

## 渦流探傷及び電磁誘導式電位差法による亀裂の推定

星川 洋、小山 潔（電気電子工学科）

## 1. はじめに

ヘルスマonitoringのための非破壊検査技術の確立を目的として、金属表面及び表層部のきず検出法である渦流探傷試験における、雑音が小さくきず深さに対する位相情報を有する新しい上置渦流探傷プローブ（⊙プローブと称す）の開発研究を行った、その研究経過を報告する。

金属表面及び表層部におけるきずを検出する一つの方法として渦流探傷試験が適用されている。従来の円形パンケーキ状の上置コイルを用いた渦流探傷試験では、試験体と試験コイルとの距離（リフトオフ）の変化による雑音（リフトオフ雑音）が避けられず、リフトオフ雑音によってきず信号の位相が変化するため、きず信号の位相を利用してきずを評価することはできない。同期検波によって信号処理すればリフトオフ雑音を抑圧することは可能であるが、その指示は大きさだけとなる。きず信号はきずの深さ、長さ及び幅などによって変化する。したがって、上置コイルを用いた渦流探傷試験は、きず深さを評価することが困難であるという問題があった。

渦流探傷試験は、きず深さの評価が重要となる場合に適用されることが多く、渦流探傷試験によってきず深さを精度高く評価するためには、リフトオフ雑音が発生しない新しい渦流探傷プローブが必要である。筆者らは、試験コイルのインピーダンス変化を検出するという従来の渦流探傷試験の原理的考え方ではリフトオフ雑音は避けられないと考える。リフトオフ雑音が発生しないプローブは、励磁コイルによって誘導される渦電流を検出せずに、きずが存在するときだけに発生する渦電流を検出することにより実現できると考える。この考え方に基づく新しい上置渦流探傷プローブ（⊙プローブ）を提案する。⊙プローブは円形の励磁コイルと矩形の縦置き検出コイルによって構成される。実験の結果、⊙プローブは従来の上置コイルに比べるとリフトオフ雑音が非常に小さいことを確認した。さらに、きず信号は8字パターンを描き、信号位相は安定しており、きずの評価にきず信号の位相を利用できる。スリット状のきずの場合には、きず信号の位相はきずの深さに対応して変化し、きずの長さ、幅などによってはほとんど変わらないことを確認した。すなわち、⊙プローブを用いれば、きず信号の位相に基づいてきずの深さを評価できるため、きず深さを従来に比べて精度高く評価することが可能である。以上の結果は、⊙プローブは渦流探傷試験におけるきずの評価に際して、きず信号の振幅だけでなく信号位相も利用することを可能とし、きずの評価精度を向上させるものである<sup>1-3)</sup>。

## 2. 新しい上置渦流探傷プローブ（⊙プローブ）

⊙プローブは、図1に示すように円形の励磁コイルとその中央に配置された矩形で縦置の検出コイルから構成される。励磁コイルは試験体内に軸対称の渦電流を誘導し、検出コイルはコイル巻線方向と平行な渦電流成分だけを検出する。図2(a)のように試験体にきずが無い場合には、渦電流は励磁コイルの円周方向だけに流れて、検出コイル巻線方向の渦電流成分はないので検出コイルに起電力は発生しない。リフトオフが変化しても、渦電流が軸対称である限り検出コイルには起電力は発生せず、リフトオフ雑音は発生しない。図2(b)に示すように、きずの真上をプローブが走査した場合のきず信号について考える。きずが励磁コイルの下に位置したときには、励磁コイルの円周方向に対して交差する渦電流が発生する。検出コイルに対してきずが平行であるとする、きずが検出コイルの直下にあるときには、検出コイルの直下の両側で渦電流が逆向きに流れるために、検出コイルの起電力は相殺して零となる。きずが検出コイルに対して上方に位置したときと下方に位置したときについて考えると、検出コイルの直

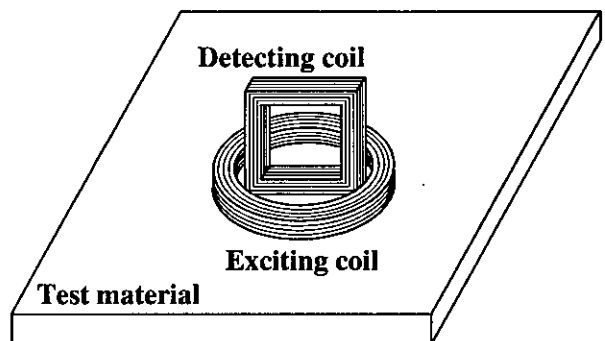


図1 開発した新型上置渦流探傷プローブ（⊙プローブ）の構造

下における渦電流は逆向きに流れるから、検出コイルの起電力は逆極性に発生する。すなわち、縦置検出コイルがスリット状のきずに対して平行の状態を保ちながら、きずの上を直交方向に走査すると、8の字のきず信号パターンが発生する。

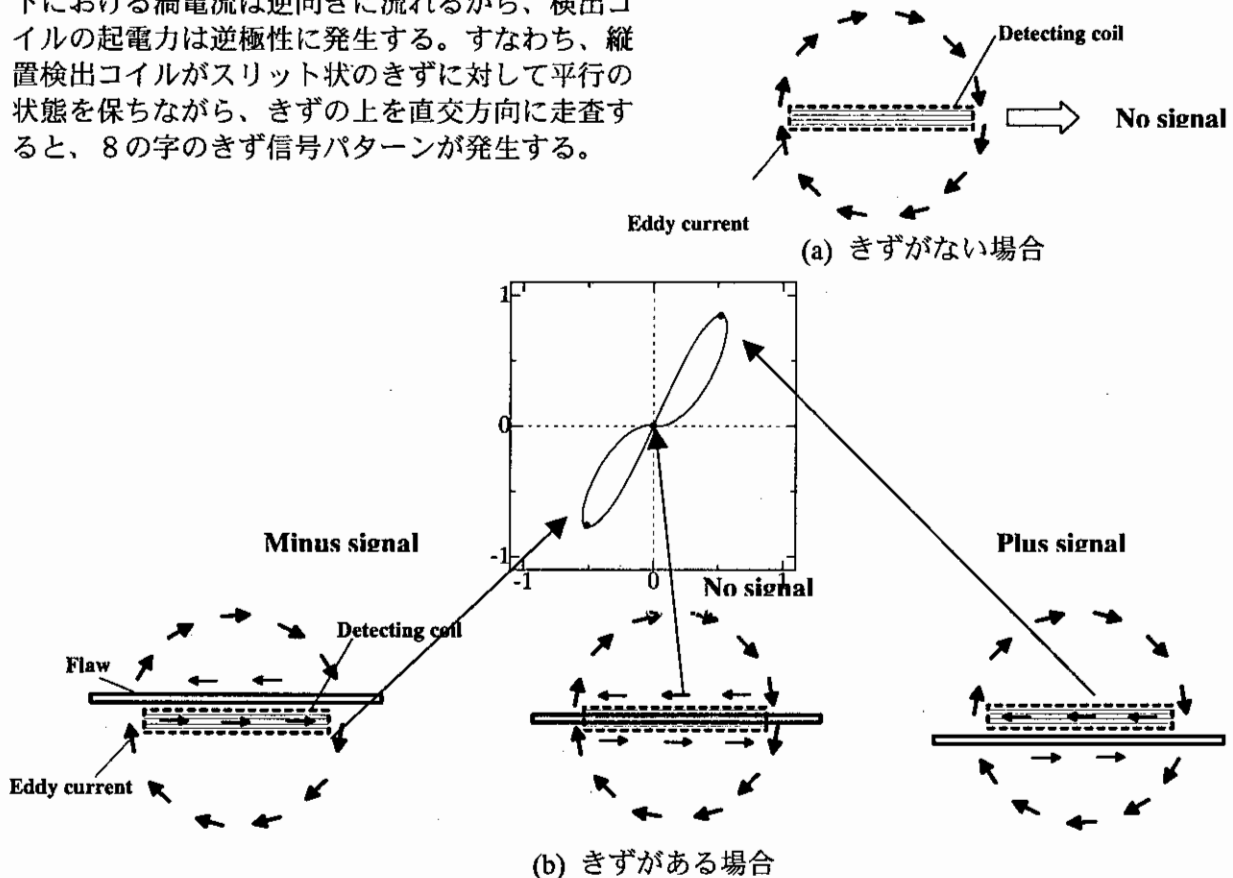


図2 ⊙プローブによる渦電流ときず信号

### 3. 実験方法

図1に示した⊙プローブを製作して渦流探傷実験を行った。円形の励磁コイルの寸法は、外径を9mm、巻線断面積を $1 \times 1 \text{mm}^2$ とした。縦置検出コイルの寸法は、長さを7mm、高さを7mm、巻線断面積を $1 \times 1 \text{mm}^2$ とした。試験体としては $160 \times 160 \times 1.5 \text{mm}^3$ の黄銅板を用い、その中央に長さ、幅、および深さの異なるスリットを放電加工してきずとした。試験周波数は、試験体の板厚さを $t$ 、渦電流の標準浸透深さを $\delta$ としたとき、 $t/\delta \approx 1.5$ となる20kHzに設定した。実験では、プローブをX-Yテーブルに設置し、きずの周囲を二次元的に走査して探傷データを取得した。なお、⊙プローブの励磁コイルだけを用いて円形上置コイルとし、比較のための実験データを取得した。

### 4. 実験結果

図3は、深さが異なる表面きずに対する信号と、プローブと試験体との間に薄い非導電性シートを挿入してリフトオフを変えたときに発生したリフトオフ雑音とを対比して示す。なお、以下の結果における信号の振幅は、深さ80%、長さ15mm、幅0.5mmの表面きずの振幅で正規化して表す。図3(a)に示す円形上置コイルの場合には、きず信号に比べてリフトオフ雑音が非常に大きい。したがって、リフトオフが変化する状況において上置コイルを用いた場合には、きずの検出が非常に困難であることがわかる。一方、図3(b)に示す⊙プローブの場合には、きず信号に比べてリフトオフ雑音が非常に小さいことが明らかである。すなわち、⊙プローブを用いれば、リフトオフの変化の影響をほとんど受けることなく探傷が可能であることがわかる。

図4は、上置コイルと⊙プローブの場合について、スリット状のきずの上を直交方向に走査したときに発生した信号パターンを示す。図4(a)に示す上置コイルの場合には、リフトオフ変化のためにきず信号パターンの位置が変化しており、信号位相に基づいてきずを評価することは困難であることがわかる。一方、図4(b)に示す⊙プローブの場合には、信号パターンがリフトオフ雑音の影響を受けずに安定しており、信号パターンの傾き角度、すなわち信号位相をきずの評価に利用できることを示唆している。また、きずの深さが大きくなるときず信号の位相が遅れることがわかる。

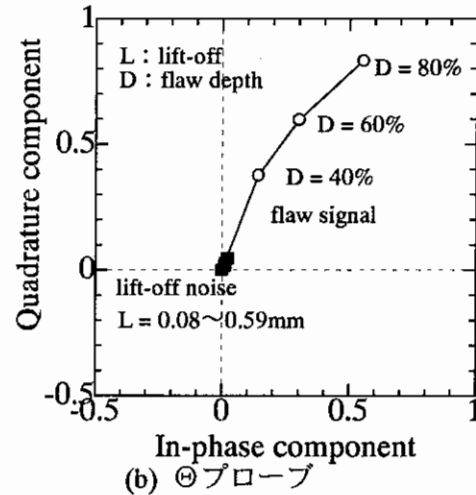
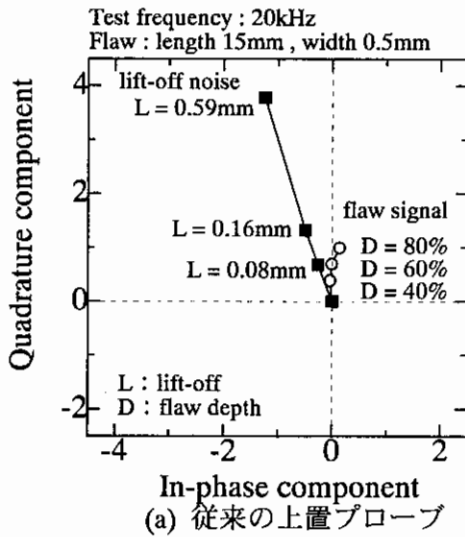


図3 きず信号とリフトオフ雑音

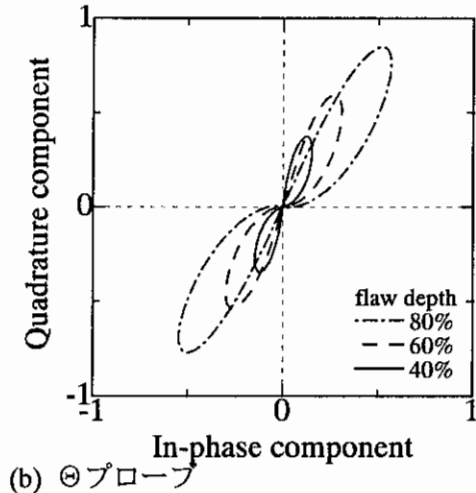
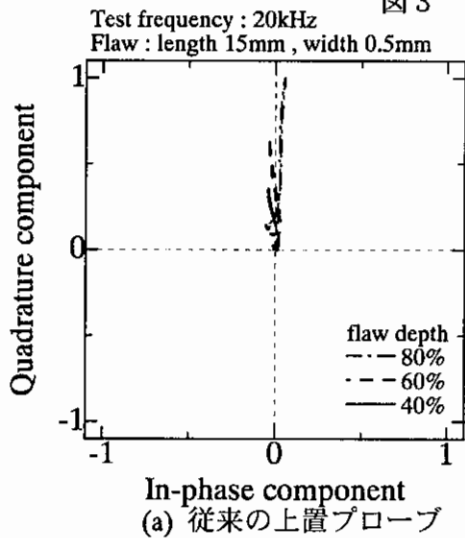


図4 表面きずの深さが異なる場合のきず信号パターン

図5は、試験体の裏面におけるきずの深さが80%から40%まで変わった場合について、⊕プローブによるきず信号パターンの変化を示す。図から、裏面のきずの場合には、きずの深さが大きくなるにしたがって、きず信号の位相が進むことがわかる。図4と図5の結果は、⊕プローブを用いた場合には、きず信号の位相に基づいて試験体の表面と裏面のきずを識別でき、さらにきずの深さを評価できることを示唆している。

図6は、検出コイルに対するスリット状きずの角度が変わった場合のきず信号パターンを示す。⊕プローブは全方向のきずを検出でき、きずの角度が変わってもきず信号の位相はほとんど変化しないことがわかる。

また、⊕プローブを用いた場合には、きずの長さ、幅によってはきず信号の位相がほとんど変化しないことを確認している。したがって、きず信号の位相に基づけば、きずの深さを信頼性高く評価できることがわかった。そこで、きず信号の位相に基づいてきずの深さを評価するための評価曲線を求めた結果を図7に示す。図には、きず角度の異なる場合について示した。図7を用いれば、きず信号の位相から、きずが表面にあるか、または裏面にあるかを識別できるとともに、きずの深さを評価することができる。このように、⊕プローブを用いた場合には、平板状試験体についても信号の位相からきず深さの評価が可能である。

## 5. おわりに

ヘルスマonitoringのための非破壊検査技術の確立の一環として、新しい考え方の上置渦流探傷プローブ(⊕プローブ)の研究開発を行い、その基礎的なきず検出特性について検討を行い、以下の知見を得た。

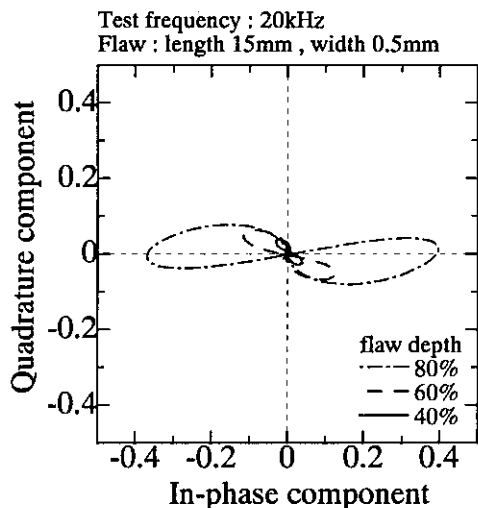


図5 ⊙プローブにおける裏面きずの深さが異なる場合のきず信号パターン

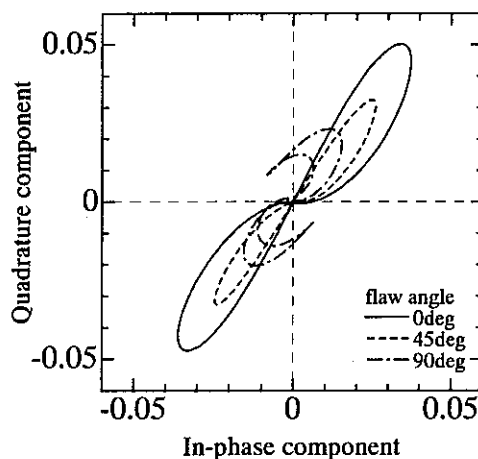


図6 ⊙プローブにおけるきず角度が異なる場合のきず信号パターン

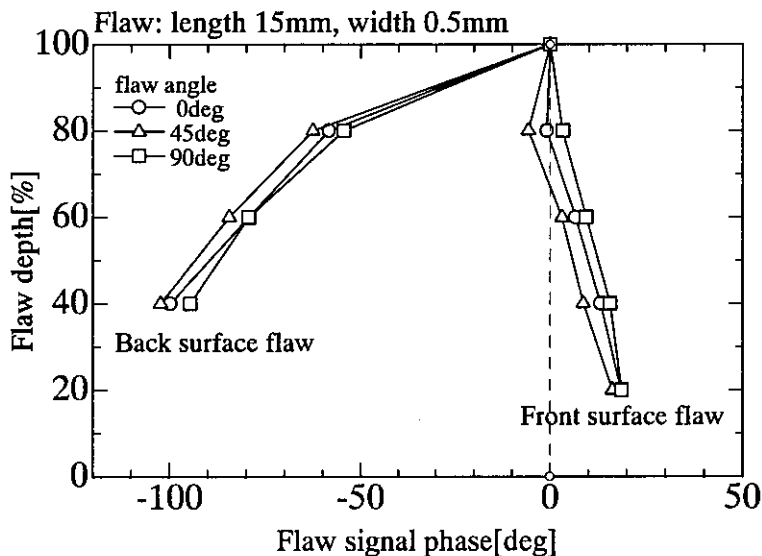


図7 きず信号の位相角によるきず深さの評価曲線 (きず角度が異なる場合)

- (1) 従来の渦流探傷プローブに比べて雑音が非常に小さく、きずの評価に信号振幅及び位相を用いることができ、信頼性の高い渦流探傷試験が可能である。
- (2) スリット状きずの場合、きず信号の位相はきず深さに対応して変化し、きずの長さ、幅、およびきずの角度によってほとんど変化しない。したがって、きず信号の位相を利用することによって、スリット状きずの深さを従来の渦流探傷プローブに比べて精度高く評価することが可能である。
- (3) ⊙プローブは、渦流探傷試験によるきずの評価精度を高めるものであると考える。

今後、試験周波数の影響、試験体の板厚の影響、プローブ寸法ときず寸法の関係、試験体が磁性体の場合などについて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 星川、小山、柄澤：リフトオフ雑音が発生しない渦流探傷用新型上置プローブに関する研究、非破壊検査、Vol.50、No.11、pp.736-742 (2001)
- 2) H.Hoshikawa and K.Koyama : A New Eddy Current Surface Probe without Lift-off Noise、10 Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing (2001)
- 3) H.Hoshikawa,K.Koyama and M.Maeda : Signal Phase Indication of Flaw Depth by a Lift-off Noise Free Eddy Current Probe、Quantitative Nondestructive Evaluation Conference(2001)