



## 「化学工学の再生」



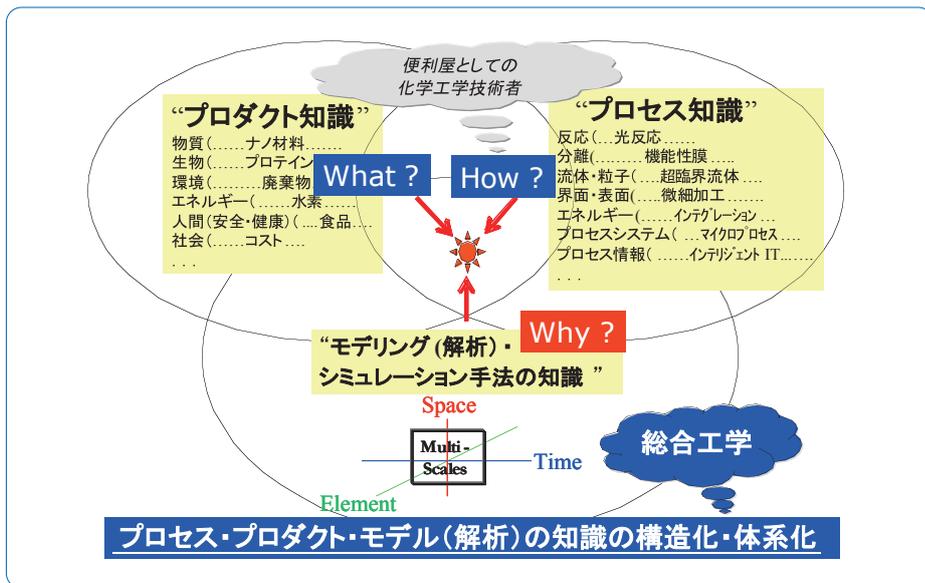
大学院理工学研究科  
化学工学専攻

教授  
黒田 千秋

化学工学が総合工学の一員としてダイバージェンスし始めて久しい。そのためか、ケミカルエンジニアは多種多様な分野で重要な役割を担いながら大いに活躍している。とすると、問題解決プロフェッショナルたる便利屋、何でも屋として飛び回っているようにも見られるが、それはそれとして、大成した化学工学を学んだケミカルエンジニアのすばらしい勲章であり、今後もその栄誉が消し去られることはないと思っている。

しかし、誰もが感じているのではないかと思うことは、「工学一分野の歴史は短く、工学は何時も変化し続けなければならない」という現実である。現在、「化学工学科」が存在する大学が日本では本学だけとなってしまったことは大変寂しいことではあるが、これこそ化学工学が工学の一員として変化し続けてきた証拠であり、我々東工大化学工学科・専攻がしんがりを立てに勤め上げ、化学工学の再生に繋げなければならないと思っている。

化学工学の工学における独自性と立ち位置を思い返してみると、それらを明示する言葉は「単位



操作」と「プロセス」の二語に尽きると考える。その再生は、「単位操作に共通の問題を研究するためのマルチスケール移動現象論の更なる展開」と、「本質安全プロセス設計の概念から発するプロセス強化の更なる展開」にかかっている。プロセス強化とは、化学装置・プロセス内の現象を解析・モデル化し、それらの知識を構造化・体系化して、プロセスの構造・操作・エネルギー供給の組織的かつ効果的な組合せ・活用を行う統合化されたプロセス設計の最適化戦略と説明できる。

すなわち、方法論を主体とした問題解決学に指向してきた化学工学の再生に必要なことは、「科学の目」を今一度大きく見開くことだと思う。それは、下図に示すように「How?」だけに固執することなく、「What?」と「Why?」の目を合わせて、三つの目で捉えた知識の活用を図ることだと思う。

有名雑誌名でもある「Chemical Engineering Science」の真意を、今一度、再考してみたいと思っている。

## TOPICS

### 「プラズマ化学反応を利用した窒素の同位体分離」

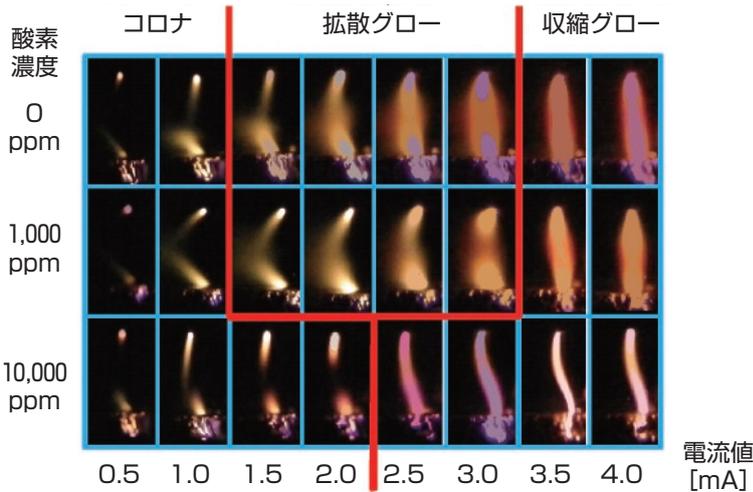
Written by: 森 伸介

窒素の安定同位体<sup>15</sup>N(天然存在比<sup>14</sup>N:<sup>15</sup>N=99.634%:0.366%)は、バイオ分野でのトレーサーや化学分野での核磁気共鳴分析等に利用されています。現在実用化されている窒素同位体の分離方法は、一酸化窒素ガスと硝酸水溶液との接触によって起こる窒素同位体化学

交換反応を利用したのですが、毒性の高いガスと腐食性の高い溶液を用いているため、より安全な分離法の開発が望まれています。ここでは、プラズマ中の化学反応を用いた窒素同位体分離法の研究紹介をします。この方法では、Zeldovich機構((R1)と(R2))を用いて窒素と酸素からNOを合成し、そのNOの中に窒素15を濃縮させることで窒素同位体を分離します。Zeldovich機構では、窒素分子の結合が非常に強固であるために、反応(R1)が律速段階となります。しかし、当然ながら熱エネルギーを用いて反応(R1)を行っても同位体は濃縮しません。ここでプラズマの出番となります。プラズマ中には

様々な励起種が存在しますが、振動励起分子N<sub>2</sub>(v)が反応(R1)を引き起こす時のみ同位体が濃縮することが知られています(即ち反応(R3))。これは、振動エネルギー交換反応に、重い同位体種を含む分子の方が振動励起し易いという特性があるためです。振動励起した窒素分子中に<sup>15</sup>Nが濃縮されているために、<sup>15</sup>Nを含む分子が選択的に反応(R3)を引き起こし、結果的にNOの中に<sup>15</sup>Nが濃縮されることになります。我々は大気圧プラズマを用いてこの窒素同位体分離を研究しています。大気圧プラズマは装置が簡便であることや、大量処理能力に優れることから、工業化を考えた場合に魅力的なプロセ

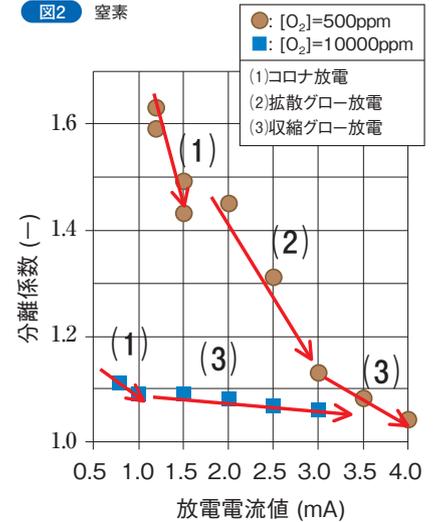
図1 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>大気圧プラズマの電流値、酸素濃度と放電モードの関係



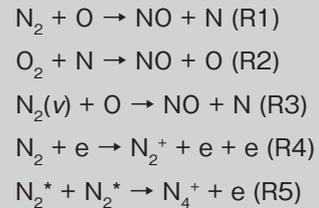
スですが、通常、大気圧でプラズマを生成すると熱プラズマとなり、熱エネルギーで化学反応が進行してしまうので同位体効果は表れません。しかし、N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>混合ガスの場合には、酸素濃度と電流値を共に低く保てば、大気圧下でも一様な非熱プラズマを生成できることが報告されていますので、我々もそのような条件でプラズマを生成し、同位体分離特性を調べました。その結果、図1、2に示すように、非熱プラズマである拡散グロー放電が生成するような条件の場合に、分離係数

が増加することがわかりました。この大気圧拡散グロー放電とは、電子による直接電離反応(R4)ではなく長寿命の励起種N<sub>2</sub>\*による電離反応(例えば(R5))が放電を維持するときに現れる時空間的に拡散し、放電領域から拡がりを持ったプラズマのことです。このように、同位体濃縮機構と大気圧拡散グロー放電維持機構に相関があるという興味深い知見と、最大で約1.6という比較的大きな分離係数を得ることができました。今後はより詳細な反応メカニズムの解明と、反

図2 窒素



応収率を向上させるという課題に取り組んでいく予定です。



## Laboratory Now

### 「ゼオライト触媒によるメタノールからの低級オレフィン合成」

Written by: 廣田 雄一郎

エチレン、プロピレン、ブテン(これらをまとめて低級オレフィンと呼びます)は化学産業を支える基礎材料です。現在の主な低級オレフィンの製造原料はナフサですが、原料資源多様化の観点から石油に依存しない製造プロセスが模索されています。その一つがメタノールを出発物質とするMTO(Methanol-to-Olefin)反応です。図1にメタノールからの炭化水素合成反応の全体像を示しました。まず、メタノール同士の脱水縮合によりジメチルエーテルが生成し、そこから低級オレフィンが生成します。更に反応が進行すると、芳香族炭化水素が生成する逐次反応となっており、MTO反応はメタノールから出発し、オレフィン合成反応までを指します。

このMTO反応の触媒として研究されてい

図1 メタノールからの炭化水素合成反応

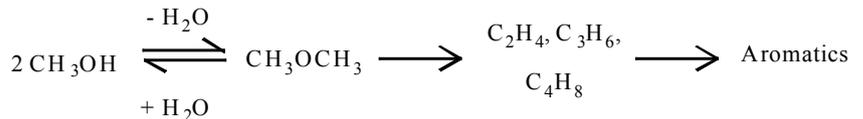
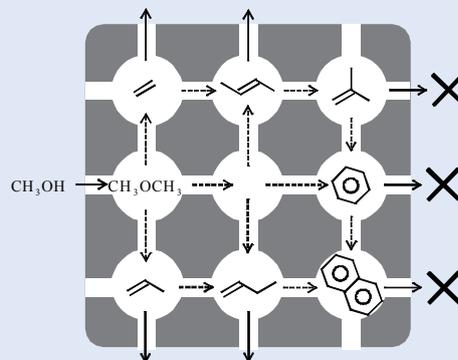
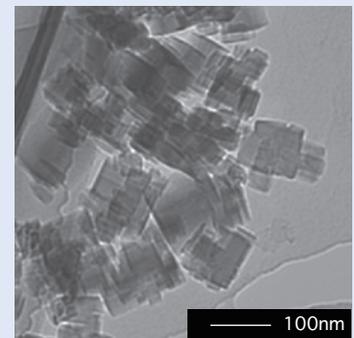


図2 SAPO-34ゼオライト触媒内での反応イメージ



る材料がゼオライトです。ゼオライトはSiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などから成る結晶性の多孔質材料です。ゼオライト触媒の最大の特徴は、0.3~1 nmの細孔を有していることです。MTO反応

図3 SAPO-34ナノ粒子電子顕微鏡写真



触媒として盛んに研究されているゼオライトの1つにSAPO-34があります。SAPO-34ゼオライトは0.38 nmの細孔を有しており、この細孔径はメタンの分子径とほぼ等しく、直



鎖の炭化水素のみがSAPO-34ゼオライトの細孔を透過することができます。一方、枝分かれした炭化水素や芳香族炭化水素はその分子径の大きさ故にSAPO-34ゼオライトの細孔を透過することができません。結果として、細孔内で生成した炭化水素の中で、直鎖の炭化水素のみが生成物として得られることになります(図2)。一方で、SAPO-34ゼオライト触媒は活性低下が非常に早いという課題もあります。図2に示したよう

に、生成した芳香族炭化水素は反応場である細孔を物理的に閉塞させてしまいます。閉塞箇所が次第に広がり、触媒の活性低下へと繋がるのです。そこで、活性低下の速度を抑えるべく、SAPO-34ゼオライトの微粒子化に取り組み、100 nm以下のナノ粒子を開発しました。図3に電子顕微鏡写真を示します。SAPO-34ゼオライトナノ粒子はマイクロメートルサイズのものと比較し、高い低級オレフィン選択性を維持しつつ、

活性低下を大きく抑制することができました。微粒子化により反応物質が素早く粒子外へと拡散し、芳香族炭化水素の生成反応を抑制できた効果でした。

このように、選択性の高い触媒を開発することのみが触媒開発研究ではありません。工業化においては、触媒の寿命、ハンドリング性、実際のプロセスなども考慮した触媒開発研究が重要となってきます。☑

## 学生の声

### 「アトランタ滞在記」

Written by: 下山研究室 東郷 昌輝

私は、博士後期課程1年次の5月から3か月間、博士一貫教育プログラムの化学工学派遣プロジェクトとして、アメリカ合衆国ジョージア州アトランタにあるジョージア工科大学に滞在しました。今回の派遣では、Amyn Teja教授に受け入れていただきました。

アトランタは、片側6車線の高速道路をはじめとし、道路網の整備が進んでいます。そのため、自動車への依存度が高く、歩行者や地下鉄の利用者はあまり多くありませんでした。私は、比較的治安が良いと言われているアトランタ市域の北部から、地下鉄を利用して大学へ通いました。大学は、その名が示す通り、自然科学・技術に特化した教育を行っていますが、スポーツにも力を入れており、各種スポーツ施設が充実していました。

研究室には、2人のPh.D.課程の学生が在

籍していましたが、2人ともアジアからの留学生でした。居室は4、5人用の部屋を2つ使用しており、特に同室だったバングラデシュ人の学生と、研究に関してだけではなく、博士課程を取り巻く環境や、それぞれの国について等、様々な話をしました。

研究としては、超臨界CO<sub>2</sub>に対する医薬物質の溶解度に関する研究を行いました。対象とする系や用いる式、相関手法など、日本での研究とは異なるものが要求される中で、論文から学び、前述のように学生と議論することで、研究を進めていきました。集中できる環境で研究に取り組むことで、特に計算プログラムの作成に関しては、帰国後の研究に役立つものが得られたと思います。また、Ph.D.のディフェンスや学会発表練習にも参加させていただきました。口頭発表を聴く場合には、自身の研究の場合と異なり、議論に英語力が要求されます。そういった機会に、その場ですぐに質問をすることができなかったことで、特に言語力の不足と重要さを痛感しました。

渡米の準備から帰国まで、予想外のことに



博士研究員Zahid氏(左)  
と筆者(右)

苦勞させられました。この3か月間で学んだことや得た経験は、大きな財産になったと思います。最後に、このような機会を与えてくださった博士一貫教育プログラムに携わる先生方、快く送り出してくださいました先生方に心より感謝申し上げます。☑

## 化学工学専攻の研究紹介

平成24年度の博士論文と修士論文の題目を以下に紹介します。

### 博士論文

#### ■太田口 研究室

・Kinetics of growth and red pigment production of the Fungus *Monascus ruber* in solid surface cultures

#### ■久保内 研究室

・Anisotropic transport in polymer composites with asymmetric shaped reinforcement

#### ■関口 研究室

・Chemical reaction process in the spouted bed combined with gliding arc discharge

#### ■谷口 研究室

・エアロゾル技術と粉体技術を用いたリチウム二次電池次世代正極材料の合成とその電池特性

### 修士論文

#### ■太田口 研究室

・Kinetics of D-arabitol production in dying yeast *Kluyveromyces lactis*  
・Metabolic engineering approach to activate

hydrogen production in *Synechocystis* sp.

Strain PCC6803

- ・生物反応器を用いた多糖アルギン酸のモノマー配列制御
- ・紙分解生成物を用いたトリコデルマ菌セルラーゼ生成反応の高活性化
- ・液相反応器を用いた紅麹食用色素生成反応の解析

#### ■黒田 研究室

・泡沫層のモニタリングのための音響利用方法

#### ■鈴木 研究室

・マイクロ波プラズマCVD法による化学修飾され



たカーボンナノウォールの合成色素増感太陽電池対極への応用

#### ■益子 研究室

- ・耐荷重添加剤が水素含有量の異なるDLC膜のトライボロジー特性に及ぼす影響
- ・リン系耐荷重添加剤により形成されたトライボフィルム表面力学特性解明への微視的摩擦測定からのアプローチ

#### ■伊東 研究室

- ・イオン液体／アミン混合液体膜による空気中からの二酸化炭素回収法

#### ■久保内 研究室

- ・フッ素樹脂ライニングの高温環境下におけるポリスター発生機構の検討
- ・耐食FRP製機器に対する非破壊検査の有効性評価

#### ■関口 研究室

- ・エジェクター冷却サイクルにおける二成分混合冷媒の適用
- ・幾何異性体を含む不飽和有機化合物のプラズマを用いた水素化
- ・誘電体バリア放電を利用したPM除去法における反応機構の考察

#### ■吉川 研究室

- ・中空糸膜型血漿分離器内の流動が濾過に及ぼす影響を考慮した設計指針
- ・防食コーティング壁を有する二重円筒間の流動と摩擦に関する研究
- ・膜分離活性汚泥法におけるファウリング抑制のための散気条件の検討

#### ■谷口 研究室

- ・リチウムイオン二次電池新規正極材料として $\text{Li}_2\text{MnP}_2\text{O}_7$ の合成と電池特性評価
- ・ホウ酸鉄リチウムの噴霧熱分解合成とその電気化学特性

#### ■瀧野 研究室

- ・原料発生源の特徴を考慮したバイオマス利用のためのサプライチェーン構築
- ・プロセス安全設計のためのPHA統合環境の構築
- ・製薬系開発段階におけるリスクアセスメント情報の統合化
- ・レシピ開発プロセスに基づく品質設計モデルの構築

#### ■大川原 研究室

- ・マイクロバブル浮上分離プロセスにおける粒子径および装置内対流の粒子分離速度および回収率に対する影響

- ・光触媒マイクロリアクタにおける操作温度および流動状態とアニスアルデヒド合成反応の反応速度の関係

#### ■松本 研究室

- ・超音波を用いた温度感受性高分子ゲル粒子の性状操作方法
- ・相関移動触媒反応における交流電場を用いた層形成操作設計
- ・高周波超音波を用いた分離濃縮プロセスの非定常操作

#### ■森 研究室

- ・固体酸化物形電気分解セルにおける誘電体バリア放電による相乗的二酸化炭素分解とCNT合成への応用検討

#### ■下山 研究室

- ・Design of contact lens drug delivery system prepared by supercritical solvent impregnation
- ・可視光レーザーを利用したリチウム空気電池における正極反応生成物の溶解度測定
- ・リチウム-空気電池におけるイオン液体ゲルバインダー正極の作製に関する研究



## 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。

- 松本 秀行氏 (化学工学専攻 准教授)  
COSMSOLカンファレンス東京2012 Popular Choice Best Research賞、「反応性液滴の動的解析のためのCFDシミュレーション」(2012年11月受賞)
- 中谷 啓悟氏 (大川原研究室、学部4年生)、  
楠 祐一郎氏 (森研究室、学部4年生)、  
横崎 祐太氏 (下山研究室、学部4年生)

公益社団法人化学工学会SIS部会第11回プロセスデザイン学生コンテスト アスペンテック賞・三菱化学エンジニアリング賞、(2012年9月受賞)

平成24年12月25日に開催されました化学工学専攻修士中間報告会で以下の3名が表彰されました。

- 最優秀賞 禰覇 剛(下山研究室)  
「ゾルゲル法を用いたシリカナノ粒子含有膜の作製プロセスの設計」
- 優秀賞 清水 良(下山研究室)  
「マイクロ流路内でのエマルジョン抽出による薬物内包リポソームの微粒化」
- 優秀賞 稲守 由輝(下山研究室)  
「エマルジョンの粒子径サイズにおける界面活性剤種の影響」

### 発表会

平成24年度の化学工学専攻修士論文発表会は平成25年2月14,15日、化学工学コースの卒業論文発表会は平成25年2月28日に行われます。詳細は専攻のホームページをご覧ください。



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](mailto:newsletter@chemeng.titech.ac.jp) Phone: 03-5734-2475

