

機関番号：12401  
 研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20560667  
 研究課題名 (和文) スイッチバック溶接による溶融池形状の揺動メカニズムの解析とその応用に関する研究  
 研究課題名 (英文) Analysis of swing mechanism of weld pool shape of switchback welding and its application  
 研究代表者  
 金子 裕良 (KANEKO YASUYOSHI)  
 埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授  
 研究者番号：10233892

研究成果の概要 (和文)：本研究では、安定した裏ビードと溶込み形状を得ることが可能なスイッチバック溶接法について、中厚および薄厚板の片面突合溶接においても有用であること示すため、スイッチバック動作時の溶融池形状の揺動現象のメカニズムを解析すると共に、開先変化に対するスイッチバック条件の最適化や、溶接速度の高速化について検討した。また、チタンなど軟鋼材料以外の接合におけるスイッチバック溶接の有用性を示した。

研究成果の概要 (英文)：The switchback welding method can obtain a steady back bead and the penetration shape. The purpose of this research is to show the availability of this welding method in one side welding without thick plate. First, the mechanism of the movement phenomenon of the weld pool shape was analyzed when the switchback operated. Next, the best parameter of the switchback welding with the groove gap was detected. And the method of increasing the welding speed was developed. The availability of the switchback welding in joints other than the mild steel material such as titanium was verified.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：溶接工学・電気電子工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：接合・溶接、GMA溶接、裏ビード制御、スイッチバック溶接、

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 自動車、建設鉄骨、橋梁、造船から原子力産業に至るまで、溶接作業の自動化・知能化および品質向上は重要課題であり、解決されていない問題点も多い。特に中厚から薄厚の板の突合せ部分を片面から1回で溶接する片面突合溶接は、製品軽量化やコストダウンのメリットのため多用される傾向にあるが、熱源入力と反対側の裏面までの溶接溶込み

を安定して得ることが難しい。このため、従来は板厚の80～90%程度までの溶込みで強度的問題が生じないように製品全体の構造設計で工夫していたが、軽量化やコストダウンのためには板厚100%の溶込みを溶接施工で保証するための技術開発が望まれている。(2) このため我々は、熱源が広く被溶接物の加工精度の影響が比較的少ない電気アーク溶接において、片面突合溶接の完全溶込み制

御について検討してきた。溶接熱源を常に一方向でなく、溶接進行方向に前進と後退を繰り返すスイッチバック動作を行うことにより、熱源の分散と溶融池形成の過程を制御可能なスイッチバック溶接を提案した。

(3) この手法は厚板多層盛溶接の初層溶接のバックグレス化などに適用し一定の成果を得ている。しかし、スイッチバック溶接法の薄厚中厚の片面突合溶接への検討は現在十分なされていない。特に、溶接溶融池形状の変化が溶接トーチの前後移動とどのように関係しているか、そのメカニズムは十分解明されておらず、最適なスイッチバック条件を求めるためにも不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究は厚板初層溶接で有用性を証明したスイッチバック溶接法をこれに活用する場合の論理的解析と実用化への対応を目的としている。特に従来不明であったスイッチバック動作時の溶融池揺動現象の解析を行い、裏ビードの安定性と溶接パラメータの関係を求めると共に、溶接速度の高速化や非鉄金属への対応など実用化諸問題についても検討する。

本研究では次の4点を明らかにする。

- (1) スwitchバック動作時の溶融池形状の揺動現象のメカニズム
- (2) 開先幅などの変化に対する最適なスイッチバック条件
- (3) スwitchバック溶接の高速化方法
- (4) 軟鋼板以外の材料接合へのスイッチバック溶接の適用条件

## 3. 研究の方法

(1) スwitchバック溶接法は、溶接熱源を溶接進行方向に前進と後退を繰り返す(スイッチバック動作)方法(図1)で、熟練技術者の溶接施工法からヒントを得たロボット溶接による施工法である。特徴は裏面に生じる溶融池(溶融金属部分)の進行方向長さが従来の一方向のみの溶接に比べて短く、溶接アークや被溶接物の支持物などによる熱伝導の変化、重力など外乱要因に影響されにくいこと、溶込み不足や溶落ちのない安定した完全溶込み形状が得られることである(図2)。しかし、溶融池形状の揺動(動的変化)とスイッチバック動作(前進・後退距離、前進・後退速度、前進・後退時の電流値および電圧値等)の関係は十分解明されておらず、特に開先幅の大きさに対して最適なスイッチバック条件を選択することは煩雑で、スイッチバック溶接を薄板中板溶接に実用化するための1つのネックとなっていた。このため、本研究ではスイッチバック溶接のシミュレータ(MARCFMENTATによる熱伝導計算)および実験システムを開発し、これを用いて溶融池形状の揺動

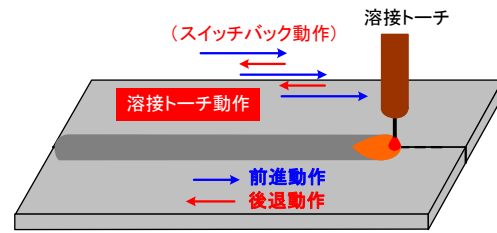
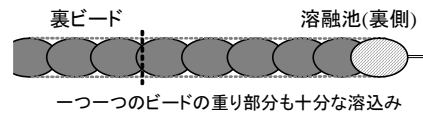


図1 スwitchバック溶接法



(a) 溶接ビード断面



(b) スwitchバック溶接の裏ビード形状

図2 完全溶込みの溶接ビード断面と裏ビード

(動的変化)とスイッチバック動作のメカニズムを検証し定量的な関係を解明する。また、この結果に基づいて、立て向き溶接など下向き以外の姿勢でのスイッチバック溶接法の影響を検証する。

- (2) 開先幅変化に対して最適な溶込み深さ(裏ビード形状)を得るための溶接条件(スイッチバックの前進・後退距離、前進・後退速度、前進・後退時の電流値および電圧値等)を求め、これをデータベース化する。また、広い開先幅に対応するためのトーチ揺動法を検討し、スイッチバック動作の改良を行う。
- (3) スwitchバック溶接法は裏面の溶融池の大きさを小さくし数珠状の裏ビードを得ることでビード形状の安定化を図っている。このため適用可能な溶接速度に上限があり、この適用範囲におけるスイッチバック条件を求めると共に、上限値を上げる方法について検討する。
- (4) チタンやアルミ合金、マグネシウム合金など軟鋼板以外の溶接についてもスイッチバック溶接法が有効であるか検討する。

## 4. 研究成果

(1) スwitchバック溶接のシミュレータおよび実験システムを用いて、スイッチバック動作により裏ビードが安定化する要因を検討した。トーチを溶接進行方向の前後に揺動し入熱と放熱を制御するスイッチバック溶接法では、溶接進行方向が一方向の従来溶接と比べて、①裏溶融池が溶接進行方向に短いこと、②裏溶融池最大時にアーク熱源は前方に遠ざかっていること(図4の裏溶融池-トーチ間距離 $D$ を比較)、アーク長変動な

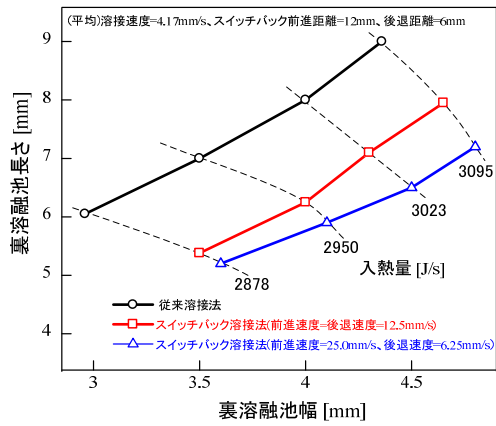


図3 裏溶融池の形状と入熱の比較

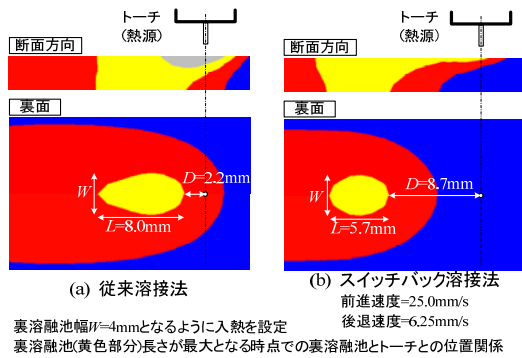


図4 裏溶融池とトーチ間距離の比較

どの溶接面での外乱が生じて、裏溶融池への影響が少なく安定した裏ビードが形成できる、③溶融池形状が周期的に常に変化するため(図5)、溶融池内の対流が一定とならず、対流による深さ方向の溶融が制限できることを示した(雑誌論文④、学会発表④)。この特性を用いて立向き溶接の裏ビード安定化において、スイッチバック溶接法が有効であることを溶接実験(CO<sub>2</sub>溶接)により検証した(学会発表⑤)。

(2) スイッチバック溶接法の動作パラメータ(前進距離、後退距離、前進速度、後退速度、平均速度)と裏溶融池形状(長さ、幅、隣接溶融池との重なり)の関係を調査し(雑誌論文②③、学会発表③)、溶接速度による有効使用可能範囲を示した(図6)。また、同じ裏ビード幅を形成する条件で従来溶接との熱変形量比較を行い、時間的に分散入熱するスイッチバック溶接法の変形量が少ないことを示した(図7、学会発表⑥)。

(3) 開先(0~3mm:板厚3.2mm)がある場合のスイッチバック溶接法の有効性を検討し、溶落ちがなく安定した裏ビード形状が得られる入熱範囲が従来溶接法より広いことを示した(学会発表⑦)。また、スイッチバック動作とウィービング動作を組み合わせることにより、広い開先幅でも安定した裏ビード形状が得られることを示した(図8)。

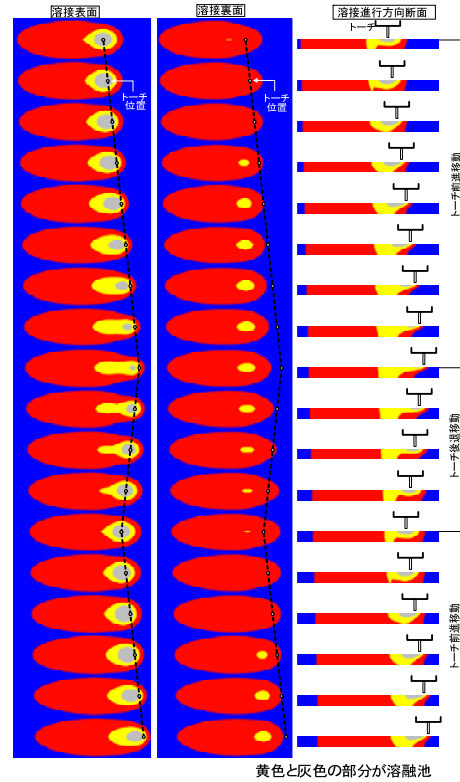
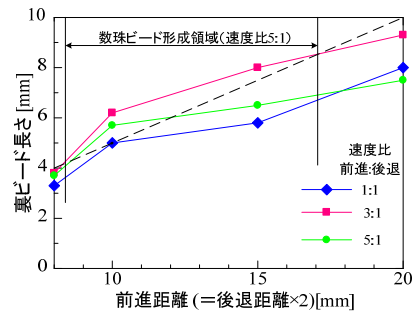
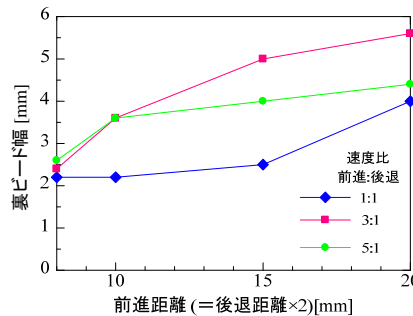


図5 スイッチバック動作時の溶融池形状変化



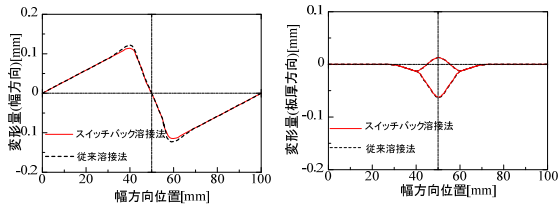
(a) 前進距離と裏ビード長さの関係



(b) 前進距離と裏ビード幅の関係



(c) 溶接実験時の裏ビード外観  
図6 スイッチバック距離と裏ビード形状(溶接速度30cm/min、前進後退距離比2:1)



(a) 幅方向 (b) 板厚方向

図7 熱変形量の比較

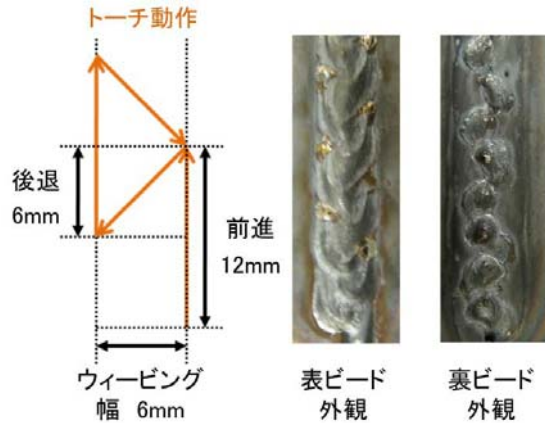
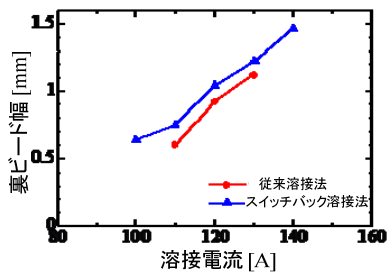


図8 広開先時のスイッチバック溶接とビード外観 (溶接速度 25cm/min、開先幅 3mm)



(a) スイッチバック溶接時の表ビード形状

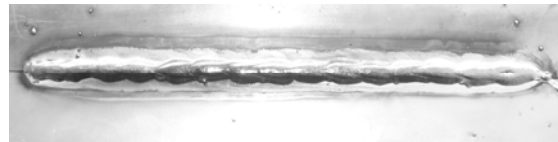


(b) 裏ビード形成領域の比較(トーチ高さ 4mm)

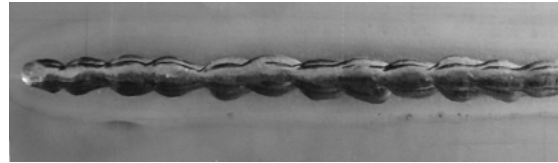
図9 マグネシウム合金のスイッチバック溶接

(4) スイッチバック動作時の溶接速度を上げる方法として、前進・後退時の入熱を制御する方法を提案し、50cm/minまで溶接速度を上げることが可能であることを示した(学会発表⑤)。また、このときアーク変動を最小限に抑えるため、ニューラルネットワークを用いた高精度なアーク長センサシステムを構築した(雑誌論文⑤)。

(5) チタンやアルミ合金、マグネシウム合金など軟鋼板以外の材料にもスイッチバック溶接法が裏ビード安定化に有効であること



(a) 表ビード外観



(b) 裏ビード外観

図10 チタンのスイッチバックMIG溶接(板厚1mm)

を示した。アルミ合金やマグネシウム合金では交流電源による極性変化で母材表面の酸化被膜除去と溶込み入熱を切替るが、酸化被膜除去時にアーク極点が移動し、アーク長が変動してビード表面に溶融痕が生じるとともに、溶込み深さが変動する問題が発生する。スイッチバック溶接法を適用することにより、溶融痕のない表ビードが得られるとともに(図9(a))、アーク長変動に伴い入熱が変動しても溶落ちのない安定した裏ビードが形成できることを示す裏ビード形成可能な電流範囲(図9(b))が広がることを示した(学会発表①)。また、チタン溶接においても、スイッチバック溶接法が裏ビードの安定化に有効であることを示すと同時に、高能率化のため消耗電極を用いたMIG溶接において課題となっていた表ビードの蛇行を押さる効果があることを示した(図10、雑誌論文①、学会発表②)。

(6) 本研究成果は、裏ビード安定化にスイッチバック溶接が有効であることを示すと同時に、スイッチバック溶接の厚板以外への適用を促進することに寄与している。チタンやマグネシウム合金など軽量部材へのスイッチバック溶接法の有効性を示すと同時に、接合時に開先が生じた時の品質保証に本研究の成果が役立つと期待できる。今後は、この研究成果をもとに、すみ肉溶接への適用などを考察する予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 山根敏、宇治克将、本田尚也、金子裕良、薄板チタン溶接へのMIGスイッチバック溶接の適用、溶接学会論文集、査読有、Vol. 29、No. 1、2011、61-64
- ② 金子裕良、溶接プロセスの自動化・知能化技術~厚板溶接の自動化~、ボイラー・

クレーン・溶接の実務&展望、査読無、  
No.255、2010、26-33

- ③ 金子裕良、溶接プロセスの自動化・知能化技術「溶接溶融池形状のセンシングと制御」、ボイラー・クレーン・溶接の実務&展望、査読無、No.254、2010、29-36
- ④ Y. Kaneko, S. Yamane, K. Oshima, Numerical simulation of MIG weld pool in switchback welding, Welding in the World, 査読有, Vol.53, No.11/12, 2009, 101-106
- ⑤ M. Koizumi, S. Yamane, Y. Imai, Y. Kaneko, K. Oshima, Estimation of welding voltage using neural network in GMA Welding, Proc. of 8th International Welding Symposium, 査読有, Vol.1, 2008, 217

〔学会発表〕(計7件)

- ① 高田太郎(金子裕良)、マグネシウム合金における TIG 溶接の高品質化に関する研究、溶接学会秋季全国大会、2010年9月8日、日本大学工学部
- ② 宇治克将(金子裕良)、溶接協調システムのチタン溶接への適用、溶接学会秋季全国大会、2010年9月8日、日本大学工学部
- ③ 戸島伸彰(金子裕良)、スイッチバック溶接における裏波ビードの安定化、溶接学会秋季全国大会、2009年9月9日、徳島大学工学部
- ④ Y. Kaneko(Y. Kaneko)、Stability of Back Bead in GMA Switchback Welding for Butt Joint, International Institute of Welding, 2009年6月15日、シンガポール
- ⑤ 金子裕良、スイッチバック溶接における溶接溶融池形状の解析、日本溶接協会ロボット溶接研究委員会、2009年3月2日、埼玉大学・東京ステーションカレッジ
- ⑥ 金子裕良、スイッチバック溶接に関する基礎および開先溶接への応用、日本溶接協会電気溶接機部会技術委員会、2008年11月5日、大阪・中央電気倶楽部
- ⑦ 宮下建(金子裕良)、スイッチバック溶接における溶融池形状と溶接変形の解析、溶接学会秋季全国大会、2008年9月11日、北九州国際会議場

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金子 裕良 (KANEKO YASUYOSHI)  
埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：10233892

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携分担者

なし