

## 技術論文

## 溶接ロボットの高能率化 High-Efficiency Weld Robot

山中 伸好  
Nobuyoshi Yamanaka  
鮫島 泰郎  
Tairo Samejima

複数台の溶接ロボットを使ったシステムを高能率で運転するために衝突防止機能と追従溶接機能を開発した。また溶接開始位置の検出時間を大幅に短縮するレーザサーチセンサを開発した。

An anti-collision function and follow-up welding function to operate a system that uses plural weld robots at a high efficiency were developed. Also developed was a laser search sensor that drastically shortens the time to detect a welding start position.

*Key Words:* 溶接ロボット, 衝突検出, 追従制御, アークセンサ, ワイヤタッチセンサ, レーザサーチセンサ

### 1. はじめに

建設機械の主要な部分は溶接構造物で、アーク溶接が多く用いられている。溶接工程はロボットによる自動化が25年以上前より行われており、現在は全溶接線の90%以上が自動化されている。

溶接ロボットのシステムは対象ワークと同様に大型で、動作範囲が2m程度の多関節ロボットを前後、左右、上下に移動する走行装置に搭載して、溶接姿勢をとるためワークを回転させるポジションを組み合わせている。ワークの上方から接近させるために天吊型が多い。

システムが大型になり高価なために高能率化の要求が高く、ロボットに溶接トーチを2本持たせるタンデム溶接や最新のデジタル溶接電源などにより高能率化を図ってきた。最近では、図1のように1つのシステムに複数台のロボットを設置して溶接するものが増えている。

全てのロボットが溶接すれば生産性はロボットの台数だけ上がるが、実際には各ロボットの溶接時間が均等にならないため、無駄な待ち時間が発生して期待した効果が上がらない。この待ち時間の短縮が複数台ロボットシステムの課題になっている。



図1 天吊型ロボット4台のシステム

また高い電流での長時間の溶接でワークが熱変形するために、溶接開始位置を検出するワイヤタッチセンサや溶接中のずれを補正するアークセンサがほとんどのロボットに装着されている。

溶接開始位置を検出するワイヤタッチセンサは検出する時間と検出前にワイヤの長さを切断装置で揃える時間が長く、この動作を短縮することが課題になっている。

本稿では、複数台の溶接ロボットを効率よく運転することとワイヤタッチセンサの動作時間を短縮するという上記2つの課題を解決する技術について紹介する。

## 2. 複数台ロボットシステムによる高能率化

### 2.1 複数台ロボットシステムの課題と解決策

建設機械のワークは数本の長い溶接線と 1m 以下の多数の溶接線で構成されており、溶接継手は隅肉溶接が大多数を占めている。

複数台のロボットを使った溶接では、ポジションでワークを回転させて継手を下向き隅肉や水平隅肉の姿勢にして、溶接線を各ロボットに割り当てる。この姿勢での溶接が終了したらポジションをさらに回転させて別の継手を溶接し、この動作を繰り返してすべての継手を溶接する。

通常、ロボット同士は衝突を避けるために、ある程度離れた状態に位置決めしている。しかしロボット同士が離れていると各ロボットへの溶接線の割り当てが偏ってしまうことが多く、先に溶接が終了して、他のロボットの溶接終了を待つロボットが現れる。ポジションを回転するたびに待っているロボットが出現するために能率を著しく低下させており、待ち時間を低減することが課題となっている。

この課題を解決するために以下の2つの技術を考案した。

第1の技術はロボット同士の衝突を予知して停止させる衝突防止機能である。衝突防止機能により衝突の可能性がなくなればロボット同士を接近させられるので、溶接線を均等に割り当てて待ち時間が短縮できる。

第2の技術は1本の溶接線を複数台のロボットで多層盛り溶接する機能である。溶接線の割り当てを均等にできずに時間待ちが発生した場合には、ロボットは別のロボットと共同で1本の溶接線の多層盛り溶接を行う。これにより待ち時間をなくして、溶接時間を短縮できる。

### 2.2 衝突防止機能

衝突防止機能は溶接ロボットのオフラインティーチングのソフトウェアを改造して開発している。

オフラインティーチングシステムは自社で開発した「ティーチモア」<sup>1)</sup>だが、このシステムは図2のようにパソコンとロボットコントローラの制御部、ティーチペンダントで構成されている。パソコンはロボットコントローラから連続して出力されるロボットと走行軸、ポジションの各モータの現在位置を受信して、表示しているロボット、走行軸、ポジションを動かしている。

最新のパソコンを使用することで1秒間に数十回の位置を受信して更新できるので、ティーチペンダントを操作すると表示しているロボットがスムーズに動き、実際のティーチング（ロボットプログラム作成）と同じ操作感覚でロボットを動かして作業プログラムが作成できる。作成したプログラムを実行してロボットの動きをパソコンの画面で確認することもできる、ロボット本体とワークとの衝突、ロボット同士の衝突は画像処理で検出して色を変えて警告する。

この機能を使えばロボット同士の衝突が検出できると考えたが、複数台ロボットの衝突防止機能として、そのままでは使えない。オフラインティーチングでは画面上のロボットが衝突してから検出するが、実機では衝突すると壊れるので衝突前に検出して停止させなければなら

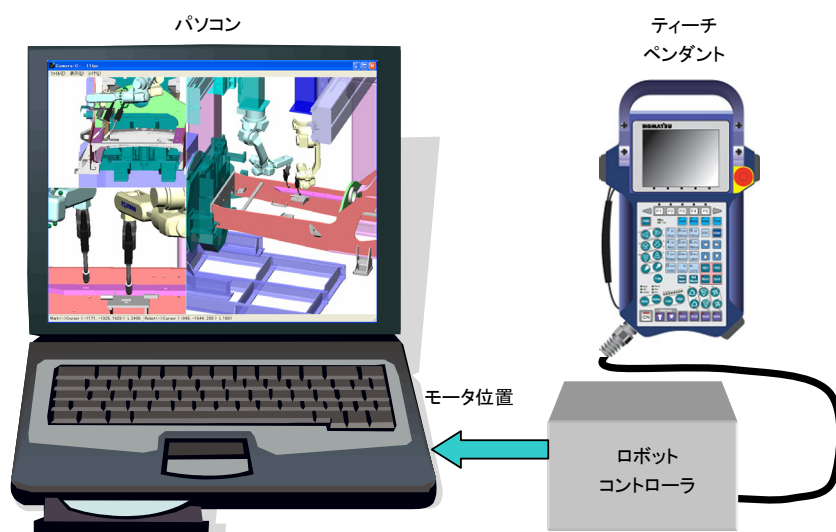


図2 オフラインティーチングシステム「ティーチモア」

ない。

衝突前に検出するためには、ある時間先のモータ位置を予測し、ロボットを予測した位置に動かし、表示して衝突しているか確認すればよい。溶接ロボットは人間の腕に似た多関節型で剛性が低く、振動が発生しやすい構造なので、モータは滑らかに加速や減速を繰り返している。そこで加速や減速を考え、モータの現在位置と速度、加速度を使って先の位置を計算する。

実機のロボットコントローラのソフトウェアを改造して、図3のようにモータの現在位置と速度と加速度を連続して出力する機能を追加した。またパソコン側が衝突を検出した場合には、パソコンからの停止要求を受けて停止する機能も追加した。

パソコン側は複数台のロボットコントローラから受信したモータの現在位置  $p$  と速度  $v$ 、加速度  $a$  を受け取り、時間  $t$  後の位置  $p'$  を計算する。

衝突を防ぐためには衝突する前に停止させる必要があるから、図4のように位置を受信した時点から一定時間  $t_c$  だけ動き、その後、時間  $t_d$  で減速して停止する位置  $p'$  を予測して、ロボット同士が衝突するかどうか確認することにする。ただし、この方法でも停止した時にロボット同士が衝突することになるので、減速するまでの時間  $t_c$  は実機より1秒ほど長くして衝突しないようにしている。つまり実機は衝突の1秒手前の位置で停止することになる。

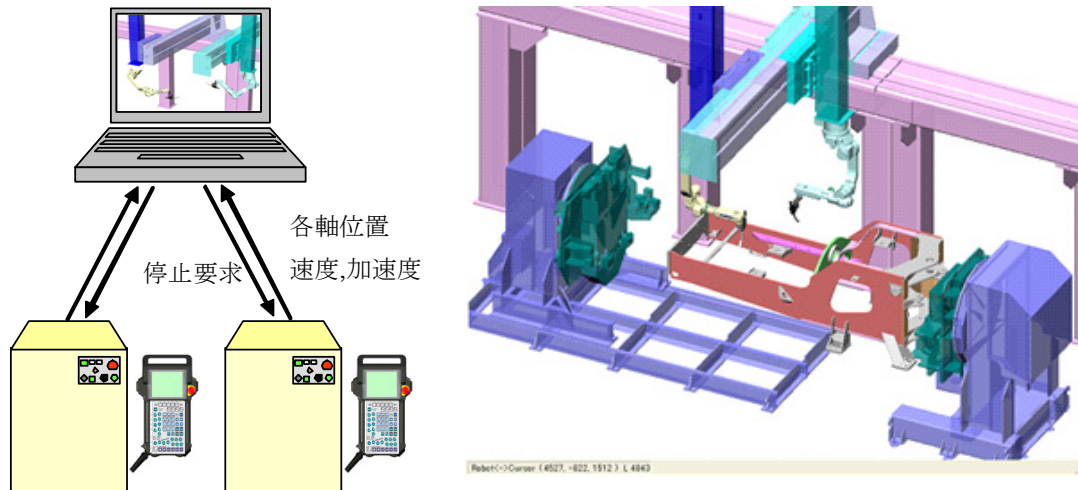


図3 衝突防止システムの構成

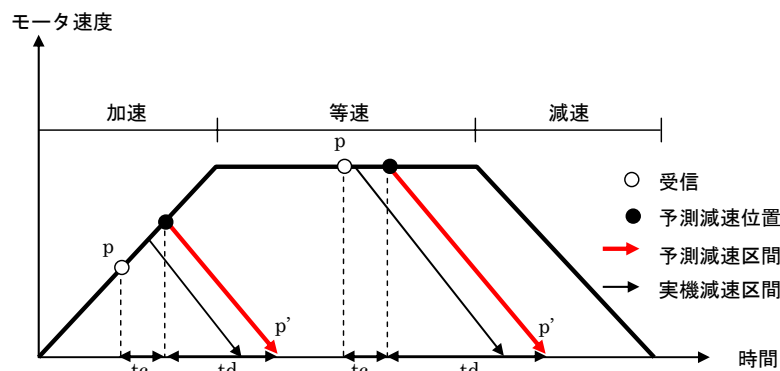


図4 衝突防止タイムチャート

時間  $t_c$  は衝突確認の処理時間と停止要求を出力して減速に入るまでの遅れ時間、これに1秒を加算した時間になる。最新のパソコンを使用することで衝突確認の処理時間と停止要求の出力時間は数十ms以内の短時間になることを確認している。

減速時間  $t_d$  は速度に比例して変化し、以下の式で表される。

$$t_d = (v + a \cdot t_c) / da$$

$da$  は減速区間での加速度

実際にはパソコンには複数台のロボットコントローラが接続されて各ロボットからロボット6軸と走行軸のモータ位置、速度、加速度が送られる。各モータの減速停止する位置  $p'$  を計算し、表示しているロボットと走行軸

のモータ位置を  $p'$  に変更して、ロボット同士が衝突しているか確認する。衝突している場合にはロボットコントローラに停止を要求する。この処理を数十ms周期で繰り返している。

図5のようにロボット同士が接近しており、両方のロボットの腕を衝突するように動かした場合、右側のパソコン画面では1秒先を予測して動いているので、実機が衝突する前に衝突して赤く表示する。衝突を検出するとパソコン側からロボットに停止要求が出力されて実機は衝突する前に停止している。

ロボット同士が誤って衝突することがないので、図5のように接近させて作業させることができる。溶接線が1箇所にも多数あるような場合にも2台のロボットに均等に割り当てて、待ち時間がない溶接ができる。

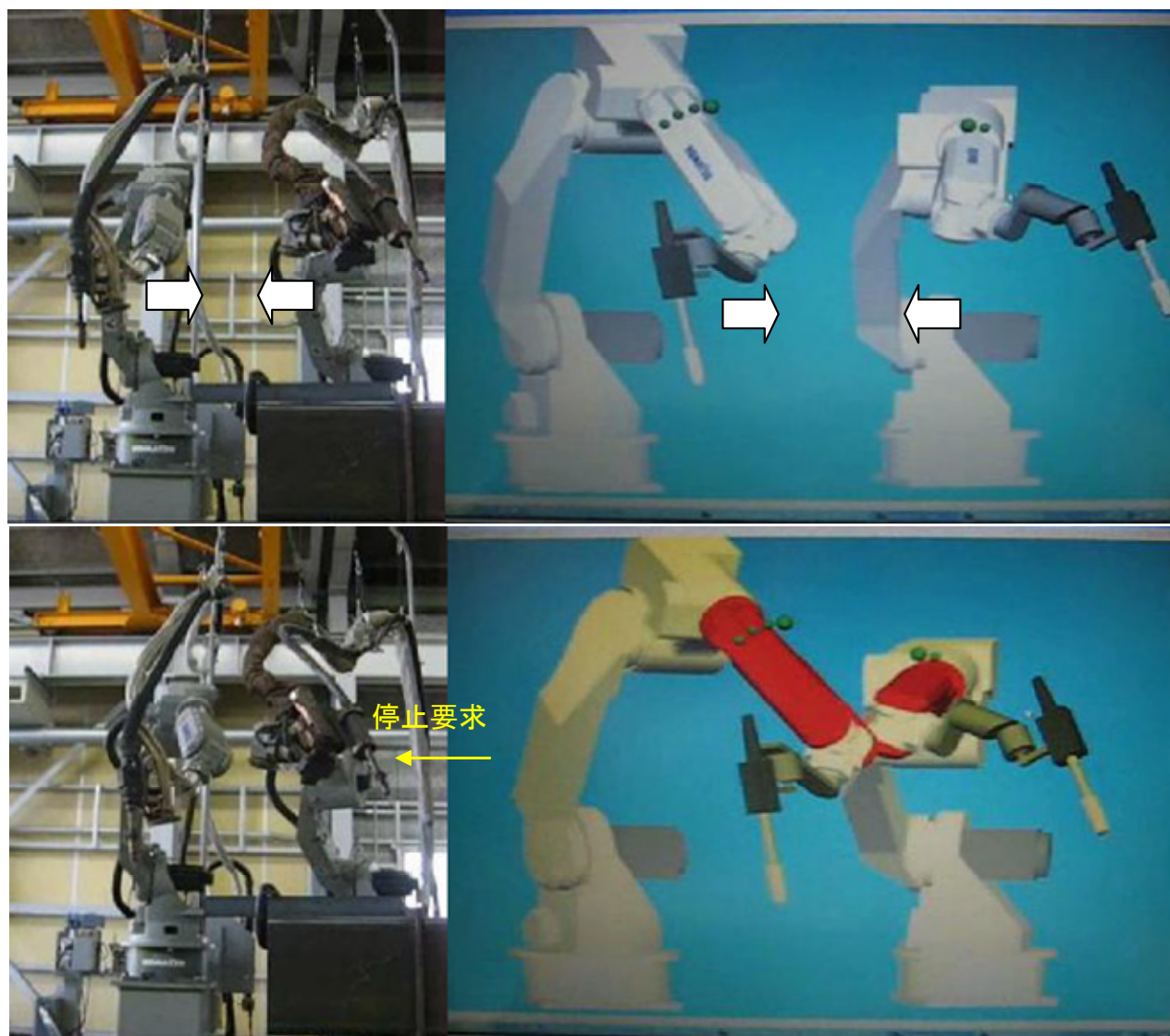


図5 衝突検出時の実機動作とパソコン画面

### 2.3 追従溶接機能

長い多層盛りの溶接線がある場合、1台のロボットで溶接して他のロボットが終了まで待つと効率が悪いため、溶接線を分割して各ロボットで溶接していた。溶接線を分割した場合には溶接のつなぎ目ができて、これを後で人が修正する必要があり自動化を妨げる。そこで図6のように多層盛りでは1台のロボットが溶接した後ろを別のロボットが追いかけるように2層目を溶接する追従溶接という方法が考えられる。

しかし、この方法はアークセンサを使用する溶接では不可能だった。ロボットは溶接の1層目で溶接歪を補正するアークセンサを使うが、2層目以降は溶接ビードがあるのでアークセンサが効かない。そこでロボット1台で溶接する場合には1層目のアークセンサの補正量を一定距離ごとに記憶して、これを2層目で再現させるメモプレイと呼ばれる機能を用いている。ロボット2台で追従溶接を行った場合には2層目を溶接するロボットは1層目の補正量は記憶していないのでメモプレイができないからである。

そこで図7のように1層目の溶接をしたロボット1の補正量をロボット2に送信して同じ補正量を持たせる機能を開発した。ロボット1は一定距離ごとに補正量を記憶するが、そのときロボット2に補正量を出力し、補正量を受け取ったロボット2はメモプレイで使用する領域に保存して、再現させる。ロボット1の溶接直後をロボット2で追従溶接を行いたいので、ロボット2の補正量を受け取りながら、再現することもできる。ロボット同士はイーサネット接続して補正量の受け渡しを行っている。

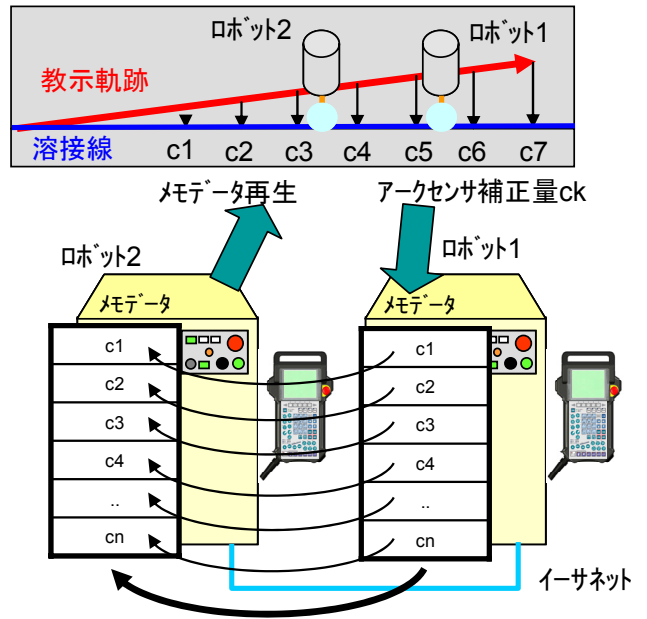


図7 ロボット間の補正量受け渡し

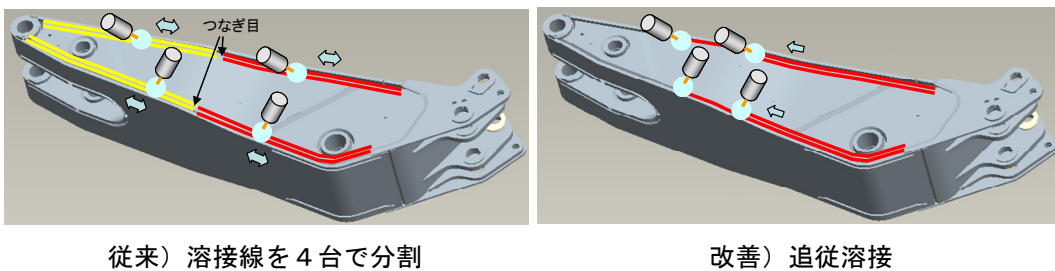
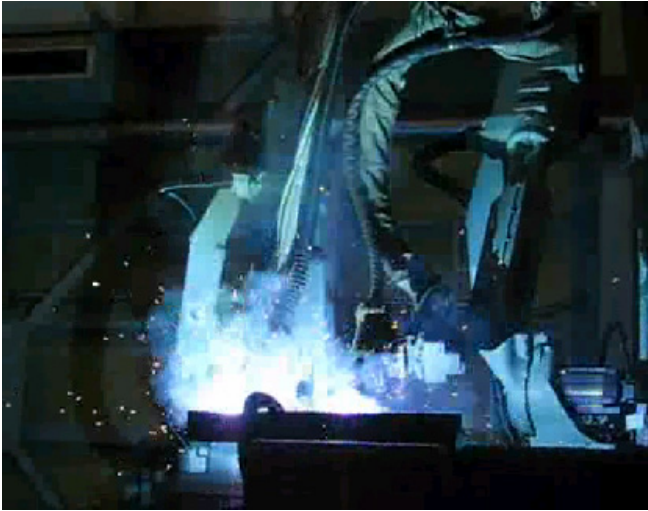


図6 追従溶接による高能率化

衝突防止機能でロボット同士を接近させられるので、**図8**のように1台目の直後を2台目が追いかけるように追従溶接を行っている。多層盛りの層数が偶数の場合は最終層まで2台で溶接するが、奇数の場合には後ろのロボットは追従溶接が終わると別の溶接線を溶接することで待ち時間を短縮している。



**図8** ロボット2台による追従溶接

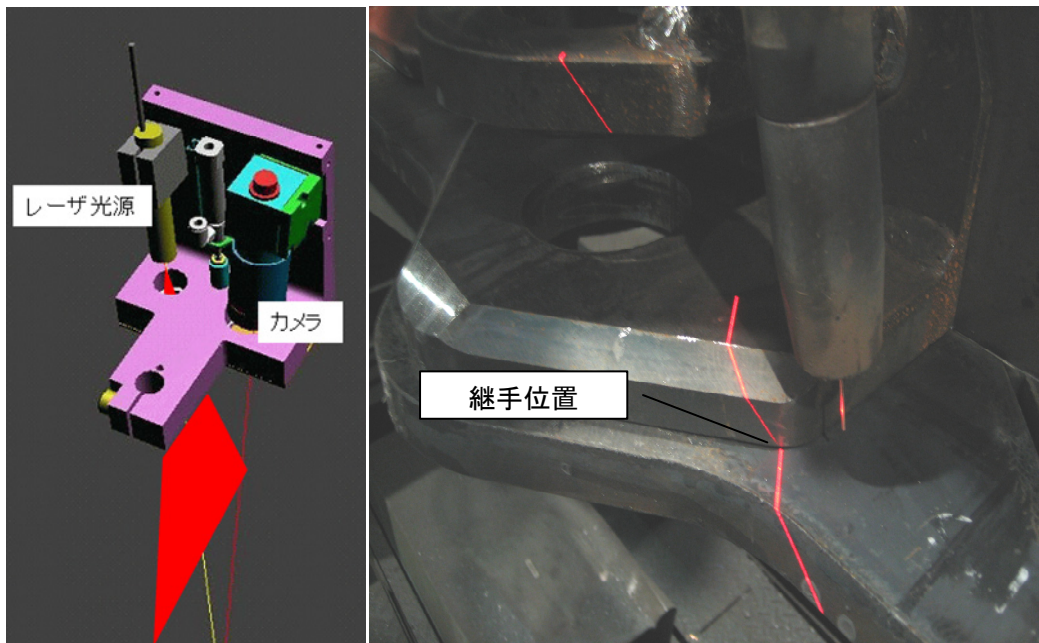
### 3. レーザサーチセンサ

#### 3.1 ワイヤタッチセンサの課題と解決策

建設機械の溶接には消耗電極式のガスシールドアーク溶接が用いられる。溶接トーチの先端からワイヤを送り出し、アークで溶接部とワイヤを溶融させながら接合する方法である。

ワイヤタッチセンサは溶接ワイヤに電圧をかけてワークと接触時の短絡を検出している。ロボットを動かして溶接ワイヤをワークに接触するまで動作させて位置を検出して、適正な溶接開始位置に移動する。通常、溶接開始位置を決めるのに、ワイヤタッチセンサで3方向から検出するが、これで10秒以上の動作になる。さらに検出前に溶接ワイヤの長さを切断装置で調整する動作に1分程度かかっている。これらを低減させることが課題になっている。

レーザーサーチセンサは**図9**のようにレーザー光源と CCD カメラで構成され、溶接トーチの近くに取り付ける。溶接継手にスリット状のレーザーを照射して得られた画像を処理して継手の位置を検出する。ワイヤタッチセンサはワークに接触するまでの時間がかかるがレーザーサーチセンサは静止した状態で検出できるので時間が短く、溶接ワイヤを使わないので切断する必要もなく大幅に時間を短縮できる。



**図9** レーザサーチセンサの構造と継手の検出方法

### 3.2 レーザサーチセンサの特徴

すでに設置しているロボットにレーザサーチセンサを付加する場合、通常はトーチ先端付近に取り付けるためにワークとの干渉が増えることが問題になる。そこでレーザサーチセンサを図10のような位置に取り付けている。この構成にすると、干渉が減る上、トーチとワークの衝突を検知して停止させるショックセンサがレーザサーチセンサ本体にも効くので信頼性、耐久性が向上する。

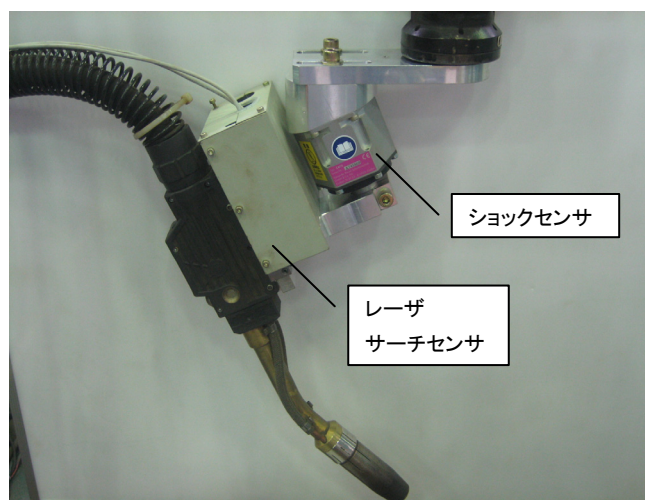


図10 レーザサーチセンサ

ティーチング時にロボットを動かして照射するレーザスリット光の中心を継手に合わせる必要がある。スリット光の中心は目視ではわからないため、モニタ画面のCCDカメラの画像を見ながらロボットを操作して画像の中心にスリット光の屈曲部を合わせていた。この操作はワイヤタッチセンサのティーチング時間に対して非常に長いので置き換えする上で課題になっていた。そこで画像を見ないで合わせる機能を追加した。まずロボットを操作して溶接ワイヤの先端を検出する継手に合わせ、その後ペンダントのキーを押すとスリット光の中心が継手の位置にくるようにロボットが動くようにした。これでティーチング時間をワイヤタッチセンサ並みに短縮できた。

実際にレーザサーチセンサを付けて、ワイヤタッチセンサで検出していた動作を置き換えると、図11のように一時静止するだけで継手の検出や端部の検出が可能のためサーチ時間は半分に短縮できている。溶接ワイヤの切断装置も不要になり、ロボットの溶接以外の動作時間を大幅に短縮している。

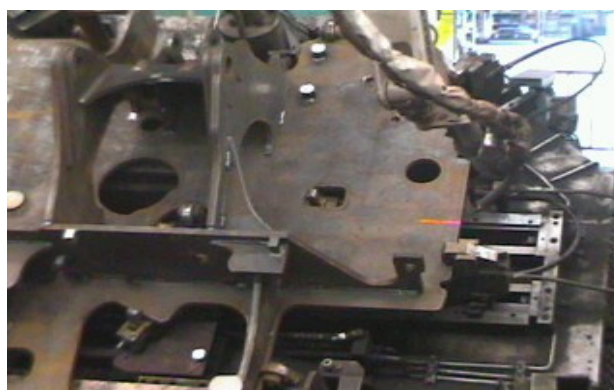


図11 レーザサーチセンサで端部を検出

## 4. おわりに

複数台ロボットシステムを高能率化のために衝突防止機能と追従溶接機能を開発した。これにより各ロボットの溶接する時間を均等に割り当てられるようになり、ロボット同士の待ち時間が短縮された。

またワークとの干渉が少ないレーザサーチセンサを開発して、ワイヤタッチセンサと置き換えることによって検出時間の短縮と溶接ワイヤの切断時間をなくすことができた。

複数台ロボットの待ち時間をさらに短縮するには、ティーチング作業者が決めている溶接線の割り当て作業を最適にする必要がある。レーザサーチセンサについてはレーザ光の照射姿勢を決めるためにティーチング作業者の技量が必要である。

ティーチング作業は益々難しくなるが、人に頼るのではなく、今後はコンピュータによって自動で最適なプログラムを作成する機能<sup>2)</sup>が必要と考える。

### 参考文献

- 1) 山中：溶接学会誌 Vol. 77, 70-73 (2008)
- 2) 橋本：(株)神戸製鋼所 技術レポート Vol. 38, 1998-10 (No.342)

筆者紹介



Nobuyoshi Yamanaka  
やま なか のぶ よし  
**山中好伸** 1983年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センター所  
属。



Tairo Samejima  
きめ じま たい ろう  
**鮫島泰郎** 1988年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センター所  
属。

【筆者からの一言】

ロボットで溶接できないため、人が溶接している部分はまだまだ多い。これらを自動化するための技術をこれからも開発していきたい。