

# 推力リップルをゼロにする ハルバツハ界磁型リニアモータ

工学院大学 工学部 電気電子工学科  
教授 森下 明平

2022年12月1日

## 従来技術とその問題点

- NS配列型磁石可動式リニアモータでは、可動子全長に渡ってコイルに鎖交する磁束密度分布の空間高調波で推力リップルの発生が不可避。
- NS配列をハルバッハ界磁に変更しても可動子両端部の磁束密度分布に高調波が含まれ推力リップルが発生。

## 従来技術とその問題点

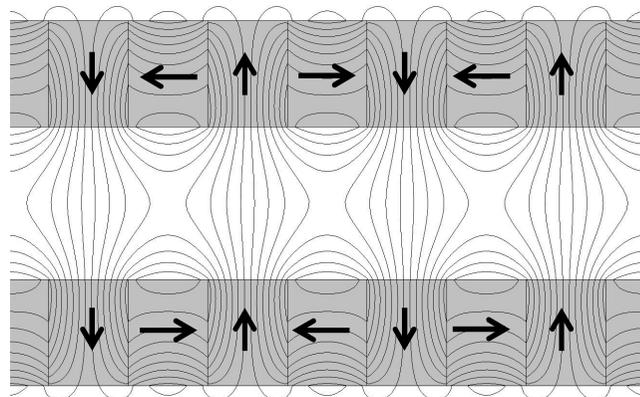
ハルバッハ界磁を用いた推力リップルのないモータも既に存在し、磁場解析によるパラメータ最適化法で設計されるが、個別の機器ごとに形状や各部寸法の最適化計算が必要であったり、寸法変更などで最適化計算のやり直しが発生するため、理論的に推力リップル率をゼロ(1%以下)にできる保障がなく、数値計算の範囲で推力リップルを最小化していた。

## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 磁石可動型リニアモータの推力リップルをゼロにするハルバッハ界磁の条件設定に成功。
- 非常に単純な条件設定なので、構造、機構が簡単でほとんどすべての磁石可動型リニアモータに適用可能。
- 本技術の適用により、**長ストローク**で推力リップルのないリニアモータが実現。

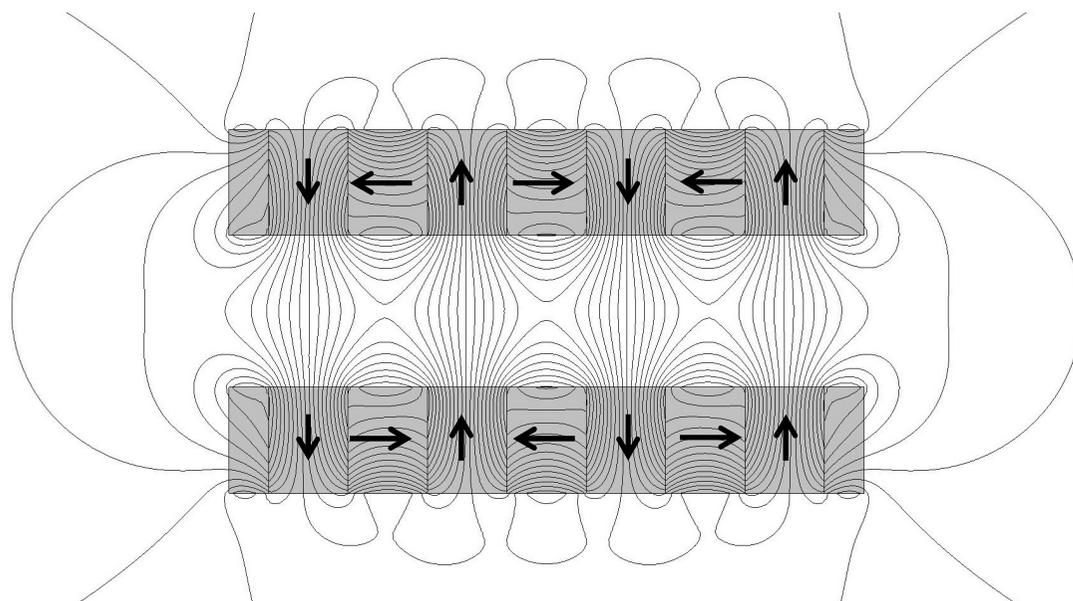
# 新技術の概要

- 無限長ハルバツハ界磁の磁束密度分布  
– デュアルハルバツハ界磁の場合



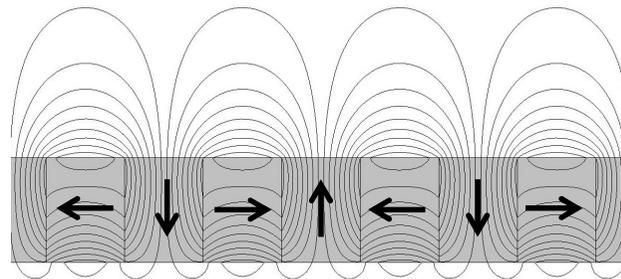
## 新技術の概要

- 有限長ハルバツハ界磁の磁束密度分布  
– デュアルハルバツハ界磁の場合



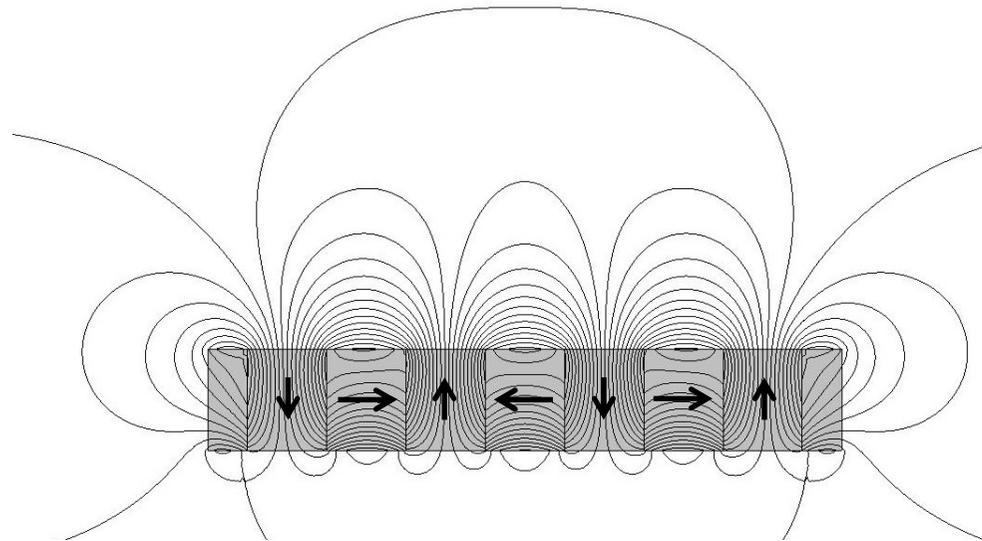
# 新技術の概要

- 無限長ハルバッハ界磁の磁束密度分布  
– シングルハルバッハ界磁の場合



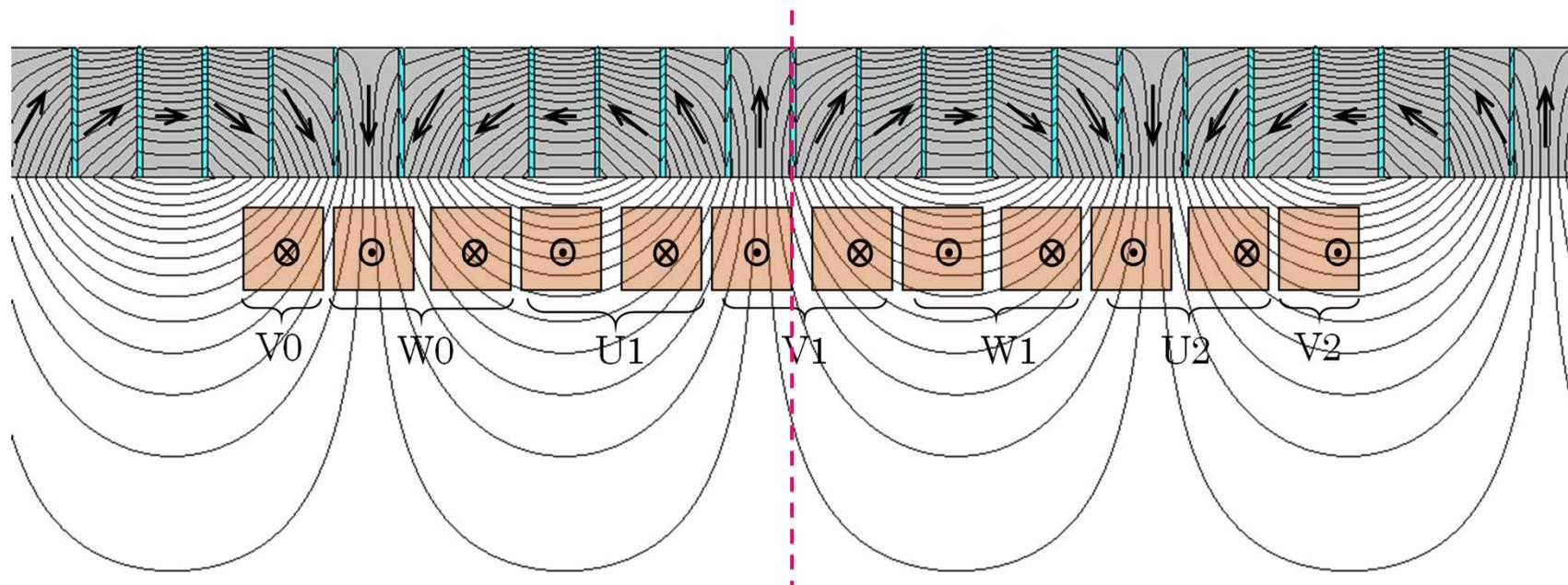
# 新技術の概要

- 有限長ハルバッハ界磁の磁束密度分布  
– シングルハルバッハ界磁の場合



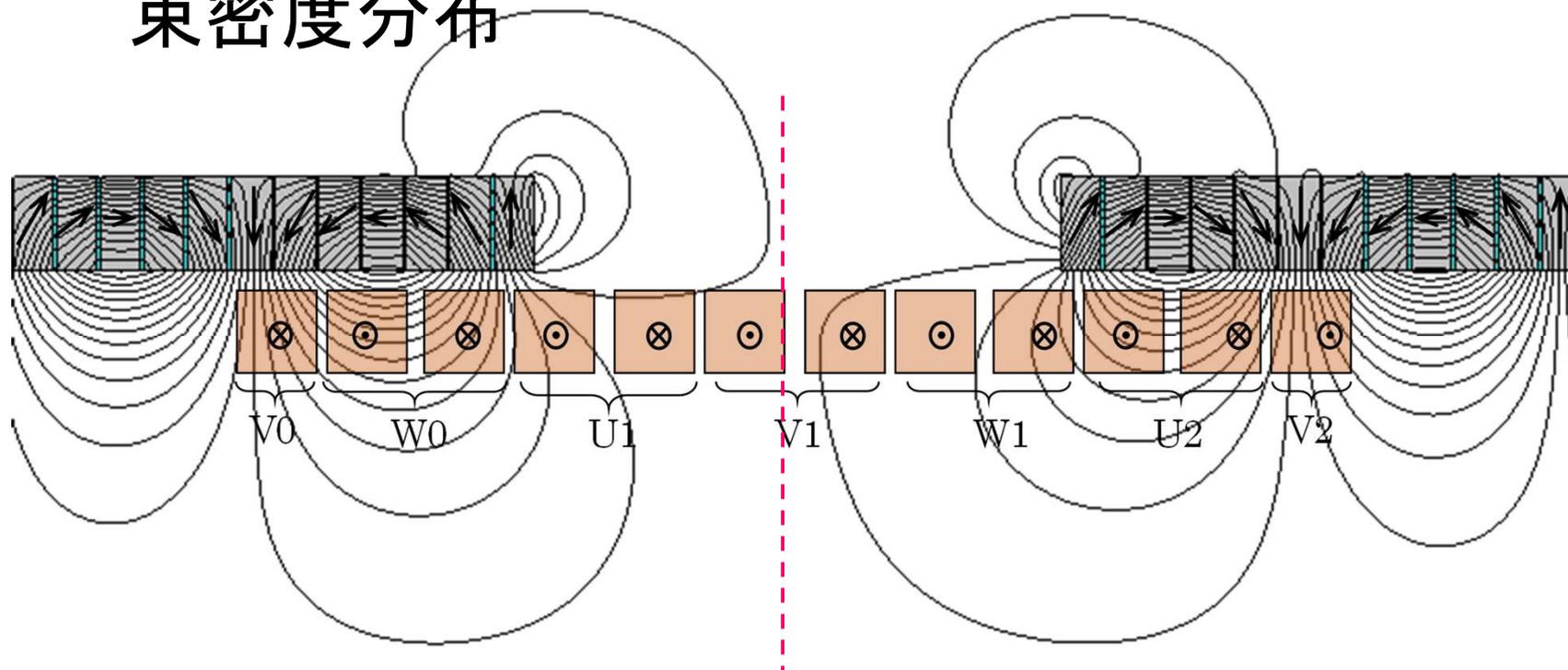
## 新技術の概要

- 無限長ハルバツハ界磁の磁束密度分布
  - 中央で切断した場合
    - 内側両端部の重ね合わせ = 無限長中央部の磁束密度分布



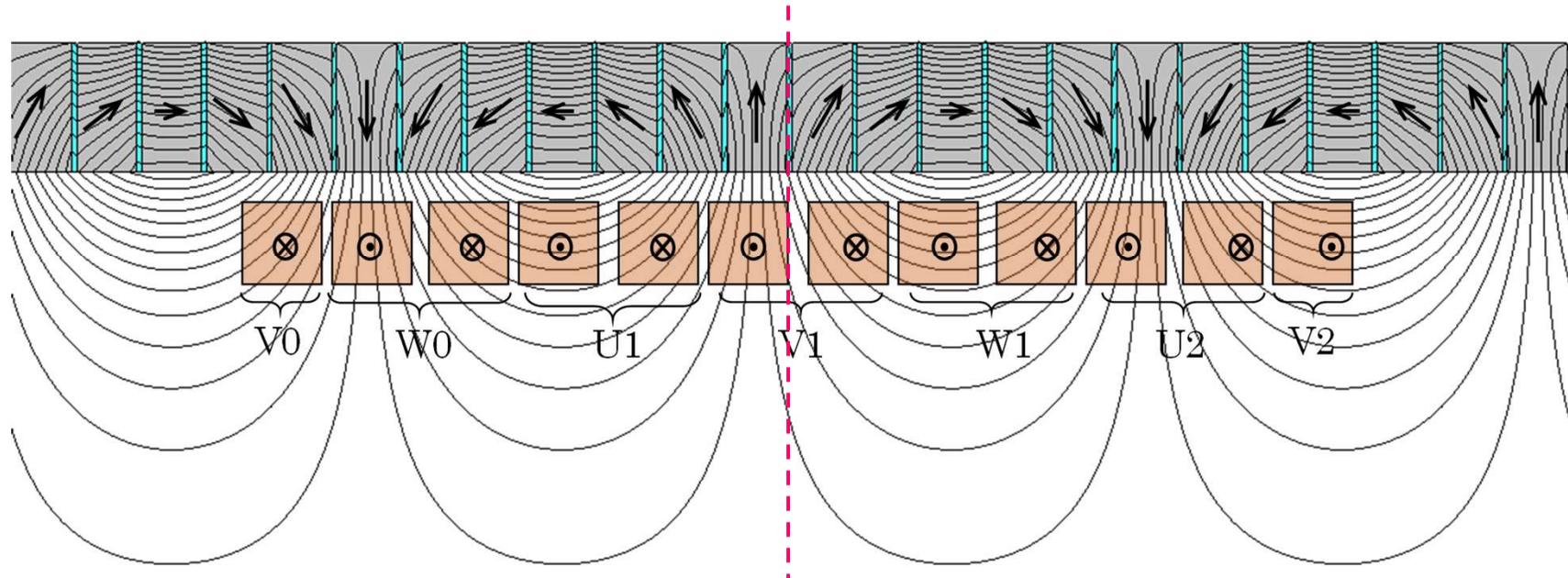
## 新技術の概要

- 無限長ハルバッハ界磁の磁束密度分布
  - 中央で切断した場合
    - 内側両端部の重ね合わせ = 無限長中央部の磁束密度分布



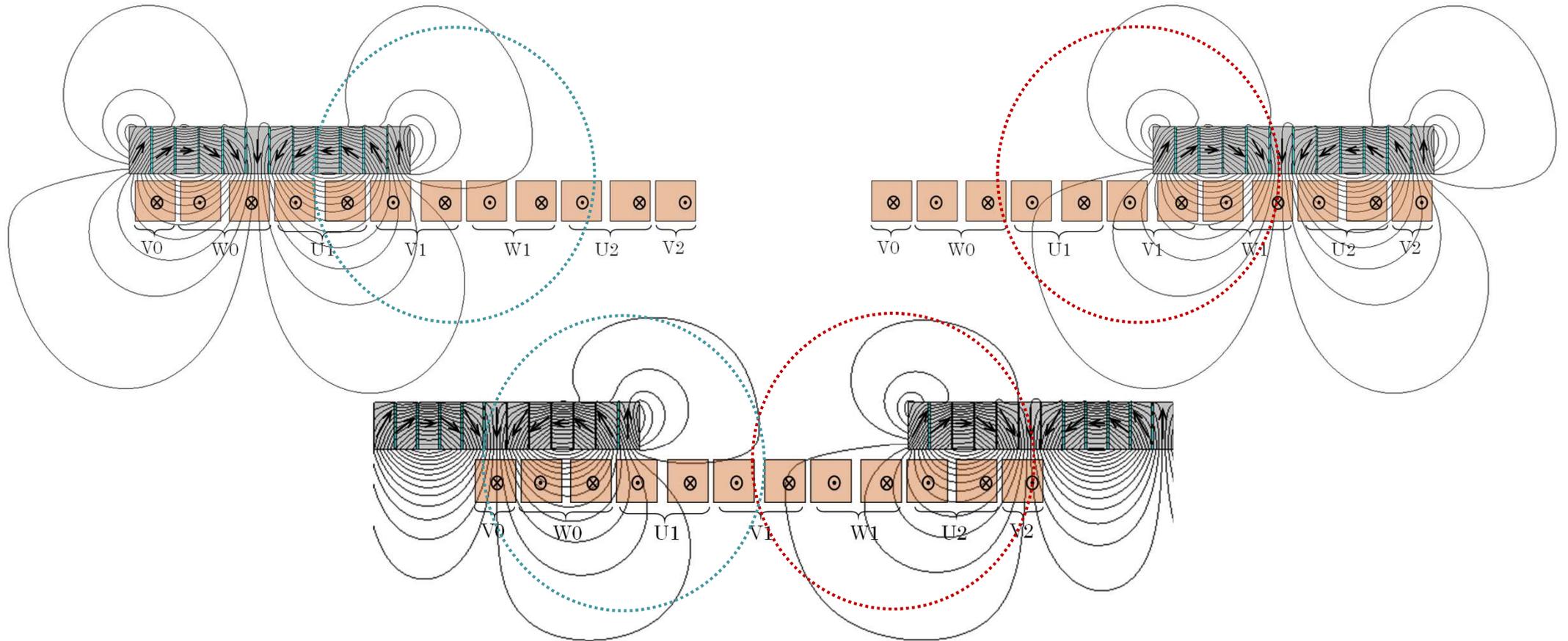
# 新技術の概要

- 無限長ハルバツハ界磁の磁束密度分布  
– 中央で切断した場合
  - 内側両端部の重ね合わせ = 無限長中央部の磁束密度分布



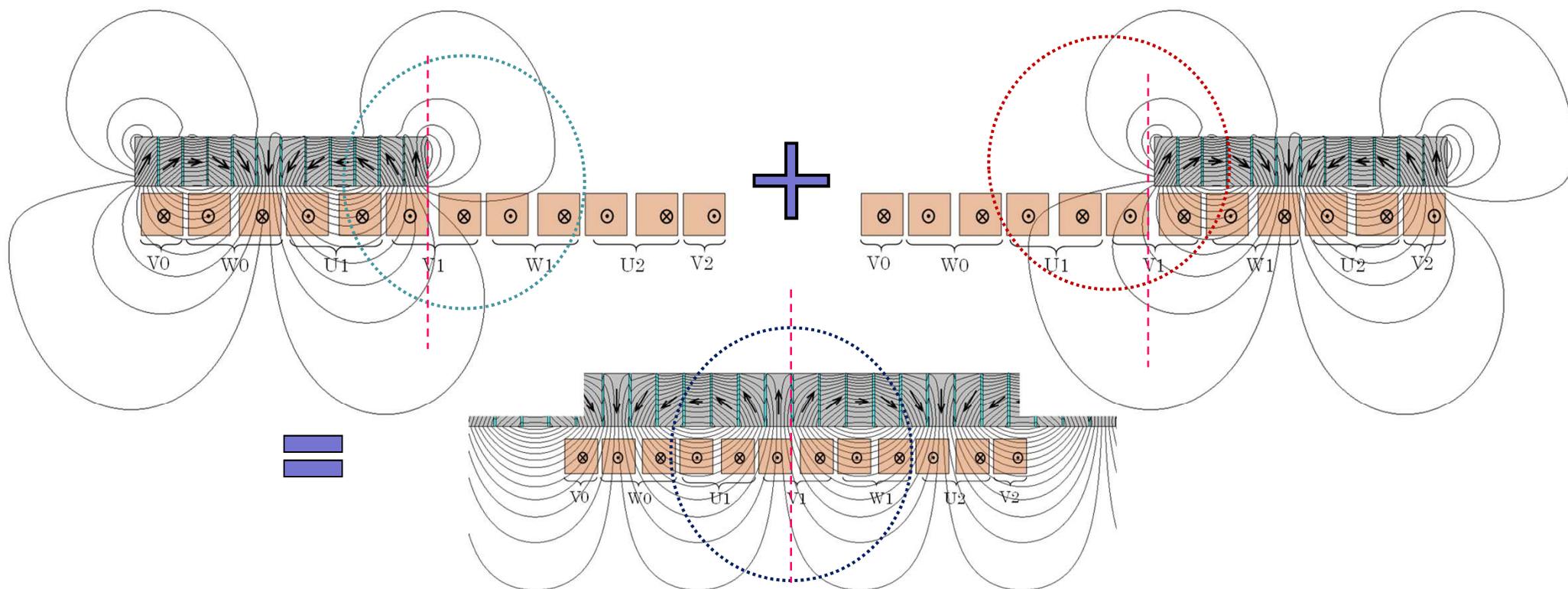
# 新技術の概要

- 無限長ハルバツハ界磁の磁束密度分布  
– 1周期長と分割無限長の端部の磁束密度分布



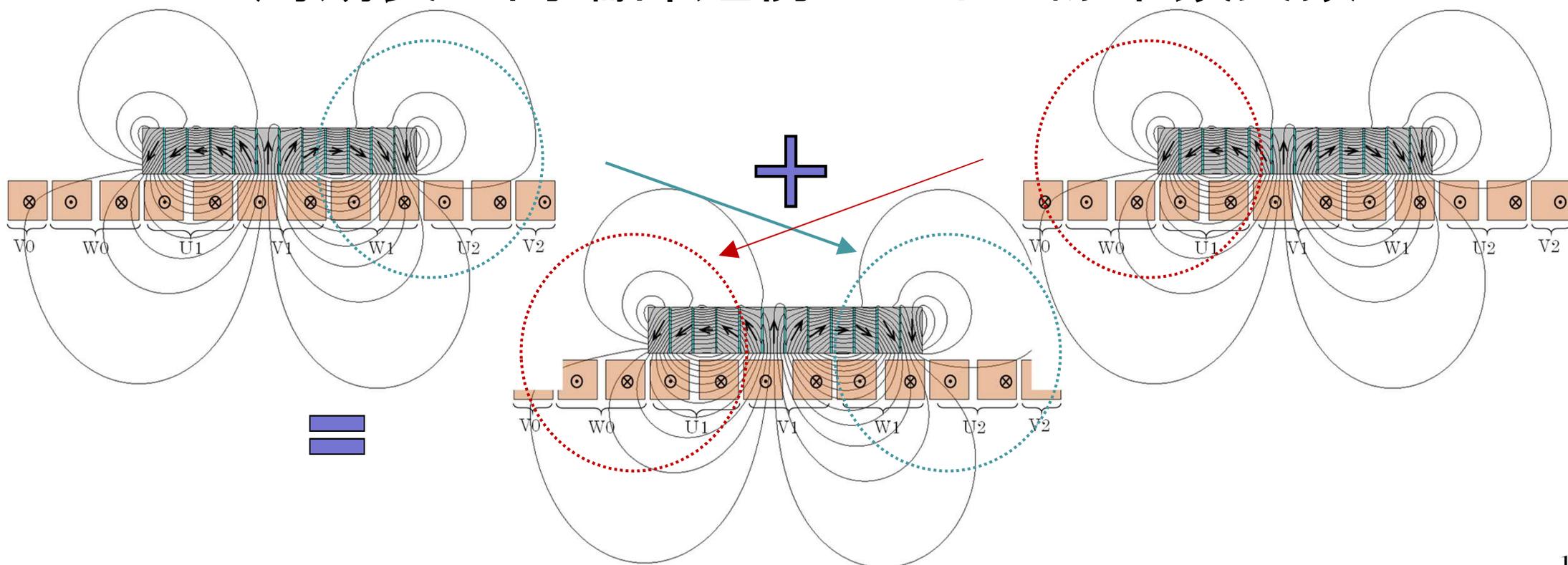
# 新技術の概要

- 各相コイルの鎖交磁束の総和
  - 1周期長の端部近傍のコイル磁束鎖交数総和 = 無限長切断前のコイル磁束鎖交数



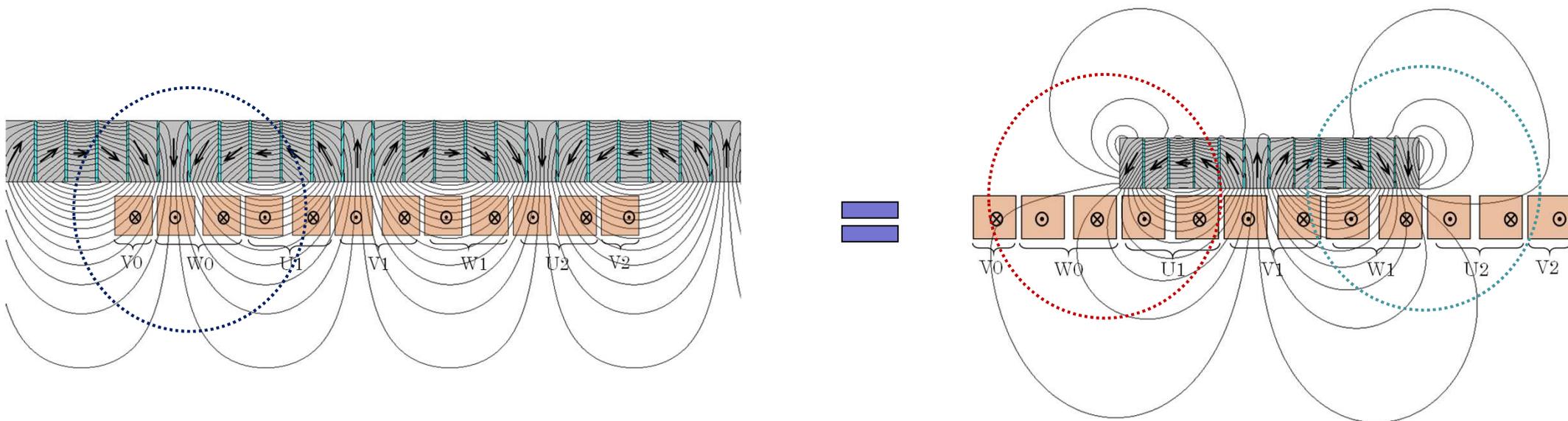
# 新技術の概要

- 各相コイルの鎖交磁束の総和
  - 1周期長の端部近傍のコイル磁束鎖交数総和 = 1周期長の両端部近傍のコイル磁束鎖交数



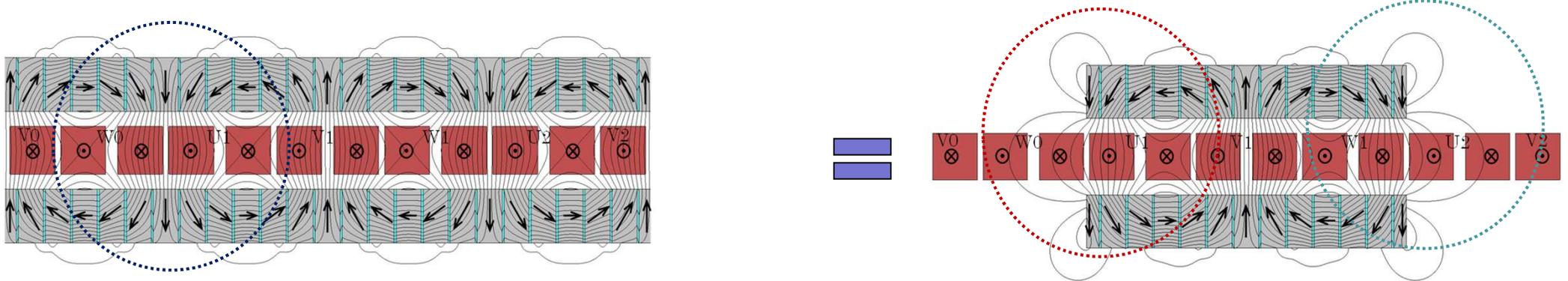
# 新技術の概要

- 各相コイルの鎖交磁束の総和
  - 1周期長の端部近傍のコイル磁束鎖交数総和 = 無限長切断前1周期分のコイル磁束鎖交数



# 新技術の概要

- デュアルハルバツハでも同様に成立
  - 1周期長の端部近傍のコイル磁束鎖交数総和 = 無限長切断前1周期分のコイル磁束鎖交数

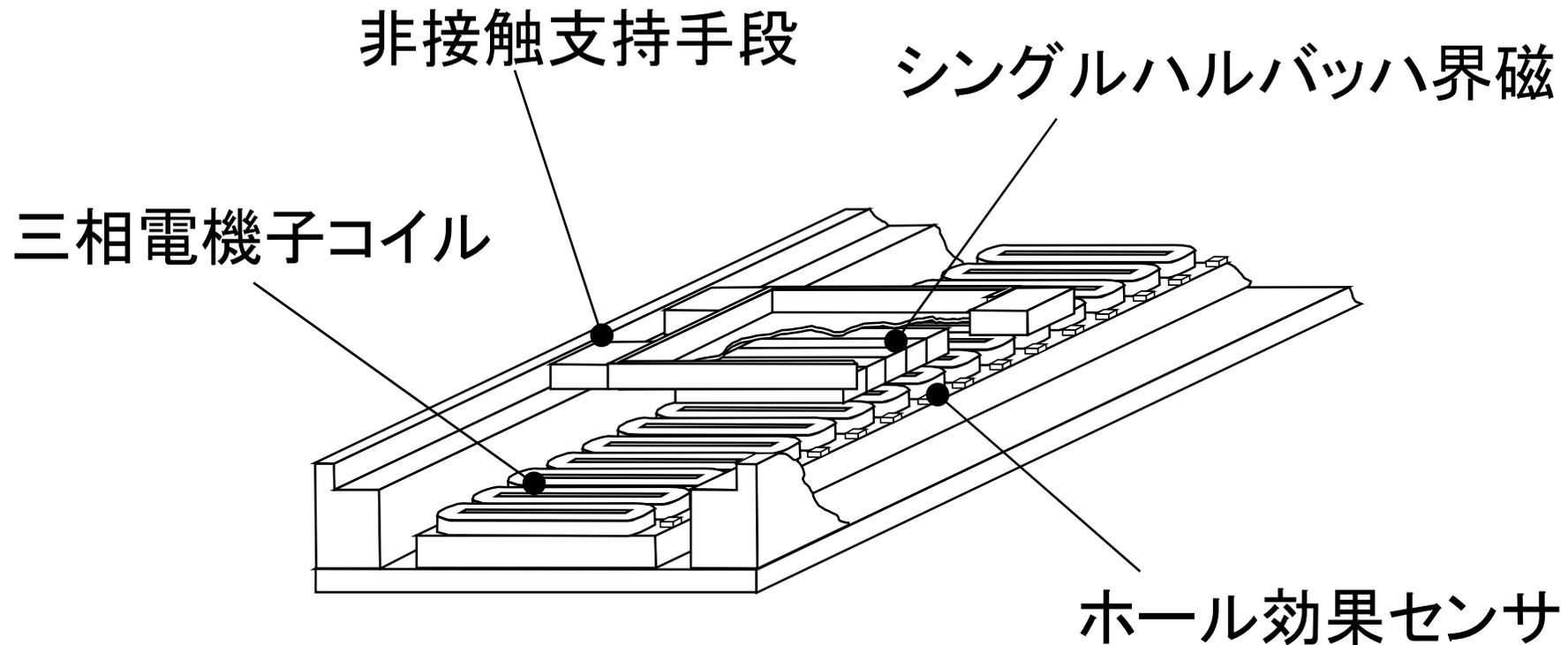


## 新技術の概要

- 周期の  $n$  倍長の有限長ハルバツハ界磁可動子に起因する各相コイルの鎖交磁束の総和
- ||
- 無限長ハルバツハ界磁における同じ長さの範囲の各相コイルの鎖交磁束の総和
- 1周期長であれば無限長ハルバツハ界磁のどの部分を切り出してもよい。

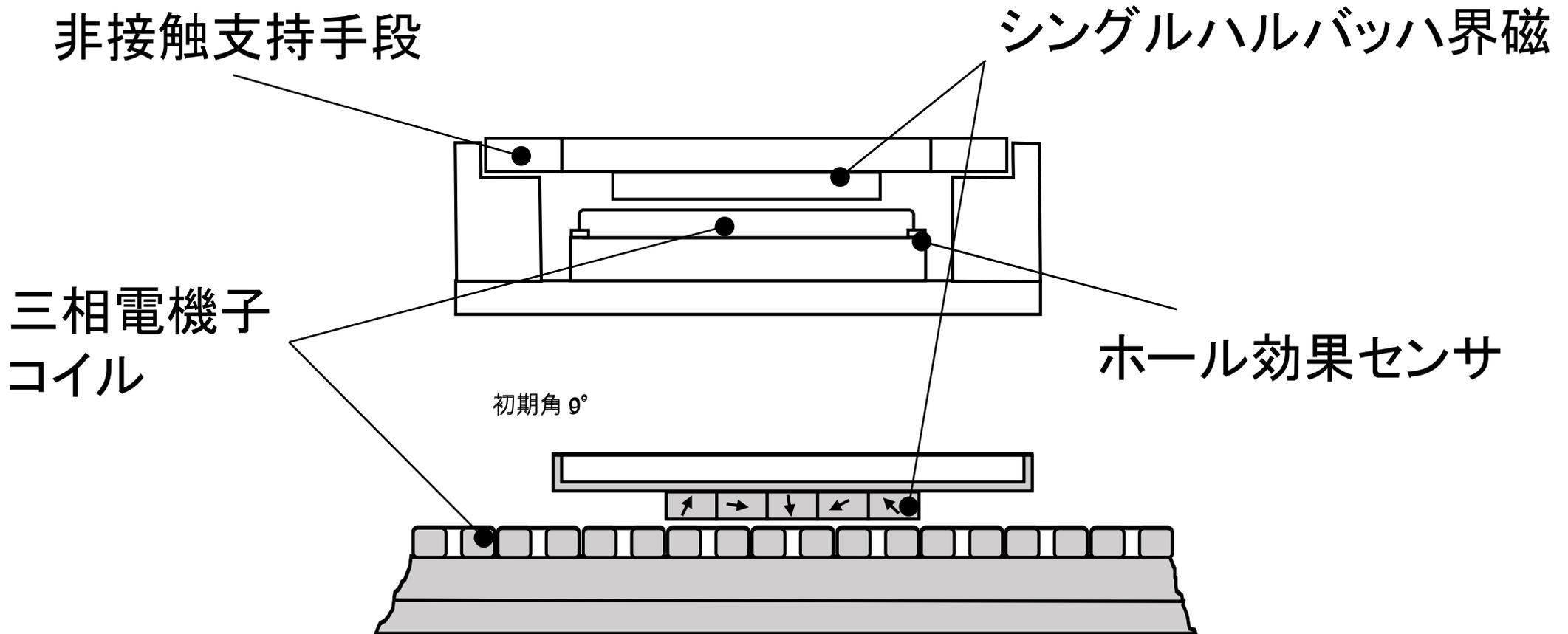
# 新技術の実施例

- シングルハルバツハ界磁可動子



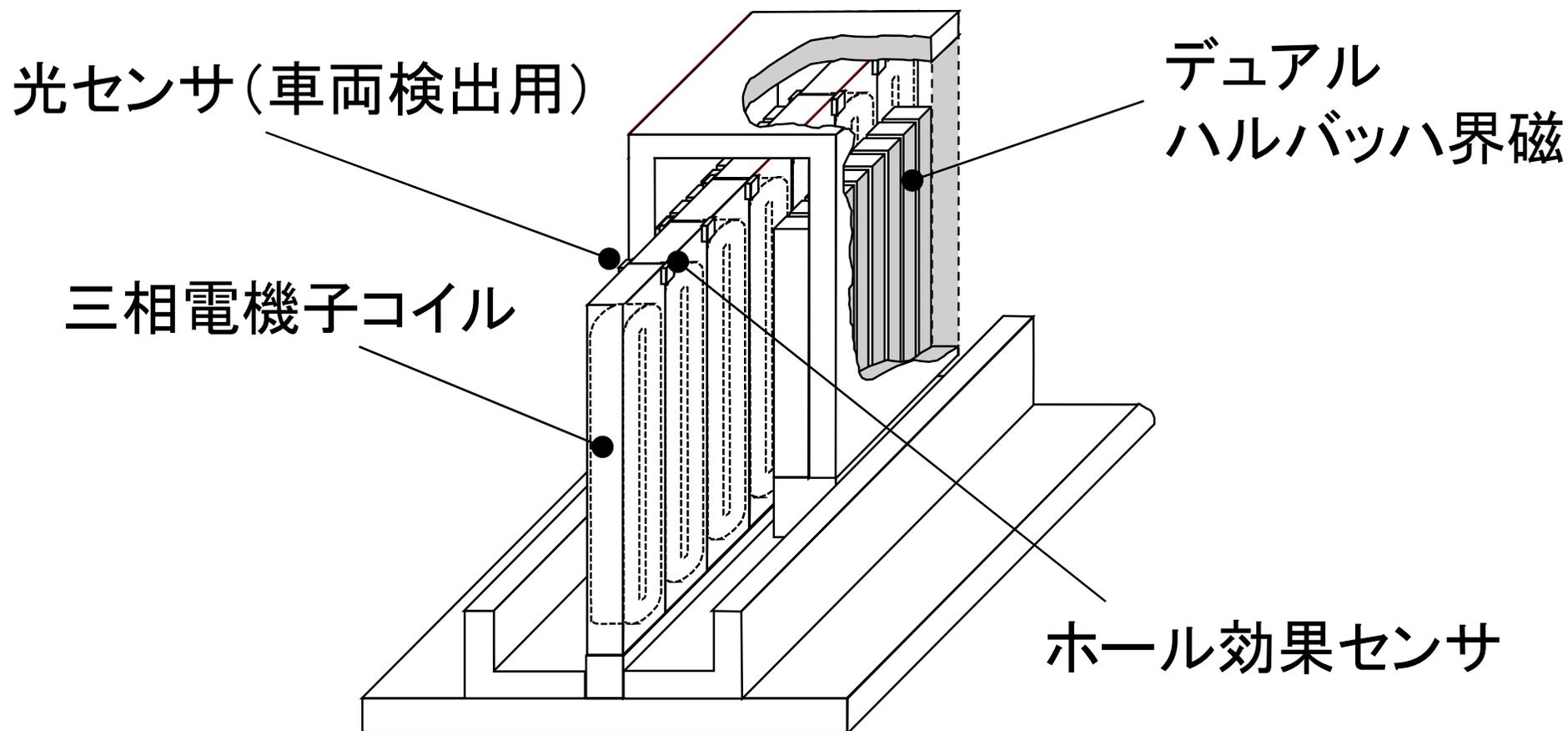
# 新技術の実施例

## ・ シングルハルバッハ界磁可動子



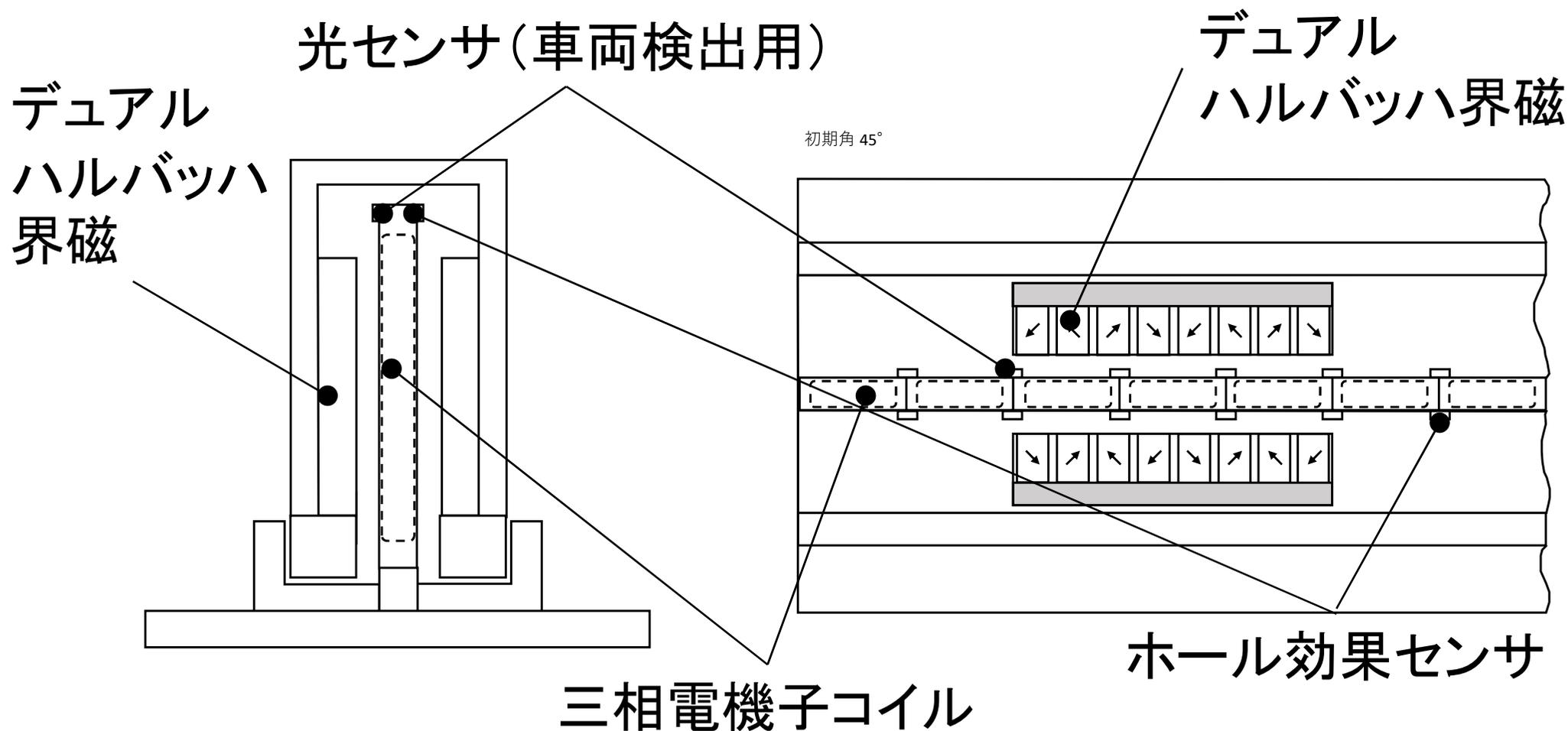
# 新技術の実施例

- デュアルハルバツハ界磁可動子



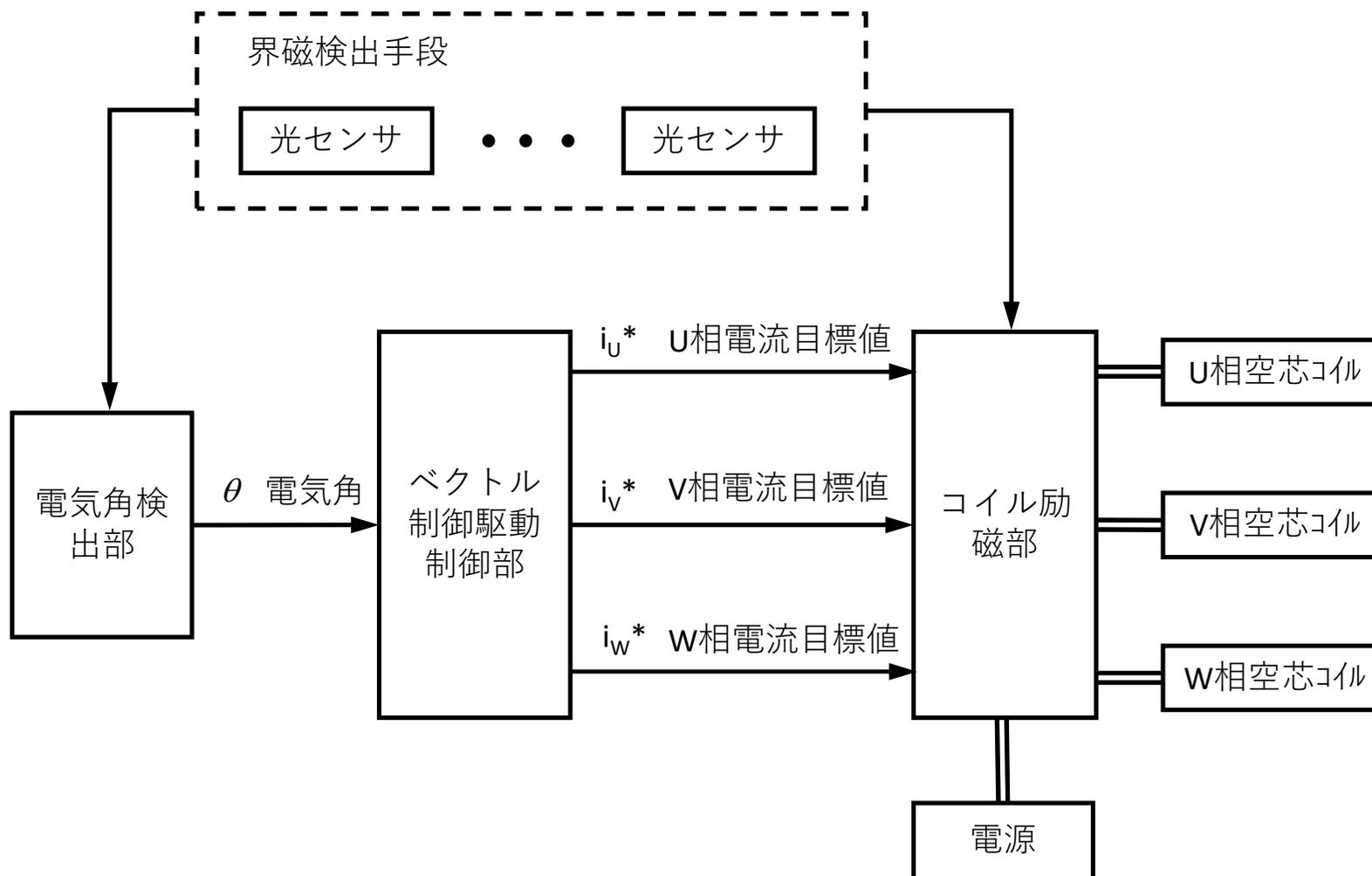
# 新技術の実施例

- デュアルハルバツハ界磁可動子



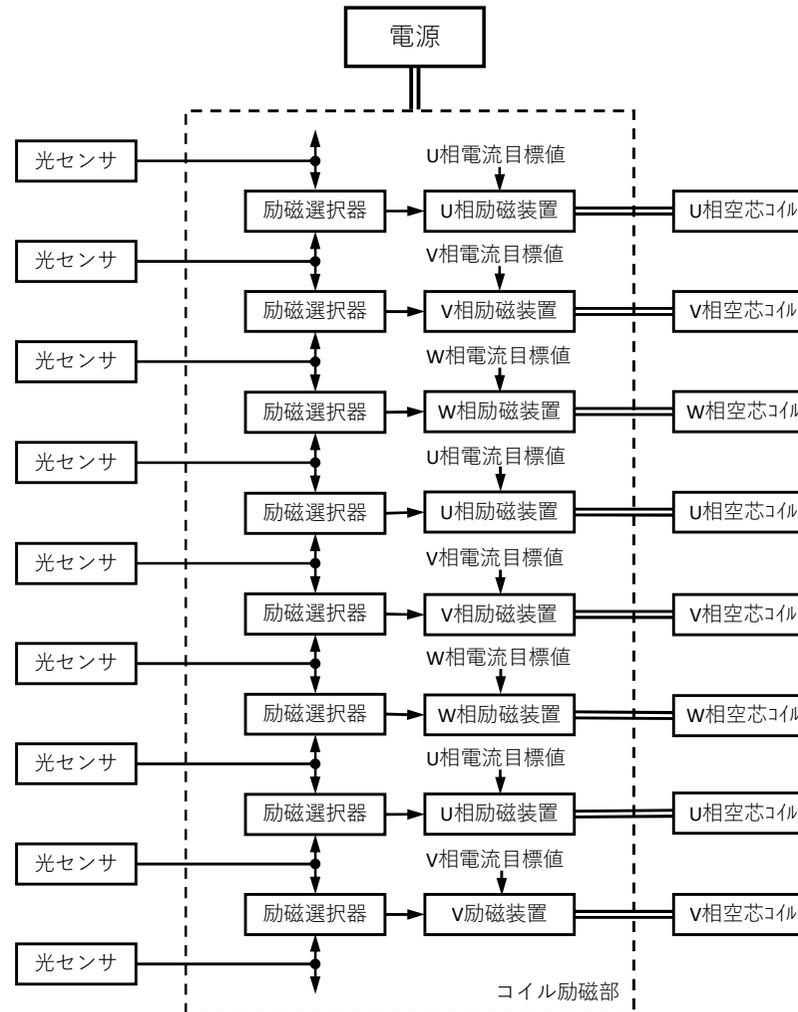
# 新技術の実施例

- 制御装置



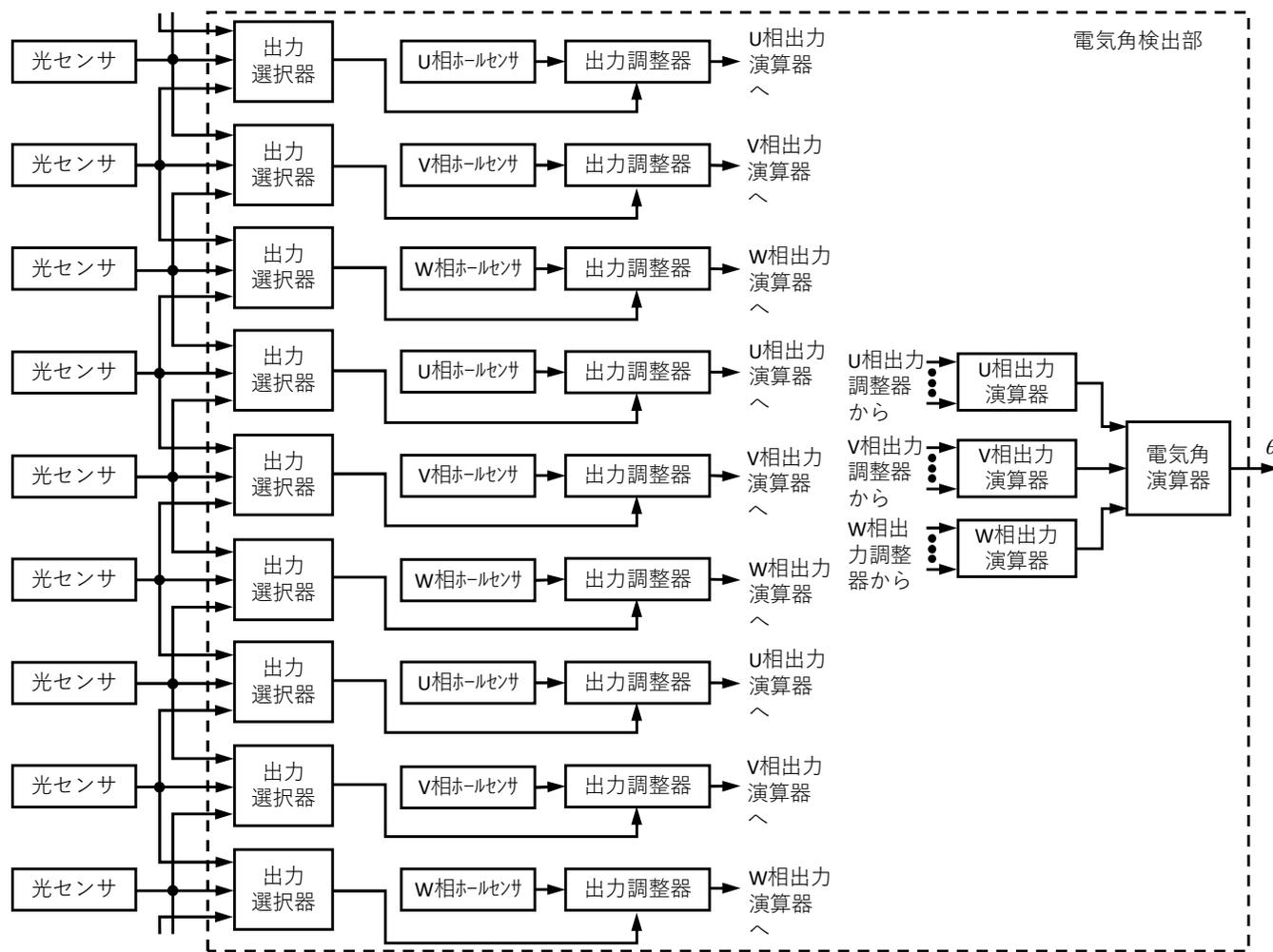
# 新技術の実施例

- 制御装置



# 新技術の実施例

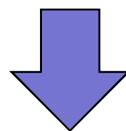
## ● 制御装置



# 新技術の実施例

- 実施上の特徴

- ハルバッハ配列界磁では漏れ磁束も正弦波状となるので、ホール効果センサで界磁磁極の正確な位置が検出できる。
- 三相配置したホールセンサ出力の各相毎の和は正弦波状になる。



- ベクトル制御が適用可能で長ストロークを効率よく運転できる。

## 新技術の要件

- ハルバッハ界磁を電気角の整数倍とする。
- 電機子を空芯コイルで構成し、少なくともハルバッハ界磁近傍の各相コイルに同じ電流を通电する。

## 想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、長ストロークのスピーカや加振機に適用することでゼロ推力リップルのメリットが大きい。
- 上記以外に、余計な振動がないので、省エネや長寿命化の効果が期待できる。
- また、達成されたゼロ推力リップルに着目すると、振動を嫌う搬送システムといった分野や用途に展開することも可能と思われる。

## 実用化に向けた課題

- 現在、空気浮上の加振機について実証試験機を製作中。実証試験はこれからである。
- 今後、実験データを取得し、ゼロ推カリップルを実証する。
- 実用化に向けて、ゼロ推カリップル率の測定精度を0.1%以下まで向上できるように測定技術を確立する必要がある。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 電磁装置
- 出願番号 : 特願2022-87258
- 出願人 : 工学院大学
- 発明者 : 森下明平

# お問い合わせ先

**工学院大学**  
**総合企画部 産学連携室**

**TEL 042-628 - 4928**

**FAX 042-626 - 6726**

**e-mail [sangaku@sc.kogakuin.ac.jp](mailto:sangaku@sc.kogakuin.ac.jp)**