

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17921

研究課題名（和文）家庭用電池の排出実態と適正回収に関する動的フロー分析

研究課題名（英文）Current disposal status of used portable batteries from households and their dynamic flow analysis for proper collection

研究代表者

矢野 順也（Yano, Junya）

京都大学・環境安全保健機構・准教授

研究者番号：20522444

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：家庭系小形電池の排出実態調査から、二次電池電池内蔵製品の71-75%は消費者が電池を取り外せない製品となっていた。そのため、電池単体だけでなく、電池内蔵製品を回収するルートの構築が電池の回収促進にとって重要と示唆された。京都市の家庭系一次電池ならびに二次電池のフロー推定では、正規回収ルートの回収率は一次電池23.4%、二次電池19.6%に留まり、二次電池だけでなく一次電池も回収率が低い実態が明らかとなった。一次電池においても回収ルートの構築と適正排出を促す仕組み作りの重要性が示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電池のフロー推定に関する先行研究と比べて、きめ細かい排出フローに着目している点が本研究の特徴である。これにより、市民（消費者）の排出先や排出状況（電池の取り外しの有無や電池単体か内蔵製品としての排出か、等）を踏まえた排出の全容を捉えることができ、取り外しが困難な電池内蔵製品についても回収できるルートを構築することで、燃やすごみへの混入を防ぎながら家庭内ストックの排出を促すことの重要性を裏付ける結果成果を得た。

研究成果の概要（英文）：According to the field survey, small used portable batteries from households, 71-75% of products with built-in rechargeable batteries were products from which consumers could not remove the batteries. Therefore, it was suggested that it is important to establish a route to collect not only individual batteries but also products with built-in batteries in order to promote the collection of batteries. According to the flow estimation of primary and secondary batteries from households in Kyoto City, the collection rates of primary and secondary batteries through proper collection routes were only 23.4% and 19.6%, respectively, indicating that the collection rate of primary as well as secondary batteries is low. This suggests the importance of establishing collection routes for primary batteries as well and creating a system to encourage proper discharge.

研究分野：環境保全工学

キーワード：小形電池 一次電池 二次電池 排出実態調査 物質フロー分析

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電池は社会に欠かせないエネルギー供給品である。二次電池の2019年度の販売量はピーク時2010年の20.2億個と比べ約2割減少しており、一次電池も2010年度の35.6億個から2割程度減少している[1]。二次電池への代替が進むことで二次電池の需要(販売量)が増加し、一次電池の需要(販売量)が減少することが期待されるが、実態として十分に代替が進んでいるか検証が必要である。一方で、特に家庭用途の使用済電池の廃棄に関連して、繰り返し使用可能な充電式の二次電池の普及に伴い、近年、ごみ収集や中間処理、廃棄物処理過程において、リチウムイオン電池(LIB)が原因の発火・火災事故の報告が増加している[2]。多様な電子機器に使用される二次電池は使用後の排出方法も多様化・複雑化していること、十分な適正排出への認知不足、等が一因と考えられる。今後、廃棄物として排出される機会が増加することが懸念されており、市民による適切な分別のための効果的な周知・情報提供や市民が排出しやすい回収(適正排出)ルートの整備・維持等の必要性が指摘されている[3]。また、適正排出・回収の必要性はリチウムイオン電池に限らず、ニッケル水素電池(NiMH電池)やニカド電池(NiCd電池)などの二次電池、使い捨て一次電池共通の課題と言える。

2. 研究の目的

先行研究[4-6]では排出ルートにきめ細かく着目したフロー研究に乏しいことから、本研究の目的は、1)一次電池ならびに二次電池の使用～排出実態把握、2)一次電池・二次電池の排出フロー推定を通じた適正回収促進策の提案、とした。本研究では家庭から排出される小形の一次電池と二次電池を対象とした。また、電池で動く小型家電(高さ×幅×奥行=30×30×40cm以内の家電)に内蔵された電池も対象とし、小型家電よりも大きいものや車・車載電子機器類などの小型家電は対象外とした。

3. 研究の方法

(1) 市民の電池使用～排出実態インターネットアンケート調査

インターネットアンケート調査を2022年3月25日～30日に実施した。回答者の性別、年代別ならびに居住地別に割付(各100サンプル)を行い、計3,973名の有効回答を得た。小形電池の排出ルールは自治体によって様々であることから、特徴的な排出方法を採用している京都市(移動式回収拠点設置)名古屋市(電池の種類によって分別区分や収集頻度が異なる)新潟市(乾電池類(一次電池・二次電池)を「特定5品目」の1つとして収集)と、その他全国、を居住地区分とした。設問項目は1)電池のフロー・ストック(購入、使用、退蔵、排出)に関する設問、2)二次電池に係る意識に関する設問、を合計16問設問した。

(2) 京都市定期収集ごみや電池回収拠点における排出実態調査

京都市の正規の排出ルートである常設の資源回収拠点(左京エコまちステーション、以下、左京エコまちSt)、非常設の移動式拠点回収の小形電池および小形電池内蔵製品(小型家電)の排出実態を調査した。また、非正規の排出ルートとして、プラスチックごみへの混入実態を把握するため、プラスチック選別施設(横大路学園)で手選別除去された小形電池および小形電池内蔵製品を調査した。調査実施時期は、左京エコまちStは2023年10月26日～12月28日、移動式拠点回収は2023年12月2日実施の2ヶ所分、プラスチック選別施設は2023年10-11月分(10月分は小形電池のみ)である。

(3) 家庭系一次電池および二次電池の排出フロー推定

前述(1)のインターネットアンケート調査から自治体の排出ルールの違いによる市民の排出先に明確な違いは見られなかった。そこで、前述(1)・(2)の調査や京都市家庭ごみ細組成調査(2023年度実施および過年度報告書)などから排出先別のきめ細かい実態把握が実施できた京都市を例として、家庭系小形電池の排出フローを推定した。

4. 研究成果

(1) 市民の電池使用～排出実態インターネットアンケート調査

電池のフローとストック推定結果を図1に示した。なお、本節の結果については、各都市の性別・年代別の人口分布で加重平均をとって都市別の全体平均として図示している。購入本数(図1(a))は全国平均5.96本/(人・年)、調査対象とした3都市間では5.08-5.97本/(人・年)の幅が見られた。全国平均では一次電池5.29本/(人・年)、二次電池0.67本/(人・年)であり、購入本数の11%を二次電池が占めた。

家庭内ストックは買い置き(未使用)、使用中、使用済退蔵、に分類される。購入後に未使用のまま買い置きしている本数を図1(b)に示した。全国平均4.94本/人、都市間で3.74-4.46本/人の幅となった。使用中の本数は全国平均5.11本/人と推定された(図1(c))。しかし、小形電池使用製品の所有数から推定した著者らの既報[7]では使用中の電池は33.1本と推定されており、本研究結果は過小評価となっている可能性がある。使用中の電池に占める二次電池の割合は

21.6%（全国平均）に留まっていたことから、更なる普及が求められる。使用済電池の退蔵本数は全国平均 2.01 本/人、都市間で 1.51 - 1.72 本/人と推定された。これらをあわせた家庭内ストックの合計は全国平均 12.1 本/人と推定され、二次電池が占める割合は 16.1%となった。都市間では 9.69 - 11.4 本/人の幅があった。

廃棄本数（図 1（e））は全国平均 4.67 本/（人・年）、都市間で 3.49 - 3.62 本/（人・年）と推定された。全国平均のうち 0.34 本/（人・年）が二次電池であり、廃棄本数の 7.2%を占めた。

フロー・ストックの都市間比較では家庭への入口側である購入本数は新潟市が他都市より僅かに少ない傾向を示した。一方、出口川の使用済退蔵や廃棄本数では名古屋市が多い傾向を示したものの、一連の都市間で顕著な傾向の違いは見られなかった。

また、使用済電池の退蔵理由として回答者（退蔵本数 1 本以上の回答者）の 10-23.1%（複数回答可）が「捨て方が分からない」と回答しており、一次電池よりも二次電池の退蔵者の方が「捨て方が分からない」と回答される傾向が確認された。そのほか、二次電池の購入経験がある回答者、ない回答者それぞれに購入する理由、購入しない理由（いずれも複数回答可）を設問した結果、購入する理由、購入しない理由いずれにも経済性（長期的な経済的メリットと初期費用の高さ）が最も高い回答率となり、経済性に対する正しい情報を周知することで二次電池への代替を促進し得ると示唆される。また、リチウムイオン電池が原因となる発火事故は回答者の 62.3%が認知（「知っている」と回答）しており、リチウムイオン電池の危険性が一定程度認識されていることが確認された。

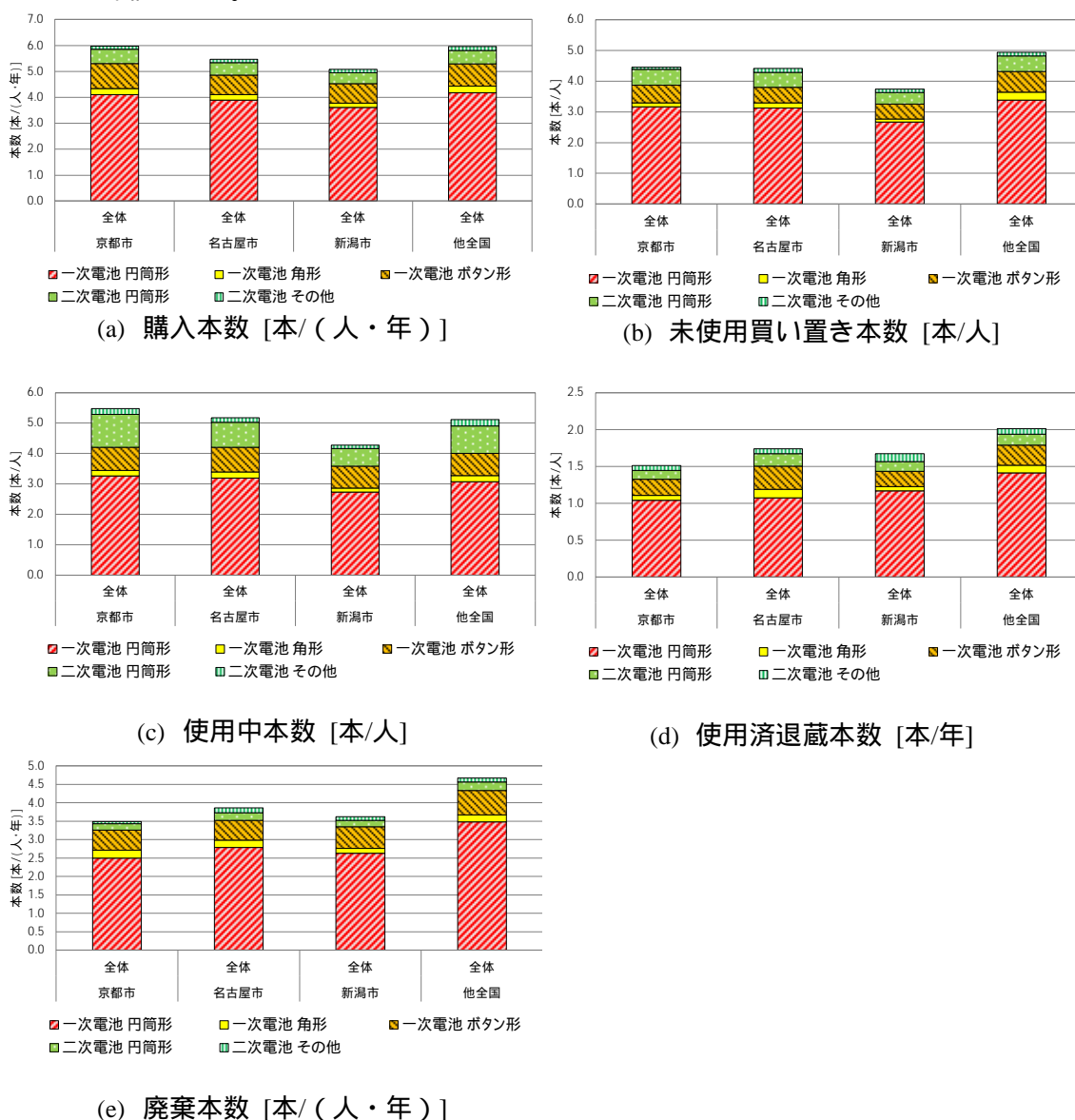


図 1 市民の小形電池の購入～廃棄本数推定結果

(2) 京都市定期収集ごみや電池回収拠点における排出実態調査

常設資源回収拠点（左京エコまち St）に調査期間中に排出された計 20,626 本の電池を調査した結果、二次電池は 1.6%であった。電池の種類別内訳は図 2(a)-(b)のとおり、一次電池では筒形アルカリ乾電池が 79.6%、ボタン電池が 9.8%であった。二次電池では NiMH 電池が最も多く 59%、次いで LIB が 34%であった。非常設の移動式拠点回収では調査した 4,121 本の電池のうち、二次電池は 1.9%であった。図 2(c)-(d)に示したとおり、電池の種類別内訳は常設資源回収拠点と同

様の傾向を示した。

排出先別の実態調査では、二次電池内蔵製品の71-75%は消費者が電池を取り外せない製品となっていた(図3)。そのため、電池単体だけでなく、小型家電としての回収等の電池内蔵製品を回収するルートの構築が電池の回収促進にとって重要と示唆された。また、取り外し可能な電池内蔵製品のうち77-85%の製品で二次電池が取り外しされていなかったことから、電池内蔵製品内の電池は排出時に取り除かなければならないことへの消費者認知を広めることが重要と考えられた。

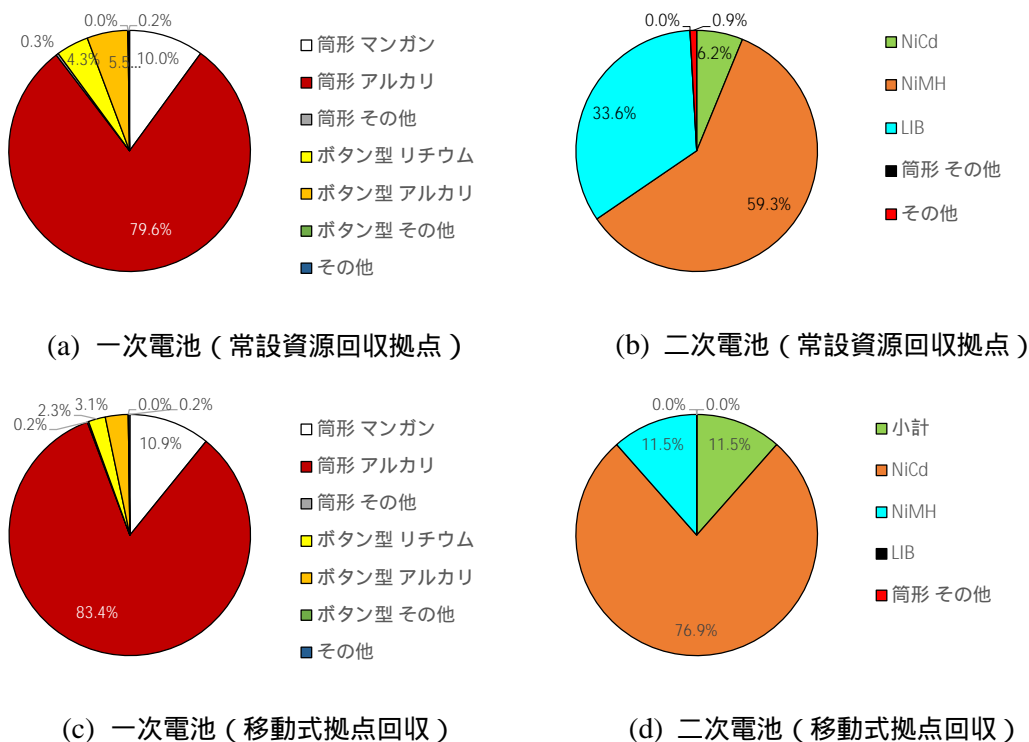


図2 京都市排出先別の家庭系一次電池および二次電池の種類内訳 (個数ベース)

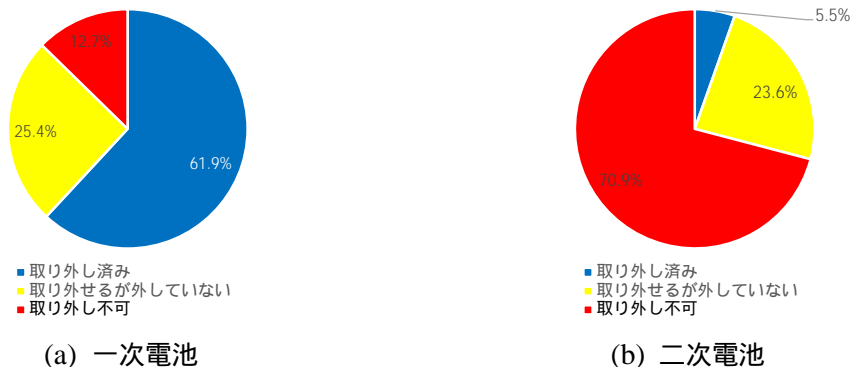


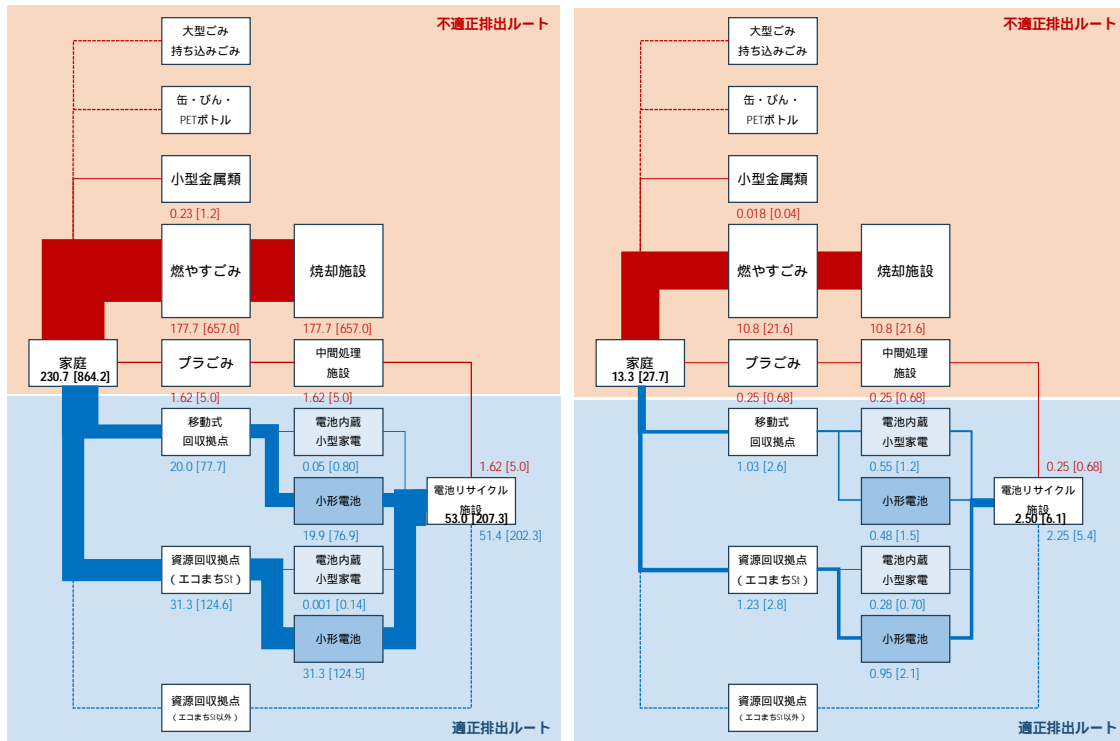
図3 小形電池内蔵製品の電池取り外し状況 (製品個数ベース、移動式回収拠点)

(3) 家庭系一次電池および二次電池の排出フロー推定

フロー推定結果は図4のとおり、一次電池は排出量230.7tのうち51.4t(22.2%)が、二次電池は13.3tのうち2.3t(17.3%)が正規の回収ルートで回収されていた。また、燃やすごみとして一次電池の77%、二次電池の81%が、プラごみとして一次電池の0.7%、二次電池の1.9%が排出されていた(重量ベース)。本研究を通じて、二次電池だけでなく一次電池も回収率が低い実態が明らかとなった。このことから、近年発火・火災事故の報告によって問題となっているLIBに代表される二次電池に留まらず、古くから利用されてきた一次電池においても回収ルートの構築と適正排出を促す仕組み作りの重要性が示唆される。なお、本研究では拠点回収のうち、エコまちステーションに持ち込まれる分しか推定できておらず、民間の資源回収拠点への排出量の把握が今後の課題である。

また、筒形一次電池のうち、単1~単4サイズの電池を筒形の二次電池に代替可能と仮定すると、京都市の家庭から排出される一次電池のうち677万個/年(一次電池の78.3%)が二次電池に代替可能と推定され、代替に必要な二次電池は30.8万個と推定された。ただし、本概算は電池の形状とサイズに基づいて代替可能と判断したものである。実際には、交換までの使用期間が十分長い電池の使用用途もあり、そうした場合は二次電池を使用しても繰り返し使用回数が著しく少なく、ライフサイクルの環境負荷が大きくなる懸念もあり、使用用途も考慮した代替可能性の検討が求められる。

一電池と比べて二次電池の方が電池内蔵製品としての排出が多い傾向が確認された。取り外しができるものは取り外しを周知することで、電池リサイクル施設での再資源化を容易にする工夫が必要である。また、取り外しが困難な電池内蔵製品についても回収できるルートを構築することで、燃やすごみへの混入を防ぎながら家庭内ストックの排出を促すことができると考えられる。



(a) 一次電池 (b) 二次電池

図4 京都市の家庭系小形電池フロー推定結果

※数字：重量[t/年]、括弧内の数字：個数[万個/年]、

電池内蔵製品は電池のみの重量・個数を示す、点線は調査対象外

<引用文献>

- [1] 電池工業会ウェブサイト、<http://www.baj.or.jp/statistics/index.html> (閲覧日：2020年10月5日)
- [2] 中央環境審議会 循環型社会部会 小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会（第20回）資料2 前回審議会におけるご指摘事項について、令和元年12月10日
- [3] 中央環境審議会 循環型社会部会 小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会（2020）小型家電リサイクル制度の施行状況の評価・検討に関する報告書
- [4] Liu W., et al.: Dynamic material flow analysis of critical metals for lithium-ion battery system in China from 2000–2018, *Resource, Conservation & Recycling*, 164:105122 (2021).
- [5] Patricio J. et al.: Primary and secondary battery consumption trends in Sweden 1996–2013: Method development and detailed accounting by battery type. *Waste Management*, 39:236-245 (2020).
- [6] Nigl T., et al.: Characterisation and material flow analysis of end-of-life portable batteries and lithium-based batteries in different waste streams in Austria, *Waste Management and Research*, 38(6):649-659
- [7] 矢野順也、奥村秀太郎、浅利美鈴、酒井伸一：家庭用小形電池の使用実態に関する研究、第27回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、p.9-10（2016）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Junya Yano
2. 発表標題 Material flow analysis of used portable batteries from household at Kyoto City
3. 学会等名 The 16th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Junya Yano, Taisei Kato, Yasuhiro Hirai, Katsuji Ohe
2. 発表標題 Field survey on the disposal status of used portable batteries from households
3. 学会等名 The 10th 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 矢野順也
2. 発表標題 家庭系一次電池ならびに二次電池の使用・廃棄実態
3. 学会等名 第44回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junya Yano
2. 発表標題 Consumption and disposal behaviors of primary and secondary batteries from households
3. 学会等名 2nd International Symposium on Electric Waste and End-of-Life Vehicles (ISEE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------