

# 高温現象の理解と安全教育を促す、高温現象を可視化する理科教材の開発とその効果の検証

岐阜県立中津川工業高等学校

教諭 吉田 浩之

## 1. 研究の目的

工業高校の実験・実習は、技術者としての資質や実践的能力を育成する重要な教育活動です。その中でも旋盤加工や溶接など高温物体を扱う実習には、火傷・熱傷事故などの危険性が内在するため、学習指導要領等に基づき、安全教育を体系的に実施する重要性が指摘されています<sup>1)</sup>。

本校でも安全指導を行っています。実習中の負傷件数は減少しておらず、安全確保の強化が課題となっています<sup>2)</sup>。

本校の負傷事例の分析によると主に要因が3点明らかになりました。第1は、学年進行に伴う実習経験の蓄積による作業への慣れと注意力の低下です<sup>3)</sup>。第2は、高温状態は温度を目視で識別できない技術的要因です。第3は、「まだ大丈夫」という判断による危険性の過小評価や、労働災害研究で指摘される正常性(楽観)バイアスが実習場面で作用している可能性<sup>4)5)</sup>です。これは、実体験の減少に伴う危険察知力や作業距離感の低下が、この判断を助長していることも示唆します<sup>4)5)</sup>。

したがって、これを踏まえた改善には、口頭説明や静的図示に加え不可視な温度変化を可視化する手法を取入れた安全教育が有効であると考えられ<sup>6)</sup>、教科間連携や異なる学習場面で一貫した危険認知の形成が必要になります。その中でも理科は、熱・電気・材料など工業教育と関連の深い基礎概念を扱い高温現象を題材として位置付けしやすい教科です<sup>7)</sup>。しかし、十分な設備や可視化教材が未整備の場合、燃焼やジュール熱分野の理科学習は定性的理解に留まり易く、工業教育が求める量的理解や実践的知識との接続が困難になる可能性があります<sup>8)9)</sup>。また、近年普及しつつあるVR安全教育は、熱感覚や身体的距離感を伴わず、学習定着や技能評価に限界があります<sup>10)</sup>。

そこで本研究は、赤外線サーモグラフィ映像(以降、サーモ映像と称する。)を用いた理科教材を開発し、その活用が生徒の危険認知<sup>4)5)</sup>および温度変化の定量的理解<sup>8)9)11)</sup>に与える教育的効果を検証し、理科と工業の連携強化と安全文化の醸成に寄与することを目的として行うこととしました。

## 2. 研究の概要

### 2.1 研究組織と活動計画

表1、2は研究組織と役割分担です。表3の計画に基づき実施しました。

### 2.2 研究手法

#### 1)使用機器

FLIR 社製 FLIR E76(計測範囲-20～1000℃)

#### 2)研究方法

被験者は工業高校1年生110名です。図1の授業形態に基づき、A群(n=16)、B群(n=16)、C群(n=15)、D群(n=16)、E群(n=16)、F群(n=16)、G群(n=15)の7群を設定し110名を割り当てました。

全群において質問紙(危険認識・安全行動意識を各5段階評価)による事前調査を行い、その後

表1 研究組織と役割分担

研究者氏名	所属	役割分担
吉田 浩之	理学科	研究・教材開発の企画・立案、統括
柘植 太郎	理学科	研究・教材開発、授業実践、評価
目下部真弓	理学科	実験器具・材料準備・試験
上川 智草	理学科	実験器具・材料準備・試験
嶋倉 耕作	建設工学科	安全意識を促す授業実践、評価
津野へい竜毅	電子機械工学科	理科と連携した電熱加工教材の開発、実践、評価
藤井 一輝	機械工学科	理科と連携した金属溶接教材の開発、実践、評価
学内横断チームで生徒主体の活動を設計し、全職員で継続的な意見交換を実施。		

表2 各科の役割分担

理学科	燃焼・熱伝導・電気伝導(化学・物理横断)教材の企画・統括
建設工学科	木材加工時の温度上昇・火災予防の可視化
電子機械工学科	電熱加工・溶接・放電(プラズマ)可視化
機械工学科	切削・溶接・温度管理の可視化

表3 活動計画

5月	研究テーマの具体化(題材・計測レンジ・安全管理)
6月	校内組織編成・役割分担
7~1月	学科別研究課題の設定と教材開発・授業実践
1~3月	実践研究の集約、成果物制作・評価、校内中間報告・FB収集
進捗に応じて令和8・9年度、日本理科教育学会・日本教科教育学会で発表	

に各群の授業を受講させ、授業後に同一質問紙による事後調査を実施しました。評価項目は、理科実験および実習動画において、FLIR E76にて撮影したサーモ映像提示の有無が、「温度変化の理解しやすさ」と「安全意識の向上」に与える影響です。授業前後の調査結果の統計的比較と、生徒の自由記述から教材の理解度や視認性を分析し、サーモ映像が安全意識の変容に及ぼす影響を検証しました。加えて教員3名による観察評価((1)サーモ映像の有無による温度変化の理解容易さ(2)安全意識向上への有用性(3)通常映像との同時提示の見やすさ)を通じて、危険感受性、安全行動意識の変容を検討しました。実施した理科実験は「①金属板の熱伝導(と温度変化)」「②テルミット反応(周囲の温度分布)」「③プラズマ状態の炎の導電性(と温度の関係)」「④高温融解食塩の電気伝導性(温度変化)」「⑤ジュール熱による発熱分布(アルミホイルを活用した)」です。

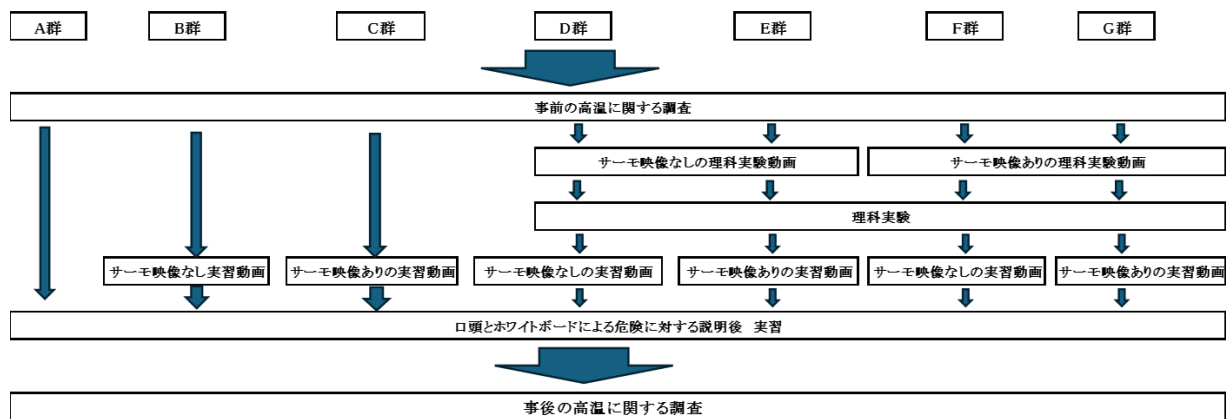


図1 各群に設定した、実習授業までの流れ

### 3. 研究成果

#### 3.1 理科教材と比較映像

- 1) 図2、3は実験の、図4、5は作業の、事前視聴した各説明映像とサーモ映像です。サーモ映像により、目視できない高温状態の箇所が確認できます。
- 2) 図6、7、8は、工業実習「ニクロム線の発熱実習」の様子です。実際の温度感覚では得られない高温状態が目視で確認できます。
- 3) 図9、10は、実験①「金属板の熱伝導」の様子です。熱勾配が視覚的に確認できます。
- 4) 図11、12は、実験②「テルミット反応」の様子です。周辺の温度分布が確認できます。
- 5) 図13、14、15、16は、実験③「プラズマ状態の炎の導電性」の様子です。高温状態にある炎に通電することで生じた放電が確認できます。
- 6) 図17、18は、実験④「高温融解食塩の電気伝導性」の様子です。高温通電が確認できます。
- 7) 図19、20、21、22は、火傷の事故件数が多い、実験⑤「ジュール熱による発熱分布」の様子です。様々な発熱分布が確認できます。

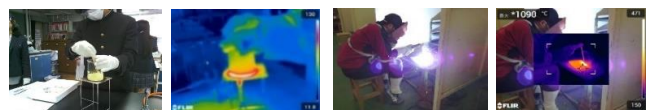


図2.3.4.5 事前指導用の実験と作業の比較映像



図6.7.8 ニクロム線による発熱実習

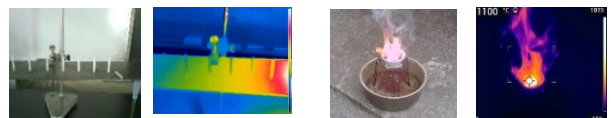


図9.10 金属板の熱伝導

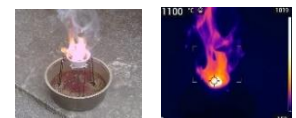


図11.12 テルミット反応

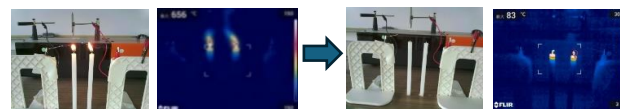


図13.14.15.16 放電・プラズマの導電性の実験

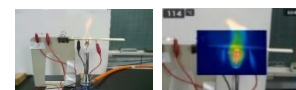


図17.18 高温融解食塩の電気伝導性

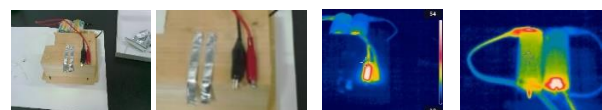


図19.20.21.22 ジュール熱の発熱現象と温度変化

## 4. 結果と考察

### 4.1 理科実験のサーモ映像提示の教育的意義

理科実験時にサーモ映像を提示した群は未提示群よりも危険認識及び安全意識が有意に高くなり

(F群 > D群:  $t(29.02)=1.02, p<.05, d=0.36$ )、後続する工業実習の条件によらず効果が認められました(F群 > D群:  $t(28.73)=0.58, p<.05, d=0.18$ )。この結果から、理科実験段階のサーモ映像提示は安定した教育効果をもつことが示唆されました。これは、理科が熱・電流・材料特性などの基礎概念を対象に、現象観察や因果関係の理解を重視する学習活動である<sup>8)9)</sup>ため、サーモ映像による温度分布の可視化が現象理解を支援し、温度変化の意味づけ<sup>6)11)</sup>や危険箇所の事前把握を容易にして実験全体の理解を

深め、後の行動判断に影響したと考えられます。したがって、理科実験段階でのサーモ映像提示は、危険を「感じる」前に「理解する」ことを促進し、危険認識の基盤を形成すると解釈できます。

### 4.2 サーモ映像提示順序と学習文脈の影響

理科実験時と工業実習時でサーモ映像を提示した群と理科実験時のみ提示した群との間に、有意差は認められなかった(G群 > F群:  $t(28.79)=-0.34, n.s., d=-0.11$ )ことから、サーモ映像の効果は提示回数や順序よりも学習文脈の性質に左右される可能性が示されました。また、自由記述では、「理科で先に見たことで理解しやすかった」という意見がある一方、「理科の方が意外な温度変化があり驚いた」との記述も多いことから、サーモ映像効果には、提示順よりも現象の新奇性や温度変化の意味づけの容易さが関与していると考えられます。

理科実験は観察と概念形成を中心とした学習活動であり<sup>7)9)</sup>、視覚的教材による「気づき」や「驚き」が認知的再構成を促しやすいことが、サーモ映像による危険認知の向上を支えたと推察されます。

### 4.3 工業実習におけるサーモ映像提示と認知負荷

工業実習時のサーモ映像提示群は、未提示群より危険認識および安全意識が有意に高かったが、効果量は理科実験時より小さかった(危険認識:  $t(29.02)=0.47, p<.05, d=0.16$ ; 安全意識:  $t(28.76)=0.30, p<.05, d=0.11$ )。これは実習学習の環境特性と関係している可能性があります。また自由記述では、「確認箇所が増え集中しづらい」「情報量が多い」といった意見が多く、作業と同時に映像情報を処理することが認知負荷を増大させた可能性が示唆されました。実習では技能の遂行や即時的判断が求められる<sup>3)</sup>ため、視覚情報は有用である一方、処理負荷が高まる危険もあります。これは、VR安全教育で指摘される注意分散の課題とも一致します<sup>10)12)</sup>。したがって、工業実習におけるサーモ映像活用には、提示タイミングや情報量への配慮が不可欠であることが推察されます。

### 4.4 説明媒体の違いと温度可視化の役割

実習説明は、口頭と動画における危険認識に有意差が認められず(C群 > B群:  $t(28.73)=0.52, n.s.$ ; B群 > A群:  $t(29.02)=0.10, n.s.$ )、説明媒体形式が安全認知を左右する主要因である可能性は高くありませんでした。また、短時間のサーモ映像提示により、「注意の集中」「作業前の警戒心の高まり」「学習意欲向上」などが観察されました。このことから、安全認知において重要なのは説明形式ではなく、不可視な温度情報の可視化による注意喚起や動機づけ<sup>6)11)</sup>であると考えられます。

表4 各群の達成及び満足度(%)

	G群	F群	E群	D群	C群	B群	A群
全体	92	90	80	70	68	48	46
安全行動意識尺度	92	90	86	70	68	78	46
危険認識尺	95	93	80	70	65	45	43

表5 危険認識得点の評価

比較群	t(df)	効果量 d	有意性	解釈
E > D	$t(28.76) = 0.30$	0.11	$p < .05$	実習段階のサーモ映像で安全意識が向上
C > B	$t(28.73) = 0.48$	0.17	$p < .05$	実習映像の付加で安全意識が上昇

表6 安全意識得点の評価

比較群	t値	df	効果量 d	有意性	解釈
F > D	$t(29.02) = 1.02$		0.36	$p < .05$	理科実験のサーモ映像は強い効果あり
G > E	$t(28.73) = 0.58$		0.18	$p < .05$	追加効果小さくあり
E > D	$t(29.02) = 0.47$		0.16	$p < .05$	実習映像にも小さく効果あり
C > B	$t(28.73) = 0.52$		0.18	n.s.	有意差なし→映像のみは限定的
B > A	$t(29.02) = 0.10$		0.04	n.s.	有意差なし→説明媒体の影響なし
F > E	$t(29.02) = 0.36$		0.12	$p < .05$	危険認識は実験中が重要
G > F	$t(28.79) = -0.34$		-0.11	n.s.	有意差なし→実習映像の影響小

#### 4.5 危険認識と安全意識の質的差異

危険認識と安全意識は異なる学習文脈で高まりやすい(E群>D群、 $d=0.11$ ;C群>B群、 $d=0.17$ )ことが明らかになりました。また危険認識は理科実験時のサーモ映像提示で高まりやすく(F群>D群、 $d=0.36$ )、安全意識は工業実習時の提示によって高まる傾向が示されました(F群>E群: $t(29.02)=0.36, p<.05, d=0.12$ )。これは、危険認識は現象理解や予測などの認知的側面に依存しますが、安全意識は行動判断や態度形成などの実践的側面に関係するためと考えられ<sup>1)3)5)</sup>、理科と実習の役割分担を踏まえた安全教育設計の重要性を示唆しています。

#### 5. 結論と今後の課題

本研究は、サーモ映像による温度可視化教材が工業高校生の危険認識および安全意識に及ぼす影響を、理科実験と工業実習の両文脈から検証し、以下の点を明らかにしました。

- (1) 理科実験段階のサーモ映像提示は、実習条件によらず危険認識および安全意識を向上させる。
- (2) 危険認識の向上には、概念理解と現象観察を重視する理科実験でのサーモ映像提示が有効。
- (3) 安全意識の向上には、行動判断を伴う工業実習段階でのサーモ映像提示が寄与する。
- (4) 提示方法(口頭・動画)によらずサーモ映像は短時間でも注意喚起や学習意欲向上効果がある。

以上より、温度の可視化は、理科と工業実習を横断して危険理解と回避行動を支える有効な教育手段であることが示されました。一方で、実習においては認知負荷や視線の偏りといった課題も示唆され、今後は提示タイミングや情報量を考慮した教材設計を中心に教材開発していきたいと考えます。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所様より多大なご支援を賜りました。深く感謝申し上げます。

#### 参考文献・引用文献

1. 保坂芳央(2018). 高等学校の安全教育—新潟県立柏崎工業高等学校の取組—. 日本信頼性学会誌「信頼性」, 40(1), 14-19.
2. 愛知県総合教育センター(2018). 工業科工業全般コンテンツ:安全教育. 愛知県総合教育センター.
3. 日高義浩・永野雄作・塚本光夫(2015). 工業高校生に必要な安全教育に関する調査研究—保健室利用状況からの分析—. 日本産業技術教育学会九州支部論文集, 23, 113-118.
4. 参議院調査室(2019). 災害時の心理学—正常性バイアス—. 参議院調査室レポート, No.415.
5. 労働安全衛生総合研究所(2025). 労働災害リスク認知と楽観性バイアス. JNIOOSHメールマガジン(2025年5月号).
6. 大河内暁郎(2016). 赤外線サーモグラフィの活用. 物理教育, 64(2), 109-118.
7. 岩手県立総合教育センター(2020). 高等学校理科における探究の過程を主体的に進める授業の在り方に関する研究. 岩手県立総合教育センター.
8. 相場 博明・柘原 礼士(2009)小学校4年「水のあたたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性. 『理科教育学研究』, 49巻3号, pp.1-11.
9. 恩田 真衣 他3名(2022)日常生活や社会との関連を図るアニメーション教材の開発と評価—小学校第4学年理科「物のあたたまり方」での実践を通して—. 『日本教育工学会論文誌』, 46巻(Suppl.), pp.45-48.
10. 北澤 良平(2025)VR安全教育の効果と課題. 『安全工学』, 64巻3号, pp.151-156.
11. 日本伝熱学会(2015). 特集:赤外線サーモグラフィによる熱計測. 伝熱, 54(228).
12. 島田和典ほか(2019). 切削加工の温度変化に着眼した安全教育用デジタルコンテンツの制作—視線追跡による評価に焦点をあてて—. 日本工業技術教育学会誌, 24(1).