

## つなぐプロセス



若 者

荻野陽輔\*

Welding, joining, and connecting process

Key Words : Arc welding, Additive manufacturing, Next generation

### はじめに

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の荻野陽輔と申します。私は、2005年に大阪大学工学部応用理工学科に入学し、2014年に大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻博士後期課程を修了しました。その後、教員となり現在に至ります。大阪大学に所属して20年目を迎える私がこの「若者」という記事を執筆させていただくのは甚だ恐縮であります。

本稿では、私が学生時代より行っているアーク溶接プロセスを中心とした研究について紹介させていただくとともに、今後の取り組みについて最近考えていることを執筆させていただきたいと思っております。

### アーク溶接現象の可視化・解明

アーク溶接プロセスはアークプラズマを熱源として用いて材料を溶融・凝固させることで接合を達成する材料加工プロセスである。自動車、建築、エネルギー分野など非常に多くの産業分野を支える基盤技術のひとつである。溶接プロセスにおいては、その原理より溶融・凝固を含む急熱・急冷という過酷なプロセスを経た材料（溶接部）が製品の一部として残存することになる。このような過酷なプロセスを経た溶接部は、強度などの特性がもともとの材料と比較して劣化してしまうことが多く、溶接で作製

された構造物の性能に強く影響を及ぼしてしまう。

このような問題は、プロセス中の物質・熱輸送現象に起因するものである。すなわち、溶接プロセス中に材料に対してどのようにエネルギーが与えられ、それがどのように材料中を移動し溶接部を形成するか、ということとそのメカニズムとともに解明することが重要となる。

現象解明の足掛かりをつかむためには、まず何か起こっているか可視化することが有効であると考えられる。しかしながら、アーク溶接プロセスは、図1に示している通り非常にまぶしい発光を伴うプロセスであり、また、固体・液体・気体・プラズマという四態の物質が1立方センチメートル程度の空間に混在、インタラクションを起こしているため、直接的な可視化が難しく、現在進行形で研究がおこなわれている。



図1 アーク溶接プロセスの外観

著者らは、アーク溶接プロセスを可視化、解明するためのツールとして、数値シミュレーションモデルを独自に開発してきている<sup>1)</sup>。本シミュレーションモデルは、アークプラズマを局所熱平衡状態であると仮定することで、アークプラズマおよび溶融金属を磁気流体力学に基づいてその挙動を記述するものである。具体的には、質量、運動量、エネルギー、電流などの保存則より構成される支配方程式群を連立して解くことによって、流速や圧力、温度、電位



\* Yosuke OGINO

1987年2月生まれ  
大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻博士後期課程修了(2014年)  
現在、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 佐野研究室 准教授 博士(工学)  
専門/加工物理学  
TEL : 06-6879-7535  
E-mail : ogino@mapse.eng.osaka-u.ac.jp



などの分布を記述することができる。開発したシミュレーションモデルを用いることで、アーク溶接プロセスにおけるエネルギー源特性や、溶接部における溶融部形状、熱サイクルなどを数値的に可視化し、そのメカニズムについて考察することができる。

図2に示すのは、アーク溶接におけるエネルギー源であるアークプラズマとそれによって溶融する溶接ワイヤの温度分布をシミュレーションしたものである<sup>1)</sup>。このモデルでは、溶接ワイヤを中心に円筒対称な系を対象としている。また、電流を260A、シールドガスをアルゴン、溶接ワイヤを $\phi 1.2\text{mm}$ の軟鋼としてシミュレーションを行っている。アークプラズマの温度は最大で10000Kを超える値となっており、中心部において周辺部よりも温度が低下している。これは、高温となる溶接ワイヤから生じる放射損失の大きな金属蒸気がアークプラズマの内部に混入するためである。また、溶融したワイヤは3000K近い高温となっており、ワイヤ端より離脱して被溶接材へと移行している。移行したワイヤは溶接部における空隙を埋めることとなる。このように、エネルギー源についてモデル化することで、被溶接材へと作用するエネルギー源の特性を評価することができる。

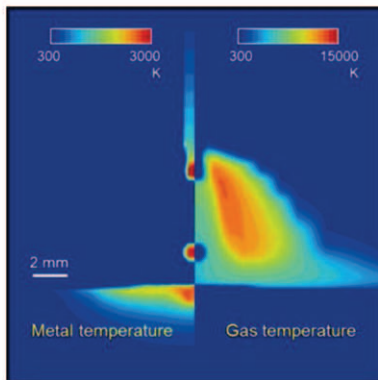


図2 アーク溶接エネルギー源モデルによるシミュレーション結果

図3に示しているのは、エネルギー源の作用する溶接部の溶融部形成に着目したシミュレーションモデルによる溶接部温度分布のシミュレーション結果である<sup>1)</sup>。ここでは、平板上をエネルギー源が移動する状況を想定している。エネルギー源の移動に伴う溶融部を含む温度分布をシミュレートすることができ、溶融部の形成や熱サイクルの予測を行うことができる。これらは溶接部におけるマイクロ組織の形

成や熱ひずみ、残留応力の発生などといった冶金的・力学的な現象と深く関係しており、本シミュレーションモデルによるアウトプットは、溶接部における冶金的・力学的な現象を予測、解明するためのインプットとなり得るものともいえる。

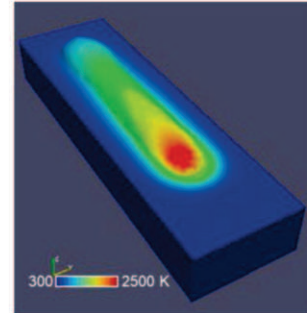


図3 溶接部形成モデルによるシミュレーション結果

#### アディティブマニュファクチャリングへつなぐ

金属材料におけるアディティブマニュファクチャリングプロセス(3Dプリンティングプロセス)は、溶融した材料を積み重ねる(積層する)ことによって3次元構造物を直接作製するプロセスである。粉末材料を使用するプロセスが主流であるが、ワイヤ材料を使用するプロセスも存在感を増しつつある。とりわけ、エネルギー源としてアークプラズマを用い、ワイヤ材料を溶融・凝固させて構造物を作製するワイヤ・アークアディティブマニュファクチャリング(WAAM)プロセスは、アーク溶接プロセスと非常に共通点が多く、アーク溶接にて培われた知見をうまく活用することが肝要であると考えられる。図4は図3に示した溶接部形成のシミュレーションモデルをアディティブマニュファクチャリングプロセスに適用した例である<sup>2)</sup>。エネルギー源を円形状に繰り返し作用させることによって、3次元構造物が作製される現象を可視化したものである。アディテ

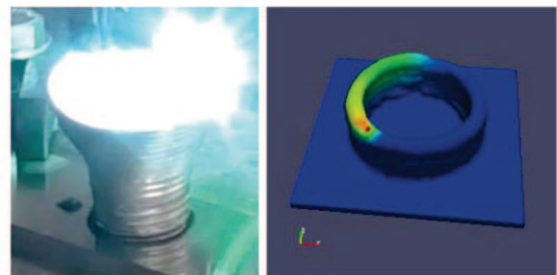


図4 アディティブマニュファクチャリングプロセスへの展開



ィブマニュファクチャリングプロセスによって形成される構造物の形状や多重に生じる熱サイクルを可視化し、現象解明を突き詰めるとともに、所望の形状や特性を有する構造物を形成するためのプロセスパラメータ最適化支援ツールとして展開していきたいと考えている。

### おわりに

本稿では、著者がこれまでに行ってきたアーク溶接プロセスの可視化・解明のための数値シミュレーション技術およびその応用としてアディティブマニュファクチャリングプロセスへの展開について紹介させていただいた。

溶接プロセスはアディティブマニュファクチャリングプロセスのようにシンプルにつなぐだけでないプロセスにも展開されているものの、その本質は材料と材料をつなぐ技術である。それ故かこのような研究アプローチを紹介した際のメのフレーズとして「これまでにないものづくりに“つなぐ”」や「次世代に“つなぐ”」などといった言葉が良く使われる。いずれの分野においても同様であると想像するが、溶接分野においても人材の確保も含め、「次世代に“つなぐ”」ということは喫緊の課題である。

溶接プロセスは、様々なものづくりの現場において使用されているものの、そうそう前面にでてくることはなく、どこか陰に隠れた存在である。なんとか次世代を担う若年層に対してものづくりへの興味と溶接プロセスへの興味をつなぐような機会を設けられないかと思案している（ものづくりそのものに興味を持つ若年層が減っているとは耳にするが…）。そんな中、有志の技術専門職員さんを中心に2024年度いちょう祭（大学祭）にて、アーク溶接体験コーナーを出していただいた（図5）。どれくらい人が来てくれるのだろうか少し心配していたが、そんなものは全くの杞憂で朝から夕方まで、現役阪大生はもちろん、OB・OG、受験を考えている中高生やその保護者の方、大学近くにお住まいの地域の

方などに体験いただき大変盛況であった。お越しいただいた方々に話を聞いていると「楽しそうだから来ました」や「やってみたくらいから来ました」といい、体験が終わった後には「楽しかった」や「難しかった」と、目を輝かせながら言っていただけの方々が多くいた。溶接のポテンシャルを甘く見て、「陰に隠れた存在」だなんて考えていたことを深く反省した。楽しいと思えることを楽しんでやる、そしてそれを楽しそうに伝えていく、ということが「次世代に“つなぐ”」ために最も大事であると強く認識し、これからはもっともっと前に出てポジティブにアピールしていきたいと思う。



図5 いちょう祭・アーク溶接体験の様子

### 謝辞

この度、貴重な執筆の機会を与えていただいた大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻大畑充教授に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 荻野陽輔：“ガスメタルアーク溶接の溶融池モデルならびに熱源モデルの開発”、溶接学会誌、86-1 (2017)、pp. 32-37
- 2) 荻野陽輔：“GMAW 溶融池モデルを活用したワイヤーアーク金属積層造形シミュレーション”、溶接学会誌、90-2 (2021)、pp. 98-101