

機械工作(切削加工)における被削材温度の可視化

—安全教育に繋がる基礎的研究—

島田和典

Visualization of Temperature Change in Cutting Operations

—Basic Study for Safety Education and Training—

SHIMADA, Kazunori

大分大学教育福祉科学部研究紀要 第36巻第2号

2014年10月 別刷

Reprinted From

THE RESEARCH BULLETIN OF THE FACULTY OF

EDUCATION AND WELFARE SCIENCE,

OITA UNIVERSITY

Vol. 36, No. 2, October 2014

OITA, JAPAN

機械工作(切削加工)における被削材温度の可視化

—安全教育に繋がる基礎的研究—

島田和典*

【要旨】 本研究の目的は、安全教育に繋がる知見を得るため、教育現場の工作機械を用いた切削加工実習等の場面において、加工時に被削材に発生する熱による温度変化の可視化を試みることである。本研究で使用した工作機械等は、汎用旋盤、高速切断機、直立ボール盤、アセチレン・ガス溶接機(溶断)である。被削材としてSS400材：一般構造用圧延鋼材、STKM13A材：機械構造用炭素鋼鋼管を準備した。熱の発生状況の可視化にはサーモグラフィカメラ(FLIR Systems Inc.製)を使用し、ビデオカメラとともに加工時の画像及び映像を記録した。その結果、本研究の条件下において、旋盤での切削加工時に被削材及び切屑が500℃近くまで上昇することや、溶断作業では1200℃程度で切断された金属材料が、約700℃を下回った段階で目視では常温の状態と同様である等の現象を確認することができた。これらのことから、切削加工時等に発生する火傷の災害対策への有用な知見を得ることができた。

【キーワード】 切削加工 金属材料 実習 被削材温度 安全教育

I はじめに

本研究の目的は、安全教育に繋がる知見を得るため、教育現場の工作機械による切削加工実習等の場面において、加工時に被削材に発生する熱による温度変化の可視化を試みることである。

現行の2008年告示中学校学習指導要領技術・家庭技術分野(以下、中学校技術科とする)では、「A材料と加工に関する技術」の領域が必修とされており、多くの中学校で木材や金属材料等の材料加工を伴う作品製作が実践されている¹⁾。また、2009年告示高等学校学習指導要領工業(以下、高校工業科とする)では、「機械工作」や「実習」等の科目で材料加工に関する内容が扱われており、多くの高校工業科で汎用工作機械を中心として、主に金属加工の実習が設定されている²⁾。

工作機械による切削加工等では、加工精度や安全面から、その機械の特性を十分に理解し、

平成26年5月30日受理

*しまだ・かずのり 大分大学教育福祉科学部生活・技術教育講座

高度な技能を有した熟練技術者が作業にあたるのが基本である。しかしながら教育現場では、初心者(生徒)が機械を扱う場面が多く、技能習得を目的とした場合、加工精度は段階的に求められていくものであっても、安全面への配慮は機械を扱う上での前提となる重要項目である。上述の学習指導要領においても、中学校技術科では「A 材料と加工に関する技術」領域の内容とその取扱い(2)イに「工具や機器を安全に使用できること」があげられている。高校工業科では、その総説に「安全」の文言がしばしば用いられているほか、「工業技術基礎」、「実習」、「機械工作」等の多くの教科工業の科目において「安全」が取りあげられている。特に「機械工作」では、災害の防止や安全管理といった、実際に労働現場を想定した内容を含んでいる点に特徴がみられる。このような教育と安全に関する先行研究としては、例えば田口らが、中学校技術科教育における設備や安全性に関する調査を熊本県内で実施している³⁾。同報告では、教員の生徒に対する安全性に関する配慮への意識は高い一方で、危険を伴う工作機械は使用を控えるといった消極的な指導が多いことを指摘している。また、川口は、工業高校機械系学科における安全教育の指導法を提案している⁴⁾。同研究では、地元企業と協働でリスクアセスメントや危険予知トレーニングを授業に取り入れ、企業へのインターンシップの時期と重ねる等の工夫から、労働現場における安全面への取り組みの実体験が可能なカリキュラム構成を提案・実践している。大阪府教育センターでは、工作機械の使用を伴う実習における危険予知訓練のデジタル教材を開発している⁵⁾。同研究では、溶接作業やボール盤作業について、「起こりうる危険」を回避するためのデジタルコンテンツを作成している。高度情報化社会が進展する昨今、このようなコンテンツによる事前の安全教育は非常に有効であると考えられる。一方、C. Rousseau は、フランスの職業訓練学校における教員と生徒(日本の高校生と同年代)の安全に関する認識の調査を実施している⁶⁾。同研究では、教員と生徒の危険性の認識としては主に「手を切る要素」、「火傷をする要素」等共通であると指摘している。しかしながら、危険性を伴う工作機械の種類は教員と生徒の間で異なった視点を持っていることを述べている。具体的には、教員は危険に対する防御装置の有無等を含めた総合的な視点で危険性を捉えている一方、生徒は、作業時間の長さといった短絡的な視点を危険性として捉えていることを述べている。

上記の川口の研究にも取りあげられているが、我が国では、金属加工の労働現場において、労働災害を減少させる目的でリスクアセスメントの実施を促している。これは、職場にある危険(リスク)を抽出し、災害に至る前に対策を実施し、リスクの低減を図ることが目的である。金属加工の場合に実際に起こる災害として、休業4日以上(2006年のデータ)の死傷災害は、「はさまれ・巻き込まれ」や「飛来・落下」、「切れ・こすれ」、「高温・低温のものとの接触(いわゆる火傷)」等があげられている⁷⁾。上述の教員と生徒の危険性の認識にあげられた内容が含まれており、危険性としては認識されているにもかかわらず、実際に重大な災害に至るケースが確認できる。労働現場においてこのような災害に至る前に措置を講ずること(リスクアセスメントの強化)は非常に重要であるが、教育現場において、中学生や高校生段階から危険性の知識を正しく理解し、安全への意識を高めることも将来の災害低減の観点から重要である。上述の通り、このような安全を促す指導にデジタルコンテンツの活用は非常に有効である。しかしながら、危険な災害現象を容易に映像記録として蓄積できうるものはその作成過程が比較的容易と考えられるが、例えば火傷を想定した鉄の温度については、比較的高温の状態であっても目視では常温の状態とほぼ変化がないといったように、単に映像記録では作成が難しいものも含まれている。なお、高温物質との接触による火傷は、一般的に、45℃以上で1時間、70℃以上では1

秒で皮膚の損傷が始まるとされている⁸⁾。

そこで、本研究では上記の先行研究等を踏まえて、教育現場の工作機械を用いた切削加工実習等の場面において、加工時に被削材に発生する熱による温度変化の可視化を試み、安全教育に繋がる基礎的知見を得ることを目的とした。

II 切削加工における被削材の熱と熱移動及び温度変化

2.1 与えられる熱量と熱移動

断面積が一樣な丸棒材料の一端の一部を熱源(材料よりも高温の固体)に接触させると、そこを中心に材料の温度上昇がみられる。熱はこの熱源から①材料に流入し、時間の経過とともに②材料内を移動する。やがて材料全体の温度上昇がみられ、同時に一部の熱は③空気中に流出する。これらの現象について整理すると、

①熱源から材料に流入する熱量 Q_1 J は、材料の熱容量を C J/K、材料の温度変化(温度上昇分、十分な時間を経た状態)を ΔT_1 K とすると、次式によって表される。

$$Q_1 = C \cdot \Delta T_1$$

②流入した熱量は材料内を移動する。ここで丸棒材料の断面積を A_2 m² とし、断面に対して垂直な方向に χ 座標をとり、各断面における温度を T K とする。ある時点において材料内(χ 方向において)に温度差がある場合、高温の一端から低温側へ熱が移動する。この時、ある点 χ の断面積における熱の移動速度 \dot{Q}_2 W は、次式によって表される。

$$\dot{Q}_2 \propto dT/d\chi \cdot A_2 \quad \dots (i)$$

ただし、熱の移動方向は一樣でないため、例えば中心へ向かう(中心の温度が低い場合)方向に対しても熱の移動が見られる。実際に材料の温度分布は3次元で表される。したがって、与えられた熱量が一定の時、材料の長さや太さに依存して材料の温度上昇の速さは変化する。

③流入した熱量の一部は、流体(周囲の空気)に触れることによって流出する。材料から流出する熱量 Q_3 J は、材料の表面温度 T_a K と流体の温度 T_c K との差、材料の表面積 A_3 m²、時間 t s に依存し、以下の関係を持っている。

$$Q_3 \propto (T_a - T_c) \cdot A_3 \cdot t$$

移動速度 \dot{Q}_3 W は、以下の関係式で表される。

$$\dot{Q}_3 \propto (T_a - T_c) \cdot A_3 \quad \dots (ii)$$

ただし、材料の温度が一樣でない状態において、熱の流入、材料内の熱移動と共に、同時並行で熱が流出していくため、材料表面の各点における熱の流出する速度はそれぞれ異なる。なお、上記の関係式は非常に短い時間における議論であることを考慮しなければならない。

実際の熱移動では、(i)の比例定数として、材質による物性値である熱伝導率 λ W/mK を、(ii)は流体の種類や流速、圧力等に依存する熱伝達率 h W/m²K を導入し、熱の移動量や速度が求められる。

2.2 汎用旋盤による切削加工時の被削材の温度変化の例

汎用旋盤による切削加工では、被削材の塑性変形(バイトによるせん断)や被削材とバイトの摩擦等により発生する熱量が考えられる⁹⁾。これらの熱量の大部分(70~80%)は、切屑と共に被削材から離れていくため、火傷による災害という視点では、第一に、切屑の危険性を十分認識

しなければならない¹⁰⁾¹¹⁾。一方、切屑になる前に、バイトにより完全に切り離されるまでに被削材に流入した熱量及び摩擦の熱量により、被削材またはバイト先端が部分的に 600°C 以上(鋼材の荒削りの例で、切削条件による)にまで上昇する場合がある¹²⁾。このことから、切削終了直後、被削材への安易な接触による火傷の危険性についても十分注意しなければならない。このように、切削加工によって発生する熱量によって被削材の温度は火傷に注意するレベルにまで容易に上昇することは経験的に明らかであるが、切削加工の経験の未熟な者にとっては理解しがたい一面がある。特に、中学校や高等学校の実習の場面では、多くの生徒が最初は未経験の状態で行う。上述の通り、技能習得を目的とした場合では、加工精度は段階的に求められていくものであっても、安全面への配慮は機械を扱う上での前提となる重要項目である。火傷の災害を未然に防ぐ対策としては、安全意識の向上が重要であり、そのために、普段目視では確認できない温度の可視化によって、実際の温度を認識することは、一つの有効な手立てと考えられる。

例えば高校工業科の実習において使用頻度の高い汎用旋盤を例(被削材を一般構造用圧延鋼材とし、一般的に実習教材として扱う範囲内の大きさ、切削条件とする)として、切削加工時の被削材表面の最高温度について考える。旋盤での外径切削の場合、上述の議論で熱源に相当するのは、バイトによる被削材の塑性変形や、材料とバイトとの摩擦と考えることができる。この熱量の発生する部分を中心に、被削材の温度上昇がみられる。坂之上らは、バイトの温度上昇について「急激な温度上昇は切削開始により被削材の変形による発熱と刃先と切屑の摩擦による発熱が平衡状態になるまで続く」と指摘している¹³⁾。通常の切削加工の場合、加工開始時より比較的急激な被削材の表面温度の上昇がみられ、次第に温度上昇の傾きが減少していくことが予測できる。これらを加味すると、ある被削材の温度変化は、種々の切削条件によって決まる熱量 Q 、切削時間 t を独立変数とした関数として考えることができ、汎用旋盤による材料加工時の温度変化(最高温度)は図1のように予測することができる。熱量 Q は、バイトの材質や切り込み量、送り速度、切削速度、被削材の材質等、様々な条件によって決定する。ここでは、切り込み量($a > b$)のみを変化させた2パターンの切削加工を連続して行うことを想定した。なお、各パターンで発生する熱量はそれぞれ一定($Q_a : t_0-t_1$, $Q_b : t_2-t_3$)とし、連続する加工の間には刃物台の移動と切り込み量の調整を行う時間(t_1-t_2)を設定している。

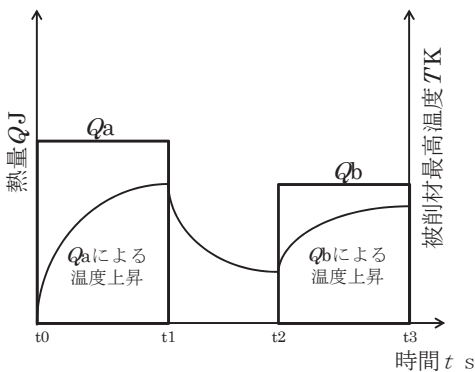


図1. 被削材の表面温度変化

この他にも、金属材料の切削加工では、直立ボール盤や高速切断機等が使用される。これらは汎用旋盤と異なり、加工開始時から材料と工具の接する面積、及び時間あたりの切削量が変わることから、被削材の温度上昇の割合も旋盤と異なることが考えられる。加工条件により与えられる熱量によっては、旋盤の切削加工時に発生する被削材の温度を上回ることも予測される。本研究では、この他にもガス溶断を実験に加え、これら切削加工時等に発生する被削材の表面温度を可視化することを試み、安全教育につながる基礎的知見を得ることとした。

III 実験方法と切削加工等の条件

3.1 実験の使用機材

本研究では、教育現場において比較的使用頻度の高い以下の工作機械等4点を選定し、実験を行った。

- 汎用旋盤 ワシノ 型番：LR-55A
- 高速切断機 リョービ 型番：C-3050
- 直立ボール盤 YOSHIDA 型番：YBD-420
- アセチレン・ガス溶接機 SUZUKID 型番：2000SPZ

工作機械による加工時の被削材の温度変化の可視化には、サーモグラフィカメラを準備した。主な仕様は以下の通り。

- サーモグラフィカメラ：FLIR Systems Inc. 型番：T45sc
解像度：320×240 ピクセル，温度測定範囲：-20～1500℃

※本研究では専用ソフトウェア FLIR Research IR により解析(映像，画像，時間・温度データ等の出力)を行なった。

※同時に画像，及び映像の記録用として，ビデオカメラ(SONY 製 型番：HDR-CX560V，665 万画素)を準備した。

3.2 各工作機械等における実験方法

(1) 汎用旋盤

旋盤による外径切削加工において被削材の温度変化を記録するため，作業者の妨げにならない旋盤の上方にサーモグラフィカメラ及びビデオカメラを機械的に固定する方法で設置した(図2)。旋盤の外径切削加工において，本研究では，比較的高い熱量が与えられると考えられる荒削りを対象とした。一般的にこの作業工程は，加工によって被削材の径が小さくなっていくことから，切削速度を一定に近づけるため，加工の進捗に合わせて主軸回転数を上昇させていく。本研究では，材料の径の大きさを考慮し，2回の外径切削を連続して行う際，異なる主軸回転数を設定した。使用工具，手順等を以下に示す。

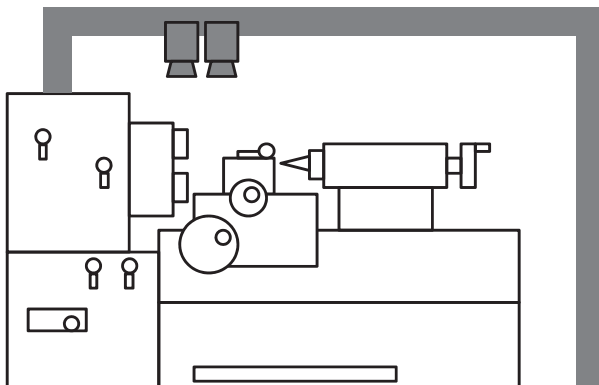


図2. 旋盤による切削加工の実験機材の設置例

■加工材料

中実丸棒 SS400 材(一般構造用圧延鋼材)，φ40 mm，長さ 150 mm
※あらかじめ端面削りを行い心押し台で固定できるように加工しているもの

■切削工具

スローアウェイチップ：タンガロイ製 80° ネガ(型番：CNMG 120408-37，超硬合金，中切削用)を装着，ホルダー：タンガロイ製外径用 TAC バイト(型番：DCLNR 2020K12)を使用

■手順・条件等

- ・ 主軸回転数：550 rpm(切削速度：約 70 m/min)，送り量：2.0 mm/rev.に設定。
- ・ 切削工具と被削材のゼロ点調整後，切り込み量を 1.5 mm と設定して切削(ドライ加工)。
- ・ 刃物台を戻し，主軸回転数を 1020 rpm(切削速度：約 120 m/min)に設定後，再び切り込み量 1.5 mm で切削(ドライ加工)。

(2) 高速切断機

高速切断機では，三脚によってサーモグラフィカメラ及びビデオカメラを設置し，切断の状況を記録した。

■加工材料

中空丸棒 STKM13A 材(機械構造用炭素鋼鋼管)， ϕ 25.4 mm

■切断工具

切断用砥石(外径 305 mm×内径 25.4 mm×幅 3.2mm)

■手順・条件等

- ・ 回転数は 3500 rpm(無負荷時，本機は回転速度調整が不可)。
- ・ 材料を固定後，一定の速度で砥石が材料を通過するよう切断を行った。

(3) 直立ボール盤

直立ボール盤では，上記と同様に三脚によってサーモグラフィカメラ及びビデオカメラを設置し，穴あけ加工の状況を記録した。

■加工材料

SS400 板材(一般構造用圧延鋼材)，40 mm×50 mm×t5 mm

■切削工具

ドリル：10mm(三菱マテリアル，型番(呼び記号)：BTSDD1000，高速度工具鋼)

■条件等

- ・ 回転数は 620 rpm に設定。

(4) ガス溶接機(溶断)

ガス溶断では，三脚によってサーモグラフィカメラ及びビデオカメラを設置し，切断の状況を記録した。なお，溶断中は吹管のバーナーが最高温度となるため，映像の使用範囲は溶断後の金属の温度変化に限定した。

■加工材料

SS400 板材(一般構造用圧延鋼材)，40 mm×700 mm×t5 mm

■切断工具

切断吹管(仏式切断機)

■手順・条件等

- ・ 調整器によりアセチレンガス圧力 0.02 MPa，酸素ガス圧力 0.3 MPa に設定。
- ・ 吹管への着火後，低圧酸素バルブによる火炎の調整，切断直前には端部の余熱を行った。
- ・ その後，高圧酸素バルブを開き溶断，50mm ずつ 3 回の溶断を行なった。

IV 結果と考察

実験は平成 25 年 12 月 18 日に実施(気温 6.4℃, 湿度 90%, 気圧 1020hPa)した。

(1) 汎用旋盤

汎用旋盤の外径切削加工の場面を、ビデオカメラ及びサーモグラフィカメラによって記録した。その後、専用ソフトウェア FLIR Research IR によって、サーモグラフィカメラによる映像及び映像内の最高温度について検討した。その際、中学生及び高校生を対象とした教材としての活用を考慮し、映像(画像を含む)は教材としての提示用に一部を加工(必要な情報の挿入等)している(以降の実験結果についても同様)。

得られた映像のある時点における画像を図 3a に、図 3a の Ar1.内の最高温度変化を図 3b に示す。図 3a は、旋盤による切削加工の状態を、通常のビデオカメラとサーモグラフィカメラにより比較している。図 3a 中の最高温度は 413.1℃であり、図 3b のグラフ上、黒●点(切削開始後約 12 秒)における状態である。サーモグラフィカメラによる記録では、温度の状態がある程度明確に確認できるが、通常のビデオカメラによる記録、すなわち、通常の見視では、温度の状態は把握することが困難である。本研究では切削条件の異なる 2 パターンの連続した外径切削を行なっている。本研究の条件下では、連続した 2 パターン目に最高温度 448.4℃(87.9 秒)を記録している。実験は冬季で実験室温の低い状態で実施されたため、時期(周囲の温度状況)によっては最高温度が大きく上昇することが予測される。また図 3b は、あくまで Ar1.内の最高温度を示しているため、その多くは切断された直後の切屑と考えられる。したがって、加工中の被削材の温度を直接把握することは難しいが、加工終了後は切屑が発生しないため、終了直後から次の切削加工が始まるまでの区間は、映像等による確認も加味し、被削材の温度を示していると判断できる。加工後は自然冷却により急激な温度の低下がみられるが、加工終了直後の温度に着目すると、加工中の最高温度にほぼ等しいことから、被削材についても部分的には切屑に近い温度にまで上昇していることが確認された。一方、切削加工終了後 20 秒以上経過しても被削材の表面最高温度は 130℃付近を示しており、加工後の安易な被削材への接触には注意を要することが確認された。

(2) 高速切断機

高速切断機による切断の場面を記録した。その後、(1)汎用旋盤と同様の手続きを行った。得られた映像のある時点における画像を図 4a に、図 4a の Ar1.内の最高温度変化を図 4b に示す。図 4a 中の最高温度は 497.9℃であり、図 4b のグラフ上、黒●点(切断開始後約 17 秒)における状態である。なお、サーモグラフィカメラの測定レンジの関係上、最高温度が 670.1℃を上回る測定が不可能であったため、その間は最高温度が連続した 670.1℃を示している。したがって、最高温度はさらに上昇していることになる。高速切断機の場合、旋盤と異なり切断時には多くの火花が発生するため、見視の状態であってもある程度高温になることは予測がつく。しかしながら切断後に火花が無くなった状態であっても、切断直後の被削材の温度が 670℃を上回っており、一方で見視では材料の赤褐色の部分は瞬時に消え、常温と同様の状態に戻ってしまうことから、切断直後は非常に高温であるにもかかわらず、被削材は常温の状態と同様の色合いとなることが確認された。また切断終了後 20 秒を経過しても最高温度は 150℃程度あり、切断後の安易な接触には注意が必要であることを確認した。

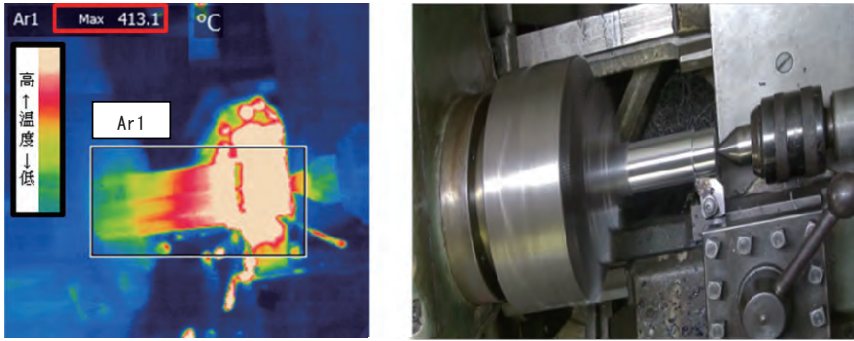


図 3a. 旋盤による切削加工時温度変化

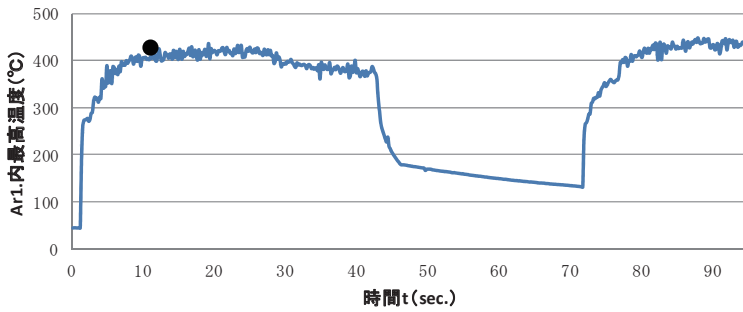


図 3b. 旋盤による切削加工時の Ar1. 内 最高温度変化

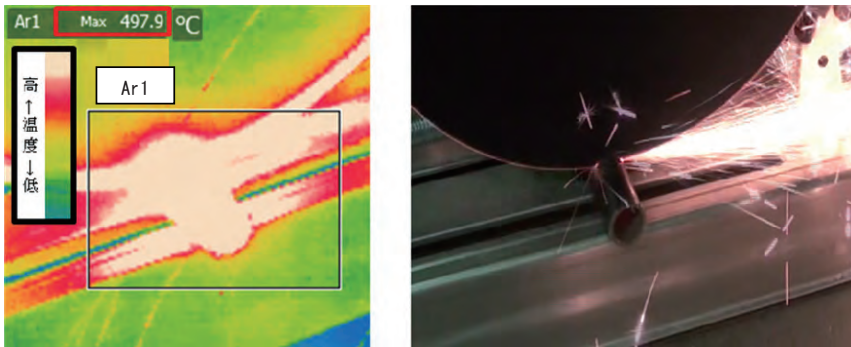


図 4a. 高速切断機による切断時の温度変化

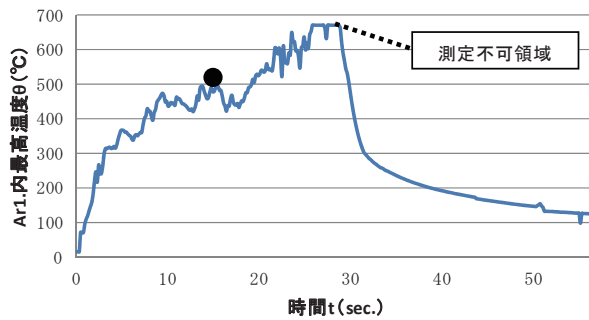


図 4b. 高速切断機による切断時の Ar1. 内 最高温度変化

(3) 直立ボール盤

直立ボール盤による切削(穴あけ)加工の場면을撮影した。得られた映像のある時点における画像を図 5a に、図 5a の Ar1.内の最高温度変化を図 5b に示す。図 5a 中の最高温度は 113.8℃であり、図 5b のグラフ上、黒●点(切断開始後約 5 秒)における状態である。なお、サーモグラフィカメラの測定レンジの関係上、最高温度が 150.2℃を上回る測定が不可能であったため、その間は最高温度が連続した 150.2℃を示している。したがって、最高温度はさらに上昇していることになる。直立ボール盤において、本研究の条件下では、他の結果のような高温に達する現象は確認されなかった。しかしながら、加工直後は 200℃程度まで上昇していることが予測でき、安易な接触には注意しなければならないことが確認された。被削材の材質や大きさ、ドリルの材質等によっては、実験で確認された温度を大きく上回ることが予測できる。

(4) ガス溶接機(溶断)

ガス溶断による切断後の場면을記録した。得られた記録のある時点における画像を図 6a に、図 6a の Ar1.内の最高温度変化を図 6b に示す。本実験は、材料を 50 mm ずつ、3 回にわたって連続して切断を行った。図 6a は、3 回目の溶断後の画像である。図中の最高温度は 677.2℃であり、図 6b のグラフ上、黒●点(切断終了後約 18 秒)における状態である。他の実験結果と異なり、溶断中は吹管のバーナーが最高温度となるため、溶断直後からの温度変化を示している。図より、アセチレンガス溶断機によって 1200℃程度で材料が切断された後、材料は自然冷却されるが、目視では 700℃程度で常温と同様の状態に戻ることが映像から確認された。本切断作業は高速切断機と同様に、切断時には吹管のバーナーの火炎及び、切断に係る火花が確認できるため、目視の状態であってもある程度高温になることは予測がつく。しかし、切断直後の被削材の温度が 1200℃付近であり、材料が十分に温まっているため、他の実験結果と異なり比較的緩やかな温度の減少がみられることに注意しなければならない。また、目視では熱せられた材料の赤褐色の部分は 700℃程度で常温と同様の状態に戻ることが確認され(本研究の条件下では切断後約 15 秒)、目視では高温の状態が把握しにくいことに十分注意する必要性が認められた。

V まとめと今後の課題

本研究では、安全教育に繋がる知見を得るため、教育現場の工作機械を用いた切削加工実習等の場面において、加工時に被削材に発生する熱による温度変化の可視化を試みた。その結果、本研究の条件下で以下の知見を得ることができた。

- 1) 汎用旋盤による切削加工の実験から、冬季で実験室温の低い状態でも、切削加工開始直後より急激な温度の上昇がみられ、切削加工時に被削材及び切屑が 500℃近くまで上昇することが確認された。一方、切削加工終了後 20 秒以上経過しても被削材の表面最高温度は 130℃付近を示しており、加工後の安易な被削材への接触には注意を要することが確認された。
- 2) 高速切断機による切断の実験では、旋盤と異なり切断時には多くの火花が発生するが、切断後に火花が無くなった状態であっても、切断直後の被削材の温度が 670℃を上回っており、一方で目視では材料の赤褐色の部分は瞬時に消え、常温と同様の状態に戻ってしまうことから、切断直後の材料への安易な接触には十分注意しなければならないことを確認した。また

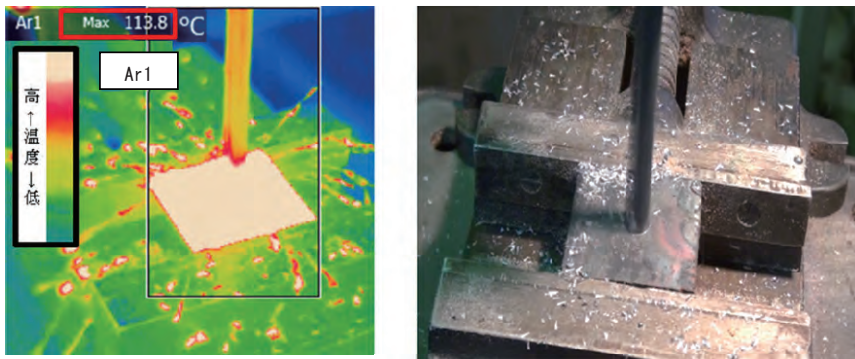


図 5a. 直立ボール盤による切削時の温度変化

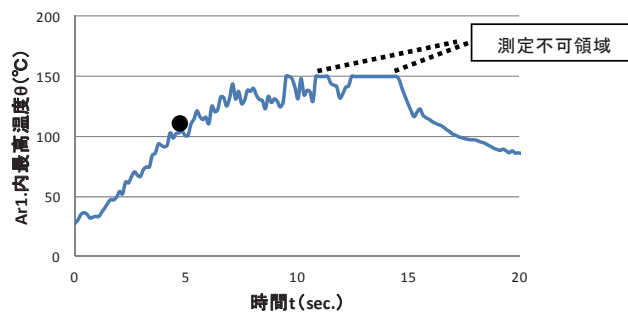


図 5b. 直立ボール盤による切削時の Ar1. 内 最高温度変化



図 6a. ガス溶断機による溶断直後の温度変化

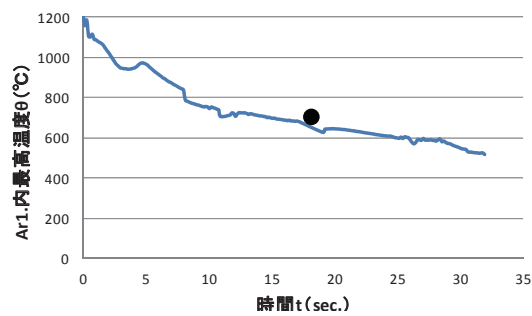


図 6b. ガス溶断直後の Ar1. 内 最高温度変化

切断終了後 20 秒を経過しても材料の温度は 150℃程度あることにも注意が必要であると確認された。

- 3) 直立ボール盤による切削加工の実験では、他の結果のような高温に達する現象は確認されなかった。しかしながら加工直後は 200℃程度まで上昇していることが予測でき、安易な接触には注意しなければならないことを確認した。ただし、被削材の材質や大きさ、ドリルの材質や直径によっては、実験で確認された温度を大きく上回ることが予測できる。
- 4) ガス溶断による切断の実験では、溶断直後からの材料の温度変化を確認した。アセチレンガス溶断機によって 1200℃程度で材料が切断された直後より、材料は自然冷却されるが、目視では 700℃程度で常温と同様の状態に戻ることが確認された。また、材料が十分に温まっているため、他の実験結果と異なり比較的緩やかな温度の減少がみられることに注意を要することが認められた。

今後は、本研究で得られたサーモグラフィカメラによる温度変化の状況を収めた映像を活用し、ビデオカメラ映像と同期させたデジタルコンテンツ等を作成し、火傷による災害への意識を高める教材開発を行なう。その際、実際の教育現場における生徒の反応をもとに、教材の評価を行なうこととする。これらを今後の課題とする。

謝 辞

本論文の執筆にあたり、多くの先生方にご協力を頂きました。特に、大分大学工学部 加藤義隆 先生、同 松岡寛憲 先生、鳥取大学大学院工学研究科 三浦政司 先生、鳥取大学工学部ものづくり教育実践センター 秋山雅彦 氏、同センター 技術専門職員の方々には、懇切なるご指導・ご助言を賜りました。また、実験に際しては、大分大学大学院教育学研究科技術教育専修院生の戸島洋一 氏、松山直弘 氏、竹村淳 氏、中尾翔太郎 氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して、心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領技術・家庭編 (2008)
- 2) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説工業編 (2010)
- 3) 田口浩継，大迫靖雄：技術科教育関連施設・設備と安全性，熊本大学教育実践研究，第 15 号，pp.63-69 (1998)
- 4) 川口利夫：労働災害に対する安全教育の指導法，第 20 回工業教育全国研究大会(日本工業技術教育学会)資料，pp.57-58 (2010)
- 5) 大阪府教育センター 教育課程開発部 情報・技術研究室，工業科の実習における「危険予知訓練」デジタル教材の開発，平成 24 年度大阪府教育センター研究抄録集，pp.11-12 (2013)
- 6) C. Rousseau : Perception des risques d'accidents sur machines-outils, *Hygiene et securite du travail*(Institut National de Recherche et de Securite, France), Vol.182, pp.73-80 (2001)
- 7) 厚生労働省・都道府県労働局 労働基準監督署：金属加工作業におけるリスクアセスメントのすすめ方，全 23p. (2008)
- 8) 武田薬品工業：やけど 日常生活から考えられる原因 1.火や熱湯などとの接触，

http://takeda-kenko.jp/navi/navi.php?key=yakedo_hifuzen (2014.5.23)

- 9) 萱場孝雄・加藤康司：機械工作概論，理工学社，p.34 (1999)
- 10) 中山和雄：切削加工論，コロナ社，p.86 (1978)
- 11) 日本機械学会：機械工学便覧，B-2，p.121 (1998)
- 12) 小林輝夫，水沢昭三：旋盤作業の実技，理工学社，p.27 (1997)
- 13) 坂之上悦典，奥村正悟：MDF 切削における刃先温度の測定，京都府中小企業総合センター紀要，第 27 巻，pp.57-62 (1999)

Visualization of Temperature Change in Cutting Operations

—Basic Study for Safety Education and Training—

SHIMADA, Kazunori

Abstract

The purpose of this study is to visualize temperature change in the cutting operations. We conducted an experiment with cutting operations by using an infrared thermo-camera (FLIR Systems Inc.). We used machine tools for the experiment, including a lathe, cutting saws, a drilling machine and a gas welding and cutting machine. We also used “rolled steels for general structure (SS400)” and “carbon steel tubes for machine structural purposes (STKM13A)” as work materials. As the result of this, we found that the surface of work materials rose to 500 degrees Celsius at the time of cutting. On the other hand, we found that the heated materials look the same as materials at normal temperature at 700 degrees under the temperature in the experiment of gas welding and cutting. Therefore, we could obtain useful findings for safety education and training.

【Key words】 Cutting Operation, Metallic Materials, Active Study, Temperature of the Work Materials, Safety Education