

〈第41回山崎賞 児童・生徒の部優良賞〉

ひずむと熱が発生する？イオの火山の不思議

静岡大学教育学部附属浜松中学校

2年 柴田千歳

1 動機

私は宇宙が好きだ。以前「宇宙人が存在する可能性のある太陽系内の惑星・衛星」について調べた際、木星の衛星のイオという星がその候補に上がった。イオでは火山活動が活発なので、生物をつくる材料となるアミノ酸などが作られている可能性がある。火山活動が活発な理由は、イオの地殻が金属鉄できていて、木星の引力の変化によって、その部分にひずみが繰り返し起こり、火山のマグマとなる熱が発生しているからだ。

(1)(2) 私はそれを知って「金属がひずむと熱が発生する」ということに興味を持ち、4年間研究を続けている。実験方法に工夫を重ねることで、1年目は89.1℃、2年目は134.4℃、3年目は174.0℃温度を上昇させることができた。今年はそれを超えられるように頑張った。

2 目的

さらに高い温度を出すために熱の散逸を防ぐことを目的とし、様々な実験方法の工夫を行う。また、熱とは何かをより深く知る。そのために金属の温度の上がり方や折れるまでの時間の違いを、曲げ伸ばしをする際の仕事量に注目して考える。

3 準備物

- 温度計（熱電対とデータロガー） ●フォースゲージ ●万力 ●バイスプライヤー
- メトロノーム ●アルミテープ ●ハサミ ●ノギス ●名前ペン ●ゴム手袋 ●ヒノキ材
- 金折(35mm×90mm×40mm：曲げ伸ばしの角度をそろえる用)
- 金属材…板(縦：100mm 横：20mm 厚さ：2mm) ・SUS304・SUS430

形状	サイズ
	くびれ部分 幅9mm
	くびれ部分 幅12mm
	くびれ部分 幅15mm

図1 金属の形状

表1 材質ごとの熱伝導率⁽³⁾⁽⁴⁾

材質	熱伝導率[W/m・k]
SUS304	16.7
SUS430	26.4
ヒノキ	0.09～0.12
空気	0.02

4 実験方法

(1) 温度の測定方法

- ア 万力と金折で板の下から 3cm の部分を挟む。
- イ くびれ部分にアルミテープでセンサーを貼る。
- ウ 上から 2cm のところにバイスプライヤーをつける。
- エ 室温を測定するために、もう一つのセンサーを机に取り付ける。
- オ 温度計のスタートスイッチを押し、測定を開始してから 5 秒待つ。
- カ 板が折れるまで、材料の曲げ伸ばしを続ける。



図2 曲げている様子



図3 伸ばしている様子

(2) 力の測定方法

- ア バイスプライヤーを逆さまにつけ、針金を巻く。
- イ 針金にフォースゲージをかけ、地面に水平になるように持つ。
- ウ 曲げるときと伸ばすときの 3 往復分、仕事量を測定する。
(一番傾いた時の値を取る)



図4 曲げている様子



図5 伸ばしている様子

5 測定 1

(1) 目的

- 金属を、ピンポイントで力を与えられるような構造にして、力の分散を防ぐ。
- 万力・バイスプライヤーでつかむ面積を広くし、軽く曲げ伸ばしを行えるようにする。

(2) 方法

- 万力にくびれのある金属の板を挟み、90[回/分]で曲げ伸ばしを行う。
- 全ての板で、1 回ずつ測定を行う。

(3) 予想

- ア 昨年度よりも温度上昇が大きくなる。
- イ 昨年度よりも曲げ伸ばしが楽になる。
- ウ 金属の曲げる部分の大きさと折れるまでに必要な仕事量は比例する。

(4) 結果

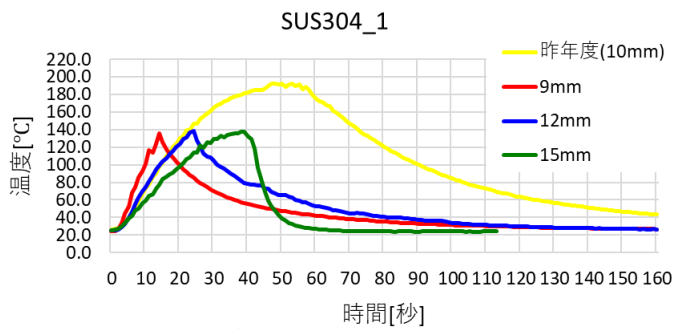


図6 温度の変化 (SUS304 測定1)

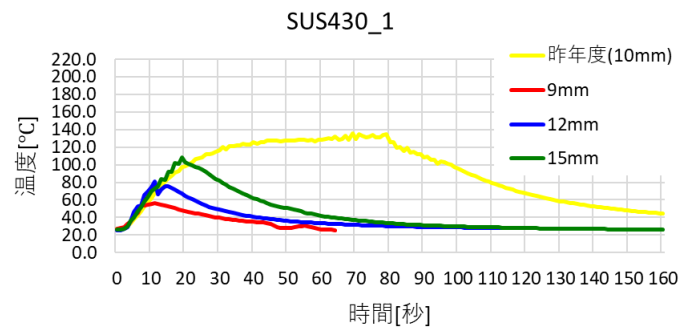


図7 温度の変化 (SUS430 測定1)

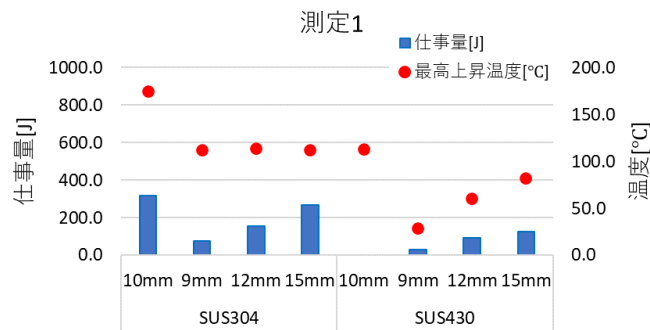


図8 仕事量と温度の関係 (測定1)

(5) 考察

予想Aに対する答え

…昨年度よりも温度上昇が小さくなった。

熱の散逸が増えてしまったからだと考えられる。

昨年度に比べて金属の表面積が大きくなったこと、板に触れる金属(万力)の面積が大きくなってしまったことが原因だと考える。

・SUS304の今年の結果では、板のくびれの幅が違っても関わらず折れた時の温度がほぼ同じであった。

➡板の体積が増えるほど放熱が大きくなるため、くびれの幅が広い金属ほど温度が高くなりにくかったからだと考えた。

予想イに対する答え…昨年度よりも曲げ伸ばしが楽になった。

形状が変わりつかむ部分の面積が大きくなり、安定して動かすことができるようになった。また万力も新しくなり、机へ強く固定でき板も強くつかめるようになったことも要因であると考えられる。

予想ウに対する答え…くびれの部分の幅が広いほど折れるまでに加えた仕事量は大きくなった。

力を加える部分の幅が広いということは、その部分の原子の量が多いといえる。原子の量が多いほどそれを断ち切るため必要な仕事量は大きくなると考えられる。

表2 板の形状と体積・万力との接触面積の関係

板の形状	金属の体積 (mm ³)	万力との 接触面積(cm ²)
昨年度 100mm×10mm×2mm	2000mm ³	1.8cm ²
くびれの幅が9mm	約3602mm ³	3.6cm ²
くびれの幅が12mm	約3670mm ³	
くびれの幅が15mm	約3702mm ³	

6 測定2

(1) 目的

これまでの熱伝導率の高いものに接した状態で測定を行っていて熱が逃げていたため、周りを熱伝導率の低いものにし、熱の散逸を防ぐ。

(2) 方法

万力で挟んだヒノキ材の間にくびれのある板を挟み、90[回/分]で曲げ伸ばしを行う。
すべての板で、2回ずつ測定を行う。

(3) 予想

- ア 測定1よりも温度上昇が大きくなる
- イ 折れるまでに必要な仕事量は変わらない

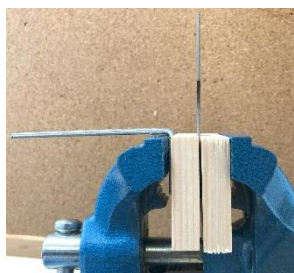


図9 装置の工夫 (写真)

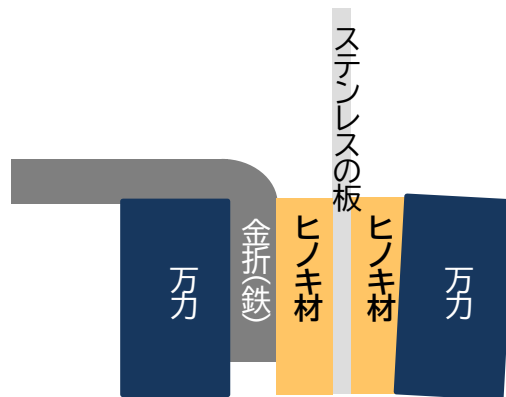


図10 装置の工夫 (詳細)

(4) 結果

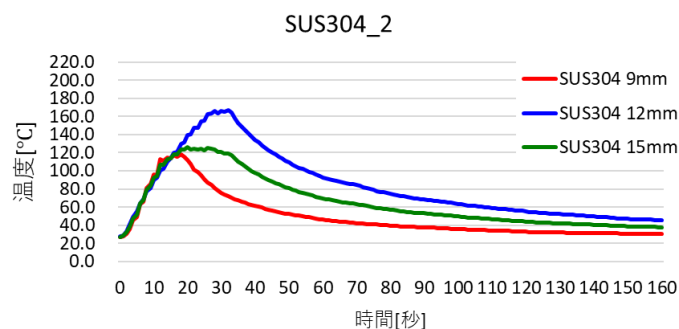


図11 温度の変化 (SUS304 測定2)

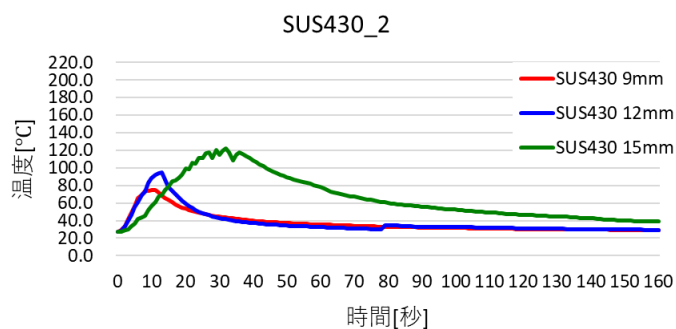


図12 温度の変化 (SUS430 測定2)

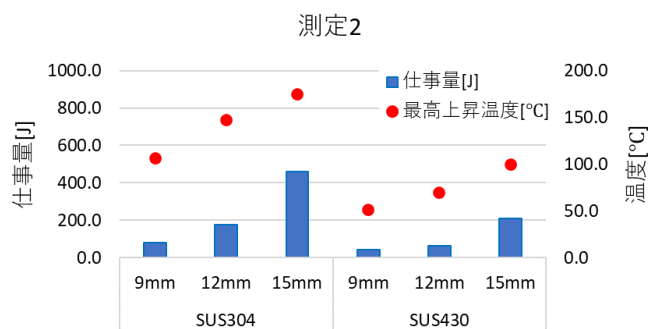


図13 仕事量と温度の関係 (測定2)

(5) 考察

予想1に対する答え…木を挟んでいなかった時(測定1)よりも温度上昇が大きくなった。

木は金属に比べて熱伝導率が100分の1とかなり低く、熱の散逸を防ぐことができたからと考えられる。

予想2に対する答え…測定1の時と比べた折れるまでの仕事量は、SUS304もSUS430も9mm, 12mmの上がり幅に比べて15mmだけ圧倒的に大きくなった。

一定量の金属の板により、それを折るのに必要な仕事量は決まっていると考えていたため、折れるまでの仕事量はくびれの幅に比例すると予想していた。しかし、くびれの幅が太いものになると、曲げ伸ばしの際にねじれたり木が削れていったりしてしまった。そのため、ピンポイントに力をかけ続けられず折れるまでの時間が長くなってしまったことが原因だと考える。

7 測定3

(1) 目的

熱が逃げてしまう時間をより短くするために、曲げ伸ばしのスピードを速くする。

(2) 方法

万力で挟んだヒノキ材の間にくびれのある板を挟み、150[回/分]で曲げ伸ばしを行う。

すべての板で、2回ずつ測定を行う。

(3) 予想

ア 測定2よりも温度上昇が大きくなる

イ 折れるまでの時間が短くなり、折れるまでに加えた力はほかの測定の時と等しくなる。

(4) 結果

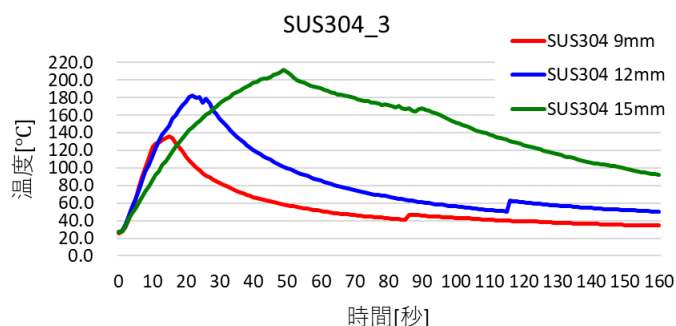


図14 温度の変化 (SUS304 測定3)

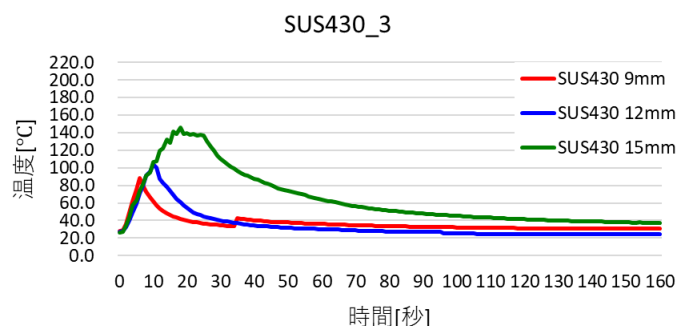


図15 温度の変化 (SUS430 測定3)

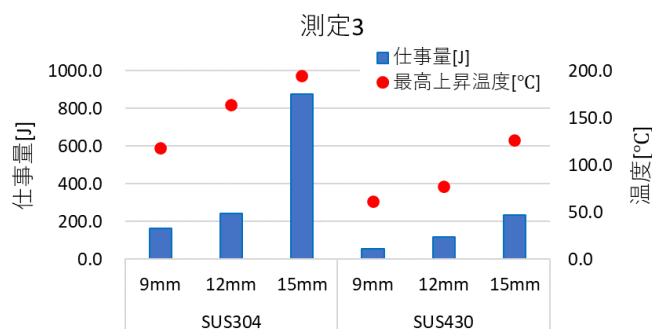


図16 仕事量と温度の関係 (測定3)

(5) 考察

予想1に対する答え：測定2の時に比べて全体的に温度上昇が大きくなった。

特にくびれの幅が広いものほど上がり幅が大きかった。曲げ伸ばしの速度を速くしたことにより、熱が逃げてしまう時間が短くなったと考えられる。

予想2に対する答え：ほとんどの金属で、折れるまでの仕事量は測定2の時とほぼ同じだった。

その金属を折るために必要な力は、曲げ方を変えても同じはずである。多くの板はそうになっていたが、SUS304のくびれの幅が15mmの板だけ、加えた仕事量が他の測定の時と比べてとびぬけて大きくなってしまっている。それは、測定ごとによる力の加わり方などのぶれだと考えられる。

・測定3の実験では、測定ごとによる折れるまでの時間や最高温度にばらつきが出てしまった。

→速くすることで時々テンポに追いつけなくなったり、曲げ伸ばしの角度がぶれてしまったりしたためと考えられる。

8 結果のまとめ

1番温度上昇が大きくなった測定は、SUS304のくびれの幅が15mmの金属の板を測定3で曲げ伸ばしをした時で、平均194.8℃だった。1番温度上昇が小さくなった測定は、SUS430のくびれの幅が9mmの金属の板を測定1で曲げ伸ばしをした時で、平均28.9℃だった。今回行った装置・方法の工夫により昨年度までより温度が高くなった。

温度が高くなった順に並べると、以下のようになった。

【材質】SUS304>SUS430 【くびれの幅】15mm>12mm>9mm 【測定】測定3>測定2>測定1

予想通り、n値が高く、くびれの幅が広く、木を挟んで速い速度で曲げ伸ばしをしたものが一番温度上昇が大きくなることが分かった。

表3 SUS304 測定ごとの最高上昇温度(各測定の平均)

SUS304	9mm	12mm	15mm
測定1	111.4℃	113.7℃	111.5℃
測定2	105.9℃	147.0℃	174.9℃
測定3	118.1℃	163.7℃	194.8℃

表4 SUS430 測定ごとの最高上昇温度(各測定の平均)

SUS430	9mm	12mm	15mm
測定1	28.7℃	60.5℃	81.7℃
測定2	51.0℃	69.8℃	99.9℃
測定3	61.0℃	76.8℃	126.5℃

9 全体の考察

- ・木を挟んだ方が、温度上昇が大きくなりやすく、温度の下がり方が緩やかになる
- ・折れるまでに加えた力と温度上昇の関係

SUS304：どの形状でもくびれ部分の幅が広いほど最高温度になるまでの時間は長くなった。

SUS430：くびれ部分の幅が広いほど折れるまでの時間が長く、どの測定でも温度上昇のグラフの傾きは同じくらいだった。

以上が今年の結果からの考察である。それを踏まえて、熱の伝わり方と逃げ方について考えた。(次ページ)

そもそも熱とは、熱運動の運動エネルギーのことをいう。分子が激しく運動しているほど高温ということになる。熱の伝わり方には3種類がある。

伝導：分子同士が衝突することにより、エネルギーが高い方から低い方へ移動するしくみ。

対流：伝導により熱をもらった液体や気体の分子が低いところから高いところに移動することで循環し、全体に熱が伝わるしくみ。

放射：空間に伝わる赤外線などの電磁波を吸収し、分子の運動が活発になるというしくみ。

熱が高温のものから低温のものに伝わることを熱力学第2法則という。⁽⁵⁾

まずは、熱が逃げるときの様子について考えてみる。



図17 金属板の内部の
熱の伝導の様子(イメージ)

金属板を中心部分で曲げ伸ばしをしているため、熱伝導により発生した熱は、図17のように中心部から外側に広がっていく。



図18 金属に接触している金属の
熱の伝わり方(イメージ)

昨年までの実験で使用していたように万力やバイスプ라이어などで金属部分の体積を増やすと、万力やバイスプ라이어を使用していないときに比べて図18のように熱が逃げる範囲が広くなり、熱が広がってしまう。



図19 木に接触している金属の
熱の伝わり方(イメージ)

今回の実験のように木で挟むと、木は熱伝導率が低いため木に熱が伝わりにくく、曲げ伸ばしで発生した熱エネルギーが図19のように金属にたまってしまう。すると金属と接触している時に比べて温度が高くなる。

次に、熱が伝わる時の様子について考えてみる。

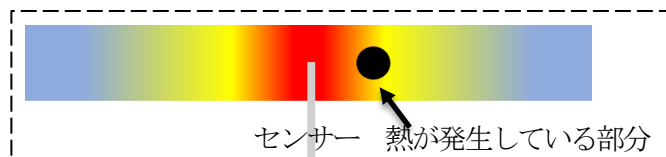


図20 SUS304の熱の伝わり方(イメージ)

熱伝導率が低いSUS304では図20のように、熱が発生した場所からセンサーまでたどり着くのが遅いため、その間に空気に逃げてしまう熱が多くなると考えた。

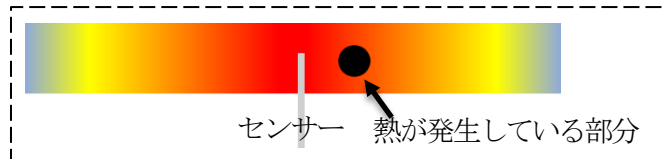


図21 SUS430の熱の伝わり方(イメージ)

一方、熱伝導率の高いSUS430では、熱が発生した場所からセンサーにたどり着くまでが速いため、その間に逃げてしまう熱が少ない。また、どの形状でも熱がセンサーにより感知されるまでの時間がほとんど同じになる。

しかし、外側に常に逃げ続ける熱はSUS430の方が多くなるので、センサー部分の温度の下がり方を見るとSUS430の方が急になる。上記のような理由から、熱伝導率が高い方が温度の上がり下がりが急になるということが言える。

10 今後の方針

(1) 温度を高くするために

- ・今回は万力側だけに木を付けたので、バイスプライヤー側にも木をつけ、さらに熱の散逸をふせげるようにしたい。
- ・もっと速く、そして大きい角度で曲げ伸ばしできるように、私自身の筋力と体力をつけたい。
- ・曲げ伸ばしを速くすることでその日の気分や元気さによってデータにばらつきが出てしまったので、もっと楽な方法で温度を上げていけるように安定して曲げ伸ばしのできる装置や、自動で動く装置を考えたい。

(2) 熱伝導について理解を深めるために

- ・今回は、測定が終わった後のセンサーの場所が測定ごとに変わってしまい、温度の下がり方を安定して測れなかったため、それを防ぎたい。
- ・アイロンなどを用いて曲げ伸ばしをせずに熱を上げることで、熱の変化をより正確に測りたい。

(3) 金属の疲労について理解を深めるために

- ・測定方法の種類やデータ数を増やしたい。
- ・伸び縮みだけでなく、ねじりや曲げ伸ばしなど動かし方を試し、力のかけ方による違いについて調べたい。
- ・金属の疲労に関する知識をもっとつける。特に、降伏点など今回出てきた部分は理解したい。

11 感想

まずは、長時間猛スピードで曲げ伸ばしをするのは大変だったけれど、194.8℃と、これまでの中で一番温度上昇が大きくなって嬉しかった。また、考察ではこれまで知らなかった定義が次々と出てきて、それらを理解するのは苦労したが、自分なりにそれがどういうことなのか分かって良かった。

最初は、ひずむと本当に熱が発生するの？という単純な疑問から始まった研究だが、力や熱など様々な分野に広がっていき、自分でもびっくりしている。これからは少しずつ深める分野を絞っていく必要性を感じている。金属の加工は熱が出ないように工夫しながら行っている。また、機械を作る際には金属が疲労しにくいように工夫をしている。金属はいまや希少な資源となりつつある。今回の研究の中でこれらのことを知った。私の研究も、このような一般的な知見に繋がるように、頑張っていきたい。

12 参考文献

- (1) 宮本英昭・橘省吾・平田成・杉田精司 「惑星地質学」東京大学出版会 2008年1月23日 , p199
- (2) 坂井宏先 「ポプラディア大図鑑 WONDA 宇宙」株式会社ポプラ社 2013年11月 , p132
- (3) ステンレス協会 「ステンレス鋼データブック」日刊工業新聞社
2000年2月2日 , p122,126,501-表1.9
- (4) 福江純・福江翼・福江慧 「物理学図鑑」 旺文社 2021年12月20日 , p125-129
- (5) 池内 了「身近な自然現象大研究」 PHP 研究所 2023年12月21日 , p24-25
- (6) 日本金属学会編 「金属データブック改訂4版」 丸善 2004年 , p144-145, 376
- (7) 鎌田正裕・中西史 「くわしい中3理科」 文英堂 2021年 , p156, 166
- (8) 徳田昌則 「構造、状態、磁性、資源からわかる金属の化学」株式会社ナツメ社
2012年1月8日 , p56-P63
- (9) 酒井達雄 「図解入門よくわかる 最新金属疲労基本としくみ」 秀和システム , 2011年6月