



HOKKAIDO
UNIVERSITY

AI技術のモータ設計開発への応用

電気学会全国大会, 3月15日, 2023

五十嵐 一

北海道大学 情報科学研究院 電磁工学研究室



generated by midjourney

A young engineer is designing an electric motor with computer, Japanese,

d 直流分巻電動機の速度制御方法について教えて



直流分巻電動機の速度制御方法には、以下のような方法があります。



1. 電圧制御法

電圧を調整することで、電動機の回転数を制御する方法です。電圧を下げると回転数も下がり、逆に電圧を上げると回転数も上がります。この方法は、回転数を一定に保ちながら負荷を変化させることができるため、一般的には低負荷状態で使用されます。

2. 電流制御法

電流を調整することで、電動機の回転数を制御する方法です。電流を増加させると回転数も上がり、逆に電流を減少させると回転数も下がります。この方法は、高負荷状

Faes, L., et al. (2019). Automated deep learning design for medical image classification by health-care professionals with no coding experience: a feasibility study. *The Lancet Digital Health*, 1(5), e232-e242.

ChatGPT: 自然言語処理

画像診断: パターン認識 (教師あり学習)

<https://bair.berkeley.edu/blog/2020/04/03/laikago/>

ロボット制御: 強化学習

AlphaGO Zero: モンテカルロ木探索+強化学習

モータ設計へのAI・機械学習の応用

AI

自然言語処理

データマイニング

推論

探索

創造

機械学習

最適設計, モンテカルロ木探索

教師あり学習 : 代替モデル

(深層学習, 応答曲面, 回帰木など)

強化学習 : ゲーム, 制御

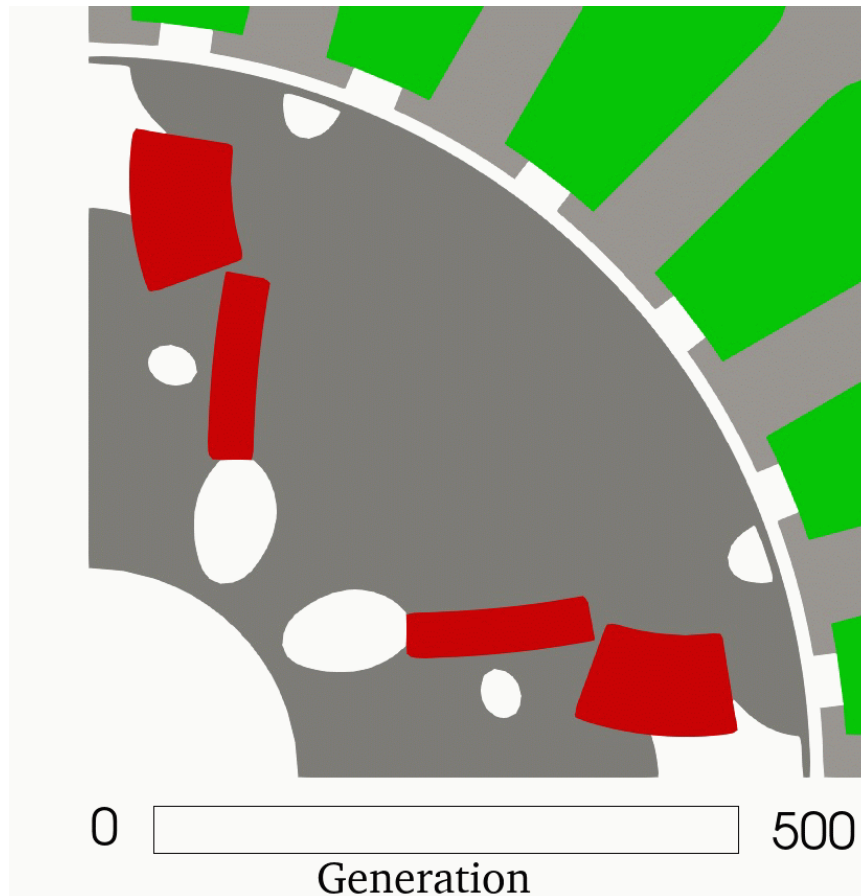
教師なし学習 : 主成分分析, クラスタリング, PINN^{*}

^{*}PINN: Physics Inspired Neural Network

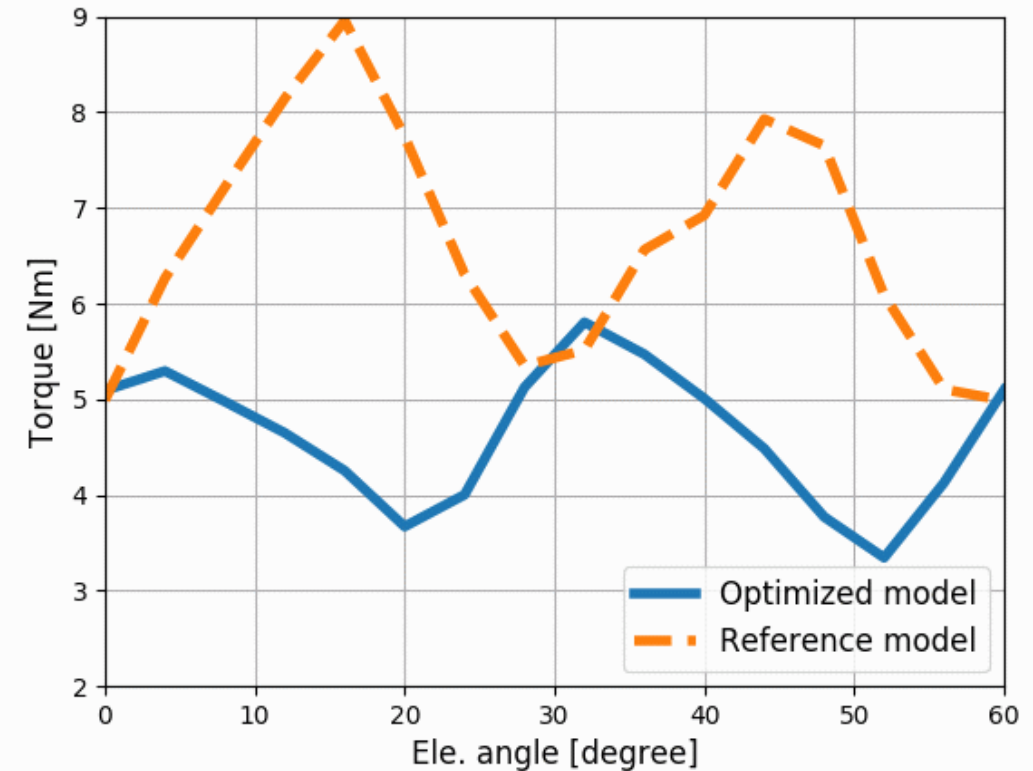
考えられる具体的な応用例

応用例	手 段	技 術
新規構造の探索	トポロジー最適化	探索
最適化の高速化	代替モデル (NN, 深層学習)	教師あり学習
逆設計	代替モデル	教師あり学習
設計補助	代替モデル	教師あり学習
総合設計・自動設計	モンテカルロ木探索 オートエンコーダ	探索 教師あり学習
解析の高速化	モデル次元縮約 (POD) PINN	主成分分析 ニューラルネットワーク

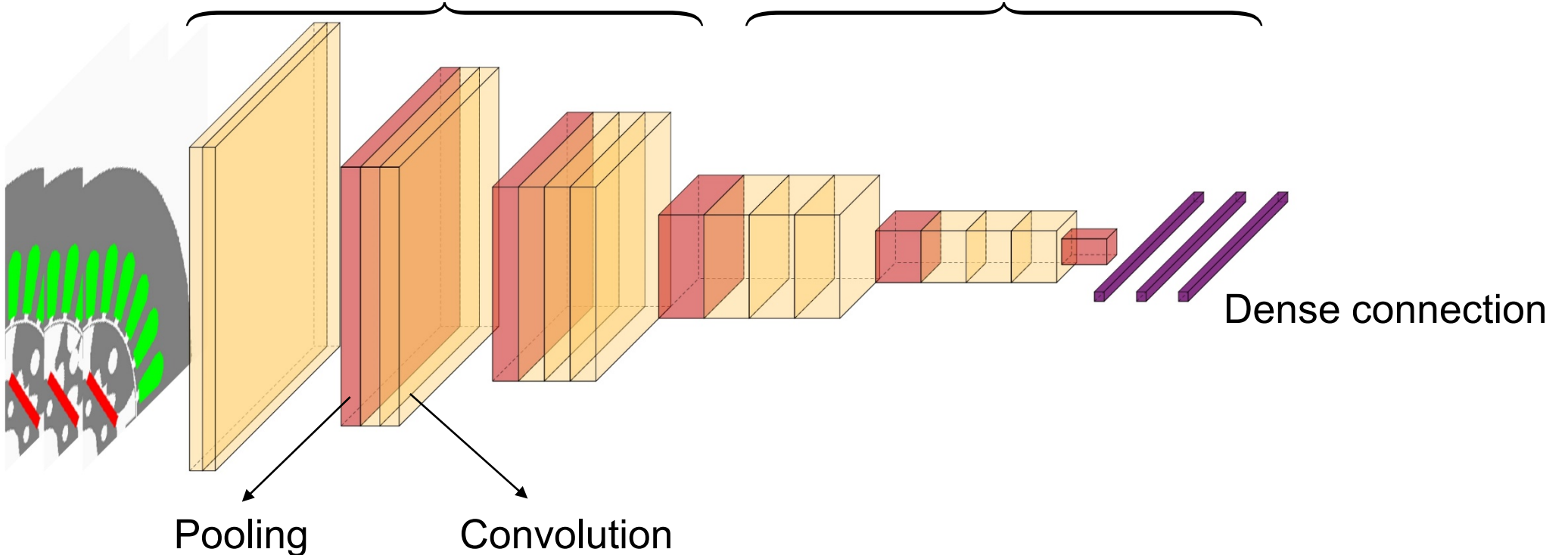
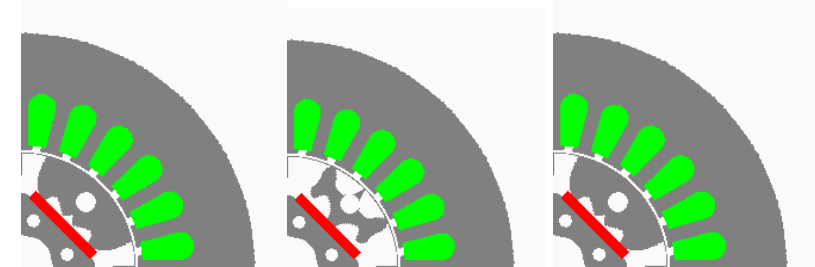
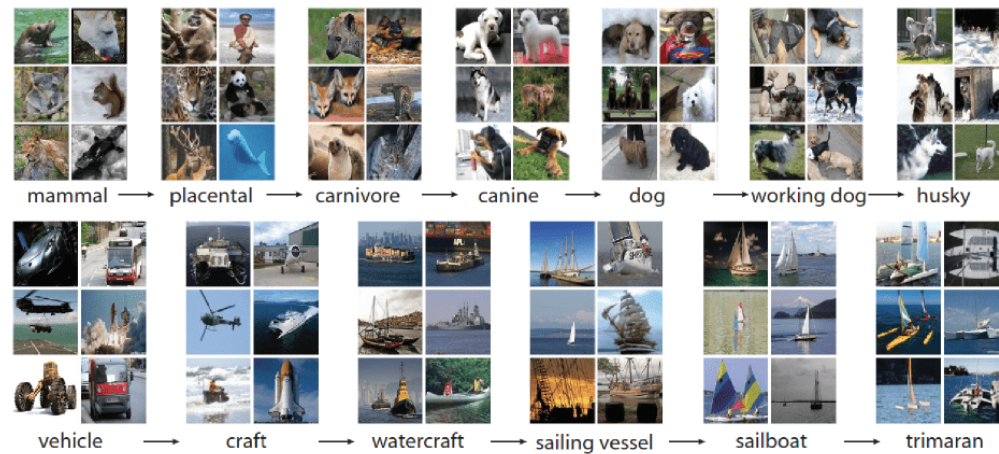
トポロジー最適化：新規構造の探索



Proposed method

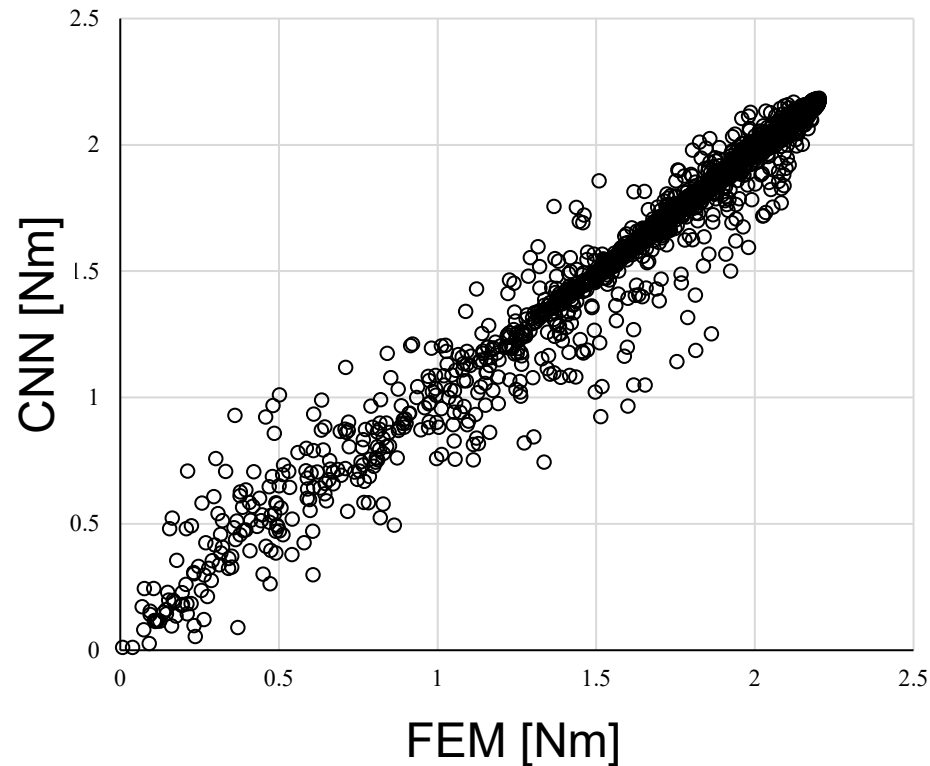


深層学習：最適化の高速化

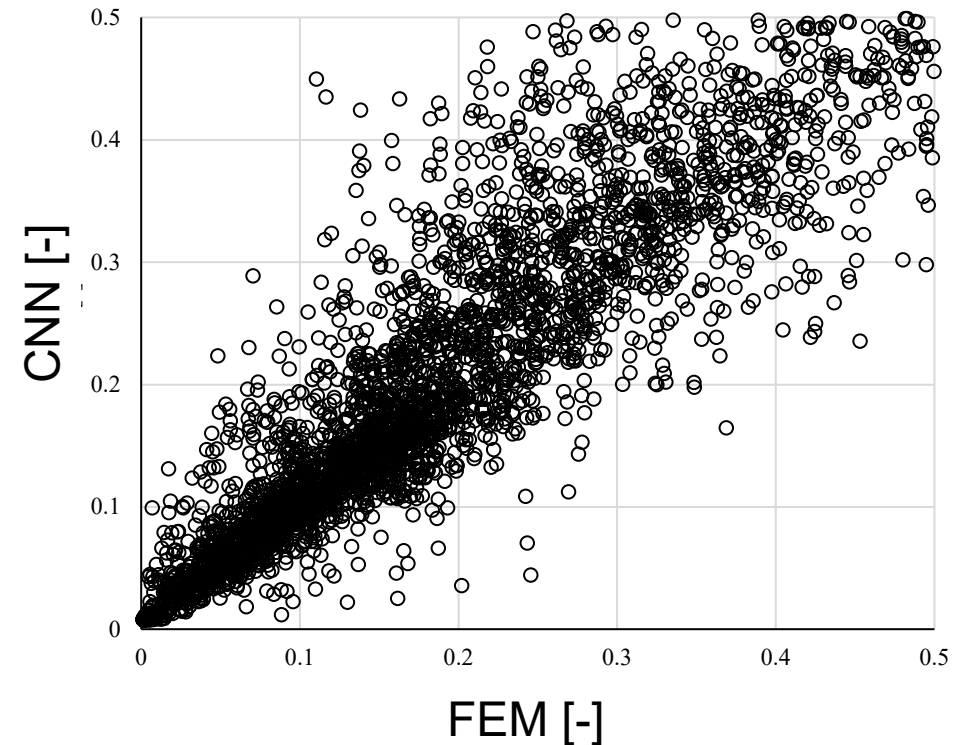


設計応用への課題1

予測が容易な量と難しい量が存在する⇒ミスリード



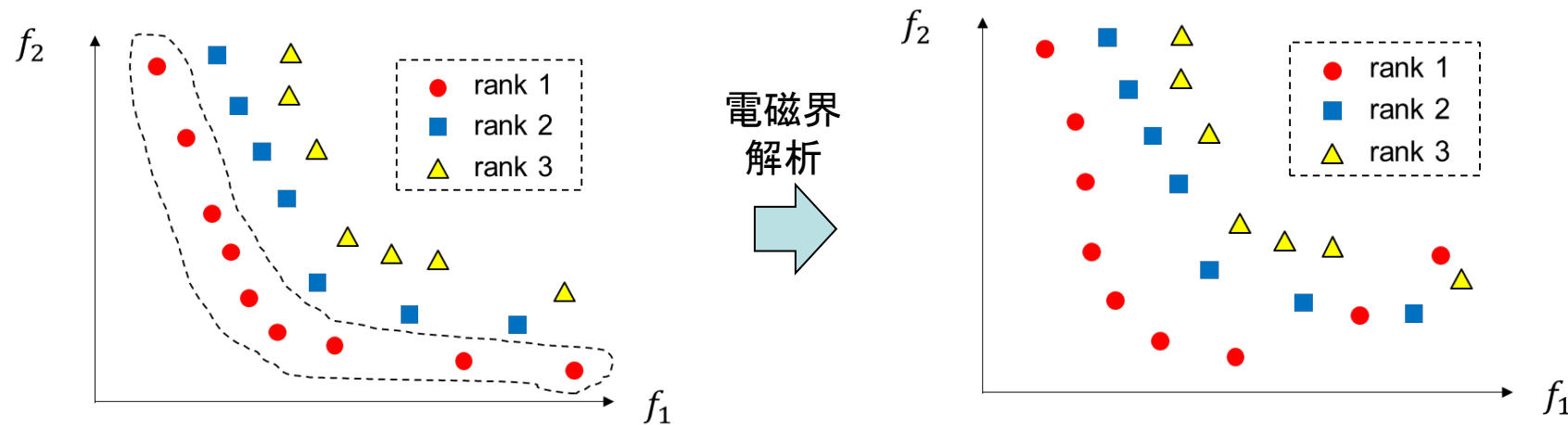
平均トルク ($\rho = 0.998$)



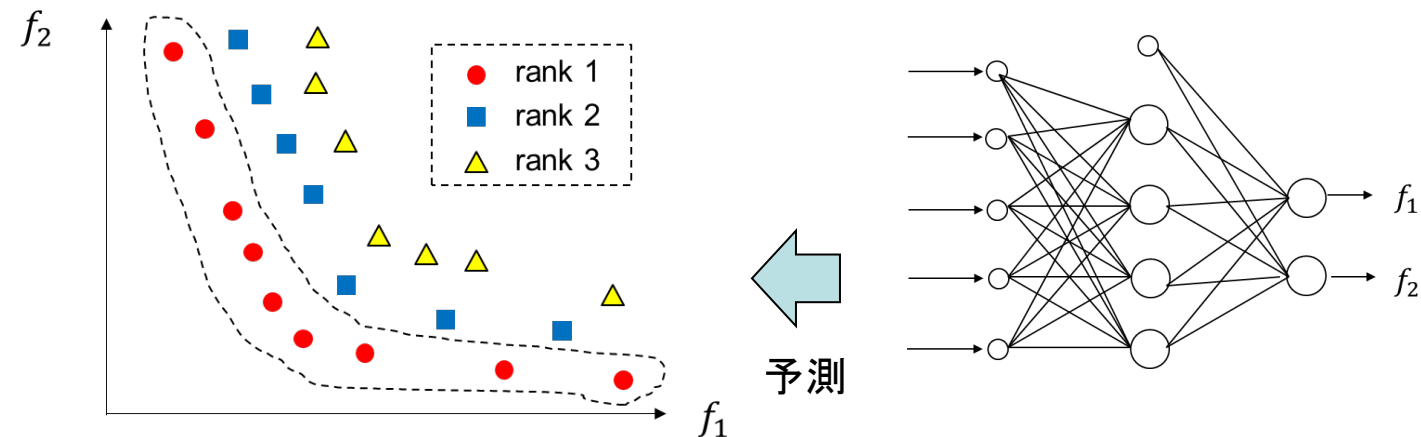
トルクリプル ($\rho = 0.956$)

ミスリードの対策

- (1) 学習データ数を増やす, データ拡張(data augmentation), 構造学習
- (2) 予測精度の向上: バギング
- (3) 予測される特性がよい個体を電磁界解析で再評価



- (4) 適応的な代替モデル(オンライン法)



設計応用への課題2

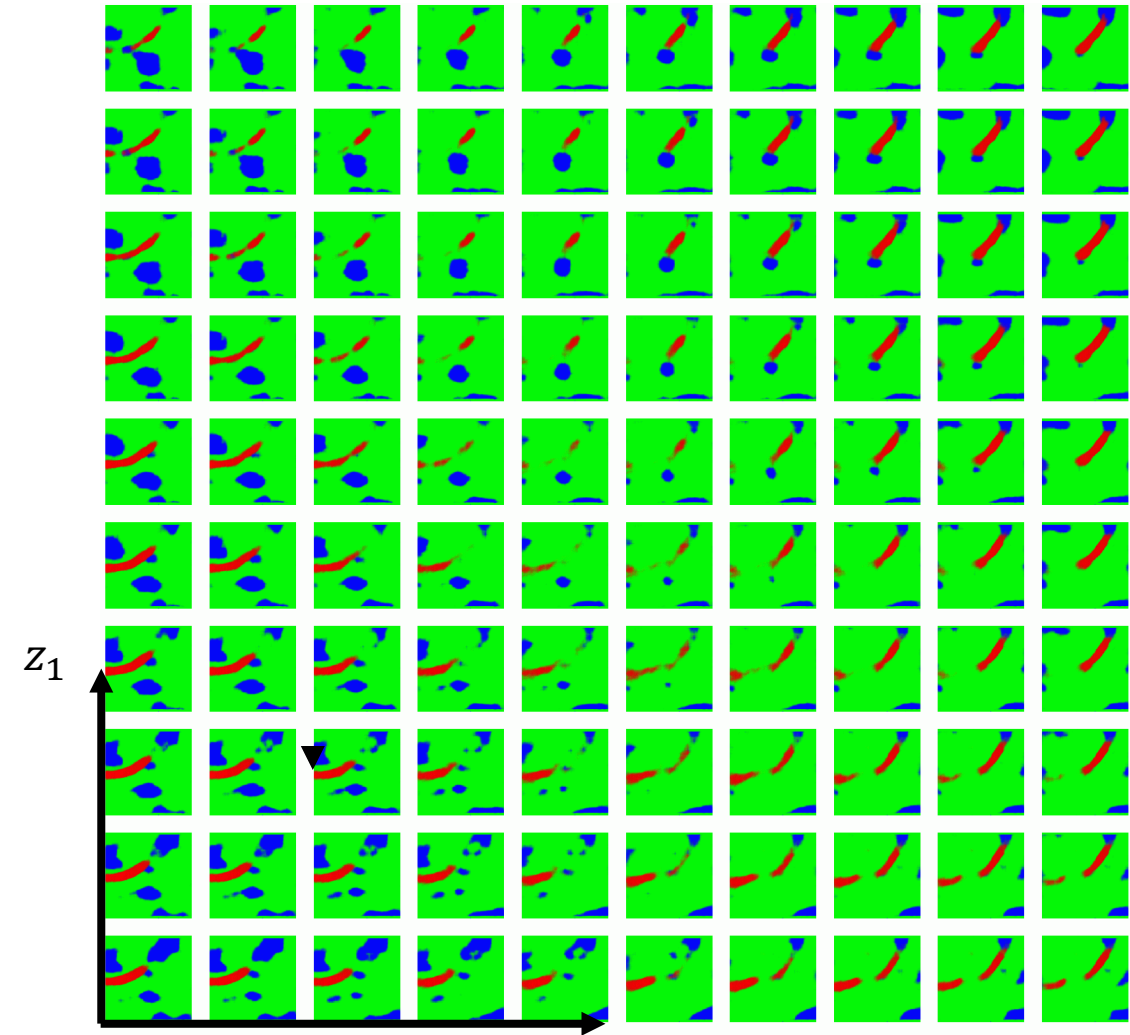
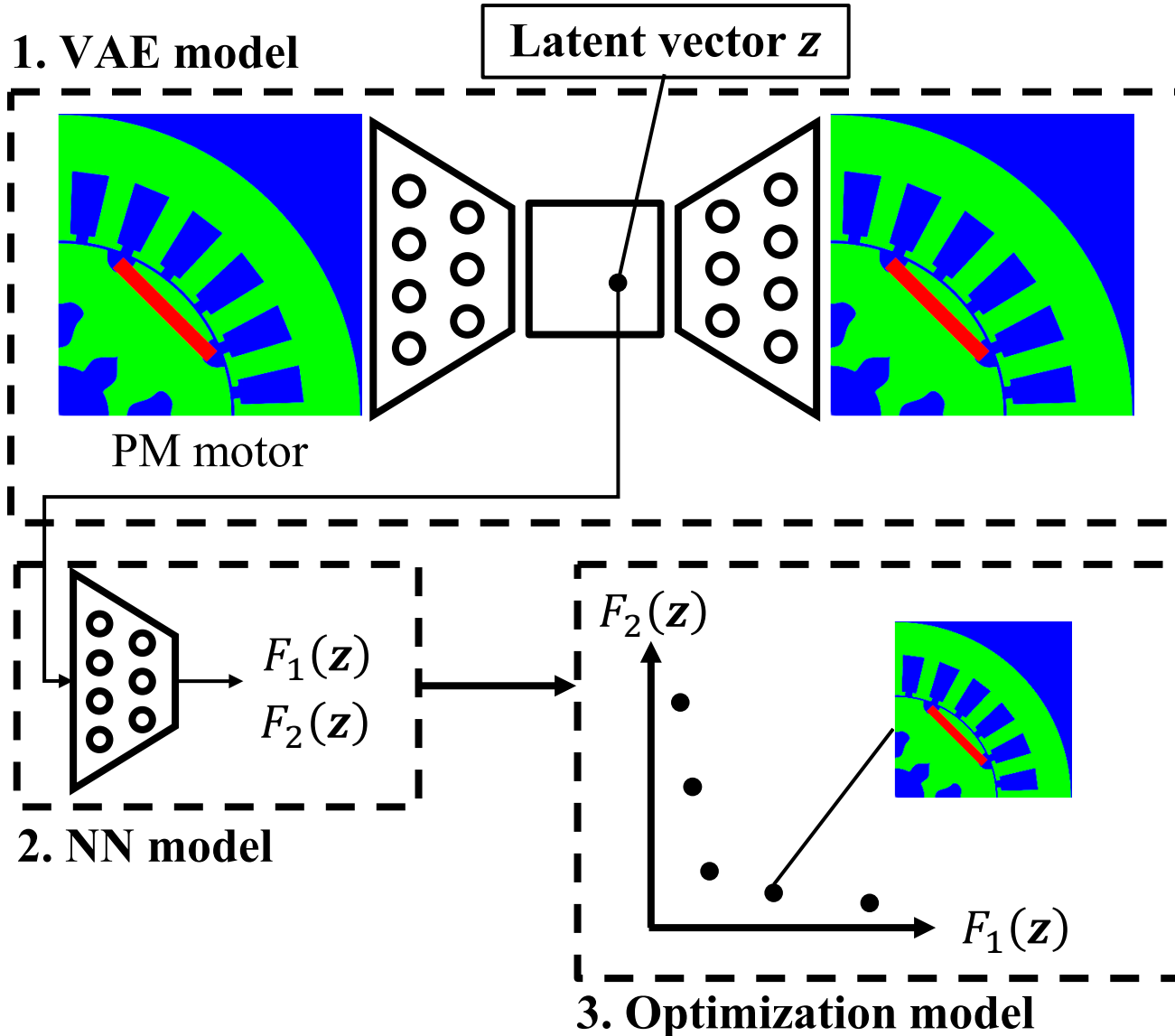
データ構造・汎化・更新

- (1) 学習データには、構造と特性が必要.
- (2) 大量の学習データを解析・実験で構築する必要がある.
- (3) モータには様々な構造がある.

Ramezani, A., Ghiasi, M., Dehghani, M., Niknam, T., Siano, P., & Alhelou, H. H. (2020).
Reduction of ripple toothed torque in the internal permanent magnet electric motor by
creating optimal combination of holes in the rotor surface considering harmonic effects.
IEEE Access, 8, 215107-215124.

体格, タイプ(SPM, IPM, スポーク), 極数, スロット数, 永久磁石配置(I, V, U, WV, Δ...)

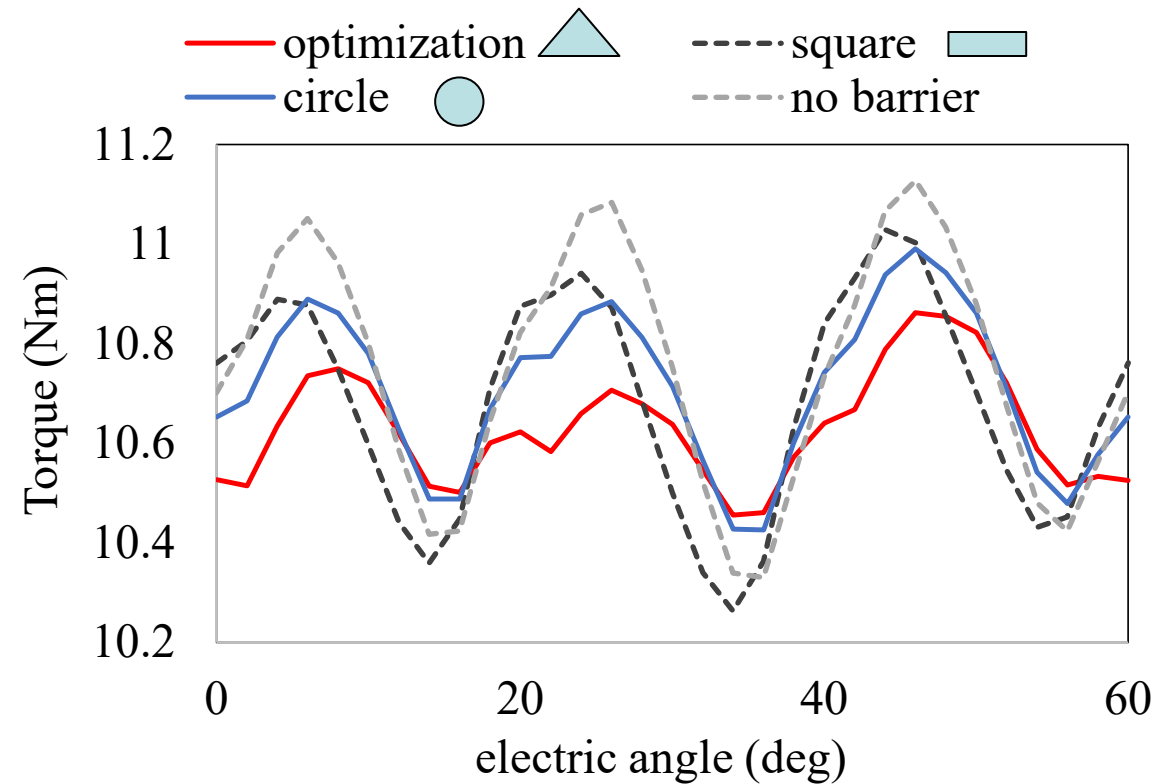
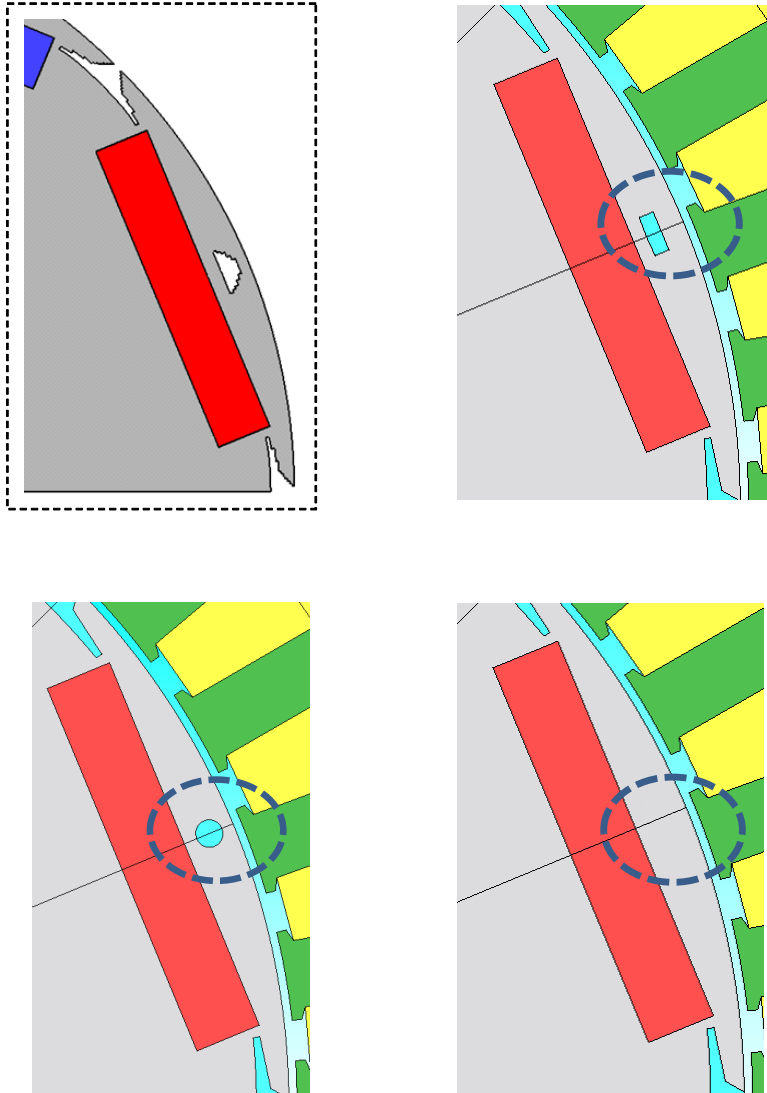
変分オートエンコーダ：総合設計



H. Sato, H. Igarashi, Fast Topology Optimization for PM Motors Using Variational Autoencoder and Neural Networks with Dropout, IEEE Trans. Magn.

設計応用への課題3

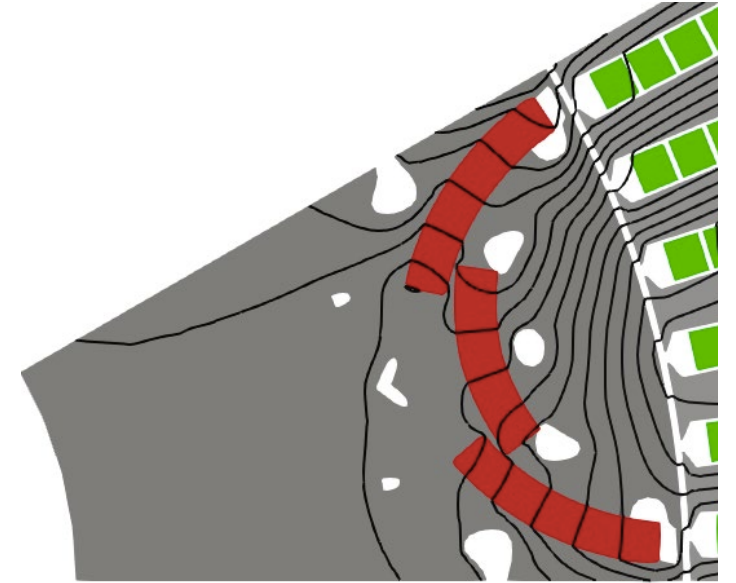
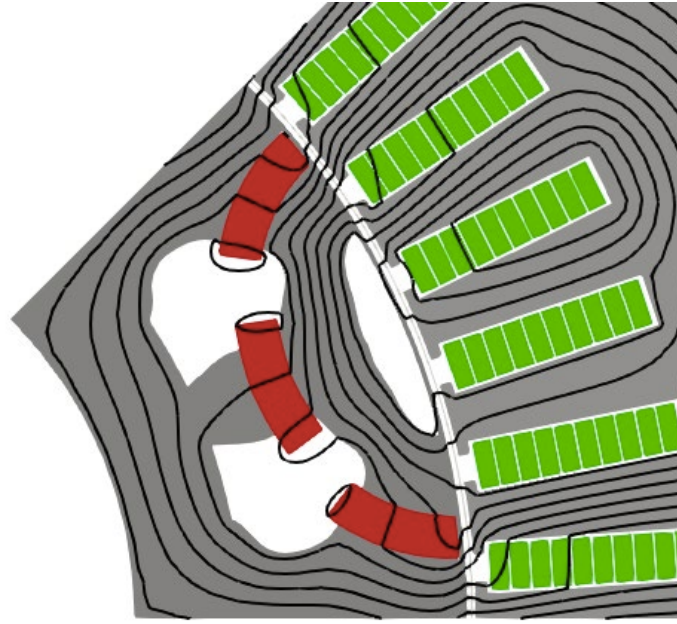
最適化形状の理解・性能予測が難しい



佐藤, 五十嵐, 高橋, 内山, 松尾, 松橋, トポロジー最適化による埋込磁石同期モータの回転子形状最適化, 電気学会論文誌D, Vol.135, No.4, pp.291-298, 2015.

設計応用への課題4

ヒトの感性・先入観との折り合い



複雑な形状の意味がよく理解できない。(形状の効果を十分に説明できる言語表現がない)
複雑な形状は製造コストが高いただろう。壊れやすいだろう。
非対称な形は美しい。

まとめ

設計者とシステム

理解可能なAI (XAI)

設計者のアシスト

augmented intelligence

設計者の知識の反映

ヒトとAIの共進化

システム

材料・幾何・形状データの
取り扱い

基本構造が異なる機器の
統一的な取り扱い

データの更新・補間・補外

data augmentation



データ

データ構造

データの収集

解析結果と実測データの融合

多様なデータの保存と参照

アルゴリズム

汎化

予測の信頼性の向上

予測の補完

多様なデータの保存と参照

モデル選択