

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクス  
プロジェクト／①（１０）、③」  
中間評価報告書

平成２８年１２月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成28年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクス  
プロジェクト／①（１０）、③」  
中間評価報告書

平成２８年１２月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	
3. 評点結果	1-18
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／①(10)、③」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／①(10)、③」(中間評価)分科会において評価報告書案を策定し、第49回研究評価委員会(平成28年12月5日)に諮り、確定されたものである。

平成28年12月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（平成28年9月6日）

#### 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し
8. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

### ● 第49回研究評価委員会（平成28年12月5日）

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／

①（１０）、③」

中間評価分科会委員名簿

（平成２８年９月現在）

	氏名	所属、役職
分科会長	すずき あきら 鈴木 彰	国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST） イノベーション拠点推進部 JST スーパークラスタープログラム 戦略ディレクター
分科会長 代理	すえみつ まき 末光 真希	東北大学電気通信研究所 固体電子工学研究室 教授
委員	こうの さとし 河野 智	株式会社 NTT ファシリティーズ エネルギー&コンストラクション事業本部 環境・エネルギー技術部長
	ながさわ ひろゆき 長澤 弘幸	株式会社 CUSIC 代表取締役
	にいがき みのる 新垣 実	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 理事 研究主幹
	ほり よういち 堀 洋一*	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
	みやけ つねゆき 三宅 常之	株式会社日経 BP 社 副編集長

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一組織であるが、所属部署が異なるため（実施者：東京大学生産技術研究所）「NEDO 技術委員・技術委員会等規程（平成２８年５月２７日改正）」第３５条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## 評価概要

### 1. 総合評価

パワーエレクトロニクスは電力エネルギー使用の高効率化、省エネルギー化を達成する根幹の技術で、我が国の重要な基幹産業技術でもあり、今後関連市場は大きく伸びることが期待されている。国際的観点も踏まえた様々な視点から、本事業が我が国の産業政策上重要な位置付けにあり、本事業の目的が妥当であることは間違いない。新世代 Si-IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスター）技術開発と SiC パワーデバイス技術開発を組み合わせた本プロジェクトの開発計画は秀逸である。

次世代 Si-IGBT では最先端技術を有する大学陣をリーダーとし、SiC パワーデバイスにおいては有力企業陣をリーダーとする体制は、有効かつ強力なマネジメント体制であると判断できる。

また、ややもすると単なる資金分配中心に陥りがちな多構成員からなるグループにあって、本プロジェクトでは頻繁な研究交流を行って情報共有と人的ネットワーク構築を図っている点を高く評価したい。研究開発計画も社会の情勢変化、産業・技術動向の変化に対応して、柔軟に設定されており好ましいと考えられる。全体として進捗は堅調で、優れた成果も数多く見受けられる。SiC パワーデバイステーマに関しては、実用化・事業化に向けた戦略が概ね明確かつ妥当である。新世代 Si パワーデバイステーマに関しては、今後の事業化判断時期まで待たなければならないが、前向きな見通しが期待できる。

近年、SiC、GaN に関して世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応すべき動きがより一層必要と考える。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

地球温暖化の阻止が喫緊の課題となっている今日、徹底した省エネルギー社会の実現に向けて、エネルギー消費の大部分を占める電気エネルギー使用の効率化としてパワーエレクトロニクス分野を拡大・伸長させることはきわめて合理的選択である。さらにパワーエレクトロニクスは、衰退が指摘される日本の半導体産業界にあって、世界をリードし得る数少ない分野であり、欧米・新興国の猛追を受けつつある今、国としてこれを守る必要性はきわめて高い。このような状況の下、我が国が引き続きパワーエレクトロニクス分野での国際競争力を維持、拡大してゆくためには、オールジャパンでの継続的な技術開発が必要であり、NEDO が中心となって国策としてこれを推進することが重要である。

近年、SiC、GaN に関して米国による国家プロジェクト推進、欧州の世界トップ企業による強力な世界戦略の打ち出しなどの世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応することがより一層必要と考える。



## 2. 2 研究開発マネジメントについて

従来の延長では達成し得ないような明確な開発ターゲットを設け、技術の革新を誘引したことは高く評価できる。また、要素技術からのボトムアップのみならず、応用サイドの要望に基づくトップダウンの両輪で開発が進められた。当初計画の加速のみならず、中止も含む一部計画の見直しによって6年計画を4年計画へ変更したことも評価される。実施体制においては、特に、革新アプリのテーマを取り入れたことが評価できる。これは、競争力の根源となる独創性を高めるのみならず、システムとデバイスサイドの連携を促進しつつ、新たな産業創出にもつながるものである。

一方、当初の開発計画を粛々と遂行するだけでは急展開を遂げる世界のパワーエレクトロニクス情勢に追従できない。時々刻々と変化する市場を常にウォッチし、計画を適切に見直し、必要に応じて前倒しをかける姿勢が、本プロジェクトにおいても求められている。パワーエレクトロニクス産業分野は国際的な取り組みがされつつあり、我が国の技術開発戦略、産業政策にも大きく影響を与えることが予想される。ベンチマークとして単に欧米の国家プロジェクトとだけの比較がされているが、それは国際動向のほんの一旦であり、それらを取り巻く産業情勢をより正確に把握しておく必要がある。

2009年から行われてきたSiCパワーデバイス関連のプロジェクトもそれぞれ成果を挙げて終了し、現在のプロジェクトで最終仕上げの段階を迎えている。今後、次のパワーエレクトロニクス関連プロジェクト構築に向けて、検討を開始する必要があるのではないかと感じる。

## 2. 3 研究開発成果について

新世代Siパワーデバイス技術開発、次世代パワーモジュール、超高効率車載電動システム、高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールとも、概ね、順調な研究開発の進展で、中間目標を達成していると認められる。最終目標達成に向けての課題と解決の道筋もおおむね明確である。また国際的水準からみても高い水準の技術開発が行われている。

一方、競合相手、特に海外メーカーはM&Aで開発期間を大幅に短縮しているので、本プロジェクトにおいても更なる開発スピードの向上が求められる。

革新アプリに見られるような具体的な様々な応用ニーズに対応して次世代パワーエレクトロニクスで対応していくのは、次世代パワーエレクトロニクスの応用分野の裾野を広げ、また大企業だけでなく中小企業も絡めて産業領域の拡充をはかるのに大変重要であると考えられる。これらの成果も積極的に外部発信をお願いしたい。また、これらのテーマに関しては過度の評価はせず、むしろ育てて欲しいと感じる。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

研究開発成果の実用化・事業化に向けてのシナリオは具体的で妥当である。また実用化・事業化に向けて、顧客要求事項なども収集しており、企業の事業化への強い意欲が感じられる。

SiC パワーエレクトロニクスの今後の更なる普及には、応用分野の発掘と拡大が重要である。そのためには SiC ウェハの更なる高品質化、低コスト化も重要な課題である。デバイス自体のコストについては一部企業で検討されているが、全体としてはまだ検討が不十分である。

また、6年計画を4年計画へと短縮したことに関して、単に前倒しという観点だけからではなく、技術的に納得するものを作ってから世に出すという考え方からの脱却と言う意味において実用化を加速するものとして評価する。パワーエレクトロニクスが急速に消費者に接近している今日、消費者市場を掴むタイミング、コスト、及び市場からのフィードバックが持つ力に鈍感であってはならない。また、SiC 関連事業の情勢は、日々大きく変わりつつあり、開発成果や技術力のみでは市場における優位性を保ち続けるのが難しくなる。たとえ、技術面での優位性が薄れたとしても、事業として競争力を保てるような仕組みを常に模索すべきと考える。また、人材育成に関しては、産学連携の一環としてパワーエレクトロニクスカリキュラムの実施を NEDO としても継続して検討していただきたい。

## 研究評価委員会委員名簿

(平成29年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長／教授 研究院／副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 兼 社会経済研究所 副研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (Hi-Mat) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくまいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	さとう りょうへい 佐藤 了平	大阪大学 産学連携本部 名誉教授／特任教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 教授
	ひらお まさひろ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

## 研究評価委員会コメント

第49回研究評価委員会（平成28年12月5日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 知財・ノウハウを含めて、オープン・クローズ戦略を後半もきちんと進めてほしい。新しいアプリケーションを今後どうやって展開していくか、国際戦略も含めて検討を期待したい。他の関連プロジェクトとの連携についても、十分に考慮されたい。

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

## 1. 総合評価

パワーエレクトロニクスは電力エネルギー使用の高効率化、省エネルギー化を達成する根幹の技術で、我が国の重要な基幹産業技術でもあり、今後関連市場は大きく伸びることが期待されている。国際的観点も踏まえた様々な視点から、本事業が我が国の産業政策上重要な位置付けにあり、本事業の目的が妥当であることは間違いない。新世代 Si-IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスター）技術開発と SiC パワーデバイス技術開発を組み合わせた本プロジェクトの開発計画は秀逸である。

次世代 Si-IGBT では最先端技術を有する大学陣をリーダーとし、SiC パワーデバイスにおいては有力企業陣をリーダーとする体制は、有効かつ強力なマネジメント体制であると判断できる。

また、ややもすると単なる資金分配中心に陥りがちな多構成員からなるグループにあって、本プロジェクトでは頻繁な研究交流を行って情報共有と人的ネットワーク構築を図っている点を高く評価したい。研究開発計画も社会の情勢変化、産業・技術動向の変化に対応して、柔軟に設定されており好ましいと考えられる。全体として進捗は堅調で、優れた成果も数多く見受けられる。SiC パワーデバイステーマに関しては、実用化・事業化に向けた戦略が概ね明確かつ妥当である。新世代 Si パワーデバイステーマに関しては、今後の事業化判断時期まで待たなければならないが、前向きな見通しが期待できる。

近年、SiC、GaN に関して世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応すべき動きがより一層必要と考える。

### 〈肯定的意見〉

- ・ パワーエレクトロニクスは電力エネルギー使用の高効率化、省エネルギー化を達成する根幹の技術で、我が国の重要な基幹産業技術でもあり、今後関連市場は大きく伸びることが期待されている。国際的観点も踏まえた様々な視点から、本事業が我が国の産業政策上重要な位置付けにあり、本事業の目的が妥当であることは間違いない。産業政策上の重要性、国際対応の必要性などから、国をあげて産官学の強力な共同、企業間の協力が不可欠であり、NEDO がオールジャパン的な責任をもって関与すべき事業であることは明白である。パワーエレクトロニクス技術の高度化で省エネ技術の国際的推進と我が国の産業競争力強化を図る事業目的を達成するため、適切なテーマ設定、目標がなされている。新世代 Si-IGBT 技術開発と次世代パワーデバイスの SiC パワーデバイス技術開発を組み合わせた開発計画は秀逸である。次世代 Si-IGBT では最先端技術を有する大学陣をリーダーとし、SiC パワーデバイスにおいては有力企業陣をリーダーとする体制は、有効かつ強力なマネジメント体制になっていると判断できる。研究開発計画も社会の情勢変化、産業・技術動向の変化に対応して、柔軟に前倒しで計画設定されており好ましいと考えられる。主要 4 テーマとも、概ね順調な研究開発の進展で、中間目標を達成していると認められ、最終目標も達成できると見込まれ、それに向けての課題と解決の道筋もおおむね明確である。国際的水準からみても高い水準の技術開発が行われている。SiC パワーデバイステーマに関しては実用化、

事業化に向けた戦略が概ね明確、妥当であり、実施するリーダー企業が責任感を持って取り組んでいる。市場動向、技術動向、国際動向等を十分に把握し、主要市場を睨んだ計画が描けている。新世代 Si パワーデバイステーマに関しては、今後の事業化判断時期まで待たなければならないが、現時点から事業化予定企業が積極的に入り込んで取り組んでおり、前向きな見通しが期待できる。

- 本日説明頂いたプロジェクトのどのテーマも、我が国が取り組むべき重要性が感じられ、NEDOとして取り組むべき意義があるテーマであることを認識することが出来た。また、各テーマの取り組み状況についても、その戦略的重要性を意識しながら、真剣に取り組んでいる姿勢が感じられ、スケジュールを厳守しつつ進めていることを確認した。特に「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載システムの開発」については、成果の実用化・事業化の戦略が明確であり、具体的な取り組みにも着手している点で大きく評価出来る。今後、SiC パワーデバイスの自動車関連分野への適用により、これらが牽引役となり、SiC パワーデバイス市場全体の拡大に大きく寄与することが期待されているため、今後のより一層の活動の活発化を期待する。
- Si-IGBT プロジェクト推進の英断を、まずもって高く評価したい。従来、NEDO のパワーエレクトロニクス (PE) というと SiC、GaN といった新材料に特化し、その中で予定調和的シナリオにて開発推進がなされてきた感がある。しかしパワーエレクトロニクス=新材料 の図式はけっして自明ではなく、Si 技術をどこまで引き伸ばせるかという視点でパワーエレクトロニクスプロジェクトを走らせた現実的着眼を評価する。それはこれら新材料技術の加速・進歩にも貢献するであろう。材料間の「棲み分け」ではなく「競合」を敢えて謳う点が好ましい。全体として進捗は堅調で、優れた成果も数多く見受けられる。またややもすると資金分配システムに陥りがちな多構成員からなるグループにあって、頻繁な研究交流を行って情報共有と人的ネットワーク構築を図っている例もあり、この点を高く評価したい。プレゼンは全体として世界の動向を意識してなされている点が、プロジェクト運営の健全性を印象づけた。
- 総合的に見てよくやっている。気になる SIP との関係は、「住み分け」ではなく「共存」でよいだろう。日本人は白黒つけたがる傾向にあるが、世界の標準はいろいろな可能性を探る「多様性」である。「集中と選択」もやりすぎない方がよいと考える。
- ほとんどのテーマで中間目標が達成されており技術的な成果はすばらしい。最終目標の達成も十分に期待できる成果である。
- 本プロジェクトは、日本のパワーエレクトロニクス産業を包括的に推進するポテンシャルを持っており、特に実用化を強く意識したマネジメントがなされている。開発においては明確な目標値を掲げ、それを実現するための具体的施策により、従来技術の延長線上では成し得ない成果を導いている。

### 〈改善すべき点〉

- ・ 急伸するパワーエレクトロニクス市場にあって、当初の開発計画を粛々と遂行し、3年目の中間評価でフィードバックをかけるだけでは世界のパワーエレクトロニクス情勢に追従できない。時々刻々と変化する市場を常にウォッチし、計画の適切な「見直し」や「前倒し」をかける姿勢がパワーエレクトロニクス分野にも求められている。今回はプロジェクト推進委員会設置や調査委託を行って有識者や世界動向からのフィードバックを取り込もうとしているが、これらが研究計画見直し機能を持ち得たか否か、その点が不明であった。実用化をめざしてのプロジェクトでは、コスト論議を避けて通れない。この観点からの自己評価は限定的であり、他の競合技術との比較を含む、より詳細な分析がほしかった。
- ・ 近年、次世代パワー半導体である SiC、GaN に関して米国による国家プロジェクト推進、ドイツ・インフィニオンによる強力な世界戦略の打ち出しなどの世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応すべき動きがより一層必要と考える。産業動向に柔軟に対応した先端技術開発がより強く望まれ、そのためには関連他省庁、関連他プロジェクトなどとの有効な連携、大企業のみでなく中小企業も巻き込んだ総合的な取り組みも効果的と考える。パワーエレクトロニクス産業分野は国際的な取り組みがされつつあり、我が国の技術開発戦略、産業政策にも大きく影響を与えることが予想される。ベンチマークとして単に欧米の国家プロジェクトとだけの比較がされているが、それは国際動向のほんの一旦であり、それらを取り巻く産業情勢をより正確に把握しておく必要がある。デバイス基幹技術開発から社会応用へという流れだけではなく、このような社会応用のニーズに即したデバイス・装置開発も重要と考える。SiC パワーエレクトロニクスの今後の更なる普及には、SiC ウェハの更なる高品質化、低コスト化も重要な課題である。また、主要取り組みテーマ間の横の連携なども見られても良いのではないか。
- ・ 国際的な競争力を堅持するうえで、技術面にのみ傾注してしまうと、企業買収等による事業再構成への対応が後手に回る懸念がある。今後は、ビジネスモデルの積極的変革なども含めた事業開発が必要になるだろう。
- ・ 実施者、とくにメーカーの意見や本音をもっと聞くとよいと思う。ついた予算ではこれだけやれば十分だろう、というような考えを超えて、これでは不十分だとか、本当はこうすればいいのに、というような本音を彼らはもっているはずである。
- ・ 「新世代 Si-IGBT とその応用基本技術の研究開発」については、平成 31 年度までの長期の研究開発計画となっているが、グローバル競争の激化から、競争環境が目まぐるしく変化することが想定されている。そのため、研究開発の方向性見直しやスケジュール加速化の要否などを半年サイクルで見極め、客観的見地から、グローバルの観点で競争優位が確保出来る見通しを常にチェックしながら、活動を続けて頂きたい。革新的なドライブ回路技術なども含め、実現すれば大きな研究開発成果が得られる可能性を秘めており、事業化のチャンスを逃さないためのしっかりとした研究開発マネジメントが重要であると考えます。



- ・ 海外競合メーカーは、従来自社に無かった技術を **M&A** で入手し、先行している我が国の技術レベルに追従してきている。このような状況の中、研究開発全体の更なるスピードアップが求められる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 敢えて新世代 **Si** パワーモジュールを取り込んでいることは高く評価できるが、プロジェクトの効果を最大限に引き出すためには、アプリケーションオリエンテッドで、**SiC** や **Si**、**GaN** などの材料間の壁を取り払った包括的な開発体制とすることが望ましい。
- ・ 2009 年から行われてきた **SiC** パワーデバイスのいくつかのプロジェクトも成果を挙げてそれぞれ終えて来ており、次のパワーエレクトロニクス関連プロジェクト構築に向けて、そろそろ根本的に考え直す時期ではないかと感じる。革新アプリに見られるような具体的な様々な応用ニーズに対応して次世代パワーエレクトロニクスで対応していくのは、次世代パワーエレクトロニクスの応用分野の裾野を広げるのに大変重要であると考えられる。これらの成果も積極的に外部発信をお願いしたい。
- ・ これまでにプロジェクトで得られた成果を迅速に事業化、産業化につなげて、我が国の産業競争力の向上に貢献してほしい。
- ・ 「海外ではコンソーシアムを作ってパワーエレクトロニクスを推進している、だからわが国でも」というのが多くの **NEDO** プロジェクトに共通する動機付けである。しかし **NEDO** プロジェクト組織とコンソーシアムとは性格が異なる。コンソーシアムの構成には協調領域とその上に乗った競合領域の両者が必要であるのに対し、**NEDO** 組織（実質的研究組織である各助成事業テーマを想定）においては競合領域が最初から排除されており、主導1社とサポーター企業・大学というチーム構成になっている。知財漏洩の心配も低く、計画の効率的遂行には適しているが、競争原理や議論の欠如によって市場と乖離した方向を進む危険が皆無とは言えない。意図的に外部からの客観的フィードバックを導入し、自己完結的独善性に陥らないようにする必要がある。**NEDO** 推進事業の在り方として、この問題を今後どのように克服するのか、判断が求められていると思う。現在の **NEDO** プロジェクトは、個別企業が情報公開のコストを支払って助成金を受け取るという側面がなくもない。還流として期待するのは将来（10年後以降？）の税収である。しかしそれでは国プロとしての公共性に物足りないし、還流まで時間がかかりすぎる。より公共的、短期的な成果物としてコンソーシアムや世界標準化への支援体制といった協調領域を戦略的に構築し、そのことを通してわが国の産業力を育成するというのが **NEDO** 支援本来の在り方ではないか。場合によっては、協調領域形成に特化した、金額の低い（同時に個別技術に関しては情報公開性の低い）プログラムも考えられてよい。
- ・ 応用面（何をいつ実現したいか、実現する必要があるか）から出発し、装置、デバイス、材料という風にさかのぼって、いつころ何が必要になるのか、という方向の計画を立てる視点をもつとよい。良いデバイスができたので応用を探すという従来の方向

とは逆である。そこでは「こうなるだろう」ではなく「こうしたい」という情熱も必要である。

## 2. 各論

### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

地球温暖化の阻止が喫緊の課題となっている今日、徹底した省エネルギー社会の実現に向けて、エネルギー消費の大部分を占める電気エネルギー使用の効率化としてパワーエレクトロニクス分野を拡大・伸長させることはきわめて合理的選択である。さらにパワーエレクトロニクスは、衰退が指摘される日本の半導体産業界にあって、世界をリードし得る数少ない分野であり、欧米・新興国の猛追を受けつつある今、国としてこれを守る必要性はきわめて高い。このような状況の下、我が国が引き続きパワーエレクトロニクス分野での国際競争力を維持、拡大してゆくためには、オールジャパンでの継続的な技術開発が必要であり、NEDO が中心となって国策としてこれを推進することが重要である。

近年、SiC、GaN に関して米国による国家プロジェクト推進、欧州の世界トップ企業による強力な世界戦略の打ち出しなどの世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応することがより一層必要と考える。

#### 〈肯定的意見〉

- 地球温暖化の阻止が喫緊の課題となっている今日、徹底した省エネルギー社会の実現に向けて、エネルギー消費の大部分を占める電気エネルギーの省力化としてパワーエレクトロニクス分野を拡大・伸長させることはきわめて合理的選択である。いわんやパワーエレクトロニクスは、衰退の一途を辿る日本の半導体産業界にあって、世界をリードし得る数少ない分野であり、欧米・新興国の猛追を受けつつある今、国プロとしてこれを守る必要性はきわめて高い。複数企業および諸大学が製品開発に参加することで、出口（ニーズ）から入口（シーズ、技術）へのフィードバックが発生している様子を伺うことが出来、たいへん好ましく思う。とくに大学が NEDO に参画することにより、大学の触媒作用によってプロジェクトの公共性が高まるといふ大学の機能を知ったことは収穫であった。研究遂行主体としてのみならず、学理的整理による協調領域の構築は、NEDO プロジェクトにおける大学参加の重要な役割ではないかと考える。
- エネルギー使用量削減が地球環境保全のために国際的な取り組みがされている中で、我が国としても積極的な政策として取り上げられている。その中で電気エネルギーは、その効率性、利便性、クリーン性などの優れた特性ゆえ、今後ますます全エネルギーに占める割合が増大し、その高効率化、省電力化は最重要課題である。パワーエレクトロニクスは電力エネルギー使用の高効率化、省エネルギー化を達成する根幹の技術であり、また、我が国の重要な基幹産業技術でもあり、今後関連市場は大きく伸びることが期待されている。そのような国際動向、産業動向の中で、我が国の SiC パワー半導体産業は有数の世界的企業を中心に以前より高い世界シェアを誇り、現在では世界をリードする数少ない産業の一つとなっている。また、次世代パワー半導体の代表である SiC パワー半導体に関しても、パワーデバイス、パワーエレクトロニクスの技術開発を、世界をリードして推進し、鉄道分野、自動車分野等に世界に先駆けて産業応用を推進しようとしている。さらにこの産業分野では、近年 SiC パワーエレクトロニクスについて、欧州で

は巨大パワーエレクトロニクス企業であるインフィニオンが世界戦略を新たに展開し始め、米国では国をあげての国家プロジェクトが推進され、新興国中国でも展開が始まりつつある。このような国際的観点を踏まえた様々な視点から、本事業は我が国の産業政策上極めて重要な位置付けにあり、本事業の目的は妥当であることは間違いない。また、我が国の産業政策上の重要性、国際対応の必要性などから、国をあげて産官学の強力な共同、企業間の協力、大企業と中小企業との連携などが不可欠であり、NEDO がオールジャパン的な責任をもって関与すべき事業であることは明白である。その研究開発費投資をはるかに上回る産業効果が期待される。

- ・ パワーエレクトロニクス関連市場は現在 6 兆円で 2030 年には 20 兆円にまで拡大すると見込まれる成長分野であり、その省エネ効果も大きい。また現状パワーモジュール市場では日本企業のシェアが高いが、欧米での大型プロジェクトも開始され、今後は欧州、アジア各国の追い上げが更に厳しくなってくることが予想される。このような状況の下、我が国が引き続きパワーエレクトロニクス分野での国際競争力を維持あるいは拡大してゆくためには、オールジャパンでの継続的な技術開発が必要であり、NEDO が中心となって国策としてこれを推進することが重要である。
- ・ 欧州や米国においてもパワーエレクトロニクスの大型プロジェクトが推進されている。これに加え、企業の再構成も進みつつあるなか、グローバルな観点で国際的に事業を推進する必要がある。これを実現するには企業単位の利益追求のみでは限界が有り、NEDO による包括的な主導は必須である。NEDO が求心力を発揮し、開発を包括的に主導することにより、上流技術（材料、デバイス）から応用システム開発までを網羅・連携した技術開発と事業開拓が進められている。参画したそれぞれの企業は、優れた開発能力の素地を有していたが、それらの開発の方向性が統一できたことにより事業としての成果が最大限に発揮されると考える。
- ・ 説明頂いたプロジェクトのどのテーマも、我が国が取り組むべき重要性が感じられ、NEDO として取り組むべき意義があるテーマであることを認識することが出来た。
- ・ よくできている。我が国の優位性がある分野である。気を抜かないようにしたい。

#### 〈改善すべき点〉

- ・ 本事業は上記のように国際競争力強化を踏まえた産業政策上、極めて重要な位置づけにあり、特に近年、次世代パワー半導体である SiC、GaN に関して米国による国家プロジェクト推進、ドイツ・インフィニオンによる強力な世界戦略の打ち出しなどの世界的な動きが顕著である。NEDO としてもこれらの世界情勢に柔軟に対応すべき動きがより一層必要と考える。先端技術開発の支援の結果が産業創出につながるという視点だけでなく、産業動向に柔軟に対応した先端技術開発がより強く望まれるのではないかと考えられる。そのためには関連他省庁、関連他プロジェクトなどとの有効な連携、大企業のみでなく中小企業も巻き込んだ総合的な取り組みも効果的と考える。

- パワーエレクトロニクス事業において、SiC 基板の品質とコストは非常に重要であり、事業の成否を左右すると言っても過言ではない。SiC 基板の開発は従来プロジェクトで行われてきたが、現プロジェクトでは応用システム開発の一部として継続しているのみである。今後海外からの高品質 SiC 基板の入手困難が懸念されるので、国内メーカーによる高品質、低コスト SiC 基板の安定供給体制の構築が不可欠である。現状の国内メーカーの SiC 基板の品質、コストが果たして十分なものなのか、NEDO が責任を持って調査し必要があれば迅速に対処していただきたい。
- Si、SiC、GaN の開発は個別に推進されている感がある。今後は、アプリケーション側に主軸を置き、その実現に向けて材料の垣根を取り払った包括的な開発が望まれる。
- 企業単独ではできないという意見が多く、NEDO が関与すべき事業であることは明白。かつての護送船団方式にもう少し近くてもよいのでは？とさえ思うが、実際はすでにそうなっているのかも知れない。たいへん結構なことであると思う。
- 製品開発は各社、自腹を切っていくのが基本だと思う。これを NEDO 事業として遂行するには、常に、なぜこれが NEDO でなければならないか、という問いに対する答えを事業主体は語り続ける必要がある。NEDO の公共性の追求については、今後とも引き続き努力をお願いしたい。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

従来の延長では達成し得ないような明確な開発ターゲットを設け、技術の革新を誘引したことは高く評価できる。また、要素技術からのボトムアップのみならず、応用サイドの要望に基づくトップダウンの両輪で開発が進められた。当初計画の加速のみならず、中止も含む一部計画の見直しによって6年計画を4年計画へ変更したことも評価される。実施体制においては、特に、革新アプリのテーマを取り入れたことが評価できる。これは、競争力の根源となる独創性を高めるのみならず、システムとデバイスサイドの連携を促進しつつ、新たな産業創出にもつながるものである。

一方、当初の開発計画を粛々と遂行するだけでは急展開を遂げる世界のパワーエレクトロニクス情勢に追従できない。時々刻々と変化する市場を常にウォッチし、計画を適切に見直し、必要に応じて前倒しをかける姿勢が、本プロジェクトにおいても求められている。パワーエレクトロニクス産業分野は国際的な取り組みがされつつあり、我が国の技術開発戦略、産業政策にも大きく影響を与えることが予想される。ベンチマークとして単に欧米の国家プロジェクトとだけの比較がされているが、それは国際動向のほんの一旦であり、それらを取り巻く産業情勢をより正確に把握しておく必要がある。

2009年から行われてきたSiCパワーデバイス関連のプロジェクトもそれぞれ成果を挙げて終了し、現在のプロジェクトで最終仕上げの段階を迎えている。今後、次のパワーエレクトロニクス関連プロジェクト構築に向けて、検討を開始する必要があるのではないかと感じる。

### (1) 研究開発目標の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ パワーエレクトロニクス技術の高度化で省エネ技術の国際的推進と我が国の産業競争力強化を図る事業目的を達成するため、適切なテーマ設定、目標がなされている。
- ・ インフラ整備として半ば自明的に市場が約束されることの多いパワーエレクトロニクス分野にあっては、従来、底堅い線表で計画が立案される傾向があった。しかしEV、FCVへの期待や家電パワーエレクトロニクスの重要性の向上、あるいはIT関連機器の省エネルギー化の必要性など、パワーエレクトロニクス分野の消費者市場への拡がり認識されるにつれ、同分野は世界的に急発展を遂げている。こうした中、プロジェクト推進委員会や調査委託といった自己評価を行う組織を構築し、有識者や世界動向からのフィードバックを取り込もうとしている点を高く評価したい。
- ・ 従来の延長では達成し得ないような明確な開発ターゲットを設け、技術の革新を誘引したことは高く評価できる。これは、デバイス性能の向上とシステム技術の先鋭化を同時に推進しうるものであるともいえる。また、要素技術からのボトムアップのみならず、応用サイドの要望に基づくトップダウンの両輪で開発が進められた。応用システム開発を適宜前倒しとしたことは、その実用性評価結果をデバイス側にフィードバックするうえでも妥当な判断である。また、Si-IGBTを敢えて取り上げ、SiCと並列に据えたことは、SiとSiCの開発を相補的なものにするということでもあり妥当な判断であった。

- さらに革新的アプリケーション開発で、新たな応用可能性を検討しており、今後の成果が期待される。

#### 〈改善すべき点〉

- 次世代パワーモジュールテーマにおいては、「日本型エコシステムの構築」というキーワードが目標として使われているが、甚だ抽象的な言葉で、また当事者でしか理解できない造語的なところがあり、合理性を旨とする技術開発プロジェクトにはふさわしくないと考える。また、目標もコスト削減、リードタイム半減、サンプル供給期間縮小という設定となっているが、他テーマが具体的な技術開発目標となっていて達成度等を合理的な数値として判断できるが、これらの目標は事業戦略も含めた事業目標としては設定できても、技術開発プロジェクトの目標としては好ましくないのではと思われる。

#### 〈今後に対する提言〉

- アプリケーション開発に主軸を置くことにより、SiC、Si、GaNの全てを俯瞰して色眼鏡なしにそれぞれのメリット・デメリットを評価できるようになることを期待する。

### (2) 研究開発計画の妥当性

#### 〈肯定的意見〉

- 特に我が国の世界に誇るSiパワーデバイス産業の更なる強化のための新世代Si-IGBT技術開発と次世代パワーデバイスを代表するSiCパワーデバイスの主要テーマを組み合わせた開発計画は秀逸である。
- 6年計画を4年計画へと前倒ししたことも評価される。①当初計画の前倒し加速、のみならず②一部計画の見直し（中止・変更）によってこれを行った判断も合理的である。
- 応用システム開発においても、当初6年の計画を4年に期間短縮した方針の変更は正しい判断であった。

#### 〈改善すべき点〉

- 研究開発から事業化判断までの期間が長い。研究開発と事業化判断に必要な再現性、信頼性評価などを並行に進めて、事業化までの期間短縮の努力をしてほしい。研究開発で先行しても事業化で後れをとって、結果として海外メーカーにシェアを奪われるようなことがあってはいけない。

#### 〈今後に対する提言〉

- 新世代Si-IGBT開発は既存のSiデバイスの更なる高性能化を目指し、既に原理検証もできているので、実用化への期待が大きい。ぜひともスピード感を持って事業化へつなげてほしい。
- 6.5KVのSiC-MOSFETなどはNEDOのサポートが不可欠であろう。国際的な優位に立つために、もっと早く実現するようプレッシャーをかけてもいいように思われる。

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

#### 〈肯定的意見〉

- ・ 実施体制も次世代 **Si-IGBT** では革新的差別化技術開発のために最先端技術を有する大学陣をリーダーとし、**SiC** パワーデバイスにおいては我が国の現在の代表的な取り組み企業陣をリーダーとし、前者においては関連大学と有力企業を取り込み、後者においては有力企業ごとに大学と関連企業を配する体制は、そのリーダーシップ、連携、進捗状況把握等に有効かつ強力なマネジメント体制になっていると判断できる。
- ・ 実施体制においては、特に、革新アプリのテーマを取り入れたことが評価できる。これは、競争力の根源となる独創性を高めるのみならず、システムとデバイスサイドの連携を促進しつつ、新たな産業創出にもつながるものである。
- ・ 新世代 **Si-IGBT** 開発、応用システム開発、革新的アプリケーション開発と 3 本立ての実施体制は極めて妥当である。特に現状でもパワーデバイスの 9 割を占める **Si** パワーデバイスに着目し、大学が提案した新構造を大学で試作し、企業と協力して原理実証した連携体制は、新たな産学連携のスキームとして高く評価できる。また基本的に企業同士が競合しない体制とし、うまく連携して研究開発が進められている。
- ・ 実施者の選定はこれでよい。企業は単独では戦えないという意見が多い。**NEDO** でやる意味も十分ある。進捗管理なども適切であると考ええる。

### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

#### 〈肯定的意見〉

- ・ 研究開発計画も社会の情勢変化、産業・技術動向の変化に対応して、柔軟に前倒しで計画設定されており好ましいと考えられる。

#### 〈改善すべき点〉

- ・ パワーエレクトロニクス産業分野は国際的な取り組みがされつつあり、我が国の技術開発戦略、産業政策にも大きく影響を与えることが予想される。ベンチマークとして単に欧米の国家プロジェクトとだけの比較がされているが、それは国際動向のほんの一旦であり、それらを取り巻く産業情勢をより正確に把握しておく必要がある。例えば、米国においては国家プロジェクトに絡めて**GE**が戦略的な取り組みを進めており、また欧州ではごく最近、**Si**パワーデバイスの雄であるドイツ・**Infineon**が**GaN**企業 (**IR**) に次いで**SiC**企業 (**Cree**傘下の**Wolfs**パワーエレクトロニクスed) を買収し、我が国の同種産業において脅威となりつつある。**NEDO**のプロジェクトにおいてもそれら動向を注視し、適切な計画の見直しも柔軟にすべきである。次世代パワーエレクトロニクスに関する**SIP**、**JST**などの関連プロジェクトも包含した全体的な戦略の中で各プロジェクトの位置付け、協働などをさらに検討すべきではないか。例えば**GaN**パワーデバイスの先導研究は同種のものも多くみられるし、今般の発表では革新アプリテーマについては詳細な報告が一切なかったが、**NEDO**プロジェクトとしては、デバイス基幹技術開発から社会



応用へという流れだけではなく、このような社会応用のニーズに即したデバイス・装置開発も重要と考える。

- 当初の開発計画を粛々と遂行し、3年目の中間評価でフィードバックをかけるだけでは急展開を遂げる世界のパワーエレクトロニクス情勢に追随できない。時々刻々と変化する市場を常にウォッチし、計画の適切な「見直し」や「前倒し」をかける姿勢が、パワーエレクトロニクス分野においても求められている。
- 当該プロジェクトでは、プロジェクト推進委員会の設置や調査委託を行って有識者や世界動向からの視点を取り込もうとしているが、これらがこうした計画管理機能を持ち得たか否かについては不明である。とくに調査会社の役割中にあるロードマップ（RM）作成の目的がはっきりしない。公開成果物としてのRMなら不要である。あくまで当該プロジェクトの市場獲得戦略のための判断材料として活かすべきである。人材育成はパワーエレクトロニクス分野の維持・発展に不可欠である。具体的な報告がほしかった。知財に関して国内特許出願のみというのは情けない。国際的視野に立って、戦略的にパワーエレクトロニクス分野を牛耳ってやろうという野心がほしい。

〈今後に対する提言〉

- 2009年から行われてきたSiCパワーデバイスのいくつかのプロジェクトも成果を挙げてそれぞれ終えて来ており、現在のプロジェクトは最終仕上げ的な感がある。次のパワーエレクトロニクス関連プロジェクト構築に向けて、そろそろ根本的に考え直す時期ではないかと感じる。

（5）知的財産等に関する戦略の妥当性

〈肯定的意見〉

- 開発分野の特定が戦略的価値を持つ時代にあって、情報公開の在り方についてこれまで危惧を抱いていた。今回、一部テーマにおいて戦略的観点から敢えて論文発表を控えたことを高く評価する。

〈改善すべき点〉

- 知的財産に関しては、海外における権利化の動きが鈍い。国際的な競争力を堅持するうえでの懸念が残る。知財に関しては、国内外の技術動向をきちんと見極め、マップ化し、戦略的な権利化を進めてゆくべきと考える。

## 2. 3 研究開発成果について

新世代 Si パワーデバイス技術開発、次世代パワーモジュール、超高効率車載電動システム、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールとも、概ね、順調な研究開発の進展で、中間目標を達成していると認められる。最終目標達成に向けての課題と解決の道筋もおおむね明確である。また国際的水準からみても高い水準の技術開発が行われている。

一方、競合相手、特に海外メーカーは M&A で開発期間を大幅に短縮しているため、本プロジェクトにおいても更なる開発スピードの向上が求められる

革新アプリに見られるような具体的な様々な応用ニーズに対応して次世代パワーエレクトロニクスで対応していくのは、次世代パワーエレクトロニクスの応用分野の裾野を広げ、また大企業だけでなく中小企業も絡めて産業領域の拡充をはかるのに大変重要であると考えられる。これらの成果も積極的に外部発信をお願いしたい。また、これらのテーマに関しては過度の評価はせず、むしろ育てて欲しいと感じる。

### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### 〈肯定的意見〉

- 主要 4 テーマ、すなわち、新世代 Si パワーデバイス技術開発、次世代パワーモジュール、超高効率車載電動システム、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールとも、概ね、順調な研究開発の進展で、中間目標を達成していると認められる。また国際的水準からみても高い水準の技術開発が行われている。
- どの開発項目も十分な成果を上げている。
- 素材、設計、解析、量産化までが円滑に連携し、Si-IGBT のさらなる高性能化、ならびに新回路技術の実用性検証が着実に進んでいる。また、コスト低減と量産化までのリードタイム低減、そしてサンプル納期の短縮は、顧客からのフィードバックサイクルを短縮するものであり、技術開発と事業開拓が加速的に進んで行くことが期待できる。
- 助成 3 件、革新アプリ 6 件はどれも大変よくやっている。後者は、かなりワクワクするような内容である。

#### 〈改善すべき点〉

- 競合相手、特に海外メーカーは M&A で開発期間を大幅に短縮しているため、更なる開発スピードの向上が求められる。

#### 〈今後に対する提言〉

- SiC モジュールのような過酷な使用状況から得られた知見が従来モジュール技術へとレトロフィットしてゆく流れが出てくることを期待する。
- 海外の技術開発動向を常に把握し、状況の変化に応じて臨機応変に目標や計画を変更する柔軟性が必要である。

## (2) 成果の最終目標の達成可能性

### 〈肯定的意見〉

- 最終目標も達成できると見込まれ、それに向けての課題と解決の道筋もおおむね明確である。
- ほとんどすべてのテーマで中間目標を達成した成果は高く評価できる。最終目標もほぼ達成可能であると思われる。

### 〈今後に対する提言〉

- 革新アプリ 6 件はあまりやかましい評価をしないで、むしろ育てて欲しいと感じる。そのような観点は SIP にはないメリットである。

## (3) 成果の普及

### 〈肯定的意見〉

- 国際的競争、他企業との競争などからの戦略上、論文等の対外的成果発表には制約がかかるが、各テーマとも適宜、適切な対外発表がなされている。

### 〈改善すべき点〉

- 革新アプリ 6 件は、よく知らなかったテーマで感心した。情報が閉じすぎているのかも知れない。

### 〈今後に対する提言〉

- 革新アプリに見られるような具体的な様々な応用ニーズに対応して次世代パワーエレクトロニクスで対応していくのは、次世代パワーエレクトロニクスの応用分野の裾野を広げ、また大企業だけでなく中小企業も絡めて産業領域の拡充をはかるのに大変重要であると考えられる。これらの成果も積極的に外部発信をお願いしたい。

## (4) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

### 〈改善すべき点〉

- 国外における知財化の動きに積極性が見られず、技術的な優位性確保に懸念が感じられる。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

研究開発成果の実用化・事業化に向けてのシナリオは具体的で妥当である。また実用化・事業化に向けて、顧客要求事項なども収集しており、企業の事業化への強い意欲が感じられる。

SiC パワーエレクトロニクス of 今後の更なる普及には、応用分野の発掘と拡大が重要である。そのためには SiC ウェハの更なる高品質化、低コスト化も重要な課題である。デバイス自体のコストについては一部企業で検討されているが、全体としてはまだ検討が不十分である。

また、6年計画を4年計画へと短縮したことに関して、単に前倒しという観点だけではなく、技術的に納得するものを作ってから世に出すという考え方からの脱却と言う意味において実用化を加速するものとして評価する。パワーエレクトロニクスが急速に消費者に接近している今日、消費者市場を掴むタイミング、コスト、及び市場からのフィードバックが持つ力に鈍感であってはならない。また、SiC 関連事業の情勢は、日々大きく変わりつつあり、開発成果や技術力のみでは市場における優位性を保ち続けるのが難しくなる。たとえ、技術面での優位性が薄れたとしても、事業として競争力を保てるような仕組みを常に模索すべきと考える。また、人材育成に関しては、産学連携の一環としてパワーエレクトロニクスカリキュラムの実施を NEDO としても継続して検討していただきたい。

### 〈肯定的意見〉

- ・ 研究開発成果の実用化・事業化に向けてのシナリオは具体的で妥当である。また実用化・事業化に向けて、顧客要求事項なども収集しており、企業の事業化への強い意欲が感じられる。
- ・ SiC パワーデバイスに関する主要3テーマに関しては、実用化、事業化に向けた戦略が概ね明確、妥当であり、実施するリーダー企業が責任感を持って取り組んでいる。市場動向、技術動向、国際動向等を十分に把握し、主要市場を睨んだ計画が描けている。新世代 SiC パワーデバイステーマに関しては、現状、大学研究機関中心の基礎技術検討段階である。今後、共同で取り組む企業で実用化、事業化に向けてどのような具体的な目標となるかは、今後の事業化判断時期まで待たなければならないが、現時点から事業化予定企業が積極的に入り込んで取り組んでおり、前向きな見通しが期待できる。
- ・ コスト、リードタイム、納期低減などの大幅な短縮は顧客へのインパクトも大であり、本成果の事業化を強く促進するものであると考える。競合の先を見据えたターゲットの設定により開発が加速されており、これが革新的なシステムの具現化を導くと考える。
- ・ どれもよく考えての取り組みであり、見通しであると思う。企業で作成する事業化戦略ではこの程度しか言えないのだなという感はある。またその通りに行くとは限らないので、こんなものであろう。
- ・ 各プロジェクト、堅実な実用化の目途を得ていると認識する。

#### 〈改善すべき点〉

- コストについては一部企業で検討されているが、全体としてはまだ検討が不十分である。特にコスト面での海外メーカーとの比較などもきちんと行い、性能・コストの両面で競争力の高い製品を、スピード感を持って実用化・事業化する必要がある。
- SiC パワーエレクトロニクスの今後の更なる普及には、応用分野の発掘と拡大が重要である。SiC ウェハの更なる高品質化、低コスト化も重要な課題である。また、主要取り組みテーマ間の横の連携なども見られても良いのではないか。
- 開発による性能向上がどのようにして市場を喚起してゆくのか、その道筋がいまだに不透明である。このため、本事業の成果がどの程度の経済効果をもたらすのかが、不明確なままである。

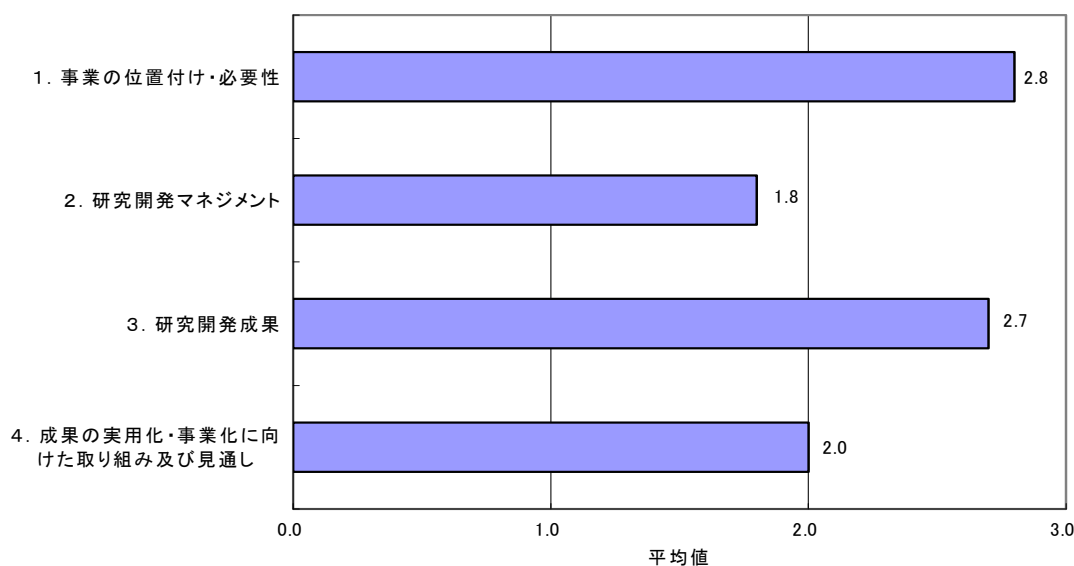
#### 〈今後に対する提言〉

- 6年計画を4年計画へと前倒ししたことを、実用化を加速するものとして評価する。単に期間短縮という観点だけからではなく、技術的に納得するものを作ってから世に出すという考え方からの脱却と言う意味においてである。かつて世界を席捲した日本の化合物半導体はいつのまにか技術至上主義に陥り、10年もつ素子を開発しているうちに2年しかもたない安価な素子に駆逐されて市場を失った。後発メーカーは市場からのフィードバック（FB）を聞きながら急速に製品を改良していった。人々の安全に関わるパワーエレクトロニクス素子を同列に比較することは出来ないだろうが、パワーエレクトロニクスが急速に消費者に接近している今日、消費者市場を掴むタイミング、コスト、及び市場からのFBが持つ力に鈍感であってはならないだろう。この観点からの技術評価は、今後ますます重要である。
- SiC パワーデバイスに関連する米国のGEの動き、ドイツのInfineonの世界戦略などは、我が国の本分野の取り組みに少なからぬ影響を及ぼすと考えられ、それらに対応した柔軟な取り組みが望まれる。
- 人材育成に関して一言。我が国の大学でのパワーエレクトロニクス教育は大変心もとなく、各大学に任せていたのではけっして我が国のパワーエレクトロニクス人材は育たない。産学連携のきわめて重要な一環として、パワーエレクトロニクスカリキュラムの実施が考えられる。省庁間の壁があって容易でないとは思いますが、NEDOとして一考に値すると思われる。
- プロジェクトが終わったあと、事業化までに数年かかるという事例が多いが、概してそんな悠長なことでよいのかという不安が残る。うまく行かなかったときに叱られるのではないかと思って控えめに書いているという気もする。もっと自信をもって記述してもよさそうに思う。
- 事業化戦略が技術力強化に傾注してしまうことを懸念する。SiC 関連事業の情勢に関しては、企業間の買収という突然の事象により大きく変わりつつあり、開発成果や技術力のみでは市場における優位性を保ち続けるのが難しくなるとの懸念も残る。たとえ、技術面での優位性が薄れたとしても、事業としての競争力を保てるような仕組みを常に模

索すべきと考える。

- コストや歩留りに大きな影響を与える SiC 基板について、今後の見通しを含めて十分な検討が必要である。

### 3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	B	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	B	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	1.8	B	B	C	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.7	B	B	A	A	A	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	2.0	A	B	C	B	B	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

#### 〈判定基準〉

- |                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について                  |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                      |
| ・重要 →B             | ・よい →B                         |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                       |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D                   |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                         |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                         |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                       |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D                     |

## 第2章 評価対象事業に係る資料



## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「低炭素社会を実現する 次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」

研究開発項目①（10） 新世代 Si パワーデバイス技術開発

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

## 事業原簿【公開版】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 IoT 推進部
-----	--

## —目次—

概 要.....	4
プロジェクト用語集 .....	8
1. 事業の位置付け・必要性について .....	11
1.1. 事業実施の背景.....	11
1.2. 政策的位置づけ.....	11
1.3. アウトカム効果.....	12
1.4. 国際的なポジション.....	12
1.5. 海外状況のまとめ .....	14
1.6. NEDO が関与する意義 .....	15
1.7. 今回の事業の位置づけ .....	16
2. 研究開発マネジメントについて .....	17
2.1. 事業の目的.....	17
2.2. 研究開発目標と根拠.....	18
2.3. 研究開発スケジュール .....	19
2.4. プロジェクト費用 .....	20
2.5. マネジメント体制 .....	20
2.6. 実施体制.....	22
2.7. 動向・情勢の把握と対応 .....	23
2.8. 知財マネジメント .....	23
3. 研究開発成果について.....	24
3.1. 研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」 .....	24
3.2. 研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステム の構築」 .....	25
3.3. 研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率率車載電動システムの開発」 .....	26
3.4. 研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」 .....	27
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて .....	29
4.1. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機） .....	29
4.2. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（東芝） .....	29
4.3. 「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」にお ける実用化・事業化の見通し（富士電機） .....	29
4.4. 「SiC パワーデバイスを用いた超高効率率車載電動システムの開発」における実用化・事業化の見通し （デンソー） .....	29
4.5. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機） .....	30

4.6. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（DOWA エレクトロニクス） .....	30
4.7. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱マテリアル） .....	31
4.8. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（デンカ）	31
4.9. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（日本ファインセラミックス） .....	31

(添付資料)

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)

## 概要

	最終更新日	2016年8月26日	
プログラム (又は施策)名	科学技術・イノベーション、地球温暖化対策		
プロジェクト名	低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト(研究開発項目①(10)新世代Siパワーデバイス技術開発及び研究開発項目③次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発)	プロジェクト番号	P10022
担当推進部/ PMまたは担当者	IoT推進部 間瀬 智志(2016年8月現在)		
0. 事業の概要	<p>本事業では、パワー半導体の性能限界突破や新材料パワー半導体を駆使したアプリケーションへの応用開発を行い、電力変換器等のパワーエレクトロニクス機器の性能向上や適用範囲拡大により、飛躍的な省エネ化を実現する。</p> <p>具体的には以下の研究開発を行う。</p> <p><b>【研究開発項目①(10)】</b> Siパワーデバイスに関し、従来技術の延長線上にない革新的な手法を用いることで、現状のSiパワーデバイスの性能限界突破を行う。</p> <p><b>【研究開発項目③】</b> 新材料パワー半導体を各種アプリケーションに適用するため、モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発、開発したモジュール等を適用したシステムの試作、動作実証等を行う。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>パワーエレクトロニクスは、鉄道・自動車・産業機械・家電など生活に身近なあらゆるところに適用される技術であり、その高性能化はあらゆるところの省エネに繋がり、低炭素社会実現の鍵となる技術である。</p> <p>また、パワーエレクトロニクス関連市場は、現在6兆円に対し、2030年には20兆円まで拡大する見込みである。成長市場で優位性を確保し、経済成長に繋げることは重要である。本事業の成果により、半導体デバイス関連の国内企業群が国際的に大きい存在感を有するほか、自動車産業をはじめとする電機産業以外の産業競争力強化にも大きい貢献が期待される。</p> <p>海外では、Power AmericaやNY-PEMCをはじめとした大型の国家プロジェクトが次々に組成され、本分野の推進を強化している。また、ECPEをはじめとしたコンソーシアム活動も盛んである。日本は多くの有力企業を抱えている一方で、一企業だけで対抗することは困難になりつつある。従ってNEDOが関与し、本分野の研究開発を強力に推進することが重要になってくる。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p><b>【研究開発項目①(10)】</b> (2016年度末) 現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスの開発。</p> <p><b>【研究開発項目③】</b> (2016年度末) 新材料パワーデバイスを用いたインバータ等の実現に必要な、材料、設計技術、実装技術等を開発する。また、その開発状況を評価することで最終目標達成のための課題を抽出し、解決の技術的見通しを明確にする。</p> <p>(2017年度末(予定)) 新材料パワーデバイスを用いたインバータ等を開発し、それらを適用した特定用途の応用システムについて試作・動作実証を行う。</p>		

	主な実施事項	H26fy	H27fy	H28fy	
		(FY2014)	(FY2015)	(FY2016)	
事業の計画 内容	研究開発項目① (10)	新世代 Si-IGBT と 応用基本技術の研究開発			
	研究開発項目③	世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール 研究開発と日本型エコシステムの構築			
		SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システム の開発			
		高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発			
		革新的アプリケーション開発 (6 テーマ)			
会計・勘定	H26fy (FY2014)	H27fy (FY2015)	H28fy (FY2016)	総額	
一般会計	-	-	-	-	
特別会計（需給）	2,159	2,947	2,320	7,425	
開発成果促進財源	-	-	-	-	
総予算額	2,159	2,947	2,320	7,425	
（委託）	○	○	○		
（助成） ：助成率 2/3	○	○	○		
（共同研究） ：負担率△/□	-	-	-		
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局 研究開発課 商務情報政策局 情報通信機器課			
	プロジェクト リーダー	千葉大学 佐藤之彦 教授（研究開発項目③のプロジェクトリーダー）			
	委託先 （委託先が管理人 の場合は参加企 業数及び参加企 業名も記載）	研究開発項目①(10) 委託先：国立大学法人東京大学（共同実施先：国立大学法人九州工業 大学、国立大学法人九州大学、学校法人明治大学、公立大学法人首都大学 東京、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社東芝、三菱電機 株式会社）、国立大学法人東京工業大学  研究開発項目③ 助成先：富士電機株式会社（委託先：国立大学法人東京大学、 国立大学法人大阪大学、国立大学法人山梨大学、国立大学法人九州工業 大学、学校法人早稲田大学、国立大学法人群馬大学、学校法人芝浦工業 大学、国立大学法人信州大学、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人 名古屋工業大学、東レ株式会社、株式会社コージン、デンカ株式会社、 アレントジャパン株式会社、東京エレクトロンデバイス株式会社、DOWA メタルテック株式会社、日本軽金属株式会社、ナガセテムテックス株 式会社、アルプスグリーンデバイス株式会社、東京エレクトロン株式会 社、富士電機エフテック株式会社）、 株式会社デンソー（共同研究先：国立大学法人静岡大学、国立大学法人 大阪大学、委託先：株式会社日本自動車部品総合研究所）、			

		<p>三菱電機株式会社（共同研究先：国立大学法人東京工業大学、学校法人芝浦工業大学、国立大学法人九州工業大学）、 日本ファインセラミックス株式会社（共同研究先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）、 三菱マテリアル株式会社、DOWA エレクトロニクス株式会社、デンカ株式会社</p> <p>研究開発項目③（革新的アプリケーション開発） 委託先：公益財団法人鉄道総合技術研究所、株式会社 ACR（共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）、 国立大学法人京都工芸繊維大学（再委託先：国立大学法人千葉大学）、 公立大学法人首都大学東京、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人筑波大学、株式会社パルスパワー技術研究所、東京計器株式会社、株式会社プラズマアプリケーションズ、国立大学法人信州大学、国立大学法人大阪大学</p>
情勢変化への対応	事業を推進しながら課題として見えてきたものについて、適宜新テーマを追加。具体的には、「調査」「人材育成」「先導研究」の追加を行っている。	
中間評価結果への対応	-	
評価に関する事項	事前評価	2013 年度（平成 25 年度）実施 担当部 IoT 推進部
	中間評価	2016 年度（平成 28 年度） 中間評価実施
	事後評価	2020 年度（平成 32 年度） 事後評価実施（予定）
3. 研究開発成果について	<p>【研究開発項目①(10)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新世代 Si-IGBT を試作するため、まず縦型 MOSFET の試作を行った。ピーク移動度では、<math>300\text{cm}^2/\text{Vs}</math>（目標；<math>300\text{cm}^2/\text{Vs}</math>）の MOSFET を得ることに成功した。この技術を応用して新構造縦型 IGBT を試作し、良好な電流密度が得られている。</li> <li>・新開発のゲートドライブ回路を高電圧パワーエレクトロニクス回路に組み込み実証評価する環境を構築し、インバータ動作により連続運転を行った。3kV スイッチング環境を構築した。</li> </ul> <p>【研究開発項目③】 （次世代パワーモジュール）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目標である、コスト 30%削減、量産化工数半減、サンプル供給期間 1/4 のパワーモジュール開発について達成のメド付け完了。 （車載電動システム）</li> <li>・目標である、従来システムから損失 1/3 となる昇圧コンバータレス PCU を用いた車載電動システムについて、システム単体での目標達成を確認。 （高耐圧 SiC パワーモジュール）</li> <li>・目標である、耐圧 6.5kV、出力密度が同耐圧 Si モジュール比 2 倍以上のパワーモジュールについて、回路動作検証用のモジュールにて実現可能であることを確認。</li> </ul>	
	投稿論文	「査読付き」1 件
	特 許	「出願済」32 件（うち国際出願 0 件）
	その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演 19 件、新聞雑誌等への掲載 1 件、展示会への出展 14 件

4. 実用化・事業化の見通しについて	<p>【研究開発項目①(10)】 本PJ成果を元にした新世代IGBT製品検討を行い、2020年度に事業化判断を行う。</p> <p>【研究開発項目③】 自動車、鉄道、エネルギーインフラ等の狙いとする適用分野に対し、2018年度以降順次実用化を図り、適用分野を徐々に拡大していく。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2014年4月 作成（研究開発項目③の追加）
	変更履歴	2014年5月 改訂（研究開発項目①(10)の追加） 2015年2月 改訂（研究開発項目③に革新的アプリケーション開発を追加）



## プロジェクト用語集

用語	説明
Ag	銀、パワー半導体素子とモジュール基板との間の接合材料として用いられる。
EV	Electric Vehicle の略で、電気自動車のこと。近年、資源制約や環境問題への関心の高まりを背景に、電気自動車が注目を集めている。
FCV	Fuel Cell Vehicle の略で、燃料電池自動車のこと。燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気を使って走る自動車で、走行時に CO <sub>2</sub> や排気ガスを排出しない。
GaN	窒化ガリウム (Gallium nitride)、ガリウム(Ga)と窒素(N)で構成される化合物半導体材料。
HV	Hybrid Vehicle の略で、ハイブリッド自動車のこと。ガソリンエンジンとモーターの併用で遠距離走行ができる。
IGBT	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ (Insulated Gate Bipolar Transistor) の略称。IGBT は、パワー半導体素子のひとつで、MOS 構造 (金属-酸化膜-半導体構造) を組み込んだバイポーラトランジスタである。Si のパワー素子では主力となる素子である。
IP6X	JIS で規定された防水や防塵の程度についての等級であり、IP6X は粉塵が内部に侵入しないことを示す。
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor の略称。電界効果トランジスタ (FET) の一種である。ゲート電圧によりオンオフを制御する素子であり、高速の動作が可能であるという特徴を持つ。
PCS	パワーコンディショナー (Power Conditioning System) のことで、太陽光発電等から発電された直流電気を一般家庭などで使用できるように交流に変換する機器。
PHV	Plug-in Hybrid Vehicle の略で、プラグインハイブリッド自動車のこと。外部電源から充電できるタイプのハイブリッド自動車で、走行時に CO <sub>2</sub> や排気ガスを出さない電気自動車のメリットとガソリンエンジンとモーターの併用で遠距離走行ができるハイブリッド自動車の長所を併せ持つ自動車。
SBD	ショットキーバリアダイオード (Schottky Barrier Diode) の略称。ショットキーバリアダイオードは、PN 接合ダイオードに比べ順方向電圧降下が低く、スイッチング速度が速い特長を持つ。
Si	ケイ素 (Silicon、シリコン)、多くの半導体で使用されている半導体材料。
SiC	炭化ケイ素 (Silicon Carbide)、シリコン (Si) と炭素 (C) で構成される化合物半

	導体材料。
SiN	窒化ケイ素 (Silicon nitride)、ケイ素(Si)と窒素(N)で構成され、パワーモジュールの基板材料に使用される。
UPS	Uninterruptible Power Supply の略で、入力電源断の際にも、停電することなく電力を出力する装置。無停電電源とも呼ばれる。
インバータ	直流(DC)を交流(AC)に変換する電力変換回路。
ガス成長法	高純度原料ガスを連続的に供給することにより、高品質かつ長尺な SiC バルク単結晶を得ることを期待されている結晶成長法。
コンバータ	交流(AC)を直流(DC)に変換したり、直流(DC)を異なる電圧の直流(DC)に変換(DC-DC コンバータ)する電力変換回路。
サージ	電気回路に瞬間的に発生するパルス状の電圧あるいは電流。パワー回路では、スイッチングに伴う過渡時に現れることが多く、適切な設計を行わないと、素子破壊などの深刻な問題が生じる。
次世代自動車	ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル車、CNG 自動車等を指す。窒素酸化物(NO <sub>x</sub> )や粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の排出が少ない、または全く排出しない、燃費性能が優れているなどの環境にやさしい自動車。
昇華法	昇華とは、元素や化合物が液体を経ずに固体から気体、または気体から固体へと相転移する現象のことで、SiC は液体にならないため、昇華によって結晶成長させる方法。
スケーリング則	MOSトランジスタの寸法を一律小さくすると、電力やスイッチング速度等が一定の係数で改善されるという規則。
ダイアタッチ	半導体素子を基板に接合すること。
縦型デバイス	基板に対して垂直方向に電流が流れる構造の半導体素子。
トレンチ	シリコン表面に溝を形成して、そこにゲート構造を形成するトランジスタ構造のこと。(トレンチ構造、トレンチ型 MOSFET)
パワーデバイス	パワー半導体素子のこと、トランジスタやダイオード等からなる。
パワーモジュール	パワーデバイスや周辺回路部品を回路基板上に搭載して樹脂や金属等により封止したもの。大電力分野ではパワーデバイス単体製品は少なく、パワーモジュール製品が一般的。
分散電源	比較的小規模な発電設備を需要家の近くに配置する電力供給方式で、送電ロスが少ないが潮流制御が必要になる。
無停電電源	入力電源断の際にも、停電することなく電力を出力する装置。UPS (Uninterruptible Power Supply)とも呼ばれる。

ライフタイム	キャリアの寿命のことで、発生した過剰キャリアが再結合により $1/e$ (約 0.368) に減少するまでの時間。
ラマン分光分析	ラマン散乱光の性質を調べることにより分子構造や結晶構造などを知る手法。

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1.1. 事業実施の背景

パワーエレクトロニクスは、電気エネルギーの発生から輸送、消費までの流れの中で、半導体を用いて直流から交流、交流から直流への変換、電圧や電流、周波数を自在に制御する技術であり、電気インフラを支える基本技術である。

現在、風力発電や太陽光発電などでの電気エネルギーの効率的な発生や輸送・制御のための電力機器や鉄道、自動車、産業機器や家電製品など生活に身近な様々な電気利用機器に適用され、これらの機器の高性能化や省エネ化のためのキーテクノロジーとなっている。今後一層の産業競争力の強化及び省エネ化を推進するには、パワーエレクトロニクスの適用用途の拡大や普及拡大、性能向上による省エネ効果の増大等が必要とされ、パワーエレクトロニクスに関連する技術の高度化は社会的な課題となっている。

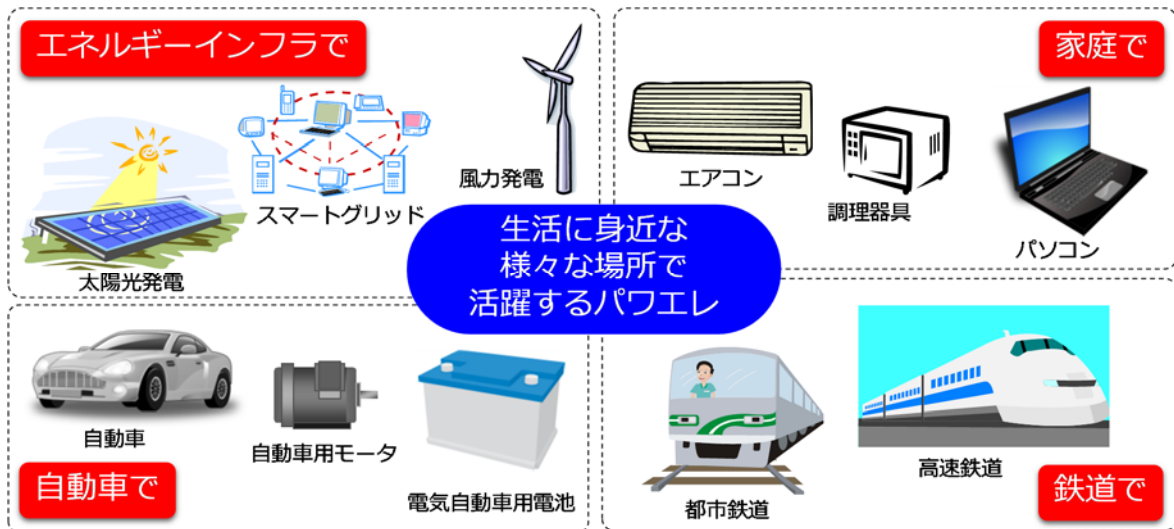


図 1-1 パワーエレクトロニクスの主な適用先

## 1.2. 政策的位置づけ

パワーデバイスの性能向上に関する研究開発や、パワーエレクトロニクスによる電力制御等のエネルギー利用の革新を目指した研究開発は、各種閣議決定文書等の中で重要な研究開発として位置付けられている。

具体的な例として、「エネルギー基本計画(平成 26 年 4 月閣議決定)」「日本再興戦略 2016(平成 28 年 6 月閣議決定)」「科学技術イノベーション総合戦略 2015(平成 27 年 6 月閣議決定)」において、それぞれ次のような記述がなされている。

### ・エネルギー基本計画:

「電力消費の一層の効率化が期待される次世代パワーエレクトロニクス機器をはじめとした技術革新の進展により、より効率的なエネルギー利用や、各エネルギー源の利用用途の拡大が可能となる」

### ・日本再興戦略 2016:

「我が国初の窒化ガリウム(GaN)等を活用した高効率デバイス等の研究開発・実証・実装を進め、早期の実用化に向けた取組を推進する」

・科学技術イノベーション総合戦略 2015:

「革新的デバイスでは、モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する超低損失パワーデバイス(SiC、GaN 等)、…を推進し、…」

上記の他にも多くの政府系文書の中で、パワーエレクトロニクス関連技術は重要な技術として位置付けられている。

### 1.3. アウトカム効果

#### 【CO<sub>2</sub>削減効果】

現状の Si インバータを SiC 等の次世代のインバータに置き換えることによって、もしくは現状インバータ化していない用途等のインバータ化率を向上させることによって、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅な削減が可能になる。適用対象分野として、EV/HV、産業機器、コンピュータ関連、無停電電源、太陽光発電(分散電源用インバータ)、インバータ化率向上のアプリケーションを想定し、それぞれの適用率から削減量を算出した結果、2030 年には CO<sub>2</sub> 排出量を約 1,515 トン削減可能と見積もっている。

#### 【経済効果】

再生可能エネルギーの更なる普及、産業機器・家電・次世代自動車等の一層の省エネ化に伴い、パワーエレクトロニクス関連の世界市場は大きな伸びが期待されている。パワーエレクトロニクス関連の市場は、現在 6 兆円に対し、2030 年には 20 兆円まで拡大する見込みであり、本事業の成果は 20 兆円市場の創成に貢献するものである。

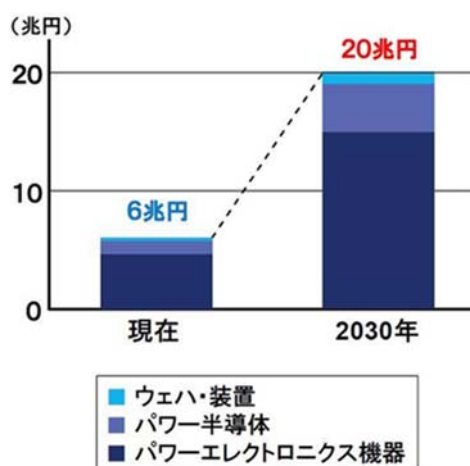


図 1-2 パワエレの世界市場規模

【出典】平成 25 年 9 月 13 日 第 114 回総合科学技術会議 資料 5

### 1.4. 国際的なポジション

モーターやインバータ等の産業・鉄道向け機器の多くには高出力パワーデバイスの IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を搭載し SBD (Schottky Barrier Diode) 等を付加するなどしてモジュール化したパワーモジュールが使用されている。パワーモジュールについての 2015 年のメーカー別販売額を見ると、日本企業 3 社で約 40%、ドイツ企業 2 社で約 40%となっており、日本と欧州とで市場を二分している。

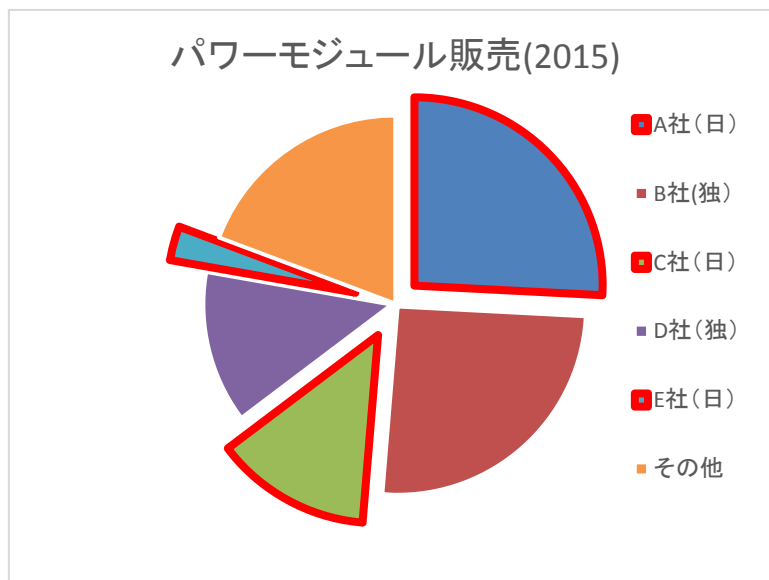


図 1-3 パワーモジュールのメーカー別販売額

材料の観点から見ると、SiC ウエハの地域別生産額は北米が約 70%と大きいシェアであるが、日本のシェアも年々拡大しており 2015 年時点で 12%程度となっている。

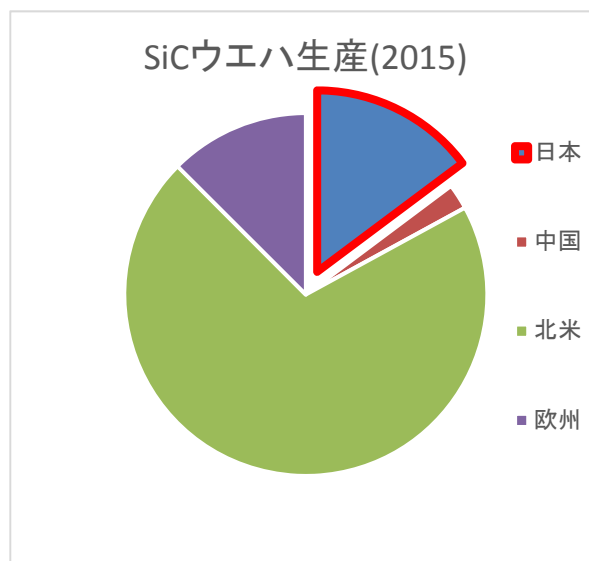


図 1-4 SiC ウエハの地域別生産額

上記はパワーエレクトロニクス関連製品の代表的な事例である。その他にも材料別 (Si、SiC、GaN 等)、レイヤー別 (ウエハ、デバイス、モジュール等) で様々な製品があるが、日本は概ねそれぞれの製品で高い競争力を有している。

しかし、2016 年 7 月のインフィニオン(独)によるウルフスピード(米)の買収や、近年の韓国・中国・台湾の技術力向上によるコスト面での激しい競争への懸念など、厳しい状況に直面している。その中で、引き続き高い競争力を維持できるような取り組みを推進することは重要である。

## 1.5. 海外状況のまとめ

近年、海外ではパワーエレクトロニクス関連の大型研究開発プロジェクトが開始されている。主なものとしては、米国では DOE(米国エネルギー省:United States Department of Energy)と企業が組む Power America やニューヨーク州と企業が組む New York Power Electronics Manufacturing Consortium(NY-PEMC)などがあり、欧州では EU による SPEED などがある。ここでは米国の 2 プロジェクトの詳細を述べる。

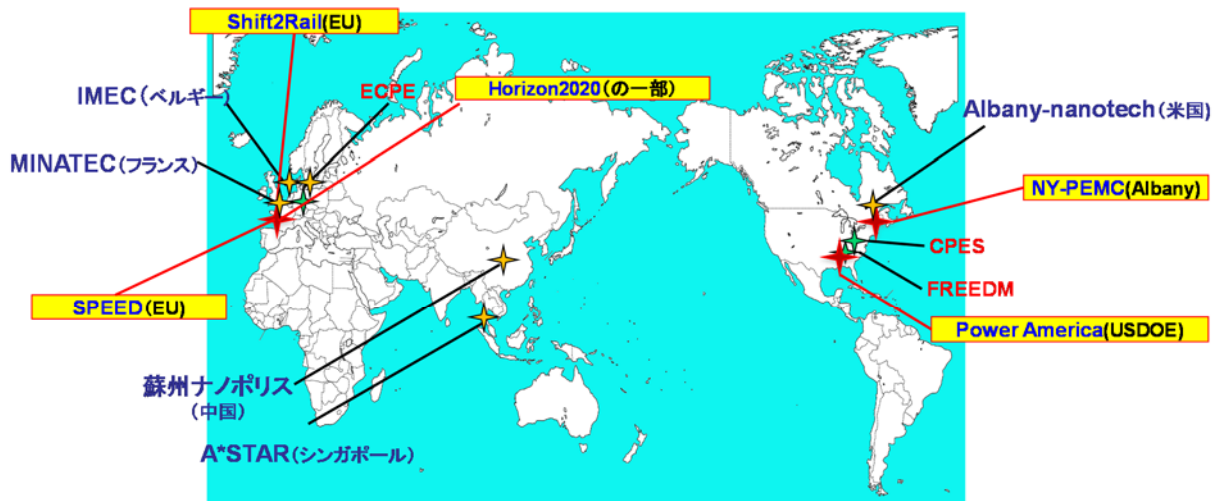
Power America は、DOE と産学官のマッチングファンドで 5 年総額 1 億 4 千万ドルのプロジェクトである。ノースカロライナ州立大学(NCSU)を幹事として、18 企業・5 大学・2 国研からなる産学官コンソーシアムを組成する。ワイドバンドギャップ半導体の製造プロセスに関する研究開発のみならず、関連人材育成、製造・研究拠点形成、中核企業形成を行う。なお、Power America は、デバイスだけでなく明確なアプリケーション志向を持つことも特徴であり、特に産業モーター、電力システム、再生エネルギー、防衛装備、電動車などを対象としている。

NY-PEMC は、ニューヨーク州・SEMATECH(米国 14 企業・団体からなるコンソーシアム)・GE・IBM が中心となって結成された。2014 年より 5 年間で約 5 億ドルの投資が予定されている。当初 IBM・SEMATECH・州の約 3 億 6500 万ドルの取組に、GE がアプリケーションへの活用を求めて 1 億 3500 万ドルの追加出資で合意し、デバイスからアプリケーションまでの垂直統合の体制を確立した。「アプリケーション側の性能向上目標」と「アプリケーション性能向上目標の達成に必要なデバイス性能目標」の両面を示し、事業を推進している。

また、パワーエレクトロニクス関連の代表的なコンソーシアムである ECPE(European Center for Power Electronics)は、2003 年に欧州 8 社の半導体関連企業コンソーシアムとしてスタートし、現在は企業約 70 社、大学等 70 機関が加盟している。半導体企業・研究機関だけでなく、アプリケーション(自動車・電機)や素材などサプライチェーン横断的にメンバを募り、かつ欧州に拠点があれば域外企業にも参画を認める仕組みとなっている。また、第 7 次欧州フレームワークプログラム(FP7)で、各テーマ(ENIAC、ARTEMIS、EURECA 等)に求められるパワーエレクトロニクス関連の研究開発を統合する役割も与えられるなど、業界の有志団体から、EU の認める準公的なコンソーシアムとしての地位を確立している。

ECPE の主な活動内容は下記の通りである。

1. 技術ロードマップの策定
2. 新材料等の共通研究開発
3. セミナー、ワークショップの開催
4. 学生向けリクルーティング
5. 技術者向け就職・転職支援



- ・赤字はパワーエレ関連の拠点
- ・青字はパワーエレを含む研究開発拠点

\$1=€0.9と仮定

プロジェクト	Power America	NY-PEMC	SPEED
規模	\$70M (DOE) +\$70M (企業)	\$135M (NY州) +\$365M (企業)	€12.3M (\$13.7M)
期間	2014.1～ 5年間	2014.7～ 5年間	2014.1～ 4年間
主要メンバー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Cree</li> <li>・ X-Fab</li> <li>・ NCSU</li> <li>・ RFMD</li> <li>・ Avogy</li> <li>・ Transphom</li> <li>・ 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GE</li> <li>・ SUNY</li> <li>・ IBM</li> <li>・ Global Foundries</li> <li>・ 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ INAEL</li> <li>・ ABB</li> <li>・ BREMEN大</li> <li>・ NORSTEL</li> <li>・ Infineon</li> <li>・ Fraunhofer 研</li> <li>・ 他</li> </ul>

図 1-5 海外のパワーエレクトロニクス関係のプロジェクト等のまとめ

## 1.6. NEDO が関与する意義

これまで述べてきた通り、パワーエレクトロニクスは、鉄道・自動車・産業機械・家電など生活に身近なあらゆるところに適用される技術であり、その高性能化はあらゆるところの省エネに繋がり、低炭素社会実現の鍵となる技術である。

また、パワーエレクトロニクス関連市場は、現在 6 兆円に対し、2030 年には 20 兆円まで拡大する見込みである。成長市場で優位性を確保し、経済成長に繋げることは重要である。本事業の成果により、半導体デバイス関連の国内企業群が国際的に大きい存在感を有するほか、自動車産業をはじめとする電機産業以外の産業競争力強化にも大きい貢献が期待される。

海外では、Power America や NY-PEMC をはじめとした大型の国家プロジェクトが次々に組成され、本分野の推進を強化している。また、ECPE をはじめとしたコンソーシアム活動も盛んである。日本は多くの有力企業を抱えている一方で、一企業だけで対抗することは困難になり



つつある。従って、NEDO が関与し、本分野の研究開発を強力に推進することが重要になってくる。

## 1.7. 今回の事業の位置づけ

NEDO では、「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」において様々なパワーエレクトロニクスの研究開発を推進している。今回の中間評価で対象とする事業は、そのうち下記の2項目である。

### 研究開発項目①(10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発

Si パワーデバイスに関し、従来技術の延長線上にない革新的な手法を用いることで、現状の Si パワーデバイスの性能限界突破を行う。

### 研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

新材料パワー半導体を各種アプリケーションに適用するため、モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発、開発したモジュール等を適用したシステムの試作、動作実証等を行う。

それぞれの項目の詳細については 2.1、2.2 に記載する。

なお、本事業の基本計画の全体構成は図 1-6 の通りであり、研究開発項目①(1)～(9)及び研究開発項目②については既に事後評価を終えている。

#### 研究開発項目① 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

- (1) 高品質・大口径 Si C 結晶成長技術開発／革新的 Si C 結晶成長技術開発
- (2) 大口径 Si C ウエハ加工技術開発
- (3) Si C エピタキシャル膜成長技術 (大口径対応技術／高速・厚膜成長技術)
- (4) Si C 高耐圧スイッチングデバイス製造技術
- (5) Si C ウエハ量産化技術開発
- (6) 大口径 Si C ウエハ加工要素プロセス検証
- (7) Si C 高耐圧大容量パワーモジュール検証
- (8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発
- (9) 高熱部品統合パワーモジュール化技術開発

22年度～26年度

#### (10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発

26年度～28年度  
(延長検討中)

#### 研究開発項目② 次世代パワーエレクトロニクス技術開発 (グリーン IT プロジェクト)

- (1) Si C パワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発
- (2) Si C パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発
- (3) 次世代 Si C 電力変換器基盤技術開発

21年度～24年度

#### 研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

- (1) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究
- (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成

26年度～31年度

図 1-6 本事業の基本計画の全体構成

基本計画に項目立てはしていないが、その他少額で調査や人材育成事業等を実施しており、その詳細は 2.7 に示す。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 2.1. 事業の目的

本事業の目的の概要は、パワーエレクトロニクス技術の高度化により、省エネルギー技術の国際的牽引と我が国の産業競争力強化である。

研究開発項目ごとの詳細な目的は下記の通りである。

#### 「研究開発項目①(10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発」

20 年以上にわたって高耐圧に対応するパワーデバイスとして Si-IGBT が重要な役割を担ってきたが、従来技術の延長によるデバイス開発では性能限界が見え始めていると言われている。その解決手段の一つとして、SiC 等の新材料パワーデバイスの開発を推進し、実用化が進みつつあるが、普及にはまだある程度の時間を要する見込みであり、Si パワーデバイスの更なる性能向上についての期待は高い。

また、パワーデバイス市場の中でも特に Si-IGBT は国内メーカーがその 40% のシェアを握っており、かつ市場自体も年 15% の成長率が予測される有望市場である。一方で、現在主流の 200mm ウエハプロセスから 300mm プロセスへの転換も現実的な流れとしてはあり、転換期に合わせて競合である欧米勢や後発のアジア勢の動きが活発化している。このような状況の中、国内メーカーの優位な環境を維持しつつ更なる成長を遂げるには、従来技術の延長線上にない新世代 Si パワーデバイスを開発し、他の追従を許さない環境を作る必要がある。

#### 「研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発」

SiC 等の新材料パワーデバイスは、鉄道、民生機器等に採用され、実用化が進みつつある。今後、低炭素社会の実現・産業競争力の強化を更に推進するためには、新材料パワーデバイスの耐圧や信頼性等の向上、コスト低減等により、適用される製品の裾野を拡げることが重要となる。

なお、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、産業機器、自動車、民生機器などのアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料 (Si、SiC、GaN)、をデバイスや回路等の設計技術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムを構築することにより実現することが重要となる。また、より新しく、独創性に富むなどの応用分野 (アプリケーション) の開拓を進め、新市場の創出を行うことも重要である。

本事業が主なターゲットとして想定している製品は図 2-1 の通りである。

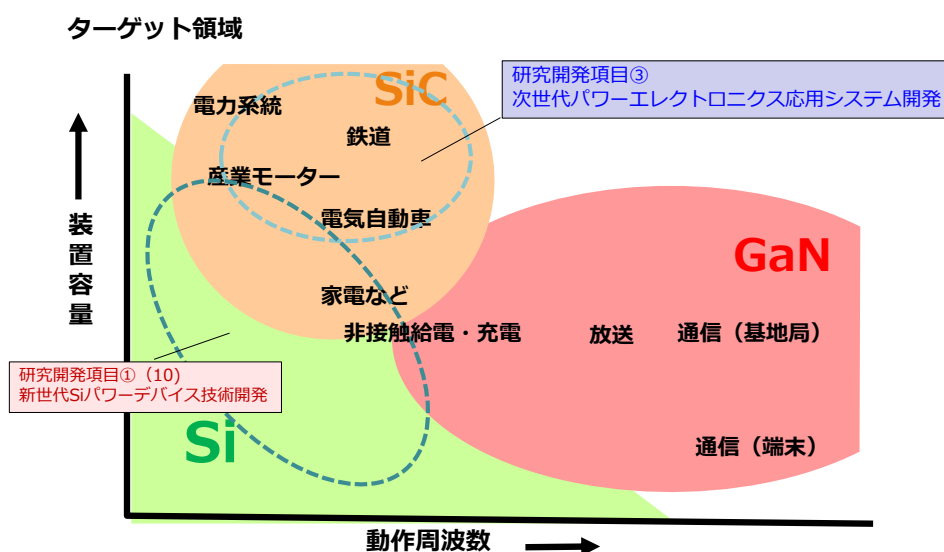


図 2-1 材料別の主な製品ターゲット

## 2.2. 研究開発目標と根拠

研究開発項目①(10)の目標等は下記の通りである。なお、ここで設定している目標は 2016 年度末の目標(現時点の最終目標)であるが、2017 年度以降も本テーマは継続予定である(最終目標設定は改めて行う)。

### 研究開発項目①(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

テーマ	実施者	目標	根拠
新世代Si-IGBT と 応用基本技術の研究 開発	東大、東 工大	<ul style="list-style-type: none"> <li>IGBTのスケーリング則の実証 (k = 3のIGBTの性能実証)</li> <li>スケーリングIGBT用の駆動・保護技術、低インダクタンス PKG技術(含む放熱)、耐ノイズ技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>独自のスケーリング構造の開発、適用</li> <li>低電圧・高速ゲートドライブ回路技術、絶縁・高速結合技術、耐ノイズ実装回路、高精度評価技術を開発・適用</li> </ul>

なお、本テーマ(新世代 Si-IGBT と 応用基本技術の研究開発)については、今後「Si-IGBT」と略す。

研究開発項目③では、三つの大きなテーマを実施しており、それぞれの目標等は下記の通りである。本目標に対し、2016 年度末の目標(中間目標)としてこの要素技術の確立を、最終目標として(2017 年度末とする予定)その実証を行うこととしている。

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

テーマ	実施者	目標	根拠
世界のパワエレを牽引する <b>次世代パワーモジュール</b> 研究開発と日本型エコシステムの構築	富士電機	コスト30%削減、量産化リードタイム半減、サンプル供給期間1/4のカスタムパワーモジュール	基本部分をユニット化し、顧客インターフェイス部分と組み合わせることで開発することにより、カスタム開発の期間とコストを低減させる。
SiCパワーデバイスを用いた <b>超高効率車載電動システム</b> の開発	デンソー	従来のインバーター+コンバーター構成から損失1/3となる昇圧コンバータレスの車載電動システム	出力によりモーターとインバーターの構成を変化することにより、昇圧コンバーターを不要にして電動システムを高効率化させる。
高出力密度・ <b>高耐圧SiCパワーモジュール</b> の開発	三菱電機等	耐圧6.5kV、出力密度が同耐圧Siモジュール比2倍以上のパワーモジュール	SiCの特性を活かしてパワーモジュールの効率化と小型軽量化を図ることにより、鉄道分野の世界市場へ展開させる。

なお、各テーマについては、今後そのテーマ名の一部を取り、「次世代パワーモジュール」「車載電動システム」「高耐圧 SiC パワーモジュール」と略す。

### 2.3. 研究開発スケジュール

研究開発項目①(10)については、2014～2016年度の3年間の事業として計画し、必要に応じて延長等を行うこととしていた。具体的には、2.2に記載の通りパワーデバイスのスケールリング則という新しい概念の原理実証を指標とし、継続性を判断することとしていた。

2015年度末時点で、シミュレーションのみならず実証データとしてスケールリング則の成立の見込みが確認できたため、事業の延長を検討している。

研究開発スケジュールの詳細は図 2-2 の通りであり、最初の3年でスケールリング則の原理実証を行い(スケールリング係数:k=3)、2017年度以降は、微細化の程度を大きくし(k=5)、更なる性能向上の可能性の追求等行う予定である。

研究開発項目③については、2014～2019年度の最大6年間の事業として計画し、大きくは3つのテーマを推進している。そのうち、「車載電動システム」及び「高耐圧 SiC パワーモジュール」については当初6年の事業を予定していたが、事業化加速等を目的として。期間を4年に短縮することとした。研究開発スケジュールの詳細は図 2-2 の通りである。

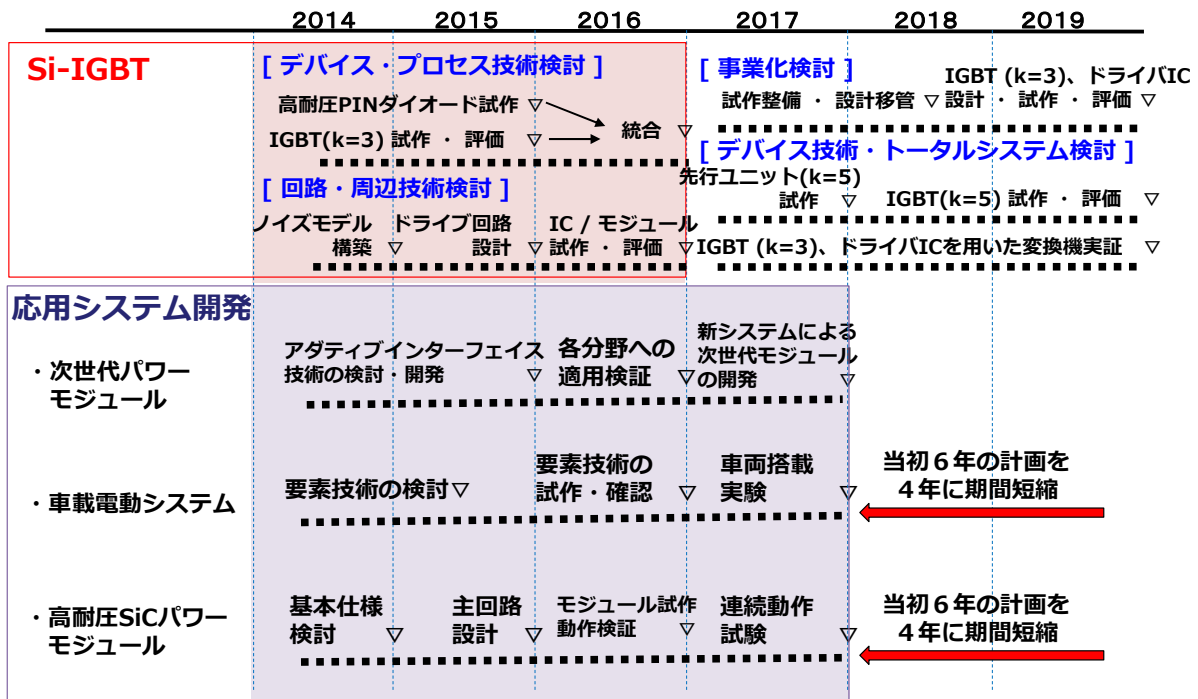


図 2-2 研究開発スケジュール

## 2.4. プロジェクト費用

2014 年度から 3 年間のプロジェクト費用は、図 2-3 の通り。2014 年度、2015 年度は執行ベースの金額であり、2016 年度は契約ベースの金額としている。少額で実施している調査事業や人材育成事業等についてはその他の予算として総額を記載している。

		(百万円)		
		2014	2015	2016
<b>Si-IGBT</b>		857	740	680
応用システム開発	次世代パワーモジュール	531	789	524
	車載電動システム	69	493	385
	高耐圧SiCパワーモジュール	671	667	472
	革新アプリ (6テーマ合計)	-	144	132
その他 (GaN先導研究、人材育成、調査)		32	114	125
合計		2,159 (確定額)	2,947 (確定額)	2,320 (契約額)

図 2-3 プロジェクト費用

## 2.5. マネジメント体制

本事業は「パワーエレクトロニクス」という共通の研究対象のもと、多岐にわたる研究開発を実施している。従って、有識者による定期的な集団指導体制を構築し(プロジェクト推進委員会の設

置)、様々な観点から定期的に助言等を受けながら推進することとした。プロジェクト推進委員会は年2回のペースで実施しており、2~3回に1回の頻度で研究現場において委員会を開催し、有識者の理解を深めた上でコメント等をもらうようにしている。

研究開発項目①(10)(Si-IGBT)については、実施者でもある東京大学の平本教授をリーダーとして、事業を推進している。

研究開発項目③(応用システム開発)については、基本的には各実施者内にリーダーを設置しているが、事業全体を俯瞰し、プロジェクト推進委員会より高い頻度で指導等を行うべく、千葉大学の佐藤教授をプロジェクトリーダーとして事業を推進している。

人材育成等の少額で実施している事業については、基本的にはNEDO単体でマネジメントを行っているが、必要に応じて外部有識者による委員会等により、実施内容の検討等を行っている。

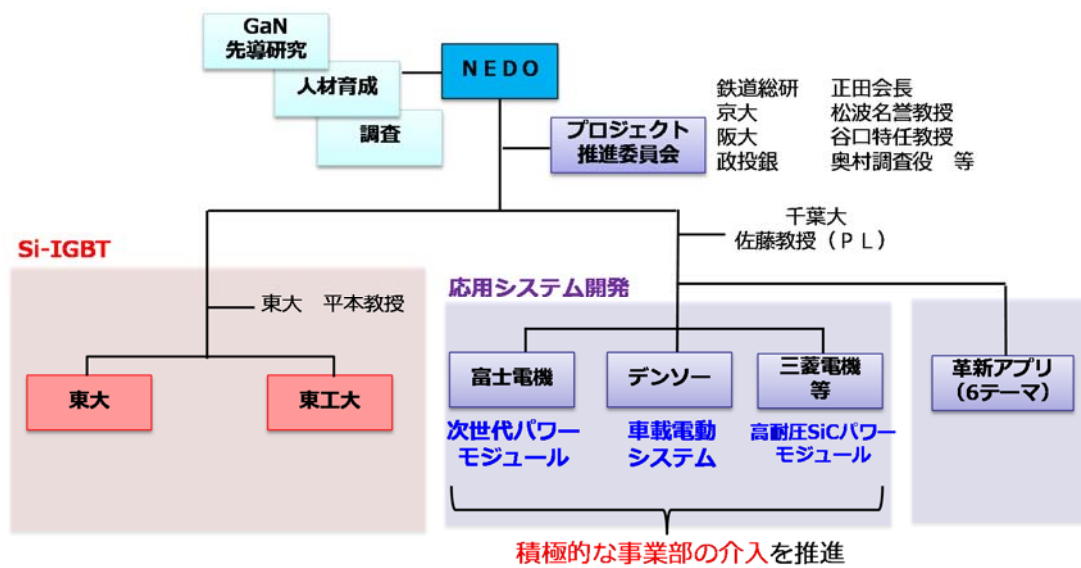


図 2-4 マネジメント体制

## 2.6. 実施体制

本事業は図 2-5 に示す実施体制にて推進している。

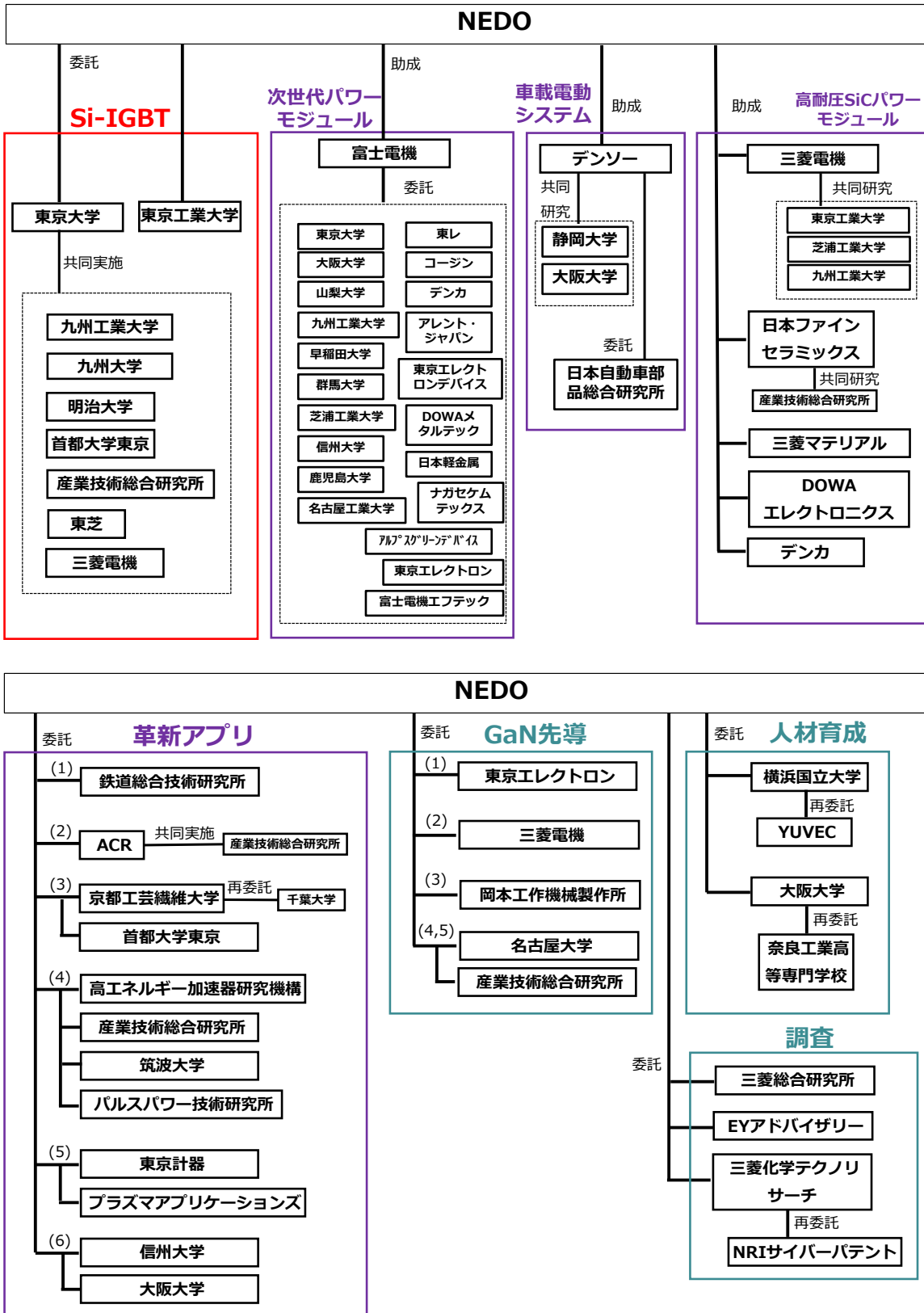


図 2-5 実施体制

## 2.7. 動向・情勢の把握と対応

事業の推進しながら課題として見えてきたものがあれば、適宜その事業設計を行い、新テーマを追加してきた。詳細は図 2-6 の通り。

	概要	狙い
GaN先導研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaNパワーデバイス（特に縦型デバイス）実現に向け、技術課題等を整理。</li> <li>・ GaNパワーデバイスに関し、プロセス開発も含め今後の技術的方向性を提示することを目標とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaN材料を用いたパワーデバイスは一部商業化され始めているが、GaNという材料が本来有しているポテンシャルを十分に発揮できていない。</li> <li>・ 今後の本格研究を見据え、GaNパワーデバイス研究の注力の方向性を定める。</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パワエレの専門的な学習をしていない企業の研究者等を対象に、座学のみならず実習も伴うセミナー。</li> <li>・ 事業終了後の継続性を保つための取組（e-ラーニング教材作成等）を併せて実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本事業を通じて基礎的な土台を固め、特にSiCやGaNなどの新材料パワエレについて、応用を推進できる人材育成を狙う。</li> </ul>
調査 (ロードマップ策定含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一般的な技術動向や市場動向等の調査に加え、アプリごとにパワエレ適用に係るロードマップを策定。</li> <li>・ 現在対象としたアプリは、鉄道、道路交通、電力安定化、産業（産業ロボット、医療機器）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロードマップ策定を通じ、以下の実現を目指す。</li> <li>①現在実施しているプロジェクトの妥当性等の確認、今後立案すべきプロジェクト等の検討。</li> <li>②デバイスメーカー、機器メーカー、機器ユーザー等の各レイヤー間で、情報交換や議論を行う場を設け、関係者の連携を強化。</li> </ul>

図 2-6 少額事業の概要と狙い

## 2.8. 知財マネジメント

知財は、プロジェクト実施後の実用化に向けた出口戦略を構築・実現するにあたり鍵を握るとともに、戦略的な取組を関係者の合意の下で進める必要があり、その実現に向けた的確なマネジメントの実施が不可欠である。このため、本プロジェクトでは NEDO プロジェクト知財基本方針を適用し、テーマ毎に実施者間での知財合意書の作成や知財運営委員会の設置を行った。

助成事業については、実施者主体で実施する事業であるため、知財マネジメント方針の適用対象外とするのが一般的であるが、多数の大学や企業が参加するテーマであることに鑑み、NEDO プロジェクトで初めて知財マネジメント方針の適用対象とした。



### 3. 研究開発成果について

#### 3.1. 研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」

本テーマでは、材料技術、プロセス技術、新構造化技術を駆使することにより、現状の SiC パワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する Si-IGBT およびその周辺技術を開発し、新世代の Si-IGBT 技術を確立することを目的とする。日本オリジナル技術である電子注入の促進構造を進化させた新世代 Si-IGBT コンセプトと、さらに磨きをかけた回路技術などの応用基本技術により、画期的な高性能パワーデバイス(低オン電圧化、大電流密度化、ゲートドライブ技術の高度化、低コスト化)を実現し、国内の半導体産業ならびにパワーエレクトロニクス機器の国際競争力強化を実現する。

「新世代 Si-IGBT とその応用基本技術」の有効性を、IGBT デバイス技術のみでなく、ウエハ・ドライブ回路・実装技術まで含め、産学官が一体になり実用化を念頭に実証する。

##### (1) 新世代 IGBT 試作

2015 年度は、2016 年度 3kV 級 IGBT を試作するために、まず 2014 年度の耐圧 1kV-pin 終端ダイオードの結果を反映させて、耐圧 3kV 以上を有する pin 終端ダイオードを設計・試作し、その評価を行った。IGBT メインセルとチップ終端の N ストップ間にガードリング部を配置し、電界を緩和することにより、高耐圧を達成する。2015 年度の目標である 3kV に対し、3.8kV 以上の耐圧が得られた。次に、裏面からキャリア注入する構造形成のため、ウエハ裏面プロセス構築と裏面 p 型の縦型ダイオードの設計・試作・評価を実施し、当初目標のダイオード特性を確認し、2015 年度の目標を達成した。

一方、電子注入の促進構造を進化させた新世代 Si-IGBT を試作するため、縦型 MOSFET、および縦型 IGBT の試作を行った。チャンネル移動度  $> 300\text{cm}^2/\text{Vs}$  の MOSFET、および電流密度で従来比 2 倍の Si-IGBT の作製を目標とした。ピーク移動度では、 $300\text{cm}^2/\text{Vs}$  が得られ目標を達成した。また、縦型 IGBT の試作では、新構造の IGBT で従来構造に比較して 2 倍の電流密度が得られ目標を達成した。

ウエハプロセスの評価としては、デバイスプロセスが基板ライフタイムに及ぼす影響の評価を開始した。IGBT 試作プロセスを補完するように、単工程 & ベアウエハによる熱処理影響の評価を実施。ライフタイム、酸素析出量などを評価し、2016 年度のウエハ & プロセスヘフィードバックする。また、IGBT 試作におけるキープロセスである、トレンチ側壁の結晶性評価を実施した。ラマン分光分析によるトレンチ形成後の CDE (Chemical Dry Etching) 処理依存性評価では、CDE 処理ありの方が、Si 結晶性が良好になる結果となった。

ウエハ技術に関しては、酸素濃度が  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  乗台かつ炭素濃度が  $10^{15\sim 16}\text{cm}^{-3}$  乗台においては、ライフタイムは従来の報告にあるような炭素濃度依存性を示さずに、キャリア濃度依存性を示すことがわかり、また 2015 年度目標値である 5msec を達成した。現在、本試作ウエハについてデバイスプロセスを想定した熱負荷試験を実施中。また、デバイスシミュレーションにより、デバイス動作時に 1kV 級 IGBT では  $10\mu\text{sec}$  以上、3kV 級 IGBT では  $100\mu\text{sec}$  以上のライフタイムを維持すればフラットキャリア分布を達成できることを確認した。現在、熱負荷試験によりライフタイム低下要因、対応策を検討中。

##### (2) ドライブ回路技術

新世代 Si-IGBT を使いこなすためには対ノイズ対策が重要である。新世代 Si-IGBT の性能を十分に引き出すために、ノイズによる悪影響を防止する回路条件と具体的な実装設計を検討しモジュール試作を行った。さらにゲートドライブ回路の実装設計、ゲート配線の設計を行った。3kV スイッチング試験を安全に行うための安全装置を開発した。

そして、新開発の波形制御機能付きのゲートドライブ回路を設計試作した。実際のパワエレ回路で高電圧実験を行い、ノイズ低減と損失低減の両立が可能であることを実証した。チップサイズ的大幅な縮小を可能とするドライブ IC の試設計を行った。

さらに、新開発のゲートドライブ回路を高電圧パワーエレクトロニクス回路に組み込み実証評価する環境を構築し、インバータ動作により連続運転を行った。また、3kV スwitchング環境を構築した。

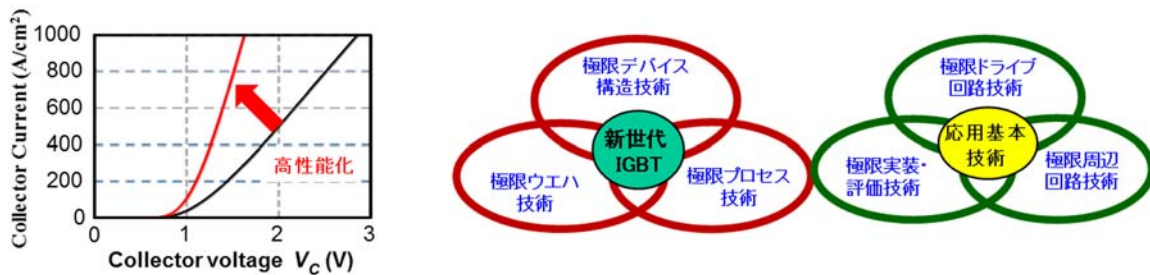


図 3-1 本テーマのイメージ図

### 3.2. 研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」

本テーマは、SiC デバイス、最新 Si デバイスおよび今後創出されると予想される GaN デバイスの優れた特性を活かし、顧客カスタム要求を満たしながらも超短納期で低コストな次世代パワーモジュールに関する研究開発を行う。

加えて、それらの研究・開発を可能とする日本型パワーモジュールエコシステムを構築し、これにより日本の強い新エネルギー分野、EV 分野およびカスタム要求度の高い特殊インバータ分野/特殊電源分野などで、世界のパワーエレクトロニクスを牽引することを可能とすることを目的としている。

具体的には、下記 1)～6)に対し開発を実施しプロジェクト期間中に達成する

- 1) 新エネルギー分野、EV 分野およびカスタム要求度の高い特殊インバータ分野/特殊電源分野などに最適なパワーモジュール製品の創出
- 2) 製品コスト 約 30%減 (現状モジュール構造比較)
- 3) 量産化までのリードタイム 約 50%減 (実施者 従来比)
- 4) 顧客へのサンプル供給期間 約 1/4 (実施者 従来開発品比)
- 5) 日本型パワーモジュールエコシステムの構築
- 6) 国際標準化

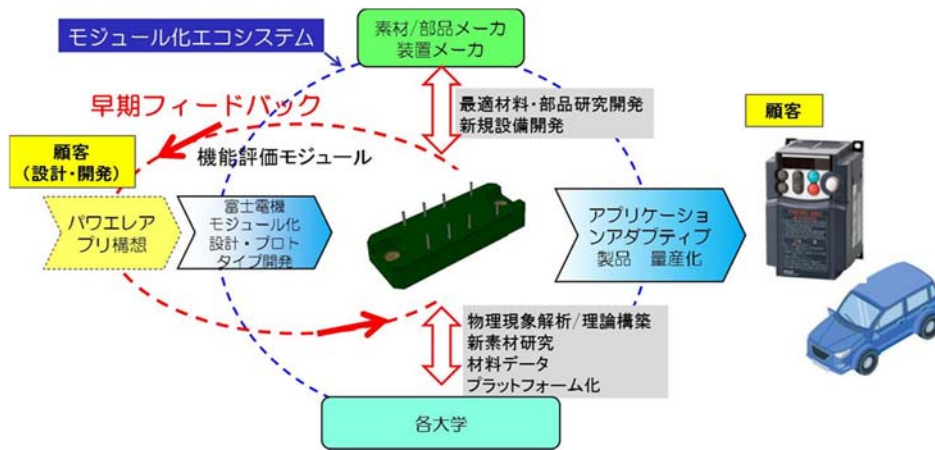


図 3-2 本テーマのイメージ図

### 3.3. 研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」

本テーマは、電機動力を用いた次世代環境対応車に使用される車載電動システムの更なる効率向上ため、従来の Si パワーデバイス (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子と昇圧コンバータ、インバータを用いた電動システムに対して、低損失な SiC パワーデバイス (MOSFET) を用いたインバータを活用し、昇圧コンバータを用いない新規なマルチ電源マルチインバータの超高効率車載電動システムを開発および車載実証を行う。2014 年度から 2016 年度は、その構成要素である小型・高出力 SiC パワーモジュール、マルチインバータに対応したモータ巻き線/システム制御技術の成立性検証、実車適用における機能検証・課題抽出を実施し、2017 年度に実車にて動作検証を実施する。

2016 年度までの目標は要素技術目処付け完で、実施項目①新巻線モータおよびシステム制御技術では、サージ電圧低減方法に確立、専用の制御回路の動作確認完了、実施項目②小型高温 SiC パワーモジュール技術では、SiC パワーモジュールでの低損失動作確認、高耐熱実装材料の選定及び信頼性確認、実施項目③高品質 SiC ウエハの製造と安定供給では、φ6 インチの高品質 SiC ウエハの安定成長確認、実施項目④システム性能検証では、新システムのモード走行領域での動作確認、損失低減効果の確認ができており、概ね計画通り進捗中で、2016 年度末までに目標達成見込みである。また、2017 年度の最終目標に向けても実車での効果のシミュレーション及び実車搭載準備が順調に進捗している。

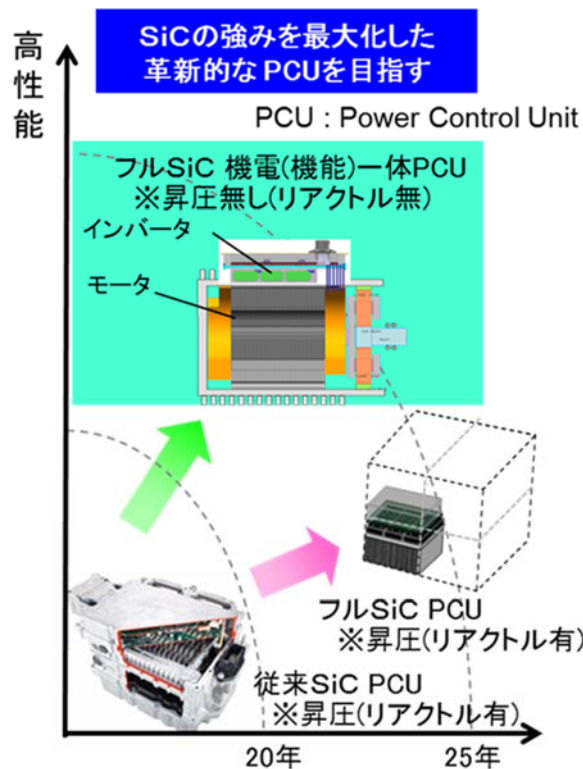


図 3-3 本テーマのイメージ図

### 3.4. 研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」

パワーモジュールを高出力密度化することにより、パワーエレクトロニクス機器の高効率化や小型・軽量化を実現できる。本テーマでは、海外メーカーの追従を許さない出力密度 2 倍(対 Si 比)という目標を掲げ、高効率な SiC デバイスの適用に加えて、高出力密度パッケージ化を行うことで、この目標を実現する。そのために、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールおよびこれを実現する為の材料、デバイスの開発を行う。これにより、高効率な SiC パワーモジュールの適用領域を拡大することができ、省エネルギーに大きく貢献できる。また、海外メーカーに対する競争力を強化でき、パワーモジュール、パワーモジュール用部材およびパワーエレクトロニクス機器に関する国内産業の育成と雇用の拡大に大きく貢献する。

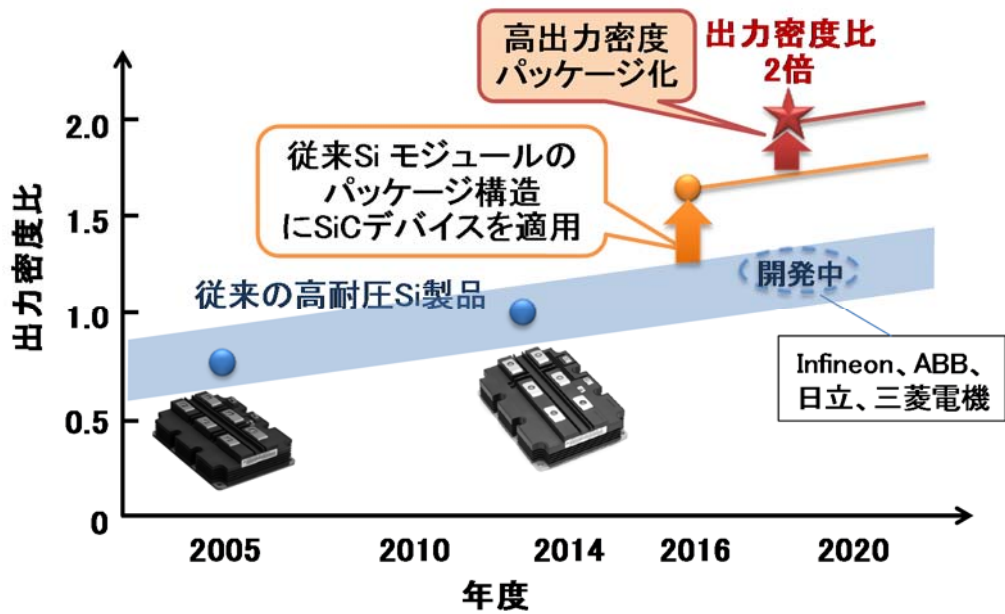


図 3-4 本テーマの目標の位置づけ

開発項目は、高耐熱・高放熱を実現するモジュール、高放熱・高信頼な絶縁基板や高信頼な Ag 接合材といった新規材料、高効率かつ高耐圧な SiC パワーデバイスである。モジュールおよびデバイスは三菱電機(株)、三菱マテリアル(株)、絶縁基板はデンカ(株)、日本ファインセラミックス(株)、Ag 接合材は DOWA エレクトロニクス(株)が主に開発を担当する。

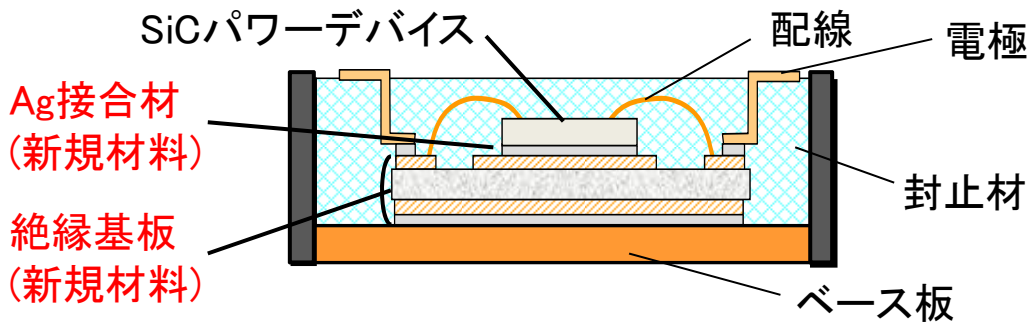


図 3-5 パワーモジュールの断面模式図

現在、解析および試作モジュールの評価結果より出力密度 2 倍(対 Si 比)の成立性を確認するとともに、各部材および SiC デバイスの特性について目標達成の目処付けを行った状況である。今後、これらの部材を組み込んだモジュールを試作し、動作を検証することで、目標達成を確認する予定である。

## 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### 4.1. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機）

本テーマの成果を自社のパワーモジュール事業に取り込むことで競争力のある製品を実用化できることを検証し、2020 年度に本プロジェクトの成果を適用する製品の事業化判断を行う。

### 4.2. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（東芝）

本テーマの成果を元に、事業化に向けた社内開発・評価、市場調査の実施を予定している。また、1200V 系 IGBT を先頭に次世代 IGBT 製品の展開を予定している。

### 4.3. 「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」における実用化・事業化の見通し（富士電機）

本テーマの成果を事業の成果(収益)に結び付けるための活動を「事業化」と位置づけて応用システムワーキンググループ(W.G.)及び事業化WGを設置した。パワエレ製品のエンドユーザのニーズを定期的に研究目標に反映させるためのW.G.として応用システム W.G.を設立し活動を実施している(計11回実施)。事業化W.G.ではパワエレ製品からのパワーモジュールに対する要求に対しての対応策や製品事業化について検討を行っている(計 20 回実施)。

これらの活動より、パワエレ製品を使用する最終顧客要求を満足させる最適なパワーモジュールを開発することでパワエレ製品の性能の最大化を図り、市場トレンド・ニーズから太陽光発電用 PCS、誘導加熱システム、EV 向けインバータ、電鉄用補助電源、ハイパープレミアムインバータ、大容量 UPS、IP6X インバータを本テーマの適用先候補とした。売上として 2020 年には 1,000 億円を目指す計画を設定している。

### 4.4. 「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」における実用化・事業化の見通し（デンソー）

本テーマの成果は既存の市販されている電動システムとは異なる新規なシステムであり、かつ電動システムの稼働比率の高い、PHV、EV、FCV の方が効果が大きいため、最初の製品ターゲットとしては、大出力 EV、大出力 PHV、FCV 向け電動システムを想定している。実用化・事業化への課題は、カーメーカーに対する新システムの訴求であり、2017 年度以降は、実車での性能実証を行った後、デンソー事業部が主体となり燃費性能、コスト、体格を見積もり、カーメーカーにアピールしていく。搭載車両が決まれば、カーメーカーと具体的な仕様を詰め、車両適合して信頼性確認を行い、2022 年を目標に実用化していく。

また、SiC パワーモジュールとしては、2017 年以降、具体的な製品形態での信頼性評価を行った後、新システムへの適応を目指す。要素技術レベルではデンソー事業部で既に開発中の既存システムでの次期製品に展開の予定である。

また SiC ウエハについては、昇華法ウエハは、2018 年には高品質  $\phi 6$  インチウエハを製品化し、社内外の車載用 SiC パワーモジュールの開発に提供する予定である。また、ガス成長法による

低コスト SiC ウェハについては、2017 年度までに基本原理確認を行った後、2019 年度までに基本技術を確立し、量産化検討に入る。量産開始は 2023 年を目指す。

#### 4.5. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機）

高耐圧モジュールは年平均成長率 9.1%と高い成長を続けると予測されており、また日本メーカーの競争力が強い市場であり、今後もこの市場での競争力確保が国内産業にとって重要となる。本テーマでは、海外メーカーの追従を許さない、出力密度 2 倍(対 Si 比)という目標を掲げ、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールおよびこれを実現する為の材料、デバイスの開発を行う。これを達成することで、高効率で省エネルギー性に優れた SiC パワーモジュールの適用領域を拡大することができ、海外メーカーに対する競争力を大幅に強化することができる(図 4-1)。

事業化は三菱電機株式会社 パワーデバイス製作所にて行う予定であり、まず鉄道向けの事業化を目指す。

パワーモジュールの競争力強化により、モジュール事業が拡大するだけでなく、モジュール用部材やパワーエレクトロニクス機器の事業拡大にも寄与できる。特に、パワーエレクトロニクス機器の市場規模はパワーモジュールより 2 桁大きく、その波及効果は大きい。

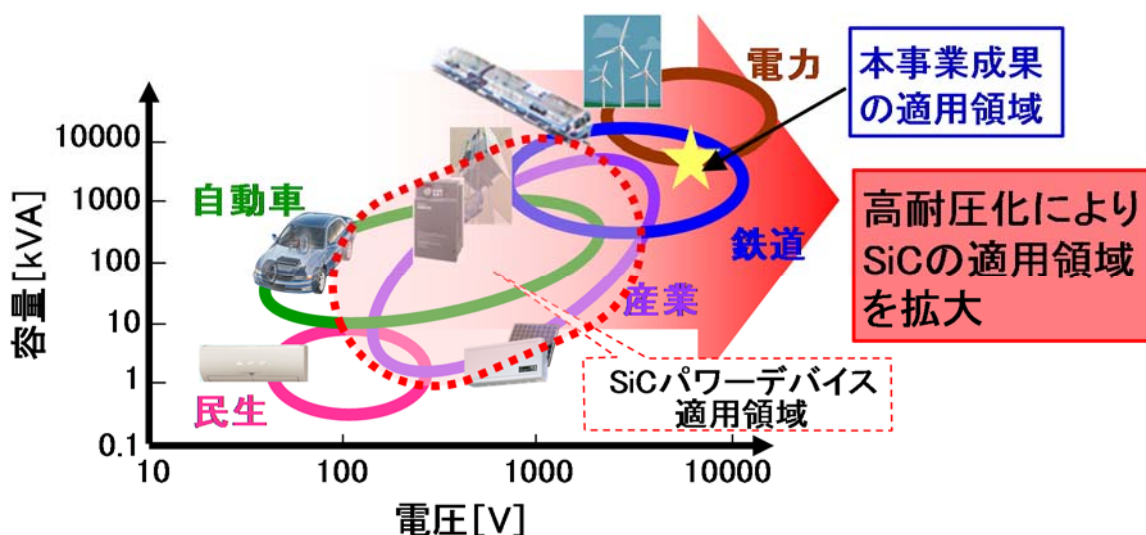


図 4-1 プロジェクトの位置づけ

#### 4.6. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（DOWA エレクトロニクス）

本テーマにおいて、これまで接合材として使用されていたはんだ材では信頼性が確保できない用途において、接合銀ペーストで接合させると高い信頼性が得られるといった基礎研究を行っている。

DOWA エレクトロニクスは銀粒子粒径制御技術、量産化技術を持ち合わせており、この技術と粒子分散技術を用いて銀ペーストの開発を進めてきた。

パワー半導体向けのダイアタッチ材として接合銀ペースト開発の検討は各社されているが、十分な信頼性を確保するためには高加圧による接合が必須であった。そのため、接合時における素子へのダメージが大きく、接合プロセスにおける歩留まり改善が必要であった。

DOWA エレクトロニクスでは銀粒子制御技術を使用し、低加圧接合に適した粒子の採用及び粒子高分散化により、目標である信頼性を確保しつつ 5MPa での低加圧接合を達成した接合銀ペーストの開発にめどをつけた。

本製品の他社従来材料と大きく異なる点は、5MPa と低加圧で接合ができ、Cu 表面への接合が可能ということでプロセスコストの低減にも貢献できることである。また、接合銀ペーストに用いられる粒子はすべて内製粉を用いており価格競争力も持ち合わせている。

今後、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュール向けで信頼性を確保し、事業化に向けた生産性、再現性等の品質安定化についても取り組んでいく。

本接合材の市場は SiC パワーモジュールに限定しても電鉄をはじめとした産業用途で今後拡大していくことが期待される。その他にも自動車向けや民生用途にも需要が出てくることが期待される。今後事業化に向けての課題の一つとして販売数量向上のために本材料の対象性品拡大のため自動車向け、民生用途にもペーストカスタマイズなどを実施していく。

#### 4.7. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱マテリアル）

本テーマにおいて、高耐圧 SiC モジュール用絶縁回路基板を開発する。開発された基板は、次世代の電鉄向けに検討するほか、新エネルギー分野や車載向けにも適用を検討する。プロジェクトでは量産プロセス設計と基板の実機での評価までを行うが、事業化はプロジェクト終了後に、量産設備設計などを経て実施する。事業化については、三菱マテリアル株式会社電子材料事業カンパニーが主体となる。

#### 4.8. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（デンカ）

高熱伝導・高耐圧 SiN 回路基板の事業化に向けて、2017 年度中に基本技術を確立するとともに量産に向けた課題の抽出を進めていく。その後、回路基板の長期信頼性評価や量産化検討を行い、事業化する。また、本製品に要求される高熱伝導率および高耐圧を両立した SiN 回路基板は、本開発品が唯一である。

#### 4.9. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（日本ファインセラミックス）

本開発品となる次世代高熱伝導 SiN セラミック基板は、高放熱性・絶縁性・機械的特性（熱サイクルを伴う環境下での耐ストレス性）などの特性を備えた材料であり、高耐圧化、高出力密度化が進むパワーモジュールを構成する絶縁基板への適用が期待されるセラミック基板である。

特に SiC パワー半導体のような高い作動温度において、本開発品の特性を十分に発揮できるものと考えられ、本開発品が実用化されることによって次世代パワーエレクトロニクスの国際競争力が向上することをねらう。



## ●特許論文等リスト

### ◎研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」

#### 【外部発表】

##### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	西澤伸一	産業技術総合研究所	「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発：PJ 概要と IGBT チップ開発」	NPERC-J セミナー (会員限定)	2016/5/28
2	大村 一郎	九州工業大学	「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発：PJ 概要と IGBT チップ開発」	NPERC-J セミナー (会員限定)	2016/5/28

NPERC-J : New Generation Power Electronics and System Research Consortium of Japan

### ◎研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」

#### 【特許】

非公開

#### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	両角 朗	富士電機(株)	Influence of Cooling Rates on Reliability of Solder Joints Using Sn-13wt.% Sb Binary Alloy for Power Semiconductor Modules	IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology	有	2016/05

#### 【外部発表】

##### (a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	市村 裕司	富士電機(株)	高密度樹脂封止パッケージの高信頼性検証	MES 2015	2015/09/03
2	高橋 良和	富士電機(株)	パワー半導体パッケージ技術の最新動向	MES 2015	2015/09/03
3	高橋 良和	富士電機(株)	最新パワー半導体パッケージ技術の技術動向	エレクトロニクス実装学会 パワエレ研究会	2015/10/14
4	高橋 良和	富士電機(株)	次世代パワー半導体技術	電子デバイスフォーラム 京都	2015/11/13

5	高橋 良和	富士電機(株)	パワー半導体モジュールの最新パッケージ技術	インターネブコン 2016	2016/01/14
6	外園 洋昭	富士電機(株)	Sn-5Sb 微小試験片の疲労特性に及ぼす温度の影響	Mate 2016	2016/02/02
7	須賀 唯知	東京大学工学研究科	銅のギ酸還元反応の研究	エレクトロニクス実装学会春季講演	2016/03/22
8	市村 裕司	富士電機(株)	樹脂封止パッケージの高密着化による高信頼性検証	エレクトロニクス実装学会春季講演	2016/03/24
9	高橋 良和	富士電機(株)	- Panel Session - Power Module Integration	ECTC 2016	2016/05/31
10	匹田 政幸	九州工業大学	Basic Study on Partial Discharge Location in Power Module	International Conference on Dielectrics 2016	2016/07/03
11	匹田 政幸	九州工業大学	高速サンプリング電磁波計測によるパワーモジュール内部の部分放電位地	電気学会 A 部門大会	2016/09/05

(b)新聞・雑誌等への掲載  
現時点では特になし。

(c)展示会への出展

番号	所属	タイトル	展示会名	発表年月
1	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	システムコントロールフェア 2015	2015/12/02-04
2	富士電機(株)	日本のパワー半導体でエネルギー問題を解決・次世代パワーモジュールエコシステム	セミコン・ジャパン 2015	2015/12/14-16
3	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	テクノフロンティア	2016/04/20-22
4	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	PCIM 2016	2016/05/10-16
5	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	オーストラリア見本市	2016/05/11-13
6	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	MEX 金沢	2016/05/19-21
7	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	九州 Eco フェア	2016/06/16-17

8	富士電機 (株)	IP6x 対応 INV (Type I)	シンガポール水処理見本市	2016/07/10-14
9	富士電機 (株)	APS (Type III)	Inno Trans.	2016/09/20-23
10	富士電機 (株)	IP6X 対応 INV (Type I)	SPS IPC ドライブ	2016/11/22-24

◎研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」

【特許】

非公開

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	丹羽章雄 他	(株)デンソー	SiC-MOSFET の電流センス機能を用いたデッドタイム制御回路	電気学会論文誌 D 136(2), 145-151, 2016	有	2016/02/01

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	丹羽章雄 他	(株)デンソー	デッドタイム制御機能を内蔵した SiC-MOSFET ゲートドライバ	平成 27 年電気学会産業 応用部門大会	2015/09/03
2	丹羽章雄 他	(株)デンソー	Novel Dead Time Controlled Gate Driver Using the Current Sensor of SiC-MOSFET	IEEE IECON2015	2015/11/12
3	陳 伝 トウ 他	大阪大学	FEM 解析より低発生応力となる最適モジュール構造の設計	第 30 回エレクトロニクス実装学会	2016/03/22
4	陳 伝 トウ 他	大阪大学	Low-stress design for SiC power modules with sintered porous Ag interconnection	Electronic Components and Technology Conference	2016/05/31

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	デンソー、大阪大学	SiC パワー半導体用接合材の自己修復現象を発見	NEDO web サイト	2016/3/28

(c) その他

番号	所属	タイトル	形態	発表年月
1	デンソー	SEMICON Japan 2015 (NEDO ブースでの展示)	展示	2015/12/16-18

◎研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」

【特許】

非公開

【論文】

番号	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	三菱電機	パワーモジュールの焼結 Ag 接合部の破壊メカニズムに関する調査	mate2016 22nd symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics" 125-129	有	2016/02/03
2	デンカ	電鉄用、自動車用高信頼性セラミックス回路基板について (予定)	JFCA/FC レポート秋号	無	2016/10/20 発行予定

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	デンカ	次世代パワーモジュールに向けたセラミックス放熱基板の取り組み	日本セラミックス協会 第 28 回秋季シンポジウム	2015/9/17
2	三菱電機	パワーモジュールの焼結 Ag 接合部の破壊メカニズムに関する調査	mate2016 22nd symposium	2016/02/03
3	三菱マテリアル	ECTC2016 IEEE Electronic Components and Technology Conference	ECTC2016 IEEE	2016/05/31

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他

番号	所属	タイトル	形態	発表年月
1	DOWA	PCIM Europe 2014 (Nuremberg, Germany)	展示	2014/5/20-22
2	DOWA	PCIM Europe 2015 (Nuremberg, Germany)	展示	2015/5/19-21
3	三菱電機、DOWA、三菱マテリアル、デンカ、日本ファインセラミックス	SEMICON Japan 2015 (NEDO ブースでの展示)	展示	2015/12/16-18
4	デンカ	JFCA 産業振興賞	受賞	2016/5 月

## 「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」

## 基本計画

IoT 推進部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

エネルギー生成方法の多様化は、資源枯渇及び地球温暖化の解決に向けた重要な検討課題であるが、中でも、電気エネルギーへの移行は、課題解決の有力な手段のひとつである。電力の生成から消費に至るフローにおいて、電力利用効率向上の手段として、パワー半導体デバイスによる電力変換・制御（直流・交流変換、周波数制御等）は、すでに多くのフェーズで行われている。さらに、これまでパワー半導体が適用されていなかった機器への展開や、新たな応用分野が急激に広がることによって、パワー半導体デバイスが利用される局面は大幅に増加すると見込まれる。たとえば、ハイブリッド自動車の普及など電化の進む社会への転換がその起動力の一つである。また、高度に情報化が進む今日の社会では、ブロードバンドの普及、IT機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴い、機器が消費する電力の急激な増大が見込まれており、情報関連機器の省エネルギー化が重要な課題となっている。このためにも、パワー半導体デバイスが電力利用効率向上に大きく役立つと考えられる。このように、パワー半導体デバイスによる電力損失の低減は低炭素社会の実現に向けて極めて重要である。

現在は、パワー半導体デバイスの材料として主にSi（シリコン）が使用されているが、電力損失がSiの1/100以下、数kVの高耐圧性など、パワー半導体として極めて優れた性能を有した新材料SiC（炭化珪素）の実用化が期待されている。また、GaN（窒化ガリウム）、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（酸化ガリウム）等、SiC以外の新材料についても実用化に向けて研究開発を進めている。新材料パワー半導体デバイスを用いることにより、従来のSiデバイスを用いた電力変換モジュールと比べ、電力損失が格段に低い、また小型で大電力を扱える電力変換機器を実現することが期待される。インバータ等の電力変換装置の適用範囲が鉄道や次世代自動車などをはじめとして極めて広いことから、社会全体への波及効果が極めて大きく、さまざまな産業において、その成長の鍵となるものである。したがって、パワー半導体デバイス及び電力変換機器における技術力は我が国産業の国際競争力を左右するものである。

我が国における関連技術開発としては、主として産業用モータ駆動用を想定して、SiCウエハ品質と関連づけたSiCデバイスの大容量化/高信頼化の技術開発、或いは

インバータコア技術開発がNEDOプロジェクト（「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」平成18年～平成20年など）において行われてきている。同プロジェクトにて開発されたSiCウエハ品質向上及び評価技術・デバイスプロセス技術・回路技術・熱設計技術等、全体的な技術の高度化の結果として、Siデバイスに比べ大幅な損失低減（同定格インバータユニットにおいて、現在主流のSi-IGBTを適用した場合に比べ、70%損失を低減）が実証されるに至っている。

IT産業の電力消費低減に寄与するため、データセンタやその電力源に用いる交流・直流変換等の高効率化を実現したり、電気自動車のように新たに拡大しつつある応用製品に適した電力変換機器を実現したりするためには、具体的な適用製品を想定して、高電流密度化（大容量化）や、デバイス・機器の信頼性向上といったSiCデバイス性能の高度化を進めることが重要である。同時に、SiCデバイスとの組み合わせにおいて力を発揮する材料・部品・回路設計・ノイズ対策や熱設計などの課題を解決していく必要がある。

一方、SiCパワー半導体デバイスの効率向上・適用範囲拡大を支え、普及の鍵となるのは、SiC半導体材料の高品質化と供給安定化であるが、現在のSiCウエハ市場は、4インチウエハが限定された規模で生産されている状況であって、かつ海外企業による寡占状況と言わざるを得ない。このことから生じる供給安定性への不安及び高価格が開発・普及への足かせになっている。それだけでなく、諸外国においてはごく最近になって6インチウエハ実現がアナウンスされ、かつ、高耐圧領域でのSiC電力変換器の実証が進みつつある。

このような背景のもと、6インチ級SiCウエハ量産化技術の構築と対応するデバイス化プロセス装置開発、並びにSiCパワー半導体デバイスを用いた電力変換器の効能実証を早期に実現することが緊急の課題となった。SiCパワー半導体デバイスの応用製品としては、急激に増大しつつあるIT産業の電力消費量増加の対策となるデータセンタ用電源や、その電力源として意味がある分散型太陽光発電システムなどに用いる電力制御機器が有望であり、その高効率化・小型化・高信頼化に貢献するデバイス技術開発・設計技術開発等を前記したウエハやプロセス装置開発と並行して行うことは極めて重要である。

また、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、デバイスの高性能化のみが技術を牽引するのではなく、アプリケーションに応じて製作される応用システムも重要な要素となる。従って、パワーエレクトロニクス分野における我が国の競争力を更に強化するためには、各種材料のウエハ、デバイス等の性能向上を図ると共に、産業機器、自動車、民生機器などアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（SiC、GaN等）、設計技術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムの構築により実現するこ

とが重要となる。加えて、応用システムは、新たな用途、デバイス・ユーザーの開拓を図ること等により、他の追随を許さない環境を作る必要がある。

以上のように、これらの課題に対して積極的な取り組みを行うことは、省エネルギー技術の国際的牽引、及び我が国の産業競争力強化にとって極めて重要な意味を持つものである。

なお、本事業は、ある程度明確な製品イメージのあるものへの適用を目指した応用開発を中心に取り組むことに対し、内閣府が実施する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）にて取り組まれる「次世代パワーエレクトロニクス」は、電力や自動車等向けの新技術を中心に取り組まれるものである。

## （２）研究開発の目標

本研究開発の目標は、高品質・低コストな大口径SiCウエハ製造技術、SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術、応用に即した電力変換器の設計技術開発、システムにおけるSiCスイッチングデバイスの効果実証、高温実装技術、新世代Siパワーデバイス開発をはじめとする要素技術の確立、さらにSiC、GaN等の新材料も活用し、実用化を見据えた応用研究開発である。

研究開発項目①においては、別紙の研究開発計画に基づき、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成26年度までに①高品質・大口径結晶成長、ウエハ加工、エピタキシャル膜形成まで一貫した製造技術の確立、②高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立し、これを用いた低損失電力変換器の試作・実証等を行う。

また、SiC大口径ウエハ化に関して、現状の昇華法結晶成長技術を6インチ対応とし、ウエハ加工プロセスと併せ6インチ4H-SiCウエハを実現する。また、ウエハ加工要素プロセスの能力検証を加速し、SiCデバイス化のための高温プロセス装置等に関して6インチ対応装置を開発すると共に、3kV以上の高耐圧領域でのSiCダイオードを用いた低損失パワーモジュールの性能検証を行う。

さらに、SiCの特長である高い接合温度において動作するSiCパワー素子の近傍に配置できる高耐熱受動部品を開発するとともに、それらを配置したパワーモジュールを試作して各実装部品間の相互の影響を検証し、それによって各開発部品の優位性を明らかにする。

加えて、現状のSiパワーデバイスの性能限界を突破し、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発する。

研究開発項目②においては、別紙の研究開発計画に基づき、データセンタやその電力源としての分散型太陽光発電システムにおいて交流・直流変換等、電力制御に用いられているパワーデバイスを、従来のシリコンに代わりより低損失かつ高耐電圧であるSiCを用いたものとする技術開発を行うとともにシステムレベルでの実証を行う。これに

より、電源で発生するエネルギー損失を飛躍的に削減する技術を確立するため、平成24年度末までに次の最終目標を達成する。

- ・電力容量が2kW級のサーバ電源のプロトタイプを試作し、その電力変換効率が負荷50%で94%以上であることを実証する。
- ・電力容量が30kW級の太陽光発電用パワーコンディショナのプロトタイプを試作し、これが定格出力時に98%以上のシステム効率をもつことを実証する。
- ・デバイス温度200～250℃で動作させることを可能とする高温実装技術を開発し、60W/cm<sup>3</sup>級の出力パワー密度を持つ革新的電力変換器の動作検証が可能なレベルの要素技術を確立する。

研究開発項目③においては、別紙の研究開発計画に基づき、新材料パワーデバイスを活用した、次世代自動車、次世代産業機器、次世代民生機器等の応用システムの開発を行う。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施するとともに、国内外の関連情報の収集及び調査等を行う。研究開発項目は以下の通り設定する。

#### 研究開発項目① 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

- (1) 高品質・大口径SiC結晶成長技術開発／革新的SiC結晶成長技術開発  
[委託事業・共同研究事業（NEDO負担率：1/2）]
- (2) 大口径SiCウエハ加工技術開発 [委託事業]
- (3) SiCエピタキシャル膜成長技術（大口径対応技術／高速・厚膜成長技術）  
[委託事業]
- (4) SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術 [委託事業]
- (5) SiCウエハ量産化技術開発 [助成事業（助成率：2/3）]
- (6) 大口径SiCウエハ加工要素プロセス検証 [委託事業]
- (7) SiC高耐圧大容量パワーモジュール検証 [委託事業]
- (8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発 [助成事業（助成率：2/3）]
- (9) 高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発 [委託事業、共同研究事業（NEDO負担率：2/3）]

研究開発項目①（9）は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、上記以外のもの（※1）は、共同研究事業（NEDO負担率：2/3）として実施する。

（※1） 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学



官連携とならないもの。

(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発 [委託事業]

研究開発項目② 次世代パワーエレクトロニクス技術開発 (グリーンITプロジェクト)

- (1) SiCパワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発  
[共同研究事業 (NEDO 負担率: 1/2)]
- (2) SiCパワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発  
[共同研究事業 (NEDO 負担率: 1/2)]
- (3) 次世代SiC電力変換器基盤技術開発 [委託事業]

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

- (1) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究 [委託事業]
- (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成  
[助成事業 (助成率: 2/3) (※2)]  
(※2) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1/2とする。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、研究開発項目①のうち(1)から(4)まで、(6)及び(7)は経済産業省が、企業、大学等の研究機関(委託先から再委託された研究開発実施者を含む)から公募によって研究開発実施者を選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものであり、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)が本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえた研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、業務委託契約を締結して実施する。

上記以外の研究開発項目は、NEDOが、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発において、NEDOが主体となっていくべき基礎的・基盤的研究開発である研究開発項目①のうち(1)から(4)、(6)、(7)、(9)及び(10)、研究開発項目②及び研究開発項目③のうち(1)の各事業は委託または共同研究により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発である研究開発項目①のうち(5)及び(8)並びに研究開発項目③のうち(2)の事業は助成(助成

率2/3<sup>\*</sup>)により実施する。なお、研究開発項目③(1)で実施する委託事業は、目標を達成した後、実用化に向けた取り組みが必要と判断された場合には、引き続き研究開発項目③(2)の助成事業として実施する。

また、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDOが委嘱する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)として、研究開発項目①(1)から(9)及び②については国立研究開発法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター長 奥村 元氏を、さらに研究開発項目②についてはサブプロジェクトリーダーとして、国立研究開発法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 清水 肇氏を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。研究開発項目③については、プロジェクトリーダーとして、国立大学法人千葉大学大学院工学研究科 佐藤 之彦教授を置き、研究開発を実施する。

※研究開発項目③(2)については、民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1/2とする。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、適宜プロジェクトリーダーとともに事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成21年度から平成31年度までの11年間とする。ただし、この期間内において、研究開発項目毎に研究開発期間を設定する。

研究開発項目①のうち(1)から(4)については、平成22年度から平成26年度までの5年間とし、(5)から(8)については、平成23年3月から平成24年2月までとし、(9)については、平成24年度から平成26年度までの3年間とし、(10)については、平成26年度から平成28年度の3年間とする。

研究開発項目②については、平成21年度から平成24年度までの4年間とする。

研究開発項目③のうち(1)については、平成27年度から平成28年度までの2年間とし、(2)については、平成26年度から平成31年度までの6年間とする。

なお、研究開発期間については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、延長する等、適宜見直すものとする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来産業への波及効果等について、研究開発項目①（１）から（９）については、外部有識者による研究開発の中間評価を平成24年度、事後評価を平成27年度に実施し、研究開発項目①（10）については、事後評価を平成29年度に実施し、研究開発項目②については、事後評価を平成25年度に実施し、研究開発項目③については、中間評価を平成28年度、事後評価を平成32年度に実施する。中間評価結果を踏まえ、事業の加速・縮小など必要な体制の再構築を含め、後年度の研究開発に反映することとする。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

#### 5. その他の重要事項

##### （１）研究開発成果の取扱い

###### ①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果のうち、共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後、NEDO及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

###### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、海外展開を行う上で、性能評価指標やインターフェース等に関する標準案の検討、提案及び海外実証等を積極的に行う。

###### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先及び共同研究先に帰属させることとする。

なお、国際展開を見据えた、パワー半導体デバイス及び電力変換機器に係る技術に係る知財管理を適切に行うこととし、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代パワーエレクトロニクス」での知的財産権等の管理のされ方と整合が取れるものとする。

##### （２）基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するために、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ニ、第3号及び第9号に基づき実施する。

### (4) その他

受託者は、本研究開発から得られる成果の産業面での着実な活用を図るため、事業化への計画を立案する。事業の進捗等を考慮して計画の必要な見直しを行うとともに、研究開発期間中であっても、実用化が可能な成果については、迅速な事業化に努めるものとする。具体的には、高品質・低コストな大口径SiCウエハ及びSiC高耐圧スイッチングデバイスの実用化・事業化に加え、最終製品であるオールSiC電力変換器搭載ハイブリッド／電気自動車・鉄道等の実用化についても具体的な計画の立案に努めるものとする。

また、本研究開発の成果となる次世代パワーエレクトロニクス材料・デバイス等の応用開発を更に推進するために、関連する人材育成事業を行う。

## 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成21年3月、「次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンITプロジェクト）」制定。
- (2) 平成23年1月、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」制定。
- (3) 平成23年3月、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」及び「次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンITプロジェクト）」の基本計画の統合に伴う改訂。
- (4) 平成23年7月、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂。
- (5) 平成24年3月、研究開発項目①（9）の追加による改訂。
- (6) 平成26年4月、研究開発項目③の追加による改訂。
- (7) 平成26年5月、研究開発項目①（10）の追加による改訂。
- (8) 平成27年2月、研究開発項目③（1）の追加等による改訂。
- (9) 平成27年9月、根拠法の追加等による改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

#### (1) 「高品質・大口径S i C結晶成長技術開発／革新的S i C結晶成長技術開発」

##### 1. 研究開発の必要性

次世代パワー半導体として期待されるS i Cの開発・普及にあたっては、ウエハの品質及び供給の不安定性、高コストが最大のボトルネックとなっている。高品質・低コストな大口径S i C結晶成長技術の確立により、S i Cウエハを安定的に供給することによって、多量のウエハを必要とするデバイス及びインバータ等のモジュール開発を加速し、早期の実用化につなげることが可能となる。

##### 2. 研究開発の具体的内容

現在のS i C結晶成長法である昇華法は、生産性、品質、コストともに課題がある。これらを解決するため、昇華法の抜本的な高度化のほか、飛躍的な品質や生産性の向上が期待される革新的な結晶成長技術（ガス法、液相法等）の開発を行う。また、大口径・高品質S i C結晶の評価技術を開発する。

##### 3. 達成目標

昇華法において、以下の項目を満たす製造技術を確立する。なお、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成25年度以降、大口径ウエハ加工技術、大口径エピタキシャル膜成長技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウエハ製造技術として確立する。また、革新的結晶成長法についても、平成24年度までにそのための要素技術を確立し、平成26年度までに将来的に昇華法を凌駕するポテンシャルを評価可能な大型結晶を実現してその可能性を検証する。さらに、大口径・高品質S i C結晶の評価技術を確立する。

#### 【中間目標】

昇華法においては、口径6インチで、

- ①  $10^3$ 個/cm<sup>2</sup>台の転位密度を実現するのに必要な高品質化にかかわる基盤技術を確立する。
- ② 0.5mm/h以上の結晶を実現するのに必要な成長速度向上にかかわる基盤技術を確立する。

革新的結晶成長法においては、高速性、高品質性、長尺化／口径拡大等の各課題に対する要素技術を確立し、口径2インチ、厚さ1mmの4H-S i C単結晶の成長を実現する。

**【最終目標】**

昇華法においては、口径6インチ、長さ50mm以上で、

- ① 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $1 \times 10^3$ 個/cm<sup>2</sup>以下の結晶を実現する。
- ② 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $5 \times 10^3$ 個/cm<sup>2</sup>以下の結晶を成長速度0.5mm/h以上で実現する。

革新的結晶成長法においては、口径2インチ以上、長さ20mm以上の4H-SiC単結晶を実現した上で、昇華法に対する優位性を検証する。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (2)「大口径S i C ウェハ加工技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i Cはダイヤモンドに次ぐ高硬度を有しているため精密加工が極めて困難であり、例えば、現在の4インチウェハの切断に際しては、高価なダイヤモンドスラリーを多量に使わなければならないうえ、その切断スピードは極めて遅く、数日を要している。結晶の大口径化に伴い、既存の加工技術では、更に時間を要することになり、加工工程がボトルネックになるおそれがある。また、加工コストはウェハのコストの約1/3を占めており、低コスト化の観点からも技術の高度化が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

切断、研削、研磨の各技術について、6インチウェハに対応した高精度化、高速化及び低コスト化に資する加工技術の開発を行う。具体的には、高速・高効率・低損傷な切断技術の開発、研削精度向上のためのナノレベルでの砥石制御技術、耐薬品性の高いS i Cに有効な化学的機械的研磨法（CMP）の開発等を行う。

なお、これらの各工程は前後の工程に大きな影響を与えるため、密接な連携を図りつつ研究開発を実施することとする。

#### 3. 達成目標

6インチ結晶において、以下の項目を満たす実用的な加工（切断・研削・研磨）技術を確立する。なお、平成24年度までに基盤技術を確立し、25年度以降、大口径結晶成長技術、大口径エピタキシャル膜成長技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウェハ製造技術として確立する。

#### 【中間目標】

ウェハ切断技術に関して、3インチ結晶で切断速度150 $\mu$ m/分以上、同時切断枚数10枚以上、切り代300 $\mu$ m以下を実現する。また、3～4インチ結晶/ウェハを対象にして、切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各要素工程の最適化、及び接続最適化を行い、6インチS i C結晶/ウェハ加工の高速・高品質な一貫プロセス最適化の方針を決定する。

#### 【最終目標】

6インチ結晶/ウェハを対象に、以下の効率性を実現する。

① 切断：速度300 $\mu$ m/分以上、同時切断枚数10枚以上、切り代250 $\mu$ m以下

② インゴットから表面仕上げ精度R<sub>ms</sub>（表面荒さ）0.1nm@2 $\mu$ m×2 $\mu$ m

のベアウエハを実現する統合加工プロセスとして、プロセス時間 24 時間以内



## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (3)「SiCエピタキシャル膜成長技術（大口径対応技術／高速・厚膜成長技術）」

#### 1. 研究開発の必要性

エピタキシャル膜の品質はデバイスの性能・歩留まりに直接影響するため、その技術開発は極めて重要である。SiCエピタキシャル膜の作製にあたっては、1,600°Cから1,800°Cの高温環境下でシランガス（SiH<sub>4</sub>）とプロパンガス（C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>）からSiCを合成するため、高温環境下での極めて精密な制御技術を要する。そのため、SiCデバイスの普及において、エピタキシャル膜成長プロセスの高コスト性がボトルネックになっており、低コスト化には大口径ウエハを同時に多数枚処理できるエピタキシャル膜成長技術及びその品質評価技術の確立が必要である。

一方、デバイスの高耐圧化に対応するためには、数10μm以上の厚いエピタキシャル膜が必要となる。そのため、プロセス時間の観点から、厚いエピタキシャル膜の作製には成長速度が重要であり、高速エピタキシャル膜成長技術が必要となるが、現状デバイス品質との両立は確認されていない。それゆえ、高耐圧デバイスの実現・普及には、量産に対応できる高速成長での高品質・厚膜エピタキシャル膜成長技術及びその特性評価技術の確立が必要となる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

SiCウエハの大口径化に対応した、大面積で均一かつ低欠陥なエピタキシャル膜を高スループットで成長できるエピタキシャル膜成長技術及び高耐圧デバイスの作製に対応できる厚膜を高均一・高純度かつ高速で成長できるエピタキシャル膜成長技術を開発する。また、その両者に対応した大口径／厚膜SiCエピタキシャルウエハ評価技術を開発する。

#### 3. 達成目標

SiCエピタキシャル膜成長の大口径対応技術と高速・厚膜成長技術を確立する。大口径対応技術については、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成25年度以降、大口径結晶成長技術、大口径ウエハ加工技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウエハ製造技術として確立する。高速・厚膜成長技術については、平成24年度までにプロトタイプ炉によって要素技術開発を進め、平成25年度以降、高耐圧デバイス用厚膜エピタキシャル膜成長技術の確立を目指すとともに、高耐圧デバイス製造技術開発のために厚膜・高純度エピウエハを提供する体制を整える。

#### 【中間目標】

##### ①大口径対応技術

みなし6インチ径のエピタキシャル膜成長を行い、6インチ成長プロセスにおける問題

点を把握すると共に、当該成長膜に対して以下の品質を実現する。

- ・ 均一度：厚さ±10%、ドーピング濃度±20%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：2個/cm<sup>2</sup>以下

#### ②高速・厚膜成長技術

口径2インチ、膜厚50μm以上のエピタキシャル膜に対して以下の品質を実現し、SiC厚膜形成技術を確立する。

- ・ 純度 残留キャリア濃度： $3 \times 10^{14}$ /cm<sup>3</sup>以下
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：5個/cm<sup>2</sup>以下

### 【最終目標】

#### ①大口径対応技術

口径：6インチ、処理枚数：3枚以上のエピタキシャル膜に対し、以下の品質を実現する。

- ・ 均一度：厚さ±5%、ドーピング濃度±10%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：0.5個/cm<sup>2</sup>以下

#### ②高速・厚膜成長技術

成長速度100μm/h以上で作成した口径4インチ、膜厚50μm以上のエピタキシャル膜に対し、以下の品質を実現する。

- ・ 純度 残留キャリア濃度： $3 \times 10^{14}$ /cm<sup>3</sup>以下
- ・ 均一度：厚さ±2%、ドーピング濃度±10%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：1.0個/cm<sup>2</sup>以下

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (4)「SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術」

#### 1. 研究開発の必要性

3～5kV領域の高耐圧スイッチングデバイスの実用化により、高速鉄道等のインバータの電力変換効率の向上や小型・軽量化による設計の自由度向上など、低炭素社会の構築、産業競争力強化に極めて大きな効果が期待される。

#### 2. 研究開発の具体的内容

3～5kV級の高耐圧かつ低損失なSiCスイッチングデバイスを製造するための新規耐圧構造の設計／作製技術、高耐圧デバイス酸化膜信頼性向上技術、限界性能向上技術、高耐圧デバイス実装技術、高耐圧デバイス評価技術、大容量電力変換器設計技術の開発を行う。

#### 3. 達成目標

以下の項目を満たすSiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立する。

新規耐圧構造デバイスについて、平成24年度までに、当該耐圧構造設計・作製プロセス技術、高耐圧デバイス酸化膜信頼性向上、高耐圧デバイス実装技術、高耐圧デバイス評価技術、高温実装技術などの要素技術を開発し、25年度以降、エピタキシャル膜の成長技術（高速・厚膜成長技術）の成果を活用して、新規耐圧構造を適用した低損失なSiC高耐圧スイッチングデバイスを試作し、動作実証を行う。

高耐圧大容量デバイスについて、平成24年までに、高耐圧大容量デバイス設計・試作技術、限界性能向上技術、電力変換器設計技術などの要素技術を開発する。25年度以降、エピタキシャル膜の成長技術（高速・厚膜成長技術）の成果を活用して、SiC高耐圧大容量スイッチングデバイスの製造技術の確立を進めるとともに、大容量電力変換器の試作を行い、大容量・低損失動作の実証を行う。

#### 【中間目標】

##### ①新規耐圧構造デバイス

より低損失化が可能な新規高耐圧デバイス構造とその作製要素プロセスを開発し、当該構造で耐圧3kV以上の高耐圧SiC-MOSFETを実現する。

##### ②高耐圧大容量デバイス

耐圧3kV以上の高耐圧SiC-MOSFETを実現すると共に、SiC-MOSFET、SiC-SBDを適用した3kV以上の電力変換器モジュールを試作して、当該電圧領域のスイッチング及び多並列接続に関する要素技術を確立する。

#### 【最終目標】

##### ①新規耐圧構造デバイス

必要な各種要素技術を高度化し、耐圧：3 kV以上で特性オン抵抗：1.5 mΩ cm<sup>2</sup>以下の高耐圧SiC-MOSFETを実現する。

## ②高耐圧大容量デバイス

耐圧：3 kV以上、オン抵抗80 mΩ以下（室温環境下）、定格出力電流密度100 A/cm<sup>2</sup>以上の高耐圧SiC-MOSFETを開発し、当該デバイスを用いたMVA級電力変換器を試作して、その動作時の電力損失が同耐圧のSi電力変換器の50%以下であることを実証する。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (5)「S i C ウェハ量産化技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

平成22年になり、海外ウェハメーカによるS i C 6インチウェハ実用化の動きがより活発化してきており、平成23年から24年には少量ながら、4インチウェハと同等品質の6インチウェハ試供品が市場投入されると見込まれる。これにより本格展開に向けて大口径S i C ウェハの独占供給による価格吊り上げやそれに伴う日本国内関連産業の停滞が懸念される。

この状況を打破するためには、本体プロジェクトによる高品質・大口径化技術開発の完了に先立って、既存技術を活用していち早く6インチウェハを実現することが急務である。早期の6インチ実現を進めることにより、量産化に向けた技術課題の早出しが進むだけでなく、S i C 基板供給の海外依存を脱却し、国内S i C 基板の安定供給による国内S i C 市場の立ち上げ加速化につながる。また、本体プロジェクトで開発を進める高度化技術（高品質・高生産性）の受け皿となるウェハ技術検証ライン構築にも資すると期待できる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

昇華法をベースとした既存技術活用により、早期に6インチ4H-S i C ウェハ実現にむけた道筋を明確にする。そのために、バルク結晶成長やウェハ加工に関わる大口径対応装置導入・立上げを進め、6インチ4H-S i C インゴットの実現と共に、その量産化に向けた課題抽出を進める。その中では、必要な製造要素技術の工業レベルでの再現性、及び量産性の検証を含めた生産性向上技術、低コスト化技術（装置改善・工程改善）、検査技術の開発を並行して進め、月産1,000枚規模のS i C ウェハ生産技術へ展開可能な、量産化製造に関する基盤技術を確立する。

上記開発成果は、将来的には、6インチS i C ウェハを継続的に試作可能なプロトライン構築に繋げる。そのラインを活用してデバイス・システム開発にウェハ供給を実施し、その評価結果をフィードバックすることで量産化技術開発の加速化を図る。

#### 3. 達成目標

大口径4H-S i C ウェハの量産化技術開発可能な環境整備（昇華法結晶成長炉、ウェハ加工装置）を実施し、

- ・ 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $1 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下の口径6インチ4H-S i C インゴットを実現する基盤技術を確立する。

または、

- ・ 成長速度0.25mm/h以上で転位密度 $5 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下の口径6インチ4H-S i C インゴットを実現する基盤技術を確立する。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (6)「大口径S i C ウェハ加工要素プロセス検証」

#### 1. 研究開発の必要性

S i C ウェハの加工技術に関して、産業的に見合ったウェハコストを実現するため、インゴット切断、研削、粗研磨（ラッピング）、仕上げ研磨（CMP）の4工程を6インチ級の大口径ウェハに対応させながら、従来技術を越える高能率、低ダメージ、超平坦化を一貫プロセスとして達成することが、今後の高品質6インチウェハ早期実用化のためには必須となる。しかしながら、高硬脆材料であるS i Cインゴットを能率良く、かつ加工変質層の発生を最小限に抑えてウェハに加工する上記4工程における最適な要素プロセスは、未成熟であると共に個々の能力限界が明確ではない。

特に切断技術においては、ワイヤー速度、ワイヤー張力不足に起因する切断能率の低さが問題視されている。また、上記各工程においては、高能率化と低損傷化の二律背反性がS i C ウェハ加工にとって極めて解決が難しい課題となっており、本体プロジェクトにおける大口径ウェハ高速一貫加工プロセスの確立のためには、S i C材料に対する各種加工法の特徴、及び加工ダメージ層形成過程の高精度な分析を通じて、個々の要素工程の能力限界と最適加工条件を抽出しておくことが早期に求められる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

本体プロジェクトにおける大口径S i Cインゴットから高品質ウェハを実現する大口径ウェハ一貫加工プロセス開発に資するため、インゴット切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各要素プロセスに関して、現状技術での試加工実験を通して、能力限界・個別課題の抽出を進め、大口径S i C ウェハ高速一貫加工プロセス加工への適用性を検証する。

#### 3. 達成目標

切断技術として、ダイヤモンドを使ったマルチワイヤーソーにおいて、S i C 6インチインゴットに対して150  $\mu$ m/分以上の高速切断が可能になる最大ワイヤー速度：約4,000 m/min、最大張力：70 Nの高速高剛性切断技術を実現する。更に、切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各工程に関して、個々の要素工程の能力限界と最適加工条件（砥石、砥粒、研磨定盤種、装置技術、加工動作管理、能率等）を抽出し、S i C ウェハ加工における高速一貫プロセス確立に資する統合的なデータ蓄積を行う。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (7)「SiC高耐圧大容量パワーモジュール検証」

#### 1. 研究開発の必要性

3～5kV領域の高耐圧デバイスの実用化により、高速鉄道等のインバータの電力変換効率の向上や小型・軽量化による設計の自由度向上など、低炭素社会の構築、産業競争力強化に極めて大きな効果が期待される。この電圧領域では、社会インフラとしての応用分野が広いにもかかわらず、SiCを用いたパワースイッチングデバイスやパワーモジュールの開発が諸外国に比べて後手に回っている。しかしながら、パワーモジュール応用がより簡易なダイオードを選択するだけでも、リカバリー損失及びターンオン時のスイッチング損失を低減でき、従来のSiデバイスを用いたものに対して大幅な低損失化・小型化が可能となり、早期実用化に大きな進展が期待できると共に、上記電圧領域におけるAll-SiCデバイスパワーモジュール実現に技術的指針を与えられることから、SiCダイオードを用いた高耐圧パワーモジュール検証への早期の取り組みが求められている。

#### 2. 研究開発の具体的内容

高耐圧（3.3kV級）かつ低損失なSiCショットキーバリアダイオードを実現するための新規耐圧構造設計・作製プロセス技術、高耐圧デバイス評価技術の開発を行う。また、当該SiCショットキーバリアダイオードとスイッチング素子としてSi絶縁ゲートバイポーラトランジスタを選択（ハイブリッド構造）した大容量パワーモジュール設計技術を開発し、SiC大容量パワーモジュールの試作／動作実証を行うことで、SiCデバイスの活用が当該電圧領域におけるパワーモジュールでも有効であることを実証する。

#### 3. 達成目標

耐圧3.3kV定格電流75AのSiCショットキーバリアダイオードを開発し、Si絶縁ゲートバイポーラトランジスタと組み合わせて1,000A級大容量パワーモジュールを試作してその動作を実証するとともに、All-SiCデバイスパワーモジュール実現に必要とされるSiCFETの仕様に対する技術的指針を得る。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (8)「大口径対応デバイスプロセス装置開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i Cデバイス化プロセス技術において、先行しているS iデバイス技術と大きく異なり、更なる開発の必要性があるのは、プロセス温度がより高いイオン注入、活性加熱処理、高温酸化等の高温熱処理プロセス、並びにウエハが透明であることに起因した困難さが残存する露光プロセスである。これらのデバイス化プロセスではS iデバイス用の装置技術を転用することが本質的に困難であり、また、既存のS i C 4インチプロセス装置技術の延長では均一性等の生産レベルで必要とされる性能の達成も困難である。S i Cの6インチウエハが実用化されても以後のデバイス化プロセスで対応できず、このままでは6インチウエハに立脚したデバイス開発に支障を来す。実用化のためには、S i C 6インチウエハを想定した当該デバイス化プロセス装置の開発が不可欠である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

S i Cデバイス化プロセスの内、S iデバイスプロセスとは異なる高温プロセス技術、或いは透明基板対応技術に関して、6インチウエハ対応装置を開発する。

更に、当該装置を用いたデバイス試作によって最終性能を確認できるよう、研究計画終了後に必要な措置をとる。

#### 3. 達成目標

6インチS i Cウエハを対象に、イオン注入、活性化熱処理、高温酸化等のデバイス化のための高温プロセス装置、或いは透明ウエハ対応露光装置を開発し、所定の処理特性の面内均一性を達成する。具体的には、

イオン注入装置の場合、

- ・ 室温から800°Cまでの全領域でイオン注入が可能なこと
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±15°C
- ・ A1注入イオン電流：200μA上

活性化熱処理装置の場合、

- ・ 熱処理温度：1, 800°C以上
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±30°C
- ・ 一度に25枚以上処理可能なこと。

高温酸化装置の場合

- ・ 1, 200°C以上の高温でパイロジェニック酸化、及びH<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oガス処理が可能なこと。
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±15°C
- ・ 一度に25枚以上処理可能なこと。



- ・ 1, 100°Cで処理したSiゲート絶縁膜に含まれる金属不純物が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 未満であること。

露光装置の場合、

- ・ 6インチ4H-SiCウエハに対する重ね合わせ精度に関して、中心点及び4隅において、ばらつき（標準偏差の3倍以内）が65nm以下であることであること。
- ・ 解像度（市販のレジストをもちいた標準プロセス）に関して、350nmのライン&スペースパターンを転写できること。

## 研究開発項目① 「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (9) 「高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i パワー半導体素子で達成不可能なレベルの小型・軽量電力変換器の実現には、S i C パワー半導体素子の採用と、その高温動作・高速スイッチングが有効である。例えば電気自動車などの応用分野において、これに関連する技術開発に対する期待が大きい。中でも、高耐熱の受動素子等の開発と、それらをパワー半導体素子近傍に配置する実装技術が重要である。しかし、従来の S i パワー半導体素子の動作温度を超える環境に対応する実装技術、並びに実用的高耐熱部品の開発は未着手であり、早期開発が望まれている。

このため、S i C 高性能パワー半導体素子を対象にした高温実装技術の開発と、これに適合する高耐熱部品の要素開発を連携して進める必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

S i では動作不可能な接合温度領域（200～250℃）において S i C パワー素子が高速スイッチング性能を発揮できるよう、開発する耐熱部品をパワー素子近傍に配置するために必要な高信頼接合技術等の実装基盤技術を開発する。

上記の実装技術に対応する高温領域において基本性能（耐電圧・周波数特性等）を有し、かつ実装プロセスに対する耐性を有する受動部品（スナバコンデンサ・スナバ抵抗等）、及び過酷なヒートサイクルに耐えるメタライズ放熱基板・配線基板等の構造部材の要素技術を開発する。

部品レベルの耐熱性及び電気特性、並びに部品を実装技術によって統合し単一パッケージ化した際の耐熱性及び電気特性を評価し、問題点を把握する。これにより、高耐熱動部品と、それに対応した統合モジュール技術を効率的に開発する。

#### 3. 達成目標

接合温度が225℃以上で動作する S i C パワー素子の近傍に、新規開発の高耐熱受動部品を配置したパワーモジュールを試作し、各実装部品間の相互の影響を検証する。また、試作したパワーモジュールの耐熱性と電気特性の評価を通して、高温動作における課題を抽出するとともに、その解決の見通しを示す。

ここで、試作するパワーモジュールは耐電圧1200V／50A級とし、開発・搭載する受動部品及び部材の仕様は下記のとおりとする。

(スナバコンデンサ) 静電容量0.1μF級、耐電圧1kV級、共振周波数10MHz級のコンデンサにおいて、使用時の耐熱温度250℃であり、-40～250℃の温度領域における静電容量の変動が±10%以下、かつ、体積が40mm<sup>3</sup>以下（例えば、5×4×2mm）。

(スナバ抵抗) 抵抗値  $10\ \Omega$  級、定格電力  $1\ \text{W}$  級の抵抗体において、使用時の耐熱温度  $250\ ^\circ\text{C}$  であり、 $-40\sim 250\ ^\circ\text{C}$  の温度領域における抵抗値の変動が  $\pm 10\%$  以下、かつ、 $10\ \text{MHz}$  までの周波数領域における抵抗値の変動が  $\pm 10\%$  以下、かつ、体積  $20\ \text{mm}^3$  以下 (例えば、 $6.3 \times 3.1 \times 1\ \text{mm}$ )。

(メタライズ放熱基板) 熱伝導率  $180\ \text{W}/(\text{mK})$  以上、曲げ強度  $600\ \text{MPa}$  以上、破壊靱性  $6\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  以上の絶縁素材を用いた、サイズ  $5000\ \text{mm}^2$  以上、厚み  $1/80\ \text{inch}$  ( $0.32\ \text{mm}$ ) 以下で両面に金属プレートが接合されたメタライズ放熱基板において、耐電圧  $1200\ \text{V}$  以上、 $-40\sim 250\ ^\circ\text{C}$  の温度範囲での耐ヒートサイクルが  $1000$  回以上。

(配線基板) 使用時の耐熱温度  $250\ ^\circ\text{C}$  であり、当該温度において耐電圧  $1200\ \text{V}$ 、 $50\ \text{A}$  級の電流が通電可能な内部配線を有し、かつ、実装されるパワー素子電極に対する内部配線の位置精度  $\pm 20\ \mu\text{m}$  以下。

## 研究開発項目① 「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (10) 「新世代Siパワーデバイス技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

20年以上にわたって高耐圧に対応するパワーデバイスとしてSi-IGBTが重要な役割を担ってきたが、従来技術の延長によるデバイス開発では性能限界が見え始めていると言われている。その解決手段の一つとして、SiC等の新材料パワーデバイスの開発を推進し、実用化が進みつつあるが、普及にはまだある程度の時間を要する見込みであり、Siパワーデバイスの更なる性能向上についての期待は高い。

また、パワーデバイス市場の中でも特にSi-IGBTは国内メーカーがその40%のシェアを握っており、かつ市場自体も年15%の成長率が予測される有望市場である。一方で、現在主流の200mmウエハプロセスから300mmプロセスへの転換も現実的な流れとしてはあり、転換期に合わせて競合である欧米勢や後発のアジア勢の動きが活発化している。このような状況の中、国内メーカーの優位な環境を維持しつつ更なる成長を遂げるには、従来技術の延長線上にない新世代Siパワーデバイスを開発し、他の追随を許さない環境を作る必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

低欠陥ウエハ技術、スケーリング技術、3次元化等の新構造化技術等を駆使し、極限の材料及びデバイス構造等を開発することにより、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発する。

また、開発した新世代Siパワーデバイス的高速スイッチングを可能にするゲートドライバやスイッチング技術等を開発する。

#### 3. 達成目標

現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発し、トランジスタとしての動作実証を行う。その上で現状のSiパワーデバイスの性能限界を突破する。

## 研究開発項目②「次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンITプロジェクト）」

### (1)「SiCパワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

近年のIT技術の進展によりIT機器が消費する電力も膨大な量が見込まれている。こうした背景の下、省エネルギー化・地球温暖化解消の観点から、データセンタ用サーバ電源に代表される数kW級電源機器の電力損失の大幅低減と機器小型化の実現が必須課題となっており、その実現には電源機器へのSiCパワーデバイスの適用が有効である。そのためには、SiCパワーデバイスの高性能化とSiCパワーデバイスを適用した電源機器用電力変換器の高度化に関する技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

電力容量が数kW級のデータセンタ用電源の省エネルギー化、小型化に向け、SiCパワーデバイスの高性能化技術開発を行い、それらの開発により得られた高性能デバイスを電源機器用電力変換器へ適用して電力変換技術の開発を行う。加えて、上記電源のプロトタイプを試作し、その低損失、高効率特性を実証する。SiCパワーデバイス開発においては、SiCダイオード、SiCスイッチングデバイスの高性能化、スイッチング特性改善等の技術開発を実施する。サーバ電源開発においては、電源機器に適した駆動方式、高効率化等に関わる技術開発を行う。

#### 3. 達成目標

耐圧：600V以上、電流容量：40A以上、オン抵抗率： $2.5\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 以下（室温環境下）のSiCスイッチングデバイスを開発する。また、電力容量が2kW級のサーバ電源のプロトタイプを試作し、その電力変換効率が50%負荷で94%以上であることを実証する。

## 研究開発項目②「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」

### (2)「SiC パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

パワーエレクトロニクス応用としてモータ駆動と同様に重要な数10kW級の太陽光発電用パワーコンディショナに関して電力損失の大幅低減と機器の小型化を実現するためには、SiCデバイスの適用が有効である。そのためには、SiCパワーデバイスの高性能化と、SiCパワーデバイスを適用したパワーコンディショナの高度化に関する技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

太陽光発電システム用パワーコンディショナの省エネルギー化、小型化に向け、SiCパワーデバイスの高性能化技術開発を行うと共に、駆動回路方式に対応したSiCデバイスのしきい値制御技術を行う。さらに、それらの開発により得られた高性能デバイスを用いて、太陽光発電システム用パワーコンディショナへ適用する電力変換技術の開発を行う。加えて、上記パワーコンディショナのプロトタイプを試作し、その低損失、高効率特性を実証する。デバイス技術においては、SiCダイオード・SiCスイッチングデバイスの低オン抵抗化技術、しきい値制御技術、変換器の駆動方式、スイッチング技術及び、フィルタの最適化技術開発を実施する。

#### 3. 達成目標

耐圧：1200V以上、電流容量：75A以上、オン抵抗率： $5\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ 以下（室温環境下）のSiCスイッチングデバイスを開発する。このSiCスイッチングデバイス技術を用いて、太陽光発電用パワーコンディショナ技術を開発して、電力容量が30kW級の太陽光発電用パワーコンディショナのプロトタイプを試作し、これが定格出力時に98%以上のシステム効率をもつことを実証する。

## 研究開発項目②「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」

### (3)「次世代SiC電力変換器基盤技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

高出力パワー密度を持つ革新的電力変換器を実現するためには、パワーデバイスを高速かつ高温で動作させる必要があり、高温環境下での高信頼化技術や周辺回路デバイス等を含めた設計技術と実装技術が不可欠となることから、これらの技術を開発・統合する電力変換器の高出力パワー密度性能を検証する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

次世代パワーデバイスを利用した革新的電力変換器設計技術と高温実装技術等を開発し、それらを取り入れた電力変換器の高出力パワー密度性能の検証を行う。

より具体的には、次世代パワーデバイスを、高温で反復動作させると共にその優れた高温特性の活用を可能とする実装要素技術（配線、絶縁、冷却、回路レイアウト技術等）を開発する。また、高温環境下でのデバイス特性試験を通じて高パワー密度変換器の統合設計体系に高温条件を導入する。これらにより、次世代パワーデバイスを用いた電力変換器の高出力パワー密度性能の向上を図る。

#### 3. 達成目標

次世代パワーデバイスをデバイス温度<sup>(※1)</sup> 200～250℃で動作させることを可能とする高温実装技術を開発する。また、デバイス温度250℃という高温動作デバイス条件を取り入れた高出力パワー密度変換器の統合設計技術の適用により、60W/cm<sup>3</sup>級の出力パワー密度<sup>(※2)</sup>を持つ革新的電力変換器の動作検証が可能なレベルの要素技術を確立する。

(※1) 外部環境温度にデバイス自己発熱による温度上昇分を加えた温度をデバイス温度と定義する。以後に記載されるデバイス温度は全て同定義である。

(※2) 出力パワーをSiCパワーデバイス・周辺回路素子・フィルタ・ヒートシンクから成る構成体の総体積により除算したものを出力パワー密度と定義する。

なお、平成22年度計画策定にあたり、産業技術政策動向等及び目標の必須性を勘案して基本計画の見直しを行った結果、「研究開発項目③」の「(1)電力変換器用SiCパワースイッチングデバイス基盤技術」については、当該研究開発は平成21年度をもって終了することとした。

## 研究開発項目③「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発」

### (1)「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究」

#### 1. 研究開発の必要性

パワーエレクトロニクスは、省エネの切り札、産業競争力強化の鍵となることが期待できる技術分野であり、このうち、パワー半導体の領域においては、日本は産業競争力を有している。本領域の強みを活かし、産業競争力を更に強化するため、より新しく、独創性に富むなどの応用分野（アプリケーション）の開拓を進め、新市場の創出を行うことも重要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

パワーエレクトロニクスを駆使した、独創性や革新性の高い、新しい応用システムについての先導研究を実施する。具体的には、考案された応用システムのコンセプト実証を行う。

#### 3. 達成目標

##### 【最終目標】（平成28年度末）

パワーエレクトロニクスを駆使した、独創性や革新性の高い、新しい応用システムに関するコンセプト実証を行う。実証を通じて、考案された応用システムの省エネ効果の有効性や、見込まれる競争力の優位性などを検証し、今後の技術的課題の抽出等を行う。

なお、目標を達成した後、実用化の見通し等の観点から外部有識者による評価等を踏まえ、実用化に向けた継続的な取り組みが必要な研究開発内容の絞り込みを行う。実用化に向けた取り組みが必要と判断された場合には、研究開発項目③「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発」（2）「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成」において引き続き研究開発を実施することがある。



## (2) 「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成」

### 1. 研究開発の必要性

S i C等の新材料パワーデバイスは、鉄道、民生機器等に採用され、実用が進みつつある。今後、低炭素社会の実現・産業競争力の強化を更に推進するためには、新材料パワーデバイスの耐圧や信頼性等の向上、コスト低減等により、適用される製品の裾野を拡げることが重要となる。

なお、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、産業機器、自動車、民生機器などのアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（S i、S i C、G a N）、をデバイスや回路等の設計技術、実装技術等と組み合わせ、最適な応用システムを構築することにより実現することが重要となる。

### 2. 研究開発の具体的内容

材料、設計技術、実装技術等の開発により、新材料パワーデバイスも用いた応用システムの試作・実証を行う。

(想定する応用システムの例)

- ・ 6. 5 k Vの高耐圧S i Cパワーデバイスを全面採用したエネルギー効率2倍、サイズ1 / 4となる産業機器用インバータを開発し、エネルギー効率に優れた次世代産業機器の応用システム
- ・ 従来のS iパワーデバイスを用いたインバータと比較して、エネルギー効率2倍、サイズ1 / 4となる車載品質のインバータを開発し、航続距離が長く、エネルギー効率に優れた次世代自動車の応用システム
- ・ プロジェクト開始時点のS iパワーモジュールと比較して周波数1 0倍化、パワー密度1 0 0倍化、エネルギー効率2倍化された新材料のパワーモジュールを開発し、エネルギー効率に優れた次世代民生機器の応用システム

### 3. 達成目標

【中間目標】(平成28年度末)

新材料パワーデバイスを用いたインバータ等の実現に必要となる、材料、設計技術、実装技術等を開発する。また、その開発状況を評価することで最終目標達成のための課題を抽出し、解決の技術的見通しを明確にする。

なお、公募により選定したテーマ毎に中間目標を設定する。

**【最終目標】**（平成31年度末）

新材料パワーデバイスを用いたインバータ等を開発し、それらを適用した特定用途の応用システムについて試作・動作実証を行う

なお、公募により選定したテーマ毎に最終目標を設定する。

## 事前評価書

	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">作成日</td> <td>平成26年2月19日</td> </tr> </table>	作成日	平成26年2月19日
作成日	平成26年2月19日		
<b>1. プロジェクト名</b>	低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発		
<b>2. 推進部署名</b>	電子・材料・ナノテクノロジー部		
<b>3. プロジェクト概要（予定）</b>			
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>パワーエレクトロニクスとは、電気の周波数や電圧、交流・直流の変換などへ半導体を用いて高効率に行う技術であり、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの普及や発電効率の向上、家電や産業機器、次世代自動車等の一層の省エネ化のためのキーテクノロジーである。</p> <p>我が国ではこれまで、パワーエレクトロニクスの研究開発として、Si（ケイ素）より物性値（例えば耐圧性、耐熱性）に優れるSiC（炭化ケイ素）やGaN（窒化ガリウム）等の新材料の活用に注目し、国家プロジェクトを実施してきており、実用化に向けて努力が続いている。特に近年では、SiCウエハの高品質化と大口径化を中心に大きな研究開発プロジェクトを実施してきており、日本の高い国際競争力を有している。</p> <p>他方、欧州ではGaNのパワーエレクトロニクスに関する研究開発を強化する流れがあり、米国では、軍事技術への展開を目的に着々と研究開発が進められ、加えて、中国、韓国、台湾は技術力向上によって日本を猛追している。</p> <p>今後更なる高機能化、高性能化を図るには、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいいため、機能をワンチップ化させることは困難であり、高機能化等はデバイス含めシステム全体で図ることとなる。従って、デバイスの高機能化のみが技術を牽引するのではなく、アプリケーションに応じて製作される応用システムも重要な要素となる。</p> <p>2) 目的</p> <p>本事業で拡充する研究開発の目的は、産業機器、自動車、民生機器などアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（SiC、GaN等）、設計技</p>			

術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムの構築により実現することである。

### 3) 実施内容

#### 研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

材料、設計技術、実装技術等の開発により、新材料パワーデバイスを用いた応用システムの試作・実証を行う。なお、必要に応じて、応用システム毎の要求に応じた新材料・新構造等の基盤研究・先導研究も実施する。

#### (2) 規模

平成 26 年～31 年度(6 年間)

総事業費 (NEDO 負担分) : 150.0 億円 (2/3 助成) <sup>(※)</sup> (予定)

平成 26 年度政府予算案 : 25.2 億円 (需給) (予定)

(※) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、1/2助成とする。

(3) 期間 平成 26 年度～31 年度 (6 年間)

## 4. 評価内容

### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

#### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

パワーデバイスは、世界市場を欧州とほぼ二分している等、本分野は我が国が競争力を有する技術分野である。

この競争力を活かし、現下の最重要課題である再生可能エネルギーの拡大と省エネの一層の促進に貢献するパワーエレクトロニクスの技術革新に取り組み、結果として、成長する市場で大きなシェアを確保することは、まさに国策として重要である。

「日本再興戦略 - JAPAN is BACK」(平成25年6月14日閣議決定)では、「次世代デバイス・部素材(パワーエレクトロニクス等)研究開発・事業化」と題して、「風力発電やメガソーラー等の再生可能エネルギーの発電効率向上や、省エネ家電・次世代自動車等の一層の省エネ化のためのキーテクノロジーであるパワーエレクトロニクスについては、2020年までに新材料等による次世代技術の本格的な事業化を目指す」として、その旨が明記されているところ。

<p>2) 目的の妥当性</p>
<p>これまで実施してきた新材料パワーエレクトロニクスの基盤的技術の早期実用化を通じて事業面での競争力強化を行い、本分野における我が国の競争力を不動のものとするを狙ったプロジェクトであり、適切である。</p>
<p>(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価</p>
<p>産業政策及びエネルギー政策上、我が国が競争力を有する本分野の推進は非常に重要となり、NEDOとして取り組む意義のあるプロジェクトである。</p>
<p>(2) プロジェクトの運営マネジメントについて</p>
<p>1) 成果目標の妥当性</p>
<p>中間年度である平成28年度末までに、新材料パワーデバイスを用いたインバータ等の実現に必要となる、材料、設計技術、実装技術等を開発する。また、その開発状況を評価することで最終目標達成のための課題を抽出し、解決の技術的見通しを明確にする。</p> <p>最終年度である平成31年度末までに、新材料パワーデバイスを用いたインバータ等を開発し、それらを適用した特定用途の応用システムについて試作・動作実証を行う</p> <p>なお、公募により選定したテーマ毎に中間目標、最終目標は改めて設定する。</p>
<p>2) 実施計画の想定と妥当性</p>
<p>現在実施しているプロジェクト（平成22～26年度）では、6インチSiCウエハの高品質化、エピタキシャル膜成長技術、ウエハ加工技術の確立、高耐圧デバイスの製造技術の研究、高耐熱部品のモジュール化技術の開発を実施している。</p> <p>今回拡充する本プロジェクト（平成26～31年度）は、上記成果等を活用した応用システムの研究開発であり、早期実用化による事業面での国際競争力強化に貢献し、本分野における日本の地位を不動のものとする。</p>
<p>3) 評価実施の想定と妥当性</p>
<p>NEDOは、(1) 事業の位置付け・必要性、(2) 研究開発マネジメント、(3) 研究開発成果、(4) 実用化、事業化に向けての見通し及び取り組みの4つの評価項目について、外部有識者による評価を行う。中間評価を平成28年度、事後評価を平成32年度に実施する。</p> <p>なお、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて事業の加速・縮小・中止等、</p>

見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、事業実施を前倒しする等、適宜見直すものとする。
<b>4) 実施体制の想定と妥当性</b>
応用システム毎に、研究開発を主体的に進める企業からテマリーダーを選び、サプライチェーンで垂直連携となるコンソーシアムを編成し、プロジェクトを推進する。
<b>5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性</b>
市場調査、ベンチマークに基づき新たな産業等を作る戦略・シナリオを策定し、終了後3年以内の実用化を目指す。また、成果に応じて、6年間の事業期間終了を待たずに卒業し、実用化に移行させる。 なお、インフラ系などは、海外での調達を見据えて海外実証の活用を検討する。
<b>(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価</b>
研究開発の段階に応じて適切な実施体制を構築し、それに対応した評価等を行う仕組みを想定しており、適切な運営マネジメントとなっている。
<b>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて</b>
<b>1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性</b>
SiCパワーモジュールの産業機器、自動車等への適用、GaN/Siパワーモジュールの民生機器等への適用を想定している。
<b>2) 成果の波及効果</b>
半導体工学全般、計測工学、材料工学、信頼性工学など他の研究分野に大きな波及効果を及ぼすことが期待される。
<b>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価</b>
応用システムの開発については、実用化・事業化の見通しの明確なコンソーシアムのみ実施者として選定すると共に、実施者に事業化シナリオ等を意識して開発に取り組んでもらうことで、妥当な体制となっている。

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト 基本計画（案）」  
に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月17日  
NEDO  
電子・材料・ナノテクノロジー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
貴重なご意見を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月28日～平成26年3月13日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>  
計3件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
全体について		
<p>[意見1]（1件） 低炭素化は地球規模で重要なテーマであるとともに、対象が自動車、電車、電力、民生と広範囲にわたり、日本の産業の強化や雇用の拡大に寄与するという意味で非常に有意義なプロジェクトだと考えます。また、プロジェクト成果はエネルギー効率2倍、サイズ1/4とインパクトが大きく、社会を変えていく原動力になると期待できます。是非、このプロジェクトを推進し、日本の産業力を強化していただきたいと思います。</p>	<p>[考え方と対応] 貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトを通じて、パワーエレクトロニクス関連の広範囲な産業競争力を強化し、併せて低炭素社会の実現に努めて参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>

<p>[意見2] (1件)</p> <p>2011年3月の福島第一原発事故以降、我が国のエネルギー政策に対する国民の関心は高まり、再生可能エネルギー導入に対する期待と共に、省エネ技術開発の必要性に対しても理解が急速に深まりつつある。一次エネルギーに於ける電力比率向上、或いは電気自動車やハイブリッド自動車の普及に伴うパワーエレクトロニクスの高度化は、将来的にも重要な技術項目の一つであり、新興国に簡単に真似されない特徴有る我が国のコア技術として成熟させる目的のためにも、今後数年間での重点的な研究開発が望ましいと個人的には考える。</p> <p>これらの背景から、貴機構が今回公募する予定の新規プロジェクト「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」は、国民全体の省エネ技術向上に裨益する研究開発として、国内電機メーカーを始めとする民間企業各社、大学・国研を含めたオール・ジャパン体制でのプロジェクトとして、是非ともキック・オフ、推進して頂きたいと考えます。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトでは、応用システム毎に、研究開発を主体的に進める企業からテーマリーダーを選び、サプライチェーンで垂直連携となるコンソーシアムを編成して、プロジェクトを推進する予定です。その活動を通じて、低炭素社会の実現及び日本の産業競争力強化を実現して参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見3] (1件)</p> <p>本プロジェクトは、より一層の低炭素社会の実現、及びパワーデバイスにおける日本の国際競争力強化に対して非常に有効なプロジェクトと認識しています。本プロジェクトではSiCの要素技術だけでなく、応用技術の研究・開発も実施しますので、SiCパワーデバイスの適用製品の拡大、信頼性向上、コスト低減等が期待できます。特に、高耐圧・高温モジュールの実現は技術的に最も難しいものではありますが、そこで研究・開発された技術は他の応用システムへの展開も可能ですので、適用製品が拡大するものと考えます。さらに、本プロジェクトにて開発された材料、部材についても国際競争力が強化されるものと考えます。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトでは、応用システムの実現に必要な技術開発を実施するものであり、材料、部材についても必要に応じて開発対象としております。材料、部材等の国際競争力強化も本プロジェクトで期待している効果の一つとなります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>

以上



## 2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

# 低炭素社会を実現する 次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト (平成26年度～平成31年度 6年間)

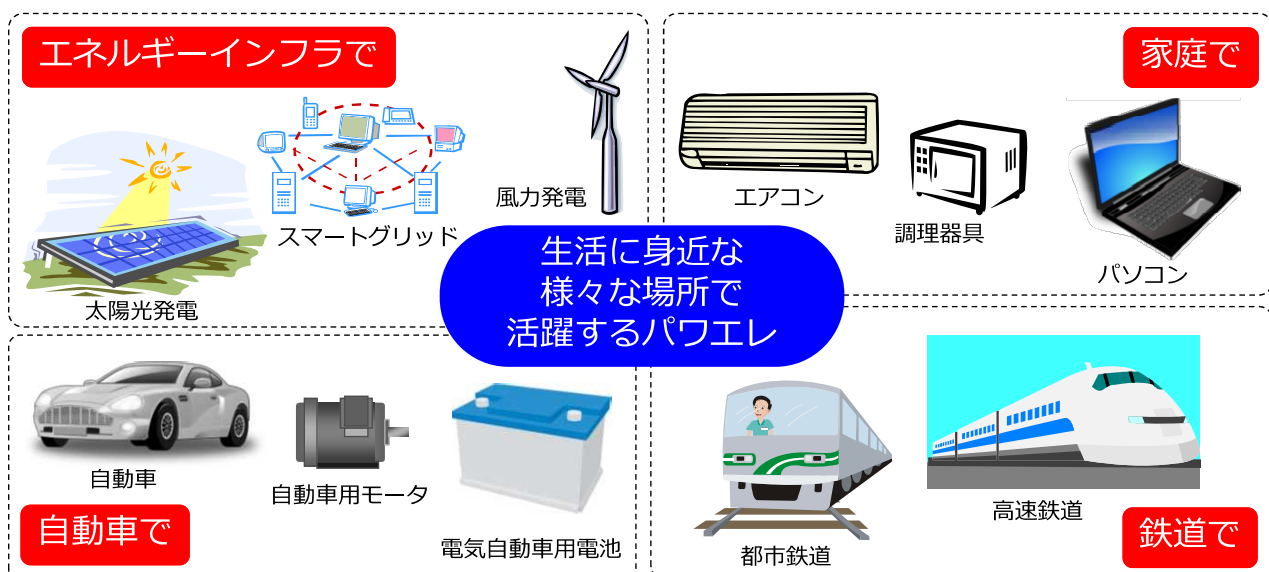
## プロジェクトの概要説明 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」

平成28年9月6日

NEDO IoT推進部

### 1. 事業の位置づけ・必要性 (1) 事業実施の背景

- ・パワーエレクトロニクス(パワエレ)は、鉄道・自動車・インフラ・家電など生活に身近なところに適用される「省エネを支えるキーテクノロジー」



- 各種 **閣議決定文書**で、パワエレ関連の技術開発が重要な位置づけに

■ エネルギー基本計画

第2節 徹底した省エネルギー社会の実現と、スマートで柔軟な消費活動の実現  
 「電力消費の一層の効率化が期待される次世代パワーエレクトロニクス機器をはじめとした技術革新の進展により、より効率的なエネルギー利用や、各エネルギー源の利用用途の拡大が可能となる」

■ 日本再興戦略2016

10. 環境・エネルギー制約の克服と投資の拡大 iv)革新的エネルギー・環境技術の研究開発の強化  
 「我が国初の窒化ガリウム(GaN)等を活用した高効率デバイス等の研究開発・実証・実装を進め、早期の実用化に向けた取組を推進する」

■ 科学技術イノベーション総合戦略2015

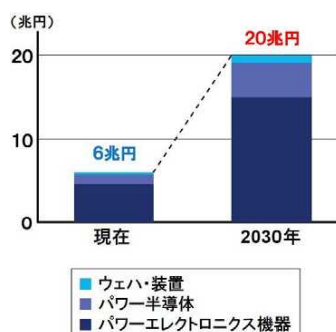
2. 重点的に取り組むべき課題  
 「革新的デバイスでは、モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する**超低損失パワーデバイス (SiC、GaN等)**、・・・を推進し、」

CO<sub>2</sub>削減効果

- 2030年までに、パワー半導体の高度化により、**CO<sub>2</sub>排出量1,515万トンの削減**を目指す。  
 ※対象としたアプリケーションは、EV/HV、産業機器（インバータ代替）、コンピュータ関連、無停電電源、太陽光発電（分散電源用インバータ）、インバータ化率向上

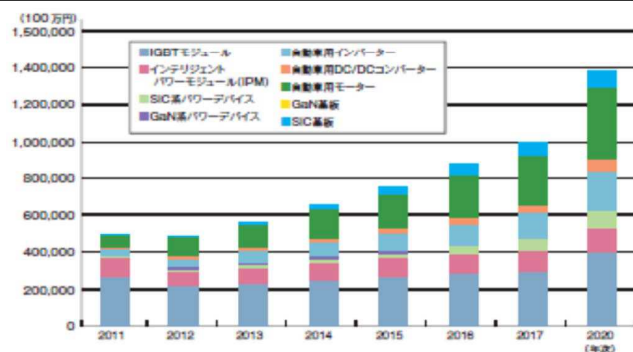
経済効果

- パワエレ関連市場は、**2030年に20兆円に拡大**の見込み。  
 ※再生可能エネルギーの更なる普及、産業機器・家電・次世代自動車等の一層の省エネ化に伴い、パワエレ関連の世界市場は大きな伸びが期待



パワエレの世界市場規模

【出典】平成25年9月13日  
 第114回総合科学技術会議 資料5



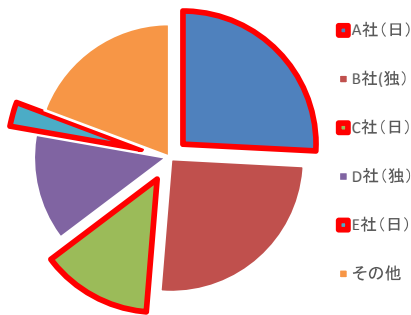
分野別パワーモジュール市場予測 (ウェハ・半導体・モジュール)

【出典】2013有望電子部品材料調査総覧 (株)富士キメラ

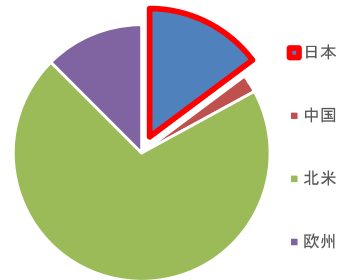
1. 事業の位置付け・必要性 (4) 国際的なポジション

- 高出力パワーデバイスのIGBTをモーターやインバーター等の産業・鉄道向け等にモジュール化した**パワーモジュール**では、**日本企業と欧州企業でシェアを二分している。**
- SiCウエハ**の生産では、北米のシェアが大きい**が日本のシェアも年々拡大。**
- パワエレ分野では、日本は強いポジションにあるが、強力なライバルも控えており、**産業基盤としての開発力強化が必要。**

パワーモジュール販売(2015)



SiCウエハ生産(2015)

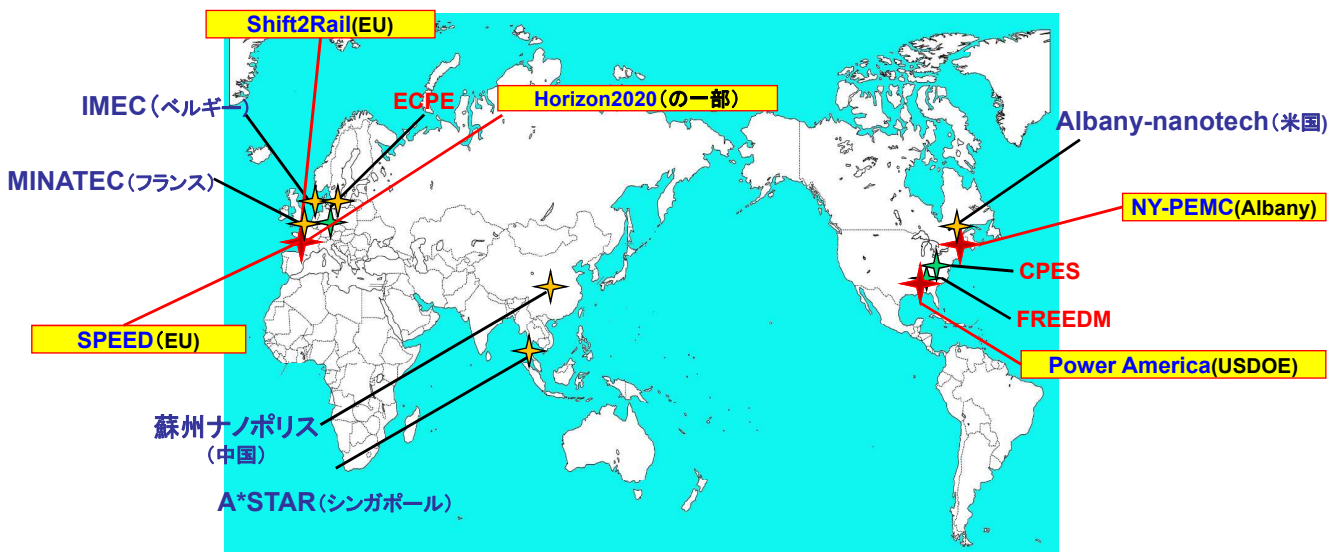


【出典】 富士経済「2016年版 次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望」

➡ 2016年7月、パワーモジュール大手のインフィニオン（独）が、次世代パワーデバイス（SiC等）の大手Wolfspeed（米）を買収。

1. 事業の位置付け・必要性 (5) 海外状況のまとめ

- 近年、**欧州、米国**等で次々にパワエレ関連の**大型プロジェクト開始。**
- パワーモジュールも開発対象**にするなど開発対象も拡大。
- ECPEをはじめとした**コンソーシアム活動も盛ん。**



- 赤字はパワエレ関連の拠点
- 青字はパワエレを含む研究開発拠点

主要なプロジェクトの概要

\$1=€0.9と仮定

プロジェクト	Power America	NY-PEMC	SPEED
規模	\$70M (DOE) +\$70M (企業)	\$135M (NY州) +\$365M (企業)	€12.3M (\$13.7M)
期間	2014.1~ 5年間	2014.7~ 5年間	2014.1~ 4年間
主要メンバー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cree</li> <li>• X-Fab</li> <li>• NCSU</li> <li>• RFMD</li> <li>• Avogy</li> <li>• Transphom</li> <li>• 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GE</li> <li>• SUNY</li> <li>• IBM</li> <li>• Global Foundries</li> <li>• 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INAEL</li> <li>• ABB</li> <li>• BREMEN大</li> <li>• NORSTEL</li> <li>• Infineon</li> <li>• Fraunhofer 研</li> <li>• 他</li> </ul>

- パワエレは**低炭素社会実現の鍵**となる技術
- **成長市場で優位性を確保**し、激化する競争をリードすることが重要
- 近年、欧州、米国等で次々にパワエレ関連の大型プロジェクト開始。また、コンソーシアムによる活動も活発であり、**一企業で対抗することが困難**になりつつある。



NEDOが関与し、国策として推進することが重要

1. 事業の位置付け・必要性 (7) 今回の事業の位置づけ

・「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」のうち、下記の2項目が今回の中間評価の主な対象事業。

**研究開発項目① 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト**  
**(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発**

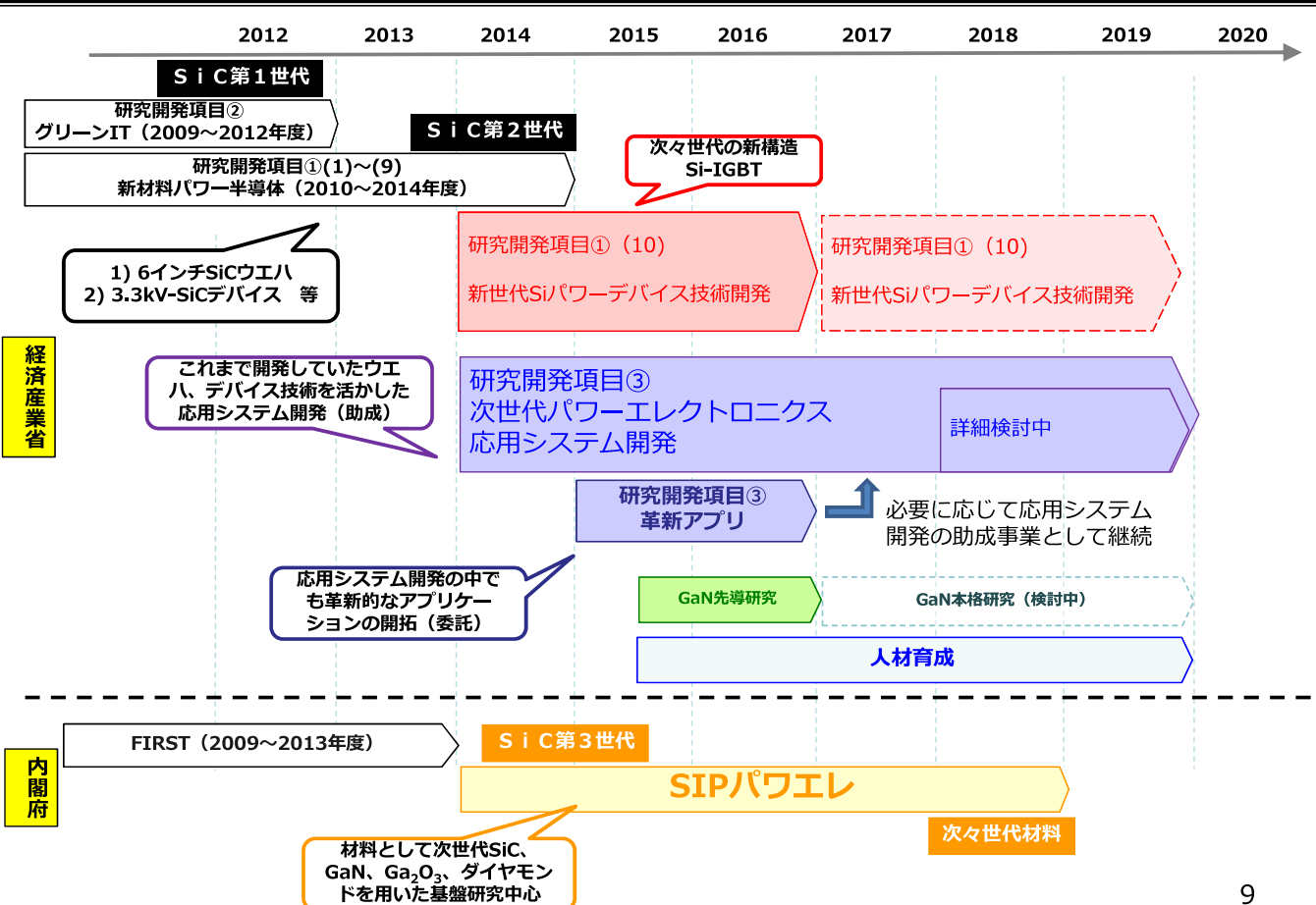
→ Siパワーデバイスは、これまで民間ベースで研究開発を実施し、着々と性能向上してきたが、**従来技術の延長線上では性能限界**が見え始めている。現在日本はSiデバイス（特にSi-IGBT）で強みを有しているが、**他国の追従を許さないよう**、本事業に着手。

**研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発**

→ SiCパワーデバイスは、汎用性の高いスペックのウエハ、デバイス開発は、これまで着実にNEDOプロ等で開発。2014年度からは、それらの成果を用いた**応用システム開発**を実施。また、2015年度からは、これまで検討してこなかったような新しい用途開拓（**革新的アプリケーション開拓**）も少額で実施。

※その他、GaNの先導研究、人材育成、調査を少額で実施中

1. 事業の位置付け・必要性 (7) 今回の事業の位置づけ

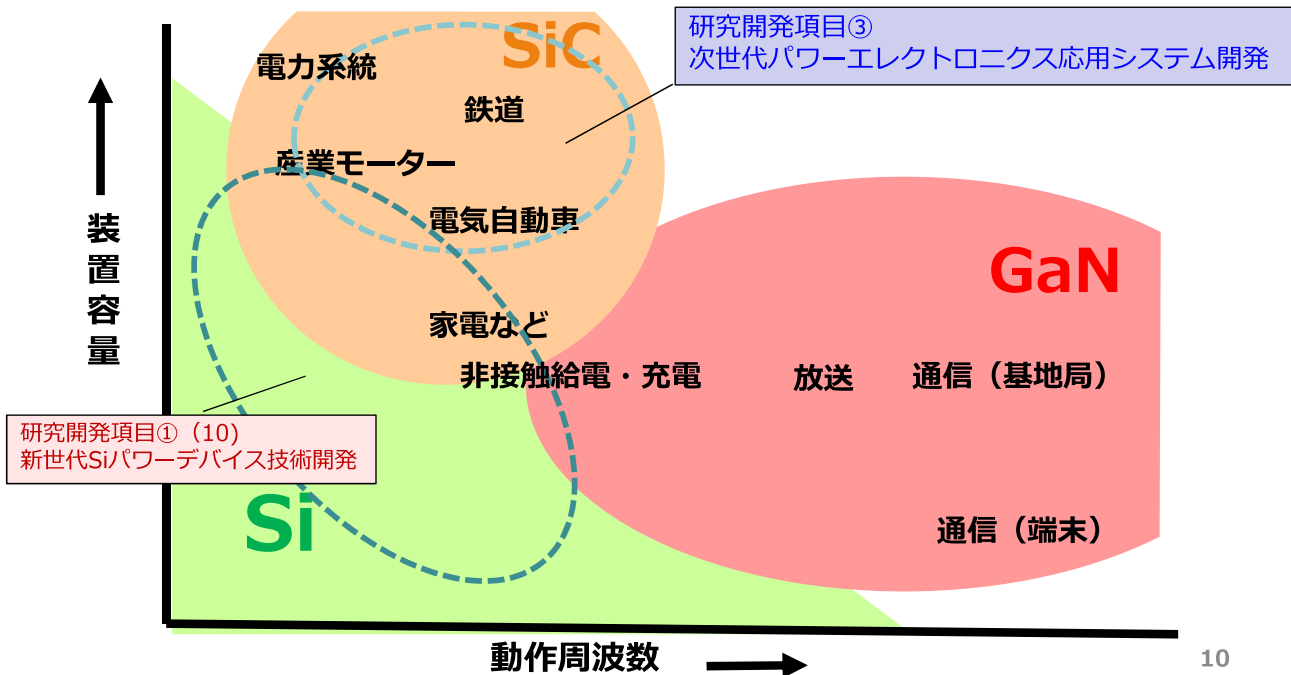


## 2. 研究開発マネジメント (1) 事業の目的

### 目的

パワーエレクトロニクス技術の高度化により、**省エネルギー技術の国際的牽引**、及び**我が国の産業競争力強化**を図る。

### ターゲット領域



10

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発目標と根拠

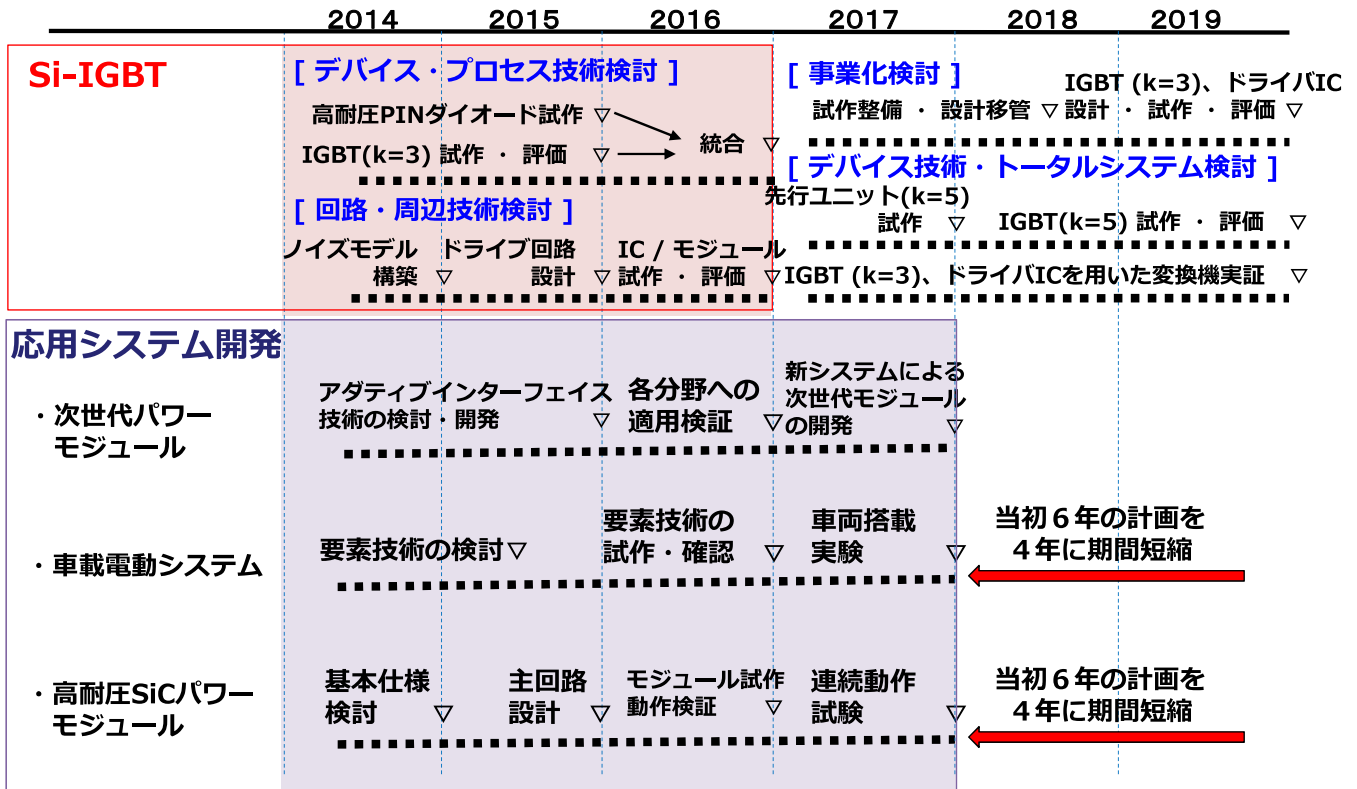
### 研究開発項目① (10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

テーマ	実施者	目標	根拠
新世代Si-IGBTと応用基本技術の研究開発	東大、東工大	現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスの開発	Siデバイスは、既存分野を中心に様々な市場・用途で採用されていて市場占有率は、2020年時点でも約90%の見込み。次世代デバイスが本格普及するまでの間、Siデバイスの飛躍的な性能改善は国際競争力強化のためには重要課題。

### 研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

テーマ	実施者	目標	根拠
世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築	富士電機	コスト30%削減、量産化工数半減、サンプル供給期間1/4のパワーモジュール開発	低コストかつ超短納期化により、顧客最適化が必要な新エネルギー分野・EV分野・特殊インバーター分野等のパワーモジュール市場を牽引。
SiCパワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発	デンソー	従来システムから損失1/3となる昇圧コンバータレスPCUを用いた車載電動システム	EV市場でのSiCパワーデバイスの適用拡大に重要となる高効率化を追求する新電動システム。
高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発	三菱電機等	耐圧6.5kV、出力密度が同耐圧Siモジュール比2倍以上のパワーモジュール	SiCの高耐圧・高出力密度の特性を活かすことで、鉄道分野の世界市場への更なる展開に期待。

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発スケジュール



2. 研究開発マネジメント (4) プロジェクト費用

		(百万円)		
		2014	2015	2016
<b>Si-IGBT</b>		857	740	680
応用システム開発	次世代パワーモジュール	531	789	524
	車載電動システム	69	493	385
	高耐圧SiCパワーモジュール	671	667	472
	革新アプリ (6テーマ合計)	-	144	132
その他 (GaN先導研究、人材育成、調査)		32	114	125
合計		2,159 (確定額)	2,947 (確定額)	2,320 (契約額)

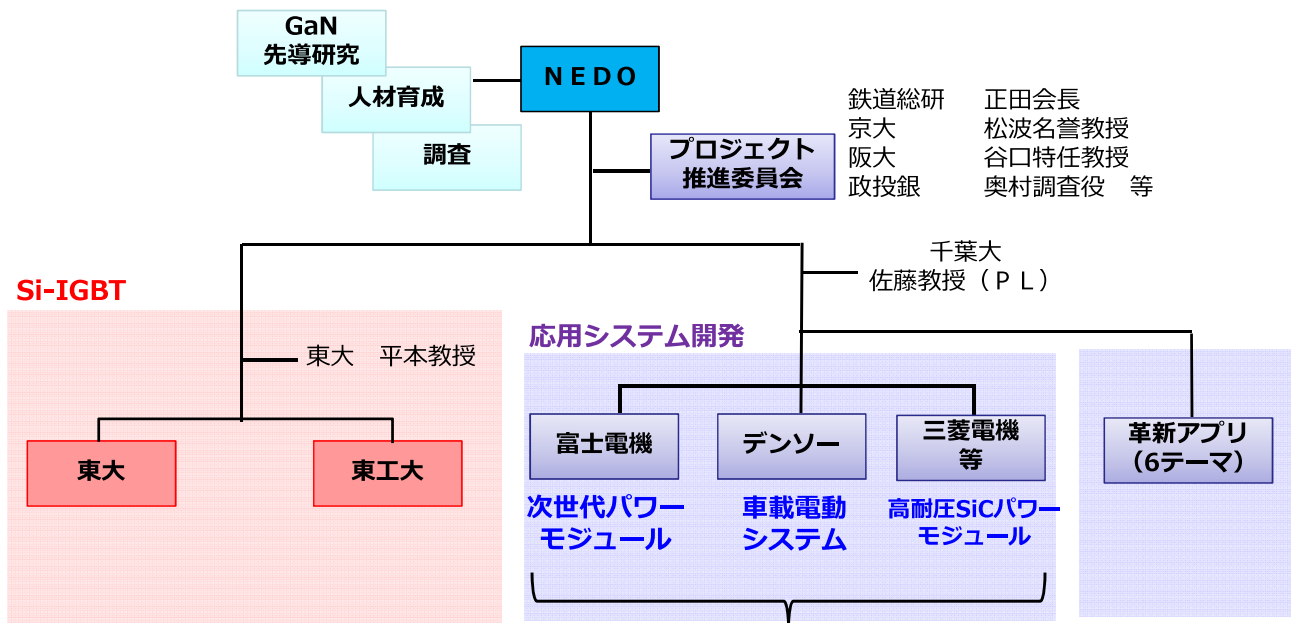


主要海外プロジェクトとの比較

\$1=¥105=€0.9と仮定

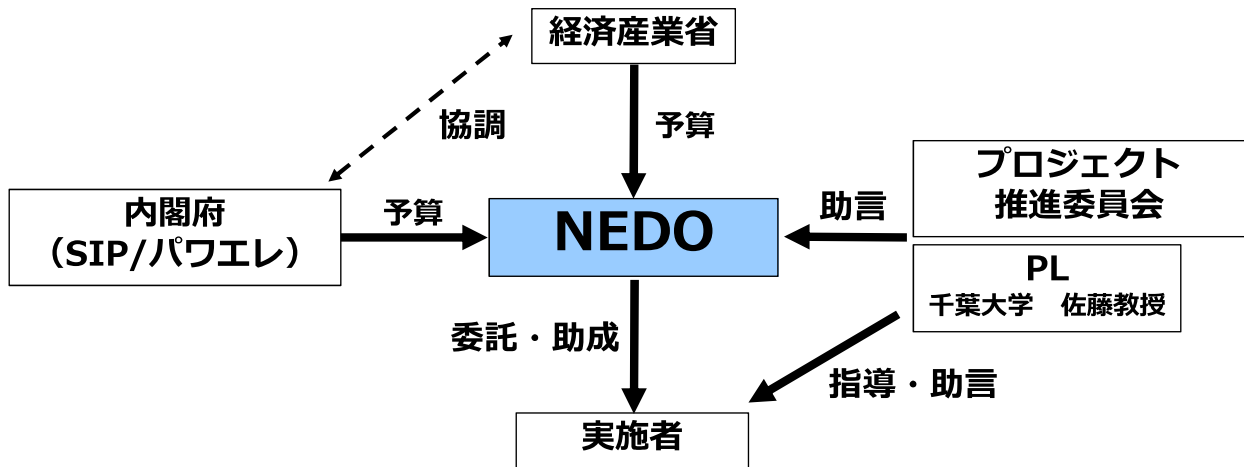
プロジェクト	次世代パワエレ	Power America	NY-PEMC	SPEED
規模	\$141M (NEDO) +\$44M (企業) (見込み)	\$70M (DOE) +\$70M (企業)	\$135M (NY州) +\$365M (企業)	\$13.7M
期間	2014.4～ 6年間	2014.1～ 5年間	2014.7～ 5年間	2014.1～ 4年間
主要メンバー	<ul style="list-style-type: none"> <li>富士電機</li> <li>デンソー</li> <li>三菱電機</li> <li>他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cree</li> <li>X-Fab</li> <li>NCSU</li> <li>RFMD</li> <li>Avogy</li> <li>Transphom</li> <li>他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GE</li> <li>SUNY</li> <li>IBM</li> <li>Global Foundries</li> <li>他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>INAEL</li> <li>ABB</li> <li>BREMEN大</li> <li>NORSTEL</li> <li>Infineon</li> <li>Fraunhofer 研</li> <li>他</li> </ul>

- ・年2回を目途にプロジェクト推進委員会を開催。有識者による定期的な集団指導体制を構築。
- ・応用システム開発の全体を俯瞰するプロジェクトリーダーを設置。
- ・少額事業についてはNEDO単体でマネジメントを実施。

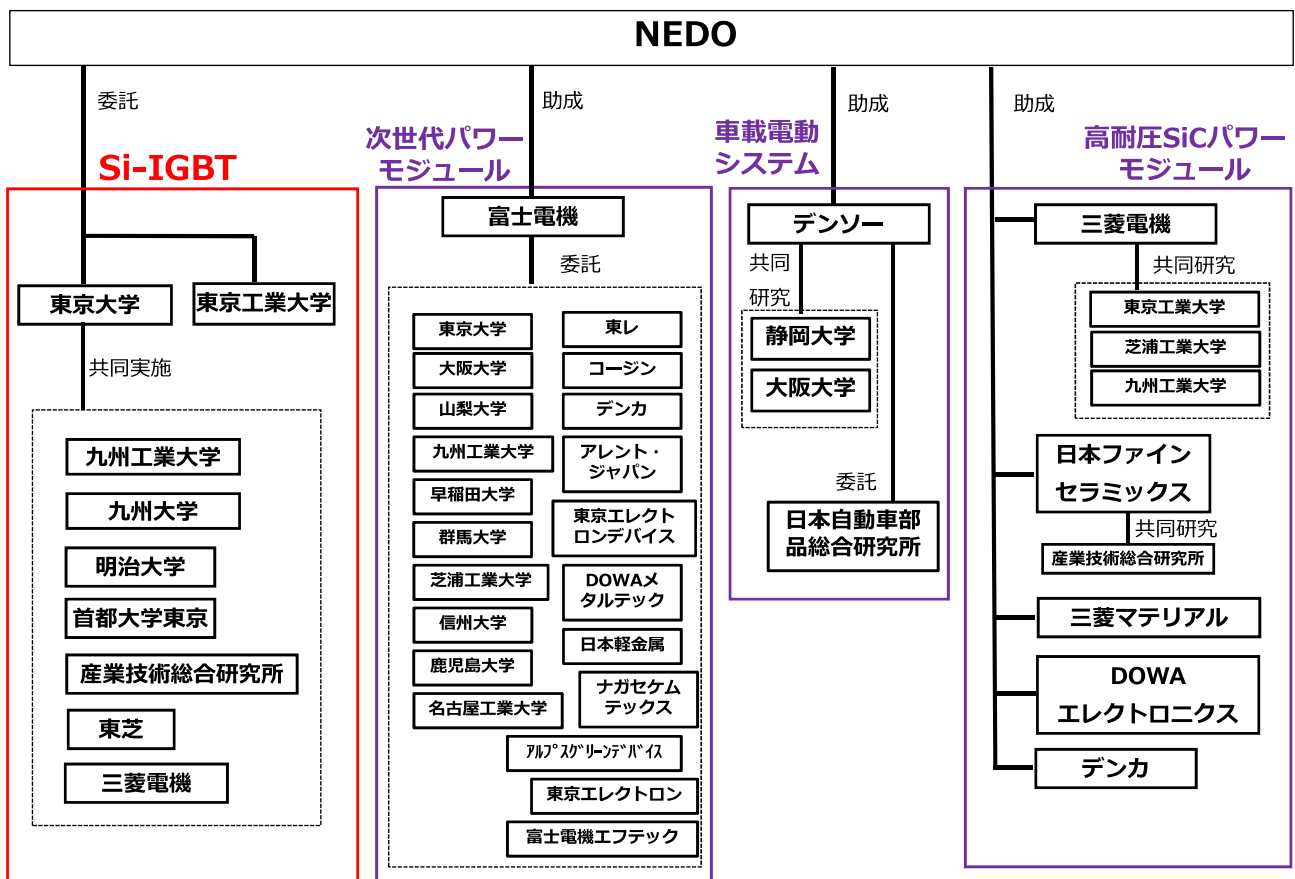


積極的な事業部の介入を推進

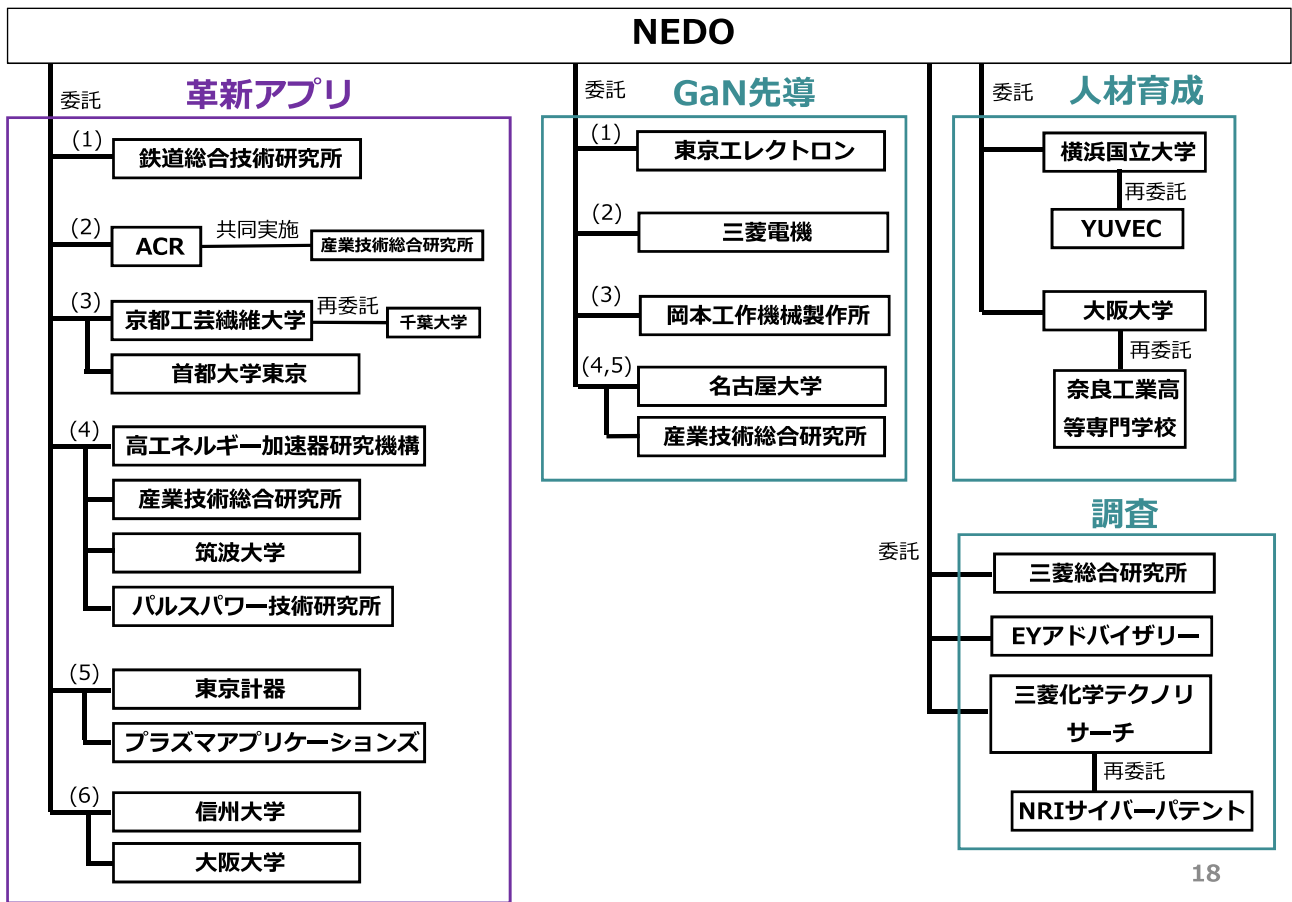
- ・ 内閣府事業（SIP/パワエレ）の管理法人も務め、**パワエレに関するあらゆる情報をNEDOに集約**できる体制を構築。



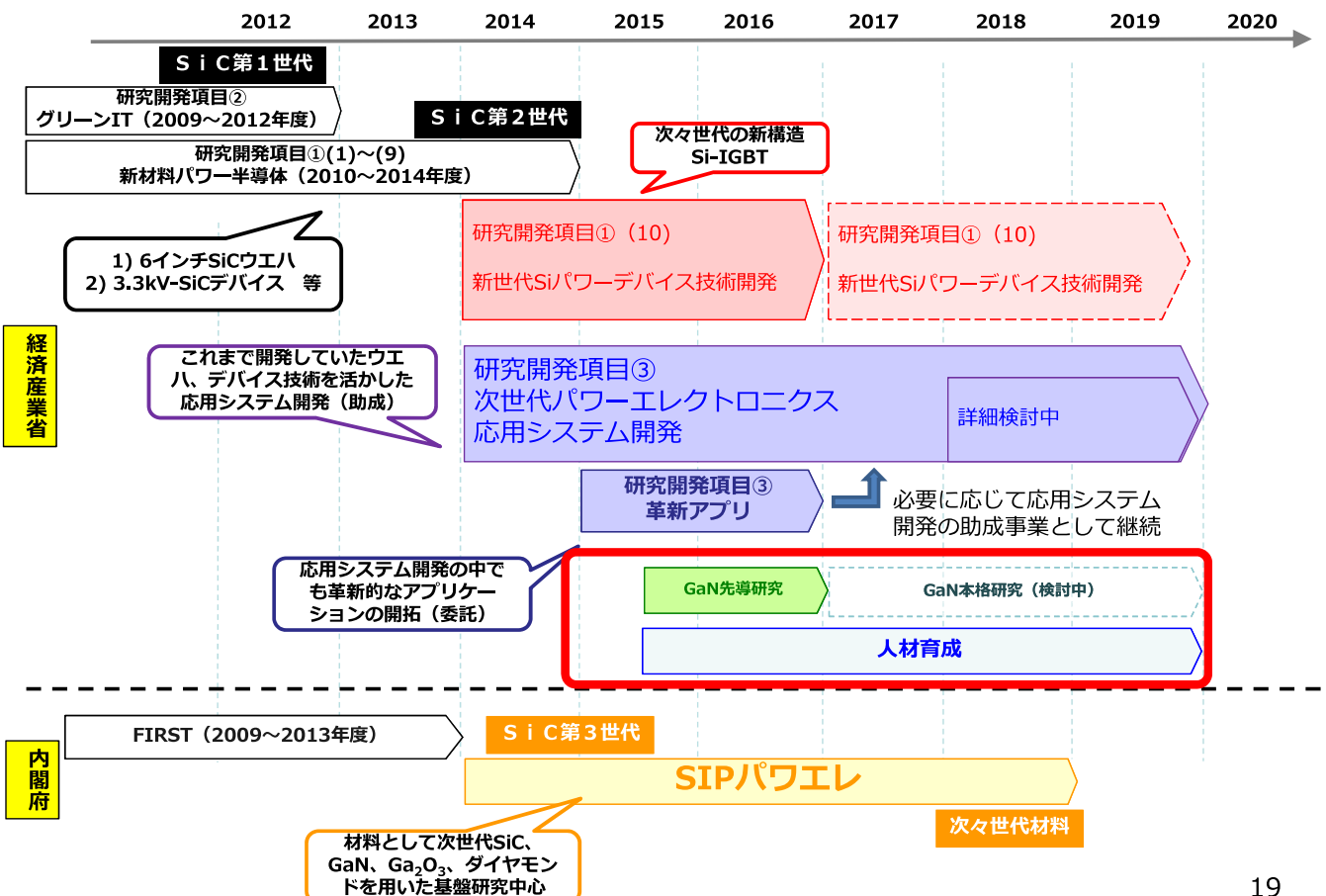
委託：NEDO主体の事業 助成：実施者主体の事業



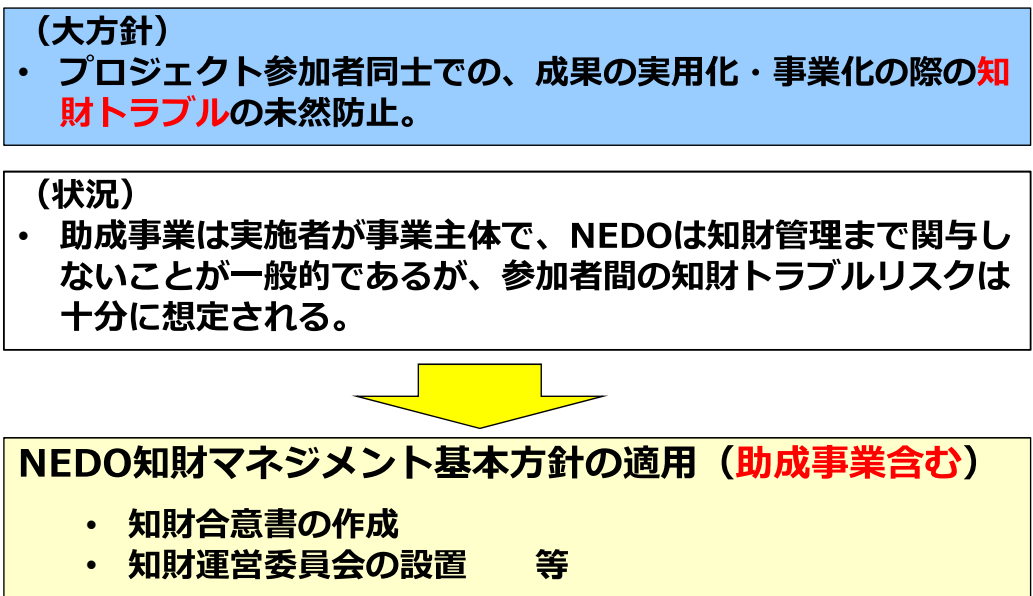
2. 研究開発マネジメント (6) 実施体制



2. 研究開発マネジメント (7) 動向・情勢の把握と対応



	概要	狙い
GaN先導研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaNパワーデバイス（特に縦型デバイス）実現に向け、技術課題等を整理。</li> <li>・ GaNパワーデバイスに関し、プロセス開発も含め今後の技術的方向性を提示することを目標とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaN材料を用いたパワーデバイスは一部商業化され始めているが、GaNという材料が本来有しているポテンシャルを十分に発揮できていない。</li> <li>・ 今後の本格研究を見据え、GaNパワーデバイス研究の注力の方向性を定める。</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パワエレの専門的な学習をしていない企業の研究者等を対象に、座学のみならず実習も伴うセミナー。</li> <li>・ 事業終了後の継続性を保つための取組（e-ラーニング教材作成等）を併せて実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本事業を通じて基礎的な土台を固め、特にSiCやGaNなどの新材料パワエレについて、応用を推進できる人材育成を狙う。</li> </ul>
調査 (ロードマップ策定含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一般的な技術動向や市場動向等の調査に加え、アプリごとにパワエレ適用に係るロードマップを策定。</li> <li>・ 現在対象としたアプリは、鉄道、道路交通、電力安定化、産業（産業ロボット、医療機器）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロードマップ策定を通じ、以下の実現を目指す。</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>①現在実施しているプロジェクトの妥当性等の確認、今後立案すべきプロジェクト等の検討。</li> <li>②デバイスメーカー、機器メーカー、機器ユーザー等の各レイヤー間で、情報交換や議論を行う場を設け、関係者の連携を強化。</li> </ol>



**NEDOプロジェクトで初めての適用**

# 低炭素社会を実現する 次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト (平成26年度～平成31年度 6年間)

## プロジェクトの概要説明 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けた 取り組み及び見通し」

平成28年9月6日  
国立大学法人 千葉大学大学院工学研究科  
佐藤 之彦

### 研究開発項目①(10)新世代Siパワーデバイス技術開発

#### 事業名

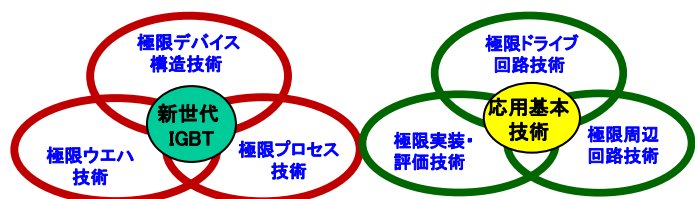
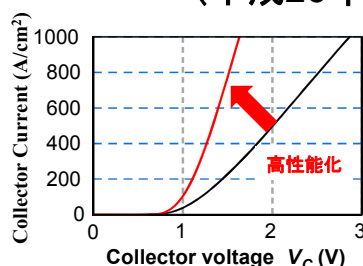
- 低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト  
研究開発項目①(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発(委託事業)

#### 事業の概要

- 本事業では、低欠陥ウエハ技術、3次元化等の新構造化技術等を駆使することにより、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発する。

#### 事業期間

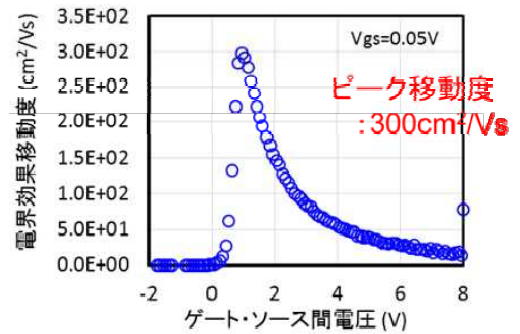
2014年度～2016年度(延長検討中)  
(平成26年度～平成28年度)



主な成果

(1) 新世代IGBT試作

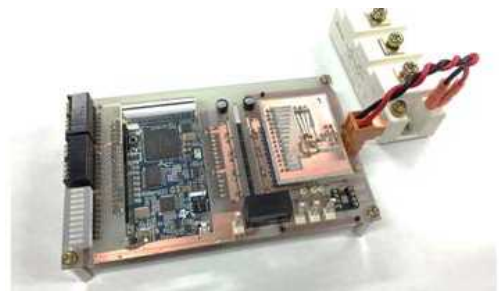
・新世代Si-IGBTを試作するため、まず縦型MOSFETの試作を行った。ピーク移動度では、 $300\text{cm}^2/\text{Vs}$  (目標; $300\text{cm}^2/\text{Vs}$ )のMOSFETを得ることに成功した。この技術を応用して新構造縦型IGBTを試作し、良好な電流密度が得られている。



縦型MOSFETの電界効果移動度

(2) ドライブ回路技術

・新開発のゲートドライブ回路を高電圧パワーエレクトロニクス回路に組み込み実証評価する環境を構築し、インバータ動作により連続運転を行った。3kVスイッチング環境を構築した。



IGBTおよびゲートドライブ回路評価環境

2

事業名

- ・ 低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト  
研究開発項目③次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発  
(2)次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成(助成事業)

事業の概要

- ・ 本事業では、産業機器、自動車、民生機器等のアプリケーション毎に要求されるパワーエレクトロニクスのスペックを、最適な材料(SiC、GaN等)、設計技術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムの構築により実現することを目的とする。

事業期間

2014年度～2019年度  
(平成26年度～平成31年度)

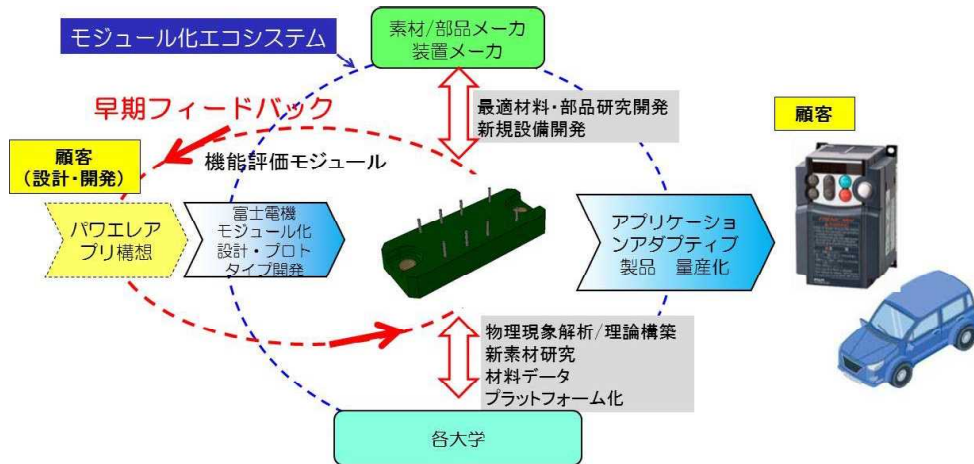
事業数

3件

3

▶ **世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築** (助成先:富士電機株式会社)

顧客カスタム要求を満たしつつ、超短納期で低コストな次世代パワーモジュールの開発と、それを実現するエコシステムを構築し、EV(電気自動車)分野、新エネルギー分野などで世界を牽引する。



▶ **世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築** (助成先:富士電機株式会社)

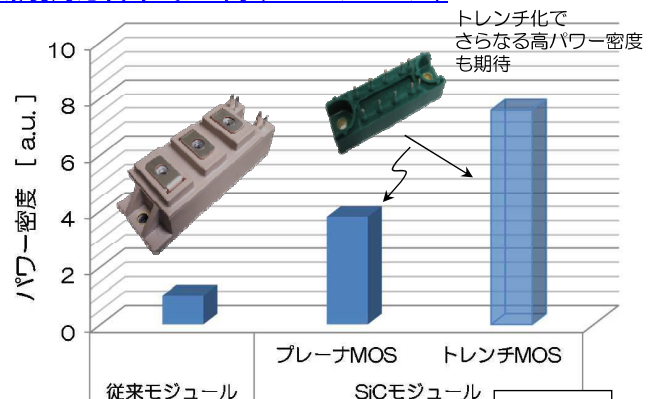
**主な成果**

- 1) **パワーモジュール製品の創出**  
産業用/EV用向けモジュールを開発し、従来モジュールを大きく上回るパワー密度を達成。
- 2) **製品コスト約30%減**  
低熱抵抗構造(従来比1/2)の開発し、小型モジュールの設計・試作・評価を行い、コスト目標達成の目途付けを完了。
- 3) **量産化までのリードタイム約50%減**  
各種技術のプラットフォーム化を進め、目標リードタイム達成の目途付けを完了。特に温度サイクル試験においては、試験期間を従来の1年から約10日に短縮。
- 4) **顧客へのサンプル供給期間約1/4**  
部品内製化、治具組立、ボットによる自動プロセス開発を行い、目標供給期間の目途付けを完了。

5) **日本型パワーモジュールエコシステムの構築**

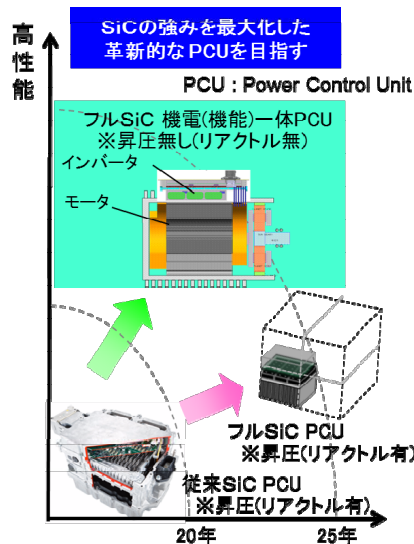
10大学11企業と共同研究体制を組むことで、材料・要素技術のプラットフォーム化、信頼性試験の物理現象を解明し試験期間を大幅に短縮。

**パワー密度の新旧比較**  
(環境対応自冷式INV向けSiCモジュール)



➤ **SiCパワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発**  
(助成先:株式会社デンソー)

SiCパワーデバイスを用いたインバータを活用した昇圧コンバータ不要PCU (Power Control Unit) の開発を行い、車載電動システムの革新的な効率向上を実現する。



➤ **SiCパワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発**  
(助成先:株式会社デンソー)

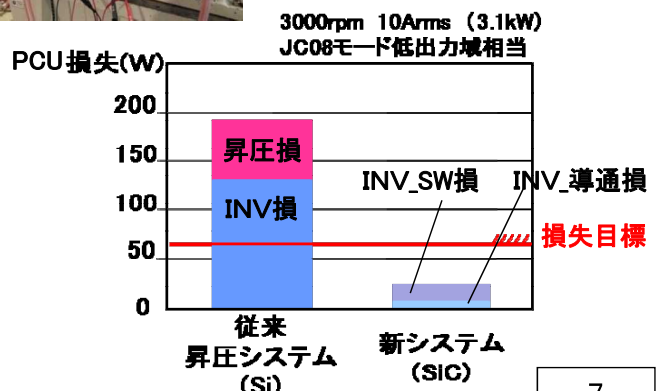
主な成果

新電動システム動作実験

・昇圧コンバータを用いず、SiCパワーデバイスを搭載した2つのインバータを用いた新電動システムにおいて、Siパワーデバイス(IGBT)と昇圧コンバータ、インバータを用いた**従来の電動システムと同等の動作を実現**。



・PCU(パワーコントロールユニット)部(従来システム:インバータ1台・コンバータ1台、提案システム:インバータ2台分)の**損失1/3以下を実証**。

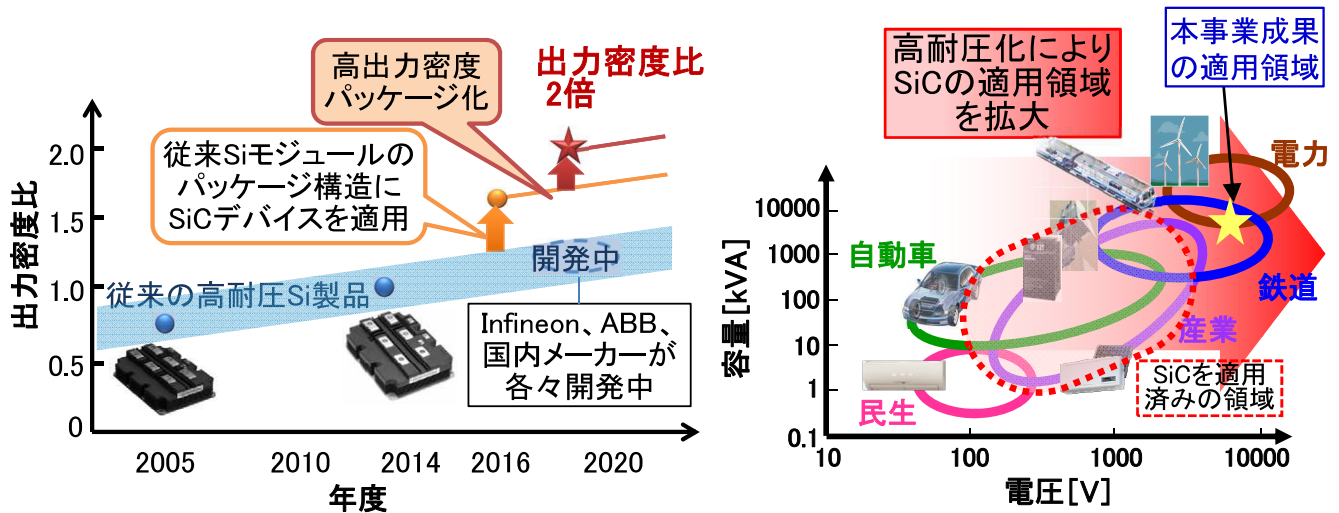




➤ **高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発**

(助成先:三菱電機株式会社、三菱マテリアル株式会社、デンカ株式会社、日本ファインセラミックス株式会社、DOWAエレクトロニクス株式会社)

世界最高レベルの高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールを開発し、高電圧領域における電力変換器の小型化、軽量化を実現する。

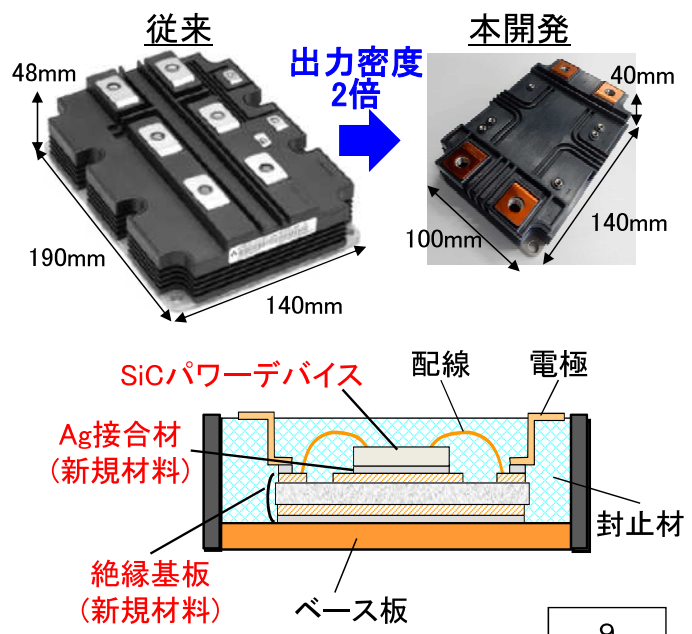


➤ **高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発**

(助成先:三菱電機株式会社、三菱マテリアル株式会社、デンカ株式会社、日本ファインセラミックス株式会社、DOWAエレクトロニクス株式会社)

主な成果

1. 回路動作検証用6.5kVモジュールの評価および解析結果により、出力密度2倍(対Si比)が実現可能であることを確認
2. 高出力密度パッケージに必要となる高放熱絶縁基板や高信頼Ag接合材といった新規材料において、放熱性、信頼性の目標達成に目処
3. 高出力密度に適したSiCパワーデバイスを試作し、出力密度2倍を達成できる特性を確認



事業名

- 低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト  
研究開発項目③次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発  
(1)次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究

事業の概要

- 本事業では、パワーエレクトロニクスの新たな産業創出につなげることを目的として、革新性及び独創性の高い新しい応用システムを考案し、その要求に応じるための先導研究を実施する。
- 具体的には、考案された応用システムのコンセプト実証を行う。実証を通じて、考案された応用システムの省エネ効果の有効性や、見込まれる競争力の優位性などを検証し、今後の技術的課題の抽出等を行う。

事業期間

2015年度～2016年度  
(平成27年度～平成28年度)

事業数

6件

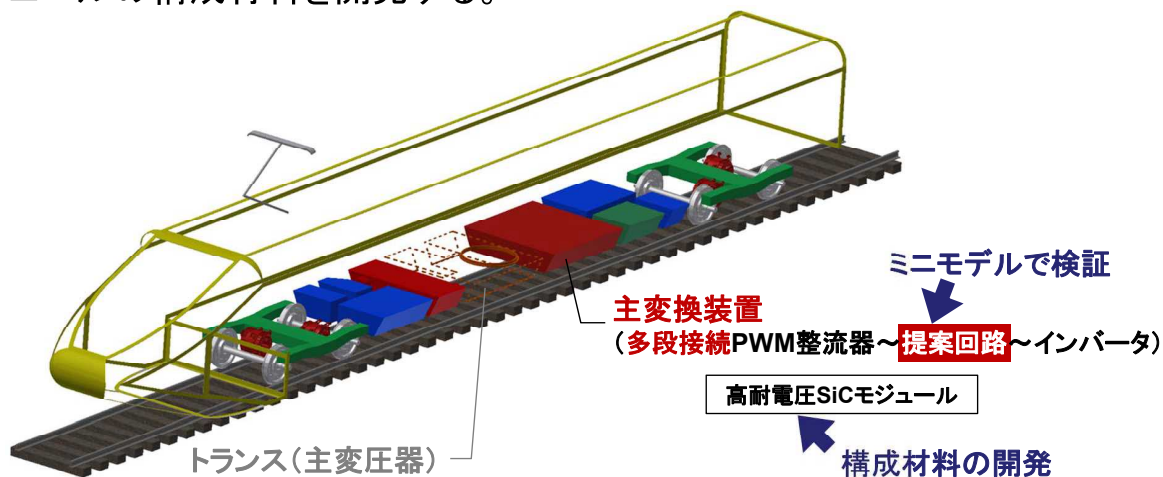
10

研究開発項目③応用システム開発(1)(革新アプリ)テーマ(1)

➤ **SiCモジュール特性を前提とした新車両主回路システムの基礎研究**

(委託先:公益財団法人鉄道総合技術研究所)

交流電化区間の鉄道車両主回路システムの小型化を目指し、SiCモジュールの特長である高耐電圧に注目した新しい車両主回路システムの実現の可能性をミニモデルで検証する。また、長期間使用するために必要なモジュールの構成材料を開発する。



新(トランスレス)交流車主回路システム床下機器イメージ図  
パンタグラフ～主変換装置～主電動機⇒システムの小型軽量化  
省エネ車両・主回路が変わる!

11

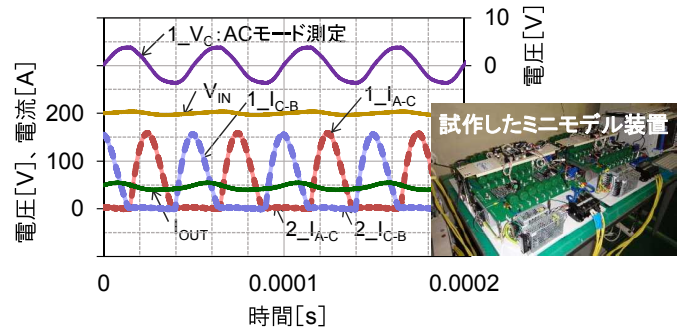
➤ **SiCモジュール特性を前提とした新車両主回路システムの基礎研究**

(委託先: 公益財団法人鉄道総合技術研究所)

主な成果

①新車両主回路システムの基礎研究

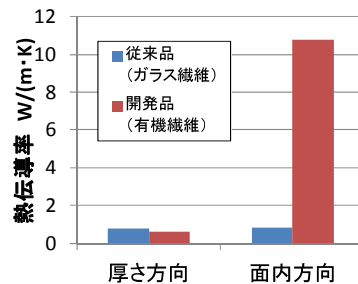
- ・トランスレスの2段接続ミニモデルを用いて、入力電圧 $V_{in}=200V$ 、コンデンサピーク電流 $i_{A-C}=i_{C-B}=150A$ 、スイッチング周波数 $f_s=20kHz$ まで、絶縁を保ちつつ電力伝送が可能であることを確認した。
- ・トランスレス新交流車主回路システムを提案した【特許申請済】。



提案回路のミニモデル実験結果

②モジュールの構成材料の研究開発

- ・面内方向熱伝導率 $10W/(m \cdot K)$ 以上の高耐熱低熱膨張材料を開発した。
- ・加工性、形状自由度があるプリプレグ、アングラッド、銅張積層板を開発した。



試作した銅張積層板

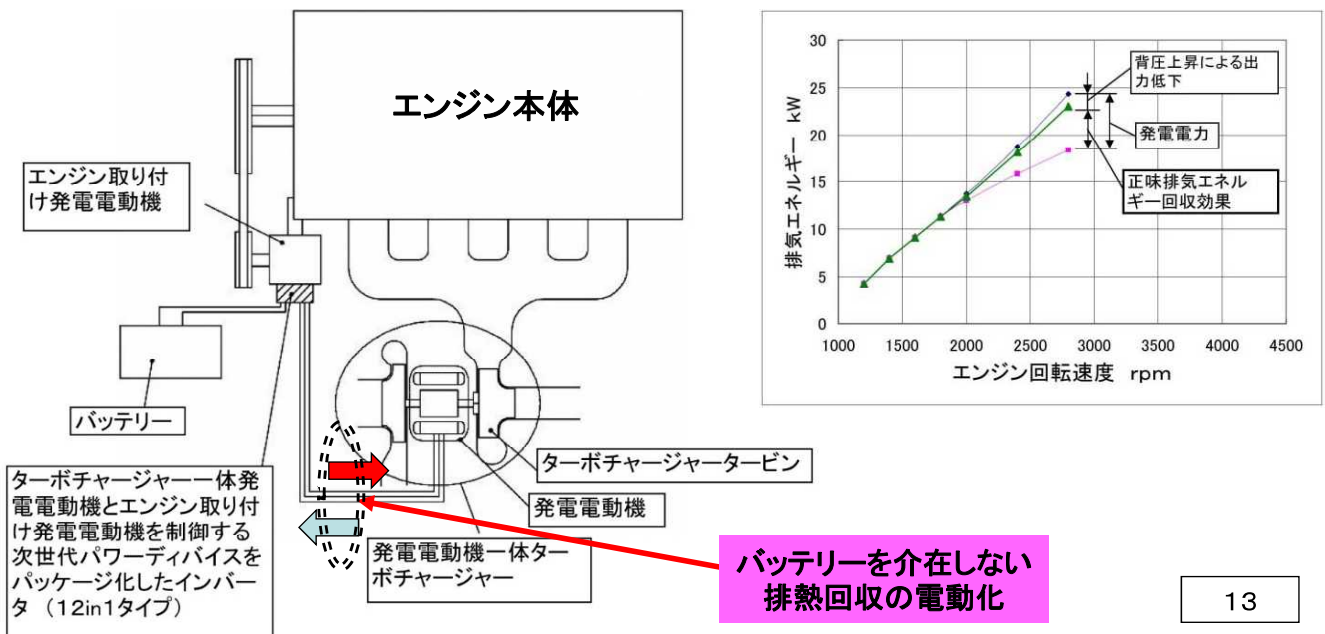


熱伝導特性(繊維基材+高耐熱エポキシ樹脂)

12

➤ **次世代パワーデバイスを用いた発電電動一体ターボチャージャーによる排熱回収システムの研究開発** (委託先: 株式会社ACR)

インバータで制御される発電電動機一体型ターボチャージャーにより、低速トルクアップを行いエンジンのダウンサイジングによる低燃費化と、排気ガスエネルギーから得られた電気エネルギーによりエンジンに取り付けた発電電動機を駆動し大幅な省エネルギー化を図るシステムを開発する。



13

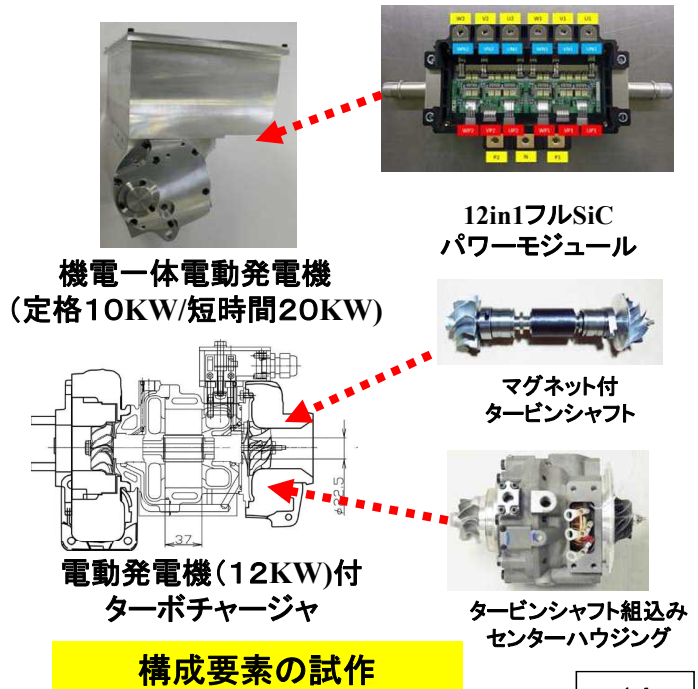
➤ 次世代パワーデバイスを用いた発電電動一体ターボチャージャによる排熱回収システムの研究開発 (委託先: 株式会社ACR)

主な成果

12in1フルSiCパワーモジュール・インバーター一体型発電電動機・発電電動機付ターボチャージャ等の主要構成要素の試作を完了した。

本システムをターボチャージャを装着する全ての車種に導入することによって、燃費を5%前後改善が可能になる。

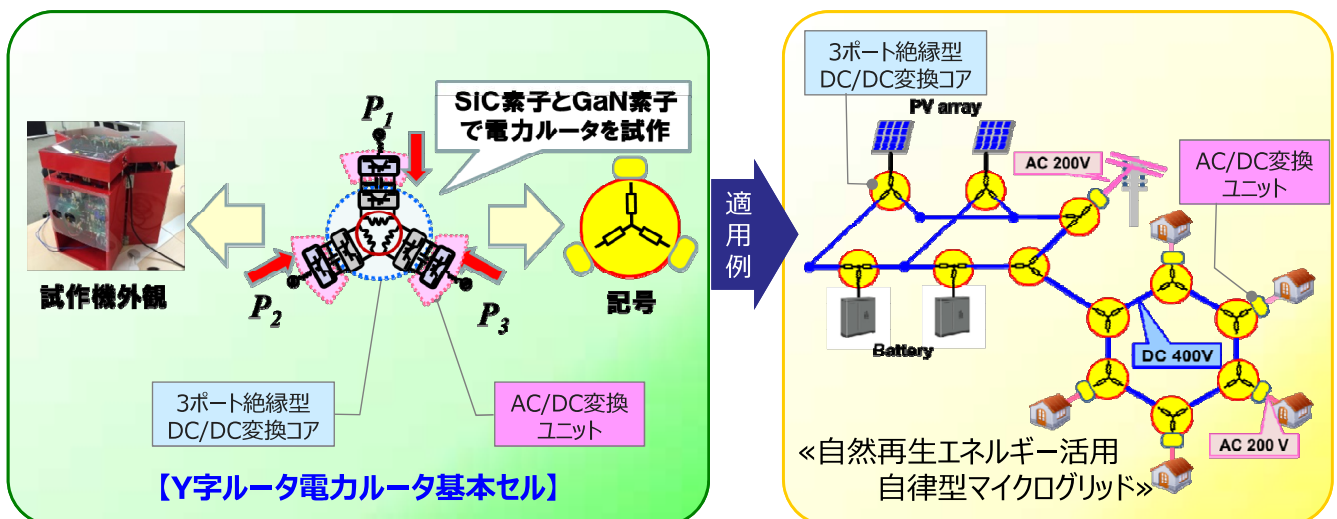
長距離走行する普通トラックの場合、燃料費は人件費に次ぐ大きな支出であり、運送会社にとって燃費の改善は極めて重要。



➤ 多様な電力融通システムを実現するSiC・GaNパワーデバイスを用いたY字電力ルータ基本セルの研究開発

(委託先: 国立大学法人京都工芸繊維大学、公立大学法人首都大学東京)

多様なニーズに応える電力融通システムを容易に構築できる高性能なSiCとGaNパワーデバイスを用いたY字電力ルータ基本セルを設計・試作し、実用化課題を抽出する。



➤ 多様な電力融通システムを実現するSiC・GaNパワーデバイスを用いたY字電カルータ基本セルの研究開発

(委託先: 国立大学法人京都工芸繊維大学、公立大学法人首都大学東京)

主な成果

◆Y字電カルータの3ポート絶縁型DC/DC変換器コアユニットをSiC及びGaNデバイスの各々で設計・試作、電力フロー制御の基本機能検証を完了。

研究開発を実施した必須要素技術は、  
ゲート駆動回路技術、3ポート間電力潮流制御方式、  
および、高精度・多機能変換器制御技術。

- ① SiCパワー素子の適用：高電圧・大電力仕様DC/DC変換コアの実現  
→直流電圧:400V、電力容量:10kW、スイッチング周波数:20kHz
- ② GaNパワー素子の適用：低電圧・小電力仕様DC/DC変換コアの実現  
→直流電圧:200V、電力容量:500W、スイッチング周波数:100 kHz

◆SiC素子適用のAC/DC変換器を、試作済の3ポート絶縁型DC/DC変換器コアに連結する「Y字電カルータ機能拡張の実証」、  
および、GaN素子適用Y字電カルータ3台間での「直流電力潮流制御連携動作の試験」を継続実施中

≪Y字電カルータ 試作機≫  
≪全体の外観≫



≪上部制御ボード≫

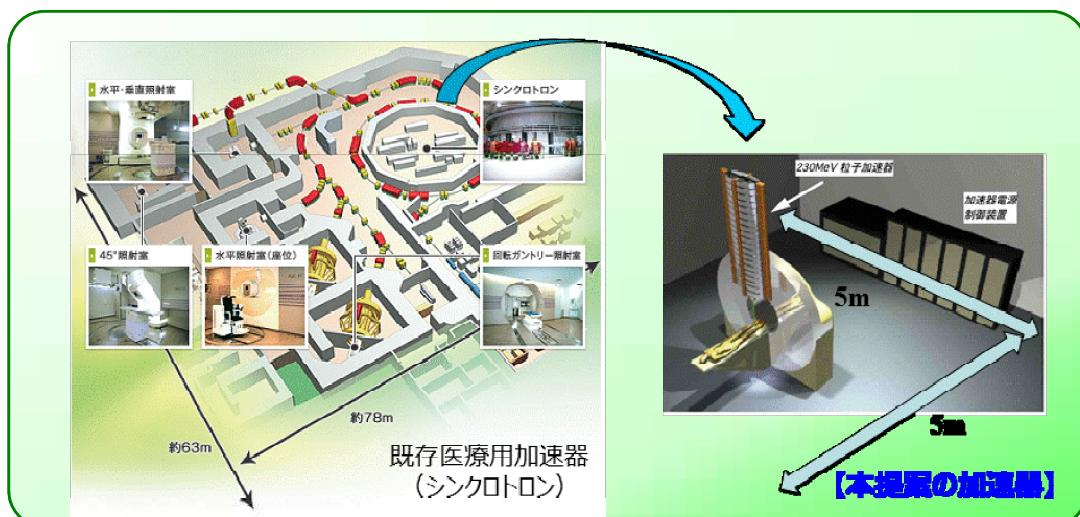


16

➤ コンパクト加速器を実現するための超高速・高電圧パルス電源の開発

(委託先: 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、株式会社パルスパワー技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人筑波大学)

先端医療にも使用できる加速器の大幅なコンパクト化を実現し、運用コストも大幅に低減できる装置の研究開発の先導研究として、高速・高電圧SiCパワー半導体技術によって超高速・高電圧パルス電源を開発する。



17

▶ **コンパクト加速器を実現するための超高速・高電圧パルス電源の開発**

(委託先: 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、株式会社パルスパワー技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人筑波大学)

**主な成果**

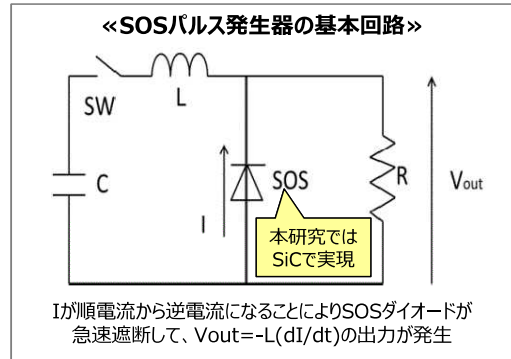
● **研究目的** : コンパクト加速器に必須な、従来にない10kV/立上り10ns以下の高電圧・超高速パルスを得るため、「半導体オープングスイッチ(SOS)による誘導性エネルギー蓄積型パルス発生方式」を前提にこの方式のキー・デバイスであるSOSの高耐圧化・スイッチング特性高速化を、SiC半導体(SiC-DSRD)開発で実現すると共に、このSiC半導体を実装したパルス電源が加速器に適用できることを実証する。



◆ **1stステップとして、新設計のSiC半導体(SiC-DSRD)を搭載したパルス電源を試作し、6kV/立上り5ns特性の高電圧・超高速パルスの1kHz繰り返し発生を実現**

✓ 10kV/立上り10ns以下への性能ステップアップと、パルス電源を用いた加速電界試験は継続実施中

◆ **研究開発による主な高速化・高耐圧化技術は、チップ面積縮小による静電容量低減効果での高速化、通常構造のp/n-/nをp/p-/nとすることによる高速化、新設計デバイス構造製造の要素プロセス開発、高耐圧SiC-DSRD用の表面実装パッケージ開発**



「高耐圧SiC-DSRD用表面実装パッケージ」



「p/p-/n構造」



▶ **小型高効率GaN発振器を用いたUV-C発生装置の研究開発**

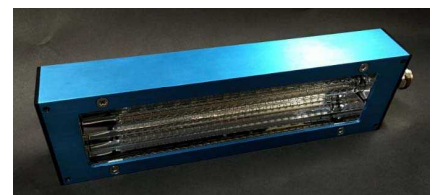
(委託先: 東京計器株式会社、株式会社プラズマアプリケーションズ)

GaNを用いた小型で高効率な自励式マイクロ波発振器を開発し、マイクロ波によって点灯する小型高密度のUV-C発生装置を開発する。

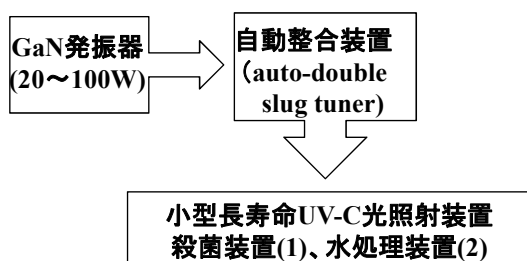
技術的なポイント :

- ・GaN(窒化ガリウム)を用いた 2450 MHz 小型高効率発振器の開発
- ・マイクロ波で点灯する小型で強力な低圧水銀 UV-Cランプの開発
- ・上記2つの併用によりUV-C発生装置を実現する

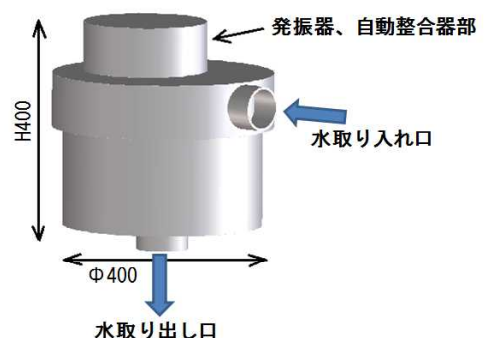
特徴 : 小型、UV-C強度が高い、長寿命、メンテナンスフリー  
用途 : 水処理装置、空気殺菌装置



(1) 殺菌装置用UV-Cランプreflector



小型高効率GaN発振器を用いたUV-C光発生装置  
コンセプト



(2) マイクロ波放電UV-Cランプ使用  
400~1000m<sup>3</sup>/day水処理装置

▶ **小型高効率GaN発振器を用いたUV-C発生装置の研究開発**

(委託先: 東京計器株式会社、株式会社プラズマアプリケーションズ)

**主な成果**

○GaN発振器・増幅器

・GaNベアチップを用いた2450MHz100W増幅器開発において、効率(DC/RF)70%、名刺大サイズを実現

○石英二重管低圧水銀UV-Cランプ

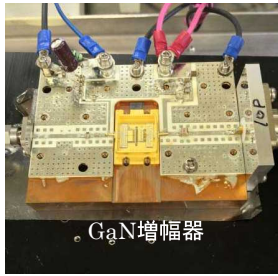
・マイクロ波放電により、AC放電UV-Cランプに比べ小型で短い(長さ1/2以下)UV-C光源を実現

・RF/UV-C変換効率25~30%を達成し、装置の小型化も実現

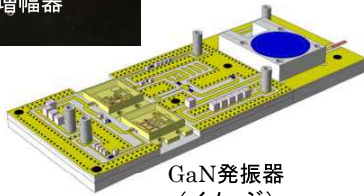
ランプ①ー外径10mm×長さ15cm、変換効率 30%

ランプ②ー外径30mm×長さ30cm、変換効率 25%

○ GaN発振器・増幅器

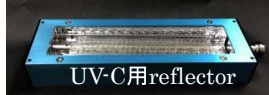


GaN増幅器



GaN発振器  
(イメージ)

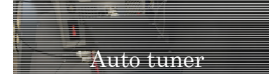
○ UV-C殺菌装置



UV-C用reflector



固体MW発振器

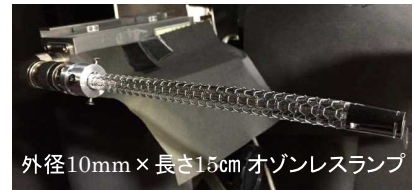


Auto tuner



reflector

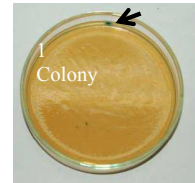
UV-Cランプ点灯装置



外径10mm×長さ15cm オゾンレスランプ



2696 colonies



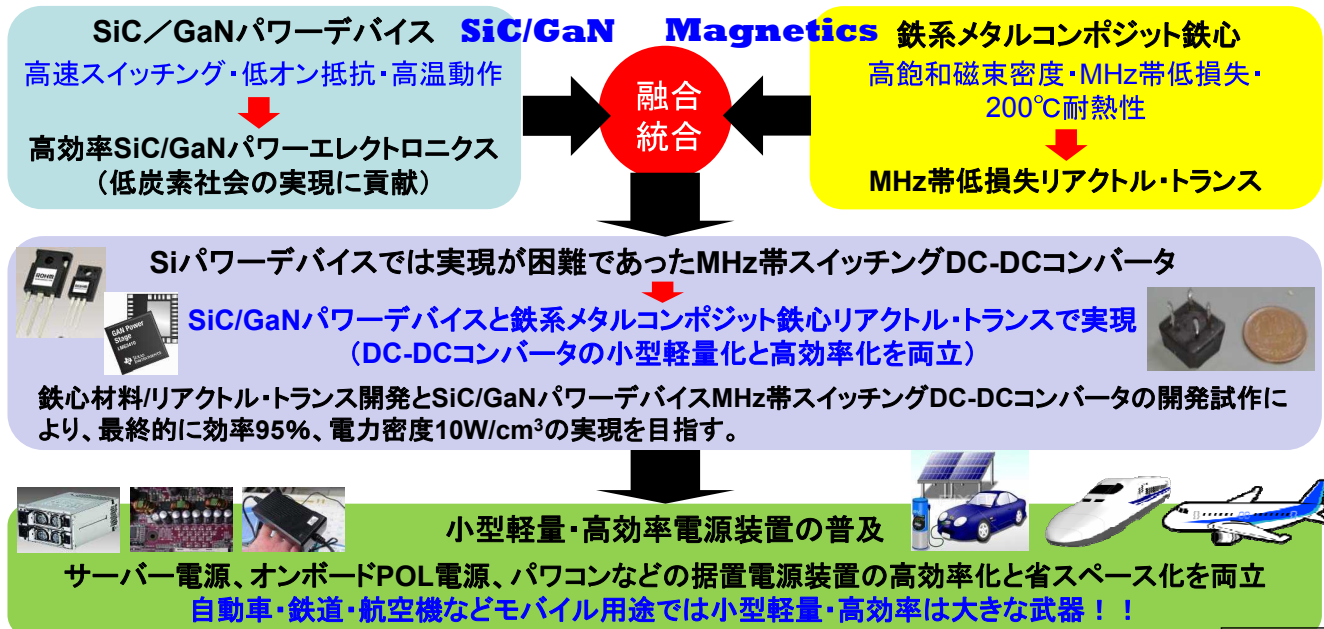
1 Colony

UV照射なし UV-C照射時間:5秒.  
Escherichia coliの殺菌試験  
UV-C 5秒の照射により99.9%を殺菌

▶ **SiC/GaNパワーデバイスMHz帯スイッチングDC-DCコンバータの先導研究**

(委託先: 国立大学法人信州大学、国立大学法人大阪大学)

鉄損と銅損の小さい高周波低損失リアクトル・トランスを開発し、SiCやGaNパワーデバイスの特徴を活かした高効率・小型軽量DC-DCコンバータを開発する。



➤ **SiC/GaNパワーデバイスMHz帯スイッチングDC-DCコンバータの先導研究** (委託先: 国立大学法人信州大学、国立大学法人大阪大学)

**主な成果**

**1. 高磁化金属系磁性微粒子/高耐熱樹脂コンポジット開発**

- ・金属磁性微粒子高抵抗被膜形成技術
- ・低コストキャスト法による鉄心・リアクトル/トランス作製
- ・240°C高温耐性樹脂材料

**2. アモルファス粉/エポキシコンポジット鉄心の試作**

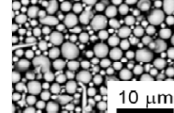
- ・飽和磁束密度: 0.82~0.86T (Ni-Znフェライトの約3倍)
- ・線形磁気特性 ( $\mu_r$ : 10~12,  $\tan\delta$ : 0.01以下 (~20MHz))
- ・MHz帯鉄損: Ni-Znフェライトの1/5以下

**3. MHzスイッチングDC-DCコンバータ開発**

- ・効率90%、5W/cm<sup>3</sup>達成(LLC共振型、フライバック型、同期整流降圧チョップ型)

**材料開発**

キャスト法Fe系アモルファス/エポキシコンポジットバルク鉄心を開発



トロイダル鉄心の例 (巻線埋込リアクトル、トランスも作製可能)

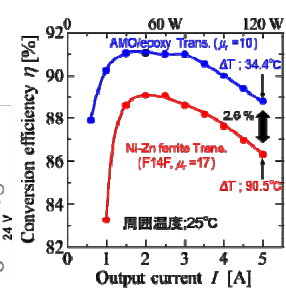
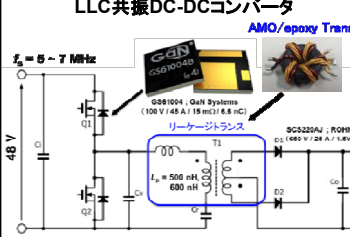
キャスト法により高耐熱シリコンコンポジット鉄心も作製

高抵抗被膜により渦電流を粒子内に閉じ込め

**コンバータ開発**

**試作LLC共振型DC-DCコンバータ**

GaNパワーデバイスハーフブリッジ LLC共振DC-DCコンバータ



試作トランスの温度上昇は既存材料の半分以下

**実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し**

研究開発項目①(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発 (委託事業)

テーマ	実施者	実用化・事業化見通し	分野
新世代Si-IGBTと応用基本技術の研究開発	東芝、三菱電機 (共同実施先)	本PJ成果を元にした新世代IGBT製品検討を行い、2020年度に事業化判断を行う。	成果をもとに検討予定

研究開発項目③応用システム開発(2) (助成事業)

テーマ	実施者	実用化・事業化見通し	分野
世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築	富士電機	顧客最適化による性能最大化を図った製品を目指し実用化検討中。右記分野を適用先候補とし、2020年度には売上1,000億円を目指す。	太陽光発電用PCS、誘導加熱システム、EV向けインバータ、電鉄用補助電源、ハイパープレミアムインバータ、大容量UPS、IP6Xインバータ
SiCパワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発	デンソー	本PJ終了後、搭載車両と具体的な仕様を詰めて信頼性確認を行い、2022年の実用化を目指す。	大出力EV、大出力PHV、FCV向け電動システム
高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発	三菱電機等	本PJにより競争力強化したパワーモジュールで鉄道向けの事業化を図り、併せてパワーエレクトロニクス機器への展開を目指す。	鉄道等



### ◇知的財産権・成果の普及活動実績

	2014年度	2015年度	2016年度	計
特許出願	13	18	1	32
論文	0	3	1	4
研究発表・講演	0	13	6	19
受賞実績	0	0	1	1
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0	1
展示会への出展	1	5	8	14

## 参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会  
「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト/  
①(10)、③」  
(中間評価) 分科会  
議事録

日 時：平成28年9月6日(火) 10:30~18:00

場 所：大手町サンスカイルーム A室

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 鈴木 彰 国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST) イノベーション拠点推進部  
JST スーパークラスタープログラム 戦略ディレクター  
分科会長代理 末光 眞希 東北大学 電気通信研究所 固体電子工学研究室 教授  
委員 河野 智 株式会社NTT ファシリティーズ エンジニアリング&コンストラクション  
事業本部 環境・エネルギー技術部長  
委員 長澤 弘幸 株式会社CUSIC 代表取締役  
委員 新垣 実 浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 理事 研究主幹  
委員 堀 洋一 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 教授

<推進部署>

都築 直史 NEDO IoT 推進部 部長  
梅田 到 NEDO IoT 推進部 統括主幹  
間瀬 智志(PM) NEDO IoT 推進部 主任  
杉山 五美 NEDO IoT 推進部 主査  
岡本 直樹 NEDO IoT 推進部 主査

<実施者※メインテーブル着席者のみ>

佐藤 之彦(PL) 千葉大学 大学院 工学研究科 教授  
平本 俊郎 東京大学 生産技術研究所 教授  
末代 知子 株式会社東芝 ストレージ&デバイスソリューション社 参事  
高橋 良和 富士電機株式会社 電子デバイス事業本部 技師長  
鶴田 和弘 株式会社デンソー 基礎研究3部 部長  
西沢 昭則 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 パワーモジュール技術部 部長

<評価事務局等>

砂口 洋毅 NEDO 技術戦略研究センター 研究員  
徳岡 麻比古 NEDO 評価部 部長  
保坂 尚子 NEDO 評価部 統括主幹  
内田 裕 NEDO 評価部 主査

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」
  - 5.2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」
  - 5.3 質疑

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 低炭素社会を実現する新素材パワー半導体プロジェクト  
新世代 Si パワーデバイス技術開発
  - 6.2 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発
    - 6.2.1 世界のワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築
    - 6.2.2 SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発
    - 6.2.3 高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発
7. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し
  - 7.1 低炭素社会を実現する新素材パワー半導体プロジェクト  
新世代 Si パワーデバイス技術開発
  - 7.2 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発
    - 7.2.1 世界のワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築
    - 7.2.2 SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発
    - 7.2.3 高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発
8. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

9. まとめ・講評
10. 今後の予定、その他
11. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

### 2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)

### 3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6. 「プロジェクトの詳細説明」、議題7. 「成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」、議題8. 「全体を通しての質疑」を非公開とした。

### 4. 評価の実施方法

評価の手順を評価事務局より、資料4-1~4-5に基づき説明した。

### 5. プロジェクトの概要説明

#### (1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料6-1-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

#### (2) 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

実施者より資料6-1-2に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

**【鈴木分科会長】** どうもありがとうございました。技術の詳細につきましては議題6としてあとで扱いますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性、マネジメントについて議論させていただきたいと思います。

なかなか豊富な内容で、かつ少し複雑な関係の内容になっているような気がしますし、NEDOも全体マネジメントで少し苦労しているようなことをちょっと吐露されたと思います。私もこの際いろいろ聞きたいということはあるのですが、まずは各委員からどんな意見でも結構ですのでお願いいたします。

**【末光分科会長代理】** Si (シリコン) のプロジェクトに今回あえて取り組まれたということで、そのことを評価したいと思います。

新世代 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor : 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) については、従来 SiC (炭化ケイ素) で置き換えようと思っていたところを、少し Si で伸ばしていくという印象を持っているのですが、そのすみ分けが将来的にうまくいくのか、あるいは私は競合してもいいと思うのですが、その状況についてどういう分析をなさっているのでしょうか。

**【間瀬 PM】** おっしゃるとおり、われわれも競合はしようと思っています。

結局、たとえば自動車応用などは SiC も GaN (窒化ガリウム) もねらっている領域で、Si でも対応できる領域という状況であるので、いまこの時点で何かの材料に決めることはないと思っています。いろいろな材料の可能性を追求して、最もよいものがしっかり市場を取れればいいという考え方で進めています。

**【鈴木分科会長】** 私も Si のプロジェクトが本プロジェクトに入っていることは、全体を見ると少し違和感を覚えるのですが、趣旨を見ると SiC、GaN も含めて、それと対抗できるようなものをつくっていきましょうというお話です。トータルで見たときに、サイズや冷却能力、コストなどいろいろなことで最後は対抗できるかどうかということになっていくと思うのですが、いまプロジェクトの内容を見るとまだそ

こまでは描けない、つまりある試作をして、それを事業化、産業化に持っていかどうかは次のところで議論しましょうというかたちになっています。

Siの技術を磨いてきた、入れてきたことはよくわかりますが、現実どうなのでしょう。さらにSiのパワーデバイスの高性能化、最終的にはGaNと同等のものをつくって対抗できるようなものを、どこの分野に使っていいのか。コストは優位とおっしゃるかもしれませんが、コストの話はちょっと除いておいていかがでしょうか。

【間瀬 PM】 SiCにしてもGaNにしても、もちろん市場はいま立ち上がりつつあるところである一方で、Siが結局、現状9割以上のパワエレ製品を占めていることを考えると、将来はすべてSiCとかGaNというのはありうるかもしれないのですが、必ずそのつなぎの段階は存在するだろうと思っています。そこをわれわれは手を抜くわけにはいかないというか、パワエレでせつかく世界的に強い状況にある中で、それを維持していくことも大事だと思います。強いところはさらに強く、未知のところはまずそこを広げていくということをやれば良いと思っています。もし平本教授も補足等があったらお願いできたらと思います。

【平本教授】 Siのプロジェクトのリーダーをしています。この件に関しては、私自身の意見もありますし、また事業化をする企業のご意見もあろうかと思いますが、強い分野をさらに強くして、それをなるべく引き伸ばしたいというのは日本の産業界にとっても非常に重要なことだと思います。そこでSiにNEDOが着手したととらえています。

したがって現在、アジアの追い上げがある中で、日本の競争力をいかに保つかということが日本の課題であれば、Siを取り上げていただいたことに関しては非常にありがたく思っています。

【堀委員】 あまり結論めいたことを言うのもよくないかもしれませんが、SiかSiCかという、オール・オア・ナッシングのような議論をしてもあまり意味がありません。ガソリン車か電気自動車かとか、電池かキャパシタかとか、白黒つける話をよくしたがるのですが、たとえば近隣の国などを見てみると何でもやっています。

あまり白黒をつけてどっちがいいのかということを急がないで、たくさんメニューを持っていることがいいと思います。このプロジェクトは本当にいろいろなものがたくさん入っているわけですから、集中と選択を少しもはやし過ぎるのではないかと思います。

たとえば電気自動車にしても、そんなに全部電気自動車になるということは、われわれが生きている間にはなかなかないと思います。Siの持ち分はもちろんあるわけですから、そういうスタンスでやったらいいのではないかと思います。あまり結論めいたことを言ってもしょうがないのですが、その中でもスリムにしていくという努力は大事なので、それは忘れないようにしたほうが良いと思います。

【新垣委員】 いまのSiかSiCかGaNかというお話で、午後のセッションで議論するかもしれませんが、少し心配なのがコストの点です。

SiCとかGaNが、Siに太刀打ちできそうもないというような背景がもしあれば、やはりコストというのは市場を開くには非常に重要な要素になると思います。コストに関する話も午後のセッションで聞かせていただければと思います。

【堀委員】 その点はすごく大事です。コストの話は、少なくともここまでは、あまりなかったのですが、自動車企業などはきれいごととして将来はSiCになるだろうと言うけれども、実はあとから聞いてみるとそんなものは高く使えませんよというのが現実です。ですから、その状況をどうやって改善していくか、歴史はそういうことを繰り返してきたということもありますから、コストについてはやはり一緒に話してくれるとわかりやすいと思います。

【鈴木分科会長】 SiCとかGaNに関しては、コストは必ず競争議論になっていて、一番のポイントですね。

【長澤委員】 私はSiCもGaNも、あるいはダイヤモンド関係者もお客さんに持っています。皆さんそれ

それぞれ独特の世界にいて、SiCはSiCの人という感じを持っています。すべてSiCで完結してやろうというか、それは現実的ではないのですが。

今日の話をついて、SiかSiCかというすみ分けをしようというよりは、それぞれ適材適所で、ここはGaNがいい、こちらはやはりSiがいいというふうに、包括的なトータルシステムとして考えていくというやり方がいいのかなと思いました。

【河野委員】 私は主に最終製品を使うという立場なので専門的なことはあまり強くありません。

通信ビルとかデータセンターのようなところでは、いろいろな課題があって、電力設備でいくと、当然コストとかスペース、効率、信頼性といった点が非常に重要で、そういうものを見ながら製品の目利きをしています。そういうところに今日の成果が活かされるかなと思って、非常に興味を持ってお聞きしていました。

一般の負荷設備であるサーバ類などは最近高発熱、高密度実装になっていて、熱の問題が現場ではかなりあります。先ほど熱の再利用や回収の話もありましたが、そういう分野も現場では非常に寄与するかなと思います。今日もそういう観点でお話を伺いたいと思います。今日の研究内容を非常に興味深く感じました。

【堀委員】 資料のどこがどのテーマに対応しているのか、大変わかりにくくなっています。

【間瀬PM】 少し説明させていただきます。評価対象テーマとしては四つあります。三つの助成事業で、富士電機社、デンソー社、三菱電機社が実施している、研究開発項目③にひもづいた三つの研究テーマです。他に一つ、平本教授が中心で実施しているのが研究開発項目①の(10)というSiのテーマで、それら四つのテーマは並列して存在しています。

今日午後のセッションもそれぞれ研究開発項目①の(10)と研究開発項目③の三つのテーマ、合計四つのテーマについて、それぞれ成果と実用化に関する発表をいたします。

【堀委員】 革新アプリに関する六つのテーマはおもしろいですね。実はSIP(内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム)などはあまりよく知らなかったけれど、ものすごくワクワクするような感じで、これはおもしろいなと思ってとても感銘を受けました。

特にターボチャージャーの熱回収などはどんな仕組みになっているのか、すぐは理解できないけれども、おもしろそうです。あとでコメントすればいいと思いますが、こういうのはあまりやかましく評価して、どのくらい成果が上がったかとか些細な事でいじめないで、自由に実施させてあげたらいいと思いました。そういう観点はSIPのほうはあまりないようですので、本プロジェクトで実施していいと思いますけれども。

【鈴木分科会長】 冒頭NEDOがちょっと吐露されましたが、SIPは少し先をねらっているもので、NEDOでは少し基礎をねらおうという感じです。しかし、これは実際に使っていくのに際して、こういうアプリがあるというのが、非常に大事な観点だと思います。

【堀委員】 全体的な話というと、そのすみ分けをするか統合をするかということはどうしても考えがちになります。多様性という意味では少しすみ分け的なこともできるのかなと思います。間瀬PMの説明の中で、パワエレ関連の情報は全部NEDOが見ることができるという大事な関係図が出てきました。

実際一番よくわかっていらっしゃるという意味では、NEDOがパワエレ開発の情報の交通整理をすることはとてもいい仕組みになっているのかなと思いました。

【鈴木分科会長】 確かに革新アプリについては、私もこれは非常にいいテーマだと思いましたが、まだデバイスシステム側からこう使えるのだというような観点のとらえ方となっています。

冒頭のねらいもそうだと思うのですが、むしろアプリ、応用、産業分野からこういうところにこういうSiCやGaNを使って技術がほしいというニーズがあるから、こういう開発をしておられるので、考

え方としてむしろニーズ側、社会側からの要請があって、こういう手順で開発していくのだという流れを、より意識されたほうがいいのではないかと思います。デバイスがあってシステムがあって、こんな新しい使い方ができるというのが、これまでの日本の流れであるという感じでした。

**【末光分科会長代理】** 以前 NEDO の評価委員としてコメントしたことが何となく反映されているような気がしてちょっとうれしいです。たとえばプロジェクト推進委員会を立ち上げて、有識者の方にビビッドにコメントをいただいている。それがたとえばどのようなコメントがどのように反映されているかがちょっとわかるとうれしいなと思います。

同様にいろいろな調査もなさって、世界の動向を調べていらっしゃると思うのですが、そういうことをどのようにフィードバックして、今回の最終的なプロジェクトのスキームになっているか、ちょっとご紹介があるとよかったですと思います。

**【間瀬 PM】** 最初のご質問、プロジェクト推進委員会でどんな指摘があって、どんな反映をしたかという点ですが、委員の方々はかなりいろいろなことをおっしゃいます。生コメントを一応すべて実施者にフィードバックして反映していただいているので、全部列挙するとかかなりのものになります。

かなり事業化・実用化に近いフェーズをやっているというところもありますので、たとえば Si のテーマは東京大学が中心で実施していますが、その事業の受け手である東芝社、三菱電機社の方々の意見をしっかりと反映して進めてほしいと言っていただくこともありました。デンソー社、三菱電機社、富士電機社など助成事業者においては、実施者がかなり多岐にわたっていて、1社がヘッドを取っておきながら、企業、大学がいっぱい連携しているフェーズですので、それらがどんな役割分担をしていて、きちっとマネジメントをしているかをしっかりと確認するようなコメントをいただいて、それをお話しいただいています。

次に、海外の調査についてです。われわれ自身がその海外の調査結果を受けて、このプロジェクトに直接何かを反映したかという、まだその段階には至っていないというのが正直なところですが、このプロジェクトの中では Si と SiC の研究を主にやっているところではあるのですが、来年度以降、GaN にも少し予算をつけながら遂行していきたいと考えており、いまその中身を経済産業省とともに検討中です。GaN については、アメリカをはじめ海外勢が研究をかなり先行しているところがあると認識していますので、そういった海外の動向を受けて日本としてやれることを探るところを今後進めていきたいと考えています。

**【新垣委員】** 応用システム開発のスケジュールが、当初 6 年の計画を 4 年に期間短縮されていますが、これはそういう海外の動向などを背景にしてもう少し急がなければいけないというご判断をされたわけでしょうか。

**【間瀬 PM】** そのとおりです。これについては経済産業省とわれわれの意向がかなり大きいところでもあったのですが、6 年間助成を続けて、その後実用化というスケジュール感で本当に對抗できるのかという問題意識がありましたので、事業者の皆さんにもいろいろご相談させていただきながら、6 年を 4 年でやりきりましょうということで調整したものです。

**【鈴木分科会長】** 私もそこが気になったのですが、開発期間 6 年を 4 年に短縮というのは、中身自身は変えずに前倒しされるということなのか、そうではなくて中身自身を、後ろを切ってしまうと早くところで次のステップを検討しましょうということなのか。

**【間瀬 PM】** 前倒しする部分もあり、切ってしまった部分もあるというのが現状です。

助成事業 6 年を計画したときもそうだったのですが、前半の 3 年間で要素技術を確立し、後半の 3 年間で実証や信頼性試験など実施することを考えていました。その後半の 3 年間、実証、信頼性試験のところは 1 年でやれることをやって、5 年目、6 年目については、もういつでも事業化できるように、国からの支援を卒業しましょうというかたちにはしています。



【鈴木分科会長】 冒頭ご紹介がありましたが、パワエレの世の中を世界的に見たらインフィニオン社が売  
るスピードは、最終詳細はまだ今年中発表ということですが、インフィニオン社はちょっと前にす  
でに GaN の IR 社 (インターナショナル・レクティブファイアー社) を買収して傘下に入れてい  
ますので、GaN と SiC と両方入れ込む。それから売るスピードのほうも SiC のウエハ事業にも  
取り組むという話があって、非常に大きい。ですから日本の関連メーカーも非常に真剣に  
対応しているということで、むしろ 6 年も悠長に先をどうしようかと待って  
いられない。4 年ぐらい先でいろいろな流れを見ながら事業展開も変わって  
いっくだろう。だから 4 年で判断しましょうという観点かなと勝手に思  
っていました。

それから Si 以外の三つのテーマは、富士電機社、デンソー社、三菱電機社というわが国の  
そうそうたる企業が実施されていて、しかもそのテーマも富士電機社は  
パワーモジュール全体のプロセスを含めた取り組みですし、デンソー  
社は車載用、三菱電機社はより高出力のモジュールと、基本、基幹に  
相当するテーマです。別の言い方をしたら、この事業の 3 社は助成し  
なくても事業化できるのではないかといいるところもあります。

たとえば富士電機社の取り組みでは非常にたくさんの委託先、共同研究先が  
挙がっていて、そのマネジメントの苦労をおっしゃっていましたが、  
この 3 社のこの NEDO の事業に対する取り組みの考え方はどうなの  
か。そこをちょっと説明してほしいと思います。3 社は非常に重要な  
テーマと分野を挙げられています、放っておいても自社でできるの  
だけれどとか、NEDO に対して何を期待しているのか。

【高橋技師長】 おっしゃるとおり基幹の部分で、確かに単独でもやれる  
のではないかといいご指摘はいろいろなところからもあるのですが、  
今回海外のメーカーを見るとアメリカもヨーロッパも、先ほどご  
説明のようにコンソーシアムをつくって、単独ではもう戦えないよ  
うな状況にいま追い込まれていると思っています。

ということで、われわれのところは 10 大学、11 企業と一緒にやっ  
ていますが、やはりいままでのやり方ではなくて、そこのトップ企  
業のコンペティターの中に入れていないということで、一番そこに  
長けた技術を包み隠さなく持ち寄って、かつ大学の先生方にもそれ  
を支援していただいて、基盤的なところも確立していく。

したがって継続的に今回は SiC とか Si ですが、GaN とかダイア  
モンドになってきても、そのシステムがきちんと動いていって、  
日本が優位性を保てるような仕組みをつくろうというのも一つの  
大きなポイントです。これは単独企業ではできなくて、やはり  
NEDO の助成がなければできないと考えています。

【鶴田部長】 われわれはいま、すでに事業の中で車の電動システム  
をやっていますが、個々のカーメーカーの要求に応じて多種多  
様なものを行っているので非常に効率が悪い。われわれとして  
もっと共通化できるようなシステムを自ら提案して、それを普及  
させたいという思いがあります。

それを事業として進めようとしているのですが、一方でやはり  
それを単独でやろうとすると自社のリソース、開発費もかか  
りますし、特に SiC そのものの開発費も非常にかかって、  
自社単独で開発費を投入すると、今度はせっかくできたい  
いいシステムのコストが上がってしまうことがあって、これを  
どう解決しようかということで少しでもその開発負担を減らす  
という意味で助成に応募させていただきました。

そういう意味では社内での開発コストを抑えつつも単独の  
システム開発を順調に進められるということで非常に助かっ  
ています。

【西沢部長】 今回は 6.5kV のフル SiC モジュールということで、  
従来製品に対して出力密度 2 倍という目標で実施して  
います。従来は 3.3kV で鉄道分野を中心に製品化している  
わけですが、さらにその耐

圧を上げよう、しかもさらに高出力密度をねらおうという開発を14年度からやっており、4年間で一通りの実証を行う計画でいま進めています。この4年間できちんと実証までできるというのは、やはりNEDOからの助成があるからと考えています。

理由は二つありまして、一つは設備の面です。今回研究所を中心に実施しているわけですが、その設備に投資するリソースという面では、今回の助成事業をいただいて非常に助かっています。もう一つは、今回高出力密度を実現するにあたって、いろいろな材料メーカーとも連携しています。日本のパワーモジュールというのは、材料メーカーに助けられている部分もあって、今回いろいろな材料メーカーがこのプロジェクトに参画して、一つのプロジェクトで実施しているという意義は一つ大きなところがあるのではないかと考えています。

**【末光分科会長代理】** そうしますと今回NEDOが果たした役割としては、まずは端的に言ってお金が一つあります。2番目はデンソー社がおっしゃったように個々のメーカーに個別に対応するのではなくて、共通化されたコンセプトを提供していただく。たぶん社内的にもそのほうが説得しやすいというコンセプト的なことがあると思います。

3番目に、たぶんNEDOとしてコンソーシアムというところまで考えていると思いますが、企業としてはどうなのでしょう。そこはちょっと思惑が違うのではないかと思うのですが、まずNEDOは今回のこのプロジェクトから将来的にコンソーシアムにどのようなロードマップを描いていらっしゃるのですか。

**【間瀬 PM】** 最初は主にロードマップ活動の中でユーザーも含めた業態全体をコンソーシアム化したいと漠然と思っています。ヨーロッパのECPE (European Center for Power Electronics) なども見えて、1社だけでやり切るといよりは、共通化できる、協調できるところは協調する、競合するところは競合するというのをしっかりとやっていきたいという思いを持っています。

ただそれを企業が自発的にやれる部分というのは、なかなか難しいのではないかという思いもあります。われわれのようなところが仲介して皆さんを集めて議論をする場をつくるということ、たぶんいきなりはできないと思うので、少しずつステップアップしていきたいと思っている中で、まずはロードマップ策定の中でみんなが少しずつ仲良くなっていくと思っています。

これを3年後なのか、5年後なのか、どのぐらいの期間で熟成していくのか、われわれもまだ見えていないところがあるので、活動を続けながら、様子を見ながら進めたいと思っています。やはりユーザーのお話を聞きながら、まだややお互いのレイヤー同士の硬さを感じるというか、その情報交換もなかなか難しいと思いながらこの2年間ぐらいやってきたところがあるので、われわれも少し長い目でとらえています。企業も何かご意見があるかもしれませんが、われわれとしてはそのように思っています。

**【西沢部長】** 今回は、われわれはパワーモジュールの開発ということで、どちらかというとコンポーネントの開発になります。そういうところでコンソーシアム的なものはなかなか難しいかなと思っています。

ただこのつくったモジュールをどう活用していくか、そのシステム的な観点ではユーザーも交えて今後の使いこなしという意味ではコンソーシアムみたいなものをつくってやっていくという方法もあるのではないかとはいっています。

**【高橋技師長】** 今回、コンソーシアム的な大学と11企業で一緒にやらせてもらっていますが、大きなポイントは、先ほども言いましたがコンペティターの方々があまり入っていないので、最高レベルのものが持ってきてもらえるということと、もう一つ大きなポイントは、大学の先生方の役割がものすごく大きくなってきていると思っています。やはり基礎的なところから取り組んでもらえて、1年目ぐらいのときはそこまでではなかったのですが、継続してやっているということでそういうつながりが出てきている。

大学の先生方はあまり営利目的がないので、初めの 3 企業ぐらいの間でいろいろコーディネートしてきてもらったものが、だんだん増えてきて、その横のつながりが先生方を潤滑油にして出てきている。そういうやり方をやっていけば、ある意味でコンソーシアム的なものもうまく行くのかなと感じているところです。

【鶴田部長】 われわれは今回それほど大きく企業とか、いろいろなところを束ねてというかたちにはなっていないのですが、これはどちらかというと応用をベースにしているものですから、ここはひとつ競争領域の部分もあって、そこは逆に言うと自社だけでうまくまとまってやろうとしています。

ただそこから供給してもらう要素技術に関しては、大学を交えていろいろ最新のものを入れていきたいということで、特に大阪大学は実装の材料の分野では別途いろいろなコンソーシアムを組んで、いろいろ研究開発をされているので、そういった情報もうまく踏まえながら、何が一番いい選択肢なのか、うまく使って進められているということがあります。

どういう部分をコンソーシアム化するといったのかというのは、なかなか難しいところがあると思いますが、いろいろな単位でまとまって、いろいろな方向性を見出して開発していくことは必要だと思っています。

【長澤委員】 知財のマネジメントの件でお伺いしたいのですが、メンバーが多いですから当然特許のインフリンジメントが起こる可能性は十分にあって、そこをうまく交通整理されるようなシステムをつくるのだらうとは思っています。

その内容は私も存じ上げないので、コメントはなかなかできないのですが、このメンバーの中である程度知財がコモディティ化されていくのではないかと。そうするとある部分に関して強い特許を持っている企業からすると、逆にコモディティ化されることに関して少し抵抗感があったりする部分もあるのではないかと。

あと特許はやはりお互いにある程度技術で競い合うわけですから、みんなが仲良くなって、あまりにもみんなが慣れ合いになってしまうのもどうなのかと思っていました。

【間瀬 PM】 特許に関しては、チームが三つありますが、それぞれが共有するようなものではなくて、基本的にはチームの中でどういった知財が生まれて、どういった扱いをするかを定めているというものです。たとえば富士電機社にしても三菱電機社にしてもいろいろなレイヤーの企業がありますが、基本的にはかぶらないレイヤーというか、一部はありますが、それぞれのレイヤーで特許を生んで、自分たちで成果を持っていくというものです。

ただ共有して特許を取るというのも、おそらく別レイヤーの中でもあるのではないかと考えていて、そのときの持ち分比率をどうするか、大学が混じった特許について大学がどれほど権利を主張するかとか、そういったことを最初に定めずに事業化まで持っていってしまうと、あとでその事業化のときに変な遅延になってしまったりは困るので、そういうことはやめましょうということがわれわれの方針としてあります。

事業化のときにもめないように、最初に取り決めをすることを皆さんにお伝えして、それを順守してもらっています。

【鈴木分科会長】 おそらく知財は以前と違ってかなり各社でという感じで、NEDO とか、われわれ JST もそうですが、それが絡ませるようなことはもうやめておきましょうという流れになっているかなと思います。

GaN のことをちょっとおっしゃって、先導研究としてやりますということでしたが、GaN についてもパワーデバイスについても SIP や JST でも取り上げたり、基本的にはよく似たような観点で実施したりしています。Si の上ではだめで GaN の基板を開発して縦型でないだめですよとか、NEDO がとってこられた戦略的なことを考えながら、また同じようなことを先導で調査してというのは、世の中

には GaN on Si デバイスで動いているところがあります。ですからむしろ企業のニーズの内容や現状などをよく調査されて、あるいは要求を踏まえてのきちんとしたところをやっていききたいという思いがしますが。

**【間瀬 PM】** おっしゃるとおりだと思っています。この先導研究や SIP の成果は、当然見っていますが、世の中のニーズをしっかりと探っていくというのは、われわれも経済産業省としても意識して、いままさにいろいろな企業にヒアリングを開始し始めているところです。

これを縦型 GaN 一本やりにするのか、横型も含めて少しアプリケーションに寄ったところにするのか、いままさに議論しているところですので、きちんと世の中のニーズに合って、かついままでやっていないところで重要な領域について本格研究を始めていきたいと考えています。

**【堀委員】** 知財の話はずっと考えていくということも最後のほうで非常に大事なことになるというのはもちろんそうですが、いまのレベルの話では、お互いに知らない要素がすごくたくさんあると思います。たとえば平本教授とは個人的にはとても仲がいいのですが、どのような研究をしているのかさっぱり知らない。

これは要するにデバイス専門家とパワエレ専門家があまり仲良くないというか、同席するような場がなかった。たとえば三菱電機社はもちろん両方の専門家を持っていらっしゃるわけですが、中の交流は意外とないかもしれない。世界がどうなっているのか、学会がどうなっているのか、そういうところもパイプはあるのだけれど、実はあまり知らない。私も NEDO に関係していても今日の革新アプリなどは実はあまりよく知らない。だからすごく魅力的に見えたりする。

では何をやればいいのかというと、NEDO がマッチングの場を設けて懇親会を開催する。そういう人のつながりみたいな場をつくることはとても大事かもしれない。そこでダイレクトに人がつながると予想外のことが生まれるようなことになっていきます。きちんとしたほうは NEDO が見ていくといういまの仕組みはとてもいいような気がします。大学の役割もおっしゃってくださって大変うれしいのですが、たぶんそれぐらいしかできないと思いますが、それはたぶんあったほうがよさそうです。

だから割とうまくいっているような気もしますが、でも一番初めの出会いというところが何もないので、気がついたら 65 歳になっていたとか、そういうような感じはあると思います。だからそういうマッチングの場は NEDO の範疇ではないのかもしれないけれども、大事ではないかと思えます。

このような分科会がまさにそうなので、平本教授の研究分野と佐藤 PL や私の研究分野が同じ分科会で意見交換しているというのは、たぶんなかったと思います。そういうところが大事なのではないかと思えます。

**【鈴木分科会長】** ありがとうございました。ちょうど予定の時間がまいりましたので終わりたいと思います。それでは 13 時まで休憩といたします。

(非公開セッション)

#### 6. プロジェクトの詳細説明

省略

#### 7. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

省略

#### 8. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

## 9. まとめ・講評

【堀委員】 SIP プロジェクトと当該プロジェクトとの関係を少し説明されていましたが、結局今日の議論を通じると、共存することによるよいのではないかと思います。当然重複するところも出てくるかと思いますが、ではどっちに集約するかとかあまり考えなくてもいいと思います。

次にメーカー、実施者の方の意見やどう考えているかということは、大変立派な実施者が多いわけですから、そのお考えを聞くことがとても大事ではないかと思います。たぶんこういう趣旨でやっていて、お金をこれだけもらっているのだから、これだけやればいーだろうというものでもなさそうだということをとても感じました。

次も少し大事なことですが、革新的アプリは別として、あとは非常に実用的に近いようなところで開発を実施しています。たとえば最後の 6.5kV の SiC-MOSFET などは、大変興味のある鉄道への応用というところは、本当に喫緊の課題であろうと思います。やはりロードマップはもうちょっと早いほうがいいのではないかと思います。別の言い方をすると、応用面のほうからデバイスへのフィードバックが大切だと思います。つまりいつごろ何を実現したいというところをインフィニオン社に取られたりするのとはとても残念です。実施者には情熱とか競争意識も当然あると思いますので、そのためにはどういふデバイスが必要になって、そのためには何を開発してという逆の方向の計画の立て方もあるのではないかと思います。

ただそれはこういう場をつくっていただいているので言えることであって、たぶんデバイスをずっと開発している方も意識はしておられると思います。そういうことができるようになると、佐藤 PL がよく見ていらっしゃることであり、出口を意識した開発を強化していただければと思います。

【新垣委員】 今日は大変すばらしい成果を聞かせていただきましてありがとうございます。発表されている内容のほとんどが目標値をクリアしており、技術的にはすばらしい成果が得られていることがよくわかりました。

ただ先ほどから話が出ているように、海外メーカーなどは一夜にして M&A で、ないものを手に入れる時代ですので、やはり開発全体のさらなるスピードアップを常に考えていっていただきたいと思います。将来的にこのパワエレが日本の産業競争力を向上させてくれることを期待しています。

【長澤委員】 今日也非常に楽しいお話を聞かせていただきました。特にかなり実用を意識したようなお話が多くて、聞いているほうも SiC に限らず、Si もそうですが、非常にこの先の展開がイメージしやすくなってきたように思います。

ただ今日最初に Si、あるいは SiC がどういうすみ分けになるのだという話があって、私もそんな話をずっとしてきましたが、いままではどちらかと言うとつくった側がデバイスの提示をして、こんなパフォーマンスが出るよというような感じで、お互い SiC は Si を意識してコンピートしてきたようなところはあったのでしょうかけれども、逆にこの先、アプリケーション側がだんだんユーザーとして選定をしていくということで、ここはやはり適材適所みたいなかたちで、それぞれのデバイスのいいところが採用されて淘汰されていくのかなと思いました。

特許の件について先ほども申し上げましたが、やはりこれが国内だけで権利化されても、この先海外に出ているというわけですから、そこはもう海外を意識した出し方をしていくべきではないかと思っただ次第です。

インフィニオン社のお話が出てきて、またしつこいようですが、インフィニオン社のニュースリリースを見ると、やはり SiC で影響力を持つことと、もう一つ私が気になったのは、基板の製造法の多様化に対応するものがリリースされているので、基板のほうはある程度めどがついたという部分もあるのかもしれませんが、インフィニオン社は明らかに 8 インチに走っていくわけで、そこはもう 1 回そこでできりをつけていいのかどうか、そこを考えるべきではないか。

特に 8 インチでコスト競争力を持つことは、かなり怖い部分があるのではないかと。性能で上回っても最終的には汎用品のところ市場を取られていってしまう可能性があるのではないかと思います。それに対応する方法として、いくつか Key Factor for Success のような話もあったかもしれませんが、技術面でこちらが考えていることは向こうも当然考えているわけで、特に CoolMOS (クールモス: ON 抵抗の少ないパワー MOSFET) をつくってしまったような人たちですから、そこは当然技術力では拮抗してくるだろうということを前提として、その先の戦略を考えるべきではないかと感じました。

【河野委員】 今日はずばらしい研究成果を聞かせていただきましてありがとうございます。どの研究についても NEDO として取り組む価値のある研究だと認識しました。しかも研究の進捗も、どのプロジェクトもきちっとやられており、非常に重要なプロジェクトであると認識しました。

一方、進め方ですが、先ほどから出ていますように競争環境にあるということを十分意識しなければいけないということも感じました。特に Si-IGBT は、中身はずばらしいからこそ、これはこれから 3 年間の 2019 年まで開発していく中で外部環境が目まぐるしく変わっていくことが予想されますので、プロジェクトの進め方などは NEDO でも半年ごとに見直しをすると伺いましたが、あと企業のほうでも戦略も含めて半年サイクルで見直ししていくことが非常に重要であると認識しました。

ほかの応用システム開発のほうは 2017 年度までということで、そこから先は実用フェーズになりますが、こちらの中身が非常にすばらしいので、実用フェーズに入ってもこれが活かされるように進めていただければと思います。

今日の応用システムの中で、特に車載電動システムは、ほかのいろいろなプロジェクトの中で中身が実用を非常に意識されていて、内容も戦略も明確できちんとやられて、進め方としてはすばらしいと感じました。

【末光分科会長代理】 大変興味深いお話をたくさん聞かせていただきまして、ありがとうございました。NEDO の評価は何度かさせていただきましたが、今日非常によかったと思うのは、当該プロジェクトが世界の中でどういう立ち位置にあるのかをよく意識されたプレゼンがあって、世界の比較の中でのこのプロジェクトの位置がよくわかってよかったと思います。これは今後ともぜひ心がけていただければと思います。

新しい試みとしてプロジェクト推進委員会を設置する、あるいは動向調査などを取り入れて、それをプロジェクトの中にフィードバックしていくということも非常によかったと思います。惜しむらくはそういったコメント、あるいは調査結果がこのプロジェクトの進捗の中にどういうふうに反映されてきたかがわかると、よりよかったのではないかと思います。

Si の IGBT をプロジェクトに取り込まれたことは、私は NEDO として画期的だと思います。それは今までエネルギーは SiC で行くのだという感じで、どちらかと言うと予定調和的な青写真の上で全部進んできたように思うのですが、そこにあえて Si でどこまで伸ばせるかやってみるのだというものを入れて一石を投げられた。そしてその中で競争してもらおう、コンピートしてかまわないのではないかと大きな発想の転換で、それは非常にいいことではないかと思います。

6 年を 4 年にといった開発の前倒しは、功罪たぶんあると思うのですが、今回はインフィニオン社のこともあってそれがよい方向に働いていると思います。先ほどコメントしましたが、かつて世界のマーケットを席巻していた日本の化合物半導体、特に光ものがもう完全にアメリカに奪われてしまったことは、スピード感を忘れたからです。そういう市場あつての産業であるということも、もちろん皆さんよくわかっていらっしゃるわけですが、今後ともぜひ意識して、細かなマーケット調査、あるいはプロダクトの提供を考えていただいて、急ぐところは急ぐ、もちろんじっくりやるべきところはじっくりやる、そのへんのメリハリをうまくつけていただけたらと思います。

今回改めて思ったことは、NEDO のプロジェクトに大学が参画していることの意義です。もちろん、

たとえば IGBT のシーズを提供してくださった大村教授のような例、これはもちろん本道ですが、それ以外にも大学がグループに入ることによってそのプロジェクト自身、あるいはそのサブグループが何となくコンソーシアム化するという働きがあることを改めて発見して、それは大事なことだと思いました。

一方で、たとえば平本教授のように学生は参画しない、きちっと雇用した職員で責任を持ってやってもらう、これも大学としての NEDO の参画のあり方として非常にすばらしいと思いました。いろいろな大学が NEDO に参画するときのいくつかの大事なヒントをいただいた今日の分科会であったと思います。

また、人材育成をテーマとして標榜されていましたが、それが具体的にどのようなかたちで表れていたかはちょっとわかりませんでしたので、ぜひそれをまた何かの機会にお示しいただければと思います。

**【鈴木分科会長】** 各委員から私も同じような思いを持つところを講評いただきましたが、特にパワーエレクトロニクス、パワーデバイスは、日本の産業上、一番シェアも高く、重要な産業領域であることは皆さんよくご存じだと思います。このところはやはりこれからも日本が世界の中でもシェアを取っていくような方策、戦略が非常に大事だと思います。

今日のお話のいろいろなテーマの中で、大学の先生、企業が皆さん一緒になって熱心にやっておられるのは非常に強い感銘を受け、心強く感じました。実は私はこの Si のテーマに関しては、正直言ってここに来るまではどうなのか、ちょっと聞いてみないとわからないなという思いで来たのですが、今日お話を聞いていて完全にそれは私が間違っていた。やはり Si のパワーデバイス、パワーモジュールで世界トップシェアを取ってきたことは、やはりこれは新しい先をにらんだものを取り入れて、それはキープしていかないといけないのではないか。今日大学の先生が最先端の技術を入れて、トップクラスの企業がそれを取り入れてやっていこうとされているのは、SiC とか GaN とか新しい次の世代のものばかりではなくて、Si も非常に大事にしていかなければいけない。ある意味の私の反省で、これはこれで力を入れてやっていただきたいと思います。

何人かの委員がおっしゃいましたが、やはり SiC とか GaN に関して、これまでは私も他のプロジェクトで少ししかかわりを持ってきましたが、材料からデバイスの発想があって、ではそれをどこに使えるかという発想があって、でももうそれはそういう時代ではなくて、エンドユーザー、使う側のほうからこういうものがほしいから、それを SiC なり GaN なりでどうつくっていいかという、使う側のほうからの観点が非常に大事ではないかと思います。

もう一つは、再三出ていますが、インフィニオン社の話題です。これはもうすでに参画されている大きな企業もいろいろ戦略を練られていると思いますが、やはり非常に大きな影響を与えていると思います。特に SiC のウエハまで押さえられているような状況になってきています。ですからこういう国、NEDO、あるいは全体的なオールジャパンとしての SiC なり GaN、パワエレのプロジェクトなどでもそれは念頭に置いて、放っておいたら全部どんどん取って行かれることがないような戦略が非常に大事ではないかと思います。

とにかく今日委員の方も非常に活発な質疑応答をしていただきまして、私も非常に助かりました。発表の方、企業の方、大学の先生方がそれに対して非常に真摯に答えていただきましてありがとうございました。非常にうまく行っているプロジェクトではないか、前倒しはいろいろあるでしょうけれども、さらにあと 2 年、3 年後に向かって、より充実した計画にしていっていただきたいと思います。

**【都築部長】** 本日は朝から終日でしたが、このプロジェクトの評価に各委員の方、ずっと真摯にいろいろなことに耳を傾けていただきましてありがとうございました。いろいろな叱咤激励をたくさん頂戴したと思っております。そういう中でわれわれもこのプロジェクトをよりよい方向に持っていきたいと思

っています。

世の中の価値観も非常に多元化、多様化しており、そういう中で市場の動向を正しく認識していく、そしてそれに対応するかたちで R&D も見直すところは見直す、それから骨太に進めていくところは進めていくということが非常に重要なのではないかと私もここで座っているいろいろなご指摘を承っていて、強く感じた次第です。

インフィニオン社の話も今日は何度となく話題に上りましたが、どこかしら、ないものが一夜にしてポツと湧いてきたわけではなくて、これは世の中にあったものが、要するに会社の組み合わせが変わったり、組織形態が変わっていったりという中で、もちろんそれによって投入される経営資源のあり方なども大きく変わりうるわけですが、その前には必ずそういう要素がマーケットの中にきちっと存在していたわけです。

今回の話もそういうものだと思っております。そういうところも含めて、先ほど私が申し上げましたが、マーケットを正しく認識すること、それからいろいろなマーケットから出てくるシグナルも正しく認識していくこと、これは何も事業をやっている、企業で言えば事業部の問題ではなくて、R&D をやっていく上でも、アーリーステージからそういうところを強く認識しながら進めていくことが重要だと思っています。

NEDO は研究開発のプレーヤーではなくて、それをサポートする立場ですが、NEDO としてもそういうところに対して意識を高く持って取り組んでまいりたいと思っています。今後ともぜひご指導のほど、叱咤激励も含めてですが、よろしく願いできればと思います。本日はどうもありがとうございました。

【佐藤 PL】 今日午前中から大変長い時間にわたりまして、貴重なコメントをいただきました。どうもありがとうございました。

もうすでにいろいろな方々がおっしゃったことと、私が思っていることはほとんど同じですが、いろいろなかたちでコメントをいただきましたが、これもすごく期待をいただいているような、温かい気持ちのこもったコメントがたくさんありました。今後推進委員会の皆様方と協力しながら、またプロジェクトを盛り立てていきたいと思っており、その糧になったと思って非常にうれしく思っております。

またいろいろな議論を通してパワーエレクトロニクスは結局材料とかデバイス、回路、システム、それからその先に社会があるのでしょうけれども、ちょっとずつ違うレイヤーにあるプレーヤーと一緒にいろいろなことを考えたり、議論をしたりする場が NEDO プロジェクトの一つの機能であることを再認識しました。そういう視点から日本のパワエレが少しでも盛り上がって行くような一助になることを願いながら、今後も続けていきたいと思っております。またご指導のほどをよろしくお願いいたします。本日はどうもありがとうございました。

10. 今後の予定

11. 閉会



## 配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDOにおける研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5-1	事業原簿（公開）
資料 5-2	事業原簿（非公開）
資料 6-1-1	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1-2	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-2	プロジェクトの詳細説明資料 - 成果（非公開）
資料 6-3	プロジェクトの詳細説明資料 - 実用化・事業化（非公開）
資料 7	今後の予定
参考資料 1	NEDO技術委員・技術委員会等規程
参考資料 2	技術評価実施規程

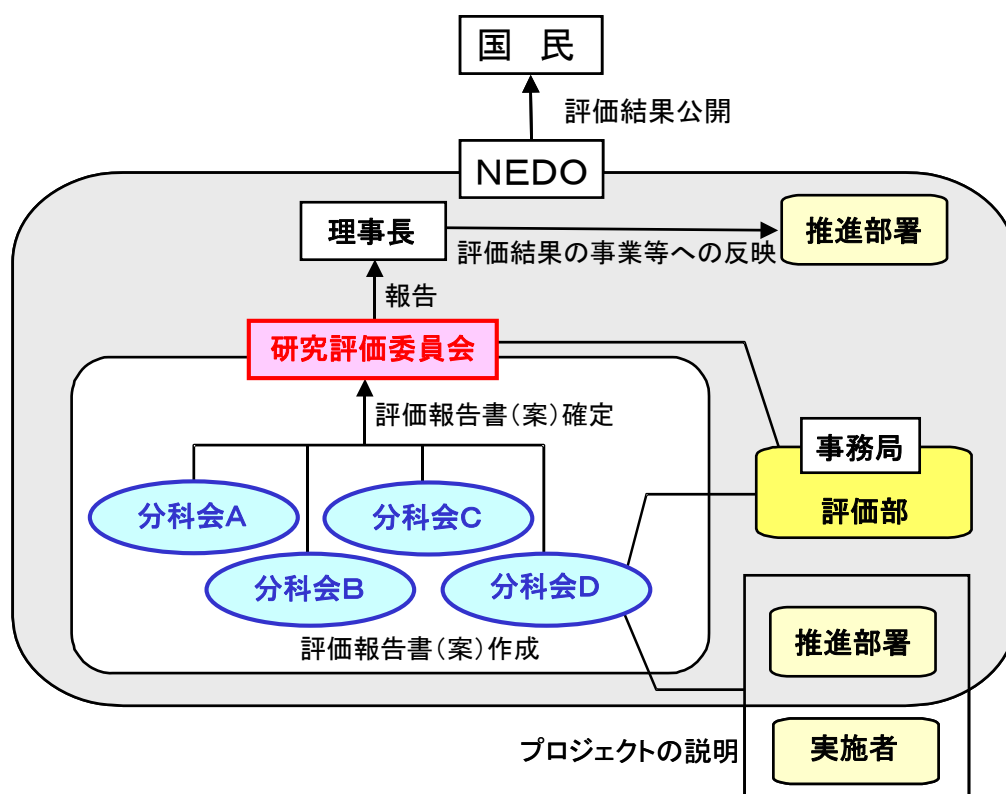
以上

## 参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
  - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
  - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／①（10）、③」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取り組みや見通し等を評価した。

「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／  
①（10）、③」（中間評価）に係る  
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）か。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）

を整備し、かつ適切に運用しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

#### (2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

#### (3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及する取り組みを実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

#### (4) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。

### 4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

#### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することをいう。

#### (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

#### (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・ 実用化・事業化に取り組む者の検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しはあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。



## 「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けての見通し及び取り組みについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### (1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・特定の施策・制度の下で実施する「プロジェクト」の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

### (2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)か。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。【該当しない場合、この条項を削除】

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、企業の取り組みに貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・研究管理法人がある場合、研究管理法人の役割は必要・明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

## 3. 研究開発成果について

### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

### (2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及する取り組みを実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取り組み

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・実用化・事業化に取り組む者の検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しはあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取り組み

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準についての利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

### 参考資料3 評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベンチマークとして単に欧米の国家プロジェクトだけとの比較がされているが、それは国際動向のほんの一端であり、それらを取り巻く産業情勢をより正確に把握しておく必要がある。</li>   <li>・競合相手、特に海外メーカーは <b>M&amp;A</b> で開発期間を大幅に短縮しているので、本プロジェクトにおいても更なる開発スピードの向上が求められる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>2016</b> 年度後半から <b>2017</b> 年度にかけて、海外企業ヒアリングやパワーエレクトロニクス主要学会の参加等を通じ、プロジェクトベースの海外動向のみならず、個別の企業の動向も含めた産業情勢を把握した上で研究開発を行う。また、「<b>SIP/次世代パワーエレクトロニクス</b>」の中で、<b>NEDO</b> 主体で実施する調査事業も活用し、広い情報収集に努める。</li>   <li>・一部のテーマの事業期間を <b>6</b> 年から <b>4</b> 年に短縮するなど、これまでもスピード向上に向けた取り組みを実施。上記情報収集の結果を実施者に定期的にフィードバックすること等により、スピード向上を引き続き検討する。さらに「<b>SIP/次世代パワーエレクトロニクス</b>」と役割分担をはっきりさせ効率的な開発を行うことで実用化までのスピードを加速する。</li> </ul>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>・ <b>SiC</b> パワーエレクトロニクス今後の更なる普及には、応用分野の発掘と拡大が重要である。そのためには <b>SiC</b> ウェハの更なる高品質化、低コスト化も重要な課題である。デバイス自体のコストについては一部企業で検討されているが、全体としてはまだ検討が不十分である。</p>	<p>・ ウェハやデバイスの低コスト化等の普及に向けた課題については、実施者毎に設置している事業部門との会議における議題とし、更なる検討事項を抽出する。なお、「SIP/次世代パワーエレクトロニクス」において、<b>SiC</b> ウェハの更なる高品質化、低コスト化技術の開発を実施していることも踏まえ、更なる施策の必要性は政府全体の活動内容を俯瞰して検討していく。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部  
部長 徳岡 麻比古  
統括主幹 保坂 尚子  
担当 内田 裕

\*研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地  
ミュージア川崎セントラルタワー20F  
TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162