- 【課題番号】3-2101
- 【研究課題名】リチウムイオン電池等の循環・廃棄過程における火災事故実態の解明と適正管理対策提案
- 【体系的番号】JPMEERF20213001
- 【重点課題】
  - 主:【重点課題⑫】社会構造の変化に対応した持続可能な廃棄物の適正処理の確保に関する研究・技術開発
  - 副:【重点課題⑪】ライフサイクル全体での徹底的な資源循環に関する研究・技術開発
- 【行政要請研究テーマ(行政ニーズ)】
  - (3－6)リチウムイオン電池等の循環・廃棄過程における事故発生実態とその制御策立案に向けた研究
- 【研究代表機関名】国立研究開発法人国立環境研究所
- 【研究代表者名】寺園淳
- 【研究実施期間】令和3年度～令和5年度
- 【研究分担機関名】
  - みずほリサーチ＆テクノロジーズ株式会社
  - 横浜国立大学
  - イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社

研究課題：リチウムイオン電池等の循環・廃棄過程における火災事故実態の解明と適正管理対策提案（2021～2023年度） 研究代表機関：国立環境研究所

背景

・循環・廃棄過程におけるリチウムイオン電池（LIB）起因の火災増加
・今後のLIB消費・廃棄拡大

目標

・火災事故発生実態の解明
・火災事故防止ガイドライン
・費用対効果を伴う適正管理対策

LIB排出量・フローの推計

サブ１．循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案（国立環境研、みずほリサーチ＆テクノロジーズ）

火災事故調査と対策の全体設計

対策技術のリスク・コスト評価、提案

対象
・一般廃棄物処理施設（粗大・不燃）
・小型家電リサイクル施設

既存事故事例調査

	（生産）	前処理	破砕・選別	残渣保管
事故件数・状況	－	少？	多	多（自然発火）
発火原因（仮説）	－	衝撃発火	衝撃発火、他	外部短絡、他
現場対策技術の候補	（LIBへのRFID装着）	RFIDによるLIB除去	防爆、破砕方法改善、センサー充実	保管方法改善、センサー充実
対策案1（プロセス改善）評価	－	リスク？ コスト？	リスク中？ コスト中？	リスク中？ コスト中？
対策案2（センサー充実）評価	－	リスク？ コスト？	リスク中？ コスト中？	リスク中？ コスト中？
対策案3（RFIDによるLIB除去）評価	コスト中？	リスク？ コスト？	リスク小？ コスト小？	リスク小？ コスト小？

対策技術検討、効果(リスク)の定量化

仮説提案

モデル実験・モデル計算 → リアルタイムモニタリング

サブ２．火災事故メカニズムの解明（横浜国立大）

モニタリング方法の提案（温度、ガスなど）

サブ３．リサイクル施設等における対策技術の検討（イー・アンド・イーソリューションズ、国立環境研）

1. はじめに（研究背景等）

- 廃棄物処理・リサイクル施設で火災事故が頻発しており、安全・安心で持続可能な資源循環システムに向けた懸念材料となっている。
- 近年ではリチウムイオン電池（LIB）の破砕による発火や処理後残渣の蓄熱による発火が疑われる事例も増えており、LIBが小型家電や不燃物などに混入したまま資源循環プロセスに投入されていることが影響していると考えられる。
- LIBは資源有効利用促進法に基づく自主回収の取組みはあるが、廃棄方法がわかりにくいモバイルバッテリーや取出し困難なものへの対応を含めて、自主回収が十分機能しているとは言い難い。
- こうしたLIBが関係していることが疑われながらも原因不明となっている場合が多い火災事故に対して、資源循環プロセスの現場では対処方法がわからずに警戒を強めている。情報通信環境の発展と電気電子製品の普及に伴い、今後もLIBの消費量及び廃棄量が増加していくことが確実である。

2. 研究開発目的

- 今後もLIBの消費量及び廃棄量が増加していくことが確実ななか、循環・廃棄過程でのLIBに関連する火災事故の防止対策が急務となっている。
- 火災事故リスク低減により安全・安心で持続可能な循環型社会づくりに貢献することを目的として、火災事故メカニズムの解明と対策技術の評価を伴った適正管理対策を提案する。

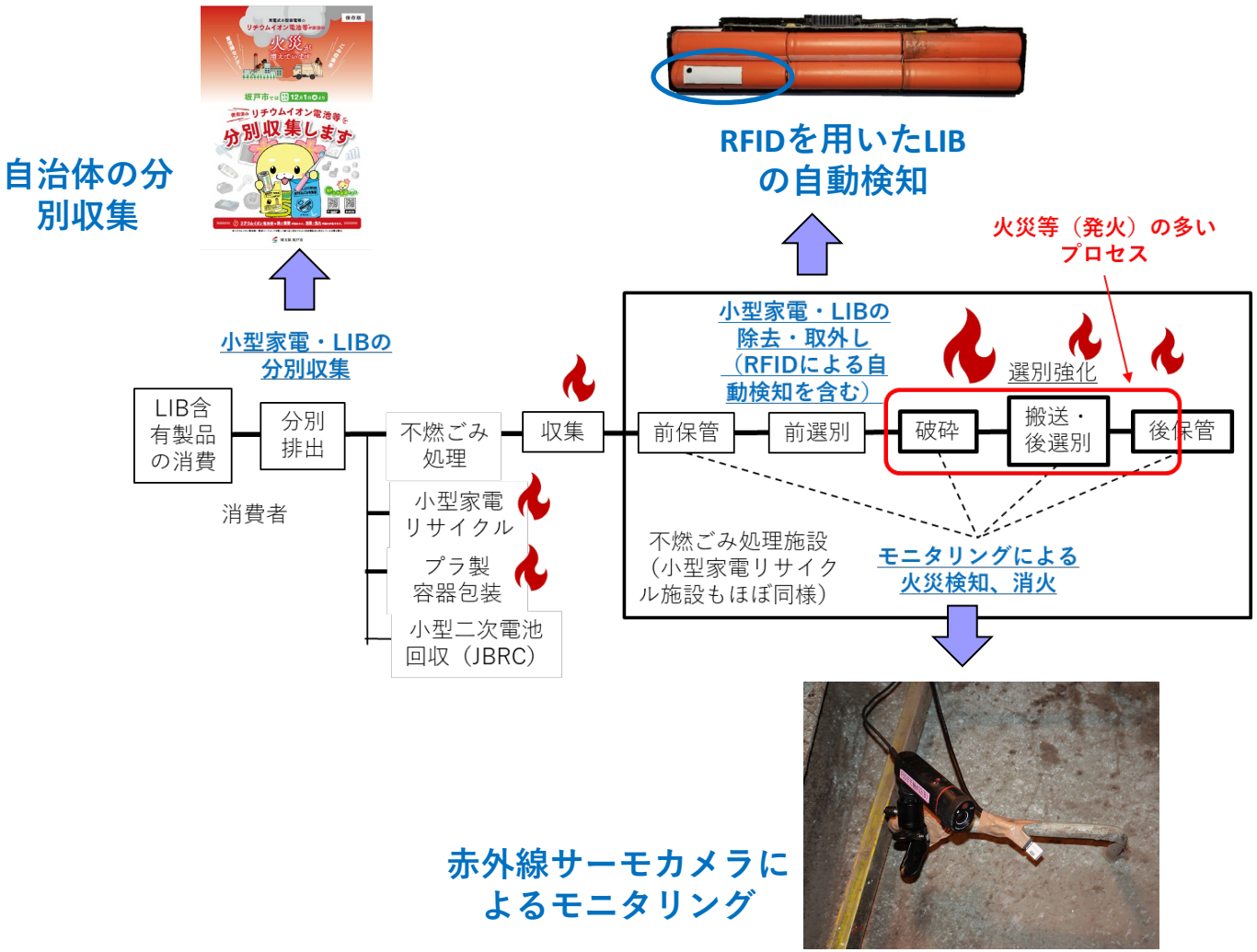
3. 研究目標

- 全体目標
  - 一般廃棄物処理施設及びリサイクル施設における**リチウムイオン電池（LIB）等に起因する火災事故実態を解明**し、
  - **火災事故防止対策をガイドラインにまとめる**とともに、
  - 今後のLIB消費拡大に備えた**適正管理対策**についても**費用対効果を伴って提案**する。

3. 研究計画

	令和3年度	令和4年度	令和5年度
サブテーマ1：循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案	現在のLIB排出量とフローの分析、施設へのLIB混入量推計 既存事故事例の調査・整理 文献レビュー	将来の施設へのLIB混入量推計 対策技術の評価方法検討 RFIDのシステム導入可能性検討	適正管理対策提案 対策技術の効果とコストの評価
サブテーマ2：火災事故メカニズムの解明	LIBモデル構築 モニタリング方法提示	LIBモデル実験・モデル計算 火災事故リスク評価手法検討	LIBモデル実験・モデル計算継続 対策による火災事故リスク低減の条件等提示
サブテーマ3：リサイクル施設等における対策技術の検討	リアルタイムモニタリング予備検討 対策技術検討の実施設選定 対策技術の基礎調査	リアルタイムモニタリング実施 対策技術の実施、指標化試行	リアルタイムモニタリング継続 対策技術の効果実証 ガイドライン策定

4. 研究開発内容
＜不燃ごみ処理に注目したフローと主な対策＞



4. 研究開発内容
【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

- 4.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析
  - 一般廃棄物処理施設における混入量、対策効果の推計、LIBに関する基礎情報収集
  - 全国におけるLIB排出量の推計
  - 現在のフローの分析、回収率
- 4.2 既存事故事例の分析
  - 環境省調査と本研究におけるヒアリング調査
  - 国内外における文献レビュー
- 4.3 対策技術の動向調査
  - RFID他、検知技術に関するヒアリング調査

不燃ごみの展開検査

自治体の分別収集

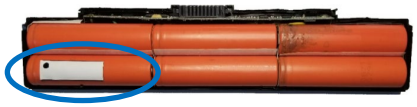
自治体へのヒアリング調査

４．研究開発内容
【サブテーマ2】火災事故メカニズムの解明

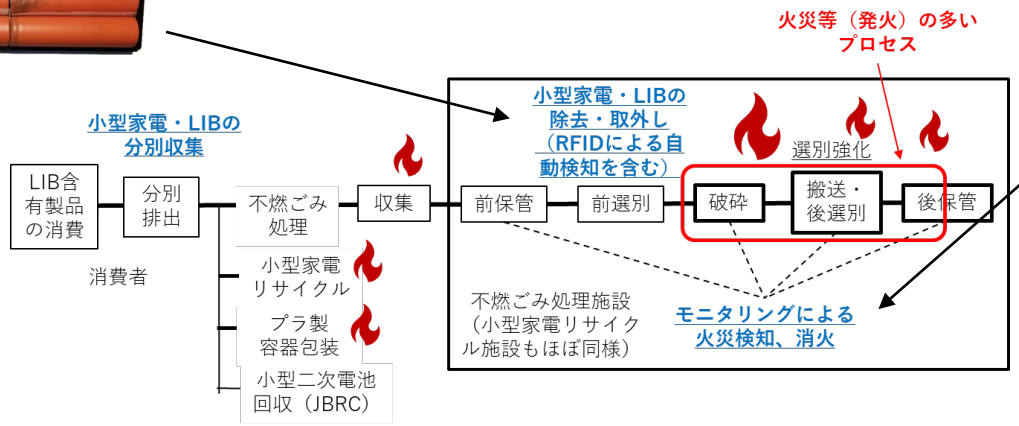
- 4.4 LIB火災モデルの構築
  - 文献レビュー
  - Bow-tieモデルを活用したLIB火災モデルの構築
  - リアルタイムモニタリングで確認した発火現象での検証
- 4.5 定量的リスク分析手法
  - Event tree analysis（ETA）適用のためのフレーム構築
  - データの収集・整理

4. 研究開発内容
【サブテーマ3】リサイクル施設等における対策技術の検討

- 4.6 リアルタイムモニタリングの予備的な検討
  - 自治体と小型家電リサイクル施設（計4施設）での予備的検討
  - 自治体の施設B（坂戸市東清掃センター）でのリアルタイムモニタリングで発火事象の確認
- 4.7 RFIDを用いたLIBの自動検知
  - 小型家電（加熱式たばこを含む）4機種に対する適用
  - 金属による電波遮蔽に対応したRFID（金属対応タグ）を用いたチューニングと読取り試験



RFIDを利用した
LIBの自動検知



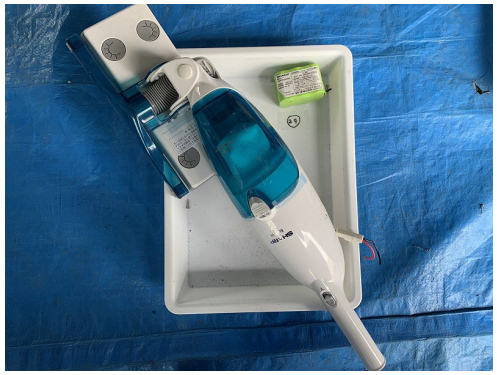
赤外線サーモカメラに
よるモニタリング

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

5.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析

LIBが外れない小型家電

解体作業



解体後の**小型家電とLIB**

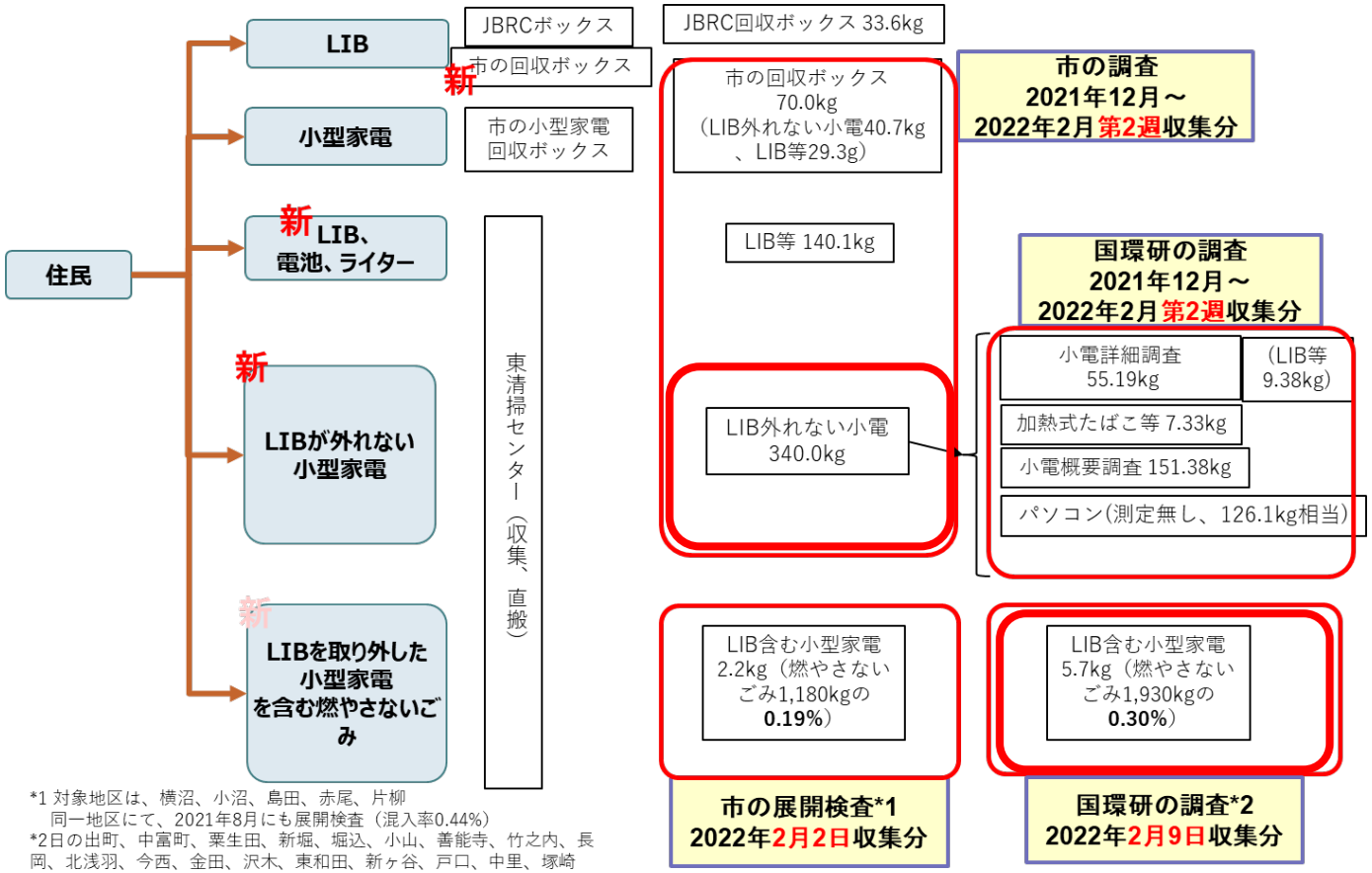
不燃ごみ（坂戸市では「燃やさないごみ」）

展開検査

LIBの入った小型家電（実際には全てがLIBではないが、0.3%という重量的にはこの程度）

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

5.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析



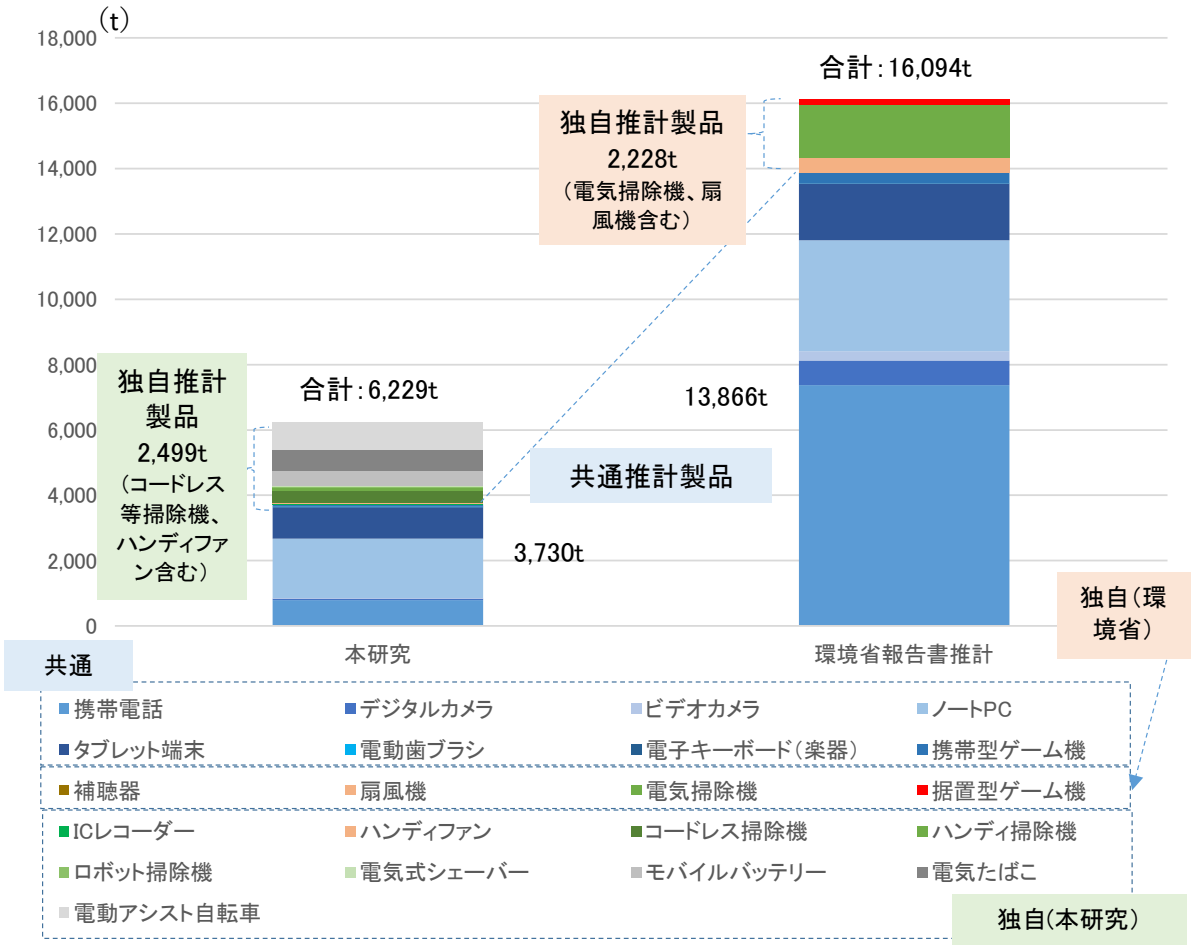
*1 対象地区は、横沼、小沼、島田、赤尾、片柳
同一地区にて、2021年8月にも展開検査（混入率0.44%）
*2日の出町、中富町、栗生田、新堀、堀込、小山、善能寺、竹之内、長岡、北浅羽、今西、金田、沢木、東和田、新ヶ谷、戸口、中里、塚崎

・埼玉県坂戸市での調査結果より、**LIBを含む小型家電の混入率は、不燃ごみ全体の0.3%（LIBのみの重量比は0.06%）程度と非常に低い**。にもかかわらず、火災等発生の原因の大半を占めている。

・**「LIBが外れない小型家電」の分別収集の取組みによって不燃ごみへの混入量を2割程度削減する効果**を示すことができた。

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

5.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析

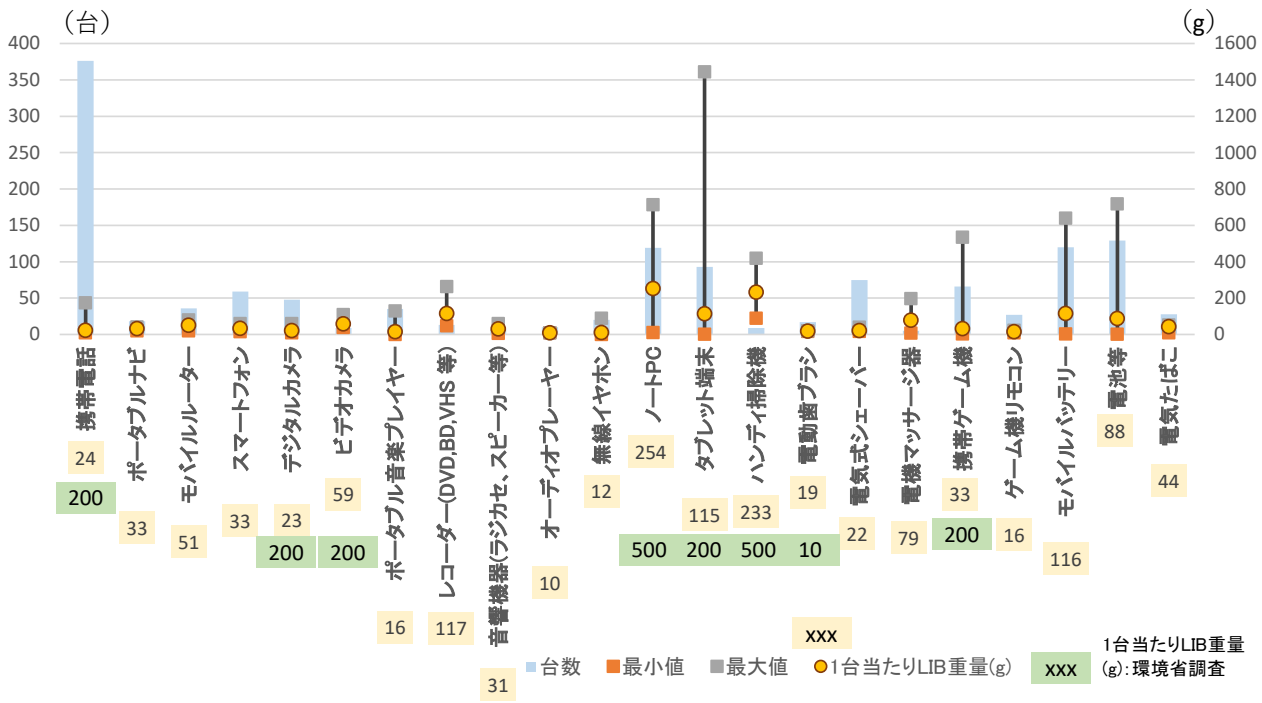


・モバイルバッテリーや電動アシスト自転車などを追加。

・一方、1台当たりLIB重量を実態調査に基づいて見直したことで、全国におけるLIB排出量は6,229tと推計された。

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

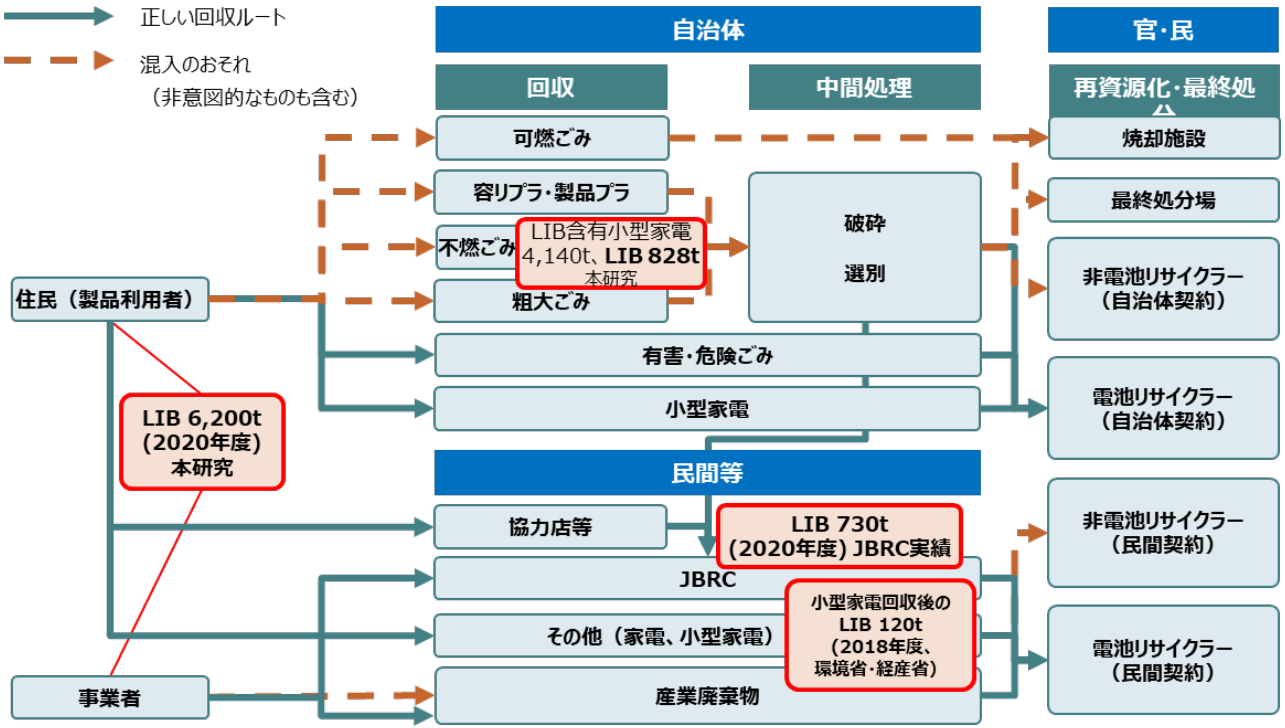
5.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析



・1台当たりLIB重量（平均）は、携帯電話が24g、ノートPCが254g、デジタルカメラが23g、ビデオカメラが59g、タブレット端末が115g、モバイルバッテリーが116gなど。
一方、環境省調査では、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラは200gなど、かなり大きい値が使われている。

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案

5.1 施設におけるリチウムイオン電池（LIB）の混入量と対策効果、全国における排出量及びフローの分析



・LIBの排出以降のマテリアルフローは不明な部分が多いが、排出量を約6,200tとしてJBRCと小型家電回収による回収量を計算すると、回収率は14%程度、把握率は27%程度に留まった。

・EUの電池指令では45%（2016）、電池規則案では65%（2030）の目標がある。

・回収率の把握と向上のための対策が必要である。

【サブテーマ2】火災事故メカニズムの解明
4.4 LIB火災モデルの構築
4.5 定量的リスク分析手法

4種類に大別される
LIB破損後の進展事象

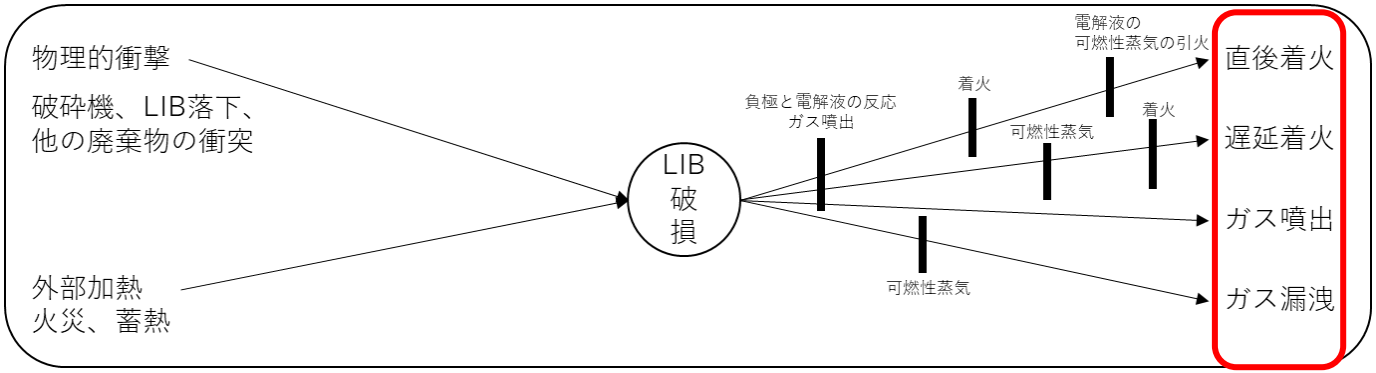


図7 Bow-tieモデルを活用したLIB火災モデル

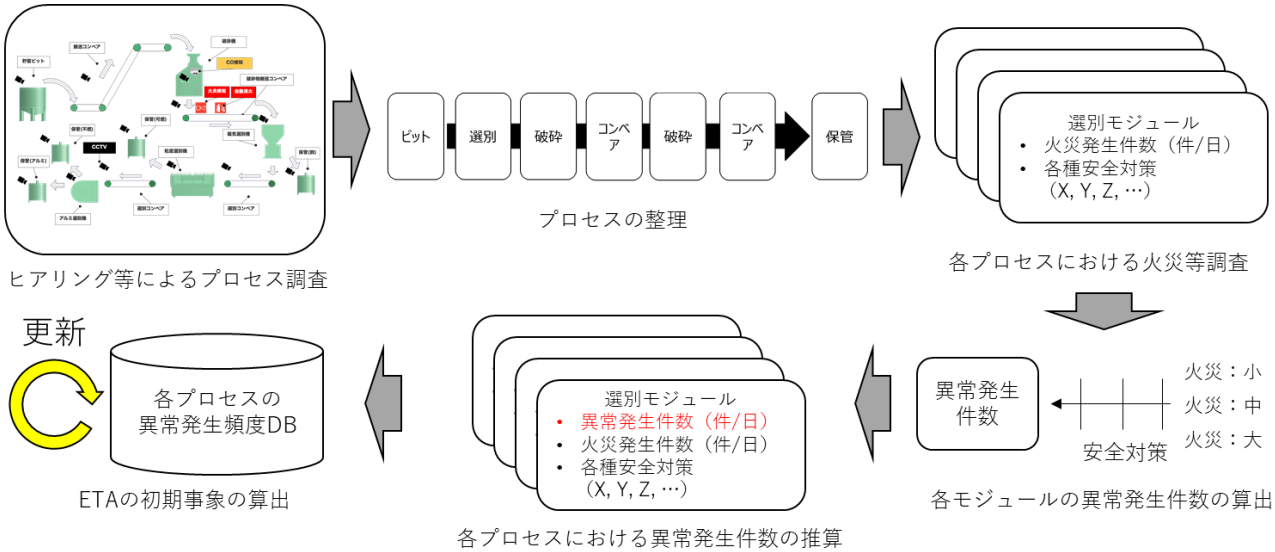
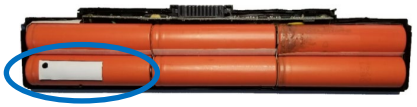
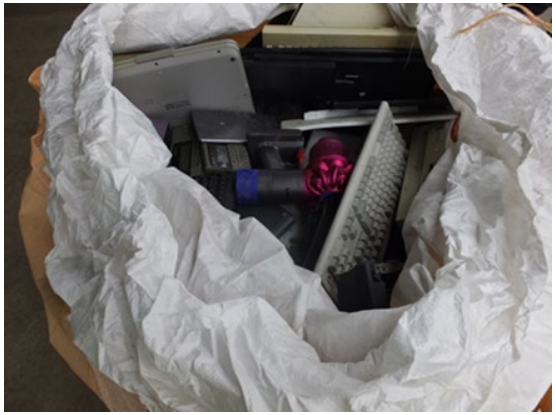


図8 定量的リスク分析手法のためのETA（Event tree analysis）実施に向けたフレーム構築

【サブテーマ3】リサイクル施設等における対策技術の検討
5.7 RFIDを用いたLIBの自動検知



ノートPCのLIBに
添付したRFID
(金属対応タグ)



ハンディクリーナーを他の機器で覆う前

読取り試験の様子

表6 4機種に対するチューニング及び読取り試験の結果

読取方向	ノートパソコン		デジタルカメラ		加熱式たばこ			ハンディクリーナー		
	チューニング	単体	チューニング	単体	チューニング	単体	保管容器	チューニング	単体	保管容器
前面	16 cm	22 cm	1 cm	10 cm	–	4.6 m	–	2.5 m	5.1 m	1.5 m
右側面	20 cm	30 cm	1 cm	11 cm	2.3 m	6.6 m	0.4 m	3 m	5.0 m	–
左側面	80 cm	95 cm	2 cm	4 cm	2.5 m	7.4 m以上	0.25 m	3 m	6.6 m	–
背面	70 cm	48 cm	4 cm	5 cm	–	5.3 m	–	2.5 m	5.3 m	1.9 m
上面	–	20 cm	–	10 cm	3 m	4.8 m	0.6 m	–	5.8 m	2.0 m
底面	–	100 cm	–	9 cm	3 m	4.7 m	×	–	5.1 m	0.8 m
その他の4方向	–	–	–	–	–	–	× ～ 0.5 m	–	–	0.7 ～ 2.0 m

・RFIDを用いたLIB自動検知について、一定の検知が可能であった一方、LIBの周囲が金属遮蔽されている機種に対しては検知が容易でないことがわかった。

【サブテーマ1】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案
5.3 対策技術の動向調査

	表面遮蔽時の検出	一括読取り	ID等情報の保有	価格
RFID（金属対応タグ）	○	○	○	高
RFID（フラグタグ）	△（注1）	○	○	中
EAS（EAS向けタグ）（注2）	○	×（注3）	×（注3）	中
QRコード	×	×	○	低

注1）管理対象物が金属や液体の場合、読取り時にはアンテナ部分が管理対象物から浮いている必要がある。
注2）ICチップのないもの。RFタグを使ったEASもあるため、ここではRFIDを除いたシステムとして記載。
さらに、それに使うタグをここでは「EAS向けタグ」とした。
注3）周波数を変えることで簡単な識別を行うことは可能。

・RFID（金属対応タグ）は表面遮蔽時の検出、一括読取り、ID等の情報の保有という点で優れる一方、利点を限定したRFID（フラグタグ）、EAS（EAS向けタグ）、QRコードを利用することで価格を抑えることができる。

６．研究の進捗状況と環境政策等への貢献
（１）進捗状況

- 【サブテーマ１】循環・廃棄過程における火災事故調査の全体設計と適正管理対策提案
  - ○計画の進捗状況〔**計画以上の進展がある**〕
  - 具体的な理由：処理施設でのLIB排出状況調査と既存事故事例に関するヒアリング調査を精力的に行い、対策効果などを定量的に議論する基礎を築くことができた。
  - ○目標達成の見通し
  - 排出量推計では不足している品目のデータ追加を行うとともに、対策技術の検討では費用対効果を含む取りまとめを行う。
- 【サブテーマ２】火災事故メカニズムの解明
  - ○計画の進捗状況〔**計画通り進展している**〕
  - 具体的理由：定量リスク評価手法の提案に着手し、その考え方を確立した。
  - ○目標達成の見通し
  - LIB火災モデルを実験的に検討することにより、実施設でのLIB火災現象を明らかにする。また、リスク低減対策の効果検証に関して、測定メーカーと連携して、モニタリング・安全対策を提案する。
- 【サブテーマ３】リサイクル施設等における対策技術の検討
  - ○計画の進捗状況〔**計画通り進展している**〕
  - 具体的理由：実施設におけるリアルタイムモニタリングでは、実際の発火現象を捕捉することに成功した。RFIDを用いたLIB検出可能性を実験的手法により検証できた。
  - ○目標達成の見通し
  - 今後さらに詳細なリアルタイムモニタリングを実施し、データの蓄積と精度の向上を図る。
  - 対策技術について、当初計画におけるプロセス改善、センサー充実、RFIDなどの検討を継続する。ただし、プロセス改善はハード面での破砕試験による評価を行うとともに、処理施設への混入量を下げるソフト面での検討も行う。
  - EUの動向にも注視しつつ、RFIDだけでなくQRコードやX線検出なども情報収集し、トレーサビリティのシステム評価につなげることを検討する。

6. 研究の進捗状況と環境政策等への貢献
(2)環境政策等への貢献

- ＜行政等が活用することが見込まれる成果＞
  - 環境省推計とはやや異なる**LIB排出量推計結果**が得られているが、相違の要因のさらなる検証と改善を経て、今後の**資源有効利用促進法における自主回収の在り方の見直しの議論**において参考にされる可能性がある。
  - また、環境省が自治体向けに対策支援のためのヘルプデスクを設置しており、自治体における**LIB分別収集などの対策効果について、参考として紹介される可能性**がある。
- ＜行政等が既に活用した成果＞
  - 環境省が7月21日に実施した自治体向けのリチウム蓄電池等処理困難物対策に関するオンライン説明会において、本研究の成果である**不燃ごみ処理施設における発火の動画及び不燃ごみへのLIB混入量推計結果**などを含む基調講演を行い、**自治体の理解と対策検討に貢献**した。

7. 研究成果の発表状況

- （1）誌上発表 ＜その他誌上発表（査読なし）＞
  - 【サブテーマ1】
    - 1)　寺園淳 (2022) リチウムイオン電池の循環・廃棄過程における火災等の発生と課題, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.33, No.3
- （2）口頭発表（学会等）
  - 【サブテーマ1】（一部、サブテーマ3の関係を含む）
    - 1) 寺園淳 (2021) リチウムイオン電池含有電気製品の循環・廃棄と火災防止対策. 第21回レアメタル資源再生技術研究会（Web）, 講演予稿集, 77-117
    - 2) 寺園淳, 秋山浩之, 小林元, 中山穣, 小口正弘 (2021) 自治体の不燃ごみ処理施設におけるリチウムイオン電池起因の火災防止対策の考え方. 第32回廃棄物資源循環学会研究発表会（岡山＆Web）, 講演原稿2021, 79-80
    - 3) 寺園淳, 秋山浩之, 小林元, 中山穣, 小口正弘 (2021) 循環・廃棄過程におけるリチウムイオン電池のリスク評価に向けた火災事故事例解析. 日本リスク学会第34回年次大会（Web）, 講演論文集, 153
    - 4) Terazono A. (2021) Circular economic utilization of WEEE and emerging battery issues. 11th International Conference on Sustainable Waste Management & Circular Economy (IconSWM-CE) and IPLA Global Forum 2021（Web）
    - 5) 寺園淳, 秋山浩之, 小林元, 中山穣, 小口正弘 (2022) 不燃ごみ処理施設におけるリチウムイオン電池起因の火災事例と防止対策. 第43回全国都市清掃研究・事例発表会（紙面開催）, 講演論文集, 82-84
    - 6) ［予定］寺園淳, 小口正弘, 秋山浩之, 友澤弘充, 萩原透, 中山穣 (2022) 廃棄物処理施設におけるリチウムイオン電池起因の火災等事故の実態と対策. 廃棄物資源循環学会研究発表会（宮崎）
    - 7) ［予定］Terazono A. (2022) Prevention of fires caused by lithium-ion batteries in waste management in Japan and future challenges, ICBR2022 (International Congress for Battery Recycling) (Salzburg)
    - 8) ［予定］寺園淳, 秋山浩之, 新冨美雪, 狩野真吾 (2022) 火災防止を考慮した使用済リチウムイオン電池管理の費用効率性に関する考察. 環境経済・政策学会2022年大会（Web）
  - 【サブテーマ2】
    - 1) 山本崚太郎, 鈴木智也, 中山穣, 塩田謙人, 伊里友一朗, 三宅淳巳 (2022) リチウムイオン電池混入廃棄物処理プロセスにおける火災シナリオ特定, 2022年度日本火災学会研究発表会（Web）, 2022年5月28日～29日
    - 2) 中山穣, 山本崚太郎, 塩田謙人, 伊里友一朗, 三宅淳巳 (2022) リチウムイオン電池混入廃棄物処理プロセスの定量的リスク分析手法の提案、2022年度日本火災学会研究発表会（Web）, 2022年5月28日～29日

8. 研究経費の内訳

		令和3年度		令和4年度	令和5年度	主な用途
		契約額	実績額	計画額（繰越額を含む）	計画額	
直接経費	物品費	7,524	8,071	5,334	1,900	令和3年度：バッテリー評価ユニット、3Dプリンター、2色温度解析ソフト、サーモグラフィー（実績）
	人件費・謝金	12,486	14,583	12,885	13,600	令和3～5年度：正社員（6名）、アシスタントスタッフ（1名）、アドバイザー（2名）（実績、計画）
	旅費	2,513	998	2,938	2,300	令和3年度：国内旅費（倉敷市、小牧市、伊丹市、坂戸市）（実績）、令和4～5年度：海外旅費、国内旅費（計画）
	その他	5,316	4,053	7,363	7,727	令和3～5年度：調査業務、RFIDタグチューニング作業、学会参加費、消費税相当額（実績、計画）
直接経費合計		27,839	27,704	28,520	25,527	
間接経費合計		8,011	8,010	7,878	7,657	
合計		35,850	35,714 (34,847)	36,398	33,184	

令和3年度実績額の内自己充当額867千円。35,714-867＝34,847（千円）