

造船向け溶接技術の開発動向  
および直近の成果  
(水平すみ肉溶接)

(株)神戸製鋼所  
溶接事業部門 技術センター  
溶接開発部

石崎 圭人

2014年5月

1

■ 講演の内容

1. 溶接の変遷
2. 水平すみ肉溶接の高能率化
3. 最近の取組み

2

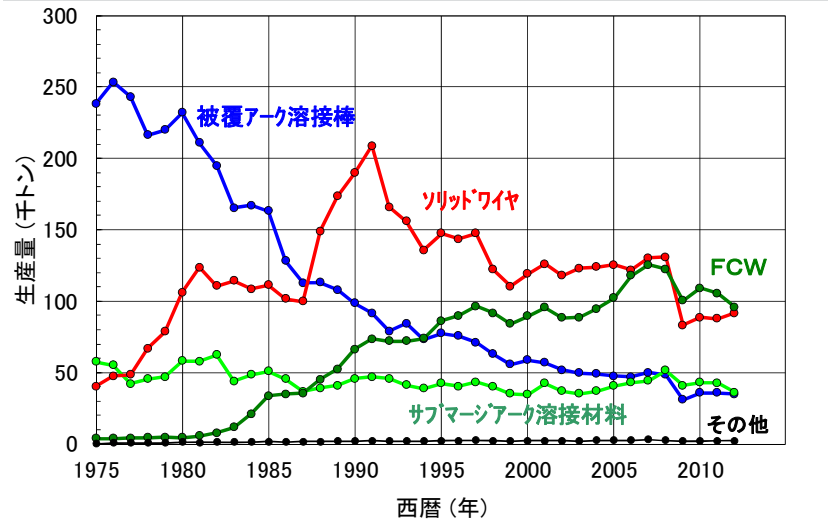
# 1. 溶接の変遷

- 1-1 溶接法・溶接材料の変遷
- 1-2 溶接材料生産推移
- 1-3 産業部門別溶接材料比率
- 1-4 造船における溶接姿勢毎の総溶接長比率

## ■ 溶接法・溶接材料の変遷

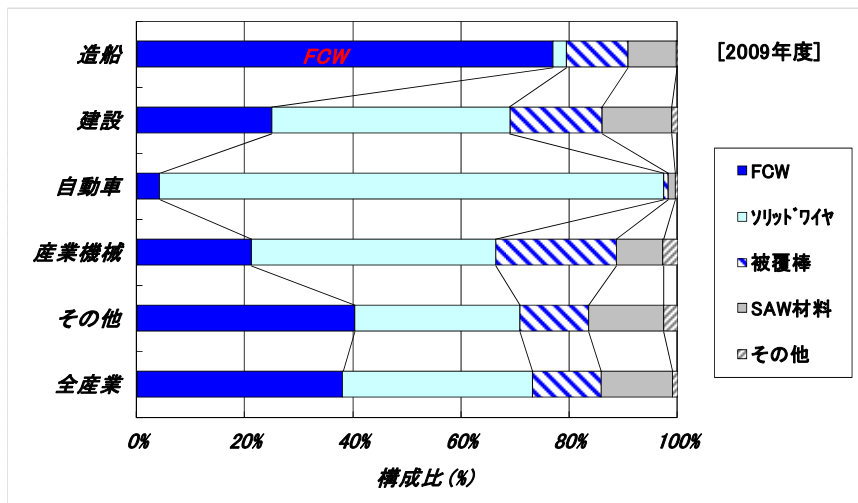
年代	主な溶接法・溶接材料
～1970年代	アークの発見(1801), 被覆アーク溶接(1907), SAW実用化(1936), CO <sub>2</sub> アーク溶接(1958), EGW実用化(1962), セルフシールドアーク溶接(1963), FCB・RF法(1964)
1980年代	全姿勢溶接用スラグ系FCW(1980) すみ肉用メタル系FCW(1989)
1990年代	2電極タングステン水平すみ肉溶接法(1993) 高速FCB法(1996)
2000年代～	2電極EGW(2002) 3電極タングステン水平すみ肉溶接法[TRIFARC™法](2004)

■ 日本におけるアーク溶接材料生産推移



5

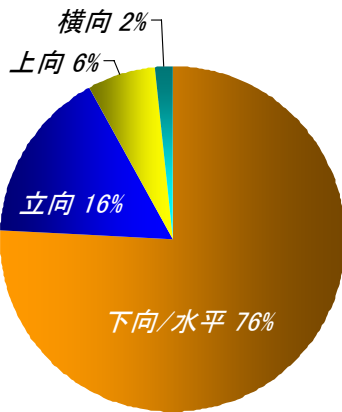
■ 産業部門別の溶接材料使用比率



6

■ 造船における溶接姿勢毎の総溶接長比率

50,000 DWT タンカー(シングルハル)の場合 (一例)



下向・水平の比率が非常に高い



特に、水平すみ肉溶接は70%



水平すみ肉溶接の高能率化

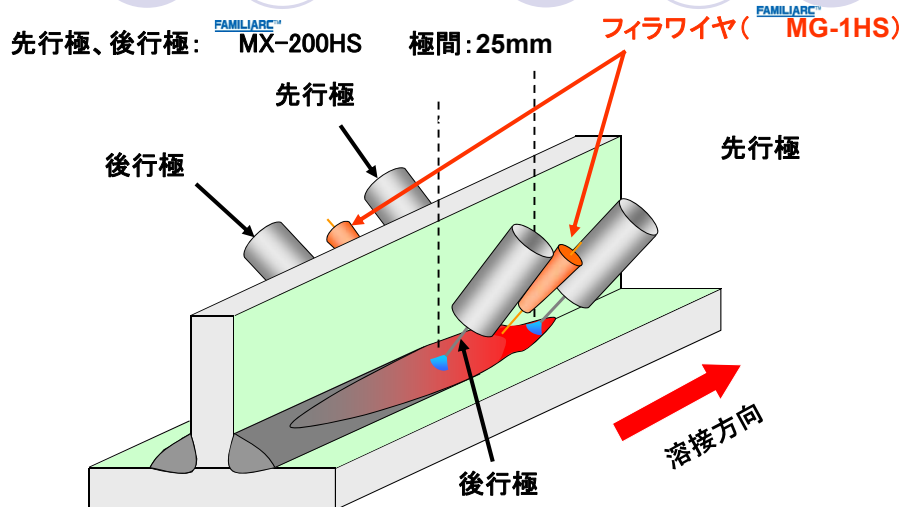
## 2. 水平すみ肉溶接の高能率化

- 2-1 水平すみ肉溶接施工法溶接速度の推移
- 2-2 新3電極 (TRIFARC<sup>TM</sup>) タンデム1プール法
- 2-3 大脚長性に優れたすみ肉用FCW

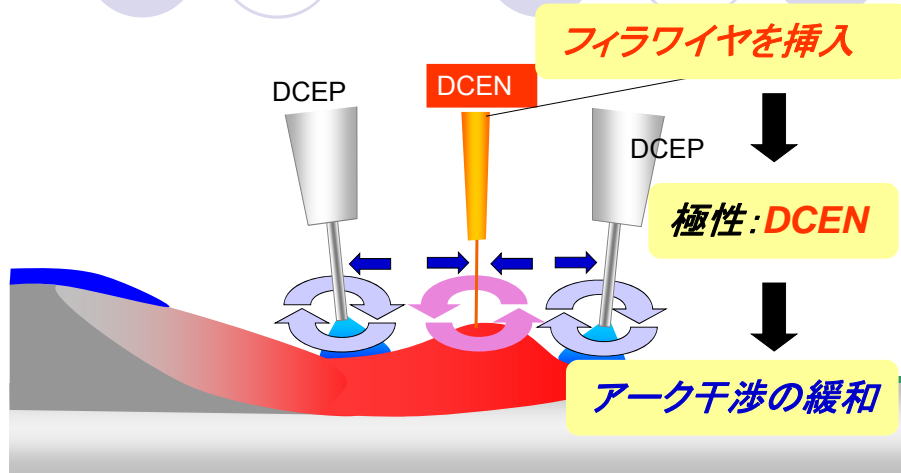
■ 水平すみ肉溶接施工法溶接速度の推移

施工法	適用開始	溶接速度 (mm/min)			
		500	1000	1500	2000
■ グラビティ溶接法 (被覆アーク溶接)	1960年代				
■ ツインシングル溶接法 (ガスシールドアーク溶接法)	1980年代				
■ 2電極タンデム2プール法 (ガスシールドアーク溶接法)	1980年代				
■ 2電極タンデム1プール法 (ガスシールドアーク溶接法)	1990年代				
■ 新3電極タンデム1プール法 (ガスシールドアーク溶接法)	2000年代				

■ 新3電極 (TRIFARC<sup>TM</sup>) タンデム1プール法の電極配置



■ 新3電極 (TRIFARC<sup>TM</sup>) タンデム1プール法の概略



アーク干渉緩和=溶融プールの安定化

大脚長性に優れたすみ肉  
溶接用FCW

## ■ 背景

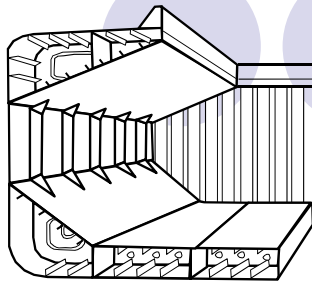
KOBELCO

### 共通構造規則 (CSR) の制定

使用鋼板が厚くなるため、必要脚長が増加 (6mm⇒8~9mm)

### バラスタタンクIMO塗装性能基準 (PSPC) の制定

溶接ビード止端部近傍の塗装性の観点から形状改善が必要。



バラスタタンクの耐食性が船の寿命を決めるといっても過言ではない。

塗装にやさしい溶接を...

13

## ■ 共同研究開発

KOBELCO

大脚長溶接時に塗装性に優れたビード形状を呈するフラックス入りワイヤを共同研究開発

ClassNK  
R&D PROJECT

SHIN  
KURUSHIMA KOBELCO

一般財団法人日本海事協会

株式会社新来島どつく

株式会社神戸製鋼所

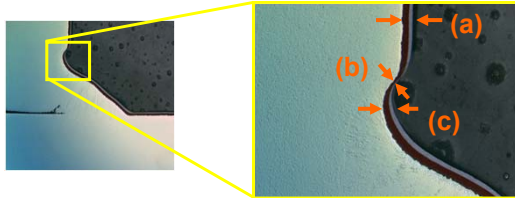
本研究開発は、日本海事協会の『業界要望による共同研究』のスキームにより、同協会の研究支援を受けて実施した。

14

## ■ 塗装性とビード形状の関係把握

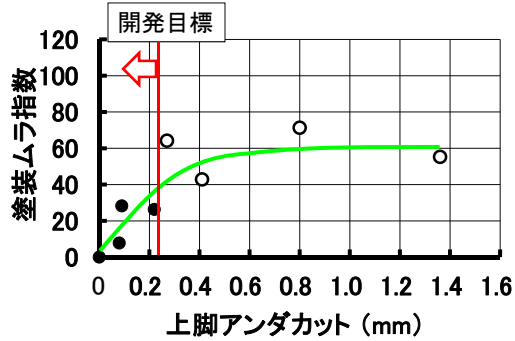
KOBELCO

### 上脚付近の塗装性



- (a) 立板定常部
- (b) 上脚最薄部
- (c) アンダカット部

アンダカット最深部よりも  
やや上部が薄くなる



- 膜厚  $\geq 320 \mu\text{m}$
- 膜厚  $< 320 \mu\text{m}$

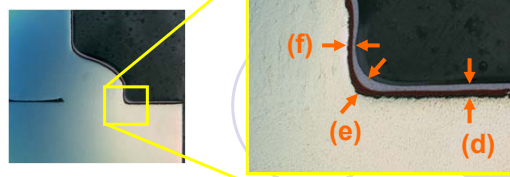
\* 塗装ムラ指数 =  
(最大膜厚 - 最小膜厚) / 定常部の膜厚  $\times 100$

15

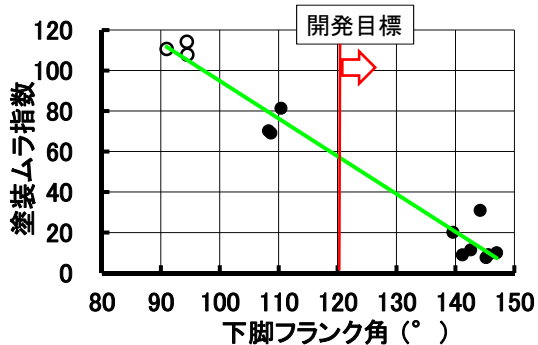
## ■ 塗装性とビード形状の関係把握

KOBELCO

### 下脚付近の塗装性



- (d) 下板通常部
- (e) 下脚なじみ部
- (f) 下脚立ち上がり部



- 膜厚  $\geq 320 \mu\text{m}$
- 膜厚  $< 320 \mu\text{m}$

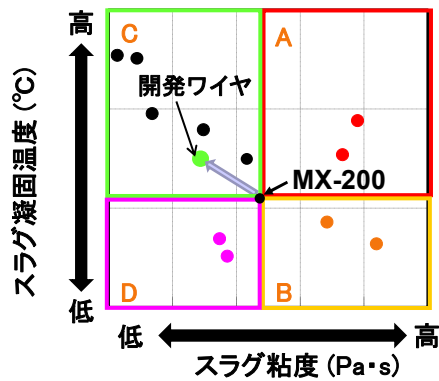
\* 塗装ムラ指数 =  
(最大膜厚 - 最小膜厚) / 定常部の膜厚  $\times 100$

16

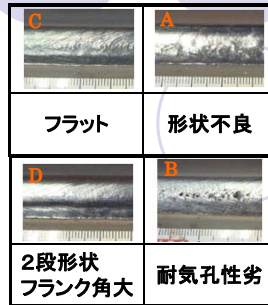


## ■ ビード形状とスラグ特性の関係把握 **KOBELCO**

当社すみ肉ワイヤ (**FAMILIARC™** MX-200) をベースにスラグ特性 (スラグ粘度、凝固温度) を4つの領域に区分



粘度、凝固温度はスラグ成分から推定式により算出

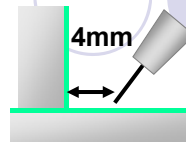


ビード形状が最も良好な領域の抽出 ⇒ C領域

17

## ■ 開発ワイヤのビード外観と塗装性 **KOBELCO**

供試鋼板: プライマ塗布鋼板 (膜厚30 $\mu$ m)  
溶接条件: 320~340A-34V-300mm/min



●大脚長溶接の一例

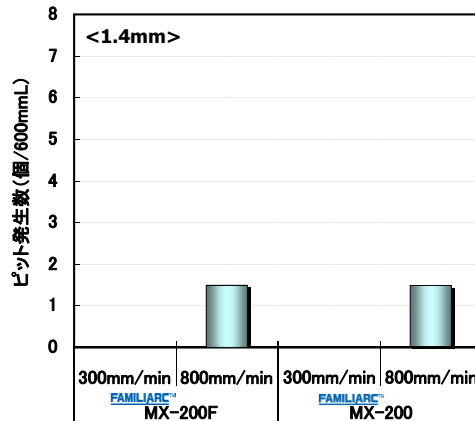
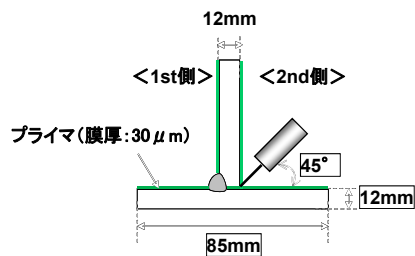
ワイヤ	ビード外観 (アンダカット/フランク角)	断面マクロ (上脚長/下脚長)	本塗装後マクロ
開発ワイヤ	 (0.15mm/138°)	 9.5 / 10.0mm	
<b>FAMILIARC™</b> MX-200	 (0.21mm/126°)	 9.8 / 9.4mm	

アンダカット、フランク角も良好でフラットな形状

18

## ■ 開発ワイヤMX-200Fの耐気孔性(ピット)評価

- 溶接方法: 自動機シングル
- 溶接条件: 330A-33V  
ワイヤ突出し長さ: 25mm
- 供試鋼板: 12mmt × 85mmw × 600mmL  
SM490A 無機ジंकプライマ  
(膜厚: 30μm)
- 繰返し数: N=2

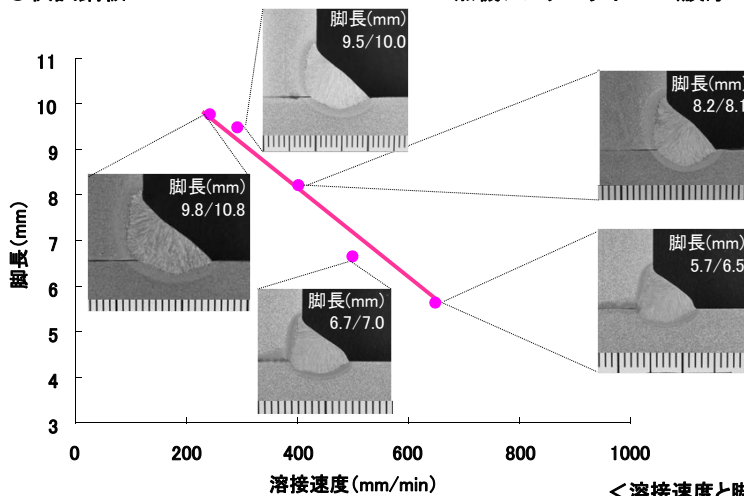


<耐ピット性>

19

## ■ MX-200Fの溶接速度と脚長の関係

- 溶接方法: 自動機シングル ●溶接条件: 320A-33V ワイヤ突出し長さ: 25mm
- 供試鋼板: 12t × 85w × 600L SM490A 無機ジंकプライマー(膜厚: 15μm)



20

## ■ MX-200F 溶着金属性能一例

### ● 溶着金属の機械的性質

ワイヤ	引張特性				衝撃特性
	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	vE0°C (J)
FAMILIARC™ MX-200F	494	581	27	63	63 (60, 62, 66)
FAMILIARC™ MX-200	498	584	25	62	69 (76, 59, 72)

### ● 溶着金属の化学成分

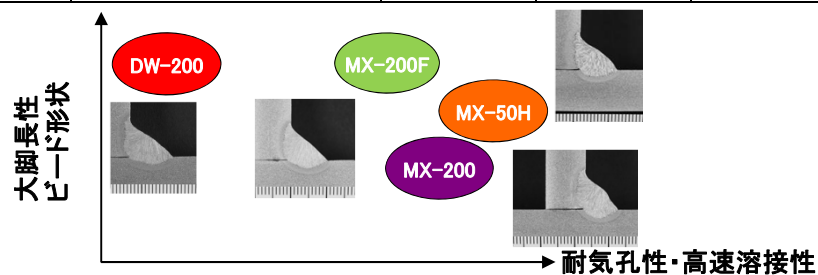
ワイヤ	化学成分 (mass%)				
	C	Si	Mn	P	S
FAMILIARC™ MX-200F	0.05	0.76	1.61	0.011	0.008
FAMILIARC™ MX-200	0.04	0.61	1.65	0.010	0.006

NK船級: KSW52Y40G(C)を取得済

21

## ■ シングルすみ肉溶接用フラックス入りワイヤ

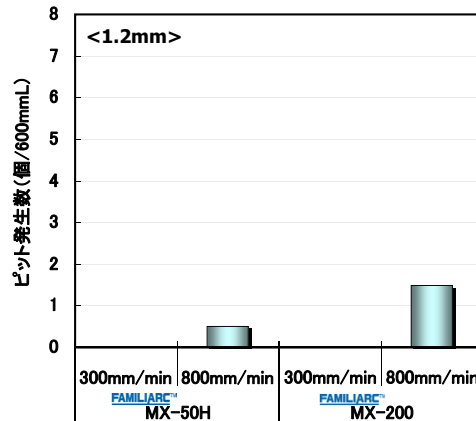
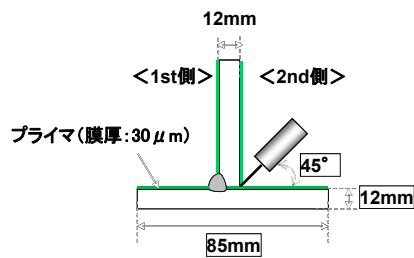
ワイヤ	高速溶接性/耐気孔性 (目安の最大溶接速度)	スパッタ発生量	ビード 外観・形状	水平すみ肉 脚長範囲
FAMILIARC™ MX-200	≧600mm/min	○	○	4~8mm
FAMILIARC™ MX-200F	≧600mm/min	◎	◎	5~9mm
FAMILIARC™ MX-50H	≧700mm/min	○-	○~◎	5~9mm
FAMILIARC™ DW-200	≧500mm/min	○	◎	6~10mm



22

## ■ MX-50Hの耐気孔性(ピット)評価

- 溶接方法: 自動機シングル
- 溶接条件: 300A-33V  
ワイヤ突出し長さ: 25mm
- 供試鋼板: 12mmt × 85mmw × 600mmL  
SM490A 無機ジंकプライマ  
(膜厚: 30μm)
- 繰返し数: N=2



<耐ピット性>

23

## ■ 水平すみ肉溶接におけるスラグ挙動

FAMILIARC™  
MX-200

FAMILIARC™  
MX-50H

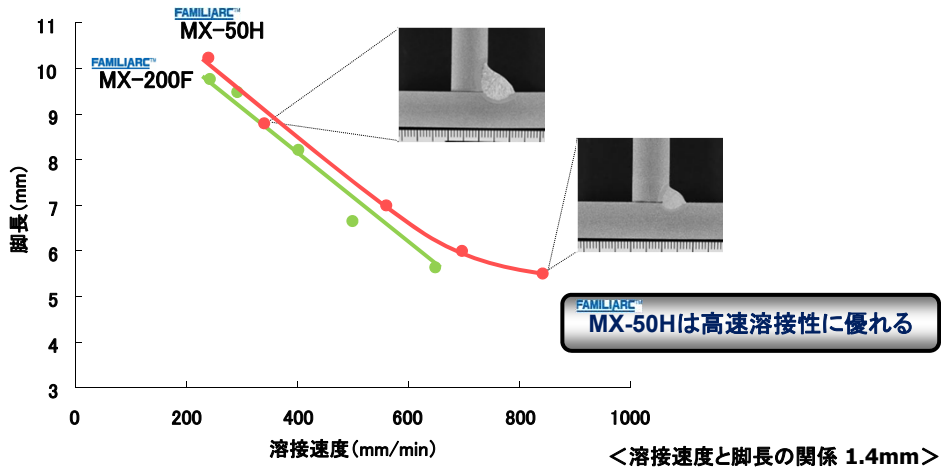


高融点タイプのスラグにより熔融金属の垂れを防止

24

## ■ MX-50Hの溶接速度と脚長の関係

- 溶接方法: 自動機シングル ● 溶接条件: 320A-33V ワイヤ突出し長さ: 25mm
- 供試鋼板: 12t × 85w × 600L SM490A 無機ジंकプライマー(膜厚: 15μm)



25

## ■ MX-50H溶着金属性能一例

### ● 溶着金属の機械的性質

ワイヤ	引張特性				衝撃特性
	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)	vE0°C (J)
FAMILIARC™ MX-50H	507	592	26	65	67 (73, 66, 61)

### ● 溶着金属の化学成分

ワイヤ	化学成分 (mass%)				
	C	Si	Mn	P	S
FAMILIARC™ MX-50H	0.04	0.65	1.85	0.014	0.006

NK船級: KSW52G(C)、LR船級: 2YSを取得済

26

### 3. 溶接材料・施工法開発に向けた最近の取組み

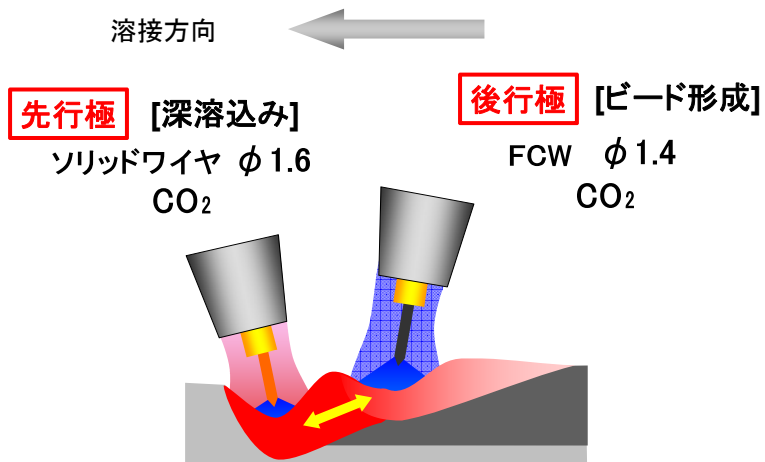


- 3-1 新しい溶接施工法開発への取組み
- 3-2 アーク現象解析・基礎的取組み
- 3-3 今後の展開

### 新しい溶接施工法開発への取組み

■ マグハイブリッドタンデム溶接法

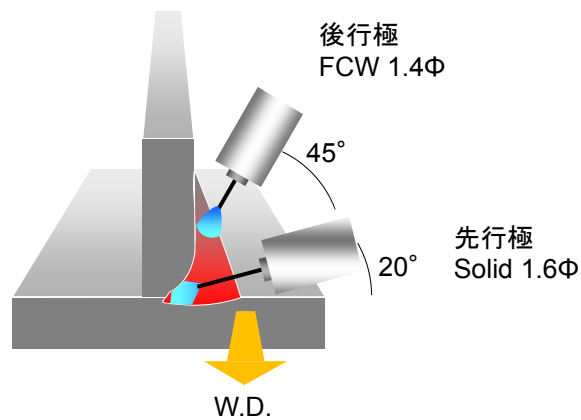
ガスシールドアーク溶接による深溶込み施工法



29

■ マグハイブリッドタンデム溶接法

深溶込み水平すみ肉溶接



30

■ マグハイブリッドタンデム溶接法

溶滴移行観察



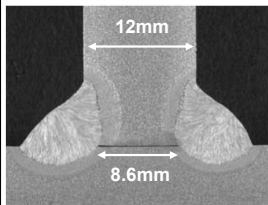
31

■ マグハイブリッドタンデム溶接法

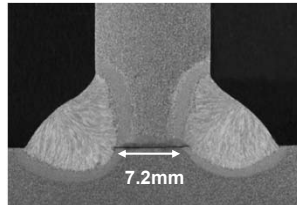
従来シングル

従来タンデム

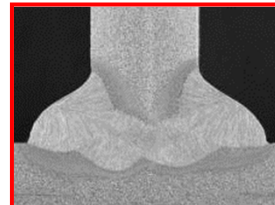
マグハイブリッド  
タンデム



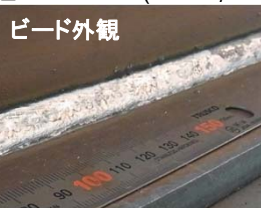
溶接速度:400mm/min  
300A-32V  
FCW φ1.4



1000mm/min  
L極:450A-33V  
T極:350A-31V  
FCW φ1.6



1000mm/min  
L極:510A-34V (ノリッド φ1.6)  
T極:300A-31V (FCW φ1.4)



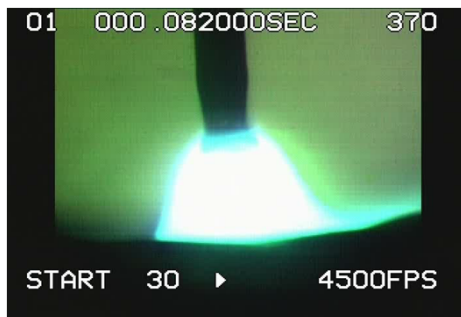
32



## アーク現象解析・基礎的取組み

### ■ アーク現象解析・基礎的取組み

#### アーク現象の追及

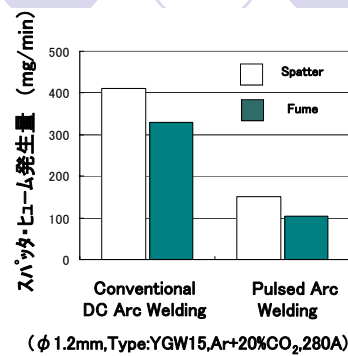


パルスMAG溶接の溶滴移行

**スパッタレス: 溶滴移行規則性向上**

**ヒュームレス: 金属蒸気の抑制**

**高速化・スラグ制御: 溶融池の制御**



**溶接材料**  
ワイヤ送給性  
最適化学組成  
アーク安定剤

**溶接プロセス**  
電流制御  
シールドガス  
ワイヤ送給制御  
極性

■ FCWの溶滴移行現象(リペルド移行)

**FCW (ルチール系)の  
溶滴移行**

フィルター法



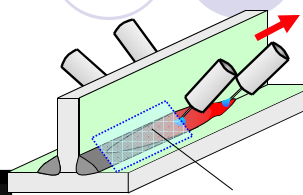
溶接電流: 310A

シールドガス: 100%CO<sub>2</sub>

ワイヤ: JIS Z3313 T 49J 0 T1-1 C A-U ( FAMILIARC DW-100) φ1.2 極性: DCEP

■ 気孔発生現象観察

**メタル系FCW x 4  
溶接速度: 1500mm/min**

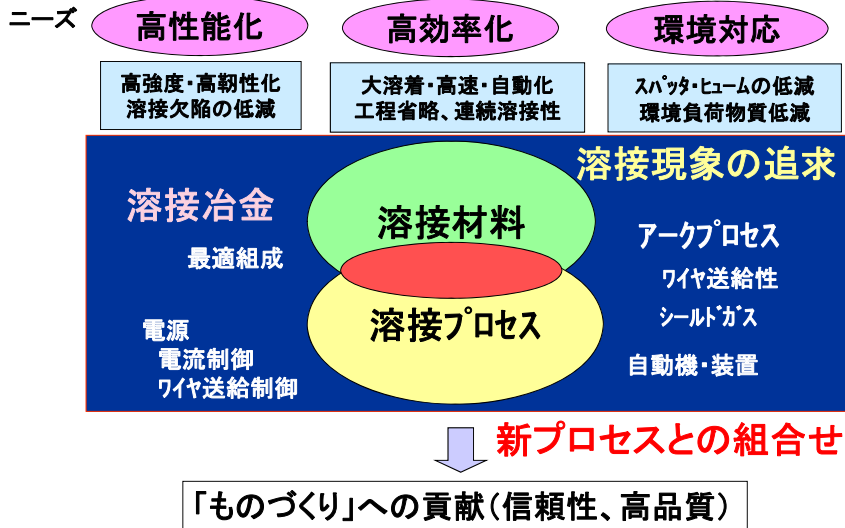


HSV観察視野

6000FPS HSV撮影

■ 今後の展開＝溶接材料と溶接プロセスによる

「ものづくり」への貢献



ご清聴ありがとうございました