

トレンド

CPSを支えるストレージ・半導体技術における 東芝グループの最新動向

Toshiba Group's Approach to Storage and Semiconductor Technologies for Cyber-Physical Systems

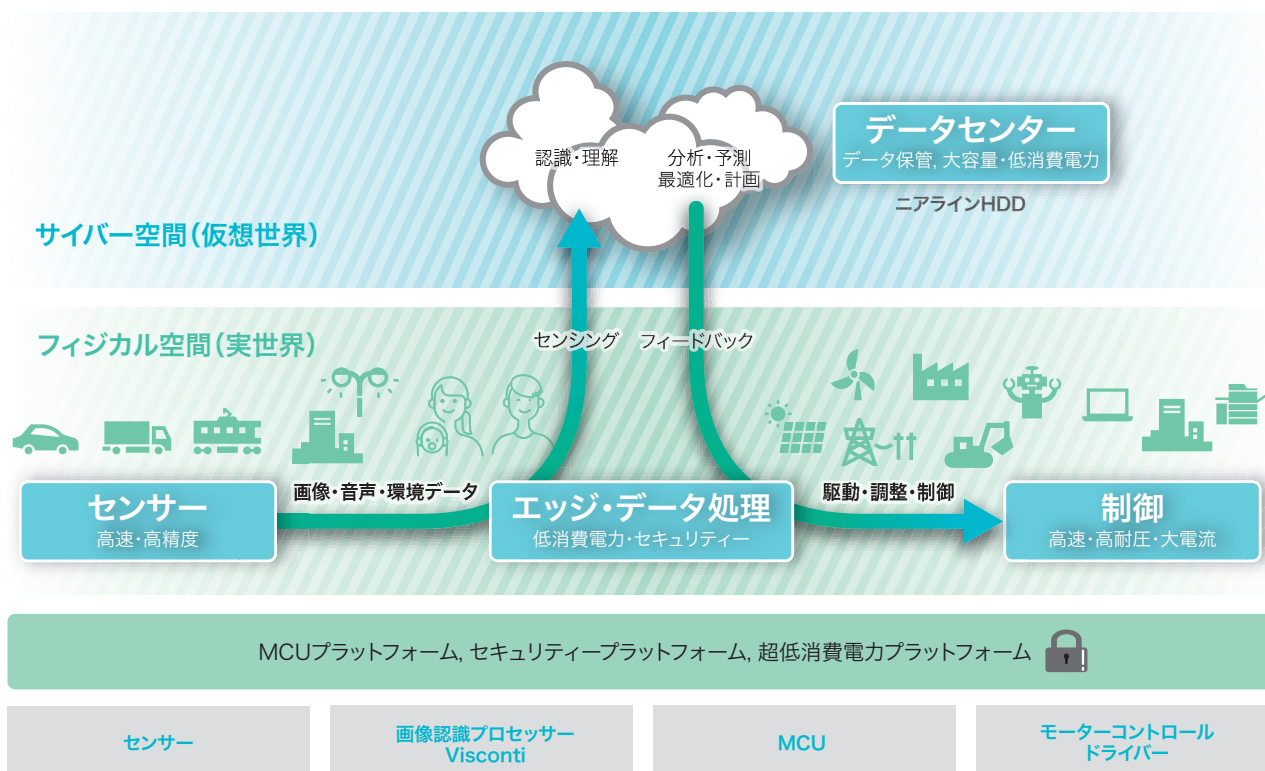
山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro 吉森 崇 YOSHIMORI Takashi

IoT (Internet of Things) やAIの普及に伴い、世界中で生成されるデータ量は加速度的に増え続けており、これらをいかに経済的・効率的に収集・保管して活用していくかが重要になっている。また、今後の成長が期待されるCPS (サイバーフィジカルシステム) に必要な技術や機能を実現するため、大容量のデータ記憶装置や半導体製品が果たす役割は大きい。

東芝グループは、膨大で貴重なデータを保持するHDD (ハードディスクドライブ) や、それらのデータを処理したり、処理結果を基に機器を制御したりする半導体製品などの開発を通じて、サイバー空間からフィジカル空間に至るCPSビジネスの発展に貢献する様々なソリューションを提供している。

The increasing volume of data being generated accompanying the worldwide expansion of the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) has given rise to the need for the development of systems and services to economically and efficiently collect and store these data in order to make effective use of them. Electronic components including storage devices and semiconductor products related to data are also expected to play a critical role in the evolution of technologies and functions essential in the expanding field of cyber-physical systems (CPS) in the future.

The Toshiba Group is offering various solutions in both the cyber and physical spaces aimed at expanding the CPS businesses through the development of hard disk drives (HDDs) that can hold large volumes of valuable data, as well as semiconductor products that can not only process these data but also control edge devices based on the processing results.



MCU: Micro Control Unit

特集の概要図. CPSの機能を具現化するHDD・半導体製品

HDD and semiconductor products to attain functions required for CPS

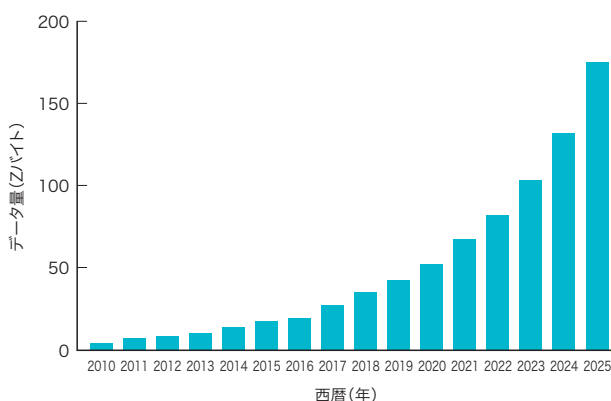
1. まえがき

ICT（情報通信技術）分野において、2000年代後半におけるディープラーニングの発明（ニューラルネットワークの深層化手法の確立）や、膨大なデータ解析を行うCPU・GPU（Graphics Processing Unit）の高性能化、更にはディープラーニング用のデータ収集を行うデータセンターの発展などにより、ビッグデータ解析を基にした新たな技術やビジネスが続々と生まれてきており、昨今は、AIという言葉が万人にも身近になりつつある。

更に、無線通信網の発展もあり、IoTと言われるように、世界中のあらゆるものがインターネットとつながり、データの送受信や遠隔地からの機器操作など、いろいろなサービスが受けられるようになってきた。

このような、IoTあるいはAIの普及に伴い、世界中で生成されるデータ量は加速度的に増え続け、図1に示すように、2025年には175 Z（ゼタ： 10^{21} ）バイトになると言われている⁽¹⁾。今後は、世の中で生成されるデータを経済的・効率的に収集・保管するとともに、これらの中から有用なデータをどう抽出し、いかに迅速に活用していくかがますます重要になっている。

一方、ビッグデータ解析に利用される解析データ量も年々増加し、現在のインターネットの通信トラフィックが、データ収集あるいはエッジへのサービスに対し、ボトルネックとなりつつある。このため、近年、エッジ、エンドポイント機器側でデータを高速処理してサービスを提供するエッジコ



Source: IDC White Paper, sponsored by Seagate, Data Age 2025:
The Digitization of the World from Edge to Core, November 2018

*Reinsel, D. et al. The Digitization of the World - From Edge to Core⁽¹⁾を基に作成

図1. 世界で生成されるデータ量の推移

ビッグデータ、及びIoTやAIの普及に伴い、世界で生成されるデータ量は加速度的に増加し、2025年には175 Zバイトに達する。

Trends in total volume of data generated worldwide

ンピューティングの必要性がこれまで以上に高くなってきた。更に、エッジとデータセンター間において、データの蓄積・解析・制御を最適分担するフォグコンピューティングも注目されつつある。

CPSで基本となる大量のデータセンシングや、演算、通信、制御といった機能は、ほとんど半導体製品とそこに内蔵されるソフトウェア(SW)によって具現化される。更に、CPS全体の信頼性を担保するために不可欠なセキュリティ技術についても、それを支える仕組みは半導体製品として具備されることが予想される。このような観点から、CPSの求める機能は、大容量のデータ記憶装置と半導体部品群によって実現されと考えられる。東芝デバイス&ストレージ(株)は、ビッグデータやAIが主導する、新しいICT社会の発展に向け、サイバー空間であるクラウドコンピューティング及びフィジカル空間であるエンドポイント機器やエッジ領域の様々なソリューション、すなわちCPSによって、ICT社会の発展に貢献している(特集の概要図)。

ここでは、この中で、データセンターにおいてデータの主たる保管デバイスになるニアラインHDDと、CPS関連の半導体製品の技術トレンドについて述べる。

2. ニアラインHDDの技術動向

2.1 ニアラインHDDの市場動向

ニアラインとは“near-online”を短縮した言葉であり、高速データ処理のために非常に高い性能が求められるオンラインと、データの長期保存を目的としたオフラインとの中間に位置する新たなカテゴリーである。

従来、オンライン向けのストレージには、高性能を達成するため、10,000 rpmあるいは15,000 rpmの2.5型HDDが、更に2000年代に入ってからSSD（ソリッドステートドライブ）も用いられ、一方、オフライン向けのストレージには、磁気テープが用いられてきた。

オンライン向けのストレージでは、より高速なデータ処理を実現するために、近年は、高性能なSSDが広く用いられるようになってきているが、SSDはHDDに比べ、単位容量当たりのコストが非常に高価である。

特に、クラウドサービスを行っているデータセンターでは、前述のように加速度的に増大するデータを活用するため、データをオフラインではない形態で保管し続けなければならない。このデータ保管には膨大な投資コストや運用コストが必要となっている。このようなデータ保管向けに、TCO (Total Cost of Ownership)^(注1)の最適ソリューションとして

(注1) コンピューターシステムの導入費用（初期投資コスト）から、保守・運用・維持費用（ランニングコスト）までを含む総コスト。

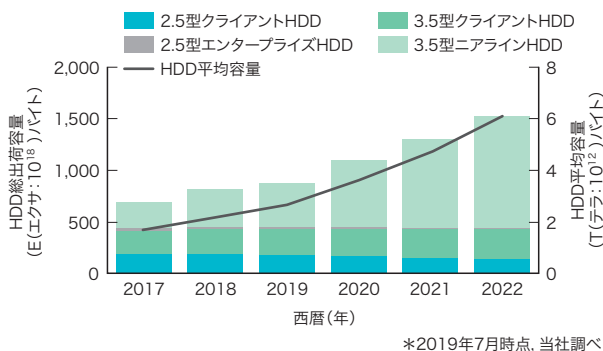


図2. HDD出荷容量の推移

ニアラインHDDは、データ保管需要の増加によって、出荷容量ベースが年率約35%で増加する。

Trends in total capacity of HDDs shipped

データセンターを中心に市場の需要が拡大しているのが、7,200 rpmの3.5型ニアラインHDDである。

SSDの低価格化は進んでいるが、ニアラインHDDとSSDでは、継続して大きな価格差が存在すると予測されており、特にデータセンター内においては、高速データ処理をするためのオンラインストレージとしてはSSD、増大するデータに対する主たる保管先としてはニアラインHDDのように、すみ分けが進んでいる。

ニアラインHDDの市場は、データ保管需要の爆発的な増加により今後も拡大を続け、TCOの優位性により、図2に示すように、出荷容量ベースでは年率約35%で増加すると予測している。

2.2 ニアラインHDDに求められる仕様

データセンターにおけるストレージへの投資は膨大であり、今後も増大傾向にある。ニアラインHDDは、ストレージシステムのTCOに対し、①単位容量当たりのコスト、②記憶容量、③消費電力、の改善に貢献することが重要である。

ニアラインHDDでは、世代ごとに、記録密度向上によるディスク1枚当たりの大容量化と、ディスク搭載枚数の増加によるHDD 1台当たりの大容量化を推進している。ただし、後者は、消費電力とのトレードオフとなり、それを解決する技術として、ヘリウム充填HDDが登場した。

2.3 ヘリウム充填HDD

ヘリウムは、空気より分子の質量が小さいため、ディスクを高速で回転させても風の乱れが少なく、ヘッドを支えるサスペンションやディスク自体の揺れが低減する。これにより、アクチュエーターの位置決め性能が向上し、高記録密度化が可能となる。

HDD製造プロセスの中で、サーボ情報の書き込み(ヘッドを位置決めするためのサーボ情報を書き込む)工程では、

より高精度の位置決めが必要とされているため、古くからヘリウムを用いてサーボ情報の書き込みを行う技術が確立されていた。一方で、従来のHDD構造ではヘリウムの長期密閉が難しく、新たな密閉技術が必要であった。

ヘリウム充填HDDは、レーザー溶接により、トップカバーを基台と高品質に溶接することで、ヘリウムを長期密閉することを可能にした。

更に、ヘリウムは、ディスクが回転するときの抵抗が空気よりはるかに小さいため、モーターの低消費電力化に寄与する。また、より多くのディスク枚数を搭載しても、消費電力の増加が空気に比べて著しく小さいので、消費電力仕様が維持したまま、より多くの枚数のディスクを搭載できる。

当社は、このヘリウム充填HDDの特長を生かすことで、3.5型で高さ26.1 mmの筐体(きょうたい)に9枚のディスク搭載を可能にし、2017年にMG07シリーズとして、14 T(テラ: 10^{12})バイトの記憶容量を実現したHDDを発表した^[2]。

MG07シリーズは、従来機種種のMG06シリーズに比べ、10 Tバイトから14 Tバイトへと最大記憶容量を40%増加させたほか、消費電力を約42%低減でき、顧客のTCO改善に大きく貢献している。

このヘリウム充填HDDの登場により、ニアラインHDDの市場は、オンプレミスを中心に使われる容量8 Tバイト以下の従来型ニアラインHDDと、主にデータセンターで使われる容量10 Tバイト以上のヘリウム充填HDDに二分化されてきた。8 Tバイト以下の従来型ニアラインHDDの需要も引き続き同じ規模で推移すると予測しているが、ヘリウム充填HDDの市場は、データセンター需要を中心に、今後も継続して拡大すると予測している。

当社は、ヘリウム充填HDDに新たな磁気記録技術やデータ処理技術などを取り込み、継続してより大容量のニアラインHDDを提供していく(この特集のp.8-11参照)。

2.4 記録密度向上を支える技術

HDDは、磁気記録技術や、信号処理技術、サーボ制御技術、メカ構造解析技術、流体工学技術、トライボロジー技術など、様々な分野の最先端技術が詰め込まれ、進化を続けている。

2005年には、記録データに対応する磁気ディスクの磁性層の磁化を、これまでの面内方向から垂直方向に配置した垂直磁気記録が実用化され、従来の面内記録方式での高い記録密度によって発生する磁性粒子間の減磁界と熱安定性の問題を克服し、近年の記録密度の向上に貢献してきた。

ただし、現行の垂直磁気記録には、データの①書き込みやすさ(Writability)、②信号対雑音比(SNR: Signal to Noise Ratio)、③熱的安定性(Thermal Stability)の三

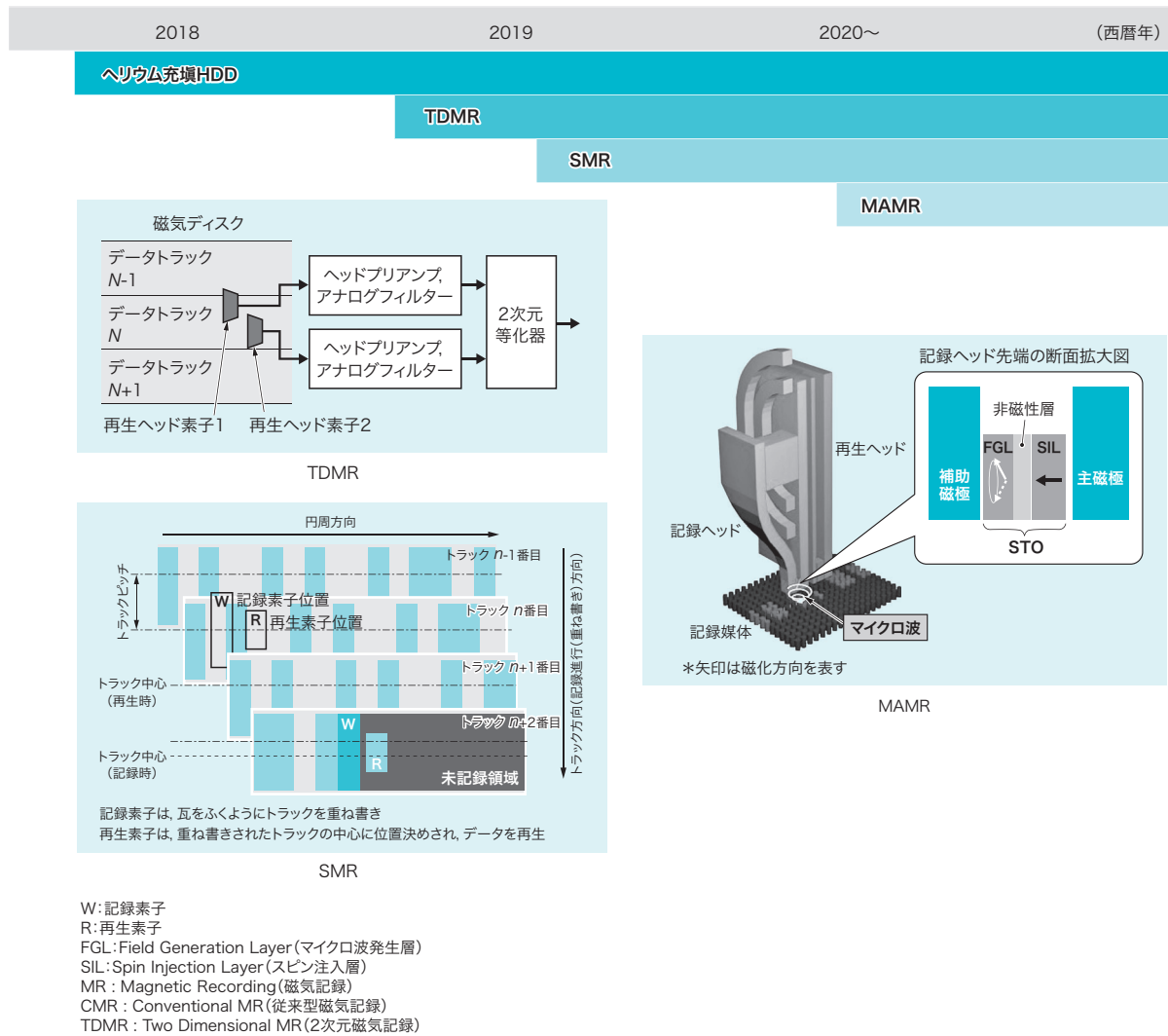


図3. HDDの技術ロードマップ

書き込みやすさ、信号対雑音比、熱的安定性の三つを同時に成立させるため、様々な革新的技術の開発を推進し、魅力あるニアラインHDDを市場に提供する。

Roadmap for large-capacity HDD technologies

つを同時に成立させることが難しくなるトリレンマの壁があり、約1 Tビット/in² (1平方インチ当たり1テラビット) が記録密度の限界と考えられている⁽³⁾。

当社は、図3に示すように、トリレンマの壁を越える様々な新技術を開発してニアラインHDDを商品化する計画にしている。

新技術の一つが、瓦記録 (SMR: Shingled Magnetic Recording) である。SMRは、幅広く書き込みやすいヘッドを用い、屋根瓦をふくようにデータを重ね書きして高記録密度を達成する技術である。

SMRは、クライアントHDDにおいて、幅広い市場で既に採用されているが、SMRを考慮したデータ書き込みをホストシステム側が行わないと、書き込みの遅延時間 (レイテン

シー) が従来型HDDより長くなる。レイテンシーを重要視する、データセンターを含めたサーバー・ストレージ向けには、情報技術規格国際委員会 (INCITS: International Committee for Information Technology Standards) で、SMR用の新コマンド仕様の標準化が行われ、ホストシステムを含めてSMRを使いこなす技術開発が進んでいる。当社もSMR技術を採用した、大容量ニアラインHDDを開発している (同p.12-16参照)。

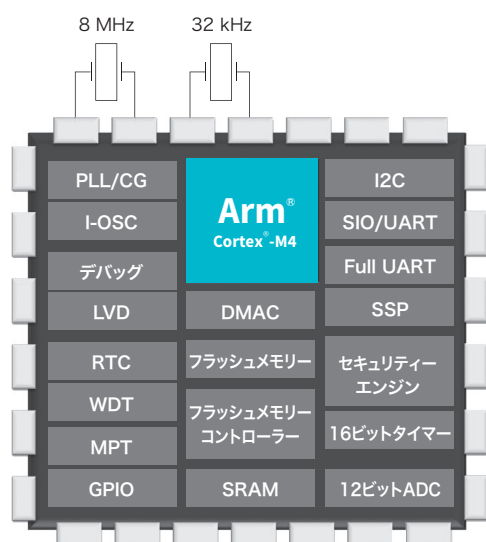
更に、当社は、2020年以降に向けた次世代高記録密度化新技術として、スピントルク発振素子 (STO: Spin Torque Oscillator) からのマイクロ波を記録磁界に重畳することで記録容易性を高める、マイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR: Microwave Assisted Magnetic Recording)

の開発を推進している（同p.17-20 参照）。

このように、当社は、革新的新技術とともに、継続して魅力的なニアラインHDDを商品化していく。

3. CPSを支える半導体製品

1章で述べたように、CPSの単体センサーからクラウドコンピューティングまでの大規模な技術のレイヤー構造では、必要になる半導体製品は多種に及ぶ。各レイヤーで求められる性能や仕様は異なるが、部品の機能という意味では、演算や、通信、データ蓄積、制御、セキュリティなどのカテゴリーに分けられる。これらの中で、センサーの信号を末端で処理するエンドポイント機器に搭載されるMCU (Micro Control Unit) については、先駆的な要求が多い。これらの市場要求に応えるため、当社は、セキュア機能内蔵MCU TMPM46BF10FGを提供しており、図4に、この用



特徴的な要求技術仕様

- ・低消費電力と高性能を重視
- ・セキュリティエンジンを搭載
- ・最適化された演算性能と内蔵メモリ容量
- ・IoTエンドポイントに必要な外部インターフェースを搭載

PLL/CG: 位相同期ループ/クロックジェネレーター
I-OSC: 内蔵発振回路
LVD: 電圧検出回路
RTC: リアルタイムクロック
WDT: ウォッチドッグタイマー
MPT: 多目的タイマー
GPIO: General Purpose Input/Output
DMAC: ダイレクトメモリアクセスコントローラー
SRAM: Static RAM
I2C: Inter-Integrated Circuit
SIO/UART: Serial Input Output/Universal Asynchronous Receiver Transmitter
SSP: Synchronous Serial Port
ADC: アナログデジタル変換器

図4. エンドポイント機器向けMCUの典型的なブロックダイアグラム

演算や、各種入出力、内蔵メモリ、セキュリティエンジンなど、多彩な機能が過不足なく実装されていることが求められる。

Typical block diagram of microprocessor unit for CPS endpoint devices

途の典型的なブロックダイアグラムと、要求される特徴的な技術仕様を示す。また、MCU ハードウェア差異化技術として、機器SWの脆弱性に対して攻撃を受けた後でも、安全にファームウェア(FW)更新が可能なセキュアFWローテーション技術を開発した（この特集のp.25-29 参照）。

CPSのエンドポイントについては、トリリオンセンサーという用語が示すように、いずれは1兆個のセンサー群が実装されることを見通した半導体ソリューションが必要である。膨大なエンドポイントのセキュリティを担保するには、個々の機器管理をどのように効率的かつ堅牢（けんろう）に行うかという命題に、現実解を提供しなければならないと考えている。そのような考え方から、当社は、IoT機器向けトラストサービスに関し、デジタル認証局で実績のあるサイバートラスト(株)（以下、サイバートラストと略記）と業務提携している。この提携では、当社のデバイス設計や実装に関する知見と、サイバートラストの組み込みLinux技術や認証・セキュリティ技術を活用し、IoT機器の設計から廃棄に至る全過程において、機密性、完全性、可用性を確保したシステムの構築を目指している。

具体的には、当社製MCUとサイバートラストが提供する“セキュアIoTプラットフォーム”を組み合わせたソリューションに関して、市場調査や、共同拡販、構成技術の要件検討などを進める。サイバートラストは、認証・セキュリティサービスと組み込み機器向けのLinuxサービスの技術と実績を基に、デバイス証明書を活用した機器のプロビジョニングや、機器認証サービス、FW更新の仕組みなど、IoT機器向けのトラストサービスの開発・提供を推進する⁽⁴⁾。この

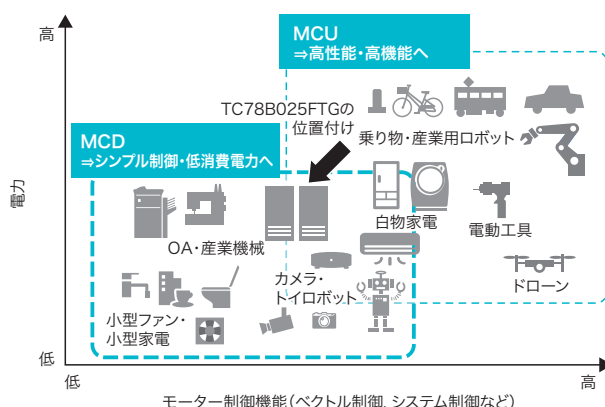


図5. CPS市場向けモーター制御用半導体

搭載する製品に応じ、機能面ではシンプルな回転制御からベクトル制御など高機能なものが必要とされる。出力面では必要とされる電流が異なり、MCD（モーターコントローラードライバー）は比較的シンプルな制御で低出力電流なのに、MCUを用いたモーター制御用ソリューションは高性能・高機能なものに対応している。

Application of motor control semiconductors to CPS

サービスに対応した当社製MCUは、2020年度に製品化を目指している。

CPSにおけるもう一つの特徴的な基本機能として、アクチュエーターを介したものの制御がある。当社は、古くからモーター制御用の半導体製品開発の歴史があるが、CPSソリューションにおいても、モーター制御の最適化を図るため、高度なアルゴリズムと、MCU技術、電力制御を一体化して提供する必要がある。当社は、サーバー用冷却ファンという応用分野においても、モーターの駆動電圧の位相を細かく調整することで消費電力を削減するとともに、正弦波駆動で低振動化し、更に、負荷条件にかかわらず安定した回転速度を実現したモータードライバー IC TC78B025FTGを開発・量産している。

図5に、CPSの浸透とともに重要性を増すモーター制御分野における、製品対応の考え方を示す(同p.21-24参照)。

4. 今後の展望

CPSに必要な、大量のデータセンシングや、演算、通信、制御といった技術機能を実現するためには、大容量のデータ記憶装置と半導体製品が果たす役割は大きい。

CPSの普及と応用は、今後も急速に進むと考えている。当社は、新しい技術を基に、様々なソリューションを提供することで、CPSの発展に貢献していく。

文 献

- (1) Reinsel, D. et al. Data Age 2025 The Digitization of the World - From Edge to Core. Seagate Technology, 2018, IDC White Paper Doc# US44413318, 27p.
- (2) 東芝デバイス&ストレージ, “世界初, CMR方式で記憶容量14TBを達成したニアラインHDDのサンプル出荷開始について”, ニュースリリース/製品情報/公開情報, <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/company/news/news-topics/2017/12/storage-20171208-1.html>>, (参照 2019-07-12)。

- (3) 山本耕太郎, ハードディスク装置の変遷と応用, 電気学会誌, 2012, 132, 2, p.97-100.
- (4) 東芝デバイス&ストレージ, サイバートラスト, “東芝デバイス&ストレージとサイバートラストがIoT機器向けトラストサービスで提携”, ニュースリリース/製品情報/公開情報, <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/company/news/news-topics/2019/07/micro-20190709-1.html>>, (参照 2019-07-12)。

・ Arm, Cortexは、米国及びその他の国におけるArm Limited (又はその子会社)の登録商標。



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.



吉森 崇 YOSHIMORI Takashi
東芝デバイス&ストレージ (株)
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.