

2023 年度グラデュエーションペーパー
予稿

題 目	
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	
技術経営論文	ビジネス企画提案

学籍番号	8822233	氏名	半貫 恵司
------	---------	----	-------

教 員	
主査	若林秀樹 教授
担当審査委員	

東京理科大学大学院 経営学研究科 技術経営専攻

「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」

【目次】

1. 第1章 研究背景.....	6
1-1 動機.....	6
1-2 筆者略歴.....	6
1-3 サンケン電気について	6
2. 第2章 半導体産業概要	9
2-1 半導体産業の重要性.....	9
a. デジタルインフラ化.....	9
b. データセンターの増加と消費電力.....	9
c. カーボンニュートラルと環境問題.....	9
2-2 半導体産業の市場規模	10
2-3 半導体の種類と材料.....	12
3. 第3章 各国の半導体政策について.....	16
3-1 米国の半導体政策.....	16
3-2 中国の半導体政策.....	16
3-3 韓国の半導体政策.....	17
3-4 台湾の半導体政策.....	18
3-5 欧州の半導体政策.....	19
3-6 各国の半導体政策のまとめ	21
4. 第4章 問い.....	22

5. 第5章 先行研究	23
5-1 先行研究1 半導体戦争(クリス・ミラー氏著 2023年) (著書)	23
5-2 先行研究2 半導体衰退の原因と生き残りの鍵(佐野 昌氏著 2012年) (著書)	23
5-3 先行研究3 「電機・半導体」大崩壊の教訓(湯之上 隆氏著 2012年) (著書)	23
5-4 先行研究4 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(論文)	23
5-5 先行研究5 日本の政策と日本企業連合の国際的孤立化:「AllJapan」でよいのか?(論文)	23
5-6 先行研究6 パワー半導体産業の比較分析と微細化技術の導入効果に関する研究(論文)	23
5-7 先行研究7 JEITA 半導体部会政策提言 TF 政策提言書 (JEITA)	23
5-8 先行研究8 半導体・デジタル産業戦略 (経済産業省)	24
5-9 先行研究についてのまとめ	25
6. 第6章 日本のパワー半導体産業に向けた政策提言	26
6-1 経済産業省「半導体・デジタル産業政策」の分析	26
7. 第7章 パワー半導体に焦点を当てた政策提言	29
7-1 連携・再編	29
7-2 生産・工場	34
7-3 技術開発	37
7-4 人材育成	40
8. 第8章 考察	45
8-1 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	45
8-2 本研究における政策提言の計画	49
9. 第9章 まとめ	51
9-1 4つの提言	51
9-2 研究成果と先行研究に対する貢献	51
10. 第10章 自社への提言	52
11. 第10章 付録	54
10-1 半導体産業の重要性(GDP からの考察)	54
10-2 化合物半導体置き換えによる電力、CO2 削減効果	55
10-3 海外企業と日本企業の製品数の広さ、多さについての比較	56
10-4 M&A に関する考察	57
12. <参考文献>	58

図表 1	電力王で知られる松永安左エ門氏と創業当時の東邦産業研究所(現在の慶應志木高校).....7		
図表 2	小谷鍬治氏と日本の産業発展に大きく貢献したセレン整流器製造工場7		
図表 3	現在のサンケン電気社長である高橋 広 社長と、新社屋のものづくり開発センター.....8		
図表 4	半導体と産業の関係.....10		
図表 5	ワールドワイドエレクトロニクス市場規模推移(2020～2027 年).....10		
図表 6	世界半導体市場規模予測 (地域別)	図表 7	世界半導体市場規模予測 (地域別) ..11
図表 8	世界半導体市場規模予測 (デバイス)	図表 9	世界半導体市場規模予測 (IC)11
図表 10	パワー半導体の市場規模予測.....11		
図表 11	2022 年パワー半導体市場シェアと市場規模予測.....12		
図表 12	各種半導体の企業シェア.....12		
図表 13	主な半導体の種類と特徴.....13		
図表 14	参考 パワー半導体説明資料.....14		
図表 15	半導体材料の動作電圧と電力損失	図表 16	素材による小型化の実現.....15
図表 17	化合物半導体のデメリット.....15		
図表 18	中国国内の国産半導体比率と販売実績.....17		
図表 19	各国の半導体にかかわる政策のまとめ.....21		
図表 20	半導体・デジタル産業戦略 半導体戦略全体像 1.....24		
図表 21	半導体・デジタル産業戦略 半導体戦略全体像 2.....24		
図表 22	先行研究まとめ.....25		
図表 23	「2. 半導体・デジタル産業を取り巻く状況」分析.....26		
図表 24	「3. 半導体・デジタル産業戦略(令和 3 年 6 月公表)の実施状況」分析.....26		
図表 25	「5. 個別戦略」分析.....27		
図表 26	「半導体・デジタル産業戦略」におけるデジタル半導体とパワー半導体の記載分析 ...28		
図表 27	本研究での政策提言.....29		
図表 28	パワー半導体産業のサプライチェーン.....29		
図表 29	各分野のパワー半導体使用数量.....30		
図表 30	シリコンパワー半導体と化合物パワー半導体の関係企業と事業範囲.....31		
図表 31	2pPack パワー素子内臓基板 (出所: JPCA 2023_roadmap より抜粋)32		
図表 32	AT&S の部品内臓パワーFET デバイス (出所: JPCA 2023_roadmap より抜粋)32		
図表 33	パワー半導体に関係する各企業のポジショニング.....33		
図表 34	パワー半導体企業連携における縦連携・横連携.....33		
図表 35	企業の連携、統合・再編のための戦略的アプローチ案.....33		
図表 36	パワー半導体の平均的サイズ	図表 37	ウェーハサイズと面積比.....34
図表 38	システム LSI の製造コスト	図表 39	パワー半導体の製造コスト.....35
図表 40	生産チップ数とチップコストシミュレーション.....36		
図表 41	日本の半導体工場数	図表 42	パワー半導体の種類と割合(W/W).....36
図表 43	世界の半導体工場の月産生産量比較 (200mm ウェハ換算, 単位: 百万枚/月)37		
図表 44	パワー半導体版 LSTC 構想イメージ.....38		
図表 46	次世代化合物半導体のプロセス比較.....39		

1. 第1章 研究背景

1-1 動機

日本が強い半導体分野のひとつにパワー半導体がある。パワー半導体は多くのエレクトロ製品に使用され効率よく電気を制御する重要なものであり、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。

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、パワー半導体産業へどのような提言が出来るのか、検討した。

1-2 筆者略歴

筆者は 1993 年にサンケン電気株式会社に入社し、一貫してパワー半導体の素子開発、プロセス開発に従事。現在は、パワー半導体素子設計部門の統括部長としてパワーデバイスおよび IC 開発のマネジメントを行っている。

1-3 サンケン電気について

サンケン電気は、1937 年に設立された東邦産業研究所が起源であり、1946 年 9 月 5 日に設立された。1962 年、会社はサンケン電気株式会社¹⁾に名称を変更し現在に至る。

パワー変換技術やモーションコントロール技術などを基に、パワー半導体を開発、製造している。

2. 第2章 半導体産業概要

2-1 半導体産業の重要性

現在、半導体産業は、技術革新、環境問題への対応、デジタルインフラの発展という現代社会の重要な課題に対して、中心的な役割を担っている。

図表 1 半導体と産業の関係



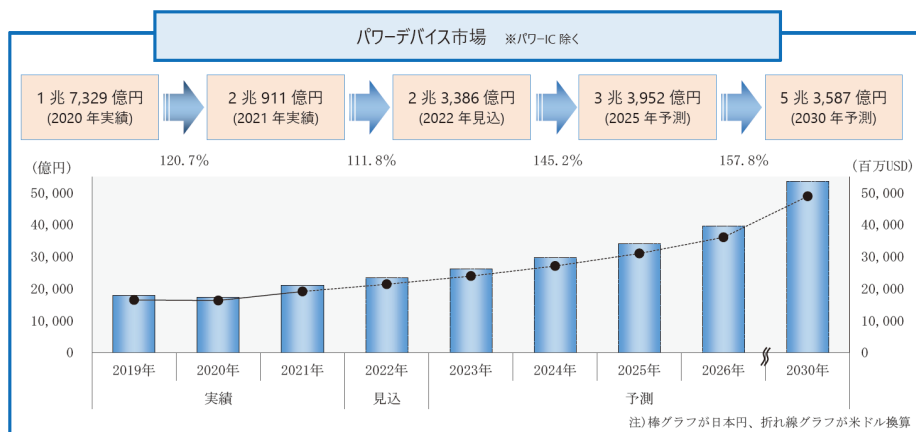
出所：経済産業省「半導体・デジタル産業戦略」を元に筆者作成

¹⁾ 東邦産研電気株式会社⇒サンケン電気株式会社。サンケンとは産業と研究を意味する。

2-2 半導体産業の市場規模

半導体は多くのエレクトロニクス製品に使用され、市場規模は拡大している。白物家電、情報通信インフラ、モビリティなどの分野での市場拡大に伴い、エレクトロニクス製品の全体としての年間平均成長率は3%（2021年から2027年）となる。それに伴い、半導体市場全体も、パワー半導体市場も、需要増加に伴い、大きく拡大している。

図表 2 パワー半導体の市場規模予測

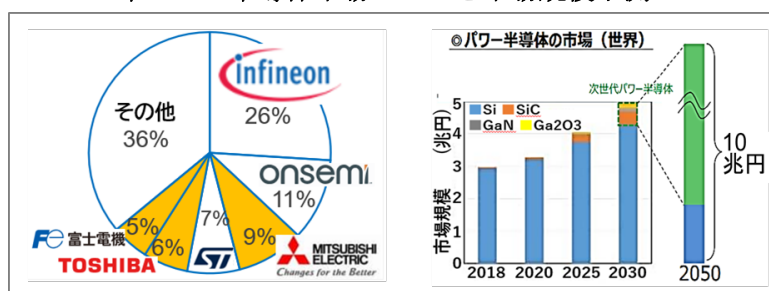


出所：富士経済 2022 年版 次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望より抜粋
 ※為替レート：1USD=141 円(2023 年 12 月 29 日)

2-2-4 パワー半導体企業シェア

パワー半導体の市場シェアは以下のようにになっている。トップは外資系大手企業となるが日本は総合で高いシェアを誇っている。

図表 3 2022 年パワー半導体市場シェアと市場規模予測



出所：経済産業省「半導体・デジタル産業戦略」などを参考に筆者作成

2-3 半導体の種類と材料

半導体の種類と材料について整理し、どのような特徴があるのかを述べる。

2-3-1 半導体の種類

半導体はいくつかの種類に分けることができる。本論文では、ロジックとメモリーをデジタル半導体、パワーをパワー半導体と分けて進める。

図表 4 主な半導体の種類と特徴

主な半導体の種類			特徴
種類	機能や用途	搭載製品	
ロジック	データ処理、機器の制御	スマホ、パソコン	
メモリー	データ保存	スマホ、パソコン	
アナログ	音や光、温度などの情報をデジタル信号に変換	パソコン、電気自動車 (EV)	
パワー	電圧を制御し、機器を省エネ化	EV、発電機器	

ロジックメモリ 半導体

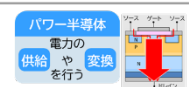
データの演算や記憶を行う



電流は横に流れる
微細化による集積が鍵

パワー半導体

電力の供給や変換を行う



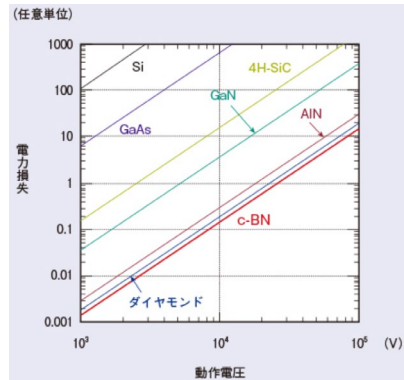
電流は縦に流れる
低抵抗化が鍵

出所：日本経済新聞資料より筆者加筆

2-3-2 パワー半導体の材料

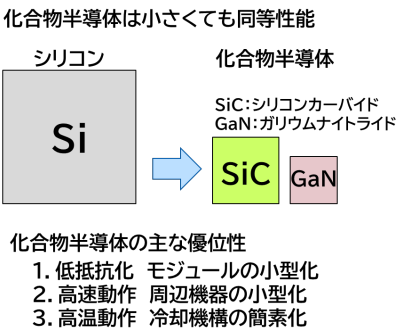
パワー半導体に使われる材料には、広く使用されているシリコン (Si) の他、シリコンカーバイド (SiC)、窒化ガリウム (GaN)、酸化ガリウム (Ga₂O₃) といった材料がある。

図表 5 半導体材料の動作電圧と電力損失



出所：NTT 技術ジャーナルより抜粋

図表 6 素材による小型化の実現



出所：筆者作成

3. 第3章 各国の半導体政策について

各国の半導体政策について調査した。自国における半導体産業基盤を確固たるものにする動きが各国の半導体政策に表れていることが分かった。

図表 7 各国の半導体にかかわる政策のまとめ

出所：筆者作成

国	半導体政策の概要	補助金	税制優遇	人材育成	研究開発
米国	・CHIPS ACT法 ・ガードレール規制	・525億ドルを割り当て	・半導体製造における資本投資に対して25%の税額控除	・労働力の訓練と教育に2億ドル	—
中国	・中国製造2025 ・国家ICファンド	・国家ICファンドで合計2000億元	・企業所得税の優遇措置 ・輸入税の優遇措置	—	・研究開発費の税引前控除100%
韓国	・半導体超強大国達成戦略	・5年間で約340兆ウォン (約35兆8000億円)	・設備投資減税15%	・2030年までに15万人の半導体人材育成 ・半導体関連分野の学科やコースを新設	・「K-半導体ベルト」造成し、研究・開発 (R&D) 支援 ・AI半導体強化
台湾	・産業創新条例 (台湾版CHIPS 法)	—	・研究開発費に対する25%の税制優遇措置 (半導体企業の一部)	・台湾の現在の半導体政策はAI開発に焦点	・税額控除や企業税の優遇
欧州	・欧州半導体法案 ・デジタル・コンパス2030	・2030年までに世界市場シェア20% 総額430億ユーロ	—	・高度デジタル人材の育成	—
日本	・半導体・デジタル産業政策 (経産省) ・国内投資促進パッケージ (内閣府)	・半導体国産強化へ2兆円規模 (23年度) ※22年度は1.3兆円	・半導体については、繰越期間が3年、法人税の20%まで控除	・将来の半導体産業を牽引する人材の育成	・若手研究者発掘支援 ・イノベーション拠点税制の創設

4. 第4章 問い

半導体産業が社会的にも重要であり、各国の半導体政策からもその重要性は示されたが、半導体産業に対する認識は半導体全般であり、パワー半導体に限った重要性や政策については不十分な点もある。

そこでパワー半導体産業にとって重要な政策とはどのようにすべきなのか、各種の論文や著書、あるいは経済産業省等の各省庁の戦略について検討し、さらなる具体的な提案が可能なのか、考えたい。これが私がこの研究で行う問いである。

5. 第5章 先行研究

先行研究では半導体産業にかかわる様々な研究や論文、政策提言などと調べた。半導体産業全体の国際競争、日本の半導体メーカーの衰退原因と対策、半導体産業の工場規模の分極化、日本の半導体政策が見えた。これらの研究は、半導体産業の歴史、現状、および将来の展望に関する洞察を提供しているが、特にパワー半導体に焦点を当てた詳細な分析は不足していた。

6. 第6章 パワー半導体とデジタル半導体の政策提言の比較

経済産業省の半導体・デジタル産業政策で半導体産業においてはパワー半導体とデジタル半導体の政策提言の比較を行った。

図表 8 「半導体・デジタル産業戦略」におけるデジタル半導体とパワー半導体の記載分析

提言分野	素材	技術 (前工程)	技術 (後工程)	研究 開発	生産	人材	サプライ チェーン	製造 装置
デジタル半導体	—	記載あり	記載あり	記載あり	記載あり	記載あり	記載あり	記載あり
パワー半導体	記載あり	—	—	—	記載あり	記載あり	—	—

出所：筆者作成

半導体・デジタル産業政策ではパワー半導体の重要性が認識され、必要性についての言及はあるが、その社会実装や研究開発の具体的な方法については記載がない。これを踏まえ、パワー半導体に関する政策や戦略の検討が必要となる。

7. 第7章 パワー半導体に焦点を当てた政策提言

日本の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について、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とした。

図表 9 本研究での政策提言

分野	内容
企業がもっと強く	
自国生産力強化	
技術力強化	
半導体人材増強	
分野	内容
連携・再編	素材と実装技術を重視し、各市場にあった連携・再編の提案
生産・工場	パワー半導体の特徴を考慮した日本がとるべき生産戦略の提案
開発拠点	次世代パワー半導体開発のための開発拠点の提案
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

出所：筆者作成

7-1 連携・再編

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である。

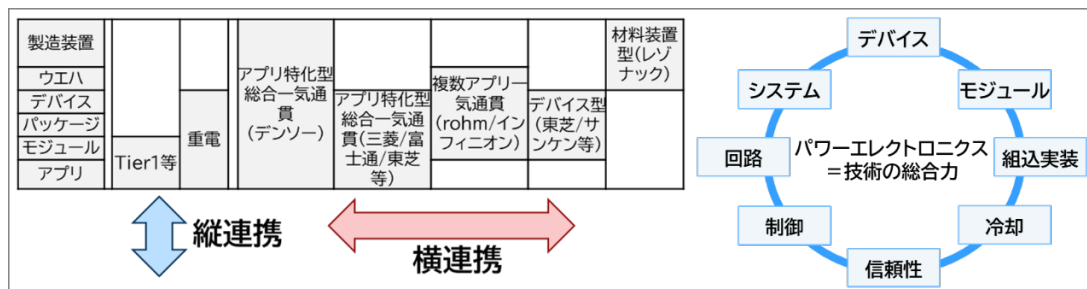
日本のパワー半導体関連の企業を一覧に並べた。どのような連携が良いかはパワー半導体が使われるアプリケーションによって変えるべきである。どれがベストかは各企業の経営方針や企業文化なども考慮する必要がある。

図表 10 パワー半導体に関する各企業のポジショニング

[illegible]

出所：各社 HP 等参考に筆者作成

図表 11 パワー半導体企業連携における縦連携・横連携



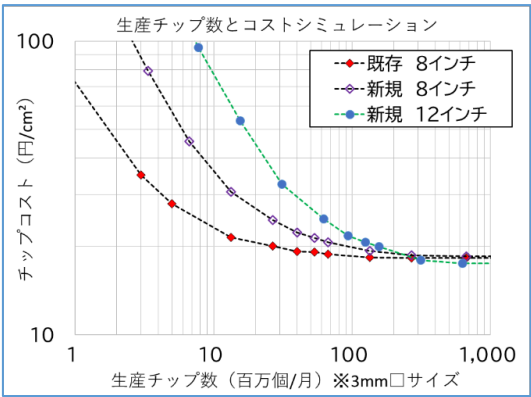
出所：筆者作成

7-2 生産・工場

パワー半導体は様々なチップサイズがあるだけでなく、近年はシリコン材料以外にも SiC や GaN といった化合物材料による性能改善が行われている。これら次世代の半導体を生産するためには前工程である工場も十分に検討するべきであり、スケールメリットを追うだけの戦略は得策ではないと考える。

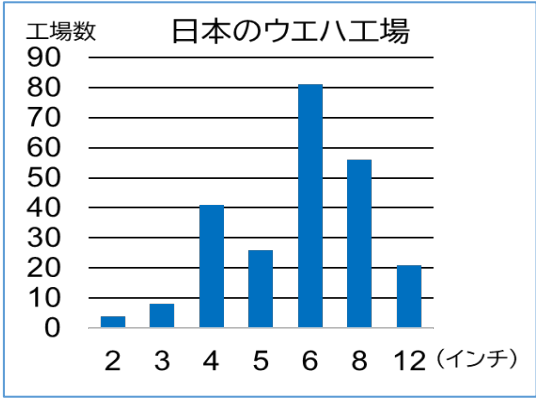
生産シミュレーションの結果が示す通り、既存工場をうまく利用したほうが安いということがわかる。さらに、日本には6，8インチの工場が多く稼働しており、この小口径の工場を多く持つ日本は少量多品種を生産するパワー半導体生産に適しているといえる。

図表 12 シリコンにおける生産チップ数とコストシミュレーション(3mm□想定)



出所：筆者作成

図表 13 日本の半導体工場数

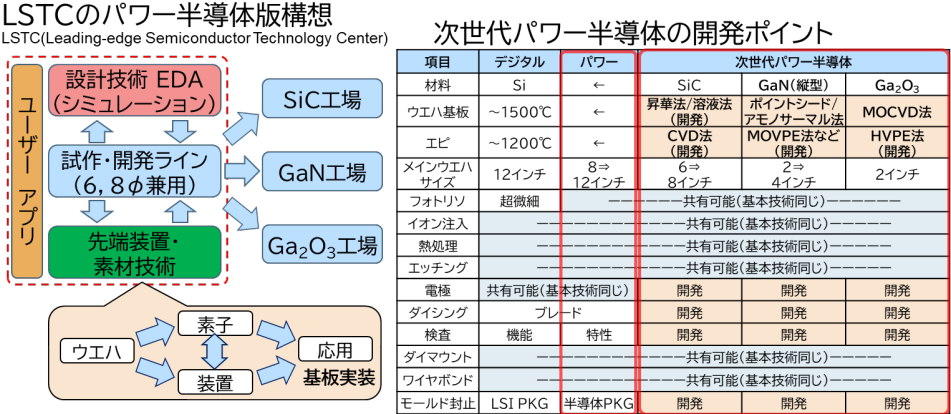


出所：筆者作成

7-3 技術開発

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。特に次世代パワー半導体の製造プロセスは素材によって違う部分と、共通の部分があり、素材、プロセス、パッケージの勘所をこのような開発拠点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。

図表 14 LSTC のパワー半導体版構想イメージ 出所：筆者作成



7-4 人材育成

半導体産業における人材育成は重要な課題であり、JEITA によると今後 10 年間で 4 万人の人材不足が予測され、産業界、教育機関、国がそれぞれ人材育成に取り組んでいる。

図表 15 産官学の人材育成

産業界の取組	JEITA	教育機関の取組	国の取組
JEITAの半導体人材育成の取組 ✓ 全国半導体人材育成プロジェクト （出前授業、工場見学、高専カリキュラム策定に貢献など） ✓ 国内最大級IT見本市「CEATEC（シーテック）」で「半導体人材育成フォーラム」開催		高専・大学の半導体人材育成の取組 ✓ 高専における半導体の基礎を学ぶカリキュラムの実施【佐世保高専、熊本高専】 ✓ 大学における研究開発を通じた、将来の半導体産業を牽引する人材の育成【東工大、東大、東北大】（今後、拠点の拡大を検討）	デジタル人材育成推進協議会 （目的）成長分野の国際競争力を支えるデジタル人材の産学官連携による育成 ✓ 産学官連携による大学・高等専門学校のデジタル人材育成機能の強化の検討 ✓ 地域ごとのデジタル人材ニーズの把握・検討・産業育成の促進の検討

出所：経済産業省「半導体・デジタル産業戦略」より抜粋、筆者加筆

特に半導体の設計・検証には EDA（電子設計自動化）ツールが必須であり、これらの技術は AI や最新テクノロジーの進化によって進歩している。しかし、EDA ツールに特化した人材育成は十分ではなく、現状では主に各社の OJT（On-the-Job Training）やメーカーによるセミナーが行われている。この問題に対処するため、シミュレーションオープンラボの設立を提案し、特に産業界の JEITA が先導することで、早期の構築が可能であると考えられる。

図表 16 パワー半導体シミュレーションオープンラボ



出所：筆者作成

8. 第8章 考察

4 つの提言、「連携・再編」、「生産・工場」、「開発拠点」、「人材育成」について期待する効果を検討し、想定される課題について検討を行った。

また、経済産業省の「半導体・デジタル産業戦略」と比較し計画も示した。

8-1 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

図表 17 4 つの提言とそれぞれ期待する効果と想定される課題の要約 出所：筆者作成

提案内容	提案内容に対する効果と課題
連携・再編	異分野の企業間連携による技術革新加速と市場ニーズへの迅速な対応が期待される。技術統合の難しさや組織文化の違いが課題となる。
生産・工場	既存設備の活用によるコスト効率と生産効率の向上が図られる。新素材への適応性や品質管理が挑戦的課題となる。
開発拠点	次世代技術の研究開発を通じて国際競争力を高めることが期待される。資金調達や人材育成が重要な課題となる。
人材育成	シミュレーションオープンラボの設立により技術革新と若手技術者の育成を促進できる。資金調達や技術更新が課題となる。

8-1-5 経済産業省の半導体・デジタル産業戦略の提言と比較

図表 18 本研究における低減との比較表

半導体・デジタル産業戦略からの提言		本研究による提言	期待効果	何もしない場合
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。	部分的な連携強化となり、不十分な連携・統合に留まる可能性あり。
	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り口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。	12インチ工場(ファブ)の過剰建設と次世代半導体生産工場のアンマッチ
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GaN・Ga ₂ O ₃ の先行技術開発促進	日本が強いGaN・Ga ₂ O ₃ の競争力低下
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	パワー半導体人材の深刻な不足

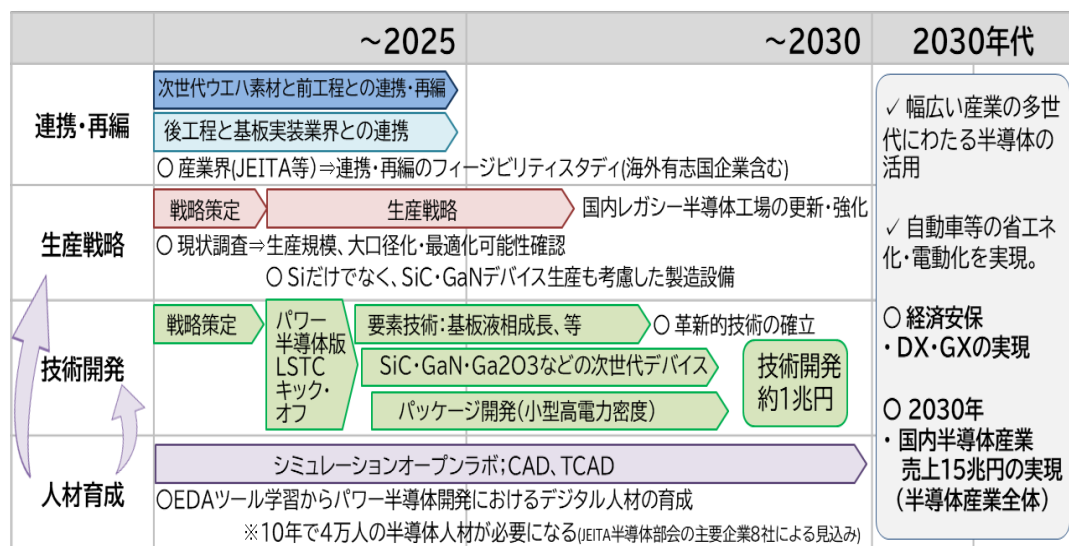
出所：筆者作成

8-2 本研究における政策提言の計画

これらの政策提言の計画を以下に示す。それぞれが有効に機能するためには、その順番があるだろう。人材育成は時間がかかるため、まず人材育成から始め、そして技術開発、生産戦略、そしてこの連携・再編の順序となる。これを時間軸でロードマップに落とし込んだ。

この計画により、日本のパワー半導体産業がシェアを維持拡大できると考えている。

図表 19 本研究における政策提言の実行計画



出所：筆者作成

9. 第9章 まとめ

9-1 研究成果と先行研究に対する貢献

研究成果：

- ・ 素材と基板実装の重要性を示し、連携の仕方をまとめた。
- ・ パワー半導体は多様な用途から、チップサイズや仕様が多岐にわたるため、既存の 6, 8 インチ生産工場を上手に活用していくべきことを示した。
- ・ 技術力強化のため、LSTC をメタファーにパワー半導体版 LSTC を提案し、素材ごとに開発することを提案した。
- ・ パワー半導体産業における人材育成では設計シミュレーションに重点を置くことを示した。

貢献：

パワー半導体がエコ・省エネなど、重要性を増す中で、日本のパワー半導体産業をどのように進めていけば良いのかを示せたことが貢献である。

9-2 今後の課題

今回の研究では主に前工程をベースに研究を行っており、後工程は出来ていない。今後は後工程についても、詳細な分析、検討が必要になるだろう。

また、化合物パワー半導体は大幅に性能向上が見込め、産業構造が変化していく。

これらの研究開発から社会実装に至るまでのプロセスについても、後工程も踏まえどのように進めるべきか分析する必要があるだろう。

10. <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] 馬場 嘉朗, パワー半導体産業の比較分析と微細化技術の導入効果に関する研究
- [5] 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
- [6] 経産省、半導体・デジタル産業戦略、2021 年 6 月
- [7] 経産省、半導体・デジタル産業戦略、2023 年 6 月
- [8] 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