

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（5月号は2002年4月6日より2002年5月10日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

①微生物で作る インディゴ

2002年3月27日にNatureの「science update」に掲載されたHelen Pearsonの記事「Bacteria dye jeans」によると、米国Genencor International社のWalter Weylerらは大腸菌を用いて色素インディゴ(indigo)を作ることに成功した。

彼らは大腸菌を改良し糖質原料からトリプトファンを高レベルに生産させた。そして、他の微生物から遺伝子操作によって大腸菌に導入した酵素を用いて、トリプトファンからインディゴの前駆物質インドキシル(indoxyl)を生産させた。インドキシルは空気に曝すと自動的にインディゴになる。当初インディゴの中に赤い色素が混入していたが、Weylerらは大腸菌からこの色素を作る遺伝子を除去して、天然のインディゴと同じ色素を作る事に成功した。

インディゴは現在化学合成法で作られていて、生産量は年間16,000トンに及ぶ。その用途は主にデニムの染色用である。現在、微生物法はまだコスト的に化学合成法には及ばないが、環境にやさしい方法として期待されている。

インディゴの微生物による生産は既に米国アムジェン(Amgen)社により試みられているが商業化はされていない。トリプトファン自体は微生物により大量に生産する技術が別法により商業的に確立されている。

米国は最近、化学製品(commodity chemical)の生産方法として、バイオプロセスを用いる方法に注力しているので、将来この方法は日の目を見る可能性がある。

(味の素㈱ 都河龍一郎氏)

②核移植と遺伝子・ 細胞治療による 遺伝的欠損の修復

2002年4月5日号のCellに報告されたWilliam M. Rideoutらの報告「Correction of a genetic defect by nuclear transplantation and combined cell and gene therapy」を紹介する。

この研究は、核移植技術とES(胚性幹)細胞を用いた遺伝子改変技術により、遺伝的疾患を治療

することを目的に行われた基礎研究である。以下の手順により、Rag2^①欠損マウス(重度の免疫不全マウス)をモデルとして、実験を行っている。

(手順1) Rag2遺伝子欠損マウスの体細胞より核を取り出しマウス卵母細胞へ移植することにより、体細胞のドナーと同一の遺伝的背景を有するES細胞を作製する。(手順2) ES細胞の段階で遺伝子改変を行って、Rag2遺伝子の修復を行う。

(実験その1) 遺伝子修復ES細胞に由来するクローンマウスを作製し、このマウスにおいてRag2遺伝子が修復され、免疫系が正常化していることを確認する。さらに、このクローンマウスからRag2欠損マウスへの血液細胞あるいは骨髓細胞の移植を行い、Rag2欠損マウスの免疫系を修復することを試みる。

(実験その2) 遺伝子修復ES細胞をin vitroで血球細胞へ分化させ、これをRag2欠損マウスに移入し免疫系を修復することを試みる。

用語説明

① Rag2 (Recombination-activating gene 2)

抗体およびT細胞受容体の可変部遺伝子組換えに必須な遺伝子。この遺伝子の欠損マウスでは、T細胞およびB細胞が分化できず欠損するため重度の免疫不全が発生する。

(実験その1)の場合、ほぼ完全に免疫系は修復された。しかしながら、(実験その2)では、免疫系の修復は不完全であった。この場合、ホストマウス由来のNK(ナチュラルキラー)細胞による移入細胞の拒絶、および、ES細胞を血球細胞へ分化させる目的で導入した遺伝子(HoxB4遺伝子)

による移植後の成熟リンパ球への細胞分化の阻害が、問題となった。なお、(実験その1)により免疫系を完全に修復できたものの、クローン個体を得なければならないこのプロセスは、生命倫理の観点から人間の疾患治療には適用しにくい。

このように、核移植法を用いて

任意の遺伝的背景をもつマウスES細胞を作製する技術と、ES細胞における遺伝子改変技術はほぼ確立された。しかし、その欠損遺伝子の修復への応用には、まだいくつかの重要な問題が残されている。(熊本大学大学院医学研究科 西村泰治氏)

情報通信分野

①IEEE VLSI テクノロジーシンポジウムプログラムに見る各国発表論文の傾向

IEEE VLSI テクノロジーシンポジウムはLSI技術に関する重要な国際会議で、毎回最新の研究成果が発表される。本年6月開催予定の2002 IEEE VLSI テクノロジーシンポジウムについてプログラム配布が開始されたが、それによると論文投稿内容の傾向が昨年までとは大きく異なり、日本と欧米の差が歴然と現れている。

日本からの投稿はそのほとんどが企業からであるが、論文内容は「現在のLSI技術」に直結した(技術の完成度を競う)内容である。これに対して、欧米からは、高誘電率ゲート絶縁膜の基礎的な検討結果、配線遅延限界、熱放散の問題、デバイスの微細化に掛かる問題などに関する、極めて基礎的な研究内容が大半を占めた。欧米はコンピュータ分野で力を持っている事と、(内容には異論があるものもあるが)先を見とおす研究態度を持っていることが投稿内容に明確に現れた。更に、大学からの投稿が極めて多く、また全般的に質が高いという印象がある。欧米が、再び将来にわたる勝負を賭けてきたという明確な印象を与えるものである。日本の大学は投稿が少ないだけでなく、内容が基礎的

でも応用でもないという、どちらかという中途半端な印象を与えるものが多かった。

将来へ向けたデバイス研究の報告は、同時に開催されるSi Nanoelectronics Workshopで発表されるが、このプログラムを見ても、日本からの発表は欧米に比べて質的に見劣りがする。本年は韓国からの発表が急増し、興味深いものも並んでいる。日本の大学が力を持つにはまだ時間が必要なのかと気にかかる。

(関西大学大学院工学研究科 大村泰久氏)

②青色発光デバイス開発加速を目指す国際シンポジウムが開催される

青色あるいは短波長発光デバイスは窒化物半導体やII-VI族化合物半導体を用いて研究開発が行われているが、その成果はそれぞれの材料での国際会議で発表討論されている。これらの材料は同じ

「青色発光デバイス」応用を目指しているので、一緒に集まって議論しようと言うことで始まったのが、International Symposium on Blue LD^① and LED^② (ISBLLED)である。2002年3月11~15日までCordoba (Spain)でその第4回会議が開催された。

会議で発表された論文数は126件(ポスターセッション含む)、参加者は151名であった。論文数の内、8割以上が窒化物で、残りがII-VI族化合物であったが、後者にはII(Zn, Cd, Mg)-VI(S, Se, Te)系の従来型の化合物と同数のZnOに関する発表があったことが一つの特徴であった。「青色」と銘打っている会議であるが、窒化物を用いた青色LD, LEDが商品化、あるいはその一歩手前まで来た現状を踏まえ、当該分野の研究開発の方向は、さらに短波長の紫外域への追求と、発光効率の谷間となっている赤色と青色との間の、緑色や黄色発光素子の高効率化やレーザの開発に向かっている

用語説明

①LD: レーザダイオード

②LED: 発光ダイオード

③AGETHA: Amber/Green Emitters Targeting High Temperature Applications

ECの情報通信分野研究開発プログラムISTで行われているプロジェクトの一つ。自動車内のPOF(プラスチック光ファイバー)LANを主な応用先として、120℃以上の環境において500Mbpsの通信速度を達成できる波長510nmおよび570nmの発光、受光素子開発を行っている。中心機関はNational Microelectronics Research Centre(NMRC, IRELAND)、期間は2000年3月から3年間。

るようである。

紫外域の応用として、短波長化による光メモリの高密度化だけでなく、白色LEDの光源（蛍光励起用）、医療用殺菌燈、及び水や空気の清浄機（TiO₂に紫外線を照射して有害物を分解する）への応用が上げられている。一方、緑・黄色発光素子の応用としては、フルカラーLEDディスプレイ用が主であるが、他にプラスチック光ファイバー（POF）を用いたデー

タ通信への応用が挙げられている。例えば、欧州ではPOF-LANを目指したAGETHAプロジェクト^③がスタートしており、その研究成果のいくつかが発表されたし、それに関するRound Table Discussionが会議中に開催された。

窒化物半導体では「高輝度LED」（豊田合成 柴田氏）、「白色LED、青-紫外LD、純粋青色LD」（日亜化学 向井氏）、「ワットクラス高パワーAlInGaN LD」（ソニー

竹谷氏）、「紫外LD」（NTT 小林氏）などの招待講演が行われ、今も日本が当該研究開発分野の牽引車であることが印象的であった。一方、青色から黄色域での発光素子、特にLDでは、なおII-VI族半導体が優位な状況と思われた。ZnOに関しては、再現性よくp型結晶が得られていない現状では、研究開発はまだ結晶成長と物性評価の段階であるように思われた。（埼玉大学工学部 吉田貞史氏）

環境分野

①超臨界水の反応機構の解明と超臨界アルコールによる熱硬化性樹脂の完全分解

超臨界流体^①は有害化学物質やプラスチック類を分解する性質があるため、環境や製造技術分野などから有機溶媒に代わる新たな環境適合溶媒として実用化の要請が高まっている。現在、基礎研究から実用化研究まで幅広い領域での取り組みが関連学会などでなされている（科学技術動向2001年7月号1.6節参照）。

1) 基礎研究

昨年11月に行われた高圧力学会では、高圧の固体物性・反応、流体物性・反応、高圧装置、地球物理などの幅広い分野で研究発表がなされたが、東北大学 阿尻雅文教授は、それらの中で反応機構に関する研究発表について次のように注目した。

超臨界水の臨界点近傍では、超臨界水の物性の大きな変化にとともに従来の液体溶媒や気相反応には見られない新規な反応特性が見出されている。特に注目した基礎研究分野の発表として、反応機構に関する研究が挙げられる。これまで、高温高圧水中で無触媒下で

も様々な有機反応が生じる原因として有力な説とされていたのは、高温場での水の解離により生成するH⁺とOH⁻による触媒反応が、濃度は低くとも高温場ゆえに有意な速度で進行することにある、とするものであった。それに対し、今回注目した研究発表では、酸を広い濃度範囲で積極的に変えた加水分解実験を超臨界場で行い、逆に酸濃度の効果を評価した。実験の結果は、酸濃度だけでは反応機構の説明がつかず、Harrel、Klein、Adschiriらが主張していたH₂Oによる直接の攻撃による加水分解反応が生じていることを示した。この成果は、今後の超臨界場での有機合成反応機構の解明に関する研究の方向性を与えるものと考えられる。

2) 実用化研究

3月に行われた化学工学会第67年会では、「グリーンテクノロジーとしての超臨界流体技術とその基礎」と題したシンポジウムが開催されたが、熊本大学 後藤元信教授は、フェノール樹脂の分解に

関する研究成果に注目し、次のように報告した。

熱硬化性樹脂であるフェノール樹脂をフェノールやクレゾールなどのフェノール類に分解し、化学原料として再資源化を図る技術が検討されてきている。これまでに超臨界流体中での反応を利用する方法として超臨界水や超臨界メタノール中での分解反応が検討されてきている。

注目した研究では、炭素の組成が異なる4種類のアルコールを超臨界流体として用い、フェノール樹脂の分解活性を検討している。一般にフェノール樹脂の一部は反応残渣として残ることが報告されているが、超臨界イソプロパノール（2-PrOH）を用いたときはほぼ完全（転化率99.6%）にフェノール樹脂を分解し、わずかに粉末状の残渣が残るのみであることがわかった。反応性生物はフェノールとクレゾールであった。反応の転化率はアルコールの炭素数とともに増大したことから、高級アル

用語説明

①超臨界流体

気体と液体が共存できる限界の温度・圧力（臨界点）を超えた条件では、気体と液体の区別がなくなり、これを超臨界と呼ぶ。超臨界流体は気体に比べて密度が高い割に粘度が小さく、拡散係数が液体の数百倍に達するといった特徴を有する。

コールは超臨界状態において樹脂内部まで溶媒が拡散し、そこで反応が起こっている。また、1級より2級アルコールの方が活性の度合いが高いのはメチレンブリッジ

の開裂を促進するためであると結論付けられている。

実用化を目指すには、高压高温の反応器への固体原料の供給方法の開発（例えば、連続運転では原

料のスラリー化）、超臨界流体の基本的性質研究を踏まえた高転化率で経済性もあるシステムの開発などが大きな課題である。

ナノテク・材料分野

①結晶構造を有するメソポーラス有機シリカハイブリッド物質の合成に成功

豊田中央研究所 稲垣伸二主任研究員と東北大学 寺崎治教授の共同グループは、有機分子で疎水性のベンゼン層と無機物質で親水性のシリカ層が0.76 nm (1 nm = 10億分の1メートル) の間隔で交互に配列した複合体の壁を有する新しいメソポーラス物質(直径が2~50 nmの微細な孔を有する物質)の合成に成功したと2002年3月21日号のNature (Vol.416, pp.304-307)に発表した。

新たに合成された物質は、カーボンナノチューブを束ねたようにメソ孔(通常、直径が2~50 nmの微細な孔を指す。この物質の場合には直径3.8 nmの細孔を有する。)が蜂の巣状に規則的に配列

した結晶構造をとっている。メソ孔の壁面はベンゼンとシリカが規則的に配列しているのが最大の特徴である。また、有機物を含むにもかかわらず空気中500℃まで構造が保持される、1グラム当たりの表面積が800 m²と大きいなどの特徴を併せ持っている。

1990年以降、合成されてきたシリカ(SiO₂)、アルミナ(Al₂O₃)やチタニア(TiO₂)といったメソポーラス物質のメソ孔壁面は不規則(アモルファス)構造であった。しかし今回、有機分子であるベンゼンを無機物質であるシリカの壁の中で規則配列したハイブリッドの結晶構造を合成できたため、これまでにない物質吸着特性の利用やメソ孔壁面への電気的あるいは光学的機能の付与の可能性が出てきたとしている。

この新規物質は、ベンゼンを含む有機シラン原料と界面活性剤を

100℃以下の温度で混合すると、ベンゼンが自己組織的にチューブ壁の中で規則配列し、その後で界面活性剤を除去するという比較的簡単な操作で合成できた。稲垣らは新規物質の合成法について、「自己組織化現象を利用した応用範囲の広い手法として、他の有機シリカハイブリッドや有機金属酸化物ハイブリッドの合成にも適用可能であるため、今後、ナノスケールの規則構造を持った様々なメソポーラス物質の出現が期待できる。」としている。

今後は、メソポーラス有機シリカハイブリッド物質の新規構造特性を活かし、従来のメソポーラス物質を用いて行われていた医薬品などの有用物質の分離・精製や触媒としての利用の高度化、あるいはまったく新しい電気的・光学的機能の発現などの検討を期待したい。

エネルギー分野

①木質系バイオマスの高効率ガス化技術で課題解決の見通し立つ

バイオマス資源は、製材廃材などの木質系、牧草などの草本系、家畜糞尿や都市廃棄物など多岐にわたっている。これらから水素と一酸化炭素を成分とする有価な合成ガスを生成し、さらにメタノールやジメチルエーテルなどに変えるケミカルリサイクル、合成ガス

をエンジンあるいは燃料電池の原料ガスに利用した発電などに関する研究開発が様々な研究機関や企業で進められている。

3月15~16日に開催された日本機械学会関東支部講演会で、木質系バイオマスを中心に、一般廃棄物なども想定したバイオマスエネルギー利用技術とその展望に関する発表があった。(株)荏原製作所大谷繁氏は、これらの発表の中で以下の技術がこの分野のブレーク・スルーをもたらす可能性がある

と報告した。

ガス化研究が始まった1970年代初めには、原料として都市ゴミ中のプラスチック類を用いて、加熱分解用と不要物燃焼用の二塔の間を原料と加熱した砂と一緒に循環させつつガス化する方式など、いくつかの取り組みがあった。しかし、熱分解時に生成される液体状のタールとチャーと呼ばれる固体残渣が高温状態にしても砂と良く混合しないという現象が発生し、タールとチャーの不完全燃焼

に加えてスムーズな砂の循環もできない、あるいは高温で気化したタールがダクトに付着・閉塞するという課題が大きな障害になっていた。さらに、原料から有価ガス（水素、一酸化炭素、メタン、エチレン等）へ効率よく変換させる（高ガス化収率）ためには低温での加熱分解段階が必要という相反する技術的課題もあった。

2000年度から(株)荏原製作所が開発を進めている内部循環型流動床ガス化炉方式は、一つの炉の内部に間仕切りを設けることにより、原料を入れて有価ガスを取り出すガス化室と生成されるタール等を燃焼して排気する燃焼室とに分け

ている。この仕切り構造により有価ガスと排気ガスの混合を防ぎ、高カロリーの有価ガスを取り出すことができる。ガス化室での反応の際に発生するタールとチャーは、流動用の媒体（循環砂）と混ぜ合わされた後燃焼室へ送られ、そこへ送り込まれた空気で酸化され二酸化炭素を主成分とする排気ガスになる。このとき、循環砂は燃焼熱を吸収し高温化する。高温の循環砂は、流動途中で熱交換器で温度制御された後、再びガス化室に送られ、原料をガス化するための熱源となる。このような流動媒体ハンドリングの技術開発により、酸化剤として高価な酸素でな

く空気を利用できる上に、高カロリーの有価ガスが高効率で取り出せるとしている。この有価ガスは燃料として使えるほか、水素や一酸化炭素主体のガスに改質することにより液体燃料合成や化学原料にすることもできる。

また、この技術は石炭のガス化にも適用可能であり、これまでの試験において、バイオマス、石炭ともにタール類と流動用媒体の混合は問題解決の見通しが出来ており、今後はガス化収率を高めるためのガス化室の低温化研究や低温での生成ガス改質の技術研究に主軸が移る。

製造技術分野

① 微細加工用大気圧マイクロプラズマジェットを生成

大気圧近傍の高圧力領域でmmオーダーの微小なプラズマを発生させるマイクロプラズマによる加工技術は、従来半導体製造プロセスにおいて実施されているフォトレジスト（マスク）を用いるドライエッチング技術^①と比較して、加工寸法はサブミリオーダー迄と極微細加工に向かず又複雑なパターンでは長時間を要するといったデメリットがあるが、他方真空が不用で加工ステップがシンプルで

あるといったメリットを有し、元素分析や表面加工などへの応用が期待されている。

2002年春季応用物理学関係連合講演会で、鶴岡高専 吉木氏他は微細加工用マイクロプラズマ源の実現を目指し、医療用の注射針の内側にヘリウムガスを流して針先からヘリウムガスを噴出させると共に、針に13.56MHzの高周波電力を与えることで針先に生成したジェット状のマイクロプラズマについて報告した（2002年3月28日）。このマイクロプラズマ源において、ヘリウムガスに微量な反応ガス（六フッ化硫黄）を添加してシリコンエッチングを行ったと

ころ、300 μm幅のパターンが200 μm/minというドライエッチングに比べ高速でエッチングできることが示された。また、針先の形状は重要で、注射針のようなテーパ形状が、放電の広がりを抑制するのに有効であることもわかった。

本研究はマイクロプラズマ源を用いて微細加工を高速に行うことが可能であることを示したものと考えられる。今後、加工の再現性の確保、プロセスの最適化などの検討が必要であるが、大気圧マイクロプラズマによるマスクレスエッチング処理実用化への貢献が期待される。

用語説明

① ドライエッチング技術

真空チャンバ内においてプラズマ放電によって励起された活性種を用いて、フォトレジストでマスクされていない部分をエッチング除去する。最小加工寸法は0.1 μm以下でエッチング速度は1～10 μm/min。

社会基盤分野

①「都市再生」を巡る議論

政府が緊急経済対策の一環として取り組んでいる、いわゆる「都市再生」に対して、「都市問題」(2002年3月 東京市政調査会)に都市計画、経済学、社会学の第一人者たちからの意見が掲載された。

都市計画分野からは、「都市再生」のためには「どのような都市・地域とすることが望ましいの

か、どのような暮らしを選び取りたいのか、について、地域地域の、あるいは都市全体の市民・住民が議論し構想する場とプロセスをデザインし構築する必要」が指摘されている。

同様に経済分野からは、「都心では容積率制限を用いない代わりに、都心への通勤料金に対する時差料金制の採用と通勤需要を発生させるビルに対しての従業員数に比例しての特別事業所税などの手

法」を用いる方法や、「容積率割り増しと容積率の売買の自由化とを組み合わせた交通容量に負荷をかけずに都心居住を増加させる都心居住促進策」などが提案されている。

このように各分野から違った視点で、「都市を単に経済対策のための道具」として安易に位置づけられないような具体的な提案を伴った意見が論じられている。

フロンティア分野

①地球観測衛星 Aqua 打上げられる

地球観測衛星 Aquaが、5月4日午後7時前(日本時間)、米国バンデンバーグ基地よりNASAデルタIIロケットにより打上げられた。その後、搭載された観測装置の稼動も順調に推移しており、高度約680kmの軌道上を飛行している。

Aquaは、惑星としての地球を総合的に観測するため、NASAが

推進するミッションの一環であり、地球規模での水・エネルギー循環のメカニズム解明の一翼を担う。同衛星は日本、米国、ブラジルの国際協力の下に開発され、3カ国が開発した6つの観測装置が搭載されている。そのうち、わが国の宇宙開発事業団が開発した改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)は、水蒸気量、積雪量、雲水量、土壌水分量、海洋風速、海温等を高精度で観測することができる。

Aquaにより全球的に観測される海洋、大気や陸地の水蒸気や雪氷等のデータは、各国の研究機関や研究者へ提供され科学研究に貢献するのみならず、わが国の気象庁、(社)漁業情報サービスセンターへ宇宙開発事業団を通じて提供され、気象予報における精度の向上や、漁場に関する情報の漁船へのリアルタイム配信を可能とし、経済、社会にも大いに貢献すると考えられる。