GMR を用いた渦電流探傷プローブの基礎特性に関する研究

日大生産工（院）　○住田　裕基
日大生産工　　小山　潔、星川　洋

1.はじめに

構造物を安全、安心に、そして長く使用するために非破壊検査が行われている。非破壊検査の方法の一つである電磁誘導を利用した渦電流探傷試験は非接触かつ高速度にきずの検出を行うことができる。渦電流探傷試験において従来のプローブでは磁束検出部にコイルを用いている。コイルを用いた場合、低周波数域では発生する渦電流が弱くなるため誘導起電力の低下により検出感度が小さくなりきずの検出が難しくなる。高周波数域では渦電流の浸透深さが浅くなり試験体の深層部や裏面のきず検出が困難となる。このように磁束検出部にコイルを用いるときず検出において周波数が大きく影響し、周波数による依存性が高い。そこで周波数による依存性を軽減するため、磁束検出部に GMR を用いた渦電流探傷プローブを提案する[1)]。GMR は DC から数 MHz 帯の周波数による磁束に対して検出感度がほぼ一定であるという性質がある。本研究では磁束検出部に GMR を用いた場合とコイルを用いた場合の周波数に対するきず検出信号を比較して GMR を用いた渦電流探傷プローブの基礎特性について検討を行った。

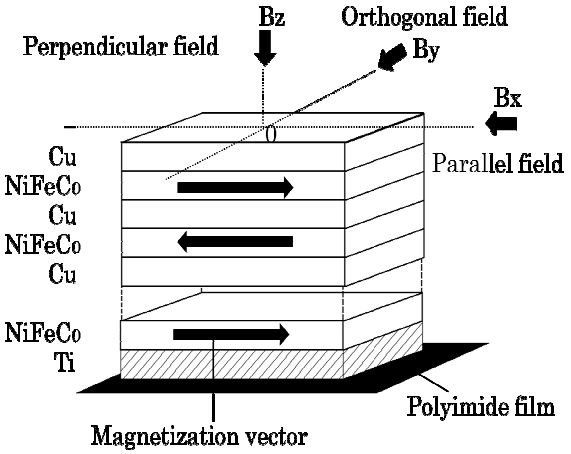


図 1　GMR の積層構造

2.巨大磁気抵抗効果素子（GMR）について

図 1 に GMR の積層構造を示す。GMR は強磁性層と非磁性層との人工格子多層膜である。ポリイミドフィルム基板上に Ti を 5.0nm、NiFeCo を 5nm で成膜し、膜上に Cu 層を 2.0 nm、NiFeCo 層を 1.5nm として 20 層交互に積層されている。また、GMR はそれぞれの磁界方向に対して平行磁界（Parallel field）である x 方向成分の Bx のみを検出し、直角磁界（Orthogonal field）である y 方向成分の By と垂直磁界（Perpendicular field）である

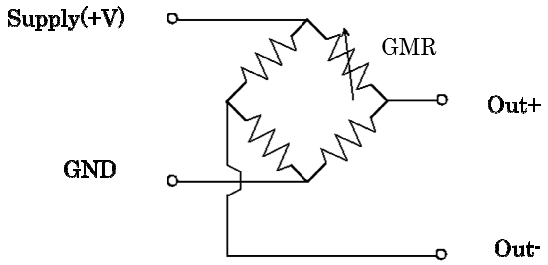


図 2　GMR の回路図

Basic Characteristic about Eddy Current Testing Probe with GMR

Yuki SUMIDA, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

z方向成分のBzは検出しないような仕組みになっている。GMRは巨大磁気抵抗効果（Giant Magneto Resistive effect）を生じる素子である。巨大磁気抵抗効果とは検出方向の積層面に対して外部磁界が発生すると強磁性層の磁化ベクトルの向きが反平行状態から平行状態になり電子の散乱が弱まることで電気抵抗が変化する現象である。

図2はGMRのパッケージ中の回路を示している。巨大磁気抵抗効果が起こると電気抵抗の変化により回路の平衡状態が崩れGMR内では電位差を生じ出力電圧を得られる。

3.GMRの基礎的特性

3.1.実験の条件と方法

初めに、周波数や磁束に対するGMRの検出感度について実験を行った。型番AAH002－02のGMRを用い、その寸法は高さ1mm、長さ5mm、幅4mmである。GMRには直流電圧5Vを印加する。周波数特性では、周波数を100Hz、200Hz、500Hz、1kHz、2kHz、10kHz、20kHzで、電流を300mAに保ち、矩形コイルから発生する磁界に対してGMRを図1のx方向になるように矩形コイルへ配置してそれぞれの周波数における出力電圧を測った。

磁束方向による検出感度の実験方法は、矩形コイルから発生する磁束の方向に対してGMRを図1のx方向、y方向、z方向として20kHzの周波数における交流磁界を0mTから0.15mTまで変化させた。

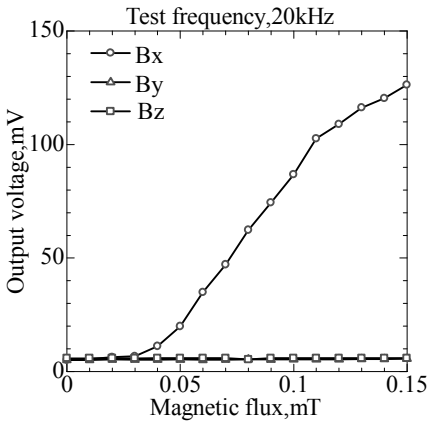


図3　磁束に対するGMRの出力電圧

3.2.実験結果

図3に周波数20kHzでのGMRの周波数における検出感度の結果を示す。三方向においてx方向のみ検出しておりy、z方向では全く検出していないことがわかた。そして0.15mTの微小な磁界でも100mV程度の電圧を出力できるので感度が優れているとわかった。

図4に周波数特性の結果を示す。GMRはどの周波数においても一定の感度を示し周波数に関係なく一定の電圧を出力することがわかる。

4.GMRを用いた渦電流探傷プローブ

4.1.構造ときず検出原理

GMRの基礎的な特性結果を踏まえ、図5にGMRを用いた渦電流探傷プローブの構造を示す。二つの縦置き矩形型励磁コイルの間にGMRを励磁コイルに流れる電流の方向と検出方向が同じになるように配置する。また、励磁コイルにはそれぞれ逆向きの電流を流す。図6にきず検出の原理を示す。図（a）のようにプローブがきずの左側に位置すると渦電流はきずに沿って流れ、GMRは渦電流から発生する磁束を検出し巨大磁気抵抗効果により電圧を発生させる。図（b）ではきずの真上

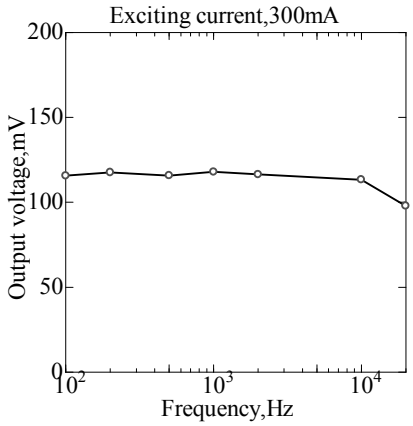


図4　GMRの周波数特性

にくるときずの両側に流れる渦電流から発生する磁束の向きが逆向きなのでお互いに打ち消しあうため、GMR は磁束を検出しないので電圧は発生しない。図（c）のようにプローブがきずの右側に位置すると、きずの右側できずに沿って流れる渦電流の流量が増えるため GMR は渦電流から発生する磁束を検出し電圧を生じることになる。GMR でのきず検出は、きずの両側で電圧を生じることとなる。

4.2.プローブのきず検出実験の条件及び方法

プローブの励磁コイルの寸法は、高さ 30mm、長さ 40mm、幅 8mm であり、GMR は基礎的特性実験と同じ素子を用いる。きず検出特性の比較実験に用いた検出コイルの寸法は、縦 7mm、横 8mm、幅 1mm である。試験体は厚さ 25mm の SUS316L を用いており、試験体には放電加工したスリット状のきずがある。きずは長さ 40mm、幅 0.5mm で深さは 5mm,10mm,15mm,20mmである。

磁束検出部に GMR 素子を用いた場合とコイルを用いた場合で同じ励磁コイルを用いて、励磁コイルには周波数を 500Hz、2kHz、20kHz に設定し、GMR の検出方向に対してきず方向を 90° にしてプローブを走査させた。このとき励磁コイルには 300mA の電流が一定に流れるようにした。

4.3.実験結果

図 7 は磁束検出部が GMR の場合の走査位置に対する出力電圧を表し、図 8 は磁束検出部がコイルの場合のパターン信号を表す。図 7 では周波数が 20kHz から 2kHz に変わっても信号振幅の変化は小さい。しかし、図 8 では大きく変化していることがわかる。図 9 に 20kHz のときの振幅を 1 に正規化したきず深さ 15mm の場合の信号振幅を示す。図より、GMR の振幅はコイルの振幅に比べて大きく 10 倍程度の振幅の違いがみられる。周波数が

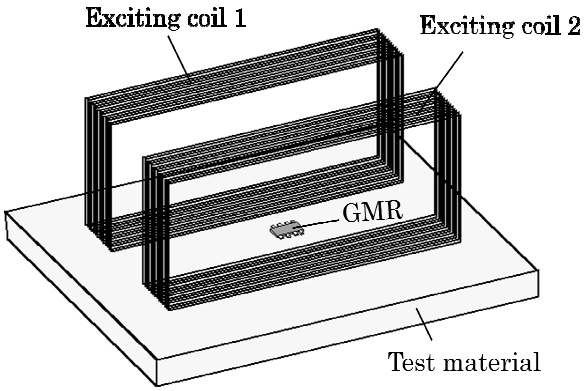
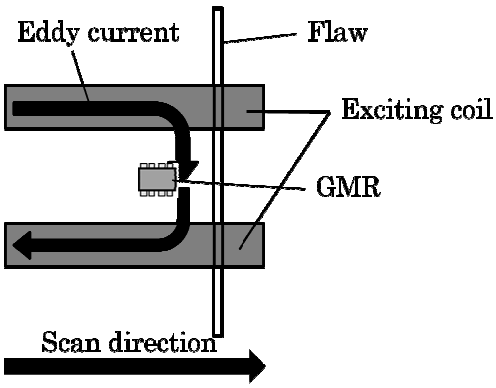
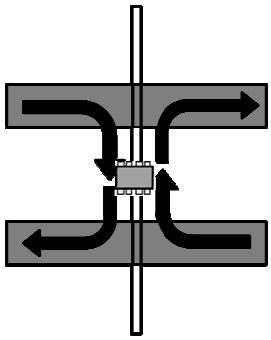


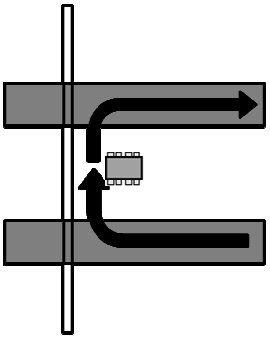
図 5　提案する渦電流探傷プローブの構造



（a）きずの左側に位置する場合



（b）きずの真上に位置する場合



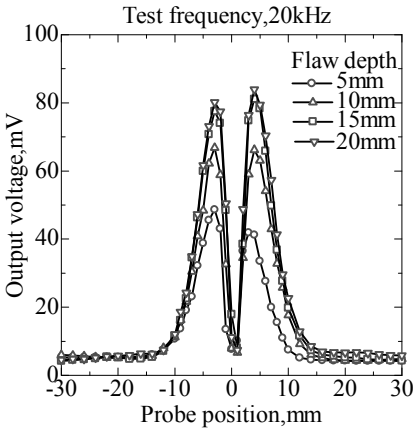
（c）きずの右側に位置する場合

図 6　きずの検出原理

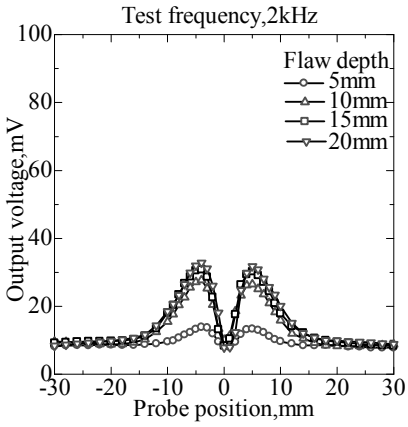
変化すると両方の場合で振幅が変化しているのは周波数により渦電流の強度が変化しているからであるが、磁束検出部にコイルを用いるとさらに周波数の影響を受けてしまい変化が大きくなると考えられる。GMR は交流磁束の周波数による影響は小さいため渦電流の強度変化の影響だけだと考える。

5.まとめ

今回、磁束検出部が GMR のときとコイルのときでの周波数に対するきず検出信号を比較して周波数への依存性について検討を行った。結果より GMR は周波数による影響がコイルに比べると小さいことがわかった。

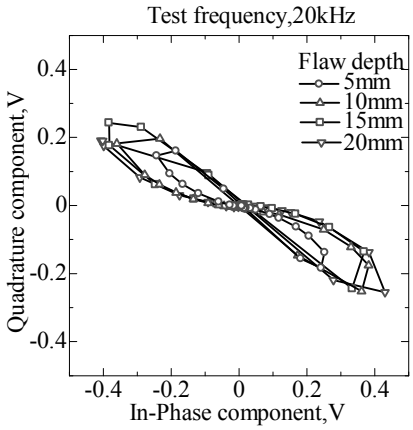


（a）周波数 20kHz

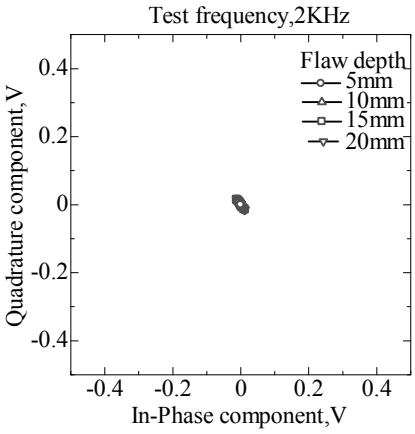


（b）周波数 2kHz

図 7　検出部が GMR の場合のきず信号



（a）周波数 20kHz



（b）周波数 2kHz

図 8　検出部がコイルの場合のパターン信号

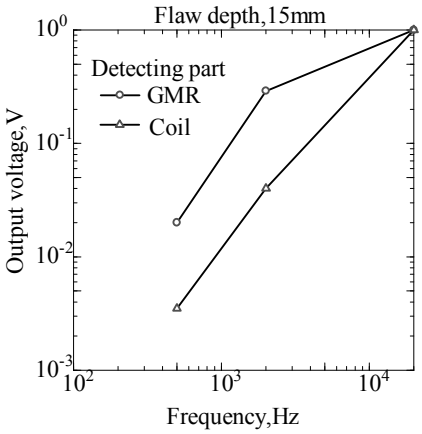


図 9　周波数に対する正規化信号振幅の変化

6.参考文献

1)　岸本啓資，佐藤裕亮，平成 19 年度卒業論文「GMR を利用した渦電流探傷プローブの開発研究」星川・小山研究室，　pp1-2.