

平成30年度実施方針

I o T 推進部

1. 件名：(大項目) 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

2. 根拠法

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ニ、第3号及び第9号

3. 背景及び目的・目標

電気エネルギー生成方法の多様化は、資源枯渇及び地球温暖化の解決に向けた重要な検討課題であるが、中でも、電気エネルギーへの移行は、課題解決の有効な手段のひとつである。電力の生成から消費に至るフローにおいて、電力利用効率向上の手段として、パワー半導体デバイスによる電力変換・制御（直流・交流変換、周波数制御等）は、すでに多くのフェーズで行われている。さらに、これまでパワー半導体が適用されていなかった機器への展開や、新たな応用分野が急激に広がることによって、パワー半導体デバイスが利用される局面は大幅に増加すると見込まれる。たとえば、ハイブリッド自動車の普及など電化の進む社会への転換がその起動力の一つである。また、高度に情報化が進む今日の社会では、ブロードバンドの普及、IT機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴い、機器が消費する電力の急激な増大が見込まれており、情報関連機器の省エネルギー化が重要な課題となっている。このためにも、パワー半導体デバイスが電力利用効率向上に大きく役立つと考えられる。このように、パワー半導体デバイスによる電力損失の低減は低炭素社会の実現に向けて極めて重要である。

現在は、パワー半導体デバイスの材料として主にSi（シリコン）が使用されているが、電力損失がSiの1/100以下、数kVの高耐圧性など、パワー半導体として極めて優れた性能を有した新材料SiC（炭化珪素）の実用化が期待されている。また、GaN（窒化ガリウム）、Ga₂O₃（酸化ガリウム）等、SiC以外の新材料についても実用化に向けて研究開発を進めている。新材料パワー半導体デバイスを用いることにより、従来のSiデバイスを用いた電力変換モジュールと比べ、電力損失が格段に低い、また小型で大電力を扱える電力変換機器を実現することが期待される。インバータ等の電力変換装置の適用範囲が鉄道や次世代自動車などの環境産業をはじめとして極めて広いことから、社会全体への波及効果が極めて大きく、さまざまな産業において、その成長の鍵となるものである。したがって、パワー半導体デバイス及び電力変換機器における技術力は我が国産業の国際競争力を左右するものである。

我が国における関連技術開発としては、主として産業用モータ駆動用を想定して、SiCウエハ品質と関連づけたSiCデバイスの大容量化/高信頼化の技術開発、或いはインバータコア技術開発がNEDOプロジェクト（「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」平成18年～平成20年など）において行われてきている。同プロジェクトにて開発されたSiCウエハ品

質向上及び評価技術・デバイスプロセス技術・回路技術・熱設計技術等、全体的な技術の高度化の結果として、Si デバイスに比べ大幅な損失低減（同定格インバータユニットにおいて、現在主流のSi-IGBTを適用した場合に比べ、70%損失を低減）が実証されるに至っている。

IT産業の電力消費低減に寄与するため、データセンターやその電力源に用いる交流・直流変換等の高効率化を実現したり、電気自動車のように新たに拡大しつつある応用製品に適した電力変換機器を実現したりするためには、具体的な適用製品を想定して、高電流密度化（大容量化）や、デバイス・機器の信頼性向上といったSiCデバイス性能の高度化を進めることが重要である。同時に、SiCデバイスとの組み合わせにおいて力を発揮する材料・部品・回路設計・ノイズ対策や熱設計などの課題を解決していく必要がある。

一方、SiCパワー半導体デバイスの効率向上・適用範囲拡大を支え、普及の鍵となるのは、SiC半導体材料の高品質化と供給安定化であるが、現在のSiCウエハ市場は、4インチウエハが限定された規模で生産されている状況であって、かつ海外企業による寡占状況と言わざるを得ない。このことから生じる供給安定性への不安及び高価格が開発・普及への足かせになっている。それだけでなく、諸外国においてはごく最近になって6インチウエハ実現がアナウンスされ、かつ、高耐圧領域でのSiC電力変換器の実証が進みつつある。

このような背景のもと、6インチ級SiCウエハ量産化技術の構築と対応するデバイス化プロセス装置開発、並びにSiCパワー半導体デバイスを用いた電力変換器の効能実証を早期に実現することが緊急の課題となった。SiCパワー半導体デバイスの応用製品としては、急激に増大しつつあるIT産業の電力消費量増加の対策となるデータセンター用電源や、その電力源として意味がある分散型太陽光発電システムなどに用いる電力制御機器が有望であり、その高効率化・小型化・高信頼化に貢献するデバイス技術開発・設計技術開発等を前記したウエハやプロセス装置開発と並行して行うことは極めて重要である。

また、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、デバイスの高性能化のみが技術を牽引するのではなく、アプリケーションに応じて製作される応用システムも重要な要素となる。従って、パワーエレクトロニクス分野における我が国の競争力を更に強化するためには、各種材料のウエハ、デバイス等の性能向上を図ると共に、産業機器、自動車、民生機器などアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（SiC、GaN等）、設計技術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムの構築により実現することが重要となる。加えて、応用システムは、新たな用途、デバイス・ユーザーの開拓を図ること等により、他の追随を許さない環境を作る必要がある。

以上のように、これらの課題に対して積極的な取組を行うことは、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とって極めて重要な意味を持つものである。

そこで以上を目的として、以下の研究開発項目について実施する。

研究開発項目① 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

- (1) 高品質・大口径SiC結晶成長技術開発／革新的SiC結晶成長技術開発 [委託事業 共同研究事業 (NEDO負担率1/2)]

- (2) 大口径S i C ウェハ加工技術開発 [委託事業]
- (3) S i C エピタキシャル膜成長技術 (大口径対応技術 / 高速・厚膜成長技術) [委託事業]
- (4) S i C 高耐圧スイッチングデバイス製造技術 [委託事業]
- (5) S i C ウェハ量産化技術開発 [助成事業 2 / 3]
- (6) 大口径S i C ウェハ加工要素プロセス検証 [委託事業]
- (7) S i C 高耐圧大容量パワーモジュール検証 [委託事業]
- (8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発 [助成事業 2 / 3]
- (9) 高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発 [委託事業]
- (10) 新世代S i パワーデバイス技術開発 [委託事業]

研究開発項目② 次世代パワーエレクトロニクス技術開発 (グリーンITプロジェクト)

- (1) S i C パワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発 [共同研究事業 (NEDO負担率1 / 2)]
- (2) S i C パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発 [共同研究事業 (NEDO負担率1 / 2)]
- (3) 次世代S i C 電力変換器基盤技術開発 [委託事業]

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

- (1) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究 [委託事業]
- (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成 [助成事業 (助成率: 2 / 3) (※1)]
(※1) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1 / 2とする。

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

- (1) 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 [助成事業 (助成率: 2 / 3) (※2)]
- (2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進 [委託事業]
(※2) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1 / 2とする。

各研究開発項目のうち、平成30年度に実施する項目の達成目標を以下に示す。

研究開発項目① 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

- (10) 新世代S i パワーデバイス技術開発

【中間目標】(平成28年度末)

現状のS i C 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S i パワーデバイスを開発し、トランジスタとしての動作実証を行う。その上で現状のS i パワーデバイスの性能限界を突破する。

【最終目標】（平成31年度末）

平成28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の出力（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、低欠陥ウエハ技術、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。

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

（2） 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成

【中間目標】（平成28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となる、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。

【最終目標】（平成31年度末）

新材料パワーデバイスを用いたインバータ等を開発し、それらを適用した特定用途の応用システムについて試作・動作実証を行う。

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

（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

【最終目標】（平成31年度末）

- ・貫通転位密度 $1,000/cm^2$ 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新材料ウエハ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。

（2） 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進

【最終目標】（平成31年度末）

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、を最終目標とする。

4. 事業内容及び進捗（達成）状況

プロジェクトマネージャーにNEDO IoT推進部 野村重夫を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるとともに、以下の研究開発を実施した。

また、本事業に関連する調査・先導研究を行うとともに、本研究開発の成果となる次世代パワーエレクトロニクスの材料・デバイス等の応用開発を更に推進するために、関連する人材育成事業を行った。具体的には、パワーエレクトロニクス事業に従事を希望する技術者や学生の育成の

ために、スキルレベル別の講義と実習を通して、基本原理・原則を習得し、高い課題解決力を身につけるカリキュラムを実施した。

4. 1 平成29年度事業内容

研究開発項目① 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

(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

(平成29年度進捗状況)

平成28年度の1kV系の高耐圧・大電流IGBTに続いて、3kV系の高耐圧・大電流IGBTの試作を行った。また、ウエハ・プロセス評価では、プロセス及びデバイス構造がライフタイムへ及ぼす定量的な影響を評価し、プロセスへのフィードバックを行った。ドライブ回路開発では、複数チップを搭載した実証用モジュールの設計と試作を行い、デジタルゲートドライブを搭載した。デジタルゲートドライブICの信頼性向上を行うとともに、変換機実証に向けた制御ボード等を作成し、評価環境を整備した。(実施体制：国立大学法人東京大学、国立大学法人東京工業大学)

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

平成27年1月13日付にて国立大学法人千葉大学大学院融合理工学府 佐藤之彦教授をプロジェクトリーダーに委嘱し、以下の研究開発を実施した。

(2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成

(平成29年度進捗状況)

新パワーモジュール製品の創出、超短納期開発の仕組み構築、10大学11企業が連携した日本型エコシステムの構築、国際標準化すべき項目の抽出等が計画通りに進捗し、モジュール開発では3タイプを開発し、サンプル展開を実施した。

(実施体制：富士電機株式会社)

昇圧コンバータを用いず、SiCパワーデバイスを搭載した2つのインバータを用いた新電動システムを試作し、既存のSiパワーデバイスと昇圧コンバータ、インバータを用いた電動システムと同等の動作を実現し、パワーコントロールユニット損失1/3以下を実証した。

(実施体制：株式会社デンソー)

高耐圧SiCパワーデバイスを搭載した高耐圧パワーモジュールを試作し、回路動作を確認した。確認した結果は、高出力密度・高耐圧SiCパワーモジュールの設計に反映させる予定である。また、高出力密度化に向けて、新規に開発した部材の特性を評価した。

(実施体制：三菱電機株式会社、三菱マテリアル株式会社、デンカ株式会社、日本ファインセラミックス株式会社、DOWAエレクトロニクス株式会社)

平成28年度まで実施した「研究開発項目③(1)次世代パワーエレクトロニクス応用シ

システム開発の先導研究」で確立した技術に関し、実用化・事業化に向けた量産技術等の開発を行った。新材料パワーデバイスを用いた革新的な応用システムの開発に向けてコンセプト検証を行い、新材料パワーデバイスを用いたインバータの試作と実証を通じて応用システムの省エネ効果の有効性や、実用化に向けた今後の技術課題を抽出した。

(実施体制：株式会社 ACR)

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

(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

(平成29年度進捗状況)

低欠陥でパワーデバイスに供する新材料ウエハ実現のための革新的製造技術の開発及び、低コスト化を実現するためのウエハの大口径化に関する革新的製造技術の開発を実施する。

まず小口径のシードの開発を実施し、品質の目標をクリアした。このシードをもとにバルクの成長を行い、平坦なバルク結晶が開発できた。結晶品質も目標の転位密度を概ね達成した。大口径化に向けた大型結晶成長装置の試作も開始した。

(実施体制：三菱ケミカル株式会社、株式会社日本製鋼所)

(2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進

(平成29年度進捗状況)

ダイヤモンドを放熱構造体に用いた、高放熱ダイヤモンドデバイスの研究開発を実施し、ダイヤモンドデバイスの作製方式の要素プロセスの検討を行い、各作製フローにおける課題を抽出した。またダイヤモンド放熱構造を有する新材料パワーデバイスの動作検証のため、精度の高いデバイス発熱評価技術を検討した。新たなダイヤモンドの製膜装置も試作した。

(実施体制：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)

新材料での HEMT の抜本的な特性改善を目指し、新たな高周波デバイスの構造とエピの最適成長条件を検討した。

(実施体制：住友電気工業株式会社)

新規結晶成長技術による新材料パワーデバイス構造の成膜技術の開発を行った。HVPE法の装置改造により反応炉内の酸素濃度低減を確認し、大きな効果を得られた。装置部材を変更し、さらに酸素濃度の低減を図った。

(実施体制：国立大学法人名古屋大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、大陽日酸株式会社)

絶縁膜の形成技術と界面物性評価、検討を行った。熱処理後の界面構造の明確化のため、試作・評価を行った。熱処理温度の上昇とともに、析出量は増大するなど、目標とした高い熱的安定性を得ることができた。

(実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、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)

4. 2 実績推移

実績額推移	21年度	22年度		23年度		24年度	25年度
	委託	委託	助成	委託	助成	委託・共同研究	委託・共同研究
①一般勘定（百万円）	—	0（NEDO） 2,000 （経済産業省）	—	1,391	—	2,170	—
②需給勘定（百万円）	976	638	—	294	—	255	2,022
平成22年度 補正予算額 （一般勘定）	—	515	2,050	—	—	—	—
特許出願件数（件）	2	0	0	19	18	27	16
論文発表数（報）	4	7	0	12	0	25	44
フォーラム等（件）	19	42	0	86	4	103	89

実績額推移	26年度		27年度		28年度		29年度	
	委託・共同研究	助成	委託	助成	委託	助成	委託	助成
①一般勘定（百万円）	—	—	—	—	—	—	—	—
②需給勘定（百万円）	2,780	1,720	760	1,740	940	1,250	588	1,507
特許出願件数（件）	33	—	18	—	2	—	1	—
論文発表数（報）	43	—	13	—	6	—	1	—
フォーラム等（件）	95	—	5	—	12	—	8	—

5. 事業内容

プロジェクトマネージャーにNEDO IoT推進部 野村重夫を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるとともに、以下の研究開発を実施する。

また、本研究開発の成果となる次世代パワーエレクトロニクス材料・デバイス等の応用開発を更に推進するために、関連する人材育成事業を行う。具体的には、パワーエレクトロニクス事業に従事を希望する技術者や学生の育成のために、スキルレベル別の講義と実習を通して、基本原理・原則を習得し、高い課題解決力を身につけるカリキュラムを実施する。さらに、最新の海外技術動向など調査活動を行う。

実施体制については別紙を参照のこと。

5. 1 平成30年度事業内容

研究開発項目① 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

(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

両面ゲートを有するIGBTの試作に向けて、裏面にMOSトランジスタを作製するプロセスを開発する。一方、IGBTのスケーリング則の明確化をめざして、さらに微細化したIGBTの試作プロセスを構築する。ウェハ・プロセス評価では、両面ゲートIGBTプロセス

でライフタイム低減するプロセスの特定を行う。ドライブ回路開発では、複数の DBC を搭載した大電流実証用モジュールの設計と試作を行う。信号本数を削減したデジタルゲートドライブ IC を試作し、PWM とデジタルゲートを組み合わせた変換器を動作させる。裏面 MOS 用のゲート駆動の技術開発も行う。

(実施体制：国立大学法人東京大学、国立大学法人東京工業大学)

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

(2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成

国立大学法人千葉大学大学院融合理工学府 佐藤之彦教授をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。

SiC デバイスを用いた発電電動機一体型ターボチャージャによる排熱回収システムの実用化・事業化に向けた技術開発を行う。SiC デバイスを用いた車載用インバータシステムの試作・検証を行い、それを組み込んだ発電電動機一体型ターボチャージャシステムの試作を行い、その有効性を検証する。

(実施体制：株式会社 ACR)

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

(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

低欠陥でパワーデバイスに供する新材料ウエハ実現のための革新的製造技術の開発及び、低コスト化を実現するためのウエハの大口径化に関する革新的製造技術の開発を実施する。

(実施体制：三菱ケミカル株式会社、株式会社日本製鋼所)

(2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進

パワーデバイスを放熱技術の制約から解放し、そのポテンシャルを引き出すことを目的とし、自然界材料で最も高い熱伝導率を有するダイヤモンドを放熱構造体に用いた、高放熱ダイヤモンドデバイスの研究開発を実施する。

(実施体制：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)

無線通信の大容量化、高周波化が必須となると共に、送信機器の一層の高出力・高効率化(=低消費電力化)に向けた新材料での HEMT の抜本的な特性改善を実施し、新たな高周波デバイスの構造を開発する。

(実施体制：住友電気工業株式会社)

HVPE をベースにした新規結晶成長技術による新材料パワーデバイス構造の成膜技術の開発を行い、合わせてデバイスでの動作実証により、本手法の有用性を示す。合わせて単結晶基板中の欠陥評価手法の確立、単結晶基板のキラ欠陥の評価を行う。

(実施体制：国立大学法人名古屋大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、大陽日酸株式会社)

絶縁膜の形成技術と界面物性評価、絶縁膜／半導体界面の欠陥評価、第一原理計算による絶縁膜／半導体界面の欠陥構造モデリングとキャラクタリゼーション、MOSFET の製作と電気特性の評価、n チャンネル及び p チャンネル MOSFET を用いた論理回路の設計実証、検討を行う。

(実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、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)

5. 2 平成30年度事業規模

	委託事業	助成事業
需給勘定	580百万円(継続)	220百万円(継続)

事業規模については、変動があり得る。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を実施する。

(2) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

(3) 複数年度契約の実施

研究開発項目①(10)の委託事業については平成26～31年度の複数年度契約を行う。
研究開発項目③(2)の助成事業については平成26～29年度の複数年度交付決定を行う。
研究開発項目④(1)の助成事業については平成29～31年度の複数年度交付決定を行う。
研究開発項目④(2)の委託事業については平成29～31年度の複数年度契約を行う。

(4) 知財マネジメントにかかる運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを運用する。
(研究開発項目①(10)、研究開発項目③、及び研究開発項目④のみ)

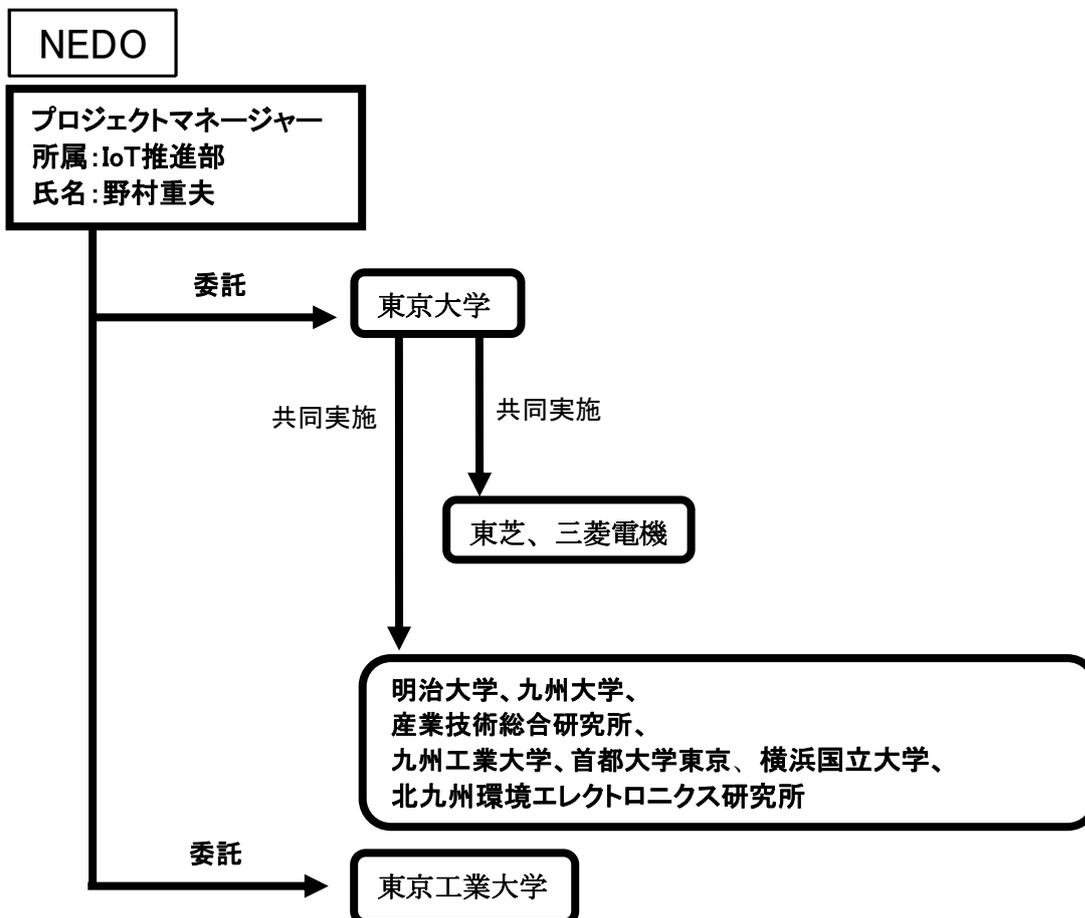
7. 実施方針の改訂履歴

(1) 平成30年3月、制定。

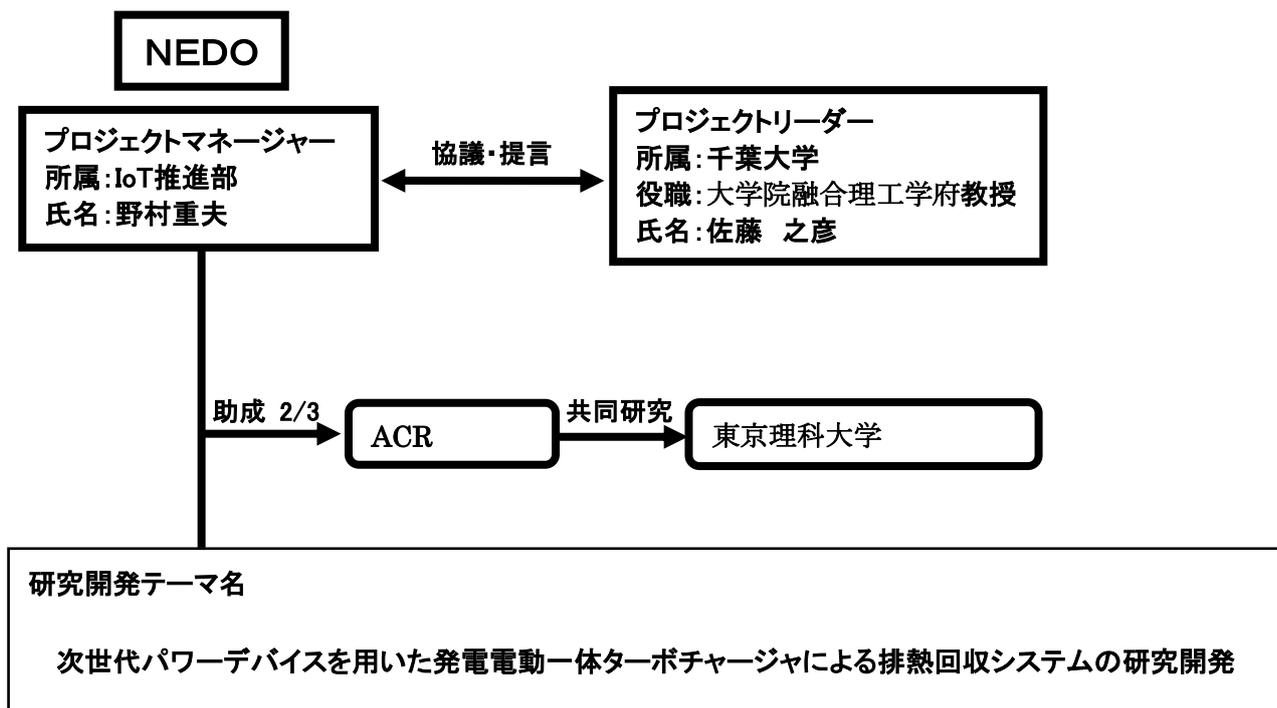
(別紙) 事業実施体制の全体図

研究開発項目①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

(10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発

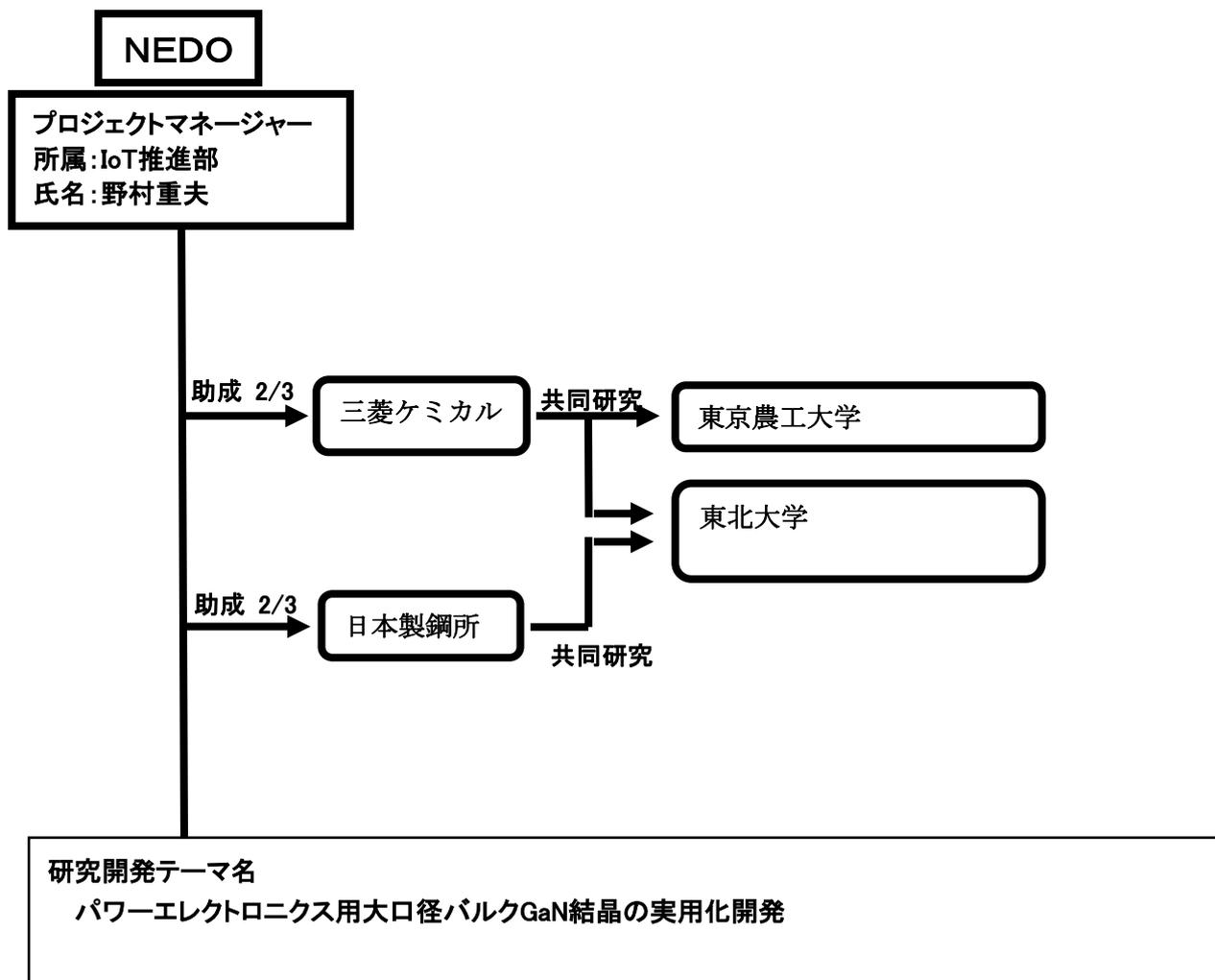


研究開発項目③次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発
(2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成



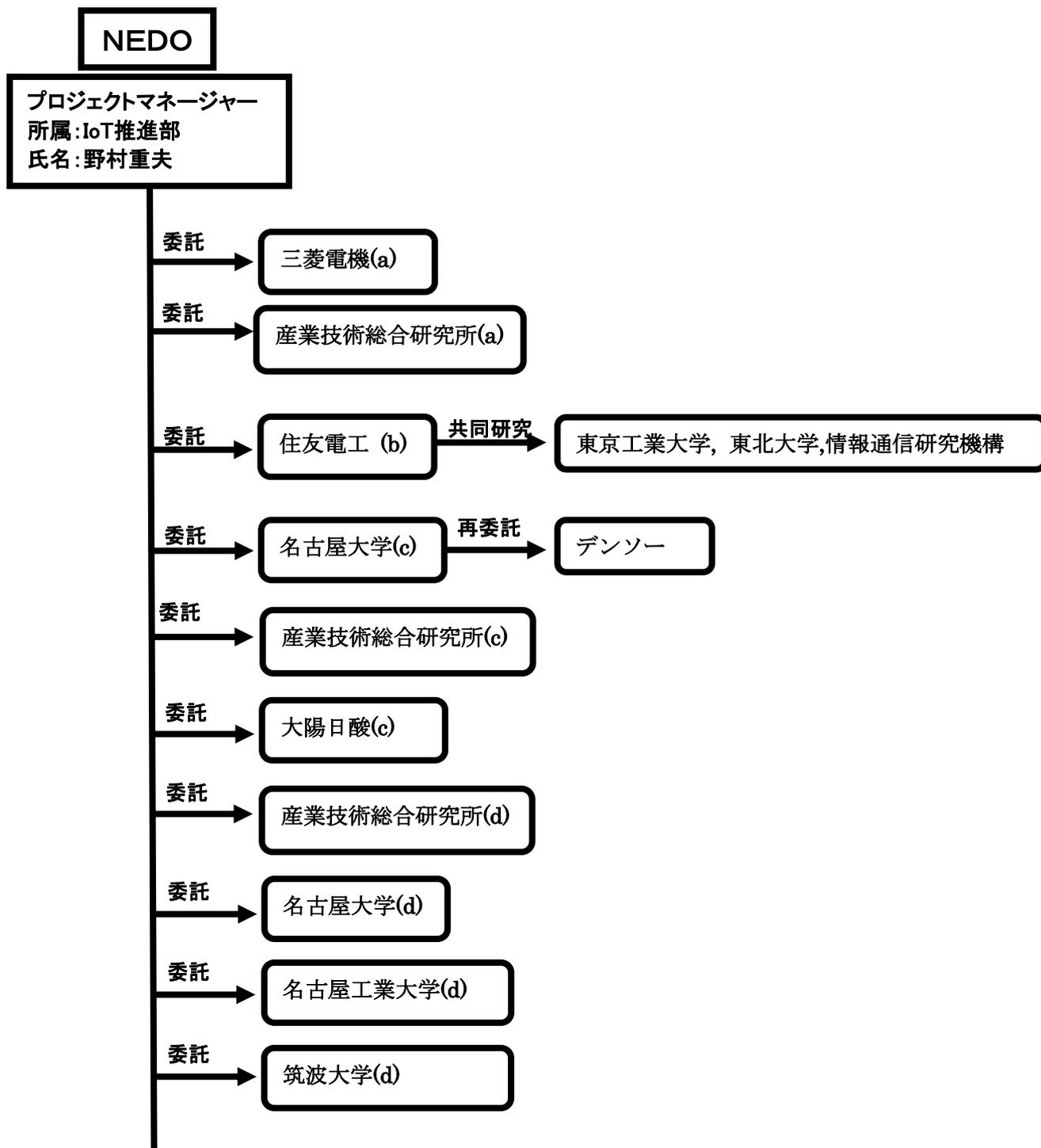
研究開発項目④新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発

(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



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

(2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進



研究開発テーマ名

- (a) : 窒化ガリウムパワーデバイス高出力化のための高放熱構造の研究開発
- (b) : 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
- (c) : 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
- (d) : 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