

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. 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砕・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 電気パルス粉砕における異相境界面優先破壊機構解明（環境省・パナソニック・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砕の機構解明のために、各種二成分系人工試料の電気パルス粉砕実験を行い、この現象が、従来より言われてきた異相境界面での電子雪崩による瞬時の昇華（マイクロ爆発）以外に、周囲に存在する水のブレイクダウンで発生する衝撃波の影響も大きいことを発見した。また、各種の実験条件化において、この両素現象で消費されるエネルギー分配を明らかにした。

この粉砕現象は、今後、各種の固体廃棄物の単体分離に適用可能であり、従来の力学的粉砕に代わる省エネルギー的な単体分離法として発展することが期待される。

2.2 太陽光発電パネルおよび各種廃積層型薄膜パネルのリサイクルー電気パルス粉砕による高純度ガラス回収ー（環境省・ガラス再資源化協議会・ハリタ金属・所研共同）

使用済み太陽光発電モジュールからの金属類の回収はほぼ目途が立っているが、この重量の7～8割を占めるガラスの再資源化は喫緊の課題である。本テーマでの提案は、従来不可能であった大量処理が可能な高純度ガラスプロセスの開発である。プロセスの概要は、大型シュレッダー処理→磁選・渦電流選別→攪拌型粉砕 or 電気パルス粉砕→湿式テーブル選別、であり、本年度は、特に、太陽光発電パネルの高純度ガラス製造に不可欠な攪拌型粉砕および電気パルス粉砕の最適条件を見出し、そのセラミックタイル原料としての評価を行った。

2.3 廃光ファイバーの電気パルス粉砕挙動（エコ計画共同）

使用済み光ファイバーに電気パルス粉砕を適用し、その各種構造物の単体分離について検討した。その結果、適切な条件下では、光ファイバーを構成する鉄芯・ファイバー・シース・スロット等がほぼ非破壊で単体分離すること、および、光ファイバーを事前に脱気することが試料の水中での滞留に有効であり単体分離性の向上につながる事等が判明し、こうした各種素材のリユース・リサイクルの可能性が示された。また、電気パルス粉砕中に単体分離した鉄心は水中で唯一沈降するので、粉砕と同時に選別も可能であることが分かった。

2.4 E-scrap 焼却灰の粉砕・選別技術開発—電気パルス粉砕・力学的粉砕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は各種の有価重金属が含有されており、現状でその多くは銅・鉛・亜鉛製錬にて回収されているが、廃基板中には有価金属以外に上記製錬での禁忌成分も多く含まれている。ここでは、廃基板を焙焼したのちに有価金属を適切に粉砕・選別して有価成分を濃縮と禁忌成分の除去の両者を同時に達成するプロセスを開発する。本年度は、この目的を達成するための適切な焙焼条件を決定するとともに、その電気パルス粉砕産物中の各種成分の粒度分配の差を利用して、各種成分の分離粒度を明らかにした。

2.5 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・JFE エンジニアリング・スズトク・エコネコル・東京大学共同）

一般廃棄物の焼却主灰には各種の重金属が濃縮しており、特に経済的には貴金属類の回収が期待される。ここでは、同焼却主灰中の各種成分の粒度別分配を明らかにし、その後の粒度別選別（エアテーブル・磁選・渦電流選別等）プロセスを提案した。また、選別前に同焼却主灰に電気パルス粉砕を適用すると、各種金属類の単体分離性が向上することも明らかにした。本テーマは過去 3 年間にわたり基礎研究を行っており、本年度は、太平洋セメント大船渡工場敷地内に同プロセスの字操業プラントの設計が完了し、その建設が始まった。

2.6 LIBS 分析のソータ（アルミ合金相互分離）への適用に関する基礎研究（経産省 NEDO・ハリタ金属・アルミ協会等共同）

2015 年に当研究室が中心となって開発した LIBS（レーザー誘起ブレークダウン分光法）ソータを利用して使用済みのアルミ合金の相互分離について検討した。不規則形状のアルミ合金試料表面の傾斜角度・表面粗度等の形状特性の識別制度への影響を明らかにするとともに、1000～8000 系の各種合金類を相互分離するアルゴリズムを開発し、実廃棄物の LIBS ソーティングを実施して、それらの多くが 99 wt%以上の高純度で分離可能であることが判明した。この成果の一部は、現在、東京メトロおよび新幹線の車両を構成する各種アルミ合金の相互分離への適用が検討されている。

2.7 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ークダウン分光法（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た。まずは、SIBS 自体の有効性を検証すべく、各種アルミ合金を対象にその定量性の確認を行った。また、マイクロ波照射による定量性の向上について確認するとともに、合金表面の表面粗度・スパーク後の表面変化による各種合金成分検知制度への影響を明らかにした。

2.8 浮選による重油燃焼灰からのVの回収（昭和電工共同）

火力発電における重油燃焼灰中にはV（バナジウム）が含有されており、これを回収することは、貴重な資源の有効利用になるとともに、Vが除去された未燃カーボン成分は再度燃料として利用することが可能となる。ここでは、Vをアルカリ処理にて回収したのちに、未燃カーボンを浮選によって回収するプロセスを検討した。その過程において、高温・高濃度でのアルカリ処理がカーボン表面を親水化することを発見し、カーボン表面の接触角がアルカリ処理でのV回収率を制御することを示した。

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

S. Owada, R. Suzuki, Y. Kamata, T. Nakamura: Novel Pretreatment Process of Critical Metals Bearing E-Scrap By Using Electric Pulse Disintegration, J. Sustainable Metallurgy, pp. 1-6, Mar. 17, 2018

堀内健吾, 松岡光昭, 所千晴, 大和田秀二, 薄井正治郎： 磁選による使用済みリチウムイオン電池からのコバルト回収に適した加熱条件の検討, 化学工学論文集, 特集「未来を担う環境化学工学」, vol.43, no.4, pp.213-218, 7月, 2017

S. Owada: Technical and Process Innovation in Resources Recycling by Applying Intelligent Comminution and Physical Separation, Erzmetall, vol.70, no.3, pp.148-153, June 2017

4.2 総説・著書

（なし）

4.3 招待講演

S.Owada: Novel Resources Recycling Process by Applying Intelligent Comminution and Separation Technology, The 10th AUN/SEED-NET Regional Conference on Geological and Geo-Resource Engineering, Plenary Lecture, Phnom Penh, Cambodia, p.7, Aug. 3, 2017

S.Owada: Technical and Process Innovation in Resources Recycling by Applying Intelligent Comminution and Physical Separation, European Metallurgical Conference (EMC) 2017, Plenary Lecture, pp.1-9, Leipzig, Germany, June 27, 2017

S.Owada: Intelligent Comminution and Separation Technology in Resources Recycling, Invited Speech, 齊合天地, 香港, pp.1-49, June 22, 2017

大和田秀二： SBSC2018報告, 日本アルミニウム協会、アルミ車輛の水平リサイクルに関する推進委員会, 日本アルミニウム協会, pp.1-2, 2018

大和田秀二： 都市鉱山メダルのプロジェクト経緯・製造プロセス・小型家電リサイクルの現状, 日本環境教育機構・環境セミナー「2020に向けた小型家電リサイクルの現状」, 東京ウィメンズプラザ, pp.1-14, 0116, 2018

大和田秀二： 次世代型資源分離プロセスの展望, 特別講演, エヌ・イー ケムキャット（沼

津), 0112, 2018

大和田秀二: 都市ごみ焼却主灰からの金属濃縮技術, 都市ごみ焼却残渣の資源化最前線～金属回収、土木資材化による最適な資源循環～, 廃棄物資源循環学会, 資源・素材学会 包括的資源利用システム部門委員会共催セミナー, pp.1-19, 1225, 2017

大和田秀二: 資源循環における次世代型分離技術, グローバル産学連携シンポジウム, 北京聯合大学健康と環境学院, pp.1-19, 1208, 2017

大和田秀二: 都市ごみ焼却灰からの金属濃縮技術, 都市ごみ焼却残渣の資源化最前線—金属回収, 土木市税化による最適な差資源循環—, 廃棄物資源循環学会, 北とびあ, pp.95-136, 1225, 2017

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 17 期フォーラム環境塾, pp.1-44, 1206, 2017

大和田秀二・所千晴: 各種焙焼産物の電気パルス粉碎結果, 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事業, JOGMEC, pp.1-20, 1205, 2017

大和田秀二: 資源循環分野から見た接合・分離技術の重要性, 大阪大学接合科学研究所, 東京セミナー「微粒子を利用した界面性都合制御・スマートプロセスの開拓」, 大阪大学・工学研究科東京ブランチ, pp.15-24, 1127, 2017

大和田秀二: 浮選および凝集・分散理論: ツネイシカムテック社への講義, 早大理工, pp.1-12, 1-10, 1114, 2017

大和田秀二: 非鉄金属および家電のリサイクルに関する最新の技術動向について, 三井業際研究所静脈産業技術調査研究招待講演, 三井業際研究所大会議室, pp.1-45, 1024, 2017

大和田秀二: 資源循環における分離技術の将来像—東北大学・金属資源プロセス研究センターへの期待—, 資源・素材学会秋季大会 (MMIJ/EARTH 2017), pp.1-20, 0926, 2017

大和田秀二: 資源・素材分野における産学連携の在り方, レアメタル研究会, 東京大学生産技術研究所, pp.1-26, 0915, 2017

大和田秀二: リサイクリング概論, 資源・素材塾, DOWA 研修センター・錦糸町, pp.17-32, 0826, 2017

大和田秀二: 環境調和型資源循環システムと分離技術, あきたアーバンマイン開発マスター養成コース, pp.1-54, 0708, 2017

4.4 受賞・表彰

吉原彩華・千賀太喜・丸山修平・林芳樹・大和田秀二: 静電場解析および絶縁破壊モデル(DBM)による電気パルス粉碎選択破壊挙動の解明, 資源・素材学会, 春季大会 (東京), vol.5, no.1, pp.1-7, 0327, 2018<優秀発表賞>

(その他、優秀ポスター賞多数)

4.5 学会および社会的活動

資源・素材学会、会長

環境資源工学会、理事

日本技術者教育認定機構 (JABEE)、理事

自動車リサイクル高度化財団、理事

経済産業省産業構造審議会、委員

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。