

磁性エラストマー(MRE)とは



シリコン 鉄粉 MRE

鉄粒子とシリコンエラストマーを混練して成型
磁場により大変形・可変剛性を示す。

アクチュエータ, ダンパ, クラッチ, サスペンションなどに応用可能

解析の課題

高い磁束密度により大きな変位が発生
FEMによる計算では制約が大きい(メッシュの破綻など)

粒子法によるアプローチの有効性

メッシュフリー法の一つである粒子法を用いることで問題を回避

粘弾性体の変形解析 – 粒子法 (MPS法)
磁場解析 – FEM

連成手法
の提案

研究目的: 磁性エラストマーの変形に対するMPS法とFEMによる連成解析手法の妥当性検証

連成解析手法

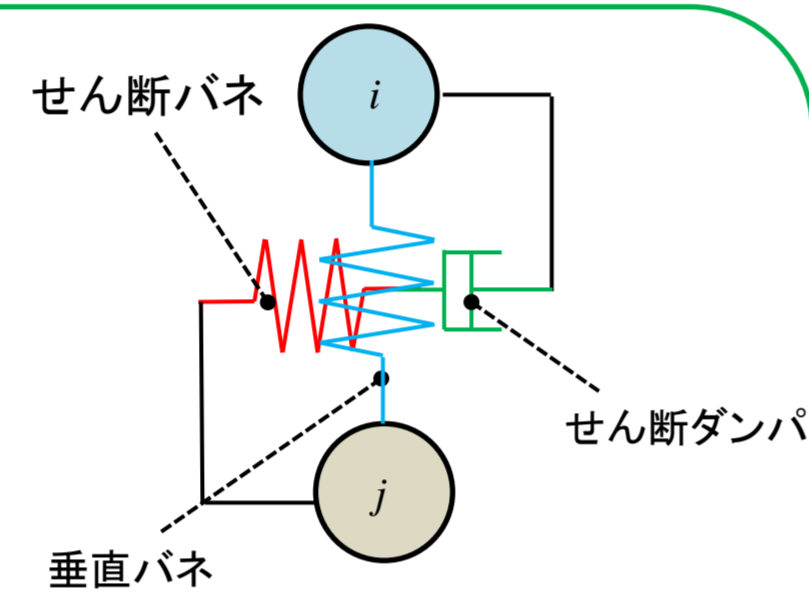
支配方程式および構成式

粘弾性体計算

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} K_i$$

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} + 2\eta \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial t}$$

x : 位置, v : 速度, σ : 応力, K : 外力, ρ : 密度, λ, μ : ラメ定数, η : 粘性



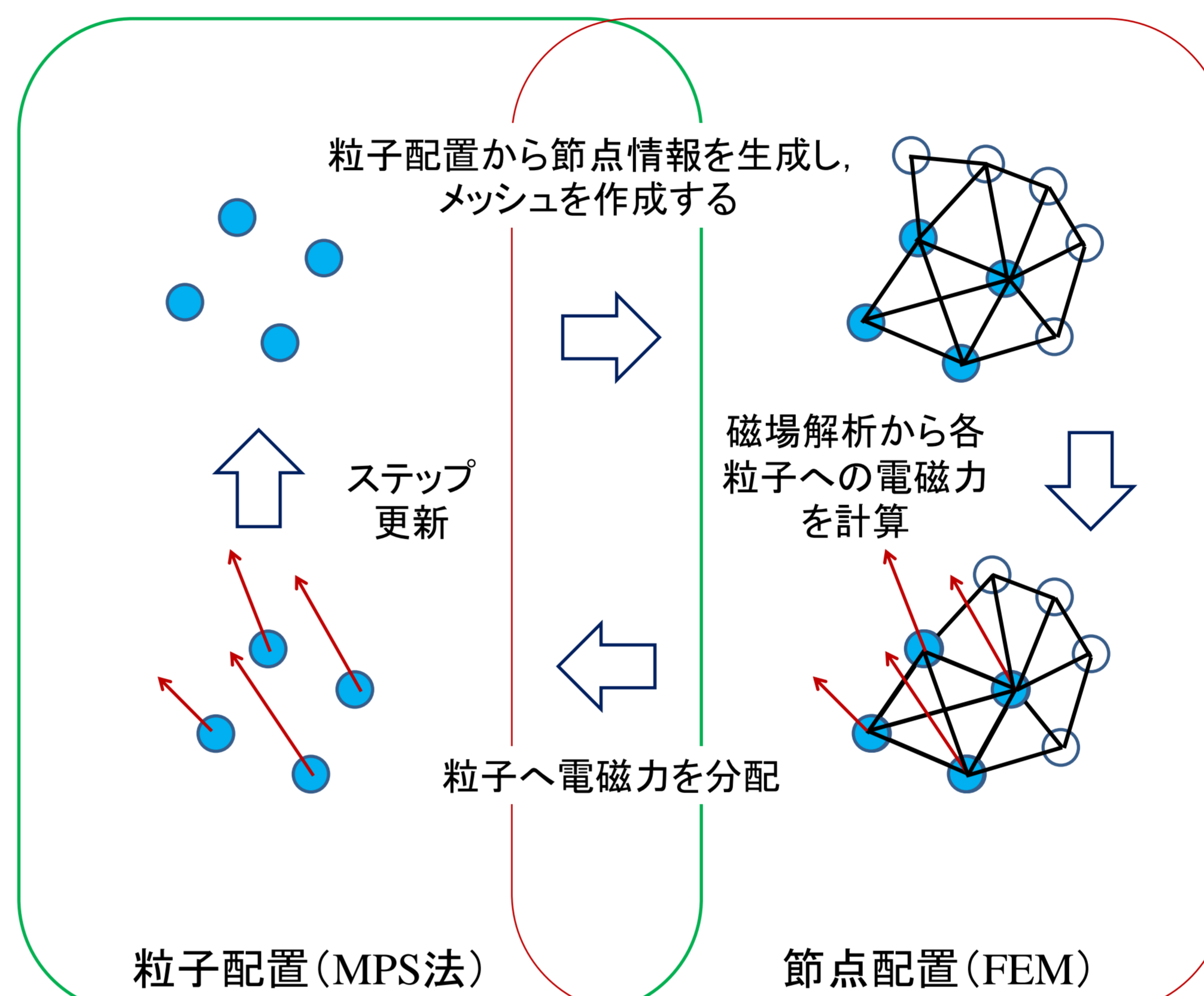
電磁場計算

$$\text{rot}(v_M \text{rot} A - v_0 M) = 0$$

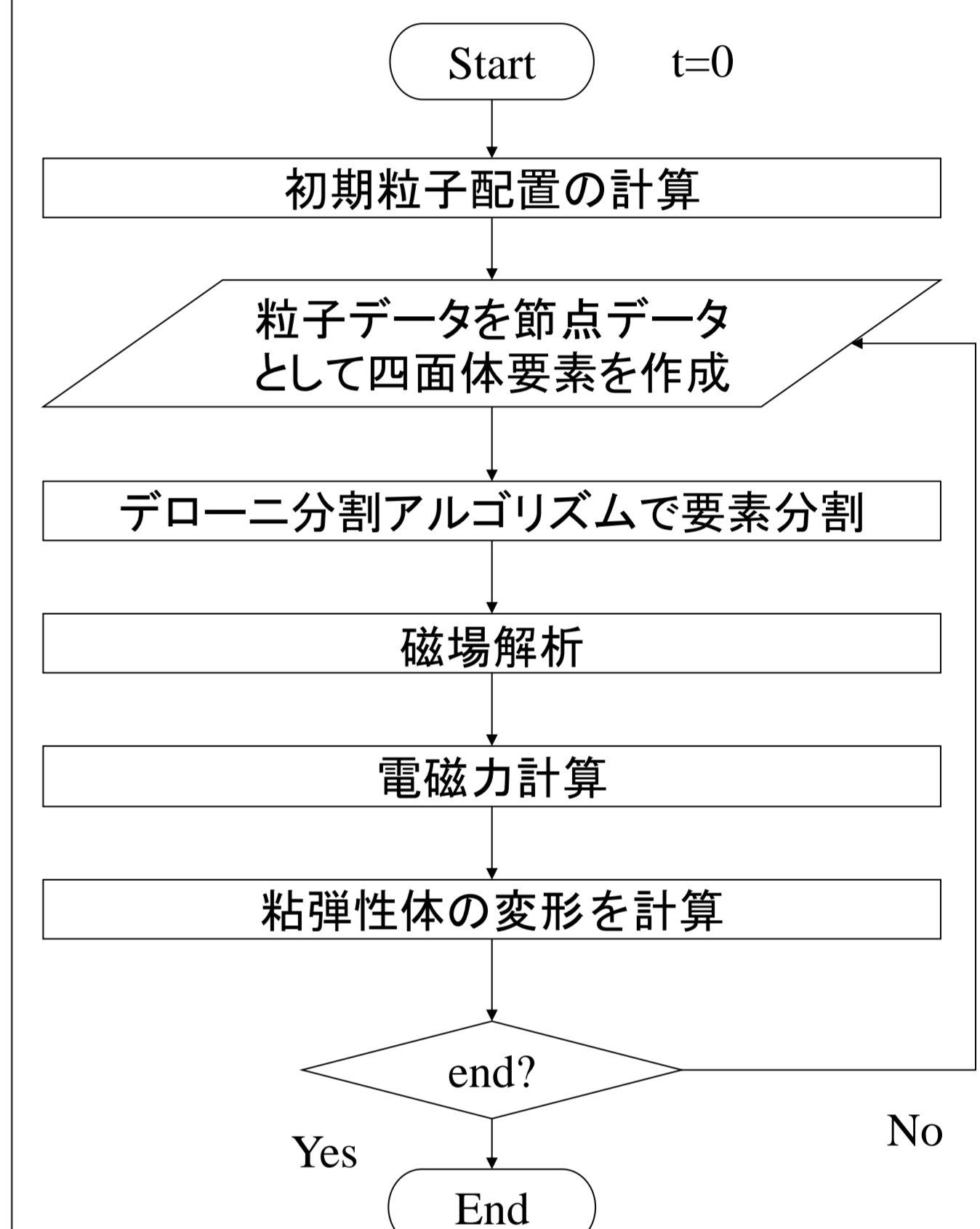
$$v_M = \begin{cases} v_{MRE} & (\text{region of MRE}) \\ v_0 & (\text{region of air \& permanent magnet}) \end{cases}$$

v_M : 磁気抵抗率, A : 磁気ベクトルポテンシャル, M : 磁化

MPSとFEM節点情報の相互変換

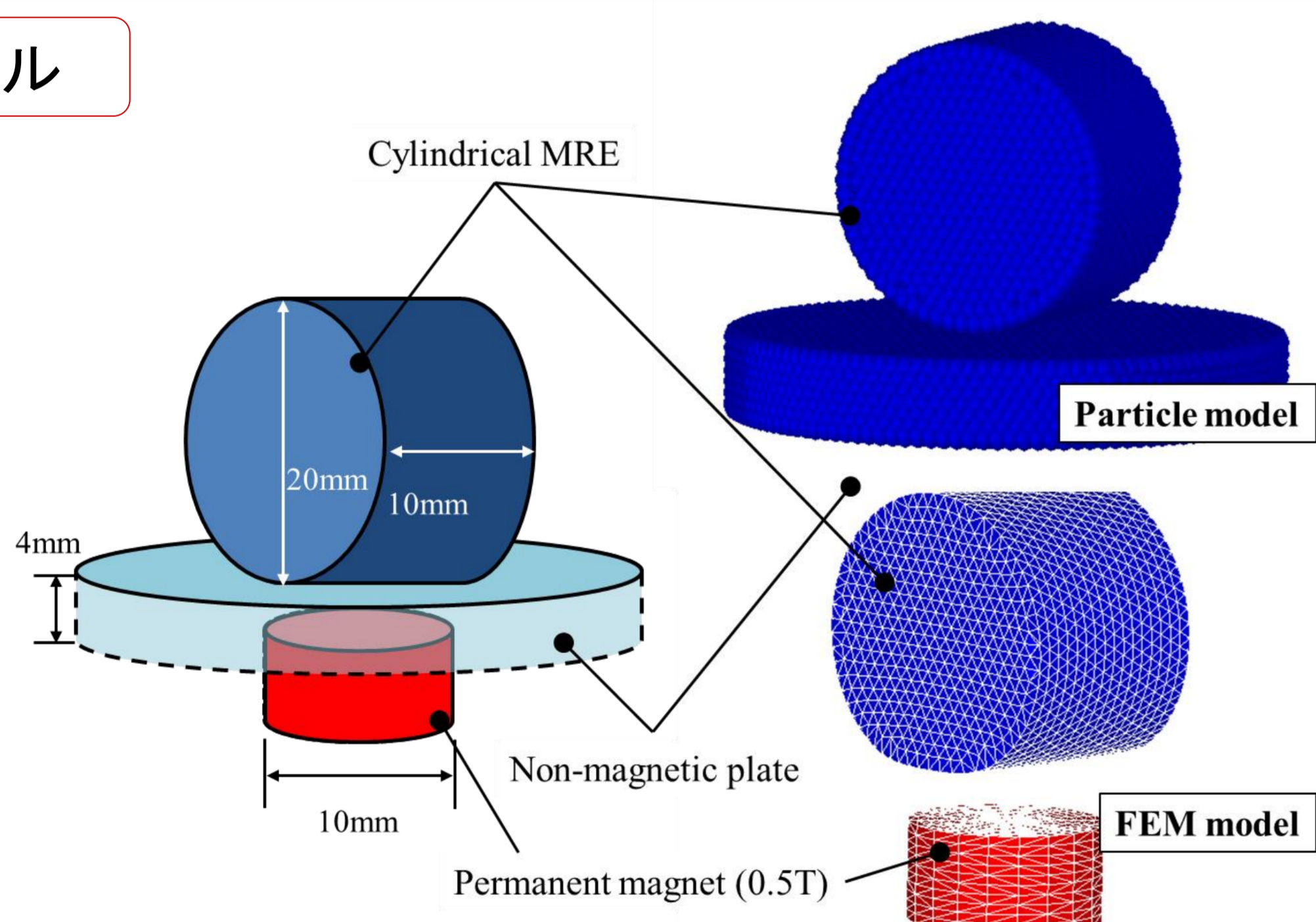


フローチャート

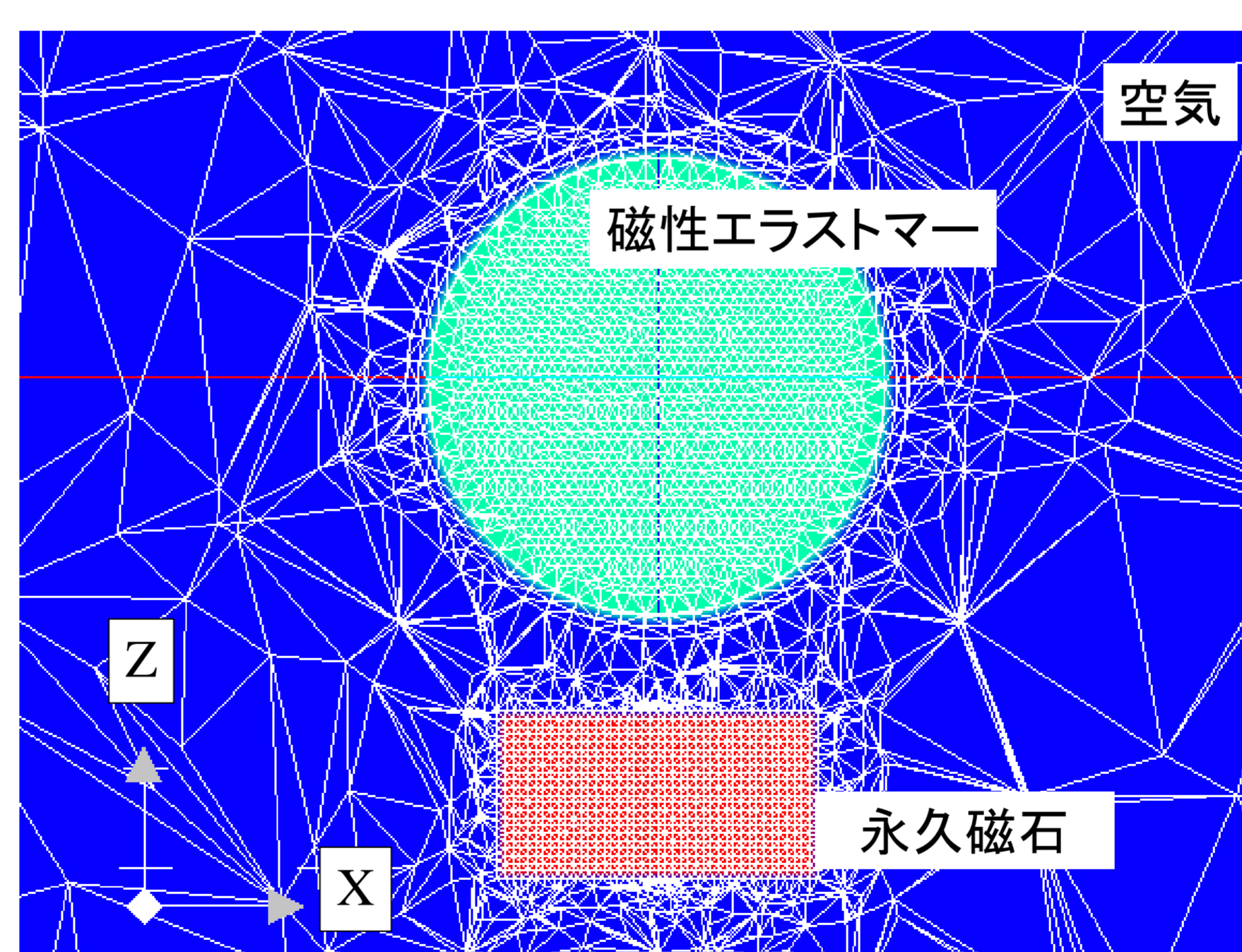


解析結果および考察

解析モデル



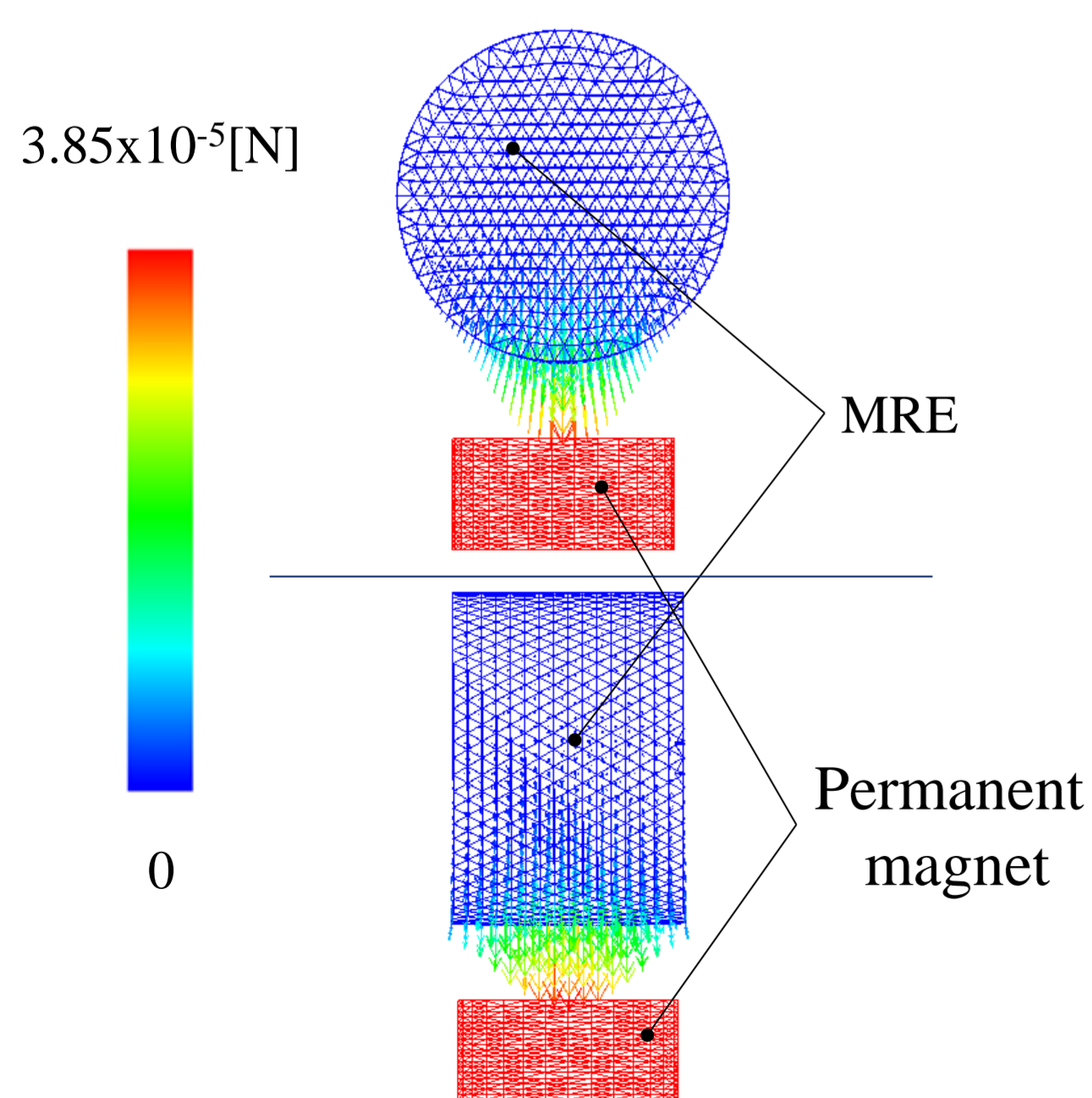
有限要素メッシュ (初期状態, z-x断面)



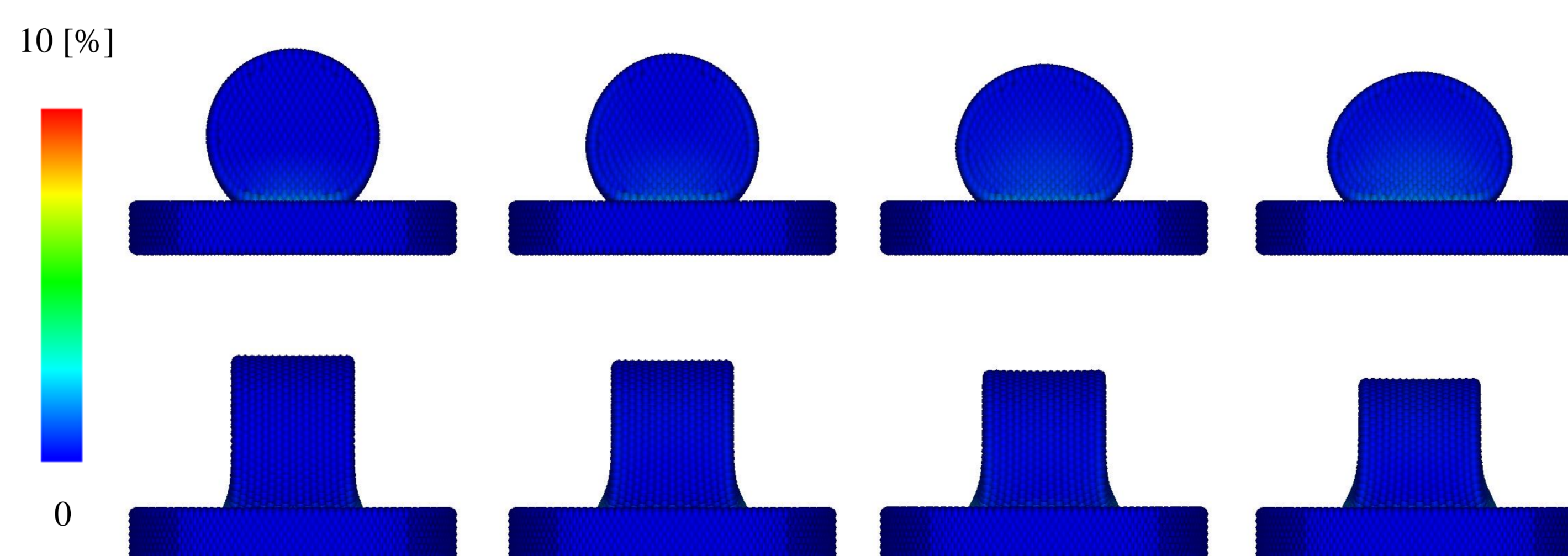
解析諸元

材料物性値	
初期密度 [kg/m ³]	2.97×10 ³
ヤング率 [Pa]	1.00×10 ⁵
ポアソン比	0.49
粘性 [Pa*s]	1.0
比透磁率	5
解析条件	
時間刻み幅 [s]	1.0×10 ⁻⁶
ステップ数	10,000
初期粒子間距離 [m]	5.0×10 ⁻⁴
MPS法における粒子数	12,800
FEMにおける節点数	16,000
FEMにおける要素数	97,700
FEMにおける辺数	114,000
解析時間 [h]	1.6

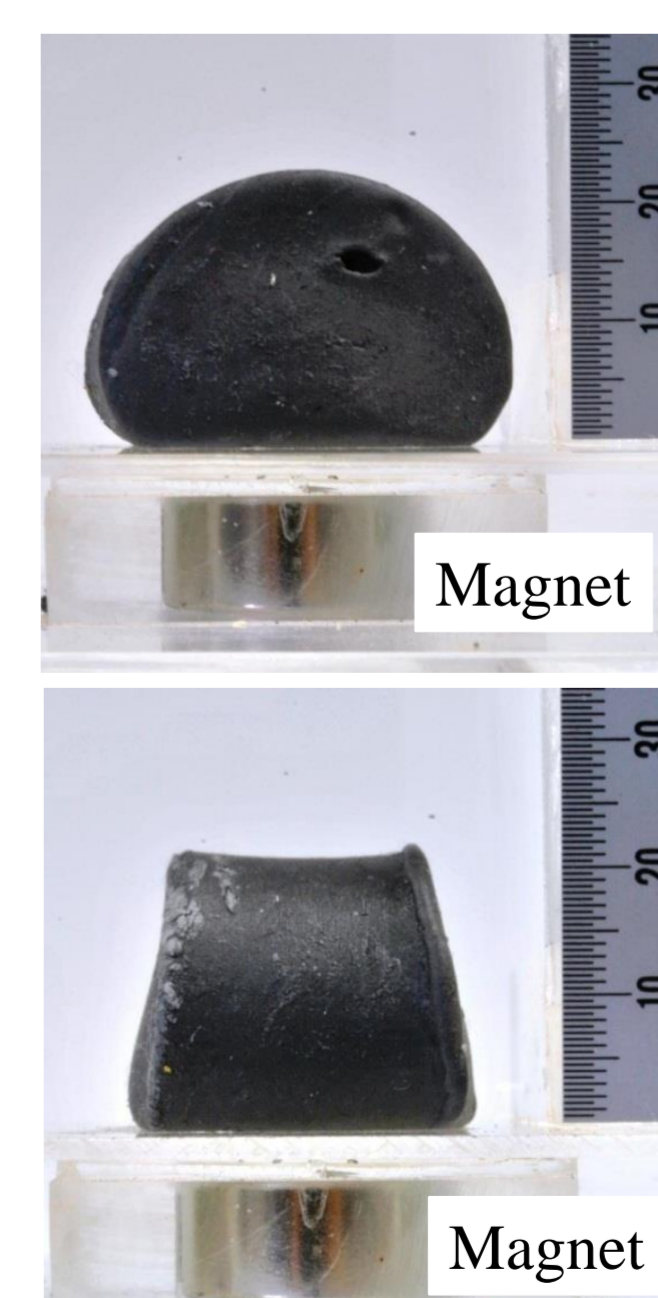
節点力分布 (初期状態)



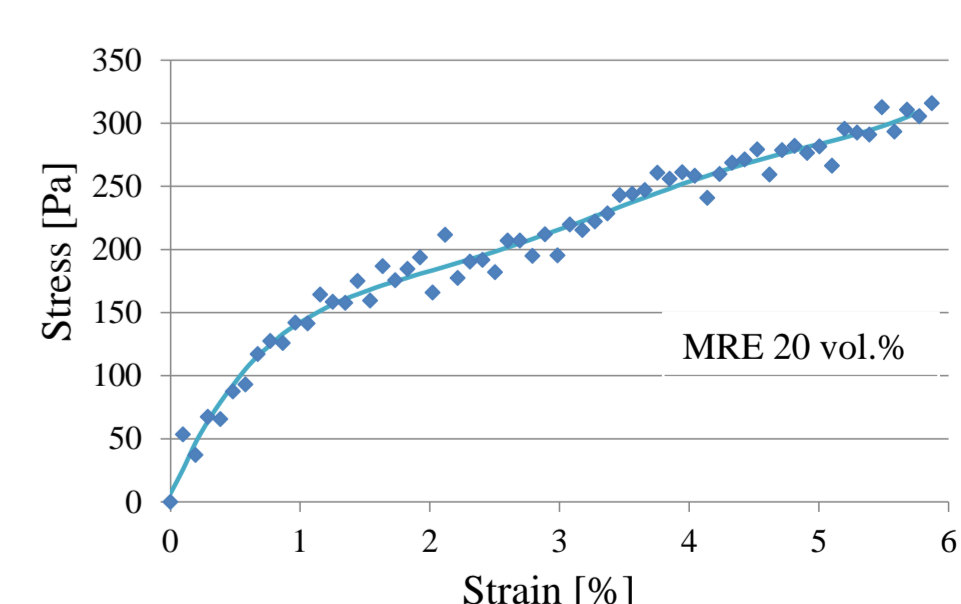
体積ひずみの時間発展



観察結果と考察



- 観察結果は計算結果と定性的に一致。
- 磁性エラストマーの弾性, 磁気特性は強い非線形性を有しており, その考慮が必要。



応力ひずみ関係の測定結果

結論

- 磁性エラストマー(MRE)の動的な大変形の解析手法としてMPS法とFEMを弱連成した解析手法を提案。
- 実験結果と計算結果は定性的に一致し, 解析手法の妥当性を確認. 材料非線形性の考慮により更なる改善を期待できる。
- MREを用いたアクチュエータや制振装置などの設計への応用が今後の展望として考えられる。