

パワーエレクトロニクス等の研究開発 の在り方に関する検討会「中間まとめ」 について

令和2年8月3日

パワーエレクトロニクス等の研究開発
の在り方に関する検討会

パワーエレクトロニクス等の研究開発の在り方に関する検討会について

● 設置の趣旨

パワーエレクトロニクス（GaN等の次世代半導体研究を含む。）等の研究開発について、これまで実施している取組を含め現状と今後の課題を整理し、2021年度以降の研究開発の方向性について検討するため、外部有識者による「パワーエレクトロニクス等の研究開発の在り方に関する検討会」を設置。

● 構成

【委員】

※：主査、敬称略（令和2年4月8日時点）

※	大森 達夫	三菱電機株式会社開発本部 主席技監
	奥村 元	産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員
	清水 敏久	東京都立大学大学院システムデザイン研究科 電子情報システム工学域 教授
	高橋 良和	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター 研究開発部門 部門長 教授
	松本 功	大陽日酸株式会社開発本部 サイエンスアドバイザー
	山口 正洋	東北大学大学院工学研究科 電気エネルギーシステム専攻 教授

【オブザーバー】

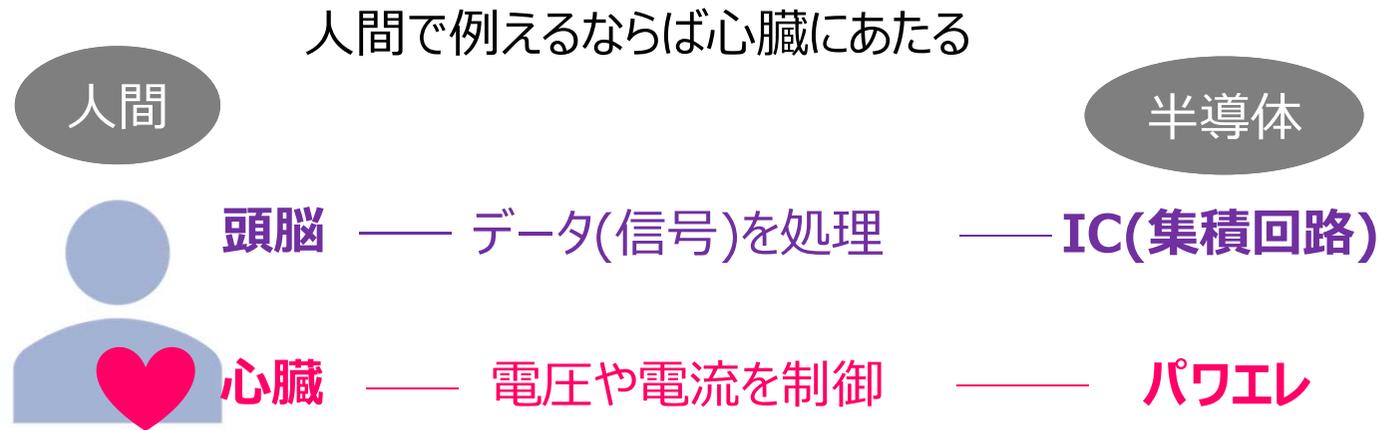
内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当) 参事官（エネルギー・環境）付
経済産業省 商務情報政策局 情報産業課
環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室

● 開催状況

第1回：4月8日、第2回：4月15日、第3回：4月27日、 **第4回：5月15日（中間まとめ）**

パワーエレクトロニクス (パワエレ) について

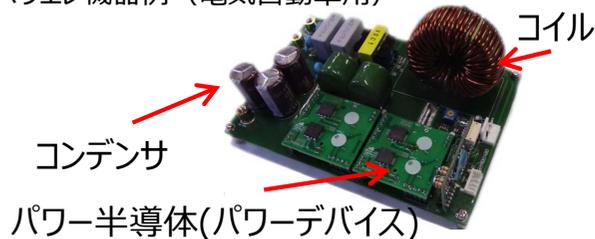
- 半導体を用いて電圧や電流、周波数を自在に制御する技術。



- パワエレの使用例



パワエレ機器例 (電気自動車用)



- ・電圧を印加するゲート駆動回路
- ・電気を変換するパワー半導体 (パワーデバイス)
- ・一時的に電気を蓄える受動素子(コイル・コンデンサ) から成る

背景（パワエレが担う役割と将来展望）

- 自動車や家電から産業機械まで様々な用途で幅広く使用され、それらの機器の性能向上や省エネにつながるパワエレ技術は非常に重要であり、社会課題解決や新たな価値の創出への期待が高まっている。

モビリティの進化

EVによる環境性能向上や空飛ぶクルマや電動航空機の開発が現実味。

パワエレの性能向上はCO₂削減や新たなアプリケーションの創出に寄与。



エネルギーマネジメント

再生可能エネルギーの需給が増えるにつれ送配電システムは不安定化。

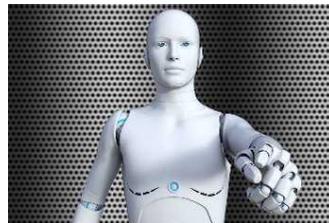
パワエレによる電力ネットワーク全体の最適化・省エネ化が可能。



ロボットの進化

人手不足解消や生産性向上に向けて、ロボット市場は今後も拡大見込み。

細かな動作はパワエレによる精密なモーター制御と小型化の賜物。



安全・安心

令和元年の台風15号により、広範な被害状況把握の困難さや電柱の破損等のリスクを顕在化。

トランス（変圧器）の小型化により無電柱化を実現。



背景（ポストコロナ社会とともに起こること）

デジタル化

身のまわりのあらゆる機器が
ネットワークに繋がり、**大量普及**する時代



オンライン・VRを通じた新たな生活様式・コミュニケーション



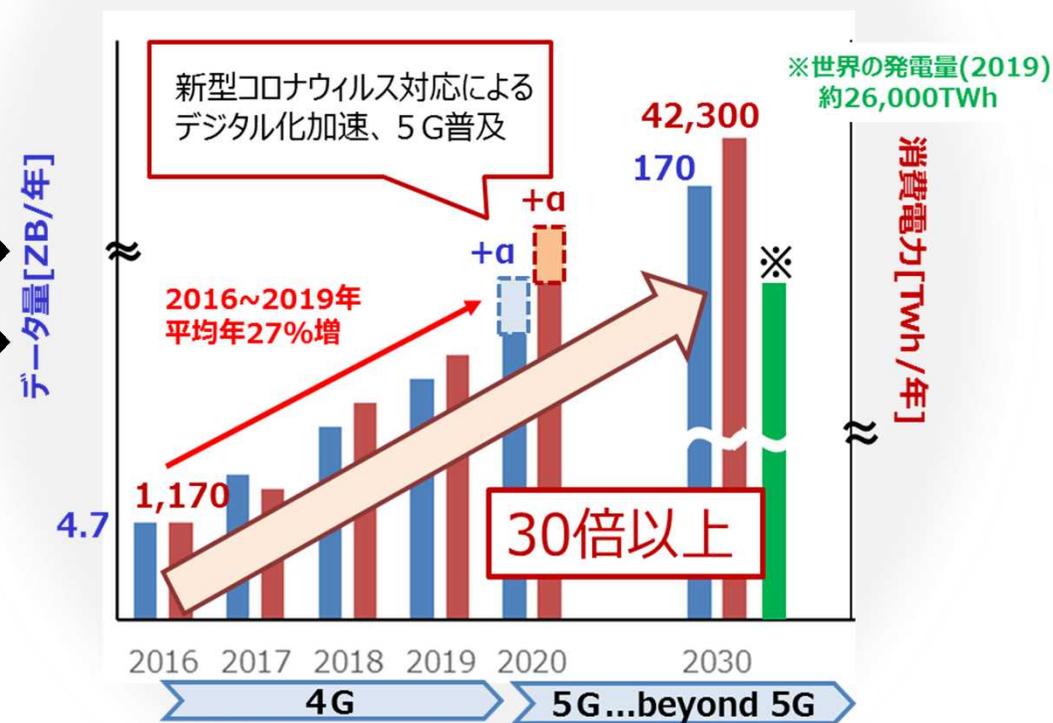
デジタル化加速や5Gへの対応



自動運転社会

ICT機器の消費電力増

世界の情報通信機器の消費電力は
2030年には、2016年の**30倍以上**に



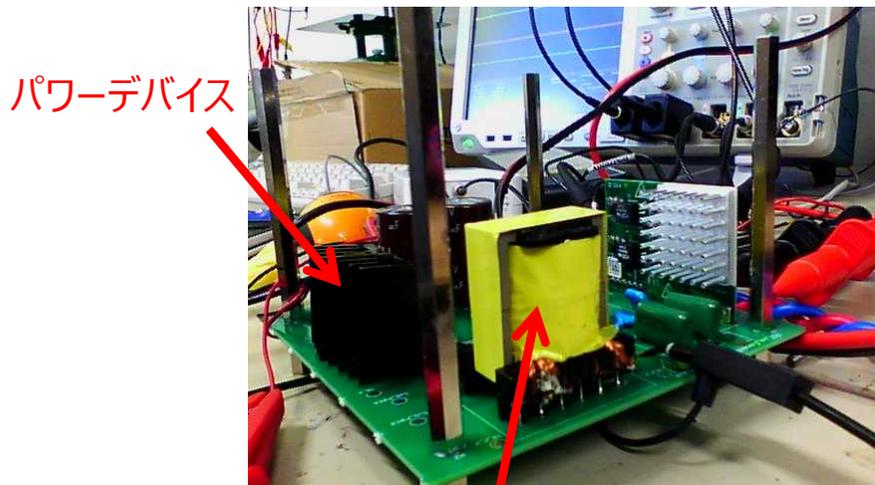
JST LCS提案書「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.1）」

ICT機器の普及加速には**省エネと小型軽量化**を両立するパワエレ技術が必要

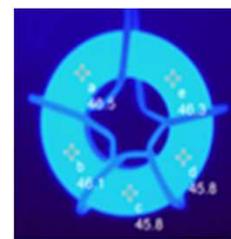
パワーエレクトロニクスの課題

- 大幅な省エネ・高性能化が期待されるSiC、GaN等の次世代半導体に対応した、パワエレ回路システムやパワーデバイス、受動素子・実装材料の最適開発が不十分。パワエレ機器トータルとして優れた性能が十分に発揮できない。

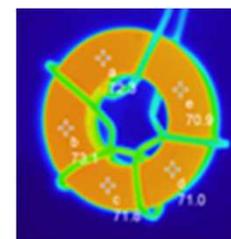
例えば、次世代半導体による高速スイッチングでも発熱（ロス）を抑えられる受動素子が求められている。



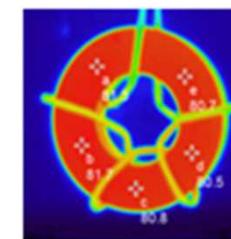
受動素子 (コイル)



300kHz



1MHz

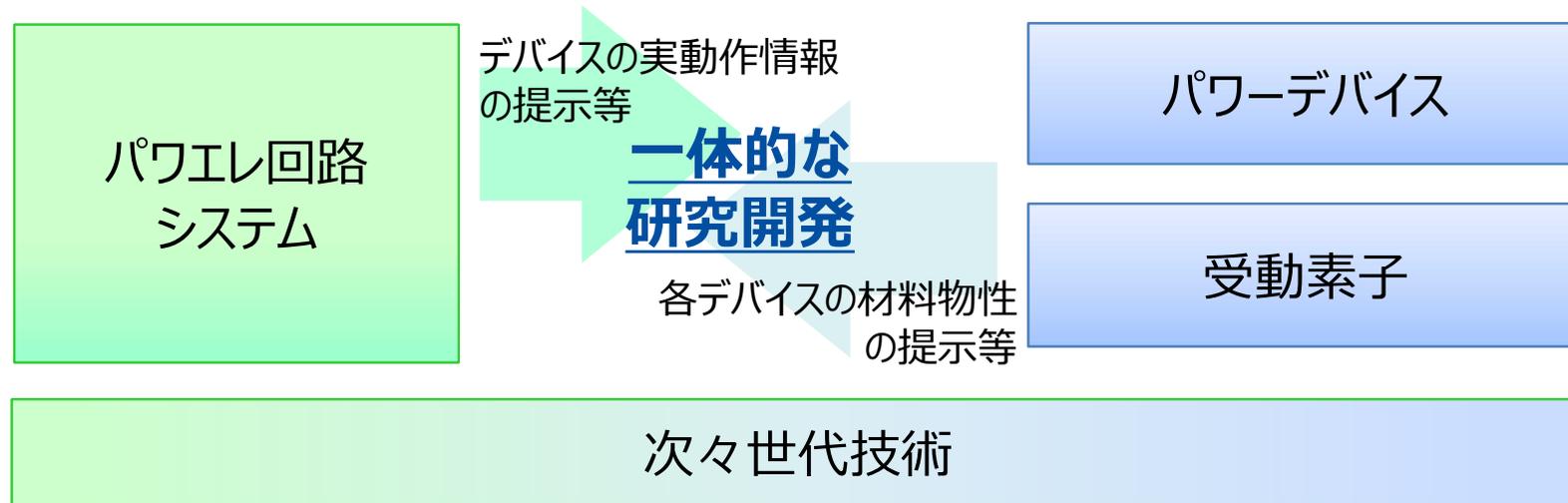


2MHz

受動素子 (コイル) における発熱 「出典：TDK株式会社」

文科省の施策の方向性（革新的パワーエレクトロニクス技術）

- 次世代半導体を用いたパワーエレクトロニクス技術に関して、パワーエレクトロニクス回路システム、パワーデバイス、受動素子・実装材料の一体的な研究開発体制を構築し、基礎基盤研究を実施することにより、実用化に向けた研究開発を加速する。



● アクションプラン（骨子）

パワーエレクトロニクス回路システム

SiC、GaN等の次世代半導体を用いて、従来よりも超省エネ・小型なパワーエレクトロニクス技術の原理実証を行う。

パワーデバイス

GaNの優れた材料特性を実現するパワーデバイスを開発する。

受動素子・実装材料

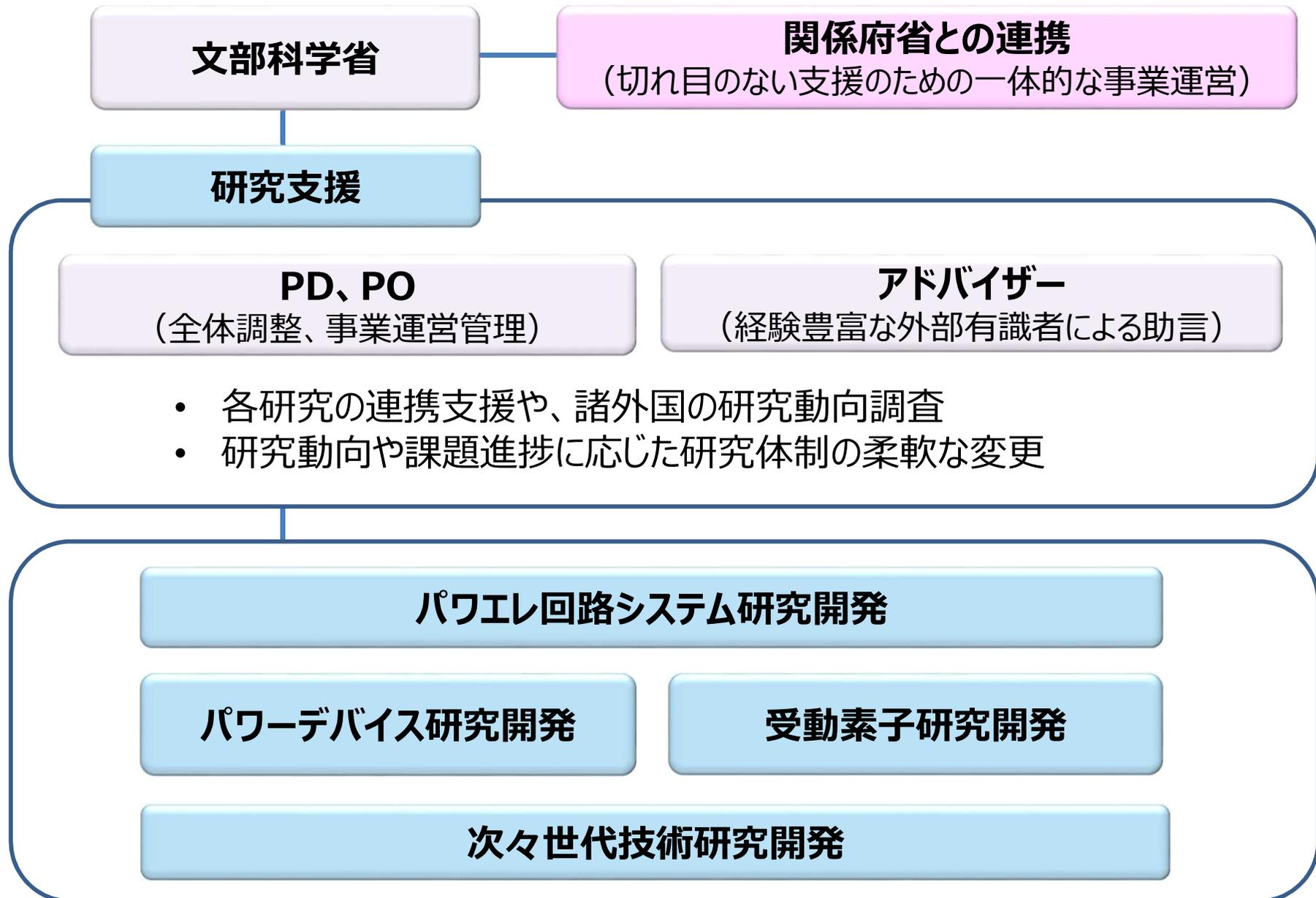
パワーエレクトロニクス用途に最適な新たな磁性材料等を開発する。

次々世代技術

次々世代パワーエレクトロニクス要素技術の確立やその優位性評価への見通しをつける。

文科省の施策の方向性（研究開発体制）

- パワエレシステム全体の性能最大化の観点から、パワエレ回路システム、パワーデバイス、受動素子・実装材料の基礎基盤研究を1つのプロジェクトの下で一体的に推進する体制を整備する。



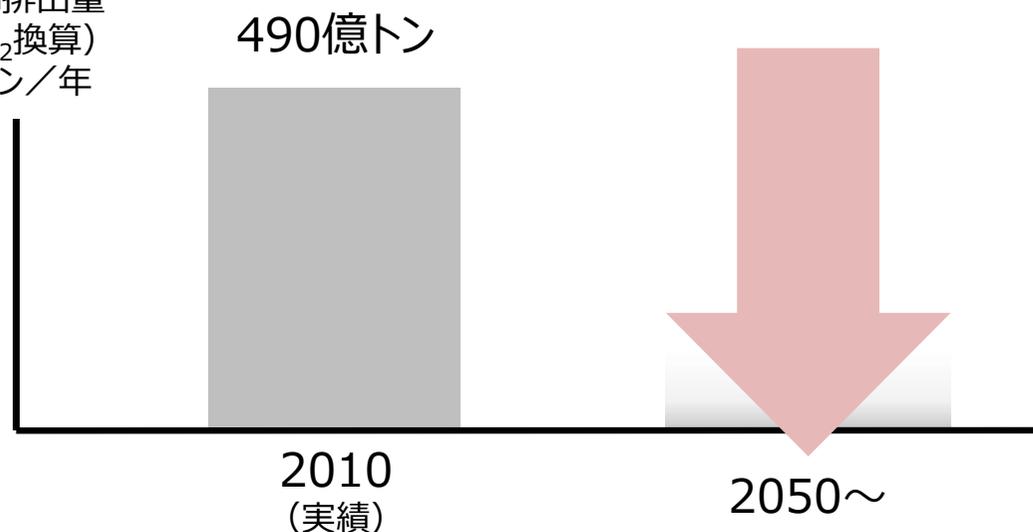
(参考資料)

背景（「革新的環境イノベーション戦略」における位置づけ①）

「革新的環境イノベーション戦略」（令和2年1月21日統合イノベーション戦略推進会議決定）が目指すもの

- 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」（令和元年6月閣議決定。以下、「長期戦略」という。）において、我が国は、最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指し、**2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減**の実現に向けて、大胆に取り組むことを宣言した。これに加え、我が国の考え方・取組を世界に共有し、1.5℃の努力目標を含むパリ協定の長期目標の実現にも貢献する旨を明記した。
- ただし、パリ協定の2℃目標の実現ですら**世界で年間7兆ドルの追加費用**が必要との試算があり¹⁾、1.5℃努力目標実現には**更なる追加費用**が必要となることを見込まれる。したがって、**非連続なイノベーション**により**社会実装可能なコスト**を可能な限り早期に実現することが、世界全体での温室効果ガスの排出削減には決定的に重要である。
(我が国は、これまでも太陽電池のコストを250分の1にするなどのイノベーションで世界に貢献してきた。)
- 今般、長期戦略に基づき策定する「**革新的環境イノベーション戦略**」は、
 - ① **16の技術課題**について、具体的な**コスト目標**等を明記した「**イノベーション・アクションプラン**」、
 - ② これらを実現するための、**研究体制**や**投資促進策**を示した「**アクセラレーションプラン**」、
 - ③ **社会実装**に向けて、グローバルリーダーとともに**発信し共創**していく「**ゼロエミッション・イニシアティブズ**」、から構成されている。
世界のカーボンニュートラル、更には、**過去のストックベースでのCO₂削減（ビヨンド・ゼロ）**を可能とする革新的技術を2050年までに確立することを目指し、長期戦略に掲げた目標に向けて社会実装を目指していく。

GHG排出量
(CO₂換算)
億トン/年



2℃目標に相当する2050年70%削減では
7兆ドル/年の追加費用が必要¹⁾

1.5℃努力目標に相当する2050年100%
削減には、更に対策費用が必要

1) 現状の技術の延長と比較して、世界全体の温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）削減コストが最小となるよう、費用対効果の大きな革新技術から順次導入されると仮定。70%削減に比べ100%削減の費用は大幅に増加し、年間十数兆ドルに達すると考えられる。RITEのモデルによる試算。

I. エネルギー転換

デジタル技術を用いた強靱な電力ネットワークの構築

⑥ 高効率・低コストなパワーエレクトロニクス技術等の開発

【目標】

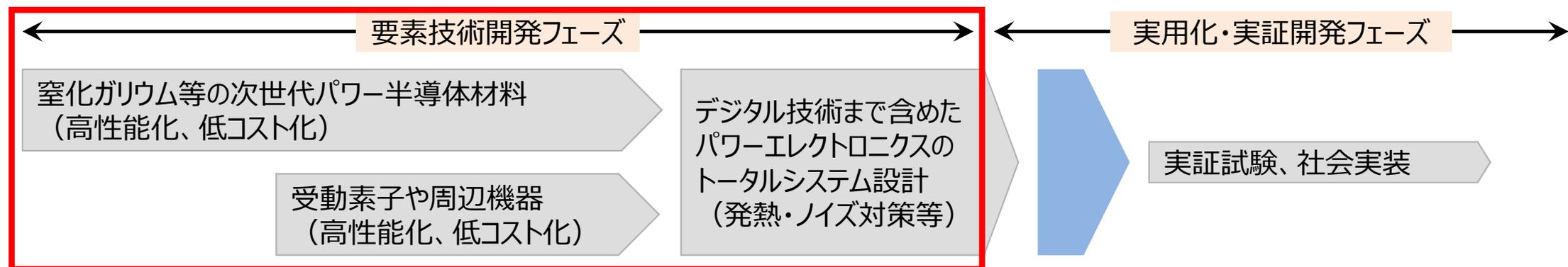
- 発電・送電・配電・消費の各段階における電力変換で生じてしまう電力損失を、大幅に低減できるパワーエレクトロニクス技術の高性能化・低コスト化のための研究開発を行い、新規用途等に向けたデバイスの2050年までの普及拡大を目指す。世界全体におけるCO₂削減量は約14億トン。¹⁾

【技術開発】

- 既存用途よりは高い耐圧が求められる車載・産業用途や、より高速動作が求められる通信機器用途のために、シリコンデバイスの新構造化技術や、炭化ケイ素や窒化ガリウムといった次世代パワー半導体の開発に取り組んできたところ、引き続き、窒化ガリウム等の次世代パワー半導体の高性能化技術や低コスト化技術の開発に取り組む。炭化ケイ素については、シリコンからの置き換えによるインバーター効率向上(2%~10%超)を実現し、民間事業者における設備投資を含めた早期の社会実装に向けた取組を促す。
- 加えて、受動素子や周辺機器を含む汎用性あるパワーモジュール、発熱やノイズ対策、エネルギー需給調整を精緻に制御可能なデジタル化技術、実装機器まで含めたパワーエレクトロニクスのトータルシステム設計に取り組む。
- 窒化ガリウム等の次世代半導体の開発技術を活かし、通信機器や、レーザー、ワイヤレス電力伝送へ応用可能な技術の研究開発から社会実装まで引き続き取り組む。

(実施体制)

- 関係省庁連携の下、国内外の大学・研究機関・企業との連携により次世代半導体素子、受動素子や周辺機器等の性能等の追求を行いつつ、段階に応じてモジュールの試作等を行い、企業による実用化研究開発につなげる。



1) 革新的なパワエレ技術が運輸や産業などの部門に一定割合導入されたときのCO₂削減量をNEDO TSCで試算。

パワーエレクトロニクス等の研究開発の在り方に関する検討会 中間まとめ(概要)

本年3月、文科省研究開発局に、パワーエレクトロニクス（GaN等の次世代半導体研究を含む。以下「パワエレ」という。）等の研究開発について、現状と今後の技術的課題を網羅的に整理し、2021年度以降に行うべき基礎基盤的な研究開発の方向性について議論する検討会を設置（主査：大森達夫三菱電機株式会社開発本部 主席技監）【開催状況】 第1回：4月8日、第2回：4月15日、第3回：4月27日、第4回：5月15日（オブザーバー：内閣府、経産省、環境省）

現状分析と進むべき方向性

<今起こっていること>

- 世界の通信データ量増に比例して、IT関連機器の消費電力も年々増加。
- 新型コロナウイルス対応や5G普及で、さらに加速する見込み。
- EVなどのモビリティやロボット、電力ネットワークの電動化・デジタル化が進展。

<これからの課題>

- 電力需要とともに**電力損失の総量が増加**。
- 世界のIT関連機器の消費電力は、2030年には2016年の約30倍以上となり、現在の世界の発電量を大幅に上回る可能性。
- 様々な新しいアプリケーション**を実現する電力制御技術の開発が必要。

- あらゆる機器の**超省エネ・高性能化**し、イノベーションの鍵となる**技術がパワエレ**。
- SiC、GaN等の次世代半導体**の導入により、**大幅な省エネ・小型化**が現実化。
- 他方で、次世代半導体に対応した、**パワエレ回路システムやパワーデバイス、受動素子等の最適開発が不十分**。

次世代半導体を用いたパワエレ技術に関して、**パワエレ回路システム、パワーデバイス、受動素子等の一体的な研究開発体制**を構築し、**基礎基盤研究を実施**することにより、**実用化に向けた研究開発を加速**する。

アクションプラン（骨子）

革新的パワエレ技術

(1) パワエレ回路システム

次世代半導体を用いたデバイスを用いて、AIを活用した回路システムのデジタル制御や積層集積化など、**従来よりも超省エネ・小型**（高電力変換効率・高パワー密度の向上）な**パワー制御技術**の原理実証を行う。

(2) パワーデバイス

GaNのp型イオン注入に必要な超高压雰囲気での低圧化や界面におけるチャネル移動度の向上等を目指した研究開発などを進め、**GaNの優れた材料特性を実現するパワーデバイス**を開発する。

(3) 受動素子・実装材料

パワエレ用途に最適な低損失な**新たな磁性材料**やコンデンサの**誘電体**とこれらの**性能の評価技術**、高温動作にも対応した**新たなセラミックスや樹脂材料**、**ノイズ抑制材料**を開発する。

(4) 次々世代技術

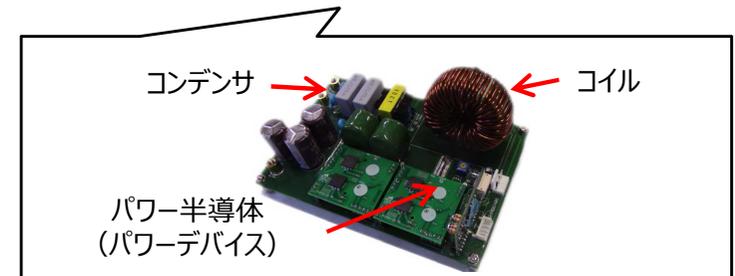
次々世代技術として有望と考えられる研究開発課題について、パワエレ応用を前提とした研究開発により、**技術の確立や優位性評価への見通し**を付ける。

研究開発体制/その他

- 各研究間の**交流の場の形成**や、進捗に応じて研究体制を柔軟に変更できる仕組みを設定。
- 文科省では、**学理究明などアカデミア主体の基礎基盤研究開発**を行い、関係府省庁との密な連携の下、その**成果を円滑に関係府省庁が行う研究開発プロジェクトや企業が主体となった研究開発**につなげる。
- 各研究の連携を支援するとともに、**諸外国の研究動向をリアルタイムで調査**し、日本が他国に勝る戦略を検討する体制を整備する。

※パワーエレクトロニクス（パワエレ）とは？

半導体を中心とした回路システムにより、交流→直流など効率よく電力変換する技術。
身の回りのあらゆる電力機器に用いられている。



中間まとめ

パワーエレクトロニクス等の研究開発の在り方に関する検討会

○本検討会について

革新的環境イノベーション戦略（令和2年1月統合イノベーション戦略推進会議決定）においてイノベーション・アクションプランに掲げられる技術の一つである、パワーエレクトロニクス（GaN等の次世代半導体研究を含む。以下「パワエレ」という。）※等の研究開発について、これまで実施している取組を含め、現状と今後の技術的課題を網羅的に整理し、中間まとめとして、2021年度以降の研究開発の方向性について、文部科学省において行うべき事業を念頭に置いて検討を行った。

【開催状況】 第1回：4月8日、第2回：4月15日、第3回：4月27日、第4回：5月15日

○中間まとめの構成

- はじめに、パワエレ研究の現状分析と進むべき方向性を述べ、これを受け、文科省として今後パワエレ研究をどのように進めるか、アクションプラン（骨子）を示す。
- 革新的パワエレ技術として、パワエレのトータル設計技術に関するパワエレ回路システム、パワエレを構成するパワーデバイス、受動素子・実装材料について示す。
- 更に、パワエレの次々世代技術に関する研究課題について示す。
- 終わりに、今後あるべき研究開発体制等について示す。

※**パワーエレクトロニクス（パワエレ）**：パワー（電気・電力・電力機器）、エレクトロニクス（電子・回路・半導体）、コントロール（制御）を融合した学際的分野。パワーデバイス（半導体）や受動素子等（コイル・コンデンサ等）の回路システムを用いて、**電力機器内部の電圧や電流を制御する技術**（例：交流→直流）。パワエレ回路システムとは、回路や実装、制御技術などを駆使し、デバイスを最適化したトータルシステム設計を行う研究開発をいう。

現状分析と進むべき方向性

アクションプラン（骨子）

革新的パワエレ技術

- （1）パワエレ回路システム
- （2）パワーデバイス
- （3）受動素子・実装材料
- （4）次々世代技術

研究開発体制／その他

背景

ICT機器の普及やあらゆる機器の電動化・デジタル化が進み、電力需要とともに**電力損失の総量が増加。あらゆる機器の超省エネ・高性能化によるイノベーションの鍵となる技術がパワーエレクトロニクス（パワエレ）。**

- 世界のデータ通信量は年々増加し、ICT機器における消費電力も増加（2030年には2016年の約30倍になる可能性）。ポストコロナ社会におけるテレワーク・WEB会議などのインターネット利用拡大や、5Gなど高速情報通信網の普及により、この流れはさらに加速する見込み。
- また、EV、ロボット、空飛ぶクルマなどのモビリティ分野、電力ネットワーク分野で、あらゆる機器の電動化・デジタル化が進展。
- 他方、こうした機器の電力損失の総量も増加。あらゆる電力機器で用いられるパワエレ機器（電力制御）の省エネ化がますます重要に（例：データセンターの消費電力の約2割はパワエレ機器による電力損失）。
- パワエレ機器の小型軽量化や制御性の向上は、電力機器に新たな価値を与え、イノベーションを創出。
- パワエレ技術は、我が国の「脱炭素社会」の実現を目指す「革新的環境イノベーション戦略（令和2年1月統合イノベーション戦略推進会議決定）」において、重要な技術課題の一つとして位置づけ。

課題

大幅な省エネ・高性能化が期待される次世代半導体に対応した、パワエレ回路システムやパワーデバイス、受動素子・実装材料の最適開発が不十分。**パワエレ機器トータルとして優れた性能が十分に発揮できない。**

- 近年、我が国が強みを持つ次世代半導体の研究開発は着実に進展。他方で、次世代半導体の特性を最大限活かしたパワーデバイスや、その高速動作に対応できるパワエレ回路システムや受動素子・実装材料がないため、我が国の次世代半導体研究の強みが活かしきれていない。
- パワーエレクトロニクスは、パワーデバイス、コイルやコンデンサなどの受動素子・実装材料、それらを搭載・制御するパワエレ回路システムの3つを組み合わせた複合技術。パワーデバイスや受動素子・実装材料が特定の条件において優れた特性を示しても、パワエレ機器としてみた場合、実用上は不十分である場合が多々ある。このため、それぞれの特性を生かした個々の積み上げ型の研究開発に加え、あくまでパワエレ機器トータルとして「まとめあげる」ことに主軸を置いた、統合的な研究開発が必要。

施策の方向性

次世代半導体を用いたパワエレ技術に関して、**パワエレ回路システム、パワーデバイス、受動素子・実装材料の一体的な研究開発体制**を構築し、**基礎基盤研究を実施**することにより、実用化に向けた研究開発を加速する。

- パワエレ分野での文科省の役割は、アカデミア主体の学理究明を含めた基礎基盤的な研究開発を実施し、新たな技術シーズを創出・育成するとともに実用化へのボトルネック課題の解決の道筋を示すことにより、産業界での実用化を促進し、我が国の競争力強化に結びつけること。
- アクションプランの骨子については、文科省施策だけでカバーされない研究開発課題が含まれていることから、関係省庁と連携して政府全体として取り組んでいくことが重要であるが、文科省において取り組むべき研究課題と目標を次頁以降に示す。

革新的パワエレ技術（1）パワエレ回路システム

日本の立ち位置等

（日本の立ち位置）

- パワエレを構成する半導体等のデバイス研究は世界トップレベル（GaN基板やコンデンサ等で世界シェア首位）。他方、各要素技術を組み合わせるパワエレのトータルシステム設計技術の研究開発では、欧米のアカデミアに対し遅れをとりつつある。
- 近年、パワエレ市場は、ICT分野やEV、ロボットといった運輸産業分野、太陽光発電などを含む電力ネットワーク分野で進展見込み。加えて、WPT（無線電力伝送）、機電一体モータといった新しいパワエレ技術への期待や、空飛ぶクルマや電動航空機といった新たな応用/適用先の可能性が現実的になるなど、パワエレ機器は各方面で注目を集めている。
- 次世代半導体の登場により高速スイッチングが可能に。このため、こうした新しい市場や新しい技術をけん引する新たなパワエレシステムや受動素子の開発への期待が高まっており、半導体や受動素子・実装材料からパワエレシステムまでの一貫した研究開発により、世界市場を獲得する絶好のタイミング。

（諸外国の研究開発の潮流）

- アメリカ（ARPA-E）やドイツ（フラウンホーファ）でパワエレシステムの研究開発が進展（2018年～：32百万ドル（CIRCUITS、米））。
- GoogleとIEEEは、アカデミア等を対象にパワエレの小型化を競うコンテスト「Little Box Challenge」を開催（2015年：賞金100万ドル）。

研究開発課題

- 進展する市場動向等を踏まえ、まずはICT機器やEV、ロボットなどの小中容量電力を扱うパワエレ機器をターゲットとして、将来的に実用化が予想される次世代半導体パワーデバイスの活用も見据え、世界を牽引する次世代パワエレ回路システムの研究開発を進める事が重要。
- 具体的には、省エネ・小型化を目指し、次世代半導体の高速スイッチングに対応できる回路トポロジー設計やパワーデバイス構造と駆動技術を融合した革新的ゲート駆動制御方式、高パワー密度化やそれに伴う実装技術（積層集積化、耐熱や冷却など）、パッケージ内部にゲート駆動回路や受動部品を搭載したIPM（インテリジェントパワーモジュール）やパワー集積回路（配線・素子設計による意図しない電力損失の抑制など）、機電一体構造、信頼性評価（サージ電圧やノイズ抑制など）等の要素技術開発を行うことが必要。
- 特に、パワエレ回路システムの超小型化や性能向上のためには、革新的デジタル制御と融合した集積化が重要。その際、集積回路（LSI）研究などのパワエレ分野以外の研究領域の知見やパワエレデジタル制御へのAIの活用も重要。
- 半導体の性能が向上することで、これまでの周波数領域では問題とならなかったノイズ対策が必要となったように、技術が進展することで新たな課題が生じる。急速に進展しているデジタル化等の流れを捉え、長期的な視野で将来の実装先を想定した上で、その実用化の障害となる潜在的なボトルネックを明確化し、解決を図る統合的な視点が必要。

目標

パワエレ回路システム研究については、SiC、GaN等の次世代半導体を用いたパワーデバイスを用いて、回路システムのデジタル制御や積層集積化などにより、従来よりも**超省エネ・小型**（高電力変換効率・高パワー密度の向上）な**パワエレ技術の原理実証**を行う。

革新的パワーエレクトロニクス技術（2）パワーデバイス

日本の立ち位置等

（日本の立ち位置）

- 世界のパワーデバイスの市場規模は約1.5兆円。産業用（IoT社会の進展による自動化・ロボット導入等）と車載用（電動化によるモータへの置換え）がけん引する形で、今後も市場は成長見込み。現在は、Si半導体のパワーデバイスが主流であり、欧州企業が世界シェアトップ。
- SiCやGaN等の次世代半導体の材料特性を使いこなせば、Si半導体パワーデバイスよりも大幅に高性能なパワーデバイス（高耐圧、低損失、高周波対応、小型化、高温耐性など）の実現が可能となる。
- 我が国は、GaNやGa₂O₃の結晶創製・デバイス作製の基礎研究は世界トップレベル。これまでの研究開発で、例えば6インチ GaN結晶基板コストを低減するための基板製造の基盤技術を開発、またGaNパワーデバイスの高性能化に向けた大きなブレイクスルーとなるp型イオン注入技術を世界で初めて開発し、縦型GaN-MOSFET動作を世界で初めて実施。

（諸外国の研究開発の潮流）

- 欧州や米国では、GaNパワーデバイス開発を推進。横型GaNデバイスおよび縦型GaNデバイスの双方の開発に注力。

研究開発課題

- SiCやGaNのパワーデバイスでは、いまだ材料の持つ理想特性（移動度等）の数十分の一程度のデバイスしか実現できず、デバイス状態での理想特性を実現するための研究開発が必要。また、Ga₂O₃ は高品質な結晶成長やデバイスプロセスの確立などの基礎研究が必要。
- 特に、GaNについては、横型デバイスに加え、近年の成果で高耐圧の縦型デバイスへの適用可能性が見いだされ、パワーエレクトロニクス機器の性能向上に大きく貢献すると期待。2019年には、我が国のアカデミアに世界唯一のGaN専用クリーンルームが整備される等、研究基盤が強化されたことから、これを最大限活用し、実用化を加速する更なる集中的な研究開発を行うことが重要。
- GaNパワーデバイスについて、縦型GaNデバイスの作製が可能な要素技術が確立されつつあるが、そのデバイス特性は不十分な状態である。このため、デバイス状態での理想特性を実現するためのデバイス作製技術や構造設計、低欠陥結晶基板の作製技術が重要（例えば、MOS構造の絶縁膜界面におけるチャンネル移動度の向上、高耐圧な終端構造の設計、p型イオン注入に必要な超高压雰囲気での低圧化や注入したイオンが偏析しない超低欠陥結晶基板の作製技術の確立など）。
- パワーエレクトロニクス回路システム研究の側からの要求に対応するため、デバイスから回路特性までの統合シミュレーションも重要。
- また、ユーザーであるパワーエレクトロニクス回路システム側からの要望を踏まえ、パワーデバイス側からパワーエレクトロニクス回路システム側に対し、試作したパワーデバイスを積極的に提供し、実回路での動作実証やモジュール化等、一体的な研究体制の下での先を見据えた研究開発を進める必要がある。

目標

GaNパワーデバイスについて、p型イオン注入に必要な超高压雰囲気での低圧化や界面におけるチャンネル移動度の向上等を目指した研究開発などを進め、**GaNの優れた材料特性を実現するパワーデバイス**を開発する。

革新的パワエレ技術（3）受動素子・実装材料

日本の立ち位置等

（日本の立ち位置）

- 我が国の受動素子（コイル、コンデンサ）の研究開発は、フェライトの発明に代表されるように産学共に歴史的な蓄積。また、コンデンサは日本企業が世界シェア1位。実装基板に用いられるセラミックス材料も国際的に我が国が強みをもつ。
- 受動素子・実装材料共に、情報通信エレクトロニクス機器を支える電子部品として、我が国産業界が高い国際競争力を維持してきた重要分野。しかし、パワエレ機器に要求される高電圧、高温、高周波動作には材料としての基本特性が不足しており、今後の国際競争力維持のためにも世界に先駆けた研究開発が必要。

（諸外国の研究開発の潮流）

- 米国（CPES VT）では受動素子を含めたパワエレの総合的な研究開発を推進。欧州（EURMET）では高周波領域での損失測定の研究開発を推進。

研究開発課題

- 市場成長が期待されるICT機器やEV、ロボットなどの小中容量電力を扱うパワエレ機器においては、次世代半導体を用いたパワーデバイスの登場によりデバイスチップ自体の高速スイッチングと低損失化が可能になった一方で、受動素子や実装基板等のパワーデバイス以外における電力損失やスイッチング速度遅延が顕在化。次世代半導体の高速スイッチングや高温動作（200℃以上）に対応した低損失・小型・大容量・高耐熱・長寿命・低コストな受動素子や、実装材料（ノイズ抑制材、セラミック基板や封止樹脂など）、放熱技術の開発が必要。
- コイルは、低損失かつ小型なパワエレ回路システムの実現に向け、用途に適した磁性材料の開発とともに、パワエレ特有の高周波励磁波形や求められる磁化特性等を踏まえた体系的なデータ化や課題抽出なども必要。
- 特に磁性材料については、極薄膜磁性材料に加え、極微細化パウダー材とその形状操作、表面層絶縁技術、コア成形技術などの革新技術を活用した材料も有望であり、これらの系統的な研究開発などが重要。また、磁性材料の探索に当たっては、AIを用いたマテリアルズインフォマティクスや強磁性体研究など他分野の知見などを活用した効率的な探索手法の開発が必要。また、磁性材料の低損失化に向けては、実回路での計測結果を説明可能な理論を構築することにより、新たな素子設計や、発熱の高精度な予測が可能になることが重要。また、損失メカニズムの根本解明とその制御に当たって、異常渦電流や磁区形成過程などの観察と計算機シミュレーションを併用したアプローチが必要。
- コンデンサは、パワエレ特有の高電界・高温・高周波動作条件において小型大容量化・信頼性等を満足するための誘電体とコンデンサ構造の統合開発が重要。
- 受動素子の共通課題として、パワーデバイス的高速動作環境における素子性能の評価技術の確立や計測機器の開発が重要。
- 実装材料は、高熱伝導高耐熱セラミック材料などの開発、パワエレ装置や周辺への電磁ノイズ障害を抑制するノイズシールド材料とノイズLCフィルタ設計手法などの開発が重要。
- 受動素子・実装材料の研究開発では、パワエレ回路システム側との密な連携の下で行うことが重要。パワエレ回路システム側からのさまざまな用途での素子動作情報の提示による受動素子・実装材料の材料探索や素子設計などへの貢献、また、受動素子・実装材料側からの材料物性や理論性能情報などの提示によるパワエレ回路システム研究の回路設計などへの貢献を期待。

目標

パワエレ機器の総合的な超省エネ・高性能化に向け、**パワエレ用途に最適なコイルやトランスの磁化特性と損失特性を備えた新たな磁性材料やコンデンサの誘電体材料とこれらの性能の評価技術、高温動作にも対応した新たなセラミックスや樹脂材料、ノイズ抑制材料**を開発する。

革新的パワエレ技術（４）次々世代技術

次々世代技術 の意義

パワエレは非常に多くの複合技術であり、継続的にわが国の競争力を強化・維持するには、基礎研究段階において、既存の技術シーズのみならず、将来的にパワーエレクトロニクス機器や革新的なエネルギーデバイスへの応用を目指した観点で、次々世代の要素技術も並行して戦略的に開発していくことが必要。このため、研究開発項目(1)～(3)に関係し、次々世代技術として有望と考えられる研究開発課題について取り組む。

研究開発課題

- 次々世代半導体として、 Ga_2O_3 、ダイヤモンド等を、パワエレ適用するためのボトルネック課題を解決する基礎研究が必要。
 - (例) Ga_2O_3 については、高品質な結晶成長やデバイスプロセス（エピ成長、トレンチ形成技術、pドーピング技術、ゲート絶縁膜）の確立、キラ欠陥の生成メカニズム解明と制御技術、パワーデバイス性能の実証による優位性を見極め。
 - (例) ダイヤモンドについては、結晶成長法の確立（バルク、エピ成長共に）とその大型化・安定化、新規構造デバイスの探索を含めたデバイスプロセスの確立、パワーデバイス性能の実証による優位性を見極め。
- 次々世代パワーデバイスとして、更なる高性能を目指した新材料、新構造パワーデバイスの基礎研究が必要。
 - (例) SiC等を用いた超高耐圧領域（10kV超）で使用可能なパワーデバイスの研究開発。
 - (例) GaN基板上の高耐圧・大電力な超高速・高周波動作のパワーHEMTの研究開発。
 - (例) AlN系のパワーHEMTは、結晶成長・制御技術の確立はもとより、デバイスとしてのフィジビリティスタディ。
- 次々世代受動素子として、更なる高性能を目指した新材料、新構造受動素子の基礎研究が必要。
 - (例) コイルの性能向上、超小型化を可能とする2.0T以上の高飽和磁束密度（高エネルギー密度）を有する磁性材料（窒化鉄系など）の研究開発。
- 次々世代パワエレ回路システムとしては、様々なアプローチへの応用を見据えた基礎研究が必要。
 - (例) 空飛ぶクルマや電動航空機などの空のモビリティの高高度環境等の極限環境で動作可能なパワエレ回路システムの研究開発。高高度の低気圧、高放射線環境下での信頼性を確保する設計技術や評価手法の開発や半導体素子や受動素子・素材の絶縁性・熱伝導性・耐熱性の基礎研究。
 - (例) 高電圧パワエレ機器のゲート回路等への絶縁電力給電方式のイノベーションにつながる光電力給電技術や光デバイスとパワエレ回路の融合技術。
- 各課題は、その進捗に応じ、先行する各研究と一体的に行い、プロジェクト全体として研究開発を加速。

目標

パワエレ競争力の更なる強化や新しい市場の創出に貢献する基礎基盤研究を行うことにより、次々世代技術の確立やその優位性評価への見通しをつける。

研究開発の潮流

- 世界のイノベーションは「ものづくり」から「ことづくり」へ。イノベーションのパターンが「最高性能」「最高品質」などを実現するコアテクノロジー起点から、コアテクノロジーに加え、「小型」「使い勝手」など、様々な課題に対し新たなソリューションを提供する課題解決起点に変化。
- こうした課題解決型の技術に市場価値が見出される中で、温室効果ガスの大幅削減に貢献する省エネ化や、豊かな暮らしをもたらすIoT社会の推進に大きく貢献するパワーエレクトロニクス技術は、ますます重要。
- 「パワーエレクトロニクス回路システム」「半導体デバイス」「受動素子・実装材料」の複合技術であるパワーエレクトロニクス技術は、各個別企業における研究開発に行き詰まりが生じており、欧米では近年、アカデミアも含めたオープンイノベーションによる研究開発への支援が強化。

課題

- 我が国のパワーエレクトロニクスの研究開発は、各実装部品の性能やその学理解明に強みを有する一方で、それらをまとめ新たなソリューションを提供する観点に立った、ハブテクノロジー（まとめあげる技術）が立ち遅れ。
- パワーエレクトロニクス技術の更なる発展に向けては、「パワーエレクトロニクス回路システム」「パワーデバイス」「受動素子・実装材料」の各分野の連携や、物性や通信技術など異なる領域の知見を活かした研究開発が不可欠であるが、異分野間の相互理解や連携は進んでいない。
- パワーエレクトロニクスの研究開発は、半導体から回路システムまで広範、かつ、実用化まで10年以上を要するため、基礎から実用化まで切れ目ない関係府省庁との連携の下での支援が必要。また、これを牽引する研究者・技術者の育成も重要。
- 世界市場や諸外国の研究開発動向を適時的確に捉えることが必要。

研究開発体制

- パワーエレクトロニクスシステム全体の性能最大化の観点から、パワーエレクトロニクス回路システム、パワーデバイス、受動素子・実装材料の基礎基盤研究を1つのプロジェクトの下で一体的に推進する体制を整備する。特にGaN等の次世代半導体の物性は、従来のSi半導体と大きく異なる。このため、GaN等デバイスのパワーエレクトロニクスへの適用に当たっては、Siデバイスの単なる置き換えではなく、GaN等の優位性を最大化する受動素子や回路技術を、GaN等デバイス開発とともに一つのプロジェクトの中で一体的に研究開発する仕組みが必要である。
- 各デバイス研究からパワーエレクトロニクス回路システムまで、幅広い研究者同士の連携に向けて、研究課題横断型のワークショップを実施するなど、交流の場を形成する。さらに、企業在籍者を含めた経験豊富な専門家から必要に応じてアドバイスを受けられる体制や、研究動向や課題進捗に応じて研究体制を柔軟に変更できる仕組みを設定する。
- これまで困難とされてきた課題解決に向けては、最先端評価計測技術、高度計算技術、データベース構築とそれを用いたAI解析などを積極的に導入する。
- 学理究明などアカデミア主体の基礎基盤研究開発を行い、関係府省庁との密な連携の下、その成果を円滑に関係府省庁が行う研究開発プロジェクトや企業が主体となった研究開発につなげることにより、いち早く社会実装・ビジネスに波及させ、オールジャパンでパワーエレクトロニクスで「大きく稼ぐ」ことにつなげる。
- 各研究の連携を支援するほか、諸外国の研究動向をリアルタイムで調査し、日本が他国に勝る戦略を検討する体制を整備する。

【委員】

○：主査、敬称略（令和2年4月8日時点）

○	大森 達夫	三菱電機株式会社開発本部 主席技監
	奥村 元	産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 招聘研究員
	清水 敏久	東京都立大学大学院システムデザイン研究科 電子情報システム工学域 教授
	高橋 良和	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター 研究開発部門 部門長 教授
	松本 功	大陽日酸株式会社開発本部 サイエンスアドバイザー
	山口 正洋	東北大学大学院工学研究科 電気エネルギーシステム専攻 教授

【オブザーバー】

内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当) 参事官（エネルギー・環境）付

経済産業省 商務情報政策局 情報産業課

環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室

【開催状況】

第1回：4月8日、第2回：4月15日、第3回：4月27日、第4回：5月15日（中間まとめ）

【講演】

第1回：伊藤忠プラスチック、大阪大（谷口先生）、名古屋大（天野先生、加地先生）、NIMS（小出先生）

JST（CRDS、LCS）、経済産業省

第2回：デンソー、安川電機、JAXA（西沢先生）、日立金属、日本ケミコン、長岡技術科学大（伊東先生）、

内閣府、経済産業省、NEDO、環境省

第3回：検討会委員

第4回：NICT（東脇先生）、総務省、名城大（竹内先生）