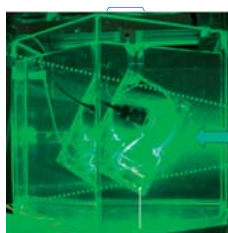
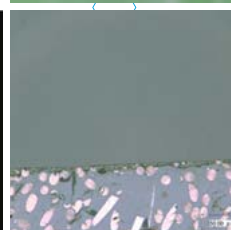
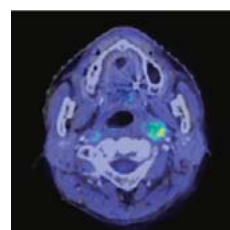


研究

Research and Development

112..... 研究 Research and Development



鉄道車両インバータの高効率化を可能にする 3 kV 級 SiC ダイオードと高速駆動技術

インバータなどの電力変換器の損失低減には、産業分野の省エネルギー化における大きな効果が期待されている。日立グループは、次世代のパワーデバイス材料として注目される SiC を用いた 3 kV 級の高耐圧ダイオードを開発し、これを搭載したパワーモジュールを試作した。このモジュールを鉄道車両用インバータに適用し、その動作特性を取り入れたシミュレーションにより、交流架線向けの主変換装置で電力変換損失を約 3 割低減できる見通しを得た。

次世代パワーデバイス材料として期待される SiC

直流電流を交流に変換する装置として、さまざまな電気機器に搭載されているインバータは、CO₂排出量削減に向け、今いっそうの効率向上が求められています。

インバータは、ダイオードやトランジスタなどのパワーデバイスで構成されています。パワーデバイスの材料には長らく Si (シリコン) が用いられてきましたが、Si による効率向上に物理的な限界が見えてきたことから、次世代の材料として、今回私たちが用いた SiC (炭化ケイ素) や、GaN (窒化ガリウム) などの化合物が注目されています。

SiC の特性は、高耐圧で、破壊電界強度が Si よりも 10 倍近く高いことです。この特性により、Si デバイスの約 $\frac{1}{10}$ にまでチップを薄くでき、その分だけ導通時の抵抗損失を低減可能です。結果としてデバイスの小型化や冷却系の簡素化、高効率化が図れます。

高耐圧 SiC ダイオードと高速駆動技術で低損失を実現

この SiC を素材として、今回、鉄道車両インバータに搭載するダイオードを開発しました。開発したダイオード「SiC-SBD (Schottky Barrier Diode)」は、SiC の特性を最大限に生かす、pn (Positive-Negative) 接合とショットキー接合を組み合わせた JBS (Junction Barrier Schottky) 構造を採用しています。ショットキー接合のみを利用する従来の SBD は、pn 接合ダイオードよりも高速でスイッチングできるものの、導通時の損失を低減するために抵抗を減らそうとすると、電流を流す向きと逆方向に電圧がかかった際の漏れ電流が大きくなるという問題があります。JBS はその課題を解決し、低導通損失と漏れ電流抑制の両立を可能にする構造で、これによって最大 3.3 kV という高い逆方向耐圧と 2 V の低導通電圧を実現できました。

SiC 単結晶基板の高品質化は着実に進んでいますが、Si とは異なり、基板にはまだ多くの欠陥が含まれています。また、基板の上に形成されるデバイスを作るための層にも欠陥が多く存在します。このため、欠陥の影響を抑制するためのデバイス構造やプロセス技術の開発が重要となります。

さらに、開発した SiC-SBD の高速スイッチング特性を引き出す高速駆動技術を開発し、電力変換損失のいっそう

の低減を図りました。開発した SiC-SBD を従来のシリコンダイオードと置き換えた鉄道車両インバータ用パワーモジュールを試作し、この高速駆動技術を適用することで、電力変換損失の大きな要因となるターンオン損失を $\frac{1}{6}$ 、リカバリ損失を $\frac{1}{10}$ に低減でき、交流架線向けの主変換装置の電力変換損失を全体で約 3 割低減できることを検証しました。これによりインバータの発熱量も低減するため、冷却装置の小型・軽量化を図ることもできます。

実用化と適用分野の拡大をめざして

今回、鉄道を対象としたのは、環境負荷の少ない輸送インフラである鉄道の省エネルギー化をもう一步進めることで、社会全体での CO₂ 排出量削減につなげたいという思いからです。この開発は市場でも注目され、実用化が期待されていますから、まずはそれに応えるべく力を尽くします。また、SiC-SBD は、今後、耐圧 600 V ~ 3 kV 級の範囲でパワーデバイスに広く適用していきたいと考えています。鉄道車両だけでなく、産業機器、電源装置、昇降機、ハイブリッド電気自動車、家電、さらには太陽光発電や風力発電の制御システムなど、さまざまな分野で SiC-SBD が活用され、高効率化を実現することで、今後の地球温暖化対策に貢献できれば幸いです。



日立製作所 日立研究所 情報制御研究センター インバータイノベーションセンター 輸送インバータシステムユニットの石川勝美 ユニットリーダー・主任研究員 (左)、中央研究所 エレクトロニクス研究センター 環境エレクトロニクスプロジェクト 次世代パワーエレクトロニクス研究ユニットの横山夏樹 ユニットリーダー・主任研究員 (右)

現行の垂直磁気記録方式でさらなる容量拡大を可能にする HDD 用高密度記録技術

社会のあらゆる領域でデジタル情報量が爆発的に増大し、大容量記録装置の主役である HDD には、いっそうの記憶容量拡大が求められている。日立グループは、新規のディスクとヘッドを開発し、垂直磁気記録方式により1平方インチ当たり612ギガビットの高記録密度を達成した。次世代記録方式の検討が進む中、この開発は現行記録方式による記憶容量の増大に道筋をつけたものとして注目される。

1平方インチ当たり612ギガビットの高記録密度

ハードディスクドライブ〔HDD (Hard Disk Drive)〕へのデータの記録は、ディスク表面の磁性体を含む記録膜に、記録ヘッドで発生させた磁界を当てて磁性体の磁化の向きを変える磁化反転によって行います。現行の記録方式は、その磁化反転の向きがディスク面に対して垂直な「垂直磁気記録方式」です。私たちはこの方式による記録密度の向上を推し進め、2008年7月に、1平方インチ(約25.4 mm 四方)当たりの記憶容量612ギガビットを達成しました。現行記録方式は記録密度の限界が予測され、次世代方式の検討も進んでいます。しかし、市場の容量拡大ニーズにすばやく応えるには、現行方式でもうしばらく容量拡大していきたい。今回の開発で、その可能性がひられました。

新開発のディスクとヘッドで狭トラックピッチを実現

記録密度を高める方法の一つが、ディスク半径方向の記録単位(トラック)のピッチを狭めるというものです。そのためには、記録膜内で磁化反転を起こす最小領域(磁気クラスタ)をできるだけ小さくするとともに、記録ヘッドのデータを書き込む磁極を微細化しなければなりません。

ところが、磁気クラスタを小さくすると、熱の影響で磁化が揺らぎ、記録したデータが消失する事象が発生します。それを防ぐには、熱エネルギーに負けない、高い磁気エネルギーを持つ材料を使わなければならない。一方で、磁気エネルギーが高いと磁化反転が起きにくく、磁極を微細化

した記録ヘッドでは、磁界強度などが不足してデータが記録しにくいという問題が生じてしまいます。

その解決に向け、「Graded(傾斜型)媒体」というディスクを開発しました。記録ヘッドに近い部分から膜厚方向へ段階的に磁気エネルギーを高めた膜材により、記録するときは磁気エネルギーの低い部分から高い部分へとドミノ倒しのように効率よく磁化反転が起きます。一方、熱に対しては、磁気エネルギーの高い部分が全体の安定性を保つ効果を発揮します。これにより、弱い磁界でも記録しやすく、熱安定性は高いという相反する要素を両立できました。

また、トラックピッチを狭めると、記録ヘッドから出る磁界が隣接するトラックに影響を及ぼすという問題も生じます。これを防ぐため、記録ヘッドの磁極を取り囲むように磁気シールドを配置するWAS(Wrap Around Shield)構造を開発し、磁界を狭い範囲に集中させています。再生ヘッドについても微細化を図り、狭トラックピッチで確実な再生を実現する技術を開発しました。これらを総合し、65 nm級というきわめて狭いトラックピッチに対応し、さらに、新規開発した信号処理方式によって誤り訂正能力を向上したことなどにより、高い記録密度を実現しています。

シミュレーション技術も活用して開発をスピードアップ

HDDは、自動車などと同じく「すり合わせ型産業」です。ディスクとヘッド、それぞれの性能を追求するだけでなく、組み合わせたときに最高の結果を出すために、従来は経験則に基づいた試作と検証の繰り返しを行ってきました。私たちはそこにシミュレーション技術を導入し、あらかじめ設計や材料開発の方向性を定めることで、開発期間の短縮も図っています。

技術開発を駆け足で進めなければならないこの分野では、日立グループ内の他の研究所との連携や、日立グローバルストレージテクノロジーズの持つ最先端の技術や設備、グローバルな人材を活用できる環境も、大きな強みだと思います。それらを最大限に生かしながら、今回開発した技術の早期の量産化を図るとともに、垂直磁気記録方式の高記録密度化と次世代記録方式の開発に並行して取り組み、今後も大容量HDDで情報社会を支え続けていきます。



日立製作所 中央研究所 ストレージ・テクノロジー研究センタ 磁気記録研究部 Media Technology研究ユニットの棚橋寛 ユニトリータ・主任研究員(左)、磁気記録研究部の中本一広 部長(右)

世界トップレベルの性能を実現した 第四世代の車載用リチウムイオン電池

近年、温室効果ガス削減をはじめ、地球環境保全の観点などから、電気エネルギーを動力源とするハイブリッドカー（HEV）や電気自動車（EV）への期待が高まっている。それら未来のクルマを可能にするキーテクノロジーの一つがリチウムイオン電池である。日立グループは、長年培ってきた実績や技術力を背景に、世界トップレベルの性能を備える第四世代車載用リチウムイオン電池を開発した。今後とも、電池を含めたシステムソリューションの提供を通じて、持続可能な社会の実現に貢献していく。

約20年の大型リチウムイオン電池開発と実用化の実績

HEV（Hybrid Electric Vehicle：ハイブリッドカー）やEV（Electric Vehicle：電気自動車）といった、いわゆる環境対応の自動車などの動力源として、現在、注目を集めているのがリチウムイオン電池です。このリチウムイオン電池は、鉛電池やニッケル水素電池に比べて、体積・重量が前者の約 $\frac{1}{3}$ 、後者の約 $\frac{1}{2}$ と、軽量・コンパクトかつ高エネルギーで高出力という優れた特徴を備えています。

日立グループは、1992年に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ニューサンシャイン計画」への参画を機に、いち早く大型リチウムイオン電池の開発に取り組んできました。現在に至る長い開発の歴史の中で、世界に先駆けて2000年に日産自動車株式会社のHEV「Tino HYBRID」やEV「Hypermini」への採用に始まり、2005年からは商用HEVに、さらに2007年には第4回エコプロダクツ大賞エコプロダクツ部門環境大臣賞を受賞した東日本旅客鉄道株式会社のハイブリッド鉄道車両「キハE200形」に採用されるなどの成果を上げてきました。

内部抵抗の低減によって電池の高出力化に成功

これらの成果は第二世代までの車載用リチウムイオン電池によるものですが、すでに累計80万セルの納入実績があります。また、より高出力化した第三世代電池の開発をすでに完了し、現在、量産に向けて準備しているところです。この第三世代電池は、2010年、新生GM社（General Motors Co.）のHEVへの採用が決定しています。車載用リチウムイオン電池の高い品質をはじめ、性能、安全性、耐久性などと、これまでの納入実績が高く評価された結果だと考えています。そのうえ、日立グループは電池システムのみならず、モーターやインバータなども開発・製造しており、最適なハイブリッドシステムを提案できる強みをもっています。

さらに現在、第三世代と比較して150%性能を向上させた世界トップレベルの第四世代電池を開発中で、4,500 W/kgの高出力化を実現しました。電池の高出力化のためには、その内部抵抗を低減させる必要がありますが、私たちはマンガン系の新規正極材料を採用するとともに、電極の薄型

化・大面積化、角形電池の採用による内部の電流経路の低抵抗化などを達成してそれを可能にしました。中でも、薄く、むらなく均一に、かつ高速に電極を作製しなければならないという課題がありましたが、日立グループの中に磁気テープ製造で培った技術があったからこそ克服することができたのだと思います。

リチウムイオン電池の可能性を追求

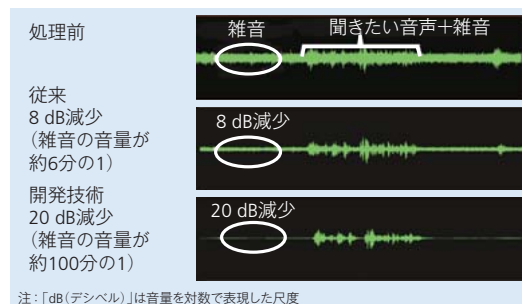
自動車や鉄道車両など移動体用の動力源には、小さくて軽く、高エネルギーで高出力という必要条件があるため、リチウムイオン電池が最もふさわしいと言われています。こうした、いわゆるグリーンモビリティの開発を通じて、世界的な課題となっているCO₂の排出削減はもちろん、省エネルギー社会、持続可能社会の実現に寄与することができると考えています。また今後は、車載用途だけでなく、リチウムイオン電池の特徴を生かした高層ビルや携帯基地などのバックアップ電源用や太陽光などの自然エネルギーの電力貯蔵用としての需要も増えていくのではないのでしょうか。第四世代電池については2014年以降の量産化に向けて、長期信頼性の検証、製造プロセスの開発を進めると同時に、電極技術についてはすでに開発済みの円筒形電池への適用も視野に入れています。ニーズに応じた電池のラインアップ拡大のみならず、電池を利用する製品や制御と組み合わせた電池システムを省エネルギーソリューションとして広く社会に提供していきたいですね。



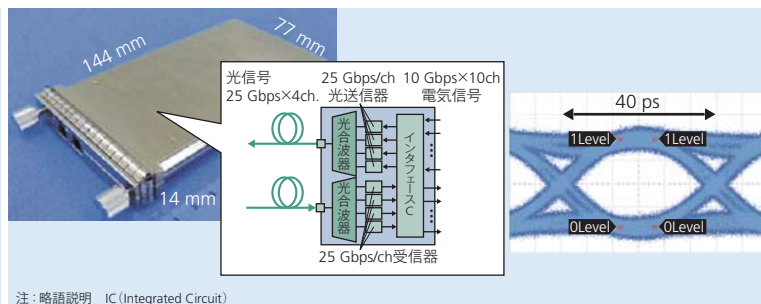
左から、日立ビークルエナジー株式会社 設計開発本部の小関満 副本部長、日立製作所 日立研究所 次世代電池研究センタ 電池研究部 高安全リチウム電池材料ユニットの本棒英利 ユニットリーダー・主任研究員、電池事業統括推進本部の大田黒俊夫 副本部長

研究

日立グループは、90年間に及ぶ研究開発の歴史の中で多くの実績を築いてきた。六つのコーポレート研究所を中心に、イノベーション創出のための先端技術と、グループ全体の技術プラットフォームを支える基盤技術の研究開発を幅広い領域で展開している。同時に、他社にない強みを発揮するためコーポレートシナジー創成に取り組んでいる。



1 音源分離技術の効果



2 CFP100 GbEトランシーバと機能ブロック (左), 10 kmファイバ伝送後の信号波形 (右)

残響に強い音源分離技術

1

壁や天井などで音が反射するような環境であっても、雑音を除去することが可能な音源分離技術を開発した。

開発した音源分離技術は、反射を正確に予測することが可能な多チャネル空間予測処理が特徴であり、従来技術と比較し、格段に雑音除去性能が向上することを確認した。また、雑音を除去した後に生じる目的音のひずみを後処理で取り除くひずみ補正処理により、ひずみが少なく違和感のない音声を生産することができる。

この技術は、反射が大きい室内で用いることが多いビデオ会議システムや、携帯電話などの音声通話装置の雑音除去システム、音声対話ロボットやカーナビゲーションなどの音声認識処理の前処理、また、音響情報の監視システムなどに応用できるものと考えている。

100 GbE 光トランシーバ用コンポーネンツ

2

次世代高速光通信の規格である 100 GbE (Gigabit Ethernet) 光トランシー

バ用コンポーネンツとして、光源、受光素子、受信器を開発した。

100 GbEでは、四つの波長の光信号を1波長当たり 25 Gビット/sで伝送する。これに対応するため、光送信器に適用する光源として、高出力の変調器集積型半導体レーザを開発した。光受信器はパッケージへの実装が容易な面入射型受光素子を採用し、光信号を素子内で反射する構造とすることで受光感度の向上と高速化を両立している。この光源を用いた光送信器と光受信器により、10 kmファイバ伝送を確認した。

開発したコンポーネンツは、マルチソースアグリーメントである CFP (C Form-factor Pluggable) 規格に適用す

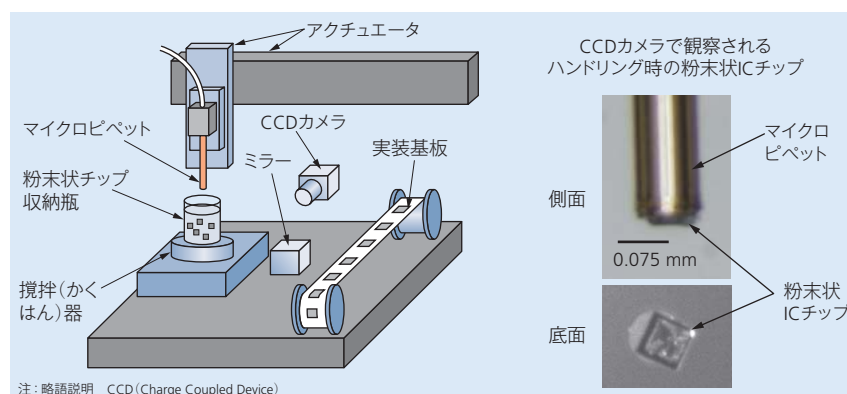
るもので、高度情報通信社会のさらなる発展に向け、光通信機器の高速化に貢献する。なお、日本オプネクスト株式会社より2010年の中ごろに製品化される予定である。

0.075 mm 角の粉末状 IC チップのハンドリング技術

3

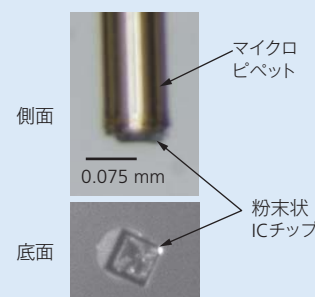
大きさ 0.075 mm、厚さ 7.5 μm の粉末状 IC チップのハンドリング技術を開発した。

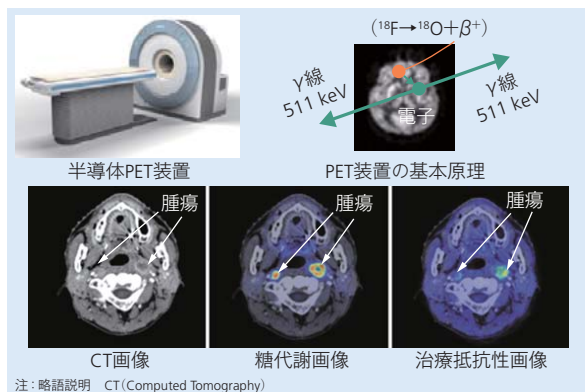
粉末状 IC チップはきわめて小さく薄いため、乾燥した環境では、静電気やファンデルワールス力などの影響を大きく受けてチップどうしが接着したり、飛散したりする。このため、半導



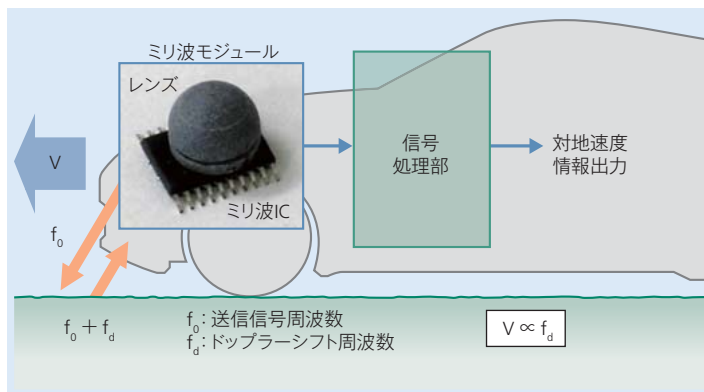
3 粉末状ICチップハンドリング装置の概要

CCDカメラで観察される
ハンドリング時の粉末状ICチップ





4 半導体PET装置と次世代分子診断への適用



5 ミリ波レーダ技術による対地车速の計測原理

体実装の従来のハンドリング技術を用いてチップを1個ずつ取り扱うことは困難であった。今回、最先端のバイオ医療分野で利用される微粒子や細胞の捕捉(そく)技術を応用し、界面活性剤溶液にICチップを入れて分散させることで、静電気などの影響を受けずに、基板上に配置することが可能になった。

粉末状ICチップを用いたRFID(Radio-frequency Identification)タグは、膨大な数の物品の管理や有価証券などの紙の識別を、安価かつ簡易に実現するキーデバイスとして新たな市場を生み出すものと期待されている。

半導体検出器を用いた ヒト用PET

4

北海道大学と日立製作所が共同で推進中の科学技術振興調整費「未来創薬・医療イノベーション拠点形成」事業の下、半導体検出器を用いた世界初の頭部用PET(Positron Emission Tomography: ポジトロン断層撮影技術)を開発し、空間分解能3 mm以下という高精度計測をヒトの診断に対して適用可能とした。

この事業では、今回開発した技術を次世代の分子診断手法と位置づけ、臨

床研究に適用している。その結果、腫瘍(しゅよう)内部における微細な代謝状況の変化をとらえることに成功した。腫瘍内部には、糖の代謝が活発な部分や、治療への抵抗性の高い部分などが存在する。このように個々の腫瘍の状態を高精度に把握することにより、患者に合わせた治療に活用できるものと期待される。

今後、PETを中心とした分子診断技術を医療イノベーションの柱の一つと位置づけ、質の高い個別化医療の実現をめざしていく。

ミリ波レーダ技術を用いた 対地车速センサー

5

車体制御の高度化に貢献する対地车速センサーを開発した。

このセンサーは、77 GHzのミリ波帯の電磁波を地面に照射し、ドップ

ラー効果で生じた周波数の差を検知することで、対地速度を高精度に計測する。デバイスの特徴は、(1)アンテナと送受信部のワンチップ化、(2)レンズ一体化による高感度化、(3)プラスチック樹脂パッケージによる低コスト実装である。これにより、小型化と大幅な製造コストの低減を実現した。

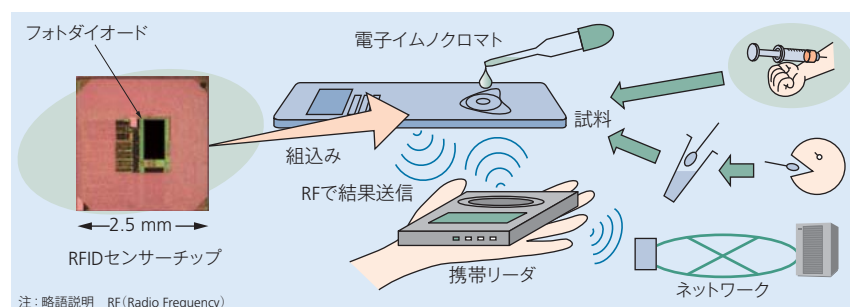
今後は、自動車分野に限らず、幅広い分野への適用を検討していく。

RFID センサーによる 携帯型バイオ検査デバイス

6

感染症や生活習慣病のリスク増大、食品や環境の安全性に対する関心が高まる中、検体採取現場で計測結果が得られる携帯型バイオ検査デバイスが注目されている。

今回、半導体集積回路技術によるRFIDセンサーチップとバイオ計測技



6 電子インクノクロマト法の構成

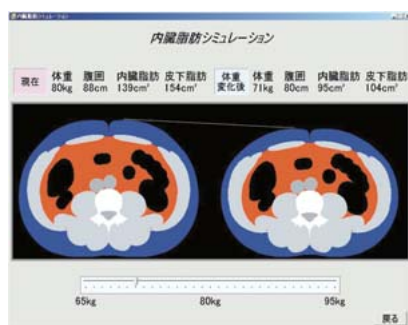
術を融合し、新規のバイオ検査デバイスとして「電子イムノクロマト法」を開発した。この方法は、フォトダイオードで信号を読み取るため、目視で信号を読み取る従来型イムノクロマト法と比較して簡便性を維持しながら約1桁(けた)微量の対象物を計測する。デジタル化されたデータは、携帯リーダーからネットワークを通じて種々の解析サービスへ容易に提供できる。さらに、ウイルスや疾患関連タンパク質以外にも食品や環境計測などへの応用展開が可能である。

なお、この技術の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)助成事業の一環として行われた。

7 体重と腹囲から内臓脂肪の蓄積を可視化する内臓脂肪シミュレーション技術

内臓脂肪の蓄積度合いを推定し、擬似的な腹部の断層画像として表示する内臓脂肪シミュレーション技術を開発した。

2008年度より開始されたメタボリックシンドロームに着目した保健指導では、減量の必要性をいかに伝えるかが課題とされている。今回、7万5,000例の健診データの解析結果に基づく高精度な内臓脂肪推定アルゴリズムと、内臓脂肪と筋骨格構造を模式化した腹部構造の変形モデルを新たに開



7 内臓脂肪シミュレーション技術を実装したプロトタイプ

発した。体重と腹囲から内臓脂肪を擬似的に表示でき、さらに体重の増減に伴う内臓脂肪の変化も並べて表示可能で、減量への動機づけや、継続的な取り組みへの指導に活用できる。

なお、この技術の一部は、東京慈恵会医科大学附属病院新橋健診センターの協力を得て開発した。

8 酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタで動作電圧1.5Vを実現

IGZO(インジウムガリウム亜鉛複合酸化物)をチャンネル層に用いた酸化物薄膜トランジスタを開発し、動作電圧を従来の3V~数十Vから大幅に低減した1.5Vでの動作を確認した。

1.5Vで動作させるには、スイッチング特性の代表的指標であるサブスレッショルド係数を70~100 mV/decに抑制する必要がある。今回作製した薄膜トランジスタでは、IGZOチャンネル層

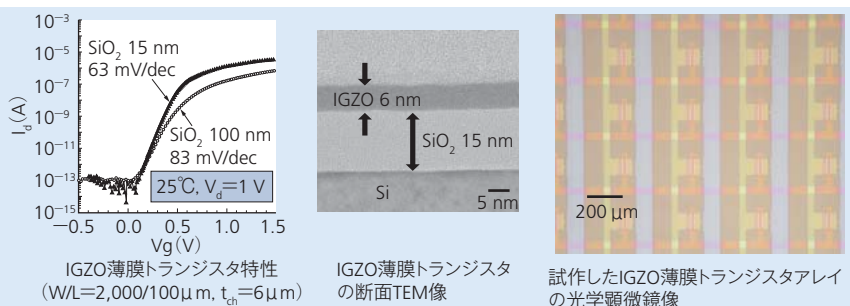
を6nmまで薄層化し、完全空乏型トランジスタとすることにより理論限界値(59.2 mV/dec)に迫るサブスレッショルド係数63 mV/decを実現した。

この酸化物半導体は常温で成膜することが可能であり、低コスト化やフレキシブル基板上へのデバイス組込みが期待できる。今後、フレキシブルデバイスを実現する基盤技術として実用化をめざしていく。

なお、この研究の一部は、JST-SORST(独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業・発展研究)の一環として行われたものである。

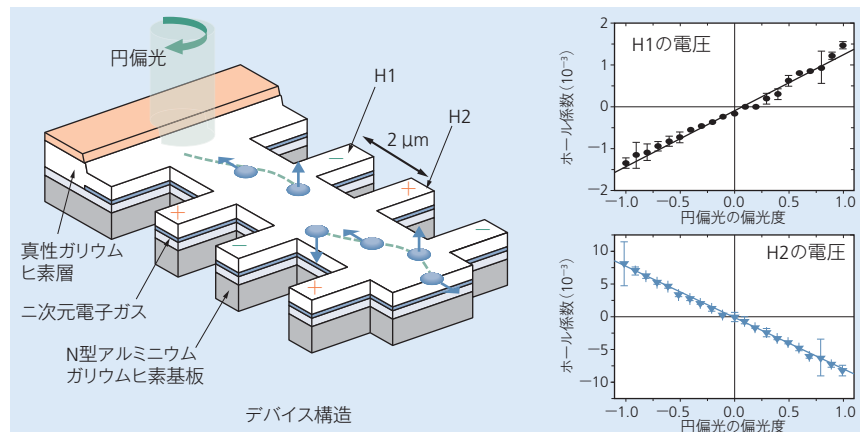
9 スピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらくスピンの電氣的制御に道をひらく

量子力学的な手法を用いて設計した半導体二次元導電層を有するデバイスに、光を照射してスピンを生成し、生成したスピンの情報が長距離でも壊れ



注: 略語説明 TEM (Transmission Electron Microscope)

8 IGZO薄膜トランジスタ特性と断面TEM像および光学顕微鏡観察像



9 測定デバイス構造と測定結果

ずに伝搬するスピン注入ホール効果の観察に成功した。

この研究では、従来のスピントロニクスデバイスで用いられていた金属磁性材料に代わり、電氣的・光学的制御が可能な半導体材料が用いられており、従来不可能であったスピンの電氣的・光学的な応用に道をひらく画期的な成果である。

なお、この研究は英国ケンブリッジ大学、ドイツ科学技術研究所、米国テキサスA&M大学、チェコ科学アカデミー、および英国ノッティンガム大学と共同で行われたものである。

電子部品はんだ接合部の断線寿命予測技術

10

電子部品のはんだ接合部が断線に至る寿命を、はんだが受ける損傷の累積量の変化を応力シミュレーションにより逐次評価することで、短期間で定量的に予測する技術を開発した。

電子部品のはんだ接合部は、周囲の温度変化などによって徐々に疲労き裂が進展し、断線に至る場合があり、従来、長期間の温度サイクル試験により

断線寿命を確認していた。近年、はんだ接合形状が多様化し、温度サイクル試験に要する時間・労力がさらに増加している中、この技術により、種々のはんだ接合形状の断線寿命を温度サイクル試験を行わずに予測することが可能となる。

今後、この技術により、電子部品が用いられているさまざまな製品の開発期間短縮と高信頼化に寄与していく。

物流支援ロボット「Lapi-II」

11

工場などで物品を搬送する物流支援ロボット「Lapi-II」を、株式会社日立産機システムと日立製作所が共同で開発した。

このロボットは、2008年に発表したプロトタイプをベースに、物品の自動積み降ろしや牽（けん）引など、現場での多様な運用に対応できるよう改良したものである。これに合わせ、複数のロボットを連携して効率よく運用できるロボット管理システムを開発した。

日立産機システム習志野事業所における実証試験では、導入時やレイアウト



11 物流支援ロボット実証モデルと積載装置

変更時に即座に対応できる地図生成・経路生成機能を検証した。また、高精度位置同定技術の開発により、生産設備への位置決めを、相対位置誤差10 mm以下、角度誤差1度以下で実現し、積み降ろしを自動化できることを実証した。

引き続き改良を進め、物流現場を革新するロボットシステムの実用化をめざしていく。

直噴ガソリンエンジン用燃料供給サブシステム

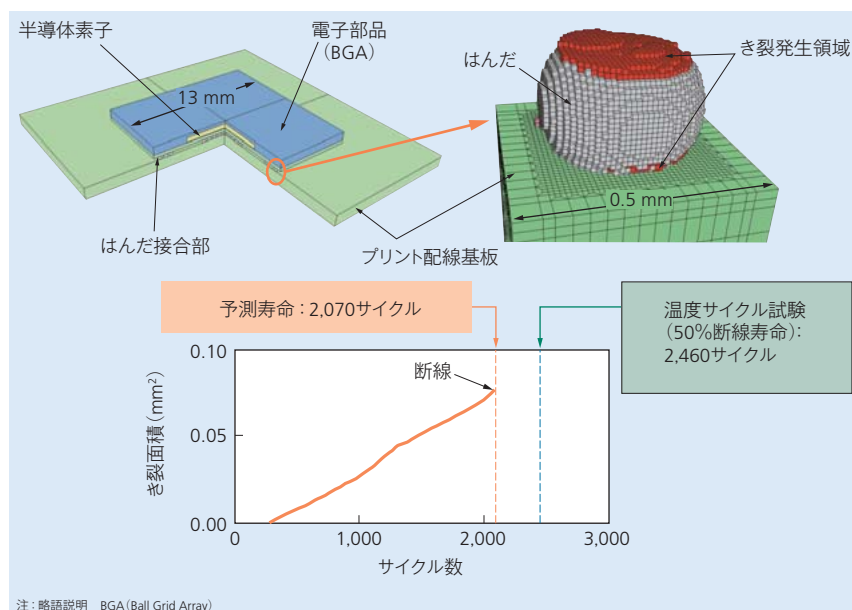
12

燃費性能に優れた直噴ガソリンエンジン用の燃料供給サブシステムを開発し、2009年5月より納入を開始した。

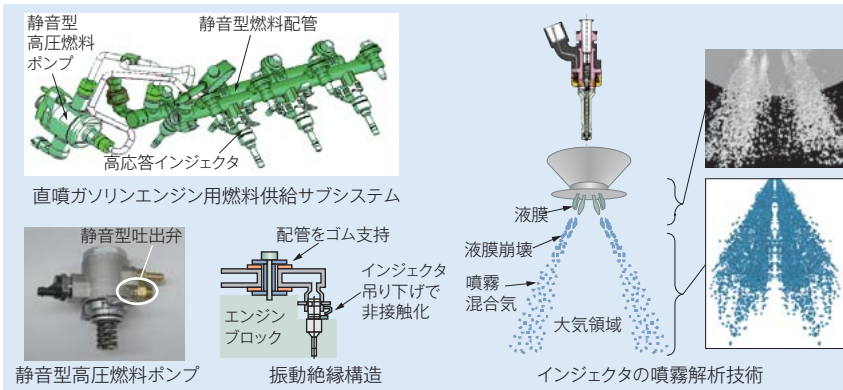
このシステムでは、高圧の燃料噴射に伴う間欠音の抑制が求められ、高圧燃料ポンプと燃料配管の静音化技術の開発に取り組んだ。

高圧燃料ポンプでは、ロバスト設計を活用した新型の吐出弁により、騒音を約30%低減して業界最高の静音化を達成した。燃料配管では、世界初の振動絶縁構造を開発してエンジンブロックからの放射音を3 dB低減し、世界最高水準の静音性を実現している。また、省燃費化の要となる高応答インジェクタを開発し、噴射領域を低流量側に約25%拡大した。

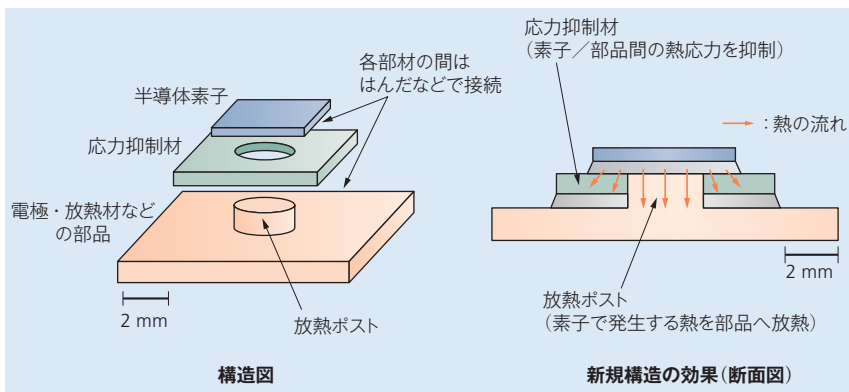
これらの開発を支える新たな基盤技術として、インジェクタから噴射したガソリン液膜が崩壊し、空気と混合し



10 BGA型半導体パッケージはんだ接合部の断線時のき裂形状と寿命予測結果



12 燃料供給サブシステムと噴霧解析技術



13 開発した低熱抵抗・低応力接続構造とその効果

て噴霧されるまでの挙動を一貫して解析することができる噴霧解析技術を用いている。

パワーデバイス高放熱構造

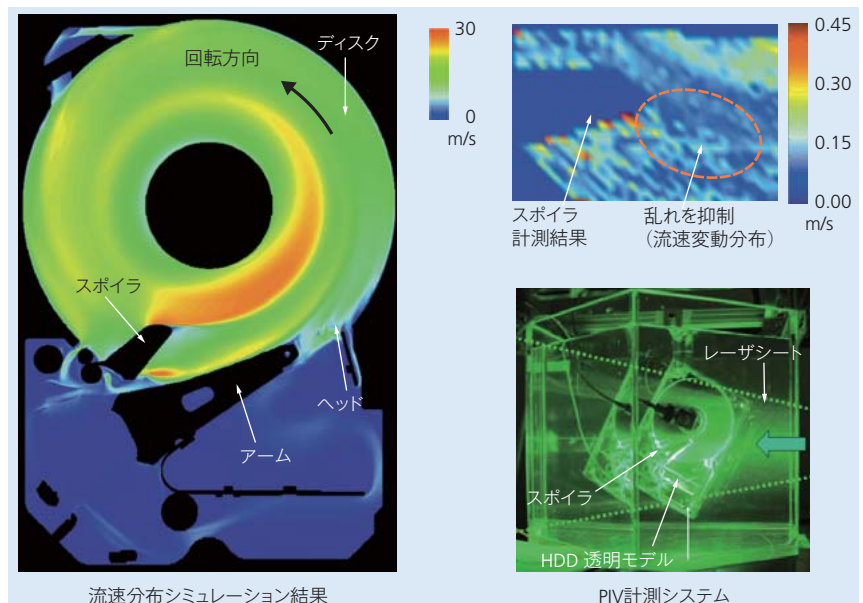
13

パワー半導体実装において、これまで耐熱性と熱疲労強度の不足により用いることができなかった鉛フリーはんだを使用可能とする低熱抵抗・低応力接続構造を開発した。

鉛は生物に対する強い毒性を有しており、近年、さまざまな分野で鉛フリー化の取り組みが進んでいる。しかし、電力機器・輸送機器向けパワー半導体は150℃以上の高温になるため、高温耐性が高い従来の高鉛はんだが使用され、鉛フリー化が遅れていた。

今回、接続構造に着眼して研究開発を進め、いち早くパワー半導体の鉛フリー化を可能にした。この放熱ポスト

を用いた低熱抵抗・低応力接続構造により、鉛フリーはんだが使用可能な温度まではんだ接続部の温度を下げ、さらに、鉛フリーはんだが十分な信頼性を得られるまで熱応力を低減することができる。



14 製品全体流体シミュレーションとPIV計測法によるHDD内気流速度分布結果

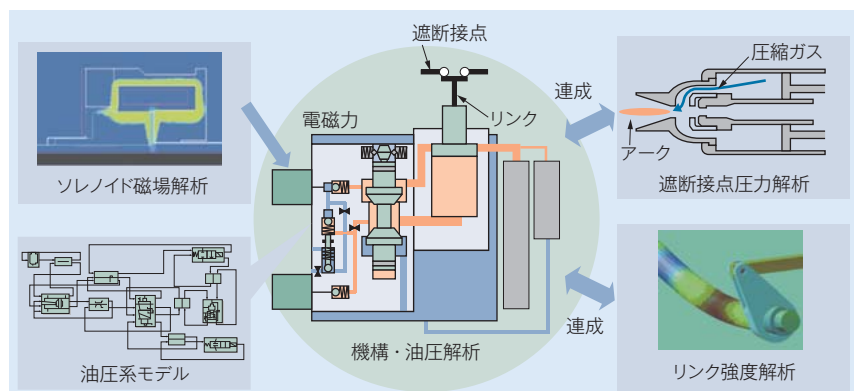
磁気ディスク装置の製品丸ごと流体解析・計測技術

14

HDD (Hard Disk Drive) は、クラウドコンピューティングの拡大に伴うストレージ需要の増大により大容量化への要求が高まり、記録密度の向上が最重要課題とされている。これに伴い、読み書きヘッドのナノメートルオーダーの位置決め精度を確保するため、HDD内において毎秒30 m級の高速気流を制御する設計が不可欠となっている。

今回、多くの部品が密集したHDD内全体の高速気流の流れを「見える化」する製品丸ごと流体解析と計測技術を開発した。製品丸ごと流体解析は、約5,000万個の解析メッシュを数十秒で自動生成可能なボクセル法によるHDDの製品全体流体シミュレーションであり、計測技術は、透明モデルにレーザシート光を照射して、ディスク間の三次元流速変動を計測できるPIV (Particle Image Velocimetry) 計測システムである。

また、開発した技術を駆使してHDD内の流れを制御するスポイラを用いた流路構造を設計した。省エネル



15 遮断器動作解析モデル

ギーのために気体の流れへの抵抗を小さくしつつ、ヘッドを加振しないようアーム周りの風乱を抑制した点が特徴である。

この技術は、日立グローバルストレージテクノロジーズにおいて、次世代HDD製品の開発に適用されている。

超高压遮断器の高速動作を実現する機構技術

15

超高压遮断器は、落雷などで異常な電流が系統に流れた際に、高速（0.03～0.05秒間）で回路を切り離す安全装置である。近年、BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）諸国では著しい経済発展に伴って電力需要が増大しているため、超高压遮断器の需要も高まっている。

今回、複合領域の解析を統合した動作解析ツールを開発した。従来、可動電極のガス圧力を考慮し、可動部を1自由度系でモデル化していたが、こ

の技術では操作機構をはじめとする各可動部のダイナミクスを考慮したモデル化を行った。これにより、遮断器の動作特性を誤差5%以下の高精度で予測可能となった。また、複数の機構設計案を机上で検証し、最適化して試作期間を大幅に短縮することができる。

この技術は、株式会社日本AEパワーシステムズが製品化した中国向けUHV (Ultra High Voltage)用1,100 kV遮断器などに適用されている。

今後も、より小型軽量化を図った遮断器の開発に活用していく。

超低摩擦すべり機構

16

極低温環境下で低摩擦を実現するドライすべり機構を、株式会社日立プラントテクノロジーと日立製作所機械研究所が共同で開発した。

このすべり機構は、炭素繊維を含有した熱可塑性樹脂とステンレス鋼から

構成され、摺（しゅう）動部に不活性ガスを吹き付けることで低摩擦係数を得る。摺動により、炭素繊維から発生する微細なグラファイト粒子を含む厚さ数マイクロメートルの低摩擦被膜を形成し、油やグリースを使用できない－160℃の極低温下で、標準的なすべり機構に対して $\frac{1}{3}$ 近い値である0.03の低摩擦係数を達成した。この特性は室温まで安定して維持されるため、ドライかつ低損失の低環境負荷軸受として活用が期待される。

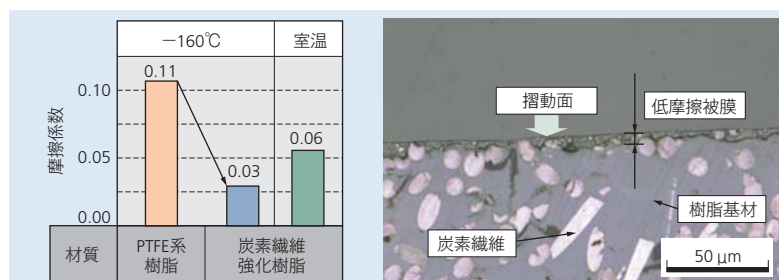
今後は低摩擦発現条件をいっそう拡大し、各種機器の低損失化をめざしていく。

マイクロリアクタ技術を用いた化学反応装置「MPS-α200」

17

マイクロリアクタ技術を用いて、複数の反応が連続する多段反応に対応したマイクロプロセスサーバー「MPS-α200」を開発した。

マイクロリアクタは、微小流路内で原料を迅速混合し、反応温度を精密に制御可能な化学反応装置であり、医薬品や化成品などの製造効率を飛躍的に向上することができる。この製品では、反応条件に合わせて各ポンプを個別に自動運転する制御機構により、3液以上の送液制御を行う。また、各リアクタ温度を個別に調節する制御機構により、反応温度範囲が－20～120℃に拡大し、不安定な中間物質を扱う多段反

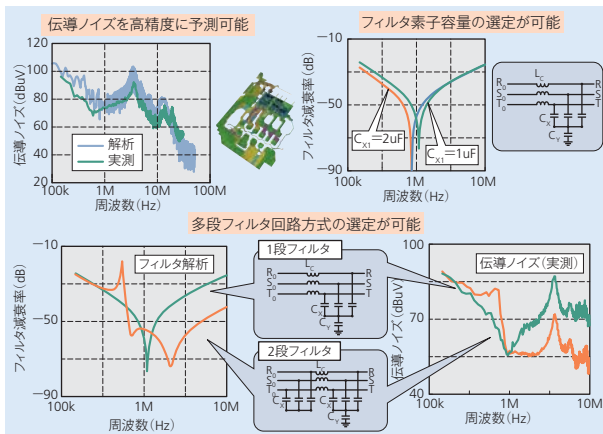


注：略語説明 PTFE (Polytetrafluoroethylene)

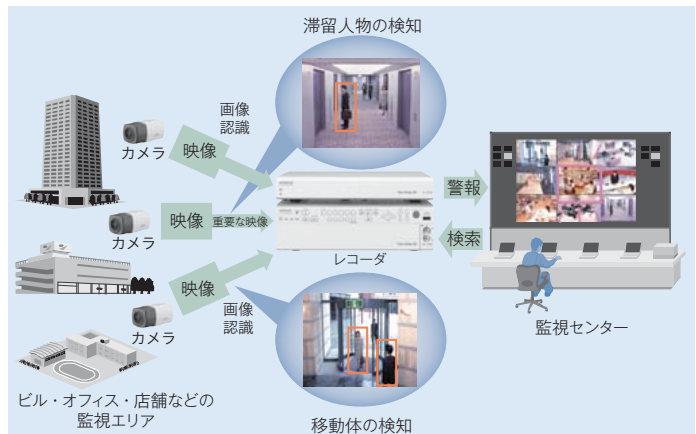
16 超低摩擦被膜の摩擦係数 (左) と構造 (右)



17 マイクロプロセスサーバー「MPS-α200」



18 シミュレーションによるフィルタ設計技術



19 画像監視システム

応にも対応可能となった。

2009年1月に株式会社日立プラン
トテクノロジーより製品化されてお
り、今後は生産プラント化をさらに推
進していく。

汎用インバータの フィルタ設計技術

18

インバータは、その動作原理により
強い電磁ノイズを発生させる。近年、
欧州を中心に電磁ノイズに対する規格
の制定が進み、インバータ製品では規
格で定められたノイズ限度値未満に抑
制することが必須となっている。このよ
うな中、電磁ノイズを抑制するために
フィルタが用いられるが、規格を満た
すには大型フィルタが必要となり、そ
のサイズとコストが課題とされていた。

これを解決するため、シミュレーショ
ンを活用したフィルタ設計技術を構築
し、ノイズ発生原理に基づいた小型・
高性能フィルタの開発を可能とした。
この技術は欧州規格対応フィルタ内蔵
インバータの開発に適用されている。

ハイブリッドレコーダおよび カメラ組込みの 画像認識アプリケーション

19

画像認識技術により、人物や自動車
などの移動体や滞留している人物など

を検知可能な監視用ネットワークカメ
ラおよびハイブリッド（アナログ、デ
ジタル両対応）レコーダを開発した。

この機能により、セキュリティエリ
アへの侵入者発生を監視員へ通知し
たり、記録映像から重要な部分のみを検
索できるため、監視業務の効率化が可
能となる。今回、複数の認識アプリケー
ションのリアルタイム処理を可能とす
るため、画像処理の基本演算のハード
ウェア化や認識アルゴリズムを最適化
し、量産するカメラおよびレコーダに
搭載した。

今後も、画像認識技術のインテリ
ジェント化を推進し、安全・安心を実
現する映像監視ソリューションに貢献
していく。

汎用インバータドライブ制御

20

産業用の汎用モータ制御に適したセ

ンサーレスドライブ技術を開発した。

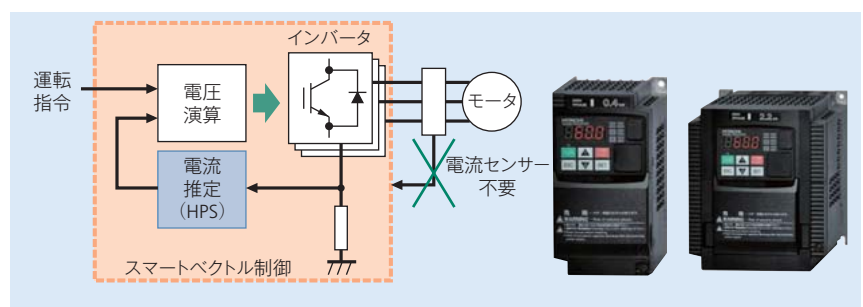
汎用インバータドライブ技術とし
て、調整要素が少なく汎用性の高い「ス
マートベクトル制御技術」により、誘
導電動機の極低速0.5 Hzにおいて
200%トルクの高始動トルクを実現し
た。また、多様な使用環境に対応でき
るよう、インバータノイズ耐性を向上
させた汎用電流センサーレス技術
「HPS (Half Pulse Shift)」の開発に
よって、製品の小型化・低価格化を
図っている。

2009年4月に株式会社日立産機シ
ステムより製品化されており、今後も、
センサーレスドライブ技術のさらなる
適用拡大を進めていく。

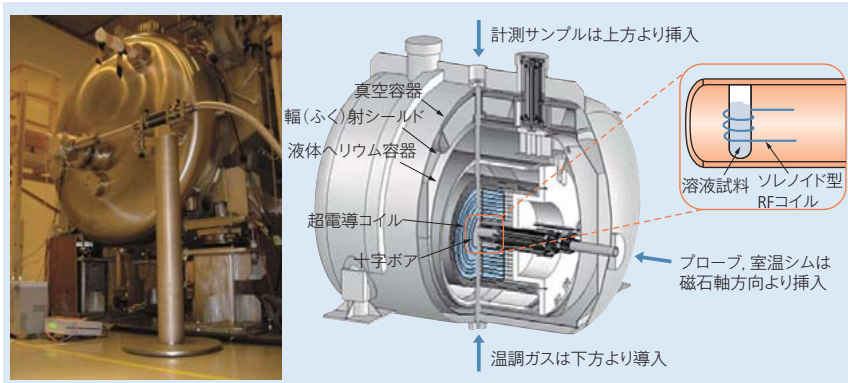
新方式 NMR の開発による 世界最高 S/N 感度の達成

21

新方式のNMR (Nuclear Magnetic
Resonance) 装置を開発し、世界最高の



20 開発したセンサーレスドライブの構成と概要 (左)、適用した小型高性能インバータ「WJ200」(右)



21 新方式NMR用スプリット型超電導磁石

S/N(Signal-to-Noise)感度を達成した。

NMR装置は化学分析で広く使われており、近年ではタンパク質研究での活用が期待されている。NMR計測では感度向上が要求されており、従来、超電導磁石の高磁場化と検出アンテナの低温化により高感度化が行われてきた。

今回、検出能力に優れるソレノイド型アンテナとスプリット型超電導磁石を組み合わせた構成とすることで、同クラスの従来NMR装置に比べて1.6倍の感度を実現し、世界最高感度を記録した。今後は、十字ボアを生かした高度タンパク質計測技術を開発するとともに、この開発で得られた超電導磁石技術や極低温冷却技術などをMRI(Magnetic Resonance Imaging)磁石などに展開する予定である。

なお、今回の開発は、文部科学省委託研究により作製した装置を用い、茨城大学

との共同研究の下で実施したものである。

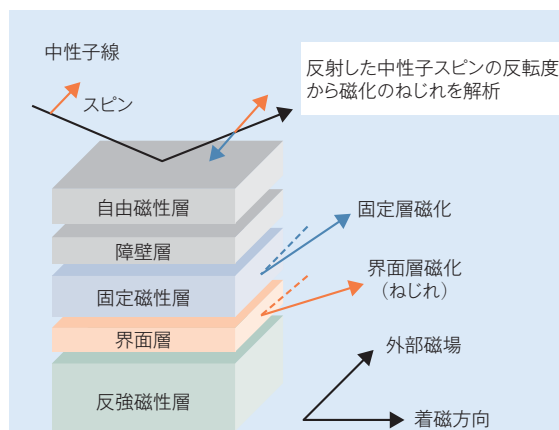
中性子線を活用した 磁気ヘッド膜の磁気構造評価

22

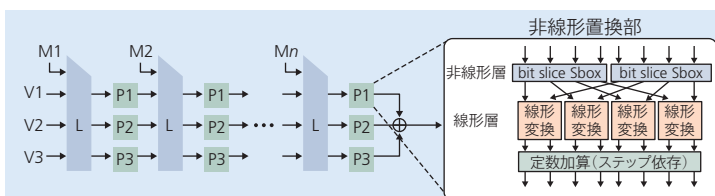
磁気ディスク装置の高記録密度化に伴い、磁気ヘッド膜を構成する磁性層の高度な磁化制御技術が重要となっている。これに対し、各磁性層の磁化量や磁化のねじれが評価できるスピン反転を利用した中性子反射率技術を開発した。

この技術により、反強磁性層と磁化固定層との間に、ねじれた磁化成分を持つ界面層の存在が明らかとなり、磁気構造評価の有効な手法であることを実証した。今後、次々世代の磁気ヘッド開発に適用していく予定である。

なお、今回の開発は、独立行政法人日本原子力研究開発機構との共同研究で実施したものである。



22 スピン反転中性子反射率による磁気ヘッド膜の磁気構造



高速処理性能をめざした新型(スポンジ型)設計

- ・中間状態を大きく確保することで、十分な安全性を実現
- ・入出力長256ビットの非線形置換で、スケーラブル設計を実現

安全性と高速処理性を最適化した非線形置換部

- ・高速処理性と軽量性を兼ね備えたビットスライス型SPN構造
- ・ハードウェア実装時単位ゲート当たりの処理速度で世界最高クラスを実現

注：略語説明 SPN(Substitution Permutation Network)

23 ハッシュ関数「Luffa」の概要

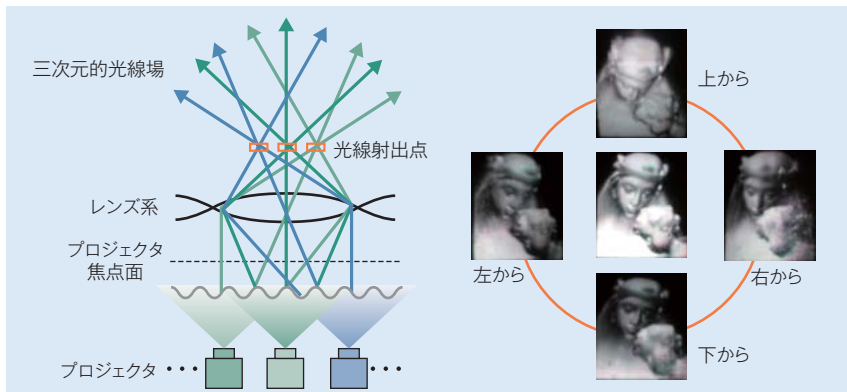
次世代ハッシュ関数の開発

23

ハッシュ関数は、通信データの改竄(ざん)検知や機器・ユーザー認証で使用され、電子政府やオンラインバンキングなど、あらゆる情報システムの安全性を支えている。現在の世界標準であるハッシュ関数「SHA-1」は安全性が低下し、近い将来セキュリティ上の危険が生じると懸念されていることから、米国国立標準技術研究所(NIST)は次世代の標準を決定する「SHA-3コンペ」を開催している。

このコンペティションにおいて、ベルギーのルーヴァン・カトリック大学と共同で開発したハッシュ関数「Luffa(ルッファ)」が、日本からの提案方式としては唯一第一次選考を通過し、候補14方式の一つに選定された。新ハッシュ関数構成法「スポンジ型」を、軽量ストリーム暗号の技術と組み合わせることで安全性と高速性を両立させる構成とし、ハードウェア実装時の単位ゲート当たりの処理速度で、世界最高クラスを実現している。

2010年夏に最終候補5方式が選定され、2012年6月ごろに次世代標準が決定される。情報セキュリティの基盤であるハッシュ関数の標準化を通して、情報事業の拡大に貢献していく。



24 三次元的視線場生成原理とフルパララックスの表示結果例

フルパララックス 3D ディスプレイ

24

多数のプロジェクタを重畳投影することにより、特殊な眼鏡を必要とせず、上下左右に視差があるフルパララックスを実現する3Dディスプレイを開発した。

この方式は、実空間上の三次元的な視線場を再現可能な視線再生方式に基づいており、自然な立体映像を表現することができる。多数のプロジェクタを利用し、その視線方向の実計測によるキャリブレーションを行うことで、画面サイズや視野角、視線密度などの設計条件に対して自由度を付加し、アプリケーションに応じた最適なシステム構築が可能となった。

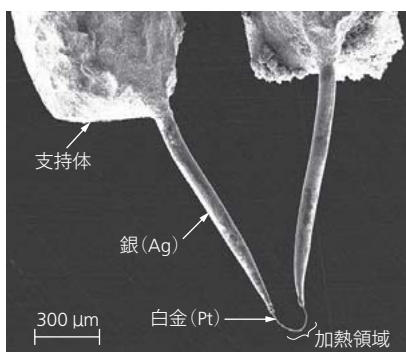
今後は、プロジェクタの小型化や台数の増加により画質を向上していくとともに、フルパララックスを生かした応用分野への適用を検討していく。

超微量有機分析技術

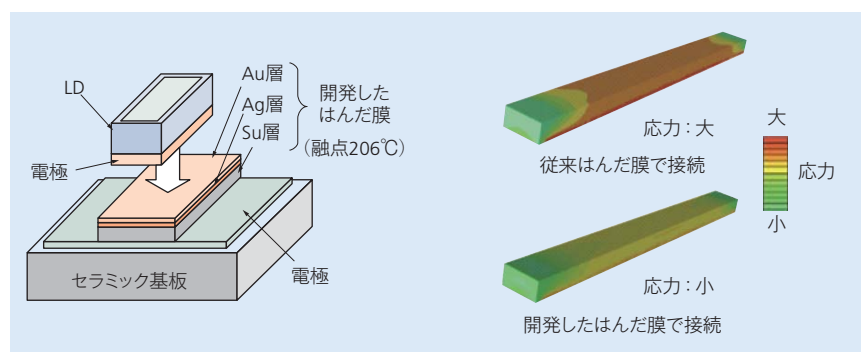
25

分析対象とする微量試料のみを加熱できる局所加熱機構により、従来分析が困難だった直径約 $3\mu\text{m}$ 、質量 15 pg 程度の微量有機物の化学構造を特定できる質量分析手法を開発した。

この技術の特徴は、加熱領域をきわめて小さくした点にある。従来加熱方式は加熱領域が大きく、試料以外の吸着成分も加熱され、分析阻害要因となっていた。新たに開発した局所加熱機構は先端のみが非常に細いワイヤで構成され、通電によりこの先端部が局所的に加熱される。従来より加熱領域を約2桁小さくすることで分析阻害要因の発生が抑制され、微量試料の高感度分析を実現した。また、 0.1 秒以内に $1,000^\circ\text{C}$ 以上という高速加熱ができるため、難揮発性有機物や高分子有機物試料でも安定した分析が可能となる。



25 局所加熱機構の電子顕微鏡像



26 開発したはんだ膜とLD接続の概要(左)、応力計算結果(LDのみ表示)(右)

今後、環境調査やデバイス製造プロセスでの異物検査などへの応用を進めていく。

光学部品接続部の 応力を低減できる 低融点はんだ膜

26

光記録ドライブの光源では、金 (Au) を主成分とするはんだでLD (Laser Diode) と基板が接続されている。このはんだは融点が高いため (278°C)、接続して冷却すると、LDと基板の収縮差により、大きな応力が発生してLD特性が変動するという課題があった。

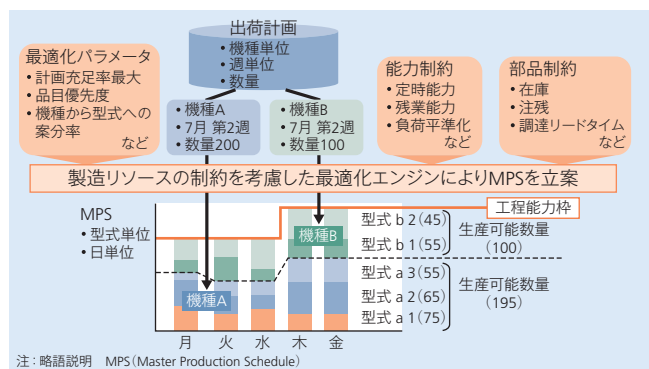
今回、スズ (Sn) / 銀 (Ag) / Au 三層構造で、各層の膜厚を調整し、母材のSnよりも低融点 (206°C) 組成としたはんだ膜を、日立協和エンジニアリング株式会社と日立製作所生産技術研究所が共同で開発した。Snは酸化しやすく、それにより接続性が劣化するが、開発したはんだ膜では、Ag/Au層でSn表面の酸化を抑制して接続性を確保している。これにより応力が約30%低減し、LDの特性変動を改善した。

この技術は、LED (Light Emitting Diode) パッケージなどに展開できるものであり、今後適用拡大を進めていく。

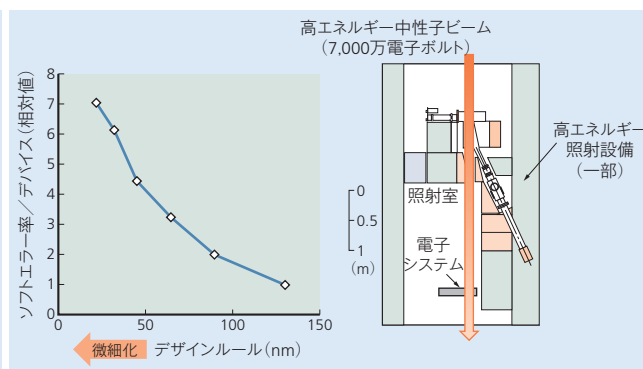
多目標最適生産 計画立案技術

27

今日の厳しい経済環境下で製造業が



27 基準生産計画 (MPS) 生成の概要



28 メモリのソフトエラー率予測シミュレーション結果 (左) と高エネルギー中性子ビーム照射室の見取り図 (右)

成功するには、機会損失の回避、在庫最小化、生産平準化など、多岐にわたる経営目標をバランスよく満たす必要がある。そのためには、生産能力、部品などのリソースを適切に配分し、複数の経営目標を同時に考慮した生産計画立案が課題である。

これまで、複数の経営目標達成のために、さまざまなパラメータや制約を考慮し、リソースを最大限活用する生産計画立案のためのソフトウェア (最適化エンジン) を研究開発してきた。これには日立グループの製造業としてのノウハウと数理計画法研究の成果が結実しており、日立製作所ソフトウェア事業部から「SCPLANシリーズ」として製品化されている。

今後も新技術を継続的に投入し、さらなる進化をめざしていく。

電子システムの耐ソフトエラー設計技術

28

半導体デバイスの微細化はデザインルール 32 nm, 22 nm の時代を目前に控えているが、環境中性子やアルファ線のソフトエラーはいっそうの深刻化が見込まれており、対策が急務となっている。トランジスタを数十億個以上使用するサーバ、ルータなどの社会インフラを支える電子システムには、安全性や安定稼働を含めたきわめ

て高い信頼性が要求される。

このため、デバイス内の原子核反応、デバイス内を通過するイオンの挙動を精密に解析するソフトエラーシミュレーション技術、および、7,000 万電子ボルトに及ぶ高エネルギー照射設備を用いた電子システムの照射試験・解析技術を開発した。

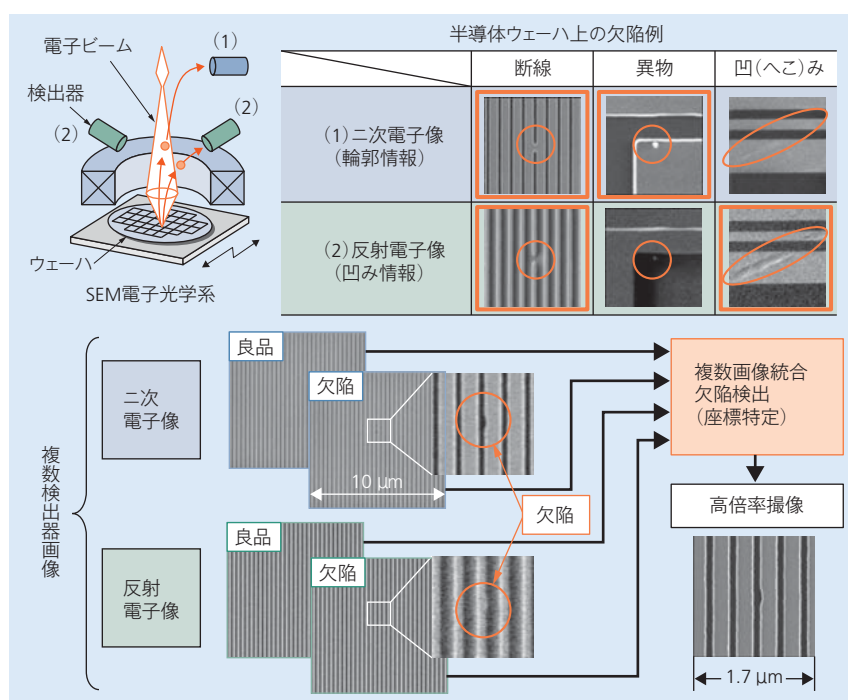
現在、環境への負荷に配慮した低消費電力ソフトエラー対策の原理確認 (2010 年)、電子システム耐ソフトエラー設計技術への適用 (2011 年) を進めている。

ナノメートルオーダーの微小欠陥を高感度に検出する画像処理アルゴリズム

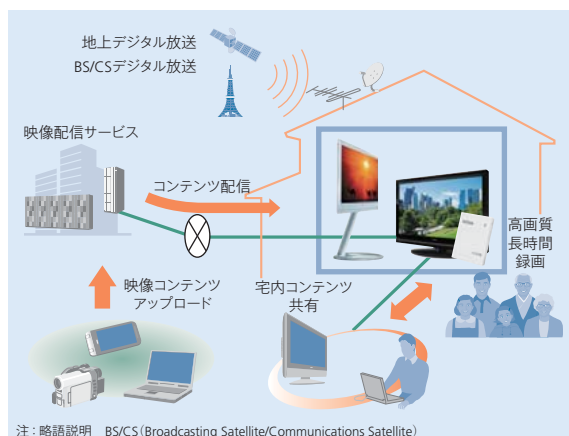
29

半導体デバイスの製造では、製造途中で発生する多種多様な欠陥を早期に発見して対策を講じることが重要である。このニーズに対応するため、半導体ウェーハを撮像した走査型電子顕微鏡画像から、微小欠陥を高感度に検出する画像処理技術を開発した。

この技術は、輪郭を観察可能な二次電子像と、凹凸を観察可能な反射電子像を統合的に用いて欠陥を検出することに特徴がある。これにより、十数ナ

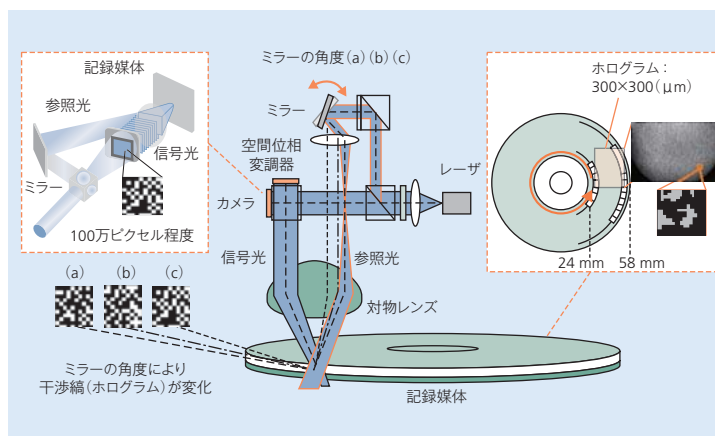


29 複数の走査型電子顕微鏡画像を用いた欠陥検出技術



注：略語説明 BS/CS (Broadcasting Satellite/Communications Satellite)

30 デジタルテレビにおける放送・録画・ネットワーク融合技術



31 高密度ホログラム記録技術

ノメートルの各種欠陥（断線、異物など）の安定検出を可能とした。

この技術は、株式会社日立ハイテクノロジーズの欠陥観察用電子顕微鏡〔レビューSEM (Scanning Electron Microscope)〕に搭載され、現在、半導体デバイスの安定量産に寄与している。

今後も、いっそう複雑化する半導体製造プロセスの検査ニーズに応える高感度検査技術の開発を継続していく。

デジタルテレビにおける放送・録画・ネットワーク融合技術

30

デジタルテレビにおいて、デュアルSoC (System-on-a-Chip) システムの並列・分散処理を最適化することにより、HDDへのハイビジョン映像8倍録画と、ネットワーク経由の映像ダウンロード型サービス、宅内コンテンツ共有を利用するための、複数ストリームのトランスコーディング／著作権保護方式変換を同時高速処理可能なプラットフォームを開発した。

このプラットフォームを「Wooo 03/UT800シリーズ」に搭載し、放送と録画、ネットワークが融合した、「観（み）たいものを観たいときに観たいように観る」という、デジタルテレビの新たな視聴スタイルを実現した。

高密度ホログラム記録技術

31

増大するデジタルデータを大量かつ高速に記録する光ストレージとして、高密度ホログラム記録技術を開発した。

この技術は、参照光と二次元の情報を持った信号光とを重ね合わせたときに生じる干渉縞パターン（ホログラム）を、記録媒体の厚さ方向も利用して三次元的に体積記録することが特徴である。参照光の対物レンズへの入射角を変化させる角度多重方式により高密度化を図り、また、低コスト化・小型化のため、従来複数枚必要であった対物レンズを一つにしたモノキュラー方式の光学系を開発している。これらの技術により、1平方インチ（約2.54 cm²）当たり712 Gビットの記録を達成した。

今後は、光ディスク1枚当たり500 Gバイトを超える高密度記録と高転送速度が可能な光ディスクドライブの実現をめざしていく。

快適操作を提供するユーザーインターフェース技術

32

録画機能やネットワーク経由の映像コンテンツ視聴などの多機能化が進むデジタルテレビにおいて、より使いやすく快適な操作性を提供することが重

要となっている。

今回、リモコンよりも快適に操作できる技術の一つとして、ジェスチャーでテレビの基本機能を操作するユーザーインターフェースのプロトタイプを開発した。手の動きを認識するアルゴリズムの開発に加えて、操作方法やテレビの状態をわかりやすくフィードバックする画面デザインを考案し、さらに、ユーザー視点で操作の違和感を抽出して改良を繰り返すプロセスを経ることで、テレビ視聴に適したジェスチャー操作を実現した。

今後、手の認識精度向上や多機能にも対応したさらなる操作性改善により実用化をめざしていくとともに、デジタルサイネージなどへの展開を推進していく。



注：略語説明 GUI (Graphical User Interface)

32 ジェスチャーユーザーインターフェースを実現する技術の構成