# 振動特性を応用した木材の裁断技術の開発研究

石井信義*・大内成司*・鬼鞍宏猷**・栗山保士***
*材料開発部・**九州大学・***（有）栗山機工作所

# Development of Wood Ripping Method Using Vibration Character

Nobuyoshi ISHII*・Johji OUCHI*・Hiromichi ONIKURA**・Yasushi KURIYAMA***
*Material Development Division・**Kyuushu University・***Kuriyama Machine Maneuvering Inc.

## 要旨

本県地場産業の一つである木材加工工場には,木材を切断分割する際に発生する切り屑と騒音の問題があり,作業者の健康を阻害している状況がある.これらを解決するため、新しい木材の切断分割システムを開発することとし,平成8年度から開発研究を実施した.[1)2)] これは,アサリのない工具刃物を外力（低周波）によって振動させ，その振動で木材を切断分割（以下切断）する方法である.

今年度は,平成9年に開発した裁断機（以下実験機）の問題点を改修し,切断加工実験を実施して新しい切断装置のモデル化のためのデータを収集した.

その結果,

(1)これまでの切断方法は,往復上下振動のため木目の影響を受ける難点があったが,今回採用した回転振動（振幅5mm 振動回転数6,000rpm・100HZ）は,刃物の切断軌跡が木目（繊維）の影響を受けず,ほぼ直線で切断でき,且つ 切り屑や振動音の発生が押さえられる工法であることを確認した.

(2)被加工材の繊維方向に平行の送り速度と切断抵抗の関係は,垂直刃の場合,0.4f/F[mm/cycle]のときは0.5[kgf]であり0.6f/F[mm/cycle]では3.3[kgf],0.9f/F[mm/cycle]では3.7[kgf]の数値を把握し,送り速度が増加するにしたがい切断抵抗も増加の傾向を示した.

(3)回転振動切断メカニズムについては,木材の切断における刃物要素（ナイフ状の水平刃と垂直刃）の寸法,切断条件および切断面積の関係から,工作物に相対的な水平刃コーナの運動軌跡（トロコイド曲線）と切断領域を導きだした.

## 1. 緒言

物を切るという行為は人類の有史以来,欠くことのできない普遍的行為である。野菜や果物を,そして,木材や竹を切るなど日頃よく見かける光景である.野菜や果物を切る場合はナイフ状の工具刃物が多く,木材や竹を切る（切断分割）時は鋸や鉈を使い,削って形を創る時などはナイフを使用するのが日常的である.これらの中で主に木材を一定の寸法に切断する場合,工業的な手法として,回転切削機構を採用したアサリのあるチップソーや帯鋸による加工が普及しており一般的である。しかし,この方法では鋸屑や回転音が発生し,作業者の健康を阻害（気管障害,聴力障害等）しているのが現状である.

近年においては,木材を切断する方法として上記以外にレーザーや高圧水流加工,振動切削加工等があり 各方面で応用が図られている.主に振動切削については,金属部品加工分野での利用が多く,木材加工分野では,有効性が言われるものの実験的研究報告の域であった.

そこで,本研究ではこの振動を使用した木材の切断加工方法の研究に平成8年度より着手して,様々な実験の結果から,切り屑と騒音を押さえた木材の切断方法として,アサリのないナイフ状工具刃物を外力（低周波）により上下往復運動（振動）させ,木材を切断する加工方法を採用した実験機を設計製作（平成9年度）した.[2)]

今年度は,工具刃物の上下往復振動から回転振動機構へメカニズムを変更するとともに,無段階自動送り装置の装着や切断抵抗測定用ロードセルの装着等,実験機の改修を行い加工実験を実施して,データの整備を進めた.

この研究の目的は，木材加工工場において，木材を切断分割する際に,切り屑の発生と騒音を押さえた，加工方法と振動切断機構を備えた木材の切断装置の開発にある.

## 2. 研究方法

### 2.1 実験方法

2.1.1実験機

本研究を進めるための実験機は，動力源は汎用モーター（60HZ,2,200W,1,800rpm）を使用し，工具刃物の動作

を偏心カムにより回転振動に変換して，切断加工機能を備えた機構とした．加工材の送り方法は，手動からチエーン駆動による無断変速装置を備えた自動送りとした．振動回数と送り速度の変換は，インバータによる周波数制御とした．実験に使用した実験機をFig.1に表す．

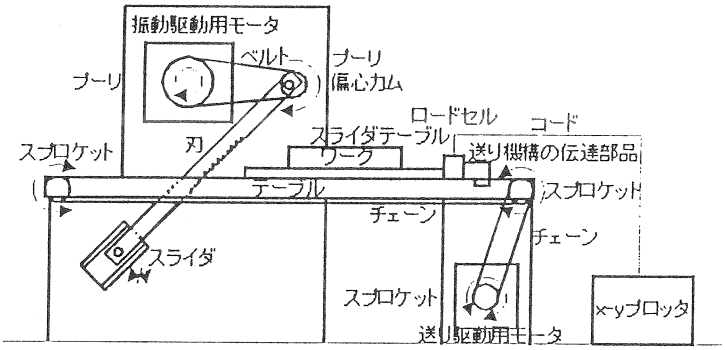


Fig.1 実験機（正面図）

2.1.2工具刃物

切断加工実験用としてアサリのない階段状の刃物を製作した．様々な予備実験（H8,9年度実施）の結果を参考にして使用した素材は，炭素工具鋼SKH-2である．[1)2)]

刃物Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの3種類である．それぞれの刃は，ピッチが異なる．ピッチとは，垂直刃の長さまたは水平刃の長さを指す．刃Ⅰは1.25，Ⅱは2.5，Ⅲは5（mm）のピッチである．この値はピッチが振幅（5mm）の1/4，1/2，1倍になるようにした．各刃の刃先角は30度，刃厚は1.25mm，刃先部の長さは70mmで共通である．Fig.2は今回の実験に使用した刃物の形状であり，3種類の中から2種類を表す．

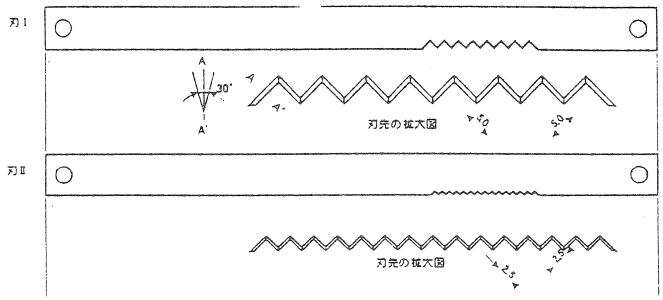


Fig.2　工具刃物

2.1.3　供試材

切断実験に使用したワークは，スギ板目材で試験片の寸法を100(T)×300(L)×30(R)mmとした．試験片の含水率は10～15%，密度は0.37～0.41(g/cm³)を使用した．

2.1.4実験方法

切断加工方向は，繊維方向と平行とした．試験片の送り速度は1.5m/minとし，試験片の送り方向に対して刃物の取り付け角度を45度に設定した．入力電力は200vの60Hzとして，インバータにて自由に変換可能な方法を採用した．今回の実験では，刃物の振幅は5mm，振動回転数は6,000rpm・100HZとした．

Fig.3に切断加工の状況を表す．

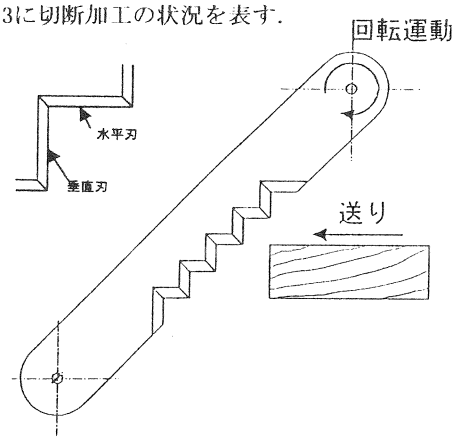


Fig.3 切断状況

2.2　切断抵抗

切断抵抗は，実験機にロードセルを取りつけ固定し，切断時の負荷状態を自動平衡記録計にて測定した．

2.3　切断面積と相対運動軌跡の解析

工作物に対する刃物の相対運動軌跡と切断領域の解析は，木材の切断における，刃先要素（ナイフ状の水平刃と垂直刃）の寸法，切断条件および切断面積などを考慮して行った．その時の被加工物と刃物の切断角度は45度，水平刃と垂直刃の長さは5mmを想定した．

2.4　切断装置の開発

新しい切断装置のモデル化については，外力（低周波）により工具刃物を回転振動させる機構と階段状のアサリのない工具刃物で，木材や木質系材料の切断加工を行う際に，切り屑の発生が少なく，振動音を押さえた機構を備えていることを特徴とした．

具体的内容として，下記の条件を加味した装置を想定した．

装置の寸法は1.500(L)×700(W)×1,200(H)(mm)で上盤の高さを700mmとし，素材は鋼材を使用した．被加工材の寸法は，500(W)×50(T)×1,800(L)(mm)が割断可能とした．振動源並びに被加工材の送り動作等には，汎用モーター（60Hz,2,200W,1,800rpm）を使用した．

階段状の工具刃物の回転振動機構は，モーターからベルトによって回転偏心カムに伝わり，工具刃物（300(L)×25(w)×1,25(t)(mm)）を装着したカッターホルダーが回転振動を繰り返す機能とした．被加工材と刃物の切断角度は，30～60度の範囲で自由に選択可能な機能とした．

振動回数は最大6,000rpm/100Hz，振幅は0.1～5.0mmの範囲としインバーターによる周波数制御を採用した．被加工材の送り速度は，0.5～3.0m/minの範囲を選択可能とした．

カッターホルダーは，着脱可能で刃物交換や用途に応じて複数の刃物が装着可能とした．

## 3.　結果および考察

### 3.1　切断抵抗

Fig.4には，実験機での木材切断時の切断抵抗変化の一例を表した．

測定は，被加工材の送り機構が動き始めると，送りチェーンとスライドテーブルの間に挟まれたロードセルに圧縮の力がかかり，瞬間的に計測用指針が振れるがすぐに安定する．この安定したところを切断抵抗の零点とした．切断開始時に刃が被加工材に切り込み始めると，グラフの基準線を境に指針は，プラス方向かマイナス方向に振れだす．被加工材の切断中には，被加工材が送り方向に引き込まれる場合があり，その時にマイナスの値が表示された．この現象については，今後実験を繰り返す中で解析を進める考えである．　引き続き切断加工を実行すると，指針がプラス側に振れた．このような状態で切断加工を進めると被加工材の最後の段階に至る前に，被加工材が割裂する．この点をCとした．この時測定値は，零に近くなった．

この実験では，切断抵抗が大きく変動することを計測したので，平均切断抵抗値Rを算出してデータを比較した．基準線上a間における高さbの軌跡で囲まれた，形状を三角形，同様にc間における高さdの軌跡を四辺形に近似し各面積を算出して，それらを合計してA（mm²）とした．

A（mm²）を各実験の切断長さLa(mm)で割り，それに4/15（kgf/mm）というグラフの縦軸変換値を掛けたものを平均切断抵抗R(kgf)とした．Rは，単位長さ当りを切断する時に必要な切断抵抗を示している．また，$L_c$(mm)は実際の割裂長さである．切断方向は木目に平行と比較するために，垂直方向も実施した．Fig.5には，階段状の刃を回転振動させた際の切断抵抗計測の一例を表した．Fig.6には実験パラメータと結果を表した．

これらの結果から次ぎのことが言える．

①切断抵抗を減少するためには，刃物のピッチは振幅の1/2以下が良好な結果を示した．

②割裂長さは，刃物のピッチが振幅の1/4より，1/2が短くなった．

③切断抵抗は，送り速度0.3（mm/cycle）を越えると急激に大きくなる傾向を示した．

Fig.7にはピッチと割裂長さの関係を表し，Fig.8には一振動当りの送り量と平均切断抵抗の関係を表した．

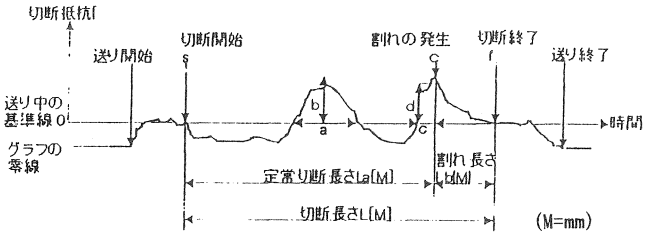


Fig.4 切断抵抗の変動パターン

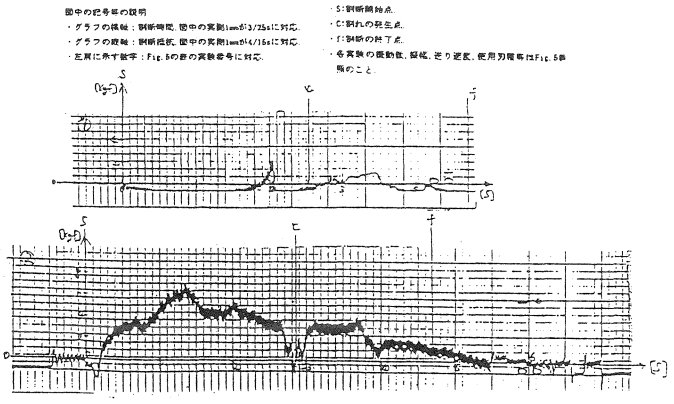

Fig.5 切断抵抗

| ziken No | p[mm] | F[Hz] | F[mm/s] | f/F [mm/cycle] | A[MM] | L[M] | La[M] | Lb[M] | R [kgf] | Lc[mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| tate1 | 2.5 | 23.75 | 22.1 | 0.930 | 15 | 117.3 | 62 | 55.3 | 0.0645 | 146.6 |
| 2 | 5 | 23.75 | 22.1 | 0.930 | 990 | 117.3 | 71 | 46.3 | 3.7181 | 122.7 |
| 3 | 2.5 | 47.5 | 17.73 | 0.373 | 150 | 141 | 70 | 71 | 0.5714 | 151.0 |
| 4 | 2.5 | 47.5 | 11.72 | 0.246 | 0 | 216.3 | 143 | 73.3 | 0 | 103.0 |
| 5 | 2.5 | 66.5 | 11.72 | 0.176 | 0 | 216.3 | 142 | 74.3 | 0 | 104.4 |
| 6 | 2.5 | 66.5 | 37.88 | 0.569 | 516 | 66 | 42 | 24 | 3.2764 | 109.0 |
| 7 | 2.5 | 66.5 | 22.1 | 0.332 | 0.5 | 117.3 | 79 | 38.33 | 0.0016 | 101.6 |
| 8 | 2.5 | 66.5 | 15.88 | 0.238 | 7.5 | 157.2 | 81 | 76.2 | 0.0246 | 145.2 |
| yok9 | 2.5 | 66.5 | 15.88 | 0.238 | 0 | 52.4 | 35 | 17.4 | 0 | 33.1 |
| 10 | 2.5 | 66.5 | 17.73 | 0.266 | 0 | 47 | 29 | 18 | 0 | 38.2 |
| 11 | 2.5 | 47.5 | 12.82 | 0.269 | 0 | 65 | 39 | 26 | 0 | 39.9 |
| 12 | 2.5 | 28.5 | 12.82 | 0.449 | 101.3 | 65 | 51 | 14 | 0.5296 | 21.5 |
| 13 | 2.5 | 66.5 | 37.88 | 0.569 | 5 | 22 | 16 | 6 | 0.0833 | 27.2 |
| 14 | 2.5 | 47.5 | 17.73 | 0.373 | 0 | 47 | 32 | 15 | 0 | 31.9 |
| 15 | 1.25 | 47.5 | 17.73 | 0.373 | 0 | 47 | 30 | 17 | 0 | 36.1 |
| 16 | 1.25 | 28.5 | 12.82 | 0.449 | 0 | 65 | 12 | 53 | 0 | 81.5 |
| 17 | 1.25 | 66.5 | 37.88 | 0.569 | 0 | 22 | 4 | 18 | 0 | 81.8 |
| 18 | 1.25 | 66.5 | 12.82 | 0.192 | 0 | 65 | 4 | 61 | 0 | 93.8 |

Fig.6 実験パラメータとその値

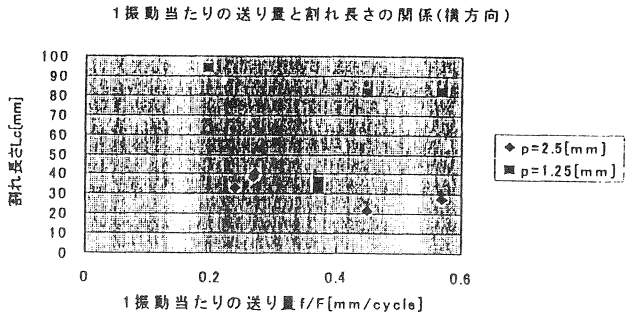


Fig.7 ピッチと割裂長さ

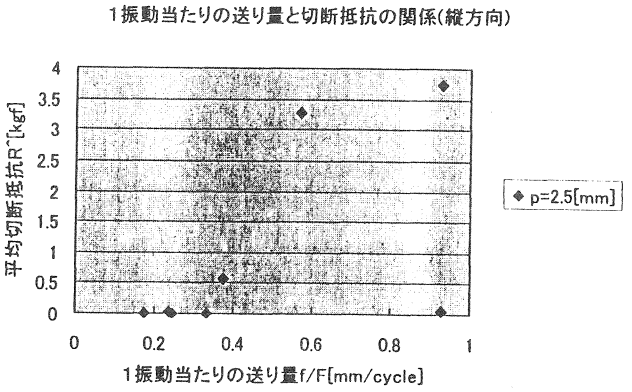


Fig.8 送り量と平均切断抵抗

Fig.7に実験結果として示したように，刃Ⅰが刃Ⅱより割れ長さが大きくなりやすいのは，垂直刃の作用の違いによるものと考えられる．また，垂直刃，水平刃を有する階段状の刃を回転振動させて切断する方法では，一回転当りの送り量が水平刃の長さを越えると強制的に垂直刃によって切断作用が行われると考えられるが，実験では，一回転当りの送り量が水平刃の長さに等しくなる以前に切断抵抗の急激な増加が見られた．具体的には水平刃の長さが2.5mmにもかかわらず，実験において切断抵抗の増大を測定したポイントは，一回転当りの送り量が0.3を越えたところからであった．このことについては，今後考察を進めたいと考えている．

全体の考察としては，次ぎのことが言える．20KHzの振動数を用いた木材の振動切断では，刃物角減少効果を利用し切断抵抗を減らすことで，ほぼ満足できる切断加工が可能であった．さらに振動音は無振音に近かった．[1]

今回の実験からも切断する場合，刃物角の減少を利用し切断抵抗を減らすことで切断効果が有効であり，さらに振動音についてもチップソーなどに比べて低く知覚し，低音レベルでの音響が期待できそうである．これからは，切断に関する理論的解析や振動音などの周波数分析を進めデータの整備を行う考えである．また，木材の振動切断に適した，切断効果が発揮されやすい刃の形状，刃の動きを追求したいと考えている．

### 3.2　切断面積と相対運動軌跡

3.2.1解析モデル

刃物は，階段状をしており等しい長さの水平刃と垂直刃の組み合わせである．Fig.9には，解析に使用した刃物の形状を表した．また，解析に使った記号を示した．

f：振動周波数（Hz）　　F：送り速度（m/s）

a：振動の片振幅（m）

b：振動1周期当りの送り量（m），b=F/f

L1：水平刃の長さ（m）　　L2：垂直刃の長さ(m)

A ：全切断面積(m²)

A1：水平刃による切断面積(m²)

A2：垂直刃による切断面積(m²)

$r_1$：水平刃による切断面積割合，$r_1$=A1/A

$r_2$：垂直刃による切断面積割合，$r_2$=A2/A

t ：時間(s)

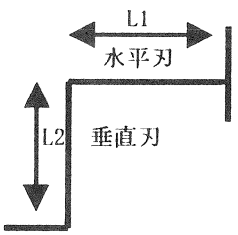


Fig.9解析した刃物の形状

3.2.2被加工物に対する刃物の相対運動軌跡と切断領域

(1)刃物コーナの相対運動軌跡

回転振動する刃物に一定速度で被加工物が送られる運動系(fig.3)を回転運動と送り運動を行う系に置き換えて考えた．この時の刃物上の点の運動はトロコイド曲線となる．すなわち，コーナの初期位置と番号をFig.10のように定めると，次ぎの計算式によって表される．

点1：X1=L1+Ft+a sin2πft

y1=a(cos2πft-1)

点2：X2=L1+Ft+ a sin2πft

y2=L2+ a(cos2πft-1)

点3：X3=2 L1+Ft+ a sin2πft

y3= L2+ a(cos2πft-1)

この計算例をFig.11に表す．

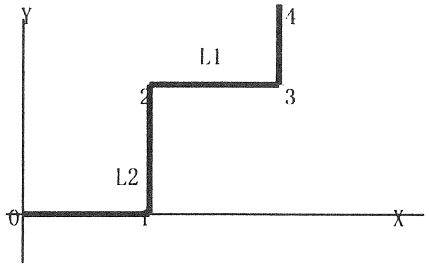


Fig.10刃物コーナの初期位置と番号

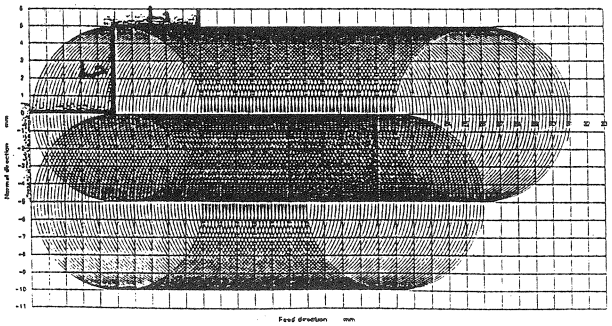

Fig.11運動軌跡（トロコイド曲線）と切断領域

(L1=5mm, L2=5mm, F=20mm/s, a=5mm, f=100Hz)

(2)切断領域と切断面積

水平刃と垂直刃による切断領域の面積を数値計算によって，それぞれの面積割合$r_1$=A1/Aおよび$r_2$=A2/Aを振幅比(a/L1=aL2=a/L)に対してプロットすると，Fig.12のようになる．

この図から，振幅比が増大すると水平刃による切断面積が増大し，振幅比が1以上ですべての領域を水平刃が切断することになる．また，振動1周期当りの送り量(b=F/f)を増加させると水平刃の切断面積がやや増大する．水平刃は，コーナから振動1サイクル当りの量に相当する長さの部分だけが切断作用を行うのに対し，垂直刃の作用長さは振幅の増加に伴って減少する．振幅aが垂直刃の長さL2の1/2の場合には，コーナから振幅に等しい長さの部分が切断に関

与する．水平刃と垂直刃の切断面積割合を考慮して，切断効率，切断抵抗および切断精度の点から，刃物の寸法，振動振幅および送り速度を決定することが望まれる．

Fig. 12には，振幅比に対する水平刃と垂直刃による切断面積の傾向を表す．

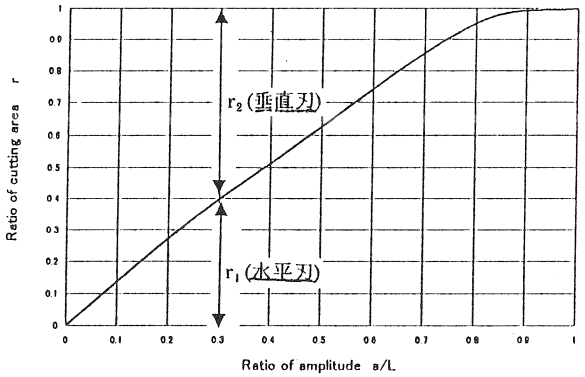


**Fig. 12切断面積の傾向**

(L1=5mm, L2=5mm, F-20mm/s, f=100Hz, a=1. 25～5mm)

### 3.3　切断装置の開発

切断装置の開発は，前項2. 4で述べた内容を検討しながらデザイン設計を行った．詳細については，今後仕様を決定して装置試作のための設計図を整備し，同時に機械装置の名称についても検討課題として，取り組む考えである．

Fig. 13, 14にモデル化のためのイメージ平面図と正面図を表す．

## 4. おわりに

今回の実験は，低周波領域での工具刃物の振動によるスギ材の切断分割加工であった．この結果から切り屑の発生を押さえた切断加工の可能性への期待を高めることができたものと考える．

次年度には，分割力（抵抗値）の計測法の確立，工具刃物の設計製作，振動切断装置の開発等，加工実験で資料の整備を図る計画である．また，切断時における機械（工具刃物等）の振動音を測定して，作業環境への影響度を把握する考えである．

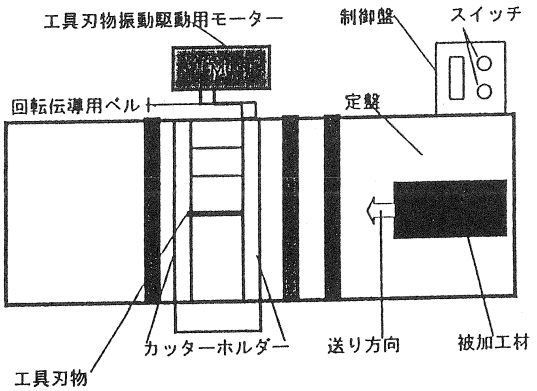


**Fig. 13 切断装置（平面図）**

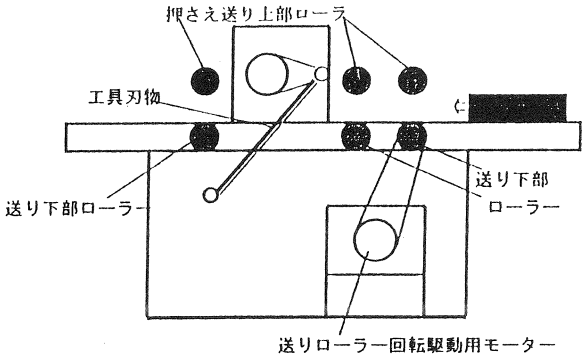


**Fig. 13 切断装置（正面図）**


## 5. 謝辞

本研究の遂行にあたり，貴重なご意見助言を頂きました九州大学工学部知能機械工学科・小林正和氏に心より感謝の意を表します．


## 参考文献


1)．石井信義，山本幸雄：平成8年度研究報告大分県産業科学技術センター，126-129

1)．石井信義，山本幸雄：平成9年度研究報告大分県産業科学技術センター，160-163