

論文・報告

溶接士視野映像を用いた溶接中データ統合システムの開発

Development of an integrated system of data collected during welding using welder's field-of-view image

岡本 勇也^{*1}
OKAMOTO Yuya

林 篤史^{*2}
HAYASHI Atsushi

津山 忠久^{*3}
TSUYAMA Tadahisa

布施 直彦^{*4}
FUSE Naohiko

金平 徳之^{*5}
KANEHIRA Noriyuki

北川 悟^{*6}
KITAGAWA Satoru

溶接管理では、溶接が適切に実施されているかを管理し、溶接条件等を溶接管理シートに記載する。溶接管理シートに記載する項目は多岐にわたり、かつ複数の溶接士を同時に管理するため、管理と記録には手間がかかる。さらに、業界によっては全パスにわたって記録が求められる場合があり、全溶接士の全溶接データを記録することは、より一層の手間がかかる。

そこで、溶接士視野映像に電流、電圧、日付、時間、および溶接士名等のデータを統合する溶接中データ統合システムを開発した。本稿では、溶接士視野映像の取得の課題と解決方法、および溶接中データ統合システム、ならびに映像と本システムの評価について述べる。

キーワード：溶接士視野映像、HDR、露光時間、溶接管理

1. はじめに

溶接管理では、溶接が適切に実施されているかを管理し、溶接条件等を溶接管理シートに記載する。溶接管理シートに記載する項目は多岐にわたり、かつ同時に複数の溶接士を管理するため、記録には手間がかかる。さらに、業界によっては全パスにわたり記録が求められる場合があり、全溶接士の全溶接データを記録することは、より一層の手間がかかる。

溶接中のデータを記録するための装置は開発されており、電流値や電圧の自動取得が可能で入熱量を自動計算する装置やパス間温度を計測する装置が挙げられる。このような装置を使用することで、記録の手間を幾分か低減できるが、取得したデータをまとめることに時間を要する点が課題である。

そこで、我々は図1に示すように、溶接士視野映像¹⁾に電流、電圧、日付、時間、および溶接士名等のデータを統合する溶接中データ統合システム²⁾を開発した。

本システムの開発にあたって、2022年度より販売している3Dデジタル溶接マスク³⁾の知見を活用した。本マスクでは、超広視野映像を取得できる。超広視野映像は溶接部周辺まで可視化され、初等教育では有効であると評価されているものの、上級溶接士の育成では普段見

ている世界と異なり、映像が白黒であるため教えにくいとの意見を得た。そこで、我々は溶接士が普段見ている遮光ガラス越しの見え方を追求した。

本稿では、まず、溶接士視野映像の取得の課題と解決方法について説明する。次に、溶接士視野映像とデータを統合するシステムについて説明する。最後に、溶接士視野映像と本システムの評価、および展望を述べる。

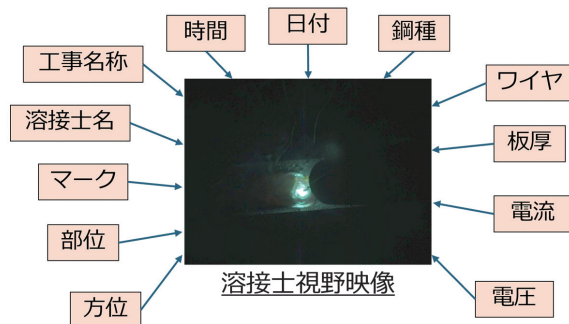


図1 溶接中データ統合システムのコンセプト図

2. 溶接士視野映像の取得

(1) カメラ取付け位置

溶接の撮影では、カメラを三脚や溶接保護面に取付ける方法がある。しかし、三脚に取付けるタイプは溶接作業には問題ないが、そもそも溶接士の視野とは見え方が

*1 川田テクノロジーズ(株)技術研究所

*2 川田テクノロジーズ(株)グループ経営戦略室溶接ソリューション事業推進室 主幹

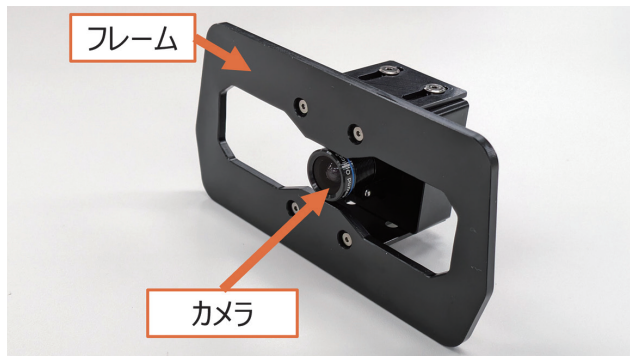
*3 川田工業(株)橋梁事業部生産統括部生産開発室 室長

*4 川田工業(株)鉄構事業部工事部 部長

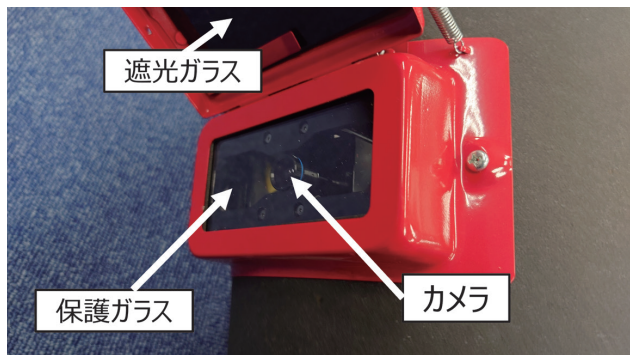
*5 川田テクノロジーズ(株)技術研究所 所長

*6 川田テクノロジーズ(株)グループ経営戦略室溶接ソリューション事業推進室 室長

異なる。また、溶接保護面に取付けるタイプは溶接士の視野映像に近いものの、トーチや見る角度によって溶接部が映らないことがある。そこで、我々は図2に示すように、小型カメラを溶接保護面の窓中央、かつ遮光ガラスの手前側に取付けることとした。この位置は溶接士の死角であるため、溶接士の視野を阻害することなく視野映像を取得できる。図3に、300mm先の30mm程度の溶融池を立体視する場合の図を示す。この場合、図中の斜線部が死角になるため、この部分にカメラを配置することで視野に影響を与えないことがわかる。カメラはフレームに取付けられ、市販の一般的な溶接保護面の窓に固定することができる。



(a) カメラユニット



(b) 溶接保護面取付け時

図2 カメラユニットと固定時の溶接保護面

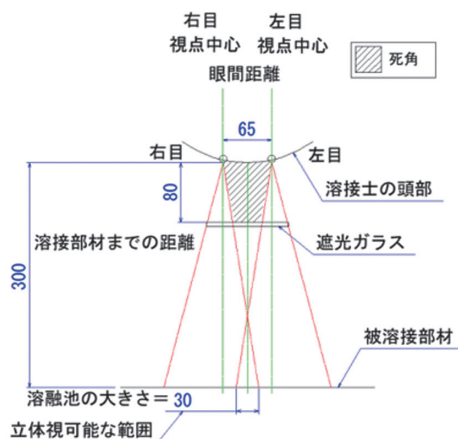


図3 立体視する場合の死角

(2) 遮光ガラス越しの見え方の映像取得

溶接のアーキは非常に明るい光を発している一方で、溶融池や開先部はアーキ光に照らされているだけのためアーキ光と比較して暗く明暗差が非常に大きい。したがって、人の目と比較してダイナミックレンジが狭い一般的な撮像素子（カメラ）は明暗差を捉えきれない。図4に一般的なカメラと遮光ガラスで撮影した画像を示す。アーキが白飛びし、溶融池が明瞭でないことがわかる。このように、アーキ、溶融池を同時に可視化することは容易ではないことがわかる。

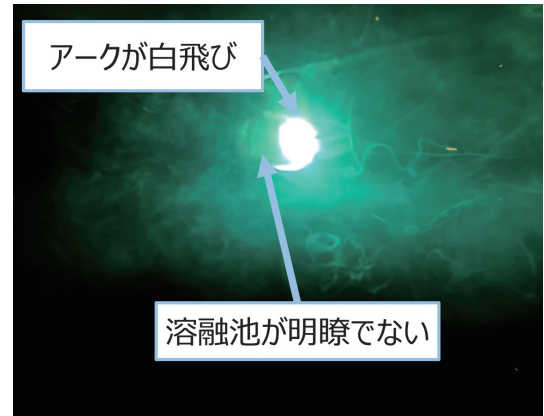


図4 一般的なカメラと遮光ガラスで撮影

そこで、アーキの明るさ、および溶融池の明るさに合わせた露出の異なる画像をHDR合成 (High Dynamic Range Imaging) することにより、明暗差の大きい溶接部の可視化を可能にした。さらに、マルチインターバル露光を開発することでHDR合成での画像取得の最適化を行った。

まず、HDR合成について説明する。図5に溶接士視野映像のHDR合成フローを示す。カメラから露光時間の長い明るい画像（以下、EV1）と露光時間の短い暗い画像（以下、EV2）を交互に取得する。EV1は溶融池と周辺を適正露出で、EV2はアーキを適正露出で捉えた画像である。この2枚をHDR合成することで、明暗差の激しい溶接部を可視化することができた。

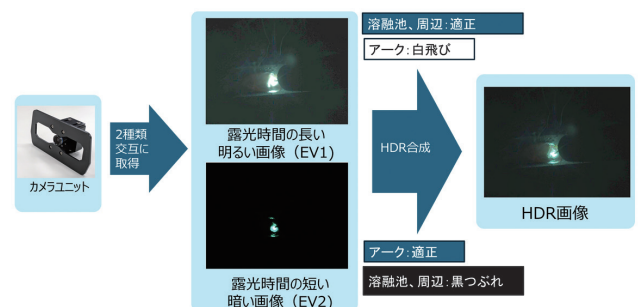


図5 HDR合成フロー

図6に溶接士視野映像のHDR合成なしと図7にHDR合成ありを示す。HDR合成ありでは、アーキが白飛びせずに輪郭が鮮明であることがわかる。また、溶融

池も同様に輪郭が鮮明で、凹凸の立体感を感じることができる。さらに、開先等の周辺も見え、ワイヤ先端も明瞭に映っていることがわかる。

また、このHDR合成では独自のパラメータを設定しており、レーザや特殊なCMOSセンサを使用することなく、アーク、溶融池、および周辺を同時に可視化することができた。



図6 HDR合成なし (EV1)

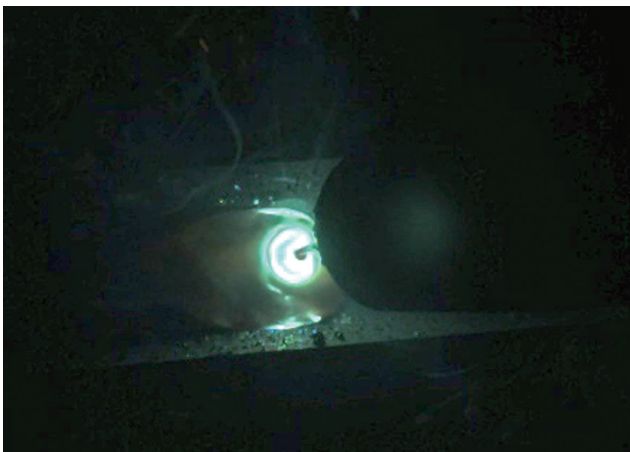


図7 HDR合成あり

次に、マルチインターバル露光について説明する。図8は、HDR合成なし、HDR合成あり、マルチインターバル露光の露光時間のイメージを示したものである。

HDR合成なしの場合には1フレームで1枚の画像 (EV1) を取得する。HDR合成ありの場合には、1フレームで露出の異なる2枚の画像 (EV1, EV2) を交互に取得する。そのため、HDR合成ありでは、1フレームを取得する時間がHDR合成なしの倍になる。結果として、FPS (Frames Per Second) が低下し、映像が滑らかではなくなることがある。

そこで、マルチインターバル露光を適用することでFPSを低下させない滑らかな映像を取得できる。これは露光の開始時間を自由に設定し、露光を不等間隔にすることで露光していない時間を減少させる方法である。

したがって、HDR合成なしの1フレーム取得にかかる時間と同等の時間で2枚の露出の異なる画像を撮影できるため、滑らかな映像を取得可能とした。

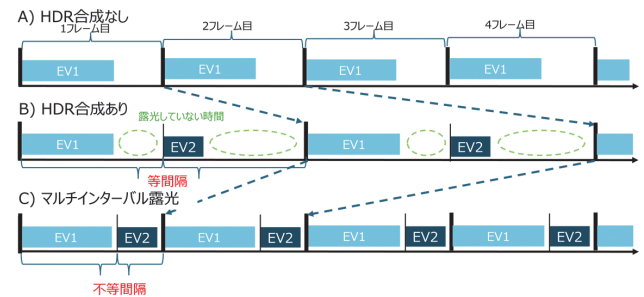


図8 マルチインターバル露光

3. 溶接中データ統合システムの開発

このカメラシステムを利用することで溶接士視野映像を容易に記録できるため、溶接管理に役立てることを考えた。すなわち、ドライブレコーダのように現場における全作業の溶接士視野映像を取得し、この映像にデータを紐づけ、統合するものである。本章では、このシステムの詳細について説明する。

(1) システム構成

図9にシステム図を示す。本システムは、画像を撮影するカメラユニット、映像とデータを記録するデータロガー、および電流、電圧データを収集するデータ送信ユニット、ならびにデータ入力インタフェースであるスマートフォンから構成される。カメラユニットで撮影された画像はケーブルでデータロガーに転送される。データ送信ユニットは、収集した電流、電圧等のデータを無線でデータロガーに転送する。スマートフォンも同様に無線で条件設定をデータロガーに送信する。そして、これらは映像に自動的に統合される。

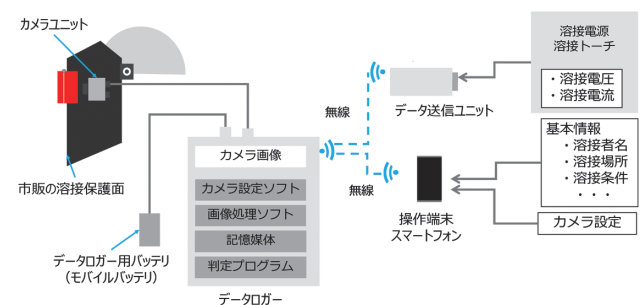
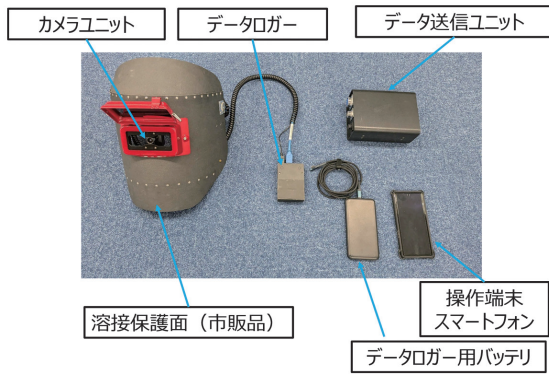


図9 システム図

図10に装置全体と装置の装着時を示す。データロガーは、データロガー用バッテリー、いわゆる一般的なモバイルバッテリーで動作する。溶接士はカメラユニットを取付けた溶接保護面を装着し、データロガーとバッテリーは作業着のポケットに収納することができる。したがって、溶接士は装置のケーブルをほとんど意識することなく自由に動くことができるため、装着時の負担は少ない。



(a) 装置全体



(b) 装着時

図 10 システムの装置

(2) 運用形態

図 11 に運用形態を示す。各溶接士は、現場でそれぞれ装置を装着し、スマートフォンから名前や溶接部位等のデータを入力する。装置は電源が入っている間は常に録画するため、現場での溶接作業を 1 日中自動で録画できる。録画後、データロガーをログステーションに接続し、全データをクラウドに自動転送する。溶接管理者は、クラウドにアップロードされた映像とデータを PC 等で確認する。しかし、複数の溶接士が 1 日中録画した映像とデータは膨大になり、溶接管理者が必要な映像とデータのみを抽出し、確認することは困難である。そこで、本システムでは溶接管理者が容易に映像とデータを確認できる処理を実装した。

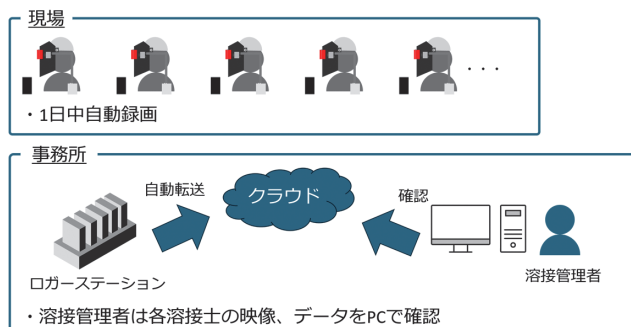


図 11 運用形態

(3) データ処理手順

本処理は電流値の立ち上がり、立ち下がりから溶接パスを判定し、溶接時の時刻を抽出する。抽出した時刻から溶接士視野映像とデータを統合する。溶接中の映像とデータのみが抽出されるため、溶接管理者は容易に映像とデータを確認することができる。

さらに、事前に最小、最大電流値等の標準溶接条件を指定することで、範囲から外れた統合結果の表示時に赤くハイライトする。溶接管理者は、標準溶接条件に収まっているかを容易に確認できる。

4. 評価

(1) 溶接士視野映像

社内外の溶接士の十名以上を対象に、カメラユニットを取付けた溶接保護面を装着させ、映像と使用感の評価試験を実施した。溶接法は炭酸ガスシールドアーク溶接 (約 300A, Φ 1.2mm ソリッドワイヤ) である。

映像は自分が溶接していた遮光ガラス越しの見え方に近いとコメントを得た。この映像であれば、高度なテクニックを教えることができるとの意見もあった。

また、カメラユニットがあっても、違和感なく溶接できたと溶接士からコメントを得て、溶接作業を阻害しないことを確認できた。

(2) 溶接中データ統合システム

現場環境に近い状況で、コラム柱試験体を用い、熟練、中堅、および若手の 3 名の溶接士に溶接中データ統合システムの装置を装着させ、全溶接作業を対象に画像と電流、電圧を記録した。図 12 に溶接中の様子を示す。試験の確認点は以下のとおりである。

- ① 作業性
- ② ソフトウェア機能
- ③ 操作性・運用性

試験条件は表 1 に示す。また、パス数は 10 ～ 12 パス / 人で、全 42 パス (2 日間) であった。遮光ガラスは自動遮光ガラス (1 名)、遮光ガラス #10 (2 名) であった。遮光ガラスの番手にあわせて、撮像の露光時間を最適化しているため、溶接士は好みの遮光ガラスを使用できる。



図 12 溶接中データ統合システム評価環境

表1 試験条件

溶接種類	炭酸ガスシールドアーク溶接
溶接材料種	Φ 1.2mm ソリッドワイヤ
銅種	BCP325 (□ 800mm × L500mm × t25mm)
溶接姿勢	横向

試験結果は以下にまとめる。①、②では問題ないことを確認できた。③の操作性の確認では、溶接士が革手をしているため、溶接部位の条件設定を頻繁にスマートフォンから入力できなかった点が課題としてわかった。溶接士はコラム柱の各面で1パス溶接して次の面に移動を繰り返すため、溶接部位を頻繁に入力する必要があった。

- ① 作業性
- ・映像評価と同様に現場に近い作業環境でも溶接作業を阻害しなかった。
- ② ソフトウェア機能
- ・溶接中の操作なく全パス記録できた。
- ・電流値を基に溶接パスを自動分割できた。
- ・映像と溶接管理情報の統合ができた。
- ③ 操作性・運用性
- ・バッテリーは2日間で1回交換を要した。
- ・スマートフォンの操作を頻繁に行えなかった。

図13に溶接中データの統合結果を示す。表の行が溶接パス、列は溶接士名等のデータ、作業と溶接の開始終了時刻、電流と電圧の代表値、グラフ、および溶接士視野映像を示す。今回の実証試験では、最小電流値が事前に指定した標準溶接条件範囲(180～380A)から外れていることがわかった。しかし、これは肉盛り調整のためにクレータ電流を使用したためであり、問題ないことを確認した。このように溶接後に溶接士視野映像や溶接中の全データを容易に確認することができるため、溶接中に何が起きていたかを把握することができた。

工事名称	溶接技能者	マーク	部位	方位	銅種	ワイヤー	板厚	号機	作業開始時刻	溶接開始時刻	溶接終了時刻	作業終了時刻	溶接時間 (s)	最大電流値 (A)	最小電流値 (A)	平均電流値 (A)	最大電圧値 (V)	最小電圧値 (V)	平均電流値 (V)	電流グラフ	電圧グラフ	溶接士視野映像	
18	モックアップ試験	A	TP-1	CJ	北西	BCP325	YM-55C(Y)	0	0	20240312_1340_01	20240312_1340_06	20240312_1341_14	20240312_1341_19	67	300.6	271	282.7	36.4	36	36.2			
19	モックアップ試験	A	TP-1	CJ	北西	BCP325	YM-55C(Y)	0	0	20240312_1341_33	20240312_1341_38	20240312_1342_23	20240312_1342_25	45	304.9	289.3	297.4	36.2	36	36.1			
20	モックアップ試験	A	TP-1	CJ	北西	BCP325	YM-55C(Y)	0	0	20240312_1316_32	20240312_1316_37	20240312_1318_44	20240312_1318_49	126	201.3	177.2	193.1	34.5	30.2	30.9			
21	モックアップ試験	A	TP-1	CJ	北西	BCP325	YM-55C(Y)	0	0	20240312_1318_57	20240312_1319_02	20240312_1320_30	20240312_1320_33	87	208.4	194.2	202.4	31.6	30.2	30.5			
22	モックアップ試験	A	TP-1	CJ	北西	BCP325	YM-55C(Y)	0	0	20240312_1352_03	20240312_1352_08	20240312_1352_56	20240312_1353_01	48	281.6	258.7	270	36.4	36.1	36.3			

図13 実証試験の統合結果(全42パスの一部を表示)

5. おわりに

本稿では、溶接士視野映像の取得の課題と解決方法、およびこの映像を用いた溶接中データ統合システムについて述べた。本システムは現場作業の溶接士全員の全パスの記録ができるため、溶接管理技術者の負担軽減と溶接管理のエビデンスとなる。

さらに、溶接欠陥が発生したときの映像とデータを振り返ることで溶接欠陥の発生原因調査等にも利用できる。この映像を機械学習モデルに学習させることで、溶接中に溶接欠陥を検知できる可能性がある。溶接士は、溶接中に溶接欠陥発生を知ることができるため、その場で補修作業を実施するかの判断ができるようになる。その場で判断できれば、補修工数や溶接欠陥率の減少に繋がる。

今後は溶接管理の生産性の向上に寄与するとともに、溶接欠陥検知システムの開発を進める予定である。

参考文献

- 1) 岡本 勇也, 林 篤史, 津山 忠久: 溶接士視野映像取得のための撮影条件の最適化, 溶接学会, 2024.
- 2) 岡本 勇也, 林 篤史, 津山 忠久: 溶接中管理を目的としたデータ統合システムの開発, 溶接学会, 2024.
- 3) 津山 忠久, 北川 悟, 林 篤史, 金平 徳之, 超広視野可視化技術を備えた3D デジタル溶接マスクを用いた溶接技能教育, 溶接学会誌, 2023, 92 巻, 1 号, p. 22-26.