

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「世界最大出力レーザーによる次世代重電産業での超厚板溶接技術開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター

目次

第1章 研究開発の概要	2
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-1-1 研究の背景・目的	2
1-1-2 研究目標と結果	2
1-2 研究体制	3
1-2-1 研究組織・管理体制	3
1-2-2 研究者氏名	5
1-3 成果概要	6
【1】 レーザ溶接用気流制御技術の開発	6
【2】 大出力ビームプロファイル測定技術の開発	6
【3】 ビームプロファイルと溶接面の相関性解明	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
【1】 レーザ溶接用気流制御技術の開発	8
【1-1】 最適な溶接環境の検討	8
【1-2】 板厚 90 mm 2 パス溶接評価試験	8
【1-3】 低真空環境下でのレーザ溶接評価試験	9
【2】 大出力ビームプロファイル測定技術の開発	13
【3】 ビームプロファイルと溶接面の相関性解明	13
【3-1】 大出力対応レーザ照射機能の利用計算例	13
最終章 全体総括	16
複数年の研究開発成果	16
研究開発後の課題・事業化展開	18

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究の背景・目的

重電産業の超厚板溶接では国際競争の中、生産の効率化が命題となっており大出力レーザーによる「超厚板高速自動溶接」が望まれている。しかし、超厚板レーザー溶接において発生する膨大なヒューム、プラズマにより、溶込みが不足して溶接不良部が形成するのが課題である。

本計画は、平成25年度～平成27年度の3年間で、従来技術（工法：狭開先TIG溶接、開先面積：980 mm²、溶接回数：30回、溶接速度：10 cm/分）を大きく凌駕する新技術（工法：開先不要レーザー溶接、開先面積：0 mm²、溶接回数：2回、溶接速度：20 cm/分）を適用することで課題を克服し、次世代重電産業での超厚板溶接技術を開発する。

1-1-2 研究目標と結果

本提案は、溶接現象を解明しつつレーザービームを最適化し、ビームプロファイルの監視、溶接点近傍の気流制御技術の開発などにより、超厚板材料に対して、省エネと高品質な高速溶接を実現するものである。新技術は、従来技術に比べて溶接速度を30倍以上に高速化し、総エネルギー消費量を60%以上削減し、総合工程を30%以上削減することを目指した。その結果、溶接速度171倍、総エネルギー消費量を37%削減し、総合工程率30%削減を達成した。

新技術適用に伴い、ヒューム・スパッタ・プラズマ等がレーザービームを障害し、集光光学部品の熱影響によりビームが不安定化し、大出力に適用するレーザー計測機器が不足している点に起因する溶接部位の品質保証ができないという課題を克服するため、レーザー溶接用気流制御技術の開発、大出力ビームプロファイル測定技術の開発及びビームプロファイルと溶接面の相関性の開発を実施した結果、高効率な統合型加工ヘッドの実現、焦点位置の可視化、そして大出力レーザー溶接用シミュレーション手法の開発を達成した。

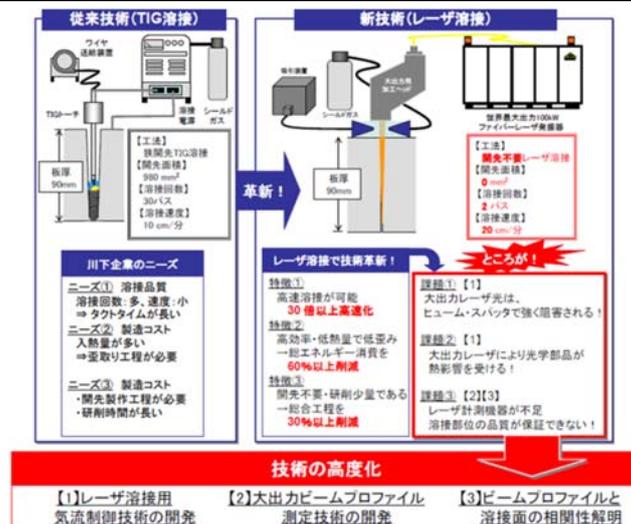
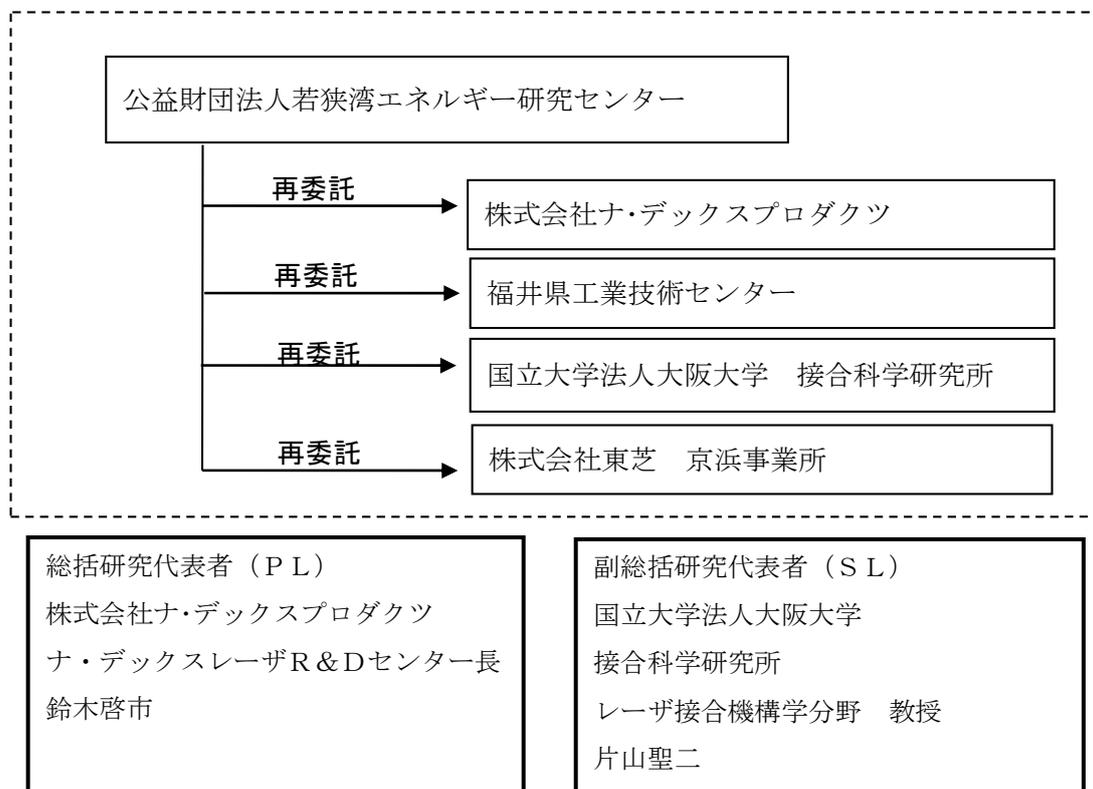


図1 従来技術と新技術、課題技術の高度化

1-2 研究体制

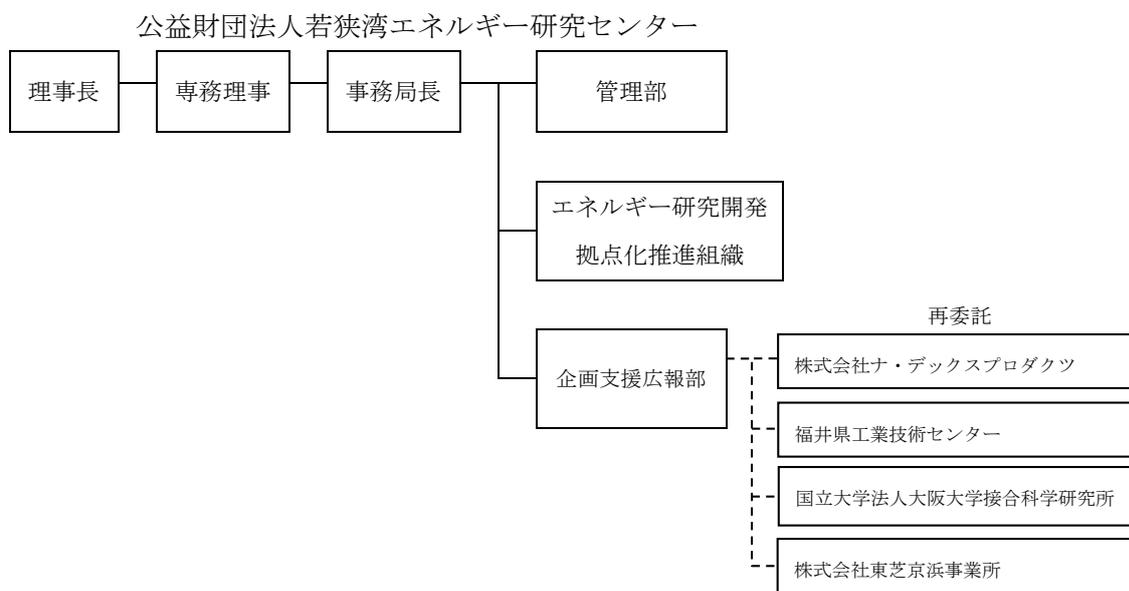
1-2-1 研究組織・管理体制

(1) 研究組織 (全体)



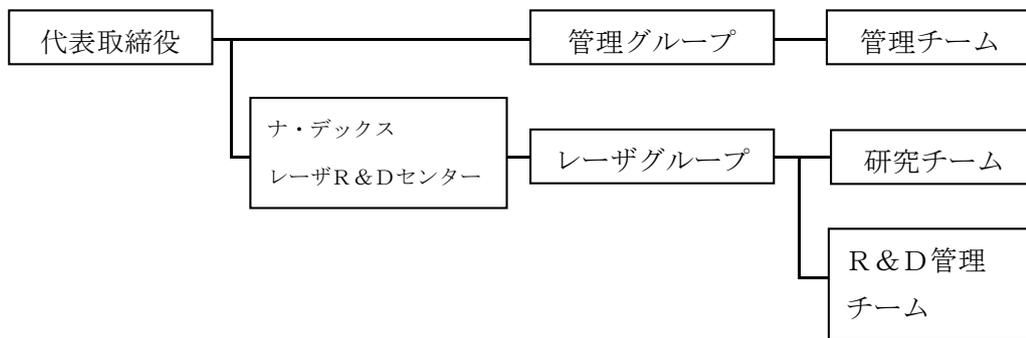
(2) 管理体制

(ア) 事業管理機関

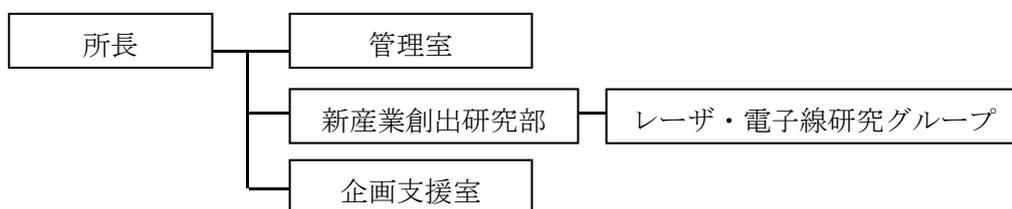


(イ) 再委託先

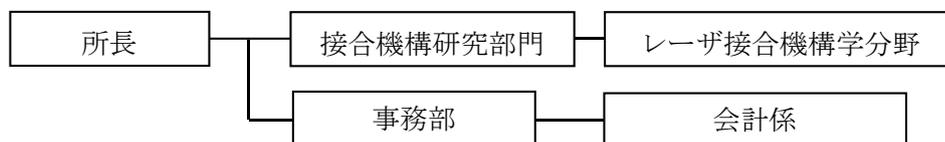
株式会社ナ・デックスプロダクツ



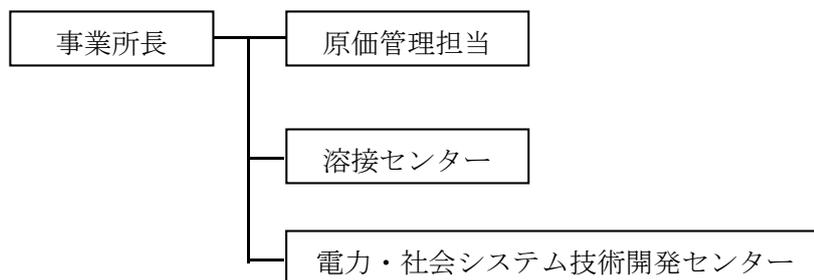
福井県工業技術センター



国立大学法人大阪大学 接合科学研究所



株式会社東芝 京浜事業所



1-2-2 研究者氏名

(1) 事業管理機関

公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター

氏名	所属・役職
谷平正典	エネルギー研究開発拠点化推進組織 技術活用コーディネータ
中村 暁	企画支援広報部 主任

(2) 再委託先

株式会社ナ・デックスプロダクツ

氏名	所属・役職
鈴木 啓市	ナ・デックスレーザR&Dセンター長
伊藤 晋吾	レーザグループ 研究チーム セクションリーダー
芦田 洋三	レーザグループ 研究チーム
住森 大地	レーザグループ 研究チーム
水谷 春樹	レーザグループ 研究チーム
亀井 直光	レーザグループ R&D管理チーム チームリーダー

福井県工業技術センター

氏名	所属・役職
芦原 将彰	新産業創出研究部 レーザ・電子線研究グループ 研究員

国立大学法人大阪大学 接合科学研究所

氏名	所属・役職
片山 聖二	接合科学研究所 接合機構研究部門 レーザ接合機構学分野 教授
川人 洋介	接合科学研究所 接合機構研究部門 レーザ接合機構分野 准教授
水谷 正海	接合科学研究所 技官

株式会社東芝 京浜事業所

氏名	所属・役職
牧野 吉延	京浜事業所 参事
大槻 政彦	溶接センター センター長
仲村 晋一郎	溶接センター
河野 涉	電力・社会システム技術開発センター 主幹

(4) アドバイザー

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 レーザー共同研究所長 大道 博行
 国立大学法人 広島大学 教授 篠崎 賢二
 国立大学法人 福井大学 教授 大津 雅亮

1-3 成果概要

【1】レーザ溶接用気流制御技術の開発

成果	大気圧：板厚 90 mm・低真空：板厚 150 mm の達成
----	--------------------------------

気流制御方法について鋭意に試行錯誤した結果、溶融池周辺のシールドガス吹付けの新方式を採用した。その評価を行った結果、板厚 90 mm の突合せ溶接部を作製できた。しかし、溶接中の凝固割れが原因である溶接内部欠陥発生の課題は残った。

この課題を解決する方法について、まず内部欠陥の詳細を調査した上で研究実施機関にて協議し、雰囲気気圧を低真空にしたレーザ溶接法を適用した結果、内部欠陥が無い板厚 150 mm の突合せ溶接を実現し、超厚板での高品質レーザ溶接工法の可能性を見出した。

【2】大出力ビームプロファイル測定技術の開発

成果	ビーム形状の可視化
----	-----------

波長 1070 nm 帯の散乱光を可視化できるカメラの画像を取得・制御し、専用プログラムを作製してプロファイル表示ソフト開発を行った。数値化するためのソフトを開発し実験した結果、散乱光画像の取得に成功し、画像を連続で保存できる動画保存機能も実装しオフライン時での解析ができるようにした。

【3】ビームプロファイルと溶接面の相関性解明

成果	大出力レーザ照射機能実装による大出力加工現象の最適化
----	----------------------------

これまでの溶接シミュレーションにおいて、事業期間中に大出力レーザ溶接時に特徴的な深溶込み形状の再現は困難である課題を見出した。レーザ出力が最大平均出力 100 kW となると、被溶接部材に照射した際には多様で複雑な現象となり再現が困難と判明したため、最終的に現象論的な考え方も取り入れた新たなレーザ照射機能を開発し検討を行った結果、実験結果の溶込み形状に類似する結果となった。

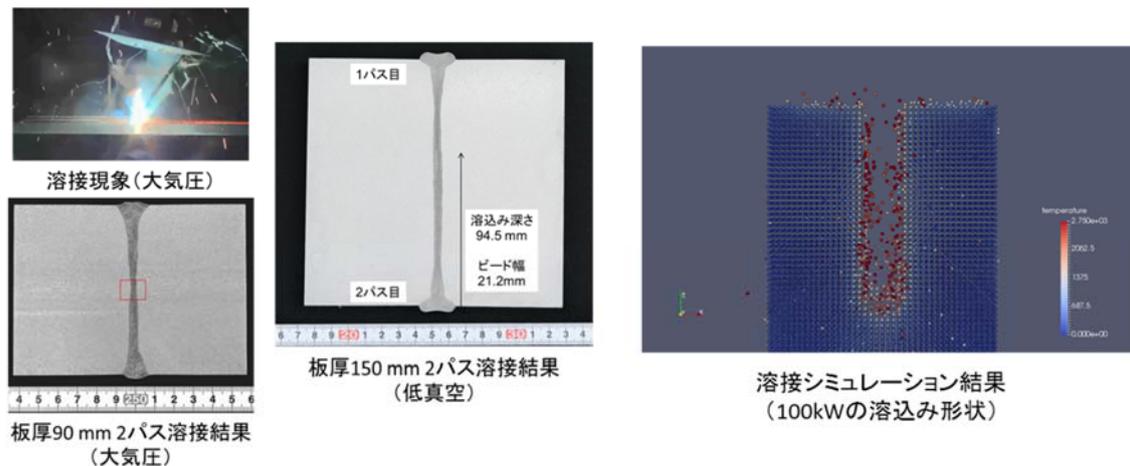


図 2 レーザ気流技術開発の成果 (左) と溶接シミュレーション結果 (右)

1-4 当該研究開発の連絡窓口

〒914-0192

福井県敦賀市長谷 64 号 52 番地 1

公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター

エネルギー研究開発拠点化推進組織 技術活用コーディネータ 谷平正典

企画支援広報部 主任 中村暁

TEL : 0770-24-2300 (代)

FAX : 0770-24-7275

Mail : werc@werc.or.jp

第2章 本論

【1】レーザ溶接用気流制御技術の開発

【1-1】最適な溶接環境の検討

事業期間内にて数種類の気流制御用ノズルの検証を重ね、最適なノズル構成を検討してきた。大抵の気流ノズルの構成では、大出力レーザ 100 kW を用いて溶接した場合、大量のプルームやプラズマの除去に大きく寄与しなかった。そこで、試行錯誤の結果、**図 3** に示すようにレーザ溶接中に形成されるキーホール口を拡大する方法として極細のガス吹付けノズルを用いた構成となった。そして、溶接後の酸化を防止するためにアフターシールドを用いた。

その他に、本事業で設計導入した統合型加工ヘッドは、反射ミラーをワンミラー型でコーティング素材を特殊素材に変更し、ミラー冷却水の水圧を用いて圧力を制御にすることで、従来の加工ヘッドよりも軽量で高効率であり焦点変動を最小化するシステムを開発した。これらの構成で最終目標板厚 90 mm の 2 パス完全貫通溶接部の評価試験を行った。

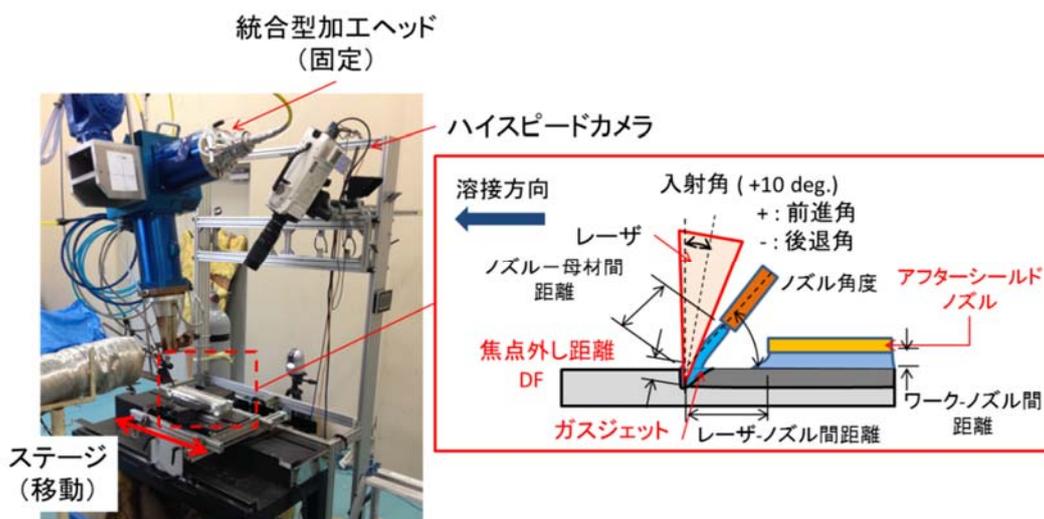
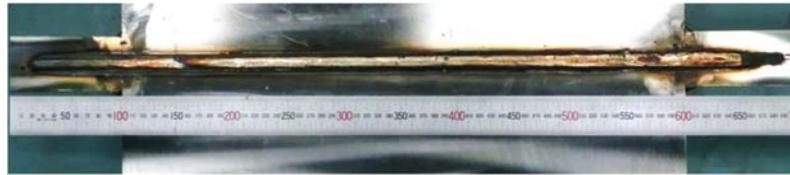


図 3 最適化した大出力レーザ溶接実験環境

【1-2】板厚 90 mm 2 パス溶接評価試験

前節での構成にて、レーザ溶接気流制御技術を検証するレーザ溶接評価試験を行った。**図 4** より、板厚 90 mm SUS304 材に対し、両面からレーザ溶接を施工し、I 形溶接開先部の全厚溶接を実現した。その継手に対し、アメリカ機械学会 (ASME: The American Society of Mechanical Engineers) が策定している、ASME ボイラ及び圧力容器基準の ASME Section IX (溶接、ろう付け及び融接の認定) を適用し評価した。

溶接試験体の寸法は、**図 4 a)** の形状から厚さ 90 mm・幅 300 mm・長さ 300 mm に切り出した。評価項目としては、表面ビード上での欠陥を確認するための浸透探傷試験 (PT: Penetrant Testing)、溶接内部欠陥有無を検出する放射線透過試験 (RT: Radiographic Testing)、引張試験、及び曲げ試験の 4 項目を実施したが、最終的に RT 試験が不合格だった。



a) 評価試験体の溶接後の表面状態



b) 評価試験体の溶接現象



c) 断面マクロ写真

【材質と溶接条件】	
材質: SUS 304 (突合せ溶接)	90 mm
レーザー出力	100 kW
溶接速度	1.14 m/min
【光学系構成】	
コリメーション: 集光=	500 mm:1,000 mm
(スポット径: 1 mm)	
【断面マクロ】	
溶込み深さ	53 mm (2パス)
【ビード表面】	
ビード幅 (表面部)	14 mm
ビード幅 (板厚中央部)	3.2 mm

図 4 板厚 90 mm 評価試験体による溶接試験

【1-3】低真空環境下でのレーザー溶接評価試験

前節の大気圧雰囲気下では、最終的に溶接欠陥が残る結果となった。この結果について研究実施機関と協議したところ、大阪大学接合科学研究所が開発している低真空雰囲気下で溶接する「低真空レーザー溶接」を適用すれば溶接欠陥が解消する可能性があったため、この技術を用いて再度レーザー評価試験を行った。

評価試験に用いた実験環境と実験条件を図 5 に示す。板厚 150 mm x 幅 300 mm x 長さ 330 mm (1 回の長さ 110 mm で合計 3 サンプル) の SUS304 の評価試験体を用いた。

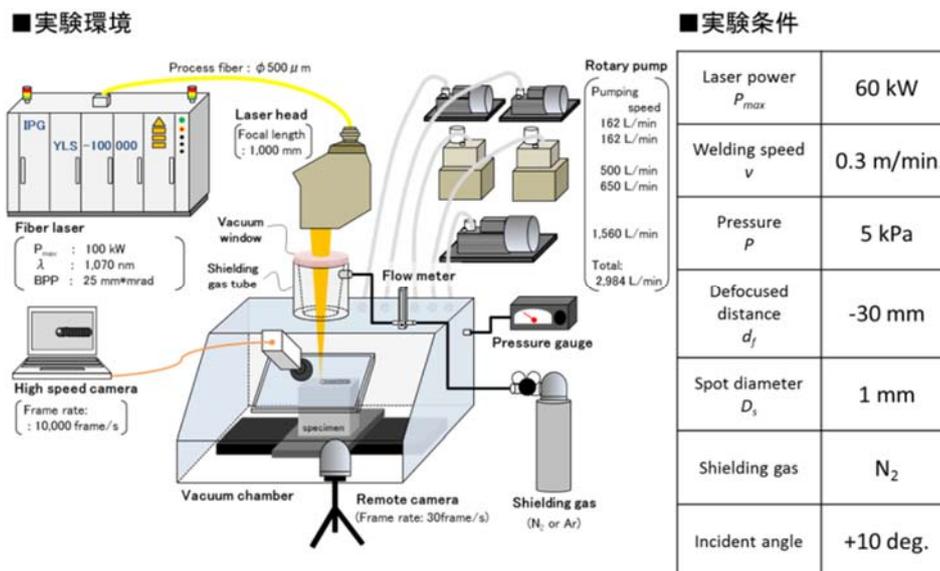


図 5 低真空環境下でのレーザー溶接環境

以上の環境で板厚 150 mm、SUS304 材に対し、両面からレーザ溶接を施工し I 型溶接開先部の全厚溶接を実現した。前節の大気圧環境下と同様に評価試験を行った。その結果を表 1 に示す。結論として、表 1 右欄の合否判定の通りすべての試験項目で合格であり、前節の大気圧環境下では RT 試験が不合格であったが、こちらでは合格となった。ビード外観（図 6）は大気圧環境での図 4 と比較すると非常に美麗であった。特に、図 7 の曲げ試験結果で、4 本中 4 本とも割れが確認されなかったことから高品質な深溶込みの溶接部が作成できたことが分かる。

表 1 低真空レーザ溶接による評価試験結果のまとめ

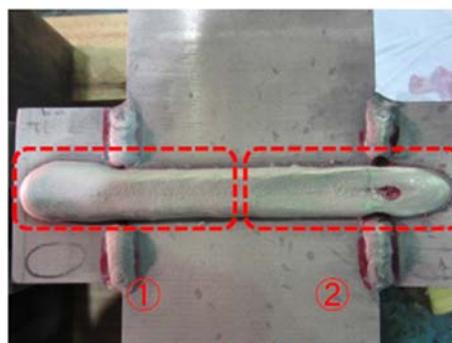
【加工条件】

Laser power: 60 kW, Welding speed: 0.3 m/min, Defocused distance: -30 mm,
Pressure 5 kPa, Incident angle: 10 deg., Shielding gas: Nitrogen, 2passes

試験項目	試験方法	判定基準	結果	合否判定
表面PT	Sec.IX QW-195.1	Sec.IX QW-195.2 有害な欠陥無き事	有意な欠陥 無し	合格
RT	Sec.IX QW-191.1.1	Sec.IX QW-191.1.2	有意な欠陥 無し	合格
引張試験	Sec.IX QW-152	母材ミルシートの Min.(規格値)引張 強さ以上	規格値以上で破 断	合格
曲げ試験	Sec.IX QW-162	Sec.IX QW-163 3mmを超える割れ が生じない事	割れ無し	合格



ビード外観



PT評価後



①拡大



②拡大

図 6 低真空レーザ溶接部表面の PT 試験結果（抜粋、全箇所合格）

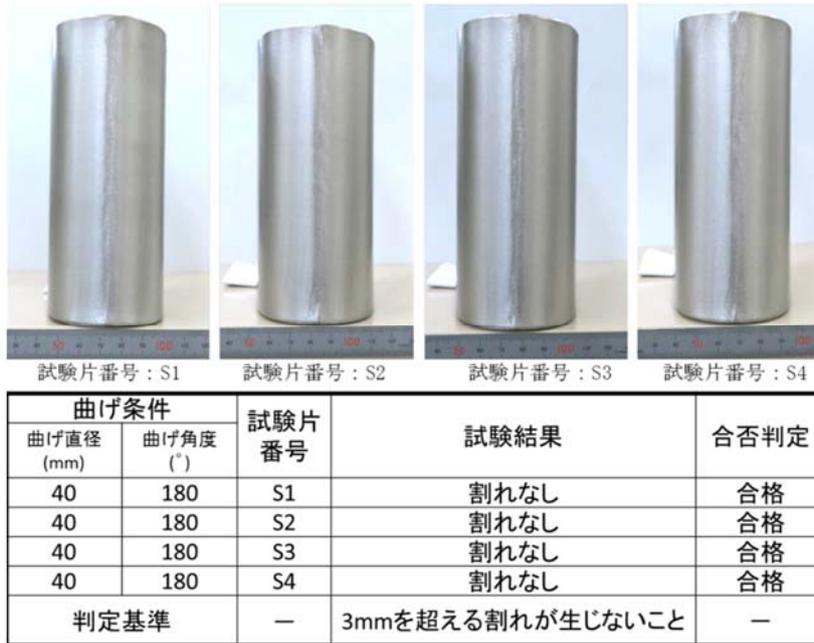


図 7 低真空レーザー溶接継手の曲げ試験結果

最後に、断面マクロの観察結果、断面ミクロの観察結果及びビッカース硬さ分布の測定結果をそれぞれ図 8、図 9 及び図 10 に示す。この条件では低速度溶接 (0.3 m/min) であるにも関わらず、ビード幅が広くならず (約 21 mm) 溶込みが深い (約 95 mm) という特徴的な結果であり、溶接金属部はオーステナイト (γ) 相中に数%のフェライトを含む凝固割れ感受性の低いミクロ組織を呈しており、溶接金属部の硬さも大きく変化していない。低真空下ではなぜ凝固割れが発生していないかは現在も研究中であり、今後も引き続き原因解明を行っていく。

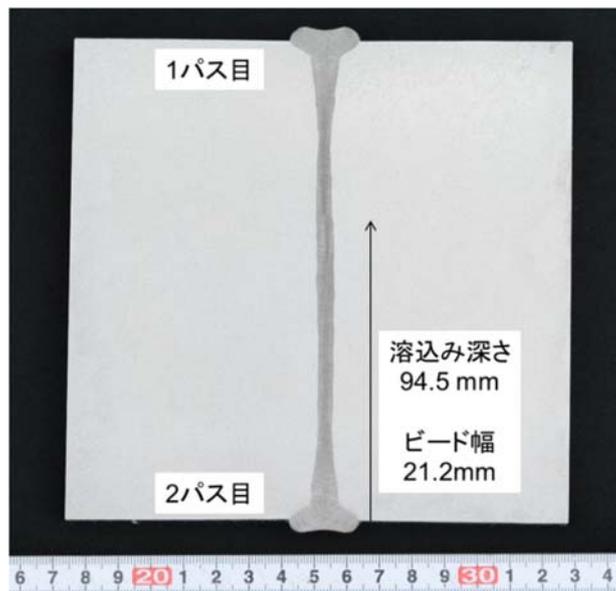


図 8 低真空レーザー溶接部の断面マクロ観察結果写真

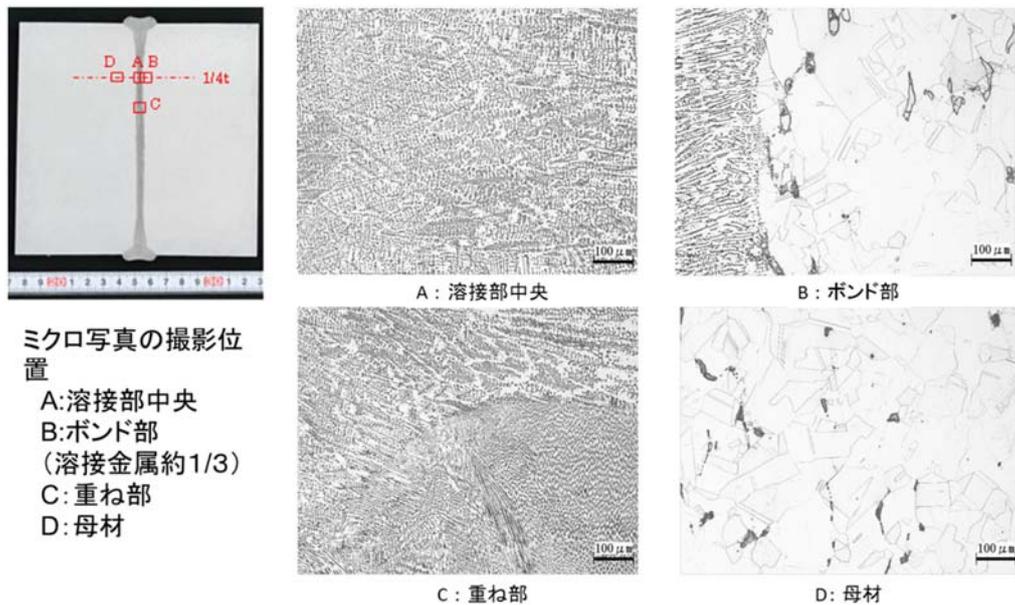


図 9 断面マイクロ観察結果

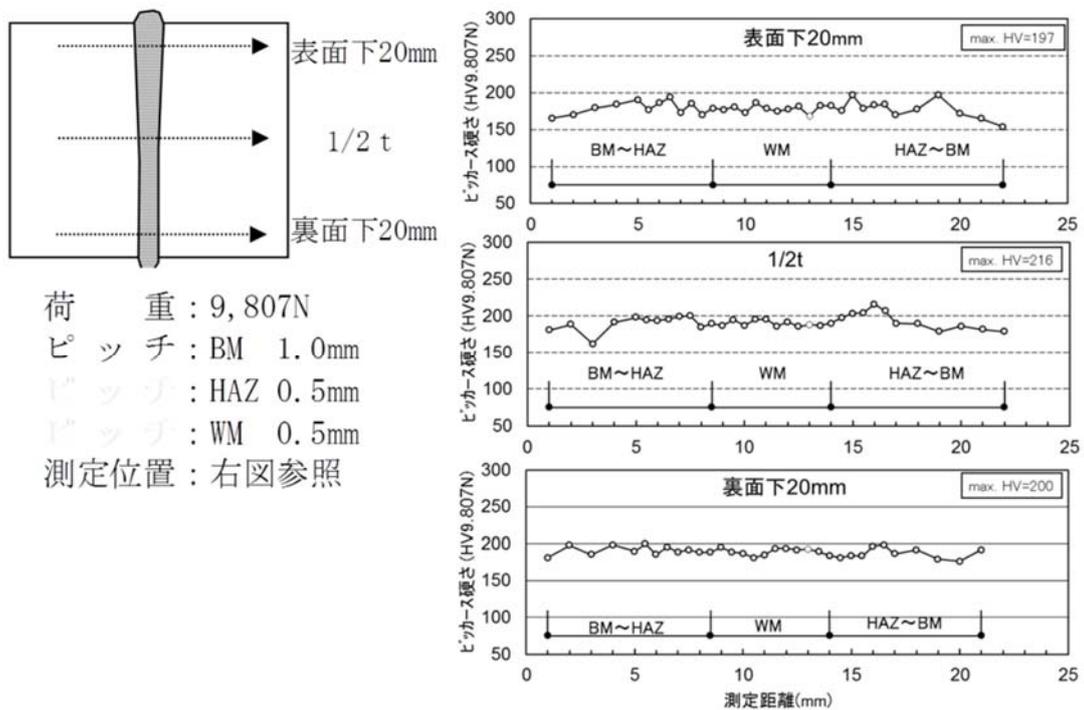


図 10 ビッカース硬さ分布の測定結果

以上より、本事業で目標とした想定板厚 90 mm よりも遥かに厚い 150 mm にて高品質な完全溶接を実現したわけだが、このような板厚では実際は大型構造物に適用されるものであり、チャンバーといった限定寸法では実用性が難しい。そこで、現在は加工点周辺を低真空下環境にするノズルの開発を行っており、引き続き実用性のある溶接工法を検討・開発中である。

【2】大出力ビームプロファイル測定技術の開発

大出力レーザでは直接焦点を確認することができないため、焦点付近の挙動を観測するために、観測用ガスを充填した上でそのガスによるレイリー散乱現象を利用したビームプロファイル測定装置の開発を行い、ビーム形状を数値化するためのプロファイル表示ソフトを開発し、実際にレーザ出力 100 kW の照射による評価を行った。

波長 1070 nm 帯の散乱光を可視化できるカメラの画像を取得・制御し、当社で専用プログラムを作製してプロファイル表示ソフト開発を行った。数値化するためのソフトを開発し実験した結果、散乱光画像の取得に成功し、画像を連続で保存できる動画保存機能も実装しオフライン時での解析ができるようにした。ただし、散乱光画像自体にノイズが含まれて画像処理が適切にできない条件もあるため、散乱光用のガス流路変更を行った。

以上より、ビーム形状の可視化までは実施できたが、今後は 100 kW レーザ照射時の焦点変動と可視化情報の相関を検証し、溶接品質との関連性について検討していく。

【3】ビームプロファイルと溶接面の相関性解明

本事業の溶接シミュレーションソフトは、MPS 法に基づく流体解析機能、多重反射を考慮したレーザ照射機能、金属の相変態を考慮した熱伝導解析機能を組み合わせてレーザ溶接現象をシミュレーションするものである。また、ビームプロファイルの追加変更、表面性状の設定、ビーム経路外乱の取り込み、スパッタの実現、プルームを取り入れるための要素技術検討を追加し相関性解明に必要な機能を盛り込んでいる。

ただし、レーザ出力が最大出力 100 kW となると、溶接部材に照射した際には多様で複雑な現象となり再現が困難と判明したため、大出力レーザ溶接照射機能を開発した。

【3-1】大出力対応レーザ照射機能の利用計算例

大出力対応レーザ照射機能を利用した計算例を以下に示す。溶接部材は SUS304 として、100 kW のレーザを照射した。主な計算条件を表 2 及び表 3 に示す。

表 2 計算条件

条件	設定値
溶接部材	SUS304
レーザ出力	100 kW
スポット径	φ 1mm
加工速度	3m/分

※実験結果の溶込み深さは 38 mm

表 3 SUS304 主要材料物性パラメータ

密度(kg/m ³)	7930
融点 (°C)	1453
沸点 (°C)	2750
比熱 (J/kg K)	449.4
融解熱 (J/kg)	271×10 ³
気化熱 (J/kg)	63×10 ⁵
屈折率	実部：3.6、虚部：5.0

初期粒子間隔を 0.35 mm、溶接部材サイズを 14×25×34 mm³とした場合の、溶接部材の温度分布（断面図）を、加工開始からの経過時間とともに図 11 に示す。照射開始直後から急速にキーホールが成長し、50 ms 後に約 15 mm、100 ms 後には約 20 mm の深さに達した。ただしその後はキーホール深さの変化は少なく、飽和しているように見受けられた。

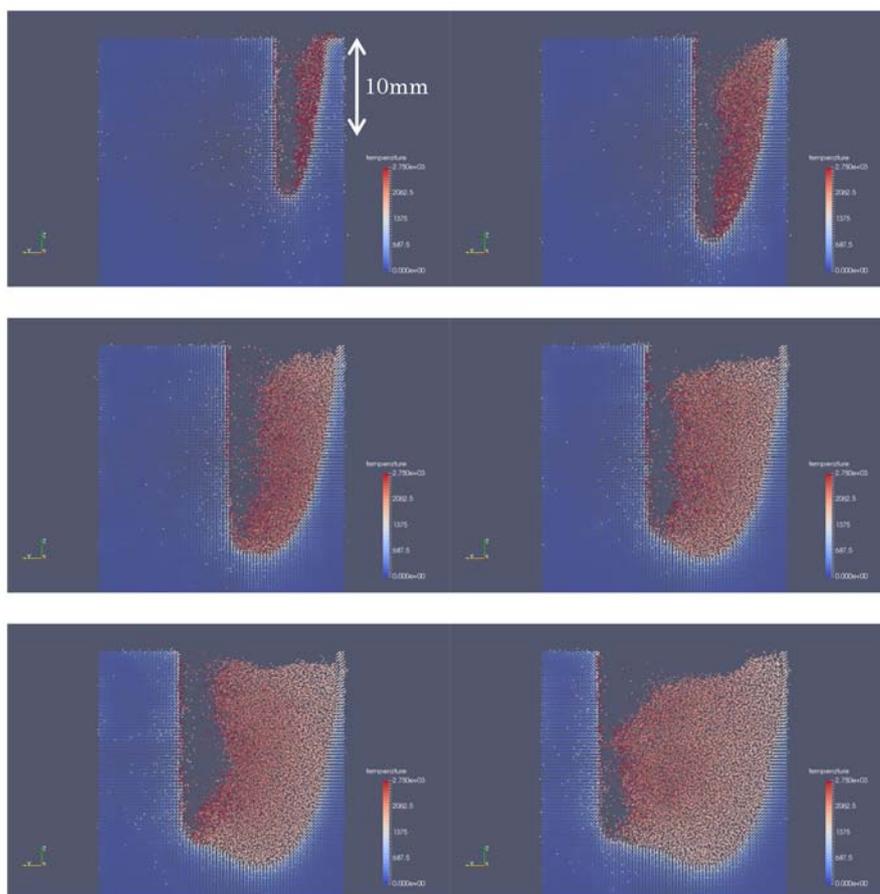


図 11 大出力対応レーザー照射機能を利用したレーザー溶接シミュレーション結果
 初期粒子間隔 0.35 mm、レーザー走査方向に沿った面でのスライス
 上段左：50 ms 上段右：100 ms 中段左 150 ms 下段右 200 ms
 下段左：250 ms 下段右：300 ms

レーザ走査方向から見た断面及びレーザ照射方向から見た断面をそれぞれ図 12 及び図 13 に示す。図 12 から、キーホール幅は 3 mm 程度であることが読み取れる。一方、図 13 からは、溶融池が図中水平方向に広がり続けている傾向が読み取れる。実験での溶融部分の幅（ビード幅）は 5.5 mm 程度であるのに対して、2 倍程度の広がりがある。その理由の一つとして、シミュレーションで用いている溶接部材の体積が小さく、また、部材端での放熱を考慮していないため、溶接部材に熱がたまり、温まりやすく、ひいては溶けやすくなっていることが考えられる。

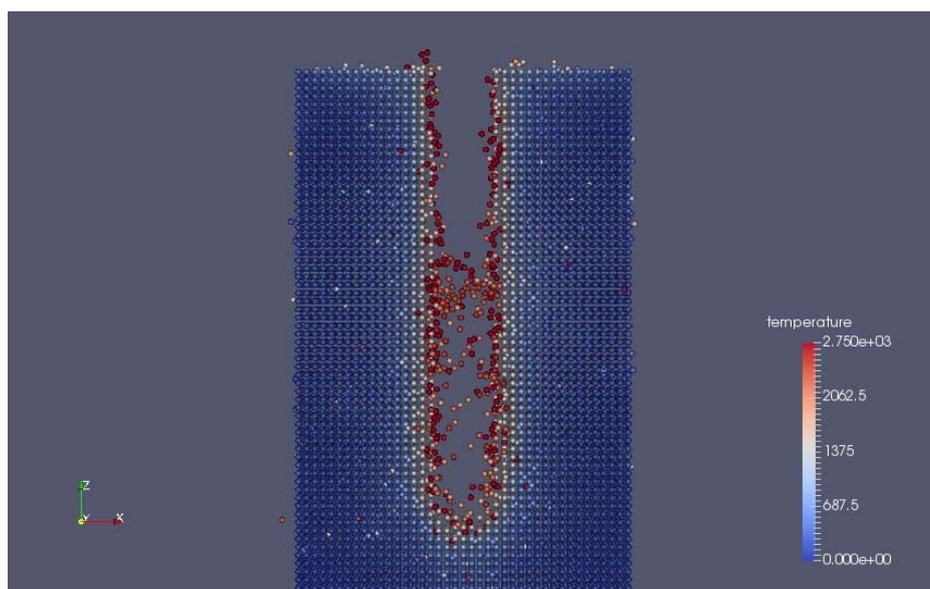


図 12 レーザ走査方向から見た断面図 (300 ms 経過後)
キーホール幅は約 3 mm である。

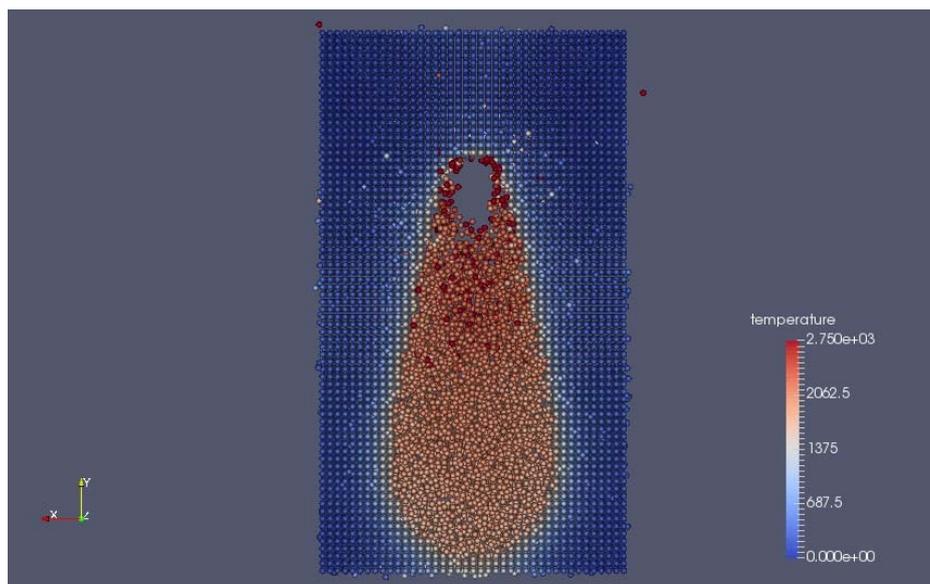


図 13 レーザ照射方向から見た断面図 (300 ms 経過後)

以上の結果から、100 kW といった大出力レーザー溶接では従来のアルゴリズムでは再現が困難だったが、大出力レーザー溶接機能を実施することで非常に深いキーホール形状が形成されることが確認された。ただし、図 11 より熔融池の流体が明確に確認されないことや余盛状態も再現が困難である箇所について、今後の課題が残った。より相関性の解明を進めるために、表面張力に及ぼす温度勾配の影響や前記の課題点も含めて研究開発を進めていく。

最終章 全体総括

複数年の研究開発成果

当該事業 3 年間を通じて、**技術的目標**とその結果をまとめて表 4 に示す。また、大気圧レーザー溶接については最終年度まで RT 試験に合格することは叶わなかったが、事業終了後も引き続き研究開発を進める必要があることが分かった。

また表 4 より、最終的には加工点に対して理想的な雰囲気制御を作り出す技術が今後必要になることが分かった。大気圧雰囲気の場合でも、ガス吹付け方法でより大きな溶接品質改善が確認できたので、今後は中厚板への適用や貫通溶接での欠陥形成の有無、そして非貫通溶接時の限界値を引き続き調査する必要があることが分かった。川下企業の生産現場にて実用可能な工法を引き続き研究開発していく。

表 4 技術的目標値の事業全体まとめ

年度	目標	結果		溶込み	品質
平成 25年度	70 mm厚 2パス	レーザー出力	100 kW	NG (不足)	NG (外観)
		溶接速度	3 m/min.		
		溶込み深さ	38 mm		
平成 26年度	80 mm厚 2パス	レーザー出力	100 kW	OK	PT:OK RT:NG
		溶接速度	1.25 m/min.		
		溶込み深さ	46 mm		
平成 27年度	90 mm厚 2パス	【大気圧】ガス吹付け		OK	PT:OK RT:NG
		レーザー出力	100 kW		
		溶接速度	1.14 m/min.		
		溶込み深さ	53.2 mm		
		【低真空】150 mm厚 達成		OK	PT:OK RT:OK
		レーザー出力	60 kW		
		溶接速度	0.3 m/min.		
圧力	5 kPa				
溶込み深さ	94.5 mm				

高度化目標に対する結果をまとめて表 5 に示す。なお、表 6 は試算根拠を示す。溶接速度比に関しては、大気圧でのレーザー溶接にて目標値 14%向上したが、溶接エネルギー消費増減率については、目標以上には達成しなかった。この達成しなかった要因としては、表 6 の目標項目のレーザー出力に示す通り、1 パス当たりの溶込み深さが想定よりも深くならなかったことが挙げられる（当初 100 kW で溶込み深さ 90 mm と想定）。

溶接速度を低下させると、溶込みの増加は可能ではあるがこれまで述べたように溶接品質悪化を引き起こすため、目標値以上の溶接速度に留まっている。しかし、今後の実用化を見据える場合には、消費エネルギー低減化も重要となるために目標値の条件でも高品質溶接が可能な工法を研究していく必要がある。

以上、技術的目標では各年度で目標達成し、高度化目標では主に消費エネルギー削減率が未達成という結果であった。今後、実用化に向けて課題で残った内容については引き続き改善方法を検討し目標達成できるよう研究開発を進めていく所存である。

表 5 高度化目標の達成結果

高度化目標値	従来	目標	大気圧	低真空
溶接速度比※1	1	150	171	45
溶接エネルギー消費増減率※2	0%	▲60%	▲37%	▲28%
工程削減率※3	0%	≥▲30%		
評価試験結果	溶込み能力 (板厚90mmを全厚溶接能力)		○	○
	溶接品質 (PT・RT・引張&側曲げ試験)		△	○

備考:

※1・・・従来技術を1として目標や成果の速度比

※2・・・溶接時に消費したエネルギー変換効率のみであり、レーザー発振器の変換効率は35%と設定した

※3・・・従来工法では開先あり(開先面積980 mm²)、提案工法では開先なし

開先製作の工程削減によって川下企業が試算を導出した

表 6 高度化目標の試算詳細

	従来		目標		大気圧		低真空	
工法	TIG溶接		2パス完全溶接		2パス完全溶接 <大気圧>		1パス完全溶接 <低真空>※1	
加工条件	アーク出力 P_{TIG} [kW]※2	2.64	レーザー出力 P_G [kW]	100 10※3	レーザー出力 P_A [kW]	100	レーザー出力 P_B [kW]	100
	溶接速度 $W_{S_{TIG}}$ [cm/min.]	10	溶接速度 W_{S_G} [cm/min.]	100	溶接速度 W_{S_A} [cm/min.]	114	溶接速度 W_{S_B} [cm/min.]	30
	溶接回数 N_{TIG} [times]	30	溶接回数 N_G [times]	2	溶接回数 N_A [times]	2	溶接回数 N_B [times]	1
溶接速度比 [1]	1		150		171		45	
溶接エネルギー消費量※4 [kJ/cm]	$\frac{W_{S_{TIG}}}{N_{TIG}} \div \frac{W_{S_{TIG}}}{N_{TIG}}$		$\frac{W_{S_G}}{N_G} \div \frac{W_{S_{TIG}}}{N_{TIG}}$		$\frac{W_{S_A}}{N_A} \div \frac{W_{S_{TIG}}}{N_{TIG}}$		$\frac{W_{S_B}}{N_B} \div \frac{W_{S_{TIG}}}{N_{TIG}}$	
	475		189		301		343	
	$\frac{P_{TIG} \times N_{TIG} \times 60}{W_{S_{TIG}}}$		$\frac{(P_{G1}+P_{G2}) \times 60}{W_{S_G} \times \varepsilon}$		$\frac{P_A \times N_A \times 60}{W_{S_A} \times \varepsilon}$		$\frac{P_B \times N_B \times 60}{W_{S_B} \times \varepsilon}$	

備考:

※1・・・ターゲット板厚90 mm に対して1回の溶接で完全溶接が可能なため1パスと設定

※2・・・ P_{TIG} [kW] = I_{TIG} [A] × V_{TIG} [V] ÷ 1000と定義した。

I_{TIG} : アーク電流、 V_{TIG} : アーク電圧であり、数値は川下企業の溶接条件(秘匿)を設定

※3・・・2回目の溶接時は10 kW に設定した。

※4・・・レーザー発振器のエネルギー変換効率を $\varepsilon = 0.35$ で統一した。

研究開発後の課題・事業化展開

本事業では 100 kW レーザ発振器を用いた研究開発を行ったが、高品質溶接を実現するには最終的には凝固割れの発生が課題となった。それを解決する方法の一つとして、低真空環境下でのレーザ溶接があることが分かった。しかし、現工法ではワークが限定化され、ターゲットとする大型構造物では実用性が困難である。そこで、加工点を低真空環境に作り出すノズルの開発が今後の課題となる。

以上のような課題がありながらも、本事業での成果は図 14 の通り多くの分野で適用できる可能性がある。特に重工業分野である造船やプラントでは現状考えられる対象品では、以下の通りである。

- 熱交換器内の給水加熱器は、最大 60 mm 厚さの圧力容器であるが、片側からの突合せ溶接が見込め、レーザは魅力的な工法となる。
- 水力発電プラント内の水車ランナーは最大 90 mm 厚さの隅肉溶接を要求される。十分に効率アップが見込める工法対象である。
- ITER の TF コイルは日本以外に EU でも同様に 120 mm 厚の突合せ両面 2 パスという圧倒的技術となる。

その他、溶接以外の工法としてレーザ切断があり、本事業の成果と 100 kW ファイバーレーザ発振器で、原子炉の解体・廃炉にも弾みがつく可能性が高い。

以上より、今後も日本が世界一高密度エネルギー源で大出力レーザ加工技術の世界一を引き続き目指し、社会へ貢献できるように日々研究開発を進めていく所存である。

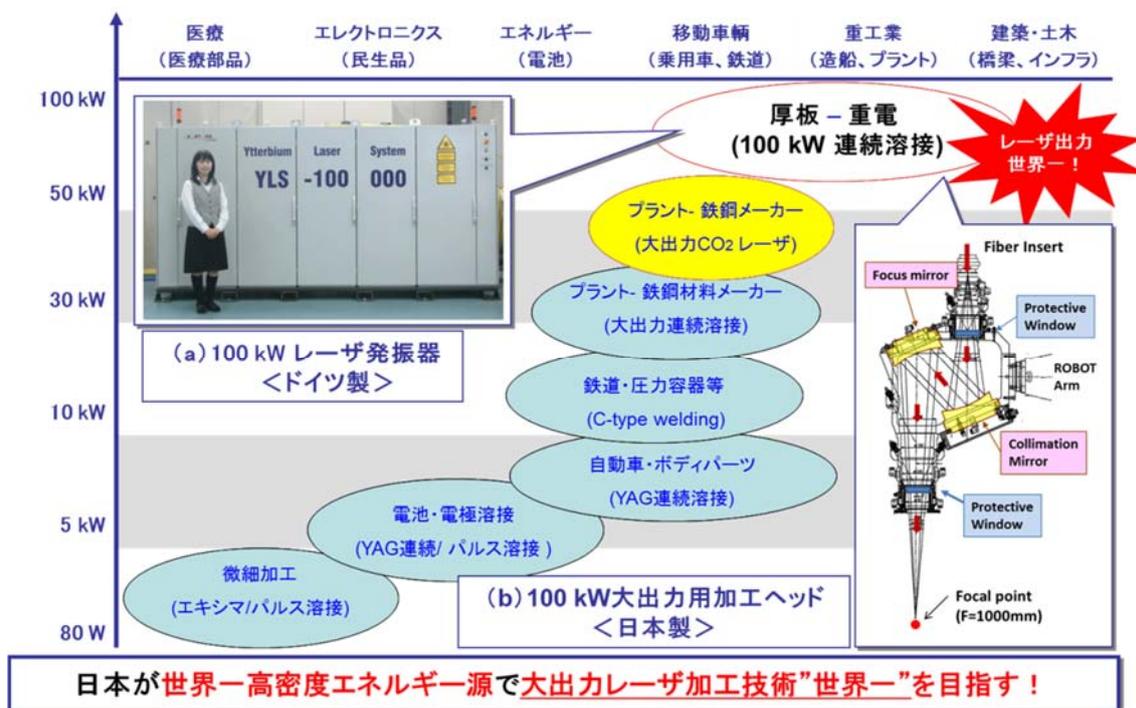


図 14 大出力レーザ分野の位置づけ