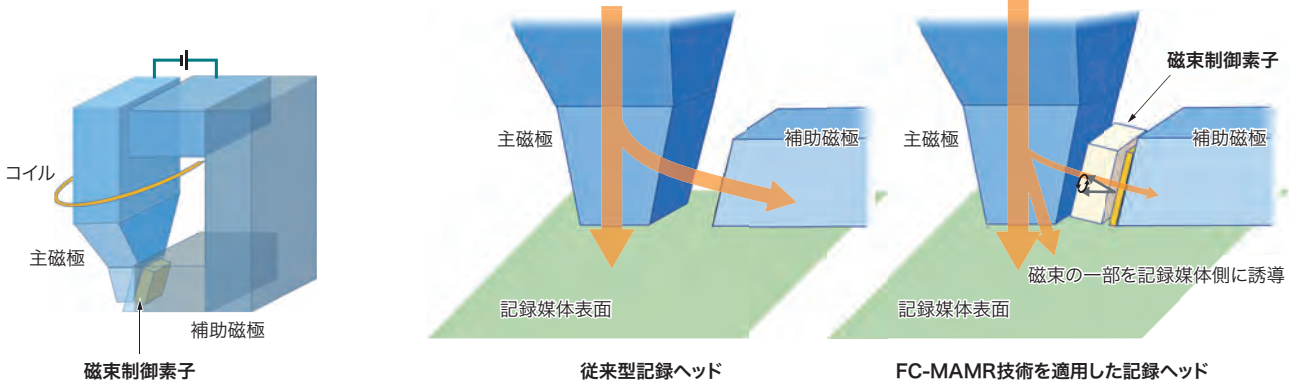


## ニアラインHDDの更なる大容量化を可能にするFC-MAMR技術

研究開発  
コンポーネント技術



記録ヘッド先端部の記録磁極と補助磁極の間に設けられた磁束制御素子  
Magnetic flux control device positioned between main and auxiliary magnetic poles at tip of magnetic recording head

磁極付近の磁束制御による記録磁界増強  
Enhancement of recording field achieved by controlling magnetic flux between main and auxiliary magnetic poles

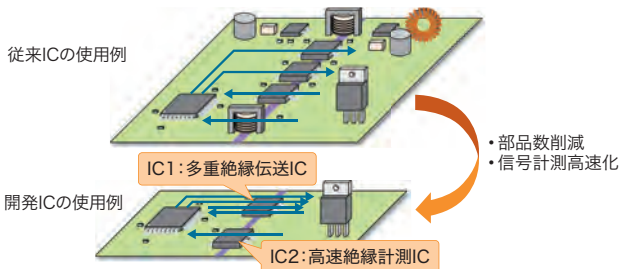
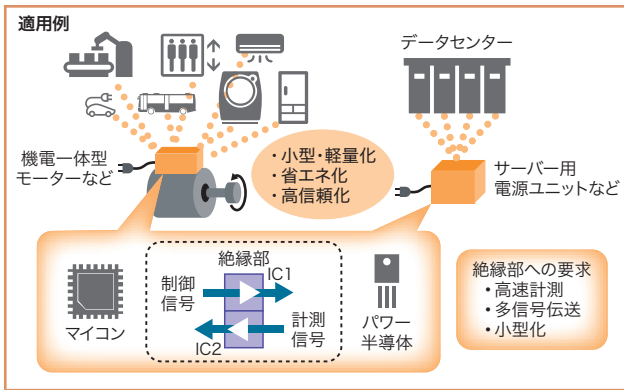
データセンター向けニアラインHDD（ハードディスクドライブ）の更なる大容量化を可能にすることが期待されているマイクロ波アシスト記録方式（MAMR：Microwave Assisted Magnetic Recording）を早期に実用化可能にする新方式として、磁束制御型MAMR（FC-MAMR：Flux Control-MAMR）技術を開発した。

HDDの大容量化に伴って記録ビットサイズを小さくした結果、記録ヘッド磁極寸法の縮小によって、記録ビットの書き込み能力に劣化が生じ、スケーリングによる高記録密度化が困難となりつつある。これに対して、MAMR技術では、主磁極付近に設けた素子で発生させたアシストマイクロ波磁界を、記録磁界に重畳させて記録媒体に印加することで、記録ビット書き込み能力を向上させることができる。一方、既に提唱されているMAMR技術は、専用の記録媒体の開発が必要であり、その共鳴特性設計により得られるアシスト効果の変動しやすいことが、早期に実用化する上での問題となっていた。

今回、従来のMAMR技術を応用して独自に開発したFC-MAMR技術は、この専用記録媒体の開発を不要とするものである。電子のスピン情報を活用するスピントロニクス技術を用いて、主磁極と補助磁極の間に設けた磁束制御素子の磁化方向を、これらの磁極間に発生する磁束に対して反転させることで、磁束の一部を記録媒体側に誘導し、その結果、記録磁界を増強することに成功した。このFC-MAMR技術は、組み合わせる媒体設計の自由度が高く、早期実用化が可能となった。

研究開発センター

## ■ パワーエレクトロニクスの小型・高速化に貢献する電磁界結合型絶縁IC技術



**電磁界結合型絶縁IC技術**  
Electromagnetic coupling type galvanic isolation integrated circuit (IC) technologies contributing to size reduction and high-speed operation of power electronics systems

小型・軽量・省エネ・高信頼性の次世代パワーエレクトロニクスシステムを実現する二つの電磁界結合型絶縁IC技術を開発した。

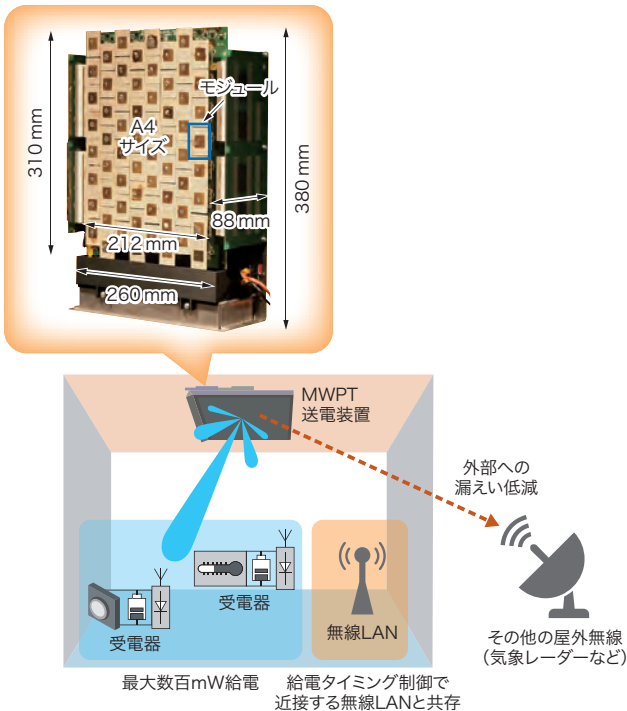
一つ目は、電動モビリティや各種モーターシステムの小型・高信頼化に向けた、多重絶縁伝送IC技術である。特別な製造プロセス(注)を必要とせず、多重化と低干渉配置により、3種類の信号の同時伝送と100 mW以上の電力伝送を、ワンパッケージに搭載可能である。これにより、従来の高性能なPCB(プリント回路基板)技術による伝送に比べて小型化できる。

二つ目は、高速動作が要求されるデータセンターのサーバー用電源システムなどに搭載して、電流値などの計測に利用する、高速絶縁計測IC技術である。無線通信に用いられる電源不要なパッシブミキサー回路を適用することで、低電力での高速動作を実現するとともに、専用のキャリブレーション回路を開発して伝送精度を高めた。これにより従来の300倍以上高速な計測をワンパッケージで実現した。

(注) 放電により破壊しない厚膜の絶縁膜を、ICの上層に追加で成膜するなど、絶縁ICに特化した製造プロセス。

研究開発センター

## ■ 電池交換・配線不要のIoTデバイスを実現するMWPT技術



**A4サイズの送電装置を用いたMWPTシステム**  
Microwave wireless power transmission (MWPT) system using A4-size power transmission equipment

電源配線に制約されず自由に配置可能で電池交換不要なIoT (Internet of Things) デバイスなどの実現に向け、電波で数m先に電力を届けるマイクロ波給電 (MWPT) 技術が注目を集めているが、一般的な屋内向け無線機に比べて大きな電力を送るため、ほかの無線システムとの共存や人体防護が課題となる。

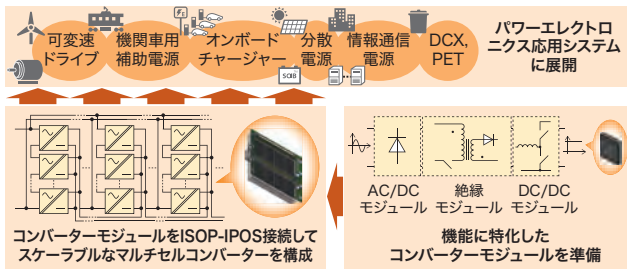
近接する周波数の無線LANをキャリアセンス技術で検出して干渉を回避する給電タイミング制御技術を搭載したことで、無線LAN通信を継続したまま給電できる。また、アンテナサイズを抑えながら、給電エリア外への電波漏えい(グレーティングローブ)を低減するために、アンテナ・高周波素子をモジュール化して千鳥状に配置した。これにより、2 m先に1 W程度の電力を送信できるMWPT送電装置をA4サイズで実現した。

今回、国内での利用を可能とするため、5.7 GHz帯の電波を用いるMWPTに関する制度化を進め、一部答申を完了した。

この研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「IoE (Internet of Energy) 社会のエネルギーシステム」の一環で実施した。

研究開発センター

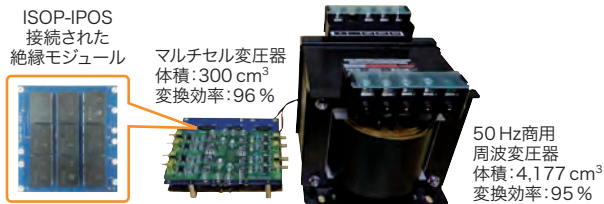
## ■ 小型・高効率な電力変換器を短期間で実現できる スケーラブルマルチセルコンバーター



DCX : DC-DC Transformer PET : Power Electronic Transformer

### スケーラブルマルチセルコンバーターを用いた電力変換器の設計コンセプト

Design concept of power converters using scalable multicell converter modules



### スケーラブルマルチセルコンバーターの適用効果

Effects of application of scalable multicell converter modules to commercial-frequency transformer

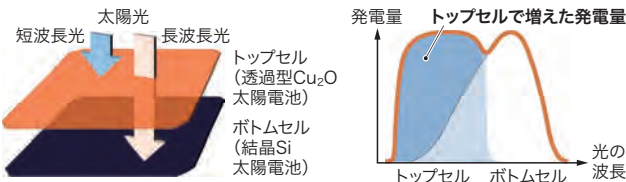
脱炭素社会の実現には、太陽光発電や電気自動車など、パワーエレクトロニクス技術を応用したシステム製品の、更なる普及拡大が必要となる。システム製品の要求仕様に応じて、様々な電圧・電流定格の電力変換器が大量に使われるため、これらを小型・高効率とし、短期間に開発・製造することが求められる。

今回、AC (交流)/DC (直流) 変換、DC/DC 変換、絶縁などの、電力変換器の基本機能に特化して効率・体積を最適化したモジュールを、必要な数だけ直並列接続することで各種仕様の電力変換器を構成できる、スケーラブルマルチセルコンバーターを開発した。直並列接続したモジュール間の電圧・電流を平衡させるために従来必要であった複雑な制御回路を、ISOP (Input Series Output Parallel) -IPOS (Input Parallel Output Series) 接続を適用することで不要とした。

商用周波変圧器をモチーフとし、電圧 48 V、電力 150 W のモジュールを 3 直列・3 並列接続して構成したマルチセル変圧器は、市販の商用周波変圧器に比べて、体積を 1/14 に小型化でき、変換効率も最大で 1.0 % 向上できることを実証した。

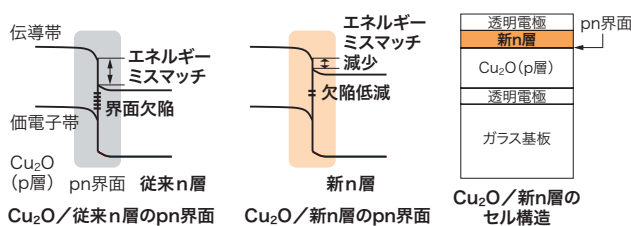
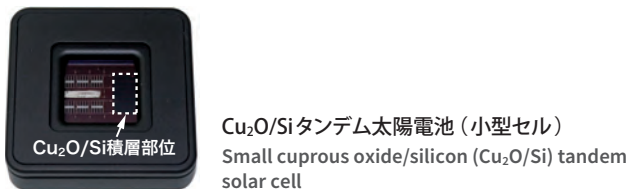
研究開発センター

## ■ Cu<sub>2</sub>Oセルのn層改良で効率を向上させたタンデム太陽電池



### タンデム太陽電池の高効率発電の原理

Principle of high-efficiency power generation of tandem solar cell



### Cu<sub>2</sub>O n層改良による更なる高効率化

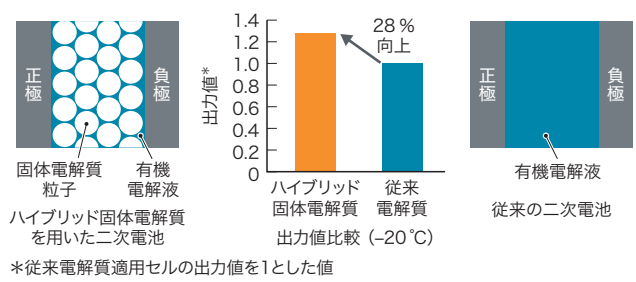
Higher efficiency achieved by improving n-layer of Cu<sub>2</sub>O solar cell

小さい設置面積で大電力を低コストに供給できる、亜酸化銅 (Cu<sub>2</sub>O) 太陽電池セル (以下、セルと略記) とシリコン (Si) セルを積層したタンデム太陽電池の開発に取り組んでいる。キーデバイスの透過型 Cu<sub>2</sub>O セルは当社が 2019 年に開発に成功したもので、地球上に豊富に存在する銅と酸素から構成され、低コストなタンデム太陽電池の実現に道を切り開いた。

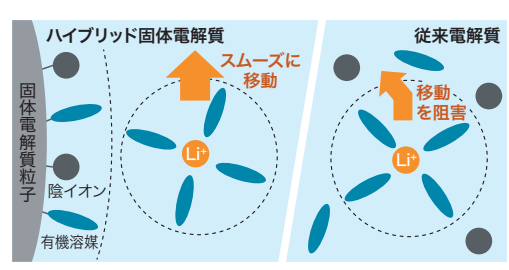
今回、pn 界面 (p : p 型半導体, n : n 型半導体) のエネルギーミスマッチを減らすために Cu<sub>2</sub>O セルの n 層を改良し、透明性を維持して、発電効率を 6.6 % から 8.1 % に改善した。この結果、タンデム太陽電池の発電効率は 26.1 % に到達し、Si 単体より 3.1 ポイント高めることができた。NEDO (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構) の報告によれば、効率 31 % 以上では、太陽光発電による電気自動車の無充電走行が実現可能になるといわれており、現在、発電効率 30 % 台のタンデム太陽電池技術を、3 年後までの完成を目指して開発している。今後、更なるタンデム太陽電池の効率向上を図り、電気自動車など電動モビリティへの応用や、自家発電システムや分散電源への適用など、新事業創出につなげていく。

研究開発センター

## ■ ハイブリッド固体電解質を用いた二次電池の高入出力化技術



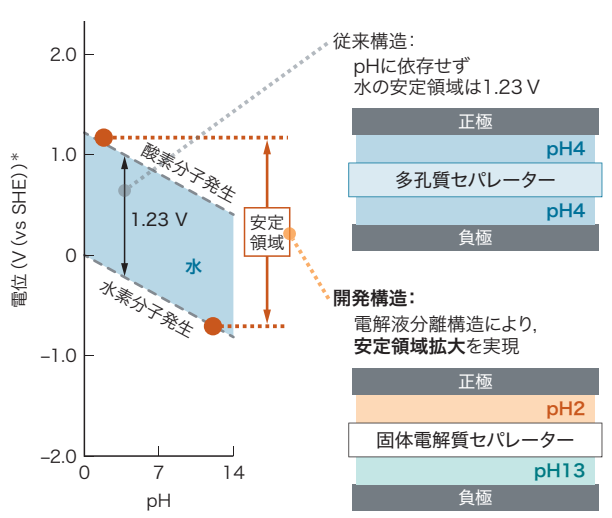
従来電解質を用いた電池と、固体電解質粒子と有機電解液を複合化したハイブリッド固体電解質を用いた電池の出力値比較  
Comparison of output power of batteries containing conventional liquid electrolyte and hybrid solid electrolyte consisting of solid electrolyte particles and organic liquid electrolyte



ハイブリッド固体電解質の低抵抗化メカニズム  
Mechanism of lower resistance of hybrid solid electrolyte compared with conventional liquid electrolyte

研究開発センター

## ■ 安全性を高めた水系リチウムイオン二次電池



\*標準水素電極 (SHE) の電位を基準とした電位  
水の電気的安定領域を拡大する固体電解質セパレーターを用いた独自の電池構造  
Expansion of electrical stability region of water by applying proprietary battery structure using solid electrolyte separator

脱炭素化のトレンドを背景に、モビリティインフラの電動化ニーズが高まる中、幅広い温度範囲で、より大電流での繰り返し充放電を可能とする高入出力二次電池が求められている。

当社は、固体電解質粒子と有機電解液とを複合化したハイブリッド固体電解質を用いて二次電池を高入出力化する技術の世界で初めて<sup>(注)</sup>開発した。-20℃の低温環境下において、有機電解液を用いた従来の二次電池と比較して、出力値が28%向上することを実証した。従来の電解質では、有機溶媒や陰イオンがリチウムイオン(Li<sup>+</sup>)の移動を阻害し、電池内部抵抗が増大して出力を低下させる要因となっていた。これに対して開発したハイブリッド固体電解質では、有機溶媒の一部や陰イオンが固体電解質粒子表面に引き寄せられることで、リチウムイオンがスムーズに移動することを見いだした。これにより、電池の内部抵抗が低減し、出力向上を可能とした。

(注) 2015年9月時点、ハイブリッド固体電解質を用いた二次電池の高入出力化技術として、当社調べ。

一般に広く使用されているリチウムイオン二次電池は、高い電池電圧を得るために可燃性の有機溶媒を使用している。近年、外部要因で火災が起きた際の安全性確保の観点から、有機溶媒を不燃性の水溶液に置き換えた水系電池への期待が高まってきた。しかし、従来の水系電池は、水の電気的安定領域が狭いため、一般的なリチウムイオン二次電池のような高い電池電圧を実現することが困難であった。

今回、水系電池において、正極と負極の間に固体電解質セパレーターを設置した独自の電池構造を創案し、従来は不可能だった、水溶液中の高い電池電圧での電池動作に成功した。新構造は、正極から負極への水素イオンの電気泳動を防止するとともに、正極と負極で異なるpH(水素イオン指数)の電解液が使用可能となり、水の電気的安定領域を拡大したことで、高い電池電圧を実現した。開発した水系電池は高い安全性だけでなく、製造・安全設備の簡略化による低コスト化も期待できる。

関係論文：東芝レビュー、2020、75、4、p.25-29.

研究開発センター



## ■ 物流・製造現場の省人化を実現する自律移動ロボット



レーザー距離センサーとメカナムホイールを採用した自律移動ロボット  
Autonomous mobile robot equipped with laser distance sensor and mecanum wheels

物流・製造現場で作業者が行っている“運ぶ”を自動化する自律移動ロボットを開発し、東芝グループ内の製造工程への適用を開始した。

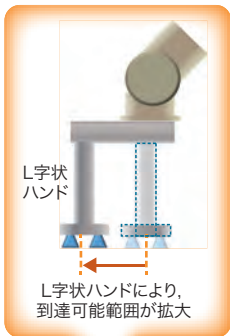
多くの移動ロボットは、床に貼り付けたガイドテープに沿って、2輪駆動で走行する。そのため、回転半径を意識した走路設定や、走路変更時のガイドテープの貼り直しが必要になる。また、小回りが利かないことは移動時間が増加する原因にもなる。これらの課題を解決するために、レーザー距離センサーにより周囲環境を計測し、自己位置を認識しながらの自律走行とメカナムホイール<sup>(注)</sup>を用いた全方向移動が可能な自律移動ロボットを開発した。この自律移動ロボットは、検査プローブを持つロボットアームと組み合わせて搬送と検査工程を自動化し、省人化と検査データのトレーサビリティ向上に貢献する。

今後、上位システムと連携して自律移動ロボットの移動・作業履歴を見える化し、製造工程の更なる効率向上を目指す。

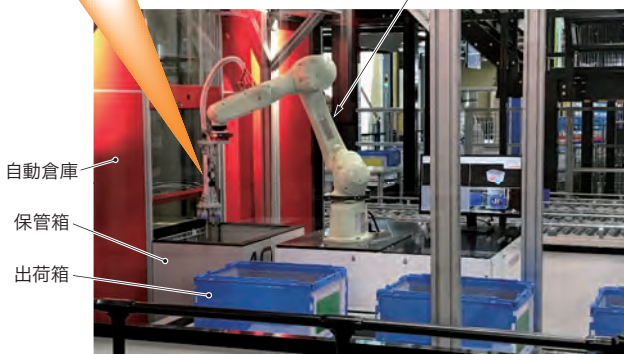
(注) 車輪円周上に45°の角度でローラーが取り付けられた車輪。

生産技術センター

## ■ 物流センターの全自動化に貢献するピースピッキングロボット



ピースピッキングロボット



自動倉庫と連携して商品出荷を行うピースピッキングロボット  
Piece-picking robot for automatically shipping products in conjunction with automated storage and retrieval system

物流現場での省人化要求の高まりを受け、商品のピッキング作業を自動化するピースピッキングロボットを開発し、大手物流施設事業会社がデモンストレーション用に展示する全自動物流システムの主要機器として納入した。

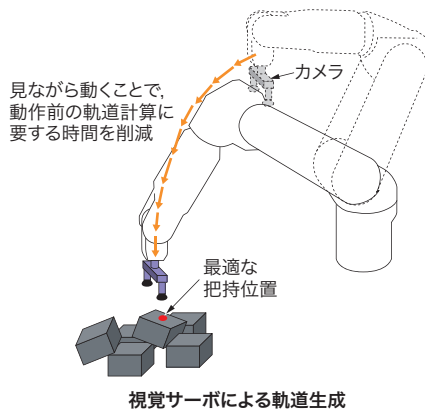
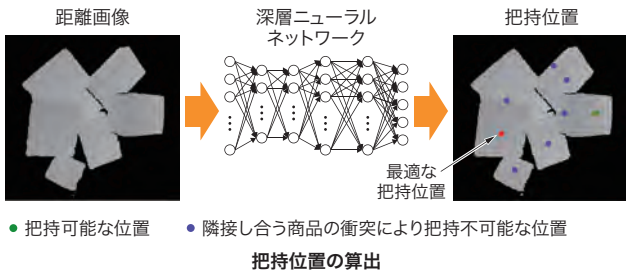
ピッキング作業の自動化では、商品を出し入れする保管箱や出荷箱内で、商品や箱に衝突することなく箱の隅々まで手先が届くロボットが必要になる。また、倉庫内で使用するため、設置空間の広さにも制限がある。開発したロボットは、従来の直線状のハンドに比べて手先をより遠くまで伸ばせるL字状ハンドと、このハンドに対応して衝突しない把持位置姿勢を算出する高速計画技術を導入した。これにより、設置性の高い小型ロボットながら、箱の隅にある商品へもアクセス可能となり、自動倉庫と連携可能な毎時500個相当<sup>(注)</sup>のピッキング処理速度を実現した。

今後も、ピッキング作業の更なる自動化・高速化技術の導入を進め、物流分野の省人化に貢献していく。

(注) 積載状況や商品サイズなどにより変動する。

生産技術センター

## ■ 物流用ピッキングロボットの高速化技術



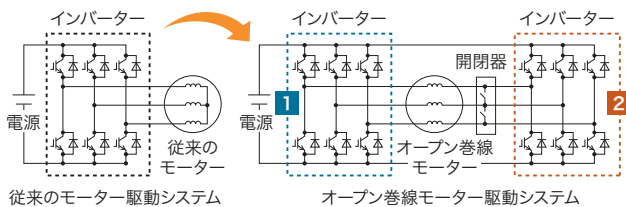
ピッキングロボットの把持位置決定・軌道生成の高速化技術  
Robotic picking technologies for high-speed determination of grasping position and trajectory

研究開発センター

少子高齢化による人手不足への対応として、物流倉庫向けのピッキングロボットを開発している。一般にピッキングロボットでは、カメラ画像を用いた商品の種類や形状の認識、把持位置の決定、及び把持位置にロボットハンドを到達させるロボットアーム全体の軌道生成を、動作前に実行する。ピッキング処理速度を向上させるには、把持位置決定と軌道生成の高速化が有効である。

そこで今回、複数の商品が入った通い箱の距離画像を入力すると、ロボットハンドが通い箱や隣接し合う商品に衝突することなく到達できる把持位置を、高速に算出可能な深層ニューラルネットワークを開発した。また、ロボットハンドに搭載したカメラの映像を用いて、動きながら次の軌道を決める視覚サーボを採用し、動作前の軌道生成に要する時間も削減した。開発したピッキングロボットは、段ボール小箱のピッキング作業を想定した実験で、業界最高水準の毎時1,000個を超える処理速度を達成した。

## ■ 高出力化と高効率化を実現する新モーター駆動システム



インバーター 2 台によるオープン巻線モーター駆動システムの構成  
Configuration of open-winding motor drive system using two inverters

巻き線を結線せずに引き出したオープン巻線モーターを、2 台のインバーターで駆動するシステムを開発した。このシステムは、高出力時の駆動電流増加に伴うパワーデバイスや放熱器の大型化を抑制し、小型かつ低コストで高出力化と高効率化を実現できる。

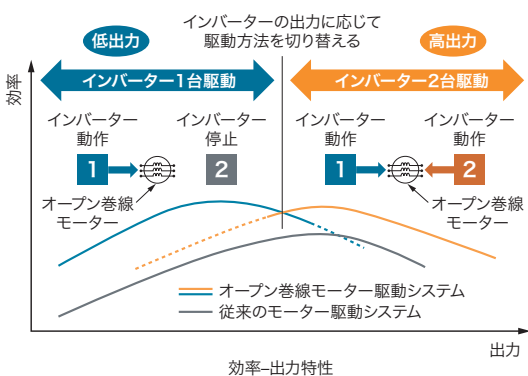
従来のモーターは、中間出力時に高効率となる設計で、幅広い出力範囲に対応させていた。一方、開発したシステムのモーターは、低出力時に高効率となる設計で、低出力時は開閉器を閉じて従来と同じインバーター 1 台で駆動する。ここで、インバーター 1 台駆動のままモーターを高出力化すると、駆動電流が増加し効率が低下する。そこで、高出力時は開閉器を開いてインバーター 2 台駆動とし、従来のインバーター 1 台駆動と比較してモーターに約 1.7 倍の電圧を出力して、駆動電流を約 40 % 低減した。

インバーターの出力に応じて駆動方法を切り替えることで、従来に比べて高出力化と高効率化を実現した。開発したモーター駆動システムは世界で初めて<sup>(注)</sup>業務用空調機に適用され、今後、他の社会インフラ製品にも展開していく。

(注) 2019年12月時点、ビル用マルチ空調システムにおいて、当社調べ。

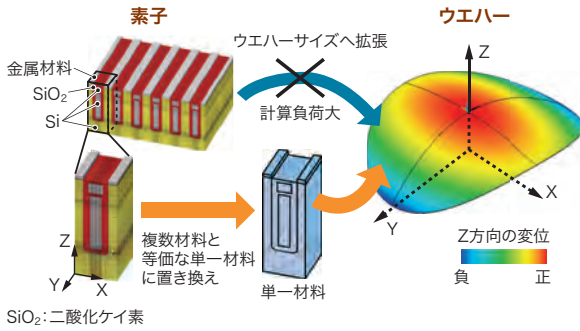
関係論文：東芝レビュー、2020、75、4、p.50-64。

生産技術センター



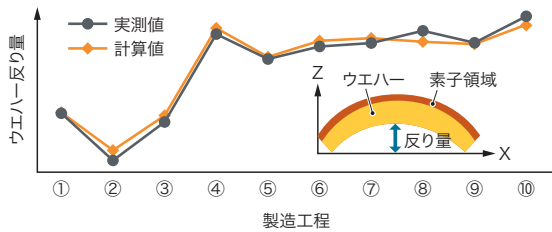
インバーター 1 台駆動とインバーター 2 台駆動の切り替えによる高出力化と高効率化  
High output and high efficiency achieved by switching between one-inverter drive and two-inverter drive according to usage conditions

## ■ Siパワーデバイスのプロセス開発を効率化するウエハー反り予測技術



### Siパワーデバイスでのマルチスケール応力シミュレーションによるウエハー反り量予測の概要

Prediction of Si power device wafer warpage using multiscale stress simulation

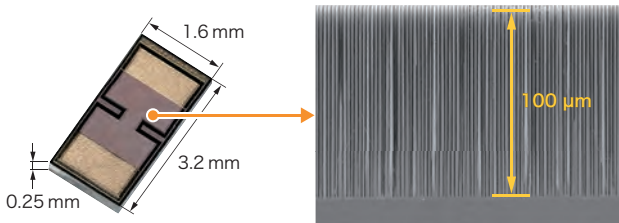


### 製造工程ごとのウエハー反り量の実測値とシミュレーション結果の比較

Comparison of measured and simulated values of wafer warpage in each manufacturing process

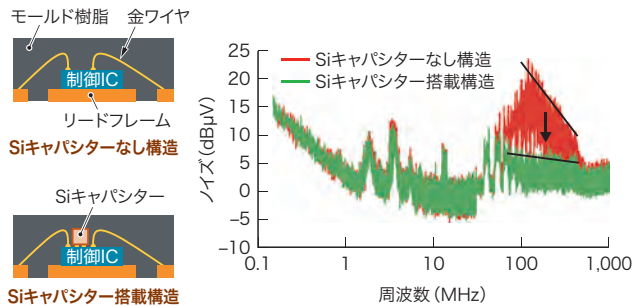
生産技術センター

## ■ 新しいエッチング加工法を用いたSiキャパシターの大容量化技術



### MacEtch法で作製したSiキャパシター試作品

Prototype Si capacitor chip fabricated using metal-assisted chemical etching (MacEtch) process



### 試作品の電磁ノイズ抑制効果

Electromagnetic noise suppression achieved by prototype chip used as decoupling capacitor

近年、パワーデバイスの抵抗値を低減するために、素子構造が縦型化されているが、これによりウエハーは反りやすくなり、搬送系におけるトラブルの原因となっている。このようなトラブルによる試作回数の増加を抑制するには、シミュレーションによるウエハー反り量の予測が有効である。しかし、反りの原因となる数μmの素子構造を、ウエハーサイズにまでそのまま拡張すると、計算負荷が大きくなり現実的ではない。

そこで、製造工程ごとにSiパワーデバイスのウエハー反り量を予測する応力シミュレーション技術を開発した。開発した技術では、素子を構成している複数の材料を、力学的性質が等価な単一材料に置き換えることで、計算精度を損なうことなく計算負荷を従来の数億分の1に低減した。このシミュレーション技術を用いて、製造プロセスを通したウエハーの反り量変化を予測することで、製造プロセスのインテグレーションや開発期間の短縮、及び素子設計へのフィードバックが図れる。

車載用制御ICでは、ICチップで生じる電磁ノイズの低減が重要である。今回、大容量のSiキャパシターを低コストで製造する技術を開発し、これをICパッケージ内に搭載することで、ノイズを大幅に低減できることを実証した。

Siキャパシターは、積層セラミックキャパシターに比べて高耐熱で薄型化が可能であり、容量の温度依存性も小さく、熱膨張が同じICチップ上に直接搭載できるという特長がある。一般に、Si基板に溝を作製し、表面に誘電体膜を形成してキャパシターを構成するが、大容量化のために溝を深くすると加工コストが高くなるという問題があった。この問題に対し、MacEtch (Metal-assisted Chemical Etching) 法と呼ばれる貴金属触媒を用いた異方性ウェットエッチング技術を用い、低コストでSi基板にアスペクト比100以上の溝を形成する技術を開発し、200 nF/mm<sup>2</sup>以上の静電容量密度を実現した。この技術により、多くの車載用制御ICでの電気特性の向上が期待できる。

関係論文：東芝レビュー、2020、75、5、p.48-52。

生産技術センター