

レーザー溶接の品質に及ぼす溶接姿勢の影響に関する研究

櫻庭 洋平, 安田 星季, 三戸 正道, 宮腰 康樹, 中嶋 快雄, 相山 英明

Research on the Effect of Welding Position on the Quality of Laser Welding

Yohei SAKURABA, Seiki YASUDA, Masamichi MITO, Yasuki MIYAKOSHI,
Yoshio NAKAJIMA, Hideaki AIYAMA

抄 録

レーザー溶接は他の溶接法より溶接部の幅や体積が小さいため、製品の軽量化やひずみ除去工程の効率化が期待されている。しかしながら、溶接姿勢の品質への影響や対策についての情報は少ない。本研究では代表的なステンレス鋼やアルミニウム合金の突き合わせレーザー溶接により溶接姿勢の影響を確認し、溶接姿勢の変化に対する溶接条件の修正方法を検討した。これにより溶接姿勢間での強度や内部欠陥のばらつきを抑え、安定した溶接品質が得られることを確認した。

キーワード：レーザー溶接, ファイバーレーザー, 溶接姿勢, 溶接品質, レーザ溶接条件

Abstract

Laser welding is expected to reduce the weight of the product and the efficiency of the strain-removal step, because width and volume of weld zone is less than other welding methods. However, information about the effect of welding position impact on the quality of welding and countermeasures is small. In this study, we see the effect of welding position by laser butt-welding of stainless steel and aluminum alloy, we examined how changes welding conditions for welding positions. It was confirmed that we learn the steady quality of welding, by reducing the variability of strength and internal defects between the welding position, stable is obtained.

KEY-WORDS : Laser welding, Fiber laser, Welding position, Quality of welding, Laser welding condition

1. はじめに

環境負荷低減を目指した工業製品の薄肉軽量化と、新興工業国の台頭を見据えた生産コストの低減は国内製造業の大きな課題であり、溶接製品においてもその例外ではない。

高出力レーザーを利用した板状部品の溶接は、加工点のエネルギー密度がアーク溶接や半自動溶接などと比べ格段に高いため、小さな溶接ビードで溶込みを深くすることが可能である¹⁾。このため、溶接部の極小化による製品の軽量化、熱変形が小さいことによる低ひずみ・高精度化など、製品そのものの品質向上や、ひずみ処理工程の簡略化といった効果が期

待されている。

しかしながら、レーザー溶接を実用するうえで不可欠な溶接条件に関する情報は、溶接速度と溶込み深さの相関などごく一部の情報に限られ、ほとんど公開されていない。このため、良好な溶接条件を得るには購入した装置のメーカーが持つ溶接条件データを入手するか、あるいは自力で良好な溶接条件を抽出しているのが現状であり、レーザー溶接を広くかつ効果的に運用するうえで、実用的な溶接条件のデータベースが求められている。

本研究では、代表的なステンレス鋼とアルミニウム合金に対する、溶接姿勢による品質への影響評価を行い、溶接姿勢

事業名：公募型研究

課題名：高出力ファイバーレーザーによる複雑立体形状の溶接に関する研究（平成23年度）

によらず溶込み量や溶接焼けなどの外観品質が良好となる溶接条件を抽出した。また、溶接姿勢ごとに修正した溶接部の強度試験や内部欠陥観察を行い、物性面においても溶接姿勢間でのばらつきを一定の範囲に収められることを確認した。

これと併せて、上記の材料にレーザー出力を変えた場合の溶融断面寸法や形状を計測し、材料ごとの溶融傾向についてデータ収集を行ったので報告する。

2. 高出力レーザー溶接の現状

2.1 ファイバーレーザー溶接

レーザー溶接とは、レンズで集光した高パワー密度のレーザー光で材料を溶接する技術であり、ビードの幅に比べ溶込みが深いキーホール型（深溶込み型）の溶融池が得られることが特徴である（図1）。これは、アーク溶接や半自動溶接などエネルギー密度が低い溶接法では溶融池が幅広で浅い熱伝導型溶融となるのに対し、レーザー溶接ではパワー密度を103 (W/mm²) 以上に高めることで溶融池が蒸発し、蒸気圧により溶融池にくぼみ（キーホール）が形成されるためである¹⁾（図2）。

この効果により、同じ溶込み深さを得るのに必要な溶融池を小さくできるため、溶接部の寸法を極小化し製品を軽量化することができる。また、溶融池が小さくなることで溶接ひずみが抑えられるため、溶接後のひずみ除去工程を簡略化し生産効率の改善にも繋げることができる。

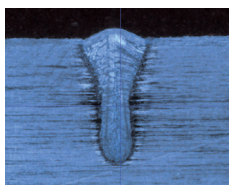


図1 キーホール型溶融

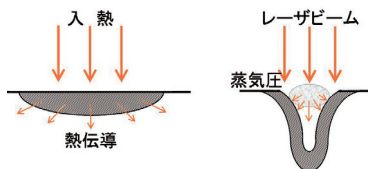


図2 溶融状態イメージ
(左：熱伝導型 右：キーホール型)

本研究で使用したYtterbiumファイバーレーザーは、Ytterbiumなどのレーザー媒質をファイバーにドーブ（添加）し、ファイバーそのものを増幅器としたレーザー発振器である。レーザーの波長は $\lambda = 1,070 - 1,090$ (nm) の近赤外線領域で、一般に用いられているNd:YAGレーザー ($\lambda = 1,064$ nm) に近いが、発振器の構造上ビーム品質はNd:YAGレーザーより良好で、かつ励起効率も最大30%（電気-光変換効率）と優れている³⁾。また、同じく一般に利用されているCO₂レーザー ($\lambda = 10,600$ nm) と比べ、鉄やニッケルなど金属元素に対する吸収率が高く、エネルギー効率の良い溶接や加工が可能である⁴⁾。

2.2 溶接姿勢

溶接姿勢はJISやWES（日本溶接協会規格）の溶接技術検

定に関する規格で定められており、平板の溶接については下向、立向（壁面での上下方向溶接）、横向（壁面での水平方向溶接）、上向（天井面での溶接）が規定されている（図3）。(株)日本溶接協会の溶接技術検定試験では、下向溶接は基本級と呼ばれ、合格率が70～80%と高水準で安定している。

これに対し専門級と呼ばれる他の溶接姿勢では、溶融池の垂れやシールドガスの対流など重力の影響を考慮する必要があるため良好溶接条件の範囲は狭くなる。溶接技術検定試験においても、合格率が30～40%台になる場合もあり、難易度も高い⁵⁾。

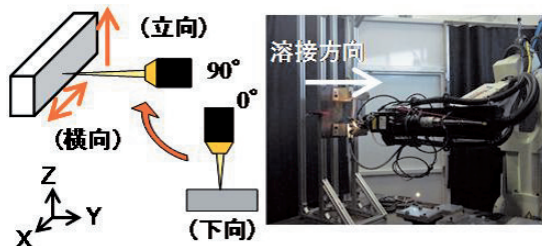


図3 溶接姿勢（左：概念図 右：90° 横向姿勢）

3. 実験方法

本研究における溶接実験は、当場の住友重機械メカトロニクス(株)製レーザー加工装置を使用した（図4）。この装置は、レーザー発振器にIPG Photonics社のYtterbiumファイバーレーザー発振器：YLS-2000（出力：50～2,000W）を使用している。この装置で設定可能な溶接条件パラメータを表1に示す。



図4 レーザ加工装置外観
(左：レーザーヘッド部 右：レーザー発振器)

表1 レーザ加工装置の設定可能パラメータ

調整箇所	項目	溶接パラメータ
レーザー発振器	出力	50～2,000W
	波形	連続波(CW)
		パルス波(ON-OFF, 強弱, 周期)
集光レンズ	焦点径	$\phi 0.075$ mm $\phi 0.15$ mm $\phi 0.30$ mm
	種類	アルゴン, 窒素
シールドガス	流量	0～25L/min(ガス配管1系統あたり)
	配置	同軸ガス, サイドガス, バックシールドガス
固定治具	予熱	あり(373K), なし(室温)
	ウラ当金	あり, なし

供試材料には、SUS304とSUS430のステンレス鋼2種類と、溶接用アルミニウム合金のA5052を使用した。

溶接姿勢は下向(0°)を基準姿勢とし、90°立向と90°横向、これに比較用の45°横向を加えた合計4姿勢で行った。なお上向姿勢(180°)については、レーザーヘッドの可動範囲を超えヘッドや伝送ファイバーを損傷する可能性があるため断念した。

3.1 各溶接姿勢の良好な溶接条件の抽出

良好な溶接条件の抽出実験は、最初に下向突き合わせ溶接の良好な条件を抽出し、これを基準溶接条件とした。次にこの基準溶接条件で他の姿勢の溶接実験を行い、下向溶接と同等程度の品質が得られた場合には、基準溶接条件をこの姿勢の良好溶接条件とした。また、基準溶接条件では良好な溶接部が得られなかった場合のみ、姿勢ごとに溶接条件を修正した。

溶接条件の抽出および修正作業は、最初にレーザー出力を100W単位で増減させ、裏面まで突き合わせ部が貫通する出力が判明したところで50W単位の微調整を行い、条件の絞り込みを行った。次にシールドガスの配置や流量を10L/min単位で調整し、溶接焼けを極力抑えた条件を抽出した。なお、パルス波レーザーや予熱・ウラ当金の使用については、CW(連続波)出力のレーザーで突き合わせ部の貫通溶接が安定しない場合や、シールドガスの調整では溶接焼けの防止効果が不十分な場合にのみ試験することとした。

試験片は、長さ100mm×幅20mmの板材を溶接治具に固定し、端部を突き合わせて溶接した(図5, 図6)。板厚はSUS304とSUS430を2.0mm, A5052を3.0mmとし、突き合わせ部は試験片の密着度を高めるため、機械加工によりI型に仕上げた。

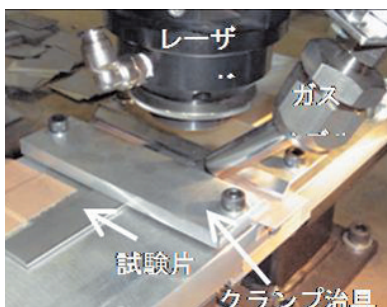


図5 溶接状況



図6 溶接試験片

溶接部の評価は外観検査により行い、溶接部のいずれかの面に溶込み不良がある場合、薬品洗浄で除去できない過度な焼けがある場合、板厚の2割以上に及ぶ凹部(アンダーカット)がある場合の3項目を不良とした。

なお、レーザー溶接の溶込み状態に大きく影響する溶接速度は600mm/min(=10mm/s)固定とした。この速度は一般

的なレーザー切断機などの数分の1程度と遅めではあるが、使用した装置のロボットアーム剛性を考慮し、溶接部の信頼性の確保を優先させた。同様に、溶込み状態に大きく影響する集光レンズは、突き合わせ部のすき間(ギャップ)をすり抜けるレーザー光の割合を減らすことに配慮し、使用したレーザー加工装置では焦点径が最大となる、φ0.30mmのものを使用した。

3.2 各溶接姿勢の溶接品質評価

溶接部の品質は強度試験による破壊評価と、非破壊による内部欠陥観察で評価した。

強度試験は、JISの引張試験方法(JIS Z2241)と3点曲げ試験方法(JIS Z2248)に準拠した。引張試験は、前述の溶接試験片から作成したJIS 13B号試験片を使用し、母材破断または母材強度の95%以上で溶接部破断した場合を良好とした(図7)。また曲げ試験についてはJISの3号試験片を使用し、画像測定により表面割れの有無を確認した(図8)。なお溶接姿勢の影響については、引張強度のばらつきが±10%以内に収まった場合を良好とした。

内部欠陥観察にはX線CTシステムを使用し、CT画像の観察から割れが確認されない場合と、直径0.05mm以上のポロシティ総量が溶接部体積の2%以内に収まる場合を良好とした(図9)。

実験装置は、万能材料試験機(強度試験)、X線CTシステム(内部欠陥観察)、二次元画像測定機(画像測定)をそれぞれ使用した(表2)。



図7 引張試験状況

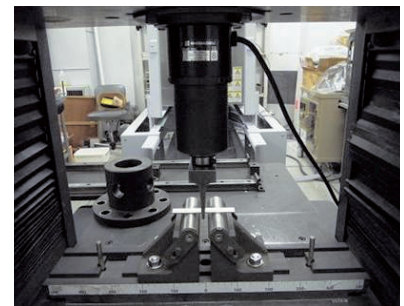


図8 3点曲げ試験状況

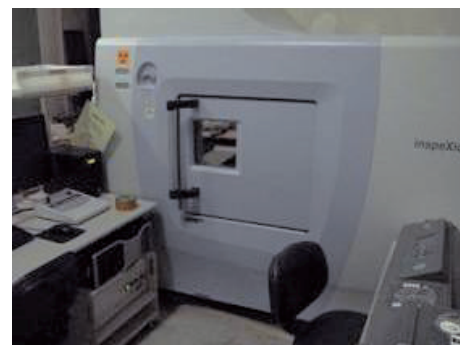


図9 X線CTシステム

表2 計測・評価機器一覧

試験項目	機器名	装置型番	メーカー名
画像測定	二次元画像測定機	QI-B3017B	(株)ミツヨ
強度試験	万能材料試験機	AG250KND	(株)島津製作所
内部欠陥観察	X線CTシステム	inspeXio SMX-225CT	#

3.3 レーザ出力ごとの溶融状態の計測評価

レーザー出力と溶融状態の相関について、ビードオンプレート溶融試験を行い、溶融部の寸法計測と形状に関する傾向を評価した(図10)。実験は、板厚10mmの材料に10mm間隔でレーザーを照射し、切断面の溶融ビードの幅や溶込み深さの計測、熱伝導型溶融からキーホール型溶融に移行する出力域を二次元画像測定機により計測した(図11)。

レーザーの出力は、表3のとおり50W~2,000W(CW)の10段階とした。また、溶接速度は突き合わせ溶接と同様に600mm/min固定とした。

なお、今回の溶融試験ではアルミニウム合金の溶接で大量に発生するスパッタから光学系を保護するため、SUS304とSUS430には焦点径φ0.15mmのレンズを、A5052にはレンズと試験片の距離を取れるφ0.30mmの異なる集光レンズを使用した。これにより、同じレーザー出力でのエネルギー密度が表3のとおり異なることとなった。後述するビードオンプレート溶融試験の結果については、混乱を避けるためエネルギー密度(J/mm²)で表記する。

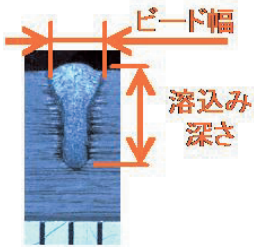


図10ビードオンプレート試験片 図11 溶融部の計測項目

表3 ビードオンプレート試験のエネルギー密度条件

試料	エネルギー密度(J/mm ²)									
	50	100	200	400	600	800	1,000	1,200	1,600	2,000
SUS304	33.3	66.7	133	266	400	533	667	800	1,067	1,333
SUS430	33.3	66.7	133	266	400	533	667	800	1,067	1,333
A5052	16.7	33.3	66.7	133	200	266	333	400	533	667

4. 結果と考察

4.1 各溶接姿勢の良好溶接条件抽出

ファイバーレーザーによる、下向突き合わせ溶接の基準溶接条件の抽出を行った。例として図12および図13にSUS304での結果を示す。

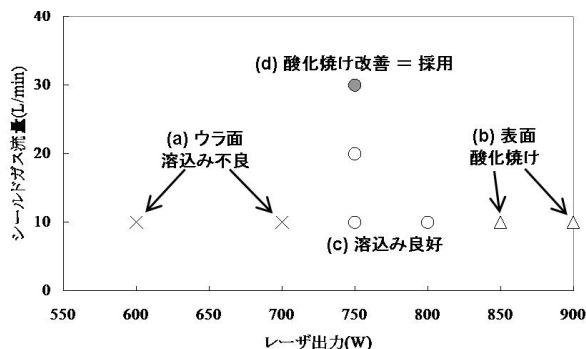


図12 基準溶接条件の抽出 (SUS304)

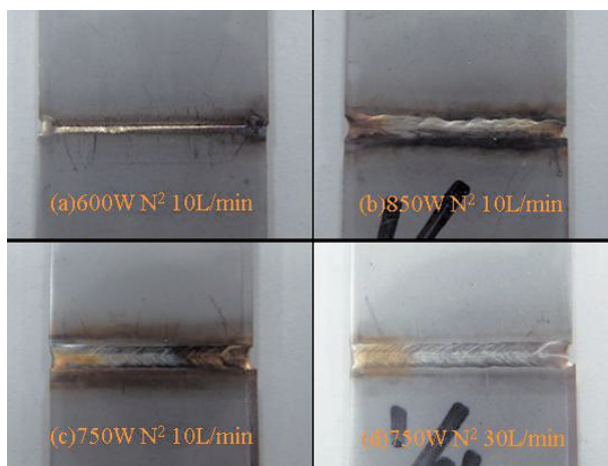


図13 溶接状態比較

(左上：ウラ面溶込み不良 (a) 右上：表面酸化焼け (b)
左下：溶込み良好 (c) 右下：酸化焼け改善 (d))

SUS304においては、文献やメーカー提供の溶接サンプルをもとに、レーザー出力600Wから条件抽出を開始した。その結果、600Wでは図13(a)のようにウラ面まで溶融池が貫通せず、700Wでは溶融池が貫通する場合としない場合が半々程度となり、ビードが不安定であった。また、850W以上においては図13(b)のように表面酸化が顕著になるため、ビードが安定かつ表面状態が良好な750Wと800Wを良好条件とし、表面酸化を抑制するため入熱量を可能な限り絞り込むという観点で、750Wを基準として採用した(図13(c))。

続いてシールドガスの配置および流量の調整を行った。なお、ステンレス鋼に対するシールドガスの種類については、窒素ガスを使用した場合にアルゴンガスと比べポロシティの抑制効果が確認されているため⁶⁾、窒素ガスのみで評価することとした。

初期条件は、ガス配置をサイドノズルとバックシールドとし、試験片の表裏両面から5L/minずつ(合計10L/min)供給することとした。ガスの合計流量を10L/minずつ増加させたところ表面酸化が改善され、30L/minのときに酸化焼けが最も少なくなったため、これを基準のガス条件として採用した(図13(d))。

SUS430やA5052についても同様の評価を行い、それぞれの基準となる下向溶接条件を抽出した(表4)。ただしA5052については、溶接部の表側に溶融池が沸騰したような跡がほぼ確実に発生し、凹部のないビード形成に課題が残った(図14)。

この跡について、A6061でも同様の傾向が確認されたが、A2017においては発生しなかったため、5000番代および6000番代のアルミニウム合金に多く含まれるマグネシウムが何らかの反応を起こした可能性が考えられるが、詳しい原因やメカニズムを明確にすることができず、また他の溶接パラメータの調整でも有効な対策は得られず、今後の課題とした。

表4 レーザによる下向溶接の良好条件

試料	板厚(mm)	レーザー照射条件			シールドガス条件		治具条件	
		出力(W)	波形	種類	サイドノズル(L/min)	バックシールド(L/min)	予熱	ウラ当金
SUS304	2.0	750	連続波	窒素	15	15	-	-
SUS430	2.0	900	連続波	窒素	10	10	-	-
A5052	3.0	1,600(6ms) -1,300(3ms)	強弱波	アルゴン	25	-	-	あり



図14 溶融池アンダーカット (A5052)

次に、表4の基準溶接条件で溶接姿勢を変えたところ、

①SUS430の横向溶接およびA5052全般で溶融池が裏面まで貫通しない(図15)

②SUS304とSUS430の立向溶接において洗浄不能な黒色酸化が生じる(図16)

という問題が生じたため、これらの溶接姿勢に対する溶接条件の修正方法を検討した。

①の原因について、下向溶接では溶融池が重力で自然にウラ面(=下側)に流れるが、他の姿勢ではウラ面に流れる力が働かない。このため、溶融池の粘性が高いSUS430や、熱伝導率が高く融点が低いA5052では、溶融池がウラ面に回らなかった可能性が考えられる。また②の原因については、レーザーの入熱による溶接部周辺のシールドガスが他の溶接姿勢より対流が激しく、下向や横向姿勢よりも周辺の酸素を多く巻き込んだ可能性が考えられる。

これらの対策として、①に対してはレーザー出力を高めることにより溶融池を拡大する方法や、シールドガスに意図的に酸素を添加することで溶融池の粘性を低下させる方法⁷⁾などが考えられる。また、②に対してはシールドガスの流量調整や治具配置の変更によりシールドガスの対流を抑制する方

法など、様々な対策法が考えられるが、今回は基準溶接条件を抽出した時と同様に、溶込みに対してはレーザー出力の調整で、溶接焼けなどの表面状態に対してはシールドガスの変更で対処することとし、表5の溶接条件を抽出し溶接品質を改善することができた。

4.2 各溶接姿勢の溶接品質評価

姿勢ごとに溶接条件を修正した後、それぞれの強度試験と内部欠陥観察を行った。

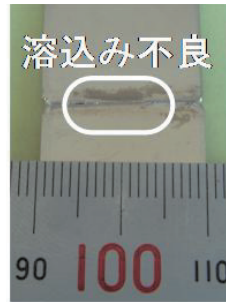


図15 ウラ面溶込み不良 (SUS430横向)

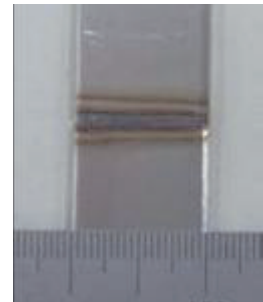


図16 立向黒色酸化 (SUS304)

表5 溶接条件補正パラメータ

試料	溶接姿勢	補正箇所	補正前	補正後
SUS304	90°立	ガス流量	15L + 15L	→ 10L + 10L
	45°横	レーザー出力	900(CW)	→ 1,100(CW)
SUS430	90°横	〃	〃	→ 〃
	90°立	ガス流量	10L + 10L	→ 5L + 5L
A5052	45°横	レーザー出力	1,600(6ms)- 1,300(3ms)	→ 1,600(6ms)- 1,300(2ms)

表6 溶接姿勢ごとの引張試験結果

試料	評価項目	0°下向	45°横向	90°横向	90°立向
SUS304 (639.8)	最大強度[MPa]	652.4	653.9	659.0	655.1
	最小強度[MPa]	645.5	642.9	644.7	644.5
	平均強度[MPa]	647.8	650.0	654.3	651.7
	標準偏差[-]	3.24	5.19	6.92	4.92
	母材比[平均・%]	101.25%	101.59%	102.27%	101.86%
溶接姿勢間のばらつき[%]		2.44%			
SUS430 (497.9)	最大強度[MPa]	463.9	465.6	467.1	464.6
	最小強度[MPa]	462.2	462.0	461.6	462.5
	平均強度[MPa]	463.1	464.0	464.0	463.5
	標準偏差[-]	0.88	1.86	2.38	0.85
	母材比[平均・%]	93.01%	93.18%	93.18%	93.10%
溶接姿勢間のばらつき[%]		1.17%			
A5052 (228.0)	最大強度[MPa]	196.7	191.0	191.7	193.2
	最小強度[MPa]	193.1	177.7	190.4	183.1
	平均強度[MPa]	194.7	184.4	190.1	188.5
	標準偏差[-]	1.54	6.67	1.78	4.47
	母材比[平均・%]	85.38%	80.87%	83.37%	82.67%
溶接姿勢間のばらつき[%]		9.64%			

※ 表中、試料名下の()内は母材の平均強度[MPa]を示す。

強度試験について、表6に引張試験の結果を示す。SUS430は全試験片で母材部から、SUS304およびA5052は一部を除いて溶接部から破断した。また溶接姿勢間のばらつきは、SUS304で±2.44%、SUS430で±1.17%、A5052で±9.64%となった。

この結果について、溶接部の強度は一般的に母材側で破壊した場合、溶接部からの破壊であっても母材の95%以上の強度が得られた場合が良好とされている。このためSUS304とSUS430については、全ての溶接姿勢でこの条件のいずれかを満たしており、良好な溶接部であることを確認した。また溶接姿勢間のばらつきについても、目標の±10%以内に収めることができた。

しかしながら、A5052については母材の80～85%に留まり、いずれの溶接姿勢においても十分な強度が得られなかった。これについては、前述のアンダーカットにより溶接部の厚さが不足したことが原因と考えられる。

また、SUS304においては、ほぼ全ての試験片が溶接部から破断しながら、強度については全て母材を上回るという結果となった。これについて、溶接部の溶融・再凝固により成分や組織が変わり、剛性が高まったことが一因と考えられるが、材料面以外にもビード形状や残留応力状態など、様々な要因が複合した結果と考えられ、原因を特定することはできなかった。

次に、3点曲げ試験の結果を表7に示す。SUS304では全ての溶接姿勢で割れは発生せず、溶接条件が良好であることを確認した。一方、SUS430およびA5052では一部の溶接姿勢で割れが発生した。この原因について、A5052の割れが生じた部分には、目視可能な大きさのポロシティがあり、これが原因となった可能性が考えられる(図17)。しかしながら、SUS430については明確な欠陥は確認できず、原因の究明や対策について課題が残った。

表7 曲げ試験における割れ発生状況

試料	(割れ発生数)/(試験片数)			
	0°下向	45°横向	90°横向	90°立向
SUS304	0/4	0/4	0/4	0/4
SUS430	0/4	1/4	1/4	3/4
A5052	2/4	2/4	0/4	0/4

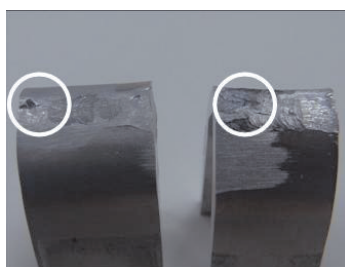


図17 割れ部分のポロシティ跡
(左：A5052 0°下向 右：A5052 45°横向)

続いて、内部欠陥の観察結果について、図18にX線CT画像を、表8に溶接部のポロシティ体積割合を示す。

X線CT画像を確認した結果、全ての試験片で直径0.05mm

以上の点状のポロシティが、溶接部全体に分布しているのを確認した。しかしながら、これらのポロシティが多数繋がった亀裂状の空隙は確認されなかった。このため溶接割れについては発生していないものと考えられる。

また、ポロシティの体積割合については、溶接姿勢間でのばらつきは2～3倍と大きいですが、表8のとおり全ての溶接姿勢で目標の2%以下に収まることを確認した。

これらの結果、内部欠陥の状態においては、各溶接姿勢の溶接条件が概ね良好であることを確認した。

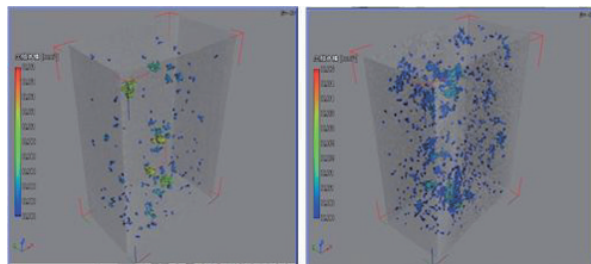


図18 X線CT画像によるポロシティ分布
(左：SUS304 0°下向 右：SUS430 90°立向)

表8 溶接姿勢ごとのポロシティ割合

試料	ポロシティ割合(%)			
	0°下向	45°横向	90°横向	90°立向
SUS304	0.229	0.165	0.205	0.507
SUS430	0.312	0.819	0.706	0.601

4.3 レーザ出力ごとの溶融状態の計測評価

レーザー出力と溶融状態との相関について、溶融ビードの寸法計測および形状の観察を行った。代表的な傾向を示したSUS304のビード幅を図19に、溶込み深さを図20に示す。

なお、当初は供試材料全てをφ0.15mmの集光レンズのみで行う予定であったが、前述のアルミニウム合金のスパッタにより、レンズと試験片との距離が150mmと近いφ0.15mmの集光レンズでは光学系部品が損傷する危険が生じたため、A5052のみ距離を300mm確保できるφ0.30mmレンズに急遽変更した。

実験結果について、ビード幅は図19に示すとおり、エネルギー密度の増加に応じて比較的単調に増加することを確認した。グラフおよび断面写真からも、特徴的な傾向は確認できなかった。

これに対し溶込み深さについては、全ての材料で溶込み深さが急激に深くなるエネルギー密度域が確認された。これについて断面写真の状況と照らし合わせた結果、SUS304では図21のように、100 (J/mm²) 前後を境に幅が広くて浅い熱伝導型溶融から、深さのあるキーホール型溶融に移行していることを確認した。

同様に、SUS430は100～150 (J/mm²)、A5052では約600

(J/mm^2) からキーホール型溶融に移行することを確認した。なお、材料によりキーホール型溶融に移行するエネルギー密度に差が生じた原因は、熱伝導率が高い材料ほど入熱が逃げてしまうため、溶融池にキーホールが形成されるのにより高いエネルギー密度が必要になるためと考えられる。

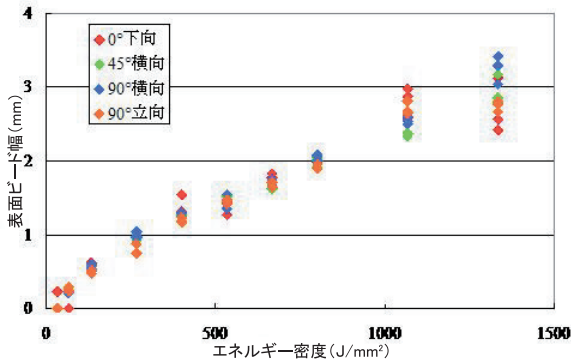


図19 レーザ出力と表面ビード幅の比較 (SUS304)

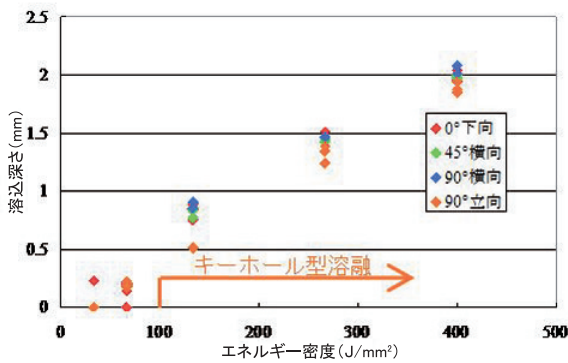


図20 レーザ出力と溶込み深さの比較 (SUS304)

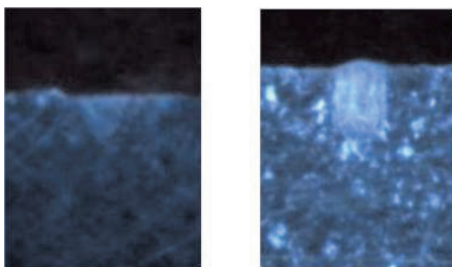


図21 熱伝導溶融からキーホール型溶融への遷移 (SUS304 左: $66.7J/mm^2$ 右: $133J/mm^2$)

また、使用したレーザー加工装置に関する特徴的な現象として、A5052にエネルギー密度: $200\sim 400 (J/mm^2)$ のレーザーを照射した場合、レーザー発振が強制的に停止し、溶融ビードが寸断されてしまう現象が多発することを確認した (図22)。強制停止の原因は、一定以上の強さのレーザー光が発振器に反射した場合に、発振器の自損を防ぐ安全回路が作動するためである。今回のケースはエネルギー密度が不十分のため、

材料の溶融が始まる前に比較的高いエネルギーのレーザー光が反射し、それをレーザー発振器側が検知したことが原因と考えられる。

このため、レーザーが発振器側と異なる方向に反射した場合、発振器ではそれを検出できないため、レーザーヘッドや周辺設備を焼損しつづける恐れもある。このためA5052を溶接する際にはこのエネルギー密度域を避け、溶接始端に高密度なレーザーを照射し、瞬時に溶融池を形成するなどの対策が必要となる。



図22 レーザ発振停止によるビードの寸断 (A5052)

5. まとめ

本研究により、代表的なステンレス鋼とアルミニウム合金の薄板突き合わせ溶接における、下向溶接を基準とした溶接姿勢ごとの良好なレーザー溶接条件を抽出した。これらの溶接部の強度や内部欠陥を評価した結果、物性面においても溶接姿勢間で大きくばらつかず、安定した品質が得られることを確認した。

また、各材料にエネルギー密度を変えてレーザーを照射した結果、エネルギー密度と溶融ビードの幅や深さの相関についてのデータや傾向について把握することができた。

さらにはA5052において、レーザーの反射エネルギーが極大化し、装置や周辺設備が自損する危険性の高いエネルギー密度域があることを確認した。

今後はレーザーによる難溶接材料の接手法や表面処理技術の研究、またはレーザーによるテスト加工のニーズ対応を通じて、道内企業のレーザー加工技術や溶接・接合技術の向上を支援していく。

謝辞

本研究は(独)科学技術振興機構の研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラムの支援により実施しました。また本研究で使用したファイバーレーザー加工・溶接装置は、(独)科学技術振興機構の地域産学官共同研究拠点整備事業により整備されました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 池田正幸・藤岡知夫・堀池靖浩・丸尾大・吉川省吾：レーザープロセス技術ハンドブック普及版，朝倉書店，pp.118 (2009)
- 2) 新井武二：レーザー加工の基礎工学－理論からシミュレーションまで－，丸善，pp.318-319 (2007)
- 3) 住村和彦，西浦匡則：解説ファイバーレーザー－基礎編－，オプトロニクス社，pp.52-53 (2011)
- 4) 新井武二：絵ときレーザー加工基礎のきそ，日刊工業新聞社，pp.84 (2007)
- 5) (株)日本溶接協会：資格認証・認定制度のご案内，日本溶接協会，pp.35 (2012)
- 6) (財)北海道中小企業総合支援センター：平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業「圧力容器製造に適応するレーザー溶接の技術開発」成果報告書，(財)北海道中小企業総合支援センター，pp.9 (2009)
- 7) 塚本進：レーザーおよびハイブリッド溶接におけるキーホルの安定化とポロシティの防止－酸素添加による効果－，第73回レーザー加工学会講演論文集[73]，pp.73-80 (2010)