

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H00795

研究課題名(和文) 塩素循環システム創出に向けた塩ビ廃棄物からの塩素回収プロセスの開発

研究課題名(英文) Development of Chlorine Recovery Process from Waste PVC for the Creation of a Chlorine Recycling System

研究代表者

吉岡 敏明 (Yoshioka, Toshiaki)

東北大学・環境科学研究科・教授

研究者番号：30241532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：塩素はソーダ工業におけるか性ソーダ(NaOH)の副産物であるが、国内外で塩素需要がNaOH需要を上回る状況にあり、この要因は塩化ビニル(PVC)の莫大な需要増加にある。本研究では、PVCの廃棄段階において問題となる塩素を回収しソーダ工業の塩素需要に充てる「塩素循環」という新概念を打出し、それを実現する新規塩素回収プロセス開発を目的とした。本研究では塩素回収プロセスの原理構築を行うと同時に、国内塩素フローの詳細な可視化やエネルギー消費量・温室効果ガス排出量等環境影響の定量化を行った。技術開発プロセス開発と環境影響評価を相互に連携させることで、環境負荷低減を考慮した塩素回収条件を導くことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、脱塩素技術プロセスおよび塩素回収技術プロセスの開発を進めると同時並行で、環境負荷低減効果が最大となる塩素回収条件を確立するため、日本をケーススタディーとした本プロセスのマテリアルフロー解析(MFA)およびライフサイクルアセスメント(LCA)を実施した。プロセス設計および環境影響評価の両輪で連携しながら研究を進め、総合的な環境負荷低減効果との関係を理解し、効率的なプロセス開発を行い、我が国における「塩素循環」のポテンシャルを学術的に示した。

研究成果の概要(英文)：Chlorine is a by-product of caustic soda (NaOH) production in the soda industry. However, the demand of chlorine is greater than that of NaOH in Japan and overseas. This is a result of the enormous increase in demand for polyvinyl chloride (PVC). In this study, we propose the new concept of a chlorine cycle. Chlorine is problematic in the disposal of PVC. However, chlorine may be recovered from PVC and used to meet the chlorine demand of the soda industry. The aim of this study was to develop the process to complete the chlorine cycle. In this study, we developed the principle of the process of chlorine recovery from PVC. A detailed visualization of domestic chlorine material flow and the quantification of environmental impacts such as energy consumption and greenhouse gas emissions were also conducted. By linking technological development and environmental impact assessment, we were able to derive chlorine recovery conditions that consider the reduction of environmental impacts.

研究分野：環境工学

キーワード：塩素循環 ポリ塩化ビニル 脱塩素 MFA LCA

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

塩素「Cl」は、ソーダ工業（塩水の電気分解）におけるか性ソーダ（NaOH）の「副産物」であるが、国内では50年以上塩素需要がNaOH需要を上回り、2012年度は塩素需要の方が23%多い。この差をインバランスと呼び、世界各国も同じ状況にある。この要因は、塩化ビニル（PVC）の莫大な需要増加にある。今や世界のPVC生産量は3680万トン（2012年度実績）に達しており（塩ビ工業・環境協会統計）全樹脂中三番目の生産量を誇る。日本では、2012年時点で、塩素ガス需要の34%をPVCが占めている（日本ソーダ工業会統計）。よって、PVC需要に合わせてソーダ工業が操業され、過剰なNaOH生産が続いている。一方、塩素需要を押し上げるPVCの塩素は、加熱すれば腐食性の塩化水素（HCl）を、低温焼却されればダイオキシン類を生成する。よって、塩素を除去する前処理や排ガス中のHClの除去が必須となる。処理された塩素の大部分は中和排水・埋立処分され、有効利用されることはほとんどない。

2. 研究の目的

PVCの廃棄段階において問題となる塩素を回収し、ソーダ工業の塩素需要に充てる「塩素循環」という新概念を打出し、それを実現する新規塩素回収プロセスを開発する。

本応募研究課題では、社会実装を想定し、あらゆる塩ビ製品にも対応可能な塩素回収プロセスの開発および環境負荷低減効果を考慮した最適な塩素回収条件を確立する。

これまでの研究により、脱塩素プロセスと電気透析プロセスそれぞれの原理構築を行い、塩素循環が原理的に実現可能であることを明らかにしてきた。しかし、実際の塩ビ製品には多種多様な添加剤が含まれるため製品組成は多岐に渡り、廃棄の際には、さらに異樹脂や金属類が混在するため、その組成はより複雑になる。塩素回収プロセスに及ぼすこれら廃棄物性状の影響は未だ解明されていない。複雑な組成を有する廃棄物であるからこそ、その影響をメカニズムから解明し、プロセス影響と不純物の種類・量の間関係性を理解する必要がある。

さらに、環境負荷低減効果が最大となる塩素回収条件を確立するため、本プロセスの開発段階から、日本をケーススタディーとした本プロセスのマテリアルフロー解析（MFA）およびライフサイクルアセスメント（LCA）を同時並行で実施する。その評価結果をプロセス開発にフィードバックする。プロセス設計および環境影響評価の両輪で連携しながら研究を進め、総合的な環境負荷低減効果との関係を理解し、効率的なプロセス開発を行い、我が国における「塩素循環」のポテンシャルを学術的に示す。

3. 研究の方法

本研究は、：塩素回収プロセス開発および：環境影響評価、の両輪で進める。2017年度は、塩素回収に及ぼす塩ビ廃棄物性状の影響（添加剤溶出・分解挙動の解明、混在する異樹脂や金属類の化学的相互作用等）をメカニズムから解明し、その影響を定量的に整理する。同時に、統計データ収集およびヒアリングにより国内塩素フローを解明し、「塩素循環」システムの環境影響評価基盤を整える。2018年度以降は、実廃棄物からの塩素回収試験を実施し、「塩素循環」システムの青写真に、その実測データを反映させ、MFAおよびLCAにより、環境影響を定量化する。評価結果をプロセス開発にフィードバックすることで、環境負荷低減を考慮した最適な塩素回収条件を確立する。これらの検討を通じて我が国における「塩素循環」のポテンシャルを明確に示す。

4. 研究成果

2017年度は、塩素のMFAによる国内塩素フローの解明を行った。塩素に関連する素材・製品の輸出入、生産、加工、使用、塩ビ廃棄物リサイクルの各段階における原単位データを種々統計から抽出し、統計データから得られない情報（例えば塩ビ廃棄物中の軟質製品と硬質製品の割合等）の推計も行った。これらの研究により、国内塩素フローを詳細に可視化することに成功した。

2018年度は塩素回収に及ぼす塩ビ廃棄物性状の影響（添加剤溶出・分解挙動の解明等）に関する知見およびMFA、LCAに供する実測データを蓄積し、本プロセスのボトルネックとなるホットスポット導出のための解析に着手した。また、脱塩素の効率性向上について理論的考察を行うため、炉内に挿入したステンレスボールが塩ビ廃棄物に対してボールミル効果を発揮する際のインパクトエネルギーに関する理論モデル構築を行った。エネルギー消費量や温室効果ガス排出量の算出等も行い、ラボスケールから規模を拡大した場合のシミュレーションも開始した。

2019年度は電気透析による塩（NaCl）回収およびエチレングリコール（EG）再生技術開発に力点を置いた。またMFA・LCAに供するための種々の実測データの取得を試みた。さらに、LCAにより導き出されたデータをプロセス開発にフィードバックする手法の最適化の探索を行った。さらに、関係企業へ基礎情報として提供することができた。

2020年度については、年度途中から本基盤研究Aを発展させて臭素を加え、また国際循環という視点からハロゲン制御として基盤研究Sに移行した。

以上より、CIとPVCに関する現在の状況を調査し、脱塩素（de-Cl）処理プロセスの開発ベンチマークを行った。

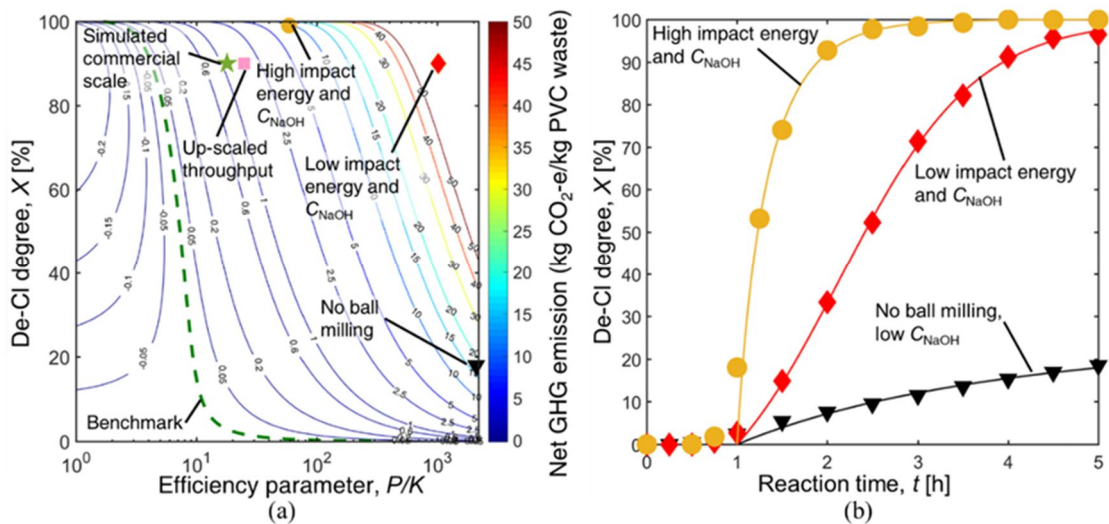


Fig. 1 (a) Net GHG emissions as a function of X and P/K along with the benchmark and specific values of variables ¹; (b) De-Cl degree vs. reaction time under various conditions ².

まず、2012年に日本のPVC産業におけるCIのライフサイクルマテリアルフローを調査し、293ktのCI循環のポテンシャルを明らかにした。開発したde-Clプロセスに焦点を当て、ライフサイクルエネルギー消費量および温室効果ガス(GHG)排出量は、現在のプラスチック廃棄物処理に関する報告に基づいた帰属的LCAによってモデル化した。2012年現在のPVCのde-Clの正味エネ

ルギー消費量と GHG 排出量は、それぞれ-14.2 MJ/kgPVC と 0.0039 kg CO₂-e/kgPVC となった。例えば、de-CI プロセスのエネルギー消費と GHG 放出は、2 つの変数、de-CI 度 (X) と P / K (電力/見かけの速度定数) に基づいてモデル化することに成功した。Fig. 1(a)に、GHG 排出量の等高線を X および P/K の関数として示す。破線はベンチマークの値を表し、等高線は変数の組み合わせが GHG 排出量の特定の値になることを意味している。実際の実験結果 (Fi.1(b)) とシミュレーションからの変数の特定の値を Fig.1(a)にプロットすることで、演繹的にプロセス開発のガイドラインを特定することが可能となり、その後続く塩素回収プロセスへの展開が可能となった。

1. Lu J, et al., 2019. Resour Conserv Recycl 151, 104500.
2. Lu J, et al., 2019. Waste Manag 99, 31-41.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Xu Jing, Kumagai Shogo, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Yoshioka Toshiaki | 4. 巻 93 |
| 2. 論文標題 Separation mechanism of polyvinyl chloride and copper components from swollen electric cables by mechanical agitation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Waste Management | 6. 最初と最後の頁 54 ~ 62 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wasman.2019.05.024 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Borjigin Siqingaowa, Kumagai Shogo, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Yoshioka Toshiaki | 4. 巻 99 |
| 2. 論文標題 Practical dechlorination of polyvinyl chloride wastes in NaOH/ethylene glycol using an up-scale ball mill reactor and validation by discrete element method simulations | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Waste Management | 6. 最初と最後の頁 31 ~ 41 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wasman.2019.08.034 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Kumagai Shogo, Ohno Hajime, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Yoshioka Toshiaki, Fukushima Yasuhiro | 4. 巻 151 |
| 2. 論文標題 Deducing targets of emerging technologies based on ex ante life cycle thinking: Case study on a chlorine recovery process for polyvinyl chloride wastes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling | 6. 最初と最後の頁 104500 ~ 104500 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2019.104500 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Jing Xu, Shogo Kumagai, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Kenshi Takahashi, Hiroshi Hayashi, Toshiaki Yoshioka | 4. 巻 89 |
| 2. 論文標題 Separation of copper and polyvinyl chloride from thin waste electric cables: A combined PVC-swelling and centrifugal approach | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Waste Management | 6. 最初と最後の頁 27-36 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wasman.2019.03.049 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Jing Xu, Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Kenshi Takahashi, Hiroshi Hayashi, Toshiaki Yoshioka | 4. 巻 82 |
| 2. 論文標題 Validation of a deplasticizer - ball milling method for separating Cu and PVC from thin electric cables: A simulation and experimental approach | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Waste Management | 6. 最初と最後の頁 220-230 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wasman.2018.10.032 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Shogo Kumagai, Jiaqi Lu, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka | 4. 巻 133 |
| 2. 論文標題 Diagnosing chlorine industrial metabolism by evaluating the potential of chlorine recovery from polyvinyl chloride waste-A case study in Japan | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling | 6. 最初と最後の頁 354-361 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2017.07.007 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 齋藤優子、熊谷将吾、亀田知人、吉岡敏明 | 4. 巻 11月号 |
| 2. 論文標題 プラスチックリサイクルの現状と展望 <化学資源化の観点から> | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 プラスチック | 6. 最初と最後の頁 32-38 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 齋藤優子、熊谷将吾、吉岡敏明 | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 プラスチックリサイクルの研究開発動向と課題：フィードストックリサイクルを中心として | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 化学工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 178-184 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.43.178 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Borjigin Siqingaowa, Kumagai Shogo, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Fukushima Yasuhiro, Yoshioka Toshiaki | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Practical dehalogenation of automobile shredder residue in NaOH/ethylene glycol with an up-scale ball mill reactor | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Material Cycles and Waste Management | 6. 最初と最後の頁 1620 ~ 1629 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10163-020-01052-z | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Kumagai Shogo, Fukushima Yasuhiro, Ohno Hajime, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Yoshioka Toshiaki | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Combined Experiment, Simulation, and Ex-ante LCA Approach for Sustainable Cl Recovery from NaCl/Ethylene Glycol by Electrodialysis | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research | 6. 最初と最後の頁 20112 ~ 20122 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.0c03565 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Lu Jiaqi, Borjigin Siqingaowa, Kumagai Shogo, Kameda Tomohito, Saito Yuko, Yoshioka Toshiaki | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Machine learning-based discrete element reaction model for predicting the dechlorination of poly (vinyl chloride) in NaOH/ethylene glycol solvent with ball milling | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal Advances | 6. 最初と最後の頁 100025 ~ 100025 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2020.100025 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 12件 / うち国際学会 12件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉岡敏明、陸嘉喜、博吉汗斯琴高娃、熊谷将吾、亀田知人、齋藤優子 |
| 2. 発表標題 湿式プロセスによる自動車シュレッダーダスト (ASR) の脱ハロゲン化技術 |
| 3. 学会等名 自動車技術会2019年春季大会学術講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉岡敏明 |
| 2. 発表標題 静脈産業と動脈産業の協働によるプラスチックリサイクル |
| 3. 学会等名 第30回廃棄物資源循環学会研究発表会国際セッション（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉岡敏明 |
| 2. 発表標題 Halogen Cycle through Recycling of Waste Materials |
| 3. 学会等名 2019年度化学系学協会東北大会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 吉岡敏明 |
| 2. 発表標題 廃棄物の資源価値を高める化学プロセス |
| 3. 学会等名 地球環境技術推進懇談会 研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Integration of arterial and venous industries & promotion of chemical (feedstock) recycling |
| 3. 学会等名 Chemical Sciences and Society Summit（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Sustainability strategy for developing advanced recycling technologies - case study on a CI circulation system by CI recovery from PVC wastes |
| 3. 学会等名 2018 Spring Scientific Conference by Korea Society of Waste Management (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jing Xu, Shogo Kumagai, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Separation of copper and polyvinyl chloride from waste electric cables by swelling PVC coverings with stirring in organic solvents |
| 3. 学会等名 2018 Spring Scientific Conference by Korea Society of Waste Management (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉岡 敏明 |
| 2. 発表標題 有機系廃棄物リサイクルの可能性と価値 |
| 3. 学会等名 日本液体清澄化技術工業会 第22期環境・エネルギー委員会見学講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 徐静、熊谷将吾、亀田知人、齋藤優子、高橋憲史、林浩志、吉岡敏明 |
| 2. 発表標題 Simultaneous recovery of copper, PVC, and plasticizers from thin electric cables by combination of PVC swelling and centrifugal separation |
| 3. 学会等名 第7回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム、第21回プラスチックリサイクル化学研究会討論会 合同発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 陸嘉麒、熊谷将吾、福島康裕、大野肇、亀田知人、齋藤優子、吉岡敏明 |
| 2. 発表標題 The perspective on a CI circulation system with advanced PVC wastes recycling |
| 3. 学会等名 第7回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム、第21回プラスチックリサイクル化学研究会討論会 合同発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Xu Jing, Kumagai Shogo, Kameda, Saito Yuko, Takahashi Kenshi, Hayashi Hiroshi, Yoshioka Toshiaki |
| 2. 発表標題 Separation of copper and PVC from thin electric cables by PVC swelling with centrifugal force |
| 3. 学会等名 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会(国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Toshiaki Yoshioka, Yasuhiro Fukushima |
| 2. 発表標題 Deducing the sustainability criteria of advanced PVC wastes recycling technology for CI circulation system at its early stage of development |
| 3. 学会等名 The 13th Biennial International Conference on EcoBalance 2018(国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hajime Ohno, Yosuke Shigetomi, Yasuhiro Fukushima |
| 2. 発表標題 Evaluation of Carbon Intensity of Goods Consumed by Households by Integrating Footprint and Flow of Carbon: the Case of Japan |
| 3. 学会等名 The 13th Biennial International Conference on EcoBalance 2018(国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Ex-ante assessment of a new process-case study on chlorine recovery from PVC wastes in Japan |
| 3. 学会等名 International Symposium on Chemical-Environmental-Biomedical Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Evaluation of an emerging technology by material flow analysis-case study on a potential Cl circulation system with PVC wastes recycling |
| 3. 学会等名 4th international Conference on Final Sinks (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Jiaqi Lu, Shogo Kumagai, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Tomohito Kameda, Yuko Saito, Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Identify energy consumption and CO2 emission benchmark for the assessment of chlorine recovery from PVC wastes |
| 3. 学会等名 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Waste Material Recycling: Aiming the Future |
| 3. 学会等名 The Asian Conference on Safety & Education in Laboratory (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉岡 敏明 |
| 2. 発表標題 環境価値としてのリサイクル |
| 3. 学会等名 賢材研究会 2017年度 第2回学術技術交流会（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉岡 敏明 |
| 2. 発表標題 持続可能な社会に向けて-新たな価値創造と資源循環のあり方- |
| 3. 学会等名 第12回容器包装3R推進フォーラム（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 吉岡 敏明 |
| 2. 発表標題 資源循環を通して見えてくる新しい環境価値 |
| 3. 学会等名 第46回産業技術フォーラム（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 吉岡 敏明 |
| 2. 発表標題 化学プロセスが有するリサイクル価値の概念 |
| 3. 学会等名 セラミックス協会2018年年会（招待講演） |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Toshiaki Yoshioka |
| 2. 発表標題 Waste Recycling Technology to Reduce the Chemical Risk |
| 3. 学会等名 The13th International Conference on Waste Management and Technology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|-------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 熊谷将吾, 吉岡敏明 | 4. 発行年 2017年 |
| 2. 出版社 産業技術サービスセンター | 5. 総ページ数 750 |
| 3. 書名 最新 材料の再資源化技術事典 | |

〔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 |
|-------|---|--------------------------------|----|
| 研究分担者 | 福島 康裕 (Fukushima Yasuhiro) (40345096) | 東北大学・工学研究科・准教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 亀田 知人 (Kameda Tomohito) (60333895) | 東北大学・工学研究科・准教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 熊谷 将吾 (Kumagai Shogo) (40757598) | 東北大学・環境科学研究科・助教 (11301) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|---|--------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 大野 肇 (Ohno hajime) (20769749) | 東北大学・工学研究科・助教 (11301) | |

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 |
|---------|---------|
| | |