



Hiroshima University
Graduate School of Engineering

半導体リモートレーザ溶接装置とホットワイヤとを 組み合わせた新溶接法の開発

平成26年3月17日

広島大学 大学院 工学研究院 材料・生産加工部門
材料接合工学研究室

長崎総合科学大学 工学部 機械工学科
応用破壊力学研究室



Hiroshima University
Graduate School of Engineering

【研究テーマ】

半導体リモートレーザ溶接装置とホットワイヤとを
組み合わせた新溶接法の開発

【研究体制】

広島大学 大学院 工学研究院 材料・生産加工部門

長崎総合科学大学 工学部 機械工学科

日本海事協会

三菱重工業(株)

新日鐵住金(株)

バブ日立工業(株)



高強度・高靱性厚鋼板・極厚鋼板の適用範囲拡大

- ✓ 大型コンテナ船などの造船分野
- ✓ 高層ビルなどの建築分野
- ✓ 大型橋梁などの橋梁分野

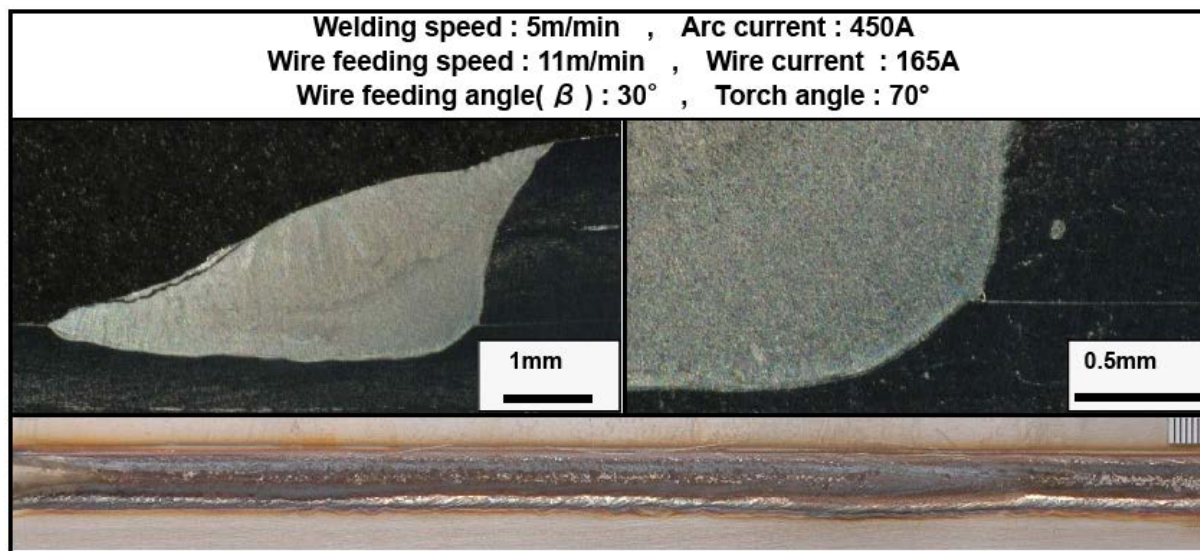
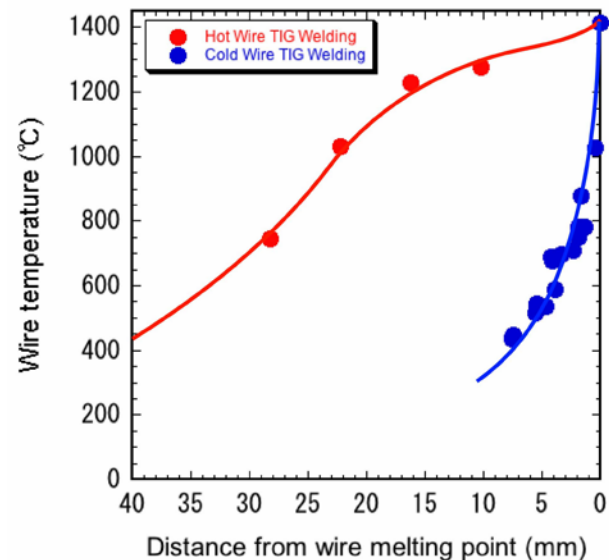
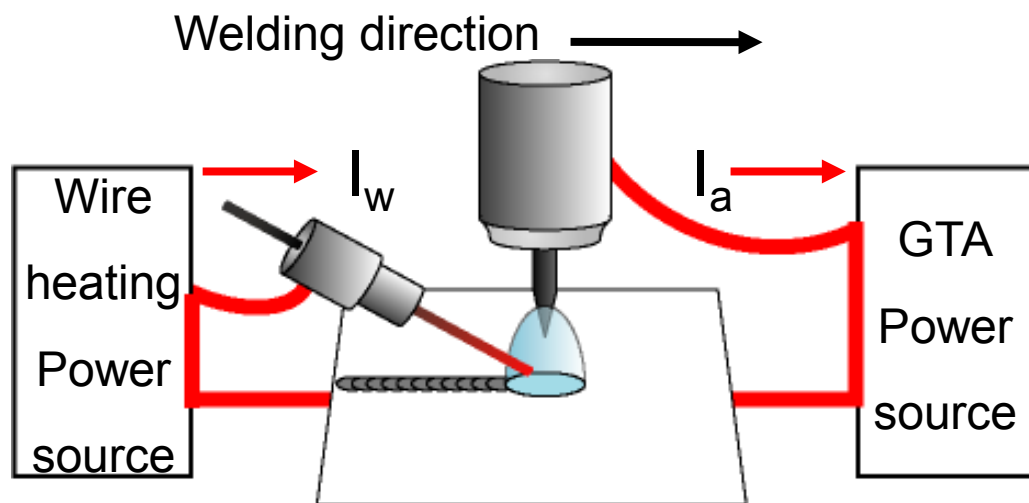
大入熱用高強度・高靱性厚鋼板・溶材開発の長期化

高能率・低入熱溶接技術の開発・実用化

- ✓ 現場(ドック内など)適用可能な溶接技術
- ✓ ギャップ・開先性状・板厚などの施工裕度を満足する溶接技術
- ✓ 厚鋼板立向き溶接へ適用可能な溶接技術

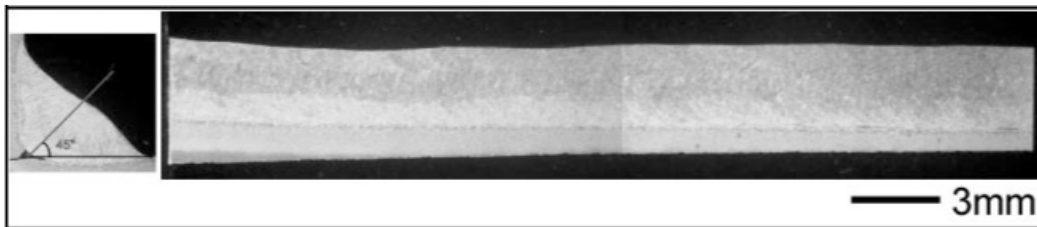
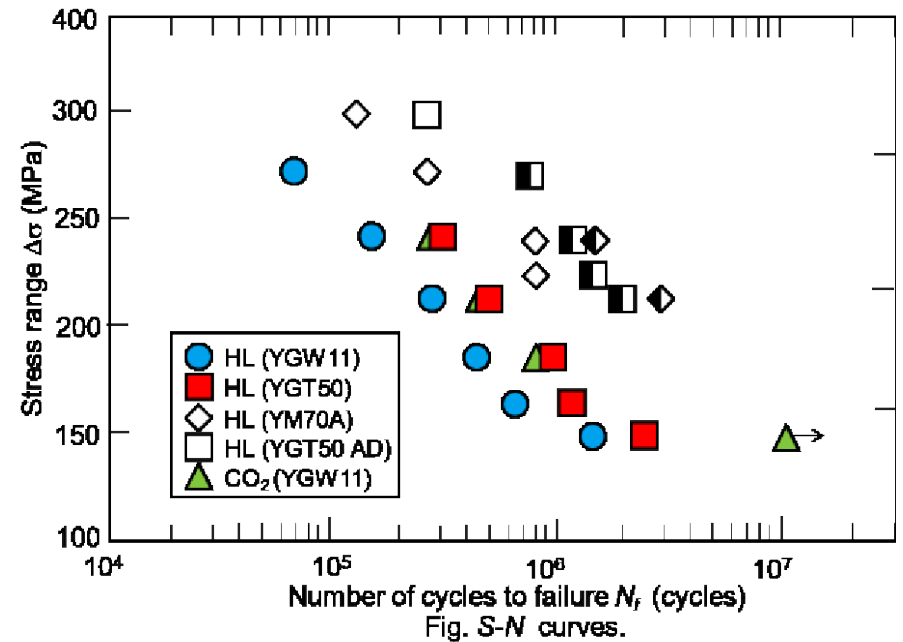
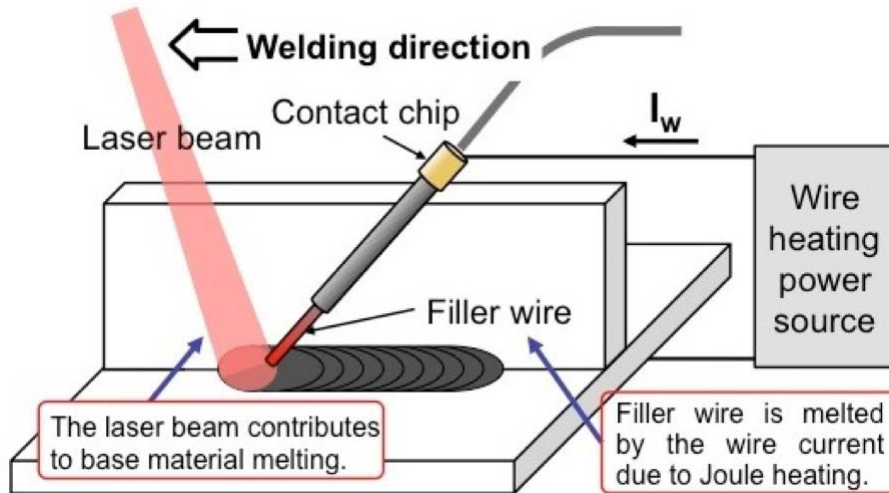


ホットワイヤ法を用いた溶接技術の開発 - 高速TIG溶接 -

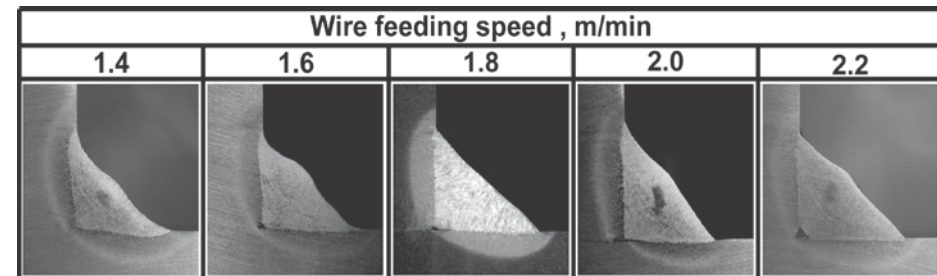




ホットワイヤ法を用いた溶接技術の開発 - すみ肉継手 -



ホットワイヤ・レーザ溶接法による
ピット・ブローホール・スパッタレス化



ホットワイヤ・レーザ溶接法による
すみ肉継手疲労強度向上(止端部形状制御)

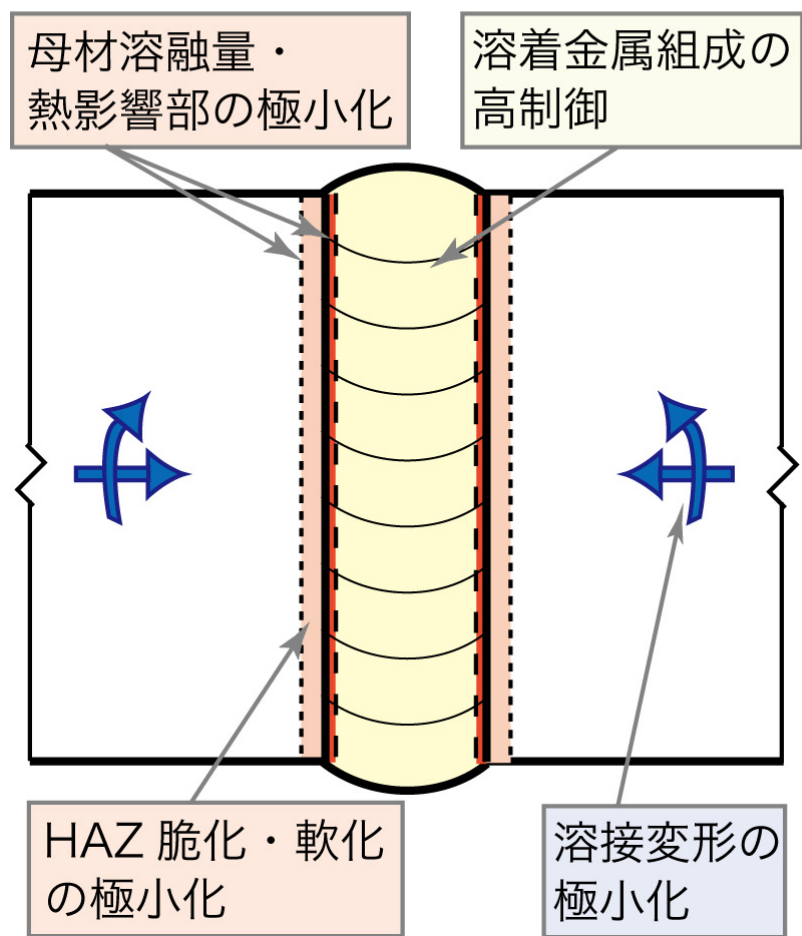


半導体レーザー熱源とホットワイヤ法とを組み合わせた 極厚鋼板立向き溶接技術の開発

- ✓ エレクトロガス溶接に比べて大幅な入熱低減
- ✓ エレクトロガス溶接に比べて同等以上の施工能率
- ✓ エレクトロガス溶接に比べて大幅な母材溶融量(希釈)低減
- ✓ エレクトロガス溶接と同等以上の開先加工裕度や施工裕度
- ✓ 造船所建造現場での長時間・長期適用可能なレーザー溶接システムの開発



ホットワイヤ・リモートレーザ溶接法を用いた 極厚鋼板立向き溶接施工技術



ホットワイヤ・レーザハイブリッド システムによる高制御溶接技術

高品質化

- ✓ 母材希釈（溶融量）の低減
- ✓ 溶接変形の低減
- ✓ 溶接部（WM・HAZ）組織の制御
- ✓ 脆化部・軟化部極小化

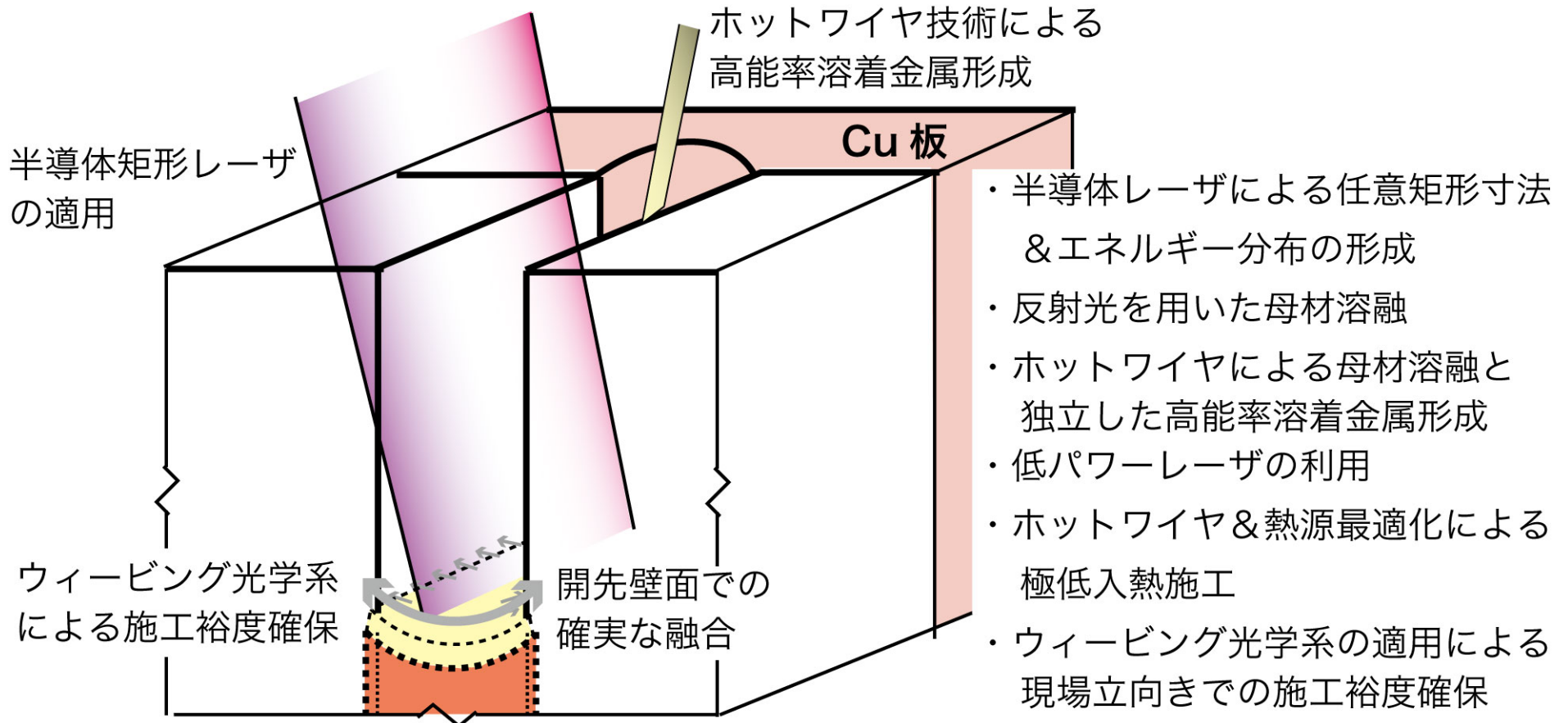
高能率化・低コスト化

- ✓ リモートレーザによる熱源最適化
- ✓ 溶着金属量の独立制御
- ✓ 低パワーレーザによる施工
- ✓ 鋼材・溶材の設計条件緩和



ホットワイヤ・レーザ溶接法を用いた 極厚鋼板立向き溶接技術

ホットワイヤ・半導体レーザ溶接法を用いた 極厚鋼板立向き溶接施工技術





研究目標

エレクトロガス溶接に比べて大幅な入熱低減

目標値: 10kJ/mm以下 (エレクトロガス溶接に比べて1/5~1/10)

エレクトロガス溶接と同等以上の施工速度

目標値: 2m/hr以上

エレクトロガス溶接と同等以上の施工裕度

目標値: 【開先状態】ガス・プラズマ切断

【開先裕度】設定値(例えば10mm)±5mm

低希釈化(母材溶融量削減)による溶接金属制御

目標値: 希釈率20%以下



実験項目(2:板厚45mmでの検討)

(2-1)

板厚:45~50mm, 開先幅:5mm, 高さ:100mm

矩形レーザ(5mm x 48mm)適用

(2-2)

板厚:45~50mm, 開先幅:5~10mm, 高さ:100mm

矩形レーザ(3.5mm x 48mm, ウィービング)適用

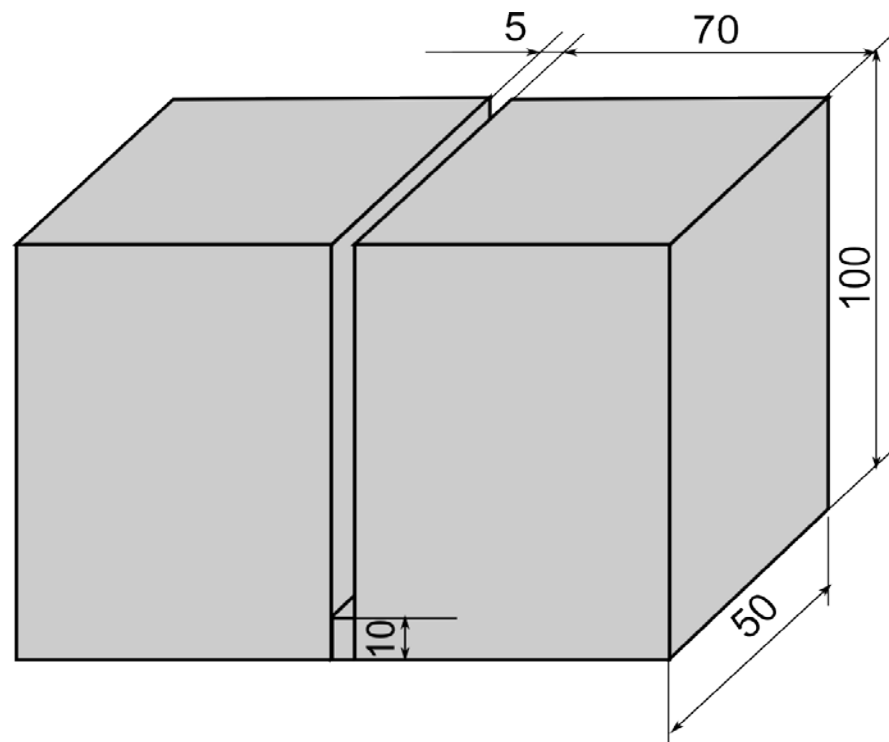
(2-3)

板厚:45mm, 開先幅:10mm, 高さ:200mm

矩形レーザ(3.5mm x 48mm, ウィービング)適用



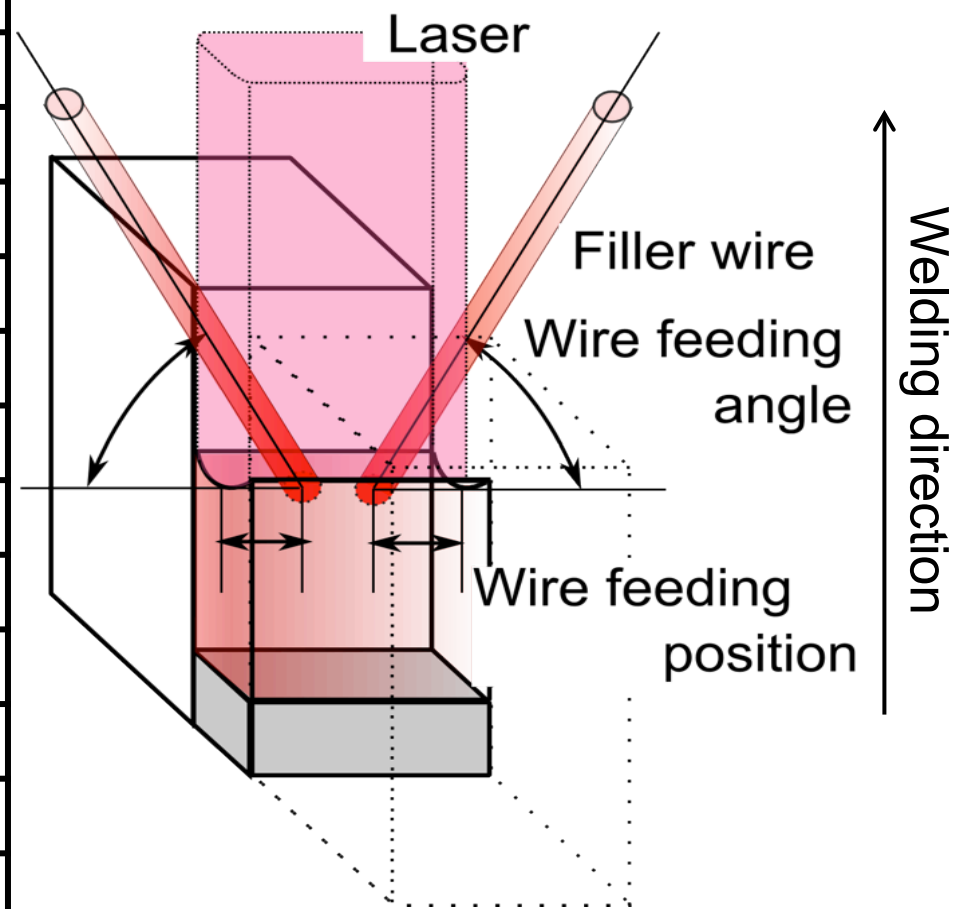
母材: EH47
(板厚: 50mm)
ワイヤ: YM-28
(ϕ 1.2mm)





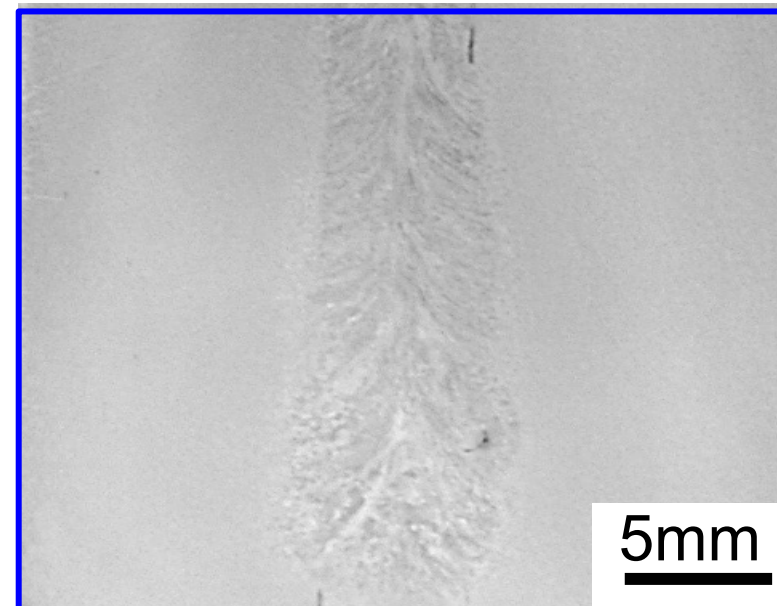
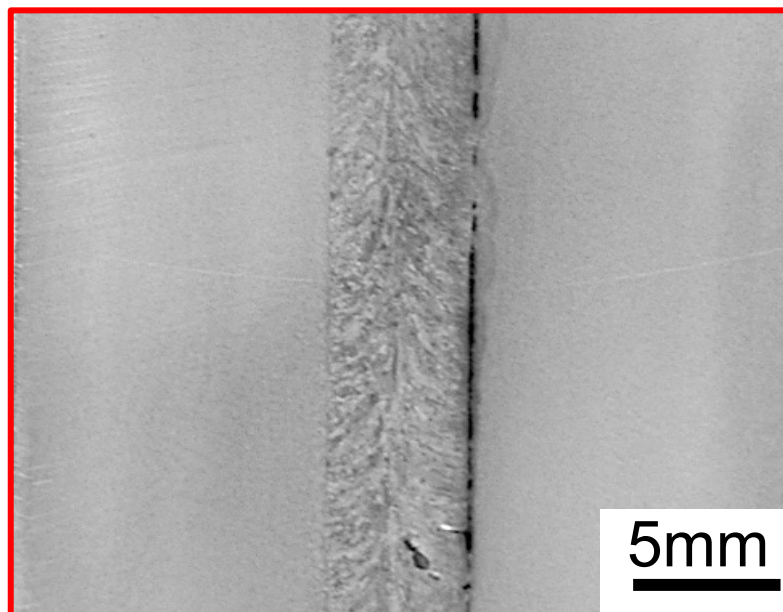
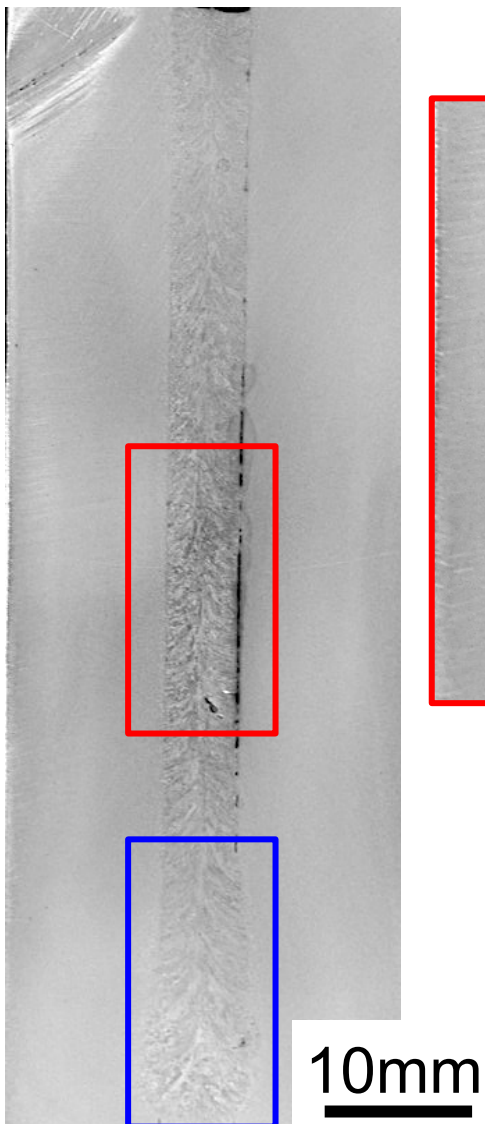
溶接条件(2-1)

Laser type	LD
Fiber core (mm)	0.4
Focus lens (mm)	1000
homogenizer	FF4
Laser power (kW)	6
Spot size (mm)	5 × 48
Defocus (mm)	100
Welding speed (m/h)	1.0
Wire feeding speed (m/min)	1.80
Wire current (A)	65
Wire feeding angle (degree)	45
Wire feeding position (mm)	2
Shielding gas (Ar) (ℓ/min)	10,50
Pre irradiation (s)	180





断面観察結果



Laser power:6kW Spot size:5 × 48mm
Welding speed:1.0m/h Wire feeding speed:1.80m/min
Wire current:65A Wire feeding angle:45°
Shielding gas:10,50ℓ/min Pre irradiation:180s



(2-1)

板厚: 45~50mm, 開先幅: 5mm, 高さ: 100mm
矩形レーザ (5mm x 48mm) 適用

(2-2)

板厚: 45~50mm, 開先幅: 5~10mm, 高さ: 100mm
矩形レーザ (3.5mm x 48mm, ウィービング) 適用

(2-3)

板厚: 45mm, 開先幅: 10mm, 高さ: 200mm
矩形レーザ (3.5mm x 48mm, ウィービング) 適用

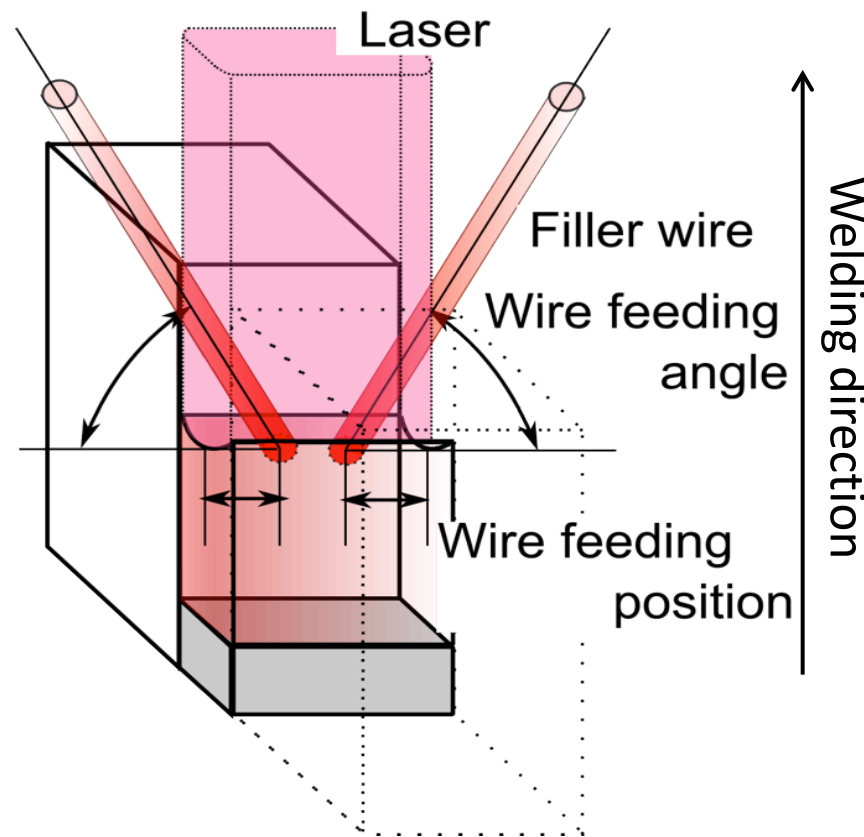


溶接条件(2-2)

Hiroshima University

Graduate School of Engineering

Laser type	LD		
Fiber core (mm)	0.4		
Focus lens (mm)	1000		
homogenizer	FF4		
Laser power (kW)	6		
Spot size (mm)	3.5 × 45		
Defocus (mm)	0		
Welding speed (m/h)	1.0	0.5	
Wire feeding speed (m/min)	1.66	2.32	1.66
Wire current (A)	48	61	43
Wire feeding angle (degree)	45		
Wire feeding position (mm)	2		
Shielding gas (Ar) (ℓ/min)	10,50		
Pre irradiation (s)	180		
Gap size (mm) and Weaving spot size (mm)	5 5.5	7 7.5	10 11



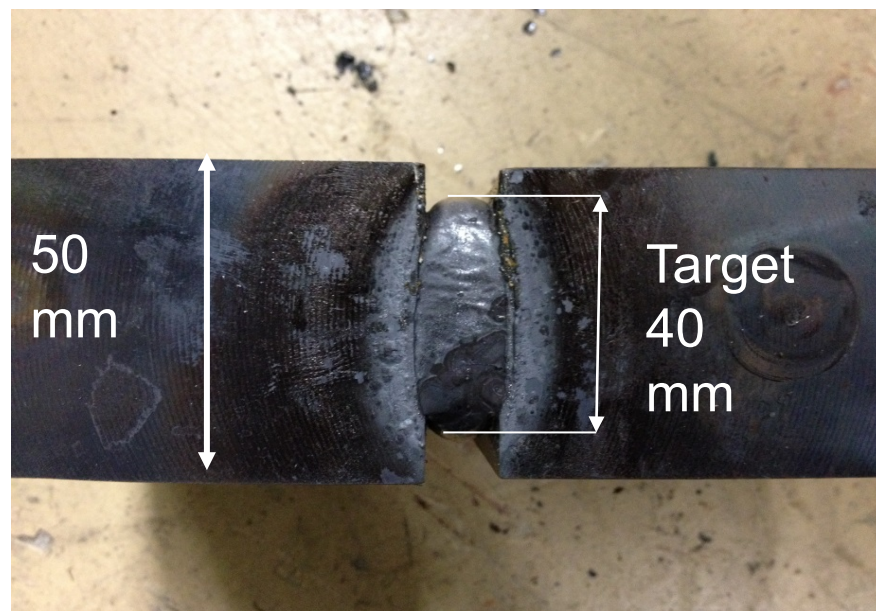
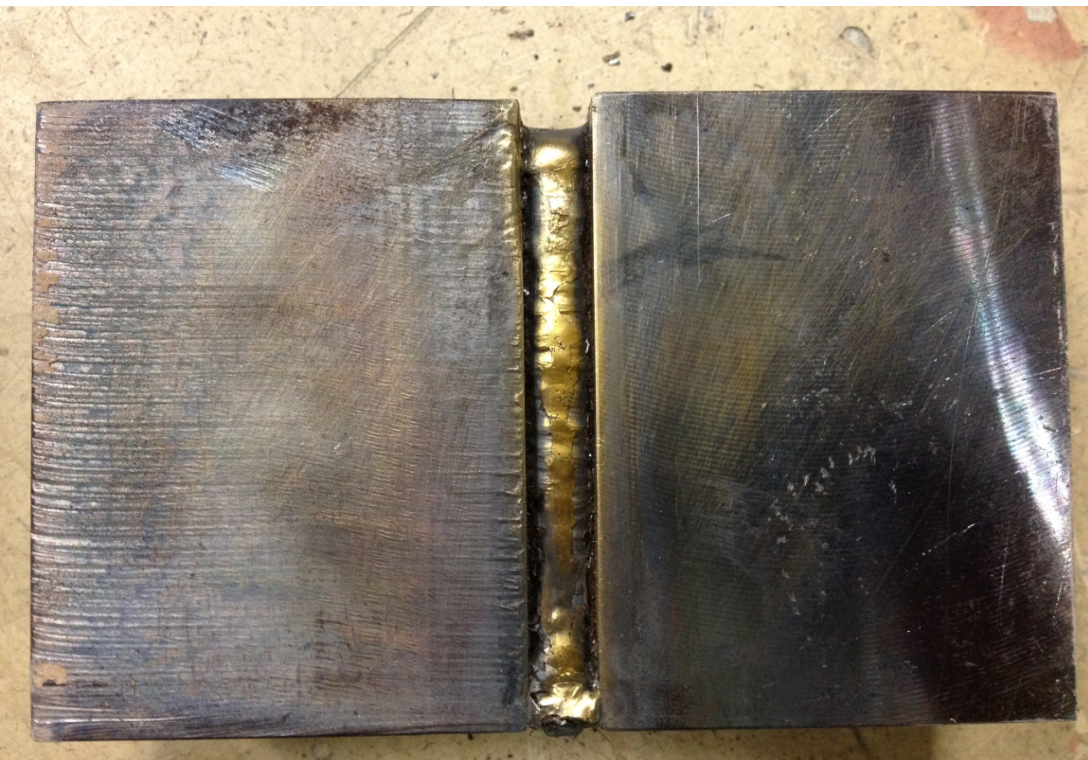


Hiroshima University

実験後の外観

(Gap: 10 mm, 溶接速度: 1.0 m/h)

Graduate School of Engineering

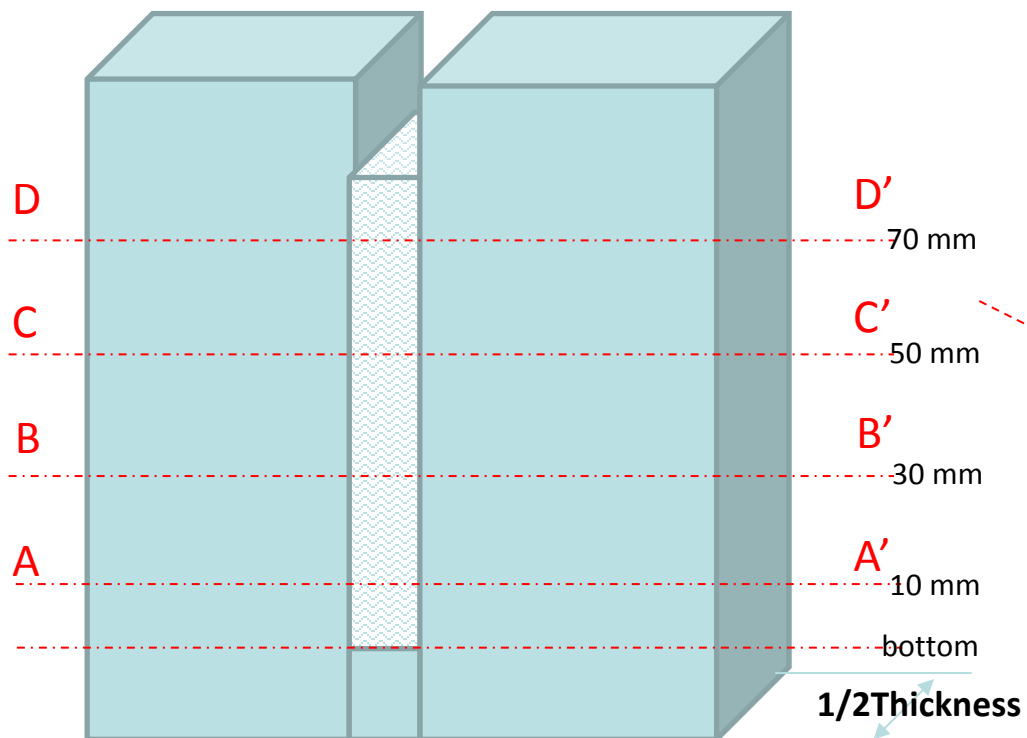




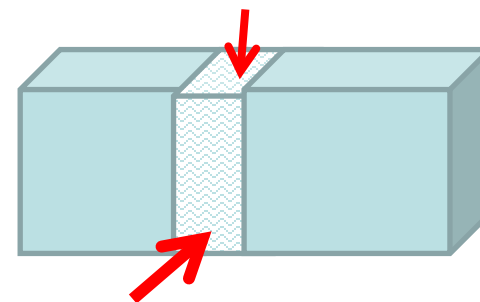
断面観察方法

Half-cut specimen (1/2Thickness)

Example of cutting part from 50mm-70 mm



Transverse welding direction plan

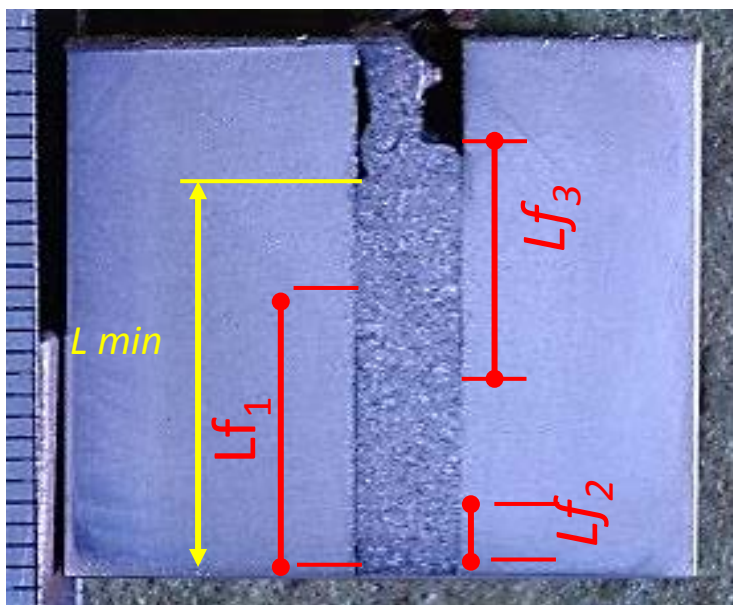


Parallel welding direction plan



接合率等の観察方法

板厚方向断面

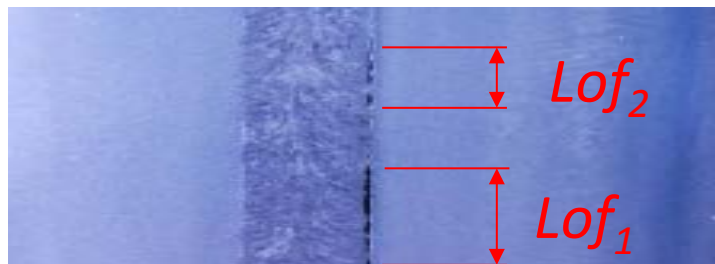


D% : 板厚方向での溶接金属充填率

F1%: 板厚方向での接合率

(対Lmin, 対全厚)

溶接方向断面



F2%: 溶接方向での接合率

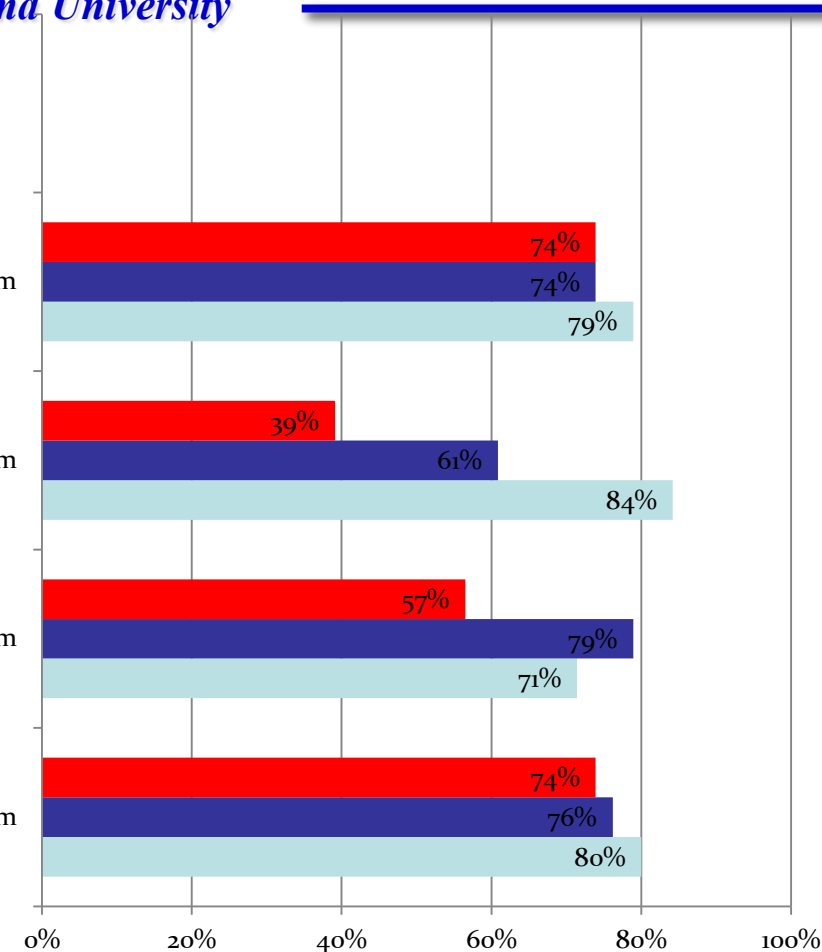


接合率・充填率計測結果

Hiroshima University

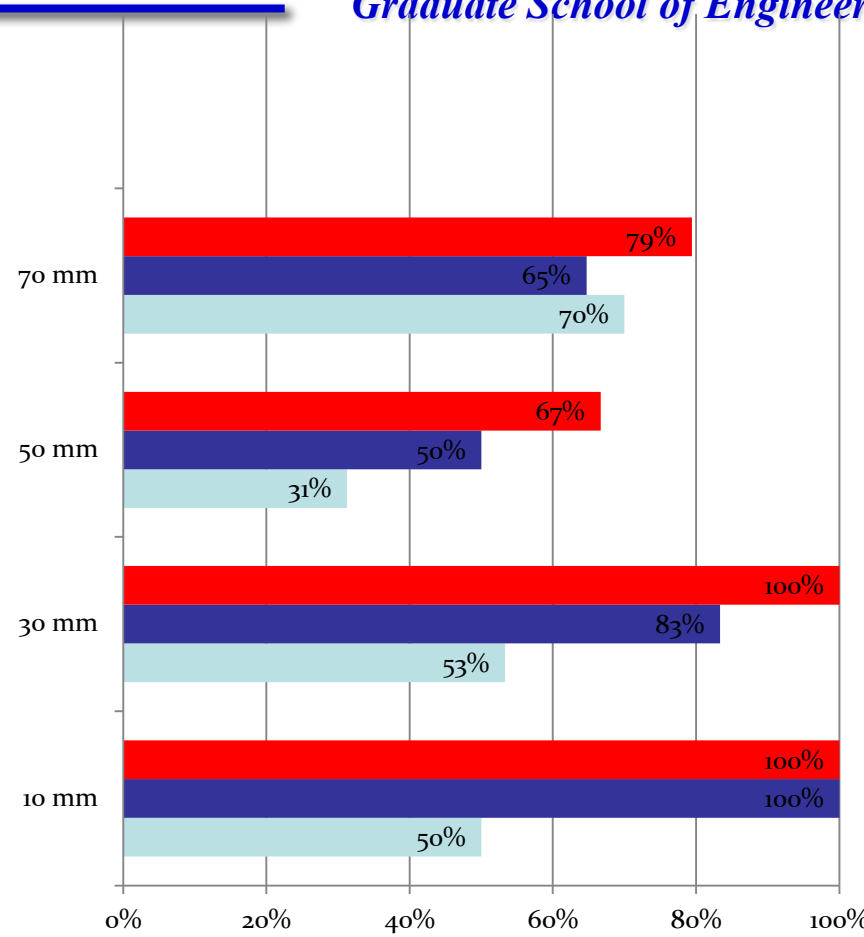
Graduate School of Engineering

Distance of welded inspection from bottom



Percent (%) of fulfill on 1/2 groove thickness; (D%)

- Gap 5, Weaving 5.5 mm
- Gap 7 mm Weaving 7.5 mm
- Gap 10 mm Weaving 11 mm 0.5 m/h

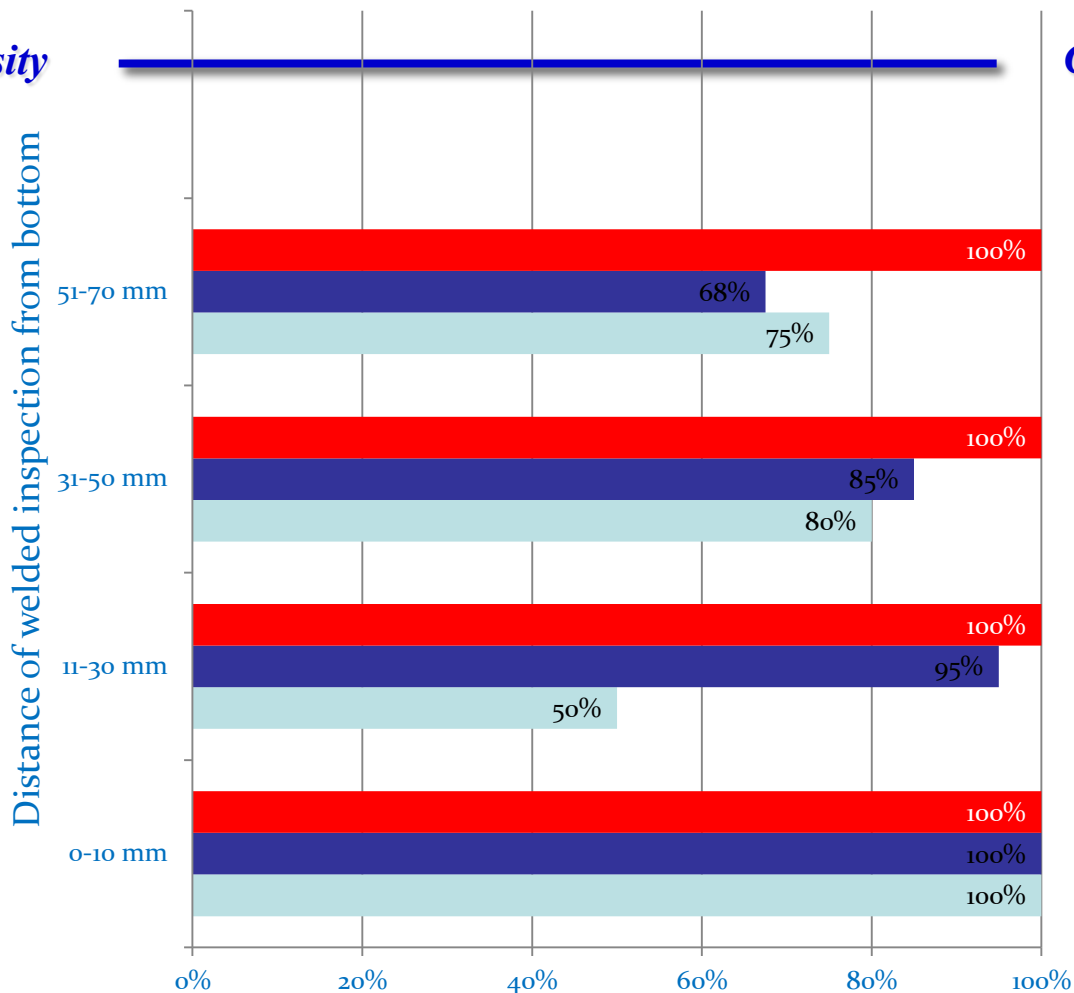


Percent (%) of complete fusion (1/2TH); (F1%)

- Gap 5, Weaving 5.5 mm
- Gap 7 mm Weaving 7.5 mm
- Gap 10 mm Weaving 11 mm 0.5 m/h



接合率計測結果

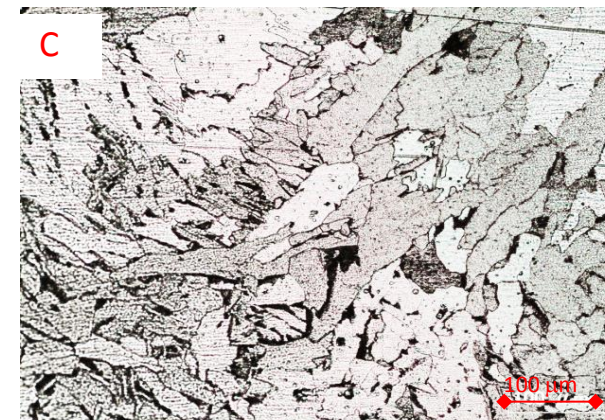
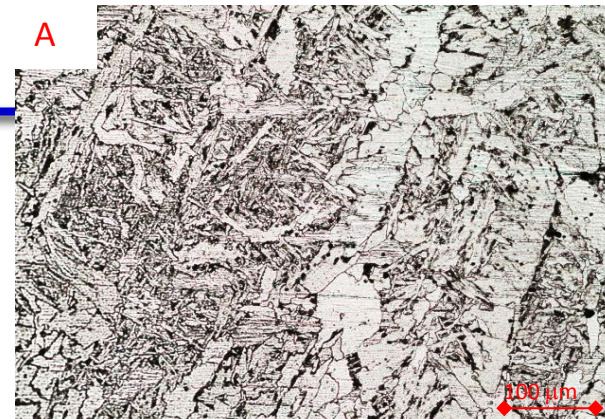
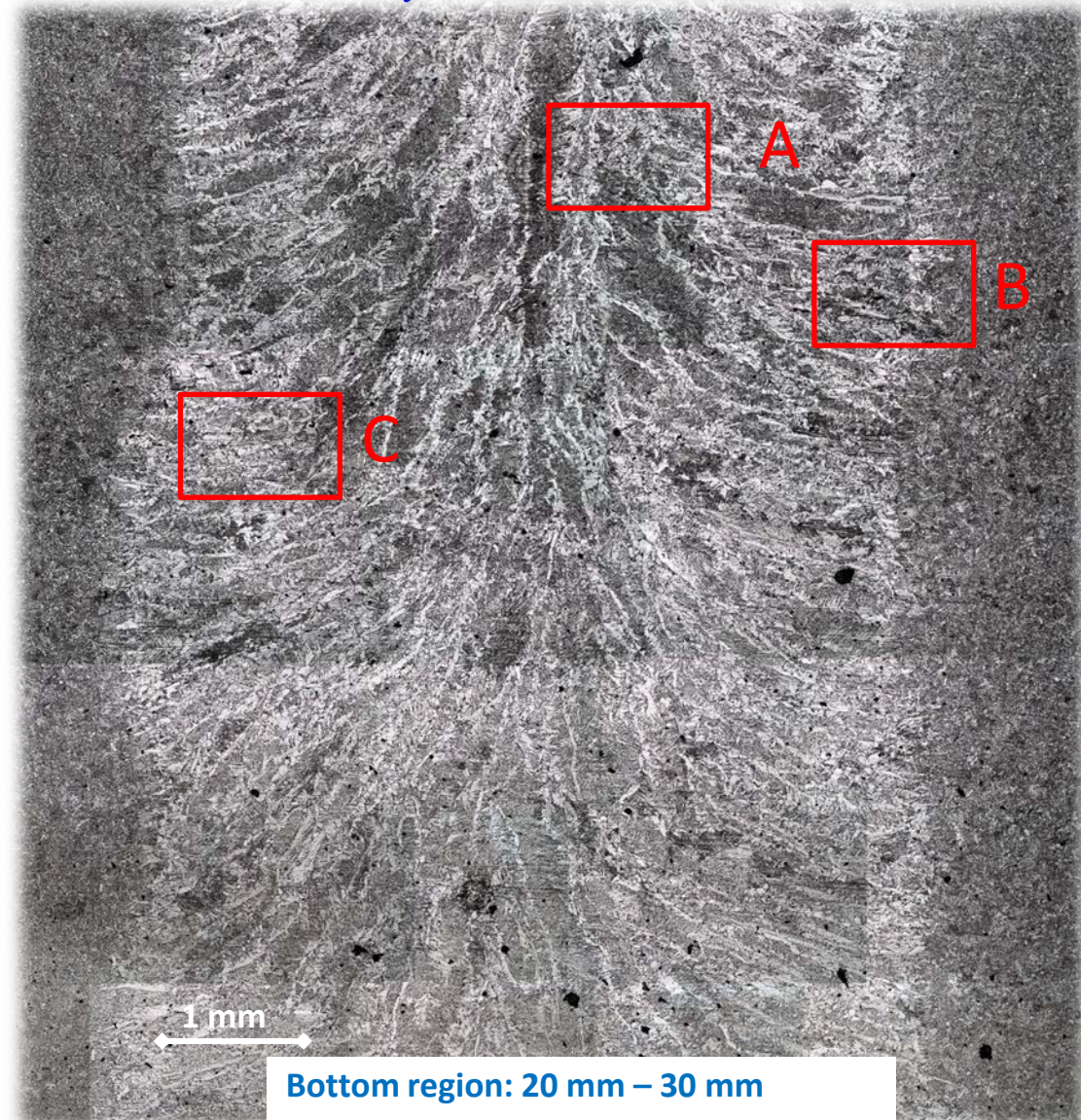


Percent (%) of complete fusion in Welding direction; (F2%)

- Gap 5, Weaving 5.5 mm
- Gap 7 mm Weaving 7.5 mm
- Gap 10 mm Weaving 11 mm 0.5 m/h

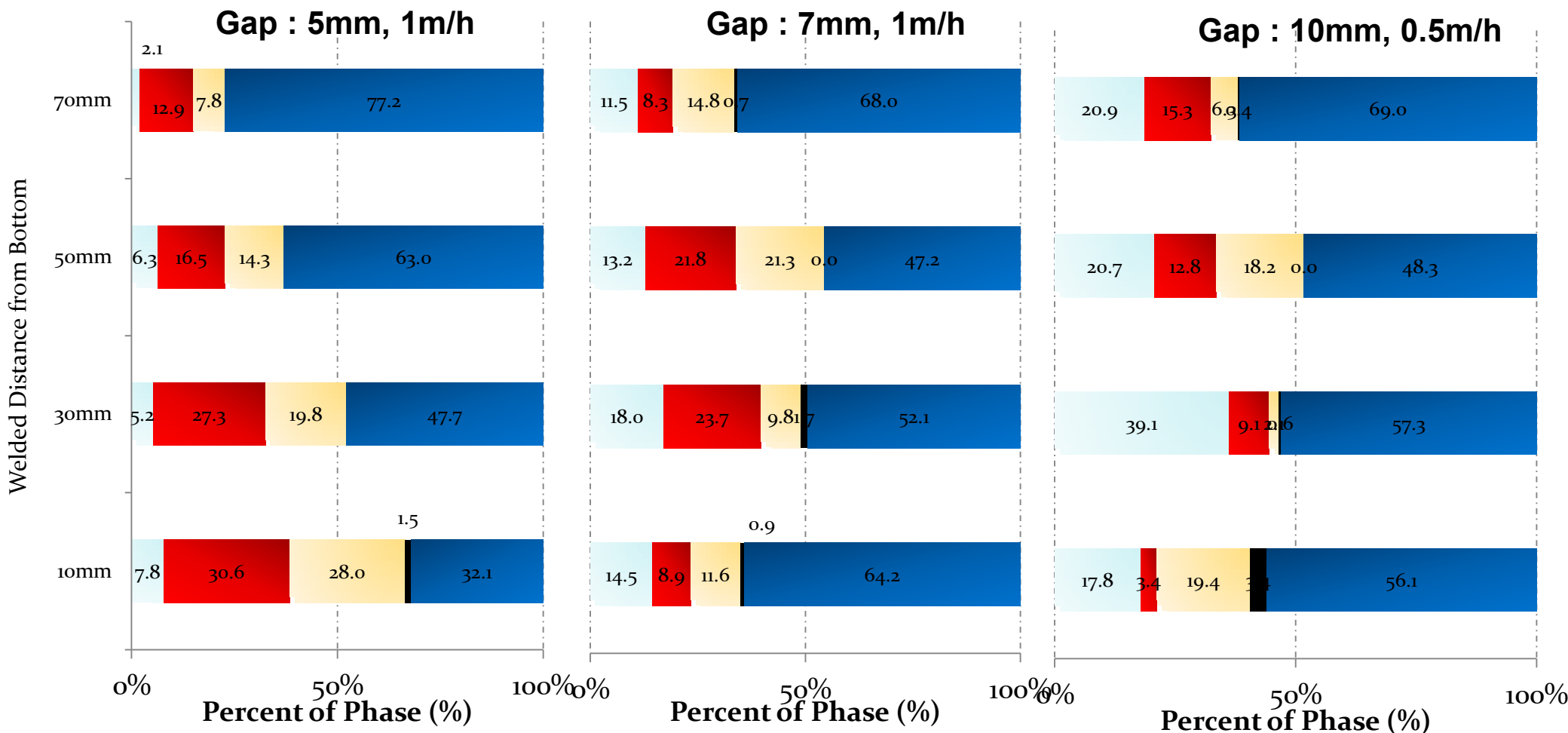


ミク口組織観察結果 (Gap : 5mm)





相分率計測結果

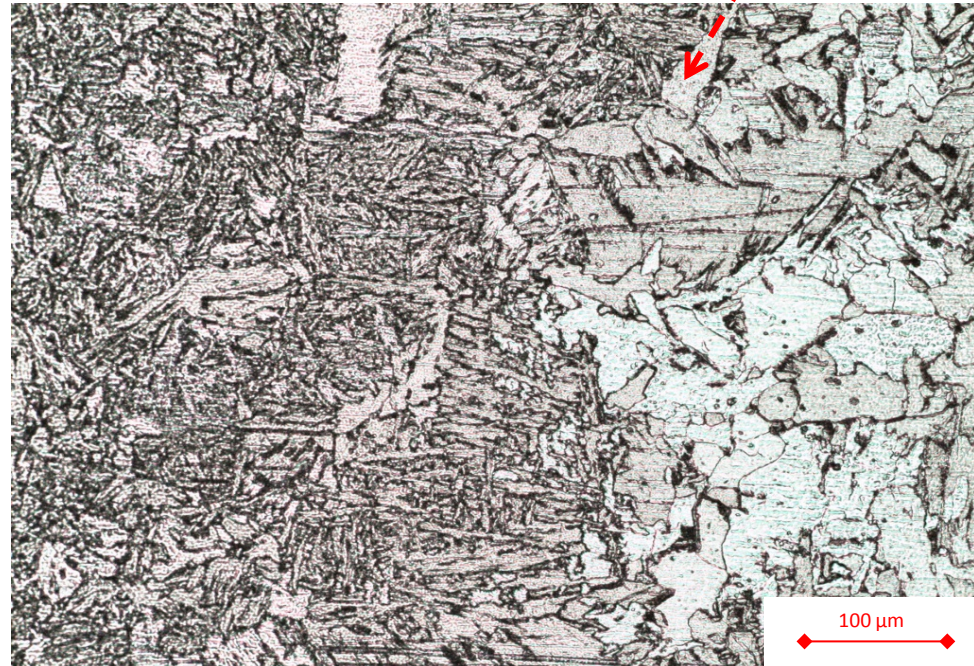


Color bar means: ■ Bainite, ■ Acicular ferrite, ■ Coarse Acicular ferrite, ■ Widmanstätten
 And ■ GB allotriomorphic ferrite, coarse polygonal ferrite and pearlite (restructive transformed group)



HAZミク口組織 (Gap : 5mm)

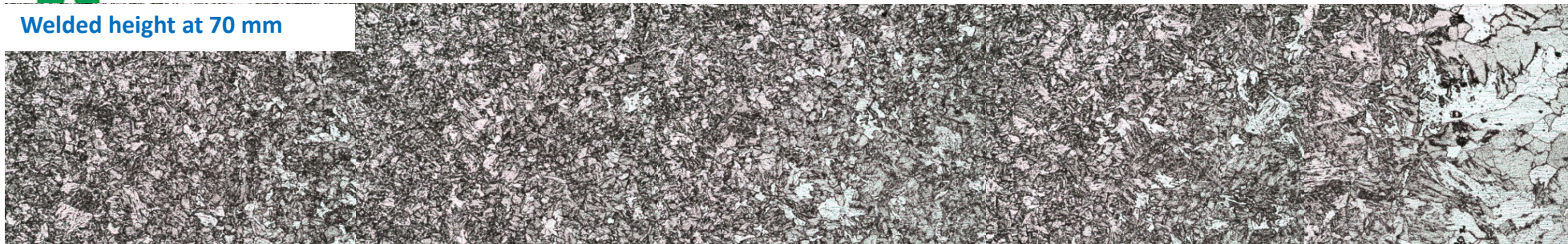
HAZ | Weld metal



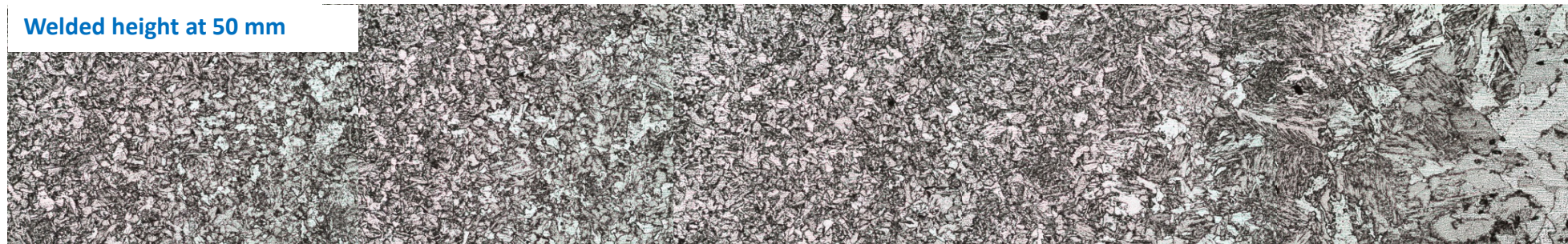


HAZミク口組織 (Gap : 5mm)

Welded height at 70 mm



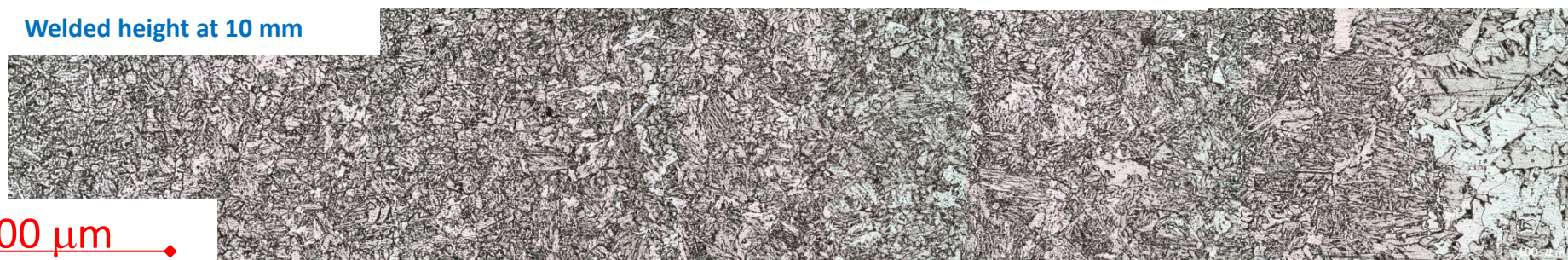
Welded height at 50 mm



Welded height at 30 mm



Welded height at 10 mm

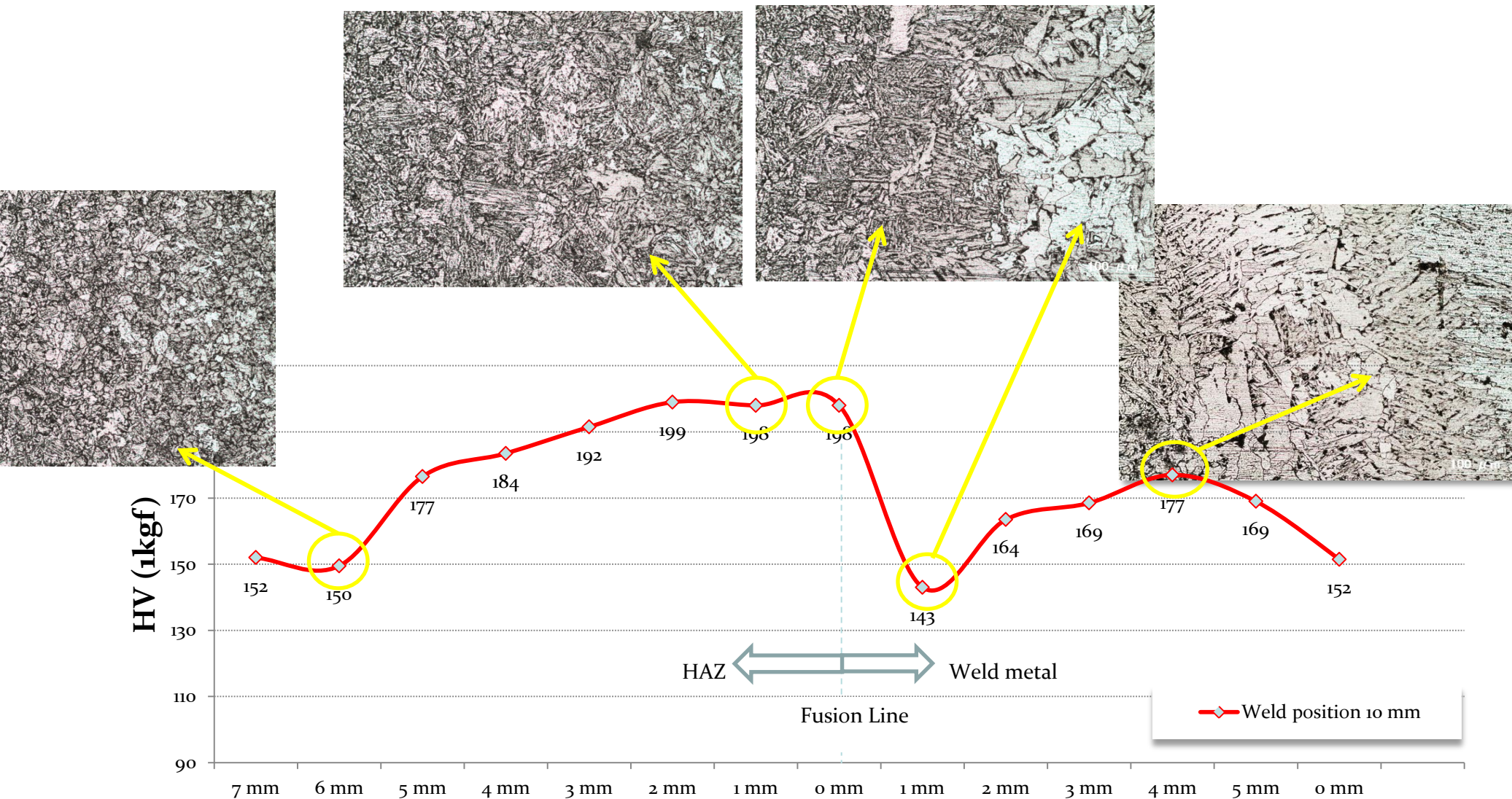


500 μm





硬さ計測結果 (Gap : 5mm)





(2-1)

板厚: 45~50mm, 開先幅: 5mm, 高さ: 100mm
矩形レーザ (5mm x 48mm) 適用

(2-2)

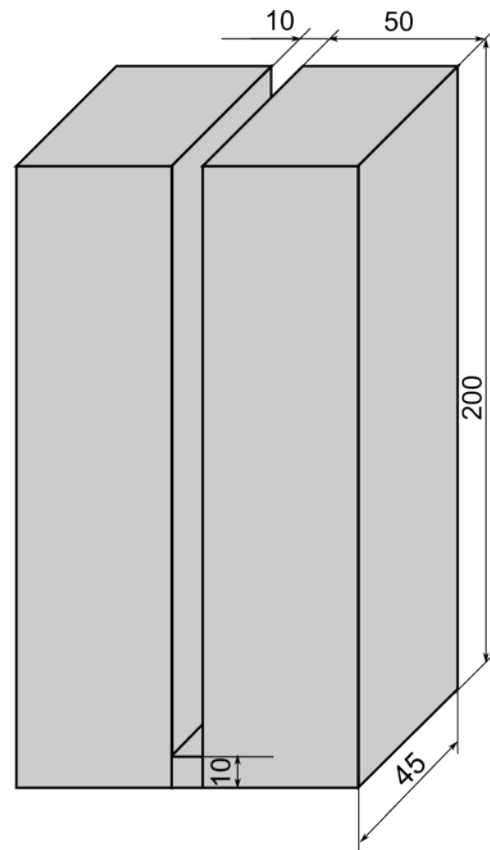
板厚: 45~50mm, 開先幅: 5~10mm, 高さ: 100mm
矩形レーザ (3.5mm x 48mm, ウィービング) 適用

(2-3)

板厚: 45mm, 開先幅: 10mm, 高さ: 200mm
矩形レーザ (3.5mm x 48mm, ウィービング) 適用



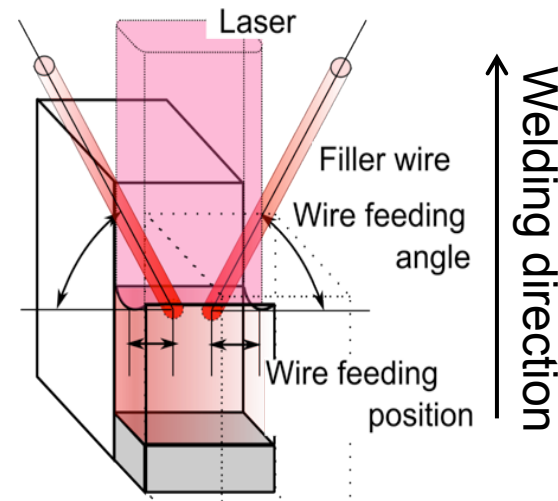
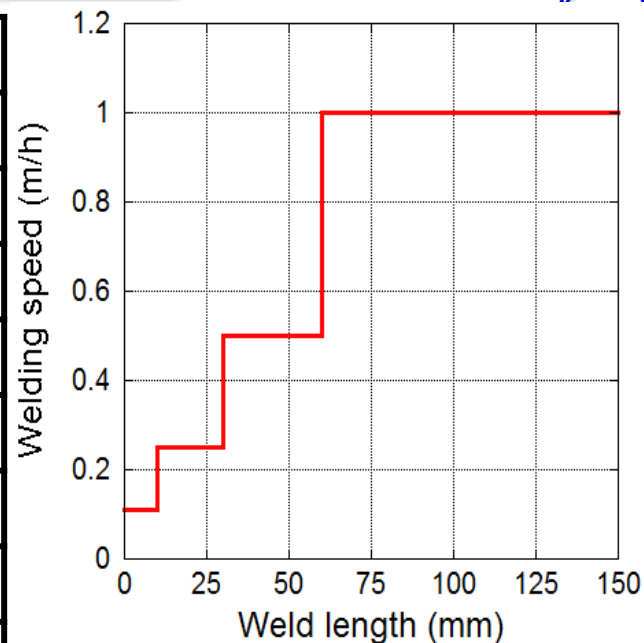
母材: EH47
(板厚: 50mm)
ワイヤ: YM-28
(ϕ 1.2mm)





溶接条件(2-3)

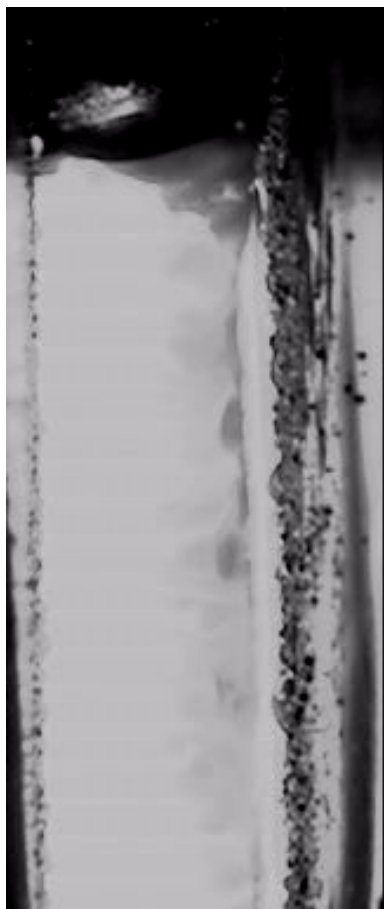
Laser type	LD			
Fiber core, mm	0.4			
Focus lens, mm	1000			
Homogenizer	LL4			
Laser power, kW	6			
Spot size, mm	3.5 × 45			
Weaving spot size, mm	11 × 43			
Defocus, mm	0			
Welding speed, m/h	0.11	0.25	0.5	1.0
Wire feeding speed, m/min	0.33	0.79	1.66	3.32
Wire current, A	18	26	39	-
Wire feeding angle, degree	45			
Wire feeding position, mm	2			
Shielding gas (Ar), L/min	10,50			
Pre irradiation, s	180			





溶接中の可視化画像

0.1 m/h



0.25 m/h

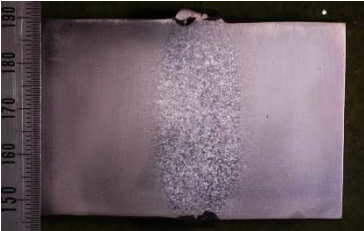
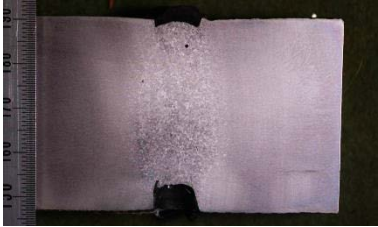




1.0 m/h





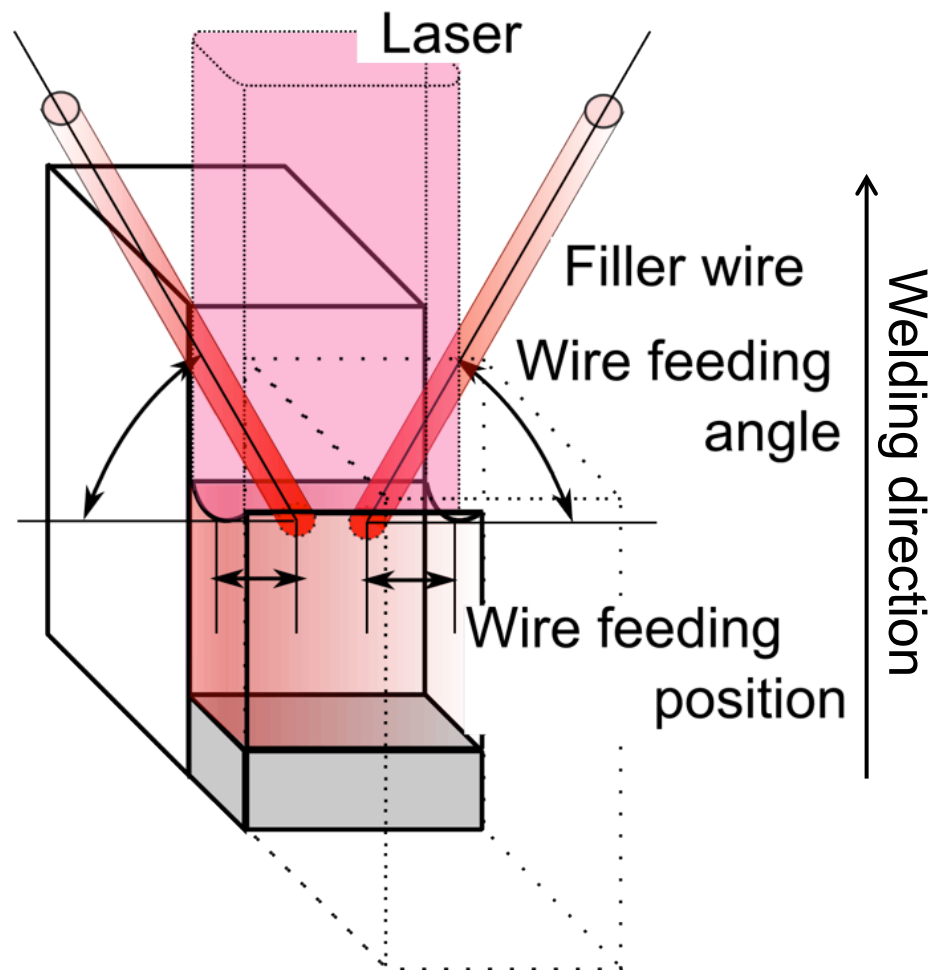
断面観察結果

Transverse section at welded distance (mm)	Macro section on perpendicular of welding direction	Percent (%) of fulfill on 1/2 groove thickness; (D%)	Percent (%) of complete fusion over D%; (F1%)
0.1 m/h at 15 mm from bottom		100%	100 %
			100 % of groove length
0.25 m/h at 30 mm from bottom		82 %	100 %
			82 % of groove length
0.5 m/h at 58 mm from bottom		82%	96 %
			78 % of groove length
1.0 m/h at 80 mm from bottom		87%	55 %
			48 % of groove length



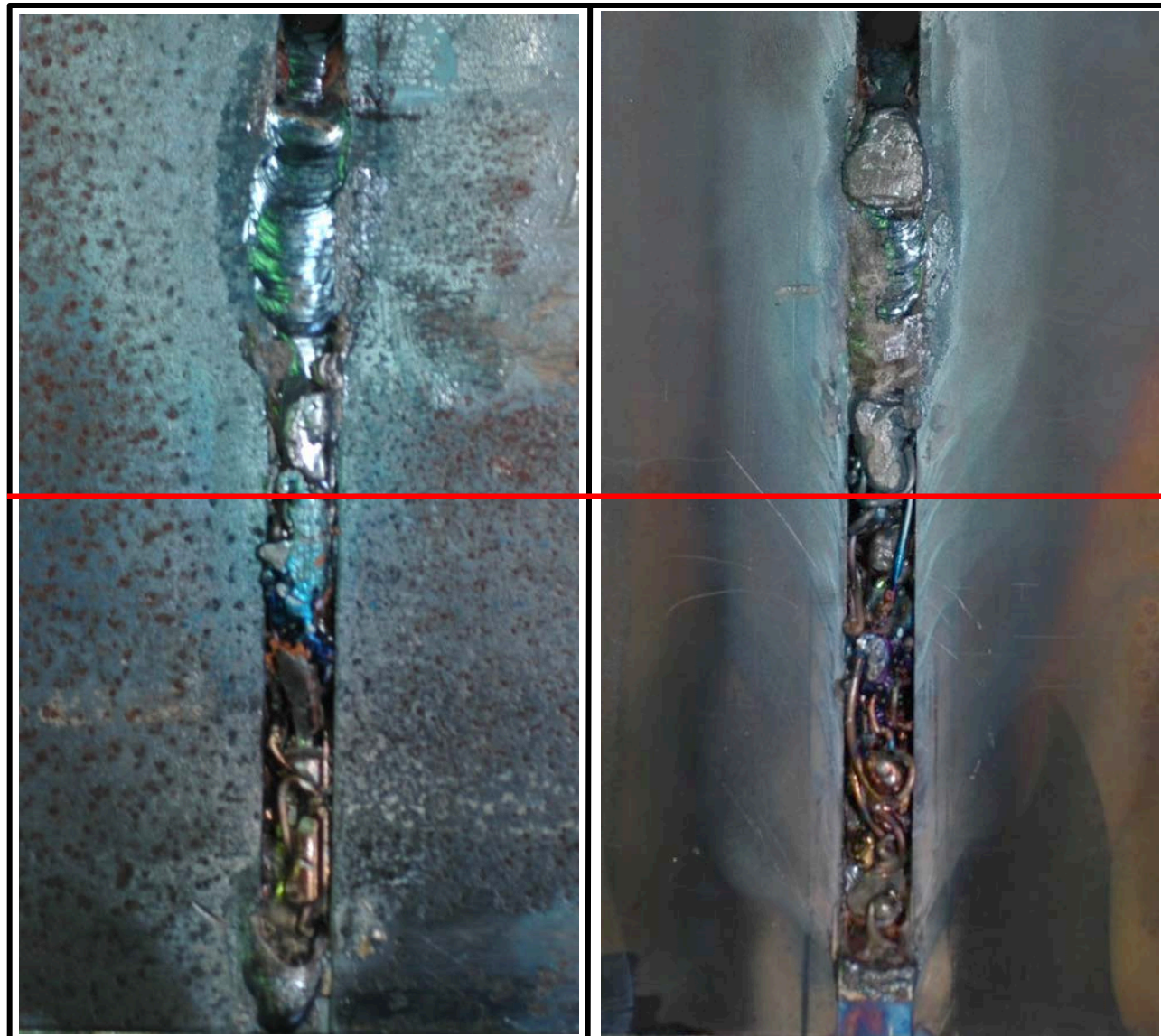
溶接条件(2-3:追加)

Laser type	LD
Fiber core, mm	0.4
Focus lens, mm	1000
homogenizer	LL4
Laser power, kW	6
Spot size, mm	3.5 × 45
Weaving spot size, mm	11 × 43
Defocus, mm	0
Welding speed, m/h	0.25
Wire feeding speed, m/min	0.79
Wire current, A	27
Wire feeding angle, degree	45
Wire feeding position, mm	2
Shielding gas (Ar), ℓ/min	10,50
Pre irradiation, s	180





実験後の外観



Accumulate zone

Enough heating



Full fill

65mm

Gradient zone

Lack of heating



Not full fill

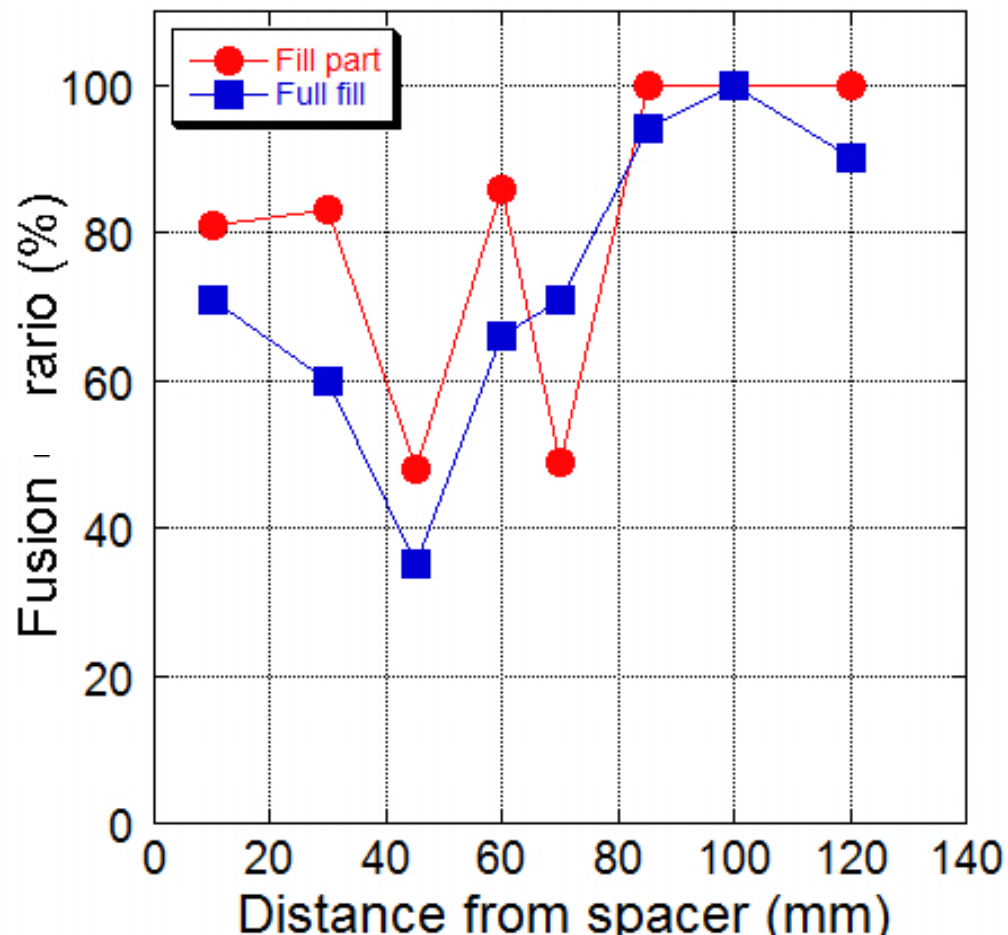
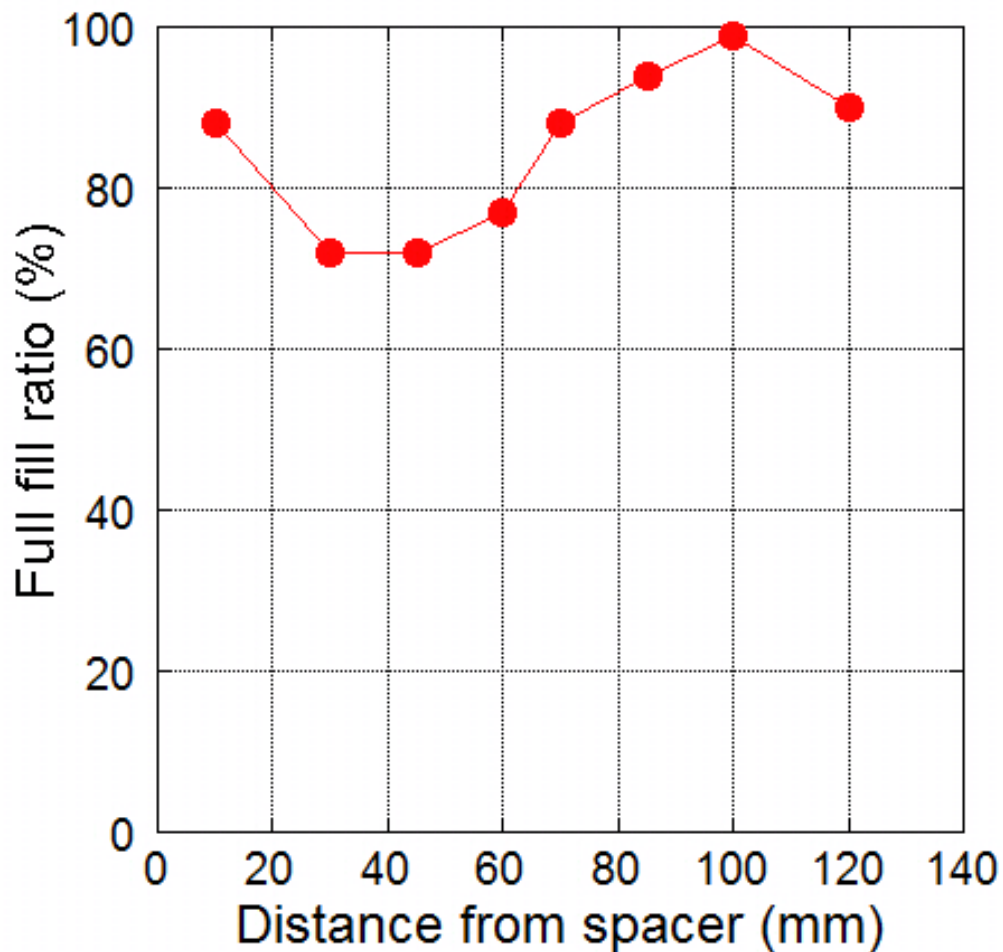
20mm



溶接金属充填率, 接合率

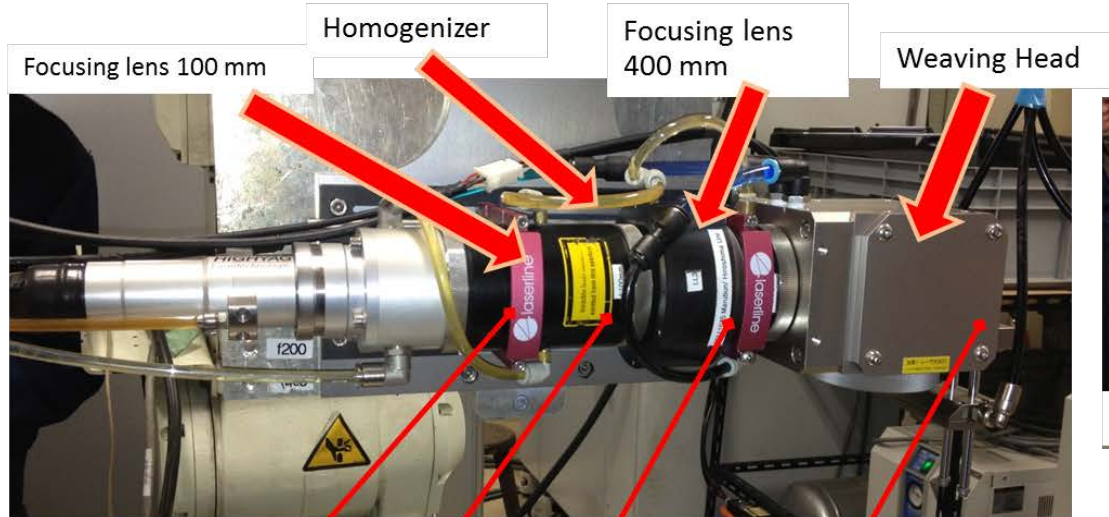
充填率

接合率

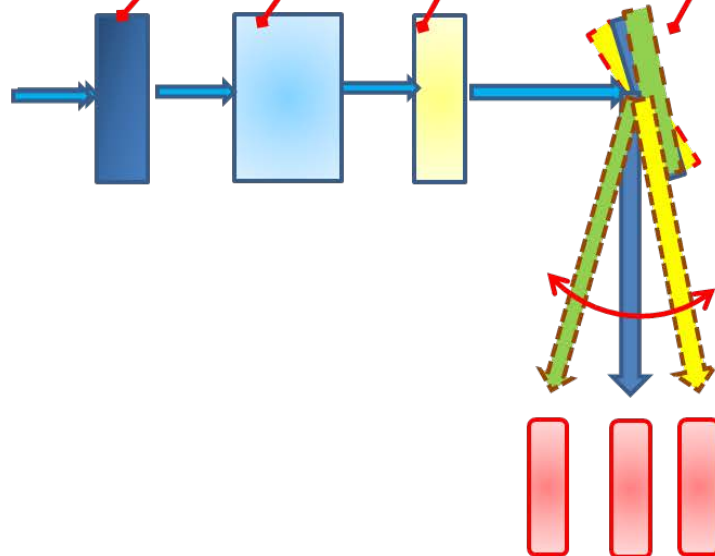




実験項目 (3: ウィービングヘッド)

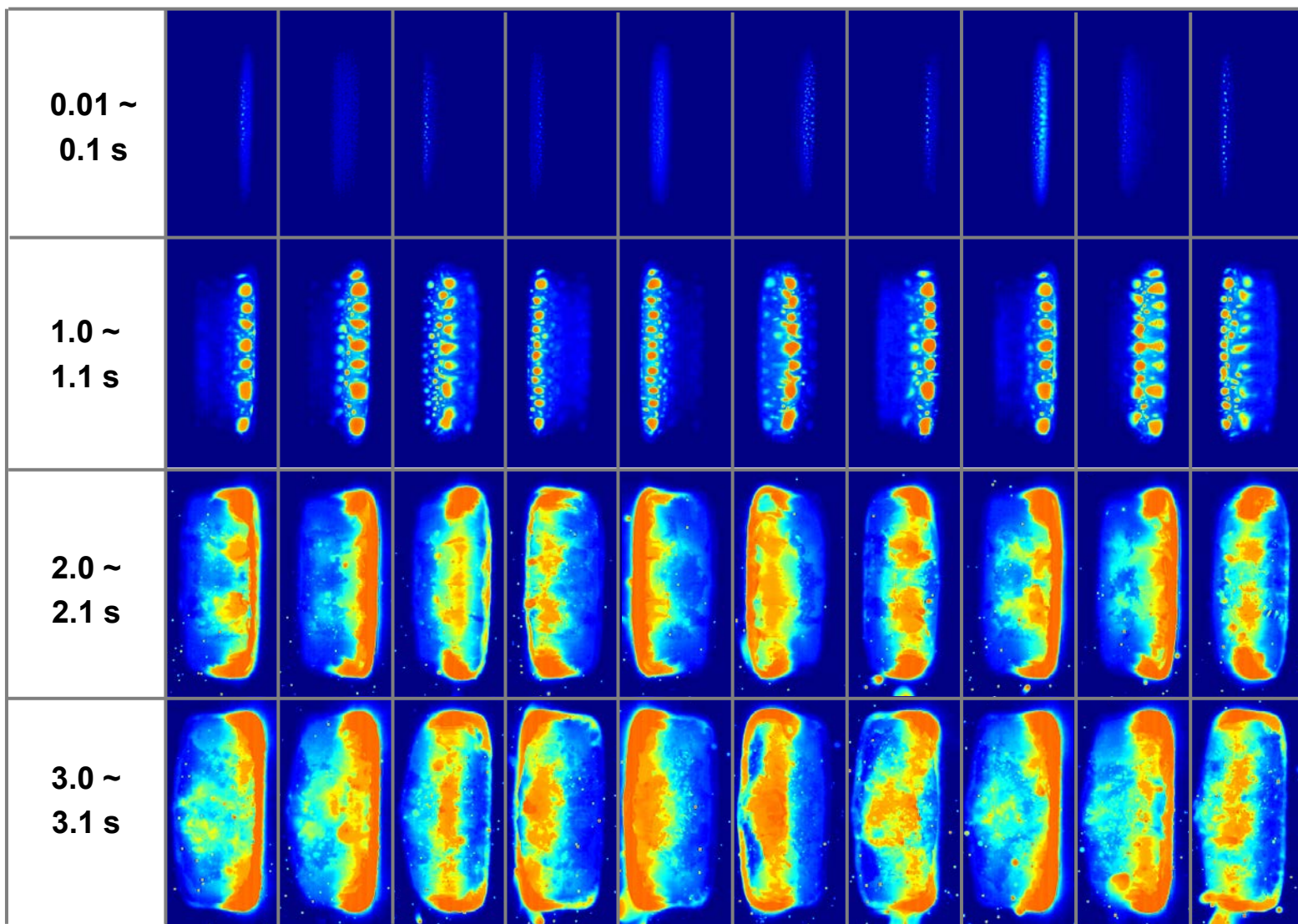


Controller unit



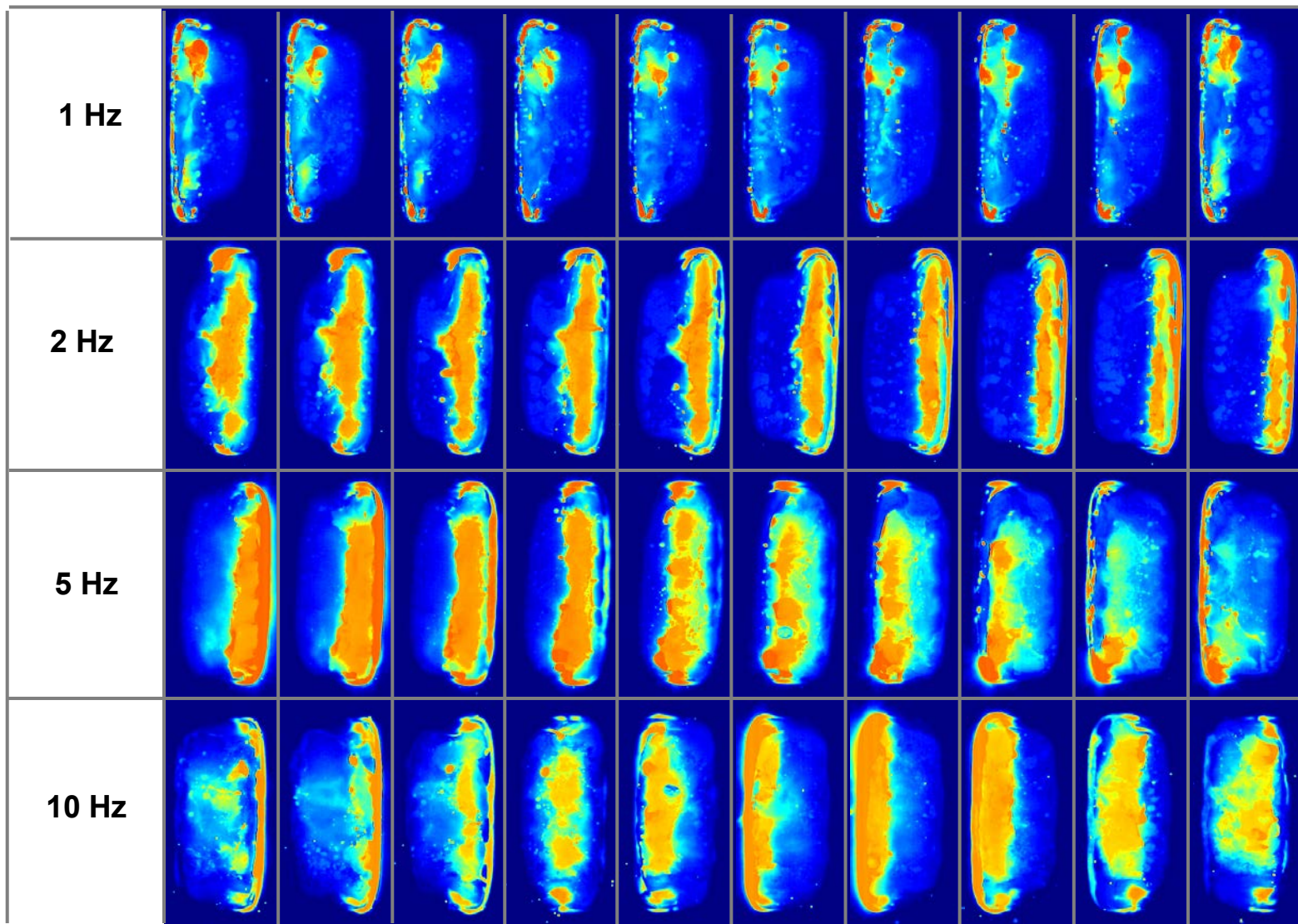


モニタリング結果 (15Hz)





モニタリング結果(1~10Hz, 3s後)



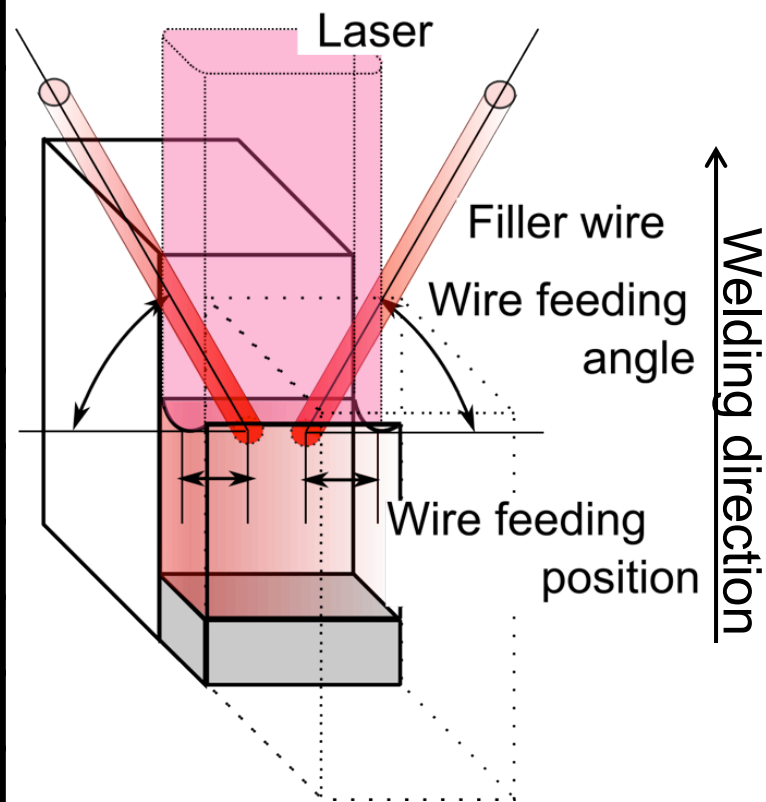


実験条件(3:ウィービングヘッド)

Hiroshima University

Graduate School of Engineering

Laser type	LD		
Fiber core, mm	1		
Focus lens, mm	400		
homogenizer	LL3		
Laser power, kW	6		
Defocus, mm	50		
Weaving spot size, mm	11 × 28		
Weaving frequency, Hz	15		
Welding speed, m/h	1.0	2.0	3.0
Wire feeding speed, m/min	1.24	2.48	3.72
Wire current, A	61	100	132
Wire feeding angle, degree	45		
Wire feeding position, mm	-1		
Shielding gas (Ar), ℓ/min	20	30	
Pre irradiation, s	120		





溶接ビード外観

Welding speed : 1m/h



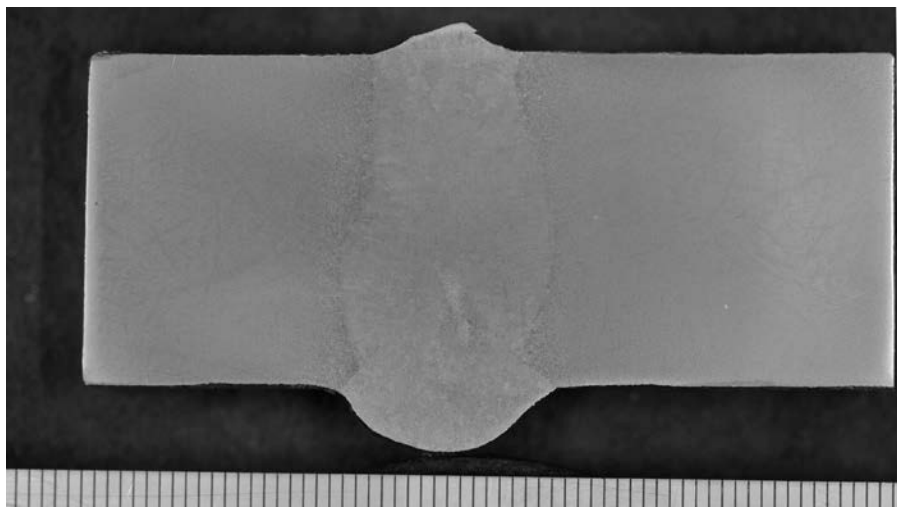
Welding speed : 2m/h





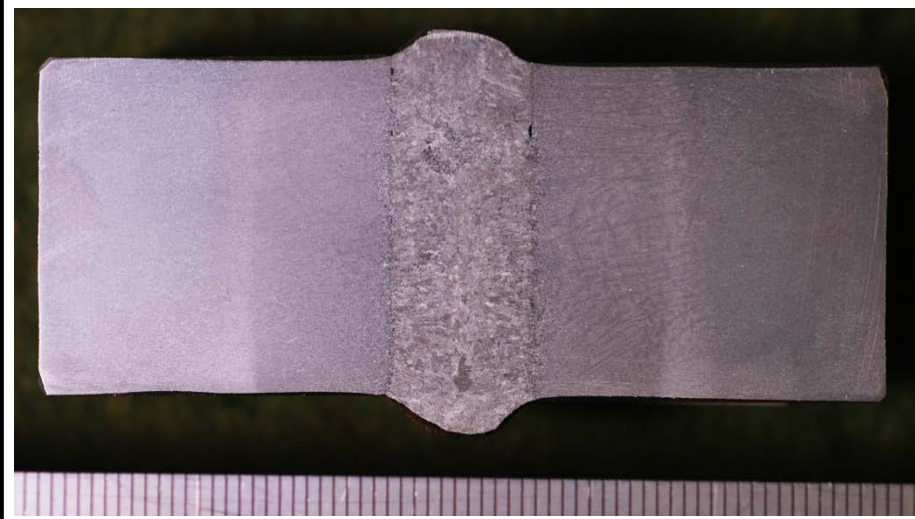
断面観察結果

1.0 m/h



Joint fulfill : 100 %
Lack of fusion : 0 %
Penetration depth : 3.2 mm
Dilution ratio : 26 %

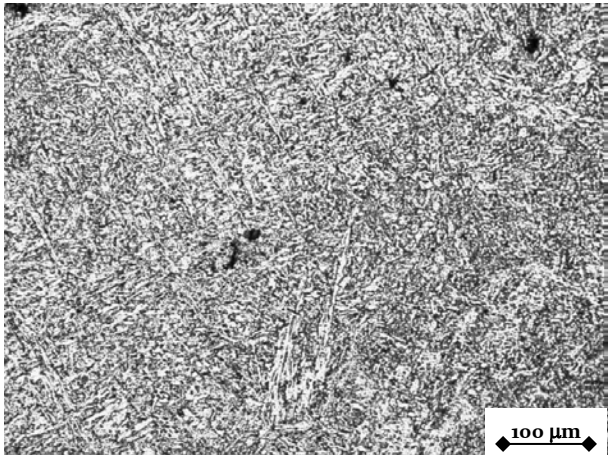
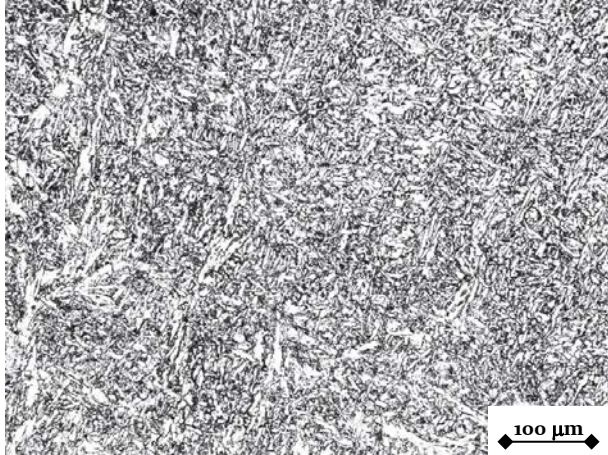
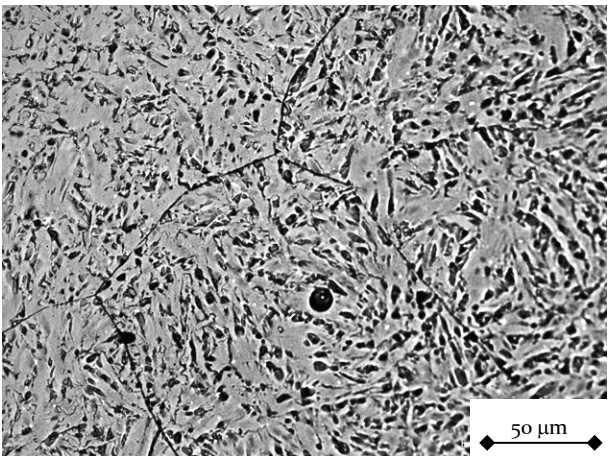
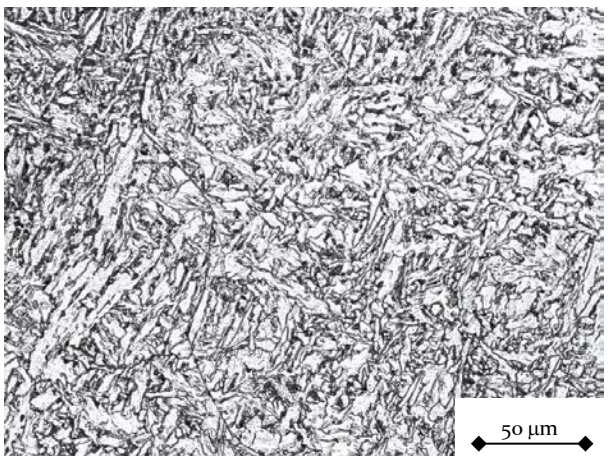
2.0 m/h



Joint fulfill : 100 %
Lack of fusion : 22 %
Penetration depth : 0.6 mm
Dilution ratio : 6 %

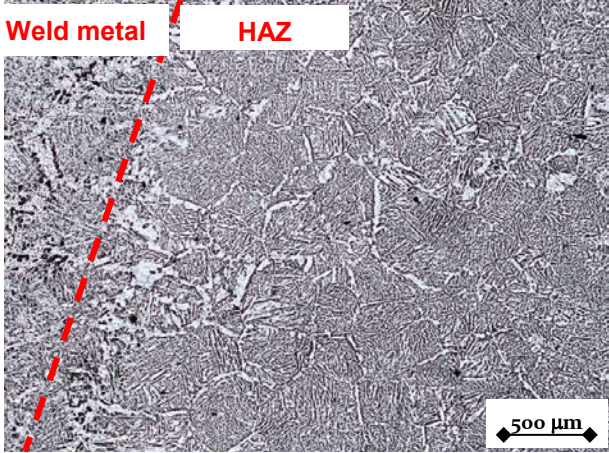
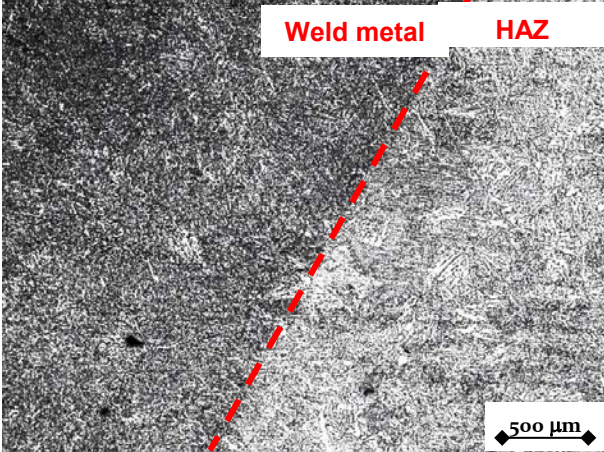
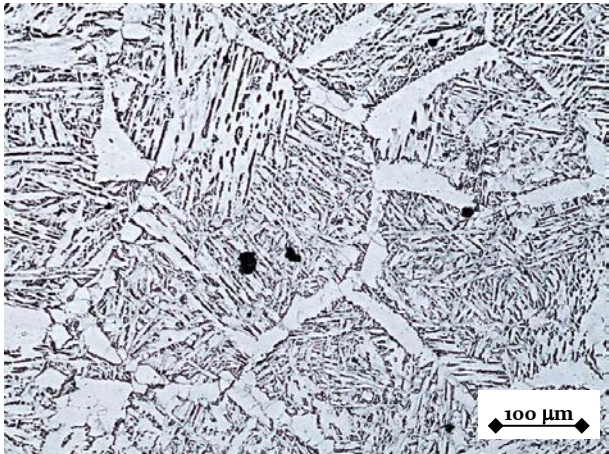
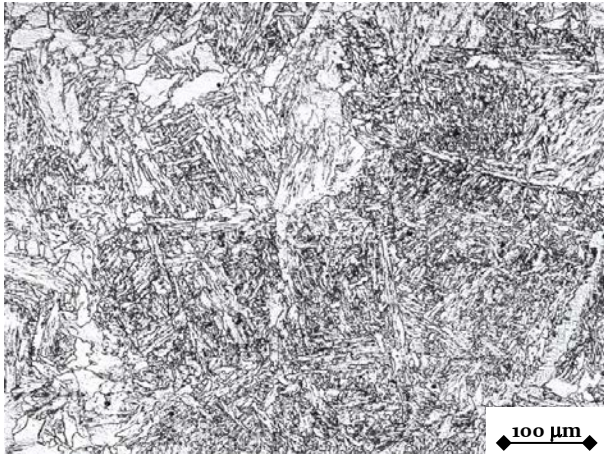


ミク口組織観察結果

Investigated zone	Stationary laser beam 6 kW Welding speed 0.25 --> 1.0 m/h	Weaving laser beam 6 kW Welding speed 1.0 m/hour
Weld metal (x 200)		
Weld metal (x 500)		



ミクロ組織観察結果

Investigated zone	Stationary laser beam 6 kW Welding speed 0.25 --> 1.0 m/h	Weaving laser beam 6 kW Welding speed 1.0 m/hour
Fusion boundary (x 50)		
Fusion boundary (x 200)		

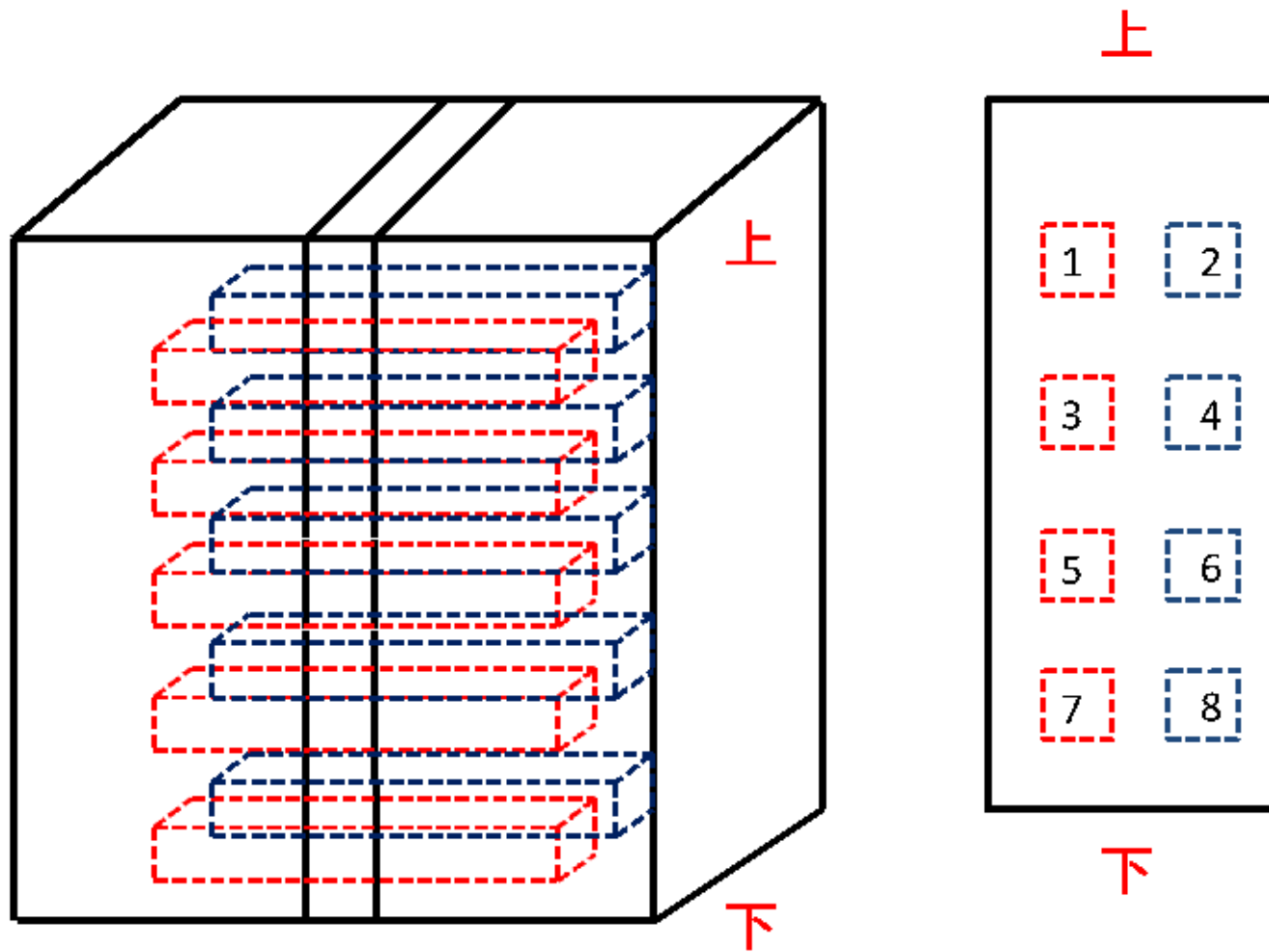


シャルピー衝撃試験(溶接条件)

試験体番号	5	7	8	9
レーザータイプ	LD, Weaving head			
レーザー出力(kw)	6			
スポットサイズ(mm)	5.5 × 30			
溶接速度(m/h)	2.0		1.0	
ワイヤ供給速度(m/min)	2.48		1.24	
ワイヤ電流(A)	100		61	
ワイヤ供給角度(degree)	45			
ワイヤ供給位置(mm)	0		-1	0
シールドガス Ar (L/min)	20			
予備照射(sec)	60		120	



シャルピー衝撃試験(試験片採取位置)



上の図のような順番で試験片を採取し, 51,52.....と下桁の番号をつけました。



研究成果のまとめ

(1) エレクトロガス溶接に比べて大幅な入熱低減

達成値: 10kJ/mm以下 (板厚26mm, 溶接速度1m/h, 吸収率50%)

(2) エレクトロガス溶接と同等以上の施工速度

達成値: 2m/hr (板厚26mm)

* 6kWレーザー発信器使用時

* 6kWレーザー発信器 x 2台使用時には, 2倍の施工能率を想定

(3) エレクトロガス溶接と同等以上の施工裕度

達成値: 【開先状態】機械加工

【開先裕度】開先幅5~10mm

(4) 低希釈化 (母材溶融量削減) による溶接金属制御

達成値: 希釈率20%以下



本溶接技術の造船建造現場への適用を実現するためには、板厚70mmの極厚鋼板に対応できる高出力レーザの適用も考えられるが、現有の6kW半導体レーザを活用した板厚26mm程度の鋼板を供試した溶接実験を通して、まず、以下の項目について検討する必要がある。

- (1) 大型試験体（板厚26mm程度）での継手製作・継手評価溶接実験
 - ・ 実機適用を考慮した大型継手の製作
 - ・ 大型継手に対応したレーザ光斜照射法の検討
 - ・ 溶接時のプロセス安定性・施工裕度を考慮した適正溶接条件の導出
 - ・ 大型継手での特性とその安定性の確保

- (2) 実機適用可能な大型試験体に対応した溶接システムの検討
 - ・ 建造現場実機適用を考慮した大型試験体に対応した治具の製作
 - ・ レーザ発振器の建造現場設置・移動方法の検討
 - ・ 溶接設備の建造現場での長期間・長時間使用時の安定性確保
 - ・ 大型継手でのプロセス管理・欠陥検出可能なモニタリングシステムの確立



Hiroshima University
Graduate School of Engineering

Thank you for your attention!



本研究開発は、学校法人長崎総合科学大学，三菱重工業株式会社，新日鐵住金株式会社，バブ日立工業株式会社，一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により実施すると共に，同協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて実施しました。