

ChemENG 3

Tokyo Institute of Technology Chemical Engineering

FEB
2008



川崎順二郎教授、津田健教授は今年3月末に本学を定年退職されます。退職に当たって両先生よりお言葉を頂きました。

これからの 化学工学に向けて



大学院理工学研究科
化学工学専攻

教授
川崎 順二郎

定年退職に向けて、膨大な書類の処分中である。本来無精であるせいかオフィスは混乱を極めており、その「お蔭」で、整理中に思いがけず、昔読んだ評論などに出会ってなつかしい。思わず読みふけり、こうして整理が遅れる…

1976年といえば、私が助手であった時代である。Chem.Eng.Progr.の“The Chemical Engineering Trilemma” (by Ralph Landau)と題する巻頭言中に

「Universities should hold no illusions. For the most part, industry gets along without their research」とある。これを読んで、自らの将来に暗雲が漂うのを感じた記憶がある。その時代から約30年。上記著者の指摘は今も“生きている”のであろうか?あるいは「杞憂」だったのであろうか?

かなり新しくなるが、1993年のTrans IChemEに“Basic Chemical Engineering Research: Where are we going?” (by J.Villiermaux)と題する評論がある。そこでは、当時の(あるいは今でも?)多くの論文に現れる「実験と計算機シミュレーションの照合」が単なる「演習問題」と切り捨てられている。

第一の著者は企業人であり、第二の評論は教育者(大学教授)によるものである。いずれも耳が痛くなる痛烈な指摘であり、これからの「化学工学の役割」について真剣に考えるべき時期が相当前から来ていたこ

とを再度認識しなければならない(実は、1995年頃に化学工学科で行われていた「勉強会」で、私が上記の評論を紹介したところ、当時の先輩・同僚から響きをかかったことがある)。

さて、「どうすべきか?」である。私は個人的に「化学工学の本来の役割:化学および関連分野におけるプロセスの開発・設計・運転・それに関わるもろもろにとどまるべき、あるいはそれを中心とすべきである」と確信しているが、昨今の内外における化学工学(東工大 化学工学専攻だけではなく)を見ると、上記の「私のイメージ」からは遠く離れているように思えてならない。化学工学の担当者自らが「化学工学は不要!」と叫んでいるようにすら感じられる。

化学工学の将来について、「学科・専攻のメンバーが智慧をしばり、議論を尽くしてほしい」と切に希望している。

他分野にも興味を ～装置材料を例にして～



大学院理工学研究科
化学工学専攻

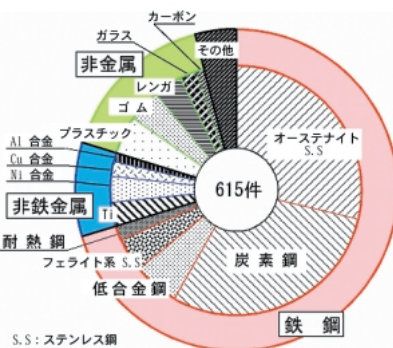
教授
津田 健

学生のみなさんに「他分野にも興味を持って。そのために、他大学、他学科、他研究室の学生と友達になれ!」と言いたい。総合工学を標榜する化学工学に籍を置く者にとっては、他学科の場合以上に重要なことと思う。この「他分野」のひとつの例が「材料」である。

化工あるいは3類と材料の関わり合いという、恐らく「新材料の開発」を思い浮かべる人が多いと思う。3類といえば「ものづくり」と、結び付けられがちなため当然であろう。しかし、「それを作るのにどんな装置を使うの?」、「その装置はどんな材料で作ればいいのか?」が問題となり、これを解決しないことには「装置」、さらには「もの」が実現できない。そこで、材料のはなしをさせてもらう。

材料を金属材料、無機材料、有機材料そして複合

材料の4つに分類し、各々の相対的な重要度の歴史的な変遷を見てみると、大昔は石や土、あるいは木や皮革など、無機材料、有機材料が重要であったが、やがて青銅、鉄といった金属が出てくると、それまでの材料を駆逐し、20世紀半ばには金属材料の全盛期を迎える。しかし、20世紀前半に、ナイロン、ポリエチレン、セメント、GFRP(ガラス繊維強化プラスチック)などが相次いで開発され始め、これら金属以外の材料の重要性が次第に増し、現在では上述の4材料の重要性はほとんど同程度になったといわれている。



図は、重要度、生産量ではなく日本における化学工業分野での各材料の使用量の割合を示したものである。化学工業分野では金属材料、それも鋼の使用量が抜き出ているのがわかる。さらに鋼の中でもステンレス鋼の使用例が顕著である。これは、化学工業分野ではとくに過酷な腐食条件下で用いられるケースが多いことを考えると容易に想像できる。日本における、エネルギー、運輸、建築、化学、金属、機械分野を対象としたある調査によると、腐食による損失(材料の損失そのもの、腐食事故に伴う生産低下に起因する損失、腐食対策費等の合計)は対GNPで0.77~1.88%にもなると試算されており、腐食コストの削減がいかに重要であるかが分る。これに加えて最近では、寿命後の材料のリサイクルをも考慮した設計が求められつつある。つまり、今までのように、「材料のことは材料屋に任せておけばいいや」では済まされなくなっており、他分野の知識、考え方、もの見方が重要となりつつあり、これに応えられるのがまさに総合工学としての化学工学である。

たまたま「材料」を例に挙げたが、「材料」ばかりでなく、ぜひ他分野にも積極的に首を突っ込んで欲しいと願っている。

Laboratory Now

カーボンナノチューブの低温合成

Written by: 森 伸介

カーボンナノチューブ (CNT) は、グラファイトを丸めたような構造をした直径がnmオーダーの円筒状物質であり、電界放出特性、電気伝導性、機械的強度等において優れた能力を有することから、次世代薄型ディスプレイの電子銃など様々な分野において実用化が見込まれています。CNTの合成には通常金属微粒子と炭化水素が用いられ、炭化水素ガスの分解により生成したC原子を金属微粒子に取り込ませ表面から析出させることによって合成されます。しかし、これまでに開発された合成方法はどれも500℃以上の高温条件を必要とするため、合成温度の低減が望まれています。鈴木研究室では、近頃90℃という低温条件下においてCNTを合成することに成功しました(図1,2)。低温化を実現する為のポイント、COを原料ガスとし低温プラズマを用いた点にあります。CO分子には、低温ほど熱力学的に不安定でC+CO₂へと自発的に反応する傾向を持つという特徴があります。しかし、この反応は活性化エネルギーが大きい為、実際には低温ではほとんど進行しません(図3)。ここで、低温プラズマが威力を発揮します。低温プラズマとは電離した電子のみが高エネルギー状態で分子は低温の電離気体のこと(例えば、

蛍光灯の内部も低温プラズマ)です。COガス中で低温プラズマを生成させると高エネルギー電子がCOを解離し、更には励起したCO(CO*)を大量に生成させ、このCO*がC+CO₂生成反応のエネルギー障壁を下げる

働きをするため低温でもC原子が生成し、CNTが合成されたと考えています(図3,4)。現在は、反応速度や結晶性の向上、CNTの直径や成長位置の制御などを目指して研究を進めています。

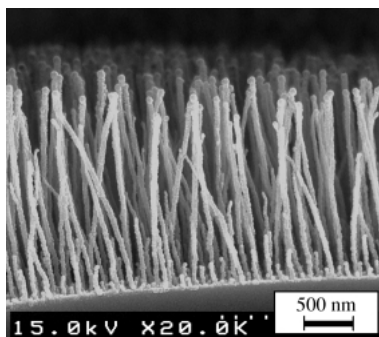


図1 CNTの走査型顕微鏡像

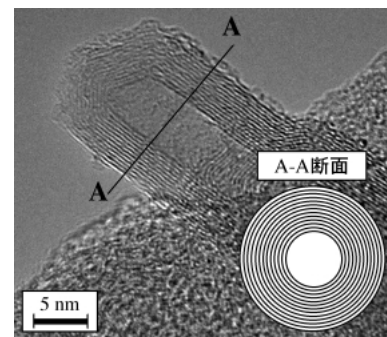


図2 CNTの透視型顕微鏡像と断面推測図

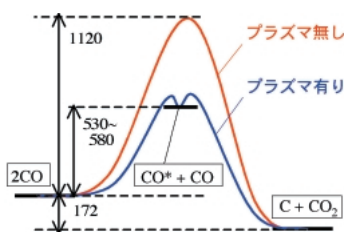


図3 2CO→C+CO₂反応のエネルギープロファイル(kJ/mol)

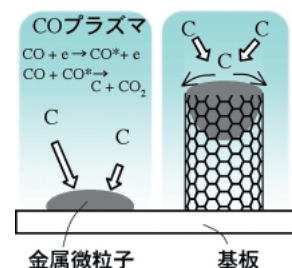


図4 CNT成長メカニズム

TOPICS

日本初の核燃料再処理工場と化学工学の役割

Written by: 鈴木 正昭

原子力は現在、日本の電力の約30%を生産していますが、この原子力産業の燃料調整、使用済み燃料の処理や廃棄物処理においても化学工学は重要な役割を担っています。この分野の基礎的学問体系を原子力化学工学といえます。

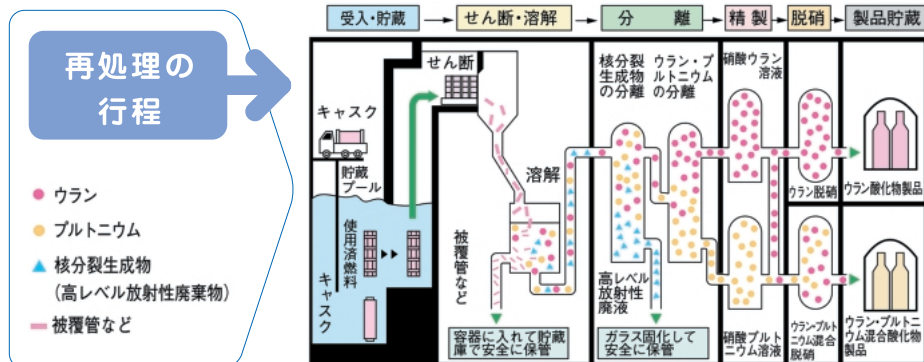
日本の電力会社などが出資する日本原燃株式会社は、青森県の六ヶ所村で、ウラン濃縮、再処理、廃棄物処理などを産業として実施する企業で、東北最大の大企業です。六ヶ所村では、すでに、遠心分離法によるウラン濃縮工場、低レベル廃棄物処理場を操業していますが、このたび、その中心となる再処理工場がほぼ完成し、平成20年の操業を目指して段階的に試験を実施しているところ。これが稼動すると、今までフランスやイギリスに委託していた再処理業務が日本でできるようになります。詳しくは、日本原燃のHPを参照して下さい。

<http://www.jnfl.co.jp/>

原子力化学工学の大きな役割は、発電所に燃料を供給するアップストリームと使用済み燃料の処理をするダウンストリームにあります。アップストリームでは、天然ウラン(燃料となるウラン235を約0.7%含む)を濃縮して

低濃縮ウラン(ウラン235を3~4%程度含む)を生産する「同位体分離技術」に大きな貢献をしてきました。また、ダウンストリームでは、使用済み燃料の再処理が重要な仕事です。これは、原子炉で3年間燃焼した燃料から、まだ燃焼していないウラン235(約1%)と、炉の中でできたプルトニウムを取り出して、核分裂生成物(廃棄物)と分離する処理です。このプルトニウム中の約60%を占めるプルトニウム239は、ウラン235と同様に燃料とすることができます。図に示すように使用済み燃料はせん断されて硝酸溶液の中に入れられます。燃料成分と核分裂生成物の大部分は硝酸に溶解しますが、この硝酸溶液に「溶媒抽出法」を適用してウラン、プルトニウム、そして核分裂生成物を分離します。溶媒抽出装置としてパルスカラムと呼ばれる向流接触装置が使われ、こ

の中で硝酸溶液(水相)は溶媒(TBP:3ブチルリン酸、有機相)と接触させます。ここでは、ウラン(六価)、プルトニウム(四価)はそれぞれの錯体を作って溶媒中に溶解し、ウランとプルトニウムが抽出されます。図には書いてありませんが、この後一旦、ウランとプルトニウムは水相中にもどされ、四価のプルトニウムだけを還元して三価にします。この後、再度溶媒と接触させると、三価のプルトニウムは溶媒中に抽出されず水相に残り、ウラン(六価)だけが有機相に抽出されて分離精製されます。この後、脱硝工程を経て、ウラン、プルトニウムは酸化物として貯蔵します。ここで、プルトニウムは高い濃度のプルトニウム239を含むため、安全上、ウラン235を少ししか含まないウランと混合して貯蔵します。



再処理の行程

- ウラン
- プルトニウム
- ▲ 核分裂生成物 (高レベル放射性廃棄物)
- 被覆管など



学生の声

「化学工学コースのすゝめ」

Written by: 益子研究室 芝辻 幹也


私は化学工学コースへ進学して良かったなとつくづく思うことがたくさんあります。その理由を順に追ってお話しましょう。

化学工学コースに進学した直後に聞いたある教授のお話で、衝撃を受けた覚えがあります。それは「化学工学出身者は社長が多い。給料が高い。職種の幅が広い。」といった内容でした。化学工学を簡単にいうと、いかに効率のいい工場を造るかってことを考える学問ですが、これにより物事を体系的に把握する力が身に

つき、全体を指揮する立場になることが多いようです。また企業はそんな化学工学出身者を求めているのですが、そもそも化学工学科自体が少ないため重宝されるそうです。こんなオイシイ話は所属前に聞きたかったです。所属後の2、3年次では化学工学の基礎を学びますが、その幅広さに驚くことになると同時に先程の教授のお話が理解できるようになってきました。

化学工学コースに所属すると何度か立食パーティが開かれます。そこでいつも感じるのは教授陣がみんな和やかで親しみやすい方ばかりだということです。お酒好きな方が多く、お酒の場でしか聞けないようなお話も聞けます。4年次に進学する前にも開かれ、その際にはいろんな教授から研究室のお話が聞けるので、安心して研究室に所属できると思います。研究室に所属する

と、研究は勿論のこと各研究室ごとで飲み会があったり旅行に行ったりもします(写真1)。それ以外にも化学野球という楽しいイベントが待っています。開発システム工学科も含め3~4の研究室で一つのチームを作り、総当りで野球の試合をします。熱戦の末、成績上位2チームが横浜スタジアムを貸し切り、決勝戦を行います(写真2)。残念ながら私のチームはあと一步というところで決勝に進めませんでしたが、他の研究室の同期や多くの先輩方との交流を深めることができました。

このように化学工学コースでは自分を大きく伸びと成長できる良い環境が整っていると思います。みなさんも是非化学工学コースに進学してみてくださいか? 

①研究室旅行



②化工野球大会
横浜スタジアムにて



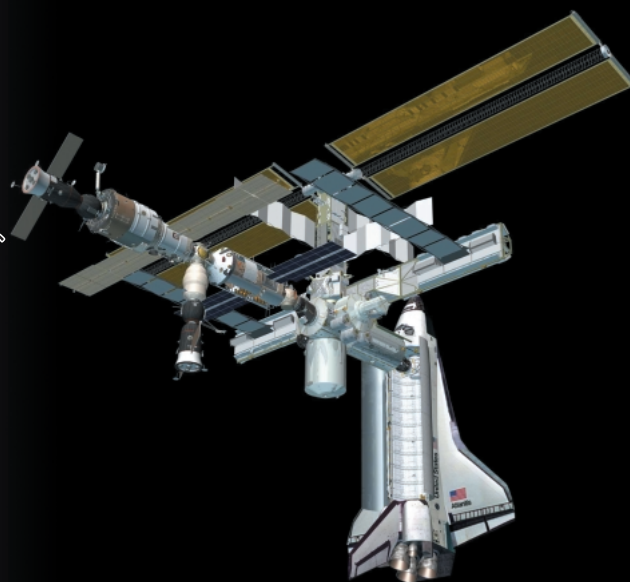
サイエンスワンポイント

宇宙と真空

Written by: 益子 正文

ソ連による初の人工衛星「スプートニク1号」が打ち上げられてから約50年、人類初の宇宙飛行士が「地球は青かった」と言ったのが47年前。国際宇宙ステーションに取り付ける日本実験棟「きぼう」がスペースシャトル「アトランティス」によってもうすぐ打ち上げられ、日本の本格的な宇宙開発がはじまる。ところで宇宙の特徴はなんとと言っても「微小重力」と「真空」であるが、今回は「真空」の話をしてみたいと思う。

提供: 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)





「真空」とはよく耳にする言葉だが学術的には曖昧この上ない用語である。まったく何も無い状態が真空じゃないかと言うかもしれないがその「全く何も無い」状態が無いのである。遠い宇宙は何も無い…?。地球上で生活する我々は日ごろ余り圧力(気圧)を体感していないが、空気の1気圧の圧力を受けているのは皆知っている。高い山に登ると高山病になるとか、天気予報で聞く高気圧、低気圧など、よく考えると気圧は割りと身近なものであることに気がつく。

地表では1気圧(101kPa)の大気圧が、地表から上空へと離れるにつれどれだけ低くなるかご存知だろうか。ジャンボジェットが飛ぶ高度10,000mで地表の20%程度の約20kPa、スペースシャトルが飛ぶ高度300~400kmで100万分の1の 10^{-6} 気圧、(10⁻⁴Pa)、気象衛星や通信衛星などの静止衛星の高度は赤道上36,000kmで100億分の1の 10^{-10} 気圧(10⁻⁸Pa)、月面上でも100兆分の1の 10^{-14} 気圧(10⁻¹²Pa)、さて、どこら辺から何もない真空と言うか…

地球上でも宇宙空間のような「真空」状態を作ることができる。電気掃除機のことを昔は真空掃除機とっていたことがある。ゴミを真空の容器中に吸い込んで…と言うイメージだが、ただ単にポンプを使って空気を機械の中に吸い込み一緒にゴミを巻き込んで取るというものである。ただ、羽根布団を押し入れにしまうのに、ビニール袋に入れ電気掃除機で吸引してつぶして嵩を減らして押し入れを有効に使うなどという用途にも掃除機は使われるように、密閉された容器から空気を吸い出せば中の圧力は減り外圧によりつぶれるわけで、電気掃除機はやはり立派な真

空ポンプなのである。密閉された金属製容器内を真空ポンプを使って排気すると容器内の気圧は減少し「真空」となる。実際には希望する到達真空度によって使用する真空ポンプの種類を変えなければならないが、 10^{-5} Pa程度の真空は比較的容易に作る事ができる。

体積1m³の25°C、1atmの空気の物質量は、理想気体の状態方程式を使って計算すると、 $n=41$ molであり分子数にすると 2.5×10^{25} 個となる。即ち 2.5×10^{25} 個/m³が地表上の空気の分子密度である。理想気体の状態方程式で計算すると圧力 10^{-5} Pa中でも分子密度は 10^{20} 個/m³もあり、 10^{-12} Paでも 10^{13} 個/m³もの分子が存在することになる。このようにかなりの低圧(真空)でも物質はかなりのものが存在し、何もない空間が真空と言う訳ではないことが分かったと思う。

気体分子はいろいろな速度で動き回っているが、平均値としておおよそ $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の速度で飛び回っていて、分子同士がお互いに頻りにぶつかり合っている。1つの分子が1回の衝突から次に衝突するまでに移動できる距離を平均自由行程と呼ぶが、大気圧中ではこの平均自由行程は大雑把に言って 10^{-8} mである。これが 10^{-5} Pa程度の真空では約500mとなる。1辺1mの立方体形の容器を考えると容積が1m³、この内部を 10^{-5} Pa程度の真空にすると平均自由行程は500mだから、中に存在する 10^{20} 個の分子は分子同士お互いが衝突するよりも容器の壁に衝突する確率のほうがはるかに高くなる。固体表面には特徴的な性質があり、気体分子の種類によってく

っ付き易い(これを吸着と言う)分子とそうでない分子がある。実はこれの影響で同じ真空(気圧)でも宇宙と真空容器内とは存在する分子の種類が異なる。宇宙ステーションが飛ぶ高度の大気圏上層部では窒素分子や酸素分子よりも原子状酸素が主成分を占めるが、地球上の真空容器中で得られる真空中の物質の主成分は実は水(H₂O)である。これは水が固体表面に強固に吸着するため、真空ポンプでいくら排気しても最後まで容器壁面にしつこく残り、それが徐々に容器内部に放出され続けるのである。 10^{-5} Pa以下の内圧(言い換えればこれ以上の高真空)を得るためには容器を一旦加熱して水を容器表面から引き剥がす(脱離させる)が必要となる。これが地球上で高真空を得にくい大きな理由の一つである。

このような真空状態が理・工学に関わるのは宇宙だけではなく。PCのCPUやメモリ用のIC作成のためにSiウェハー上への各種加工が必要になるが、このプロセスは汚れを極めて嫌うことから、存在分子のきわめて少ない真空中で行われる。また低温プラズマを利用した金属表面への各種コーティングなども真空を利用して加工が行われる。宇宙開発、IT関連技術、表面処理など最先端の工学に真空技術は欠かせない。

参考資料

堀越源一「真空技術 第2版」東京大学出版会 (1986)、
宇宙航空研究開発機構ホームページ <http://www.jaxa.jp/>



Information お知らせ

化学工学専攻の修士論文発表会は2月14、15日に、化学工学コースの卒業論文発表会は2月28日に開催されます。詳細は専攻のホームページをご覧ください。

International Workshop on Process Intensification 2008 (IWPI2008) が今年10月に東工大で開催されます。詳細はホームページ (<http://www.chemeng.titech.ac.jp/~IWPI2008/index.html>) をご覧ください。

瀧澤悠紀さん(津田・久保内研究室修士2年)が、昨年11月2日開催の第7回 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウムにて優秀報告賞を受賞しました。

昨年12月に行われた化学工学専攻修士課程中間報告会で、以下の3名が表彰されました。

- 最優秀賞 秋吉 収輔君(相田・関口研)
- 優秀賞 青柳 健介君(吉川研)
- 優秀賞 片桐 将達君(小川・吉川研)



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

