



永久磁石内磁化ベクトル 分布の非破壊推定 —基礎研究から社会実装研究まで—

法政大学 理工学部
電気電子工学科 教授

岡本 吉史

研究の背景

□ 永久磁石の役割

- ✓ 同期電動機の高出力化
- ✓ 製品の小型化・軽量化

例：パワーステアリング
フットブレーキ

□ 永久磁石の製造における問題点

- 着磁工程において、磁化強度や磁化方向に着磁誤差が含まれる場合

⇒ 電動機の振動を誘発する^[2]。

- ✓ 設計の前段階における磁化推定が重要

1. <https://www.tomacotrade.com>

2. 大橋正幸：「EPS用駆動2系統MCU」，デンソーテクニカルレビュー，vol. 21, pp. 48-53 (2016)

□磁化配向評価の方法

[1]

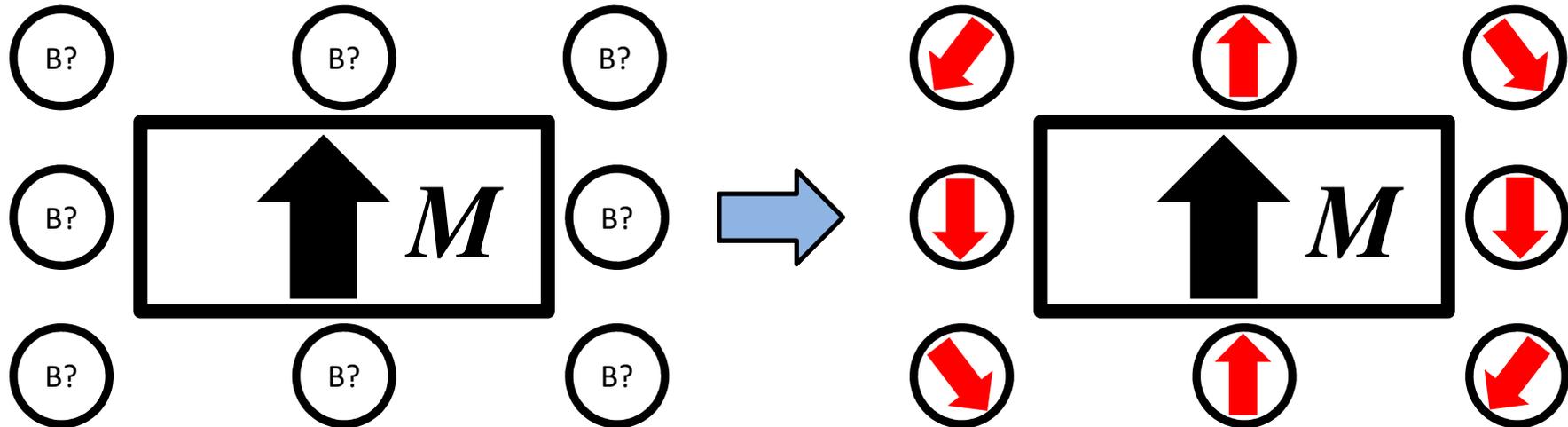
- 電子線後方散乱
回折法 (EBSD) [1]
- X線回折法 (XRD) [2]
- ✓ 磁石表面を**高精度で測定が可能**
- ✓ 永久磁石内部把握のためには、複数観察断面が必要となる。(破壊的な工程)
- ✓ 全領域の磁化分布計測に**数日を要する**.

1. 北井伸幸, 松浦裕, 石井倫太郎, 棗田充俊, 星島順:「Nd-Fe-B 焼結磁石の保磁力減少率の配向依存度と保磁力メカニズム」, 日立金属報, vol. 30, pp. 20-27(2014)

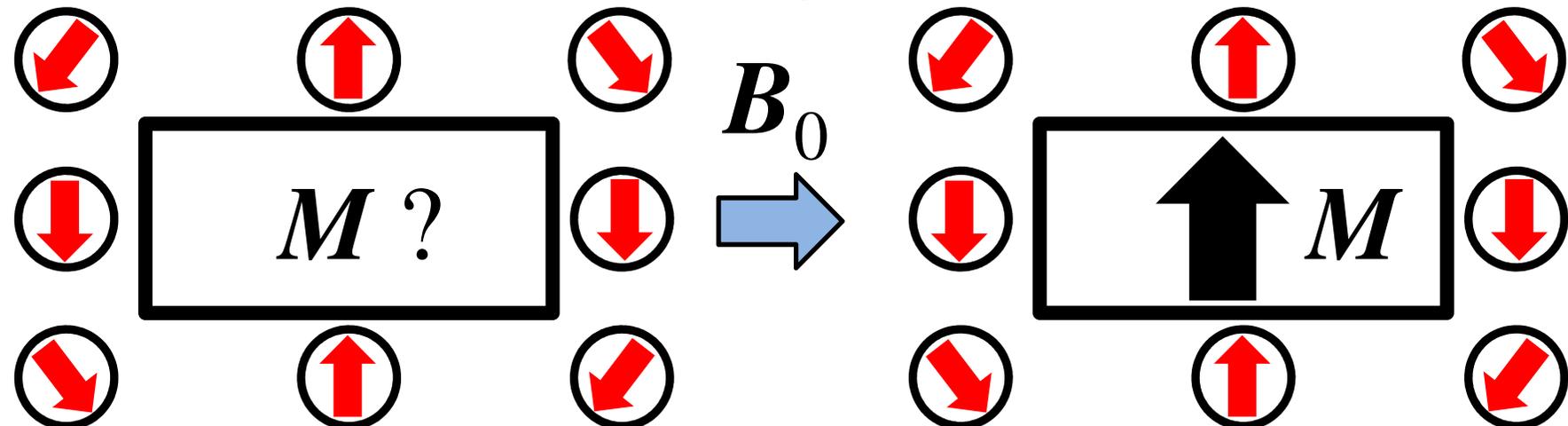
2. Y. Zhang, Y. Zhang, J. Song, X. Qi, J. Du, W. Xia, J. Zhang, A. Yan, and J. Liu, “Magnetic domain structure of Sm(Co, Cu, Fe, Zr)_x thick permanent magnetic films,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 7, pp. 3360-3363, Jul. 2013.

永久磁石外側の磁束密度を使用

□ 順問題 ($AM = B_0$)



□ 逆問題 ($M = A^{-1}B_0$)



種々の方法が提案

□ 周囲の磁束密度による磁化推定方法

- ✓ 逆問題: Tikhonov正則化^[1]
 - 正則化項を導入し, 物理的な磁化分布を得る.
 - 正則化パラメータにより, 推定結果が異なる.
- ✓ 最適化問題: GA^[2]
 - 磁化ベクトルのセル数が多くなると収束まで相
当な時間が必要
 - 制約条件のパラメータ設定が困難である.
- ✓ 特異値分解: TSVD^[3]
 - 打ち切りモードの決め方に任意性が有る.

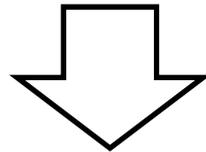
1. H. Igarashi, T. Honda, and A. Kost, "Inverse inference of magnetization distribution in cylindrical permanent magnet," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 36, no. 4, pp. 1168-1171, 2000.

2. N. Nakai, Y. Takahashi, K. Fujiwara, and H. Ohashi, "Estimation of magnetization distribution in a permanent magnet using genetic algorithm," *Proc. of XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF 2015)*, JP171, 2015.

3. L. Arbenza, O. Chadebec, C. Espanet, Y. Rtimi, and G. Cauffer, "Characterization of permanent magnet magnetization," *IEEE Trans. Magn.* vol. 53, no 11, art. no. 8109504, 2017.

Biot-Savart 則による静磁界計算

$$\mathbf{B} = -\frac{1}{4\pi} \nabla_P \left\{ \iiint_{\Omega_m} \mathbf{M} \cdot \nabla \left(\frac{1}{r} \right) dV \right\}$$



$$\mathbf{B} = -\frac{|\mathbf{M}|}{4\pi} \nabla_P \iint_S \frac{\mathbf{e}_M \cdot \mathbf{n}}{r} dS$$

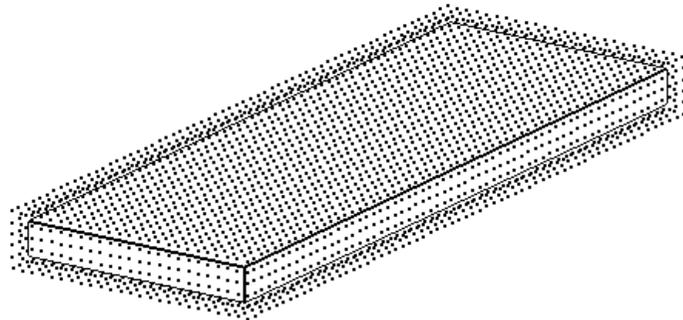
\mathbf{n} : 多面体領域を構成する境界要素の法線方向単位ベクトル

\mathbf{e}_M : 磁化ベクトル \mathbf{M} に平行な単位ベクトル

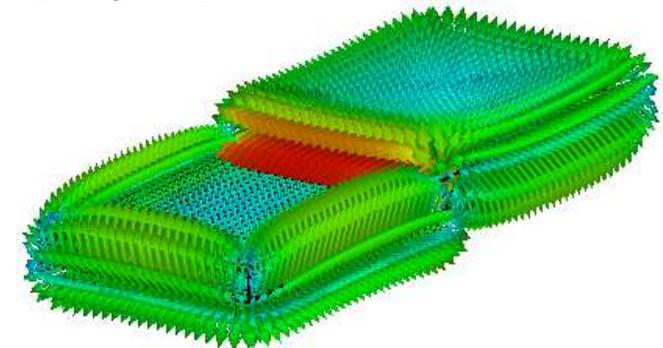
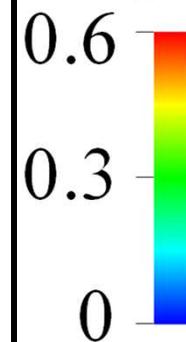
➤ 行列・ベクトル表示

$$\mathbf{A} \mathbf{M} = \mathbf{B}$$

評価領域



$|\mathbf{B}|$ [T] 例 (多極配向)

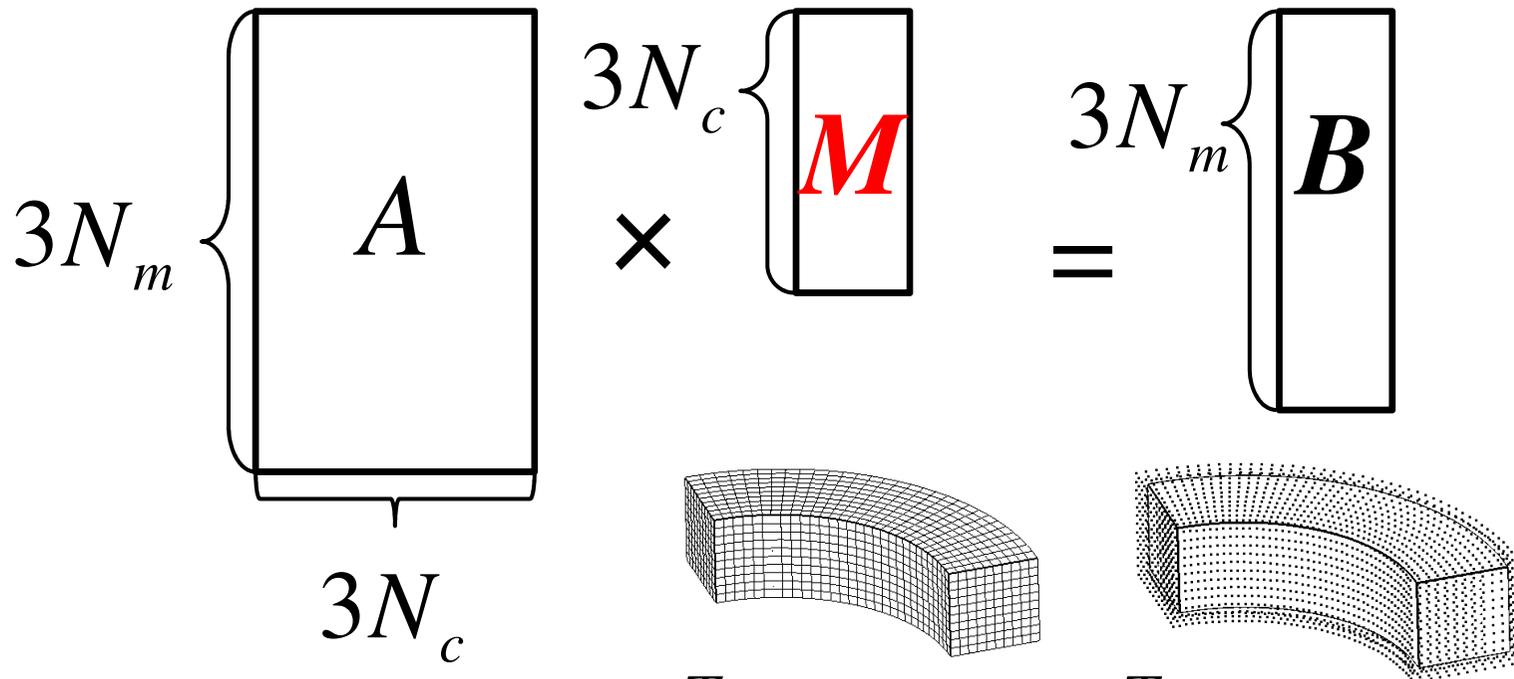


N. Nakai, Y. Takahashi, K. Fujiwara, and H. Ohashi, "Estimation of magnetization distribution in a permanent magnet using genetic algorithm," *Proc. of XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering (ISEF 2015)*, JP171, 2015.

Least Square Method (LSM) による磁化推定

$$AM = B$$

逆解析 : $B \Rightarrow M$

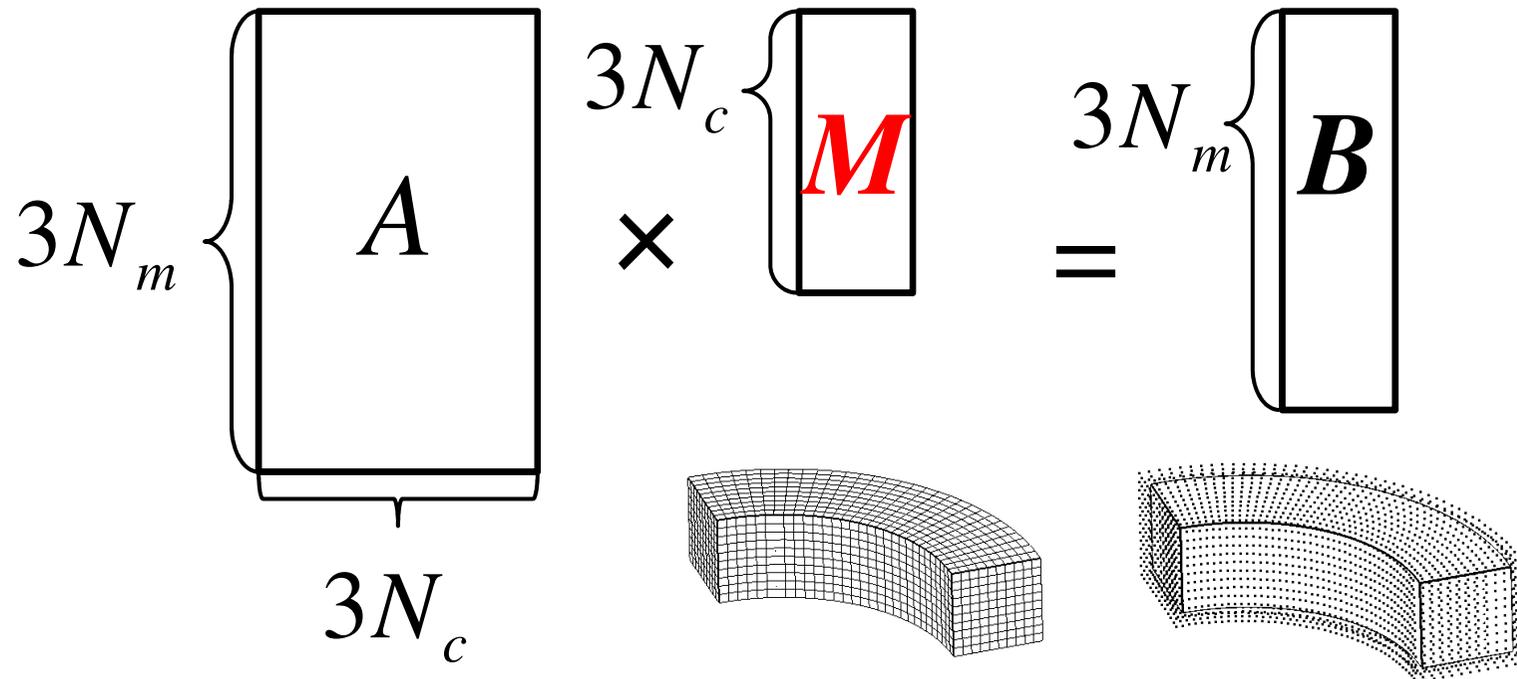


$$AM = B \quad \Rightarrow \quad A^T AM = A^T B$$

$A^T A$ は、正方行列となるので、ガウスの消去法等の直接法で求解可能(解が無数にある性質は不変)

$$AM = B$$

$$\text{逆解析 : } B \Rightarrow M$$



- ✓ M を求めるために、 A の逆行列が必要だが、 $N_c \neq N_m$ の場合、厳密な逆行列が存在しない。
- ✓ 疑似逆行列を生成するために、特異値分解を行う。

打ち切り特異値分解

□ 矩形行列の場合，逆行列が存在しないため，疑似逆行列 A^+ を作成する。

$$M = A^+ B = \sum_{i=1}^k (v_i s_i^{-1} u_i^T) B$$

$$(A^+ = V S^{-1} U^T = \sum_{i=1}^k v_i s_i^{-1} u_i^T)$$

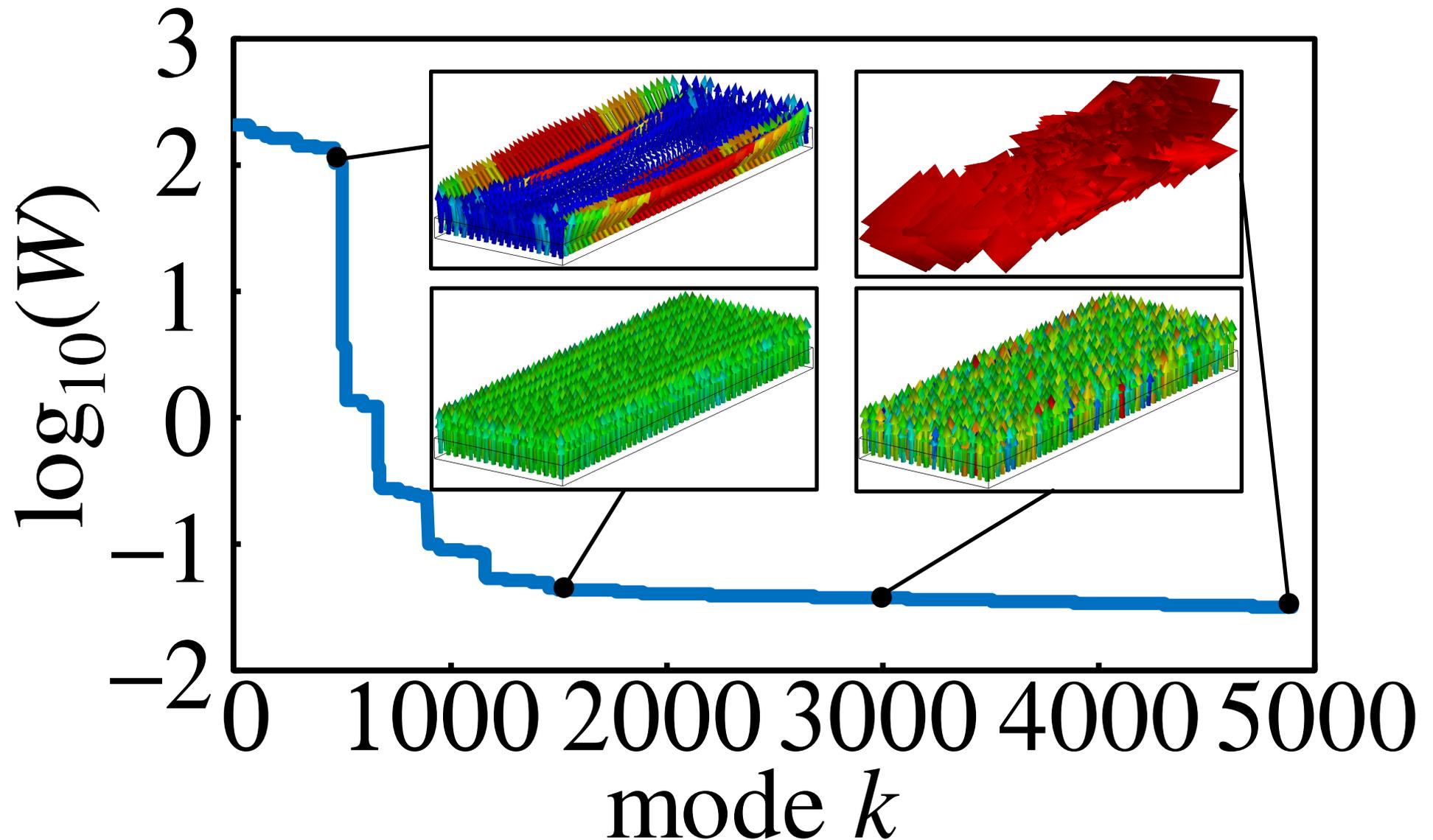
S^{-1} : 対角に特異値 $s_{1\sim n}$ の逆数に置き換えた行列 (非対角は全て0)
 r : 行列のランク ($1 \leq k \leq r$)

※MATLABのライブラリを使用

- ✓ 特異値の逆数を使用するため，高次モードの小さな特異値は解の発散を招く。
- ✓ 行列ランク r まで，足し合わせず， k モード以降のモードを打ち切ることで，非物理的な磁化分布を抑制

モードと目的関数の特性

□ パラレル配向における特異値分解推定結果



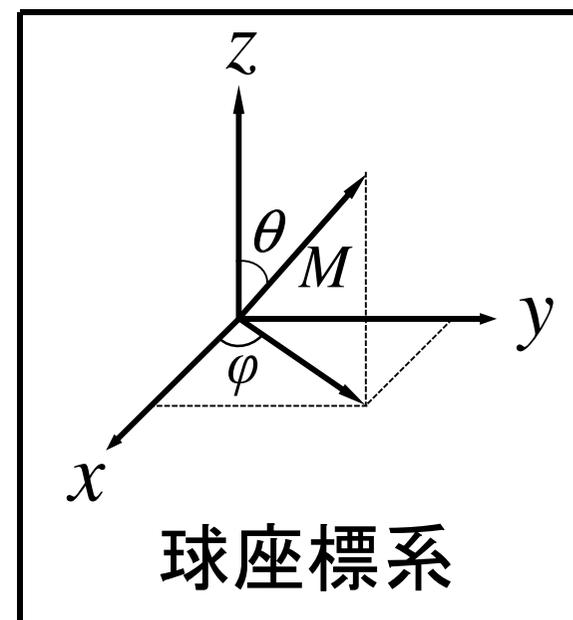
□ 不等式制約条件付き最適化問題

$$\min. W = \sum_{k=1}^{N_m} (\mathbf{B}^{(k)} - \mathbf{B}_0^{(k)})^2$$

$$M_{\min} \leq M^{(i)} \leq M_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, N_c)$$

$$\text{s.t. } \theta_{\min} \leq \theta^{(i)} \leq \theta_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, N_c)$$

$$\varphi_{\min} \leq \varphi^{(i)} \leq \varphi_{\max} \quad (i = 1, 2, \dots, N_c)$$



\mathbf{B} : Biot-Savart 則から得られる磁束密度

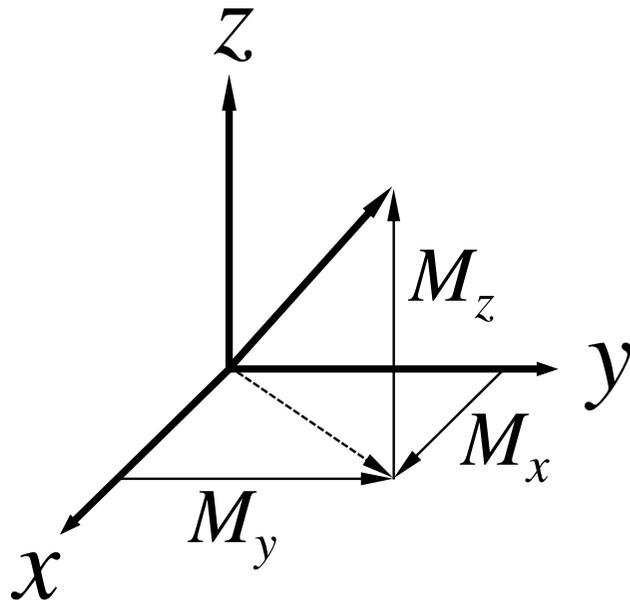
\mathbf{B}_0 : 磁界計測器から得られる磁束密度

N_c : 永久磁石の分割数 N_m : 測定点数

✓ 磁化ベクトルを球座標系で表すことで、磁化強度の制約条件を直接定義することができる。

SiGradの磁化ベクトル表現方法

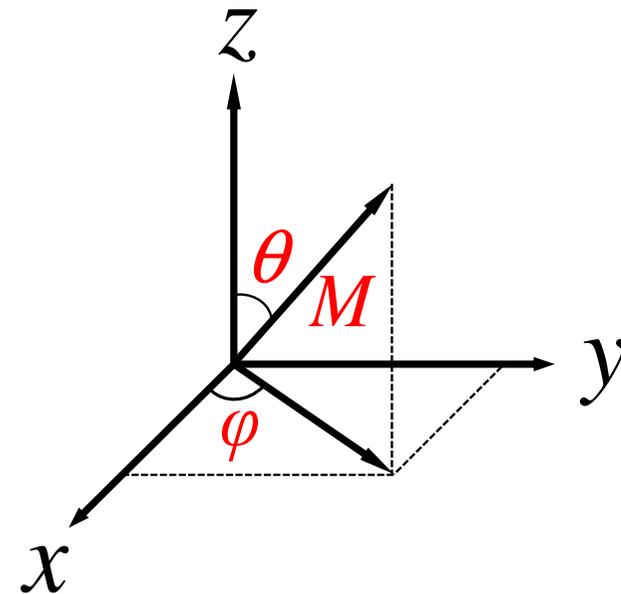
□ 直交座標系



$$\mathbf{M} = \mathbf{i}(M_x) + \mathbf{j}(M_y) + \mathbf{k}(M_z)$$

変数 : M_x, M_y, M_z

□ 球座標系



$$\mathbf{M} = \mathbf{i}(M \sin \theta \cos \varphi) + \mathbf{j}(M \sin \theta \sin \varphi) + \mathbf{k}(M \cos \theta)$$

変数 : M, θ, φ

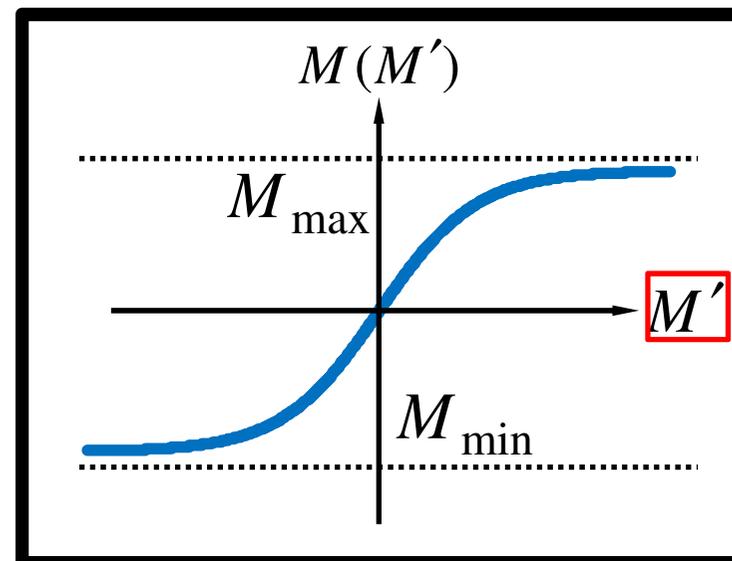
制約条件をシグモイド関数で考慮

□ 制約付き磁化強度 M への変換

$$M(M') = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{1 + e^{-M'}} + M_{\min}$$

$$\text{s.t. } M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$$

$$\frac{\partial M}{\partial M'} = \frac{e^{-M'} (M_{\max} - M_{\min})}{(1 + e^{-M'})^2}$$



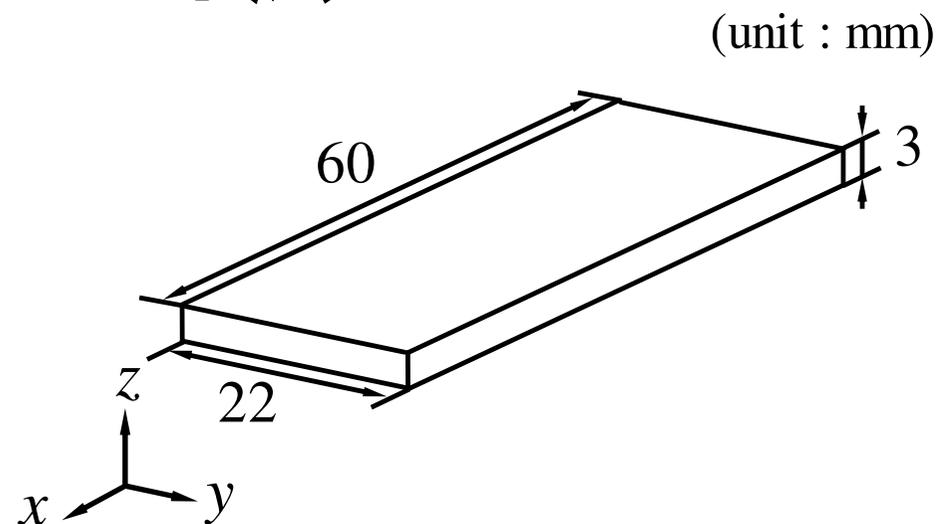
□ シグモイド関数を用いることにより、**制約条件内から解を探索**ができる。

□ 陰的に制約条件を考慮することができるため、**無制約最適化問題に変換**ができる。

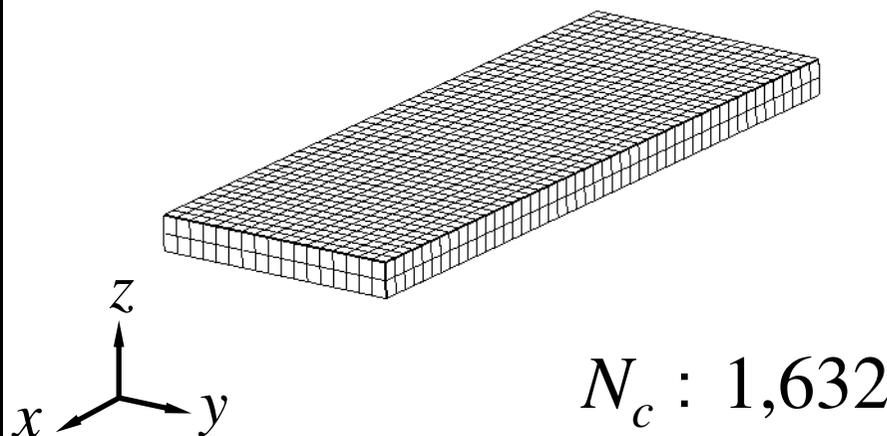
減磁したノパラレル配向磁 石の磁化推定

解析モデル(減磁磁石)

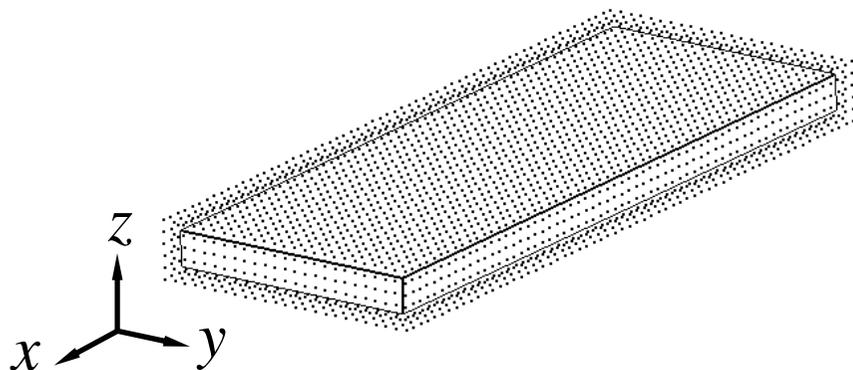
➤ 寸法



➤ メッシュ



➤ 測定点の配置

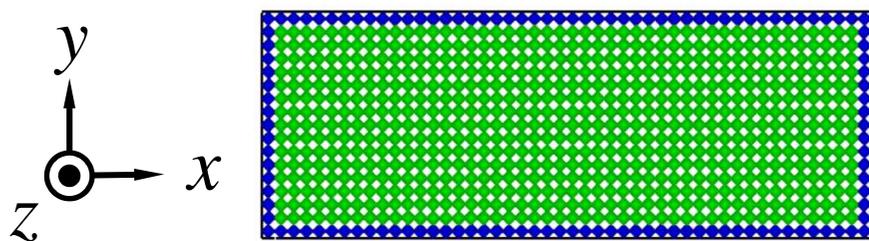
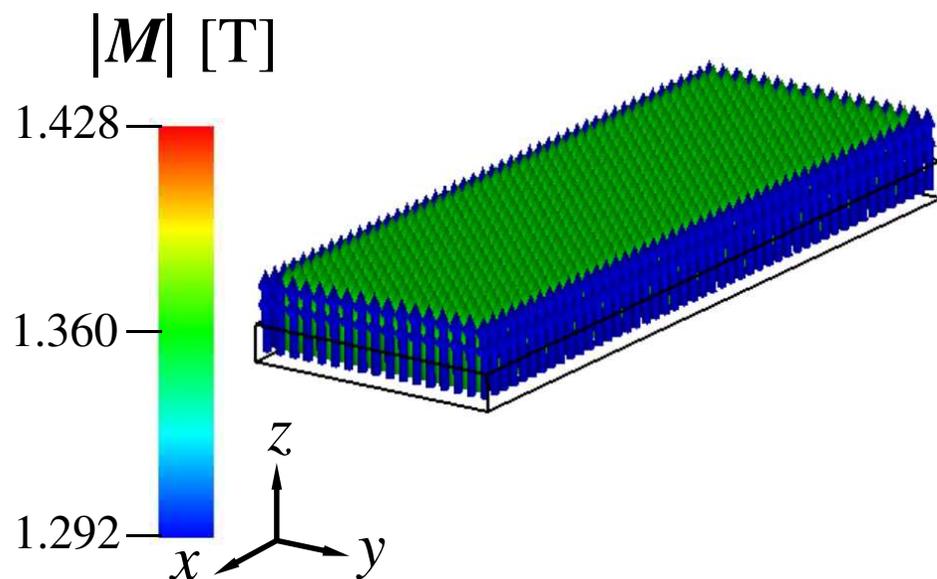


✓ 測定点の配置は、磁石から、1 mm離れた領域に点同士の間隔を1 mmに定義する。

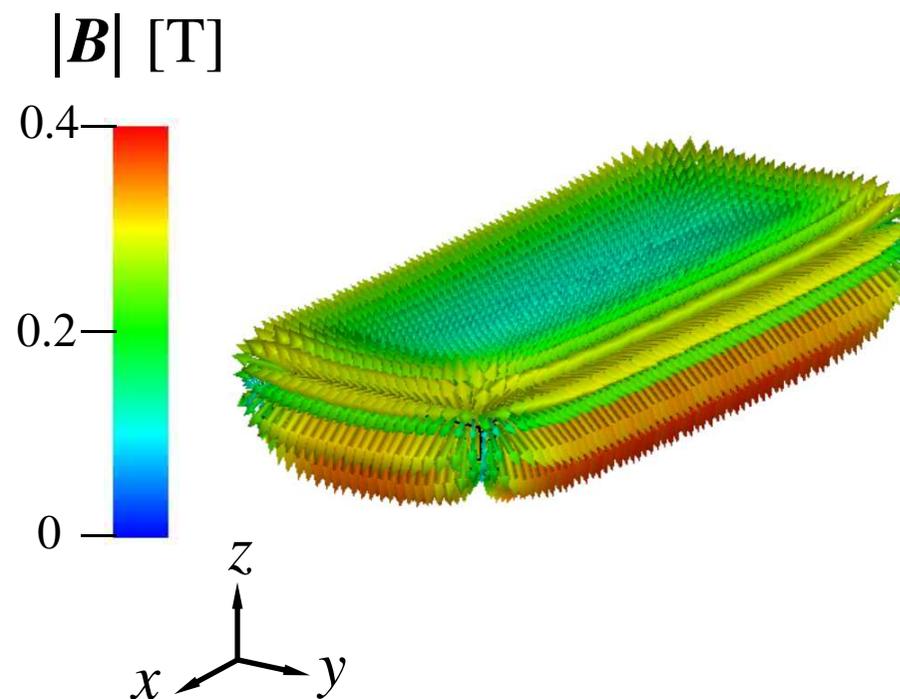
✓ $N_m : 3,838$ 点

減磁した平行配向磁石

➤ 減磁した磁化分布

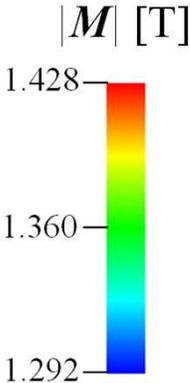
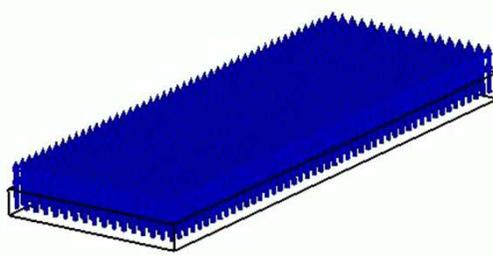
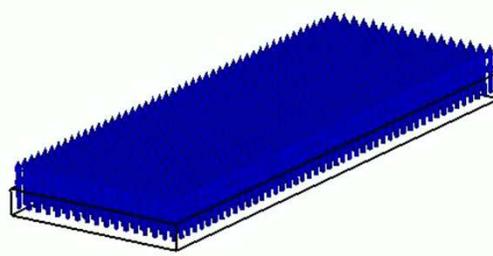
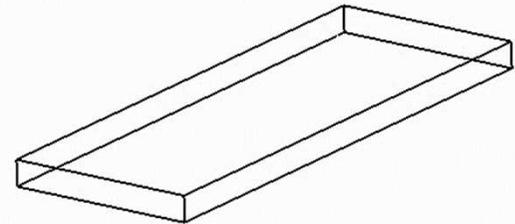
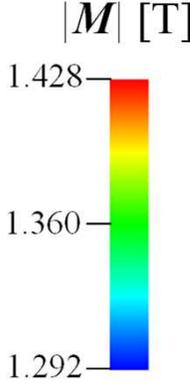
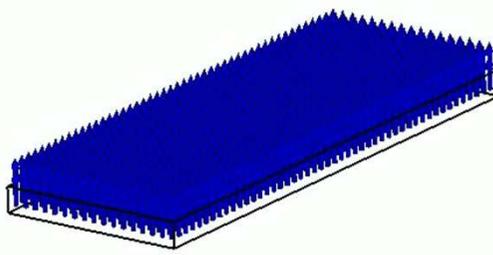
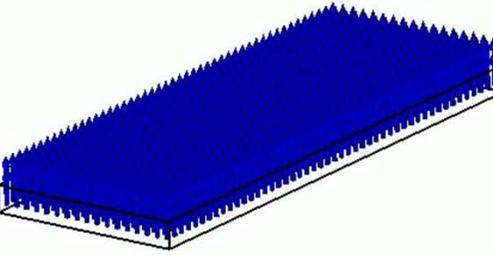
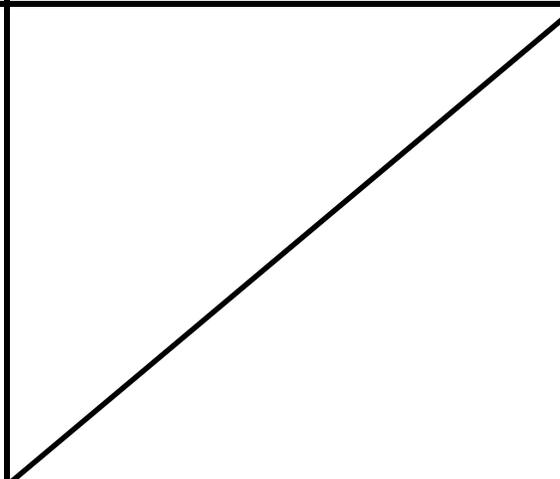


➤ 外部磁場分布 B_0

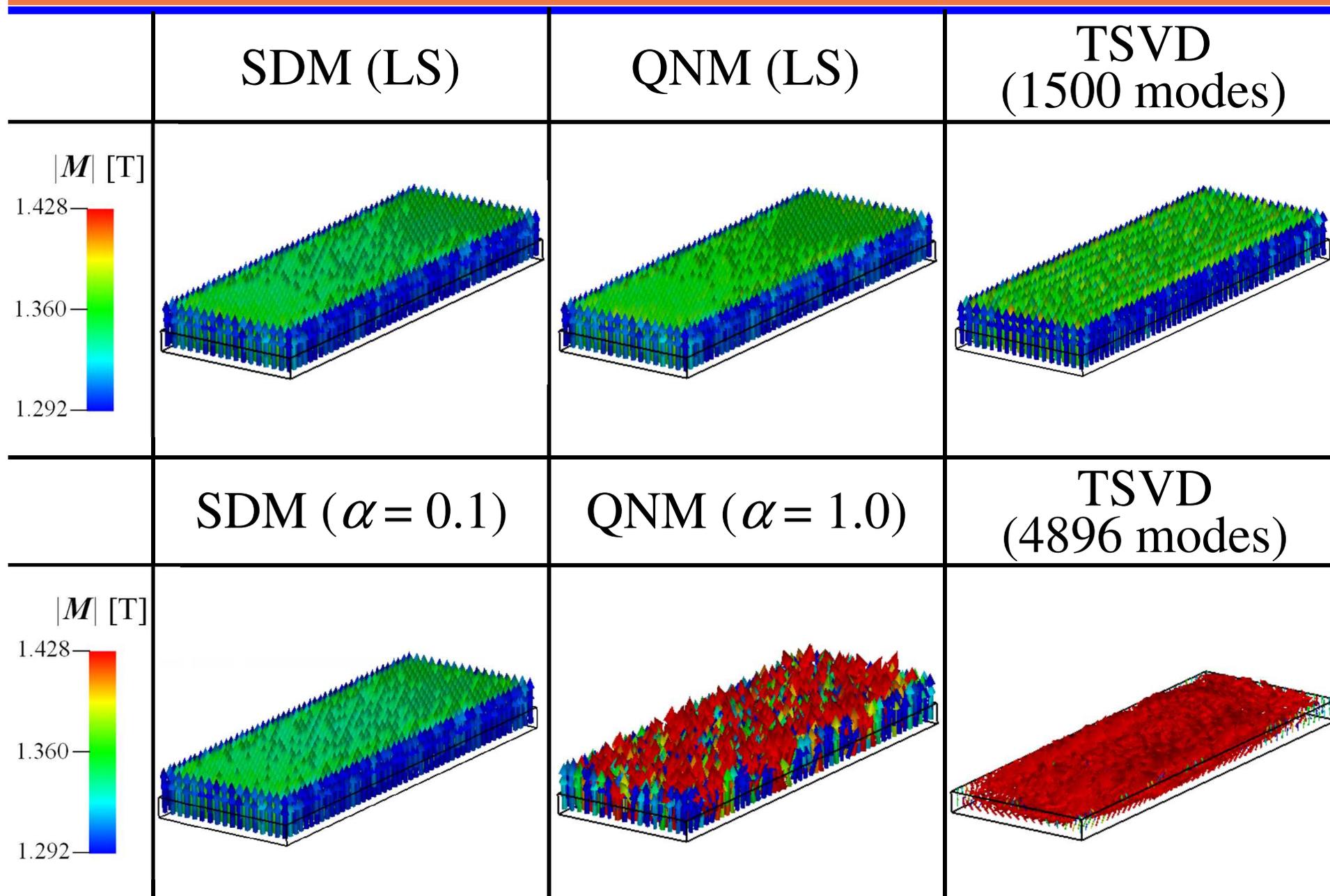


- 経年劣化で、磁石端部が目標磁化の 5 %減磁した平行配向を想定

各手法の推定結果(減磁磁石)

	SDM (LS)	QNM (LS)	TSVD
<p>M [T]</p>  <p>1.428</p> <p>1.360</p> <p>1.292</p>	 <p>No.0, W=1.385819e+01</p>	 <p>No.0, W=1.385819e+01</p>	
	SDM ($\alpha = 0.1$)	QNM ($\alpha = 1.0$)	
<p>M [T]</p>  <p>1.428</p> <p>1.360</p> <p>1.292</p>	 <p>No.0, W=1.385819e+01</p>	 <p>No.0, W=1.385819e+01</p>	

各手法の推定結果（減磁磁石）



推定結果 (減磁磁石)

method	iteration	W [T ²]	elapsed time [s]
TSVD* (4896 modes)	—	3.10×10^{-2}	917
TSVD* (1500 modes)	—	4.22×10^{-2}	917
SDM ($\alpha = 0.1$)	1345	5.55×10^{-2}	537
SDM (LS)	17	4.95×10^{-2}	92
QNM ($\alpha = 1.0$)	839	3.37×10^{-2}	501
QNM (LS)	13	4.23×10^{-2}	74

CPU : Ryzen 9 5950X 4.2 GHz & 128 GB RAM

* : MATLAB に実装されているライブラリ
(OpenMP による並列化)

良い手法を開発できたのは良かったが・・・

- 自由空間に配置した永久磁石の磁化推定
 - 波及効果は限定的（永久磁石メーカー）
 - 量産型モータの回転子・固定子に装荷された永久磁石の着磁方式は，組立後着磁が殆ど

IPM モータの回転子

着磁ヨーク

着磁後の永久磁石の磁化分布は，不明・・・

不均質な着磁磁界分布

□ 着磁磁界分布例

- V字型 IPM モータの回転子

回転子全体

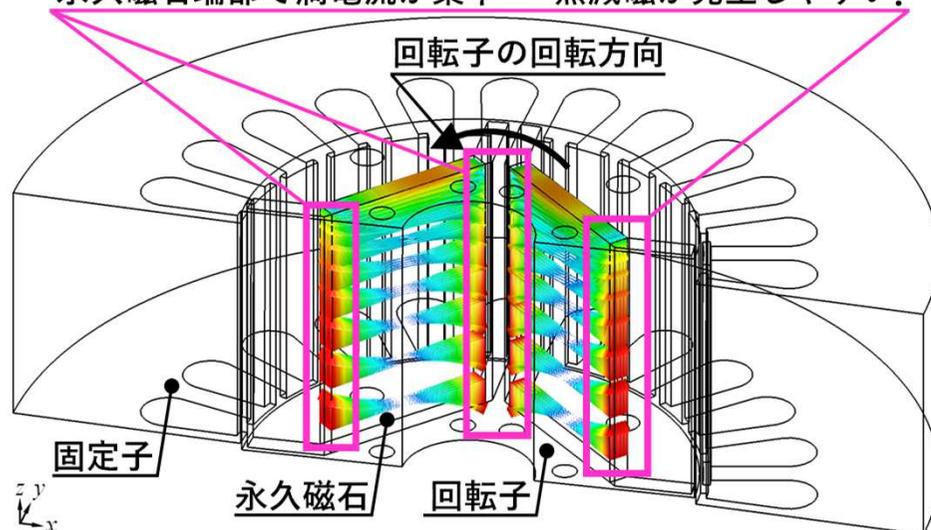
永久磁石の着磁磁界

ネオジム磁石の弱点

□EV用モータの回転子に装荷された永久磁石には渦電流が発生し、ジュール損が発生



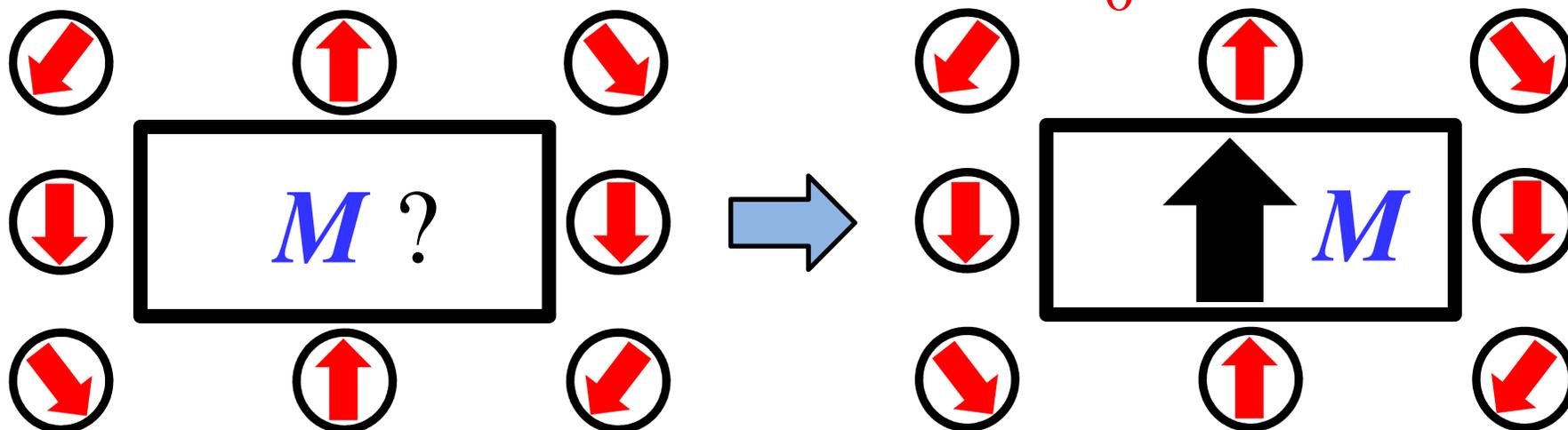
永久磁石端部で渦電流が集中 → 熱減磁が発生しやすい。



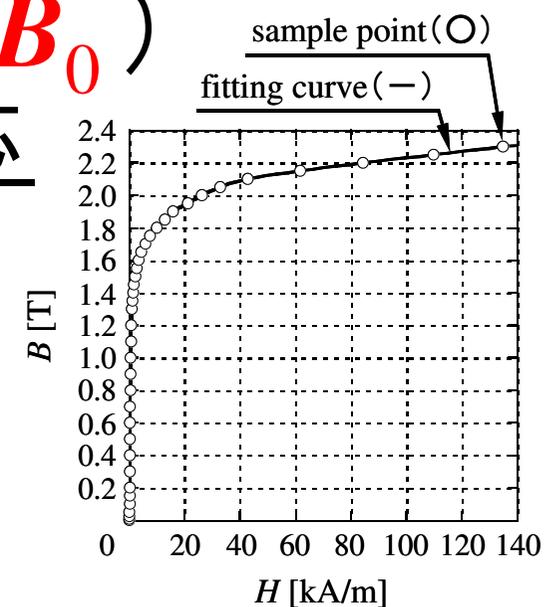
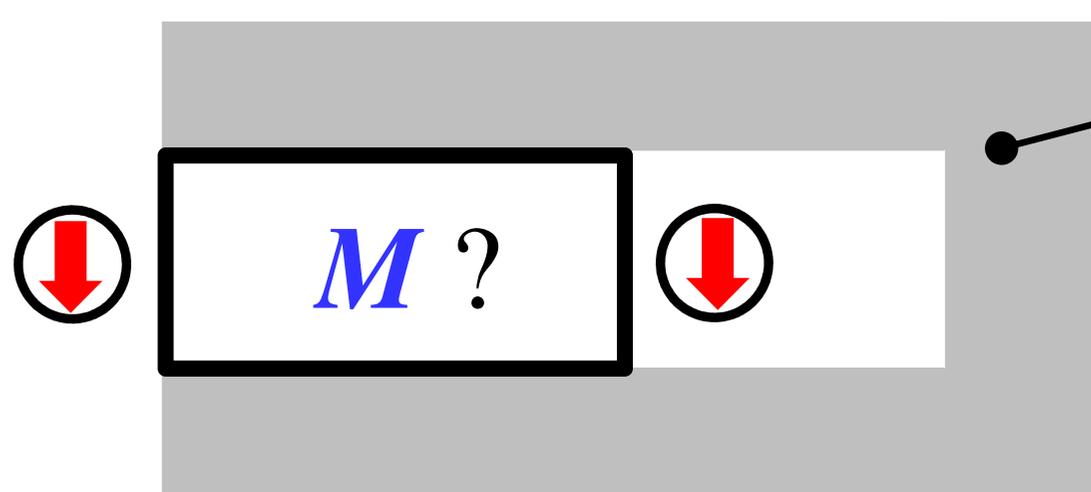
- ネオジム磁石は熱に弱い！
- 200°C以上の高温にさらされると、ネオジム磁石の性能が低下する。（※ キュリー点：約 310 °C）
- 常温に戻っても、本来の性能に戻らない（不可逆減磁）。
- 永久磁石はレアアースで出来ているし、大切に使いたい。

逆問題の場合分け

□ 逆問題 (線形材料 $AM = B_0$)

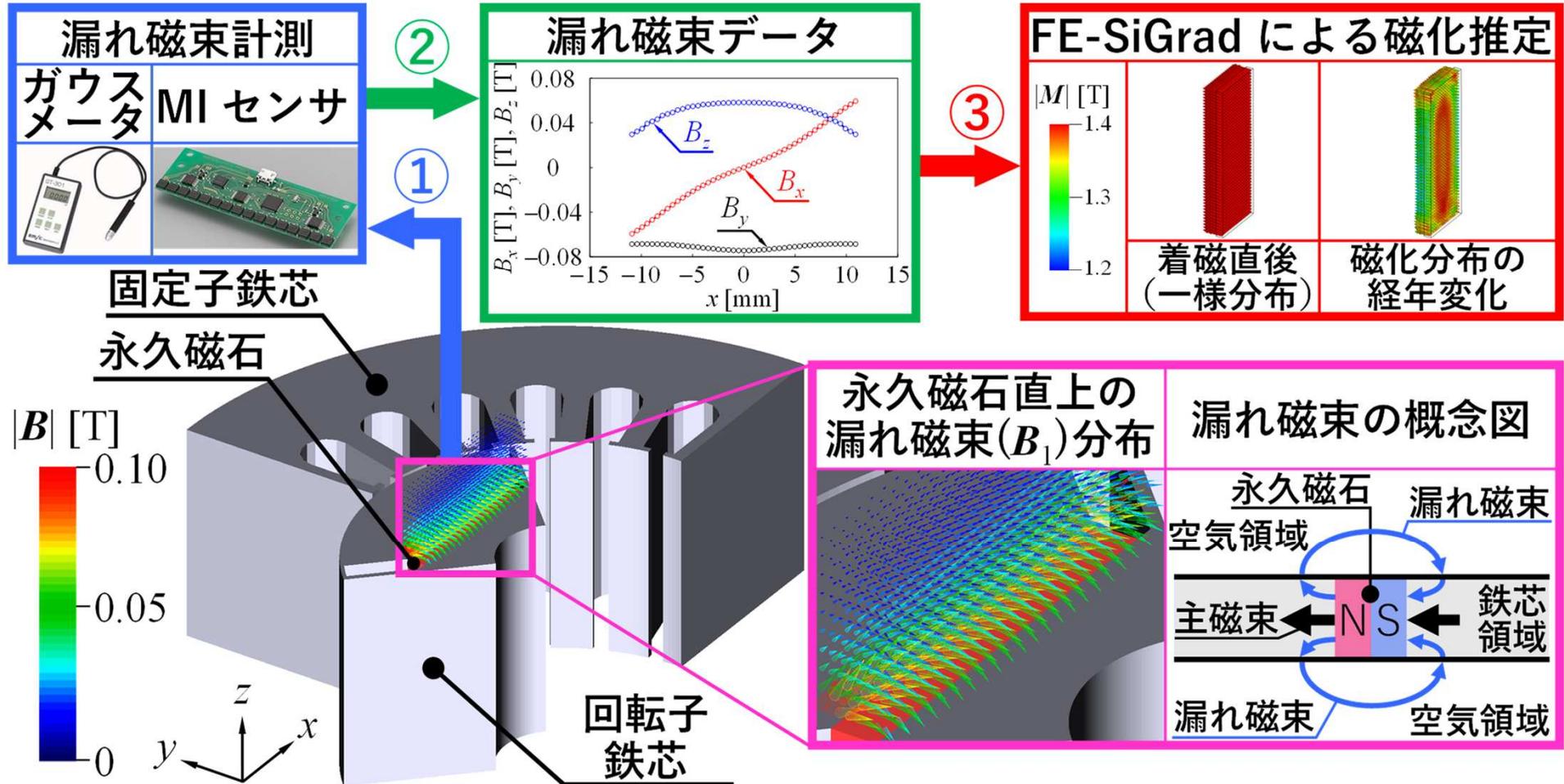


□ 逆問題 (非線形材料 $AM \neq B_0$)



新しい磁化推定手法の開発(特許出願済)

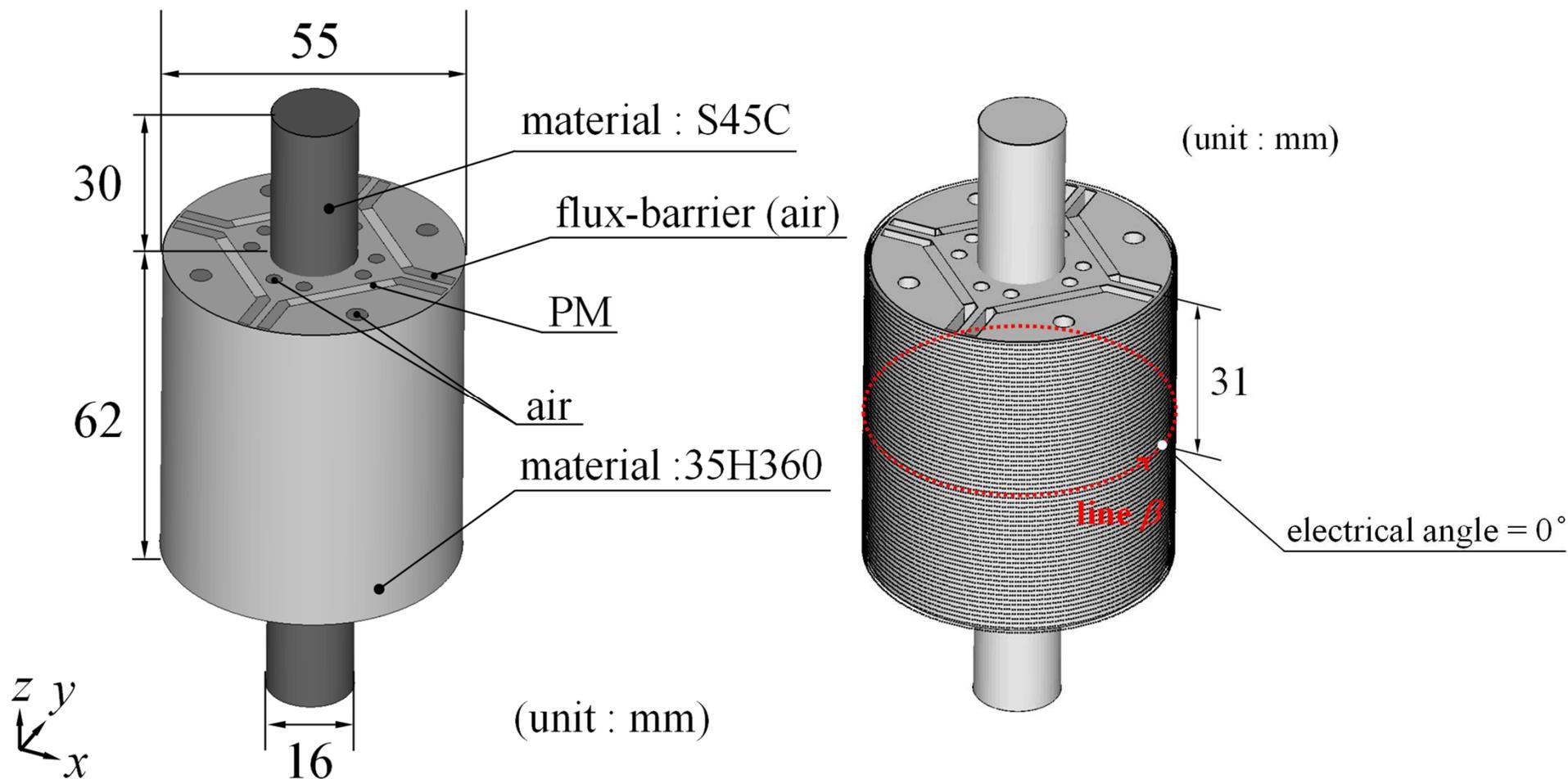
□ 本研究で提案する漏れ磁束を活用した永久磁石磁化推定手法 (Magnetization Estimation using Leakage Flux, MELF)



岡本吉史・中村勢到・塩山将英:「磁化推定装置, 磁化推定方法, 及びプログラム」, 特願 2022 (PCT 各国移行の前段階)
 中村勢到・岡本吉史:「組立着磁後におけるSPMSM回転子の漏れ磁束を用いた永久磁石磁化推定手法に関する検討」, 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌), Vol. 143, No. 7, pp. 553-554(2023)

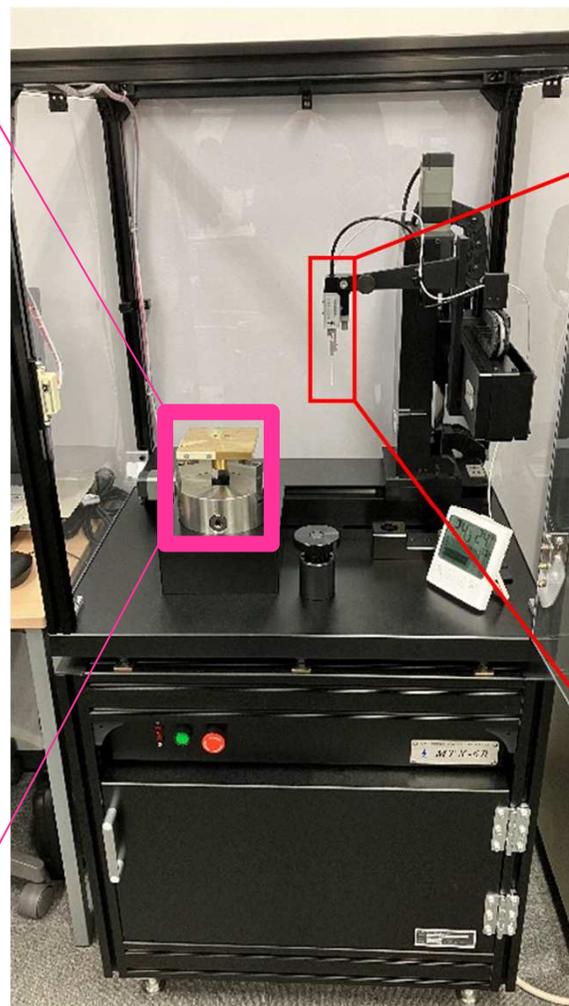
電気学会 D モデルの表面磁束測定

□ 測定モデルと測定点



磁界測定器 (MTX-6R, アイエムエス社)

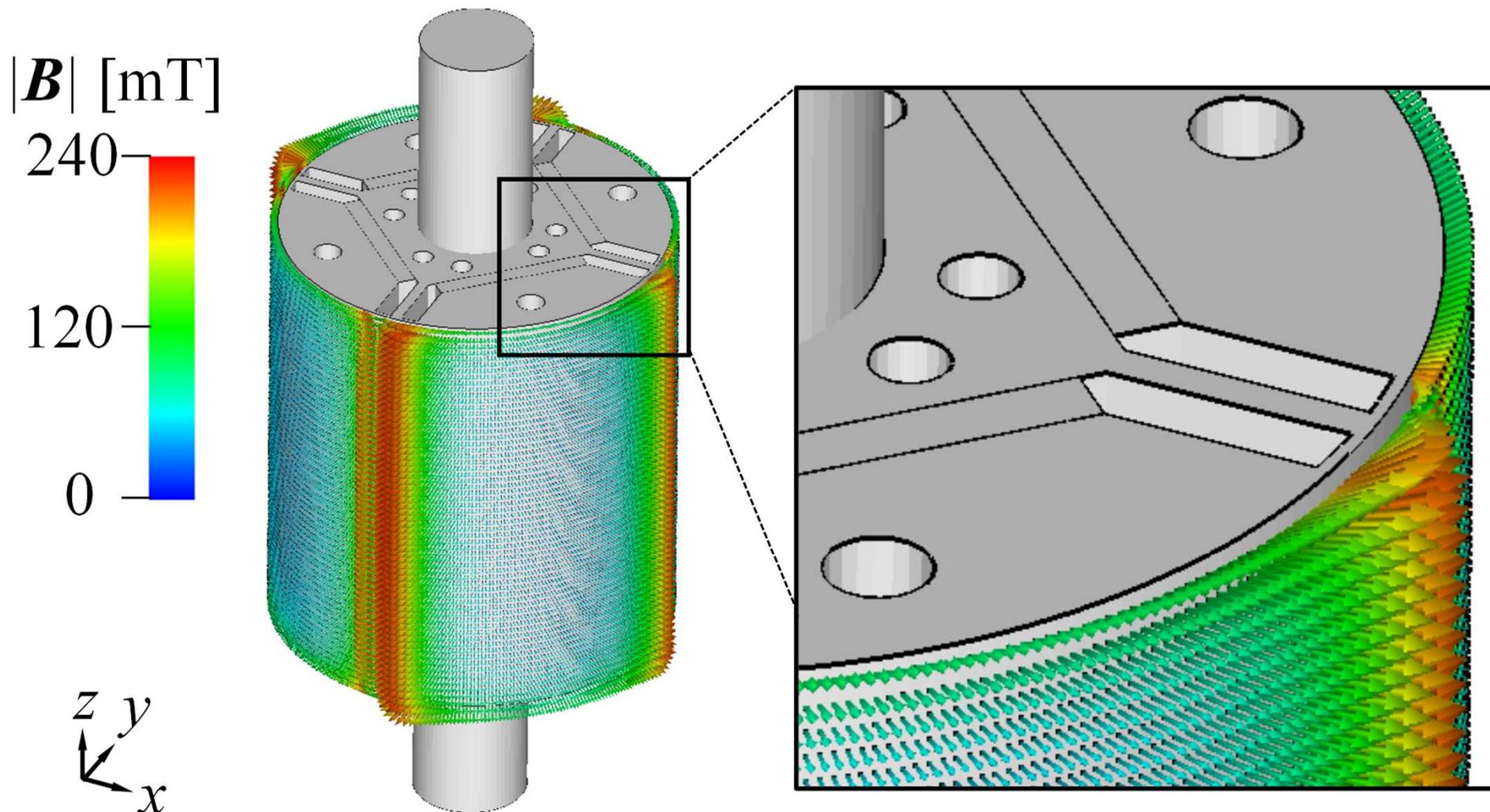
□ 高精度な漏れ磁束計測が可能



SENIS 製高精度
3 軸磁気センサ

<https://ims-jp.com/products/mtx/mtx6/>

回転子鉄芯表面磁束の実測値の可視化



MELFにおける最適化問題

□最小二乗形式

$$\min. W = \sum_{k=1}^{N_m} (\mathbf{B}^{(k)} - \mathbf{B}_0^{(k)})^2$$

$\mathbf{B}^{(k)}$: FEMから得られる漏れ磁束

$\mathbf{B}_0^{(k)}$: 計測点 k における漏れ磁束

N_m : 漏れ磁束を評価する領域における測定点数

□MELFにおける変数

$$\mathbf{M} = \{M_x^{(1)}, M_y^{(1)}, M_z^{(1)}, \dots, M_x^{(N_{PM})}, M_y^{(N_{PM})}, M_z^{(N_{PM})}\}^T$$

M_x, M_y, M_z : 磁石要素における磁化ベクトルの x, y, z 成分

N_{PM} : 永久磁石の要素数

随伴変数法

□ 拡張目的関数の定義

$$\bar{W} = W + \lambda^T \{ K(A)A - F \} \quad \lambda: \text{随伴変数}$$

□ 拡張目的関数の一階偏微分

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{W}}{\partial M} &= \left(\frac{\partial W}{\partial A} \right)^T \frac{\partial A}{\partial M} + \lambda^T \left[\left\{ K(A) + \frac{\partial K(A)}{\partial A} A \right\} \frac{\partial A}{\partial M} + \frac{\partial K(A)}{\partial M} A - \frac{\partial F}{\partial M} \right] \\ &= \left[\left(\frac{\partial W}{\partial A} \right)^T + \lambda^T \left\{ K(A) + \frac{\partial K(A)}{\partial A} A \right\} \right] \frac{\partial A}{\partial M} + \lambda^T \left(\frac{\partial K(A)}{\partial M} A - \frac{\partial F}{\partial M} \right) \\ &= \left[\left(\frac{\partial W}{\partial A} \right)^T + \lambda^T \left\{ K(A) + \frac{\partial K(A)}{\partial A} A \right\} \right] \frac{\partial A}{\partial M} + \lambda^T \left(-\frac{\partial F}{\partial M} \right) \end{aligned}$$

第一項目
第二項目

随伴変数法

□ 随伴方程式

$$\left\{ K(\mathbf{A}) + \frac{\partial K(\mathbf{A})}{\partial \mathbf{A}} \mathbf{A} \right\}^T \boldsymbol{\lambda} = -\frac{\partial W}{\partial \mathbf{A}} \quad \text{第一項より}$$

$$\frac{\partial \bar{W}}{\partial \mathbf{M}} = \boldsymbol{\lambda}^T \left(-\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{M}} \right) \quad \text{第二項より}$$

- ✓ 一式目の線形方程式より，随伴変数ベクトルを算出する。
- ✓ 算出された随伴変数ベクトルを第二項に代入することで，感度を導出することができる。

最適化手法 (SDM)

□ 最急降下法 (Steepest Descent Method)

- 目的関数 W の変数に関する一階偏導関数 (感度) を計算し, 変数の更新値とする.
- ✓ 修正ベクトル d_n の算出

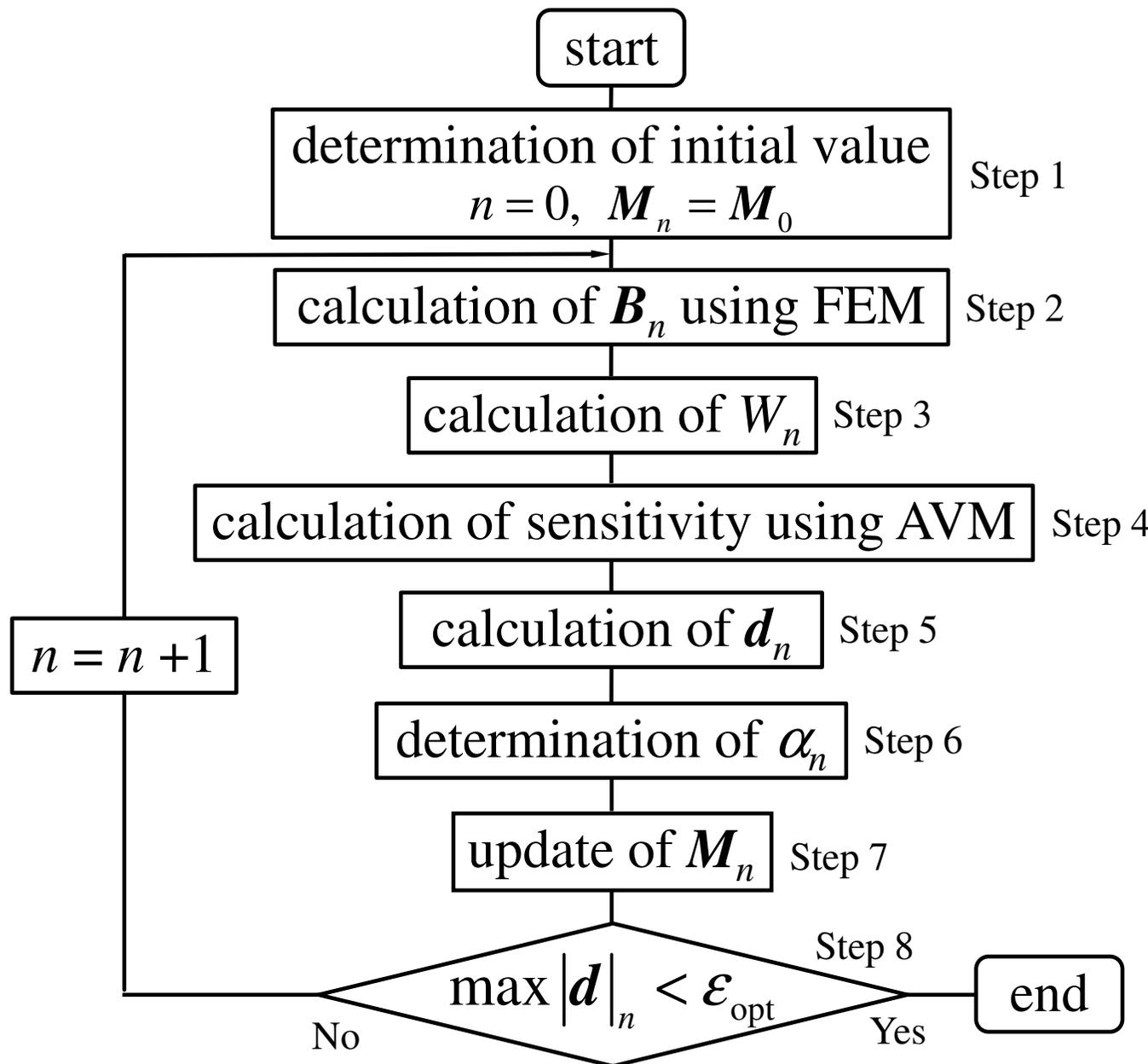
$$d_n = -\partial W_n / \partial M_n$$

- ✓ 変数の更新式

$$M_{n+1} = M_n + \alpha_n d_n$$

α_n : n ステップ目の直線探索により算出されるステップ幅

MELF のアルゴリズム

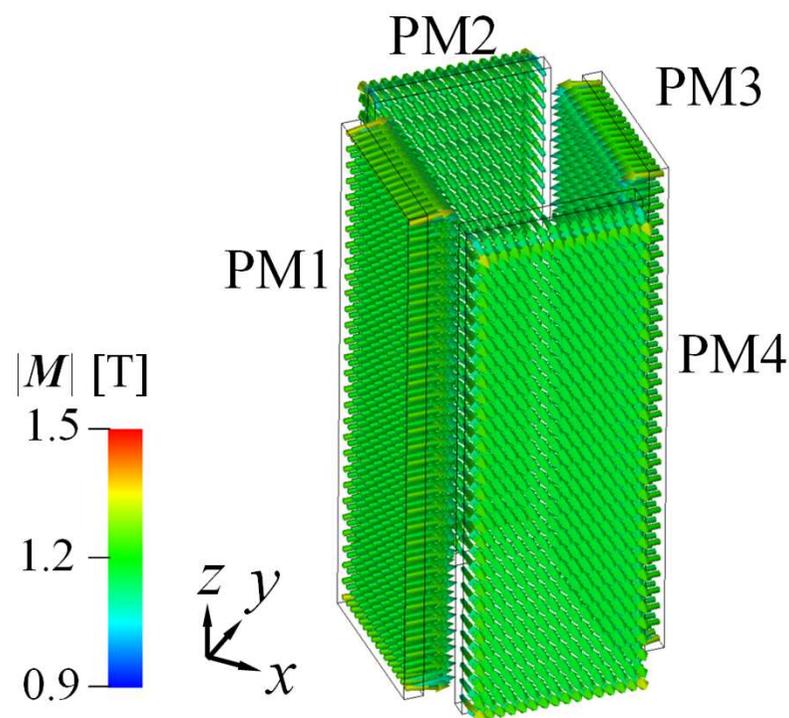


変数ベクトル

$$M_n = \begin{Bmatrix} M_x^{(1)} \\ M_y^{(1)} \\ M_z^{(1)} \\ \vdots \\ M_x^{(N_{PM})} \\ M_y^{(N_{PM})} \\ M_z^{(N_{PM})} \end{Bmatrix}$$

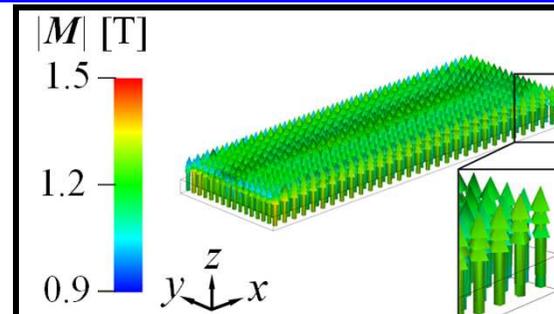
永久磁石磁化推定結果

MELF による磁化 推定結果 (鉄芯部の可視化 除外)

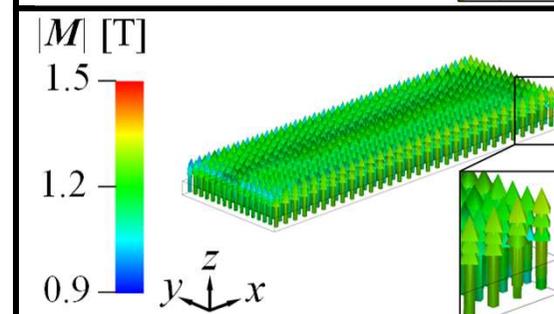


従来法
(永久磁石
単体での
磁化推定)

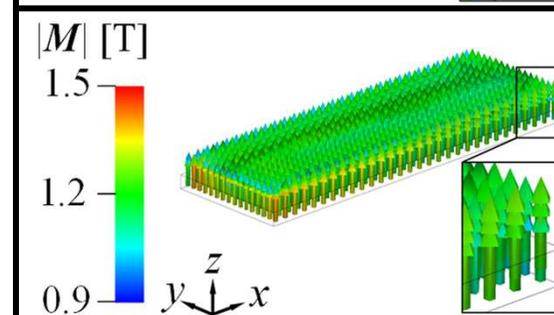
PM1



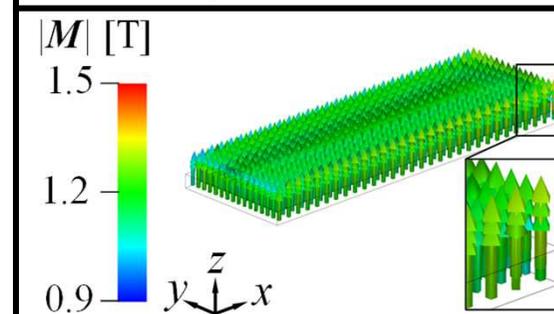
PM2



PM3

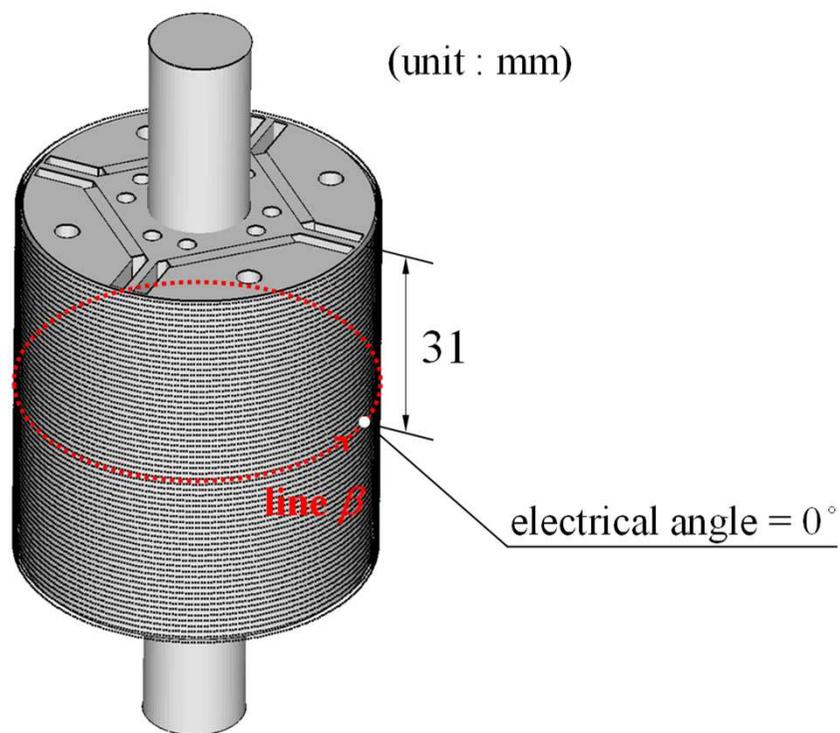


PM4

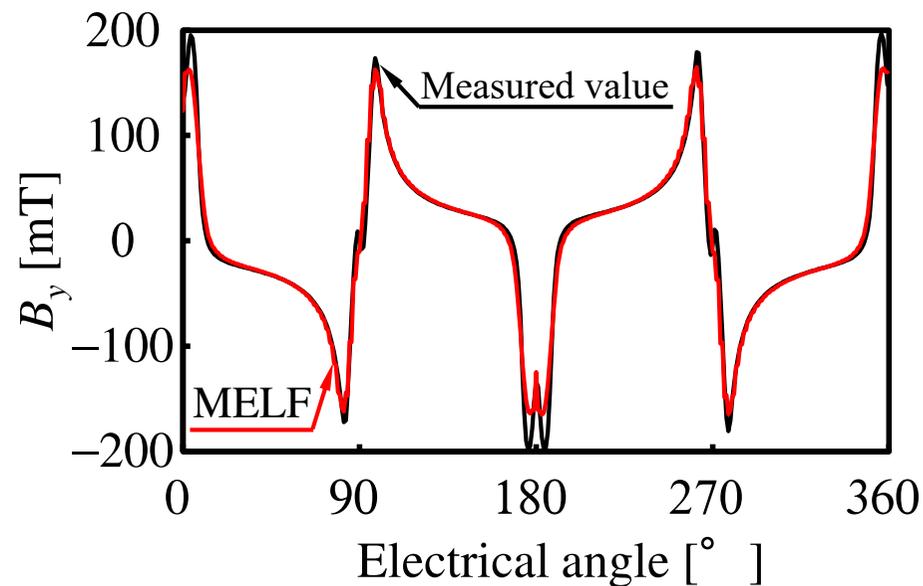
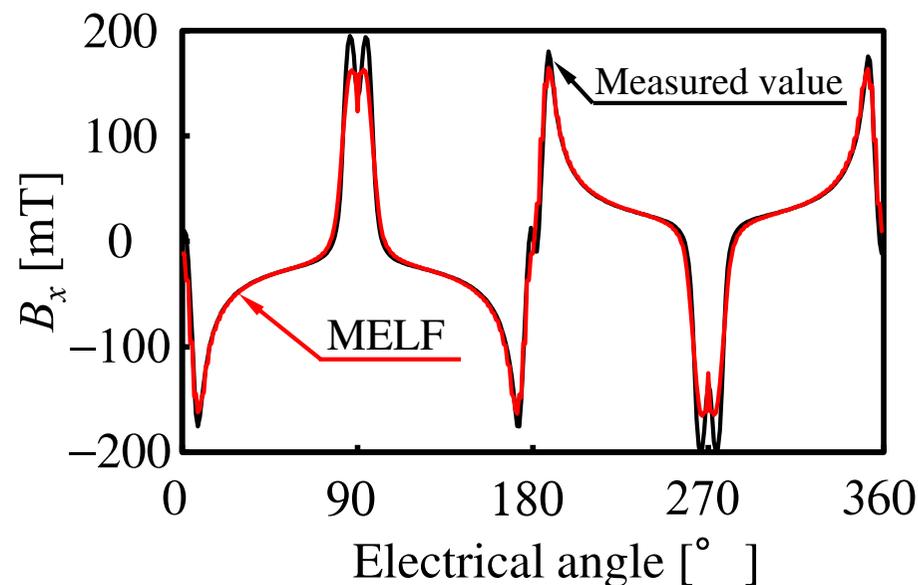


得られた磁化分布による再構成

line β 上の磁束密度を再構築



IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements へ投稿中



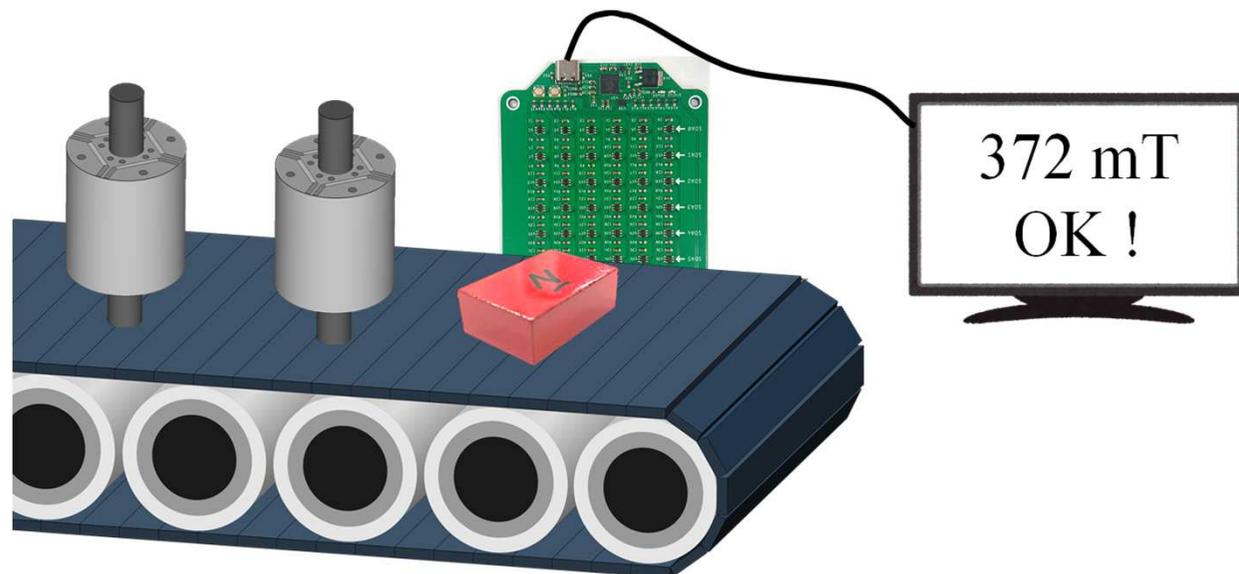
MELF の問題点

□ 今後の検討課題

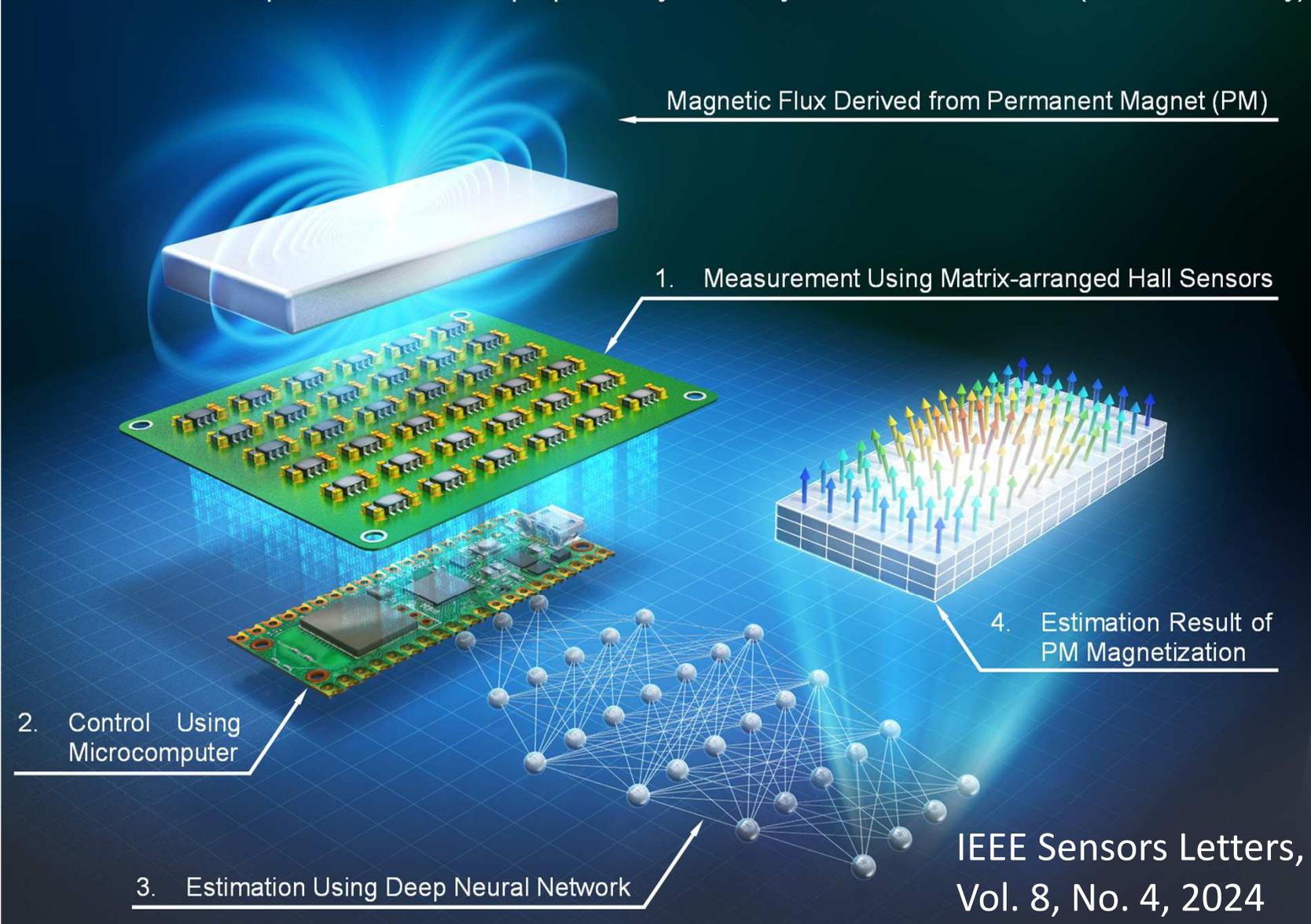
- 永久磁石領域の特定部分を減磁させた場合の磁化推定精度が良くない.
- 後着磁問題に対する効果を検証する必要がある.
- 鉄芯内部の磁束密度に比べて, 1 オーダ以上小さい漏れ磁束の計算精度が懸念点である.
- 計算時間の短縮(現状, 2 時間前後)
- ✓ MELF は, 永久磁石内の磁化分布の精密な推定を目指しています.

磁化推定技術の社会実装

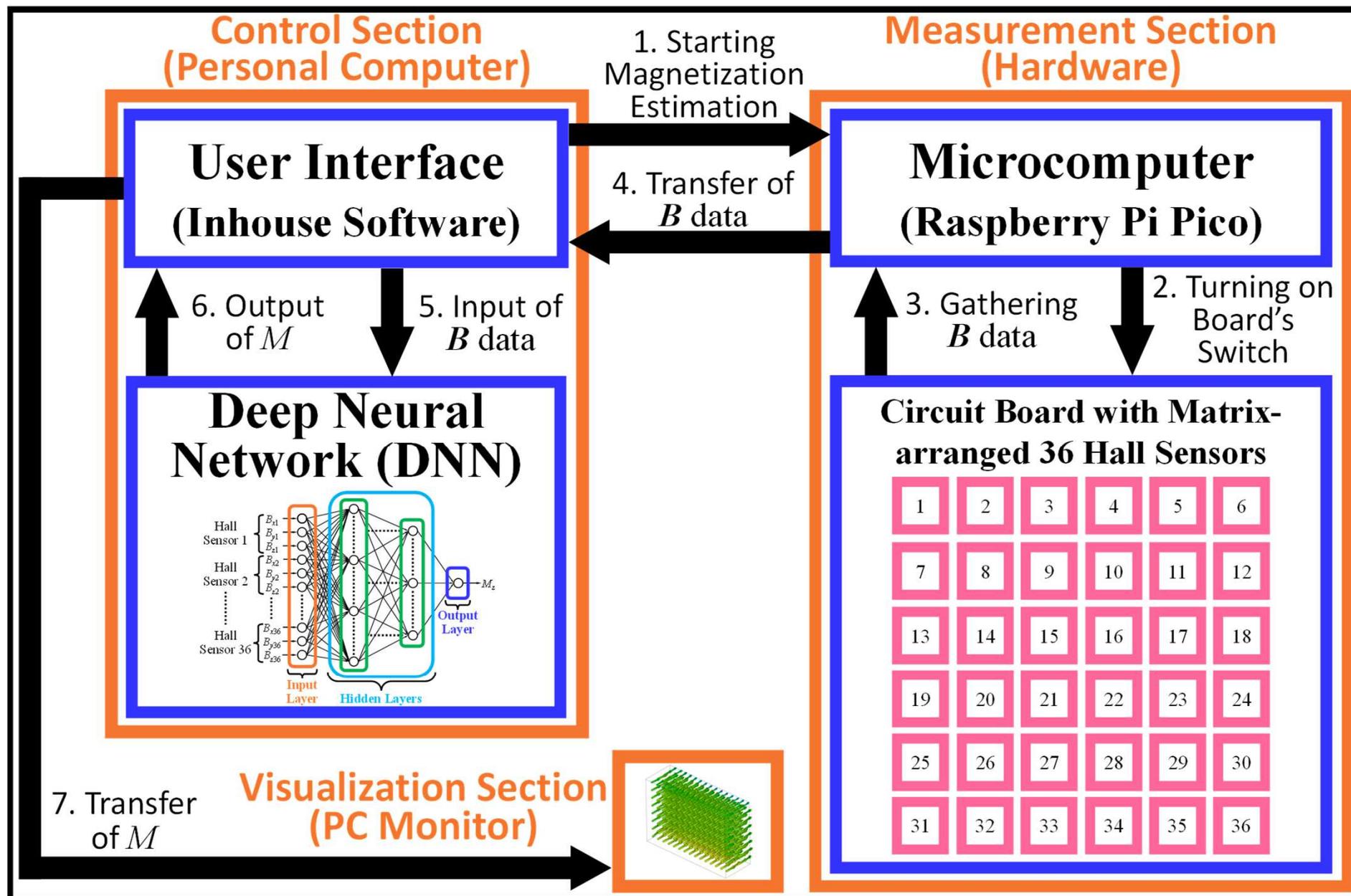
- 永久磁石 or 永久磁石モータの製造ラインへ実装したい.
- 高速性
- 計測部・磁化推定部が，一つのシステムとして構築されている.
- 再現性の高い実測結果・数値的な推定手法



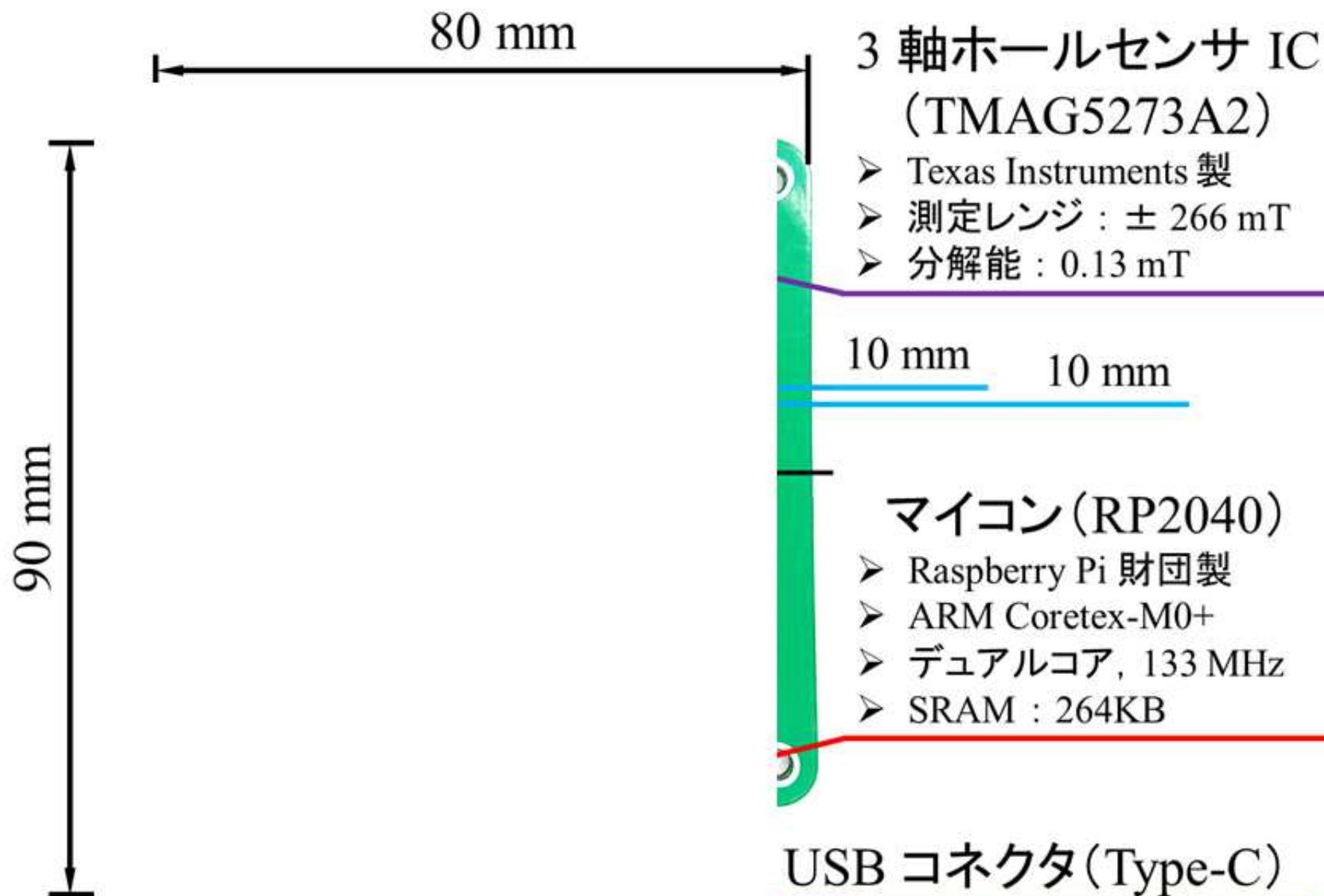
“Fast-sensing System of Permanent Magnet Magnetization Using Matrix-arranged Hall Sensors Combined with Deep Neural Network” proposed by M. Shioyama and Y. Okamoto (Hosei University)



システム構成

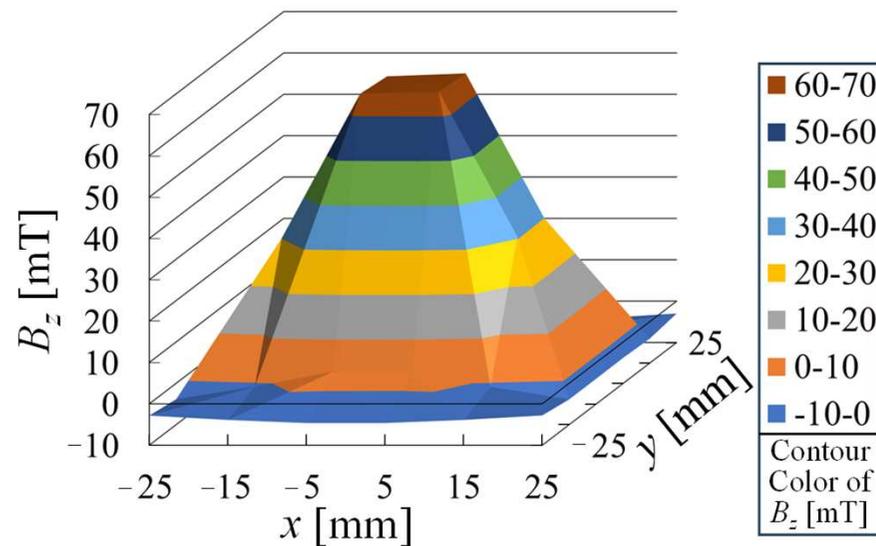


ホールセンサのマトリクス配列

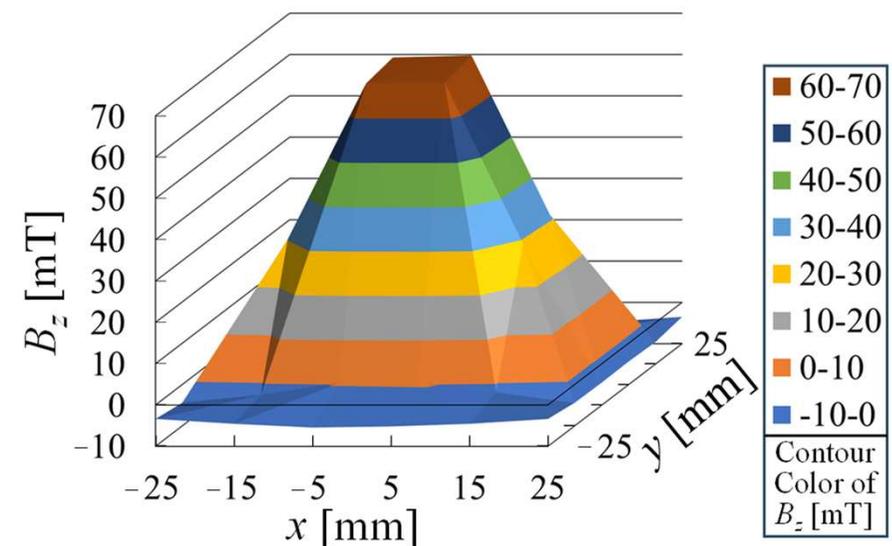


回路基板の磁界計測精度

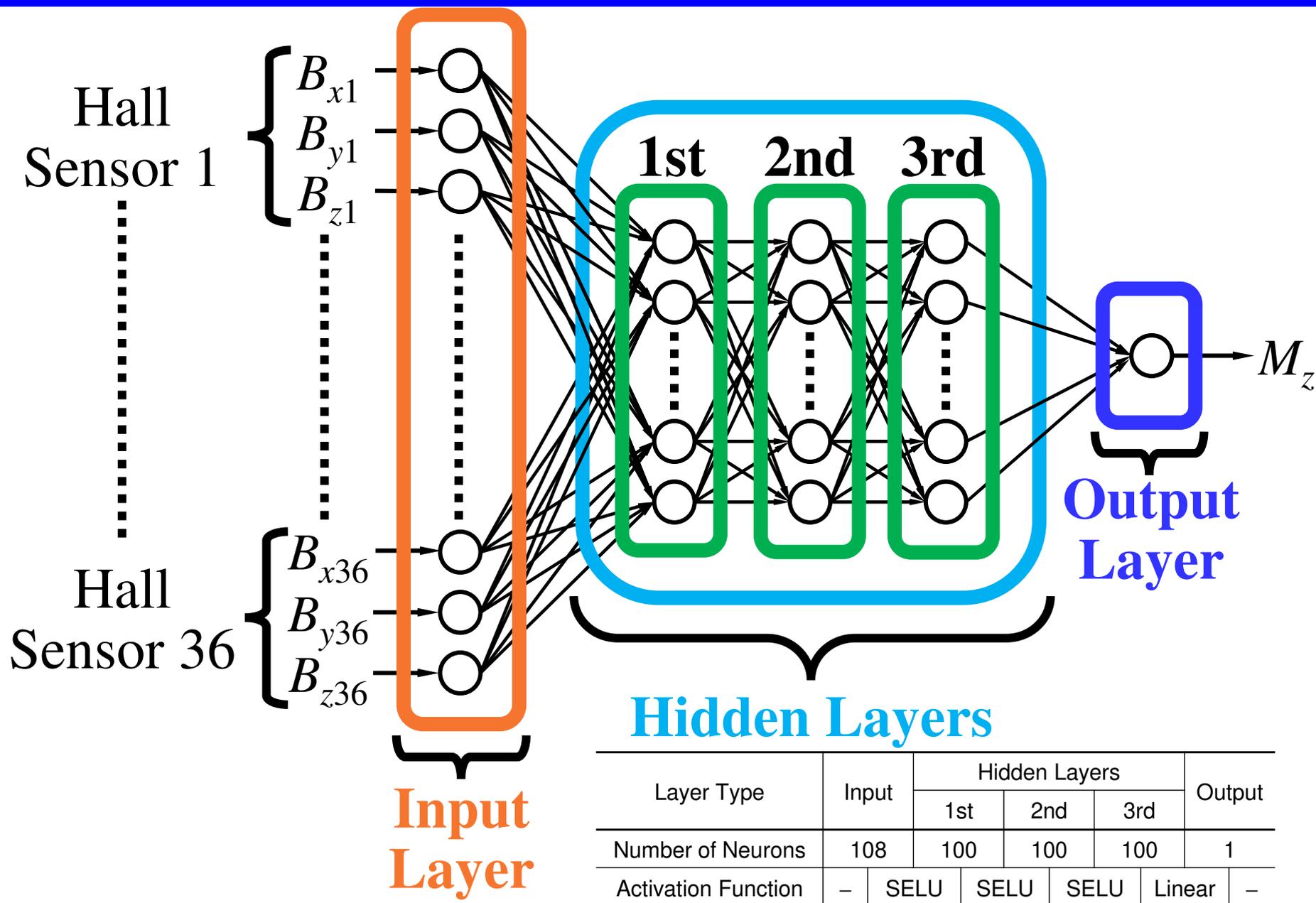
MTX-6R



In-house Circuit Board



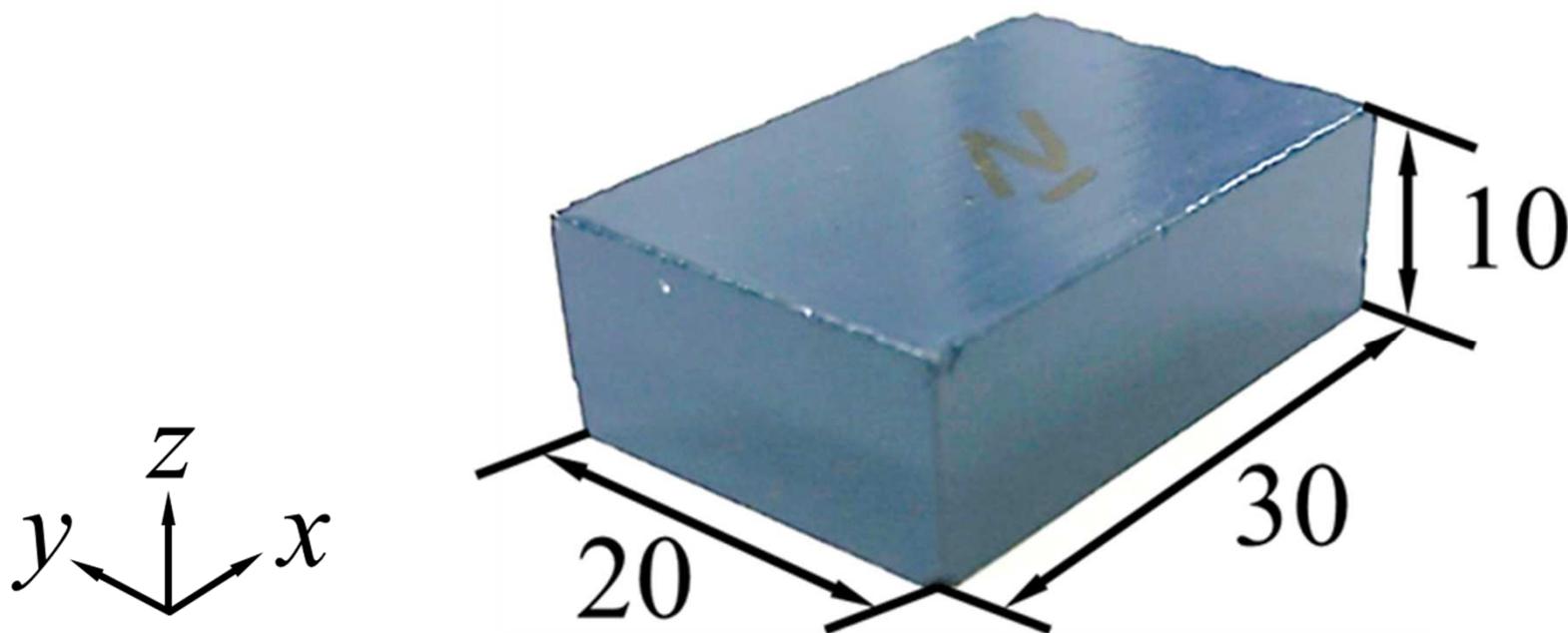
シンプルな DNN 構造



磁化推定対象

□ 永久磁石

- フェライト磁石（アクタス製，Y35）
- ✓ B_r : 400~440 mT, H_{cB} : 176~224 kA/m
- ✓ $+z$ 方向に着磁（平行配向）



比較対象

□ 磁化推定技法

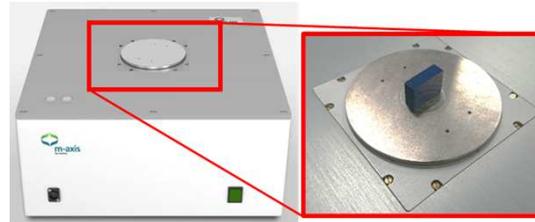
✓ フェライト磁石の磁化強度 M_z を推定

① MTX-6R + SiGrad

➤ 収束判定条件 $\epsilon_{\text{opt}} = 10^{-9}$

➤ 制約条件: $M_{\text{min}} = 0 \text{ mT}$, $M_{\text{max}} = 1,000 \text{ mT}$

② m-axis L



③ 提案手法

➤ 条件: $M_z = -500 \sim 500 \text{ mT}$ (25 mT 間隔), $z = 1 \sim 20 \text{ mm}$ (1 mm 間隔)

➤ 事前に Biot-Savart 則 ($B = AM$) で学習データを生成し, DNN モデルで学習 (所要時間: 約 3 分)

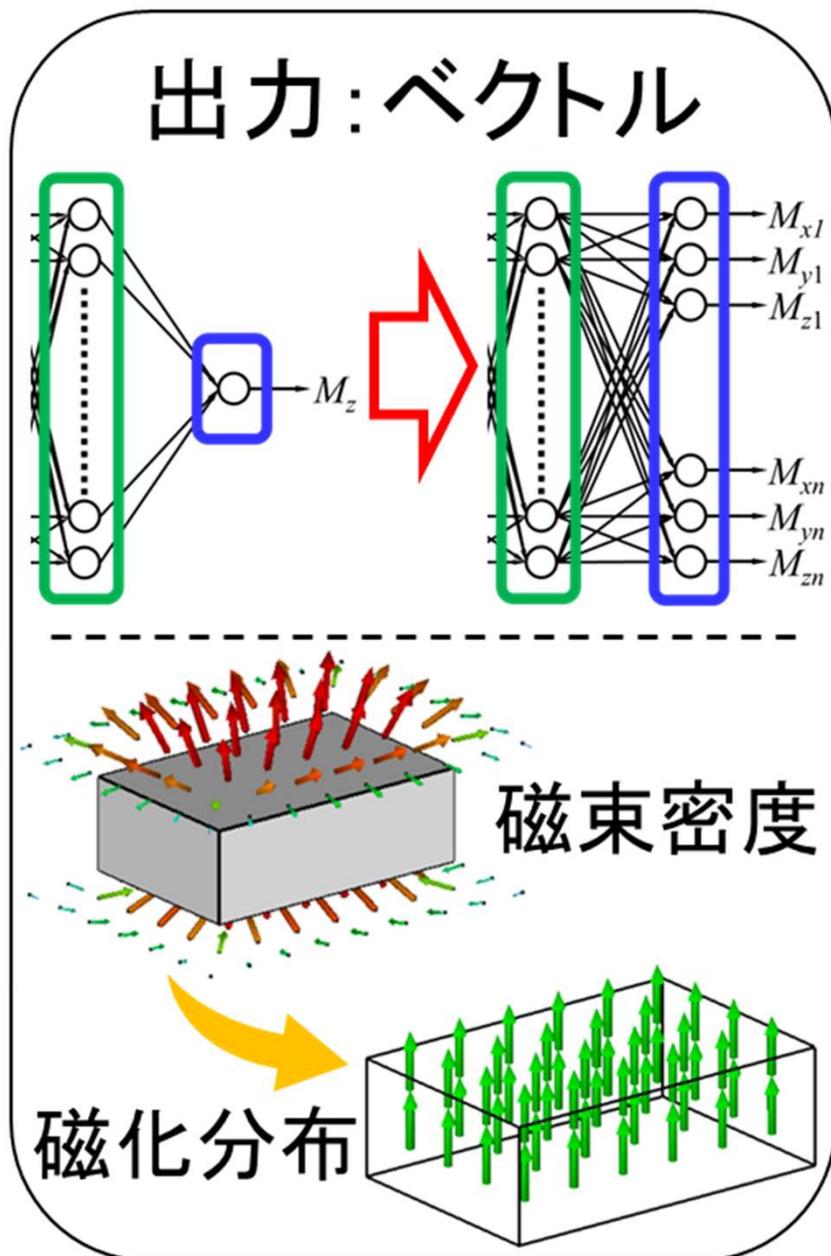


磁化推定結果

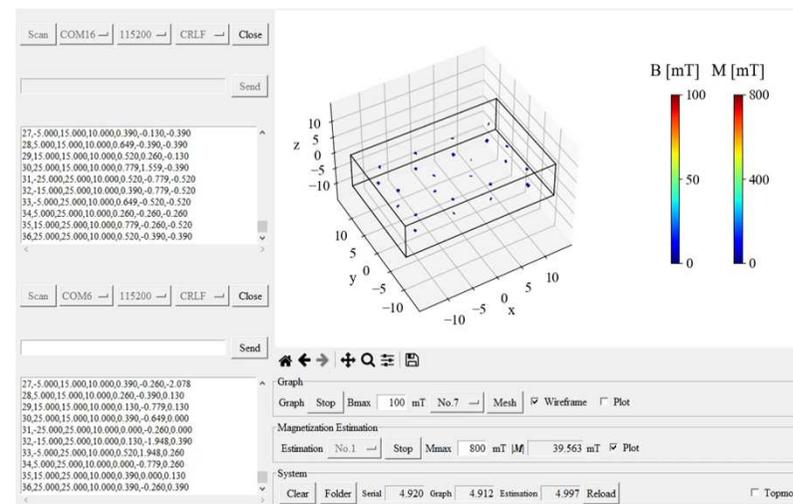
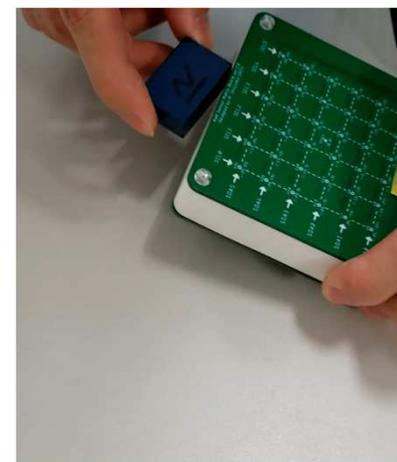
		MTX-6R + SiGrad	m-axis L	提案システム
所要時間 [s]	測定	60	10	0.07
	磁化推定	4.1	—	0.1
	合計	64.1	10	0.17
磁化強度 M_z [mT]		372.8	373.1	373.7

CPU : Intel Core i7-9700K 3.6GHz, RAM : 64GB

最近の進展 1

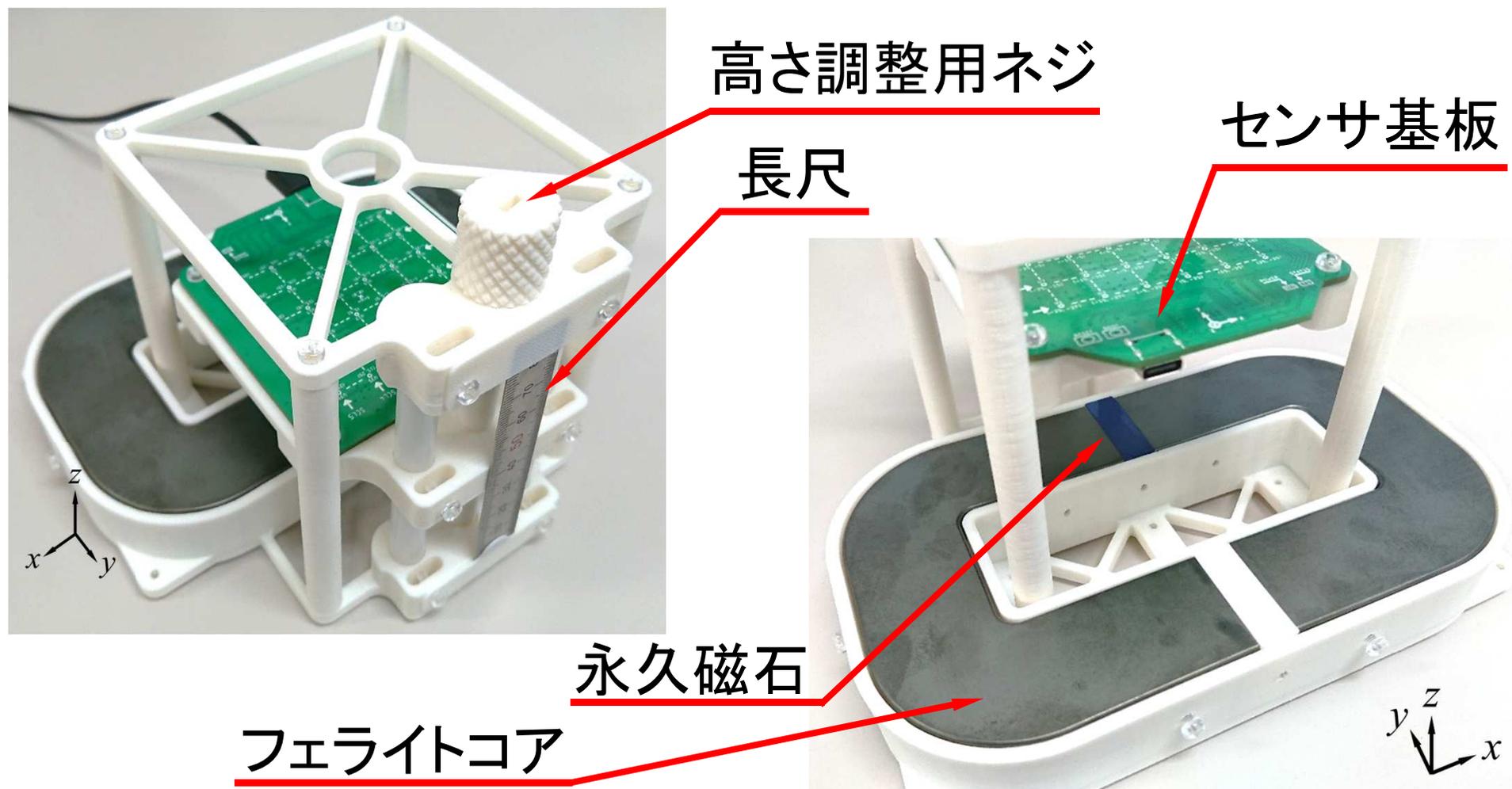


- ✓ 永久磁石内のセル数を複数化
- ✓ 複数の回路基板による計測・磁化推定の成功



最近の進展 2

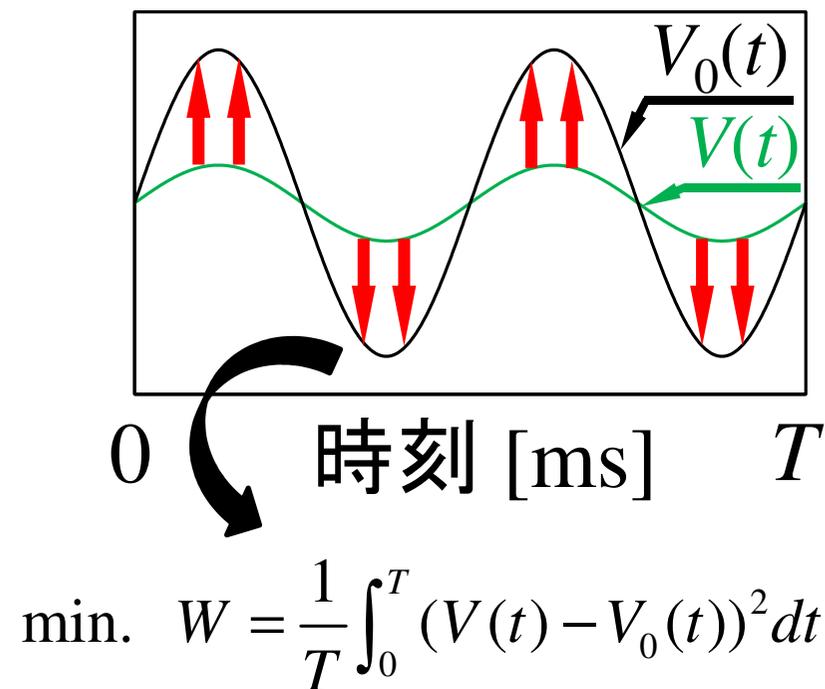
□ 磁気回路付き高速磁化推定に成功



岡本吉史・塩山将英:「磁化推定装置, 磁化推定システム, 磁化推定方法, 学習モデルの生成方法, 及びプログラム」, 特願 2023

誘導起電力を用いた磁化推定手法

- ✓ 計測された無負荷誘導起電力（線間電圧） $V_0(t)$ を入力値として，有限要素法から計算される無負荷誘導起電力 $V(t)$ が $V_0(t)$ となるような永久磁石の磁化分布を数理計画法によって推定する。



[1] 岡本吉史・鈴木元芽:「磁化推定装置, 磁化推定方法, 及びプログラム」, 特願 2024

[2] 鈴木元芽・岡本吉史:「永久磁石同期モータの無負荷誘導起電力を用いた永久磁石磁化の逆推定手法に関する検討」, 電気学会論文誌 D(産業応用部門誌), Vol. 144, No. 4, pp. 313-314(2024)

線間電圧の計算法

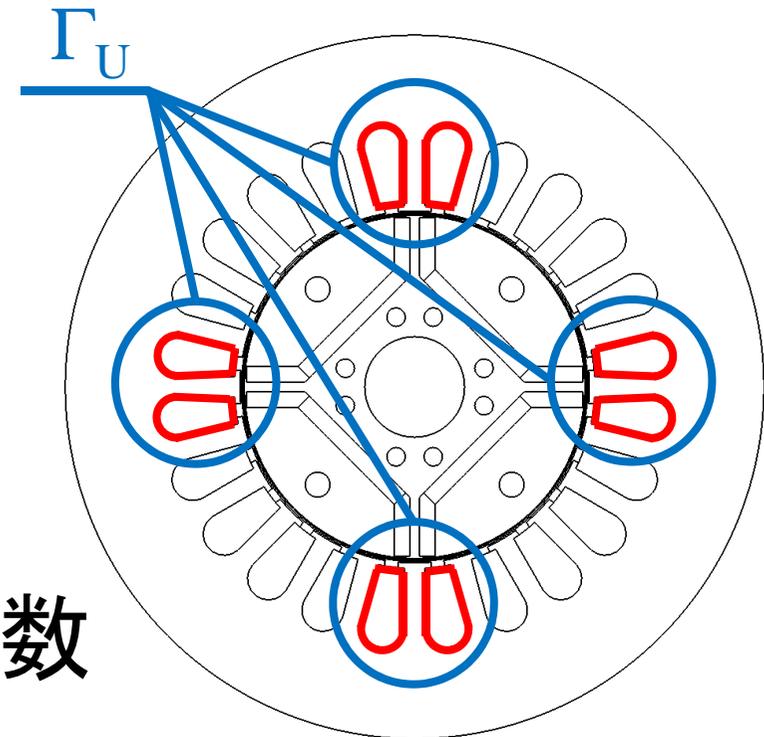
鎖交磁束の計算式

$$\Phi = \frac{n_C h}{S_C} \iint_{\Gamma_C} \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{t}_z dS$$

$$\mathbf{A}(t) = \sum_{i=1}^3 N_i \mathbf{A}_i(t)$$

例：U相コイルの鎖交磁束数

$$\Phi_U(t) = \frac{n_C h}{S_C} \iint_{\Gamma_U} \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{t}_z dS$$



n_C : コイル巻数, Γ_C : コイル領域, h_C : 積厚, S_C : コイルの断面積
 \mathbf{t}_z : 電流方向ベクトル, $\mathbf{A}(t)$: 各要素におけるベクトルポテンシャルの平均値
 Γ_U : U相のコイル領域, $\Phi_U(t)$: 時刻 t におけるU相の鎖交磁束

線間電圧の計算法

- 一相のコイルの相電圧

$$V_U(t) = -\frac{d\Phi_U(t)}{dt} \approx -\frac{\Phi_U^{(n)} - \Phi_U^{(n-1)}}{\Delta t}$$

n : 時間方向に離散化した場合の時間ステップ番号

□ 線間電圧

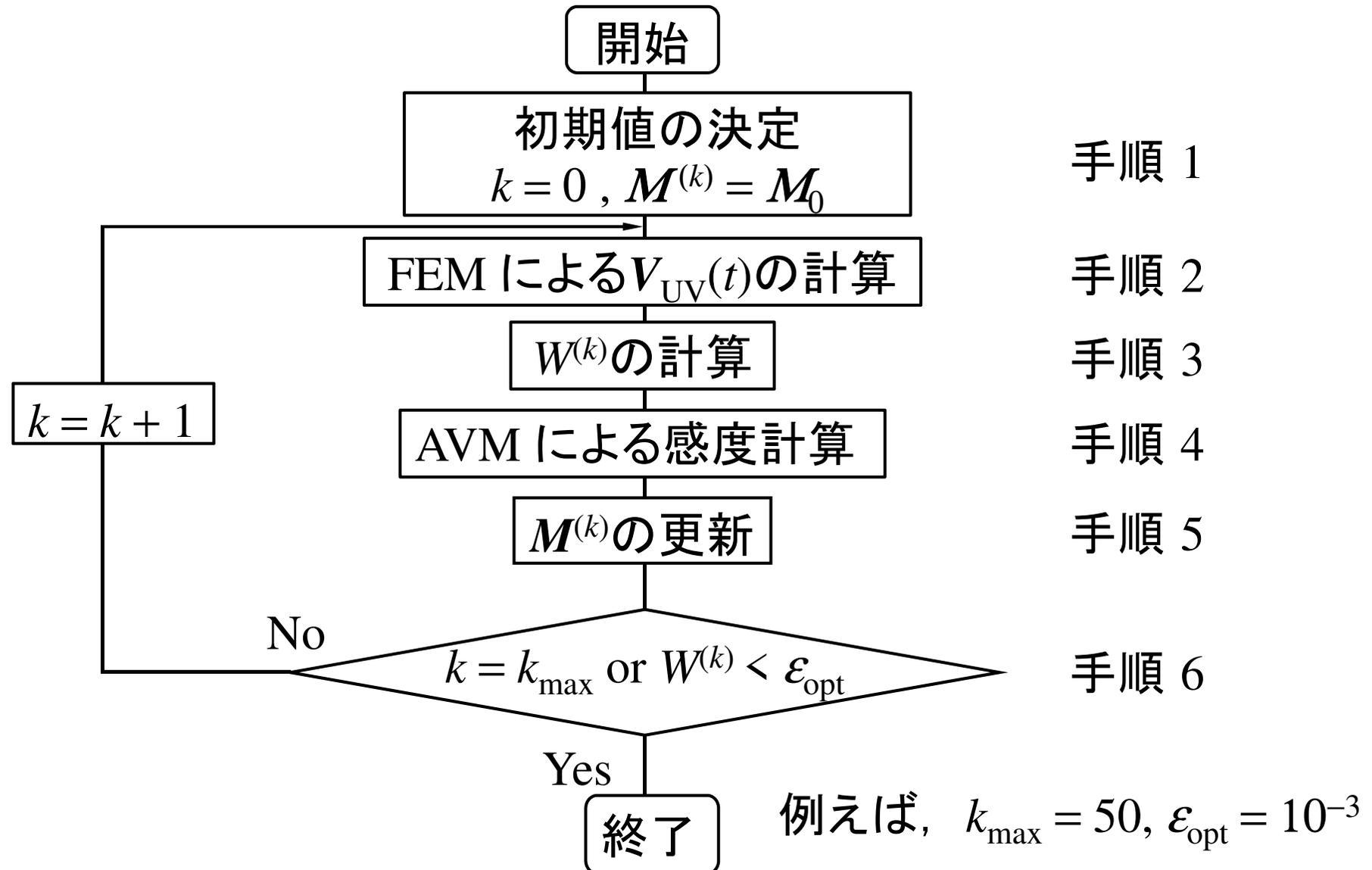
$$V_{UV}(t) = V_U(t) - V_V(t)$$

$V_U(t), V_V(t)$: 時刻 t におけるU相, V相の相電圧

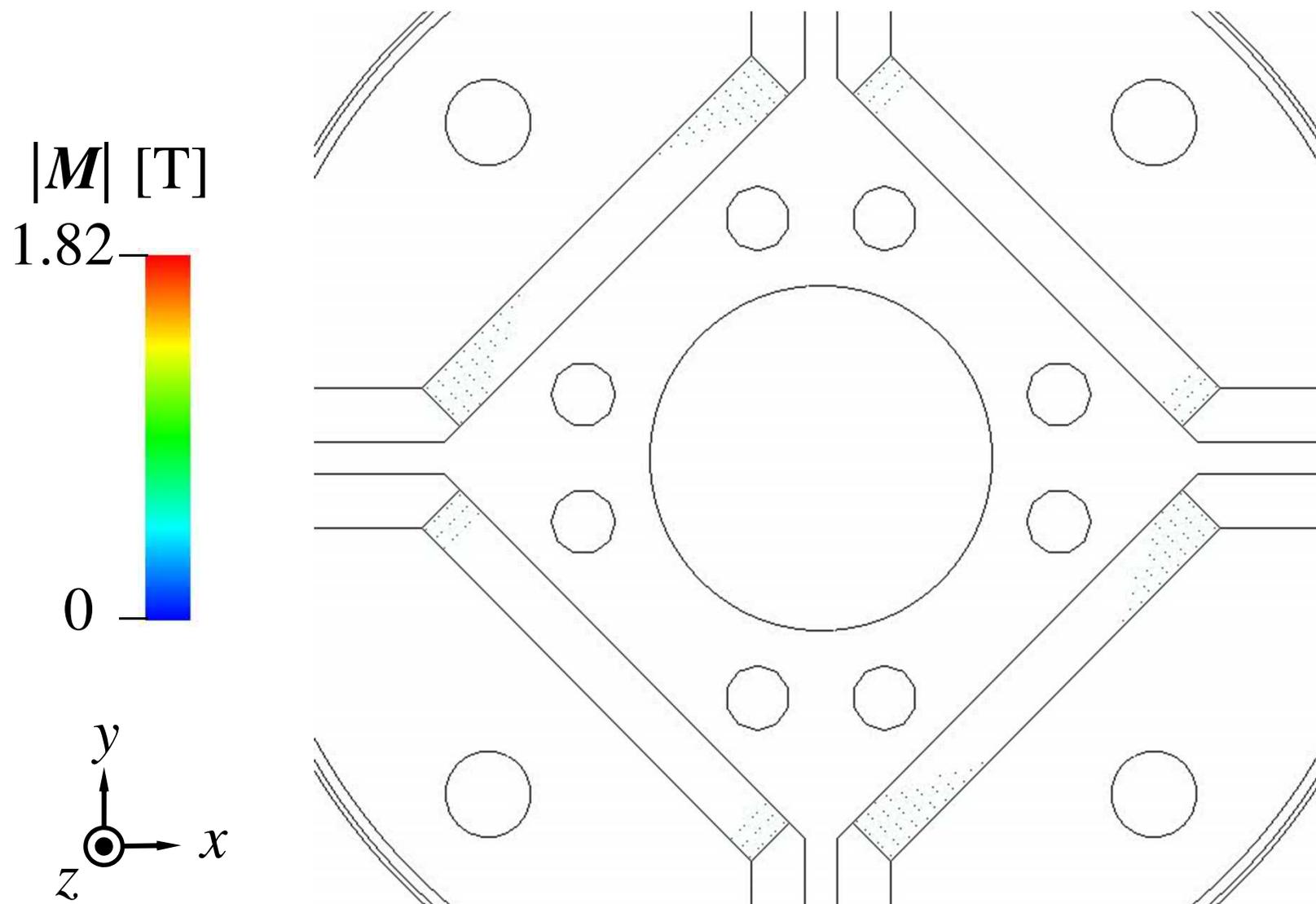
$\Phi_U^{(n)}, \Phi_U^{(n-1)}$: 時刻 t , 時刻ステップ $n-1 \sim n$ におけるU相の鎖交磁束

$V_{UV}(t)$: 時刻 t における誘起電圧(線間電圧)

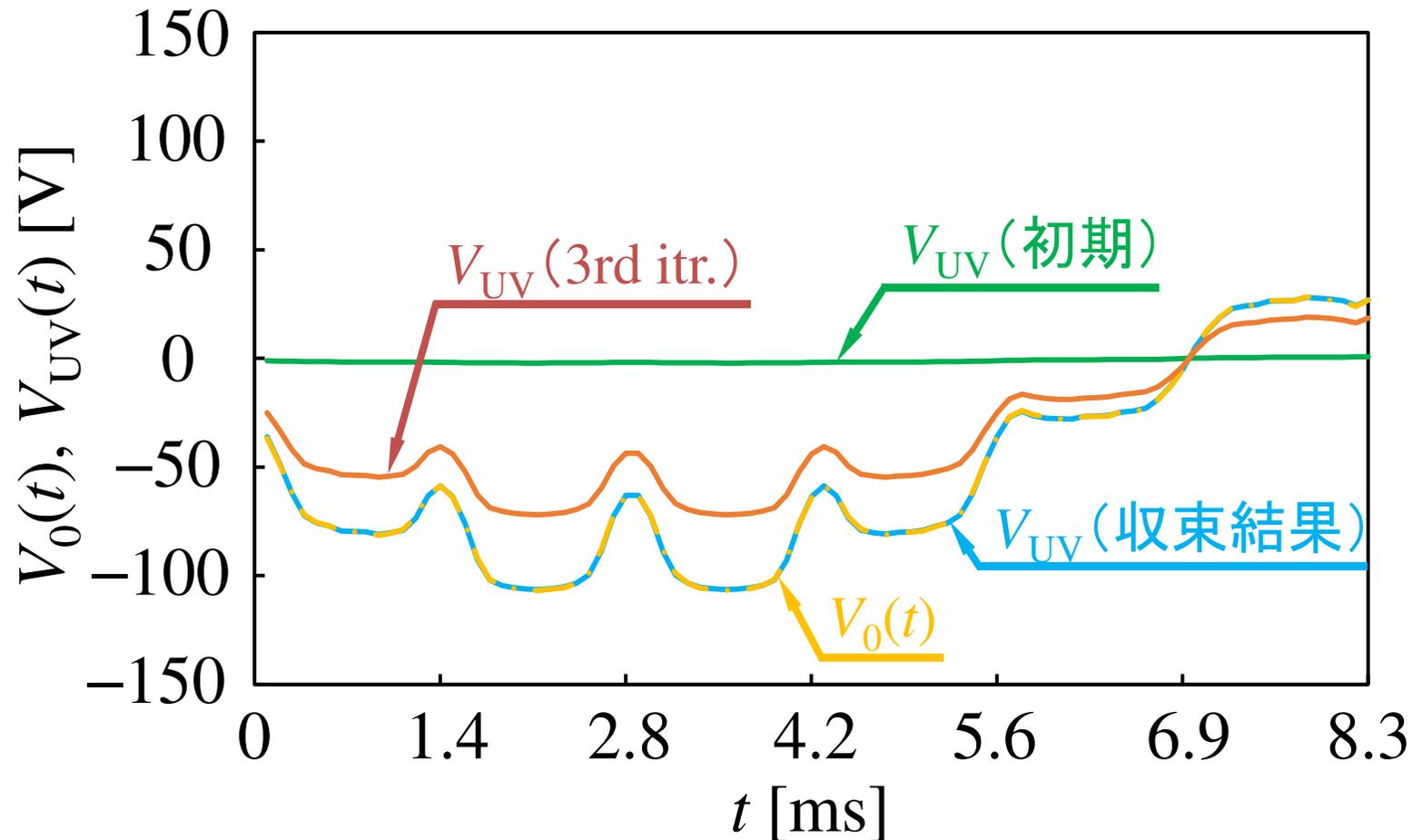
計算アルゴリズム



磁化推定結果



線間電圧波形の収束過程



- 最急降下法による繰り返し計算に伴い，誘導起電力波形が目標値に漸近していることが確認出来た。
- 収束結果は， $W = 1.11 \times 10$ となった。

企業様への期待

- 本研究室で開発した技術の社会実装を目指しています。
- 本特許技術をご活用頂ければ幸いです。
- ✓ 着磁器を製造されている企業様，モータ等の永久磁石機器メーカー様にご活用頂ければ幸いです。
- ✓ 共同研究や受託研究の枠組でも結構ですので，本技術を評価頂ければ幸いです。

産学連携の経歴

- ナブテスコ株式会社様（寄付研究）：2010 年度
- 株式会社 豊田中央研究所（共同研究）：2017 年度
- 株式会社 デンソー（共同研究）：2018 ～ 2019年度
- 株式会社 JSOL（共同研究）：2019 年度
- 株式会社 東芝（共同研究）：2019 ～ 2022 年度

競争的獲得資金

2008～2011年度：科研費 基盤研究(B)分担

2009～2011年度：科研費 基板研究(B)分担

2011～2012年度：科研費 若手研究(B)代表

2011～2013年度：科研費 基盤研究(C)分担

2013～2015年度：科研費 若手研究(B)代表

2014～2016年度：科研費 基盤研究(C)代表

2016～2018年度：科研費 基盤研究(C)代表

2019～2021年度：科研費 基盤研究(B)分担

2019～2021年度：科研費 基盤研究(C)代表

2020年度：科研費 基盤研究(C)分担

2012年度：関東電気保安協会「研究助成」

2013年度：丸文財団「交流研究助成金」

2022年度：電気通信普及財団 研究調査助成

2023年3月～2025年3月：パワーアカデミー 特別推進研究

お問い合わせ先

**法政大学 研究開発センター
リエゾンオフィス**

TEL 042-387-6501

FAX 042-387-6335

e-mail:liaison@ml.hosei.ac.jp