

励磁巻線分離形構造を持つ 鉄心レス小型軽量変圧装置

大阪工業大学 工学部 電気電子システム工学科
教授 森實 俊充

2024年11月5日

変圧器の原理と構造

電磁誘導作用によって、ある交流電圧及び電流から同一周波数で電圧及び電流が異なるほかの電力を変成する。鉄心及び二つの巻線から構成される静止誘導機器。

様々な分野で応用例が多数存在

応用例)

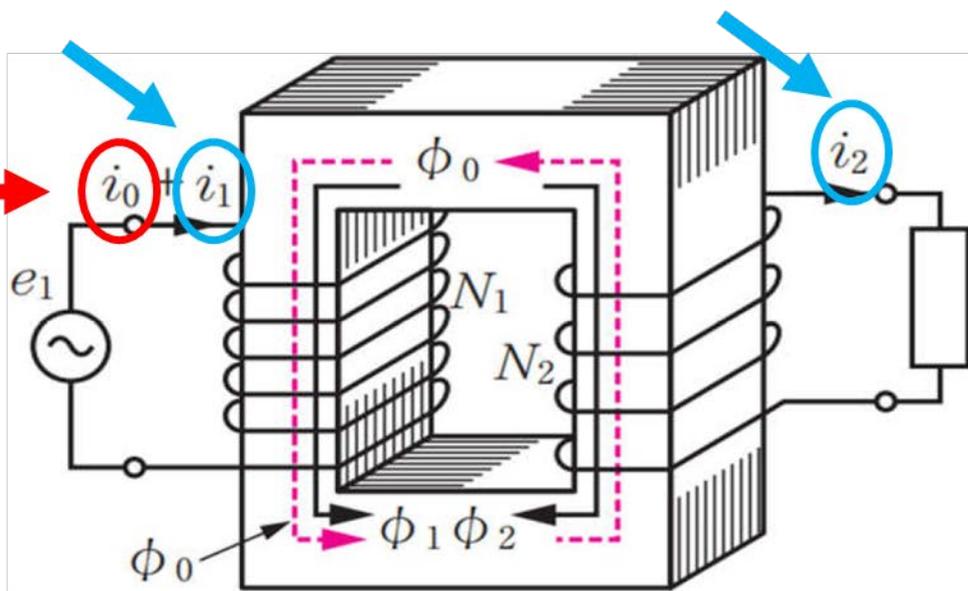
○送配電用変圧器：柱上変圧器、変電所

○半導体電力変換用変圧器：コンバータなど

変圧器の原理と構造

- Φ_0 : 主磁束
- Φ_1 • Φ_2 : 負荷電流により生じる (合計0)

$$\bullet V = -N \frac{d\Phi_0}{dt}$$

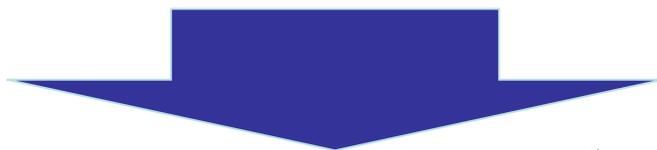


従来技術とその問題点

従来の変圧器では、一次巻線を励磁巻線と電力伝送巻線として兼用し、強磁性体である大型鉄心が主磁束の磁路確保および一次・二次巻線間の磁気結合機能を担っている。



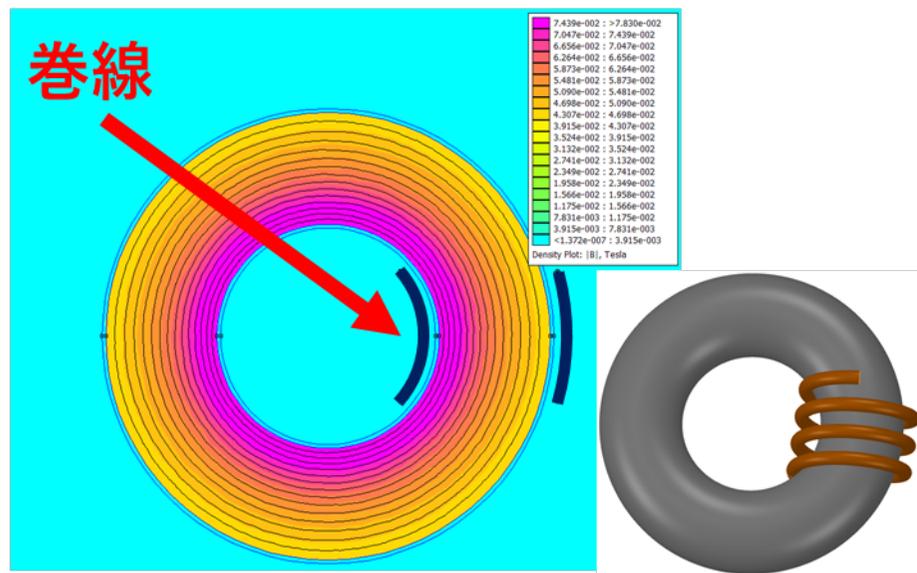
鉄心重量が変圧器全体の70～80%



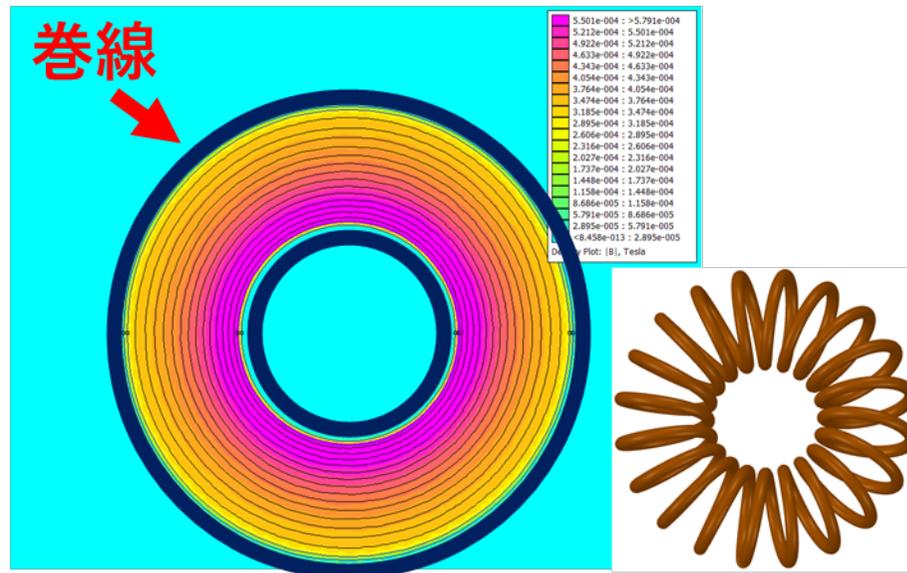
小型化及び軽量化を図ることができる鉄心レス変圧器、変圧装置及び制御方法を提供。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 主磁束 Φ_0 の発生（励磁） および磁路確保
- 一次巻線励磁 + 鉄心（強磁性体）
=> ソレノイドコイルによる励磁 + 形状による磁路確保



ドーナツ型鉄心 + 1次側励磁



空気 + 励磁側励磁

図：変圧器内の磁束密度分布

新技術の特徴・従来技術との比較

○電力伝送用の一次巻線の巻き数

主磁束の大きさと一次二次の変圧比、
周波数により決まる。（従来は励磁と兼用）



励磁用ソレノイドコイルと電力伝送用一次巻線を分離

励磁巻線分離形構造＋鉄心レス



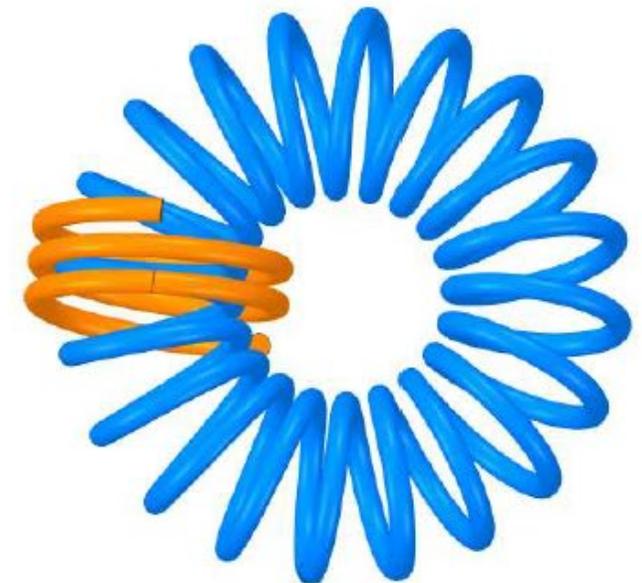
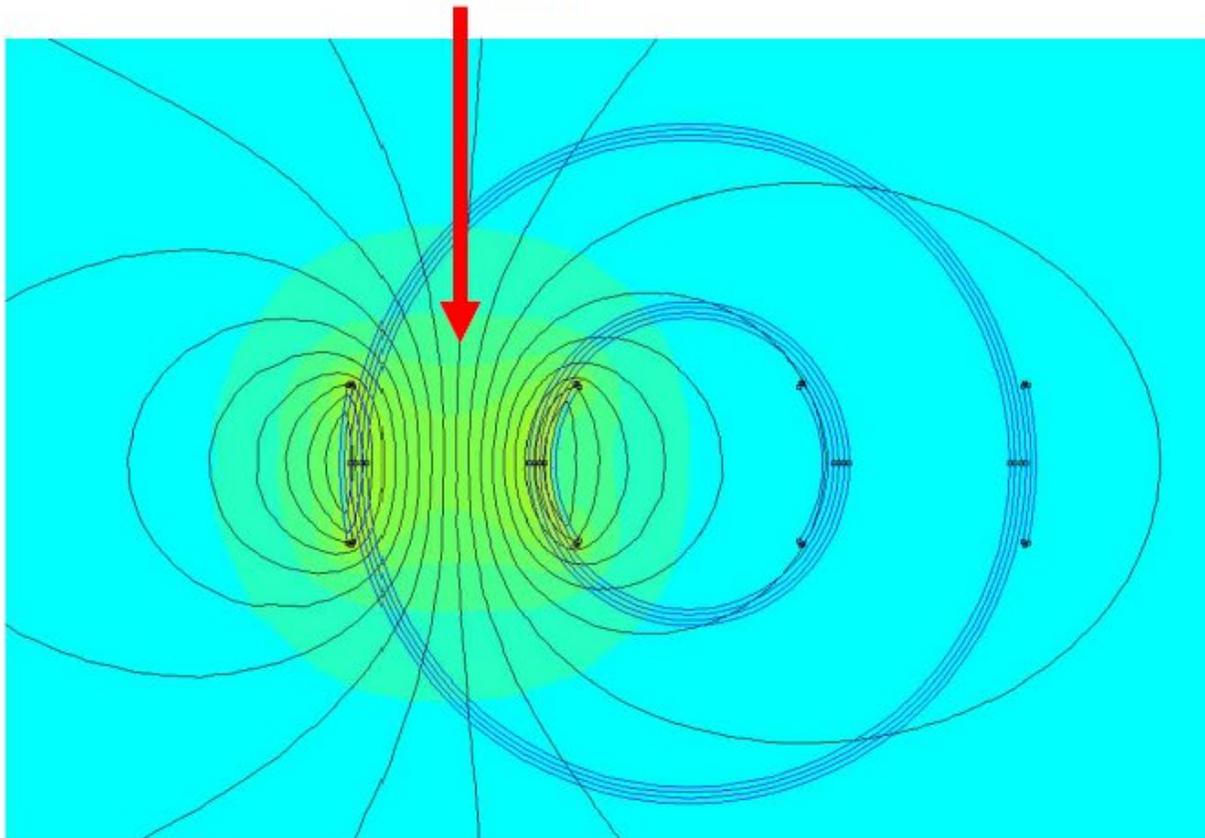
磁路確保と主磁束励磁のため
ソレノイドコイルの巻き数を違う設計に

新技術の特徴・従来技術との比較

○単に鉄心レスおよび励磁巻線と負荷巻線を分割しただけでは、
一次、二次の結合が弱い かつ 励磁に影響が及ぶ

⇒> 一次・二次間の結合強化、励磁部と一次・二次主巻線間の分離

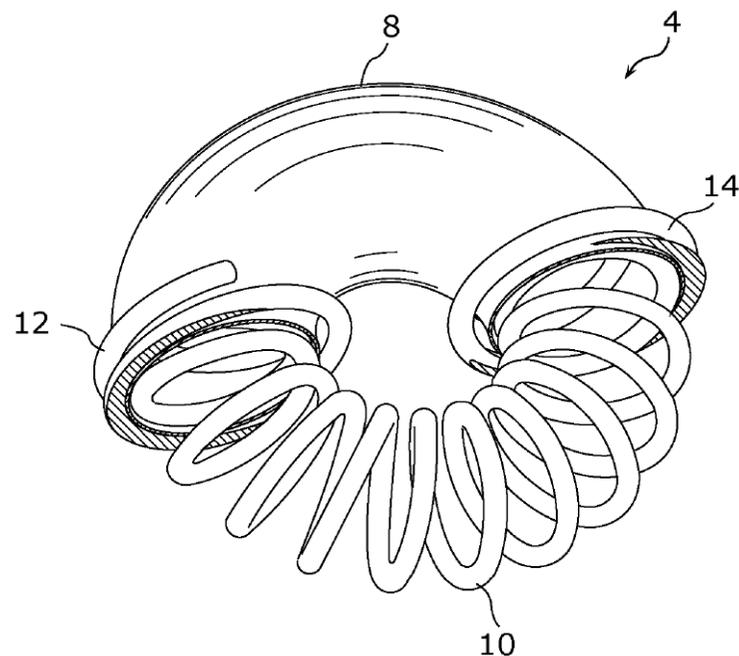
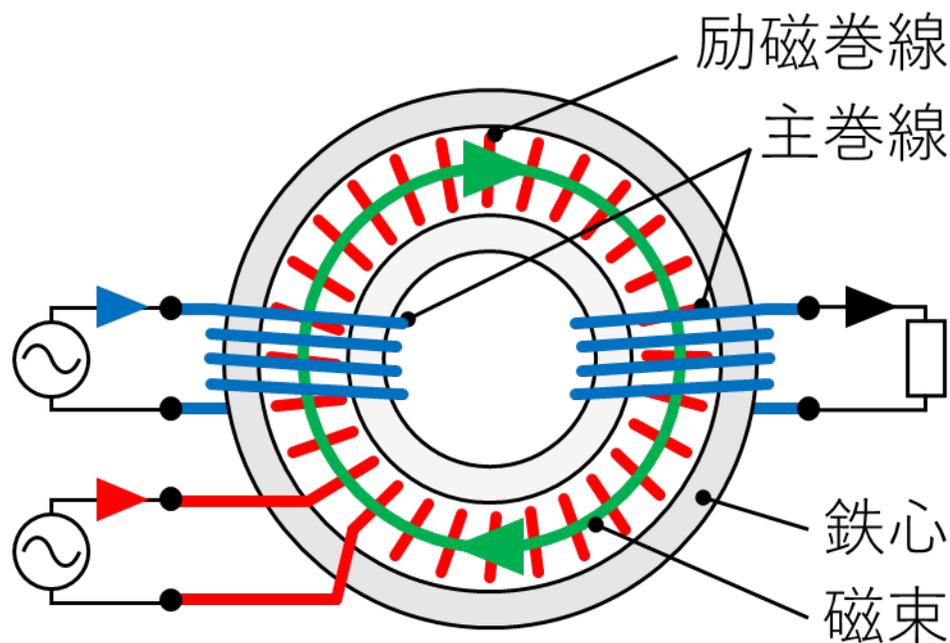
一次側



新技術の特徴・従来技術との比較

励磁分離＋構造的磁気結合強化

○ソレノイドコイルと一次・二次巻線間に鉄心を挿入
=> 主巻線同士は鉄による結合。主巻線が作る磁界は鉄心内で相殺。
原理的に鉄心厚は多くは必要ない。



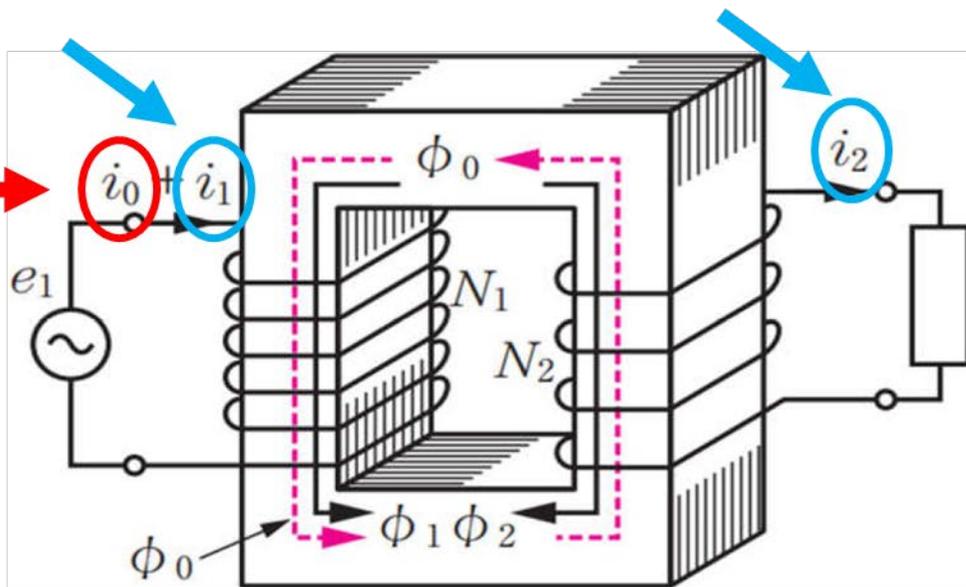
変圧器の原理と構造

鉄心にはここだけを担わせる

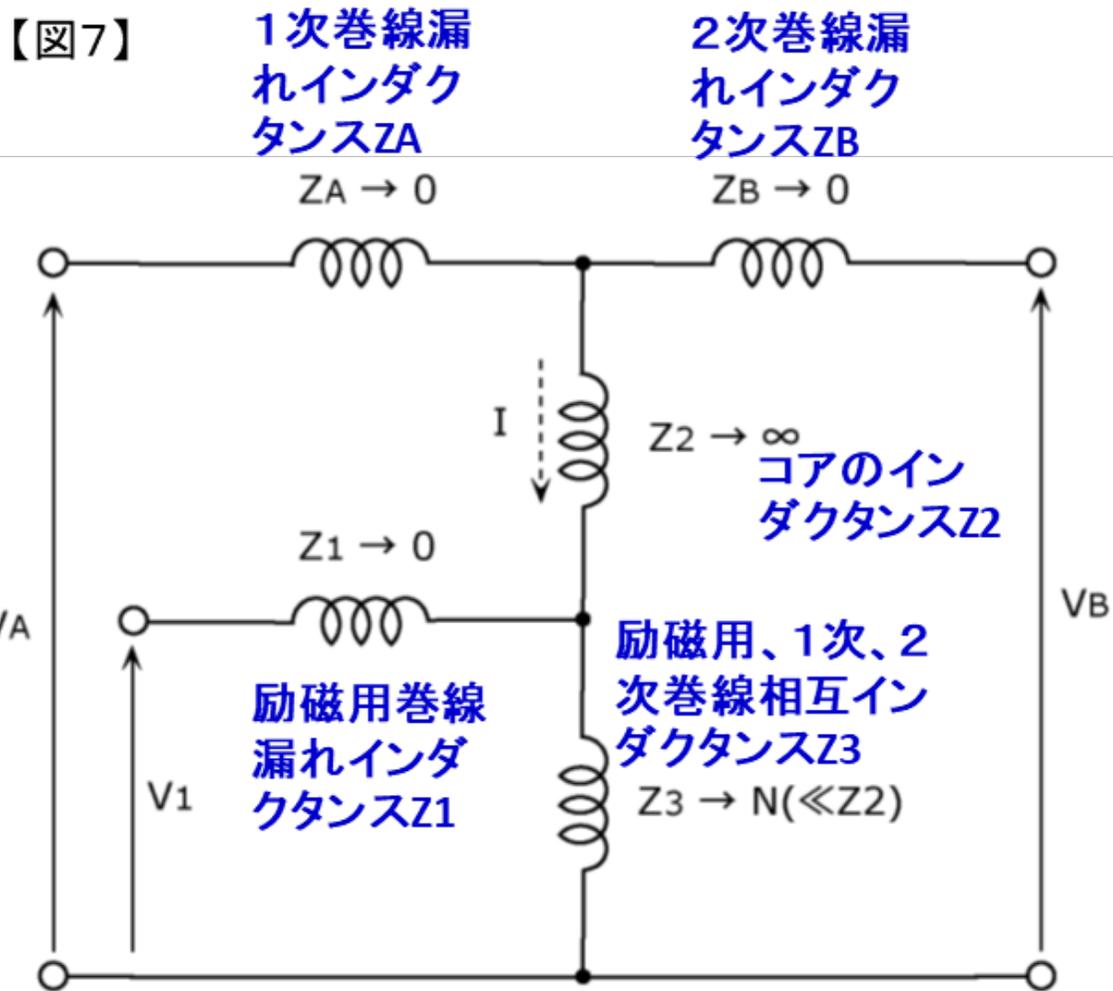
- Φ_0 : 主磁束
- Φ_1 • Φ_2 : 負荷電流により生じる (合計0)

こちらはソレノイドが担う

$$\bullet V = -N \frac{d\Phi_0}{dt}$$



新技術の特徴



等価回路的には

ソレノイドコイルと一次・二次巻線間に鉄心挿入

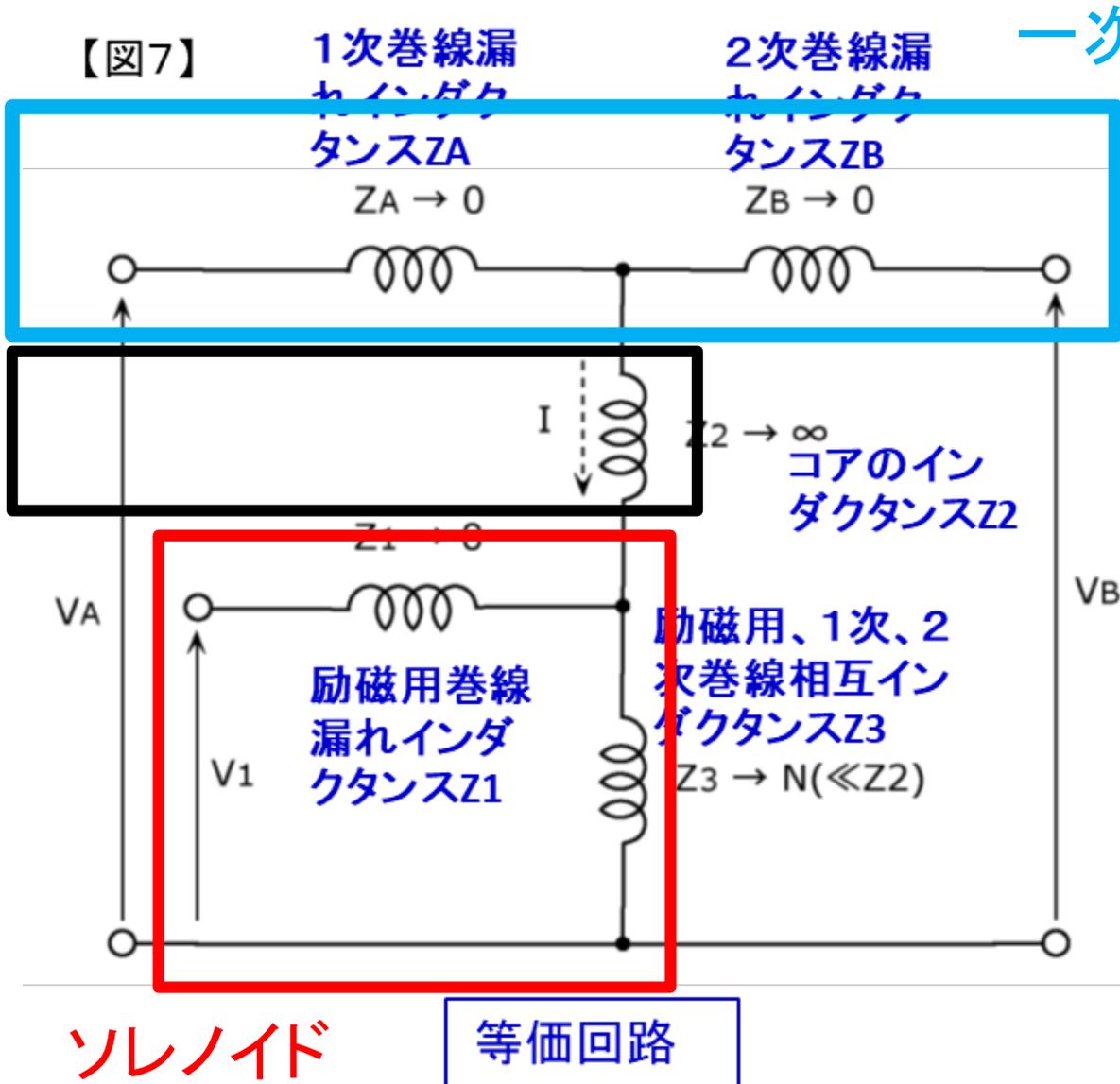


コアのインダクタンスが増大



励磁部と主巻線間の分離

新技術の特徴



等価回路的には

ソレノイドコイルと一次・二次巻線間に鉄心挿入



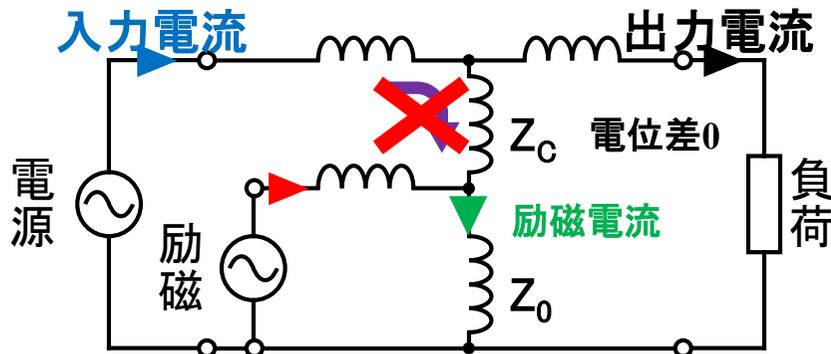
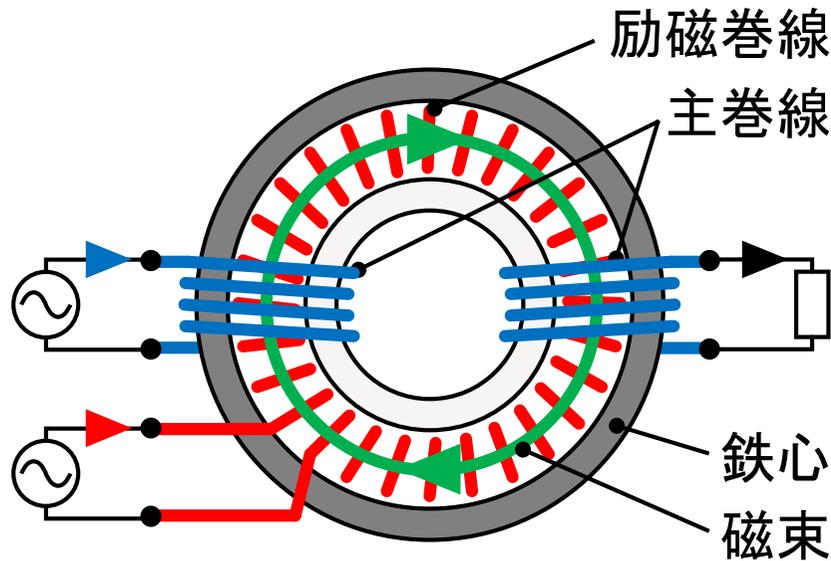
コアのインダクタンスが増大



励磁部と主巻線間の分離

新技術の特徴

電気的励磁分離 – 励磁電源制御による実現



励磁分離

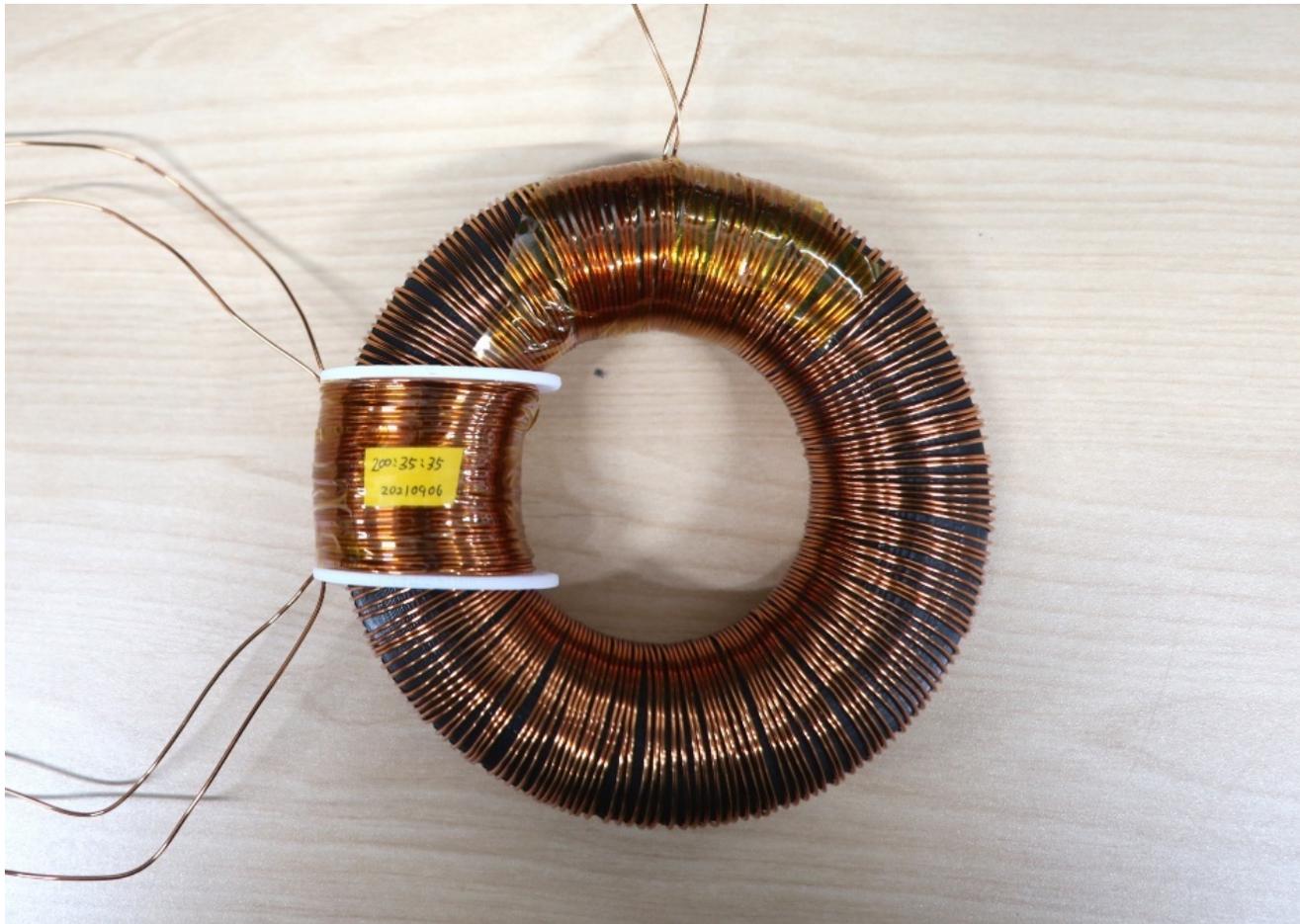
- ・独立した電源による励磁
- ・ Z_C へ流れる電流の削減

電気的手法

- ・励磁電圧制御による Z_C の両端電位差を減少

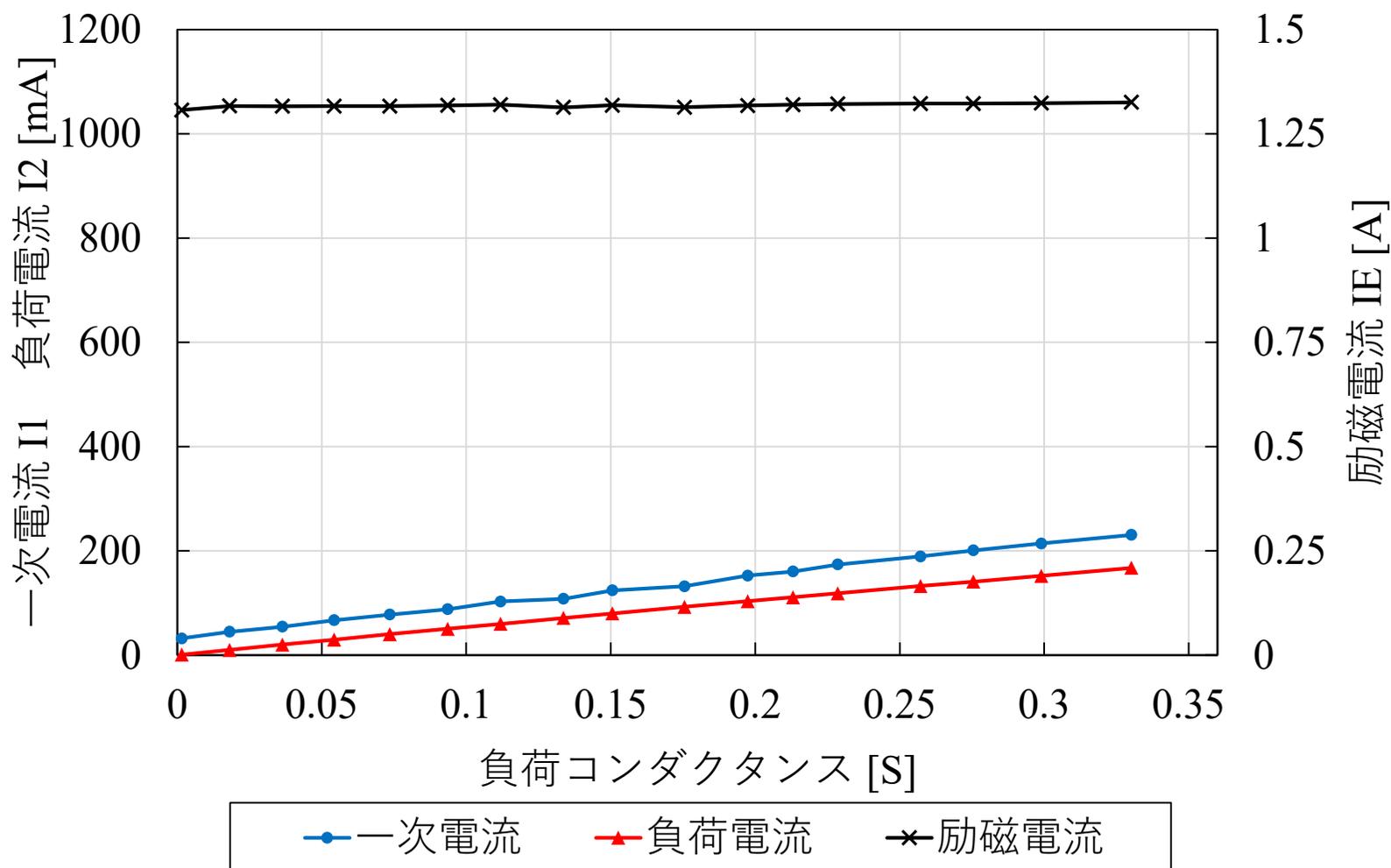
新技術の特徴

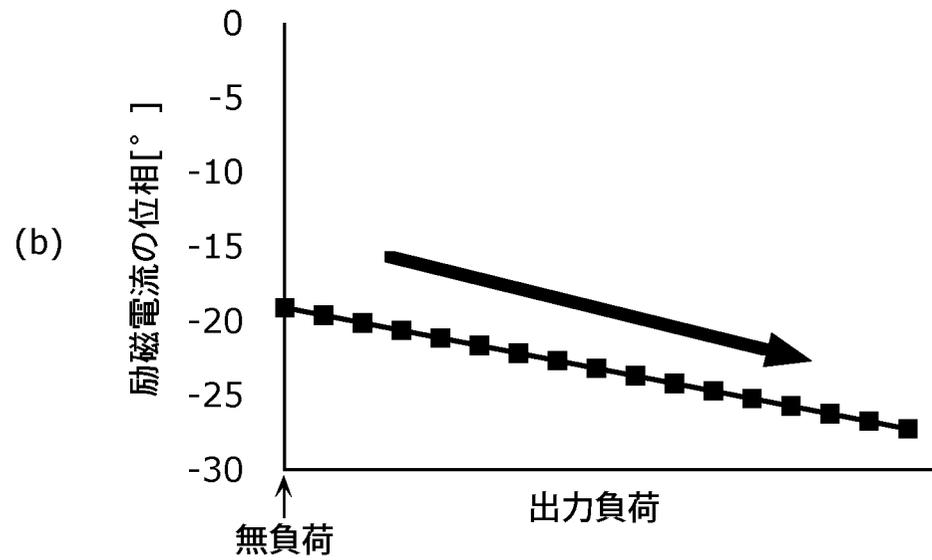
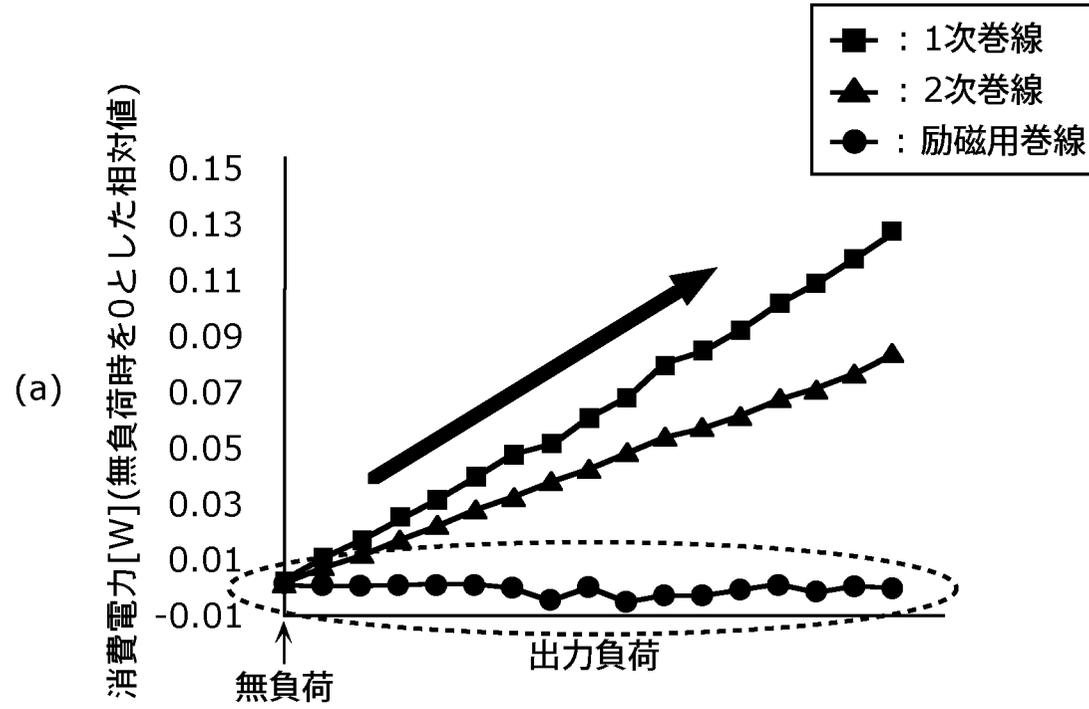
鉄心なし+励磁電流制御による励磁分離



新技術の特徴

鉄心なし+励磁電流制御による励磁分離





新技術の特徴

鉄心あり+励磁電流制御による励磁分離



図 励磁巻線と芯材



(a)コの字型鉄心

(b)リング状鉄板

(c)組み合わせた鉄心

図 励磁分離用鉄心



(a)改良後の励磁巻線

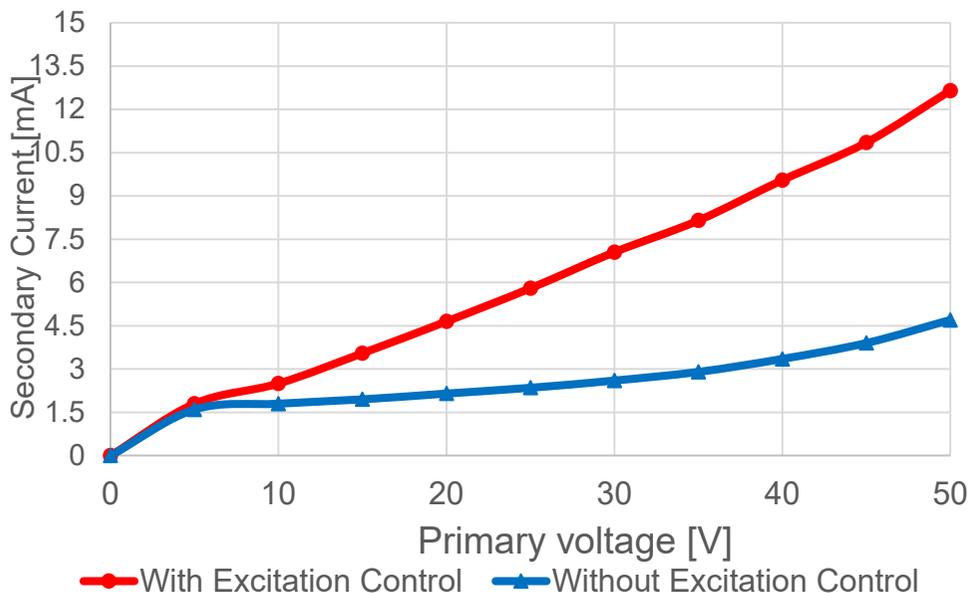
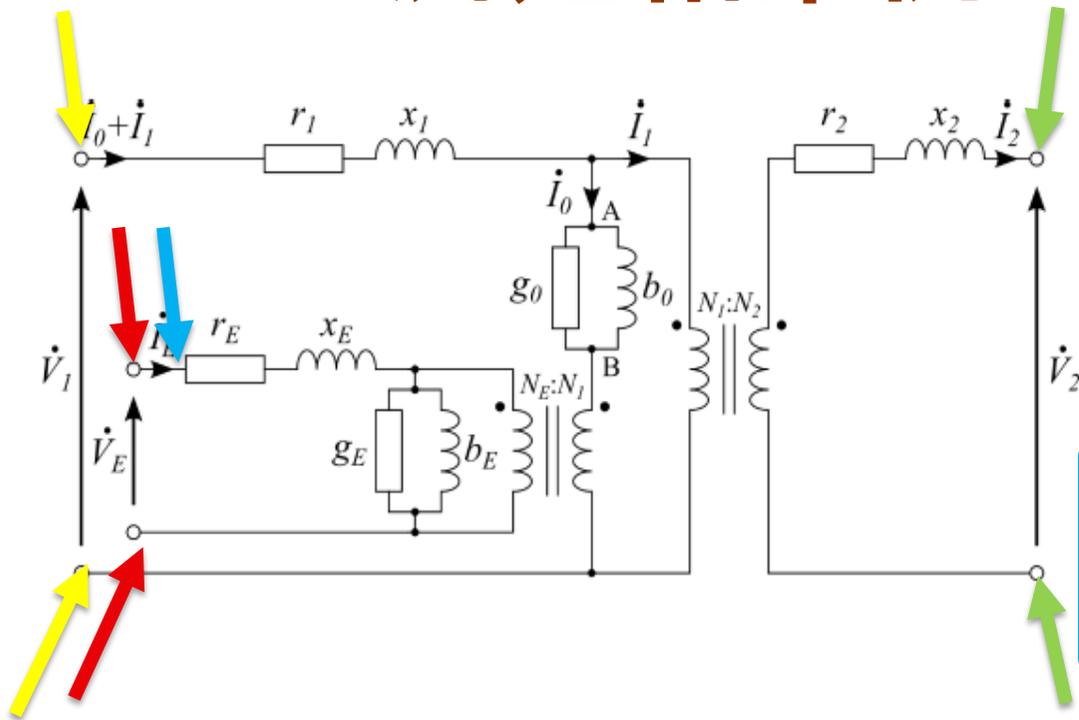
(b)改良後の励磁分離形変圧器

図 励磁分離形変圧器

表 巻線パラメータ

一次巻線 巻数 N_1 [回]	11
二次巻線 巻数 N_2 [回]	55
励磁巻線 巻数 N_E [回]	314
一次巻線(より線) 線径 ϕd_1 [mm]	2.80
二次巻線(より線) 線径 ϕd_2 [mm]	1.28
励磁巻線(エナメル線) 線径 ϕd_E [mm]	0.850

測定結果例



Measurement	Parameter	Value
Meas 1	RMS	μ' : 41.54 mV
	RMS	μ' : 40.42 mV
Meas 2	Frequency	μ' : 136.3 kHz
	Frequency	μ' : 25.37 kHz
Meas 4	RMS	μ' : 358.9 mA
	RMS	μ' : 359.9 mA
Meas 5	RMS	μ' : 177.6 mV
	RMS	μ' : 169.7 mV
Meas 6	RMS	μ' : 87.26 mV
	RMS	μ' : 87.52 mV
Meas 7	Phase	μ' : 57.49 Deg
	Phase	μ' : 69.28 Deg

無負荷

負荷20Ω

想定される用途

- 本技術を採用すると、別途励磁電源は必要となるが、鉄心の大幅な削減による軽量化、小型化が実現できる。
- 鉄心レスにより鉄損は減少できるが、励磁損が増えることにより変換効率の上で大きなアドバンテージとなる可能性は低い。
- 本技術の特徴を生かすためには、変圧器の軽量化、小型化が求められる応用例（移動体への搭載など）に適すと考えられる。
- 本技術は主磁束が大きくない、高周波変圧器への応用が更に適すと考えられる。

実用化に向けた課題

- 現在、試作機測定により励磁分離および変圧機能の原理通りの動作は確認済。また変圧器パラメータ同定について、シミュレーションが可能なところまでパラメータ抽出は開発済み。その結果により回路シミュレーションを行っているが、実測値との異差はまだ埋まらぬ点が未解決である。
- 今後、パラメータ同定について実験データを取得し、制御に適用していく場合の条件設定を行っていく。

実用化に向けた課題

- 実用化に向けて、特性向上のための設計が必要。そのためにシミュレーションによる特性算出精度を向上することが必要。
- これまでの試作機実測等により、励磁コイルおよび一次・二次コイル間に十分な強磁性体が存在する場合、励磁のための電源が不要（負荷電源で代用可）の可能性が示唆された。これが実証できれば更にシステム全体の軽量化、簡易化が実現できる。

企業への期待

- 未解決のパラメータ同定の精度不足については、新しい測定法を含め、電気機器製造メーカーのノウハウにより克服できると考えている。
- 変圧器、周辺機器、変圧器部品製造の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、新しい省エネ機器や再生可能エネルギーシステムなど高周波を利用する製品、小型軽量化が必要な移動体での変圧器応用を開発中の企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は新原理（励磁分離形）による変圧器であるため、励磁部の分離と別設計が可能。また鉄心レスによる小型軽量化が実現できれば、これまででは実現できなかった応用例への適用など、新しいシステムへの導入などを考える企業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

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 変圧器、変圧装置及び制御方法
- 出願番号 : PCT/JP2024/002273
- 出願人 : 学校法人常翔学園
- 発明者 : 森實俊充、岩井康洋

お問い合わせ先

大阪工業大学
学長室 研究支援社会連携推進課

T E L 06-6954-4140
e-mail oit.kenkyu@josho.ac.jp