

600°Cまでの高温磁気測定を 可能にする小型センサ

日本原子力研究開発機構
高速炉サイクル研究開発センター
ナレッジ統合グループ
マネージャー 高屋 茂

平成31年1月29日

新技術の概要

- 200～600°Cの高温環境での計測が可能な耐熱磁気センサ
- 磁気コアは、600°C以上のキュリー温度を有するCo-Fe系の軟磁性体を使用し、くびれ部を有するループ形状
- 耐熱性を有する励磁／検出コイルが巻かれており、出力電圧に基づき外部磁界強度を測定
- 素子の大きさは18×6×2mm程度の小型センサ

従来技術とその問題点

フラックスゲート型磁気センサ:

- 軟磁性材料からなるコアに励磁用と検出用コイルが巻かれた構造
- 冷却が必要なSQUIDを除き最も高感度な磁気センサ
- 優れた温度安定性
- **課題: 高温磁気測定への適用性**

- 磁気コアには、高透磁率でかつ保磁力が小さい材料が適しており、パーマロイが広く用いられている。
- パーマロイのキュリー温度は400°C程度であり、磁気センサとして機能する上限温度はキュリー温度よりも更に低い。



高温環境(200~600°C)での利用困難/不可

高温磁気測定実現のための課題

キュリー温度の高い材料(パーメンジュール等)の採用が必須



磁気コア材料の変更により生じる新たな課題

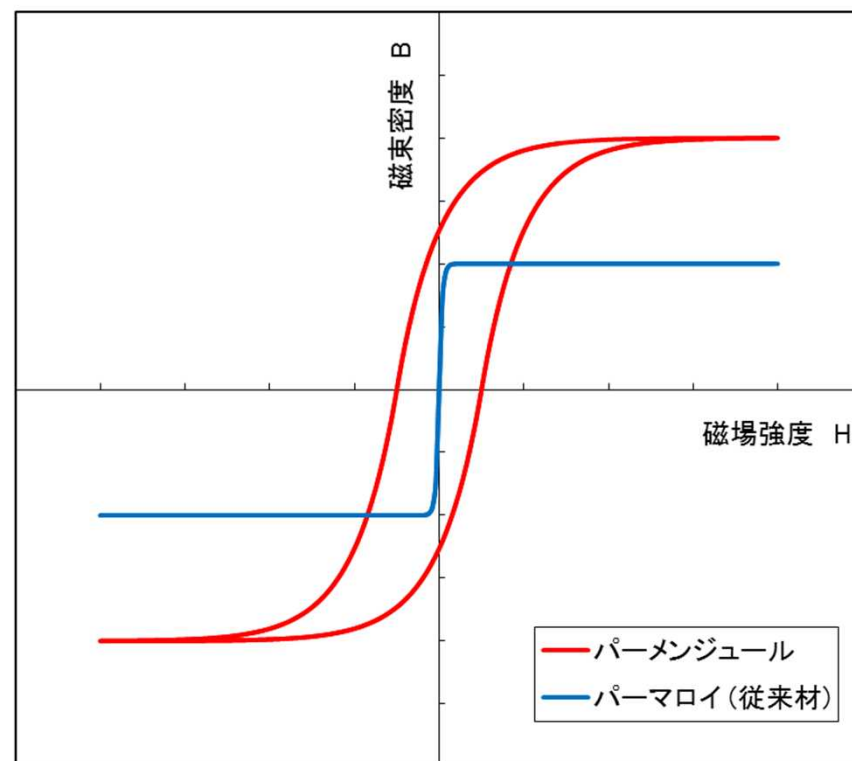
① 検出原理

磁気飽和に至る領域での変化が緩やかで
磁気飽和の判定が困難

外部磁界の作用による、磁気飽和に必要な
励磁磁界強度の変化を利用した従来の
検出原理は適用不可

② 消費電力

保磁力や磁気飽和に必要な励磁磁界強度
が大きくなり、励磁電流が大幅に増加



課題解決の方法① - 検出原理 -

- 励磁磁界に対する微分透磁率の変化が緩やかであることに着目
- 外部磁界強度に依存した微分透磁率のピーク位置の変化 (= 検出コイルの誘導電圧のピーク位置の変化)を検出

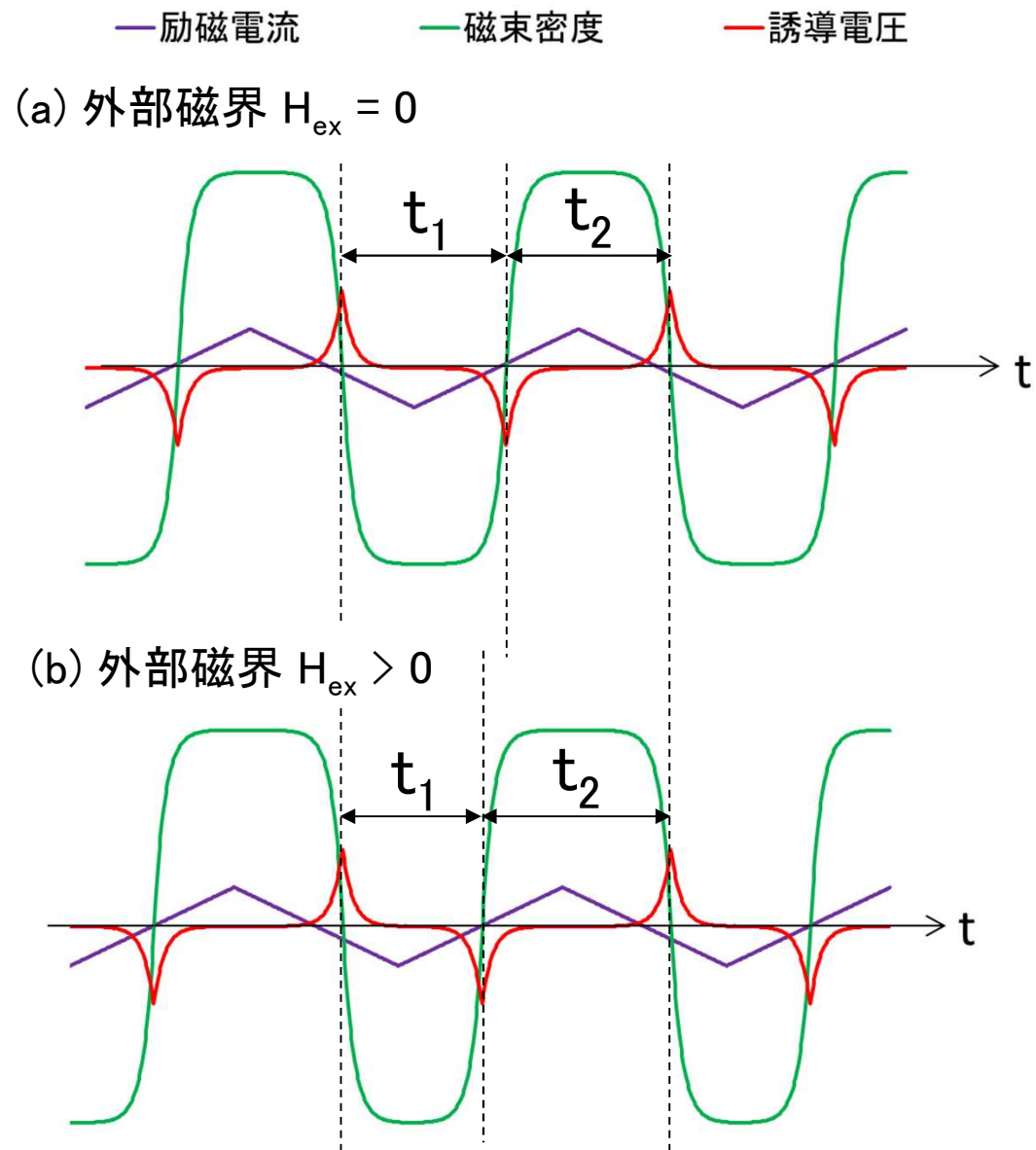
$$H_{ex} \propto \frac{t_2 - t_1}{t_1 + t_2}$$



磁気飽和の判定が困難な材料でも
外部磁界強度の測定を可能

更に

完全に磁気飽和に至らせる必要がない
ことから、消費電力の増加も抑制可能



課題解決の方法② - 消費電力+α -

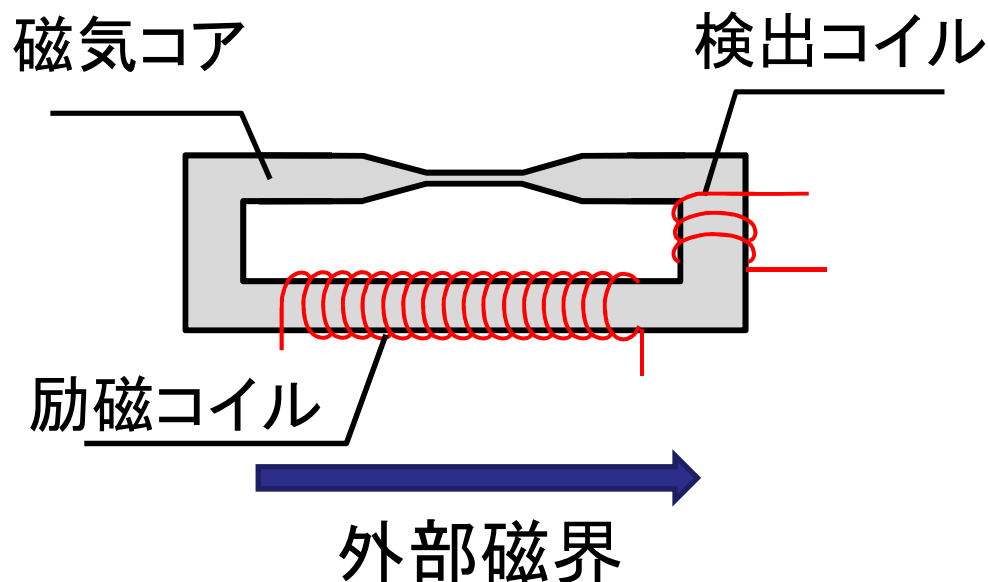
● 磁気コア形状

- 閉ループ状
反磁界による励磁磁界強度の低下を防止
 - 長方形または角丸長方形の形状
外部磁界により磁気コア内に生じる磁極による反磁界の影響を低減
 - 長辺部のくびれ部
より小さい励磁電流で磁気飽和の状態に至らせることが可能
- 更に
微分透磁率のピーク位置をより明確にすることが可能

● コイル配置

更に

励磁コイル及び検出コイルを磁気コアの機械強度の高い非くびれ部に設けることにより磁気センサの小型化が可能

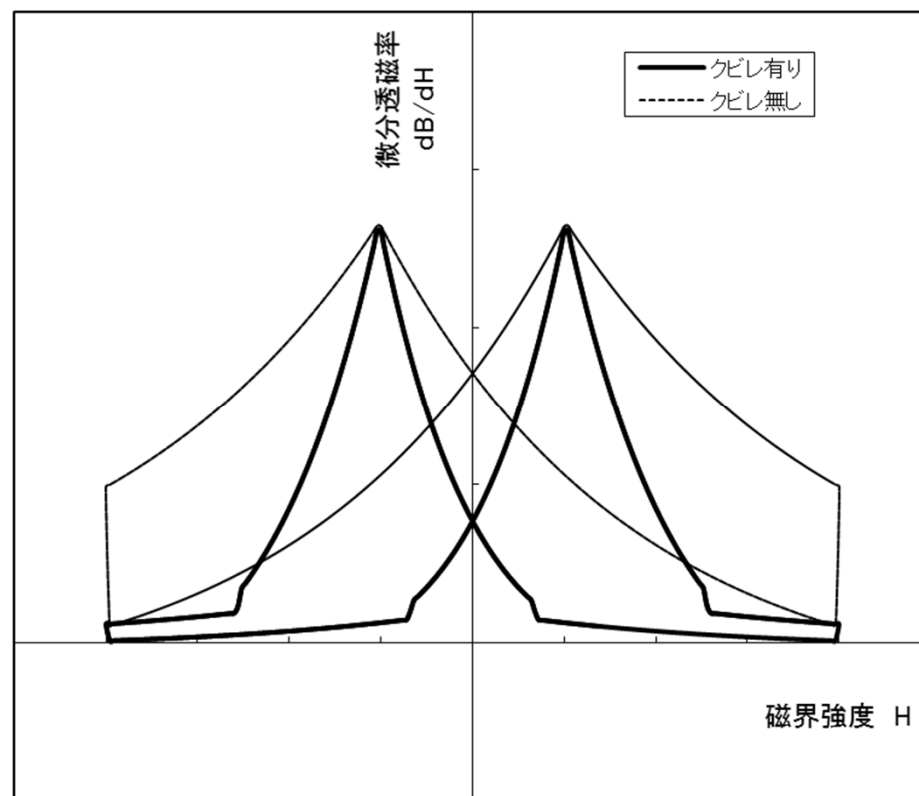
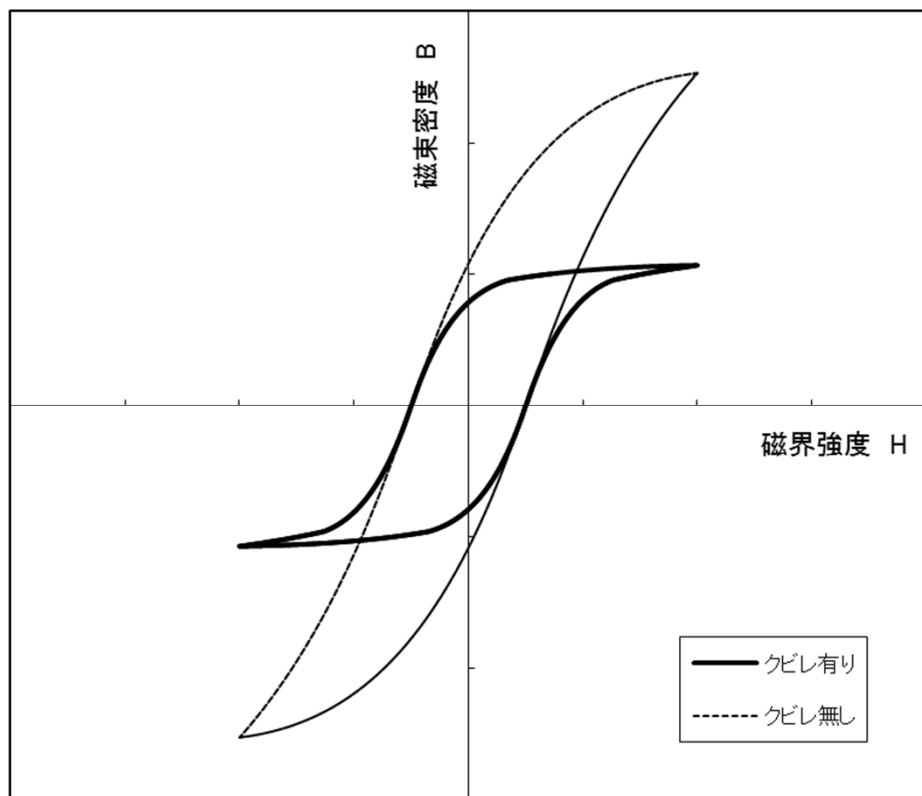


くびれ導入の効果

くびれを導入することで、見掛け上、低磁界で磁気飽和のようになり、微分透磁率のピーク位置はより明確になる。

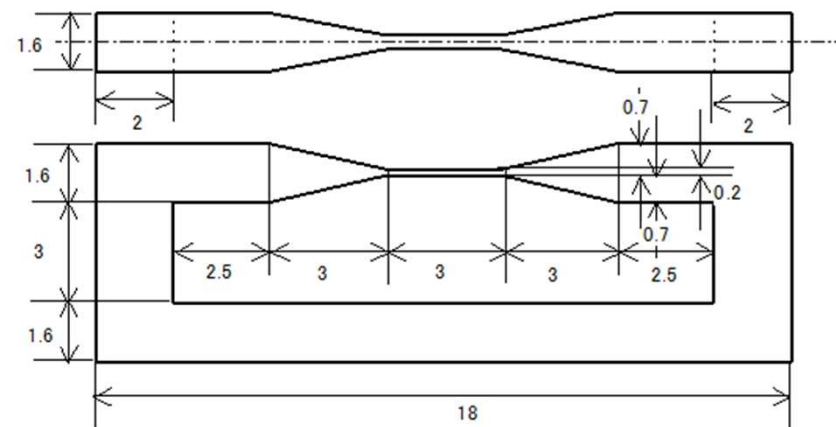


消費電力抑制の効果、及び検出感度向上の効果

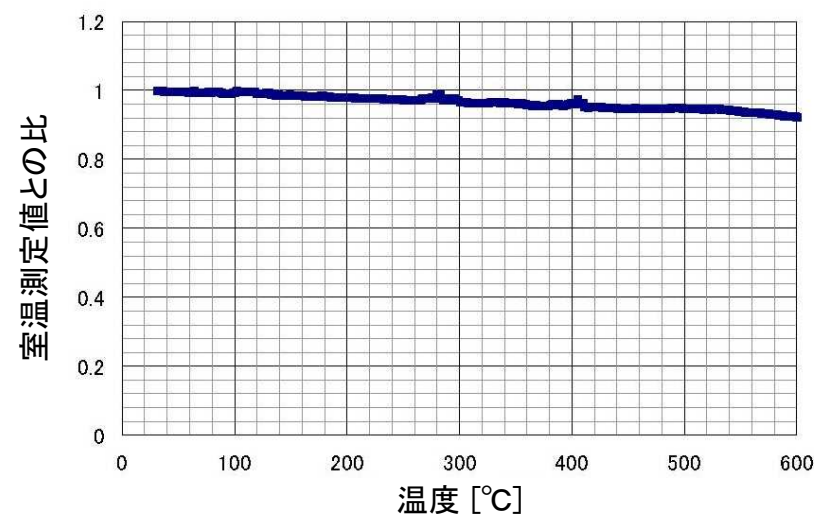


実施例 - 試作センサ -

- **磁気コア**
パーメンジュール (49%Fe-49%Co-2%V) を放電加工により、右図に示す形状に成形後、応力除去焼鈍を実施
- **励磁コイル**
φ0.3mmのセラミックスコーティング耐熱銅線を磁気コアのくびれ部の無い長辺部分に70ターン巻回
- **検出コイル**
くびれ部に巻くことは機械的強度上困難であるため、くびれ部のない短辺部に励磁コイルと同等の銅線を14ターン巻回



磁気コア形状 [mm]



静的飽和磁化の温度依存性

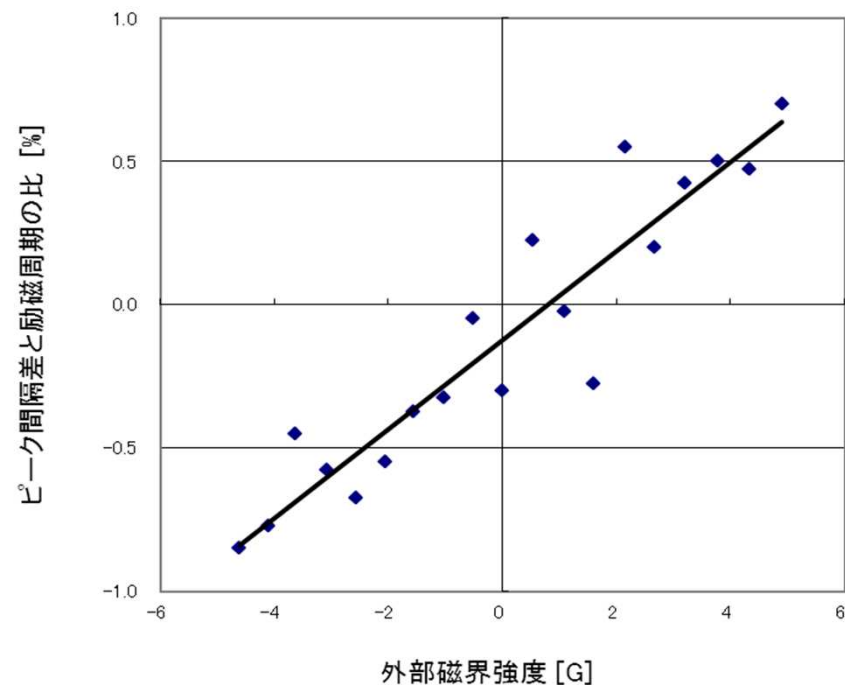
実施例 - 測定結果 -

● 励磁条件

電流波形	三角波
周波数	100 Hz
尖頭値	6A

● 加熱試験条件

- 磁気センサを加熱炉中に保持
- 同じく加熱炉中に設置した耐熱ヘルムホルツコイルを用いて、 ± 5 Gの範囲で外部磁界を印加
- 試験温度: 200°C



± 5 Gの範囲の外部磁界を検出可能
【参考】地磁気: 約0.5 G)

今後の課題

- 耐久性の更なる向上が課題
- 現状の耐久時間は、耐熱銅線の耐久性(=セラミックコーティングの耐久性)が支配要因
- 耐熱コイルの耐久性を改善することにより、磁気センサの耐久性向上が期待

新技術の特徴

- 高温環境(200~600°C)で安定した磁気測定が可能
- 放射線環境で安定した磁気測定が可能(感磁素子に半導体を使用していない)
- 小型センサ素子

想定される用途

- 高温環境での磁気測定
- 非接触型スイッチ、カウンター
- 非破壊劣化診断

企業への期待

- これまで測定できなかった高温環境での磁気測定を可能にする本技術は、例えば、各種プラント等でIoTによる機器の監視等を検討している企業にとって有効と思われる。
- 耐熱コイルに関する技術を持つ企業との連携も希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 耐熱磁気センサ
- 登録番号 : 特許第6206863号
- 出願人 : 日本原子力研究開発機構
日鉄住金テクノロジー(株)
- 発明者 : 高屋 茂、荒川 尚、櫻田 理

産学連携の経歴

- **2005年-2007年 JST原子カシシステム研究開発事業に採択**
「超臨界圧水冷却高速炉の炉内構造材劣化予兆診断技術の開発」
住友金属テクノロジー(株)(現:日鉄住金テクノロジー(株))と照射誘起応力腐食割れ感受性評価用のセンサシステムを開発
(【特許第5347102号】 オーステナイトステンレス鋼の中性子照射による照射誘起応力腐食割れの予兆診断方法)
- **2006年-2008年 JST原子カシシステム研究開発事業に採択**
「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発」
東英工業(株)と照射損傷評価のための遠隔操作式振動試料型磁力計を開発
(高屋ら、保全学、Vol. 9、No. 1 (2010) pp. 51-56)

お問い合わせ先

日本原子力研究開発機構
研究連携成果展開部

T E L : 029-284-3420

F A X : 029-284-3679

E-mail : seika.riyou@jaea.go.jp