

遺伝的アルゴリズムに基づく トポロジー最適化による 磁気カップリングの磁気ばね剛性最大化

Maximization of Magnetic Stiffness for Magnetic
Coupling through Topology Optimization Based on
Genetic Algorithm

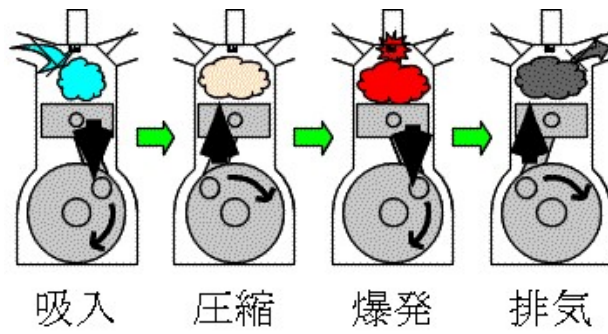
©島口 晃輔 (茨城大学)

加藤 雅之 (茨城大学)

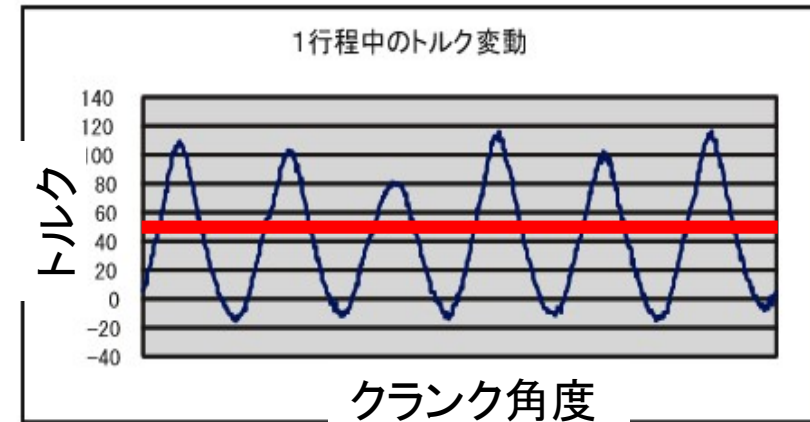
目次

- 研究背景・目的
- 遺伝的アルゴリズムに基づくトポロジー最適化
 - アルゴリズム適用方法
 - 最適化結果
- まとめ・今後の方針

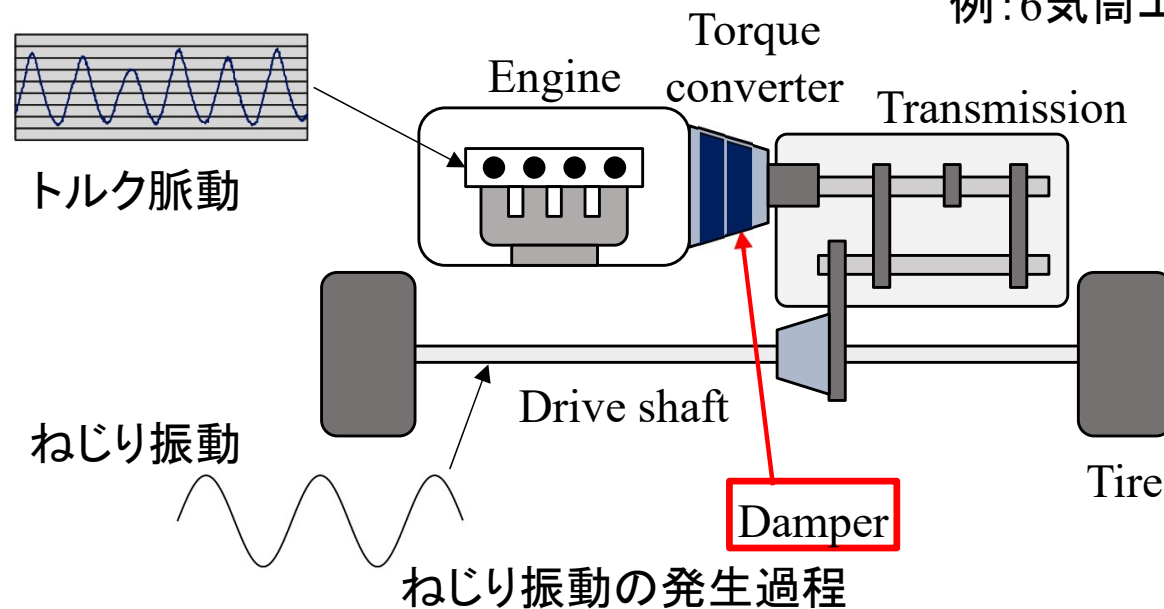
研究背景



エンジンサイクル

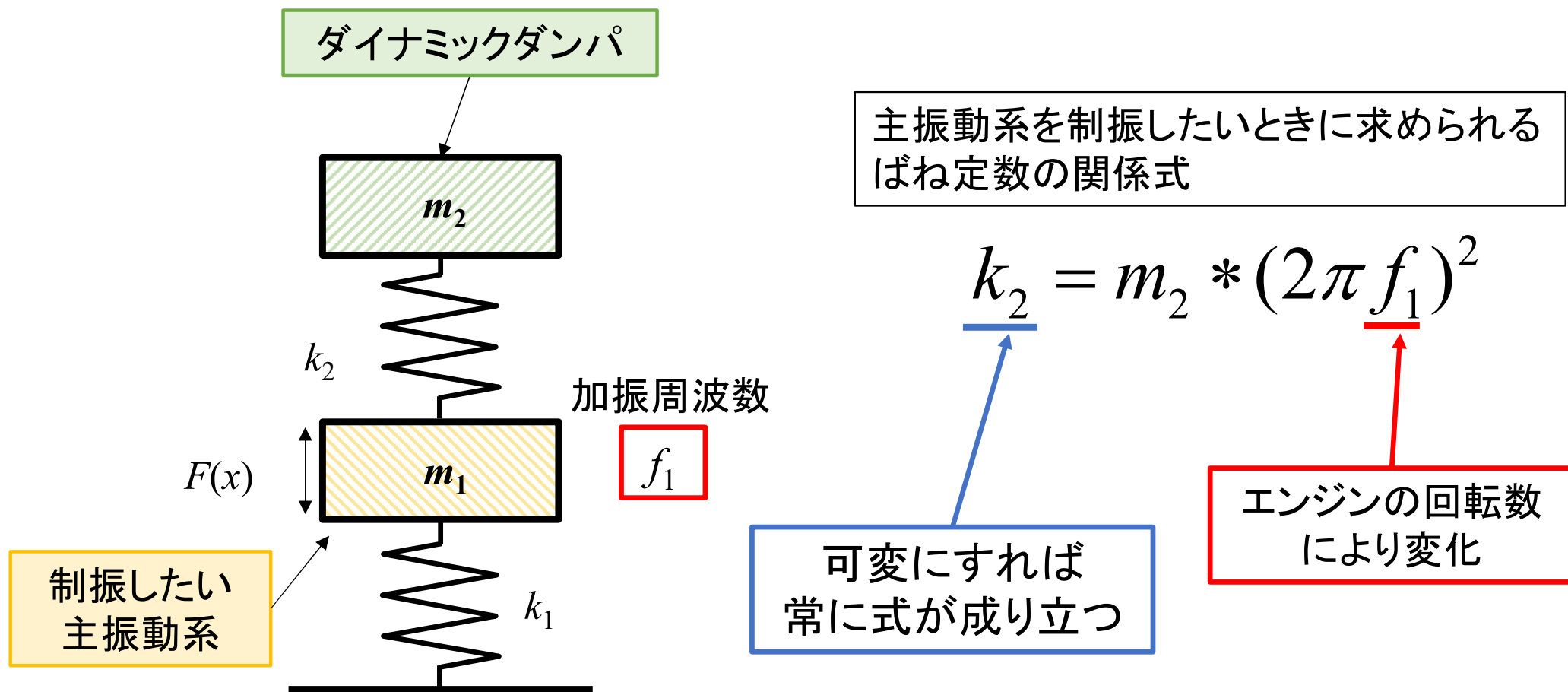


例:6気筒エンジンのトルク脈動



- エンジントルクには大きな脈動が発生
- ドライブシャフトにおけるねじり振動を誘発
- 車体に不快なこもり音として伝わるのが問題

ダイナミックダンパ



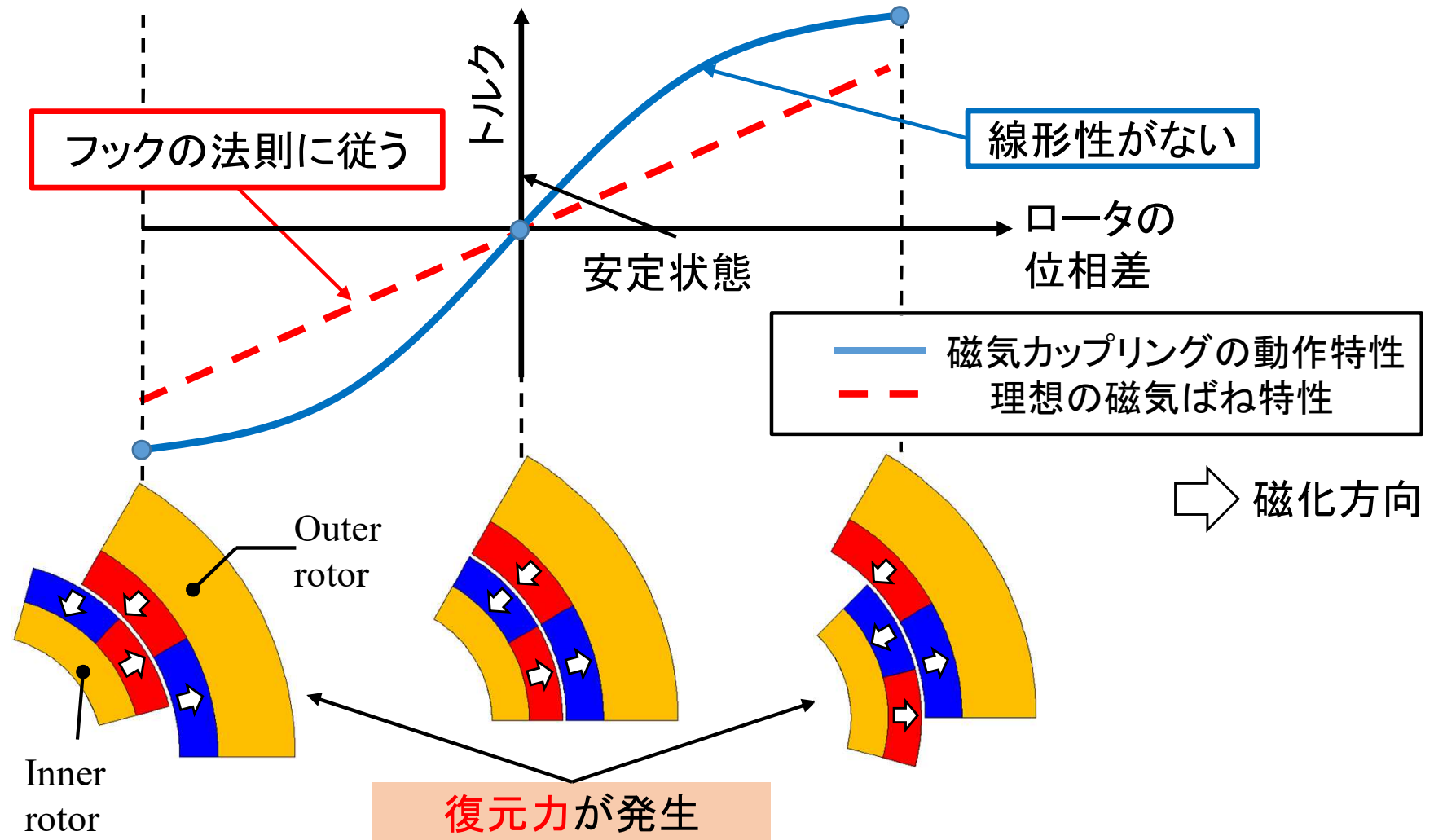
機械式ばねのダイナミックダンパ・・・ばね剛性(k_2)が一定

→単一の加振周波数で制振できる

磁気式ばねのダイナミックダンパ・・・磁束の変化でばね剛性(k_2)の可変が可能

→変化する加振周波数を制振できる

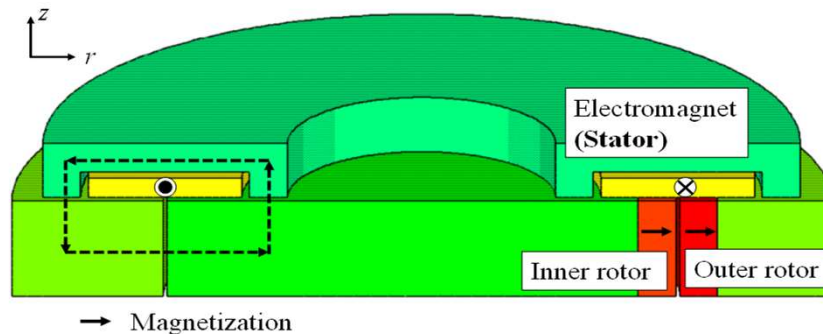
磁気ばねとしての磁気カップリング



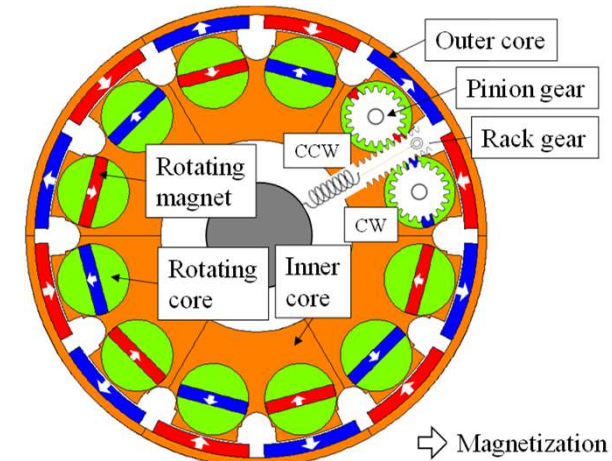
磁気カップリング … 非接触に磁気力で力を伝達する系(最大トルク伝達が重要)
 磁気ばね…非接触にばね性を作り出す(線形性が重要)
 →磁気ばねとしての磁気カップリングの設計理論は確立されていない

磁気カップリングを使用した可変剛性ダイナミックダンパ[1][2]

外部励磁型[1]



自転磁石型[2]



- コイル励磁で可変
 - 励磁により磁束量を増減
 - 磁束量により磁気ばね剛性を可変に
- × 励磁電流による銅損が大きすぎる
- 実用的でない

- 遠心力で可変
 - インナー磁石を回転させる
 - 磁化方向を変化させ、磁気ばね剛性を可変に
- × 低剛性と高剛性の目標値を同時に満たせない

- 有効な磁気回路構造の発案が困難
- 可変磁気ばね剛性ダンパのゼロベース設計を行う

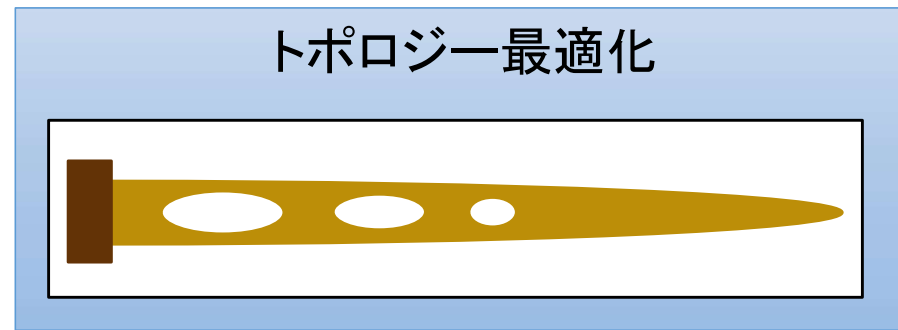
[1]加藤ら, “コンシクエントポール型磁気カップリングを利用した可変特性ダイナミックダンパ”, 第27回MAGDAコンファレンスin Katsushika, OS8-3, pp. 125-130 (2018)

[2]加藤ら, “遠心力により自転する磁石を備えた可変剛性ダイナミックダンパ”, 電気学会, 交通・鉄道リニアドライブ合同研究会, TER-20-042, LD20-042, pp. 91-95, (2020)

研究目的

トポロジー最適化による可変磁気ばね剛性ダンパ(VSDVA)のゼロベース設計

トポロジー(位相幾何学):連続変形しても保たれる性質



穴の数をどのようにするか
(形,寸法なども含めて)

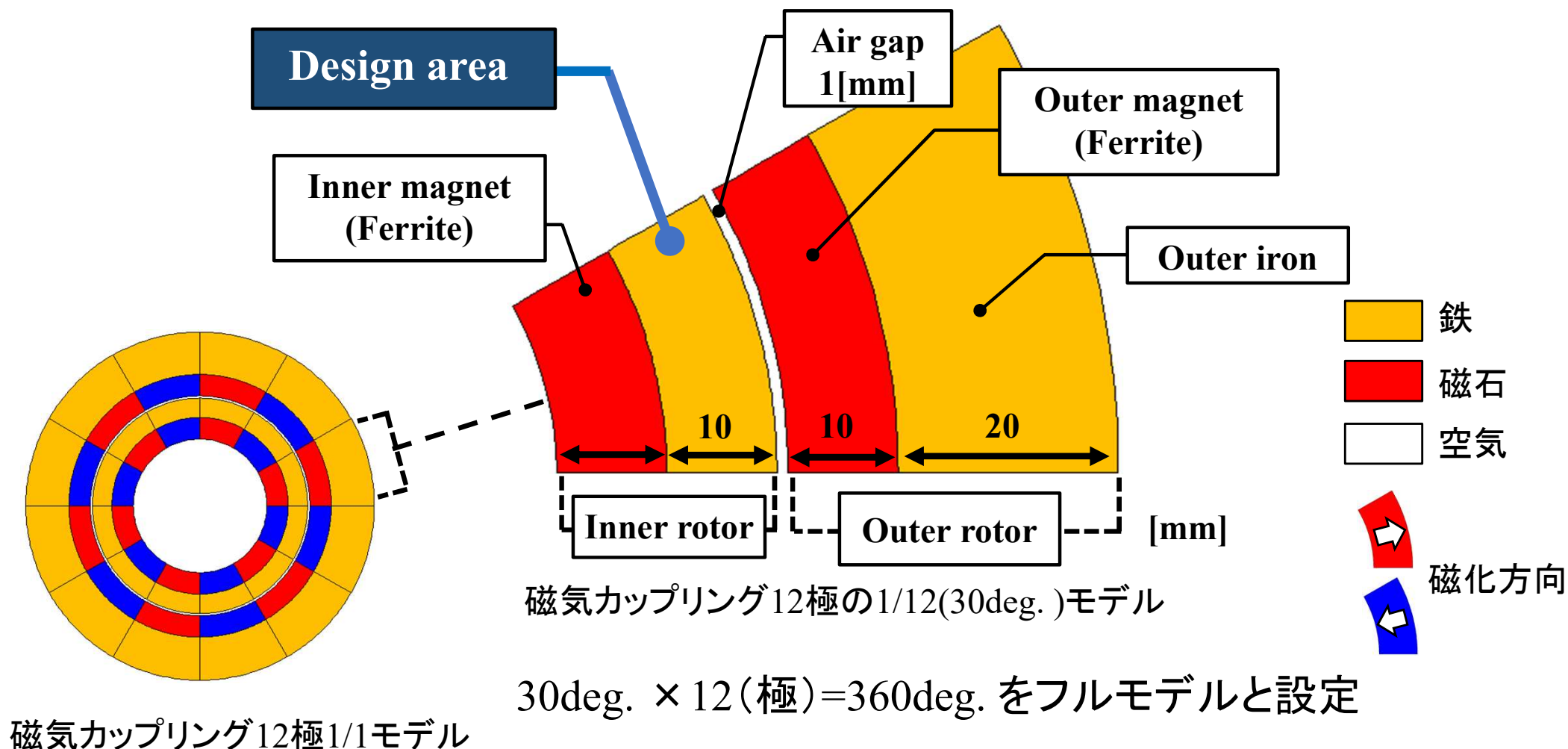
可変磁気ばね剛性ダンパの
ゼロベース設計



研究目的:トポロジー最適化による可変磁気ばね剛性ダンパのゼロベース設計

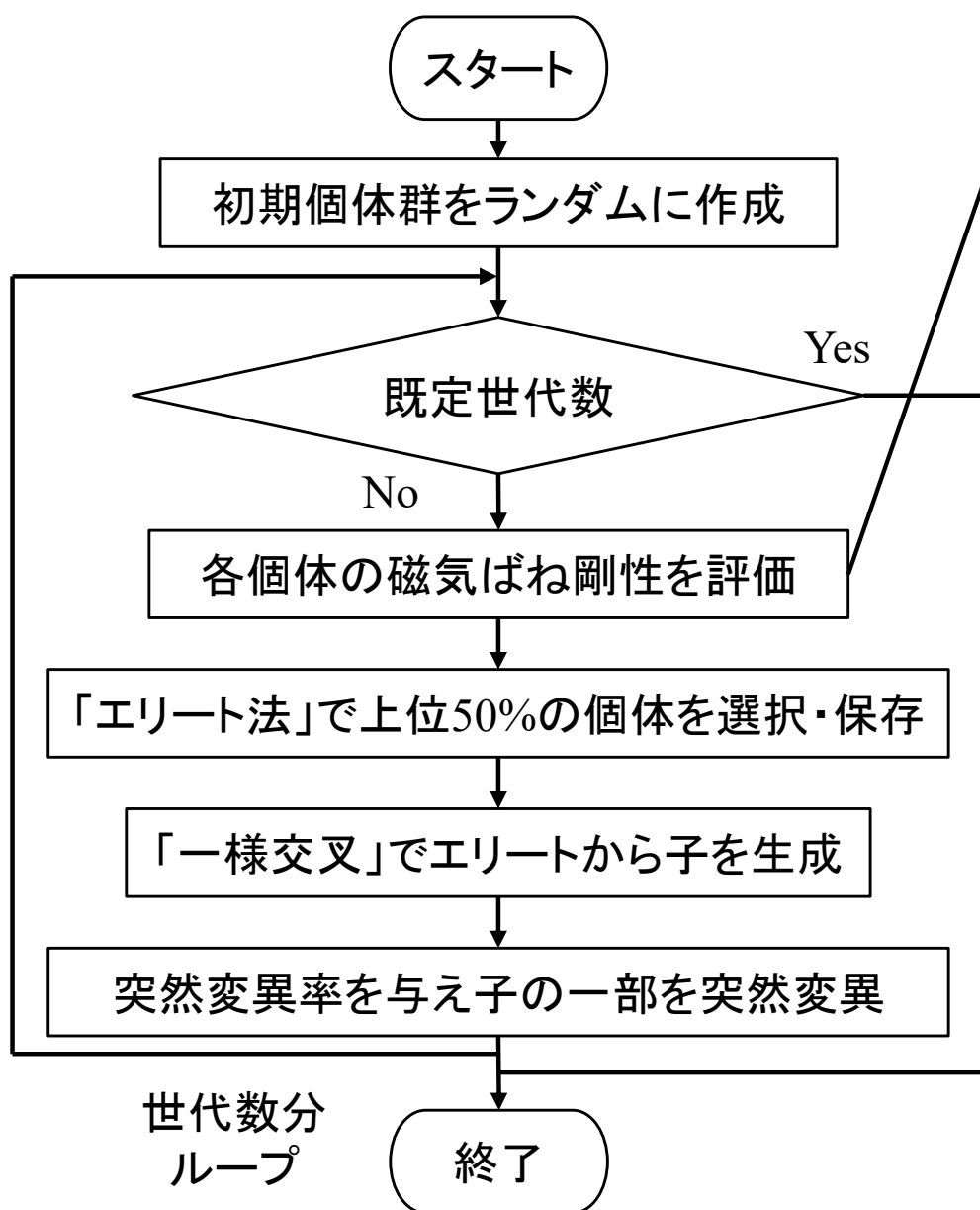
- 人間が考えつかないような**全く新しい提案**ができる
- 可変磁気ばね剛性ダンパの実用化につながる可能性
- 新しい知見が得られる可能性

トポロジー最適化するモデル



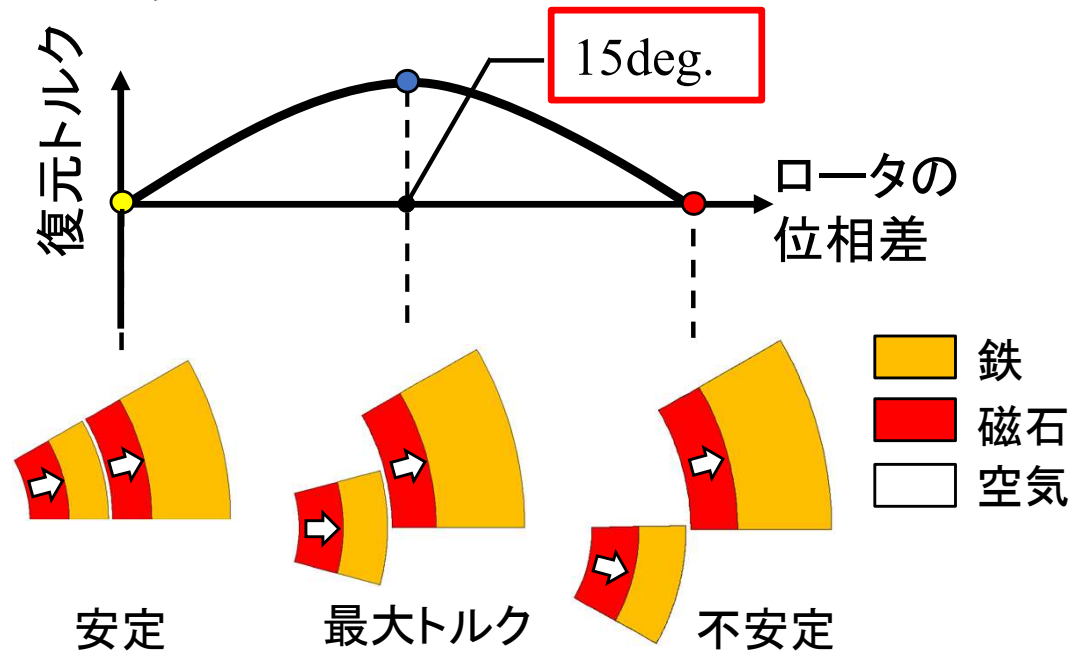
磁気カップリングのトポロジー最適化
 インナーロータの鉄心部分を最適化領域とした
 目的関数を磁気ばね剛性の最大化に設定し最適化

トポロジー最適化に使用する遺伝的アルゴリズムのフロー



<評価方法>

- ばね剛性を評価
- ロータ間の位相差15deg. のときのばね剛性を算出



ばね剛性算出式

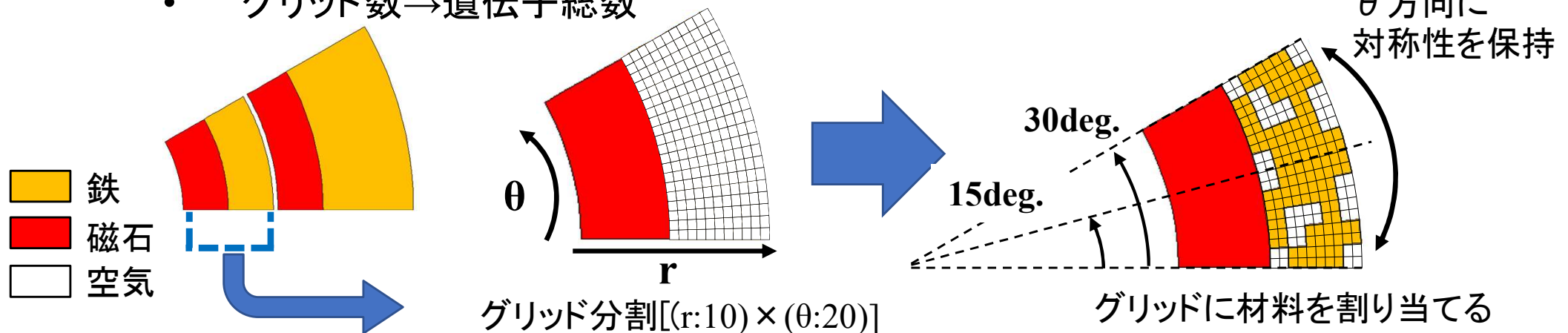
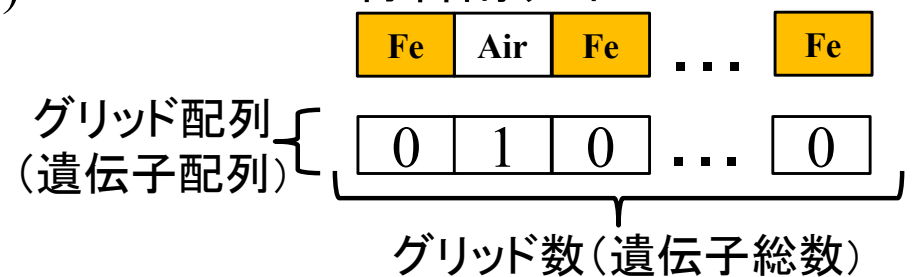
$$K_{mag} [\text{Nm} / \text{deg.}] = \frac{Trq[\text{Nm}]}{15[\text{deg.}]} \cdot 12_{pole}$$

個体の遺伝子配列作成方法

ON/OFF法^[3]

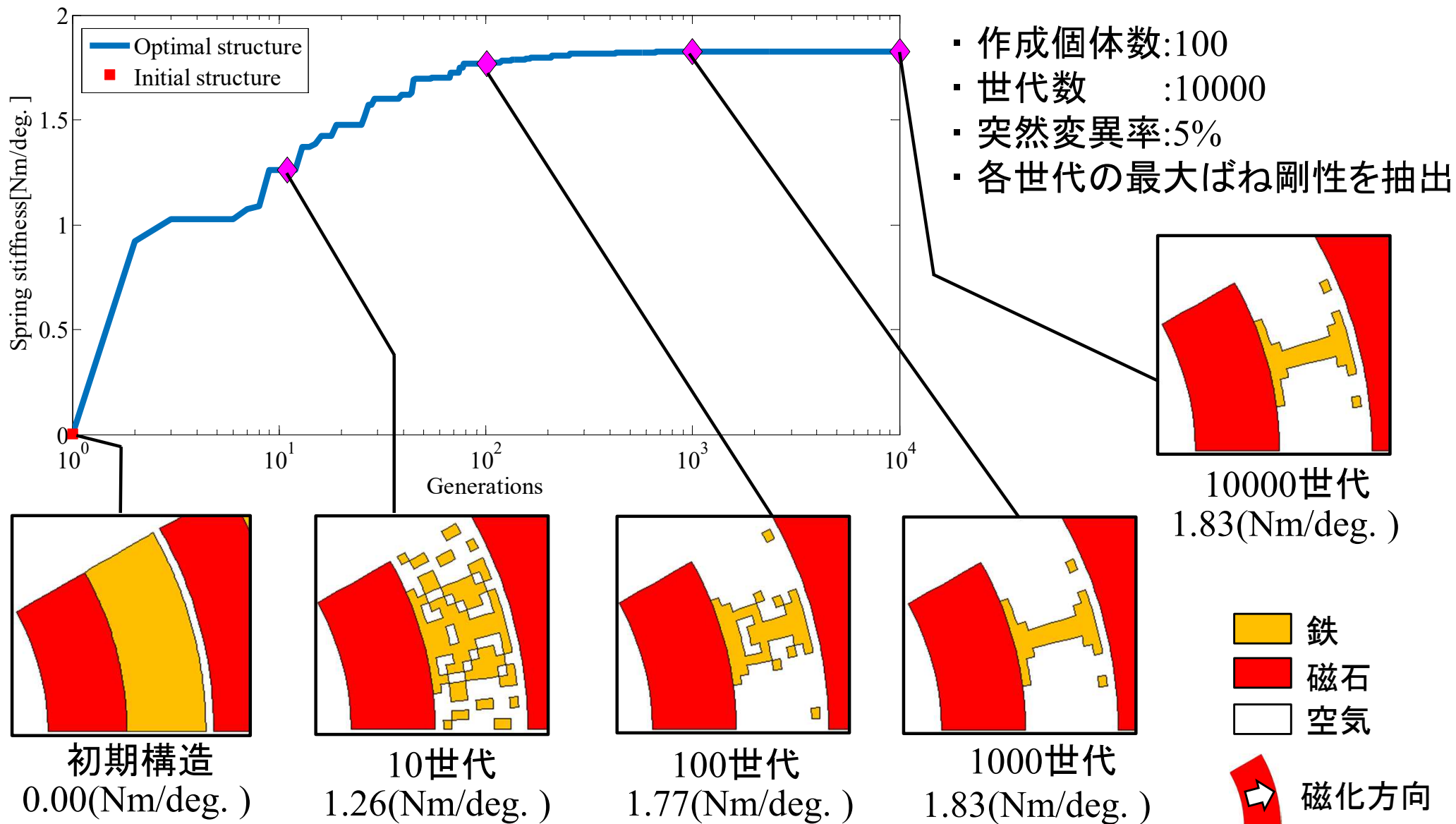
1. 設計領域を有限個のグリッドに分割
2. 各材料に番号を対応させる (Fe→0, Air→1)
3. 各グリッドに材料(Fe, Air)を割り当てる
 - 初期個体はランダムに材料を配置
4. 遺伝子配列を作成
 - グリッドの番号配列→遺伝子配列
 - グリッド数→遺伝子総数

材料割り当て



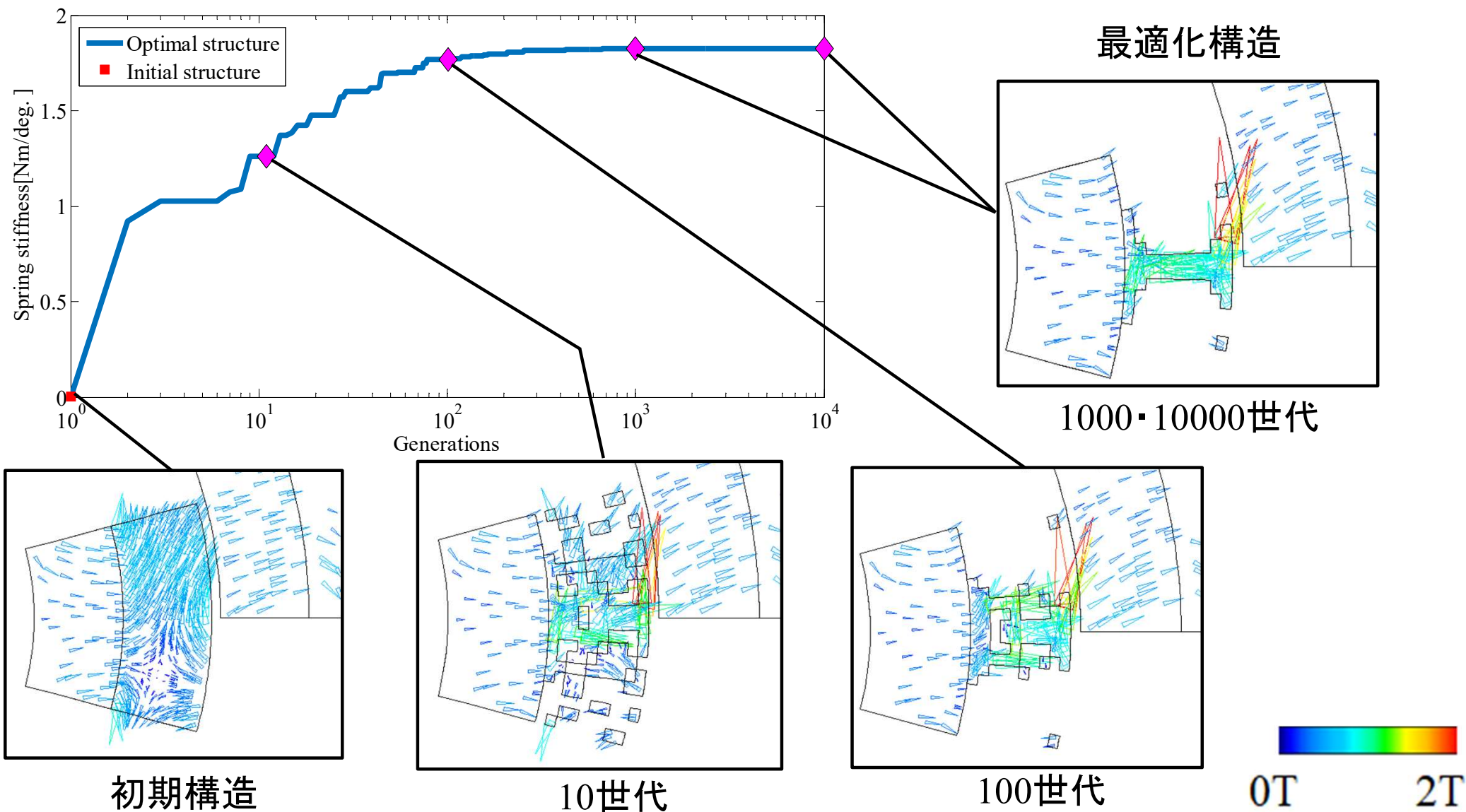
- 複雑な領域形状も簡単に表現できる
- 初期形状によらない形状を作ることができる
- 遺伝的アルゴリズムに基づいたトポロジー最適化ができる

最適化結果



- 1000世代から10000世代までは変化がなく収束したと判断した
- 世代数が増加するにつれて、鉄心が「H」字型に配置されている

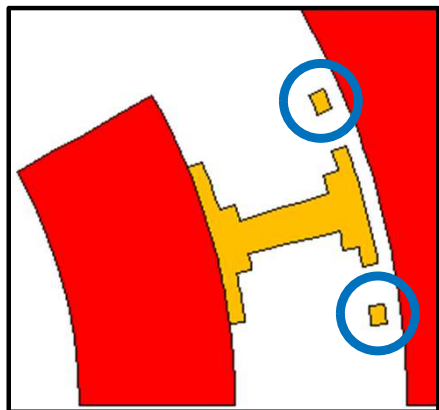
最適化構造(磁束密度ベクトル図)



- インナー磁石の磁束を集束させ、アウター磁石方向に誘導
- 構造変化・ベクトル図からも最適化できていると考えた

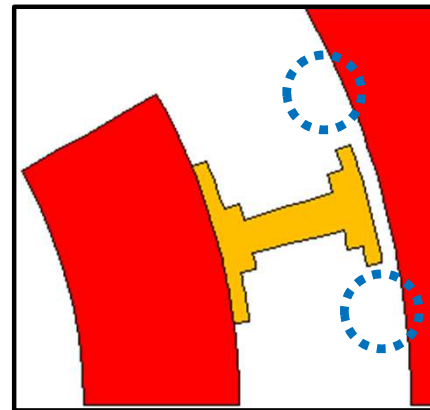
製造可能な鉄心構造への改良

最適構造

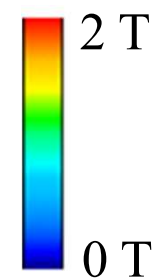
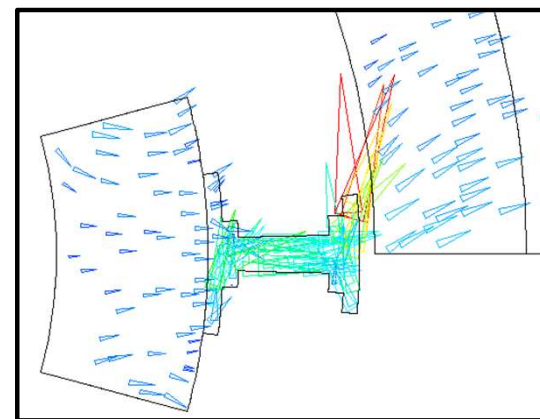
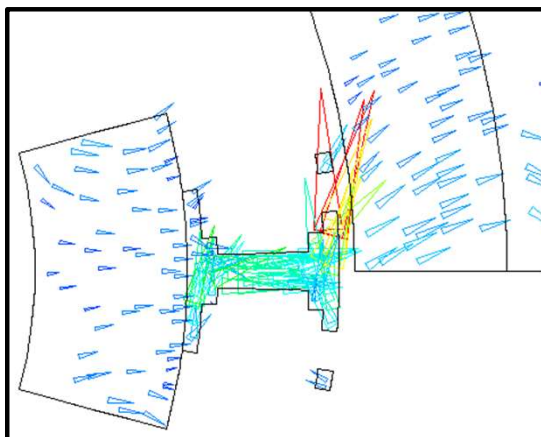
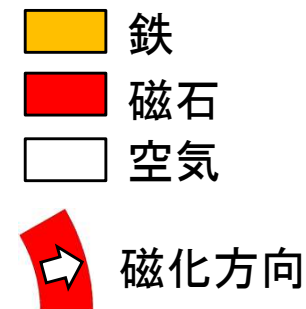


1.83 Nm/deg.

小片除去後



1.82 Nm/deg.



- ばね剛性は微減したが、ベクトル図に変化はほぼ見受けられない
- 小片除去後の構造であれば製造しやすい

まとめ・今後の方針

まとめ

- 遺伝的アルゴリズムに基づくトポロジー最適化を磁気カップリングのばね剛性最大化を目的関数に実行
 - ばね剛性を最大化できた
 - 鉄心の構造により磁束の制御可能

今後方針

- 可変磁気ばね剛性化
 - どのように可変にするか検討
 - 目的関数, 制約条件, 重みづけ...etcの検討
 - 最適化計算実行
- 多目的最適化
 - インナーロータを3材料(鉄心, 磁石, 空気)で最適化
 - 「磁石量を減らすor一定」&「ばね剛性最大化」...etc