

第1章 はじめに

1.1 背景

断切金箔の仕上げ工程において、一定寸法の商品とするために、打紙から取り出した金箔を箔合紙（はくあいし）と呼ばれる和紙の間に一枚ずつ挟み込み、1000枚単位の箔と箔合紙の積層体を作り、一定寸法の木（又はアクリル）製のブロックを載せ、これを足で踏み押え、薄刃（うすば）と呼ばれる特別の包丁（図 1.1）で4面を順次切断する。このとき、ブロックの踏み加減、薄刃にかける力加減など、人間の5感を最大限必要としている。さらに、こうした一連の作業には体力を必要とし、近い将来において、職人の高齢化により従来型の作業の継続が危惧され、業界から、省力化と合理化を可能とする裁断機の開発が強く望まれている。



図 1.1 職人が使用している刃（単位[mm]）

1.2 金箔の切断の難しさ

職人が行っている裁断作業の様子を図 1.2 に示す。この裁断作業を自動化する難しさは、次の点にあると考えられる。

- ①積層体を押し付けて圧縮するほど裁断しやすいが、押し付けすぎると、間に挟まっている金箔に合紙の模様がついてしまう。
- ②直線状のカッターやノコギリ状の刃で引いて切ると、金箔の端を引っかけることにより破れが生じる可能性がある。
- ③厚い紙の積層体を上方から大きな力で押して切るという方法が他にあるが、金箔の端が合紙の端にめり込みくっついてしまう可能性がある。
- ④積層体の4面を、刃が斜めに入っていないよう、精度良く垂直に裁断する必要がある。

1.3 研究開発の目的

以上の背景から、金箔と箔合紙の積層体の4面を自動で切断する裁断機の開発を研究目的とする。昨年度、積層体をきれいに裁断できる刃物やその切断条件を、マイクロスコープによる切断面の観察などにより、ある程度明らかにした。また、その際、自動裁断装置の検討にもなり実験装置にもなる、積層体の1面を切断するスライド式の手動切断装置を

試作した。

本年度は、この実験装置に本格的にモータを取り付け、制御プログラムを組み込み、積層体の1面を自動で裁断する装置の設計と試作、評価、改良を行う。そして、その成果に基づき、4面を自動で裁断する装置の考案へと進めていく。

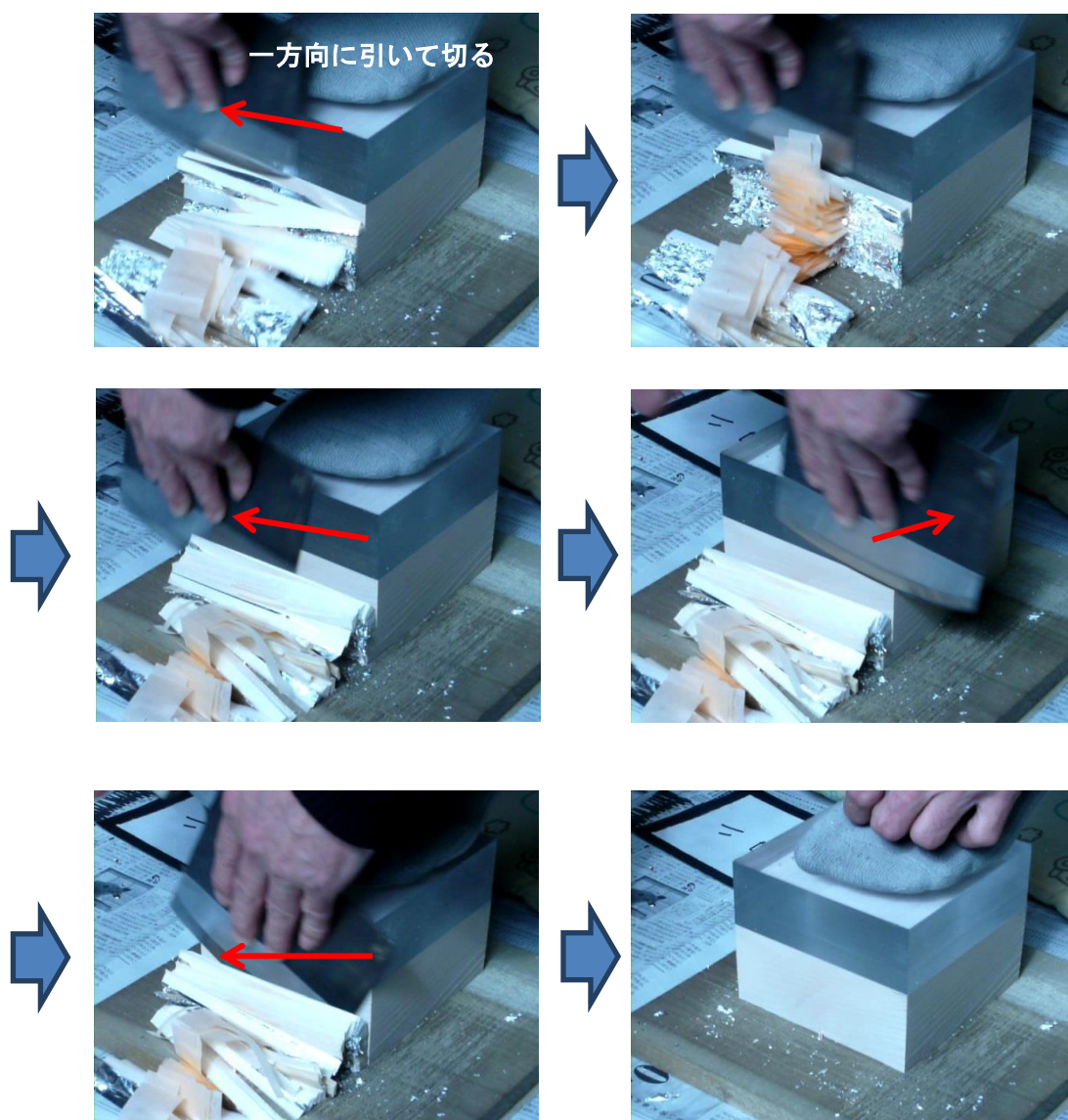


図 1.2 職人に裁断作業の流れ

第2章 積層体1面の切断装置の予備試作

2.1 装置の構成

積層体の1面を自動で切断する装置の予備試作を行った。実験装置として、刃の回転等を調整したり、積層体の位置を調整したりできるようにもした。全体構造を図 2.1 に示す。

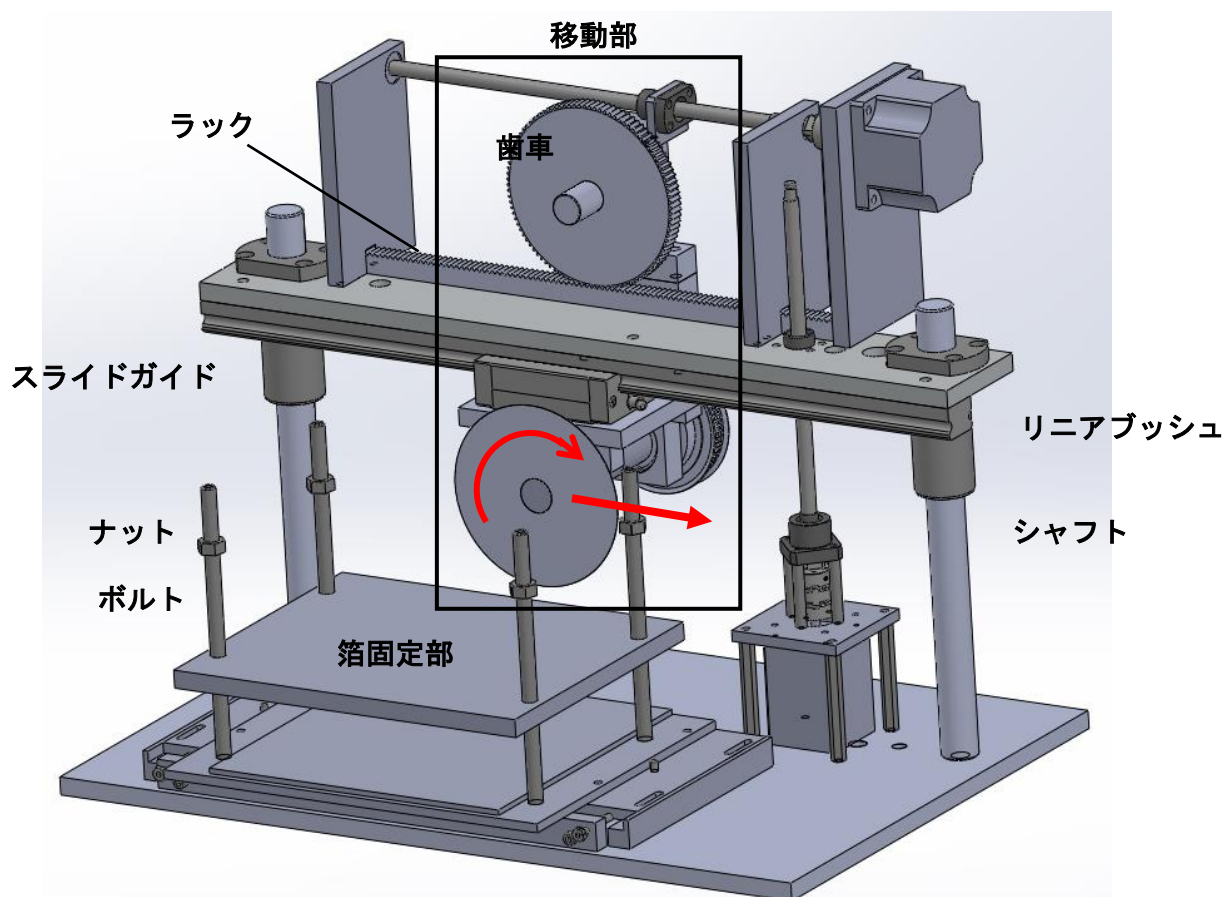


図 2.1 積層体1面の切断装置の構造

スライドガイドを用いて左右方向へ刃を移動できるようにし、さらに、リニアブッシュとシャフトにより上下方向にも移動できるようにしてある。また、刃の回転と直動が連動できるようにした (図 2.2)。刃の移動部がスライドすると、歯車がラック上を回転し、同軸のタイミングプーリとタイミングベルトを介して下部の刃に回転が伝わるという機構になっている。この刃の回転運動と直線運動の比を回転-直動比と呼ぶことにする。2つのタイミングプーリの歯数を変えることで様々な回転-直動比が得られる (実験により最適比が得られれば、その比で固定し、それに合わせて連動部を再設計する)。

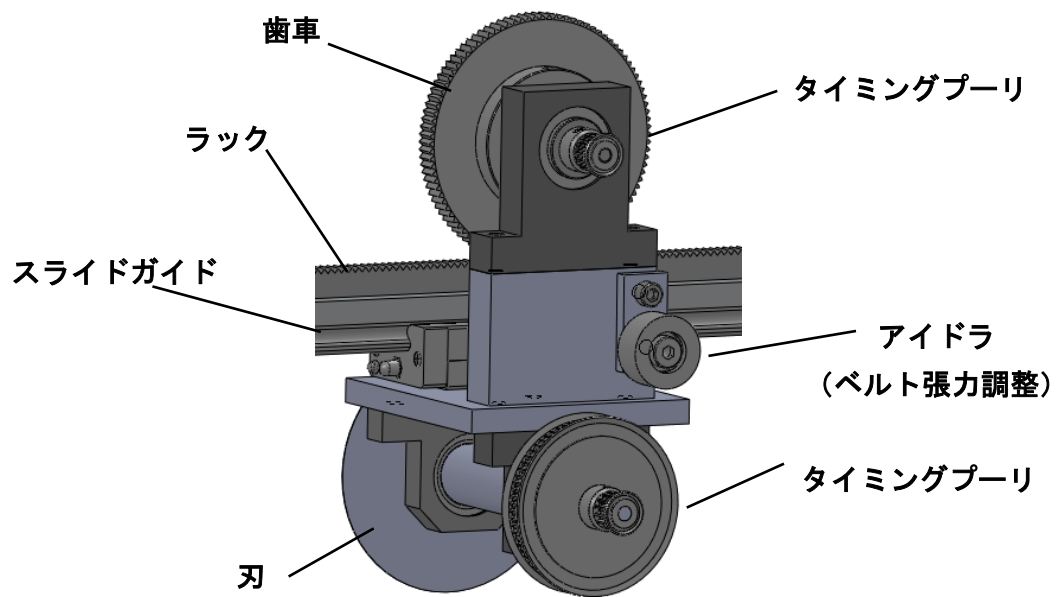


図 2.2 積層体 1 面の切断装置の移動部の構造 (裏面)

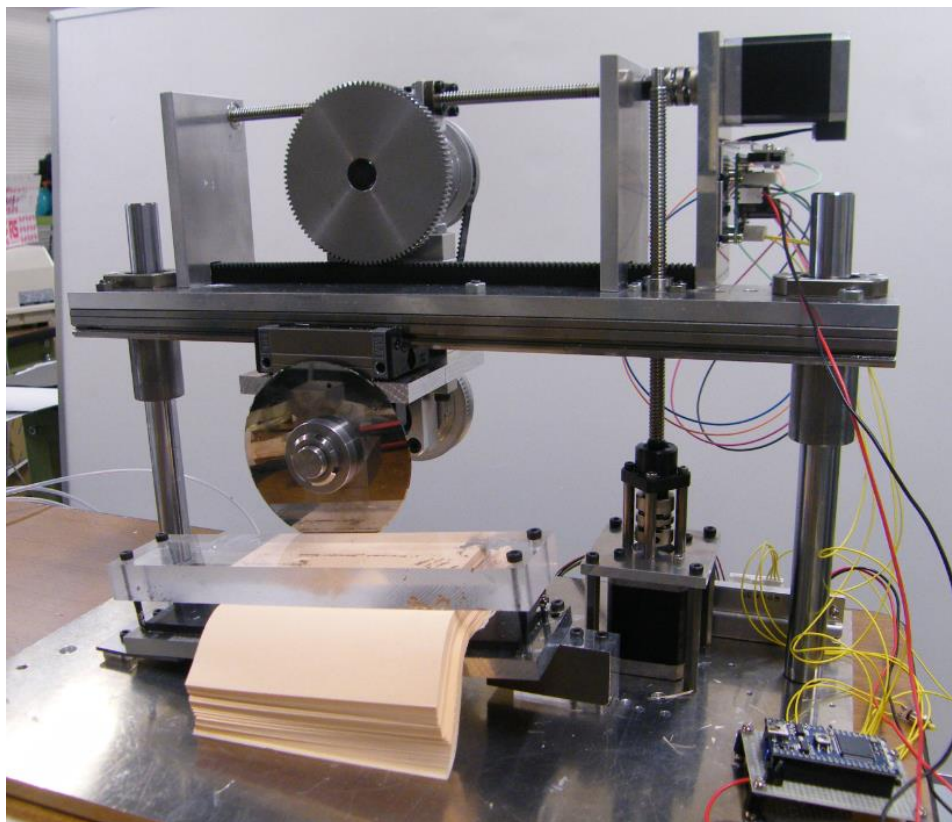


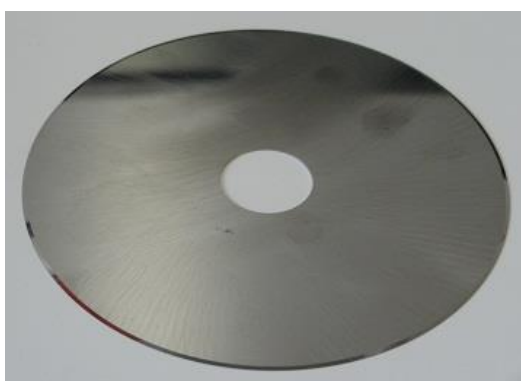
図 2.3 予備試作した積層体 1 面の切断装置

2.2 刃と回転一直動比

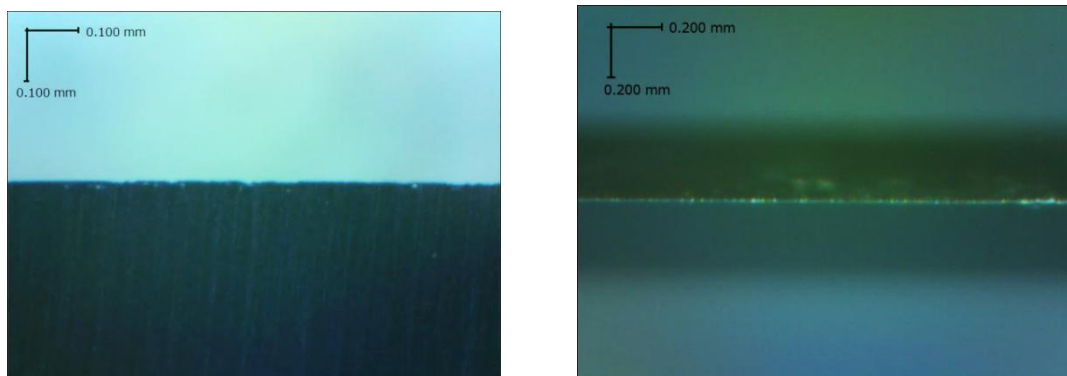
積層体1面の切断装置に使用した丸刃を図2.4に示す。切れ味が鋭く、耐久性も高いものを選定した（昨年度）。

表 2.1 選択できる丸刃の回転一直動比

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
回転一直動比	0.194	0.389	0.500	0.722	1.00	2.00	2.57	5.14
プーリの歯数 (上部/下部)	14/72	14/36	36/72	26/36	14/14	72/36	36/14	72/14



(a) 丸ナイフの外観（刃厚:0.3mm 外径:100mm 刃角:20° 材質:FW35（粒径 $0.7\mu\text{m}$ ピッカース硬度 $1550\text{kg/mm}^2(\text{HV})$ 抗折強度 3250MPa 破壊靱性 $12\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ））



(b) マクロスコープで観察した刃先（倍率：350倍、左は側面、右は断面方向）

図 2.4 使用した京セラ（株）製超微粒子超硬丸ナイフ

切断時の回転一直動比は、表 2.1 のような比率を用意した。比が1のときは、刃は滑らずに転がりながら移動する。比が1より小さいときは、回転が小さくなり、刃を引いて切るのに近くなる。逆に、比が1より大きいときは、直動に比べて回転が増え、刃の回転で切るのに近くなる。

2.3 モータの選定

積層体1面の切断装置では、丸刃を左右、上下に移動させて積層体を切断する。いずれも直線運動であり、モータでボールネジを回転させることで実現した。ボールねじは、上下、左右の方向とも、直径8mm、リード（1回転の移動量）2mmのものを選んだ。例えば、上下モータの回転速度が1200rpm（20rps）のとき、直線運動の速度は40mm/sとなり、左右モータの回転速度が2400rpm（40rps）のとき、直線運動の速度は80mm/sとなる。このボールネジに対して、それぞれモータを選定した。

モータの選定方法を説明する。移動部の質量 M 、移動量 x 、ボールネジの回転角 θ 、ボールネジの慣性モーメント I 、ボールネジのリード p 、モータのトルク τ とする。ボールネジ・ナット間のトルクと力を τ' 、 F とおくと、運動方程式は次のようになる。

$$I \ddot{\theta} = \tau - \tau', \quad M \ddot{x} = F + Mg, \quad x = \left(\frac{p}{2\pi} \right) \theta, \quad F = \left(\frac{2\pi}{p} \right) \tau'$$

この2式をまとめて、移動部の移動量 x について表すと、

$$\tau = \left(\frac{2\pi}{p} \right) \left\{ I \ddot{x} + \left(\frac{p}{2\pi} \right)^2 (M \ddot{x} - g) \right\}$$

この式に具体的な値を入れて計算すると、表2.2のようになる。安全率等を考慮して、図2.5のようなトルク特性を持つモータを最終的に選んだ。ステッピングモータを選んだのは、入力パルスに同期して動かせるため、特別な位置制御が不要だからである。

表 2.2 モータの選定

	g [kg/m ²]	M [kg]	p [mm]	I [kgmm ²]	設定加速度 \ddot{x} [m/s ²]	必要トルク τ [Nm]
左右方向	0	1.0	2.0	3.2	50	0.52
上下方向	9.8	2.0	2.0	2.0	50	0.53

■ 回転速度—トルク特性

CRK546PAP□/CRK546PBP□

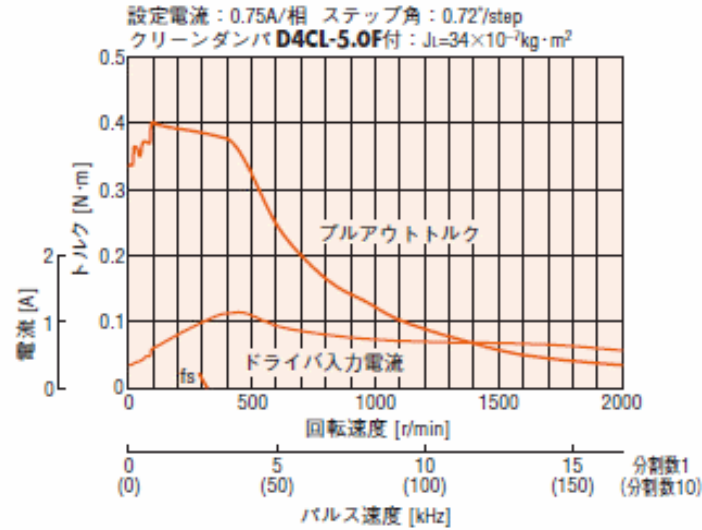


図 2.5 上下方向移動用の DC 5 相ステッピングモータのトルク特性
(オリエンタルモータ (株) 製 CRK546PAP カタログより引用)

2.4 制御部

モータの制御用に、図 2.6 のようなワンチップマイコンを選定した。C 言語でプログラミングできるため、開発用に適している。スイッチは、装置の電源 ON/OFF だけでなく、モータのマニュアル動作もできるように、3 個つけてある。電源は、基本的に、モータ等を駆動する 24V とマイコンやセンサ用の 5V である。

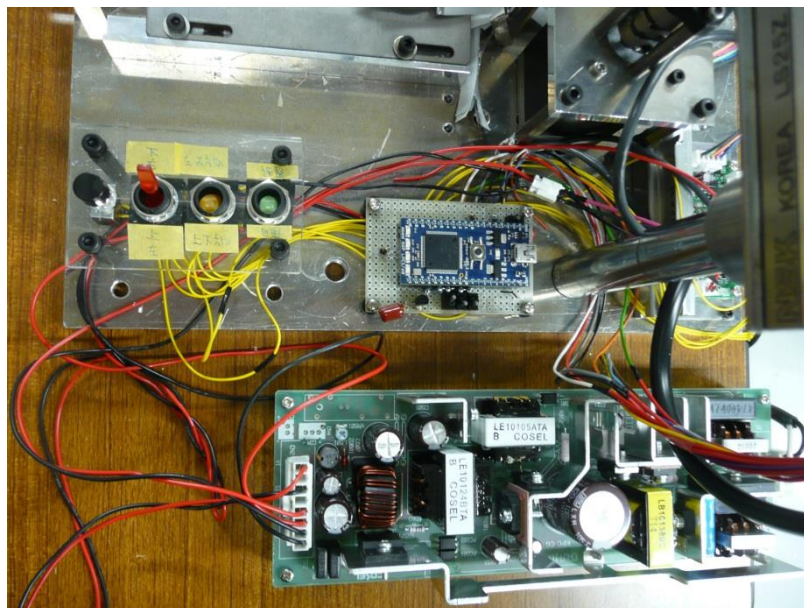


図 2.6 制御用のワンチップマイコン(mbed NXP LPC1768)とスイッチ及び電源

第3章 予備試作した切断装置の評価と改良

3.1 切断実験

予備試作した積層体1面の切断装置を用いて、アルミ箔と合紙の積層体の切断実験を行った。箔固定部には、まず、合紙だけを10mm程度重ねて厚みをもたせ、その上にアルミ箔と合紙の積層体を載せてプレートで挟み、固定した。回転一直動比を最大あるいは最小の設定で、切り込み量3mm、水平に移動速度80mm/s程度で切断した。その結果、例えば、図3.1に示すような結果が得られた。他の条件でも試みたが、ほとんどの場合、切りくずを巻き込んで断面がささくれだってしまう結果となり、良好な切断はできなかった。



図 3.1 積層体（合紙）の切断結果（切りくずの巻き込み等によりささくれ立っている）

実験結果から、改良すべき問題点を次のように考察した。

- (1) 台を少し斜めにしておいて刃を水平に動かして切断する方式にしていたが、上下方向と左右方向の2つもモータを連動させれば、台が水平でも斜めに切り込んでいくことができる。
- (2) 積層体を押し付けて固定しているプレートと刃の間にまだ隙間が大きく、合紙のはねあがり等により箔切断面が良好でない。また、刃と切断面の間に積層体の切り屑を巻き込む現象も見られた。そこで、できるかぎり隙間を0とするように、場合によっては刃を固定プレートに押し付けながら切断するように、刃の取り付け軸部や積層体を置く台等の改良を行う必要がある。（を0にする）
- (3) 左右方向に刃を高速に移動させるとき、ステッピングモータがトルク不足で脱調する現象が見られた。トルクの大きいモータへの交換が必要である。
- (4) 刃の回転軸方向に若干のガタが見られる。これも切断面を悪くする原因である。回転軸を支えている両端の軸受を、スラスト方向に与圧をかけて固定すれば改善する。

3.2 左右方向のモータの再選定

左右方向のモータにトルク不足が見られたことから、再選定を行った。高速回転時（例えば、モータ回転速度 2400rpm（40rps）で、直線運動の速度 80mm/s など）のトルクが不足しないようにした。検討の結果、図 3.2 に示すようなモータを選定した。

■回転速度—トルク特性

連続運転領域：連続運転が可能な領域です。

短時間運転領域：主に加速時に使われる領域です。

定格トルクを超える負荷が約5秒間連続して加わると、過負荷保護機能がはたらき、モーターは自然停止しますのでご注意ください。

●BLHシリーズ 30W

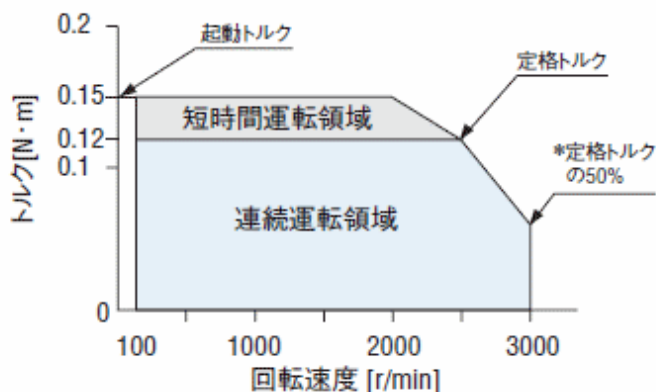


図 3.2 左右方向移動用の DC ブラシレスモータのトルク特性
(オリエンタルモータ (株) 製 BLH230K-A カタログより引用)

ブラシレスモータにより、高速回転時でもトルクがあまり減少しない。ただし、ステッピングモータと違って、入力パルスに同期して動かすことはできない。そこで、左右方向の運動の開始点に原点出しのフォトセンサを取り付け、毎回、このフォトセンサを位置を基準に、回転速度の指令値を与えて、動作させる。また、左右方向の位置を読み取るため、ボールネジからタイミングベルトを介して、回転角検出用のロータリエンコーダを取り付けた。

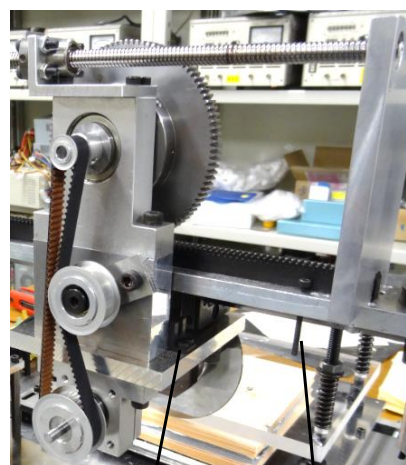


図 3.3 原点出し用フォトセンサの取り付け

3.3 調整可能な固定プレート

上下方向と左右方向の2つもモータを連動させれば、台が水平でも斜めに切り込んでいくことができるため、積層体を固定する台を変更した。基本的には、斜めに傾けて取り付けるのではなく、通常 of 水平に取り付けるようにした。その代り、固定プレートと刃が平行になるように微調整できる機能を持たせた。刃に対する台の向きを若干変えられるよう、台はレール上に長穴で半固定し、台の左右に調整ネジを設けた。調整ネジで台の向きを調整した後、完全に台を固定すれば、刃が移動したときに、固定プレートと刃の間の隙間が大きく変動することがなくなる。

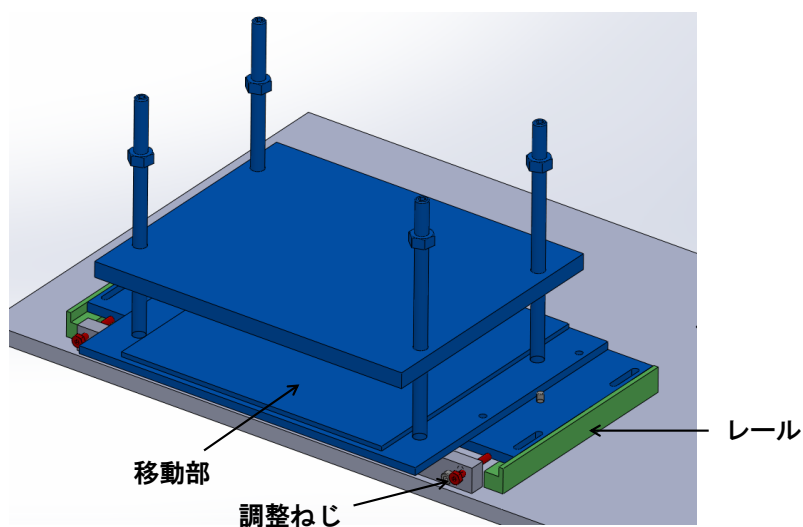


図 3.4 固定プレートの調整機構

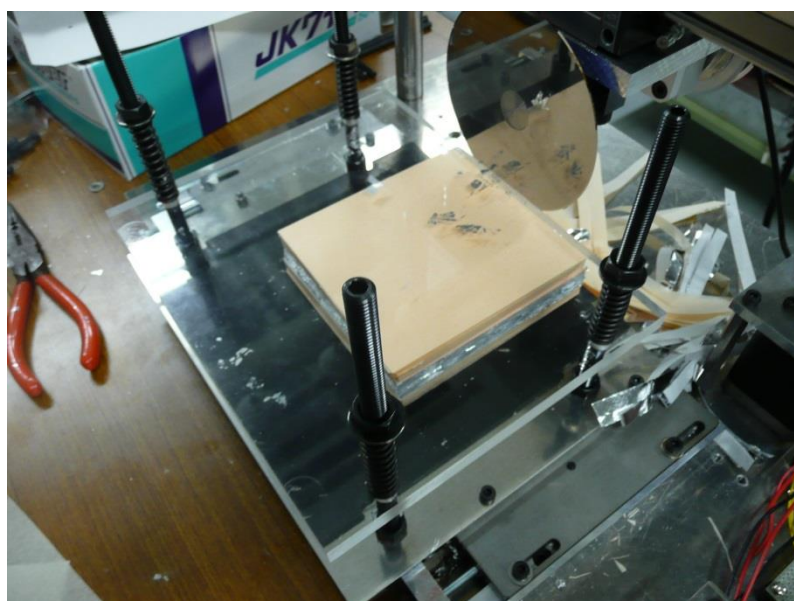


図 3.5 製作した固定プレートの調整機構

3.4 丸刃部の改良

刃と固定プレートとの隙間を極力小さくするには、刃の面から回転軸が飛び出しているはいけない。そこで、図 3.6 のように、刃を円形プレートに接着した上で、回転軸と固定する設計に変更した。また、薄い刃の状態では、切りくずを巻き込みやすいため、刃に厚みを持たせることにした。強度には関係がないため、図 3.7 のように、刃の裏側にプラスチックの角を斜めにとった厚さ数 mm の円板を張り付けた。この円板の斜めの面が切りくずを押し分ける働きをする。

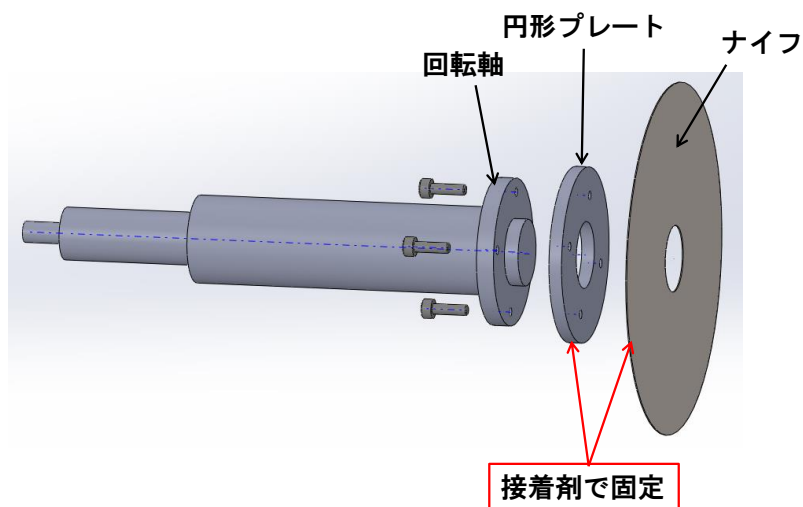


図 3.6 刃と軸の固定

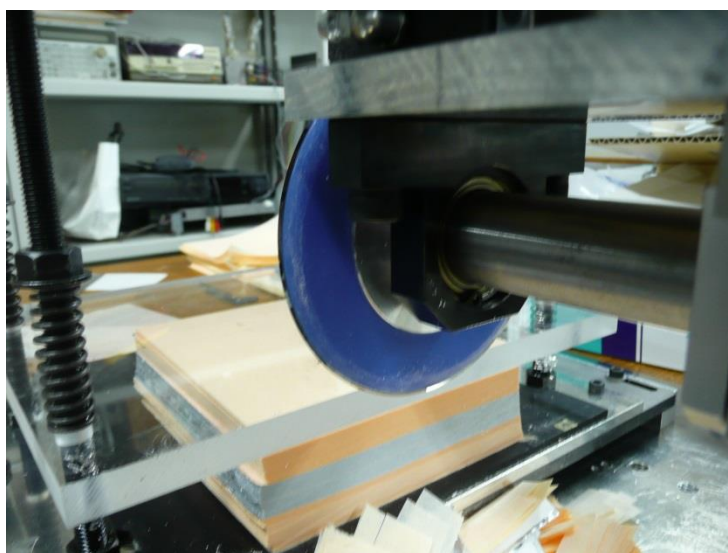


図 3.7 切りくずを巻き込まないよう厚みを持たせた刃

第4章 改良後の積層体1面の自動切断装置

4.1 改良後の切断装置

改良後の切断装置を図 4.1、4.2 に示す。刃と固定プレートとの隙間はかなり小さくなって
いることが分かる (図 4.3)。

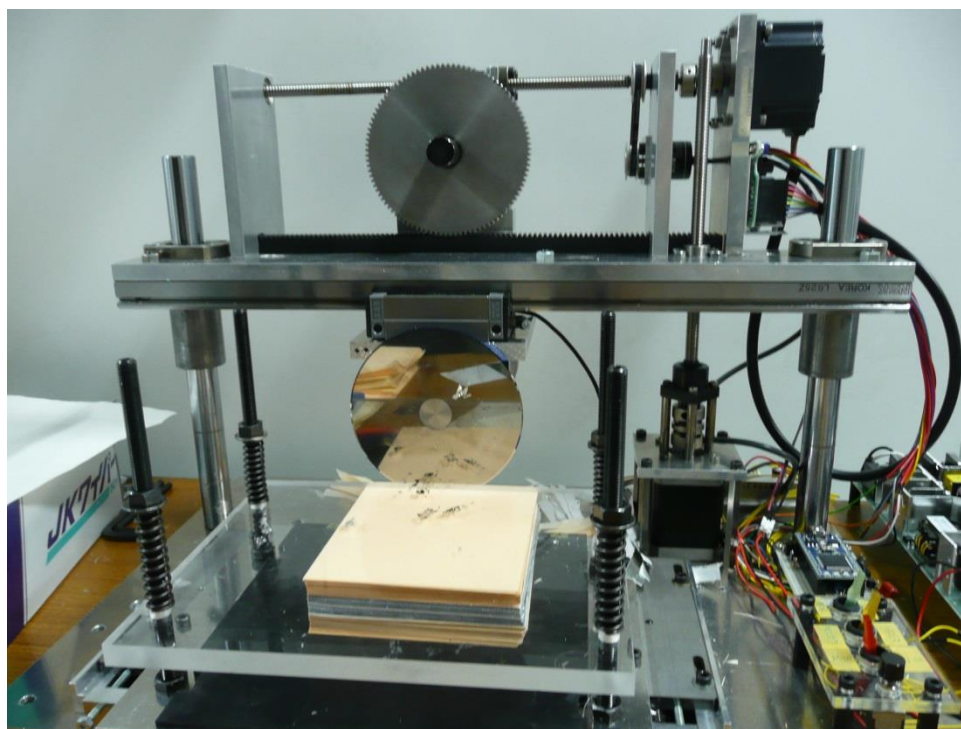


図 4.1 改良後の切断装置

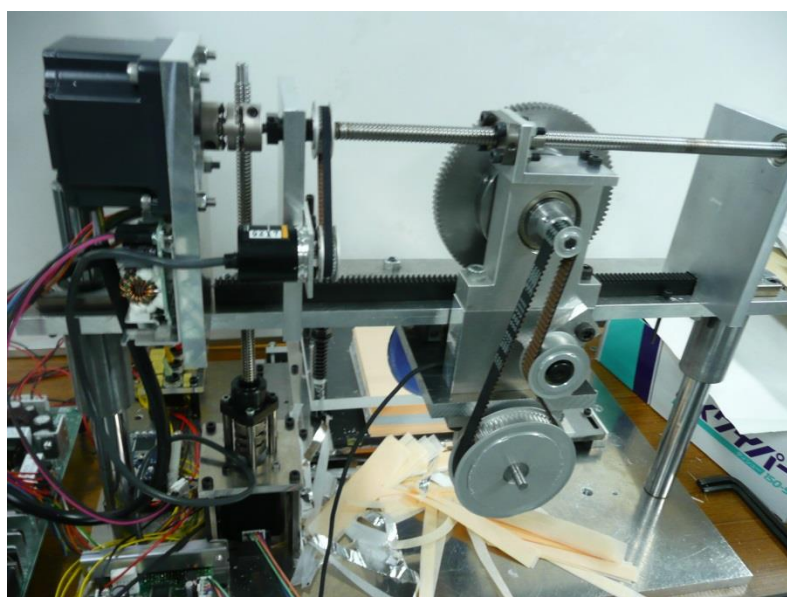


図 4.2 改良後の切断装置 (裏面)

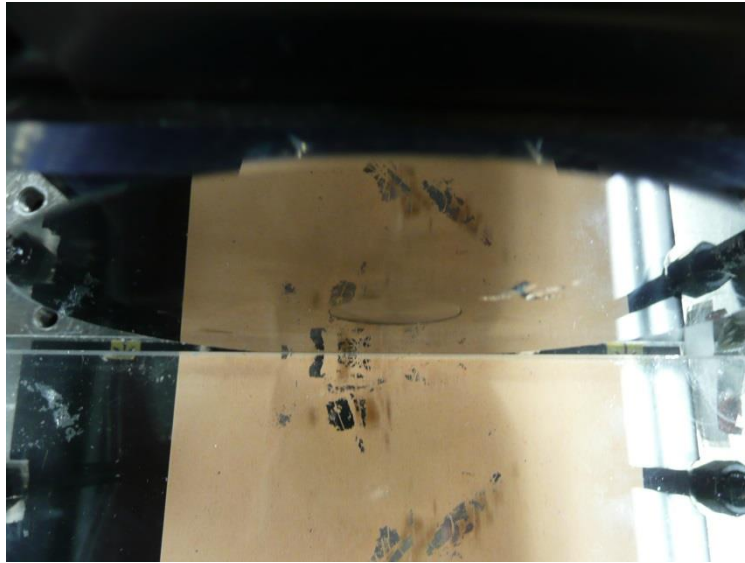


図 4.3 刃と固定プレートの隙間

4.2 上下左右モータの連動制御

上下左右のモータを連動させるような制御を行って、図 4.4 のように斜めに切断できるようにした。基準は左右方向のモータであり、そのモータの回転をロータリエンコーダで計測して、それに同期して、上下方向のステッピングモータの指令パルスが発生させた。1つのポイントは、刃を積層体の横から切り込ませることである（積層体の端の上から刃を押し付けるのではない）。また、積層体の一番上の層と一番下の層を切るときは、斜めではなく水平に刃を動かすようにした。なお、これらの制御はマイコンにプログラミングすることで実現している。

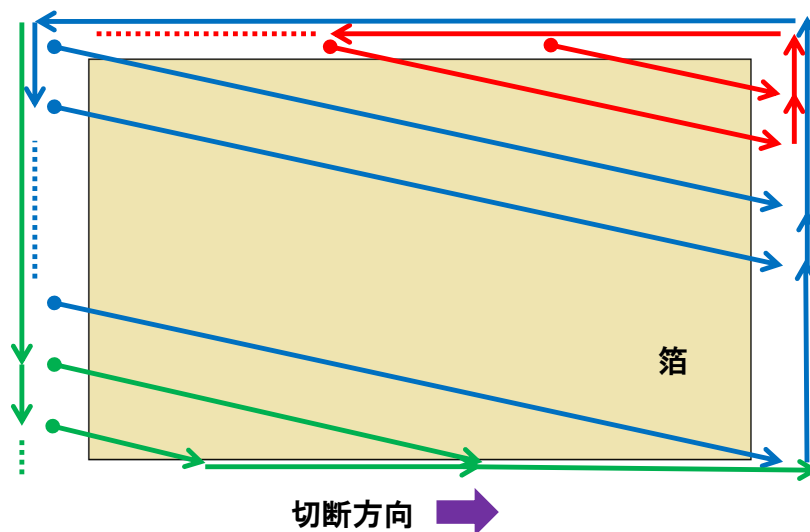


図 4.4 モータを連動させて斜めに切り込む方法

4.3 切断実験

改良後の切断装置を用いて、アルミ箔と合紙の積層体の切断実験を行った。刃の回転—直動比は最小の設定(刃の直線移動に対してわずかに刃が回転する)で、切り込み量 3mm、水平の移動速度 80mm/s 程度で切断した。積層体を固定するプレートの押し付け力は約 20 kgf 程度である。切断の様子を図 4.6 に、切断後の積層体断面を図 4.5 に示す。水平に切断していった場合も、やや斜めに切断していった場合も、少々断面に切断のすじが見られるものの、基本的には良好に切断できた。斜めに切断した場合の方が、若干、切断面のうねりが少ないようであった。切断による積層体のずれや、切りくずの巻き込みもあまり見られなかった。



図 4.5 切断（斜め切り）後の積層体断面



図 4.6 切断（斜め切り）の様子

第5章 積層体4面の裁断装置に向けた考案

積層体4面の裁断を考えるとポイントとなるのは、積層体の固定方法と4面の向け方である。刃を4面の方向に移動させるのは、機構が複雑になり、得策ではない。また、1面ごとに、積層体を固定しなおすと、切断寸法がずれやすいと思われる。

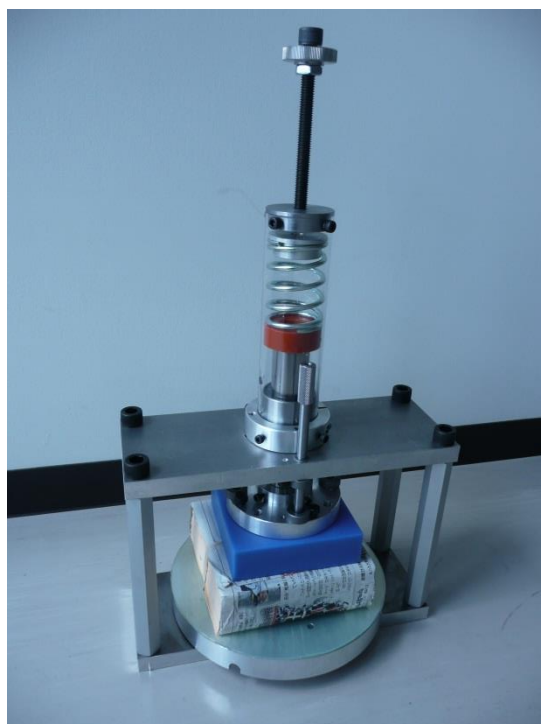


図 5.1 積層体を押し付けたまま回転できる機構の試作



図 5.2 積層体を押し付けたまま回転している様子

そこで、図 5.1、5.2 のような積層体を押し付けたまま回転でき、1面ずつ刃の方向に向けられる機構を考案した。上側のばねによって押し付けられる固定プレートと、下側の回転台が、同軸で回転できるようになっている。このようにすれば、積層体を固定プレートと回転台の間に挟んだまま、回転させることができる。なお、力がかかった状態でも滑らかに回転できるよう、回転軸には直動軸受とアンギュラ軸受を組み合わせさせてある。あと必要な機能は1面ごとに回転を固定できる仕組みである。ここでは、上の板からピンを挿入することで回転を止められるように考えた。ただ、これらは現段階でのアイデアを試作したものであり、ばねではなくエアシリンダを用いるとか、ピンで固定するのではなく、面で押し付けて固定するとか、さらに簡易な機構を目指して、改良の余地は大きく残されている。

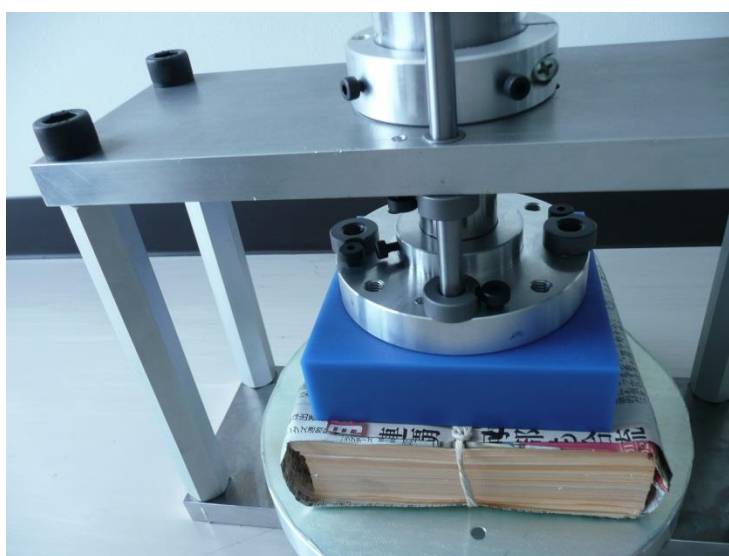


図 5.3 回転のロック

第6章 まとめ

金箔と箔合紙の積層体の自動裁断装置の開発を目指して、本年度は、積層体の1面を切断する切断装置を、マイコンによる制御システムを含めて試作した。円形刃の回転と直線運動を連動させ、積層体の水平面に対して少し斜めに切り込んでいくことで切断できることが分かった。しかし、最初の試作機は、モータのトルク不足、刃物軸のガタ、切りくずの巻き込み、積層体の切断面ずれなどの問題が生じたため、それらの改善を行った。その結果、アルミ箔積層体を対象に、理想的とはいかないまでも、ある程度良好に切断できるようになった。さらに、現在、積層体四面を切断できる機構の考案・予備試作を行っているところである。

今後は、積層体四面を自動で裁断できる装置の設計・試作を完成させ、評価、改良を行う。また、装置の軽量化やコスト、作業のしやすさなどを総合的に考慮した設計、改善を行って、研究開発の完成を目指す。

謝辞

本研究を行うにあたり、金沢箔技術振興研究所の皆様や(株)戸出惣次郎商店 諸江泰彦氏より御協力や御助言、試料等の御提供を頂きました。また、研究開発において本学博士前期課程1年の堀部裕太氏の協力を得ました。ここに厚く御礼申し上げます。

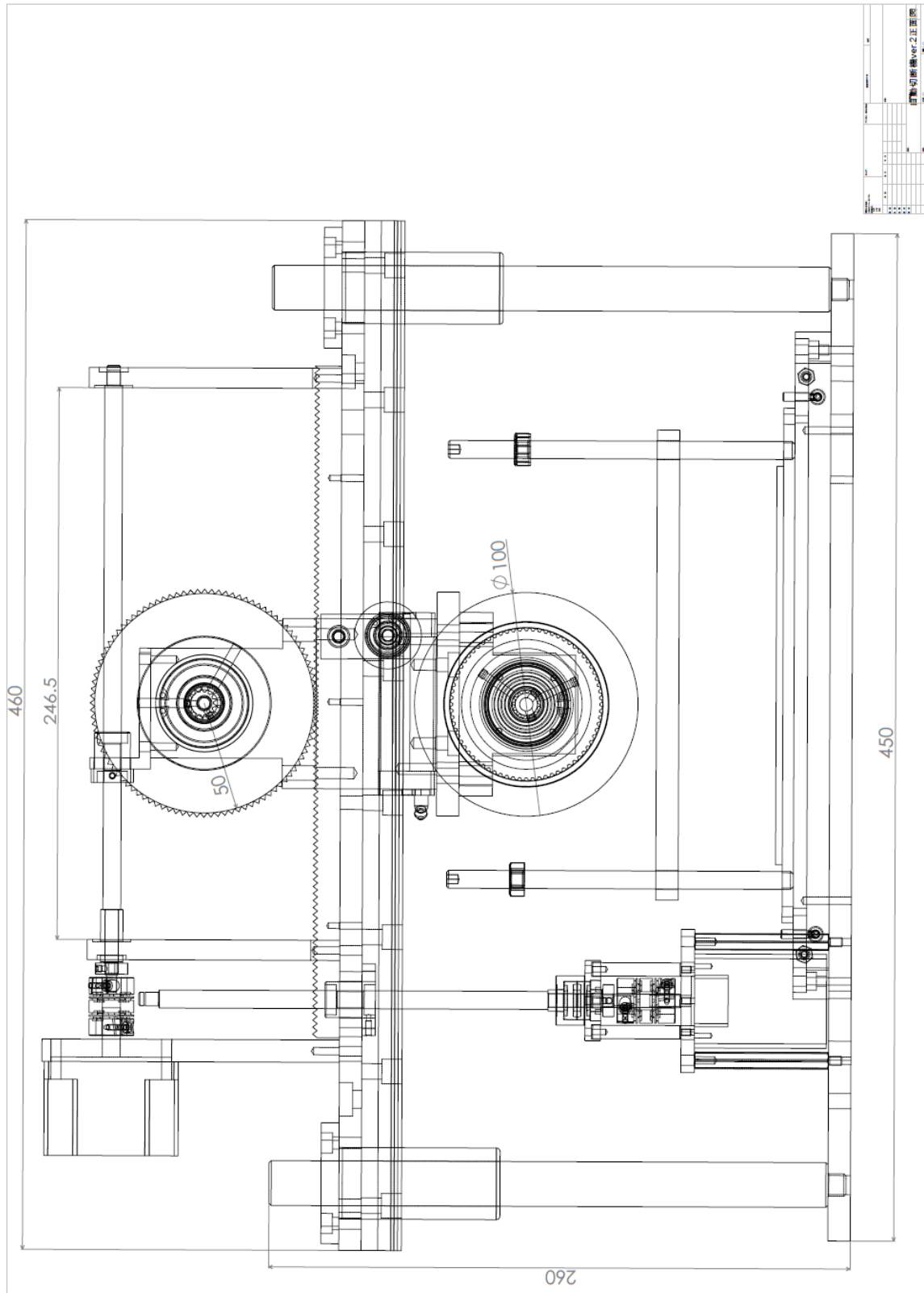
発表予定

本研究の内容の一部は、次の国際会議にて発表予定である。

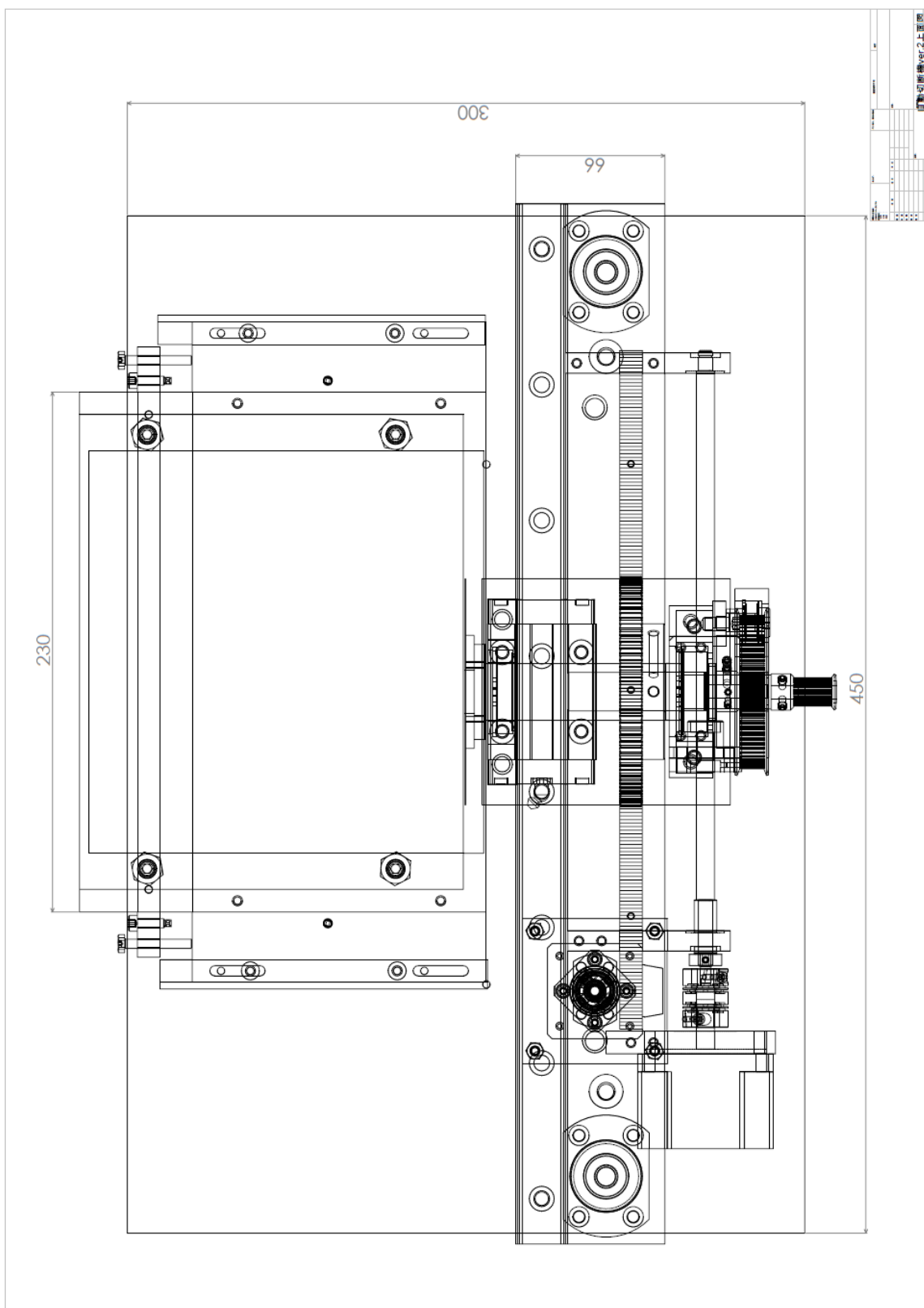
Y. Horibe, H. Seki, Y. Kamiya, M. Hikizu, “Automation of Cutting for Block of Piled Gold Leaves and Papers”, ICPE2014 (The 15th International Conference on Precision Engineering), 7月23日～25日,金沢市にて開催 (現在投稿中)

付録：積層体1面の自動切断機（簡易）図面

<正面図>



<上面図>



<側面図>

