

テーマ

作業者負担を軽減するための 溶接トーチハンドル形状の検討

研究代表：株式会社ダイヘン
研究協力：兵庫県立工業技術センター

背景

溶接現場は「危険」「汚い」「きつい」の3K職場と言われており、溶接作業者は日々肉体的・精神的な負担を強いられている。2010年の総務省統計局の国勢調査結果によると、溶接作業の従事者は日本国内だけでも19万人を超えており、ロボット溶接による自動化が推進されてはいるものの、依然として「人間による溶接作業」が必要不可欠とされている。過酷な作業環境が故に溶接現場では、作業者の負担を出来るだけ軽減するための道具や方法が求められている。

実際に溶接作業者が握る部分であるトーチハンドルは、剛性や耐久性を重要視した設計となっており、作業者の負担を軽減するといった「作業性の改善」への取組みは、二の次になっていた。

目的

本開発は、溶接作業者の負荷を軽減するために下記三点の項目に着目し、最適なグリップ形状を検討する。

1. “握りやすい” グリップ形状の検証
2. “疲れにくい” 溶接姿勢を可能とするグリップ形状の検証
3. “熱さを感じにくい” グリップ形状の検証

検証方法

1. “握りやすい” グリップ形状の検証

1.1 デザイン案の作成

作業者が自然な姿勢で円筒を握った時の形状を検証する方法として、粘土を用いて造形モデルを作成した。円筒の周りに取り付けた粘土を3名の溶接作業者に握ってもらうことにより、ベースとなる基礎モデルを3体作成した(図1)。次に、3体の粘土モデルから共通する特徴的な形状ポイントについて分析するため、非接触式3Dスキャナ(グラフテック製 optoTOP-HE)を用いて3体の粘土モデルをデジタルデータ化した(図2)。



図1 粘土による造形

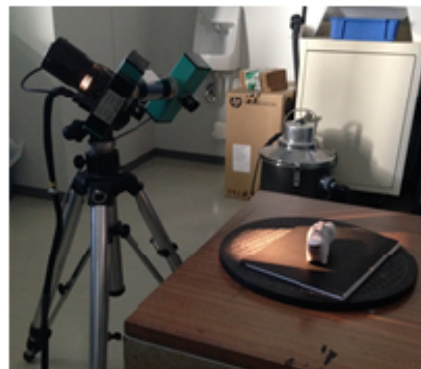


図2 3Dスキャナによる計測

デジタルデータ化したモデルデータから3ミリピッチの断面形状を作成し（図3）、3体の断面形状を合成して特徴ポイントを特定した（図4）。

合成した断面形状を分析した結果、下記4点の特徴があることがわかった。

- 1) 親指と人差し指で握る箇所が細くなっている
- 2) 小指で握る部分が細くなっている
- 3) 右端側に向かい、“カーブ形状”になっている
- 4) 中指、薬指、小指が触れる箇所は、手の大きさによって凹凸の間隔が異なる

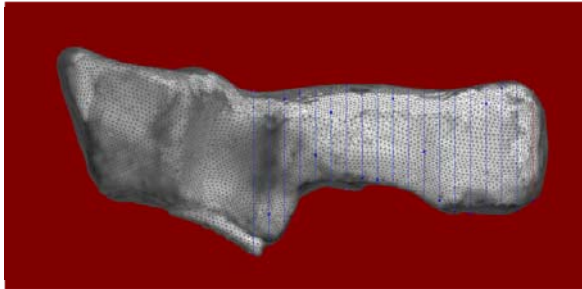


図3 断面形状の作成

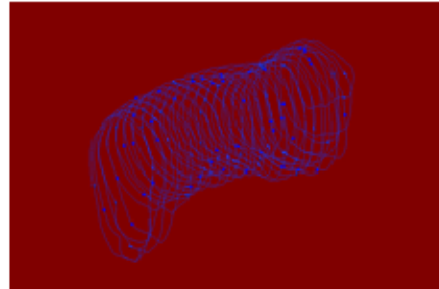


図4 断面形状の合成

上記の特徴ポイントの結果から、親指と人差し指が接する部位を細くし（※1）、右端側に向かって、掌で握りこんだような滑らかな“カーブ形状”とした（※2）。また、中指、薬指、小指が触れる部位は、手の大きさに起因するものであり、万人に受け入れられるように凹凸部を取り除き、小指が触れる部位は円周長さを短くした（※3）（図5）。

実際の溶接トーチは、ハンドルの先端側からトーチボディ（角度のついた金属パイプ）、後方部にはケーブルを組込んだ状態で使用する（図6）。作業者の操作性、すなわち溶接箇所の狙い性を向上させるためには、グリップ把持部から、溶接箇所までの距離を小さくする必要がある。よって、トーチボディ挿入部であるハンドル先端部に角度を持たせた形状とした（※4）。

上記より形状デザイン案を粘土で製作した（図7）。

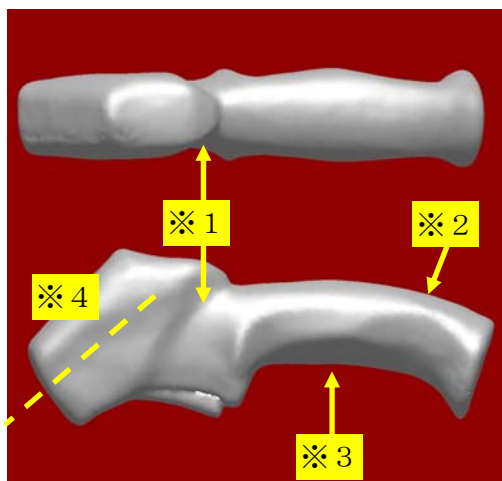


図5 形状変更部位



図6 実際の溶接トーチ



図7 形状デザイン案

1.2 握りやすさの検証

デザイン案が握りやすい形状であるかを検証するため、若手溶接作業員から熟練工を含めた25歳から60歳（平均年齢38歳）の溶接作業員10名を対象に、図8に示す3モデルについて一対比較とアンケートによる主観評価を行った。利き手でトーチハンドルを持ってもらい、先に持ったものと後に持ったものとを比較評価した。握って貰ったモデルの順番は、被験者ごとにランダムに提示した。アンケートでは、握りやすさに関する7つの評価項目について5段階評価してもらった（図9）。



図8 対象サンプル

溶接ハンドル 握り性能評価
アンケート用紙

氏名 _____

実際に溶接ハンドルを握って頂き、
ハンドルの握り性能について5段階評価をお願いします。

Sample A

幅感

奥行き感

No	握り性能	1	2	3	4	5	コメント
	記入例	わるい				よい	小指の巻込みが深く、フィットしない。
1	安定性	わるい				よい	
2	握り性	わるい				よい	
3	操作性	わるい				よい	
4	フィット性	わるい				よい	
5	幅感	わるい				よい	
6	奥行き感	わるい				よい	
7	握り方の自由度	わるい				よい	

図9 アンケート用紙

1.3 握りやすさの検証結果（一対比較とアンケート）

一対比較の結果を図10に示す。被験者は、A、B、Cの順番で持ちやすいと感じていることがわかった。また、AとBとの間には有意差（ $P < 0.01$ ）が認められた。

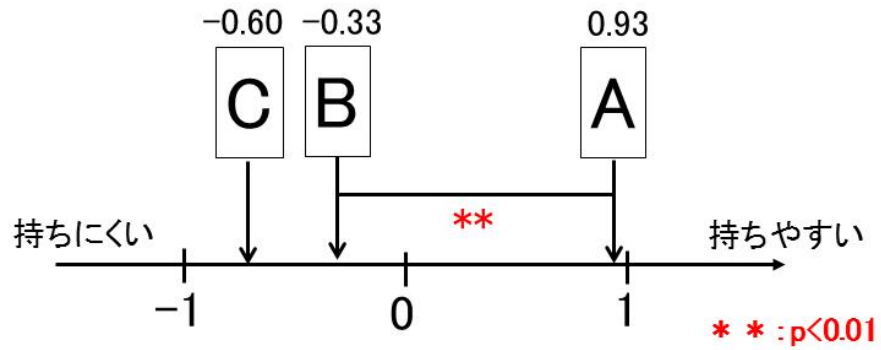


図10 一対比較の結果

7つの評価項目について、被験者の評価点を合計したグラフを図11に示す。評価項目の内、「⑦握り方の自由度」以外はサンプルAの評価が高いことがわかった。特に「①安定性」「②握り性」「④フィット性」に関しては、サンプルAの評価が特に高く、「⑤幅感」については3モデルともほぼ同じ評価であることが確認できた。

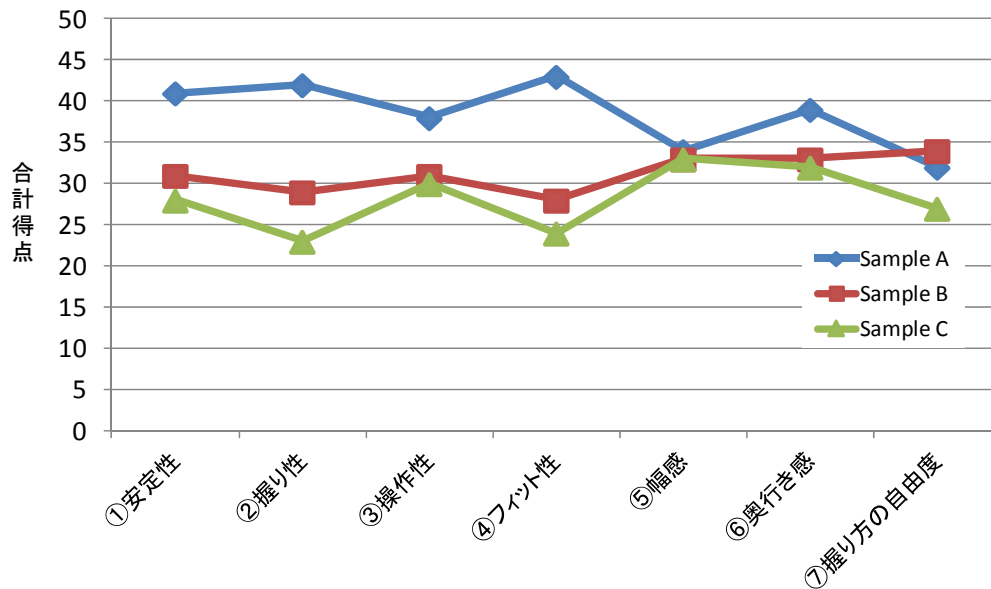


図11 アンケート項目の得点化

1.4 掌とハンドルの接触面積の検証

一対比較とアンケートの結果から、サンプルAは「①安定性」「②握り性」「④フィット性」が高いことが確認できた。それらの評価が高かった項目は「トーチハンドルと掌との接触面積」が大きく関係していると考えられるため、トーチハンドルを握った際に掌が接している箇所を測定した。白ペンキを塗った溶接用革手袋で、黒く塗ったトーチハンドルを握ることにより、接触部位を特定した（図12）。



図12 接触部位の特定（白い箇所が接触面）

非接触形状測定器を用いて接触部位を計測し、面積を算出した（図13）。その結果、各サンプルの面積は下記の通りであった。

- ・サンプルA：8722 mm²
- ・サンプルB：6149 mm²
- ・サンプルC：4122 mm²

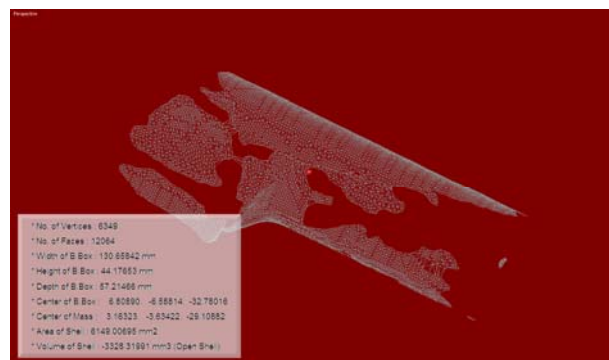


図13 非接触形状測定器による接触面積の算出

[検証結果]

一対比較の評価結果と接触面積測定の結果から、接触面積が大きい程、作業者は持ちやすいと感じる傾向にあることが分かった。

各サンプルの握り部位形状の違いとしては、サンプルAはハンドル右端側に向かって“カーブ形状”をしているのに対し、サンプルB、Cはストレート形状である。すなわち、ハンドルの“カーブ形状”が掌への接触面積を高くし、作業者へ安定感・握り感・フィット感を与えていると推測される。

2. “疲れにくい”溶接姿勢を可能とするグリップ形状の検証

2.1 溶接姿勢の観察と評価

本研究開発の目的は、溶接作業者の負荷を軽減するための最適なグリップ形状の開発である。これまで、ハンドルグリップ単体の形状についての検証を進めてきたが、実際の溶接トーチは、先端にトーチボディ（角度の付いた金属パイプ）、後部にケーブルを組込んだ状態で使用するため、実際の製品系で正規化順位法による評価を実施した。

25歳から60歳（平均年齢38歳）の溶接作業者10名を対象に、サンプルA、B、Cの3種類に対して、最もよく使用する溶接姿勢である下向き面直姿勢で疑似溶接を行ってもらい、「操作性が良い」「疲れにくい」の二観点から順番を付けてもらった。作業するモデルの順番は、被験者ごとにランダムに提示し、被験者の溶接姿勢を分析するため、モーションキャプチャを用いて動作計測も同時に実施した（図14）。被験者の「頭部」「肩」「肘」と溶接トーチハンドルの「先端部」「金属先端部（溶接箇所付近に近接する部位）」「溶接板」にそれぞれマーカーを取り付けて計測した。疑似溶接作業は、被験者が通常行っている溶接姿勢を10秒間行ってもらった。実験者の合図で作業を開始し、10秒経過した時点で作業を中断してもらった。作業台と椅子の高さを固定し、溶接ワークは、被験者が溶接しやすい位置に調整した。

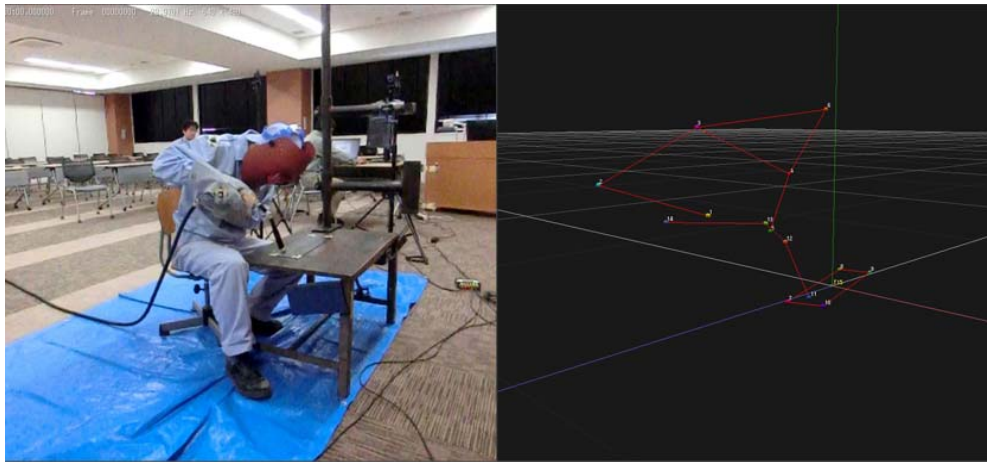


図14 溶接姿勢の計測

2.2 溶接姿勢の評価結果

2.2.1 溶接姿勢における正規化順位検証

正規化順位の結果を図15と図16に示す。

操作性、疲労性の二観点ともにA、C、Bの順で評価が高いことがわかった。

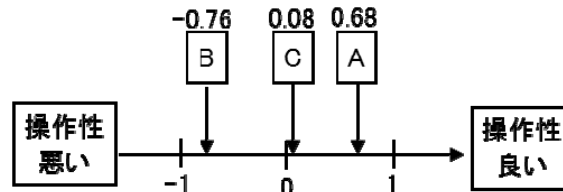


図15 正規化順位の結果（操作性）

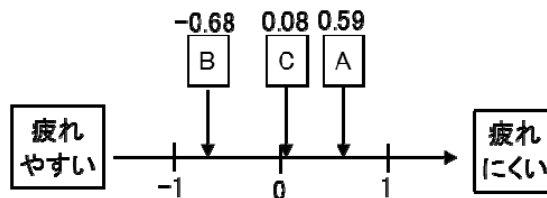


図16 正規化順位の結果（疲労性）

2.2.2 モーションキャプチャの測定結果

被験者10名の溶接姿勢を観察したところ、3種類のモデルの違いにより肘の高さが異なることが確認できた（図17）。そこで、モーションキャプチャで記録した被験者の肘部に装着したマーカー位置から、溶接姿勢が安定した開始2～6秒までの4秒間の肘の高さを10名分算出し（図18）、その10名分の平均値から有意差を検証した（図19）。

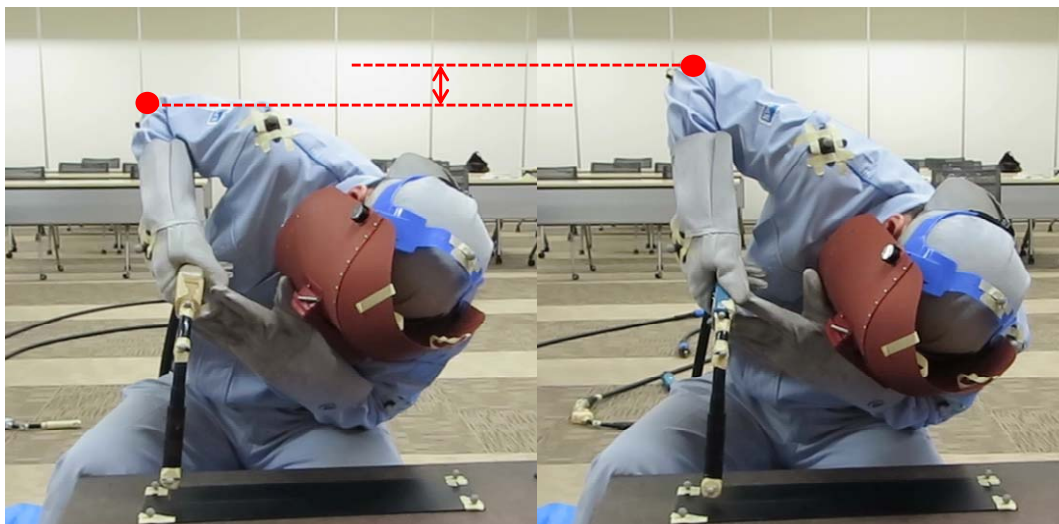


図17 肘の高さ（左：Sample A、右：Sample B）

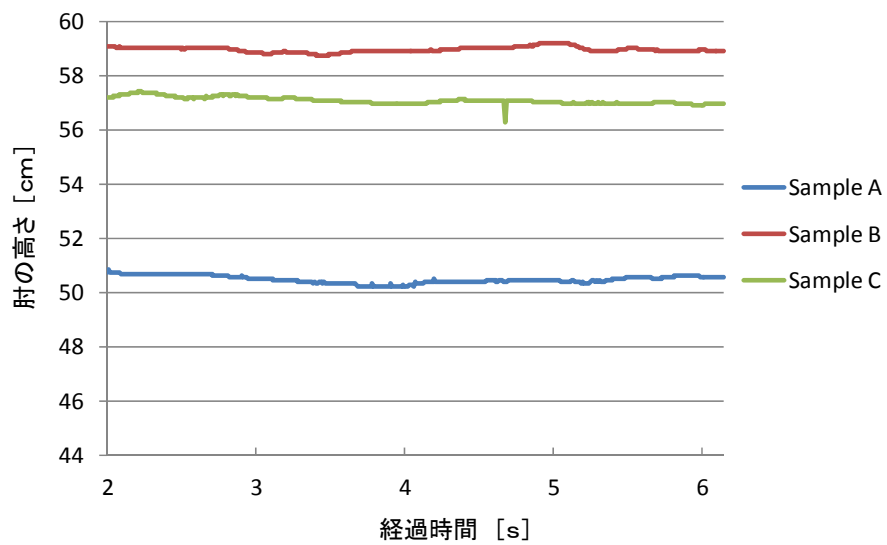


図18 モデルごとの肘の高さの比較（一例）

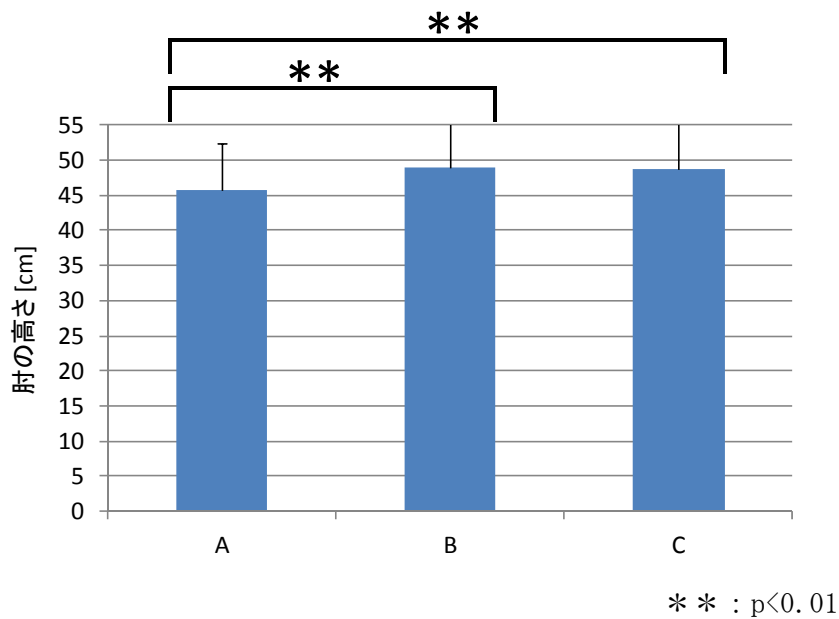


図19 肘の高さの平均（10名分）

[検証結果]

正規化順位とモーションキャプチャによる動作解析の結果、作業者が溶接姿勢をとるときに、肘を高く上げなくても良いハンドル形状が、操作性が良く、疲れにくいと感じられることが分かった。

サンプルAは、ハンドル先端部位に角度を付けたことにより肘を下げた状態で溶接姿勢が取れるようになったことで、作業者への負担を軽減できていると推測される。

3. “熱さを感じにくい” 形状の検証

一般的な溶接ハンドルは、作業者が把持する部位の内部に、発熱物を内蔵しているため、持ったときに熱さを感じやすい構造になっている。よって、弊社現行品（サンプルC）と内部構造を一新したサンプルAの2モデルにおいて、抵抗発熱試験を実施した。溶接トーチの両端を溶接電源に接続し、溶接電流500A、使用率60%の条件で6サイクル目のハンドル表面温度の分布をサーモグラフィ（Apiste製 FSV-7000）で測定した。[※使用率60%の条件：10分間を1サイクルとし、6分間通電、4分間休止]

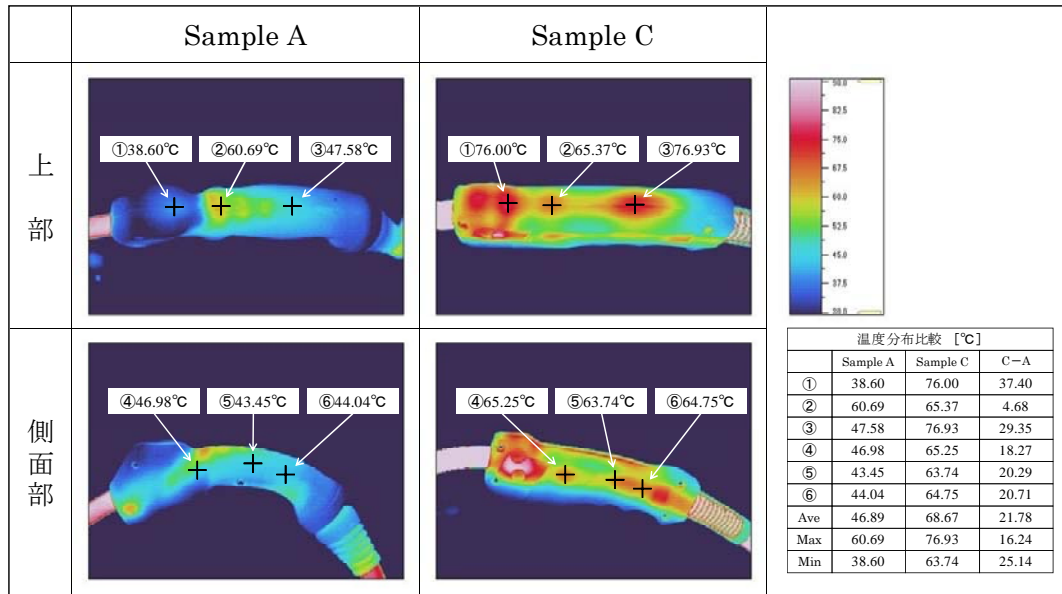


図 20 サーモグラフィによる温度分布

[検証結果]

弊社現行品（サンプルC）に比べサンプルAは、上部方向、側面方向共に、約 20°C の温度上昇を低減できている。サンプルAについては、ハンドル表面に温度が伝わりにくくするために、発熱部の固定方法・固定位置を改良したことによりハンドル表面への熱伝達を抑えることができ、結果としてハンドル表面温度の大幅な低減が実現できたと推測される。

4. おわりに

本研究により、“握りやすい”、“疲れにくい”、“熱さを感じにくい”といった高いユーザビリティを実現する溶接トーチハンドルを開発し、溶接作業者の日々の作業負担を軽減させることを可能とした形状を考案した。

我々は、本研究を第一歩として人間工学を取り入れた作業視点での製品開発を継続して追求することにより、溶接業界のリーディングカンパニーとしてユーザビリティの重要性を浸透させていきたいと考えている。