

# 「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)、③- (2)、④

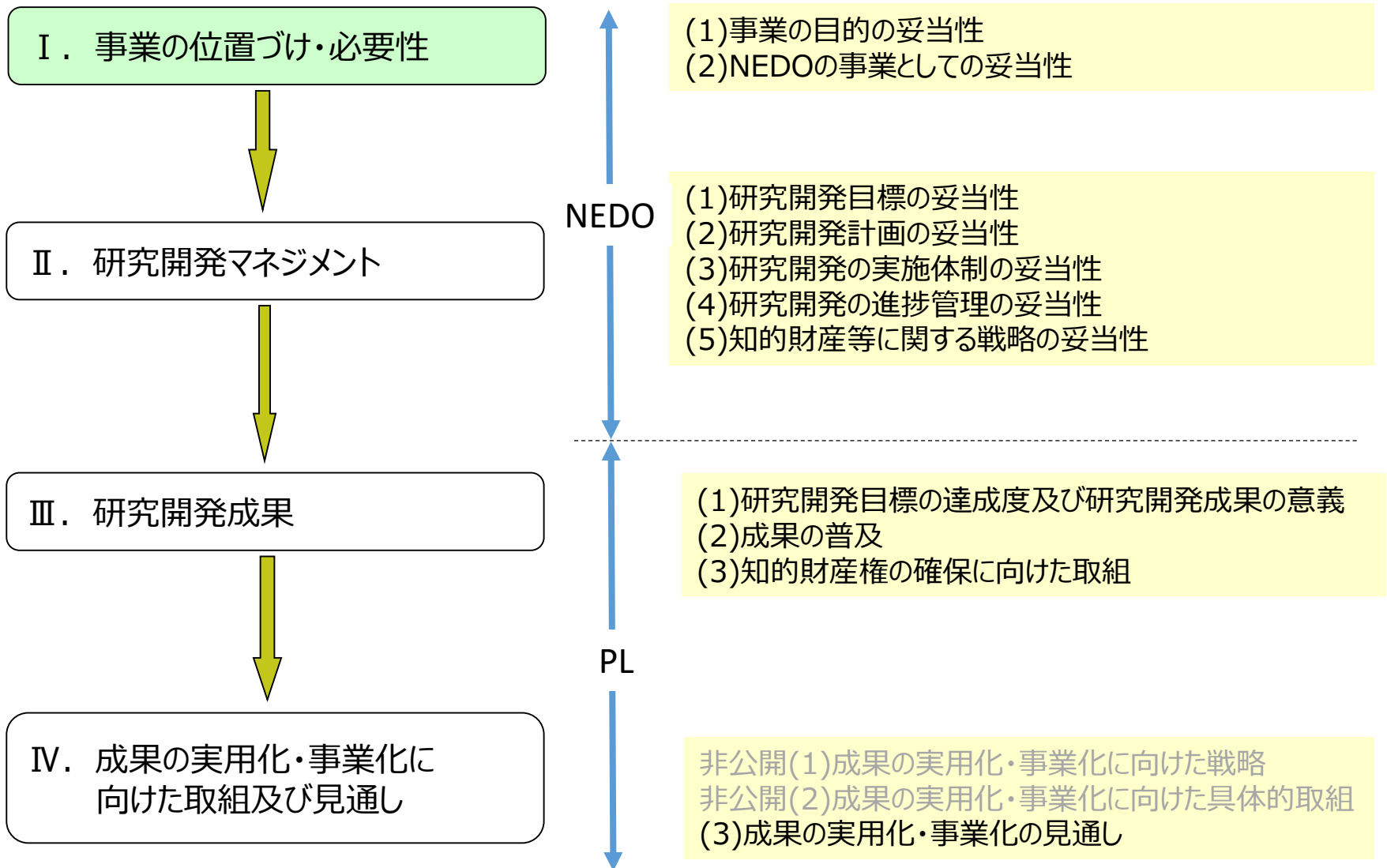
(2014年度～2019年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

IoT推進部

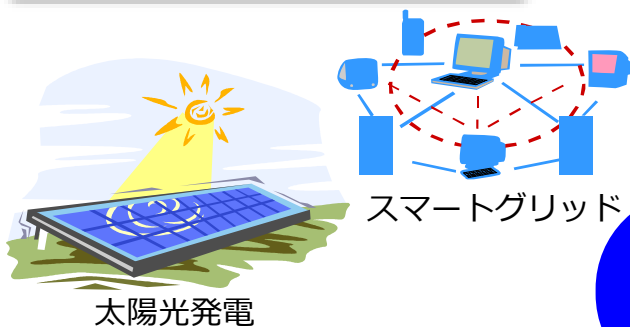
2020年12月8日



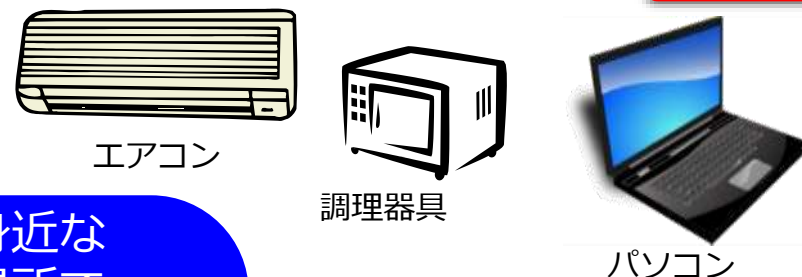
## ◆事業実施の背景と事業の目的

- ・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**」

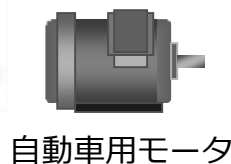
### エネルギーインフラで



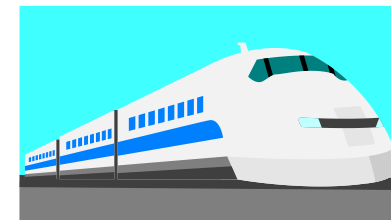
### 家庭で



生活に身近な  
様々な場所で  
活躍するパワエレ



### 自動車で



### 鉄道で

### 【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

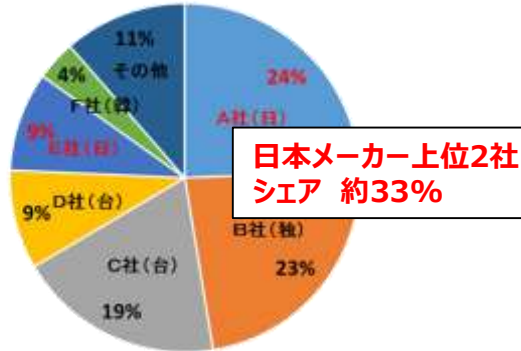
「革新的デバイスでは、モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する超低損失パワーデバイス（SiC、GaN等）、・・・を推進し、」

# 1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

- 現在パワー半導体分野では、日本はSiウエハ、Siパワーモジュールで健闘しており、強みを有している
- 現状のSiCウエハ供給は**米国寡占**、今後拡大が見込まれるSiCパワーモジュール等の競争力強化必要

## ウエハー

パワー半導体用Siウエハのメーカーシェア  
(2018年実績):1650億円



Si

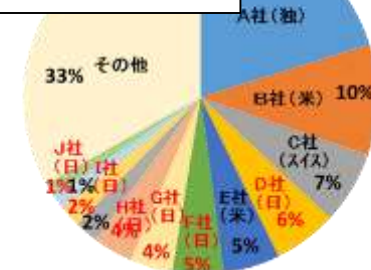
※ほとんどがSiで一部WBG半導体を含む

出所:「Status of the Power Electronics Industry Market and Technology Report 2019」(Yoledevelopment, 2019)を基にNEDO作成(2019)

## デバイス

パワーデバイスのメーカーシェア  
(2018実績):1.7兆円(パワーIC除く)

**日本メーカー上位5社  
シェア 約20%**

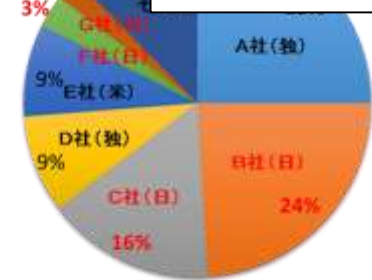


出所:「2019年版次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望」(富士経済、2019)を基にNEDO作成(2019)

## モジュール

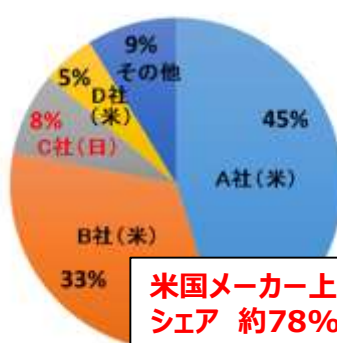
パワーモジュールのメーカーシェア  
(2018実績):4,080億円

**日本メーカー上位4社  
シェア 約45%**



## ウエハー

SiCウエハのメーカーシェア  
(2018年実績):137億円

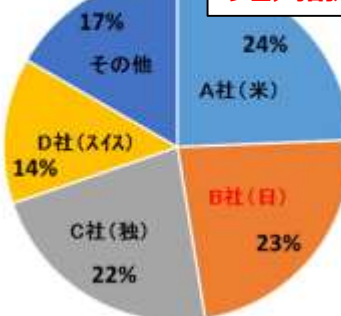


SiC

## デバイス

SiCデバイスのメーカーシェア  
(2018年実績):390億円

**シェア拮抗**



出所:「2019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」(富士経済、2019)を基にNEDO作成(2019)

# 1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

## ◆ 国内外の研究開発の動向と比較

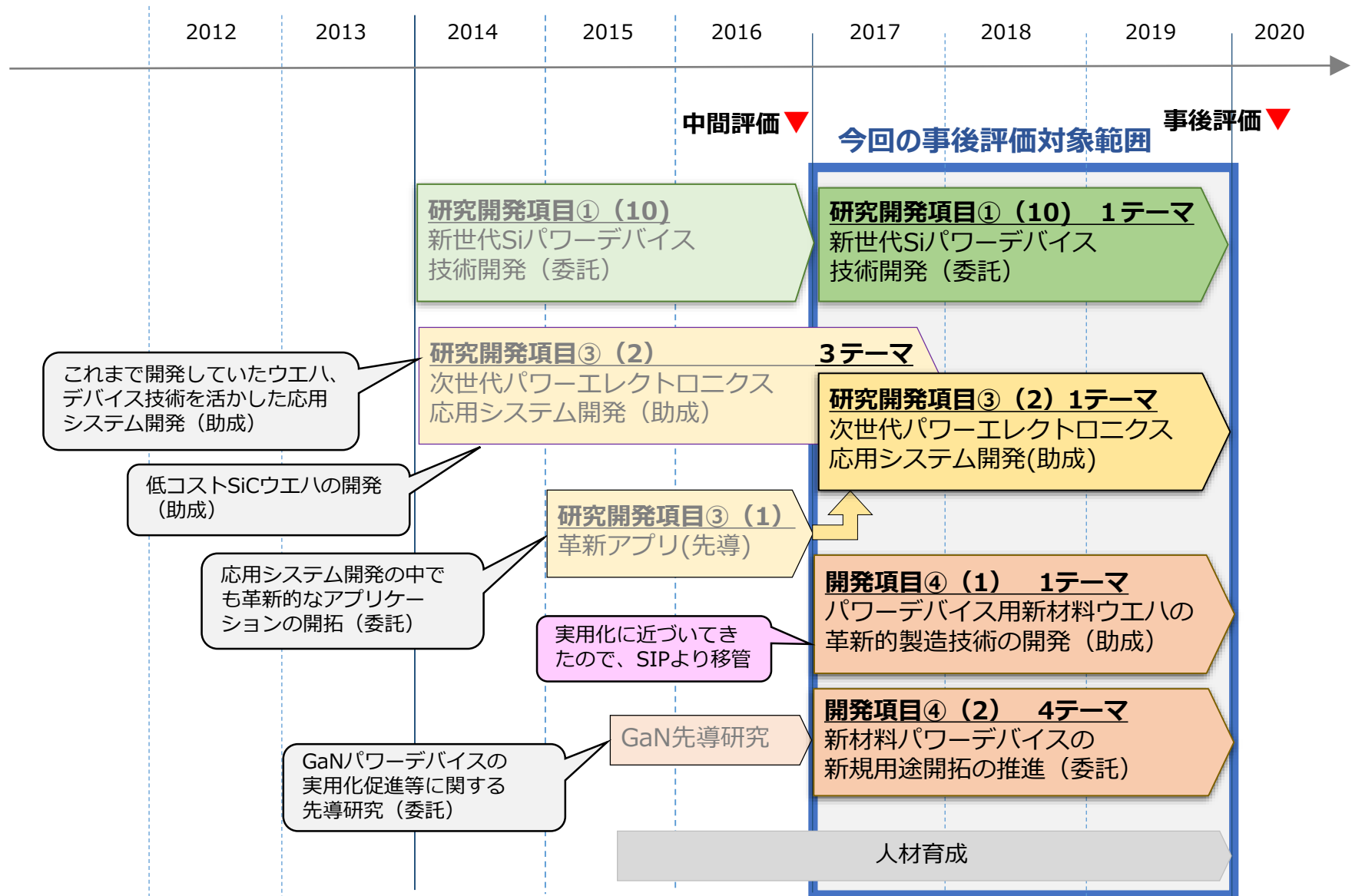
● 米国、欧州、中国は、パワーエレクトロクス分野の国家的な開発投資を継続的に進めている。

タイトル	概算予算	内容	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21~	
日本 SIP パワエレ	110億	・SiC/GaN基盤技術 ・将来技術	5年								
日本 METI パワエレ	110億	・SiC応用、極限Si ・GaN実用化	6年								
米国 Power America	73.5億 (158億)	・SiC製造プロセス ・垂直統合型 ・人材育成		5年+a							
米国 NY-PEMC	142億 (525億)	・6インチSiC量産 ・ファンダリー型	5年								
米国 SWITCHES	33.6億	・GaN基板・デバイス ・SiC、ダイヤモンド	6年								
米国 PNDIODES	17.9億	・GaNイオン注入 ・GaNゲート絶縁膜			4年						
欧州 SPEED	15.3億	・SiC基板/エピ ・高耐圧SiCデバイス	4年								
欧州 Win SiC4AP	4.96億 (33.5億)	・SiCインバータ ・市場導入				3年					
欧州 REACTION	12.4億 (62億)	・SiC 8インチ パイロットライン					3.5年				
中国 先端SiC	31億	・EV用モータ・充電器 (SiC使用)				3年					

(1\$=¥105, 1€=¥124, 1RMB=¥15.69として換算)



# 1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性





# 1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

## 今回の事後評価の対象範囲：

「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」の内、下記3つの研究開発項目が今回の事後評価の対象範囲となる。

### ● 既存の強みを高めつつ、次世代パワエレでも世界に打ち勝つ「3本柱」の事業を展開

#### 研究開発項目①-(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

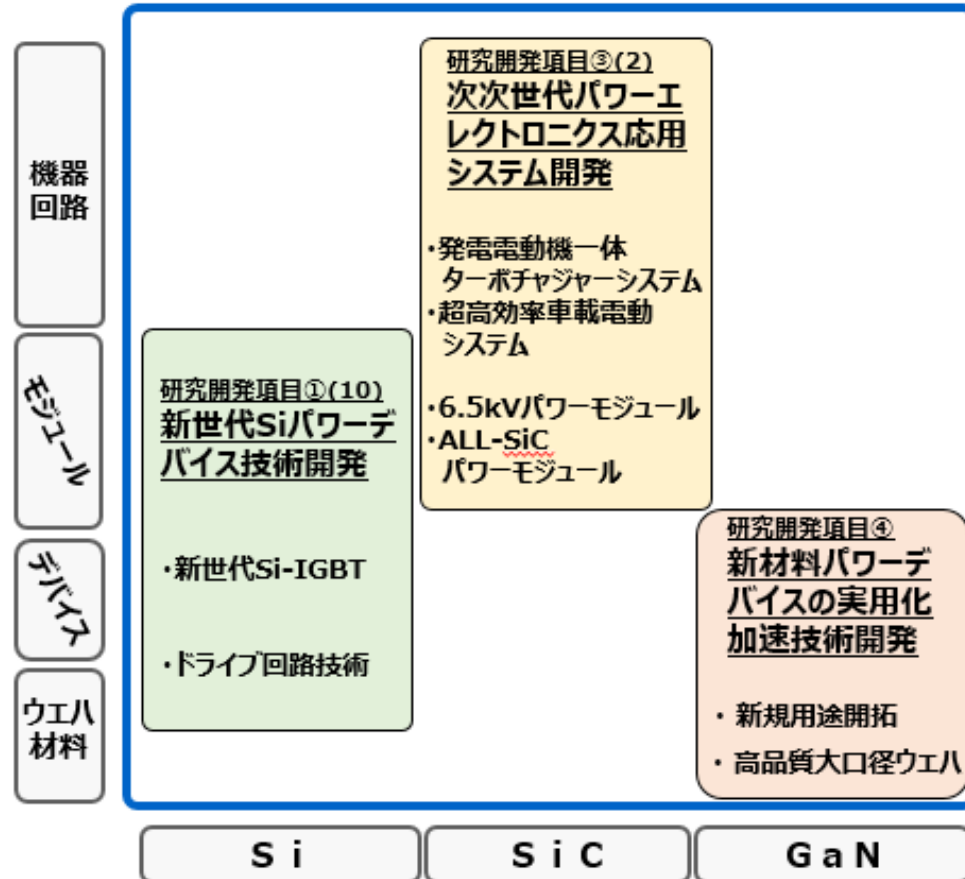
Siの性能限界を突破し、新世代Siパワーデバイスを開発する。また、高速スイッチングを可能にするゲートドライバやスイッチング技術等を開発する。

#### 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

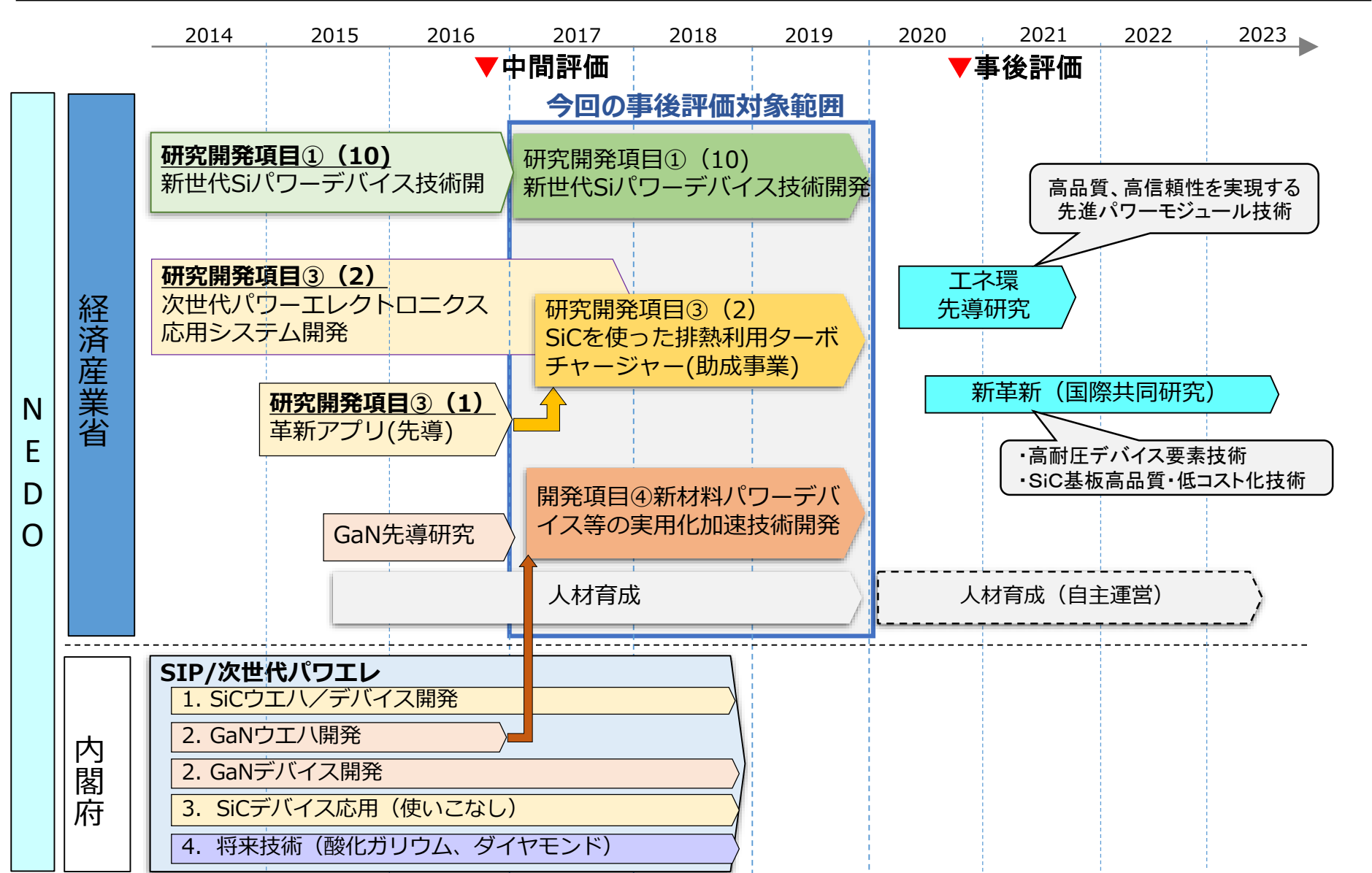
SiCパワー半導体モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発を行いパワーモジュール開発およびシステムの試作、動作実証等を行う。

#### 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

大口径バルクGaN結晶の高品質・低コスト化技術開発。新たな用途開拓を見据えて、共通基盤技術開発および要素技術開発を推進。



# ◆ 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。

■ 超スマート社会Society5.0実現には  
国家的な取り組みが必要

■ 我が国のエレクトロニクス産業を支える  
技術の国際競争力強化

■ 個々の民間企業では技術開発は困難

**N E D O が 関 与 し 推 進 す べ き 事 業**

・パワエレは**豊かな省エネ社会、低炭素社会**を実現する**キーテクノロジー**

・現在パワー半導体分野では、**日本はSiウエハ、Siパワーモジュール**で健闘しており、**強み**を有している  
・現状の**SiCウエハ供給は米国寡占**、今後拡大が見込まれる**SiCパワーモジュール等の競争力強化必要**  
・欧米や中国も**国のファンド**を得て研究を加速

・基盤となる技術が十分に確立されていない中で、**民間企業が独自にリスクをとって長期にわたる研究開発を実施することは困難**

## ◆アウトカム

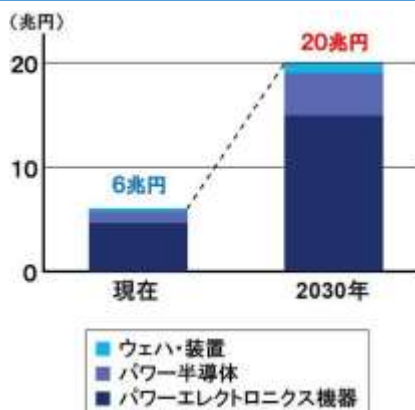
### CO<sub>2</sub>削減効果

- 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

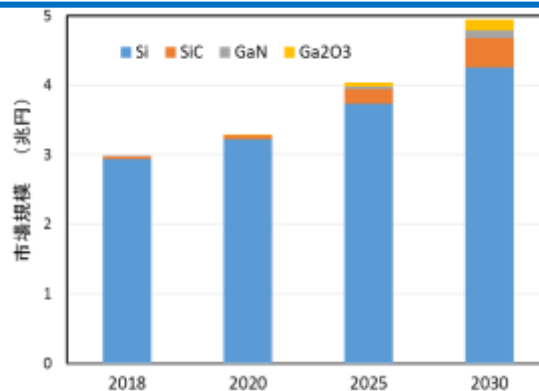
### 経済効果

- パワエレ関連市場は、2030年に20兆円に拡大の見込み。
  - SiCデバイス市場も、2030年に4000億円超へ拡大の見込み。
- ※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

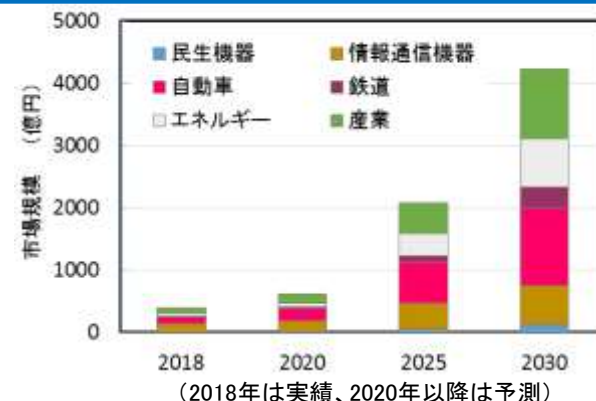


パワエレの世界市場規模

【出典】平成25年9月13日  
第114回総合科学技術会議 資料5



(2018年は実績、2020年以降は予測)  
パワーデバイス市場予測



(2018年は実績、2020年以降は予測)  
SiCデバイスの適用分野別の市場予測

出典:「2019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」  
(富士経済、2019)を基にNEDO作成(2019)

## ◆実施の効果（費用対効果）

### プロジェクト費用の総額

・2014年度～2019年度事業費計： 107億円

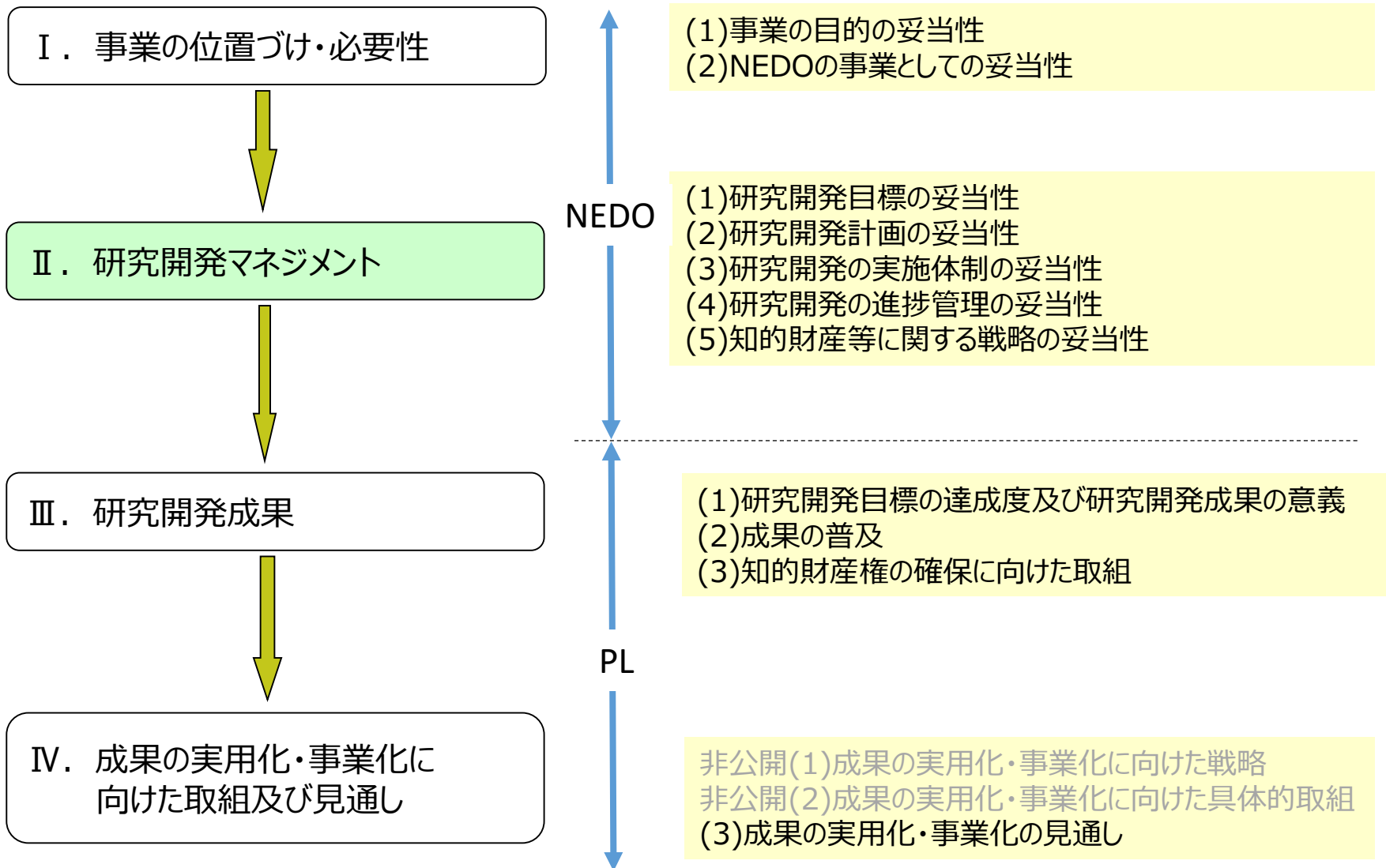
### 売上予測（2030年）

- ・パワエレ関連市場： 4兆円（20兆円市場の20%獲得）
- ・SiCデバイス市場： 860億円（4300億円市場の20%獲得）

### CO<sub>2</sub>削減効果(2030年)

- ・パワー半導体の高度化により、CO<sub>2</sub>排出量1,515万トン削減

※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

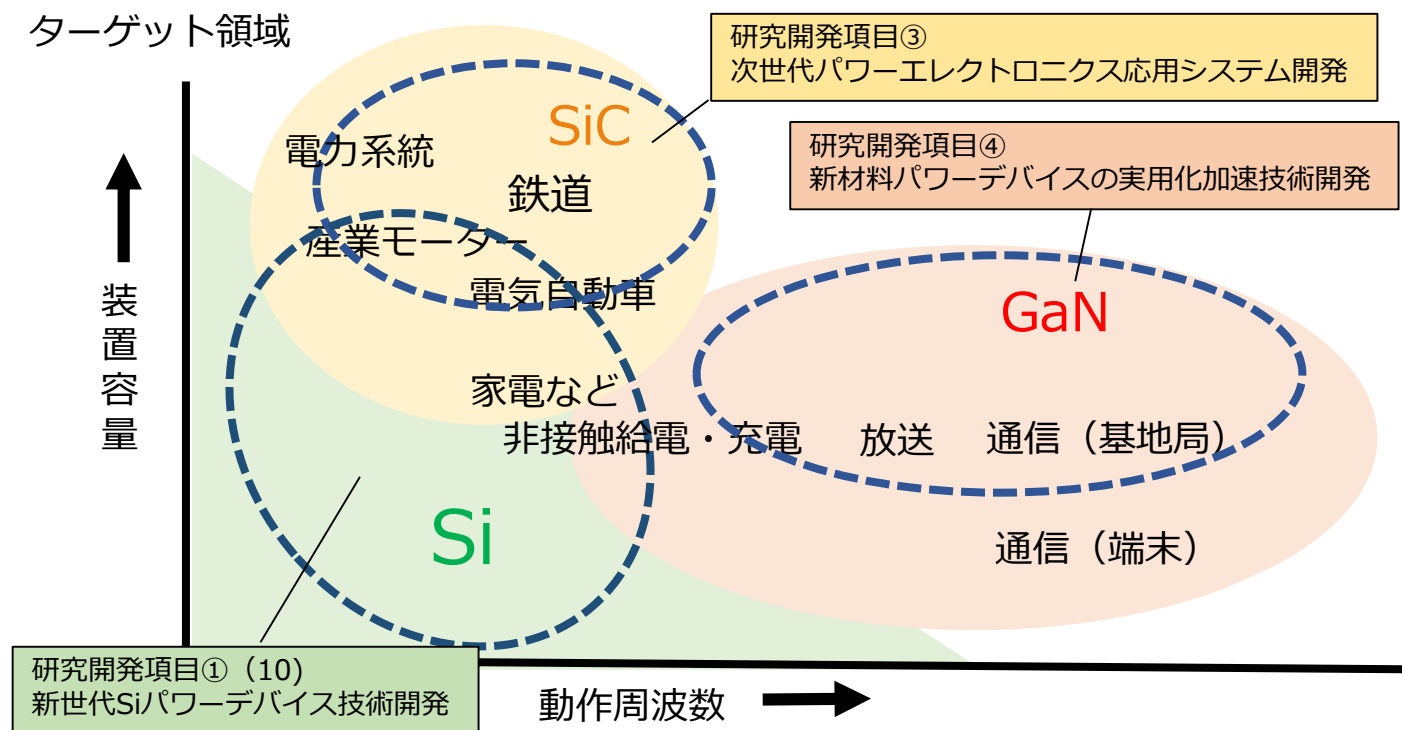


## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

## ◆ 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) 新世代Siパワーデバイス技術開発 <委託>

テーマ	目標	根拠
新世代Si-IGBTと 応用基本技術の研究開発	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、スケーリングIGBT コンセプトの連続性を確認	新世代Si-IGBTとゲートドライブ技術の高度化 により、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を強化。

### 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	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	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	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	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	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	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。
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	低速トルク大幅アップと高 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	発電電動機一体型ターボチャージャによりエ ンジンの排気ガスを電気エネルギーとして回 収し、そのエネルギーで発電電動機を駆動す ることにより大幅な省エネルギー化を図る。



## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

### 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	根拠
パワーエレクトロニクス用 <b>大口径バルクGaN結晶</b> の実用化開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>貫通転位密度1000個/cm<sup>2</sup>以下の4インチ単結晶の実証</li> <li>6インチ用φ240mm大型オートクレーブの設計提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>転位密度はSiCと同等以下が必要と推察。パワーデバイス作製には最低4インチが必要。</li> <li>将来の6インチ結晶の実用化に向けた不可欠な設備。</li> </ul>

### 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	根拠
<p>新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術</li> <li>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</li> <li>革新的な用途開拓に関する可能性検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発した共通基盤技術の実用化見通しの明確化</li> <li>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</li> <li>革新的用途に関する要求仕様と実現可能性の明確化</li> </ul>	<p>新材料パワーデバイスの市場を形成・牽引していくためには、単にSi, SiC系の代替のみならず、SiC等の材料では不可能な用途の開拓を見据え、新材料の特徴である高周波特性や放熱特性等を最大限に活かす研究開発が必要。 (以下の研究開発を推進)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①低不純物・高成長速度の<b>次世代HVPE法</b>による低価格・大電力GaNパワーデバイス製造プロセスの研究開発</li> <li>②GaN物性を最大限に発揮させる最適なパワーデバイス構造の確立とその工業的な製造プロセスに繋がる<b>絶縁膜形成技術</b>の研究開発</li> <li>③高効率大容量無線通信を実現する<b>高周波GaN HEMT</b>の研究開発</li> <li>④窒化ガリウムパワーデバイス高出力化のための<b>高放熱構造</b>の研究開発</li> </ol>

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## 研究開発項目① (10) 新世代Siパワーデバイス技術開発 &lt;委託&gt;

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 ▽	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 ▽	連続運転 ▽	
			統合 ▽			

## 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 &lt;助成&gt;

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 ▽	

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## 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 &lt;助成&gt;

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 &lt;委託&gt;

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 ダイヤ検討▽	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▽

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

## ◆プロジェクト費用

(百万円)

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	合計
<b>研究開発項目① (10)</b> <委託> <b>新世代Siパワーデバイス</b> (Si-IGBT)		857	740	680	400	400	329	3,406
<b>研究開発項目</b> <b>③ (2)</b> <b>応用システム開発</b> (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	30	140
<b>研究開発項目</b> <b>④</b> <b>新材料</b> (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
<b>その他</b> (GaN先導研究、調査、人材育成、革新アプリ)		32	258	263	23	30	25	631
<b>合計</b>		<b>2,159</b>	<b>2,947</b>	<b>2,179</b>	<b>2,054</b>	<b>780</b>	<b>574</b>	<b>10,694</b>

## ◆ 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

①(10)新世代Si-IGBT技術開発

<委託>

### 新世代Si-IGBT技術開発

★SiCデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上のSi-IGBTおよび周辺技術の開発

- 東大  
IGBTインテグレーション  
ドライブ回路
- 東工大  
スケーリング先行実証

共同実施

- 九大/明大：ウェハ・プロセス評価
- 九工大/北九州市：IGBT実装・評価
- 都立大/横国大：周辺(変換器)回路
- 東芝(TDSC)/三菱電機：事業化に向けた検討

【新世代IGBT試作WG】

- 東大
- 東工大
- 九大
- 名大
- 東芝(TDSC)
- 三菱電機

【ドライブ回路技術WG】

- 東大
- 九工大
- 北九州市
- 都立大
- 横国大
- 東芝(TDSC)
- 三菱電機

## ◆ 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

### ③(2) SiCデバイス応用システム開発 <助成>

#### 次世代パワーモジュール

- ★必要な高機能化・部品・材料・新規設備・プラットフォーム化をトータルで開発
- 富士電機

再委託

- 山梨大/ALPS/早大/TORAY/コーシン/KOIWAI/日本軽金属/信大/九工大/名工大/DOWA/DENKA/ナガセムテックス：次世代モジュール研究開発
- 東大/アレントジャパン/東京エレクトロン/富士電機エフテック/SIGMAXYZ：超短納期開発のしくみの構築
- 阪大/群馬大/ESPEC/芝工大/鹿児島大/SMIC：モジュールのプラットフォーム化

#### 車載電動システム

- ★必要なモータ・モジュール・SiCウェハ・システム検証をトータルで開発
- デンソー

共同研究 再委託

- SOKEN(再委託)/静大(共同研究)：システム検証
- 阪大(共同研究)：モジュールの実装

#### 高耐圧SiCパワーモジュール

- ★必要な材料・デバイス・実装・回路をトータルで開発
- 三菱電機  
高耐圧高温動作モジュール  
高耐圧SiCデバイス
- 三菱マテリアル  
高信頼性絶縁基板
- デンカ  
高熱伝導絶縁基板
- 日本ファインセラミックス  
高熱伝導絶縁基板
- DOWAエレクトロニクス  
高信頼接合材料

共同研究

- 東工大：回路技術
- 芝浦工大：構造設計
- 九工大：絶縁技術
- 産総研：高熱伝導絶縁基板

#### 発電電動一体ターボチャージャ

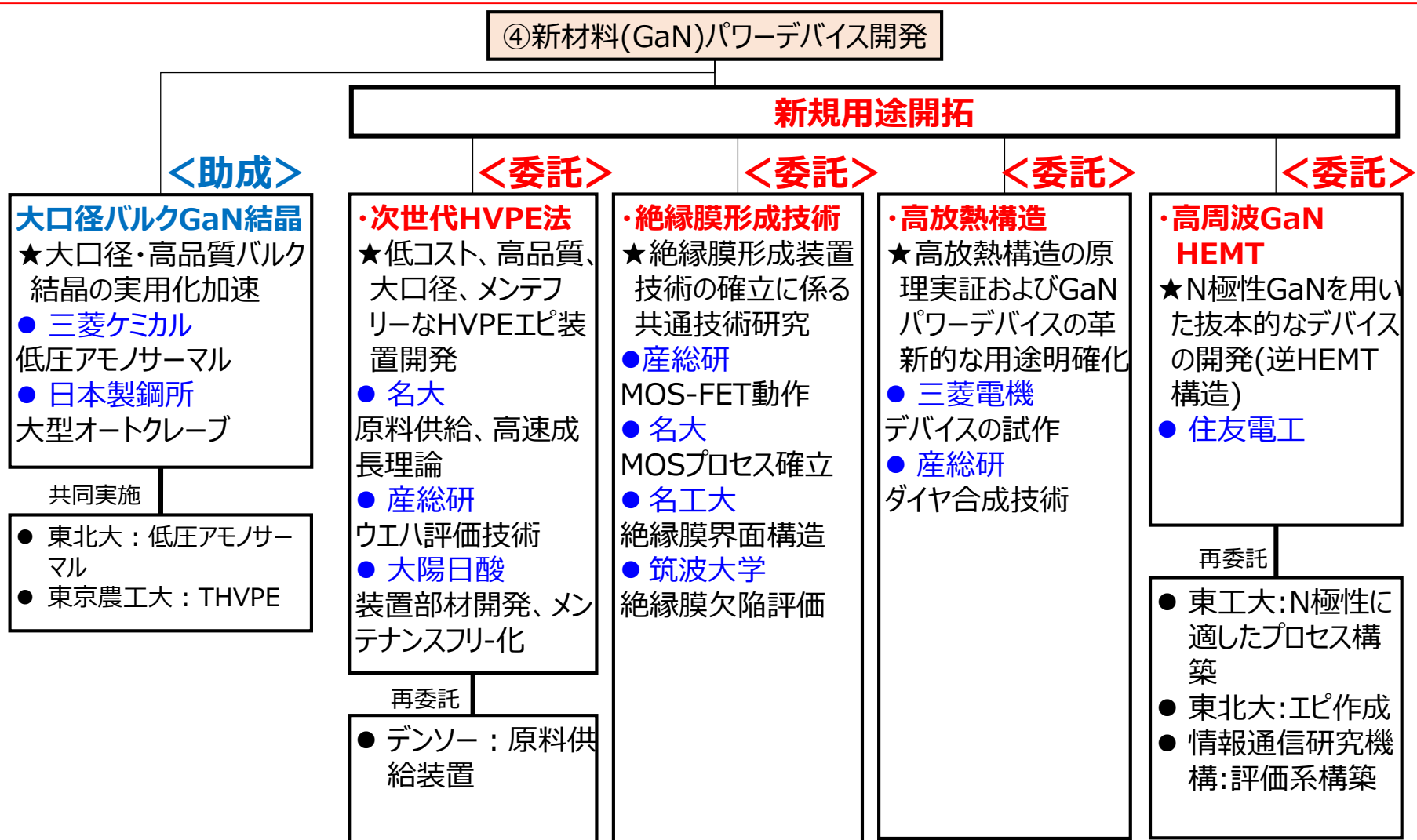
- ★必要なモジュール・ターボ・チャージャ・インバータをシステムとして開発
- ACR

再委託

- 東京理科大：SiCパワーモジュールの最適化制御

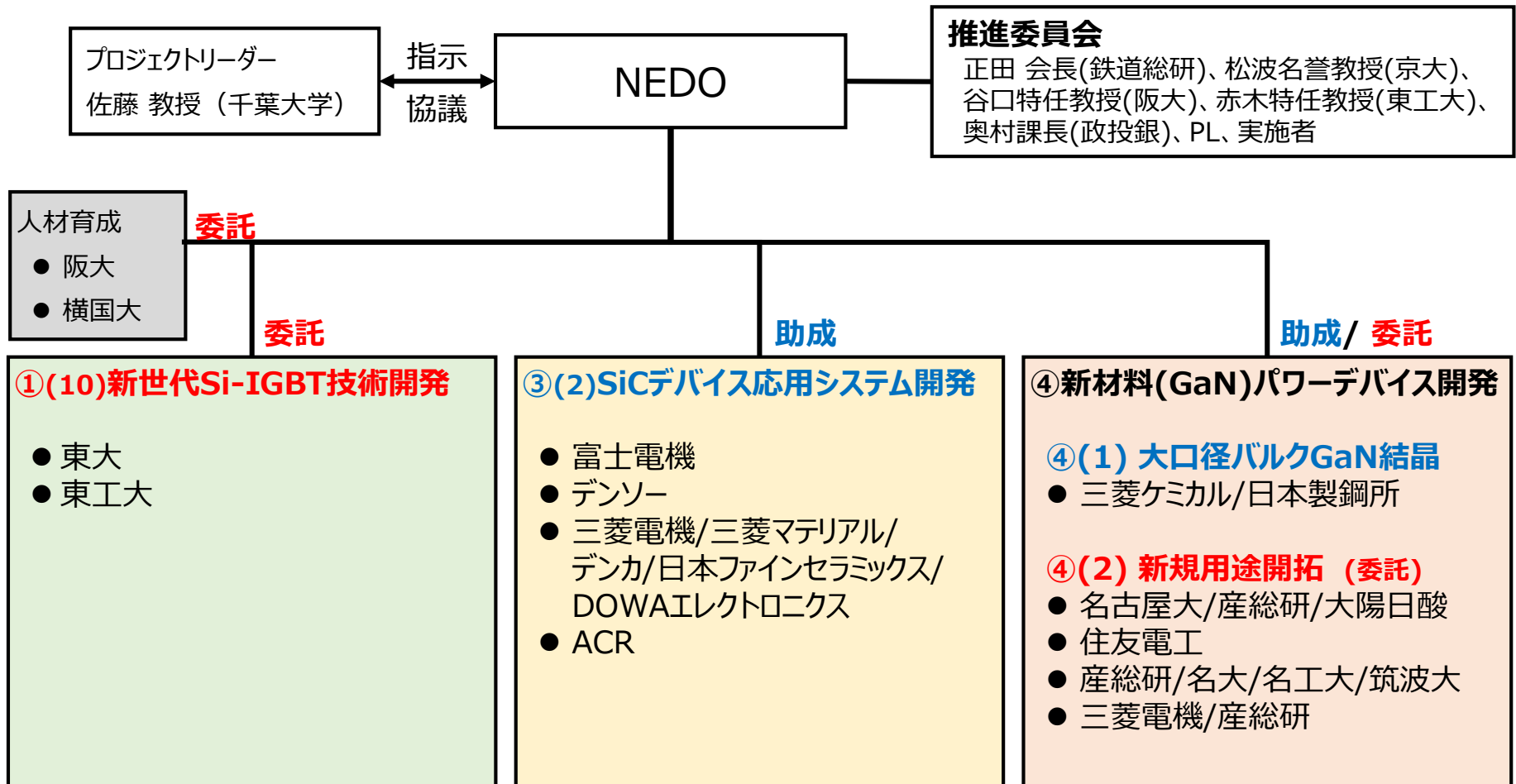
## ◆ 研究開発項目④の実施体制

- 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



## ◆ 研究開発のマネジメント体制(1)

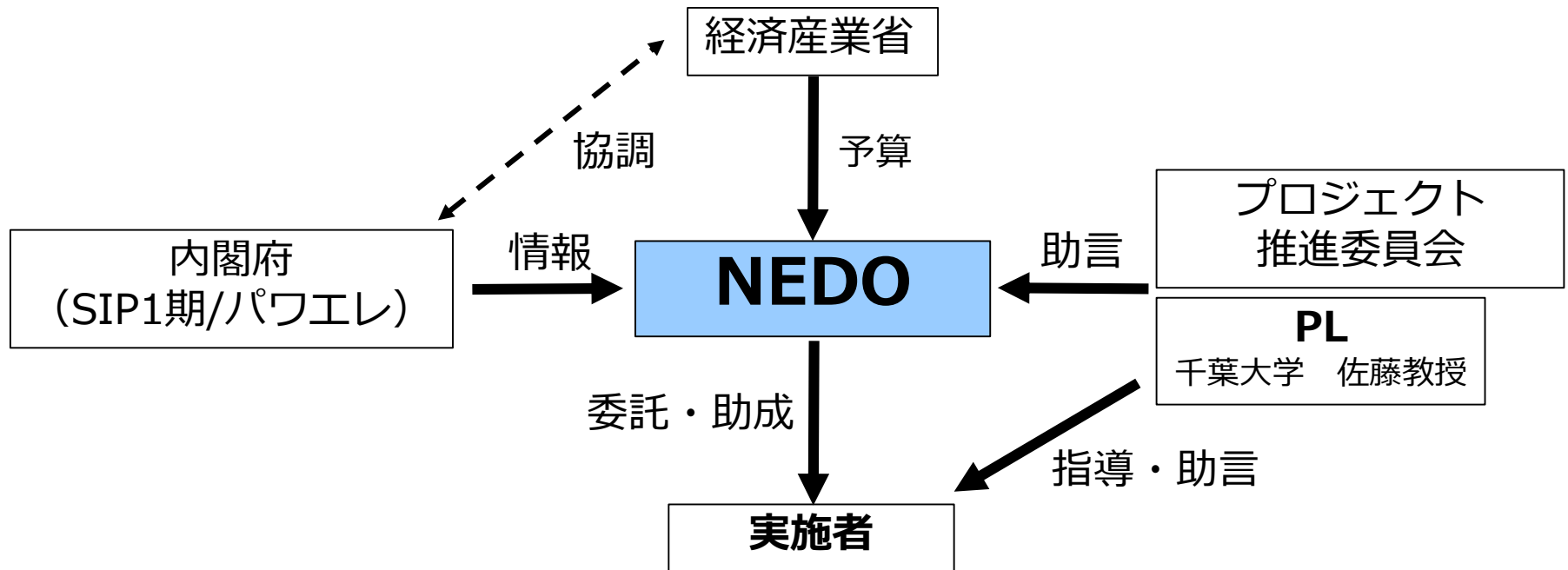
- プロジェクトの研究開発は多岐にわたるが、PLと推進委員会は共通
- テーマ毎に、全体を俯瞰したマネージメントを実施





## ◆ 研究開発のマネジメント体制(2)

- 内閣府事業（SIP1期/パワエレ）の管理法人も務め、**パワエレに関する情報をNEDOに集約**。



## ◆ 研究開発の進捗管理方針

### 定期的なヒアリング・外部有識者レビュー・サイトビジット・シンポジウムの開催

委託事業、助成事業とも、原則月 1 回、実施者から定期的なヒアリングを実施  
外部有識者からなるプロジェクト推進委員会も開催し、プロジェクト運営に反映  
PLと共にサイトビジットを実施し、研究方向性を個別にフォローアップ

- 研究開発進捗状況の確認
- 加速資金投入の検討
- ベンチマークの検討
- 実用化見込みの検討
- 海外特許化などの知財戦略の検討

毎年NEDOパワエレシンポジウムを開催

パワエレユーザーとの技術交流や、デモ、展示等を通じた成果の普及を実施

### 国内外での動向・情勢把握

国際学会に毎年複数回参加し、材料・デバイス・モジュール・応用の各分野の研究動向を調査し、開発目標設定や開発目標の妥当性確認に活用

### 機動的な加速資金の投入

状況の変化・開発の進捗などに対し、必要な加速資金を適切に投入し研究開発を加速

### 適時、適切な計画変更

必要に応じて、柔軟に適切な計画変更を行い、研究開発を推進

- 研究計画の前倒し、目標見直し、新たな研究開発項目の追加等、計画見直しを実施。
- 一部のテーマについては、開発期間を短縮して成果を前倒し、早期に実用化。

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆研究開発の進捗管理

- **プロジェクト推進委員会**を開催し、外部有識者の提言をプロジェクト運営に活用 (2回/年)  
 <推進委員のコメント (例) >
  - ・【Si-IGBT(①-(10))】 事業化時期の前倒しを検討すべき → 参画企業にて事業化計画の前倒しを行った
  - ・【発電電動一体ターボチャージャー(③-(2))】 早急にシステムを組上げて効率向上データを自動車メーカーに提示すべき  
 → システム実証評価データをユーザーである自動車 (トラック) メーカーに提示
- 必要に応じて**佐藤プロジェクトリーダーと実施者の打合せ**を設けて、研究方向性の個別フォローアップ実施
- **実用化事業化ヒアリング**等にて、事業化状況をフォローアップ
- 毎年**NEDOパワエレシンポジウム**を開催し、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**
- **NEDOパワエレシンポジウム**を活用して、**プロジェクト成果報告会**を開催

#### ▼中間評価

#### 事後評価▼

2017年度												2018年度												2019年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Si 全体会議 プロジェクト推進委員会												プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) パワエレシンポジウム プロジェクト推進委員会 (新材料) Si 全体会議												プロジェクト推進委員会 (新材料) 中間実績報告書受領 プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) 佐藤〇と実施者個別打合せ Si 全体会議 佐藤〇と実施者個別打合せ 佐藤〇と実施者個別打合せ プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) 佐藤〇事業化ヒアリング プロジェクト推進委員会 (新材料) Si 全体会議 プロジェクト推進委員会 (新材料) 実績報告書受領 パワエレシンポジウム プロジェクト成果報告会											
Si 全体会議 プロジェクト推進委員会 Si 全体会議 実用化事業化ヒアリング プロジェクト推進委員会 実用化事業化ヒアリング パワエレシンポジウム 実用化事業化ヒアリング 中間実績報告書受領 実用化事業化ヒアリング 成果報告書受領 Si 全体会議												プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) プロジェクト推進委員会 (新材料) パワエレシンポジウム プロジェクト推進委員会 (新材料) Si 全体会議												プロジェクト推進委員会 (新材料) 中間実績報告書受領 プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) 佐藤〇と実施者個別打合せ Si 全体会議 佐藤〇と実施者個別打合せ 佐藤〇と実施者個別打合せ プロジェクト推進委員会 (Si/SiC) 佐藤〇事業化ヒアリング プロジェクト推進委員会 (新材料) Si 全体会議 プロジェクト推進委員会 (新材料) 実績報告書受領 パワエレシンポジウム プロジェクト成果報告会											

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 動向・情勢の把握と対応 (概要)

動向・情勢の変化		対応
1	2016年 中間評価にて、研究開発マネジメントに係るご指摘 (国際動向の把握、開発スピードアップ、コスト意識徹底)。	各ご指摘事項に対し、マネジメントの改善により課題を解決。(詳細次スライド参照)
2	2017年 海外メーカーがM&A等で開発期間を短縮、および 本事業の研究開発が当初計画を上回る進展。	一部研究テーマについて、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。
3	2016年 SIPのGaNウェハーの要素技術開発に目処 NEDOのGaN先導研究で有望な技術が発掘された。	本事業の一部に取り込み、(1)新材料ウェハー(助成)と(2)新規用途開拓(委託)の新材料(GaN)に関する国プロを新規に追加。
4	2016年 2016年度までは国内特許出願のみ パワーエレクトロクス分野の国際的競争が激化	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。 (2016~2019年度で20件の海外出願達成)
5	2016-2019年 Si-IGBT, SiC, GaNの国際的な研究開発が継続的に進展。諸外国の動向把握の必要性増大。	各種国際学会に積極的に参加し、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動向を調査し、目標設定や目標の妥当性を確認。
6	2019年 それまで実施していたNEDOパワエレ人材育成プログラムが業界関係者から大変好評。プログラムの拡充および継続性に対する期待の高まり。	関東・関西に加え名古屋地区での開催を追加し、参加しやすい環境を作るとともに、本事業終了後は自主運営に切り替えて有料講座を開設。

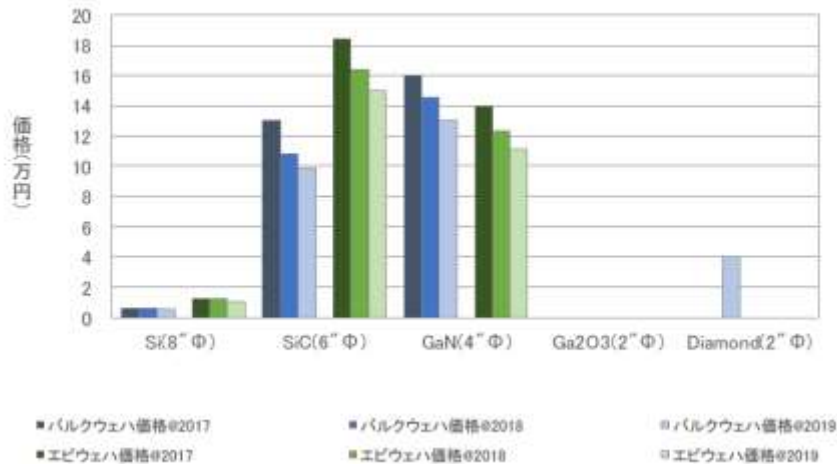
## ◆ 中間評価結果への対応

主な指摘事項		対応
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>【情報収集回数（2017～2019年度）】 企業37回、大学36回、研究機関15回、業界団体5回、学会参加23回（内、国際学会12回）、等</li> <li>各種調査事業も活用し幅広い情報収集に努めた。</li> <li>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。</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>競合相手、特に海外メーカーはM&amp;Aで開発期間を大幅に短縮しているので、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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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、ｽﾍﾞｰﾄﾞ向上に向けた取組を実施。</li> <li>新材料GaNウエハテーマは、要素技術開発に目途が付いた段階で内閣府SIPから本プロジェクトに移管し、実用化を強力に助成する体制とした(2017)。 → 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ブの設計提案目標を引き上げ、量産化を加速。</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>SiC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ウエ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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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がった。 → <a href="#">実施者報告を参照</a></li> <li>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。</li> <li>NEDO調査事業で新材料ウエハのコストトレンドも調査。</li> </ul>

# ◆ 新材料ウエハ等のコストトレンド調査 (例)

## ● 調査結果を研究開発目標の設定や妥当性検証等に活用

バルクウエハ価格及びエピウエハ価格

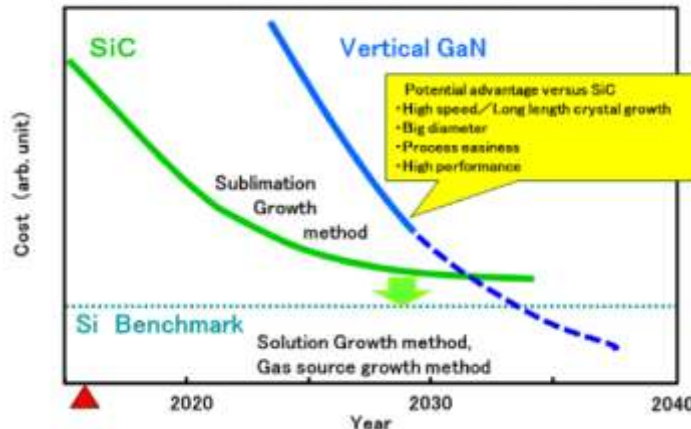


バルクウエハ及びエピウエハ単位面積当たり価格



バルクウエハ価格及びエピウエハ価格 (万円)  
(出典: IHSsic-gan-power-semiconductors-report-2019)

単位面積当たりのバルクウエハ価格及びエピウエハ価格 (円/cm²)  
(出典: IHSsic-gan-power-semiconductors-report-2019)



Yoleのデバイスコスト予測の例

(出典: Yole GaNPower 2018: Epitaxy, Devices, Applications and Technology Trends\_)

## ◆ 動向・情勢の把握と対応

- 一部テーマで実用化前倒しを推進、および先導研究成果を受けGaNのテーマを新規に追加

	動向・情勢の変化	対応の概要	対応の狙い
次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海外メーカーがM&amp;A等で開発期間を短縮</li> <li>・研究開発が順調に進展</li> </ul>	<p>「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」については、<b>当初6年の計画を4年に期間短縮</b></p>	<p>研究開発の進捗が良いことから、<b>事業化の加速</b>を狙い、プロジェクトを早期卒業させた。</p>
新材料(GaN)パワーデバイスの実用化加速技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新材料(GaN)パワーデバイスの国家的研究開発が進展</li> <li>・SIP/次世代パワエレの新材料(GaN)ウェハーの要素技術開発に目処</li> <li>・GaN先導研究にて有望テーマを発掘</li> </ul>	<p>GaN先導研究を受け、国プロ立ち上げ</p> <p>(1) <b>新材料ウェハー (助成)</b> 実用化が近づいてきたため、SIPよりテーマ移管</p> <p>(2) <b>新規用途開拓 (委託)</b> 次世代HVPE法、絶縁膜形成技術、高放熱構造、高周波GaN HEMT</p>	<p>(1)大口径・高品質バルクGaN結晶の<b>実用化加速</b>。</p> <p>(2)新たな用途開拓を見据えて、その実現に必要な<b>共通技術、要素技術を開発</b>する。</p>

## ◆ 動向・情勢の把握と対応

### ● 積極的な海外特許出願、海外動向把握、事業終了後の人材育成継続

	動向・情勢の変化	対応の概要	対応の狙い
特許出願	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2016年度までは国内特許出願のみ</li> <li>・パワーエレクトロクス分野の国際的競争が激化</li> </ul>	<p>知財戦略の見直しを行い、<b>海外における特許出願も積極的に実施</b>した。 (2016~2019年度で20件の海外出願達成)</p>	海外特許出願による国際競争力の強化
調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Si-IGBT, SiC, GaNの国際研究開発が継続的に進展</li> <li>・諸外国の動向把握の必要性増大</li> </ul>	<p>国際学会(ECSCRM/ICSCRM, ECCE, APEC、等)に積極的に参加(12回)し、材料・デバイス・モジュール・応用の各分野に渡って<b>研究開発の動向を調査</b></p>	<p>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<b>目標設定や目標の妥当性確認等に活用</b>した。</p>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・業界／企業におけるパワエレ人材育成のニーズが拡大</li> <li>・人材育成事業が<b>大変好評</b>で事業終了後の継続希望あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関東・関西に加え<b>名古屋地区</b>での開催を追加 (トータルで489名が受講)</li> <li>・e-ラーニング教材の作成や書籍化</li> <li>・事業終了後は<b>自主運営</b>に切替え有料での講座を開設して<b>人材育成の取り組みを継続</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開催地区を増やすことで、<b>参加しやすい環境を作り</b>、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<b>人材の底上げを狙う</b>。</li> <li>・事業終了後も<b>日本のパワエレ技術者の継続育成を図る</b>。</li> </ul>



## ◆ 開発促進財源投入実績

### ● 研究進捗を把握し、効果が見込める場合は、社会実装に向けた加速を実施

件名	年度	金額	目的	成果
研究開発項目④ (1)  実施項目② 「大型アモノサーマル 成長装置の開発と 実証」  (日本製鋼所)	2018 年度	4.8 百万円	2018年度計画の内径120 mmオートクレーブ試運転を 予定より3か月早く完了  →次年度(2019年度)に 予定していた4インチ結晶の 実証に向けた <b>結晶育成実            験を前倒し</b>	4インチ結晶の実証を早期 に達成でき、大口径GaN の社会実装を加速。  →6インチ用大型オートク レーブの量産化を見据 えて目標を上回る設計 提案に繋がった。
研究開発項目④ (2)  実施項目① 「低コスト結晶成長 技術」  (名古屋大学)	2018 年度	13.52 百万円	2018年度に行った成長装 置の根本的な見直しが奏功 し、2019年度の結晶成長 実験で成長速度、膜厚とも に当初見込みを上回った  → <b>2019年度目標上方修正</b> (10mm角→2インチ径) に向けた実験用消耗品費 を増額	炉内設計を大口径(2イ ンチ)化することで、大口 径GaN結晶での高品質、 高速エピ成長研究を加速。  →後工程の電子物性およ びデバイス評価の研究 も2インチで実施でき るようになり、開発を加速。

## ◆ 知的財産権等に関する戦略

### ● 基本的考え方

- ▶ 特許に関しては国際的視野に立って戦略的にパワエレ分野の主導権を取るべく、積極的に国内・海外とも出願することを基本とする。
- ▶ ただし、以下の場合、数々の成果技術について公開されることによるデメリットの方が大きいと判断し、戦略的に特許取得を見送り、ノウハウとして秘匿する場合がある。
  - ✓ 既に強力な基本特許を出願済みの技術領域
  - ✓ 事業開始前に重要要素技術に関する強力な特許網構築済みの技術領域
  - ✓ 製品を分解しても解明不能な技術に関する技術領域（材料・プロセス等）
- ▶ 互換性確保などのモジュール実装仕様に関しては、標準化を推進する。

	非競争領域	競争領域
公開	SiCモジュールの実装仕様に関する技術 ⇒ 標準化の推進	パワエレ技術全般 ⇒ 積極的に国内・海外とも出願
非公開	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基本特許取得済みの技術領域</li> <li>・特許網構築済みの技術領域</li> <li>・分解しても解明不能な技術領域</li> </ul> ⇒ ノウハウとして秘匿

## ◆ 知的財産管理

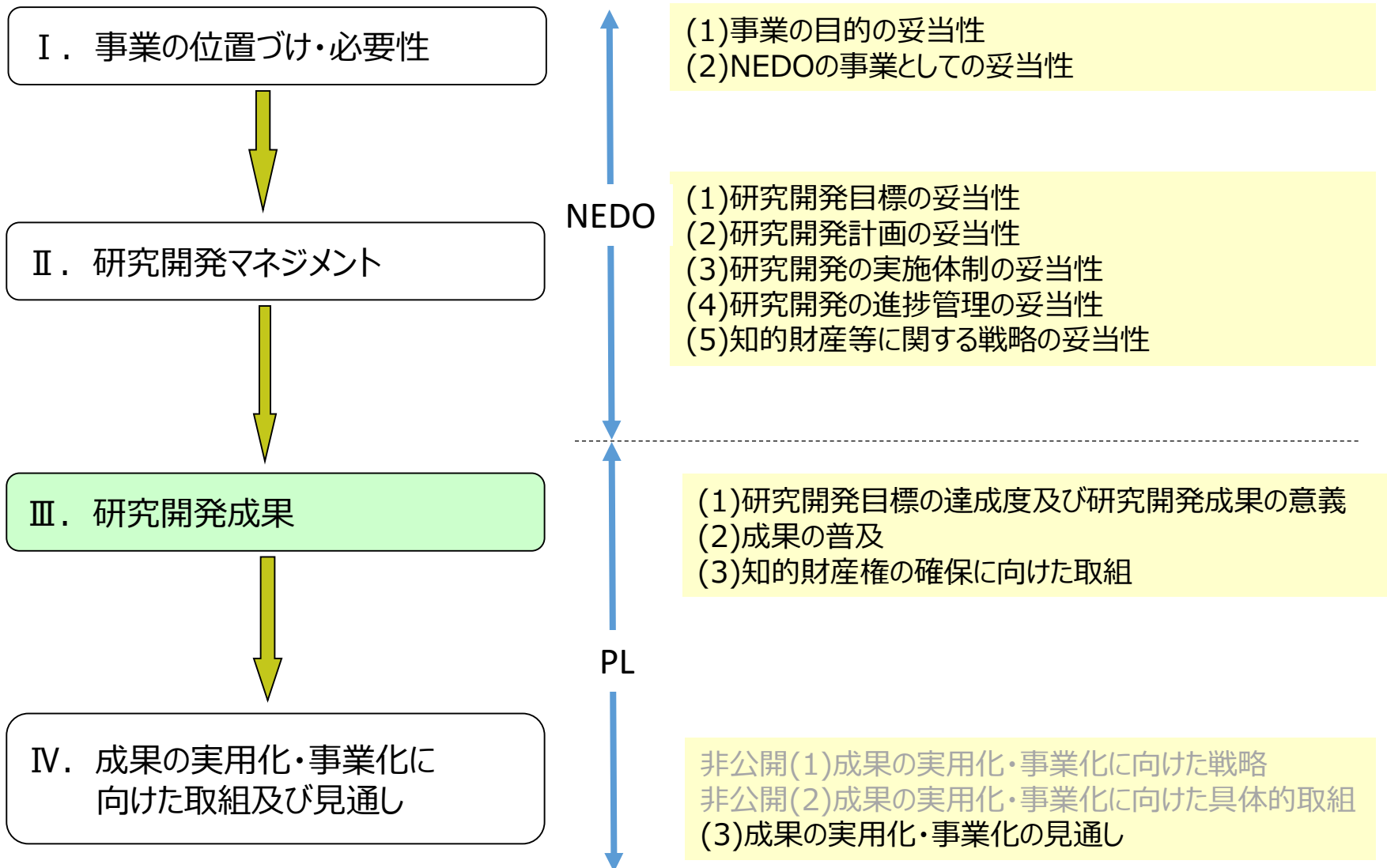
### ● プロジェクトにおける知的財産権の取扱いは、テーマ毎に知財合意書を作成

#### ➤ 知的財産管理指針

- 特許を受ける権利の帰属：すべての実施者（日本版バイ・ドール制度）
- 大学等と企業の共有特許
- プロジェクト内で、出願、申請、実施許諾等について規定

#### ➤ 知財運営委員会の運用

- メンバーは、各テーマの委託先および再委託先で構成
- 知財の出願、他社知財の調査、ノウハウ指定について審議・認定
- プロジェクト期間中、毎月の運営会議時に必要に応じて同時開催  
多いときは月に1回、少なくとも半年に1回は開催



## ◆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>	SiC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"> <li>・<b>世界初</b>、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</li> <li>・<b>スケーリングIGBTコンセプトの連続性を確認</b></li> <li>・5kW 3相インバータの連続運転し、 <b>産業用実用化クラス変換器を実証</b></li> </ul>
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"> <li>・新材料パワーデバイスを用いた<b>SiCパワーモ ジュール</b>とインバータ等を開発し、<b>特定用途 の応用システムを実証</b> (産業機器、EV、トラック、等)</li> </ul>
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) ウェハの革新 的製造技術開発・実証とウェハ大口徑 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"> <li>・4インチGaNウェハについて品質、コスト、 量産性を兼ね備えた<b>革新的製造技術</b>を開発</li> <li>・6インチ用大型<b>オートクレーブ</b>について <b>目標を上回る設計を提案</b></li> <li>・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</li> </ul>



- ・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	<p>&lt;中間 (2016年度末)&gt; 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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>縦型MOSFETと新構造縦型IGBTを試作 →チャネル移動度 &gt; 300cm<sup>2</sup>/Vs達成</li> <li>→従来比<b>2倍以上の電流密度</b>達成</li> <li><b>3kV</b>以上耐圧のダイオード特性確認</li> </ul>	○
	<p>&lt;最終 (2019年度末)&gt; 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 ケーリングIGBTコンセプトの連続 性を確認</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>世界初</b>、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</li> <li>5kW 3相インバータの連続運転し、 <b>産業用実用化クラス変換器を実証</b></li> <li>k=5 IGBT基本セル試作、 <b>スケーリングIGBTコンセプトの連続性を確認</b></li> </ul> <p>【意義】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>世界に先駆けて</b>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。</li> <li>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、<b>AI制 御を可能とするパワエレ2.0への道筋をつけた。</b></li> </ul>	○

## 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 &lt;助成&gt;

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パワー密度:1000kVA/L</li> <li>・製品コスト:約30%減達成</li> <li>・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</li> <li>・試作モジュールの安定動作を実証</li> </ul>	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用製品の動作実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>【意義】</li> <li>・SiCモジュール応用製品の普及拡大</li> </ul>	○
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul>	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用システムの動作実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>【意義】</li> <li>・実用化可能なレベルであることを実証</li> </ul>	○
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・試作モジュールの安定動作を実証</li> </ul>	○
	<最終 (2017年度末)> 特定用途応用製品の動作実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>【意義】</li> <li>・SiCモジュール応用製品の普及拡大</li> </ul>	○
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低速トルクアップ(吸気圧力100kpa)</li> <li>・車両燃費改善効率5%の実現</li> <li>【意義】</li> <li>・実用化可能なレベルであることを実証</li> </ul>	○

## 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 &lt;助成&gt;

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	<p>&lt;最終(2019年度末)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>貫通転位密度1000個/cm<sup>2</sup>以下の4インチ単結晶の実証</li> <li>6インチ用φ240mm大型オートクレーブの設計提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貫通転位密度1000個/cm<sup>2</sup>以下を達成</li> <li>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</li> </ul> <p>【意義】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	◎

## 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 &lt;委託&gt;

テーマ	目標	主な成果と意義	達成度
<p>新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術</li> <li>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</li> <li>革新的な用途開拓に関する可能性検証</li> </ul>	<p>&lt;最終(2019年度末)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>開発した共通基盤技術の実用化見通しの明確化</li> <li>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</li> <li>革新的用途に関する要求仕様と実現可能性の明確化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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 → 共通基盤技術の実用化見通し明確化</li> <li>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</li> </ul> <p>【意義】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	○

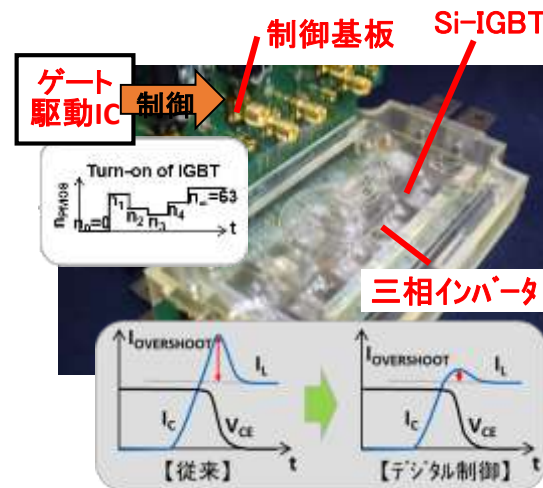
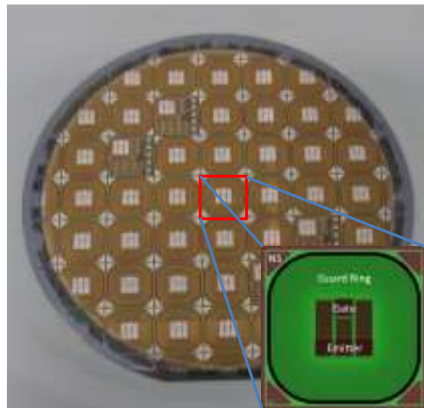
◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、X未達



## ◆ 新世代Si-IGBTと応用基本技術の研究開発 <委託> (東大、東工大)

- **世界初、5V(従来15V)駆動の高耐圧(3kV)Si-IGBT** ⇒ **Si-IGBTの利用拡大**  
(三菱電機、東芝(TDSC))
  - ✓ IGBTスケーリング係数 $k=3$ (長さ寸法が従来の $1/3$ )実現し、スケーリング則検証
  - ✓ スケーリング係数 $k=1$ と比べ、電流容量の増大、スイッチング損失の低減
- **デジタルゲート駆動の採用**で、スイッチング時のオーバーシュートと損失の低減を同時に達成 ⇒ **パワーデバイスの低損失化**  
(三菱電機、東芝(TDSC))
- **パワエレ2.0へ道筋**
  - ✓ ゲート制御回路に標準的なCMOSプロセスを用いた論理回路を組み込みが可能
  - ✓ 人工知能(AI)等の先端デジタル技術とパワーエレクトロニクスが融合したより高度なパワー制御が可能 ⇒ **電気自動車や産業機器などの低消費電力化**

### 【結果】



新世代Si-IGBTとデジタルゲート制御でインバータ(10kW)試作機の大幅な低損失化を実現

## 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 【① (10)】

## ◆ 新世代Si-IGBTと応用基本技術の研究開発&lt;委託&gt;

(東大、東工大)

- 目標をすべて達成し、Si-IGBTの高性能化を実現すると共に、次世代のパワエレ2.0への道筋をつけた


研究開発項目	目標	成果	達成度	
【新世代IGBT試作WG】 Si-IGBTのスケーリング則による新世代Si-IGBT	<ul style="list-style-type: none"> <li>・k=3 IGBTの性能評価</li> <li>・耐圧(1kV)／電流密度k=1の2倍</li> <li>・ゲート駆動電圧15V⇒5V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来IGBTと比較して損失35%低減を達成</li> <li>・スケーリングIGBTコンセプトの連続性を確認し、ロードマップを完成</li> </ul>	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	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高耐圧 1kV⇒3kV</li> </ul>			○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・k=5 IGBT基本セル試作</li> <li>・k=5 及びスケーリング則明確化</li> </ul>			○
【ドライブ回路技術WG】 デジタルゲートドライブによるインバータ実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・極限ウエハ及びプロセス解析（ライフタイム劣化要因解明）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大電流パワーモジュールの試作し、試作ICでデジタルゲート制御により特性改善を達成</li> <li>・産業用実用化クラス変換器実証</li> </ul>	○	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタルゲートドライバIC試作</li> </ul>			○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作IGBTを用いたモジュール試作</li> <li>・並列動作で電流の均一化</li> </ul>			○
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・5kW 3相インバータの連続運転</li> <li>・スイッチング損失30%減、サージ電圧50%減</li> </ul>		○	

## ◆ 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> (富士電機)

- 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**しパワエレ製品の性能最大化を図る

⇒ インバータ、PCS/UPS、電源等への適用を目指す

### 【結果】

Package size idea		Type I	Type II	Type III L
		62 x 20 x 12 mm	68 x 26 x 13 mm	126 x 45 x 13 mm
Rated voltage	Generation			
1200V	Trench	25, 50A	75, 100A	200, 320, 400A



開発モジュールを搭載した自社システム製品  
【耐環境性（密閉型）インバーター】

## 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 【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 <助成> (富士電機)

- 目標をすべて達成し、SiCモジュールのサンプル提供を開始
- 開発したSiCモジュールを自社システム製品に適応し、量産を開始

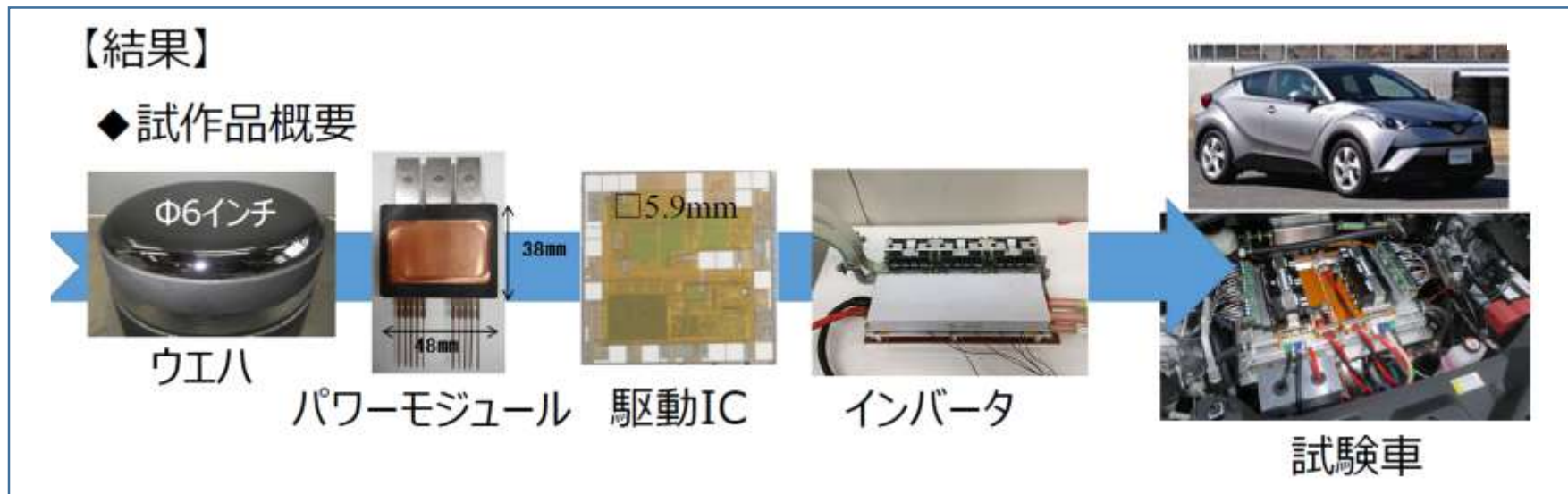
研究開発項目	目標	成果	達成度
パワーモジュール開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パワー密度 産業用自冷式:1000kVA/L</li> <li>・製品コスト:約30%減 (現状Siモジュール比)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寄生インダクタンスの大幅削減と熱抵抗の低減、アクティブゲート制御により小型化と<b>コスト30%削減</b>を達成</li> </ul>	○
製品化プロセス改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>・量産化までのリードタイム 約50%減(当社比)</li> <li>・顧客へのサンプル供給期間 約1/4(当社従来開発品比)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュールの新たな試作工法により<b>サンプル供給期間1/4</b>に短縮を実現</li> </ul>	○
SiCモジュールの実装仕様の標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・標準化を検討し、JEITA信頼性委員会に提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JEITAに提案し、<b>標準化</b>について検討実施中</li> </ul>	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

## ◆ 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> (デンソー)

- 従来のSi-IGBT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-MOSFETを用いたインバータで、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する

⇒ 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を目指す



## 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 【③ (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<助成> (デンソー)

- 100kWクラスのシステムで、JC08 モード走行PCU 損失1/3 の損失低減効果を実証

研究開発項目	目標	成果	達成度
新巻線モータおよびシステム制御	・ゲート駆動ICによる高速スイッチングをシステムに組み込んで制御確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発品を使用して、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の動作確認を完了</li> <li>・開発したインバータを搭載した実車にて動作確認済み</li> </ul>	○
小型高温SiCパワーモジュール	・モーター一体インバータ搭載SiCモジュールの試作		○
システム性能検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・走行の全動作領域での制御成立性の確認</li> <li>・実車での動作確認</li> </ul>		○
高品質SiCウェハー開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・φ6インチウェハーの実証</li> <li>高品質:転位密度1k個/cm<sup>2</sup></li> <li>平均成長高速:1mm/h</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・転位密度と平均成長速度を達成</li> <li>・長さは5mmまで達成し、本年度、3mm/h、20mmを達成予定</li> </ul>

\* 目標とする低コスト化は、3mm/h、20mmで実現できるため

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

## ◆ 高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発 <助成>

(三菱電機、他)

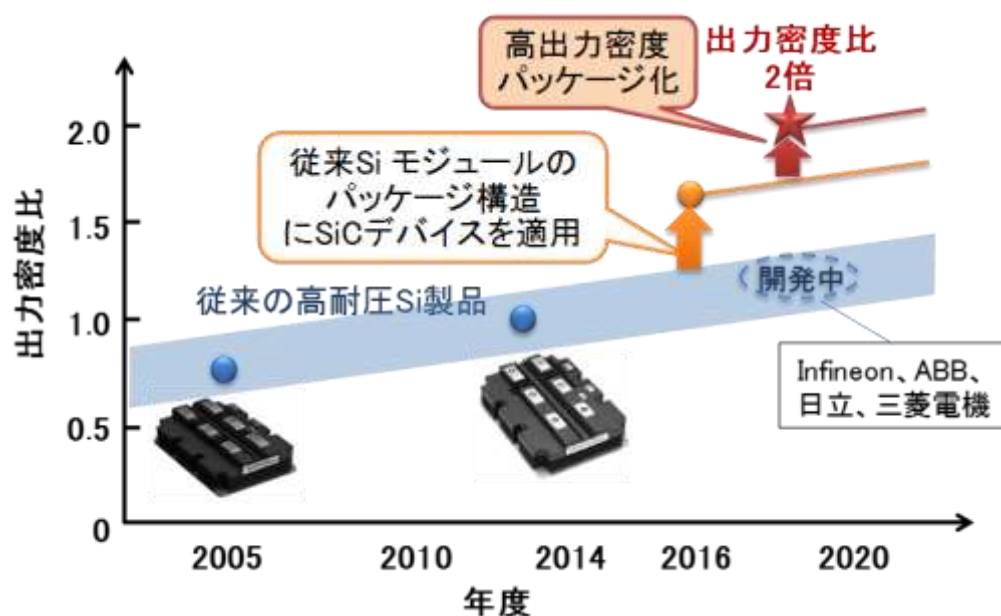
- パワーモジュールを高出力密度化することにより、パワーエレクトロニクス機器の効率化や小型・軽量化を実現

⇒ 海外メーカーの追隨を許さない出力密度2倍（対Si比）を目指す

### 【結果】



開発したモジュールの外観



## ◆ 高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの開発<助成> (三菱電機、他)

### ● 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

研究開発項目	目標	成果	達成度
高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュール 開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧6.5kVパワーモジュールの連続動作</li> <li>高温絶縁特性と安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>試作モジュールで安定動作を確認</li> </ul>	○
高耐圧SiC デバイス技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>SBD内蔵MOSFET試作</li> <li>信頼性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作デバイスで信頼性評価完了</li> </ul>	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

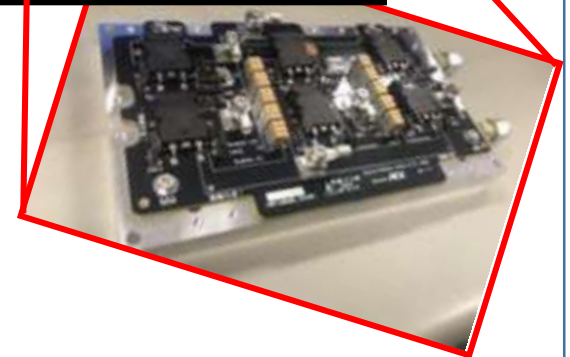
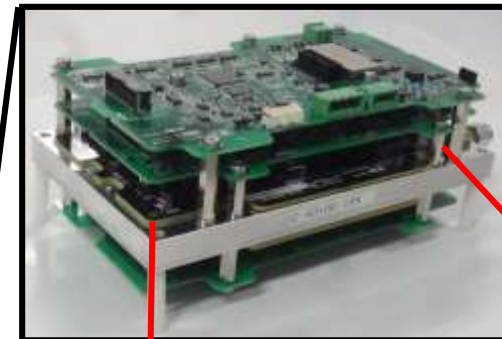
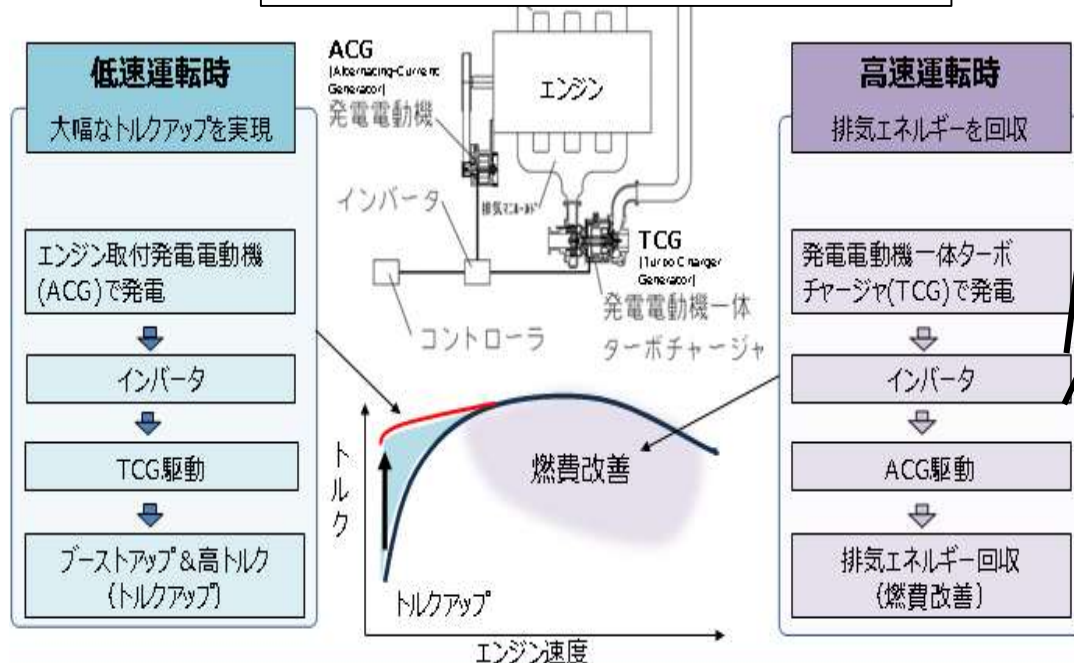


## ◆ 次世代パワーデバイスを用いた発電電動一体ターボチャージャによる排熱回収システムの研究開発 <助成> (ACR)

- 電動発電機一体型ターボ過給機により、省燃費効果の高い過給システムを実現
  - 全速度域でフラットなブースト特性をシンプルな構造でダウンサイジングが可能
- ⇒ 多量の燃料を消費する大型トラックでは、燃料費節減効果が大きいいため、早期普及を目指す

### 【結果】

低損失のSiC素子を使用した高効率インバータと、可変機構を備えた発電電動機組込みターボシステム



## ◆ 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<助成> (ACR)

- 既存のターボ過給システムと比べて応答性に優れ、燃費改善効果の高いターボ過給システムを提供し、乗用車からトラックまで自動車の走行燃費改善を実現

研究開発項目	目標	成果	達成度
SiCデバイスを用いた 12 in 1 IPM型モジュール開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SBDを用いたよりも高効率</li> <li>・安定動作</li> <li>・低コスト化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試作部材を用いて、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を構築</li> <li>・車両燃費改善効率5%を実現</li> <li>・低速トルク(吸気圧力)の大幅アップを実現</li> <li>・実用化可能なレベルであることを実証し、トラックメーカーに提案</li> </ul>	○
発電電動機一体ターボチャージャ開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高タービン効率</li> <li>・システム耐久性の確立</li> <li>・低コスト化</li> </ul>		○
2軸インバータ&機電一体型発電電動機の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電機効率およびインバータ効率の向上</li> <li>・低コスト化</li> </ul>		○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、X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 【④ (1)】

研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (1) GaNウエハの革新的製造技術の開発

#### ◆ 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 <助成> (三菱ケミカル、他)

##### ● 成果

独自の低圧アモノサーマル法を用いて、転位密度の低減と大口径化を進め、**目標通り、転位密度 $1 \times 10^3/\text{cm}^2$ 以下、4インチの単結晶育成に成功した。**これにより、当該結晶を用いたウエハ作成プロセスを**生産性の高いアモノサーマル法で確立することができ、実用化が加速された。**

量産化に向けて、低圧アモノサーマル法による6インチ結晶成長用オートクレーブの設計をシミュレーション技術等を活用して実施。**当初目標より生産性の高いプロセスの構築に目途がついた。**

##### 【結果】



低圧アモノサーマル法にて、  
4インチ結晶成長を実証

### 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 【④ (1)】

研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (1) GaNウエハの革新的製造技術の開発

#### ◆ 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 <助成> (三菱ケミカル、他)

##### ● 成果の意義

優れた物性を持つGaNを高出力、高周波で動作するパワーデバイスに使用するために、パワーデバイスの土台となる**GaN単結晶基板の低コスト化、高品質化、量産性確保**が重要である。本事業の成果により、**4インチ以上のGaN単結晶基板の量産**に道が開け、今後、GaNパワーデバイスを採用した電力変換機器の普及を促進することで、省電力化による持続可能な社会の実現に大きく寄与することが期待される。なお、世界中の競合と比較しても、アモノサーマルでは2インチ程度までしか報告されておらず、4インチ、6インチは可能性すら示されていない状況である。本事業の成果は、**従来技術では到達困難であった、品質、コスト、量産性**を兼ね備えた革新的な製造技術と位置付けることができ、**我が国のパワエレ技術の国際的な競争力を維持・向上**させることにも大きく寄与する。

##### ● 目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度
大型・高品質シード・バルク結晶の開発	① 転位密度 $1 \times 10^3 \text{cm}^{-2}$ 以下 ② 口径4インチ以上のシード・バルク結晶成長	4インチで転位密度 $1 \times 10^3 \text{cm}^{-2}$ 以下を達成	○
大型アモノサーマル成長装置を用いた結晶成長実証	① 内径120mmオートクレーブを試作し、4インチGaN結晶を実証 ② 6インチ結晶成長用内径240mmオートクレーブの設計・提案	①は目標通り達成。 ②は内径目標引き上げ、達成。	◎

◎ 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 【④(2)】

研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (2)GaN等の新規用途開拓の推進

## ◆ 低不純物・高成長速度の次世代HVPE法による低価格・大電力GaNパワーデバイス製造プロセスの研究開発<委託> (名大、他)

### ● 成果

縦型GaNの低価格化の実現見通しを得るべく、従来のMOVPE法にとって代わる次世代HVPEエピ成長法を開発した。具体的には、

①外部原料供給装置を開発し原料を連続供給

②高速回転による高速成長

を可能とし、目標を達成。

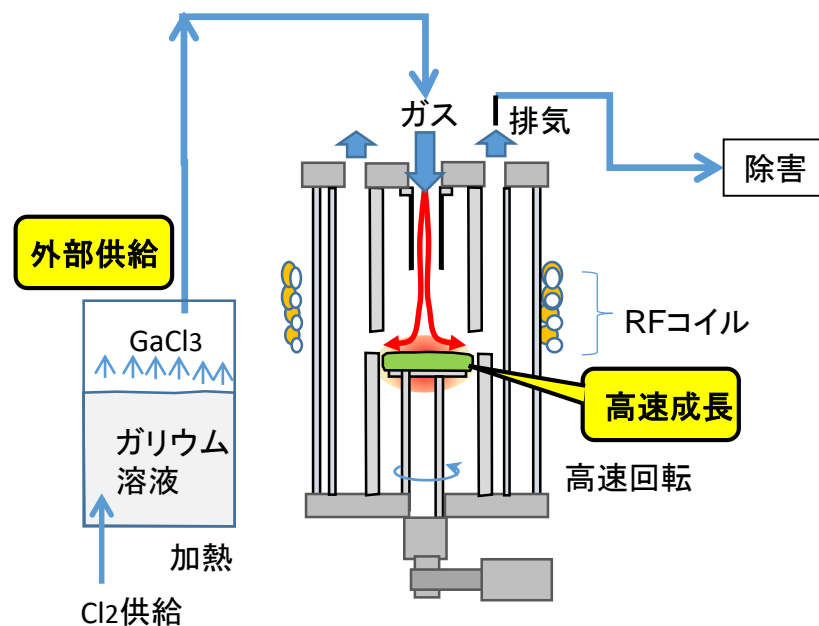
✓ 高純度化： $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以下の不純物レベルを達成し、縦型GaN耐圧1kV相当を実現

✓ 高速成長：0.5 mm/h以上の高速成長の実現に目途を得た (2インチ基板、厚さ1mm以上にて)

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。

また、装置の洗浄工程と副生成物除去手法も開発し、メンテナンスフリー化の目途を得たことで、製品の実用化に向け、大きく前進した。

### 【結果】



エピ成長用HVPE装置

### 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 【④(2)】

#### ◆ 低不純物・高成長速度の次世代HVPE法による低価格・大電力GaNパワーデバイス製造プロセスの研究開発<委託>(名大、他)

#### ● 成果の意義

海外ではまだ殆ど研究開発されていないHVPEエピ成長技術の実用化の見通しを明確にできたことは、縦型GaNのエピ成長コストの**大幅(1/5程度)削減**によって日本がGaNデバイスの国際的なコスト競争力を持つことを意味し、今後、GaNデバイス普及による省電力化・低炭素化において、**我が国が世界を牽引**していくことになる重要な成果である。

#### ● 目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度
低コスト結晶成長技術	Φ2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 (HVPE装置開発へ反映)	目標を達成し、装置 <b>実用化の見通しを明確にした</b> 。量産化に向け、界面の急峻性改善が次の課題。	○
低コスト高品質エピ膜形成技術	縦型HEMTデバイス耐圧1,000V相当の不純物レベルの達成。	目標の不純物レベルを達成し、 <b>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</b> 。	○
エピウェハの構造欠陥の形成・消滅過程の解明および低減手法の開発	基板内の転位がエピウェハの結晶品質に与える影響を明らかにし、基板に求められる結晶品質を明確化	非破壊で転位を詳細に特定する技術を開発し、検査時にGaN基板を破壊する必要がないことから、コスト面で重要な成果を達成。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (2)GaN等の新規用途開拓の推進

◆ GaN物性を最大限に発揮させる最適なパワーデバイス構造の確立とその工業的な製造プロセスに繋がる絶縁膜形成技術の研究開発<委託> (産総研、他)

● 成果

今後のGaNパワエレの実用化において鍵となる、

- ✓ 縦型GaNパワーデバイス
  - ✓ 論理回路とGaNパワーデバイスを集積したパワーIC
- の**実用化の見通しを得る**ため、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、
- ✓ MOS形成プロセスの確立
  - ✓ MOS構造の界面、絶縁膜の欠陥評価
  - ✓ MOSFETの動作実証

を行って、**最適プロセス条件を確立**した。

上記の最適プロセス条件において、実際に絶縁膜を形成する装置として、①絶縁膜形成前に半導体表面の酸化膜を除去する前処理機構、と ②オゾン供給できる機構、を備えた独自の絶縁膜形成装置を開発。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。

【結果】



今回開発した絶縁膜形成装置  
(協力：サムコ)

### 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 【④(2)】

#### ◆ GaN物性を最大限に発揮させる最適なパワーデバイス構造の確立とその工業的な製造プロセスに繋がる絶縁膜形成技術の研究開発 <委託> (産総研、他)

##### ● 成果の意義

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を確立したことは、プロセスの簡略化や微細化に効果が大きく、将来有望とされているGaN材料を用いた縦型パワーデバイスやパワーICを実用化する上で産業的に意義が大きい。

##### ● 目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度
絶縁膜/GaN, 金属/GaN界面構造の明確化と形成	ゲート電極材料および熱処理プロセスを確立することによって、界面準位密度 $1 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 、絶縁破壊電界8MV/cmを目指す。	前処理導入、SiO <sub>2</sub> 膜採用により目標達成	○
GaN上への絶縁膜または金属形成後のGaN中の欠陥評価	各種プロセスで導入される欠陥の種類や欠陥の形成プロセスの差とMOSの電気的特性の関連明確化	新ESR法を開発し、目標達成	○
GaN MOSFET作製プロセスの確立、TCADによるパワーデバイス構造の設計、及びCMOS回路への適応可能性検証	電子移動度 $120 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、正孔移動度 $10 \text{cm}^2/\text{Vs}$ の実証	電子移動度は目標達成。 正孔移動度は $0.2 \text{cm}^2/\text{Vs}$ と目標未達	△ <sup>※</sup>
GaNパワーデバイスにおけるMOSゲート構造の特性評価	ノーマリーオフ動作実証	目標を達成	○

※ 正孔移動度は目標未達だが、原因は究明でき、新しい構造の必要性を明確にした

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達



研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (2)GaN等の新規用途開拓の推進

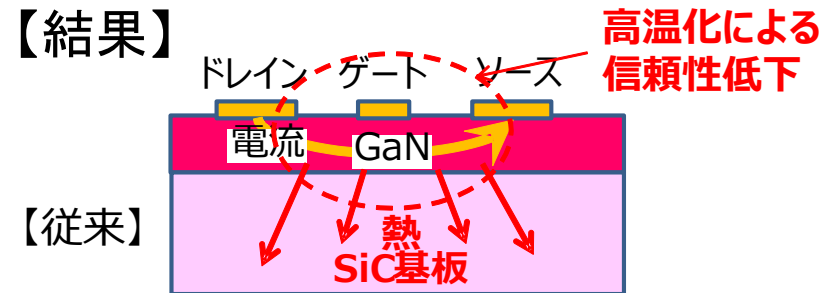
## ◆ 窒化ガリウムパワーデバイスの高出力化のための高放熱構造の研究開発 <委託> (三菱電機、他)

### ● 成果

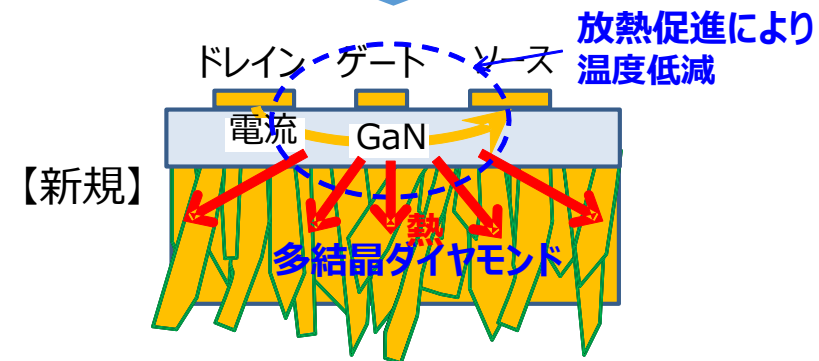
GaNの特長(高周波、高出力)が活きる新規用途に向けたデバイス要求仕様を検討し、その実用化を見据えて、ダイヤモンド高放熱構造と、大面積ダイヤモンド合成方式を研究開発。

- ✓ **世界で初めて**、実用サイズのGaNトランジスタとダイヤの常温直接接合によりGaN on ダイヤモンド(GoD)デバイスの作製に成功。従来のGaN on SiCデバイスと比較して**大幅な温度低減(約4割)**を実現。
- ✓ 作製したGoDデバイスは、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**を明確化した。
- ✓ 日本独自技術のマイクロ波重畳ダイヤモンド合成方式の原理実証機を作製し、将来の大口径化に道筋をつけた。

### 【結果】



熱伝導率  
3倍以上



本プロジェクトで開発した  
GaN on ダイヤモンド高放熱構造

### 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 【④(2)】

#### ◆ 窒化ガリウムパワーデバイスの高出力化のための高放熱構造の研究開発 <委託> (三菱電機、他)

##### ● 成果の意義

GaNの特長(高周波、高出力)が活きる新規用途(真空電子管置き換え領域)での実用化に向け、世界に先駆けて直接接合により実用サイズのGaN on ダイヤモンドデバイスを作製し、低消費電力化競争における優位を築いた。また、本技術は既存のトランジスタ工程を転用できる上、輸入ウェハーに頼らないので、国内産業発展に貢献することが期待できる。

##### ● 目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度
多結晶ダイヤモンド製膜技術の研究開発	1200W/mK超の高熱伝導率を有する2インチサイズ多結晶ダイヤモンドの製膜	2.8インチ領域での面内均一性を確認し、1205W/mKを達成した。	○
GaN/ダイヤモンドデバイスの研究開発	GaN on ダイヤモンドの上昇温度をGaN on SiCデバイスと比較し33%低減する。	「ダイヤモンド成長方式」「デバイス接合方式」の2方式でそれぞれ温度上昇を35%、42%低減し目標達成。	○
新規大面積合成方式の原理実証	マイクロ波重畳による新大面積ダイヤモンド合成方式の原理実証機を試作し、試作装置内でプラズマを発生させ、大面積合成への適用可能性を検討する。	原理検証機を試作し、プラズマを発生させ、位相変化で放電領域を制御できたことで、大面積合成への適用可能性を検証。	○
マイクロ波重畳による大面積化	シミュレーション精度の向上検討を行い、重畳技術の実現性を検証する。4インチ面内での電界強度分布偏差25%以下。	位相の異なるマイクロ波を導入することで、4インチ面内での電界強度分布の偏差目標を達成した。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

研究開発項目④：GaNパワーデバイス等の実用化加速技術開発 (2)GaN等の新規用途開拓の推進

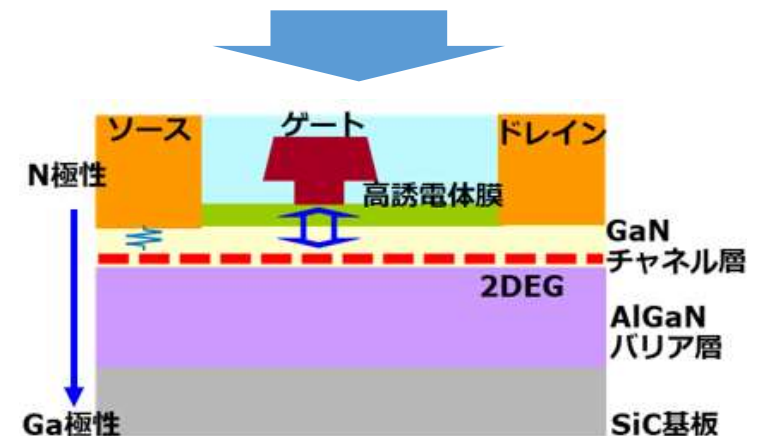
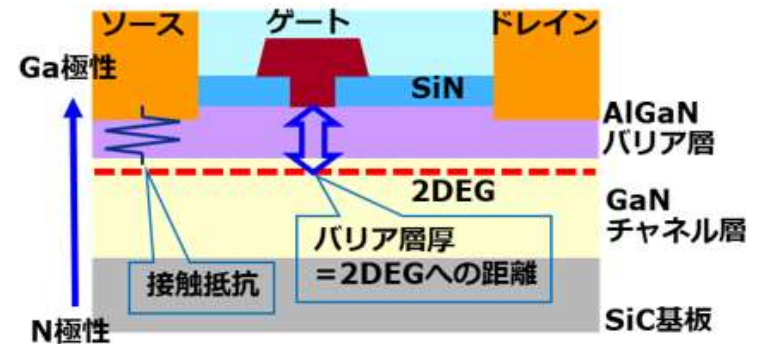
## ◆ 高効率大容量無線通信を実現する高周波GaN HEMTの研究開発 <委託> (住友電工)

### ● 成果

IoT社会を実現するポスト5G、6Gなどに求められる大容量高周波無線通信デバイスの要素技術開発の位置付けで、低抵抗/大電流特性を持った**N極性GaN**を用いたトランジスタ（逆HEMT）の試作・動作検証を行い、以下について、無線通信用途のSiデバイスに対する競争優位性を確保するための全ての目標指標を達成した。

- ✓ 高品質なGaN結晶を得る為のオフ角最適化
- ✓ 界面が急峻なHEMT構造の作製
- ✓ Al添加でGaNバッファ層を高抵抗化
- ✓ N極性GaN結晶のプロセス耐性の解明
- ✓ 低抵抗な金属電極形成技術の確立

### 【結果】



## ◆ 高効率大容量無線通信を実現する高周波GaN HEMTの研究開発 <委託> (住友電工)

### ● 成果の意義

GaN HEMTの抜本的な特性改善のために、N極性GaNを用いた逆HEMTを作製した例は、米国の大学で1例報告があるのみで国内では初。無線通信用途のSiデバイスに対する競争優位性を確保するための重要な知見を得ることができたことは、今後、N極性GaN結晶を用いた逆HEMTの世界初の量産を目指す上で、重要な意義がある。

### ● 目標の達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度
結晶成長技術	半絶縁性SiC基板上でN極性逆HEMT構造形成 ・シート抵抗 420Ω/□以下	N極性の結晶成長技術を確立し、目標値を達成。構造最適化により、更なる向上も可能な見込み	○
GaN HEMT プロセス技術	N極性逆HEMT構造に電極形成 ・コンタクト抵抗0.3Ω/mm以下	N極性上への金属電極形成技術を確立し、コンタクト抵抗の目標値を達成	○
デバイス開発 ・全体設計 ・高周波特性評価技術	高誘電体絶縁ゲート構造を実現 ・ゲートリーク 1mA/mm以下 ・オン抵抗 1.4Ωmm以下 ・最大電流 1.2A/mm以上	Si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。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

## ◆ パワーエレクトロニクス技術に関する人材育成

- 講義と実習・見学から基本原理・基本原則・先端技術を俯瞰力と発想力を養う
- 高効率電力利用に絞ったスイッチング電力変換を専門とする技術者を養成する  
関連企業からの要望に応えた、実験を併用した基礎から応用までの広範囲を講義

● 先端パワーエレクトロニクス技術体系教育講座（横浜国立大学）

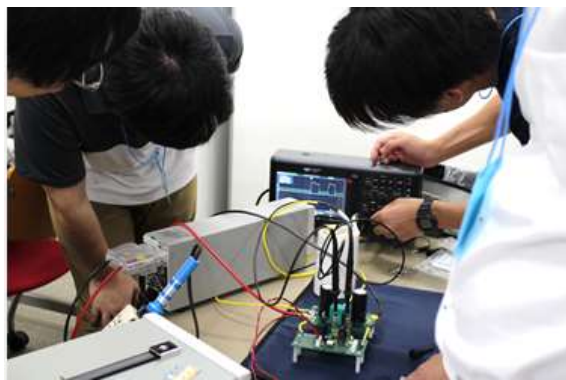
● スwitching電力変換機器の開発人材育成（大阪大学）

⇒ トータルで**489名**が受講し、業界/参加企業からは**大変好評**で、開発現場で**活躍中**

⇒ 2020年度も人材育成講座を有料で**継続開催中**（企業からの要望に対応）



座学(大阪大)



実験(大阪大)



実験(横国大)

## ◆ 成果の普及

### ● ニュースリリースによる普及活動

- 報道(新聞、雑誌、等)を含めた社会一般に積極的に成果の発信を行うことで、本パワーエレクトロニクス事業への一般社会からの関心に応える。
- **世界初**の3件を含むニュースリリースは、新聞・Webニュースなどに数多く取り上げられ、広く一般社会からの注目を集めると共に、成果の普及に大いに貢献した。

発信元	発表年月日	題名
NEDO	2014/8/15	SiCパワー素子の自動車や鉄道車両向け応用システム開発
NEDO	2015/6/11	パワーエレクトロニクス分野の新たな先導研究を開始、応用分野を発掘、新市場を創出目指す
NEDO	2015/6/30	<b>世界初</b> 、新幹線車両の高速走行にフルSiCパワーモジュールを搭載
NEDO	2016/4/4	パワーエレクトロニクスの新しい応用展開創出を目指す人材育成事業を開始
NEDO	2016/3/28	SiCパワー半導体用接合材の自己修復現象を発見(阪大、デンソー)
NEDO	2016/12/6	NEDOプロジェクトの研究開発成果を国際学会IEDM2016で発表
NEDO	2019/5/28	<b>世界初</b> 、3,300V級シリコンIGBTのスイッチング制御を5Vゲート駆動で実証
NEDO	2019/9/2	<b>世界初</b> 、単結晶ダイヤモンド基板を用いたマルチセル構造のGaN-HEMTを開発

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

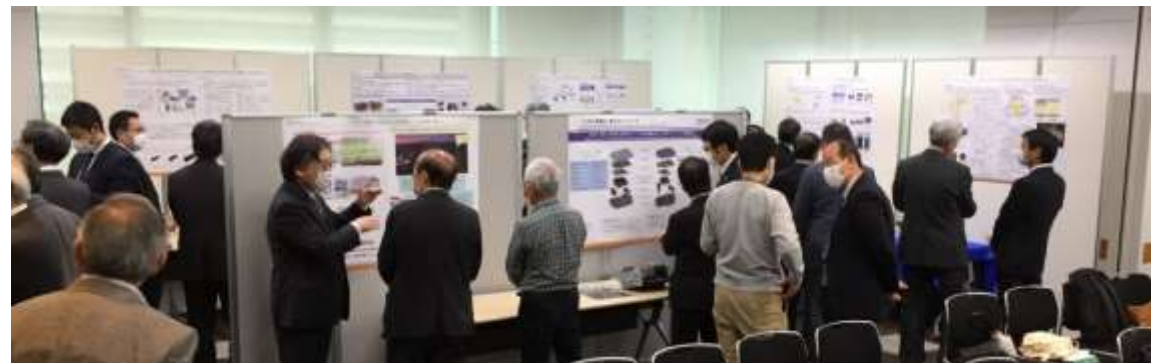
#### ◆ 成果の普及

- **パワエシンポジウムでのデモや展示を交えた普及活動 応用分野技術交流を促進**
  - ▶ 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**
  - ▶ 最終回(第6回)には、**本プロジェクトの成果報告**とポスターセッションで**意見交換も実施**

開催	年度	年月日	主なテーマ	概略来場者
第1回	FY2014	2014/11/28	パワエレプロジェクト(国プロ)の成果と普及に向けて、他(招待講演など)	150
第2回	FY2015	2016/1/8	国内外連携促進(海外メーカによる講演, 国プロ(NEDO-JST共有促進))	200
第3回	FY2016	2017/2/14	鉄道・航空・宇宙分野での次世代パワエレ応用	200
第4回	FY2017	2018/2/14	電力インフラ・輸送分野での次世代パワエレ応用	250
第5回	FY2018	2018/11/22	次世代モビリティ分野での次世代パワエレ応用	220
第6回	FY2019	2020/2/25	モビリティ電動化、医療への先進パワー半導体応用、 <b>プロジェクト成果報告</b>	130



シンポジウムの様子



ポスター発表の様子

## ◆ 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

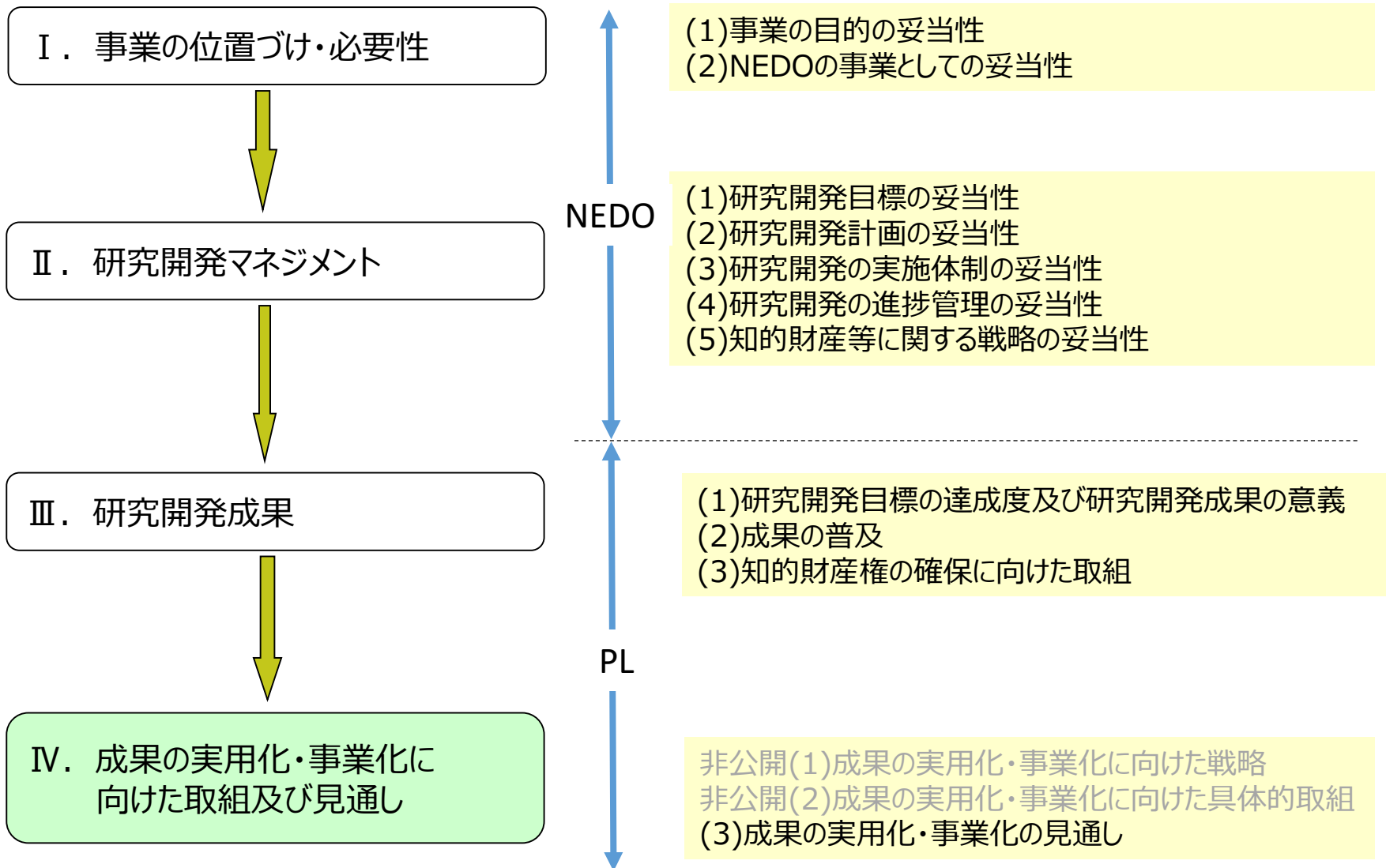


## ◆知的財産権の確保に向けた取組

- 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



## ◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、当該研究開発に係る技術や試作品等が、実用化可能であることを実証し、技術や試作品等の顧客提供が可能となるレベルまで確立されることであり、事業化とは当該研究開発に係る製品（サンプル含む）、商品等の提供や販売により、企業活動（顧客開拓、売り上げ等）に貢献することをいう。

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し (3)成果の実用化・事業化の見通し

## 研究開発項目① (10) 新世代Siパワーデバイス技術開発 &lt;委託&gt;

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(TDSC)、 三菱電機 (共同実施先)	・22-23年度に新世代Si-IGBTの 事業化予定	・産業および民生用途

## 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 &lt;助成&gt;

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、社内製品に 搭載して20年度から販売を開始	インバータ、 PCS/UPS、電源、等
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	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ウエ ハーは25年量産予定	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	6.5kVパワーモジュールについてユーザ とともに採用システムを探索中	鉄道等
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	ACR	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	トラック等

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し (3)成果の実用化・事業化の見通し

## 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 &lt;助成&gt;

テーマ	実施者	実用化・事業化見通し	分野
パワーエレクトロニクス用 <b>大口径バルクGaN結晶</b> の実用化開発	三菱ケミカル 日本製鋼所	<b>6インチ</b> サイズのGaN単結晶基板のサンプル販売を <b>1年前倒し</b> 、 <b>23年度</b> に始める。	高性能なパワー半導体需要向け

## 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 &lt;委託&gt;

テーマ	実施者	実用化・事業化見通し	分野
新材料パワーデバイスの <b>新規用途開拓の推進</b>  ・成膜技術や放熱技術などの <b>共通基盤技術</b>  ・大容量高周波無線通信デバイス技術などの <b>要素技術開発</b>  ・革新的な用途開拓に関する <b>可能性検証</b>	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、 <b>23年度</b> 目途に <b>量産化</b> を行う。	化合物半導体成膜装置
	三菱電機	まずは <b>24年度</b> を目途に、小型化・高出力化が強く求められる <b>レーダ用途に適用</b> し、その後、価格、市場性を見たうえで25年度以降、順次 <b>民生向け展開</b> を図る予定。	レーダ用途、携帯基地局、衛星通信、マイクロ波加熱、プラズマCVD装置
	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、 <b>26年頃</b> から <b>製品適用</b> する。	ポスト5G基地局

## ◆波及効果

- **スケーリングSi-IGBT**は、高耐圧3.3kV／損失35%、ゲート制御電圧5Vの世界初を実現し、欧州等で類似研究が開始された程注目が集まった。さらに、デジタルゲート制御と合せて、**AI制御をパワエレに導入するパワエレ2.0への道筋**をつけた。
- **SiCパワーデバイス**を用いたインバータを搭載したEV等の**普及**により**省エネ**や**CO<sub>2</sub>削減効果の拡大**が期待。
- 国産大口径バルク**GaN結晶**の実用化**前倒し**により、**GaN関連市場の拡大と国際競争力強化**が期待。
- 人材育成講座は、事業終了後も有料で**自主開催**により継続することにより、**パワエレ人材の技術力の底上げを推進**。

