



新たな視点からのエネルギー利用

佐藤・齊藤 研究室～機械制御システム専攻



佐藤 勲 教授

齊藤 卓志 准教授

人間は、より快適な生活をするために工学を研究、利用してきた。工学技術の利用に伴うエネルギーの大量消費によって、化石燃料の枯渇が懸念されている。さらに先の東日本大震災以降、エネルギー供給量についての不安も高まっている。

佐藤・齊藤研究室で研究を行っているエネルギー利用工学は、エネルギーの有効利用を目的としている。今までよりエネルギーをうまく利用する方法を考え、より大きな成果をあげようとするこの分野は、現代に必要とされている分野であるだろう。



エネルギー利用工学とは

佐藤・齊藤研究室ではエネルギー利用工学についての研究を行っている。エネルギー利用工学とは、一定量のエネルギーを与えられたとき、より良い成果をあげるにはどうすればよいかを追求する学問である。同じ成果を得るために使用するエネルギーを少なくすることを追求する、省エネルギーの考え方とは、似て非なる考え方の学問だといえる。

例えば、エネルギー利用工学の観点から自動車を改良しようとする。この場合は、車体の振動

を少なくしたり、車内の通気性を高めたりすることによって、従来と同じ量のエネルギーを用いてより快適に運転できるような自動車を目指す。

エネルギー利用工学は、さまざまなエネルギーの有効利用について研究する学問であるため、その研究内容は多岐にわたる。佐藤・齊藤研究室でもさまざまな研究を行っているが、今回はその中から、空調・デシカントの研究、樹脂の塗布成形法の研究、マイクロバブルの研究の三つについて紹介する。

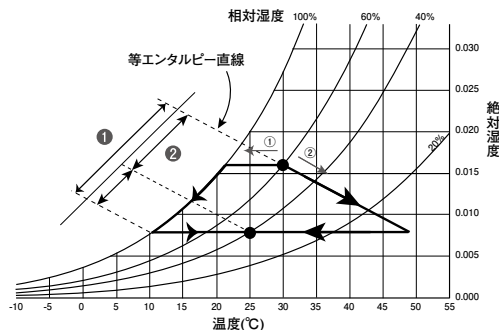


室内をより快適な空間へ

佐藤・齊藤研究室では、エネルギー利用工学の考え方にもとづき、従来と同じ量のエネルギーを用いて、室内をより快適な空間にする空調システムを開発しようと考え、デシカントを利用した空調システムの改良を行っている。デシカントは、空气中に存在する特定の物質を吸着し、その物質の量を減少させる役割を果たす。

通常の空調システムで空気を冷却、除湿する場合と、デシカントを用いる場合では、冷却、除湿

される空気のもつエネルギーの変化量に違いが生じてくる。その違いを調べるために、室内の温度と湿度を下げる際の温度と湿度が変化する様子をグラフで示した(図1)。この図は空気線図と呼ばれるもので、縦軸に絶対湿度、横軸に温度をとっている。絶対湿度とは、単位質量あたりの空気を含む水蒸気量の割合であり、相対湿度とは、ある温度での飽和水蒸気量に対して、存在している水蒸気量の割合のことをいい、文中で用いられてい



- ① 従来の空調システムでの除湿過程における、空気のエントルピー変化
② デシカントを用いた空調システムの除湿過程における、空気のエントルピー変化

図1 空気線図

る湿度は、相対湿度をさしている。ここにおけるエンタルピーとは、単位質量あたりの空気をもつエネルギーのことである。相対湿度は温度と絶対湿度によって決まり、温度が高くなるにつれて空気を含むことのできる水蒸気量は多くなる。その結果、温度ごとに同相対湿度の点を結ぶ線は図のように曲線となる。エンタルピーも、温度と絶対湿度によって決まるが、相対湿度とは異なり、エンタルピーは大きさが同じ点を結ぶと直線になる。

一般的な空調システムで、温度30℃、相対湿度60%の状態から、25℃40%の状態まで温度と相対湿度を下げる過程について考える(図1 - ①)。まず、相対湿度が100%、つまり水蒸気が飽和状態になる約22℃まで温度を下げる。温度を下げた後、水蒸気が飽和状態になるときの温度を露点という。露点に至ってから、さらに空気を冷やし続けると、水蒸気が凝縮し始める。その温度低下による水蒸気の凝縮を利用し、目標となる水蒸気量になる約10℃まで、空気を冷やし続ける。このとき、空気の状態は図のように、相対湿度100%の線に沿って変化する。その後、目標温度より冷やした空気を、室内の空気と混ぜたりヒーターで温めたりすることで目標温度であった25℃に戻し、部屋の中へ送る。

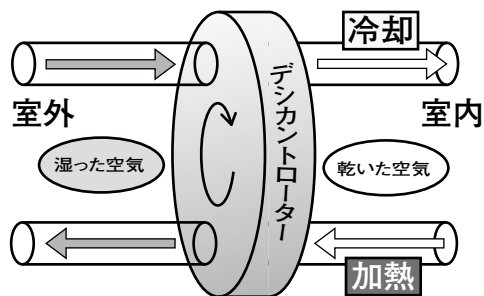
湿度を下げる行程において、露点に到達してからも冷却を続けると、水蒸気を凝縮させる分だけエネルギーが必要になる。そこで佐藤・齊藤研究室では、水分を吸着させるデシカントを利用した空調システムに注目した。デシカントを用いて除湿を行うことで、必要以上に空気を冷やす必要がなくなり、より少ないエネルギーで除湿を行うこ

とができる。

先程の過程について、デシカントを用いた場合を図に示した(図1 - ②)。この場合は、除湿過程において、空気中の水蒸気を凝縮させることなく取り除くため、エンタルピーは変化しない。その結果、等エンタルピー直線に沿って水蒸気量が減っていく。そして目標となる水蒸気量までデシカントで吸着させたあと、空気の温度を下げる。こうすることでエンタルピーの変化量が少なくなっていることがわかる。エンタルピーの変化量が少ないということは、空気に働かかけた仕事の量が少ないということになる。すなわち、湿度を下げる過程において使用されたエネルギーが少なくなっていることを示している。

以上のように、デシカントを使用するとより効率は良くなるが、従来のシステムに組み込んだだけでは不都合が生じる。なぜなら、デシカントをそのまま使用し続けると、吸着した水蒸気によりデシカントが湿ってしまい、それ以上水蒸気を吸着できなくなってしまうからだ。佐藤・齊藤研究室が開発している空調システムでは、室外機で放出されている熱を利用し、デシカントを乾燥させることで、その問題を解決した。

従来の空調システムには、室内機から室内へ空気を送る吹き出し口、室内から室内機へと空気を戻す吸い込み口が別々についており、室内機とそれぞれの口が、平行に並んだ管でつながっている。デシカントをその二つの管を通るように回すことで、デシカントの濡れている部分を乾燥させつつ、乾いている部分で除湿することを可能にした(図2)。



湿った空気をデシカントで除湿し、冷却して室内へ
乾いた空気を加熱し、デシカントを乾かしながら室外へ

図2 デシカント空調の概略図

現在、デシカントを利用した空調システムは、実機試験段階にきている。冷凍機やクーラーといった熱を取り除く装置の性能を表す指標の一つに、入力した電力に対し何倍の熱を取り除くかを示す COP (Coefficient of Performance) がある。このデシカントを利用した空調システムでは、通常の空調システムに比べて COP を 2 割上昇させることを目標に、さらなる研究・開発が行なわれている。

佐藤・齊藤研究室では、デシカントを用いた水蒸気を取り除くシステムに加えて、二酸化炭素を取り除くシステムの開発も行っている。人間は空気中の二酸化炭素の割合が上昇すると不快に感じる。通常は換気により、部屋の中の二酸化炭素を取り除いているが、それをデシカントで行おうと考えたのである。

二酸化炭素を取り除くデシカントは、湿度を下げるデシカントと構造が異なる。水蒸気を吸着するデシカントは、水分子の分極を利用し、その静電気力によって吸着させている。一方、二酸化炭素分子は無極性分子であるため、この方法で吸着させることはできない。この吸着メカニズムの違いにより、両方を一度に取り除くデシカントを作るのは難しい。

そこで、佐藤・齊藤研究室では、水分子と二酸化炭素分子を別々に取り除く方法を考えた。室内の取り込み口と吹き出し口から、室内機へと繋がる管とは別に、それらを直結させるバイパスを作り、その間に二酸化炭素を取り除くデシカントを設置するという方法である。

従来の空調システムの換気機能は、部屋の空気を外の空気と交換するもので、空気を大きく移動させる。そのため、換気に用いられるエネルギーは大きく、省エネルギーの考え方から換気量は最低限に抑えられているものが多い。その点、佐藤・齊藤研究室で考案した方法では、部屋のすぐ上のバイパスで二酸化炭素の吸着が行われるため、空気を大きく動かす必要がない。これにより、換気に同じ量のエネルギーを利用した時よりも、多くの二酸化炭素を取り除くことができる。

現状の方法では、二酸化炭素を吸着したあと、それを脱着するために大きなエネルギーが必要となる、という問題点がある。現在、この問題を解決するためにさまざまな方法が検討されている。この問題を解決することができれば、同じエネルギーの量で、部屋の温度と湿度をより下げられるようになるだけではなく、より快適な空間へと変えていくこともできるだろう。



より精密な成形を可能に一塗布成形法

身の回りにはたくさんのプラスチック製品がある。簡単な形をしたものから、複雑で作るのに高度な技術が必要とするものまで、その形状や性質、用途はさまざまである。佐藤・齊藤研究室ではプラスチック製品を作る際の、樹脂の成形方法

に注目した。同じ量のエネルギーを用いて、より精密なプラスチック製品を作ることができる塗布成形法の研究について紹介する。

樹脂の一般的な成形法として、射出成形法と呼ばれる方法がある。射出成形法とは、加熱して流動性をもたせた樹脂を、常温の分厚い金型に勢いよく流し込み、樹脂と金型の温度差によって冷却、成形する方法である。身の回りのほとんどのプラスチック製品がこの方法で作られている。

しかし、カメラのレンズに代表される光学製品や、DNA・タンパク質の解析に使われるバイオチップなど、細かい成形が必要な製品を作る際にはこの方法を用いることができない。なぜなら、射出成形法では常温の金型と温められた樹脂の温度差が大きいため、流し込んだ樹脂が急激に冷やされてしまい、金型の細部に入り込む前に固まってしまうためである(図3)。

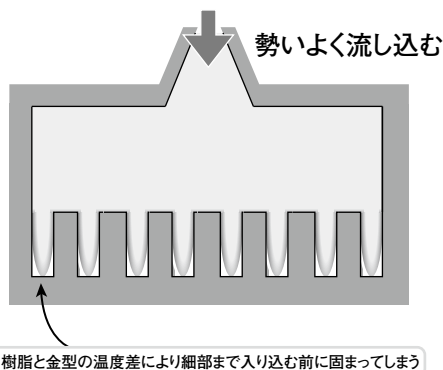


図3 射出成形法



塗布成形法のような、広い金型の表面に対して薄く樹脂を塗り広げていくという成形法は、今までにあまり試みられてこなかったため、樹脂にどのような現象が起きるのかがわからなかった。そ

マイクロバブルの有効利用

現在、この研究は、どのような製品に適用するの
 のがいいのか、という試行成形の段階に入っている。
 研究の成果が実用化される日も近いだろう。

クテリアなどの微生物を活性化させるために、マイクロバブル化した酸素を水に溶かす。これは、マイクロバブルの比表面積が大きいいため、水に溶けやすいという特徴を利用している。他にも、船を動かすときに、船体と海水の間にマイクロバブ

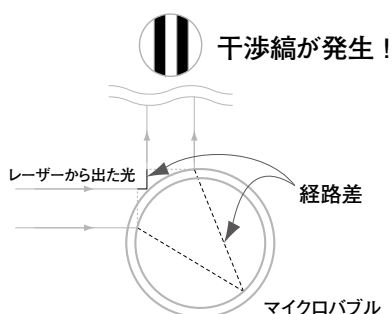


図5 干渉画像法

ルを流すことにより、船体表面の摩擦抵抗を減らすことができる。これによって、船体が進みやすくなり、推進に使用するエネルギーを少なくすることができる。

マイクロバブルのもつその他の特徴として、通常の泡と比べて表面の帯電の影響がより顕著に表れることがあげられる。マイクロバブルの帯電メカニズムは未だ解明されていないが、その帯電によって特殊な現象が起きることが知られている。

通常の泡であれば、泡同士がぶつかり合うと、それらが合わさり、大きな一つの泡になる。しかし、マイクロバブルの場合、帯電による斥力が、浮力や外的な要因によってくっつく方向に働く力を上回り、大きい泡にならない。これはマイクロバブル特有の現象の一つである。

佐藤・齊藤研究室では、マイクロバブルによって引き起こされるさまざまな現象の原因の解明を目的とし、液体中でのマイクロバブルの帯電状態や、泡の大きさを調べている。これらを解明することで、マイクロバブルの利用目的に応じた、泡の大きさや作り方の最適化を容易に行うことができるようになるだろう。

マイクロバブルの帯電の強さは、水槽の側面に外側から電極を貼りつけて電界を作り、水中のマイクロバブルの動きを観察することで測定する。理論的には、マイクロバブルの動く速さは帯電の強さに比例するはずであるが、実測では比例しない場合がある。なぜなら、マイクロバブルはその

小ささ故に、液体の微小な流動にすら影響を受けるからだ。そのため、電極の方向に移動したとしても、微小な流動によるものなのか、電界によるものなのか判別することができない。佐藤・齊藤研究室では、マイクロバブルの帯電の強さを正しく測るために、電極の正負を適宜入れ替え、二方向について測定を行うことで、結果に流動の影響が現れてこないようにする工夫をしている。

マイクロバブルの大きさはミクロン単位のため、光学顕微鏡で直接観測することが困難である。そこで、マイクロバブルの大きさを測るときは、干渉画像法という方法を用いる。

干渉画像法では、まず、大きさのわからないマイクロバブルに向かってレーザーを当てる。この際、マイクロバブルの表面で反射した光と、中を通して出てきた光の経路差が波長以上ならば、光の干渉により干渉縞が現れる(図5)。その干渉縞を光学顕微鏡で観測する。その縞の間隔と想定される経路差から、マイクロバブルの大きさを算出することができるのだ。

これらの方法を用いて、マイクロバブルによって引き起こされる現象の原因を突き止め、最適化を図る。先にあげた例では、マイクロバブルを污水处理に用いる場合、うまく帯電の状態を整えると、泡同士が反発しあいくっつかない状態になるため、泡を素早く水に溶かすことができる。また、船の推進に用いる場合、船の先端から泡を流す際に、船の後方まで泡が船体にまとわりついたほうが無駄が少なく、効果が高い。その場合も泡を放出する条件や、帯電状態を整えることで、マイクロバブル同士がくっつかない状態を維持し、さらに水面まで上昇して消滅するまでの時間を長くすることができる。

佐藤・齊藤研究室では、さまざまな実験から現象がどのような仕組みで起きているのかを理解することで、マイクロバブルの新たな利用法の発見と、既存の技術の最適化を目標として研究をしている。佐藤・齊藤研究室のさらなる研究の成果にも期待したい。

記事を執筆するにあたり、佐藤先生、齊藤先生から伺ったエネルギー利用工学のお話は、工学を学ぶ一学生として非常に興味深いものでした。

お忙しい中、度重なる取材や質問、記事の内容確認などに快く応じてくださった佐藤先生、齊藤先生へ厚くお礼申し上げます。(横口 太郎)