

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（10月号は2002年9月7日より2002年10月4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 相同組換えによるイネの遺伝子ターゲティングに初めて成功

岡崎国立共同研究機構・基礎生物学研究所の飯田滋教授らが行なった相同組換え^①の改良法によるノックアウトイネ^②の作出の評価が、9月9日のNature science update に紹介された。

それによれば、飯田教授らはイネへの遺伝子導入方法と導入ベクターに工夫を凝らし、イネについての相同組換え体の選抜効率を従来法に比べて10倍向上させて実用レベルに引き上げた。これにより、相同組換えによるイネの特定の遺伝子の操作（遺伝子ターゲティング）を再現性のある実用的に利用可能な技術とし、イネの特定の遺伝子をノックアウトすることに成功した。従来、相同組換え法は酵母やマウスで用いられ、各種遺伝子の機能の解明に役立ってきた。しかしこの方法は、植物ではヒメツリガネゴケ以外には利用することができず、植物遺伝子の研究には用いられてこなかった。

飯田教授らが確立した方法は、イネに限らず、他の高等植物にも応用可能であり、トウモロコシとワタの遺伝子研究の権威であるニ

用語説明

① 相同組換え

良く似た配列をもつDNA同士の間で組換えが起こる現象。相同組換えは酵母等では高率で起こるが、植物では相同組換えを利用することは困難といわれてきた。

② ノックアウトイネ

遺伝子組換え技術により、ある特定の遺伝子だけを破壊して、その機能を欠損させたイネ。

ューヨーク Brookhaven 国立研究所の Benjamin Burr 博士も飯田教授らの方法を高く評価している。

今後、遺伝子ターゲティングによりイネ等の各種遺伝子の機能が解明されるとともに、狙った遺伝子以外の領域に影響を及ぼさないこの方法が消費者の組換え作物に対する不安の緩和につながる可能性があるものとして期待される。

② 福山型筋ジストロフィーの原因が糖転移酵素の変異である可能性が示された

遺伝子疾患として知られる先天性筋ジストロフィーのうち、重症で、世界的にも有名なデュシェンヌ型、あるいはより軽症のベッカー型の原因は、ジストロフィンの変異であることが分かっている。

これに対し、日本人に特有な福山型筋ジストロフィーは、重症の

筋病変に加え、高度の脳奇形と眼症状を併発する難病である。大阪大学の戸田らの研究チームは、1998年（当時東京大学）、福山型筋ジストロフィーの原因遺伝子が第9染色体に存在し、産物は461アミノ酸からなるタンパク質であることを同定しフクチン（fukutin）と名付けたが、その機能は謎であった。

最近、米国のCampbellらは、福山型筋ジストロフィーや類縁のMuscle-Eye-Brain病を解析し、ジストロフィンと筋基底膜をつなぐ α -ジストログリカンの糖鎖の異常により筋基底膜との結合が弱いことが原因であることを示唆した（Nature 418, 417-425（2002））。一方、戸田、遠藤（現東京都老人総合研究所）らはMuscle-Eye-Brain病の遺伝子解析により、現実に糖転移酵素に変異が起きていることを見出している（Yoshida et al. Dev. Cell, 1, 717-724（2001））。骨

格筋細胞においては、筋線維のアクチンと基底膜とは、ジストロフィンやデスミンそしてジストロフィン関連糖鎖タンパク質と呼ばれる一連のタンパク質群を介してつながり、筋収縮に伴う機械的衝撃が形質膜を壊さないように保護している。その構成成分である α -ジストログリカンの糖鎖は基底膜

の成分であるラミニンに直接結合する。そのため、糖転移が行われないと膜が脆弱になり筋ジストロフィーの症状が現われる。また、フクチンは問題の糖転移酵素と相同性を有し、福山型筋ジストロフィーの原因も同一であろうと推測されている。

α -ジストログリカノパチーと

総称されるこれらの疾患の原因が、構造タンパク質の変異と異なり、酵素の変異であることから遺伝子治療の対象となる可能性も高く、さらなる研究の進展が期待される。

(東京大学医科学研究所 片山栄作氏)

情報通信分野

① シリコンLSIの10倍の記憶密度に相当する分子メモリIC試作に成功

米国のHP (Hewlett-Packard) 社のHP研究所・量子科学研究グループフェローのR. S. Williamsらの研究グループは、 $1\mu\text{m}^2$ の面積に64個の分子スイッチを配置した不揮発性データ記憶素子(分子メモリ)の試作に成功した。分子スイッチ1個あたりに1ビットのデータを記憶できるので、データ記憶密度は約10 Gbit/cm²に相当し、現在のシリコンベースのメモリに対して10倍以上の密度となる。同社の発表によれば、電気的にアドレス可能な記憶素子の記憶密度としては、これまでで最高の値である。

試作した素子は3層の立体構造になっている。まず、幅40 nmの

Pt (白金) 配線を基板の「東西」方向に8本配列に並べる。次に、その上に電気的にスイッチ可能な分子(スイッチング分子)の単分子膜を積む。更にその上に、幅40 nmのPt配線を、今度は「南北」方向に8本並べる。これにより、上下8本ずつのPt配線が64カ所で交差し、各交差点にスイッチング分子が挟まれたサンドイッチ構造となる。各交差点には、おおよそ1,000個の分子が挟まれて1ビットのメモリーとなる。データは各交差点に電圧パルスを与えて分子スイッチの電気抵抗の変化として書き込み、書き込み電圧より低電圧においてこの電気抵抗を読む。この抵抗変化は可逆(書き込み・消去可能)で不揮発性(電源を切ってもデータが消えない)である。同じ分子スイッチを使って簡単な論理回路も同時に形成している。

この分子スイッチを構成する分子の構造は明らかにされていないが、従来の発表から見て、電流によって分子構造が可逆的に変化し、それに伴って電気抵抗も変化する有機分子ではないかと推測される。同社は分子スイッチ自体は理論的には1分子でも機能するため、さらに微細化も可能であるとしている。

また同社は、配線形成に「Nano-imprint lithography」という新技術を採用している。これは基板上に形成したプラスチック薄膜に「スタンプ」を押しつけることで溝を形成し、この溝に金属(ここではPt)を充填する方法である。この技術は従来のリソグラフィ技術^①に比べるとコスト、製造時間とも大幅に削減可能だとしている。なお、「スタンプ」はシリコン基板を従来のリソグラフィ技術で加工して造られる。一個のICが1 mm角(中央 $1\mu\text{m}^2$ の面積に64個の分子スイッチを配置し、その周囲に入出力用電極がある)、一度に形成するICが625(25×25)個なので30 mm角前後のスタンプを使用していると見られる。また溝に金属を充填する方法は明らかにされていない。

紫外線や電子線を使う従来のリソグラフィ技術では微細化に伴ってコストが高騰することから、「スタンプ」を使って微細回路を印刷・型抜きする製造方法が、コ

用語説明

①従来のリソグラフィ技術

加工する薄膜上に感光性樹脂の膜を形成し、これを光や電子線で回路パターンに感光し、現像して樹脂パターンを造り、これをマスクとして薄膜をエッチングして回路パターンにする。LSIの微細化に伴い、使用する光は短波長になっており、次世代では極紫外線(EUV、波長15nm)や電子線が必要になると言われている。これに伴い、露光装置のコストも高騰することが問題となっている。

②次世代不揮発性メモリ

次世代不揮発性メモリは、パソコンや携帯情報機器の高速化、低消費電力化、立ち上げの高速化等の機能を実現するキー技術として注目されている。現在、MRAM(磁気メモリ)、FeRAM(強磁性体メモリ)、OUM(結晶構造の変化による抵抗変化を使うメモリ)など複数の技術が開発中である。

スト低減の点で注目されつつある。しかし、実際には温度や応力によるスタンプ・基板の伸縮に起因するパターンずれなど、未解決の問題が多く、実用化はされていない。今回の場合、試作品のため回路パターンが単純なので、パタ

ーンずれの問題は無視できるが、実際のLSI回路が形成できるほどのレベルに達しているのか興味を持たれる。

今回の技術は、次世代不揮発性メモリ^②の新しい候補として、また、実際に機能を発現した初めて

の分子デバイスとして注目される。また、従来のシリコン技術の微細化限界を突破する技術としても期待できる。さらに新しい製造技術の点でも注目される。より詳細な発表が行われることを期待したい。

環境分野

①ダイオキシン類を現場で迅速に測定できる技術が開発される

毒性が非常に強く、分解されにくい物質として知られるダイオキシン類は、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシ (PCDDs)、ポリ塩化ジベンゾフラン (PCDFs) とコプラナーポリ塩化ビフェニル (Co-PCBs) の総称である。

我が国は、ダイオキシン類対策特別措置法により、焼却施設の構造・維持管理・処理基準等の強化を図ってきており、それらの施設から環境中に放出されるダイオキシン類について、1年間に1回以上(1試料について2回)公定法^①で測定することが定められている。ダイオキシン類の測定は数日から数週間の期間を要し、測定費用も高額なことから、恒常的な測定が難しい状況にある。また、政府が2002年12月にダイオキシン類対策特別措置法のさらなる規制

強化を予定していることから、高精度かつ迅速にダイオキシン類を測定できる技術の確立が重要となっている。

こうした状況の下、(財)電力中央研究所と京都電子工業(株)は、廃棄物焼却施設からの排出割合が高いとされるダイオキシン類(PCDDs、PCDFs)を簡易・高感度かつ迅速に検出できる携帯測定器を開発したと発表した。今回開発した測定器は、約25cm角の携帯型装置ながら、生体の機能である抗原抗体反応を利用することにより、排出基準値相当(10億分の1レベル)の極めて低濃度のダイオキシン類を数分間で測定できる。

現状では、測定できる抗体が

TEQの高いダイオキシン類^②のみに限られているため、今後は、残りのダイオキシン類を測定することができる抗体の開発等が望まれる。特に、本技術は、従来の測定法で使われているガスクロマトグラフ質量分析などの高度な技術が不要であり、装置本体も従来の測定法と比べ大幅に低コスト化出来るとしている。また、迅速かつ現場での測定が可能かつ、大幅な低コスト化が可能であるといった効果も期待される。本技術は、ダイオキシン類の恒常的な排出状態管理といった、現在不可能な技術への展開も考えられることから、今後のさらなる技術開発の進展が期待される。

用語説明

①日本工業規格(JIS)等の公に認められた測定に関する規定。

②PCDDsの異性体2, 3, 7, 8-TCDD、およびPCDFsの異性体2, 3, 7, 8-TeCDFと2, 3, 4, 7, 8-PeCDF。

ダイオキシン類は、塩素のつく位置や数により多くの種類(異性体)があるため、毒性の最も強い2, 3, 7, 8-TCDDの毒性量に換算したTEQ(Toxicity Equivalency Quantity: 毒性等量)として表す。

ナノテク・材料分野

①ナノ組織制御により、永久磁石の10倍以上も強力な酸化物超電導バルク磁石を開発

通常の永久磁石材料では1T(テスラ)以上の強磁場を保持す

ることが難しいため、10T以上の強磁場は超電導磁石がなければ実現できない。したがって、強磁場が必要なNMR(核磁気共鳴)用磁石などへの応用としては、液体ヘリウム(4K: -269℃)で冷却する金属系超電導材料が実用化されている。一方、1986年に発見さ

れた酸化物高温超電導体は、液体ヘリウム冷却よりはるかに容易な液体窒素(77K: -196℃)による冷却で超電導状態になる点に関しては大きな話題を提供したが、電流特性や磁場特性の点では従来の金属系超電導材料に及ばなかったため、強磁場応用の領域での実

用化は遠いと考えられてきた。しかし、その後15年間の研究により次第に諸特性が向上してきており、このたび、(財)国際超電導産業技術研究センターの超電導工学研究所は岩手県工業技術センターと共同で、永久磁石の10倍以上も強力な磁力を発生させることができる超電導材料の試作に成功したと発表した。

超電導バルク材料は、強磁場発生装置でいったん励磁すると、その磁場を捕捉して、冷却する限りいつまでも磁化を保つため、永久磁石のように使用できる。今回試作した酸化物超電導バルク磁石材料は、77Kで14 Tまでの磁場を保

つことが可能であり、10 Tでは20 kA/cm²以上の電流を流すことができた。この磁場特性は、液体窒素で利用できる超電導特性としては現時点で世界最高の値である。材料は希土類—Ba—Cu—O系であり、結晶構造の軸が揃ったまま大型のバルク材料になっており、これが強い磁場を捕捉できる理由である。また、この超電導体相の結晶に、数ナノメートルの粒子状の非超電導体相が縞状に配列していることが大きな特徴であり、これが磁力の向きを反転しにくくさせる働きをしており、永久磁石のように使うことができる。この微細構造は、酸素制御溶融成長法と

いう方法で作製される。出発原料の希土類組成を精密に調整した粉末を成型し、これを酸素濃度の低い雰囲気中で溶融した後、徐々に冷却することで結晶成長させた。超電導工学研究所ではこの作製方法に関する基本特許を有している。

従来からの金属系超電導材料を用いた電磁石は、最近、液体ヘリウム使用下で20 Tを実現したところであるが、今回の成果により、液体窒素使用下での高磁場応用も実現に近づいたものと考えられる。なお、本研究は、超電導工学研究所が新エネルギー産業総合開発機構(NEDO)からの委託を受けて実施したものである。

エネルギー分野

①米国での環境規制強化に対応できる石炭・廃棄物ガス化技術の開発動向が報告される

9月24日～26日、米国ペンシルバニア州ピッツバーグ市で第19回 Annual International Pittsburgh Coal Conference が開催され、米国における今後の環境規制強化の動きと、それに対応できる石炭や廃棄物のガス化技術に関する報告が行われた。

米国では現在、Clear Skies Act of 2002という新たな法律が審議中である。この法律が成立すれば、2018年までに石炭火力から排出される硫黄酸化物を73%、窒素酸化物を67%、水銀を69%それぞれ削減することが求められることになり、それらの削減目標を目指して、環境汚染物質の排出権取引が導入されることになる。また、米国では、経済性と国家安全保障の両方の観点から、全発電量の半分以上を占める石炭火力発電の縮小は考えられていない。

二酸化炭素の排出削減技術の本命は、石炭火力発電所から排出される二酸化炭素の回収と隔離であるとして、米国エネルギー省(DOE)は重点的に回収・隔離技術の開発に取り組んでいる。現在、次世代の高効率石炭火力発電技術として石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発に各国が取り組んでいるものの、現状では従来の微粉炭ボイラーを用いた発電方式に比べてコスト高になるため、なかなか商用レベルでの普及が進んでいない。しかし、石炭のガス化過程で酸素を吹込む方式を採用しているIGCCでは二酸化炭素の分離・回収が容易であること、生成ガスの精製過程において生成ガスを一旦常温まで冷却して活性炭に通すことにより比較的容易に水銀が除去できることなどの特長から、IGCCは今後の環境規制に対応できる技術であるとされ、早期の商用化が期待されている。今後、二酸化炭素を含めた環境汚染物質の排出権取引が始まれば、IGCCの経済性が高まることが予想される。

一方、米国環境保護庁(EPA)

は、2005年までに国の廃棄物リサイクル率を35%にまで引き上げることにより、廃棄物に含まれる30種類の化学物質について環境中への排出量を半減させるという目標を打ち出している(www.epa.gov/epaoswer/osw/conserves/を参照)。その推進方策として、EPAは、石油精製残渣を手始めに、ガス化原料として利用できる広範な廃棄物類を法令における廃棄物の定義から除外することを検討している。このような取り組みが進められているのも、環境負荷の低いリサイクル技術として廃棄物等のガス化技術に大きな期待がかかっているからに他ならない。

わが国でも大規模な国家プロジェクトとしてIGCC開発が計画され、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が廃棄物ガス化発電技術の開発を行っている。その技術開発の推進に当たっては、高い発電効率ばかりを謳うのではなく、低環境負荷の観点をガス化技術の開発に盛り込む必要がある。

製造技術分野

①従来の300倍の急速水冷により、種々のアモルファス材料製造が可能となる

アモルファス（非晶質）の金属材料は摩擦や腐食に強く、また優れた磁気特性が得られるなどの特徴があり、変圧器用鉄心材料、一部のセンサや光学機器、スポーツ用具などに応用されている。アモルファスの線材や粒子は、熔融金属を冷却水や板材に接触させて結晶化しないように一気に冷却して線材にする方法や、金属粉末の粉砕と圧延を繰り返して混合する方法で製造されてきた。しかし、バ

ルク材料としてアモルファス化できる金属の種類は限られており、また、応用範囲の広い鉄などの金属では添加物を入れないと結晶化してしまうため任意に組成を制御することができず、これらの制限がアモルファス材料の応用範囲を広げるうえでの障害となってきた。

（財）電力中央研究所では、熔融金属の液滴を水流の中に垂らして急激に冷やす急冷手法を改良する研究を進めている。高温の金属液滴に触れた水は水蒸気の膜となって熔融金属滴を包み込み、直後に水蒸気膜が破れてごく小規模の水蒸気爆発を起こす。このときに水流が周囲から同時に金属液滴に接触し、金属は一気に冷却される。従

来の水冷手法では50万℃/秒程度の冷却速度が限界であったが、今回、冷却水にポリエチレングリコールや塩化カルシウムなどを加えて成分調整して水蒸気膜を作る条件を整えることで、冷却速度を従来の300倍に相当する1.5億℃/秒にまで向上させることに成功した。この超急冷技術を用いると、添加物無しでも鉄のアモルファス材料が製造でき、また、これまでアモルファス化が難しかったホウ素などのアモルファス材料が製造できる可能性もある。アモルファス材料の応用範囲を広げる製造技術として期待される。

社会基盤分野

①各国で取り組みが進む磁気浮上式鉄道 —MAGLEV2002（磁気浮上式鉄道国際会議）より—

2002年9月3～6日、スイスのローザンヌにおいてMAGLEV2002（磁気浮上式鉄道国際会議）が開催され、世界各国における磁気浮上式鉄道の研究開発等の状況が示された。

同会議は、2～3年毎に開催され今回で17回目となる。地元スイスを始めドイツ、フランス、英、米、カナダ、日本（30名程度）など約20か国、300名程度の研究者等が参加した。また今回、中国からは15名が参加しており関心の高さが伺える（次回2004年の開催地は上海に決定した）。

会議では、ドイツから、常電導磁石で浮上しリニア同期モータで

推進するシステムであるトランスラピッド（常電導磁気浮上式 最高速度400km/h程度）について報告があった。現在、建設中の上海空港—市内アクセス交通機関（2003年開業予定）に続き、ミュンヘン空港—市内アクセス交通機関の建設予定についても発表され、実用に向け活発な活動が続けられていることが示された。このシステムは当初、ドイツ国内での実用化が計画されていたが、積極的な海外進出策が功を奏し、発展著しい中国が導入を決定したものである。ただし、トランスラピッド技術のどの部分までを中国に移転するのかは不明である。

一方、スイスからは、地下式真空チューブ内に磁気浮上式鉄道を走行させるスイス・メトロプロジェクトの報告があった。これは、チューブ内を減圧して走行抵抗を極端に減少させ、磁気浮上で400

～500km/h走行の実現を目指しており、現在、ローザンヌ国立工科大学を中心に基礎研究が進められている。今回、基礎的な技術検討結果や経済性評価が示され、今後の技術開発への期待が現れていた。実現すれば、スイス国内は1時間以内で横断できることになるが、今後の進展は、スイス連邦国家の予算次第である。

わが国からは、HSST（常電導磁気浮上式 最高速度100km/h程度）、JRマグレブ（超伝導磁気浮上式 最高速度500km/h）等について報告があった。

HSSTは2005年開業へ向け愛知県・東部丘陵線で進められているプロジェクトである。ドイツからこのプロジェクト以外について質問があり、米国での展開について回答された。また、超電導磁石で浮上しリニア同期モータで推進するシステムであるJRマグレブに

については、国内での実用可能性の評価を受け、今後の改良に関する発表がなされた。空力性能改善のための先頭形状の改良、超電導磁石を搭載している台車の改良、車

体構造の改良等の説明に関心が集まった。さらに、都市内交通用の浮上式鉄道として日本OTIS社の空気浮上式システムが紹介され、米国等からは案内制御に関する質

問等があり、またリニアモーターとの組み合わせについて議論された。
((独)交通安全環境研究所 水間毅氏)

フロンティア分野

① 着々と進展する 統合国際深海掘削計画 (IODP)

2003年10月から、日米が主導する「統合国際深海掘削計画 (IODP)」が開始される予定である。本プロジェクトは、わが国が提唱した掘削船の開発と、それを用いた国際共同研究計画「深海地球ドリリング計画 (OD21)」及びこれまで米国主導で開始された深海掘削計画 (ODP) とを統合した新しい国際共同研究である。今後、2005年完成予定の深海掘削船「ちきゅう」と米国の深海掘削船を運用して、水深2,500m (最終的には4,000m) の深海底を掘削するこ

とにより、気候変動や地震などの地球変動メカニズムの解明、未知の地下生命圏やガス・ハイドレートの探索などを行い、新しい地球・生命科学の創成とその統合的な理解を目指している。

IODPの推進母体としては、我が国、米国、および独、英、仏を始めとする欧州各国、カナダ、中国等が連合体を構成して参加する案が検討されているが、最も注目すべきことは、その計画の実質的な運営本部がわが国に設置されようとしていることである。我が国には、技術や資金面のみならず人的な面でのリーダーシップも期待されている。

去る2002年10月1日、こうしたIODPを具体化すべく海洋科学技

術センターが「地球深部探査センター」を発足させた。このセンターはIODPの中核となる地球深部探査船「ちきゅう」の運用を担当する組織であり、今後、「ちきゅう」の安全かつ効率的な運用を通じたIODPの科学目的の達成と、運航、掘削、科学サービスに関するマネジメント能力の拡大、運用技術に係るノウハウの蓄積及び関連技術の開発を目指した活動を本格化する予定であり、IODPにおいて重要な役割を担う組織となる。

なお、科学技術動向 No.11 (2002年2月) のトピックスでは『深海掘削船「ちきゅう」進水』を掲載しており、同船について解説している。

