

次世代型超省エネルギーリサイクル技術開発

研究代表者 大和田 秀二
(創造理工学部 環境資源工学科 教授)

1. 1 研究課題

適正な資源循環プロセスの構築において、有価物回収と有害物除去を達成する分離技術の重要性は言うまでもないが、その中でも、各種成分を、分子原子レベルで分離する化学的分離法（高エネルギー消費的だが分離精度が高い）と固体レベルで分離する物理的分離法（分離精度が低いが省エネルギー的である）を適切に組み合わせて、高精度かつ省エネルギー的・経済合理性の高いプロセスを確立することが重要である。両分離技術は互いに相互補完的な要素を持つが、後者の技術開発は発展途上の段階にあり、今後、持続的な資源循環型社会を構築するには、それを強化することが必要である。本研究では、この目的を達成するために、物理的分離法の核となる粉碎・選別の両技術について、最新の技術を利用してその高度化を図る。

2. 主な研究成果

2.1 電気パルス粉碎における異相境界面優先破壊機構解明（環境省・熊本大学共同）

各種複合物質の単体分離に有効な電気パルス粉碎の機構は、昨年度の研究で、異相境界面でのマイクロ爆発のほかに水のブレイクダウンにより発生する衝撃波の影響の大きいことを明らかにしたが、本年度は、銅・樹脂二成分系人工試料について電気パルス粉碎実験を行い、良導体・不良導体の場合の両者の影響を定量的に明らかにした。すなわち、今後、各種二成分の組合せについて検討することにより、電気的特性の異なる二相の異相境界面破壊機構が系統的に解明されることが期待され、本研究ではその実験・解析手法を構築することができた。

2.2 PV パネル中のガラスの高度リサイクルプロセス開発（環境省・ハリタ金属・ガラス再資源化協議会・熊本大学共同）

日本では、廃 PV パネル中のガラス成分を高純度ガラスとして回収する各種の方法が開発中であるが、いずれも今後の大量処理には不向きと言わざるを得ない。本研究では、大量処理ができかつ高純度ガラス製造が可能な方法として、中間処理プラントにてシュレツダ処理されたガラス濃縮物の高純度化プロセス（選択粉碎および物理選別の組合せ）を提案した。選択粉碎としてはインテンシブミキサ法と電気パルス粉碎法を、物理選別としては湿式テーブル法を採用し、同プロセスから得られた高純度ガラス産物のセラミックスタイル原料としての特性を評価した。

2.3 E-scrap 焼却灰の粉碎・選別技術開発—電気パルス粉碎・力学的粉碎と各種物選別技術の適用—（経産省 JOGMEC・DOWA エコシステム・産総研共同）

廃電子機器中の基板に存在する各種有価重金属の濃縮と製錬忌避成分の除去を目的として、焙焼・粉碎・物理選別を組み合わせた前処理プロセスを確立するのが本研究の目的である。焙焼の役割は、製錬忌避成分である樹脂中の難燃（助）剤の低減および基板中の脆化であり、粉碎の役割は、

樹脂成分の選択粉砕および製錬忌避成分である Al を含有する基板中のグラスファイバーの他成分からの単体分離、そして、物理選別の役割は、有価金属成分の濃縮である。本年度は、上記 3 工程それぞれにおいて各種条件設定を試み、その結果に対する条件変化の影響を明らかにした。

2.4 物理選別（含・電気パルス粉砕）による焼却灰からの貴金属濃縮プロセス開発（太平洋セメント共同）

一般廃棄物の焼却主灰中に含まれる各種の金属成分（Fe・Cu・Zn のほか Au、Ag 等の貴金属）を濃縮する実証プラントが建設され、本年度より実証試験が行われている。本研究では、同プラントの各種成分の粒度別選別挙動を明らかにする目的で、同プラントより生産される各種産物の k 額組成・相構造・単体分離性等を分析することにより、同プラントの単位操作であるふるい分け→エアテーブル→高磁場磁選の特に Fe・Cu・Zn・Au・Ag の分離特性を明らかにした。その結果、同プラントでは、貴金属類が高濃度・高回収率で高磁場磁選の非磁着物に濃縮されることが判明した。

2.5 MW-SIBS ソータ開発（イマジニアリング・ハリタ金属共同）

世界初のマイクロ波アシスト・スパーク放電誘起ブレイクダウン分光法（MW-SIBS と命名）によるソーティング技術を開発することを目的として、その基礎研究を行っている。本年度は、マイクロ波照射装置を改善するとともに、アルミ合金中の Mg, Mn, Si, Cu の 4 元素について、含有率と各ピーク強度に関する検量線を作成した結果、いずれの元素においても比較的高い相関が得られ、本手法がアルミ合金中の合金元素の定量分析に適用可能であることが示唆された。

2.6 浮選による重油燃焼灰からの V の回収（昭和電工共同）

火力発電で排出される重油燃焼灰中の V（バナジウム）を回収する目的で、様々な条件において高濃度アルカリ加熱・混錬処理→低濃度アルカリ浸出を行い、その各工程での最適条件を見出した。また、高濃度アルカリ加熱・混錬処理により、同燃焼灰中の未燃カーボンは次第に親水化することを突き止め、その後の低濃度アルカリ浸出では、その影響により未燃カーボンの細孔中に存在する V 微粒子をも回収できることが分かった。また、高い V 浸出率を得るためには、未燃カーボンの接触角を 45° 以下にする必要のあることが判明した。

3. 共同研究者

所 千晴（創造理工学部・環境資源工学科・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

大和田秀二，杉澤建： 一般廃棄物焼却主灰中の金属元素の存在状態と物理選別による濃縮，廃棄物資源循環学会誌，vol. 9, no. 5, pp.366-373, 2018

大和田秀二： 電子機器等から金属類の回収と処理，化学と教育，vol. 66, no. 10, 2018

大和田秀二・杉澤建： 一般廃棄物焼却主灰中の金属元素の存在状態と物理選別による濃縮，廃棄物学会誌「特集：熱処理残渣の資源化と課題」，vol. 29, no. 5, pp. 366-373, 9 月, 2018

4.2 総説・著書

（なし）

4.3 招待講演

大和田秀二： リチウムイオン電池リサイクル技術の現状と今後の展望証券セミナー，アーバンネット大手町ビル，pp.1-18, 0328, 2019

大和田秀二： 最近の破碎・選別技術動向，JX 金属特別講演，pp.1-40, 0325, 2019

大和田秀二： チャイナショックを乗り越えていくために今何をすべきか，3R リサイクル研究会セミナー，パネルディスカッション・コーディネータ，機械振興会館，0320, 2019

大和田秀二： 資源分離技術の新たな展開，第 1 回資源リサイクル EXPO，東京ビッグサイト，pp.1-27, 0228, 2019

大和田秀二，所千晴： 物理選別による廃電子基板中の製錬忌避元素低減のための焙焼・粉碎・選別条件の検討，環境資源工学会シンポジウム「リサイクル設計と分離精製技術」，第 37 回： リサイクル製錬原料の高品質化技術の開発，新橋住友ビル，pp.1-13, 0227, 2019

大和田秀二： 都市ごみ焼却主灰からの金属濃縮技術，技術情報センターセミナー「灰【石炭灰，バイオマス灰，焼却灰(ゴミ・汚泥)】の有効利用への取組みと技術/研究開発動向」，pp.1-7, 0221, 2019

大和田秀二： プラスチック類の物理選別技術，MVC ミーティング No.5，「プラスチックをどうするか」，pp.1-36, 0130, 2019

大和田秀二： PV・液晶パネル等積層型難処理パネルの合理的リサイクル技術の開発，平成 30 年度循環型社会形成推進研究発表会・シンポジウム，pp.31-37, 1226, 2018

大和田秀二： 環境調和型資源循環プロセスと破碎・選別技術，第 18 期フォーラム環境塾，pp. 1-44, 1205, 2018

大和田秀二： 廃プラスチック・廃電子機器の固体選別技術の進歩，平成 30 年度 第 1 回ふくしま環境・リサイクル関連産業研究会，コラッセふくしま，1122, 2018

大和田秀二： 早大環境資源工学分野の紹介，南部・東アフリカ資源学合同国際シンポジウム内～パネルディスカッション～「資源人材育成に向けた大学の役割」，JICA Global Plaza, Tokyo, pp.1-6, 1121, 2018

S. Owada: Next Generation Metal Recycling Process, Inter. Symp. on Resource Sciences and Engineering, JICA Global Plaza, Tokyo, pp.1-19, 1121, 2018

大和田秀二： 次世代型物理選別プロセスー選鉱・分離技術のリサイクル応用，2ー，国際資源開発研修センター・国際資源大学校平成 30 年度製錬・リサイクル研修 リサイクル（含む廃掃法）コース，pp. 1-48, 1107, 2018

大和田秀二： 環境調和型資源循環概論ー選鉱・分離技術のリサイクル応用，1ー，国際資源開発研修センター・国際資源大学校平成 30 年度製錬・リサイクル研修 リサイクル（含む廃掃法）コース，pp. 1-12, 1107, 2018

大和田秀二： 次世代型物理選別プロセス，「早稲田・松代塾」ー環境と資源：持続可能な社会を創るために Part 2ー，pp. 1-17, 1104, 2018

大和田秀二： 環境・資源問題の現状と将来像，「早稲田・松代塾」ー環境と資源：持続可能な社会を創るために Part 1ー，pp. 1-8, 1104, 2018

大和田秀二，所千晴： 焙焼基板の性状分析および粉碎結果について，物理選別による廃電子基板からの製錬忌避元素の低減技術の開発ー推進委員会ー，JOGMEC，pp. 1-21, 1025, 2018

大和田秀二： SBSC (Sensor Based Sorting & Control) 2018 におけるソーティング技術最新動向，

平成 30 年度産業機械工業会環境ビジネス委員会第 3 回 3 R リサイクル研究会，機械振興会館，pp. 1-16, 1004, 2018

大和田秀二： 「東京 2020」メダルを都市鉱山から造ろうー小型家電リサイクルの現状ー，早稲田大学オープンキャンパス講演，0804-05, 2018

大和田秀二，松本祐一郎，尾見苑子，張田真，加藤聡： 電気パルス粉砕を用いた太陽光パネルからの高純度ガラス製造，資源・素材学会関東支部「第 15 回「資源・素材・環境」技術と研究の交流会」，ポスター発表，0803, 2018

大和田秀二： 資源循環のための次世代型分離技術プロセスー金属回収を中心としてー，第 16 回レアメタル資源再生技術研究会，名古屋市工研，0720, 2018

大和田秀二： SBSC (Sensor Based Sorting & Control) 2018 におけるソーティング技術最新動向，資源・素材学会資源リサイクリング部門委員会講演会，早大，pp. 1-16, 0720, 2018

大和田秀二： P V・液晶等積層型難処理パネルの合理的リサイクル技術の開発ー電気パルス粉砕ー，環境研究総合推進費アドバイザーボード会合，早大，pp. 1-18, 0713, 2018

S. Owada: Next Generation Separation Technology in the Field of Resources Recycling, 6th Int. Conf. Characterization & Control of Interfaces for High Quality advanced Materials, and 54th Summer Symp. Powd. Tech., July 11, 2018

大和田秀二： リチウムイオン電池のリサイクル技術，技術情報センターセミナー「リチウムイオン電池などのリサイクル技術とリチウム資源回収プラントの実用化」，お茶の水，0626, 2018

大和田秀二・所千晴： 製品ライフサイクル管理とそれを支える革新的解体技術開発による統合循環生産システムの構築：電気パルス解体への期待，プラスチックリサイクル化学研究会，東工大，0613, 2018

大和田秀二： メインフォーラム「業界の今後を徹底討論」まとめ，pp. 1-6, 0608, 2018

4.4 受賞・表彰

（資源・素材学会、環境資源工学会にて、優秀ポスター賞を受賞）

4.5 学会および社会的活動

経産省「産業構造審議会」臨時委員

経産省「産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会」委員

経産省「産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会小型家電リサイクル WG」委員

経産省リサイクル推進課「平成 26 年度エネルギー使用合理化技術開発費補助金（資源循環実証事業）審査委員会」委員

経産省リサイクル推進課「平成 26 年度エネルギー使用合理化技術開発費補助金（省エネ型リサイクルプロセス実証支援事業）審査委員会」委員

経産省 NEDO 技術委員

経産省 JOGMEC「湿式製錬技術開発委員会」委員長

経産省 JOGMEC「深海底鉱物資源探査等検討委員会」委員

環境省「平成 26 年度低炭素型 3R 技術・システム実証事業評価検討会」委員

環境省「平成 28 年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（省 CO2 型リサイクル高度化設備導入促進事業）審査委員会」委員

自動車リサイクル高度化財団 理事

自動車リサイクル高度化財団「選考委員会」委員長

産業環境管理協会「資源循環技術・システム表彰審査委員会」委員

日本産業機械工業会「優秀環境装置表彰事業審査委員会」委員

環境資源工学会 理事

東京大学 客員教授

東北大学 客員教授

秋田大学 客員教授、等

5. 研究活動の課題と展望

本研究では、既述のように、物理的分離の核をなす粉砕・選別両技術の改善により、資源循環プロセスの更なる高度化と省エネルギー化を目指している。我々はこのような技術を”Intelligent Comminution”、”Intelligent Separation”と呼んでおり、今後、様々なプロセスにこうした技術改善を施したいと考えている。