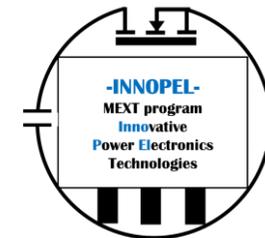


革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業

Innovative Power Electronics Technologies (INNOPEL)



受動素子技術ロードマップの検討について

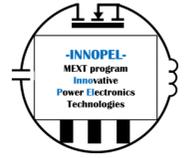
パワエレ回路における受動素子の設計評価

清水 敏久

INNOPEL プログラムオフィサー (パワエレ回路システム)

東京都立大学 名誉教授、特任教授

目 次



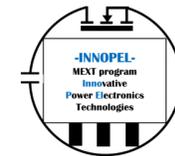
1. パワーエレクトロニクスの課題

2. 受動素子の現状と課題

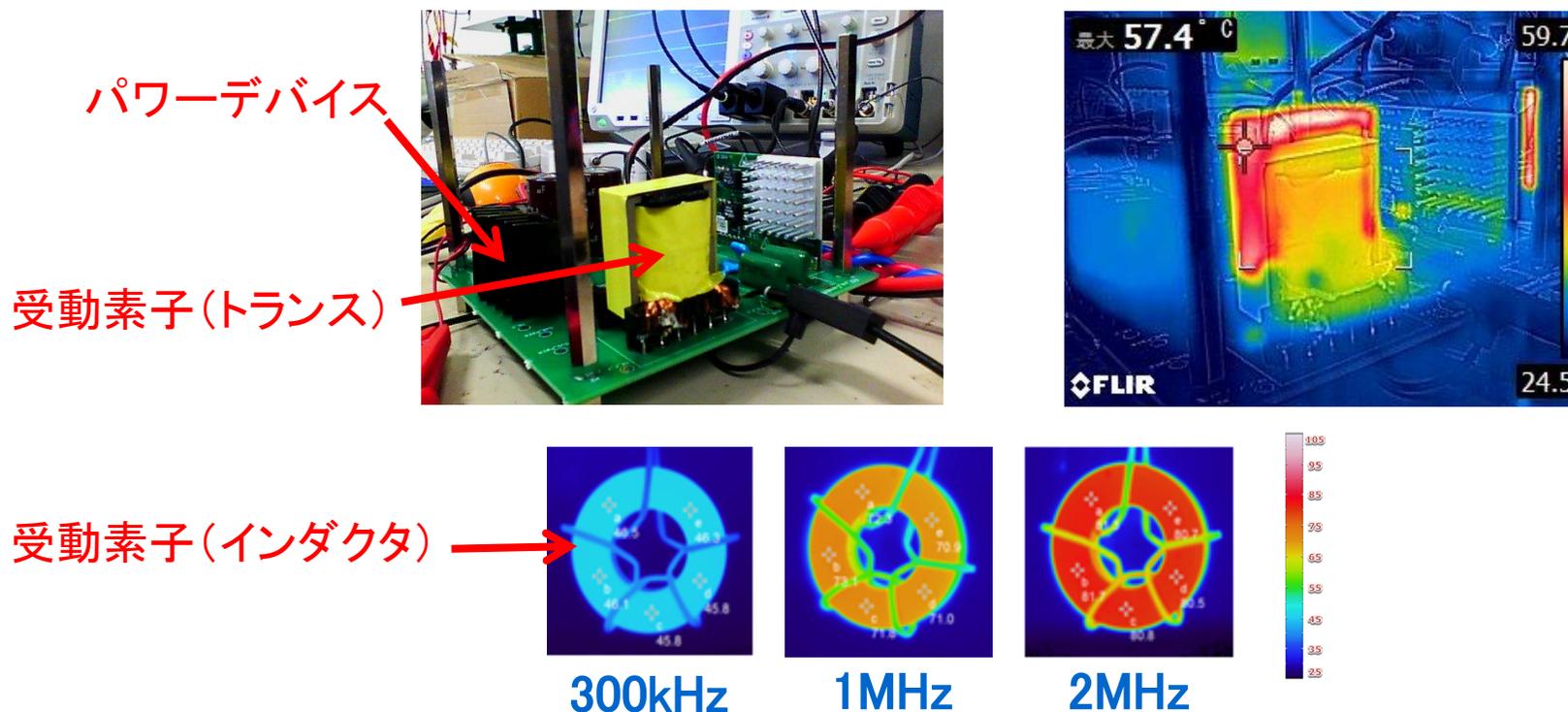
3. 受動素子の設計・評価

- ・SST用高周波変圧器の設計・評価
- ・MHzコンバータ用変圧器の設計・評価
- ・コンデンサ研究の取り組み

1. パワーエレクトロニクスの課題



次世代半導体 (SiC、GaN等) のパワーデバイス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**や、**その高性能化 (高速化等) に十分に対応できるパワエレ回路システム**や**受動素子**等の研究開発が不十分で、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ていない。

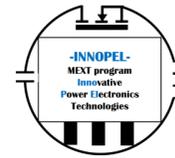


https://product.tdk.com/info/ja/products/ferrite/ferrite/ferrite-core/technote/pov_pc200.html

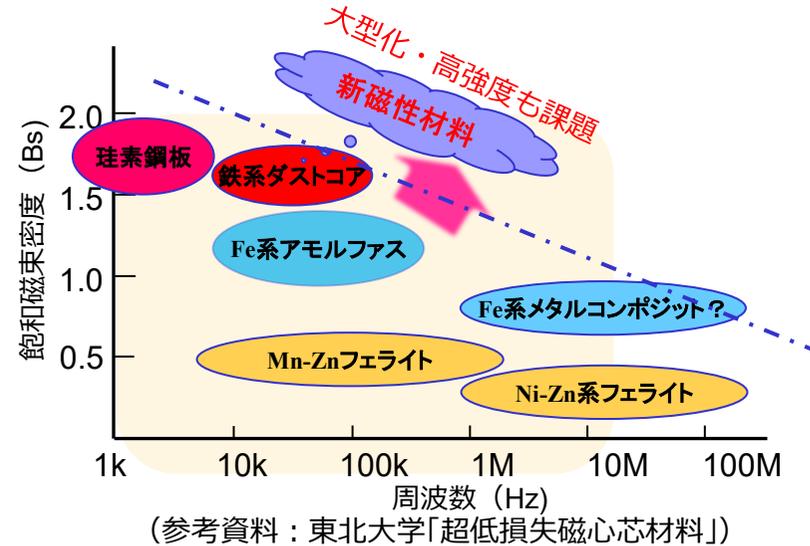
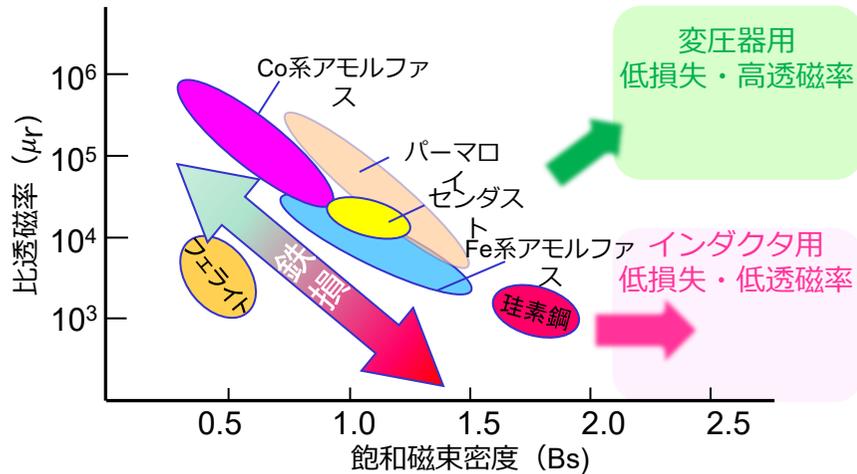
「出典: TDK株式会社」

次世代半導体と比較して受動素子の発熱・損失が相対的に増加する傾向

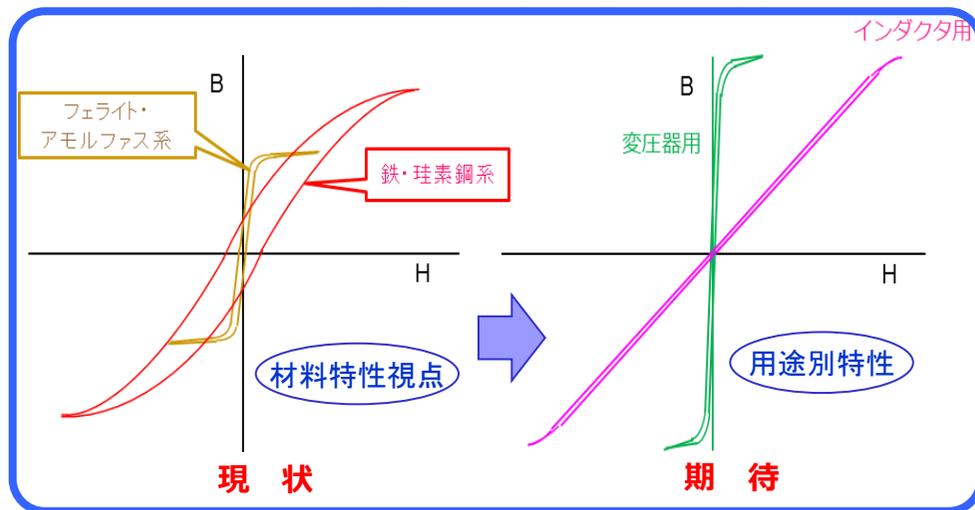
2. 受動素子(磁気部品)の現状と課題



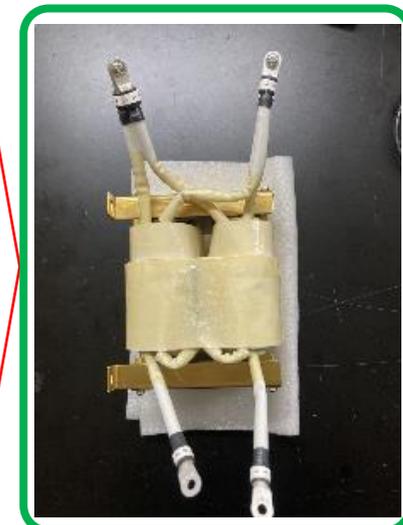
2.2 軟磁性材料の磁化特性



2.3 磁気材料特性と受動素子特性

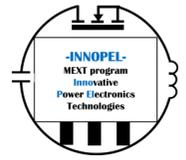


「軟磁性材料の磁化特性」と
「受動素子設計パラメータ」
との定量的関連性が
明確化できていない

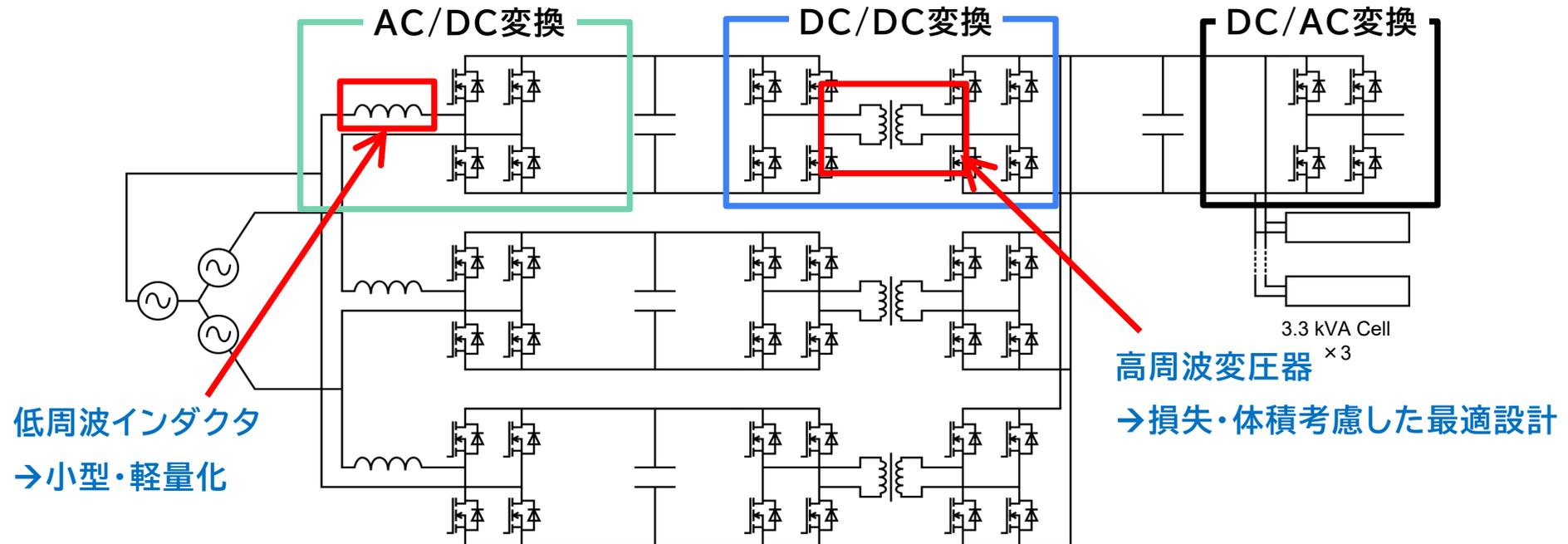


パワエレ用途に適した磁性材料の学理研究加速の必要性

3. 受動素子の設計・評価



3.1 SST用高周波変圧器の設計・評価



➤ 電気仕様(1相ユニットあたり)

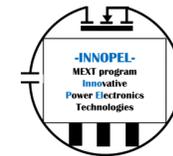
電力容量: 3.3kVA、一次/二次電圧: 2.6kV/320V、一次電流/二次電流: 1.3A/11A

一次/二次間耐圧: DC20kV

➤ 高周波変圧器の主要設計項目

- ・磁気材料選定 → 周波数と体積・損失の関係(ソフトフェライト、ナノ結晶を中心に比較)
- ・巻線種類と巻線構造 → 銅損、(鉄損)、結合係数、絶縁耐圧

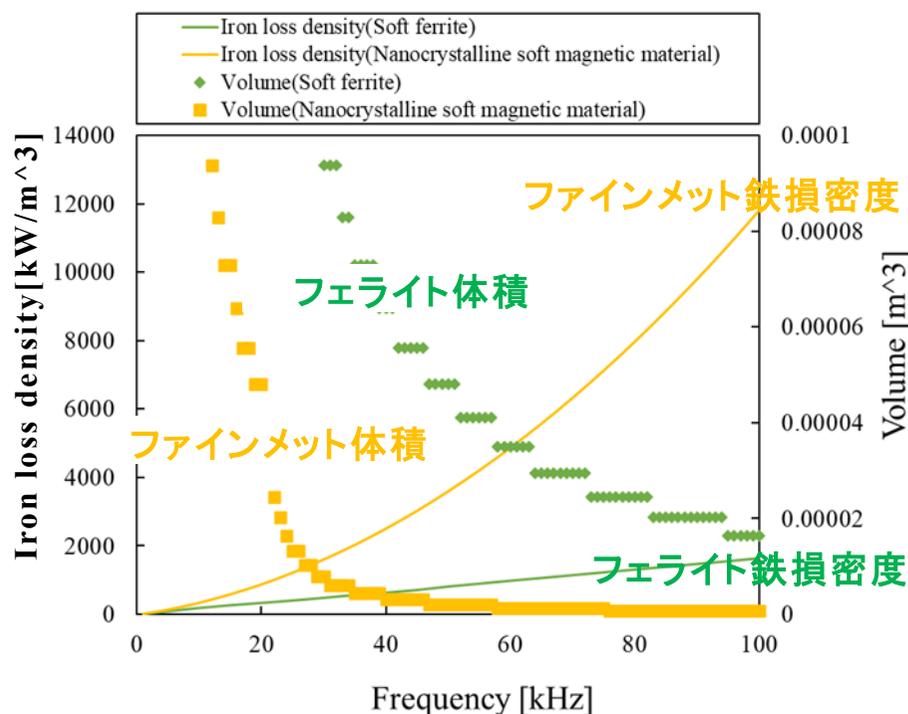
3. 受動素子の設計・評価



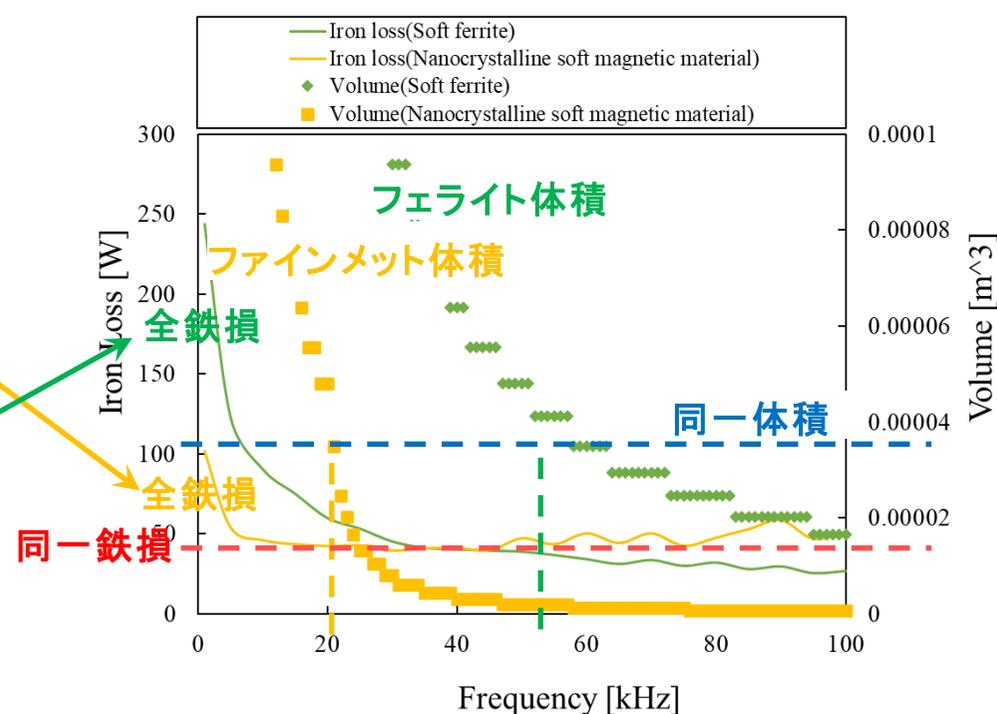
➤ 高周波変圧器の設計

- 磁気材料選定→周波数と体積・損失の関係(ソフトフェライト、ナノ結晶(ファインメット)を比較)

鉄損密度、体積と周波数



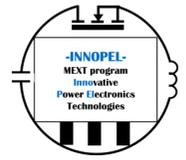
全鉄損、体積と周波数



- 鉄損密度(材料特性)と全鉄損(トランス特性)が逆転
- ナノ結晶の体積減少は10kHz以上では少ない。鉄損もほぼ横ばい。
- 鉄損:フェライトの鉄損は40kHz以上ではナノ結晶の鉄損より若干低下。
- 体積:フェライト(50kHz以上)の体積はナノ結晶(20kHz)の体積とほぼ同等。

鉄損密度、比透磁率、飽和磁束密度、巻線窓枠面積などが相互に関与

3. 受動素子の設計・評価



➤ 高周波変圧器の試作と評価

フェライトトランス



ナノ結晶トランス

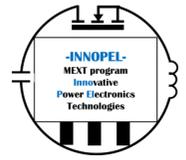


選定要素

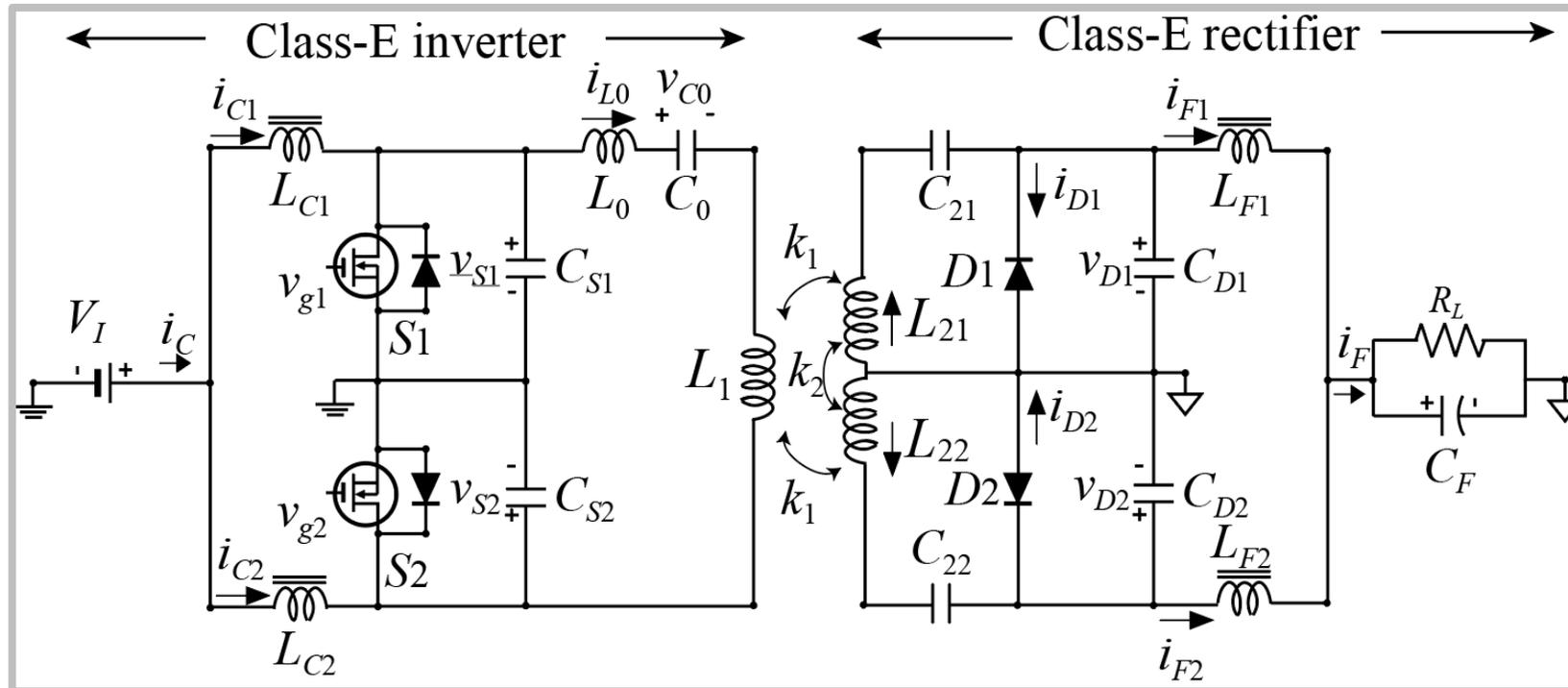
- 1) SSTの出力電圧制御速度向上: $50\text{Hz} \times 4 \times 10(\text{帯域}) \rightarrow 2\text{kHz}$ 以上
- 2) 磁歪による電磁音低減 \rightarrow 可聴領域(15kHz)以上
- 3) ナノ結晶材料は10kHz以上では体積と鉄損の減少効果が低い
- 4) フェライトは15kHzでは体積と鉄損が大きい

結論: ナノ結晶トランスを15kHz程度で使用

3. 受動素子の設計・評価



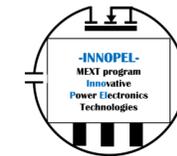
3.2 MHzコンバータ用変圧器の設計・評価



➤ 電気仕様

- ・電力容量: 1kW、入力電圧: 200V、スイッチング周波数: 4MHz、変換効率: 95%以上
- ・トランス用磁性体と巻線抵抗、パワーデバイス、コンデンサ等の損失特性をデータベース化して、損失最適化プログラムにより変換効率向上を図る

3. 受動素子の設計・評価



➤ 高周波変圧器の設計

Micrometals Mix-2コア材

・材質: Powdered Iron (鉄粉)

・ μ_0 : 10.0



コアリスト

型番	外径(mm)	内径(mm)	高さ(mm)	体積
T37-2	9.53	5.21	3.25	0.147
T50-2	12.7	7.70	4.83	0.358
T68-2	17.5	9.40	4.83	0.759
T94-2	23.9	14.2	7.92	2.160
T130-2	33.0	19.8	11.1	5.780
T200-2	26.0	14.5	11.1	4.280

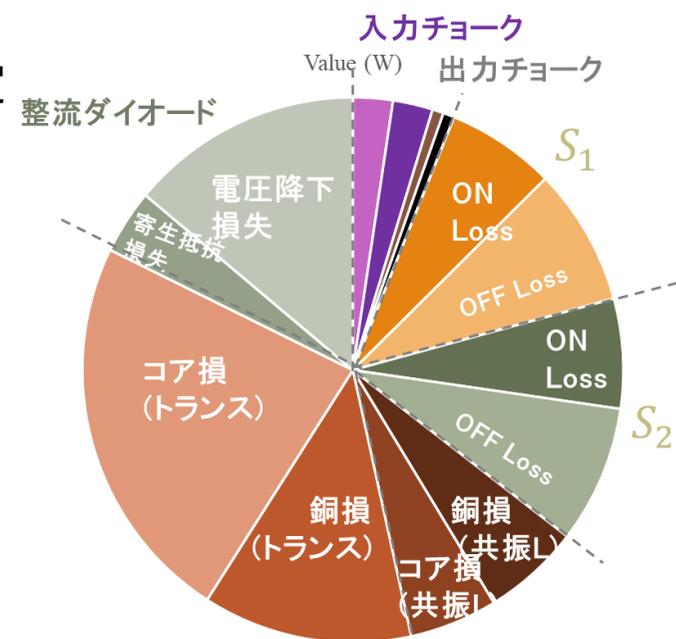
設計手順

- (1) コアリスト・ワイヤリストの中から適切な組み合わせを選定
- (2) 適切な巻き数、磁束密度 (15mT) の設定
- (3) 損失推定

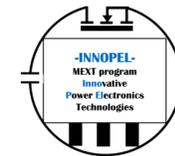
選定材料・部品を用いたコンバータ全体の損失最適化



今後の課題:
 磁気素子(トランス・インダクタ)の小形・低損失化に向けた
 磁気材料特性との関連付け

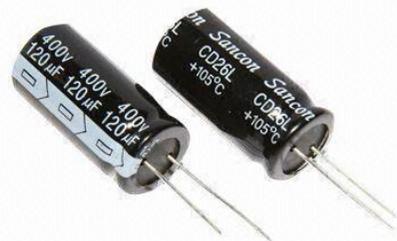


3. 受動素子の設計・評価



コンデンサ研究の取り組み

電解コンデンサ



長所

- ・静電容量/小形
- 課題
- ・耐圧制限
- ・寿命
- ・有極性



全固体電解コンデンサ

- ・高耐圧化
- ・低ESR
- ・パワエレ動作の特性評価

セラミックコンデンサ



高誘電率系

長所

- ・静電容量/小形
- 課題
- ・静電容量温度依存
- ・短絡故障

低誘電率系

長所

- ・静電容量安定性
- 課題
- ・静電容量/中・大型
- ・短絡故障



新規誘電材セラミックコンデンサ

- ・静電容量安定化
- ・低ESR
- ・逆誘電率特性とその応用
- ・パワエレ動作の特性評価

フィルムコンデンサ



長所

- ・無極性
- ・高耐圧
- ・短絡故障保護(セルフヒーリング等)
- 課題
- ・静電容量/大形
- ・高温動作

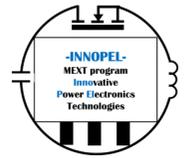


高耐熱フィルムコンデンサ

- ・高耐熱
- ・低ESR
- ・パワエレ動作の特性評価

取り組み

受動素子(コンデンサ)ロードマップに展開



ご清聴ありがとうございました