

## 貫通コイル渦電流探傷プローブのマルチ化のための基礎特性に関する研究

日大生産工（院） ○増田 侑也

日大生産工 小山 潔、星川 洋

### 1 はじめに

生産ラインにおける金属製品の品質検査の際、不良製品の主な原因は表面きずである。ラインでの表面きずの検査では、きずの有無の確実かつ高速度での確認と、正確なきず深さの判別が要求される。そこで渦電流探傷試験を適用される。

渦電流探傷試験は、試験体に非接触かつ高速度でのきず検出が可能な探傷方法であり、出力が電気信号のため自動化に適しているという特徴がある。その探傷原理は、コイルに交流電流を流したときに発生する磁束が試験体に作用すると、電磁誘導現象によって試験体に渦電流が誘導される。この渦電流はきずを避けて流れるという特徴があるので、渦電流がきずを避けて流れたときに起こる起電力の変化をコイルが信号として検出するというものである。今研究では、特にパイプなどの円筒状の導体について考えていく。

従来型のプローブには問題点が2つある。1つ目の問題は、渦電流の変化が小さいきず、つまり励磁コイルと平行なきず(以下、周方向きず)を検出しにくいという点である。2つ目の問題点は、従来型のプローブには励磁コイルが1つしかないため、起電力の変化がはっきりわからず、きず深さの評価が難しいということである。

研究の目的は、円筒状の導体の生産ラインにおける非破壊検査のさらなる効率の上昇である。その手段として、上記2つの問題を解

決するためのプローブを製作した。1つ目の問題である、周方向きずを検出しにくいという問題を解決するために、検出コイルの上に渦電流の変化が大きい円形の励磁コイルを配置してあるプローブを製作した。これを周方向プローブと呼ぶことにする。また、きず深さの評価をしにくいという問題を解決するために、励磁コイルを周方向に二つ平行に巻いて、その間に検出コイルを巻いたプローブを製作した。これを軸方向プローブと呼ぶことにする。

### 2 各プローブの探傷原理

#### 2.1 周方向プローブの探傷原理

図1に周方向プローブの構成図を示す。周方向に巻いた検出コイルの上に円柱状の励磁コイルを配置した。この励磁コイルに交流電流を流す。図2より探傷原理を説明する。きずが有るときは図2のように8の字の信号パターンが検出される。きずが無いときは渦電流の変化がないため信号は検出されない。図2(a)のように、きずが検出コイルの右側にあるときは、渦電流はきずを避けて流れるため、磁束が変化しそれを妨げるように反作用磁束が発生し、それに伴い検出コイルに起電力が発生する。図2(c)のように、きずが検出コイルの左側にあるときは、きずを避けて流れる渦電流は図2(a)とは逆向きになるので、得られる信号も逆極性である。図2(b)のように、きずが検出コイルの真下にあるときは、きずが

---

Basic Study on Encircling Eddy Current Probe

Yuya Masuda, Kiyoshi Koyama, Hiroshi Hoshikawa

無いときと同じように、検出コイルを境に右側と左側の渦電流から得られる逆極性の起電力同士が打ち消しあうため信号は検出されない。

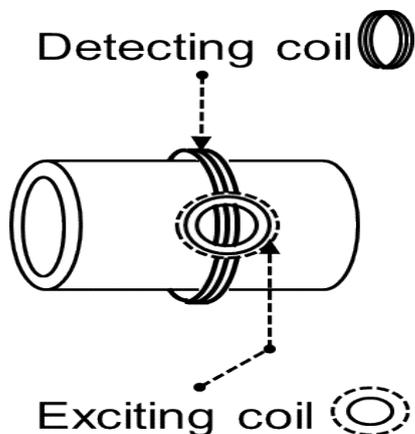
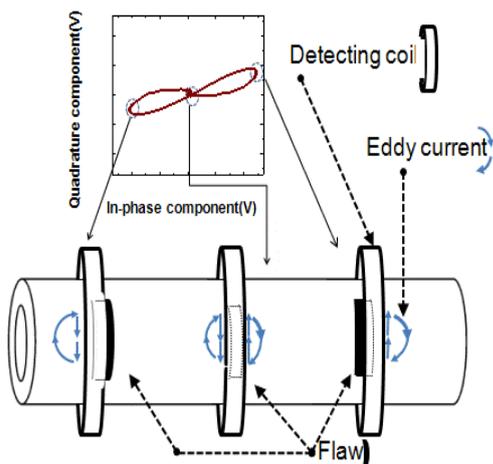


図1 周方向プローブの構成



(a)きずが右側 (b)きずが真下 (c)きずが左側

図2 周方向プローブの探傷原理

## 2.2 軸方向プローブの探傷原理

図3に軸方向プローブの構成図を示す。励磁コイルを周方向に二つ平行に巻いて、その間に検出コイルを巻いた。検出コイルを境に左側の励磁コイルと右側の励磁コイルには逆方向の交流電流を流す。これにより検出コイルを境に逆極性同士の渦電流を作っておく。図4より探傷原理を説明する。きずが有るときは図4のように鋭利で偏った8の字の信号パターンが検出される。きずがないときは逆

方向の渦電流による起電力が打ち消しあうため信号が検出されない。図4(a)のように、きずが検出コイルの右側にあるときは、検出コイルを境に右側の渦電流がきずを避けて流れるため、起電力が発生する。これにより、きずが無いときに打ち消し合い、釣り合っていた起電力のバランスが崩れ、信号として検出される。図4(c)のように、きずが検出コイルの左側にあるときは、検出コイルを境に左側の渦電流がきずを避けて流れる。この渦電流は図4(a)の場合の逆極性なので、検出される信号も逆極性となる。図4(b)のように、きずの丁度真ん中に検出コイルがあるときは、きずが無いときと同じように、検出コイルを境に右側と左側の逆極性同士の渦電流による起電力が打ち消しあうため信号が検出されない

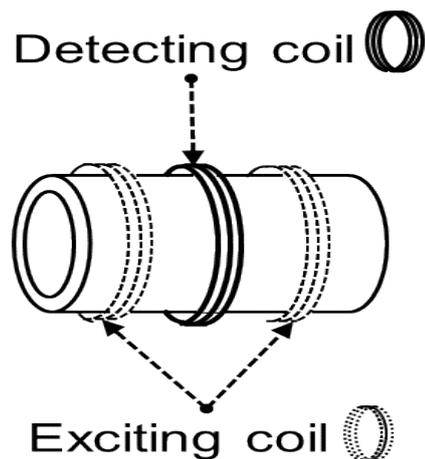
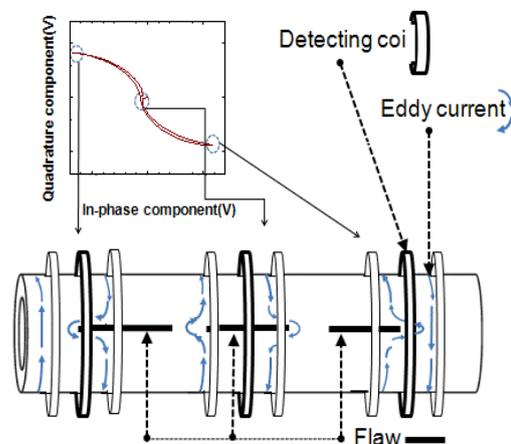


図3 軸方向プローブの構成



(a)きずが右側 (b)きずが真ん中 (c)きずが左側

図4 軸方向プローブの探傷原理

### 3 実験条件及び方法

#### 3.1 試験体

試験体として、図 5 に示す長さ 300mm、外径 22mm、内径 20.5mm の黄銅管を使用した。また人工きずは、周方向及び軸方向の長さ 300mm、幅 0.5mm のスリット状多で、深さは肉厚に対して 10%、30%、70%、90% のものを使用した。

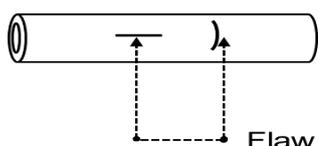


図 5 試験体

#### 3.2 周方向プローブの実験条件と走査方向

励磁コイルは外径 9mm、内径 7mm、巻線断面積  $0.5\text{mm}^2$  である。検出コイルは外径 24mm、内径 23mm、巻線断面積  $1\text{mm}^2$  である。また図 6 のように、固定した試験体に向かってプローブを右方向に移動していき、試験体がプローブの中を通過するように走査する。このとき、励磁コイルがきずの真上を通るように位置調節する。渦電流の浸透深さを考慮して試験周波数 10kHz、コイルの耐久性を考慮して励磁コイルへの印加電圧 5.0V として実験を行った。

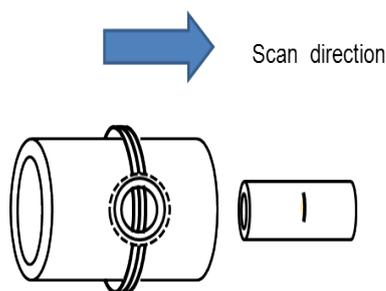


図 6 周方向プローブの走査方向

#### 3.3 軸方向プローブの寸法と走査方向

励磁コイルは外径 24mm、内径 23mm、巻線断面積  $1\text{mm}^2$  である。検出コイルは外径 24、内径 23mm、巻線断面積  $1\text{mm}^2$  で、左右の励磁コイルとの間隔は 2mm である。図 7 より

走査方向は周方向プローブと同じであるが、軸方向プローブは励磁コイルが円周内全面をカバーしているので、きずの位置は関係ない。渦電流の浸透深さを考慮して試験周波数 10kHz、コイルの耐久性を考慮して励磁コイルへの印加電圧 2.5V として実験を行った。

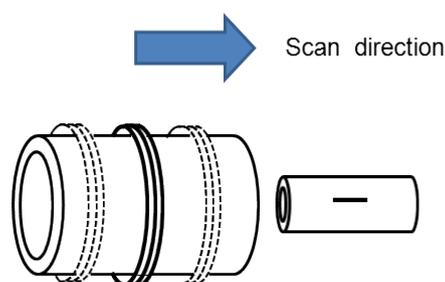


図 7 軸方向プローブの走査方向

### 4 実験結果

#### 4.1 周方向プローブ

図 8 にきず深さに対する信号パターンを示す。図 8 より 8 の字の信号パターンが検出されることが分かった。きず深さにより 8 の字の角度、つまり位相差があることが分かる。これは表皮効果による影響で、渦電流は試験体内部に浸透するにつれ指数関数的に減衰し、その位相が遅れるためである。これによりきず深さの評価が可能だと考えられる。

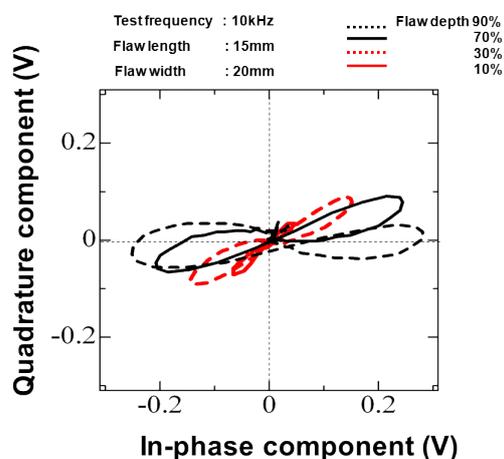


図 8 周方向プローブのきず深さ信号パターン

また図 9 よりきず深さ 10%(=0.15mm)の浅いきずまで信号が検出できているため、きずの検出感度は高い。

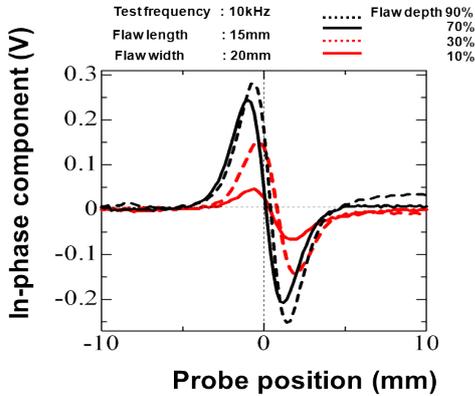


図 9 周方向プローブのきず深さ信号波形

#### 4.2 軸方向プローブ

図 10 にきず深さに対する信号パターン、図 11 にプローブの位置に対する信号波形を示す。図 10 より軸方向プローブでも 8 の字の信号パターンが検出されたが、周方向プローブの信号パターンよりも鋭利で偏った信号パターンが検出された。周方向プローブで検出した信号と同じように、きず深さにより位相差があることが分かった。これも表皮効果による影響である。これによりきず深さの評価が可能だと考えられる。

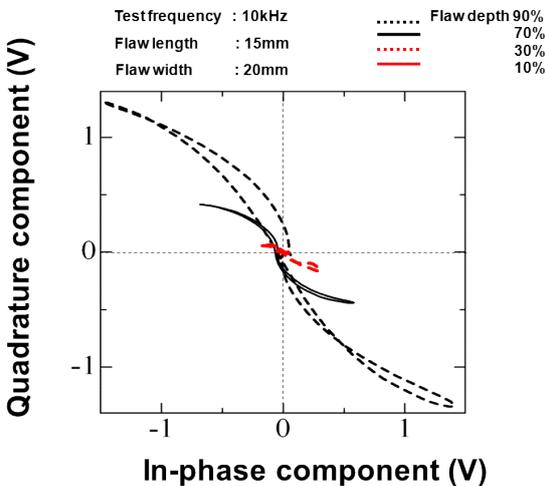


図 10 軸方向プローブのきず深さ信号パターン

また図 11 よりきず深さに対して検出される信号の大きさがかなり違うことが分かる。きず深さ 90%と 10%を比べると信号の大きさは 10 分の 1 以下になってしまう。つまりきず深さによる信号の大きさへの影響が大きく、浅いきずの検出感度が良くないことが分かった。

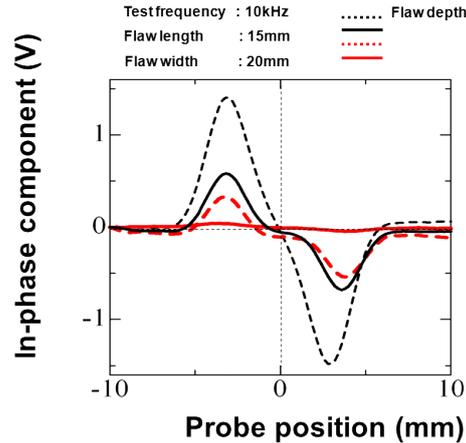


図 11 軸方向プローブのきず深さ信号波形

#### 5. おわりに

周方向プローブではきず深さ 10%(=0.15mm)からきずを検出することができた。このことから周方向プローブのきず検出感度が高いことを確認した。今後は、きずの位置特性を検討し、その結果に応じて励磁コイルをマルチ化していきたい。

軸方向プローブでは、浅いきずに対して検出感度が低かったものの、きず深さの評価が可能であることを確認した。今後は浅いきずに対する検出感度の低さを改善していきたい。

#### 参考文献

- 1) 星川洋、小山潔：きず深さの評価を目指したリフトオフ雑音が小さい渦電流探傷上置プローブの提案、非破壊検査第 53 巻 5 号、pp. 288-293. (2004)