所からの冷却放水や、ユンボで掻き出したスクラップの冷却放水を

実施。

(3) 金属スクラップ運搬船火災

発生場所：下関沖北西 29km、DE CHENG（カンボジア船籍）1451 トン

発生年月日：2012年1月21日午後6時15分（海上保安庁への連絡）

鎮火年月日：詳細不明

確認された主な混在物：金属スクラップ運搬

仕向地：韓国（愛知県より）

状態：金属スクラップ運搬船

火災概要：詳細不明

消火活動：海上保安庁が実施

3.2.2 平成 24 年度の金属スクラップ火災

港湾・船舶（沖合を含む）における金属スクラップの火災については、海上保安庁の集計によって、2008年1月～2011年3月では計21件の金属スクラップ火災が確認されるなど、近年は年間5～6件程度発生してきた（寺園ら, 2011）。しかし、表 3.2.2 に示すように、2012年は13件の火災が発生するなど、これまでの倍程度まで火災発生件数が増加している。表には、現地調査、報道、関係機関からの聞き取りなどによる概要をまとめた。特に9月から10月にかけて7件と多いが、2013年の1月から3月の間も5件発生していることから、2012年後半以降に火災の発生が顕著になっているといえる。一方、港湾以外の陸上については消防庁による集計がなく、正確な件数が把握できないが、港湾・船舶における件数と同程度に発生しているのではないかと考えられる。

金属スクラップの輸出先はすべて中国（ほとんどの場合、寧波か台州）である。スクラップの内容は、モーター・エンジン・配電盤・ケーブルなどの工業系雑品の場合が多い。しかしながら、エアコン・洗濯機・冷蔵庫などの家電リサイクル法対象物や、掃除機・扇風機・炊飯器などの中型家電も多く含まれる場合がある。

金属スクラップ火災の特徴として、これまでほとんどのケースで人災がなく、直接的な経済影響もみられなかった。燃えたスクラップですら中国側バイヤーに購入されるため、輸出業者などに防火のインセンティブが働かないことも課題であった。

しかし、最近では、既に多数の影響・リスクが顕在化しつつある。2012年は火災の影響によって、近隣の阪神高速や福岡都市高速で一時通行止めが発生したり、航路・港湾施設も一時停止するなどの交通障害が発生している。また、港湾の近隣施設であるガスタンクへの引火の恐れ（2012年1月、尼崎）が生じたり、周辺の住民・企業から煙害等の苦情も各地で報告されている。陸上における火災では高圧配電線を断線させたことから、約900世帯が停電する（2012年5月、岡山）などの被害も起きている。

また、火災原因については、大規模火災であるほど原因の調査が困難であり、通常は不明で終わることが多い。まれに、発火原因として金属どうしの衝撃発火やバッテリーのショートなどが指摘される場合もあるが、最近では非作業中（夜間や航行中）の自然発火も増加している。一度発火・発煙すると、金属スクラップにおける石油ストーブ・エンジンなどに残存している油分やプラスチックなどの有機物の存在のために容易に延焼している。

火災が発生した場合、消火は容易ではなく、2012年の場合は最大43時間燃え続けている。金属スクラップ火災では、大量放水か泡消火剤によって消火がなされるが、泡消火剤の場合は数百万円以上のコストがかかる場合があり、自治体に重い負担となっている。

表 3.2.2 2012 年以降の金属スクラップ火災事例の概要 (港湾、船舶におけるものに限る)

発生日	場所 ¹	目的地	スクラップの内容 ²	作業状況	火災原因	備考
2012 年 1 月 21 日	尼崎	中国	多様 (工業系雑品, 家電, OA 機器)	非作業中	不明	消火時間 43 時 間, 近傍の阪 神高速で一時 通行止め
1 月 21 日	下関(沖合い), 豊橋から出 航	中国 (韓 国経由)	工業系雑品か?	非作業中 (航行中)	不明	
3 月 30 日	川崎	中国	工業系雑品か?	非作業中	不明	
6 月 22 日	富山	中国	工業系雑品, 自動車 解体スクラップ	非作業中	不明 (バ ッテリー 疑義物の 可能性も あり)	
9 月 19 日	長崎(沖合い), 名古屋から 出航	中国	不明	非作業中 (航行中)	不明	
9 月 27 日	大阪(湾内)	中国	多様 (家電など)	非作業中 (航行中)	不明	
10 月 2 日	東京	中国	不明	積込作業 中	不明	
10 月 4 日	福岡	中国(推 定)	多様 (家電など)	積込・なら し作業中	不明	
10 月 5 日	北九州(沖合 い), 市原か ら出航	中国	不明 (モーター, ケ ーブル, 配電盤など の工業系雑品か?)	非作業中 (航行中)	不明	
10 月 9 日	豊橋	中国	工業系雑品か?	積込作業 中(推定)	不明	消火時間 9 時 間
10 月 28 日	福岡	中国	多様 (家電など)	重機で整 理中	不明	近傍の福岡都 市高速で一時 通行止め
11 月 21 日	北九州	中国	工業系雑品か?	積込作業 中 (推定)	不明	
12 月 23 日	福岡	中国(推 定・輸出手 続き前)	不明	非作業中	不明	
2013 年 1 月 18 日	神戸(沖合い), 船橋から出 航	中国	多様 (工業系雑品, 家電など)	非作業中 (航行中)	不明	
2 月 19 日	大阪	中国(推 定・輸出手 続き前)	多様 (工業系雑品, 家電など)	非作業中	不明	

2月21日	市原	中国	工業系雑品か?	積込作業中	不明	
3月4日	萩	中国(推定・輸出手続き前)	不明(工業系雑品, 家電などか?)	積込作業中	不明(石油ストーブの疑い)	
3月30日	川崎	中国	工業系雑品か?	積込作業中	不明	

1 太字は著者らによる現場確認を行ったもの(当該金属スクラップの輸出または除去後を含む)

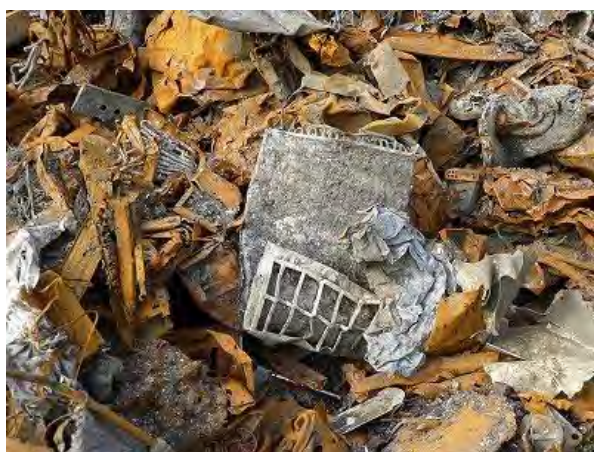
2 現物や写真などによる外観の判断



(1) 燃えたスクラップと消火作業によって傾いた船倉



(2) 燃えたスクラップ



(3) エアコン



(4) ワープロなどのOA機器

図 3.2.2 2012年9月27日に大阪で火災発生した金属スクラップの例

3.3 廃棄物処理施設の火災事故事例

本節では、自治体や民間の廃棄物処理施設などでの火災、事故等に関する事例を収集し、整理する。

自治体のごみ処理施設における火災、爆発等の事故については、「ごみ処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル」(社団法人全国市有物件災害共済会、2009年)が詳しい調査を行っている。ごみ処理施設の事故実態と管理運営状況に関して、全国の市や関連一部事務組合を対象(697団体)にアンケート

調査を実施した結果（有効回答 574 団体、765 施設）、ごみ処理施設全体の事故発生率¹は爆発が 10%、火災が 12.4%であり、特にごみ固形燃料化施設での火災事故が多いこと（事故発生率 40%）がわかっている。

火災事故については、過去 5 年間（2002～2006 年度）平均で毎年 26%の施設（5 年間に 571 施設 2742 件発生）で火災トラブル²が、毎年 2.5%の火災事故³（5 年間に 96 施設 120 件）が発生している。出火場所は破碎機や受入貯留ピット、搬送設備で多く、火災発生原因は不明が 55%（65 件）、破碎機による火花が 13%（16 件）、過熱金属片が 7%（8 件）の順に多くなっている。その他（24 件）の内訳は、自然発火、溶接作業やグラインダーの火花、発煙筒、溶融スラグ、たばこの不始末等となっている。着火物は原因不明が 40%（46 件／116 件）、ガスボンベ・スプレー缶が 24%（28 件）、可燃ごみが 10%（12 件）、粉じんが 6%（7 件）、塗料類が 5%（6 件）となっている。爆発事故⁴は、5 年間平均で毎年 2%の施設で発生しており（5 年間に 69 施設 95 件発生）、爆発事故の 10 件に 2 件は火災事故につながっている。高速回転式破碎機の事故発生率が高く、爆発の主な原因は LP ガスボンベ(34%)とエアゾール缶（27%）である。

事業所（製造メーカー）に対策が求められる廃棄物の上位として、「エアゾール缶」、「ガスボンベ」、「ライター」、「バッテリー」が挙げられており、対策としては、「自主回収システムの整備」や「製品の改善（中身排出機構のような危険性を緩和する機能の付加や改善）」が多く求められている。

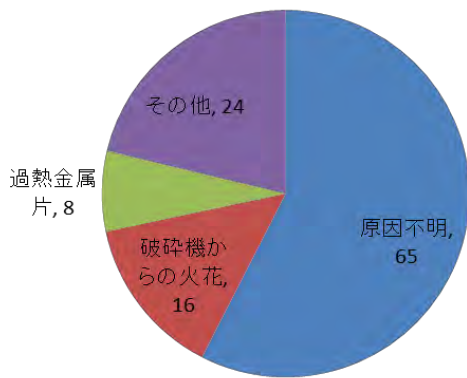


図 3.3.1 火災の発生原因

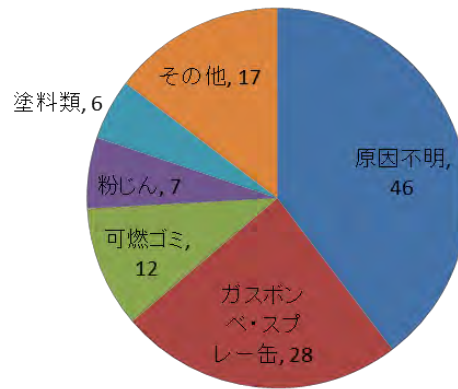


図 3.3.2 着火物

東京都の廃棄物処理施設等（141 施設）の実態を調査した「廃棄物処理施設等に係る安全対策検討委員会報告書」によると、1996 年から 2005 年の 10 年間で合計 158 件の火災が発生している（年平均 15.8 件）。

火災の出火源は、原因不明が 26%（41 件）、金属と金属の衝撃火花が 20%（31 件）、破碎機 13%（20 件）の順に多く、着火源は、ごみくず 32%（51 件）、LPG（エアゾール用）10%（16 件）、合成樹脂くず 9%（14 件）となっている。

廃棄物を破碎または粉砕する際に、廃棄物に含まれている金属同士または金属と破碎刃等が激しく接触することにより火花が発生し、その火花が周囲に拡散したり、破碎したごみくずやエアゾール缶に残っていた LPG に引火して火災に至っているものと推定される。

¹ 事故発生率＝事故発生施設数／有効回答施設数

² 施設の停止 1 日以内で消防を呼んでいない、かつ後日事故として報告していない火災の発生を指す。

³ 設備の破損があり施設の停止 1 日以上、または消防を呼んだ、または後日事故として報告した火災の発生を指す。

⁴ 設備の破損があり施設の停止 1 日以上、または消防を呼んだ、または後日事故として報告した爆発の発生を指す。

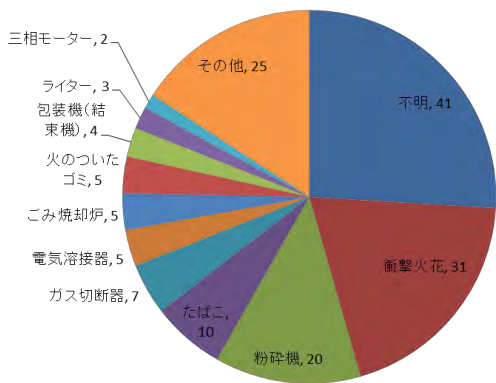


図 3.3.3 火災の発生源別件数

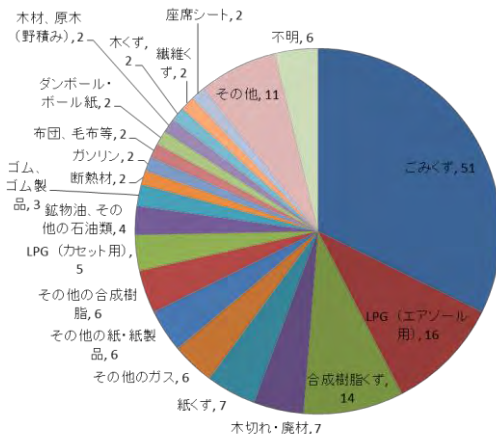


図 3.3.4 火災発生時の着火物別件数

このほか、自治体施設以外の廃棄物処理・リサイクル関連施設での事故状況を把握するため、リレーショナル化学災害データベース (Relational Information System for Chemical Accidents Database, RISCAD)⁵ と NPO 法人災害情報センターの事故情報データベースで、廃棄物処理・リサイクル関連の事故情報を検索した。

RISCAD の自由検索「廃棄物」、発生時期「2000 年以降」⁶、発生場所「国内」で発生したものの中から、原子力廃棄物や液体廃棄物に関する事例および火災・爆発以外の汚染事例を除き、さらに、廃棄物処理・リサイクルに関係のない理由と思われる事例 (施設・設備不良など) を除き、さらに「電池」「トナー」の処理・リサイクルに関わる事例を追加した結果、36 件の事故事例が検索された。

火災事故の発生原因は、不明 16 件、破碎機等からの火花 8 件、蓄熱 3 件、焼却炉の火種がこぼれる、廃棄物どうしの摩擦の順に多かった。着火物は、廃プラスチック、木くずなどの可燃物が 15 件と最も多く、うち 2 件は電池を含んでいた。そのほか、スプレー缶、ガスボンベ、カセットコンロなどが 8 件、トナー 1 件、固形燃料 2 件、その他 7 件、不明 3 件となっている。

また、発生場所では、保管場所・置き場や貯蔵ピット・貯蔵タンク、リサイクル施設で多く発生しており、保管・堆積中など作業停止中や粉砕・破碎・裁断作業中での発生が多い。

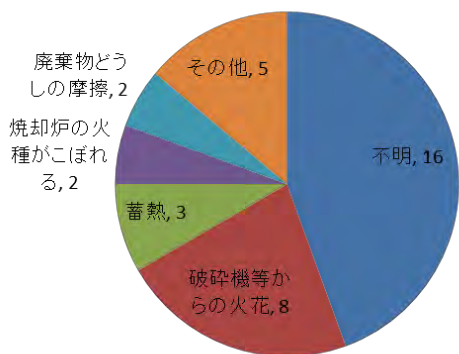


図 3.3.5 発生原因

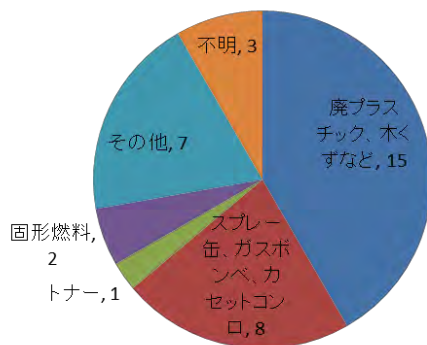


図 3.3.6 着火物

⁵ 科学技術振興事業団 (JST) の研究情報データベース化事業の 1 つとして産業技術総合研究所 (AIST) と JST との共同研究により開発された化学物質に起因する化学災害の事例と化学物質の熱危険性データをリンクさせたデータベース。http://riodb.ibase.aist.go.jp/riscad/index.php

⁶ 2000.1.1~2011.9.10

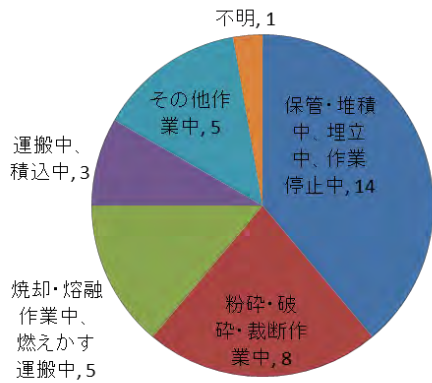


図 3.3.7 作業の内容

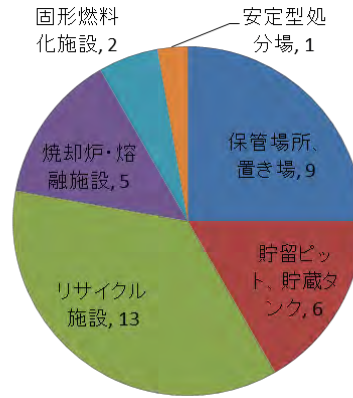


図 3.3.8 発生場所

3.4 電池類に関連する火災事例

前述のデータベースも含めて、電池類に関連する火災事例をいくつか記す。

まず、電池回収箱での火災として、2009年12月に大阪府内の病院内で出火があり、コイン型リチウム電池と角形積層乾電池（9V）によるショートが原因として疑われた。また、2013年2月には山形県内の家電量販店で電池回収ボックスからの出火があり、スプリンクラーが作動する状況となった。詳しい原因は不明であるが、回収ボックスから焼けたコイン型リチウム電池と角形積層乾電池がみられ、ショートが出火原因と疑われている。

廃棄物の収集運搬と処理段階の火災では、一般にはスプレー缶・ガスボンベが発火・爆発源であることが多いが、電池類が関係しているものもある。名古屋市では2004年の廃棄物運搬車火災と2008年8月の処理施設火災について、コイン型リチウム電池と角形積層乾電池によるショートの疑いが持たれた。名古屋市消防局では、コイン型リチウム電池と角形積層乾電池によるショートの実験と、コイン型リチウム電池の大量保管の実験を行い、ともに発火を確認している。また、福岡県内のRDFセンターにおいても2012年6月に火災が発生し、角形積層乾電池と金属によるショートの可能性が指摘されている。

加えて、金属スクラップ火災においては原因が不明とされる事例がほとんどであるが、電池類（自動車用鉛蓄電池、UPSなど）が疑われる事例も一部にある。このほか、生産、輸送段階も含めて、国内外でリチウムイオン電池、リチウム電池の火災事例が多数報告されている。

以上より、火災予防の観点から、角形積層乾電池、リチウム電池、リチウムイオン電池は注意が必要な対象とみられ、回収・処理における対策を検討するのが望ましいと考えられる。

4. 危険性評価試験

4.1 リチウムイオン電池等の圧力容器試験器を用いた危険性評価実験（平成 24 年度）

リチウムイオン電池は小型・軽量の二次電池で携帯電話、ノートパソコン等に広く使用されている。リチウムイオン電池は電極材料として正極にリチウム含有金属系酸化物（コバルト等）、負極に炭素系材料（黒鉛等）が主に使用されている。電解質としてリチウム塩を有機溶媒に溶かした有機電解液等が用いられる。充放電はリチウムイオンが正極と負極の間を移動することにより行われる。充電状態では負極の炭素中に金属リチウムが含有された状態にある。

リチウムイオン電池が昇温し火災に至る危険性が考えられることから、平成 24 年度に圧力容器試験器を用いてリチウムイオン電池が昇温した場合の危険性を調べた。試作した試験装置を使うことで、コインタイプだけでなく、最大で単三程度までの大きさの電池類の危険性を明らかにすることができる。また、危険性の比較のために有機過酸化物で熱量計の標準物質として用いられているジ-tert-ブチルパーオキサイド（DTBP）（試料量：10g）についても測定を行った。

4.1.1 実験方法

(1) 測定試料

パソコン用リチウムイオン電池（18650）：直径 18mm、長さ 65mm、重量 44g

(2) 測定装置

図 4.1.1 に試作した試験装置を示す。本装置は圧力容器試験器の一種で、電池の温度、容器内の圧力を同時に測定できる。測定間隔（時間）は 0.1(s)とした。測定時の圧力容器内の空間容積は 265cm³である。

(3) 測定条件

電池をスペーサー（長さ 50mm）に入れて、圧力容器試験器内に静置した。圧力容器試験器はバンドヒーターで、昇温して加熱した。電池試料は主に熱伝導によって加熱される。電池試料の測定では昇温速度を 2.1K/min に調整して、測定を行った。

電池について、パソコンを用いて充電率を 0%、50%、94% に設定して測定に供した。なお、起電力にはばらつきは見られるが、充電率 94% で起電力 4V 程度、充電率 0% で 0-3V 程度であった。また、水（50ml）を添加して電池と共存させた状態で測定を行い、水の危険性に及ぼす影響を調べた。

4.1.2 結果と考察

図 4.1.2 に充電率 94% の結果を示す。図 4.1.2 において横軸は経過時間(s)、左軸は圧力(MPa)、右軸は温度(°C)を示す。表 4.1.1 に測定条件と最高温度、最大圧力等の測定結果を示す。温度上昇速度(K/s)および圧力上昇速度(MPa/s)に関してはグラフから最大温度上昇速度および最大圧力上昇速度を求めた。試料温度は直線的に約 2.1(K/min)の昇温速度で上昇していった。図 4.1.2 で 4,000(s)を過ぎた付近での圧力上昇はガス排出弁が作動したためのものである。充電率 0%、50%および 94%でも、また水の共存下でも同様な圧力上昇が見られた。さらに温度上昇が続くと充電率 50%および 94%ではガス排出弁の作動後、熱暴走による急激な圧力および温度上昇が測定された。急激な発熱は約 180°Cから始まった。充電率 0%ではガス排出弁作動後に急激な温度上昇および圧力上昇は見られなかった。

充電率 0%では激しい熱暴走は起こさなかったが、満充電の場合は激しい熱暴走を起こすことがわかった。この理由として次のことが考えられる。温度が上昇していくとガス排出弁が作動し電解液が蒸発する。さらに温度上昇が続くと正極（リチウム含有金属系酸化物）が負極の炭素と反応して激しい熱暴走に至ると考えられる。なお、測定後、電池からは黒色の炭素とみられる粉が噴出していた。

DTBP の分解と電池の熱暴走の激しさに関して、最大圧力および最高温度で比較すると同じ程度であった。最大温度上昇速度および最大圧力上昇速度は DTBP の方が電池よりも高かった。

水の共存下では水蒸気圧が大きくなるので測定値はその影響を考慮しても、圧力上昇が 10-30%程度大きくなった。参考のために 175°C（発熱開始温度）の場合の水蒸気圧は 0.89MPa である。この理由として負極の炭素中に含有した金属リチウムが水と反応し水素が発生したことが考えられる。水の有無で最高温度を比較すると、水と共存した場合の方が低くなった。これは水の熱容量によるものと考えられる。

今回の実験結果から、リチウムイオン電池が加熱されると熱暴走を起こし、火災拡大につながるこ

が予想される。ただし、発熱開始温度が 180℃であることから、電池が破損していない場合で電解液が蒸発していない条件では、常温から電池自体が発熱して熱暴走を起こす可能性は低いと考えられる。

表 4.1.1 リチウムイオン電池の危険性評価試験結果のまとめ

充電率 (%)	実験 No.	Tmax (°C)	Pmax (MPa)	最大温度上昇速度 (K/s)	最大圧力上昇速度 (MPa/s)
0	4	—	—	—	—
50	9	324	1.27	1.3	0.29
50	10	314	1.03	2.0	0.17
94	5	356	2.16	5.2	0.56
94	7	341	1.91	6.0	0.77
94+水	15	258	3.38	5.5	1.60
94+水	16	254	3.31	5.7	1.35
DTBP	3	290	3.14	160	10.9



図 4.1.1 圧力容器試験装置

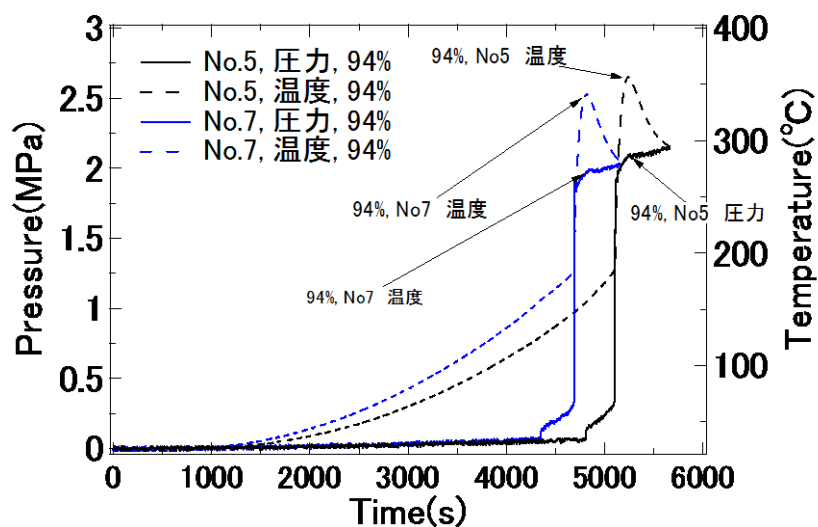


図 4.1.2 リチウムイオン電池の危険性評価試験結果 (充電率 94%の場合)

4.2 リチウムイオン電池等の圧力容器試験器を用いた危険性評価実験（平成 25 年度）

平成 25 年度はリチウムイオン電池の激しい分解が短絡等による電気エネルギーによるものか、あるいは反応性の高い物質による暴走反応によるものを調べることを目的として、引き続き圧力容器試験器を用いた危険性評価試験を行った。また、圧力容器試験および示差断熱型熱量計によってリチウム電池（コイン型電池）の加熱分解を調べた。

4.2.1 実験方法

(1) 試料

電池 A：リチウムイオン電池（18650）：直径 18mm、長さ 65mm、重量 44g

電池 B：リチウムイオン電池(16340)：直径 16mm、長さ 34mm、重量 17g

電池 C：リチウムイオン電池(10440)：直径 10mm、長さ 44mm、重量 9g

電池 D：リチウム電池（コイン型 1220）：直径 12mm、厚さ 2mm、重量 3g

(2) 測定装置

圧力容器試験器は 4.1 と同じである。示差断熱型量計は熱損失がない状態（断熱状態）において、発熱開始温度や圧力上昇のような分解の危険性を測定するために用いた。

(3) 測定条件

圧力容器試験器内の電池の静置や加熱条件は 4.1 と同じである。

リチウムイオン電池について、最初に充電した電池を加熱してガス放出弁を作動させた後、一旦常温まで戻し圧力容器から取り出した。ガス放出弁を作動したかどうかは圧力変化を基に判断した。その後、ガス放出弁を作動させた電池を再度常温から加熱し、圧力および温度を測定した。

リチウムイオン電池(電池 A)について、パソコンを用いて充電率を約 0%、約 50%、約 100%に設定して測定に供した。その他の電池については充電器を用いて充電して、測定に用いた。なお、起電力にはばらつきは見られるが、充電率 100%で起電力 4V 程度、充電率 0%で 0~3V 程度であった。また、圧力容器試験を用いたリチウム電池（電池 D）の測定では水（3g）を添加して電池と共存させた状態で測定を行い、水の危険性に及ぼす影響を調べた。また、示差断熱型熱量計を用いてリチウム電池の危険性について調べた。

4.2.2 結果と考察

再加熱したリチウムイオン電池の電圧を測定するとほぼ 0V（最大で 0.5V）となっていた。再加熱した電池において急激な上昇が測定されなかった場合、短絡等による電気エネルギーが激しい分解に大きく関与していることが示される。逆に急激な上昇が測定された場合、反応性が高い物質が生成したと考えられる。

表 4.2.1 に測定条件と最高温度、最大圧力等の測定結果を示す。図 4.2.1(a)~(c)に電池 A(充電率 0%)の測定結果を示す。図 4.2.2(a)~(c)に電池 A(充電率 100%)の測定結果を示す。充電率が 100%および 50%の電池を再加熱した場合に激しい分解が観測された。充電率が 0%の電池を再加熱した場合、再加熱しない場合と同様に激しい分解が観測されなかった。このことから、充電によって反応性が高い物質が生成していることがわかった。文献によると立方晶系の酸化コバルトが生成し、激しい分解を起こすことが考えられる（GS Yuasa Technical Report, Vol.2(2), 2005.12）。電池 B および電池 C について示差断熱型熱量計で測定することも計画したが、圧力容器試験器による測定結果から試料容器が破壊されるおそれがあるため測定を取りやめた。

電池 D の示差断熱型熱量計の測定結果を図 4.2.3(a)~(c)に示す。装置の安全のため途中（310℃）で測定を中止した。発熱開始温度は 164℃、最高温度は 324℃、最大圧力 393kPa、最大温度上昇速度 80K/min であった。

表 4.2.1 圧力容器試験器によるリチウムイオン電池およびリチウム電池の測定結果

電池	充電率 (%)	最高温度 (°C)	最大圧力 (MPa)	最大温度上昇速度 (K/s)	最大圧力上昇速度 (MPa/s)
A	0	329	0.56	—	—
A	50	300	0.58	55.1	0.877
A	100	348	1.43	63.6	0.529
B	100	301	0.81	55.2	0.660
C	100	203	0.35	24.6	0.198
D	—	390	0.14	—	—
D+水	—	384	1.70	—	—

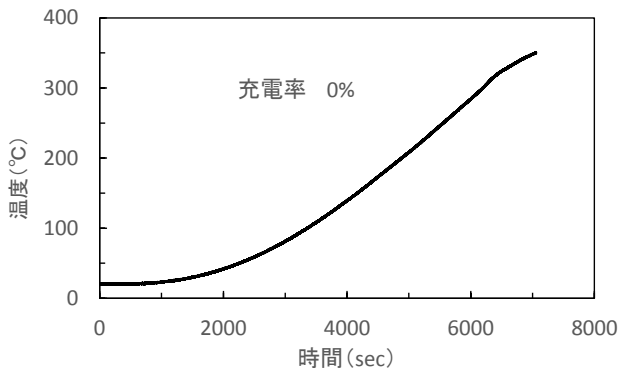


図 4.2.1(a) 圧力容器試験結果
時間 vs. 温度 (電池 A、充電率 0%)

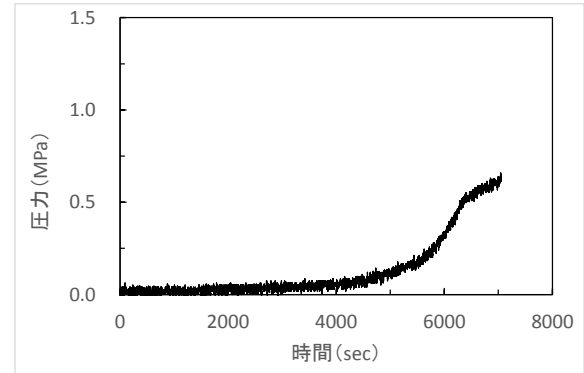


図 4.2.1(b) 圧力容器試験結果
時間 vs. 圧力 (電池 A、充電率 0%)

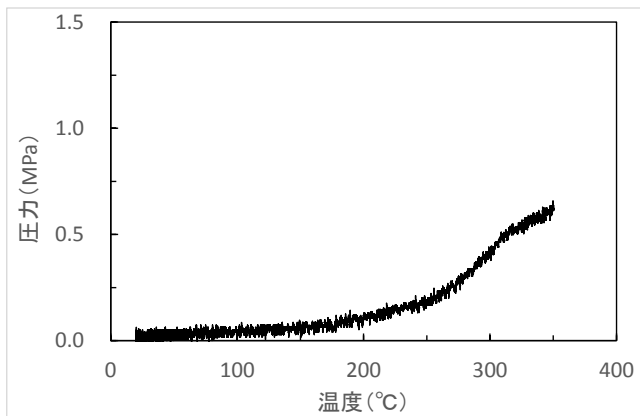


図 4.2.1(c) 圧力容器試験結果
温度 vs. 圧力 (電池 A、充電率 0%)

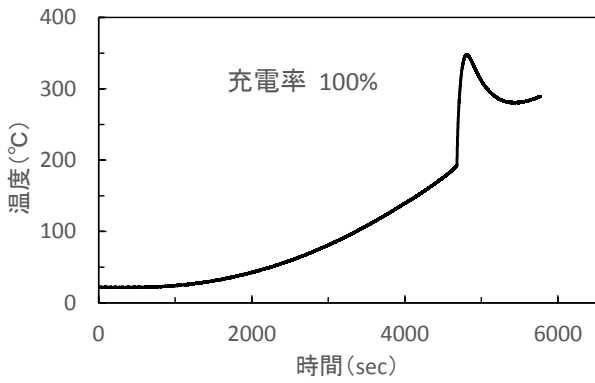


図 4.2.2(a) 压力容器試験結果
時間 vs. 温度 (電池 A、充電率 100%)

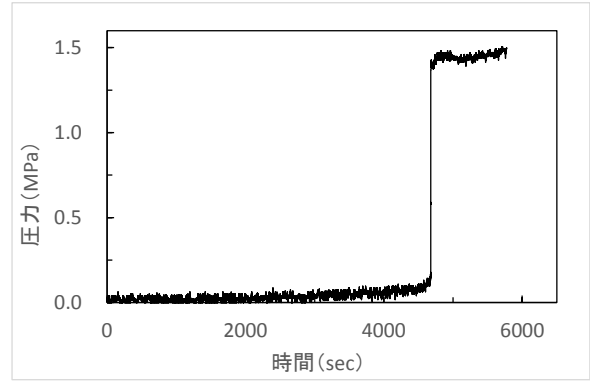


図 4.2.2(b) 压力容器試験結果
時間 vs. 圧力 (電池 A、充電率 100%)

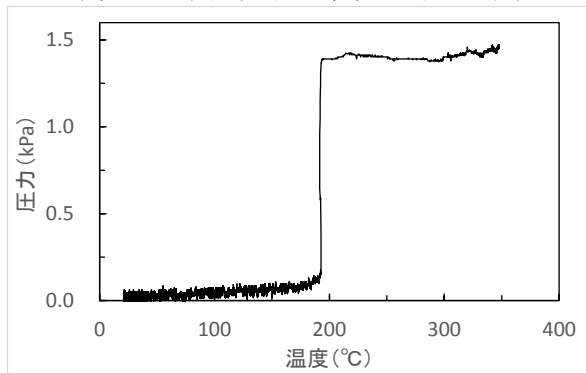


図 4.2.2(c) 压力容器試験結果
温度 vs. 圧力 (電池 A、充電率 100%)

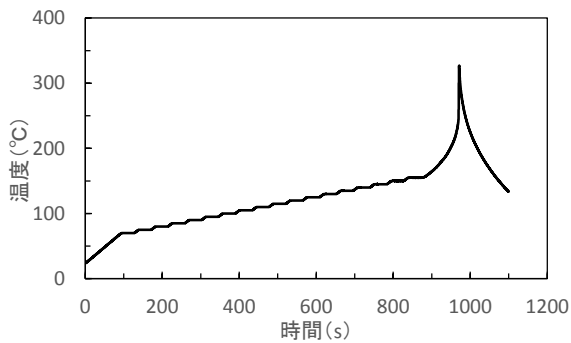


図 4.2.3(a) 示差断熱型熱量計の測定結果
時間 vs. 温度

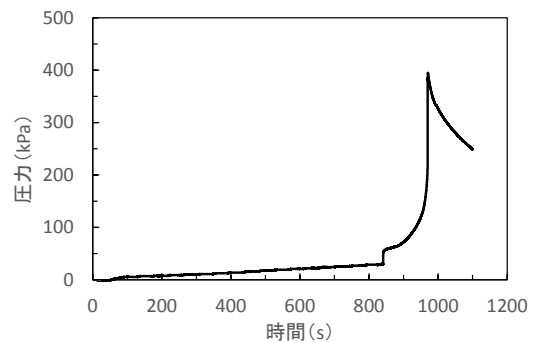


図 4.2.3(b) 示差断熱型熱量計の測定結果
時間 vs. 圧力

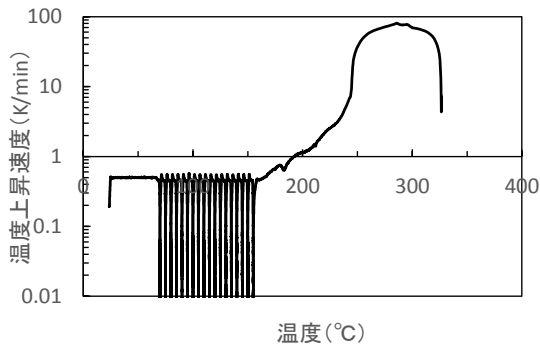


図 4.2.3(c) 示差断熱型熱量計の測定結果
温度 vs. 温度上昇速度

4.3 リチウムイオン電池等の落つい感度試験を用いた危険性評価実験

4.3.1 実験方法

(1) 試料

デジタルカメラ用のリチウムイオン電池およびパソコン用のリチウムイオン電池（18650）を用いた。デジタルカメラ用のリチウムイオン電池の試験において、新品のまま試験に用いた。パソコン用のリチウムイオン電池の試験において3種類の充電率で試験を行った。充電率はそれぞれ、100%（4.1V）、50%（3.9V）、0%（0V）であった。括弧内は電池の電圧を測定した値である。

(2) 測定方法

試験はJIS K 4810（火薬類性能試験方法）に規定する試験方法および火薬学会規格（IV）（感度試験方法）に従って試験を実施した。試験機に試験品をセットし落つい（鉄つい）をその上に落して、その落高と爆発の可否の関係を求める試験である。今回の試験で落ついの落高を100cmにして試験を実施した。また、電池に2本の熱電対を電池表面に設置して温度変化を測定した。なお、試験回数は最大で4回である。

4.3.2 結果と考察

デジタルカメラ用のリチウムイオン電池およびパソコン用のリチウムイオン電池の両者とも、全ての試験で変形はするが火花や火炎の発生は見られなかった。

パソコン用のリチウムイオン電池の充電率0%の場合を除いて、衝撃によって電池表面において顕著な温度上昇が観察された。デジタルカメラ用のリチウムイオン電池の場合、120℃程度まで温度上昇がみられた。パソコン用のリチウムイオン電池の場合、充電率100%で約120℃、充電率50%で115℃まで温度上昇が観察された。温度は試験における最大値を記した。熱損失が少ない条件で破壊された場合や数個の電池が破壊された場合には、さらに温度が上昇するため、火災危険性が増すことが考えられる。

4.4 トナーの粉じん爆発に関する危険性評価試験

4.4.1 実験方法

(1) 試料

試料トナーの形状、大きさを調べた。図4.4.1は、H23年度にトナーメーカーを調査した際に入手した新品トナー（一成分方式、F1と呼ぶ）の一例である（Vixen Micro Navi 5-800、写真中のライン間の長さ：100μm）。写真の粒子から直径、形状を調べた。また、トナーF2はH25年度に同じメーカーから入手した新品トナーである。

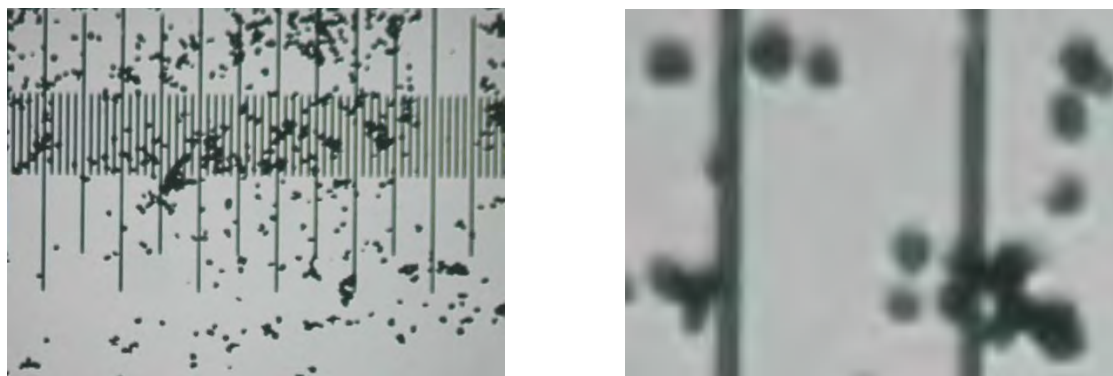


図 4.4.1 トナーの例

(2) 実験方法

酸素濃度と爆発圧力の関係については、JIS Z 8817:2002”可燃性粉じんの爆発圧力および圧力上昇速度

測定法”の付属書 2 に定める 30L 球状容器を用いて測定した。限界酸素濃度を測定する着火源として 2.5kJ の化学着火剤を用いた。

爆発雰囲気中の酸素濃度の影響を調べるため、A. Kühner 社製の最小着火エネルギー測定装置(MIKE3) である吹上げ式着火試験を用いて、酸素濃度と最小着火エネルギー（放電エネルギー）を求めた。実験は、財団法人産業技術協会に委託した。

4.4.2 結果と考察

(1) トナーの粒径など

入手した新品トナーF1 と F2 の形状を、再生トナーと比較した結果を表 4.4.1 に示す。表 4.4.1 の L/W とは、粒の短径 W と長径 L の比で値が 1 に近いほど球形に近いといえ、F1 と F2 はともに再生トナーより球形に近いことがわかった。粒径分布については、先行の循環型社会形成推進科学研究で測定されたもの(再生トナーC, E、新品トナーR)よりも F1 で平均粒径 15.2 μm と大きく、F2 で 6.0 μm と小さな値となった。

トナーメーカーとの意見交換によって、次のこともわかった。メーカーは印刷技術の向上を目指し、トナー粉の粒度をより小さく、かつ、球形に近いものを作るように努力している。また、従来法（スタンプ）では、一定レベル以上の均一な球形にすることが難しいことから、化学反応による方法に切り替えているとのことである。

図 4.4.2 は、提供された試料の電子顕微鏡写真である。写真右は、EA トナー(Emulsion Aggregation)と呼ぶ乳化重合反応によって得られたトナー粉で、従来品に比べてより細かく（平均粒径 8.2 μm ）、かつ、球形に近づいている（L/W=1.07、L=粒の長径、W=粒の短径）。

表 4.4.1 トナーの形状の比較

	Source	Average diameter(μm)	L/W
Sample F1	New	15.2	1.2
Sample F2	New	6.0	1.2
Sample C*	Recycle	9.6	1.3
Sample E*	Recycle	10.3	1.4
Sample R*	New	7.1	1.1

L/W は、粒の長径と短径の比

*: 国立環境研究所ほか (2011) 平成 22 年度循環型社会形成推進科学研究費研究報告書「有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況の把握と適正管理方策」

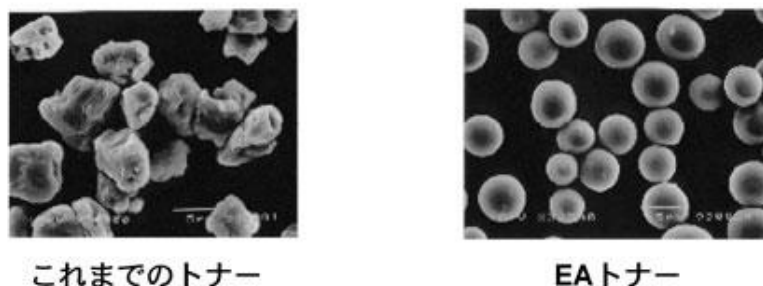


図 4.4.2 トナー粉の電子顕微鏡写真

(2) 酸素濃度と爆発圧力

図 4.4.3 は 30L 球状容器を用いて得られたトナーC の酸素濃度-爆発圧力の関係である。ほぼ 11% 以下では爆発しなかったが、この結果はトナーE と大差がなかった。

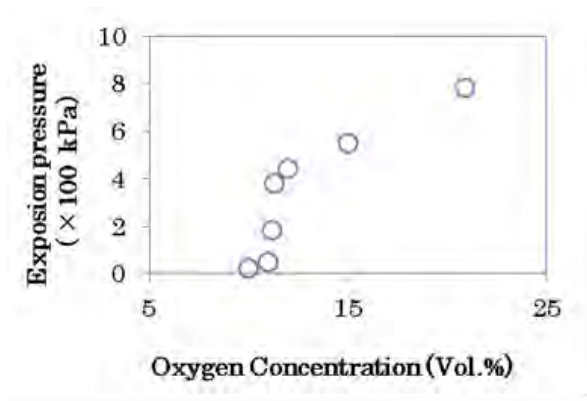


図 4.4.3 トナーC の酸素濃度-爆発圧力の関係

(3) 酸素濃度、粉じん濃度と最小着火エネルギー

図 4.4.4 は、酸素濃度を変えた場合のトナーC の粉じん濃度と必要な着火エネルギー(放電エネルギー)の関係を示した。酸素濃度が 21% の時、爆発に必要な放電エネルギーは、最小(約 1.5 mJ)になり、最も爆発しやすくなる。酸素濃度が減少する程、粉じん爆発に必要なエネルギーが増加しており、爆発しにくくなることが明らかになった。

次いで、本データを基に最小着火エネルギーと酸素濃度の関係を求めた結果を図 4.4.5 に示す。縦軸は、それぞれの酸素濃度での最も小さな放電エネルギーの値を示す。酸素濃度の減少と共に必要な放電エネルギーは大きくなり、16%以上では 1000mJ を超えるが、このような大きな放電エネルギーは一般にはなかなか生じず、粉じん爆発が起こりにくいといえる。なお、通常の静電気による電気エネルギーは 30mJ 以下とされている。

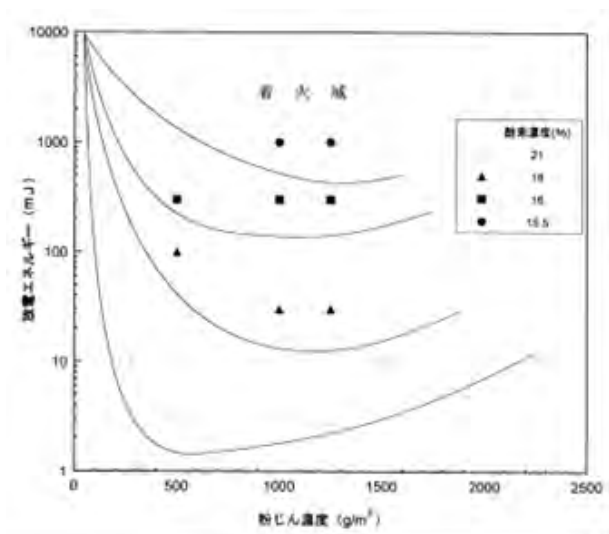


図 4.4.4 粉じん濃度と最小着火エネルギー
(トナーC)

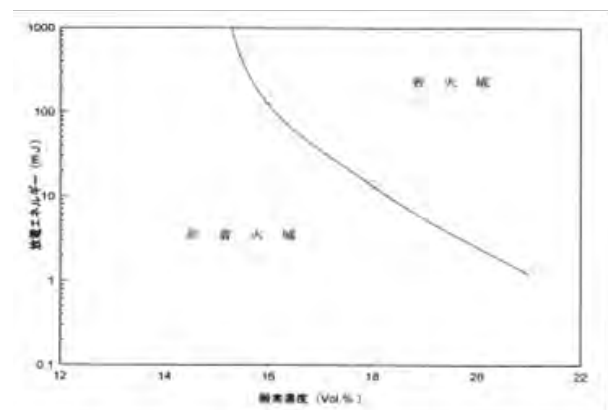


図 4.4.5 酸素濃度と最小着火エネルギー
(トナーC)

図 4.4.6 は粒径の小さなトナーF2 を試料として、粉じん濃度と最小着火エネルギーの関係を求めたものである。トナーF1 の場合と同様に、粉じん濃度を変えても大きな変化は見られないが、酸素濃度の変化は大きく影響した。従って、酸素濃度を低下させることは、爆発防止に大きな効果があることがわかる。

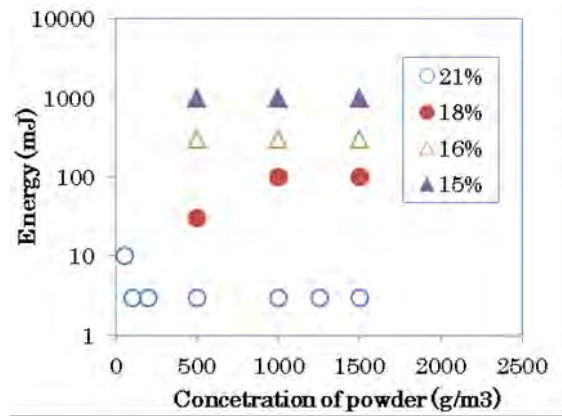


図 4.4.6 粉じん濃度と最小着火エネルギー
 図中の数字は雰囲気中の酸素濃度（トナーF2）

(4) 考察

トナーの粒径の違いによる明確な結果は出なかったが、一般に粒径が小さくなれば爆発の起こりやすさ、激しさは増すと考えられるので、近年のトナー粉の微小化に伴い、製造、回収工程でより一層の防災対策が必要となる。

実験結果を踏まえて粉じん爆発の予防対策として、次のことが考えられる。作業場所の清掃に努め、粉じんができるだけ存在しないようにする。粉じんは、ダクト内など堆積しやすい場所があるので、そのような場所を中心に清掃を心がける。また、着火源をできるだけ取り除くよう、例えば、静電気防止作業服、靴の着用、防爆型の電気機器を使用するといった対策が望まれる。加えて、酸素濃度を不燃性ガス（窒素ガスや燃焼排ガスなど）パーセントによって低下させることも有効である。その他の対策として、屋根を軽量化するといった建物の放爆構造化し、作業者への被害を減らすことが望まれる。

4.5 東日本大震災後に発生したがれき火災の調査と蓄熱発火に関する危険性評価実験

4.5.1 背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、大量のがれき（災害廃棄物）が生じた。急に大量に生じたがれきを迅速に処理するには、現有の設備と処理能力では十分でないことから、被災地では一時的にがれきを堆積し、分別後のがれきを処理するためのがれき置き場が数多く設置された。

しかし、特に同年夏以降になって被災地にあるがれき置き場で火災が相次いだ。放火などは考えにくく、多くが自然発火であると推定された。高く積み上げられることにより、蓄熱性がよくなり放熱状態が悪くなるため、内部温度が上昇し、火災に至る危険性が高くなっていることも考えられる。そこで、火災が発生した宮城県名取市にある閑上（ゆりあげ）と小塚原（こづかはら）の2つのがれき置き場での現地調査を行った結果を基に、自然発火に至る危険性を含めた特性を把握し、再発防止のための基礎的データと安全対策を得ることを目的とした。図4.5.1から図4.5.10に現地調査を行った際に撮影した写真を示す。図4.5.3に示すように火災が発生した未分別のがれきの山からは、ショベルカーを使っての分別作業の間にも多数の地点で蒸気が立ち上っていた。

掘り起こしたばかりのがれきを触ってみると暖かかった。分別の終わったものは図4.5.4から図4.5.10に示すように各物品ごとに、それ専用の山に積み上げられる。再生資源燃料（消防法・指定可燃物）のように堆積高さは5m以内が望ましいが、置き場がない現状ではその数値を守るのが厳しい状況となっていた。

このほか、2011年9月には以下の地域で現地調査を行っている（国立環境研究所、船橋市消防本部）。いずれの地域も地震および津波で大きな被害を受け、消防機関の消防力も大きく減じられており、対応に苦慮していた。

- ・名取市閑上海岸1次仮置場
- ・名取市小塚原1次仮置場
- ・岩沼市南長谷鍛冶スポーツ公園1次仮置場
- ・岩沼市下野郷中坪1次仮置場
- ・亘理町荒浜字築港通陸上競技場1次仮置場
- ・石巻市川口町1次仮置場
- ・南三陸町歌津字町向1次仮置場
- ・南三陸町志津川字汐見町1次仮置場



図4.5.1 名取市火災現場(平成23年9月訪問時)



図4.5.2 南三陸町火災現場



図 4.5.3 閉上がれき置き場(未分類の山)



図 4.5.4 閉上がれき置き場(廃タイヤ置き場)



図 4.5.5 閉上がれき置き場(混合廃棄物置き場)



図 4.5.6 閉上がれき置き場(金属スクラップ置き場)



図 4.5.7 閉上がれき置き場(魚網置き場)



図 4.5.8 閉上がれき置き場(木材チップ置き場)



図 4.5.9 小塚原がれき置き場
(家屋ボード類置き場)



図 4.5.10 小塚原がれき置き場(廃置置き場)

4.5.2 火災の概要（宮城県名取市）

以下に現地調査を行った宮城県名取市で発生したがれき火災の概要を示す。この他にも東北各地のがれき置き場全体で 20 件以上のがれき火災が発生している。いずれも火災は長時間におよび、地元消防本部では対応に苦慮している。

No1

覚知日時：平成 23 年 9 月 16 日(金) 07:39

出火場所：名取市閑上字東須加地内 東須加地区第一次仮置場西側

鎮火時間：平成 23 年 9 月 20 日（火）16:40

焼損面積：約 1200m²

焼損量：幅 40m×奥行 30m×高さ 15m 約 18000m³

住民への被害、苦情等：仙台市まで煙と臭いが来ているとの情報（名取市役所より）

No2

覚知日時：平成 23 年 9 月 19 日(月) 03:06

出火場所：名取市閑上字東須加地内 東須加地区第一次仮置場東側

鎮火時間：平成 23 年 9 月 22 日（木）12:26

焼損面積：約 300m²

焼損量：幅 30m×奥行 10m×高さ 10m 約 3000m³

住民への被害、苦情等：無し

No3

覚知日時：平成 23 年 9 月 22 日（木）05:59

出火場所：名取市小塚原字西土手外地内 小塚原地区第一次仮置場

鎮火時間：平成 23 年 9 月 22 日（木）11:35

焼損面積：約 100 m²

焼損量：幅 10m×奥行 10m×高さ 8m 約 800 m³

住民への被害、苦情等：無し

4.5.3 分析を行ったがれき類

今回は、閑上と小塚原から採取した合計 6 種類の試料を用いた。表 4.5.1 に試料名と採取場所をまとめたものを示す。また、図 4.5.11 から図 4.5.16 に用いた試料の写真を示す。

発酵による影響を確かめるため、エチレンオキサイドガス(EOG)を用いて、滅菌装置内にて 17 時間滅

菌処理を施したのも用いた。木材チップは集められた木質のがれき類をチップ状にしたものである。小塚原のがれき火災に関しては、畳が集められた山から出火している。

表 4.5.1 試料名と採取場所

試料名	採取場所
腐食畳(畳表部分)	閑上
木材チップ	閑上
汚泥	閑上
魚網	閑上
腐食畳(畳表部分) 出火付近より採取	小塚原
畳(畳表部分)	小塚原



図 4.5.11 閑上腐食畳



図 4.5.12 閑上木材チップ



図 4.5.13 閑上汚泥



図 4.5.14 閑上魚網



図 4.5.15 小塚原腐食畳



図 4.5.16 小塚原畳

4.5.4 がれき火災の原因究明にかかる実験方法（平成 23 年度）

一般に廃棄物類は、組成が一定でないため、再現実験が難しく、火災の原因究明は極めて難しい。また、出火点、発災物質の特定が難しい。原因究明作業で最も難しいものの一つとして、初期の発熱が何に起因して起こり、どういったプロセスで火災や事故に至るかのシナリオを明らかにできるかが挙げられる。発酵が影響を及ぼす物品である場合は、原因究明はより難しくなる。今回は、さまざまな熱分析手法を応用し、分析試験を実施した。また、堆積時における発生ガスと発酵に伴って排出される二酸化炭素やメタン等の量に注目してガス分析試験も行った。

(1) TG-DTA 分析

試料の含有水分量と熱分解開始温度を調べるため、熱分析装置(リガク Thermoplus TG 8120)を用いて測定を行った。約 20mg の試料を用いて、昇温速度 2K/min とし、150ml/min の速度で流す Air 雰囲気中でアルミニウム製開放容器(0.05ml)を用いて、室温から 600°Cまでの温度範囲で温度を上昇させた。装置の写真を図 4.5.17 に、用いたアルミニウム製開放容器を図 4.5.18 に示す。本装置は、試料を一定速度で加熱することで、重量の変化 (TG)、熱の発生の有無 (DTA) を調べるもので、化学の分野で広く利用されている。



図 4.5.17 熱分析装置(リガク Thermoplus TG 8120)

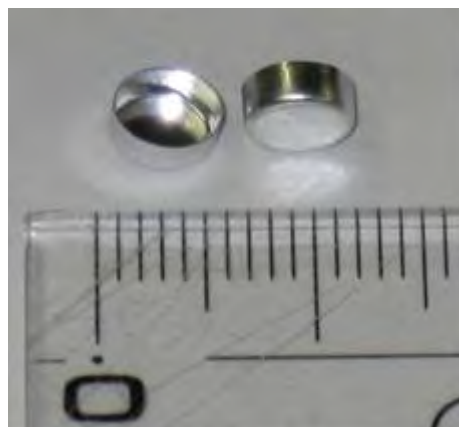


図 4.5.18 アルミニウム製開放容器(0.05ml)

(2) C80 分析

TG-DTA 測定では、試料に含まれる水分の蒸発による吸熱や 1 回の測定に用いることが可能な試料量が少なく、また、測定感度が低いため、室温(30°C前後)から 100°Cまでの挙動の把握が困難である。そこで、高感度熱量計(Setaram C80)によって、約 1500 mg の試料を用いて、昇温速度 0.1K/min とし、耐圧密閉型試料容器(8 ml)を用いて、含有水分の蒸発を抑制させながら、室温から 300°Cまでの温度範囲で温度上昇

させ、室温から100℃までのより詳細な熱挙動を得ることを目的として行った。装置の概略を図4.5.19に、用いた耐圧密閉型試料容器を図4.5.20に示す。

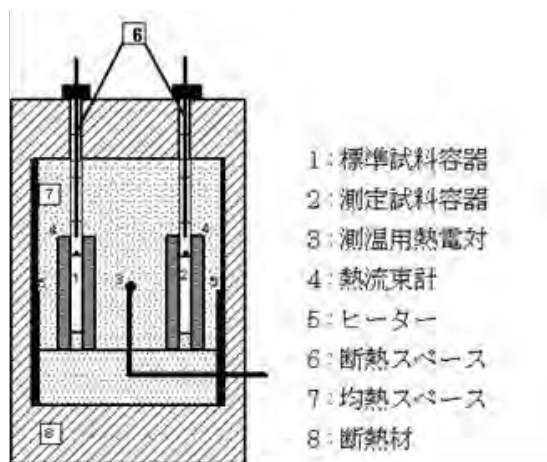


図 4.5.19 C80 概略図



図 4.5.20 耐圧密閉型試料容器

(3) TAM 分析

発酵による微小発熱をさらに詳細に調べるため、等温型高感度熱量計(Thermometric TAM-III)を用いて、約 1000 mg の試料を密閉型試料容器(4 ml)に入れて、50℃で2日間等温保持し、発熱量の測定を行った。装置の概略を図4.5.21に示す。用いた密閉型試料容器を図4.5.22に示す。また、前述した熱分析装置の相対感度等を合わせてまとめたものを表4.5.2に示す。

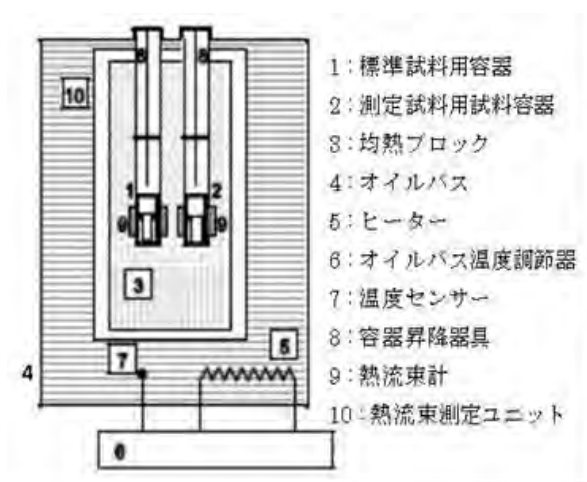


図 4.5.21 TAM 概略図



図 4.5.22 密閉型試料容器

表 4.5.2 相対感度等(TG-DTA・C80・TAM-III)

装置名	相対感度 (W/kg)	容器サイズ (ml)	測定可能 温度範囲	測定モード
TG-DTA	3 ~ 30	0.05	室温 ~ 1000℃	昇温測定
C80	0.005 ~ 0.01	8	室温 ~ 300℃	昇温測定 等温測定
TAM-III	0.0005 ~ 0.001	4	室温 ~ 150℃	等温測定

(4) GC 分析

発生ガスから発酵の可能性の有無の検討を行うため、約 25g～50 g の試料をガラス瓶中に詰め(試料が 25g の場合は、500ml のガラス瓶を用いた。また、50g の場合は 1000ml のガラス瓶を用いた。)、恒温槽内で 10 日間密栓保持し、発生ガスを採取し、ガス分析装置(島津 GC-14B)により分析を行った。ガス分析試験の概略を図 4.5.23 に示す。ガラス瓶中の発生ガスを採取する際、大気の侵入による発生ガスの濃度の変化を低減させるため、図 4.5.24 に示すような方法でガラス瓶中のガスをテドラーバッグに採取した。その後、テドラーバッグにシリンジを接続し、採取を行ったガスを均一に混合した後、ガスクロマトグラフ(GC)によって分析を行った。

その後、テドラーバッグにシリンジを接続し採取したガスをガスクロマトグラフに注入した。標準ガス(CO :0.0500% C₂H₆ :0.995% H₂ :0.0997% CO₂ : 0.996% CH₄ :0.987%)を用いて校正を行い、カラムは SHINCARBON ST(2.0m×3.0mmφ)、検出器は TCD(200℃)、感度は 50 mA、キャリアーガスは Ar(20 ml/min)、カラム温度は 40℃(6 min.hold)～80℃(12 min.hold)～150℃(10 min.hold)の範囲で 40℃/min で昇温させ測定を行った。また、O₂ と N₂ の分析には、Air ボンベ(O₂: 21 % N₂: 79 %)を標準ガスに用いて行った。試験条件として検出器は TCD(200℃)、感度は 30 mA、キャリアーガスは Ar(20 ml/min)、カラム温度は 30℃で等温保持し測定を行った。

ガラス瓶で試料の保持を行う



ガスを採取したテドラーバッグにシリンジを接続し測定量分のガスを採取する



採取したシリンジ内のガスをガス分析装置に注入する



図 4.5.23 ガス分析試験概略

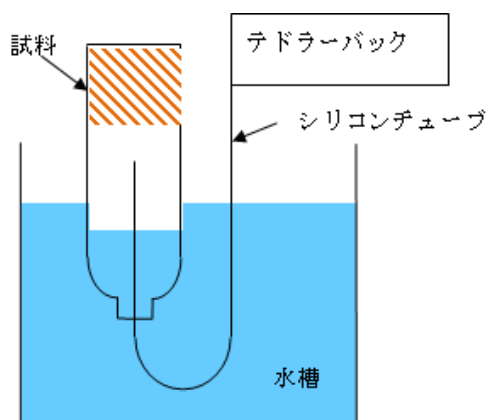


図 4.5.24 ガス収集概略図

4.5.5 がれき火災の原因究明にかかる実験結果と考察（平成 23 年度）

(1) TG-DTA 分析

実験結果を図 4.5.25 から図 4.5.30 に示す。また、100℃での重量減量率と熱分解開始温度をまとめたものを表 4.5.3 に示す。発熱開始温度は、DTA 曲線が安定したベースラインより 0.1μV(0.01 度)発熱方向へシフトした温度を読みとった。グラフの横軸は試料の温度を示し、縦軸は TG(重量減量率)と DTA(熱的挙動)を示す。TG 曲線は下方が減量、上方が増量を示す。DTA 曲線のピークは、下向きが吸熱反応を示し、上向きが発熱反応を示す。

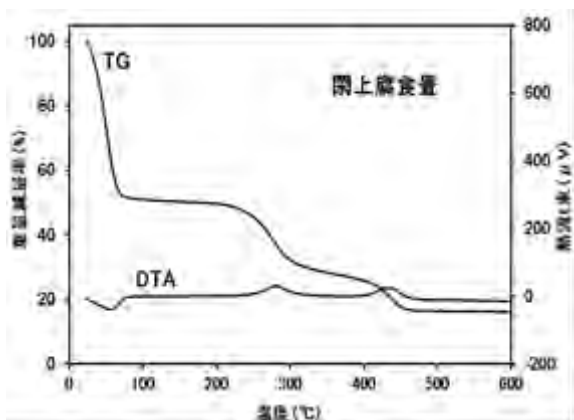


図 4.5.25 閉上腐食畳の TG-DTA 分析結果(2K/min)

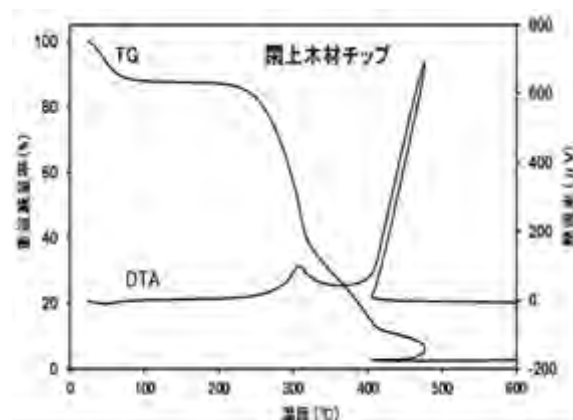


図 4.5.26 閉上木材チップの TG-DTA 分析結果(2K/min)

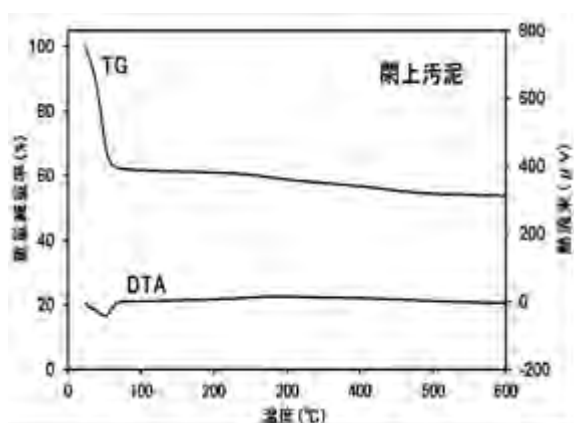


図 4.5.27 閉上汚泥の TG-DTA 分析結果(2K/min)

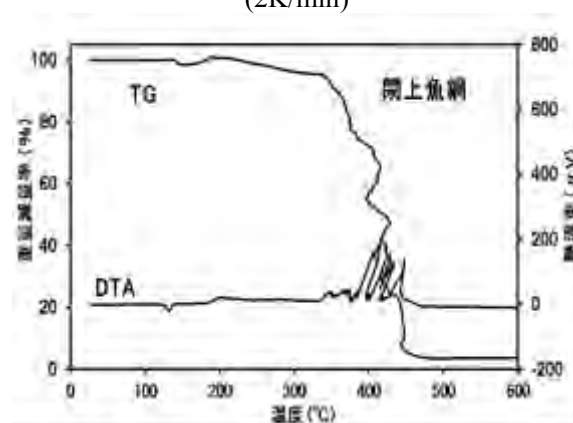


図 4.5.28 閉上魚網の TG-DTA 分析結果(2K/min)

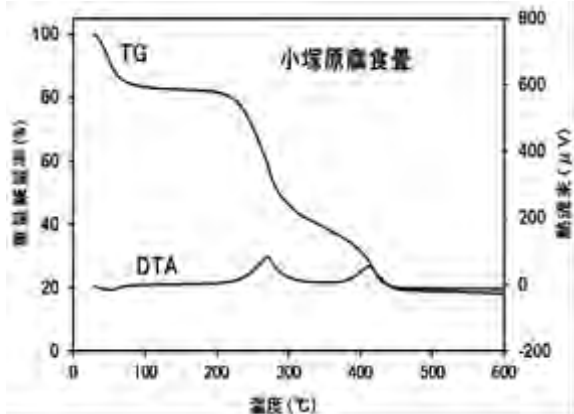


図 4.5.29 小塚原腐食畳の TG-DTA 分析結果(2K/min)

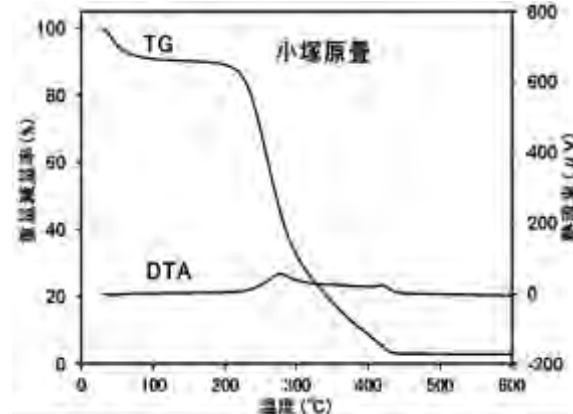


図 4.5.30 小塚原畳の TG-DTA 分析結果(2K/min)

表 4.5.3 100℃での重量減量率と熱分解開始温度

試料名	100℃での重量減量率 (%)	熱分解開始温度 (℃)
閑上腐食畳	49.01	160.7
閑上木材チップ	12.08	163.5
閑上汚泥	38.2	198.3
閑上魚網	0	173
小塚原腐食畳	16.6	166.8
小塚原畳	9.1	171.3

閑上腐食畳・閑上木材チップ・小塚原腐食畳・小塚原畳の熱分解は3段階に分かれておこっている。室温から100℃の温度領域では、TG曲線から脱水による減量が見られた。この段階で最も減量率が大きかったのが閑上腐食畳であった。いずれの試料も180℃から380℃の温度領域では、有機成分の分解による減量が見られた。それ以降の温度領域においては、炭化物の燃焼による減量と発熱が観測された。熱分解開始温度は、閑上汚泥が最も高く、198℃であったが他の試料に関してはおおむね160℃から170℃前後の間となった。この近辺の温度に達した場合、熱分解を開始して発熱、火災に至る可能性が考えられる。

閑上木材チップは、建築廃材等の木質系のがれき類をチップ状にしたものも含んでおり、400℃近辺で現れる特異な発熱ピークに関しては、建築時に用いられた高分子の分解や塗料等による発熱、発火であることが考えられる。また、津波によって湾岸施設や漁船から重油や船舶燃料が津波と一緒に流出している。それらが混じった津波による被害の大きかった地域から集められたがれき類に関しては、石油類が存在することでさらに危険性が高いことが考えられる。

(2) C80 分析

昇温速度を0.1K/minとした場合の結果の一覧を図4.5.31から図4.5.36に示す。また、測定開始直後から80℃までの発熱開始温度と発熱量をまとめたものを表4.5.4に示す。今回の発熱開始温度は、測定を開始してから発熱方向にシフトし始める最初の温度を読み取った。

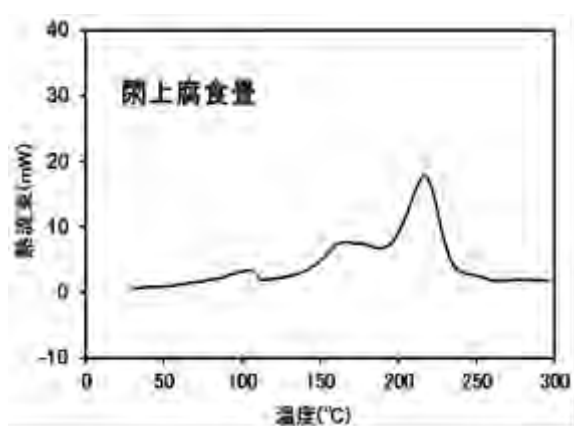


図 4.5.31 閑上腐食畳の C80 分析結果(0.1K/min)

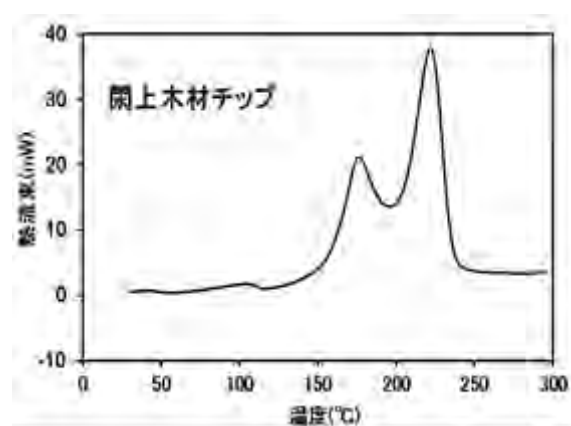


図 4.5.32 閑上木材チップの C80 分析結果 (0.1K/min)

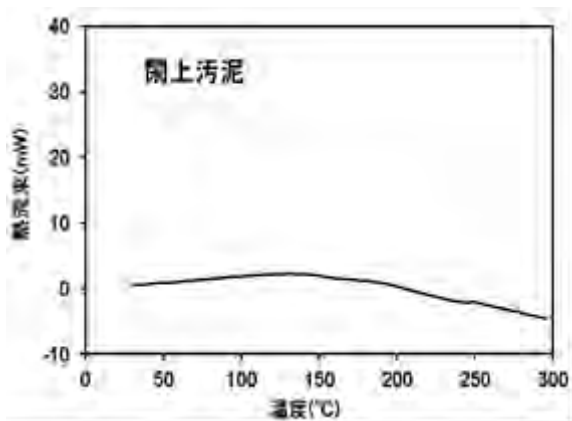


図 4.5.33 閑上汚泥の C80 分析結果(0.1K/min)

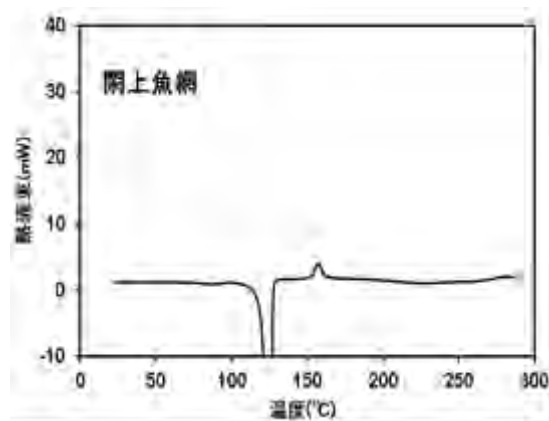


図 4.5.34 閑上魚網の C80 分析結果(0.1K/min)

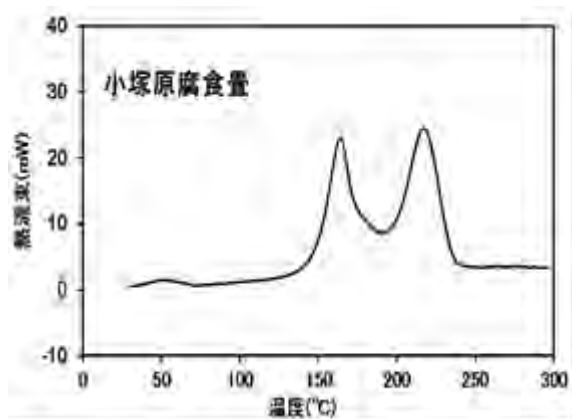


図 4.5.35 小塚原腐食畳の C80 分析結果
(0.1K/min)

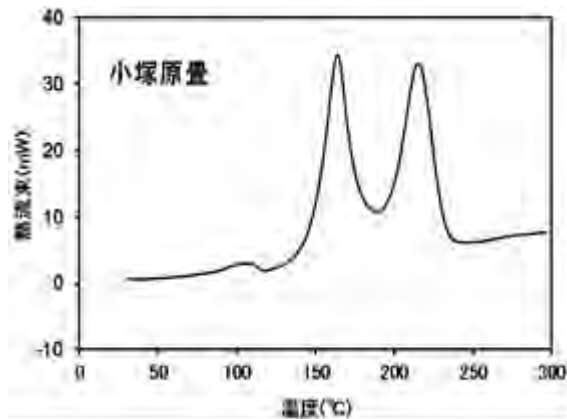


図 4.5.36 小塚原畳の C80 分析結果(0.1K/min)

閑上腐畳・小塚原腐食畳・閑上木材チップの場合、測定開始直後から発酵と考えられる発熱の開始が見られた。いずれの試料も 80°C 以降から 100°C の温度領域では、含まれる油脂類の発熱と考えられる発熱が観測された。それ以降の温度領域では、熱分解によるものと考えられる発熱が観測された。大量に堆積された木材チップが発酵後火災に至る事例は過去にも報告されているが、腐食畳の方が発熱量が多く木材チップより危険性が高いことが考えられる。魚網の 130°C 付近で現れる吸熱ピークに関しては、ポリエチレン(PE)類の溶融によるものと考えられる。

これらの物品の発熱から発火へのプロセスとして、まず微生物の活動によって発酵が起こり微小な発熱が始まる。そして徐々に温度が上昇していき、たとえ微生物が死滅しても含まれる油脂類等の酸化が始まり、さらに温度上昇し発火に至ることが考えられる。

表 4.5.4 発熱開始温度と発熱量(測定開始直後から 80°C)

試料名	発熱開始温度 (°C)	発熱量(J/g)
		測定開始直後～80°C
閑上腐食畳	29.96	9.99
閑上木材チップ	29.44	1.47
閑上汚泥	-	≒0
閑上魚網	-	≒0
小塚原腐食畳	25.52	9.4
小塚原畳	-	≒0

C80の結果をもとに次のような安全対策をとることが望ましいと考えられる。堆積物内部の温度が30℃以上50℃以下であった場合は発酵が始まっている可能性がある。発酵による発熱は微小なものであり、この段階で堆積物を切り崩して放熱処理を行えばさらに温度上昇し発火する可能性は低くなる。50℃以上80℃以下であった場合は、発酵と発酵によって生成した物質や油脂類の酸化が起こっている。この段階ではすでに蓄熱が進行しており、早急な対処が必要となる。この段階で放熱処理を行うために、堆積物を切り崩すと蓄熱部分に対する酸素供給量が増え、急激に温度上昇し、火災に至る可能性が高まることが考えられる。この段階では堆積物を土砂で覆い必要に応じて放水を行うことが望ましい。

(3) TAM 分析

TAMによる結果の一覧を図4.5.37から図4.5.42(未処理)、図4.5.43から図4.5.46(EOG処理)に示す。発熱量をまとめたものを表4.5.5(未処理)と表4.5.6(EOG処理)に示す。今回の発熱量は、測定開始24時間後、24時間後から48時間後、両方の合計をまとめたものを示す。含有水分の影響を検討するため試料量に対して蒸留水20%を添加したものについても測定を行った。TAMの保持温度を50℃にしたのは、50℃近辺で微生物による活動が活発におこり、それ以降の温度領域においては徐々に微生物の活動が不活性となっていくからである。

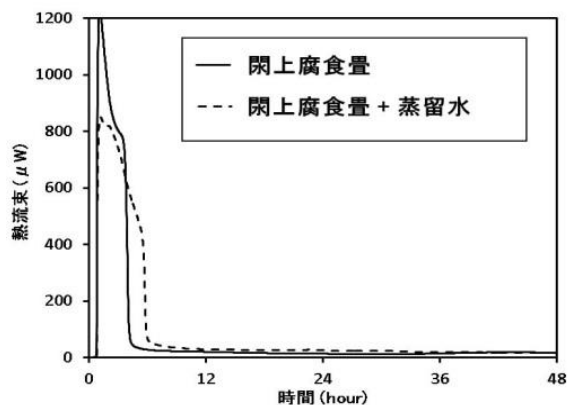


図 4.5.37 閑上腐食量の TAM 分析結果(50℃)

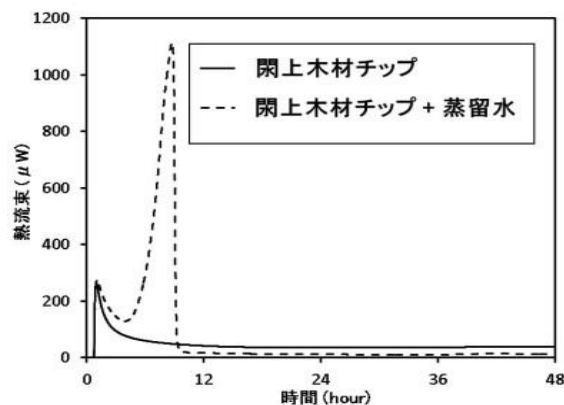


図 4.5.38 閑上木材チップの TAM 分析結果 (50℃)

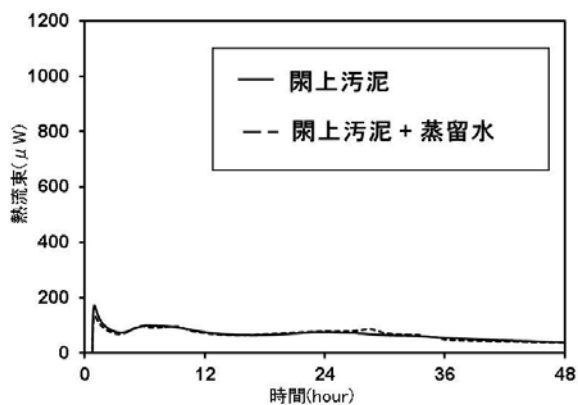


図 4.5.39 閑上汚泥の TAM 分析結果(50℃)

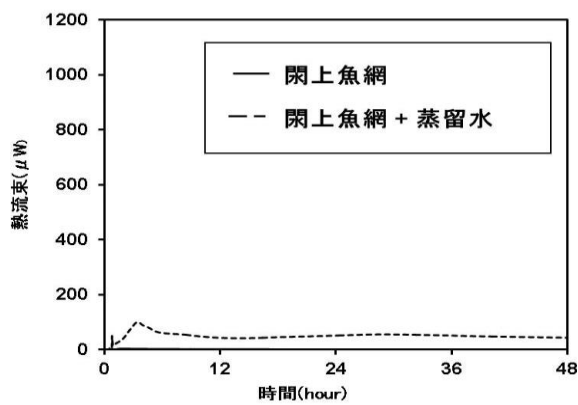


図 4.5.40 閑上魚網の TAM 分析結果(50℃)

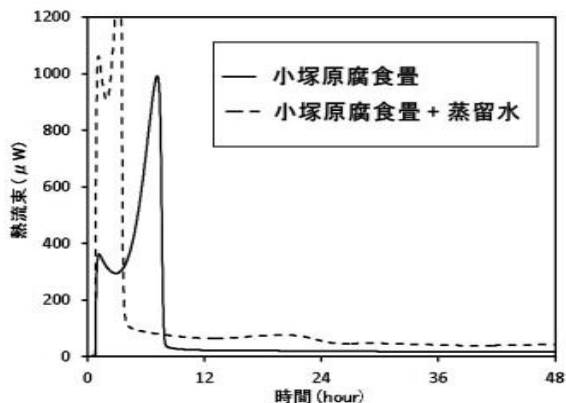


図 4.5.41 小塚原腐食畳の TAM 分析結果(50°C)

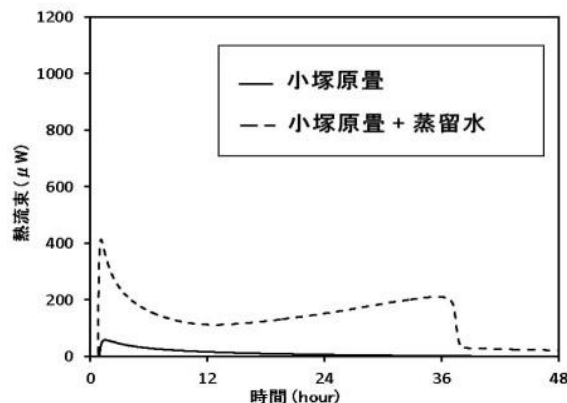


図 4.5.42 小塚原畳の TAM 分析結果(50°C)

表 4.5.5 TAM 分析による発熱量(未処理)

試料名	発熱量(J/g)	発熱量(J/g)	発熱量(J/g)
	0~24 時間	24~48 時間	0~48 時間
閑上腐食畳	11.59	1.32	12.91
閑上腐食畳+蒸留水	13.88	1.76	15.64
閑上木材チップ	4.76	3.15	7.91
閑上木材チップ+蒸留水	12.28	1.01	13.30
閑上汚泥	6.90	4.72	11.62
閑上汚泥+蒸留水	6.71	4.77	11.48
閑上魚網	0.09	0.02	0.11
閑上魚網+蒸留水	4.37	4.29	8.65
小塚原腐食畳	13.76	1.56	15.32
小塚原腐食畳+蒸留水	16.31	3.71	20.02
小塚原畳	2.13	1.08	3.21
小塚原畳+蒸留水	13.18	9.71	22.89

測定を行った結果を比較してみると、発熱量の合計値は小塚原腐食畳が一番高い結果となった。小塚原腐食畳の熱挙動を見てみると、測定開始直後に発熱し数時間後に急激に発熱量が増加していく傾向がみられた。これは時間経過に伴って、微生物の活動が活発となっていくためと考えられる。その後、急激な発酵によって密閉型試料容器内の酸素を消費してしまい発熱が終息していく傾向がみられた。酸素が無くなると発熱が終息していくという結果からみて好気性の発酵である可能性が高い。水分を添加してから測定を行った結果を見てみるといずれの試料もそのまま測定を行った結果に比べて発熱量の増加がみられた。小塚原畳に関しては、発熱量が約 12 倍になった。他の試料は急激に発熱し測定開始から約 10 時間程度で発熱が終息していく傾向がみられたが、小塚原畳に関しては、長時間発熱が持続する傾向がみられた。汚泥に関しても、急激な発熱は見られなかったが、長時間発熱を持続する傾向がみられた。

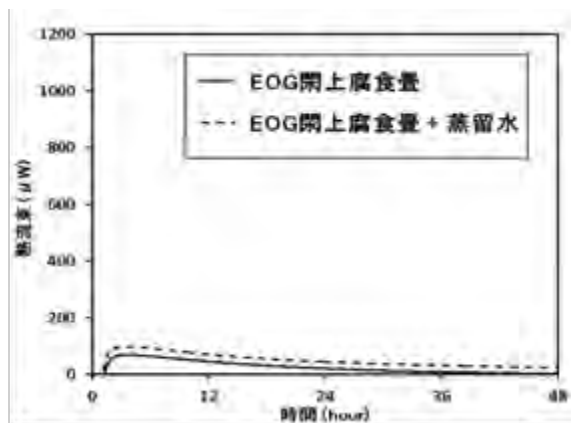


図 4.5.43 EOG 閉上腐食量の TAM 分析結果 (50°C)

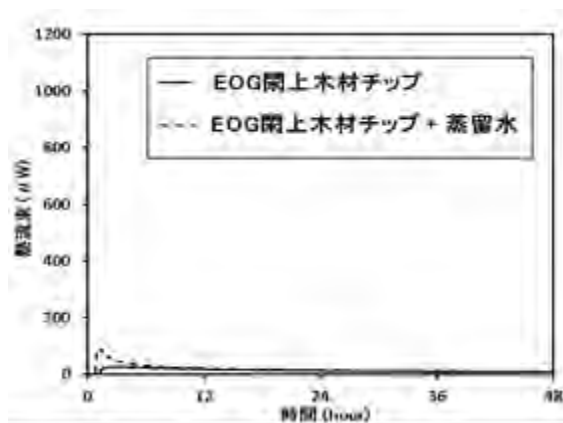


図 4.5.44 EOG 閉上木材チップの TAM 分析結果 (50°C)

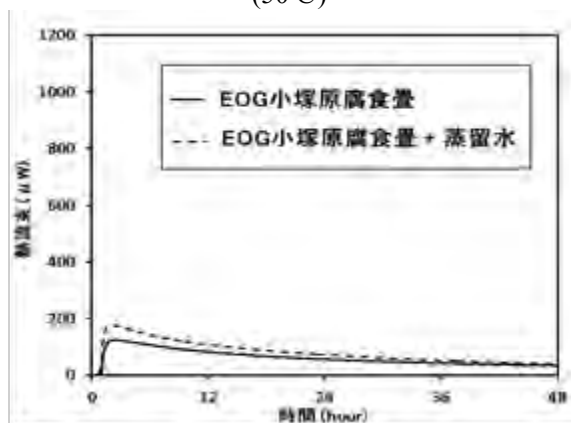


図 4.5.45 EOG 小塚原腐食量の TAM 分析結果 (50°C)

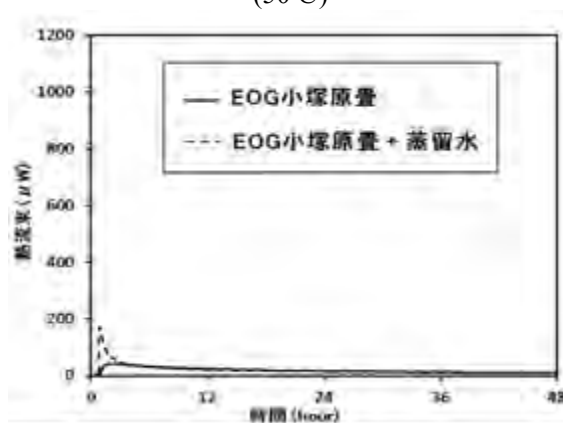


図 4.5.46 EOG 小塚原量の TAM 分析結果(50°C)

表 4.5.6 TAM 分析による発熱量(EOG 処理)

試料名	発熱量(J/g)	発熱量(J/g)	発熱量(J/g)
	0~24 時間	24~48 時間	0~48 時間
EOG 閉上腐食量	3.68	0.81	4.48
EOG 閉上腐食量+蒸留水	5.84	2.81	8.65
EOG 閉上木材チップ	1.59	0.95	2.54
EOG 閉上木材チップ+蒸留水	2.29	1.02	3.31
EOG 小塚原腐食量	7.14	3.74	10.88
EOG 小塚原腐食量+蒸留水	9.56	4.61	14.17
EOG 小塚原量	1.69	0.28	1.96
EOG 小塚原量+蒸留水	2.39	1.03	3.42

エチレンオキサイドガス (EOG) は、ほとんどの微生物を死滅させることができ、医療用器具や精密機械を隅々まで滅菌するのに幅広く用いられている。エチレンオキサイドガスで滅菌処理を行ってから測定を行った試料に関しては、測定開始 12 時間以内に現れていた発熱ピークの減少がみられた。TG-DTA の結果より汚泥は水分を多く含んでいるという結果となった。TAM の結果と合わせて考えると、汚泥そのものは激しく燃えるような物品ではないが大量の水分と微生物を含んでいる可能性があり他の物品を腐食させ発酵の補助的な役割を行う可能性がある。TAM の水分添加の結果から考えると、火災発生後放水を行い鎮火させたとしても放水をおこなった近辺に発酵しやすいものがあつた場合、放水の水で

発酵し蓄熱後発火する可能性があるため、鎮火させたとしても一度火災を起こした近辺に関しては、引き続き注意が必要であると考えられる。

(4) GC 分析

GC 分析による結果を表 4.5.7(未処理)と表 4.5.8(EOG 処理)に示す。EOG 未処理の試料の場合の結果を見てみると閑上腐食畳・閑上木材チップ・小塚原腐食畳に関しては、大量の二酸化炭素の発生が観測された。また、閑上腐食畳・閑上木材チップ・小塚原腐食畳・小塚原畳からは水素の発生が観測された。また、汚泥以外の試料に関しては、水分を添加することにより二酸化炭素の発生量が増加した。また、EOG 処理を行ってから保持した試料に関しては、大幅な二酸化炭素の減量と水素やメタンの発生が観測されなくなった。従って、がれき内で微生物発酵が起こっている可能性が予想される。

水素やメタン発生の理由として、好気性の発酵以外に嫌気性の発酵が行われている可能性が高い。積荷の木材チップが発酵し、停車してあった大型トラックが炎上したという事例や、生ごみ処理機内で処理中の廃棄物類が発酵することにより、可燃性のガスが発生し爆発したという事例も存在する。がれき置き場では、二酸化炭素や可燃性ガスが発生したとしても、大気中へ飛散して濃度が低くなっていくため、それらのガスに対する危険性はそこまで高くないが、今後密閉性の高いコンテナ等でがれき類を輸送したり、処理施設で長期間、貯蔵する際においては、火災や爆発の注意が必要となってくることが考えられる。「(2) C80 分析」で述べた温度のモニタリング以外に、簡易的なガス検知管等を用いて、がれき山内部の発生ガスの測定を行うことにより、発酵の有無、ガス発生の可能性を検討することが可能であると考えられる。

表 4.5.7 GC 分析結果(未処理)

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
閑上腐食畳	10日間	25°C	1.49	73.26	1.1234	-	-	18.45
閑上腐食畳 + 蒸留水20%			1.55	69.62	0.0294	-	-	22.78
閑上木材チップ			5.34	77.79	-	-	-	12.11
閑上木材チップ + 蒸留水20%			1.47	78.53	0.0843	-	-	14.41
閑上汚泥			16.98	80.53	-	-	-	1.12
閑上汚泥 + 蒸留水20%			16.38	81.17	-	-	-	1.06
閑上魚網			20.61	76.58	-	-	-	0.05
閑上魚網 + 蒸留水20%			18.69	77.03	-	-	-	1.28
小塚原腐食畳			1.75	77.43	0.0823	-	0.0632	17.32
小塚原腐食畳 + 蒸留水20%			0.98	72.81	0.1008	-	0.07882	20.19
小塚原畳			19.23	77.98	-	-	-	0.12
小塚原畳 + 蒸留水20%			13.59	77.55	0.0211	-	-	5.52

表 4.5.8 GC 分析結果(EOG 処理)

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
EOG閑上腐食量	10日間	25°C	19.85	77.65	-	-	-	0.05
EOG閑上腐食量 + 蒸留水20%			19.47	76.97	-	-	-	0.51
EOG閑上木材チップ			20.30	77.63	-	-	-	0.05
EOG閑上木材チップ + 蒸留水20%			20.29	76.68	-	-	-	0.36
EOG小塚原腐食量			19.02	77.86	-	-	-	0.08
EOG小塚原腐食量 + 蒸留水20%			18.39	77.75	-	-	-	0.86
EOG小塚原量			19.85	77.02	-	-	-	0.05
EOG小塚原量 + 蒸留水20%			19.65	76.54	-	-	-	0.12

(5) まとめ

震災後に起こったがれき火災の原因究明のために、消防研究センターにおいて熱分析およびガス分析を主体に実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

TG-DTA 測定の結果より、今回用いた汚泥以外のがれき類の熱分解を開始する温度は 160°C から 170°C の間にあり、この近辺まで温度上昇すると火災を引き起こす可能性がある。また、津波によって重油や船舶燃料が流出しており、それらが混ざった津波による被害の大きかった地域から集められたがれき類に関しては、さらに危険性が高いことが考えられる。

C80 の測定結果より、発酵する可能性のあるがれき類が火災に至るプロセスとして、まず微生物の活動によって微小な発熱が起こる。そして、断熱状態がよい場合には含まれる油脂類の酸化に移行し、さらに温度上昇して熱分解を開始して火災に至ることが考えられる。大量に保管された木材チップが発酵後蓄熱し火災に至る事例は毎年数件報告されている。腐食量と木材チップからは測定開始直後から発酵と考えられる発熱が観測された。100°C 以下の温度領域では、腐食量の方が発熱量が大きく、木材チップより発熱しやすいことが考えられる。

TAM 測定の結果より、水分を添加することにより全ての試料において発熱量の増加がみられた。これにより適度な水分を含んだものほど発酵しやすく発熱しやすいということが考えられる。これにより雨が繰り返しふり、気候も温暖になってくる春以降に関しては、がれき火災発生のより一層の警戒が必要である。また、火災発生後放水を行い鎮火させたとしても放水を行った近辺に発酵しやすいものがあった場合、放水の水で発酵し蓄熱後に発火する可能性があるため、一度火災を起こした近辺に関しては引

き続き警戒が必要である。

安全対策として、少なくとも月に一度は堆積物の切り崩しを行い、積み上げたままの状態でも長期間放置しないことが望ましい。可能であれば、堆積物にパイプを打ち込み放熱を行うとともに、パイプの穴から熱電対やガスの検知管を挿入して内部温度のモニタリングや発生ガスの観測を行う。また、発酵しやすい可能性のあるがれきの分別を行い、優先的に処理し処理の見通しが立たない場合は消火用の砂や設備を用意しておくのが望ましい。内部温度の予測は、がれきから白煙が上がっていれば、部分的には80℃以上になっている可能性がある。この辺の温度に達すると水蒸気の蒸発でがれきの一部で水分が抜けて発火に至る可能性がでてくる。

なお、今回は、微生物発酵の可能性について検討したが、他の原因、例えば、がれき中に存在する可能性のある電池類の短絡、金属と水の反応、重機等を使った作業での火花、放火、たばこの火の不始末等の可能性を完全に否定するものではない。また、現場で採取した物質の実験を基にしているため、畳、木材チップ、汚泥等の一般的な火災危険性を表しているわけではない。

4.5.6 がれき火災の原因究明にかかる実験方法（平成24年度）

平成24年度は、がれき内部の温度が90℃程度まで上がり、危険な状況にあった石巻市のがれき置き場の現地調査を行い、また、がれき類(主に腐食した畳や木材チップ類)や、国立環境研究所より提供された模擬がれき類(稲わらペレットや剪定葉)の火災危険性について熱分析(TG-DTA、C80およびTAM)を行った。実験の詳細については、4.5.4を参照されたい。また、発生するガスについても、ガスクロマトグラフを使って分析した。

4.5.7 がれき火災の原因究明にかかる実験結果と考察（平成24年度）

(1) 熱分析 TG-DTA

結果を図4.5.47、図4.5.48に示す。図の横軸は試料の温度を示し、縦軸はTG(重量減量率)とDTA(熱的挙動)を示す。TG曲線は下方が減量を示す。DTA曲線のピークは、下向きが吸熱反応を示し、上向きが発熱反応を示す。室温から100℃の温度領域において、TG曲線・DTA曲線からは、含有水分等の蒸発に伴う重量減少と吸熱が観測された。いずれの試料も、180℃から380℃の温度領域では、有機成分の分解による重量減少がみられた。それ以降の温度領域においては、炭化物の燃焼による重量減少と発熱が観測された。熱分解開始温度は、概ね160℃～180℃前後の間となった。この近辺の温度に達した場合、条件が揃えば(断熱状態・熱容量・空気流入量)熱分解を開始して火災に至る可能性があると考えられる。

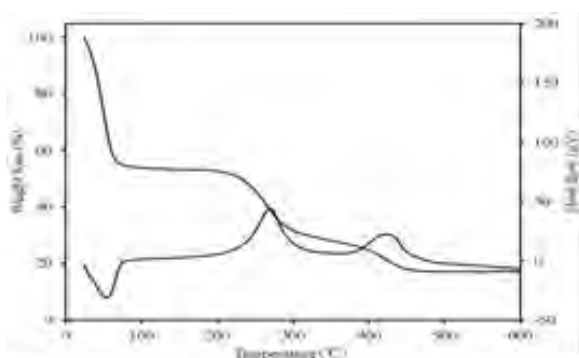


図 4.5.47 石巻腐食畳 (2K/min)

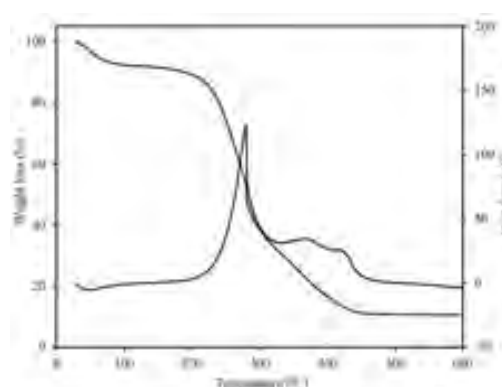


図 4.5.48 稲わらペレット (2K/min)

(2) C80 高感度熱量計

結果を図4.5.49、図4.5.50に示す。石巻腐食畳の場合、測定開始直後(25℃前後)から、微生物の活動によって引き起こされたと考えられる発熱の開始が見られた。

また、水分添加してから測定を開始した場合、発熱開始温度の低下がみられた。これらの物品の発熱から発火へのプロセスとして、まず微生物の活動によって発酵が起こり、発熱が始まる。そして、徐々に

温度が上昇していき、微生物が死滅しても含まれる脂肪酸エステル等の酸化が始まり、さらに温度が上昇して火災に至ることが考えられる。

安全対策の1つとして、内部温度のモニタリングが挙げられる。堆積物内部の温度が、室温(25℃)以上50℃以下であった場合は、発酵が始まっている可能性がある。発酵による発熱は小さなものであり、この段階で堆積物を切り崩し、放熱処理を行えば、火災に至る可能性は低くなることが考えられる。50℃以上80℃以下であった場合は、発酵と脂肪酸エステル等の酸化が起こっている可能性が高い。

これらの反応による発熱量は発酵によるものより大きく、この段階ではすでに蓄熱が進行しており、早急な対処が必要となってくる。また、この段階で放熱処理を行うために、堆積物を安易に切り崩すと蓄熱部分に対する酸素供給量が増え、放熱量を上回り急激に温度が上昇して、火災に至る可能性が高まることが考えられる。

ここでは堆積物全体や法面を土砂で覆い酸素の流入量を抑制し、温度が低下するまで保つか、堆積物の切り崩しを行うことが望ましい。もし、放水による冷却を行う場合には、その後の発酵に十分注意を払う必要がある。

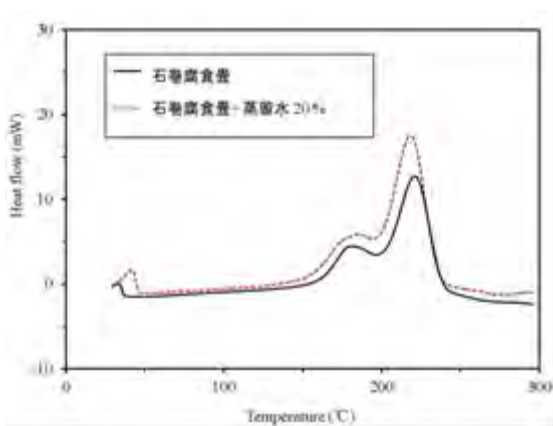


図 4.5.49 石巻腐食量 (0.1K/min)

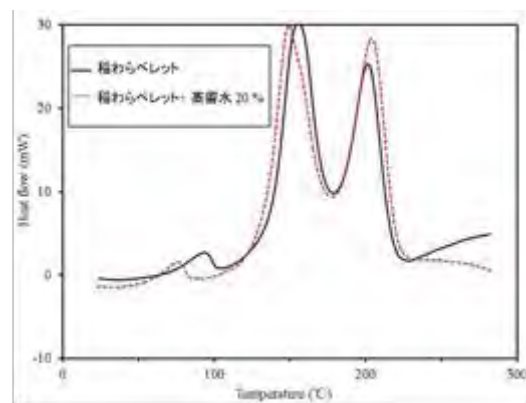


図 4.5.50 稲わらペレット (0.1K/min)

(3) TAM 高感度熱量計

TAM を 50℃ に設定して測定を行った結果を図 4.5.51、図 4.5.52 に示す。石巻腐食量については、酸素の量による発熱量の変化を確認するため、20ml の容器を用いて追加測定を行った。TAM の保持温度を 50℃ に設定したのは、約 40℃～50℃ 近辺で多くの微生物による活動が活発に起こり、それ以降の温度領域においては、徐々に微生物の活動が不活性となっていくため、過去の測定データと比較が可能な 50℃ を TAM の設定温度とした。石巻腐食量を 4ml 容器で測定した場合、測定開始直後に急激に発熱し、すぐに終息していく傾向がみられた。これが酸素の量の低下による発熱の終息であるのかを確かめるため、試料量と保持温度は同じにして、20ml の容器で測定を行った。その結果、発熱量が約 6 倍となり、水分添加を行ってから測定を行った場合には、発熱反応が 2 段階となった。これは、時間経過にともない徐々に微生物の活動が活発となっていくためと考えられる。

4ml の測定結果と 20ml の測定結果を合わせて考えてみると、酸素が少なくなると発熱が終息していくという結果からみて、好気性の発酵が起こっている可能性が高い。

C80 の結果と合わせて考えても、発酵が温度上昇に対して、大きな影響を与えていることが考えられる。C80 と TAM の水分添加を行った測定結果から考えると、瓦礫山の冷却や消火のため、放水を行った場合、その後放水の水によって発酵が促進され、蓄熱後に火災に至る可能性が考えられる。そのため、放水を行った近辺に関しては、十分な注意を払い、豊類や木材チップ等の「発酵する可能性のある瓦礫類」があった場合は、優先的に分別し処理することが望ましい。

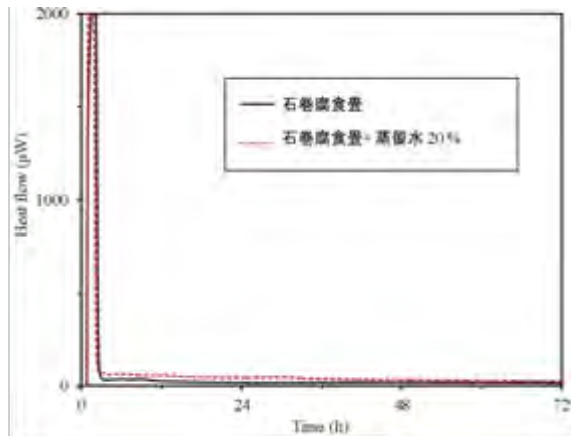


図 4.5.51 石巻腐食量 (4ml)

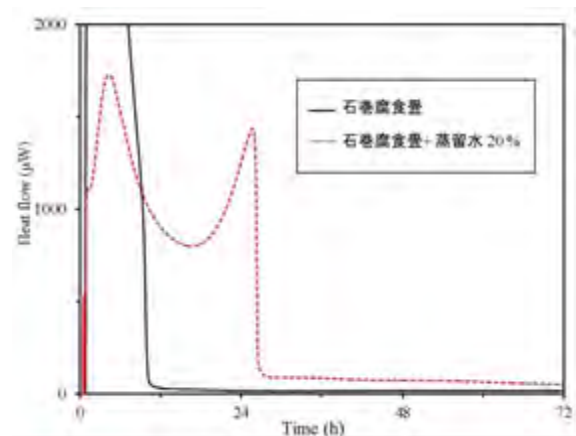


図 4.5.52 石巻腐食量 (20ml)

(4) まとめ

主に微生物の活動に伴って生じる発熱や、それに伴って生じるガスに焦点を当て測定を行った。熱分析の結果、いくつかの試料に関しては、室温付近から 50℃前後にかけて、微生物の活動によって生じたものと思われる発熱が観測された。また、水分を添加してから測定を行うことで、その発熱がより顕著となった試料もあった。また、発生ガスの分析結果より、微生物の活動によって生じたと思われる、大量の二酸化炭素の発生が観測された。以上の結果より、条件が揃えば(適度な水分の存在・断熱状態・熱容量・空気流入量)等がそろえば、室温付近の貯蔵や堆積であっても、微生物の活動によって生じた熱が引き金となり火災に至る可能性があることがわかった。

4.5.8 RPF の蓄熱発火に関する危険性評価試験

(1) 実験方法

1) 試料

TG-DTA、C-80 および等温型高感度熱量計 TAM による測定で受領した試料の一部を、ニッパーで細かく切り取り、測定試料とした。受領した試料を任意に 5 本選び、ばらばらにほぐして測定試料とした。また、C80、TAM、ガスクロマトグラフによるガス分析の測定では、微生物の活動による影響を調べるために、上記試料に水 20%を添加した試料の測定も行なった。

2) 測定条件

TG-DTA の装置として理学電機製 TG-DTA Thermo Plus 8120 を用いた。試料量は約 10mg とし、昇温速度を 2K/min に設定した。測定温度範囲は室温～600℃までとした。測定雰囲気は空気、流量 150mL/min とした。試料容器としてアルミ製オープンセルを用いた。

C-80 は Setaram 社製双子型熱量計である。試料量は約 600mg とし、昇温速度を 0.1K/min に設定した。測定温度範囲は室温～300℃までとした。測定雰囲気は空気、試料容器として高圧型密封容器（測定後の試料と試料容器の固着を防ぐため、内側にガラス容器を使用した）を用いた。TAM は Thermometric 社製高感度熱量計である。試料量は約 5g とし、保持温度は 50℃に設定し、等温条件で測定を行った。測定雰囲気は空気とし、試料容器は 20mLSUS 製密封容器を使用した。

発生したガス分析測定においてガスクロマトグラフ（島津製作所製 GC-14B）を用いた。カラムは SHINCARBON ST (2.0m×3.0mmφ ステンレス) を使用した。検出器は TCD(200℃)を用い、感度を 50mA ATT4 に設定した。試料注入量を 2mL とし、キャリアーガスとしてアルゴン (20mL/min) を使用した。カラム温度は 40℃ (2.5min. hold) ～150℃ (昇温速度 10K/min) で測定を行った。試料 50g を 1 リットルのガラス瓶の中に入れ、保持温度 26℃で 10 日間保管したとき、瓶の中に発生したガスを分析した。ガラス瓶中の発生ガスを採取する際、大気への侵入による発生ガスの濃度の変化を避けるために、テドラーバッグに瓶中の全量のガスを採取した。このテドラーバッグにシリンジを接続し採取したガスを均一に

混合した後、シリンジ内の発生ガスをガスクロマトグラフに注入した。

(2) 結果と考察

TG-DTA 測定において、受領した試料は均一でないが、一本の RPF から繊維状の部分を切り出し測定試料に用いた。受領した RPF の大部分を構成する灰色の繊維状の部位の測定結果は、再現性があり、210°C 付近からポリマーの分解が始まり、380°C から 430°C 付近で大きな発熱を伴った分解燃焼が起こっていた。C80 による測定結果を基に RPF 単体および RPF に水 20% 添加した試料の熱流束を検討した。測定結果から両試料とも類似した熱挙動を示した。60~80°C 付近から 130°C 付近にかけてポリマーの融解があり、160°C から発熱が観測されている。両試料のピークの大きさの違いは試料のばらつきによるものと思われる。また、室温付近から 60°C の間によく現れる微生物の活動による発熱ピークは、C80 のこの測定条件では検出されなかった。

微生物の発酵などによる発熱を調べるために、TAM の温度を 50°C に保持し、微少な発熱を観測した。RPF の TAM の測定結果を図 4.5.53 に示す。RPF 単体および RPF に水 20% 添加した試料の熱流束変化を示す。RPF に水を添加した場合、RPF のみに比べて大きな発熱を検知した。72 時間までの発熱量を比べると、水を添加した場合の発熱量 (75.43J/g) は、水を添加しない場合 (2.33J/g) の約 33 倍あり、微生物の活動による発熱があったものと思われる。この結果は C80 の挙動と異なる。C80 の測定では 50°C 付近に顕著な発熱は検出できなかったが、C80 よりはるかに長時間 50°C で保持した TAM の測定では、微生物の活動と思われる発熱が発生したことが分かった。

発生ガス分析測定において、ガスクロマトグラフによる発生ガス分析の結果から RPF に水を 20% 添加した試料から若干の水素と、多量の二酸化炭素が検出された。水を入れず RPF のみの試料からも若干の水素と二酸化炭素を検出した。発生した二酸化炭素の量と消費された酸素の量の傾向がよく一致している。ガス分析の結果は、RPF 内で微生物の活動が発現している可能性を示唆している。

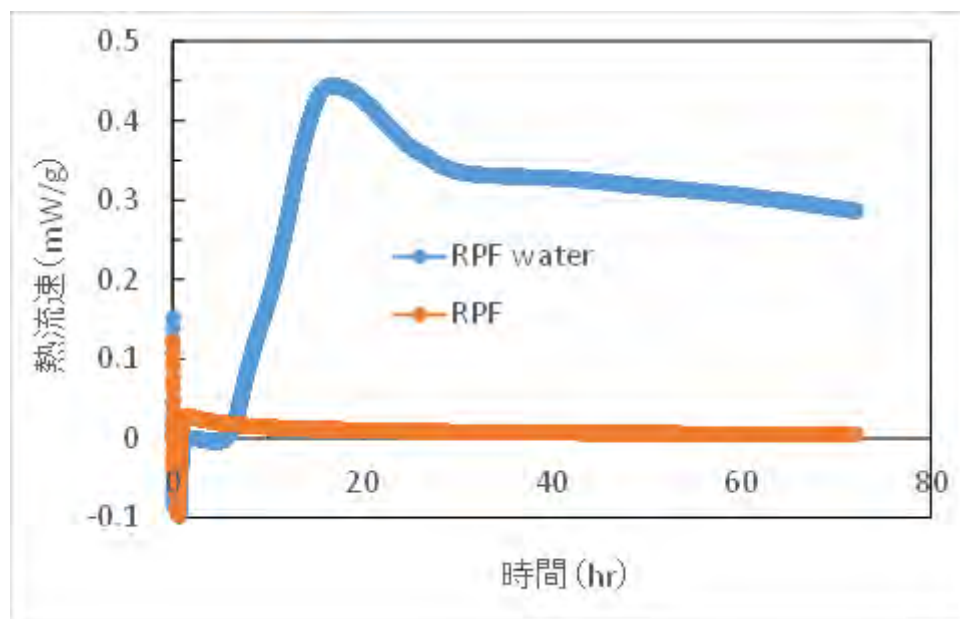


図 4.5.53 TAM を用いた RPF の測定結果

5. 国内における使用済み電気電子機器と電池類の分別・処理状況

5.1 自治体における使用済み電気電子機器の分別・処理状況の調査推計

近年、金属の二次資源として使用済み電気電子機器（以下、WEEE とする）が注目されており、収集方法や金属回収のあり方が検討されてきた。その検討をふまえ、2013年4月には「使用済み小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律（小型家電リサイクル法）」が施行されており、WEEEの再資源化はさらに加速されていくものと期待される。

しかし、現時点では多くの WEEE は粗大ごみ等として基本的には自治体にて処理されており、また、小型家電リサイクル法でも品目が限られることから、今後も自治体における処理処分は行われるものと考えられる。自治体ごみ処理においても一部の金属は回収されているが、その収集・処理における WEEE および含有資源の行方については定量的に明らかになっていない。また、WEEE には電子基板や電池類など有害金属等を含む部品が含まれるものも多いが、それらの部品や含有金属元素の行方についても定量的な把握が求められる。

そこで、一般廃棄物としての WEEE の排出・処理実態の整理と自治体ごみ処理における WEEE の収集・処理および含有部品・金属元素の物質フローの概略を推定した。

5.1.1 自治体への年間 WEEE 排出量

茨城県日立市において実施した WEEE 排出実態調査の結果（小口ら, 2011）に基づき、WEEE の自治体への年間排出量（一般廃棄物としての自治体による年間収集量）を推計した。

まず、2010年1月4日から15日に茨城県日立市清掃センターへ粗大ごみとして搬入された全 WEEE 量（12.6 トン）を同期間の粗大ごみ搬入量（87 トン）で除して、粗大ごみ搬入量に対する WEEE の割合を求めた。この割合を同センターへの粗大ごみ年間搬入量（2700 トン、推定）に乗じて年間に同市清掃センターへ搬入される WEEE の排出量を求め、日立市の人口 193,559 人（2009年10月1日時点）で除して、WEEE の自治体への年間排出量を推計した。

日立市における実態調査結果に基づけば、WEEE の自治体への排出量は年間 2.0kg/人と推計された。この排出量を家庭から使用済みとなる WEEE の全量と比較してみる。リサイクル法（家電リサイクル法および PC リサイクル）対象品目を除く WEEE の使用済み発生量（排出先を問わず家庭から排出される全量、リユースされるものは含まない）は、出荷統計と使用年数分布モデルに基づく Oguchi ら(2008)の推計において年間 5.0kg/人（86 品目合計）と報告されている。また、環境省および経済産業省の研究会による推計（環境省・経済産業省, 2011）では 38 品目合計で年間 3.2kg/人と推計されている。それらの 38 品目が全 WEEE に示す割合（日立市における上記の排出実態調査の結果において重量ベースで全 WEEE 量の 6 割強）を考慮すれば使用済み発生量は年間 5.3kg/人程度（ $=3.2/0.6$ ）となり、Oguchi らの値と同等である。以上をふまえて WEEE の使用済み発生量を年間 5kg/人とすれば、家庭から使用済みとなるリサイクル法対象品目を除いた WEEE の 4 割程度が自治体へ排出され（自治体により収集され）ているにすぎず、残りの 6 割程度は自治体以外へ排出されていると考えられた。この推定値は経済産業省のアンケート調査による WEEE の自治体への排出割合（31%～52%）（経済産業省, 2006）ともおよそ整合しており、妥当な結果であると考えられる。この自治体以外への排出ルートの例としては、小売店や廃品回収業者による回収を挙げることができる。

5.1.2 自治体における WEEE の収集、処理方法の実態整理

一般廃棄物としての WEEE の収集・処理方法について全国自治体を対象に行ったアンケート調査について述べる。アンケート自体は 2010 年に行ったものであるが、その結果に基づいて WEEE の収集・処理実態と傾向を再整理、分析した。これは、次項において行った自治体ごみ処理における WEEE の収集・処理および含有部品・金属元素の物質フロー推計においても基礎データとして使用している。

(1) アンケート調査の概要

アンケート調査は 2 回に分けて実施している。第 1 回調査は 2010 年 2 月に実施したもので、全国の全ての市区町村（1,778 自治体、2010 年 2 月 28 日時点）をカバーするように 1117 市区町村および 222 事務組合を対象としてアンケート票を送付した。アンケート票の送付および回収は郵送により行った。第 2

回調査では 2010 年 9 月に実施したもので、第 1 回調査の回答者から抽出した市区町村、事務組合を対象により詳細な調査を行った。調査対象は、人口規模や地域のバランスを考慮しつつ、質問項目ごとに抽出している（57～270 市区町村・事務組合）。アンケート票の送付は郵送、回収は郵送、FAX、電子メールのいずれかによって行った。

アンケートでは下記の項目について調査している。第 1 回調査では全ての項目について概要を調査し、第 2 回調査では③～⑥のより詳細な実態について調査している。①の対象製品はサイズ・重量の観点から幅広に含むように、また、処理実態把握の観点から乾電池・充電式電池等を使用するものも含めて選定している。

- ①自治体へ排出される代表的な WEEE9 品目および乾電池の収集区分
- ②各収集区分の分類基準（サイズ、重量、素材、品目指定など）
- ③各収集区分について最初に行う処理の方法（一次処理方法）
- ④収集した WEEE からの部品（ケーブル類、電子基板、乾電池、充電式電池）の取り外し・分別回収の実態（取り外し・分別回収の有無、方法、対象製品、取り外した部品の処理方法など）
- ⑤破碎選別処理における資源回収の実態（資源回収の有無、回収資源の種類、処理方法など）
- ⑥焼却施設における熔融処理の有無、熔融飛灰の処理方法、熔融メタルの回収有無と処理方法

第 1 回調査のアンケート回収率は市区町村、事務組合ともに約 65%、回答のカバー率は市区町村数ベースで約 68%、人口ベースで約 84%であった。第 2 回調査のアンケート回収率はいずれの質問項目も 80%前後であった。

(2) 自治体における WEEE の収集方法の実態

図 5.1.1 に自治体における WEEE の収集区分の調査結果（件数ベースの集計）を示す。WEEE は主に不燃ごみまたは粗大ごみとして収集している自治体が多い。携帯電話は収集しない（販売店（モバイルリサイクルネットワーク）への排出を指導している）自治体も 2 割強ある。乾電池は有害（危険）ごみとして収集している自治体が多いが、2 割強の自治体では不燃ごみとして収集している。また、あわせて示した各品目の 1 台あたり平均重量（Oguchi et al. 2008）を参照すると、大型の製品ほど粗大ごみ区分での収集割合が多く、小型の製品ほど不燃ごみや金属ごみ区分での収集割合が多いことがわかる。また、わずかではあるが WEEE を混合ごみや可燃ごみの区分で収集している自治体もあり、その割合は電動ヒゲ剃りや携帯電話などの小型製品で高くなる傾向がみられる。

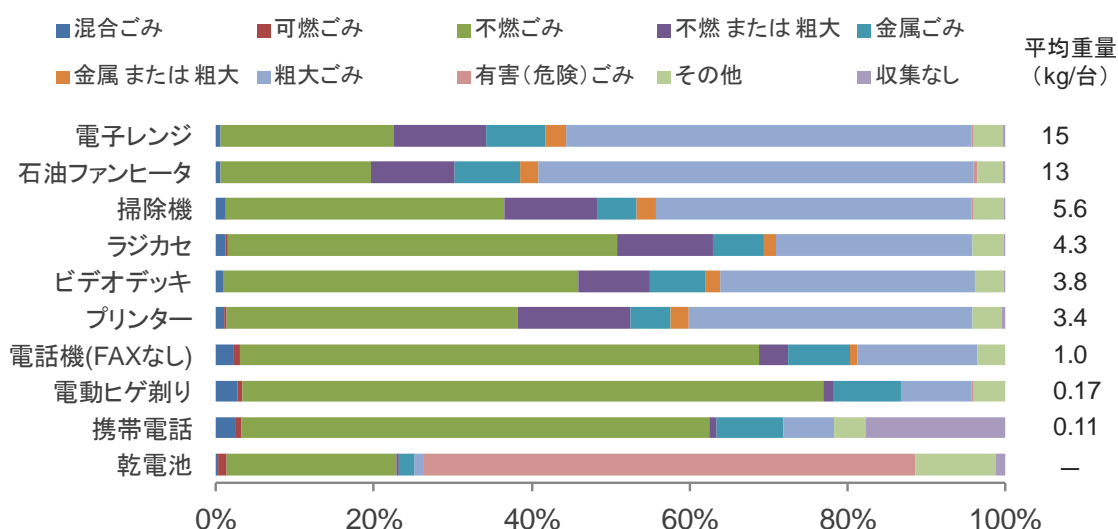


図 5.1.1 自治体における WEEE 収集区分の実態（平均重量は Oguchi et al²⁾）

(3) 自治体において収集した WEEE の処理方法の実態

図 5.1.2 に収集区分ごとの一次処理方法の調査結果（件数ベースの集計）を示す。この結果は WEEE をこれらの区分で収集している自治体の回答のみであることに注意されたい。WEEE の主な収集区分であ

った不燃ごみおよび粗大ごみは 8 割以上の市区町村で破碎されている。金属ごみは処理委託・売却と破碎が半々である。有害（危険）ごみは大部分が処理委託・売却であるが、これは乾電池（と蛍光ランプ）を有害（危険）ごみとして収集しているためであり、基本的には処理委託である。

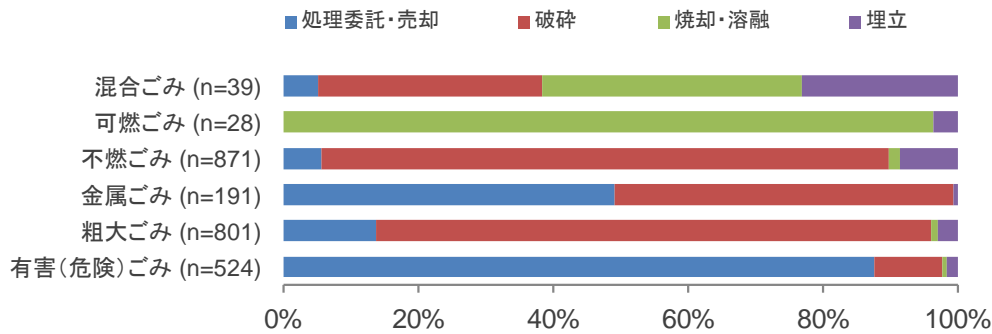


図 5.1.2 WEEE を収集している収集区分の一次処理方法

図 5.1.3 に、収集した WEEE からの部品等の取り外し、資源回収の有無の調査結果（件数ベースの集計）を示す。ケーブル類は約 4 割、電子基板は約 1 割の自治体において処理前に取り外し、回収が行われており、金属原料として売却されていた。ケーブル類については、清掃センターへ搬入後に作業員が取り外すケースが主であり、電源コードのみを取り外しているケースが多かった。しかし、1 割から 2 割の自治体においては WEEE 内部の配線類やモーター・トランスも回収しているという結果が得られている。また、ケーブル類については予め取り外した上で、不燃ごみ等の収集区分で排出することになっている自治体も 2 割程度存在した。これらのケースを含め、ケーブル類の取り外しについては資源回収の目的以外に破碎機への巻き込みによる設備のトラブルを防止する目的もあるものと考えられた。

乾電池は半数強、充電式電池は約 3 割の自治体において処理前に取り外しが行われているという結果であった。収集された WEEE の多くが破碎選別されていることをふまえると、このことは WEEE の排出時に電池類が取り外されていない場合には、その電池類の半分程度はそのまま破碎選別処理が行われている可能性があることを示している。乾電池については住民による取り外し、分別収集が行われている自治体が多いことから、排出時の電池類取り外しの徹底に課題があると考えられた。一方、充電式電池は住民による取り外し、分別収集が行われていない自治体も多いと考えられることから、破碎選別が行われている量も多い可能性があり、適切な対策を検討すべきと考えられた。

また、一部の自治体についてはどのようなものから取り外しを行っているかも調査しているが、乾電池（ボタン電池含む）、充電式電池のいずれも 5 割から 6 割の自治体において基本的に全てのものを取り外しているとのことであるが、3 割から 4 割の自治体では目にとまったもののみ取り外しているとの回答が得られ、WEEE に使用されている電池類はその後の処理へ混入しているものも多いと考えられた。

破碎選別処理において、鉄は 8 割強、非鉄金属（主にアルミ）は 6 割強の自治体で選別、回収されていた。鉄は磁力選別機による選別が主であったが、非鉄金属についてはアルミ選別機等の機械的選別だけでなく破碎前後の手選別による回収が行われている自治体もあった。また、一部の自治体では手解体や手選別で銅やステンレスの回収を行っているケースもあった。

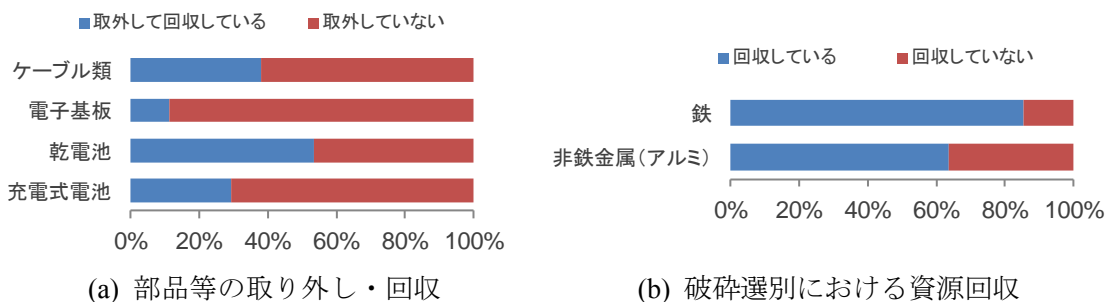


図 5.1.3 収集した WEEE からの部品等取り外しと破碎選別における資源回収の有無

部品等の取り外し・回収、破碎選別における資源回収の有無を自治体の人口規模別に整理したものを図 5.1.4 に示す。部品等については、ケーブル類、電子基板、乾電池、充電式電池のいずれも人口規模の小さい自治体ほど取り外し・回収を行っている割合が高かった。部品等の取り外しは人手による作業となることから、人口規模に関わらずどの自治体でも比較的導入しやすいこと、また、20 万人を超える規模の自治体ではごみ処理量も多く、人手による取り外し作業を実施しにくいことが理由であると推察された。

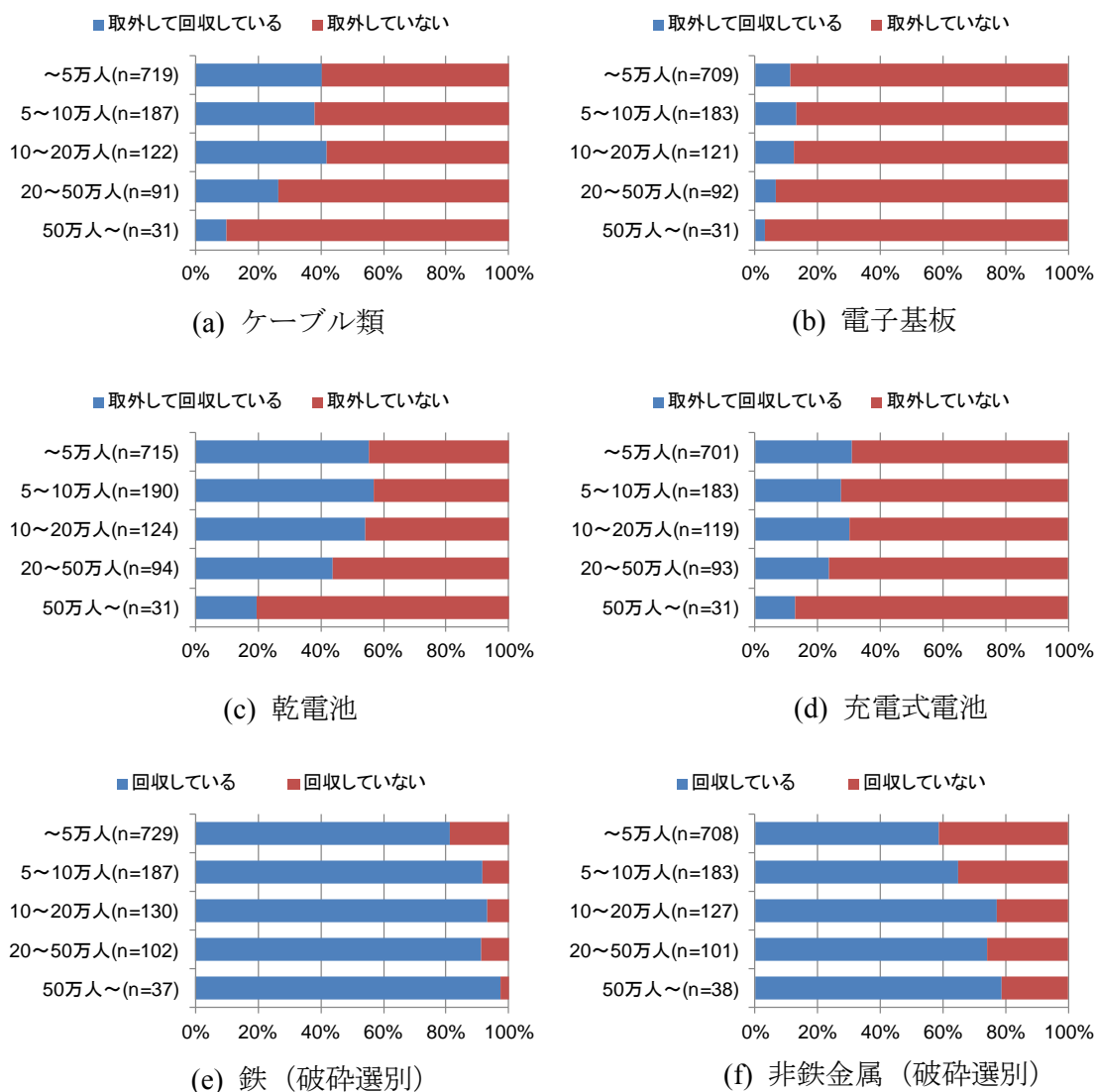


図 5.1.4 自治体の人口規模による部品等取り外しと破碎選別における資源回収有無の傾向

一方、破碎選別処理における資源回収については、人口規模の大きい自治体ほど回収を行っている割合が高くなっており、部品等の取り外し・回収の有無と反対の傾向が見られた。破碎選別処理における資源回収は機械的な選別装置の整備が必要であり、自治体の規模によって設備導入の状況に差があることが理由であると考えられる。

取り外し、回収した部品等の処理方法の実態を図 5.1.5 に示す。乾電池については、約 6 割の自治体が水銀廃棄物処理業者へ処理委託しており、その半数程度が全国都市清掃会議の使用済み乾電池等広域回収処理事業を通じた処理委託、残りの半数程度が直接処理委託をしているという回答が得られた。また、充電式電池については 6 割以上の自治体が製錬業者や廃棄物処理業者へ処理委託をしていたが、3 割強の自治体では乾電池とともに水銀廃棄物処理業者へ処理委託をしている。充電式電池には水銀は含まれておらず水銀廃棄物処理業者へ処理委託をする必要がないと考えられるが、乾電池との区別をしていない自治体が一定程度存在することがわかる。水銀廃棄物処理業者の乾電池の処理においては充電式電池を

異物として事前除去している（野村興産ウェブサイト）ことから、電池類の取り外し、回収において乾電池と充電式電池の区別を行うことも必要ではないかと考えられる。ケーブル類、電子基板については、ほとんどが製錬業者またはスクラップ業者への売却であり、金属原料として取引されているとともに製錬プロセスを通じた再資源化がなされている。しかしながら、ごく一部の自治体では処理委託または無償による引渡が行われており、取り外したものの状態については詳細を調査する必要がある。

また、破碎選別における回収資源（鉄、非鉄金属）についても処理方法を調べているが、ほとんどがスクラップ回収業者または製錬業者への売却であった。

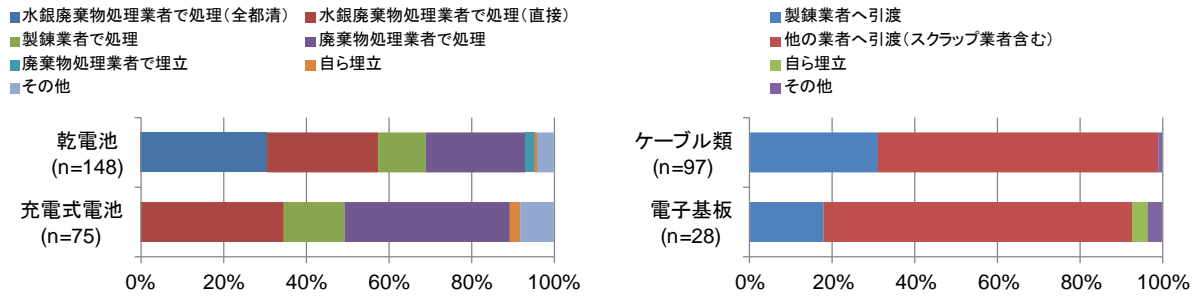


図 5.1.5 WEEE から取り外し、回収した部品等の処理方法

5.1.3 自治体ごみ処理における WEEE の収集・処理フローの推計

(1) 推計方法

自治体へ一般廃棄物として排出される WEEE の収集・処理フロー推計の流れを図 5.1.6～5.1.8 に示す。図 5.1.6 は家庭から自治体への WEEE の排出から収集までのフロー、図 5.1.7 は収集から一次処理までのフロー、図 5.1.8 は破碎選別される WEEE について破碎選別以降の処理におけるフローの推計の流れを示している。これにしたがって、1 年間の値として自治体別に推計を行い、合算することで日本全体のフローを推計した。下記に推計方法の詳細を述べる。

① 自治体への WEEE 排出量

5.1.1 において求めた WEEE の自治体への年間排出量（1 人あたり）を用い、これに人口を乗じて自治体ごとに WEEE の年間排出量を求めた。年間排出量は電子基板分を除いた 1.94kg/人とした（理由は後述）。人口は収集・処理実態のアンケート調査の実施時期にあわせて 2010 年 2 月末前後の人口とし、各自治体のホームページを参照して整理した。市町村合併等によりごみの収集区域が複数存在する自治体については、地区別の人口を調査して算出した。地区別人口について 2010 年 2 月末前後のデータが入手できなかった場合は、合併時の人口割合を用いて当該自治体全体の人口を按分した。

② 収集区分別の WEEE 排出量（収集量）

前述のアンケート調査による各自治体の WEEE 収集区分に基づき、①で求めた WEEE の年間排出量を自治体ごとに各収集区分へ割り振った。品目によって異なる収集区分で収集されている自治体については、収集区分がサイズ・重量で指定されている場合が多かったことから、アンケート対象の 9 品目の収集区分に基づいて他の品目の収集区分パターンを自治体ごとに設定し、各収集区分へ重量として割り振った。収集区分パターンは、平均重量で収集区分が異なるパターン（収集区分が平均重量順で分かれる場合）を基本とし、灯油や電池使用品目は有害（危険）ごみ（ファンヒーター、電動ヒゲ剃り、携帯電話が有害（危険）ごみの場合）、金属主体品目は金属ごみ（電子レンジ、ファンヒーター、ビデオデッキが金属ごみの場合）、嵩張る品目は粗大ごみ（掃除機のみ粗大ごみの場合など）、携帯電話は収集しないなど、特定の品目のみ別の収集区分とするパターンを組み合わせ、自治体ごとに WEEE 全体の排出量を品目ごとの重量比率を用いて各収集区分へ割り振った。品目ごとの重量比率は、自治体における排出実態調査（12.6 トンの WEEE を対象）で自治体へ排出される全 WEEE の品目別重量割合（小口ら, 2011）を用いた。また、同一品目が粗大ごみと不燃ごみなど、2 つの収集区分で収集されている自治体については、各収集区分へ重量を半分ずつ割り振った。

③ 収集した WEEE からの部品等の取り外し量

前述のアンケート調査による各自治体の WEEE からの部品等（ケーブル類、電子基板、乾電池、充電式電池）の取り外し有無に基づき、収集した WEEE からの取り外し量を自治体ごとに推定した。計算を簡単にするため、ケーブル類、電子基板、乾電池、充電式電池の排出量を WEEE 排出量の外数として用意し、取り外しをしている自治体は取り外し量とした。取り外しをしていない自治体については、WEEE の収集区分別排出量の比に応じて各収集区分への排出量へ計上した。

部品等の年間排出量は、WEEE の素材組成 (Oguchi et al., 2012) や電池の使用済み量推計値 (小口, 2007) をもとにケーブル類 0.03kg/人、電子基板 0.06kg/人、乾電池 0.2kg/人、充電式電池 0.036kg/人とし、これに人口を乗じて求めた。なお、このうち電子基板の量については、5.1.1 で求めた年間排出量 2.0kg/人に含まれているため、①においては電子基板分 0.06kg/人を差し引いた値を用いている。

なお、部品等の取り外しは徹底されていない場合もあることから、計算において取り外される部品の割合は可変としたが、後述の結果においては 70%が取り外されていると仮定した結果を示している。この実態の詳細については調査を行っているところである。

④ 一次処理方法別 WEEE 処理量

前述のアンケート調査による各自治体の収集区分別一次処理方法に基づき、上記で求めた収集区分別の WEEE 排出量（取り外されない部品等含む）を各処理方法へ割り振った。割り振った排出量を一次処理方法別に合算し、一次処理方法別 WEEE 処理量を求めた。

⑤ 破碎選別処理における産物の発生量と処理方法別処理量

④において求めた破碎処理量を WEEE の破碎選別処理における各産物への分配率と組成 (Oguchi et al., 2012)、前述のアンケートによる各自治体の資源回収有無に基づいて、各産物の発生量へ割り振った。産物は磁選回収物、アルミ選別回収物、可燃残渣（焼却される残渣）、不燃残渣（埋立される残渣）とした。残渣については、トロンメル（粒度選別）の有無が自治体によって異なるが、その実態を整理した情報はないため、今年度は全ての破碎選別施設においてトロンメルがあると仮定し、篩上を可燃残渣、篩下を不燃残渣とした。なお、計算上はトロンメルの有無、残渣の処理方法（焼却であれば可燃残渣、埋立であれば不燃残渣）の設定を可能としている。さらに可燃残渣の発生量は、各自治体の焼却施設情報に基づいて自治体ごとに焼却量または焼却・溶融量へ割り振った。

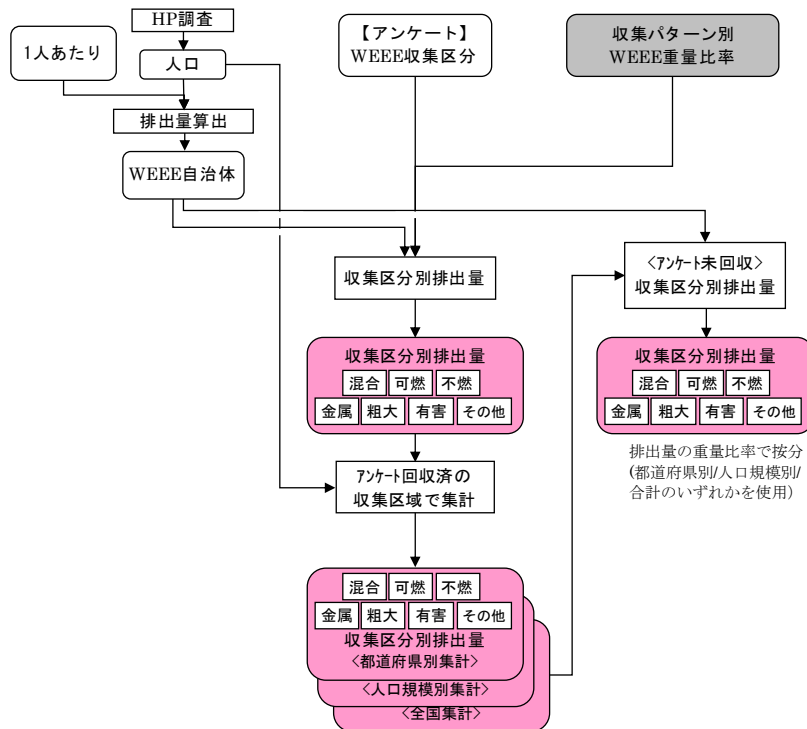


図 5.1.6 自治体への WEEE の排出から収集までのフロー推計の流れ

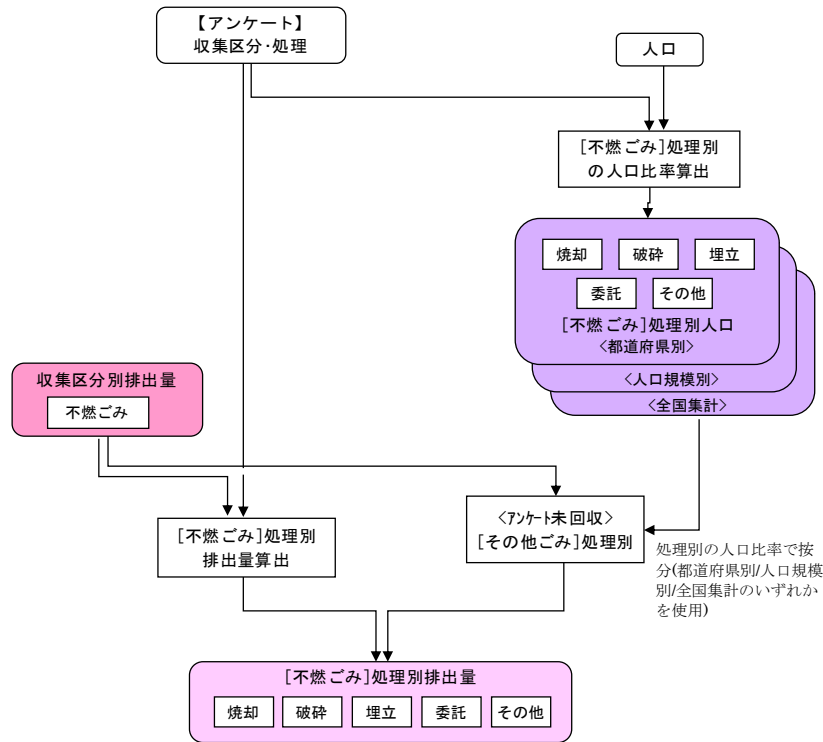


図 5.1.7 収集から一次処理までのフロー推計の流れ

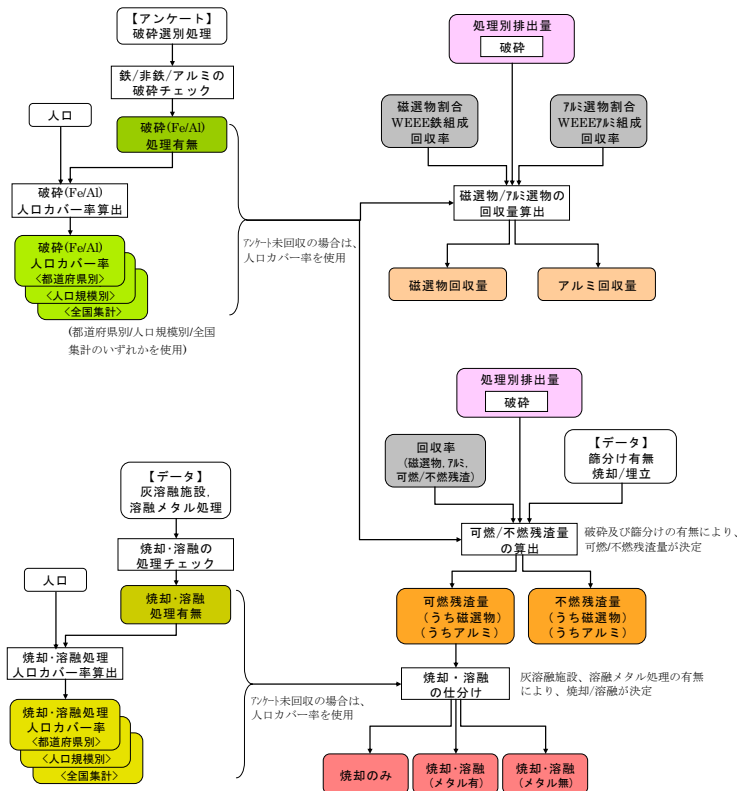


図 5.1.8 破碎選別以降の処理におけるフロー推計の流れ

なお、上記の推計において、アンケート未回収の自治体についてはアンケート回答済みの自治体の収集区分別排出量の割合を算出し、その割合で WEEE 排出量を各収集区分へ按分した。按分に用いる収集

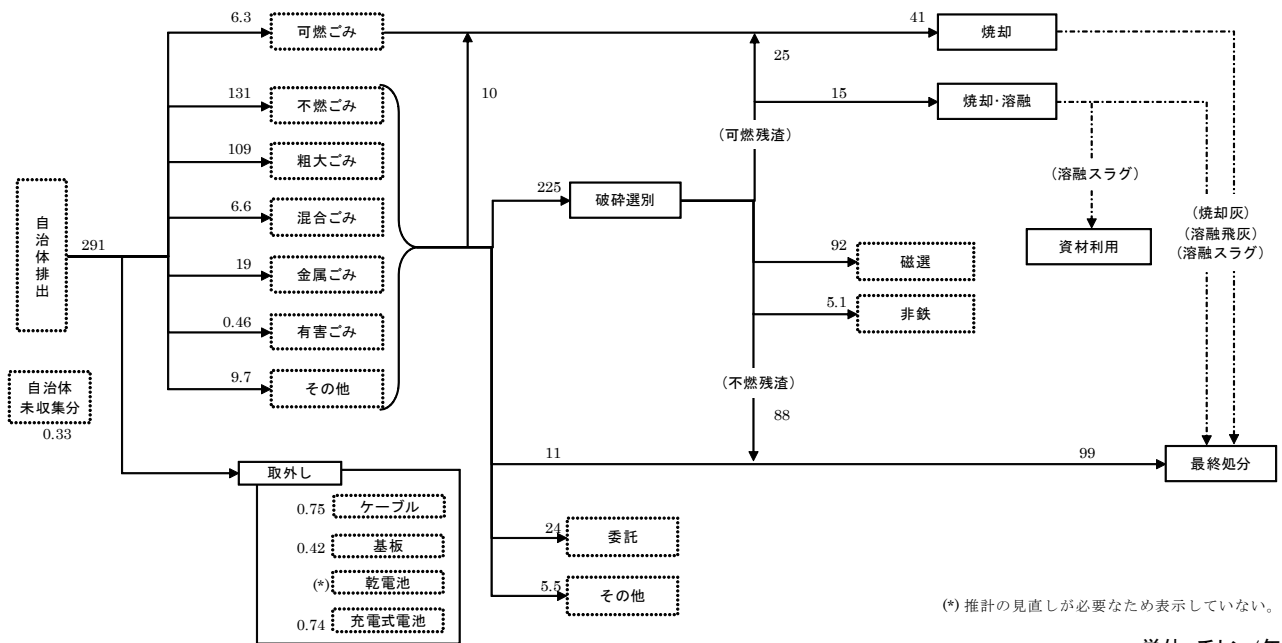
区分別の排出量割合は都道府県別、人口規模別、全国の3種類で集計したものを用意しているが、後述の結果においては人口規模別の割合を用いた推計結果を示している。

(2) 推計結果

自治体におけるWEEEの収集・処理フロー推計結果を図5.1.9に示す。図には部品等の70%が取り外されると仮定し、アンケート未回答の自治体は人口規模別の割合で按分した場合の結果を示している。

自治体へ排出された291千トンのWEEEのうち、131千トン（自治体排出量の45%）が不燃ごみ、109千トン（38%）が粗大ごみとして収集されており、合計で全体の8割強と大部分のWEEEが不燃ごみまたは粗大ごみとして収集されていると推計された。それらのほとんどに金属ごみや混合ごみを加えた223千トン（77%）が破碎選別処理されており、破碎選別を通じて92千トン（31%）が鉄くず、5.1千トン（2%）が非鉄（アルミ）くずとして回収されていると推計された。残渣のうち88千トン（30%）は不燃残渣としてそのまま最終処分、40千トン（14%）は可燃残渣として焼却されていると推計された。ただし、今年度は全自治体の破碎選別施設にトロンメルがあると仮定しており、実際は粒度選別を行わずに全量最終処分している自治体もあるため（東京都などがこの例）、不燃残渣としての最終処分量は過小、可燃残渣としての焼却量は過大推計になっていると考えられる。可燃残渣のうち15千トン（5%）は熔融を伴う施設で処理されていると推計された。その一部は熔融メタルとなって製錬業へ金属原料として売却され、一部が資源として回収されていると考えられるが、全体に対する量としては極めて少量であると考えられた。

図には示していないが、自治体へ排出されたWEEEに含まれるケーブル類、電子基板はそれぞれ4千トン、8千トンと概算され、取り外しを行っている自治体において70%が取り外されているという仮定の下では、処理前の取り外し分ケーブルが20%、電子基板が5%程度であると推計された。充電式電池の排出量は4千トンと概算され、そのうち15%程度が処理前に取り外されていると推計された。乾電池についても推計は行っているが、推計に用いた取り外し有無の調査結果に有害（危険）ごみなどとして分別収集を含めた回答とそうでない回答が混在しており、これらを区別できていないことから、推計の見直しが必要である。



(*) 推計の見直しが必要なため表示していない。

単位: 千トン/年

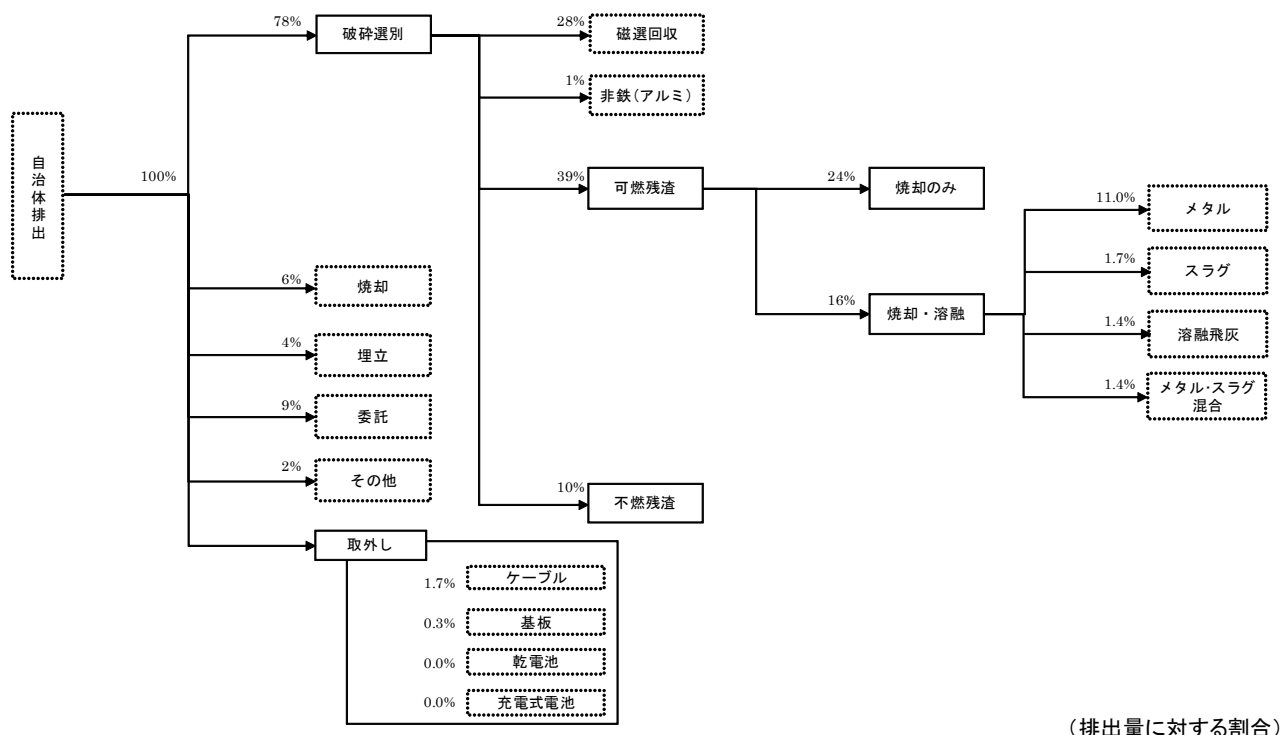
図 5.1.9 自治体ごみ処理における WEEE の収集・処理フロー推計結果

5.1.4 WEEE が含有する金属元素の自治体ごみ処理におけるフローの試算

5.1.3 の推計結果に WEEE や処理産物の金属元素含有量、処理プロセス内の金属元素分配率を用いて WEEE が含有する金属元素の自治体ごみ処理におけるフローの試算を行った。

WEEE や処理産物の金属元素含有量は茨城県日立市清掃センターの粗大ごみ処理施設において実施した WEEE の破碎選別実験の調査データ (Oguchi et al., 2012)、焼却・溶融プロセスにおける金属元素分配率は同センター焼却溶融施設において調査したデータ (肴倉ら, 2010) を用いた。これを自治体ごとの WEEE 発生量や処理産物発生量に乗じて金属元素量に換算した。産物等は磁選回収物、非鉄回収物、可燃残渣、不燃残渣、ケーブル類、電子基板を計算に含めており、乾電池および充電式電池は含めていない。

例として、Cu と Pb の試算結果を排出量に対する割合で図 5.1.10、図 5.1.11 に示した。



(排出量に対する割合)

図 5.1.10 自治体ごみ処理における WEEE 含有金属元素のフロー試算結果 (銅)

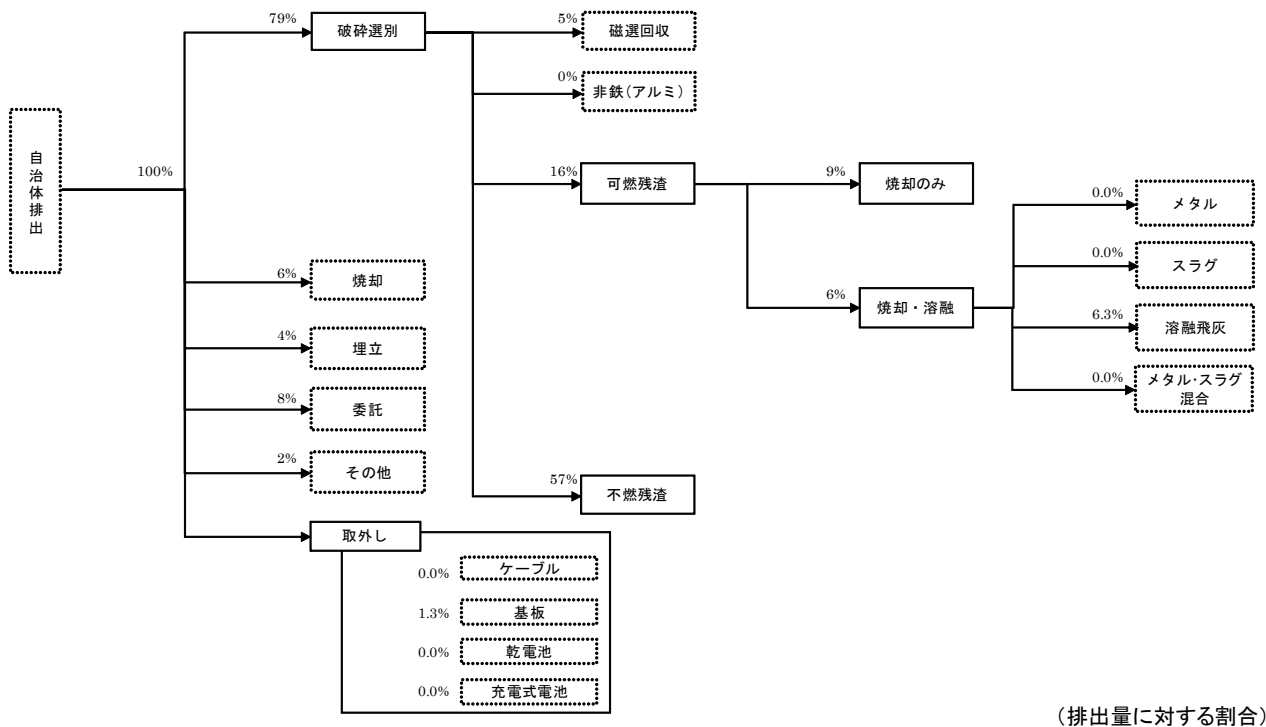


図 5.1.11 自治体ごみ処理における WEEE 含有金属元素のフロー試算結果 (鉛)

Cu は、自治体へ排出される WEEE に含まれる量全体に対し、2%程度が処理前に取り外されたケーブル類や電子基板として、10%程度が溶融メタルとして資源回収プロセスへ向かっていると試算された。しかし、28%が磁選回収物への混入、残りの多くが直接あるいは焼却灰や不燃残渣として最終処分されていると試算され、多くが回収されていないと考えられた。Pb については直接と不燃残渣をあわせて 6 割強が最終処分されていると試算された。また、直接と可燃残渣をあわせて 2 割強が焼却または焼却・溶融されており、飛灰等として最終処分されていると試算された。

この試算の精緻化に向け、処理産物の金属元素含有量や処理プロセス内の金属元素分配率データの蓄積、充実や個別品目の含有量データの反映などが今後の課題である。

5.2 自治体における電池類の分別方法の詳細調査

5.2.1 調査方法

全国の自治体における乾電池の分別収集状況については5.1.2で調査し、大半が有害（危険）ごみまたは不燃ごみとして収集されていることがわかった。しかしながら、リチウム電池や小型二次電池など乾電池以外の電池については十分わかっていない。

そこで、すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを知るために、東京都23区における分別方法を調査した。すなわち、2013年9月時点で、各区における電池類を含む家庭ごみの排出方法や絶縁指示などの情報をホームページで調べた。乾電池以外に、リチウム電池、ボタン電池、小型二次電池、自動車用バッテリー、自転車用バッテリー、その他の充電式電池について、可能な限り詳細な把握に努めた。

5.2.2 結果と考察

電池類の分別方法にかかる詳細調査の結果を図5.2.1に示す。

(1) 乾電池

乾電池については23区中、10区が拠点回収、6区が不燃ごみ、3区が拠点回収または不燃ごみ（一部の区では、金属・陶器・ガラスごみなどの名称）、1区がステーション回収、3区がその他であった。拠点回収の10区は概ね有害（危険）ごみとの認識と考えられ、5.1.2の割合よりやや小さいものの、全国的な傾向と大きな差はなかった。

その他の3区については、水銀の含有状況で異なった。すなわち、「水銀含有／非含有」の乾電池に対して、江戸川区、北区、板橋区でそれぞれ「店頭／不燃ごみ」「拠点回収／不燃ごみ」「店頭／拠点回収」と対応が分かれていた。これは、水銀含有乾電池に対して店舗に任せるか拠点回収とするか、さらに水銀非含有乾電池に対して不燃ごみとするか拠点回収とするかで、対応が異なったものである。

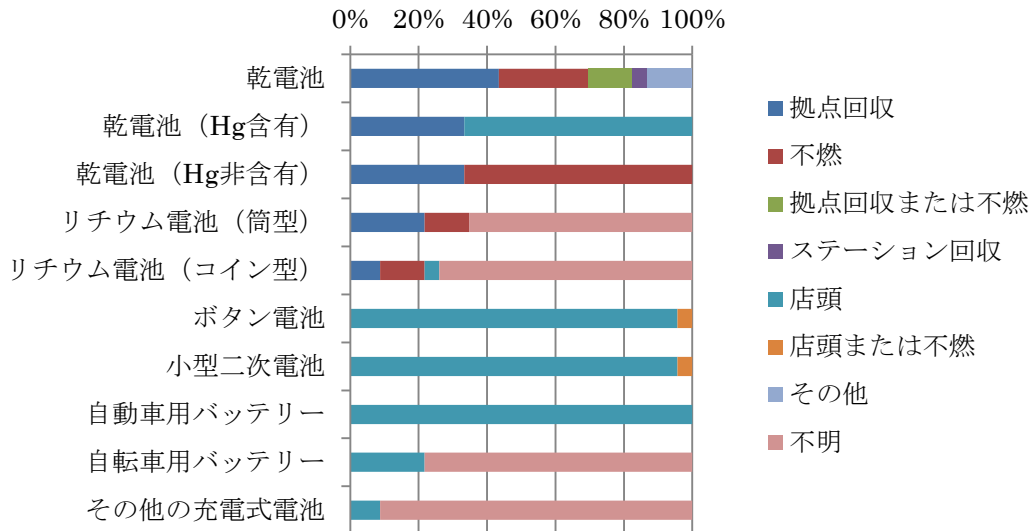


図 5.2.1 東京都23区における電池類の分別方法にかかる詳細調査結果
(n=23、乾電池 (Hg 含有・非含有) のみ n=3)

また、主に乾電池を不燃ごみとして収集している区において、水銀含有を意識した案内がみられた。例えば、渋谷区では1995年度以降日本製のアルカリ、マンガン乾電池は水銀含有なしとして、不燃ごみとして収集している。足立区も乾電池の（拠点）回収は2005年3月に終了し、現在は不燃ごみとして収集しているが、国内での水銀含有乾電池の流通状況と区の負担を意識した対応と考えられる。一方、北区では1995年以降国内生産の乾電池は水銀不使用と案内しながら水銀含有乾電池のみ拠点回収、中野区では「国内ではマンガン乾電池は1991年から、アルカリ乾電池は1992年から水銀不使用」としてとも

に拠点回収を行っている。なお、電池工業会によれば、国内ではマンガン乾電池が 1991 年、アルカリ乾電池は 1992 年から水銀が使用されていないとしている。

この他、図 5.2.1 では区別していないが、乾電池を筒型に限定している区もあった。ただし、その場合でも角形積層乾電池の排出方法を示されていない。

(2) リチウム電池

リチウム電池の排出方法を明記している区はほとんどなかった。筒型について、拠点回収が 5 区、不燃ごみが 3 区、不明が 15 区としているが、不明以外の場合も筒型の電池に関する案内であるためにリチウム電池を明確に意識した案内とは限らない。コイン型の場合は、拠点回収が 2 区、不燃ごみが 3 区、店頭回収が 1 区、不明が 17 区であった。拠点回収を行っていると解釈した中野区と文京区においても、リチウム電池を含めた電池の拠点回収を案内しているものであり、必ずしもコイン型の形状を意識したものではない。

(3) ボタン電池、小型二次電池

ボタン電池については、電池工業会のボタン電池回収推進センターが電器店などでの店頭回収を推進していることから、23 区中 22 区で店頭回収のみの案内がなされていた。また、小型二次電池についても、一般社団法人 JBRC が電器店などでの回収を行っていることから、同様に 22 区では店頭回収のみの案内であった。

杉並区においては、ボタン電池、小型二次電池（充電式電池の表記）ともに、店頭回収も案内しながら、不燃ごみの分別区分にも加えていた。

(4) 自動車用バッテリー

自動車用バッテリーには通常、鉛が使用されており、適正処理困難物と認識されている。23 区の全てにおいて、受入れておらず、店頭回収の案内を行っていた。

(5) 自転車用バッテリー

近年、電動アシスト自転車などで普及されつつある。種類としては、ニッケル水素電池やリチウムイオン電池も流通しているが、排出されているのは現状ではニッケルカドミウム電池（以下、ニカド電池とする）が多い。この詳細は 5.3 で述べる。

各区の案内ではまだほとんど周知されておらず、不明が 18 区であった。自転車店での回収を行っていることなど、協力店の紹介を含めて店頭回収を案内していたのが 5 区であった。

(6) その他の二次電池（充電式電池）

無停電電源装置（UPS）など小型二次電池にも分類が難しいその他の二次電池については、不明が 21 区で、店頭回収が 2 区であった。

(7) 絶縁指示

電池類の排出にかかる絶縁指示の状況を図 5.2.2 に示す。23 区中、19 区で絶縁指示はなく、ボタン電池のみに対する指示は 3 区、小型二次電池とボタン電池に対する指示が 1 区であった。

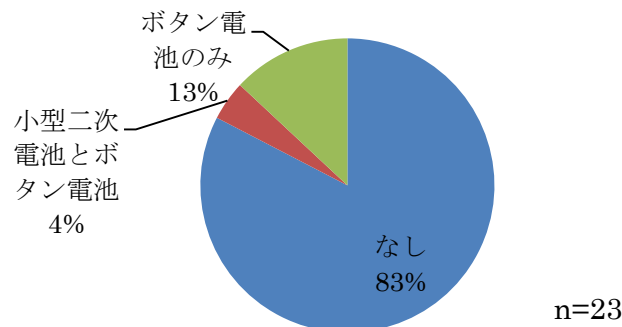


図 5.2.2 東京都 23 区における電池類排出時の絶縁指示

電池工業会では、乾電池を含むすべての電池類に対して排出時の絶縁を呼びかけるとともに、乾電池とリチウム一次電池について、(分別方法を含め)自治体の指示に従うよう求めている。一方で、自治体の側で対応を求められている乾電池ではすべての区において絶縁指示はなく、ボタン電池などを含めても絶縁の呼びかけはわずかであった。拠点回収などの回収場所で絶縁指示がなされる場合もあると思われるが、電池工業会など業界団体との認識のギャップは大きく、周知も含めた役割分担と連携が求められるといえる。

(8) その他の有害危険ごみ

電池ではないが、体温計、血圧計、蛍光管も水銀を含むごみとして、各区で認識されていることが多い。これらは、不燃ごみとしての排出を指示される区が多く、一部の区では拠点回収、店頭回収、資源ごみ(ステーション)となっていた。蛍光管を中心として、ケースに入れるなどの割れないようにするための協力依頼がなされている区も多くみられた。

これらについては、水銀を含む可能性があるものの、焼却炉に入るのを防ぐことを優先したものであり、拠点回収などは各区における実行可能性などからその実施の判断がなされたと考えられる。

(9) 考察

本調査については、すべての種類の電池類に対する自治体の案内を詳細に調べたものであるが、結果について注意が必要である。電池類の細かな区分に対する案内を把握しようと心がけたが、複数の広報文で異なる案内の場合(本調査では、基本的には最も詳細な指示を利用)もあった。また、区民もそれらの情報を詳細に理解したり、それに従ったりするとは限らないのも当然といえる。このような点に注意は必要であるが、本調査結果から次のような課題が指摘できる。

まず、電池の種類は多様であり、自治体や排出者の理解には限界があることである。確かに、小型二次電池とボタン電池は業界団体が回収の努力をしており、自動車用バッテリーも店頭での回収がよく知られている。しかしながら、これら以外の電池でも、単純な筒型の乾電池(一次電池)には限らないとともに、コイン型リチウム電池の排出方法はほとんど周知されていない。コイン型とボタン型の区別は一般に困難であり、電池工業会が示すようにボタン電池は店頭で回収、(コイン型を含めた)リチウム一次電池は自治体で回収というのは、一般廃棄物の収集義務を有する自治体にとって理解は困難であり、排出者の理解や協力も得にくいと思われる。最近是一次電池と二次電池を同じブランド名で販売するメーカーもあり、それらの区別が困難になっていることも指摘できる。

関連して、わかりやすい分別方法とその周知のために、関係者がこれまで以上に連携することが必要である。水銀含有乾電池、角形積層乾電池(9V)、コイン型リチウム電池などの店頭回収を求める区が一部にあったが、現在でも電池類の回収を行っている電器店は限られており、実際に店頭で受け入れられるかどうかは課題である。自転車用バッテリーや無停電電源装置などの電池類については、やや大型であるとともに鉛やカドミウムなどを含むものが多く、自治体の収集上、問題があるといえる。EUの電池指令ではすべての電池類を対象として一括した回収システムの構築が求められているが、現在の日本ではそのようになっていない。これらの回収方法について、実態や排出者の理解も踏まえて、メーカー(電池工業会)、販売店、自治体などが回収・リサイクルの責任と周知の方法をよく話し合っただけで済ませたいと思われる。

また、水銀などの有害物質の含有状況によって、自治体の対応が異なる場合がある。これについては、後述の調査結果で示す。現在の水銀含有電池の排出状況に関する情報も提供した上で、自治体の判断を求めるのが望ましい。また、小型家電リサイクル法の施行に伴い、電池類の回収主体も小型家電とともに検討する必要が高まると考えられる。

最後に絶縁指示に関しても、火災の頻度は多くないとはいえ、電池工業会と自治体とで周知の内容が大きく異なるのは問題であると考えられる。絶縁対策の実施状況も含めて、電池類と小型家電の排出状況については次節で検討する。

5.3 自治体における使用済みの電池類と電気電子機器の分別排出状況の詳細調査

5.3.1 研究概要

消費者（一般家庭）から排出される有害危険な使用済み製品の分別排出にかかる基礎情報と課題を把握することを目的として、東京都における多様な排出経路における詳細調査を実施した。

近年の廃棄物等の収集過程や処理施設における火災について電池類（一次電池、二次電池）が原因で発生している事例があること、電池類の多様な種類と自治体によって異なる収集方法のために消費者が排出方法を十分に理解できていないことが考えられること、ならびに使用済み電気電子機器の新たな回収システムの拡大に伴って電池類の回収方法改善の可能性が見込めることなどの理由により、電池類の排出実態の把握と回収システムの改善に注目している。

そのため対象は、すべての種類の電池類として、乾電池、リチウム電池などの一次電池のみならず、ニッケルカドミウム電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池などの二次電池を含めた。また、これらの電池類が装着（含有）されている可能性のある電気電子機器も調査対象とするとともに、通常の作業で取り外しが可能な電池だけでなく、基板などに利用されている内蔵電池を含むこととした。

排出経路としては、「不燃ごみとしての排出」、「粗大ごみとしての排出」、「小型電気電子機器のボックス回収方式による排出」、「乾電池の拠点回収による排出」といった多様な排出経路を対象とした。図 5.3.1 には、電池類の排出から処理に至る主なフローのイメージ図と、本調査の対象である排出経路の位置づけを示す。

以上によって、消費者から多様な経路で排出されている電池類について、どのような種類がどのように排出されているかという実態の把握と、回収システムの改善策の提示に寄与することを目指した。

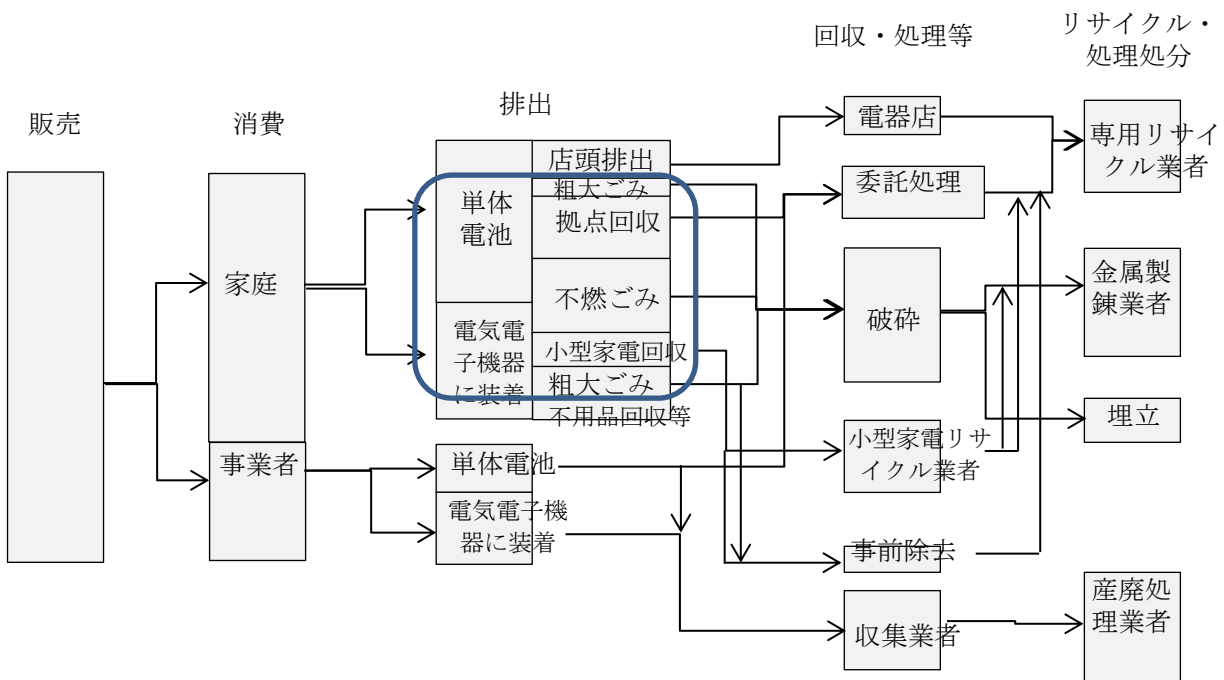


図 5.3.1 電池類の排出から処理に至る主なフローのイメージ図
(青線枠内が本調査の対象)

5.3.2 調査方法

東京都および関係機関の協力を得て、下記の多様な経路で排出された電池類に対して、種類、個数・重量などの基礎情報を把握した。電気電子機器に電池類が装着（含有）されていた場合は、電池類と機器との組合せについても調査し、その記録を取った。排出経路と調査対象の関係を表 5.3.1 に示す。また、電池類と電気電子機器について、調査項目を表 5.3.2、表 5.3.3 にそれぞれ示す。

調査期間は、2013 年 10 月から 2014 年 3 月にかけて実施した。

表 5.3.1 排出経路と調査対象

調査対象	単体で排出された電池類	電気電子機器と装着されていた電池類
排出経路		
不燃ごみ（東京都 23 区）	○	○
粗大ごみ（同上）	一部	一部 （ストーブ・ファンヒーター、ガステーブル、炊飯器）
小型電気電子機器回収ボックス（A 区、B 区、C 市）	○	○
乾電池の拠点回収（A 区）	○	—

表 5.3.2 電池類の調査項目

調査項目	内容
排出経路	不燃ごみ 粗大ごみ 小型電気電子機器の回収ボックス 乾電池の拠点回収
個数・重量	個数・重量（同一種類の場合は、まとめて秤量）
形状・サイズ	筒型（単 3 など）、角型積層、コイン型、ボタン型、パック型、その他（なお、コイン型とボタン型の厳密な基準はなく、調査者の主観によって区別したものである。）
種類	一次電池（マンガン、アルカリ、リチウム、酸化銀、空気亜鉛、水銀） 二次電池（ニカド、ニッケル水素、リチウムイオン）
記号	主に JIS 記号
メーカー	生産したメーカー（不明な場合は販売・輸入業者、およびブランド名）
生産国	「Made in・・・」などの表記で示された生産国（「Made in・・・」などがない単なる国名の場合は参考情報）
使用推奨期限	電池類に表示されていた使用推奨期限
有害物質使用・不使用表示	使用表示として、EU で用いられているクロスアウトダストビンマークなどととも記載されている有害物質名（水銀、鉛、カドミウム、物質名非表示の場合もある） あるいは不使用表示として「水銀 0%」などのように記載されている有害物質名
絶縁状況	テープなどによる絶縁の有無
物理的損傷などの状況	破損、液漏れ、錆など
残存電圧	残存している電圧（角形積層乾電池のみ対象）
排出状況	単体での排出、または電気電子機器に装着したままの排出

表 5.3.3 電気電子機器の調査項目

調査項目	内容
排出経路	不燃ごみ 粗大ごみ（ストーブ・ファンヒーター、炊飯器、ガステーブル、） 小型電気電子機器の回収ボックス
電気電子機器の種類	小型リサイクル法施行令などを参考に分類した電気電子機器の種類
装着されていた電池類	電池類の種類など
電池類の取外し困難度	1（手で取外し可能） 2（ドライバーなど簡単な工具で取外し可能） 3（機器の分解か破壊が必要）

(1) 不燃ごみとしての排出

東京都 23 区の不燃ごみ処理施設に収集された不燃ごみについて、電池類単体で排出されているものとともに、電気電子機器の中に装着されて排出されている電池類も対象とした。なお、5.2 で述べたように、東京都 23 区においては、電池類は拠点回収を行っている区と不燃ごみとして収集している区に大きく分かれる。電気電子機器については、30×30cm 以下の小型のものは不燃ごみとして収集している区が多いが、2013 年 4 月の小型家電リサイクル法施行以来、小型電気電子機器の回収を開始した区も増えつつある。

2013 年 10 月に排出された不燃ごみの中から、一定量を対象として調査した。

(2) 粗大ごみとしての排出

東京都 23 区の粗大ごみ処理施設に収集された粗大ごみについて、電池類単体で排出されているものとともに、電気電子機器とその中に装着されて排出されている電池類も対象とした。ただし、粗大ごみの中には小型の電池類が単体で排出されることはほとんどなく、自転車用二次電池などやや大きめの電池類が対象となった。また、小型の電池類を含む電気電子機器も多くないことが考えられたので、事前に粗大ごみ組成情報を検討の上、電池類を含む電気電子機器として、ストーブ・ファンヒーター（電気ストーブは除く）、ガステーブル、給湯器、炊飯器を対象とした。

東京都内での粗大ごみは、区によって天蓋車とパッカー車によって収集されているが、本調査では天蓋車で収集されたものを対象とした。

2014 年 1 月に排出された粗大ごみの中から、電池類は 11 カ月程度で取り置かれていたものを、電気電子機器は数日での収集分をそれぞれ対象として調査した。

(3) 小型電気電子機器のボックス回収方式による排出

東京都内で小型電気電子機器のボックス回収を行っている A 区、B 区、C 市において、ボックス回収方式で排出された小型電気電子機器について、電気電子機器とその中に装着されて排出されている電池類を対象とした。

A 区においては、計 21 カ所の区施設に回収ボックスを設置して、投入口（25×15cm）に入る小型家電に限定して直接投函してもらっている。具体的には、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ、ポータブル音楽プレーヤー、ゲーム機、電子辞書、電卓、カーナビ、ポータブル DVD プレーヤー、携帯用ラジオ、携帯用テレビ、付属品類、ハードディスクドライブ、リモコンなどを例に挙げている。

B 区においては、計 26 カ所の区施設などに回収ボックスを設置している。投入口（30×15cm）に入るもので、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ、ポータブル音楽プレーヤー、ゲーム機、電子辞書、電卓、カーナビ、AC アダプタ、USB メモリといった 10 品目を対象として、投函してもらっている。

C 市においては、計 19 カ所の市施設などに回収ボックスを設置している。投入口（30×15cm）に入るもので、タブレット型情報通信端末、電話機・ファクシミリ、ラジオ、デジタルカメラ、ビデオカメラ、フィルムカメラ、映像用機器（DVD レコーダなど）、音響機器（デジタルオーディオプレーヤーなど）、補助記憶装置（USB メモリなど）、電子書籍端末、電子辞書、電卓、電子血圧計・電子体温計、理容機器、懐中電灯、時計、ゲーム機、カー用品、付属品（リモコン、AC アダプタ、ケーブルなど）など、主に環境省ガイドラインの特定対象品目を回収対象としている。

2013 年 11 月から 12 月にかけて排出された小型電気電子機器を対象として、A 区は 40 日程度、B 区は 30 日程度、C 市は 30 日程度の回収分を調査した。

(4) 乾電池の拠点回収による排出

東京都内の A 区において、乾電池の拠点回収の回収ボックスに排出された電池類を対象とした。A 区では、アルカリ、マンガン乾電池の回収を集積所以外の 26 カ所の区役所、出張所、図書館など区の機関に設置している回収ボックスへの排出を呼びかけており、そのうちの 5 カ所の拠点で回収された電池類を対象とした。なお、ボタン電池は電器店や時計店などにあるボタン電池回収箱へ、小型二次電池は電器店やスーパーなどにある JBRC の回収ボックスへの排出を呼びかけている。

2013 年 12 月までに 30 日程度で回収された電池類を対象として調査した。

5.3.3 調査結果

前述のように多様な経路で排出された電池類について、単体で排出されたものと機器装着で排出されたものに分けて、結果を取りまとめる。

(1) 単体で排出された電池類の状況

単体で排出された電池類について、乾電池の拠点回収、不燃ごみ、および粗大ごみによる結果を示す。

① 排出された電池類に含まれる有害物質

電池類に含まれる有害物質としては、水銀、カドミウム、鉛が代表的である。

水銀については、かつてアルカリ乾電池やマンガン乾電池の負極に添加剤として水銀が使用されていたが、国内ではマンガン乾電池は1991年に、アルカリ乾電池は1992年に水銀は使用されなくなったとされている。現在国内で流通しているこれらの乾電池のほとんどには水銀非含有の表示がされているが、古い乾電池や海外生産の乾電池については水銀非含有の表示が見られない乾電池もある。乾電池の拠点回収において、水銀非含有表示の電池類がどの程度排出されているかを集計した。結果を図5.3.2に示す。

これより、マンガン乾電池（筒型）、アルカリ乾電池（筒型）で水銀非含有表示はそれぞれ90%、94%であった。すなわち、現在排出されている乾電池のうち、90%以上と大半は水銀非含有とみられることがわかった。一方で、6～10%程度はまだ水銀が含有されている可能性のある乾電池が排出されているともいえる。

また、ボタン電池、コイン電池、および二次電池の水銀非含有表示の割合は、それぞれ3%（酸化銀電池で22%）、0%、0%と低い値であった。コイン型のリチウム電池は元々水銀非含有（電池工業会への問合せ結果）とされているほか、二次電池であるニカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池も水銀は使用されていないため、水銀非含有の表示率が低かったと考えられた。ボタン電池については、水銀電池の他にも、アルカリボタン電池、酸化銀電池、空気亜鉛電池といった電池に水銀が添加されていることがあり、電池工業会におけるボタン電池回収推進センターが電器店などに回収ボックスを設置している。ボタン電池の水銀非含有化は国内のメーカーで進められているものの、完全な無水銀化は実現していないとされている。加えて、非含有の場合でも、ボタン電池のように小さな電池については、本体でなくケースへの表示も認められているために、3%という極めて低い数値になったと考えられた。

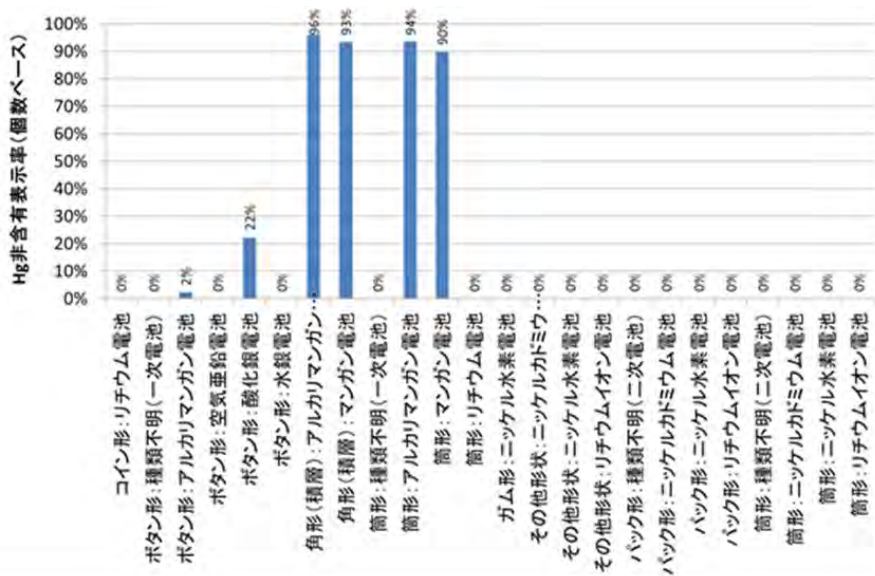


図 5.3.2 水銀非含有の電池類の割合（乾電池拠点回収、個数ベース）

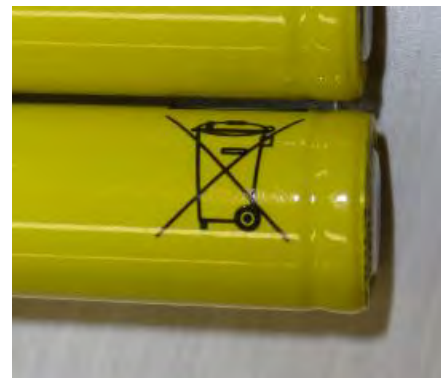
EU では電池指令第 21 条によって、規定含有量（水銀 0.0005 重量%、カドミウム 0.002 重量%、鉛 0.004 重量%）を超える場合は、クロスアウトダストビンマーク（図 5.3.3）とともにその化学記号を表示しなければならないとされている。

鉛について、鉛蓄電池とともに、マンガン乾電池への鉛添加が注目される。従来から、円筒型マンガン乾電池の亜鉛缶には製缶時の延性の向上と機械的強度確保のため0.1～0.15%の鉛と0.04～0.08%のカドミウムが添加された亜鉛合金が使用されてきた(村上, 2010)といわれている。調査した電池類に対して、鉛含有のクロスアウトダストビンマークが表示されている割合を整理したものが図5.3.4である。これより、鉛含有表示があるのはマンガン電池のみであり、マンガン電池全体の26%であることがわかった。鉛含有量の低減化は進められていると考えられるが、欧州での流通を想定した電池の量は限定的であるため、鉛含有表示のないマンガン電池も含めて、現在排出されている多くのマンガン電池には鉛が含有されていると考えられた。

カドミウムについては、負極にカドミウムを使用したニカド電池が、ニッケル水素電池とリチウムイオン電池といった他の小型二次電池とともに、電池工業会におけるJBRCが電器店などに設置している回収ボックスへの排出を求められている。ニカド電池が自治体における乾電池拠点回収や、不燃ごみまたは粗大ごみにどの程度混入しているかに関しては、③④で後述する。



(1) 鉛含有の表示



(2) 化学物質名なし

図 5.3.3 クロスアウトダストビンマーク

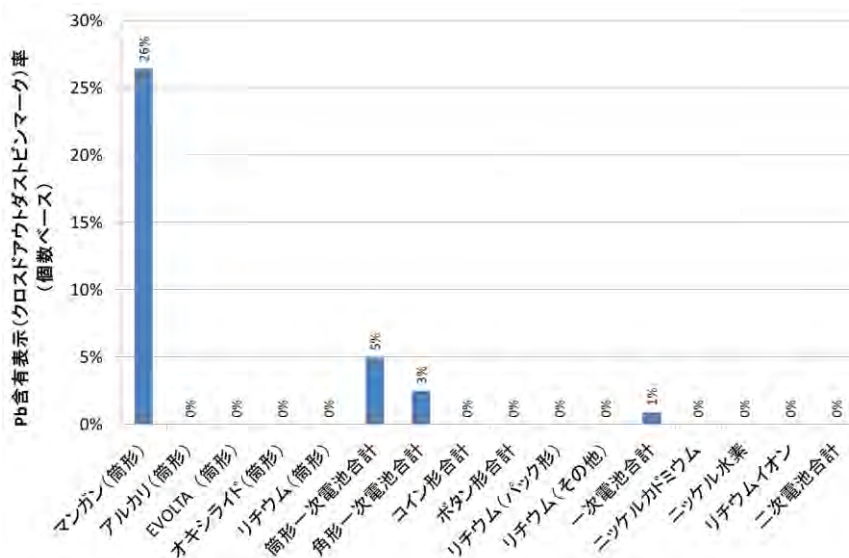


図 5.3.4 鉛含有の電池類の割合 (乾電池拠点回収、個数ベース)

②使用推奨期限

前述の水銀などの有害物質と関連して、電池類の生産年は重要な要素である。ただし、電池類には生産年が表示されている場合はごく一部に限られており、電池類の種類ごとにメーカーで定めている使用推奨期限が意義のある情報となる。2013年12月までに排出された乾電池拠点回収における電池類を対象として、回収対象であるマンガン電池(筒型)、アルカリ電池(筒型、EVOLTAなど一部高機能アルカリ

電池を除く)、角形積層電池 (9V) の電池の種類ごとに使用推奨期限を調査した結果を図 5.3.5 に示す。なお、一緒に混入されていたコイン電池、ボタン電池、二次電池については、ごく一部を除いて電池本体には使用推奨期限などの情報は表示されていなかった。

図 5.3.5 から、マンガン電池 (筒型) は大半が 2013 年以前と既に使用推奨期限を終えた古い電池が排出されており、1990 年代が使用推奨期限となっていたマンガン電池も一定程度みられた。一方、アルカリ電池 (筒型) は対照的に、使用推奨期限は 2014 年以降であり、まだ期限を迎えていない電池が大半であった。角形積層乾電池の個数は合計 40 個 (図に明示していないが、マンガン 15 個、アルカリ 25 個) と少ないが、同電池の流通が減少していることも反映されてか、アルカリ電池の場合も含めて、2013 年以前の古い電池が多く排出されていた。

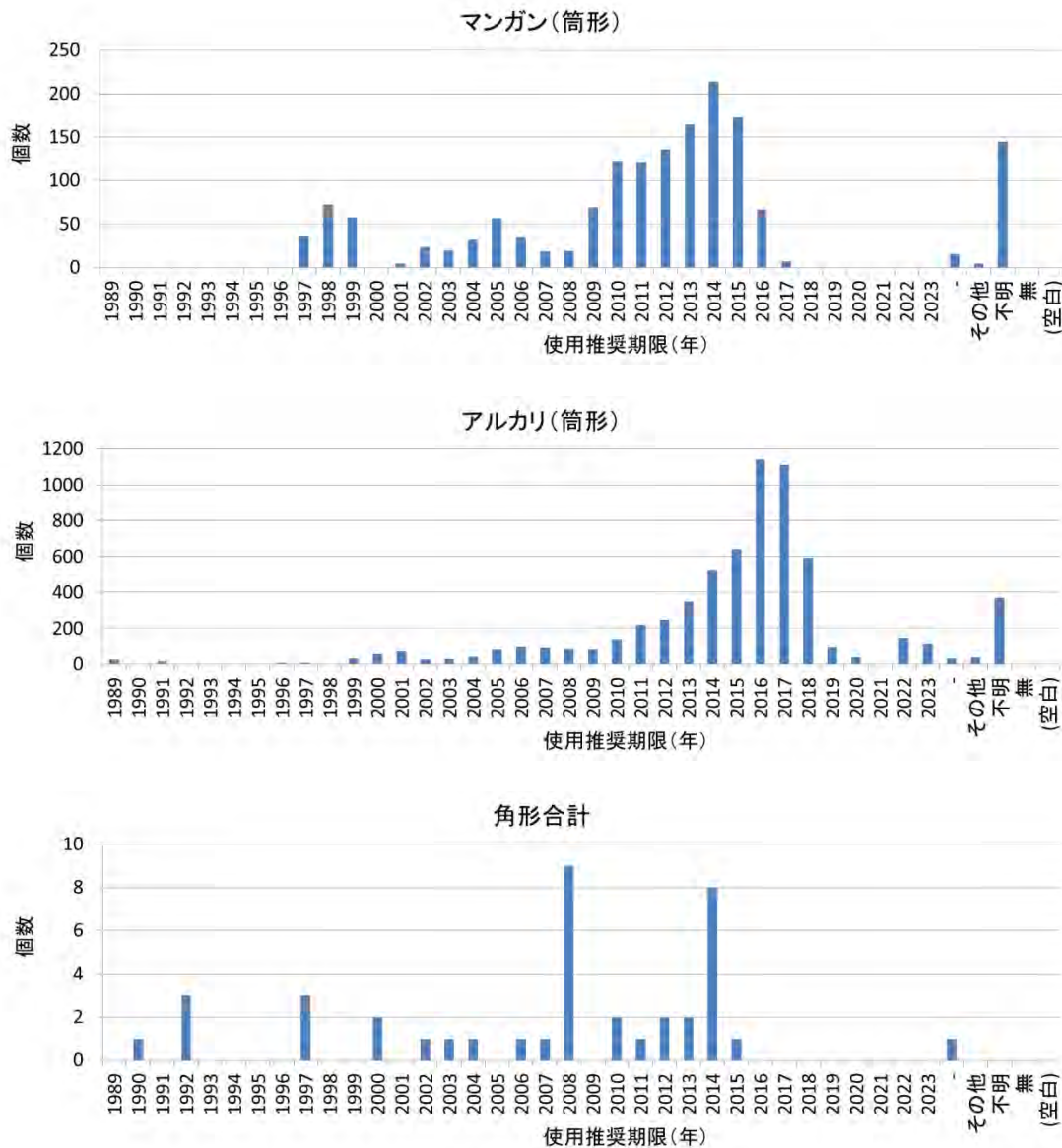


図 5.3.5 電池類の使用推奨期限 (乾電池拠点回収、個数ベース)

③所定の対象外などの電池類や異物の排出 (乾電池拠点回収、不燃ごみ)

自治体による乾電池拠点回収 (A 区) や不燃ごみ (東京都 23 区内いくつかの区) で認められているのは乾電池であり、二次電池とボタン電池はそれぞれ JBRC、ボタン電池回収推進センターによる回収ボックスへの排出が求められている。コイン電池については、5.2 で述べたように自治体では明確にされていないことがほとんどである。自治体によっては排出するのは誤りとまでは言えないが、コイン型リチウ

ム電池は爆発・火災の危険性もあるためにその混入状況を知っておくのは意義があると考えられる（A区では、コイン型リチウム電池の分別方法は不明）。そこで、所定の対象外の二次電池とボタン電池、さらにコイン電池について、乾電池拠点回収と不燃ごみでの混入状況を集計した。

乾電池拠点回収における二次電池、ボタン電池およびコイン電池の混入状況については、電池類の総量（異物は除く）を分母として集計した結果を図 5.3.6 に示す。個数ベースでは、二次電池、ボタン電池、コイン電池でそれぞれ 1.0%（回収拠点によって 0.2～1.4%）、2.9%（同 1.2～4.7%）、1.3%（同 1.0～1.6%）の混入率となっている。また、重量ベースでは、同様にそれぞれ 1.8%（0.2～3.4%）、0.1%（0.1～0.2%）、0.1%（0.1～0.2%）の混入率となっている。ボタン電池とコイン電池は 1 個あたりの重量が小さいことから、重量ベースでは 0.1%程度にすぎないが、個数ベースでは 1～5%程度に上がることがわかった。また、二次電池については、逆に個数ベースでは 1%程度にすぎないが、重量ベースでは 1～3%程度に上がる場合もあった。乾電池の排出量が他の種類の電池類と比較して著しく大きいために、これらの混入率は小さく見えるが、自治体による処理費用や安全管理を考えれば、これらの混入率はできるだけ低減させるのが望ましい。なお、回収拠点の明確な比較はできていないが、これらの所定の対象外の電池類混入防止のためには、混入禁止の表示だけでなく、同一場所や周辺での二次電池とボタン電池の回収ボックスの整備なども進める必要があると思われる。

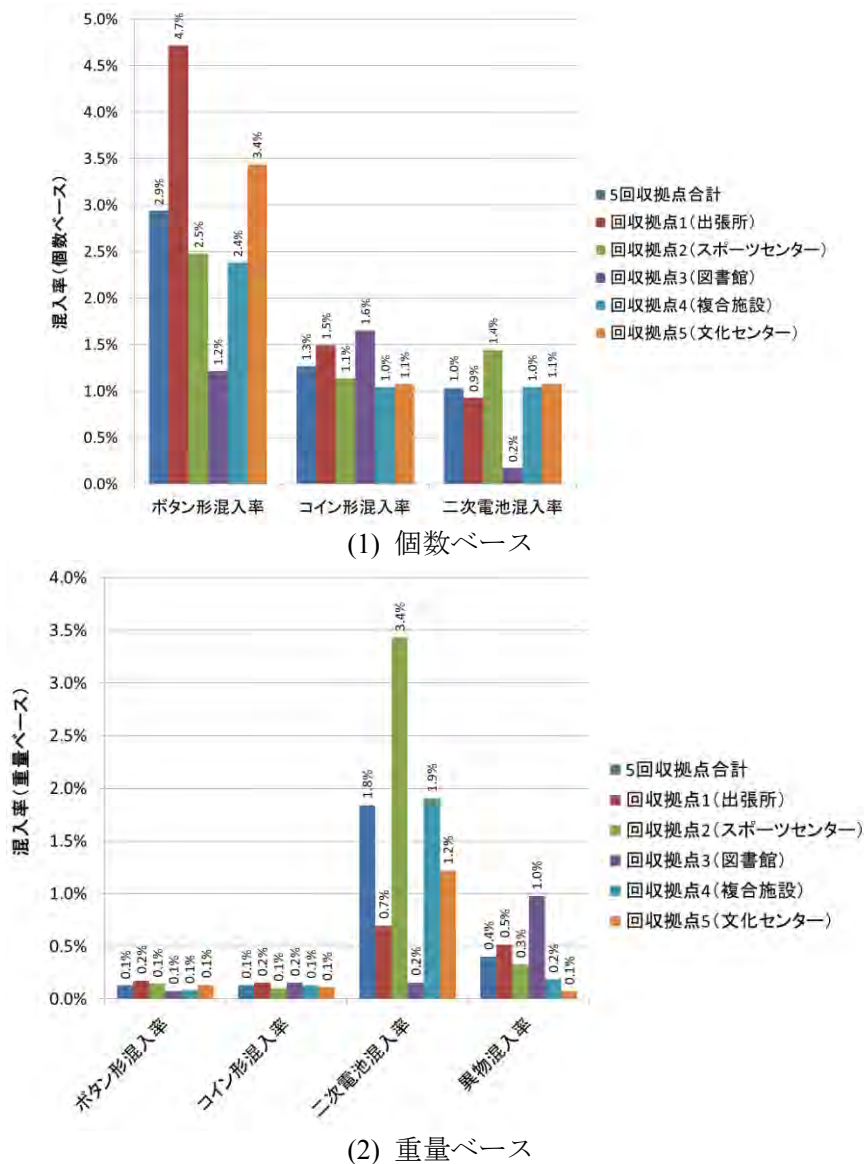


図 5.3.6 所定の対象外などの電池類の混入率（乾電池拠点回収）

また、不燃ごみにおける電池類の排出量を種類別に示した結果が図 5.3.7 である。これによれば、不燃ごみ 1t あたり電池類は約 20kg 排出され、そのほとんどはアルカリ電池であることがわかった。また、所定の対象外の電池類としての混入率については、二次電池が個数ベース、重量ベースの双方で 3% 程度強となっていることがわかった。(ボタン電池は今回の不燃ごみ調査ではなかった。)

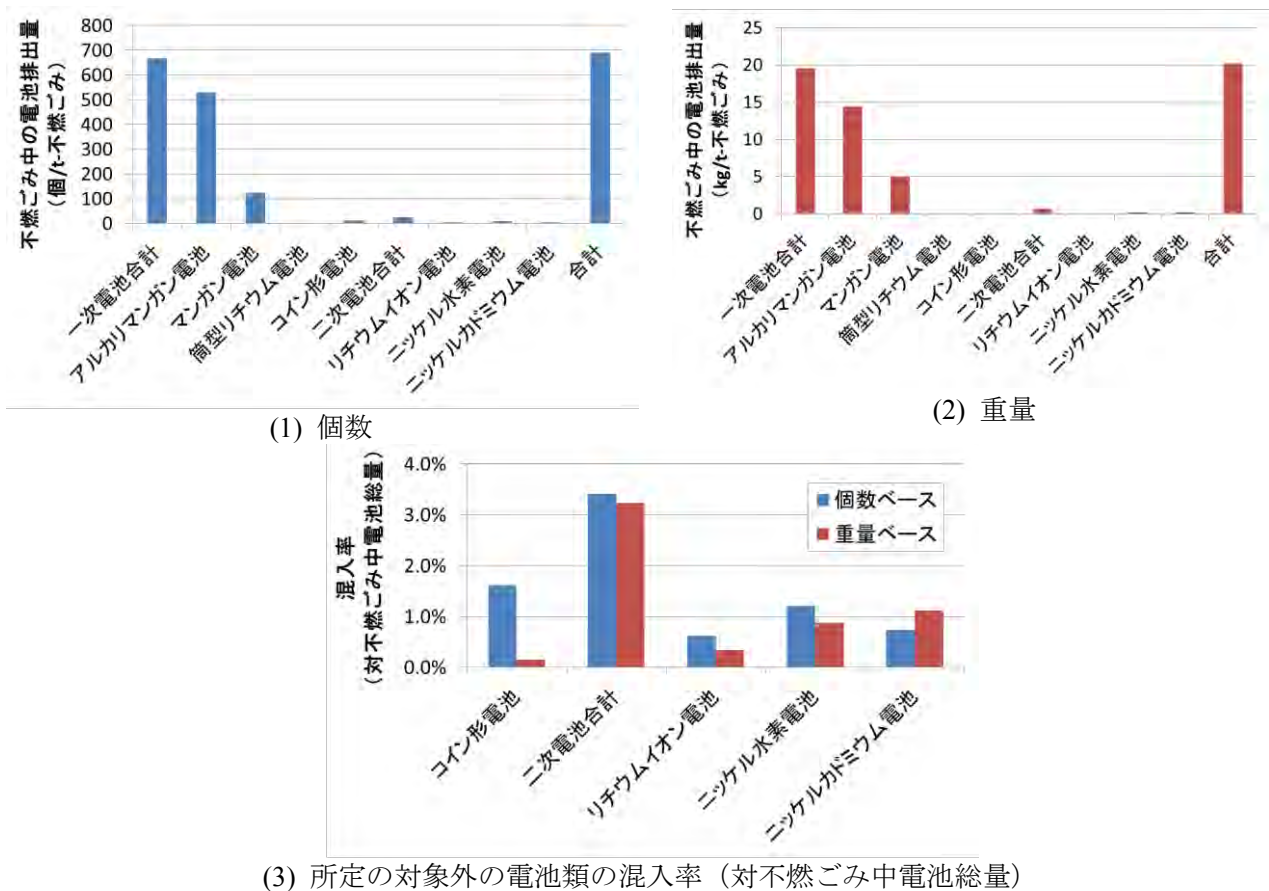


図 5.3.7 不燃ごみにおける電池類の排出量

さらに、乾電池拠点回収における異物の混入については、電池類の総量と異物の合計を分母に取った比率を図 5.3.6(2)に示している。これによると、異物混入率は 0.1~1% となっている。電池類の重量が大きいため異物混入率は小さく見えるが、電池類を持ち込んだ袋などが見られるほか、ライターなども確認されている (図 5.3.8)。ごみを投入されないように、目の届く場所に回収ボックスを設置する方が望ましいともいえる。



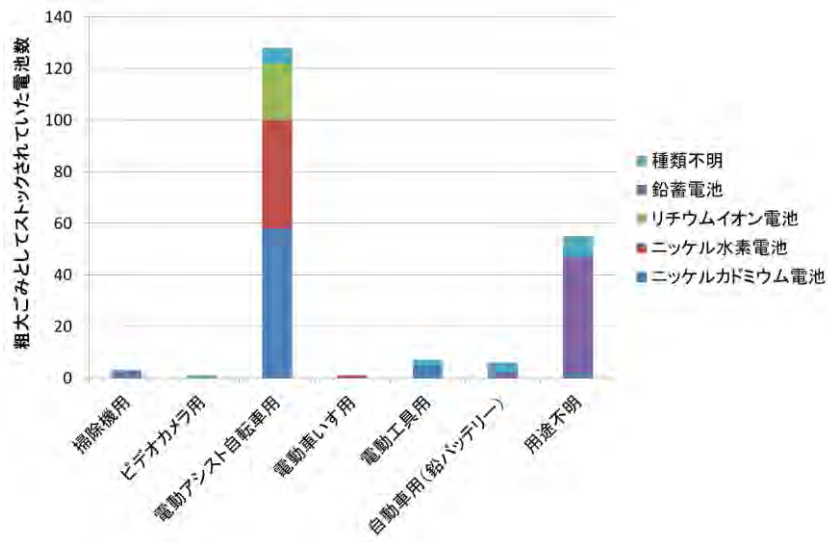
図 5.3.8 乾電池拠点回収ボックスに投入されていた異物の例

④収集処理において問題のある電池類の排出（粗大ごみ）

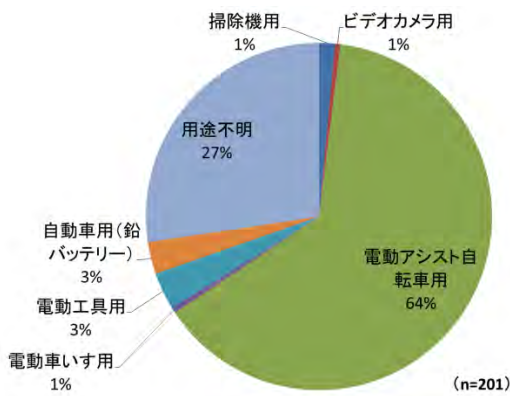
粗大ごみには小型の電池類が単体として排出されることはほとんどないが、小型ではない二次電池が単体あるいは製品に装着された状態で排出されることがある。これらは粗大ごみの破碎処理プロセスで火災・爆発などを発生する恐れがあるために、処理作業員の判断で除去され、最終的には専門業者で委託処理される場合があるという。

粗大ごみから除去されたこれらの電池類の調査結果を図 5.3.9 に示す。これによると、用途別では自転車が 64%、用途不明が 27%となっている。また、電池種類別では、ニカド電池が 34%で最も多く、鉛蓄電池が 23%、ニッケル水素電池が 21%、リチウムイオン電池が 11%と続いていた。電動アシスト自転車の電池類はニカド電池が多いが、年代によってニッケル水素電池とリチウムイオン電池に移行していると考えられる。用途不明の中では鉛蓄電池が多く、無停電電源装置（UPS）を含む多様な用途に利用されるものようである。これらの電池類は、10 カ月程度の収集作業において除去されたものであり、全体の重量比の判断はできないが、今後、電動アシスト自転車や無停電電源装置の普及に伴って増加することが予想される。

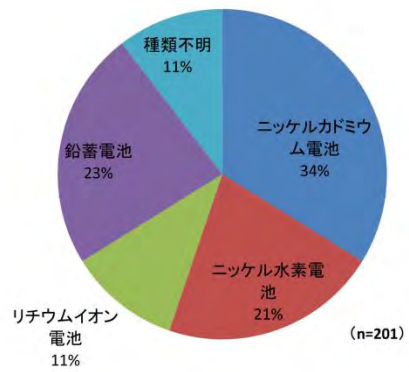
なお、ニカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池といった二次電池について、使用機器に表示義務があるとともに、JBRC はこれらの二次電池の回収を行っている（対象は JBRC 会員の二次電池）。ただし、JBRC が設置する回収ボックスは小さいために、電動アシスト自転車の二次電池の回収目的では利用されない。また、UPS などの鉛蓄電池については、資源有効利用促進法の対象であるにもかかわらず、JBRC は対象としていない。電動アシスト自転車の二次電池についても JBRC が回収を行っているが、自転車店が JBRC による回収を理解していない、消費者が自転車店による回収を理解していないといった課題が指摘されている（社団法人自転車協会, 2011）。



(1) 個数の単純集計



(2) 用途別割合 (個数比)



(3) 種類別割合 (個数比)

図 5.3.9 粗大ごみから除去されていた電池類



(1) 電動アシスト自転車用



(2) 用途不明

図 5.3.10 粗大ごみから除去されていた電池類の例

⑤絶縁の実施

乾電池拠点回収に排出された電池類において、実際にどの程度の絶縁が実施されていたかを集計した結果（個数ベース）を図 5.3.11 に示す。乾電池拠点回収で集まった電池類の絶縁実施率をみると、筒型乾電池は 2.0%（回収拠点によって 0.2～7.0%）となっていた。電池類の排出にあたっては、正極と負極をテープなどで絶縁することが電池工業会によって求められている。角形積層乾電池（9V）については 3 章でも述べたように特に絶縁が望ましいと考えられるが、排出数量が少ないためもあり、絶縁されたものは見られなかった。

二次電池、ボタン電池およびコイン電池は乾電池拠点回収の回収対象ではない（コイン電池も A 区では明示されていない）が、それらについても絶縁実施率を集計した結果を図 5.3.11 に示している。その結果、回収拠点によって二次電池、ボタン電池、コイン電池の絶縁実施率はそれぞれ 3.1%（回収拠点によって 0.0～13.0%）、12.7%（同 11.1～17.6%）、5.9%（同 0.0～16.7%）となっていた。二次電池は混入の数量も少ないため、変動の幅が大きくなっている。ボタン電池の絶縁実施率は 1 割強程度と他の電池類と比較して大きい一方、火災原因がより懸念されるコイン電池（リチウム電池など）についてはボタン電池より小さな絶縁実施率であった。

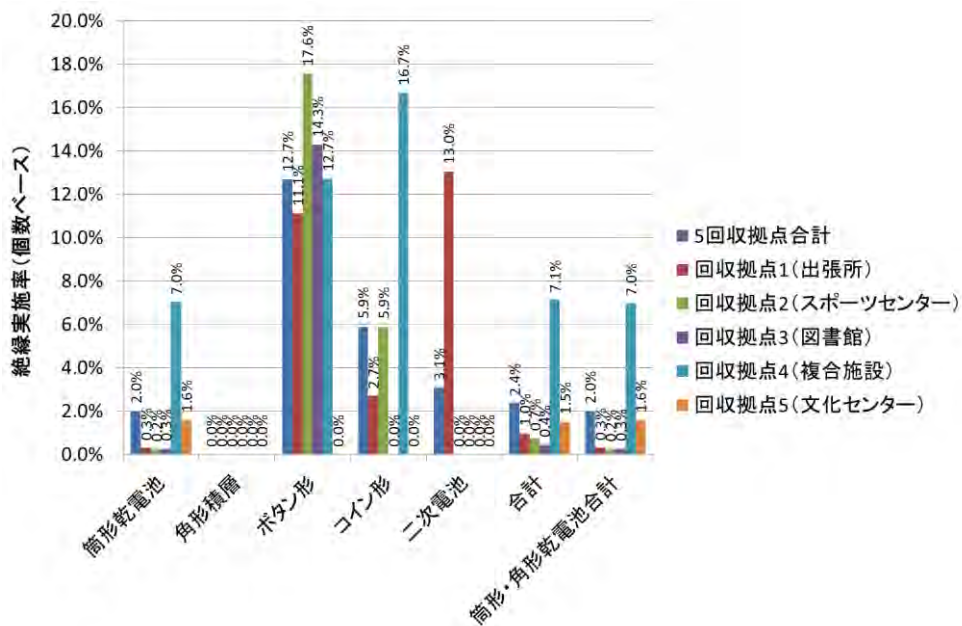


図 5.3.11 絶縁実施率（乾電池拠点回収、個数ベース）

⑥電池の残存電圧

乾電池の拠点回収に排出されていた角形積層乾電池を対象として、残存電圧を測定した結果を図 5.3.12 に示す。これによれば、定格の 9V から放電が進んだものも多いが、5V 以上で 63%（17 個）あり、8V 以上も 22%（6 個）みられた。

新しい積層角型乾電池ではショート防止のために、「コイン・金属製のもの」を避ける旨の図示や、負極の改善などがなされている（図 5.3.13）。しかし、残存電圧や前述の絶縁実施率を考えれば、排出者においても火災防止のために絶縁などを徹底するのが望ましいといえる。

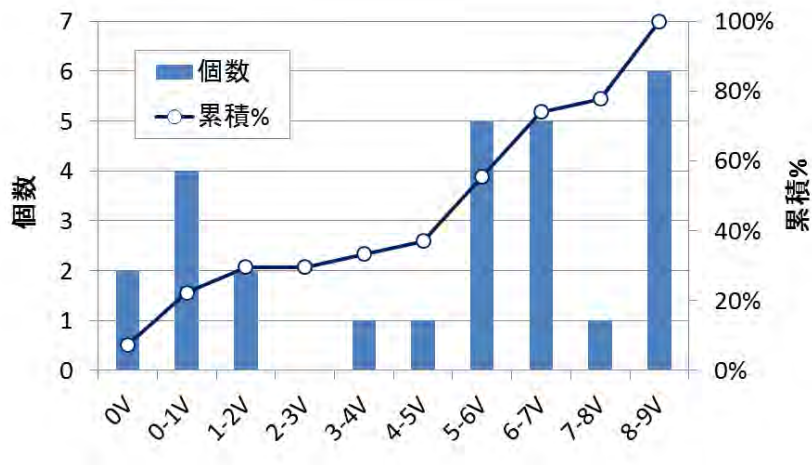


図 5.3.12 残存電圧の測定結果（乾電池拠点回収の角形積層乾電池、n=27）



(1) ショート防止のための「コイン・金属製のもの」 (2) ショート防止のために負極を改善した電池(左)を避ける旨の図示

図 5.3.13 角形積層乾電池のショート防止対策

(2) 電気電子機器に装着して排出された電池類の状況

電気電子機器から取り外されずに装着したまま排出された電池類について、小型家電回収ボックスおよび不燃ごみにおける結果を示す。

①電気電子機器の種類

まず、A区、B区、C市の小型家電回収ボックスで回収された電気電子機器の種類について、回収重量とその比率をそれぞれ図 5.3.14、図 5.3.15 に示す。図 5.3.15 からは、排出経路・地区別の機器の構成比の特徴をみることができる。すなわち、A区では電池等、付属品、ケーブル類、B区ではACアダプタ、携帯電話、付属品、C市ではスピーカー等音響機器、ACアダプタ、ゲーム機が多くなっていた。

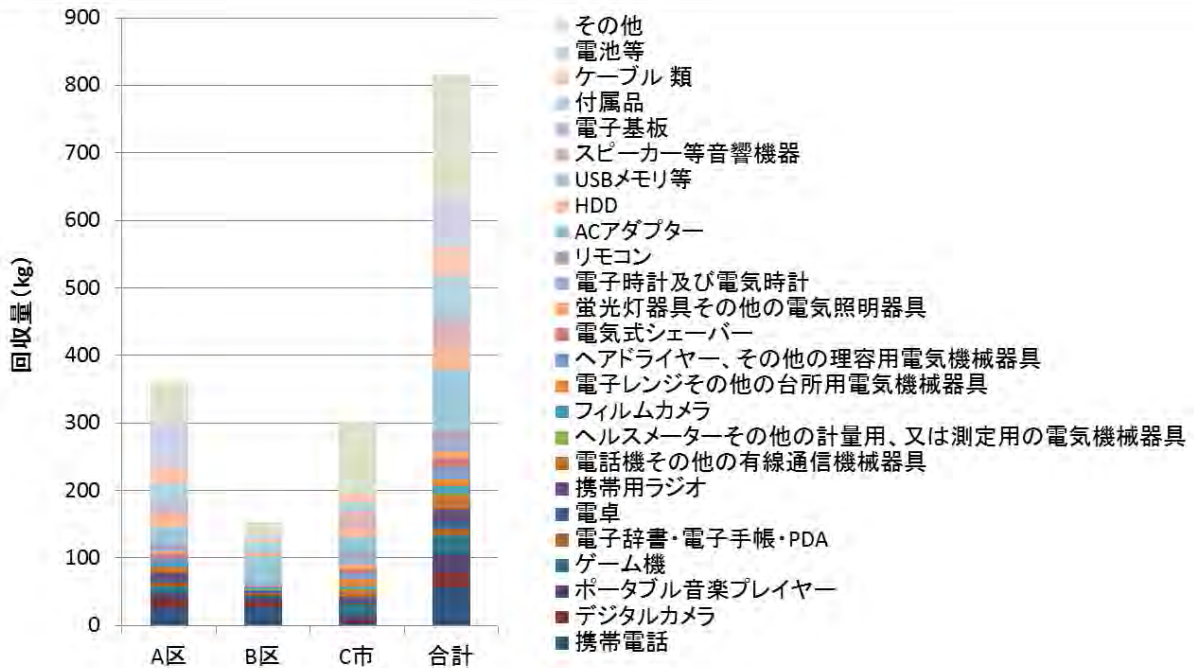


図 5.3.14 小型家電回収ボックスで回収された電気電子機器の種類 (回収重量ベース)

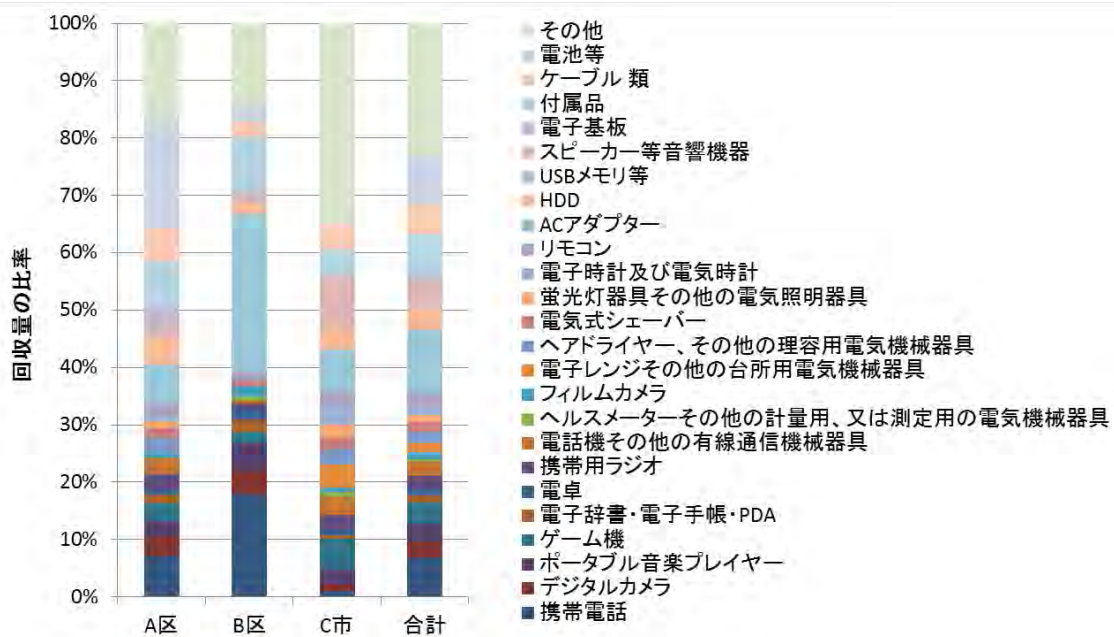


図 5.3.15 小型家電回収ボックスで回収された電気電子機器の種類 (回収重量の比率ベース)

また、不燃ごみで排出された電気電子機器については、回収台数の比率についてのみ、小型家電回収ボックスの結果と比較して図 5.3.16 に示す。不燃ごみは調査対象量が限定されたために台数は少なかったが、携帯電話、電気シェーバー、リモコンなどが多くみられた。

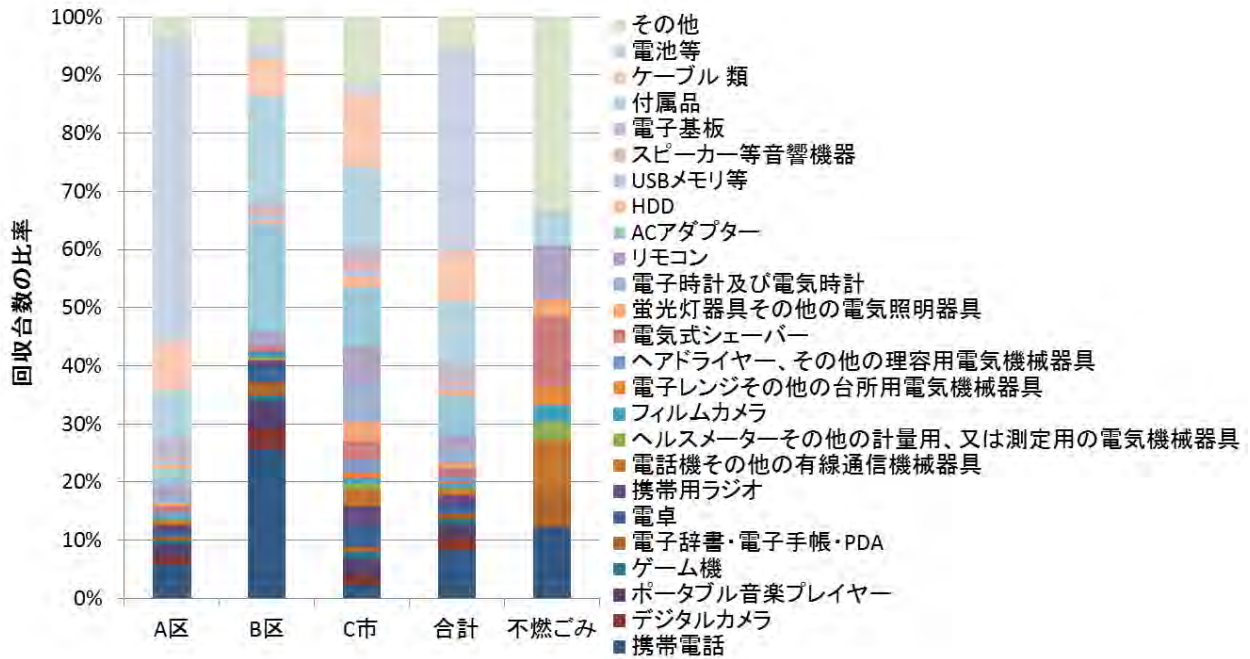
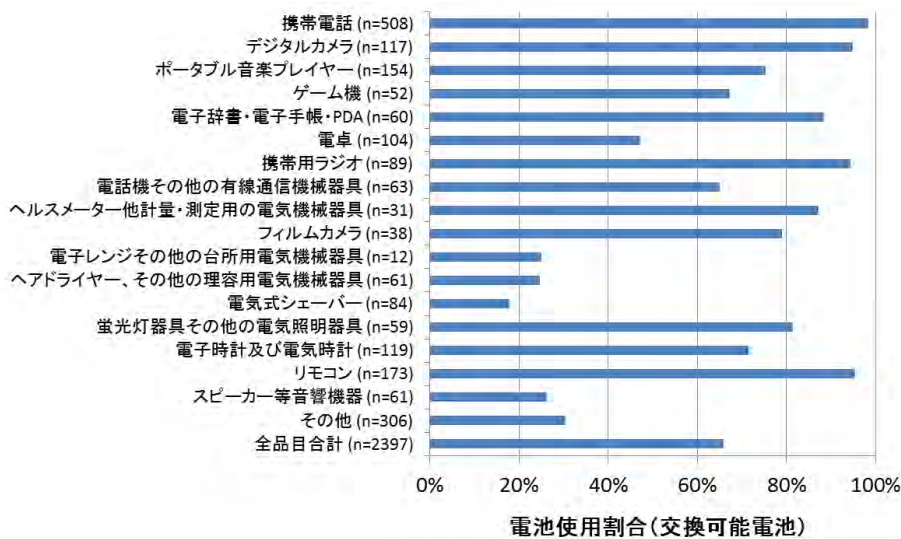


図 5.3.16 小型家電回収ボックスと不燃ごみで排出された電気電子機器の種類 (回収台数の比率ベース)

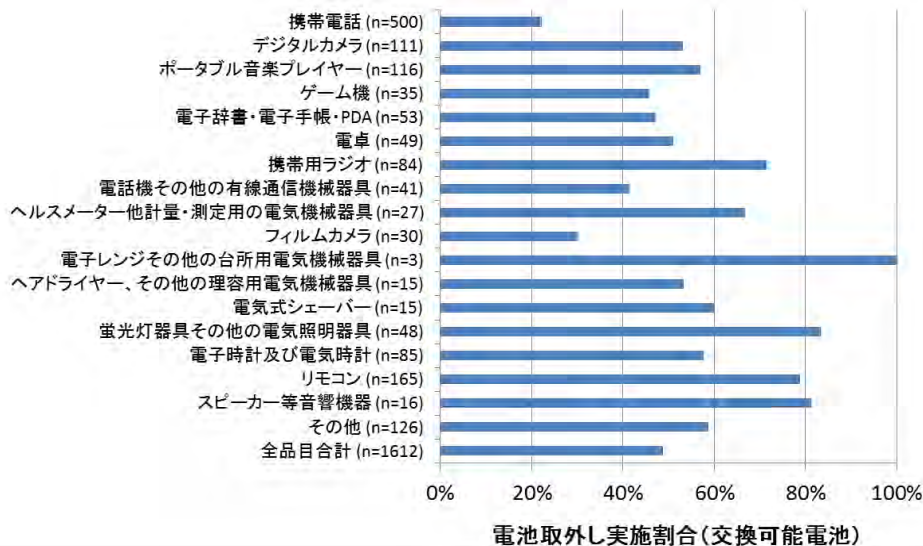
②取外し困難度

小型家電回収ボックスで回収された電気電子機器を対象として、電池類の使用状況と排出者（消費者）による排出前の取外し実施状況を調査した。ここでは、消費者が自ら交換可能な電池（工具不要で手で取外し・交換できるもの、ドライバーでネジを外せば交換できるもの）、機器に内蔵されており機器を解体や破壊しなければ取り出せない電池（消費者による交換を想定していないもの）に分けて調査した。

電気電子機器は図 5.3.17 に示すとおりであり、携帯電話、デジタルカメラ、電子辞書等、ラジオ、リモコンなどで 8 割を超す機器が交換可能な電池が使用されていた。取外し実施割合をみると、全体として半数程度の機器が多く、携帯電話の（交換可能なリチウムイオン電池の）取外し割合が 2 割程度と最も小さくなっていた。携帯電話のリチウムイオン電池は JBRC で回収されているが、小型家電回収ボックスに排出する際には取り外しが強く求められていないと意識されているように思われる。



(1) 使用割合 (n が 10 以上の機器のみ表示)



(2) 取外し実施割合 (交換可能な電池の使用機器のみ対象)

図 5.3.17 電気電子機器における交換可能電池の使用割合と取外し実施割合 (小型家電回収ボックスの3区市合計)

取外しが困難な内蔵電池を使用している電気電子機器については、図 5.3.18 に示すように、電気シェーバー、携帯電話、デジタルカメラ、電卓が多く、当然ながら（ごく一部を除いて）取り外されずに排出されていた。

A 区の小型家電回収ボックスでのみになるが、このような内蔵電池の種類を調査した結果を図 5.3.19 に示す。ここで、携帯電話、デジタルカメラ、電卓についてはボタン電池がほぼすべてとなっている。（ただし、ボタン電池とコイン電池の区別は調査者の主観によったため、一部を後日調べたところ、メーカーがコイン型リチウム電池として販売しているケースがあった。）これらは、メモリーバックアップ用のリチウム電池とみられる。すなわち、携帯電話の場合は、リチウムイオン電池（交換可能）とリチウム電池（内蔵電池）を使用しているが、リチウムイオン電池の取外しは2割程度であり、7割が使用とみられたリチウム電池もほぼすべてが取り外されずに排出されていた。

一方、電気シェーバー、音楽プレイヤーでは、内蔵電池として二次電池が用いられていた。音楽プレイヤーの二次電池はリチウムイオン電池が多かったが、電気シェーバーはニカド電池やニッケル水素電池がみられた。

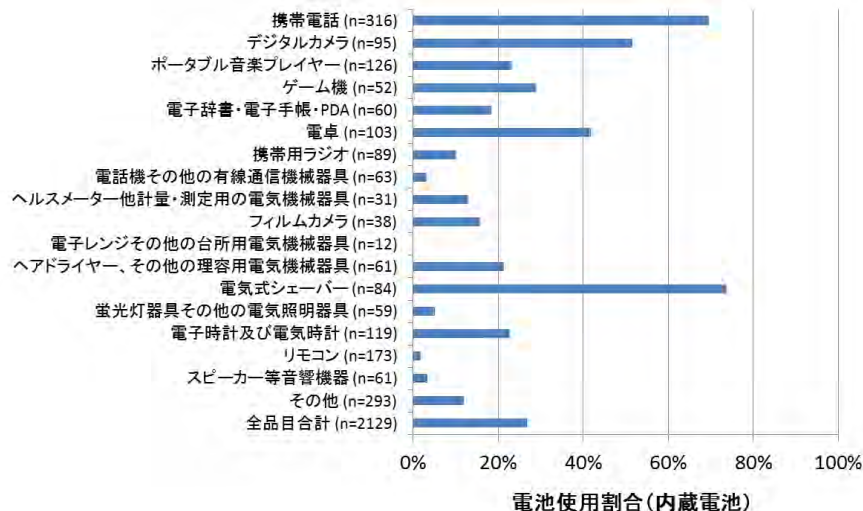


図 5.3.18 電気電子機器における内蔵電池の使用割合 (小型家電回収ボックスの3区市合計)

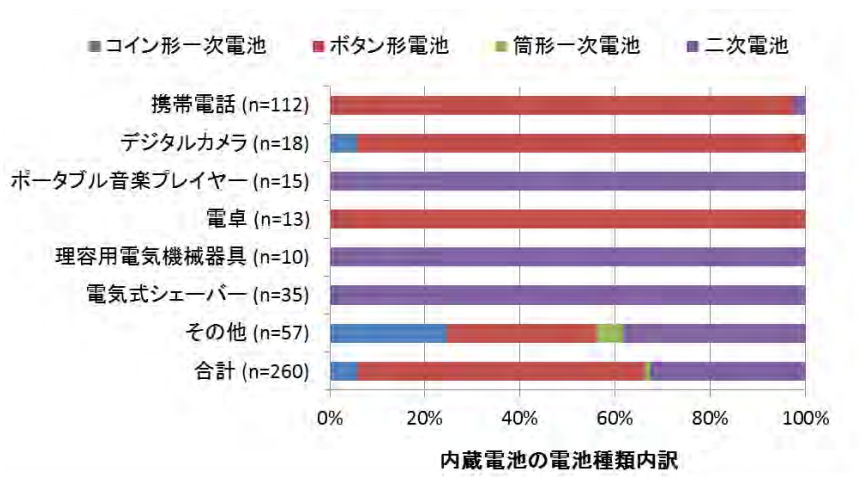


図 5.3.19 電気電子機器の内蔵電池における電池種類 (A 区の小型家電回収ボックス)
 注: ボタン型とコイン型の区別は主観による。また、ボタン型電池は、携帯電話用途は二次電池、他の用途は一次電池が多いと考えられるが、確実ではない。



図 5.3.20 携帯電話の内蔵電池の例 (メモリーバックアップ用リチウム電池)



(1) 音楽プレイヤー



(2) ポリマー型のリチウムイオン電池

図 5.3.21 音楽プレイヤーと内蔵電池の例

5.3.4 電池類の排出に着目した課題の検討

(1) 前処理時の危険性

使用済み携帯電話の回収にあたっては、個人情報保護への配慮が求められている。個人情報の消去は排出者の責任であるが、小型家電として携帯電話の回収を行っていた A 区と B 区においては、前処理段階で個人情報の消去と二次電池の取外しを行っていた。個人情報の消去は一般に物理破壊によるが、二次電池の取外しを忘れた場合に二次電池を傷つける恐れがあるほか、バックアップ用のリチウム電池の位置が製品によって変わるために物理破壊の際にまれに傷つける可能性もあるので、注意が必要である。

また、最近ではスマートフォンの普及に伴った対策も必要となっている。スマートフォンの中でも iPhone についてはリチウムイオン電池が取外し困難な内蔵電池として使用されている。図 5.3.22 はその例であるが、リチウムイオン電池の取外し（あるいは交換）には特殊工具を用いた機器の分解が必要であるため、一般に実施することは難しい。また、リチウムイオン電池も大きく、機器の大部分を占めるために分解を行わずに個人情報の消去を行うことも困難である。

図 5.3.23 には、今回の調査で回収された使用済み携帯電話の年式別種類を示す。2013 年の年末に回収された携帯電話において、2000 年から 2010 年頃の製造年の携帯電話が排出されている。これらの大半はフィーチャーフォンであるが、年式からは退蔵されていたものも多いとみられ、今後は 2010 年以降の年式でみられるようにスマートフォンの排出が急増することが予想される。スマートフォンの中でも、リチウムイオン電池の取外しが困難なのは现阶段では iPhone のみのようであるが、今後の機器の多様化の可能性も含めて、自治体が前処理段階で個人情報の消去と電池の取外しを行うには専門的な知識が不足すると考えられる。個人情報の消去と安全なリサイクルのための電池の取外しは前処理段階でセットでとらえるべきであり、対応が困難な機器ほどメーカーや通信事業者などで責任を持って回収の仕組みを構築し、一般に周知することが求められる。

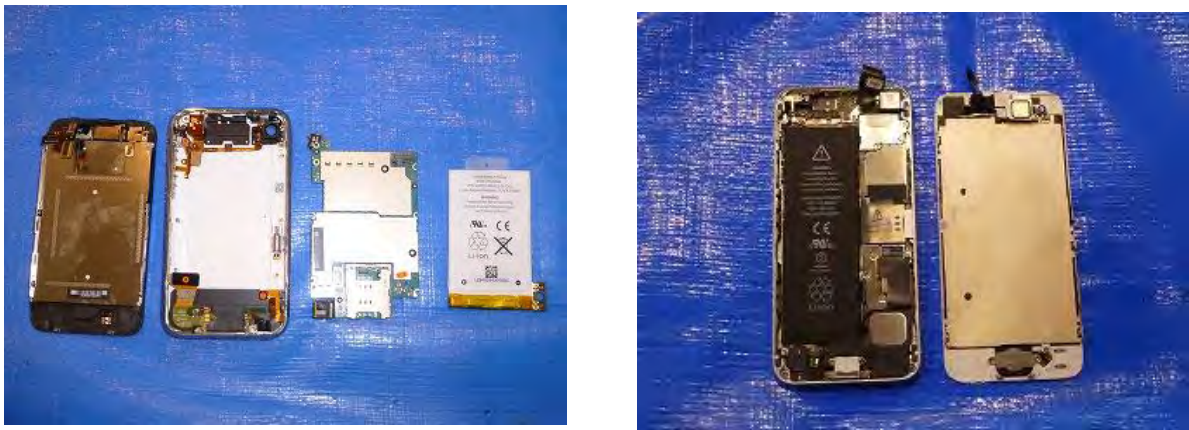
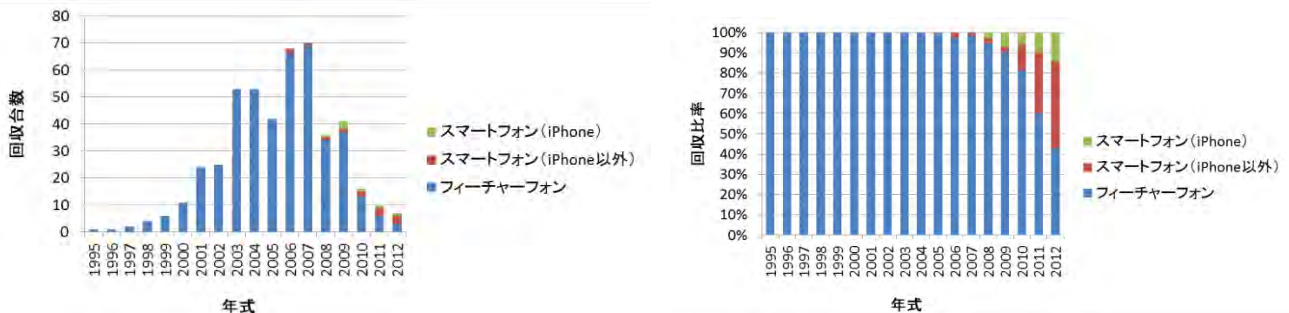


図 5.3.22 スマートフォン (iPhone) におけるリチウムイオン電池の例



(1) 回収台数

(2) 回収比率

図 5.3.23 今回の調査で回収された使用済み携帯電話の年式別種類 (A 区、B 区、C 市の小型家電回収ボックスの合計)

(2) 破砕処理時の対応

前述のように、一定の電気電子機器にはバックアップ用のコイン型リチウム電池が使用されている。リチウム電池は衝撃発火の危険性などがあり、破砕処理を行う際には取り除くのが望ましい。しかしながら、排出時や前処理の段階でその取外しは困難であるため、破砕処理施設においては湿潤化を含む一定の防火設備が求められる。廃棄物の破砕処理施設においては既に防火設備の整った施設が多いと思われるが、小型家電リサイクルの認定事業者においても、前処理段階での電池類の取外しの努力とともに、破砕処理における防火対策の十分な検討が望まれる。

(3) 電池類の絶縁

本調査の結果からも、排出段階での電池類の絶縁実施率は低いことがわかった。自治体においても絶縁の呼びかけは必要であるが、回収ボックス付近に絶縁用のテープを設置するなど、実効性の上がる対策が望ましい。

(4) 二次電池の回収システム

小型二次電池の回収はJBRCが実施しており、ニカド電池などの小型二次電池を使用している製品にはリサイクルマークが表示されている。しかし、図 5.3.24 を含むいくつかの電気シェーバーについては、簡単な工具だけではこれらの二次電池の取外しが困難であった（内蔵電池と解釈）。このような場合は、リサイクルマークを表示して終わるのではなく、電器店などで使用済み製品を受け入れるか、取り外し可能な製品設計とすることが必要である。



(1) ニカド電池のリサイクルマーク



(2) 取外しの状況

図 5.3.24 電気シェーバーのニカド電池の例

5.3.5 ストープ・ファンヒーターにおける残存灯油

5.3 の調査の中では、電池類以外にも有害危険な使用済み機器としてストーブ・ファンヒーターに注目した。ストーブ・ファンヒーターは金属スクラップの中にもしばしば混入し、火災現場でも見られている。これらの中に残存灯油がある場合、火災が発生した時には延焼を促進することが容易に想像できる。このため、廃棄されているストーブ・ファンヒーターの中に残存灯油がどの程度あるかを調べるために、粗大ごみとして排出されたストーブ・ファンヒーターについては残存灯油の量を測定した。図 5.3.25 が調査時の状況である。

調査したストーブ・ファンヒーターの数量は、灯油使用機器（ガス製品を除く）として 121 台であり、そのうち 104 台が外付けタンク使用式であった。このうち、外付けタンクには平均 38mL（最小 0～最大 2,100mL）の灯油が残存していた。内蔵タンクには、平均 103mL（最小 0～最大 780mL）であった。外付けタンクは容器の移し替えによる除去など取扱いが比較的容易であるため、残存灯油は平均すると小さいが、最大 2,100mL もの灯油が残されている場合があることがわかった。また、内蔵タンクについては取扱いが容易ではなく、使い切りや一部解体による除去などを行わない限り、灯油はなくなる。そ

のため、平均 103mL もの残存灯油が測定されていた。

これらの残存灯油については、使い切りや除去が求められるが、内蔵タンクでは除去が容易ではない。可能な限り灯油は使い切るとともに、金属スクラップ業者へ引き取られる可能性のある不用品回収業者に排出しないことが肝要である。



図 5.3.25 ストープの残存灯油の調査状況（左：外付けタンク、中央：内蔵タンク）

5.3.6 製品設計の適用例

以上の電池類や残存灯油への対策として、今回の調査の中で注目される製品がいくつか見られた。

図 5.3.26 は、リチウム電池の取外しが容易な炊飯器の例である。これはリチウム電池の交換が目的かも知れないが、廃棄の際の取外しにも利用できる。

図 5.3.27 は内蔵タンクのない石油ファンヒーターであり、廃棄時の取扱いが容易となっている。

有害危険な部材を有する機器にあたっては、廃棄時のことを考慮したこのような製品設計が今後ますます求められる。



(1)炊飯器の外観



(2)リチウム電池の取外し口



(3) リチウム電池

図 5.3.26 リチウム電池の取外しが容易な炊飯器の例



(1) 石油ファンヒーターの外観



(2) 内蔵タンクが不要な外付けタンク

図 5.3.27 内蔵タンクのない石油ファンヒーターの例

5.4 事業者における電気電子機器の保有および使用済み排出実態

5.4.1 調査目的

廃棄時に有害危険な特性を有するものが多い電気電子機器等については、個人の排出、自治体における収集などについて、調査がよく行われている。一方で、事業者からの排出実態については不明な点が多く、国内での使用済み電気電子機器のフローを描いたり、金属スクラップへの混入など不適正なルートへ流れたりする状況や要因などが十分把握できていない。そこで、本章では、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出実態に関する調査を行った。

本調査においては、先に示した事業所での電気電子機器の保有および排出の実態を把握し、より適切なりサイクルシステムの構築を行うための基礎情報を得ることを目的として、アンケート調査を実施した。

アンケート調査においては、以下の点を把握することを狙いとして、アンケート票の設計を行なうとともに、特徴的な機器（業務用冷凍冷蔵庫、超硬工具等）の実態把握ができるように発送先業種の選定を行った。

- ・事業所の特徴として業種、事業所の形態、事業所規模により、保有・排出に影響を与える事業所特性が何であるかを把握すること。
- ・機器ごとの保有・排出実態で、どのような傾向があるか。特に業界等で行っているリサイクルシステムがどの程度利用されているかなどを把握すること。
- ・使用済み機器をどのような排出先に引き渡しているか、また、排出先の選定理由は何であるか。
- ・各種リサイクル制度の認知度。

なお、アンケート調査をもとに、全国での使用済み機器のフロー推計に有用となる分析を実施した。

5.4.2 調査の設計

アンケート調査においては、一般的な事業所で保有していると想定される機器を対象とした調査を基本として、特に個別に実態把握を進めたい機器については、その機器を使用していると想定される業種を特定し、その業種に対して別途アンケート票を作成し、調査を実施することとした。

今回の調査で、個別の品目の調査として、業務用冷凍冷蔵庫と超硬工具を選定した。これらの両品目を調査対象とする業種については、表 5.4.1 のとおりとした。

表 5.4.1 個別に調査する品目と対象業種の対応

個別品目	対象業種
業務用冷凍・冷蔵庫	・小売業 ・飲食店
超硬工具	・輸送機械製造業 ・電気機械製造業 ・一般機械製造業 ・金属加工機械業 ・総合工事業

個別品目以外の調査については、概ね全業種を経済センサスの事業所数をもとにして、業種別、規模別に分けて調査を行うこととした。

アンケート調査票は、小売店、飲食店の業種特性を考慮できるように別途作成することとし、以下の4種類を作成した。

- ・「標準版調査票」 以下の業種以外の全業種に適用
- ・「小売店版調査票」 小売業に適用
- ・「飲食店版調査票」 飲食店に適用
- ・「超硬工具版調査票」 表 5.4.1 の超硬工具で示す 5 業種に適用

上記の調査票ごとに一定数の回答を得ることを目標として、表 5.4.2 のような業種別の発送数を設定した。表 5.4.2 で「TSR」は、東京商工リサーチのデータベースからの発送先を選定したケースで超硬工具の調査においては、日本自動車工業会等の会員名簿から事業所（工場）を任意に選定して発送を行った。

表 5.4.2 業種別発送数一覧

業種	企業規模(従業員規模)	アンケート票	リスト	発送数
全業種(除く下記)	大(301人以上)	標準版	TSR	1,000
	中(21人以上300人以下)	標準版	TSR	1,000
	小(20人以下)	標準版	TSR	1,000
その他製造業(工場)		標準版	TSR	300
(標準版のみ計)				3,300
小売業	大(51人以上)	小売店版	TSR	180
	中(6人以上20人以下)	小売店版	TSR	200
	小(5人以下)	小売店版	TSR	200
	新日本SM協会 ^(注1)	小売店版	会員	100
(小売店計)				680
飲食店		飲食店版	TSR	400
	東京都組合 ^(注2)	飲食店版	会員	1,000
(飲食店計)				1,400
輸送機械製造		超硬工具版	TSR	50
	自工会、部品工業会 ^(注3)	超硬工具版	業界会員	150
電気機械製造		超硬工具版	TSR	150
一般機械製造		超硬工具版	TSR	150
金属加工機械		超硬工具版	TSR	150
総合工事業		超硬工具版	TSR	200
(超硬工具計)				850
合計				6,230

5.4.3 調査項目

本調査においては、事業者の属性、品目と保有状況、排出先、排出（廃棄）・更新時期、排出先選定要因、自由記述などを尋ねた。

表 5.4.3 業種別の質問品目

全事業者・超硬工具	飲食店	小売店
ノート型パソコン	業務用冷凍冷蔵庫	業務用冷凍冷蔵庫
デスクトップ型パソコン(本体)	製氷機	製氷機
無停電電源装置(UPS)	ショーケース・ディスプレイケース	ショーケース・ディスプレイケース
パソコン用ディスプレイ(液晶式)	ネタケース	電気炊飯器
パソコン用ディスプレイ(ブラウン管式)	ビールサーバー	電子計量器
レーザープリンタ	食器洗浄機	POSレジ・レジスター
インクジェットプリンタ	電気炊飯器	給湯器
コピー機(複写機)・複合機	POSレジ・レジスター	ガスコンロ(カセットコンロ除く)
蛍光灯(電球型含む)	給湯器	石油暖房機
LED電灯・電球	ガスコンロ(カセットコンロ除く)	パソコン
ブラウン管式テレビ	石油暖房機	パソコン用ディスプレイ

液晶・プラズマ式テレビ	ブラウン管式テレビ	プリンタ
家庭用冷蔵庫・冷凍庫	液晶・プラズマ式テレビ	特殊プリンタ
家庭用洗濯機・衣類用乾燥機	家庭用冷蔵庫・冷凍庫	コピー機（複写機）・複合機
家庭用ルームエアコン	家庭用洗濯機・衣類用乾燥機	トナーカートリッジ
業務用の建物組込型エアコン	家庭用ルームエアコン	蛍光灯（電球型含む）
デジタル家電	業務用の建物組込型エアコン	LED 電灯・電球
携帯電話	ファクシミリ	家庭用ルームエアコン
ファクシミリ	蛍光灯（電球型含む）	業務用の建物組込型エアコン
石油暖房機	LED 電灯・電球	ファクシミリ
給湯器	パソコン	乾電池・ボタン型電池
ガスコンロ（カセットコンロ除く）	プリンタ	充電電池・小型二次電池
乾電池・ボタン型電池	乾電池・ボタン型電池	蓄電池設備
充電電池・小型二次電池	充電電池・小型二次電池	

5.4.4 調査方法

アンケート調査は、紙による調査票とともに Web サイトでも回答できるようにし、2013 年 2 月に実施した。また、飲食店については「東京都飲食業生活衛生同業組合」、小売店については「一般社団法人新日本スーパーマーケット協会」にご協力いただき、会員の方への調査票の配布を依頼した。最終的な回収数は、飲食店 119 件、小売店 95 件、全事業者 512 件、超硬工具 142 件の計 868 件となっている。

表 5.4.4 アンケート調査の概要

調査方法	郵送法およびインターネット調査			
調査期間	2013 年 2 月			
回収数		計	郵送	Web
	飲食店	119	112	7
	小売店	95	77	18
	標準事業者	512	361	151
	超硬工具	142	114	28
	計	868	664	204

5.4.5 調査結果

以下、ページ数の制約のために標準事業者に対する結果のみ記す。

保有状況を見ると、OA 機器ではパソコン、パソコン用ディスプレイ（液晶式）、コピー機（複写機）・複合機が 90%程度と高い。ただし、ブラウン管式ディスプレイは 14%と保有率が低く、既に多くが排出されていると推定される。また、無停電電源装置（UPS）も 46%の事業所で保有していることがわかった。その他、事業所であっても家庭用機器の保有率は高く、家庭用冷蔵庫・冷凍庫で 94%、家庭用洗濯機・乾燥機は約 50%であった。

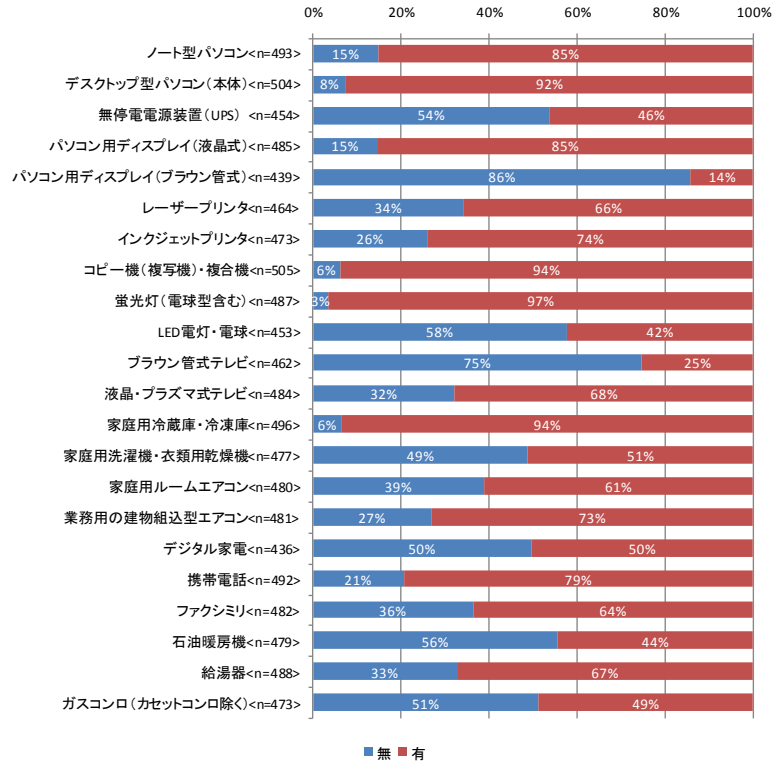


図 5.4.1 保有状況（標準事業者）

保有形態については、いずれの機器も自社購入の割合が高い中、「コピー機（複写機）・複合機」のみリース契約が多くなっている。また、「蛍光灯（電球型含む）」「業務用の建物組込型エアコン」「給湯器」については、他の機器に比べオーナー保有（備付）の割合が比べると高い。

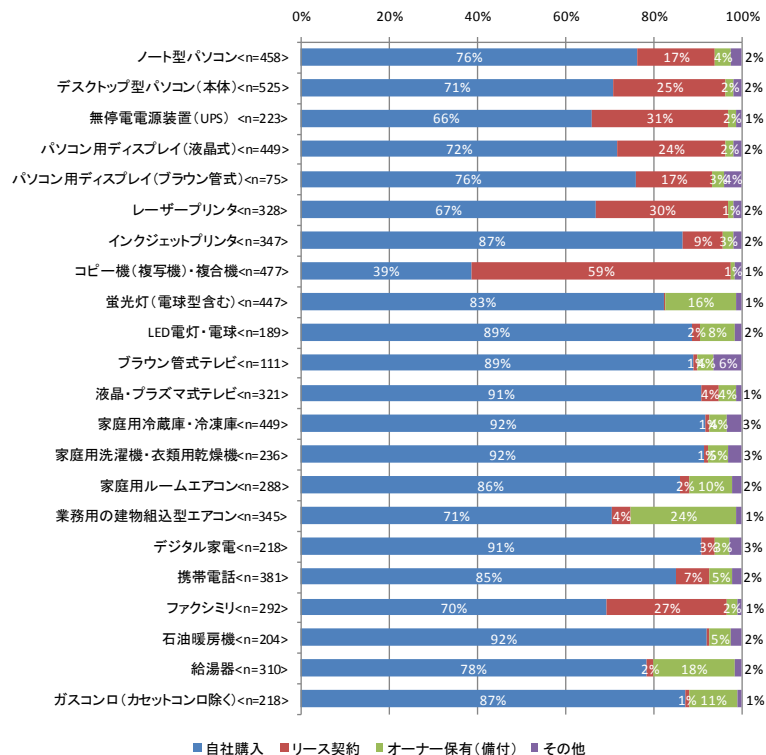


図 5.4.2 保有形態（標準事業者）

機器の引取・廃棄依頼先としては、OA 機器ではリース会社やメーカーといった回答が多く、家電製品については家電販売店の割合も大きい。いずれの機器も産業廃棄物収集・処理業者の割合が 2 割前後と比較的大きな割合を占めている。

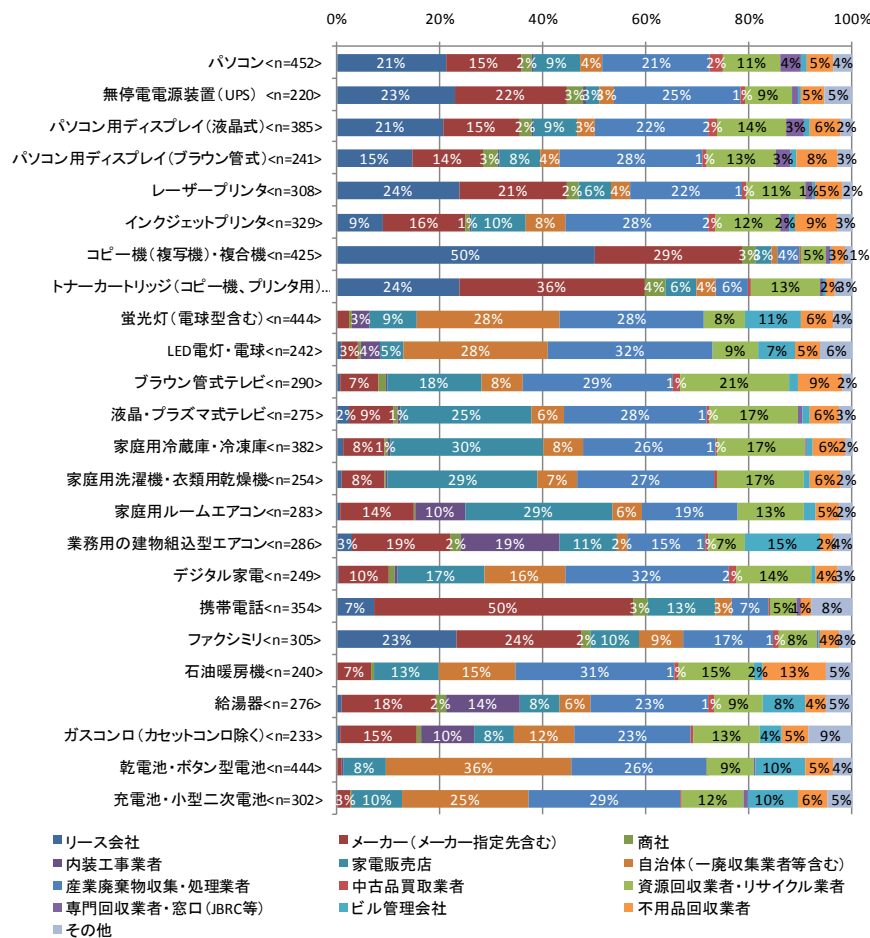
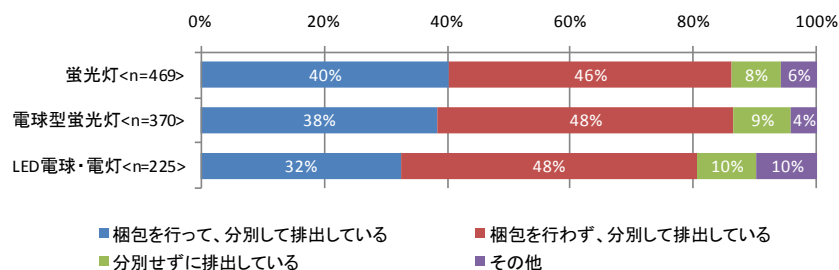


図 5.4.3 機器の引取・廃棄依頼先（標準事業者、最も多い依頼先）

排出方法については、蛍光灯・LED 等は梱包を行う、行わないの違いはあるが分別して排出している割合が 8 割を超えている。石油製品については、8 割以上が「タンクを空にしてから排出している」と回答、電池については 7 割以上が「電池だけ分別して引き渡している」と回答している。一方で、適切な排出方法を行わずに排出している割合も 5%～18%を占めている。



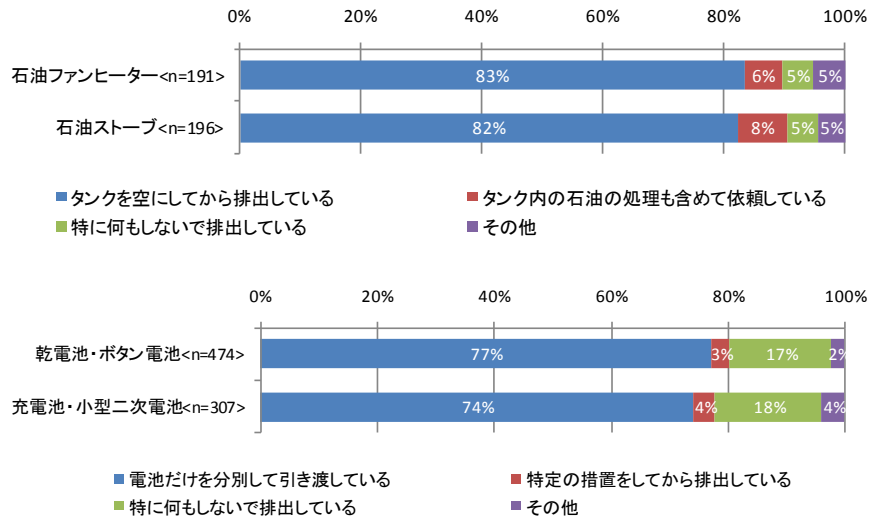


図 5.4.4 排出方法（標準事業者）

各種制度の認知度については、知っているとの回答が「家電リサイクル法」は8割、「フロン回収・破壊法」が6割と高い。「PC3R」や「小型充電式電池のリサイクル」、「モバイルリサイクルネットワーク」は、名前は知っているとの割合まで含む6割を超えるものの、知らないとの割合も大きい。

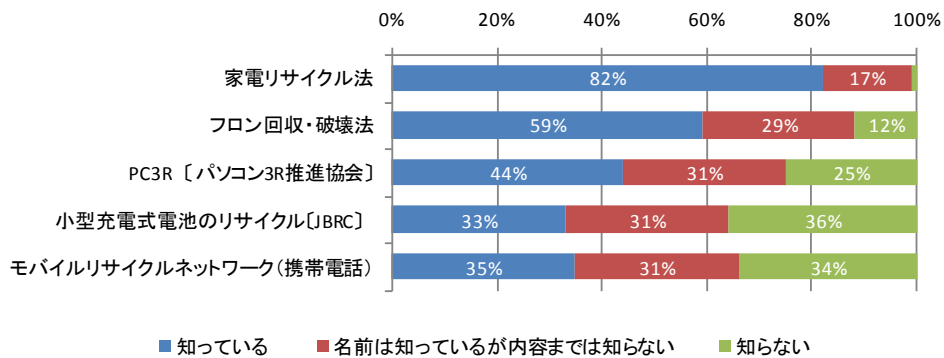


図 5.4.5 各種制度の認知度（標準事業者）

5.4.6 まとめと課題

(1) アンケート調査実施結果

本調査では、事業所における電気・電子機器の保有および排出に関する実態を把握するために、アンケート調査を実施した。

アンケート票の設計の中で、特徴ある品目を一通り調査することを目指したため、調査票自体の回答量が多くなった。このため、当初見込んでいた回答数よりも最終的な回答数が少なくなり、全体で868件となった。ただし、得られた回答については、各設問とも概ね回答を頂いており、必要なデータが集まったものとする。

(2) 飲食店

飲食店からの回答では、ほとんどの店で業務用の冷凍・冷蔵庫を保有（93%）しており、その他では給湯器の保有率が高い。また、家電機器もテレビなど半数程度が保有している状況が分かる。保有形態では自社購入が多く、ビールサーバーについてのみ、その他（メーカー提供）が多くなっている。

排出依頼先についてはメーカー（メーカー指定先を含む）が多く、販売店やメーカー系列の引渡し先が多い状況である。依頼先の選定理由では、納入時の引取りが多く、販売店系の引渡しと整合する結果である。使用済みとする理由では、修理できなくなった場合が半分を超え、故障した場合と合わせて基

本的には使えなくなったときに排出時という傾向である。

(3) 小売店

小売店全体では、業務用冷凍冷蔵庫の保有は半分程度（55%）であり、販売品との関連が強い。小売店で保有の多い品目では、POS レジ・レジスターが 74%と高く、OA 機器（パソコン、プリンタ、複写機）については、9 割を超える保有状況であった。保有形態では自社購入が多く、コピー機、POS レジ・レジスターでは、リース契約の割合が高くなる。

排出依頼先では、メーカー（メーカー指定先を含む）が多い品目と、産業廃棄物収集・処理業者が多い品目に分かれるが、いずれも最大で 40%程度で、複数の引渡し先に渡っていることが分かる。依頼先の選定理由では、納入時の引取と適正処理の割合が多く、メーカー系への引渡しと、産業廃棄物処理業者への引渡し、それぞれに対応した理由と考えることができる。使用済みとする理由では、故障したとき、修理できないときが多く 80%程度を占める。ただし、ショーケース・ディスプレイケースでは、使う必要がなくなったときという回答が 17%と多い点の特徴である。

(4) 超硬工具（対象業種）

アンケート回答事業所の中で、超硬工具を使用している割合は 40%～59%で半分程度が使用しているという回答であった。使っている工具種類では、ドリルが 59%と多く、バイトは 40%と低くなっている。

超硬工具の年間排出量は年間 5kg 以下が最も多く、7 割程度の事業所での排出量がこの範囲となる。引取依頼先としては、産業廃棄物、資源回収業者が合わせて 50%以上と多く、メーカー、専門商社は 20%程度である。依頼先の選定理由では、有償での売却と継続的に依頼していることの 2 つが多い。継続的に依頼している先が多いという点からは、排出頻度の低い耐久消費財と比べて消耗品である超硬工具の特徴と考えることができる。

超硬工具の「ガイドライン」、「手引き」の認知度は、「知らない」が 71%と多く、認知度が低いことが明らかとなった。

(5) 標準事業者

標準事業者に対する調査では、パソコン、複写機などの OA 機器の保有率が 90%程度と高い。ただし、ブラウン管式ディスプレイは 14%と保有率が低く、既に多くが排出されていると推定される。また、無停電電源装置（UPS）も 46%の事業所で保有していることがわかった。その他、事業所であっても家庭用機器の保有率は高く、家庭用冷蔵庫・冷凍庫で 94%、家庭用洗濯機・乾燥機は約 50%であった。

保有形態では、各品目とも自社購入が多いが、コピー機で 59%、ファクシミリで 27%と、2 品目についてはリースでの導入率が高い。

排出先では、コピー機、ファクシミリはリース会社が多く、リース分はリース会社に引き渡されている傾向が見える。その他では全体的に産業廃棄物収集・処理業者の割合が高い傾向にある。また、不用品回収業者という回答も多く品の品目で 5%前後存在する。依頼先の選定理由では、適正に処理してもらえるが最も多い傾向にあるものの 30%程度で、納入時の引取、法律等で定められた方法などの回答も多かった。

(6) 今後の課題

アンケート調査によって、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出の実態が把握された。今後は以下のような点の課題について検討を行うことで、より適切な廃棄・リサイクルの仕組みづくりの検討に活用していくことが想定される。

- ・業種・業態の特性と保有・排出動向の関係の詳細な分析
- ・保有・排出量の定量的な分析
- ・メーカー（メーカー指定）先での回収後の処理動向

また、業種全体の集約や、従業員規模別などの補正を行った上での全国への排出台数の拡大推計を行う予定である。さらに、事業者から家庭からの排出を加えた上で、国内フローの概略を整理する。そして、金属スクラップなど管理されていない不適正なルートへの混入防止のための対策を検討する必要がある。

6. 処理施設における物質の挙動・取扱い

6.1 自治体の破碎施設における金属挙動

昨今、使用済み電気・電子機器（以下、WEEE とする）に含まれるレアメタル等の希少金属の回収に注目が集まっている。5.1 で明らかになったように、リサイクル法対象品目を除く WEEE の 4 割程度は自治体一般廃棄物として収集され、その多くが破碎選別施設で処理されている。また、自治体の破碎選別処理においては鉄やアルミなどの非鉄金属の一部は回収されているが、その他の素材は直接または焼却後に最終処分されているものが多い。

そこで、レアメタルを含む他の金属元素の回収促進に加え、WEEE に使用されている電子基板や電池類、またそれらに含まれる有害金属元素等の自治体ごみ処理過程における適切な取り扱いを検討するために、破碎選別処理におけるそれらの挙動、行方の定量的な情報を蓄積することをねらい、実施設において WEEE を含む粗大・不燃ごみの破碎選別処理の物質収支、産物の素材・部品組成および金属含有量を調査し、粗大・不燃ごみの組成や処理プロセス内における素材・部品、各種金属元素の分配挙動を推定した。

6.1.1 施設調査方法

(1) 調査対象施設・調査時期

調査は 2012 年 1 月 13 日に A 市清掃センター破碎選別処理施設（粗大ごみ処理施設）において調査を行った。図 6.1.1 に施設のフローシートを示す。同施設は、破碎機（横型回転衝撃せん断併用式）による破碎の後、磁力選別で磁性物が回収され、残渣はトロンメル（30mm ふるい）によって粒度選別され、篩上が可燃残渣、ふるい下が不燃残渣として回収される。磁選回収物は売却、可燃残渣は焼却、不燃残渣は最終処分されている。装置内空気は吸引後、サイクロンおよびバグフィルタで集じんされ、排ガスとして排出されている。

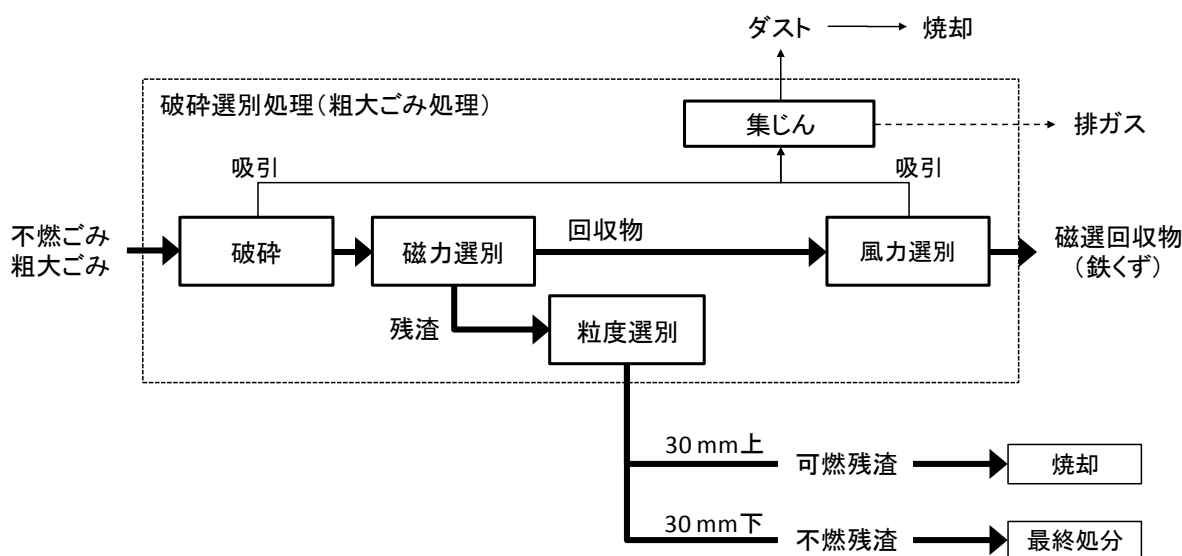


図 6.1.1 調査対象とした破碎選別処理施設のフローシート

(2) 処理対象物

処理対象物は不燃ごみおよび粗大ごみ約 14 トンである。図 6.1.2、6.1.3 に処理対象物の外観写真と処理の様子を示す。



図 6.1.2 調査における破碎選別処理対象物



図 6.1.3 不燃ごみ・粗大ごみの処理の様子

(3) 処理の物質収支

投入前の処理対象物および処理後の産物（磁選回収物、可燃残渣、不燃残渣）をトラックスケールで計量、集じんダストをデジタル式台はかりで計量し、処理の物質収支を把握した。

(4) 試料採取

処理で発生する磁選回収物、可燃残渣、不燃残渣、集じんダストの各産物を試料採取した。各産物の外観写真を図 6.1.4 に示す。試料採取は JIS K0060「産業廃棄物のサンプリング方法」に準じて行った。調査対象施設において磁選回収物は通常プレスされてから排出されてしまうため、後の物理組成や金属含有量測定作業を考慮し、破碎選別処理中に一定間隔でプレス機を停止してコンベヤサンプリングに相当する方法にて採取した。可燃残渣および不燃残渣は処理装置停止、排出後にストックパイルサンプリングによって採取した。集じんダストは全量採取した。可燃残渣および不燃残渣については多組成試料の採取、分析によるばらつきを確認するためそれぞれ 3 試料を採取、磁選回収物および集じんダストは

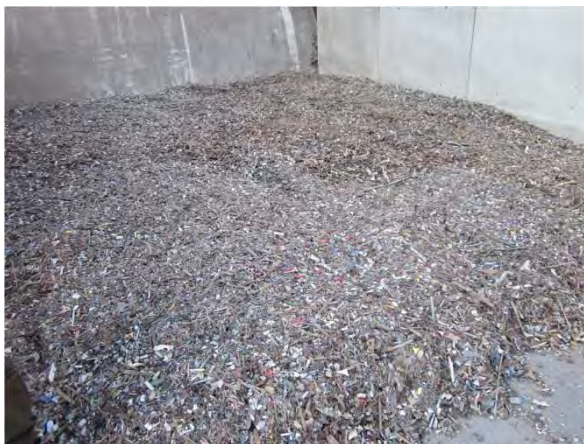
それぞれ 1 試料を採取した。



(a) 磁選回収物 (写真はプレスされたもの)



(b) 可燃残渣



(c) 不燃残渣



(d) 集じんダスト

図 6.1.4 不燃ごみ・粗大ごみ破碎選別処理の産物の外観写真

(5) 物理組成の測定

採取した試料のうち磁選回収物、可燃残渣、不燃残渣について、素材別に分別、重量測定を行って物理組成（素材等の構成割合）を測定した。可燃残渣、不燃残渣は採取した 3 試料のうち今年度は 2 試料について測定した。分別した素材等の項目を表 6.1.1 に示す。

表 6.1.1 採取試料の物理組成測定における分類項目

	分類	詳細分類
可燃物	プラスチック	プラスチック（硬質）
		プラスチック（シート・フィルム状）
	ゴム・ウレタン・ 発泡スチロール	ゴム
		ウレタン
		発泡スチロール
	紙・繊維	布
		糸
		紙類
	木	木類
		皮類
不燃物	金属類	鉄
		アルミ（薄物）
		アルミ（鋳物）
		ステンレス
		鉄－銅混在
		アルミ－銅混在
		銅（モーター等解体物）
		真鍮
		その他非鉄金属類
	その他混合物	
	ガラス・陶磁器	ガラス
陶磁器		
混合物	ケーブル・コード	
	電子基板	
	電池類	
	小粒径物 (<5mm)	
	その他	

(6) 金属元素含有量の分析

採取試料について金属元素含有量を測定した。測定は 55 元素（Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Eu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Ir, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Rh, Ru, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, Tl, V, W, Y, Zn, Zr）を対象とした。

磁選回収物、可燃残渣、不燃残渣については、(5)で測定した物理組成を保ちつつ、プラスチック破砕機（吉田製作所社製 1005）およびジョークラッシャー（吉田製作所社製 1020-B）を用いた粗破砕、インクリメント縮分、凍結粉砕機（SPEX 社製 6750）を用いた微粉砕を行って、粒径 0.25mm 以下の粉砕試料を約 100g ずつ調製した。ただし、破砕・粉砕が困難であった金属類および被覆線は分析試料に含めず、それぞれ鉄、アルミニウム、銅のみ含有率を仮定して含有量に計上した。したがって、金属類の合金添加元素や被覆線被覆の添加剤元素は考慮されていない。集じんダストは均一化したものを分析試料とした。

金属元素含有量は表 6.1.2 に示した前処理および定量方法によって測定した。Hg を除く金属元素は、調製した各試料を「製品中のレアメタル等の暫定分析方法」（廃棄物資源循環学会物質フロー研究部会、2010）に準じ、硫酸分解、王水分解、アルカリ融解、6M 塩酸分解等の前処理を行い、ICP 発光分析装置（ThermoFisher Scientific 社製 IRIS Advantage）および ICP 質量分析装置（Agilent 社製 7500i）を用いて定量した。Hg は、環境省「水銀分析マニュアル」に準じ、湿式灰化－原子吸光光度法（日本インスツルメンツ社製 RA-3）によって分析した。

表 6.1.2 金属元素含有量分析の前処理・定量方法

元素	前処理	定量	ICP-OES 測定波長 (nm)	ICP-MS 質量数	元素	前処理	定量	ICP-OES 測定波長 (nm)	ICP-MS 質量数
Ag	(D)	ICP-OES	328.068	—	Mg	(C)	ICP-OES	279.553	—
Al	(C)	ICP-OES	396.152	—	Mn	(C)	ICP-OES	257.61	—
As	(C)	ICP-OES	228.812	—	Mo	(C)	ICP-OES	202.03	—
Au	(C)	ICP-OES	267.595	—	Na	(A)	ICP-OES	588.995	—
B	(C)	ICP-OES	249.678	—	Nb	(C)	ICP-OES	316.34	—
Ba	(C)	ICP-OES	455.503	—	Nd	(C)	ICP-OES	430.358	—
Be	(C)	ICP-OES	313.132	—	Ni	(C)	ICP-OES	231.604	—
Bi	(C)	ICP-OES/MS	223.061	209	Pb	(C)	ICP-OES	220.353	—
Ca	(C)	ICP-OES	393.366	—	Pd	(C)	ICP-OES	342.124	—
Cd	(C)	ICP-OES/MS	214.438	111	Pt	(C)	ICP-OES	265.945	—
Ce	(C)	ICP-OES	413.765	—	Rb	(C)	ICP-OES	780.023	—
Co	(C)	ICP-OES	228.616	—	Rh	(C)	ICP-OES/MS	343.489	103
Cr	(C)	ICP-OES	267.716	—	Ru	(C)	ICP-OES/MS	372.803	101
Cs	(C)	ICP-MS	—	133	Sb	(C)	ICP-OES	206.833	—
Cu	(C)	ICP-OES	324.754	—	Sc	(C)	ICP-OES	363.075	—
Dy	(C)	ICP-OES	353.17	—	Se	(C)	ICP-OES/MS	196.09	82
Eu	(C)	ICP-OES	381.967	—	Si	(B)	ICP-OES	251.612	—
Fe	(C)	ICP-OES	259.94	—	Sn	(C)	ICP-OES	189.989	—
Ga	(C)	ICP-OES/MS	294.364	71	Sr	(C)	ICP-OES	407.771	—
Ge	(C)	ICP-OES	265.118	—	Ta	(C)	ICP-OES	240.063	—
Hf	(C)	ICP-OES	263.871	—	Te	(C)	ICP-OES/MS	214.281	125
Hg	湿式灰化－ 原子吸光光度法	—	—	—	Ti	(C)	ICP-OES	338.376	—
		—	—	—	Tl	(C)	ICP-OES/MS	377.572	203
In	(C)	ICP-OES	230.606	—	V	(C)	ICP-OES	292.402	—
Ir	(C)	ICP-OES/MS	212.681	193	W	(C)	ICP-OES/MS	207.911	182
K	(A)	ICP-OES	766.49	—	Y	(C)	ICP-OES	371.03	—
La	(C)	ICP-OES	408.672	—	Zn	(C)	ICP-OES	206.2	—
Li	(C)	ICP-OES/MS	406.286	7	Zr	(C)	ICP-OES	339.198	—

(A) 王水溶解, (B) アルカリ融解, (C) 硫酸分解・王水溶解・アルカリ融解, (D) 硫酸炭化・王水溶解・6N塩酸溶解

6.1.2 結果と考察

(1) 破碎選別処理における不燃ごみ・粗大ごみの分配と組成

破碎選別処理の物質収支を表 6.1.3 に示す。投入した不燃ごみ・粗大ごみは、重量で 34%が磁選回収物、20%が可燃残渣、46%が不燃残渣として回収された。ダストは全体の 0.05%程度であった。投入前の処理対象物の計量値と処理後の産物の計量値の合計はほぼ一致した。

表 6.1.3 不燃ごみ・粗大ごみの破碎選別処理における物質収支

		重量 (kg)	分配率(*1)
投入前計量	処理対象物	13,980	—
処理後計量	可燃残渣	2,825	20%
	不燃残渣	6,662	46%
	磁選回収物	4,861	34%
	集じんダスト	7.2	0.05%
	合計	14,355	100%

*1 処理後計量値の合計に対する割合。

図 6.1.5 に不燃ごみ・粗大ごみの破碎選別処理における各産物の物理組成を示す。可燃残渣、不燃残渣は 2 試料の平均を示している。可燃残渣はプラスチック、ゴム・ウレタン・発泡スチロール、紙・繊維、木など、可燃分が約 6 割を占めていた一方、金属類やガラス・陶磁器も 3 割強を占めていた。不燃残渣は可燃分が全体の約 2 割、ガラス・陶磁器が約 4 割、5mm 未満の小粒径物（素材への分別は不可）が 4 割弱を占めていた。また、可燃残渣、不燃残渣ともに種々の金属元素を含むと考えられる電子基板を 1% 前後含んでいた。磁選回収物は当然ながら金属類（ほぼ鉄くず）がほとんどを占めていたが、その他の素材もそれぞれ 1%未満の割合で混入していた。

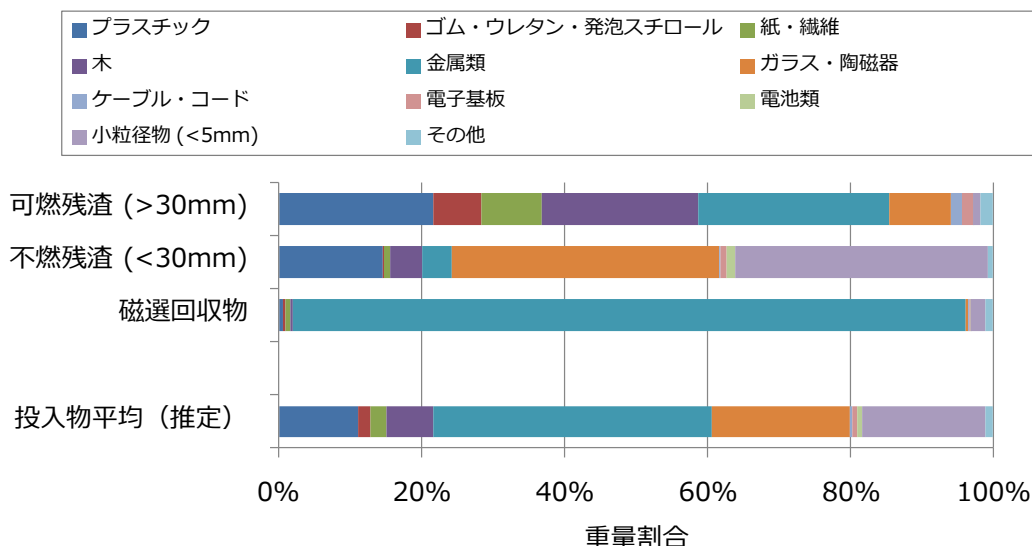


図 6.1.5 不燃ごみ・粗大ごみ処理の産物および投入物の物理組成

図 6.1.5 には、破碎選別処理の物質収支をもとに推定した処理対象物（＝投入した不燃ごみ・粗大ごみ）の物理組成もあわせて示している。これによると、調査対象とした施設における不燃ごみ・粗大ごみは、約 1 割がプラスチック、約 4 割が金属類、約 2 割がガラス・陶磁器で構成されていると推定された。また、電子基板や電池類がそれぞれ 1%弱含んでいたと推定された。電子基板はほぼ全てが WEEE に由来するものと考えられるが、過去に行った WEEE のみの破碎選別処理実験結果（WEEE の電子基板組成が推定約 3%、調査施設における不燃ごみ・粗大ごみに対する WEEE の割合（約 30%）から、不燃ごみ・粗大ごみの電子基板組成は約 1%（＝3%/30%）と推定（Oguchi et al., 2012）と比較しても、今回の調査結果は妥当であると考えられる。また、特に電池類については、同施設では処理前に人手による取り外しを行っているものの、電池類を破碎選別処理の対象物から完全に除くことはできていないということが明らかになった。なお、含まれていた電池類は、乾電池、ボタン電池、ニッケル水素電池と多様であった。

測定した産物の物理組成と処理の物質収支から、粗大・不燃ごみを構成する各種素材・部品の破碎選別処理における分配率を推定した。推定結果を図 6.1.6 に示す。

ゴム・ウレタン・発泡スチロール、紙・繊維、木は 6 割以上が可燃残渣へ、一方、ガラス・陶磁器は

約 9 割が不燃残渣へ分配しており、これらの可燃分、不燃分はトロンメルによる粒度選別でそれぞれ可燃残渣、不燃残渣へそれなりに適切に選別されていた。一方、プラスチックについては約 4 割が可燃残渣へ分配するのみで、約 6 割は不燃残渣へ分配してそのまま最終処分されていることがわかった。また、鉄類以外の金属類、ケーブル・コードはその多くが可燃残渣へ分配していた。これは金属素材やケーブル類が細かく破碎されにくく、トロンメルによる粒度選別で篩上に残りやすいためと考えられる。鉄類は 9 割以上が磁選回収物へ分配しており、磁力選別が適正に機能していることが示された。電子基板は 5 割強が不燃残渣へ分配して最終処分、4 割程度が可燃残渣へ分配して焼却されていると推定された。焼却施設に熔融処理がある場合には、一部の金属が熔融メタルへ分配して金属原料として製錬会社へ売却されていると考えられるが、5.1 の推定をふまえても多くは焼却灰として最終処分されていると考えられ、電子基板に含まれる金属元素は多くが最終処分されているものと考えられた。また、今回の調査では電池類はほとんどが不燃残渣へ分配しており、破碎選別処理へ混入した場合には多くがそのまま最終処分されているという結果となったが、採取試料中の電池類の絶対量が多くはなく、値の精度については追加の検討が必要と考えられる。

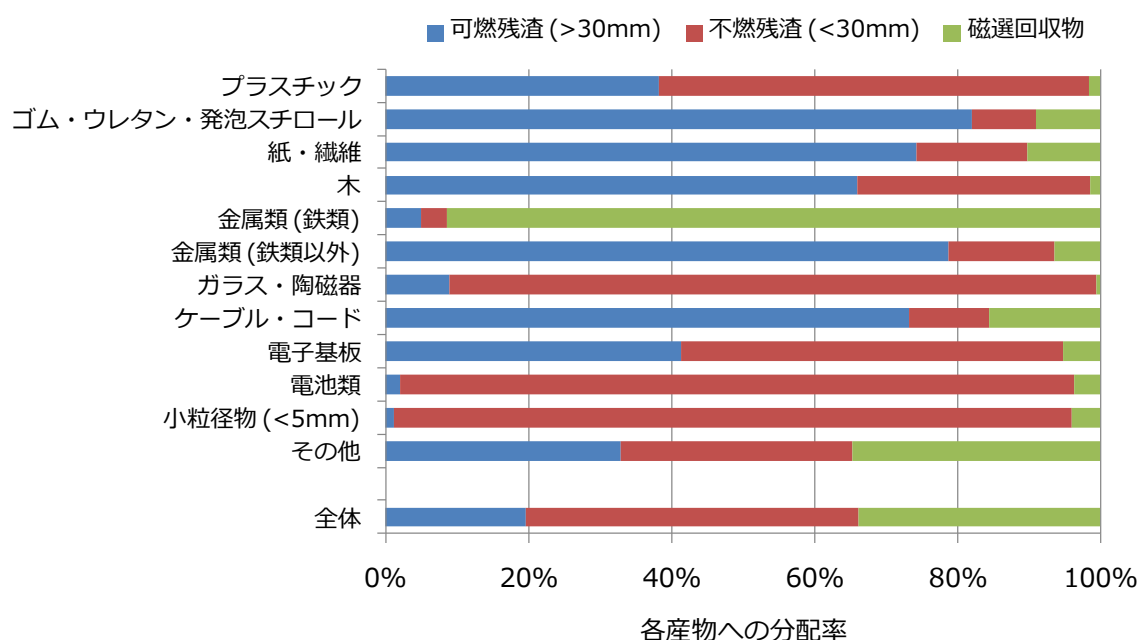


図 6.1.6 粗大・不燃ごみの破碎選別処理における素材・部品の分配率

(2) 破碎選別処理における産物の金属含有量

各産物の金属元素含有量測定結果および処理の物質収支をもとに推定した投入物 (=不燃ごみ・粗大ごみ) の金属元素含有量を図 6.1.7 に示す。なお、Fe, Al, Cu の含有量は金属類、ケーブル・コードに含まれる分 (仮定に基づいて計算) を含めた全含有量である。また、可燃残渣、不燃残渣は 2 試料の平均を示している。

投入物 (推定) と比較すると、金属元素含有量は不燃残渣、集じんダストで高くなる傾向にあり、全体的に見て破碎選別処理によって不燃残渣で数倍、集じんダストで 1 桁程度濃縮されていた。特に集じんダストの Hg 含有量は投入物 (推定) よりも 2 桁高いレベルにあったが、これは揮発性の高い Hg が装置内吸引大気へ移行し、バグフィルタによって除去されたためと考えられる。可燃残渣の金属元素含有量は全体的に見て投入物と同程度から数分の 1 となっていた。磁選回収物の金属元素含有量は投入物よりも 1 桁程度低かったが、磁選回収物の 9 割以上が鉄類であったことから、これを除いた部分 (残渣に相当) の含有量は可燃残渣と同程度であると推察された。

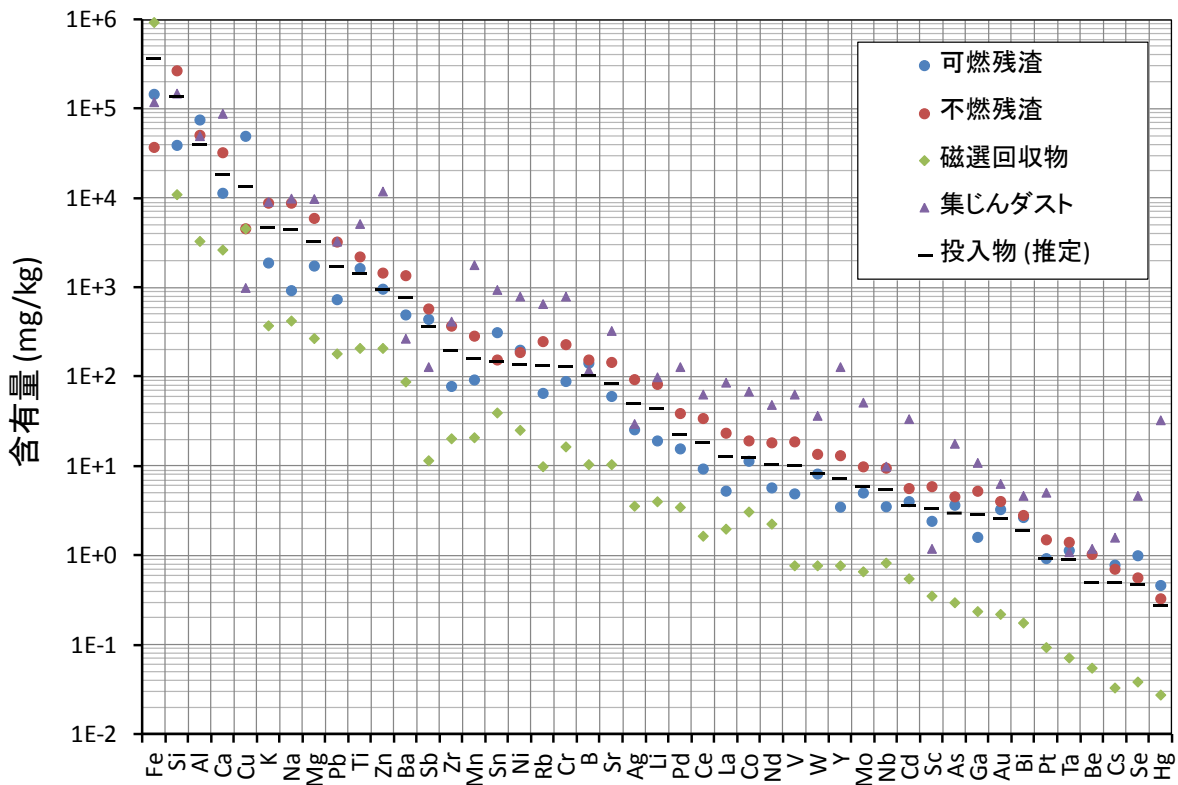


図 6.1.7 不燃ごみ・粗大ごみの破碎選別処理における産物・投入物の金属元素含有量

(3) 破碎選別処理における金属元素の分配挙動

各産物の金属元素含有量と処理の物質収支から推定した金属元素の各産物への分配率を図 6.1.8 に示す。Fe については 9 割近くが磁選回収物へ分配していたが、これはもちろん磁力選別によるものである。Cu は 7 割強が可燃残渣へ分配していた。これはケーブル・コードが可燃残渣へ多く分配していることによる。その他の金属元素については 50% から 90% 以上と多くが不燃残渣へ分配していることがわかる。このことは、調査対象施設におけるごみ処理においては有害金属を含む多くの金属元素がそのまま最終処分されていることを示している。

個別の金属元素を取り上げてその分配率を見ってみる。例えば Pb について見てみると、約 9 割が不燃残渣へ分配している。不燃ごみ・粗大ごみにおける Pb の大きな由来としては、WEEE の電子基板に使用されているはんだが考えられよう。そこで図 6.1.8 より電子基板の不燃残渣への分配率を見ってみると 5 割強となっており、Pb の不燃残渣への分配率よりも低くなっている。この原因の可能性として、電子基板そのものはトロンメルを目開きより細かく破碎されないものがある程度あるものの、はんだ部分は削り取られるなどして細かくなり、小粒径物として不燃残渣へ分配しているということが考えられる。これは多くを電子基板に由来すると考えられる他の金属元素についても同様である。

また、Hg については 5% 強が集じんダストへ分配しており、この点において他の元素と挙動が異なっている。これは金属元素含有量の部分でも述べたように、揮発性の高い Hg が装置内吸引大気へ移行し、バグフィルタによって除去されたためと考えられる。ただし、同施設では蛍光灯等の Hg を含有する廃棄物は有害ごみとして分別収集されていることから、由来の確認を含めたデータの精査が今後必要である。

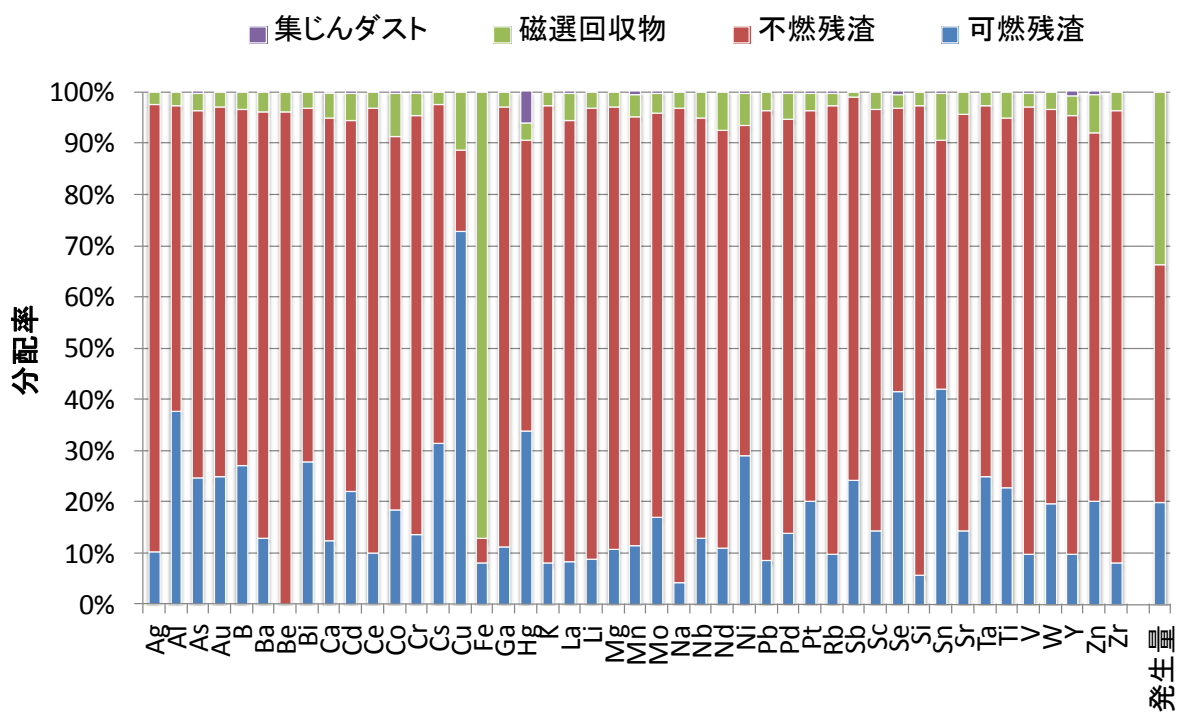


図 6.1.8 不燃ごみ・粗大ごみの破碎選別処理における金属元素の分配挙動

6.2 自治体の熱処理プロセスにおける金属挙動

6.2.1 目的

一般廃棄物の廃棄物処理において、焼却処理および熔融処理は代表的な熱処理プロセスである。肴倉ら(2010)は、貴金属および重金属を含めた54元素を対象として一般廃棄物の熱処理(焼却および熔融)プロセスにおける投入物中の各元素の生成物への分配挙動について解析を実施している。この解析により、熔融プロセスにおいては、貴金属は主にメタル相へ、希土類やアルカリ土類金属は主にスラグ相へ、低沸点金属は主に熔融飛灰へ移行しやすい傾向が示されている。この事は、熔融プロセスが、金属の分離・濃化プロセスとなり得ることを示唆しているものの、貴金属等が分配される傾向にある金属相中の元素の分配挙動については、十分には解析は行われていない。そこで、本研究では、熔融メタルの高付加価値化の可能性を検討することを目指して、熱力学解析により熔融プロセスのメタル相における金属の分配挙動解析を行った。

6.2.2 方法

一般廃棄物やその焼却灰を構成する主要な金属元素はFeとCuである。熔融プロセスの生成物である熔融メタルの組成は、操業条件や季節変動に伴う投入物の組成の変化などにより異なる事が知られているが、熔融メタルの主たる構成物の組成はFe-Cu-Si-C系の合金であり、この合金には、6-20%-Cuと共に、4-15%-Si、1-8%-P、0.2-2%-Pが含まれることが知られている(肴倉ら, 2010; Nishihara et al., 2002)。また、この系においては、熔融プロセスにおいてFe-rich相およびCu-rich相が生成されることが報告されている(Saffarzadeha, 2009)。そこで、本研究では、以下の仮想条件を想定することにより、元素の分配挙動を熱力学的手法により解析すると共に、実験的手法により明らかにされている元素の分配挙動の分析結果(Yamaguchi 1997, 2006)をもとに解析結果の妥当性を検証する。ここで、Cu(liquid)とFe(liquid)が平衡状態であると仮定すると、各元素の状態は熱力学的に(1)式のように記述される。

$$M(\text{in liquid Fe}) = M(\text{in liquid Cu}) \quad (1)$$

また、上記(1)式のギブス自由エネルギー変化(ΔG_1°)がゼロである事から、以下の関係が成り立つ。

$$K_1 = \frac{a_M^{\text{Cu}}}{a_M^{\text{Fe}}} = \frac{\gamma_M^{\text{Cu}} x_M^{\text{Cu}}}{\gamma_M^{\text{Fe}} x_M^{\text{Fe}}} = \exp\left(\frac{-\Delta G_1^\circ}{RT}\right) = 1 \quad (2)$$

ここで、 K_1 は上記(1)式の平衡定数であり、 a_M と γ_M は、それぞれ元素Mの活量と活量係数を示す。また、 x はMのモル分率を示す。また、上記(2)式より、元素MのCuおよびFeへのモル分率での分配率は(3)式により、また重量換算した分配率は(4)式にて表される。

$$L_x^{\text{Cu/Fe}} = \frac{x_M^{\text{Cu}}}{x_M^{\text{Fe}}} = \frac{\gamma_M^{\text{Fe}}}{\gamma_M^{\text{Cu}}} \quad (3)$$

$$L_{\%}^{\text{Cu/Fe}} = \frac{W_{\text{Fe}}}{W_{\text{Cu}}} L_x^{\text{Cu/Fe}} \quad (4)$$

ここで、 W はFeおよびCuの原子量である。なお、分析方法の詳細および解析に用いた熱力学データ等については、Lu et al(2012)を参照されたい。

6.2.3 結果と考察

図6.2.1に解析の結果の概要を示す。横軸には、本研究における解析により得られた分配率を、縦軸には、既存研究における実験結果から得られる分配率を示した。なお、NiおよびCrの実験値に関しては、後述する日立市の熔融炉を用いた実験結果を用いた。熱力学解析の結果より、個別の元素の分配挙動に関しては、Au, Ag, Pd等はCu-rich相に強い分配傾向を持ち、Ni, Cr, Si等はFe-rich相への強い分配傾向を有することが明らかとなった。また、Ptは、Cu-rich相およびFe-rich相の両相に分配される傾向を有することが明らかとなった。本研究による解析結果は、先行研究により得られている実験的知見とよく一致し

ている傾向にある事が示された。この結果は、本研究で示している簡便な手法による解析結果が妥当であることを示していると考えられる。

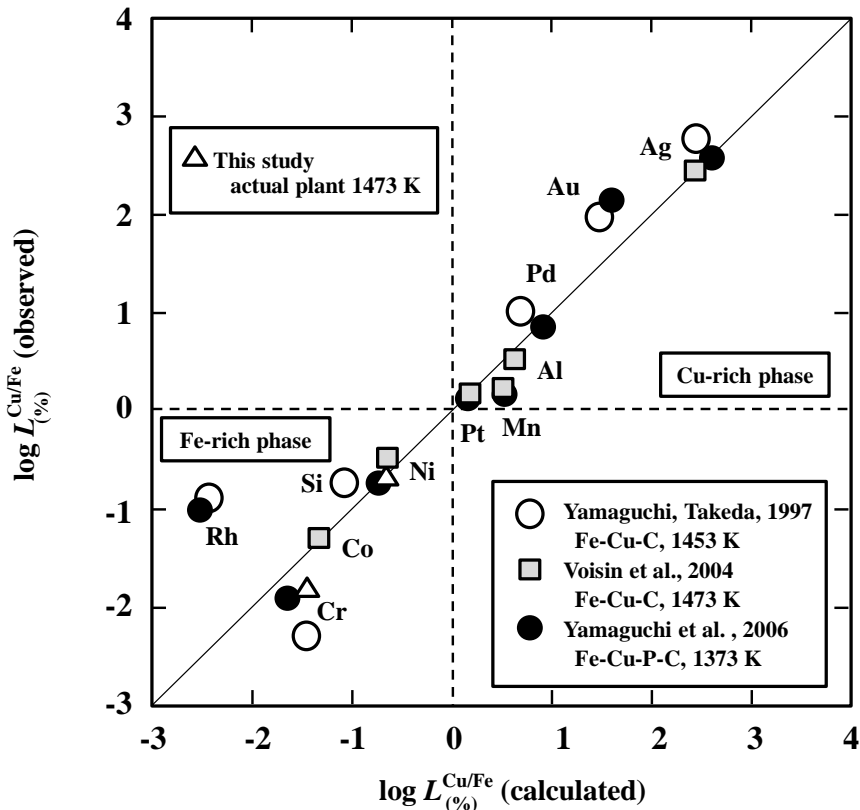


図 6.2.1 溶融プロセスにおける元素の分配挙動の概要³⁾

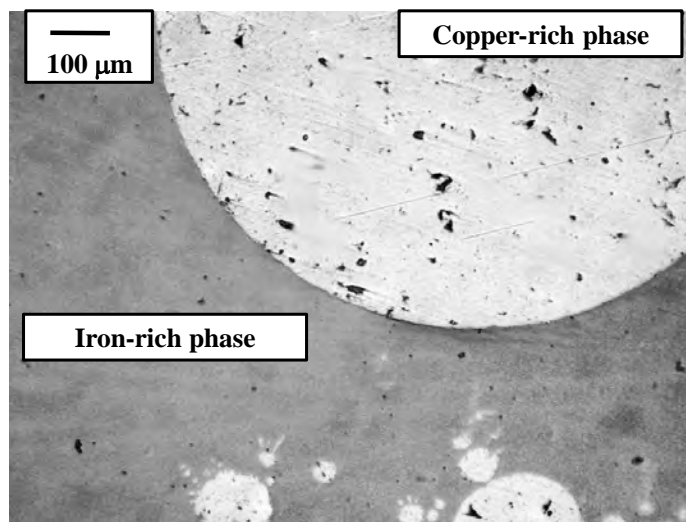
次に、図 6.2.2 に、溶融メタルの実組成の例として、日立市の溶融炉を用いた実験で得られた溶融メタルの組成を示すと共に、電子顕微鏡による組織構造の分析結果を示す。解析により溶融メタルが Fe-rich 相および Cu-rich 相に二相分離を起こしていることが確認できた。

最後に、溶融メタルの高付加価値の可能性について考察を行う。現在、一般廃棄物の溶融プロセスで生成される溶融メタルの一部は、銅製錬原料として売却されている。一方、銅製錬システムにおいては、天然資源や二次資源等を原料として、乾式製錬プロセスで生産された粗銅を、電解プロセスにより電気銅として精製するとともに、電解プロセスから発生する電解スライムより Au, Ag, PGM 等の貴金属の回収を行っている。したがって、廃棄物の溶融プロセスにおいて、貴金属(Au, Ag, Pd)等が強く分配される傾向にある Cu-rich 相を選択的に分離することにより、貴金属含有銅原料として高付加価値化の可能性があるものと考えられる。なお、そのためには、溶融工程における分配傾向の操作可能性や分離回収技術の開発など更なる研究が必要である。

(a) Examples of chemical compositions of molten metal generated by melting MSW incineration residue in a plasma furnace.

Unit: mg / kg-dry molten metal

	Metal A	Metal B	Metal C
Fe	666,000	736,000	702,000
Cu	114,000	89,600	82,600
P	45,900	62,500	68,800
Si	102,000	27,200	40,400
Ni	7,820	8,070	9,090
Cr	8,780	6,630	9,180
Au	10	37	15
Ag	64	211	57
Pt	9	15	15
Pd	20	22	19
Mn	3,400	976	1,680
Co	1,370	1,360	1,390
Al	708	1,000	360



(b) An example of the microstructure of the metal phase generated by the melting of MSW incineration residue (Metal B in Table 2).

図 6.2.2 熔融メタルの組成例と電子顕微鏡による解析結果³⁾

7. 安全で効果的な回収・リサイクルシステム

7.1 電池類（小型二次電池）

現在、資源有効利用促進法では、自主回収および再資源化に取り組むことが求められる製品として、小型二次電池とパソコンが指定再資源化製品に指定されている。具体的な小型二次電池の種類は、分別回収のためのマークを定めた指定表示製品と同様に、「資源有効利用促進法の解説」に示されており、密閉型蓄電池として密閉型鉛蓄電池（電気量が 234kC 以下のものに限る）、密閉型アルカリ蓄電池（ニカド電池、ニッケル水素電池）、リチウム蓄電池（リチウムイオン電池）が含まれる。密閉型鉛蓄電池とは、小型シール鉛蓄電池（JIS C8702-1,2,3）、ならびに据置型鉛蓄電池（JIS C8704-2）の一部が該当し、内部の酸素や水素の発生を抑えた補水を必要としない機能を持つこと、密閉構造であること、安全弁（制御弁）を備えていることに加え、電気量が 234kC 以下は定格容量（20 時間率換算）65Ah 以下に相当するとされている。これより、多くの UPS などは概ね、定格容量 65Ah 以下の小型制御弁式鉛蓄電池に含まれ、指定再資源化製品に含まれると理解される（図 7.1.1）。



図 7.1.1 小型制御弁式据置型鉛蓄電池の例（株式会社 GS ユアサの HP より）
<http://home.gyps.gs-yuasa.com/products/pb/kogata.html>

これに対して、JBRC の回収対象は、HP によれば小型シール鉛蓄電池のうち「JBRC の取扱対象電池はヘッドホンステレオ、ハンディクリーナ、コードレステレホン、ビデオカメラ用に限る」とされている。また、一般社団法人鉛蓄電池再資源化協会は、回収対象を自動車用鉛蓄電池に限られている。これより、図 7.1.2 に示すように、小型制御弁式鉛蓄電池と一部の小型シール鉛蓄電池は指定再資源化製品であるが、現在のところ回収のための団体は見当たらず、生産メーカーや民間の回収業者による自主回収に委ねら

れていると考えられる。

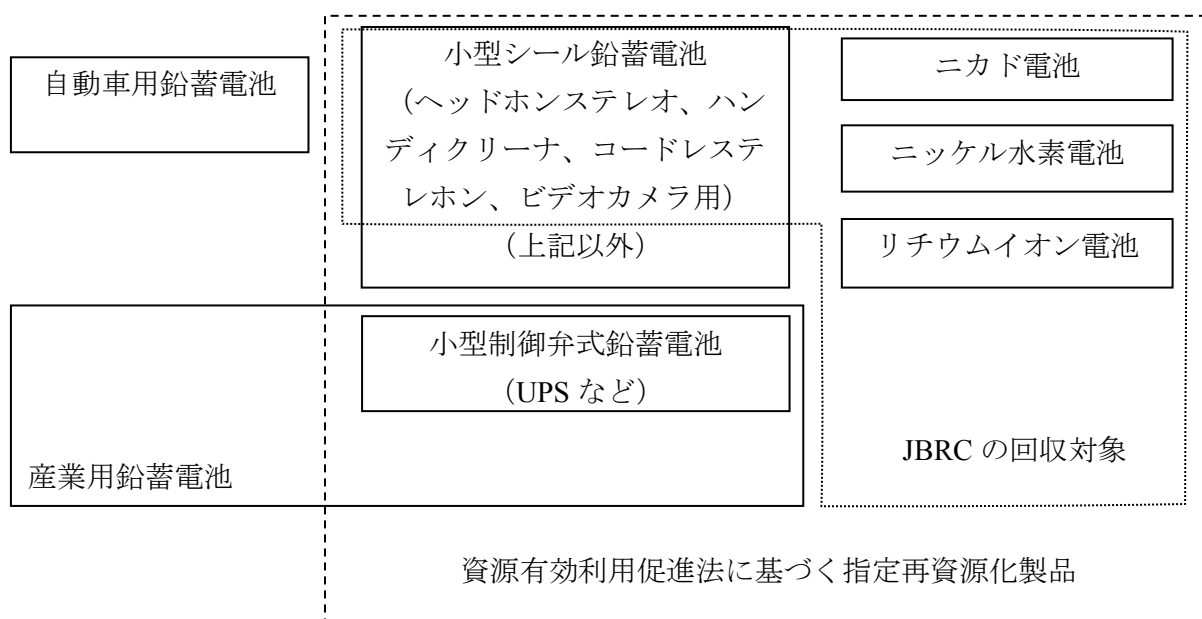


図 7.1.2 二次電池の区分

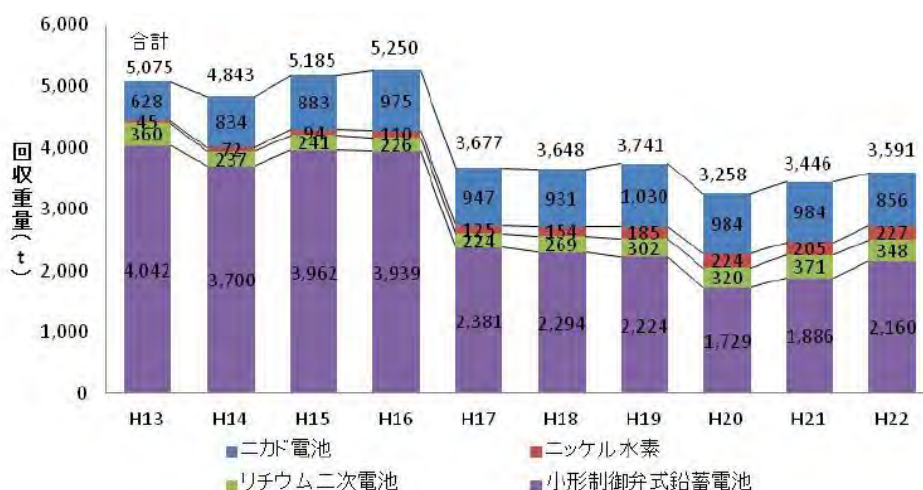


図 7.1.3 小型二次電池の自主回収量（経済産業省）

<http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/statistics/pdf/pcbattery.pdf>

一般社団法人 JBRC、社団法人電池工業会および社団法人電気通信事業者協会・一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会（モバイル・リサイクル・ネットワーク）の公表実績値を集計

一方、小型二次電池の自主回収量について、経済産業省は JBRC、電池工業会などの実績値を集計したものとして、図 7.1.3 のように発表している。また、JBRC による回収量も図 7.1.4 に示す。これらより、2010（H22）年度の小型二次電池回収重量 3,591 トンのうち、小型制御弁式鉛蓄電池は 2,160 トンと 6 割以上を占めるが、JBRC 以外によって回収されていることがわかる。

また、再資源化率に関しては、処理量に対する再資源化量の比として、図 7.1.5 が示されている。小型制御弁式鉛蓄電池については、2010 年度は処理量 2,160 トンに対して再資源化量 1,080 トンであり、再資源化率 50%とされている。

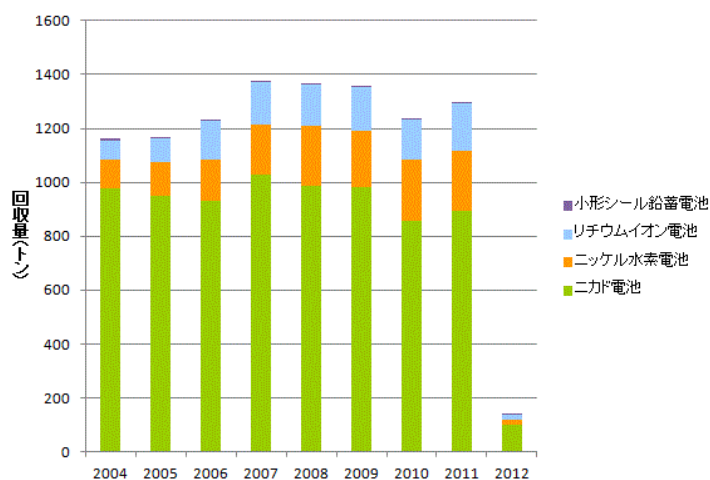


図 7.1.4 JBRC による小型二次電池の回収量 (JBRC)
<http://www.jbrc.net/hp/contents/recycle/index.html>
 2012 年は 2012 年 4 月までの累計

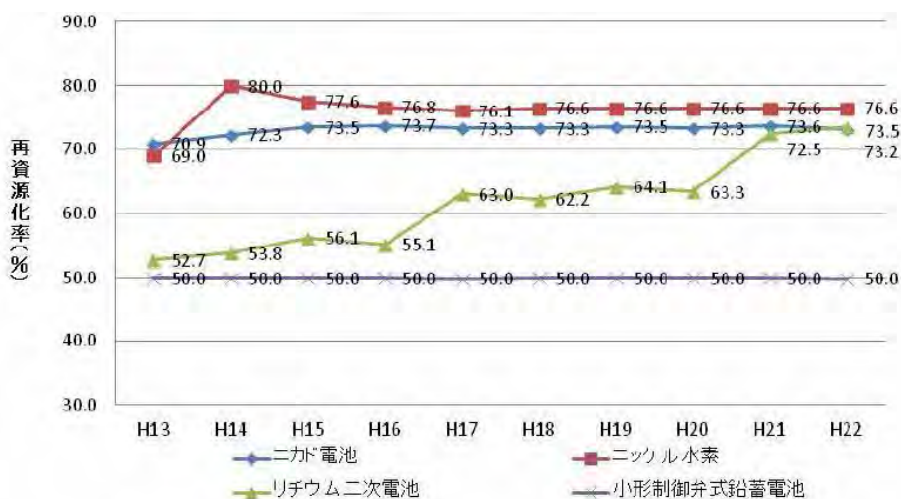


図 7.1.5 小型二次電池の再資源化率 (経済産業省)
<http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/statistics/pdf/pcbattery.pdf>

英国 Sittingbourne 市のリサイクル施設 S 社を 2011 年 11 月に視察する機会を得た。EU では電気電子機器全般や電池類の回収が WEEE 指令と電池指令によって求められている。S 社においても、EU の WEEE 指令に従って破碎プロセスに先立って、手解体によって小型鉛蓄電池 (UPS など) とリチウムイオン電池といった電池類の取り外しはなされていた (図 7.1.6)。なお、小型のリチウム電池の取り外しは事実上行われていなかった。



(1) 小型鉛蓄電池（UPS など）



(2) リチウムイオン電池

図 7.1.6 英国のリサイクル施設 S 社で分別された電池類

7.2 トナー

複写機・プリンタのトナーカートリッジ粉については、粉じん爆発の危険性があるとされている。2008年8月に神奈川県秦野市、2005年2月に埼玉県久喜市で粉じん爆発火災が発生した事例などを受けて、厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課長から、都道府県や、家電製品協会、パソコン3R推進協会などの関係団体に宛てて「OA機器、家電製品等のリサイクル施設等における粉じん爆発災害の防止について」（基安安発0422第2号、平成22年4月22日）が発せられた。この通知は、トナーとともに、破碎で生じたプラスチック粉じんの爆発も念頭に置いたものであるが、OA機器のリサイクル作業に対して、粉じん爆発災害の防止対策が求められたものである。同通知でも参照されている全国産業廃棄物連合会による「産業廃棄物処理業におけるモデル安全衛生規程及び解説」では、①破碎前のトナー粉の除去と金属部品・プラスチック部品の混合破碎の防止、②静電気帯電防止作業服、③帯電防止用マット等による粉じん飛散防止、④破碎機・集じん装置等のアース、⑤電気機械器具の粉じん防爆構造、などを示している。

複写機・プリンタのトナーについては、メーカーやリサイクル業者などによって、カートリッジ全体のリサイクルが実施されている。また、カートリッジのトナーの詰め替えによるリユースを実施している日本カートリッジリサイクル工業会などもある。

平成23年度は、国内でトナーカートリッジのリサイクル施設を複数社視察した。いずれの会社においても、トナーカートリッジは複写機・プリンタから事前に除去され、専門の施設で扱われていた(図7.2.1)。トナーカートリッジからのトナーの回収は、カートリッジの破碎前あるいは破碎後に行われ、高炉還元剤として鉄鋼メーカーに引渡されていた。防爆対策としては、設備全体のアース、圧拡散防止装置を備えた集じん設備といったハード面の対策や、帯電防止服などのソフト面の対策が実施されていた。しかしながら、防爆用電気設備や不活性ガス充てんなど、コスト上昇や作業性低下につながる対策では困難なものもあった。また、金属スクラップ回収業者を中心として、これらの対策が施されずに回収や破碎などが行われている場合もあるため、排出段階や流通段階を含めた留意が必要である。



図 7.2.1 国内の A 社における破碎後のトナーカートリッジ

以上のような小型二次電池（UPS を含む）やトナーについては、国内では家電リサイクル法や小型家電リサイクル制度案では対象に含まれていない。複写機については、再生資源または再生部品の利用促進に取り組むことが求められる製品として、資源有効利用促進法に基づき指定再利用促進製品に指定されている。しかし、EU の WEEE 指令のように、トナー（カートリッジ）の事前除去までは求められていない。今後は国内でも、有害物質や災害防止も考慮して、事前除去などを含む回収・リサイクルシステムの構築が求められると考えられる。特に、UPS は金属スクラップに混入して火災事故を発生した原因ともなっている上、鉛を含むために取扱いに注意が必要である。さらに、東日本大震災後に計画停電が首都圏で実施されたこともあって、従来の産業界での利用に限らず、オフィスや一般家庭にも普及している。日本電機工業会からはバッテリー交換周期は 3～5 年（交換周期の指針、JEM-TR204）とされており、一般にも利用しやすい回収システムの構築の早急な検討が必要である。

また、メーカーから排出された電気製品（不良品など）の回収を行っているリサイクル業者を複数訪問したところ、回収品が有価物か逆有償（廃棄物）かによってマニフェストの有無が異なっていた。近年の有害廃棄物等に対する「環境上適正な管理（ESM）」の国際的な動向からは、有価物であっても下流での処理状況把握は求められる場合が多く、今後国内でも課題になるとみられる。

7.3 海外のリサイクルシステム（電池類を中心に）

本節では、使用済み電気電子機器における取扱いを含めて、電池類を中心とした海外のリサイクルシステムについてレビューを行う。EU の WEEE 指令における電池の事前分別に加えて、欧米、台湾、韓国では概ね、日本よりも対象の広い電池類を電池メーカーなどの経済的な負担でリサイクルされていることが理解できる。

(1) WEEE 指令と電池指令

EU における電池指令（2006/66/EC）と改正 WEEE 指令（廃電気・電子機器指令（2012/19/EU）/改正 RoHS 指令（電気・電子機器における特定有害物質の使用制限に関する指令（2011/65/EU））との関係は、以下のように解釈されている（電池工業会）。

- (i) 改正 RoHS 指令で規制される機器への販売の制限は、規制物質（水銀、鉛、カドミウム等の 6 物質）を含有する電池に対しては、機器に組込まれた電池も含め、適用されない。
- (ii) WEEE 指令は、同指令の対象となる廃機器と共に回収された（組込、付随、同梱などによる）使用済み電池にも適用され、それらの電池は、廃機器を回収後、廃機器から事前分離することが義務となっている。また、廃機器から分離された後の電池の処理は、電池指令に則り実施する必要がある。
- (iii) 電池指令 第 4 条の規制の範囲内にある電池は、機器に使用することができる。

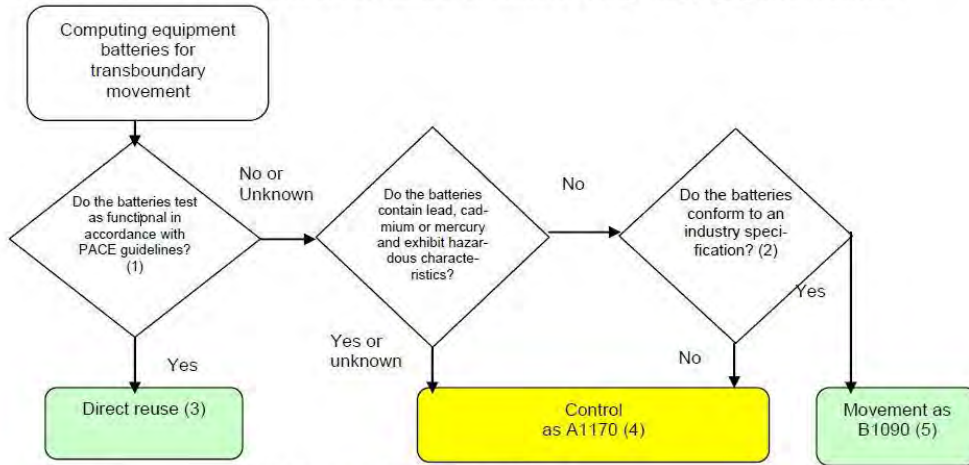
(2) PACE での電池の取扱い

2008 年に発足したバーゼル条約の The Partnership on Computing Equipment is a multi-stakeholder partnership（以下、PACE）の PACE Guideline 1.1 for battery standards では、主にノートパソコンで使用されている電池（リチウム電池、ニッケル水素電池）について、中古使用できるか否かを判断するバッテ

リーテストや、バッテリーの越境移動を決定するディシジョン・ツリー（図 7.3.1）が示されている。表 7.3.1 に示す機能性試験（Functionality test）では、バッテリーが最低 1 時間持つことが基準となっている。

このほか、再使用できない電池については、腐食性や有害性などの有害特性を安全管理し、専門施設で処理すること、コバルト、ニッケル、銅、リチウムなどの有用金属をリサイクルすることが明記されている。

Decision tree for transboundary movements of collected computing equipment batteries



No.	Further recommendations and explanations
(1)	In order to determine whether a battery should be considered suitable for reuse and be considered non-waste it should be tested as described in the PACE guidelines to determine whether it can hold an appropriate charge (see Appendix 6)
(2)	All computing equipment battery shipments should be sorted and/or pre-treated to meet appropriate national or internationally recognized specifications.
(3)	If the battery has been tested, as described in the PACE guidelines, to determine whether it can hold an appropriate charge and has passed the test (see Appendix 6), then it is considered a commodity and not a waste. Such batteries should be recorded and declared as being fully functional and intended for direct reuse utilizing Appendix C.
(4)	If the battery shipment does not meet the conditions of not containing lead, cadmium or mercury and does not conform to appropriate national or internationally recognized specifications, it should be controlled under the Basel Convention. The number here refers to Basel Convention Annex VIII hazardous waste category. If one of the States concerned is not a Party then a valid Article 11 agreement must be in place.
(5)	The number here refers to the Basel Convention Annex IX hazardous waste category. Exporters must nevertheless ensure there are neither export restrictions in place from the country or region of export nor import restrictions from the country of import applicable to that Annex IX category.

図 7.3.1 回収された機器の電池類の越境移動に関する PACE のディシジョン・ツリー

表 7.3.1 使用済みコンピュータに関する PACE の機能性試験

Computing Equipment	Functionality Tests	Test results
Central Processing Units (CPUs), including Desk Top PCs	<p>Power on self test (POST)¹ Switching on the computer and successfully completing the boot up process. This will confirm that the principal hardware is working, including power supply and hard drive.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A working monitor would need to be used if none present • Ensure that cooling fans are functioning 	<p>Computer should boot up successfully. Computer should respond to keyboard and mouse input. Cooling fans should operate normally.</p>
Laptops/notebooks	<p>Power on self test (POST)² Switching on the laptop and successfully completing the boot up process. This will confirm that the principal hardware is working, including power supply and hard drive.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Test screen • Test battery functionality • Ensure the display is fully functional • Ensure cooling fan(s) is functional 	<p>Laptop should boot up successfully. Laptop should respond to keyboard and mouse input.</p> <p>Display turns on during boot up. Image should be clear and colors contrast and brightness correct with no screen burned images, scratches or cracks (see also below for display devices).</p> <p>Laptop Battery able to retain a minimum of 1 hour³ of run time; or battery tested to determine the Full Charge Capacity in watt-hours also with a minimum of 1 hour remaining (see Laptop batteries section below, paragraph 120)</p>

(3) ベルギー

ベルギーでは、電池メーカーおよび販売店が設立した回収組織 Battery Collection Fund (以下、Bebat)が 1995 年に設立され、主な電池メーカーや回収処理業者が会員となり、各種乾電池および蓄電池の回収を行っている。会員の電池メーカーおよび販売業者（約 800 社以上）は、市場で販売するバッテリー1つあたり約 13.5 円を回収処理費用として Bebat に支払う。全国に 20,000 以上の回収拠点（販売店、写真店、学校等）ある。2007 年の回収量は 2551 トン（回収率 56%）である。

(4) ドイツ

ドイツでは、1998 年 5 月に主に電池メーカーから構成された非営利組織 GRS Batterien が設立され、各種乾電池および蓄電池の回収・処理を行っている。GRS は、ドイツ国内に 170,000 個の回収拠点を設置し、無償で小売店や商業または工業用電池ユーザー、回収 BOX 等から廃電池を回収している。2010 年には廃電池類を 14,507 トン（回収率 44%）を回収している。

(5) オランダ

オランダでは、電池メーカーおよび輸入業者が回収組織 Stichting Batterijen (以下、Stibat) を 1997 年に組織し、大部分の電池メーカーおよび輸入業者が Stibat の会員になっている。Stibat は特定の機関や販売店に回収拠点を設置する他、地方自治体が無償で回収し特定回収業者に引き渡した後は Stibat の責任でリサイクル・処理を行っている。回収費用は地方政府が負担しているが、輸送・保管・分別・処理等の費用は電池メーカーおよび輸入業者の負担で行われている。Stibat は、電池 10 個ごとに抽選を行うなど、消費者の回収意識を高めるさまざまな活動を行っている。2009 年の Stibat 回収量は 3309 トンで、回収率は 40%である。

(6) イギリス

イギリスでは、主に G&P Batteries が電池回収を組織して行っている。G&P Batteries はイギリスで初め

て電池リサイクルを始めた企業で、鉛蓄電池の他、ニカド電池やニッケル水素電池、リチウム電池、リチウムイオン電池、酸化銀電池、水銀電池などあらゆる電池を処理している。The Waste Batteries and Accumulators Regulations 2009 が施行され、電池メーカーおよび輸入業者は毎年環境局 (Environment Agency) に販売量に応じて定められた回収費用を支払う。販売店⁷は無償でエンドユーザーからすべての種類の携帯用電池 (portable batteries)⁸を回収する義務を負う (2010 年 2 月 1 日から施行)。回収された廃電池は、Batteries Evidence Notes で監視され、許可を受けた処理業者や輸出業者だけが Batteries Evidence Notes を発行できる。

回収拠点は 1200 個あり、主な回収場所は、Civic Amenity sites や工業電池ユーザー、車・トラックのサービスセンター、電話・通信機構など。2007 年の回収率は 3%であったが、2010 年の回収率は 10% (4376 トン) で、2011 年には 18% (8000 トン)、2016 年までに回収率 45%を目標に掲げている。

(7) アメリカ

アメリカでは、二次電池 5 種類 (ニカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、小型密封式鉛等二次電池およびニッケル亜鉛電池) が無料で回収されている。Call2Recycle[®]は、1996 年から存在する北米で唯一の二次電池および携帯電話の無料回収プログラム (product stewardship program) であり、30,000 以上の販売店、自治体、ビジネス、公共機関における回収ネットワークを構築している。2013 年、Call2Recycle の運営が正式に RBRC (The Rechargeable Battery Recycling Corporation) から Call2Recycle Inc. に変わった。

同回収プログラムには、ライセンスを持つ回収業者 375 社以上が参加している。電池メーカーおよび輸入業者はお金を支払って、電池に RBRC 回収マークを印刷表示し、ユーザーは回収マークの電話番号等を頼りに近くの回収拠点を探することができる。Call2Recycle は無償で回収 BOX を販売店の店頭を設置し、店内の宣伝材料を提供し、回収費用を負担している。2008 年は 3150 トン、2012 年は 4700 トンが北米の Call2Recycle プログラムで回収されている。

アメリカの代表的な乾電池メーカーの HP では、廃乾電池は normal household waste として廃棄するよう記述がある⁹。

(8) 台湾

台湾では、1998 年 7 月の回収すべき廃乾電池に関する公告 (水銀電池、ニッケルカドミウム電池を含む) が出され、1999 年 11 月から各種乾電池の全面回収が実施された。対象となる電池には、カドミウム亜鉛電池、アルカリカドミウム電池、ボタン型および一次リチウム電池、酸化銀電池、酸化水銀電池、空気亜鉛電池および繰り返し使用可能な二次電池 (ニカド電池、ニッケル水素電池および二次リチウム電池) が含まれる。

電池メーカーおよび輸入業者は回収処理費用を環境保護署基管会に納め、環境保護署基管会が回収処理等に関連した管理業務を行う。廃電池はスーパー、コンビニ¹⁰、薬局、量販店などの販売店や学校、社区などの回収拠点や清潔隊を通じて回収されており、各回収拠点に集められた後、各処理施設へ運ばれて処理されている。処理企業は処理量に応じて基金会から補助金を受け取ることができる。2010 年には廃乾電池 3,616 トンが回収された (回収率は約 40%)。このほかに、鉛蓄電池 37,908 トンが回収されている。

(9) 韓国

韓国では、1992 年から 2002 年まで「廃棄物預託金制度」において、水銀電池、酸化銀電池および一般電池が回収されていた¹¹。2003 年以降は、「拡大生産者責任制度」のもとで、1) 水銀電池、2) 酸化銀電

⁷小規模販売店 (販売量が年間 32kg 以下) は無償回収が免除される。

⁸自動車用および産業用を除く

⁹ Duracell ホームページ <http://www.duracell.com/en-US/battery-care-disposal.jsp>

¹⁰ セブンイレブンでは、自社の環境貢献の一環として、廃電池などを回収する際、回収した廃電池の重さに応じて、お店で使えるクーポン券を配布している (例えば廃電池 0.5kg につき 8 元 (約 25 円) 分のクーポン券)。 <http://www.7-11.com.tw/service/recycle.asp>

¹¹「廃棄物預託金制度の対象品目の適正料率算定基準の設定に関する研究」韓国環境政策・評価研究院,1999 年, 80p

池、3) ニカド電池、4) リチウム電池（一次電池を除く）、5) マンガン電池・アルカリマンガン電池、6) ニッケル水素電池（資源の節約と再活用促進に関する法律施行令、第18条）がリサイクル対象となっている。生産者に重量ベースで再活用の義務率を課しており、その再活用を代行する「生産者責任機構」（韓国電池再活用協会、<http://www.kbra.net/>）に生産者が「分担金」を支払っている。

2009年の各種電池の再活用実績、再利用率（回収率）および移行率は表7.3.2のとおりである。

表 7.3.2 韓国の生産者責任再活用制度における電池の再活用実績（2009年）

品目	再活用実績 (トン)	再利用率	移行率
水銀電池	—	—	—
酸化銀電池	1	33%	100%
ニカド電池	210	27%	87%
リチウム電池	178	87%	166%
ニッケル水素電池	4	2%	6%
マンガン電池・アルカリマンガン電池	1,127	9%	45%

注1：再利用率とは、「電池の化学反応のために使用された金属物質を回収し、安全に処理する」ことを指す。（資源の節約と再活用促進に関する法律施行規則、別表6再活用の方法と基準）

注2：移行率＝再活用実績量／義務量

7.4 国内の回収・リサイクルに向けた検討

家電リサイクル法と資源有効利用促進法（小型二次電池、パソコンを対象）に加えて、2013年4月から小型電気電子機器リサイクル法が施行される予定となっている。同法の回収対象は、家電リサイクル法対象の家電4品目を除く、携帯電話、パソコン、デジカメ、炊飯器、電子レンジ、ストーブなどほぼすべての電気電子機器である。市町村が回収ボックスを設置したり、資源ごみとして回収したりするなどした後、国の認定事業者へ引き渡して再資源化することになっている。

同法の目的は、「使用済小型電子機器等の再資源化を促進するための措置を講ずることにより、廃棄物の適正な処理及び資源の有効な利用の確保を図る」とされているが、貴金属を含む未利用の資源の有効利用と、国内外での不適正な処理による環境汚染を防止することも意図されている。このため、促進型の資源回収と、不適正輸出防止などによる有害物質管理が同法の柱ともいえるが、回収や処理・リサイクルの段階における火災・爆発などの事故防止といった安全対策もあわせて考えるべきである。さらに、管理されたルート（システム）での対策強化とあわせて、金属スクラップなど管理されていない不適正なルートへの混入防止を兼ねた回収率の向上も見据えるべきである。

3章で示した事故事例から（スプレー缶などの対策は当然望まれるが）、電気電子機器や金属スクラップなどへの対応としては、電池類、トナー、油分の残存した石油ストーブやエンジン類などに本研究では注目している。5章などでの調査結果も踏まえて、主に電池類を想定した回収・リサイクルにおける課題を目的別に表7.4.1にまとめた。

まず、回収率向上のためには、既存の回収システムの向上が望まれるが、中長期的には家庭・事業者などの排出者がより理解しやすい回収システムを検討すべきと考えられる。小型電気電子機器リサイクル制度などにおいては、電池類の取外し可能性に応じて、欧州のWEEE指令にあるようなリサイクルプロセスでの事前取外しについてその主体や手順に関する議論が必要になるだろう。

また、資源回収については、昨年度の検討のように自治体の破碎施設を通じた後、スラグや残渣として埋立に至る有用な金属がいまだに多いと考えられる。資源回収の観点からの民間の回収技術向上と排出者に対するインセンティブの強化が必要であろう。

有害物質管理については、電池類においては水銀ゼロ化などの対策が進められてきた。しかしながら、金属スクラップの輸出管理においては、電池類以外にも含めた有害物質に関するバーゼル法上の該非判断については、課題が多い。すなわち、サンプリング方法と分析方法が定められていなかったため、金属

スクラップの中から輸出業者が任意の箇所のサンプリングを行うことができ、その妥当性が疑われることもあった。このため、輸出1ロットあたり1,000トン規模の金属スクラップに対してサンプリング方法の指示のみで十分に対処できるとは考えにくい。例えば基板などを含有する製品について簡易なネガティブリストとして提示することによって、税関を含む関係者が簡便に判断できるようにすることと、その実効性を担保することが肝要と考えられる。

最後に、安全対策については、排出段階で電池類をテープで絶縁することがJBRCや電池工業会から求められているが、その協力率は低く、乾電池の場合はそもそも自治体の処理に依存している。2013年2月28日には山形県長井市の家電量販店で使用済み乾電池の回収箱が火元とみられる火災も発生している（読売新聞、2013）。絶縁してからの排出をしてもらうのが望ましいが、国民から広く回収するのであれば、一定程度は非絶縁状態で排出される電池類を前提とする必要がある。リチウムイオン電池の火災と安全対策については各種報告（総務省消防庁、2011；東京消防庁、2011）も多く、消防法の危険物として保管の要件などが求められている。小型電気電子機器においても、取り外した電池類の保管段階で、これに準じた対策が求められる。

表 7.4.1 回収・リサイクルにおける課題（主に電池類を想定）

目的	現在	短期的課題	中長期的課題
回収率向上	<ul style="list-style-type: none"> 電池類の既存回収システムはあるが、回収率が低いものがある（自治体による乾電池、JBRCによる小型二次電池、有価物としての鉛蓄電池など） 	<ul style="list-style-type: none"> 家庭・事業者に対する電池類の既存回収システム周知 	<ul style="list-style-type: none"> 家庭・事業者が排出しやすい回収システムの構築 小型電気電子機器リサイクル制度などでの電池類取外しなどの主体と手順検討
資源回収	<ul style="list-style-type: none"> 自治体の処理施設では、回収可能な資源は多くない 	<ul style="list-style-type: none"> 民間のレアメタルなどの回収技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> 経済的インセンティブなどを加えた回収システム構築
有害物質管理	<ul style="list-style-type: none"> 有害物質の低減（水銀ゼロ化など） NiCd電池の消費減少とJBRCによる回収 	<ul style="list-style-type: none"> 有害物質削減の徹底 バーゼル法などの運用強化（簡易な同法該当品リストの構築を含む） 	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムにおける有害物質管理フレームの検討
安全対策	<ul style="list-style-type: none"> 排出段階での電池類の絶縁協力率は低い（小型二次電池はJBRCによる協力依頼、乾電池はそもそも自治体の処理に依存） 電池類の取外しが困難な機器の増加 	<ul style="list-style-type: none"> 有害危険な製品・部材に対する周知徹底 家庭・事業者に対する絶縁の協力依頼強化、回収場所でのテープ設置など 携帯電話などで前処理時の危険性への注意喚起 自治体や民間の処理施設における火災防止対策（湿潤化、防火設備など） 金属スクラップの火災防止対策（火災原因究明、事前相談など水際の運用強化） 	<ul style="list-style-type: none"> 有害危険な部材（電池類など）の取外しが可能な製品設計 有害危険な取外しが困難な製品のメーカー・店舗による回収 有害危険な部品の特定と安全な回収システムの義務化

8. 結論

自治体・民間の処理施設や輸出現場などにおける火災・爆発事故や環境汚染について、先行して構築した研究実績・関連データベースの活用とヒアリング調査によって、事例を収集した。バッテリーやリチウムイオン電池の火災事例、ならびにトナー粉は粉じん爆発の事例が確認されたほか、保守点検不十分なバッテリー（無停電電源装置、UPS）の火災が指摘された。

金属スクラップ火災について、港湾・船舶での事例しか件数が把握できないものの、2012年の発生が顕著に増えていた。金属スクラップの輸出先はすべて中国であり、スクラップの内容はモーター・エンジン・配電盤・ケーブルなどの工業系雑品の場合が多いが、家電も多く含まれる場合もある。金属スクラップ火災の特徴として、これまでほとんどのケースで人災がなく、直接的な経済影響もみられなかったが、最近では交通への影響や停電など既に多数の影響・リスクが顕在化しつつある。火災原因については、大規模火災であるほど原因の調査が困難であり、通常は不明で終わることが多い。

廃棄物の火災危険性を大きく分けて次の3つの物品について調べ、火災予防に役立つ知見を得た。

まず、リチウムイオン電池およびリチウム電池については、小型・軽量の電池で携帯電話、ノートパソコン等に広く使用されているが、加熱しながら温度と圧力を同時に測定できる密閉式圧力容器試験器を試作し、それらの危険性を調べた。その結果、リチウムイオン電池およびリチウム電池は加熱されると熱暴走を起こし、分解ガスを放出して火災拡大につながる危険性が高いことがわかった。リチウムイオン電池が熱暴走を起こす原因として、充電されたリチウムイオン電池中には反応性の高い物質が生成していてそれが外部加熱によって激しく分解することが明らかとなった。また、リチウム電池は外部加熱によって激しく分解することが観察された。両者とも火災の延焼を促進させる危険性があるため、可燃物と隔離した状態に分別して保管することが火災予防上重要であるといえる。両者とも衝撃による破壊によって、電池の表面温度が120程度℃まで上昇することが観察された。周囲の環境や破壊される電池の個数によっては、火災原因物質となる可能性が考えられるため、電池に強い衝撃を与えないことが火災予防上大切であることがわかった。

次に、トナーの回収処理中に粉じん爆発が起きていることから、粉じん爆発の防止を目的のために雰囲気空気（酸素）濃度を下げた場合の粉じん爆発の激しさの低下、最小着火エネルギーの増大への効果を調べた。トナー粒子は、年々、微小化し、現在では、直径8 μm 程度のものが多くなっている。トナー粉は酸素濃度の減少と共に必要な放電エネルギーは大きくなり、酸素濃度16%以下では、最小エネルギーは1,000mJを超えた。作業員の立ち入らない箇所の酸素濃度を下げるといった工夫である程度爆発を防ぐことができる。

東日本大震災で発生した震災がれきの火災防止のために、現地調査に加えて、主に微生物の活動に伴って生じる発熱や、それに伴って生じるガスに焦点を当て測定を行った。熱分析と発生ガスの分析結果より結果より、条件（適度な水分の存在・断熱状態・熱容量・空気流入量等）がそろえば、室温付近の貯蔵や堆積であっても、微生物の活動によって生じた熱が引き金となり火災に至る可能性があることがわかった。また、宮城県で製造された震災廃棄物を含むRPF固形燃料に関して、蓄熱発火に伴う火災の危険性を評価した。震災がれきやRPFの火災予防対策として、発酵しないように水が混入しないことや大量に堆積させないことが重要である。また、密閉空間で貯蔵する場合には試料によっては可燃性ガスや二酸化炭素を発生する場合もあるので、換気にも配慮すべきである。

一般廃棄物としての使用済み電気電子製品の排出実態調査結果、全国自治体を対象に実施した使用済み電気電子機器の収集・処理実態のアンケート調査結果を用いて、一般廃棄物処理における使用済み電気電子製品およびそれらに含まれる部品や金属類の収集・処理フローの概略を推定した。

自治体の分別状況調査の結果、年間1人あたり約2kgの使用済み電気電子機器が一般廃棄物として排出されていると推計された。この量は家庭からの電気電子製品の推計使用済み量（年間1人あたり約5kg）の約4割に相当し、残りの約6割は小売店や不用品回収業者など自治体以外のルートで回収されていると考えられた。自治体へ排出される使用済み電気電子製品の収集方法は全体の85%が粗大・不燃ごみ、収集後の処理方法は破碎が全体の8割、直接焼却と直接埋立がそれぞれ全体の5%前後と推計された。排出時に電池類が取り外されていない製品について、収集後に清掃センター等で取り外しを行っている自治体もあるものの、収集量全体の半分以上が取り外されずにそのまま処理されていると推計され、排出時の電池類取り外しの徹底に課題があると考えられた。

すべての種類の電池類に関する分別収集（排出）の方法を自治体がどのように周知しているかを知るために、東京都 23 区における分別方法を詳細に調査した。その結果、水銀の含有状況で異なる区が一部あるものの、乾電池は拠点回収か不燃ごみで収集されていた。ボタン電池と小型二次電池は店頭回収とされていたが、コイン型などのリチウム電池や自転車用バッテリーについては明確でなかった。多様な電池の種類に対するわかりやすい分別排出の方法が求められる。

消費者（一般家庭）から排出される有害危険な使用済み製品の分別排出にかかる基礎情報と課題を把握することを目的として、東京都における多様な排出経路における詳細調査を実施した。電池類の有害物質として、水銀非含有表示のマンガン電池、アルカリ電池は 9 割以上と多いが、6～10%程度はまだ水銀が含有されている可能性のある乾電池が排出されていると考えられた。鉛についても、現在排出されている多くのマンガン電池には鉛が含有されていると考えられた。排出されている筒型アルカリ電池はまだ使用推奨期限を迎えていないものが大半であったが、逆に筒型マンガン電池と角形積層乾電池は 1990 年代を含め古い電池の排出が多い。乾電池回収拠点や不燃ごみなどの排出経路に対する、所定の対象外の電池類や異物の混入について、乾電池の重量が大きいためにそれらの重量比は小さいが、混入禁止の表示や、近い場所で一次電池、二次電池とボタン電池の回収ボックスの整備なども進める必要があると思われる。粗大ごみにおいても、電動アシスト自転車の二次電池や無停電電源装置由来ともみられる鉛蓄電池などが排出されていたため、今後のさらなる普及に伴った回収システムの構築が必要である。絶縁実施率は乾電池で 2%（乾電池拠点回収に混入された二次電池で 3.1%）と低かったために、絶縁実施の周知や回収場所でのテープ設置などが必要である。

事業者からの排出実態については不明な点が多く、不適正なルートへ流れたりする状況や要因などが十分把握できていないことから、事業者における電気電子機器等の保有および使用済み排出実態に関する調査を行った。保有状況を見ると、OA 機器ではパソコン、パソコン用ディスプレイ（液晶式）、コピー機（複写機）・複合機が 90%程度と高いことに加えて、無停電電源装置（UPS）も保有している事業所が 46%に上っている。その他の機器として、事業所であっても家庭用機器の保有率は高く、家庭用冷蔵庫・冷凍庫で 94%となっている。排出先では、コピー機、ファクシミリはリース会社が多く、リース分はリース会社に引き渡されている傾向が見える。その他では全体的に産業廃棄物収集・処理業者の割合が高い傾向にある。また、不用品回収業者という回答も多く品の品目で 5%前後存在する。乾電池と小型二次電池は自治体も 3 割程度あった。電池類の分別や自主回収制度は十分周知されていないことが伺えた。

処理施設における物質の挙動・取扱いとして、自治体の破碎施設における金属挙動については、破碎選別処理における産物の組成と物質収支から投入物の組成を推定すると、調査対象とした粗大・不燃ごみは重量で電子基板や電池類をそれぞれ 1%弱含んでいたと考えられた。特に電池類について同施設では処理前に人手による取り外しを行っているものの、電池類を破碎選別処理の対象物から完全に除くことは難しい現状が明らかになった。また、粗大・不燃ごみを構成する素材・部品の破碎選別処理における分配率を推定したところ)、全体的に使用済み電気電子製品のみでの処理における過去の調査結果と同様の傾向を示した。電子基板は約 40%が可燃残渣へ分配して焼却へ回っていると同時に、約 50%は不燃残渣へ分配して最終処分されていると推定された。また、今回の調査では電池類はほとんどが不燃残渣へ分配しており、破碎選別処理へ混入した場合には多くがそのまま最終処分へ向かうと考えられた。

一般廃棄物の熱処理（焼却および溶融）プロセスにおける投入物中の各元素の生成物への分配挙動について、熱力学解析により溶融プロセスのメタル相における金属の分配挙動解析を行った。解析の結果、溶融メタルは、Fe-rich 相と Cu-rich 相の二相分離を起こしており、貴金属(Au,Ag,Pd)は Cu-rich 相に強い分配傾向を持ち、Ni,Cr,Si 等は Fe-rich 相への強い分配傾向を有することが明らかとなった。これらの結果より、Cu-rich 相を選択的に分離することにより、貴金属含有銅原料として高付加価値化の可能性があると明らかとなった。

使用済み電気電子機器における取扱いを含めて、電池類を中心とした海外のリサイクルシステムについてレビューを行った。EU の WEEE 指令では、廃機器を回収後、電池を事前分別し、電池は電池指令に則って処理する必要がある。欧米、台湾、韓国では、日本よりも対象の広い電池類を電池メーカーなどの経済的な負担でリサイクルされていることを把握した。2013 年 4 月から小型電気電子機器リサイクル法が施行されたが、回収や処理・リサイクルの段階における火災・爆発などの事故防止といった安全対策もあわせて考えるべきであることを指摘した。さらに、管理されたルート（システム）での対策強化

とあわせて、金属スクラップなど管理されていない不適正なルートへの混入防止を兼ねた回収率の向上も見据えるべきである。

主に電池類を想定した回収・リサイクルにおける短期的課題と中長期的課題を、回収率向上、資源回収、有害物質管理、安全対策の目的別にまとめた。本研究における電池類などの調査結果を踏まえて、短期的課題として、有害危険な製品・部材に対する周知徹底、家庭・事業者に対する絶縁の協力依頼強化、前処理時の危険性への注意喚起、処理施設における火災防止対策（湿潤化、防火設備など）などを指摘した。中長期的課題として、家庭・事業者が排出しやすい回収システムの構築、小型電気電子機器リサイクル制度などでの電池類取外しなどの主体と手順検討、有害危険な部材（電池類など）の取外しが可能な製品設計、有害危険な取外しが困難な製品のメーカー・店舗による回収などを指摘した。

9. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、金属スクラップ火災に関して神奈川県川崎市、兵庫県尼崎市の各消防本部、ならびに海上保安庁の方々には、貴重な経験やご示唆を賜りました。また、東日本大震災のがれき火災に関しては、宮城県名取市、石巻市の消防本部の方々に多大なご協力を頂きました。

自治体における使用済み電気電子機器の分別・処理状況の推計や破碎施設での物質の挙動・取扱い調査については、茨城県日立市より実施での調査を含めて、貴重な機会とご協力を頂きました。

同じく使用済みの電池類と電気電子機器の排出状況調査にあたっては、東京都環境局、東京都環境科学研究所、東京二十三区清掃一部事務組合、東京都各区市の皆様より、現場での収集・回収状況の視察から試料や調査スペースのご提供、さらに各種の情報交換に至るまで、格段のご配慮を頂戴しました。

事業者における電気・電子製品等の保有および使用済み排出実態に関する調査については、東京都飲食業生活衛生同業組合、新日本スーパーマーケット協会、日本ファシリティマネジメント協会、超硬工具協会、その他事業者様から、大変貴重な情報とご協力を頂きました。また、ご回答頂いた各事業者の皆様から、有益な情報とご示唆を頂きました。

電池類の回収・リサイクル状況に関しては、一般社団法人電池工業会、一般社団法人 JBRC ならびに日本リサイクルセンター株式会社、電気電子機器やトナーのリサイクル状況に関しては富士ゼロックス株式会社、その他国内における事業者の皆様方から、貴重な情報や視察のご配慮を頂きました。

環境省 廃棄物・リサイクル対策部（適正処理・不法投棄対策室、リサイクル推進室）、同中部地方事務所、同近畿地方環境事務所、経済産業省 産業技術環境局 環境指導室、大阪府 循環型社会推進室産業廃棄物指導課、一般財団法人日本環境衛生センターにおかれては、大変有益なご助言やご協力を頂きました。福岡市、北九州、名古屋市、その他の消防局の方々に対しましても、金属スクラップや電池類の火災について、貴重な情報と知見をご提供頂きました。

また、本研究の中で特に委託業務の実施にあたっては、株式会社リサイクルワン、みずほ情報総研株式会社、株式会社環境科学コーポレーション、株式会社環境管理センター、財団法人産業技術協会より多大なご協力を頂戴しました。

本研究成果を得られましたのは、多数の省庁や分野の皆様、および研究協力者の皆様のご指導とご支援があったためであります。ここに記して、感謝の意を申し上げます。

10. 参考文献

- Lu X., Nakajima K., Sakanakura H., Matsubae K., Bai H., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic estimation of minor element distribution between immiscible liquids in Fe–Cu-based metal phase generated in melting treatment of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32, 1148-1155
- Nishihara, N., Iyoku, Y., Osada, S., Osada, M., (2002) Technology of Using Melting Slag and Metal Generated from Municipal Solid Wastes. *Nippon Steel Technical Report* 376, 51-56.
- Masahiro Oguchi, Takashi Kameya, Suguru Yagi, Kohei Urano (2008) Product flow analysis of various consumer durables in Japan, *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 463-480.
- Masahiro Oguchi, Hirofumi Sakanakura, Atsushi Terazono, Hidetaka Takigami (2012) Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process, *Waste Management*, 32, 96-103.
- Saffarzadeh, A., Shimaoka, T., Motomura, Y., Watanabe, K., (2009) Characterization study of heavy metal-bearing phases in MSW slag. *Journal of Hazardous Materials* 164, 829–834.
- Yamaguchi, K., Takeda, Y., (1997) Copper enrichment of scrap by phase separation in liquid Fe-Cu-C system. *J. Min. Metall. Inst. Jpn.* 113, 1110-1114.
- Yamaguchi, K., Ohara, T., Ueda, S., Takeda, Y., (2006) Copper Enrichment of Iron-Base Alloy Scraps by Phase Separation in Liquid Fe-Cu-P and Fe-Cu-P-C Systems. *Materials Transactions* 47, 1864-1868.
- 小口正弘 (2007) 電気・電子製品の使用年数分布の解析と製品フロー推計に関する研究, 横浜国立大学大学院博士論文
- 小口正弘, 肴倉宏史, 寺園淳 (2011) 使用済み電気・電子製品の排出実態と破碎選別における物質収支の調査, 第32回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 86-88.
- 環境省・経済産業省(2011) 使用済小型家電からのレア金属の回収及び適正処理に関する研究会とりまとめ
- 経済産業省(2006) 平成17年度使用済み電気電子機器のフロー及び家電リサイクル法効果分析に関する調査報告書
- 肴倉宏史, 小口正弘, 寺園淳 (2010) 焼却・熔融実処理プロセスにおける希少金属等54元素の分配と変動, 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 407-408.
- 社団法人自転車協会 (2011) 平成22年度廃棄自転車の処理調査補助事業報告書 (平成23年3月)
- 社団法人全国市有物件災害共済会 (2009) ごみ処理施設の火災と爆発事故防止対策マニュアル (平成21年7月)
- 総務省消防庁 (2011) リチウムイオン電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書 (平成23年12月)
- 寺園淳, 中島謙一, 吉田綾, 村上進亮, 古積博, 佐宗祐子, 山崎ゆきみ, 若倉正英, 和田有司, 鶴田順 (2011) 平成20~22年度循環型社会形成推進科学研究 総合研究報告書「有害物質管理・災害防止・資源回収の観点からの金属スクラップの発生・輸出状況と把握と適正管理方策 (K2015, K2179, K22049)」
- 電池工業会, <http://www.baj.or.jp/recycle/recycle09.html>
- 東京消防庁 (2011) リチウムイオン電池を用いた蓄電池設備の普及に対応した火災要望対策等検討委員会報告書 (平成23年3月)
- 野村興産ウェブサイト, http://www.nomurakohsan.co.jp/business/disposal_battery.html
- 廃棄物資源循環学会物質フロー研究部会 (2010) 製品中のレア金属等の暫定分析方法
- 廃棄物処理施設等に係る安全対策検討委員会 (2007) 廃棄物処理施設等に係る安全対策検討委員会報告書 (平成19年3月)
- 村上元 (2010) 5編 一次電池 2章 マンガン乾電池, In: 電気化学会電池技術委員会編, 電池ハンドブック, オーム社, 187
- 読売新聞, 2013年3月1日

1 1. 研究発表

論文発表

- Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A. (2013) Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. *Science of the Total Environment*, 463-464, 1124-1132
- Oguchi M., Sakanakura H., Terazono A., Takigami H. (2012) Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. *Waste Management*, 32 (1), 96-103
- Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Woo-Sub Lim (2012) Study on hazard of toner cartridge at recycle facilities. *International Journal of Safety*, 11 (1) 15-18
- Lu X., Nakajima K., Sakanakura H., Matsubae K., Bai H., Nagasaka T. (2012) Thermodynamic estimation of minor element distribution between immiscible liquids in Fe-Cu-based metal phase generated in melting treatment of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32, 1148-1155
- 寺園淳, 吉田綾 (2012) 使用済家電製品の国内フローに関する考察と中古品輸出量の推定. *廃棄物資源循環学会誌*, 23 (4), 280-294
- 寺園淳 (2013) 使用済電気電子機器の輸出に伴う諸課題. *生活と環境*, 第 58 巻, 第 4 号, 42-48
- 寺園淳 (2011) 循環資源貿易の考え方と金属スクラップ (雑品) の事例. *化学物質と環境*, (109), 7-10
- 寺園淳 (2011) 使用済電気電子機器からの金属のリサイクルと有害性・資源性の適正管理. *都市清掃*, 64 (303), 22-27
- 寺園淳, 吉田綾, 滝上英孝 (2011) 国際資源循環における有害性・資源性を持つ物質の管理. *環境研究*, (162), 28-36
- 古積博, 岩田雄策, 山崎ゆきみ, 寺園淳 (2013) 金属スクラップ堆積物の火災事例と問題点. *安全工学*, 52, 2, 113-120
- 古積博, 山崎ゆきみ, 寺園淳 (2013) 金属スクラップ堆積物の火災事例. *都市清掃*, 66, 314, 75-79
- 古積博, 岩田雄策 (2012) 各種金属類の事故事例と消防法による危険性評価, *消防研究所報告*, 112, 21-26
- 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史 (2012) 発酵による発熱を原因とした瓦礫類の火災危険性について. *日本火災学会論文集*, 62, 2・3, 17-25
- 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史 (2012) 発酵発熱を原因とした災害廃棄物の自然発火危険性について. *都市清掃*, 65, 308, 78-83

書籍

- Terazono A., Yoshida A. (2012) Current International Flows of Electronic Waste, Future Tasks, and Possible Solutions. In: Hieronymi K., Kahhat R., Williams E., *E-Waste Management*, Routledge, 137-163

学会等発表

- Terazono A., Oguchi M. (2014) Battery recycling in Municipal Solid Waste Management in Japan - Collection Rules and Safety Challenges. *The 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management 2014, Abstracts*
- Terazono A. (2013) Current Status and Action Plan for Transboundary Movement of Wastes in Japan. *8th International Conference on Waste Management and Technology, Abstracts*
- Terazono A. (2013) Material Flow, Hazardous Substances Control and Safety Issues of Batteries in Japan. *18th International Congress for Battery Recycling 2013 (ICBR 2013), Abstracts*
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Control of hazardous substances and fire accident on mixed metal scrap exported from Japan. *7th International Society for industrial Ecology Biennial Conference, Proceeding*
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Fire Prevention and Export Control of Mixed Metal Scrap. *The 17th Korea-Japan Joint International Session (2013 Annual Conference of KSWM), Abstracts*, 141-143
- Terazono A., Oguchi M., Yoshida A., Koseki H. (2013) Export Management of Mixed Metal Scrap. *The 12th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands, Abstracts*
- Terazono A. (2012) Technical Session 1: Detection, prevention and control of illegal traffic of e-waste and near-end-of-life electronics. *Greater Mekong Sub-region (GMS) sub-regional training workshop on building capacity to deal with the illegal shipments of e-waste and near-end-of-life electronics, Abstracts*
- Terazono A., Yoshida A. (2011) Transboundary movement, recycling and management measures of E-waste in Asia.

- The Life Cycle of Metals: Improving Health, Environment and Human Security, Abstracts, Tokyo, 7-8
- Terazono A., Yoshida A., Takigami H. (2011) Material flow, environmental effect and management measures of E-waste in Asia. ISWA World Congress 2011 World Congress of International Solid Waste Association, Proceedings, Daegu, 129-136
- Terazono A. (2011) Collection and Recycling of E-waste in Japan and Other Asia. Regional Workshop on the Public Private Partnership for E-Waste Collection, Agenda, Shenzhen
- Oguchi M. (2012) Metal composition of WEEE: A review of empirical data and use in material flow analysis. MFA-ConAccount section Conference 2012
- Oguchi M., Terazono A., Sakanakura H. (2012) Flows of WEEE and contained metals in municipal solid waste treatment: A regional-level estimation in Japan. MFA-ConAccount section Conference 2012
- Oguchi M. (2011) Characterization and flow analysis of substances contained in e-waste in Japan for better management in future. 4th International Contaminated Site Remediation Conference (CleanUp 2011), Program and Proceedings, Adelaide, 27-28
- Koseki H., Iwata Y., Terazono A. (2013) Study and Countermeasure of Hazard of Toner Cartridge Explosion, APSS (Asia Pacific Symposium on Safety)
- Koseki H., Iwata Y. (2011) Study on Hazard of Toner Cartridge at Recycle Facilities, Asia Pacific Symposium on Safety 2011 (APSS), Seogwipo (Korea), October 2011, 336-339
- 寺園淳 (2014) 電気電子機器と電池のリサイクルと課題. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, なし
- 寺園淳, 小口正弘, 中島謙一, 吉田綾 (2013) 事業者による使用済電気電子機器等の排出実態. 廃棄物資源循環学会研究発表会第 24 回大会, 同講演論文集 2013, 15-16
- 寺園淳 (2013) 家電リサイクルに係る金属スクラップ・中古品の回収・輸出に関する問題. 環境省家電リサイクル制度評価検討小委員会, 経産省電気・電子機器リサイクル WG 第 22 回合同会合, 同資料
- 寺園淳 (2012) 廃棄物不法越境移動を防止するための関連活動及び法整備の最新情報. 第 5 回日中廃棄物等の輸出入に関する関係省庁ワーキンググループ, 同予稿集
- 寺園淳, 吉田綾 (2011) 金属スクラップ (雑品) の回収・取扱状況に関する調査. 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, (A9-2)
- 寺園淳 (2011) 日本とアジア地域における E-waste, 金属スクラップなどの資源循環. エコ・リサイクル型ものづくりシンポジウム, 室蘭
- 寺園淳, 吉田綾 (2011) 国内における金属スクラップ (雑品) の回収・取引状況に関する調査. 環境経済・政策学会 2011 年大会, 環境経済・政策学会 2011 年大会プログラム
- 小口正弘, 寺園淳, 肴倉宏史 (2012) 自治体の廃棄物処理における廃電気電子機器と含有金属のフロー. 国際協力シンポジウム眠る都市鉱山
- 小口正弘, 肴倉宏史, 藤崎芳利, 寺園淳 (2011) 自治体ごみ処理における使用済み電気・電子製品の収集・処理実態と含有金属のフロー推計. 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, 171-172
- 小口正弘, 肴倉宏史, 藤崎芳利, 寺園淳 (2011) 自治体ごみ処理における使用済み電気・電子製品の収集・処理実態と含有金属のフロー推計. 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011, 171-172
- 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史 (2012) 東日本大震災で生じた災害廃棄物の自然発火の危険性について. 安全工学シンポジウム 2012

その他

古積博, 村沢直治 (2012. 3) 震災後に発生したがれき火災の原因について, 名取市消防本部宛報告.

1 2. 知的財産権の取得状況

なし

[平成23～25年度環境省 環境研究総合推進費 K113011]
有害危険な製品・部材の安全で効果的な回収・リサイクルシステムの構築

研究者 寺園淳＝代表、吉田綾、中島謙一、着倉宏史、小口正弘（以上、国立環境研究所）
 岩田雄策（消防研究センター）、古積博（研究協力者、消防研究センター）

背景

- 電気電子機器に含有される有害危険な製品・部材について、十分な回収・リサイクルシステムがない
- 自治体や民間の処理施設や輸出現場などで不適切な取扱いを受けることによって、爆発・火災事故や環境汚染を生じる事例



電池類が多く残ったまま廃棄される小型電気電子機器



輸出現場での金属スクラップ火災
 ＝H22年度終了課題で原因と対策を提示

課題 1 事事故例の収集・解析、有害危険な製品・部材の抽出

- 自治体・民間の処理施設、ならびに輸出現場などにおける火災や環境汚染の事故事例の収集・解析
- 有害危険な製品や部品の抽出。具体的には、各種電池、トナー、ならびに水銀を含有する健康機器などを想定
- 火災・爆発事故の原因究明と、危険性評価試験による火災回避条件の検討



火災事故の現地調査



危険性評価試験

課題 2 有害危険な製品・部材の国内フロー調査

- 有害危険な製品・部材の国内フロー調査
- 自治体の処理施設における分別や取扱いのアンケート調査。また、処理施設における金属元素の挙動調査
- 民間の自主的回収における有害危険な製品・部材の回収量、事故防止対策や管理状況の把握



自治体に排出された電気電子機器



処理施設での金属挙動調査

課題 3 安全・効果的な回収・リサイクルシステムの構築

- 海外における有害危険な製品や部品のリサイクルシステムや取扱い状況の調査
- ＜短期的目標＞自治体における有害危険な製品や部品の分別方法や、処理施設での安全管理指針の提示
- ＜中長期的目標＞電池類の取り外しや表示など製品設計への提言を含む、安全で効果的なリサイクルシステムの提示

英文概要

There were the cases with fire incidents of mixed metal scrap and other environmental pollution at municipal and/or industrial waste management facilities, when some hazardous and dangerous end-of-life products or parts/materials were inappropriately handled. The objectives of this research are to find hazardous and dangerous end-of-life products or parts/materials discharged by household, offices and industries, to understand current material flow, waste management process and the causes of fire incidents related waste management, and to explore appropriate collection and recycling process from the perspectives of safety, hazardous substances control and material cycles.

First, we collected information on the cases with fire incidents of mixed metal scrap and other environmental pollution at municipal and/or industrial waste management facilities. Then we found the cases with fires of lead acid batteries and lithium ion batteries, and explosion of toner powder dust. Regarding the fires of mixed metal scrap, we found many incidents in 2012, but we could not find exact causes in most cases. Many home appliances as well as industrial and demolition scrap were found in some burnt scrap. From the fire incidents and experiments related batteries, layer-built cells, lithium batteries and lithium ion batteries should be focused from the viewpoint of safety (fire prevention).

The intensity in thermal decomposition of Li ion battery and Li battery was investigated with pressure vessel test and differential adiabatic calorimeter. Dust explosion of the toner was studied with relationship between concentration of toner powder and discharge energy of ignition at various oxygen concentration. The auto-ignition hazard in heat accumulation of disaster waste and RPF (refuse paper and plastic fuel) involving organic compounds were discussed on the basis of data obtained by various calorimeters and gas analysis. The prevention measures against fire caused by battery, tonner and disaster waste were proposed on the basis of the measurement results.

From the results of investigation of collection rules of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in all the municipalities in Japan, we estimated that annually 2kg per capita of WEEE was discharged and that approximately 40% of them were treated in municipal waste management processes, while other 60% were flown to other routes including mixed metal scrap. After the collection of WEEE in municipalities, approximately 80% was treated in crushing process.

In order to understand the detailed situation on all the collection routes for every type of batteries, we deeply investigated information and actually collected batteries and related WEEE. In Tokyo Metropolitan Government, normal manganese and alkaline manganese batteries are collected by special wards, while clear collection routes were not shown for coin type lithium batteries and other rechargeable batteries for power assisted bicycles. From the collected batteries, we found that approximately 6 to 10% of manganese batteries may still contain mercury, and that insulation ratio for fire prevention was very low (2%) for normal dry cells. Clear collection routes for every type of batteries and announcement for fire prevention should be promoted.

In the waste treatment process in one municipality, we analyzed the material composition and estimated that approximately 1% each for printed circuit board and batteries were contained in actual incombustible and bulky waste. Batteries were recommended to be removed prior to crushing process. However, due to the difficulty of such pre-removal, most of discharged batteries were considered to be landfilled after the crushing process.

We reviewed the WEEE and waste batteries recycling system in EU, Taiwan and Korea. In those countries, broader types of batteries were recycled by economic support from manufacturers in contrast to Japan. In Japan, Small WEEE Recycling Act came into force in April 2013. Those small home appliances often contain primary or rechargeable batteries, and we indicated that safety countermeasures should be taken for those collection and recycling process.

Finally, we proposed short term and mid/long term tasks for batteries collection and recycling system. For the short term, announcement of hazardous and dangerous materials, insulation promotion and fire prevention at pre-treatment and crushing processes should be proposed. For the mid/long term, clear collection system and appropriate role sharing should be promoted.