

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「温度場制御技術による薄板構造物の極低歪レーザー溶接方法の開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 関東経済産業局
委託先 JFE テクノリサーチ株式会社

目 次

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
1.2	研究体制	3
1.3	成果概要	6
1.4	当該プロジェクト連絡窓口	7
第2章	高出力・高品質シングルモードファイバーレーザー技術の確立	
2.1	シングルモードファイバーレーザー溶接装置の導入	8
2.2	高出力・高品質シングルモードファイバーレーザー技術の確立	10
第3章	低熱伝導薄板材料に対する極低歪ファイバーレーザー溶接技術の確立	
3.1	浸漬型光ファイバー温度計と熱電対による溶接部の温度測定	12
3.2	高精度赤外線カメラによる溶接部の温度測定	13
3.3	数値シミュレーションによる 極低歪ファイバーレーザー溶接技術の有用性に関する検討	14
3.4	ステンレス鋼のファイバーレーザー溶接部の歪測定とその挙動	15
3.5	溶接継手の評価	17
第4章	溶接シームトラッキング装置の開発	19
第5章	まとめ	20

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 研究背景

カーテンウォール用薄肉 H 形鋼に代表される建材用ステンレス形鋼（図 1）や、ジェットエンジンの燃焼室に使用されている高温燃焼ガスと常温空気分離壁（図 2）等に用いられている薄板低熱伝導度耐熱合金の製造に関しては、その製造コスト低減のために、溶接による製造が望まれていた。しかしながら、従来の MIG 溶接方法では、その入熱の大きさから、製品に必要とされている低歪が得られず、やむなく圧延（ステンレス形鋼）や溶接後の歪取り工程により対応していた。

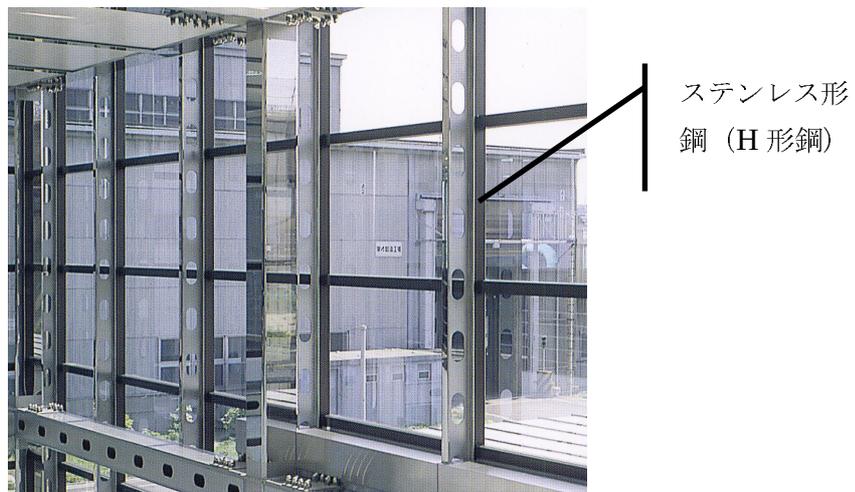


図 1 ステンレス形鋼を使用したカーテンウォールの例

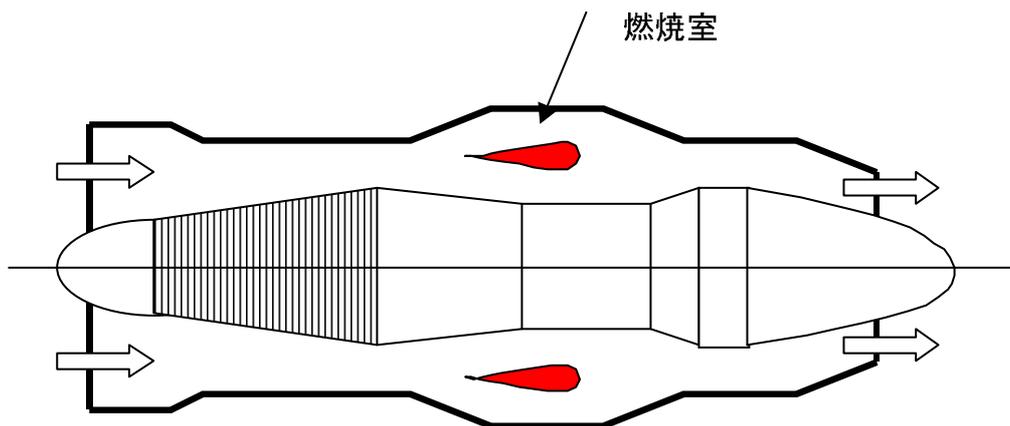


図 2 ジェットエンジンの概略構造例

一方、ステンレス形鋼の圧延による製造では、少量多品種の要求に応えることが非常に困難であり、また歪取り工程の必要性は大きなコスト上昇を要することになり、いず

れにしても最適とは言い難かった。

1.1.2 研究目的および目標

本研究開発の目的は、近年急速に開発が進んだ高出力ファイバーレーザー技術を採用し、さらに、そこに加熱・吸熱複合熱源を用いた温度場制御技術を適用・実用化することにより極低歪溶接技術を確立することである。これにより、組立ステンレス建材や航空機用 Ni 基耐熱合金等の高付加価値部材を効率的かつ安価に製造できる技術を確立する。

研究の目標は、ステンレス建材では縦方向歪を 3 mm/5 m 以下、角歪を 0.05 rad 以下に、ジェットエンジン用 Ni 基耐熱合金では円筒変形歪を 1 mm 以下に低減することにおく。

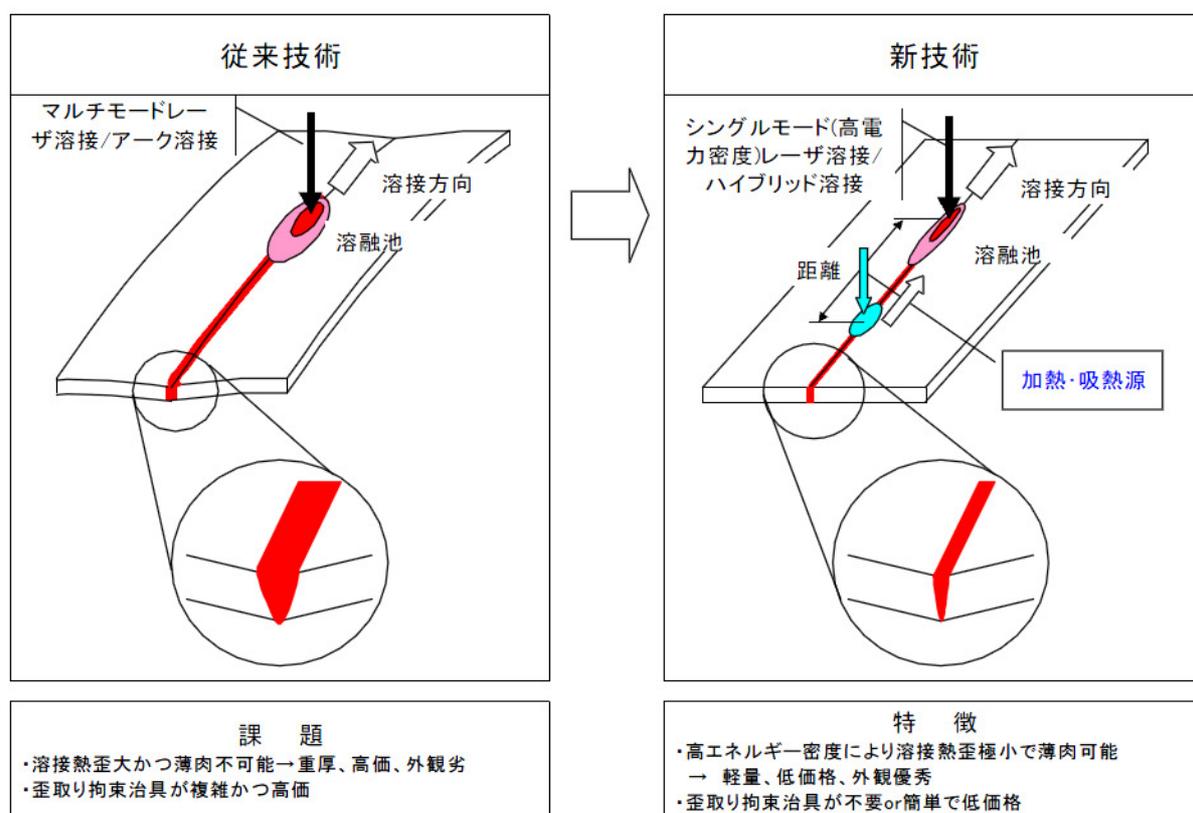
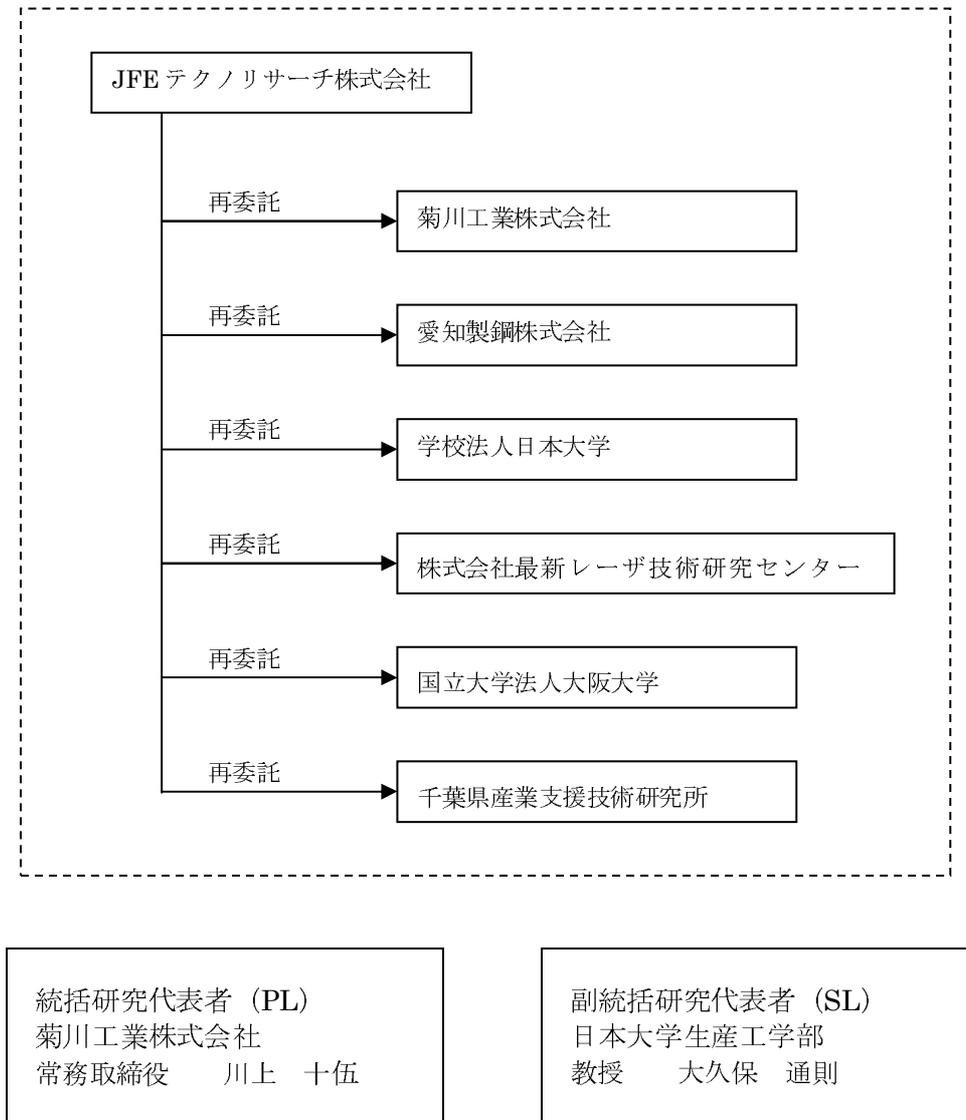


図 3 温度場制御技術による歪低減方法のイメージ

1.2 研究体制

1) 研究組織



2) 管理員及び研究員

【事業管理者】

JFE テクノリサーチ株式会社

(管理員)

大村 雅紀	常務取締役	技術情報事業部長
小川 厚	技術情報事業部	調査研究第二部 主査
田中 歳明	技術情報事業部	技術情報業務部長
中山 寿夫	技術情報事業部	技術情報業務部 主査
石黒 美穂	技術情報事業部	技術情報業務部 担当

植田 理砂 技術情報事業部 図書・情報センター京浜グループ 担当
佐々木美紀 技術情報事業部 図書・情報センター京浜グループ 担当

(研究員)

上野 泰弘 福山分析・材料事業部材料強度部 主査
塩原 照久 千葉分析・材料事業部材料強度部 主査
樺澤 真事 技術情報事業部 調査研究第三部 主幹
松山 隼也 営業本部 営業開発部 主査(部長) 工学博士

【再委託先】

菊川工業株式会社

川上 十伍 常務取締役 第二事業部長
椿 祐一 第二事業部 製造施工 課長
高松 良平 第二事業部 製造施工
高野 和子 第二事業部 製造施工
片岡 国博 第二事業部 製造施工 組立 リーダー
薄木恵美子 第二事業部 製造施工 組立
秋元 光司 第一事業部 製造 組立
前野 寛 生産管理事業部 機械課

愛知製鋼株式会社

相原 正明 特品事業部長

学校法人日本大学

大久保通則 生産工学部機械工学科 教授

株式会社最新レーザ技術研究センター

杓名 宗春 代表取締役
井上 裕喜 研究開発部 研究員

国立大学法人大阪大学

望月 正人 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授

千葉県産業支援技術研究所

大貫 幸男 ものづくり技術部長
土井 敏照 ものづくり技術部材料技術室 上席研究員
福島 清 ものづくり技術部材料技術室 上席研究員
長瀬 尚樹 ものづくり技術部材料技術室 研究員

岡村 成将 プロジェクト推進室 上席研究員

3) 開発推進委員会委員

川上 十伍 菊川工業株式会社 常務取締役第二事業部長 (プロジェクトリーダー)

大久保通則 学校法人日本大学 生産工学部 機械工学科 教授 (サブリーダー)

相原 正明 愛知製鋼株式会社 特品事業部長

沓名 宗春 株式会社最新レーザ技術研究センター 代表取締役

望月 正人 国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科

マテリアル生産科学専攻 教授

大貫 幸男 千葉県産業支援技術研究所 ものづくり技術部長

松山 隼也 JFE テクノリサーチ株式会社 営業本部営業開発部 主査

(アドバイザー)

榎本 正敏 社団法人軽金属溶接構造協会 専務理事

長谷川利之 財団法人千葉県産業振興センター

東葛テクノプラザ プロジェクトコーディネータ

西田 浩明 株式会社本田技術研究所 航空機エンジン開発センター 主任研究員

辻 正和 IPG フォトニクスジャパン株式会社 代表取締役

天野 公夫 プレシテック・ジャパン株式会社 代表取締役 営業技術部長

浦田 正男 株式会社開発支援 代表取締役

(オブザーバー)

小池 冬記 経済産業省関東経済産業局

産業部 製造産業課 ものづくり基板技術専門官

1.3 成果概要

1.3.1 高出力・高品質シングルモードファイバーレーザー技術の確立

最先端の 3 kW シングルモードレーザー溶接機、シームトラッキング装置、及び溶接現象を確認するための高速度カメラを導入し、操業技術、操作技術、評価技術を習得した。また、導入した装置は、安全性に最大限配慮した最適環境で溶接研究が行えるような状態に設置された。

1.3.2 低熱伝導薄板材料に対する極低歪ファイバーレーザー溶接技術の確立

- 1) ステンレス鋼 (SUS304) の最適溶接条件を見出し、各種試験に使用されるテストピースを作製した。
- 2) コンピュータシミュレーションの基礎データとするため、浸漬形光ファイバー温度計と熱電対を用いて溶接部および周囲熱影響部の温度を測定した。また、同様の目的で、高精度赤外線カメラを用いた被溶接物全体の温度分布とその時間的变化を測定した。
- 3) 熱解析技術の研究により、実際の溶接挙動を極めて精度良く予測できるシミュレーション技術を確立した。また、これを用いて複合熱源使用による低歪化技術の概略挙動を明らかにした。
- 4) 実際に溶接したテストピースの歪測定により、レーザー溶接による歪は TIG 溶接による歪の 1/10 程度であることを明らかにした。
- 5) 機械的特性 (引張試験、曲げ試験、堅さ試験、衝撃試験) の評価技術を確立し、溶接テストピースの特性を評価した。これにより最適レーザー出力範囲が出力 2 kW 近辺に存在すること、レーザー溶接により容易に低欠陥かつ高靱性を有する溶接ができていることを明らかにした。また、引張強度の点で今後の課題も明らかになった。
- 6) Ni 基耐熱合金 (Inconel 625、719、HX) のレーザー溶接試験を行った。

1.3.3 溶接シームトラッキング装置の開発

薄板溶接に最適な溶接シームトラッキング装置の比較調査研究を実施した。対象機種は以下の通り。

- 1) A 社製トラッキング装置
- 2) B 社製トラッキング装置

比較調査は以下の項目について行った。

- 1) V 開先 I 形継手のシーム検出確率
- 2) 無開先 I 形継手のシーム検出確率 (隙間有り/無し)
- 3) すみ肉 L 形継手のシーム検出確率
- 4) 光学的検出安定性

その結果、無開先 I 形継手の場合を除いて A 社装置が最もシーム検出確率が高く、また、光学的検討においても同社製装置により得られる画像が最も安定していた。また、光学的なノイズに対する対策も十分であることが明らかとなった。無開先 I 形継手の場合では、隙間有り/無しとも同じ結果であった。

これらの結果から、A 社製シームトラッキング装置を採用することに決定した。

1.4 プロジェクト連絡窓口

JFE テクノリサーチ株式会社

技術情報事業部 調査研究第二部 主査 小川 厚

電話 03-3510-3438、電子メール ogawa@jfe-tec.co.jp

(研究内容に関するお問い合わせ)

菊川工業株式会社

常務取締役 川上 十伍

電話 047-492-0141、電子メール t.kawakami@kikukawa.com

第2章 高出力・高品質シングルモードファイバーレーザー技術の確立

2.1 シングルモードファイバーレーザー溶接装置の導入

2.1.1 導入装置の構成と主要仕様

図4に導入したレーザー装置のシステム構成を、図5にそれら機器の作業場外観を、各々示す。

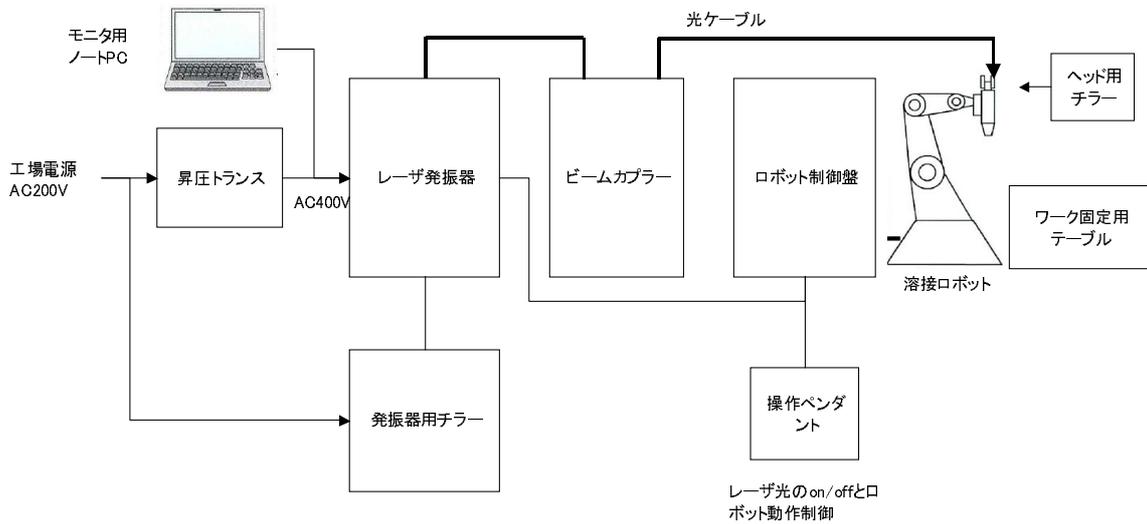


図4 レーザ溶接装置のシステム構成

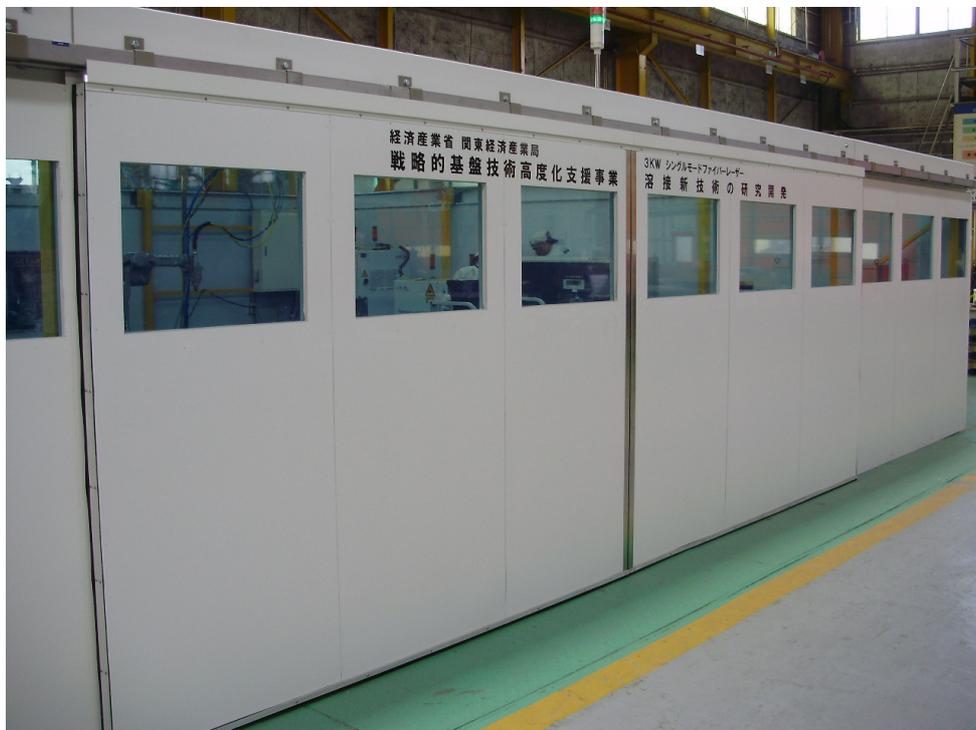


図5 作業上外観

2.1.2 装置の設置と作業安全性確保

レーザー溶接装置の設置に当たっては直接的被爆、及び間接的被爆を避けるために安全な遠隔制御装置と保護眼鏡等十分な安全措置を施した。

2.1.3 溶け込み深さとレーザー出力、溶接速度の関係の測定

最も基本的な特性である、溶け込み深さとレーザー出力、溶接速度の関係を測定した。

最大出力の 3 kW では溶け込み深さは 6 mm 以上と当初期待通りの性能を示した。

2.1.4 溶接歪測定用及び温度場制御実験用テストピースの作製

溶接歪測定用の 300 x 300 x 3t (SUS304)、入熱及び溶接部温度を測定するための 60 x 100 x 3t (SUS304) の 2 種類のテストピースを作製した。

更に、予備的なテストとして、レーザー溶接と TIG 溶接のテストピースの歪測定を実施した。レーザー溶接による歪は TIG 溶接による歪の数十分の一であり、最適化されたファイバーレーザー溶接の低歪性が実証された。

2.1.5 機械強度評価用テストピースの作製

JIS に従った機械的特性評価用のテストピースを作製した。図 6には引張試験用テストピース外形の例を示す。

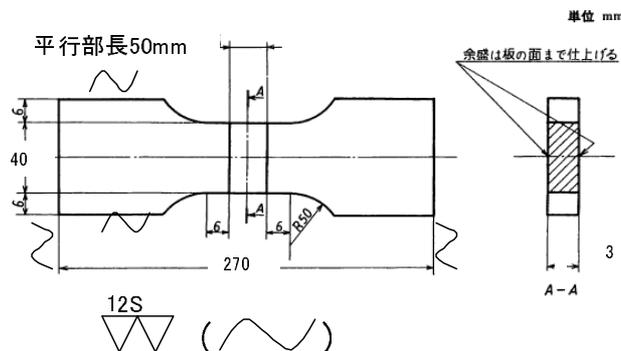


図 6 引張試験用テストピース

2.1.6 Ni 基耐熱合金の溶接試験

航空機ジェットエンジン用材料として予定されている Ni 基耐熱合金板のレーザー溶接試験を行った。実験結果では、ステンレス鋼 (SUS304) との溶接性との差は感じられず、また変形もステンレス鋼と比べて特に大きいということは無かった。

2.1.7 溶接性の簡易機械的強度評価試行

機械的強度の予備的な評価として、I 型継手溶接テストピースを継手部で 90 度曲げ変形させて溶接部に異常が生じるかどうかを調べてみた。結果を図 7に示すが、全体的に健全な継手を構成できることが実証できた。



図 7 溶接後 90 度曲げした I 型継手

2.2 高出力・高品質シングルモードファイバーレーザー技術の確立

2.2.1 基本システムの導入

最適導入システムの基本的検討を行った。図 8 に当初検討に用いた基本レーザーシステムの概略を示す。この検討を基に導入レーザーシステムの詳細仕様を決定した。

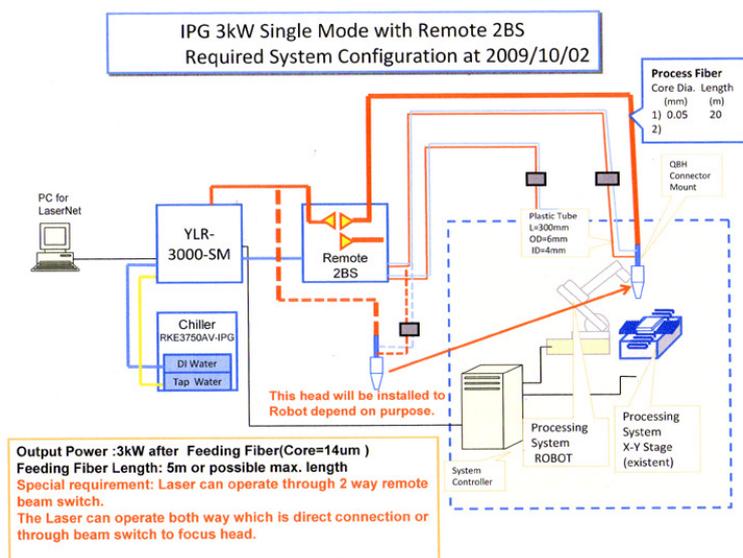


図 8 基本レーザー溶接システムの概略図

また、最適溶接条件確立の一環として高速度カメラによる溶接プラズマ挙動の測定を行った。図 9 にその 1 例を示す。非常にプラズマが細く、板表面から上方に生じている。プラズマが左右に振れてもいることから、高エネルギービーム溶接時に生じた金属プラズマが主と思われる。アルゴンシールドしているので、アルゴンのガスプラズマもわずかに生じていると思われる。

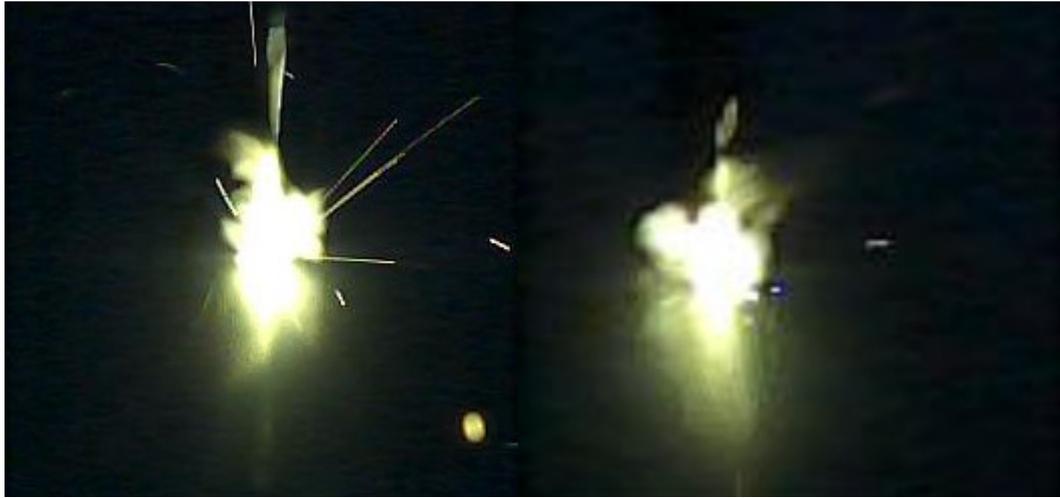


図 9 レーザ溶接時のプラズマの発生状況

2.2.2 ハイブリッド（溶接）技術確立

基本的技術確立のため、ここ5年間のレーザー・アークハイブリッド溶接に関する技術を調査した。

第3章 低熱伝導薄板材料に対する極低歪ファイバーレーザー溶接技術の確立

3.1 浸漬型光ファイバー温度計と熱電対による溶接部の温度測定

3.1.1 研究目的

3.3 節で実施する数値シミュレーションの基礎データとするため、浸漬型光ファイバー温度計と熱電対を用いて、ファイバーレーザー溶接部の溶着金属部(DEPO)および熱影響部(HAZ)の温度履歴を測定した。

3.1.2 実験の状況と結果

実験の状況を図 10に示す。また、測定結果の一例を図 11に示す。図 11のとがっているピンク色の線が光ファイバーによる溶接部温度測定結果(右目盛り)であり、その他が熱電対による板各部の温度測定結果(左目盛り)である。

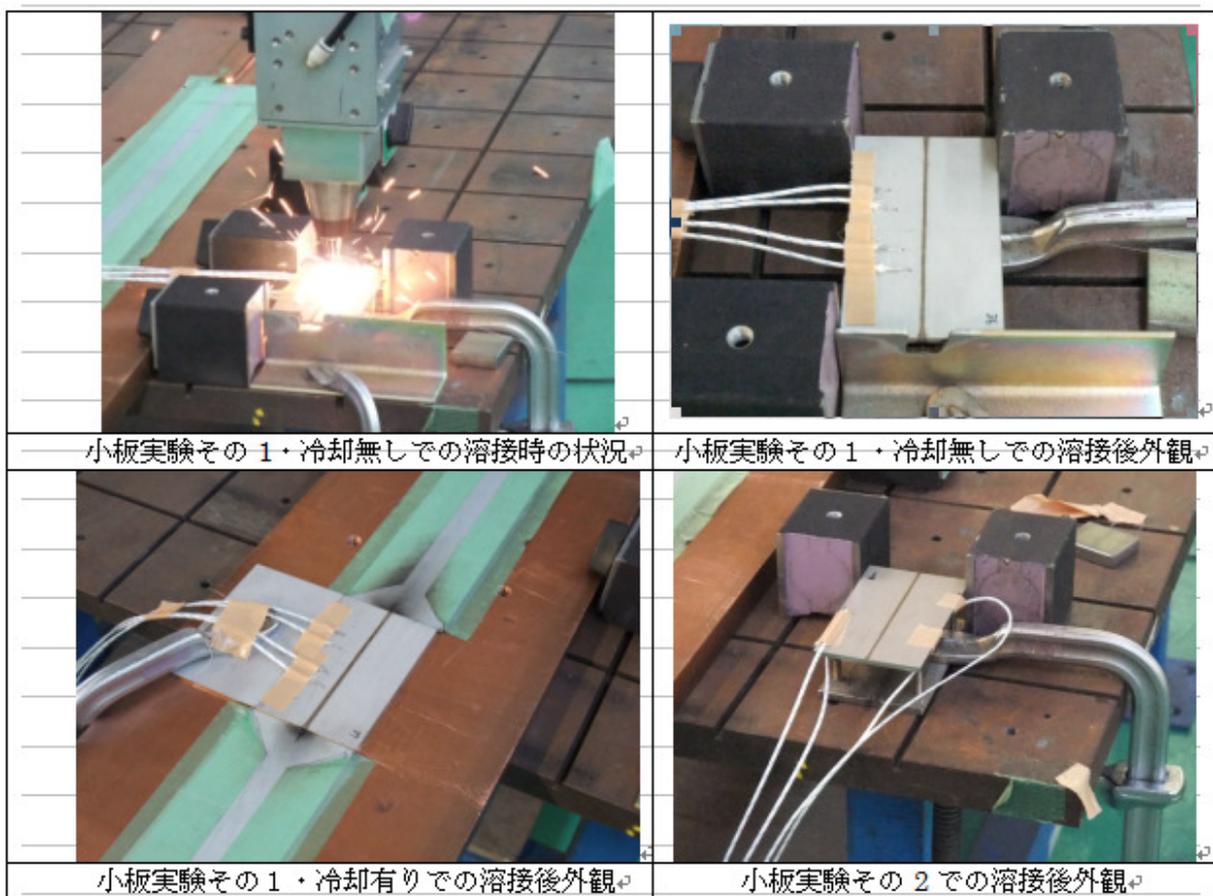


図 10 溶接時の状況

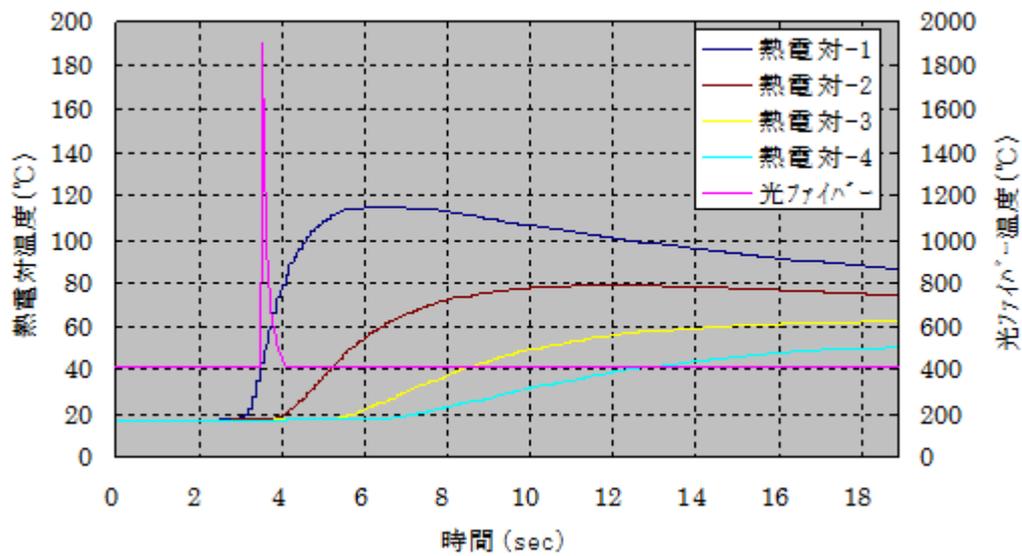


図 11 温度測定結果

3.2 高精度赤外線カメラによる溶接部の温度測定

3.2.1 研究目的

高精度赤外線カメラを用いて、ステンレス鋼へのファイバーレーザー溶接時の板表面温度を測定した。

3.2.2 実験の状況と結果

実験の状況を図 12に示す。また測定結果の一例を図 13に示す。図 13の真ん中付近にある丸い部分が溶接による溶融池である。

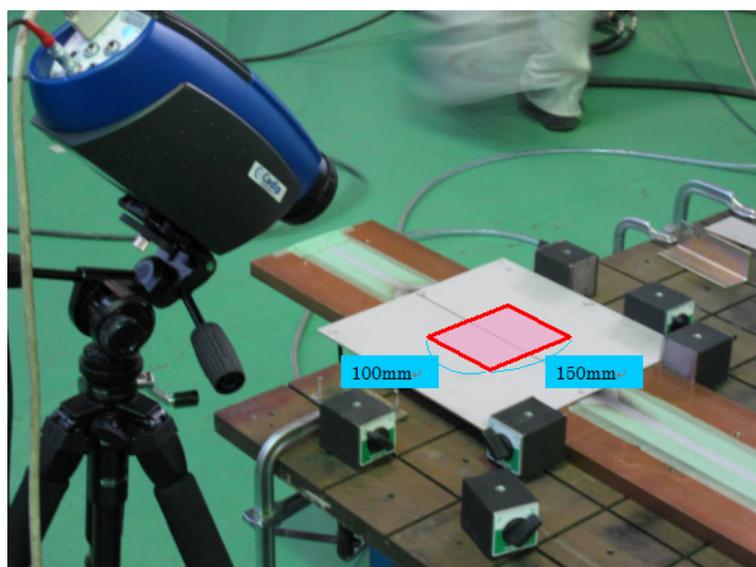


図 12 温度測定状況

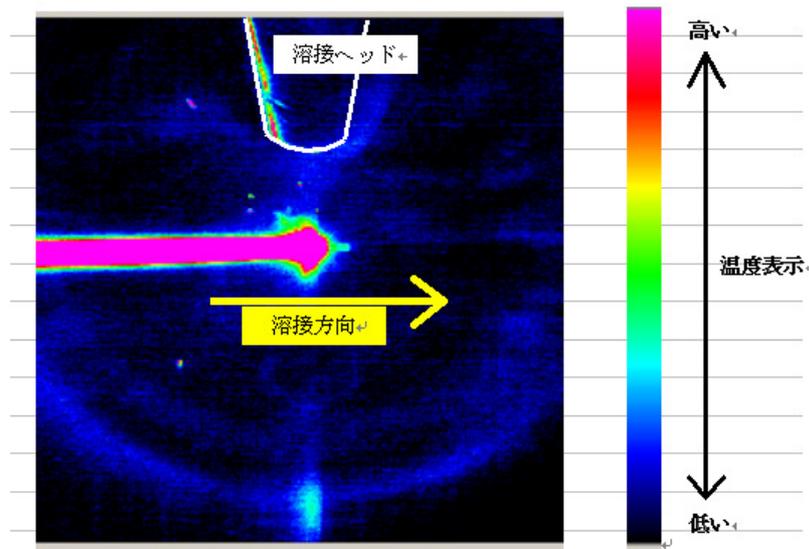


図 13 測定結果の一例

3.3 数値シミュレーションによる極低歪ファイバーレーザー溶接技術の有用性に関する検討

3.3.1 本検討の目的

本節では、従来からアーク溶接を対象として広く用いられている熱弾塑性数値解析を、レーザー溶接を対象として活用することにより、極低歪ファイバーレーザー溶接技術の有用性に関して検討を行う。

3.3.2 ファイバーレーザー溶接を模擬した数値シミュレーション手法の構築

解析は SUS304 を想定し、熱弾塑性数値解析を行った。また熱伝導解析における境界条件として、空気との熱伝達とステファン-ボルツマンの法則に則った熱放射を考慮している。弾塑性解析における境界条件として、剛体移動のみを拘束し、変形を防止するような拘束は与えていない。図 14 に解析に使用した有限要素モデルを示す。

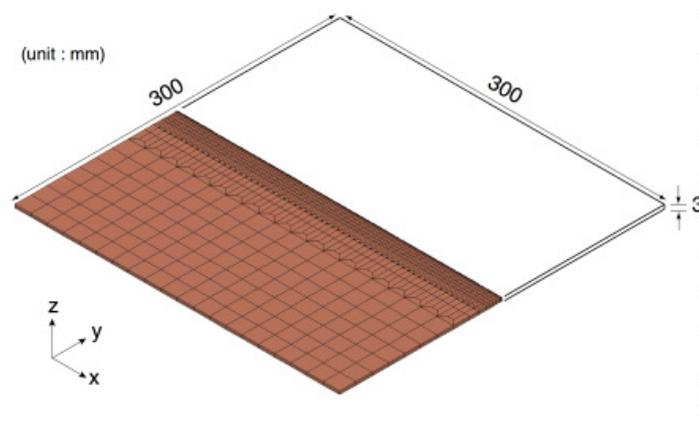


図 14 解析有限要素モデル

また、図 15に 3.1 にて行った熱電対による温度測定結果と浸漬型光ファイバーによる溶接部温度測定結果との比較を示す。いずれも本数値解析手法を用いて行った計算結果は、実験計測結果と良い一致を示していることが分かる。

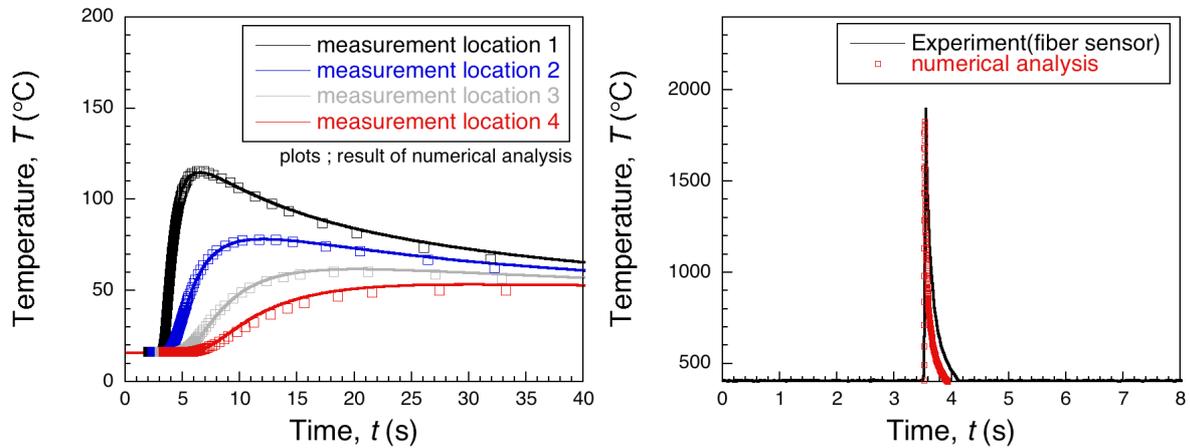


図 15 数値解析と溶接部温度履歴の比較

3.3.3 従来 (TIG アーク) 溶接技術との比較による極低歪ファイバーレーザ溶接技術の有用性の検討

予備的な検討から、変形に対しては入熱の影響が非常に大きいと考えられたので、上記で確立された熱弾塑性数値解析を使用して入熱と変形の関係を解析した。

シミュレーションはファイバーレーザ溶接(FL)、ファイバーレーザ溶接と同熱入力 of TIG 溶接(TIG-Q)、及び標準的な熱入力 of TIG 溶接(TIG-P)について行ったが、TIG-Q では溶接すら困難であり、また FL は TIGP に比べて極めて小さい溶接歪であることが示された。

3.3.4 銅板を用いた吸熱による低歪化の検討

溶接部近傍に置いた銅板による急冷効果が歪に及ぼす影響を解析した。

シミュレーションでは銅板と溶接部間の距離をパラメータとして変形を解析したが、銅板・溶接部間距離が敏感に歪に影響していることが示された。

3.4 ステンレス鋼のファイバーレーザ溶接部の歪測定とその挙動

3.4.1 はじめに

シングルモードのファイバーレーザは、周辺技術の技術革新を取り入れ、高付加価値を付与するプロセスとして注目されている。溶接歪の挙動とその制御については、従来からアーク溶接熱源を主体として多様な究明が行われてきた。シングルモードのレーザ熱源は、熱源の分布や高速溶接による極低入熱化により、溶接部の歪の低減が期待できる。本項目では、ステンレス鋼に対するレーザ溶接条件と歪量との関連性を明らかにすることを目的としている。

3.4.2 実験方法

テストピースの寸法は、3 x 300 x 300 (mm)であり、溶接長 300 mm のオンビート溶接を施工した。最初に、従来技術によるステンレス鋼のティグ溶接を施工して、歪の測定を行った。次に、レーザー溶接部の歪測定を行った。溶接試験板の平面歪は、ハイトゲージを用いて測定した。

3.4.3 ファイバーレーザー溶接と従来技術のティグ溶接による歪の挙動

図 16にファイバーレーザー溶接によるテストピースの歪測定結果を、図 17に従来技術であるティグ溶接によるテストピースの歪測定結果を、各々示す。溶接条件は両者ともそれぞれの最適条件に調節してある。

結果から明らかなごとく、本事業で採用したファイバーレーザーの熱源は、高エネルギー密度溶接性と精密制御性が優れており、溶接物の低歪化に対して革新的技術要素を有していると考えられた。

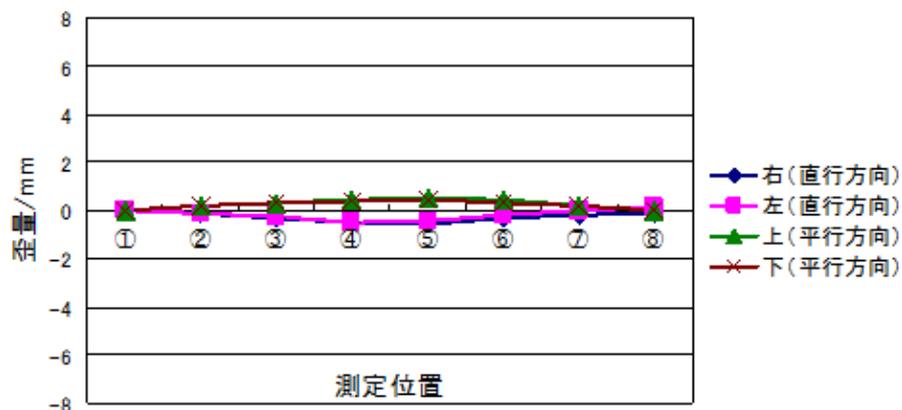


図 16 ファイバーレーザー溶接の歪測定結果

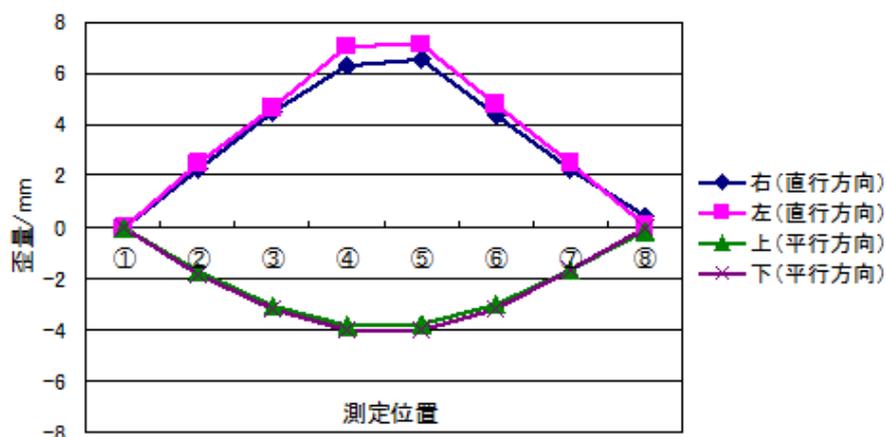


図 17 ティグ溶接の歪測定結果

3.5 溶接継手の評価

3.5.1 引張試験

レーザー溶接継手試験片の引張試験を行った。溶接に用いた板材は SUS304 ステンレス鋼板である。試験片はレーザー出力 1、2、3 kW の条件で 3 枚ずつ作製した試験体から JIS Z 3121（突合せ溶接継手の引張試験方法）の 1 号試験片を 2 本ずつ採取した。試験には島津製作所（株）製 RH-50 型万能材料試験機を用いた。試験は JIS Z 2241（金属材料の引張試験方法）に従って行い、引張強さを求めた。

引張試験の結果としてほぼ 100%の継手効率が得られ、ファイバーレーザー溶接による溶接が概略良好であることが明らかとなった。

3.5.2 曲げ試験

曲げ試験片はレーザー出力 1、2、3 kW の条件で 3 枚ずつ作製した試験体から JIS Z 3122（突合せ溶接継手の曲げ試験方法）の表曲げ試験片及び裏曲げ試験片を各 1 本ずつ採取した。試験には島津製作所（株）製 RU-50 型万能材料試験機に内側半径 6 mm の雄型ジグを用いて 180 度曲げを行った。曲げた後に継手の外観を目視により観察した。

結果として、ほぼ溶接部に欠陥は無く、概略良好な継手となっていることが示された。

3.5.3 シャルピー衝撃試験

シャルピー試験片はレーザー出力 1、2、3 kW の条件で 3 枚ずつ作製した試験体から JIS Z 3128（溶接継手の衝撃試験方法）からサブサイズの V ノッチ試験片を各 2 本採取した。2 本ずつ採取した試験片のうち 1 本は溶接金属の中央に V ノッチを入れた試験片、1 本は熱影響部に V ノッチを入れた試験片とした。試験は JIS Z 2242（金属材料衝撃試験方法）に基づき室温で行った。

溶接金属部、熱影響部とも同様な結果を示しており、測定された値は従来の発表されたシャルピー衝撃試験結果から見ても妥当な値であり、継手は十分な靱性を有しているものと判断される。

3.5.4 溶接継手の硬さ試験

レーザー溶接継手試験片の断面部をビッカース硬さ試験した。硬さ試験用試験片数は、レーザー出力 1、2、3 kW の条件で各 3 枚の溶接継手から、各々 2 個の試験片を採取した。

採取した試験片は、断面を測定できるよう硬化樹脂に埋め込み、研磨紙、ダイヤモンド粒子、バフと順次研磨した。その後、組織判別のため、10%シュウ酸溶液中で電解エッチングした。硬さ試験に用いた機器は、松沢精機（株）製マイクロビッカース硬さ試験機 MHT-1 型である。試験力は 2.942 N であり、JIS Z 2244（ビッカース硬さ試験—試験方法）に従って測定した。

図 18に溶接継手試験片の硬さ測定位置を示す。

測定結果では溶接部に若干の硬度上昇が認められた。他の結果とも考え合わせると特に有害とは思えないが、今後更に詳細な検討を行っていく予定である。

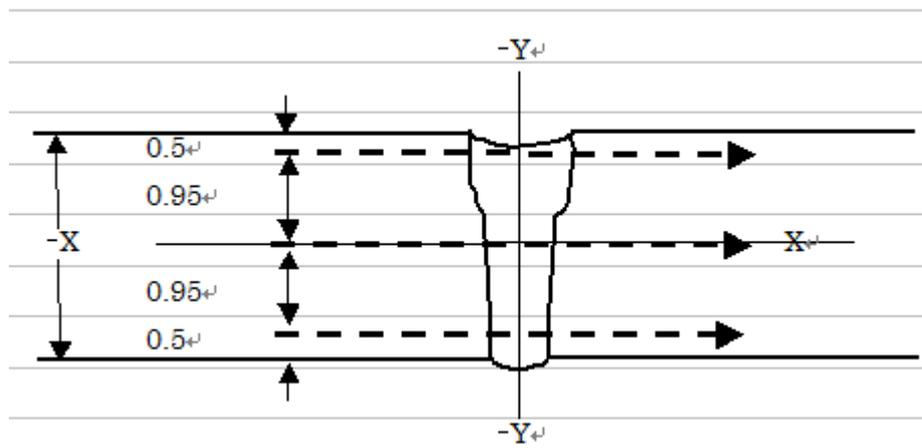


図 18 溶接継手試験片の硬さ測定位置 (単位 mm)

第4章 溶接シームトラッキング装置の開発

4.1 溶接シームトラッキング装置の導入について

4.1.1 シームトラッキング装置の性能評価と比較

シームトラッキング装置はレーザやアーク等の加熱部が溶接線の真上に来るように制御するための装置であり、溶接性能に多大な影響を及ぼす（例えば、本報告書の第2章参照）にもかかわらず、その実力値はカタログからのみでは判定しにくい。一般的には、過去の実例等を参考に機種を選定しているが、実際に使用してみると思わぬことが生じて性能を十分に発揮できないことがよくある。レーザ溶接では、アーク溶接に比べてより精密なシームトラッキング性能を求められるため、選定は重要な事項となる。

ここでは実際のトラッキング性能、及び得られた画像評価を行うことによって装置性能を比較し、レーザ溶接に最適な機種選定を行うこととした。比較はA社とB社の製品について実際に使用されると思われる継手を使用して行われた。

4.1.2 開先検出実験による比較実験について

比較試験に使用した継手を図19に示す。

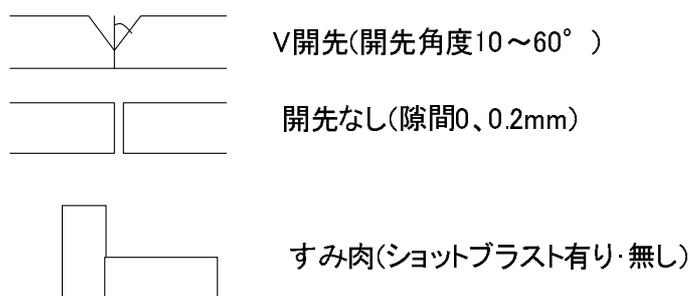


図 19 評価対象継手

4.2 開先光切断画像評価による比較実験とその結果

実験に使用した継手範囲ではA社製品の検出確率が高く、A社製品の方が今回の使用には適しているものと判断された。

第5章 まとめ

5.1 高出力レーザー溶接装置の導入と溶接評価技術の確立

装置の導入から評価技術の確立、さらにはその技術を使用した最適溶接条件の探索等を行った。これにより、以下の貴重な知見が得られた。

- 1) 装置の導入から立ち上げまでを行い、操業技術を習得した。
- 2) 高速度カメラにより溶接挙動観察技術を確立し、早期に最適溶接条件を見いだすことができる体制を整えた。
- 3) レーザ出力、溶接速度、焦点はずし距離を変化させた実験を行い、最適溶接条件を検討した。溶接条件の検討は SUS304 及び Inconel600 合金により実施した。
- 4) 将来の低歪技術を担う可能性のある技術として、ハイブリッド溶接技術についての初期的研究を行った。
- 5) 内外の関係文献を探索し、今後の研究開発の進展に備えた。

5.2 温度場シミュレーション技術の確立と技術を利用した極低歪技術

実際の溶接試験片の入熱、変形を測定し、それらの結果から変形挙動を有効に予測できるシミュレーション技術を開発した。これにより、以下の貴重な知見が得られた。

- 1) コンピュータシミュレーションの基礎データとするため、浸漬形光ファイバー温度計と熱電対を用いて溶接部および周囲熱影響部の温度を測定した。また、同様の目的で、高精度赤外線カメラを用いた被溶接物全体の温度分布とその時間的変化を測定した。これらの測定により、実際の板にレーザー溶接を実施したときの入熱及び温度分布が把握され、コンピュータシミュレーションのための基礎的データが得られたとともに、今後の複合熱源による低歪化実現のための基礎的な知見が得られた。
- 2) TIG 溶接では、ファイバーレーザー溶接より低エネルギー密度でもあるにもかかわらず高歪である。この問題に対しても開発されたシミュレーション技術は有効であることが示された。
- 3) これらの総合として、ファイバーレーザー溶接は低歪に関して極めて有効であることが示された。
- 4) 銅板を用いた吸熱では、TIG 溶接の場合には溶融部に近い位置に銅板を設置すれば歪低減に有効である。
- 5) ファイバーレーザー溶接の場合、吸熱による低歪化には、極めて溶接ビードに近い位置に吸熱源を置く必要がある。銅板やガスを使用した低歪化ではこのことに十分な注意が必要である。

5.3 溶接歪測定技術の確立によるレーザー溶接の低歪性の評価

実際に溶接した試験片の変形を測定した。その結果、レーザー溶接の歪は全般的に小さく、300x 300 x 3t (mm)の板では、最大でも約 0.71 mm の低歪であることが示された。この値は TIG 溶接による歪約 7.1 mm と比べて 1/10 以下であり、開発目標を達成するものであることが明らかとなった。

5.4 溶接継手の機械的強度評価

テストピースの引張試験、曲げ試験、硬さ試験、及びシャルピー衝撃試験を実施した。これらにより、以下の貴重な知見が得られた。

- 1) 引張強度は出力 2 kW 程度で最大値を示した。また、破断は殆どが溶接部で生じている。継手効率は、出力 1.2 kW 時には約 100%、3 kW 時には 78%程度であった。このことから、継手強度の向上に取り組む必要があるのではないかと思われる。
- 2) 曲げ試験では溶接部に欠陥の無いことが示された。レーザー溶接が高強度を必要とする用途にも容易に適用可能であることを示しているものと考えられる。
- 3) 硬さ試験では溶融部→熱影響部→母材と硬さが低くなる傾向が認められた。この結果は今後の研究に生かすべきものと考えられる。
- 4) シャルピー衝撃試験では溶融部と母材金属で靱性に差がないことから、レーザー溶接が容易に強度部材にも適用できるものと考えられる。