日本溶接協会 2025年度
「次世代を担う研究者助成事業」成果報告

電流経路制御による高効率・高精度ワイヤアーク造形プロセスの構築

荻野　陽輔
大阪大学 大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 生産科学コース

1　はじめに

ワイヤアーク造形プロセスは，アーク溶接と同様の原理にて造形を行う金属積層造形プロセスであり，大型構造物を効率よく作製できる特徴がある。一方で，プロセスにおける基材・造形物への入熱量は大きくなりやすく，形状精度やひずみ，残留応力の発生など課題もある。著者らは，本造形プロセスの高効率性という特徴を維持しつつ，精度の高い造形プロセスの構築について検討している。

造形プロセスの精度向上のためには，プロセス中の現象を正しく理解し，制御することが必要不可欠である。本研究ではプロセス中の現象を支配する要因として電流経路に着目する。これまで，数値シミュレーションや実験計測により，とりわけ溶滴移行現象に対して溶滴周囲の電流経路が強く影響を及ぼすことが指摘されている。本研究では，Satoらの実験体系[1]を参考にした**図1**に示すようなアークプラズマ中にタングステン陰極を挿入することにより基材・造形物を主たる電流経路としないプロセス（以下，提案プロセス）を対象とする。本プロセスにおいてはタングステン陰極を用いることで電流経路がその先端に拘束され，溶滴移行挙動が安定するとともに造形物に対して電流による入熱が抑制できる可能性がある。本稿では提案プロセスの肝である電流経路の設計がプロセスの結果に及ぼす影響[2]ならびに現象解明に向けたシミュレーションによる検討[3]について示す。

2　電流経路がビード形成現象に及ぼす影響

図2に模式的に示すように2本のタングステン電極がワイヤを挟むように配置し，造形方向に対して前方のものを先行極，後方のものを後行極と呼ぶことにする。ここでは，これらの電極に対して通電する電流量の和を一定とし，それぞれに通電する電流量を変化させた場合の結果について述べる。なお，シールドガスはアルゴン，基材ならびにワイヤは軟鋼を用いている。

図3に示しているのは，高速度カメラにてプロセス中の現象を撮影した結果と得られたビード外観である。それぞれ電流値の総和は230Aとしている。図3（a）に示すのは2本の電極に流す電流量をそれぞれ115Aとした場合である。このとき，溶滴はワイヤ直下に落下しており，ビードはハンピングしていることがわかる。次に図3（b）に示すのは，先行極の電流を92A，後行極の電流を138Aとした場合である。このとき，溶滴は先行極

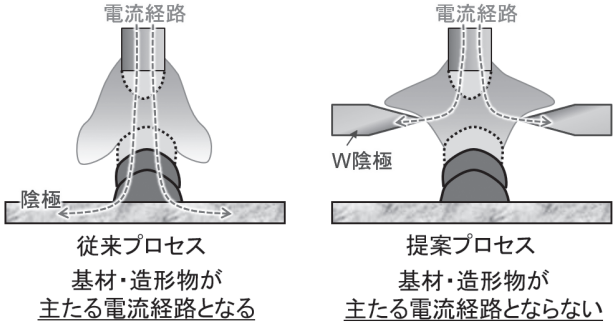


図1　従来プロセスと提案プロセスにおける電流経路の違い

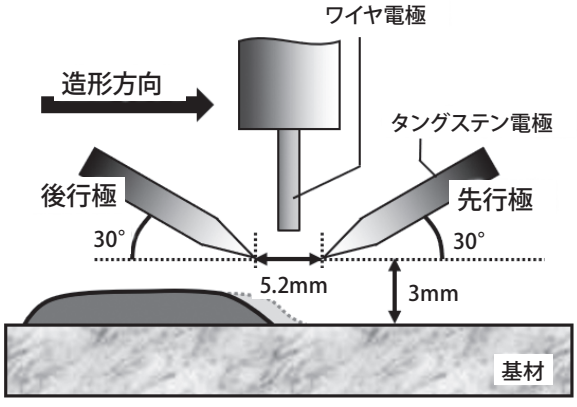
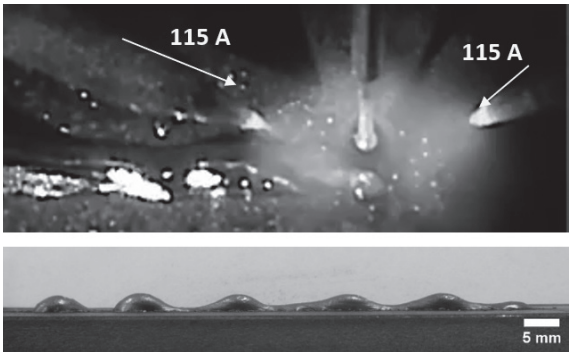
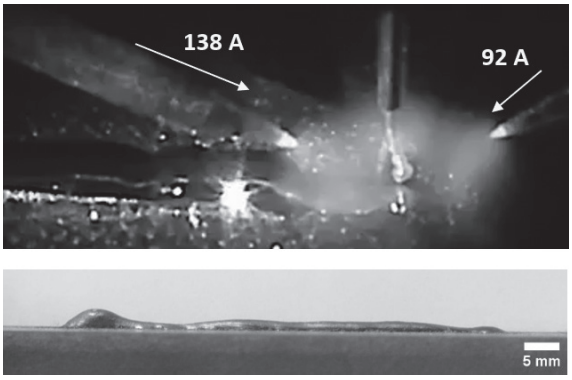


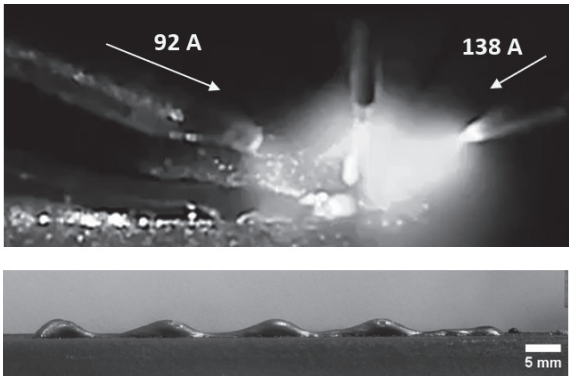
図2　本実験の模式図



(a)　先行極電流115A，後行極電流115A



(b)　先行極電流92A，後行極電流138A



(c)　先行極電流138A，後行極電流92A

図３　アーク・溶滴移行現象とビード外観

側に傾いて移行していることがわかる。また，ビード外観はハンピングのない正常ビードとなっている。図３(c)に示すのは先行極の電流を138A，後行極の電流を92Aとした場合であるが，溶滴は後行極側に傾き，ハンピングビードが形成されている。このように，電流の配分を変化させると電流経路に変化が生じ，溶滴移行現象，ビード形成現象に対して影響を及ぼすことがわかる。ここで示した条件においては，後行極電流を大きくし前進角がつくように溶滴を移行させることでビードが正常化するということがわかる。

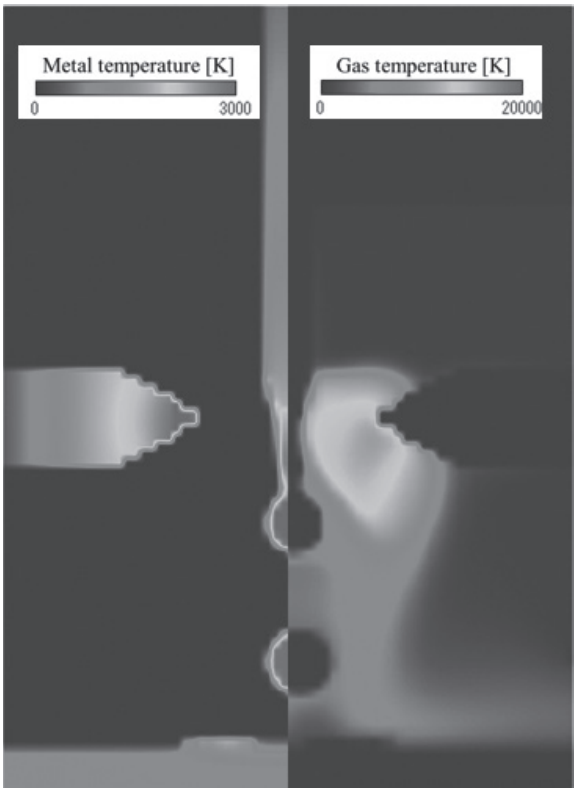


図４　アーク・溶滴移行現象のシミュレーション

3　提案プロセスの熱源シミュレーション

図４は提案プロセスにおける現象解明に向けてその熱源のシミュレーションを行ったものである。提案プロセス特有のタングステン陰極による電流経路の拘束を考慮し，アークプラズマおよび溶滴移行現象を対象としてシミュレーションを行っている。実験結果と同様に液柱を形成しながら溶滴が落下しており，ある程度妥当性のある結果が得られているものと考えられる。

4　まとめ

本稿ではタングステン陰極の挿入により電流経路を拘束する提案プロセスの現象理解に向けた取り組みについて述べた。実験・シミュレーションの融合検討を進めることにより，さらなる現象の解明を進めたいと考えている。

参考文献

1）Sato et al., Commun. Mat., 5, 147(2024)
2）古久保ら，溶接学会全国大会概要集，第117集，84-85(2025)
3）土井ら，溶接学会全国大会概要集，第117集，86-87(2025)