

2025年2月27日(木)

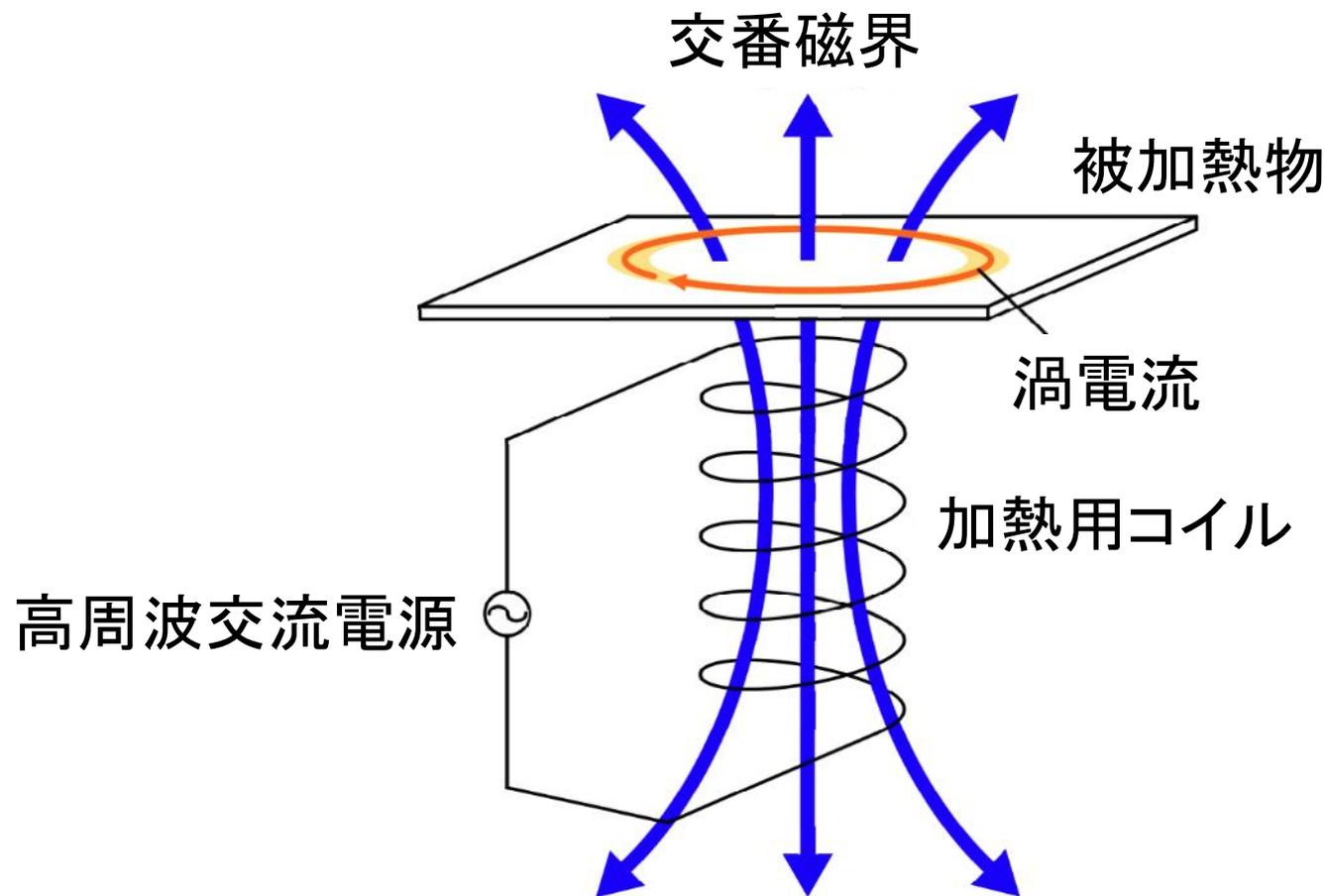
発熱分布の制御機能を付加した 三相交流入力誘導加熱装置

東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門

准教授 米田昇平



非接触で、被加熱物を直接加熱

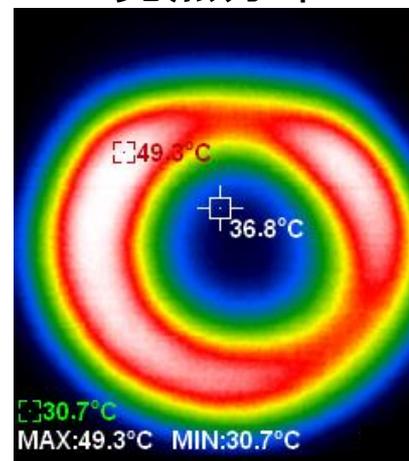


一般的なドーナツ型コイルと それによる金属平板加熱時の発熱分布

ドーナツ形コイル



ドーナツ形の
発熱分布

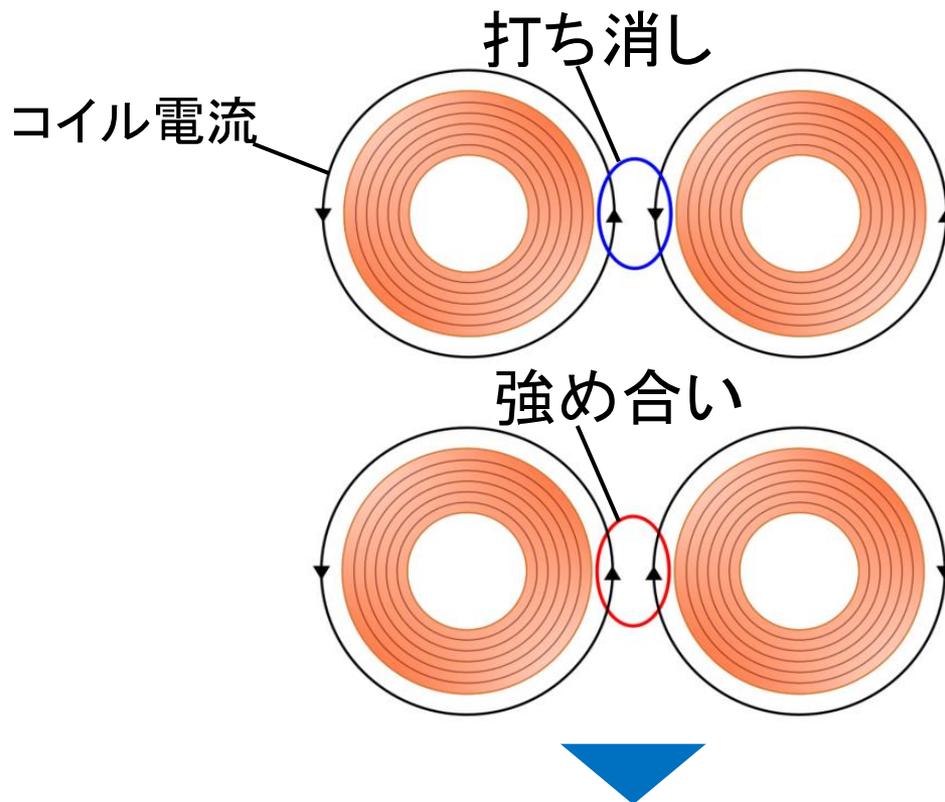


加熱むら

- ➡ 加熱対象の不均一な加熱
- ➡ 温度差による変形



複数加熱コイルとその電流制御の適用

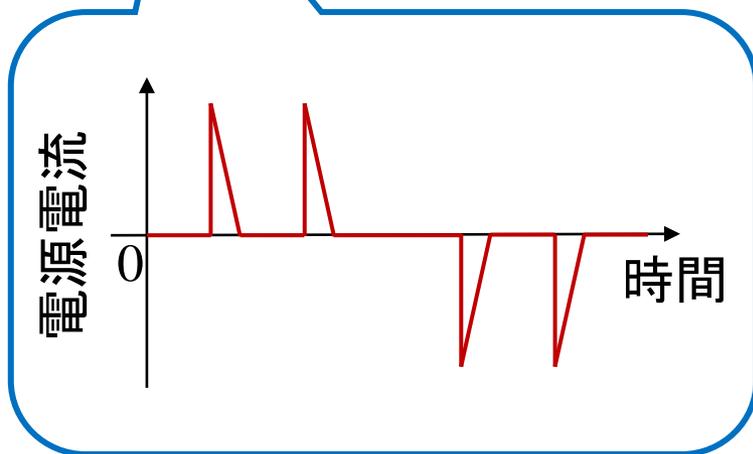
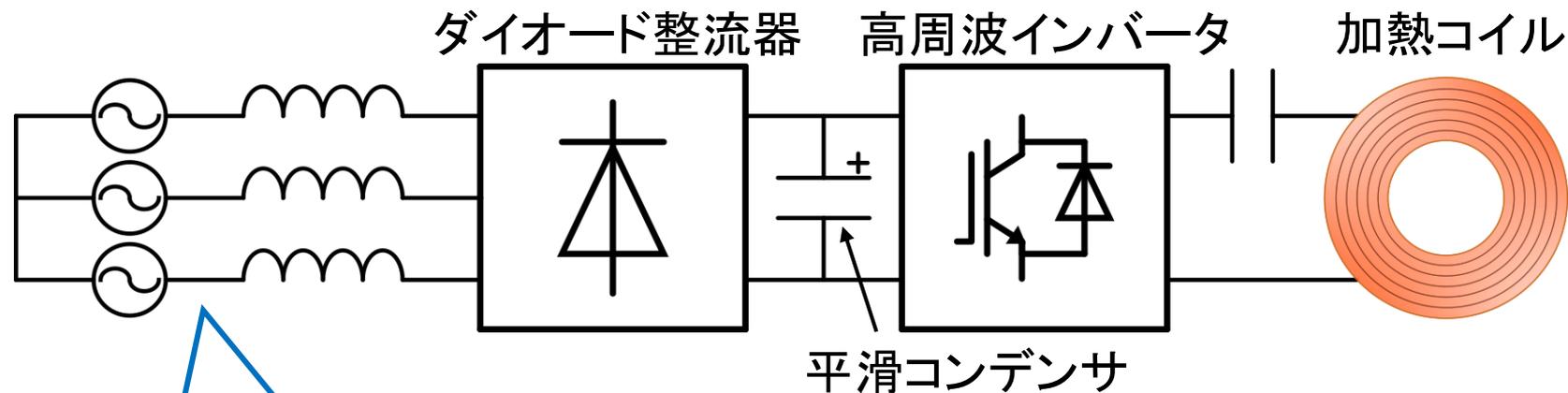


加熱コイル間の発熱の強弱の制御

[1] 黒瀬洋一・貞平匡史:「誘導加熱調理器」, 日本国特許庁(JP) 公開特許公報(A), 特開2010-153060(P2010-153060A)(2010)



一般的な産業向け誘導加熱システム

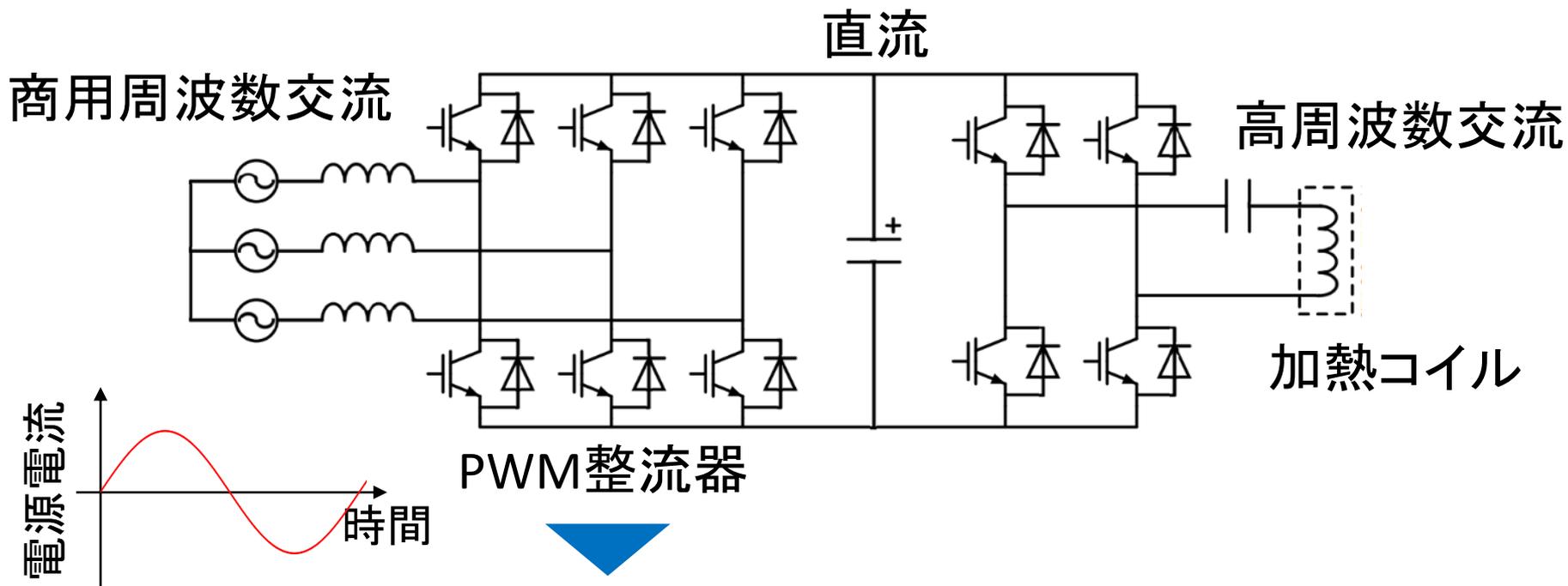


ダイオード整流器による導通制限

電源電流の歪み



PWM整流器の適用



電源電流の正弦波化が可能

ただし、大型で高価

2段階 (AC-DC-AC) の電力変換



既に実用化されているものには、

- ① PWMコンバータなどの力率改善能力を有する変換器の採用(電源電流への対策)
- ② 複数加熱コイルの適用, 専用コイルの設計(加熱むらへの対策)

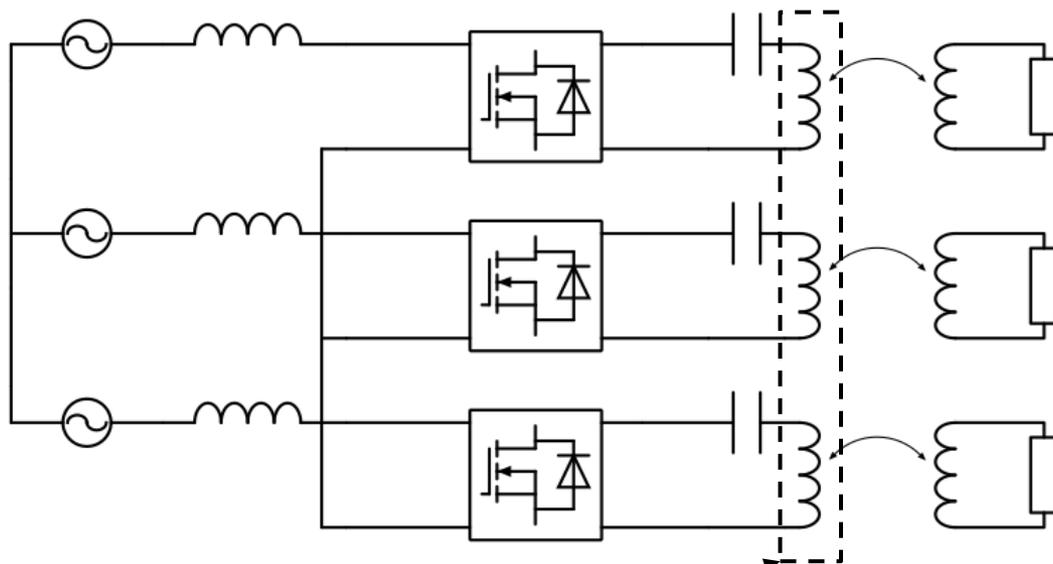
などがあるが、

- A) 電力変換器の大型, 低効率化
- B) 専用設計した加熱コイルの使用

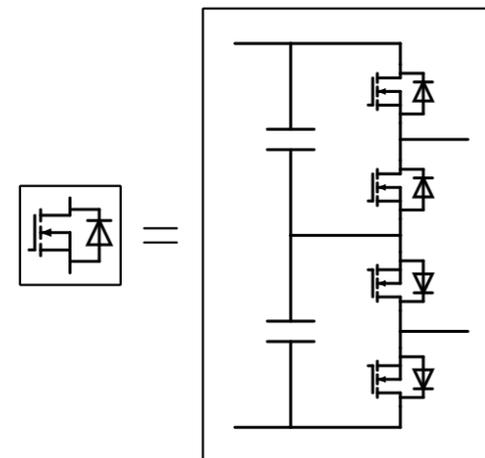
等の問題がある。加えて、①と②の両立が可能な装置はほぼなく、広く利用されるまでには至っていない。



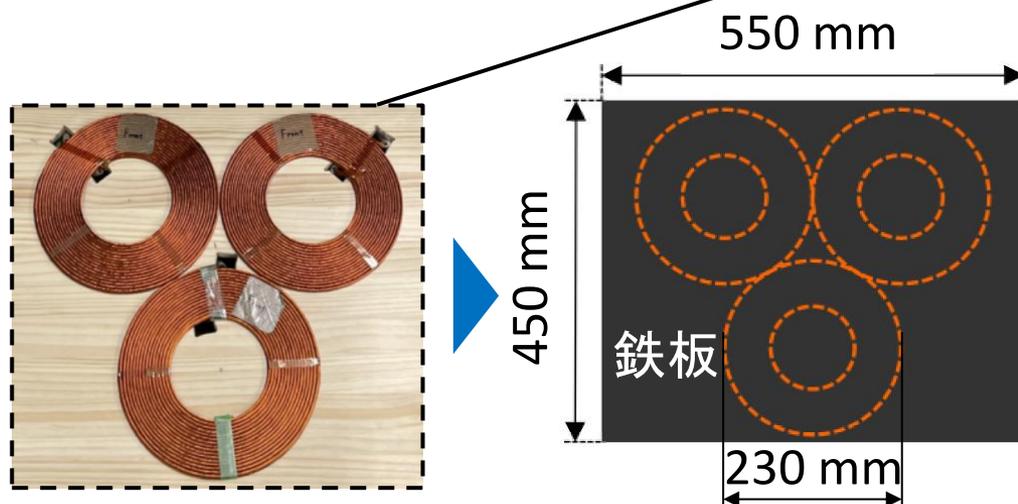
3台の交流直接変換器と3つの加熱コイルを用いた誘導加熱装置



高周波サイクロコンバータ^[2]



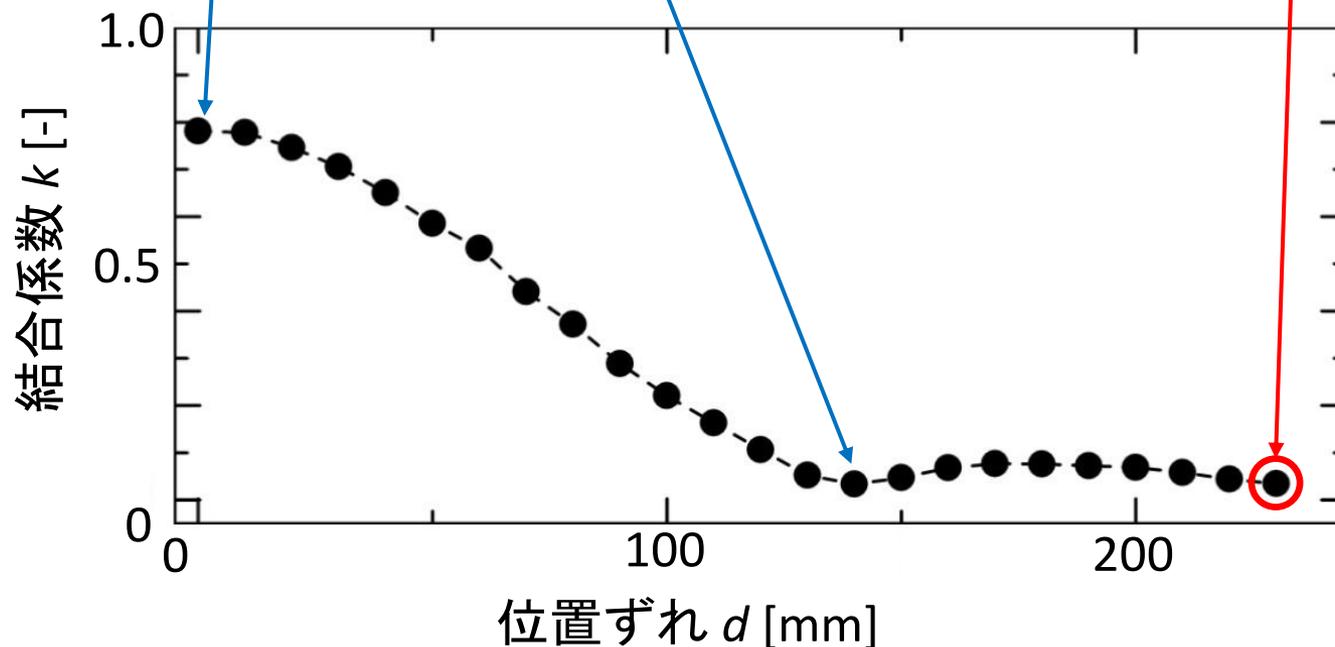
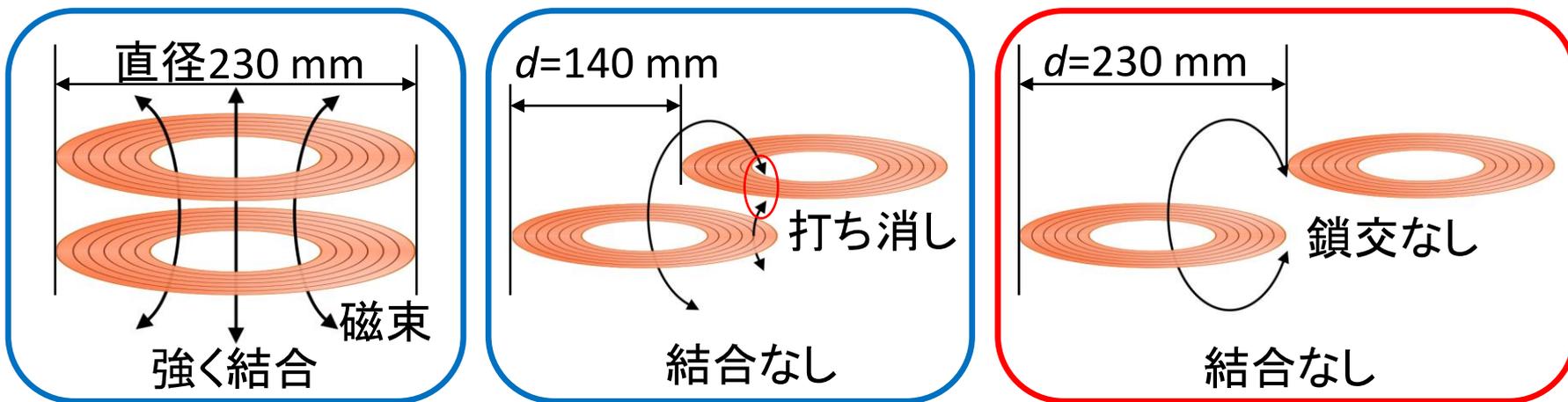
[2] 米田昇平, 藤田英明: 「位相シフト制御を適用した高周波サイクロコンバータ」, 電気学会論文誌D, 136巻, 6号, pp. 433-440 (2016)



- 電源電流の歪み低減
- 複数加熱コイルによる発熱分布の制御

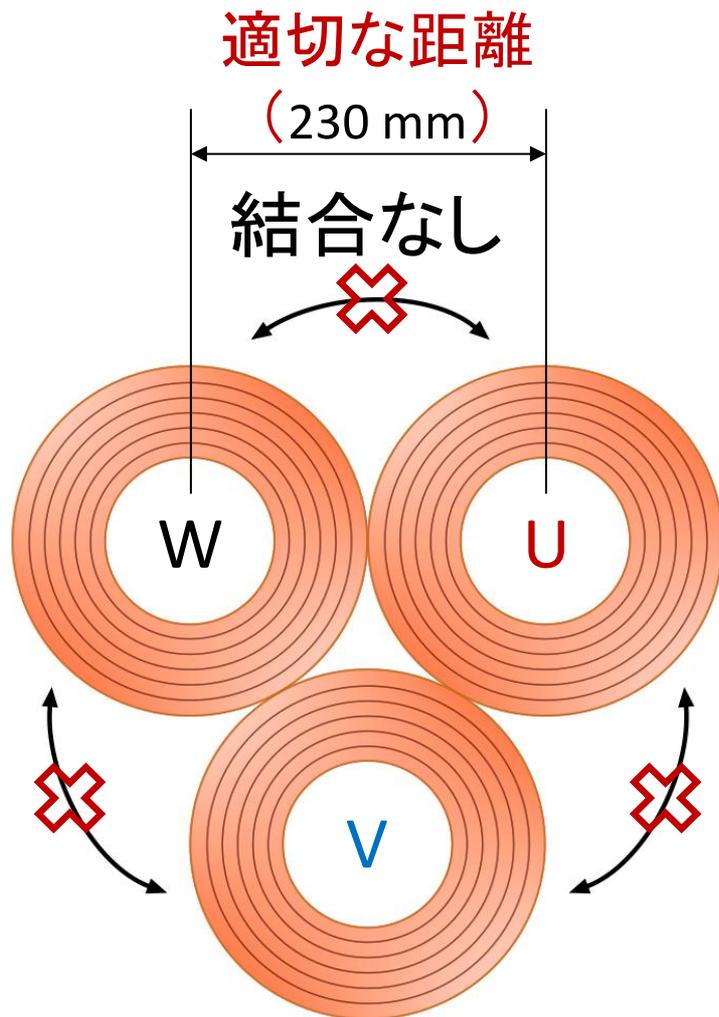


実験回路におけるコイル間距離の選定



コイル間距離 $d=230$ mm で結合なし → 隣接して配置





相互誘導なし

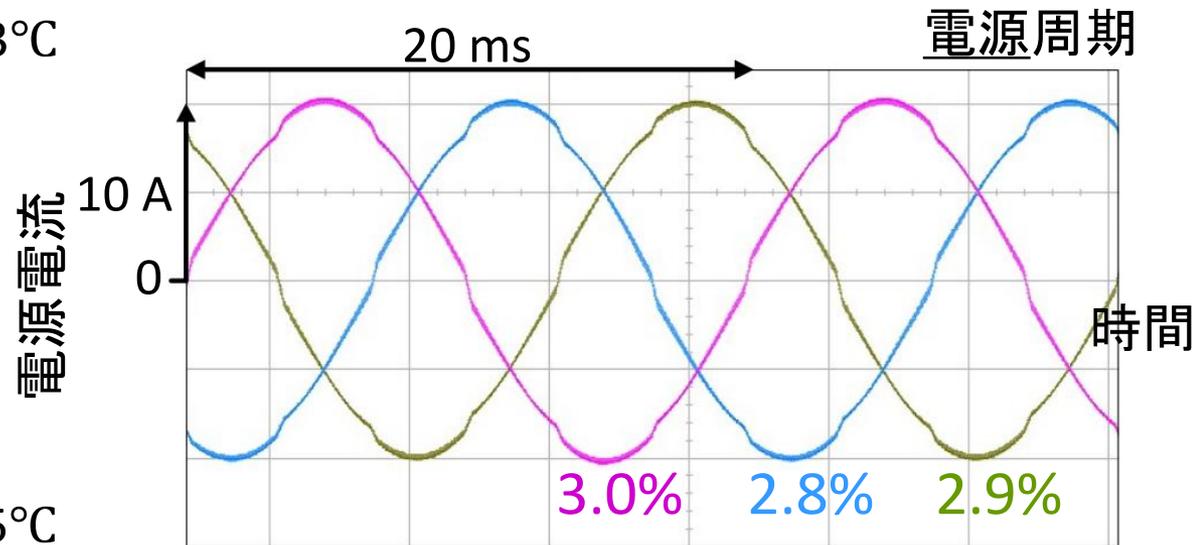
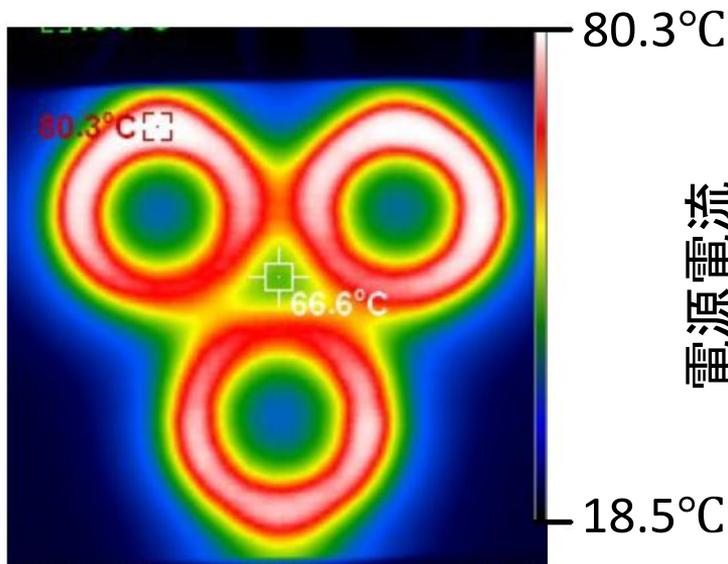
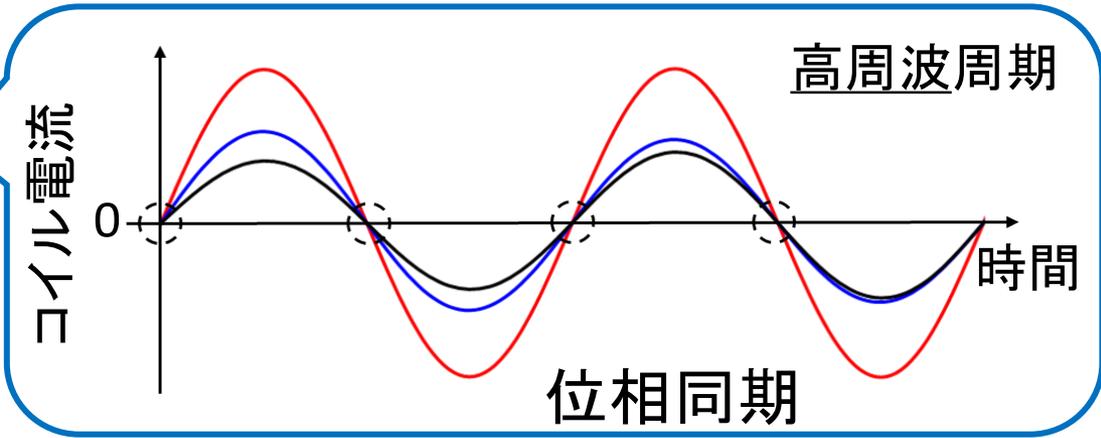
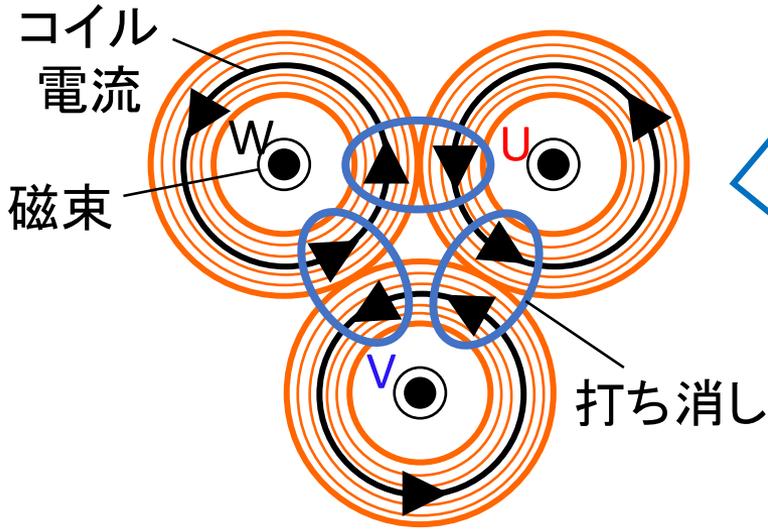
➡ 電源電流の歪み防止

➡ 各相独立動作

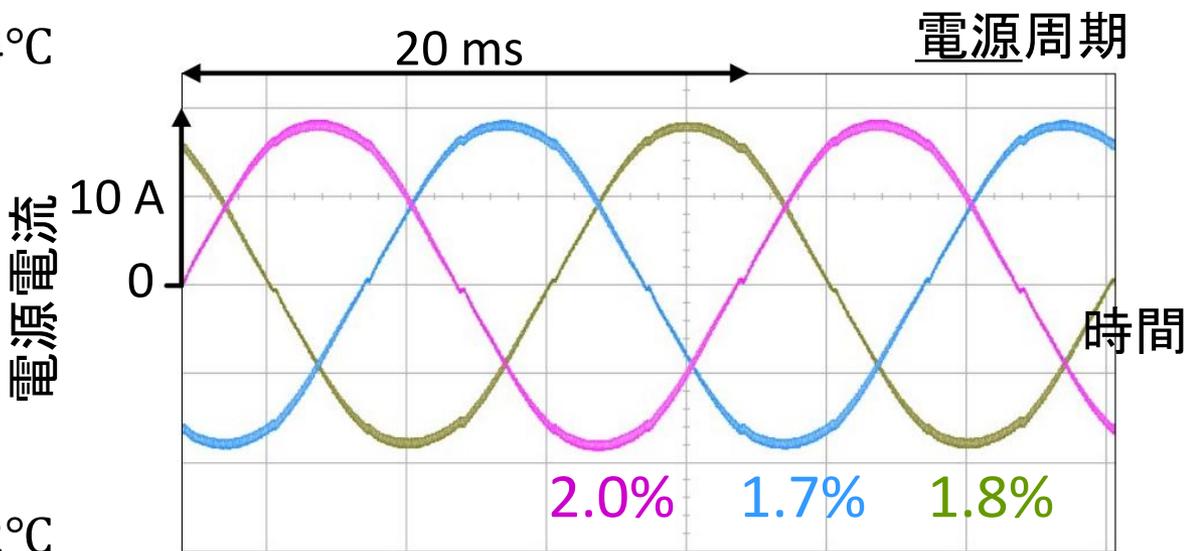
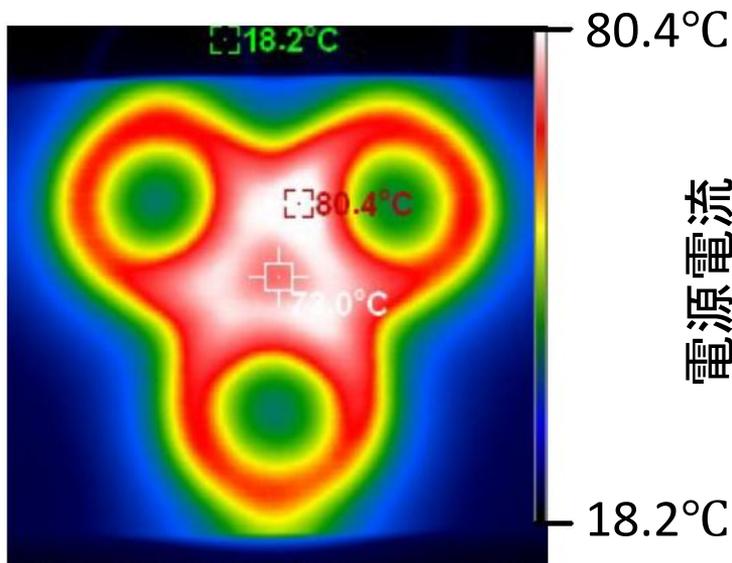
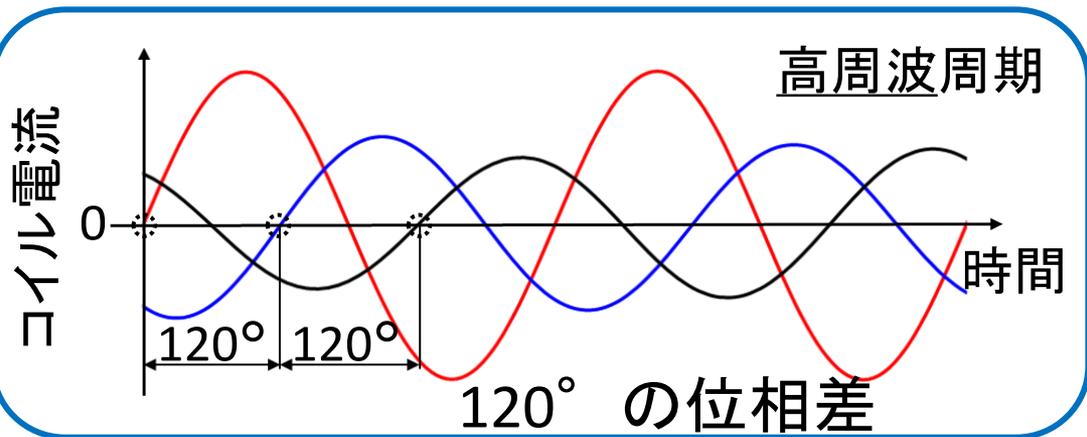
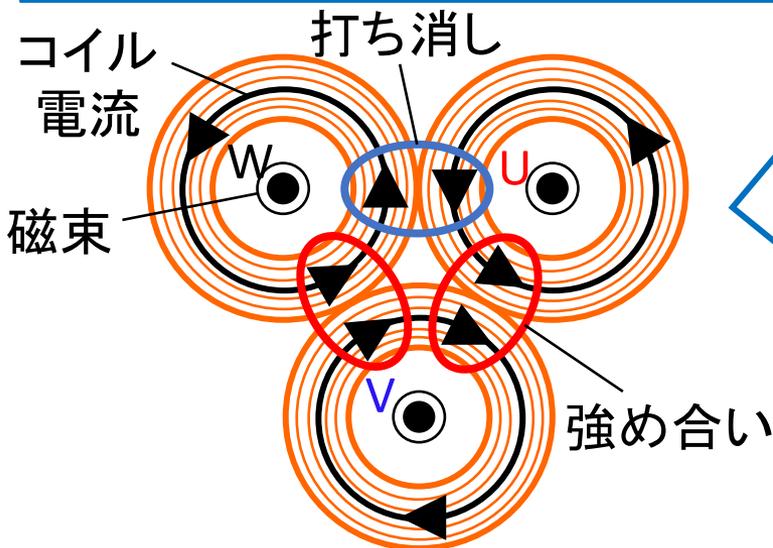
▼
コイル電流位相の自由度

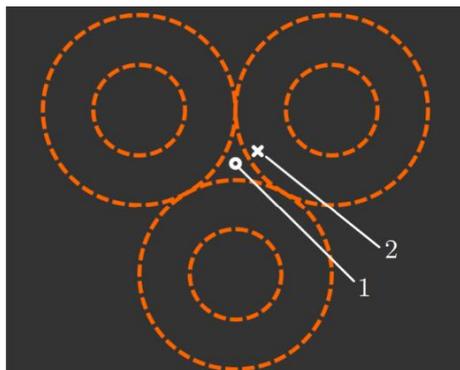


外側加熱モード

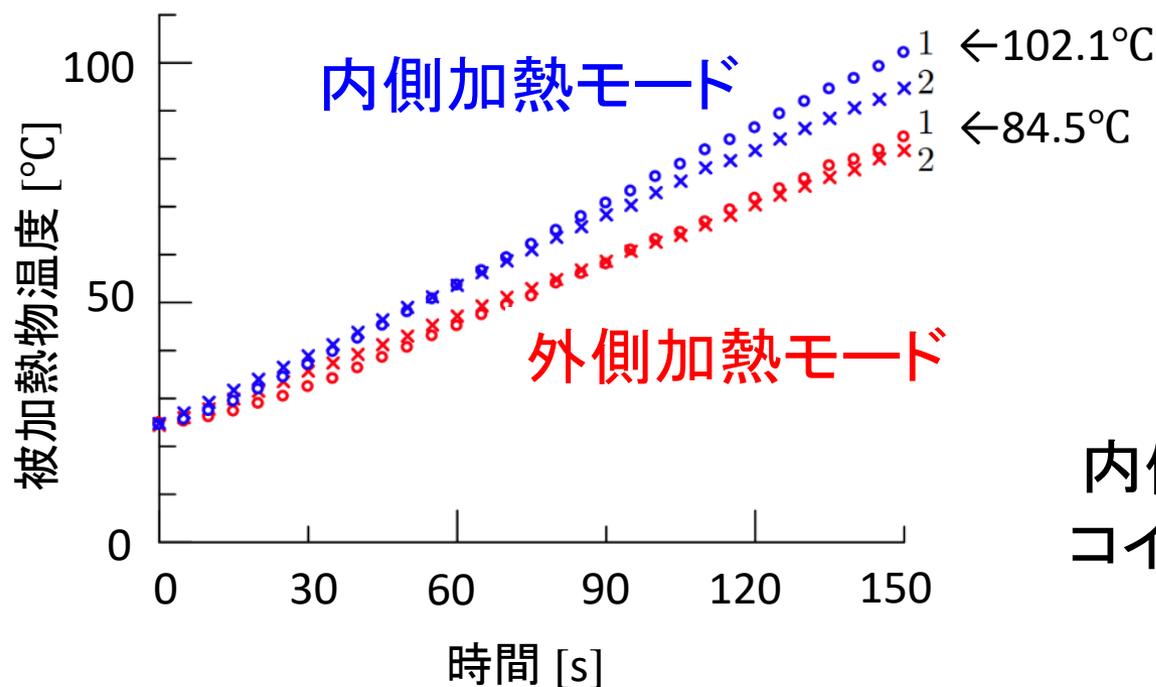


内側加熱モード



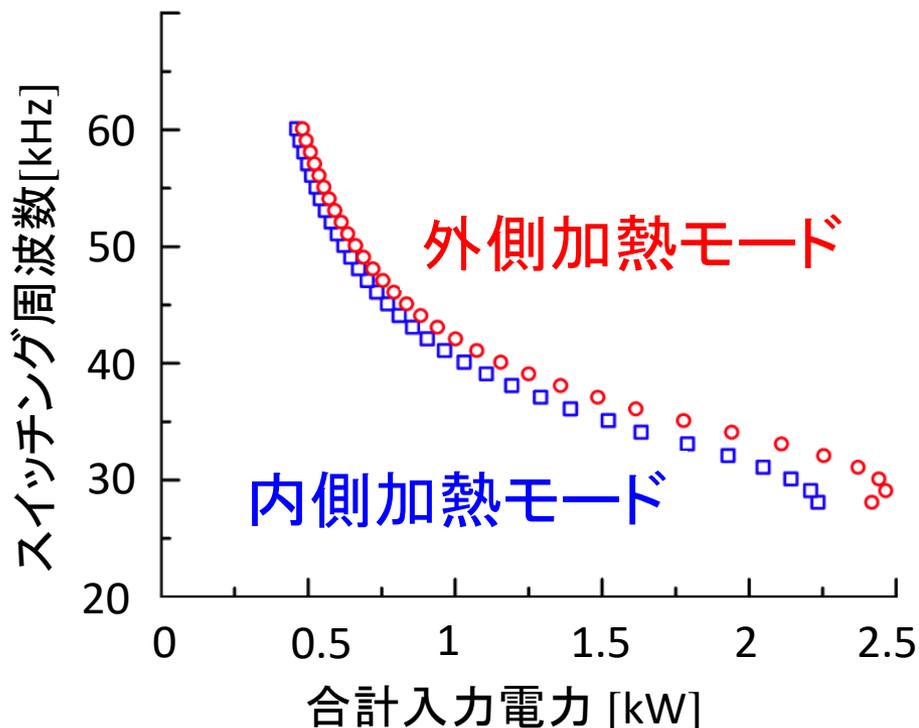


コイル間の2か所を計測

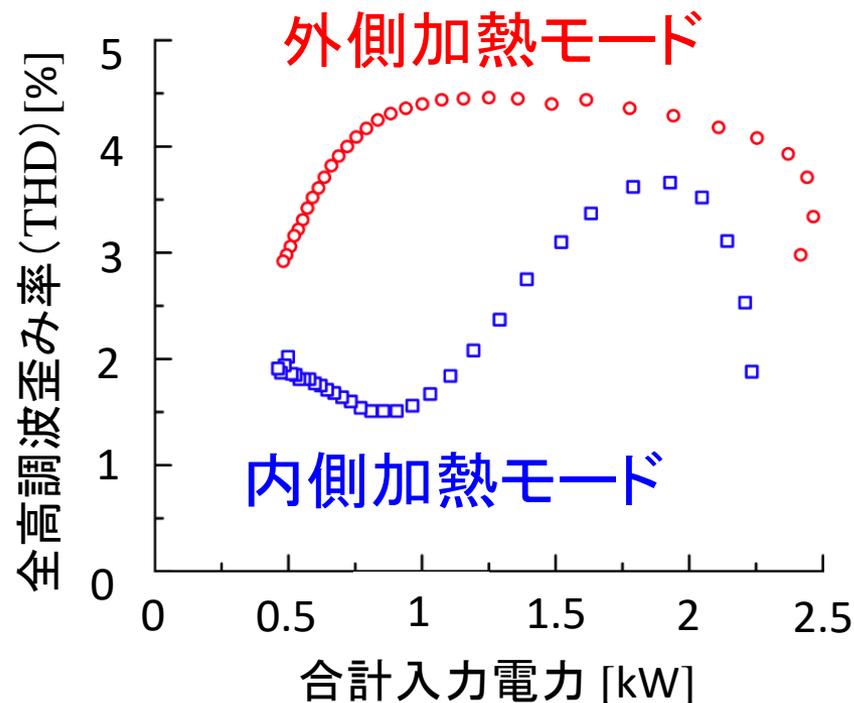


内側加熱モードによる
コイル中心の強い発熱
を確認



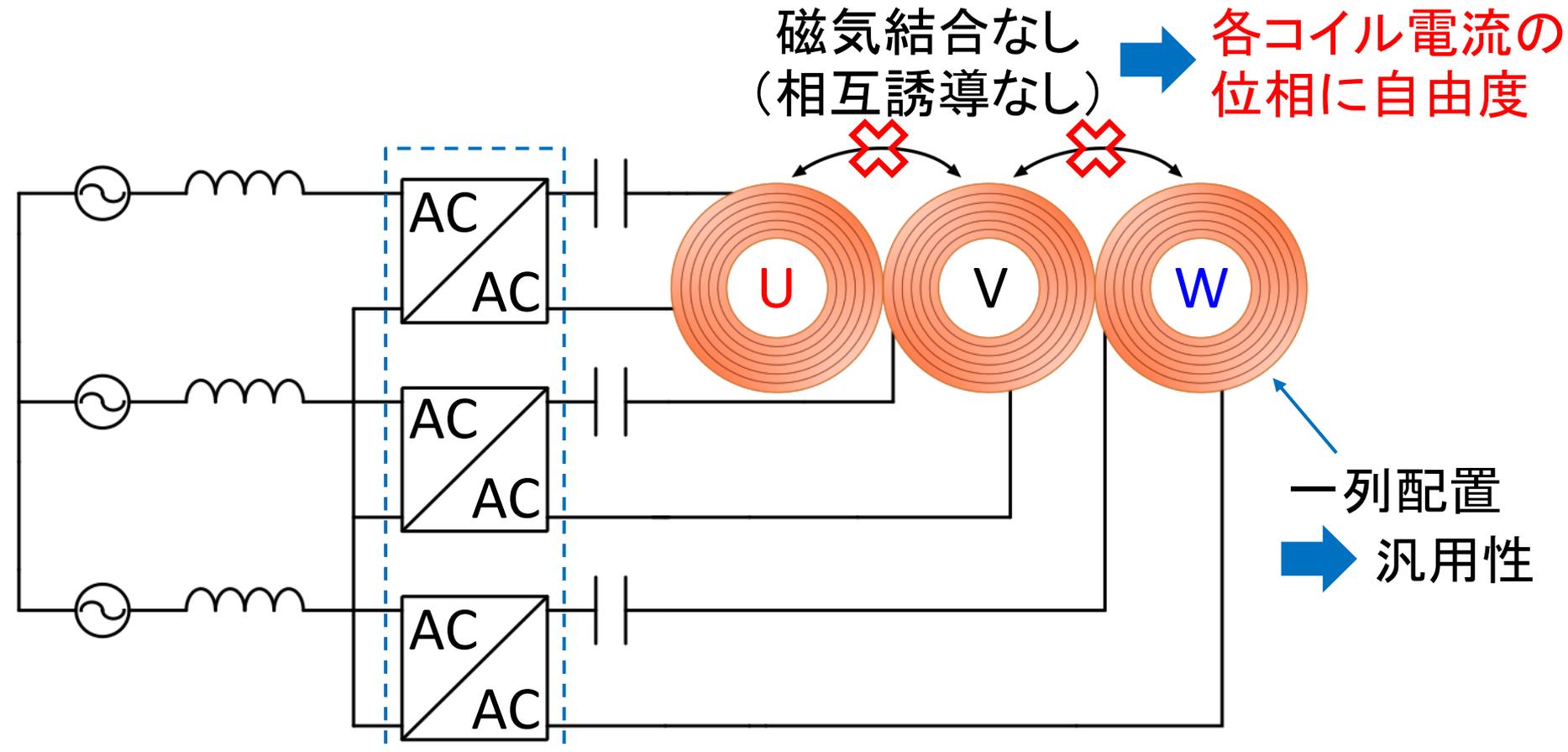


周波数制御による電力制御



歪みの少ない電源電流



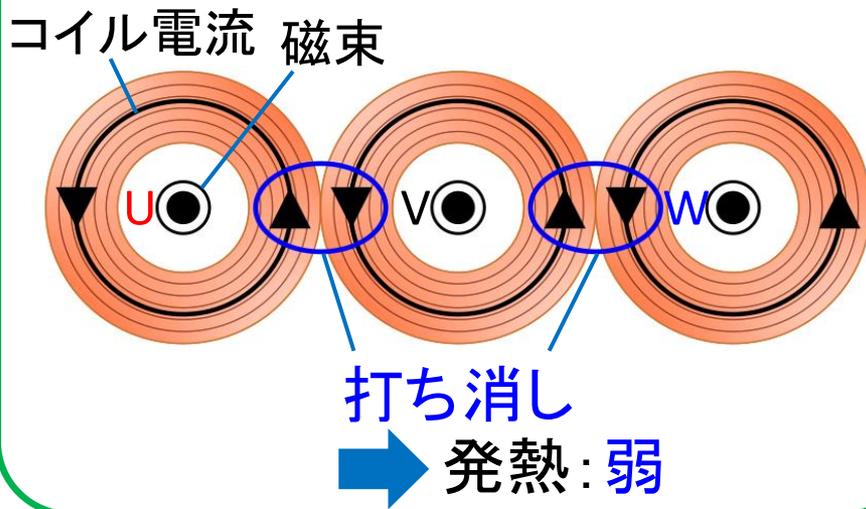
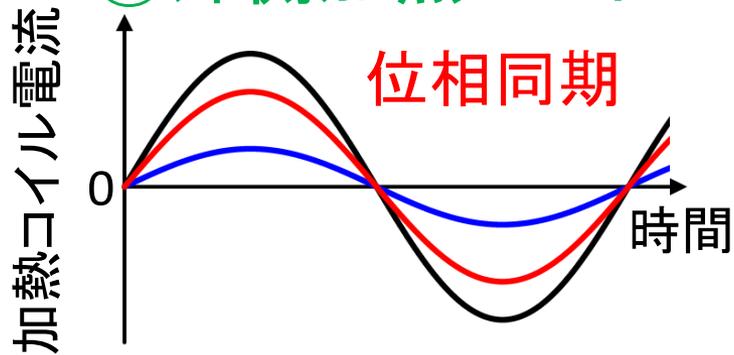


3台の交流直接変換器 → 電源電流波形を正弦波化
加熱コイル間の発熱分布の制御

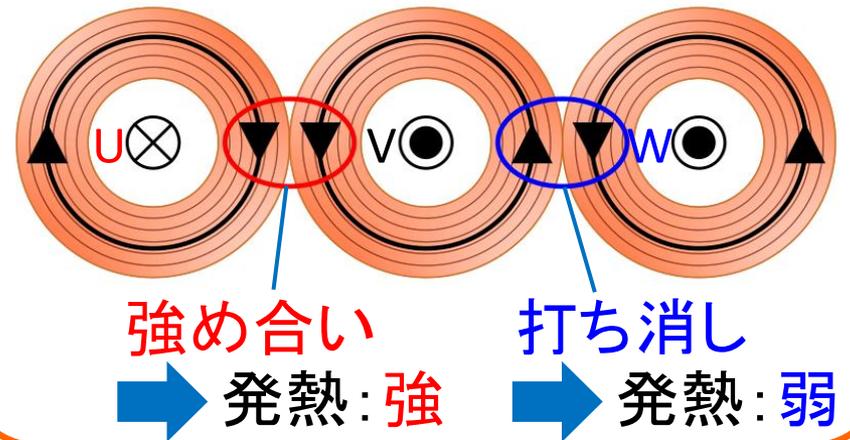
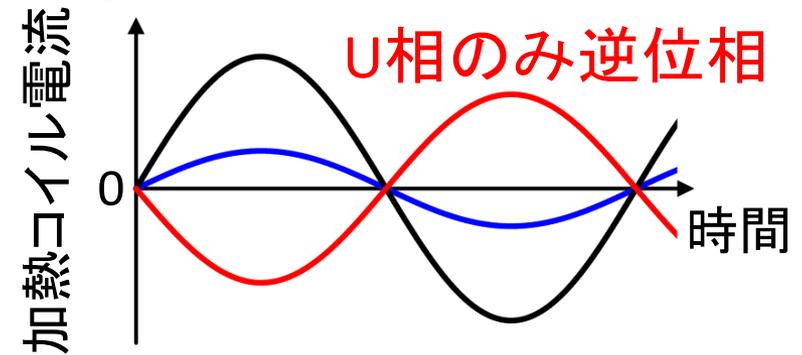
長方形被加熱物の加熱に適したコイル配置



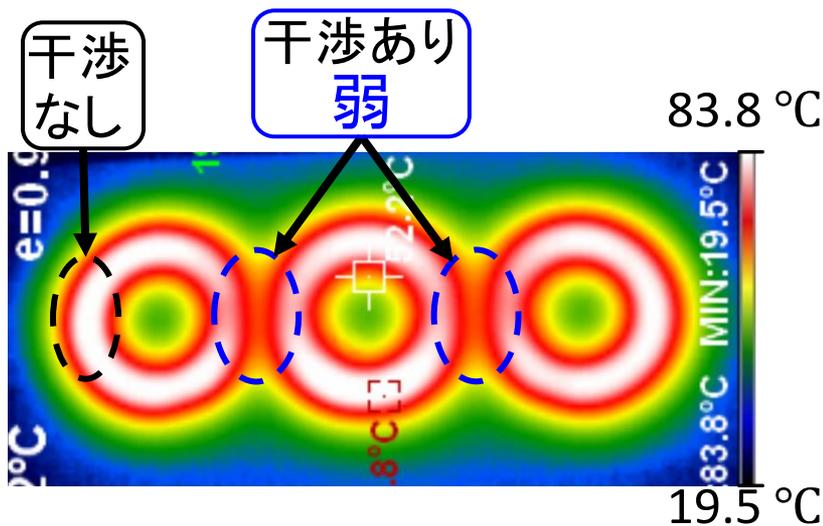
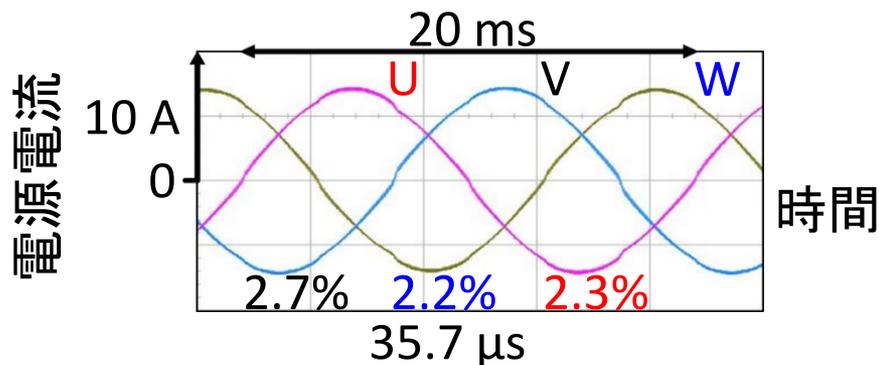
① 外側加熱モード



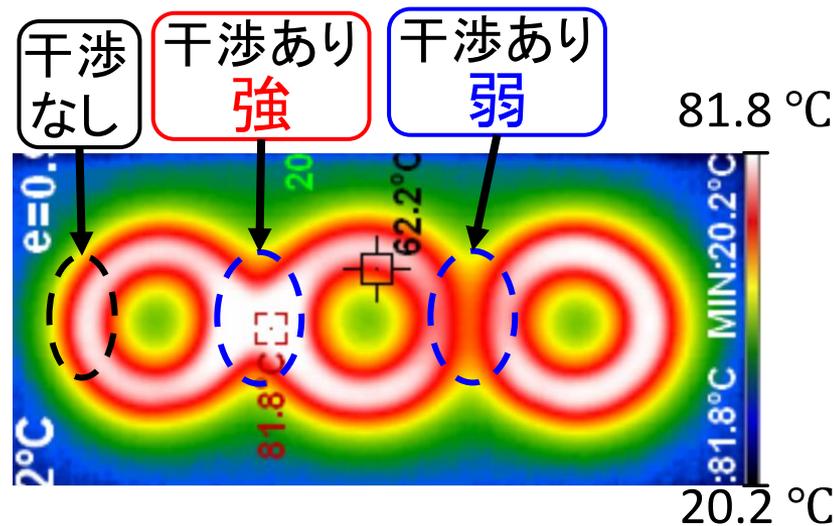
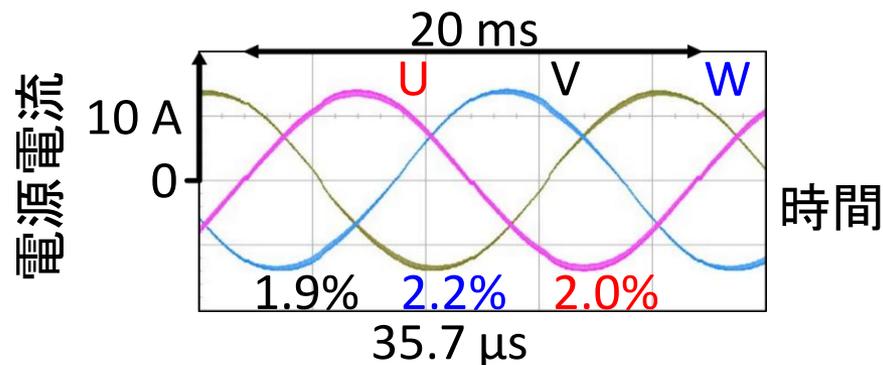
② U, V間加熱モード



① 外側加熱モード



② U, V間加熱モード



加熱コイル間の発熱分布の強弱と箇所を制御可能



- 従来技術の問題点であった、電源電流の歪みと被加熱物の加熱むらの低減に繋がる回路構成とその制御手法を開発することに成功した。
- 従来は電源電流の高調波が多く、それによる設備容量の制約や別途の高調波補償装置が必要であったが、本発明は電源電流の高調波がほぼなく、この点に留意する必要がない。
- 従来は加熱むらの制御に専用加熱コイルの設計や加熱コイル電流の高精度な制御を必要としていたが、本発明は比較的汎用的なコイルに適用でき、かつ、複雑な制御を必要としない。
- 本技術の適用により、電源設備容量の低減が図れるため、設備の初期投資およびランニングコストの削減が期待できる。



- 本技術の特徴を生かすためには、大型平板の加熱や業務用調理器に適用することで、電源の容量低減による省エネルギー化および加熱むらの改善による加熱効率の向上のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、金属平板への塗装の乾燥にも応用が期待できる。
- また、達成された加熱コイルの配置に着目すると、マルチコイル化による広範囲かつ複数個所の発熱分布の制御も可能と考えられる。



- 現在，被加熱物の発熱分布について，発熱モードごとの単独動作まで開発済み。しかし，連続的な発熱箇所の切り替えが未解決である。
- 今後，連続運転についての電力変換器の動作波形および被加熱物の発熱分布の実験データを取得し，フィードバック制御の検討も含めての条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて，発熱モードを連続的に切り替え，それによる被加熱物上の加熱むらの低減効果の検証までを実現できるように，技術を確立する必要もあり。



- 未解決の発熱モードの連続的な切り替えについては、電力変換器のスイッチングモード解析技術を適用した制御手法の開発により実現できると考えている。
- 高周波インバータ，誘導加熱技術を持つ，企業との共同研究を希望。
- また，産業向けの誘導加熱装置を開発中の企業，高周波電源分野への展開を考えている企業には，本技術の導入が有効と思われる。



- 本技術は電源電流の制御と発熱分布の制御といった付加価値を有するため、電力変換器の開発と負荷特性の評価の両面で企業の製品開発に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験および理論解析を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等



- 発明の名称 : 誘導加熱装置
- 国際出願番号 : PCT/JP2024/006609
- 出願人 : 国立大学法人東京海洋大学
- 発明者 : 稲見駿汰, 米田昇平



- 2024年 誘導加熱向け回路の技術指導を実施
- 2024年- 車載充放電回路の共同研究を実施
- 2022年- 小型電動車向け動力装置の評価の共同研究を实实在
- 2020-2024年 車載充電回路の共同研究を実施



国立大学法人 東京海洋大学

海の戦略マネジメント機構（品川オフィス）

〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 7号館2F

T E L 03-5463-0859

e-mail olcr-soudan@m.kaiyodai.ac.jp

