

Supported by  日本 THE NIPPON
財団 FOUNDATION

船舶建造高品質化・効率化技術の調査研究 (レーザ溶接実用化のための調査研究)

2013年度 成果報告書 (概要版)



九州大学

2014年3月

国立大学法人 九州大学

目次

1. はじめに	1
2. レーザ・アークハイブリッド溶接実証実験装置の設計製作	2
3. 実証実験	6
4. 継手評価試験	7
5. まとめ	8
謝辞	8

1. はじめに

世界経済の減速と船腹需給ギャップの拡大，さらに急激な為替相場の変動など，今後の世界における造船市場の競争は益々激化することが予想される．この状況において我が国造船業が振興造船国に対する国際競争力を維持，強化していくためには，さらなる建造効率の向上が命題である．

本研究では，日本船舶技術研究協会に設置された「船舶建造高品質化・効率化技術に関する調査研究委員会」における研究項目のうち，レーザ溶接技術の船舶建造工程への導入に関する，下記課題を実施した．

1) レーザ・アークハイブリッド溶接実証実験装置の設計・製作

レーザ・アークハイブリッド溶接の実用化に向けた課題抽出などを目的として，溶接長 5m の溶接を可能とする実証試験装置を設計・製作した．

2) レーザ・アークハイブリッド溶接継手の強度評価・検査方法の検討

船舶建造工程にレーザ・アークハイブリッド溶接を導入するには，船級による溶接施工承認の取得が必要不可欠であり，このためには同継手に対する強度評価・検査手法の確立が必要不可欠である．そこで，船技協委員会において討議された溶接施工承認取得試験案に沿って，種々の評価試験を行い，レーザ・アークハイブリッド溶接の造船所における適用可能性を確認した．

本報告書では，上記結果の概要を紹介する．

2. レーザ・アークハイブリッド溶接実証実験装置の設計製作

2.1 システムの構成

実証実験装置は 5m 長さの継手を溶接する必要があるため、装置の大きさを抑えるために 2012 年度船技協委員会にて使用したプロセス実験装置のように溶接トーチが固定で継手が走行する形式ではなく、逆に継手は固定で溶接トーチが走行する形式を選択した。プロセス実験装置の一部を再利用し（ファイバレーザ発振器，アーク溶接装置，レーザトーチ，アークトーチ等），5m 長さの継手の溶接が可能になるように新たに架台や装置を設計製作した。また，レーザ光から目を保護するために装置全体を安全柵で囲ったが，一方の側に観測窓を設けて部外者でも実験の様子を見学できるように配慮した。システムの全体構成を図 2.1.1 に示す。

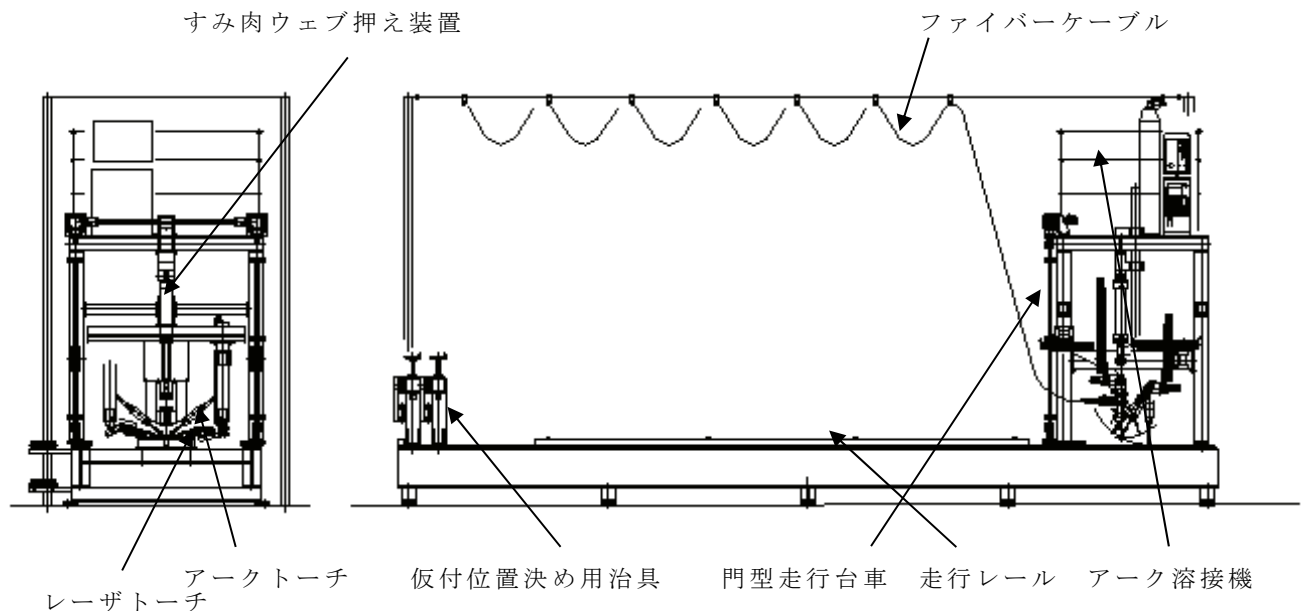


図2.1.1 実証試験装置の全体構成

2.2 システムの構成要素

(1) 実証試験装置の構成

1. プロセス実験装置再利用部:	一式
2. 20kW ファイバーレーザー発振器:	一式
3. レーザ溶接装置 (光学ヘッド):	一式
4. MIG 溶接機:	一式
5. 門型走行台車:	一式
6. 反転機構:	一式
7. 仮付け位置決め用治具:	一式
8. 隅肉ウェブ押さえ装置:	一式
9. トウアジャスタクランプ機構:	一式
10. ティーチング機構:	一式
11. 実験パラメータ制御システム:	一式
12. 電気制御盤 (操作盤含む):	一式

(2) 実証試験装置の仕様

1) プロセス実験装置再利用部

① アーク溶接装置関係

- ・ アーク溶接電源
- ・ 溶接トーチ
- ・ ワイヤ供給装置
- ・ 冷却装置

② レーザ溶接装置関係

- ・ レーザ発振機 (YS-20000-S2T 型)
- ・ レーザヘッド (独国 HIGHYAG 製 20KW 用)
- ・ QBH プロセスファイバー (コア径=0.30mm,長さ=20m)
- ・ 冷却装置 (オリオン社製, RKE18000A-V-IPG)

③ 溶接装置関係

- ・ 操作用パソコン, 操作リモコン, モニタ
- ・ レーザ溶接ヘッド, アーク溶接トーチの位置決め装置

2) 20kW ファイバーレーザー発振器

メーカー : I P G フォトニクス社製 (Y L S - 2 0 0 0 0 - S 2 T 型)

チャラー : オリオン社製 RKE18000A-VW-IPG

3) レーザ溶接装置 (光学ヘッド)

メーカー : HIGHYAG 社製 (型 式 : BIM090° ハイパワー仕様)

- 4) MIG 溶接機
メーカー：Fronius 社（TPS - 5000MV-R 型）
- 5) 門型走行台車
アークトーチとレーザヘッドの先端部軌跡精度：±0.5mm 以下
走行速度：
低速時：0.1m/min 以上 2.0m/min 以下，きざみ 0.1m/min，
高速時：2.0m/min 以上 5.0m/min 以下，きざみ 0.5m/min
- 6) 反転機構
隅肉溶接用時に片側の溶接を行った後に開始点に戻り，レーザヘッド及びアークトーチを反転することにより，両側からの溶接実験を可能とした．レーザヘッド及びアークトーチの位置は，予めプリセット位置に記憶させることにより，高精度で溶接位置の再現を可能とした．
- 7) 仮付け位置決め用治具
隅肉溶接の準備段階の仮止め溶接において，ウェブ上で全長 5m のフランジを溶接台の中心に位置させ仮止め溶接を可能とした．ハンドルを回すことにより左右から均等な距離で加圧ローラーがウェブを押さえることにより，ウェブの中心を示しながら垂直に保持する機構を有する．
- 8) 隅肉ウェブ押さえ装置
隅肉溶接において溶接後の変形を最小限に抑える課題の研究を行うために考案された機構で，最大 6 トンの圧力でフランジを押さえながら溶接を行える．
- 9) トゥアジャスタクランプ機構
突合わせ溶接の平板を固定させて密着させる事と隅肉溶接のウェブを固定する機構．すみ肉溶接時に，水平面より 10° の角度で照射されるレーザを妨げることなくワークを 1 個あたり最大 700kg の圧力で固定することが可能．
- 10) ティーチング機構
ワークの変形合わせてレーザの焦点を適切な位置に変更してティーチングを行い，実際の溶接ではティーチングポイントを結んだ線上をレーザ焦点が移動する．
- 11) 実験パラメータ制御システム
本ソフトを用いることにより，隅肉溶接及び突き合わせ溶接において，変化する溶接部のギャップに対応した適切な溶接条件を，レーザ発振機とアーク溶接機から呼び出すことが可能．

変更可能な項目

- レーザ発信機出力
- アーク溶接機の溶接電圧（アーク長）
- ワイヤ供給速度（溶接電流値）
- 上記を用いて
 - 溶接初期のアップスロープ
 - 溶接終了時のダウンスロープ

12) 電気制御盤（操作盤含む）

本装置は Windows7 を用い、指先でスクロールが可能なタッチスクリーンにゲームコントローラーを進化させた方式により、誰でも簡単にティーチングや溶接条件の変更を可能とした。装置各部の移動に際して、ティーチングボックスの操作では困難な微細な動きを、制御装置からインテュングの指令を出すことにより可能とした。移動の単位は 0.1mm, 0.01mm と切り替えが可能。

3. 実証実験

別途導出済みの適正溶接条件に沿って5m試験体の溶接施工を実施した。実証実験を通して得られた知見の要旨を以下に記す。

(1)T字継手，突合せ共通

- ・アーク切れのトラブルが多発したがこの原因の1つに溶接機電源内の基盤の故障が挙げられる。また，電流・電圧を計測しながらアーク切れのトラブルを再現した結果，アーク切れが生じている時，ワイヤと母材が短絡していることが確認された。
- ・実証実験ではティーチングに多大な時間を要した。実機適用を考える場合には，自動化を含む適切なティーチング方法の検討が必要と考えられる。

(2)T継手

- ・開先面がレーザー切断された材料であっても，実証実験装置の位置出し装置を用いて適宜，ウェブを加圧した状態で仮付けを行うことで溶接線全線にわたってギャップを0.05mm以下にコントロールすることが可能である。
- ・ウェブ抑え装置を使用せずに溶接施工を行うと，ウェブに横倒れ変形が生じる。この変形により，仮付けビードに割れ生じることが確認された。
- ・ウェブ抑え装置とウェブの間に生じる摩擦の振動がレーザーヘッドに伝わり，レーザーの狙い位置が振動するため，これに対する適切な対策が必要である。

(3)突合せ

- ・仮付けによるギャップの縮小の度合いにばらつきがあり，ギャップコントロールが困難である。
- ・実用化に向けて，0.2mm以下のギャップの溶接も含む，広範なギャップ，目違い状態に対する適正な溶接条件の確立が必要である。

4. 継手評価試験

一部の1m試験体については継手性能評価試験を実施し、さらに疲労試験（曲げ载荷を中心に、一部軸力载荷）を実施した。さらに5m試験体については、外観検査の結果として比較的良好と見なせた試験体について、非破壊検査（UT）を実施した。また、レーザ・アークハイブリッド溶接により生じる溶接変形について、入熱量との関係を調査した。得られた結果の要旨を以下に記す。

- 1) 疲労特性については、IIW 設計曲線 FAT80（荷重非伝達型の付加物継手、すみ肉溶接、溶接まま）及び JSSC 設計曲線（Class E：荷重非伝達型溶接継手、溶接まま）以上の性能を有することを確認した。ただし、仮付け部については評価対象外であること、並びに試験データ数が必ずしも十分でないことに注意が必要であり、仮付け部を含む多くのデータ収集が望まれる。
- 2) 5m 試験体における溶接施工では欠陥が多数検出されたが、前章で述べた技術的課題（装置化の工夫に関連するものが多い）を克服することで、健全な継手を製作できるものと期待される。
- 3) レーザ・アークハイブリッド溶接の際の変形が小さい原因は、従来のアーク溶接と比較して、最適溶接条件における入熱量が少ないことが理由であることを確認した。

5. まとめ

本研究では，日本船舶技術研究協会に設置された「船舶建造高品質化・効率化技術に関する調査研究委員会」における2013年度研究項目のうち，レーザ溶接技術の船舶建造工程への導入に関する課題を実施した．実施項目とその成果について簡潔にまとめる．

3) レーザ・アークハイブリッド溶接実証実験装置の設計・製作

レーザ・アークハイブリッド溶接の実用化に向けた課題抽出などを目的として，溶接長 5m の溶接を可能とする実証試験装置を設計・製作した．製作した実証試験装置により，溶接長 5m の溶接施工が可能であること，より長大な溶接長の施工を行うための装置において，具備すべき機構や本実証装置の機能として改良すべき項目などの抽出を達成した．

4) レーザ・アークハイブリッド溶接継手の強度評価・検査方法の検討

船技協委員会において討議された溶接施工承認取得試験案に沿って，曲げ疲労試験を中心とする種々の評価試験を行い，レーザ・アークハイブリッド溶接継手が十分な疲労強度を有することを確認した．また，5m 溶接試験体の非破壊検査を実施し，溶接欠陥低減対策として，T継手ではスティフナ押さえ機構の改良が必要であること，T継手・突合せ継手の両方で，適切な仮付け方策の更なる検討が必要であることを確認した．

今回実施した一連の調査研究結果より，レーザ・アークハイブリッド溶接の船体建造工程への導入可能性について概ね確認できたと思われるが，押さえ機構改善など装置化の問題が残されていることも確認できた．レーザ・アークハイブリッド溶接導入による溶接変形抑制，深溶け込みの実現など，構造強度面からの有益性を享受するために，装置の改善に関する研究を強力に推進することを提言したい．

謝辞

本研究は日本財団より研究助成を頂くことではじめて実施できたものであり，同財団に対し厚く御礼申し上げます．また，研究推進に際しては，（一財）日本船舶技術研究協会から多方面に渡りサポートを頂きました．