



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

Vol. **9**

## コンピューティング/物性・電子デバイス分野の 技術戦略策定に向けて

2015年11月

<b>1</b> 章	コンピューティング/物性・電子デバイス技術の概要	2
<b>2</b> 章	コンピューティング/物性・電子デバイス技術の置かれた状況	3
2-1	市場動向	3
2-2	技術開発動向	4
<b>3</b> 章	コンピューティング/物性・電子デバイス分野の技術課題	7
<b>4</b> 章	おわりに	7

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

## 1章 コンピューティング／ 物性・電子デバイス技術の概要

あらゆる物と事がインターネットに接続され、情報を交換し、相互に活用しあう仕組みである「IoT (Internet of Things)」が実現した社会（以下「IoT社会」という。）への取組は今後も一層進むことが予測される。

IoT社会における情報処理は、これをデータセンタなどで行う集中処理（クラウドコンピューティング）と、センサやスマートフォン又はエンドユーザに近いサーバなどの端末側で行う分散処理（エッジコンピューティング）に区分することができる。前者では、ビッグデータとも呼ばれる膨大な量のデータが一ヶ所で蓄積、解析・操作される。一方、後者では、トリリオンセンサともいわれる多数のセンサをはじめ、スマートフォン、ウェアラブルデバイス、家電、更には自動車やロボットなどの無数のエッジデバイスがサイバー空間と実世界との界面となってデータを取得するとともに、ときにサイバー空間から得られた情報に応じて物理的、又は非物理的な出力も行う。この両者に加えて、データセンタなどの集中機構が情報処理を担わず、データセンタと端末との中間に位置するサーバやエッジデバイス自体が用途に応じて情報を処理する場合も想定される。

換言すれば、IoT社会はクラウドコンピューティングやエッジコンピューティングの機器（電子デバイス）間で情報を収集、流通、分析・加工して出力するとともに、更にその結果を受けて新たな情報として

フィードバックが行われるシステムとして捉えることができる。

このようなコンピューティングの機能の多くは、半導体を用いた電子デバイスのはたらきによって実現されている。1965年に、「半導体の微細加工及びチップ面積増大により、チップに搭載される素子の数は18～24ヶ月で倍増する」とIntel（米国）の創設者の一人であるGordon E. Moore博士が提唱し、「Mooreの法則」と称されている。以来、この法則を目安として、半導体の微細加工技術が世界中で継続的に開発され、電子デバイスの省電力化、高速化、低コスト化の一石三鳥の効果を享受してきた。2015年現在、14nmプロセスによるCPUが市販され始めている。しかし、半導体の微細加工には物理的な面、又はコストの面でいずれは限界が訪れるとみられている。そこで、電子デバイスの更なる高機能化に向けて、2次元の微細加工のみではなく、半導体の3次元実装や新たな物性、原理、材料に着目したアプローチもとられている。

将来のIoT社会において、我が国が価値を提供していくためには、それに適したコンピューティングの絵姿を描くとともに、その実現に向けた先進的な技術開発を推進することが必要である。

# コンピューティング／物性・電子デバイス分野の技術戦略策定に向けて

## 2章

### コンピューティング／物性・電子デバイス技術の置かれた状況

多様な製品・サービスに関連する本技術分野において、ここでは半導体を中心とする物性・電子デバイスについて、市場動向と技術開発動向の概略を示す。

#### 2-1 市場動向

図1に地域別の主要半導体企業の売上高の推移を示す。半導体市場全体は伸張している一方、日本企業（日本に本社を置く企業）の売上金額はおおむね横ばいであり、売上高シェアは下降傾向にある。

また、欧州企業の売上げも伸び悩んでいる。これに対して、米国の企業数と売上金額は大きく増加しており、市場をけん引している。加えて、2000年代に入り、アジア太平洋の企業が急成長している。

製品群分類別の市場規模を図2に示す。1980年代末頃からMemory市場が特に成長し、1990年代半ばには突出した市場を形成した。以来、市場規模は拡大と縮小を繰り返しながらも、現在までおおむね増加傾向にある。Memoryの次に台頭した製品はMicroであり、2000年頃まで急成長した。それ以降、Microの市場規模は、おおよそ横ばいとなっている。2000年以降、Logicが急成長を遂げ、2015年現在の製品群分類別では最も大きな市場となっている。また、Analog、Optical Semi.、Discrete及びSensor & Actuatorのいずれも成長基調にある。

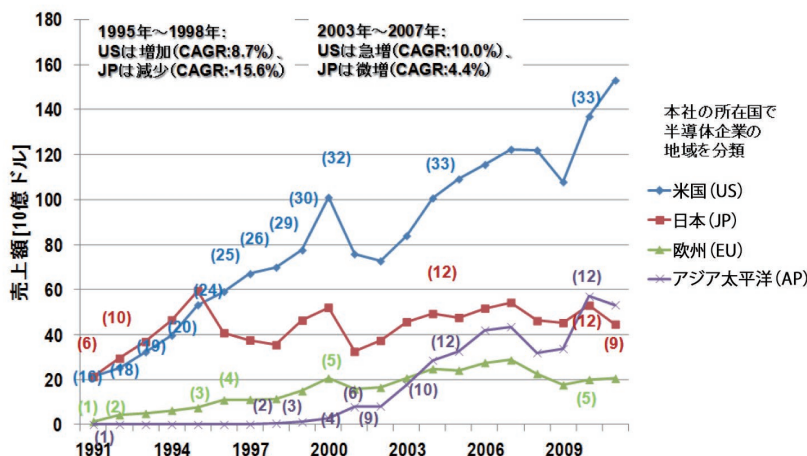


図1 地域別主要半導体企業62社の売上高

出所：一橋大学イノベーション研究センターワーキングペーパー WP#11-03 (2011)

「半導体産業の収益性分析－半導体企業のパネルデータによる実証分析－」（各財務データを基に作成）（中屋雅夫<sup>\*</sup>，2011）

※ NEDO 技術戦略研究センターフェロー

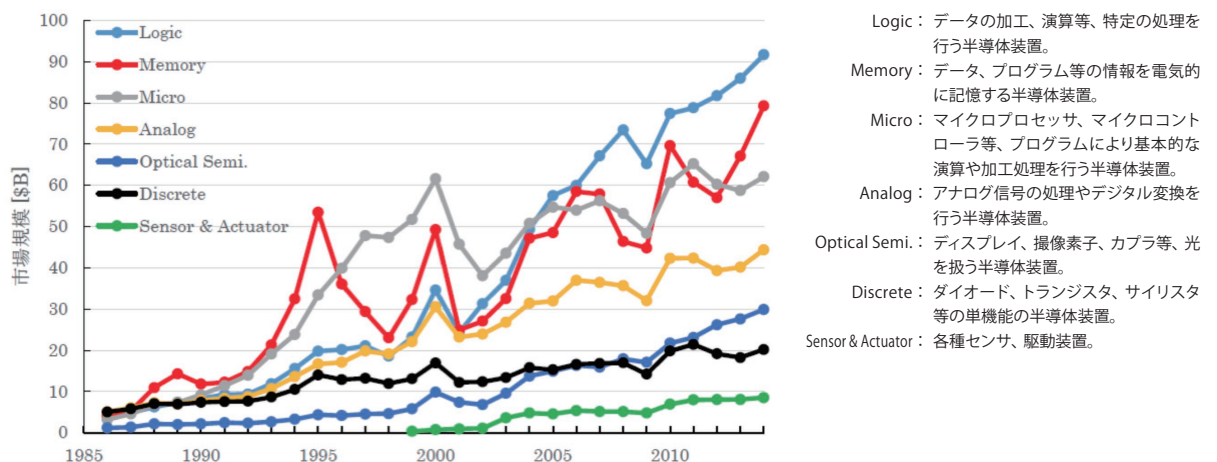


図2 世界半導体市場規模（製品群分類別）

出所：Discussion Papers In Economics And Business 15-04-Rev. 「集中か多角化か？半導体企業の製品群

選択と収益性－世界半導体主要59社のパネルデータ（2001-2013）分析より－

（WSTSのデータを基に作成）（大阪大学 中屋、中村、中川，2015）

## 2-2 技術開発動向

### (1) NEDOプロジェクト

前節に示したように、米国やアジア太平洋を中心に世界の半導体企業が成長する中で、日本企業の売上高が伸び悩んだために、半導体分野における日本企業のシェアが落ちてきている。これまでNEDOでは、物性・電子デバイス関連の技術開発プロジェクトを実施してきており(図3)、以下の例をはじめ、顕著な成果を多数創出し、日本の物性・電子デバイス産業の技術的なポテンシャルの維持に努めてきた。

(例1) 次世代半導体材料・プロセス基盤 (MIRAI) プロジェクト

2001～2003年の第1期、及び2004～2005年の第2期に続いて、2006～2010年の第3期では、次期有望な半導体微細化技術の一つであるEUV (Extreme Ultraviolet Lithography) 露光技術に対応するために、マスク基板、マスクパターンの欠陥検査・評価、レジストの材料等の技術開発を実施した。EUV開発のプロジェクトは国際コンソーシアムに引き継がれ、更に発展している。

(例2) ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発 (2011～2015年)

日本が優れた技術を有する不揮発性メモリを前提に、基本的に電源を遮断して電力を消費させず、情報処理が必要ときだけ電力を消費する新たなコンピューティング (ノーマリーオフコンピューティング) を提唱し、実用化を目指している。この取組の中で、不揮発性メモリと不揮発性ロジックの技術を組み合わせることにより、従来比1/5の消費電力のウェアラブル生体センサモジュールを開発した。今後更なる機器及びシステムの低消費電力化を目指すとともに、実例を随時世に送り出すことで幅広い用途での日本初のコンセプトの普及を図っていく計画である。

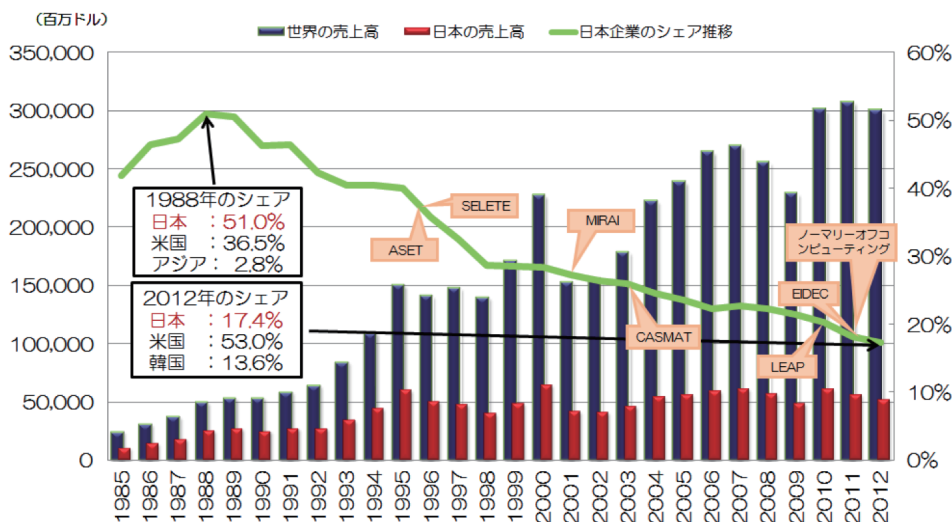


図3 半導体市場における世界及び日本の売上高推移、日本企業シェア推移、及び関連するNEDOプロジェクト例  
出所：経済産業省資料をもとにNEDO技術戦略研究センター作成 (2014)

# コンピューティング／物性・電子デバイス分野の技術戦略策定に向けて

## (2) 論文発表及び特許出願の動向

ここでは、図2において市場の伸びが著しいMemory（メモリ）のうち、磁気抵抗メモリ（MRAM）を例に論文発表及び特許出願の動向を示す。

### ①論文発表件数

図4に示すように、MRAMに関する論文発表数は2006年をピークに数年は減少傾向にあったが、近年は増加傾向にある。国別の内訳として、世界で発表されたMRAMに関する論文おおよそ850件（1995～2014年）のうち、米国の約37%に次いで日本からの論文発表数は

2位の約18%、3位は韓国の約13%となっている。

### ②特許出願件数

MRAM全体に関する特許出願数の年推移については、あまり大きな変動はない一方で、図5に示すように、次世代のMRAMを実現する上での鍵となる垂直磁化に関しては出願数が増加傾向にある。中でも、日本企業からの出願数が圧倒的に多い。

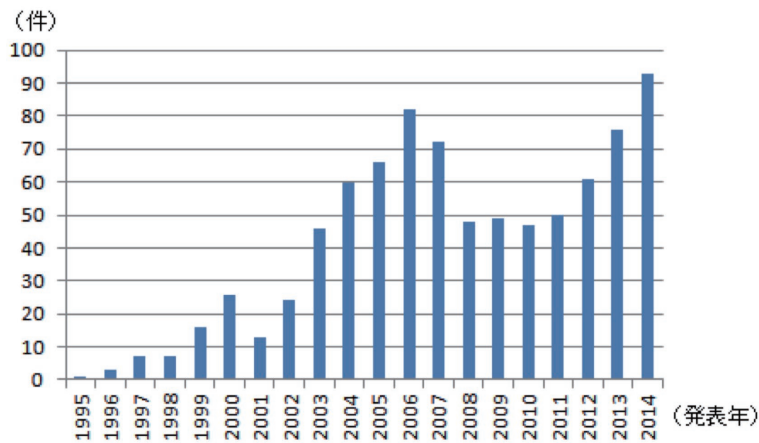


図4 MRAMに関する世界の論文投稿数推移 (1995～2014年)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（データベース：Web of Science Core Collection）(2015)

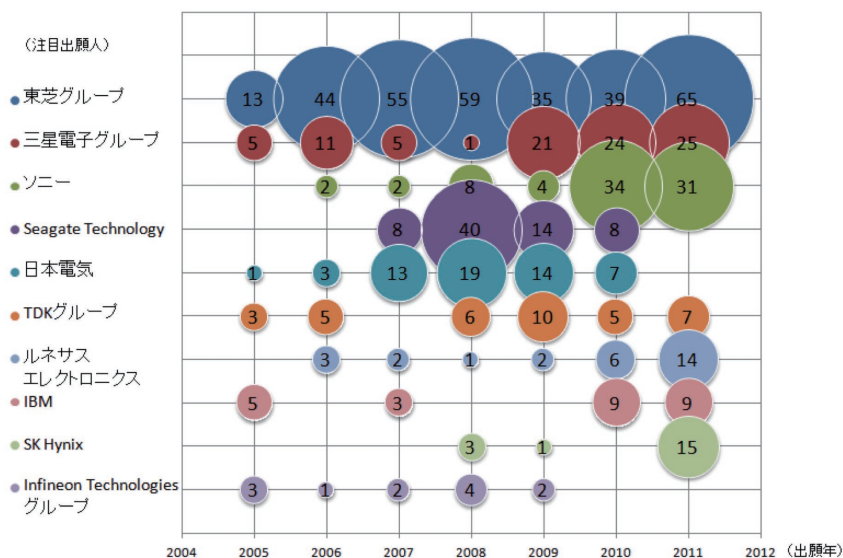


図5 MRAMにおける注目出願人別-垂直磁化に関する出願件数推移 (日米欧中韓への出願、出願年(優先権主張年) 2005-2011年)

出所：特許庁『平成25年度 特許出願技術動向調査報告書 スピントロニクスデバイスとアプリケーション技術』を基にNEDO 技術戦略研究センター作成 (2015)

### (3) 学会発表の動向

#### ①ISSCC (International Solid-State Circuits Conference)

「半導体のオリンピック」とも称され、世界の企業や研究機関から半導体回路技術のトップ性能が発表される学会であるISSCCの2015年開催 (ISSCC2015) では、米国が国別採択件数の1位であり、全採択論文数の1/3を占める74件を発表した。2位は韓国の29件、3位は日本の25件、以下、オランダの17件、台湾の15件と続いた。1位の米国に続き、2位と3位で日本と韓国、4位と5位でオランダと台湾が拮抗している状況が近年続いている。

同学会の2014年開催 (ISSCC2014) では、NEDOプロジェクト「ノーマリーオフコンピューティング基盤技術開発」のプロジェクトリーダーが招待され、同プロジェクトが提案するノーマリーオフコンピューティングの概念と取組事例を紹介した。また、ISSCC2015においても、同プロジェクトの参画企業から招待発表を含めて2件の発表を行った。

そのほか、3次元実装技術や、非ノイマン型コンピュータ、IoT社会の多様な用途に対応する電子デバイス及びシステムの小型化、低コスト化などのテーマで研究発表や議論が行われた。

#### ②SPIE (International Society for Optics and Photonics) /LithoVision

光技術に関する代表的な国際学会であるSPIEの2015年開催において、TSMC (台湾) がASML (オランダ) のEUV露光機を用いて、90Wの出力でウェハ日産1,000枚を達成したことを発表した。また、同装置を用いて2015年第2四半期までに125Wの出力を実現できるが、150Wまでが改良の上限になるとしている。あわせて、将来の量産に向けて250Wの実現が必要であると発表した。

一方、ギガフoton (日本) はNEDOプロジェクトの成果を活用し、EUV露光機においてデューティサイクル50%で140Wの出力を達成し、2015年末までに250Wを達成すべく研究開発を続けてゆくと発表した。これにより、量産化への道筋が見えた。

また、同時期に開催されたLithoVision 2015では、ニコン (日本) がArFエキシマレーザー液浸露光の装置を高度化することにより、14nmや7nm以細のノードにおいて、EUV露光より優位性を示せることを発表している。

#### ③DAC (Design Automation Conference)

電子設計技術に関する世界最大の学会であるDACにおける2001年からの国別の発表数をみると、全体における米国の発表数の割合は減少傾向であるものの、同国からは毎年、全発表件数の約半数を占める80～120件が発表されている。近年、台湾、ドイツ、中国からの発表数が増加傾向にあり、それぞれの国から毎回10～20件の発表がある一方で、日本からの発表数は各回4件以下にとどまっている。

## 3章 コンピューティング／物性・電子デバイス分野の技術課題

今後、あらゆる物と事が情報化されていくIoT社会の実現に向けたトレンドは進展し、物と情報との連結や情報の流通・加工を行う電子デバイスの需要は更に高まると考えられる。IoT社会を製品・サービスとして具現化するためには、電子デバイスの高速化、高機能化、高信頼化、小型化、低消費電力化、セキュリティ機能の内臓は必須である。また、IoT社会に適したコンピューティングの絵姿の検討と、その実現に向けた技術開発もあわせて必要となる。

ここでは、IoT社会における情報処理を、集中処理を担うクラウドコンピューティング、分散処理を担うエッジコンピューティング及びこれらの中で通信、情報処理を行う中間機構（ここでは仮にミドルコンピューティングとする）に区分した3階層のそれぞれについて、また、それらの横断的な視点も含めて、主な技術課題を示す。

### ①クラウドコンピューティング

クラウドコンピューティングの「場」であるデータセンタは、今後のIoT社会においてビッグデータを解析・操作することになる。そのため、半導体の微細化を進めてデータセンタを省電力化、高速処理化、大容量化するなどの取組が必要になる。また、メモリ・ロジックのデバイスの3次元化、ナノカーボンの活用等のプロセス技術を強化し、対応する製造装置、検査装置及び材料等の開発を進めること、更には、ソフトウェアを含めた要素技術を統合することが求められる。

### ②エッジコンピューティング

あらゆるモノがインターネットに接続される世界において、無数のデバイスからのデータを効率よく収集・処理するために、ネットワークのエッジでデータを処理する負荷分散を考慮したシステムを構築することが必要である。また、特に実世界とサイバー空間のインターフェースであるセンサそのものの開発も重要である。あわせて、エッジの電子デバイスを多様な場所で活用できるよう、これを微弱な電源で動作させるために低消費電力化すること、革新的な電源獲得の技術を実現することなどが期待される。

### ③ミドルコンピューティング

IoT社会において所要のアプリケーションを実現するためには、必

ずしもクラウドによる集中処理及び端末内での分散処理のみではなく、必要な情報処理スピード及び知能を提供するための、クラウドコンピューティング（データセンタ）とエッジコンピューティング（端末）との中間機構（ミドルコンピューティング）の構築も効果的である。ミドルコンピューティングでは、通信されるデータ量が爆発的に増加することが予測される中で、すべてのデータをネットワーク上で流通させるのではなく、エッジで取得したデータを中間層で精査した上で、必要分のみをクラウドまでの上位層に送ることにより、通信網の輻輳（ふくそう）を回避し、エネルギー消費を抑えることが可能となる。その実現には、必要な機能を有する中間サーバの存在が重要となり、また、中間サーバの役割を小規模なコンピューティング能力を有するスマートフォン等で実現する場合もあると考えられることから、まずは全体のコンピューティングデザインを行うことが課題となる。

### ④横断的な研究開発

①②③の階層で横断的に活用され得る、デバイスの3次元高集積化技術や量子コンピュータなどを含む新たな材料・原理に基づく新機軸の研究開発を技術やビジネスのブレイクスルーの布石として取り組むことが期待される。あわせて、新たな製品・サービスの実用化や利便性の向上に貢献する、信頼性、セキュリティ等を高めるための研究開発に取り組むことが必要である。

## 4章 おわりに

IoT社会に向かう潮流の中で、我が国のプレゼンスを高めるためには、これまで述べてきたように、IoTをクラウドコンピューティング、ミドルコンピューティング、エッジコンピューティングの3階層として理解し、それぞれを高度に実現するための技術課題や階層横断的な技術課題に対して、我が国の特に優れた技術の活用を主軸として解を提供してゆくことが望ましい。一方で、将来の社会システムとしてのコンピューティングや、実用的な製品・サービスの実現には、個別の要素技術の開発にとどまらず、用途を想定した各種技術の組合せが必要であることから、総力を結集した取組もあわせて重要である。

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。引用を行う際は、必ず出典を明記願います。