

IT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
**「パワーエレクトロニクスインバータ
基盤技術開発」(事後評価)**
(2006年度～2008年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO技術開発機構 電子・情報技術開発部
三菱電機、新機能素子研究開発協会、
産業技術総合研究所

2009年 9月3日

1/27

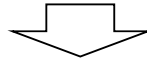
5. プロジェクトの概要説明

- 5. 1 事業の位置づけ・必要性
- 5. 2 研究開発マネジメント
- 5. 3 研究開発成果
- 5. 4 実用化の見通し

2/27

社会的背景

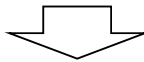
地球温暖化対策は喫緊の世界的、国家的課題



抜本的CO₂排出抑制、省エネ技術の必要性

事業の目的

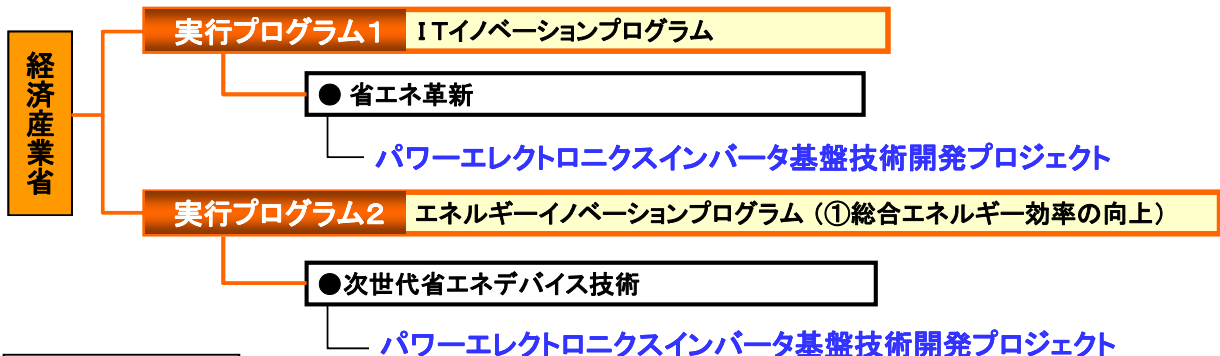
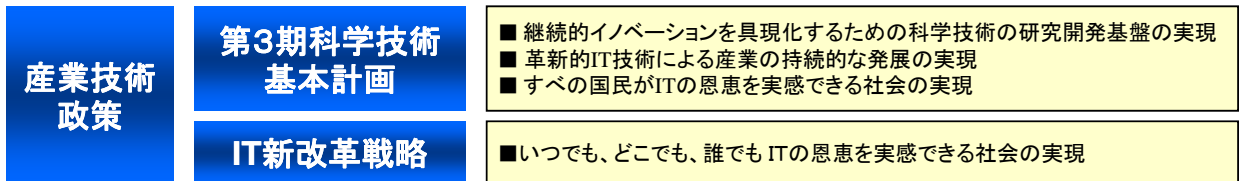
SiCパワーエレクトロニクスの実用化による
省エネ／低炭素社会の実現



低損失、高耐圧、高耐久性に優れるSiCパワー
デバイスとこれを用いたインバータの基盤技術を開発

産業技術政策上における位置付け

経済産業省 研究開発プログラム「ITイノベーションプログラム」及び「エネルギーイノベーションプログラム」の1テーマとして実施



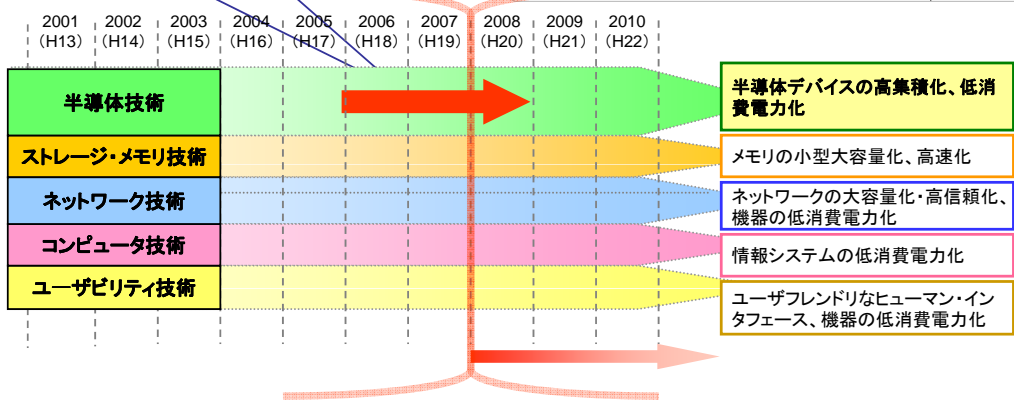
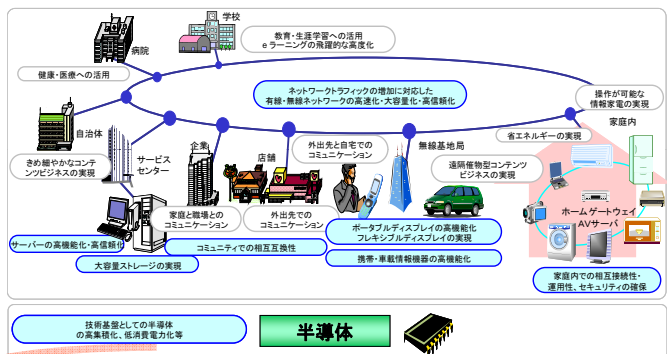
NEDO中期目標における位置付け

NEDO中期目標に掲げる「高度な情報通信社会の実現」のため、電子・情報技術開発分野の半導体技術開発の一環として実施。

NEDO 中期目標

- 誰もが自由な情報の発信・共有を通じて、個々の能力を創造的かつ最大限に発揮することが可能となる高度な情報通信(IT)社会の実現
- 我が国経済の牽引役としての産業発展の促進

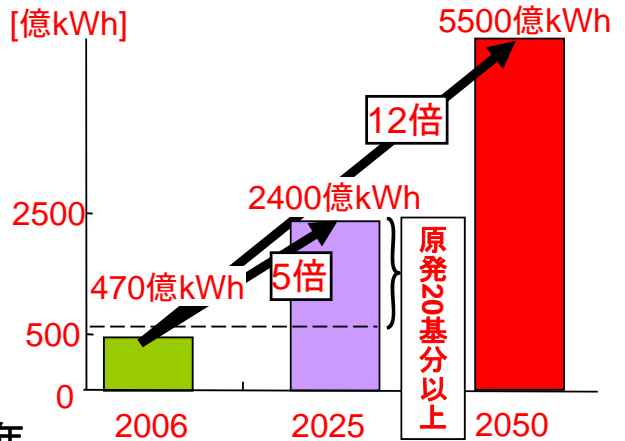
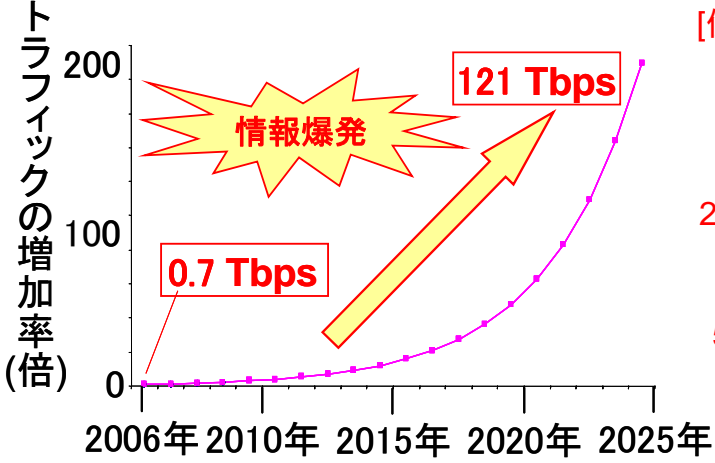
「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発プロジェクト」



IT機器の低消費電力化の必要性

ブロードバンドの普及
IT機器の高性能・多機能化
設置台数の急激な増加

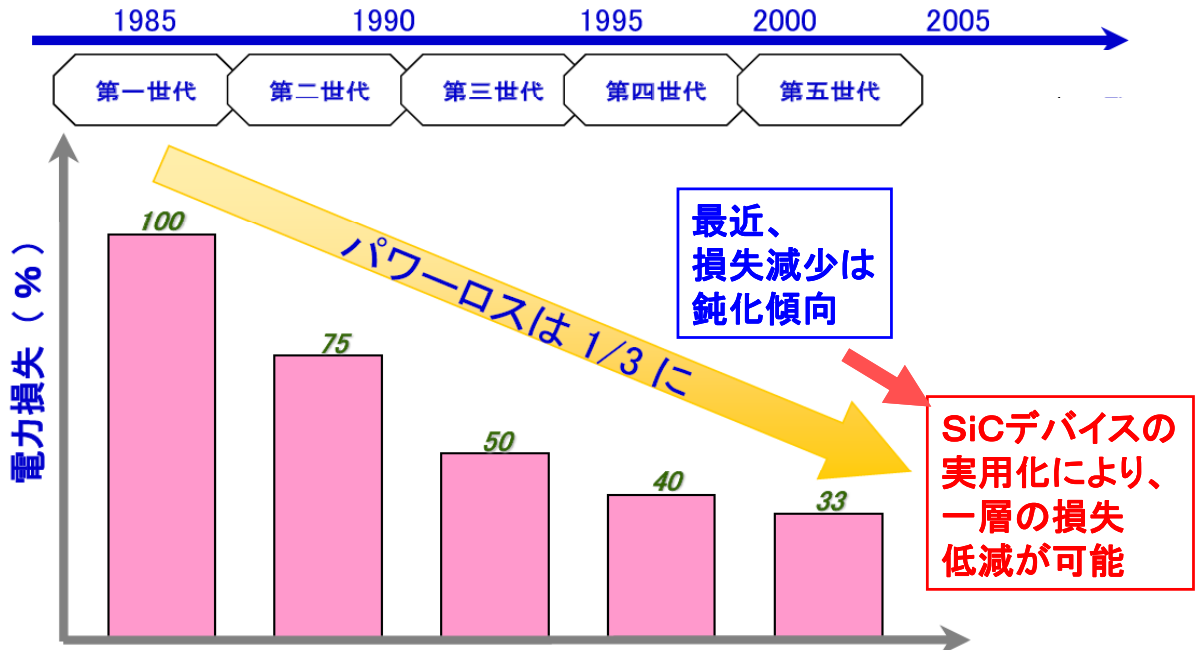
⇒ 消費電力の急激な増大



インターネット内の情報流通量の推計('06-'25) サーバ、ネットワーク機器、PC及びディスプレイの消費電力量
出所: グリーンITイニシアチブ会議資料(2007年12月6日)

これまでのパワーデバイスの損失の変遷

- ・ パワーデバイスの電力損失は20年間で約1/3まで低減されてきた。
- ・ 更なる高性能化の要求に応えるためには、“イノベーション”が必要。



7/27

ワイドギャップ SiC の物性的優位性(対 Si)

	SiC/Siの比	SiC値:Si値
① バンドギャップ [ev]	~3倍	3.2 : 1.1
② 絶縁破壊電界 [10^6 V/cm]	~10倍	3.0 : 0.3
③ 飽和電子速度 [10^6 Vcm/s]	~2倍	22 : 10
④ 熱伝導率 [W/(cm·K)]	~3倍	5.0 : 1.5

SiCをデバイス化した時の特長

- ・ 耐電圧が大きい。高温での動作が可能。
- ・ 厚みを薄くできるのでデバイスのオン抵抗値が小さい。
- ・ 速いデバイス = 高周波特性が良い。
- ・ 熱伝導性が良く、高パワー密度に対応できる。

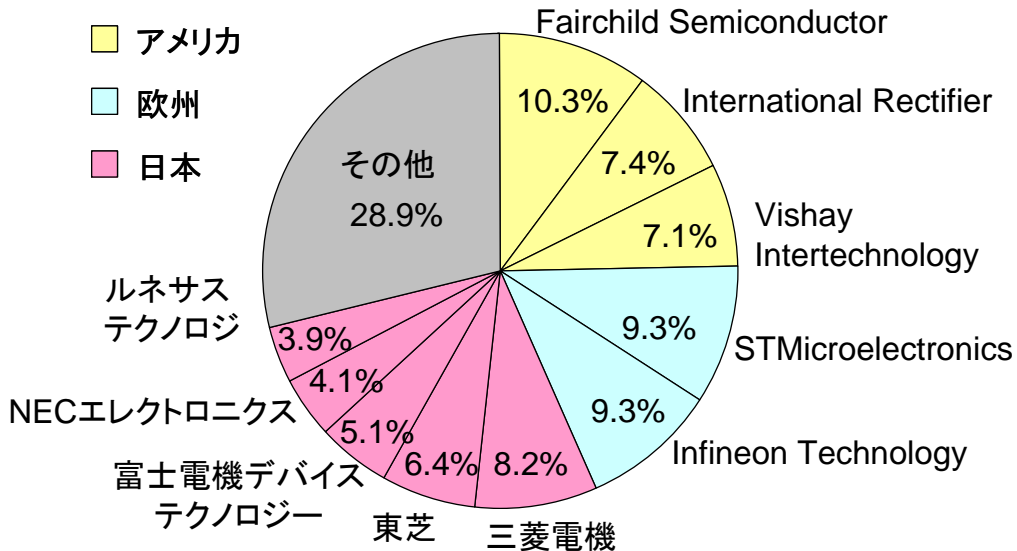
半導体分野のNEDO技術ロードマップ(2009年版)における位置付け

技術分野	分野構造				評価パラメータ	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018				
	大項目	中項目	小項目	重要課題	DRAMハーフピッチ(nm)→	52	45	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9				
					shメモリハーフピッチ(nm)→	40	36											4.2	
					ブックM1ハーフピッチ(nm)→	52	45												7.9
					ロジックノード(nm)→	32	28												
半導体	ディスクリートデバイス	パワーデバイス	ワイドバンドギャップ半導体	高出力パワー密度	変換器出力パワー密度 (W/cm ³)		10												
				低損失	MOSFET ON抵抗(mΩ cm ²) @耐圧		5@1.2kV												
				大容量	定格電流 (A) @耐圧	MOSFET: 10 @600V	MOSFET: 10 @1.2kV	30 @600V	60 @1.2kV	200 @600V	200 @1.2kV								
					基板転位密度 (cm ⁻²)			500		100									
				材料・プロセス・デバイス技術	材料・デバイス構造	SiC-SBD													
						SiC-MOS FET													
				回路・制御技術	回路・制御技術	GaN-スイッチング HFET: ノーマリON													
						SiC-IGBT													
				実装技術	高温実装	ノーマリ OFF													
						デバイス温度225°C 動作実装技術													

SiCパワーデバイス技術 (材料・プロセス、回路・制御、実装)の開発RMが描かれている。

日本企業の競争力

現在、世界全体の約1/3以上のシェアを日本企業が有するが、今後も日本が国際的に優位な位置を占めるには、国家プロジェクトの推進が不可欠。



SiCデバイス開発に向けた各国の取り組み状況(1)

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

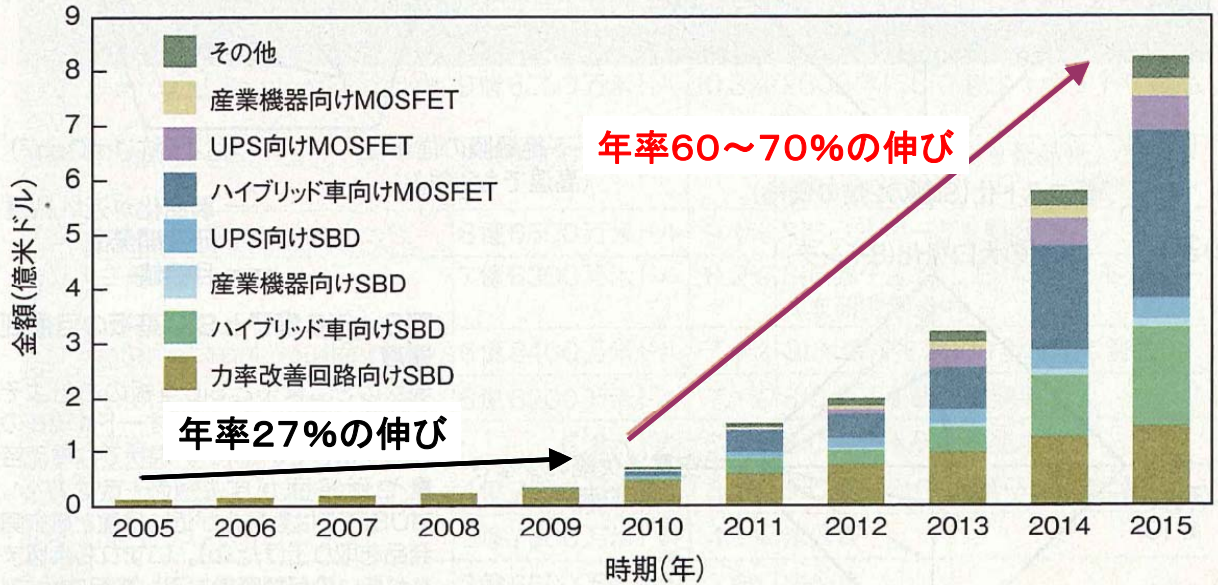
	企業	概要	動向
日本	三菱電機／ローム／日立／東芝／パナソニック／デンソー／富士電機デバイステクノロジー／新日鐵／昭和電工など	10年以上にわたり基礎技術研究、インバータ基盤技術開発を実施。国家支援により、実用化検討ができる段階まで技術レベルが向上。	ウエハでは新日鐵、デンソーが取り組み。デバイス、応用機器までの研究開発を推進。
米国	Cree／Semisouth／NorthropGrumman	DARPAの資金により育成されたCree社のウエハ、エピ、デバイス技術は世界トップレベル。ウエハの量産技術は特に強い。GaN-LED用基板としてのSiC基板でビジネスが成立。	ウエハの技術、シェアともにトップレベルのCree社を中心に展開。
欧州	Infineon/STマイクロエレクトロニクス/Sicrystal	Infineon社はSiCダイオード製品化の先駆。近年、STマイクロ社も量産開始。太陽光発電用としてドイツのブラウンフロッパー研究所がAll-SiCインバータに取組。	ウエハはSicrystal社(世界シェア第3位)が有力。SiCダイオードに実績のあるInfineon社に優位性あり。

SiCデバイス開発に向けた各国の取り組み状況(2)

	団体	概要	技術動向	優位性
日本	新機能素子研究開発協会(1981年)	○日立、東芝、三菱電機、日本電気、富士など27社による財団法人。 ○産総研、各大学とも連携し、研究開発を推進。	ウエハからデバイス、応用機器までの研究開発。	○
米国	CPES (Center for Power Electronics Systems) (1998年)	○バージニア工科大学など5大学、インテルなど80社のコンソーシアム ○資金は1998年~2008年までで60~70億円 ○研究活動は、①NSFによる資金をベースとするもの、②会員企業からの会費に基づくもの、③個別共同研究契約に基づくもの、に分けられる。	研究分野は、個別領域では、①先進的パワー半導体技術、②実装対応型材料技術、③高密度実装技術、④発熱対応実装技術、⑤制御及びセンサ実装技術を対象にするとともに、統合技術としては、①統合パワーエレクトロニクスモジュールベース電力変換技術及び②統合パワーエレクトロニクスモジュール応用技術(標準モジュール、モータドライブ向けモジュール及び高出力向けモジュール)を扱う。	○
欧州	ECPE(European Center for Power Electronics) (2003年)	○CPESの活動に危機感を強めた欧州の企業主導で設立した。(現在はABB、ALSTOM、BOSCHなど32社) ○活動内容は①Pre-competitiveな研究の推進(パートナー探しのプラットフォーム)②教育・人材育成と仕事の紹介③PRとロビー活動。Principal Partnerのお金を大学に与え研究を行う場合は資金は主要パートナーからの総額10億円程度。	ECPEの問題としては、ドイツ国の色合いが強いこと、中立性を保つために戦略的にアクションは起こしにくいこと、などがある。	○

SiCデバイスの市場予測

- ・ 2010年以降、SiC素子の市場は大きく伸び、
- ・ 2015年には約800億円の市場規模が予測される。

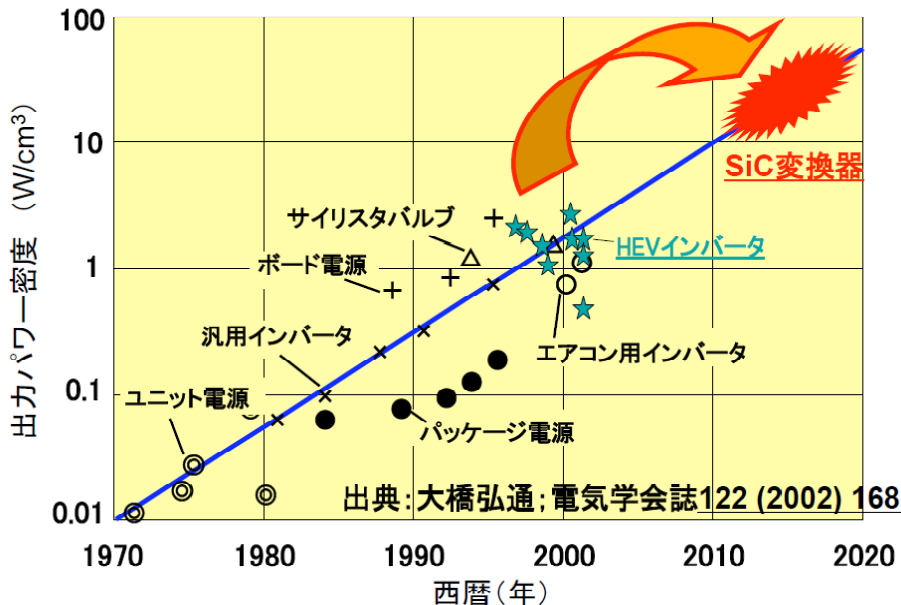


出展: 日経エレクトロニクス 2008.11.17

国内外の研究開発の動向; 事業目的の妥当性

SiCデバイス開発の世界動向

電力変換器のパワー密度は、この30年で2桁向上した。
高パワー密度化は電力変換器に求められるトレンドである。

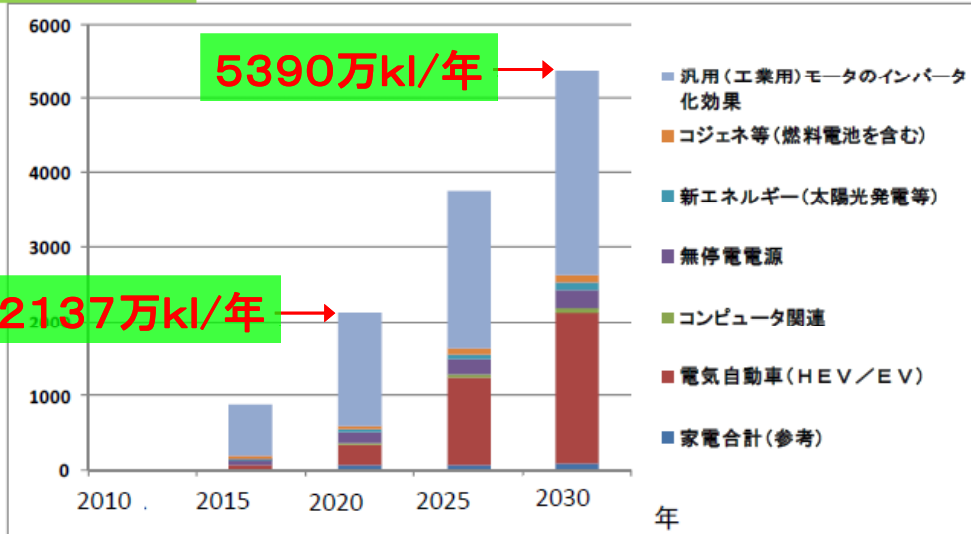


出典: 大橋弘通; 電気学会誌122 (2002) 168

省エネルギー効果

2030年までのSiCデバイス適用による省エネ効果予測

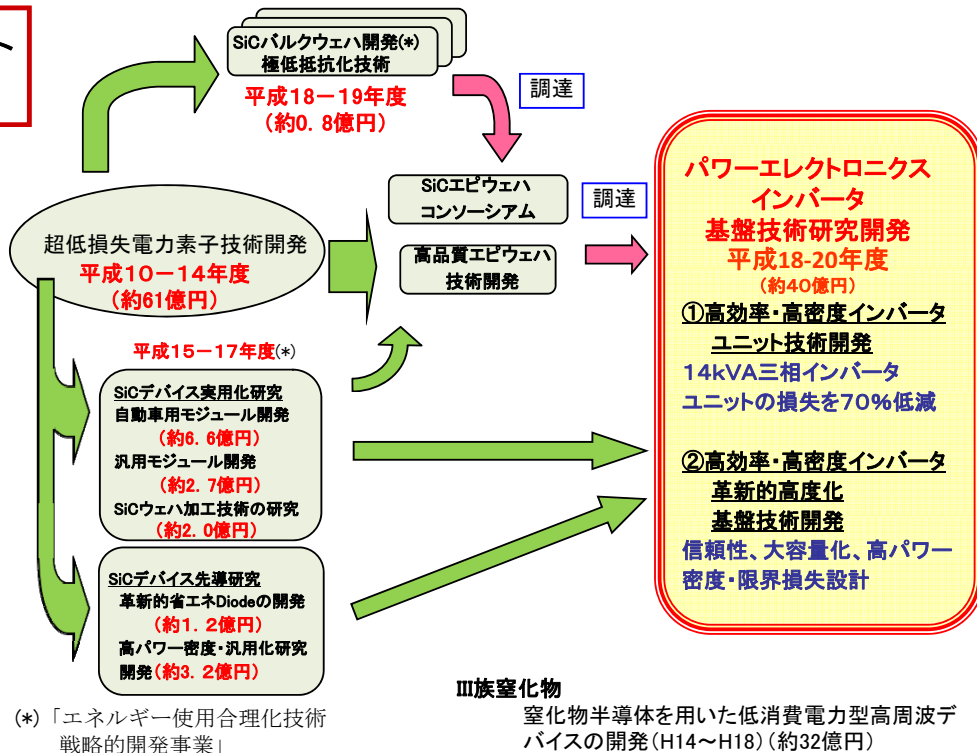
(原油換算:万kl/年)



(汎用インバータによるインバータ化効果を入れた場合)

《次世代省エネデバイス》(NEDO省エネローリングのFED再委託調査)

本プロジェクトに至る経緯



(*)「エネルギー使用合理化技術 戦略的開発事業」

→ : 技術流れ → : ウェハ流れ

SiC半導体/デバイス事業化/普及戦略調査研究

NEDOプロジェクトとしての必要性

情報通信技術の公共性、民間企業だけでは開発が困難なこと、技術的英知結集の必要性から、NEDOプロジェクトとして取り組むことが必要。

◆ 情報通信技術は、高度情報化社会の実現に不可欠

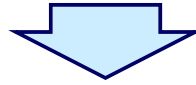
〔本プロジェクトは、高度情報化社会の実現に不可欠なSiCパワエレ技術の高度化が目的。〕

◆ 個々の民間企業では、技術開発は困難

〔SiCインバータの実用化には、多岐に亘る高難度のパワエレ基盤技術開発が必要。市場原理のみによってSiCインバータの実用化を図ることは困難。〕

◆ 産官学連携による技術的英知の結集が必要

〔我が国のパワエレ技術分野における技術優位性と産業競争力を確保するには、産官学連携による基盤技術の早期解決が必須。〕



NEDO技術開発機構が関与すべき事業

「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」プロジェクト

研究開発項目 { ①高効率・高密度インバータユニット技術開発
②高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発

実施の効果 (費用対効果)

◇ 費用の総額 : 40.4億円



◆ 市場の効果(2015年時点) ※成功確率100%で計算

SiCデバイス市場(世界) : 約800億円

◆ 省エネルギー効果(SiCデバイス利用効果)

2137万kl/年 (2020年推定、原油換算)

5390万kl/年 (2030年推定、原油換算)

5. プロジェクトの概要説明

5.1 事業の位置づけ・必要性

5.2 研究開発マネジメント

5.3 研究開発成果

5.4 実用化の見通し

19/27

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

公開

研究開発目標と根拠


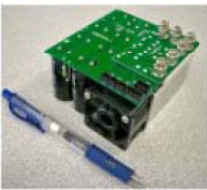

研究開発項目	研究開発目標(最終)	根拠
①高効率・高密度インバータユニット技術開発	具体的な製品応用を想定したSiCを用いた低損失インバータユニットを試作し、電力変換損失を同一定格のSiインバータユニットの30%以下に低減する。	産業用モータ応用を目的とした汎用インバータにおいて、SiCスイッチング素子を用いたオールSiCインバータユニットを試作し、Siと比較して変換損失を大幅に低減することを実証し、SiCパワーデバイスの価値を示すことが必要。
②高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発	(1)インバータ大容量化技術 ・SiCウエハの品質とその上に試作したスイッチング素子特性の関連を明確化。 ・スイッチング素子の大容量化:5mm角級チップを試作し、電流量100Aの達成条件を明確化。	Siデバイスに対して明確な代替価値を見出すためには、SiCワンチップの大電流容量化が必須。これはSiCウエハ結晶欠陥をクリアできれば物的に可能。その条件の明確化こそ実用化に必須の課題。
	(2)インバータ信頼性向上基盤技術 SiCスイッチング素子の信頼性評価手法を開発し長期信頼性を決める要因を明確化。最大の課題であるMOSスイッチング素子の酸化膜について5mm角級チップを試作し、実用素子に求められる信頼性を達成する条件を明確化。	ノーマリオフ素子が可能であるMOSFETにおいて、ゲート酸化膜および酸化膜/SiC界面での信頼性の確保が、従来からの重要課題であり、信頼性達成の要件を得ることが必要。
	(3)インバータ高パワー密度化基盤技術 素子当り10A以上のSiC低損失MOSスイッチング素子(オン抵抗 2~5mΩcm ² 、耐圧0.6~1.7kV)の開発を行う。インバータ損失の限界設計技術を開発し、高パワー密度(50W/cm ³ 以上)のSiCインバータ実現の条件・見通しを明確化。また、高速制御技術及び高温(250℃)環境で動作可能な実装技術の指針を提示。	インバータは高エネルギー密度化するなか高性能化することにより、小型化し製品価値の向上に繋がる。SiCデバイス応用によるその究極点およびもう一つ長所である高温での動作が可能であるという点について、見極めることがSiCパワーデバイスの将来展望を持つことに繋がる。

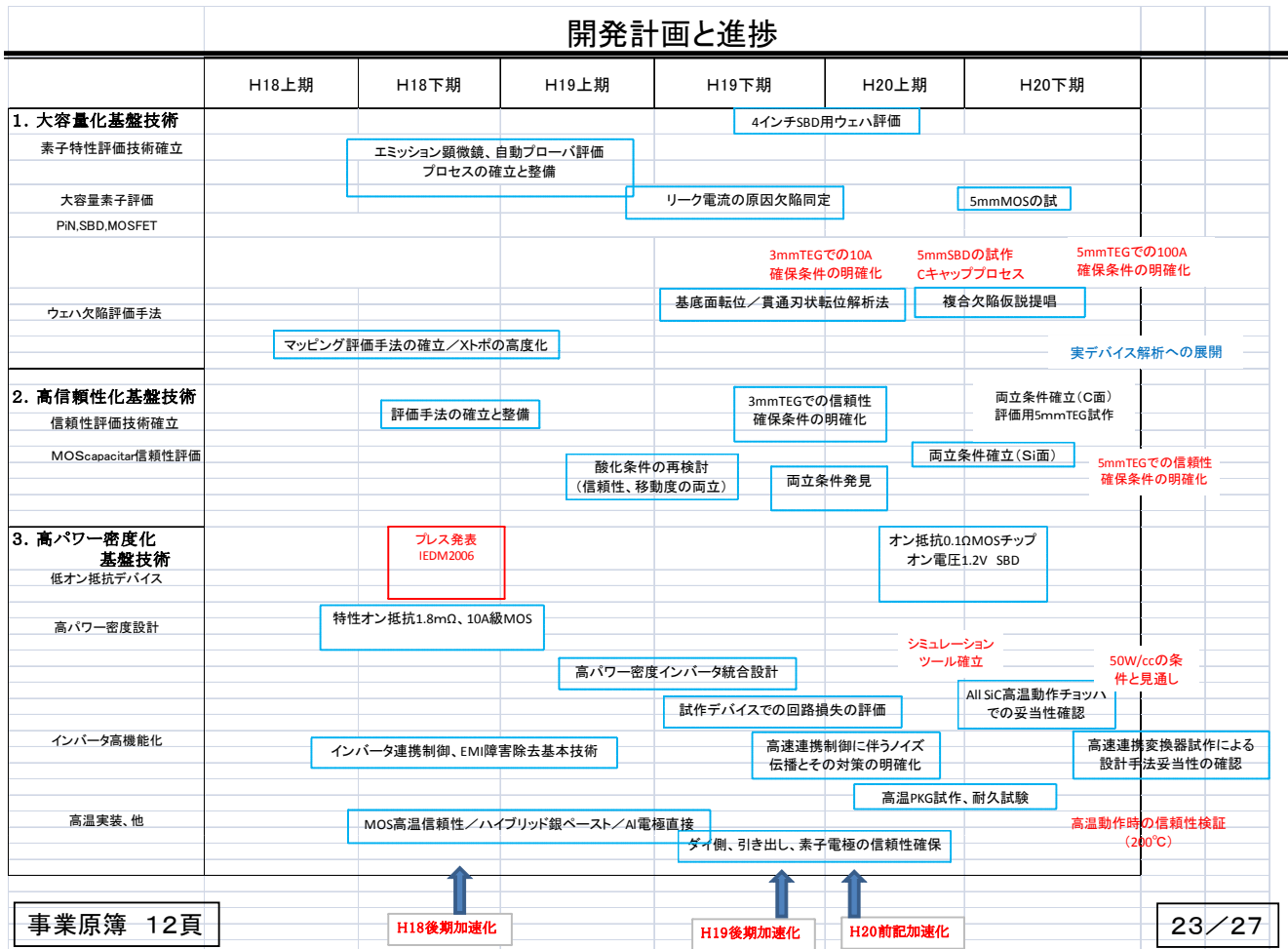
開発予算

(単位:百万円)

	'06	'07	'08	合計
① 高効率・高密度インバータユニット技術	656	368	250	1,274
② 高効率・高密度インバータ革新的高度化 基盤技術開発	1,411	721	638	2,770
合計	2,067	1,089	888	4,044

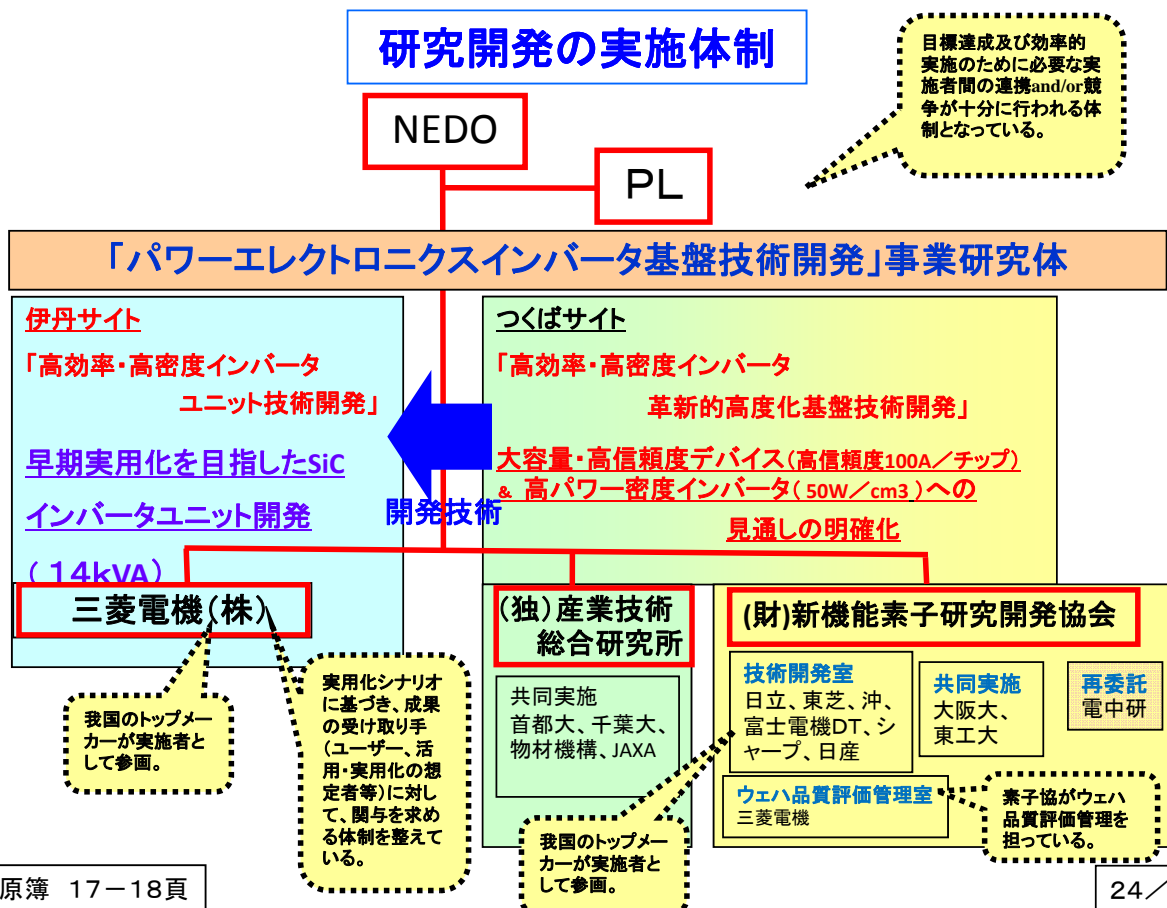
研究開発のスケジュール(1)

	平成18年度(2006)	平成19年度(2007)	平成20年度(2008)
高効率・高密度 インバータユニット 技術開発	セル構造微細化検討	素子構造最適化	素子、モジュール試作
	動特性評価、駆動法検討	kW級インバータ評価 限界性能検証、並列駆動技術	14kVAインバータ 試作・評価
		高キャリア動作基礎評価	高キャリア動作効果検証
		 3.7kW	 14kVA(11kW)
予算合計 1,274百万円	656百万円	368百万円	250百万円

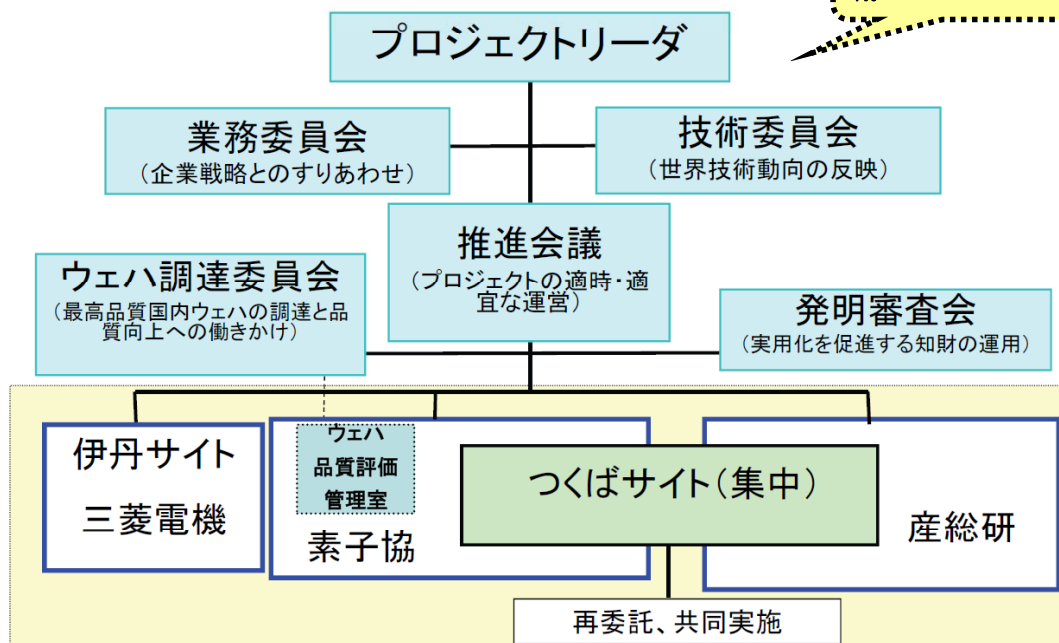


2. 研究開発マネジメントについて (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

公開



プロジェクト運営実施体制



加速財源投入実績 (2006～2008年度)

件名	金額 (百万円)	目的	成果
2006年度 高効率・高密度インバータユニット技術の開発促進のための露光装置と高輝度X線分析装置の購入	335	世界で最小のオン抵抗値を持つIEMOSFETの開発・実証を行ったことから、更にSiCウェハの結晶欠陥低減に資するデバイスの特性分析とデバイス製造要素技術の高度化を図る。	SiC素子化に必要な露光装置と高輝度X線分析装置の導入により、電気特性と結晶欠陥の対応付けが加速されたことにより、デバイスキラー欠陥がより明らかになり、プロジェクト目標達成が加速された。
2007年度 高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術の開発促進のための4インチウェハ、インライン4インチウェハ評価設備、インバータ動作評価装置の購入	240	確立したSiC基板欠陥評価方法を用いて、4インチウェハ評価を実施し、三菱電機において、ダイオード試作評価を実施する。これにより、素子特性劣化メカニズム解明に資する共に、実用化のためのプロセスコストの低減を図った高効率インバータ実現に向けての課題解決に資する。また、フィルター等の小型化が期待できるインバータの高キャリア周波数化に関し評価検討を行い、その効果を検証。	国産の4インチウェハが米国Cree社製と同等の品質との評価結果を得た。また、4インチウェハ上デバイス試作の加速としてインライン評価が可能な4インチ対応プロセスを準備すると共に、SiCインバータ回路の高周波動作評価を行った。
2008年度 高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術の開発促進のためのカーボンキャップ装置の購入	85	SiCを用いたインバータ実用化に向けては、材料欠陥・プロセス起因欠陥の低減によるデバイスの歩留まり信頼性向上が求められており、そのため基盤技術の確立を図るためにもプロセス起因欠陥においては、イオン注入後に行う活性化熱処理によるウェハ表面荒れが最も大きな課題であった。これを回避できる手法を確立する。	SiCデバイスプロセスのボトルネックであった活性化熱処理に関し、カーボン保護膜で表面荒れを抑制できるプロセスを見出し、100A級SiC-SBDや10A級SiC-MOSFET (IE-MOS)の試作に成功。IEMOSIについては、加速資金で導入したカーボンキャップ装置による耐圧歩留まり向上を確認し、インバータ回路での評価に使用する10A級IEMOSを製作した。

1. PL主催による「プロジェクト技術委員会(年2回)」開催

*** 外部有識者の意見を運営管理に反映 ***

- ① 東京大学 正田 英介 名誉教授
- ② JSTイノベーションプラザ京都 松波 弘之 館長
- ③ 横浜国立大学 河村 篤男 教授
- ④ ㈱NTTファシリティーズ 池辺 裕昭 常務取締役
- ⑤ トヨタ自動車㈱ 車輛技術本部 川橋 憲 主査

<反映内容>

- ◇ ウェハ⇄デバイス特性評価の徹底とプロジェクトのサイト間の連携：
実用化実証の企業サイトより4インチウェハの評価のため、
つくばサイトのウェハ品質評価管理室に研究者を派遣。
- ◇ インバータのエネルギー密度の評価基準(体積、熱損失計測)のレベル合わせを実施。

2. その他、以下の委員会を開催

- 「推進連絡会議」 : プロジェクトの適時・適宜な運営
- 「業務委員会(年2~3回)」 : 企業戦略とのすり合わせ
- 「ウェハ調達委員会(月1回)」 : 高品質国内ウェハの調達と品質向上への働きかけ
- 「発明審査会」 : 適切な出願と実用化を促進する知財の運用