

総合講演・報告 1 東京大学弥生研究会 ―原子・分子の分光分析技術とその応用―

レーザーの特長を利用した研究開発Ⅳ

Research developments using excellent properties of Lasers Ⅳ

(3) レーザー法による原子炉厚板鋼材切断技術の開発

(3) Development of Laser cutting technology of thick steel plates for nuclear facilities

* 田村 浩司^{1,2}, 遠山 伸一², 門脇 春彦³, 石神 龍哉³, 山岸 隆一郎³¹量研機構, ²原子力機構, ³若エネ研

1. はじめに

運転期間を終了した原子炉では、順次廃止措置が行われる。その際、原子炉構造物の切断解体が必要とされる。従来から実績のある切断法であるプラズマアーク法や機械式切断法と比較して、レーザー光を熱源とするレーザー法は、遠隔制御性が高く、ブレードなどの交換部品の必要性がないなど利点が多く、原子炉解体に適用できるならば有効な選択肢となりうると期待されている。しかし、原子炉は压力容器など 100mm を超える板厚の大きい鋼材で構成されているため、レーザー法の廃止措置適用にはこのような厚板鋼材の切断が必要とされる。しかし、レーザー法はこのような厚板鋼材切断に関しては知見や実績に乏しく、その適用性や有効性の展望に関しては必ずしも肯定的なものばかりではなかった。

本報告では、原子炉に用いられるような厚板鋼材のレーザー切断技術の開発や、その廃炉現場適用を目指した最近の技術開発の成果に関して報告する。

2. 厚板鋼材切断の技術開発

2-1. 厚板鋼材のレーザー切断試験

図 1 にレーザー切断の試験配置を示す。熱源として米国 IPG フォトニクス社製ファイバーレーザーの発振光を用いた。レーザー光を光ファイバーで導き、加工ヘッド内のレンズで集光し、鋼材試験片に照射した。熱で熔融した金属を除去するためのアシストガスを、レーザー光と同軸状に噴射している。厚板鋼材切断を目指して、レーザー光の照射条件、鋼材の移動速度やガス噴射圧力など様々な条件を探索して、切断試行を行った[1, 2]。

図 2 はステンレス鋼(図左側の薄い部分)と低炭素鋼(図右の厚い部分)を組み合わせた鋼材試験片のレーザー切断試行結果である[2]。それぞれ、沸騰水型(a)と加圧水型(b)原子炉の压力容器壁を模している。中心部の切断溝が直線状に左側(加工ヘッド側)から右側(出射部側)に抜けており、切断が達成された結果を示している。このような試験結果から、压力容器の板厚として想定される 300mm 程度の鋼材(炭素鋼やステンレス鋼)のレーザー切断が可能であることを示した。

また、廃炉現場への適用で想定される複雑な形状を有する構造物や、大型配管を模した鋼材に関しても試験を行った。図 3 はゲートバルブ切断への適用例で、ノズル先端から照射したレーザー光により、バルブの複雑な形状によらず切断が可能であることが示された。これら結果は、レーザー切断が压力容器や廃炉現場

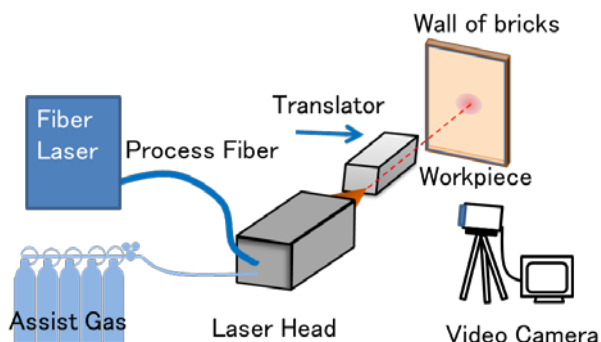


図 1 レーザー切断試験配置



図2. 压力容器を模擬した厚板鋼材の切断結果

の様々な対象構造物の切断に十分適用可能であることを示しており、レーザー切断の廃止措置における適用性や有効性を実証する結果である。

2-2. 切断条件の解析

一方、切断に必要な諸条件を満たさないと、このような切断は達成されない。達成されない場合、高出力のレーザーエネルギーが対象鋼材溝内に滞留し、熔融金属を吹き戻したり、照射部分が大きくえぐり取られたりする。これは、作業上危険性の伴う事象である。そこで、どのような条件の組み合わせで切断が可能となるのか条件解析を行った。図4(a)-(f)に切断試行を行った後の鋼材側面の例を示す。また、試行結果を鋼材入射面のカーフ幅とアシストガス流量で整理し、切断可否(○、×)をまとめた結果を図4(g)に示す。これにより、おおよそ切断可能条件が、前面カーフ幅とガス流量のある条件範囲内で実現できていることが把握できた[3]。この結果に基づきアシストガス圧力の鋼材前面からの距離依存性を計算した(図5)。この結果から、切断長に沿って熔融金属が移動できるようなガス圧力が維持できる場合に切断が可能となる、と考えると傾向がおおよそ説明できることがわかった。このような解析を行うことにより、廃炉現場における高出力レーザーによる切断技術の適用を、より安全に予測・制御して行えるようにできるものと期待される。

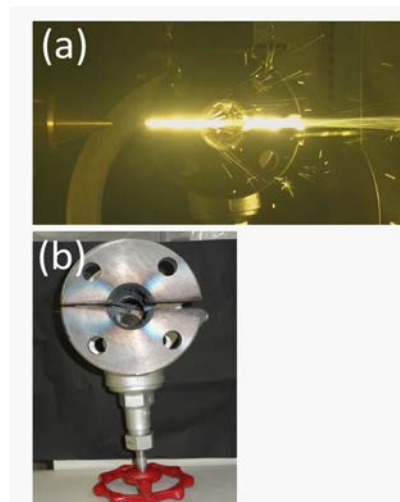


図3 構造物の切断過程(a)と切断結果(b)

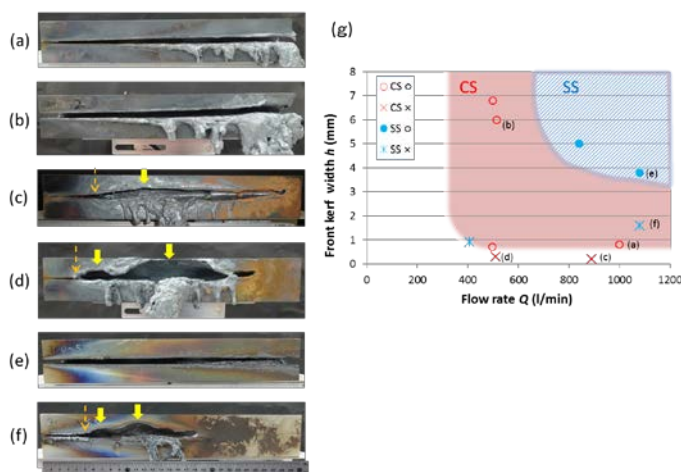


図4 炭素鋼(a-d)とステンレス鋼(e, f)の切断試行後の側面、及び試行可否結果(○、×)の前面カーフ幅とガス流量とによるまとめ(g)。

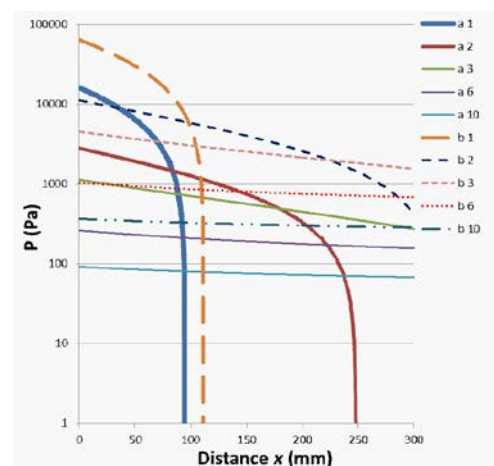


図5 カーフ領域のガス圧力の計算結果。

2-3. 切断過程観察手法の開発

レーザー切断部は高エネルギーのレーザー光が集光・照射されているため、その切断プロセスの直接観察は従来容易ではなかった。そこで、家庭用ビデオカメラを用いた簡便安価な方法を考案し、詳細な切断過程の観察を実現した[4]。図6は、この方法により観察された風圧で変形している熔融金属(a)とそのモデル(c)であり、また、(b)は熔融金属が照射部を下流側に移動し最終的に除去される様子を表している。この方法により切断過程の詳細をリアルタイムで観察することが可能である。

また必要条件を満たさず切断が達成できない過程についても観察可能であった。この場合、切断部が熔融金属で閉塞し、レーザーエネルギーが壁面を削り、切断部に図7(a)に矢印で示すような空孔部を生じる場合がある。このような空孔の生成を観察した(図7(b, c))。高出力レーザーの廃炉現場適用では、安全なプロセス管理が不可欠であるが、本手法は、プロセス監視や、危険な状況を早期に知見する手法としても有効であり、レーザー切断の安全な運用にも貢献するものと期待できる。

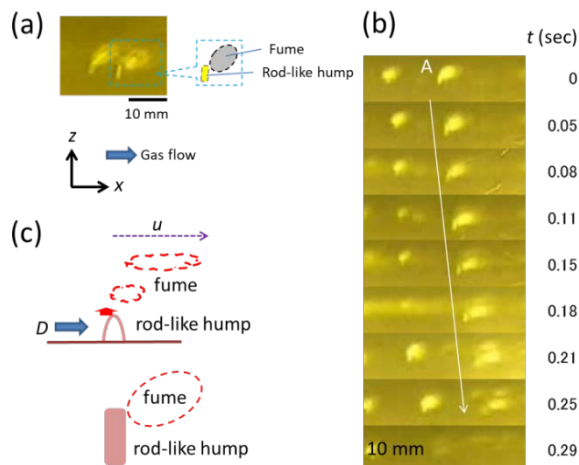


図6 炭素鋼切断時の側面観察(a,b)とモデル(c)

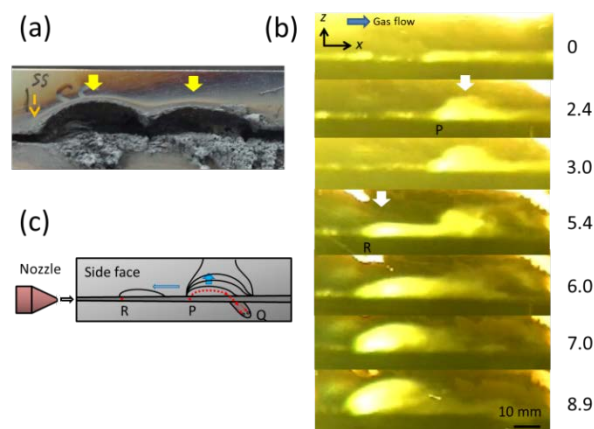


図7 試行後の側面(a),側面の空孔生成過程の観察(b),過程のモデル(c)

3. レーザー切断システムの構築

以上のような 300 mm 厚の鋼材切断技術を実際の廃炉現場で利用するためには、システムの小型化や遠隔操作の技術開発が必要である。そのために開発されたレーザー切断試験システムのプロット図を図 8 に示す[5]。システムは、移動用台車に設置した産業用ロボットアームを制御し、カメラによって切断する試料の形状を確認しつつ、アームの状態をパソコンに表示し、距離計で試料までの

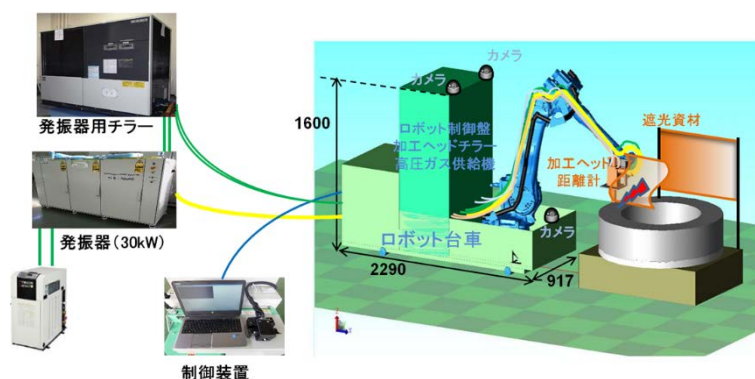


図8 試作切断システムのイメージ

距離を測定して試料を切断することを特長としている。本システムにより、毎分 3 m から低速では 6 mm までの切断速度で、切断材厚みでは数 10 mm から 300 mm まで切断が可能となっている。

4. おわりに

厚板鋼材のレーザー切断法技術開発に関する成果を報告した。これらの開発によりレーザー法は様々な対象物への適用や遠隔操作による被ばく低減等も期待され、廃炉現場への適用をはじめ、福島事故収束、国土保全のための老朽社会産業インフラの解体など様々な応用への有望な選択肢となりうるものと期待される。

謝辞

本技術開発の成果は福井県の助成のもと得られたものであり、関係機関各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] K. Tamura, R. Ishigami and R. Yamagishi, J. Nucl. Sci. Technol., 53, 916-920, 2016.
- [2] K. Tamura, and R. Yamagishi, Mech. Eng. J. 3, 15-00590, 2016.
- [3] K. Tamura and S. Toyama, J. Nucl. Sci. Technol., 54, 1011-1017, 2017.
- [4] K. Tamura and R. Yamagishi, J. Nucl. Sci. Technol., 54, 655-661, 2017.
- [5] 遠山 伸一、峰原 英介, デコミッションング技報, 56, 55-65, 2017.

*Koji Tamura^{1,2}, Shin'ichi Toyama², Haruhiko Kadowaki³, Ryoya Ishigami³, and Ryuichiro Yamagishi³

¹QST, ²JAEA, ³The Wakasa wan Energy Research Center.