

## トレンド

# 持続可能な社会を担う東芝の半導体技術

Trends in and Approaches to Latest Semiconductor Technologies Responsible for Sustainable Society

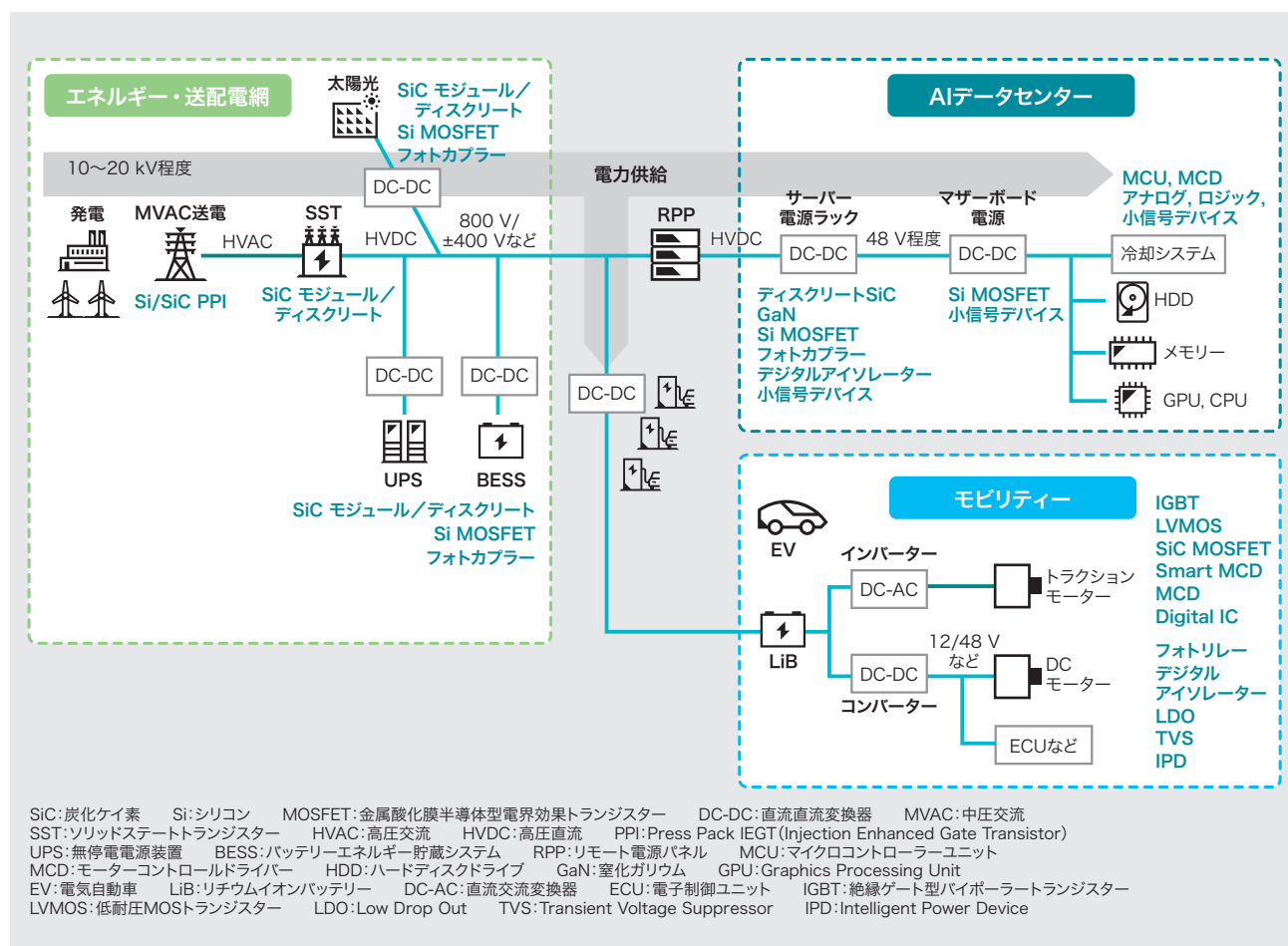
川口 雄介 KAWAGUCHI Yusuke 江野 聡史 ENO Satoshi 池田 貞男 IKEDA Sadao

環境・経済・社会のバランスを保ち、将来の世代のニーズを満たしながら現在の世代のニーズを満足させるという持続可能な開発が、地球環境問題の解決に向けた様々な取り組みの基礎となっている。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、ディスクリート半導体、ロジック半導体、アナログ半導体の三つの分野で、持続可能な社会の実現に不可欠な半導体製品の新たな技術を開発し、製品の性能改善や機能向上を図っている。

Sustainable development activities that satisfy the needs of both current and future generations, while also achieving a balance between environment, economy, and society, are the foundation of various efforts in solving global environmental issues.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has taken the initiative in developing a variety of semiconductor products in the fields of discrete, logic, and analog semiconductors, which are crucial for achieving a sustainable society, and is making efforts to promote performance and functional improvements of individual products.



特集の概要図。持続可能な社会に向けた取り組みに用いられる東芝デバイス&ストレージ(株)の半導体製品

Semiconductor products by Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation essential for achieving sustainable society

## 1. はじめに

「持続可能」とは、1987年、国連の環境と開発に関する世界委員会（WCED）の最終報告書「地球の未来を守るために（Our Common Future）」（いわゆる「ブルントラント報告書」）で提唱された理念、とされている<sup>(1)</sup>。この報告書では、「持続可能な開発」とは「将来の世代のニーズを充たしつつ、現在の世代のニーズをも満足させるような開発」とされていて、これ以降、この「持続可能な開発」という考え方が地球環境問題に関する世界での取り組みの基礎となっている。

持続可能な社会の実現のために、様々な取り組みがなされているが、その中で東芝デバイス&ストレージ（株）の半導体製品が特に貢献する取り組みを**特集の概要図**に示す。

ここでは、これらの取り組みの詳細と半導体製品に求められる技術、更に当社の取り組みについて述べる。

## 2. 持続可能な社会実現に向けた取り組みと求められる半導体製品

持続可能な社会の実現への様々な取り組みの中で、カーボンニュートラルに向けたエネルギー利用の効率化、再生可能エネルギー（以下、再エネと略記）の利用拡大、自動車の電動化、及びデジタル化が、特に半導体製品が貢献する代表的な取り組みとして挙げられる。特集の概要図は、2030年頃までに実現が予想されるこれらの取り組みとその相互関係、及びそこで用いられる当社の半導体製品を示している。

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おり、地球環境の持続可能性にとって大きな障害となっている。対策として2050年カーボンニュートラルの達成への取り組みが進んでいるが、具体的には、(1)エネルギー利用の効率化、(2)一定のエネルギーを生成する際の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）発生量を減少させる再エネの利用拡大、(3)化石燃料から電力へのエネルギー転換（例えば自動車の電動化）、の三つの施策で可能な限りCO<sub>2</sub>発生量を抑制し、これらに(4)削減できなかったCO<sub>2</sub>は大気から吸収する、を加えた四つの施策で実質的なCO<sub>2</sub>排出量をゼロにするものである。半導体製品は、これらのうち(1)から(3)の取り組みに大きく貢献する。

### 2.1 エネルギー利用の効率化

エネルギー利用の効率化では、様々な取り組みがなされているが、ここではモーターを例に挙げて説明する。電力から機械的な力を作るモーターは、電動車やロボットなどの産業用機器、家電などの民生機器に幅広く用いられているが、

モーターによる電力消費量は、世界の消費電力の約40～50%を占めており、モーターでの電力効率を改善することによる損失低減効果が非常に大きいことが知られている<sup>(2)</sup>。このためには、モーター自体の損失を低減するほか、モーター駆動回路の損失を低減することも重要である。したがって、モーターの駆動状況に応じて電流を最適化して損失を低減するようなコントロールICに加え、モーター駆動回路で電流を制御するパワー半導体の低損失化が求められている。

### 2.2 再エネの利用拡大

エネルギーを効率良く利用するだけでなく、エネルギーを生成する際に発生するCO<sub>2</sub>を減少させることも必要である。そのために、太陽光や風力に代表される再エネの利用拡大が進められている。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によれば、世界の発電量に占める再エネ比率は、今後増え続け、2030年には67%、2050年には80%に達するとの予想がされている<sup>(3)</sup>。特集の概要図に示したように太陽光、風力で発電された電力は必要な電力変換を行って電力網に接続され、電力変換器にはスイッチング素子としてパワー半導体がいられる。太陽光発電を例にとると、発電所内部の直流電圧が従来の1,500Vから2,000Vへの高電圧化が進んでいるが、これは、配線抵抗による導通損失を低減するためである。このため、電力変換器にスイッチング素子として用いられるパワー半導体には、高耐圧化、低損失化が求められるほか、パワー半導体にゲート信号を伝達する絶縁デバイスの高耐圧化も求められる。

### 2.3 自動車の電動化

電力は、2.2節で述べた再エネを利用することで、ほかのエネルギー源と比較してCO<sub>2</sub>の削減が容易であるため、自動車の電動化でCO<sub>2</sub>削減に寄与できる。電動車は、電気だけで駆動するバッテリー電気自動車（BEV）、ガソリンと電気の両方を使うハイブリッド自動車（HEV）、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）などに分類され、約1億台の全車両生産台数のうち、2022年の約2,100万台から、2031年には約6,000万台まで伸長していくと予想されている<sup>(4)</sup>。これら電動車の車両システムでは、走行駆動系のインバーターのスイッチング素子としてパワー半導体がいられ、その損失低減が求められている。また、充電時間の短縮も必要であり、バッテリーの高電圧化（400Vから800V）が進んでいるため、走行駆動系のインバーターに用いられるパワー半導体や絶縁デバイスの高耐圧化の要求もある。

走行駆動系に加え、補機類の電動化も進んでいる。これは、機械的な動作に比べ、電氣的結合による動力伝達の方

が、小型軽量化が図れるだけでなく、走行駆動系のシステムと、電動パワーステアリング(EPS)などの車両制御システムとの間での高度な協調制御が可能になり、先進運転支援システム(ADAS)のレベルを高められるというメリットがあるからである。ただし、安全性確保のための冗長化が必要となるため、ECU(電子制御ユニット)の数が増加する。モーターの制御には、出力によりおおむね10 A未満ではIC、10 A以上ではディスクリートMOSFET(金属酸化膜半導体電界効果トランジスター)が用いられることが多いが、いずれも高電力密度、小型化、高信頼性が求められる。また、増加し続けるECUでは、1対1通信から次世代車載ネットワークへの移行が進行しており、各種ICはネットワーク規格に準拠する必要がある。自動車制御の観点では、電動化・ADAS・自動運転の進展に伴い、従来のECU単位の分散制御から、車両全体を統合的に管理するドメインアーキテクチャーへの移行が進み、更に車両を複数ゾーンに分割して制御するゾーンアーキテクチャーへの移行も進んでいる。そのため、大容量データの高速通信やリアルタイム性の確保が重要となる。

一方、補機類の電動化が進展し、電流量が増大すると、これに対応してハーネスの質量も増加する。このため、現在12 Vの電源を48 Vに高電圧化して電流量を減少させる動きがある。このため、現在主に使用されている40 ~ 60 V定格のパワー半導体に加え、80 ~ 150 V定格の製品が求められている。

## 2.4 デジタル化

持続可能な社会実現に向けて、5G(第5世代)移動通信システム網の整備や、AI・データ活用などデジタル技術でのエネルギー管理の効率化、災害対策などへの応用が進んでおり、各地で多くのデータセンターが設置されている。中でもAI処理に特化したAIサーバーの増設が進んでいる。AIサーバーは、AI処理の演算に用いられるGPU(Graphic Processing Unit)が搭載されているので、消費電力が非常に大きいことが特徴である。また、現時点での1ラック当たりの消費電力は100 kW程度であるが、数年のうちに1 MWに達するという予想もある。このため、汎用サーバーのラック内のバス電圧は12 Vが一般的であったのに対し、大電流が必要なAIサーバーでは、特集の概要図に示したように、中間バスとして48 Vの高電圧で負荷の近くまで配電し、配線抵抗による導通損失を抑えている。このため、電圧変換に用いられるパワー半導体も損失が小さい80 ~ 100 V定格のMOSFETが求められている。一方、GPU直近でプロセッサへ供給する電圧に変換するモジュール(VRM: Voltage Regulator Module)は、これまでGPU

の周囲に配置されていたが、大電流化に伴い、VRMとGPU間の配線抵抗による損失が無視できないレベルに増加しており、GPUと基板を介して裏側にVRMを配置する垂直給電と呼ばれる方式の採用が見込まれている。また、VRMの回路方式や入力電圧についても様々な提案がされており、今後検討が進むと考えられる。

サーバーの冷却方式について、特に従来用いられている空冷方式では、サーバー消費電力の約半分が冷却に費やされており、冷却技術の革新が求められている。このため、冷却方式は、水冷が普及してきており、液浸冷却は将来の選択肢として検討が進められている。液浸冷却は、サーバーを絶縁性冷却液に直接浸すことで均一かつ高効率な冷却を実現し、サーバーの高密度化及び省電力化に大きく寄与する技術であり、サーバーで用いられる電源制御デバイス及びドライバー製品も、液浸冷却方式への対応が求められている。

## 3. 当社の取り組み

当社は、持続可能な社会の実現に求められる様々な半導体製品として、ディスクリート半導体、ロジック半導体、アナログ半導体の三つの分野で技術開発、製品開発を行っている。

### 3.1 ディスクリート半導体

各種ディスクリート半導体の中で、パワー半導体は電力変換やモーター制御などに用いられているが、その電圧は広範囲にわたり、電圧に合わせて最適なデバイス構造が採用されている。Si(シリコン)を例にとれば、おおむね600 V以下はMOSFET、600 V以上はIGBT(絶縁ゲート型バイポーラートランジスター)が用いられている。MOSFETを含むユニポーラードバイスの面積当たりのオン抵抗( $R_{on}A$ )は耐圧の2.5乗に比例する関係があり、600 V以上の耐圧のSi MOSFETではスイッチングデバイスとして適した $R_{on}A$ を実現できないため、バイポーラードバイスであるIGBTを用いることにより低い $R_{on}A$ を実現している。

Si MOSFETは、250 Vを境に低い耐圧ではトレンチゲート構造、高い耐圧ではスーパージャンクション構造が用いられ、それぞれ特性の改善が続いている<sup>(5)</sup>。トレンチゲート構造の低耐圧MOSFETは、2章で述べたモーター制御、サーバー、通信機器などの電源回路や自動車の補機類などに幅広く用いられており、その特性改善が持続可能な社会実現に及ぼす効果は大きい(この特集のp.23-27参照)。また、デバイスの設計段階で、システムに応用した場合の効果の予測に回路シミュレーションが用いられているが、正確なシミュレーションを行うには、精度の高いシミュレーションモデ



ルが必要であり、その技術開発を進めている(同p.51-55 参照)。

耐圧600 V以上の電圧では、従来はシリコンIGBTが主に用いられてきた。IGBTは、電荷担体として少数キャリアも用いることで、導通時の $R_{on}A$ を大幅に低減できるデバイスであるが、少数キャリアの蓄積及び排出に時間が掛かるため、スイッチング損失が大きい。そこで、この課題の解決のため、蓄積キャリアを減少させてからターンオフするなど、マルチゲート制御によりスイッチング損失の低減を図っている<sup>(6)</sup>。一方、同じく耐圧600 V以上の電圧で、Siに比べてバンドギャップが大きく、臨界電界が大きいSiC(炭化ケイ素)を材料としたMOSFETの開発も進めている。SiCを導入することで、ユニポーラーデバイスであるMOSFETで、バイポーラーデバイスであるSi IGBTと同等以下の $R_{on}A$ を実現し、スイッチング損失を大幅に低減できるようになった。現状、SiC MOSFETは相対的にチャネル抵抗が大きいという課題があり、トレンチゲート構造を採用することで改善を図っている(同p.28-32 参照)。

また、2章で述べたように、太陽光発電所内部の直流電圧で1,500 Vから2,000 Vへの高電圧化が進んでおり、高電圧で用いられるパワー半導体にゲート信号を伝達する絶縁デバイスの開発も進めている(同p.33-36 参照)。

### 3.2 ロジック半導体

ロジック半導体は、エネルギーの効率的な利用を制御・管理するための中核技術に関わるデバイスであり、カーボンニュートラル社会の実現に向けた取り組みを支える役割を担っている。当社はこれまで、高効率なモーター制御技術、低消費電力でのAI処理、セキュリティ、リアルタイムネットワークといった要素技術を発展させ、幅広い分野での応用を推進している。

2章で述べたとおり、産業機器、自動車、家電分野で広く利用されるモーターは、電力消費全体に占める割合が大きく、効率化が強く求められている。従来のブラシ付きDC(直流)モーターや誘導モーターに比べ、BLDC(ブラシレス直流)モーターは高効率・長寿命・低騒音といった特長を持ち、電動化・デジタル化の進展とともに急速に普及している。しかし、BLDCモーターの高効率な駆動には、ベクトル制御などの高度な方式が必要であり、ソフトウェア開発や精緻なパラメーター設定に専門知識を要するため、開発負荷の増大や人材不足が課題となっている。また、長寿命化・高信頼性の観点からは、センサーや抵抗などの制御部品を削減するセンサーレス制御技術が重要となる。

当社は、東芝 総合研究所での長年の研究成果を基盤として、ベクトル制御、位置推定、センサーレス制御、1シャ

ント電流検出方式に対応した技術を開発してきた。その成果として、モーター定数や制御ゲインを自動算出するMTS、動的パラメーター設定やリアルタイム波形表示・データロギングを可能とする“Motor Studio”を提供し、開発期間の短縮と効率的な設計を支援している(同p.37-40 参照)。

更に、AIとML(機械学習)の活用により、従来制御では困難であった非線形性や外乱に対する適応を可能にする技術も注目されている。従来はデータセンターのサーバーでの集中処理が主流であったが、高性能なMCU(マイクロコントローラーユニット)の登場により、低消費電力のエッジデバイス上でリアルタイムAI推論やオンデマンドAI学習が可能になると期待されている。エッジデバイスでのAI処理は、リアルタイム性の確保、ユーザー情報の保護、ネットワーク遅延や過負荷への強さといった利点が得られる。

当社は、MCU向けに、AIモデルのメモリー及び計算量を削減・圧縮可能な組み込みAI開発環境、最適化されたAIモデル、そして継続的なAI運用を支えるMLOps(ML開発・運用・保守)基盤の開発を推進している。特に、厳しいメモリー制約下でも推論精度を維持しながら、AIモデルを10～90%の範囲で圧縮してMCU上で実行可能とする技術を開発している(同p.41-45 参照)。

また、長年培ったモーター制御技術と最新のAIを融合する研究開発にも取り組んでいる。具体的には、PI(比例、積分)制御パラメーターの最適解探索技術、従来のPI制御を補完するAI補正モデル、及びモーター異常を検出するAIモデルなどである。これらのAIモデルをエッジデバイス上で高速に実行可能とするアーキテクチャー検討も進めており、AI時代に最適化されたロジック半導体の開発を目指している。

2章で、電動化・ADAS・自動運転の進展に伴う、ECU制御アーキテクチャーの進化と、大容量データの高速通信やリアルタイム性の確保の重要性について述べた。当社は、従来のCAN(Controller Area Network)やLIN(Local Interconnect Network)などの車載インターフェースに加え、車両内の大容量化・低遅延化を実現する技術として、イーサネットAVB(Audio Video Bridging)やイーサネットTSN(Time-Sensitive Networking)に準拠した1 Gビット/s対応の車載情報通信システム向け半導体製品を開発している。また、車載センサーやスイッチなど低速デバイス向けの通信技術として、低消費電力かつ高信頼性を維持しながら配線量削減や制御効率向上に寄与するCXPI(Clock Extension Peripheral Interface)の開発も進めている。これらの技術は、ゾーンアーキテクチャーへの移行を支える基盤として、安全性・信頼性の向上に貢献するものである<sup>(4)</sup>。

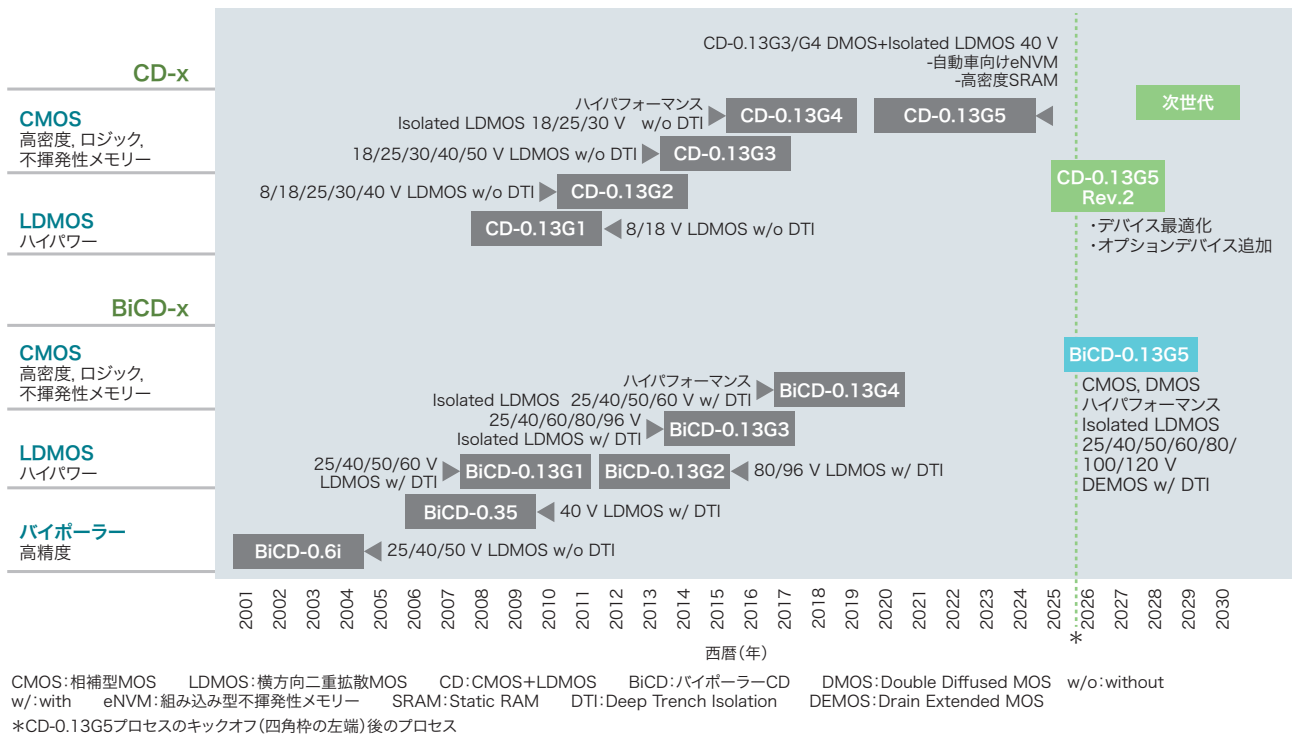


図1. 東芝デバイス&ストレージ(株)のアナログ半導体のプロセスロードマップ

高耐圧・高効率な電源制御デバイス及びドライバー製品を、従来の12 V系から48 V系へと対応させるとともに、G3 プロセスから更なる低 $R_{onA}$ を実現するG5 プロセスへの移行を加速する。

Roadmap for analog semiconductor processes developed by Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

### 3.3 アナログ半導体

民生・産業機器の効率改善及び自動車の電動化の進展に伴い、デバイスに求められる機能要件は年々高度化している。今後、アナログ半導体の応用として更なる市場拡大が見込まれる分野として、データセンター（特にAIサーバー）、産業用ロボット、自動車の電動化が挙げられる。

まず、AIサーバーを中心とするデータセンター分野では、2章で述べたとおり、演算処理の高速化に伴い、消費電力の低減が喫緊の課題となっている。このため、サーバーの電源の48 V化が急速に進展しており、従来の12 V系統と比較して電力効率が向上する一方で、対応デバイスの高性能化が急務となっている。当社は、これに対応する次世代プロセス(BiCD-G5<sup>(注1)</sup>)の開発を推進している。また、サーバーの冷却は液浸冷却方式の検討が進められている。当社は、これらの冷却技術に対応した高耐圧・高効率な電源制御デバイス及びドライバー製品を、従来の12 V系から48 V系へと対応させるとともに、G3(第3世代)プロセスよりも更なる低 $R_{onA}$ を実現するG5プロセスへの移行を加速し、次世代AIサーバーに適合した製品群の拡充を進めて

いる(図1)。

また、48 V化により配線抵抗による損失を低減できるが、プロセッサやメモリーなどのLSIへ供給する電圧は1 V前後である。このため、12 Vバスと比較して降圧比が大きくなり、従来のVRMで用いられていた非絶縁バックコンバーターでは、スイッチング素子のオン時間が極端に短くなり、変換効率の低下を招いてしまう。この対策として、一旦12 Vに降圧し、2ステップで1 V前後に降圧する方法もあるが、コンバーターが増加し、12 V配線区間での導通損失が大きくなるという問題も生じる。そこで、1ステップで48 Vから1 Vに降圧する高効率と小型化を両立した新方式のDC-DCコンバーター(直流直流変換器)を開発している(同p.46-50参照)。

次に、産業用ロボット分野では、精密な動作制御及び高い信頼性が要求される。特に多軸制御を行うロボットでは、モーター駆動用ドライバー ICやベクトル制御対応MCUが不可欠であり、制御精度及び応答性の向上が生産性に直結する。当社は、FOC(フィールド指向制御)に対応した製品や80 Vのブリッドドライバー製品を提供しているが、市場ニーズに合わせ、100 V系に適合した製品に向けたG5プロセスの開発も進めている。これらの技術は、従来の産業

(注1) バイポーラー+CMOS(相補型MOS)+LDMOS(横方向二重拡散MOS)のG5プロセス。

用ロボットに加え、近年注目されているヒューマノイドロボットへの応用も視野に入れており、より複雑な動作や人との協調動作を可能にする制御技術として期待されている。

更に、長年にわたり産業機器向けにフォトカプラー製品群を提供してきた経験を生かし、現在は磁気絶縁方式のデジタルアイソレーターの開発にも注力している。これらは、高温動作・高速伝送・低消費電力を実現する新技術として、SPI (Serial Peripheral Interface) やUART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) などのシリアル通信や、GPIO (General Purpose Input/Output) 制御、PWM (Pulse Width Modulation) 伝送など、信号線ごとの絶縁が求められる場面に有効である。当社は、従来の高絶縁・高耐ノイズ性製品に加え、小型化と低消費電力化を実現するため、1重絶縁構造のデジタルアイソレーター製品も新たに追加した。これにより、25 Mビット/s以下の通信環境でも低消費電流で安定動作を実現し、分散型制御システムや高密度実装機器の省エネルギー化に貢献するとともに、絶縁寿命の信頼性確保にも配慮した設計となっている<sup>(7)</sup>。

自動車の電動化分野では、HEVやBEVの普及に伴い、車載半導体製品の高性能化及び信頼性向上が求められている。当社は、車載向けモーター制御製品として量産中のSmartMCDシリーズで、安定した電源供給、通信、ベクトル制御、ゲート制御の1チップ化を実現し、小型・軽量化とともに、モーター駆動の高効率化及び低ノイズ化に寄与している。また、SmartMCDシリーズは、アクチュエーターを制御するECU末端部のデジタル化を支えるMCU内蔵ゲートドライバとして、CASE (Connected, Autonomous, Shared & Service, Electric)の進展にも貢献している。現在は12 V電源系向け製品を展開しているが、今後は電費改善を目的とした48 V電源系に対応する96 V耐圧ゲートドライバ搭載モデルをG5プロセスの採用で開発していく。

#### 4. 今後の展望

環境・経済・社会のバランスを保ちながら、将来の世代のニーズを満たしつつ、現在の世代のニーズをも満足させる持続可能な社会の実現に向けて、様々な取り組みがなされている。これらの取り組みのうち、エネルギー利用の効率化、再エネの利用拡大、自動車の電動化、デジタル化は、特に半導体製品がキーデバイスとなっている。当社は今後も、性能及び機能向上のための技術開発、製品開発を通して、持続可能な社会の実現に貢献していく。

#### 文 献

- (1) 環境省編. “第3章 地球温暖化対策を進める技術”. 平成19年環境白書・循環型社会白書. <<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h19/html/hj07010301.html>>, (参照 2025-09-18).
- (2) 日本電機工業会. トップランナーモータ. 2021, 5p. <[https://www.jema-net.or.jp/randb-archives/DS5238\\_2021111.pdf](https://www.jema-net.or.jp/randb-archives/DS5238_2021111.pdf)>, (参照 2025-09-18).
- (3) International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. 2024, 396p. <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>>, (accessed 2025-09-18).
- (4) 川口雄介, ほか. モビリティ社会の変革を支える半導体技術. 東芝レビュー. 2024, **79**, 5, p.2-7. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2024/05/a02.pdf>>, (参照 2025-09-18).
- (5) 川口雄介, ほか. 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. 東芝レビュー. 2023, **78**, 1, p.2-5. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2023/01/a02.pdf>>, (参照 2025-09-18).
- (6) 岩鍛治陽子, ほか. マルチゲート制御技術によるIGBTのスイッチング損失の低減. 東芝レビュー. 2023, **78**, 1, p.10-13. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2023/01/a04.pdf>>, (参照 2025-09-18).
- (7) 小林和也, ほか. 低消費電力システム設計に貢献するデジタルアイソレーター技術. 東芝レビュー. 2025, **80**, 5, p.37-41. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2025/05/f02.pdf>>, (参照 2025-09-19).



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.



江野 聡史 ENO Satoshi  
東芝デバイス&ストレージ(株)  
半導体事業部 IC開発センター  
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.