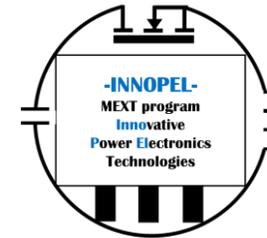


MEXT



# 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術 研究開発事業の概要について

Introduction of MEXT Program **Innovative Power Electronics Technologies (INNOPEL)**

2026-1-27

大森 達夫

プログラムディレクター

Program Director of INNOPEL

## 1. 文科省「革新的パワーエレクトロニクス事業(2021～2025)」の紹介

- ① 背景:カーボンニュートラル、デジタル化(豊かな高度エネルギー・情報化社会)
- ② 課題:パワエレ機器としてトータルにまとめあげる研究開発が不十分

## 2. 革新的パワーエレクトロニクス事業(略称:INNOPEL)の概要

### ①研究目的と目標、運営方針

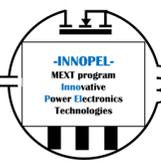
- ・ 次世代半導体の優れた材料特性を十分に実現できるパワーデバイス
- ・ その特性を最大限活かすことのできるパワエレ回路システム、受動素子
- ・ 各研究開発テーマ間の情報共有、連携。受動素子技術ロードマップ活動

### ②研究開発テーマの全体概要

- ・ 研究開発テーマの概要
- ・ 主な成果

## 3. まとめ

# 豊かな高度エネルギー・情報化社会 (CN and GX社会) に向けて

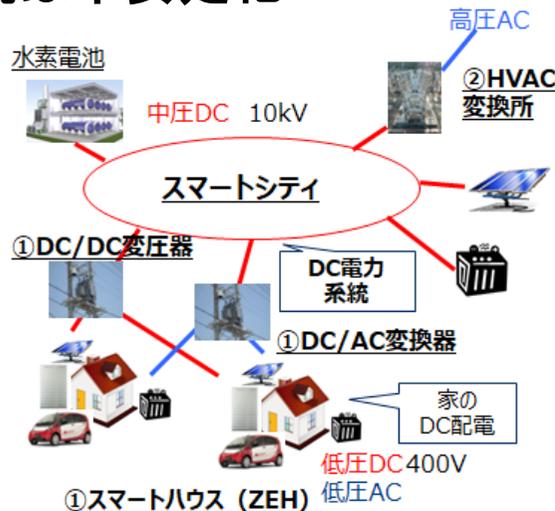


- 2050年カーボンニュートラルという困難な課題を実現するためには、**再エネ利用の拡大**や**需要側の電化・省エネ**が**不可欠**。
- 電力ネットワークの需給調整や太陽光発電等に活用される電力変換器、EV、ロボット、情報機器など、電力供給の上流から電力需要の末端までを支える**パウエレ**は、あらゆる**機器の省エネ・高性能化**につながる**横断的技術**。
- パウエレは、温暖化対策に貢献しつつ我が国の産業構造や経済社会の**変革**をもたらす**イノベーションの鍵**。

## エネルギーマネジメントの高度化

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

パウエレによる**電力最適化・安定化・ロバスト化・省エネ化**が可能。



## 電化による省エネ・高性能化

社会の電化や情報化の進展に伴い電力消費が急増大

パウエレの性能向上はCO<sub>2</sub>削減や**新たなアプリ(製品)の創出**に寄与。



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 LOS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) より

# パワエレ(次世代パワーデバイス: WBG半導体)の課題

- WBG半導体(SiC、GaN等)の実用化が広がっているが、その**優れた材料特性**を十分に活かした**パワーデバイス特性がまだ実現できていない**(約1/20以下)。
- デバイスとしての現象の原理理解(メカニズム解明、モデル化)や界面の物性解明・制御技術の**研究開発**が必要。

## 次世代パワーデバイスの基本要件特性

- ・チャンネル移動度  $\mu_{ch}$  (100cm<sup>2</sup>/Vs以上)
- ・しきい値電圧  $V_{th}$  (3-5V以上)
- ・しきい値変動  $\Delta V_{th}$  (±0.1V以下)
- ・信頼性を同時に達成

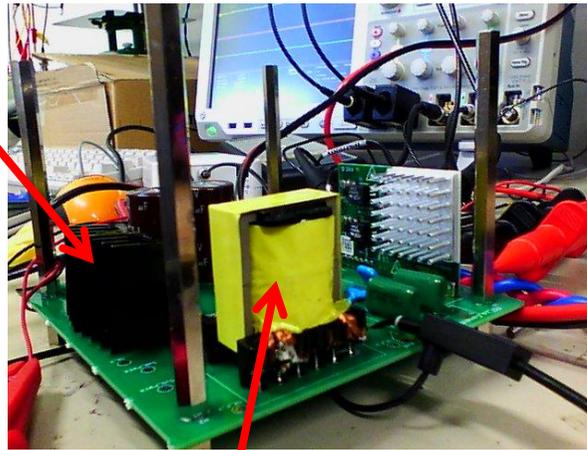
	バルク移動度	現状のチャンネル移動度
SiC	1000cm <sup>2</sup> /Vs	~30cm <sup>2</sup> /Vs (バルクの3%程度)
Si	1500cm <sup>2</sup> /Vs	1000cm <sup>2</sup> /Vs (バルクの60%程度)

		Si	SiC	GaN	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ダイヤモンド
イオン注入 [ /cm <sup>3</sup> ]	n	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>20</sup>	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>20</sup>	10 <sup>18</sup> ~10 <sup>19</sup>	10 <sup>16</sup> ~10 <sup>20</sup>	N/A
	p	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>20</sup>	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>20</sup>	5x10 <sup>16</sup> ~10 <sup>19</sup> (Mg/H共注入) (N追加注入)	1.5x10 <sup>18</sup> (Nイオン注入)	10 <sup>19</sup> ~10 <sup>21</sup>
ゲート絶縁膜 チャンネル移動度 [cm <sup>2</sup> /V·s]		熱酸化 800~1100 °C $\mu_{FE} \sim 1000$ (信頼性確保)	熱酸化 1000~1300 °C $\mu_{FE} \sim 30$ (信頼性確保)	デポ膜 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , AlSiO/AIN $\mu_{FE} \sim 184$	デポ膜 SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> $\mu_{FE} \sim 70$	デポ膜 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> $\mu_{FE} \sim 40$

# 次世代パワーデバイスを用いたパワエレの課題

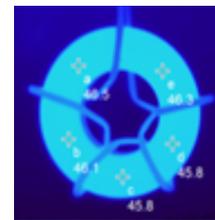
- パワー半導体の高性能化(高速化等)に十分に対応できる**受動素子の高性能化**や**パワエレ回路システム(ハブテクノロジー)**としての研究開発が不十分で、トータルとして優れた性能が十分に発揮できていない。

パワーデバイス

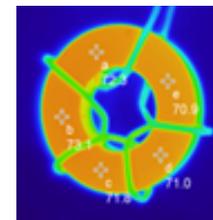


受動素子(コイル)

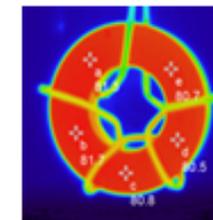
例えば、  
次世代半導体による高速スイッチングでも  
発熱(ロス)を抑えられる受動素子  
が求められている。



300kHz



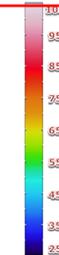
1MHz



2MHz

受動素子(コイル)における発熱

[https://product.tdk.com/info/ja/products/ferrite/ferrite/ferrite-core/technote/pov\\_pc200.html](https://product.tdk.com/info/ja/products/ferrite/ferrite/ferrite-core/technote/pov_pc200.html)

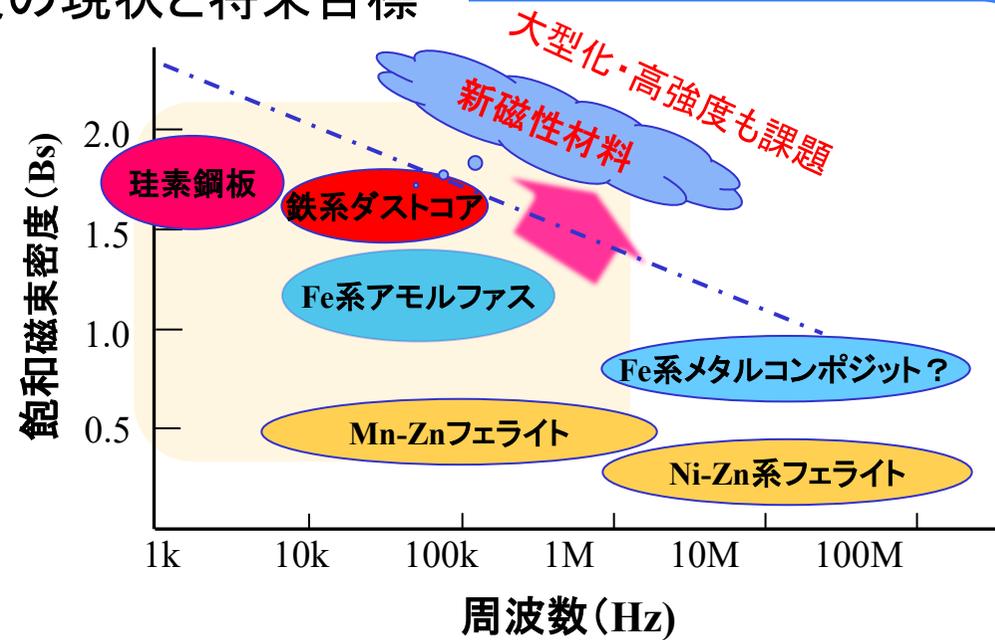
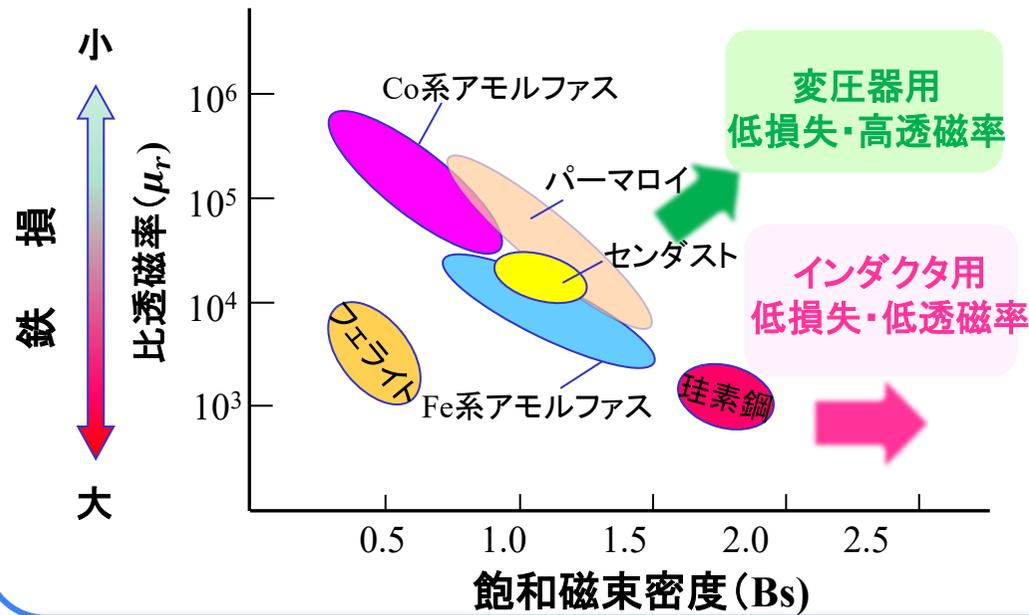


「出典:TDK株式会社」

- パワーデバイス以外のパワエレを構成する受動素子・材料、実装技術の**高性能化研究**に加え、**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。

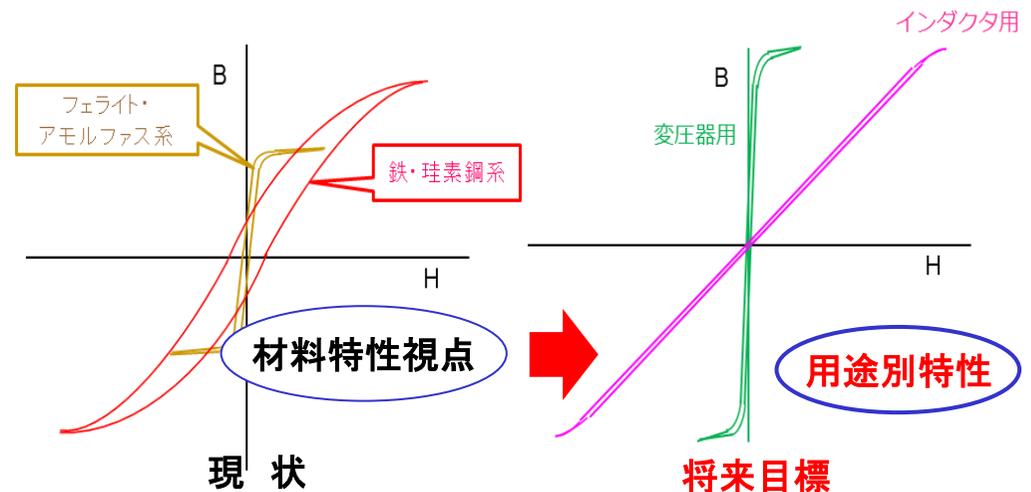
# パワエレ(受動素子・材料<磁性素子を例に>)の課題

軟磁性材料の磁化特性と損失の現状と将来目標

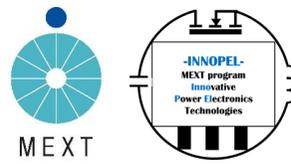


## ● パワエレに適用する視点での磁性材料・素子技術の研究開発が必要

	現状	変圧器	インダクタ
励磁電圧波形	正弦波	矩形波、正弦波、高調波	
磁界バイアス	×	なし	あり
透磁率	高	高	低
飽和磁束密度	高	高	高
損失	低	低	低
周波数	高	適用装置に依存	

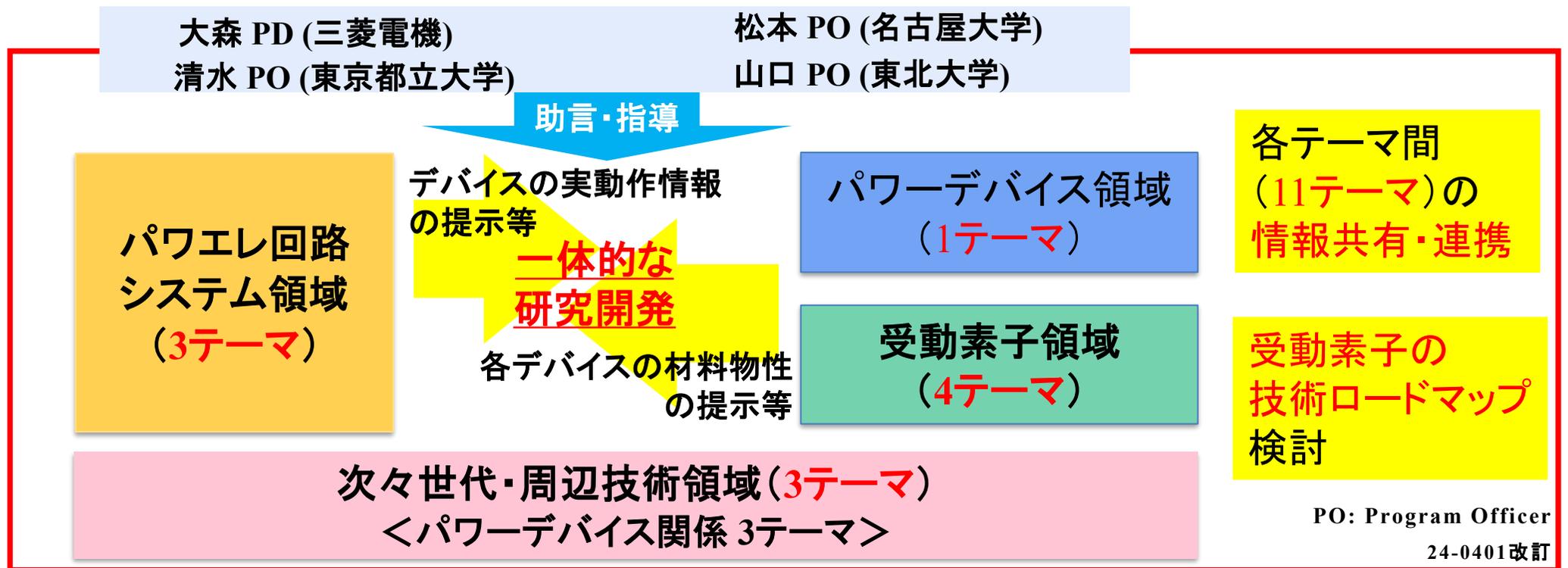


# 革新的パワエレ事業の目的と目標、運営方針



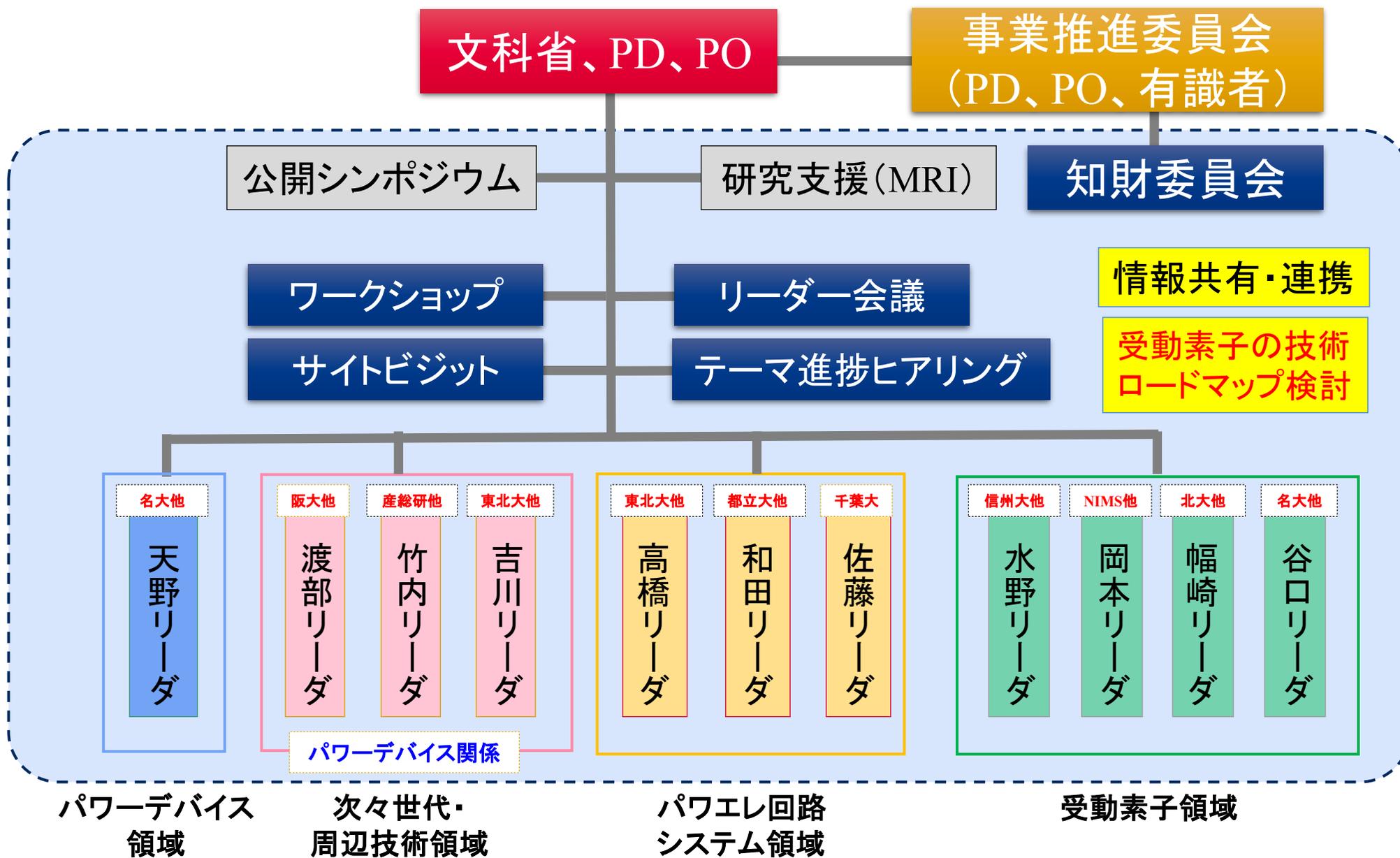
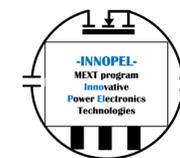
■ パワエレ機器としてトータルに「**まとめあげる**」ことに主軸を置いた、**統合的な**パワエレ研究開発により、省エネ・高性能な革新的パワエレ技術を実現する。

- ・ WBG半導体の**優れた材料特性**を十分に実現できる次世代**パワーデバイス**技術
- ・ その性能を**最大限活かすこと**のできる**パワエレ回路システム**、**受動素子・材料技術**
- ・ このため各研究テーマ間(領域内に加え領域間)の**情報共有**や**連携研究活動**を推進
- ・ **受動素子技術ロードマップ**検討活動による、異なる技術領域間の相互理解・連携強化



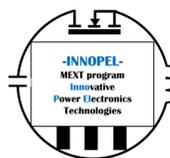
- EV、ロボット、再エネ等の分散電源用パワーコンディショナー(系統連系小型コンバータ)など、**高周波・中小容量電力**を扱うパワエレ分野をターゲットとして研究開発を実施。

# 革新的パワエレ事業の運営体制とテーマリーダー



- ・各研究テーマ内で進捗会議、知財管理会議を運営
- ・可能な範囲で、PD、POが会議にオブザーバ参加

# INNOPELの研究開発テーマの概要と主な成果



## パワーデバイス領域 (1テーマ)

- ▶ 天野テーマ:「社会実装を目指したGaN縦型パワーデバイス作製技術の確立」
  - ・PE-ALDによるAIN中間層導入によりMOSチャネル移動度  $\sim 184\text{cm}^2/\text{Vs}$  をヒステリシスを抑制して達成。さらに、トレンチでのAIN中間層の効果を実証 AI拡散MOS界面で高移動度を実現
  - ・チャネリングイオン注入技術をJBSダイオード適用して動作実証。立ち上がり電圧 $\sim 0.9\text{V}$  さらに、600V、 $\sim 5\text{A}$ 級JBSを試作し特性を検証
  - ・小面積DMOSを試作し、耐圧1200V、 $4\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 程度のFET動作を確認
  - ・Mg注入耐圧終端構造としては、アバランシェ破壊耐量を確認

情報共有・連携

## 次々世代・周辺技術領域 (3テーマ)

- ▶ 渡部テーマ:「SiC MOS界面の高品質化によるシステム性能向上にむけて」
  - ・NO窒化SiO<sub>2</sub>/SiC構造の詳細な評価分析・解明
  - ・CO<sub>2</sub>熱処理提案。1.2kV、A級SiC DMOS検証
- ▶ 竹内テーマ:「革新パワーデバイス応用に向けたダイヤモンド半導体基盤技術検証」
  - ・ドリフト層あり横型反転pチャネルMOSFET動作実証。 $\mu_{\text{FE}} \sim 40\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、 $D_{\text{it}} < 10^{12}\text{eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$
- ▶ 吉川テーマ:「高品質β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶育成のための新規貴金属ルツボフリー結晶成長法の開発」
  - ・ルツボを用いないOCCC法を提案し結晶育成実証 転位密度は、 $\sim 1 \times 10^5\text{cm}^{-2}$

情報共有・連携

## パワエレ回路システム領域 (3テーマ)

- ▶ 高橋テーマ:「脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発」
  - ・ワイヤレスゲートドライバー技術による低背化/低ノイズ化、両面冷却パワーモジュール技術による小型化や超高速デジタル制御技術等によりEV/HEV用500kVA/Lパワーユニットを実証
  - ・中・小産業用インバータの高性能化に取り組み、電圧FB制御による効率改善効果を確認
  - ・データセンタ用電源に部品点数の少ないAC-DC直接変換方式を採用し、実動作を確認
- ▶ 和田テーマ:「高効率SST実現に向けた回路・制御・実装技術」
  - ・SST(6.6kV/200V,50kVA)用DC-DC(DAB)コンバータ高効率化のためソフトスイッチング領域拡大方法を提案・開発し、軽負荷時の損失低減を実証
  - ・DAB用高周波変圧器を設計・開発し、効率99.4% @体積91cm<sup>3</sup>を実証
  - ・電力系統事故時におけるSST運転継続制御手法を明確化
  - ・SSTを複数配置した6.6kV配電システムシミュレーションモデルを構築し、電力システムの安定化効果を確認
- ▶ 佐藤テーマ:「GaNデバイスで拓く超高周波パワーコンバータの開発」
  - ・共振型絶縁コンバータの設計および開発し、動作周波数4MHz, 出力電力1kW, 効率95.6%を達成
  - ・低比透磁率コアにおける磁性素子サロゲートモデル構築手法を確立
  - ・設計ソフトウェアとの連動により高精度の損失予測を実現
  - ・ヒューリスティカルアルゴリズムによる最適設計ソフトウェアを開発

情報共有・連携

## 受動素子領域 (4テーマ)

- ▶ 水野テーマ:「磁気異方性軟磁性材料を用いた高周波・電力変換用トランス・インダクタの開発」 @小容量( $\sim 1\text{kW}$ )、 $\sim$ 数MHz
  - ・Co-Pd元素置換FINEMET系ナノ結晶材料を開発し、Mn-Znフェライトより鉄損 35%減@500kHzを実証
  - ・高周波絶縁トランスを開発し、LLC共振コンバータにて、効率70%@1.5W, 20MHz帯を実証
- ▶ 岡本テーマ:「革新的パワーエレクトロニクスのための超低損失磁性材料の創成」 @中容量( $\sim 100\text{kW}$ )、 $\sim 100\text{kHz}$ 
  - ・パワエレ用軟磁性研究の学術基盤構築、高精度鉄損計測・評価手法の開発とともに、高B<sub>s</sub>低鉄損材料を新規開発し、試作コア実装評価を実現し P<sub>cv</sub> = 84 kW/m<sup>3</sup>@ 100 mT, 100 kHzを実証
- ▶ 幅崎テーマ:「次世代高電力密度パワエレ機器に向けた高性能コンデンサの研究開発」
  - ・高耐電圧高耐熱な導電性高分子固体コンデンサ(セル目標:450V/5.4μF@150°C)を試作・評価
  - ・電解液コンデンサに比べESRが1/30@100kHz、450V-125°C負荷試験、加速劣化試験で良好な耐久性を確認
- ▶ 谷口テーマ:「次々世代パワエレ用受動素子の創製に向けたチタン石型誘電体材料の新規開発」
  - ・SrTiGeO<sub>5</sub>バルクセラミックスにおいて150kV/cmで200%の誘電率増大(正バイアス効果)を観測
  - ・新型MLCCを試作し、信頼性の評価と改善に取り組み、高電圧下における安定性の向上に成功

**各研究開発内容の詳細・意見交換は  
テーマリーダーからの発表、  
担当者からのポスター発表の際に  
お願いいたします**

**ご清聴ありがとうございました**