

「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」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
評価概要（案）	2
評点結果	4

はじめに

本書は、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」（事後評価）の研究評価委員会分科会（2020年12月8日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第65回研究評価委員会（2021年3月3日）にて、その評価結果について報告するものである。

2021年3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「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」
分科会
(中間評価)

分科会長 堀 洋一

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
「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」

(事後評価)

分科会委員名簿

(2020年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	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 先端エネルギー 工学専攻／大学院工学系研究科 電気系工学専攻 教授
分科 会長 代理	ながさわ ひろゆき 長澤 弘幸	株式会社CUSIC 代表取締役
委員	あかつ かん 赤津 観	横浜国立大学 工学研究院 知的構造の創生部門 教授
	いしはら のりゆき 石原 範之	みずほ情報総研株式会社 経営・IT コンサルティング 部 デジタル・技術戦略チーム シニアコンサルタント
	たつみ こうへい 巽 宏平	早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 教授
	つちだ ひでかず 土田 秀一	一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所 電気材 料領域 領域リーダー 副研究参事
	わたべ へいじ 渡部 平司	大阪大学 大学院工学研究科 副研究科長／ 物理学系専攻 教授

敬称略、五十音順

「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」

(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総合評価

実用化や事業化のステージが異なる Si、SiC、GaN パワーデバイスのそれぞれについて、内外の技術動向に照らして特に重要度や緊急度が高い研究開発が戦略的に実施されており、パワーエレクトロニクスを支える要素技術であるウェハ、デバイス、実装及び駆動、並びにシステムを包括した事業が行われたことは、当該分野の持続的な発展に向け、人材育成も含めて意義が大きく、NEDO プロジェクトとして高く評価できる。

また、大学間、大学企業間、企業間において上手く連携と役割分担がなされ、指揮命令系統及び責任体制が明確となっており、実施体制は有効に機能したと考えられる。

さらに、本プロジェクトの成果は、国際的にも高いレベルにあり、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、従来技術の延長線上では成し得ない成果を導いたことを高く評価する。

一方で、海外では、明確な事業戦略に基づいた企業買収なども活発化しており、引き続き優位性を確保する為には、当該プロジェクトや SIP パワエレの実績を活かしつつ、継続的な取組が必要であり、新材料の研究開発では、大学等の新規参入機関を上手く取り込む制度設計等の検討も望まれる。

今後は、技術面の優位性のみには頼って国際的な競争力を堅持し続けることが難しくなると予測されるので、例えば、GaN でなくては実現できない大規模応用先の探索や、ビジネスモデルの見直しなども含め、より積極的な事業戦略の策定の働きかけ等を期待したい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

省エネルギー技術の国際的牽引、日本の産業競争力強化を目的としたパワーエレクトロニクスの研究開発は、省エネのコア技術開発や CO2 削減のためには必須の技術であり、今後の需要が大変大きい分野と考えられる。また、材料技術やパワーエレクトロニクス関連技術は、我が国が得意とする分野であり、これらの技術力を十分に発揮することは国際貢献を通じた我が国の同分野におけるプレゼンスを高め、ひいては市場における競争優位性を強めることにもつながると考える。

本事業では、わが国の将来のパワーエレクトロニクス分野の先進性、技術競争力を確保すべき研究開発テーマとして、Si (シリコン)、SiC (シリコンカーバイド)、GaN (窒化ガリウム) という有望パワーデバイスの最も必要とされるポイントに着目し、各々の結晶材料、ウェハ、実装、駆動回路、制御、及びシステムと広い分野に、一貫したテーマ設定がおこな

われたことは、適切であったと考える。

また、今回のパワーデバイスの製作から応用までの研究開発事業範囲は、学術機関だけでは達成できないレベルの事業であり、かつ、アカデミックな研究開発によるブレークスルーも必要な事業であるため、民間と学術機関が協力して事業実施されたことは、NEDO 事業としてふさわしいと評価できる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

新世代 Si パワーデバイス技術開発並びに SiC デバイス応用システム開発では、ウェハ、デバイス、実装および回路の要素技術を包含した研究開発計画が策定され、新材料パワーデバイスの開発では大口径バルク GaN 結晶に関して世界的にも突出したレベルでの目標設定がなされた。また、各研究開発項目とも技術や市場の動向をオンタイムで的確にとらえ、開発テーマの絞り込みがなされており、実用化に結びつく企業競争力の向上につながる適切な目標設定がなされていると考える。

また、委託事業として大学が中核となって実施された新世代 Si パワーデバイス技術開発では、ウェハからデバイス駆動までの将来展開を展望した上で、戦略的な研究が実施され、大口径バルク GaN 結晶の実用化開発では、企業が主体となった助成事業でありつつも大学との共同研究が重要な役目を果たしたことがうかがわれる等、大学間、大学企業間、企業間において上手く連携と役割分担がなされ、指揮命令系統及び責任体制が明確となっており、実施体制は有効に機能したと評価できる。

一方、本事業のアウトカムとして設定していたアプリケーション以外にも、開発成果の恩恵を受ける既存のアプリケーションや想定外の用途も有り得ると考えられることから、今後は、本事業によって得られた技術成果を広くアピールし、想定外のアプリケーションの発掘を進める等、技術成果の活用範囲を広げるフォローアップも検討されることが望まれる。

2. 3 研究開発成果について

次世代 Si-IGBT (絶縁ゲート型バイポーラトランジスター) では、スケールリング効果とデジタルゲート制御の優位性を示し、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では、シンプルかつ斬新なアイデアの優位性を実証するだけでなく、結晶成長技術や周辺回路技術にわたる広い分野の技術力向上が図られ、大口径 GaN 結晶の開発では、SIP 開始時の当初予想を超える成果が得られている。ほぼすべての開発項目において当初の目標は達成され、コスト、低損失化、性能において従来技術の延長線を大きく超える効果が認められ、基本原理から量産技術に至るさまざまな開発項目において革新的な技術成果が得られたことは、評価できる。

今後、大口径 GaN 結晶の開発においては、デバイスメーカーや大学との連携研究を通じて、本研究開発で作製した高品質 GaN 基板の物性や、各種デバイス試作を通じた優位性実証等を通して、その研究開発成果のアピールや周辺技術の知財確保を進めることを期待したい。

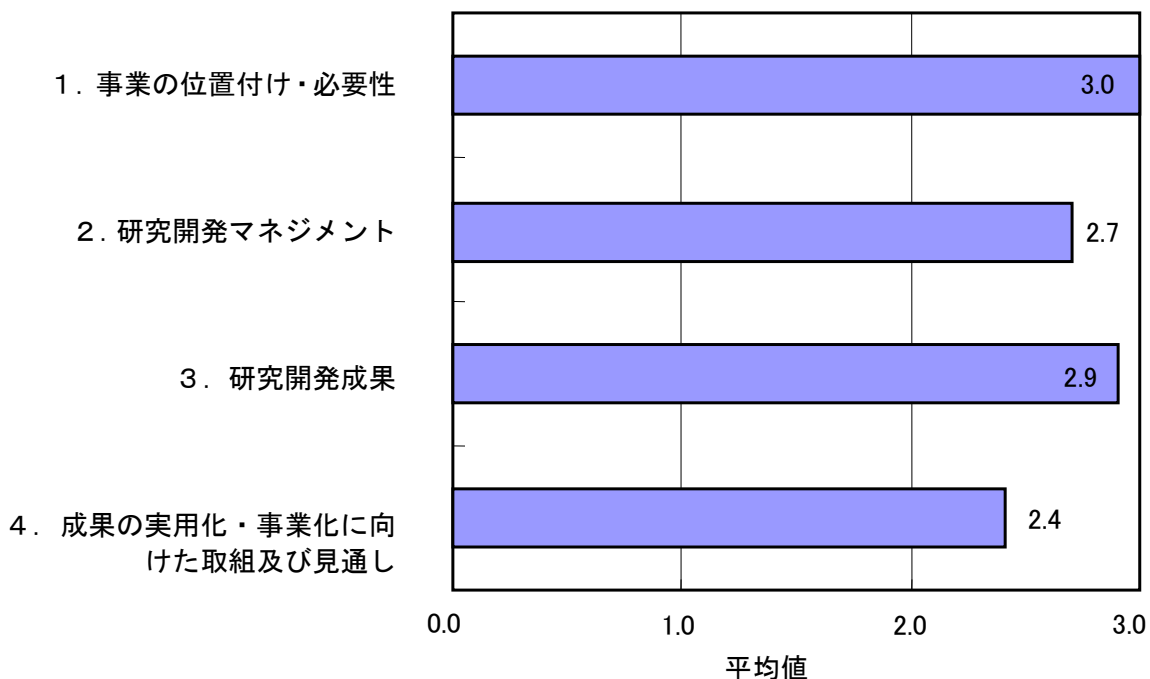
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

いずれのプロジェクトにおいても、市場の発展性を踏まえ、成果の実用化・事業化に向けた戦略は計画段階より明確化されているものが多く、終了時点での事業化に向けたマイルストーンも明示されている。特に、超高効率車載電動システムでは、事業化段階までのマイルストーンも設定され、適用車種選択やメリットの定量化など具体的な取組が進む等、実用化までのステップが綿密に練られており、その過程での波及効果も期待される。また、大型 GaN 単結晶基板の材料事業においても競合技術との優位性を明らかにし、実用化、事業化の見通しも具体化されており高く評価できる。

さらに、産業技術としての適用可能性として品質以外にも低価格化や量産化までのリードタイム短縮、サンプル供給期間短縮等もなされており、台頭する海外勢に対抗するためにも有効な戦略と考えられる。

一方、パワーデバイス市場の成長性は明らかなものであるが、過去における市場予測が実際と少なからず合っていなかった点が認められることから、今後は、本事業を実施する中で得られた様々な知見を加えることで、パワーデバイスやパワーエレクトロニクスの実用化、事業化に向けて、ロードマップの見直しや、コスト面での具体的な課題と将来の課題解決の方向性の整理が進むことを期待したい。

3. 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメント	2.7	A	A	A	A	B	A	B	
3. 研究開発成果	2.9	A	A	A	A	A	A	B	
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し	2.4	A	B	A	A	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

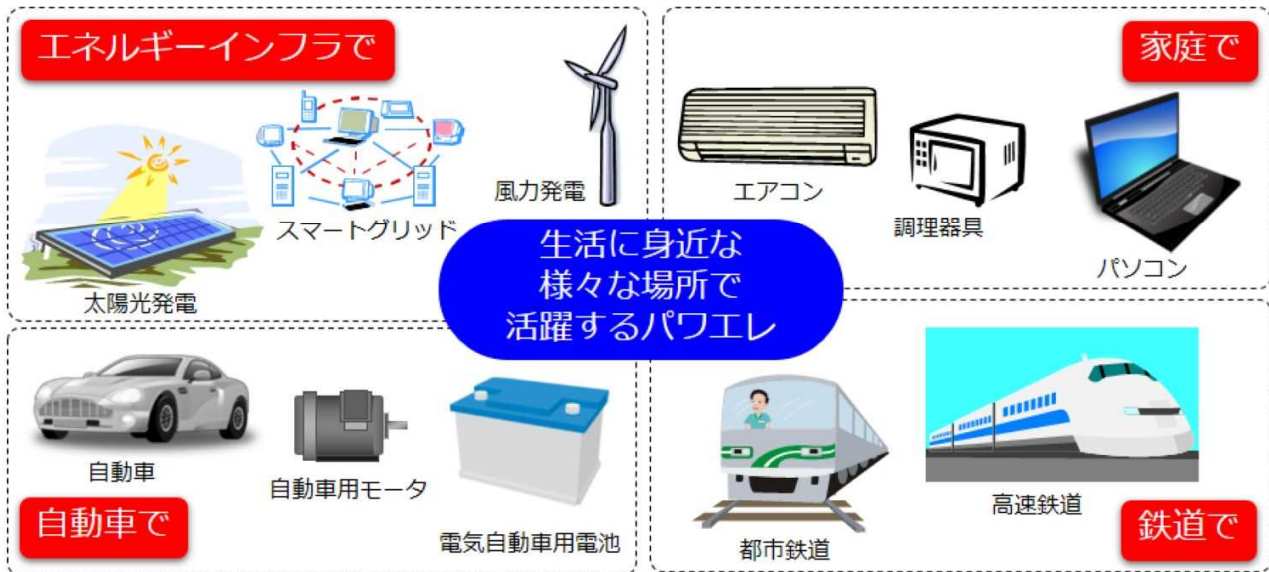
- ・ 非常によい →A
- ・ よい →B
- ・ 概ね適切 →C
- ・ 適切とはいえない →D

4. 成果の実用化・事業化に向けた
取組及び見通しについて

- ・ 明確 →A
- ・ 妥当 →B
- ・ 概ね妥当 →C
- ・ 見通しが不明 →D

◆事業実施の背景と事業の目的

・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**」



【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。

◆政策的位置付け

・ 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、」

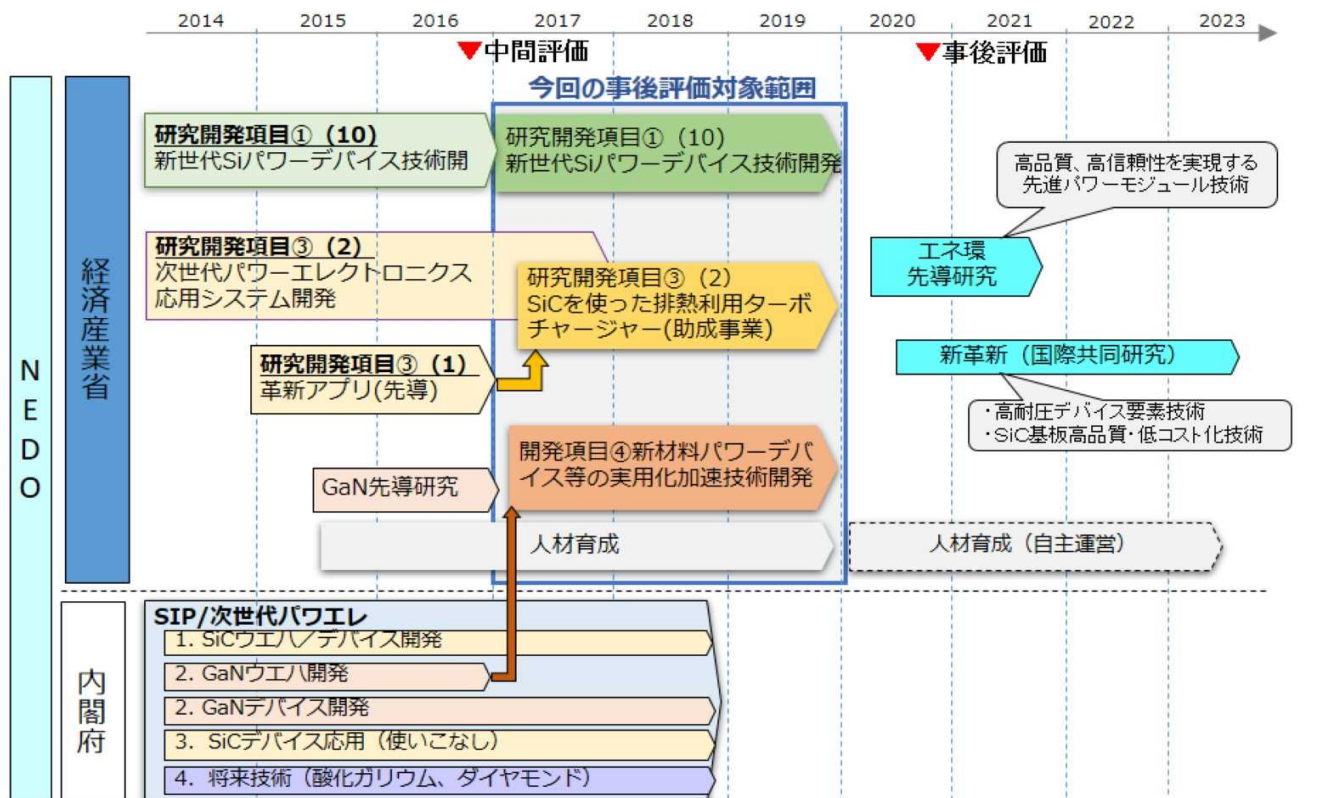
1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

- ✓ 研究開発項目①(1)~(9)、研究開発項目②の2つの事業は既に事後評価完了。
- ✓ 今回の事後評価は、研究開発項目①(10),研究開発項目③,研究開発項目④が対象
→2016年度に中間評価を実施済み

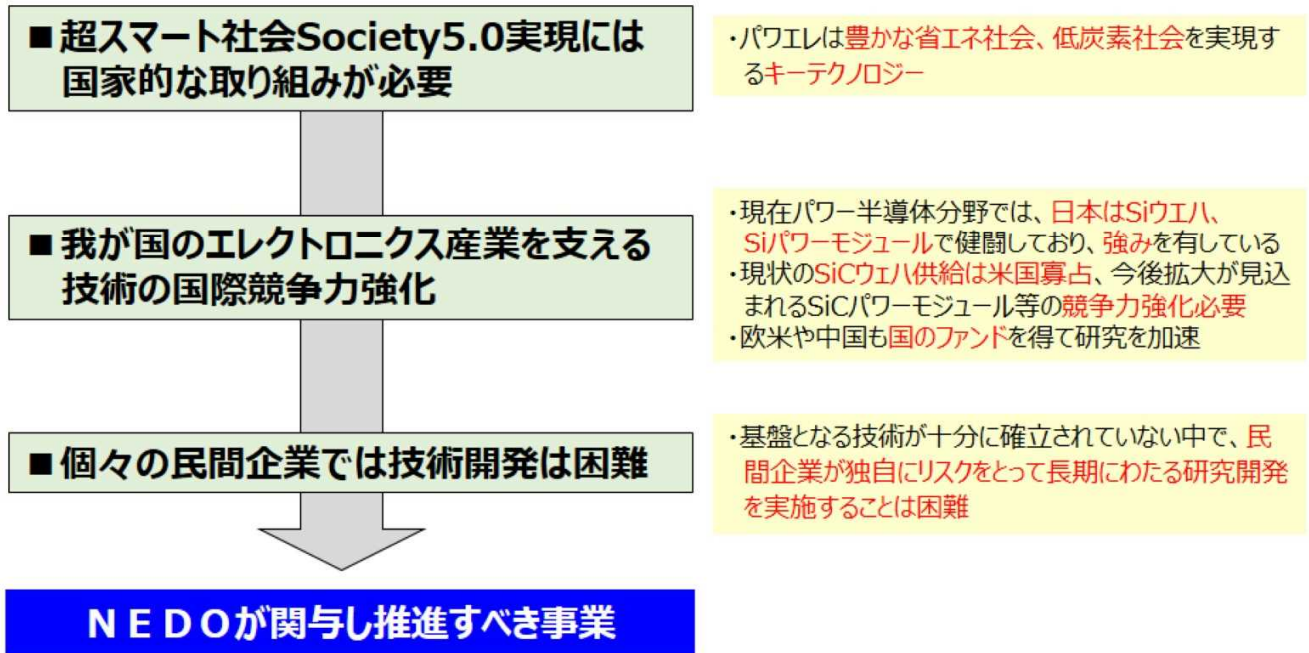
研究開発項目	役割	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
①(1)~(9)	高品質・低コストな大口径SiCウエハ製造技術及びSiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術の確立			中間評価					事後評価				
①(10)	Siの性能限界を突破し、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスの開発							中間評価					事後評価
②	データセンタ用サーバ電源や、データセンタの電力源としての分散型太陽光発電システムにSiCを用いることで、エネルギー損失を飛躍的に削減する技術開発												
③	新材料パワーデバイスを活用したインバータ等の開発とそれらを適用した特定用途応用システムの試作・動作実証							中間評価					事後評価
④	低欠陥新材料(GaN)ウエハの革新的製造技術開発・実証とウエハ大口径化に関する革新的製造技術確立及び新規用途開拓の推進												事後評価

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆ 他事業との関係



事業の目的：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。

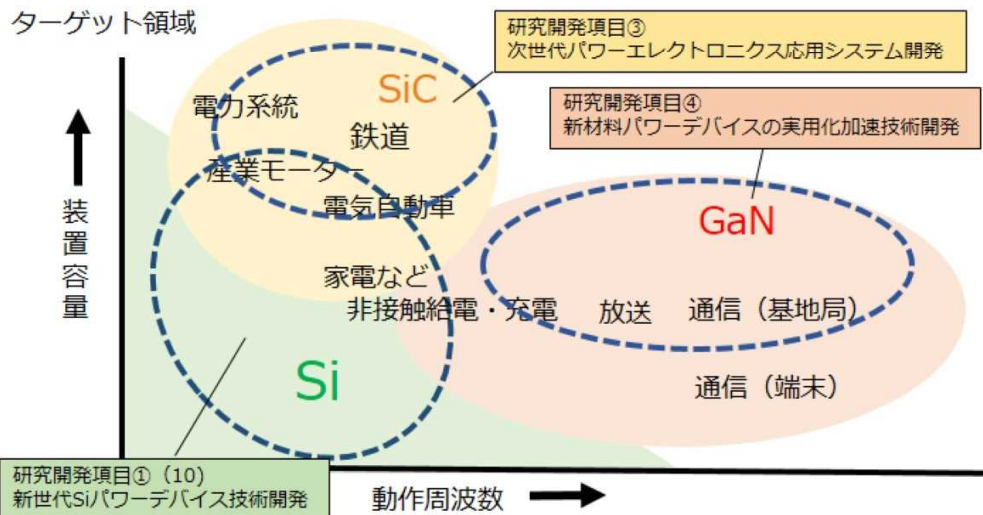


2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆ 事業の目標

材料(Si、SiC、GaN)毎にパワーエレクトロニクス技術の高度化を図る

研究開発項目	目標
① (10) 新世代Siパワーデバイス技術開発	Si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パワーデバイスの開発
③ (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発	SiCパワー半導体モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発を行い、パワーモジュール開発およびシステムの試作、動作実証
④ 新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発	低欠陥新材料(GaN)ウエハの革新的製造技術開発・実証とウエハ大口径化に関する革新的製造技術確立及び新規用途開拓の推進



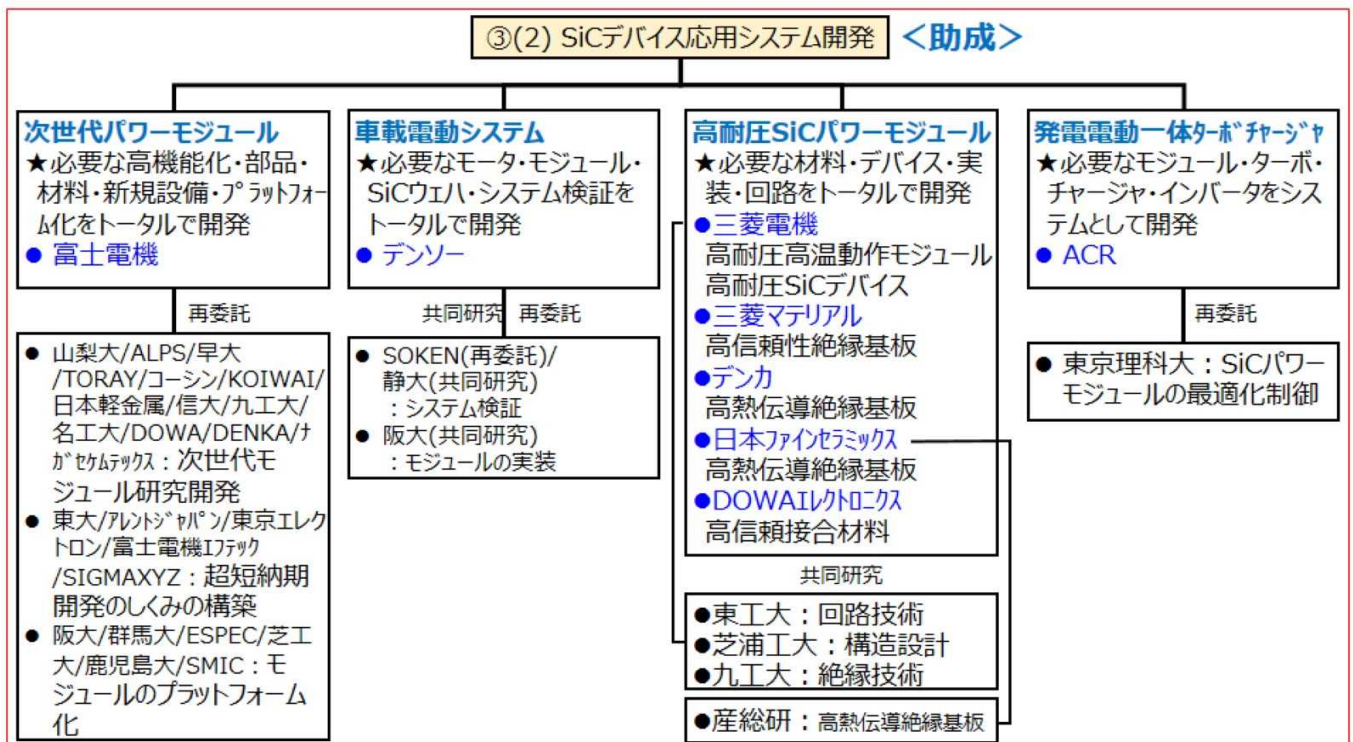
◆ 研究開発項目① (10) の実施体制

- 「新世代IGBT試作WG」と「ドライブ回路技術WG」で研究開発を実施
- 各WGには、**製造メーカーが参加し**、実用化に向けての検討を実施



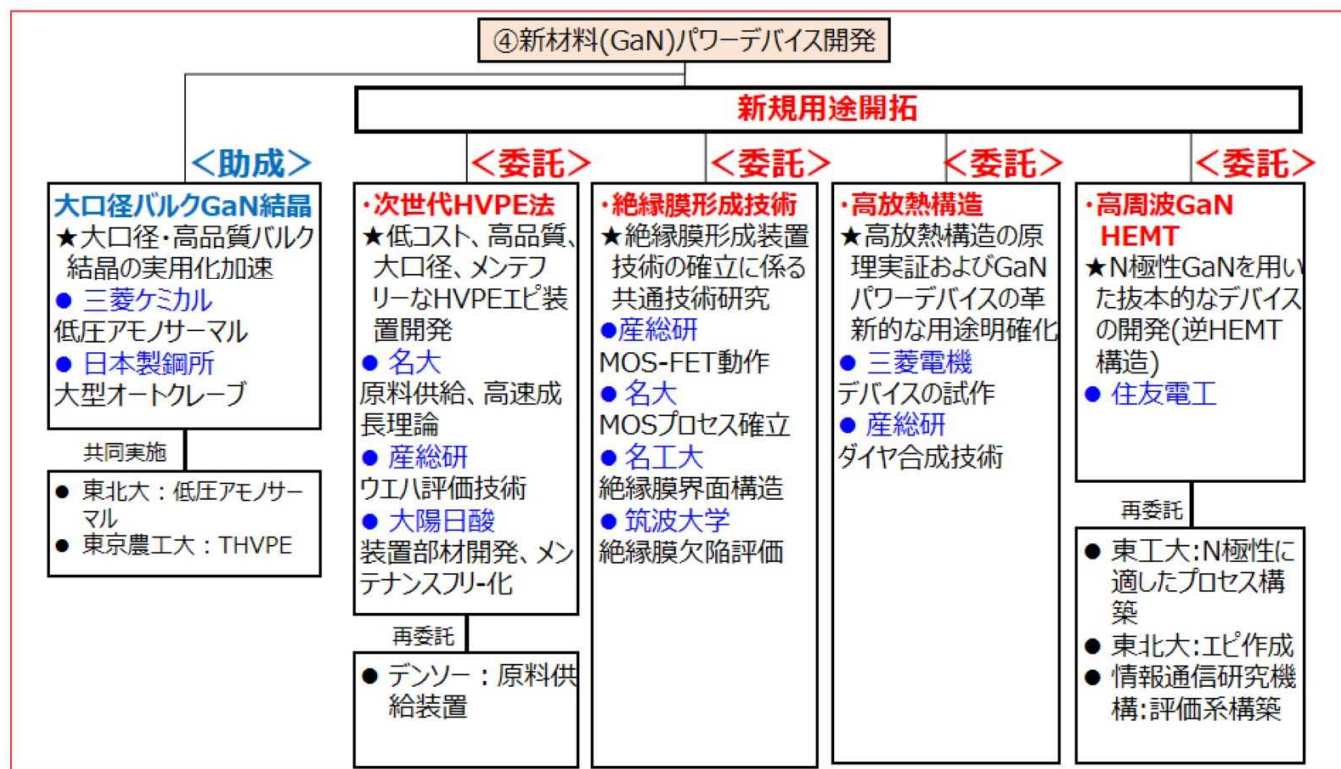
◆ 研究開発項目③ (2) の実施体制

- 材料からシステムまでの**トータル開発**で、早期事業化を目指す体制



◆ 研究開発項目④の実施体制

● 新材料(GaN)ウエハの実用化加速<助成>と新規用途開発<委託>の両輪体制



◆ プロジェクト費用

(百万円)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	合計
研究開発項目① (10) 新世代Siパワーデバイス (Si-IGBT) <委託>	857	740	680	400	400	329	3,406
研究開発項目③ (2) 応用システム開発 (SiC)	次世代パワーモジュール <モジュール> <助成>	531	789	489	447	-	2,256
	車載電動システム <システム> <助成>	69	493	384	278	-	1,224
	高耐圧SiCパワーモジュール <モジュール> <助成>	671	667	363	495	-	2,196
	発電電動一体ターボチャージャー <システム> <助成>	-	-	-	70	40	140
研究開発項目④ 新材料 (GaN)							
④(1) <助成> 大口径バルクGaN結晶	-	-	-	177	173	110	460
④(2) 新規用途開拓 <委託> (4テーマ合計)	-	-	-	164	137	80	381
その他 (GaN先導研究、調査、人材育成、革新アプリ)	32	258	263	23	30	25	631
合計	2,159	2,947	2,179	2,054	780	574	10,694

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>

テーマ	2014	2015	2016	2017	2018	2019
【新世代IGBT試作WG】 新世代Si-IGBTと 応用基本技術の研究開発 【ドライブ回路技術WG】	高耐圧PINダイオード試作▽ IGBT(k=3)設計・試作・評価▽ ノイズモデル構築▽	ドライブ回路設計▽	IC/モジュール試作・評価▽ 統合▽	高耐圧3kV IGBT設計・試作・評価▽ IGBT(k=5)設計・試作・評価▽ ドライバICを用いた動作実証 モジュール▽ インバータ▽	連続運転▽	

研究開発項目③ (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発 <助成>

テーマ	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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	アダプティブインターフェイス技術の検討・開発▽		各分野への適用検証▽	新システムによる次世代モジュール開発▽		
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	モータ/モジュール/ウエハの要素技術の検討▽		要素技術の試作・確認▽	車両搭載実験▽	当初6年の計画を4年に期間短縮	
高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発	基本仕様検討▽	主回路設計▽	モジュール試作動作検証▽	連続動作試験▽	当初6年の計画を4年に期間短縮	
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			先導研究③(1)→	SiCモジュール/インバータ/一体のターボチャージャ一次試作▽	二次試作▽	システム評価▽

研究開発項目④ (1) パワーデバイス用新材料ウエハの革新的製造技術の開発 <助成>

テーマ	2014	2015	2016	2017	2018	2019
パワーエレクトロニクス用大口径バルクGaN結晶の実用化開発	研究環境整備▽	内閣府SIPにて推進		2in結晶成長▽	4in結晶成長▽	6inオートフレイブ設計▽

研究開発項目④ (2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進 <委託>

テーマ	2014	2015	2016	2017	2018	2019
新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進		①次世代HVPE法(共通基板技術/成膜技術)		装置 成長 立上▽ 実験▽	装置 成長 改良▽ 実験▽	大口 成長 径化▽ 実験▽
・成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術		②絶縁膜形成技術(共通基板技術/成膜技術)		プロセス解析▽		試作・動作実証▽
・大容量高周波無線通信デバイス技術などの要素技術開発		③高放熱構造(共通基板技術/放熱技術)		GaN on ダイア検討▽	デバイス 設計・試作▽	評価・検証▽
・革新的な用途開拓に関する可能性検証		(可能性検証/用途開拓)		市場調査▽	コンポーネント 要求仕様▽	デバイス 要求仕様▽
		④高周波GaN HEMT(要素技術/高周波無線)		基礎検討▽	開発・設計▽	構造最適化▽

◆プロジェクトとしての成果の概要

研究開発項目	目標	成果の概要
①(10)新世代Siパワーデバイス技術開発<委託>	Si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パワーデバイスの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・世界初、5V(従来15V)駆動の高耐圧(3kV)Si-IGBT試作し、デジタルゲート制御により特性改善を達成 ・スケールアップIGBTコンセプトの連続性を確認 ・5kW 3相インバータの連続運転し、産業用実用化クラス変換器を実証
③(2)次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発<助成>	SiCパワー半導体モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発を行い、パワーモジュール開発およびシステムの試作、動作実証	<ul style="list-style-type: none"> ・新材料パワーデバイスを用いたSiCパワーモジュールとインバータ等を開発し、特定用途の応用システムを実証(産業機器、EV、トラック、等)
④ 新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発<助成/委託>	低欠陥新材料(GaN)ウエハの革新的製造技術開発・実証とウエハ大口径化に関する革新的製造技術確立及び新規用途開拓の推進	<ul style="list-style-type: none"> ・4インチGaNウエハについて品質、コスト、量産性を兼ね備えた革新的製造技術を開発 ・6インチ用大型オートクレーブについて目標を上回る設計を提案 ・新材料パワーデバイスの新規用途開拓に必要な要素技術、基盤技術を開発等



・パワーエレクトロニクス技術の高度化により、事業の目的である**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**に貢献

◆研究開発項目毎の目標の達成状況と主な成果と意義

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>

テーマ	目標	主な成果と意義	達成度
新世代Si-IGBTと 応用基本技術の 研究開発	<中間(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	<ul style="list-style-type: none"> ・縦型MOSFETと新構造縦型IGBTを試作 →チャネル移動度>300cm²/Vs達成 →従来比2倍以上の電流密度達成 ・3kV以上耐圧のダイオード特性確認 	○
	<最終(2019年度末)> 大電流パワーモジュールの試作と産業用実用化クラス変換器実証、スケールアップIGBTコンセプトの連続性を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・世界初、5V(従来15V)駆動の高耐圧(3kV)Si-IGBT試作し、デジタルゲート制御により特性改善を達成 ・5kW 3相インバータの連続運転し、産業用実用化クラス変換器を実証 ・k=5 IGBT基本セル試作、スケールアップIGBTコンセプトの連続性を確認 <p>【意義】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界に先駆けて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た。 ・ゲート駆動電圧をロジック回路レベルに低減し、デジタルゲート制御を導入することで、AI制御を可能とするパワエレ2.0への道筋をつけた。 	○

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目③ (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発 <助成>

テーマ	目標	主な成果と意義	達成度
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	<中間 (2016年度末)> 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の要素技術開発	・パワー密度:1000kVA/L ・製品コスト:約30%減達成 ・モジュールの新たな試作工法により サンプル供給期間1/4に短縮を実現 ・試作モジュールの安定動作を実証	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用製品の動作実証	【意義】 ・SiCモジュール応用製品の普及拡大	○
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	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開発の要素技術開発	・100kwクラスのシステムでJC08モード実車走行時、PCU損失1/3を実現可能なレベルの損失低減効果を実証	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用システムの動作実証	【意義】 ・実用化可能なレベルであることを実証	○
高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発	<中間 (2016年度末)> 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開発の要素技術開発	・耐圧6.5kV、出力密度が当社同耐圧Siモジュール比2倍以上のSiCパワーモジュールを達成 ・試作モジュールの安定動作を実証	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用製品の動作実証	【意義】 ・SiCモジュール応用製品の普及拡大	○
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	<最終 (2019年度末)> 低速トルク(吸気圧力)の大幅アップと高速域での燃費向上の達成と、実用化可能なレベルであることの実証	・低速トルクアップ(吸気圧力100kpa) ・車両燃費改善効率率5%の実現 【意義】 ・実用化可能なレベルであることを実証	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目④ (1) パワーデバイス用新材料ウエハの革新的製造技術の開発 <助成>

テーマ	目標	主な成果と意義	達成度
パワーエレクトロニクス用大口径バルクGaN結晶の実用化開発	<最終 (2019年度末)> ・貫通転位密度1000個/cm以下 の4インチ単結晶の実証 ・6インチ用φ240mm大型 オートクレーブの設計提案	・貫通転位密度1000個/cm以下を達成 ・6インチ結晶成長オートクレーブの設計提案目標を引き上げ、達成 【意義】 ・品質、コスト、量産性を兼ね備えた革新的な製造技術、我が国のパワエ技術の国際的な競争力向上に寄与	◎

研究開発項目④ (2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進 <委託>

テーマ	目標	主な成果と意義	達成度
新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進 ・成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術 ・大容量高周波無線通信デバイス技術などの要素技術開発 ・革新的な用途開拓に関する可能性検証	<最終 (2019年度末)> ・開発した共通基盤技術の実用化見通しの明確化 ・新材料パワーデバイスを動作検証し、Si、SiC等と比較した競争優位性の明確化 ・革新的用途に関する要求仕様と実現可能性の明確化	・縦型GaNの低価格化に寄与する、次世代HVPEエピ成長法を開発 ・絶縁膜/GaN界面にチャンネル形成するデバイス構造の絶縁膜形成プロセス確立 ・世界初、基板とダイアの常温直接接合でGaN on ダイヤモンドデバイス作製に成功 →共通基盤技術の実用化見通し明確化 ・低抵抗/大電流特性のN極性GaNトランジスタ(逆HEMT)の試作・動作検証 → Siに対する競争優位性を確保する全ての目標指標を達成 【意義】 ・革新的用途開拓に関する実現可能性を明確化、国際的な競争力向上に寄与	○

◆成果の普及

- **世界初**を含む多くの成果を新聞/国内外の学会で発表
- IEEE Trans.(6件)を含む多くの論文が掲載された
- 試作品を展示に出展して、成果をアピール

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
論文	0	0	8	10	13	17	48
研究発表・講演	0	13	50	71	67	74	275
受賞実績	0	0	0	4	3	5	12
新聞・雑誌等への掲載	0	0	2	4	5	4	15
展示会への出展	0	4	9	2	4	2	21

※2020年9月1日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

- 知財戦略に基づき、**100件以上の特許**を出願
 - 外国特許出願は**20件**
 - 強力な基本特許を出願済み
 - 材料やプロセスはノウハウとして秘匿
- 標準化
 - モジュール実装仕様の**標準化**に向けてJEITAへ提案済み

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
国内特許出願	13	18	27	27	6	0	2	93
外国特許出願	0	0	2	15	3	0	0	20
Total	13	18	29	42	9	0	2	113

※2020年9月1日現在

概 要

	最終更新日	2020年11月11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、研究開発項目③(2)次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発及び研究開発項目④新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発)	プロジェクト番号	P10022
担当推進部/ PMまたは担当者	<p>IoT 推進部/ 主査(PM) 野村 重夫 (2017年11月～2020年3月) 主査(PM) 柚須 圭一郎(2017年1年～2017年10月) 主査(PM) 間瀬 智志 (2014年4月～2016年12月)</p> <p>主査 池田 光 (2019年4月～2020年3月) 主査 高橋 晋 (2018年12月～2020年3月) 主査 直島 康浩 (2016年11月～2018年11月) 主査 岡本 直樹 (2016年4月～2019年3月) 主査 大西 一三 (2016年4月～2017年6月) 主査 山本 興輝 (2014年4月～2016年2月) 主査 杉山 五美 (2014年4月～2016年10月)</p>		
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パワーモジュールや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。 具体的には以下の研究開発を行う。</p> <p>【研究開発項目①(10)】 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。低欠陥ウェハー技術、スケールアップ技術、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。</p> <p>【研究開発項目③(2)】 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、実装技術等の開発を行う。開発した技術を適用した新材料パワーモジュールの開発や開発したモジュールを適用したシステムの試作、動作実証等を行う。</p> <p>【研究開発項目④】 低欠陥で、パワーデバイスに供する新材料ウェハー実現のための革新的製造技術を開発する。また、低コスト化を実現するためのウェハーの大口径化に関する革新的製造技術を開発する。新たな用途開拓を見据えて、その実現に必要な技術に関して下記の研究開発を実施する。</p> <p>①新材料パワーデバイスの実用に即した成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術の開発 ②大容量高周波無線通信デバイス技術などのIoT社会を実現するための要素技術開発 ③新材料パワーデバイスの社会実装に向けた将来の革新的な用途開拓に関する可能性の検証</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</p>		

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。

2. 研究開発マネジメントについて

<p>事業の目標</p>	<p>【研究開発項目①(10)】 (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>(2019 年度末) 2016 年度末までに動作させた新世代Siパワーデバイスとゲートドライブ IC を組み合わせたプロトタイプモジュールを作成し、産業用実用化クラス出力(例えば 10kW)の変換器実証運転を行う。また、パワーデバイスとしては、低欠陥ウェハー技術、スケーリング技術等の新構造化技術等の高度化を図り、スケーリングコンセプトの連続性を確認する。</p> <p>【研究開発項目③(2)】 <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> (次世代パワーモジュール) 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新材料パワーモジュールを開発し、SiC パワーモジュールの事業化と SiC パワーモジュールを搭載したパワエレ機器の事業化に繋げる。</p> <p>(車載電動システム) 試作した SiC パワーデバイスを用いた新電動システムを実車に搭載し、実走行での動作を確認、システム制御上の課題抽出を実施するとともに、モード走行相当の走行時の電動損失を実測し、燃費向上効果を定量化する。</p> <p>(高耐圧 SiC パワーモジュール) 新規に開発した部材および高耐圧 SiC パワーデバイスを組み込んだ高出力密度・高耐圧パワーモジュールを試作し、定格容量でもモジュールとしてのスイッチング動作を実証する。</p> <p><2019 年度末> (発電電動一体ターボチャージャ) SiC デバイスを用いた IPM 及び発電電動機一体ターボチャージャの性能/耐久評価を行い、実用化可能であることを実証する。また、発電電動機と SiC デバイス組み込みインバータをエンジンに取り付け耐久評価を実施して実用性を実証する。これらを通して、本システムが低速トルク大幅アップと高速域での燃費向上を達成でき、かつ実用化可能なレベルであることを実証する。</p> <p>【研究開発項目④】 <2019 年度末> (大口径バルク GaN 結晶) 貫通転位密度 1,000/cm²以下、口径4インチ以上の単結晶を実現し、当該結晶を用いたデバイス品質のウェハー作成プロセスを生産性の高い方法で確立する。上記新材料を用いた口径6インチの単結晶実現のための製造技術を確立する。</p> <p>(新規用途開拓) ① 開発した共通基盤技術について、実用に即した性能評価を行い、実用化の見通しを明確化 ② 要素技術を実装した新材料パワーデバイスを試作・動作検証し、Si、SiC等の他材料のデバイスと比較した競争優位性の明確化 ③ 新材料パワーデバイスの革新的な用途に関して、具体的かつ定量的な要求仕様及びその実現可能性の明確化</p>
--------------	--

主な実施事項		H26fy (FY2014)	H27fy (FY2015)	H28fy (FY2016)	H29fy (FY2017)	H30fy (FY2018)	H31fy (FY2019)		
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(2)	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							
		高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発							
		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							
	研究開発項目 ④	③(1)革新的アプリケーション開発 (6 テーマ)				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			
パワーデバイス用新材料ウェハの革新的製造技術の開発									
		新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進							
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H26fy (FY2014)	H27fy (FY2015)	H28fy (FY2016)	H29fy (FY2017)	H30fy (FY2018)	H31fy (FY2019)	総額	
	一般会計	-	-	-	-	-	-		
	特別会計 (需給)	2,159	2,947	2,179	2,054	780	574	10,694	
	開発成果促進財源	-	-	-	-	-	-		
	総予算額	2,159	2,947	2,179	2,054	780	574	10,694	
	(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 情報産業課							
	プロジェクトリーダー	千葉大学 佐藤之彦 教授							

	<p>委託先 (委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)</p>	<p>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、国立大学法人横浜国立大学、北九州市、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</p> <p>研究開発項目③(2) 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、東京エレクトロニクス株式会社、DOWA メタルテック株式会社、日本軽金属株式会社、ナガセケ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、東京エレクトロニクス株式会社、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)、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)、日本ファイナ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、株式会社ACR(共同研究先:学校法人東京理科大学)</p> <p>研究開発項目③(1)(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> <p>研究開発項目④ 委託先:三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、住友電気工業株式会社(共同研究先:国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東北大学、国立研究開発法人情報通信研究機構)、国立大学法人名古屋大学(再委託先:株式会社デンソー)、太陽日酸株式会社、国立大学法人名古屋大学、国立大学法人名古屋工業大学、国立大学法人筑波大学</p>
<p>情勢変化への対応</p>		<p>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」の追加を行った。さらに 2017 年度からは、「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」と「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」について当初6年の計画を4年に期間短縮し、実用化・事業化を加速した。また、大口径・高品質バルク GaN 結晶の実用化加速を行うため、内閣府SIP/次世代パワーエレクトロニクスより開発テーマを移管するとともに、GaN 先導研究を受け、研究開発項目④として「新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発」の国プロを新規に追加した。</p> <p>知財戦略の見直しを行い、海外における特許出願も積極的に実施した。</p> <p>各種国際学会(ECSCRM/ICSCRM, ECCE, APEC, 等)にも積極的に参加(12回)し、材料・デバイス・モジュール・応用の各分野に渡って研究開発の最新動向の調査を行い、米国・中国等の研究開発の動向を踏まえ、各種ウェハー技術、デバイス技術、ドライブ技術、モジュール技術の目標設定や目標の妥当性確認等に活用した。さらに、SiC や GaN などの新材料パワエレに関する応用を推進できる人材の底上げを狙った人材育成事業についても、業界/参加企業の要請を受け、関東・関西に加え名古屋地区での開催を追加するとともに、事業終了後の継続性を維持するために、e-ラーニング教材の作成や書籍化を含む各種取り組みを行い、結果として自主運営に切替え有料での講座を開設し、業界/参加企業からは大変好評だった人材育成の取り組みを継続した。</p>
<p>中間評価結果への対応</p>		<p>主な指摘事項は3件あり、各指摘に対する対応を以下に示す。</p> <p>①ベンチマークとして単に欧米の国家PJ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</p> <p>【対応】海外PJ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った結果、目標の見直し等に繋がった。また、各種調査事業も活用し幅広い情報収集に努めた。さらに、パワエレシンポジウムにて応用分野から見たパワエレへの期待を実施者とも共有し、研究や事業化を加速した。</p>

		<p>②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 PJ においても更なる開発スピードの向上が求められる</p> <p>【対応】Si-IGBT テーマでは、原理検証ができたことを受け、早期事業化を促し、企業の事業計画に反映した。一部のテーマの事業期間を 6 年から 4 年に短縮するなど、これまでもスピード向上に向けた取組を実施した。新材料 GaN ウェハテーマは、要素技術開発に目途が付いた段階で内閣府 SIP から経産省-Pj に移管し、実用化を強力に助成する体制とした(2017 年度) さらに、2018 年末に予算前倒し等を行うとともに、6 インチ結晶成長オートクレープの設計提案目標を引き上げ、量産化を加速した。</p> <p>③SiC パワエレの今後のさらなる普及には、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</p> <p>【対応】低コスト化等の普及に向けた課題は、実施者毎の事業部門との会議等にて更なる検討を行い、低コスト化に繋げた。SiC モジュールのサンプルを潜在顧客に提供し、応用分野の発掘を推進した。また、NEDO 調査事業で新材料ウェハのコストトレンドも調査した。</p>
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(令和 2 年度) 事後評価実施
3. 研究開発成果について		<p>【研究開発項目①(10)】</p> <p><2016 年度末></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 <p><2019 年度末></p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界初、5V(従来 15V)駆動の高耐圧(3kV)Si-IGBT 試作し、デジタルゲート制御により特性改善を達成した。 ・スケールリング IGBT コンセプトの連続性を確認した。 ・5kW 3 相インバータの連続運転し、産業用実用化クラス変換器を実証した。 <p>【研究開発項目③(2)】</p> <p><2016 年度末></p> <p>(次世代パワーモジュール)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(車載電動システム)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(高耐圧 SiC パワーモジュール)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p><2017 年度末></p> <p>(次世代パワーモジュール)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パワー密度:1000kVA/L、製品コスト:約 30%減の SiC パワーモジュールを開発した。 ・モジュールの新たな試作工法により、サンプル供給期間 1/4 に短縮を実現した。 <p>(車載電動システム)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・100kw クラスのシステムで JC08 モード実車走行時、PCU 損失 1/3 を実現可能なレベルの損失低減効果を実証した。 <p>(高耐圧 SiC パワーモジュール)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・耐圧 6.5kV、出力密度が当社同耐圧 Si モジュール比 2 倍以上の SiC パワーモジュールを達成した。 <p><2019 年度末></p> <p>(発電電動一体ターボチャージャ)</p>

	<p>・試作部材を用いて、発電電動機一体ターボチャージャによる排熱回収システムを構築した。</p> <p>・発電電動機と SiC デバイス組み込みインバータをエンジンに取り付け耐久評価を実施して低速トルクアップ(吸気圧力 100kpa)と車両燃費改善効率 5%を実現した。</p> <p>【研究開発項目④】 <2019 年度末> (大口径バルク GaN 結晶)</p> <p>・独自の低圧アモナーマル法を用いて、貫通転位密度 1000 個/cm²以下、4 インチの単結晶育成に成功した。</p> <p>・量産化に向けた低圧アモナーマル法による 6 インチ結晶成長オートクレーブの設計提案目標を引き上げ、達成した。</p> <p>(次世代 HVPE 法)</p> <p>・縦型 GaN の低価格化に寄与する、次世代 HVPE エピ成長法を開発した。 <外部原料供給装置を開発による原料を連続供給、高速回転による高速成長></p> <p>・2 インチ以上、成長速度 0.5mm/h、厚さ 1mm 以上の実現可能性を実証した。</p> <p>・縦型 HEMT デバイス耐圧 1000V 相当の不純物レベルを達成し、高耐圧用途向けデバイスの実用化の見通しを明確にした。</p> <p>・試作デバイスの動作実証を行い、本研究のエピ成長法の有用性を示した。</p> <p>(絶縁膜形成技術)</p> <p>・GaN パワーデバイスの性能と信頼性に大きな影響を及ぼすゲート絶縁膜にフォーカスして、1)MOS 形成プロセス確立、2)MOS 構造の界面、絶縁膜の欠陥評価、3)MOSFET の動作実証を行って最適プロセス条件を確立した。</p> <p>・独自の絶縁形成装置を開発するとともに、界面準位密度 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ と良好な界面を達成し、縦型 GaN パワーデバイスやパワー IC の絶縁膜形成技術の実用化の見通しを得た。</p> <p>(高放熱構造)</p> <p>・世界初、基板とダイヤモンドの常温直接接合で GaN on ダイヤモンドデバイス作製に成功した。 <従来の GaN on SiC デバイスと比較して約4割の温度低減を実現></p> <p>・実用に即した伝導率、製膜速度、面内均一性の目標を達成し、実用化の見通しを得た。 ※上記により、GaN の特長(高周波、高出力)が活きる革新的用途に関する要求仕様と実現可能性の明確化を行った。 ※上記の開発した3つの共通基盤技術(HVPE 法、絶縁膜形成技術、高放熱構造)の実用化見通しを明確化した。</p> <p>(高周波 GaN-HEMT)</p> <p>・低抵抗/大電流特性の N 極性 GaN トランジスタ(逆 HEMT)の試作・動作検証を行った。</p> <p>・Si/SiC デバイスに対する競争優位性を確保する各数値目標を達成した。 ※上記により、Si/SiC デバイスに対する競争優位性の明確化を行った。</p>						
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="464 1541 756 1547">投稿論文</td> <td data-bbox="756 1541 1428 1547">「査読付き」48 件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="464 1547 756 1554">特 許</td> <td data-bbox="756 1547 1428 1554">「出願済」113 件(うち国際出願 20 件)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="464 1554 756 1541">その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td data-bbox="756 1554 1428 1541">研究発表・講演 275 件、新聞雑誌等への掲載 15 件、展示会への出展 21 件、受賞実績 12 件</td> </tr> </table>	投稿論文	「査読付き」48 件	特 許	「出願済」113 件(うち国際出願 20 件)	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演 275 件、新聞雑誌等への掲載 15 件、展示会への出展 21 件、受賞実績 12 件
投稿論文	「査読付き」48 件						
特 許	「出願済」113 件(うち国際出願 20 件)						
その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演 275 件、新聞雑誌等への掲載 15 件、展示会への出展 21 件、受賞実績 12 件						
4. 実用化・事業化 見通しについて	<p>【研究開発項目①(10)】<東芝、三菱電機(共同実施先)></p> <p>・22-23 年度に新世代 Si-IGBT の事業化を目指す。</p> <p>【研究開発項目③(2)】 (次世代パワーモジュール)<富士電機></p> <p>・顧客最適化による性能最大化を図った製品を目指し、社内製品に搭載して 20 年度から販売を開始した。</p> <p>(車載電動システム)<デンソー></p> <p>・搭載車両を決定し、SiC パワーモジュールを 25 年、車載電動システムを 28 年の実用化予定。 ガス成長法による低コスト SiC ウェハは 25 年量産予定。</p> <p>(高耐圧 SiC パワーモジュール)<三菱電機></p> <p>・6.5kV パワーモジュールについてユーザーとともに採用システムを探索中。</p> <p>(発電電動一体ターボチャージャ)<ACR></p> <p>・大手トラックメーカーと目標値の共有化と実用化を検討し、24 年販売開始予定。</p> <p>【研究開発項目④】</p>						

	<p>(大口径バルク GaN 結晶) <三菱ケミカル> ・6 インチサイズの GaN 単結晶基板のサンプル販売を 1 年前倒し、23 年度に始める。</p> <p>(次世代 HVPE 法) <大陽日酸> ・本事業終了後も量産化に向けた改善技術の開発を継続し、23 年度目途に量産化を行う。</p> <p>(高放熱構造) <三菱電機> ・まずは 24 年度を目途に、小型化・高出力化が強く求められるレーダー用途に適用し、その後、価格、市場性を見たうえで 25 年度以降、順次民生向け展開を図る予定。</p> <p>(高周波 GaN-HEMT) <住友電工> ・量産に向けた技術開発を継続し、23 年から製造部門の技術立上げを行うと共に、製品としての増幅器開発を行い、26 年頃から製品適用する。</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	<p>2014 年 5 月 改訂(研究開発項目①(10)の追加)</p> <p>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)</p> <p>2015 年 9 月 改訂(根拠法の追加等)</p> <p>2017 年 1 月 改訂(研究開発項目①(10)の延長及び研究開発項目④の追加)</p> <p>2018 年 3 月 改訂(研究開発項目④の対象範囲の変更)</p> <p>2020 年 2 月 改訂(プロジェクトリーダーの担当範囲の誤記訂正、及び西暦表記への変更)</p>