

ChemENG 13

Tokyo Institute of Technology Chemical Engineering

OCT
2013

「移動現象論を学ぶことの効能」

大学院理工学研究科
化学工学専攻教授
鈴木 正昭

本化学工学専攻は、約40年前に東京大学航空工学科から神澤淳先生を招へいし、化学工学で初めてプラズマプロセス研究をスタートさせた。私は神澤先生の最初の学生として、卒業研究から、全く新しい分野であったプラズマをテーマに研究に参加できる幸運に恵まれた。一方、その頃、本学に初めて大型計算機が導入され、これを使ってプラズマ中の移動現象の数値解析を行えたことも私にとって幸運なことであった。神澤先生からは、実験と数値解析をバランス良く組み合わせて研究する重要性を教えられた。以来、移動現象に関する実験研究と数値解析が私の研究の

ツールとなったのは言うまでもない。

プラズマは高温の電離気体であり、その振る舞いは、化学工学における運動量移動、熱移動、物質移動の各現象論と反応工学、さらに電磁気学の理論をもって記述する。ここで学んだことは、簡単にいえば、物理量がポテンシャルの高い方から低い方へと流れる移動現象であり、これら自然現象は同じ考え方によって理解することができることを学んだ。流体力学の権威であった東京大学の今井功先生は、1990年に「電磁気学を考える」という本を書かれ、流体力学の方程式と考え方を使って電磁気学の体系を説明した。電磁気学も然りなのである。

博士課程修了後、本学の原子炉工学研究所の助手となった。原子炉研では、原子力化学工学に関する研究を行う一方で、原子炉理論や核反応そのものについての勉強もした。原子炉理論の基になるのは、原子炉物理という学問で、核燃料を中心

とする原子炉体系における中性子の挙動を記述するが、その挙動の本質は拡散現象である。密度の高い方から低い方へ中性子が拡散する過程で、中性子が核燃料や構造材に吸収されたり、核反応を起こして新たな中性子が発生する。中性子束という変数を使って記述する点異なるが、本質的には、移動現象論であることが良くわかった。

私は、平成26年3月をもって定年を迎える。移動現象論を飯のタネとして研究を行い、様々な分野に多少なりとも貢献することができた。学術的には、原子力やプラズマに関する研究成果がそれなりに得られたし、社会的には、日本初の統合流体解析ソフトを作る国家プロジェクトに参加したり、国の原子力安全に関する様々な委員会へ参加して貢献することができた。「移動現象論を学ぶことの効能」を最大限に発揮できた幸運な大学生活であったと思う。

TOPICS

「反応分離プロセス設計のための多目的最適化手法」

Written by: 松本 秀行

省エネルギー、安全性、環境負荷低減、経済性向上などを目指し複数異種の機能を統合したプロセス装置の研究・開発に、「単位操作」という視点をもつケミカルエンジニアが貢献するところが多い。例えば、一つの装置の中に「反応操作」と「分離操作」を組み込んだメンブレンリアクターや反応蒸留塔などの反応分離プロセス装置の創出が挙げられる。このような反応分離プロセスの効率を最大限かつ安定

的に引き出す運転操作を行うためには、反応の非線形ダイナミクス、分離による化学平衡のシフトや装置内移動現象などの緻密な制御を考慮したプロセス設計が求められる。反応蒸留プロセスについては、反応と分離のハイブリッド化により多重定常状態を示すことが以前より報告されており (Singh ら, 2005)、最近では多重定常状態の制御がプロセスの強化につながる事が提案されている (Matsuda ら, 2011)。

さて、運転操作性を考慮しながら反応分離プロセス設計を効率よく行うための技術として、プロセスシミュレーションと多目的最適解の探索アルゴリズムを連携させたシステムが有用である。例えば、反

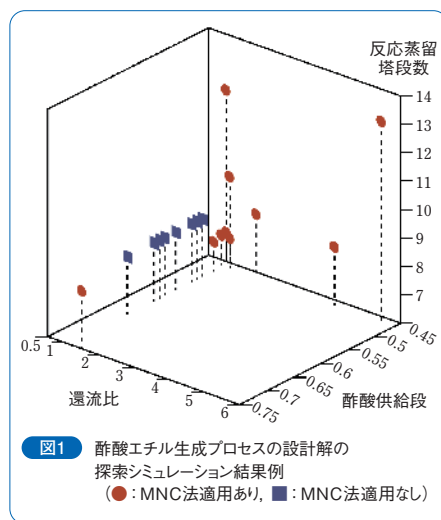


図1 酢酸エチル生成プロセスの設計解の探索シミュレーション結果例
(●: MNC法適用あり, ■: MNC法適用なし)

応蒸留プロセスの設計について、Suresh Babu ら (2009) は、設計解の探索手法

として、生物進化の過程を工学的最適化問題の解法に応用した遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) の有用性を示している。GAは1点の最適解だけでなく複数の好適解も同時に得られるという特徴を有しており、筆者らはMulti-Niche Crowding (MNC) 法を用いると、最適解の周りで比較的分散性の高い好適解が得られることを明らかにしている (図1)。このように最適解周りで多様な設計解候補が得られるアルゴリズムの適用は、前述の多重定常状態の存在や最適解が示すプロセスの動特性の解析の効率化につながると期待されている。

最後に、昨今注目されている再生可能エネルギーの創出・利用システムの展開を鑑

みれば、反応分離プロセスについても、取り巻く環境の時間的変動に対して省エネルギー性能や経済性を低下させることなく柔軟に対応しうるプロセスの開発が求められるであろうと予想される。計測・分析技術の発展に伴って精度が向上していくであろうダイナミックシミュレーションの利用は柔軟性のあるプロセスの設計のさらなる効率化につながると考えられるが、多目的最適解探索で導かれる多様なシミュレーション結果の評価とそれに基づく意思決定についてはまだまだ取り組むべき課題が多い。

Singh, B. P., R. Singh, M. V. P. Kumar and N. Kaistha; "Steady-State Analy-

ses for Reactive Distillation Control: An MTBE Case Study", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18, 283-292 (2005)

Matsuda, K., T. Ikoshi, T. Yamaki, M. Shishido, K. Iwakabe, T. Ohmori and M. Nakaiwa; "Steady State simulation of Reactive Distillation for TAME Synthesis," Kagaku Kogaku Ronbunshu, 37(2), 104-109 (2011)

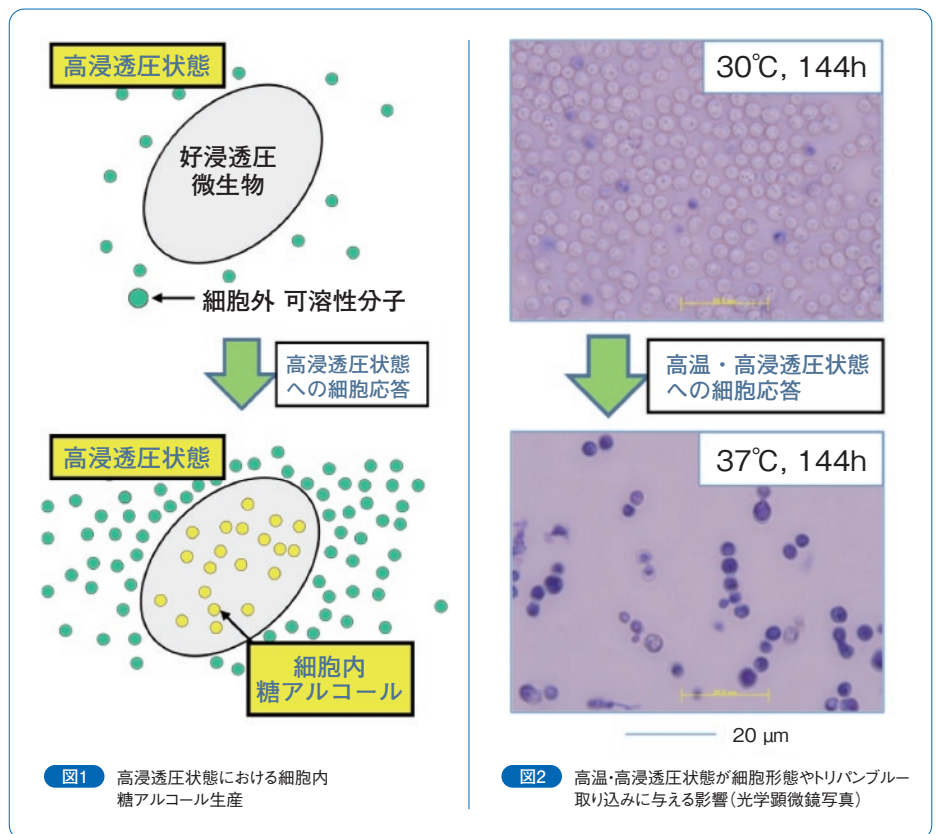
Suresh Babu, K., M. V. Pavan Kumar and N. Kaistha; "Controllable Optimized Designs of an Ideal Reactive Distillation System Using Genetic Algorithm", Chem. Eng. Sci., 64, 4929-4942 (2009)

Laboratory Now

「ホエイ乳糖のバイオリファイナー」

Written by: 浅見 和広

我々は未利用資源を生物プロセスによって有用な物質に変換する研究を行っている。牛乳からチーズを製造する際、ホエイと呼ばれる液体の副生成物が得られる。ホエイ中のタンパク質は膜分離技術により回収され、主にプロテインとして販売される。残る脱タンパク質ホエイには乳糖と灰分が含まれていて、その利用については、エタノール発酵、水素発酵などのエネルギー回収技術が多く研究報告されている。我々はより高付加価値製品をつくるために、糖アルコールや菌体外生体物質 (内緒) に注目して研究を行っている。糖アルコールのひとつ、D-アラビトールの発酵生産について紹介する。D-アラビトールは低カロリー甘味料、あるいは食品添加物、ポリマー添加物、医薬品原料としての利用が見込まれている高付加価値化合物である。味噌や蜂蜜などに生息する微生物には高浸透圧環境に対抗するために細胞内に糖アルコールを生成するものがある (図1。糖アルコール生産)。それが培養後期に徐々に細胞外に漏れ出すこともある。我々の研究室では高濃度乳糖培地 (高浸透圧培地) で培養した酵母がグリセロールやD-アラビトールといった糖ア



ルコールを生成することを示してきた。高浸透圧状態以外に、通常の培養温度より5-10°C程度高い温度で培養することが必要であると分かってきた。高温・高浸透圧と糖アルコール生成の関連性は未解明のままである。現時点、高浸透圧状態かつ高温 (37°C) で培養すると平温の場合 (30°C) と比較して酵母細胞の形態が変わってきて、若干サイズが大きくなること

が分かってきた (図2)。また、細胞ストレスの目安にもなる、トリパンブルー (青色色素) の取り込み量が、高温状態だと多くなった。今後、さまざまな分析技術を導入して、D-アラビトール生成メカニズムをより詳細に明らかにすべきと考えている。



学生の声

「カナダ留学体験記」

Written by: 太田口研究室 高村洋輝

私は修士1年生の8月から9ヶ月間、授業料等不徴収協定に基づく派遣交換留学プログラムによりカナダのウォータールー大学に留学してきました。ウォータールー大学は、3万名ほどの学生がいる大規模な理工系中心の大学で、オンタリオ州トロントから約120キロメートル南西に位置し、バスでは約1時間半かかります。カナダはヨーロッパ、アジア、インド、中東、南北アメリカ、アフリカなど様々な人種が混在する国で、ウォータールー大学付近では特にドイツと中国からの移民が多く日本人は少なかったです。また、Co-opプログラムというインターンシップ制度が充実していて、学部生は1年のうち8ヶ月は大学で勉強し、残り4ヶ月を企業で研修し、計5年かけて卒業し就職をするのが主流でした。修士学生の企業共同研究も盛んで、企業に長期出張ということもよくあります。

学業面では、化学工学専攻で主にグループプロジェクト重視の授業を取りました。生物化学工学の授業では、たん白質製造バイオリクター詳細設計プロジェクトや、人間が居住可能な小生態系を火星に作るMELISSAプロジェクトを勉強しました。論文を読みアイデアを出し合いな



化学工学専攻の友達とアルゴンキン州立公園へ紅葉を見にきました

がら計算して、実行可能かどうか検討しました。また、学部生の卒業論文にあたるグループプロジェクトのクラスでは、食品化学の研究施設の設計をしました。大学や研究機関の施設を見学しにいたり、CADで実験室を設計したり、施設の環境に与える影響、コストなどの側面も分析して、プランを改善していきました。学内でポスター発表、プレゼンテーションの他、学会でも発表する機会も頂けました。

グループワークでは、TOEFLで基準点を超えていてもまだまだ十分な英語力でないことを思い知らされました。ネイティブの会話はとても速く始めはなかなか意見を言えず苦労しましたが、次第に積極的に意見を言えるようになりました。また、周り

の学生はとても速く英語論文を読むことができ情報収集力において差がついてしまったので、これからは克服していきたいと思います。

この留学では多くの考え方に触れ自分の価値観やものの見方も変わり、素晴らしい経験になりました。卒業が1年遅れてしまいますが、それを差し引いても留学して良かったと思います。またTOEFLの点数はなかなか上がりにくいので、留学を思い立ったらできるだけ早く、少なくとも2年以上前から勉強を始めるといいと思います。最後に、このような機会を与えてくださったプログラムに携わる方々、快く送り出してくださった先生方に心より感謝申し上げます。☺

サイエンスワンポイント

「身の回りの化学工学 扇風機アイスと現象をみる目」

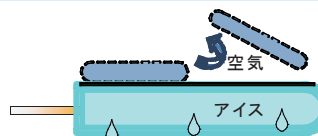
Written by: 伊東 章

暑い日に扇風機の前でアイスを食べながら涼むのはよくあることです。しかし、扇風機風でアイスがどんどんとけてあわててしまいます。このことは特に子供にとってたいへん不思議なことのようにです。なぜなら扇風機風は涼しく感じるのに、アイスにとって扇風機風はかえって暑いかにように早くとけるからです。このことは子供から親へのFAQのひとつですが、おとなのみなさんはうまく答えられますか？



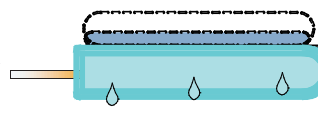
「風で早くとけるのはなぜ？」

レベル★
空気層はぎ取りモデル



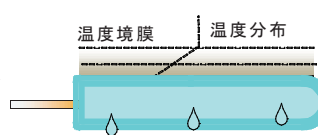
A.
「温度の低い空気層はぎ取られるから」

レベル★★
静止空気層モデル



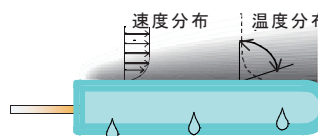
A.
「温度の低い空気層が薄くなるから」

レベル★★★
境界膜モデル



A.
「温度境界膜厚さが薄くなるから」

レベル★★★★
移動論モデル



A.
「表面温度勾配が増加するから」



「アイスの表面には冷たい空気の層があり、これが扇風機の風ではぎ取られ、暖かい空気が直接触れるので早く溶ける」がレベル★の小学生向け説明です。よくある説明です。

「アイスの表面には静止した冷たい空気層があるが、その厚さが薄くなり空気の熱が伝わり易くなるから」がレベル★★の中学生向け説明です。風があるとなぜ空気層が薄くなるかは別に説明が必要でしょう。

大学レベルの伝熱工学で静止境界膜モデ

ル(レベル★★★)を教わります。このレベルでやっと「定量的」にとける速さ計算することができます。しかし「境界膜」というのは工学特有のモデルであり、一般には「科学的でない」という印象がもたれ、これが高校物理で対流伝熱が排除されている原因です。

さらに移動論を学ぶことで、伝熱は表面の温度勾配が支配しており、風はその温度勾配に影響する、という機構(レベル★★★★)で理解されます。シミュレーションも可能です。

ひとに説明するときは、このようなモデル化のレベルを知った上で、相手に応じて適切なモデルを使うのが肝心です。特に境界膜モデルは簡単で、日常の現象の説明に広範に使えるので、本シリーズで有用性をアピールしているところです。☑

I

Information お知らせ

表彰

化学工学専攻の教員、学生、ならびに大学院修了生が、以下のように表彰されました。

- 久保内 昌敏 教授
日本材料科学会 功労賞(2013年6月)
- 下山 裕介 准教授
平成25年度東工大挑戦的研究賞、「水と二酸化炭素の相乗的膨潤効果を利用した眼科DDSにおける薬物徐放性の発現」(2013年10月)
- 廣田 雄一郎 助教
平成25年度工学系若手奨励賞、「リン酸系ゼオライトナノブロックを用いた水素分離膜の開発」(2013年10月)
- 横崎 祐太 氏(下山研究室、修士過程1年)
公益社団法人化学工学会第15回学生発表会優秀賞、「超臨界二酸化炭素を用いた眼科ドラッグデリバリーシステムの作製と薬物放出の挙動解明」(2013年3月)
- 村上 奨 氏(久保内研究室、修士課程2年)
日本材料科学会平成25年度学術講演大会若手奨励賞(ポスター発表部門)、「非酸化性ガス環境におけるエポキシ樹脂の寿命予測」(2013年6月)
- 坂部 淳一 氏(下山研究室、博士課程2年)
分離技術会年会2013 学生賞・奨励賞、「空孔理論に基づく状態方程式を用いた超臨界二酸化炭素に対する薬物の溶解度推算」(2013年6月)
- 坂部 淳一 氏(下山研究室、博士課程2年)
分離技術会年会2013 東洋エンジニアリング賞(2013年6月)
- Ramos Bruno 氏(大川原研究室、博士課程2年)
5th Multidisciplinary International Student Workshop (MISW 2013)、最優秀発表賞を受賞、ならびにAOTULE学生ワークショップへの派遣学生に選抜されました。(2013年8月)
- 橋本 唯 氏(久保内研究室、修士課程1年)
5th Multidisciplinary International Student Workshop (MISW 2013)において、優秀発表者として、AOTULE学生ワークショップへの派遣学生に選抜されました。(2013年8月)
- 横崎 祐太 氏(下山研究室、修士課程1年)
公益社団法人化学工学会平成25年度盛岡大会学生賞・銅賞、「超臨界溶媒含浸法を用いた眼科ドラッグデリバリーシステム作製における水添加の影響」(2013年8月)
- 菅村 太希 氏(下山研究室、修士課程1年)
公益社団法人化学工学会平成25年度盛岡大会学生賞・特別賞、「超臨界乾燥を利用したイオン液体ゲルバインダーによる空気電池正極の創製」(2013年8月)
- 横崎 祐太 氏(下山研究室、修士課程1年)
公益社団法人化学工学会第45回秋季大会シンポジウム「亜臨界・超臨界流体の高度利用技術の新展開」 優秀賞、「超臨界溶媒含浸法による眼科ドラッグデリバリーシステム作製における水添加の影響」(2013年9月)



東京工業大学大学院理工学研究科
化学工学専攻
<http://www.chemeng.titech.ac.jp/index.htm>

<http://www.chemeng.titech.ac.jp/>

【ChemENGニュースレターに関するご意見、ご要望、お問い合わせは、下記までお願いします。】

ChemENG編集委員会 E-mail: newsletter@chemeng.titech.ac.jp Phone: 03-5734-2475

