

レーザー共同研究所におけるレーザー応用技術の産業展開

土田 昇（原子力・放射線部門）

（所属）独立行政法人日本原子力研究開発機構 敦賀本部レーザー共同研究所

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」）敦賀本部レーザー共同研究所では、原子力分野で培ったレーザー技術の産業利用を福井県を中心に展開している。特に原子炉廃止措置に向けたレーザー切断技術、伝熱管の探傷・補修を行うレーザー溶接技術、複合型光ファイバの医療分野への応用技術等の開発を産業界等と連携して進めている。

キーワード：レーザー切断、レーザー溶接、産業利用、技術移転、共同研究

1 はじめに

原子力機構は「日本原子力研究所」と「核燃料サイクル開発機構」が統合して、原子力分野におけるわが国唯一の総合的な研究開発機関として平成17年（2005年）10月に発足した。レーザー共同研究所では、原子力機構の関西光科学研究所等で培ったレーザー技術を福井県に立地する原子炉施設（高速増殖原型炉「もんじゅ」、新型転換炉「ふげん」）での応用及びその中で生まれた技術の地域での産業展開を図ることを目的に、福井県敦賀市の原子力機構敦賀本部内に平成21年（2009年）9月に設置された。

2 研究開発の概要

1) 原子炉廃止措置へのレーザー技術の利用

レーザーは熱源として優れた性能をもっているため、これらを応用した加工法は、従来の加工法にはない数々の優れた以下のような特徴をもっている（社）日本溶接協会ホームページから）。

- ①材料の硬さや剛性に関係なく切断できる。
- ②加熱が瞬間的であるため、他の熱切断法に比べて熱影響層が浅い。したがって薄板切断においても、熱変形が小さい。
- ③高速で切断できる。
- ④ビームの発振は電子工学的手段により高速・高精度で制御できるので、数値制御装置との組合せで、複雑な形状の切断や多数の穴あけが容易にできる。
- ⑤加工条件を材料に適するように制御することにより、加工を最適化できる。

レーザー切断は、集光したレーザーを試料に直接照射して溶融させ、溶融金属をレーザーと同軸で流れるアシストガスで吹き飛ばすことによって切断する加工法である（図1）。

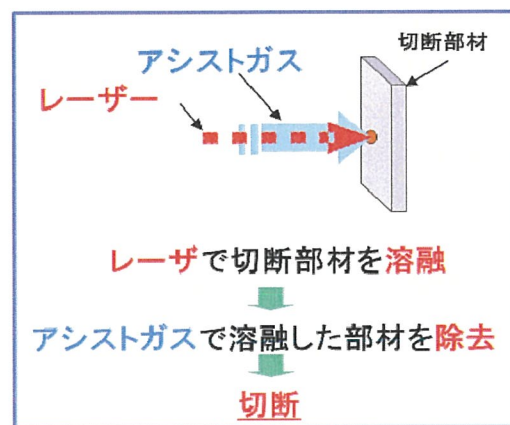


図1 レーザーによる切断メカニズム

レーザー共同研究所では、廃止措置となった原子炉を効率的に解体するため、高出力ファイバレーザーを使った鉄鋼材の切断技術開発を若狭湾エネルギー研究センター等と共同で実施している²⁾（図2）。現在、廃止措置中の新型転換炉「ふげん」の解体においては、最大15cm厚さの放射化した炉心部の鉄鋼材の水中での効率的な切断を目指した研究開発を進めている。水中で効率よく鉄鋼材を切断するには、レーザー光の通り道を確認し、かつ溶融金属を迅速に除去するための噴出ガス（アシストガス）の挙動等を正確に把握する必要があり、その為の要素技術開発をレーザー機器メーカー等と共同で行っている。

分科会

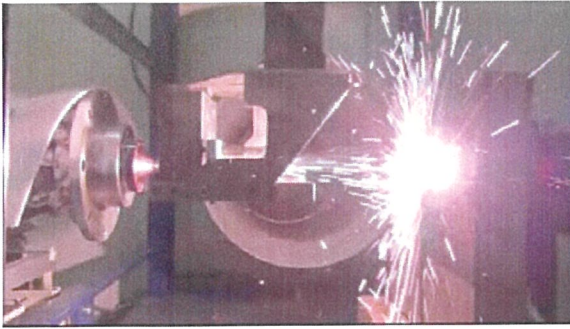


図2 10kW ファイバレーザーによる厚板鋼の切断

本研究開発では、レーザー切断・溶接の挙動をシミュレーションする計算機コード SPLICE(residual Stress control using Phenomenological modeling for Laser welding repair process In Computational Environment)を開発し、それを利用してレーザー切断・溶接技術の最適化を図っている(図3)。

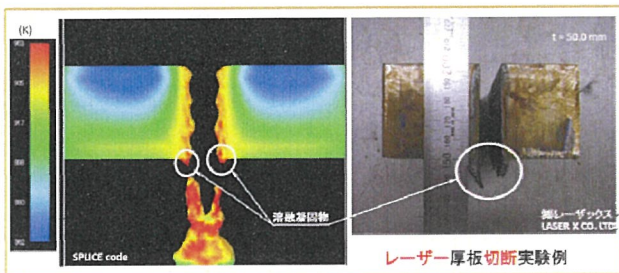


図3 SPLICE コードによる複合物理現象の解明と切断挙動の制御

平成23年3月の福島第一原子力発電所の事故後、原子力設備の解体技術に関心が高まっており、レーザー共同研究所でも、遠隔操作による水中レーザー切断技術の開発・実用化に産官学と連携して取り組んでいる。さらに、事故を起こした原子炉内のデブリ・炉内構造物の取出し作業に対するレーザーの適用性を評価するため、高硬度・多孔質条件を模擬したアルミナ(セラミックス)を対象として、レーザーパルス照射による破砕特性の実験的な確認や使用機器の制御方式の検討も進めている。

2) 原子炉伝熱管補修技術の開発

高速増殖炉の実用化に向けた保守・補修技術の開発では、高出力複合型光ファイバレーザーによる内径1インチの伝熱管の補修技術の開発

を行い、「もんじゅ」の伝熱管内面の欠陥を渦電流探傷法(Eddy Current Testing, ECT)で検出し、その欠陥をファイバscopeで観ながらレーザー溶接により補修する技術を開発した³⁾(図4、図5)。

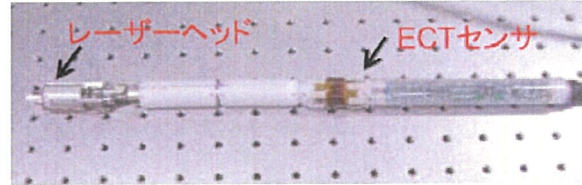


図4 もんじゅ伝熱管の検査・補修装置
(長さ: 約30cm、外径: 2.5cm)

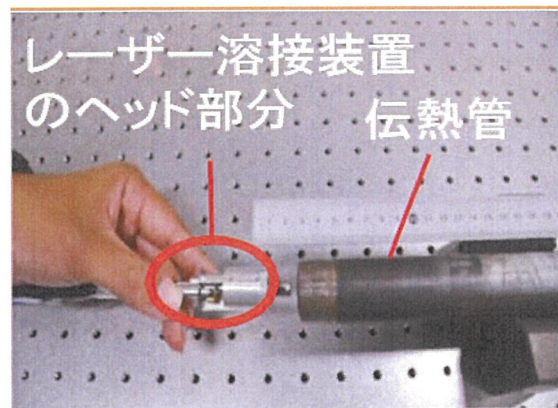


図5 レーザー溶接装置のヘッド部分

このレーザー溶接技術の化学プラント等の伝熱管の補修などへ応用展開を図るための研究開発を進め、1インチ伝熱管内面に肉盛り溶接できる小型のレーザー溶接装置を設計、製作し、実験室での基礎実験を実施している。

3) レーザー技術の医療応用

原子力分野で培った複合型光ファイバ技術を医療に応用し、治療が必要な方の身体の負担を最小限に抑え、患部を見ながら精密な治療のできる極細の複合型光ファイバ(図6)を開発し、これを利用した低侵襲医療器具のシステム開発を医療機関等と共同で行っている⁴⁾。

福井大学医学部との脳の動脈瘤血管バイパス手術にあたって血流を止めることなくバイパスする治療器具に関する共同研究(図7)や、福井県立病院との胆嚢、膵臓の治療に関する共同研究(図8)などを実施している。

その他にも、複合型光ファイバを用いたがん治療用低侵襲レーザー治療器の開発を医療機関と共同研究で進めている。東京医科大学とは、「8

の字タイプ」複合型光ファイバを用いた肺末梢部がん治療装置の開発（図9）、奈良県立医大とは、従来タイプの複合型光ファイバを用いた子宮体がん治療装置の開発（図10）を行っている。



図6 極細複合型光ファイバスコープの開発



「8の字タイプ」複合型光ファイバ

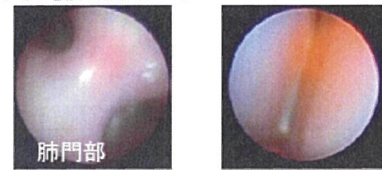


図9 東京医科大学との肺末梢部がん治療装置の開発

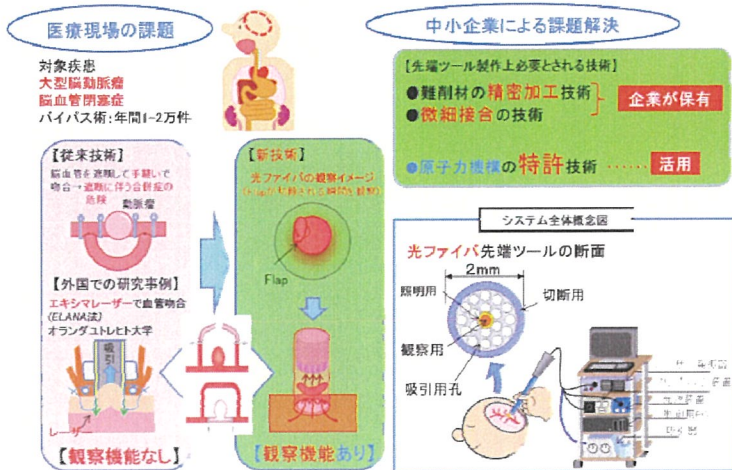


図7 福井大学医学部との観察機能付き無遮断バイパスツールの開発

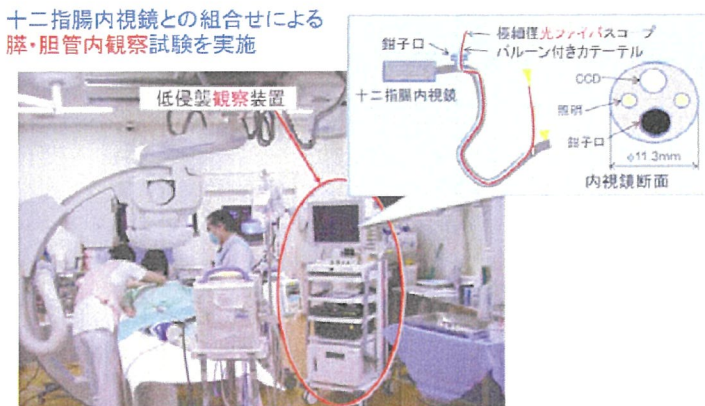
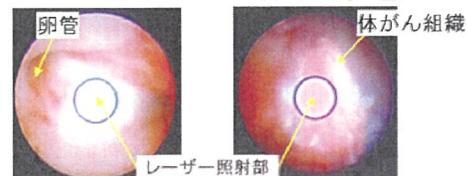


図8 福井県立病院での膵管・胆管内観察試験



従来タイプ複合型光ファイバ



摘出した子宮の観察及びレーザー焼灼可能

図10 奈良県立医大との子宮体がん治療装置の開発

分科会

3 産業界と原子力技術の連携

レーザー技術は、現在では、音楽プレイヤーなどの家電機器から、自動車組立、造船などの重工業分野までにその応用分野が広まっている。原子力機構のレーザー共同研究所では、原子力分野で培ったレーザー技術の産業応用展開を、原子炉の解体から化学プラントの補修技術、医療の分野等で、プラントメーカー、大学、病院などと連携して進めている。

レーザー溶接に関する連携及びレーザー切断に関する連携、福島復興に向けたレーザー切断法適用に関する連携をそれぞれ図 11 及び図 12、図 13 に示す。

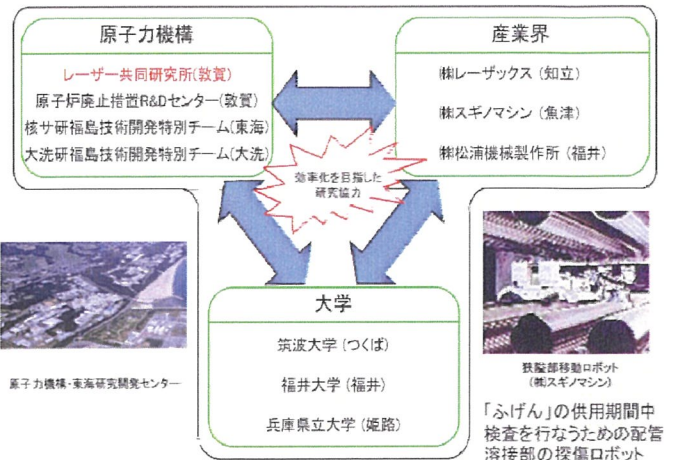


図 13 福島復興に向けたレーザー切断法適用に関する産学官協力

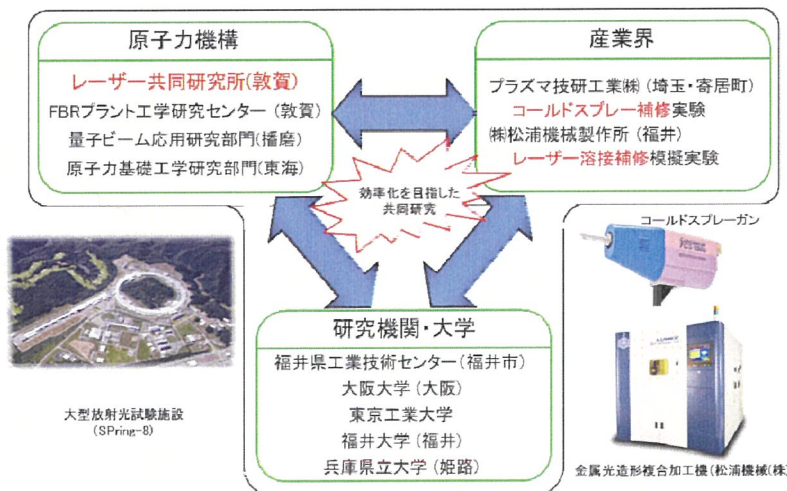


図 11 レーザー溶接研究に係わる産学官協力

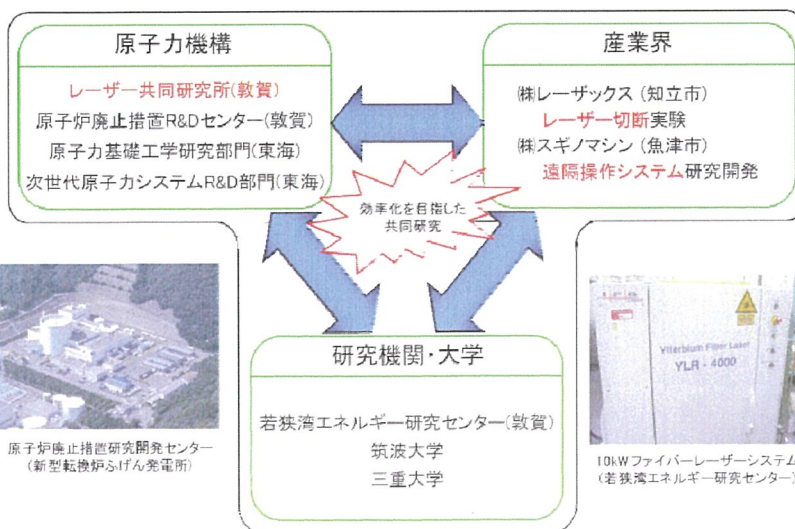


図 12 レーザー切断研究に係わる産学官協力

レーザー共同研究所では、光ファイバを利用したセンサの開発も行っており、最も一般的、最も広く使われているFBG（ファイバブラッググレーティング：Fiber Bragg Grating）センサの高温環境での利用を目指した研究開発を行っている。FBGセンサは、温度や歪みの変化を、光波長の変化として検出するもので、高温プラントでの配管の遠隔モニタとしての活用を目指している。

この技術の産業応用における地域企業との連携事例として、炭化ケイ素繊維を利用した紐編み型配管監視FBGセンサの試作がある。

平成23年度に福井県内の米澤物産（繊維織物）と協力し、光ファイバFBGセンサの高温下での機械的強度の向上を目指し、炭化ケイ素繊維材料を用いて光ファイバの周囲を保護した紐編み型配管監視センサ（図14）を試作した。

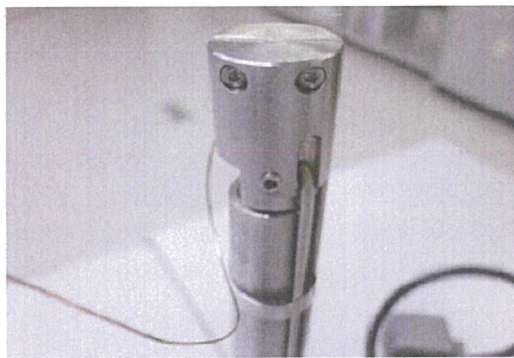
また平成23年度に福井県内の福伸工業（精密加工）と協力して、これまでに開発した高速増殖炉熱交換器伝熱管補修装置を高度化し、配管肉盛溶接機能を付加するため、溶接用フィラー

ワイヤ送給機構の開発を行い、試作した（図15）。

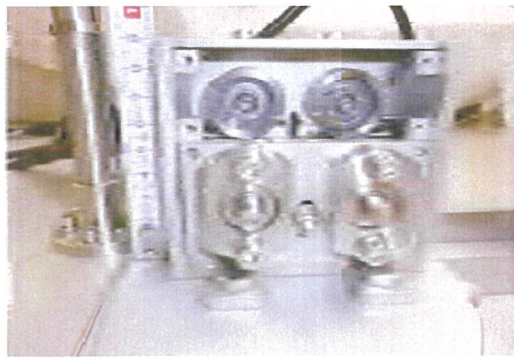
平成24年度以降は、本装置の三井化学（株）の石油化学プラントの伝熱管補修への適用を目指した共同研究を進めている。



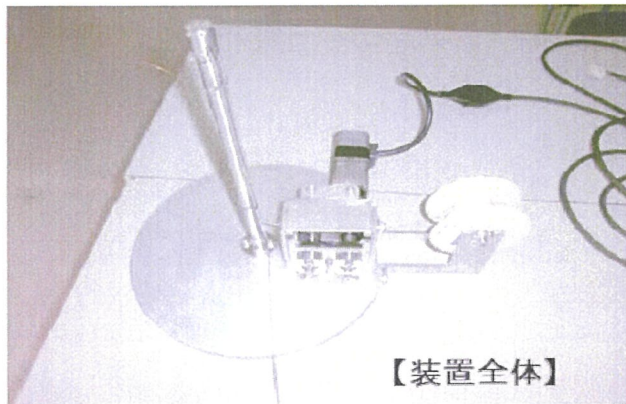
図14 紐編み形状炭化ケイ素繊維で保護したFBGセンサ



【ガイドヘッド】



【ワイヤー送給機構】



【装置全体】

図15 溶接用フィラーワイヤ送給機構の開発

分科会

レーザー技術の医療応用では、前述の福井県の病院以外にも全国の大学・医療機関及び学会等（図 16）と連携して複合型光ファイバを利用した低侵襲治療器の開発を進めている。

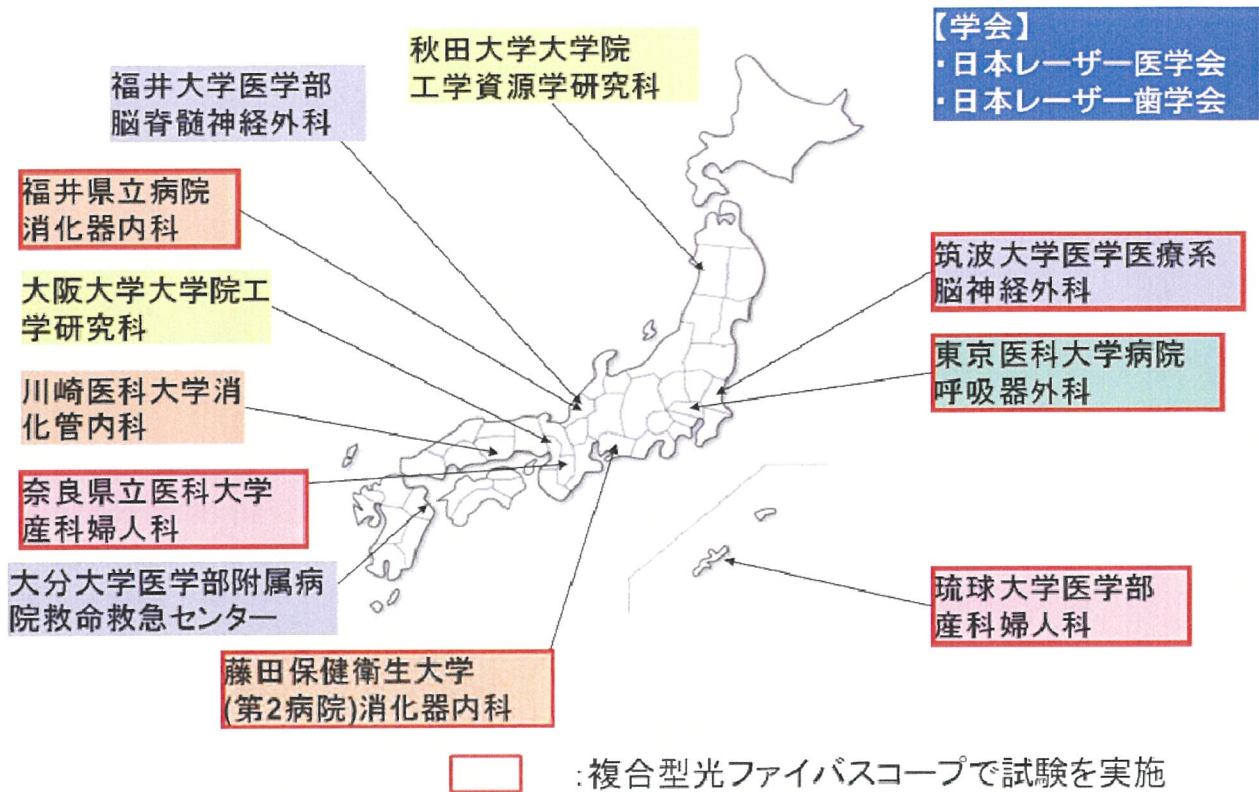


図 16 レーザー技術の医療応用で協力頂いている大学・医療機関及び学会

<参考文献>

- 1) レーザー共同研究所ホームページ
<http://www.jaea.go.jp/04/turuga/re-za/>
- 2) 小林紘二郎、他「水中切断による原子炉解体技術」(社)日本溶接協会誌 Vol.59. No.7, pp.64-69(2011)
- 3) 西村昭彦「原子炉の保守保全に役立つレーザー技術」レーザー研究、第 40 巻、第 3 号、2012 年 3 月
- 4) 岡潔、他、「複合型光ファイバスコープの医療応用」応用物理第 80 巻第 12 号、pp.1069-1072 (2012)