

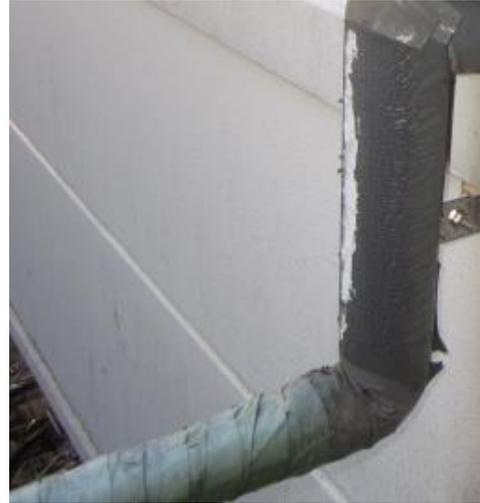
非接触での磁歪式超音波ガイド波 送受信技術と応用

近畿大学 工学部 電子情報工学科
准教授 廿日出 好

2019年11月14日

新技術の概要

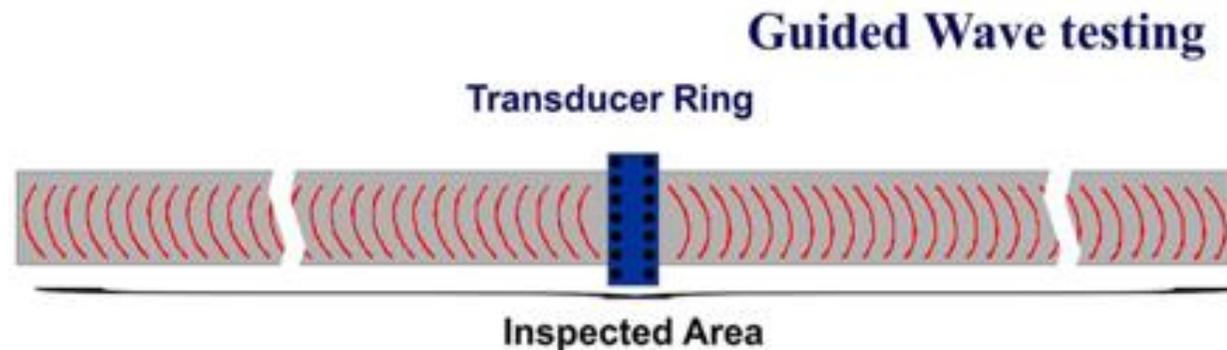
- 水や蒸気、ガスが流れる配管は、保温材や断熱材で保護されているものが多い。



- 現在、長大な配管の検査

には、長距離まで伝搬する超音波ガイド波が適用されるようになってきた(右下図)。しかし、管にガイド波を生じさせるには、探触子やレーザなどを管に接触させる必要があった。

- 新技術は、磁気を応用することで、非接触での超音波ガイド波送受信を実現する技術である。



従来技術とその問題点

配管検査技術で、使用中の保温材内配管を外から非接触検査する技術は未確立であった。

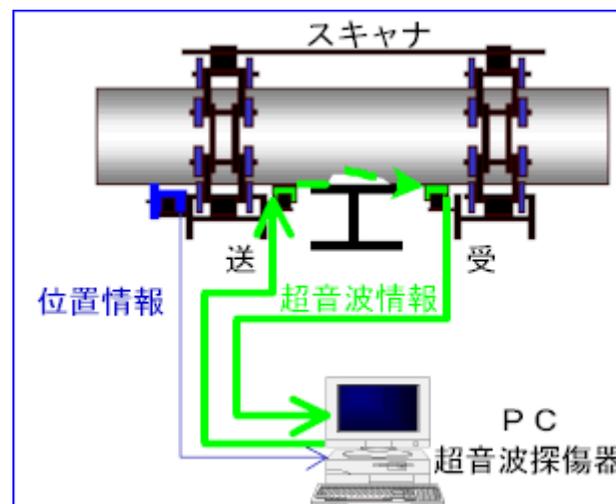
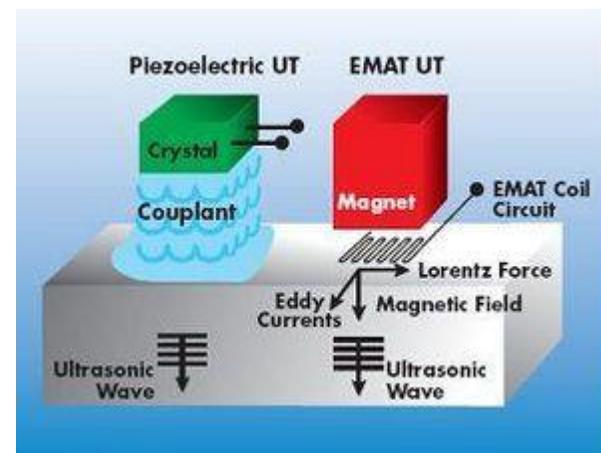


図-2 検査システムの構成

<http://www.dainichikikai.co.jp/inspection/> より

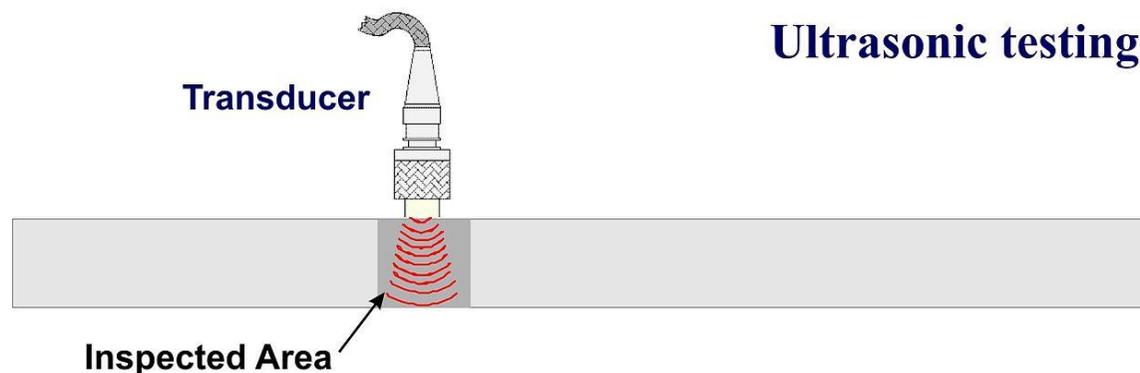
圧電センサ
(AEや
PVDFなど)

en.wikipedia.org より

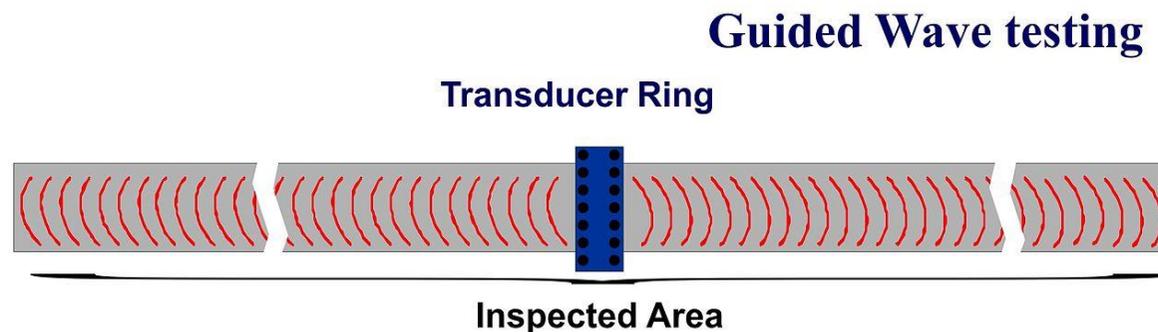


超音波ガイド波検査(従来技術)

◇超音波バルク波
探傷範囲が狭い



◇超音波ガイド波
広範囲(~10m)
の探傷が可能



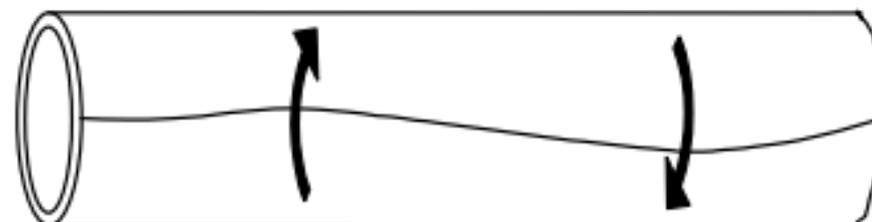
en.wikipedia.org より

化学プラントなどの長大なパイプラインの検査に
超音波ガイド波検査による試験が行われている

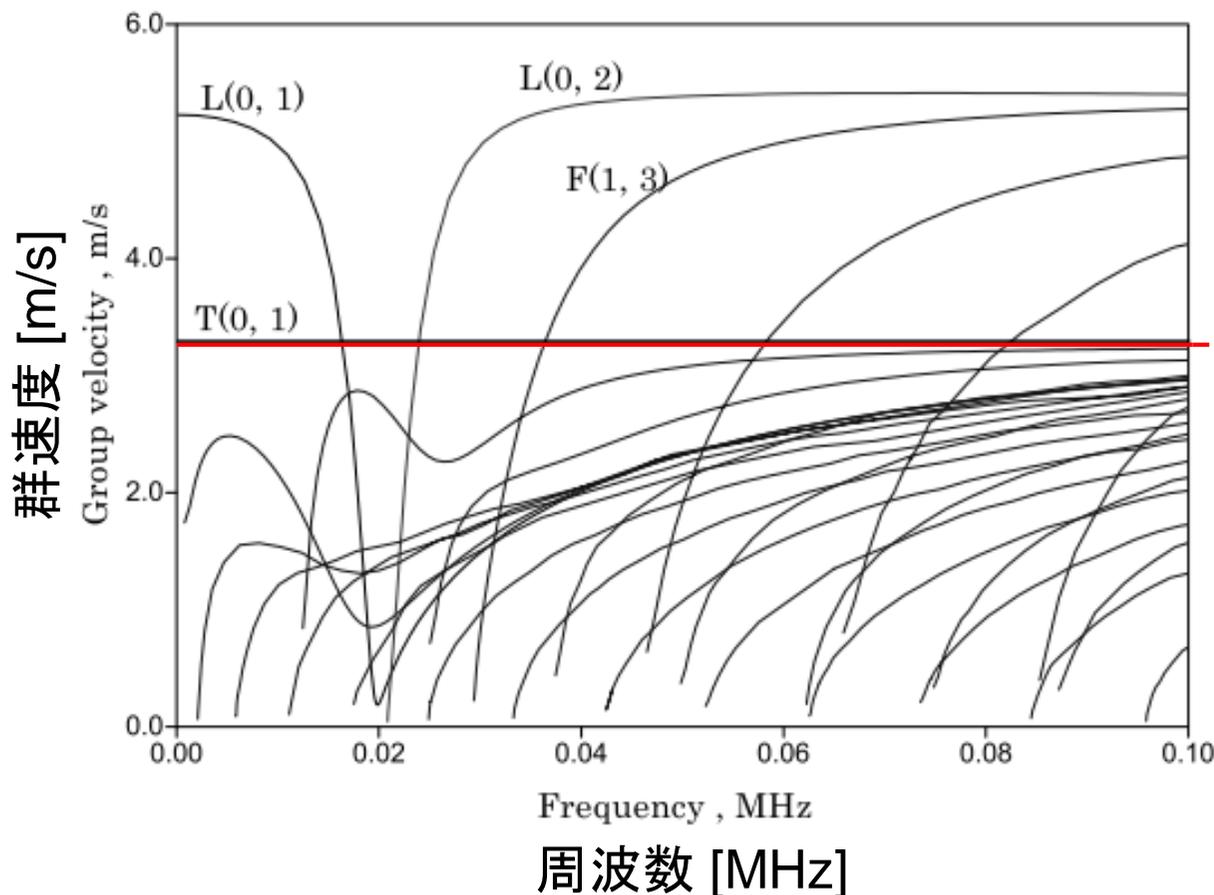
超音波ガイド波の概要

T波 円周方向に捻れて変位

- ・ 10 ~ 100 kHzの周波数帯
- ・ 様々なモード(T波、L波、F波)



Torsional mode



T(0, 1)

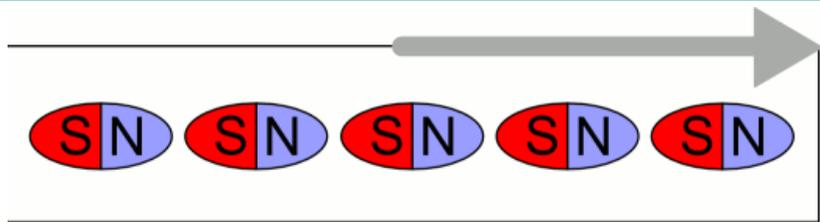
群速度が一定のため、検査に応用した際、欠陥位置同定が容易

ガイド波の分散曲線

NKK技法 No.177(2002.6)より

磁歪式超音波ガイド波検査の概要

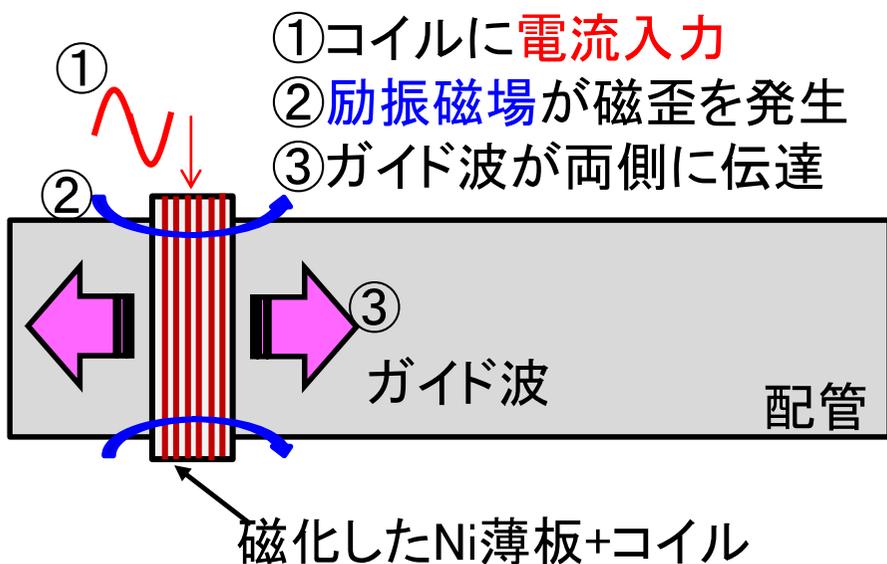
磁歪効果: 磁性体の磁化を変化させると歪が生じる現象



<https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetostriction>



送信部: 磁化したニッケル薄板とリボンコイルから構成、磁気信号を振動に変換

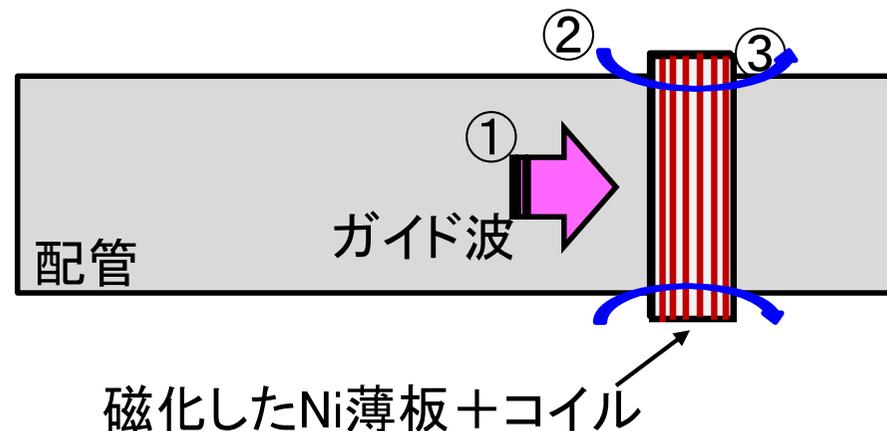


ビラリ効果: 磁歪効果の逆効果
磁性体に圧力を加えると、磁化の強度が変化する現象

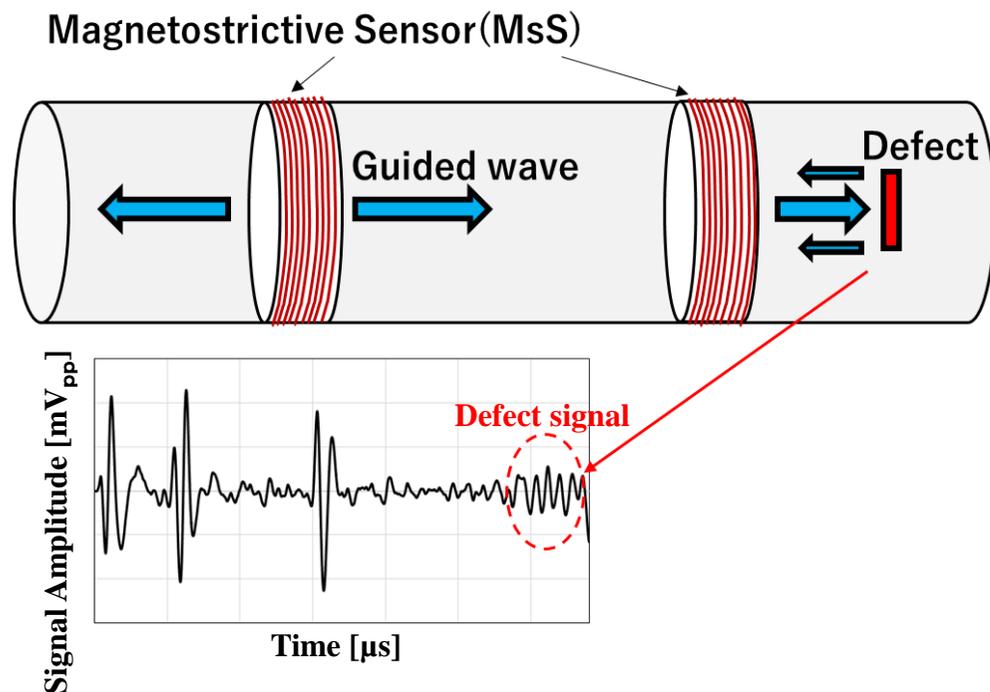


受信部: 磁化したニッケル薄板とリボンコイルから構成、振動を磁気信号に変換

- ①ガイド波が伝搬される
- ②Niが振動を磁気に変換
- ③コイルで磁気信号を検出



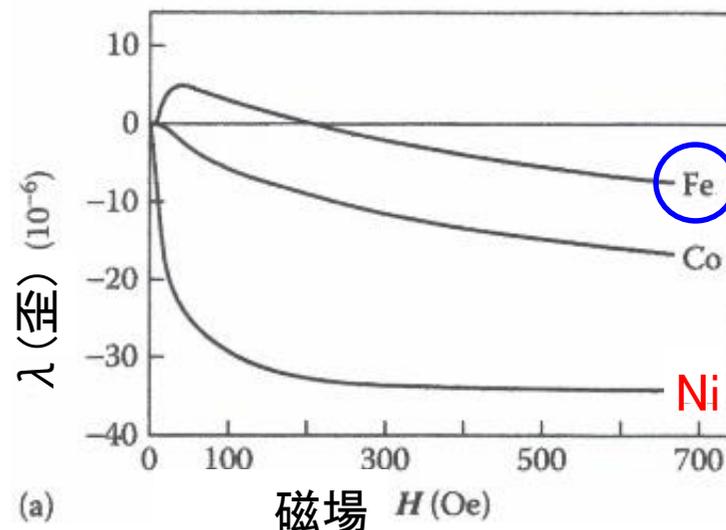
磁歪式従来技術の課題と解決方法



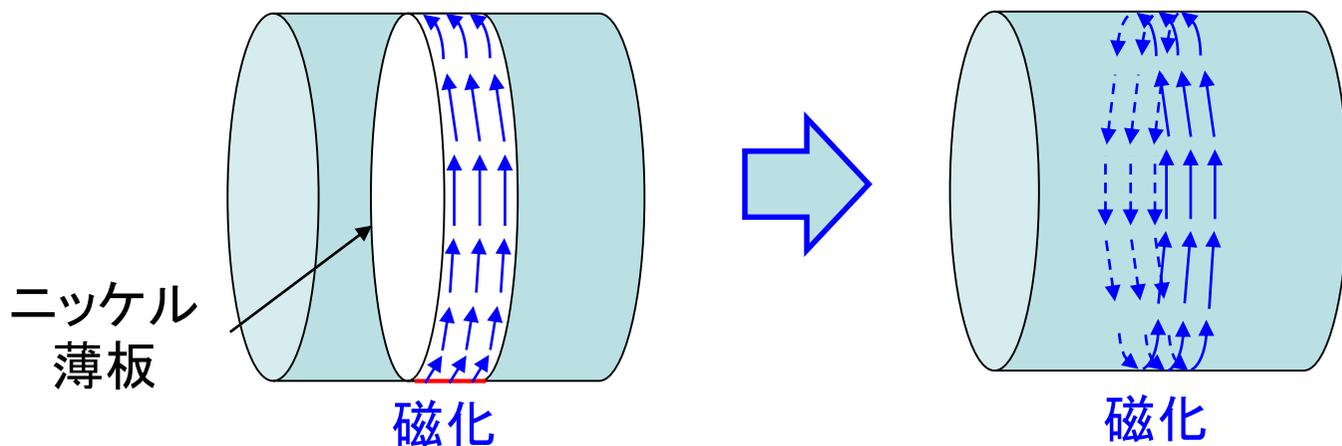
従来：磁化したニッケル＋誘導コイル = 磁歪式センサ (MsS)



✓ ニッケルの貼付け(接触)が必要



鉄鋼管(磁性配管)への適用
・材料自体の磁化を用いる新技術

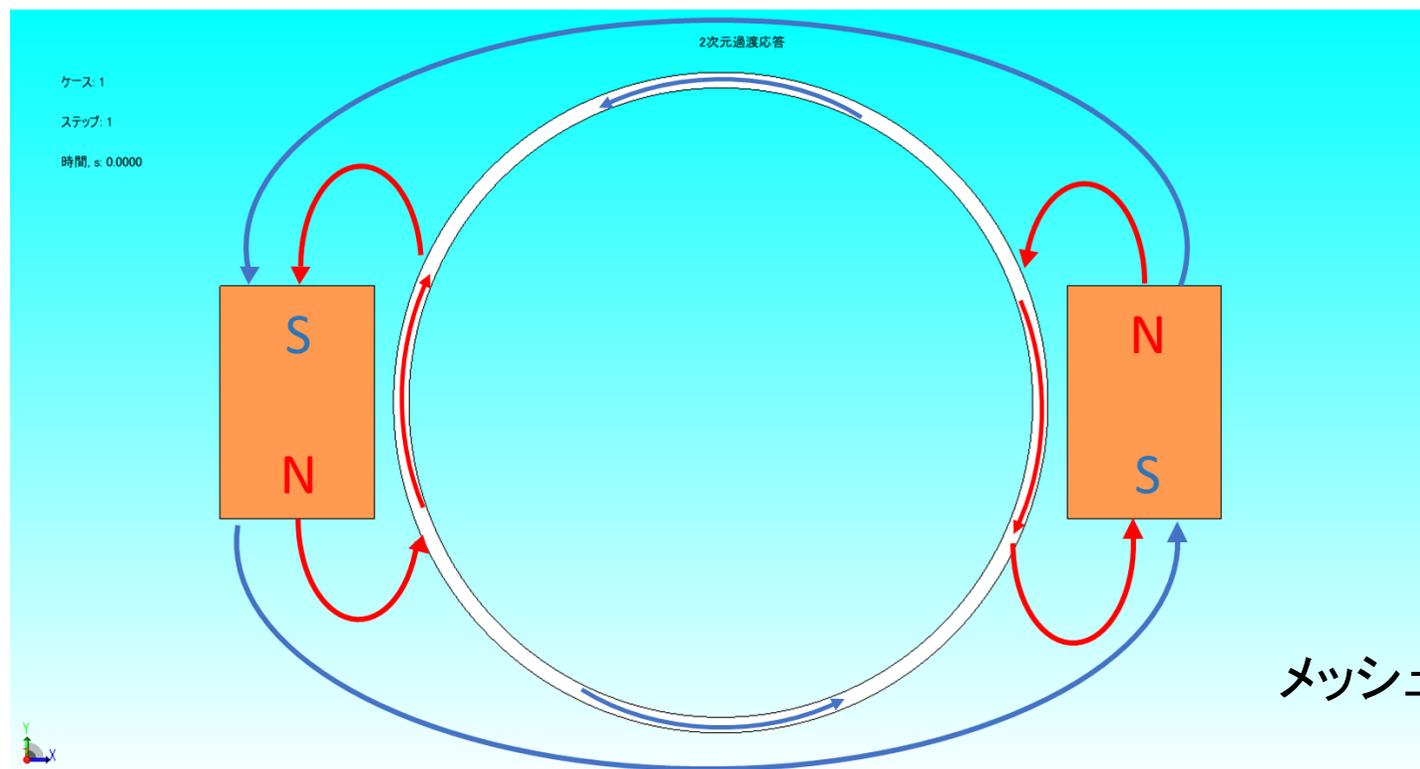


非接触での検査が可能

電磁界解析による検討

電磁界解析シミュレータJMAG(<https://www.jmag-international.com/>)を適用

- ①磁性管両側に**電磁石**を配置、②磁場中で**管回転**、③磁場**除去**



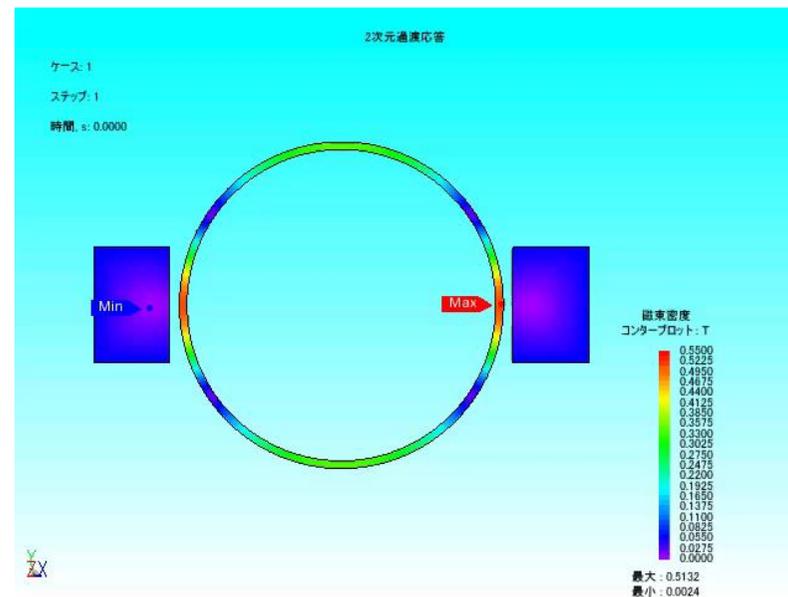
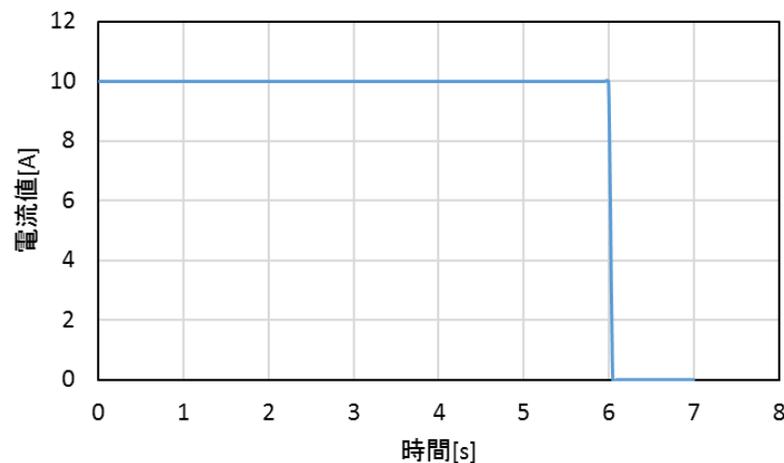
メッシュ: 要素数1754
節点数1168

- ✓ 解析: 磁場の**過渡解析**
- ✓ 次元: 2次元(**磁気特性導入**)

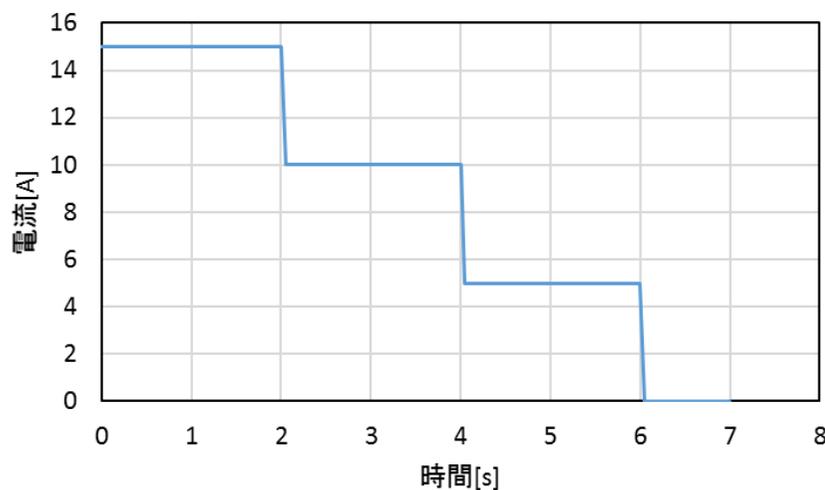
電磁界解析による検討結果

10 Aの電流を100回巻コイルに印加

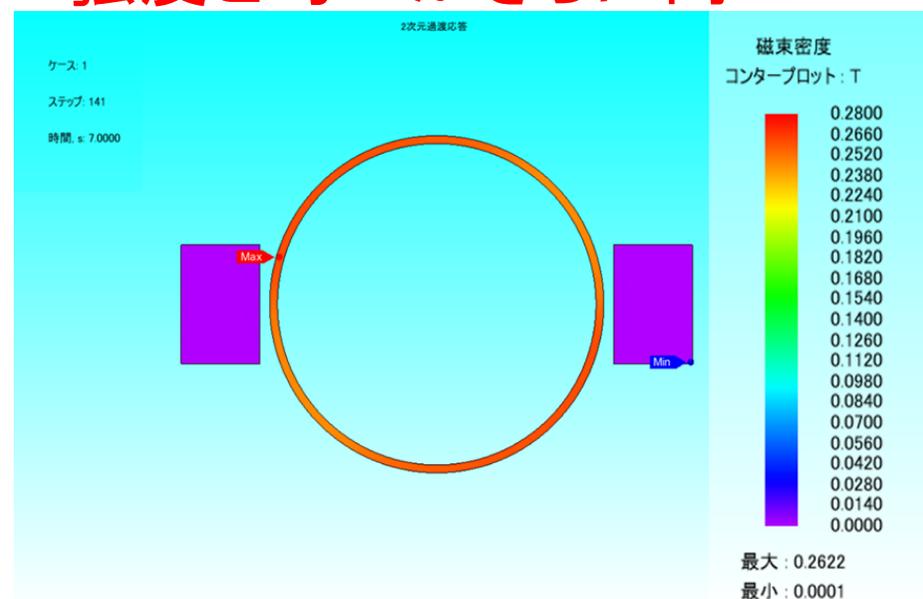
磁場中で3回回転 → 均一磁場



電流を段階的に減少

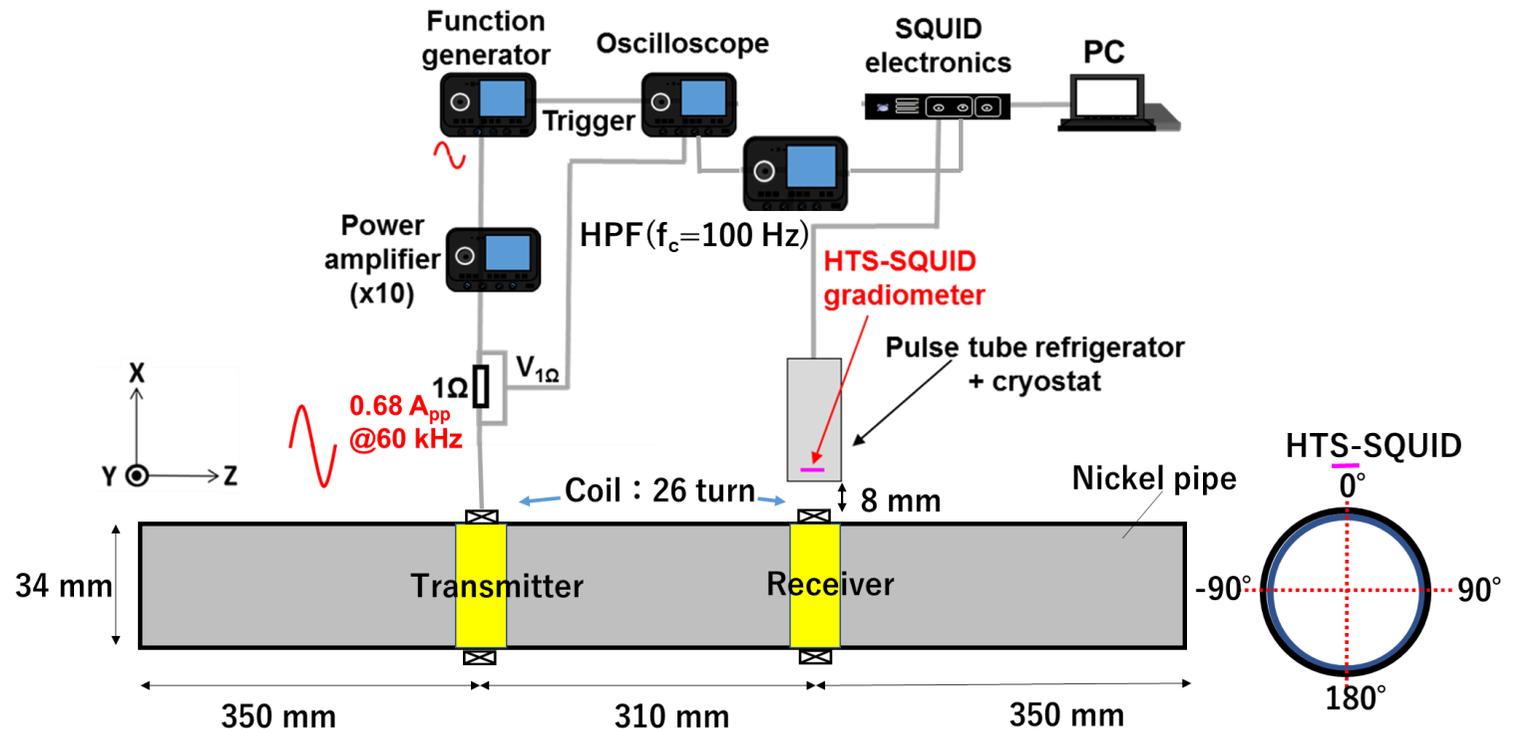
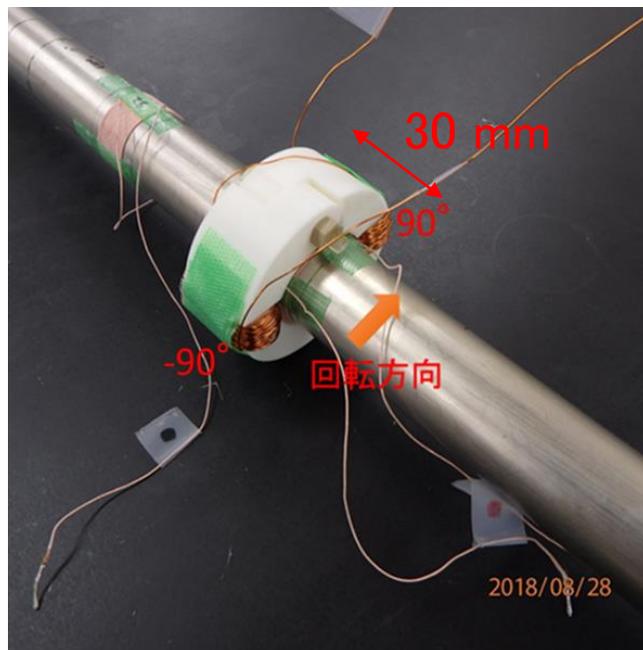


強度と均一がさらに向上



高感度磁気センサを用いた実験

- ニッケル管：長さ1010 mm、厚さ0.5 mm、外径34 mm
- 電磁石コイルに15 Aの電流を印加、約4.7 kA/mの磁場をニッケル管に与え、段階的に減少させながら、管を3回転させて2ヶ所磁化した。
- $0.68 A_{pp}$ @60 kHzのバースト波電流を印加してガイド波を発生させ、360°全周検査を行った。ここでは、高感度なSQUID磁気センサを使用した。

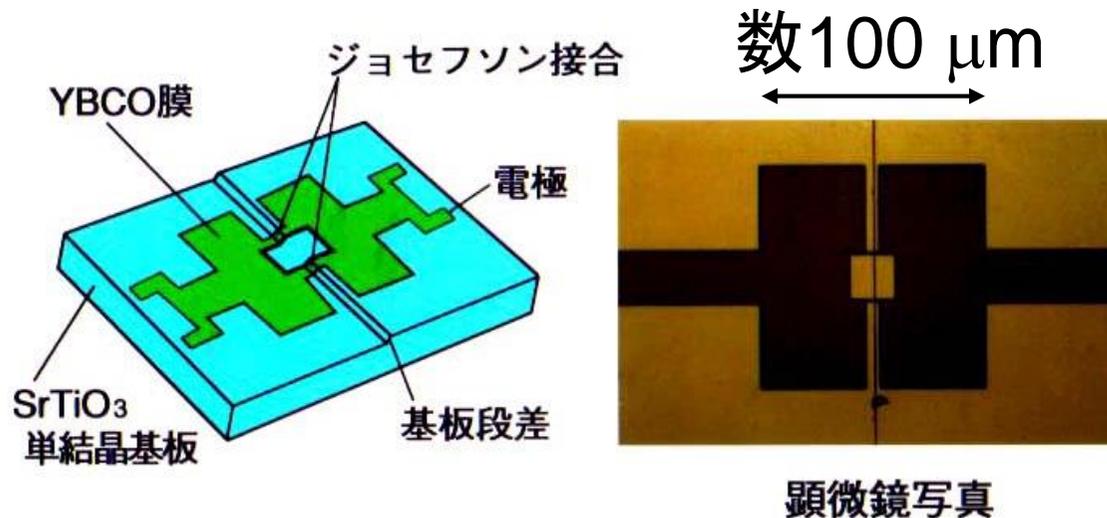


超高感度磁気センサSQUID

SQUID (Superconducting quantum interference device: 超伝導量子干渉素子)

超伝導デバイスの中で唯一実用化、商用化に成功した素子であり、超高感度な磁気センサとして働く

高温超伝導SQUID

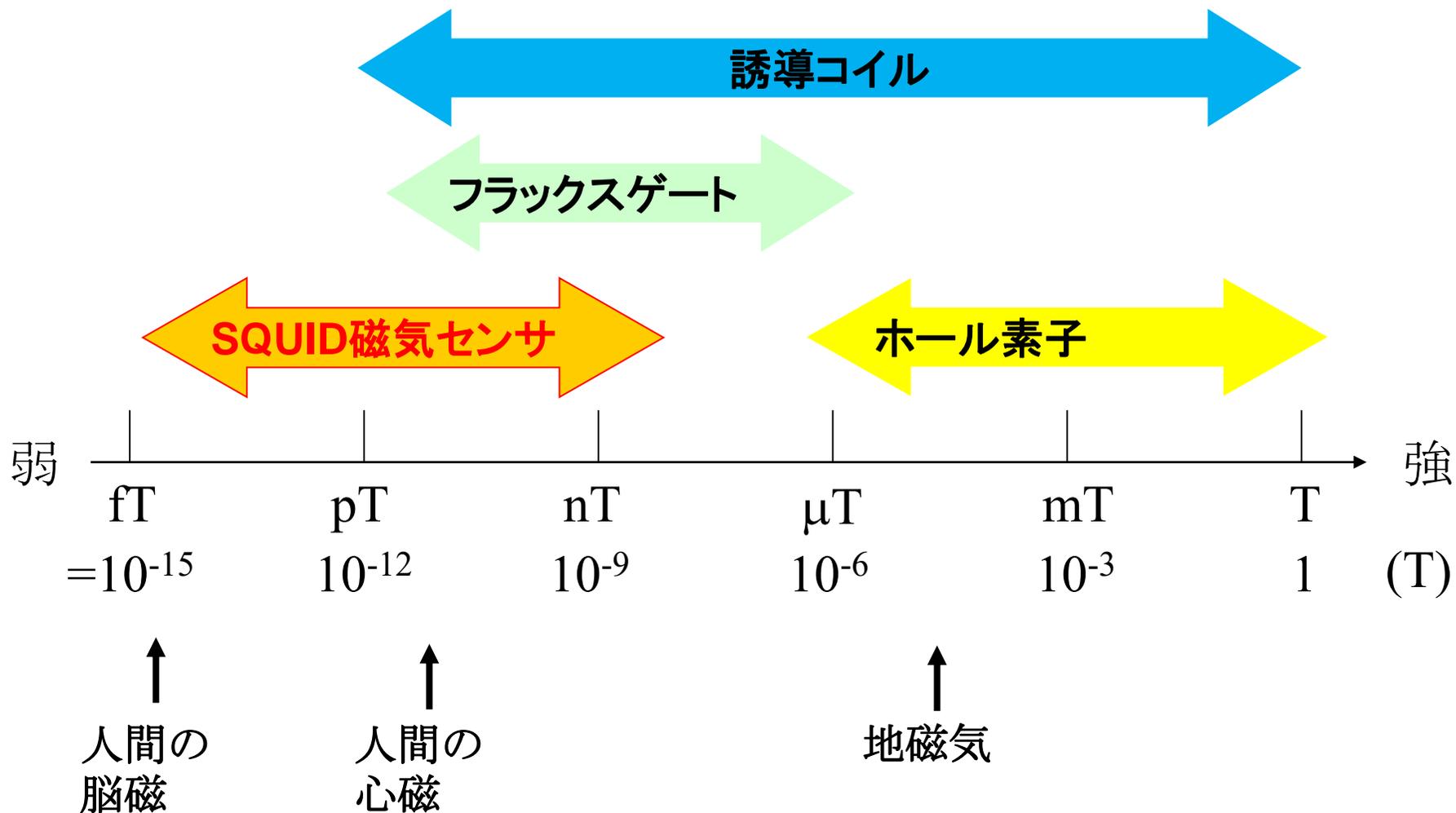


77K (液体窒素) で動作する **超高感度な磁気センサ**

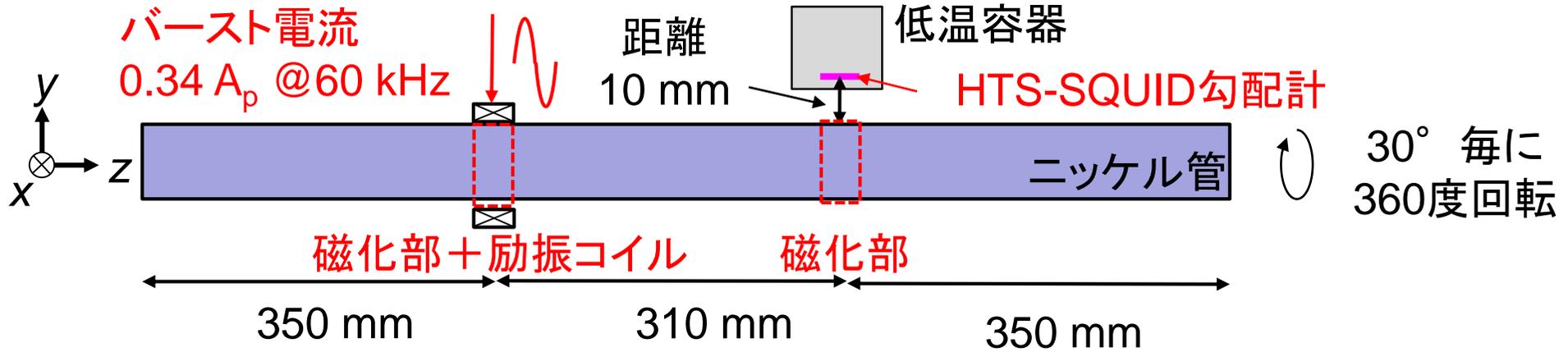
高感度磁気センサの感度比較

SQUIDの感度

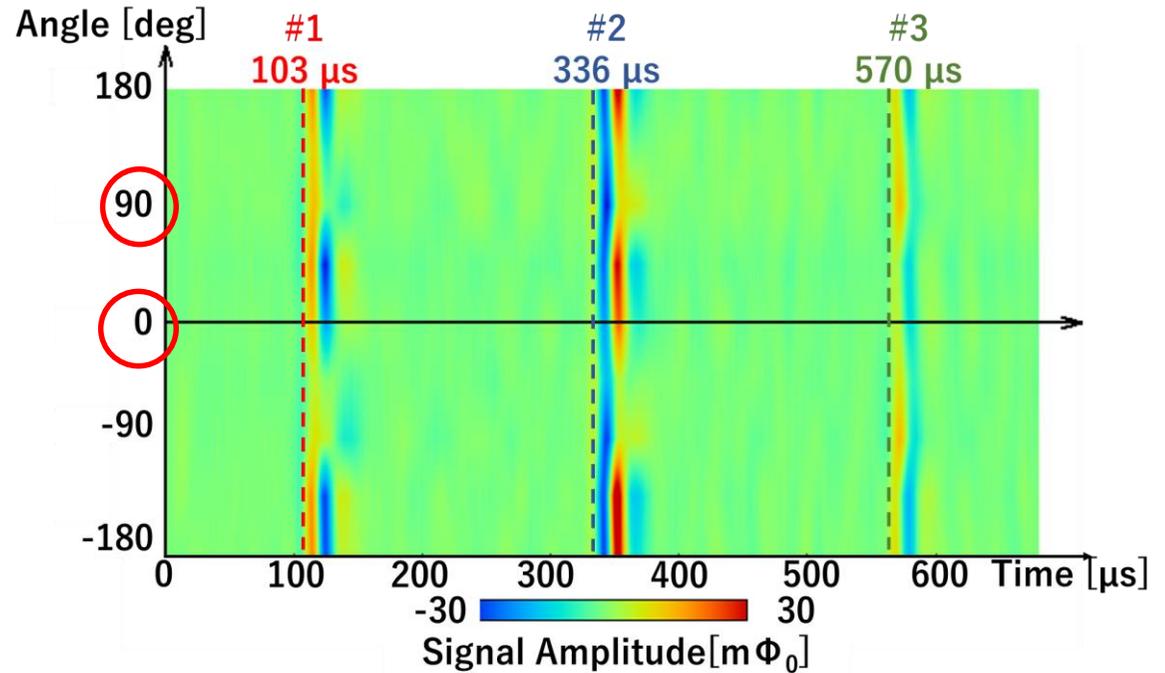
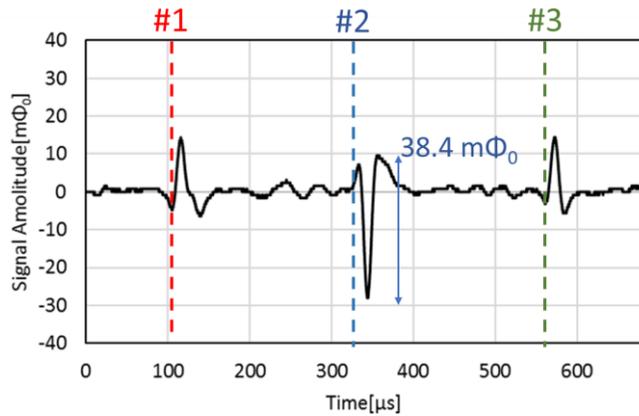
磁気センサのなかで最も高感度：半導体磁気センサより3桁以上



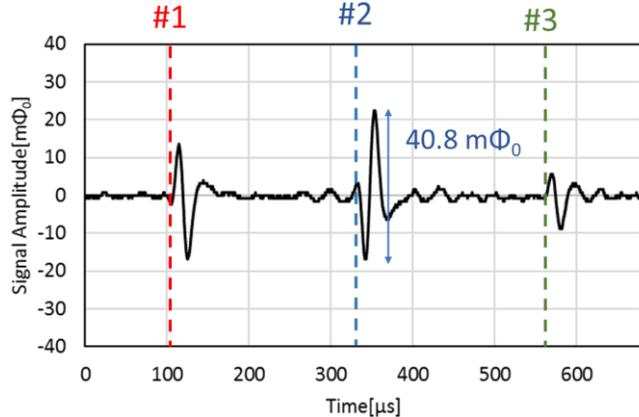
ガイド波送受信実験結果 その1



90°



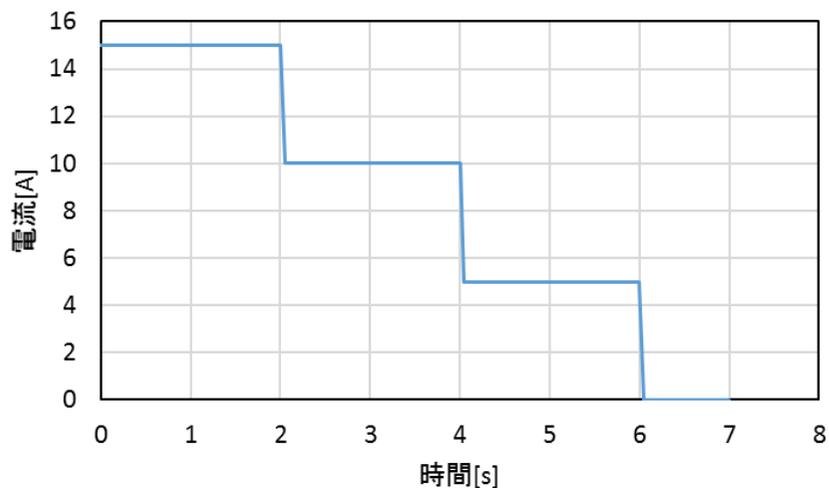
0°



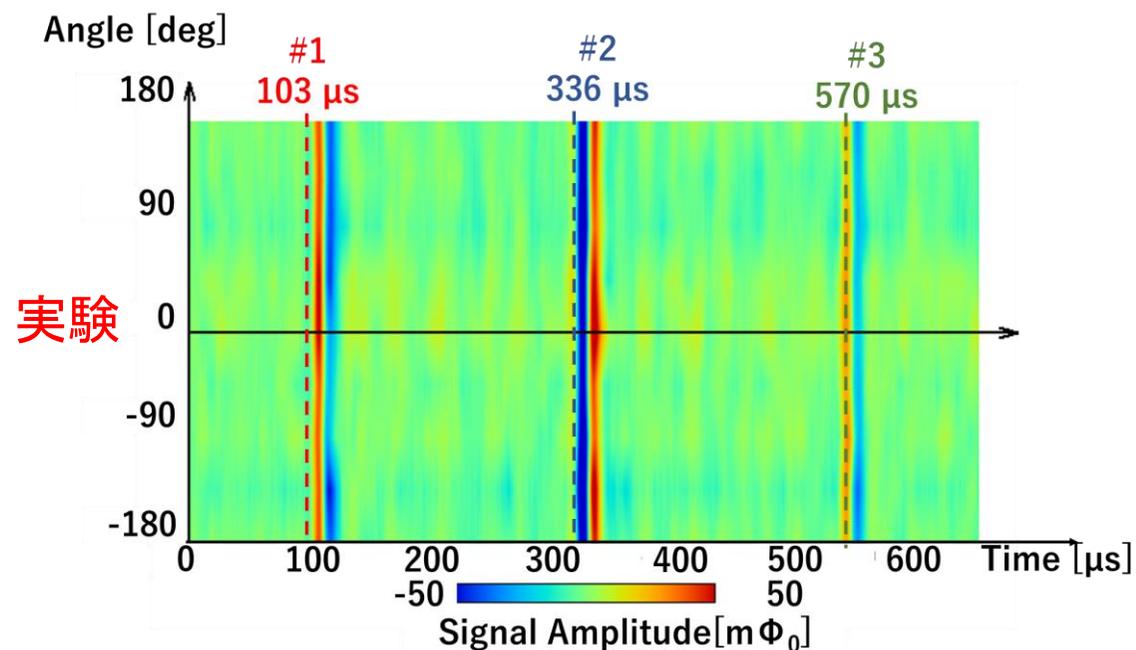
ガイド波の受信タイミングから計算した速度(約3m/ms)はT(0, 1)モードと一致

ガイド波送受信実験結果 その2

電流を段階的に減少

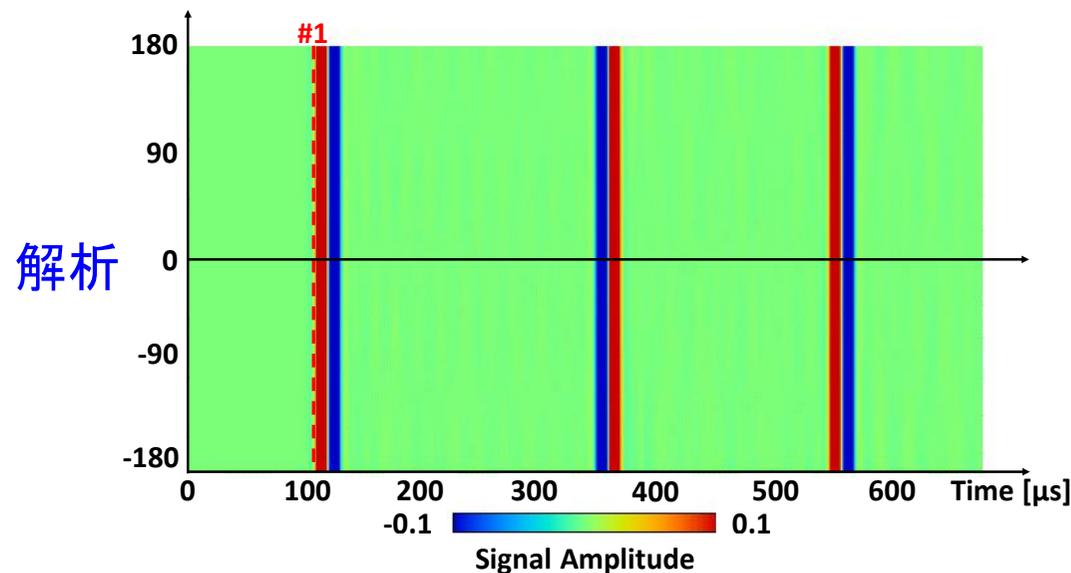
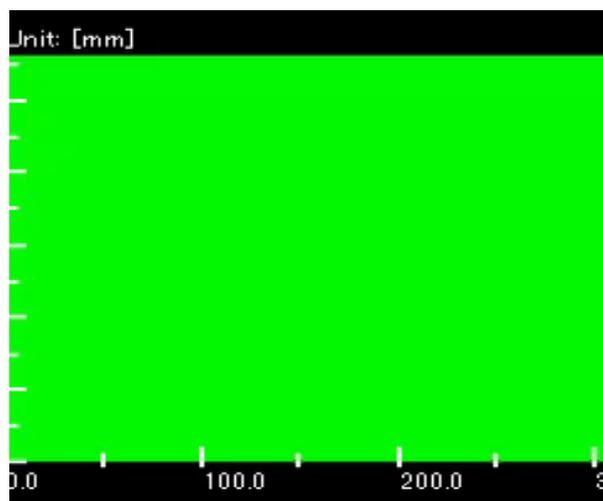


強度と均一がさらに向上



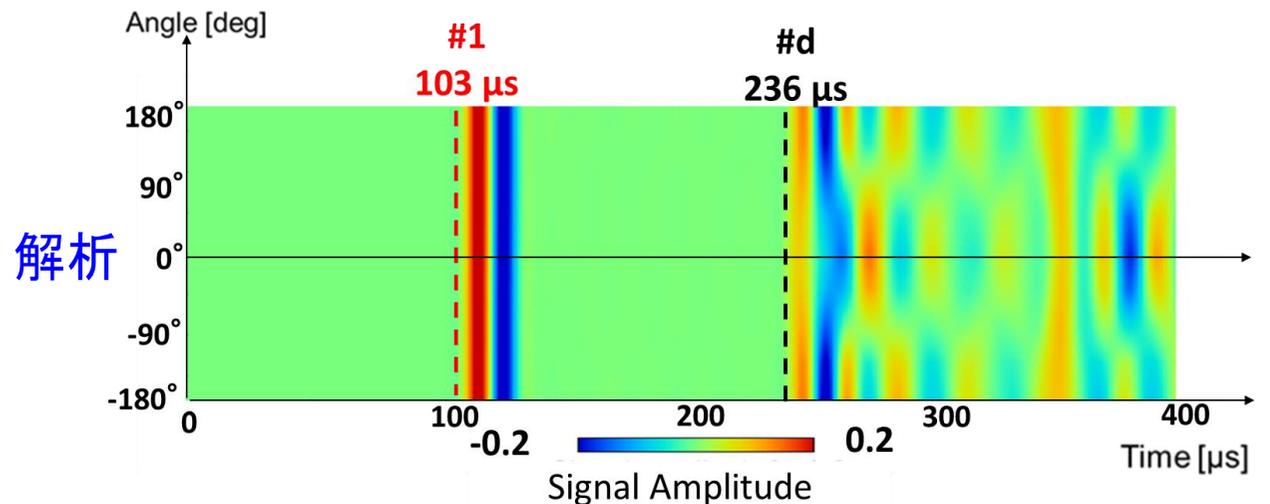
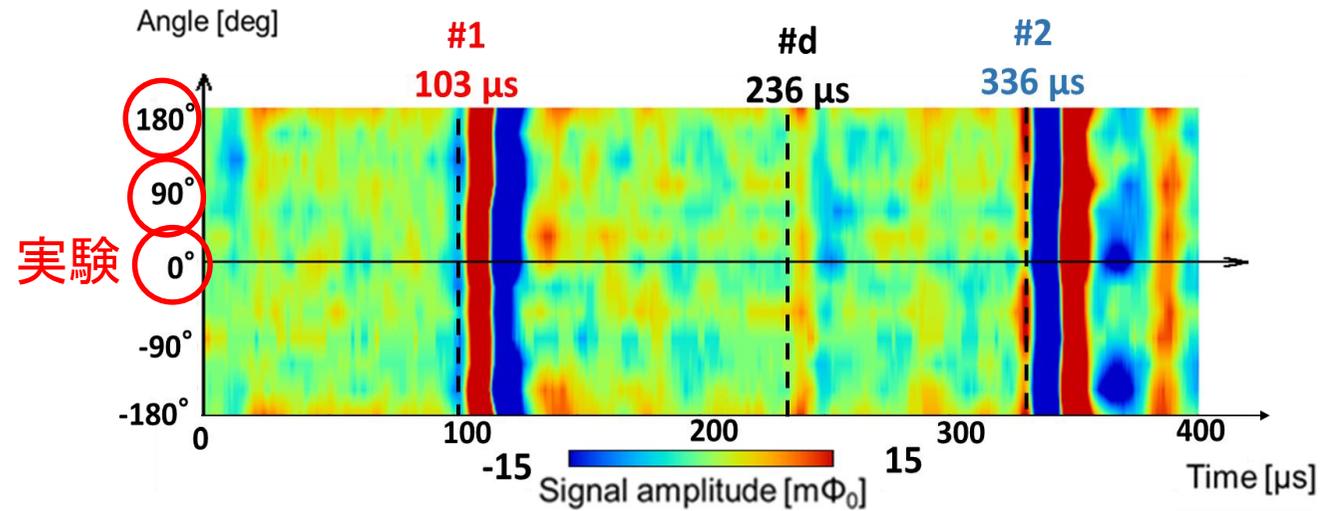
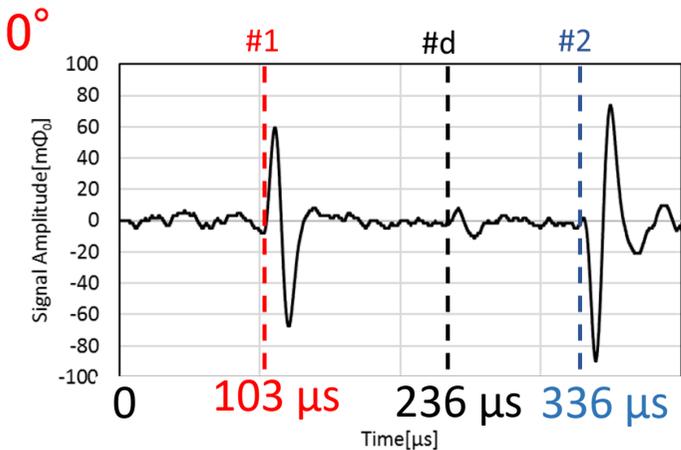
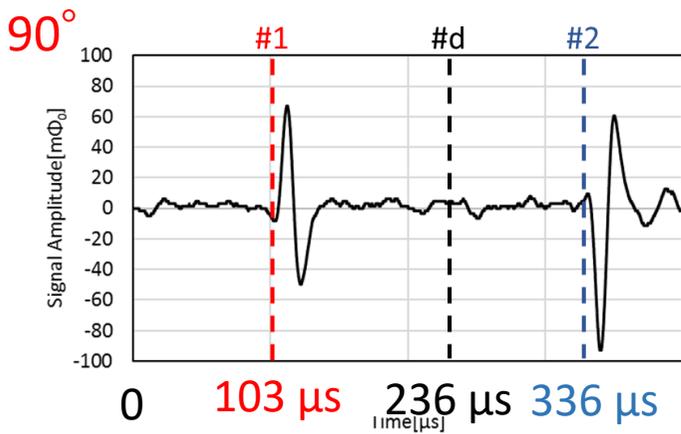
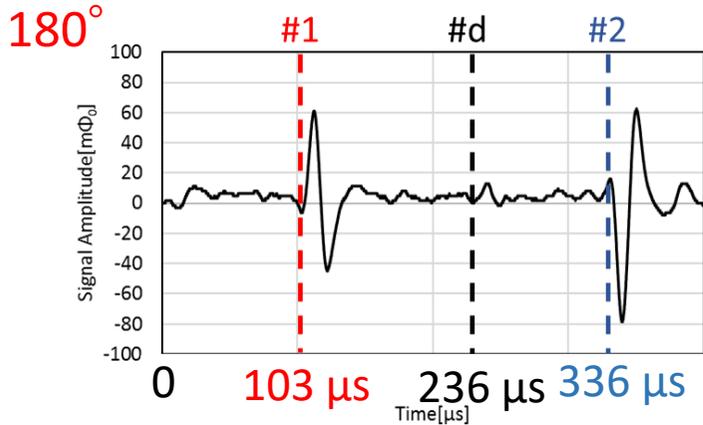
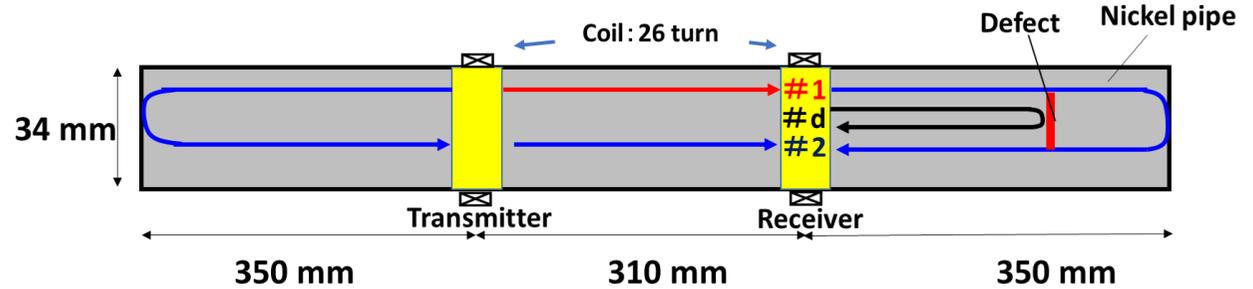
超音波伝搬解析シミュレータSWAN21

(<http://www.jp-probe.com>) による解析

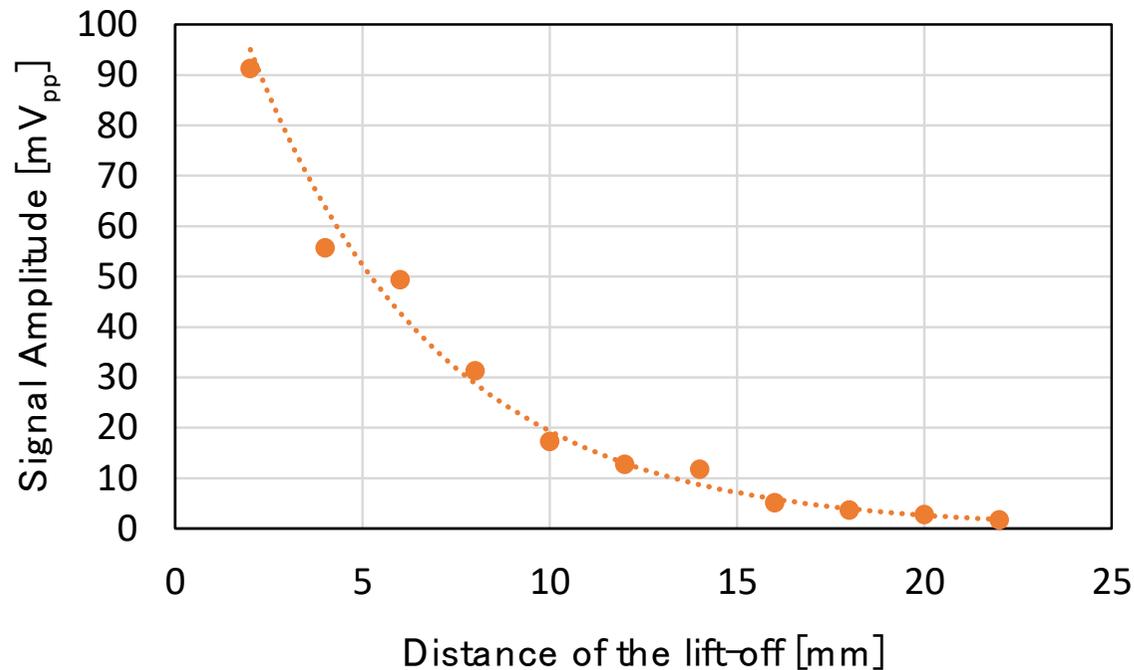
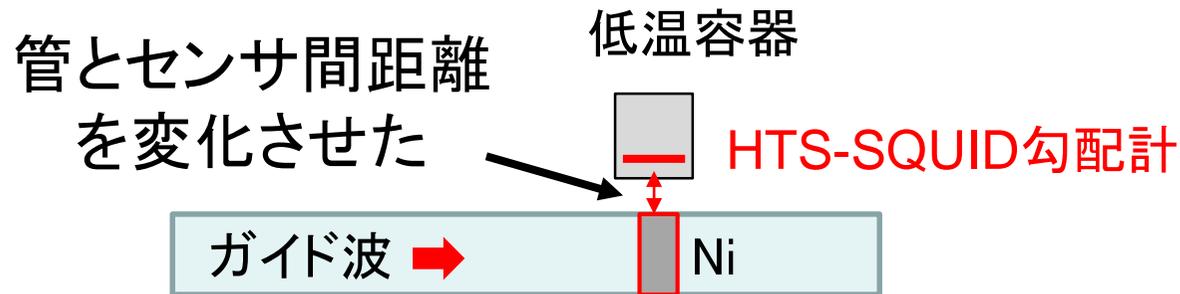


ガイド波送受信実験結果 その3

スリットを持つサンプルに適用



保温材の外からの検出可能性



SQUIDを用いることで、
20mm離れた場所から
ガイド波由来の磁気信号
を検出可能

現在、一般的な鉄鋼材料（残留磁化の残る材料に限る）への適用可能性と、高感度を検討中

新技術の特徴・従来技術との比較

- 広範囲検査が可能な磁歪式ガイド波試験技術は、送受信部を対象配管に接触させる必要があった。
- 新技術では、外部から電磁石を用いて対象配管(磁性管に限る)を磁化し、非接触でガイド波送受信部を構築できる。
- 一般的な鉄鋼配管は磁歪効果が弱く、高感度な磁気センサ(例えばSQUID)を用いることで、感度を確保する。
- 本技術の適用により、保温材(断熱材)を剥がすことなく検査が可能となれば、検査時間とコストが大幅に削減されると期待される。

想定される用途

- 鉄鋼材が用いられている発電所、プラントなどの長距離配管、大型配管の検査
- 特に、稼働中で、保温材（断熱材）の内側の配管の広範囲検査やスクリーニングに適用できれば、大幅な時間・コストの削減が可能と考えられる。
- 配管以外にも適用可能と考えられる（例：高所の橋梁、電力設備などの検査）。

実用化に向けた課題

- 現在、磁歪効果の大きなニッケルの管について、均一で十分な残留磁化が得られ、**T(0, 1)モードガイド波の送受信、欠陥検出**が可能なところまで実験で確認済み。
- 現在、SUS等の残留磁化が発生する**鉄鋼系配管**への適応可能性を、解析・実験により検討中。
- 保温材(断熱材)の上から検査するには、**ガイド波の強化と、受信部感度向上**が必要。

企業への期待

- 実地のサンプルの提供
- 研究費の提供、及び企業との共同研究を希望
- 配管の非破壊検査を実施している企業では、本技術を実用化した装置の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 配管磁化方法及び配管検査方法
- 出願番号 : 特願2018-212575
- 出願人 : 近畿大学
- 発明者 : 廿日出好

産学連携の経歴

- 2004年 企業からの受託研究実施
- 2005年-2013年 研究所からの受託研究実施
- 2010年-2013年 愛知県重点研究プロジェクト「食の安心・安全プロジェクト」に参画（研究代表者：田中三郎）
- 2019年- 企業との共同研究実施中

お問い合わせ先

近畿大学

次世代基盤技術研究所 梶川 周夫

TEL 082-434-7005

FAX 082-434-7020

連絡先 <https://kuring.hiro.kindai.ac.jp/>

より連絡をお願いします。