

渦電流探傷信号からの遺伝的アルゴリズムを用いた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

構造物を破壊することなく、その欠陥の有無を調べ安全性を確かめる方法として非破壊検査がある。近年では、非破壊検査においてきずの検出だけでなく、構造物にあるきずが深刻なものかどうか調べるといふきず形状の評価への期待が高まっている。

非破壊検査法の中に金属表面の探傷に適用されている渦電流探傷試験（以下 ECT）がある。ECT では探傷する際に得る渦電流探傷信号（以下 ECT 信号）からきず形状を推定する技術が求められている。本研究はこの ECT 信号からのきず推定について検討したものである。

従来からきず形状を推定する方法には ECT 信号がきず形状ごとに異なるという特徴を利用し、既知形状の ECT 信号と未知形状の ECT 信号をマッチングさせて行くというものがある。¹⁾

筆者らはこの方法に様々な最適化、探索問題に適用されている探索アルゴリズム GA (Genetic Algorithm) を用いて効率よくきず形状を推定することを考えた。

また、GA を用いてきず推定する場合には GA 内で発生したきず形状毎に ECT 信号を計算する必要があるため、推定する上で長時間を要することが考えられる。そこで時間短縮のために信号作製に深さの異なる長さが短いきずに予め ECT を行いデータベース化した ECT 信号を重ね合わせる手法を試みた。

前回の報告²⁾ においては GA 内で作製するきず形状の最小単位、つまり分解能を 5mm とし推

定目標を矩形きずの長さ 15mm としていたが、今回では分解能を 2mm とし、より精度の高いきず推定を行えるようにした。また、推定目標もより複雑な半円状のきずを対象とした。

2. 渦電流探傷試験 (ECT)

図 1 に示す原理のように ECT は電磁誘導により金属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。

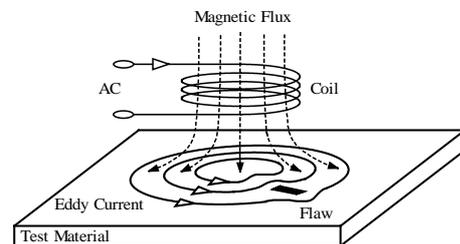


図 1 渦電流探傷試験の原理

3. 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。例として図 2 のように長さ 2mm で深さが (a)20%、(b)60%、(c)80%、(d)60%、(e)20%のきずの合成というのが長さが 10mm で階段状きずとなる。

それに伴い長さ 10mm きの ECT 信号は 2mm きの ECT 信号を走査位置を 2mm ずつずらし足し合わせることで表現できる。この重ね合わせ手法を用いることで、きず形状毎に実験をする必要がなく短時間で ECT 信号を作製することが可能となる。

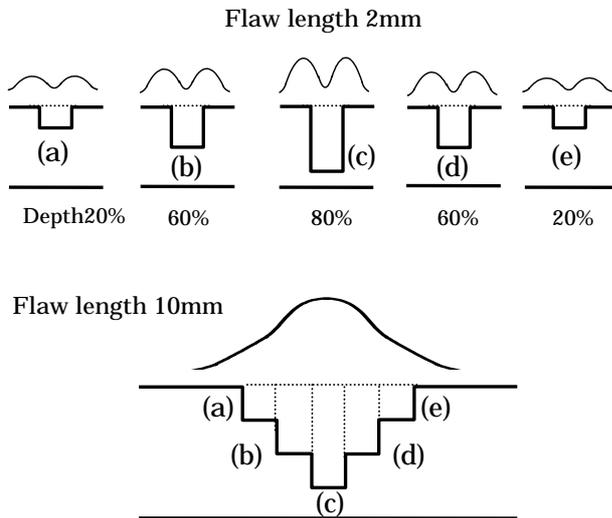


図 2 重ね合わせ手法

4. GA を用いたきず推定

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、環境に適応しない個体は消滅し、適応した個体だけが生き残り次世代に子孫を

残していくことで目的解に到達する。³⁾

図 3 に示すのは GA によるきず推定のフローチャートである。ECT 信号からのきず推定の流れは、きず形状集団の発生、きず信号の作製、推定目標の ECT 信号との適応度の計算、そして終了条件を満たせばきず推定を終了し、そうでない場合は新たなきず形状の発生のために淘汰及び増殖、遺伝子の交差、突然変異が行われ、きず形状集団が次世代へと進化して行くものである。

各作業の詳細な説明としては、きず形状集団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重ね合わせ手法により ECT 信号を作製する。これらが第一世代となり、推定目標の 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は、淘汰及び増殖がおこ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生み出す交差が起こり、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行くことできず推定を行うのである。

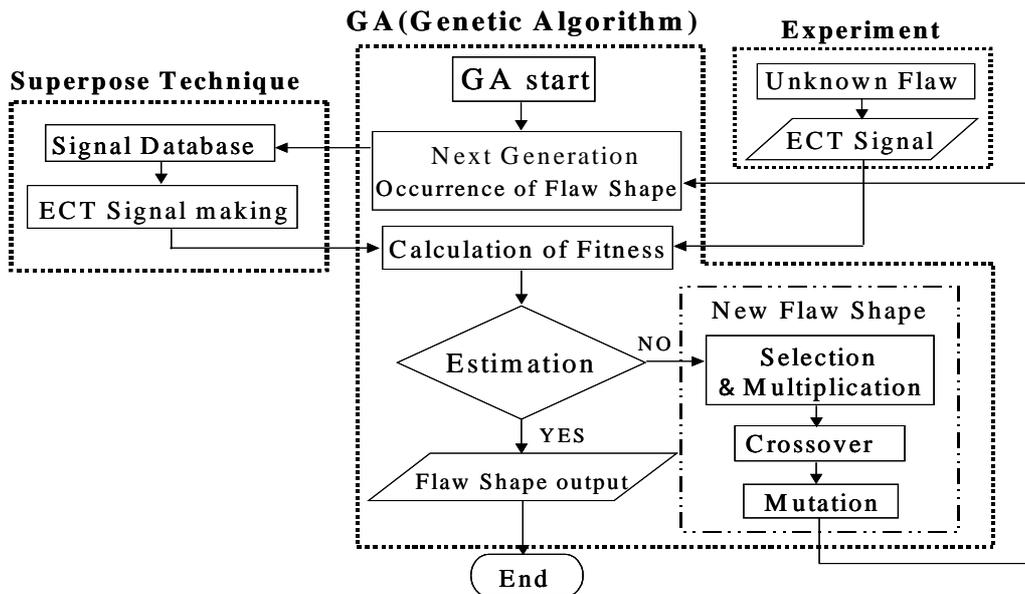


図 3 GA によるきず推定のフローチャート

5. 実験条件及び方法

今回用いた上置コイルの寸法は外径が 4mm、巻線断面が $1 \times 1 \text{mm}^2$ で、中心に直径が 2mm のフェライトコアを有する構造となっている。試験体とした黄銅板は一辺が 160mm で厚さが 1.5mm である。その黄銅板に信号データベース作製のきずとして長さが 2mm で、幅が 0.5mm 一定、深さが板厚に対して 10% から 90% までの 10% 刻みの矩形きずと、図 4 に示すように推定目標として長さが 15mm で幅が 0.5mm で頂点の深さが 80% の半円状のきずを放電加工した。試験周波数は 20kHz で、きずを中心に $\pm 30 \text{mm}$ の範囲を走査探傷し ECT 信号を得た。

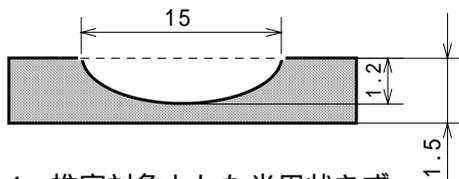


図 4 推定対象とした半円状きず

6. 実験結果

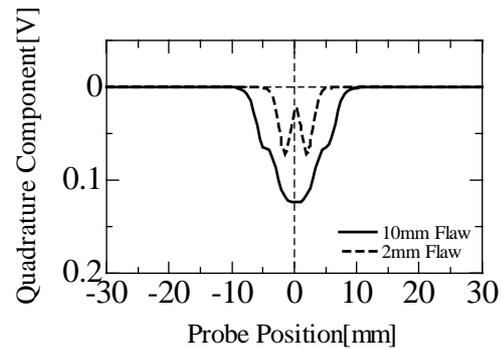
6.1 重ね合わせの結果

図 5 (a) は長さ 10mm 深さ 40% のきずと長さ 2mm 深さ 40% の ECT 信号である。図の実線が 10mm、破線が 2mm きずの ECT 信号を示す

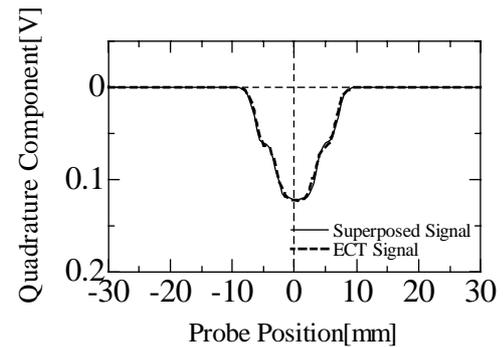
図 5 (b) は重ね合わせの結果である。図中の実線は (a) の長さ 2mm の ECT 信号を重ね合わせて作製した ECT 信号で、破線が (a) の長さ 10mm きずの ECT 信号である。図 5 より 2mm の信号を重ね合わせる事で 10mm の信号を表現出来ることを確認した。この他にも様々な形状における重ね合わせの成立を確認している。

6.2 GA によるきず推定の結果

以下に長さが 15mm で半円状のきずについて形状推定した結果を示す。図 6 は GA 第一世代における結果である。図 6 (a) は推定目標きずと第一世代で発生したきず形状の一例を示している。図の実線は推定対象のきず形状を示し、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。



(a) 長さ 10mm と 2mm の ECT 信号

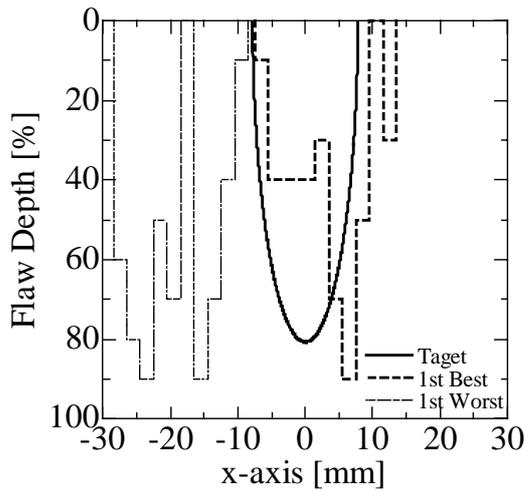


(b) 重ね合わせ信号

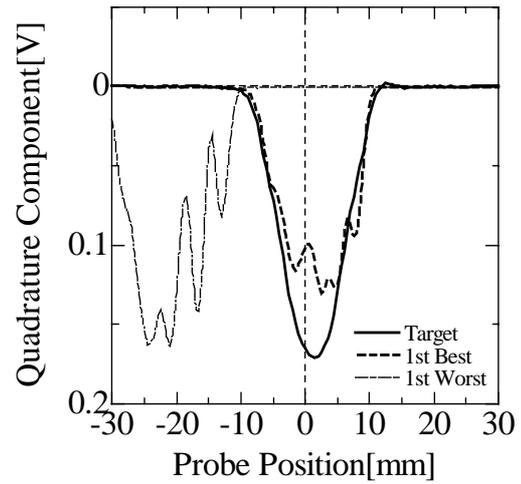
図 5 重ね合わせの結果

図 6 (b) は ECT 信号を示している。図の実線は推定対象のきずの ECT 信号を示し、破線が第一世代で適応度の最も高かった個体の 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。きず形状集団が淘汰及び増殖、交差、突然変異により進化した結果が図 7 の最終世代である。図 7 (a) がきず形状を、図 7 (b) が ECT 信号を示している。各図の実線は推定対象のきず形状と ECT 信号を示し、破線は最も適応度の高かった個体の形状と ECT 信号を示している。

図 7 の最終世代において (b) では推定対象のきずの 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、きず形状集団 90% 以上の個体が同一の形状に収束し、(a) の推定されたきず形状において推定対象のきず形状を推定できた事が確認できた。この他に同様の推定条件で矩形で長さ 10mm のきずでは各深さと 5mm のきずでは 60% と 80% の深さにおいてきず推定ができたことを確認した。

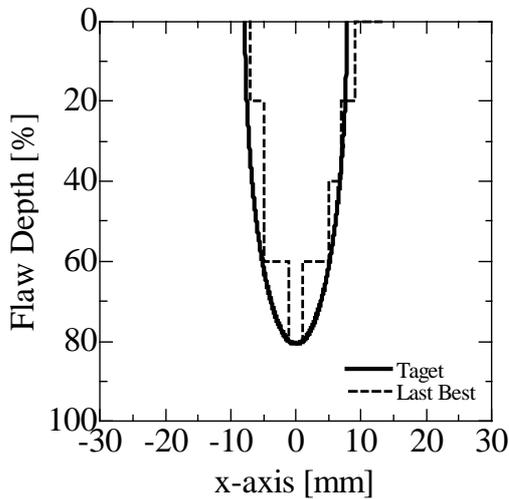


(a) 初期のきず形状

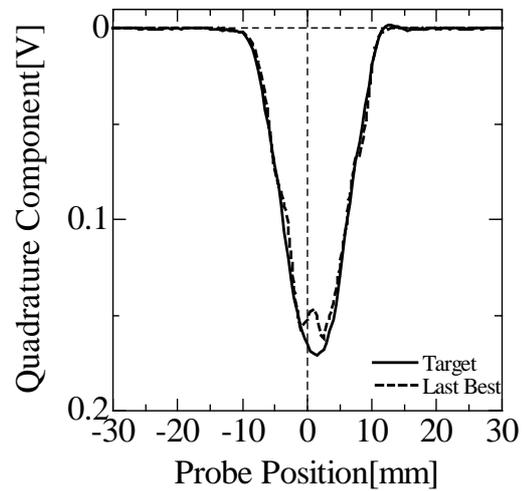


(b) 初期の ECT 信号

図 6 第一世代



(a) 推定されたきず形状



(b) 進化した ECT 信号

図 7 最終世代

7. まとめ

今回は推定精度、汎用性を高めた GA による渦電流探傷信号からきずの推定について検討を行った。その結果、重ね合わせを用いることで様々な長さのきずを表現できることがわかった。さらに信号作製に重ね合わせ手法を適用し、GA を用いることで様々な長さのきずを推定出来る可能性があることを確認した。

今後はより多種、多様なきず形状における推定を検討をしていく予定である。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 久保田聡史、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 16 年度学術講演会講演論文
- 3) 安居院猛也「ジェネティックアルゴリズム」, 昭晃堂