琉球大学学術リポジトリ

３次元動作分析による鋸挽き作業の検討：作業者の肩と肘の角度，のこ身の移動距離と移動速度の変化

メタデータ	言語:
	出版者: 琉球大学教育学部
	公開日: 2021-10-07
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 福田, 英昭, 金城, 裕達, Fukuda, Hideaki, Kinjo, Yutatsu
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/49849

3次元動作分析による鋸挽き作業の検討

－作業者の肩と肘の角度, のこ身の移動距離と移動速度の変化－

福田　英昭[*1]，金城　裕達[*2]

Examination of Sawing Motions by Three-dimensional Analysis

- Changes in the angle of worker's shoulders and elbows, handsaw blade movement distance and speed -

Hideaki FUKUDA[*1]，Yutatsu KINJO[*2]

Abstract

The shoulder angle and elbow angle that are displaced during sawing work, and the movement distance and the speed of handsaw blade were investigated, and verified the movements of the high-precision and low-precision university students. Students cut two types of wood with different thicknesses using a handsaw and photographed the work with two CCD cameras. The angle and distance of each part of the body were analyzed by motion capture using 3D coordinate measurement software.

As a result, in the case of sawing wood A (thickness 11 mm), there was no statistically significant difference between the upper group and the lower group in the maximum and minimum angles of the shoulders. But there was a significant difference between the maximum and minimum elbow angles. In the case of sawing wood B (thickness 31 mm), there was no significant difference between the upper and lower groups in the maximum and minimum shoulder angles. However, there was a large significant difference between the maximum and minimum elbow angles. Focusing on the movement of the elbow, it was found that moving the arm back and forth around an elbow angle about 90 degree is one index for improving processing accuracy. When cutting wood A, the maximum movement distance of the handsaw blade was significantly different between the upper group and the lower group, but no significant difference was observed when cutting wood B. Beginners often mistakenly recognize that increasing the stroke speed over a short range of handsaw blades allows for faster and more accurate cutting. Beginners need guidance in sawing with the entire length of the handsaw blade. There was no significant difference in the maximum movement speed of the handsaw blade between the upper group and the lower group. It is necessary for beginners to specifically teach the appropriate cutting movement distance and cutting speed for sawing.

1．緒　言

中学校学習指導要領（平成29年告示）[1)]の技術分野の内容では，使用する工具・機器や材料等については，図画工作科等の学習経験や生活場面での使用経験などの生徒の実態を踏まえ，安全や健康に十分に配慮して選択することが示されており，特に，刃物などの工具や機器については，使い方を誤った場合には身体を傷つける恐れがあることから，安全な加工法の指導が強く求められて

[*1] 琉球大学教育学部技術教育教室　Department of Technology Education, Faculty of Education, University of the Ryukyus, Okinawa 903-0213, e-mail：fukudah@edu.u-ryukyu.ac.jp

[*2] エッカ石油株式会社

いる。また，中学校の「技術・家庭科」（技術分野）の教科書[2,3]では，工具の正しい使用手順とともに，材料固定，作業姿勢，視線の位置，工具の持ち方，力配分など，作業動作のことが具体的に記述されている。

しかし，小学校の段階で児童のものづくりの経験は非常に乏しいため，中学校で初めて鋸挽きを体験する生徒も多く，中学校の技術科では工具の取り扱いの基礎から加工する技能まで丁寧に指導することが求められている。中学校では，鋸の持ち方や挽き込み角度の間違い，作業姿勢の不安定さ，力配分が不均等で安全でない場合等があり，その結果，加工精度が悪く，効率的でないことが言われており，中学校技術科の限られた授業時間内では，鋸挽きの練習をする余裕がないのが現状である。また，初心者の鋸挽き作業の動作を詳しく検討した先行研究はわずかに認められるだけであり[4-8]，初心者の抱える問題点を明らかにしていく必要がある。

そこで本研究では，鋸挽き作業の経験が皆無に近い大学生を対象に，鋸挽きの作業時に変位する肩と肘の角度，のこ身の移動距離と移動速度を調べ，加工精度の高い大学生と低い大学生が，それぞれどのような動作をとっているのかを検証することにした。すなわち，厚さの違う２種類のスギ材を被削材とし，両刃鋸を使って鋸挽き作業を被験者に行ってもらい，作業の様子を２台のカメラで撮影した。その後，PV-studioを用いて角度と距離を３次元計測し，モーションキャプチャによる肩と肘の角度，のこ身の移動距離と移動速度の変化を分析した。

２．計測方法

2.1　被験者

調査対象者は，表１に示すように，大学生12名（男性９名，女性３名）であった。被験者の身長は,149～177cm（平均165cm），体重45～95kg（平均68kg），年齢21～26歳（平均23歳）であった。

2.2　使用した両刃鋸・スツール・被削材

実験では，両刃鋸（刃渡り240mm），スツール（幅300mm，奥行300mm，高さ460mm），厚さの違う２種類のスギ材Ａ（長さ600mm，幅195mm，厚さ11mm）とスギ材Ｂ（長さ600mm，幅195mm，厚さ31mm）を使用した。

2.3　作業内容

作業時は，スツールを横に倒して作業面の高さを300mmと固定し，その上にスギ材を置き，足で板材を踏んで固定した。端から20mm離れた板目面に，基準面から垂直におろした線をけがき線とした。そのけがき線に沿って片手挽きによる横挽きで切断した。この動作を，厚さの違う２種類のスギ材ＡとＢで，１回ずつ行った。なお，被験者の切断する速度や，力加減などは本人に一任した。実験は2015年１月19日から２月４日の期間に行い，作業時の室内の気温は19～22℃（平均21℃），湿度は54～66％（平均60％）であった。

2.4　モーションキャプチャによる３次元動作の測定

図１に示すように，球体の計測反射マーカーを被験者の頭頂点，肩峰点，橈骨点，茎突点，転子点，脛骨点，外果点，のこ身の先端の８箇所に貼り付け，図２に示すように，２台のCCDカメラ（画面解像度：1034×779 pixel，モノクロ，ソニー社製，型式XC-HR70）で作業の様子を30 fpsの速度で撮影し計測した。２台のカメラの距離は2200mm，高さは4900mmに固定した。また，被験者

表１　被験者の属性

被験者	性別	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）
A	男	21	177	70
B	男	23	168	58
C	男	24	172	63
D	男	22	170	65
E	男	22	168	72
F	男	24	163	95
G	男	22	168	87
H	女	23	154	48
I	男	26	166	80
J	女	22	149	45
K	女	21	150	45
L	男	21	175	85

の右側から照明ライトで計測反射マーカーを照射し撮影した。

撮影後，撮影した動画を３次元座標計測ソフトPV Studio 3D（ver.2.27,L.A.B社製）で計測点のデジタイズを行い，Excelにてデータの変位と角度を解析した。

のこぎり挽きの動作時の肩と肘の角度，のこ身の速度と移動距離を分析し，上位群と下位群での動きの違いを比較した。このとき，表２と表３に示すように，けがき線の中央からのずれが１mm未満の被験者を上位群，１mm以上の被験者を下位群とした。

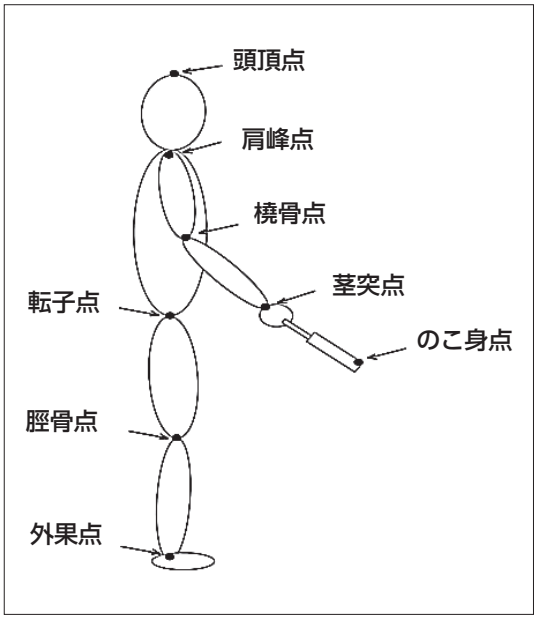

図１　計測反射マーカーの貼付位置

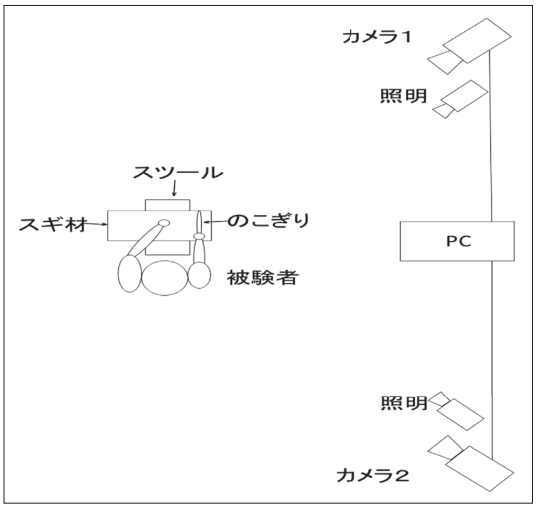

図２　計測の概略図

３．結果と考察

3.1　鋸挽き動作における肩と肘の角度の変化

図３で示すように，鋸挽きの動作時の肩と肘の角度を，それぞれα，βとした。

肩と肘において，上位群と下位群の角度の違いに有意差があるかを検証するために，それぞれの角度の最大値と最小値について t 検定（等分散を仮定した２標本による検定）を行った。スギ材Ａ（厚さ11mm）の結果を表４～表７に，スギ材Ｂ（厚さ31mm）の結果を表８～表11に示す。

表２　スギ材Ａの切断結果

上位群		下位群	
被験者	けがき線からのずれ(mm)	被験者	けがき線からのずれ(mm)
E	0.2	I	1.0
C	0.4	D	1.1
H	0.4	G	1.9
B	0.5	L	1.9
		A	2.4
		K	2.7
		F	3.5
		J	5.1

表３　スギ材Ｂの切断結果

上位群		下位群	
被験者	けがき線からのずれ(mm)	被験者	けがき線からのずれ(mm)
F	0.2	E	1.2
C	0.5	I	1.4
A	0.6	K	1.6
D	0.7	L	2.1
H	0.8	B	2.4
		J	5.5
		G	8.9

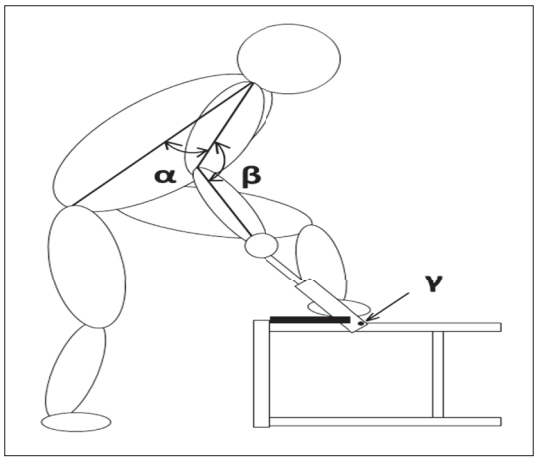

図３　肩と肘の角度の測定箇所

スギ材Ａの鋸挽きの場合は，表４と表５で示すように，肩の角度αの最大角度と最小角度では，上位群と下位群の間に有意差は認められなかった。また，表６と表７で示すように，肘の角度βの最大角度と最小角度では，それぞれ危険率５％，危険率0.1％で有意差がみられた。すなわち，上位群と下位群では，肘の動きに大きな差が認められ，その平均値の差を比較した場合，上位群では最大角度114.19°から最小角度94.90°までの差となる19.29°の範囲で肘が動いているのに対して，下位群では最大角度107.22°から最小角度81.45°までの差となる25.77°の範囲で肘が大きく動いていることがわかる。また，厚みが11mmと薄いスギ材Ａの場合は，肘の最大角度と最小角度のそれ

表４　肩の最大角度αの t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（度）	43.71	42.62
t	0.6698	
P 値（両側）	0.5059	

表５　肩の最小角度αの t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（度）	26.45	23.43
t	1.3994	
P 値（両側）	0.1675	

表６　肘の最大角度βの t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（度）	114.19	107.22
t	2.1588	
P 値（両側）	0.0354	

表７　肘の最小角度βの t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（度）	94.90	81.45
t	3.4833	
P 値（両側）	0.0010	

表８　肩の最大角度αの t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（度）	48.38	53.65
t	-1.2323	
P 値（両側）	0.2233	

表９　肩の最小角度αの t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（度）	25.43	30.11
t	-1.3305	
P 値（両側）	0.1886	

表10　肘の最大角度βの t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（度）	101.98	119.42
t	-7.3019	
P 値（両側）	9.1138×10^{-10}	

表11　肘の最小角度βの t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（度）	74.53	91.60
t	-6.9489	
P 値（両側）	3.5709×10^{-09}	

ぞれにおいて，上位群は下位群よりも平均値が大きいことがわかる。

スギ材Ｂの鋸挽きの場合は，表８と表９で示すように，肩の角度αの最大角度と最小角度では，上位群と下位群の間に有意差は認められなかった。また，表10と表11で示すように，肘の角度βの最大角度と最小角度では，それぞれ危険率0.1％の大きな有意差がみられた。上位群の最大角度と最小角度の差は27.45°となり，下位群の最大角度と最小角度の差は27.82°となり，スギ材Ａのような大きな違いは認められないが，最大角度と最小角度の中央値を検討したところ，上位群では88.26°，下位群では105.51°と大きく異なっており，厚みのあるスギ材Ｂの場合は，下位群は常に肘を90°以上に大きく伸ばして鋸挽き作業を行っていることがわかった。すなわち，肩の動きよりも，肘の動きに注目して，肘の角度を約90°を中心にして前後に腕を動かすことが加工精度を高めるひとつの指標であることがわかった。

スギ材Ｂの鋸挽き作業時の最上位２名（ずれが0.2mmの被験者Ｆ，ずれが0.5mmの被験者Ｃ）と最下位２名（ずれが8.9mmの被験者Ｇ，ずれが5.5mmの被験者Ｊ）の肘の角度βの変化の様子を図４に示す。最上位２名の肘の角度βは約90°を中心に同じ時間間隔でリズミカルに動いているのに対して，被験者Ｇの肘の角度βは常に100°以上の大きな値を示しており，被験者Ｊの肘の角度βは90°前後を保持しているが周期的な動きが保持できず不安定な動きを示している。このように，肘の角度に注意して鋸挽き作業を教えることが，加工精度を上げることにつながると考えられる。

3.2　鋸挽き動作におけるのこ身の移動距離の変化

図３で示すように，鋸挽きの動作時におけるのこ身の移動距離を検証するために，のこ身の先端上部の点γの変位をもとに計測を行った。

のこ身の動きについて，上位群と下位群ののこ身の最大移動距離の違いに有意差があるかを検証するために，t検定（等分散を仮定した２標本に

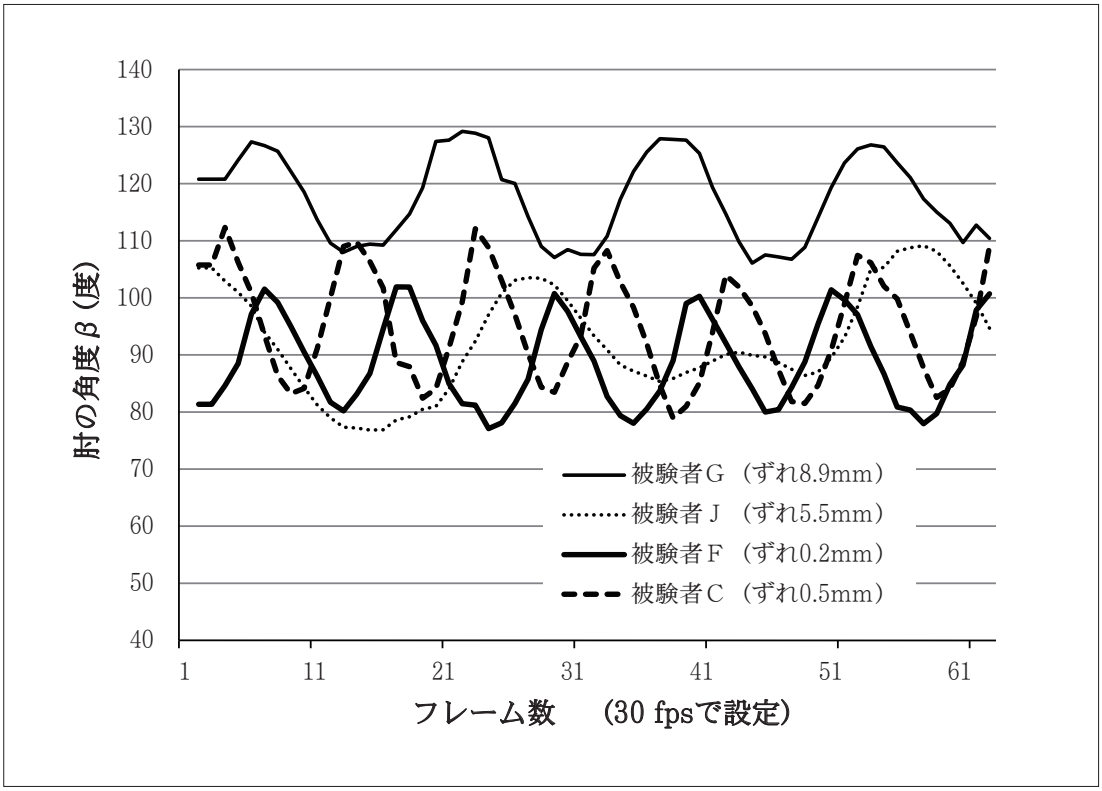

図４　肘の角度βの変化（スギ材Ｂの鋸挽き作業）

よる検定）を行った。その結果を表12と表13に示す。

表12で示すように，スギ材Ａ（厚さ11mm）の切断時に，のこ身の最大移動距離が，上位群と下位群で危険率10％の有意差が見られたが，表13で示すように，スギ材Ｂ（厚さ31mm）の切断時には，のこ身の最大移動距離では，有意差が認められなかった。すなわち，けがき線からのずれが少なく上手に切断した上位群は，厚みの薄いスギ材Ａの切断時に，のこ身の最大移動距離が下位群に比べて短いことがわかる。また，スギ材Ａからスギ材Ｂに被削材が変わることで，上位群では最大移動距離が1.17倍に変化しているのに対し，下位群では最大移動距離が1.03倍となっており，ほぼ変化していない。陳らの研究[5]では，同じ刃渡り240mmの両刃鋸で検証が行われているが，熟練者の場合，鋸挽き作業の初めの段階ではのこ身の移動距離は18～50mm，作業の中間段階では204～222mmになって刃渡りの85～93％を使用し，作業の終わり段階では26mm以下の小さい変位になっていたことが報告されている。今回の実験のスギ材Ａの場合，上位群は刃渡りの41％を使用し，下位群では49％を使用していた。また，スギ材Ｂの場合は，上位群は48％，下位群は50％の刃渡りを使用していた。初心者は，鋸挽き作業の場合に，両刃鋸の刃渡り全体を使用するという意識が少なく，刃渡りの短い距離範囲でストローク速度を高めることで早く精度よく切削できると間違って認識されることが多い。陳らの研究[5]においても，未熟練者の場合は，刃渡りの49～65％だけを使用していることが報告されており，刃渡り全体を使って鋸挽きを行う指導が初心者には必要である。

3.3　鋸挽き動作におけるのこ身の移動速度の変化

図３で示すように，鋸挽きの動作時におけるのこ身の移動速度を検証するために，のこ身の先端上部の点γの変位をもとに計測を行った。

のこ身の動きについて，上位群と下位群ののこ身の最大移動速度の違いに有意差があるかを検証するために t 検定（等分散を仮定した２標本による検定）を行った。その結果を表14と表15に示す。これらの表で示すように，のこ身の最大移動速度には有意差が認められなかった。なお，スギ材Ａからスギ材Ｂに被削材が変わることで，上位群では最大移動速度が1.18倍に変化しているのに対し，下位群では最大移動距離が1.10倍となっており，ほぼ変化していない。

陳らの研究[5]では，熟練者の鋸挽き作業の中間段階では，のこ身を挽く速度は1.25～1.39m/sと報告されており，未熟練者では1.0～1.2m/sとなっている。今回の実験では，上位群と下位群のいずれも上記の数値より速い最大移動速度を示していることがわかる。初心者には，刃渡り全体を使った長めのストロークで，切削速度も比較的に抑えながらゆっくり切削していく指導が望まれ

表12　のこ身の最大移動距離の t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（mm）	99.04	116.69
t	-1.7961	
P 値（両側）	0.0806	

表13　のこ身の最大移動距離の t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（mm）	115.60	120.56
t	-0.6642	
P 値（両側）	0.5097	

表14　のこ身の最大移動速度の t 検定（スギ材Ａ）

	上位群	下位群
平均（mm/s）	1547.39	1540.39
t	0.0234	
P 値（両側）	0.9819	

表15　のこ身の最大移動速度の t 検定（スギ材Ｂ）

	上位群	下位群
平均（mm/s）	1823.22	1699.42
t	0.4508	
P 値（両側）	0.6628	

る。また，鋸挽き作業の初めの段階，中間段階，作業終わり直前段階の３つの段階に分けて，それぞれの目安となる切削移動距離と切削速度を具体的に学習者へ演示する必要がある。

４．結　言

本研究では，鋸挽き作業の経験が皆無に近い大学生を対象に，鋸挽きの作業時に変位する肩と肘の角度，のこ身の移動距離と移動速度を調べ，加工精度の高い大学生と低い大学生が，それぞれどのような動作をとっているのかを検証することにした。厚さの違う２種類のスギ材を被削材とし，両刃鋸を使って鋸挽き作業を被験者に行ってもらい，２台のCCDカメラで作業の様子を撮影し，３次元座標計測ソフトを用いてモーションキャプチャによる身体の各部位の角度と距離を分析した。得られた結果は以下の通りである。

⑴　スギ材Ａ（厚さ11mm）の鋸挽きの場合は，肩の角度の最大角度と最小角度では，けがき線からのずれが１mm未満の上位群と１mm以上の下位群の間に有意差は認められなかったが，肘の角度の最大角度と最小角度では有意差がみられた。また，肘の最大角度と最小角度のそれぞれにおいて，上位群は下位群よりも角度の平均値が大きいことがわかった。

⑵　スギ材Ｂ（厚さ31mm）の鋸挽きの場合は，肩の角度の最大角度と最小角度では，上位群と下位群の間に有意差は認められなかったが，肘の角度の最大角度と最小角度では，大きな有意差がみられた。厚みのあるスギ材Ｂの場合は，下位群は常に肘を90°以上に大きく伸ばして鋸挽き作業を行っていることがわかった。すなわち，肩の動きよりも，肘の動きに注目して，肘の角度を約90°を中心にして前後に腕を動かすことが加工精度を高めるひとつの指標であることがわかった。

⑶　スギ材Ａの切断時に，のこ身の最大移動距離が，上位群と下位群で有意差が見られたが，スギ材Ｂの切断時には有意差が認められなかった。すなわち，上位群は，スギ材Ａの切断時に，のこ身の最大移動距離が下位群に比べて短いことがわかった。今回の実験のスギ材Ａの場合，上位群は刃渡りの41％を使用し，下位群では49％を使用していた。また，スギ材Ｂの場合は，上位群は48％，下位群は50％の刃渡りを使用していた。初心者は，鋸挽き作業の場合に，両刃鋸の刃渡り全体を使用するという意識が少なく，刃渡りの短い距離範囲でストローク速度を高めることで早く精度よく切削できると間違って認識されることが多いため，刃渡り全体を使って鋸挽きを行う指導が初心者には必要である。

⑷　のこ身の最大移動速度については，上位群と下位群の間に有意差が認められなかった。なお，スギ材Ａからスギ材Ｂに被削材の厚さが変わることで，上位群では最大移動速度が1.18倍に変化しているのに対し，下位群では最大移動距離が1.10倍となっており，ほぼ変化していないことがわかった。初心者には，刃渡り全体を使った長めのストロークで，切削速度も比較的に抑えながらゆっくり切削していく指導が望まれ，それぞれの目安となる切削移動距離と切削速度を具体的に学習者へ演示する必要がある。

文　献

１）文部科学省：中学校学習指導要領（平成29年告示）解説「技術･家庭編」，開隆堂，p.25-32（2018）.

２）田口浩継ら編：(新編）新しい技術・家庭（技術分野）未来を創るTechnology，東京書籍，p.50-81（2016）.

３）安藤茂樹ら編:技術･家庭(技術分野),開隆堂,p.53-83（2016）.

４）福田英昭：鋸挽き作業における動作分析（第１報）-人間工学的分析に基づく作業台高さの検討-，琉球大学教育学部紀要38（2），p.299-306（1991）.

５）陳廣元・山下晃功・芝木邦也・田中千秋：木工具による作業動作の３次元分析（第２報）木工技能熟練者と未熟練者ののこぎりびき動作の比較，木材学会誌49（3），p.171-178（2003）.

６）安藤明伸・住川泰希：モーションキャプチャ

と仮想空間を利用した鋸引き-動作観察教材の開発と機能評価-，日本教育工学会論文誌 36（2），p.103-110（2012）.
7）實野雅太・星野欣也：技術科教育における鋸挽きジグの開発，東京農大農学集報61（2），p.60-66（2016）.
8）木村彰孝・黒岩剛太郎・倉元賢一：板材に施した溝がのこぎり挽きに与える影響-横挽きにおける溝の有無，視認性，切断面積の違いについて-，広島大学大学院教育学研究科紀要第２部第66号，p.33-39（2017）.