

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（4月号は2004年3月1日より3月31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新しいタイプのBSEの可能性

ウシ海綿状脳症（BSE）は、脳内にスポンジ状の変化を起し、行動異常、運動失調などの神経症状を呈する、進行性、致死性の中枢神経系の疾病である。もともと体内にあるタンパク質である正常型のプリオンタンパク質が、異常化し、蓄積することで発症するプリオン病の1つである。類似のヒトの疾患として、ヒトのクロイツフェルトヤコブ病（CJD）、クールー病がある。CJDのうち、変異型CJDはBSEに感染した牛を食することが感染の原因であるとされているが、突発性CJDはBSEとは無関係であると考えられており、その発症の原因は不明である。

これまで、BSEのタイプは1つであると考えられてきたが、従来と違ったタイプのBSEが、最近、フランス、日本およびイタリアの研究グループから相次いで報告された。イタリアのグループの報告によれば、スクリーニングテストで陽性であった15才と11才のウシの脳について検査したところ、球状でもつれたプリオンタンパク質の蓄積が見られた。これは粒状のプリオンタンパク質の蓄積が見

られる従来型BSEと異なっており、また脳内での蓄積部位も両タイプで異なっていた。さらに、この新しいタイプのプリオンタンパク質の蓄積の形状は、ヒトの突発性CJD患者のものと類似していることが示された。

しかし、この新しいタイプのBSEが従来型BSEから分化したのか、突発性CJDとどのように関連しているのかなどについては、現在のところ明確ではない。

この新しいタイプのBSEは、現状の検出方法で検出できるので、安全な食用牛肉の流通という点では問題はないが、病理的観点から今後の研究の進展に注目すべきである。

（参考：“A New Form of Mad Cow?” Science, Vol.303, pp1285, 2004）

（味の素㈱ 都河龍一郎氏および Advanced Synthesis & Catalysis Research, ACS 研 藤原 祐三氏）

②分子モーターの制御の可能性が示された

分子モーターとは、化学エネルギーを力学エネルギーに変換するタンパク質複合体の総称である。運動の形式から、分子モーターは、細菌の鞭毛などの回転運動を駆動する回転型モーターと直進運動を

駆動するリニア型モーターに大別される。リニア型モーターの代表は、筋収縮で知られる蛋白質ミオシンであり、ミオシンはアクチン繊維上に直進移動する。

ミオシン・ファミリーには現在約20種類のメンバーが存在することが報告されている。ミオシンの運動の方向は極性をもつアクチン繊維の+の方向（前進性）に移動するか、-の方向（後進性）に移動するか、予め決まっている。近年、数々の変わり種の存在が報告されたが、その中でも後進性のミオシンは1つしか見つかっていない。

ミオシン中の運動に関係していると考えられる構造は、モーター領域と呼ばれている。モーター領域の上方にはアクチン繊維と結合する球状構造があり、モーター領域の下方にはレバーアーム領域がある。このレバーアーム領域の構造変化が運動を生じると考えられている（レバーアーム説）。ミオシンの運動メカニズムに関してはこれ以外の説も提唱されているが、未だ決着に至っていない。

ハノーバー大およびマックスプランク研究所のManstein博士らのチームは、タンパク質工学の手法により、前進性のミオシンのモーター領域（レバーアーム領域を含む）の配置に変化を生じさせる

ような改変を加えた。その結果、ミオシンの運動方向が逆転したことを、試験管内のアッセイにより明らかにし、Natureに報告した(vol.427, 558 - 561 (2004))。

改変されたモーター領域は、前進性のミオシンのモーター領域部分、ヒトグアニル酸結合タンパク質由来で、他の部位の配置を逆転

させる部分、および α -アクチニン2本を連結し、レバーアーム構造を模倣した部分、の3つの部分から構成されている。

本研究によって、初めて人工的に後進性のミオシンが作成されたことになり、これは分子モーターの運動メカニズム自体を解明するための重要な知見となり得る。ま

た、このような研究を積み重ねることにより、将来のナノバイオテクノロジーにおいて、動きや力を生み出すための重要な素子として有望視されている分子モーターの動きを自在に操ることが可能になると期待される。

(東京大学医科学研究所

教授 片山 栄作氏より)

情報通信分野

① セキュリティを考慮したプログラミング言語 C# の JIS 原案策定

コンピューターシステムのセキュリティは未だに問題である。安全性を高めるには、オペレーティングシステムからアプリケーションソフトウェアまで、様々なレベルで対策を講じる必要がある。

セキュリティ攻撃の手口として一般的なものに、プログラムの中の配列の添字^①の上限や下限を越えるデータアクセスや、ポインタ^②というアドレスの間接参照を利用して、プログラム中のデータを盗み見たり、プログラム内容を改ざんして、悪用するなどの手法がある。

このような攻撃に対する対策の1つとして、プログラミング言語及びそのコンパイラや実行ライブラリなどで、こういうプログラムをそもそも書けないようにすることがある。

プログラミング言語での、この

ような試みの代表的なものとして、1995年に開発されたJava言語がある。しかし、これはSUNによるものでいわば民間の規格であり、国際的ならびに日本国内の工業標準規格として定められたプログラミング言語で、セキュリティ上の配慮をした言語は、これまで存在しなかった。

JavaもC#言語も、ともに、1970年代初頭にUnixで開発されたC言語の流れを汲むプログラミング言語である。どちらも、オブジェクト指向を取り込み、データの型を宣言して処理する。C#言語は、もともとMicrosoftが2000年に開発し、Intel及びHPと共同でECMA-International(欧州を拠点とする世界標準化団体)標準として2001年末に制定され、2003年4月1日に国際規格ISO/IEC23270として発行された。

C#言語は、配列の上限下限を超える添字指定の実行を禁止する。又、初期化されていない変数の使用を未然検出して、使わせない。メモリ管

理には自動ガーベジコレクションを備えている。C#言語では、Javaよりも厳格にデータ型の変換を扱う。Javaでは、ポインタを一切禁止して使えないのに対して、C#では、通常のプログラムでのポインタを禁止しているが、オペレーティングシステムなど性能上、又は機能上どうしても必要な場合は、unsafeという宣言下でポインタ使用が許される。

② 窒化ガリウムを用いた高電子移動度トランジスタにて30W/mmの高出力を達成

広帯域通信の基地局の送信機では、マイクロ波よりも高い周波数で高出力の電力増幅素子が使用されており、さらなる低コスト化が求められている。中でも最も大きな出力が必要とされる応用分野の1つである衛星通信で用いられる進行波管と呼ばれる特殊な真空管は、構造が複雑で非常に高価であり、寿命も比較的短く、固体素子への置き換えが望まれている。

高出力の増幅素子を固体素子で実現する場合、より高い電圧を印加する必要があり、バンドギャップが大きく絶縁破壊強度が高い半導体材料が必要となる。バンドギャップがシリコン(Si; 1.1eV)よりも大きく、電子移動度も比較的大きい半導体材料としては、ガリウム砒素(GaAs; 1.4eV)、炭化

用語説明

①配列の添字

配列の添字とはarray[i]という配列参照の「i」のこと。「i」の値が何でもよければ、実行しているコンピューターの記憶内部を全部見ることが出来てしまう。

②ポインタ

ポインタとは、記憶内容の指すアドレスの内容をさらに引き出す間接参照のことである。ポインタも、無制限に許すと内部情報を見ることが出来る。さらに、書き込みを許すと、コンピューター内部の情報を書き換えることが出来る。これは、コンピューターウイルスがやっていることである。

シリコン (SiC ; 3.0eV)、窒化ガリウム (GaN ; 3.4eV)、ダイヤモンド (5.5eV) 等がある。ここで化合物半導体の GaN は、GaAs に比べて絶縁破壊耐圧が約 3 倍大きく、SiC よりも電子移動度が約 3 割大きい。また、ダイヤモンドよりも結晶や素子製造技術が進み、ヘテロ接合構造を用いて、HEMT (注1) と呼ばれる高電子移動度トランジスタを実現する事が可能である為、高周波数・高出力の固体素子の有力な候補材料として、期待されている。

今回、これまでに報告された出力特性値を大きく更新する GaN トランジスタの特性が、米国 Cree 社から論文発表された (注2)。大きなバンドギャップを有する材料本来の特性を引き出すには、材料の結晶品質の向上に加えて、電子デバイスではデバイス構造も最適化する必要がある。論文によると Cree 社は、従来の HEMT 構造にドレイン側の電界強度を緩和するフィールド・プレート (Field Plate) と呼ばれる電極を設け、これを最適化している。

(注1) High Electron Mobility Transistor の略。電子を発生させる領域と走行させる領域とを分離した電界効果トランジスタ。電子は、低不純物濃度の領域を走行する為、不純物との衝突回数が減り、高い移動度や低い雑音を達成出来る。

(注2) IEEE Electron Device Letters, pp.117-119, Vol.25, No.3, Mar. 2004

フィールド・プレートは、ゲートの絶縁耐圧を向上させる効果と半導体層の表面準位に起因する周波数特性の劣化を改善する効果を有する。この最適化により、デバイスの高周波特性を維持しながら絶縁破壊耐圧を 170V 以上に高める事が可能となった。論文では、動作電圧 120V、フィールド・プレート電極長 1.1 ミクロン、動作周波数 4GHz で単位ゲート幅当りのトランジスタの最高出力電力は 32.2W/mm、また同じ動作電圧で、フィールド・プレート電極長 0.9 ミクロン、動作周波数 8GHz で単位ゲート幅当りのトランジスタの最高出力電力は 30.6W/mm と示されている。

これまでの報告が動作電圧 50 ~ 60V にて最高出力電力が 10 ~ 15W/mm である事からすると、

この特性は 2 倍以上の更新になり、理想的なダイヤモンド半導体で期待される値にも相当する。単位ゲート幅当たりの出力の向上は、より小さな素子での高出力増幅器を可能とするものである。GaAs を用いた素子で従来、4 個程の複数チップの合成により達成してきた 100W を超える送信出力が、GaN を用いた場合、1 チップの素子で実現出来る事になり、製造コストの低減にもつながる。

今回報告されたトランジスタの特性は、GaN の材料物性から期待される値に近いものとなっていて、GaN が光学デバイスのみならず電子デバイスとしても材料が本来有する特性を引き出し、実用化に向けて研究開発が進みつつある事を示している。

ナノテク・材料分野

①多結晶材料による高性能セラミックレーザー発振

従来、レーザー発振には単結晶を用いることが最も適していると考えられてきたが、シリコンなど一部の物質を除いて、多くの材料では、均質で大きな単結晶を得ることは容易なことではない。そこで 1960 年代から粉末の焼結で得られる多結晶体のセラミックレーザーを作製しようとする研究が始まり、1966 年にレーザー発振できることが実証されたが、その後 30 年以上の間、品質の点で単結

晶に匹敵するものは得られなかった。1995 年に、多結晶体の Nd : YAG 結晶 (ネオジウムを添加したイットリウムアルミニウムガーネット (Y₃Al₅O₁₂)) を用いたレーザー発振が、黒崎窯業株式会社 (現黒崎播磨株式会社) の研究者であった池末明生氏らによって初めて報告された。Nd : YAG レーザーは金属溶接加工や手術等の医療器具に広く用いられているパワーの大きいレーザーであり、単結晶では難しい大型の結晶作製や製造コストの低減が望まれている。

2000 年以降、セラミックによる Nd : YAG レーザーの品質と出力が飛躍的に向上した。神島化学

工業株式会社の柳谷高公氏は、電気通信大学レーザー新世代研究センターの植田憲一教授らと共同で、光変換効率 60%、最大出力約 1.5kW という、単結晶と比較しても同等以上の性能をもつセラミックの Nd : YAG レーザー材料を発表し、注目を集めている。品質の向上は、原料合成段階の化学反応でナノメートル単位の粒径分布を制御し、1800℃で真空焼結することにより空隙の無い透明なセラミックを作る地道な研究の継続によってもたらされた。現在、10cm 角以上の大きさのレーザー用の結晶が形成できている。また、従来は、多結晶体には結晶粒界 (結

晶粒子どうしの境目)が存在するため、単結晶より光の損失が大きいという問題を解決できないだろうと考えられていた。しかしながら、これらの品質向上は、セラミックの粒界が光学的には非常にきれいな境目であることを証明した。

セラミックでは、単結晶が作製できない組成の結晶も得られるため、従来は不可能であった Y_2O_3 、 Lu_2O_3 、 Sc_2O_3 などでもレーザー発振可能であることが実証され、フェムト秒レーザーの材料候補に挙がっている。また、より短波長

までのレーザー発振も可能である。弗化物セラミックの研究も見直されてきた。これらのセラミック焼結技術は、日本の研究が世界に先行しており、今後も優位性を生かした研究成果が望まれる。

エネルギー分野

①自ら電気エネルギーを生み出す小型発電デバイスの開発動向

従来、当然のように使っていた電池が不要になる環境を目指す技術開発が活発になってきた。持ち運べる電源としてこれまで電池が主流であったが、電池寿命を考慮すると商用電源と AC アダプタが必要となり、使う場所に制約がある。しかも、現状の最高性能を示す Li イオン電池では技術の進化が飽和状態にあり、小型化することが難しい。

そこで Li イオン電池の代わりとなる電源として注目を集めているのが、自ら電気エネルギーを生み出す発電デバイスである。エネルギー源は、すでに世の中にある機械エンジンの燃料や自然現象の中から確保でき、半導体の微細加工技術を駆使することによって、LSI のチップに搭載できるほどの小型化を実現する可能性がある。

燃料系発電デバイスには、ガソリンやプロパンガスといった一般的な機械エンジン用燃料を使うマイクロガスタービン発電デバイスまたはマイクロレシプロ発電デバイスと、メタノールや水素を燃料とするマイクロ燃料電池がある。前者は瞬間的に高い出力 (パワー密度、W/kg) が見込め、高出力が求められるロボット用電源などに有利である。後者は、出力が比較的低く、むしろ長寿命の指標となるエネルギー密度 (Wh/Kg) が高く、携帯機器電源に向く。

立命館大は、 $10 \times 15\text{mm}$ のマイクロレシプロ発電デバイスを試作し、Si の微細加工技術によって形成したピストンが圧縮空気で動くことを確認した。最終的には $50 \sim 500\text{mW}$ の出力を狙っている。米国 MIT は、マイクロガスタービン発電デバイス向けの燃焼エンジンで 20mm 角の実現に取り組んでいる。

一方、自然エネルギー系発電デバイスには、産総研が開発中の

透明太陽電池や、日立製作所が開発中の微小振動発電デバイスがある。前者は、紫外光により発電し、可視光はそのまま透過する太陽電池で、家や自動車の補助電源に利用可能である。例えば、窓ガラスに応用した時に、照明としての可視光を確保しながら、夏には熱線となる赤外光を反射し、冬には室内に導入して暖房の効果を得る事が可能になる。今回、産総研は pn 素子を試作し、青色および紫外光により発電することを確認した。発電効率としては、将来的に 3% を見込んでいる。微小振動発電デバイスの開発では、日立が建造物に存在する振動 (50Hz、約 $1 \mu\text{m}$) を利用した原理実験 (出力 $0.12 \mu\text{W}$ 、発電効率 21%) に成功した。例えば、建造物に埋め込むワイヤレスセンサーチップの電源に使える可能性がある。これら小型発電素子開発は、半導体材料技術や微細加工技術等日本の優位技術が生かされる分野であり、今後の研究成果が望まれる。

フロンティア分野

①宇宙デブリ観測施設が稼働

レーザーによる宇宙デブリ観測施設が岡山県苫田郡上齋原村の人形峠に建設され、平成 16 年 4 月 1 日から稼働を開始した。この施

設は「上齋原スペースガードセンター」(KSGC) といい、平成 10 年度から特別電源所在県科学技術振興事業補助金により財団法人日本宇宙フォーラムが整備を進めてきたもので、KSGC の利用者として独立行政法人宇宙航空研究開発機構が筑波宇宙センターにおいて宇

宙デブリの観測運用を開始した。

米国やロシアではミサイル防衛のために要所に監視レーダーを設置していたが、宇宙活動の活発化に伴い、役目を終えた人工衛星やロケット上段などの宇宙デブリをミサイルと誤認することを避けるため、それらの軌道も観測してい

た。有人宇宙活動を行う上でも宇宙デブリを観測し、衝突を回避することは必須であり、冷戦終結後も、米口は多数のレーダー観測設備での観測データをつなぎ合わせて、衛星や宇宙デブリの軌道決定を行っている。

我が国では従来から、運用中の日本の衛星については追跡を行ってきたが、寿命が尽きて通信が途絶すると、その後の軌道データ取得は米国の情報に頼っていた。

今回稼動開始したレーダー観測施設は、宇宙デブリを観測する目的で設計・建設された専用施設である。世界中に分布する多数の施設を有する米口と異なり、国土の狭い我が国において、1箇所での観測で軌道決定を行えることを目標に開発された。

設備の中心となるレーダー本体はアクティブ・フェーズド・アレイ方式を採用し、3メートル四方

の電波放射面にアンテナ素子を含む送受信モジュールが約1,400個配置されている。アクティブ・フェーズド・アレイではおのおののアンテナ素子が発する電波の位相をそれぞれ独立に変えることで合成波面の放射方向を上下左右に電子的に制御でき、高速で移動する宇宙デブリを軌道計算のシミュレーションを行いながら追尾する。方位角（アジマス）方向は、±270度の機械軸回転が可能で、仰角（エレベーション）方向は、水平面に対して放射面を物理的に約54度傾斜させている。なお、放射面の正対方向から方位角方向に±45度、仰角15度～75度の円錐角内に合成波面を向けることができるので、機械軸回転をしなくてもこの範囲であれば宇宙デブリが自在に追尾できる。

性能は、直線距離で約600キロメートル離れたところにある

直径1メートルの物体の観測ができる。また観測可能な最大距離は1,350キロメートルである。

なお、静止軌道や静止トランスファー軌道など、レーダーでは観測できない中～高高度の宇宙デブリは岡山県小田郡美星町に設置されている美星スペースガードセンター（BSGC）の光学望遠鏡により観測を行っている。

4月7日にはKSGCの展示施設がオープンし、既存の岡山県のアトムサイエンス館や核燃料サイクル開発機構の人形峠展示館と連携して「人形峠かがくの森プラザ」が発足した。

KSGCに関する情報は下記URL参照。

<http://www.jsforum.or.jp/ksgc/top.html>

