

(解説)

# タンデムアーク溶接システム

## Tandem Arc Welding System



横田順弘\*  
Masahiro Yokota



木幡 茂\*\*  
Shigeru Kihata



中尾哲也\*\*  
Tetsuya Nakao

Tandem arc welding, in which welding is carried out simultaneously with two welding wires, was developed to economize and shorten the overall welding process. The arc of the leading electrode is buried, to stabilize the arc. Furthermore, a welding mode switching function and other options were incorporated into commercial models. Tandem arc welding systems have found popularity with various users and contributed greatly to improvements in production efficiency and weld quality.

まえがき = 2001年、当社は溶接時間を大幅に短縮できるタンデムアーク溶接システムを開発した。以来、様々なユーザの溶接工程における生産効率の向上に貢献してきた。

近年、工業生産の地球規模でのグローバル化が進む中で、日本国内のユーザは人件費の安価な海外製品とのコスト競争を強いられている。タンデムアーク溶接システム開発の背景には、そのような状況の中で更なる溶接工程効率化に対する強い要望があった。

従来の1本の溶接ワイヤによるシングルアーク溶接に対して、タンデムアーク溶接では2本の溶接ワイヤで同時にアークを出して溶接を行う(図1参照)。そのため、高能率で高速な溶接が可能である。

本稿では、タンデムアーク溶接法、タンデムアーク溶接システムの特徴および納入事例について述べる。また、これまでは直流定電圧溶接電源によるタンデムアーク溶接であったが、さらなるスパッタ低減を目指して最近取り組んでいるパルス溶接電源によるタンデムアーク溶接についても概説する。

### 1. タンデムアーク溶接法<sup>1)2)</sup>

本溶接法では、狭隘部の適用を考慮して、写真1のような一体型2電極トーチを採用している。そのため、1プール小極間溶接となる。

一般的に小極間のタンデム溶接では、電極から発生する磁場によって互いのアークを引合うアーク干渉が発生する。このアーク干渉が発生すると、図2の電極間に生じる溶融金属の盛り上がり(以後、湯溜まりと表す)が不安定となる。これによりアークも不安定となり、スパッタの多量発生やビード外観・形状不良を引起す。

本溶接法では、これらの対策としてシールドガスにAr + CO<sub>2</sub>混合ガスを用いるほかに、図2に示す先行電極の埋もれアーク化(アーク長が通常より極端に短い状態)によって湯溜り不安定を低減し、アークを安定させている。図3は溶接中における先行・後行電極の溶接電流・アーク電圧波形を測定した結果である。図3から、先行電極が埋もれアークの方が通常アーク長の場合に比べて溶接電流・電圧とも安定していることが判る。

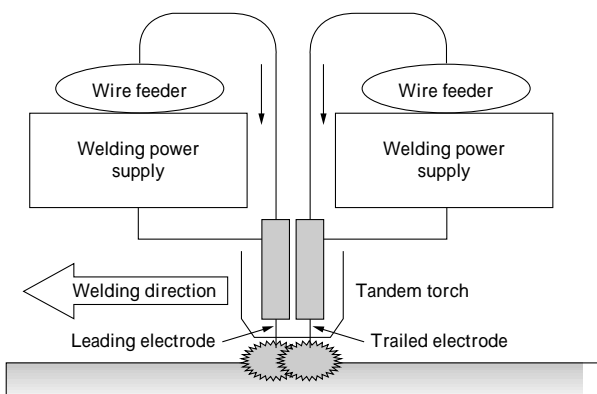


図1 タンデム溶接概念図  
Fig. 1 Concept figure of tandem welding



写真1 タンデムトーチ  
Photo 1 Tandem welding torch

\*溶接カンパニー 技術開発部 \*\*溶接カンパニー 溶接システム部

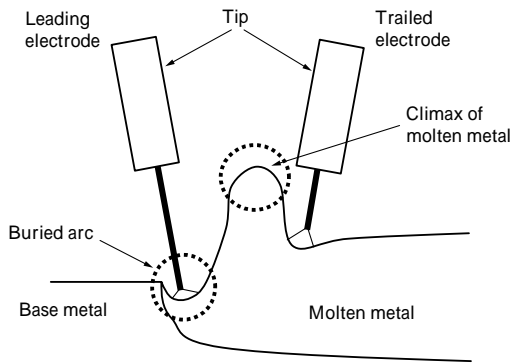
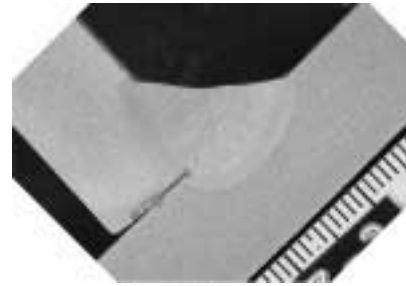
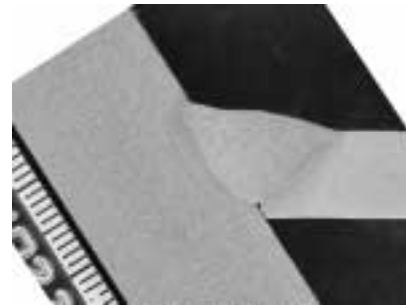


図2 溶接時のアーク、溶融池の状態  
Fig. 2 Situation of welding arc and molten metal

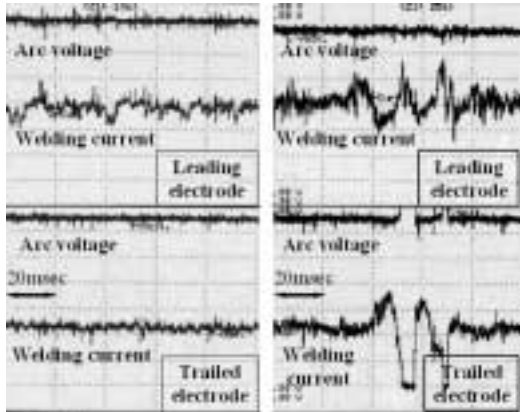


Fillet weld (12t), Leg length : 11mm  
Leading electrode : 430A  
Trailed electrode : 350A  
Melting rate : 20.2kg/h  
Welding rate : 77cm/min



Groove weld (16t-9t), Root gap : 0mm  
Leading electrode : 340A  
Trailed electrode : 320A  
Melting rate : 15.3kg/h  
Welding rate : 70cm/min

写真2 溶接試験例  
Photo 2 Examples of welding



(1) Leading electrode : buried arc  
(2) Leading electrode : usual arc voltage

図3 溶接電流・電圧波形

Fig. 3 Welding current and voltage

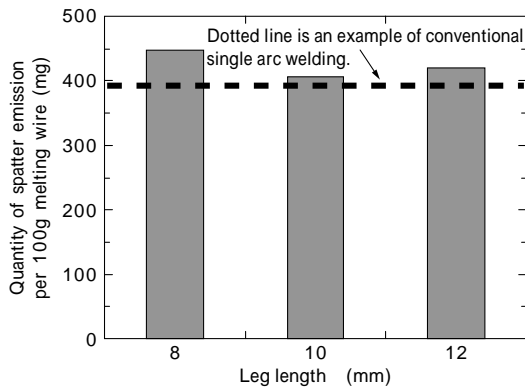


図4 スパッタ発生量比較

Fig. 4 Quantity of spatter emission

表1 スパッタ発生量調査時溶融速度

Table 1 Melting rate

Welding process	Leg length	Melting rate
Tandem arc	8mm	17.2kg/h
	10mm	20.2kg/h
	12mm	19.8kg/h
Single arc	6mm	6.0kg/h

図4に代表的な溶接条件でのワイヤ溶融量100g当たりのスパッタ発生量を示す。また、このときの溶融速度条件を表1に示す。図4から、単位ワイヤ溶融量あたりでは、シングル溶接とほぼ変わらないスパッタ発生量となっていることが分かる。

タンデムアーク溶接による溶接試験例として、下向す

み肉溶接と自然開先による板継ぎ溶接の溶接条件および断面マクロ写真を写真2に示す。

## 2. タンデム溶接ロボットシステムの特徴

タンデムアーク溶接システムは、以下のような様々な特徴を備えている。

### (1) 高速溶接

表2に代表的な下向すみ肉の溶接条件について、一般的なシングル溶接の場合とタンデム溶接の場合について比較を行う。

表2から分かるように、タンデム溶接では一般的なシングル溶接に比べて、1/4 ~ 1/3の時間で溶接を完了することが可能となっている。

### (2) タンデム溶接用アークセンサ

実際のワークでは、部材の切断や仮付精度の問題で、アークセンサに代表される溶接線追い機能が必須である。当社では従来から400Aを超える高電流対応のアークセンサ技術を確立していたが、タンデム溶接という新しい溶接施工技術に対して、埋もれアークによるアークの安定化(直流タンデム)、シングルアーク溶接よりも格段に速い溶接速度域に対応したタンデム溶接専用追いパラメータの決定、を行うことにより実用上十分な追従性能を得ることができた。また、埋もれアークを作り出すために、溶接電源も通常のシングルアーク溶接では使用しないような低い溶接電圧設定が可能なタンデム溶接専用仕様となっている。

### (3) タンデムトーチ

表 2 溶接条件比較

Table 2 Comparison of welding condition

Leg length			Example of conventional single arc welding	Example of tandem arc welding	Total welding rate ratio
10 (mm)	Total welding rate		22(cm/min)	80(cm/min)	3.5
	Welding conditions	First pass	300(A) - 22(cm/min)	Leading electrode : 450A Trailed electrode : 320A	
12 (mm)	Total welding rate		15(cm/min)	60(cm/min)	4
	Welding conditions	First pass	300(A) - 33(cm/min)	Leading electrode : 450A Trailed electrode : 320A	
		Second pass	300(A) - 27(cm/min)		

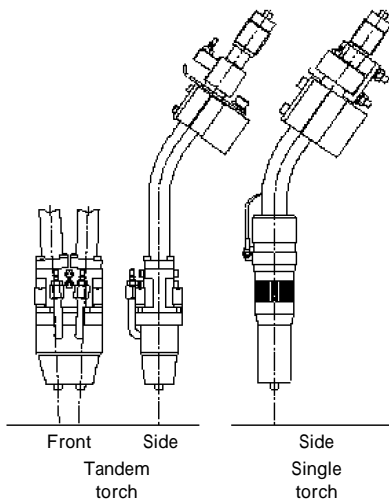


図 5 トーチ形状比較

Fig. 5 Form comparison of welding torch

タンデム溶接用トーチと従来のシングルトーチの比較を図 5 に示す。タンデム溶接システムではアークの輻射熱が大きくなるため、直接冷却方式のシールドノズルを採用している。また、溶接チップについても通電発熱およびアークの輻射熱によって、従来のシングルトーチに比べて熱的に厳しい状態になるため、トーチ内部の冷却水循環経路を工夫している。しかしながら、図 5 から判るように、側面に関しては従来のシングルトーチと遜色が無い形状寸法となっている。また、正面形状においても溶接開始点、終了点の溶接適用性をできるだけ阻害しないようにノズル先端がテーパ状となっている。

(4) 溶接モード切替機能<sup>3)</sup>

実際の溶接対象ワークには、様々な種類の溶接継手が混在している。さらに、ワーク内面のように溶接始末端部に壁がある溶接線も存在する。これらの溶接線に対してロボット溶接を適用し、なおかつ十分な品質の溶接を行うために、タンデム溶接制御装置では 4 つの溶接モード

ドを選択することが可能となっている。各溶接モードと適用溶接線の例を表 3 に示す。また、図 6 に溶接モード切替機能の使用例を示す。

この例は、溶接線の最初に下り傾斜がある場合を示している。傾斜の程度によっては、溶融量の大きいタンデム溶接では、溶融プールが下側に流れてしまう恐れがある。このような場合には傾斜部は片側の電極のみで溶接を行い、水平部に移行した時点でタンデム溶接に切替えることが可能となっている。

(5) 開始点センシング

実際のワークでは、部材の切断や仮付精度の問題で、溶接開始点を検出する手段も必要となる。本タンデムアーク溶接システムでは、ワイヤアースによるタッチセンシングを採用している。タッチセンシング時には、誤接触によるセンシングミスが発生しないようにセンシングに利用しない電極のワイヤは引込んでおく。

(6) ツール切替

アークのいよやセンシングの精度を確保し、高い溶接品質を得るために前述の溶接モード切替と同時に、ツール

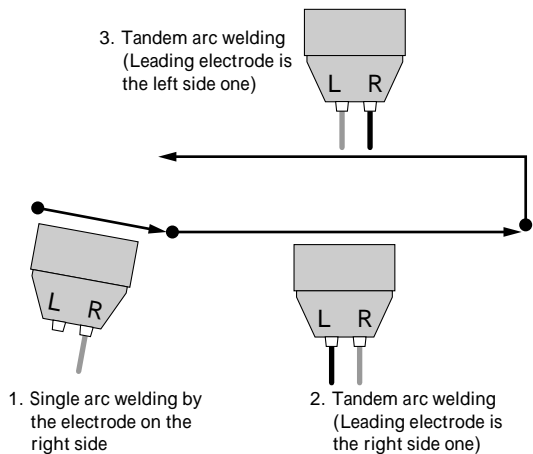


図 6 溶接モード切替機能使用例

Fig. 6 Usage example for switching function of welding mode

表 3 溶接モード

Table 3 Welding mode

	Welding mode	Welding processes	Application object
1	Leading electrode : right side Trailed electrode : left side	Tandem arc	Flat welding The welding condition of a leading electrode and trailed electrode are possible to be set up individually.
2	Leading electrode : left side Trailed electrode : right side		
3	Single arc welding by the electrode on the right side	Single arc	Welding of start and finish part
4	Single arc welding by the electrode on the left side		

切替機能を用いてロボットのツール点を変更する。タンデムアーク溶接の場合はツール点を先行電極先端のアーク点に一致させ、シングル溶接の場合はアークを出している電極先端のアーク点に一致させている。

### 3. 導入事例

#### 3.1 建設機械フレーム溶接システム<sup>4)</sup>

まず建設機械の下部走行体フレームを溶接するシステムについて紹介する。

この構造物は建設機械フレームの部品のなかでも溶接長が長く、脚長も比較的大きいことから下向姿勢で溶接できれば、タンデムアーク溶接による効果を発揮できると期待された。

この溶接システムは、FMS (Flexible Manufacturing System) ラインを構成する既存ロボットシステムの老朽化更新が目的であったため、その導入に際して、サイクルタイム短縮による生産コストの低減、溶接品質向上、生産ライン長の短縮といった課題を解決する必要があった。

##### 3.1.1 システム構成

システム構成としては、できるだけ多くの溶接線を下向姿勢で溶接するために溶接ロボット(6軸)+ロボット移動装置(3軸)+ポジショナ(2軸)となっている。

システム構成の特徴としては、タンデム溶接システムであるためロボット1台にワイヤ送給装置を2台搭載し(写真3)、溶接電源、溶接ワイヤが各2式となっている。従ってロボット移動装置に関しても、溶接ワイヤのパックを2式搭載可能になっている。システムの外観を写真4に示す。

##### 3.1.2 導入効果

2章で述べたような様々な特徴を生かすことにより、以下のような導入効果が得られた。

##### (1) サイクルタイム短縮

タンデム溶接システムを導入することにより、サイクルタイムが従来の約1/2に短縮された。



写真3 タンデム溶接ロボット  
Photo 3 Tandem welding robot



写真4 タンデム溶接システム  
Photo 4 Tandem welding system

##### (2) 溶接品質向上

タンデム溶接用アークセンサや溶接モード切替機能、さらにポジショナとの協調制御が可能なことにより、従来システムよりも溶接品質が向上し、ロボット溶接後の残作業量が1/10に低減した。

##### (3) ライン長短縮

サイクルタイムの短縮によりロボットシステムの設備台数を1/2に削減し、ライン長を大幅に短縮した。

#### 3.2 大型プレス機械フレーム溶接システム<sup>5)</sup>

次に大型プレス機械の極厚板溶接をタンデム溶接ロボット化したシステムを紹介する。

このシステムを実現するに当たっては、2章で説明した機能に加えて、新たに厚板用タンデムトーチの開発、深い開先のタンデム溶接条件の確立、ワーク誤差への対応、無監視運転への対応といった技術的課題を解決する必要があった。

##### 3.2.1 システム構成

システムの構成は、小型溶接ロボット ARCMAN-SR と3軸移動装置の組合わせであり、ロボットを天地逆向きに取付けた天吊りシステムとなっている。被溶接物は複数個が床に設置され、被溶接物間を移動しつつ溶接作業を行う。システム外観を写真5に示す。

##### 3.2.2 技術的課題への対応

##### (1) 厚板用タンデムトーチの開発

本システムの溶接対象ワークの溶接継手は、標準タンデムトーチのシールドノズルを使用すると、開先の深いところでは干渉するため、厚板用タンデムトーチを開発した。図7に示すように、下部層の溶接にはノズル長が短いタンデムノズルSを用いて開先との干渉を防ぎ、上部層の溶接には、ノズル長が長いタンデムノズルLを用いてシールド性を確保した。なお、ノズルの交換は作業者が実施する。

##### (2) タンデム溶接施工法の確立

開先深さ80mmのレ型開先継手に対する積層パターンを図8に示す。最下部層は手溶接による下盛を入れている。それ以降の溶接をロボット溶接の対象として、タンデム溶接の施工開発を行った。ノズルSを用いる1~3層目をタンデムで溶接すると溶接部のシールド性が損なわれる危険性があったため、この溶接層ではシングルアーク溶接を採用した。ノズルLを用いる6層目以降は、



写真5 システム外観  
Photo 5 Welding system

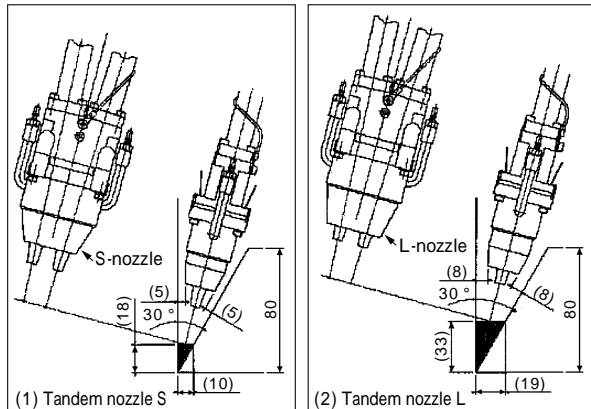


図7 厚板用タンデムノズル  
Fig. 7 Tandem nozzle for thick board

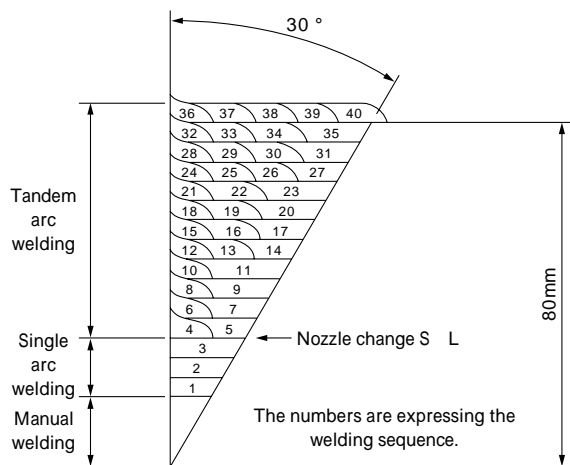


図8 レ型開先(深さ80mm)の積層  
Fig. 8 Welding sequence

タンデム溶接としている。

### (3) ワーク誤差への対応

#### 溶接線位置の誤差

部材精度と仮付誤差によって生じる誤差であるが、溶接前のタッチセンシングと溶接中のアークセンサで補正している。

#### 開先精度の誤差

開先ギャップや開先精度に誤差があると開先断面積が変化し、溶接ビードの高さが場所によって変動してしまう。従って、アークセンサの上下食い機能によってワイヤ突出長さを一定に保つことにより、仕上げ層まで安定した溶接を行っている。

### (4) 無監視運転への対応

タンデムトーチ専用ノズルクリーナやロボットのリトリライ機能により、溶接システムの長時間無監視運転に対応している。

### 3.2.3 導入効果

#### (1) 生産性および溶接品質の向上

前述の事例と同様、タンデムアークによる高能率溶接により、溶接工程の工数と生産リードタイムを従来の1/3に短縮することができた。また、溶接品質が向上した。特にビード外観が均一に仕上がるため、完成品としての製品価値向上にも寄与している。

#### (2) 脱技能化・標準化

多層盛溶接は溶接パス数が多い分だけ溶接条件の管理が複雑となる。本システムではデータバンク機能を用いることにより、溶接条件(電流、電圧、速度など)に加えてトーチ角度も数値管理している。そのため、溶接の脱技能化、標準化が実現され、作業者の技量に左右されない高品質の溶接が可能となっている。

## 4. パルス溶接電源によるタンデム溶接

直流定電圧溶接電源は特性としてアークの長さを一定に保持する働きがあるため、何らかの要因(例えば、磁気吹き、溶融池の振動、ワイヤ送給速度の変動)で、アーク長が長くなると溶接電流を低下させ、アーク長を元の長さに戻させる。この現象がタンデムアーク溶接の片側の電極で発生した場合、溶接電流の低下に伴いアークの硬直性が低下するため、他方の磁界により過度にアークが曲げられ、アーク切れを伴うアーク不安定が発生しやすくなる。このような状態に陥ると結果としてスパッタが多量に発生する。これに対して、最近では先行電極と後行電極のパルス区間を同期させるタンデムアーク専用パルス電源を使用し、なおかつ先行電極と後行電極のパルス条件を最適化することにより、スパッタ発生量の低減に取り組んでいる。

むすび=タンデムアーク溶接システムは、本稿で紹介したシステムを含め、2001年9月以来15システム(ロボット20台)が様々なお客様の製造ラインに導入され、大きな成果をあげている。

さらに、今後はパルス溶接電源によるタンデムアーク溶接システムの開発により、より一層広い範囲のお客様の生産能率向上、溶接品質向上に役立つロボットシステムを提供していく所存である。

### 参考文献

- 1) 横田順弘: 棒だより技術ガイド, Vol.42, 2002-4 (No.384) p.6.
- 2) 横田順弘ほか: 溶接技術, Vol.51, 2003-2, p.70.
- 3) 公開特許: 2003-53535
- 4) 中尾哲也: 棒だより技術ガイド, Vol.42, 2002-5 (No.385) p.7.
- 5) 芝池雅樹: 棒だより技術ガイド, Vol.43, 2003-12 (No.404) p.1.