

ナノテク・部材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」(中間評価)

(平成21年度～平成26年度 5年間)

## プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

電子・材料・ナノテクノロジー部

2012年 8月 24日

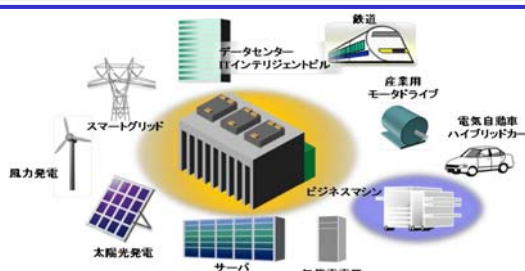
複製を禁ず

1/25

## プロジェクトの概要

公開

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

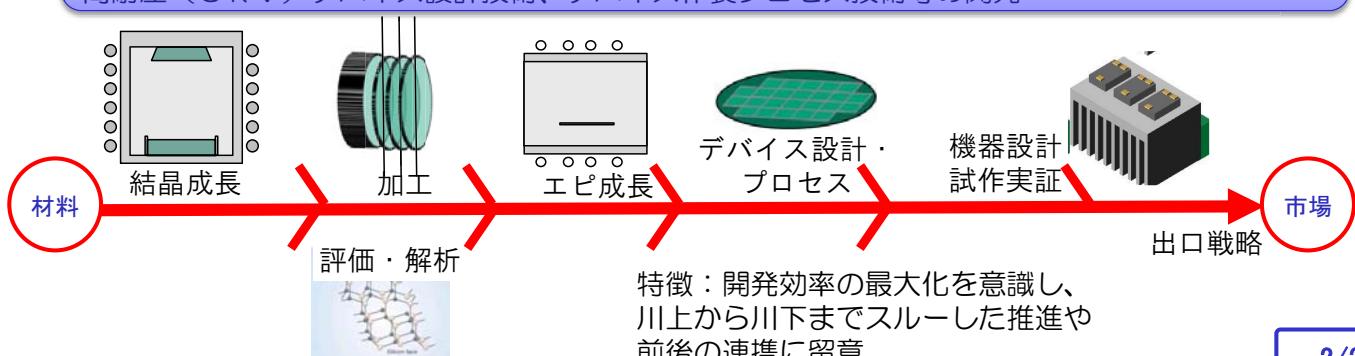


SiCパワーエレクトロニクスの  
広範囲への適用が期待されている

技術進展により本格事業展開が視野に。  
しかし、現時点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)

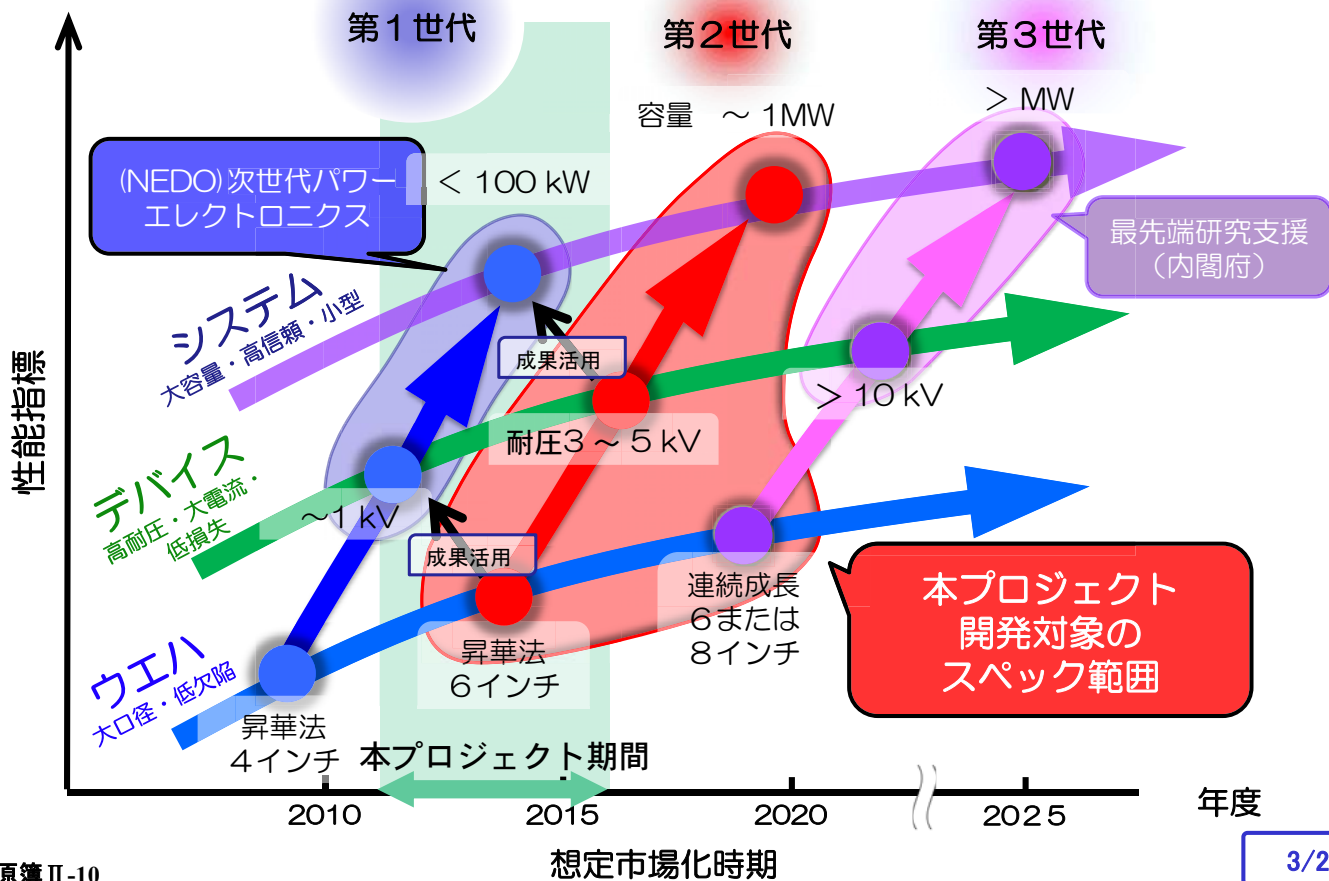
実施内容：

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



2/25

本プロジェクトの開発範囲と関連プロジェクトとの関係



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

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

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、組み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)

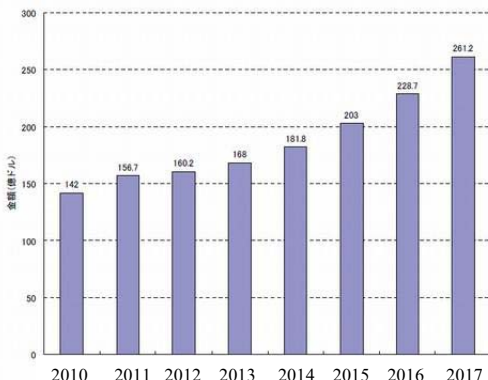
## NEDO中期計画 (関連項目を抽出)

- <1> ライフサイエンス分野
- <2> 情報通信分野
  - ① 高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術
- <3> 環境分野
  - ① 温暖化対策技術
- <4> ナノテクノロジー・材料分野
  - ① ナノテクノロジー
  - ② 革新的部材創製技術
- <5> エネルギー分野
  - ② 新エネルギー技術
  - ③ 省エネルギー技術
- <6> 新製造技術分野
  - ① 新製造技術
- <7> 各分野の境界分野・融合分野及び関連分野

電力利用のすべての分野に貢献することから、複数の目的に沿った実施内容となっている

## 実施の効果

### パワー半導体市場

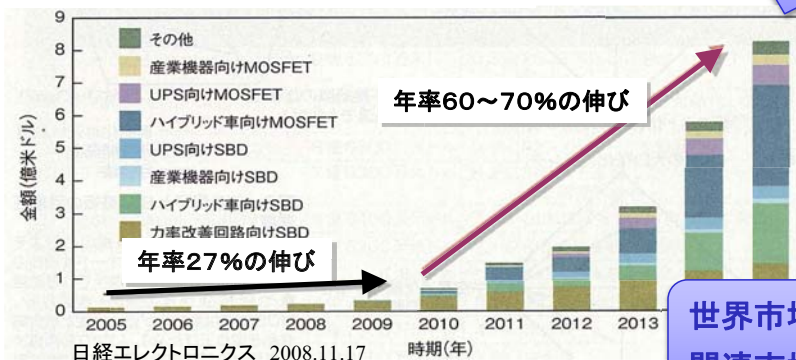


EE times/矢野経済 <http://eetimes.jp/ee/articles/1201/19/news045.html>

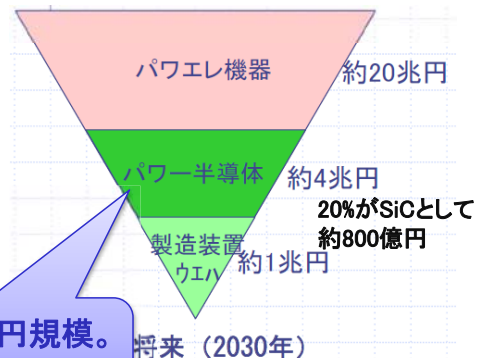
世界規模でパワー半導体市場は長期的に拡大。  
→日本メーカーのシェアは30% (2009)と存在感を示すが、漸減傾向であり、成長戦略が必要。

SiCデバイスは  
パワエレ半導体全体以上の年率で成長。

### SiCデバイスの市場規模予想



日経エレクトロニクス 2008.11.17 時期(年)



新材料パワー半導体プロジェクトの総事業費:121億円(H22~26)

## 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20%がSiCデバイスになるとして1兆円程度。  
かつ、高い年率(50%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

| 年度 | H22fy | H23fy | H24fy | H25fy   | H26fy   | 総額     |
|----|-------|-------|-------|---------|---------|--------|
| 金額 | 2,000 | 3,957 | 2,120 | (2,000) | (2,000) | 12,077 |

H22, 23:実績, その他:予算

## 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)。

# NEDOが関与する意義(まとめ)

- 国家的課題に対する取り組み
  - ・ 資源枯渇、地球温暖化問題解決に貢献する
- 我が国産業の競争力強化、戦略的事業展開に貢献
  - ・ 材料・電気機器・電子デバイス産業のほか、自動車等へ波及効果大
- 潜在的な巨大市場創出の可能性大
  - ・ Siデバイスに比べて大幅な高効率化・小型化が可能、波及効果大
- チャレンジングな技術開発
  - ・ 結晶成長から機器設計まですべてに新規性
- 異業種の連携が有効
  - ・ 結晶成長・加工などのプロセス間、プロセス内の連携体制の推進が重要
- 現時点では市場が小さく、個別企業の投資が足踏み
  - ・ 期待感の高まる一方ハイリターンであるがハイリスク
- 国際的な競争から危機感が高まっている
  - ・ 米国DARPA等の巨額支援を背景に着実に技術力を高めつつある



NEDOが関与すべき事業

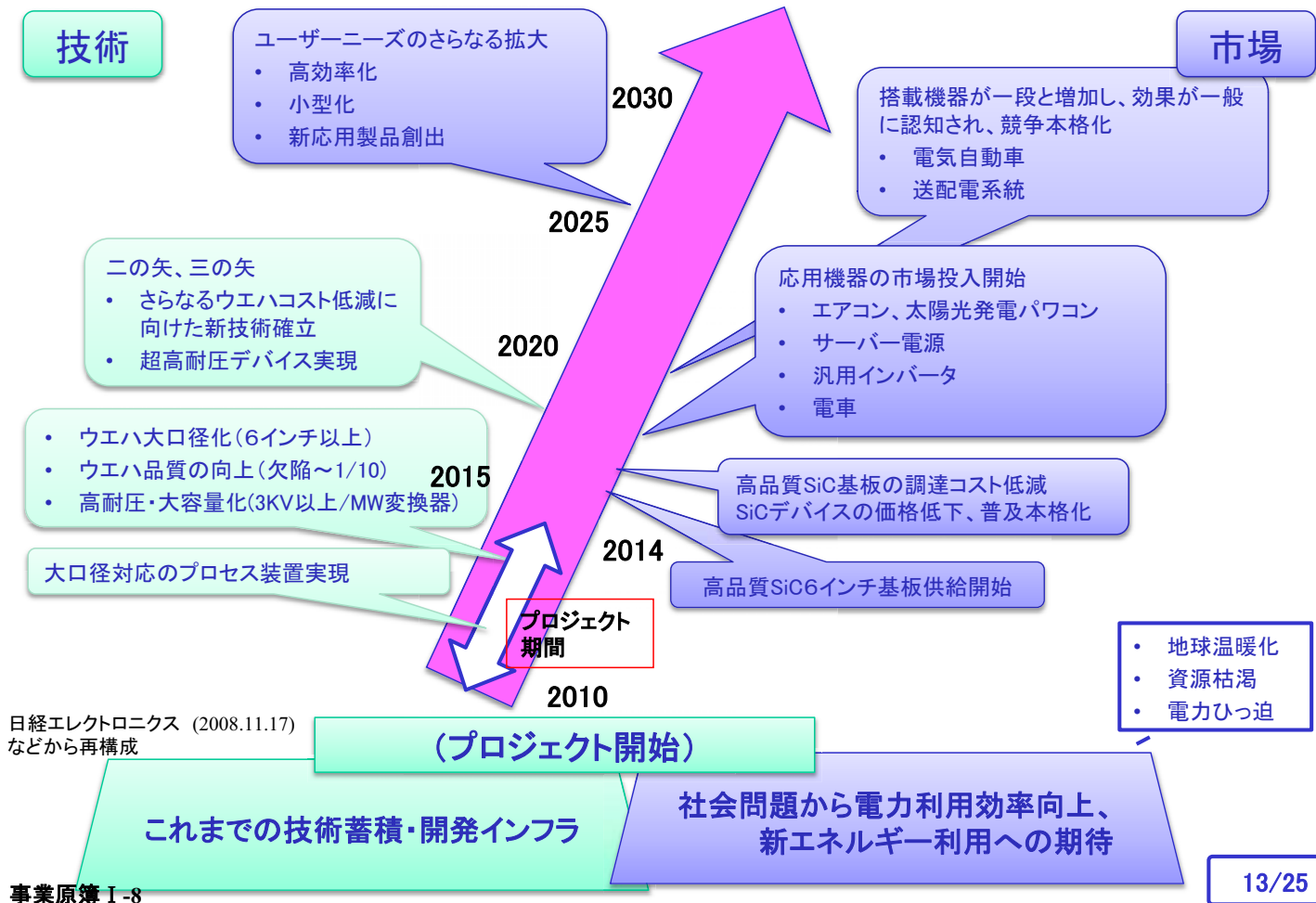
- ウエハ量産技術で米国に遅れ。
- デバイスでは、SiCダイオードの製品化で欧州に実績あり。

|    | 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／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。

|    | 出資母体     | 概要  |
|----|----------|---|
| 日本 | NEDO     | 1998年からの数次の国家プロジェクトでウエハからデバイスまでの基盤を確立。「パワーエレクトロニクスインバータ」(H18-20)でSiインバータに対する優位性を実証。「次世代パワーエレクトロニクス」(H21-24):インバータ回路を中心に開発中(H24年は2.5億)。  |
|    | 内閣府/JSPS | 最先端研究支援プログラム(H21-H25):全期間で35億円。京大木本教授を中心とし、産総研も参加。10kV以上の超高耐圧デバイス技術確立を目標に活動中。   |
| 米国 | NSF      | CPES(バージニア工科大学、インテルなどからなるコンソーシアム。1998年~2008年までで60~70億円。パワー半導体、材料技術、実装技術、制御・センサ実装技術等広く取り組む。) FEEDM(North Carolina State Univ.中心のコンソーシアム、年間40億円規模。スマートグリッドへの展開を目的にSiCデバイスからシステムまで広く取り組み。) |
|    | DARPA    | CREE、GE等個別企業、個別大学に資金提供。空母等を念頭に高耐圧デバイス・機器中心の開発。DOD自体もNaval Research等有力機関を擁する。  |
|    | DOE      | ARPA-Eプログラムのもと、CREE、GeneSiC等個別企業、個別大学に資金提供。スマートグリッド適用を念頭にデバイス・システム・受動部品も開発。   |
| 欧州 | FP7      | 全欧の横断的開発支援プログラム。現在は個別企業支援が主   |

- 国家的支援額は 米 > 日 >> 欧
- わが国は、得意の民生分野を中心として、ボリュームゾーンとみられるEV等の新規分野急成長に乗り、一気にシェアを獲得する。



## 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

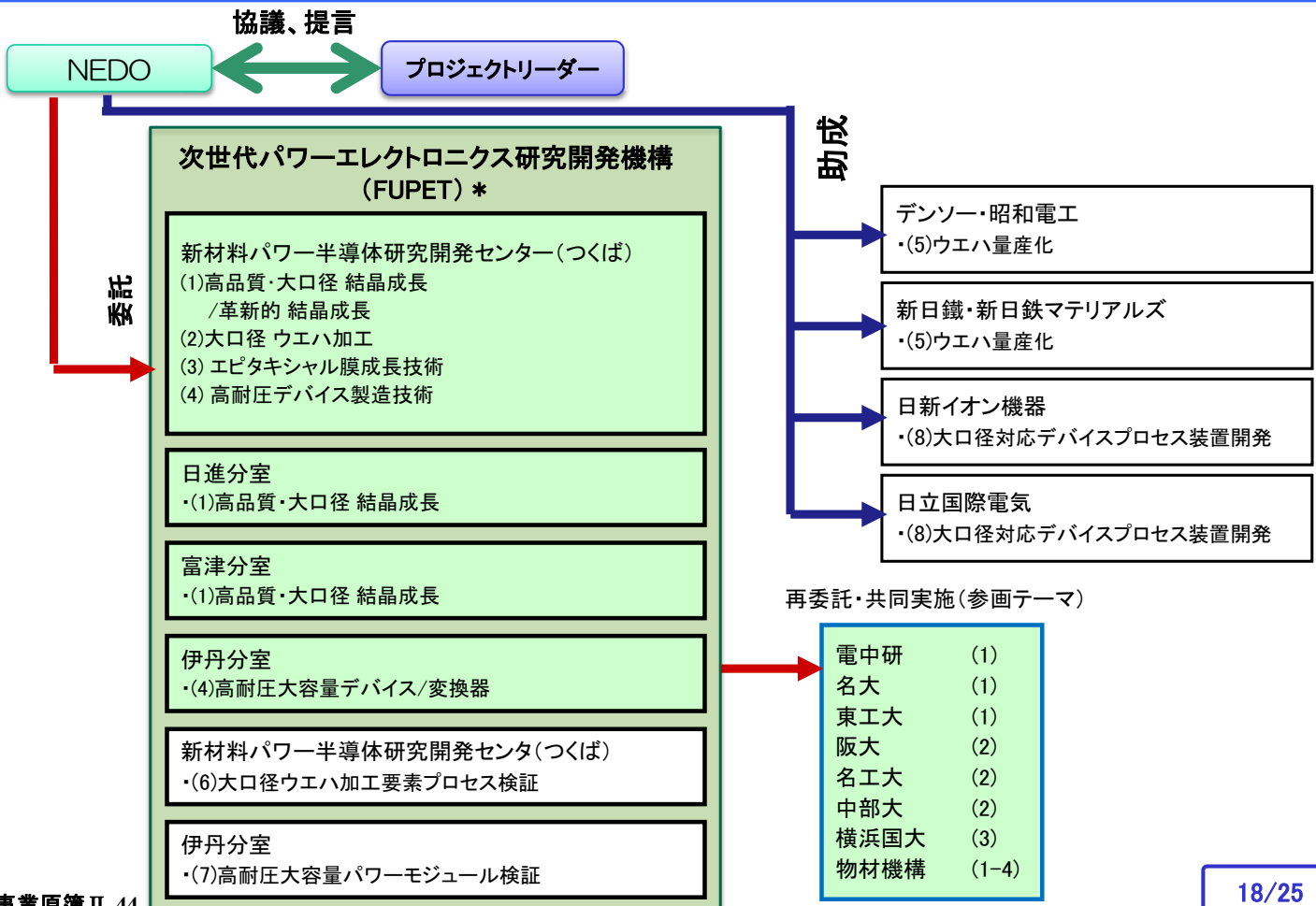
| 研究開発項目       | 平成24年度末 中間目標<br>(詳細仕様は事業原簿参照)   | 平成26年度末 最終目標<br>(詳細仕様は事業原簿参照)  | 根拠  |
|--------------|---|--|---|
| (1)結晶成長技術開発  | 昇華法では、下記を満たす直径6インチ結晶を実現する技術を確立。<br>①10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 台の低転位密度、及び<br>②0.5 mm/h以上の高速成長<br>ガス法または液相法では、直径2インチ・1mm厚の単結晶を実現。 | 昇華法では、直径6インチで下記を達成<br>①転位密度10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下、及び<br>②転位密度5×10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下と<br>成長速度0.5mm/h以上の両立<br>ガス法または液相法では、直径2インチ・20mm長の結晶を実現し、昇華法に対する技術優位性を示す。 | ・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<br>・この矢として、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 |
| (2)ウエハ加工技術開発 | 直径3インチ結晶を対象に、150μ m/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、300μ m/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。   | ・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。  |
| (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、50μ m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、100μ m/h以上の高速成長と所定の均一性と品質を達成。  | ・大口径で世界最高水準の高品質エピ成長技術が必要<br>・超高耐圧デバイスには高品質エピ膜の高速成長が必要。                          |
| (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。   | ・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。                                       |

以下は、平成22年度補正予算による。実質的に平成23年度単年度事業。  
(5)・(8)は助成事業(助成率2/3)、(6)・(7)は委託事業

| 研究開発項目                            | 達成目標(平成23年度末目標)  | 根拠   |
|-----------------------------------|--|--|
| (5)ウエハ量産化技術開発<br>(項目①の量産化技術)      | 量産化開発環境を整備し、6インチインゴットで転位密度1×10 <sup>4</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下、または成長速度0.25 mm/h以上かつ転位密度5 × 10 <sup>4</sup> 個/cm <sup>2</sup> 以下の基盤技術の確立。 | 6インチインゴットの早期実現は、下流の技術開発すべてに影響するため、大口径ウエハ量産技術の早期確立が最重要。 |
| (6)大口径ウエハ加工要素プロセス検証<br>(項目②の開発加速) | ダイヤモンドマルチワイヤーソーのワイヤー速度4,000 m/minなど未踏の目標を実現するほか、切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各工程の能力限界等のデータを蓄積   | 加工プロセス早期確立のため、要素プロセスの能力限界・個別課題抽出の推進が必要。                |
| (7)高耐圧大容量パワーモジュール検証<br>(項目④の開発加速) | 耐圧 3.3 kVのSBDを早期に開発し、Si-IGBTと組み合わせ、1,000 A級モジュールを早期に試作・動作実証。   | 高耐圧デバイスと機器の開発を加速し、SiC化の効果をも早く示す必要がある                   |
| (8)大口径デバイスプロセス装置開発<br>(独立項目)      | 800℃までイオン注入が可能なイオン注入装置、熱処理温度1800℃以上の活性化熱処理装置を開発。   | SiC特有の高温プロセスに対応し、大口径に対応した装置を開発し、6インチウエハ事業化に備える必要がある。   |



|         | 平成22年度                | 平成23年度                | 平成24年度   | 平成25年度                         | 26年度                                | 27年度                  |
|---------|-----------------------|-----------------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| 予算規模・体制 | (1)結晶成長技術             | 大口径結晶の高品質・高速成長技術開発    |  |                                |                                     |                       |
|         | (5)量産化基盤              |                       | (1)-2(昇華法の一部) 富津分室→新日鐵 共同研究(1/2)                 |                                |                                     |                       |
|         | (2)ウエハ加工技術            | 高速・低損傷加工・超平坦化技術開発     |  |                                |                                     |                       |
|         | (6)加工要素検証             |                       |  |                                |                                     |                       |
|         | (3)エピ成長技術             | 大口径化・厚膜高速成長技術開発       |  |                                |                                     |                       |
|         | (4)高耐圧デバイス技術          | 高耐圧デバイス・オールSiCモジュール化  |  |                                |                                     |                       |
|         | (7)モジュール検証            |                       |  |                                |                                     |                       |
|         | (8)プロセス装置開発           |                       |  |                                |                                     |                       |
|         | METI直執行               |                       | NEDO事業   |                                |                                     |                       |
| ヒアリング   | NEDO委員会<br>採択委員会(1~4) | NEDO委員会<br>採択委員会(5~8) | NEDOヒアリング<br>分室企業ヒアリング<br>NEDOヒアリング<br>(技術推進委員会) | NEDOヒアリング<br>中間評価<br>NEDOヒアリング | NEDOヒアリング<br>NEDOヒアリング<br>(技術推進委員会) | NEDOヒアリング<br>事後評価(予定) |
| 状況部     | CREE 6インチ<br>アナウンス    |                       |  |                                |                                     |                       |



## (3) 事業体制の妥当性

チーム構成

国内の最有力企業・機関のみからなる技術研究組合を組織。再委託先・共同実施者も真に開発に役立つ機関のみを委嘱。

参画企業の技術力・事業化能力

出口側は本田技研・トヨタ・日産、三菱電機・東芝・富士電機・パナソニック・ロームなどの有力企業が参加。材料側では新日鐵・デンソー・昭和電工をはじめとする最有力企業が参画。各企業の戦略とリンクして実施

技術研究組合の役割の妥当性

本部は技術企画・財務・法務機能のみを実施  
研究開発場所に隣接して本部機能を設置

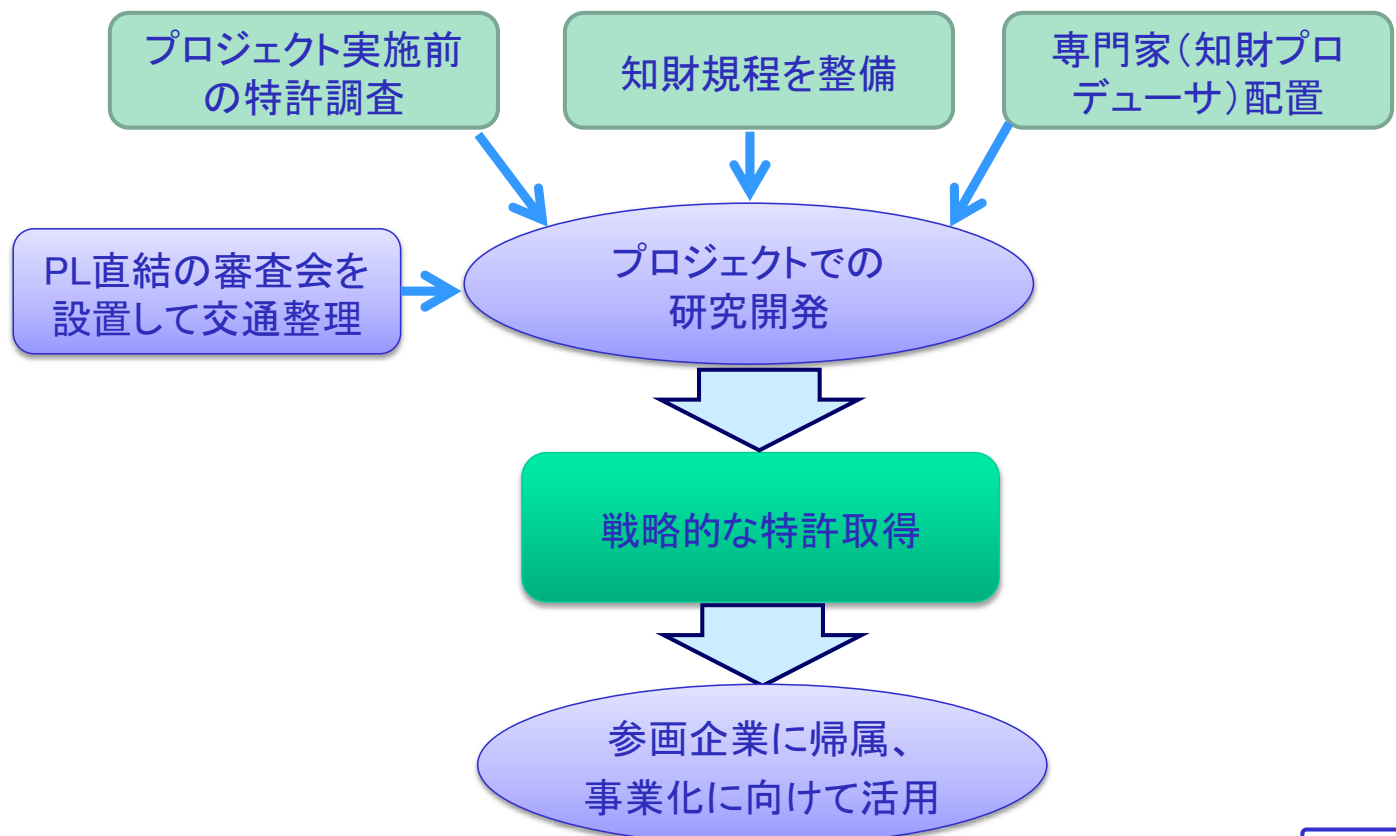
プロジェクトリーダーの妥当性、活動環境

国際的指導者である産総研奥村元氏をPLとして委嘱。指導のもとで実施

連携体制

異業種の連携を推進する部分は集中研方式を採用。企業の個別実施に適する場合は分室を設置。協力が意味を持つ分析・評価中心に企業間の連携を推進。標準化も視野に。実用化シナリオに基づき、参画企業での事業戦略とリンクすべく、頻回に成果報告等を実施。

## (4) 実用化、事業化に向けたマネジメント



## 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(ウェブ紹介など)

## 情勢変化への対応

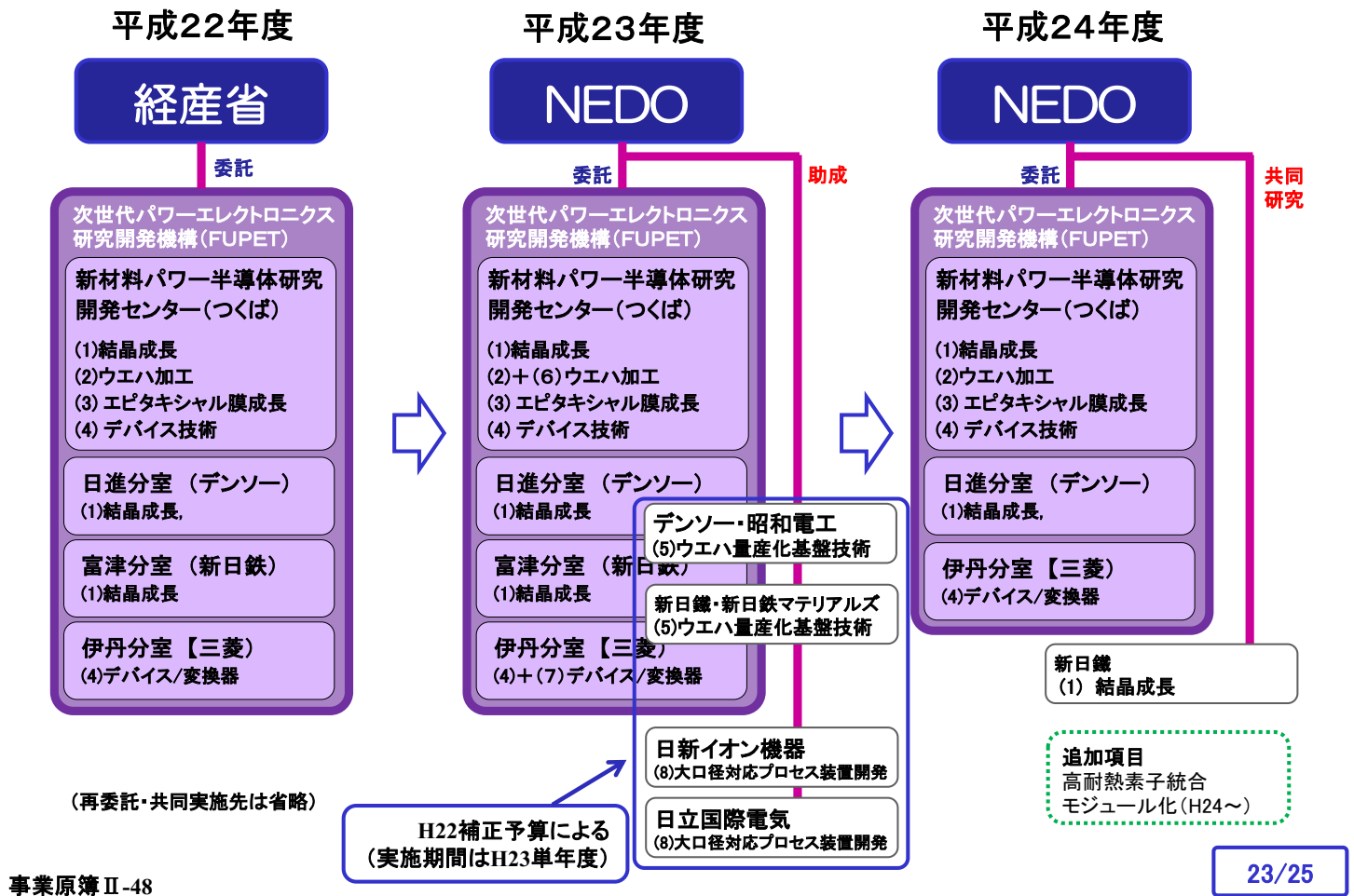
外部状況を踏まえ、実施体制の組み替え・重点項目への予算充当・委託から助成・共同研究への変更等を行う(次ページで説明)

## 方針

定期ヒアリング等を通じ状況確認

適時、適切な計画変更

早期事業化に向けて研究開発加速資金を投入



| 件名                       | 目的・内容                                | 成果  |
|--------------------------|--------------------------------------|---|
| <b>平成23年度</b>            |                                      | (平成22年度補正予算で実施)   |
| ウエハ量産技術強化<br>(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(新日鉄)・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。 | (公募終了・採択候補決定済)  |
| 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。     | (現在進行中)   |

平成22年度はFUPET主催により、23年度からNEDO主催で外部委員を招き「技術推進委員会」を開催。  
技術委員会含め、NEDOではヒアリングを年2回開催し、進捗状況を把握するとともに、今後の方針を協議。

FUPET技術委員

科学技術振興機構 松波弘之京大名誉教授  
京都大学 木本恒暢教授  
鉄道総研 正田英介東大名誉教授  
トヨタ自動車 濱田公守部長  
東芝三菱電機産業システム 池田博副社長

NEDO技術委員

鉄道総研 正田英介 東大名誉教授  
立命館大学 鈴木 彰 教授  
東芝三菱電機産業システム 池田博 副社長

その他、SiC出口戦略策定に向けて実施中の応用技術調査委員会に外部有識者が参加

応用技術調査委員会外部委員

ドリームインキュベータ 小川 貴史ビジネスプロデューサ  
佐々木正一 慶応大学教授

参画企業の意志を反映するため推進連絡会議を開催