

次世代半導体のアカデミアにおける研究開発等に関する検討会報告書（概要）

令和6年7月

1. はじめに

- 半導体は、グリーントランスフォーメーション（GX）、デジタルトランスフォーメーション（DX）を実現する上で欠かせない技術である。また、経済安全保障上も半導体の重要性がかつてないほどに高まっており、その観点からも世界中で半導体分野への大規模な支援が行われている。半導体分野は、日本にとって最重要の研究開発分野の一つであり、AIをはじめとする先進技術の高度化には、半導体の研究開発を欠かすことはできない。
- GXやDXを実現する鍵は、次世代半導体の研究開発や社会実装・産業化にあるものの、日本の半導体産業は、かつて約50%もあった世界シェアが10%以下まで低下している。世界の半導体市場は2030年までに倍増し160兆円¹を超えると予測されており、日本の経済を成長させ賃金を持続的に向上させていくためには、半導体を含めた次世代の成長産業を創出し、経済産業の生産性を向上するとともに、高付加価値の商品やサービスを生み出すビジネスを育て日本の成長を実現していくことが極めて重要である。そのためには、世界をリードする次世代半導体技術を創出するとともに、先端半導体のユースケースを日本から生み出していくことが必要である。
- 世界各国が半導体の研究開発や人材育成に大規模な支援等を講じる中、日本においても半導体の研究開発や人材育成を強化していく必要がある。特に文部科学省は、中・長期の戦略を支えるアカデミアにおける研究開発や人材育成を支援する重要な役割を担っている。したがって今後、次世代半導体に関する施策を効果的に推進していくためには、経済産業省と連携して、国内外の研究動向や産業界のニーズ、アカデミアの強みを生かせる研究領域などを踏まえつつ、総合的かつ戦略的に施策を推進することが必要である。

¹ SEMI ジャパンの予測によれば、2030年までに世界の半導体市場規模が倍増し1兆ドル（160兆円）規模になると予測されている。（2023年の市場規模は約5千億ドル（80兆円）。1ドル=160円で計算。）

2. 現状認識・課題

- 近年、日本を含む各国・地域の政府が半導体分野に数兆円規模の国費を投資しており、半導体は国家の命運をかけて投資をしていく最重要分野になっている。
- 海外の主要国はかつてない規模の半導体分野への投資を進める中で、産業界への支援と併せてアカデミアへの支援を強化している。日本においても同志国と連携した取組が急速に開始されているが、産業界への大規模投資と比べてアカデミアへの投資の桁は 2 桁から 3 桁小さくアンバランスになっており、この状態を放置すれば、2030 年代以降の半導体産業を支える研究や人材が枯渇し、現在の産業界への大規模投資による成長が持続不可能になってしまう恐れがある。
- 例えば、Rapidus が製造することを予定している先端ロジック半導体は 2nm の先を見据えて研究開発に取り組む必要があり、その研究開発の一部を LSTC が担っているが、将来必要となる 1nm 以降の次世代半導体に必要な新材料やデバイス、プロセスの研究開発など長期的な課題に着手することができていない。このため、アカデミアが中心となり取り組む長期的な研究開発を文部科学省が支援する必要がある。
- また、研究開発人材の育成については、2030 年代以降を見据えて可及的速やかに取り組む必要がある。日本の半導体産業の衰退を受けて、アカデミアにおいても半導体分野への支援が希薄となっていたため、研究者層が薄くなっているが、日本の半導体産業が反転攻勢を開始した今、文部科学省は半導体研究開発や研究基盤、人材育成への支援を強化する必要がある。
- これから四半世紀先を見通した場合、半導体をドライブするのは AI であると考えられる。AI 半導体は桁違いの計算を繰り返すため、エネルギーの消費が課題となり、エネルギー効率をいかに高めるかが重要となる。エネルギー効率を高めるには、何か一つの要素技術に取り組むだけではなく、関連する技術の研究開発に統合的に取り組む必要がある。
- 生成 AI の誕生により、大規模行列計算を高速かつ低消費電力で行うチップの需要が拡大する。特に推論計算の需要が拡大し、エッジ計算能力が飛躍的に向上することが期待される。これにより、自動運転等を含む広義のロボティクスが革新される。その中で多数の知能ロボットが連携協調する高度群制御システムも実現すると考えられる。この動向は、半導体製造、科学実験の自動化、創薬開発の自動化など、広範な分野に影響を及ぼし、大きな市場を生み出す可能性がある。

- 企業の研究開発は、5年先に製品化するものに対する研究開発に注力している。一方、10年以上先に実現したいと考えている技術については、アカデミアが主導して研究を進めていく必要がある。特に半導体分野での技術開発競争は激しいため、状況の変化に応じて柔軟に目標や計画を修正しながらフレキシブルに研究開発を進める必要がある。また、半導体分野では、アカデミア（Lab）から産業界（Fab）へ技術移転する際の技術的なギャップが大きいことが課題となっている。
- 世界中で様々な半導体の Fab 等の立ち上げが計画されているが、こうした動きに伴い人材不足が深刻な問題となっている。必要とされる人材には、製造工場での品質管理等を行う基盤人材と半導体の設計・開発等を担う高度人材、次世代半導体デバイスの創生や新たなユースケースの開拓、グローバルな技術標準の形成をリードするトップ人材があり、基盤人材は経済産業省を中心に議論されているが、特に後者の研究開発を担う高度人材やトップ人材については十分な議論がなされていなかった。
- ファンディングがあれば、優秀な研究者が集まり、そのもとで優秀な学生が育つ。半導体分野では今までそういったファンディングが十分に行われてこなかった結果、研究者や学生の層が非常に薄くなっている。特に目的基礎研究を推進する JST のファンディングは重要であり、国家的に重要な半導体分野の将来の基盤となる研究開発への支援を強化する必要がある。その際、アカデミアと産業界が密接に連携し、ファンディングを行う際の研究開発テーマまで深く議論することが重要である。

3. 地球規模課題の解決や未来社会の実現に向けて必要となる半導体技術

- 世界が直面している地球環境問題等の地球規模課題を解決するためには、科学的なアプローチが必須である。地球という共有資源を守り、地球環境の保護に貢献するためには DX は不可欠であり、デジタル技術を正しく効果的に活用するための戦略が必要である。そのためには、量子コンピュータや AI、半導体などの最先端技術が必要であり、これらは日本の経済安全保障にも直結する重要な戦略技術となる。
- AI の発展は計算資源の増加に大きく依存している。最先端の AI モデルの学習に必要な計算資源は指数関数的に増加しており、その規模は大規模スーパーコンピュータに匹敵するレベルに達している。今後 10 年間は、半導体性能の向上に伴って AI が進化し、AI の応用領域が拡大することが予想されており必要な電力量が増え続ける。他方、電力生産量を大きく増やすことは困

難であり、単位電力当たりの計算量やデータ転送量を桁違いに改善できる技術の開発が必要である。

- 今後、エッジ側の知能化が急速に進み、ロボティクスの進化が加速することが予想される。今後は多数の高度な知能機械が相互に更新しながら連携し、極めて知的な作業を行う群制御が高度化する「フィジカルインテリジェンス」²が加速していく。その際、AI を搭載した知能ロボットを含む端末同士が学習した重み付けデータを共有するため、超高速の無線通信技術が必要になる。その際、通信に使用される光とコンピューティングに使用される光電融合技術が融合する。
- これにより、自動運転車だけではなく半導体の製造や科学実験の自動化、都市のスマート化が加速する。また、科学研究では例えば創薬開発の複雑な実験が自動化する。これら技術は開發生産の無人化であり、GX に大きく貢献するとともに大きな市場を見込むことができる。

4. 重点的に取り組むべき施策

- 2030 年代以降に備え、研究開発、研究基盤整備、人材育成を三位一体として、アカデミアへの支援を抜本的に強化する必要がある。我が国の強み、弱みを踏まえ、勝ち筋となり得るコア技術を特定し、アカデミアの総力を結集した統合的な研究開発に重点投資することが必要であり、その際、異分野、海外人材の引き込みや若手人材の育成、大型施設や分散・ネットワーク型先端共用設備の活用を含めた新規材料探索から設計試作環境の整備などを一体的に推進することが重要である。

4.1. 研究開発の推進

<今後重点的に取り組むべき研究開発課題（重点項目）>

- 未来社会を予測しつつ今後進展する地球規模課題や日本の課題の解決に必要な技術を特定し、国として集中的に取り組むことが重要である。未来社会では、AI を搭載したロボティクスの活用が拡大し、エッジの知能化（フィジカルインテリジェンス）により、科学研究を含む様々な分野を自動化し、GX を推進することが可能となる。地球規模課題として、2030 年代には全クラウドシステムの消費電力が全世界の発電エネルギーを超えるおそれがあり、エッジ AI 半導体の性能向上が必要である。また、日本ではサービス、

² フィジカルインテリジェンス： エッジの知能化等により、AI（知能システム）と機械（ロボット、IoT 等）が高度に融合することで実現する、AI が物理的動作を行うためのシステム。これにより、AI の利活用が現実世界（Real World）に広がることで、リアルタイムに高付加価値を還元することを目指す。

医療・福祉、製造、運輸などの労働力が不足するため、ロボティクス等による自動化が必要である。

- こうした未来社会予測等を踏まえ、次世代のエッジ用 AI 半導体創出に向けた研究開発に取り組むべきである。その際には、我が国のアカデミアの強み等を踏まえつつ、電力消費激増を見据えたエネルギー効率改善等の国家として必要な技術確立するため、超低消費電力の次世代エッジ AI 半導体創出に向けてアカデミアが集中的に取り組むべきコア技術(重点項目)について、アカデミアの総力を結集した統合的な研究開発に取り組むべきである。

(コア技術例)

- ・ AI を活用した高効率半導体システム設計
 - ・ 超低消費電力な次世代 AI 回路
 - ・ Beyond 1 ナノ世代のチップに向けた新材料・デバイス・プロセス・集積化技術
 - ・ 環境負荷の少ない製造技術・材料
- こうした重点的な研究開発を進めるにあたっては、文部科学省、経済産業省、ファンディングエージェンシー等が強固なガバナンス体制を構築し、強力なマネージャーの下ユースケースを特定し、研究開発の進展に応じて目標や計画を柔軟に変更しつつ、アカデミアから産業界や LSTC へのタイムリーな成果の橋渡し等を実現していくことが重要である。
 - 一方、G7 や OECD 等において、研究セキュリティ・インテグリティの確保の必要性が指摘されている。特に半導体が現代社会の GX や DX を支える基盤技術であり、経済安全保障上重要な技術であることに鑑みれば、特に将来の産業化及び国力の強化に直結する重要性の高い研究開発の推進に当たっては、国内外の取組の状況やアカデミアの特性も踏まえつつ、適切な技術流出防止方策を講じる必要がある。

<ユースケース開拓に向けた研究開発>

- 次世代エッジ AI 半導体のユースケースを日本から生み出すことを目指し、半導体開発とユースケース開発を一体的に行うことが必要である。未来社会予測や地球規模課題を踏まえれば、GX や労働力不足等の課題解決に貢献する AI ロボット等をユースケースと想定し、次世代エッジ AI 半導体開発と一体的に行うことが有効と考えられる。

<今後推進すべき研究開発（推進項目）>

- 上記に加え、半導体産業が抱える基礎的・基盤的な技術課題の解決や革新的な研究開発課題に取り組むため、アカデミアでのシーズ創出・産学連携を支援することが必要である。様々な基礎的・基盤的研究や産学連携を支援するとともに、材料探索、設計・試作・検証環境（半導体基盤プラットフォーム（仮称））を整備し、アカデミアの研究成果を速やかに産業界へつなげることを目指すことが必要である。そのため、ロジック、メモリ、センサー、パワーエレ、通信、設計、材料、製造装置、ファクトリーインテグレーション、ユースケースなど将来の重点項目になる可能性のある基礎・基盤的な研究開発課題にアカデミアが取り組むことができるよう文部科学省として継続支援すべきである。

4.2. 研究施設・設備の整備

- アカデミアで生まれたシーズを産業界に橋渡しするため、実証に必要な設備や環境を強化する必要がある。新規材料技術の統合やデバイスでの動作実証を可能にする微細加工・解析評価環境の整備、産学・国研の結節点となる施設の整備、産総研のスーパークリーンルームの活用を強化する必要がある。また、革新的なアイデア・シーズの創出を促進するため、産学の多様な研究や連携を支援する設備（半導体基盤プラットフォーム（仮称））の整備が不可欠である。また、設備の維持管理や保守を継続的に行うため、安定的な維持管理体制を構築することが必要である。
- また、将来的にはベルギーの IMEC や米国のアルバニーのように国内外のトップ研究者を引きつける国際研究拠点の形成についても視野に入れるべきである。今後、半導体集積回路の設計から試作・動作までを更に最適化するには一貫した 300mm ラインを備えた研究開発拠点が必要となることも考えられ、日本の産業界、アカデミアはもとより、有志国と連携しつつ検討すべきである。
- また、世界最高レベルの先端大型研究施設である SPring-8-II の実現や NanoTerasu のビームラインの増設を早急に進めていくことが必要である。次世代計算基盤の新たなフラッグシップシステムの開発・整備に着手し、国内の計算科学研究を先導することが必要である。

4.3. 人材の育成・確保

- 我が国の研究力を国際的に競争力のあるレベルに引き上げるため、優秀な研究者を育成し、質の高い研究を推進することが重要である。既に最優秀の大学院生が国内外の半導体関連企業に就職する流れが生じている。新しい技術

や知識の創出を担うトップ研究者の増強が必要であり、日本の人口減少が進む中で、限られた人材から独創的な成果を創出する研究者を育てることが国の持続可能な発展に必要である。

- 大学をはじめとするアカデミアは、優秀な研究者の育成において重要な役割を担っている。革新的なアイデアや技術を創出し社会全体の発展に寄与する研究者を育成するため、創造的かつ挑戦的な研究に取り組める環境を整備することが必要である。そのため、統合的な研究開発にアカデミアが取り組むことができるプロジェクトを創設するとともに材料探索、設計・試作・検証環境を整備し、世界トップレベルの研究開発とそれを通じた人材の育成を推進することが必要である。
- また、我が国の半導体産業を支える人材不足が指摘されている中で、将来を担う高度人材や基盤人材（ボリュームゾーン人材）の育成に関する取組を一層進めるためには、各大学・高等専門学校等が、それぞれの特色を生かしつつ、地域の産業特性等を踏まえて、産業界と連携した教育体制の強化を図ることが重要である。
- 具体的には、地域の枠を越えて半導体教育に強みを持つ大学が連携することで、それぞれの強みを補完した教育を全国に展開するとともに、各地域においては、拠点となる大学を核として地域内の大学・高専等が連携して、教育の普及・展開、産業界・自治体との連携、中学校・高校へのアプローチ、社会人を対象としたリスキリング等の取組を推進できる体制を各地域の半導体人材育成等コンソーシアムと連携しつつ整備することが必要である。特に半導体教育に強みを持つ大学が連携した教育の展開を図る上では、研究施設・設備の活用も必要であることから、半導体基盤プラットフォーム（仮称）と有機的な連携を実現することにより、我が国のアカデミア全体で半導体産業を支える人材を養成する必要がある。
- 半導体に関するアカデミアの研究開発においては、国際連携が極めて重要である。そのため、国際連携への学生や研究者の参画を拡大することにより、国際的な視野を持つ人材を育成することが必要である。
- 具体的には、半導体の国際共同研究を通じて日本と科学技術先進国・地域のトップ研究者を結び付けるとともに、日本の研究者が世界のトップ研究サークルに参加し、継続的に活躍するための支援を行うことが重要である。そのため、競争的資金を通じて国際共同研究を支援し、国際的な研究協力の枠組みを強化していくことが必要である。但し、国際連携に関しては地政学的リスクのマネジメントが不可欠である。

- また、成長著しく豊富な人材を抱える ASEAN 諸国との研究協力関係をさらに強化することも重要である。具体的には、研究人材交流を通じて、優秀な研究者を確保・育成し、国際的な研究ネットワークを構築し、新たなイノベーションを共創していく関係へと発展させることを目指すことが必要である。