

# ChemENG 11

Tokyo Institute of Technology Chemical Engineering

OCT  
2012



## 「変化への対応力を磨こう」



大学院理工学研究科  
化学工学専攻

教授

太田口 和久

化学工学専攻では、従来より、化学工学の専門力を磨いた上で、① 全体像が捉えられる俯瞰力に秀でたエンジニア、② 変化への対応力があるエンジニアの育成を強く意識している。本稿では項目②をクローズアップし、大学における学習計画について触れてみたい。How much information?という情報サイトがある。このサイトでは、全世界で生産された情報量は、2002年では23Eb（エクサバイト、 $10^{18}$  bytes）、2008年では9.57Zb（ゼータバイト、 $10^{21}$  bytes）と算出されている。情報の年間生産量は6年間で1,000倍に急上昇している。現在、英単語の総数は54万語であるがShakespeareの時代と比べると5倍に膨れ上がっている。Googleは14年前には存在せず、SNSのfacebookが一般公開されたのは6年前である。世の中は急激に変

化し不確実性に満ちた時代を迎えている。新たに生み出される技術情報量は、2年毎に倍化している。明らかに、最先端の知識は教室で待っているだけでは習得できず、主体的に取りに行くことが不可欠である。Guide to the business of chemistryに化学製品売上高から見た世界の化学企業ランキングが公開されている。2000年には我が国の企業3社が上位12-14位を占めており、その上位にはドイツ、アメリカ、フランス、イギリス、オランダの企業が列挙されていたが、2008年では我が国の企業で14位以内に入れたのは1社だけであった。その上位には、2000年の上位企業の国名だけでなく、サウジアラビア、中国、台湾の企業が掲示されている。競争相手が変化している。インド、ブラジル、UAEなどの台頭も急速である。競争相手を見渡すことが容易ではなくなっている。相手が分からなくては自分の優位性も見え難い。

国内需要の変化、海外との価格競争劣位性、生産拠点の海外移転、北米シェールガスの台頭などを受け、我が国の化学企業が、国内においては石油化学から撤退し、高機能・高付加価値製品の生産へのシフトに即応する体制を組み始めている。

2009年度、化学製品利益率は、医薬品が12.34%、機能性化学品が4.78%、消費財が3.59%、タイヤ・ゴムが3.11%であるのに対し石油化学が-0.50%であった。“いつかは、死ぬる手なり”（五輪書）という名言があるが、過去3年間に主力事業所において、エチレン、ベンゼン、アニリン、ポリスチレン、塩化ビニール樹脂、ABS、DVD、Blu-ray Disc、管材事業、C5系・液状石油樹脂、廃プラ・リサイクル事業などが停止している。基礎力の徹底は変化への対応力を磨き上げる上で重要と思われる。但し、かつての我々を取り囲んでいた変化は多くの場合、想定内の変化であったのに対し、今、起こっている変化の中には想定外のことが多いことを認識する必要がある。問題解決力だけでは不十分であり、迅速に、問題を書き上げる力が要求される。情報収集力、Self-learning ability、人と人との繋がり力が重要である。Drucker, P.F.は、変化が常態となっている乱気流の中にあっては、変化の先頭に立つことが重要と述べているが、大学時代に上記素養習得に切磋琢磨し、本専攻出身のChange leaderとして、大きく成長して欲しい。

## Chemical Engineering World

### 「化学工学は私の付加価値」



昭和シェル石油株式会社  
海外知財戦略室  
1990年修士修了、1988年学部卒

北村 奈美

私は2012年4月より、昭和シェル石油（株）の太陽電池事業における、知的財産の戦略的な権利化、ならびにその管理と強化を担当しています。

もともと、私は学部、修士の三年間、岡部・益子研（現在 益子研）に所属し、「トライボロジー」を専攻しました。潤滑油の添加剤を合成しては、摩擦・摩耗低減効果を評価し解析していました。ですから、石油会社への就職は「順当」で、入社後3年



CIS太陽電池の国内設置事例  
(ソーラーフロンティア株式会社 提供)



CIS太陽電池の新潟雪国型メガソーラー  
(ソーラーフロンティア株式会社 提供)

間、潤滑油の品質管理やエンジンオイルの研究開発を担当していた時は、研究室で学んだ知識が、ばっちり活かされていました。ところが、それ以後の職務は、「研究開発部での燃料全般の将来の環境規制に合わせた製品規格の見直し」「広報

部での投資家対応とメディア対応」「リテール販売部での広告とシェルの強化、管理」「大学との産学連携プロジェクト推進」「新規事業部での石油以外の新事業のマーケティング、実証」、そして現在の「CIS太陽電池事業に関わる知財の

管理・強化」と移り変わっており、「トライボロジー」、「化学工学」とは直接関係のない分野を歩んでいます。

とはいえ、これまで担当してきた範囲とは異なる、新しい分野で自分が試される時、常に私の「付加価値」となったのは、化学工学の基礎知識であり、トライボロジーのバックグラウンドでした。当然各職務の軸となる、燃料の性状やその意味、決算の伝え方、ブランド管理やマーケティングの基礎、特許の仕組み、についてはまず知らなくてはなりません。が、基本的に石油会社の中での職務であるため、

製品や製造プロセスの技術的側面を、専門的「なように」、原理を理解した上で説明できる、というのが、私自身の付加価値になってきたと思っています。用語は覚えているけれども、原理を全く忘れてしまったことばかりですから、すっかり黄ばんだ昔の教科書、「石油化学工学」、「反応速度論」、「C1ケミストリー」、「触媒化学」、「分離操作」や、学会誌「トライボロジー」を、読み返しては、化学工学科出身であることを私の「付加価値」にしてきました。

もうひとつ、重要な私の付加価値は、化学工学科出身の同級生、先生、後輩、の人脈です。化学

工学出身者は、多岐にわたる業界に広がっており、私の研究室や学科の同級生や後輩、は、製造業はもちろんのこと、銀行やコンサルティングまで幅広い分野で活躍しています。おかげで何か、新しい分野でアドバイスがほしいとき、同級生や後輩が、大変頼りになります。

職務が直接化学工学に関わらずとも、化学工学というバックグラウンドと人脈が、仕事の支えとなっていると感じているのは、多くの化工出身者が実感していると思います。☑

## TOPICS

### 「“ゲル”を利用した二酸化炭素の膜分離」

Written by: 下山 裕介

地球温暖化ガスの大幅な削減が急務となっている現在、日本政府は温室効果ガスの排出量を2020年までに1990年比で25%、2005年比で33.3%削減、といった極めて高いレベルに設定している。2012年初めに、上記目標を下方修正することも検討されているが、温室効果ガスの分離・回収技術の開発の急速な展開は、地球温暖化を抑制する上で重要な研究分野のひとつである。温室効果ガスの中でも、大気中の年間変化率が1.9 ppm/年(1998年~2005年、IPCC第4次評価報告書(2007年)より)と最も高い二酸化炭素は、人類の活動に伴う化石燃料の大量消費や、森林破壊による土地利用が原因となり、大気中への排出量が増加する。2009年の二酸化炭素排出量の統計データによると、発電所・石油精製事業所からの排出量は全体の約36%、鉄鋼事業所からの排出量は全体の約13%と、大きな割合を示している(国立環境研究所地球環境研究センター 日本国温室効果ガスインベントリ報告書、2011年)。

発電所・石油精製事業所、鉄鋼事業所からの高濃度二酸化炭素を含む排ガスから、二酸化炭素を回収・地中貯留・海洋隔離するCCS

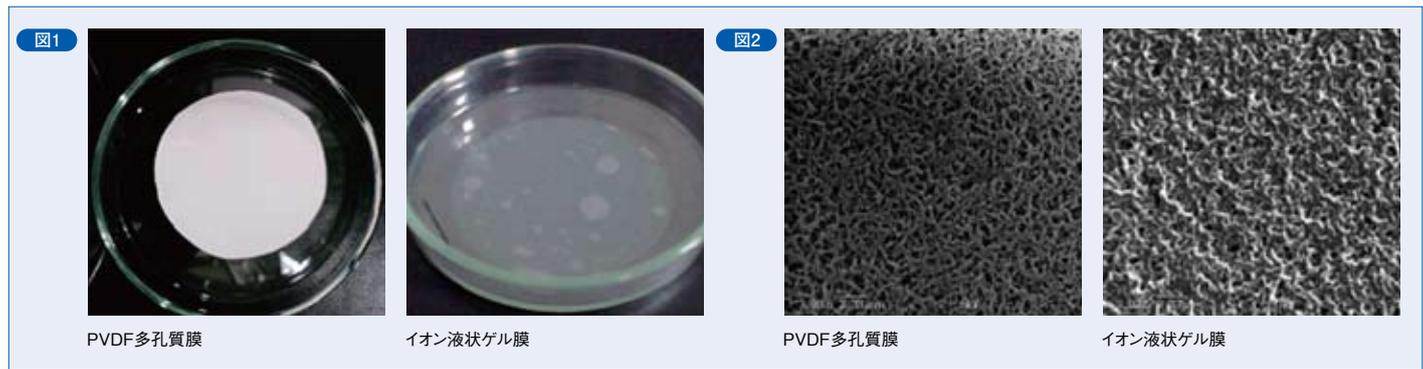
(Carbon dioxide Capture and Storage)技術では、二酸化炭素の分離・回収技術として、アミン水溶液やグリコール系溶液による吸収法が主流である。吸収法による二酸化炭素の分離プロセスは、CCSプロセスにおける運転コストの約60%を占めており、運転コストの削減、あるいはエネルギー消費量の削減へ向けた、技術展開が必要である。他の二酸化炭素分離技術として、膜分離法が挙げられる。膜分離法では、分離プロセスがシンプル、運転操作が簡便であることから、運転コストの削減、あるいはエネルギー消費量の削減が期待できる。一般的に二酸化炭素の膜分離法に用いられる膜材料として、ゼオライト等の無機化合物や、有機ポリマーが用いられているが、分離膜に対する二酸化炭素の透過量が小さく、ガス吸収法と比較して、二酸化炭素の処理量が低いことが問題点として挙げられる。

多孔質膜に液体を浸みこませた液体含浸膜は、液体に対する二酸化炭素の溶解度・拡散係数が大きいことから、固体膜と比較して、高い二酸化炭素の透過量が期待できる。カナダのウォータール大学の研究グループでは、アミン化合物をPoly vinyl alcoholへ含浸させた膜を作製し、二酸化炭素の分離実験を行っている(Francisco et al., Separation and Purification Technology, 71, 205 - 213 (2010))。しかしながら、このような液体含浸膜には、膜から液体溶媒が揮発することが考えられ、分離膜の耐久性が低下する

といった問題が生じる。

カチオン・アニオンから構成され、室温付近で液体状態であるイオン液体を利用した液体含浸膜は、イオン液体の飽和蒸気圧が、10-10Pa程度と極めて小さいことから、従来の液体含浸膜の問題点であった、液体溶媒の揮発を克服することができる。多孔質膜として、Poly vinylidene difluoride (PVDF)を用いた、イオン液体含浸膜による二酸化炭素の分離に関する研究が報告されている(Jindaratsamee et al., The Journal of Chemical Thermodynamics, 43, 311 - 314 (2011))。図1に示すように、PVDF多孔質膜にイオン液体を含浸させることで、膜は半透明になり、イオン液体とPVDFから構成される“ゲル”が形成されたことが示唆される。また、図2に示す走査型電子顕微鏡による微小構造からも、イオン液体がPVDF多孔質膜内の孔内に存在するのではなく、PVDF膜内に溶け込みポリマー繊維が膨潤されていることが分かる。このようなイオン液体“ゲル”を分離膜として利用し、二酸化炭素の組成10%の混合ガス(二酸化炭素+窒素)を供給ガスとして用いた分離実験を行った結果、室温条件において、二酸化炭素/窒素の分離係数が約85、二酸化炭素の透過係数が約440 Barrerと高い値を示すことが確認された。

“ゲル”とは、「ゼリーのようなもの」、「こんにゃくのようなもの」といったイメージが持たれると察するが、身近な物では芳香剤、化粧品、衛生用品等に多く





みられる。材料分野においては、周囲の環境、もしくは刺激により形状や、物理・化学的性質が変化する「融通の利く」材料として扱われる。「ゲル」には、はっきりとした界面も存在せず、ファジィマテリ

アル(fuzzy material)の一種として考えられる。飽和蒸気圧の極めて小さいイオン液体を、ファジィマテリアルである「ゲル」化することで、ゲルの「曖昧さ」と「融通の利く」材料としての特徴を、分離膜の

作製へ利用し、イオン液体含浸膜の構造について高いコントロール性による、二酸化炭素の分離・透過性能のさらなる向上が期待される。☑

## Laboratory Now

### 「プラズマ反応を利用したディーゼルPM除去システムの開発」

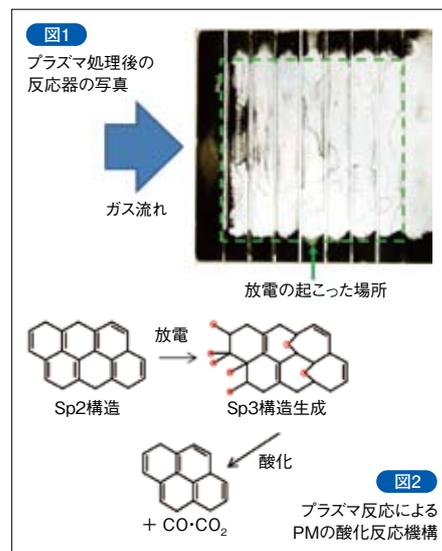
Written by: 小玉 聡

ディーゼルエンジンからの排ガスに含まれる粒子状物質(PM)は、燃料の燃え残りであるスス、油脂分や無機物質からなる微粒子です。粒径が $10\mu\text{m}$ 以下のものを多く含むため大気中に浮遊しており、特にPM2.5と呼ばれる粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微粒子は呼吸器の奥深くまで到達するとされ、健康への影響が指摘されています。PMの除去装置としてはディーゼル微粒子捕集フィルター(DPF)が実用化されていますが、排ガスが通過する際の圧損が大きいことや、フィルター上に捕集したPMを燃焼除去することによる燃費悪化が課題となっています。本研究ではこれらの問題を解決するためにPMの除去にプラズマ反応を応用する技術を開発しています。プラズマは気体に高いエネルギーを与えることにより生じる状態で、その高い反応性を生かして様々な用途に用いられています。その反面、

プラズマの発生には電力を用いるので、効果的に用いないとエネルギー消費が大きくなってしまいます。本研究では、PMを含む排ガスに高電圧を印加してPMを反応器内に静電捕集した後にプラズマを発生させ、その際に生成するラジカルやオゾンなどの活性種とPMを反応させて酸化除去するプロセスを検討しています。排ガス中のガス組成やPMの排出量はエンジンの負荷によって大きく変化するので、酸素濃度が低くPM排出量が多いときには捕集を、酸素濃度が高いときは除去を行うといったように除去装置の運転状態を切り替えることにより消費エネルギーの少ない除去システムが構築できると考えています。

この研究の課題は、大きく分けて①排ガスからのPMの静電除去、②プラズマ反応におけるPM除去反応機構の解明、の2つで、現在は②に取り組んでいます。これまでの研究で、反応器に塗布したPMがプラズマ処理によって除去されることが確認されました(図1)。放電の起こった場所より下流でもPMが除去されていることから、放電により生成した活性種がPMの酸化除去に寄与していることがわかります。また、反応前後のPMの炭素の結合状態の変化から、活性種とPMの酸化反応の過程で

炭素結合が切断され、そこから酸化が進み、最終的に $\text{CO}_2$ と $\text{CO}$ が生成するという反応機構を提案しました(図2)。現在は、この酸化反応機構を詳細に検討することで、より効率の高い除去条件を検討しています。また、上記の課題①についても取り組み、低消費エネルギーかつ低コストでPMを除去することのできるような除去条件を探索する予定です。☑



## 学生の声

### 「日本学術振興会特別研究員に採択されて～研究へのモチベーション～」

Written by: 下山研究室 坂部 淳一

私は現在、博士課程に所属し超臨界流体を利用した技術開発の研究をおこなっている学生である。また、日本学術振興会特別研究員という立場でもある。あまり馴染みがないかもしれないが、これは、独立行政法人日本学術振興会が我が国の学術研究の将来を担う研究者を育成するため、大学院博士課程在学者及び博士課程修了者等を「特別研究員」に採用し、研究奨励金を支給し、研究に専念する機会を与えるというものである。具体的には、博士課程学生の場合、特別研究員に採用されると、在学している3年間は毎月研究奨励金(給料)と、研究費が頂ける。今回は、私が博士課程に進学し研究を続けようと思ったきっかけと、さらに特別

研究員に採択されるまでの経緯を書くことにする。

みなさんは、「博士課程」と聞くと非常に成績優秀で研究好きな人が進学するものという印象を持っているかと思う。私もそのように思っていたし、自分が進学するとは思っていなかった。そんな私が博士課程に進学することになったきっかけは、学部4年時に、指導教員から学会の見学に誘われたことである。そこで他大学の同年代の学生が立派に研究発表をしている姿を見て劣等感を感じ、彼らに負けたくないという気持ちになり、今までの遅れを取り返せるよう研究に打ち込むこととなった。

自ら進んで研究に取り組むようになると、研究の計画、目標の立案・装置製作、それを実行するにあたり必要な知識や技術を身につけるための勉強など、すべてが有意義で楽しく、自分の研究者としての能力が向上していることを実感でき、さらに研究を続け自分を高めていきたいと考え始めた。その後、修士課程に進学し、世界の誰も知らないのかもしれない研究成果に触れたときの高揚感や、それを学会において発表し、周囲から評価されることに充

実感とやりがいを感じた。修士1年後期時に、博士課程への進学を勧められ「自分の」研究を続け、能力を高めたいという思いから進学を決意した。この時さらに、特別研究員という制度を教えてください、それまでの研究成果、今後の研究計画などをまとめた資料を作成し、応募して研究員に採択された。

私は現在、将来アカデミックポジションで活躍することを目標に研究をおこなっている。特別研究員は、会社の給料に比べれば少ないが、学生であることを考えれば3年間の安定した生活が保障され、研究に集中することができるのは大きなメリットである。長い研究者人生を日本学術振興会の特別研究員に採用されることから始めることができるのは、アカデミックキャリアをスタートするにあたっては十分に恵まれた環境であるといえる。

皆さんも研究室に所属し、研究を始めた際には、その研究テーマは「自分の」研究だという意識を持ち、モチベーションを向上させ研究に打ち込んでください。さらに、博士課程への進学と特別研究員を目指してみてもどうでしょうか。☑



サイエンスワンポイント

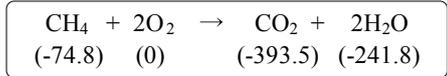
「身の回りの化学工学 炎はなぜ熱い」  
—断熱火炎温度のはなし—

Written by: 伊東 章



炎はなぜ熱いのでしょうか。当然それは燃えること、すなわち原料が空気中の酸素と反応をすることで熱エネルギーが発生するからです。その熱エネルギーで高温になっている部分が炎です。では具体的にその炎の「温度」を求めるにはどうするのでしょうか。それが工学的な「断熱火炎温度」という考え方です。

都市ガスの主成分であるメタン(CH<sub>4</sub>) 1 molの燃焼を考えます。燃焼反応式は次式です。



物質(分子)はそれ自身で「エネルギー」を持っているというのが化学のみかたです。元素からある分子が生成されれば、その分子が生まれたエネルギーを持つとみなします。それが物質の生成熱です。この値は分子構造で決まっており、上の()内が[kJ/mol単]位での各成分の生成熱です。酸素O<sub>2</sub>は生成熱が0、二酸化炭素CO<sub>2</sub>は生成熱が-393で、CO<sub>2</sub>はかなりエネルギーが低い「燃えがら」の分子です。

燃焼で分子の組み替えが起こると生成熱の差し引き分のエネルギーが外部に放出されます。それが燃焼で発生する熱(エネルギー)です。この燃焼熱は生成熱の差し引きで簡単に計算できます。このメタン1 molの燃焼では

$$\{2 \times -241.8 + (-393.5)\} - \{-74.8\} = -802 \text{ kJ}$$

となり、燃焼ガス(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)の方が原料メタンよりエネルギーが低いので、その分の燃焼熱(802 kJ)が発生します(図の①)。同時に、発生した燃焼ガスのエネルギーは低くなっています。(図の②)

この発生した燃焼熱のゆくえについて「断熱条件」という考え方をします。つまり発生した熱は全て発生した燃焼ガス(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)自身の加熱に全て使われ、外には出ないという考え方です。メタン1 molの燃焼で発生したガスはCO<sub>2</sub> 1 mol, H<sub>2</sub>O 2 mol, それに加え、使用した空気中の酸素以外の残り分として窒素7.5 molが加わります。この全10.5 molの気体の加熱用に発生したエネルギーが全て使われるとします。するとこれらガスの平均熱容量(比熱)を40 J/(mol·K)として、燃焼ガスの温度上昇はこれらの数値から簡単に計算できて、

$$802,000 \div (10.5 \times 40) = 1905 \text{ K}$$

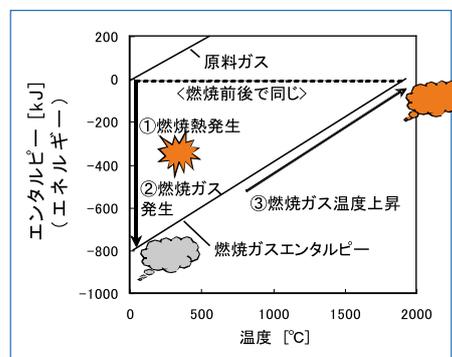
となります。25℃から出発しているので、これより燃焼ガスの温度は1930℃と求められました。(図の③)以上の簡単な燃焼ガス温度の計算法が断熱火炎温度、理論燃焼温度という考え方です。

この方法で求められる炎の温度は実測よりやや

高いようですが、十分実用になります。さらに詳しくは燃料に対する空気の比率(自動車エンジンでは空燃比という)を考えることで、より正確になります。

もちろんよく考えると、この断熱火炎温度の考え方には疑問点も出てきます。「輻射熱があるので断熱という仮定はオカシイ」、「開放系なので使った空気の量を理論量で考えるのはムリがあるのでは?」など考えられるでしょう。それをわかった上で、まずは簡単に計算できる方法でとにかく答えを出し、あとでそれを修正するというのが工学的態度です。この断熱火炎温度の考え方も、工学お得意の複雑な現象の本質をとらえ、簡単に計算できるようにした「モデル」の一種ということができます。

高校化学で習う分子の生成熱とガスの比熱、それに簡単な物質の計算から意外に簡単に炎の温度が求められました。高校での学習事項からもう一步なのですが、このような工学的考え方(厳密に真実とは言えない)が使われるため、残念ながら高校化学ではこの断熱火炎温度は教えられていないようです。



I

Information  
お知らせ

工大祭  
オープンキャンパス

10月6日(土)、7日(日)に開催される工大祭において、化学工学専攻に所属する研究室による体験実験等、化学工学に関係する親しみやすいテーマの実験を用意します。1年生の学科所属に関する相談も受けまますので、会場の大岡山キャンパス・南実験棟4へ来て下さい。

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。

- 青木 才子 氏(化学工学専攻 助教)  
2011年度日本トライボロジー学会奨励賞、「粗さ形状が異なる鋼表面に形成された吸着分子膜の摩擦低減効果の比較評価」(2012年5月受賞)。
- 酒井 哲也 氏(2008年3月まで化学工学専攻 助教、現 日本大学 准教授)  
公益社団法人化学工学会 部会CT賞、「様々な広報活動を通じた化学装置材料部会発展への多大なる貢献」(2012年9月受賞)。
- 飯島 茂 氏(益子研究室 2011年3月修士課程修了)  
2011年度日本トライボロジー学会奨励賞、「高真空における液体潤滑剤の潤滑性能に及ぼす金属表面酸化膜の影響」(2012年5月受賞)。
- 浜村 武広 氏(久保内研究室 2012年3月博士課程修了)他4名  
第19号 日本材料科学会 論文賞、「ポリアセタールコポリマーの放電で生成したオゾン劣化特性に及ぼす温度の影響」、「放電で生成したオゾン曝露下におけるポリ汗ターコポリマーの劣化特性に及ぼすオゾン濃度の影響」(2012年6月受賞)。

- 眞下 裕貴 氏(松本研究室 2012年3月修士課程修了)  
公益社団法人化学工学会 システム・情報・シミュレーション部会研究奨励賞、「集光太陽熱を利用した水素生産システム操作における熱移動ネットワークの構造解析」(2012年3月受賞)。
- Hanabi Lee 氏(関口研究室 博士課程)  
12th European Plasma Conference (High-Tech Plasma Processes) Young Scientist Award, "Polymer particle coating process using gliding arc discharge coupled with spouted bed", (2012年6月受賞)。
- Pinyarat Jindratsamee 氏(下山研究室 博士課程)  
分離技術会年会2012 優秀賞、「Permeability of carbon dioxide through ionic liquid / polyvinylidene difluoride membrane」(2012年6月受賞)。
- 坂部 淳一 氏(下山研究室 博士課程)  
化学工学会横浜大会学生賞 銅賞、「空孔理論と分子情報を融合した状態方程式による超臨界二酸化炭素に対する溶解度の推算」、(2012年8月受賞)。
- 棚瀬 剛 氏(下山研究室 修士課程)  
化学工学会横浜大会学生賞 特別賞、「ゾルゲル法によるナノ粒子分散型シリカ有機ハイブリッド膜の作製」(2012年8月受賞)。



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

