



24
2019

創造人

Creative People

早稲田大学 創造理工学部・研究科 広報誌

Interview

現代こそ金属製錬が輝く時代だ
信念の研究で最前線を切り拓け

環境資源工学科

山口勉功

教授

フィールド
素材プロセス工学

Interview

創造人 ②4 ——— Katsunori Yamaguchi

早稲田大学環境資源工学科を
金属リサイクルの研究拠点にしたい——。
国内でも数少ない金属製錬分野の
スペシャリストである山口勉功教授。
複数の大学からのオファーを蹴ってまで
早稲田を選んだ山口教授の想いとは？

大手自動車メーカー、JOGMEC（石油天然ガス鉱物資源機構）と
いった国内企業・法人や、ドイツやチリをはじめとした海外からも
続々と共同研究オファーが舞い込む山口研究室。その陣頭指揮を取
るのは、金属製錬の第一人者・山口勉功教授だ。金属リサイクルに
おいて、今求められていることとは。そして、山口教授が環境資源
工学科で実現したいこととは。

金属リサイクルには、解体・粉碎・選別・製錬の4段階が存在す
る。まず、回収した廃棄物を大まかな部品に「解体」し、その後
「粉碎」する。そして対象となる金属を取り出すために、粉々とな
った金属を不純物と「選別」する。具体的には、水溶液に沈めて軽
いものを除去したり、磁石を使用したり、X線を利用したりする。
これらの過程でも再利用できない金属が、最終ステップの「製錬」
工程に進む。この製錬工程のスペシャリストが山口教授だ。

そもそも製錬とは鉱石から金属を取り出すために、炉で融解させ
たり、水溶液で溶解させたりして還元する工程をいう。この工程で
取り出される金属は、純度100%に極めて近くなる。



実験器具(製錬炉)

「製錬された金属は液体やガスの状態で取り出され、ふたたび個体
に戻されます。例えば、銅を含んだ鉱石から銅だけを取り出したい
とき、化学結合した鉄や硫黄といった不純物を除去するために炉に
投入して酸素を吹きこむと、銅・鉄・硫黄は瞬時に融解します。ガ
スになった二酸化硫黄を硫酸にして回収し、高温の液体になった銅
と酸化鉄を分離した上で銅のみ取り出します。こうして作られるの
が純度99%の銅です。さらに水溶液の中で電気分解する電解精製
という工程を経て、99%の銅を実に99.99%の純度にまで引き上
げることができます」

我々が普段何気なく使っている電子機器には、実に多くの金属が
使用されている。「都市鉱山」という言葉があるが、例えば1トン
分の携帯電話には100gほどの金が「埋蔵」している。

国内最大の金採掘量で、世界平均の10倍の金の濃度を誇る鹿児島
県の菱刈鉱山でも、1トンあたり30gほどであるから、その約3倍以
上の量の金が携帯電話に使われていることになる。金属リサイクル
のターゲットはこの都市鉱山である。

「携帯電話に金が含まれることを知っている人は多いですが、意外
なところでは電気自動車には、大量の銅が用いられています。次世
代の環境負荷の低い移動手段として、生産量の増加が予想されます
が、世界中のガソリン自動車が電気自動車に置き換わると、銅資源
は枯渇してしまうといわれています。銅のリサイクル率は20%と低
水準。さらなる金属回収が求められています」

金属リサイクルの破碎・選別工程で不純物がある程度除去される
とはいえ、もともと製品に使用されていた金属には、多くの不純物
が混入している。

「同じ製錬でも、鉱石の製錬と金属リサイクルの製錬では方法が
異なります。PCの電子基板を例にとると、基板には多くの銅が含ま
れています。この銅にはアルミニウム (Al) やアンチモン (Sb)、
スズ (Sn) といった不純物が混在しているので、製錬工程で除去
する必要があります。しかし、アルミニウムは酸化すると、アルミ
ナ (Al₂O₃) という酸化物になってしまいます。アルミナの融点は
2,000度以上で、銅の融点の倍もありますから、溶解するためには
高エネルギーを消費することになります。融点の高いアルミナは炉
内に析出するので、これが積み重なると炉の容量が減っていき、操
業が停止する危険性も出てきます。できるだけアルミナを生み出さ
ない工夫が必要なのです」

破碎・選別・製錬が学科内で連携できるのは、 日本広しといえど環境資源工学科だけ

製錬工程で特定の金属だけを取り出すためには、製錬前の解体・破碎・選別の各工程で不純物をできる限り除去することが不可欠だ。環境資源工学科では、破碎・選別を専門とする大和田秀二教授・所千晴教授の研究室と山口研が連携して、高効率の資源循環を目指している。

「不純物を100%取り除くのは、まだ難しいかもしれません。ですから、不純物の含有率がどの程度なら操業に問題がないのかを見極めて、そのレベルを超えないようにする必要があります。この部分の研究を大和田先生・所先生と連携して進めています。同じ学科内で破碎・選別・製錬の研究者が協働できるのは、日本広しといえど環境資源工学科だけです」



実験器具（顕微鏡）

破碎・選別工程と製錬工程が密に連絡を取り合える稀有な研究環境は、山口教授ら研究者にとって相乗効果が生まれやすい理想的な環境といえるが、それらを一度に学べるのは学生にとっても非常にメリットが大きい。

「他大学であれば、学生は破碎・選別か製錬のどちらかしか学ぶことはできません。環境資源工学科であれば、全プロセスに精通することができます。研究内容も実務を意識していますから、卒業生は即戦力として現場の最前線で働けるはずですよ」

この研究の醍醐味とは何か？ 山口教授に聞いた。

「非鉄製錬の高温プロセスに特化した研究室は、日本に3か所しかありません。珍しい研究ができること、それが最大の醍醐味といえるでしょう」

高温プロセスの研究室が少ないのは、重工業が経済の主役を担った高度経済成長期から、軽工業へ産業構造が遷移したためだ。その中で製錬分野は時代遅れだと見なされ、ほとんどの研究者が他の分野に移っていった。しかし、時代は巡る。環境と資源の問題からリサイクルの取り組みが世界的な課題となったことで、製錬分野に再び光が当たることになった。

そのとき、この分野の研究者は山口教授を含めて3人しか残っていなかった。

製錬分野には 世界初の発見ができる可能性がある

「研究者が少ないということは、世界で初めての発見ができる可能性があるということ。せっかく珍しい分野を研究できているのだから、思う存分楽しんでほしい」

Interview

創造人 ②4 ————— Katsunori Yamaguchi

山口研には国の内外を問わず、共同研究の誘いが絶えない。国内ではJOGMEC（石油天然ガス鉱物資源機構）とコンピューターの電子配電基盤に含まれる不純物が製錬に与える影響の調査をしている。また、大手自動車メーカーとは、ハイブリッド車のモーターに含まれるネオジウム磁石からレアアースを回収する取り組みを行っている。

海外では環境先進国ドイツと、リサイクル研究のパートナーとして研究会合を開催。チリでは、これまで製錬で回収してこなかった有害な二酸化硫黄ガスを回収する法改正がなされた関係で、新たな処理プロセスの構築に力を貸して欲しいと依頼があった。引く手あまたの山口研だが、どの研究にも共通する価値観とは何なのだろうか。「学生には多角的に観察するように常々言っています。実験するたびにデータには変化が現れます。同じように見えるデータでも、何

が前回と違うのか。逆に、違うように見えるデータから導き出せる共通項は何か。我々は天才ではありませんから、それらを一目で見抜くことはできません。だからこそ、データと向き合い検討することが大事です。学生が行き詰まったときは私も一緒になって考えます。

もうひとつ言っているのは、実際のプロセスを意識すること。我々の研究は、破碎・選別にせよ、製錬にせよ、新しい発見よりも製品の品質を上げることが何よりも大事です。なぜなら我々の研究は、現場の最前線で働く人々の役に立つためにあるからです。研究で完結するのではなく、現場の操業で役に立たなければいけません。

とはいえ、一番口を酸っぱくして言っているのは『体に気をつける』かもしれません。いったん研究をし始めると没頭しすぎる学生もいますが、体を壊しては本末転倒ですから。

学生の質で早稲田にかなう大学はない

取材中に学生が取材陣にコーヒーを振舞ってくれた。山口教授は目を細める。

「2018年度に早稲田に来たのですが、決め手となったのは何と言っても学生の質でした。以前、学会で早稲田の学生と話す機会がありました。元気があったのはもちろんですが、こちらの意図を読む感受性も優れていて、相手の立場や行動を考えながら動くことのできる学生だと感じました。旧帝国大学からもオファーはありましたが、早稲田の学生は研究者としても社会人としても伸びしろがあるように思ったのです」

山口教授によれば、来客時には立って挨拶をする、コーヒーを出すといった基本的なマナーがどの研究室でも重んじられているようだ。それも誰か教員が指導しているわけではないという。「実学の早稲田」の精神はこんなところにも感じられる。

いつかは卒業生と共同研究を

今後の展望を聞いた。

「私は環境資源工学科を、日本の金属リサイクルの研究拠点にしたいと思っています。私の研究室で学んだ学生のうちの何人かは、社会に出て企業の製錬分野で働くでしょう。そのとき研究室で学んだことが必ず役に立つはずで。さらに理想を言えば、卒業生と共同研究ができれば最高だと思います。研究室で学んだことを社会に還元し、さらに社会課題を我々にフィードバックしてくれる。そんな『資源のような循環』を作っていけたらと思っていますのです」

製錬分野の第一人者を得て、早稲田大学環境資源工学科がさらに勢いを増すのは、間違いなさそうだ。

