

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。過去4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、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試作し、切りくずの除去や高速化を考慮して改良を進め、自動で裁断できることを確認した。

本年度は、積層体四面の自動切断装置について、実用に近づけるさらなる改良を行った上で、総合評価を行って装置の最終的な完成を目指す。

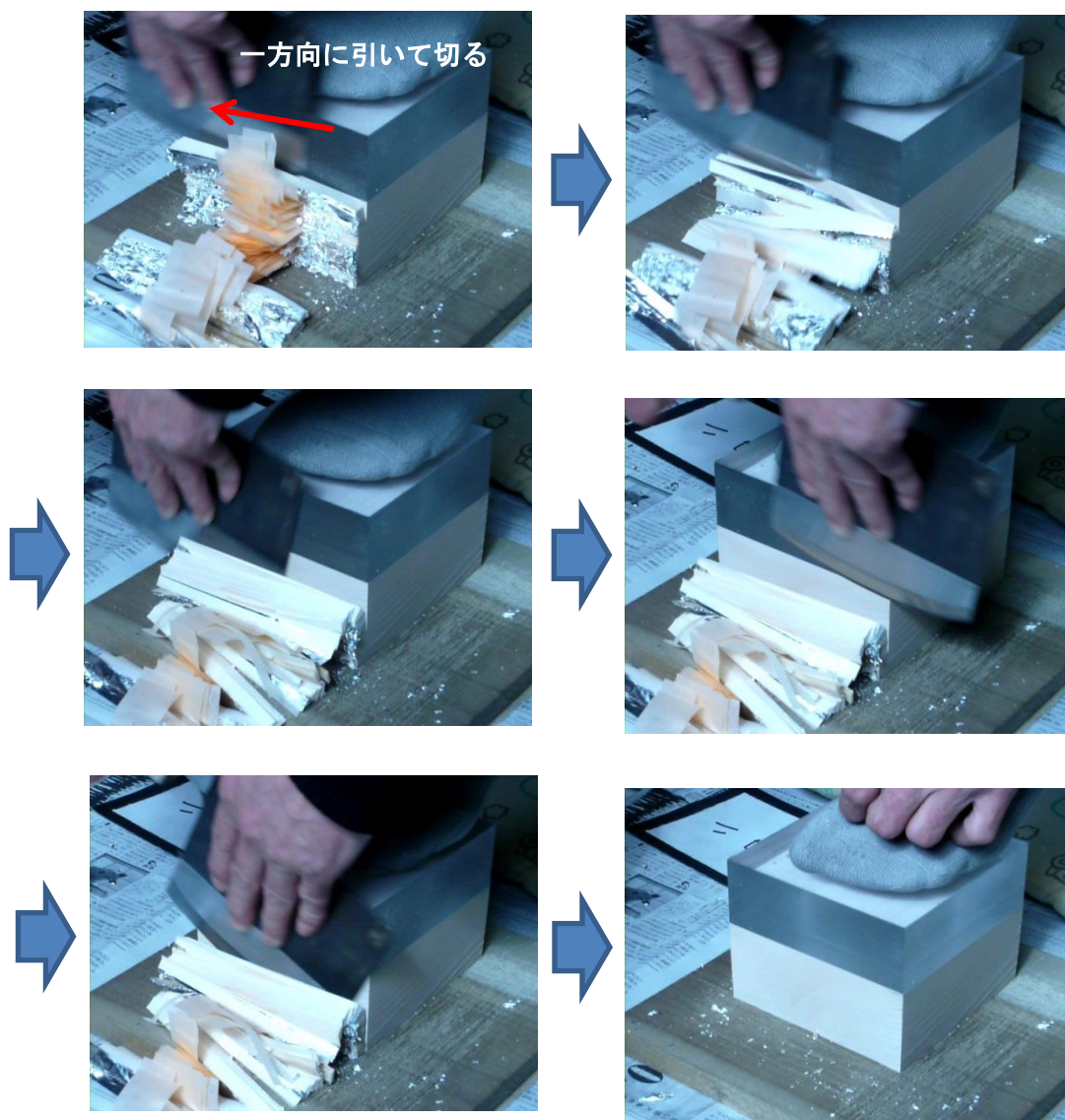


図 1.2 職人に裁断作業の流れ

第2章 これまでの積層体四面の自動切断装置

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 μ m ピッカース硬度 1550kg/mm²(HV) 抗折強度 3250MPa 破壊靱性 12MPam^{1/2}）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、送り速度約 200mm/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ふ。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。

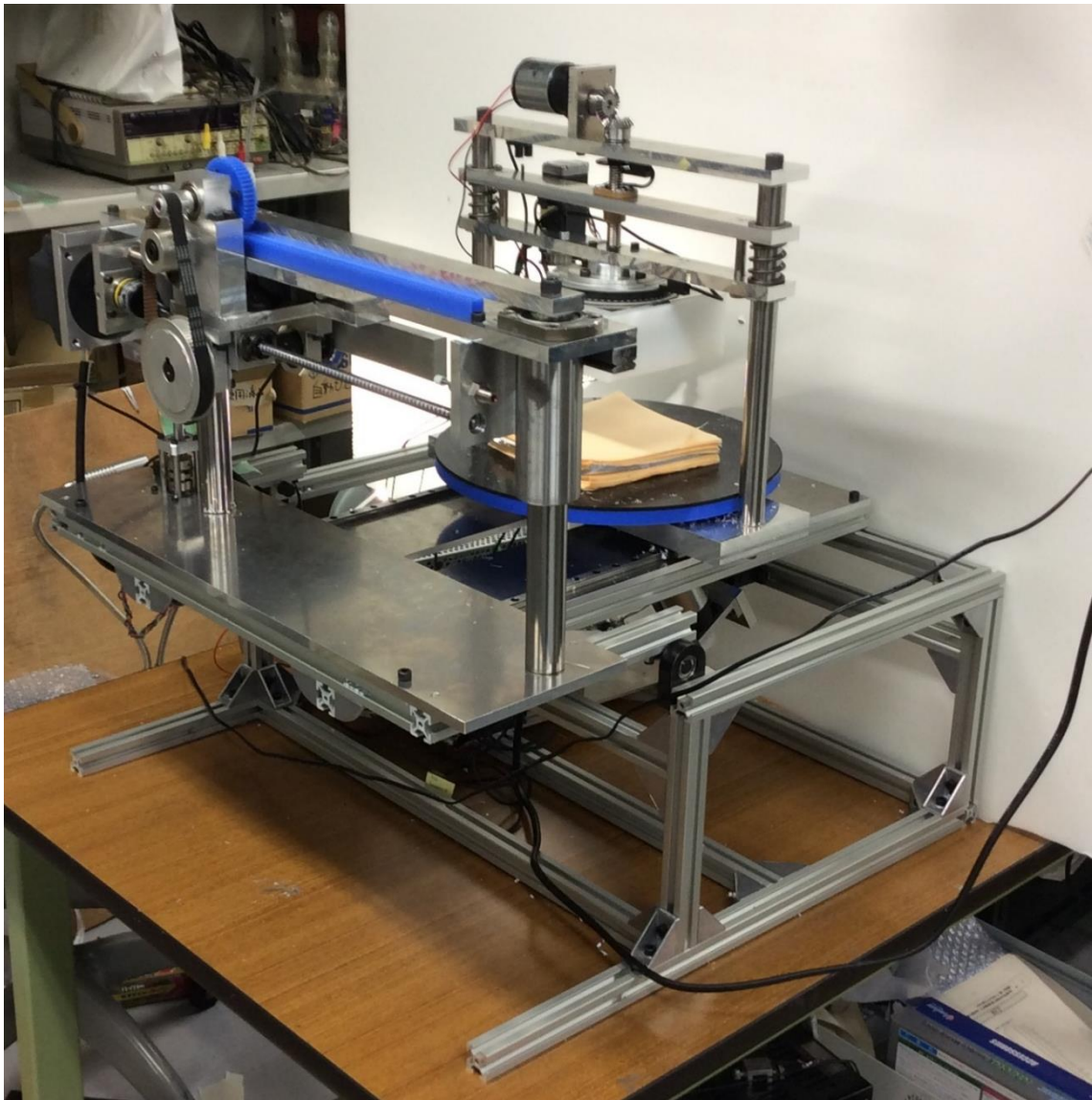


図 2.1 積層体四面の自動切断装置

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。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。箱固定ブロックの回転は、モータとタイミングプリーで行い、積層体を押し付けたあとは、自由回転のターンテーブルも同時に回転することになる。このようにすると、箱固定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、人はターンテーブル上の積層体の位置合わせに専念できる。また、箱固定ブロックはプランジャーを利用してワンタッチで取り外し/取り付け可能となっている。これは、いろいろな大きさの箱（109mm

角 \sim 170mm 角)に合わせて取り替えるためである。なお、箔固定台はリニアガイドに載せ、装置を傾けることで(後述)移動し、箔固定ブロックが刃に押し付けられるようになっている。この押し付け力は 20 \sim 40N 程度である。装置を水平に戻せば、ばねにより元の位置に戻る。

積層体の切りくずの排出は、装置を傾ける構造で解決した。もちろん、積層体をセットするときには水平にする必要がある。切断機構と箔固定機構が載った装置部下面に、モータでナットを回してすべりネジを伸ばす機構を取り付け傾けている。

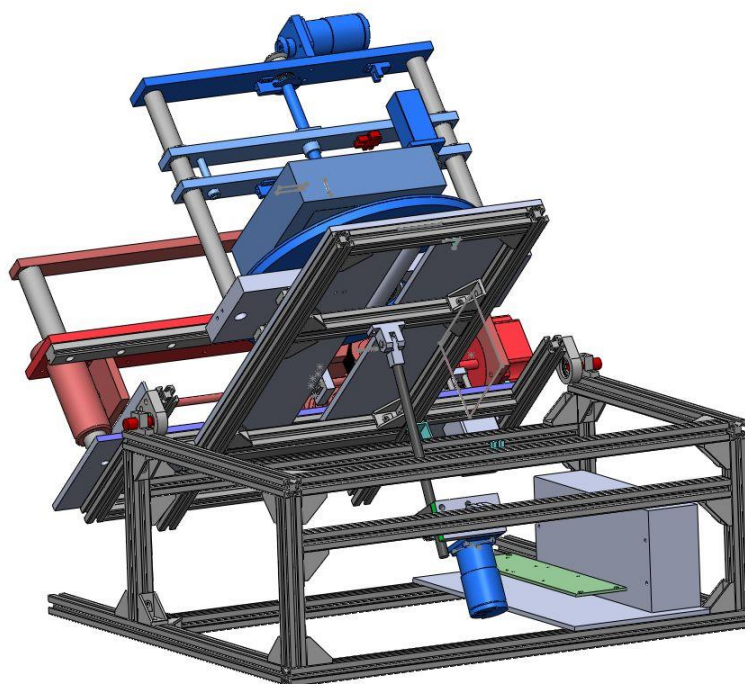
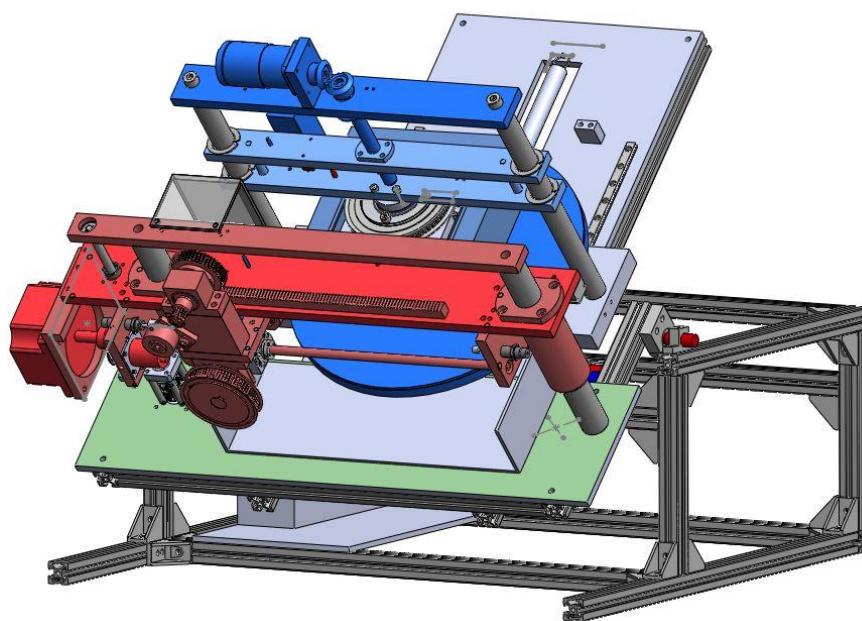


図 2.2 切りくず排出のための装置の傾斜

第3章 積層体四面の自動切断装置の改良

積層体四面の自動切断装置について、細かな不備から大きな問題まで様々な改良を行った。それらについて順次述べる。

3.1 切断刃の高剛性化

積層体を切断する丸刃は、刃厚 0.3mm 外径 50mm の既製品を使用していた。厚さが薄いため、図 3.1 のように、円形プレートにいったん接着し回転軸にねじ止めしていた。この際、接着の強度が不足したり、接着面のずれにより回転軸との垂直度が保たれなくなったりすることがあった。

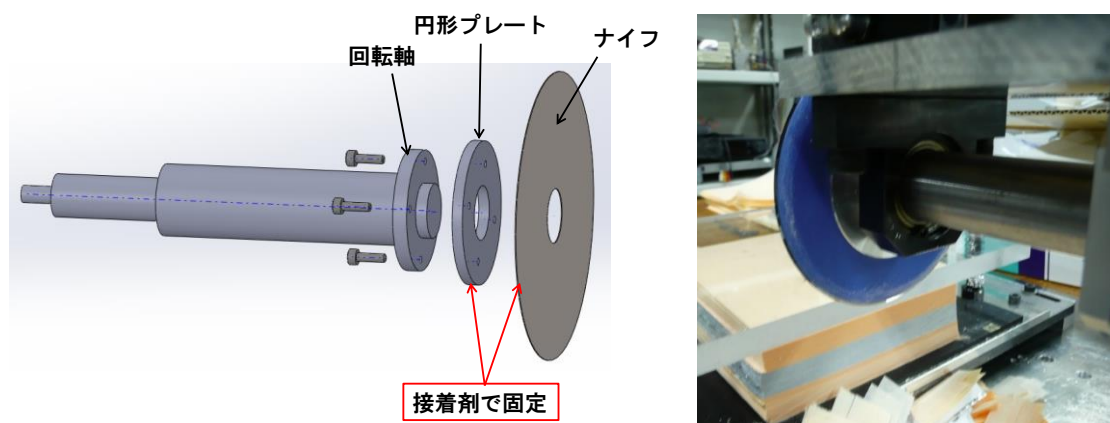


図 3.1 変更前の切断刃

そこで、丸刃を特注することにした。図 3.2 のように、刃先は既製品と同じだが、刃の中央部分の厚みを増し、回転軸とねじ止めできるようにした。箱固定ブロックに刃面を沿わせて切断するため、刃先部分はわずかに両刃であるが、大きな形状としては片刃となっている。厚みが増えたことで、積層体を切断するとき、大きな切断力がかかっても刃がたわみにくくなった。

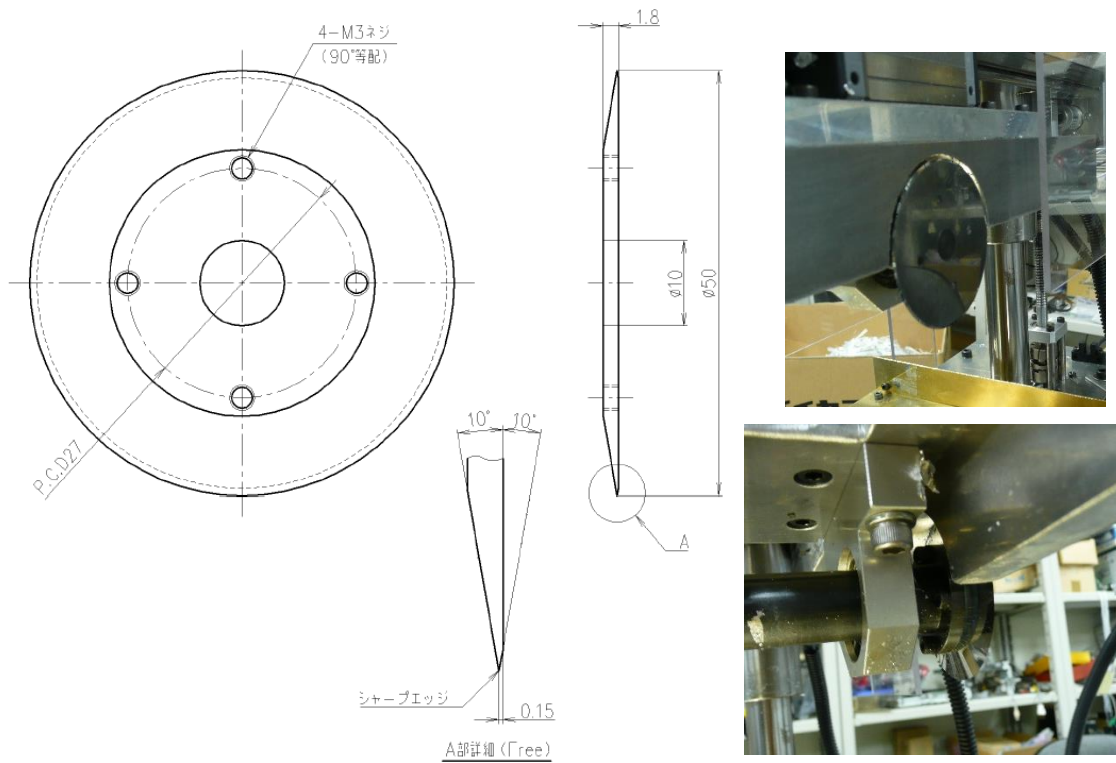


図 3.2 変更後の切断刃

3.2 箱固定台のターンテーブル軸受の変更

箱固定台のターンテーブルを支える軸受をアンギュラ軸受から精度の良い玉軸受に変更した。垂直荷重を考えてアンギュラ軸受を使用していたが、ガタが見られ、積層体の最下部を切断するときには切り残しや表面にゴムを張り付けたターンテーブルへの刃の食い込みがあったのが改善された。

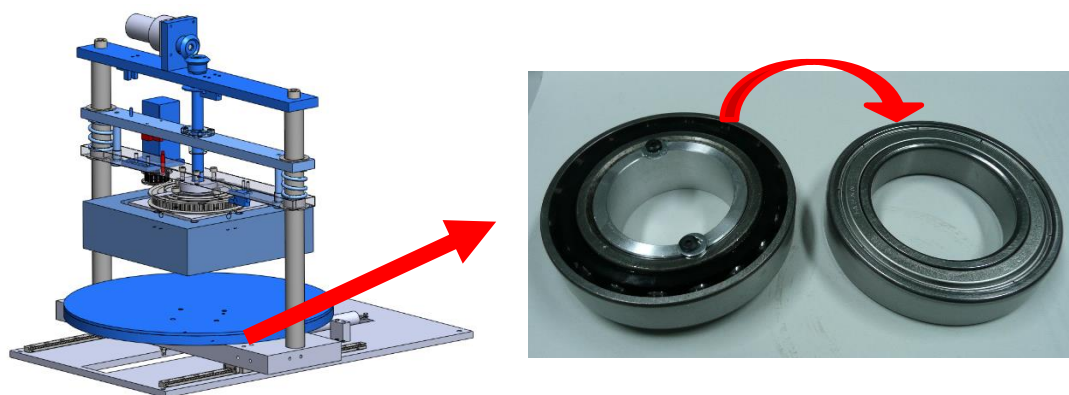


図 3.3 ターンテーブル軸受の変更

3.3 駆動モータの高トルク化

箔固定台で積層体を押し付けるモータと、装置上部を傾斜させるモータにトルク不足が見られていた。いずれも歯車と滑りねじを介して機構を駆動しているが、機構内の摩擦の見積もりが少々不足していた。そこで、高トルクなDCモータに交換した。具体的には、マクソンモータ製DC減速機付モータの型番 2140.937-22.112-050 (24V, 4W, 0.2Nm, 135rpm) から型番 123852 (24V, 7W, 0.6Nm, 230rpm) に変更した。これにより余裕をもって各機構が駆動できることを確認した。

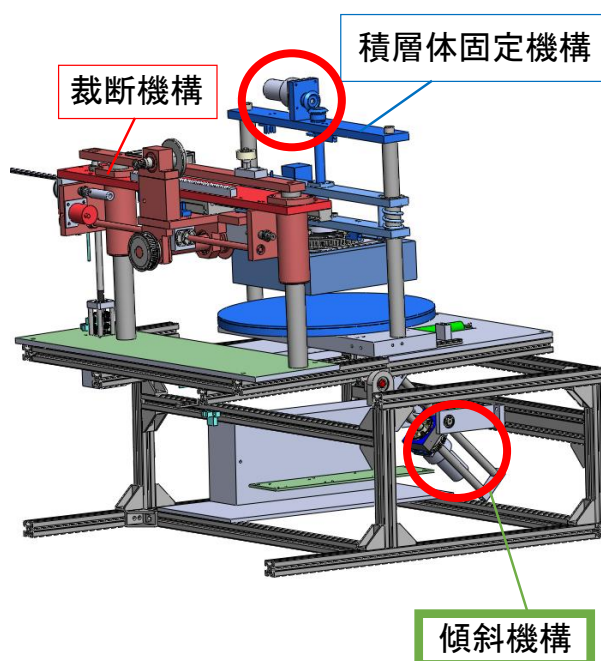


図 3.4 駆動モータの変更

3.4 切断経路の変更

積層体を切断する刃の経路は、これまで図 3.5 に示すように、少し斜めに「一方向に」切り込んでいた。ところが、切り込み量を多くしたり切断速度を上げたりすると、本来、刃に平行になっていなければならない箔固定ブロックが回転し、切断面が大きく乱れたり、固定しきれなくなった積層体を引きずり出してしまうといった現象が発生していた (図 3.6)。このような現象の発生を抑制するため、図 3.7 のような切断経路に変更した。ポイントは、積層体を切り込み始める位置が、従来は端であったものを中央にした点である。刃を水平に往復させながら、中央の位置から「両方向へ」少し斜めに切り込んでいくことになる。なお、切断の速さは、一方向に切り進むのも両方向に切り進むのも変わらない。さらに、刃の切断力によって箔固定ブロック (ターンテーブル) が回転させられるのを少しでも抑えるため、図 3.8 のようなロータリダンパも設置した。実際に、両方向へ切り込む方式で切断してみたところ、切断時の箔固定台の様子が安定し、切断面も良好であった。

両方向へ切り込むことで、切断面中央部の刃の入る位置に縦の線が発生する懸念があったが、それほどはっきりした線は見られず問題はなかった。

- (1) 切り込み量を一定にするため左端から切断する
- (2) 右端までくれば一定量降下し、同じ切り込み量で全体を切る
- (3) 刃が積層体の下端にくれば上昇し、点Aに戻る

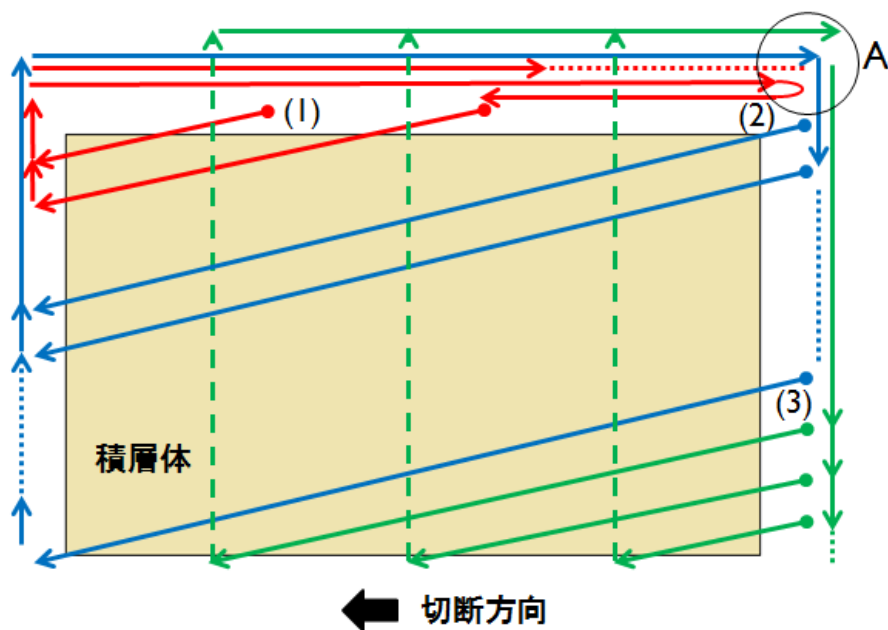


図 3.5 変更前の切断経路

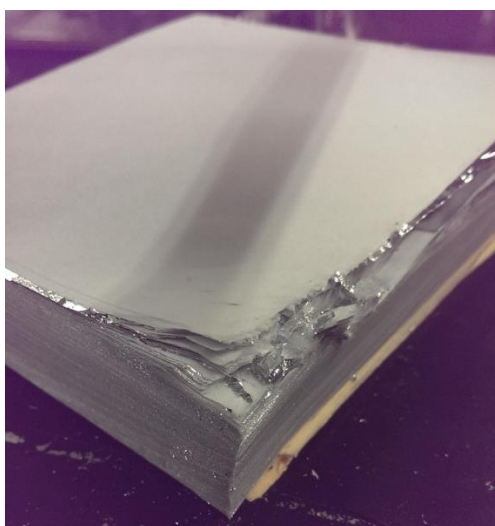


図 3.6 刃の動きに伴う箔固定ブロックの回転による切断失敗

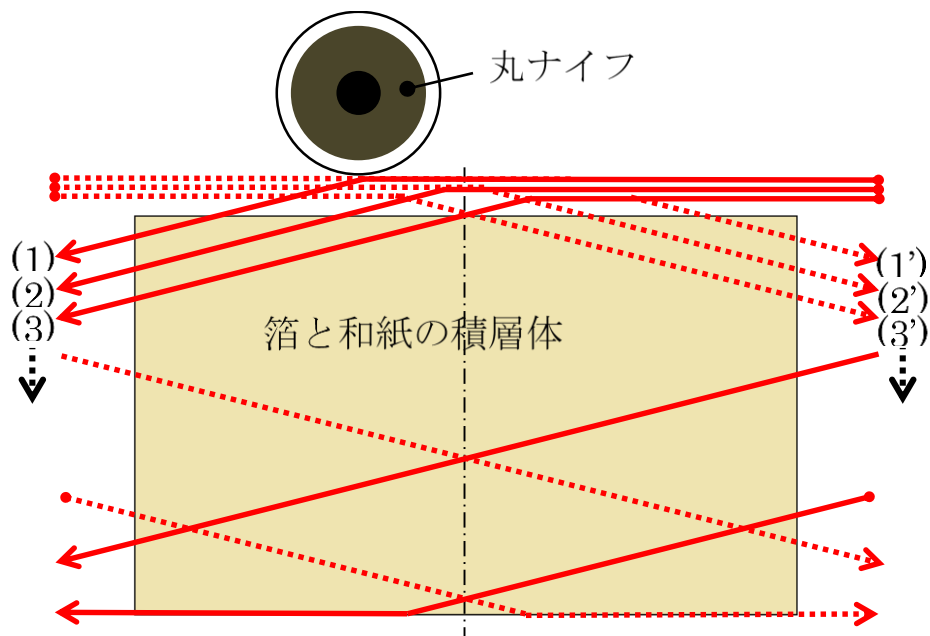
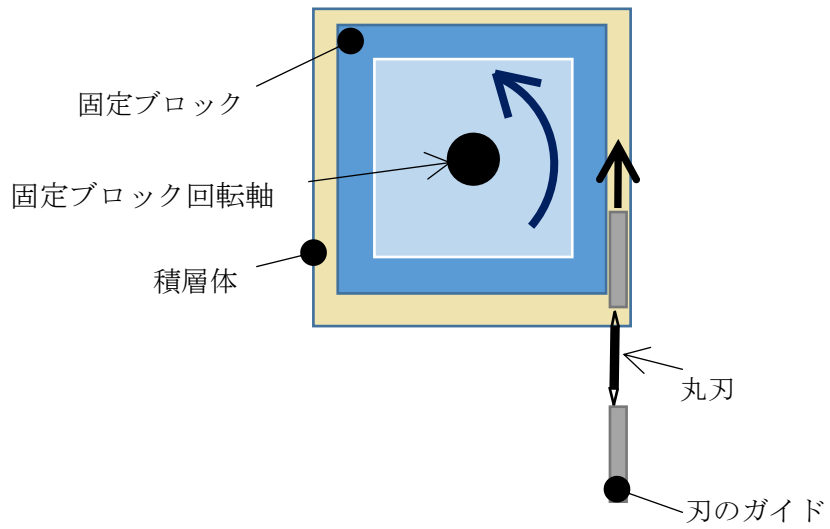


図 3.7 変更後の切断経路

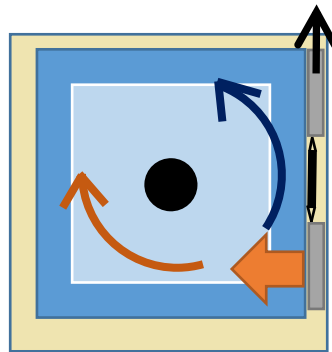


図 3.8 箔固定部（ターンテーブル）の回転を抑制するローラダンパ

刃が端から一方向に切り進む場合と中央から両方向に切り進む場合で、箔固定ブロックの安定性が異なる理由を考えると、図 3.9 のようになる。箔固定ブロックの回転軸と刃が切り進む線には一定の距離があるため、刃の切断力が積層体を押す力は、箔固定ブロックを回転させるモーメントになる。刃が積層体の端にあるときは、このモーメントに対抗する力は発生しにくい。一方、刃が積層体の中央にあるときは、刃のガイドの後ろ側が箔固定ブロックに接している。このため、箔固定ブロックが回転しようとするのをガイドの後ろ側で逆に止める力を発生させることができる。これにより箔固定ブロックの回転や揺動を抑えることができると考えられる。



(a) 積層体の端から刃が切り込むとき



(b) 積層体の中央から刃が切り込むとき

図 3.9 刃の位置と箱固定ブロックを回転させるモーメントの関係

3.5 刃の摩耗対策

切断刃は水平移動に伴って少し回転するような機構になっているが、その回転—直動比は約 0.2 である。刃が水平に 300mm 動くとする、丸刃の周長で 60mm 程度、角度で約 1/3 回転となる。これでは丸刃の全周を使っていないことになり、摩耗を考えるとむだである。これまでは、積層体の切断経路が一方向であったため、刃を回転させる機構の一部にワンウェイクラッチを組み込み、一定方向にしか回転しないようにすることで、刃の全周を使うようにしていた。ところが、今回、切断経路を変更し、積層体を両方向に切断することになった。以前の方法是使えないため、図 3.10、図 3.11 に示すような特別な仕組みを設けて、刃の全周を使うよう工夫した。

刃を回転させる機構は、ラックギア上をピニオンギアが水平に動き、それによりピニオンギアが回転し、この回転を刃に伝えている。切断時には、ピニオンギアがラックギア上を往復するだけなので、刃の往復回転も一定角度間に制限されてしまう。そこで、ピニオンギアをいったんラックギア上から通り越すようにし、側面をワンウェイクラッチを内蔵したウレタンローラに接触させるようにした。ウレタンローラはワンウェイクラッチにより一方向にしか回転しない。図 3.11 のように、ピニオンギアがラックギア上から離れる方向に進むときはウレタンローラは自由に回転し、ピニオンギアはほとんど回転しないが、ピニオンギアがラックギア上に戻る方向では、ウレタンローラが回転しないことで、接触するピニオンギアを少し回転させることになり、その量だけラックギアとの噛み合いがずれる仕組みである。すなわち、刃の回転がずれることになり、切断に使われる丸刃の周囲の部分がずれていくことになる。これは頻繁に行うほどの必要性がないため、積層体一面を切る直前に一度ずつ、ピニオンギアをラックギア上から通り越す動作を行うことにした。

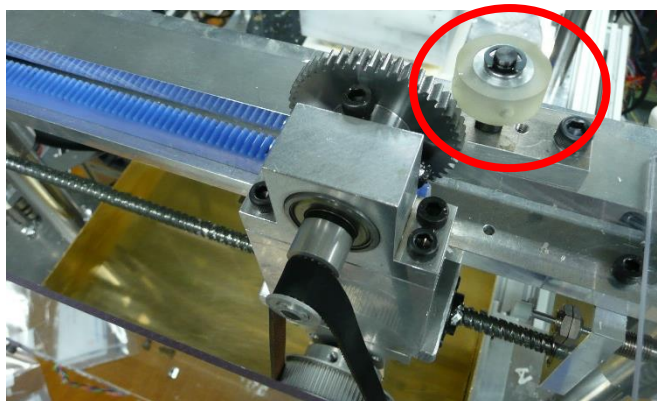
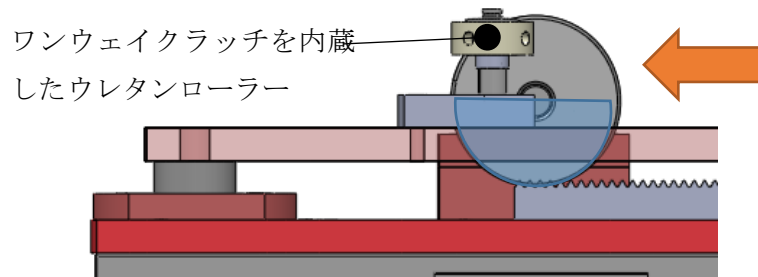
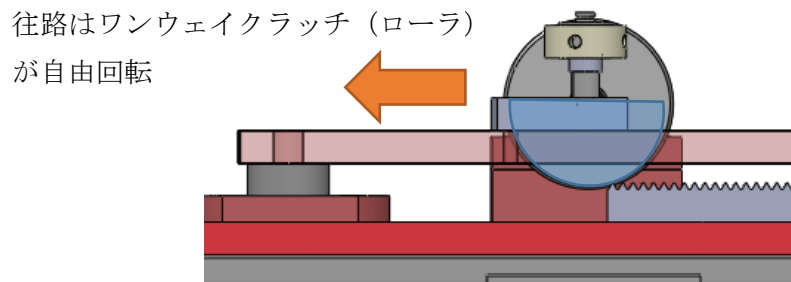


図 3.10 刃の回転をずらすためのワンウェイクラッチ入りローラ

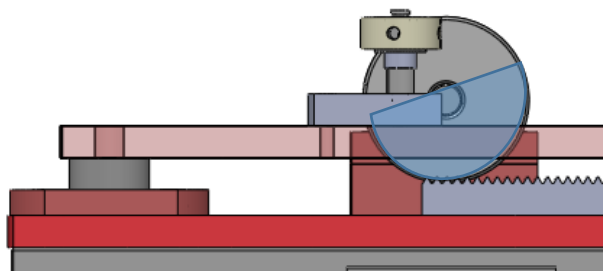


(a) ピニオンがラックの端に到達する



(b) ピニオンがラックから離れる

復路はワンウェイクラッチ（ローラー）が無回転
 ピニオンギアがローラーに引っ張られ微小回転



(c) ピニオンが微小回転した後ラックと再び噛み合う

図 3.11 ワンウェイクラッチによる刃の回転ずらしのしくみ

3.6 切断の高速化

これまでの装置では、刃の水平方向の送り速度は約 200mm/s であった。この速度を上げることを検討した。

まず、刃を水平方向に移動させるボールネジ（リード 8mm）を駆動するモータを変更した。具体的には、オリエンタルモータ製ブラシレスモータ、型番 BLH450K-A (24V, 50W, 0.2Nm, 2500rpm, 0.8kg) から、マクソンモータ製ブラシレスモータ、型番 305013 (24V, 200W, 0.095Nm, 16000rpm, 0.3kg) に変更した。変更後のモータは高速回転であるため、タイミングプーリで 14/34 (約 0.4 倍) に減速してボールネジを駆動した。この変更には、モータ出力をパワーアップした他にも意味がある。切断動作は往復運動であり、加減速が多い。変更後のモータは慣性モーメントが小さく、加減速時間を短縮することができる。また、出力が大きいにも関わらず、重量が小さい。刃を少し斜め下に移動させながら積層体に切り込むため、刃を水平方向に移動させる機構全体を上下動させるモータにとっては、この軽量化の効果は無視できない。なお、刃を回転させる機構もタイミングプーリを小径のものに交換することで軽量化した (図 3.13)。

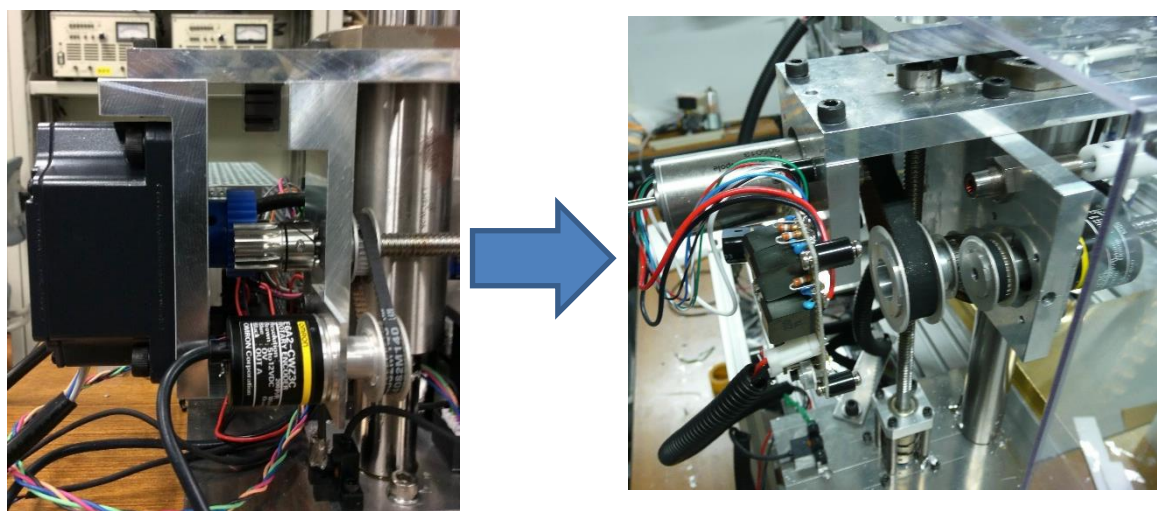


図 3.12 刃の送り用モータの変更

刃の水平方向の送り速度を上げるのに伴い、刃を上下方向に動かす速度も上げる必要があるが、これを駆動するステッピングモータが少々ボトルネックになっていた。ブラシレスモータ等に変更して出力を上げることも考えられたが、ステッピングモータは水平方向の動作に同期させやすい。配置場所の関係からモータの大きさにも制限があり、刃を上下動させるモータを変更するのは断念した。その代わりに、上下動のステッピングモータを一

定のパルスで動かすのではなく、加減速をつけたパルスで駆動することにした。この結果、脱調する限界を上げることができ、上下動の最高速度を向上させることができた。

また、刃の水平方向の送り速度を上げると、切断の往復動作の各終点で停止しにくくなる。既に、ボールネジの端部にダンパを入れて、機構的に停止させる工夫も行っているが、それだけでは十分ではない。切断の往復動作の停止手前 15%の距離からは、モータ速度の指令値を下げるようにしている。

これらの改良により、最終的に刃の水平方向の送り速度約 300mm/s を達成した。しかし、水平方向に駆動するブラシレスモータの回転速度に換算すると最高速度の約 35%程度しか使っておらず、モータがオーバースペックとなっている。さらに高速化するには、上下動のモータを改良する余地が残された。

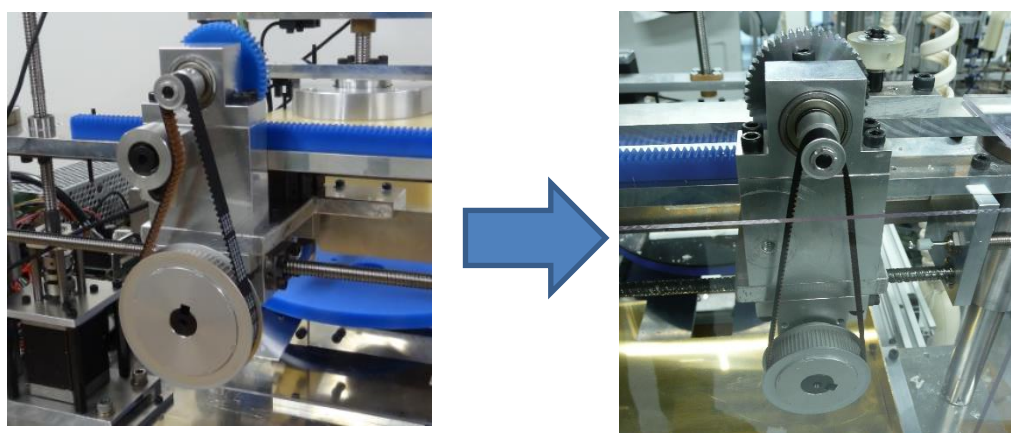


図 3.13 軽量化のための刃の回転用プーリの変更

3.7 切りくずの排出経路の確保

切断された積層体の切りくずは、傾斜した台上を適当に滑り落ちるようになっていた。基本的な切りくずの排出には問題がないが、切りくずの一部が箱固定台の下部に入ったり切断機構の上下のリニアシャフトに張り付いたりしていた。これを防ぐため、図 3.14 のような排出枠を設計し、取り付けた。箱固定台が移動してもターンテーブルの下に枠板が入るようになっていた。材料は静電気を帯びにくく表面が滑らかな真鍮板を用いた。なお、真鍮板の表面に人が触った時の油分が付いていると切りくずの箱が付着しやすいようであり、表面の油分を良く拭き取っておくとよいようである。

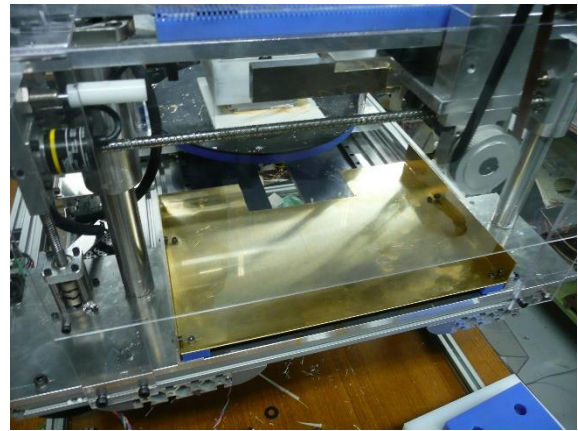
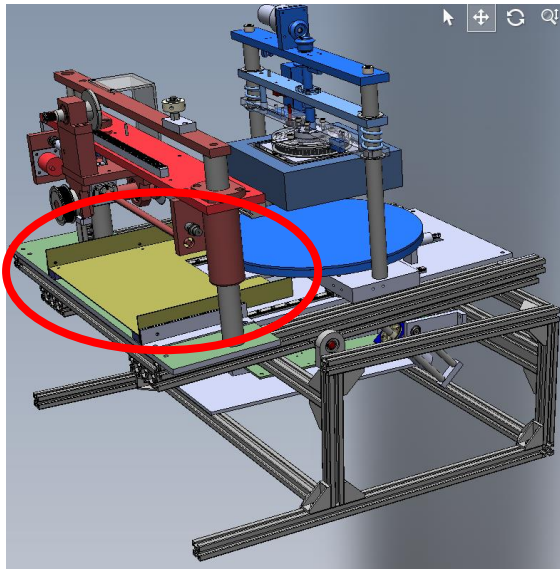


図 3.14 切りくずの排出経路

3.8 装置の補強

この装置では、刃面を箱固定ブロックに沿わせながら切断する方法を取っている。そのとき、刃面と箱固定ブロックの側面は完全に平行になり隙間がないことが理想である。ところが、切断刃のある切断機構部と、箱固定ブロックのある箱固定台とが載せられている装置上部の板の強度が弱く、それらの自重等によってわずかにたわんでしまっていた。このたわみにより、刃面と箱固定ブロックの平行度が少しずれていた。これを修正するため、装置上部の板の仮面に図 3.15 のような補強材を取り付けた。

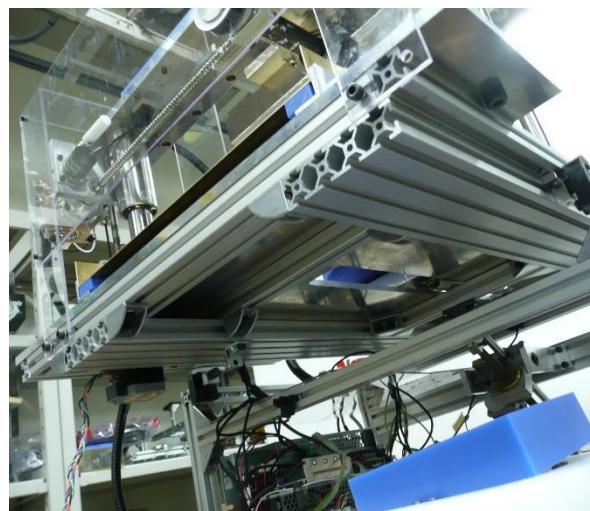
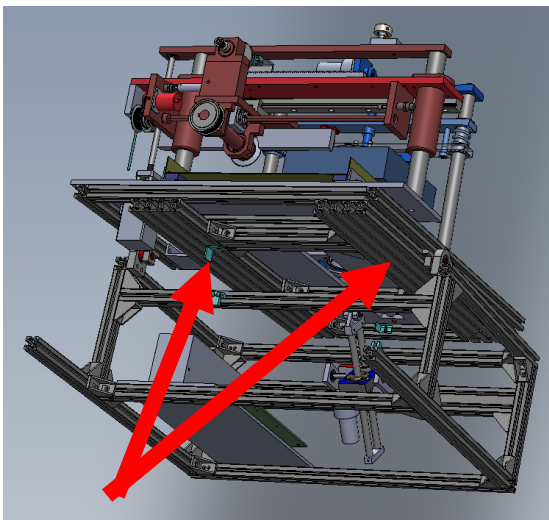


図 3.15 補強部分

3.9 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。既に、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ていた。さらに、箔固定ブロックや積層体に干渉しない範囲で、刃や刃を回転させる機構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た（図 3.16）。



図 3.16 刃の移動部の安全カバー

第4章 自動切断装置の動作検証

4.1 最終試作

前述の改良を施し、最終的に試作した積層体四面の自動切断装置を図 4.1 に示す。

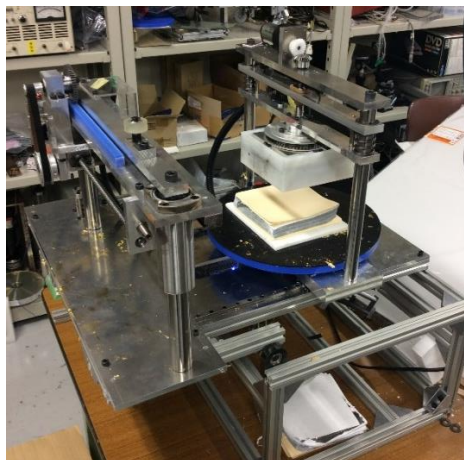


図 4.1 試作した切断装置

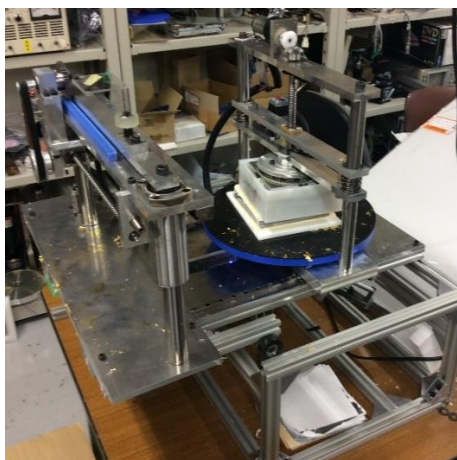
4.2 アルミ箔の切断実験

試作した自動切断装置を用いて、アルミ箔と和紙約 1000 枚の積層体を 127mm 角のサイズに切断する検証実験を行った。刃の水平方向移動速度は約 300mm/sec、切り込み量は 1mm である。切断の様子を図 4.2 に示す。各機構の動作はスムーズに行われ、積層体の 4 面をほぼ良好に切断することができた。傾斜機構により切りくずも問題なく排出された。動作開始から 4 面の切断が完了するのにかかった時間は約 10 分であった。図 4.3、図 4.4 に切断した積層体の側面およびアルミ箔の端部の状態（光学顕微鏡で拡大）を示す。職人

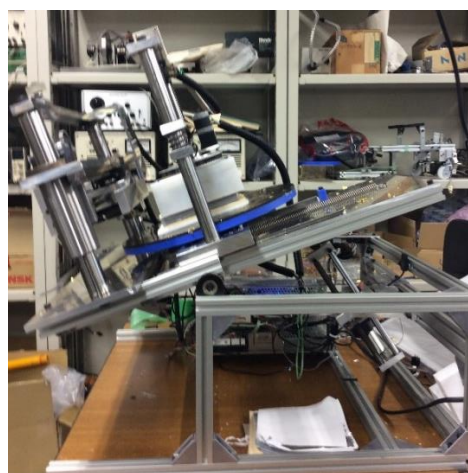
による切断面とおよそ同等の切断面が得られているのが分かる。



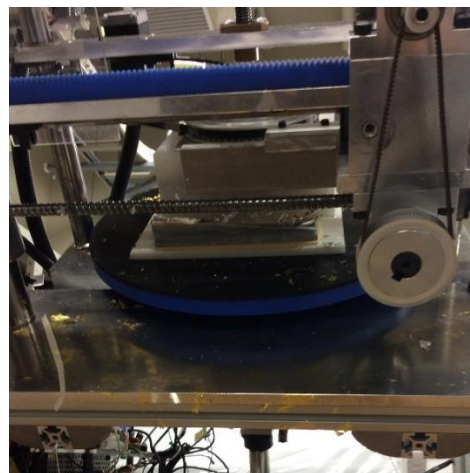
(a) 積層体をセットしてスタート



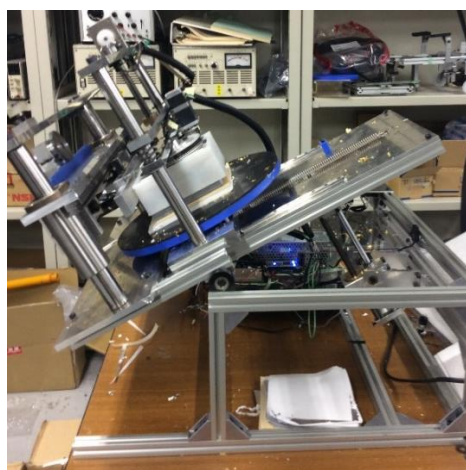
(b) 積層体を上から押さえて固定



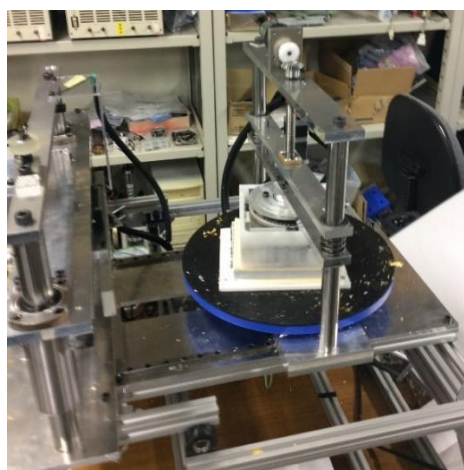
(c) 装置上部を傾ける



(d) 1面を切断する

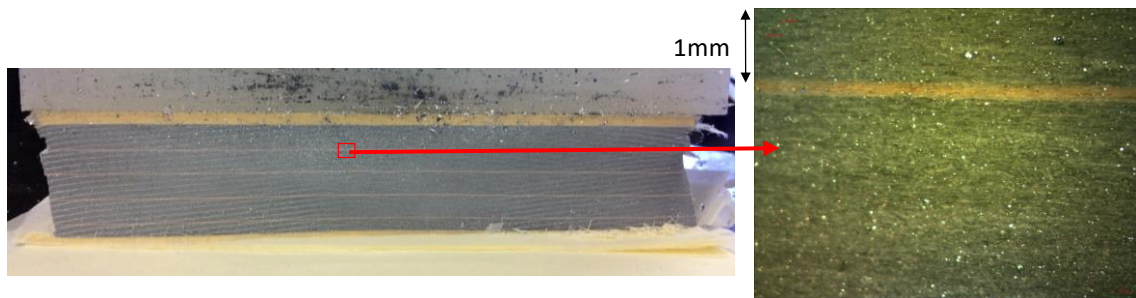


(e) 切断終了後、水平に戻る

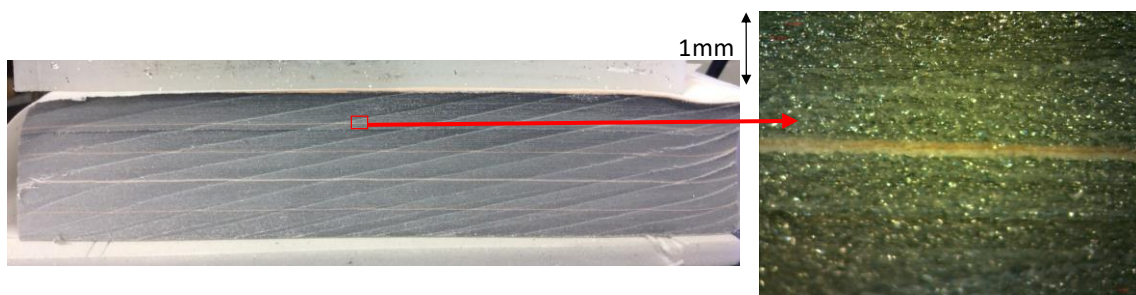


(f) 積層体を 90°回転させ、再び傾斜

図 4.2 アルミ箔と和紙の積層体の切断

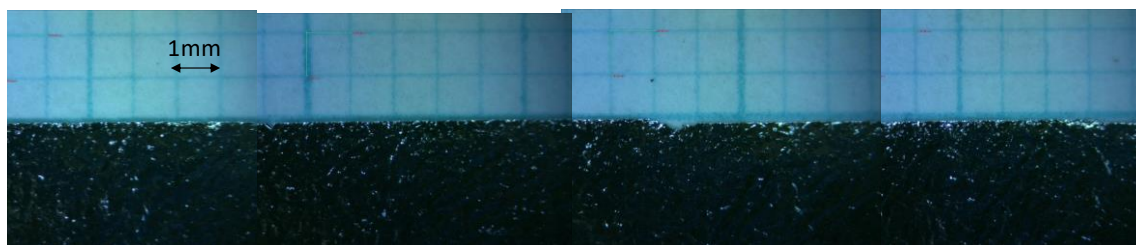


(a) 自動切断機による切断面

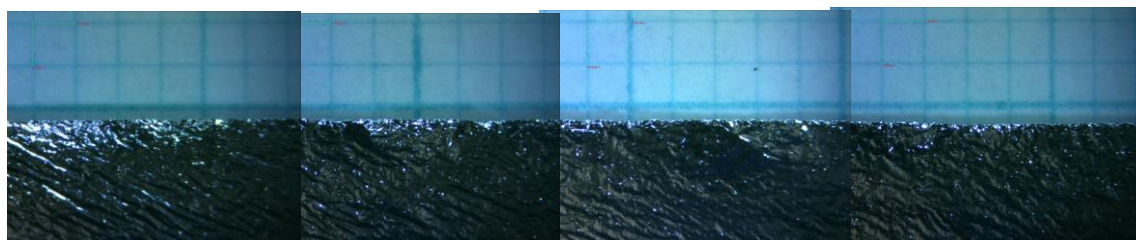


(b) 職人による切断面（比較用）

図 4.3 積層体の切断面

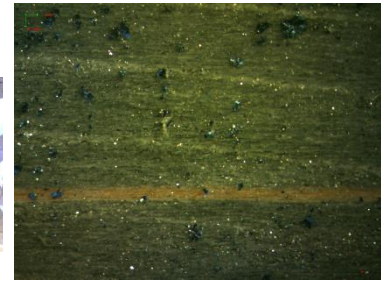
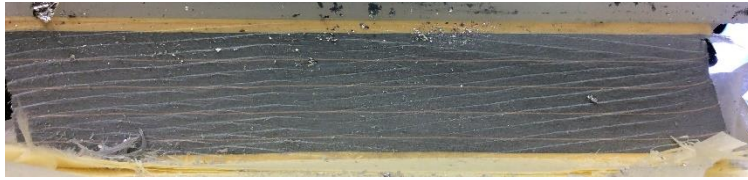


(a) 自動切断機による切断端

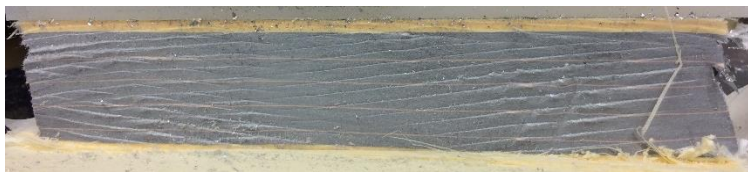


(b) 職人による切断端

図 4.4 切断後抜き取ったアルミ箔の端の観察



(a) 切り込み量 1.5mm



(b) 切り込み量 2mm

図 4.5 切り込み量を変えた時の切断面

切り込み量を変えた時の切断結果を図 4.5 に示す。切り込み量を増やすことは切断の高速化につながるが、2mm 程度になると切断面の荒れが目立つ。刃が積層体に切り込む際に発生する反力（モーメント）のせいで、箔固定ブロック（台）が微妙に動くことが原因である。切り込み量を大きくするには、この切断時の力が大きくなっても箔固定ブロックが動きにくい構造にする必要がある。

4.3 金箔の切断実験

金箔を切断する実験はかなりコストがかかるため、これまでアルミ箔を代用してきたが、最終的に、金箔と和紙の積層体約 1000 枚（箔の枚数で約 500 枚）を 127mm 角のサイズに（一面のみ）切断する検証実験を行った（図 4.6）。図 4.7 のように、アルミ箔と同様に良好な切断面を得ることができた。計測したわけではないが、装置の動きや音から、アルミ箔よりも金箔の方が切断しやすいようであった。箔の薄さや柔らかさが原因であると推測される。

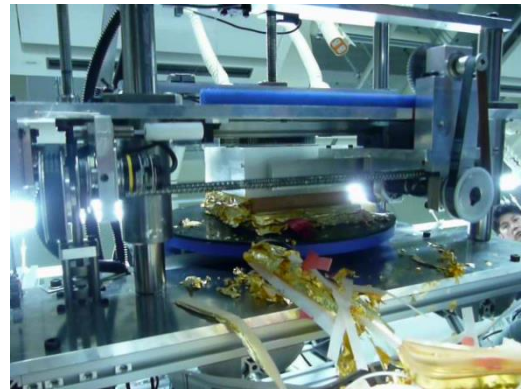
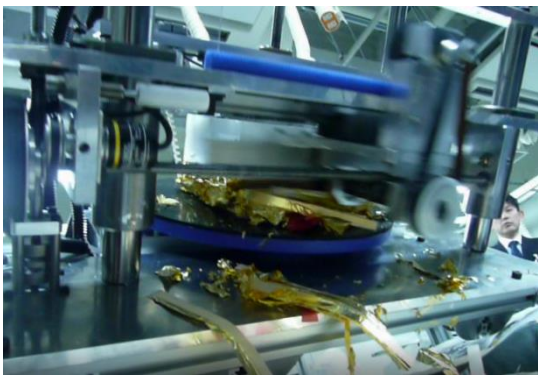
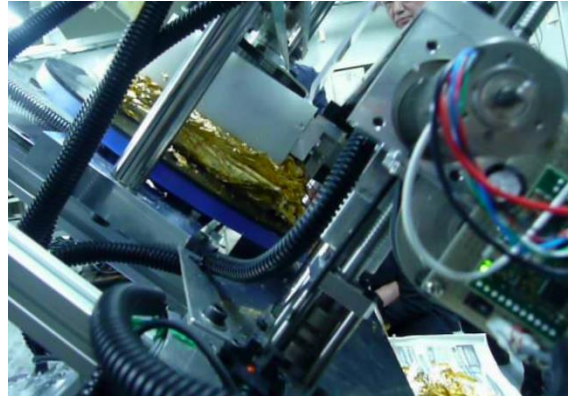
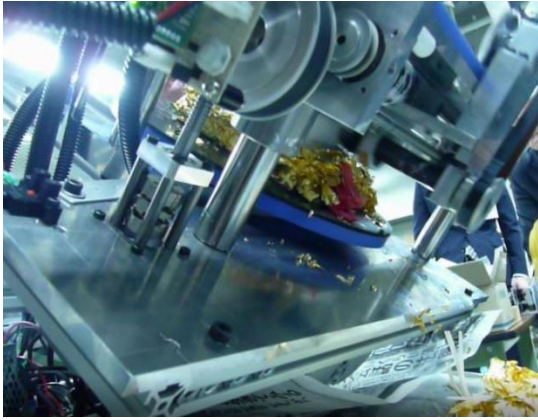


図 4.6 金箔と和紙の積層体を切断している様子



図 4.7 金箔と和紙の積層体の切断面

第5章 まとめと今後の展望

5.1 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、実用に近づけるさらなる改良を行った上で、装置をほぼ完成させ、最終的な検証実験を行った。比較的小さな改良点としては、切断刃の特注による高剛性化、装置のガタの改善や補強、一部モータの高トルク化、切りくず排出経路の確保や安全カバーの設置などがあげられる。最も大きな改良点は、積層体の切断経路の変更と切断の高速化である。切断経路の変更により、積層体の切断の安定性・信頼性が向上した。最終的な検証実験では、金箔と和紙の積層体の

切断も行い、問題なく良好に切断できることが確認された。信頼性や使いやすきの向上に向けた改良にはきりが無いが、自動切断装置の基本構造としてはほぼ完成したと言える。ただし、装置の低コスト化については課題が残った（次節参照）。

5.2 低コスト機の実用化に向けて

積層体四面の自動裁断装置としてはほぼ完成と言っても、必ずしも低コストとは言えない。実用化に向けて思い切った低コスト化を行う必要がある。そのためには自動化と逆方向になるが、一部手動化することを考えざるを得ない。そのポイントをまとめておく（図5.1）。

- 切断機構の部分はこの装置の本質的な部分であり、削減することはできない。
- 箔固定ブロックを押し付けたり回転させたりする機構はモータを使うのではなく、手動で行うように変更できる。しかも回転は90°おきにセットできれば十分である。
- 装置上部を傾ける機構もなくすことができる。最初から傾いた状態で装置を作ればよい。ただし、箔固定台を取り外して、積層体をセットし、もう一度手動で箔固定台を装置に取り付けるような手順が必要となる。また、場合によっては、積層体の1面を切断する度に、箔固定台をいったん取り外して、90°回転させ、もう一度取り付ける手順も必要になる可能性が高い。
- 箔固定台を装置に手動で取り付けることにすれば、切断時に箔固定ブロックが回転しないように固定する（刃に垂直な方向には動く）機構にすることもできる。そうすれば、切断時の刃の動きで箔固定ブロックが回転してしまう問題も全くなり、回転を抑制するダンパ等も必要なくなる。さらに切断を高速化できる可能性もある。
- 箔固定台をはずして積層体をセットすることは安全性の確保につながる。切断刃の近くで積層体をセットする作業がなくなるからである。

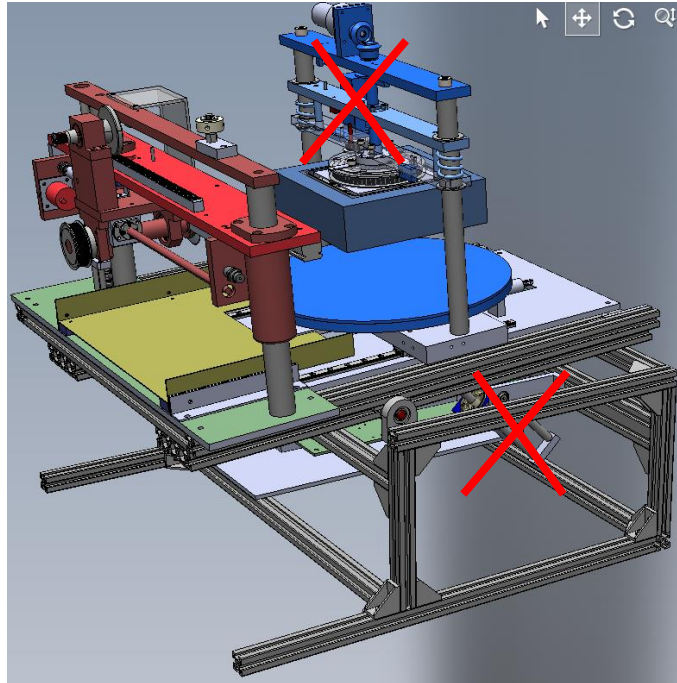


図 5.1 低コスト化設計

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、田中製箔 田中年雪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2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。