

GA を利用した渦電流探傷信号からのきず推定に関する研究

日大生産工（院） 久保田 聡史
日大生産工 小山 潔、星川 洋

1. はじめに

非破壊試験の中に電磁誘導を利用した渦電流探傷試験（以下 ECT）があり、製品の製造工程での検査や保守検査などに用いられている。近年では、非破壊試験においてきず検出だけでなく、きずの深さや長さといったきずの詳しい状態であるきず性状の推定も行いたいというニーズがあり、それに連動して ECT においてもきず性状の推定が求められるようになってきた。

本研究ではきず性状の推定方法のひとつである、渦電流探傷信号（以下 ECT 信号）からのきず推定についての検討した。

従来から電磁場解析によって計算した信号と推定したいきずの ECT 信号との誤差を小さくしていき最適化することで、きずを推定する ECT 信号逆問題解析法がある。この逆問題解析法に応用範囲が広い遺伝的アルゴリズム（以下 GA）が用いられている。

逆問題解析法は最適化するためにきずの ECT 信号を多数必要とするので、その計算に電磁場解析を用いると長時間を要してしまうという問題点がある。

本研究ではきず形状ごとの ECT 信号の計算に電磁場解析を使用せず、ECT 信号の重ね合わせによる方法を提案する。

重ね合わせ手法とは上置コイルにおいてコイル径より短いきずの ECT 信号と、コイル径より長いきずの ECT 信号との間には線形性が成立するというものである。

コイル径より短いきずの ECT 信号を足し合わせることでコイル径より長いきずの ECT 信号が表現できるのである。これにより ECT 信号作製の時間短縮が望めると思われる。

本報告では、ECT において表面きずと裏面きずで ECT 信号の位相が異なるということを利用して、きずが表面、裏面どちらにあって推定が出来ると考えた。今回は GA を利用した渦電流探傷信号からの表裏きずの形状の推定に関する基礎的検討について報告する。

2. 渦電流探傷試験

渦電流探傷試験（ECT）は対象表面に渦電流を発生させ、その渦電流の変化によりきずを検出する非破壊試験法である。ECT は対象に非接触かつ高速度に探傷可能で、測定するきずの長さや深さ、きずが試験体の表面にあるか裏面にあるかによって、得られる ECT 信号の振幅、位相が異なるという特徴を有する。この特徴より、きず推定において位相の違いにより表面、裏面を区別でき、どちらのきずがある場合でも ECT 信号よりきず形状を推定出来ると考えられる。

3. GA を利用したきず推定

遺伝的アルゴリズム（GA）は生物の進化にヒントを得たもので、環境に適応しないものは消滅し、適応したものだけが生き残り次世

Basic Study of Flaw Estimation in Eddy Current testing by Genetic Algorithm(GA)

Satoshi KUBOTA, Kiyoshi KOYAMA and Hiroshi HOSHIKAWA

代に子孫を残していくというものである。

きず推定における GA のアルゴリズムを図 1 に示す。今回の GA のアルゴリズムは、きず形状の発生、きず信号の作製、推定したい未知の ECT 信号との適応度の計算、そして終了条件に当てはまれば終了し、そうでない場合は淘汰及び増殖が実行され、遺伝子の交差、突然変異が行われ、次世代へと進化していくものである。

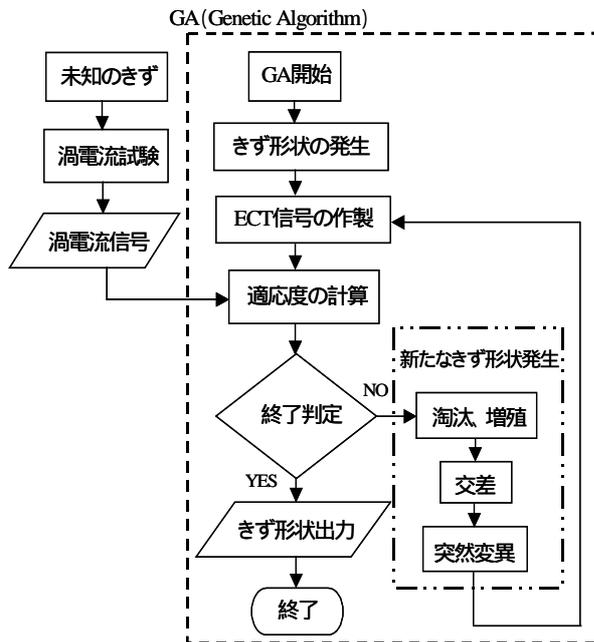


図 1 GA のアルゴリズム

各作業の詳細な説明として、きず形状の発生というのは様々なきず形状を作る作業であり、このきず形状を元に ECT 信号を作製する。これが第一世代となり、この時点で推定したい目的の ECT 信号との適応度の計算を行い、終了判定をする。

終了条件が満たされなかった場合、ルーレット選択方式による淘汰、増殖がおり適応度の高い個体が次世代へ残される。次にきず形状の特徴を混じり合わせ新しい個体を作る交差が起こり、最後にきず形状を再度ランダ

ムに作り直す突然変異が起こる。この時点でまた適応度を計算して終了判定をする、という流れを繰り返していくのである。

4. 重ね合わせ手法

重ね合わせ手法はコイル径より短いきずの ECT 信号を足し合わせることで、コイル径より長いきずの ECT 信号を表現できるというものである。例えば、図 2 に示すように長さ 5mm で深さが 40%、60%、80%の ECT 信号を位置を 5mm ずつずらして足し合わせると図 2 の様な長さが 15mm で階段状の ECT 信号が出来るということである。これにより、電磁場解析で計算せず ECT 信号を作製することが出来るのである。

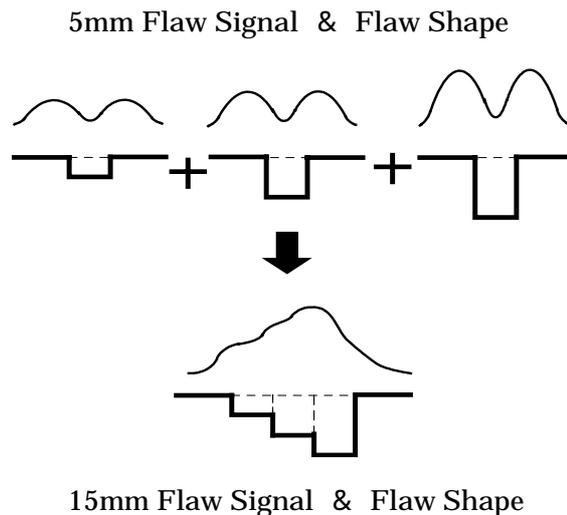


図 2 重ね合わせ手法

5. 実験条件及び方法

試験プローブは外径 9mm、巻線断面積 $1 \times 1 \text{mm}^2$ の上置コイルを使用し、試験体は一边が 160mm で厚さ 1.5mm の黄銅板を用いた。その黄銅板にスリット状の長さ 5mm、15mm、板厚に対して 20%、40%、60%、80% の深さのきずを表面、裏面に加工した。きず幅は 0.5mm 一定とした。試験周波数は 20kHz、

リフトオフはないものとし、きずを中心に $\pm 30\text{mm}$ の範囲で探傷し ECT 信号を得た。また、GA の設定値は発生するきず形状の個体数を 1000 個体とし、最終世代を 1000 世代、交差率を 25%、突然変異率を 5%とした。

6. 実験結果

6.1 重ね合わせの結果

図 3(a) は長さ 5mm 深さ 80%の裏面きずの ECT 信号である。また、図 3(b) は長さ 15mm 深さ 80%の裏面きずの ECT 信号であり、図 3(c) は重ね合わせの結果である。(c) の実線は (a) の長さ 5mm 深さ 80%の ECT 信号を重ね合わせて作成した ECT 信号で、破線が (b) の長さ 15mm 深さ 80%の裏面きずの ECT 信号を示している。これらより 5mm の信号を重ね合わせる事で 15mm の信号が表現出来ている事が確認できる。この他に、表面きずと裏面きずの深さ 40%から 80%において重ね合わせの成立を確認している。

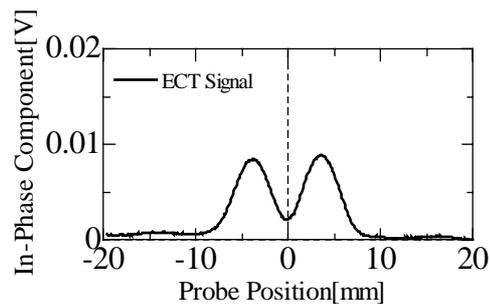
6.2 GA によるきず推定の結果

以下に裏面きずの長さ 15mm、深さ 80%についてきず推定した結果を示す。

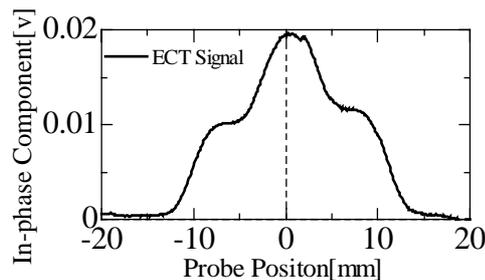
図 4 は第一世代の結果である。図 4(a) は第一世代でのきず形状を示している。図の実線は目的のきず形状を示し、破線は最も適応度の高かった個体、一点鎖線は最も適応度の低かった個体の形状を示している。

図 4(b) は ECT 信号を示している。図の実線は目的のきずの ECT 信号を示し、破線が第一世代の適応度の最も高かった固体の ECT 信号、一点鎖線が最も適応度が低かった個体の ECT 信号である。

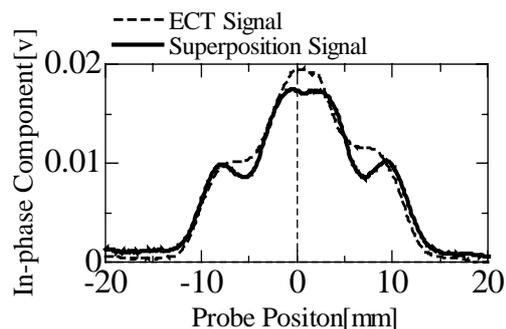
図 5 は最終世代の結果であり、図 5(a) がきず形状を、図 5(b) が ECT 信号を示している。各図の実線は目的のきず形状と ECT 信号を示し、破線は最も適応度の高かった個体、



(a) 長さ 5mm の ECT 信号



(b) 長さ 15mm の ECT 信号

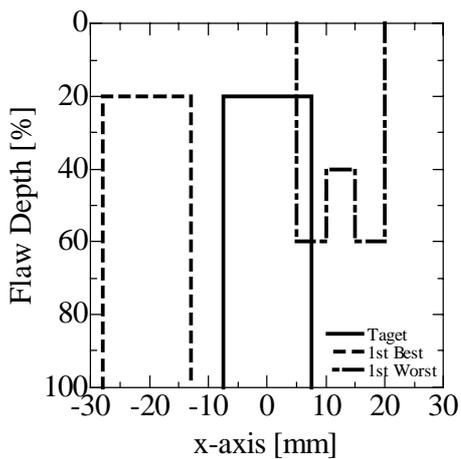


(c) 重ね合わせ信号

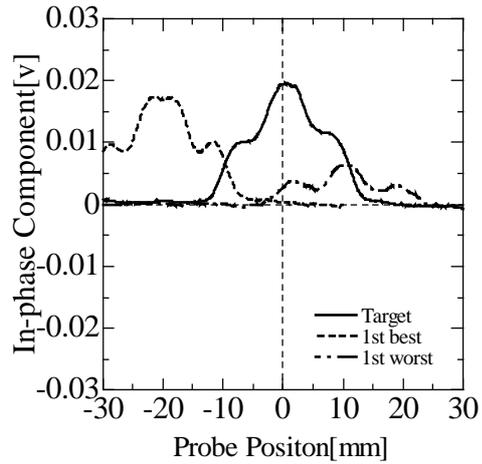
図 3 重ね合わせの結果

一点鎖線は最も適応度の低かった個体の形状と ECT 信号を示している。

図 5 の最終世代において (b) では目的のきずの ECT 信号と重ね合わせにより作られた ECT 信号との誤差が小さくなり、(a) のきず形状において目的のきず形状を推定できた事が確認できた。この他に、表面きずの 80%、60%、40%においてきず形状が推定できた事を確認している。

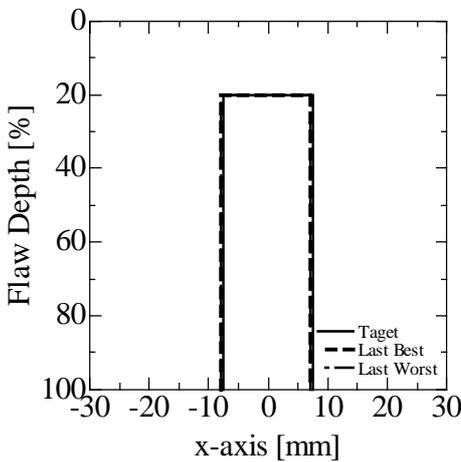


(a) きず形状

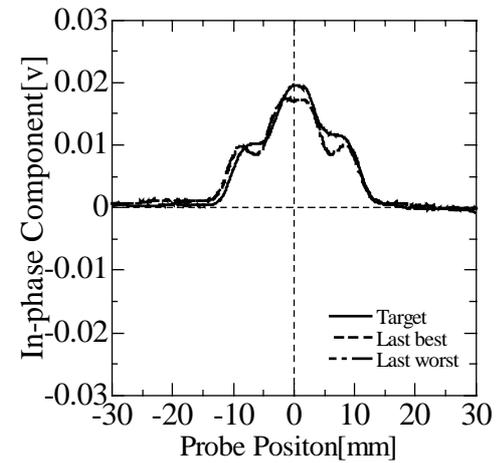


(b) ECT 信号

図4 第一世代



(a) きず形状



(b) きず信号

図5 最終世代

7. まとめ

GA を利用した渦電流探傷信号からの表面及び裏面きずの推定について検討を行った。今回検討の条件下において、スリット状のきずにおいて表面きずと裏面きずの深さ40%から80%で重ね合わせが成立すること、さらに重ね合わせの結果を用いることでGAにより表面と裏面きずの両方の推定が可能であることを確認した。今後は雑音の影響で推定しにくい板厚に対して浅いきずの推定やその他種々の条件での検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 例えば、安居院猛也「ジェネティックアルゴリズム」、昭晃堂
- 2) 小山潔、星川洋「渦流探傷へのGAの応用に関する基礎的検討」
平成15年度学術講演会講演論文
- 3) 遊佐訓考、陳振茂、宮健三、内哲也、高木敏行
「ECT逆問題における各種並列化メタ戦略の比較検討」非破壊検査学会誌 pp504-510 (2003)