福岡教育大学紀要，第66号，第３分冊，31−38（2017）

手挽き鋸を用いた木材の切断における鋸屑の生成・排出過程の観察

Observation of generation and exhaust process of sawdust in wood cutting by using hand saw

大　内　　　毅　　　山　下　徹　朗

Takeshi OHUCHI　　Tetsurou YAMASHITA

技術教育講座　　久留米市立荘島小学校

（平成28年９月30日受理）

Abstract

In this study, the wooden-specimen assumed in cutting was prepared, and the generation and exhaust process of sawdust in wood cutting by using hand saw were observed with a high-speed camera. In addition, the effects of difference of saw angle and kinds of trees on the shape and the generation and exhaust process of sawdust were examined. The main results obtained are summarized as follows:

It was found that the generation and exhaust process of sawdust in wood cutting could be observed with a high-speed camera by using wooden-specimen which assumed in cutting with hand saw. The shape of sawdust was almost unaffected by the difference of saw angle and was affected by the kinds of trees. From these observations under various conditions, it was clear that the vibration of hand saw of the vertical direction for wood surface was caused. This vibration was considered to be occurred when the saw edge touched from early wood to late wood. In the practice of wood cutting with hand saw by using the image of the generation and exhaust process of sawdust photographed with a high-speed camera, it was suggested to be promised the effect of visual education.

概　要

切断中を想定した木材を準備して，手挽き鋸による木材の切断中における鋸屑の生成・排出過程を高速度カメラを用いて観察し，挽き込み角や樹種の違いが鋸屑の形状，および生成・排出に及ぼす影響について検討した。その結果，本実験条件範囲内においては，手挽き鋸による切断を想定した木材を用いることによって，木材内部における鋸屑の生成・排出過程を高速度カメラによって観察できることが明らかとなった。鋸屑の形状は，挽き込み角の影響はほとんど受けず，樹種によって形状が異なることが明らかとなった。各種条件下における観察結果より，鋸が材表面に対して垂直方向に振動していることが明らかとなった。このことは，刃先が柔らかい早材から硬い晩材に触れる際に，僅かに逃げることによって生じているものと推察された。高速度カメラで撮影した鋸屑の生成・排出過程の画像を鋸挽き学習に導入した場合，視覚的な教育効果が期待できることが示唆された。

1. はじめに

一般的に，学校教育現場における手挽き鋸を用いた木材の切断に関する学習内容は，主に鋸の各部名称，刃先形状の観察，および安全な使い方が中心となっている。また，効率的で安全な鋸挽きの方法を究明する目的から，鋸挽き作業における動作分析[1]が多く行われており，効率の良い姿勢や最適な作業台の高さが身長別で検討されている。さらに，二次元動作解析で得られる画像が鋸挽き技能学習に及ぼす影響を調べており，その結果，鋸挽きのストロークが改善され，挽き込み角に注意して作業する生徒が増えたことが報告されている[2]。

しかし，これらの研究は，鋸挽きの作業について分析した結果であり，加工精度を改善するために必要となる鋸屑の生成・排出過程については，これまでほとんど検討が行われていないのが実情である。このことは，切断中に鋸屑が木材内部で高速に生成・排出されるため，この過程を捉えることが困難であったことが要因として考えられる。また，中学校技術科の教科書[3) 4)]や映像教材においても鋸屑について説明されているが，それは木材表面上の切断に限った場合であり，実際の木材内部における切断中の鋸挽きの挙動とは異なっている。

そこで本研究では，手挽き鋸を用いた木材の切断中における鋸屑の生成・排出過程を観察することを主な目的として，切断中を想定した試験体を準備し，高速度カメラで鋸屑の生成・排出過程を撮影して，挽き込み角や樹種の違いが鋸屑の形状，および生成・排出に及ぼす影響について検討した。また，鋸屑の生成・排出の様子を視聴覚教材として鋸挽き学習に導入することによって，どのような教育効果が期待できるかを考察したので，併せて報告する。

2. 実　験

2. 1　供試工具と被削材

供試工具は，図１に示すように，学校教育現場で一般的に使用されているＴ社製の両刃鋸（刃渡り 215 mm，柄の長さ 270 mm，刃数 63 枚（縦挽き），132 枚（横挽き））を用いた。図２に示すように，縦挽き用の刃

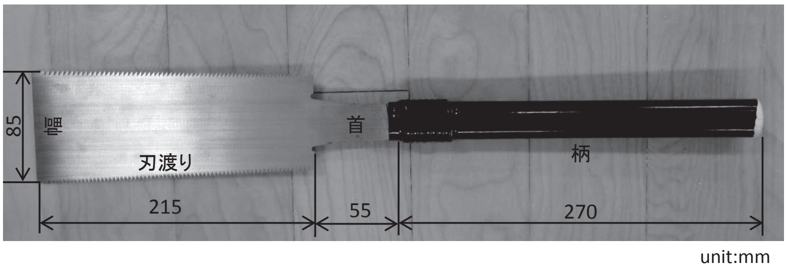

図１　両刃鋸の概略図

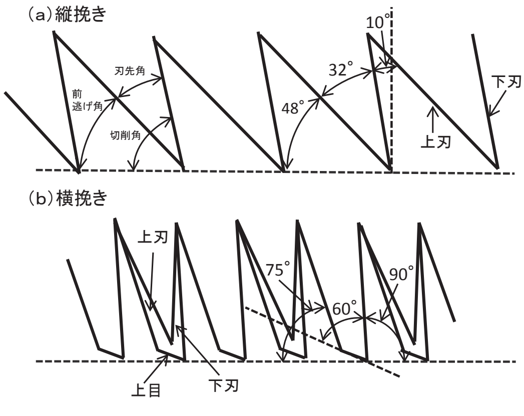

図２　刃先の概要

の刃先角は32°，切削角は80°，同様に横挽きでは60°，90°である。工具材種は炭素工具鋼であり，鋸身の厚さは平均0.45 mm，あさり幅は縦挽きで平均0.50 mm，横挽きで平均0.80 mmである。

被削材には，アカマツ（平均密度0.48g/cm^3，平均含水率7.7%），米ヒバ（平均密度0.47g/cm^3，平均含水率7.8%），およびラワン（平均密度0.49g/cm^3，平均含水率8.9%）を準備して，厚さ30 mmに調整して後述する実験に供した。

2. 2　観察方法

鋸挽きの観察においては，鋸屑の生成・排出される過程が高速であるため，その速度に対応した高速度カメラを用いて切断中における木材内部の鋸の挙動を撮影する必要があった。そこで，まず本実験で設定する挽き込み角に対応した約2 mmの幅の挽き溝をベルトサンダーと木工ヤスリを用いて被削材に施して観察用試験体を作製し，その挽き溝上で鋸を用いて切断している様子を観察することにした。また，鋸が溝から落ちないように，厚さ1.5 mmの透明のアクリル板をガイドとして取り付けた。図3に，観察用試験体の概略図を示す。なお，ここでの挽き込み角とは，挽き溝と材表面とでなす角度を意味している。

観察では，図4に示すように切断面と高速度カメラのレンズが平行になるように設置し，その距離を100 mmに設定して，切断中の鋸の刃先の様子を撮影した。高速度カメラの撮影条件は，予備的試験を行った結果，画素数を320 × 240dpi，撮影スピードを4700fpsに設定して撮影を行った。実際の撮影では，部屋をできるだけ暗くして，刃先部分のみを専用ライトで照らして撮影を行った。また，高速度カメラによって撮影された画像は，図5に示すようにパーソナルコンピュータに保存した後，動画解析ソフトを用いて様々な条件に

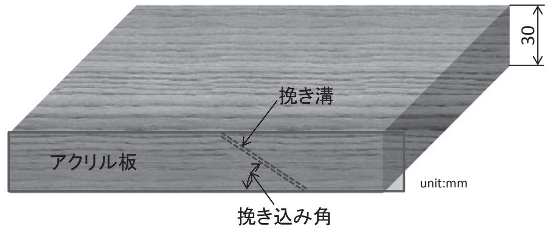

図3　観察用試験体の概略図

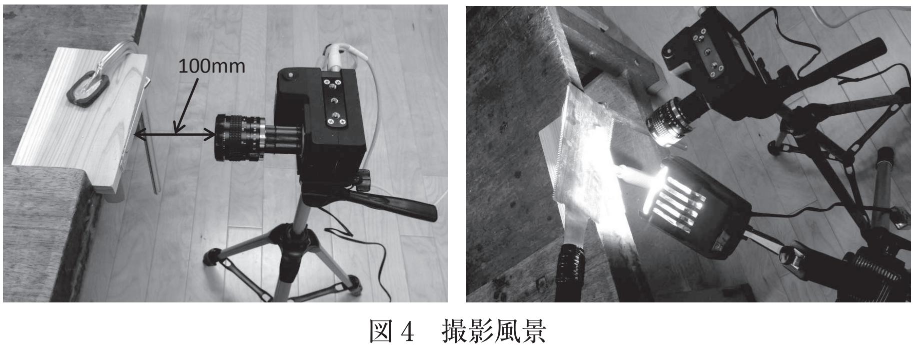

図4　撮影風景

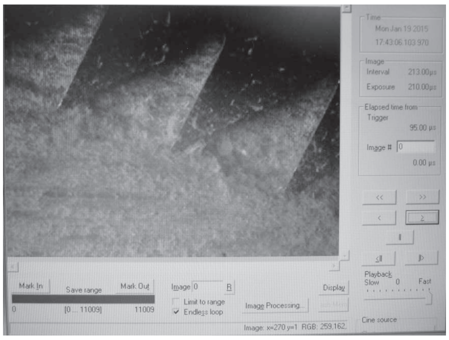
図5　動画解析の様子

対応した鋸屑の生成・排出過程を分析した。最終的には，鋸挽きが安定している中で，手前に挽く１ストローク分の画像を中心に分析した。

なお，本実験での被験者は，ある程度鋸挽き技能を習得しているＹ氏１人によって，一定の切断スピードを保ちながら，挽き込み角を15°，30°，45°の３段階に設定して，縦挽き，横挽きをそれぞれ行った。

3. 結果と考察

3. 1　鋸屑の形状

結果の一例として，図６に各挽き込み角におけるラワンで生成・排出された鋸屑を示す。同図より，縦挽き，横挽きともに，挽き込み角の違いによる影響はほとんど認められなかった。また，縦挽きと横挽きの鋸屑を比較すると形状が大きく異なり，縦挽きでは繊維状，横挽きでは小片状になっていることが明らかとなった。このことは，繊維の間に食い込んで繊維を切り離す縦挽きと，繊維を横断して刃先の上目を効かせて切る横挽きの違いに起因する。なお，アカマツ，米ヒバにおいても同様の傾向が認められた。

図７に，各樹種における鋸屑の大きさを示す。ここでの鋸屑の大きさとは，前述した各条件における鋸屑写真よりランダムに10個の鋸屑を抽出して，画像解析ソフトによって近似的な直方体に鋸屑自体を見立て

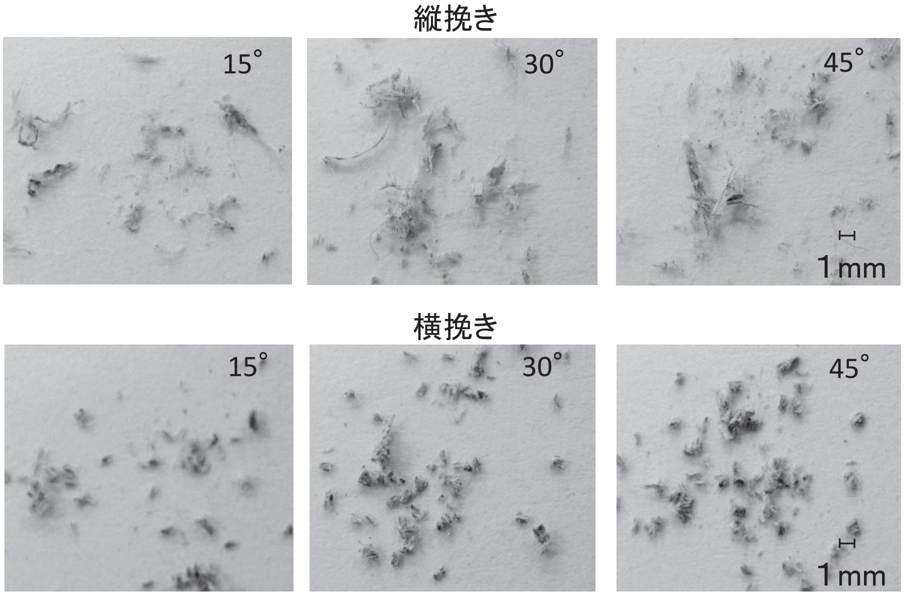

図６　鋸屑の形状（ラワン）

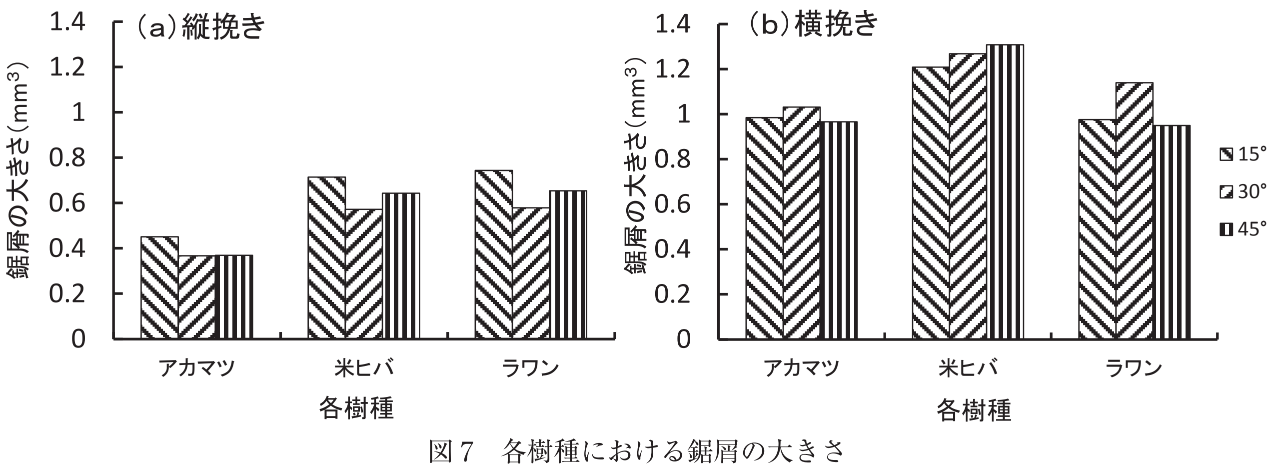

図７　各樹種における鋸屑の大きさ

て算出した値を意味しており，同図にはその平均値を示している。これより，二次元的には縦挽きの鋸屑の方が繊維状で大きく感じられるが，立体的に三次元で数値化すると，本実験条件範囲内では縦挽きよりも横挽きの方が大きいことが明らかとなった。横挽きの鋸屑には小片状の屑が多く，それが立方体に近い形状に見立てられたことが影響したと考えられる。また，挽き込み角の影響はほとんど認められず，樹種によっては大きさが異なり，本実験では米ヒバが一番大きな値を示した。このことは，樹種間における年輪幅や組織構造などの違いが影響したものと推察される。

3. 2　鋸屑の生成・排出過程の観察

図 8 に結果の一例として，アカマツで引き込み角が 15° の場合における切断中の鋸刃の画像を示す。同図中の点線が挽き溝になっており，縦挽きでは繊維状の鋸屑が刃先で生成された後，刃先にまとわりつくように排出されているのが確認できる。一方，横挽きでは，細かい小片状の鋸屑が生成されていることが確認されたが，排出については縦挽きと傾向が大きく異なる場合があることも明らかとなった。なお，それ以外で多くの鋸屑が見られるが，これはアクリル板と鋸身の間のスペースに鋸屑が詰まった状態であり，今後の観察において，これらを除去することが課題となる。

図 9 に，横挽きにおける鋸屑の排出結果の一例を示す。同図は，ラワンで挽き込み角が 15° の場合における横挽き切断中の鋸刃の連続画像を示している。これより，生成された小片状の鋸屑が，歯室間を転がり抜け，鋸の進行方向とは逆方向に落ちていくことが明らかとなった。このことは，鋸の刃先が左右に振られてできているあさりが影響しているものと考えられ，鋸屑が転がる際に，そのスペースを転がって落ちるものと推察される。一般的には，鋸屑は歯室に貯まり，それが鋸を挽いて鋸が材表面に出た際に，あるいは鋸を戻して材裏面に出た際に排出されると考えられる。しかし，本実験においては，特に横挽きの場合，鋸を手前に挽いている間でも，一部の小片状の鋸屑が材裏面側に転がり落ちることによって排出されていることが明らかとなった。

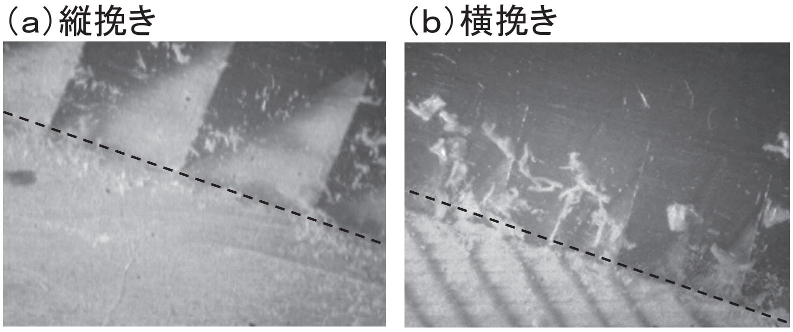

図 8　鋸屑の生成・排出の様子

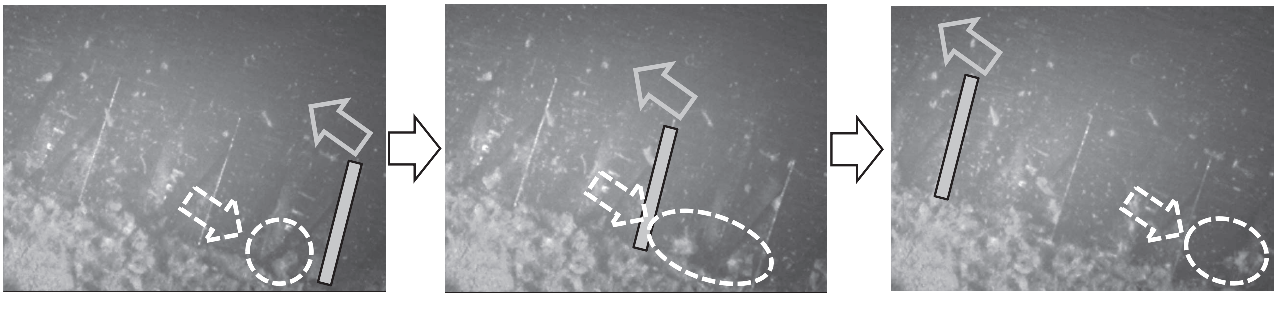

図 9　ラワンにおける鋸屑の生成・排出の様子（15° 横挽き）

3. 3　切断中における鋸の振幅

鋸を挽く際に，鋸が材表面に対して垂直方向に周期的に振れている様子が観察された。図 10 に，その結果の一例として，アカマツで挽き込み角 15° の場合における縦挽きの切断中の鋸刃の画像を示す。同図より，刃先が比較的柔らかい早材から硬い晩材に触れる際に，刃先が僅かに垂直方向に逃げていることが確認できる。切断中は，刃先が早晩材に繰り返し触れることから，周期的に逃げることになり，結果的に振動が生じることになったと推察される。そこで，この刃先の振動に着目して画像解析を以下のように行った。まず，刃先から 5 mm の位置に刃先線と平行となる基準線を設定し，その基準線から切断中における刃先との最大，最小距離をそれぞれ計測し，その差を最大振幅として切断中の振動を評価した。図 11 に，その結果を示す。同図は，切断中における最大振幅を樹種別に示している。これより，いずれの樹種においても，挽き込み角が小さくなるほど，最大振幅が大きくなる傾向を示した。また，最大振幅は横挽きより縦挽きの方が大きな値を示し，いずれの条件においてもアカマツが一番大きな値を示した。挽き込み角については，角度が小さくなることで，挽き溝に含まれる早晩材の繰り返し数（年輪）が多くなることが影響したものと考えられる。縦挽きが大きくなったことは，刃先の形状が横挽きよりも縦挽きの方が大きく，刃先間距離（ピッチ）も大きいことが影響したものと推察される。また，アカマツが大きな値を示す傾向は，先述の鋸屑の大きさ（図 7）で米ヒバが比較的に大きな値を示す傾向とは異なる結果となった。そこで，振動の影響を検討するために，最大振幅と鋸屑の大きさの関係について検討した。図 12 に，その結果を示す。同図に示すように，いずれの場合においても，両者の間に相関性はほとんど認められなかった。このことから，切断中に生じる鋸の振動は，鋸屑形状にほとんど影響を及ぼさないレベルであり，むしろ木材そのものの物理的性質によって支配されている可能性が示唆された。

次に，振動の要因として考えられた晩材の影響を検討するために，アカマツと米ヒバにおける最大振幅と晩材率の関係について検討した。図 13 に，その結果を示す。ここでの晩材率とは，1 年輪内に含まれる晩材の割合を意味している。同図に示すように，多少のバラつきがあるものの，いずれの場合においても晩材

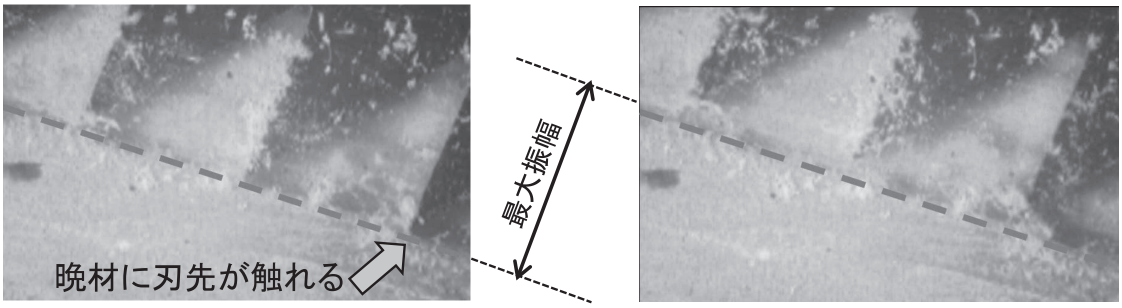

図 10　アカマツにおける切断中の鋸の様子（15° 縦挽き）

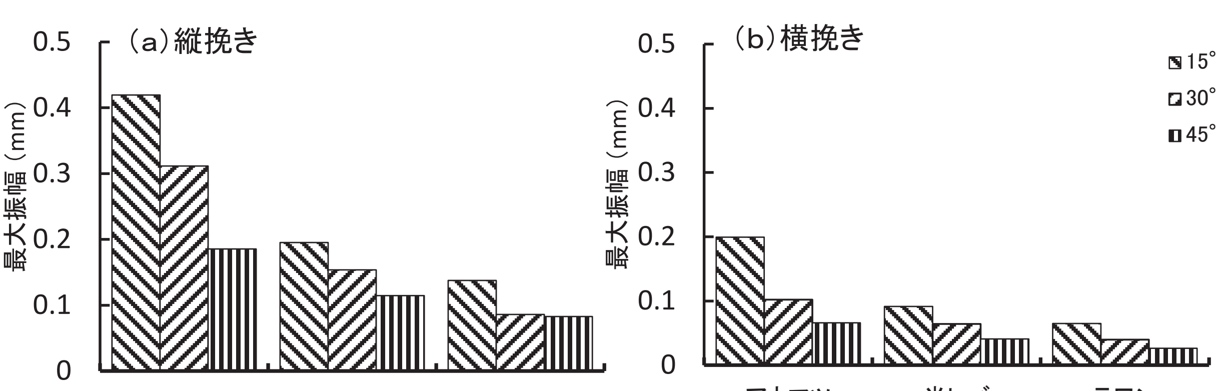

図 11　各樹種の切断中における鋸の最大振幅

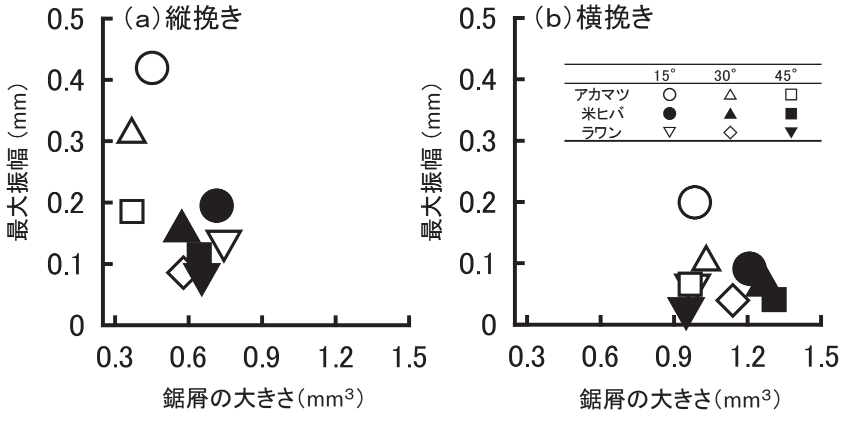

図 12　最大振幅と鋸屑形状の関係

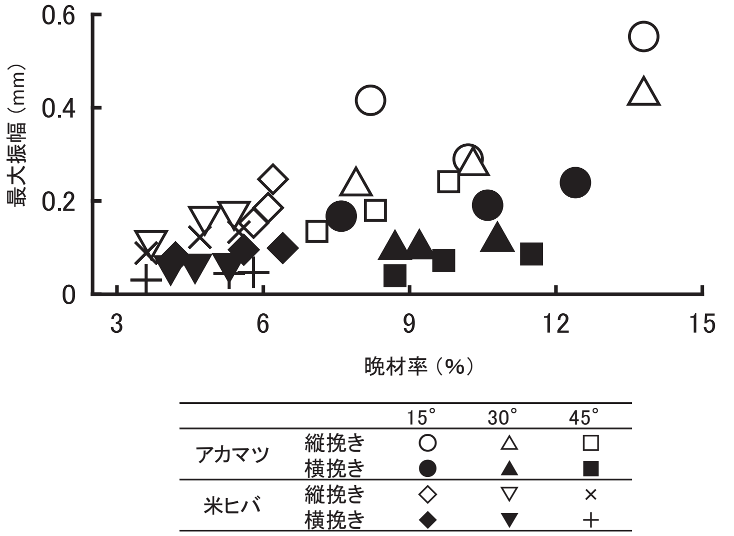

図 13　最大振幅と晩材率の関係

率が高くなるほど最大振幅が大きくなる傾向を示し，図 11 と同様に横挽きより縦挽きの値が大きくなることが認められた。また，アカマツの晩材率が米ヒバに比べて高く，最大振幅も同様に大きくなっていることからも，晩材の影響を受けているものと推察される。

以上のことから，高速度カメラで撮影した画像から確認された鋸の振動は，晩材に起因して生じているものと考えられる。また，早晩材の境界がほとんど確認することができないラワンにおいて，振動が僅かに生じているものの，他の樹種に比べてその値が僅かであることからも，切断中に生じる鋸の振動は晩材の影響を受けるものと推察される。

3. 4　鋸挽き学習における教育効果

高速度カメラによって撮影した鋸屑の生成・排出過程を，視聴覚教材として鋸挽き学習に導入した場合，次の教育効果が考えられる。まず，どのように木材内部が切断されているのか視覚的に確認させることができる。また，一般的な教科書[3) 4)]では，縦挽きが「のみ」，横挽きが「小刀」の刃先に例えて解説されており，鋸屑の形状は縦挽きの方が大きくなるイメージを与えているが，これは「のみ」や「小刀」で刃先の違いを明確に説明するために，実際の使用条件とは大きく異なる条件，すなわち材表面を擦るように切断す

る条件（挽き込み角 0°）を例にして解説しているためである。したがって，視聴覚教材として導入すれば，実用的な使用条件下で生成・排出された鋸屑の形状が木材の物理的性質に支配される場合が多く，条件によっては差異がほとんど無い場合や，横挽きの方が大きくなることなどを確認させることができる。また，切断中の振動を確認することによって，年輪内における早晩材の性質の差異について，理解を深めさせることができる。さらに，切断中の鋸が動きにくくなったり，あるいは切れ味が悪くなったりした場合，挽き込み角を変えることで対応させたり，その原因を切屑生成・排出過程から探求させることができる。

以上のように切断中の木材内部の刃先の挙動と，これまでの鋸挽き作業を有機的に関連させる学習によって，より効果的な鋸挽きに関する技能の定着が期待できる。今後は可視化した映像を実際に視聴覚教材にして授業実践を試行的に行い，その効果を検証していく必要がある。

4. まとめ

本研究では，切断中を想定した木材を準備して，高速度カメラで鋸屑の生成・排出過程を撮影し，挽き込み角や樹種の違いが鋸屑の形状，および生成・排出に及ぼす影響について検討した。得られた主な結果は，以下の通りである。

1）本実験条件範囲内おいて，手挽き鋸による切断を想定した木材を用いることによって，木材内部における鋸屑の生成・排出過程を高速度カメラによって観察できることが明らかとなった。
2）鋸屑の形状は，挽き込み角の影響を受けず，ほぼ同じ形状であることが認められたが，樹種によって異なる形状になることが明らかとなった。
3）切断中において，鋸が材表面に対して垂直方向に振動していることが明らかとなった。これは，刃先が柔らかい早材から硬い晩材に触れる際に，僅かに逃げることによって生じていると推察された。
4）高速度カメラで撮影した鋸屑の生成・排出過程を，鋸挽き学習に導入した場合，視覚的な教育効果が期待できるが，今後は授業実践を試行的に行い，その具体的な効果を検証していく必要がある。

参考文献

1）福田英昭：琉球大学教育学部紀要 第一部・第二部（38）pp.299-306（1991）.
2）鵜澤海　他：日本産業技術教育学会九州支部論文集（19）pp.131-138（2012）.
3）平成 23 年度文部科学省検定済教科書中学校技術・家庭科用，開隆堂 pp.56-57.
4）平成 23 年度文部科学省検定済教科書中学校技術・家庭科用，東京書籍 pp.70-71.