

A study for cutting performance of wooden tool using vibration : Cutting performance influenced by linear vibration on Japanese traditional planer

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-12-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鄭, 基浩, 稲垣, 綾斗 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.14945/00026211">https://doi.org/10.14945/00026211</a>

## 振動特性を活かした木工具の切削性に関する研究

### —直線的振動が鉋の切削性に及ぼす影響—

A study for cutting performance of wooden tool using vibration  
Cutting performance influenced by linear vibration on Japanese traditional planer

鄭 基浩\*, 稲垣 綾斗\*\*

Kiho JUNG and Ayato INAGAKI

（平成30年11月16日受理）

#### ABSTRACT

This research was conducted to improve the technology of the cutting performance making use of vibration characteristics, aiming to establish basic technology to develop auxiliary teaching materials so that elementary or junior high school students can easily perform Japanese traditional plane processing.

A linear vibration device driven by opposite phased turning with 2 eccentric disks symmetrically geared which can be easily controlled on frequency and eccentricity was developed.

In order to investigate the relationship between cutting performance and vibration character on plane process, cutting resistance was analyzed with parameters of frequency and eccentricity on vibration effect. Consequently, cutting resistance was decreased in accordance with increased of frequency and eccentricity, which resulted in easy feeling for human test on the plane process with vibration. It was concluded that cutting performance was improved by linear vibration energy.

Key words: cutting performance, auxiliary teaching material, linear vibration,

#### 1 緒言

材料の加工において、最も一般的な加工方法は切削加工である。切削加工とはある物体に対し、それより固い刃物によって最適の寸法まで切ることや削ることである。特に木材においては切削加工方法によって、初めてその用途を広げ、材料の利用価値を高めているといえる<sup>1)</sup>。伝統的な木工用刃物の種類としては小刀や彫刻刀、ノミなど人間の手によって刃の角度や深さを調整する工具から、鉋のように高い精度を実現させるために、刃を台に固定し深さや角度を微調整できる工具もある。台鉋は四角形の木製の台(鉋台)の中に刃を組み込んだ鉋であり、古くから家具部材や建築部材の寸法調整や表面の仕上げを行うために使用されてきた伝統的な木工具である。鉋削りによる仕上がりはサンダーによる仕上げよりも格段に良いことが報告されており<sup>2)</sup>、鉋削りとサンダーの仕上げ面を拡大して比較して見ると繊維細胞の状態に違いがあ

ることが分かる。図1はよく研磨された刃物で切削されたヒノキ材の表面を研磨紙で研磨し、研磨粒子の大きさの違いによって変化する表面の様子を比較した画像である。鉋削りでは木の繊維が潰れる事なく残っているのが分かる。

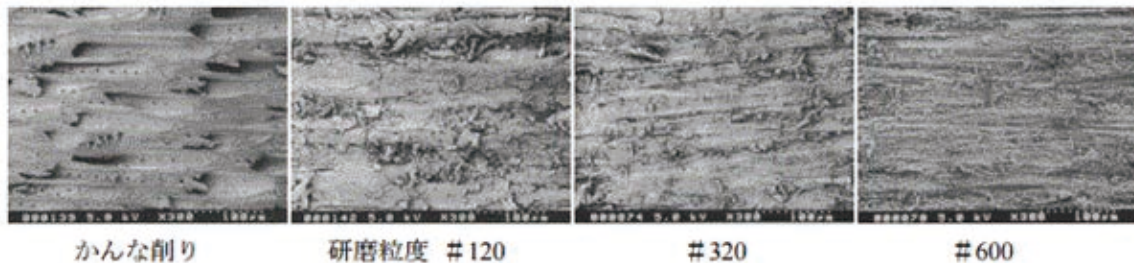


図1 研磨面(ヒノキ)の走査型電子顕微鏡観察<sup>2)</sup>

一方現代では、刃物に回転運動や、直線運動を加え切削が行われる機械式の切削技術が発展してきた。同時に、刃の固定された木工具に対して切削性を向上させる技術も発展してきた。その例として、図2に示すような電動彫刻刀や電動カッターがある。このような振動技術を利用した工具は、刃に振動を与える機構によって切削過程に振動エネルギーが付加されることで切削性が向上する。



図2 現在活用されている振動切削技術<sup>3),4)</sup>

そこで、我々は伝統木工具である鉋に、振動を与えることで切削性が向上するのではないかと仮説を立てた。平鉋は、比較的鋭く広い刃が台に固定された工具で、その切削過程は垂直荷重をかけ被切削物に鉋を密着させながら、水平移動することにより行う。鉋加工は他の切削加工と比べ非常に繊細で切削抵抗も大きく、初心者においては、難易度が高い工具である。したがって、伝統的に長年に渡り修練を重ねた熟練者が主に扱う工具として認識された。

近年、初心者も鉋をより簡単に使えるように改良が進み、替え刃式や、ネジ回転による刃の深さ調整式鉋製品などが紹介され、一般人の鉋加工に対する使用度が高まり、DIYなど日曜大工として、一般的工具として取り扱う場面が多くなってきている。

以上を踏まえ、我々は鉋に振動を与え切削性を向上させることで、比較的力の弱い人もより容易に鉋加工ができると考えた。また、工具の切削方向に対して前後運動をする直線的振動を与えることにより、切削方向の力に振動エネルギーが加えられるため、切削抵抗の低減し、切削性が向上すると考えた。その付加的利点についても、工具の耐久性の向上や加工温度を低減することが報告されている<sup>5),6),7)</sup>。

本研究では、振動による工具の切削性向上技術に着目し、鉋に直線的振動を与える事によって切削性を向上させ、力が比較的弱い小学生や中学生の低学年も簡単に鉋加工が出来るような補助教材を開発するための技術確立を最終目的とした。

## 2 直線的振動装置の開発

### 2.1 直線的振動装置の製作

図3は、設計図及び完成した振動装置の鉋に装着した様子を示す。材料は、ウォールナット (*Juglans*) と米タモ (*Fraxinus americana*) を用いた。本振動装置は、鉋のサイズに合わせて製作した。寸法は180×25×57mmである。本振動装置は、駆動部と鉋固定部に分けられる。駆動部では、偏心を持つ歯車を噛み合わせた同型の2つのモータ(タミヤ GP.307 ウルトラダッシュモータ)を固定した。鉋固定部は、駆動部を鉋台に着脱が容易なクリップ型を採用した。モータ及び性能表は図4に示す。

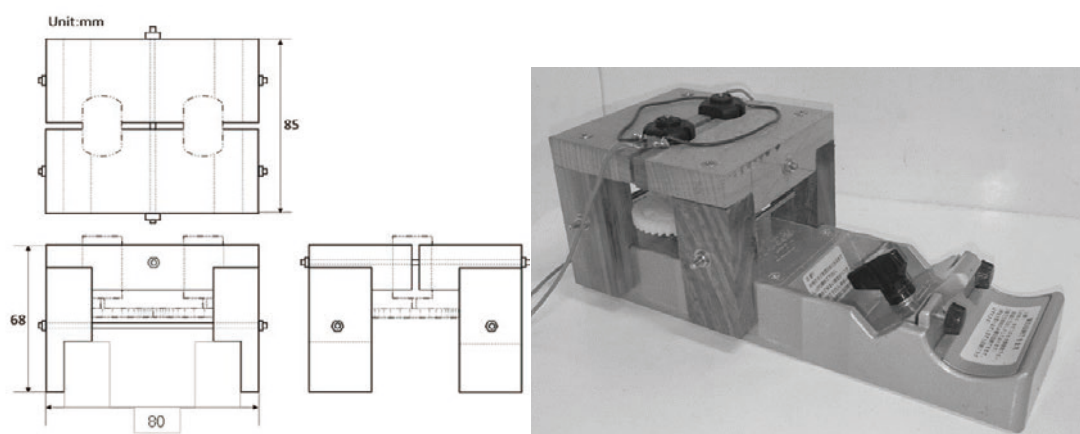


図3 設計図及び装着した様子



図4 使用したモータ及び性能表

### 2.2 加速度測定

本振動装置が直線振動を発生させるかを検証するため、スポンジの上で装置を駆動させた際の3軸方向の加速度を測定した。スマートフォンの3軸加速度センサロガーにより加速度を測定した。装置の設定振動周波数は264Hzとした。

本振動装置における3軸加速度の測定結果を図5に示す。Y軸とZ軸方向には微弱な振動が起こっているものの、X軸方向には比較的大きな振動が発生していることが分かる。Y軸とZ軸方向の振動は、モータの回転振動から起因すると考えられる。以上より、本振動装置は直線的な振動を起こしていることが明らかとなった。

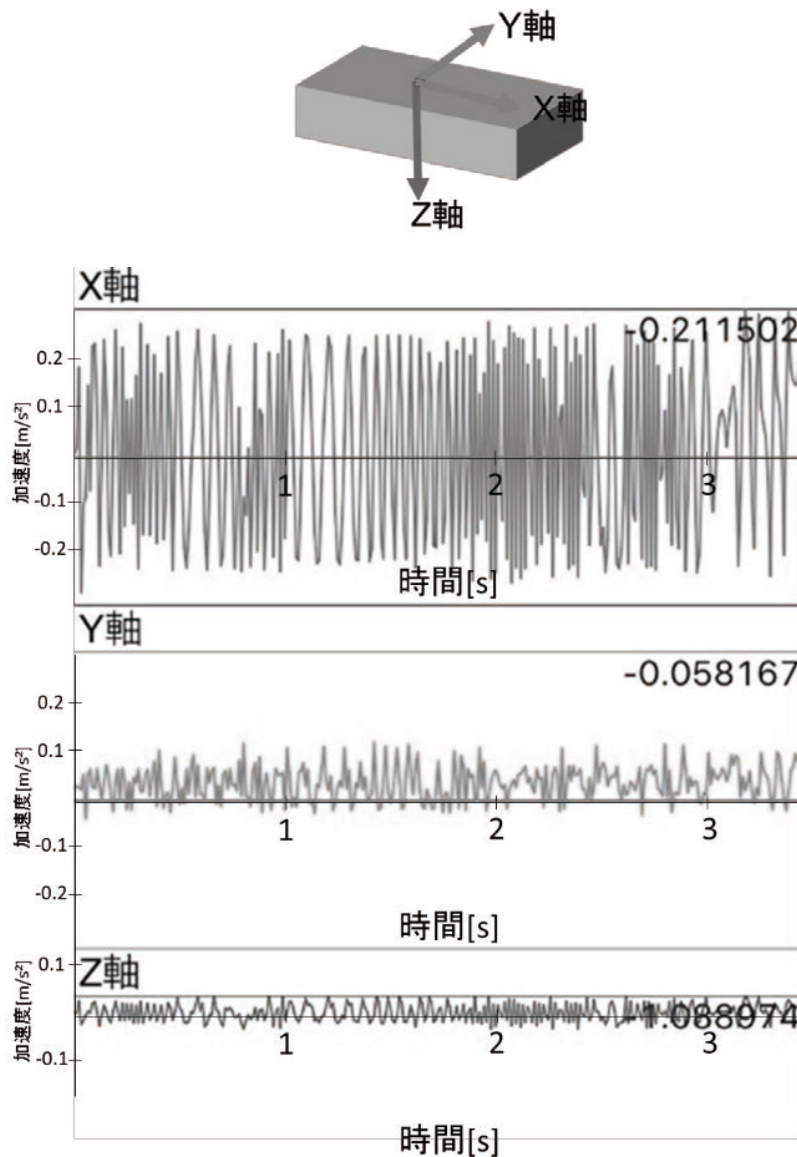


図5 3軸加速度測定値

### 2.3 周波数測定試験

偏心を起こすためのおもりの重さと振動周波数の関係を明らかにするため本振動装置の振動周波数を測定した。周波数測定には、非接触型回転計タコメーター(DT-2235B, LUTRON 社)を使用した。表1は、電圧条件と重量パラメータを示す。重量パラメータは、ナットの数を1～5個とした。電圧は0.5～3Vまで0.5V刻みで6段階を変化させ、合計30パターンであった。

表1. 電圧条件と重量パラメータ

電圧[V]	1	1.5	2	2.5	3
おもり[g]	1.27	1.49	1.71	1.93	2.15

図6は、周波数と電圧の関係を表す。重りが無い条件では、電圧の上昇に伴い、周波数は上昇し、3Vで330 Hz以上の速度で回転する。しかし、重りの数が増えると1.5Vから上昇率が徐々に低下し、5個で270 Hzを下回った。偏心重量が増えるにつれ、周波数が低減していく傾向がある。

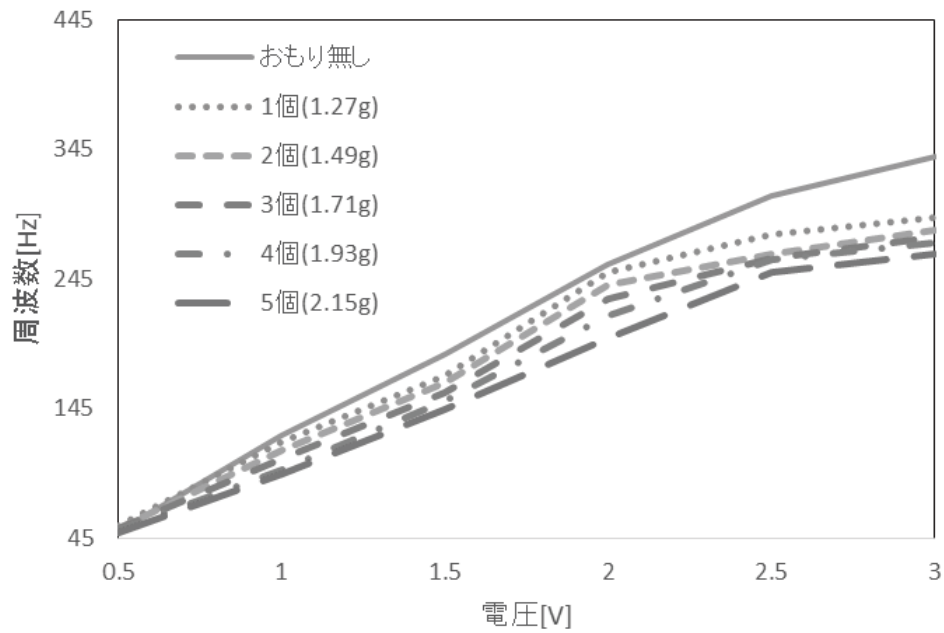


図6 偏心重量による振動周波数と電圧の関係

### 3 直線的振動装置による切削性への影響評価

#### 3.1 官能試験

本装置を使用した際の効果の検証方法として、人間の主観的感想による官能評価を行った。試験の様子を図7に示す。被験者は鉋経験のある20~22歳の5名(男性:4, 女性:1)に行ってもらった。切削のしやすさを表す指標として切削感度(1:normal,2:good,3:better,4:best)を評価した。切削性試験における供試材料は、長さ300mm幅30mmのスギ材 (*Cryptomeria japonica*) を用いた。鉋の刃は10 $\mu$ mの厚さで切削できるよう設定した。回転数測定試験と同様に重りの個数と電圧条件をパラメータとした。

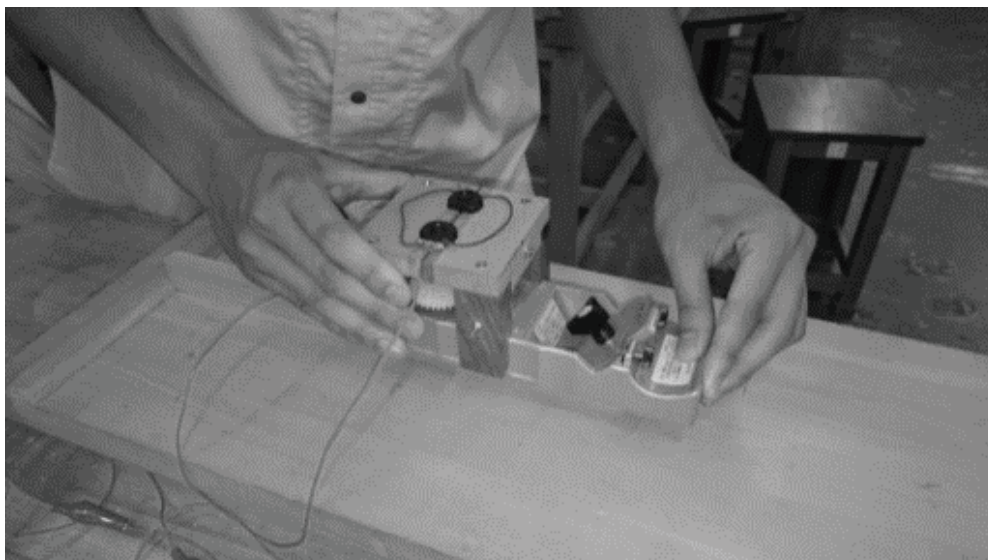


図7 試験中の様子

表1は官能試験の結果を示す。重りの数の増加と電圧の上昇に伴い、切削性が向上することが明らかとなった。4~5個と2.5~3V条件で切削性が最も良い条件であることが分かり、重りの数の増加や回転速度が速くなると、更に切削性が向上する可能性が高いと考えられる。

表2. 官能試験結果

重り数(*0.12 g)	0.5V	1V	1.5V	2V	2.5V	3V
1個	1	1.2	2	2.2	3.2	3.4
2個	1	1.6	1.8	2.8	3.4	3.4
3個	1	1.8	2.4	3	3.8	3.8
4個	1	1.8	3	3.2	3.8	3.8
5個	1	2.2	3.2	3.8	4	4

1 normal    2 good    3 better    4 best

### 3.2 切削抵抗試験機の製作

#### 3.2.1 デザインコンセプト

試験機のプロットを図8に示す。鉋の切削過程は鉋台を上から押した状態で、水平方向に移動させることにより行われる。刃を出していない状態で垂直荷重( $VF_1$ )と水平荷重( $HF_1$ )を測り試験体の摩擦係数( $\mu$ )を算出した。そして、刃を出している状態での水平荷重( $HF_2$ )から鉋台の摩擦力( $\mu VF_2$ )を引くことで、刃の抵抗値( $Br$ )を評価することができる。式を次に示す。

$$\mu = HF_1 / VF_1 \quad (1)$$

$$Br = HF_2 - \mu VF_2 \quad (2)$$

Notes

$\mu$ : 摩擦係数

$HF_1$ : 刃無しの水平荷重

$VF_1$ : 刃無しの垂直荷重

$Br$ : 刃の抵抗値

$HF_2$ : 刃有りの水平荷重

$VF_2$ : 刃有りの垂直荷重

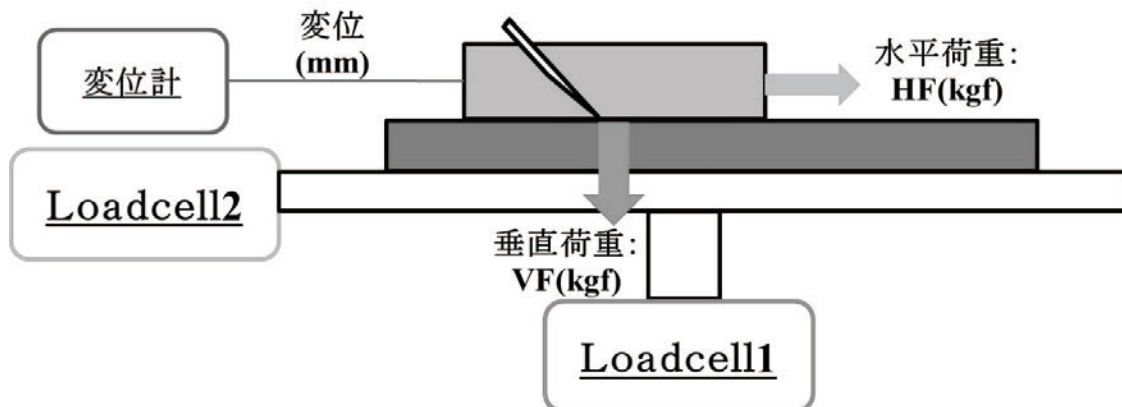


図8 試験器概念図

### 3.2.2 測定機の製作

図9は切削抵抗測定機を示す。本試験機は、①ロードセル1、②ロードセル2、③変位計により構成されている。①においては鉛直荷重を測定するため圧縮型ロードセル(引張・圧縮型ロードセル TU-PSR,TEAC 社)を用いた。②においては、トタン板を切りだしたものにひずみゲージ (FLA-5-11-005LE, 東京測器研究所) を貼付して自作したロードセルを用いた。③においては鉋の変位を測定するために巻込型変位計(DP-500E,東京測器研究所)を用いた。

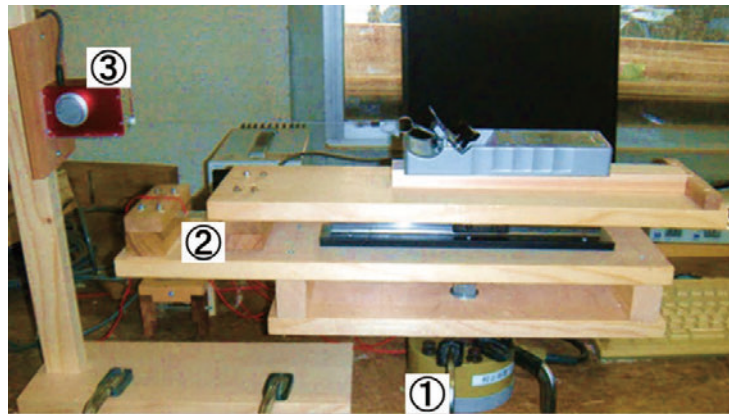


図9 切削抵抗測定機

### 3.3 切削抵抗測定試験

#### 3.3.1 材料選定

300×30×45mm のスギ材を供試材料とした。材質のばらつきによる影響を考慮し、打撃法による動的ヤング率の測定<sup>8)</sup>によって材の選別を行った。動的ヤング率測定結果を表2に示す

表3 供試材料の特性

密度 (kg/m <sup>3</sup> )	質量 (kg)	厚さ(m)	幅(m)	動的ヤング率 (GPa)
340.01	0.84	0.046	0.03	7.255

#### 3.3.2 鉋屑の厚みによる切削抵抗測定試験

表3に示すような試験条件は、繊維傾斜角は0度とし、心材辺材及び鉋屑の厚みを変化させて振動装置の有無による比較実験を行った。

表4 試験条件

心辺材	繊維傾斜角(°)	切屑の厚さ(μm)	振動装置
心材	0	5	有り(264Hz)
辺材		10	
辺材		15	無し

#### 3.3.3 繊維傾斜角による逆目方向の切削抵抗測定試験

試験条件を表4に示す。鉋屑の厚みを5μmとし、心材辺材及び繊維傾斜角を変化させて振動装置の有無による比較実験を行った。



表 5 試験条件

心辺材	繊維傾斜角(度)	切屑の厚さ( $\mu\text{m}$ )	振動装置
心材	1	5	有り(264Hz)
	2		
辺材	3		
			無し

### 3.3.4 振動装置の有無による鉋刃の耐久性の比較

試験条件を表 5 に示す。繊維傾斜角を  $0^\circ$ 、切り屑の厚さを  $10\mu\text{m}$  とし心材辺材及び振動装置の有無により鉋刃の耐久性を比較した。それぞれの試験項目で 75m までの耐久試験を行った。図 10 に使用した鉋刃を示す。

表 6 試験条件

心辺材	繊維傾斜角( $^\circ$ )	切屑の厚さ( $\mu\text{m}$ )	振動装置
心材	0	10	有り(264Hz)
辺材			無し

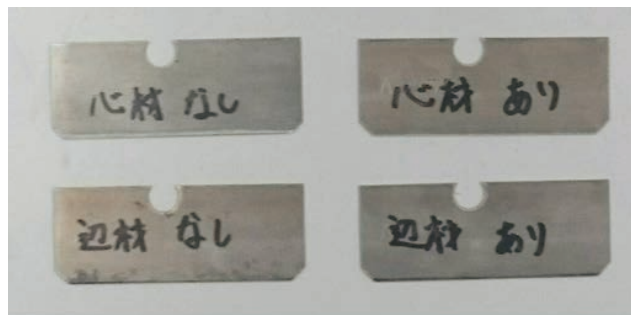


図 10 鉋刃の様子

## 3.4 結果及び考察

### 3.4.1 鉋屑の厚みによる切削抵抗測定試験

図 11~図 16 に辺材における切削抵抗試験の結果を示す。各試験条件において鉋がけを 10 回試行した結果である。黒い線 (VF) が鉛直荷重、灰色の線 (HF) が水平荷重を表す。厚みが厚くなるにつれ切削抵抗が上昇する傾向にある。振動装置有りとなしを比較すると、切削抵抗が減少していることが分かった。図 17~22 に鉋屑の様子をし、鉋屑の形状から振動装置による影響は見られなかった。

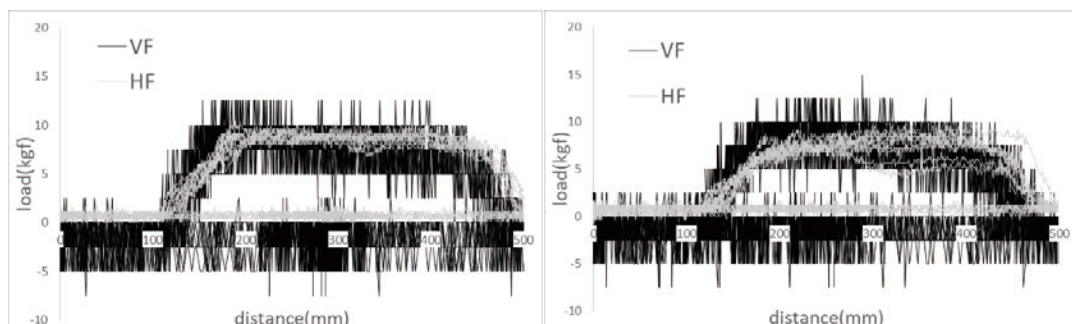


図 11 振動無し 5 $\mu$ m

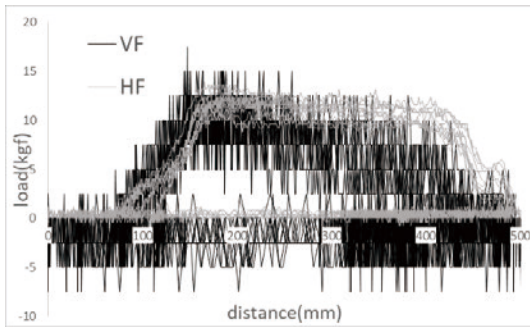


図 12 振動有り 5 $\mu$ m

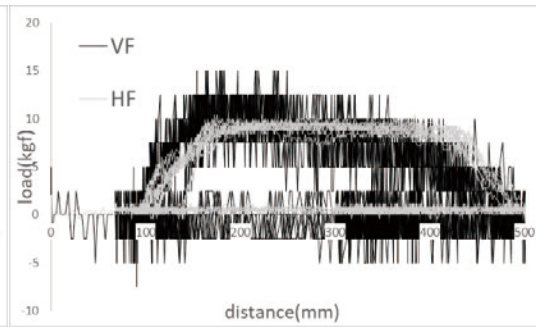


図 13 振動無し 10 $\mu$ m

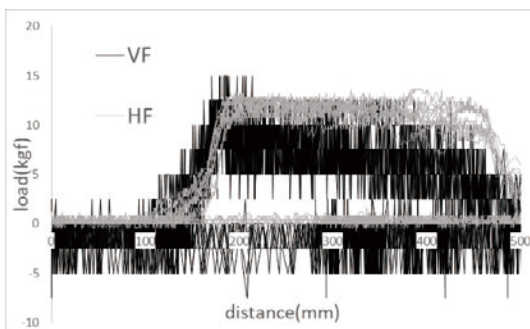


図 14 振動有り 10 $\mu$ m

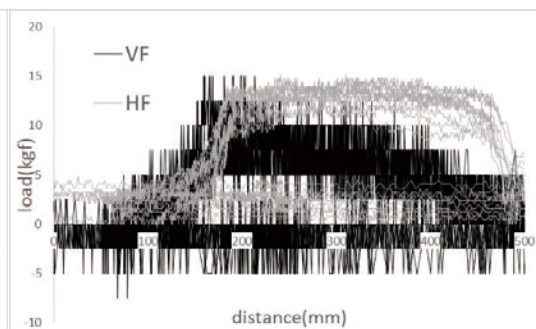


図 15 振動無し 15 $\mu$ m



図 16 振動有り 15 $\mu$ m



図 17 振動無し 5 $\mu$ m



図 18 振動有り 5 $\mu$ m



図 19 振動無し 10 $\mu$ m

図 20 振動有り 10 $\mu$ m

図 21 振動無し 15 $\mu$ m図 22 振動有り 15 $\mu$ m

図 23~28 に心材における切削抵抗試験の結果、図 29~図 34 に鉋屑の様子を示す。

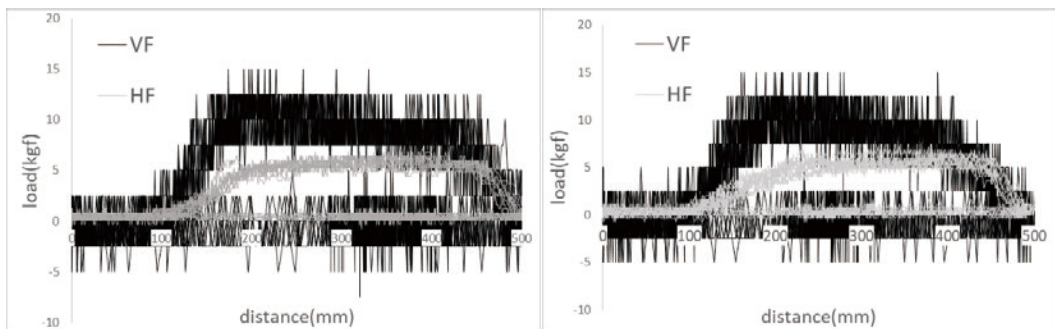
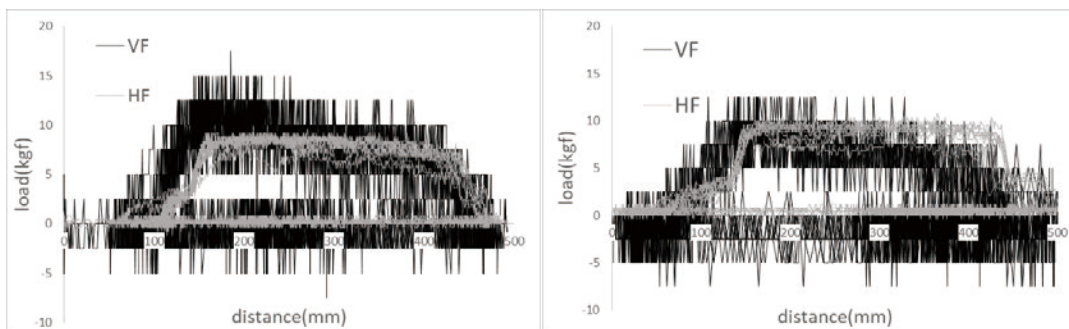
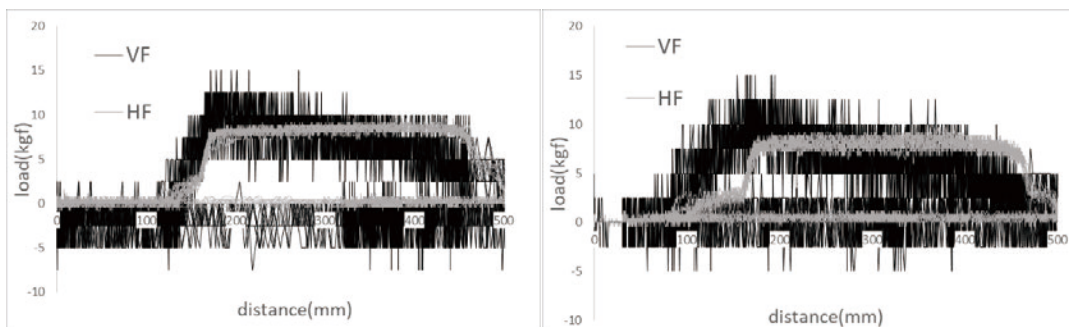
図 23 振動無し 5 $\mu$ m図 24 振動有り 5 $\mu$ m図 25 振動無し 10 $\mu$ m図 26 振動有り 10 $\mu$ m図 27 振動無し 15 $\mu$ m図 28 振動有り 15 $\mu$ m



図 29 振動無し 5 $\mu$ m



図 30 振動有り 5 $\mu$ m



図 31 振動無し 10 $\mu$ m



図 32 振動有り 10 $\mu$ m



図 33 振動無し 15 $\mu$ m



図 34 振動有り 15 $\mu$ m

刃のみの抵抗値を算出するため、刃の無い条件で摩擦試験を行った。鉋台全体が、材面と密着する区間である 200~250 mmの区間のみの平均値で、摩擦係数を算出した。

各条件における摩擦係数は、表 7 に示す。

表 7 摩擦係数測定結果

	振動装置	摩擦係数
辺材	有り	0.31
	無し	0.40
心材	有り	0.34
	無し	0.38

鉋屑の厚みにおける試験の解析結果を図35に示す。心材では5 $\mu$ mで37.4%、10 $\mu$ mで24.7%、15 $\mu$ mで3.5%の減少率を示した。辺材では5 $\mu$ mで36.6%、10 $\mu$ mで28.3%、15 $\mu$ mで1.4%の減少率を示した。5 $\mu$ mで減少率が一番高く、約4割の減少率を示した。鉋屑が厚くなるにつれ減少率は急激に低下することが明らかとなった。辺材と比較して心材は抵抗値が小さかった。

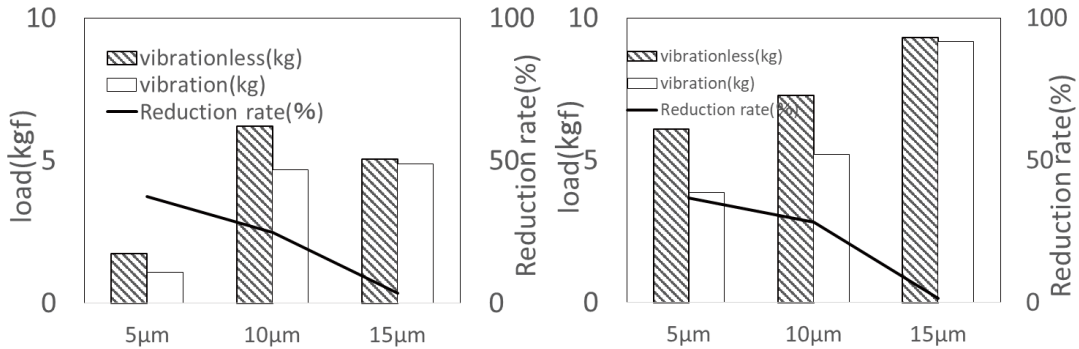


図 35 厚みによる抵抗値と減少率

(左：心材 右：辺材)

### 3.4.2 繊維傾斜角における逆目方向の切削抵抗測定試験

繊維傾斜角における逆目方向の切削抵抗測定試験の解析結果を図36に示す。心材では1度で42.5%、2度で38.9%、3度で36.8%の減少率を示した。辺材では1度で43.4%、2度で42.5%、3度で40.4%の減少率を示した。辺材と比較して心材の抵抗値は低いことが明らかとなった。心辺材どちらも繊維傾斜角1度において最も減少率が高く、いずれの繊維傾斜角においても、約4割近くの減少率を示した。

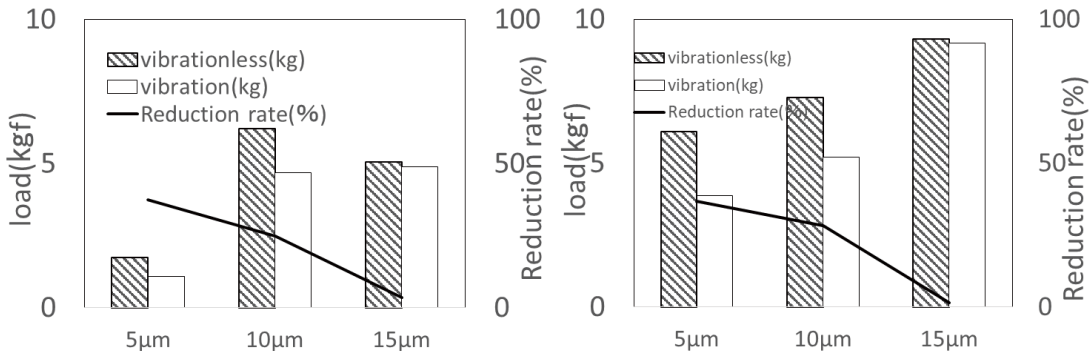


図 36 繊維傾斜角による抵抗値と減少率

(左：心材 右：辺材)

### 3.4.3 振動装置の有無による鉋刃の耐久性の比較試験

振動装置の有無による鉋刃の耐久性の比較試験結果を図37に示す。切削長さ合計75mでの刃の切削抵抗値を比較すると、心材の振動装置無しでは刃の抵抗値が24.2%上昇したものの、振動装置を付けた場合、刃の抵抗値は8.6%であった。辺材の振動装置無しでは刃の抵抗値が56%上昇したものの、振動装置を付けた場合、刃の抵抗値は10.7%であった。以上の結果から、心辺材どちらにおいても振動装置による刃の耐久性向上に寄与したことが明らかとなった。

鉋刃に直線的振動エネルギーを加えることによって、切削方向に振動させ刃物と加工物との瞬間的な衝突によって小刻みに切削する。振動を与えない切削と比較し、刃先角が被削材のすくい角に対して常時接触しておらず、切削中に発生する熱の低減や<sup>10),11)</sup>、木の繊維を衝撃により切断していく切削過程から工具摩耗を抑制させるものと考えられる。

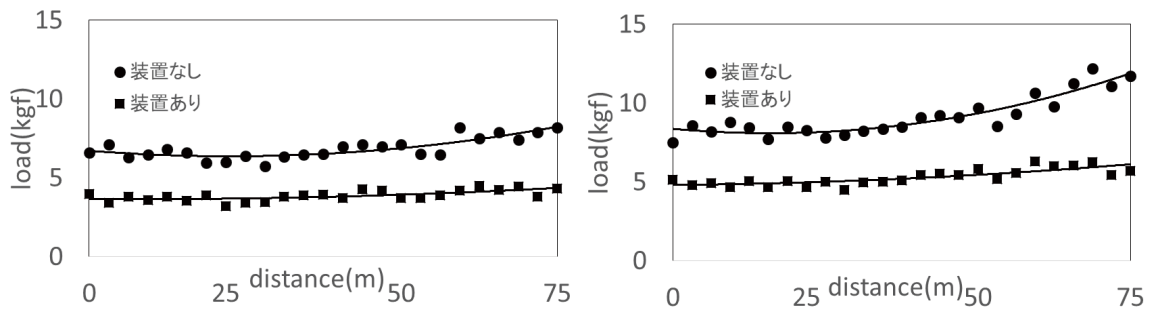


図 37 繊維傾斜角による抵抗値と減少率  
(左：心材 右：辺材)

#### 4 結言

本研究では、振動による工具の切削性向上技術に着目し、鉋に直線的振動を与える事によって切削性を向上させ、力が比較的弱い小学生や中学生の低学年も簡単に鉋加工が出来るような補助教材を開発するための技術確立を最終目的とした。振動特性が切削性に及ぼす影響を総合的に評価した結果は、以下の通りである。

- ・ 3 軸方向における加速度測定試験によって、本振動装置は直線的な振動を起こしていることが明らかとなった。
- ・ 振動周波数測定試験においては、無負荷条件で電圧と回転数は比例的關係であり、3V で 330 Hz に回転したが、重りの数が増えると 1.5V から上昇率が徐々に低下し、5 個で 270 Hz を下回った。
- ・ 官能試験においては、重りの数の増加と電圧の上昇により切削性が向上し、4~5 個と 2.5~3V 条件で切削性が最も良い条件であることが明らかとなった。
- ・ 鉋屑の厚みによる切削抵抗測定試験の結果においては、心材が 5  $\mu\text{m}$  で 37.4%、辺材が 5  $\mu\text{m}$  で 36.6% の減少率を示した。
- ・ 繊維傾斜角における逆目方向の切削抵抗測定試験の結果においては、心材では 1 度で 37.4%、2 度で 24.7%、3 度で 3.5% の減少率を示した。辺材では 1 度で 36.6%、2 度で 28.3%、3 度で 1.4% の減少率を示した。

#### 参考文献

- 1) 枝松信之・森稔(1971)「製材と木工」森北出版。
- 2) 田所千明(2007)「木材加工における研磨について」(筑波大学技術報告 No.27) pp.45-49
- 3) リョービ電動工具マイシリーズ電動彫刻刀 DC501  
[http://www.dogudoraku.com/catalog/product\\_info.php/products\\_id/12516](http://www.dogudoraku.com/catalog/product_info.php/products_id/12516) (閲覧日:2018)
- 4) KDD (株) USW-334 小型超音波カッター-USW-334UD  
<http://www.kdd1.com/keiki/002/usw333.html> (閲覧日:2018)
- 5) 齊藤寛史(2017)「高硬度金型鋼の高精度楕円振動切削に関する研究」(名古屋大学大学院工学研究科博士論文)
- 6) 村中利吉・高辻雄三・能登谷久公(1962)「超音波振動による切削抵抗低下の要因について」

(機械の研究 第8巻12号)pp.116-122

7) 升田雅博・野上輝夫(2000)「焼入れ合金工具鋼の高速エンドミル加工時の工具寿命と切削温度」(精密工学会誌 第66巻11号) pp.1745-1749

8) 岩井哲・大林眞(2007)「木材弾性係数の非破壊計測のための工学実験教育における打撃音法の利用」(広島工業大学紀要教育編 第6巻) pp. 15-18.

9) 升田雅博・黒島泰幸(1987)「炭素焼結体の被削性 第1報 ～工具寿命と工具摩耗の特性～」(精密工学会誌)pp.114-120

10) 山下晃功・宮崎拓道・井上裕之・番匠谷薫・古野毅・石丸進(2011)「木材の性質と加工」(開隆堂出版)

11) 喜多山繁・栃木紀朗・鷺見博史(2012)「木材の加工」(文永堂出版)

12) 番匠谷薫・奥村正悟・服部順昭・村瀬安英(1992)「切削加工 第2版」(海青社)

13) 小澤普照・岩本恵三(2008)「木と木材がわかる本」(日本実業出版)