

Title	パワー半導体がデジタル半導体の二の舞にならない政策と戦略とは
Author(s)	半貫, 恵司; 若林, 秀樹; 田村, 浩道
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 317-322
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19132
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

1 D 2 5

パワー半導体がデジタル半導体の二の舞にならない政策と戦略とは

○半貫恵司（東京理科大MOT、所属：サンケン電気株式会社）、
若林秀樹，田村浩道（東京理科大学MOT）
8822233@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

日本が強い半導体分野のひとつにパワー半導体がある。電気自動車、鉄道、電力系統機器、通信機器、産業機器、民生機器など、多くの機器の電源部に使用されており、電力制御回路で重要な役割を担っている。それらの機器を駆動する電力を常に最適な効率で供給するのが理想であるが、その多くは熱に変換されて大きなエネルギー損失が発生する。この損失を最小限にするためには、パワー半導体の技術革新は非常に重要であり、カーボンニュートラルの観点からも強化すべき産業である。

パワー半導体の分野は欧米に大手メーカーがあり、一方で昨今中国メーカーが激しい攻勢をかけている。日本メーカーはその間にあって、もう一段の競争力、供給能力を加速度的に強化する必要がある。

日本のパワー半導体を更に強化するため、凋落したデジタル半導体の教訓を踏まえ、どのような戦略が有効な手段であるのか、国家安全保障も踏まえ、パワー半導体産業の再評価と新たな体制構築を検討した。

2. 先行研究

近年、世界中で半導体が注目されており、例えば 23 年の著書、クリス・ミラー氏の「半導体戦争」[1]においては、半導体産業に関する歴史的背景が詳細に述べられており、今後もより一層半導体産業は重要になることを示唆しているがパワー半導体についてはほぼ触れられていない。

半導体産業を俯瞰した政策や競争力の評価に関して多くの報告が出ている。近藤[2]によれば半導体デバイス産業における工場規模、立地政策の評価があり、先端工場と成熟製品との分極化についての考察は興味深い。また、新井[3]による DRAM 技術から見た日本の政策についての評価があり、企業と政策の在り方について述べている。しかし、これらの多くは、日本の競争力低下や育成に関連するものが多く、パワー半導体をどのように強化すべきかの論点は少ない。

業界団体である JEITA 半導体部会[4]からも提言書が出されている。パワー半導体に関しても重要な位置づけとして、産業強化を訴えている。

経済産業省の半導体・デジタル産業戦略[5][6]においては、1.0 から、2.0 へと改訂、2030 年に日本の半導体産業の規模として売上 15 兆円という大きな目標が設定されている。また、これまで半導体全体で、Step1、Step2、Step3 という戦略から、先端ロジック、先端メモリ、パワー半導体やアナログ等のスペシャリティ、先端パッケージ、製造装置、部素材と、分野別のロードマップと個別戦略が示され、人材育成や国際連携なども含まれており、より現実的な対応が述べられている(図 1、図 2 参照)。

図表 1 半導体・デジタル産業戦略 半導体戦略全体像 1 出所：経済産業省資料より筆者作成

連携・再編	ステップ1 足下の製造基盤の確保	ステップ2 次世代技術の確立	ステップ3 将来技術の研究開発
先端ロジック半導体	✓ 国内製造拠点の整備・技術的進展	✓ 2nm世代ロジック半導体の製造技術開発 → 量産の実現 ✓ Beyond2nm実現に向けた研究開発 (LSTC)	✓ Beyond2nm実現に向けた研究開発 (LSTC) ✓ 光電融合等ゲームチェンジャーとなる将来技術の開発
先端メモリ半導体	✓ 日米連携による信頼できる国内設計・製造拠点の整備・技術的進展	✓ NAND・DRAMの高性能化 ✓ 革新メモリの開発	✓ 混載メモリの開発
産業用スペシャリティ半導体	✓ 国内での連携・再編を通じたパワー半導体の生産基盤の強化 ✓ エッジデバイスの多様化・多機能化など産業需要の拡大に応じた用途別従来型半導体の安定供給体制の構築	✓ SiCパワー半導体等の性能向上・低コスト化	✓ GaN・Ga2O3パワー半導体の実用化に向けた開発
先端パッケージ	✓ 先端パッケージ開発拠点の設立	✓ チップレット技術の確立	✓ 光チップレット、アナデジ混載SoCの実現・実装
製造装置・部素材	✓ 先端半導体等の製造に不可欠な製造装置・部素材の安定供給体制の構築	✓ Beyond 2nmに必要な次世代材料の実用化に向けた技術開発	✓ 将来材料の実用化に向けた技術開発

図表 2 半導体・デジタル産業戦略 半導体戦略全体像 2 出所：経済産業省資料より筆者作成

項目	内容
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地域の特性に合わせた地域単位での産学官連携による人材育成(人材育成コンソ等) ✓ 次世代半導体の設計・製造を担うプロフェッショナル・グローバル人材の育成
国際連携	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 日米関係では、日米半導体協力基本原則に基づき、共同タスクフォース等の枠組みを活用し、米NSTCとLSTCを起点に連携を深め、次世代半導体の開発等に取り組む ✓ EU・ベルギー・オランダ・英国・韓国・台湾等の諸外国・地域と、次世代半導体のユースケース作りや研究開発の連携等に関し、相手国・地域のニーズ等に応じて進める
グリーン	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PFAS規制への対応 ✓ 半導体の高集積化・アーキテクチャの最適化・次世代素材開発により、半導体の高性能化・グリーン化を実現

3. パワー半導体産業にあるべき政策提言とは

経済産業省が掲げた半導体戦略は各ステップで対策が網羅されているがパワー半導体産業の強化においてはより具体的内容にブレークダウンする事ができるのではないだろうか。

各ステップから、重要ポイントは連携と再編、安定供給体制、SiC や GaN、Ga2O3 などの技術開発と高性能化、人材育成となるであろう。

それらのポイントを具体的内容にブレークダウンし、本研究での政策提言を以下に示す(図表 3)。

図表 3 本研究での政策提言 出所：筆者作成

No.	分野	ブレークダウンされた内容
1	連携・再編	素材と基板実装技術との連携に加え、各市場にあった再編の提案
2	生産・工場	チップサイズと生産数量という切口で日本がとるべき生産戦略の提案
3	技術開発	次世代パワー半導体開発のマザー技術開発のための開発拠点の提案
4	人材育成	EDAツールを使うエンジニア育成のためのオープンラボの提案

4. 分析・検証(提言)

4.1 【政策提言 1】パワー半導体業界の再編(連携・統合)

現在、パワー半導体を取り巻く産業の中で重要なポイントは二つあり、川上のウエハ素材と川下の基板実装技術である。ウエハ素材においては SiC や窒化ガリウム、酸化ガリウムといった新素材はワイドバンドギャップ半導体といわれ、現在主流の Si(シリコン)よりもはるかに高性能なパワー半導体を作ることができる。それをしっかり加工できる前工程が必要になってくる。後工程においては、PCB 基板実装技術の微細化が進み、従来の mm から um レベルと進化しており、この技術革新を如何に後工程でキャッチアップ、あるいは融合していくかが重要となっている。こちらについても半導体製品の軽量小型・高電力密度実装を実現するための必須技術となっている。

そこでパワー半導体に関係する企業を分野ごとに分けポジショニングを行った。結果を図表 4 に示す。

図表 4 パワー半導体に関係する各企業のポジショニング 出所：各社 HP 等参考に筆者作成

	ウエハ		デバイス							テスト/PKG				PCB・実装							製造装置																				
	信越/サム	レゾナック	豊田合成	サンケン	新電元	東芝	日立パワテ	ローム	富士電機	TORREX	ルネサス	デンソー	シバソク	アイサハ電子	アルス	大分	加藤電器	九州日誠電	シーマ電子	デンカ	ニッパツ	日本理化	AMARUW	サガミ	KOA	ASAHI	OKI	AKYOSH	大昌電子	シライ電子	キョウデン	日本メクト	新光電子	サムコ	ソニー	パナソニック	清和光学	オシロ			
材料	○	○																																							
前工程																																									
SPE																																									
後工程																																									
OSAT																																									
応用																																									
基板実装																																									
受動品																																									

パワー半導体業界の再編、あるいは連携をするうえで重要なのは素材と前工程、後工程と PCB・基板実装業界の融合は前述のとおりであるが、当然、同業種による統合もあるが、日本が強いウエハ素材、すり合わせの技術を活かした組み合わせを考慮する必要がある。加えて、パワー半導体を使うアプリケーションごと連携も重要になってくるため、車載、白物家電、再生エネルギー、インフラ、重電といった分野ごとに 縦の連携、横の連携、あるいはハイブリッドのどれがベストかは変わってくる。例えば重電はカスタム性が高く量が少ないため、縦の連携が良いだろう。また、汎用的で量産性、コストが鍵となる白物家電や車載は横の連携が良い組み合わせになるといった具合である。

4.2【政策提言2】生産戦略 最適生産

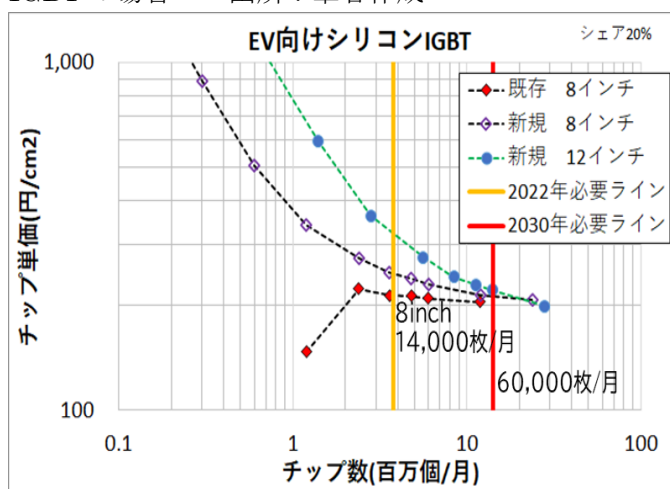
パワー半導体には分野によって使用される平均的なチップサイズは様々である。例えば、スマホや PC に使用されるパワー半導体であればチップの大きさは約 1mm² 程度であり、エアコンや TV に使用されるものであれば 10mm² 程度、xEV などを使用されるメインモーターを駆動する大電流のものであれば 100mm² 程度と、用途によってかなり異なる。

それらはウエハと呼ばれる状態で製造するので、大量に安く生産するためには大口径が有利になり、そのため大手各社は 12 インチという直径 300mm の大口径ウエハ工場を建設している。

しかしながら、実際にクリーンルーム建設費用、製造装置、電気やガス、水、人員などを計算していくと図 3 のグラフのようになる。生産数量によっては既存の工場をうまく利用したほうが安いということがわかる。加えて、日本には 6,8 インチのレガシー半導体工場が多く存在している。今後はウエハ素材も SiC や GaN などへ変化していくが、それらは今後しばらく 6 インチや 8 インチであり、その性能の良さから 1 枚のウエハから取れるチップ数も多くなっていく。このようなことから、最適生産のウエハサイズ、工場規模を決めるためにはチップサイズやウエハ素材、そして市場成長率などを考慮すべきである。

国内半導体生産能力の強化策として「サプライチェーン上不可欠性の高い半導体の生産設備の脱炭素化・刷新事業費補助金(予算 470 億円/2022 年)」を実施したが、国内レガシー半導体工場 81 工場中 27 工場(33%)にとどまっている。生産能力は 2019 年比で 15%以上の工場見込みとなっているが、SiC、GaN などの新素材も考慮し、既存工場の更なる有効活用が必要と思われる。

図表 5 ウエハサイズとチップ数, 単価。EV 向け IGBT の場合 出所: 筆者作成

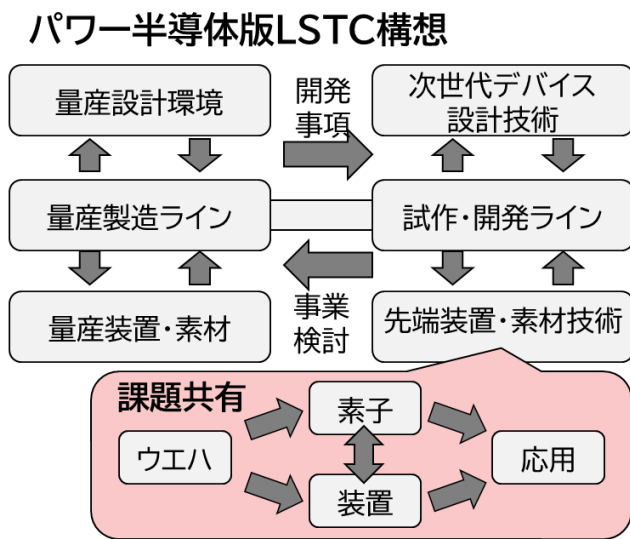


4.3【政策提言3】パワー半導体開発拠点の設置 (LSTC をメタファーに)

今後の日本の産業発展のためにも、パワー半導体の開発拠点構築は非常に重要である。2022年12月、経済産業省は技術研究組合最先端半導体技術センター (Leading-edge Semiconductor Technology Center、LSTC) の設立を認可した。次世代半導体の研究開発を行う日本の技術研究組合であり、先端設計、先端装置・素材の要素技術に係るオープンな研究開発拠点である。

そこで、LSTC をメタファーにパワー半導体版の LSTC を考える(図表 6)。次世代パワー半導体の研究開発はどこにフォーカスするべきか。Si、SiC、GaN、Ga₂O₃ などの次世代パワー半導体の製造プロセスを俯瞰すると、共通な製造プロセスと固有プロセスに分けることができる。リソグラフィ工程や成膜 CVD、エッチング、電極などは従来の技術装置が使用可能である。固有プロセスの開発に注力することが肝要である。多くの部分は共通化が可能であり、素材のデバイスごとに分けるのではなく、プロセスに注目して開発をする方が効率的となる。

図表 6 パワー半導体版 LSTC 構想 ※経産省資料を元に筆者作成



パワー半導体の重要ポイント

	種類	Si	SiC	GaN	GaO
ウエハ	母材	成熟	初期量産	大口径化難	開発
	エピ	成熟 ~1100℃	低成長 ~2400℃	開発 ~1000℃	開発 ~1000℃
	最大サイズ(inch)	8,12	4,6	2,4,6	2
前工程	フォトリソ	共通(技術は共通だが6インチ以上必要)			
	イオン注入	成熟	高温高加速	Si共通(不要かも)	
	熱処理	成熟 ~1250℃	超高温 ~1800℃	Si共通	
	CVD/エッチング	成熟	開発	開発	開発
	電極	共通			
後工程	ダイシング	成熟	開発	開発	開発
	ダイマウント	共通			
	ワイヤボンド	共通			
	モールド封止	共通			
検査	検査	成熟	開発	開発	開発

ウエハ素材やエッチング、ダイシング、検査などはネック工程であり、まさにここを集中して開発することで日本はリードすることが可能になるのではないかと考えられる。これらの勘所をパワー半導体版 LSTC で開発することにより、競争力強化につなげていくことが可能となると考えられる。特に LSTC の人材や資金等のリソースと、新たに構築される組織運営の仕組みは、先端ロジック以外にも、パワー半導体も LSTC を使うことも考えられる。同時にやるリソースは無いので、まず先端ロジックに絞った上で、その成果を踏まえ、仕組みや制度を他に横展開すべきだろう。そして将来に向けては将来の業界構造、研究拠点にもなりうるため、戦略的な対応が不可欠である。

4.4 【政策提言 4】 EDA(Electronic Design Automation) 技術人材育成

半導体を設計・検証するには EDA と呼ばれるシミュレーションや CAD ソフトが必須である。そして、もはやこの設計・検証が製造などよりも一番重要になってきている。近年は AI やテクノロジーの進化により、EDA ツールが格段に進化しており、机上でデバイス設計、特性確認、パッケージの熱解析や応力解析、回路やシステムに至るまで、統合シミュレーションが可能となっている。まさにデジタルの時代であり、これこそが開発サイクルを多く出来る重要なツールである。加えて、今後のパワー半導体は SiC や GaN も集積化され、より複雑化して来るはずである。これらに対応していくためにも EDA ツールを使いこなす、高度な技術者の育成が急務である。特に重要なのはデバイスだけ、パッケージだけと分けるのではなく、全体を俯瞰できる技術者である。統合シミュレーションによって、顧客への課題遡求も明確になり、早期社会実装も期待できる。

現在、産業界、教育機関、各省庁が人材育成プランを実践しているが、この EDA ツールに特化した人材育成は見当たらず、個社の OJT や、メーカーによるセミナーが実情である。そこでシミュレーションオープンラボを提案したい。特に産業界の JEITA などから旗振りをする事で早期構築が可能と考える。産業界でリードするのが良いと思われる(図表 7)。

図表 7 EDA 特化型のシミュレーションオープンラボイメージ 出所：筆者作成

○ EDAに特化した人材開発拠点としてシミュレーションオープンラボの設置を提案 シミュレーションオープンラボのイメージ



5. 期待される効果

パワー半導体を強化するための4つの政策提言について分析を行った(図表8)。経済産業省における半導体・デジタル戦略からの提言をパワー半導体としてよりブレイクダウンした形となっている。

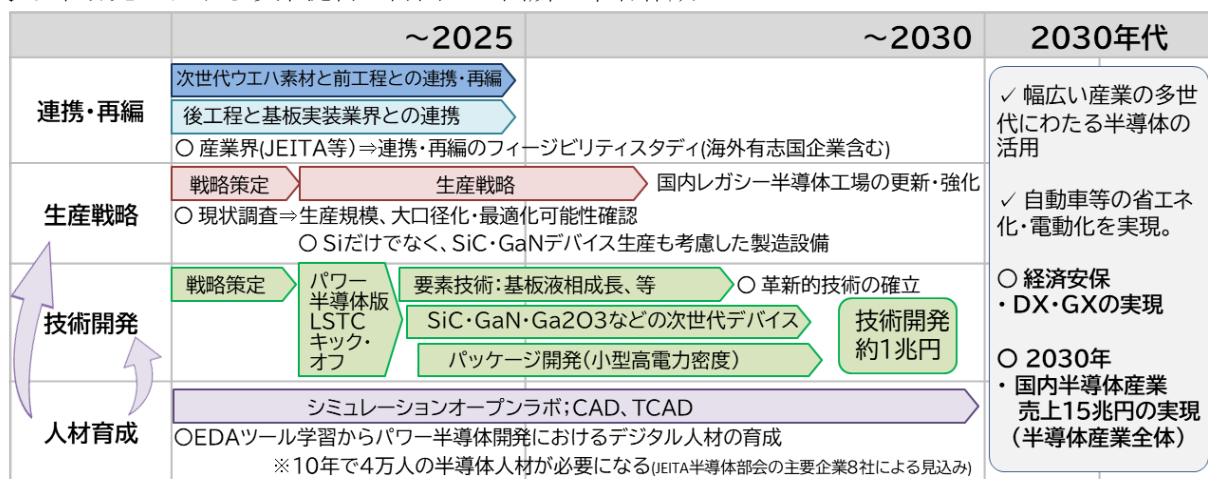
図表 8 パワー半導体を強化するための政策提言と期待する効果 出所：経産省資料を元に筆者作成

	半導体・デジタル戦略からの提言	本提言	期待する効果
STEP1 足元の製造基盤の確保	国内での連携・再編を通じたパワー半導体の生産基盤の強化	【政策提言1】 素材と基板実装技術との連携に加え、各市場に合わせた縦横連携・再編の提案	素材や基板実装との連携・統合を促すことによる裾野が広いパワー半導体産業の活性化。
	エッジデバイスの多様化・多機能化など産業需要の拡大に応じた用途別従来型半導体の安定供給体制の構築	【政策提言2】 チップサイズと生産数量という切目で日本がとるべき生産戦略の提案	コスト競争力を維持しつつ、日本に多く存在する既存工場の有効活用と次世代パワー半導体生産へスムーズな切替。
STEP2 次世代技術の確立	SiCパワー半導体等の性能向上・低コスト化	【政策提言3】 次世代パワー半導体開発のマザー技術開発のための開発拠点の提案	SiCだけでなく日本で素材が強いGa _N ・Ga ₂ O ₃ の先行技術開発促進
STEP3 将来技術の研究開発	GaN・Ga ₂ O ₃ パワー半導体の実用化に向けた開発	【政策提言4】 EDAツールを使うエンジニア育成のためのオープンラボの提案	EDAデジタルツールに的を絞る事によりCAD、TCADを使いこなすデジタル人材増強、開発サイクル大幅短縮

経済産業省が提案しているSTEP1、STEP2、STEP3に対比する形であり、その方向性は同じであるが、パワー半導体業界に対してより具体的に示すことができた。どの提言も重要であり、平行で進めるほうが効果的であろう。特にSTEP2、STEP3は区別する必要はないのではないだろうか。

そしてこれらの政策提言の計画を以下に示す(図表9)。どちらも最初は戦略の策定、現状の調査などもあるが、2025年までに準備が整い、2030年までには効果を発揮する計画である。それぞれが有効に機能することでパワー半導体産業の強化、シェア向上につながると考えられる。

図表 9 本研究における政策提言の計画 出所：筆者作成



6. 考察

パワー半導体の政策提言の4つの成功を示した。これらはいずれも仮説であって、実際の検証は難しく、10年後、20年後にパワー半導体のシェアがどの様になっているかが何よりの検証である。しかしながら、もしこれら4つの政策提言をしなかった場合にどのくらいのマイナスがあるかどうかについては定量的な検証が必要である。

第1の連携・再編に関しては例えばネットワーク分析による業界構造変化による成長率の差異を試算できる可能性がある。具体的には複数のケースシナリオを比較し、過去のケースステディ、欧米の過去

の再編事例から効果を検証する。

第2の生産工場の再編については設備投資を大口径の300mm ウェハにした場合と筆者が提案する既存工場の再編を比較し、投資効率を計算する。

第3の開発拠点に関しては若林による売上げ成長率とR&D比率の関係[7]から将来の売上げを試算できる。

第4の人材については今後最もボトルネックになるため、どのように成長するか計算する。JEITA 半導体部会の試算によれば今後10年間で4万人の半導体人材が必要とされている。そこでパワー半導体の人材としてどのくらいの人数と費用を見積もる。特に第3の開発拠点はそもそも人がいなければ成立しない。したがって国がすべき政策はまずは人材育成となるだろうし、パワー半導体についても人材育成を優先していく事になるだろう。

7. おわりに

本研究ではパワー半導体にフォーカスし、経産省の半導体・デジタル戦略からより具体的な4つの政策提言へと繋げた。具体化することで将来における期待効果も予想できた。しかしながら、客観性に欠ける面があることは否めない。また、考察が不十分な面も多いだろう。4つの政策提言について調査し、より具体的で定量的な裏付けを示したい。また、再編等については海外のケーススタディなども参考にしたい。

また、日本の産業における弱点として「技術で勝ってビジネスで負ける」というものがある。ビジネスモデルについては今回、触れることができなかったが今後の研究対象として、MOTの観点から考察をしてみたい。

参考文献

- [1] クリス・ミラー, 半導体戦争ー世界最重要テクノロジーをめぐる国家間の攻防(2023年2月)
- [2] 近藤章夫, 半導体デバイス産業における工場規模の分極化とその政策的含意 (研究・イノベーション学会,2006)
- [3] 新井聖子, 日本の政策と日本企業連合の国際的孤立化ー「All Japan」でよいのか? (研究・イノベーション学会,2016)
- [4] JEITA 半導体部会, 国際競争力強化を実現するための半導体戦略、2023年版
- [5] 経産省, 半導体・デジタル産業戦略、2021年6月
- [6] 経産省, 半導体・デジタル産業戦略、2023年6月
- [7] 若林秀樹, R&Dの適性水準と成長率、収益率、割引率の関係式とテック業界を中心に実証を試みる