

多関節ロボットを用いた YAG レーザ溶接におけるビーム姿勢と位置の機上計測

○学 中山 翔 (北見工大院) 学 野田昌洋 (北見工大院) 正 田牧純一 (北見工大)
 正 久保明彦 (北見工大) 正 杉野 豪 (北見工大)

要 旨

多関節ロボットを用いた YAG レーザ溶接の優れた溶接特性を引き出すためには高精度のティーチングが必要不可欠である。本研究では、CAD で与えたレーザビームの教示座標と実機上での教示座標を比較し自動的に補正する技術を開発するための初期課題として、レーザビームの姿勢と位置を実機上で計測するシステムの理論解析を行い、実験により検証を行った。

1.はじめに

多関節ロボットを用いた YAG レーザ溶接は複雑な溶接線を有する部品の高精度・高能率溶接に適しているが、その優れた溶接特性を引き出すためには、レーザビームスポット径(例えば 0.3 mm)に匹敵する高精度のティーチングが必要不可欠である。ティーチングは、CAD データを使った計算機上でのオフラインティーチングと、その後の実機を使ったオンザマシンティーチングで構成されるが、工作物の取り付け誤差、ロボットの動特性に起因した位置決め誤差により、オフラインティーチングしたデータをそのまま適用できるわけではない。すなわち、各教示点におけるレーザビームの姿勢・位置を実機上で計測し、計測データに基づいて、オフラインで作成したプログラムを補正する作業が必要となる。YAG レーザ溶接ロボットを少量多品種部品の高精度溶接に展開するためには、このティーチング時間の短縮化が急務である。本研究の目的はプログラム補正作業の自動化であるが、本報では、その初期課題として、レーザビームの姿勢と位置を実機上で計測するシステムの理論解析を行い、実験により検証を行った。

2.理論解析

計測原理と後述する実験装置を図 1 に示す。YAG レーザビームの照射軸(Z 軸)に対して θ だけ傾いたスリットビームを X 軸, Y 軸方向にそれぞれ 2 本、線対称位置に配置する。図 2 に示すように、対抗するスリットビームは、YAG レーザビームスポットの焦点位置 O_s から Z 方向に Z_s 離れた点 O で交差し、理想的には十字線を描く。工作物面上に照射されたスリットビームの位置を L とすると、工作物が φ_y だけ回転した場合、X 軸方向に配置されたスリットビームの位置は、 L_{Lx}, L_{Rx} に変化する。 φ_x だけ回転した場合でも、Y 軸方向に配置されたスリットビームの位置も同様に L_{Ly}, L_{Ry} とする変化する。これらの値は、幾何学的解析により式(1)~(3)で与えられる。また、工作物位置からスリットビーム交差位置までの距離を Z とすると、 φ_x, φ_y は式(4), (5)で表される。

$$L = \tan \theta (H + Z_s) \quad (1)$$

$$L_{Lx} = \frac{L \cdot \cos \theta \cos \varphi_y}{\cos(\theta - \varphi_y)} \quad (2)$$

$$L_{Rx} = \frac{L \cdot \cos \theta \cos \varphi_y}{\cos(\theta + \varphi_y)} \quad (3)$$

$$\varphi_x = \tan^{-1} \left(\sqrt{3} - \frac{Z}{L_{Ry}} \right) \quad (4)$$

$$\varphi_y = \tan^{-1} \left(\sqrt{3} - \frac{Z}{L_{Rx}} \right) \quad (5)$$

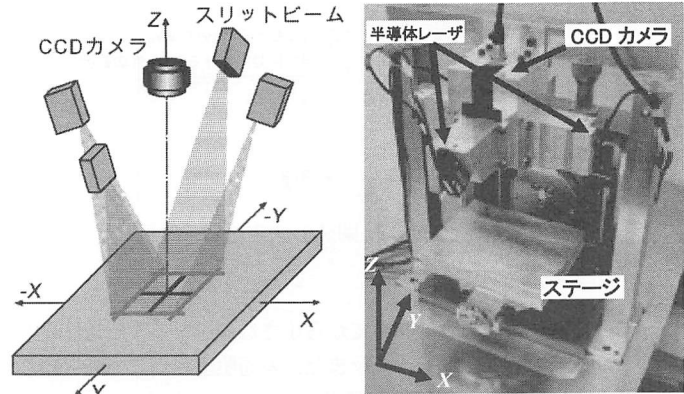
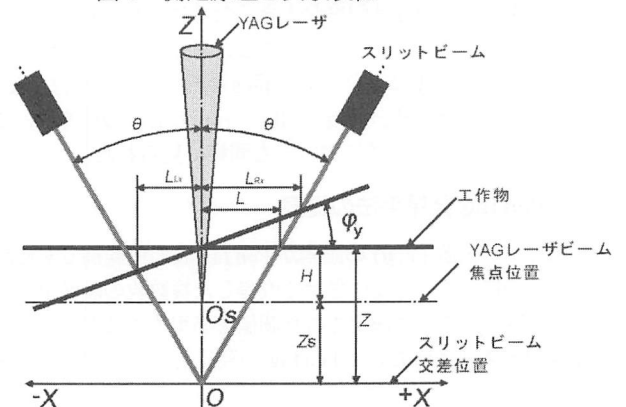


図 1 測定原理と実験装置



θ : スリットビーム照射角

Z_s : YAG レーザビーム焦点位置とスリットビーム交差位置の距離

φ_y : 工作物回転角

L_s : YAG レーザビーム焦点位置におけるスリットビーム位置

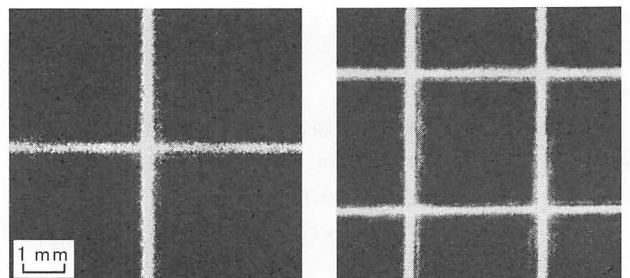
($=Z_s \cdot \tan \theta$)

L: 工作物上のスリットビーム位置

L_{Lx}, L_{Rx} : 工作物回転時のスリットビーム位置

H: 工作物位置

図 2 YAG レーザとスリットビームの位置関係



(a) $Z = 0 \text{ mm}$

(b) $Z = Z_s = 2.7 \text{ mm}$

図 3 スリットビームの画像

3.実験装置

本実験で使用した計測装置を図1に示す。YAGレーザービームスポットの中心位置 O を仮想し、その Z 軸上にスリットビーム撮影用の CCD カメラを取り付けた。次に、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸方向の3軸直進と、 Y 軸、 Z 軸回りの2軸回転の機構を有するテーブルに工作物を固定し、工作物の姿勢と高さを変えることにより実験を行った。CCD カメラから仮想 YAG レーザ焦点位置 O_s までの距離は CCD カメラの焦点距離 120 mm に設定し、工作物の高さ方向の可動範囲を CCD カメラの焦点深度である $H = \pm 5\text{mm}$ に設定した。スリットビームには可視光(赤色)半導体レーザー(650 nm, 3 mW)を使用し、実機(YAG レーザ溶接ロボット)に配置する際の制約を考慮して照射角を $\theta = 30^\circ$ に設定した。また、スリットビームが $Z_s = 2.7\text{mm}$ の位置になるよう半導体レーザーを配置した。CCD カメラの画像は 255 階調, 1 pixel = 15 μm で PC に記録した。

4.実験結果

図3に $\phi_x = \phi_y = 0$ のときに CCD カメラから得られるスリットビームの画像を示す。図3(a)は4本のスリットビームが交差して十字線を描く位置の画像である($Z=0$)。図3(b)は、焦点面におけるスリットビームの画像である($Z=Z_s(H=0)$)。

図4, 図5に $\phi_x = 0^\circ$, $H=0$ で、 ϕ_y を変化させた場合の実験条件を代入して求めた理論値と実験結果を示す。画像から式(2), (3)に示したパラメータ, L_{Lx} , L_{Rx} を求めるため、画像を2値化してスリットビームを抽出し、2値化したデータを直線回帰することによって、 X - Y 面上における直線の方程式を求めた。光沢面を有するステンレス鋼板の場合、中央部にスポットが発生し、傾き角が 15° の位置において、スリットビームの正反射光が Z 軸と一致し、スリットビーム光源が CCD カメラに直接入りこむため測定不能となったが、その点を除けば、実験値は計算値とほぼ一致している。

図6, 7は $Z=2.7\text{mm}$ で、 $\phi_x = 5^\circ$ と $\phi_x = 25^\circ$ のときのスリットビームの画像である。 ϕ_x を変化させることにより、 X 軸方向に取り付けたスリットビームが「ハ」の字に傾いている。このことから、スリットビームの間隔が広がるほど、工作物がスリットビームの投光部に近づいているということがわかる。

図8は $Z=2.7\text{mm}$ の場合において、 ϕ_x , ϕ_y を回転させ、照射したスリットビームを CCD カメラで撮影し、その画像から X - Y 面上における直線の方程式を求め、 L_{Rx} を計測し、式(5)に代入して得られた ϕ_y をプロットしたものである。横軸に理論値 ϕ_y , 縦軸に実験値 ϕ_y をとった。実験値は理論値とほぼ一致している。

次に、図9(a)はスリットビームと溶接線を CCD カメラで取り込んだ画像である。この画像を2値化した画像が図9(b)である。スリットビームと溶接線は色の濃さが違うので、同時に2値化することはできないが、閾値を変えることで溶接線の検出が可能になる。図9(c)が溶接線を2値化した画像である。

6.まとめ

YAGレーザービームの工作物に対する姿勢・位置を計測するシステムの基本的特性を検証した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、計測装置を貸与いただいた(株)産鋼スチール 大藤仁氏、有益な助言をいただいた北海道大学名誉教授 池田正幸氏に謝意を表します。

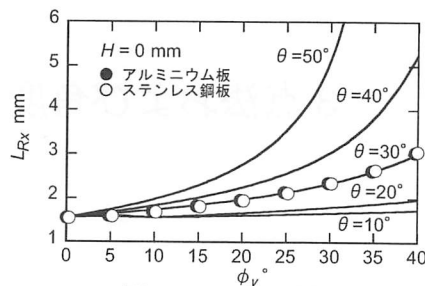


図4 ϕ_y と L_{Rx} の関係

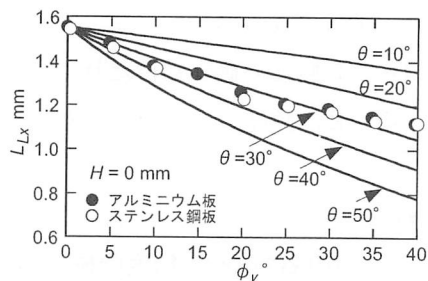
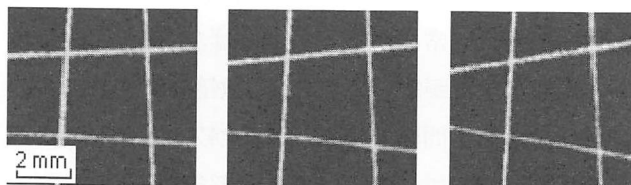
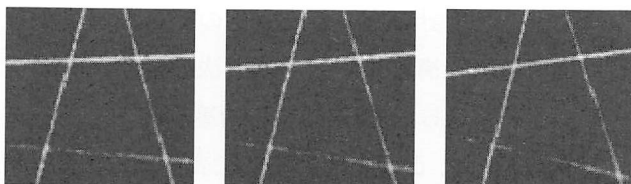


図5 ϕ_y と L_{Lx} の関係



(a) $\phi_y = 5^\circ$ (b) $\phi_y = 10^\circ$ (c) $\phi_y = 15^\circ$

図6 スリットビームの画像($\phi_x = 5^\circ$)



(a) $\phi_y = 5^\circ$ (b) $\phi_y = 10^\circ$ (c) $\phi_y = 15^\circ$

図7 スリットビームの画像($\phi_x = 25^\circ$)

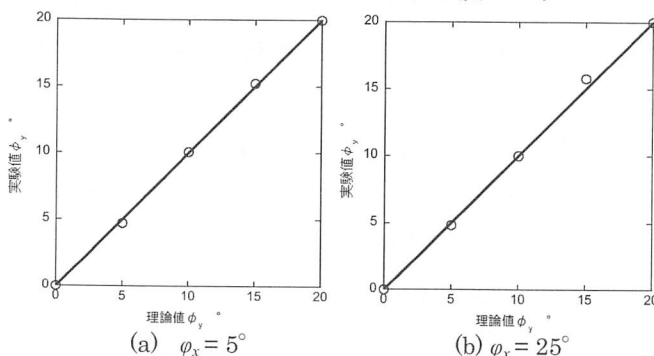
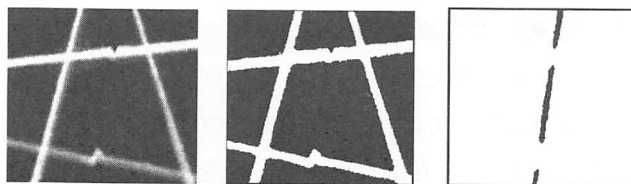


図8 ϕ_y の理論値と実験値の比較



(a) (b) (c)

図9 スリットビームと溶接線の2値化画像