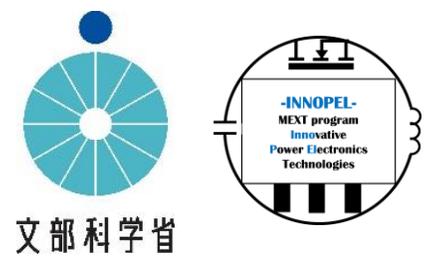


脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発

高橋良和¹⁾ 岩路義尚²⁾ 鈴木慧太¹⁾ 高城直輝¹⁾ 立石義博¹⁾ 羽生貴弘¹⁾ 遠藤哲郎¹⁾

1) 東北大学 2) 茨城大学

発表内容



1. INNOPELでの研究開発内容

2. 研究成果代表例：EV / HEV用 500kVA/L パワーユニットの開発

2-1. 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

2-2. 薄膜高分子積層コンデンサ技術による小型化

2-3. 高冷却水冷ユニット技術による低熱抵抗化

2-4. 両面冷却パワーモジュール技術による小型化

2-5. さらに高集積化：超高速デジタル制御ゲート回路の開発

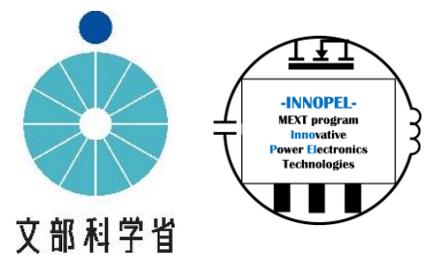
3. まとめと今後の展望

INNOPELでの東北大学チームの研究体制と社会実装分野

本日の発表



発表内容



1. INNOPELでの研究開発内容

2. 研究成果代表例：EV / HEV用 500kVA/L パワーユニットの開発

2-1. 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

2-2. 薄膜高分子積層コンデンサ技術による小型化

2-3. 高冷却水冷ユニット技術による低熱抵抗化

2-4. 両面冷却パワーモジュール技術による小型化

2-5. さらに高集積化：超高速デジタル制御ゲート回路の開発

3. まとめと今後の展望

EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニット外観

INNOPEL成果として、EV/HEV用パワーユニット（インバータ）にて**500 kVA/L**と現状市販品の世界最高レベルの**パワー密度100kVA/L**に対し大幅な**高パワー密度化**を実現。

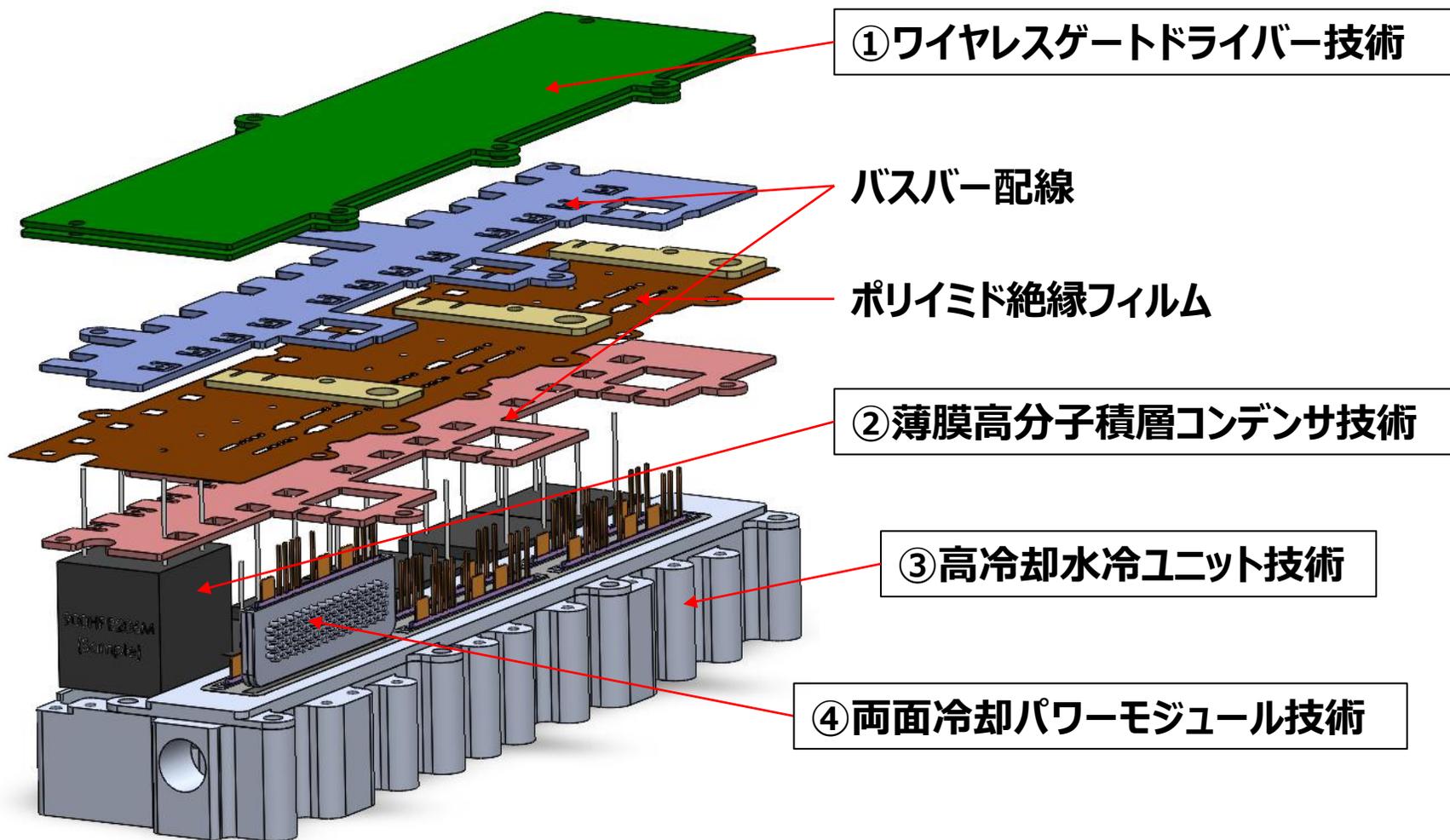


市販品
世界最高レベル：
100kVA/L

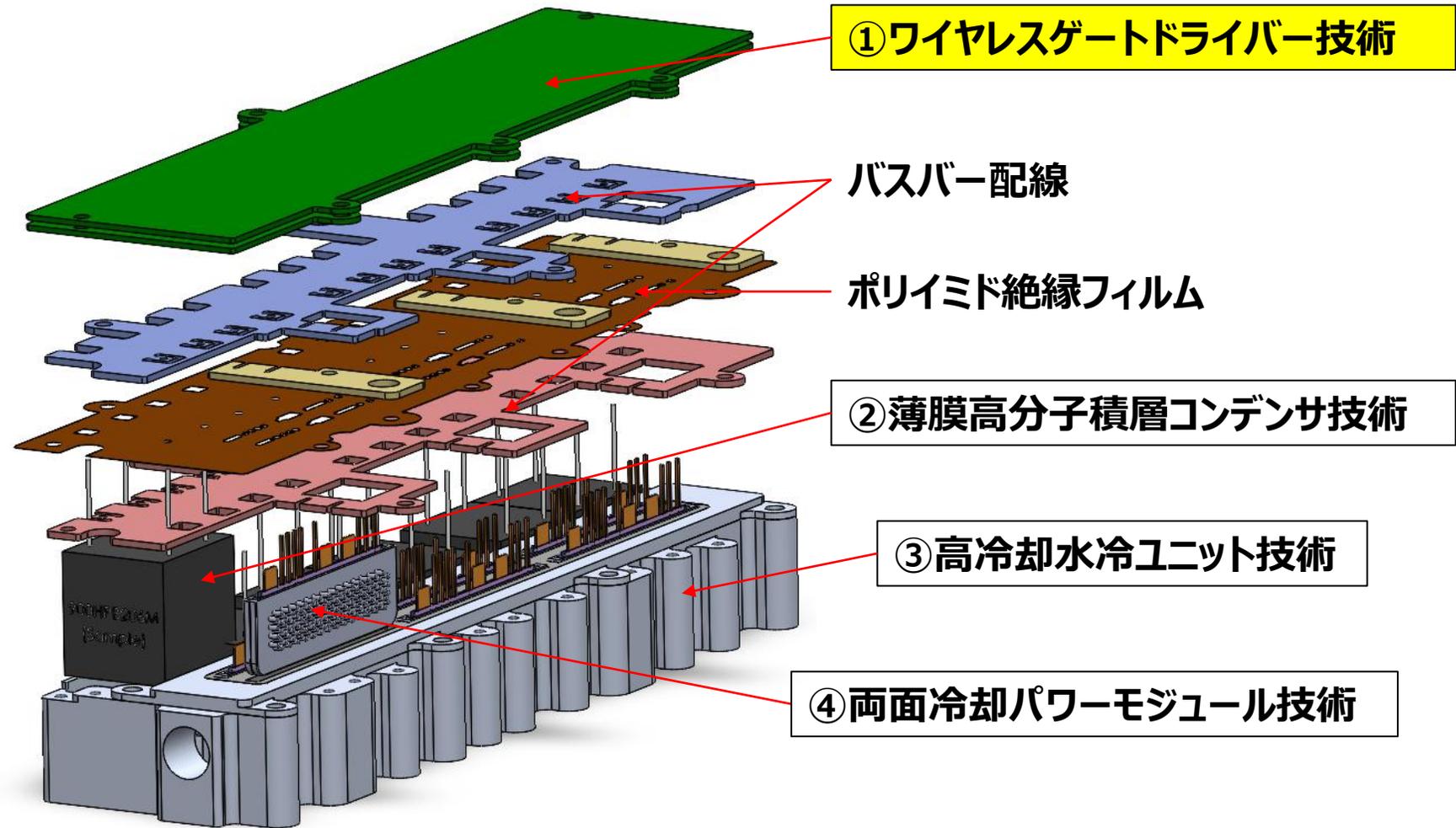
市販品
世界最高レベル：
100kVA/L

開発品
500kVA/L

EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの主要要素技術



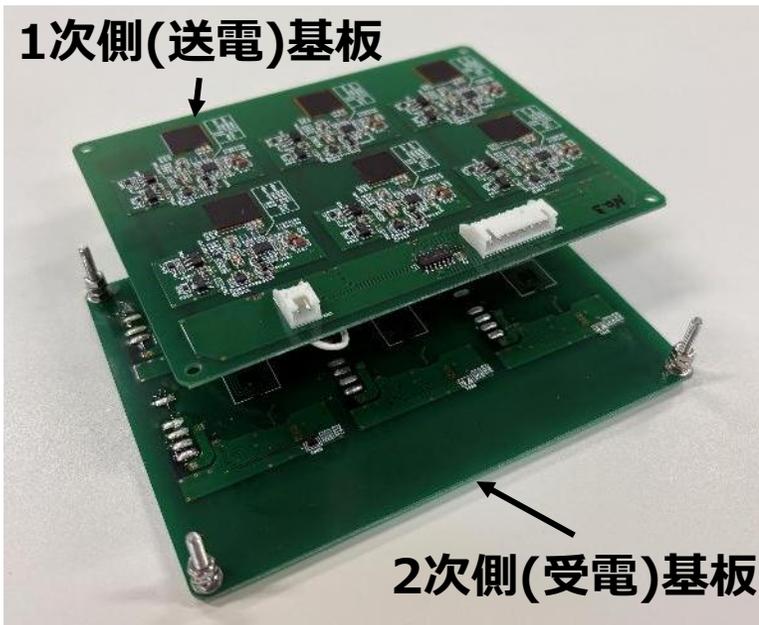
EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの主要要素技術



集積化パワーユニット：WPT(ワイヤレス給電)ゲートドライバによる小型化、低ノイズ化

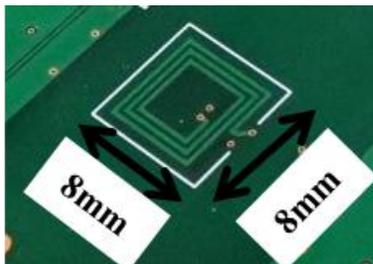
WPTゲートドライバ試作品概要

1次側(送電)基板

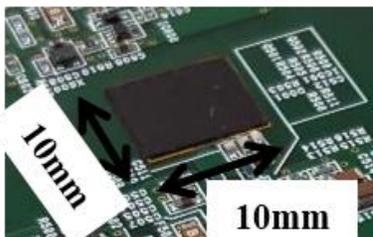


2次側(受電)基板

WPT方式ゲートドライバ基板 概観



コイルパターン部

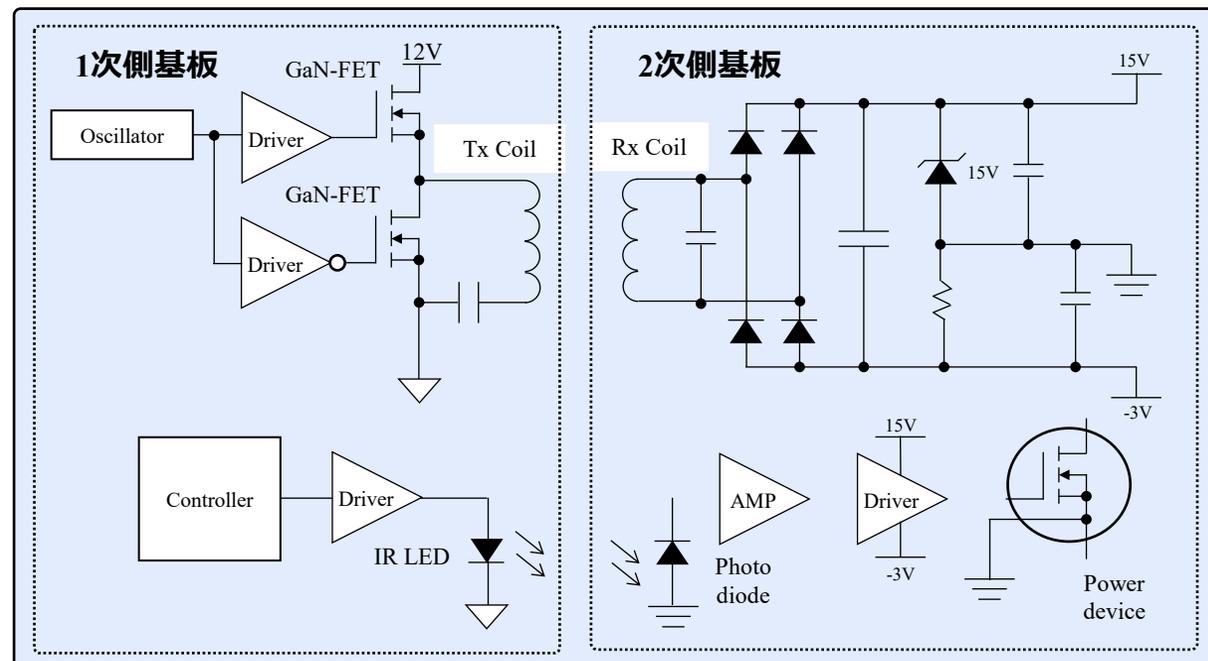


フェライトシート部

送電基板寸法	139.5 × 100 mm 厚さ:1.6mm
受電基板寸法	139.5 × 100 mm 厚さ:1.6mm
送電電力	1W (20V/50mA)
コイルパターン寸法	□8mm
コイルターン数	12ターン(1層3ターン × 4層)
フェライトシート寸法(バックヨーク)	□10mm
駆動周波数	6.78MHz

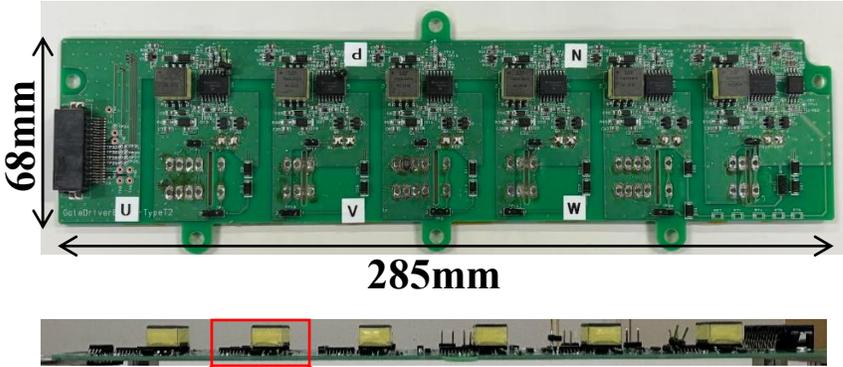
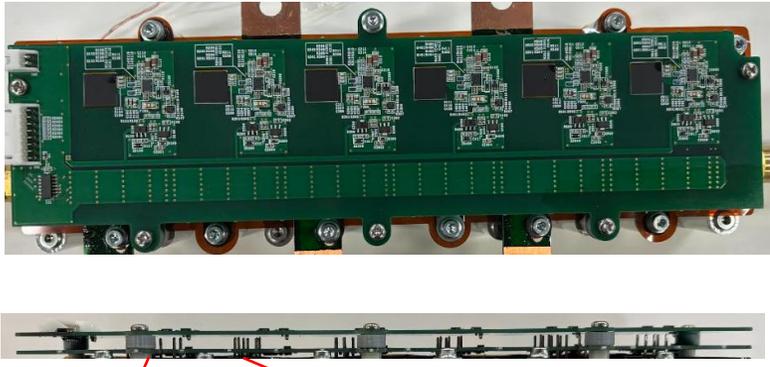
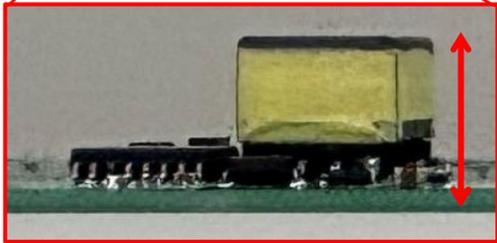


送電基板と受電基板を重ね合わせ
基板間(空間)距離はスペーサにて調整



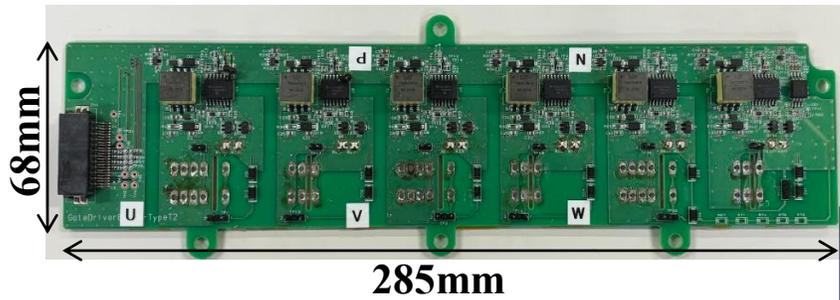
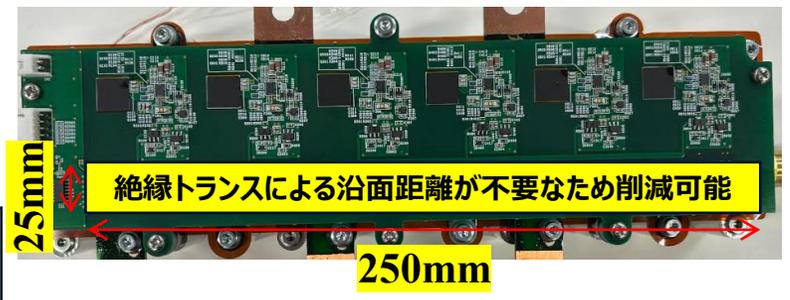
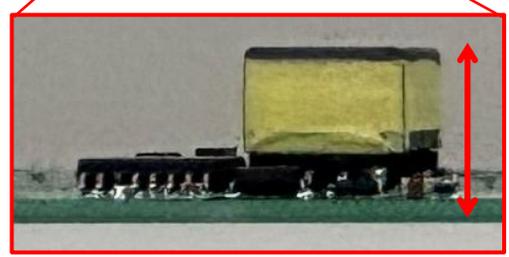
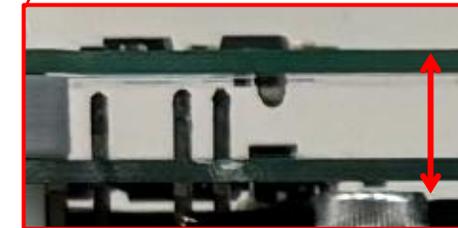
回路図

集積化パワーユニット：WPT(ワイヤレス給電)ゲートドライバによる低背化

	従来の絶縁トランス給電方式	開発したワイヤレス給電方式
方式		
高さ比較	 15mm	 10mm

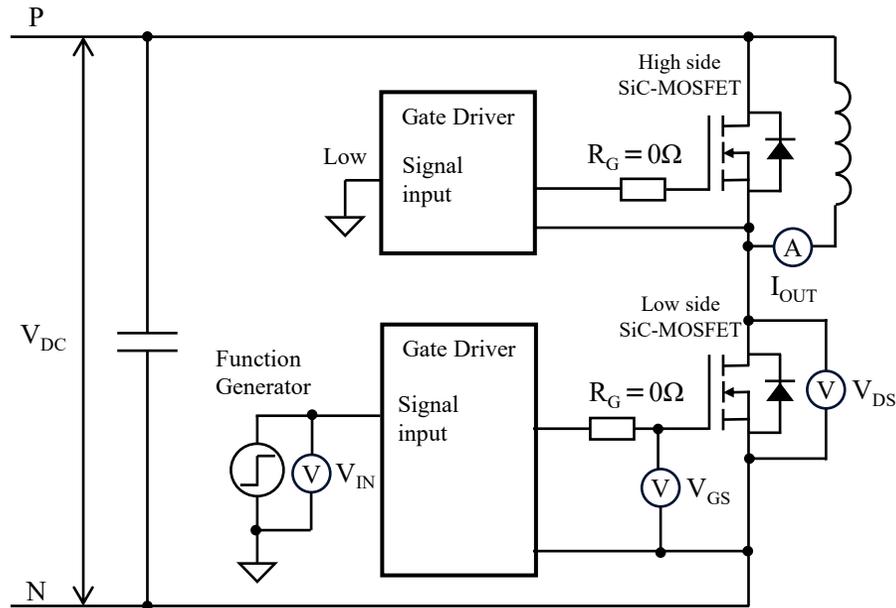
30%低減

集積化パワーユニット：WPT(ワイヤレス給電)ゲートドライバによる小型化

	従来の絶縁トランス給電方式	開発したワイヤレス給電方式
方式	 <p>68mm 285mm</p> <p>30%低減可能</p>	 <p>25mm 250mm</p> <p>絶縁トランスによる沿面距離が不要なため削減可能</p>
高さ比較	 <p>15mm</p> <p>30%低減</p>	 <p>10mm</p>

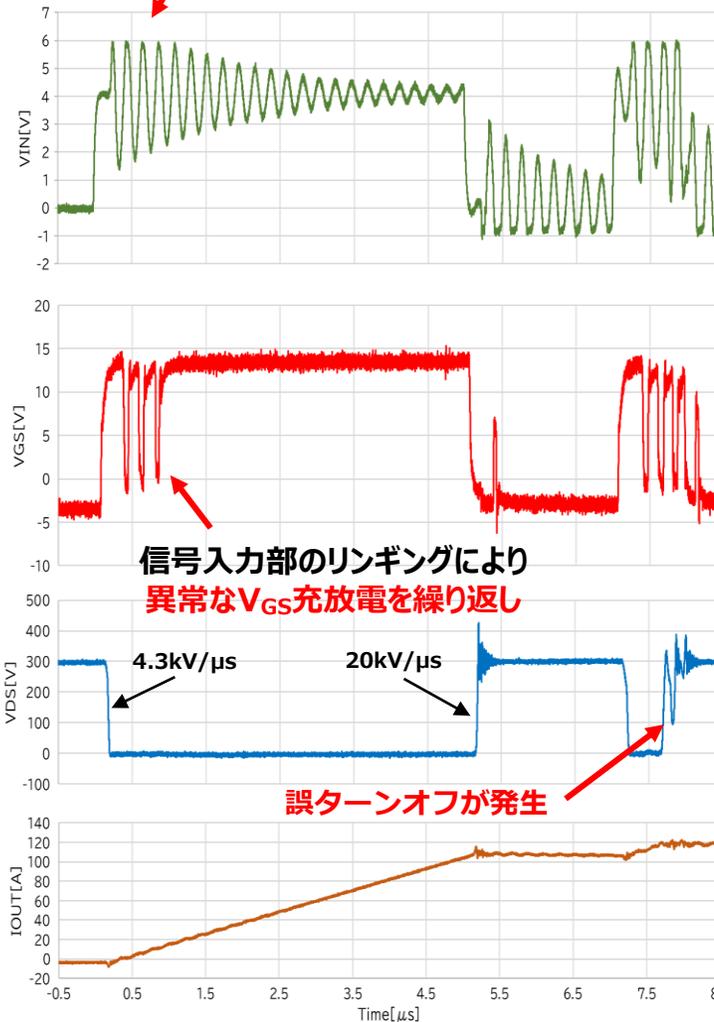
集積化パワーユニット：WPT(ワイヤレス給電)ゲートドライバによる低ノイズ化

浮遊容量の評価(ダブルパルス試験)



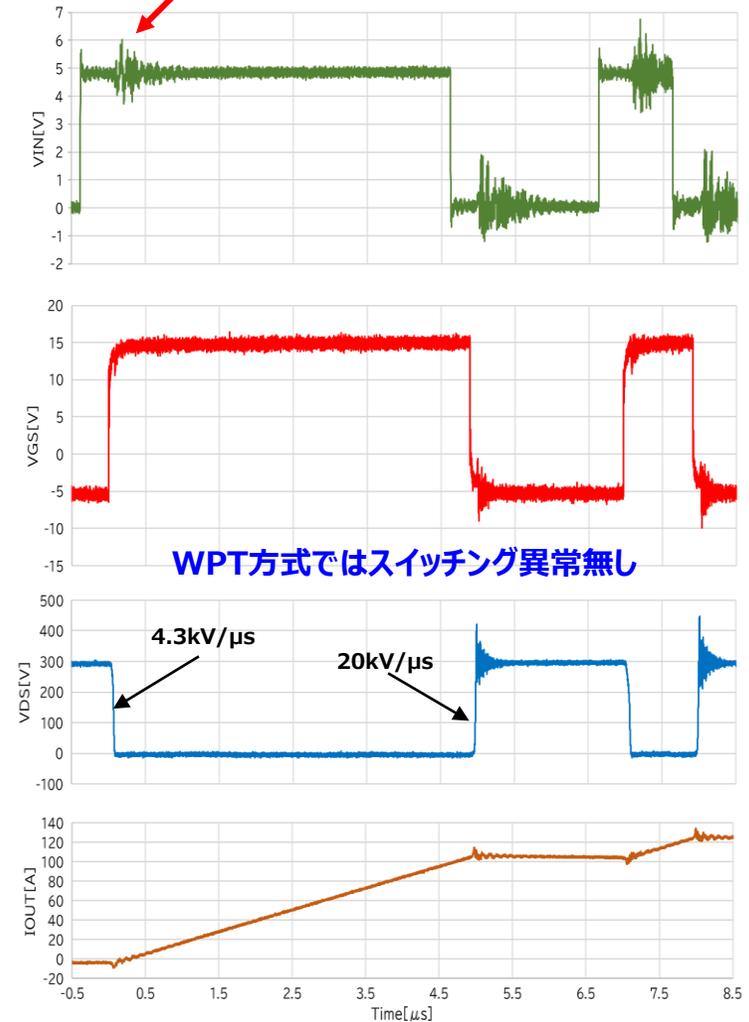
- ダブルパルス試験を行い、誤動作が発生するドレインソース間電圧を確認
- R_g = 0Ω**時に従来方式ではDC電圧300V時に誤ターンオフが発生、**WPT方式**では問題無くスイッチング可能

MOSFETのスイッチングによりゲートドライバ信号入力部にサージ電圧発生



トランス方式 300Vスイッチング波形

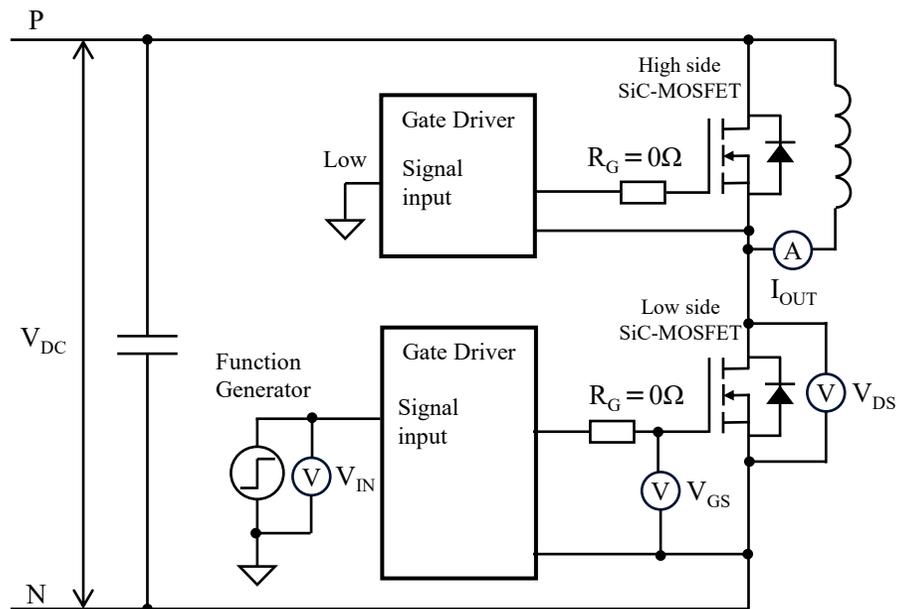
WPT方式では発生するサージ電圧小



WPT方式 300Vスイッチング波形

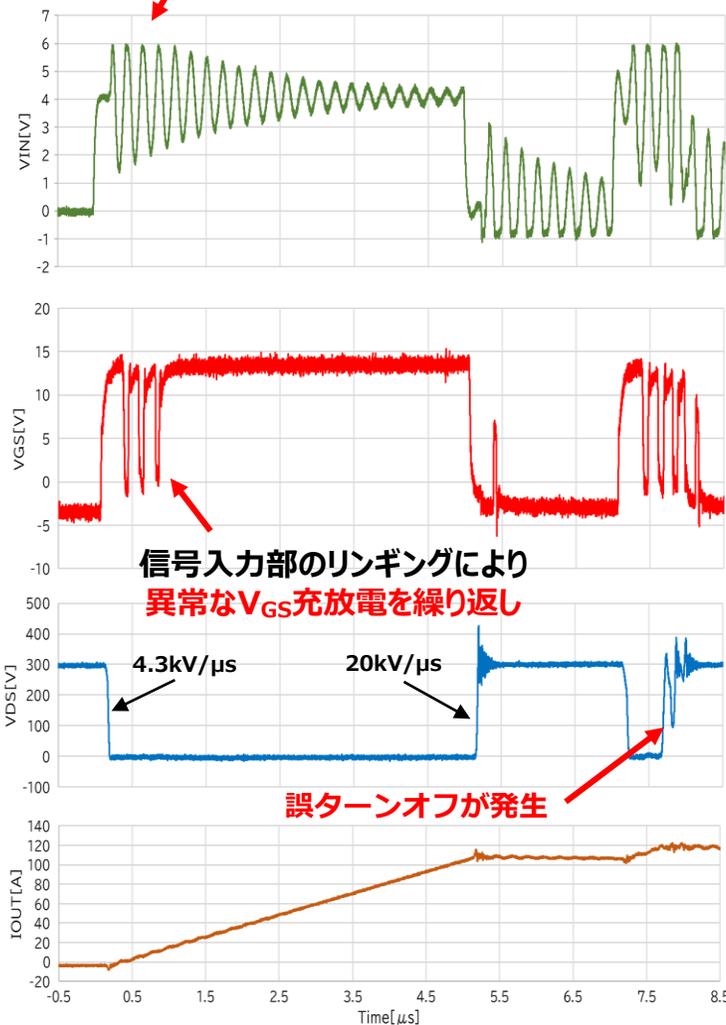
集積化パワーユニット：WPT(ワイヤレス給電)ゲートドライバによる低ノイズ化

浮遊容量の評価(ダブルパルス試験)



**R_g = 0Ω時にWPT方式では600Vに
おいても問題無くスイッチング可能**

MOSFETのスイッチングによりゲートドライバ信号入力部にサージ電圧発生

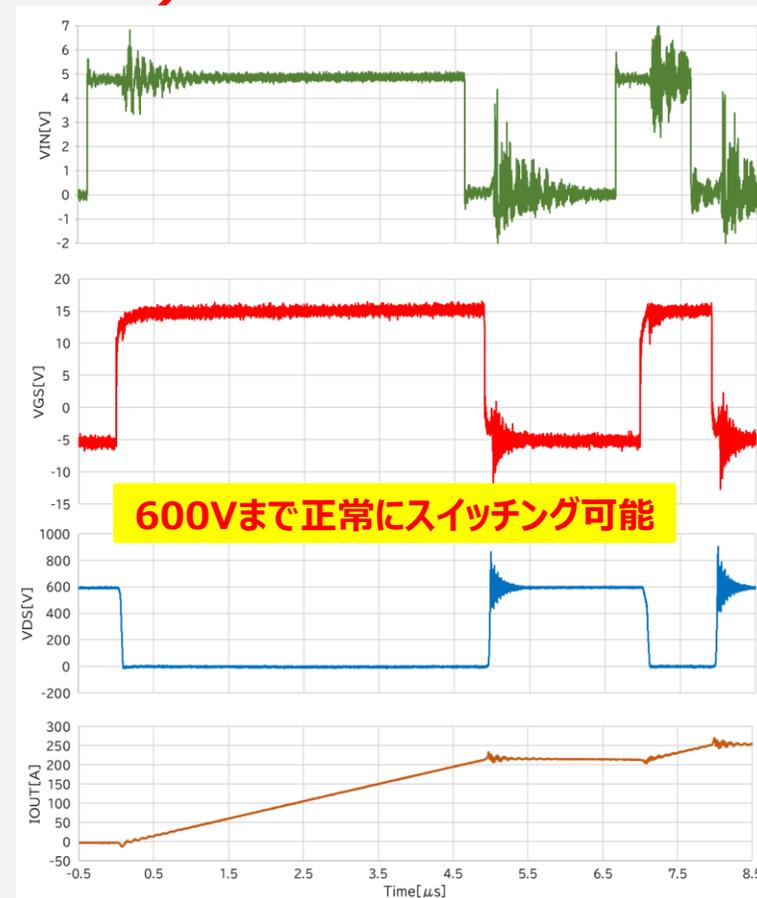


信号入力部のリンギングにより異常なV_{GS}充放電を繰り返す

誤ターンオフが発生

トランス方式 300Vスイッチング波形

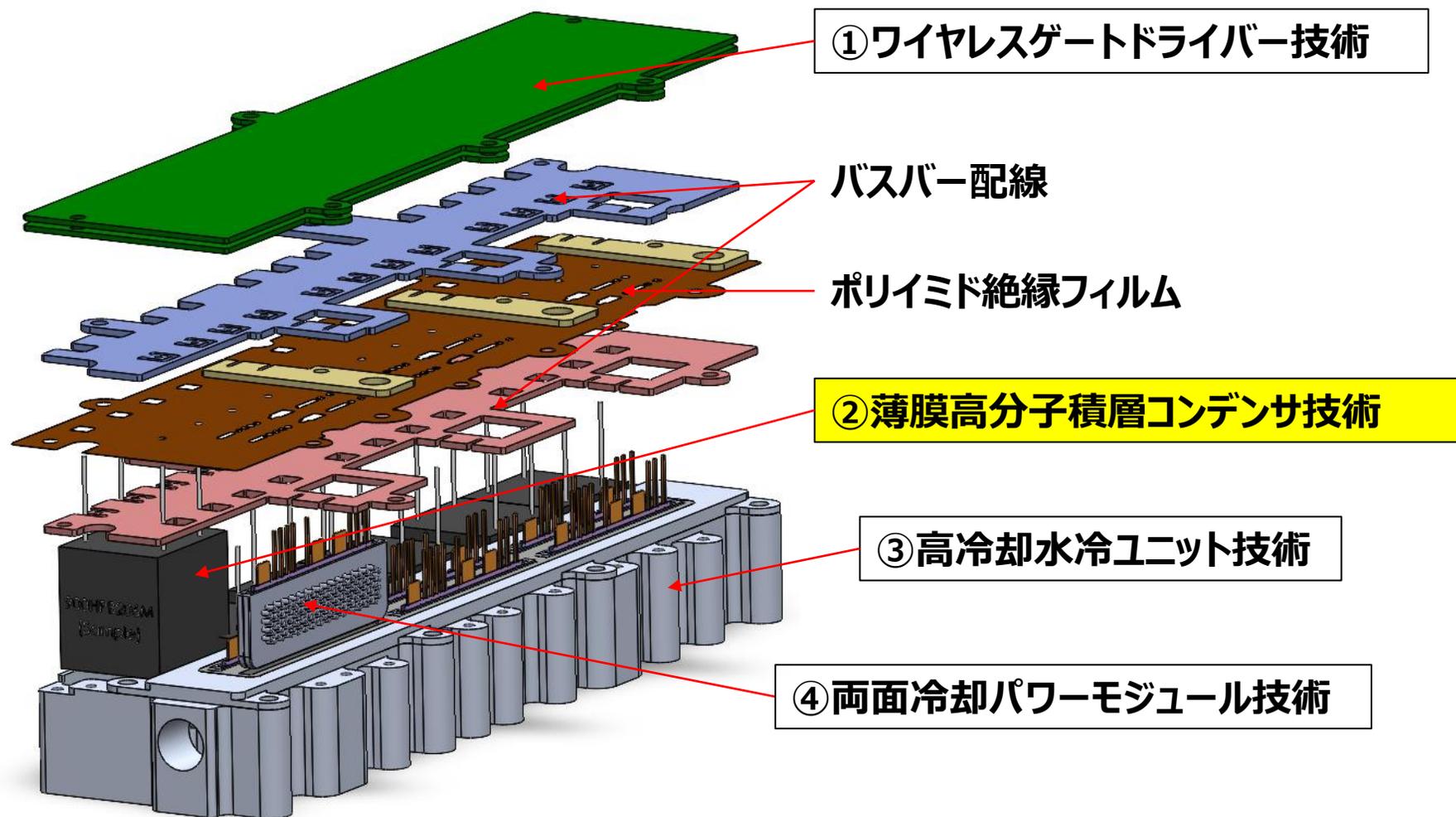
WPT方式では発生するサージ電圧小



600Vまで正常にスイッチング可能

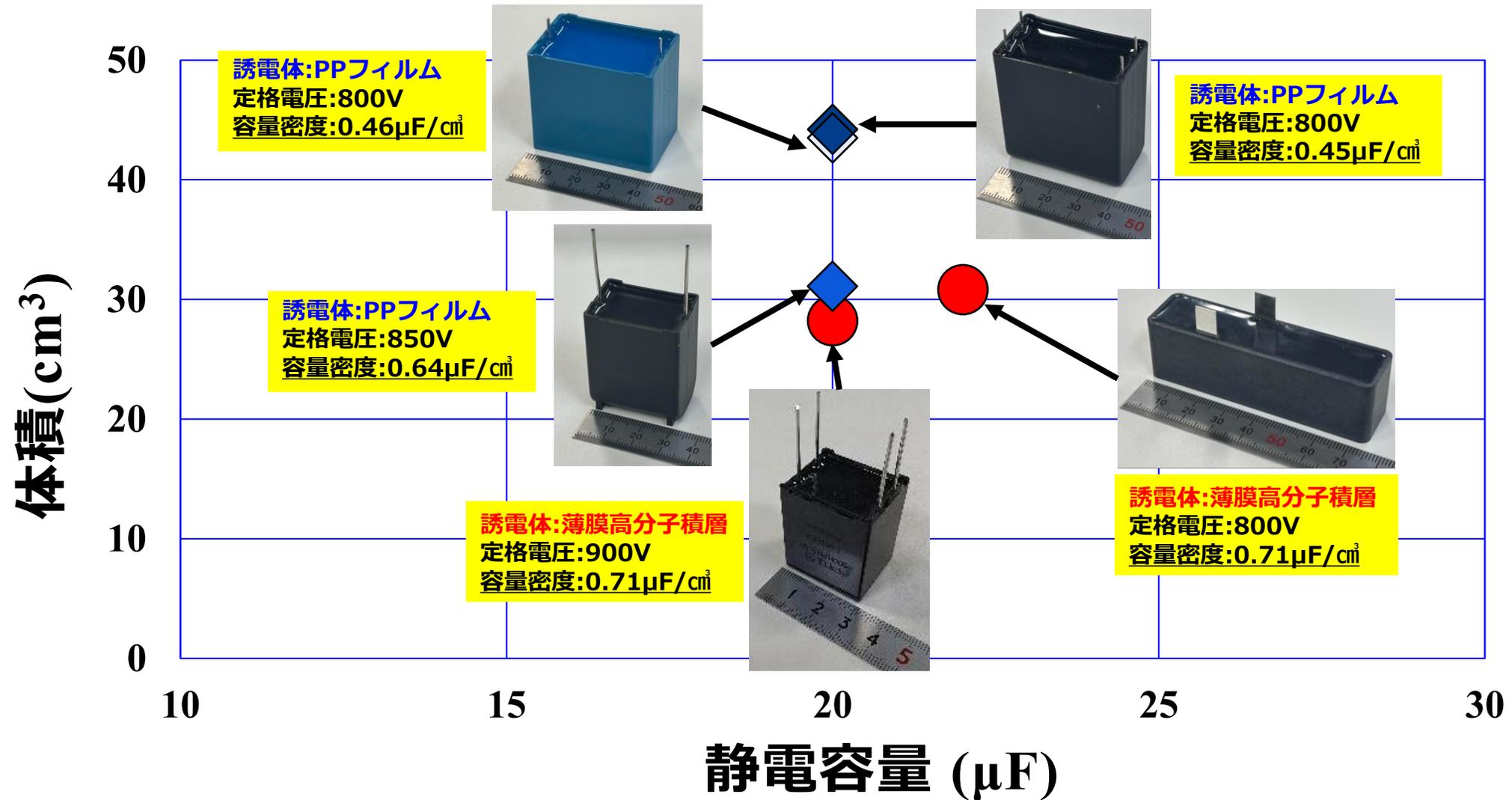
WPT方式 600Vスイッチング波形

EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの主要要素技術



薄膜高分子積層コンデンサによる平滑コンデンサの小型化

EV/HEV用パワーユニット（インバータ）では平滑コンデンサが大きな体積を占めるといった課題があり、従来のPPフィルム式コンデンサから小型化が可能な薄膜高分子積層コンデンサの適用を進めた



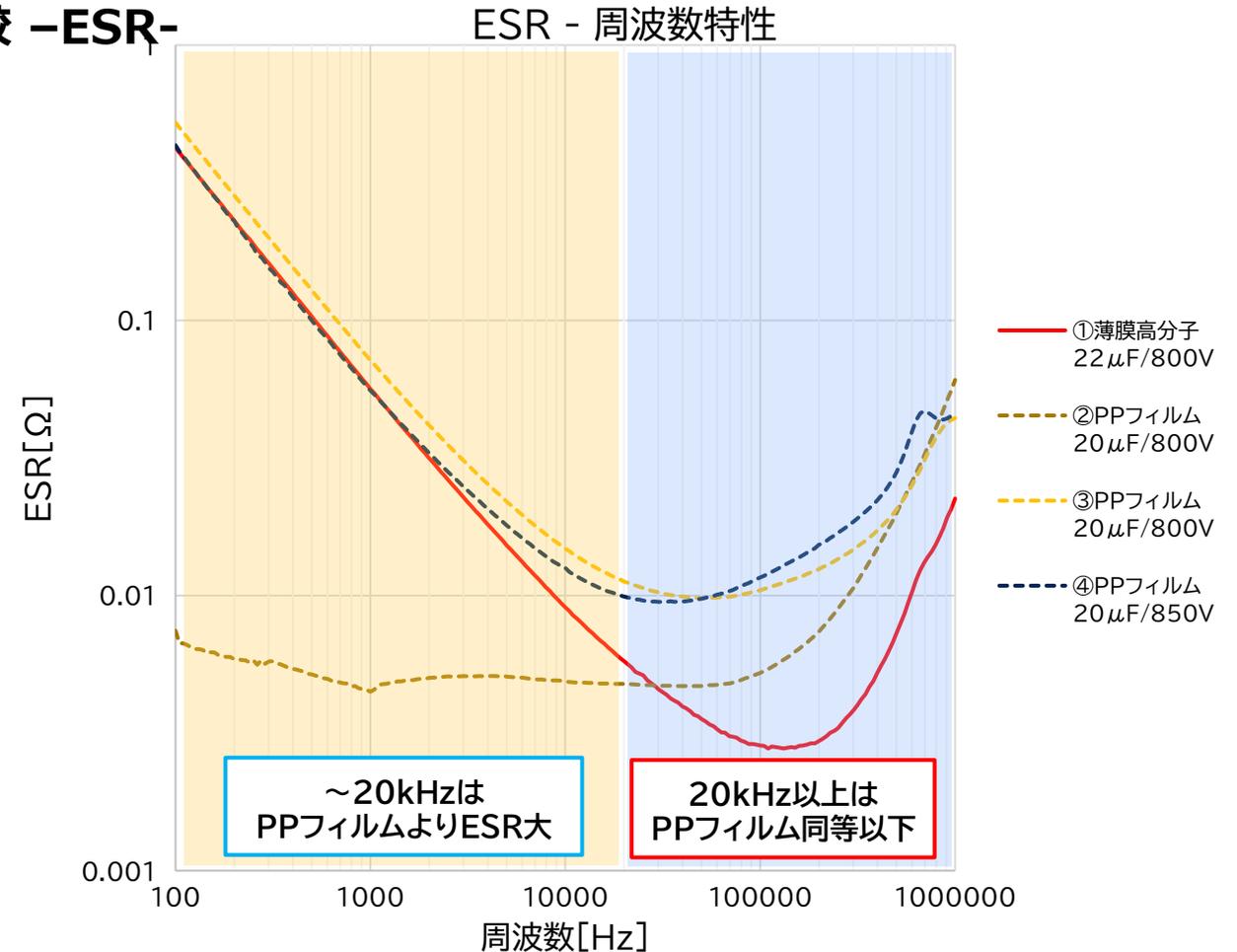
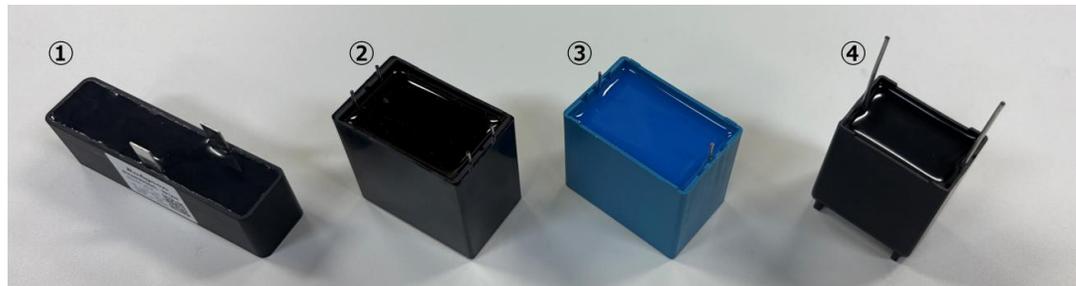
EV・HEV用集積化パワーユニット平滑コンデンサの小型化

薄膜積層高分子コンデンサ適用の課題：PPフィルムコンデンサより内部抵抗ESRが大きいこと

薄膜高分子コンデンサとPPフィルムコンデンサの比較 -ESR-

高周波領域において薄膜高分子のESRは低い

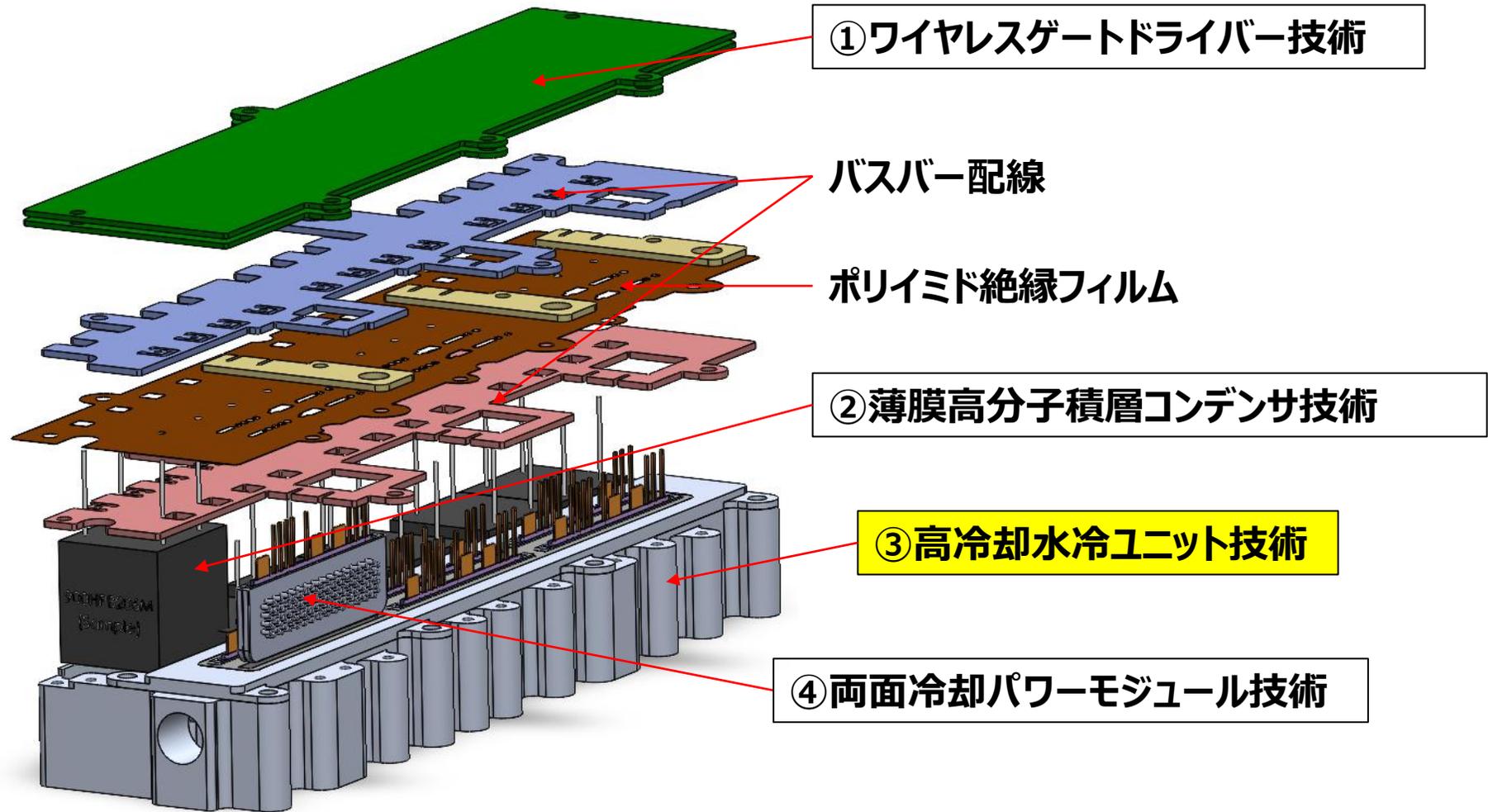
番号/種別	静電容量	定格電圧	ESR @1 kHz	ESR @10 kHz	ESR @100 kHz
①薄膜高分子 22 μ F/800V	22 μ F	800V	56.3m Ω	9.1m Ω	2.9m Ω
②PPフィルム 20 μ F/800V	20 μ F	800V	4.5m Ω	4.9m Ω	5.2m Ω
③PPフィルム 20 μ F/800V	20 μ F	800V	71.5m Ω	14.8m Ω	10.5m Ω
④PPフィルム 20 μ F/850V	20 μ F	850V	55.5m Ω	14.8m Ω	10.5m Ω



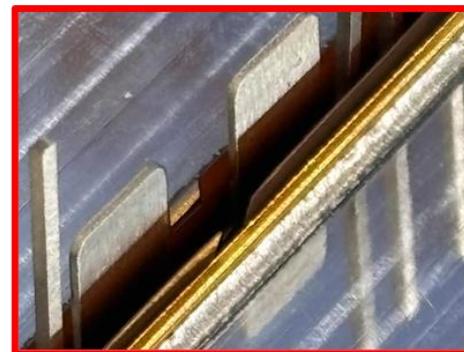
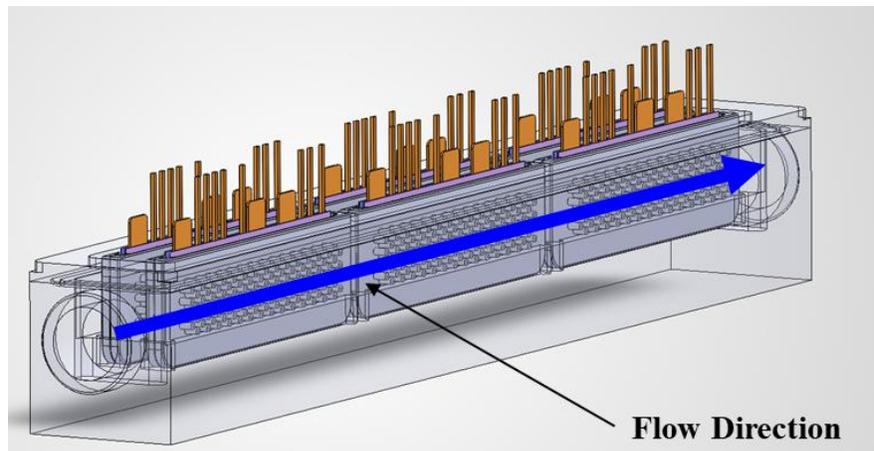
PPフィルムコンデンサと薄膜高分子コンデンサのESRを比較

→1kHz~10kHzにおいてはPPフィルムのESRが低く、10kHz以上では薄膜高分子が同等以下となる

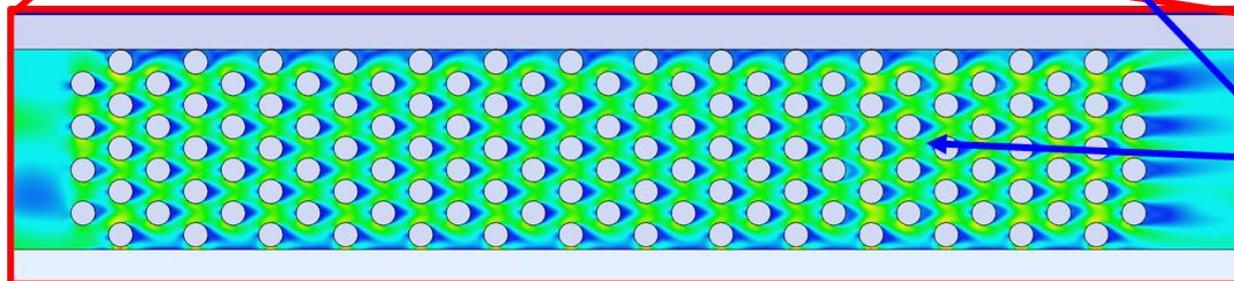
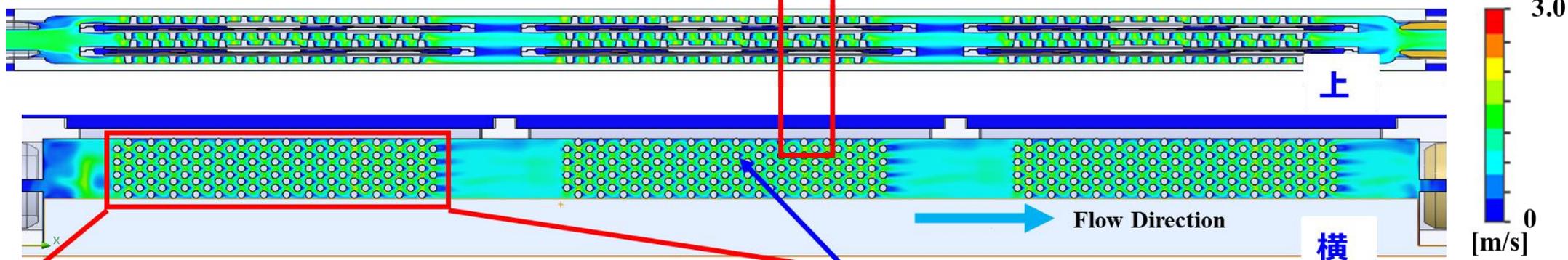
EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの主要要素技術



EV・HEV用集積化パワーユニット高冷却水冷ユニット技術

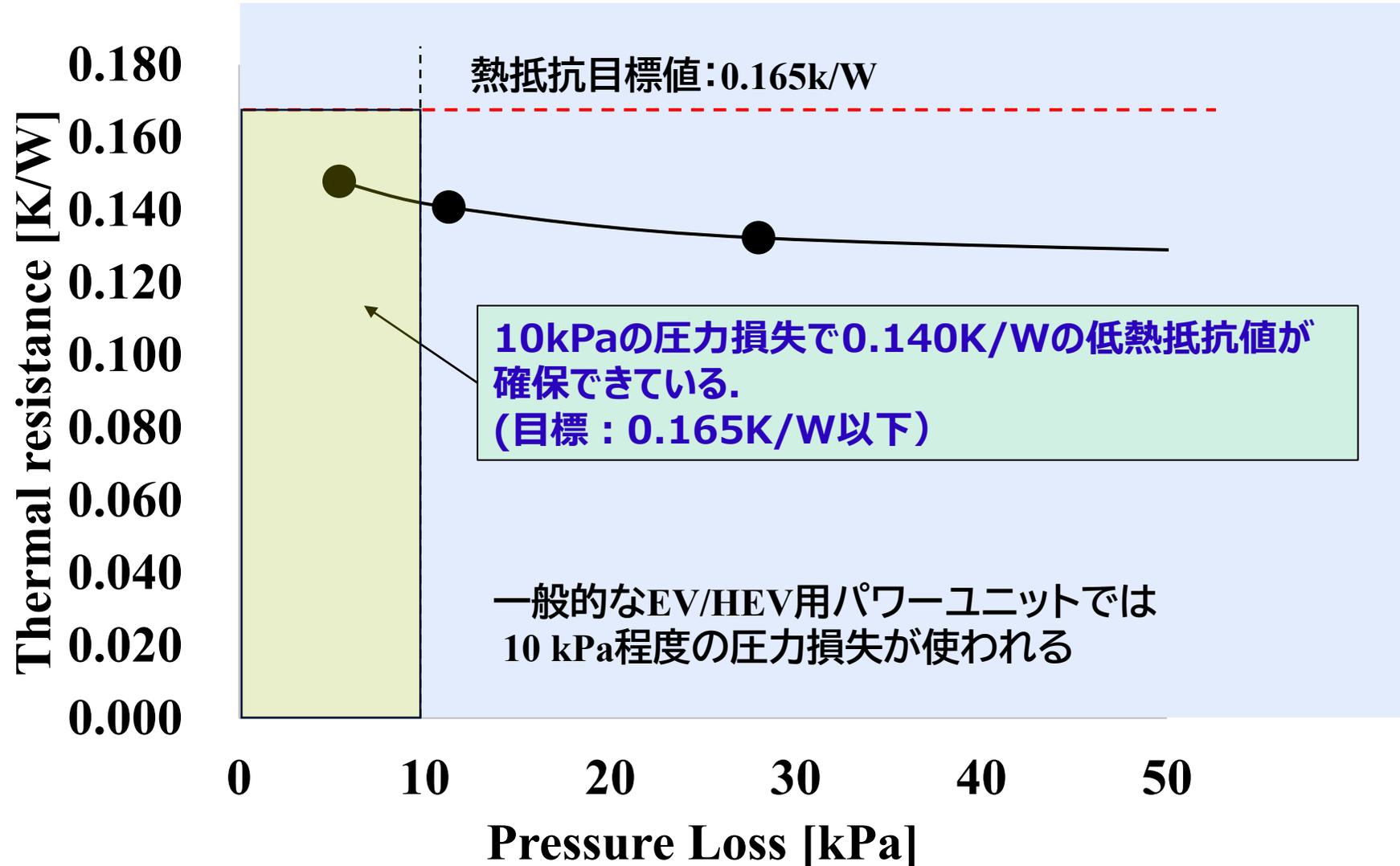


レーザー溶接による水密性確保と無駄部分の削減

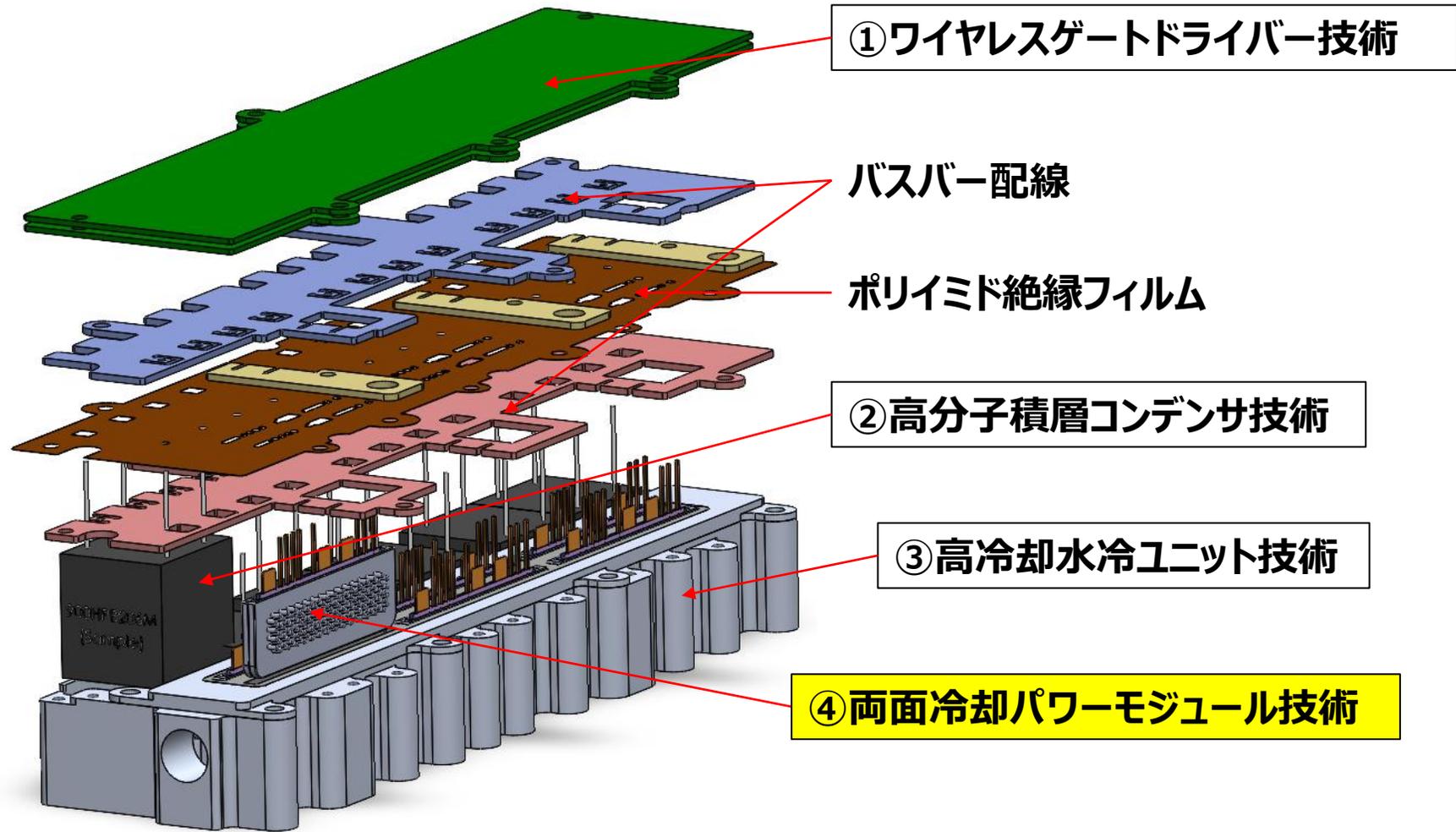


効果的な冷却を実現するためにパワーモジュールに設けられた冷却フィン部のみに冷却水が流れる構造とした。

高冷却水冷ユニット技術：熱抵抗値と圧力損失の関係

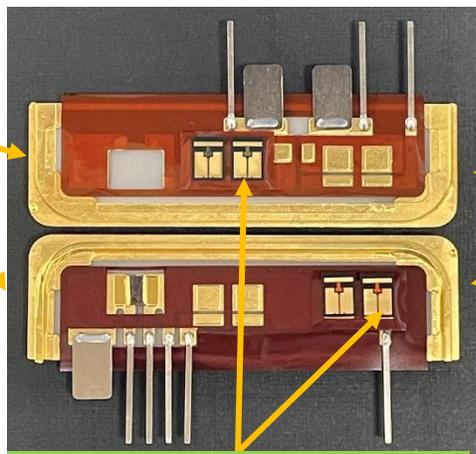
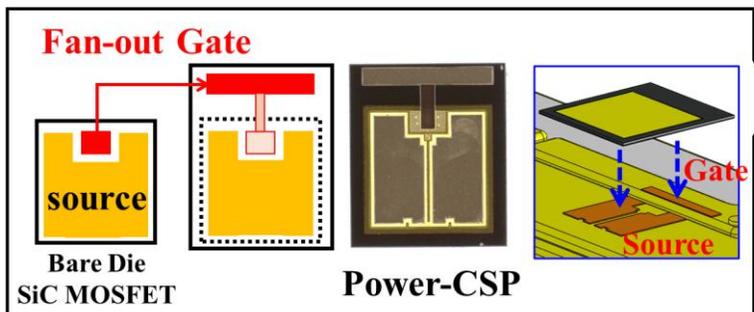


EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの主要要素技術

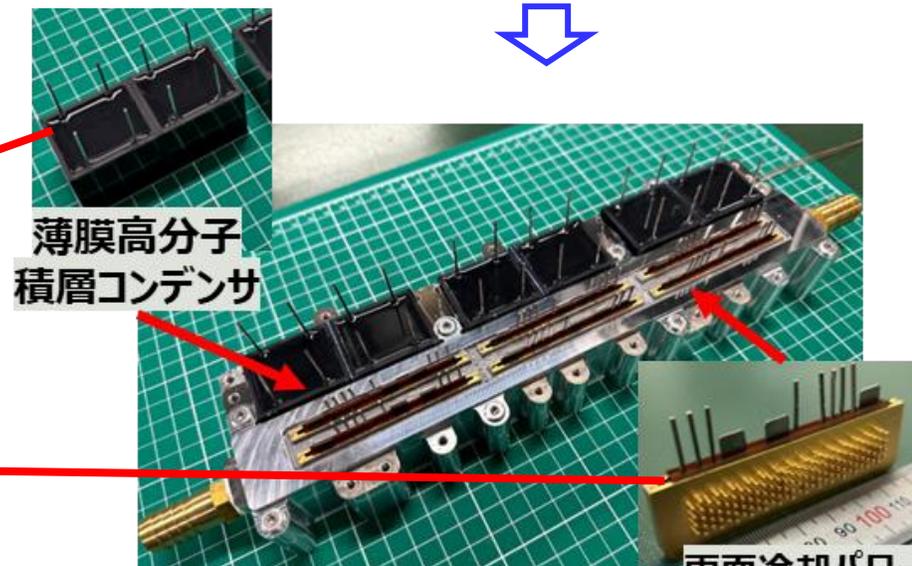
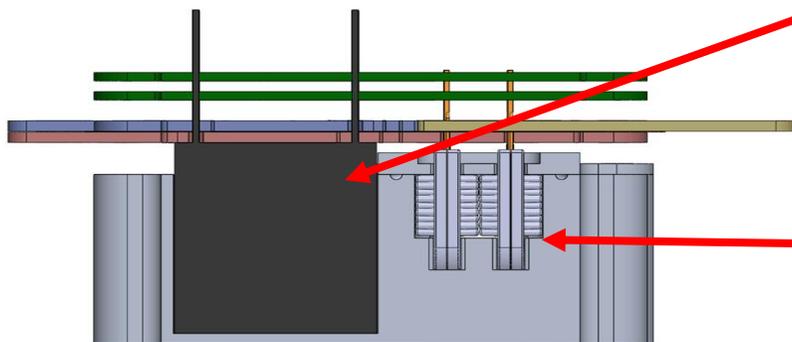
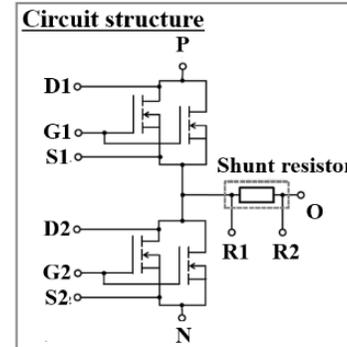
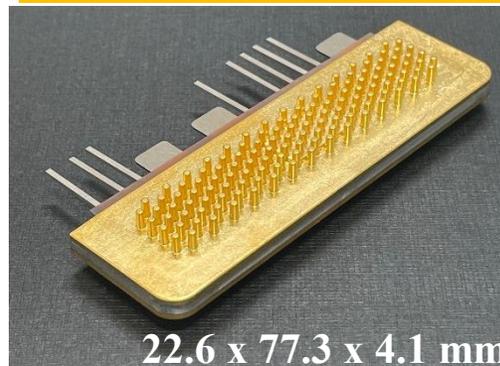


両面冷却パワーモジュールによる小型化

AI冷却フィン+ケース付き
パワーモジュール基板

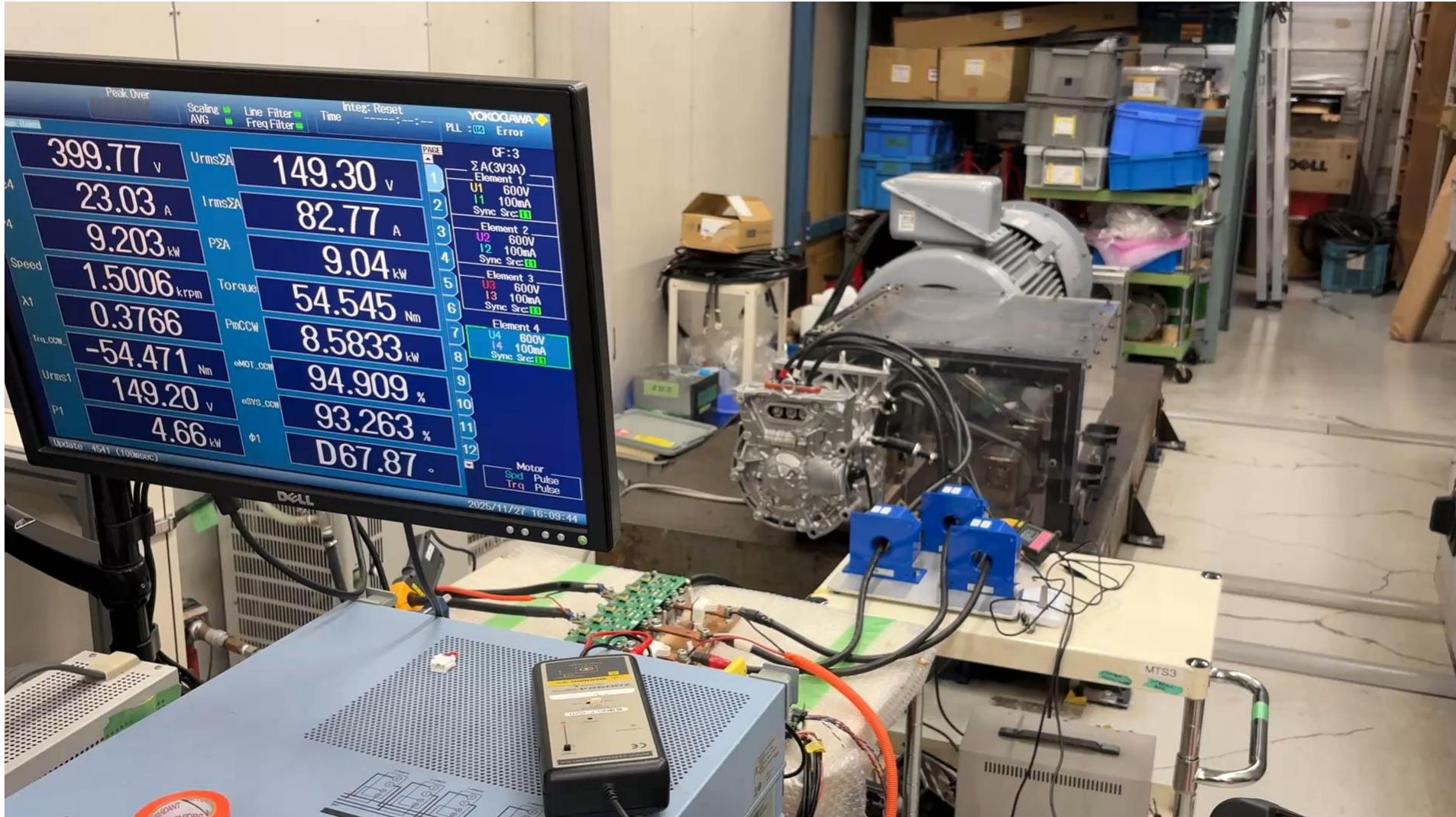


1200V, 200A, 2-in-1



ユニットへの搭載

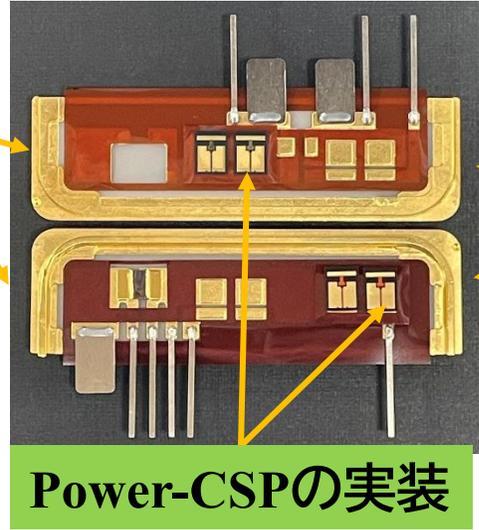
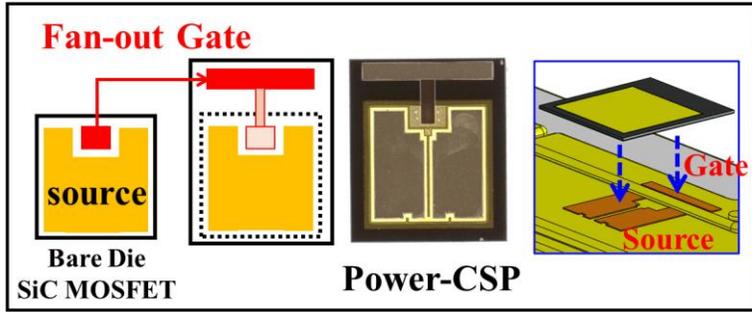
EV / HEV用500kVA/L 集積化パワーユニットの実動作試験



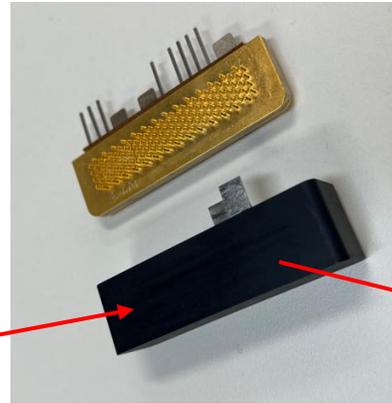
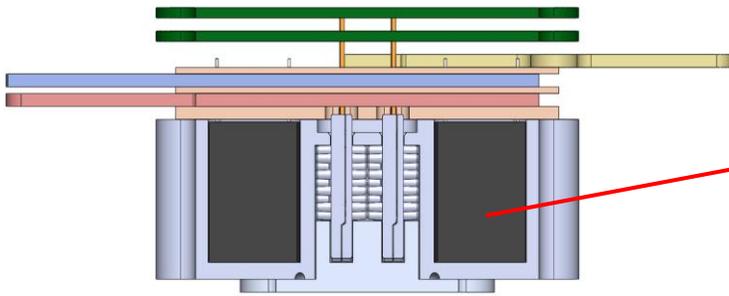
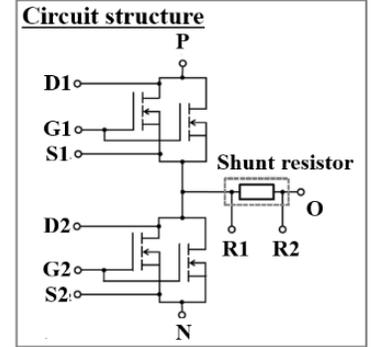
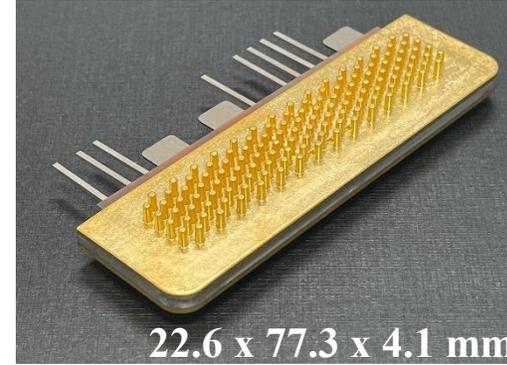
インバータ効率
@98%

さらなる小型化・低インダクタンス化への挑戦

AI冷却フィン+ケース付き
パワーモジュール基板



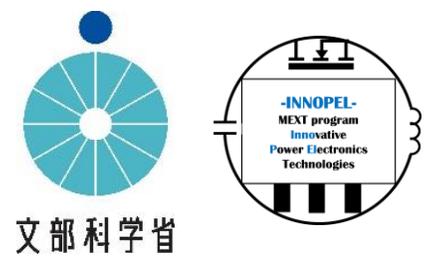
1200V, 200A, 2-in-1



さらなる小型化・低インダクタンス化への挑戦

断面図

発表内容



1. INNOPELでの研究開発内容

2. 研究成果代表例：EV / HEV用 500kVA/L パワーユニットの開発

2-1. 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

2-2. 薄膜高分子積層コンデンサ技術による小型化

2-3. 高冷却水冷ユニット技術による低熱抵抗化

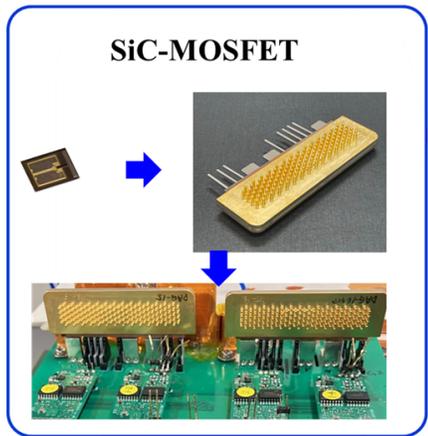
2-4. 両面冷却パワーモジュール技術による小型化

2-5. さらなる高集積化：超高速デジタル制御ゲート回路の開発

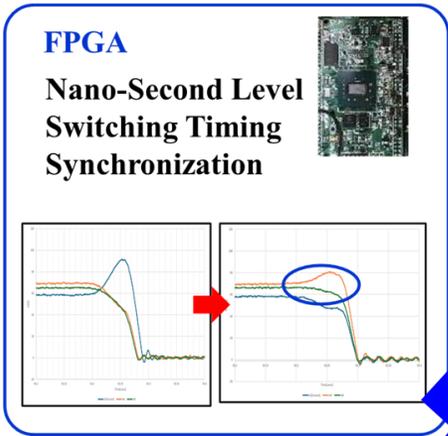
3. まとめと今後の展望

さらなる高集積化へ：超高速デジタル制御技術による集積化パワーユニットの構築

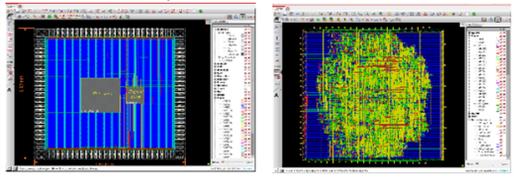
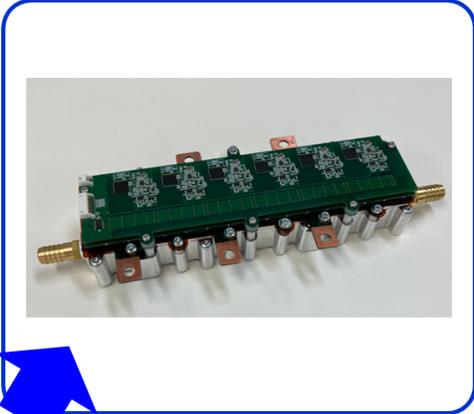
Power Module Technology



Digital Control Technology

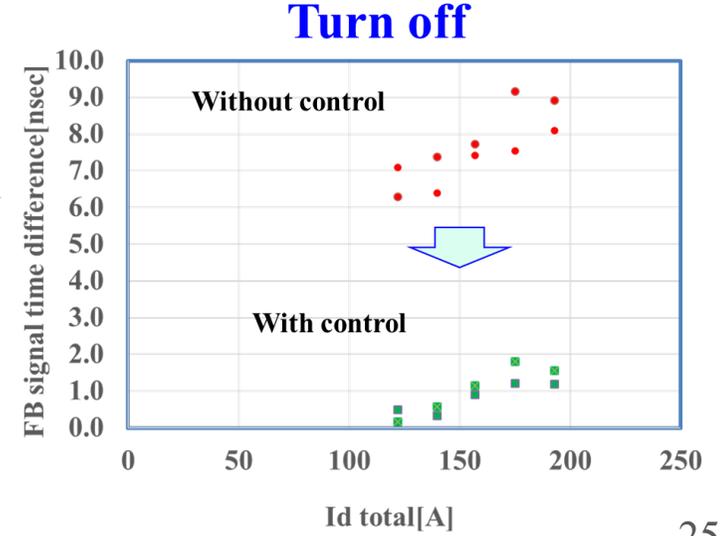
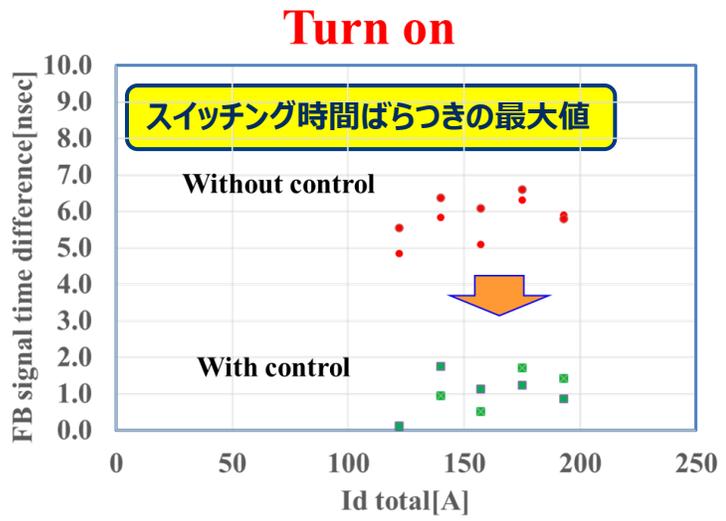


Integrated Power Unit

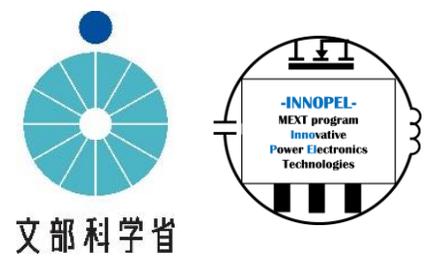


超高速デジタル制御のASIC化
のレイアウト設計はほぼ完了（東北大 羽生研）
ASIC制作し、パワーユニットとの集積化は次のチャレンジ

3並列の内1デバイスを125℃に昇温, 残りの2デバイスは25℃としスイッチング時間を変化させた実験を行い、同期化制御の有効性を確認。



発表内容



1. INNOPELでの研究開発内容

2. 研究成果代表例：EV / HEV用 500kVA/L パワーユニットの開発

2-1. 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

2-2. 薄膜高分子積層コンデンサ技術による小型化

2-3. 高冷却水冷ユニット技術による低熱抵抗化

2-4. 両面冷却パワーモジュール技術による小型化

2-5. さらに高集積化：超高速デジタル制御ゲート回路の開発

3. まとめと今後の展望

パワーデバイスの高度化に対応したパワエレ/パワーモジュール集積化技術の確立

パワーエレクトロニクス各種アプリケーションに貢献する

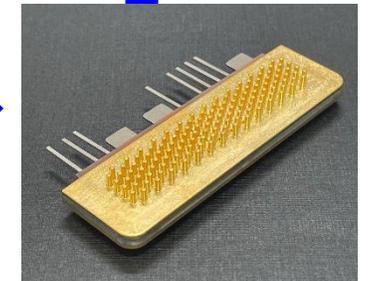
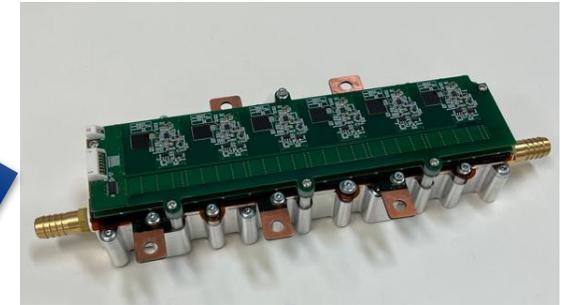
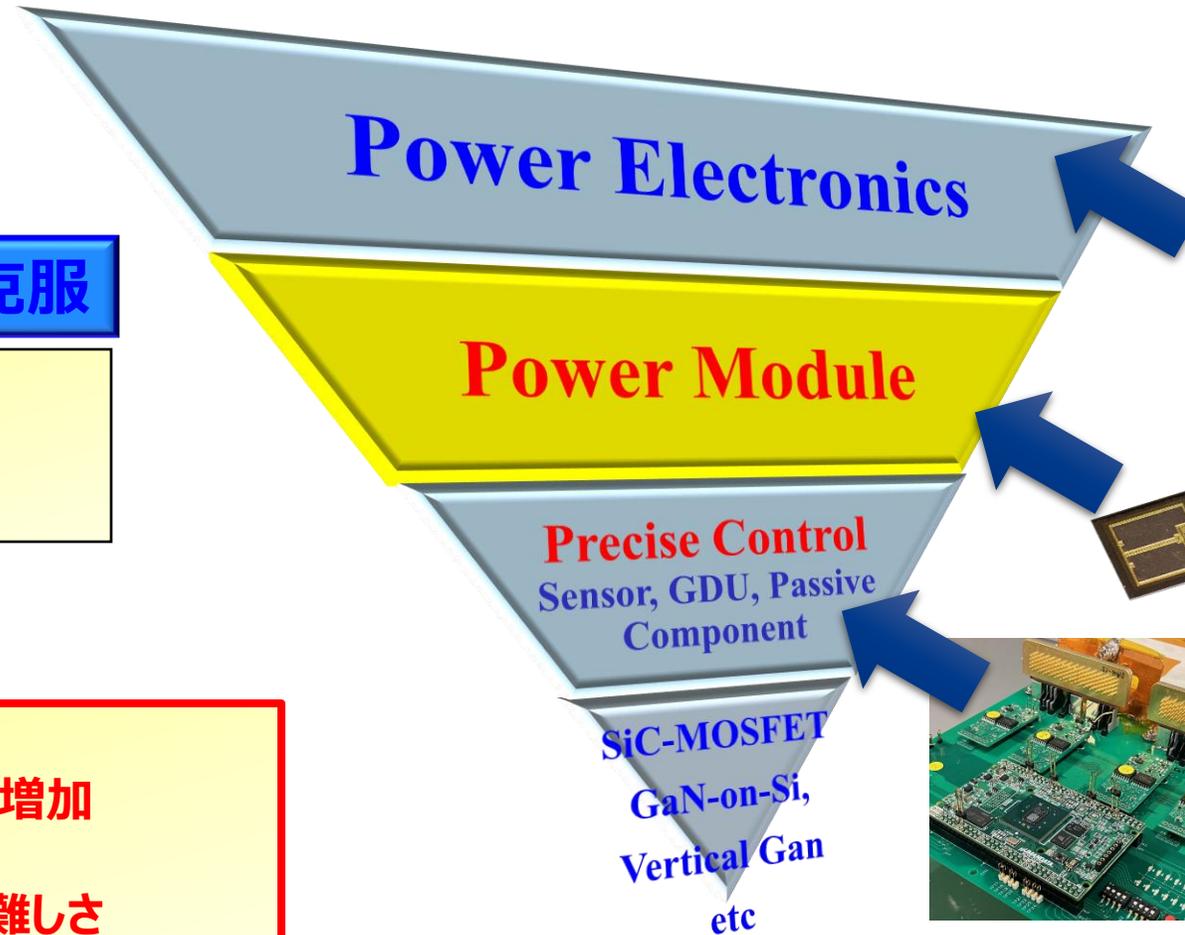
新デバイスの弱点を克服

- ・高放熱化
- ・低インダクタンス化
- ・超高速制御

弱点

- ・小チップ化に伴う熱抵抗の増加
- ・高dv/dt (EMI Noise)
- ・高速化に伴う並列駆動の難しさ

ワイドバンドギャップパワー半導体の弱点を克服し、優れた特性を活かす



次世代WBGデバイスをパワエレ/パワーモジュール集積化技術で社会実装に繋げる

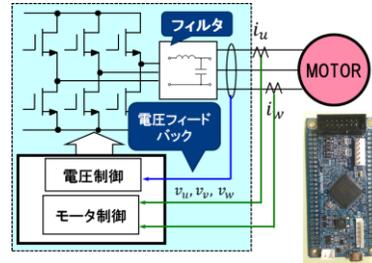
今回

EV/HEV用インバータ



500kVA/L

中・小産業用インバータ



データセンター用電源

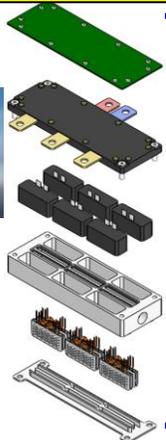


高性能WBGデバイス適用でさらに高性能・小型化

MPUからGPUなどのxPUへの対応を可能にする
高出力かつGPUサーバーの実装密度を阻害しない
コンパクトな電源 (200W⇒800W/チップ)

今後

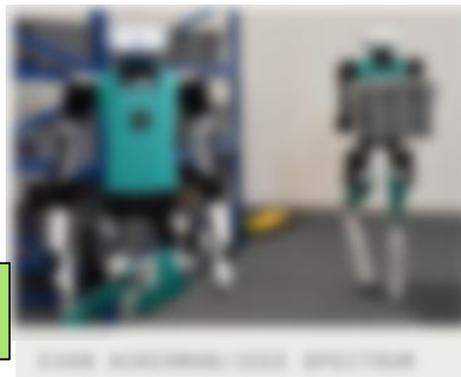
モビリティ用超小型インバータ



750~1000kVA/L
さらなる小型化

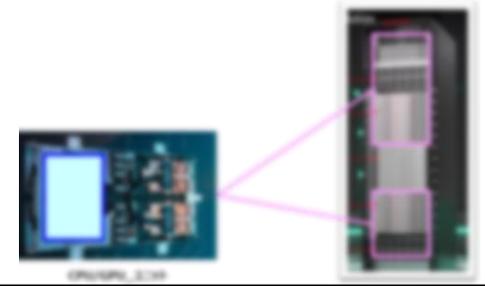
世界レベルの約1/7の大きさ
手のひらサイズインバータの実現

フィジカルAI用 超小型インバータ



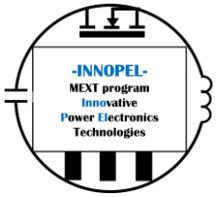
AIロボットなどに
最適なインバータ構造の
開発が重要

AIデータセンター用電源



AIデータセンター用電源ではSSTでは4.5kV以上の
パワーユニット技術、ラック側では部品内蔵基板適用による
インダクタンスの低減、高放熱化小型化が重要

ご清聴ありがとうございました



文部科学省

本研究は、文部科学省「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」助成金番号 JPJ009777の支援を受けて実施されたものです。



本研究にあたり、数々の協力企業様のアドバイス、支援を受けました。
ここに改めて感謝いたします。



Photo by Y.Takahashi