1. 運転・保全技術開発 Gr.

1-1 高速炉の蒸気発生器伝熱管用 マルチコイル型 RF-ECT センサの開発

山口 智彦（運転・保全技術開発グループ）

要旨

ループ型ナトリウム冷却高速増殖炉（JSFR）の蒸気発生器（SG）で採用を計画している直管型 2 重伝熱管を対象に微小欠陥の検出が可能なマルチコイル型リモートフィールド渦電流探傷（RF-ECT）センサの開発を行い、従来型のボビンコイルでは検出ができなかった微小欠陥や疲労き裂の検出を可能とした。

1. 研究目的

直管型 2 重伝熱管は、9Cr-1Mo 鋼（強磁性体）製の内外管を冷間引き抜き加工で密着させて製作される。伝熱管は、外径 19mm、肉厚 3.1mm（外管 1.7mm、内管 1.4mm）と小径・肉厚で、内外管にギャップ 3μm（公称値）が存在するため、既存の技術では分解能が低く微小欠陥の検出は困難となる。そのため、小型コイルをアレー状に配置し分解能を高め、コイルの形状や巻数等の最適化を行うことを考えた。本研究では、検査時間の短縮及びき裂やピンホール等の微小欠陥の検出を可能とするために、「もんじゅ」の伝熱管検査で実績のあるリモートフィールド渦流探傷（RF-ECT）技術をベースにマルチコイル型 RF-ECT センサを開発し、2 重伝熱管に付与した人工欠陥を S/N 比 2 以上で検出できることを目標とした。

2. マルチコイル型 RF-ECT センサと試験方法

2 重伝熱管は、「もんじゅ」の伝熱管に比べ内径が細く（約 24mm→約 12mm）、内外管にギャップが存在することから、励磁・検出コイルのサイズや配置、チャンネル数を変えて多くのシミュレーションを行うとともに、外径 2mm 程度の小さな検出コイルの製作性などを試作により確かめながらマルチコイル型 RF-ECT センサの製作を行った。

2 重伝熱管の全肉厚の 20%深さの欠陥（全周減肉、スリット等）を検出目標にマルチコイル型 RF-ECT センサの最適な励磁・検出コイルのサイズや配置、チャンネル数を解析と試作モデルで検証し、微小欠陥の検出に適したセンサを製作した。マルチコイル型 RF-ECT センサは、微小欠陥の検出性を高めるために、励磁コイルを検出コイルの前後に配置するとともに、励磁コイル長を長尺化して巻数を増やし、励磁力を向上させた。さらに分解能を高めるために、検出コイルを周方向に 12 個（差動 24 個）配置させた（図 1）。

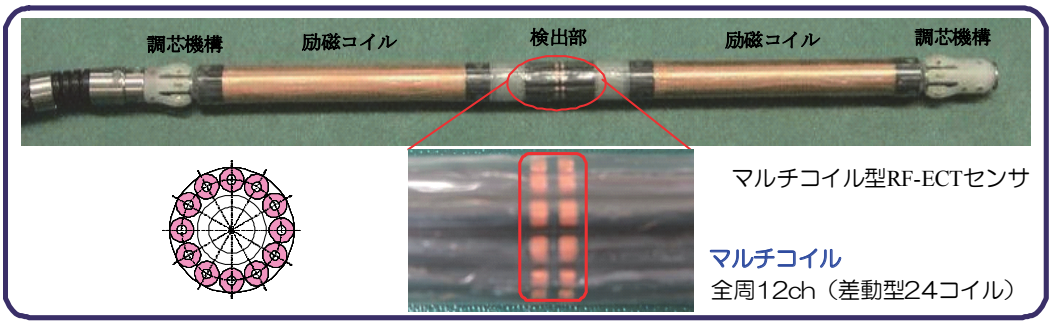

図 1 製作したマルチコイル型 RF-ECT センサ

3. 試験結果

製作したマルチコイル型 RF-ECT センサを用いて、直管型 2 重伝熱管に付与した欠陥の検出性を確認した。まず、放電加工により付与した欠陥を用いて欠陥検出性試験を行った結果例を図 2 に示す。ギャップによる渦電流の浸透しにくさの影響が懸念されたが、外管外面の検出性については、内管内面に比べ 50%程度低下するものの（単管の場合、45%程度低下）、ギャップのみの影響は 5%程度と極めて小さい。試験結果より検出目標である 2 重伝熱管の外管外面に付与した全肉厚の 20%t（0.7mm）深さ相当の欠陥（全周減肉、全周スリット、周・軸方向ノッチ W0.3mm×L10mm、ピンホールφ1mm）を欠陥対ノイズ比（S/N 比）2 以上で検出できた。

次に、一般的に検出することが難しいとされる開口の狭いき裂状欠陥の検出性を把握するために疲労試験機（引張荷重負荷）により製作した試験片（疲労き裂の破面写真を図 3 に示す）を用いた試験では、2 重伝熱管外管外面に付与した全肉厚の 30%深さの疲労き裂を S/N 比 2 以上で検出することができた。

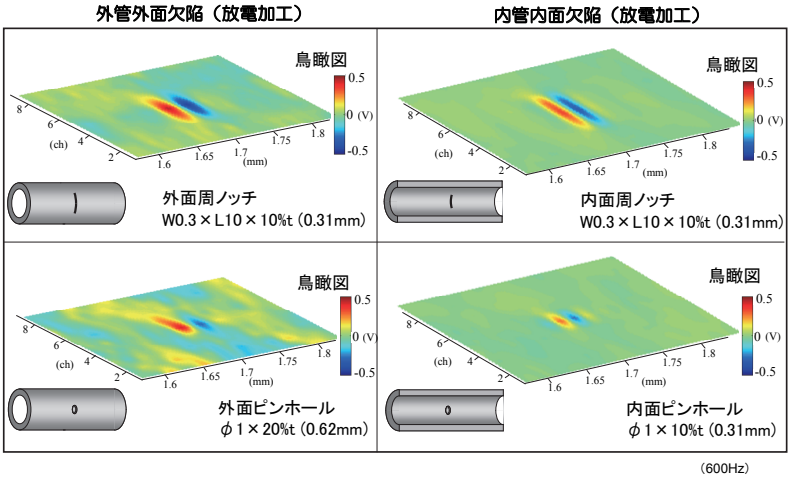

図 2 マルチコイル型 RF-ECT の試験結果（上段；周ノッチ、下段；ピンホール）

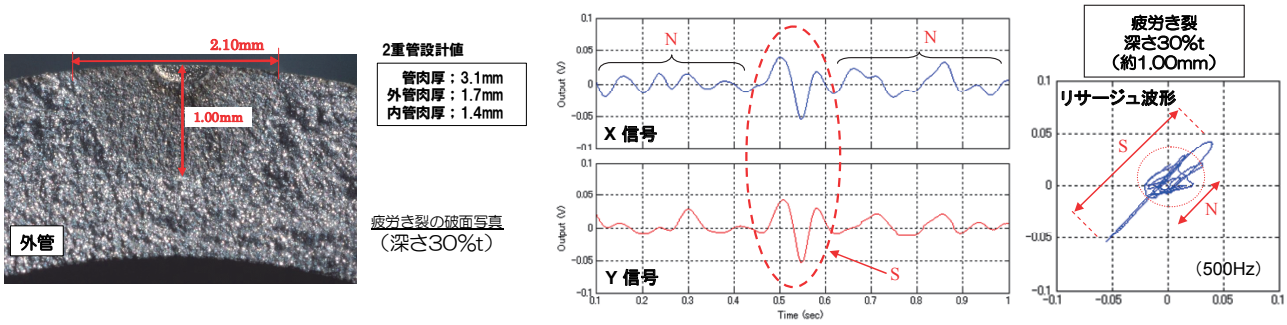

図 3 疲労き裂試験片の断面図と試験結果 （深さ 30%t）

4. まとめ

検出目標とした 20%深さの人工欠陥を S/N 比 2 以上で検出できるセンサの開発に成功した。今後、より小さな疲労き裂欠陥について検出できるセンサの開発を進めたいと考えている。

本稿に関する投稿論文

[0] 山口智彦, ミハラケオビデウ, "高速増殖実証炉に向けた保守技術開発構造物欠陥検査技術開発（マルチコイル型 RF-ECT センサ）", 2011 年秋の年会, M22.