

ECT センサロボットによる欠陥形状検査システムの開発

Development of Crack Shape Inspection System with ECT Sensor Robot

神戸大学自然科学研究科 小林 太 Futoshi KOBAYASHI

神戸大学自然科学研究科 小島 史男 Fumio KOJIMA Member

システムズ（株） 中塚 恒 Hisashi NAKATSUKA

This paper deals with a recovery method of a crack shape for preventive maintenance of power plant. In order to detect a crack and recover of its shape automatically, we develop a mobile robot with ECT (Eddy Current Testing) sensor composed of a transmitter-receiver coil probe. ECT is a major technique for detection of surface and subsurface cracks found out in structures of the power plant. The robot detects a crack by ECT sensor signals, localizes the crack and recover its shape by rough and fine inspection mode. For showing the effectiveness of this method, we show experimental results.

Keywords: ECT, Inspection System, Inspection Robot, Crack Shape

1. 緒言

近年、原子力プラントの高経年齢化に伴い、シャラウド等の構造物において応力腐食割れ（SCC）等の傷が多数報告されており、その検査・補修が緊急の課題となっている。現在、欠陥が検出されとめその欠陥が構造強度に影響しない範囲であれば常時監視のもとでプラント運転の継続を許容する方法が議論されており、これを実現するための必須条件として従来の欠陥の検出技術のみならず、高度な欠陥のサイジング技術が求められている[1][2]。

一方で、原子力施設の検査の多くは検査者によって直接的に行なわれており、人体への多大な影響が懸念される。さらに検査者の安全を確保するために多大なコストと時間を費やし、場合によっては一度原子炉の運転を停止しなければならず大きな損失となる。

このような背景から、本研究では移動ロボットを用いて非破壊検査技術のひとつである ECT(Eddy Current Testing : 渦電流探傷法)による欠陥の形状検査を行なうことをその目的とする。移動検査ロボットを用いた検査システムを構築するとともに、ECT の特性に基づいた傷探査アルゴリズムを提案する。ECT は非接触で高速な検査手法で、表面及び表層の欠陥検出に優れる。

この ECT の優位性に着目し、本研究では ECT ロボットによって欠陥の検出を自動的に行ない、欠陥幅を含む欠陥の表面形状を自動的に再構成する。

連絡先: 小林太、〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1、神戸大学大学院自然科学研究科、電話: 078-803-6489、e-mail:kobayasi@cs.kobe-u.ac.jp

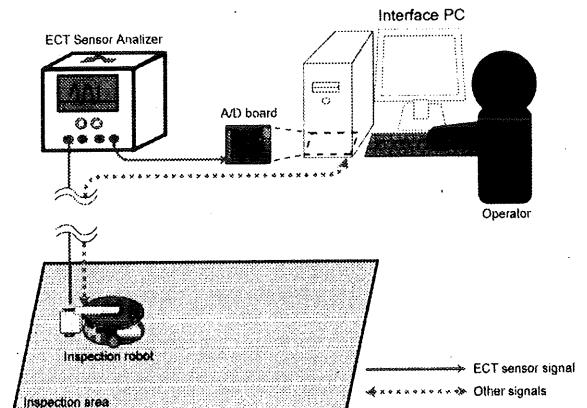


Fig. 1 Inspection System with ECT Sensor Robot

2. 欠陥形状検査システム

2.1 検査システム構成

本研究における検査システムの構成を Fig. 1 に示す。ECT センサロボットは、左右の車輪に走行カウンタをもつ小型移動ロボット Khepera と、一対の励磁・検出コイルを持つ ECT センサから構成される。検査者はインターフェース PC から ECT センサロボットを操作することで検査を行なう。ECT センサの検出信号は探傷装置本体で処理されたのち、A/D ボードを介してインターフェース PC に送信される。ロボットはインターフェース PC からコマンドを受信し、行動する。

2.2 欠陥形状検査アルゴリズム

本アルゴリズムでは、検査領域に対する全体検査と特定領域に対して精密検査を行なう 2 段階の検査方式を採用している。全体検査では、欠陥の検出を目的とし、

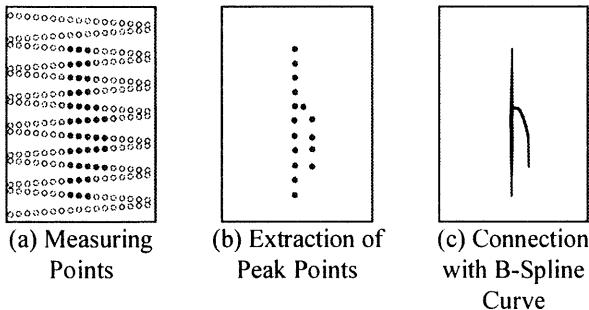


Fig. 3 Reconstruction of Crack Shape

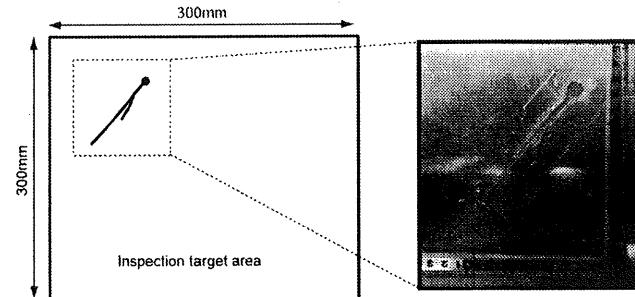


Fig. 4 Experimental Environment

検査領域全体を粗く検査する。ここで、あらゆる角度に伸びる欠陥に対応するため、ECT センサロボットを Fig. 2 のように縦・横方向に操作し、検査を行う。全体検査の結果から検査者が欠陥の存在が疑われる領域を指定し、その領域に対してさらに精密検査を行なう。精密検査では、欠陥形状の再構成を目的とし、全体検査での操作より細かい操作を行い、欠陥の近傍における検出信号を収集する。また、ロボットの自己位置誤差の軽減のため、各検査の切り替わり時に原点に移動し、原点を基準に自己位置を修正する。

検査の終了後、本システムは精密検査で取得した ECT 検出信号から傷表面形状の推定を行なう。センサが傷に対して垂直になるように走査した際の ECT 検出信号は欠陥上で最も高い値をとることから、精密検査の各計測点における検出信号 (Fig. 3(a)) から、各走査ライン上で最も検出信号が最も高くなる計測点を抽出し (Fig. 3(b))、その計測点を欠陥点とする。また、検出信号の大きさは、欠陥の幅と密接に関係していることから、抽出された計測点を B スプラインで補完するとともに、その計測点における B スプラインの幅を検出信号の大きさから決定する (Fig. 3(c))。これにより、欠陥形状の再構成を行う。

3. 実験

提案した欠陥形状検査システムを用いて、Fig. 4 に示す実験環境において、実験を行った。再構成する欠陥は枝分かれのある欠陥であり、その傷幅は段階的に変化する。

実験により、再構成された欠陥形状を Fig. 5 に示す。この結果より、欠陥形状がほぼ正確に再構成でき、枝分かれの部分も再構成できたことが分かる。欠陥の幅においても、段階的に変化していることが再構成結果から分かる。また、原点を基準とした自己位置補正に

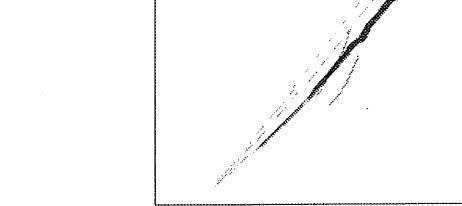


Fig. 5 Inspection Result

より、ECT センサロボットの自己位置認識誤差の影響による欠陥位置の誤差は 10mm 程度以内に収まった。

4. 結言

欠陥形状の検査を目的に、ECT センサロボットを用いた欠陥形状検査システムを構築し、欠陥形状の再構成を行う欠陥形状検査アルゴリズムを提案した。本アルゴリズムでは、全体検査と精密検査の 2 段階の検査とともに、ECT 検出信号の特性に考慮した再構成を行った。枝分かれがあり傷幅の変化がある欠陥に対して形状を再構成する実験を行い、本システムの正当性を示した。

謝辞

実験環境の構築に際して、ご協力いただいた日立製作所電力・電機開発研究所の西水亮氏、小池正浩氏、松井哲也氏に深甚の謝意を表する。

参考文献

- [1] 小島史男、河合信弘、"境界要素・有限要素併用法を用いた渦電流探傷法による自然き裂の同定手法", 日本計算数理工学会境界要素法論文集, Vol.3, 2004, pp.13-18
- [2] 小島史男、河合信弘、"電磁非破壊検査に関する進化計算を用いた自然き裂モデルによる定量評価について", 日本計算数理工学会計算数理工学論文集, Vol.5, 2005, pp.89-94