

産 総 研

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

TODAY

6

2008
June

Vol.8 No.6

特 集

02

本格研究 理念から実践へ

座談会：計測分野で展開する新しい技術の流れ

乾電池駆動超小型電子加速器の開発

微粒子の質量を測る

知覚メカニズム研究の成果を新型補聴器開発へ応用

新しい作用機構を利用した粒子分離技術の開発

ユビキタスセンサーネットワーク用のMEMSデバイス開発

スラブ光導波路分光法の開発と紫外可視域の吸収スペクトルのその場測定

リサーチ・ホットライン

- 22 遠心力を利用して厚膜熱電素子を作製
高効率熱電素子の実現に近づく
- 23 炭化ホウ素セラミックスの実用的な常圧焼結法
最も硬く、最も軽い実用セラミックスを安価に製造可能に
- 24 新しい高効率色素増感太陽電池の開発
これまでのタンデム型色素増感太陽電池の変換効率を超える新技術
- 25 光格子時計の開発
次世代の原子時計に向けて

パテント・インフォ

- 26 繰り返し使用できる吸着剤
活性炭とハイブリッド光触媒の組み合わせによる新機能性吸着剤
- 27 水素発生能力の高い光触媒を開発
超臨界水熱反応による高結晶性ニオブ酸カリウムナノ粒子の製造

テクノ・インフラ

- 28 深海からの洪水起源堆積物の発見とその意義
地球温暖化問題やエネルギー資源での役割
- 29 ナノメートル粒径標準
電気移動度分析法による標準粒子の高精度粒径値づけ



座談会：

計測分野で展開する新しい技術の流れ



吉川 弘之 理事長

鈴木 良一 計測フロンティア研究部門
榎原 研正 計測標準研究部門
中川 誠司 人間福祉医工学研究部門
大木 達也 環境管理技術研究部門

小野 晃 広報担当理事（司会、現副理事長）
小林 直人 理事
赤松 幹之 人間福祉医工学研究部門長
内藤 耕 イノベーション推進室

小野 今回は10回目の座談会になります。計測分野の4人の方に来ていただきました。

単3電池で動く小型加速器を開発

小野 鈴木さんから研究の内容を紹介してください。

鈴木 私は工業技術院の研究所時代から、長さが70 mの線形加速器や円周が30 m以上になるシンクロトン放射光リングなど大きな加速器を使った研究をしてきました。この中でも特に、高強度陽電子ビームを使った研究を重点的に行ってきました。この陽電子ビームは、半導体材料などの先端材料の物性評価に利用できることがわかってきて、さらに研究を進めたいという状況にあります。ところが、大型の加速器施設は、共同利用のためになかなか時間がとれません。そんなこともあって、小型の専用加速器をつくりたいと思っていました。電子加速器というのは、一般的にマイクロ波で電子を加速しますが、そのマイクロ波の周波数を高くすると装置をコンパクト化できます。そこで産総研に移行してから、従来の加速周波数の倍のCバンド（5.7 GHz）のマイクロ波を使った小型加速器を開発しました。

これとは別に、大型加速器の省エネ化の研究も行ってきました。産総研の大型加速器はエネルギーの使用量が非常に大きく、電気代だけでも年間4千万円以上かかり、問題となっていました。2005年頃に老朽化した空調などの施設の改修の話が出てきて、施設を含めた装置全体で省エネ化する良い機会だということで、整備部門に協力していただき、大幅な省エネ化対策を進め、施設のエネルギー消費を半減させることに成功しました。

このように、産総研になって電子加速器の小型化と省エネ化の技術を蓄積してきました。

一方で、社会では高度成長期につくられたプラント配管や原子力発電所の配管などでトラブルが頻発してきて、それに対応できるような非破壊検査法のニーズが高まってきました。私たちの加速器の小型化と省エネ化の技術を応用して、そのようなニーズに対応する小型X線源ができないか検討し、Cバンドよりもさらに高いXバンドの加速器を使えば実現できる可能性が高いことから、Xバンド（9.4 GHz）の加速器の開発をスタートさせました。この加速器は、可搬性に重点を置き、単3乾電池でも動かすことができる超小型加速器に結びつきました。

この加速器で発生した高速電子線を

ターゲットに入射することにより、X線が発生し、X線非破壊検査に利用することができます。このような小型X線検査装置であれば、非常に狭い部分の配管の非破壊検査も可能になります。X線を使った検査では、配管の保温材をはがさずに検査ができるので、検査が容易になります。

このようなプラントのほか、建築物や輸入貨物の検査などにも使うことができ、安全・安心な社会の実現に貢献できるのではないかと考えています。

理事長 大変におもしろい研究をされていますね。原理的には加速高周波の波長を短くして小型化したということですか。

鈴木 そうです。使う目的によって、どのくらいの電子エネルギーが必要かが違います。非破壊検査で使うX線を発生させるには、100キロ電子ボルト以上の電子エネルギーが必要です。実際の装置の加速器部分はわずか3 cm程度と非常に小さいものです。

理事長 これまでいろいろなことがなされてきた加速器と比べて、基本的に同じものなのですか、それとも、全然違うものなのですか。

新しい研究と開発の定義

―第2種基礎研究を軸に本格研究へ―

産総研では、経済・社会ニーズへ対応するために異なる分野の知識を幅広く選択、融合、適用する研究(第2種基礎研究)を軸に、「第1種基礎研究」から「製品化研究」にいたる連続的な研究を「本格研究」として推進することを組織運営理念の中核に捉えています。

	定義	活動	成果物
「第1種基礎研究」	未知現象を観察、実験、理論計算により分析して、普遍的な法則や定理を構築するための研究を行う。	発見・解明	学術論文
「第2種基礎研究」	複数の領域の知識を統合して社会的価値を実現する研究を行う。また、その一般性のある方法論を導き出す研究も含む。	融合・適用	手法論文 特許 実験報告書 データベース
「製品化研究」	第1種基礎研究、第2種基礎研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具現化するための研究。	実用	事業価値

鈴木 原理は同じですが、目的が違います。大型加速器による実験というのは、単にX線を発生するだけではなくて、非常に質の高い光によっていろいろな実験をやるのです。

理事長 X線というと安全面での遮へいの問題がありますね。

鈴木 表面に出てくるX線量は、1週間で1ミリシーベルト以下なので、長時間浴びなければ問題になりませんが、使用するには従来のX線装置と同様の手続きが必要です。

理事長 なぜ乾電池で動作できるのですか。

鈴木 電子ビームの加速には、一瞬だけ非常に高い電力の電気パルスが出ればよいのです。つまり、パワーを集中させればよく、この装置の場合は平均電力はあまり必要としないレベルだということです。それでも、正直に申しあげて、まさか乾電池で動作できるところまでいくとは予想していませんでした。

理事長 装置を小さくするという目的は、ポータブル化ということですね。こうした機械の応用範囲は、増えているのですね。

鈴木 老朽化した設備はたくさんありますから。

小野 小型化というのは、世界的な潮流なのですか。

鈴木 性能を上げて小型化するという流れは世界的にあります、ここまで小型化した例はないということです。

理事長 企業が製品化しないのですか。

鈴木 製品をつくりたいという企業はあります。非破壊検査関係などです。

空气中浮遊粒子の質量測定法を開発

榎原 私たちの研究室は、空气中に浮遊する粒子、いわゆるエアロゾル粒子の計測、あるいは計測器を校正するための標準について研究しています。例えば、一息で吸い込む空気中には数十万個以上のエアロゾル粒子が含まれているといわれています。粒子の質量分布を測る方法はこれまでになく、それを私たちのグループが開発しました。

その原理ですが、回転する二重円筒形電極の狭いすき間を利用します。外側の円筒と内側の円筒の間には電圧をかけておきます。このすき間に、粒子に電荷を持たせて上から入れてやりますと、帯電粒子は、回転による遠心力と電圧による静電気力を受けて、両者がちょうどつり合った粒子だけが下の方にできます。電圧を変えることでいろいろな質量の粒子をとらえること

性能を上げて小型化
するのが世界的な流れ。
ここまで小型化した例はない。

鈴木 良一



粒子の質量分布を測る
方法がなかった。
それを初めて開発した。

榎原 研正



ら、外側の電極の壁にくっついてしまいます。軽いのは内側の電極にくっつく。ファンデルワールス力という、小さな粒子にとっては大きな力でくっつくので、ほとんどはがれることはありません。

理事長 ちょうど目的の粒子だけが電極から取り出されるということなのですか。これは原理として新しいものですか。

榎原 そうです。

理事長 分解能というか精度はどのくらいあるのですか。

榎原 分解能は、粒子の質量や操作条件によります。今のところ実用的な条件下で、 10^{-18} gの粒子をとらえることができます。粒径で言うと、密度を水と同じと仮定すると10数 nmです。

理事長 大気測定とか、いろいろな応用があるということですが、この装置は他の研究機関がいろいろ使ってくれたということですね。これは市販器を買ってくれたという意味ですか。

榎原 ミネソタ大は試作機ですね。他は市販器もしくはレンタルですね。

小野 産総研がレンタルしているのですか。

榎原 国内メーカーのアメリカでの代理店がプロモーション用にレンタル用の機械を1台持っていて、それを2005年くらいから使って展開したのです。

難聴者のための骨導超音波補聴器を開発

中川 私は重度難聴者のための「骨導超音波補聴器」の開発を行っています。

ができます。その出てきたエアロゾル粒子の個数を測定することにより、粒子の質量分布を求めることができます。

原理はこの通りなのですが、実用化で生じた大きな問題点は、電極電圧を変えた時に装置から出てくる粒子の応答時間の遅れでした。電圧を変えることによって調べる粒子の質量をコントロールするわけですが、電圧を変化させたとき、理論的には20秒くらいで粒子数濃度が安定化するはずなのですが、実際は数分間と長い時間がかかることがわかりました。

これの原因解明にはだいぶ手こずったのですが、結局、陰極と陽極を絶縁している絶縁体部分に帯電粒子が徐々に堆積し、その堆積粒子の電荷による静電場が応答を遅らせていることがわかりました。これを回避するような設計に変えた結果、応答時間の異常が解消し、実用器へと結びつきました。

研究への応用としては、質量と粒径から球形粒子の密度が測定できるようになったことがあげられます。粒子は球形以外にもいろいろあります。粒子のサイズが成長していく時に、粒子の質量がサイズの何乗に比例して増えていくから、粒子の形状の指標であるフラクタル次元を求めることができます。

どの程度の質量が測れるかですが、てんびん天秤では大きい方からだいたい 10^{-7} gくらいまで測れます。一方、もっと小

さな質量はTOF-MSという質量分析計で、小さい方から上限が 10^{-18} gくらいまでカバーできます。これに対して私たちの方法では、これら2つの測定法のいわば空白地帯の一部をカバーすることができます。

小野 榎原さんの仕事の原理は、ミリカンの油滴実験に似ていますね。ミリカンは、下向きの重力と、上向きに引っ張り上げる電気力をつり合わせて、電荷を決めたわけですが、ここでは電荷はすでにわかっているの、そこから逆に質量を求めている。重力の代わりに遠心力を使っているわけですね。

理事長 電極を回している間、粒子は浮遊しているのですか。

榎原 入り口から入って連続的に下に流れていくのです。

理事長 すき間は空間なわけですが一緒に回るのですか。

榎原 電極と粒子は同じ速度で回るように工夫をしています。

理事長 それで遠心力が決まり、遠心力とバランスしたものだけが残って電極から出ていくわけですね。ほかの粒子はどうなるのですか。

榎原 重いものは遠心力が強いのでか

難聴がひどくなると、従来型の補聴器は使えません。ほとんど使えないか、聴こえたとしても言葉として聴けるような十分な情報が得られないのです。

それに対して、これまでも指摘されていたのですが、骨導超音波知覚というものがあります。骨伝導というのは、振動発生装置を直接、耳の後ろの骨の出っ張りに付けて音を聴きます。この方法であれば、通常は人間が聴こえないと思われている20 kHz以上の高い超音波でも聴こえるのです。補聴器が使えない重度難聴者でも、かなりきれいに知覚されると報告されていました。

ところがこれまでの報告は、多くが心理実験に基づくかなり主観的なものでした。それから、何よりも、超音波というのはもともと聴こえないはずのものであり、さらに重度難聴者は耳の機能が壊れていて聴こえないはずなのに聴こえる、という矛盾がありました。メカニズムの説明がついていなかったもので、あまり信用されていなかったのです。

そこで何はともあれ私たちはまず、この骨導超音波を実際に聴いてみました。体験してみると確かに聴こえる。というわけで、この現象を客観的に証明するところから始めました。そして脳磁界計測装置を使って、重度難聴者の方が骨導超音波を聴いている時に、聴覚野がきれいに活動することを示しました。つまり、骨導超音波は、重度難聴者にもきちんと音として聴こえることをまず示したのです。

次に、この骨導超音波技術を使えば、重度難聴者にも使えるような補聴器をつくれるのではないかと考えて、開発を始めました。それまでの研究報告はほとんどないので、補聴器をつくるに当たって、骨導超音波そのものを調べないといけない。骨導超音波というのはどのように聴こえるか、なぜ聴こえるのかを調べて、そこでわかった知見を補聴器に応用

する試みを始めたのです。

基礎的な知覚特性や神経生理メカニズムに関する研究には大きく3本柱があります。第1は聴覚心理計測。心理実験によって、超音波はいったいどのように聴こえるのかという知覚特性を調べています。

ダイナミックレンジ、つまり、どのくらい小さな音からどのくらい大きな音まで音の大きさの範囲をどのくらい受け止められるかが、ほぼわかりました。また、最終的に私たちが目指す骨導超音波補聴器というのは、音声周波数で30 kHzくらいの超音波を振幅変調して難聴者の助けにしようというものなのですが、そのような方法で音を聴いた時に、どのくらいきれいに周波数情報が伝わるか、どのくらいの分解能で伝わるのかという実験もしています。

第2の神経生理メカニズムの研究ですが、なぜ超音波が聴こえているのかという話は非常に興味があります。^{かでんず} 蝸電図といって耳の奥のほうに電極を置いて、耳の内耳で行われている神経活動を測るという方法で調べたところ、通常の音と同じように、^{かぎゅう} 蝸牛というところで骨導超音波を知覚していることがわかりました。ただし、その作用の仕方がちょっと違うことがわかってきました。

第3は物理計測です。ここで得られた伝搬過程に関する事実を使って、超音波補聴器の性能向上につなげるた

め、実際に人間の頭を使って音の循環過程を調査したり、コンピューターシミュレーションで頭の内部を音がどのように伝搬するかを調べています。

特に第1の知覚特性の基礎研究で得られた知見を使って、実際に補聴器の各部のパラメータを最適化して補聴器をつくりました。実際に私自身で聴取実験をやって、どのくらいの成績が出るかを調べました。

また、異聴傾向解析といって、どんな音韻を聴かせた時に、どういう音韻だと誤解して聴いてしまうか、という傾向も調べました。最適化がうまくいっていればそれでよいのですが、うまくいっていないことのほうが多いので、もう一度、基礎研究に戻って研究をやり直して、「こうすればうまくいくのではないか」という知見が出たら、試作していきました。これを繰り返すことで、少しずつ補聴器の性能を上げていきました。

ある程度の成果が得られてきたので、リオンという補聴器の会社と共同開発して、製品版に近い試作器も開発しているところです。ただ、単に補聴器をつくるだけではダメです。難聴者の方々に使っていただいても、最初はどうも聴こえないのです。トレーニングしてもらう必要があるのですが、この過程で皆さんくじけてしまうので、それをうまく導くようなソフトウェアの開発なども含めて行っています。

また、人間の聴覚や音に関する国際

骨導超音波に関する
国際標準を
つくることも
今後視野に入れていく。

中川 誠司



標準というものはあるのですが、骨導超音波知覚に関するものは一切ありません。今後、骨導超音波に関する規格づくりという仕事も、視野に入れるつもりです。

理事長 中川さんの仕事は、遺伝子中心の今の生命科学とは別の話ですね。こういう生命科学もあるんですね。構造や形態というのは今はほとんど無視されてしまって、だから、音がどうなるかといった話にはなかなか行き着かないわけですね。これは化学反応ではない生命科学ですね。

音が聴こえない人で遺伝子のことをやっても仕方がないわけですね。実用的にも大変に大きなものがありますね。実際に使えるようになったのですか。

中川 現段階では少しずつブラッシュアップを続けている途中なのですが、今の段階でもかなりコミュニケーションのとれる重度難聴者の方がいます。もともとはまったく聴こえない方なのですが、これを使って、私たちと簡単な会話を続けられるようになった方もいらっしゃるようです。

補聴器以外への応用としては、耳鳴りを遮へいする器械が考えられます。耳鳴りというのは、耳の機能が壊れていて、外からの音に対してではなく耳の中で勝手に火花が散っているような状態です。それを止める一番よい方法は、外から無理やり音を入れてあげることで、ショート自体が止まるようです。そういうのを耳鳴りマスカーと言っています。多くの重度難聴の方々は耳鳴り症状を訴えているので、外から大きな音を聴かせるか、小さな音を持続的に聴かせるということをします。

ところが、最重度難聴者になると、外から音が一切入らないので、耳鳴りが止まらないのです。ところが、この

補聴器であれば耳に音が入るので、実験に参加してくださった難聴者の方の耳鳴りが止まるのです。それで、皆さん喜んでおられます。耳鳴りの遮へい器という使い方では、ある意味、補聴器よりも実用化は簡単かもしれません。補聴器では、言葉を明瞭に聴けるようにするために処理が複雑になるのですが、耳鳴り遮へい器ではより単純なもので済みそうですから。

廃棄物を分離するコリオリ・セパレータ

大木 ほかのお三方と比べて、私が扱うのは、量や粗っぽさがちょっと違うのですが、廃棄物、使用済みの製品を粉碎・分離して粉体原料化するまでのプロセスを検討しています。

まず研究背景からお話します。リサイクルで粒子分離をする場合、粗いほうの粒子はいろいろ技術があるのですが、100 μm 以下くらいの領域は、それらをきれいに分ける技術があまりなく、これをなんとかしようというのが、今取り組んでいるテーマです。

リサイクルですので、化学物質を大量に使うようなことはできません。環境低負荷でやりたいので、例えば、水中の粒子運動の差だけを利用して分離する方法などの中から、何か新しいものが見つけられないかということです。最終的には、粒径に影響されない微粒子の比重分離を実現したい。ある

いは、サブミクロンの粒子を分けるところをゴールとして設定しています。水中の粒子運動というと、従来は重力や遠心力といった場の力と液体の抵抗力のバランスでコントロールしていたのですが、それ以外の作用力を何か導入しないといけないだろうということで、まだ途中ではありますが、ひとつのハードルを越えたと思っているのが、コリオリ・セパレータと私が命名した分離装置です。

遠心場で100 μm 以下くらいの粒子を大きさ、あるいは比重差で分ける装置はすでにあって、遠心力によって中心から外側に向かって、速い粒子と遅い粒子をおおむね2つに分けるものです。しかし、私は、(1) 水中の粒子を回転系に対して静止した状態、つまり閉じ込めた状態にして、(2) 一定の回転数で回転させ、(3) 1点から粒子を放出させるという3つの条件を整えると、コリオリ力が小さな分離装置の中で発現できることを見出し、装置化することに成功しました。

従来の遠心力による分離は、水中での速度差を利用していただけですが、コリオリの力は速度の関数なので、速く動く粒子は大きく曲がり、ゆっくり動くものは小さくしか曲がりません。これにより水中における粒子運動の速度差を、軌道の差に変換することができるわけです。

したがって、遠心方向の壁の位置の違うところにポケットを用意しておけ

下積みでやってきた研究が
ようやくリサイクル技術に
応用できる。

大木 達也



ば、比重の違う粒子がそれぞれのポケットに入ることになります。今まで2分割しかできなかったのも、細かく分けるには多段にして大きな装置が必要だったのですが、このような仕組みであれば、1つの小さな装置の中でいくつもの粒子の受け口ができる。リサイクルの分離技術におけるコンパクト化ができ、精度の向上ができるだろうということです。

水中の粒子運動に関する研究は、地球科学とか土木、機械、計測科学といった分野でなされているので、そうした基礎的な研究を私たちは吸い上げて、大量の粒子分離技術に適用できる形に置き換えることを目指しています。融合的な技術開発を進めるというわけです。

特に最近、レアメタルなどの調達不安もあって、小型電子機器から貴金属やレアメタルを、ほんの微量にしか入っていないものを効率よく回収したいというニーズが増えてきました。私たちが下積みでやってきた研究が、ようやくリサイクル技術に応用できる機会が生まれてきたわけです。

この技術はまだ実用化に至っていないのですが、こういう技術ができると、粉体原料化をすることができる。そして、製錬技術によって金属まで戻すことができるというのが最終的な目標です。さらに、途中の合金の段階で原料に戻す、つまり、インゴットまでせず、ある機能を持った粒子の段階でリサイクルするような仕組みも視野に入れています。また、新しい素材開発、材料開発の中で不純物の除去とか、特定の粒子を抽出するといった技術、あるいは医療技術なども含めて展開できればと思います。

つまり、大量処理が可能な総合分離工学というような位置付けで、ほかの分野まで波及していくような技術ができればよいと考えています。

理事長 大木さんの研究も粒子分離の

話ですね。大木さんはどのあたりを攻めているのですか。

大木 主なターゲットは100 μm 以下なのですが、コリオリ・セパレータでは、今のところ、下限で10 μm くらいの粒子までしか対応できません。ただ、将来的にはもっと小さいものが分離できるような仕組みを導入したいと思っています。

理事長 もう一度説明してほしいのですが、なぜコリオリ力になるのですか。

大木 まず、普通の遠心分離機内でも、コリオリの力は受けているのですが、通常は、懸濁液の状態から始まり、中で水も一緒に動いてしまっています。しかし、コリオリ・セパレータでは、水を回転系に対して静止した状態をつくるのです。そうすると、粒子の相対速度差が軌道の差に置き換えることができます。あとは速度が時間によって変わらないよう一定回転にして、1点から粒子を放出することによって、粒子ごとにある決まった傾きでカーブを描くようになります。単純に言えば、それだけのことなのです。

理事長 そうか。そのコリオリの力によって、重いほうが大きく曲がる。

大木 コリオリの力の大きさというのが、粒子速度の関数なのです。つまり大きい粒子か密度の高い粒子かどちらかですが、とにかく速く外側に行こうとする粒子はより大きく曲がりますし、ゆっくり進もうとする粒子はあまり曲がらない。

そういうことで、遠心分離槽の中で、速い粒子、中くらいの粒子、遅い粒子というのが区分できる。今までは全部同じところで粒子を受け止めていたの、比較的速い粒子と遅い粒子という形でしか分けられなかったのです。私

の方法では、1点から放出するところもポイントで、これによって速度の違いを精度良く軌道の違いに変えられるので、大きさが同じで比重が違う数種類の金属があったとすれば、それぞれ比重の小さいものから順番に異なるポケットに配分させることができるのです。

“混ぜる技術” から “分ける技術” の体系へ

理事長 最近、新聞に出ていましたが、鉱山よりも都会のほうがレアメタルがたくさんあるようですね。

大木 先日もテレビのニュース番組で取り上げられたのですが、携帯電話の中には金やレアメタルが入っていて、日本もそれを集めてくれば資源国ですよ、ということなのです。ただ、まだどういう方向でそれをやるかについては混沌としていて、少し先行しているのが、秋田で実験的にやられている「人工鉱床構想 (Reserve to Stock)」ですね。企業の製錬所が小坂町にあって、貴金属については今でも資源化しています。しかしレアメタルも一緒に処理してしまうと、レアメタルはスラグになって資源化できないのです。

市民から小型電子機器を集めて、あらかじめ貴金属とレアメタルとそれ以外のプラスチックなどに分け、レアメタルはしばらく保管しておく。ある程度の量がたまらないと資源化はできないですから、いわゆる備蓄みたいな形で、いざとなったそれを開発しましょうということです。経済産業省の予算をいただきながら、私たちはその段階でどういう1次処理が適しているのかを研究しています。

理事長 分ける技術というのは、遅れているわけですね。昔は金属学というのはほとんどが混ぜる技術だったの



基礎的な科学知識から
応用的な機能をつくりあげるには
分野は異なっても
何か共通のものがあるのでは。
それを探りだしたい。

吉川 弘之

ですね。金属を混ぜて新しい性能のモノをつくってきた。しかし、いったん混ざったものは、もうそれで終わりだった。今は圧倒的に、分けるほうの技術に対するニーズが高いのに。実はこの分けるというのが、難しいわけですね。

大木 そうです。

理事長 そういう分ける体系というのが、これからますます必要になるでしょうね。人間がやっていることは、ほとんどが混ぜることなのですね。それを減らす技術体系というのは、こういうところから生まれてくるかもしれないですね。榎原さんの話も混ざったものから分けるわけです。そうした技術体系がいまの環境時代には要るでしょう。

大木 私はリサイクル部隊に所属して、大量処理で分けられる技術の開発に携わっているのですが、いろいろな分野の方から引き合いがあります。ちょっとおもしろいものでは、宇宙空間を利用して新しい材料開発をしたいという計画があり、それに当たって、ものすごく粒子径の揃った高精度の微粒子を実験モジュールに積み込みたいけれど、その分級技術がないということです。もしそれをやろうとすると、遠心分離機を使って、人海戦術で何日もかかってわずかな量を回収するしか

ない。大量につくってくれという発注が来た時には、それを実現する技術がないので、ぜひ先取りして考えておいてくださいと言われています。

これはリサイクルとは直接関係ないのですが、こうした分離に対するニーズというのは、いろいろなところでお聞きします。

理事長 今はそういう技術体系がないからです。卑近な例になるけれど、私の住んでいる東京都港区では、ゴミを分別して出さなくてはなりません。そこで分けていくと、「なんでこんなものをくっつけてしまったんだ」とあきれてしまうものがある。ペットボトルにしてもラベルを貼ったままではいけないので、はがして出せという。そしてそれなら、はじめからくっつけなければいいと思うんだけど、つくるほうはどんどん混ぜてつくる。そして、それを消費者が最後に分けるという非常に不思議な形になっている。今の体系には非常に無駄が多い気がするのです。こうした中で分ける技術が強くなってくれば、くっつけているほうに影響を与えて、配置するようにしておけば、リサイクル段階では始めから分けやすいように作る方向へと影響を与えていくでしょう。

現在は、個々の物質の扱われ方に合理性がなく、とにかく、くっつける技術と混ぜる技術ばかりが進んでしまっている。

大木 リサイクルなどでは、最初の段階で工夫する試みも始まっています。例えばプリント基板などでは、従来は、重要な元素が含まれている部分がばらばらに分散して配置されていますが、設計の段階で、基板の端2 cm のところにすべてをまとめて配置するようにしておけば、リサイクルの段階ではそこをパチンと切って、それだけ回収すればよいだろうという考え方も出ています。

いかに「構成」するか

小林 産総研では新しく「シンセシオロジー」という論文集が発行されるようになり、現在、第2号が進んでいます。その創刊過程で、構成学つまり、シンセシオロジーないし「構成」という概念が非常に重要だという議論を深めました。みなさんは、どこをどういうふうに構成したとお考えなのか、お聞きしたいのですが。

理事長 構成というのは、私たちにとって具体的な意味のある機能を持っています。例えばガラスのコップ。「これがガラスだ」と分析するのは得意で、壊して調べればよい。その一方には、「水を貯めるにはこの形がいいんだ」と考え、それをどうやってつくりあげていくかで結びつけることを「構成」と言うのです。今日の話でもみんな、サイエンスを使えるものにするために構成しているわけでしょう。そうした構成のプロセスは、いわゆる伝統的な科学にはない新しい方法論ではないか、その点を際立たせて議論・検討を深めていきたいというのが、「シンセシオロジー」の目的です。

いわゆる基礎的な科学知識から実用的な機能をつくりあげるには、分野は異なってもそこに何か共通のものがあるのではないかと探りだしたい

わけです。それをシンセシオロジーと呼んでいるのです。

鈴木 このような小型加速器を作り上げるには、背景として技術的な蓄積があります。どういう機能があればどうなっていくかを頭において研究を進めてきました。そこから小型の加速器をつくるには、と考えていったのですが、新たな工夫も含めて、1つ1つ問題を解決しながらやってきたのです。

もちろん、要求性能を定めないと要素技術は選べないわけですが、そのポイントになったのは、この小型加速器をどういうところに应用するかということです。X線のエネルギーを上げようすると電力消費量は多くなるので、乾電池で駆動するようにするには、それぞれのコンポーネントの消費電力を抑えなくてはなりません。そのところが難しかったのです。

榎原 ニーズについていうと、気中粒子の質量分布測定技術の開発が必要という要請がどこからあったわけではありません。しかし、実際に技術ができると、これを利用した研究が短い期間にいくつも出始めているので、潜在的なニーズはあったと思います。測定方法の開発はこういう状況が多く、潜在的ニーズを感じる感覚は「構成」を開始するときには大切だと思います。

技術については、これまで静電気力、遠心力を単独で使う方法は、いくつかの方法がありました。これらは何らかの有効径の測定方法になります。私たちの方法は単にそれらを組み合わせただけともいえますが、これで今まで測れなかった粒子質量が測れるようになりました。組み合わせる発想には、論理的帰結というより論理的飛躍があったと思います。「構成」では、大きい小さいは別にして、論理的飛躍が1つの要素になるのではないのでしょうか。

中川 私の場合は、骨導超音波に関する基礎研究、要素技術が先にあったというよりは、先にモノのイメージがありました。まず原理の証明の時ですが、振幅変調すると超音波が伝わらないかと思ってやってみると、実際には伝わったわけです。この結果、最初に基本的な構成が決まりました。ところがその基本的な構成では、うまくいくところもあるし、うまくいかないところもある。それをうまくいかせるために、1つ1つの要素をどうすべきかということで基礎研究が始まりました。

補聴器だけでなく耳鳴りの遮へい器とか、その他の技術も全部そうなのですが、まず「こういうものをつくろう」というのが先にあって、そのためには何を押さえるべきかというのを決めて、基礎的な技術の研究をやっていく、というのが私のやり方だと思います。

小野 行ったり来たり。第1種と2種の構造が明確にわかる研究ですね。

理事長 本来、生理学や心理学で調べてあってもよさそうなテーマなのに、誰もやっていなかった。つまり「こういうものをつくろう」と思って初めて必要になってくる知見があるわけですね。

その結果、人間とは何かという問題にも迫ることになる。ものをつくろうとすることによって、新しい知識を大きく広げていく1つの例だと思いますね。

大木 私は目標として「粒径に影響されない微粒子の比重分類の実現」ということを掲げています。水中の粒子の運動というのは、大きさと比重の両方の関数なので、例えば事前に大きさをそろえておかなければ比重分離はできません。また、通常、分級というのは、1種類の粒子だけしか含まれていないからサイズ分離が可能なのです。いろ

いろな比重、大きさの粒子が混ざっていると、現状では比重分離もサイズ分離もできないので、それをなんとかしたいというところから始まったのです。

こういった資源系の分離技術というのは、経験と勘の積み重ねによって改良が続けてこられたこともあって、運動方程式をよく分析するとか、振り返ることが実はあまりなさされてきませんでした。こういう複雑な問題が運動方程式できれいに解けるようになったのも、コンピューターが発達したおかげで、そうした新しい計算結果をよく見てみると、どうやらこれを実現可能なのは水の圧力勾配力、つまり、水が加速運動する時に粒子に及ぼす加速力らしいということがわかってきました。

最初はとにかくいろいろな振動場を与えてみたり、水中ではゼータ電位と言いますが静電気力とか、遠心場とか、いろいろ試行錯誤していった結果、ほぼ最終案として、圧力勾配力を発現する分離装置を開発すればよいということに至ったわけです。この装置自体はまだ試行過程であります。その検討の中で粒子が曲がるような現象が見られ、もう一度、「これは何だろう」と調べなおしてみると、実はこれがコリオリ力だったのです。

つまり、最終的な目標の途中の段階で拾い物があつた、それが今のコリオリ・セパレータということです。

小野 ありがとうございます。

リサイクル原料化技術における本格研究 新しい作用機構を利用した粒子分離技術の開発

リサイクル原料化技術

リサイクル原料化技術は、リサイクルの中間処理プロセスの中で使用済み製品を解体、粉碎、成分分離して、粉体原料とする技術です。このプロセスが低コスト、低環境負荷になされなければ、リサイクル原料として有価で流通することができず、焼却、埋立を余儀なくされます。このようにリサイクル原料化技術は、循環型社会の基礎を支える重要な技術です。バブル崩壊後、廃棄物処分場の逼迫や不法投棄などの問題が明らかになり、リサイクルを急速に推進する必要性が生まれました。この時の関心は最終処分量の減量にあり、中間処理の対象は大量に廃棄される鉄、アルミ、プラスチック、ガラスなどで、リサイクル原料化には低コストで大量に処理が可能な技術が求められていました。即応性が要求されたこともあり、成分分離には鉱山や化学プラントなどで利用される既存の比重分離装置が多く利用されました。ところがここ数年、中国の急速な経済成長なども影響し、資源価格の高騰が続いています。特に、わが国におけるハイテク機器製造に不可欠な希少金属類の価格高騰が著しく、永続的な安定供給を保障するためにこれらのリサイクルを推進することが重要視されています。希少金属類は従来の対象と比べ高価であり処理量も多くあり

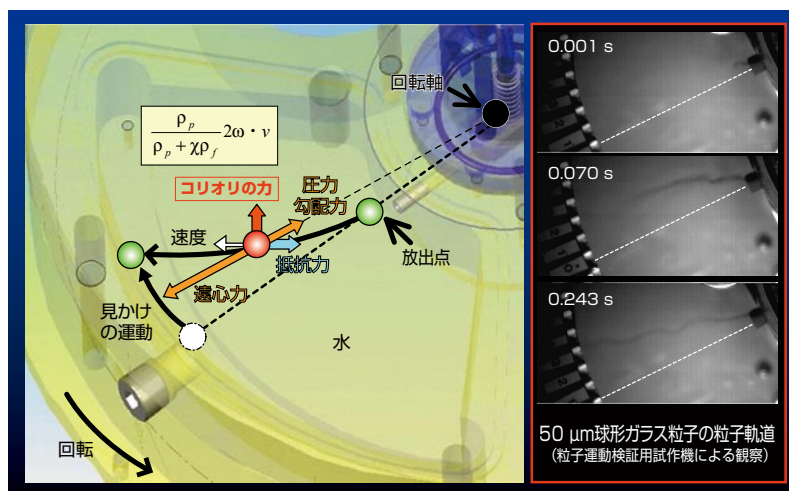


図1 コリオリの力の顕在化による粒子の軌道

ませんが、製品中の濃度が低い、元素種が多い、形態が複雑であるなど、分離技術の立場からみればより困難度の高い対象となります。希少金属リサイクルを効率よく実施するには、「量のリサイクル」から「質のリサイクル」へ技術を転換する必要があります。

比重分離の作用機構と問題点

比重分離は粒子運動差発生環境により、定常運動する流体中、脈動運動する流体中、壁面摩擦が発生する流体中の3つのタイプに分類することができます。粒径がおおむね1 mm以上の粒子では流体には空気が利用可能で

すが、μmオーダーの微細な希少金属を回収するには、精密な粒子運動制御が可能な水中での分離が有利になります。特に100 μm以下の粒子を速やかに分離するには、これらの作用環境に遠心場を組み合わせた分離機構が適用されます。遠心場利用の比重分離は、ケミカルフリーで環境低負荷に微粒子の成分分離が可能なので、アメリカ、カナダ、オーストラリアなどの資源国を中心に、近年、多くの新型装置が開発されています。しかし、これらの新型装置は原則として、粒子速度の大小により粒子群を大まかに2分するものでした。また、流体中の粒子速度は、粒子径と粒子比重の両方に依存するため、事前にサイズを揃えておかなければ比重分離ができないこと、分級装置（サイズ分け）として利用する場合であっても数μm以下の粒子に対する高精度分離は困難なことなど、未だ克服できていない問題点が数々あります。これは、従来機並びに新型装置は上記した3タイプのいずれかに属し、同じ作用機構の元で分離されていることに原因があります。



早稲田大学助手を経て1995年資源環境技術総合研究所入所。入所以来、粒子の粉碎、単体分離、成分分離など、高純度化のための技術を検討して参りました。現在は、使用済み製品からの有用成分回収、製造工程内の原料再利用、原料高純度化による使用量削減など3R促進のための粒子分離技術を研究しております。プロセス開発のみならず、コリオリ・セパレータのような新しい要素技術開発にも力を入れております。

大木 達也（おおき たつや）
環境管理技術研究部門
リサイクル基盤技術研究グループ

コリオリ・セパレータの開発

未だ、「量のリサイクル」が叫ばれている時代から、比重分離の高精度化に向け、新しい作用機構による分離技術の研究を行ってきました。比重分離の問題点を克服した工業利用可能な分離技術の研究がスタートしたのは2001年頃からです。従来の技術では、制御可能な作用力として、遠心力、抵抗力と壁面との摩擦力が利用されてきました。従来とは異なる作用機構を実現するため、比重分離に未利用の作用力を見出し、それによる効果を計算により推定するとともに、未利用作用力の発現機構を考案し、装置を試作して粒子の運動解析をする作業が進められました。その成果の1つとして、遠心場における水中の粒子速度差を粒子軌道の差に変換できるコリオリ・セパレータを考案し、装置化に向けた検討を行っています。これは、通常、地球科学などの分野で扱われるコリオリの力を、小さな遠心分離層内で顕在化させることにより、従来の機構にない粒子運動を実現させた装置です。基本的には、①回転系に対して水を静止させ、②一定回転に達した後、③1点から粒子を水槽内に放出する、という3つの

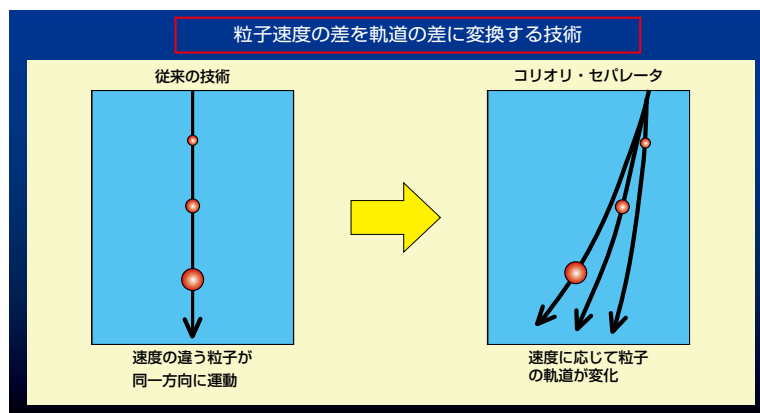


図2 コリオリ・セパレータの特徴

条件を満たすことによりその顕在化が可能となります。コリオリの力は回転系において、進行方向直角に反回転方向に作用する力で、粒子速度が大きいほど強く作用します。つまり、遠心方向への速度が大きい粒子ほど、コリオリの力が強く作用して曲がりが大きくなります。従来は比較的速度の速い粒群と、比較的速度の遅い粒群の2つに分けることしかできませんでしたが、この機構を利用すれば、粒子速度に応じて粒子軌道を何分割にもできるため、多種の粒子を成分ごとに同時に分離することが可能となります。

開発の展望

コリオリ・セパレータは研究終盤の段階で装置化には至っていませんが、今後、実用化を目指すとともに、多様な用途の開拓も行おうと思っています。また、これ以外にも未利用の作用力を利用した分離装置を考案中であり、事前にサイズを揃えなくとも比重分離できる技術や、サブミクロン粒子の高精度分級が可能な技術など、比重分離技術のさらなる高度化を目指しています。

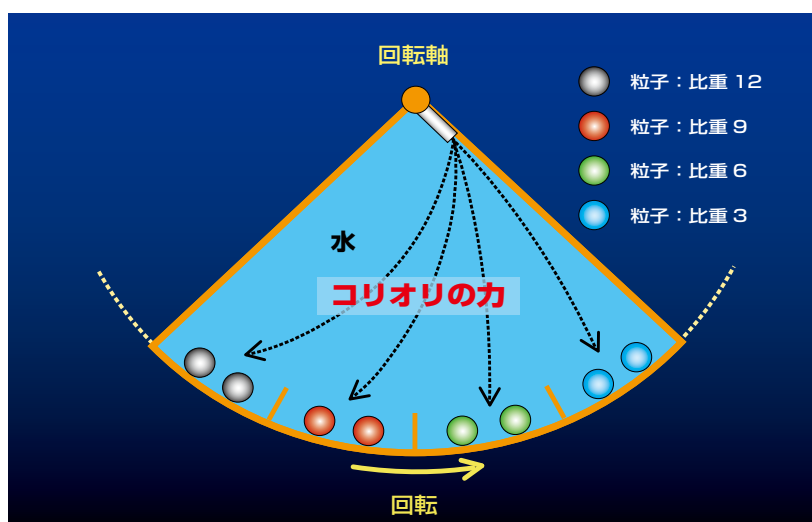


図3 コリオリ・セパレータの粒子分離イメージ