

## 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、刃が斜めに入らないよう、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。過去3年間の研究開発において、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스코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、積層体の一面を切断する自動切断装置の試作し、円形刃の回転と直線運動を連動させ、水平面

に対して少し斜めに切り込んでいくことで、ある程度良好に切断できることが分かった。その後、積層体四面を自動で裁断できる装置を行試作した。その検証実験を行った結果、切断動作には問題がなかったが、切りくずの除去と動作の高速化について課題が残っていた。

本年度は、積層体四面の自動切断装置について、これらの課題を克服する改良を行った上で、軽量化やコスト、作業のしやすさなども考慮して、実用に近い装置を設計・試作し、作業効率等の総合評価を行って装置の完成を目指す。

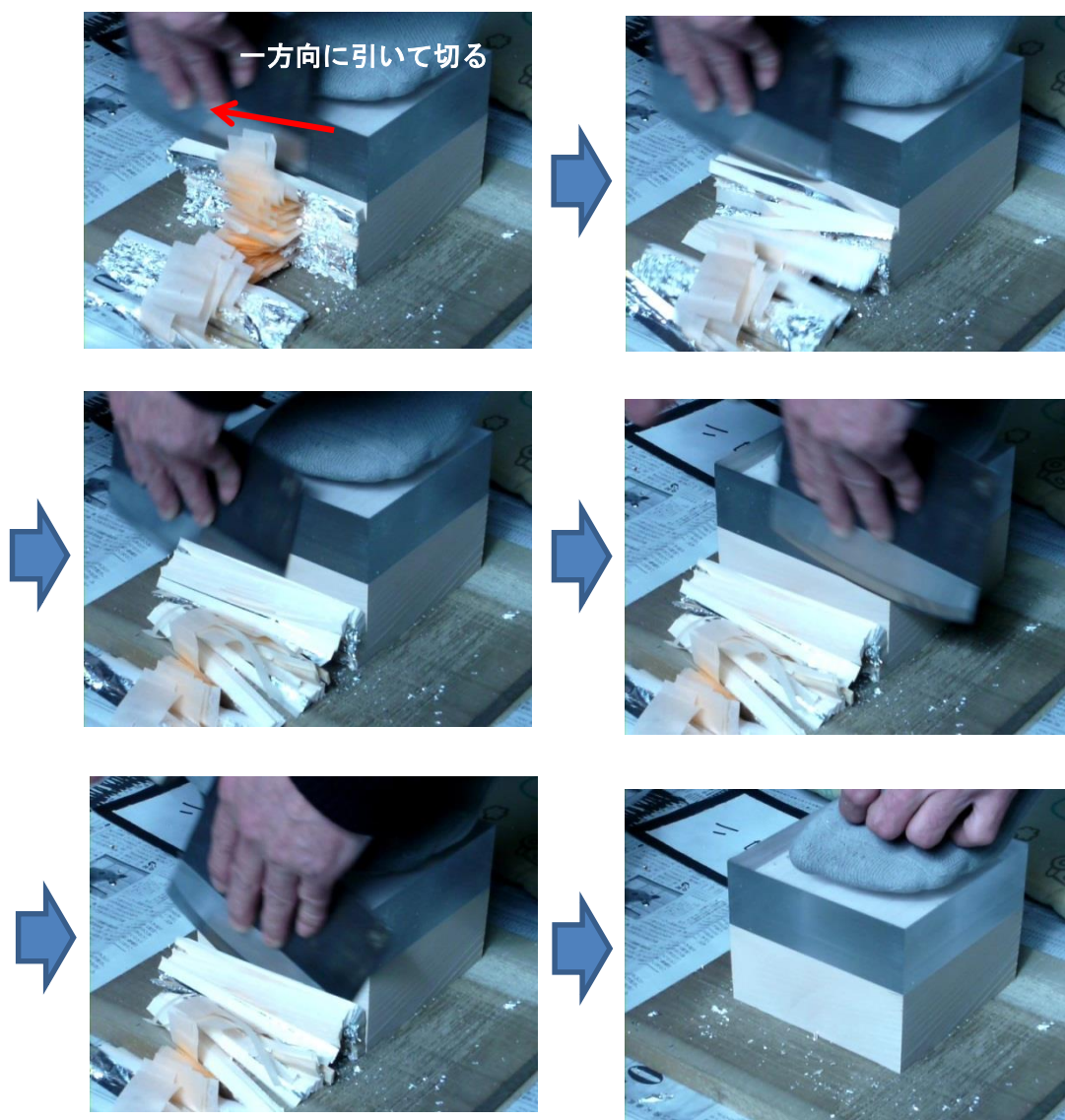


図 1.2 職人に裁断作業の流れ

## 第2章 積層体四面の自動切断装置の問題点

### 2.1 積層体の良好な切断条件

これまでの予備実験で得られた積層体を良好に切断する条件を整理しておく。切断用の刃としては、京セラ（株）製超微粒子超硬丸ナイフ（刃厚:0.3mm 外径:50mm 刃角:20° 材質:FW35（粒径 0.7 $\mu$ m ピッカース硬度 1550kg/mm<sup>2</sup>(HV) 抗折強度 3250MPa 破壊靱性 12MPam<sup>1/2</sup>））を用いている。

- ① 回転一直動比、切込み量、刃と箔固定プレートの間隔が小さい
- ②切込み角度は 5° 付近
- ③刃の形状は両刃
- ④刃の送り速度が速い
- ⑤刃径が小さい

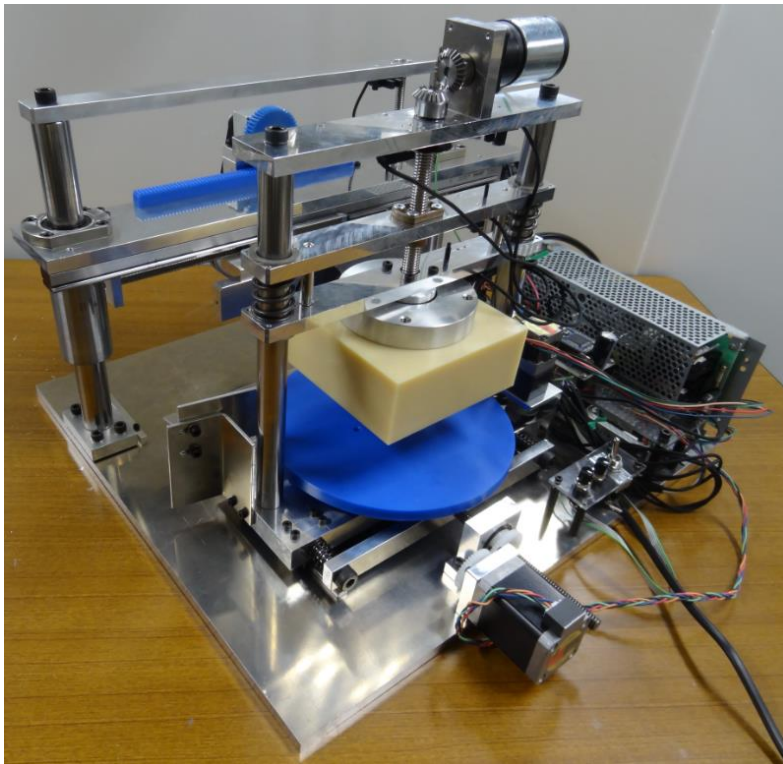
実際に試作した切断装置では、回転一直動比 0.194、切込み角度 5.7°、切込み量 1mm、送り速度 90mm/s としている。

### 2.2 積層体四面の切断装置

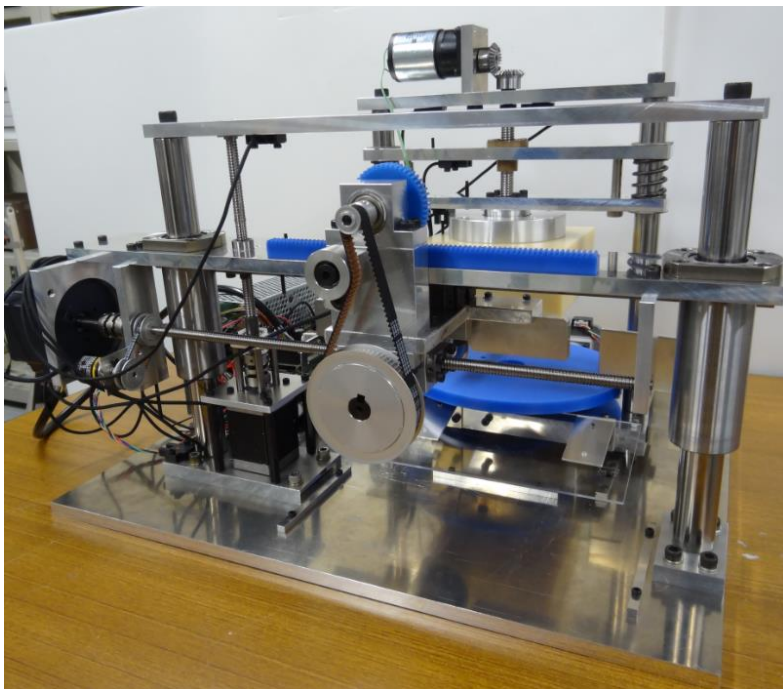
昨年度製作した積層体四面の自動切断装置を図 2.1 に再掲しておく。主に、切断機構と箔固定機構の 2 つから成っており、刃の上下左右移動、積層体の固定、固定台の移動、ターンテーブルの回転がすべて自動制御できるようになっている。制御は NXP セミコンダクターズ社製のマイコン（LPC1768）を用いた。各機構の位置決めはすべてマイクロフォトセンサを用いて行っている。

切断動作については、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。その上で、刃の回転と直動が連動できるようにしている。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。さらに、上下左右のモータを連動させるような制御を行って、積層体を少し斜めに切断できるようにしてある。

刃と箔固定ブロックの間は隙間ができないようにすることが望ましいが、その調整を自動で行うのは難しく、新たに調整機構を設けると装置が大きくなってしまう。そこで、より簡単な機構で刃が固定ブロックの際を切ることができるようにするため、固定ブロックを刃に押し付けながら切断するという方法をとっている。そのため、刃の両サイドにはガイド（プレート）を設けている。さらに、刃の周全体を利用できるようにして、刃の一部のみが磨耗するのを防ぐため、歯車部にワンウェイクラッチも埋め込んだ。



正面



背面

図 2.1 積層体四面の自動切断装置

積層体の4面の切断は、積層体をターンテーブル上で固定ブロックで押し付けたまま、90度ずつ回転したのち切断することで実現した。この機構には積層体の押し付け、ターンテーブルの回転、箔固定台の移動という3つの機能がある。積層体の押し付けは、モータを用いてすべりねじを回転させ、上下移動部プレート間のばねの縮めていくことで行った。押し付け力は、プレート間の距離（ばねの縮み）で調整できる。押し付け力は約400Nとした。ターンテーブルの回転は、モータとタイミングプーリで行う。箔固定台はリニアガイドに載せ、モータでナットを回転させて、すべりねじ、プレート、ばねを介して移動できるようにした。ばね部の機構は箔押し付け機構と同様であり、箔固定ブロックを刃に押し付ける力を100Nに設定した。

箔固定台の左端にはプレートを設け、ターンテーブルを反時計回りに回転させることで、積層体の切りくずが下の受け皿に除けるように配置している。

### 2.3 切断実験と問題点

積層体四面の自動切断装置を用いて、アルミ箔の積層体を切断する検証実験を行った結果を図2.2、図2.3に示す。箔固定機構の動作は予定通りスムーズに行われ、箔固定ブロックに刃を押し付けながら各面をほぼ良好に切断することができたが、次のような問題点が見られた。

- ・箔の切りくずが予想以上に多く、試作した受け皿では十分でなかった。残った切りくずが刃と積層体の間に挟まり、若干、切断面が乱れている部分があった。
- ・4面全て切断するのに20分弱かかった。各モータの制御などを見直し、高速化する必要がある。
- ・切断時にガイドと箔固定ブロックがこすれあうため、僅かにびびり振動が発生する。

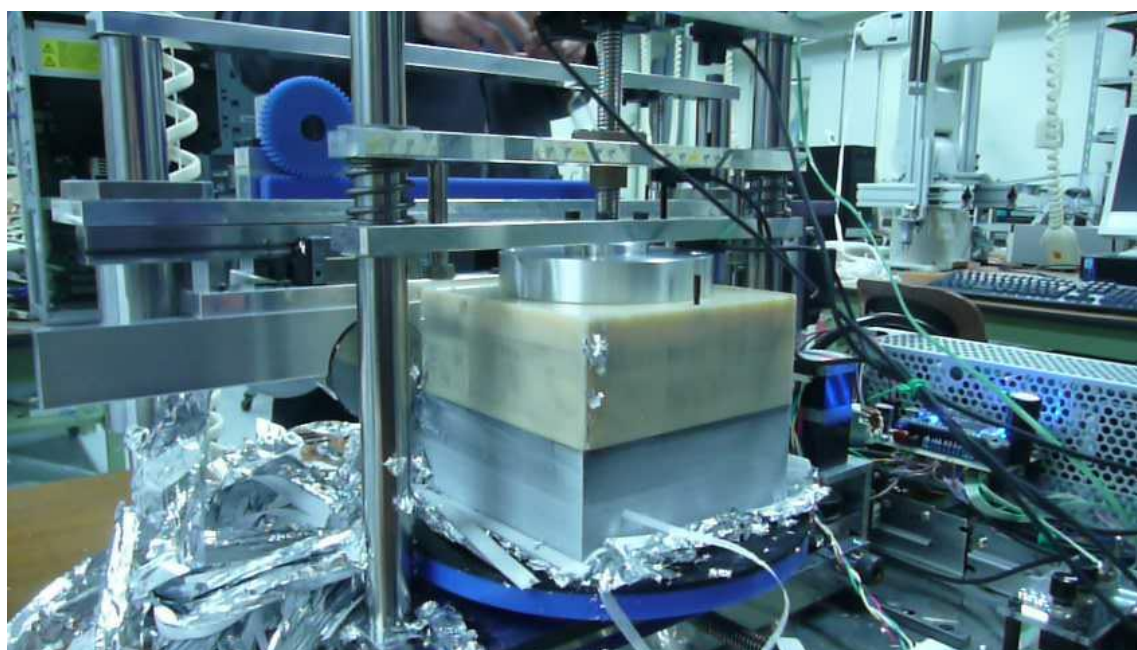
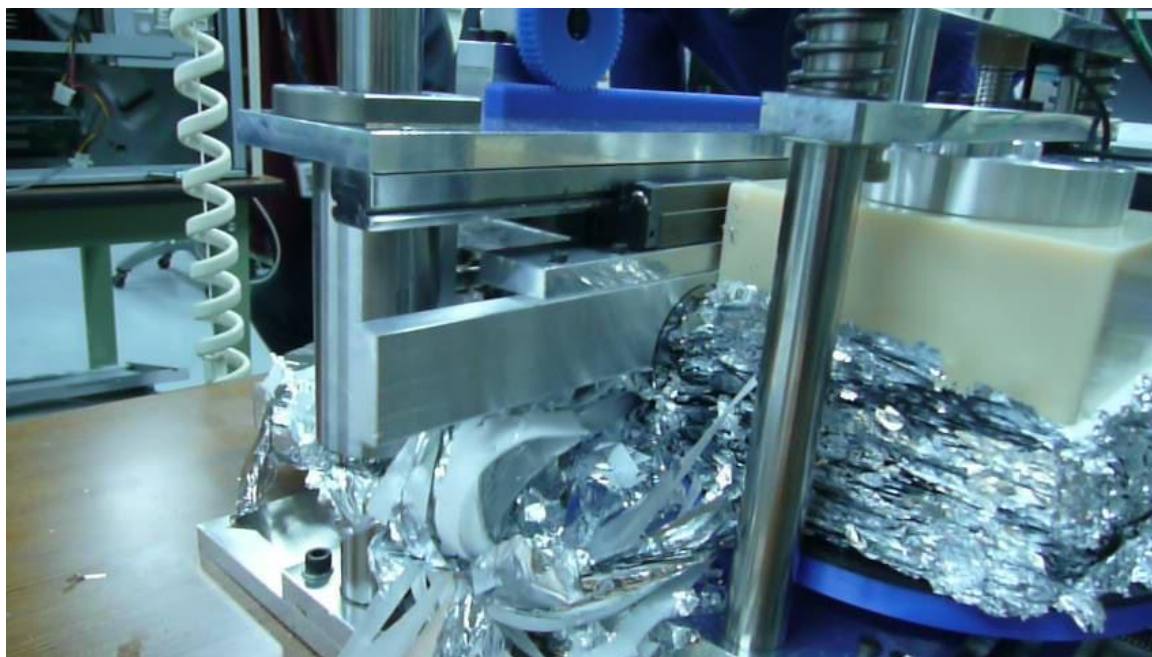


図 2.2 切断前後の積層体の様子

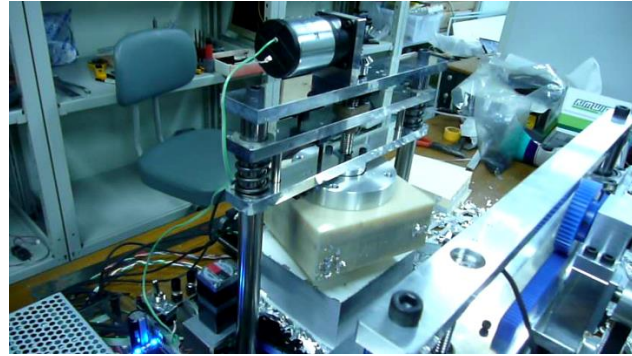
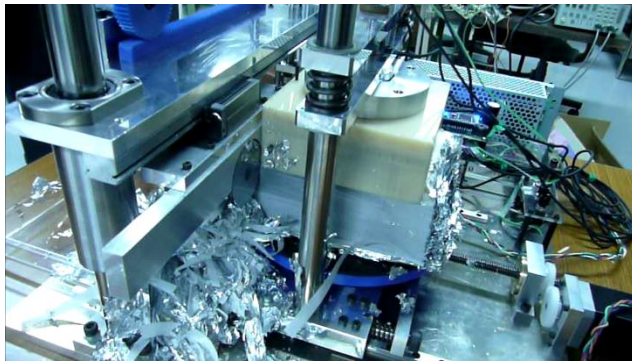
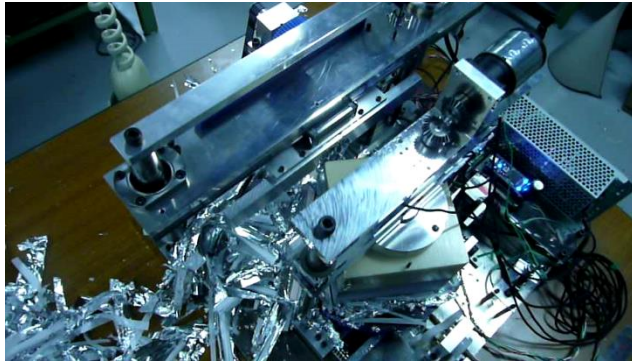
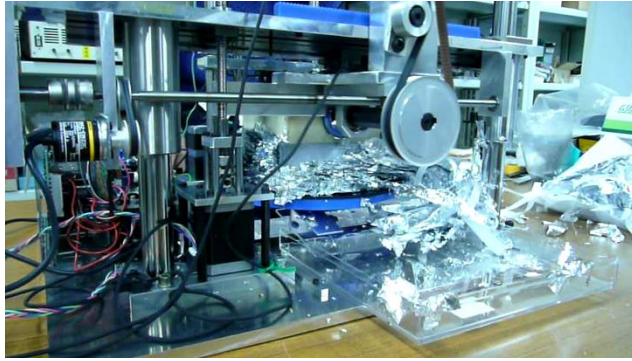
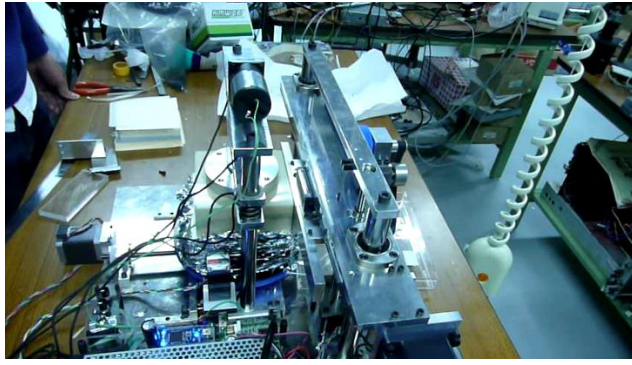


図 2.3 動作検証

### 第3章 積層体四面の自動切断装置の改良に向けての検討

#### 3.1 ガイドと箔固定ブロックの摺動材

積層体を切断するときガイドと箔固定ブロックが擦れあう。これは積層体を押し付けているブロックの際を切るために必要なことである。また、擦れあわせることで切断した積層体の形状の精度を出している。ところが、擦れあうことで、びびり振動が発生し、若干騒音になっている。これを解決する1つの方法は、摩擦係数の小さい材料の組み合わせを用いることである。

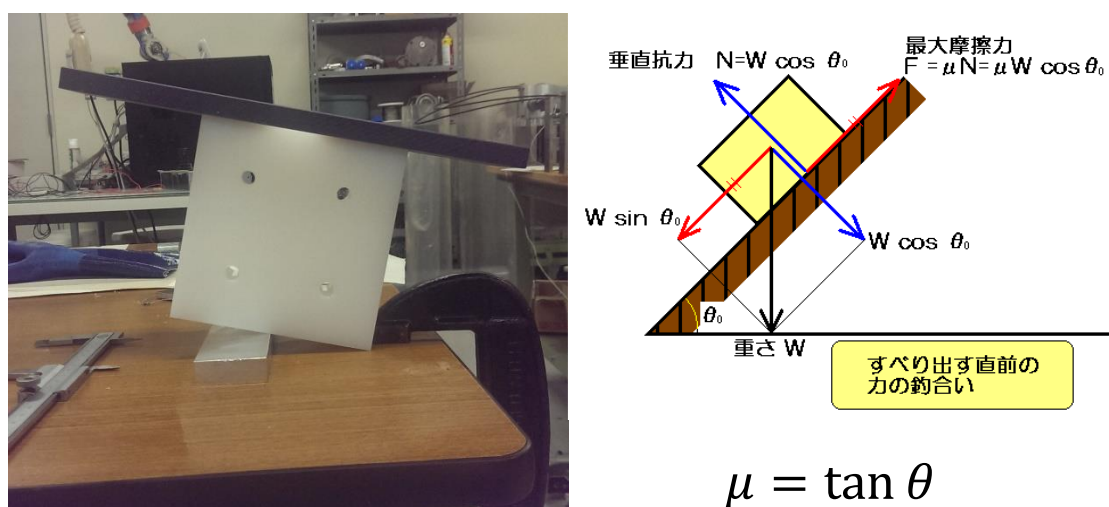


図 3.1 摩擦係数の測定

表 3.1 材料の組み合わせによる摩擦係数の測定結果

| ガイド材質<br>ブロック材質 | ガイド材質    |                  |                 |
|-----------------|----------|------------------|-----------------|
|                 | アルミ(無処理) | アルミ<br>(アルマイト処理) | MCナイロン<br>(摺動用) |
| MCナイロン          | 0.275    | 0.26             | 0.346           |
| 超高密度ポリエチレン      | 0.157    | 0.225            | 0.286           |
| MCナイロン(摺動用)     | 0.259    |                  |                 |

そこで、いくつか入手できる材料の組み合わせについて、摩擦係数の測定を行った。図 3.1 のように、2つの材料を重ねた状態で傾けていき、滑り出す角度から、簡単に摩擦係数を測定することができる。摩擦係数の測定結果を表 3.1 に示す。最も摩擦の少ない組み合わせは、箱固定ブロックとして超高密度ポリエチレン、ガイドとしてアルミ(無処理)であったので、装置の材料をこの組み合わせに変更することにした(図 3.2)。従来の MC ナイロンとアルミの組み合わせよりかなり摩擦が小さくなる。

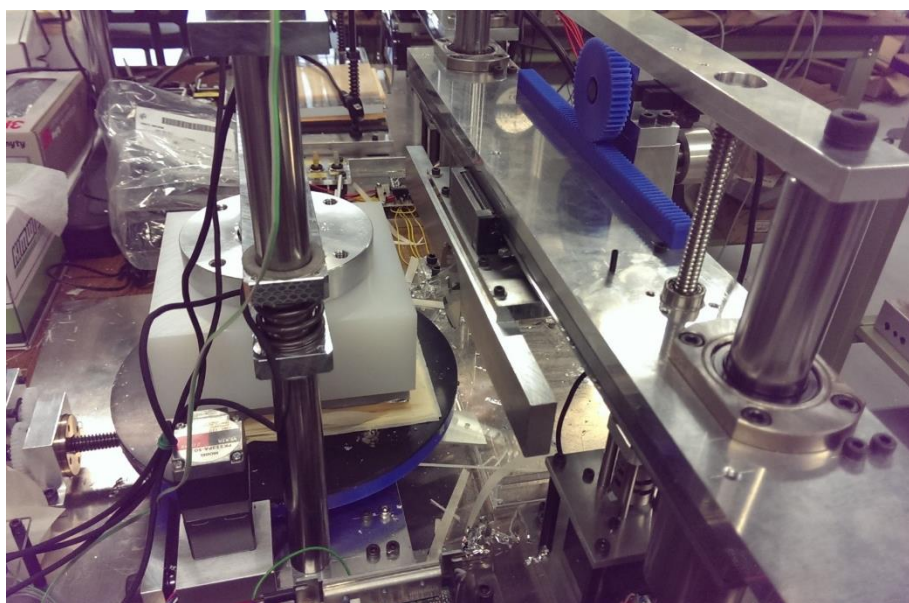


図 3.2 箱固定ブロックの変更



図 3.3 箱固定ブロックのガイド(刃)への押し付け

### 3.2 刃の押し付け力の再検討

刃のガイドと箔固定ブロックの間の押し付け力（図 3.3）を再検討した。従来は箔固定台の下部のばねにより 100N 程度の押し付け力で切断していたが、これは十分実験を行って決定したものではない。これを小さくできれば、ガイドと箔固定ブロックの間の摩擦力も小さくなり、さらにびびり振動は起きにくい。磨耗や切断の高速化の観点からも望ましい。この押し付け力を下げて、切断実験を行ったところ、従来の数分の 1 程度、すなわち 20~40N 程度でも十分良好な切断ができることがわかった。

### 3.3 切断の高速化

これまで試作した装置では、刃の水平方向の送り速度は 90mm/s であった。これだと数センチの積層体四面を切断するのに約 20 分かかる。できれば、四面の切断時間を数分程度にしたい。そのため、刃の水平方向の送り速度を上げる検討を行った。刃を水平方向に駆動するモータを大きくしてパワーアップすることも考えられるが、このモータが搭載されている部分全体を上下動させるモータの負荷が増大してしまい、かえって高速化しにくくなる。

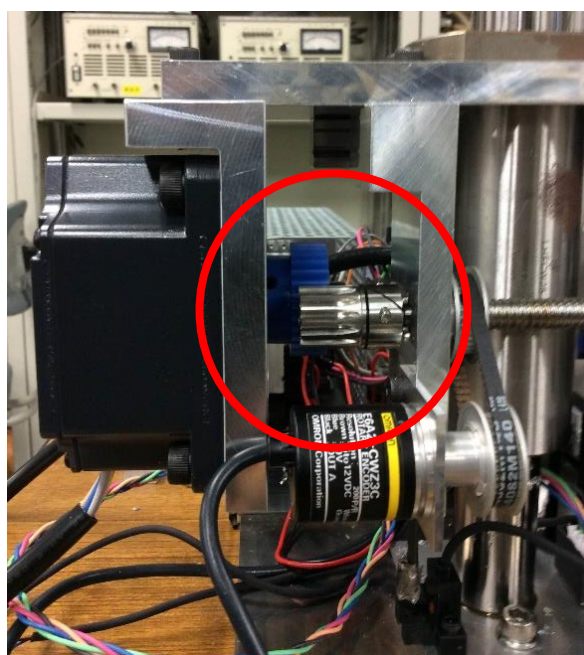


図 3.4 増速ギアによる刃の送り速度の高速化

まず、駆動モータはそのままにして、刃を水平方向に動かすボールネジの回転速度を上げることにした。図 3.4 のように、駆動モータとボールネジの間に増速ギアを組み込んだ。このようにして刃の送り速度を上げていった結果、切り込み量 1mm のとき、送り速度 200mm/s で切断することができた。これだと数センチの積層体四面を 13 分程度で切断できる。

さらに、増速を試みたが、2つの理由により断念した。1つは、積層体を切った後、刃が急停止できずに、機構の限界に衝突するようになったことである（図 3.5）。これは、ブレーキをかけたり、衝突する場所にダンパを設けたりすることである程度解決できるが、大幅な改造になるため、装置の再設計時に考慮することとした。もう1つは、斜めに切り込んでいるため、水平方向のモータと上下方向のモータが連動して動いているが、その上下方向のモータのトルク限界に近づいたことである。これは、上下方向のモータを交換してトルクの大きいモータを使用すればよい。

刃の水平方向の送り速度を上げる別の方法は、ボールネジのリードを大きくすることである。増速ギアを組み込むよりシンプルであるため、装置の再設計時にはこの方法で上記と同程度の刃の送り速度を実現する。

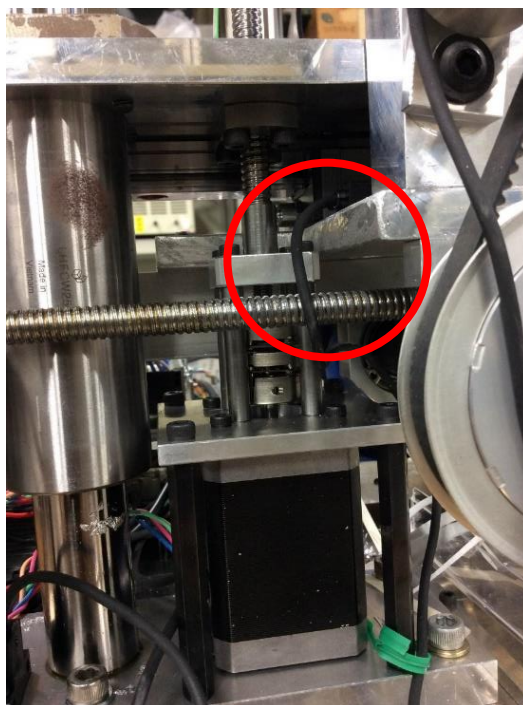


図 3.5 送り速度が速いときに刃の機構部分が限界に衝突する様子

### 3.4 切りくずの除去方法

これまで試作した装置では、箔固定台の回転を利用して、切りくずを取り除く方向で検討し、設計してきた。しかしながら、実際の切断時には、予想以上の大量の切りくずが発生するため、その程度の方法ではなかなか切りくずを除去できないことが分かった。エア等で吹き飛ばす方法も考えたが、切りくずの中の薄い箔が粉々に飛び散ってしまい、かえって悪い状況になる。かといって、切りくずを取り除くための複雑で大掛かりな機構を考えるのは、コスト面等から考えても得策ではない。

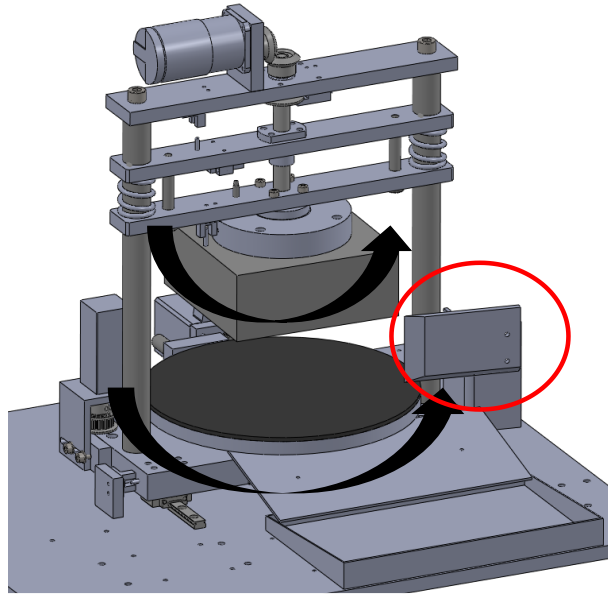


図 3.6 従来の台の回転とプレートを利用した切りくず排出のしくみ

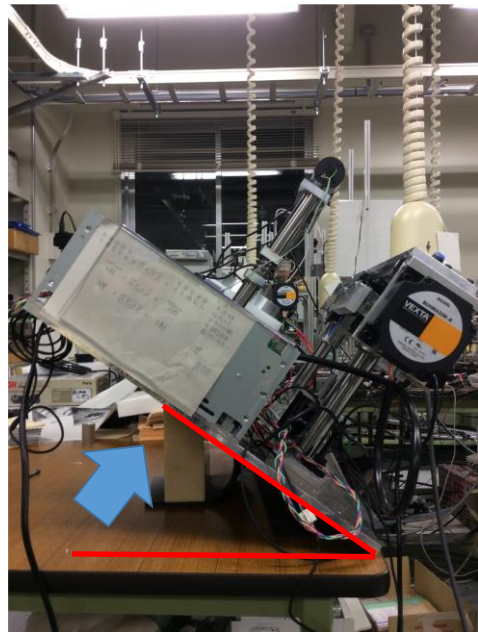
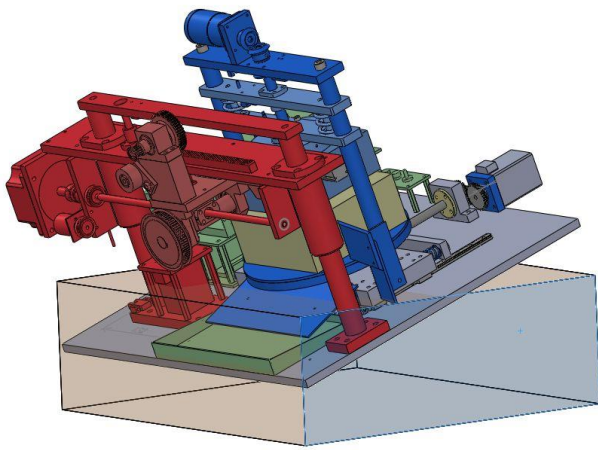


図 3.6 装置全体を傾けることによる切りくず排出とその予備実験

いろいろと試行錯誤した結果、辿り着いた方法は意外に簡単な方法である。装置全体を傾ければ、斜面に沿って切りくずは落ちるはずである。図 3.6 のように、装置全体を傾けて、どの程度の傾斜であれば、切りくずが十分排出されるか予備実験を行った。上手く切りくず

が落ちたときの様子を図 3.7 に示す。約 40 度ほど傾けると、切りくずが自然に固定台から滑り落ちて排出されることが分かった。ただ、一部の箔片が固定ブロックに張り付く様子も見られた（図中の赤枠内）。これは静電気のせいである。アースを取って静電気を逃がしたり、固定ブロックを導電性の材質したりするなどの対策も必要である。

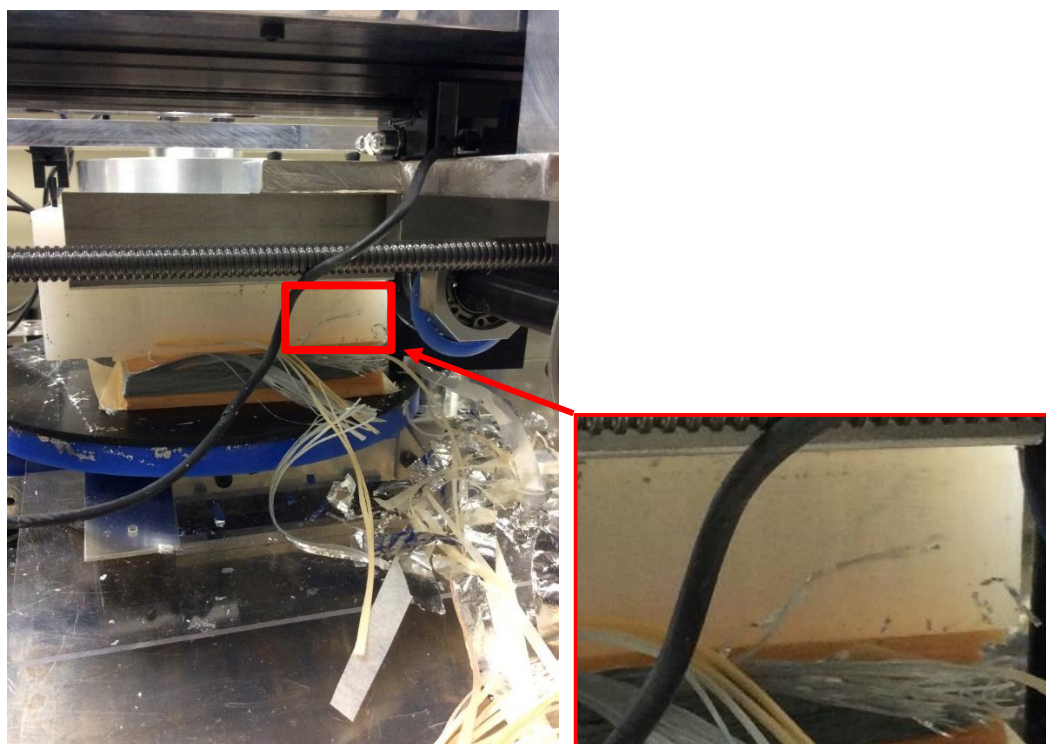


図 3.6 装置を斜めに傾けたときの切りくずの様子

### 3.5 安全カバー

この装置で最も安全対策をしなければならないのは、鋭い刃の部分である。箔固定台に積層体をセットする作業を考えると、装置全体をカバーで覆ってしまうことはできない。しかも、当たり前であるが、切断する積層体をセットする固定台の近くに刃がある。そこで、図 3.7 のように、切断する工程以外では、刃は必ず原点位置に収納することとし、その部分にカバーをつけることを考えた。さらに、箔固定ブロックや積層体に干渉しない範囲で、刃が移動するかなりの部分を覆うようにカバーを取り付ける（図 3.8）。

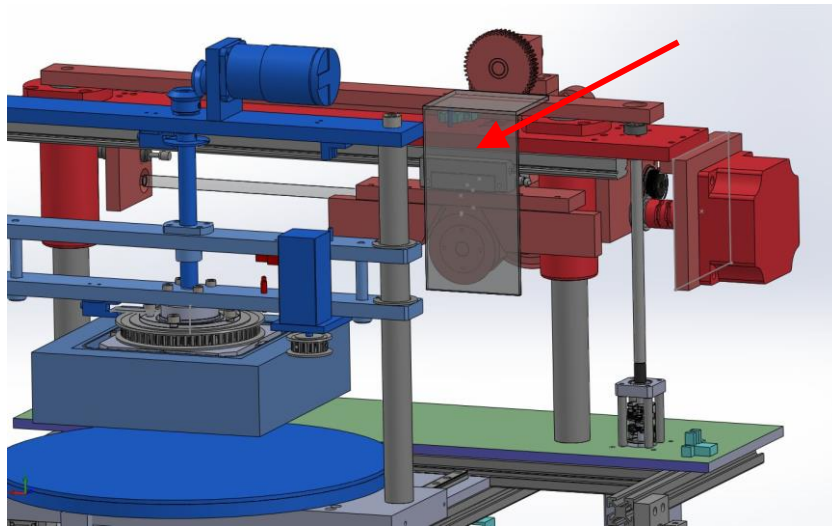


図 3.7 刃の原点位置でのカバー

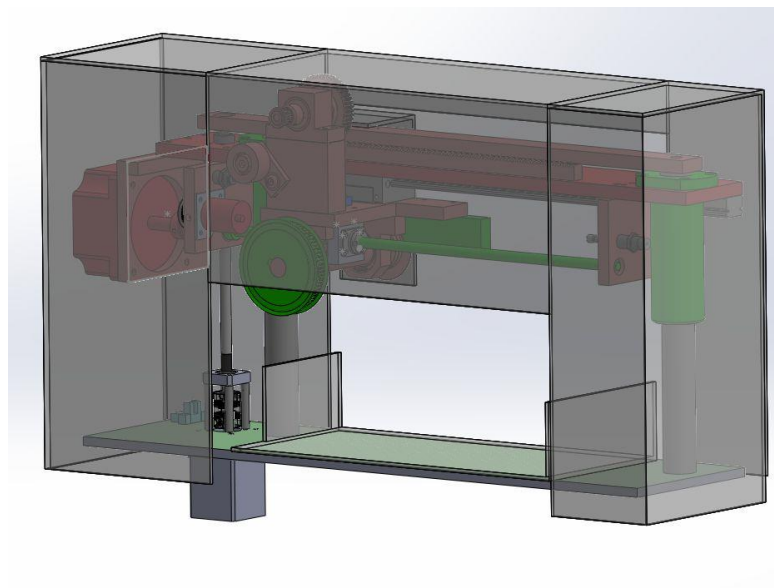


図 3.8 刃の移動部のカバー

## 第4章 積層体四面の自動切断装置の再設計と試作

### 4.1 設計

前述した改良の検討を踏まえて、積層体四面の自動切断装置を再設計した。再設計のポイントをまとめておく。

・切りくずを自動的に排出するため、装置を傾ける構造とした（図 4.1）。もちろん、積層体をセットするときには水平に戻す必要がある。これを装置下面に、モータでナットを回してすべりネジを伸ばす機構により実現した。また、これらを軽量なアルミフレーム材で支えるようにした。

・箱固定台にセットした積層体は、切断時に刃（ガイド）に押し付ける必要がある。これまで、モータで駆動されるボールネジ機構でこれを実現していた。しかし、上記の装置を傾けることにより、重力を使って自然に積層体が刃に押し付けられることになった。そのため、モータ等の駆動は必要なくなり、逆に、装置が水平になったときに、刃から離れて元の位置に戻すためのばねを入れた（図 4.2）。

・切断の高速化を目指し、まず、モータとボールネジを直結にした。ボールネジのリードは従来より 4 倍大きいものを使用した。刃を水平方向に速く動かすと停止しにくい点を解決するため、両側にダンパを取り付けて、必ずその位置で停止するようしくみにした（図 4.3）。

・以前は、109mm 角の箱に対応した装置であったが、170mm 角の箱の切断にも対応できるように装置の大きさを変更した。また、いろいろな大きさの箱に対応するためには、積層体を固定する箱固定ブロックを箱の大きさに合わせて取り替える必要がある。そこで、プランジャを利用して、ワンタッチで簡単に箱固定ブロックを取り付けられるような設計を行った（図 4.4）。

・箱固定台について、当初は台（ターンテーブル）を回転させ、上の箱固定ブロックの回転は自由になるようにしていた。これでは、箱固定ブロックを積層体の上に下降させるときに、ブロックが回転しやすく、人による積層体の位置合わせがしにくい問題があった。そこで、再設計ではこれを逆にした。すなわち、積層体を載せる台（ターンテーブル）の回転は自由にし、上の箱固定ブロックをモータでまわすしくみにした（図 4.5）。ブロック下降時にブロックが勝手に回ったりすることがなくなり、人は台上の積層体の位置合わせに専念できる。

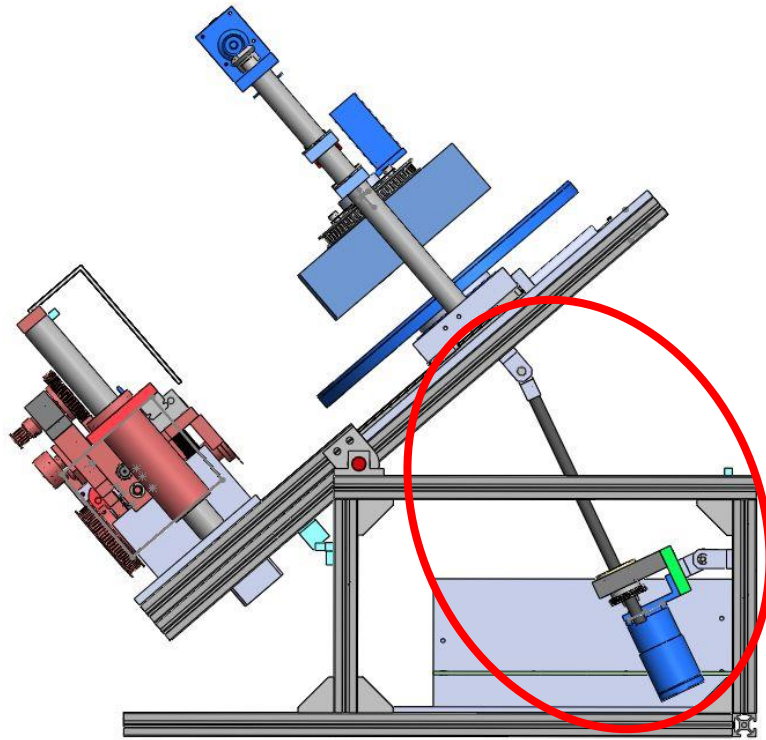


図 4.1 装置を傾ける機構

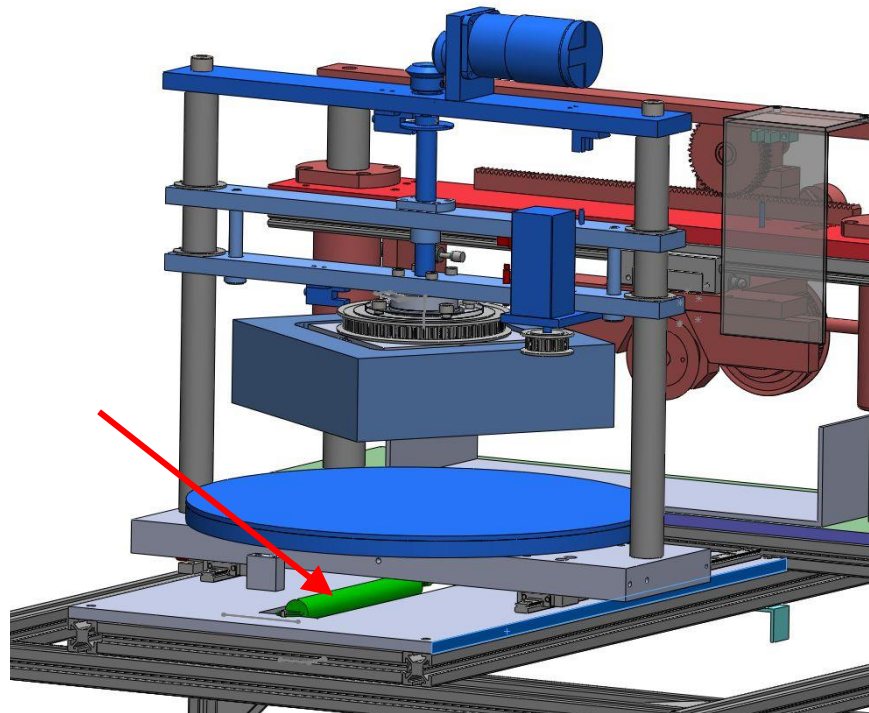


図 4.2 箱固定台の移動部

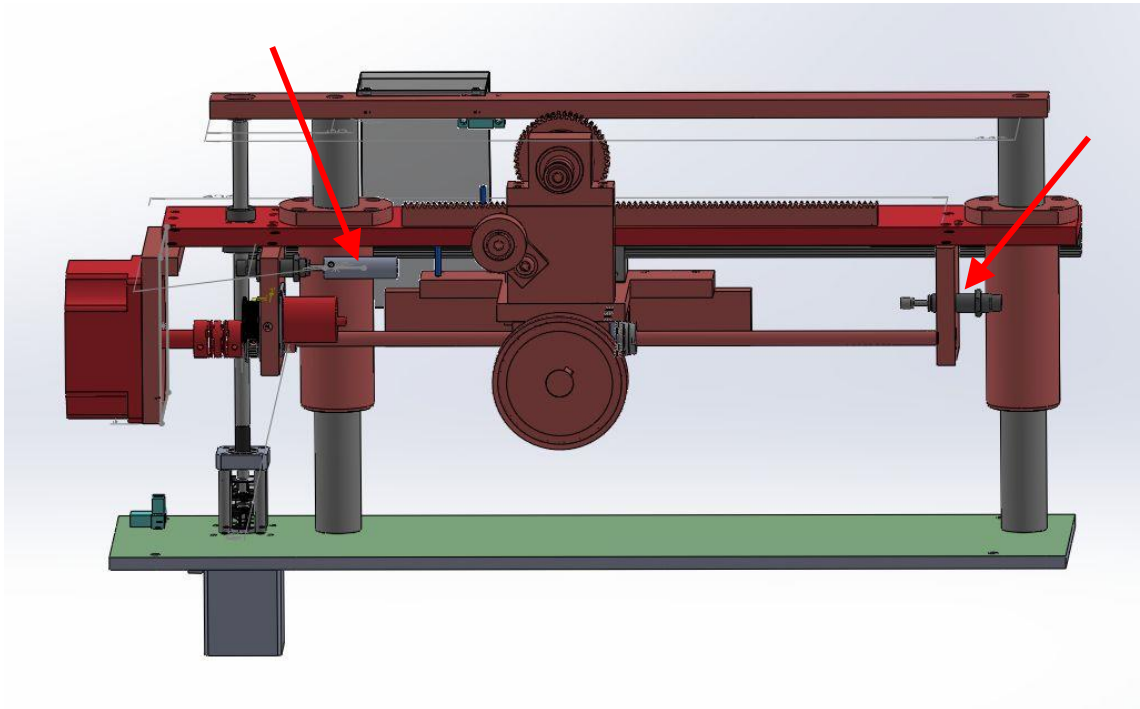


図 4.3 刃の送り機構部

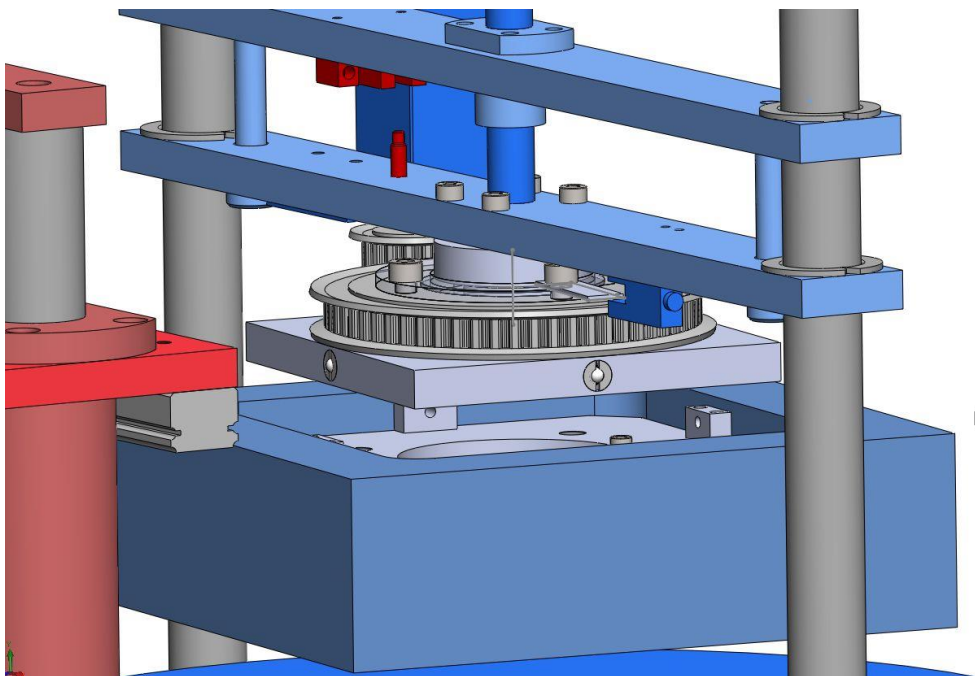


図 4.4 箱固定ブロックの取り付け

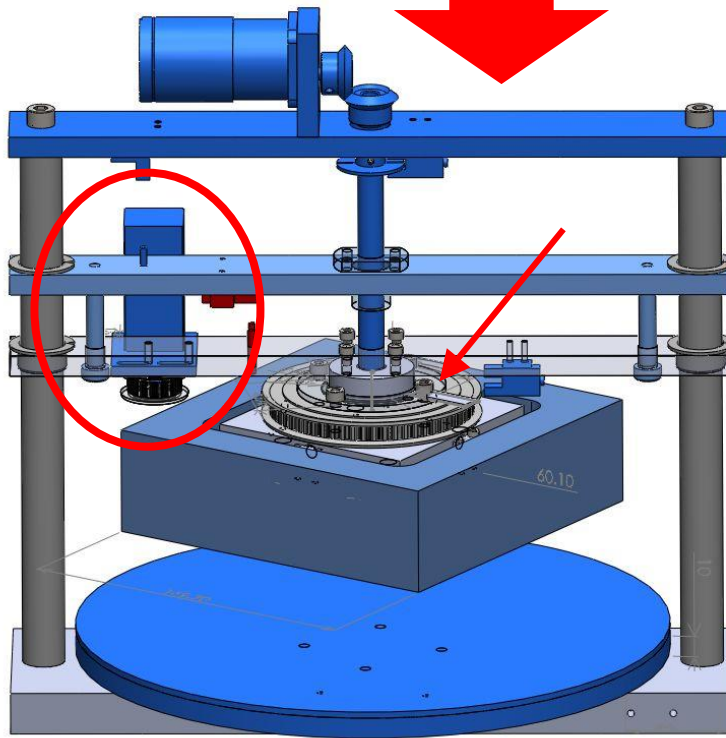
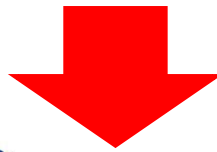
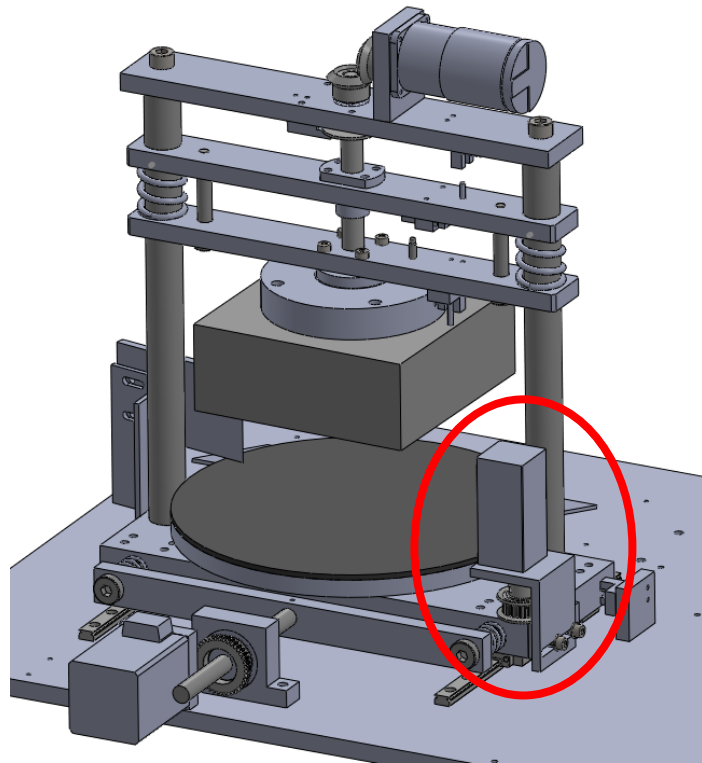


图 4.5 箱固定台

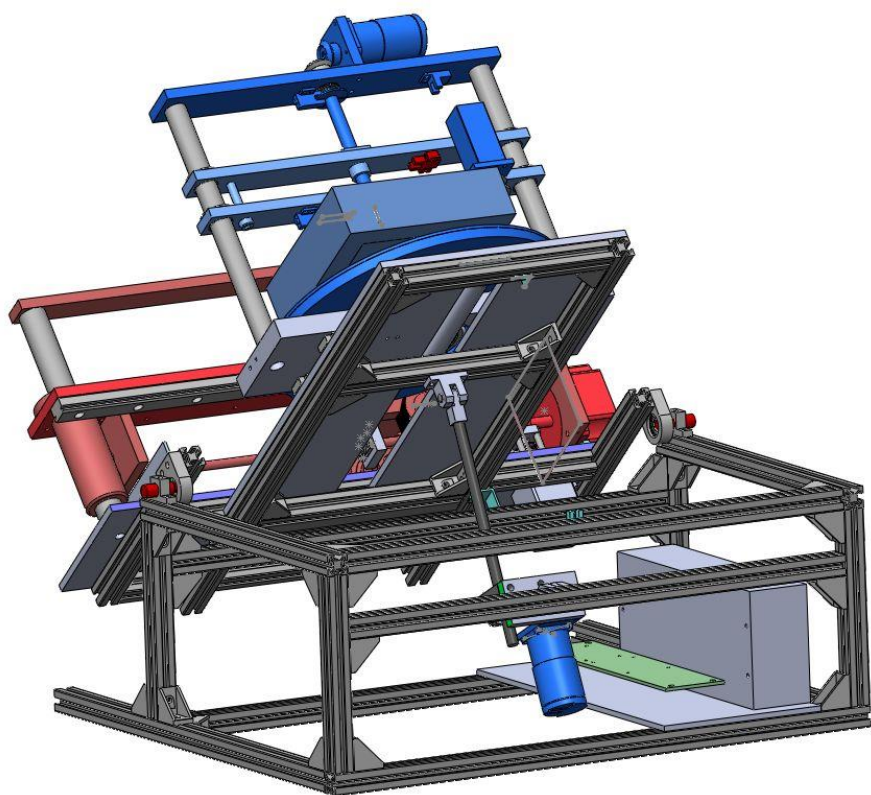
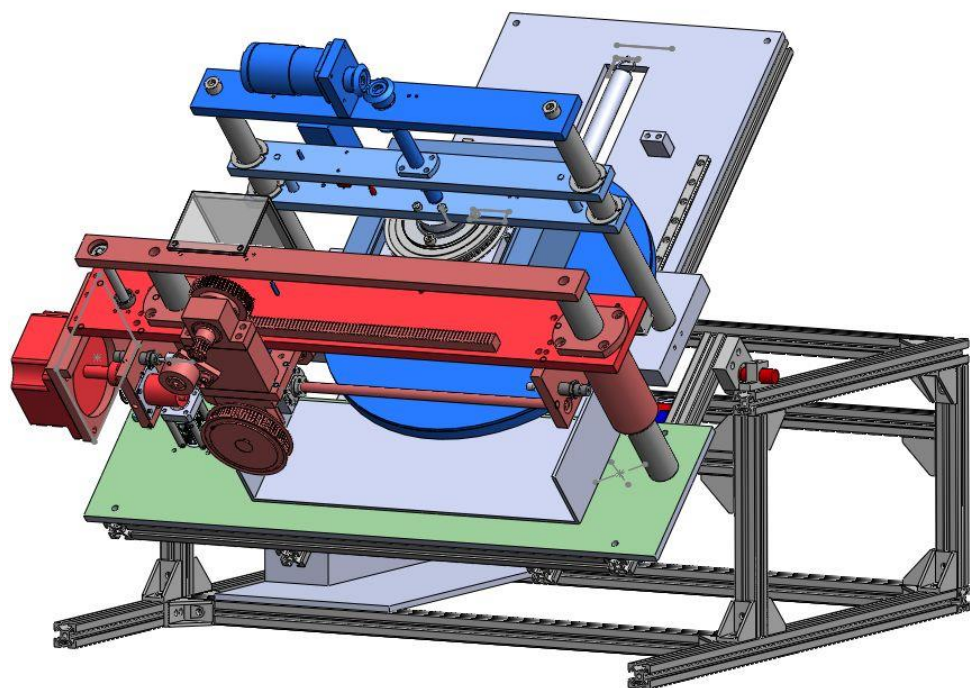


図 4.6 装置全体の再設計

## 4.2 試作

再設計した積層体四面の自動切断装置を試作した。それを図 4.7 に示す。比較的コンパクトにできている。

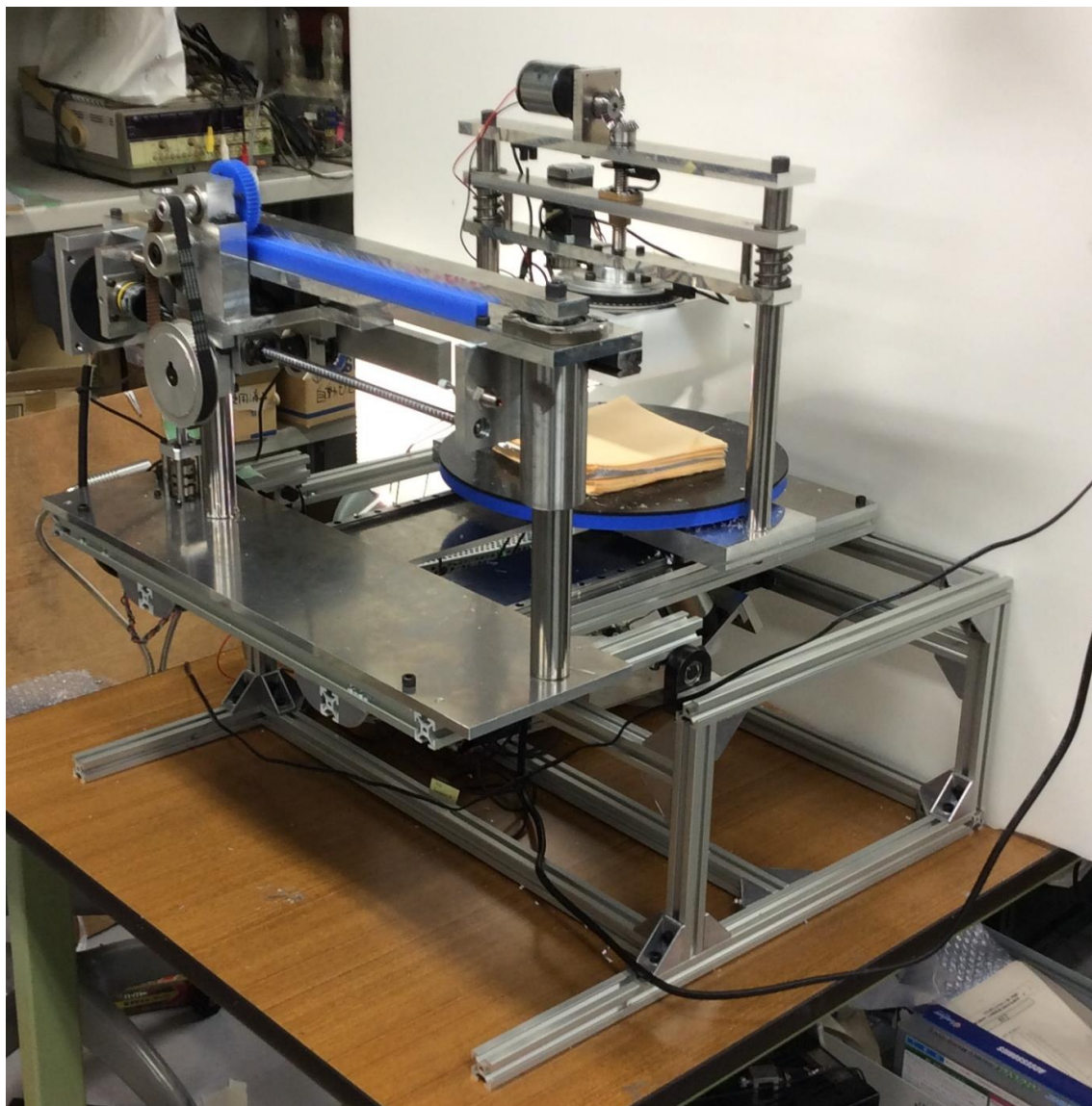


図 4.7 試作した切断装置

## 4.3 切断実験

試作した切断装置で動作検証を行った。その様子を図 4.8 に示す。動作の手順は次の通りである。

- ① 箱固定台（ターンテーブル）上に積層体をセットする。その後、スタートスイッチ

を押せば、箔固定ブロックが下降し、積層体を押し付けて固定する。

- ② 箔固定台（ターンテーブル）が回転し、刃（ガイド）と箔固定ブロックの一面が平行になるようにする。
- ③ 装置を傾けると、重力により箔固定台が移動して、自然に刃（ガイド）に押し付けられる。
- ④ 刃を移動させて積層体に切り込む。水平方向と上下方向のモータを連動させて少し斜めに切り込んでいく。その直動に機構的に連動して刃はわずかに回転する。
- ⑤ 切りくずは斜めになった台の上を滑り落ちていく。下に箱を置いておけば、そこに落ち、回収することができる。
- ⑥ 積層体の一面の切断が終われば、傾けた装置を元の水平な状態に戻す。箔固定台の下のばねによって台は引き戻され、元の位置に戻る。
- ⑦ 箔固定台を回転させて、今度は、箔固定ブロックの隣の面が刃と平行になるようにする。
- ⑧ ③～⑦を繰り返すと、積層体の各面が切断されていく。
- ⑨ 最後に装置を水平に戻した段階で、箔固定ブロックが上昇する。ここで、四面が切断された積層体を取り出せばよい。

実験の結果、切断動作には大きな問題はなく、積層体四面を良好に切断することができた。ただし、次の点で改良を進める必要がある。

- ・さらなる高速化を目指して、各部の調整が必要である。
- ・安全カバーについては、現在試作中である。
- ・装置を傾ける機構について、若干トルク不足であった。ナット部分にモーメント負荷がかかっており、スライドガイド等の追加でそれを軽減する。
- ・切りくずの排出が完璧でない部分があり、排出経路等の若干の見直しが必要である。

また、実際に作業現場での評価を経て、さらなるコンパクト化、安全性、信頼性、作業性に配慮した設計を追求しなければならない。



## 第5章 まとめ

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目指して、本年度は、これまでの試作機の改良点についていろいろと検討し、再設計、再試作を行った。特に、切断の高速化、箔固定ブロックと刃（ガイド）の摺動、箔固定ブロックの着脱、積層体をセットしやすい固定台、装置の傾斜による切りくずの排出について、一定の成果を得た。傾けて切りくずを排出するというアイデアはシンプルで、かつ、箔固定ブロックの刃への押し付けも同時にできてしまうというメリットまでであった。アルミ箔の積層体を用いた検証実験を行った結果、おおむね良好に切断動作が行われた。しかしながら、改良に時間を取られ、当初の計画の実際の現場での総合評価にはまだ至っていない。今後、さらに、安全性、信頼性、作業性、コストに配慮した設計を追求した実用機を完成させたいと考えている。

## 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年の土田稜氏の協力を得ました。ここに厚く御礼申し上げます。