

創造人

Creative People

41

2023

Interview

賢く壊し、賢く分ける。
リサイクル分野でイノベーションを
起こし続けた研究人生。

環境資源工学科

大和田 秀二 教授

フィールド

固固分離、環境調和型リサイクリング、
粉碎・選別（ソフトセパレーション）



Interview

創造人 ④1 ——— Shuji Owada

賢く壊し、賢く分ける。

リサイクル分野でイノベーションを起こし続けた研究人生。

環境問題が世界的な課題となって久しい。その中でも特に身近なのがリサイクルではないだろうか。日々のゴミ出しに始まり、家電、IT機器など、リサイクルのために自分の持ち物を提供したことのない人はいないと言っても過言ではないだろう。しかしながらその実態を正確につかめている人は少ない。そんな「近くて遠い」リサイクル分野の最先端をひた走るのが、大和田教授だ。

エネルギーのかかる「熔・溶かす」 工程を減らすために「壊す」

大和田教授の所属する環境資源工学科は資源開発からその利用・循環・廃棄、およびそれらの活動によって起こる環境問題まで幅広く教育・研究活動を展開。地球を一つのシステムと捉え、すべての資源を無駄なく循環させることを「自然環境と調和した持続可能な地球資源システムの創造」と呼び、スローガンに掲げている。大和田研究室の守備範囲は「資源循環の技術的最適化」だ。

資源循環と言われてもピンとこない方もいるかもしれないが、単純化して言えばリサイクルのこと。身近なリサイクルといえばペットボトルやアルミなどの金属だが、これらは多くの場合、再利用の前に熔・溶かす工程がある。これには温度を上げたり溶液を使ったりする必要があり、膨大なエネルギーがかかる。大和田教授が取り組むのは、価値のある物質をできるだけ熔・溶かさずに「固体状態」で取り出す方法だという。これにより熔・溶かす回数を減らす

ことができる。「固体状態でリサイクルするためにはまずは物を壊す必要があります。粉碎と呼んでいます、これを賢く行くとエネルギーもあまりかからない。例えば皆さんが使っているパソコンを粉碎するとします。シュレッダーのような機械に入れて、粉々にすると、エネルギーもかかりますし、対象の物質を取り出すこともできず、再利用も難しくなります。理想はディスプレイから液晶パネルだけを取り出す。躯体の部品はプラスチックなので、そこを取り出す。さらに基板部分はプラスチックと銅が積装されているのを分けて取り出す。という具合に部品単位でバラすことができれば、エネルギーをあまりかけずに済む。」

大和田教授が目指すのは、実は「粉碎」でなく「単体分離」。粒子を単体（一粒子が一成分でできている状態）として取り出すことができれば、再利用はグッとしやすくなるのだが、これは簡単な技術ではない。どのように実現するのか。

環境調和型リサイクリングに必須の 成分分離技術

物理選別 (固相での分離)

- ◆ 固体状態での分離
(結晶構造を破壊しない)
- ◆ 省物質・エネルギー的
- ◆ **不均一系** での分離
- ◆ 低信頼性
- ◆ 有(無)害性不変

物理選別 (固相での分離)

- ◆ 原子・分子レベルでの分離
(結晶構造を破壊、**熔・溶かす**)
- ◆ 高物質・エネルギー消費的
- ◆ **均一系** での分離
- ◆ 高信頼性
- ◆ 無害化(有害化)の可能性

「環境調和型リサイクリング」の実現には

両者の効果的な組み合わせが必須。



電気パルスは人工的に起こすマイクロ爆発。 短時間なのでエネルギーもかからない

「粒子と粒子の間には境界面という境があるのですが、ここに力が集中するように、力学的に工夫をして、壊すというのが一つあります。もう一つが電気パルスを使った粉碎です。かれこれ25年くらい私はこの手法に夢中で、クレイジーになっています(笑)」

電気パルスの原理は雷と同じ。水中に入れた物質に数十キロから数百キロボルトの高電圧を500ナノ秒以下という非常に短い時間かける。「ゆっくりと電流流すとみんな水に流れてしまうんですが、それくらい短い時間だと、パッと固体に入っていくてくれる。境界面というのは、物質と物質の間なので、電氣的に弱い。パルスはそこにむかってびーっと流れる。この時の温度は10,000度にもおよび、固体が一瞬で蒸発するほどで、これは言わば小さな爆発です。境界面にマイクロ爆発が走り、きれいに単体分離してくれる。素晴らしい技術です」

技術自体は今から80年ほど前にロシアで開発されていたが、理論化されていなかった。大和田教授は理論研究を進め、同時にさまざまな物体に電気パルスをかけ、実験を繰り返した。

「よく電気パルスの話をすると、きれいに分離できるのは良いかもしれないが、エネルギーがかかってしかたないでしょうなんていう人がいるんですが、かける時間は500ナノ秒。ナノというのはマイナスイオン9乗ですからね、どんな電力を与えてもかかるエネルギーはたかが知れている。力学的な粉碎よりもずっとエネルギーがかからず、境界面できれいに割ってくれるんです」

大きなインパクトが見込める電気パルス。実用化のために、装置の開発も手掛けている。スイスのベンチャー企業と共同研究で開発を手掛け、大学内でミニチュアのような装置をつくった。その後、スイスの企業が本格的な商用機を開発。大学でのプロトタイプでは、一つ電気パルスを入れて次を打つまでに5分程度かかったものを、スイスのものであれば1秒間に5回ほど打つことができる。そのような成果が出るまでに毎年スイスに出向き、実験をしては日本で解析を

繰り返し、文字通り尽力した。

「日本のある大きな商社がこの装置の輸入代理店になったんです。これから少しずつ世に出るのは間違いない。流行するとか、あんな種のセンセーションを引き起こすと思いますよ」

革新的なLIBSソータを開発。 精度の高いアルミの選別を可能に

粉碎して壊したあとは「分ける」工程だ。

「ふるいにかけたり、水の中に入れて「比重」で分けたりするような、原始的というか、皆さんの想像のつきやすい方法も現役で行われています。少し複雑になると、磁力を使ったり電気伝導率で分けたり、変わり種だとフローテーションといって、いわゆる洗濯のような原理を使って、気泡によって分けたりするような方法も行われています。ただ、私たちのグループではここ20年くらいはセンサーを使った選別に取り組んでいます」

センサーを使うことによって、ひとつひとつの粒子を分析しながらの選別が可能になる。さまざまなセンサーをつかって、大きさや重さ、かたち、水分量などを判別する。二十年くらい前に蛍光X線ソータ(選別機)が登場し、飛躍的に進化を遂げた。これを使うと化学組成がわかるのだ。例えばある物質に、ある比率以上の銅が入っていれば再利用ができるとすると、基準を超えたものだけを精密に分けることができる。この仕組みを発展させたのが大和田研究室の開発したLIBSソータだ。「我々が2015年に開発した技術で、LIBSは日本語ではレーザー誘起ブレイクダウン分光法と呼びます。選別したい対象物にレーザーを当て、瞬時に高温にすることによりその表面物質をプラズマ化させます。このプラズマを分光分析することにより、水素からウランまで広範囲の元素を定量的に分析することができる。分析速度も非常に高速です」

ソフトセパレーション高効率化への アプローチ(基礎と応用)



単体分離と高度選別



Interview

創造人 ④1 ——— Shuji Owada

LIBSソータはさまざまな場面で実用化されているが、あの新幹線のアルミリサイクルでも使われている。新幹線の廃棄車両を選別し、純度の高いアルミニウムを内装材として甦らせた。

「JR東海が興味を持ってきて、新幹線に使われることになりました。新幹線の廃棄車両を選別することになって、当初は車体を使うという話もあったんですが、新幹線となるとかなりの精度が求められるので、最初は内装からということになりました。でも、車体に使っても問題ない精度のものができたのです」

このプロジェクトでは、大和田研究室が開発した機械をベースに富山県のハリタ金属が付帯設備を加えたものが使われている。「アルミ水平リサイクル」された部材が新幹線のような高速鉄道に利用される世界初の事例としてニュースになったのだ。

「アルミはリサイクルの優等生なんて言われるんですが、本当はそ

うではなかったんです。実際にリサイクルされているのは不純物を多く含むアルミ合金で、あまり精度を問われないものに使われていたのが実態です。LIBSソータであれば再利用前と同じアルミ合金部材として、使用することができるように選別できる。これが「水平リサイクル」なのです」

今後、世界的なアルミ合金の需要の増大が予測されているが、必要なのは数十種類あるアルミ合金類を種類別に精度高く選別することだ。世界で求められている技術を、日本、早稲田から生み出したのだ。

「リサイクル分野の研究はコストや手間の問題で、経済合理性がないケースも少なくありません。私たちの研究は効率よく低コストであること、そして何よりも現実に使えることを重視しています。そうじゃないと意味がないですから」

学生が力をつけたことの証明ができる仕組み「JABEE」

最後に学生たちへの指導について伺った。

「欧米のように、ある水準を越えないと卒業できないという仕組みが必要と考え『JABEE（日本工学教育認定機構）』の設立と運営に十数年にわたり携わりました」

JABEEは欧米を中心とするワシントン協定の一員として日本の各大学の専門分野が世界標準に適合する工学教育を行っているかを認定する機構だ。大和田教授は地球・資源分野の委員長・委員として、国内外の多くの組織の認定審査や改善を行ってきた。JABEEでは学生が卒業するために以下の9項目の能力を持つことが求められる。「日本の大学教育ではc.やd.は比較的きちんと教えられているが、その他の項目は弱く、これが、日本がいろいろな議論で負ける要因の一つとなっている」と言う。



JABEEの学習・教育到達目標

- a. 地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素養
- b. 技術が社会や自然に及ぼす影響や効果、及び技術者の社会に対する貢献と責任に関する理解
- c. 数学、自然科学及び情報技術に関する知識とそれらを活用する能力
- d. 当該分野において必要とされる専門的知識とそれらを活用する能力
- e. 種々の科学、技術及び情報を活用して社会の要求を解決するためのデザイン能力
- f. 論理的な記述力、口頭発表力、討議等のコミュニケーション能力
- g. 自主的、継続的に学習する能力
- h. 与えられた制約の下で計画的に仕事を進め、まとめる能力
- i. チームで仕事をするための能力

「学生のことは家族と思って接してきました。私は娘がひとりいますが、愛しているからこそ厳しく育てたつもりです。それは学生にも同じ。時代にはちょっと合わなくなっているかもしれませんが、本気でぶつかってきました。それが学生との信頼を築けた理由と自分では思っています」