

渦電流探傷に対して GA を適用したきず推定システムについて

日大生産工(院) ○渡邊 進
日大生産工 小山 潔 星川 洋

1. はじめに

非破壊検査法の中に、電磁誘導を利用した、金属表面の探傷法に適用される渦電流探傷試験（以下 ECT）がある。この ECT で得られるきず信号は、きず形状により信号が異なるので、きず信号からきずを推定する技術が求められている。そのため、近年では、数値解析によりきずを推定する、いわゆる逆問題解析が数多く行われるようになってきた。しかし、きず信号を求めるための電磁場解析を数多く行う必要があり、計算時間が大きな問題となる。そこで筆者らは様々な最適化、探索問題に適用されている GA（Genetic Algorithm）を利用して効率よくきず推定する手法を提案する。¹⁾

また、表面きずと裏面きずを混合して一つのシステムで推定すると、探索領域が広がる。GA では探索領域が広がると最適解の収束に要する時間が長くなり、収束が難しくなる。これらを考慮し、きず信号の位相より表面きずと裏面きずを識別してデータベースを選択し、きず推定を試みた。²⁾

2. きず信号を求める重ね合わせ手法

GA を用いてきず推定する上で、膨大な数になる候補信号の作製には、重ね合わせ手法を提案する。重ね合わせ手法では、長さが短く深さの異なるきずに対して、予め ECT を行い、得られたきず信号のデータベースを作成しておく。そして、データベース化したきず信号を呼び出し、任意の走査位置で足し合わせることで、短時間で様々な候補信号が作製される。

3. GA を適用したきず推定システム

GA は生物の進化を模倣したもので、大規模な最適

化問題の有効な解法の一つである。各探索点が遺伝子をもつ仮想的な生物と表され、全探索点である生物集団に対して世代交代シミュレーションを実行し、より良い個体を生成する。その際、各個体を適応度と呼ばれる評価値により評価し、最も高いものが最適解である。具体的には、適応度が高い個体ほど高確率で生き残るように淘汰・増殖され、交差により個体の特徴を混ぜ合わせ新しい個体を生成、または、突然変異により個体を再度ランダムに生成する。よって、局所解に陥ることを防ぎつつ生物集団を進化させ、最終的に一つの解に収束する。

図 1 に GA を適用したきず推定の流れを示す。GA によるきず推定は、ECT による実験、GA による探索、重ね合わせ手法による信号作製の 3 つの部分に分けられる。まず、ECT より未知形状のきず信号が得られる。GA による探索が始まると、第一世代のきず形状集団がランダムに発生する。発生したきず形状に基づき、信号データベースを用いた重ね合わせ手法により、候補信号の作製が行われる。そして、候補信号と未知形状のきず信号との適応度（Fitness）が計算される。きず信号と候補信号をマッチングさせた時のずれが誤差となるので、誤差が小さい程、候補きずは未知形状のきずと似通った形となり、適応度は高くなる。次に、終了判定（Evaluation）が行われる。条件を満たしている場合、GA はきず形状集団の中で最も適応度の高い個体を出力し、推定は終了となる。条件を満たしていない場合、淘汰・増殖（Selection & Multiplication）、交差（Crossover）、突然変異（Mutation）を行い、きず形状を選別、進化させる。次世代へと移り変わったら、また一連の操作を繰り返すことで、未知形状のきず信号に近い候補信号が増え、きず推定ができる。

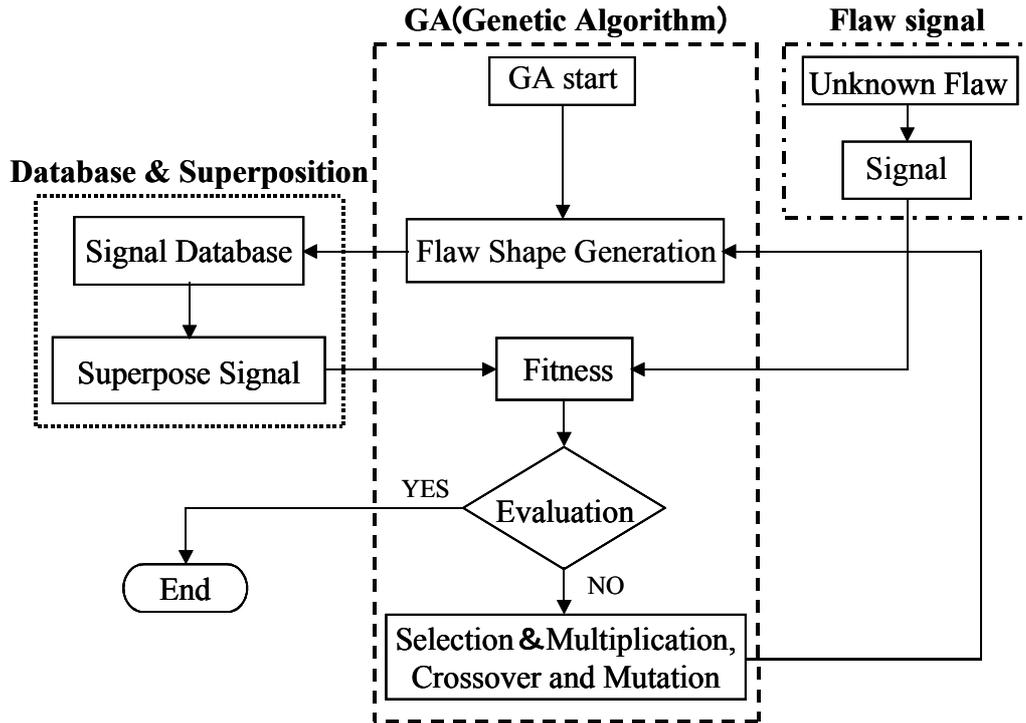


図1 GAによるきず推定の流れ

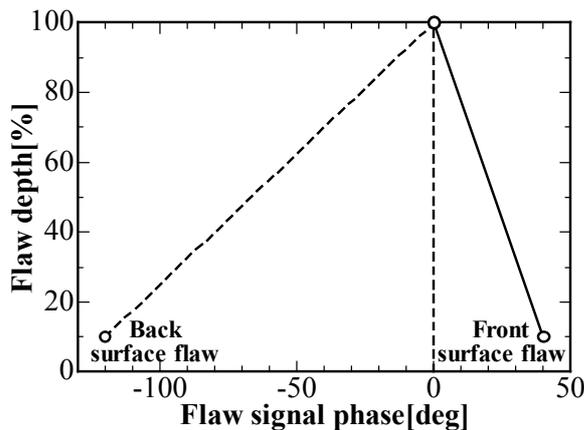


図2 位相に基づく表面きずと裏面きずの識別

4. データベースの選択

探索領域を限定し、推定精度を向上させるため、データベースの選択が肝要である。図2に示すのが、位相に基づく表面きずと裏面きずの識別方法である。きず深さ100%を 0° と設定した場合、負($\theta < 0^\circ$)の時は裏面きず、正($\theta > 0^\circ$)の時は表面きずと識別することができる。

図3に示すのは、信号データベースの選択の流れである。ECTから得られた信号より、位相を用いて $\theta < 0^\circ$ の場合は、裏面きず用のデータベースを、 $\theta > 0^\circ$ の場合は表面きず用のデータベースを選択する。

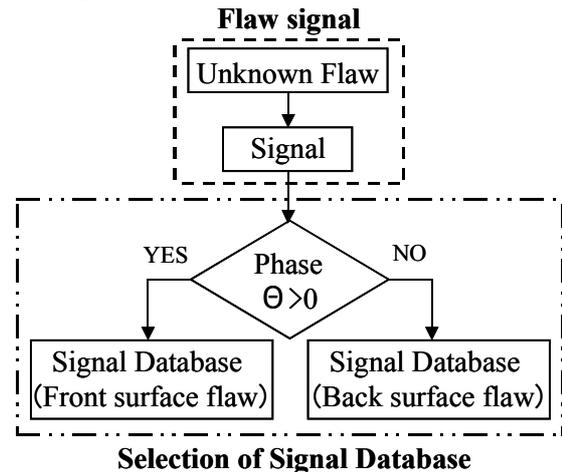


図3 信号データベースの選択

データベースの選択により、GA内で発生する候補きずが限定され、効率よくきず推定できる。

5. 実験及び実験条件

試験体は縦160mm、横160mm、厚さ1.5mmの黄銅板を用いた。この黄銅板に、信号データベース作製用のきずとして表面きず裏面きず共に、長さが2mm、幅が0.5mm、深さが板厚に対して10%から90%までの10%刻みの矩形状きずと、推定対象のきずとして、幅が0.5mm、深さが10%~90%で、様々な長さの矩形状きずを放電加工した。使用した上置コイルは外径が

4mm、巻き線断面積が $1 \times 1 \text{mm}^2$ であり直径 2mm のフェライトコアを有する。試験周波数は 20kHz で、きずを中心に $\pm 30 \text{mm}$ の範囲を走査しきず信号を得た。

6. 実験結果

6.1 きず信号の重ね合わせ

図 4 は長さ 10mm 深さ 80%、長さ 2mm 深さ 80% の表面きずの信号である。図の実線が長さ 10mm、破線が 2mm のきず信号を示す。図 4 から、ECT ではきず形状によって信号が異なることがわかる。

図 5 は重ね合わせの結果である。図の実線は、図 4 の長さ 10mm 深さ 80% のきず信号で、破線は、図 4 の長さ 2mm 深さ 80% のきず信号の走査位置を 2mm づつずらして 5 つ重ね合わせて作製した候補信号である。図より 2mm の信号を重ね合わせる事で 10mm の信号を近似的に表現できることを確認できた。この他にも、表面きずと裏面きずの様々な深さにおける重ね合わせの成立を確認している。

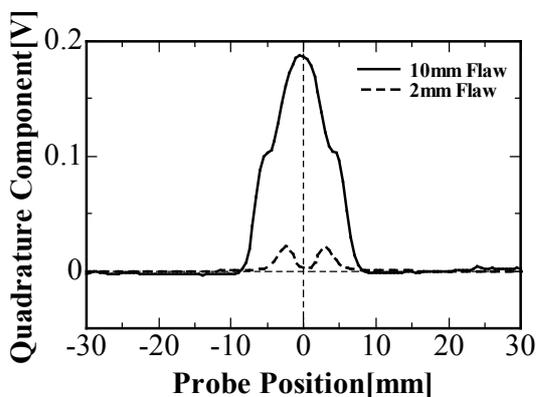


図 4 きず長さが異なる場合のきず信号

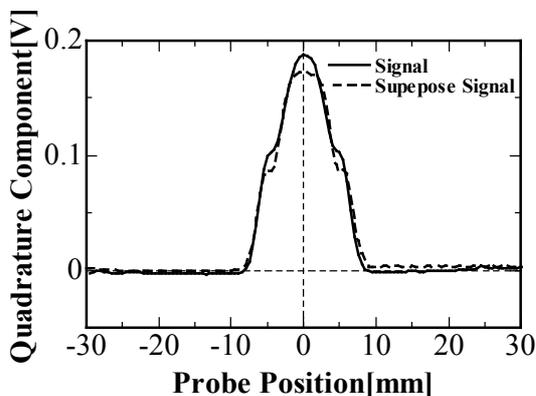


図 5 きず信号と重ね合わせて求めた候補信号

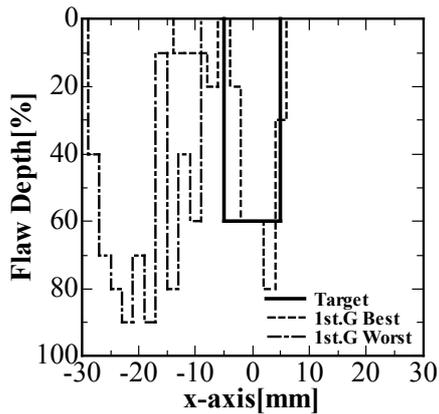
6.2 きず推定の結果

以下に長さ 10mm、深さ 60% の矩形のきずについて推定した結果を示す。

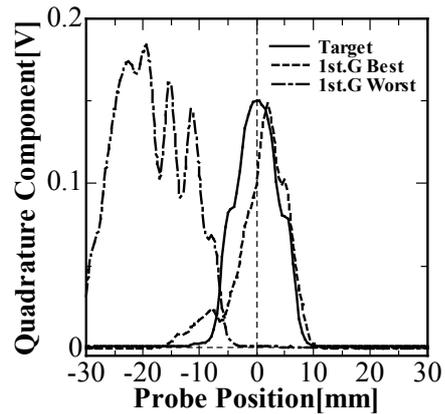
初めに、表面きずの推定結果を図 6 (a) ~ (d) に示す。図 6 (a) は、推定対象のきずと第一世代での候補きずである。図中の実線 (Target) は推定対象のきず形状を、破線 (1st .G Best) は、第一世代で作製された候補きずの中で最も適応度の高かったきず形状を、一点破線 (1st .G Worst) は、第一世代で作製された候補きずの中で最も適応度の低かったきず形状を示す。また、図 6 (b) は、推定対象のきず信号と、第一世代の候補きずに基づいて、作製された候補信号である。候補信号は、データベース化された長さ 2mm のきず信号を重ね合わせることで作製されている。図中の実線は推定対象のきず信号を、破線は、第一世代で適応度が最も高かった候補信号を、一点破線は、第一世代で適応度が最も低かった候補信号を示す。第一世代では、ランダムに候補きずが発生しているため、推定対象のきず信号との誤差は大きく、適応度が低い状態であることが確認できる。そして、きず形状が淘汰及び増殖、交差、突然変異により進化して最終的に得られた結果を図 6 (c) に示し、推定されたきず形状に対応する信号波形を図 6 (d) に示す。各図の実線は、推定対象のきず形状ときず信号を、破線は、適応度の高かった候補きずと候補信号を示している。世代交代を繰り返した結果、最終世代での候補きずは、推定対象のきず形状と形が似通ったものとなり、きず信号と候補信号との誤差も小さく、適応度が高くなっていることが分かる。よって、推定対象の表面きずを分解能 2mm で推定できていることが確認できる。

次に、裏面きずの推定結果を図 7 (a) ~ (b) に示す。図 7 (a) は推定対象のきずと最終世代での候補きずを、図 7 (b) は推定対象のきず信号と、最終世代での候補きずに基づいて作製された候補信号を示している。各図より、裏面きずの推定ができていることが確認できる。

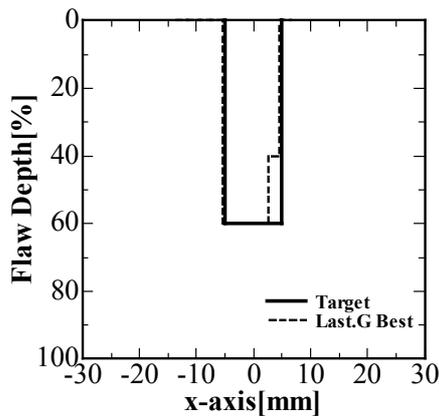
また、この他にも同様の推定条件で、深さが異なる矩形のきずにおいてもきず推定ができることを確認している。



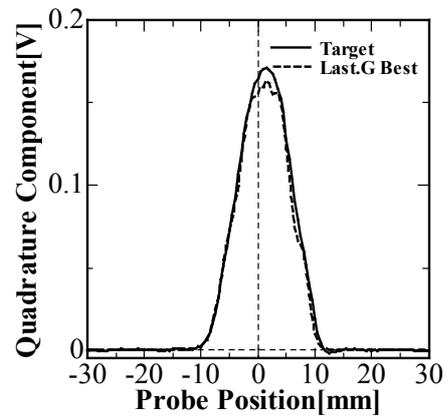
(a) きずと第一世代候補きず



(b) きず信号と第一世代候補信号

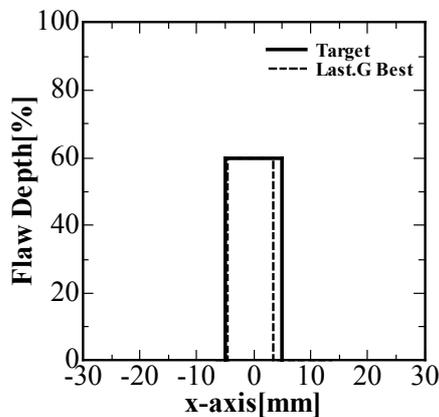


(c) きずと最終世代きず

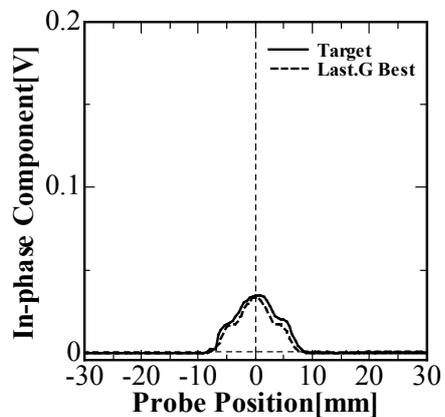


(d) きず信号と最終世代候補信号

図6 表面きずの推定



(a) きずと最終世代きず



(b) きず信号と最終世代候補信号

図7 裏面きずの推定

6.まとめ

本研究は、渦電流探傷に対してGAを適用したきず推定について検討を行った。結果、表面きずと裏面きずを識別しデータベースを選択することで、表面きず裏面きず共に、ほぼきず推定ができることが確認できた。今後は、条件が異なる場合や、他のきず形状におけるきず推定について検討していく。

参考文献

- 1) 久保田、小山、星川：「渦電流探傷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」平成17年度学術講演会講演論文
- 2) 渡邊、小山、星川：「GAを利用した渦電流探傷におけるきず推定システムについて」、平成19年度JSNDI秋季大会 pp317-318 (2007)