

トレンド

カーボンニュートラルに貢献するデバイス・材料の技術動向と東芝グループの取り組み

Trends in Technologies for Devices and Materials Contributing to Carbon Neutrality and Toshiba Group's Approaches

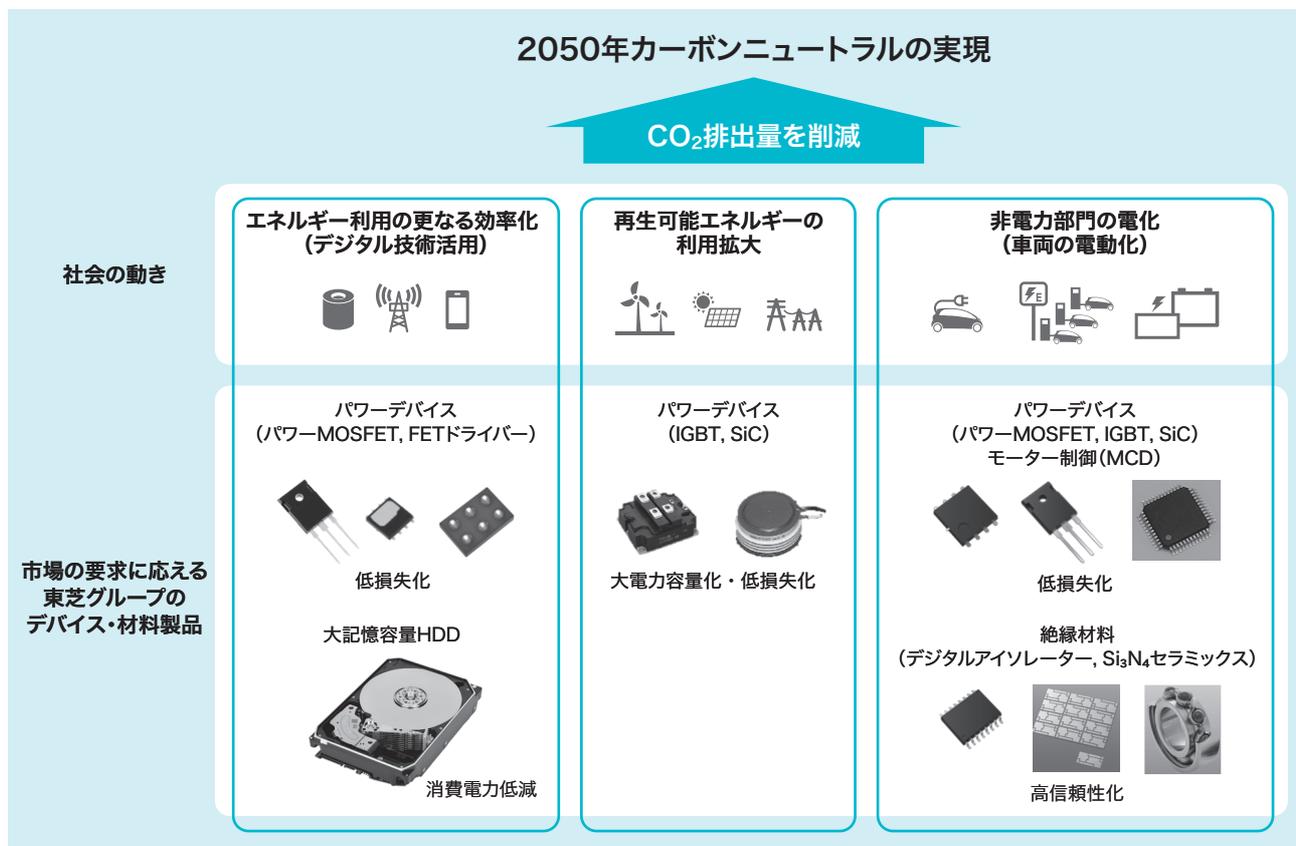
川口 雄介 KAWAGUCHI Yusuke 池田 貞男 IKEDA Sadao
山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro 那波 隆之 NABA Takayuki

地球温暖化への対応が喫緊の課題となる中、原因である温室効果ガスの排出を実質的にゼロにするカーボンニュートラルを2050年までに達成することが、我が国を含む多くの国で目標として掲げられている。

東芝グループは、エネルギーの効率的な利用など二酸化炭素(CO₂)排出量削減に寄与するデバイス・材料製品を幅広く展開し、それらの性能を継続的に向上させることで2050年までのカーボンニュートラル実現に貢献する。

To address the pressing issue of global warming, Japan and many other countries are aiming to realize carbon neutrality by 2050 by achieving net zero emissions of greenhouse gases, which are considered to be the predominant cause of global climate change.

The Toshiba Group is developing and continuously improving the performance of a broad range of device and material products that improve the energy efficiency of various systems in order to reduce carbon dioxide (CO₂) emissions. Through these efforts, we are contributing to the achievement of carbon neutrality by 2050.



HDD:ハードディスクドライブ MOSFET:金属酸化膜半導体電界効果トランジスター FET:電界効果トランジスター IGBT:絶縁ゲート型バイポーラートランジスター
SiC:炭化ケイ素 MCD:モーターコントロールドライバー Si₃N₄:窒化ケイ素

特集の概要図。カーボンニュートラル実現を支えるデバイス・材料技術

Device and material technologies supporting achievement of carbon neutrality

1. まえがき

地球温暖化が原因とされる気候変動が、世界中に大きな災害をもたらしている。このまま放置すれば更に深刻化することが懸念され、その対応が喫緊の課題となっている。温暖化の進行を最小限にとどめるため、温室効果ガスの排出を実質ゼロにするカーボンニュートラルの2050年達成が、我が国を含む多くの国で目標として掲げられている。

カーボンニュートラルの考え方は、CO₂排出量を極力削減した上で、削減しきれなかったCO₂は、大気中から吸収することで相殺し、全体での排出量をゼロにするというものである⁽¹⁾。この中で、デバイス・材料技術は特に、エネルギー利用の更なる効率化や、再生可能エネルギーの利用拡大、非電力部門の電化などにより、CO₂排出量削減に大きく寄与する(特集の概念図)。

ここでは、カーボンニュートラル実現に向けてデバイス・材料に求められる技術、及び東芝グループの取り組みについて述べる。

2. カーボンニュートラル実現のためにデバイス・材料に求められる技術

2.1 エネルギー利用の更なる効率化

エネルギー利用の更なる効率化を進める一つの大きな流れは、デジタル技術の活用である。これは、2.2節で述べる再生可能エネルギーの利用拡大などに不可欠な技術であるが、一方で、デジタル化に伴って増加する電力消費量の抑制も必要である⁽²⁾。

一例として、データセンターの電力消費量の増大が世界的な問題となっており、そこで用いられるハードディスクドライブ(HDD)の消費電力の低減や、電源のキー部品であるパワーデバイスの低損失化などが、強く求められている⁽³⁾。

2.2 再生可能エネルギーの利用拡大

必要なエネルギーを確保しながらCO₂排出量を削減するためには、化石燃料の使用量を抑制し、再生可能エネルギーへの転換を図ることが必要である。国際エネルギー機関(IEA)の2050年正味排出量ゼロのシナリオでは、2020年時点での世界の発電量における再生可能エネルギー比率が28%であるのに対し、2030年に60%、2050年に88%と急増する⁽⁴⁾。

代表的な再生可能エネルギーである太陽光、風力で発電された電力は、インバーターを介して電力系統に接続されるため、キーデバイスであるパワーデバイスの低損失化が求められる。また、再生可能エネルギー比率を高めるため、今後大規模な洋上風力の導入が加速する⁽⁵⁾。これに伴い、長

距離、大電力容量の送電に適したHVDC(高圧直流送電)の普及が進むと予測されており、HVDCシステムのAC-DCコンバーターに使用される高耐圧・大電流ハイパワーデバイスの、大電力容量化及び低損失化が求められる。

2.3 非電力部門の電化

民生・産業・運輸などの非電力部門は、電力部門と比較するとCO₂の排出量削減が難しいことが多い。利用するエネルギーを電力に転換し、電源として再生可能エネルギーを用いることで、CO₂排出量を削減できる⁽¹⁾。代表例として、乗用車など運輸部門の電動化が挙げられる。IEAの2050年正味排出量ゼロのシナリオでは、世界の乗用車市場における電気自動車(EV)の比率は、2020年の5%から2030年に64%、2040年に100%に達する⁽⁴⁾。

EVの普及には、充電1回当たりの航続距離の延長、及び充電時間の短縮が不可欠である。航続距離を延長するには、モーターの効率改善などによる電力損失の低減が必要である。また、充電時間を短縮するには、絶縁デバイスの高耐圧化・高信頼性化などによるバッテリーの高電圧化が求められる。

3. 東芝グループの取り組み

東芝グループはCO₂排出量削減を目的として、電力変換時の損失を低減するディスクリート半導体や、モーター制御を小型・軽量・高効率化するIC、絶縁可能なインターフェースのためのデジタルアイソレーター、消費電力を低減した大記憶容量HDD、安全を担保するための絶縁材料など、幅広いデバイス・材料製品を提供している。以下に、東芝グループのデバイス・材料技術開発の取り組みについて述べる。

3.1 ディスクリート半導体

多種多様なディスクリート半導体の中で、電力変換や、各種モーター制御などに用いられるパワーデバイスが扱う電圧は広範囲であり、用途に合わせて最適なデバイス構造を採用している。図1は、各種パワーデバイスの耐圧と単位面積当たりのオン抵抗($R_{on}A$)の関係を示したものである。従来、材料として主にシリコンを用い、構造や製造プロセスの改善により、 $R_{on}A$ やスイッチング速度などの性能を大きく改善してきた⁽⁶⁾。現在も、デバイス内にひずみを導入して $R_{on}A$ を低減する⁽⁷⁾など、様々なアプローチで損失の低減を図っている。

情報通信などに用いられるパワー MOSFET(金属酸化膜半導体型電界効果トランジスター)では、 $R_{on}A$ の低減やスイッチング速度の高速化を進めたことで、損失の要因として相対的に大きな割合を占めるに至った内蔵ダイオードの逆

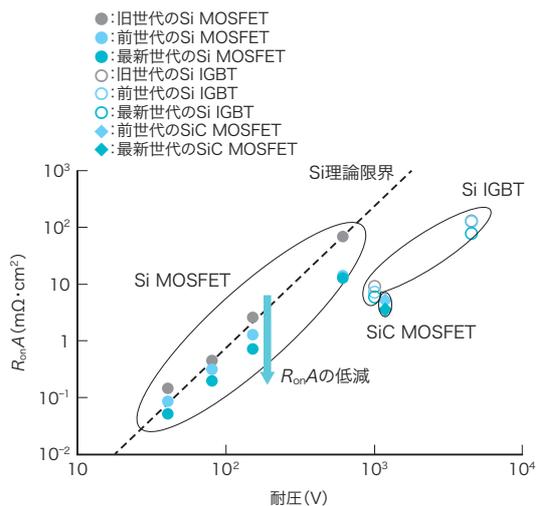


図1. パワー半導体の耐圧と $R_{on}A$ の関係
 構造の改善や製造プロセスの工夫により、高性能化を続けている。
 Relationship between breakdown voltage and specific on-resistance ($R_{on}A$) of power semiconductors

回復特性を改善する技術を開発した（この特集のp.6-9参照）。また、MOSFETを駆動するゲートドライバーの多機能化も進めている（同p.10-13参照）。一方、EVの走行モーター用インバーターや送配電に用いられるIGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスター）では、新たなゲート駆動方法によりスイッチング損失を低減した（同p.14-18参照）。

更に、物性に優れるSiC（炭化ケイ素）やGaN（窒化ガリウム）といったワイドバンドギャップ半導体デバイスの導入も進んでいる。SiCの破壊電界強度はシリコンの約10倍であり、理論的には $R_{on}A$ を約1/100に低減できる。SiCを適用することにより、ユニポーラーデバイスであるMOSFETでSi（シリコン）IGBTより小さい $R_{on}A$ を実現できるため、スイッチング損失を大幅に低減できる⁶⁾。しかし、現状のSiC MOSFETは内蔵ダイオード通電時の信頼性問題対策のために有効面積が制限されているので、これを改善する技術を開発した（同p.19-22参照）。また、TCAD（Technology CAD）モデルを改善して、SiCデバイスの設計精度を向上させる取り組みも続けている（同p.23-26参照）。

3.2 モーター制御ICとデジタルアイソレーター

世界の電力の1/2以上はモーターで消費されていると言われており、モーターで発生する損失の抑制がCO₂削減につながる。東芝デバイス&ストレージ（株）は、モーターを駆動するICやトランジスターを幅広く展開してきた。モーター制御を高度化して、一層効率を高める技術を開発している。

消費電力が大きい高出力のブラシレスモーターに対しては、多くの高効率の制御技術が開発されている。MCU（Mi-

cro Controller Unit）でのベクトル制御（FOC）、アナログデバイスでの進角制御に加え、MCUとアナログ回路の混載が可能な基幹プロセスで実現したSmartMCD™の開発に取り組んでいる（同p.27-31参照）。特に各種EVでは、航続距離の延伸が課題となるため、小型・軽量化と高効率化により、エネルギー消費を抑える必要がある。開発中のSmartMCD™は、通信・FOC・ゲート制御の機能を1チップ化することで、小型・軽量化と高効率化を両立する。

また、EVには、異なる電圧間で信号の受け渡しが必要なシステムが多数存在するため、絶縁可能なインターフェースデバイスの需要が大きい。このうちの 하나가、光結合デバイスであるフォトカプラーであり、インバーターや、DC-DCコンバーター、電池監視システム（BMS）の信号通信用途などで、多数用いられている。東芝グループは、フォトカプラー製品群の提供を50年にわたり継続してきたが、今後の更なる長寿命、高温動作、高速伝送、低消費電力、及び高ノイズ耐性の要求に応え続けるために、新たな基盤技術として磁気絶縁式のデジタルアイソレーターの開発に取り組んでいる（同p.32-36参照）。

3.3 HDD

データセンター向けの需要が飛躍的に増加している大記憶容量HDD（ニアラインHDD）には、継続した消費電力効率の低減が求められている。

HDDの電力消費は、磁気ディスクを回転させるスピンドルモーター、データを読み書きするヘッドを目標のトラックに移動するボイスコイルモーター、及びデータを読み書きするリードチャンネル及びHDDを制御するCPUといった回路系の三つが、主要要素である。

図2に、東芝デバイス&ストレージ（株）製ニアラインHDDの、記憶容量当たりの消費電力について、世代ごとの推移を示す。近年、ニアラインHDDに採用した特筆すべき技術は、ヘリウム充填である。ヘリウムは空気より軽く、ディスクが回転するときの抵抗が空気に比べてはるかに小さいため、スピンドルモーターの消費電力を低減できる。また、アクチュエーターの軽量化とその駆動方法の最適化、SoC（System on a Chip）の低消費電力化により、データ読み書きのリードチャンネルの消費電力も世代ごとに低減している（同p.37-40参照）。

HDDの大容量化は、データセンターにおけるサーバーラック数の削減につながるため、HDDだけでなくサーバーを含めた消費電力低減に貢献できる。

3.4 絶縁材料

自動車の電動化が加速する中、駆動用モーターやそれを制御するインバーターを含むパワーコントロールユニット

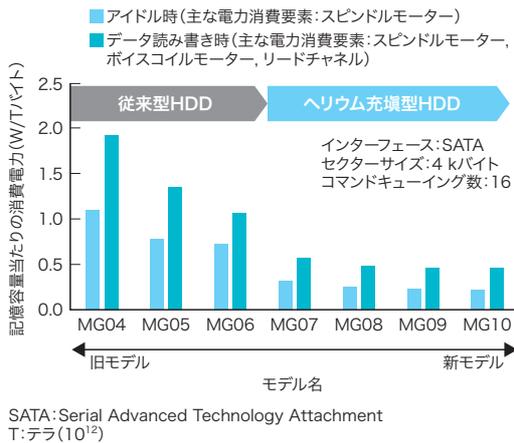


図2. 東芝デバイス&ストレージ(株)が開発したHDDの記憶容量と消費電力の推移

HDD筐体(きょうたい)へのヘリウム充填や、LSI低消費電力化などの技術を導入して、記憶容量当たりの消費電力を世代ごとに改善してきた。

Trends in capacity and power consumption of hard disk drives (HDDs) developed by Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.

(PCU)において、絶縁体としての特長を生かした窒化ケイ素セラミックス(Si₃N₄)の採用が進んでいる。

EV駆動用モーターでは、充電時間短縮のための高電圧化とSiCデバイス採用に伴うインバーターの高周波化により、動作中の変位電流(コモンモード電流)が増加し、モーター内のベアリングの電食リスクが高まっている。東芝マテリアル(株)が開発したSi₃N₄セラミックス製ベアリングボールは、従来のスチール製のボールとは異なり絶縁体であるため、電食を防止できる。

一方PCUでは、高密度実装化が進み、特にPCU内のパワーデバイスの電流密度と発熱密度が増大している。パワーデバイスを実装する絶縁基板には、高放熱性に加え、高信頼性も要求される。従来、耐圧600V以上のパワーデバイス向けの絶縁・放熱基板として、アルミナ(Al₂O₃)や窒化アルミニウム(AlN)が用いられてきたが、信頼性の向上が必要であった。東芝マテリアル(株)が開発したSi₃N₄基板は、優れた機械的特性を維持しながら熱伝導率の向上を実現した⁽⁸⁾。PCUの高信頼化や高密度実装化に伴い、従来基板の置き換えが進んでいる。

このように、優れた特長を持つSi₃N₄のベアリングボール及び基板は、現在ではEV分野において欠かせないキーパーツとして自動車の電動化を支えている(同p.41-45参照)。

4. あとがき

地球温暖化問題のこれ以上の深刻化を回避するため、エネルギー利用の高効率化などの対策により、CO₂排出量を

大きく削減する必要がある。東芝グループのデバイス・材料製品はこれらの用途に幅広く用いられており、製品の性能を更に向上させることにより、2050年のカーボンニュートラル実現に貢献する。

文献

- (1) 秋元圭吾, 佐野史典, 脱炭素社会に向けた対策の考え方. グリーンイノベーション戦略推進会議. 経済産業省. 2020, 14p. <https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/gi_003_03_04.pdf>, (参照 2022-09-01).
- (2) 内閣官房. 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略. 2020, 77p. <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryu2.pdf>, (参照 2022-09-01).
- (3) 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター. 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.2) -データセンター消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題-. 2021, 20p. <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-03.pdf>, (参照 2022-09-01).
- (4) International Energy Agency. World Energy Outlook 2021. 2021, 386p. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>, (accessed 2022-09-01).
- (5) International Energy Agency. Offshore Wind Outlook 2019. 2019, 98p. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf>, (accessed 2022-09-01).
- (6) 西脇達也, ほか. ディスクリット半導体技術の最新動向と展望. 東芝レビュー. 2020, 75, 6, p.2-8. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2020/06/75_06pdf/a02.pdf>, (参照 2022-09-01).
- (7) 伊藤和幸, ほか. Siパワーデバイスの設計を効率化するオン抵抗予測技術. 東芝レビュー. 78, 1, p.46-51. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2023/01/78_01pdf/f01.pdf>, (参照 2023-01-23).
- (8) 那波隆之, ほか. クルマ社会の発展に貢献する材料・部品技術. 東芝レビュー. 2011, 66, 2, p.42-45.



川口 雄介 KAWAGUCHI Yusuke
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部
電気学会会員
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



池田 貞男 IKEDA Sadao
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 半導体応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro
東芝デバイス&ストレージ(株)
ストレージプロダクツ事業部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



那波 隆之 NABA Takayuki
東芝マテリアル(株) 営業企画担当
日本機械学会, 日本金属学会会員
Toshiba Materials Co., LTD.