

中部レーザー応用技術研究会 第115回研究会

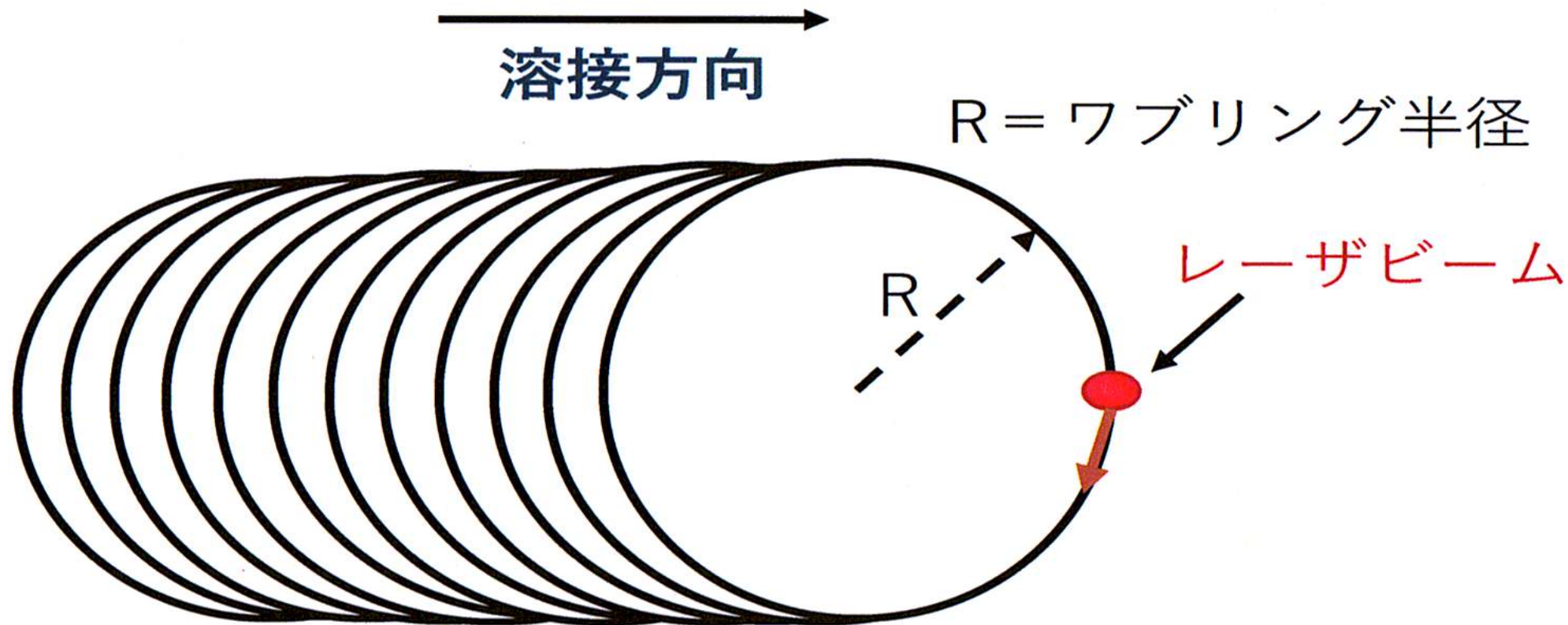
# ワブリングレーザー溶接の応用

(株)最新レーザー技術研究センター  
沓名 宗春

2022.11.25

# (1)ワブリングレーザー溶接の特徴

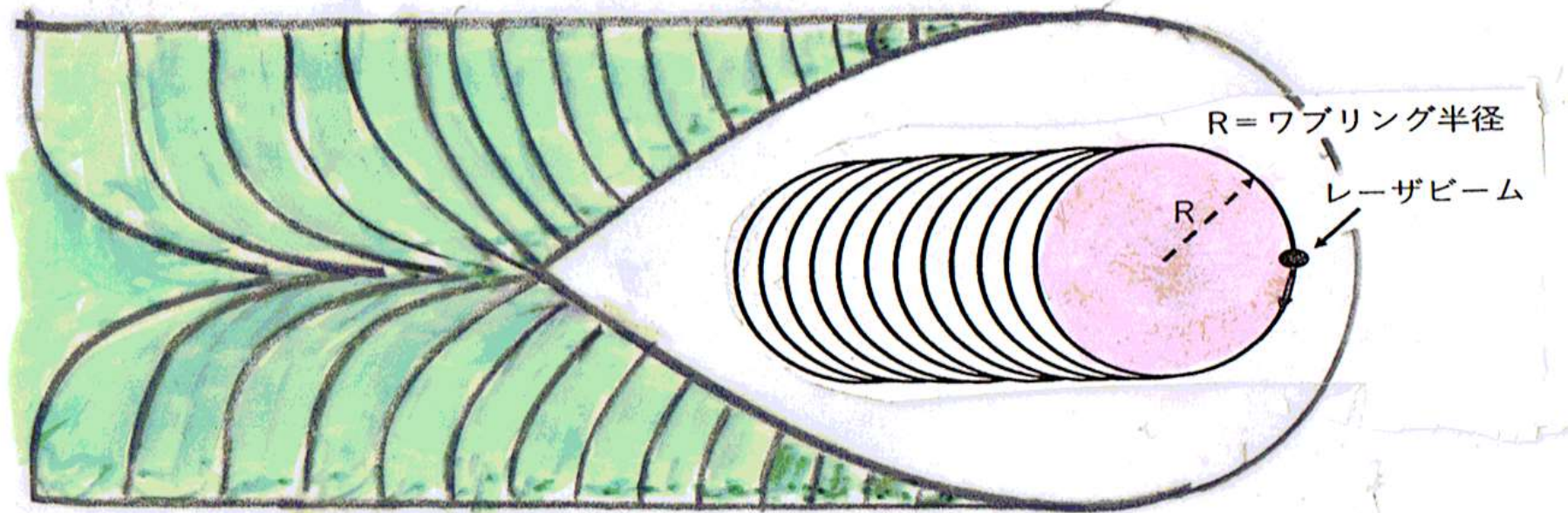
**3kWシングルモードファイバーレーザー装置  
と高速スキャナーを用いて各種金属を  
ワブリングレーザー溶接をすることにより  
安定した突合せ溶接継手を製作できる。**



## ワブリングレーザー溶接時のビームの回転・移動例

レーザービームを上図のように高速回転しながら、移動することによりワブリング溶接ができる

# ワブリングレーザー溶接の概念図



# ワブリングレーザー溶接の概要 ケベック大学, H.Ramiarisonら

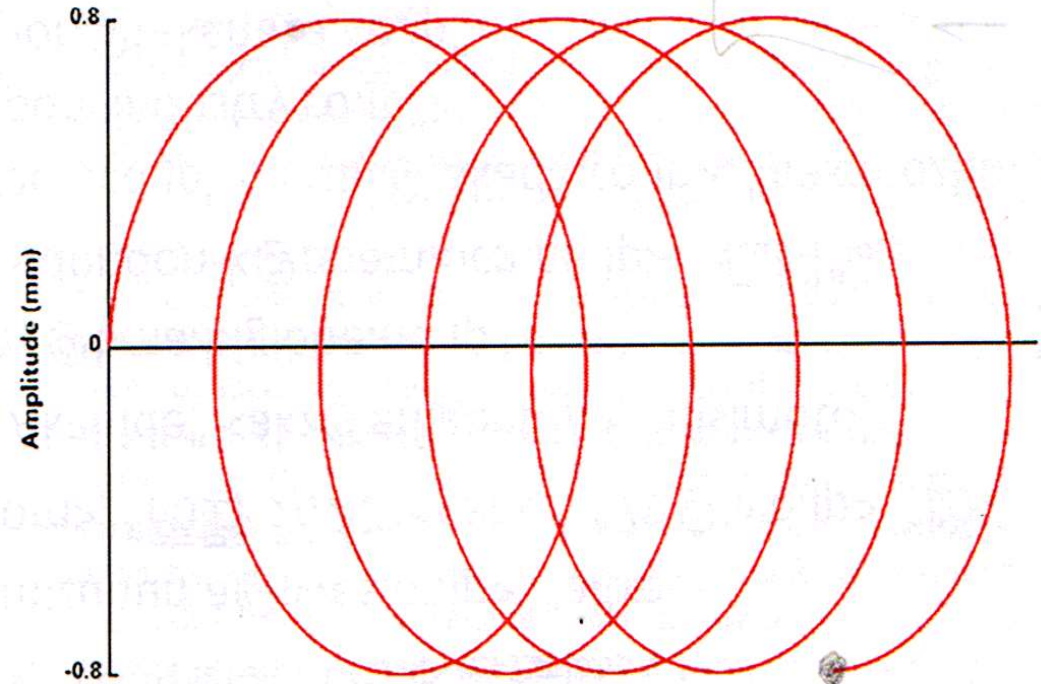
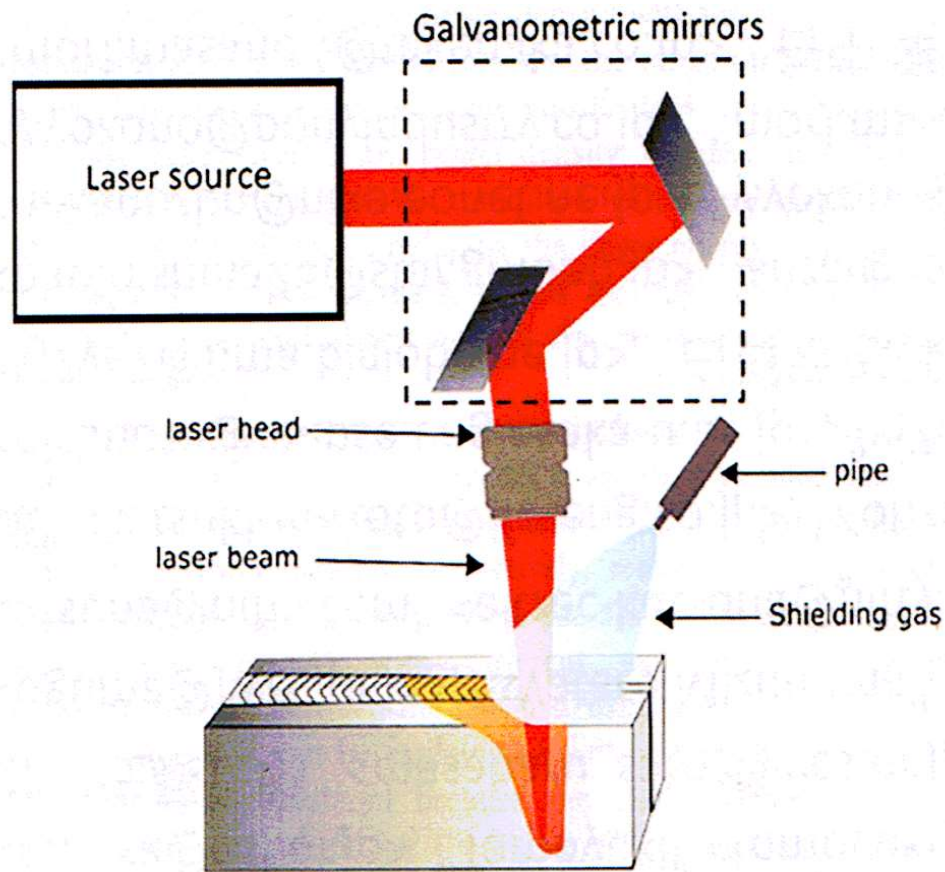


FIG. 1. Circle wobbling path.

IPG YLS 6000 + Wobble D50、 0.6~0.8mm径、150Hz~200Hz、 V=50mm/s

# アルミ合金のワブリングレーザ溶接部の溶込み形状

ケベック大学, H.Ramiarisonら

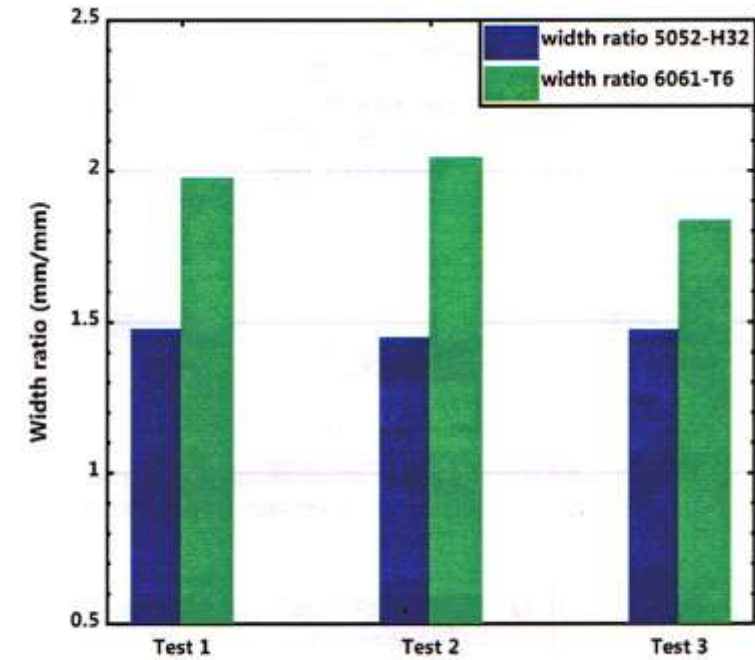
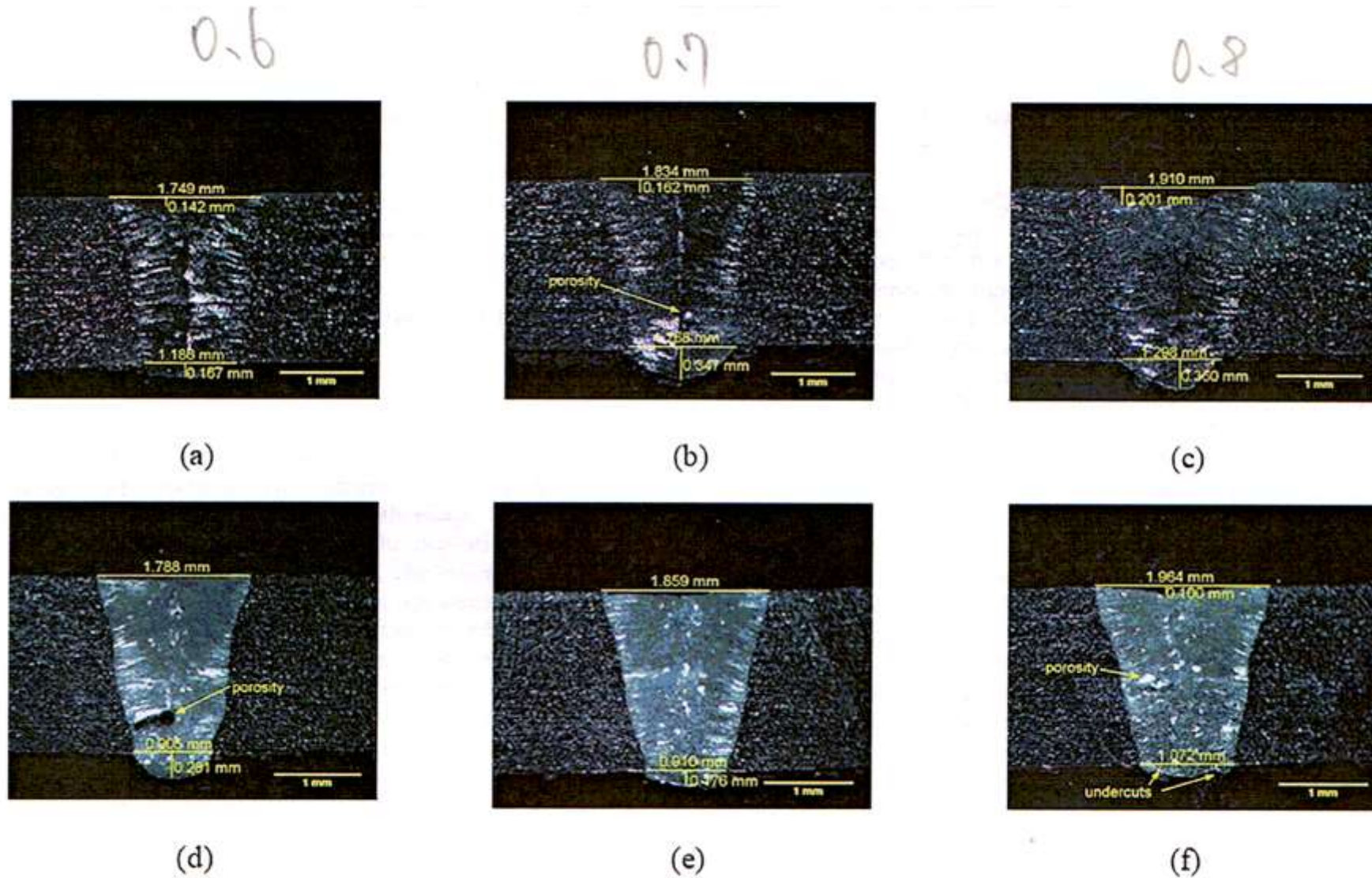
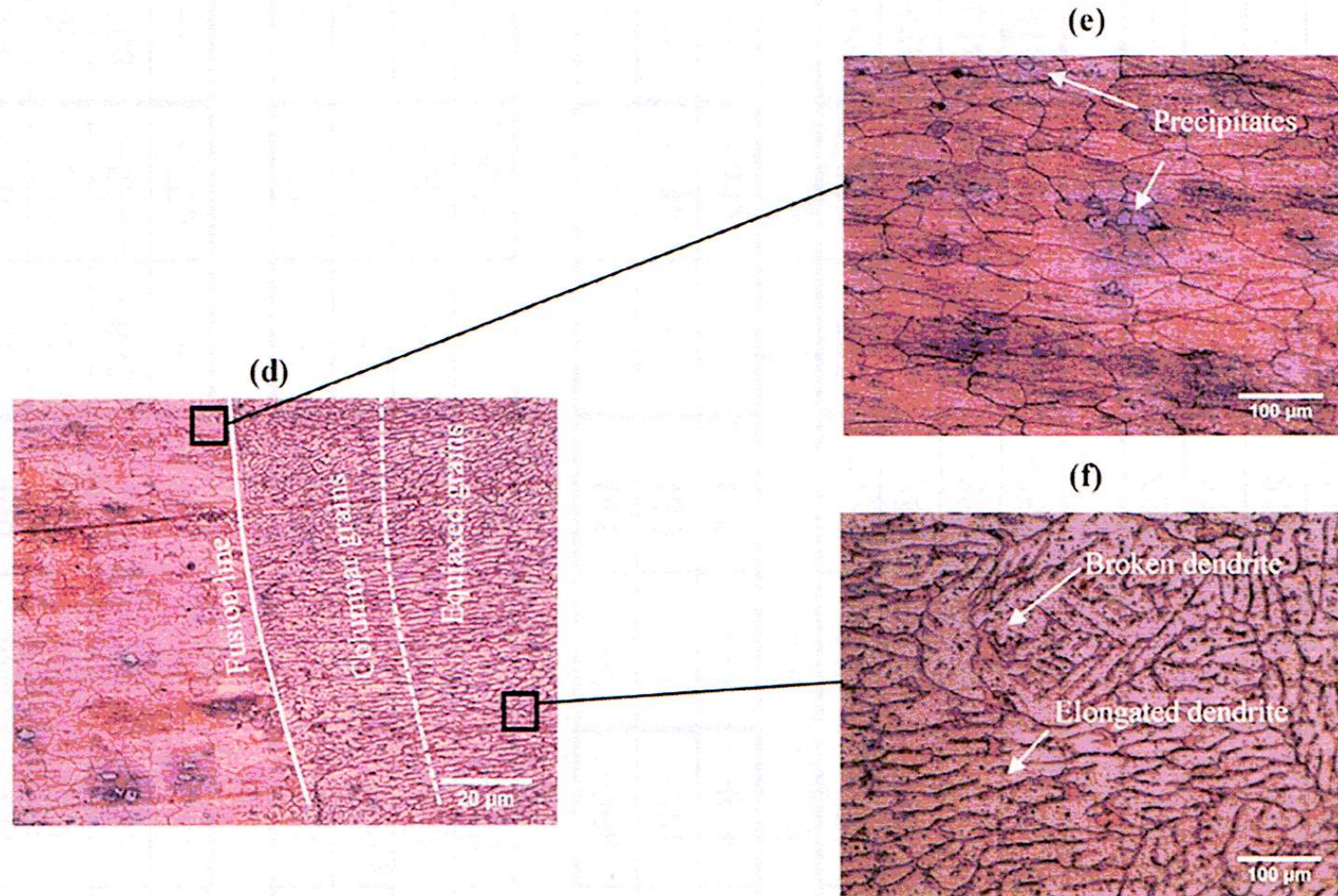


FIG. 3. Weld seam cross section for Al-5052 (a) test 1, (b) test 2, and (c) test 3 and for Al-6061 (d) test 1, (e) test 2, and (f) test 3.

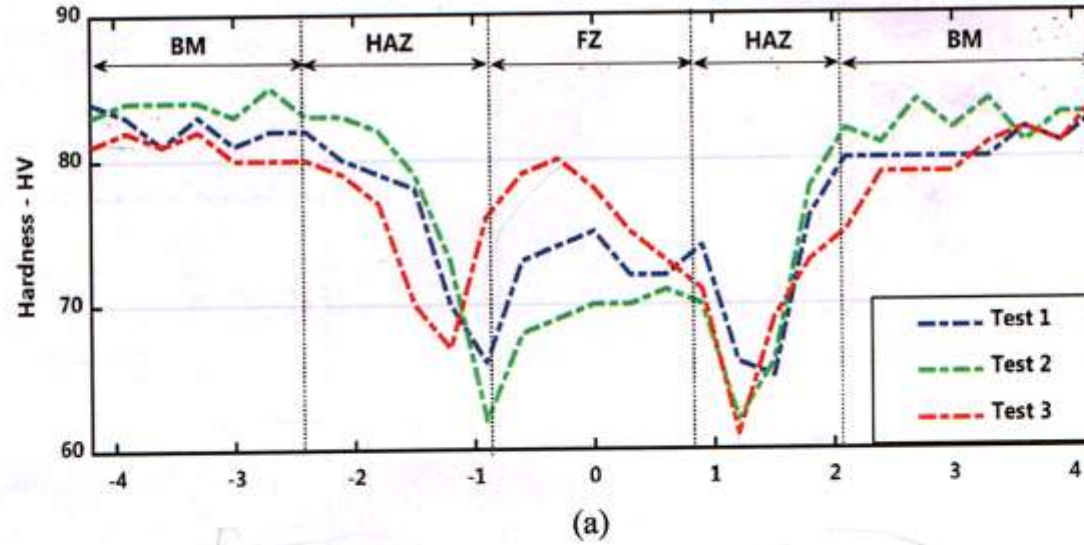
# アルミ合金 (A6061) のワブリングレーザ溶接部の 顕微鏡組織

ケベック大学, H. Ramiarison ら

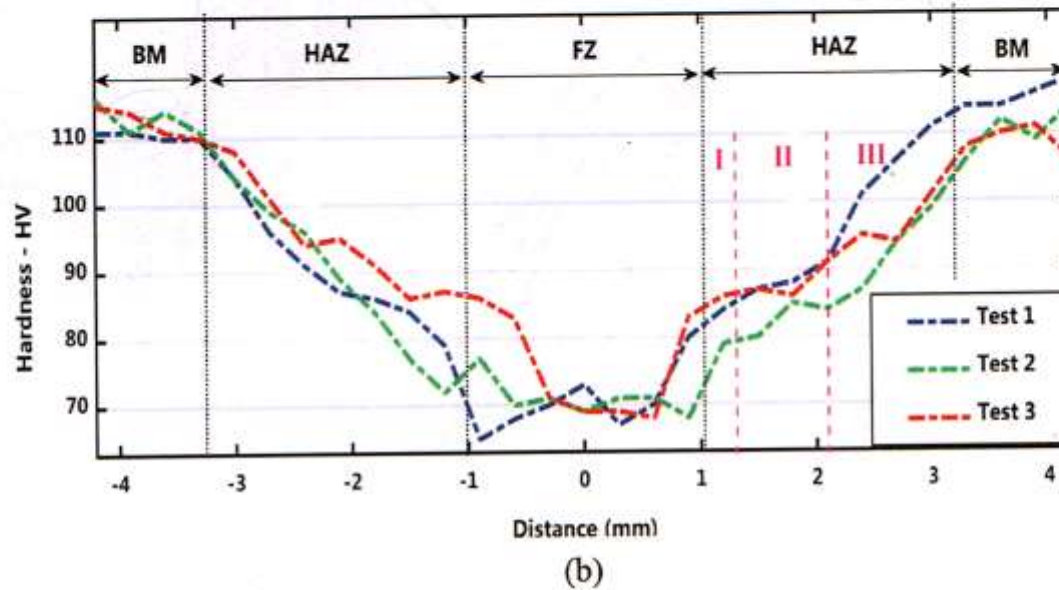


# アルミ合金 (A5052とA6061) のワブリングレーザ 溶接部の硬度分布

ケベック大学, H.Ramiarisonら



A5052合金

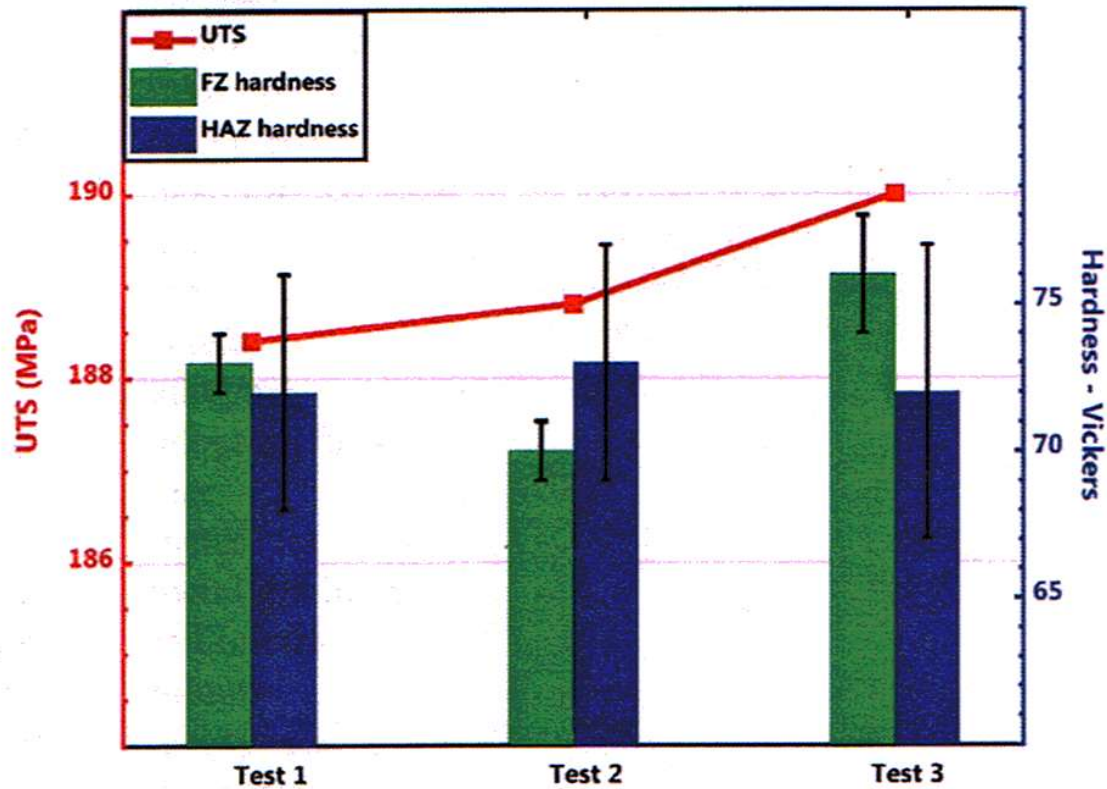


A6061合金



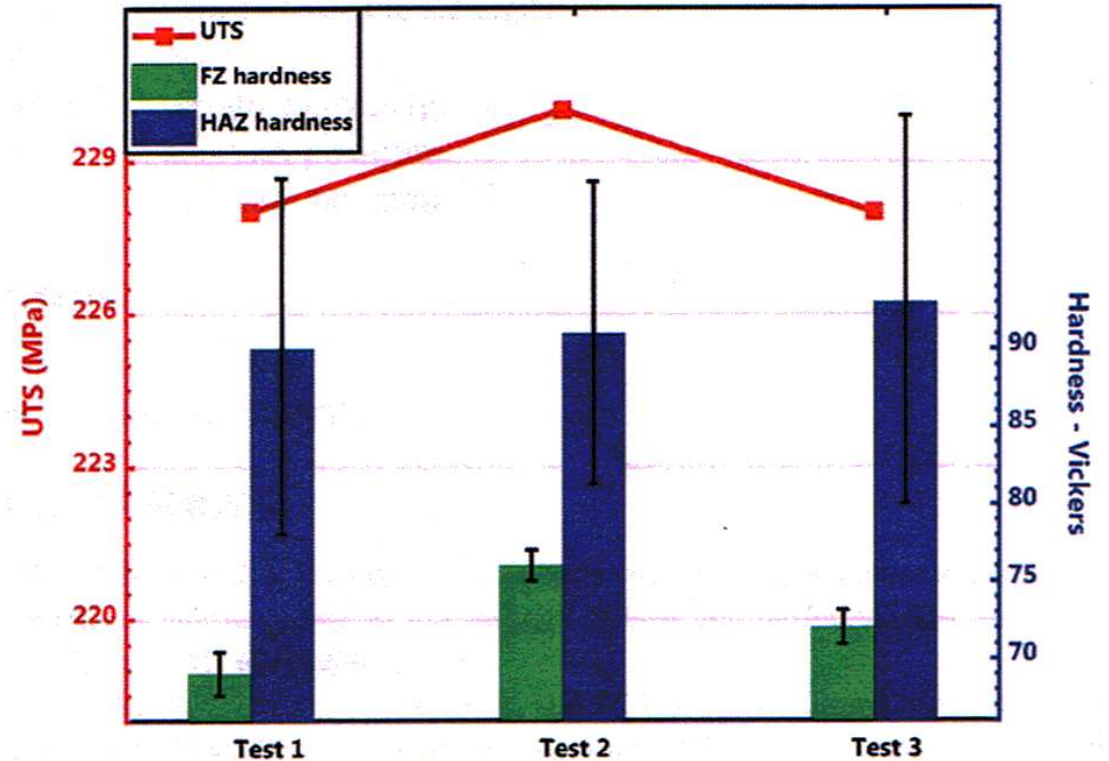
# アルミ合金 (A5052とA6061) のワブリングレーザ 溶接部の引張強さ

ケベック大学, H.Ramiarisonら



(a)

A5052合金



(b)

A6061合金

# アルミニウム合金(A5083)の ワブリングレーザ溶接部 (板厚:2mm)

特長:

- 1) ポロシティが低減した。
- 2) 金属組織が微細であり、デンドライト組織が細かく、継手性能の向上があった。とくに、溶接金属の硬度の低下が減少した。
- 3) 表面ビード幅と裏面のビード幅に大きな差がない井戸型のビード形状で、角変形が少ない。
- 4) 安定した突合せ溶接継手が得られた。
- 5) 溶接速度も20~30 mm/s と高速である

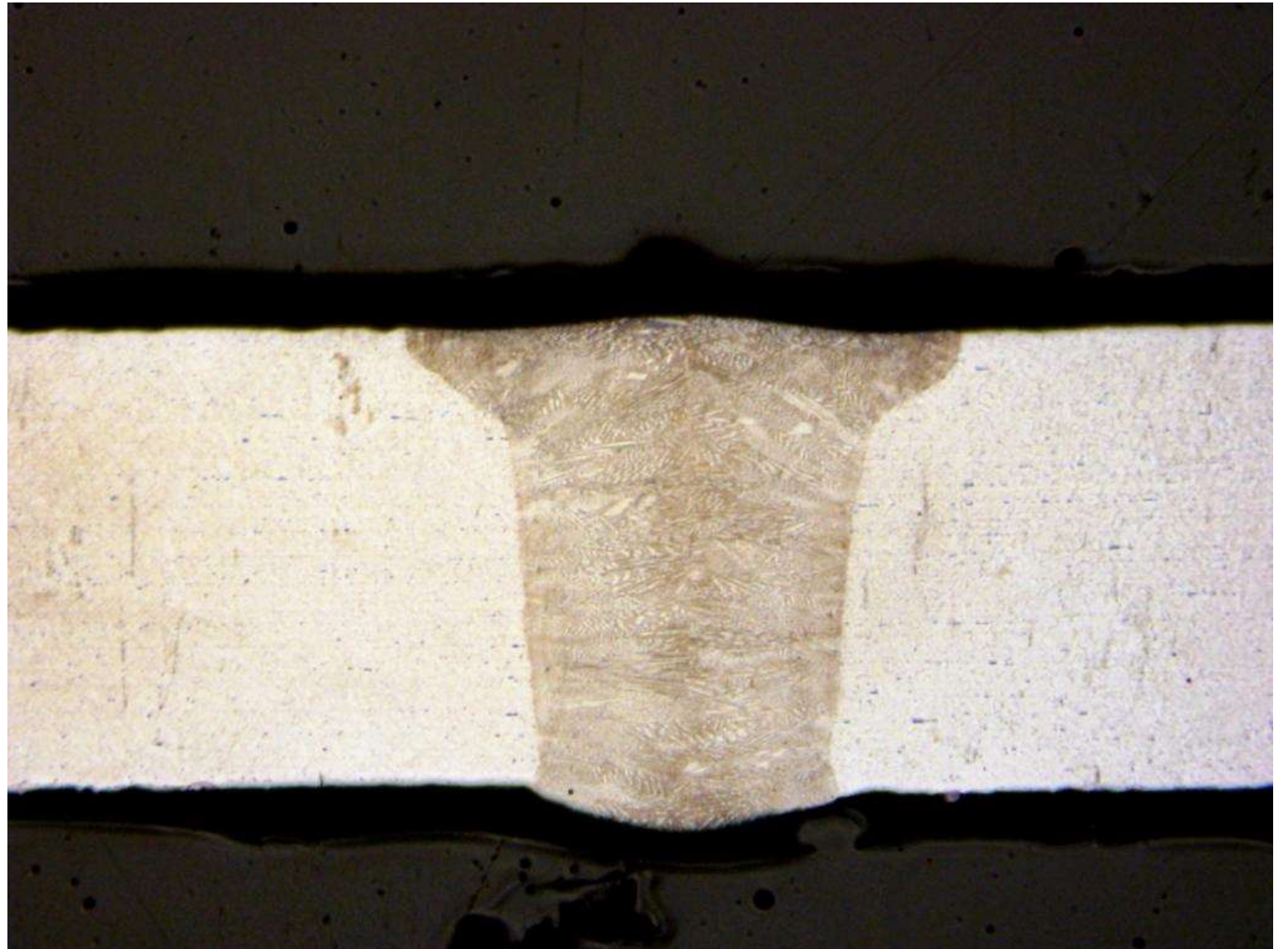


# 実験結果

コバルト基超合金(板厚:2mm)  
のワブリングレーザ溶接継手の  
断面マクロ写真を右の写真を示す。

特長:

- 1) ポロシティの低減が可能
- 2) 金属組織が微細であり、  
継手の機械的性能の向上が  
期待できる。
- 3) ビード形状が写真からもわかる  
ように表面ビード幅と裏面の  
ビード幅に大きな差がない  
井戸型のビード形状が可能で、  
角変形が少なく、  
裏面ビード幅が広いので、  
シームトラッキングが容易。
- 4) 安定した突合せ溶接が可能  
次のアルミニウム合金の溶接  
でも同じ結果が得られた。

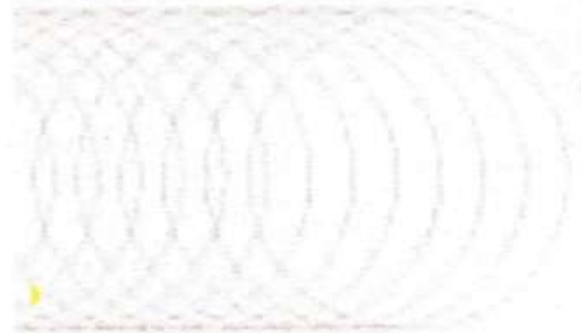
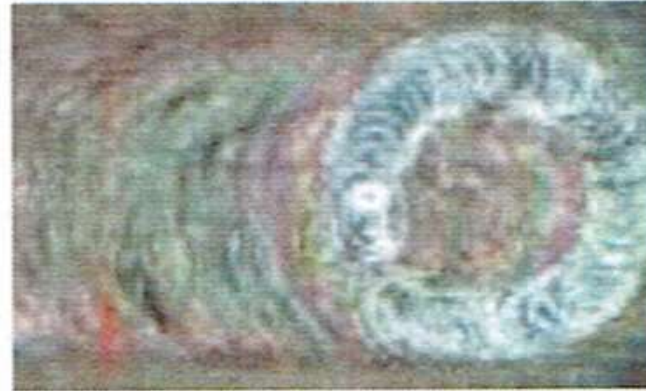


# ワブリングレーザー溶接 IPG 菊地氏

## ウォブルビームによるアプローチ

円運動する  
オシレーション  ウォブル (Wobble)

- 速いビーム速度
  - スパッター飛散を抑制
- 遅い送り速度
  - 深い溶け込み
- 加工条件の制御
  - 溶融形状の調整が可能



## シングルモードレーザ+ウォブルでの銅溶接

ウォブルなし

出力: 1kW

速度: 1m/min



ウォブルあり

出力: 1kW



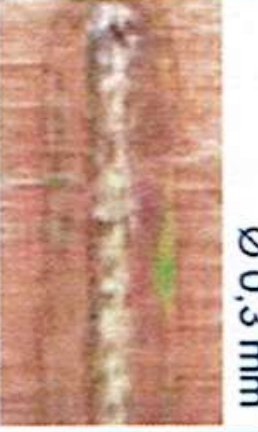


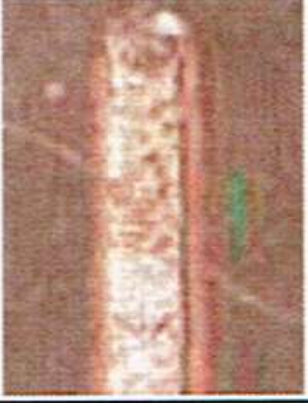
速度: 1m/min

周波数: 300 Hz

ウォブル半径: 0.4 mm

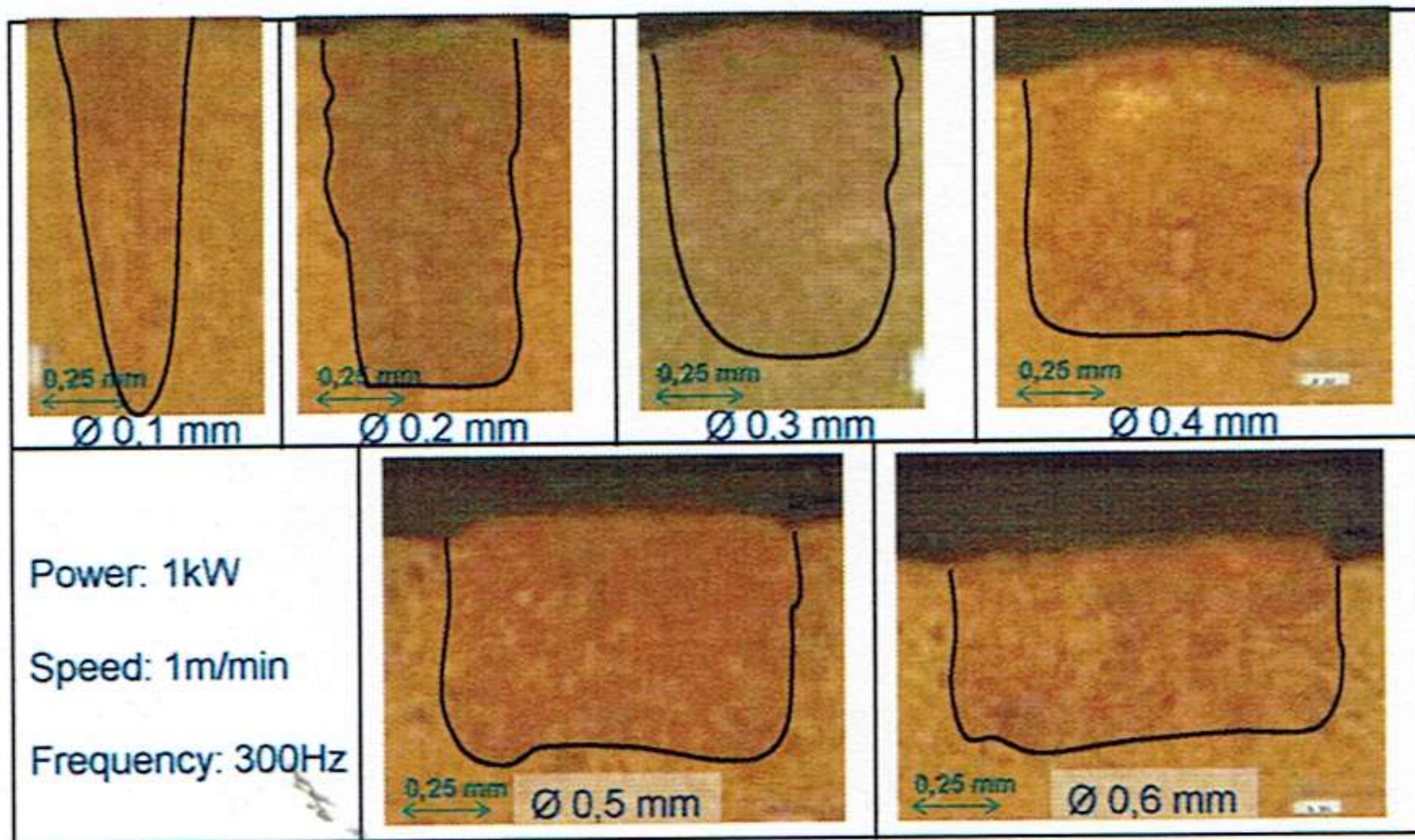


# シングルモードレーザ+ウォブルでの銅溶接

 Ø 0,1 mm	 Ø 0,2 mm	 Ø 0,3 mm	 Ø 0,4 mm
Power: 1kW Speed: 1m/min Frequency: 300Hz	 Ø 0,5 mm	 Ø 0,6 mm	



# シングルモードレーザ+ウォブルでの銅溶接

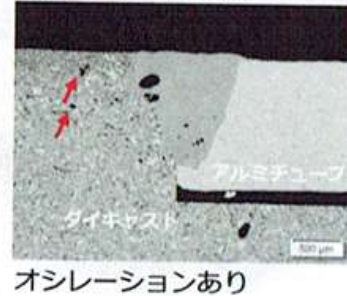
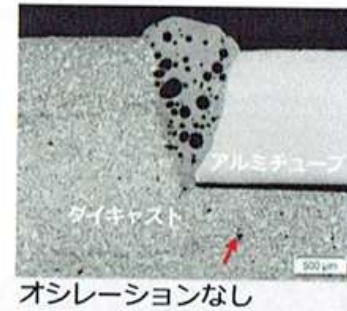
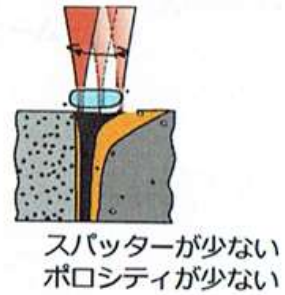
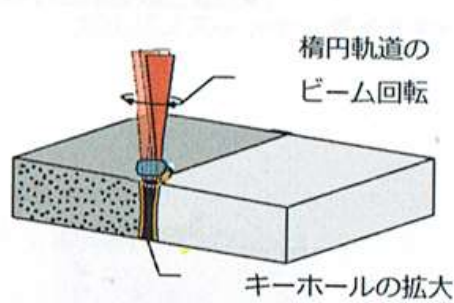
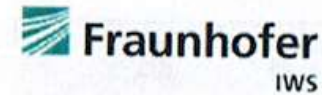


# ワブリングレーザー溶接



## 高速ウォブリングによる溶接

アルミニウム合金とダイキャストの溶接



- メルトプールの寿命延長
- ガス抜けの時間が延びる
- 均一でゆっくり固化



## 2. SPCC, SUS 及びアルミニウム合金の ワブリングレーザー溶接実験

### 検討項目

- (1) SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接における  
溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響
- (2) SPCC鋼およびA6022アルミニウム合金の突合せ継手の  
溶接における、溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響
- (3) SPCC鋼およびA6022アルミニウム合金の突合せ継手について、  
ビード外観に及ぼすワブリング条件の影響

## 2. 1 供試材

- (1) SUS 304 ステンレス鋼  
100mmx 30mmx 3mm (ビードオン溶接)
- (2) SPCC-GA 鋼  
200mmx40mmx1.2mm (突合せ継手)
- (3) A6022 アルミニウム合金  
200mmx40mmx1.2mm (突合せ継手)

## 2.2 実験装置

### (1) レーザ装置

シングルモードファイバーレーザー (IPG社製)

最大出力 3 kW

ビームスポット径 40  $\mu\text{m}$

ビームモード ガウシアンタイプ

### (2) スキャナー装置

YD-3000S-1.5 (YEデータ製)

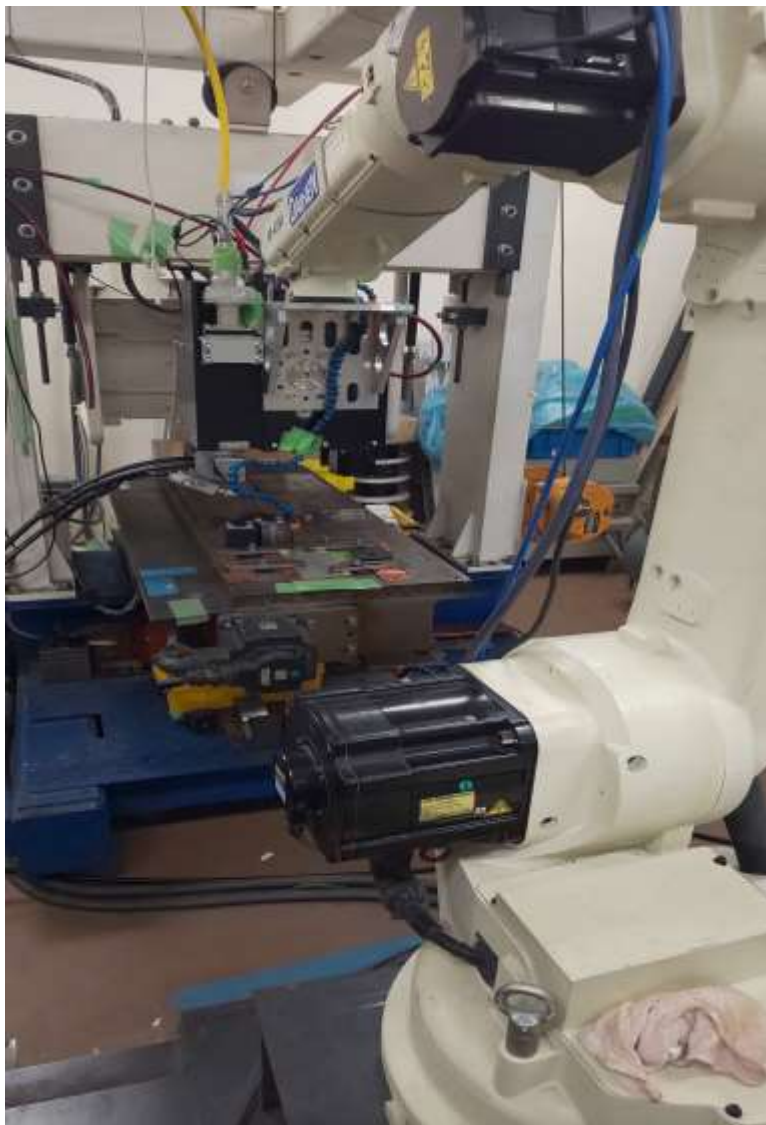
最大スキャン速度 6000 mm/s

スキャンエリア 150 mm x 135 mm

光学倍率 1.5

### (3) 最小スポット径 60 $\mu\text{m}$

# 実験装置



**ロボットとスキャナー**



**3kW SM ファイバーレーザ装置**

# 実験条件 表1 SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接条件

試験片No.	レーザ出力 (W)	焦点はずし距離Df (mm)	スキャン速度 mm/sec	ワブリング周波数 Hz	ワブリング径 (mm)	シールドガス及び流量	並進速度 mm/s	その他
SUS-W-01	1200	+0.5		50	0.4	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-02	1200	+0.5		100	0.4	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-03	1200	+0.5		200	0.4	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-04	1200	+0.5		300	0.4	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-05	1500	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-06	1500	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-07	1500	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-08	1500	+0.5		300	0.8	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-09	1800	+0.5		50	1.2	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-10	1800	+0.5		100	1.2	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-11	1800	+0.5		200	1.2	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-12	1800	+0.5		300	1.2	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-13	1800	+0.5		なし	なし	Ar、15L/min	40	ビードオン
SUS-W-14	1200	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	10	ビードオン
SUS-W-15	1200	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	20	ビードオン

# 実験条件 表2 SPCC鋼の突合せ継手の溶接条件

試験片No.	レーザ 出力 (W)	焦点はずし 距離 Df (mm)	スキャ ン速度	ワブリング 周波数 Hz	ワブリング 径 (mm)	シールドガス及び流 量	並進速度 mm/s	その他 終端ギャップ mm
SPC-W-01	1000	+0.5		50	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-02	1000	+0.5		100	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-03	1000	+0.5		200	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-04	1000	+0.5		300	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-05	1000	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-06	1000	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-07	1000	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-08	1000	+0.5		300	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-09	1000	+0.5		50	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-10	1000	+0.5		100	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-11	1000	+0.5		200	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-12	1000	+0.5		300	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-13	1000	+0.5		なし	なし	Ar、15L/min	40	0.5
SPC-W-14	1000	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	10	0.5
SPC-W-15	1000	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	20	0.5
SPC-W-16	1000	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-17	1000	+0.5		75	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-18	1000	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-19	1000	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-20	800	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-21	800	+0.5		75	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-22	800	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-23	800	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
SPC-W-24	800	+0.5		なし	なし	Ar、15L/min	15	0.4

# 実験条件 表3 A6022アルミニウム合金の突合せ継手の溶接条件

試験片No.	レーザ出力 (W)	焦点はずし距離Df (mm)	スキャン速度 mm/sec	ワブリング周波数 Hz	ワブリング径 (mm)	シールドガス及び流量	並進速度 mm/s	その他 終端ギャップ mm
Al-W-01	1200	+0.5		50	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-02	1200	+0.5		100	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-03	1200	+0.5		200	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-04	1200	+0.5		300	0.4	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-05	1200	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-06	1200	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-07	1200	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-08	1200	+0.5		300	0.8	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-09	1200	+0.5		50	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-10	1200	+0.5		100	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-11	1200	+0.5		200	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-12	1200	+0.5		300	1.2	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-13	1200	+0.5		なし	なし	Ar、15L/min	40	0.5
Al-W-14	1200	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	10	0.5
Al-W-15	1200	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	20	0.5
Al-W-16	800	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-17	800	+0.5		75	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-18	800	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-19	800	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	15	0.4

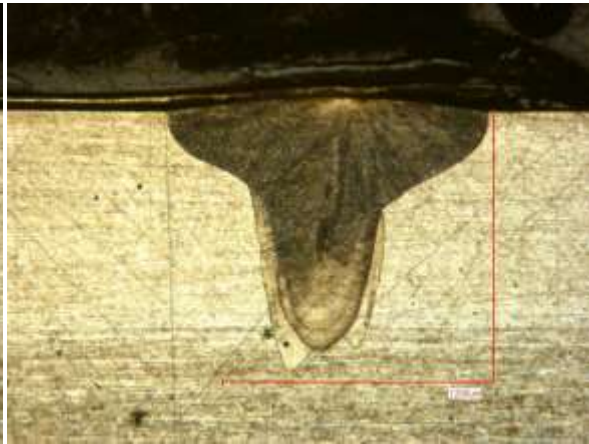
Al-W-20	800	+0.5		50	1.2	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-21	800	+0.5		75	1.2	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-22	800	+0.5		100	1.2	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-23	800	+0.5		200	1.2	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-24	1000	+0.5		50	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-25	1000	+0.5		75	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-26	1000	+0.5		100	0.8	Ar、15L/min	15	0.4
Al-W-27	1000	+0.5		200	0.8	Ar、15L/min	15	0.4



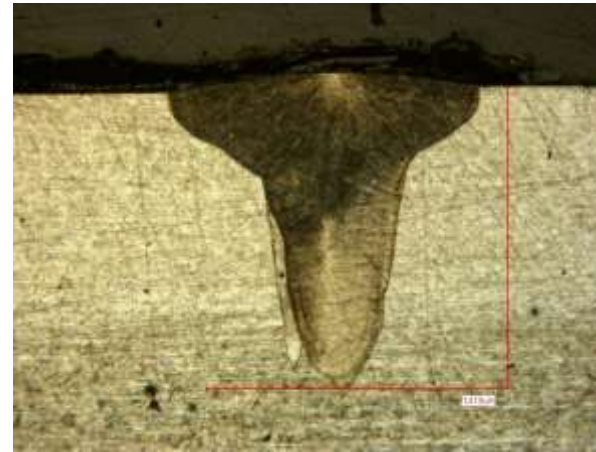
# 実験結果 (1) SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接における 溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



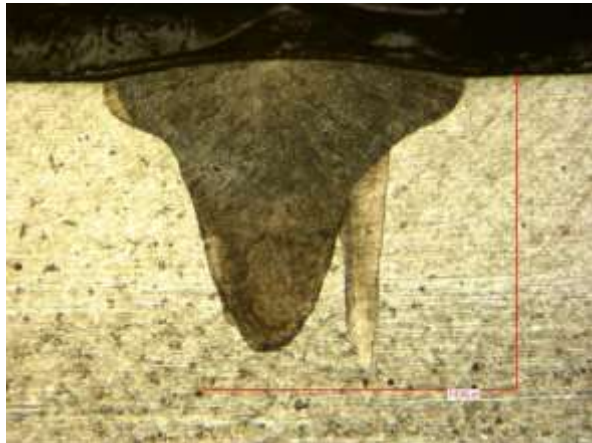
50 Hz



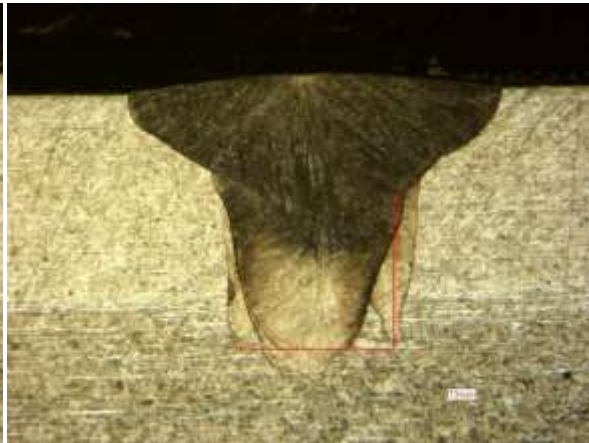
100 Hz



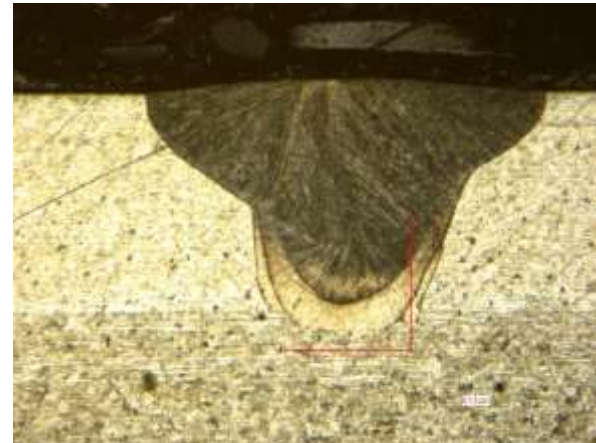
200 Hz



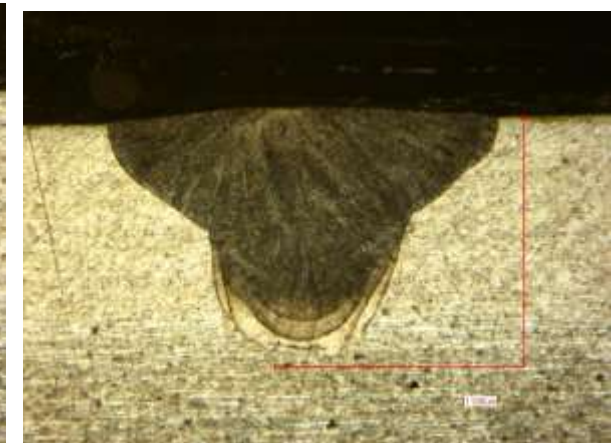
50 Hz



100 Hz



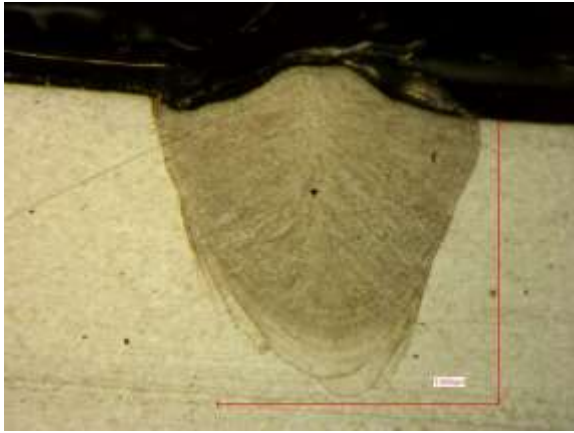
200 Hz



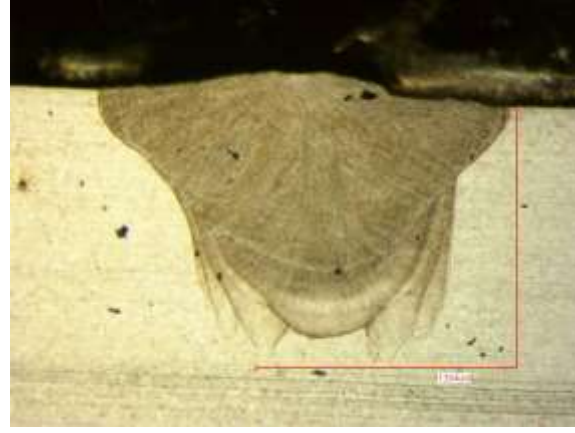
300 Hz

上段 : 1.2 kW  
下段 : 1.5 kW

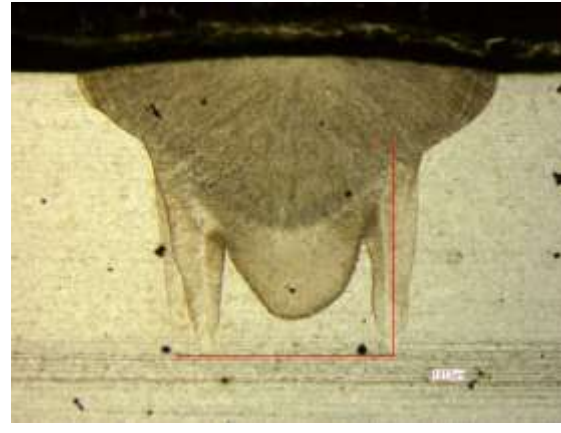
実験結果 (1) SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接における  
の溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



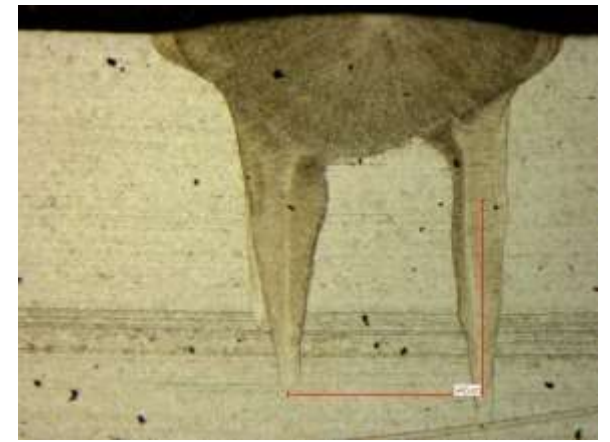
50 Hz



100 Hz



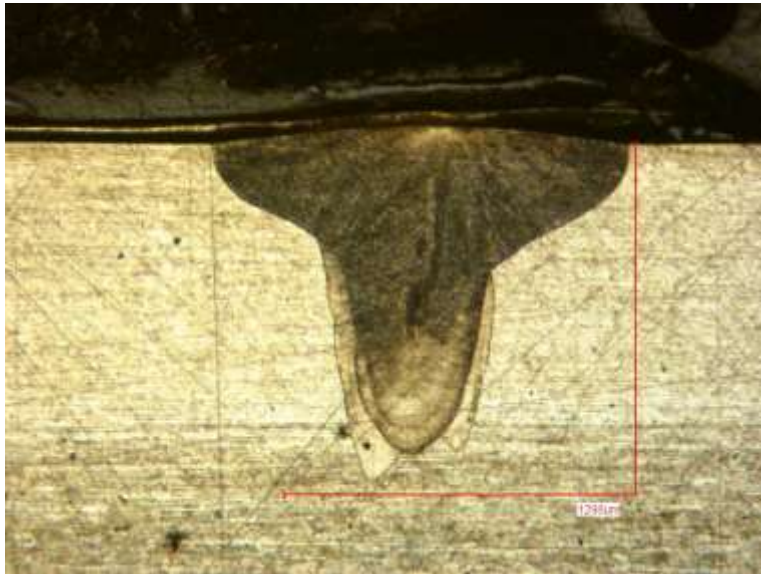
200 Hz



300 Hz

出力 : 1.8 kW

# 実験結果 (1) SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接における 溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
4 0 mm/s

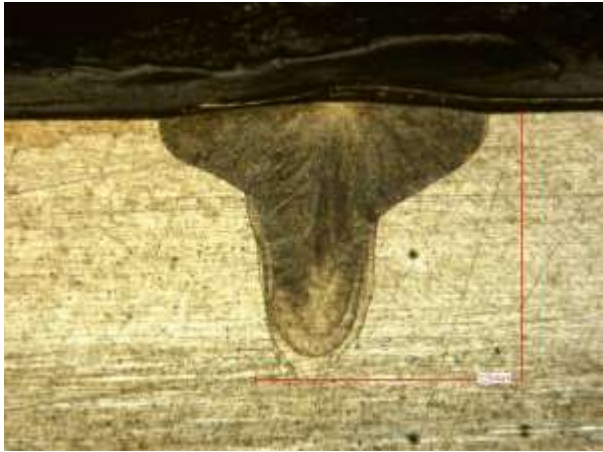


1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
2 0 mm/s

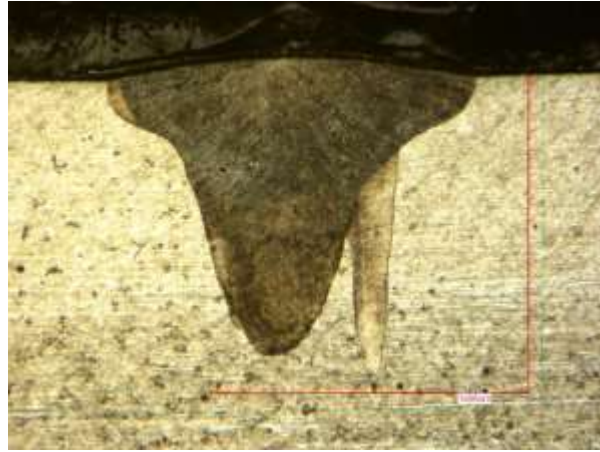


1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
1 0 mm/s

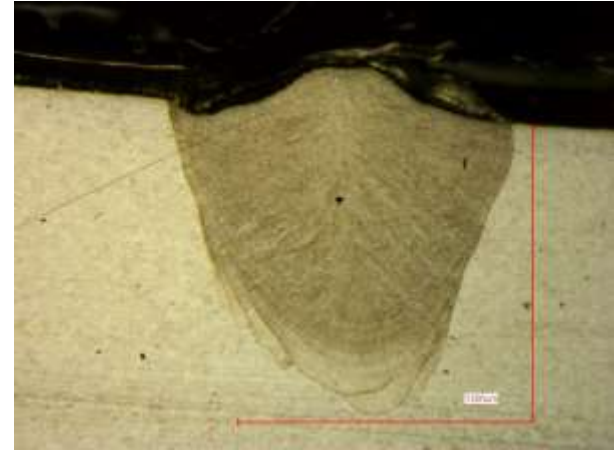
# 実験結果 (1) SUS 304ステンレス鋼のビードオン溶接における 溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



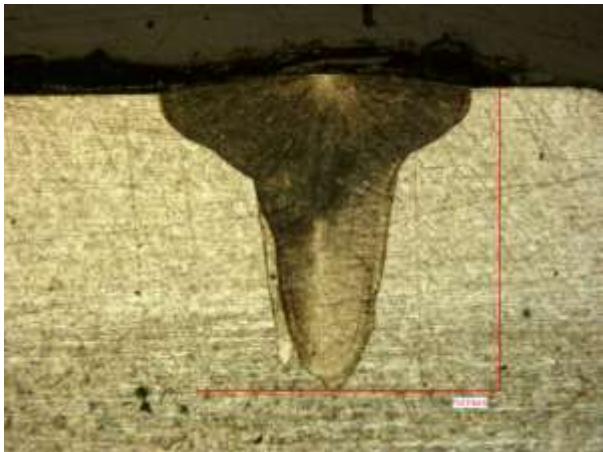
1200W, 0.4mm径



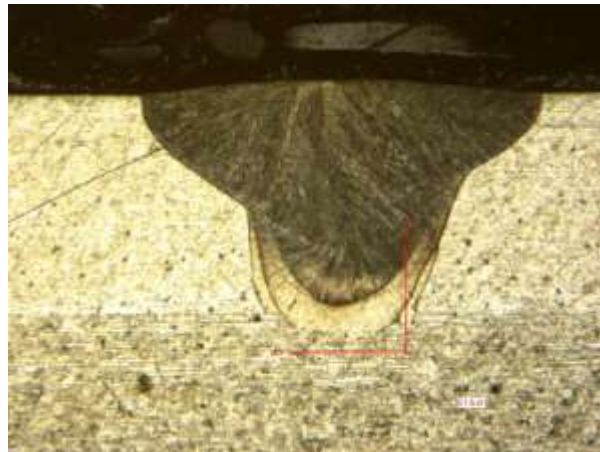
1500W, 0.8mm径



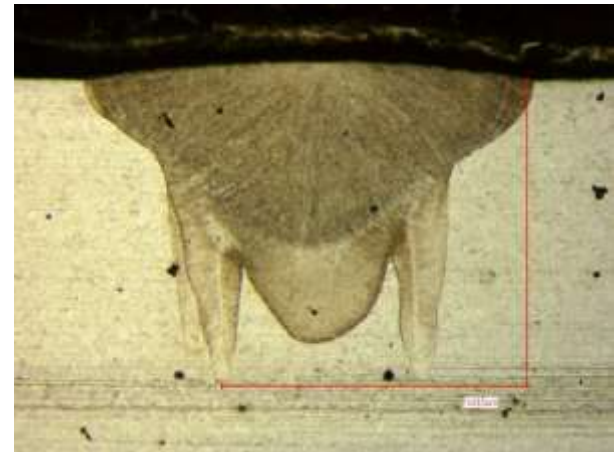
1800W, 1.2mm径



1200W, 0.4mm径



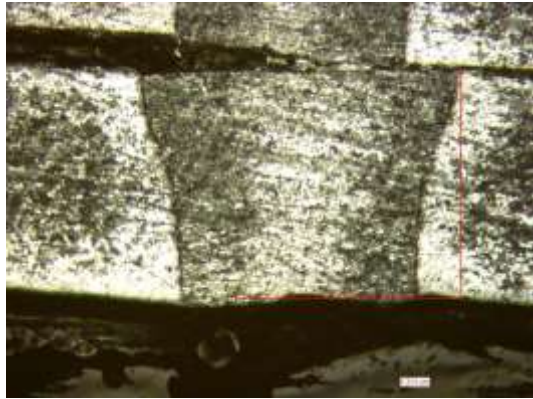
1500W, 0.8mm径



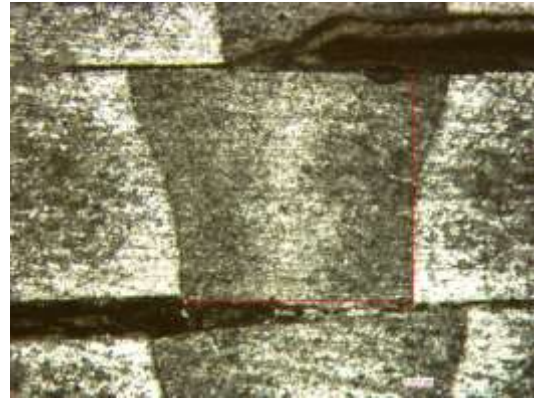
1800W, 1.2mm径

上段：50Hz、 下段：200Hz

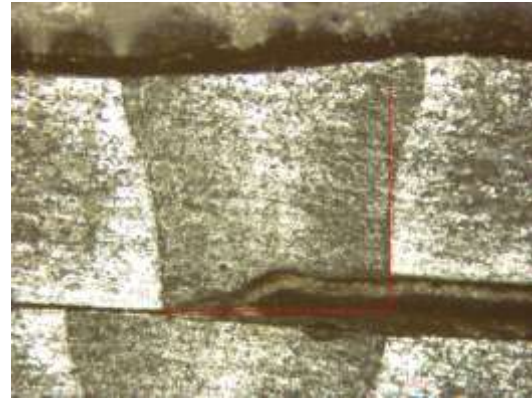
# 実験結果 (2-1) A6022アルミニウム合金の突合せ継手 について、溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



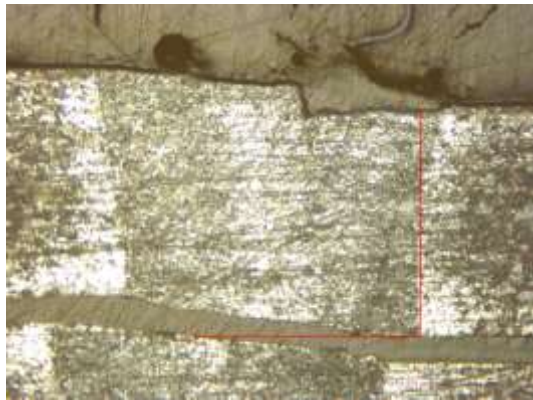
50 Hz



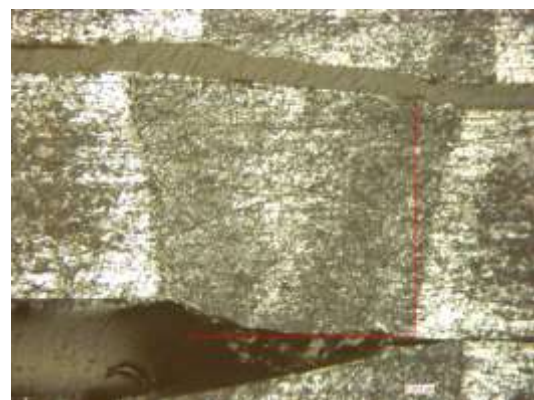
100 Hz



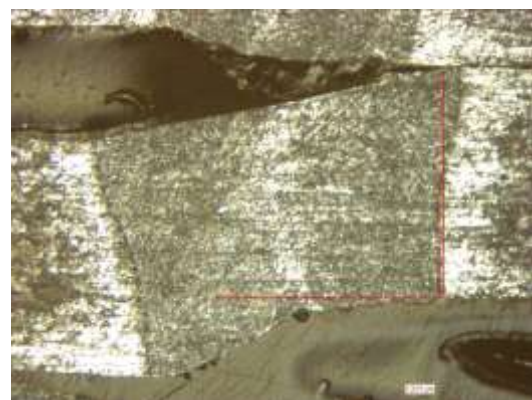
200 Hz



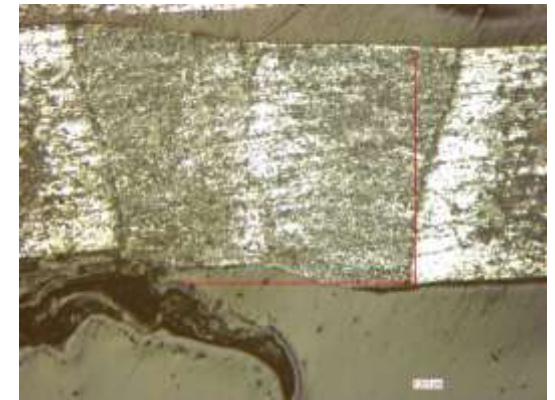
50 Hz



100 Hz



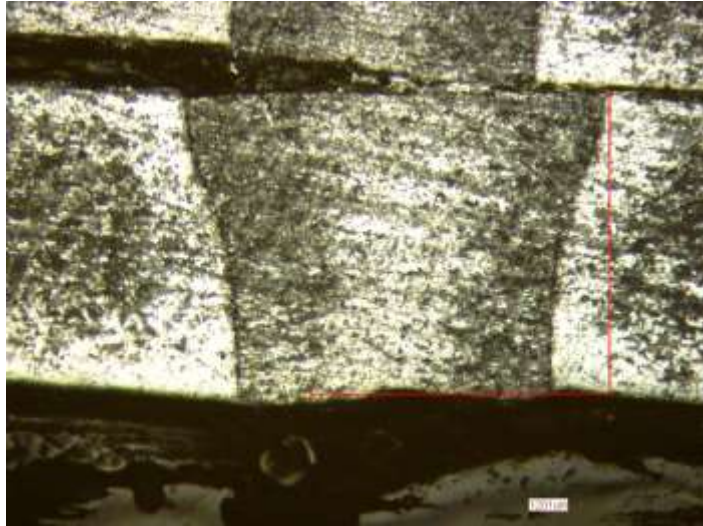
200 Hz



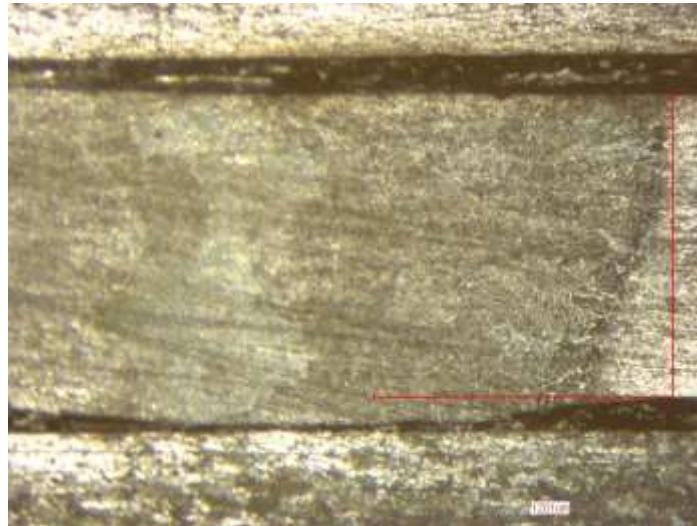
300 Hz

上段： 0.4 mm径、下段： 0.8mm径

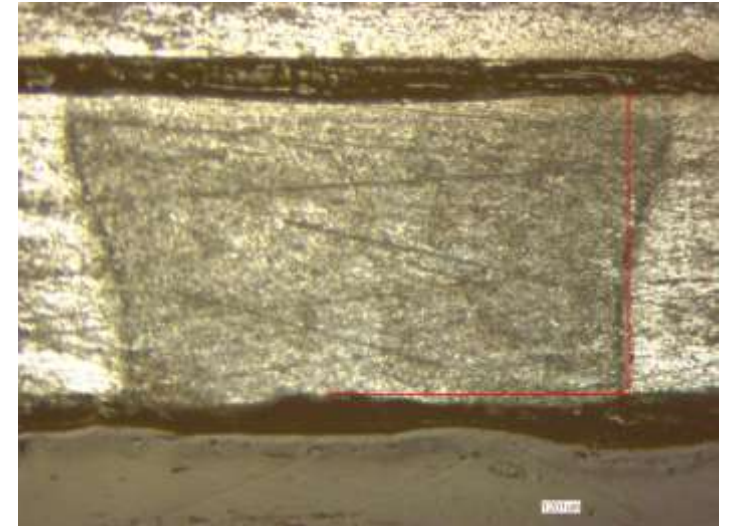
# 実験結果 (2-1) A6022アルミニウム合金の突合継手の溶接における溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
4 0 mm/s

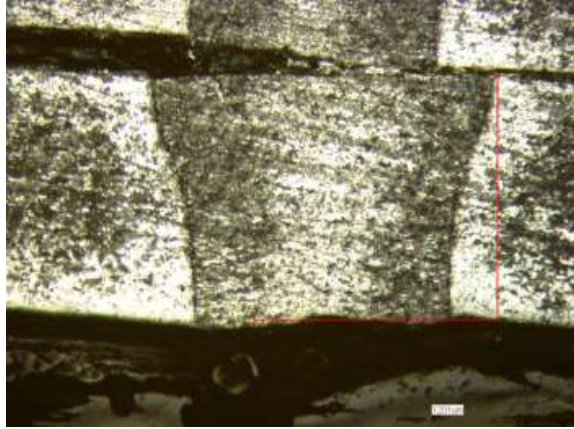


1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
2 0 mm/s

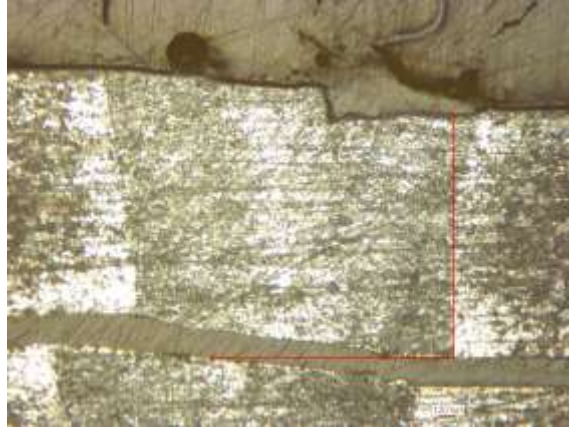


1 2 0 0 W  
1 0 0 Hz  
1 0 mm/s

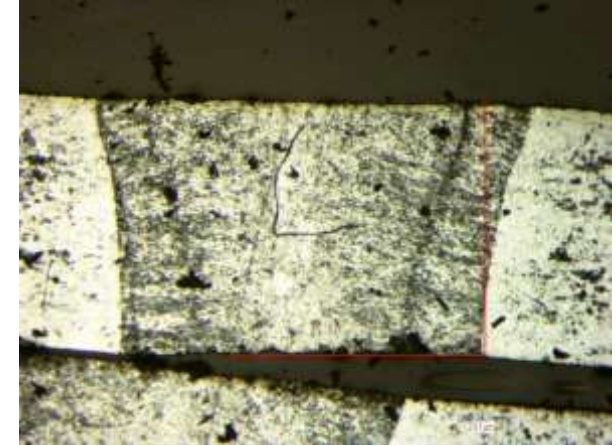
# 実験結果 (2-1) A6022アルミニウム合金の突合継手の溶接における溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



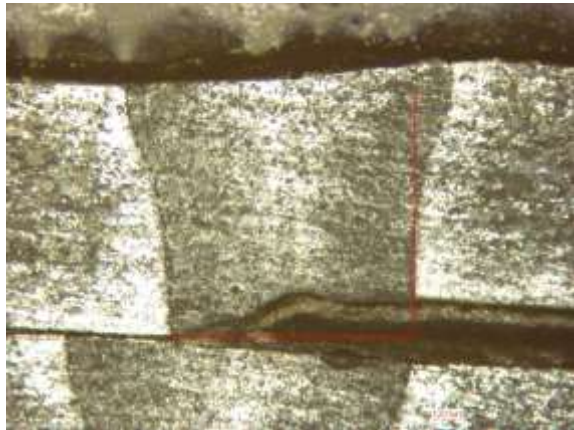
1200W, 0.4mm径



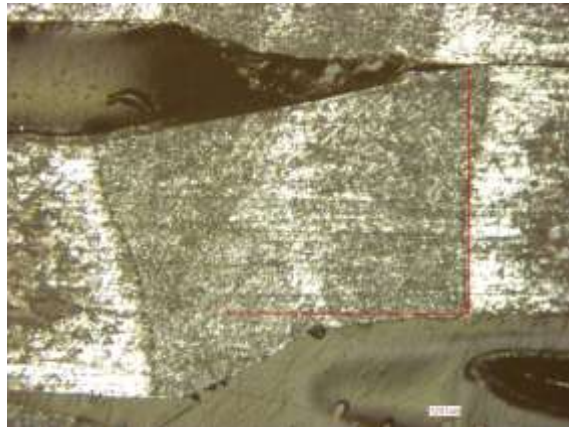
1200W, 0.8mm径



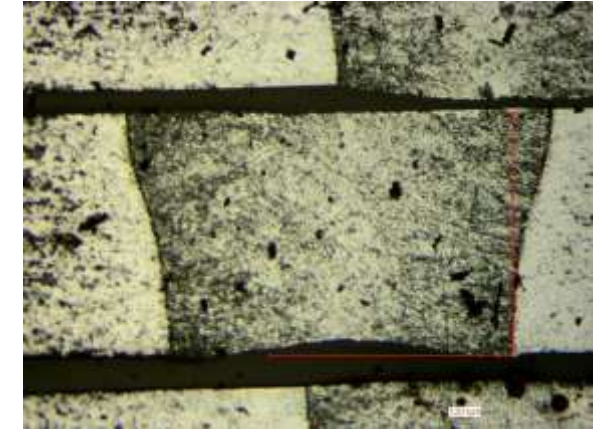
1200W, 1.2mm径



1200W, 0.4mm径



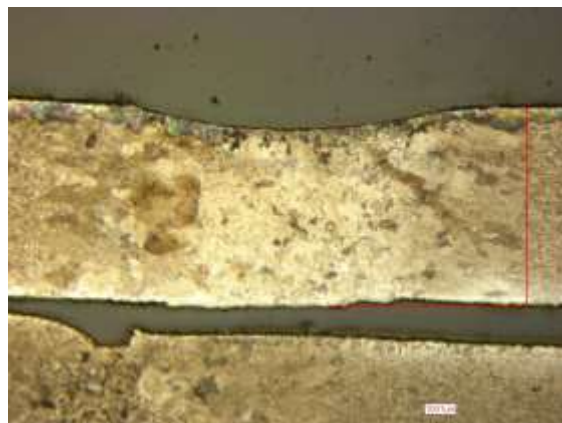
1200W, 0.8mm径



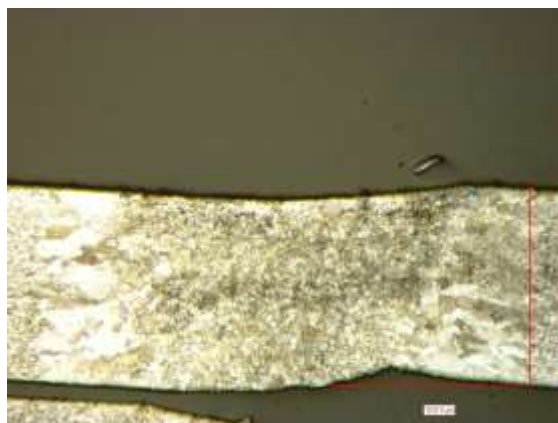
1200W, 1.2mm径

上段：50Hz、 下段：200Hz

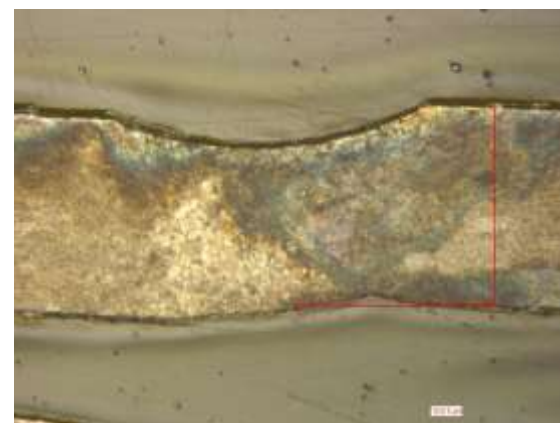
# 実験結果 (2-2) SPCC-GA鋼材の突合せ継手の溶接における溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



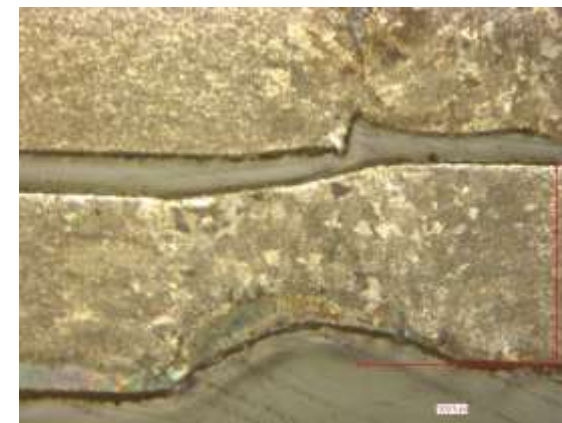
50 Hz



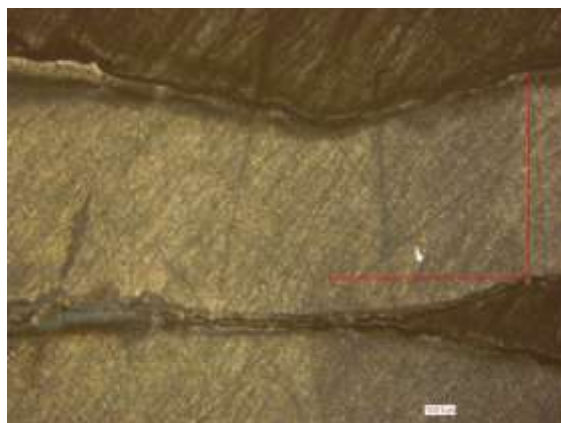
75 Hz



100 Hz



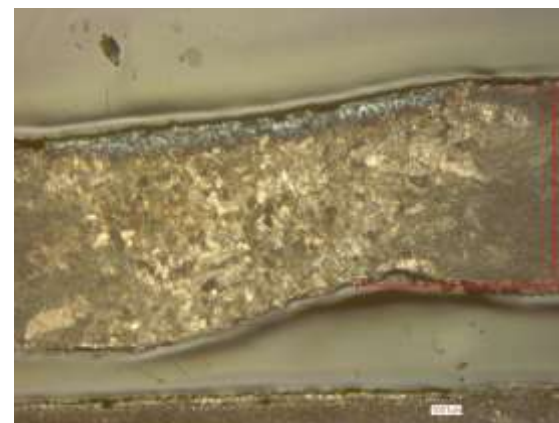
200 Hz



50 Hz



75 Hz



100 Hz



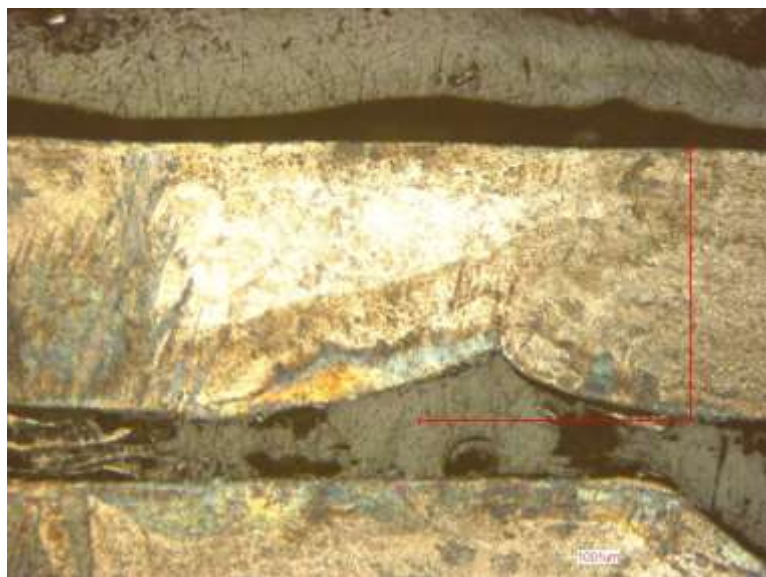
200 Hz

上段： 800W、下段： 1000W

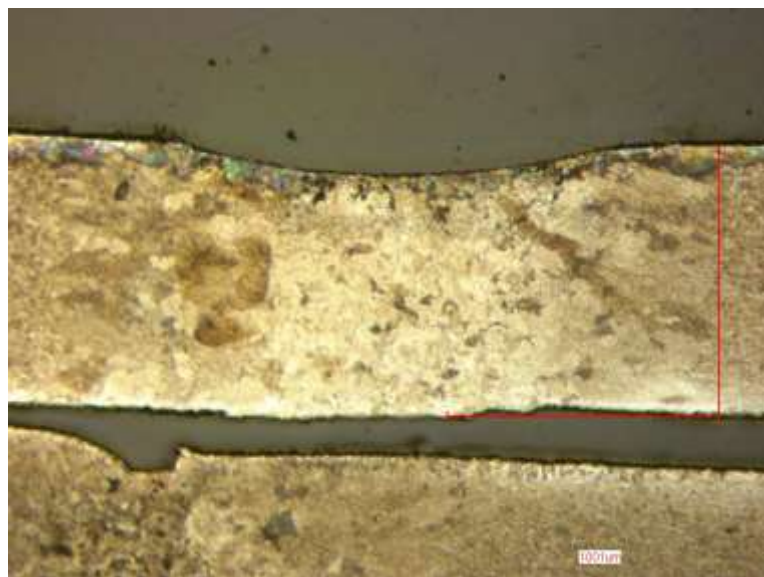
溶接速度： 1.5 mm/s



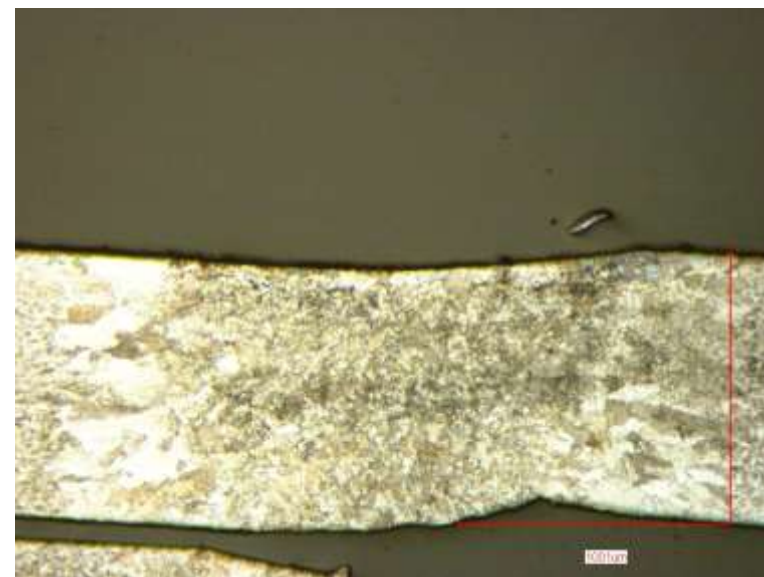
# 実験結果 (2-2) SPCC鋼の突合せ継手の溶接における、溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



ワブリングなし



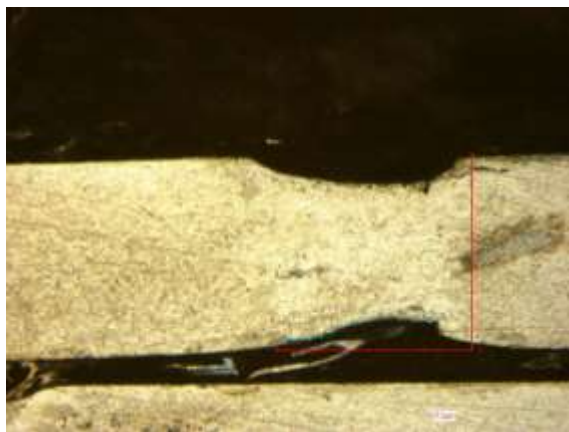
5.0 Hz



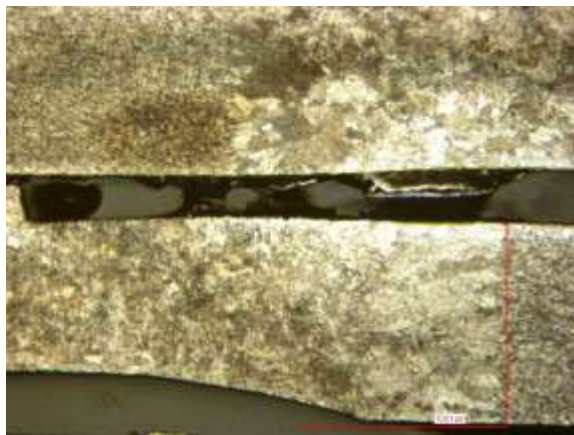
7.5 Hz

出力 800W、 0.8mm径、 速度 15mm/s

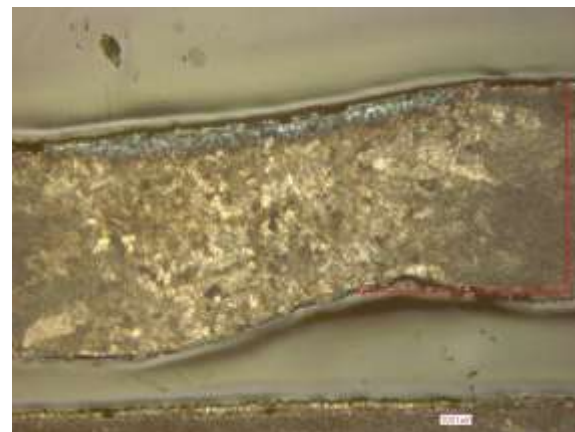
## 実験結果 (2-2) SPCC鋼の突合せ継手の溶接における、溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



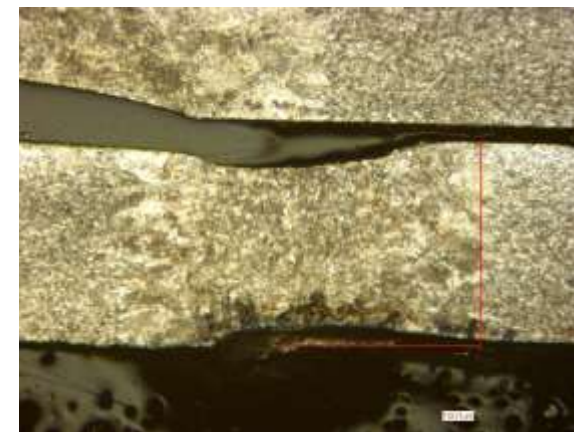
速度:40mm/s



速度:20mm/s



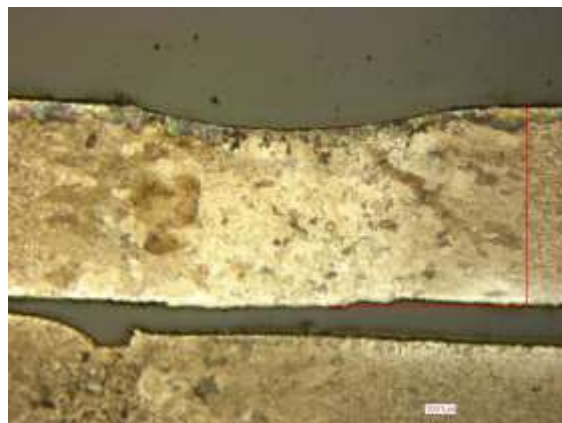
速度:15mm/s



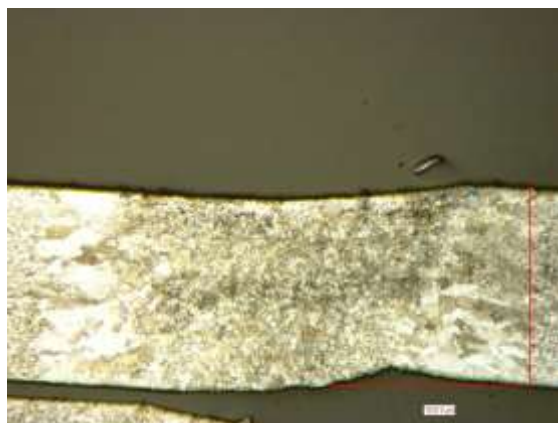
速度:10mm/s

出力 1000W、 0.8mm径、 100Hz

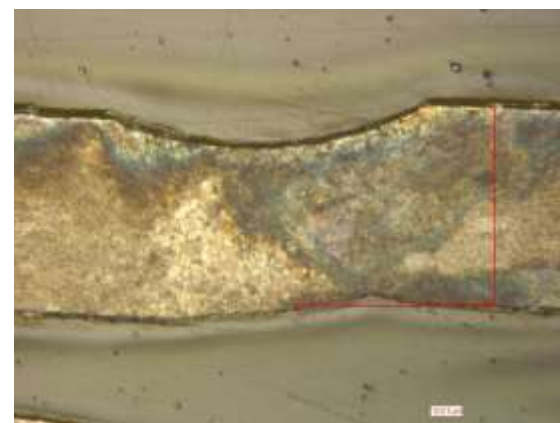
# 実験結果 (2-2) SPCC-GA鋼材の突合せ継手の溶接における溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響



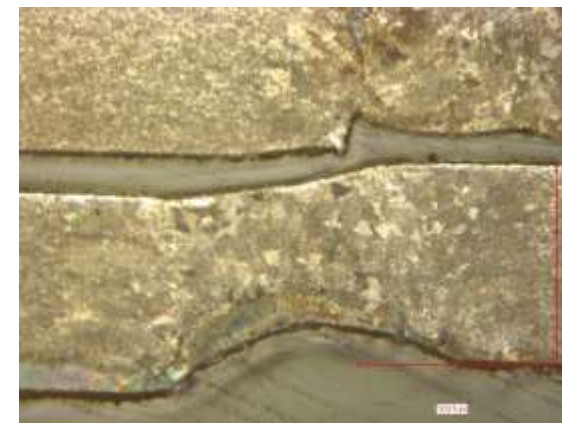
50 Hz



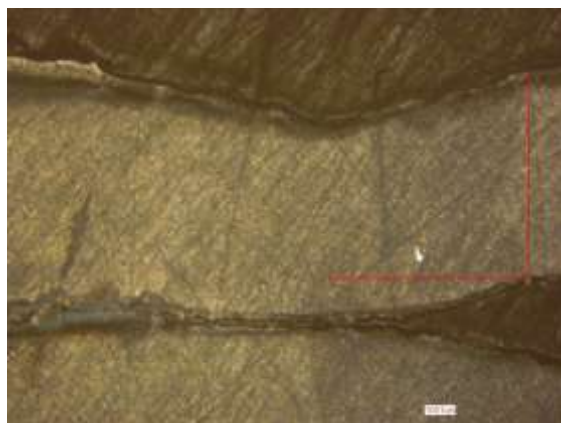
75 Hz



100 Hz



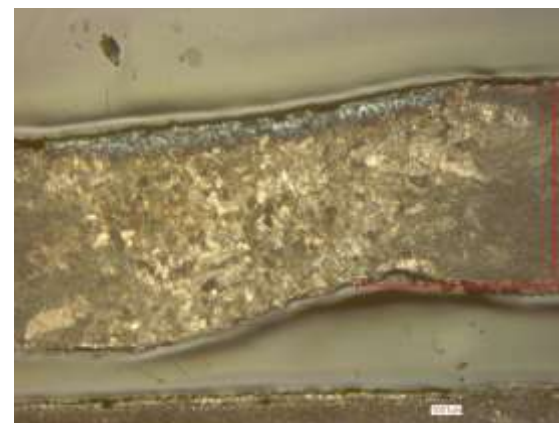
200 Hz



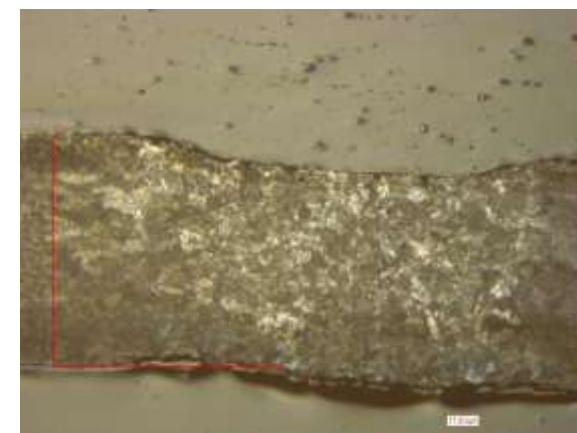
50 Hz



75 Hz



100 Hz

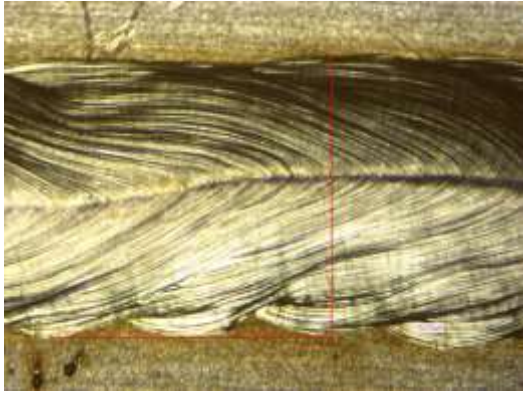


200 Hz

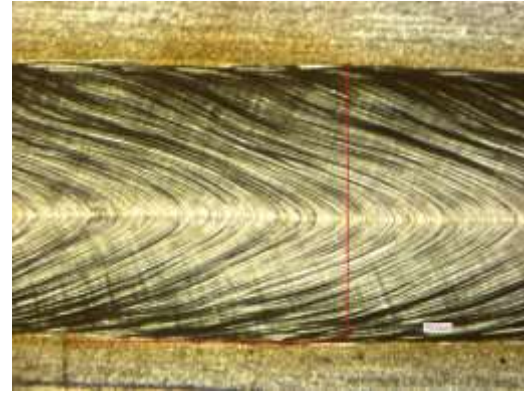
上段： 800W、下段： 1000W

溶接速度： 1.5 mm/s

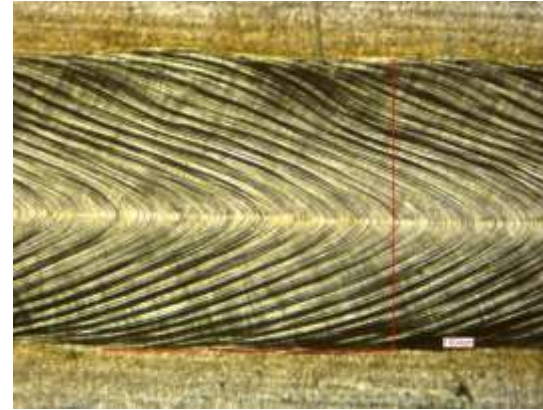
# 実験結果 (3-1) SUS304鋼材のビードオン溶接部の ビード外観に及ぼすワブリング条件の影響



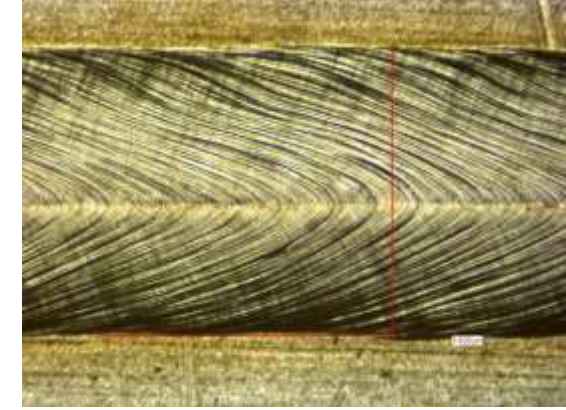
50 Hz



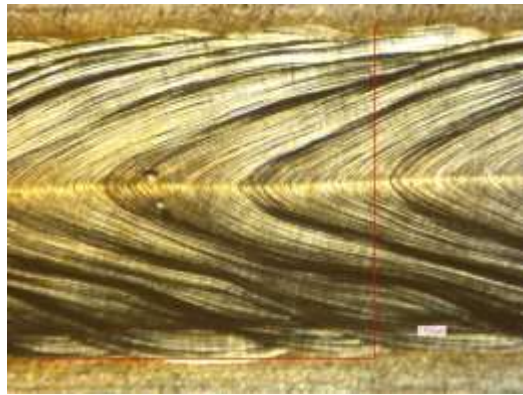
100 Hz



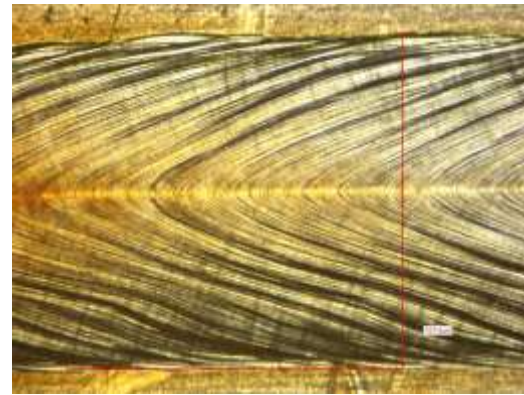
200 Hz



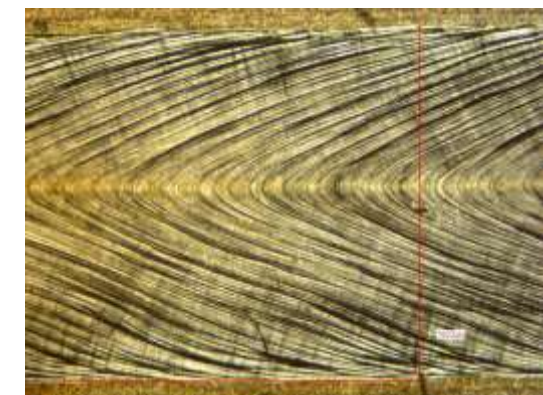
300 Hz



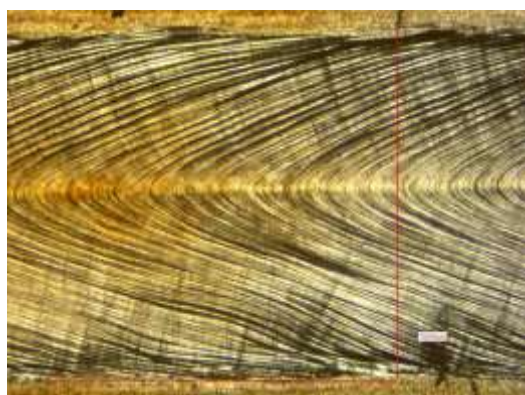
50 Hz



100 Hz



200 Hz

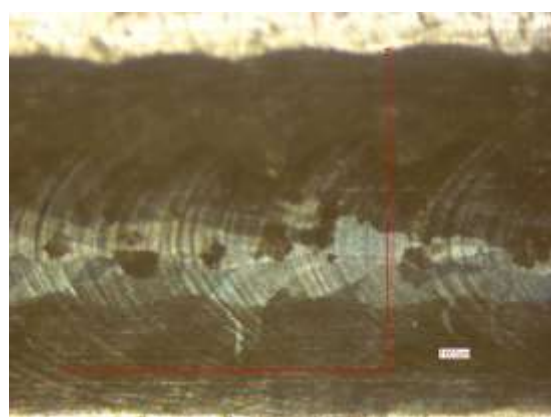


300 Hz

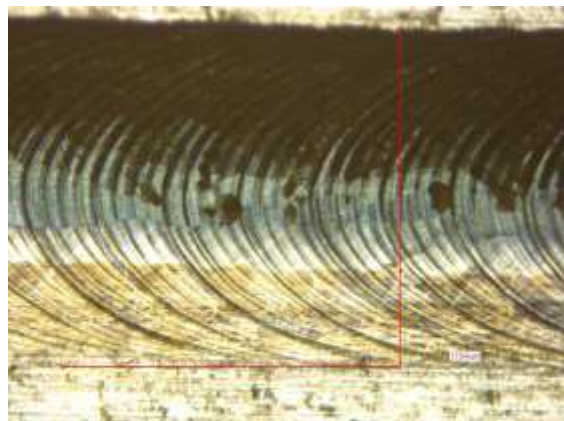
上段： 1200W、下段： 1500W

溶接速度：40 mm/s

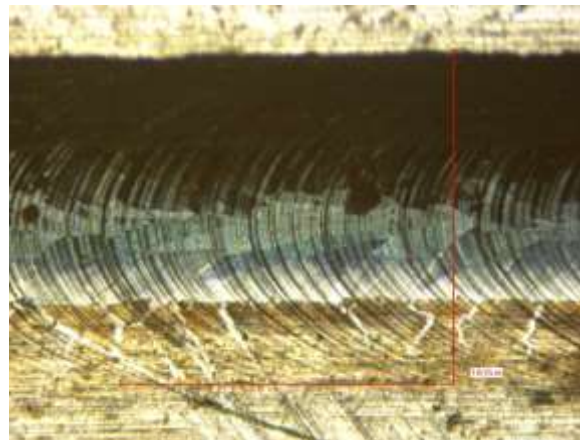
# 実験結果 (3-2) A6022アルミニウム合金の突合せ継手の ビード外観に及ぼすワブリング条件の影響



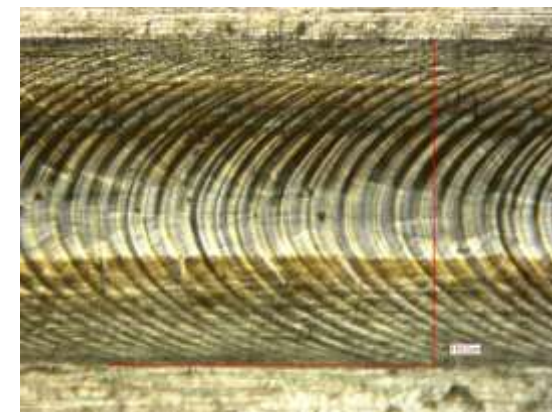
50 Hz



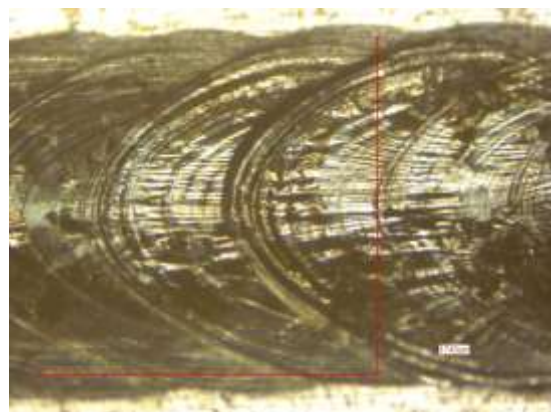
100 Hz



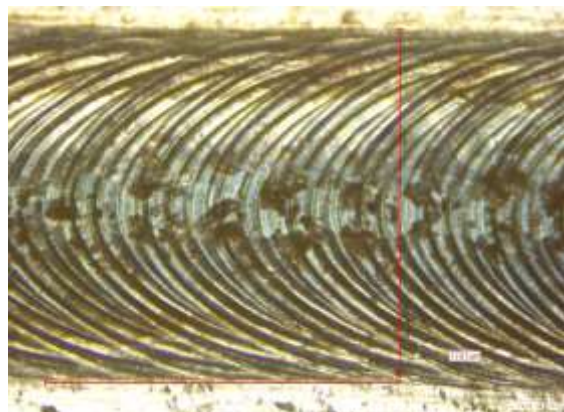
200 Hz



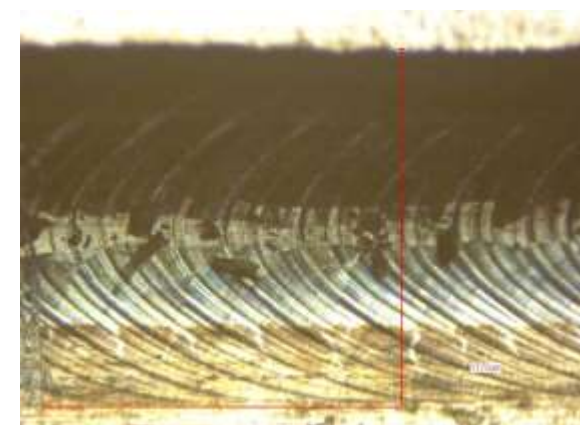
300 Hz



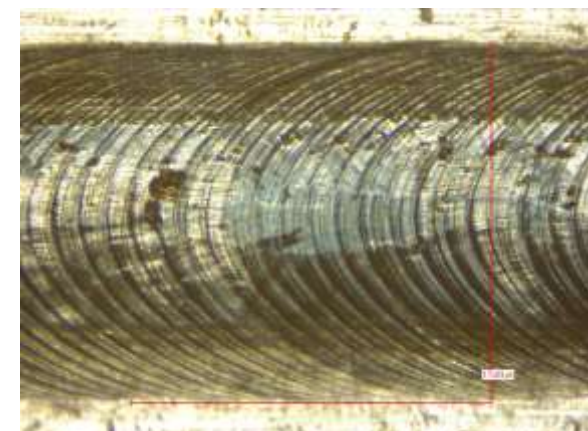
50 Hz



100 Hz



200 Hz

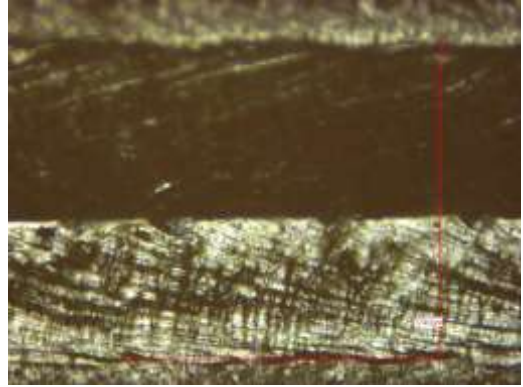


300 Hz

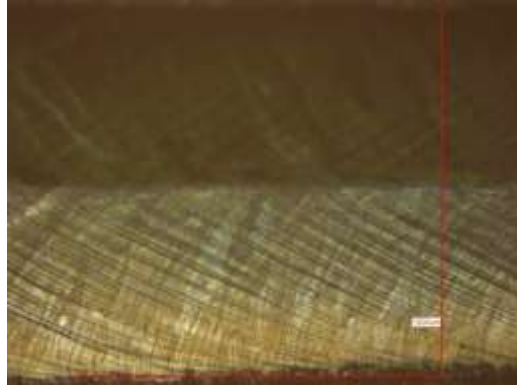
上段： 0.4 mm径、下段： 0.8 mm径

溶接速度： 40 mm/s

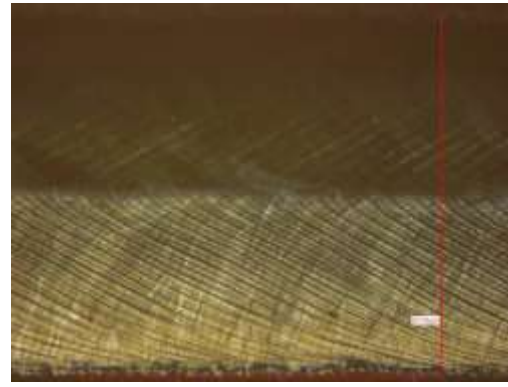
# 実験結果 (3-3) SPCC-GA鋼材の突合せ継手の ビード外観に及ぼすワブリング条件の影響



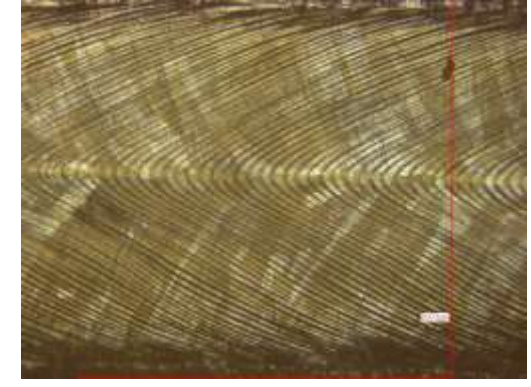
50 Hz



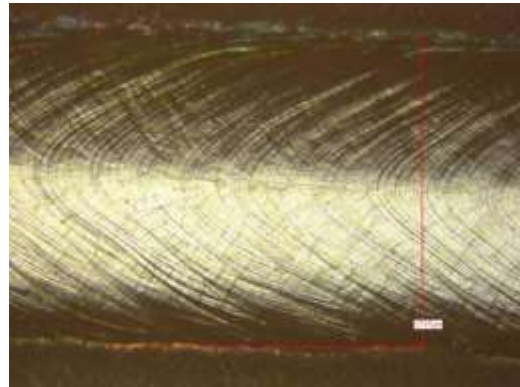
75 Hz



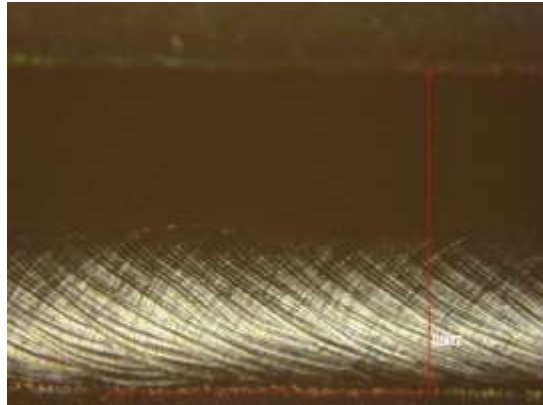
100 Hz



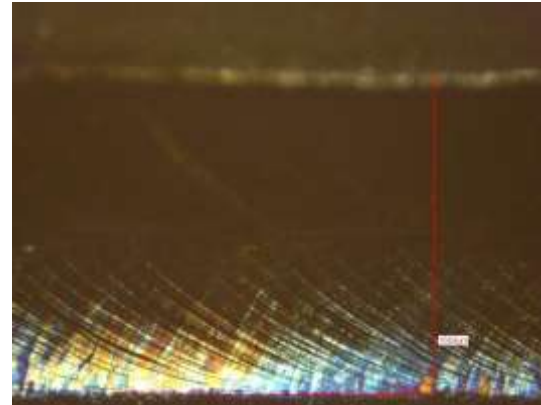
200 Hz



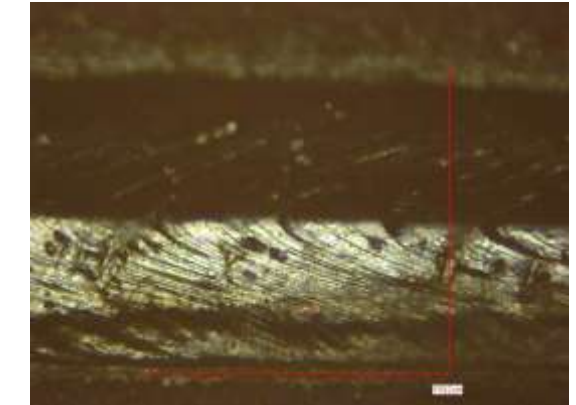
50 Hz



75 Hz



100 Hz



200 Hz

上段： 1000W、下段：800W

溶接速度：15 mm/s

### 3. 実験結果のまとめ

以上の実験結果を求めると次のようである。

- 1) ワブリングレーザ溶接では、溶込み形状に及ぼすワブリング条件の影響は大きい。ワブリング径を大きくすると、「たこの足状」の溶込み形状が現れる。また、表面ビード幅と裏面ビード幅の差が少なくなる。ワブリング周波数を大きくすると、ビード幅が大きくなり、ビードがより滑らかになる。
- 2) 各種材料のレーザ溶接条件について、適切にワブリング条件を選ぶ必要がある。
- 3) ブローホールの発生は非常に少なかった。
- 4) 凝固割れの発生は見られなかった。
- 5) ワブリングレーザ溶接は薄板の突合せ溶接に適している。
- 6) 溶接金属の凝固組織や機械的性質などへの影響についてはさらに研究をする必要がある。