

平成27年度 学内研究助成金 研究報告書

研究種目	<input checked="" type="checkbox"/> 奨励研究助成金	<input type="checkbox"/> 研究成果刊行助成金
	<input type="checkbox"/> 21世紀研究開発奨励金 (共同研究助成金)	<input type="checkbox"/> 21世紀教育開発奨励金 (教育推進研究助成金)
研究課題名	電磁波を応用した配管の非接触リモート非破壊検査技術の研究	
研究者所属・氏名	研究代表者：工学部 電子情報工学科 准教授 廿日出 好	

1. 研究目的・内容

本研究では、原子力発電所の配管など、過酷な環境で用いられる金属構造物で、プローブでの直接アクセスが困難な事例に対する有効な非破壊検査技術を研究・開発することを目的とした。これを実現するために、構造物に電磁波と磁歪を応用した超音波ガイド波発生機構を適用し、発生したガイド波を、磁歪の逆効果であるビラリ効果により磁場に変換し、これを超高感度磁気センサ SQUID で非接触に検出する新技术を開発した。

2. 研究経過及び成果

本研究では、まず、振動由来の磁気信号を計測できるかどうかを調べるため、サンプル鋼管の一端をハンマーで打撃し、発生したアコースティックエミッション (AE) 波由来の磁気信号を計測した。ここでは、打撃位置からの距離 1.5 m の位置で、管から約 2 mm 離して設置した高温超伝導 SQUID 勾配計で振動由来の磁気信号を計測した。参照信号として管上に AE センサを配置して振動を計測した。その結果、AE センサ出力と同期した 10 数 Hz の低周波数信号が SQUID 勾配計でも計測され、振動由来の磁気信号を計測できることが示された。また、AE センサを AE 波発生器として用い、AE 波由来の磁気信号を SQUID 勾配計で計測した結果、SQUID センサを離して設置した場所の配管周囲に磁化したニッケル薄板を貼り付け、ニッケルの磁歪の逆効果 (ビラリ効果) を適用することで、AE 波由来の磁気信号を計測することができた (図 1)。また、SQUID センサの向きを管軸に平行、および周方向に平行と変化させて測定した結果、周方向に平行に設置した場合の方が大きな信号が得られた。これにより AE 波では主に横波を計測している可能性が高いことが推測される。

次に、上記の磁歪効果を応用し、管に貼り付けたニッケル薄板に電磁波を与えて、10~100 kHz の超音波ガイド波を発生させる磁歪式ガイド波発生機構を導入した装置を構築した (図 2)。また、SQUID を離して配置する配管の受信部にもニッケル薄板を設置することで、超音波ガイド波由来の磁気信号を高い信号雑音比 (S/N) で検出できた (図 3)。次に、磁歪式送信器に与える励磁電流の振幅や周波数などの測定パラメータが信号に与える影響や、発生する磁気信号の向き、超音波ガイド波の伝送速度や伝送距離、どの程度 SQUID センサと配管の距離を離しても信号が測定できるかを調べた。その結果、信号強度は励磁電流の強度に比例し、周波数に対しては大きく依存しないことがわかった。また発生するガイド波がねじれモードであり、管軸方向に振動する磁気信号が発生していることがわかった。また、アルミ管や鋼管におけるガイド波の伝達速度は約 3000 mm/ms であり、およそ 50 m にわたってガイド波が管を伝達することが示された。また、信号強度は、SQUID と配管表面との距離の 2 乗に反比例して減衰するが、およそ 20 mm 離しても信号が計測できることが示された (図 4)。

最後に、サンプル管に設けた亀裂模擬欠陥で反射したガイド波由来の磁気信号を検出することができた。亀裂欠陥については周方向亀裂と軸方向亀裂の両方からの反射波を検出することができた。これにより欠陥の有無だけでなく、位置の同定も行える可能性を示した。

以上より、電磁波と超高感度磁気センサを組み合わせた本技術により、配管などの構造物における欠陥をリモートかつ非接触で検出できる可能性が示された。

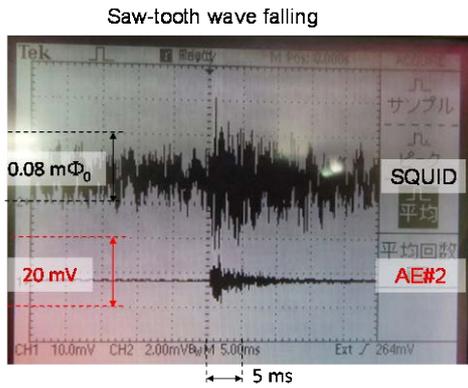


図1 AEガイド波の磁氣的検出結果

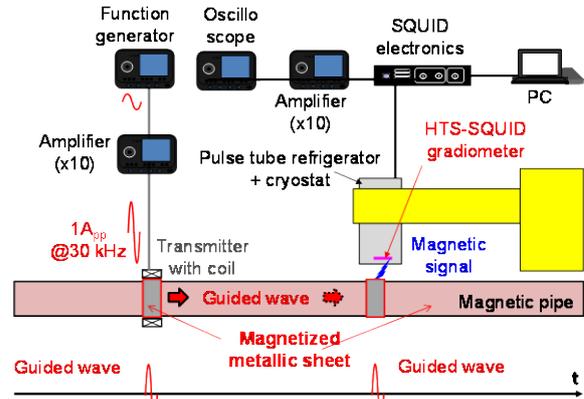


図2 超音波ガイド波の非接触検出装置概略図

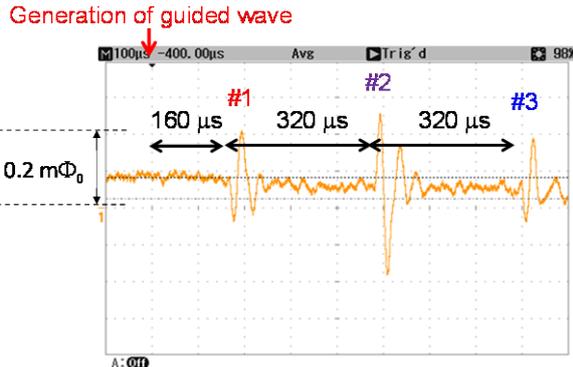


図3 SQUIDによるガイド波の検出結果

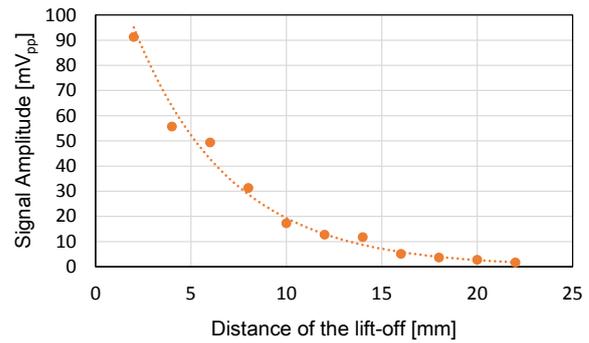


図4 SQUID・配管距離と信号強度の関係

3. 本研究と関連した今後の研究計画

本研究では、磁化したニッケル薄板を対象（配管など）に貼り付けることで、その磁歪効果、および逆磁歪効果を利用して、超音波ガイド波を送信、受信して磁気信号に変換する方式を適用した。現在、この研究の続きとして、対象に直接接触することなく（ニッケル薄板を貼り付けるなどが不要）超音波ガイド波を送受信する方式を検討しており、現在2016年8~9月での特許申請を目指して実験を進めている。また、配管以外の板材などの構造物材への適用についても検討を行っている。

4. 成果の発表等

発表機関名	種類(著書・雑誌・口頭)	発表年月日(予定を含む)
2015年秋季低温工学・超電導学会	口頭発表	2015年12月2日
2016年 電子情報通信学会 超伝導エレクトロニクス研究会	口頭発表	2016年1月21日
第63回応用物理学会春季学術講演会	口頭発表	2016年3月21日
第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム	口頭発表	2016年5月18日
2016年春季低温工学・超電導学会	口頭発表	2016年5月30日
Applied Superconductivity Conference 2016	ポスター発表	2016年9月6日(予定)
IEEE Transaction on Applied Superconductivity	雑誌	2016年9月6日(予定)