

磁気センサ nT meter による 微小磁性粒子の検知

疋島 充, 本蔵 晋平, 本蔵 義信
(マグネデザイン株式会社)

目次

1. 微粒子検出
2. 微小磁性異物 濃度検出
3. 考察
4. 総括

1. 背景

背景および課題

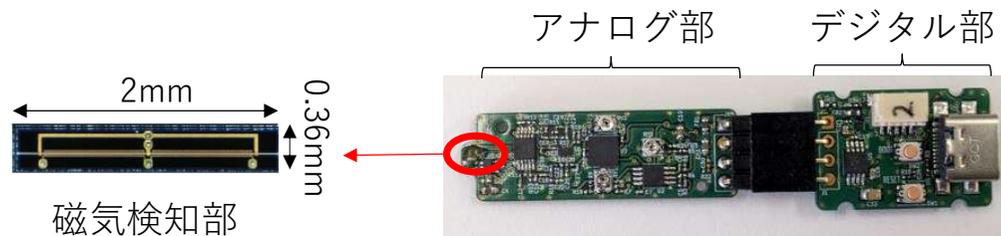
- 食料品，Li電池などの粉体製造工程で，装置からのステンレス微粒子の混入が問題となっている。
- 微粒子の磁性に着目して，**微小磁性体の検出が取り組まれており，直径 $50\mu\text{m}$ の検出（濃度換算では100ppm）が可能になっている。**
- **品質保証のためには，直径 $5\mu\text{m}$ の磁性微粒子（濃度1ppm）の検出が求められている。**

GSR nTメータを使った研究

- 当社では，小型かつ高感度の磁気センサである nT meter を開発した。
- 磁場検知部のサイズは**直径 $10\mu\text{m}$ ×長さ2mm**。
- **→直径 $5\mu\text{m}$ の粒子検出には，検出部が直径 $10\mu\text{m}$ 以下が必要と判断した。**

1. 背景

■ nTメータの仕様



磁気検知部
Φ10μm
コイル巻数: **586**

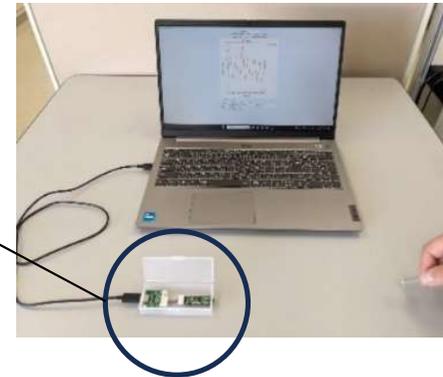


図1: nTメータ

アナログ仕様

出力	アナログ値
測定レンジ	±100μT
直線性	≦1% F.S.(代表値 0.5%F.S.(±100μT)) ≦1% F.S.(代表値 0.2% F.S.(±3μT)) ≦1% F.S.(代表値 0.1% F.S.(±8μT))
周波数バンド幅	DC ~ 1kHz
感度	25mV/μT
ノイズ	0.36nT / σ (0.1~10Hz) 0.104nT/√Hz@10Hz
ヒステリシス	なし
電源	5.5~6V
本体寸法	12×38×3[mm]
センサ素子寸法	直径10μm×長さ2mm
重量	2g

デジタル仕様

出力	デジタル値
ODR	1k SPS
分解能	0.12nT/LSB
ノイズ	0.31nT(0.1~10Hz)
Bit幅	24bit
電源	USB 5V(PC供給)
本体寸法	15×72×7[mm]
重量	4.5g

デジタル部を接続することでPCで波形表示が可能

2. 実験方法（微粒子測定）

サンプル:

- Fe粒子サンプルから、異なる粒径($\Phi 10\mu - 50\mu$)のFe粒子1個を採集してアクリル板に接着固定
- 0.5Tで着磁

測定方法:

- 磁気シールドボックス内
- 粒子とnTメータとの距離: 0.1mm と1mm
- 粒子が無い場合と有る場合のセンサ出力差を発生磁場として評価する

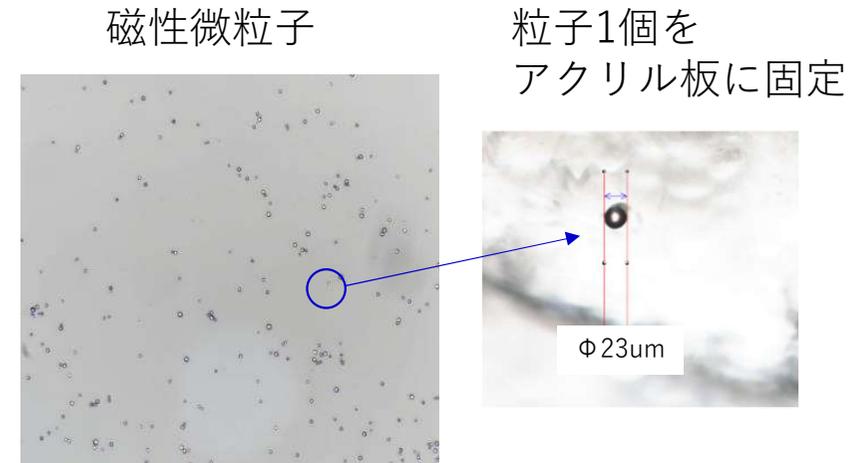
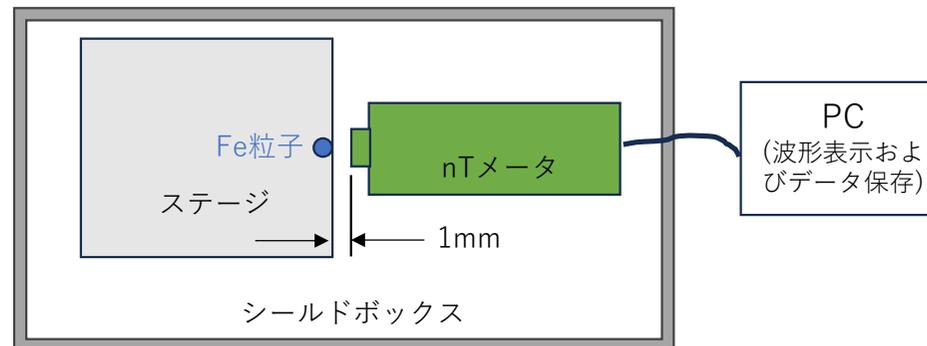
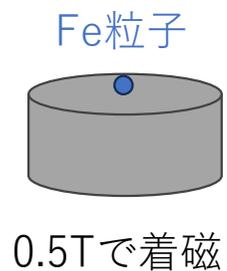
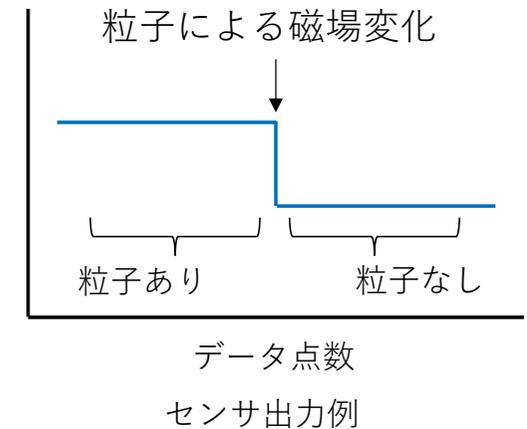


図2: 磁性微粒子



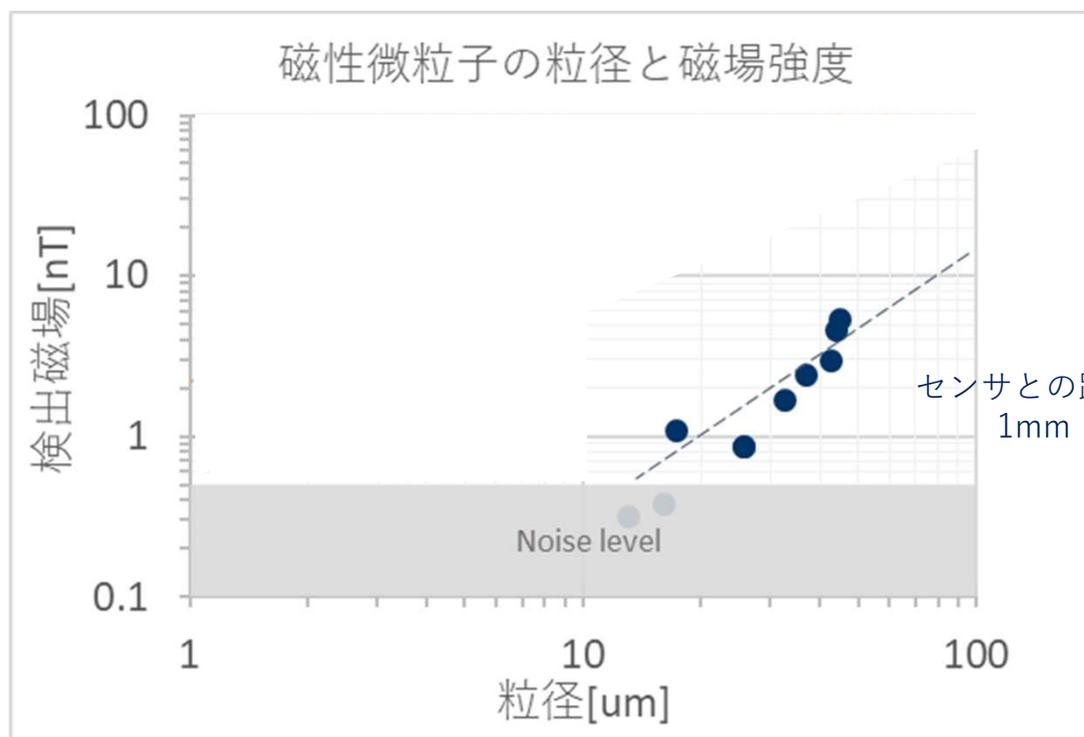
測定系



2. 微粒子測定(距離 1 mmの場合)

測定結果:

Sample No.	4	2	3	1	7	5	6	8	9	10
Diameter [um]	45.04	43.85	42.67	36.74	32.59	25.48	23.11	17.19	16.00	13.04
(信号) ΔB [nT]	5.44	4.61	2.96	2.41	1.71	0.86	0.00	1.11	0.38	0.32
(ノイズ) 標準誤差 [nT]	0.16	0.09	0.10	0.10	0.08	0.27	0.50	0.43	0.43	0.12
信号/ノイズ	34.00	51.22	29.60	24.10	21.38	3.19	0.00	2.58	0.88	2.67



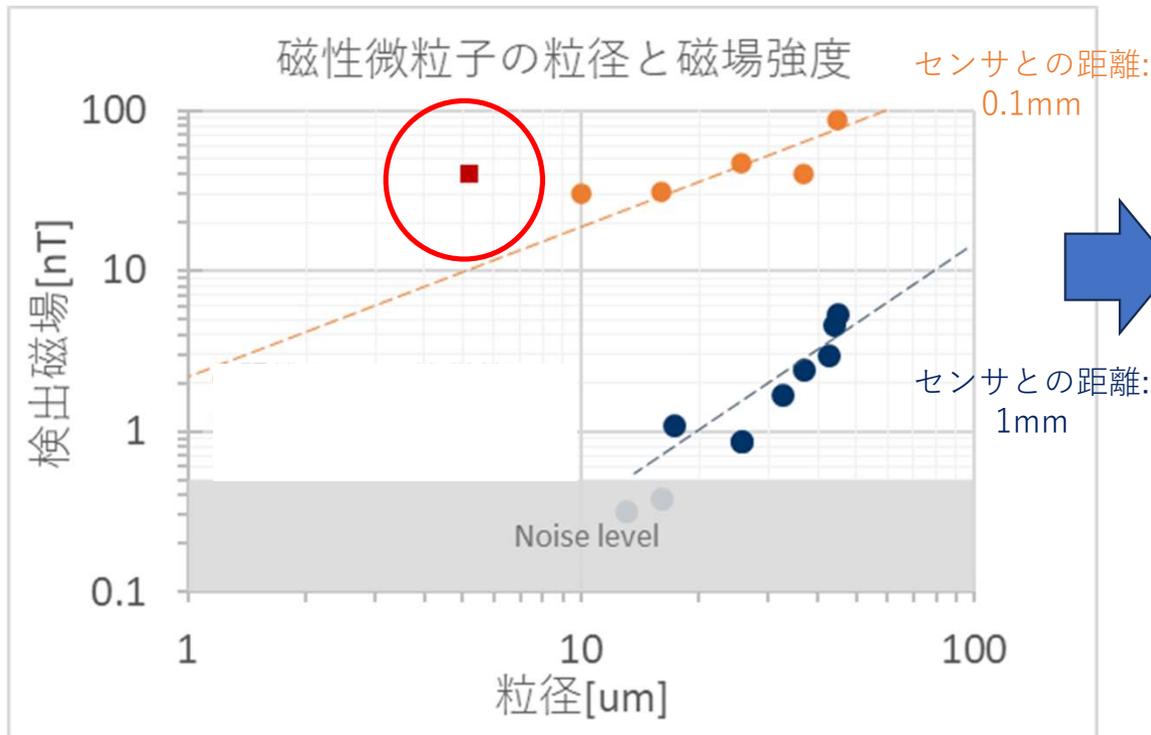
- 粒子径の増加に伴い、検出磁場が増加
- 測定限界は直径20 μ m

図3: センサ検出磁場強度への粒子直径の影響

2. 微粒子測定(距離0.1mmの場合)

測定結果:

	No	4	1	5	11	13
	Diameter [um]	45.04	36.74	25.48	16.00	9.96
(信号)	ΔB [nT]	87.54	40.54	46.84	31.4	30.00
(ノイズ)	標準誤差[nT]	5.39	1.45	0.99	2.83	2.38
	信号/ノイズ	16.24	27.96	47.31	11.10	12.61



- $\Phi 10\mu\text{m}$ の粒子が検出可能となる
- $\Phi 5\mu\text{m}$ 粒子(SmFeN)の検出を確認

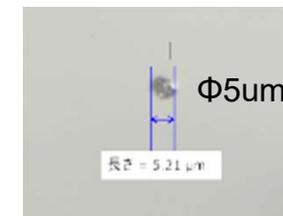


図3: センサ検出磁場強度への粒子直径の影響

2. 微粒子測定(FGセンサとの比較)

センサ	nT meter	Fluxgate	比較
測定レンジ	±100uT	±2uT, ±20uT, ±200uT	
感度	25mV/uT	1V/uT, 0.1V/uT, 0.01V/uT	
ノイズ	0.31nT / σ (0.1~10Hz)	0.7nT (0.1~200Hz)	
素子サイズ	直径 10 μm × 2 mm	直径 3 mm × 30 mm	100万倍
励磁周波数	2 GHz	2 KHz	100万
バッテリー電源	5.5~6V	電池(9V), ACアダプタ(12V)	専用電池の有無
本体寸法	12 × 38 × 5 [mm]	151 × 82 × 82 [mm]	500倍
重量	4.5g	270g	60倍

図4: nTメータとFGセンサの仕様比較

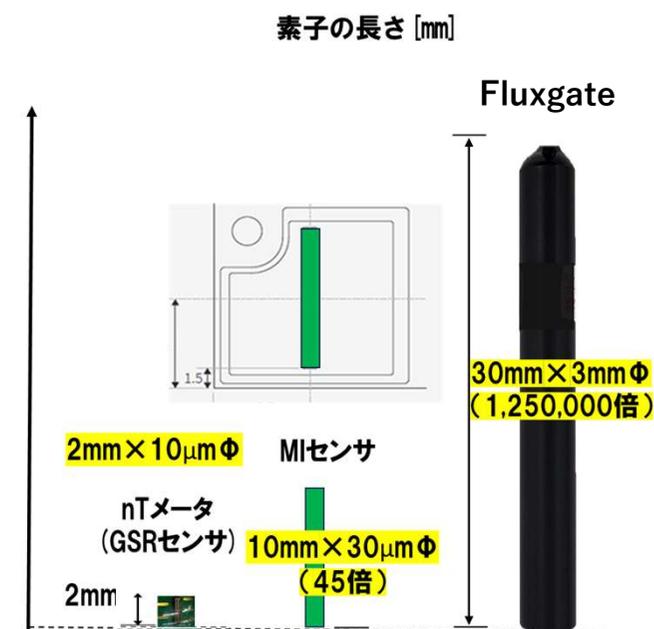


図5: センサ素子のサイズ比較

- Fluxgateセンサの検出力は、同程度
- センサヘッド体積は約1,000,000倍大きい

2. 微粒子測定(FGセンサとの比較)

測定サンプル: FeおよびSmFeN粒子1個

測定条件: センサとサンプルとの距離0.1mm

結果:

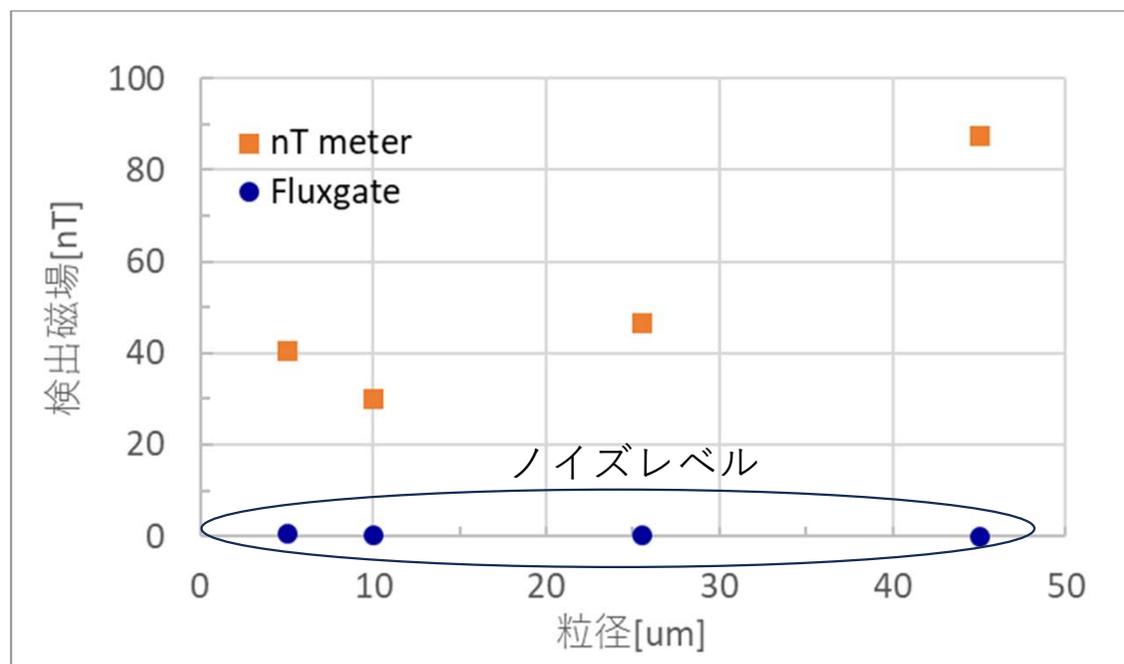


図6: nTメータとFGセンサの比較

- Fluxgateセンサは、ノイズは小さいが直径50 μm の微粒子は検出できない
- nTメータは直径5 μm を検出
- nTメータはヘッドサイズが小さい \rightarrow 局所磁場の検出に優れている。

3. 粉末の微小磁性異物 濃度検出

測定サンプル: 微小Fe異物混入粉末
サンプル濃度: 1-100ppm

結果:

異物微粒子($\Phi 30\mu\text{m}$)の推定混入数
1個 10個 100個

測定条件

- ・ サンプル質量: 100mg
- ・ サンプルは0.5Tで着磁
- ・ 容器: 底面厚み70 μm

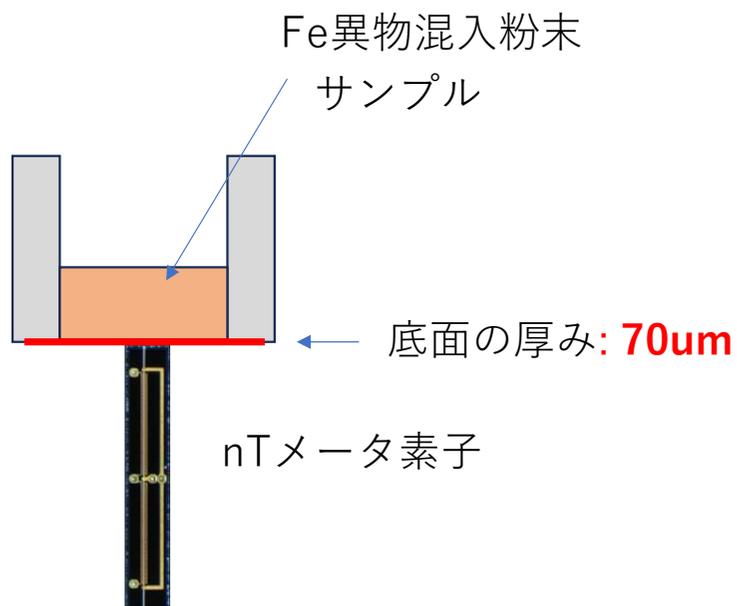


図7: 測定装置

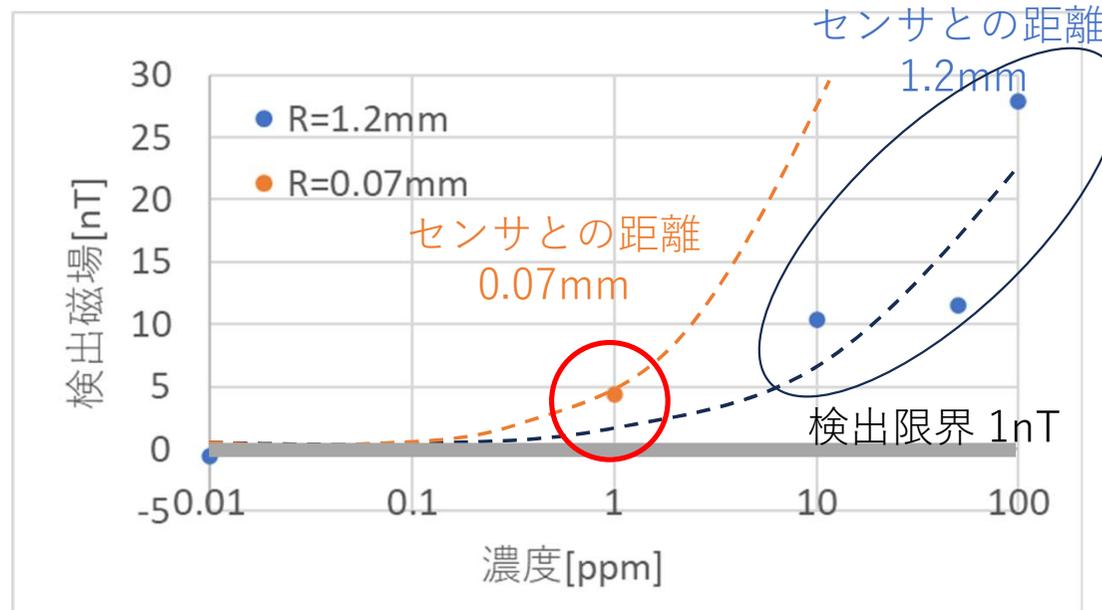


図8: nTメータとFGセンサの比較



異物濃度1ppmの検出が可能

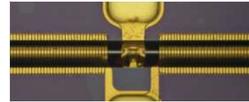
GSRセンサ原理を活用した世界最小サイズのnTメータ

磁性微粒子(直径5 μm)の磁界測定も可能

GSR-001

特徴

- 検出力: **0.3nT** @0.1~10Hz
- 素子: 直径10 μm×長さ**2mm**
- 微小磁性粒子の検出に最適**
- センサ基板サイズ: 10mm×25mm
- 素子が最先端に設置、近接測定が可能
- 24ビット出力
- 計測器とPCのみの構成
- ハンディタイプで使いやすい
- PC表示、**USB電源: 5V×0.22W**

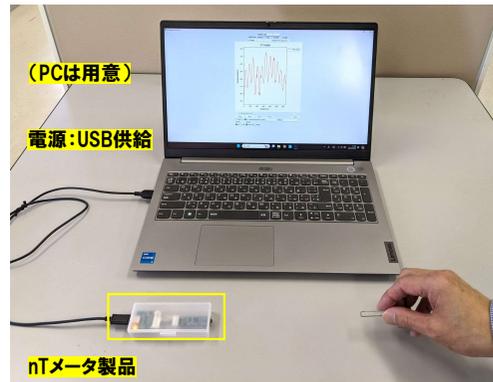


直径10 μm×2mm

GSR素子

アナログ回路

通信回路



(PCは用意)

電源:USB供給

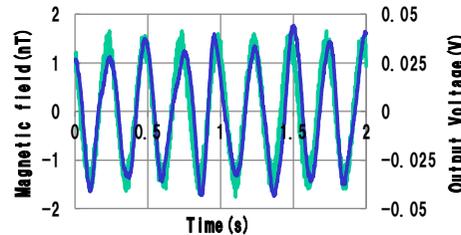
nTメータ製品

仕様

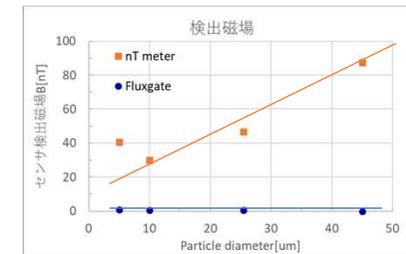
センサ本体仕様 (アナログ)		デジタル仕様	
測定レンジ	±100uT	ODR	1kSPS
直線性	±2% F.S. (代表値1%F.S.)	分解能	0.12nT/LSB
帯域	DC ~ 1kHz	Bit幅	24bit
感度	25mV/uT	電源	USB (5V)
ノイズ	0.36nT/σ (0.1~10Hz)		
	0.104nT/√Hz@10Hz		
ヒステリシス	なし		
電源	5.5~6V		

応用例

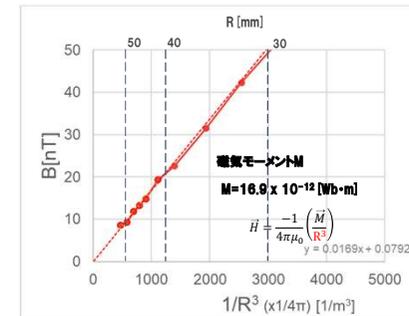
- 磁気微粒子の磁界発生源の研究の最適
- 直径5 μmの磁性微粒子の検出装置**
- 磁性微粒子の磁気モーメント測定装置



微粒子検出 (Fluxgateセンサとの比較)



磁性微粒子の磁気モーメント測定



4. 考察および総括

磁性微粒子の検出には,

- ・ **直径 $10\mu\text{m}$ 以下の磁性微粒子検出**には**直径 $10\mu\text{m}$ 以下の素子**が望ましい
- ・ 素子と微粒子の距離が特に重要で、**距離 $100\mu\text{m}$ 以下**が望ましい
- * 一様な広い磁界測定で特定した検出力は、磁性微粒子の検出力とはならない

今後の検討課題

- ・ 素子の長さや直径の影響.
 - 直径: $5\mu\text{m}$ と $10\mu\text{m}$ の比較
 - 長さ: 1mm と 2mm の比較
- ・ 磁気シールドの省略

応用展開について,

- ・ 微小磁性粒子の磁気モーメントの測定
- ・ 粉体製品中の異物検出(食料品, Li電池, 異物鉄粒子)
- ・ 流体中の磁性体検出 (油、冷却水など)
- ・ ナノ磁性微粒子を使った細胞観察
- ・ 細胞の活性度観察(微小電流の検知)