

ナノテク・部材イノベーションプログラム、エネルギーイノベーションプログラム、  
ITイノベーションプログラム

# 「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」(事後評価)

(2010年度～2014年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

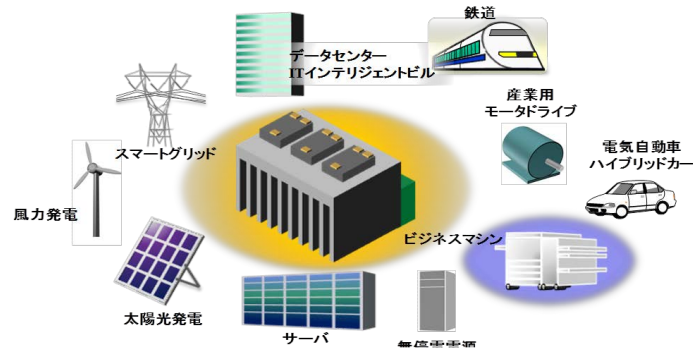
電子・材料・ナノテクノロジー一部

柚須圭一郎

2015年 6月 18日

# プロジェクトの概要

資源枯渇、地球温暖化に対して、省エネ化と低炭素化社会の実現に向けた技術開発  
本格普及が見えてきたSiCパワー半導体の事業本格化に必要な技術を開発

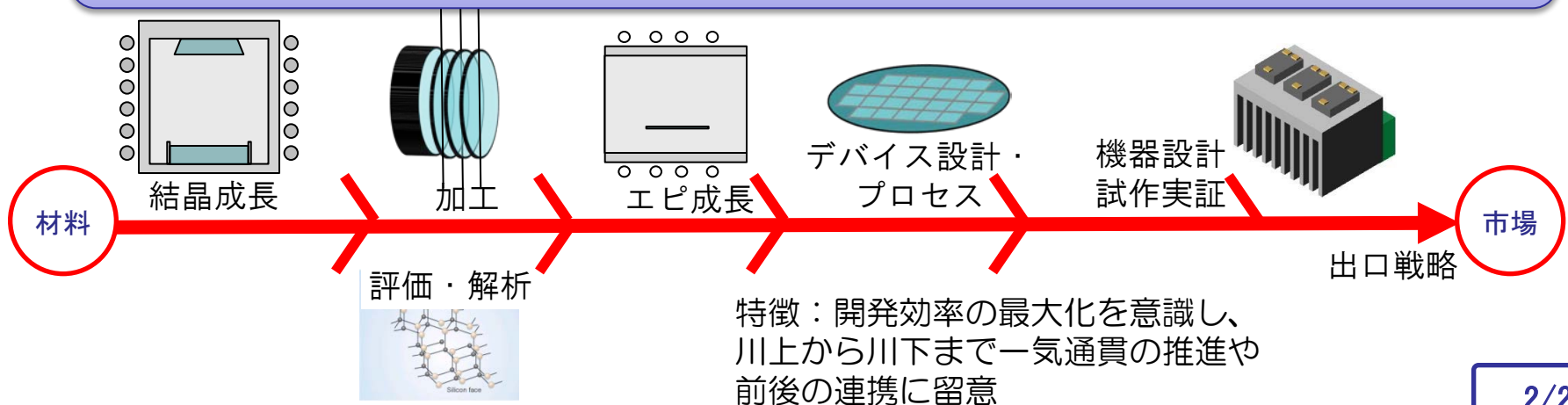


SiCパワーエレクトロニクスの  
広範囲への適用が期待されている

技術進展により本格事業展開が視野に。  
しかし、2010年当時の市場規模は限定的。  
(4インチウエハ、1kV級デバイスは市販開始)  
事業本格化のおもな要件は  
デバイス低価格化  
(ウエハ大口径化・高品質化)と  
デバイス・機器の適用範囲の拡大  
(デバイス高信頼化・高耐圧化・高効率化)

実施内容：

高品質大口径（6インチ）ウエハの安定供給に必要な技術の確立、各種プロセス装置開発、  
高耐圧（3kV）デバイス設計技術、デバイス作製プロセス技術等の開発



# 発表内容

1. 事業の位置づけ・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、事業化の見通し

## 事業目的

### 社会的背景

資源枯渇、地球温暖化対策が喫緊の課題

→ 課題解決に向けた技術開発が必要

### 産業的背景

我が国関連産業の国際的地位向上の重要性

→ 新規性の高いキー技術の早期創出が必要



### 事業の目的

SiCパワーエレクトロニクスによる省エネ／低炭素社会実現への貢献

新材料SiC・新規デバイス・新規機器技術による産業の競争力強化

## 政策上の位置付け

# 経済産業省研究開発プログラム

### (関連事項を抽出)

#### ナノテク・部材イノベーションプログラム

情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新(ジャンプアップ)をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を目指す。

#### エネルギーイノベーションプログラム

我が国、そして世界がエネルギー需給構造の抜本的な改革が不可避な状況。特に、エネルギー需給の8割超を輸入に頼るという脆弱なエネルギー需給構造を有する我が国にとっては、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、省エネルギー技術、新エネルギー技術、燃料技術、原子力・電力技術の各分野で、中長期的視点から実用化、普及段階までを見通した革新的なエネルギー技術の開発を積極的に推進する。

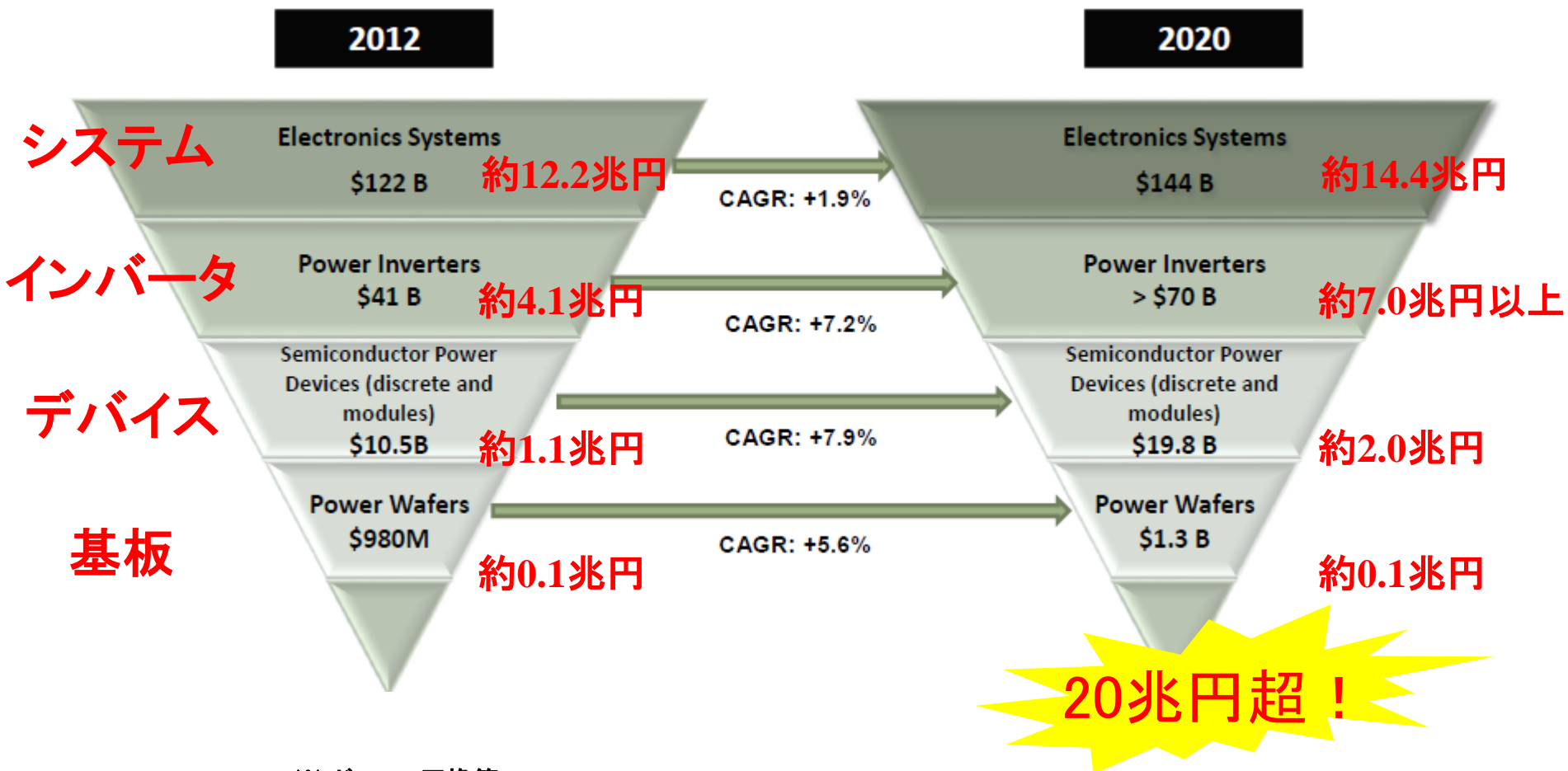
#### ITイノベーションプログラム

高度情報通信ネットワーク社会の構築に向け、情報化の進展に伴うエネルギー消費量の増大等の課題にも考慮しつつ、その基盤となる情報通信機器・デバイス等の情報通信技術を開発し、実社会への利用を促進する。また、情報システム・ソフトウェアについて品質、信頼性及び生産性の向上を推進するとともに、組込みソフトウェア産業の強化、オープンソースソフトウェアを安心して活用するための環境整備等を進めることによって、ITの利活用の深化・拡大を図る。

実行  
プログラム  
(経済産業  
省)

## パワーエレクトロニクスに関連市場

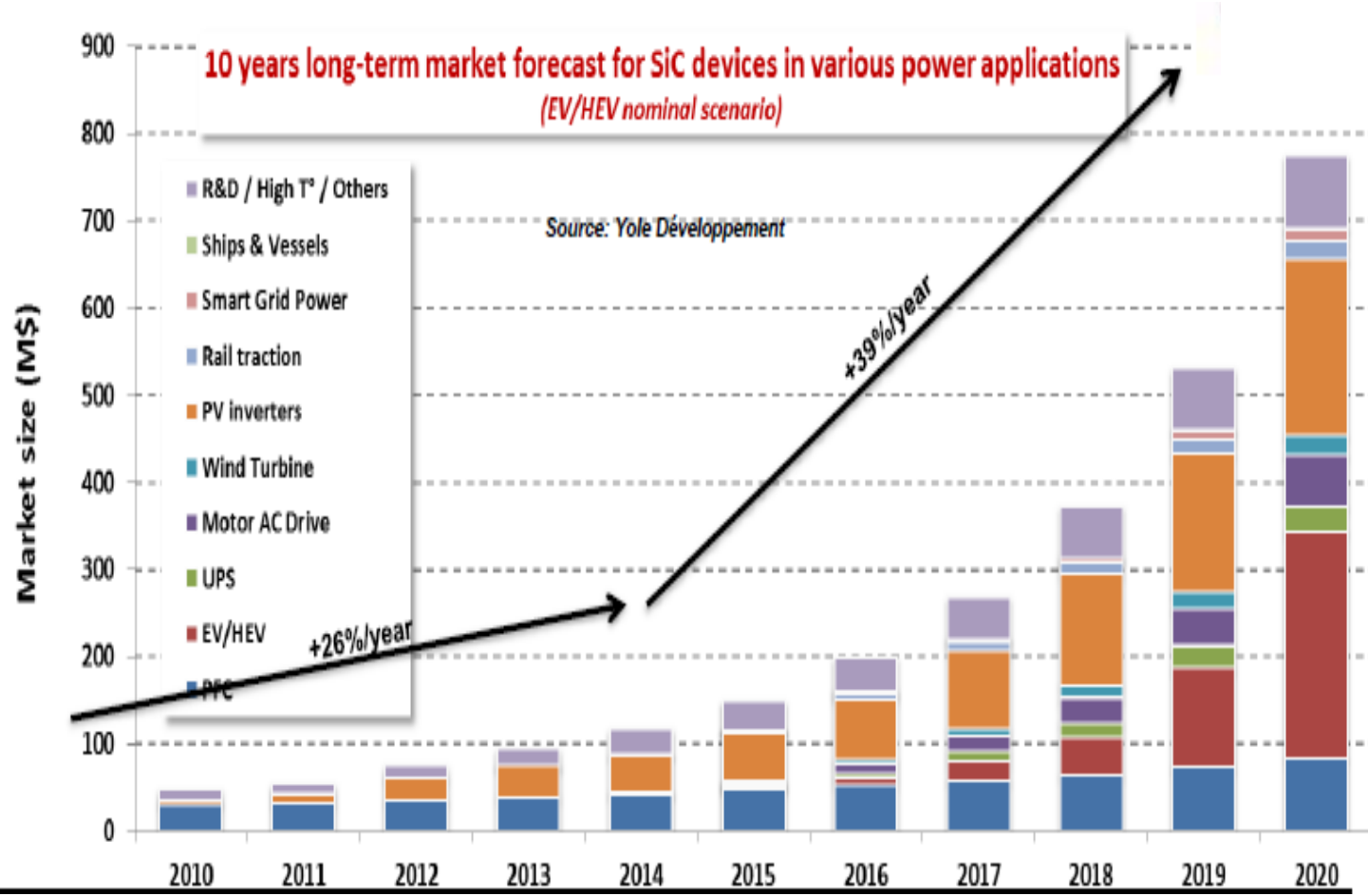
■パワーエレクトロニクス向けのウエハ、デバイス、インバータ、システムの市場は、2020年に向けて大きく成長



※1ドル100円換算

(出所)YOLE社 Status of the power electronics industry 2013

# SiCパワーデバイスの市場予測



出典： Yole Développement 2013

◆ 2020年のSiCデバイス市場は800億円弱



## 予算と期待効果との比較

新材料パワー半導体プロジェクトの総事業費: 122億円 (H22fy~H26fy)

### 経済効果

- ・パワエレ市場はデバイスのみで数兆円の市場規模
- ・うち10%がSiCデバイスになるとして数千億円程度
- ・かつ、高い年率(約40%以上)での成長が見込まれる。

#### 事業規模(全研究開発項目)

単位: 百万円

	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額
全体	2,000	3,957(助成含む)	2,120	2,160	1,980	12,217
(1)~(4)	2,000	1,938	1,722	1,729	1,445	8,834
(5)~(8)	-	2,019	-	-	-	2,019
(9)	-	-	398	431	535	1,364

### 省エネ効果

SiCパワー半導体の普及効果によって、国内だけでも、数百万キロワット(原発数基分)の省エネ効果が見込まれる(2020年時点の普及率からの予想)。

## 国内外の開発動向(技術内容)

- 開発当初はウエハ量産技術で米国に遅れをとるも、徐々にシェアを獲得。
- デバイスでは、SiCダイオードの製品化で欧州(Infenion)に実績あり。

	企業	概要	動向
日本	三菱電機／ローム／日立／東芝／パナソニック／デンソー／富士電機／新日鐵住金／昭和電工など	長年の基礎研究の結果、技術レベルは実用化検討段階に到達。ウエハに関してはステップフロー成長法(京大)など実用化に不可欠な基本技術に加え、RAF法(デンソー)などの差別化技術を有する。	新日鐵住金とデンソー・昭和電工が6インチウエハを発表。デバイスはロームが1kV級MOSFETを外販開始。三菱電機・富士電機・東芝がインバータの報道発表。ロームはドイツSiCrystal社を買収。
米国	Cree／Semisouth／Dow Corning/GEなど	DARPA資金により育成されたCree社のウエハ、エピ、デバイス技術は世界トップレベルで、ウエハはGaN-LED用基板としてビジネスが成立。SemisouthほかはJFETを外販。	ウエハのトップシェアCree社を中心に展開、同社は2010年9月に6インチ化を発表したほか、MOSFET外販開始。ダウコーニングが良質エピ技術を開発。
欧州	Infineon/STマイクロエレクトロニクス／SiCrystalなど	Siemens から派生したInfineon社はSiCダイオード製品化の先駆、ノートPCのACアダプタ、ハイエンドPC電源等の低電圧用に拡販中、MOSFETも販売開始。STマイクロ社もSBD量産。	有力ウエハメーカーSicystal社はロームが買収。デバイスはInfineon社が積極的。リンチョーピン大学が韓国LG電子に技術供与。

- 高品質ウエハの供給体制確立がその後の開発すべてを制する。我が国の差別化技術を生かして産業を育成すべき。

# 国内外の開発動向(支援体制)

国	創設主体	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017 年度	
日本	NEDO			低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクス20億円/年								
	内閣府			FIRST(10kV~ 超高耐圧SiCデバイス)34.8億円 SIPパワエレ22億円/年								
欧州	仏産業革新庁	G2REC(SiC、GaNウエハ;22億円)										
	仏政府					IEED Super Grid(>15kV高耐圧デバイス;94.4億円)						
	独文科省				NEULAND(SiC、GaNデバイス;6.1億円)							
	EURIPIDES and CATRENE			Programs THOR (Si、SiC、GaN、SOIデバイス;91億円)								
米国	エネルギー省			SiC HEV charger development;3.9億								
	NSF	CPES(材料~実装;70億円/10年)										
	NSF	FREEDM(材料~システム;40億円/年) CREE,GE等)										
	DARPA	スマートグリッド応用のデバイス・システム・受動部品開発(CREE, GeneSiC等)										
	DOE					Power America (雇用創出);150億円/年						
						NY-PEMC (SiC、GaN);500億円						

## 地域別支援戦略の傾向

- 日本: 材料からシステムまで幅広く開発(1.2~6.5kV)、SiCに重心
- 欧州: 系統電力応用など高耐圧デバイス開発に注力、SiCからGaNまでカバー
- 米国: 系統電力と軍事応用が主、材料からシステムまで、2014年に2大プロジェクト発足

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

事業の目標(概略)

研究開発項目	平成24年度末 中間目標 (詳細仕様は事業原簿参照)	平成26年度末 最終目標 (詳細仕様は事業原簿参照)	根拠
(1)結晶成長技術開発	昇華法では、下記を満たす直径6インチ結晶を実現する技術を確立。 ①10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 台の低転位密度、及び ②0.5 mm/h以上の高速成長 ガス法または液相法で、直径2インチ・1mm厚の単結晶を実現。	昇華法では、直径6インチで下記を達成 ①転位密度10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下、及び ②転位密度5x10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下と 成長速度0.5mm/h以上の両立 ガス法または液相法で、直径2インチ・20mm厚の結晶を実現し、昇華法に対する技術優位性を示す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界一の高品質を、大口径化、高速成長と両立し、低コスト化を可能にする</li> <li>・これまでにない連続成長の実現とさらなる供給安定化への見通しが必要</li> </ul>
(2)ウエハ加工技術開発	直径3インチ結晶を対象に、150 μm/分など仕様を満たす高速・多数枚同時切断を実現し、一貫プロセスの最適化方針を決定	直径6インチ結晶を対象に、300 μm/分など仕様を満たす高速・多数枚同時切断を実現し、インゴットからRms = 0.1nmの超平坦化まで24時間で完了する技術を実証。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウエハコストの中で加工コストは大きな要素。抜本的な対策が必須。</li> </ul>
(3)エピ膜成長技術	大口径化に向けて、みなし6インチ径で所定の均一性と欠陥密度を実現。高耐圧化に向けて、50 μm厚以上の厚膜・低欠陥エピ成長を実現。	大口径化に向けて、6インチ・3枚以上の同時エピ成長で所定の均一性と品質を達成。高耐圧化に向けて、100 μm/h以上の高速成長と所定の均一性と品質を達成。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大口径で世界最高水準の高品質エピ成長技術が必要</li> <li>・超高耐圧デバイスには高品質エピ膜の高速成長が必要。</li> </ul>
(4)高耐圧デバイス技術	耐圧3kVのMOSFETを実現し、SiC-MOSFET、SBDを適用した耐圧3kV以上のモジュールを試作	耐圧3kV以上でオン抵抗15mΩ cm <sup>2</sup> 以下のMOSFETを実現し、耐圧3kV以上のデバイスを用いたMVA級電力変換器でSi比50%以下の損失を実証。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高耐圧デバイスの設計/プロセス技術、実装、評価、大容量電力変換器設計技術が必要。</li> </ul>

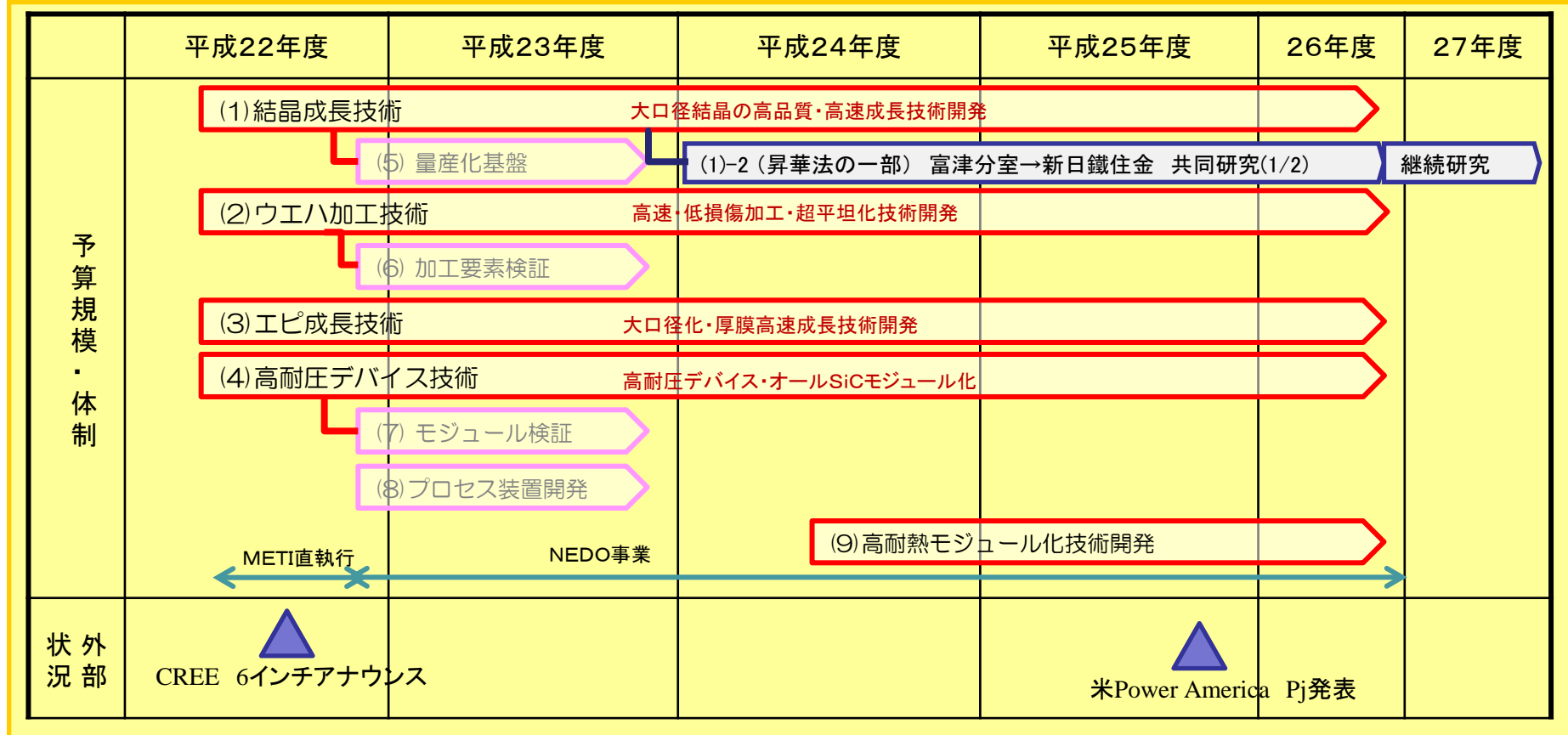
## 事業の目標(概略)

以下は、モジュール開発のために平成24年度より追加した事業。

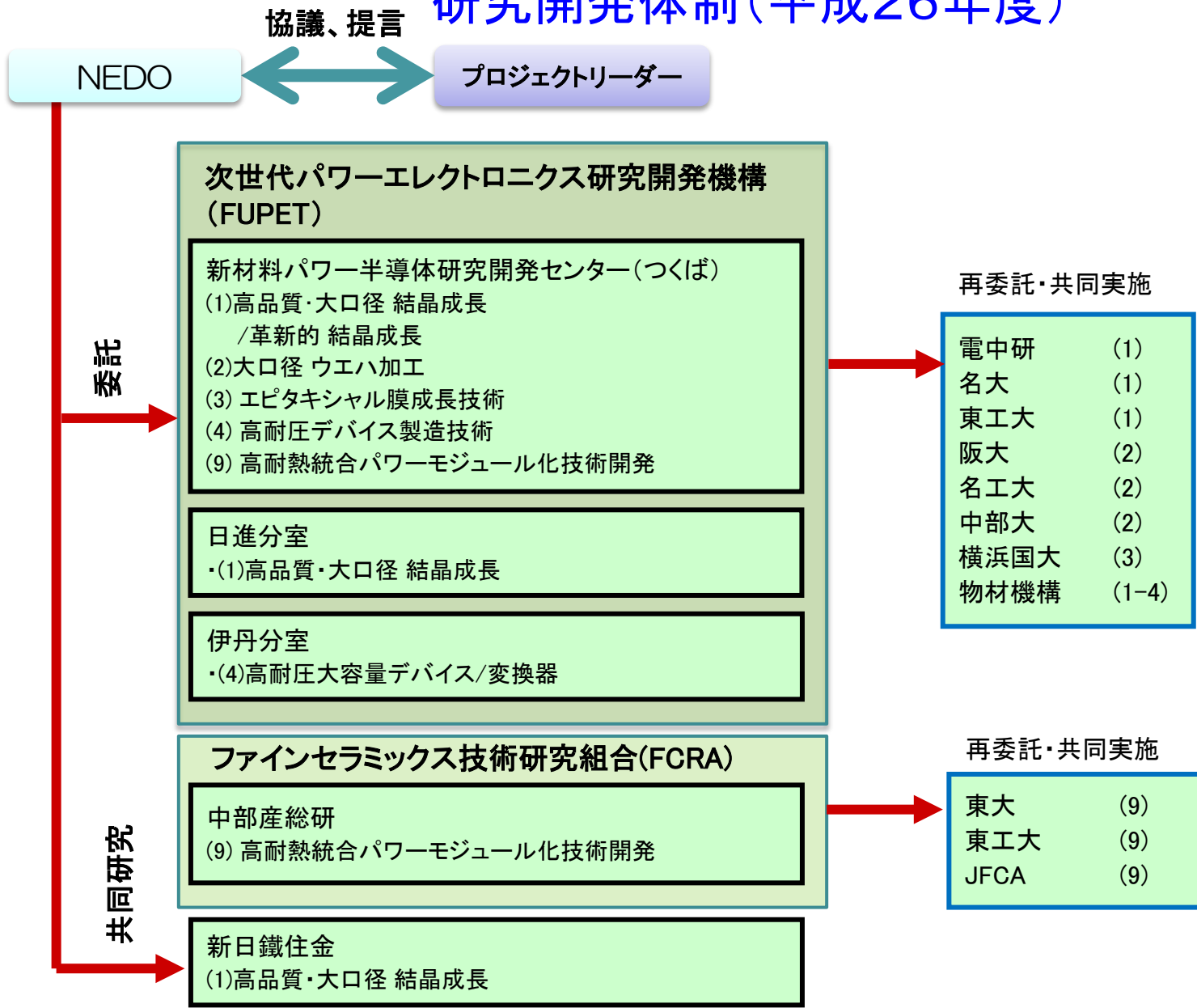
研究開発項目	平成26年度末 最終目標 (詳細仕様は事業原簿参照)	根拠
(9)高耐熱統合パワーモジュール化技術開発	<ul style="list-style-type: none"><li>・耐熱温度250℃、熱サイクルー40～250℃をクリアしたコンデンサ、抵抗、放熱基板、配線基板、を使って1200V-50A級モジュールを試作・評価し、課題と対策を得る。</li><li>・材料～部材～部品の国際標準化戦略を策定する。また、部品の標準化活動と連携し、材料及び部材に関する戦略的標準化項目のISO化のための技術的検討(草案策定)及び海外ネットワークづくり等の基盤整備を行う。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・国内メーカーが強みを持つデバイス技術に比べて、相対的に弱いモジュール技術を開発する意義は高い。</li><li>・システムメーカーへ仕様を提案するためにも、モジュール分野での国際標準化が急務。</li></ul>

2. 研究開発マネジメントについて (2) 研究開発計画の妥当性

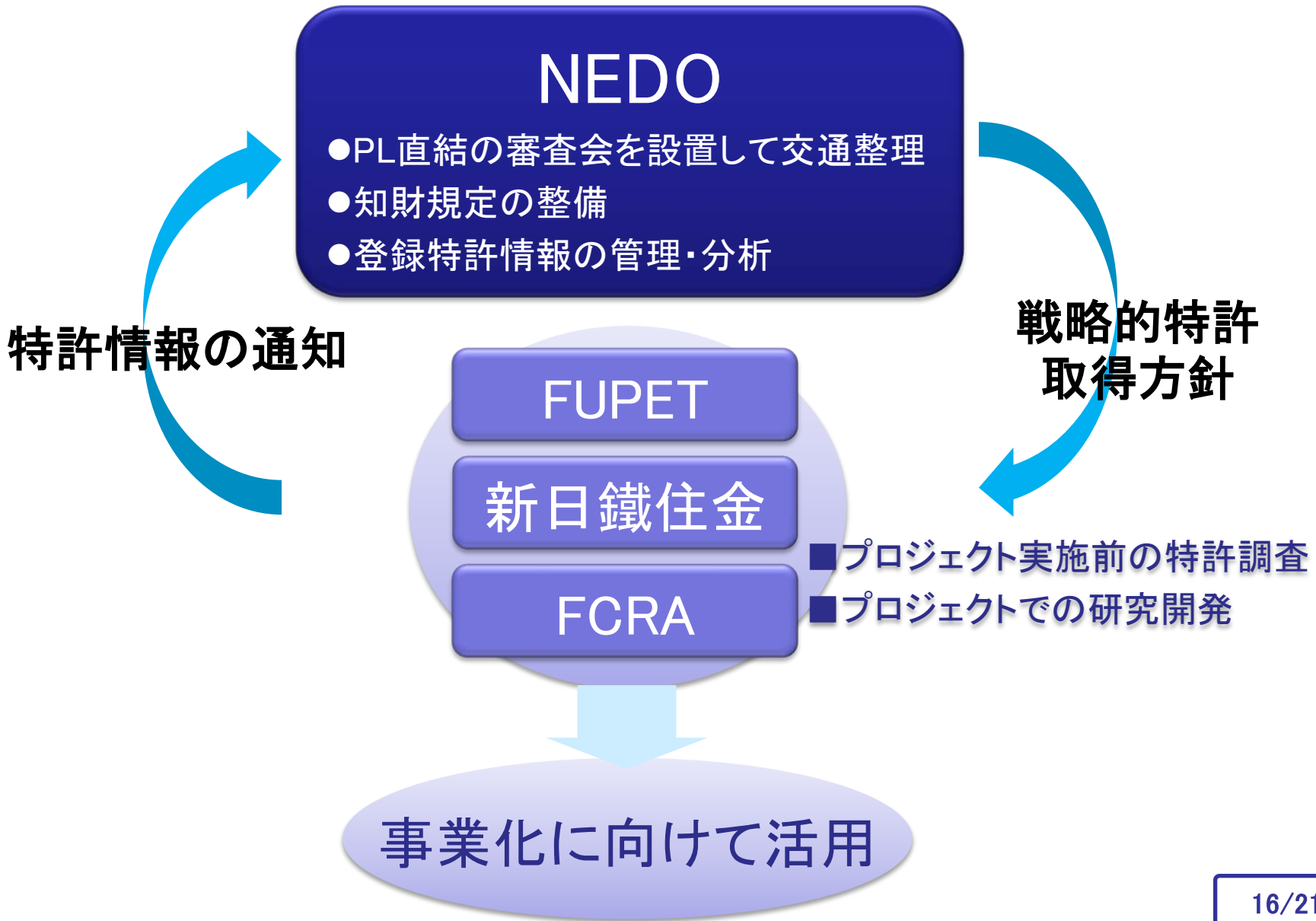
# 全体スケジュール



# 研究開発体制(平成26年度)



# 知財マネジメント



## 事業化を意識したマネジメント

### 定期的なヒアリング

実施者から定期的な成果ヒアリングを実施。軌道修正に反映(年2回)  
実用化・事業化の見通しについても同時に確認

### 特許を戦略的に出願

積極的に出願する一方で戦略的な不出願も選択(ノウハウ開示の防止)

### 学会活動などを通じてアピール

国際会議、技術成果報告会 等  
NEDOも協力(CEATEC、NANOTECH、ウェブ紹介)

- CEATEC展示の様子
- 27テーマ中2番目の注目度



### 情勢変化への対応

外部状況を踏まえ、実施体制の組み替え・重点項目への予算充当・委託から助成・共同研究への変更等を行う(後述)

2. 研究開発マネジメントについて (5) 情勢変化等への対応

# 実施体制の変遷

平成22年度

**経産省**

委託

次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構 (FUPET)

新材料パワー半導体研究開発センター(つくば)

- (1)結晶成長
- (2)ウエハ加工
- (3)エピタキシャル膜成長
- (4)デバイス技術

日進分室 (デンソー)

- (1)結晶成長,

富津分室 (新日鉄)

- (1)結晶成長

伊丹分室 (三菱)

- (4)デバイス/変換器

(再委託・共同実施先は省略)

平成23年度

**NEDO**

委託

助成

次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構 (FUPET)

新材料パワー半導体研究開発センター(つくば)

- (1)結晶成長
- (2)+(6)ウエハ加工
- (3)エピタキシャル膜成長
- (4)デバイス技術

日進分室 (デンソー)

- (1)結晶成長

富津分室 (新日鉄)

- (1)結晶成長

伊丹分室 (三菱)

- (4)+(7)デバイス/変換器

デンソー・昭和電工  
(5)ウエハ量産化基盤技術

新日鉄・新日鉄マテリアルズ  
(5)ウエハ量産化基盤技術

日新イオン機器  
(8)大口径対応プロセス装置開発

日立国際電気  
(8)大口径対応プロセス装置開発

H22補正予算による  
(実施期間はH23単年度)

平成26年度

**NEDO**

委託

共同研究

次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構 (FUPET)

新材料パワー半導体研究開発センター(つくば)

- (1)結晶成長
- (2)ウエハ加工
- (3)エピタキシャル膜成長
- (4)デバイス技術
- (9)高耐熱モジュール技術

日進分室 (デンソー)

- (1)結晶成長,

伊丹分室 (三菱)

- (4)デバイス/変換器

ファインセラミックス技術研究組合 (FCRA)

中部産総研

- (9)高耐熱モジュール技術

新日鉄住金

- (1)結晶成長

量産化を見据えた  
共同研究移行

## 2. 研究開発マネジメントについて (5) 情勢変化等への対応

### 対応実績(項目追加・加速資金投入)

件名	目的・内容	成果
(平成22年度補正予算で実施)		
<b>平成23年度</b>		
ウエハ量産技術強化 (助成事業)	最重要な大口径ウエハ供給体制の確立のため、量産技術立ち上げ中心に実施。	6インチウエハ(新日鐵)・RAF法6インチインゴットを実証(デンソー)し、量産体制を構築(新日鉄マテリアルズ、昭和電工)。
6インチ対応デバイスプロセス装置 開発(助成事業)	6インチでのデバイス製造ライン構築に不可欠な装置を開発。	完成度の高い高温イオン注入・高温アニール装置が完成。
6インチウエハ加工技術加速	ボトルネックである加工技術の限界を追求。一貫プロセス確立を加速する。	超高速・高張力ワイヤーソーを実現し、全体最適化に向けたデータを蓄積。
ハイブリッドモジュール化検証	早期に技術を押える必要が高い、インフラ系機器の設計技術を中心に加速。	3.3kV-SBD実現。Si-IGBTと組み合わせ1000Aの大電流スイッチングを実証。
<b>平成24年度</b>		
「高耐熱部材統合モジュール化」追加	Siで真似できない機器を実現するため、高温で使える部品や基板を開発する。	耐熱温度250°C、熱サイクル-40~250°Cをクリアした高耐熱部品を使って1200V-50A級モジュールを試作・評価し、課題と対策を得た。
加速資金により結晶/ウエハの欠陥分析体制充実	6インチ実証に伴い、事業化を急ぐため、ウエハ検査技術を充実する。	高速エピ成長を実現できるハライド法開発に資金を集中し、副作用の無い高速成長100μm/h以上を確認した。
<b>平成25年度</b>		
MVA級電力変換器の開発加速	SiC素子間の特性バラツキを解消するために、加工技術を改善する。	高精度加工装置を導入した結果、素子間特性バラツキが改善し、MVA級電力変換器を半年早く完成させた。
6インチウエハ品質改善に係る開発加速	SiCエピ付きウエハ特性を改善するために、影響を与えるウエハ表面特性を把握する必要がある。	導入したウエハ表面研削装置とCV測定装置を使って、ウエハ表面特性とエピ膜中ドーパ分布の相関を取りエピ付きウエハ品質改善の目処を得た。

## H24年度実施の中間評価結果と対応方針

指摘事項	対応方針	評点			
		位置付	マネジ	成果	実用化
SiC基板は、高性能化だけでは既存技術との置き換えは困難であり、高品質化と低コスト化の両立が国際競争に勝利する道である。参画企業間の連携をさらに強化し、それらの成果を融合させ、いかにして産業を支える技術に仕上げるべきか、開発の進捗に応じて議論を重ね続ける必要がある。	平成25年より、結晶開発グループから加工グループへ6インチSiCインゴットを供給させることで、加工技術を効率的に向上させ最終目標を大幅に上回る10時間以内の加工技術を確立した。また結晶開発グループにとっても、加工データを得ることでウエハビジネスの一助となった。	3.0	2.1	2.4	2.4
高速エピ成長技術の一部(ハライド法)は、現在のアプローチでは海外と特段の差異は無く、後追いの感は否めない。したがって、先行技術を凌駕するコンセプトで、革新的な高速エピ成長技術の開発を目指していただきたい。	高速エピ成長技術の有力候補として、ハライド法開発に加速資金を投入した結果、その特徴について早期に見極めた上で、今後の方向性に指針を与えた。				

# 情勢変化に対応した新規プロジェクトとの関係性

2012    2013    **2014**    2015    2016    2017    2018

内閣府

**FIRST**

最先端研究開発支援プログラム

低炭素社会創成へ向けた炭化珪素(SiC)革新  
パワーエレクトロニクスの研究開発

- ・ ウエハ、デバイスから回路までの各技術を一気に通貫に連携させて研究開発
- ・ 電力変換用、自動車用等のSiC, GaNに関する基盤的技術(ウエハ、デバイス、回路、モジュール等)の研究
- ・ 将来のパワーエレクトロニクス(新材料、新構造)に関する革新的研究

**SIP**

戦略的イノベーション創造プログラム  
「次世代パワーエレクトロニクス」

**低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクス**

**新材料パワー半導体プロジェクト**

SiCのウエハからデバイス・モジュールまでの  
要素技術開発

- ・ 6インチSiCウエハ、
- ・ 3.3kV-SiC-MOSFET等

情報交換

・ 新材料パワーデバイス等を用いた応用システムの試作・実証

成果となるウエハ、  
デバイス技術等を適宜展開

次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

- ・ 産業機器、自動車、民生機器、応用志向の研究開発、及び先導研究等

新世代Siパワーデバイス技術開発

共通技術を共有

- ・ 極限の材料及びデバイス構造の開発

経済産業省