

電磁誘導プローブによる金属検知に関する基礎的研究

日大生産工(院) 左近 敏和
日大生産工 小山 潔 星川 洋

1. はじめに

金属検知とは、視認できない金属を非接触で探す技術である。金属検知器には大きく分けて据え置き型と走査型がある。据え置き型としては、製造ラインを流れる食料品、化学薬品等に混入した金属片や、縫製品に針が紛れる場合などがあり、それらの金属片を検知するため、ライン上にセンサーを設置する方法である。一方、走査型は、地中に埋められた地雷の除去、不発弾の搜索など位置の特定ができない金属片に対してセンサーを移動しながら検知を行う方法である。今回は、走査型による磁性的金属検知の検討を行った。この金属探知器のセンサープローブとして、従来、円形コイルを用いられている。しかし、円形コイルを用いた方法は、金属片がない状態でも信号が発生するためバランス回路を必要とし、装置が複雑である。バランス回路を必要としないセンサーとして一様磁界プローブがあるが、金属片の長さ方向の向きにより検出感度が異なる。そこで、この一様磁界プローブと金属片の向きによる影響の少ない回転磁界を使ったプローブとの金属片検知における比較検討を行う。

2 電磁誘導プローブによる金属検知の原理

2.1 一様磁界プローブの構造と原理

一様磁界プローブは、図1のように矩形縦置き励磁コイルとその中心下に配置した検出コイルから構成される。交流電流を流した励磁コイル下には、励磁コイル巻線と垂直方向に一様な磁界が発生する。図2は一様磁界中に置かれた検出コイルである。金属片がない場合、一様な磁界中に置かれたとき円形の検出コイルの起電力は、検出コイルの中心を通り磁界と垂直な軸に関して対称であり、検出コイル巻線が逆向きであるので打ち消しあい発生しない。金属片がある場合の信号について説明する。磁性的金属片内を通る磁束と金属片に誘導される渦電流による磁束の合成磁束で空

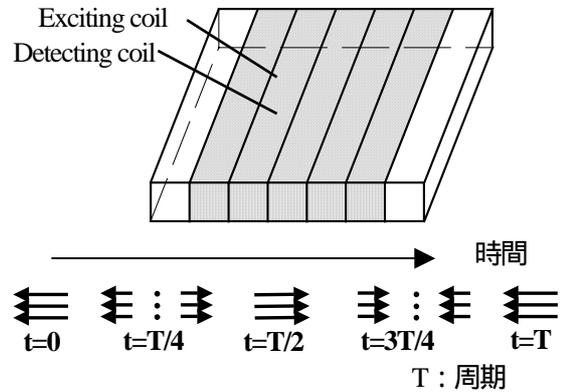


図1 一様磁界プローブの構造

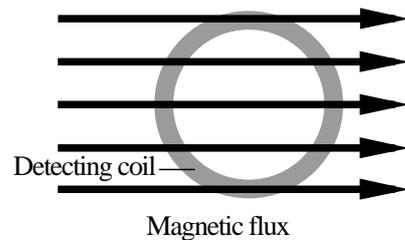
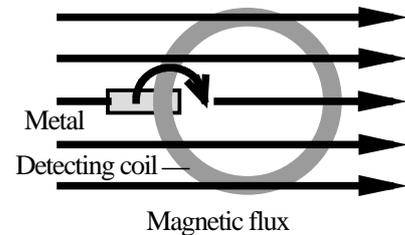
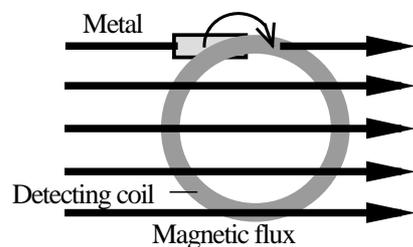


図2 一様磁界中に置かれた検出コイル



(a)金属片上を検出コイルの中心が通る場合



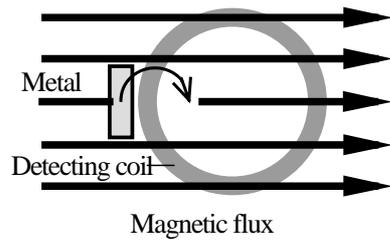
(b)金属片上を検出コイルの端が通る場合

図3 走査方向と平行に長さを持つ金属片

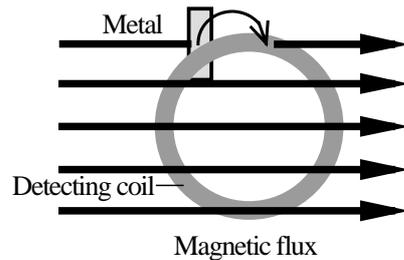
間磁界が乱れる。この金属片によって乱れた磁束が検出コイルの巻線を鎖交することにより検出コイルに起電力が発生する。図 3(a)のように、走査方向と平行に長さを持つ金属片上を検出コイルの中心が通る場合、金属片長を通る磁束の経路が長いので、検出コイルを鎖交する磁束も多く、得られる起電力も大きい。図 3(b)のように、走査方向と平行に長さを持つ金属片上を検出コイルの端が通る場合、同じように金属片によって乱れた磁束が検出コイルの巻線を鎖交することにより起電力発生するが、検出コイルを鎖交する磁束が小さく、得られる起電力も小さい。図 4(a)のように、走査方向と垂直に長さを持つ金属片上を検出コイルの中心が通る場合、図 3(a)の走査方向と平行に長さを持つ金属片の場合より金属片を通る磁束の経路が短いため検出コイルを鎖交する磁束が小さく、得られる起電力も小さい。図 4(b)のように、走査方向と垂直に長さを持つ金属片上を検出コイルの端が通る場合、磁束の通る経路が短いため、検出コイルを鎖交する磁束が小さく、起電力も小さい。

2.2 回転一様磁界の構造と原理

回転一様磁界プローブは、図 5 のように 2 つの矩形縦置きコイルを十字に組み合わせた励磁コイルとその中心下に配置した検出コイルから構成される。この 2 つの励磁コイルにお互い 90 度位相の異なる交流電流を流すことにより励磁コイル下には、図 6 のように時間と共に方向が回転する一様な磁界が発生する。この回転磁界により電磁誘導現象が起き、検出コイルに起電力が誘起される。一様磁界プローブと同様に図 2 のように、円形の検出コイルが一様な磁界中に置かれたときの起電力は、検出コイルの中心を通り磁界と水平な軸に関して対称であり、検出コイル巻線が逆向きであるので打ち消しあい発生しない。金属片がある場合、磁性の金属片内を通る磁束と金属片に誘導される渦電流による磁束の合成磁束で空間磁界が乱れ信号が発生する。図 3(a)のように、走査方向と平行に長さを持つ金属片上を検出コイルの中心が通る場合、一様磁界プローブの場合と同様に大きな起電力が得られる。図 6 のように、走査方向と垂直な金属片上を検出コイルの端が通る場合も、回転磁界のため、金属片長を通る磁束の経路が長いので、検出コイルを鎖交する磁束が大きく、起電力も大きい。



(a) 金属片上を検出コイルの中心が通る場合



(b) 金属片上を検出コイルの端が通る場合

図 4 走査方向と垂直に長さを持つ金属片

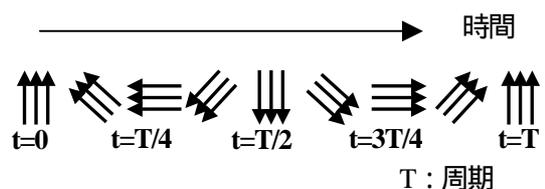
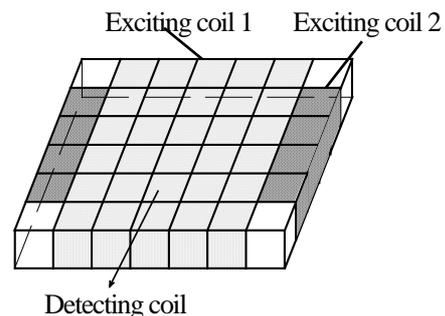


図 5 回転一様磁界プローブの構造と回転磁界

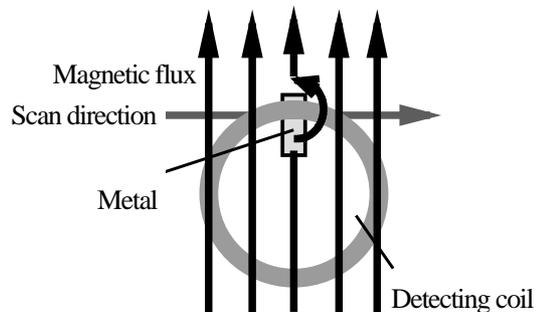


図 6 走査方向と垂直に長さを持つ金属片

3. 実験条件と実験方法

試験体として縦 20mm、横 5mm、厚さ 5mmの磁性体の鉄を用いた。一様磁界プローブは長さ 160mm、幅 150mm、高さ 30mm巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ の矩形横置き励磁コイルと、外形 70mm、巻幅 10mm、巻厚 1mmの円形検出コイルから構成されている。

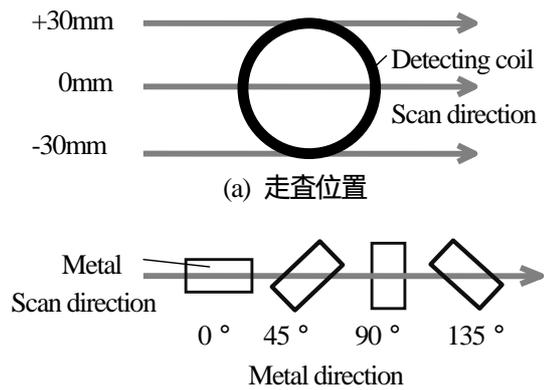
回転一様磁界プローブの2つの励磁コイルの寸法は長さ 160mm、幅 150mm、高さ 30mm巻線断面積 $1 \times 1\text{mm}^2$ の矩形横置き励磁コイルと、外形 70mm、巻幅 10mm、巻厚 1mmの円形検出コイルから構成されている。

プローブと試験体の相対距離（リフトオフ）は 10mm で、試験周波数は感度のもっとも良かった 5kHz、走査範囲を $x=-150 \sim 150\text{mm}$ とした。走査位置は図 7(a)に示すように検出コイルの中心を $y=0\text{mm}$ とし、中心から $y=+30, -30\text{mm}$ 、検出コイルの上端、下端の位置を走査した。金属片の向きは、図 7(b)に示すように走査方向に水平方向を 0° として、時計回りに $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ として測定を行った。

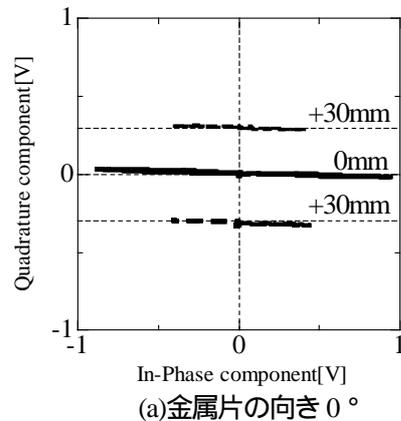
4. 実験結果

4.1 一様磁界プローブの結果

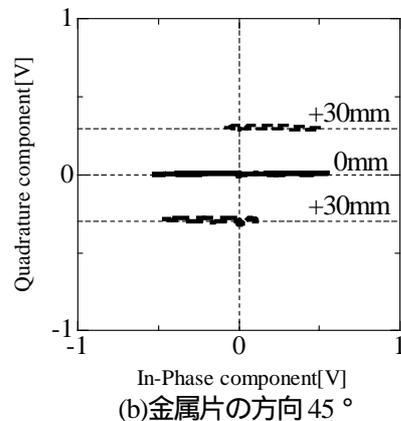
図 8 は、一様磁界プローブの走査位置を +30mm、0mm、-30mm と変えたときの検知信号で、それぞれの信号が重なってしまうため、上下にずらして表示した。図 8(a)は、走査方向と水平に長さを持つ金属片で走査位置を変えたときの検知信号を示したものである。プローブの検出コイルの中心が金属片上を走査した時に信号振幅が最大となる。走査位置が中心から +30mm、-30mm と変えると信号振幅が小さくなっていることがわかる。図 8(b) は、走査方向と 45° に長さを持つ金属片で走査位置を変えたときの検知信号を示したものである。図 8(c)は、走査方向と垂直に長さを持つ金属片で走査位置を変えたときの検知信号を示したものである。共に検出コイルの中心が金属片上を走査したとき時に信号振幅が最大となり、走査位置が中心から +30mm、-30mm と変えると、信号振幅が小さくなる。走査方向と 135° に長さを持つ金属片の場合については、 45° とほぼ同じ結果となった。以上の結果より、金属片の長さを持つ方向を $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ と変えると、金属片中を通る磁束の経路が短くなり、検出コイルと鎖交する空間磁界の変化は少ないため、信号振幅は小さくなる。



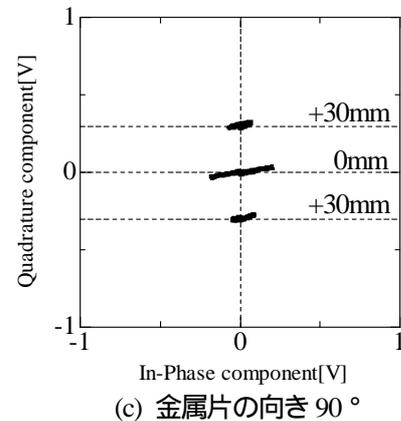
(b) 走査方向に対する金属片の向き
図 7 走査位置と金属片の向き



(a) 金属片の向き 0°



(b) 金属片の方向 45°



(c) 金属片の向き 90°

図 8 一様磁界プローブによる検出信号

4.2 回転一様磁界プローブの結果

図9は、回転一様磁界プローブの走査位置を+30mm、0、-30mmと変えたときの検知信号を示したものである。図9(a)は、走査方向と水平に長さを持つ金属片の検知信号を示したものである。走査位置0mmの場合、図9(a)の0mmとほぼ同じ信号が検出されているが、+30mm、-30mmについては、信号の実数成分に加え、虚数成分も検出されている。図9(b)は、走査方向と45°に長さを持つ金属片の検知信号を示したものである。走査位置がどの位置でも、実数成分と虚数成分が検出されている。図9(c)は、走査方向と垂直に長さを持つ金属片の検知信号を示したものである。走査位置0mmの場合、図8(a)の0mmとほぼ同じ信号が検出されているが、+30mm、-30mmについては、信号の実数成分に加え、虚数成分も検出されている。走査方向と135°に長さを持つ金属片の場合については、図9(b)とほぼ同じ結果となった。以上より、金属片の長さを持つ方向が0°、45°、90°、135°と変わっても、一様磁界が回転し、金属片中を通る磁束も回転しているため、磁束の経路が短くならない。そのため、金属片の方向による信号振幅はあまり変化しない。図10は、それぞれのプローブによる金属方向に対する信号振幅の変化を示している。一様磁界プローブでは金属方向が0°と90°を比べると信号振幅の変化が大きい。回転一様プローブでは、金属方向による信号振幅の変化が小さいことがわかる。

5. まとめ

本研究では一様磁界プローブと回転一様磁界プローブの金属片検知における比較検討を行った。実験の結果、一様磁界プローブでは、走査方向に対する金属片の角度が変化すると検出コイルと鎖交する磁束の量が変化するため信号振幅が大きく変化していた。回転一様プローブでは、走査方向に対する金属片の角度が変わっても検出コイルと鎖交する磁束の変化は小さいため、信号振幅の変化も小さかった。このことから、回転一様プローブでは走査方向によらず磁性的金属片検知が行えることが確認できた。

参考文献

[1] 小山潔、星川洋：「一様磁界プローブセンサーによる金属検知に関する基礎的検討」電気学会論文集、Vol.2, No.153, pp.174-175(2005)

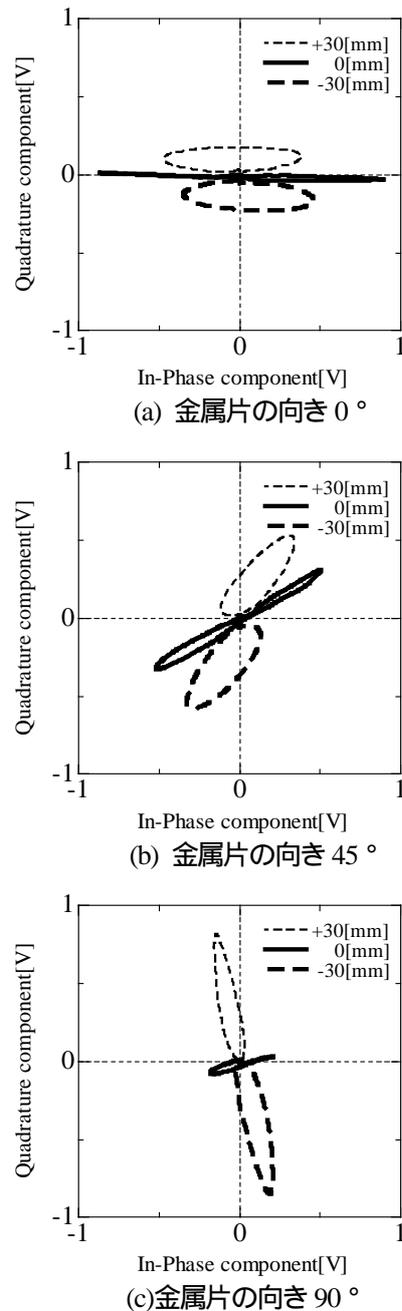


図9 回転一様プローブによる検出信号

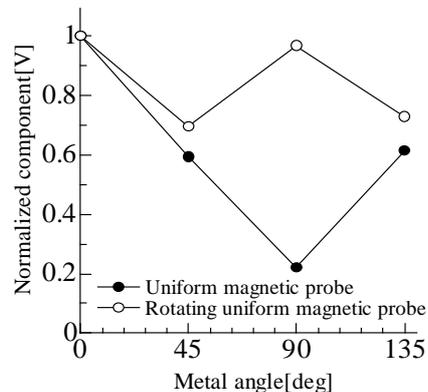


図10 プローブによる信号比較