

理工学部人間総合理工学科 / 環境・エネルギー研究室
化学工学、流動層工学、エネルギー変換工学

幡野 博之 教授

【プロフィール】 幡野 博之(はたの ひろゆき)▷1953年、静岡県生まれ。1983年、東京工業大学大学院総合理工学研究科化学環境工学専攻博士後期課程修了。東京工業大学資源化学研究所生産設備部門助手を経て、1990年、通産省工業技術院公害資源研究所燃焼技術部燃焼機器研究室主任研究員、その後、資源環境技術総合研究所熱エネルギー利用技術部燃焼システム研究室長、独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー利用技術研究部門クリーン燃料グループ長、同部門主任研究員などを歴任し、2013年4月より中央大学理工学部人間総合理工学科教授。



固体粒子の層の中に空気を流すことで、 地球環境負荷の低減につながる 新たな空調装置と発電の発想が生まれます。

幡野先生は、これまでにない新しいアプローチで地球環境に貢献する研究を行っています。その一つは、固体粒子の中に空気を流すことで生まれる「固気系流動層」を活用した新たな空調システム。もう一つは、先生自ら“ホッカイロ燃焼”と呼ぶ、金属の酸化・還元を利用した新たなエネルギーの利用です。

この2つの研究が、それぞれ快適で省エネ効果の高い空調システムと、環境負荷を低減した電力、ガスの供給に結びつきます。固体と気体がぶつかり合うときに生じる不思議な温度の移動や、あの使い捨てカイロがエネルギーを生み出していくプロセスには、まさに工学ならではの面白さが詰まっています。

固体と気体のバランスから 生まれる力を活用していく

「固気系流動層」と聞いて、すぐイメージが浮かぶ人はほとんどいないでしょう。これは、固体粒子の重力と流れる気体の抗力(液体や気体などの流体中の物体に対し流れの速度に平行に働く力)がバランスよくつりあって固体粒子が無重力状態になる状態を利用した装置です。

「息を吹くとピンポン球が空中に浮かぶ玩具がありますが、原理はこれと同じです」

この「固気系流動層」、実はガソリンの高オクタン化、ポリエチレンやポリプロピレンの製造、製剤や非鉄金属の精錬プロセスなど様々な分野で既に実績があります。幡野先生は、この固体と気体の不思議な関係性をエネルギーや環境の分野で活用し実用化を目指しています。

その先生が扱う乾燥剤のサイズは0.1mmから2、3mmくらい。これらの粒子が空調装置に革命をもたらします。

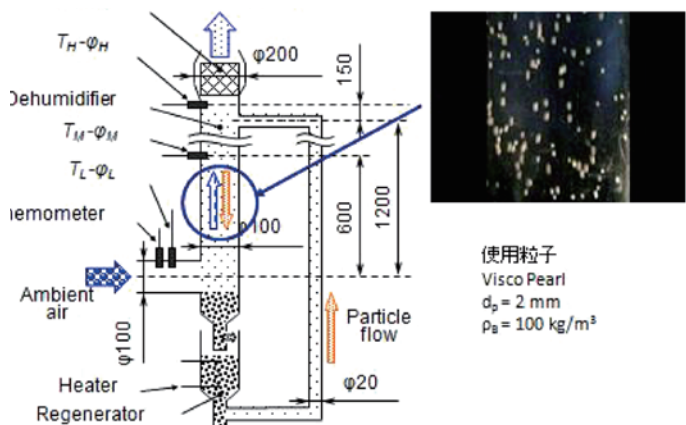
電力消費の25%を占める空調の 過冷却を防いで省エネを実現

乾燥剤を空気に入れる目的は、文字通り湿度を低下させるためです。米国のカリフォルニア州は、湿度が低く快適な場所として知られていますが、温度計が40度を指してもそれほど暑く感じません。これは乾燥しているため、汗が蒸発して気体になる際に周囲から熱を奪い涼しく感じるからです。逆に湿度が高い場合は、汗

がなかなか乾かないため蒸し暑く感じます。このカリフォルニアのように快適で低湿度の環境をつくり出すのが、乾燥剤や除湿剤を意味する「デシカント」と名付けられた空調システムです。

「これまでの空調では、湿度を取るためにだけに冷却して水分を凝縮させる必要があったため、余分な電力を消費していました。これに対してデシカント空調は、湿度は既に乾燥剤で吸収しているので過冷却しないで済み、その分省エネルギーになります。もちろん低湿度で体感温度が低く感じるばかりか、カビや雑菌が繁殖しないので安全で安心な空気をつくり出す特性ももっています」

空調は、夏期の電力消費の約25%を占めていますが、その内の60%が除湿に使われているといわれています。したがって、デシカント空調は日本の電力消費の構造まで変えてしまう可能性を秘めた方法ともいえるのです。



使用粒子
Visco Pearl
 $d_p = 2 \text{ mm}$
 $\rho_p = 100 \text{ kg/m}^3$

▲固気流動層のなかでも「向流接触式循環流動層」を使った空調システムのメカニズム。パイプ内を示す写真で乾燥剤の粒子が流れていく様子が分かる。

空調装置内の固体粒子の動き方をはじめ 数多くの未知数への挑戦

「デシカント空調では、乾燥剤が湿度を吸着するときに気体が液体（水）に変わることによって生まれる潜熱を放出するため、温度が上がってしまいます。しかし、これも固気系流動層だと簡単に冷やすことができるのです。

流動層を使うことで、空調システム内に冷却パイプなどの熱交換器を自由に設置でき、熱くなった乾燥剤は、この熱交換器に触れることで速やかに冷やされるというわけです。また、冷えた乾燥剤は熱交換器を離れた後、熱くなった周辺の空気と接触して空気も冷やします」

デシカント空調は、このようにエネルギー消費の面で効率的な空調システムです。ただ、使用する乾燥剤が空気中に放出されるのを防ぐ必要があり、これが実用化の壁になっています。激しく動くなかで固体である乾燥剤は形状が細くなっており、その放出を防ぐフィルターなどの対策には、長期間の信頼性確認が必要とされています。そして固気系流動層については、未知の部分もまだまだ、たくさん残されているのです。

「気体や液体は数量的に膨大なので統計的に扱えるのですが、固体粒子は数が少ないため統計的に扱うことが難しいのです。例えば同じ見方では1ミリのガラスビーズという固体なのに、どこか欠けているだけで動きが違ってきます。表面がつるつるした粒子と、砂のようにゴツゴツした粒子とでも動き方が違うのです。それが、人間の個性の違いとよく似ていると思うことがあります。また、実用化に向けた課題では、空調システム内部に生まれる気泡の方向や速度などの研究も、機器設計のための重要な課題です」

幡野先生の果敢なチャレンジは、まだまだ継続中なのです。

工場に必要な電力をつくりながら ガスまで供給するシステム

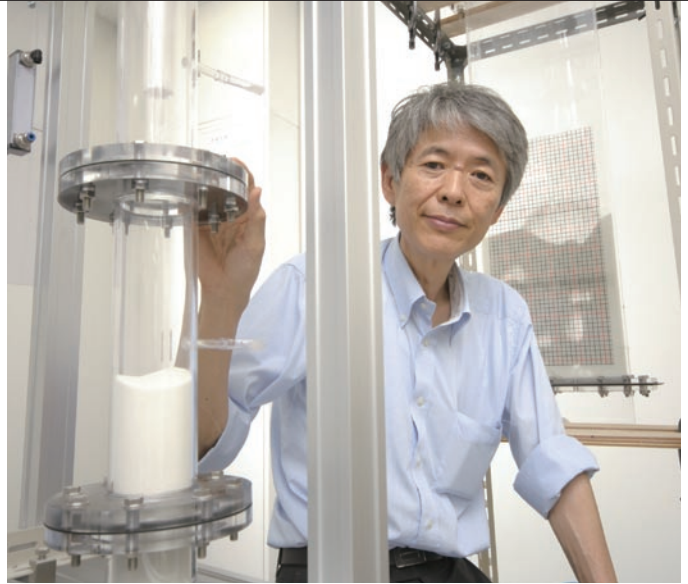
幡野先生のもう一つ重要な研究テーマが「化学ループ技術」と名付けられた、新たなエネルギーの可能性を感じさせる分野です。冒頭で「ホッカイロ燃焼」と述べた研究がこちらです。

「空気で金属（主に鉄を使用）が酸化されることで発生する熱利用と、炭化水素を使って還元させて金属をもとに戻す装置を組み合わせたシステムです。

酸化過程では、発生する熱エネルギーでスチームタービンを回して発電する新たなエネルギーとしての利用を目指しています。また、酸化過程では熱と窒素、還元過程では二酸化炭素と水のみしか発生しませんので、窒素や二酸化炭素というガスだけを濃縮するための特別な装置がなくても、純粋に利用することができるのです。

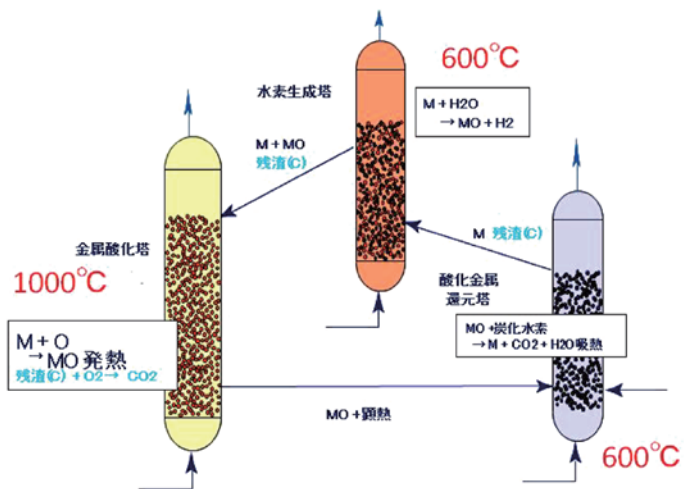
例えば塗料工場は、気温 200 ～ 300 度で乾燥させる工程が組み込まれますが、酸素がある状態では有機物である塗料の質的变化が起きてしまうので、窒素のみ、あるいは二酸化炭素のみの環境が求められることがあります。このような製造現場での窒素・二酸化炭素の供給が格段に簡素化できるのも、この酸化・還元を使ったシステムのメリットです」

多くの工場は自家発電設備を備えています。このシステムを採用すれば、電力を生み出しながら工場に必要な窒素や二酸化



炭素を簡単に得ることもでき、省エネの面で二重、三重の効果を生み出します。また、原料は鉄のほかにニッケルや銅、チタンも使えるため、いずれにしても資源的な問題はありません。こうした特性から、次世代のエネルギー技術として実に有用な価値を秘めたシステムと言えます。

実はこのシステムは日本発のアイデアで発案者は幡野先生の恩師なのですが、現在は研究面で欧米に先行されています。実際に稼動するパイロットプラントも、出力1メガワットクラスで世界に数基という現状です。地球環境への貢献のため、幡野先生は、これからも流動層内の粒子の動きを追い、酸化・還元や水分の吸放出過程を明らかにして行きます。



▲空気による金属の酸化と、炭化水素による酸化鉄の還元を組み合わせた燃焼の原理。効率的な二酸化炭素回収機構が組み込まれている。

Message ～受験生に向けて～

省エネルギーや再生可能エネルギー、あるいはエネルギーの地産地消に活かせる研究など、環境やエネルギー関連のテーマが卒業研究として想定されますが、人間総合理工学科内の他分野との共同研究にも可能性が広がります。例えば開発を進める予定の「健康維持システム」は、スポーツ健康科学や脳科学との関わりをなかで、新たなアイデアや進化形が生まれるのでは、と期待しています。革新的なテーマの発掘も、皆さんと共にできたらと考えています。