

平成 27 年度 公益財団法人 溶接接合工学振興会 第 26 回セミナー
～溶接管理のためのマルチスケール・モニタリングの展望～

日時； 平成 27 年 10 月 20 日(火) 13:00~19:30

場所； 日本精工株式会社 3 階会議室

主催； 公益財団法人 溶接接合工学振興会

共催； 公益財団法人 国民工業振興会

後援； 一般社団法人溶接学会、一般社団法人日本溶接協会、
公益社団法人日本技術士会

開会挨拶
司会

東京大学 名誉教授

東京大学 大学院工学系研究科 教授

野本敏治氏

青山和浩氏



野本敏治氏 東大名誉教授 青山和浩氏 東京大学 教授

講演会

1. セミナー趣旨説明

東京大学大学院工学系研究科 教授

青山和浩氏

今回の企画は、東京大学の青山教授が「工場」関係、大阪大学の田中教授が「溶接」関係を分担されて 2 年前から検討され纏められた斬新な企画であり、今後の更なる進展・解決が期待されるテーマである。

溶接分野では、継手部の品質を保証する完全な接合技術を確立するための技術革新が期待され、溶接構造物の製造効率の改善等が期待されている。組立型の製造業に於いて、アーク溶接は中核技術であり、そのプロセスは、アークプラズマの発生、局所加熱、母材の熔融・流動、アーク熱源の移動による冷却・凝固、金属組織の再結晶・相変態、更に、母材の熱膨張・収縮に伴う残留応力・歪みの発生等を経て接合部が形成される。この溶接プロセスの高度化には、各プロセスを構成する個々の現象を追跡し、その機構を把握し、金属組織に関わるナノス



ケールの視点から、アークプラズマや溶融池の挙動に関わるミリスケールの視点、さらに溶接構造体の歪や溶接作業者の作業工程に関わるメートルスケールの視点等、様々のスケールを取り扱う必要がある。

現在、製造分野では、生産工程のデジタル化・自動化・バーチャル化により全てのものが「つながる」ことによる新たなものづくりを目指す「第4次産業革命」が進行しており、溶接分野に於いても、溶接管理のためのマルチスケール・モニタリングの展望として、溶接技術の高度化と製造管理技術の変革が期待されている。

今回のセミナーでは、溶接管理に関するモニタリングの最先端技術に焦点を当て、グローバル時代における「日本製」の品質と効率性を支える溶接管理を議論し、未来の溶接管理技術を革新していく方向性について議論が行われた。

第1部 マルチスケールで溶接品質を観て管理する

1-1. 溶接アークの3次元モニタリング 大阪大学大学院工学研究科 平田好則氏

本日の最初の講演として、まず日本のものづくりの実力について造船と自動車の生産量推移を示されて、日本、韓国、中国、ヨーロッパでの生産数量の推移から各国のものづくりの実力について概観された。日本の製造業の現状については、国の内外、特にアジアで激しい競争が行われて、高品質で低価格の生産方式が検討されており、最近の動向として、生産性の高い生産様式、溶接の自動化・ロボット化が進んでいる。その例として、溶接ロボットの例、水力発電所の水車の現地自動溶接の例を挙げて解説された。



現在、第4次産業革命、ものづくりの変革期を迎えているが、インターネットでやり取りするためにはデジタル情報化が必須で、現状ではアーク溶接の実力は、溶接そのもののデジタル化が遅れていると考えており、デジタル化に関して最近の研究の詳細を紹介された。

アーク溶接プロセスの品質と効率性は、アーク放電の安定性に大きく支配される。最近では、アークプラズマや溶滴移行現象、溶融池現象が定量的に明らかにされるようになってきており、溶接部の気体プラズマや溶融金属の温度や流速、電流分布、元素分布などが数値シミュレーションにより予測できる段階になってきている。マグ溶接のシミュレーション結果を紹介され、8台のカメラによる多方向分光同時観察、アークプラズマの熱流体モデル、ワイヤ送給速度とアーク長の変化(アーク電流の影響)、三次元溶融地モデルとシミュレーション例等について動画を併用して詳細に解説された。又、溶融地モデル等の計算については大阪大学のサイバーメディアセンターの大型計算機システムが活用出来ることが紹介された。

1-2. 溶接中の割れ・温度モニタリング

広島大学大学院工学研究科

山本元道氏

高速度カメラを用いた凝固われ発生のその場観察、凝固われ発生時の局所高温歪計測を行い、FEM 解析と組み合わせた高精度な凝固割れ発生予測技術の検討結果及びマルチセンサーカメラを開発し、可視化センサーを用いた溶接中の 2 次元温度計測技術について報告された。



凝固割れ発生については、インコネル 600 と SUS347 の異材継ぎ手の溶接金属で、高速度カメラを使用したその場観察法による高精度なひずみ計測及び高速度カメラによる割れ発生観察に

よって、異材継手の高温延性曲線、高温物性値を高精度に取得できることを明らかにされ、取得した高温物性値を用いた高温歪解析と高温延性曲線を併用することで凝固割れ発生予測が可能と説明された。

又、新しく開発された 2 台の高速度ビデオカメラを使用するマルチセンサーカメラを用いた 2 次元温度場計測手法により、レーザ溶接中の 2 次元温度分布・履歴を計測できることを明らかにされ、SUS310S ステンレス鋼の高速レーザ溶接中の凝固割れ発生を、トランスバレストレイン試験と組み合わせることで、高速レーザ溶接中の凝固割れ発生を評価することが可能となったことを報告された。

1-3. 溶接部組織変化モニタリングの展望

熊本大学大学院自然科学研究科

寺崎秀紀氏

講演のはじめに、7 年前に提出された抵抗スポット溶接の電極損傷に関する特許の内容を紹介され、その経験から、モニタリング量は簡便に取得できるものが必要であり、更に現象の原理原則に関わる量である必要性を説明された。



溶接部の冶金的健康性、例えば“靱性”を評価するには、溶接部組織中に内在する脆性破壊における亀裂進展抵抗をモニタリングすることが有効と考え、溶接部の亀裂進展抵抗の見える化や数値化が理解の第一歩と考えている。報告では、高周波熱サイクル装置により 80 キロ鋼の大入熱・小入熱再現熱影響部を作成し、高張力鋼再現熱溶接部の亀裂進展抵抗を可視化し、高張力鋼再現熱影響部組織を対象に、脆性破壊における“亀裂進展抵抗のマイクロ組織因子の見える化・数値化”について報告された。

溶接冶金現象のモニタリングでは、入熱のような投与量でなく、溶接部のプロパティのモニタリングが有効であり、靱性評価のモニタリング因子として、“亀裂進展抵抗”を挙げ、その可視化が可能であることを紹介された。更に、亀裂進展抵抗モニタリング技術開発と並行して、溶接部の亀裂進展抵抗の可視化、数値化についても今後検討を進めることを報告された。

1-4. レーザ超音波法による溶接部のインプロセスモニタリング

株式会社 東芝 小川剛史氏

レーザ超音波を用いて、非接触で溶接内部の欠陥をインプロセスでビジュアル化するシステムと品質管理への適用例について紹介された。本方式によれば、内部欠陥の有無が溶接中に即座に判明する点で、欠陥補修を効率的に実施できるので欠陥補修の工数を大幅に削減することが可能となる。本法では、超音波を発生させるための送信レーザ、発生した超音波による表面変位を検出するための受信レーザ及びレーザ干渉計を使用する。レーザ超音波とは、パルス幅が数 ns のレーザ光を金属材料に照射し、表面から数十 nm 程度の層がプラズマ化することで、そのプラズマの反力で、検査対象面内部に体積波(縦波及び横波)を発生させるものである。発生した体積波は、照射面を音源として検査対象内部に伝播し、底面や欠陥などで反射及び散乱し、再び表面へ伝播する。超音波による微小な表面変位は、受信用レーザを照射し、その反射光のドップラーシフトをレーザの干渉効果を用いて検出することにより得られる。



レーザ超音波法を利用した内部欠陥ビジュアル化システムのインプロセス品質管理への適用事例として、溶接構造のロータの適用例を紹介された。溶接のインプロセス品質管理においては、電流、電圧、速度等の出力計測や溶接状況の映像情報による異常検知に、本法を組み合わせることにより、溶接欠陥の発生リスクを低減し、万一欠陥が発生した場合でも早期に補修が可能になり、最小限の補修時間に抑制することが出来る。

第2部 マルチスケールで溶接工程を観て管理する

2-1. 溶接組立工程のシミュレーションによる可視化と精度管理

大阪大学接合科学研究所 村川英一氏

溶接構造物の製造技術を取り巻く環境として、脱熟練技術、製品の差別化、高強度・高比強度、複雑な製品形状、各種溶接加工法、計算機シミュレーション等の情報化が進展している。短時間で効率よく問題解決が可能な手段として、溶接シミュレーションがあり、これには優れた特徴があり、製品である構造物そのものが有する剛性とゲージとしての機能を活用した合理的なものづくりが期待される。



溶接変形・残留応力の FEM シミュレーションでは、詳細シミュレーションと簡便シミュレーションがあり、後者では要素数を小さく抑

えることができる。溶接変形の予測は易しいとは言えず、特に、非対称構造部、曲面構造物、部材数の多い大型構造物、座屈しやすい大型構造物、坐屈し易い薄板構造物、多層溶接で製作される厚板構造物等では特に難しい。

溶接による計算科学は、溶接の問題に有限要素法を適用し、熱弾塑性問題として数値計

算が可能となり、現状では、数百万自由度の規模の大型構造物の溶接シミュレーションが可能となっている。

講演者が理想と考えるものづくりとは、自拘束、自計測の活用であり、一般に構造物が組み上がるに従って剛性(自拘束)は大きくなり、又、剛性は溶接・組立の順序によって変化するので、この剛性を寸法・形状精度維持のために有効活用できる溶接・組立の順序を採用する事で、拘束ジグによる外部拘束の数を減らすことが出来る。又、自計測は構造物そのものにゲージの役割をさせることで不要な計測を減らすことが可能となる。

2-2 3次元モデルと点群データを利用した撓鉄作業支援システム

住友重機械マリエンジニアリング(株)

中垣憲人氏

船舶の船首尾に多くみられる任意の形状を持つ曲がり外板加工は、加熱と冷却の繰返しによる熱塑性変形で加工され、その加工精度は数個の木型を使用した熟練技術者の目視により評価され、従来、定量的な評価はされていなかった。今回、新しく開発された「3次元モデルと点群データを利用した撓鉄作業支援システム」により定量的な評価が可能となり、極短時間で計測から解析結果の表示までが可能となり、工作精度の向上に寄与している。



本システムは、次ぎの機能から構成されている。

- 1) レーザスキャナーにより計測された点群データと3D設計された曲がり外板データを重ね合わせて差分を可視化する機能。
- 2) 撓鉄作業により整形された曲がり外板を木型を使用せずに完成度(一致度)を評価する機能を有するシステム。
- 3) 測定から評価までの計測解析処理の完全自動化機能。

講演では、情報システムの機能紹介、工場への導入のケーススタディについて、詳細に解説され、本研究の現場適用の結果、3ヶ月間の運用期間において、曲がり外板の加工精度の向上が確認されたことが報告された。

2-3. 製造現場のシミュレーションと可視化 (株)レクサー・リサーチ

中村昌弘氏

製造現場の新しいトレンドとともにシミュレーション技術と可視化技術の動向を紹介された。講演者は、2009年第4回ものづくり日本大賞・経済産業大臣賞を「パソコン上で生産活動のカイゼンを行う世界初のシステム開発」で受賞されており、また、今年の9月には「インダストリー4.0を越えるシミュレーション統合生産の衝撃」と題する著書を日経BP社から出版されており好評を博していると説明された。



講演では、製造現場の新しいトレンドとともに、シミュレーション技術と可視化技術の

動向を紹介された。インダストリー4.0 が提案するモノづくり、日本の展開すべき方向性は「垂直統合」であること、ものづくり領域の特性と市場変化、市場の変化に対応する技術課題、生産プロセスの管理手法の新しい取り組み、「シミュレーション統合生産」のコンセプト、「SIM」の目指す姿、「SIM」で解決しようとする課題例、生産シミュレータの大型溶接構造物への適用、生産シミュレーター(GD.findi)、リアルタイム長並列シミュレーションによる動的最適化生産の詳細等について詳細に解説された。

2-4. 工場モニタリングとインダストリー 4.0 東京大学大学院工学系研究科

青山和浩氏

日本の造船業存続のためには、競争力の向上が不可欠で、船舶の建造工程の総合的マネジメント手法の確立と高度化が必須である。そのためには、船舶の建造工程を把握する基盤技術が不可欠であり、建造現場での人・物・作業の流れや生産物の状況の把握することが重要である。講演では、船舶の建造工程を把握するためのモニタリング技術について詳細に解説された。



モニタリング手法として、造船の現場にWEBカメラを複数個設置し、建造工程を撮影し、撮影した動画を画像処理することにより、また、RFID データ、加速度センサーを利用して必要な情報を抽出する手法を確立された。船舶建造工程の中で、例として内業の小組立工程を選び、誰がどの作業をどのブロックで何時行ったかの情報を把握し、現場の問題点の把握、適切な対応策を講じることで工場での作業の最適化を図ることが出来ることを解説された。

このようなモニタリングを利活用することにより、環境改善・労働安全の向上、品質の改善・製品品質の向上、生産の改善・生産性の向上を図ることが出来る。このような造船におけるCPS(Cyber Physical System)の活用により、企業側及び労働者側共にメリットがある、ムリ・ムダ・ムラを排除した強い生産システムを実現することが出来る。

閉会挨拶

東京大学 名誉教授

野本敏治氏



野本敏治氏 東大名誉教授



講演会風景

懇親会



司会 吉武進也氏
溶接接合工学振興会
専務理事



司会・初めのことば
南二三吉氏
阪大教授



挨拶・乾杯 杉本泰治氏
前東京大学非常勤講師
T. スギモト技術士事務所





中締め挨拶
東大教授 青山和浩氏

以上