

# 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2004年9月11日より10月8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生体信号を感受するレスキューロボットを活用した被災者発見方法の開発

大地震のような災害の後、救急医療の観点からは、人命救助は3時間以内である事が望ましく、72時間以降生存者の発見率は極めて低下する。現在、救助に要する時間の殆どは、救出作業自体よりは、被害者の発見に費やされている。崩壊建造物など無機物の中から、効率よく生存者を発見する事が、救命率向上の決め手といえる。ロボットは、人や救助犬の活動できない状況に対応できる有力な手段であるが、1980年代以降の活発な工業用ロボット技術の開発にも関わらず、救命作業へのロボット技術の活用には関心が払われていなかった。1995年の阪神淡路大震災を機に、ロボット学者有志を中心に、救命活動での活用という明確な目標を掲げた、ロボット開発が推進されてきた。この活動は2002年には、特定非営利活動法人・国際レスキューシステム研究機構（IRS）に発展した。災害救助の問題は産官学民の連携で解決策を導き出すことが必要である。IRSは、2002年開始した文部科学省の「大

都市大震災軽減化特別プロジェクト・レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」の取りまとめ母体として機能している。プロジェクトの中では、ロボットの共同開発、神戸と川崎に設けた実地検証試験場の共同開発が、ボランティアの企業や個人の協同によって進められているが、その中核としてIRSの非営利活動法人という研究推進組織の形態が有効に機能している。これらの成果が、第6回日本工学アカデミー国際シンポジウム「ロボットとの共生」で報告された。

レスキューロボットの機能としては、情報収集が最も期待され、生存者の情報は最優先課題である。ロボットは、瓦礫の内部に侵入する事が可能で、画像のみならず、生存者の声・体温・CO<sub>2</sub>・運動・肌色・人体形状などの生体信号を感受し、マップの形で救助者に提示することが出来る。ロボットの利点は、①人間を危険に晒さないで済む、②動いて情報収集することにより、3次元の形状解析の向上や、複数の生体信号の総合的把握が可能となる、③標的に近づくにつれ、より正確な生体信号を得ることが出来る、という事である。現在のところ、感受能力からいうと救助犬の水準とは程遠

い。生物は、曖昧な状況の下でも、高感度に選択的対象の情報を感受・解析する能力を有する。特に、同胞や捕食対象の生物個体に関する情報は、優先的に処理される傾向がある。近年、認知科学・情報科学・ヴァーチャルリアリティ研究等の分野では、このように生物が機械よりも優れている情報処理能力を、工学的に再現する努力が払われている。これら分野の成果を応用することにより、レスキューロボットの収集する情報内容の質・量に関して多大な躍進が予測される。

レスキューロボットに望まれる特性は、救助犬・人間・パワーショベル等複数の方法論の、利点を生かし弱点を補い合う救助体制の、一貫として有効に機能することである。救助犬は、瓦礫の上を迅速に動き、瓦礫の外からおいを嗅ぎとり、高感度で要救助者の手がかりを見つけるが、閉所に入ることは忌避する。ファイバースコープは、容易に瓦礫の空隙に挿入し、5m以内までの映像情報や音声情報を収集する事ができる。ロボットは、瓦礫の空隙から進入させ、広範囲（30m以内程度、条件によっては100mも可）の要救助者情報を収集し、救助者に送信することが出来る。又、生体信号を

提示する要救助者模型ロボットが開発され、レスキューロボットの開発に用いられている。

生体信号を感受し、安価で取り扱いの容易なレスキューロボットが、大量に供給されれば、生存者

の発見率は向上すると予測される。

### 参考文献

- 1) 大都市大震災軽減化特別プロジェクト特集号、日本ロボット学会誌、Vol.22, No.5, 2004

- 2) 第6回 日本工学アカデミー国際シンポジウム「ロボットとの共生」、田所諭氏「レスキューロボティクスの挑戦」より)

## 情報通信分野

### ① 半導体微細化の主役に躍り出る不揮発性メモリ

半導体を用いた記憶素子は、機械可動部分が無く信頼性に優れ、小型・低消費電力化が行ない易く携帯機器応用に適している。携帯機器に用いられるメモリには、電源が切れても記憶内容が失われない不揮発性の特性を有するデバイスが好まれる。従来、携帯型オーディオやICレコーダ等の機器では主に音声信号を扱う為、大きなメモリ容量は必要とされなかった。ところが近年、デジタル・カメラやカメラ付き携帯電話等で画像信号を扱うようになり、撮像素子の高解像度化に伴い、データ量も急増している。この様な状況で、メモリには不揮発性に加えて、大容量化に対する要求が高まっている。半導体不揮発性メモリもこの画像信号を扱う情報家電市場の要求に答える為に微細化と大容量化の開発競争が展開されている。

今年9月に東京で開催された固体素子および材料に関する国際会議(SSDM; 応用物理学会主催)でも、東芝から不揮発性メモリに関する製品ロードマップが示された。また、韓国サムスンも上記会議終了後、世界最小線幅の不揮発

性メモリの開発をプレス・リリースしている。東芝によると高密度化に優れたNAND型<sup>(注1)</sup>と呼ばれるフラッシュ・メモリ<sup>(注2)</sup>製品の微細化と容量拡大を2004年の90nm世代、2Gbit/チップから2008年の40nm世代、16Gbit/チップまで最小加工線幅を4年間で半分以下とするスケジュールが示された。一方、サムスンは60nm世代で8Gbit/チップの不揮発性メモリの開発をアナウンスしている。

メモリの基本単位であるメモリセルがトランジスタとキャパシタとの2つの素子で構成されるDRAM<sup>(注3)</sup>に対して、トランジスタ1つで構成されるフラッシュ・メモリは、相対的に大容量化が行い易い。その中でもNAND型と呼ばれ、メモリセルを直列に

接続して配置したタイプのフラッシュ・メモリは、ビット単位のランダムアクセス機能は犠牲となるが、メモリセルをより高密度に配置する事が可能となる。音声や画像等の情報家電が扱うデータに対しては、ビット単位のランダムアクセス機能は必ずしも必要では無く、むしろ価格が優先される場合が多い。NAND型フラッシュ・メモリはこの情報家電の要求に答える特性を有しており、カメラ付き携帯電話の普及とともに急速に市場を拡大している。

かつて、パソコン向けにDRAMの微細化と容量拡大の開発競争が展開され、半導体製造技術が牽引されたが、現在ではこれに換わり、NAND型フラッシュ・メモリが半導体の微細化技術を牽引する形となっている。

(注1) NANDは論理演算の1つで、否定論理積を示す。AND(論理積)演算の結果にNOT(否定)演算を行なったもの。NAND論理演算を実現する回路は、直列接続のトランジスタで構成される為、ブロック単位でメモリセルを直列に接続した配置をNAND型と呼ぶ。現在、NAND型メモリの市場は、個数ベースでフラッシュ・メモリ全体の約1割であるが、数年以内に5割を超えとの予測もある。

(注2) 電氣的に書き換えが可能で、データを一括またはブロック単位で消去可能な不揮発性メモリ。

(注3) 半導体記憶素子の1つ。読み書きが自由に行なえるランダムアクセスメモリの一種で主にコンピュータのメインメモリに用いられる。

## 環境分野

### ①難燃剤の人体への影響 研究の動向

プラスチックなどに用いられている難燃剤であるポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) やポリ臭化ビフェニール (PBB) の影響について、我が国でも国立環境研究所を始めとして各国で研究されているが、今回アメリカの研究者らによって、PBDE や PBB がホコリや人体から検知されたと報告があった。PBDE は難燃性付与剤として、主として繊維、プラスチック及び電子材料に用いられている。

米国テキサス大学の研究者によると、米国の動物由来のほとんどの食料は PBDE に汚染されており、米国やヨーロッパにおける堆積物やヒトの血液及び母乳にも存在していると報告している。報告書では、動物実験によると PBDE を大量に摂取すると神経毒になるか発癌性になる、と述べている。同チームは、動物の脂肪を食べることによりヒトの身体に入るという仮説をたて、テキサス州の

3つのスーパーマーケットから得た魚、肉及び日用食品雑貨物をサンプルとして用いて実験を行った (Environ. Sci. Technol., published online Sept. 1)。PBDE レベルは食品のタイプにより異なるが、魚は最高のレベルを示し、次いで肉や日用食料雑貨物であった。しかし一方、カリフォルニア州の健康有害物査定局の研究者によると、確かに我々は食品をとおして PBDE にさらされているが、実態は明らかでなく、他のデータによると、1次発生源は室内における空気が原因であるとも述べている (C & E News, September 13, p24 (2004))。また、米国の環境保護団体によって、パソコン内部のホコリからも PBDE が検出されたという発表があった。PBDE は数種類あり、そのうち「ペンタ - PBDE」と「オクタ - PBDE」は、今年中に市場から消えるが、複数の環境保護団体が「デカ - PBDE」も規制するよう求めている。

ヨーロッパでも同様な報告がされている。スウェーデンのカロリンスカ研究所の調査によると、母

乳に含まれる PBDE 量はここ数年で急増したことが判明した。過去には、ドイツの一般家庭のホコリからも PBDE が検出されている。EU では、RoHS 指令により法規制されているのは PBB および PBDE で、生物体内蓄積の有害性があるとして電気電子機器中への含有が禁止されている。

日本では、廃棄物埋め立て処分場の浸出水から PBDE が検出され、水に対する移動性はかなり高いことが確認された。しかし、3種類ある PBDE のうち日本では2種類については2000年までに使用自粛されたが、残る1物質については使用が続いている。

難燃剤は人体に対して有害であるということから、従来使用していた電気製品の筐体などには代替品や有害度の低い物質を使用するようになった。しかしその結果、物が燃えやすくなることや、火災が起きた場合犠牲者が増えることが懸念されている。安全・安心の社会のためには、人体への影響が少ない難燃剤の開発が急務である。

## ナノテク・材料分野

### ①持ち運びのできる小さな NMR 装置

NMR (Nuclear Magnetic Resonance : 核磁気共鳴) は、有機化合物等を扱う研究において頻繁に用いられる分析手段であり、分子運動や原子間の距離あるいは角度を観測できる。また、これを医療に応用した MRI (Magnetic Resonance Imaging) も、内臓の癌や脳疾患を検出する装置として、数多くの

医療機関で用いられている。

NMR や MRI は、外部から大きな磁場をかけることで、測定試料の原子核が持つ磁気モーメント (核スピン) を観測するという原理に基づいているため、非常に大きな装置になり、持ち運ぶことができなかった。米国カリフォルニア工科大学の D.P.Weitekamp 教授らは、検出方法を根本的に変えた新しい NMR 測定方法を発表し (Proceedings of the National Academy of Science, vol.101,

p.12804 (2004))、これをブーメラン (BOOMERANG) と名付け、ポータブル型の小さな NMR 装置の試作機を公開した。

従来の NMR 装置は、大きな磁石の中に測定試料を挟み、実際には勾配が付いた磁場中で、高周波数の電磁波が吸収および放出する過程を検出している。これに対し、BOOMERANG は、2つの強い永久磁石 (ネオジウム - 鉄 - ボロン磁石) を上下に配置し、その間に鉄 - ニッケル合金で作った検出用

の磁性体がリング状の磁性体に囲まれた形のものを2枚置き、さらにそれらの間に測定試料を入れたコイルを挟む構造になっており、測定試料には均一な磁場がかかるようになっている。高周波パルスをかけると、試料の存在によって検出用の磁性体にかかる力(振動)

が変化するが、この微小な振動は検出用の磁性体を通じて外部から検出できるようになっており、従来と同じようなNMR測定が可能である。BOOMERANGは、電磁波ではなく、微小振動を検出するシステムであり、装置が小さくても高感度で磁気共鳴を観測できる

という利点がある。すでに液体や固体の試料でNMR測定が可能であることが証明されており、1滴の液体や数十 $\mu\text{m}$ の塵のような極めて少量の試料でも測定可能であることも利点である。

## エネルギー分野

### ① 欧米の潮流タービン発電技術開発の動向

これまで、潮流の力をエネルギーとして利用する動きは、風、太陽、地熱などの力を利用する動きに比べて、非常に小さいものであったが、従来の発電所から温室効果ガス排出をカットする流れは、世界中で技術への新たな関心呼び起こしている。最近、欧米で、景観を含めた環境への影響が少ない川底設置型や水中浮遊型の巡回式潮流タービン発電技術が脚光を浴びつつある。潮流による電力農場を目指している。

従来、潮の力を利用する発電としては、フランスのランス川河口にあるランス潮汐発電所(240MW容量)のように川を横切る巨大なダムを用いた発電形式が主流で、カナダ、中国、韓国、ロシア、オーストラリアなどにパイロットプラントが建設されている。しかし、これらは、①高価である、②川に住む野生生物を損なうという欠点を持つ。

米国エネルギー会社の「Verdant Power(緑の力)」社は、ニュー

ヨークイースト川の川底に巡回式潮流タービン装置6台を設置、約200kW(1台あたり約33kW)の電力を供給するプロジェクトを2004年9月から開始した。450万ドルをかけるこの計画では、川面より9m下の岩盤に打ち込まれたコンクリート杭に小さな風力タービンのような発電用機械を取り付ける。潮の満ち引きが変わると、機械頭部は流れに面するために回転し、その羽根が回る。この潮流タービンは、従来のタービンより低速の水流で回り続ける設計になっている。2003年1月からの小さなプロトタイプ機でその性能を検証してきた。今回は、約200軒の家に必要な電力しか供給しないが、本計画がすべて計画通りに進むと、潮流タービン200~300台(6,600~9,900kW)を川に沿って設置していく予定である。小さな機械が競争力のある価格で電力を供給できるかが大きな課題<sup>(注1)</sup>であるが、マンハッタンにある国連本部は、プロジェクトによって生産される環境にやさしいエネルギー利用に関心を示している。

欧州では、英国北デボン海岸とノルウェーのハンメルフェスト海

岸に、1台あたり出力が上記よりやや大きい川底設置型潮流発電装置(300kW)が設置され、実証試験が進んでいる。これらを設置した2つの会社は、建設単価を下げるため巨大な1MWのタービン開発も行い、2007年までに、この独立した発電装置を発展させて水中にタービンフィールドを建設、電力を供給していく計画を持つ。特に、英国は、水中浮遊型の巡回式潮流タービン発電技術開発もすすめており、官民挙げて潮流エネルギー利用技術開発に力を入れている。

日本では、徳島大学が鳴門海峡で、日本大学が来島海峡で水車型の潮流発電試験を実施した例があるが、大きな研究テーマにはなっていない。英国と同様、まわりを海に囲まれた日本には、流れの速い「瀬戸」や「海峡」と呼ばれるところがたくさんある。今後、再生可能エネルギーのひとつとして、欧米の上記プロジェクトの展開が注目される。

川底の潮流タービン(イメージ図)



©Verdant Power, news@nature.com  
Published online: 13 August 2004;  
doi: 10.1038/news040809-17 より

(注1) 米国プロジェクトで建設単価を1ドル110円で見積もると、247.5万円/kW。資源エネルギー庁情報公開値によると天然ガス火力20.8万円/kW、石油火力28.7万円/kW、石炭火力30.8万円/kW、水力75.9万円/kW。

## 製造技術分野

### ① 単層カーボンナノチューブの実用形状への製造技術

現在、カーボンナノチューブを含む多くの炭素化合物の製造技術に関する研究が盛んに進められている（科学技術動向7月号トピックス参照）。論文発表数も世界的に増加傾向が続いており、ごく最近も、単層の純粋なカーボンナノチューブに関して、実用に近づく製造技術として以下のような研究成果が報告された。

米国ロスアラモス国立研究所の研究グループは、1本の長さが4cm以上もある単層の純粋なカーボンナノチューブを作製することに成功した（Nature Materials, Vol.3, p.673 (2004)）。カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブと多層カーボンナノチューブに分類され、単層カーボンナノチューブは1枚のシートが円筒状になったもので直径は1~2nm、

多層カーボンナノチューブは多重の円筒状で外径が数十nmであるが、これまではいずれも長さが数 $\mu\text{m}$ 程度であった。彼らは、鉄触媒を用いてエチルアルコールを900 $^{\circ}\text{C}$ の石英チューブ内で分解する方法により、シリコン基板上に、従来より数倍速い約11 $\mu\text{m}/\text{秒}$ という成長速度で長尺の単層カーボンナノチューブを成長させることに成功し、さらに今後も制限無く所望の長さが得られるだろうと推測している。

また、米国フロリダ大学とハンガリー科学アカデミーの研究グループは、紙漉きのような手法で透明導電性フィルムを作製した（Science, Vol.305, p.1273 (2004)）。まず、界面活性剤を添加して単層カーボンナノチューブを懸濁させた液を、メンブランフィルター（セルロース製の濾紙）を通して真空濾過し、水洗で界面活性剤を除いた後にメンブランを溶解して支持体のない均一なフィルムを得た。メンブランフィルターの大きさ

に応じて直径10cm程度までの面積が得られ、曲げることが可能なフィルムも作製できる。比抵抗の値は、透明導電膜として用いられているITO膜と同程度の $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ が得られた。

さらに、米国ライス大学カーボンナノテクノロジー研究所の研究グループは、紡績技術を用いて単層カーボンナノチューブをきちんと整列させたファイバーを作製し、このファイバーが市販の繊維で最強のザイロン（Zylon<sup>®</sup>）と比べて10倍以上の強度をもつことを確認した（Science, Vol.305, p.1447 (2004)）。この方法ではファイバーを大量に作製できるため、彼らは工業的製造に進出したいと考えている。なお、この研究は、炭素材料のひとつであるフラーレンの発見によりノーベル賞を受賞し、現在の炭素材料研究の第一人者であるR.E.Smalley教授のリーダーシップのもとに進められている。

## フロンティア分野

### ① 重力場観測衛星 GRACE による水の広域移動観測

米国航空宇宙局（NASA）は2002年3月にGRACE（Gravity Recovery and Climate Experiment）という地球重力場観測衛星を打ち上げた。

GRACEはNASAとドイツ航空宇宙センター（DLR）の連携プロジェクトであり、ドイツで直接参加している機関は地球研究センター（GFZ = GeoForschungsZentrum）である。

GRACEによる測定から、南米の分水界全域にわたる重力場の季節変動サイクルが明らかになった。地球の重力場は、月や太陽の潮汐力、気圧変動などで絶えず変化しているが、水の移動でも変化する。しかし、従来、水の移動による重力変化は、ごく限られた空間での地上重力測定でしか検出できなかったため、GRACEが出現するまでは、広域の水変化やグローバルな水循環の研究は不可能であった。

地球の形状は、しばしばジオイドという等重力ポテンシャル面の

形状で表現される。テキサス大学のタプリーらはGRACEの測定データを使って、南米のジオイドの高さの季節的変化を研究し、アマゾン川以北地域の主な分水界での季節変化を発見した。このような測定は、海面上昇、極地の氷床変動や地下水の貯蔵といった、観察が困難な現象を調べるのに有用であるとしている（Science, VOL.305, p.503 (23 July 2004)）。

GRACE実験では、地球重力場の微小な変動を検知するために、同一軌道上で約220km離れた同型の2衛星間の距離を、マイクロ

波を用いて髪の毛の太さの100分の1の精度で測定する。重力場の変動は月々マッピングされているが、それは、季節や天気パターンにより引き起こされる地球表面流体（大気、海洋、降水など）の質量移動に従っている。

我が国では、平成14年度から京都大学が中心となって「精密衛星測位による地球環境監視技術の開発」研究が実施されており、その一環として、将来の衛星重力ミッションのために、GRACEより高精度なレーザ干渉技術を応用した測定の基礎技術開発を行っている。GRACEのデータ利用については、欧米に後れをとっているが、本年7月以降、データが一般に公開されるようになったので、今後、わが国でも本格的な研究が進められるようになるであろう。京都大学大学院理学研究科の福田洋一助教授は、タプリーらの成果をほぼ妥当なものとして評価し、GRACEの

GRACE（220km 離れて飛行する双子衛星 イメージ図）

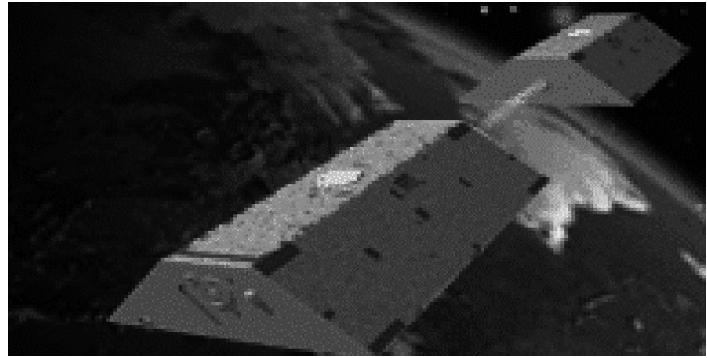


photo by NASA

ような重力場観測衛星によるグローバル水循環研究への有効性はもはや疑いようがないが、今回の測定精度が当初の予想より悪いことから、今後精度を上げるにはさらに技術的な工夫を要するだろう、とコメントしている。

本年4月に我が国で第2回地球観測サミットが開催され、全球地球観測システム（GEOSS）のための地球観測10年実施計画枠組み

文書が採択された。我が国は地球温暖化や気候変動などと並んで水循環変動への対応で特に積極的に貢献する旨を表明している。

地球規模での海面変動、極域の氷床変動、陸上の帯水層の涵養または減少など水循環に関連する研究を推進する上で、衛星重力ミッションにより取得された大規模な観測データの有効活用が期待される。

