

Title	コア技術強化の罫一パワー半導体開発事例からの考察
Author(s)	松元, 貴志; 内海, 京久
Citation	年次学術大会講演要旨集, 40: 67-70
Issue Date	2025-11-08
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	https://hdl.handle.net/10119/20285
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 A 2 2

コア技術強化の罨一パワー半導体開発事例からの考察

○松元貴志（サンケン電気／東京理科大）、内海京久（高知工科大／東京理科大）

1. はじめに

将来の市場機会に備えるために、コア技術開発への集中と商品・市場展開による長期的強化が有効であることが知られている（延岡，2006；伊丹，2012）。しかし、主にコア技術開発による競争優位性獲得について議論されていて、コア技術の弱体化に繋がる要因への言及は限定的である。

本報告では、パワー半導体開発の事例分析を通じて、「コア技術を強化しようとする意図が、なぜ結果としてコア技術を弱体化することがあるのか」を検討した。その結果、組織が内向きの論理に陥ること、顧客という「開発の動機」が欠落し、夢想的な目標を設定することによって、技術進化が停滞し、学習機会が失われ、技術蓄積が阻害されるという、コア技術弱体化のメカニズムを明らかにした。

2. 先行研究

延岡(2006)は、コア技術戦略において、要素技術の集中的な開発と商品展開の連動が、技術蓄積と組織能力の強化に寄与するとしている。技術は商品化によって鍛えられ、他社が模倣困難な差別化したものへと進化する。また、伊丹(2012)は、「市場への出口をつくる」とことと「筋のいい技術を育てる」とことの学習活動の活性化基盤を戦略が用意することの重要性を述べ、コア技術の強化により競争優位を獲得できるとしている。

しかし、これらの先行研究においては、技術開発に取り組めば取り組むほど能力が蓄積され、コア技術が強化されるという前提が暗黙のうちに置かれていて、意図に反して弱体化するメカニズムについての検討が不十分である。そこで本研究のリサーチクエスチョンは以下とする。

『なぜ長年開発に取り組んでいるコア技術が、強化の意図に反して弱体化するのか』

分析の枠組みとしては、延岡（2006）の「コア技術戦略」モデルを採用し、強化及び弱体化の両事例を詳細に分析する。

3. 事例研究

(1) 研究方法

事例の定性分析による原因仮説導出を選択した。事例の証拠源として、行為主体の1次資料（技報、論文、特許）とインタビューを中心として2次資料（書類、雑誌等）によって客観性を担保できるように調査を実施した。事例として、三菱電機、富士電機、サンケン電気のRC-IGBT（逆導通型絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）素子の開発と、それを用いたパワーモジュールの商品化の取り組みを選定した。この選定理由は、シリコン系パワー半導体の性能限界が指摘され、性能面で凌駕する化合物半導体の実用化が進む技術転換期において、RC-IGBTがシリコン系パワー半導体の適用寿命を延ばす重要な技術である点にある。さらに、各社の開発への取り組みの巧拙と商品化の巧拙が明確に分かれ、コア技術強化と弱体化が分かれた事例だからである。

(2) IGBT と RC-IGBT

大電力を扱えるパワー素子であるIGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）の研究は、1968年の三菱電機の山上氏によるMOS駆動PNPトランジスタの発表に始まり、1984年の年東芝の中川氏による実用的IGBTの発表により各社の実用化が加速した。実用化以降、IGBTは、FWD（フリーホイールダイオード）とセットで、モーター駆動用のインバータなどのパワーエレクトロニクス回路で使用されている。製品形態としては、一対のIGBTとFWDのみが封止されたディスクリット製品と、複数のIGBTとFWDが封止されたパワーモジュール製品がある。

このように大電力を扱うパワーデバイスとして、長い技術開発と商品化の歴史を持つ IGBT が成功する一方で、Si の性能限界を超えるデバイスとして SiC の開発が進んでいる。特に EV の普及に伴い、航続距離の延長に寄与する高効率インバータを実現する技術として注目され各社が開発している。しかし、SiC デバイスは高コストであるため、Si デバイスでの低コスト化も継続的要求がある。そこで開発されたのが RC-IGBT で、IGBT の裏面加工によって FWD を形成し一つのチップに統合したものである。

(3) 三菱電機の RC-IGBT 開発 IPM

三菱電機は、1997 年よりトランスファーモールド構造の IPM(インテリジェントパワーモジュール)を製品化し、アジアの白物家電市場を中心に高いシェアを獲得してきた。欧米市場では価格メリットからディスクリット構成が主流であったが、同社はこれに対抗するため、2006 年に世界で初めて RC-IGBT を搭載した IPM の販売を開始した(高橋、2006)。この第 1 世代 RC-IGBT は IGBT と FWD が別々の場合と比較してサイズが大きく性能面に課題があったが、商品化を通じて改善された。

その後 FS-IGBT 技術は 2008 年の第 6 世代、2013 年の第 7 世代と世代を重ねて進化し、2015 年には第 7 世代 IGBT の薄厚構造をベースとした第 2 世代 RC-IGBT を搭載した白物家電用 IPM が発売された(三菱電機、2015, 2016)。V_{CESAT} 性能が 50%改善され、省エネ化に大きく貢献している。コア技術戦略のお手本のような開発経緯であるが、インタビューによれば、同社のパワー素子開発の強みは以下の 3 点に集約される(山崎、2019)：

1. 先端研究所を有し、先行的な製品開発が可能であること
2. パワー半導体を活用する事業部門が社内存在すること
3. 社外との取引が 8 割を占め、社内外のユーザーとの技術交流を通じて技術力を磨けること

第 1 世代 RC-IGBT 搭載品から第 2 世代搭載品までの開発には 9 年を要したが、IPM 市場でのトップシェアを維持しつつ、性能面で課題を抱えながらも将来性のある技術として社内外顧客と連携しながら育成したことが、技術の成熟と市場浸透につながったと言える。

(4) 富士電機の RC-IGBT 開発

富士電機は、1988 年にケースタイプの IPM を製品化して以降、産業機器向けの大容量製品を中心にシェアを獲得してきた(百田、1998)。車載向けでは、2012 年に車載用第 1 世代パワーモジュールの商品化し、2015 年の第 2 世代モジュールの商品化した。いずれも IGBT と FWD の 2 チップ構成で高電力密度化を図ってきた。続く第 3 世代モジュールでは、RC-IGBT を搭載し、冷却機構の最適化を通じてさらなる高電力密度化に向けた開発が進められている(郷原、2015)

富士電機は、自社でパワーモジュールを商品化する一方で、デンソー向けに IGBT と FWD を供給している。デンソーはこれらのチップを独自の両面放熱構造モジュールに組み込み製品化している。このような関係性の中で、富士電機とデンソーは RC-IGBT のトライアル開発と、技術検証を先行的に進めていた。

一方で、当時は EV 航続距離を延ばすためにインバータの SiC 化の動きもあり、現に 2017 年にはテスラが ST マイクロニクス製の SiC-MOSFET をモデル 3 に搭載するなど、SiC-MOSFET 化の動きに乗り遅れてはならないと各社が開発を競っていた。

しかし、2019 年には、長年に渡り IGBT から SiC に切り替える準備を進めてきたトヨタ自動車は、SiC の採用を見送ると報じられた。数年先を見越しても、高品質なウエハを供給できるメーカーが少なく、価格も高いことが要因だとみられる。

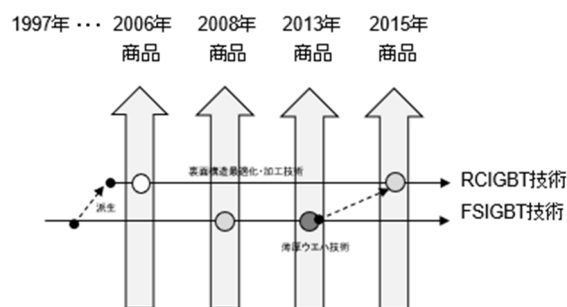


図 1 三菱電機の技術展開

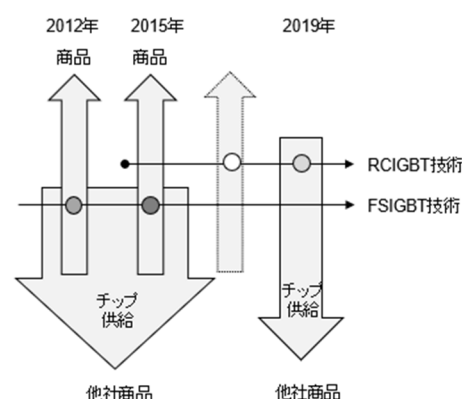


図 2 富士電機の技術展開

さかのぼること、2014 年デンソーとの間で「RC-IGBT が今後の主流技術となる」という技術予測の共有が契機となり、両社共同のプロジェクトとして RC-IGBT の開発が本格的に始動した(富士電機 2025)。記事によれば、富士電機が RC-IGBT という困難な技術開発に取り組み、成功にいたった重要な要因として、「顧客の存在」が示唆される。週次の定例会議、顧客も半導体を開発していることから技術的助言、出口商品とその時期が明確であることによる、ビジネス面での不確実性低減とプレッシャーである。

(5) サンケン電気の RC-IGBT 開発

サンケン電気は、パワーモジュール市場において日本勢として三菱電機、富士電機に次ぐ 3 位のシェアを有しており、白物家電向けの IPM として IGBT と FWD の 2 チップ構成のものを商品化してきた。しかし、2020 年代に入り市場参入企業が増加し、RC-IGBT 搭載製品がシェア獲得、価格競争が激化する状況を受けて、サンケン電気も RC-IGBT 素子の開発に着手することとなった(染谷, 2023)。他社に後れを取ったことから、差別化を企図して、自社論理により高い目標設定をして短期開発を目指すも、特性未達により商品化に至らなかった。その後も世代交代を重ねたものの 2025 年現在においても RC-IGBT を搭載した製品の量産には至っていない。並行して新世代 FS-IGBT 技術の開発に取り組んでいるが、こちらも商品化に至っていない。一発逆転を狙った製品開発は成果を得ることができず、結果として、競合が次々と RC-IGBT を搭載した商品を市場に投入している中で、サンケン電気は、制御やパッケージの工夫により、旧世代 FS-IGBT を搭載した IPM を商品化している。しかし、これらの製品は低利益率を甘受する状況が続いている。

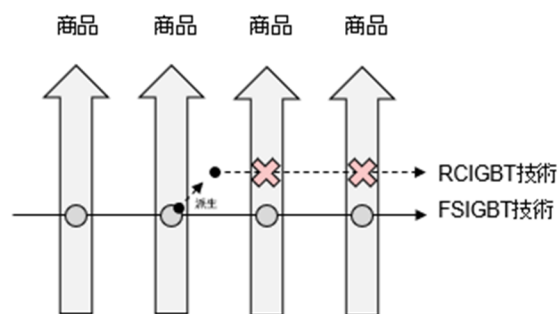


図 3 サンケン電気の技術展開

4. 考察

事例分析の結果、コア技術の強化ループには、正のループだけでなく負のループも存在することが明らかになった。負のループとは、コア技術強化の意図が必ずしも技術蓄積に結びつかず、むしろ弱体化するプロセスである。コア技術の開発には長期的な時間と反復的な学習で不可欠である一方、比較的短期間で開発成果を出しやすい周辺技術も存在する。この時間差が短期的業績圧力や市場のコモディティ化と結びつくと、組織は成果の出やすい周辺技術で「その場しのぎの商品化」を選択して、コア技術の学習機会を失わせる状況が発生する。その結果、世代を追うごとに要求水準が上がるコア技術の開発難易度は増し、弱体化のループは固定化される。

三菱電機の事例では、社内外顧客との密接な往復を通じて、商品化を伴う学習機会を確保し、コア技術の成熟と市場展開を同時に実現した。富士電機の事例では、デンソーとの共同開発が、出口商品の明確化と不確実性低減に繋がり、顧客の存在が正の学習ループを駆動した。一方、サンケン電気の事例では、急速な価格競争への対応を主動機として差別化された技術の短期開発を志向した結果、性能要件を満たせずに終わり、コア技術を鍛える機会を逸した。その後も商品化を通じて周辺技術の強化が進む一方で、コア技術の強化は停滞し、相対的な弱体化が進行している。

以上を整理すると、以下の三つの要因が影響する「開発動機」が、コア技術強化ループを正に回すか、負に回すかの分水嶺となると考えられる。

- ① 差別化の志向 (－)
- ② 過去の開発パターン (－)
- ③ 顧客の存在 (+)

とりわけ「顧客の存在」は、内向き論理に陥る傾向を外的に補正し、学習機会と市場を結び付ける重要な要因であることが事例研究により明らかとな

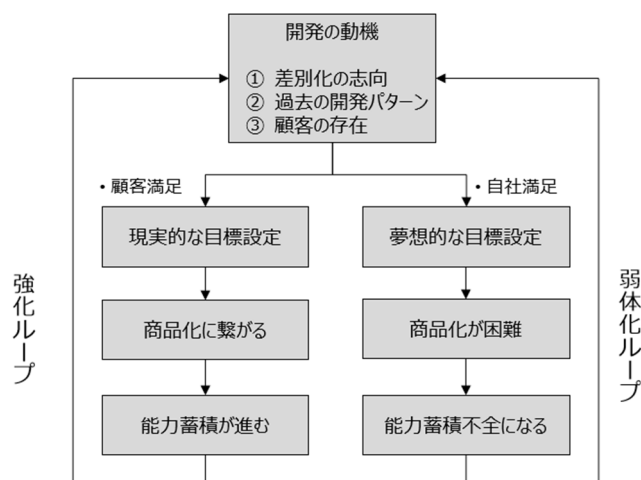


図 4 コア技術の強化と弱体化のメカニズム

った。

5. 結論と示唆

本研究では、『なぜ長年開発に取り組んでいるコア技術が、強化の意図に反して弱体化するのか』というリサーチクエスションに対し、開発動機という分水嶺と3つの要因を示し、夢想的な目標を設定することによって、技術進化が停滞し、学習機会が失われ、技術蓄積が阻害されるという、コア技術弱体化のメカニズムを明らかにした。

本研究の学術的貢献は、従来のコア技術戦略において前提とされていた「取り組めば強化される」という右肩上がりのモデルに加えて、開発動機次第ではコア技術が逆に弱体化する可能性があることを提示した点にある。

実務的貢献としては、このような弱体化メカニズムの要因を具体的に示したことで、実務家に対して改善につながる知見を提供した。今後の課題は、弱体化・強化メカニズムにおける要因の因果関係の解明と、一般化に向けた半導体以外の複数事例研究である。

6. 参考文献

- 伊丹敬之. (2012). 経営戦略の論理 〈第4版〉—ダイナミック適合と不均衡ダイナミズム—. 延岡健太郎. (2006). MOT「技術経営」入門. 日本経済新聞出版.
- 郷原広道. (2015). 車載用第3世代パワーモジュールのパッケージ技術. 富士時報.
- 高橋英樹. (2007). モータ制御用 RC-IGBT. 三菱電機技報.
- 三菱電機. (2015). 三菱電機パワー半導体モジュール「SLIMDIP」シリーズ発売. 参照先: 三菱電機:
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/pdf/0423-b.pdf>
- 山口厚司. (1998). 中・大容量 R シリーズ IGBT-IPM. 富士時報.
- 山崎大樹. (2019). 三菱電機 半導体・デバイス事業本部 山崎事業部長「IGBT と IPM で世界を牽引」. オートメーション新聞.
- 柴田祥吾. (2016). RC-IGBT 搭載パワーモジュール SLIMDIP シリーズ. 三菱電機技報.
- 染矢亮. (2023). 第一世代 RC-IGBT の開発. サンケン技報.
- 百田聖自. (1998). パワーモジュール用チップ技術. 富士時報.
- 富士電機. (2025). エコカー向け新型パワー半導体「RC-IGBT」開発への挑戦. 参照先: 富士電機:
<https://www.fujielectric.co.jp/recruit/graduates/work/work01.html>