

評価の詳細

研究開発課題名（研究機関名）：
レーザー加工技術の組み合わせによるFBR熱交換器伝熱管内壁検査技術の高度化に関する技術開発
 （独立行政法人日本原子力研究開発機構）

研究開発の実施者
 機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構 代表者氏名：西村昭彦

研究期間及び予算額：平成19年度～平成21年度（3年計画） 114,248千円

研究開発予算
 平成 19年度 48,201千円
 平成 20年度 29,499千円
 平成 21年度 36,548千円

項目	内容
<p>1. 目的・目標</p>	<p>次世代ナトリウム冷却型 FBR における蒸気発生器のための検査補修技術の実現を目指し、内壁面に生じる微小欠陥等を早期発見してその場で補修を可能とする新プローブの開発とそれを用いた模擬伝熱管検査補修試験の実施とを到達目標とした。</p> <p>革新性としては、特に小型高性能化が著しいファイバレーザーを用いたレーザー溶接技術を FBR の保守保全技術に適用する点にある。</p> <p>全体計画は、H19 年度及び H20 年度を通じて複合型光ファイバスコープ、レーザー加工ヘッド、カップリング装置等の各要素技術を開発し、H21 年度に要素技術の統合を完了させた。目標・計画に変更はない。</p>
<p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 成果 ・ 副次的な成果 ・ 論文、特許等 	<p>【研究開発項目（1）複合型光ファイバスコープの開発】 [得られた成果] 観察用スコープとしては、長さ 10m、外径 0.8mm の大きさで画素数 9,000 程度のデータが伝送でき、最小曲げ半径約 150cm の仕様条件で伝送される画像に歪みを発生させないことが必要である。観察機能に加えて溶接補修用レーザー光の導入と伝熱管内壁の画像の伝送の双方ができる複合型光ファイバスコープの製作に成功した。画素数は 20000 とすることで一層高解像度を得ることができた。また、2 年の開発予定を 1 年に短縮できた。</p> <p>【研究開発項目（2）ECT システムの開発】 [得られた成果] 複合型光ファイバスコープと組み合わせて用いる ECT 中空センサユニットとマルチチャンネル用 ECT 探傷器を小型化し、かつ微小欠陥を高速・高精度で 2 次元探傷するための技術開発、製作、性能試験を実施した。平成 20 年度には、前年度製作した ECT 中空センサユニットと ECT 用探傷器を統合した。本装置を用いて模擬伝熱管内壁の欠陥を検出し、欠陥位置を表示するためのソフトウェアを開発し、プロトタイプの ECT 探傷器を完成させた。</p> <p>【研究開発項目（3）レーザー加工ヘッドシステムの開発】 [得られた成果] 基本動作のための動力源の超小型ステッピングモーターから発</p>

生する駆動力を有効に伝達する伝達機構を開発した。伝熱管内壁の微小欠陥を補修ができるように、伝熱管内において周方向回転と軸方向移動への基本動作が可能であることを確認した。これにより、1インチ伝熱管用レーザー加工ヘッドを完成させた。加えて、レーザー加工ヘッドと複合型光ファイバスコープとの接続を行った。模擬伝熱管内にてレーザー加工ヘッドを動作させて、管内壁の欠陥を撮影し、トレースするためのソフトウェアを開発に成功した。これにより、プロトタイプのレーザー加工ヘッドの制御が可能となった。

【研究開発項目（4）カップリング装置の開発】

[得られた成果]

使用するレーザー光源の出力とビーム広がりや偏光状態に応じて調整のための微動機構を開発し、出力 1 kW 程度のレーザー光の使用を設計条件とした。複合型光ファイバスコープを接続してレーザー光の導入と画像の統合・分離が行えるレーザー光と画像の分離・統合を行うためのカップリング装置の詳細設計を実施した。H20 年度はカップリング装置の製作を実施し、各要素との接続を実施した。H21 年度には、製作したカップリング装置にカップリング装置用画像観察装置及びカップリング装置用温度計測装置を組み込み、装置を完成させた。

【研究開発項目（5）模擬伝熱管補修試験技術の開発】

[得られた成果]

平成 19 年度は原子力機構保有の高エネルギーレーザーを活用して石英ファイバー照射試験を実施し、複合型光ファイバスコープへ入射させるレーザー光強度の上限値を決定した。平成 21 年度の補修試験に向けた予備試験を実施し、補修試験の試験計画を策定した。その結果、平成 20 年度の模擬伝熱管補修試験の準備を通じて抽出された補修のためのイッテルビウムファイバレーザーの準備、マルチプレクサによる ECT ケーブル減数化の達成、レーザー加工ヘッド用ソフトウェアの整備の 3 課題を実施した。各要素を接続したカップリング装置を国際原子力情報・研修センターにある次世代ナトリウム冷却型 FBR の蒸気発生器モックアップ試験設備に搬入し、高出力ファイバレーザーを用いて模擬伝熱管の補修試験を成功させた。

特にレーザーの出力を 300 W に抑えても ECT による検出下限サイズの欠陥ならば十分な溶接補修が出来ること、及び、1/2 インチ管に適用することを念頭にマルチプレクサによる信号線減数化に目途を付けたこと、これら 2 点を実施しつつ、モックアップ試験設備を用いて検査補修試験を成功させたことは、平成 19 年度のプロジェクト発足時点を振り返ると想定以上の成果である。

【事業全体】を通して

H19 年度の時点では、次世代 FBR の方式としてナトリウム冷却による FBR が主概念として選択された。一方、もんじゅ再稼働の遅れが本プロジェクトに少なからず影響した。実際、H21 年度に新ブローブシステムが完成した時点では、もんじゅ再稼働は為されておらず、敷地内にあるモックアップ試験設備の利用については、原子力機構内での調整が必要であった。幸い本プロジェクトの重要性への理解とモックアップ試験の準備を通じた安全の徹底を行った。H19 年度に本プロジェクト発足の時点で、モックアップ試験設備を使用し、完成させたシステムを用いて模擬伝熱管の検査補修を行うと目標を立てた。このことが公約通りに実現出来たことは、関係者の努力と協力・連携の成果と考えている。

【論文、特許等】

1 論文発表

- 1) A. Nishimura, et al., “Development of Inspection and Repair Technology for the Micro Cracks on Heat Exchanger Tubes “, レーザ加工学会誌に掲載。
- 2) 岡潔, 西村昭彦, 関健史, 赤津朋宏, 山下卓哉, ” 複合型光ファイバを用いた 1 インチ伝熱管用観察補修レーザー加工ヘッドの開発”, 保全学 Vol.8, No.4, pp.37-42, 2010,

2 講演 (1 件)

- 1) 西村昭彦, ” 高速増殖炉の保守保全に役立つレーザー技術”, レーザ誕生 50 周年記念講演会、レーザー学会主催、2010 年 6 月 28 日、福井大学.

3 新聞報道 (2 件)

- 1) 福井新聞(6/29)、日刊県民福井(6/29)、中部新聞(6/30)に紹介記事が掲載。
- 2) 電気新聞「若狭と原子力」特集号の企画取材を受け、7/27 に掲載。

4 口頭発表 (10 件、内 7 件を記載)

- 1) 西村昭彦、山口智彦、岡潔、赤津朋宏、伊東富由美、山下卓哉、” 伝熱管内壁検査補修技術開発—システム総合試験— “、日本原子力学会秋の大会、発表予定.
- 2) 西村昭彦、山口智彦、岡潔、赤津朋宏、山下卓哉、” 伝熱管検査補修技術開発 (4) システム統合と模擬伝熱管検査補修試験 “、日本原子力学会春の年会、2010 年 3 月、水戸.
- 3) A. Nishimura, T. Shobu, K. Oka, et al., “Development of Inspection and Repair Technology for the Micro Cracks on FBR Heat Exchanger Tubes” , LAMP2009, KOBE.
- 4) 西村昭彦、赤津朋宏、関健史、岡潔、伊東富由美、島田幸洋、” 1 インチ伝熱管検査補修用レーザー加工ヘッドの高度化 “、第 72 回レーザー加工学会講演会 30 周年記念名古屋大会、2009 年 12 月、名古屋.
- 5) 西村昭彦、岡潔、山口智彦、赤津朋宏、関健史、ミハラケ・オビデウ、島田幸洋、田川明広、山下卓哉、” 伝熱管内壁検査補修技術開発 (その 2) ソフトウェア開発と性能試験準備 “、日本保全学会第 6 回学術講演会、2009 年 8 月、札幌.
- 6) 西村昭彦、岡潔、山口智彦、山下卓哉、田川明広、ミハラケ・オビデウ、島田幸洋、” 伝熱管内壁検査補修技術開発の概要 “、日本保全学会第 5 回学術講演会、2008 年 7 月、水戸.
- 7) 西村昭彦、岡潔、山口智彦、岡潔、山下卓哉、” 高速増殖炉熱交換器のレーザー加工による補修技術開発に向けて “、第 69 回レーザー加工学会講演会、2007 年 12 月、東京.

<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発の進捗 ・ 研究開発の成果 ・ ブレイクスルー 	<p>【研究開発の進捗】 極めて限られた期間内に効率的に研究計画を遂行し、ほぼ当初想定した目標通りの研究開発成果が達成できていると思われる。</p> <p>【研究開発の成果】 伝熱管を解体せずに、補修を可能とする技術は、原子力発電所の稼働率向上などきわめて重要な原子力関連技術であり、このための実用装置開発の目途をたてたことは高く評価できる。この技術は原子力分野以外の狭隘環境の溶接・補修への応用も期待でき、他分野への波及効果も大きい。</p> <p>【ブレイクスルー】 要素技術の統合にはある程度のブレイクスルーがみられるので、ユーザ側のニーズを反映して、精度や所要時間等、実用化に必要な目標を明確にして開発を進めることが望ましい。</p>
<p>4. その他</p>	<p>本研究開発を一つの契機として、所属機関の組織改編がなされ、今後の研究開発をサポートする体制が作られたことは非常に喜ばしいことであり、本課題に関連する分野の発展にとって望ましいことであると考え。</p>