

高温物との接触に対する危険体感装置の開発

東北職業能力開発大学校 東 祐樹

Development of device for experiencing the risk to contact with high temperature objects

HIGASHI Yuki

要約

製造業における労働災害で年間 100 名以上が死亡しており、製造現場には多くの危険性が潜んでいると考えられる。近年では、製造業でも SDGs や AI 技術、DX 等のキーワードを聞かない日は無いほどである。また、多くの企業が生産性向上、利益追求に奔走している。しかし、溶接作業において被溶接物への接触、スパッタ・スラグの飛散により火傷などの労働災害が減少していない現実がある。本報では、溶接作業における火傷に着目し、溶接作業者と、同一空間で作業する作業者等を対象とする危険体感装置の開発について報告する。

I はじめに

厚生労働省の令和 4 年業種別労働災害発生状況⁽¹⁾によると、製造業では年間の死者数が 140 名、休業 4 日以上之死傷者数は 26,694 名にのぼる。

ハインリッヒの法則によれば、重大災害 1 件に対し、軽災害 29 件、ヒヤリハット 300 件の危険性が潜んでいるとされている。ここで、休業 4 日以上之死傷者 26,694 名を重大災害と位置付けるならば、軽災害が約 77.8 万件、ヒヤリハットが約 805 万件と考えられることから、製造現場には多くの危険性が潜んでいると考えられる。

近年では、製造業でも SDGs や AI 技術、DX といったキーワードを聞かない日は無いほどである。また、多くの企業が生産性向上、利益追求に奔走している。しかし、溶接作業においては、溶接直後の被溶接物への接触、スパッタ・スラグの飛散による火傷を負うなどの労働災害が減少しない現実がある。

企業では危険予知訓練、4S 活動、リスクアセスメント、安全教育等により安全対策を実施している。近年では機械・設備の安全化、リスクアセスメント、労働安全衛生マネジメントシステムの導入などにより、作業環境における安全のレベルが向上している現場が増えている。一方で、熟練技術者の退職、作業者の多国籍化、人手不足などの要因から安全教育の内容を改めている企業もある。

安全教育の一つとして、危険体感装置を用いた方法がある。これは、学生・受講者（以下、学生）が危険

体感装置により危険の臨場感を体感することで、危険感受性の向上、労働災害の発生プロセスについての理解度、安全意識を高めることを目的としている。

本報では、令和 2 年度に総合制作実習で取り組んだ、高温物との接触に対する危険体感装置の開発について報告する。

II 装置仕様及び設計

1 目的と目標

溶接作業の訓練中では下記（1）、（2）を始めとした火傷による被災についての可能性が数多くある。また、インターネットにより安全教育をテーマとした危険体感装置について調査（令和 2 年当時）を実施したところ、火傷に着目して、高温物との接触を直接体感する危険体感装置が存在しないことが分かった。

- （1）溶接直後に被溶接物に触れることによる火傷
- （2）スパッタ・スラグの飛散による火傷

そこで、総合制作実習の課題を学生への溶接作業の危険性、熱への安全に関する意識改善を目的として、実際に発生している災害プロセスを基とした危険体感装置の開発を目標とした。

2 体感方法

高温物との接触を体感するため、2 種類の体感用プレート（A、B）を用意して視覚、触覚、聴覚にて表 1

の方法により体感する。

表 1 のステップ②と③における温度設定については、ステップ②における温度設定は 333[K] (摂氏 60[°C]) である。ポイントとして、素手で体感用プレートに触れた際に、低温火傷をしない程度の温度で、かつ、熱さを感じる温度を目標とした。低温火傷については様々な資料や学生自身の体質に個人差もある。そのため、パナソニックホールディングスの資料⁽²⁾を参考に、試行・検討して 333[K]と設定した。ステップ③の温度については、少量の水をかけ、瞬時に蒸発した蒸気や熱気等から体感用プレートの熱さを感じ取らせるために、373[K] (摂氏 100[°C]) に設定した。必要以上に加熱すると、高温になった水滴が跳ね、学生に接触して火傷に至る可能性が高くなると考えられる。

表1 危険体感方法

ステップ①	2種類の体感用プレート（A、B）で温度による材料の見え方の違いを比較（観察）する
ステップ②	A（333 [K]）とB（常温）のどちらの体感用プレートが高温か分からない状態にて素手で触れて体感する
ステップ③	A（373 [K]）に対して少量の水を垂らした時の、水の状態変化、蒸発した時の音から温度のギャップを感じる

3 仕様

安全教育の性質上、座学による知識と合わせて本装置で危険を体感することを考え、室内（会議室等）で使用することを想定した。そこで、人により持ち運びが可能であるサイズや重量、危険物の不使用、初心者が間違えず操作できる簡易的な操作など、実際の使用時を想定して表 2 に示す危険体感装置の仕様を設定した。また、指導者（教育者）が説明をしている間に加熱が完了していることを想定して、加熱時間は電源を投入してから 60 秒と設定した。

4 設計

4-1 設計

最初に試作モデルの設計を行った。試作モデルの全体寸法は、縦 230[mm]×横 300[mm]×高さ 129[mm]である。図 1 のブレーカーを設置している面は、ボルトを外すことで中の配線についての問題の有・無を確認することができる。

表 1 のステップ③では水を使用するため、体感用プレートを設置する面に複数の穴を開け、その下に斜面と受け皿を設置することとした。また、水を配線部へ流さないために図 2 のように設計した。なお、受け皿は危険体感装置の背面から簡単に引き出すことができる。

表2 危険体感装置の仕様

項目	内容
使用環境	室内（会議室等）
対象者	新入社員、経験の浅い溶接作業員 高温物に接触する恐れのある作業員
サイズ	縦 300 [mm] ×横 300 [mm] 程度
重さ	10 [kg] 以下
供給電力	AC100[V]
セレクトスイッチ	温度調節器の操作を簡易化
加熱時間	常温から 333 [K] まで 60[秒]未満

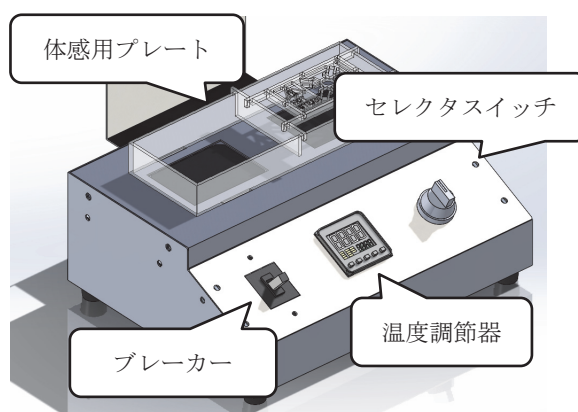


図1 試作モデル

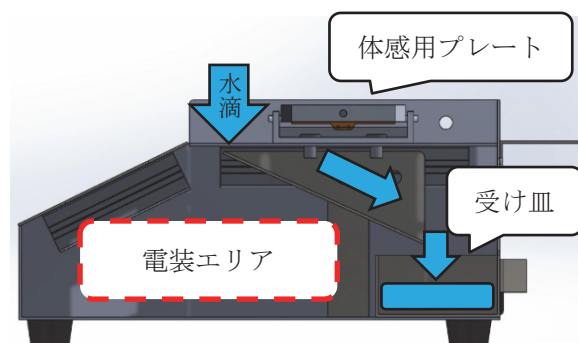


図2 試作モデル

4-2 制御方法

体感用プレートの温度制御は図 3 に示すように構成されている。温度調節器（オムロン E5CC-RX2ASM-001）にヒーターと熱電対（八光電機 HTK0223）が接続されている。温度調節器により、設定温度と熱電対の温度を比較し加熱の調整をする。ヒーターが設定した温度まで上昇すると、自動的に加熱が停止する。また、セレクトスイッチにより、設定された 2 種類の温度を容易に切り替えることができる。

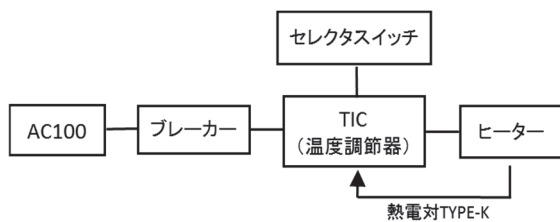


図3 温度制御の構成図

III 実験及び実験結果

1 実験

体感用プレートの材質、サイズを検討するために実験を行った。本実験では、加熱するヒーターを固定し、体感用プレートの材質とサイズを変更することで比較した。熱電対の固定方法は、穴を開けた体感用プレートの側面に熱電対（φ1.6のシース部）を奥まで挿し、体感用プレート上面に加工しためねじに、止めねじを組み付けることで固定する。ヒーターと各プレートは重ねて設置しているだけである。

実験は加熱時間、測定記録、体感用プレートの温度測定ごとに担当者を決め、図 4 のように接触式温度計と熱電対で測定し、結果を記録した。

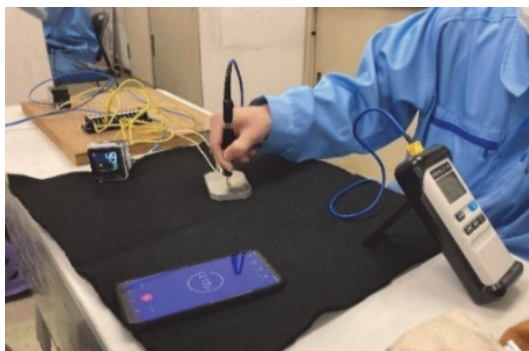


図4 加熱温度測定実験

2 実験結果

表 2 では加熱温度を 333[K]としている。しかし、製作当初は、自分たちの体感する温度として、323[K]が適当と仮定していた。実験時の加熱温度を常温から 323[K]までと設定して、加熱に要する時間を測定した。実験の結果を表 3 に示す。この結果から試作モデルで製作する体感用プレートはアルミ製で 50×70×5mm のサイズとすることにした。加熱時間が 1 分 40 秒となっている。これはヒーターの出力を上げることで改善されるため、本実験ではこの時間でも許容することにした。材質については軟鋼とアルミを比較している。熱伝導性が高く、加熱しても色の変化が無いこと、主たる溶接材料の 1 つであることを考慮して、アルミに決定した。

表3 実験結果(熱電対による測定)

サイズ [mm]	材質	323[K]までの時間	
		測定結果	初期温度 [K]
60×80×20	軟鋼	8 分 40 秒	297
60×80×10	アルミ	4 分 20 秒	292
50×70×10	アルミ	3 分 20 秒	293
50×70×5	アルミ	1 分 40 秒	297

IV 試作モデルの改善

1 設計及び加工における改善

試作モデルを基に 2 つの大きな改善箇所を抽出することができた。

1 つ目は曲げ加工による寸法不良である。2 つの部品をボルトで固定するために穴加工を施したが、曲げ加工による伸び寸法やスプリングバックの調整がうまくできず、図 5 のように穴位置がずれる問題が発生した。

この問題に対しては、伸び寸法やスプリングバックの再調整だけでなく、固定する部品を設計変更することで対応した。当初 2 つの部品に穴加工を施し、曲げ加工を行うことで穴位置を合わせる方法をとっていた。そのため、図 6 のように部品の形状を変更して、ボルト固定部に曲げ加工を行わない。体感用プレートの設置面と操作面の裏側にアルミフレームを設置することで、曲げ加工での伸びやスプリングバックによる穴位置のズレを吸収する形で解決した。

2 つ目はティグ溶接による局所的な加熱により装置全体にひずみが発生したことである。装置筐体をティグ溶接により低電流で溶接した。しかし、溶接時の入熱が大きく溶接ひずみが発生したことで、図 7 のように組立時に隙間ができてしまった。

この問題の対策としては、ひずみの発生を抑えるために図 8 のようにアルミフレーム及び C 型クランプにより母材を固定した。また、溶接アークのパルス制御を活用することで母材への入熱を抑え、ひずみ量の減少も狙った。

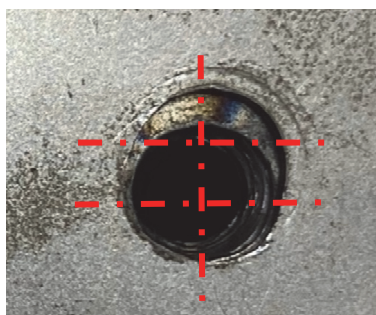


図5 曲げ加工による穴位置のズレ

※組立てる為に応急処置として穴を広げている

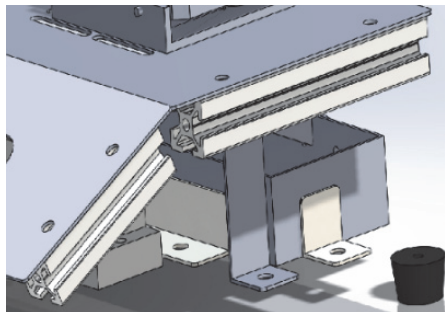


図6 アルミフレームによる穴位置のズレ修正

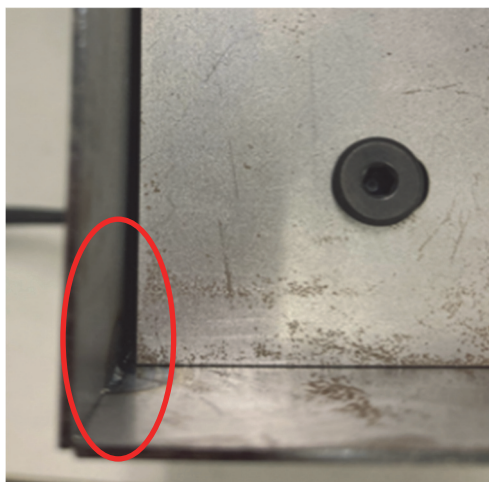


図7 ティグ溶接によるひずみの発生



図8 アルミフレーム等による母材の固定

2 体感用プレート及びヒーターの改善

試作モデルの設計及び部品加工、実際に使用した観点から変更を加えた。

体感用プレートは実際に体感者が目で見えて、手で触れるものであること。また、体感者によりリアリティを感じてもらうため体感用プレート上面に溶接ビードを置くこととした。体感用プレートの厚みが 5[mm]のため、側面に熱電対を固定する深穴を加工すると、プレート上面に穴あけ加工による変形が見られた。この 3 点を踏まえ、体感用プレートのサイズを一回り大きい 60×80×6[mm]に変更した。

表 3 の実験結果から、加熱時間が仕様を満たしていないことがわかる。また、体感用プレートのサイズを大きくしたこともあるため、ヒーターの出力を上げる必要があった。当初ヒーターの防水性も考慮していたため、薄いシート状のヒーターにシリコンラバーを接着しているもの（八光電機 SBH2122 出力：20[W]）を使用していた。シリコンラバーヒーターと体感用プレートには接着剤等は使用せず、ヒーターを体感用プレートで上から押さえつけ、体感用プレートを横から止めねじで固定していただけであった。加熱時間が長くなってしまったのは、空気層の存在による放熱等の影響を受けていたと考えることができる。シリコンラバーヒーターの出力が高いものは、よりサイズが大きくなってしまい、体感用プレートからはみ出てしまうため、体感用プレートのサイズ内に収まり、かつ高い出力のものとして、フィルムシートヒーター（東京技研 FSHH-P2-50-1. 1A 出力：50[W]）を採用した。これにより再度実験を行い得られた結果が表 4 である。当初体感時のプレートの温度は 323[K]としていたが、体感者によっては熱いと感じにくいという意見もあったため、体感用プレートの温度を 333[K]へ変更した。

結果として当初想定していた 323[K]までの加熱時間は満たすことができたが、333[K]までは仕様に対して2秒長くなってしまった。これは装置の使用状況を考えれば許容できる時間であると考えられる。

表4 実験結果(熱電対による測定)

323[K]までの時間		333[K]までの時間	
測定結果	初期温度 [K]	測定結果	初期温度 [K]
55 秒	297	62 秒	297

V 評価

1 装置構成

最終的に完成した体感装置を図9に示す。2種類の体感用プレートだけでなく、モニターによる動画再生も追加した。動画内では労働災害発生状況や社内教育のアンケート調査、災害事例の紹介などを通して、高温物に対する危険性を学びながら体感してもらう。これにより体感者はより臨場感をもって体感することができる。

また、体感時に水をかけるが、蒸発する際の高温の水しぶきが体感者へ飛ぶため、透明度が高いアクリルによってカバーを製作した。



図9 装置全様

2 装置評価

表5に危険体感装置の評価結果をまとめる。概ね仕様を満たした装置を開発することができた。

表5 危険体感装置の評価

項目	評価
会議室での使用	○机上で使用可能
サイズ縦 300[mm]×横 300[mm]程度	○縦 232. 63×横 302. 44×高さ 118. 95[mm]
重さ 10[kg]以下	○4. 5[kg]
供給電力 AC100V	○AC100V
セレクトスイッチの設置	○設置. 温度の切替を容易に
常温から 333[K]までの加熱時間 60 秒未満	△ 297[K]から 323[K]まで 55 秒. ※ただし、333[K]までは 62 秒.

3 課題

大きな課題が2つある。1つは体感用プレートの設定温度である。一部の体感者からは熱くないといった声を頂いた。人により温度に対しての感覚にばらつきがある。加熱した体感用プレートに触って、熱いと感じるかは定性的な評価であるため、体感用プレートの適切な温度設定というものが不明瞭である。また体感者が個人ごとに適切な温度をその場で判断することは非常に難しい。

2つ目は低温やけどによる体感者の被災である。体感用プレートの温度が当初設定していた 323[K]であっても、長時間触れていると低温やけどになってしまう。これも個人差を伴うものではあるが、装置の目的は安全を学ぶことであるため、体感行為自体が危険であっては装置として安全に使用することはできない。

以上の2点から実際に製品として製造販売するには、解決しなければならない課題が明らかとなった。

VI おわりに

今回の危険体感装置の開発は、装置の企画から評価・改善まで、多くの解決すべき課題があり、多くのことを学んだ。高温物を扱うに当たって、まだ解決できていない課題もあるが、今回の装置開発が高温物の危険性の認識や、安全意識向上に重要な役割を果たしていると考えられる。

【参考文献】

- (1) 厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課発行、令和4年 労働災害発生状況、2023年5月、pp.2。
- (2) Panasonic INDUSTRY、熱対策の基礎知識 (2) ～熱対策が必要になる背景～、2019年2月
<https://industrial.panasonic.com/jp/ss/technical>。

