

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。この開発にあたり、一番重要なポイントは、積層体をきれいに裁断できる刃物の条件やその切断力・切断速度などの条件を明らかにすることである。本年度においては、

まず、この適切な裁断方法の検討を行い、実験装置を兼ねた、積層体の1面を切断する簡易な試作機により、自動裁断機の可能性を探る。

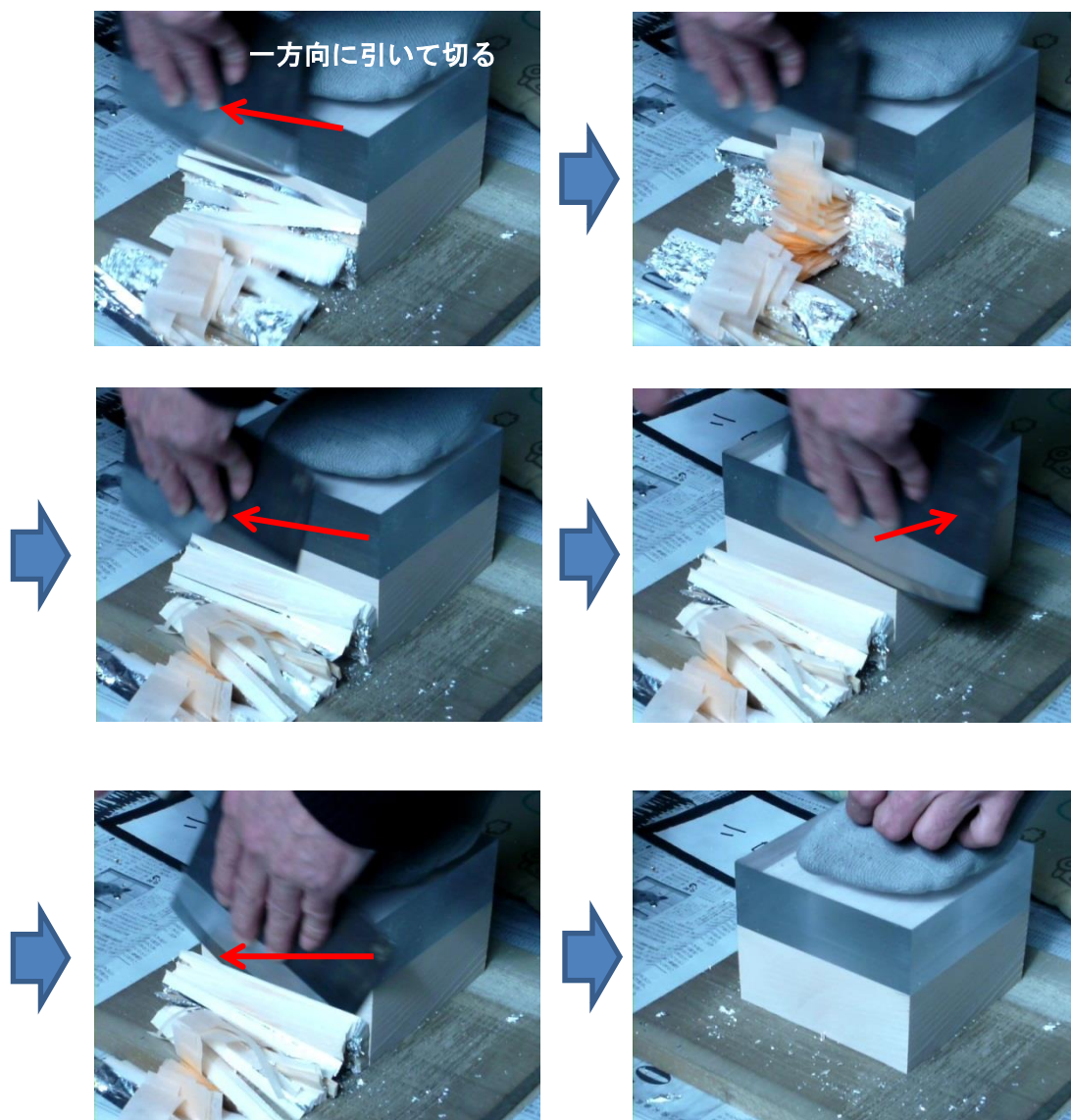


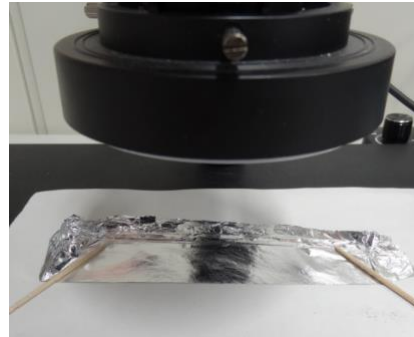
図 1.2 職人に裁断作業の流れ

第2章 職人の使用している刃と切断面の観察

職人の使用している刃（図 1.1）と切断面の観察を、マイクロスコープ（表 2.1）を用いて行った（図 2.1）。なお、実験コストを考慮し、切断対象の積層体は、金箔ではなく、同様の箔打ち作業で作られたアルミ箔で検証した。アルミ箔の厚さは約 $0.3\sim 4\mu\text{m}$ と金箔の3倍程度さである。切断部の観察方向は、断面方向と箔面方向から観察した。これらは以降の実験でも同じである。



(a) 断面方向



(b) 箔面方向

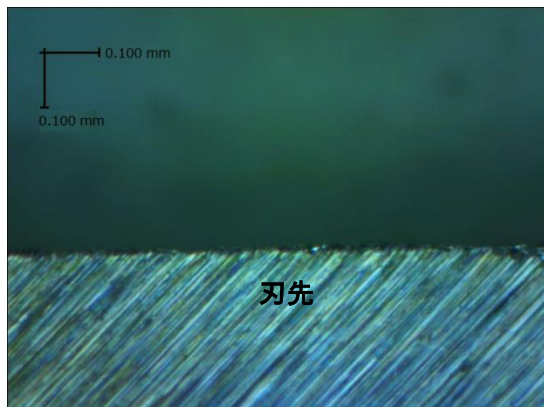
図 2.1 マイクロ스코ープによる切断面の観察の様子

表 2.1 マイクロ스코ープの仕様

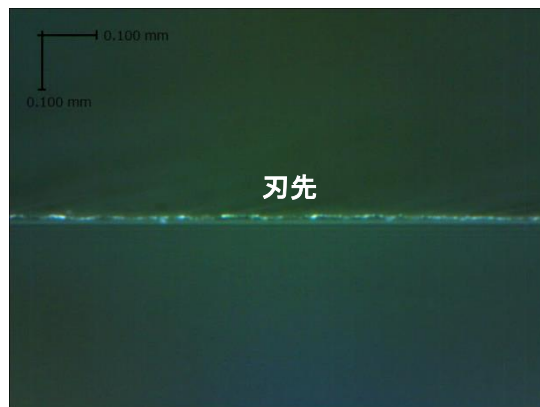
トータル倍率	最大倍率時 観察範囲	最小倍率時 観察範囲	カメラ画素数	カメラ解像度
45 倍～350 倍	1.0mm × 0.8mm	7.5mm × 5.7mm	200 万画素	1600(H) × 1200(V)

職人が使用している刃のマイクロ스코ープ写真を図 2.2 に示す。側面には砥石で砥いだ筋が見られる。また、刃先は若干ギザギザしているものの、かなり鋭く砥がれていることが分かる。

また、職人が切断したアルミ箔の積層体の切断面を観察した写真を図 2.3 に示す。箔の端の破れなどが少なく、比較的まっすぐに切れている様子が分かる。断面方向についても、箔の破れが飛び出したり、箔の端と合紙がくっついていたりしている様子はあまり見られない。一部、筋状の痕跡が見られることがあり、その部分では多少箔の端が乱れているが、1 枚の箔として取り出すと、その乱れはほとんど分からない程度であった。

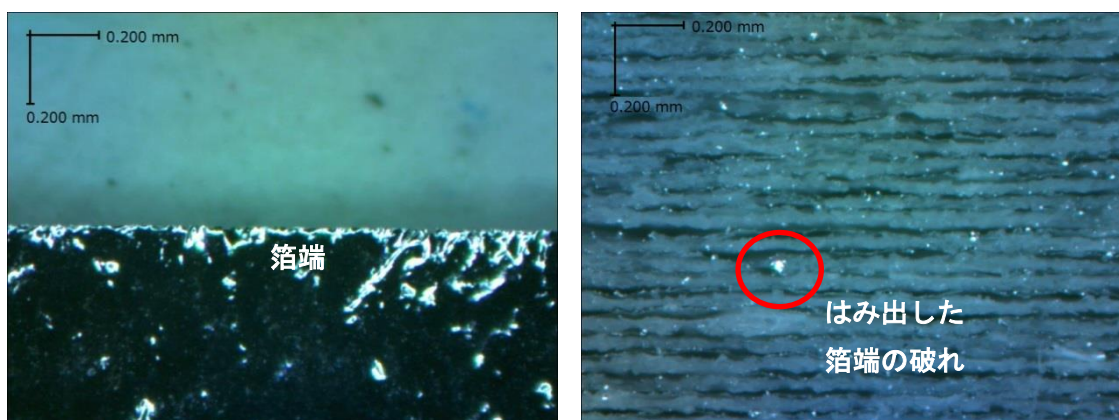


(a) 側面方向



(b) 断面方向

図 2.2 職人が使用している刃先の観察（倍率：350 倍）



(a) 箱面方向

(b) 断面方向

図 2.3 職人が切断したアルミ箔の切断部の観察（倍率：210 倍）

第3章 刃の検討

3.1 予備切断実験

切断装置の検討にあたってまず必要なのが、刃の選定である。そこで様々な刃を用いてアルミ箔を切断し、断面を観察するという予備実験を行った。アルミ箔と合紙が交互に重ね合わせてあるものを 20 枚程度用意し、図 3.1 のように固定プレートに挟む。上部固定プレートに沿って刃を引いて切るという試行を一回行い、マイクロスコープで観察した。

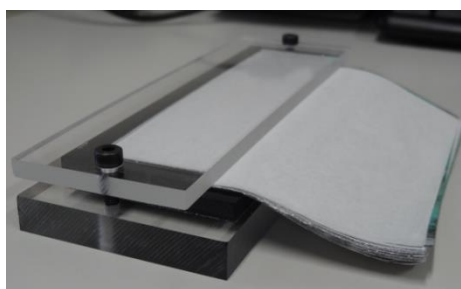


図 3.1 固定用プレートに挟んだアルミ箔と合紙の積層体

検討した刃物は、市販の直線刃カッターと円形刃カッター、2 種類の高速度工具鋼の円形刃、2 種類の超微粒子超硬ナイフ（板ナイフ、丸ナイフ）、ギロチンである（図 3.2）。各刃物での切断後の箱面方向、断面方向の観察結果をそれぞれ図 3.3、図 3.4 に示す。

直線刃カッターは、アルミ箔を引きずってしまい切ることすらできなかった。切断部の箱面方向の画像を比較すると、円形刃カッター、高速度工具鋼円形刃 2 種、超微粒子超硬板ナイフ、ギロチンは明らかに破れが生じていることがわかる。一方、超微粒子超硬丸ナ

イフは、職人が切った断面と同じように、目立った破れは少なく綺麗に切れている。断面方向の画像においては、層になっている白い部分が合紙であり、その間にアルミ箔が挟まっている。円形刃カッターは明らかに破れが生じており、超微粒子超硬板ナイフも、アルミ箔が破れ飛び出している部分が見られる。ギロチンによる押切では、切断面でアルミ箔が合紙にめり込んでしまっており、箔をはがす際に破れてしまう。超微粒子超硬丸ナイフは、断面方向を見ても、アルミ箔が破れて飛び出している部分が少ない。



(a) 直線刃カッター
(刃厚：0.7mm 材質：合金工具鋼)



(b) 円形刃カッター
(刃厚：0.3mm 外径：60mm 材質：SKS-7)



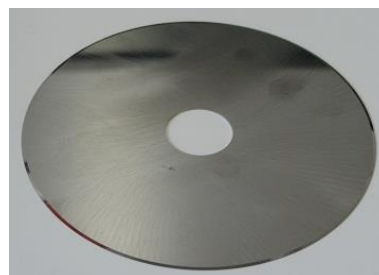
(c) 高速度工具鋼（大）
(刃厚：1.2mm 外径：160mm 材質：SKH51)



(d) 高速度工具鋼（小）
(刃厚：2mm 外径：76mm 材質：SKH51)



(e) 超微粒子超硬板ナイフ
(刃厚:0.25mm 長さ:40mm 刃角:15°材質:FW25)

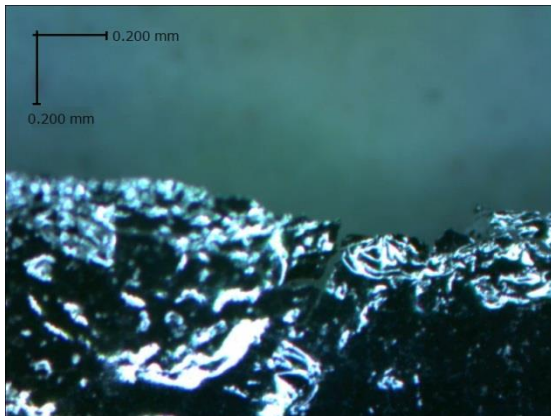


(f) 超微粒子超硬丸ナイフ
(刃厚:0.3mm 外径:100mm 刃角:20°材質:FW35)

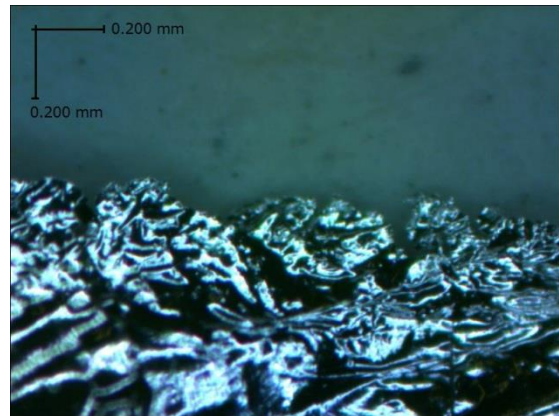


(g) ギロチン

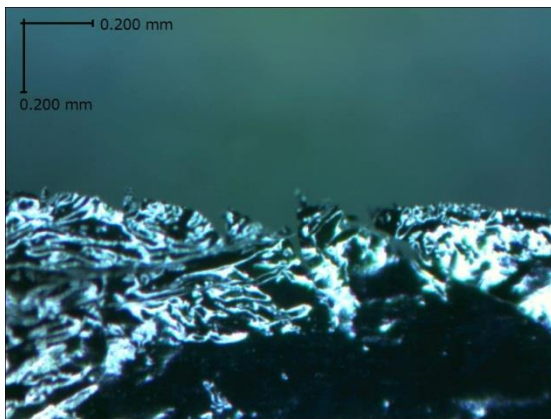
図 3.2 切断予備実験での使用刃物



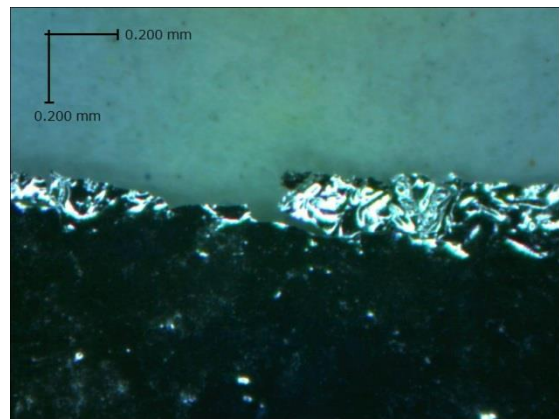
(a) 円形刃カッター



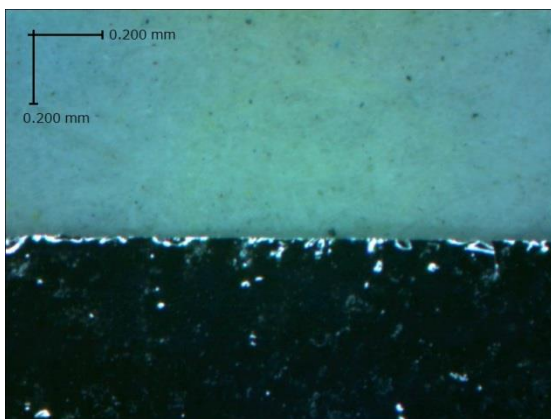
(b) 高速度工具鋼 (大)



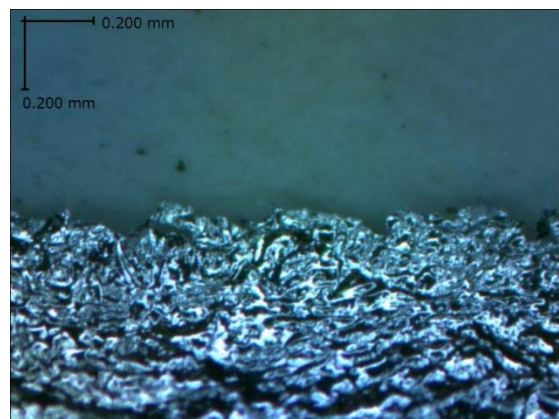
(c) 高速度工具鋼 (小)



(d) 超微粒子超硬板ナイフ

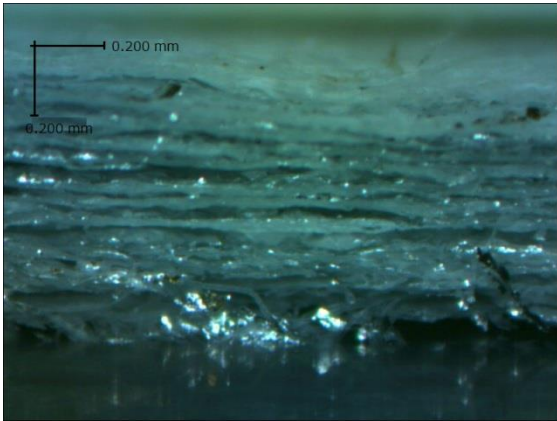


(e) 超微粒子超硬丸ナイフ

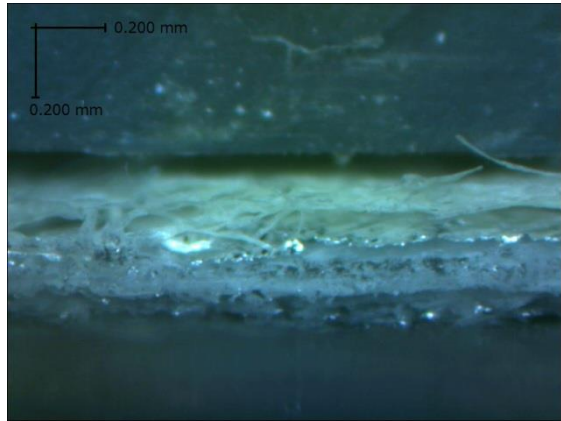


(f) ギロチン

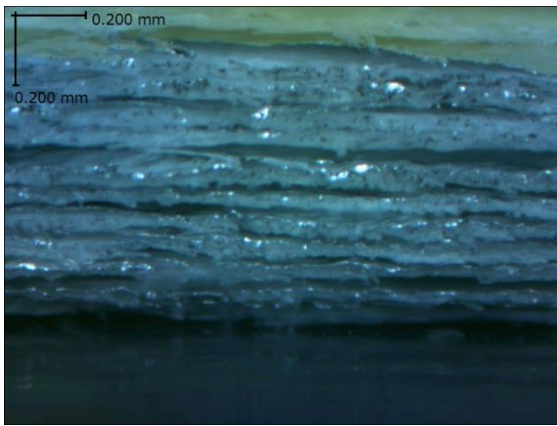
図 3.3 箔面方向から観察したアルミ箔の切断部 (倍率: 210 倍)



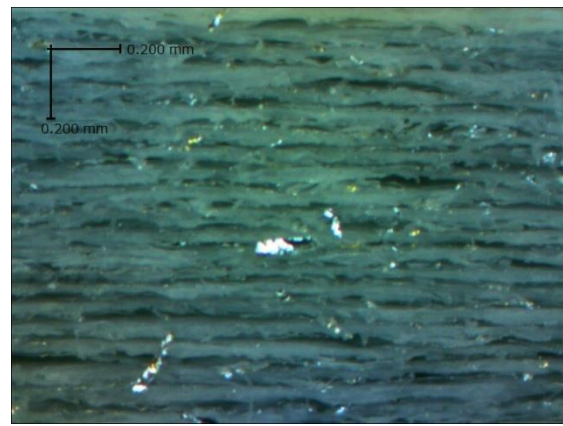
(a) 円形刃カッター



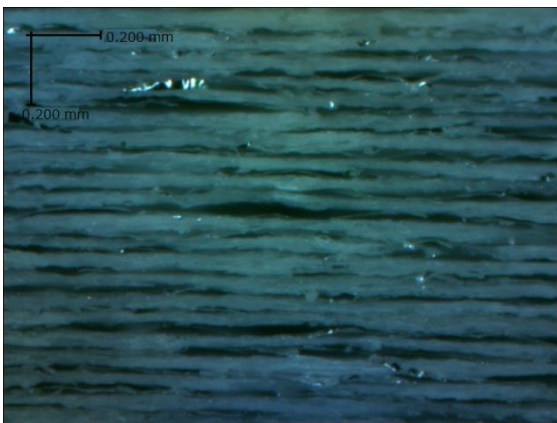
(b) 高速度工具鋼 (大)



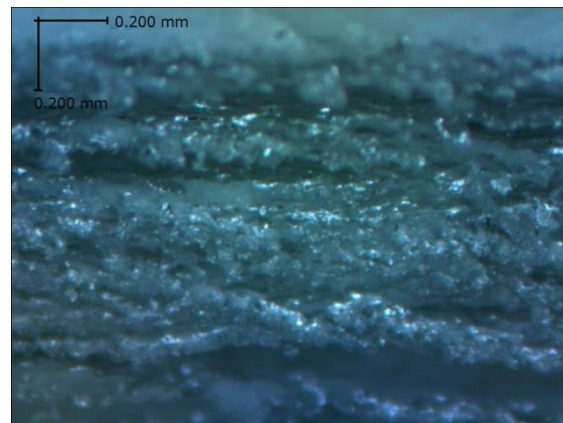
(c) 高速度工具鋼 (小)



(d) 超微粒子超硬板ナイフ



(e) 超微粒子超硬丸ナイフ



(f) ギロチン

図 3.4 断面方向から観察したアルミ箔の切断部 (倍率 : 210 倍)

3.2 刃先の観察

切断予備実験と刃の切れ味との関係を確認するために、ギロチン以外の刃先をマクロスコープで観察した。これも側面方向と断面方向から観察した画像のいくつかを図 3.5 に示す。高速度工具鋼は刃先が太い。他の刃はそれなりに鋭利であるが、特に超微粒子超硬ナイフは、刃先がかなり薄く鋭い様子が確認できた。以上のことから、箔と合紙の積層体の切断用として、超微粒子超硬丸ナイフを使用することにした。

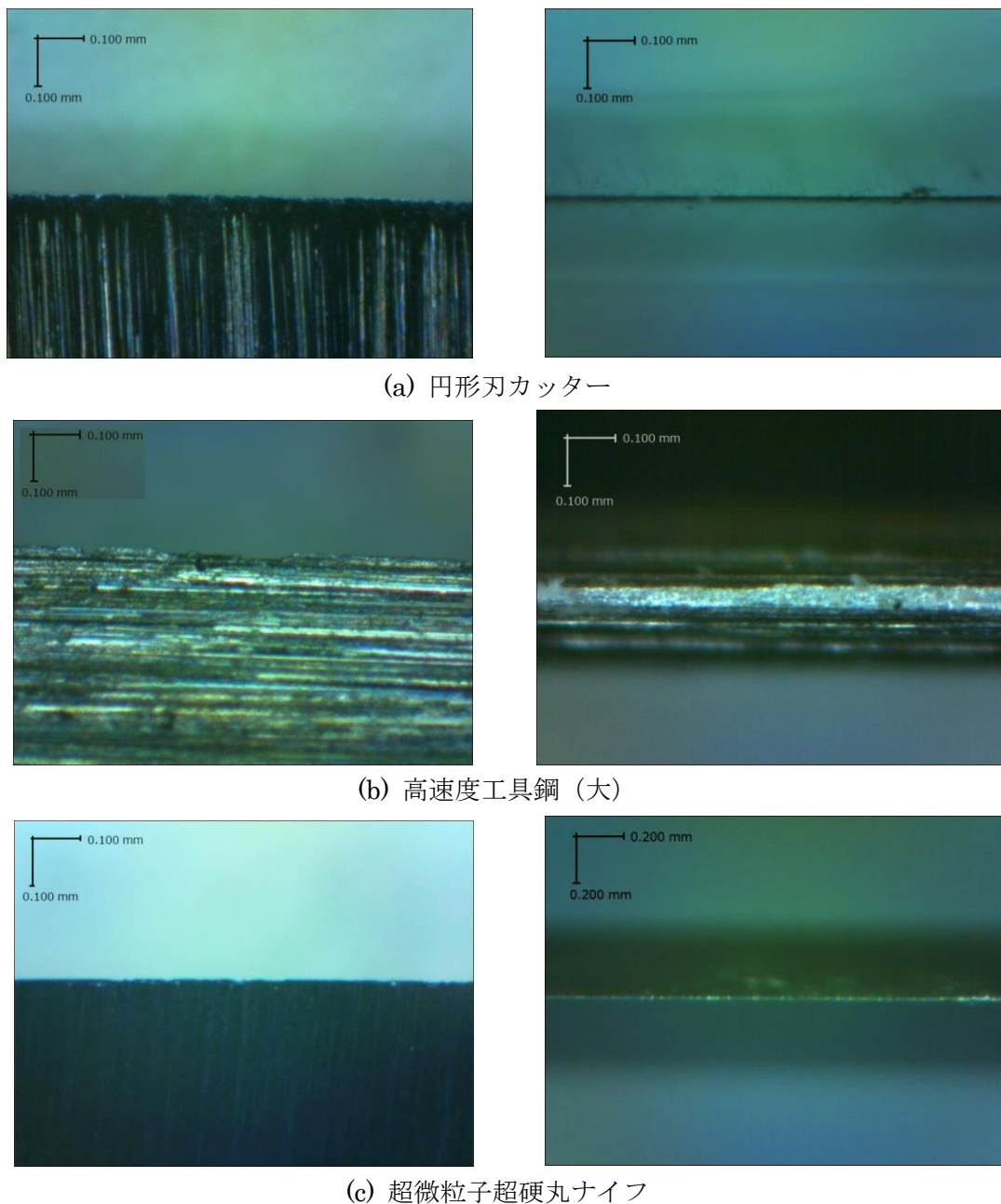


図 3.5 マクロスコープで観察した刃先 (倍率 : 350 倍、左は側面、右は断面方向)

第4章 スライド式手動切断装置

切断装置の最終目標は自動化であるが、その前段階の実験装置を兼ねて、刃を手動でスライドさせて切断する装置を設計・試作した（図 4.1）。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、刃にかける荷重や切り込み量を変えられるように、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。荷重の調整は、エアシリンダを両サイドに取り付け、空気圧を変えることで行えるようにした。切り込み量の調整は、両サイドにボルトを取り付け、ナットで刃の高さを固定できるようにした。

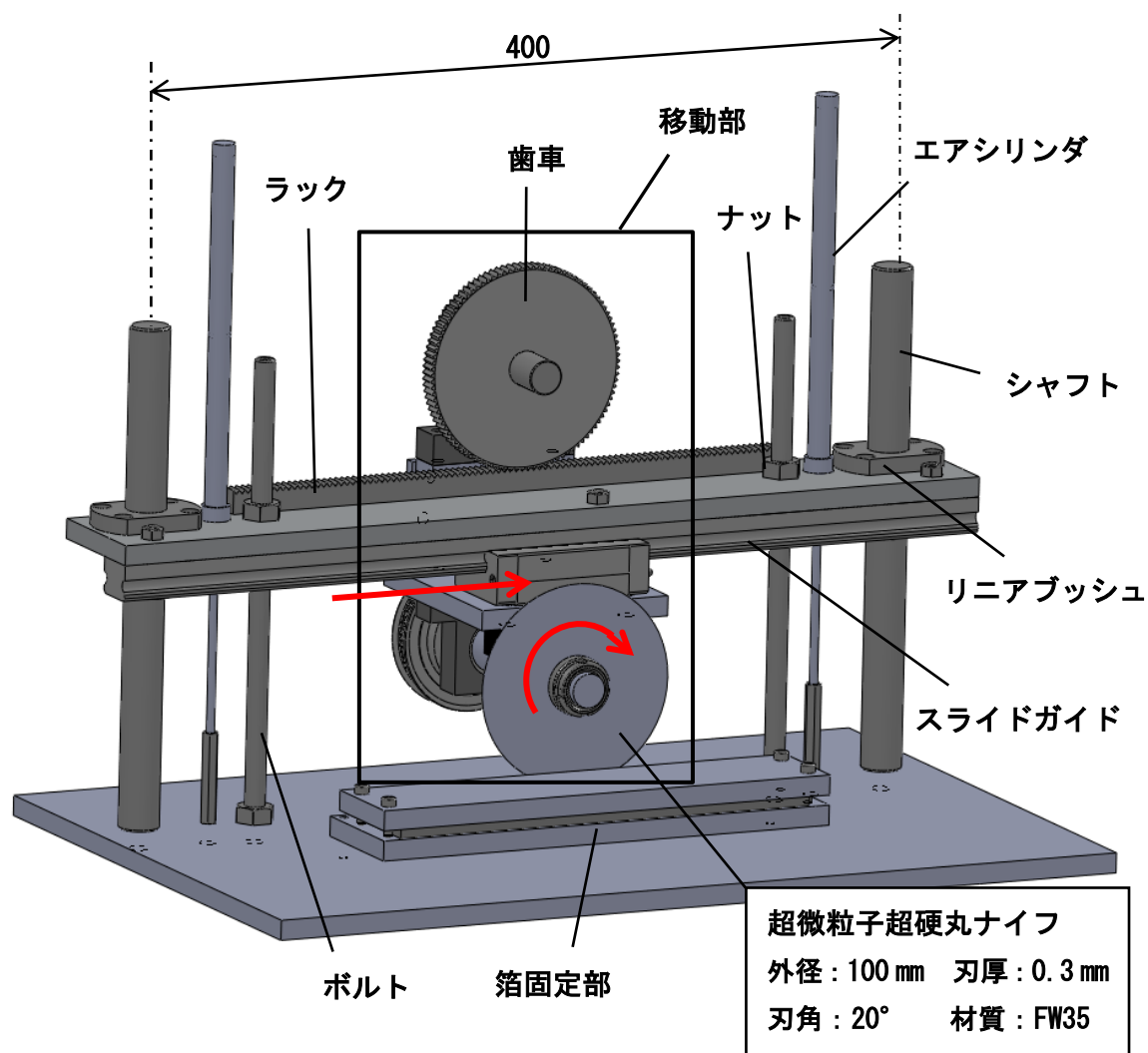


図 4.1 スライド式手動切断装置の構造

先の切断予備実験では、刃を回転させずに引ただけで行っていたが、直動だけでなく刃を回転させたとき切断の効果を調べられるよう、刃の回転と直動を連動できるようにした（図 4.2）。刃の移動部をスライドさせると、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一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一直動比が得られる。

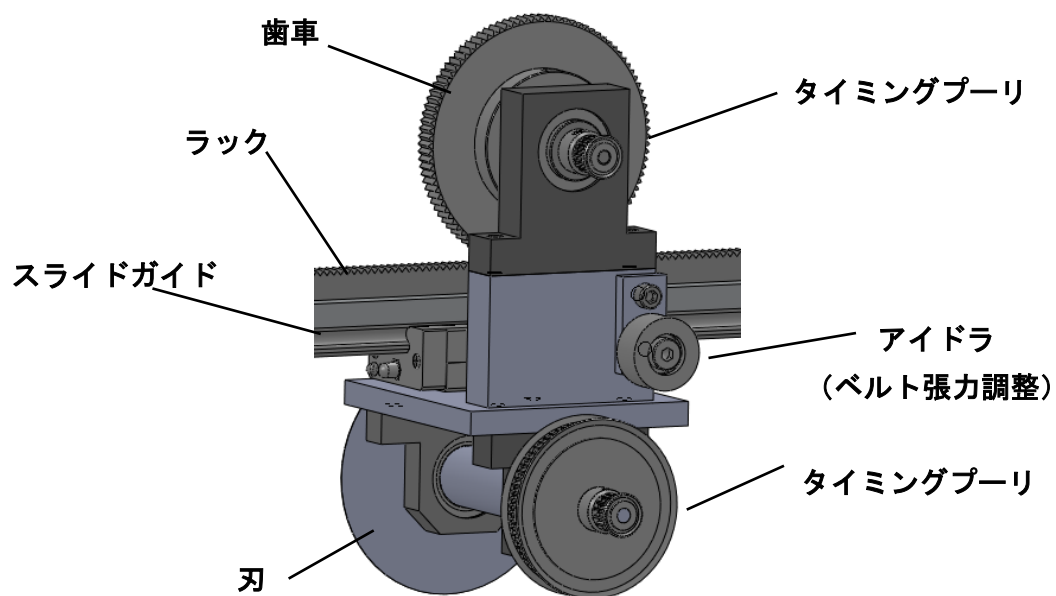


図 4.2 スライド式手動切断装置の移動部（裏面）

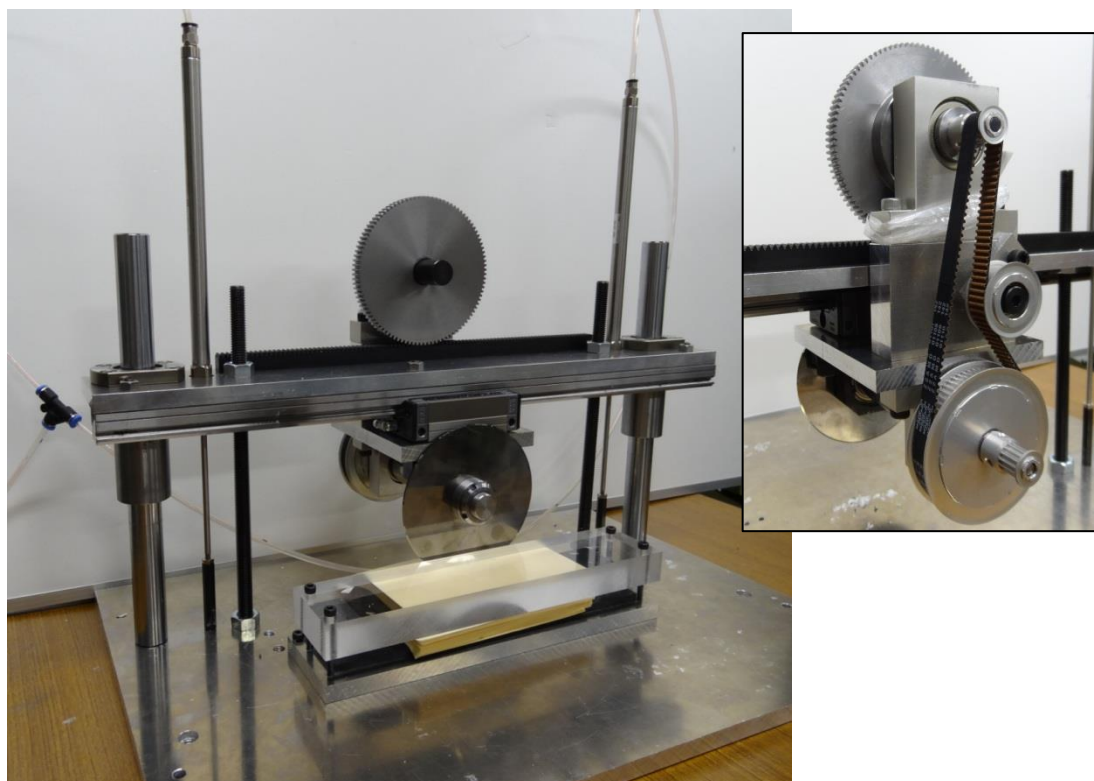


図 4.3 試作したスライド式手動切断装置

具体的に用意した、回転一直動比は表 4.1 の通りである。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。

表 4.1 選択できる回転一直動比

	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
ベルト長 [mm]	432	369	459	387	339	459	369	432

第5章 切断実験

5.1 実験の目的と方法

試作したスライド式手動切断装置を用いて、アルミ箔と合紙の積層体の切断実験を行った。実験の目的は、どのような条件で切断すると良好に切断できるかを明らかにすることである。条件としては、荷重、切り込み量、回転一直動比などが考えられる。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。刃の移動部は、両方向に動かして切断するのではなく、左から右へ一方向にスライドさせて切断した。切断したサンプルは顕微鏡を用いて、箔面方向と断面方向から観察した。

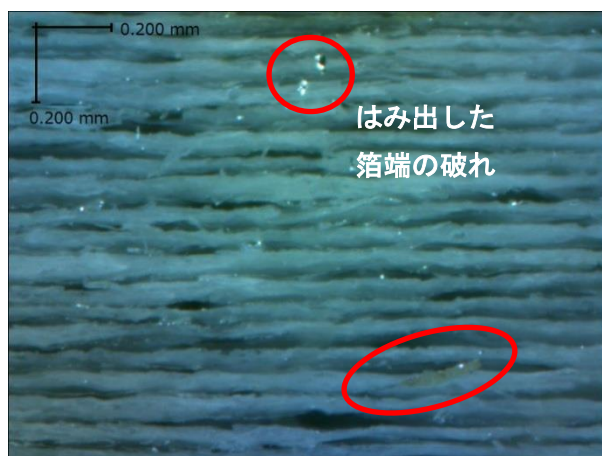
5.2 荷重一定での切断実験

刃にかかる荷重（刃が積層体を垂直に押す荷重）を一定にし、様々な回転一直動比で切断する実験を行った。アルミ箔は 20 枚程度重ねた。刃の移動部は一方向に一回だけスライドさせた。荷重は 20, 30, 40N の場合を試した。しかしながら、いずれの条件でも箔に多くの破れが生じ、良好に切断することはできなかった。荷重が一定だと、積層体の切り込み具合が場所によって異なり、スライド時に刃が上下してしまい、箔に破れを生じさせやすいと考えられる。

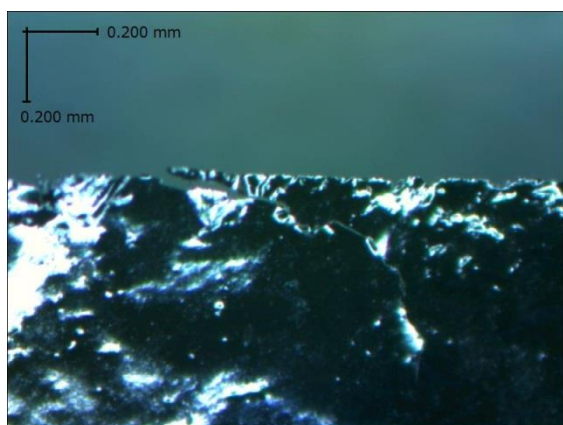
5.3 切り込み量一定での切断実験

次に、切り込み量を一定にして切断する実験を行った。切り込み量は 2, 3, 5mm の場合を試した。荷重一定よりはきれいに切断できていたものの、切断面すべてにおいて完全に良好に切断できたものはなく、回転一直動比による切断状態の違いもはっきりしなかった。しかし、いずれも切り込み量を小さくするときれいに切れていた。ただし、現実的には、切り込み量を小さくすると、スライドさせて切る回数が増えるため、切り込み量はあ

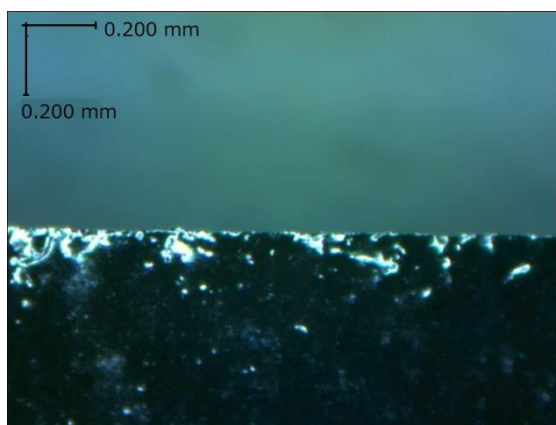
まり小さくできない。



(a) 断面方向の様子



(b) 上から 10 枚目 (箔面方向)



(c) 上から 20 枚目 (箔面方向)

図 5.1 切り込み量 2mm の時の切断状態 (倍率 : 210 倍、回転-直動比 : 0.194)

もう 1 つ気づいた点は、切断面の下部にいくほど箔の破れが少なく切断できていることである (図 5.1)。箔をプレートで挟んで固定すると、プレートからはみ出した部分は盛り上がってしまう (図 5.2)。この実験では、プレートの端面から 3mm の位置を刃で切断している。そうすると、刃で押さえつけられた箔が切られた直後に上に跳ね上がり、破れが生じてしまうようである。積層体の上部ほどこの傾向が強いと考えられる。この影響をなくすには、極力プレート端面に近い位置を切断する必要がある。

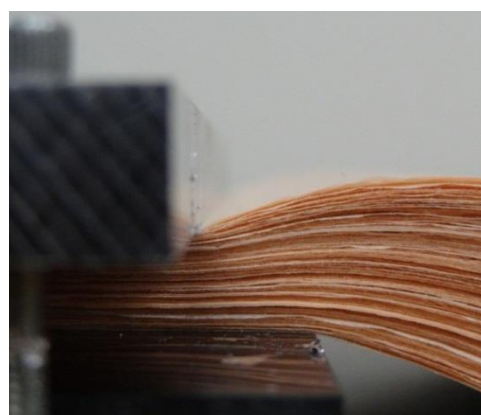


図 5.2 プレートによる固定の様子

5.4 固定プレート近くでの切断実験

刃と固定プレートの間隔と 1mm と近くして、切り込み量一定で、40 枚程度のアルミ箔積層体を切断する実験を行った。なお、固定プレートで積層体を押しえ過ぎて、はみ出た部分が大きく盛り上がらないようにするため、この押しえる力は約 100N とした。実験結果の例を図 5.3 に示す。切断状態はかなり改善している。しかし、断面方向を見ると、1 回目に切り込みと 2 回目の切り込みの境目において、大きく破れが生じている。

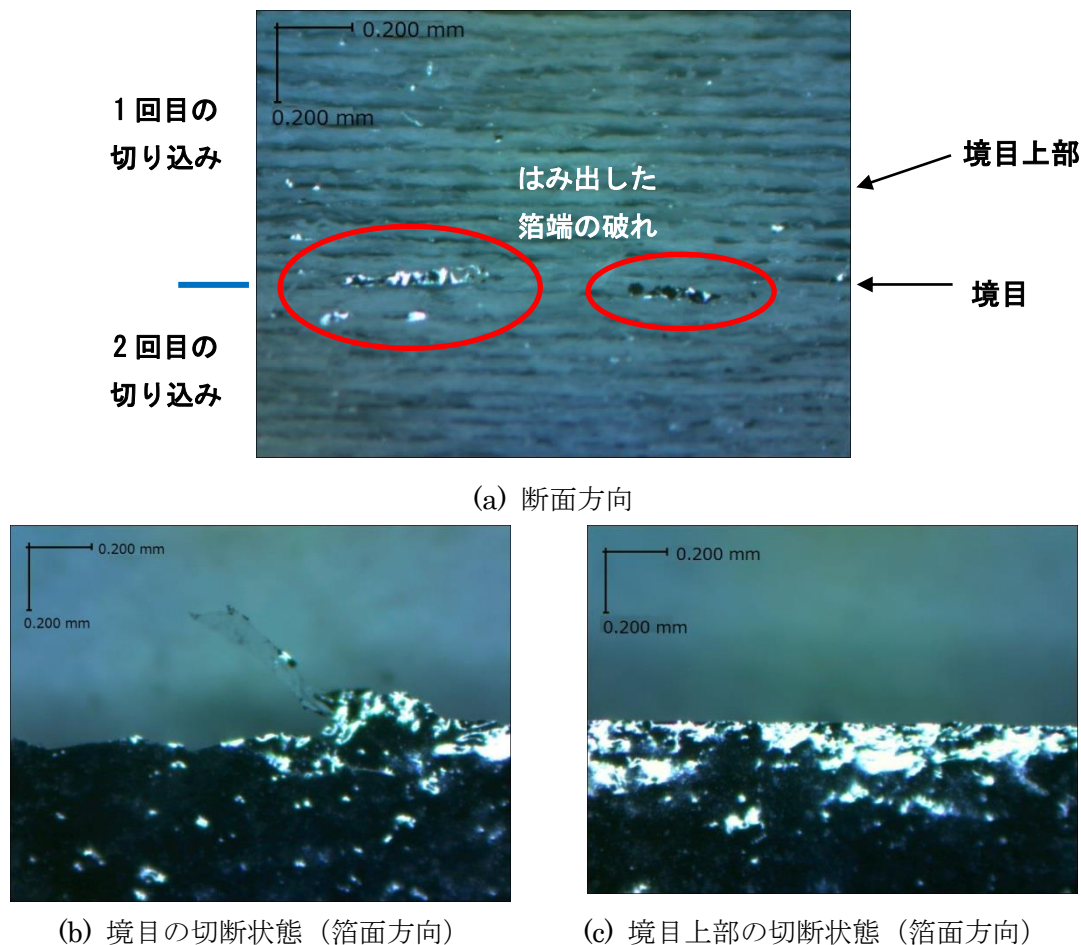
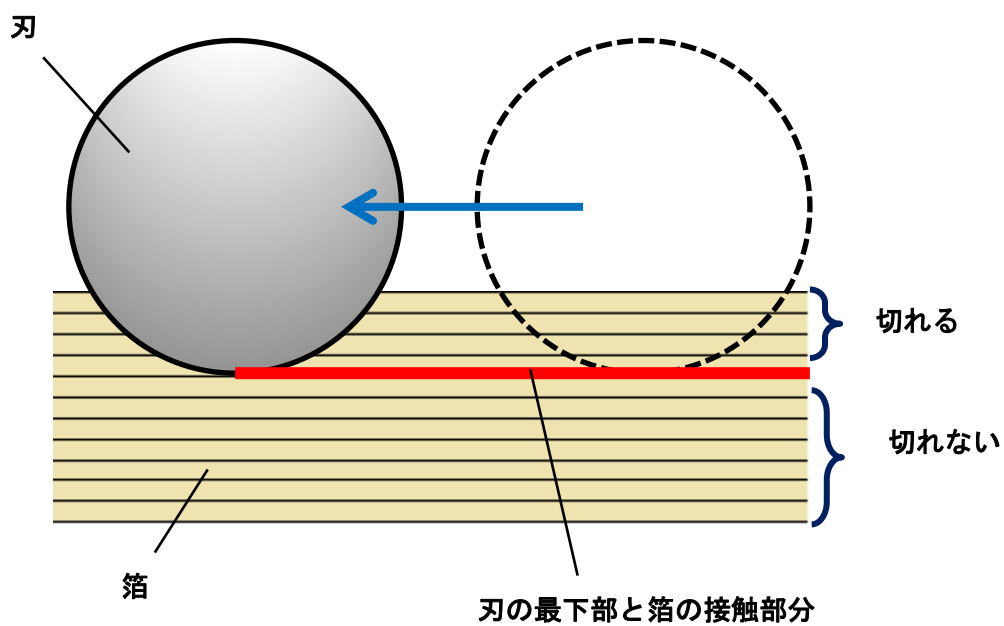


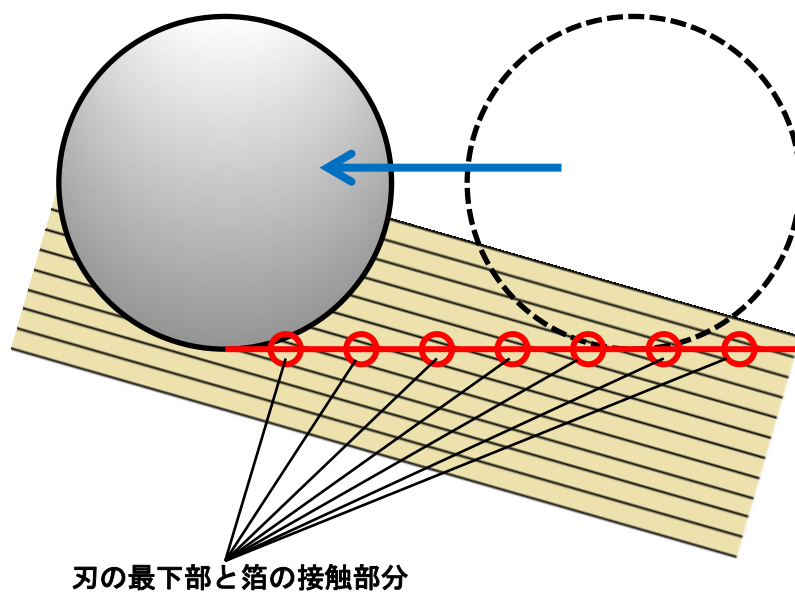
図 5.3 固定プレート近くを切断したとき状態 (倍率 : 210 倍)

[回転-直動比 : 0.194, 切り込み量 : 1mm×2 回]

切り込みの境で破れが生じている原因はいくつか考えられる。1つは、固定プレートに刃を近づけたものの、まだ 1mm の間があり、刃の軸方向のブレにより多少切る位置がずれている可能性がある。もう 1つは、水平に切ると、刃の最下部で切られている箔は、切れる時と切れない時が不連続に生じ、このため境目において破れが発生しやすいのではないかと考えられる (図 5.4)。また、その破れも境目にある数枚の箔に集中し、目立ってしまう。これを防ぐには、積層体を水平ではなく、斜めに切り込む方がよいと思われる。



(a) 水平に切り込むとき



(b) 斜めに切り込むとき

図 5.4 切り込み角度による刃の最下部が箔に及ぼす影響 (推定)

5.5 斜めに切り込む切断実験

先の実験を踏まえ、斜め方向から切り込む実験を行った。ここでは、同じ効果を得るために、積層体を斜めに設置した (図 5.5)。切り込み量は 1mm とし、積層体がすべて切れるまで数回刃をスライドさせ徐々に切断した。積層体の固定角度は 5° と 10° に設定し、回転-直動比も変えて実験を行った。

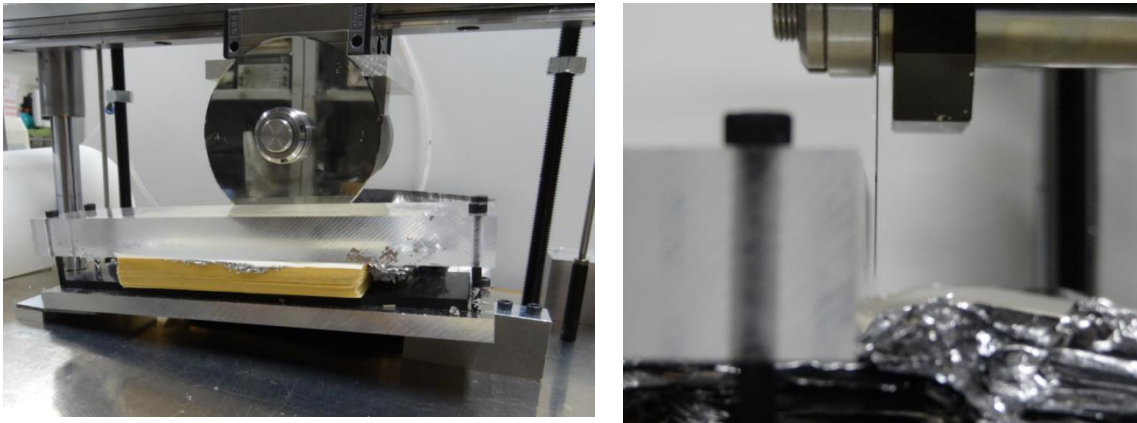
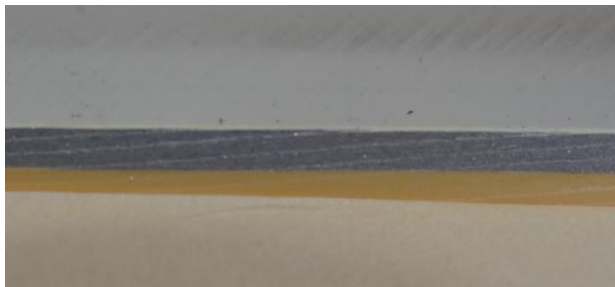
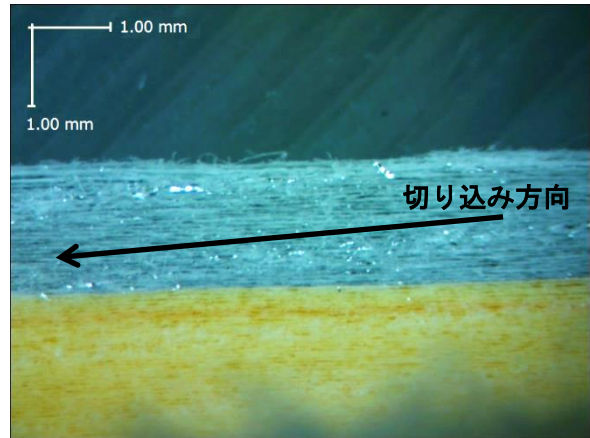


図 5.5 斜めに切り込む（積層体を斜めに設置）実験の様子



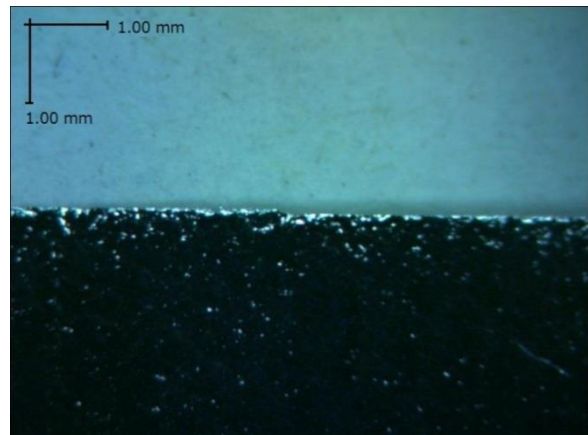
(a) 断面方向（倍率：等倍）



(b) 断面方向（倍率：45倍）



(c) 断面方向（倍率：210倍）



(d) 境目付近の箔端（箔面方向，倍率：45倍）

図 5.6 刃を斜めから切り込んだ時の切断部の状態
 [回転一直動比：0.194，固定角度：5°]

回転一直動比 0.194、固定角度 5° の切断状態を図 5.6 に示す。また、他の回転一直動比や固定角度の場合の結果の一部を図 5.7 に示す。積層体を斜めに切り込むことにより、良好に切断できる傾向にあることが確認できた。多少の箔端の破れも見られるが、1枚の箔に破れが集中しているようなことはなかった。また、一部、段状の切れ目が見られた。これは、刃の軸方向のずれによるものと考えられ、装置の改善によりこのずれをなくすることができる。固定角度（切り込み角度）については、 10° のときより 5° のときの方がきれいに切れていた。回転一直動比については、丸ナイフの回転一直動比が小さい時（ほとんど回転させずに刃を引いて切るような時）か、大きい時（刃の移動に比べて回転量が多い時）が切断状態が良いことが分かった。

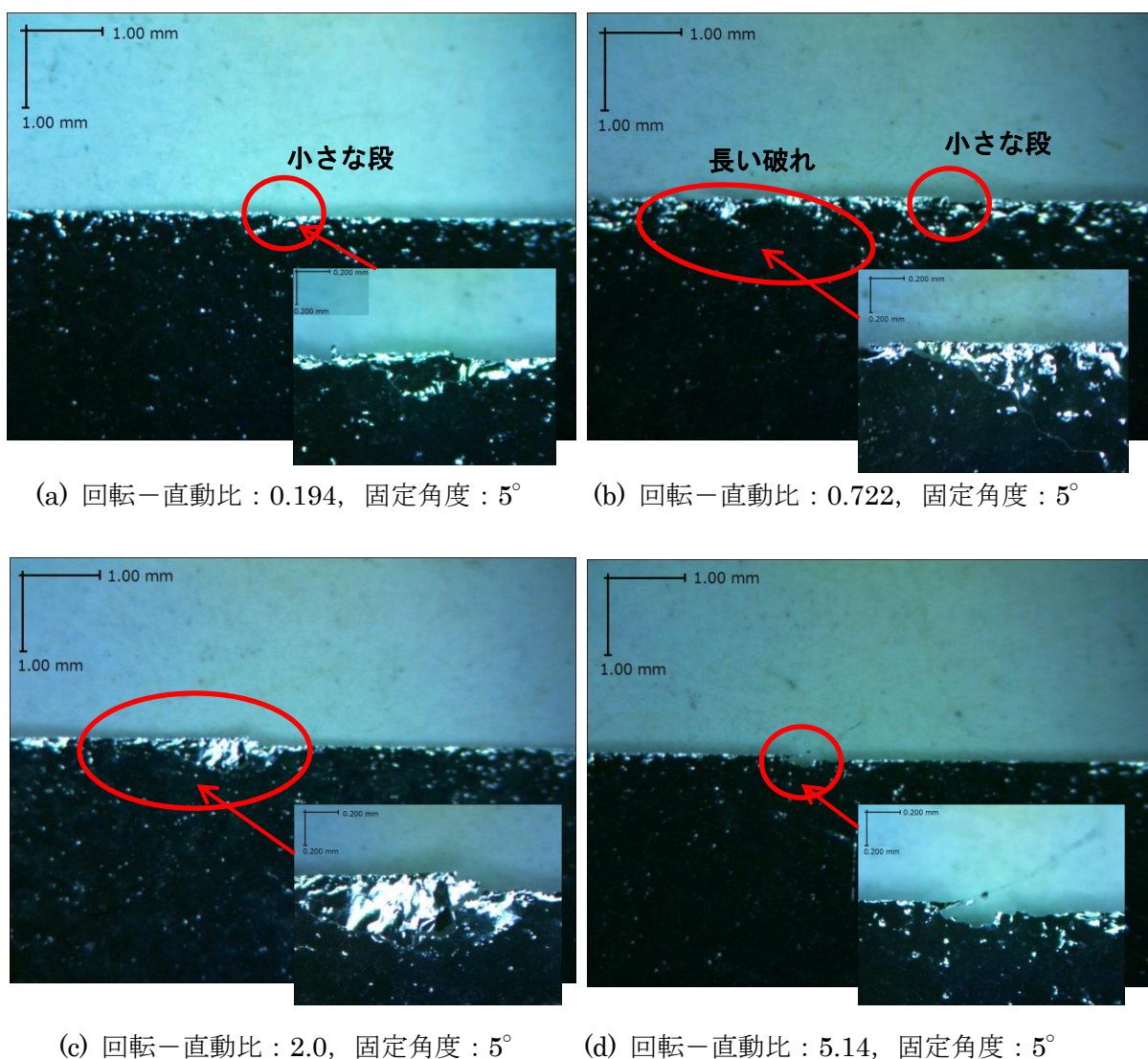


図 5.7 様々な条件での切断部の状態（箔面方向、倍率：45倍（拡大部は210倍））

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、本年度はその可能性を追求した。職人の使用している刃物や切断面のマイクロスコープによる観察を行った上で、代替となる刃物を検討した結果、職人の刃物と同等以上の鋭さを持つ超微粒子超鋼丸ナイフを選定した。適切な切断条件を見つけるため、スライド式の手動切断実験装置を試作した。様々な条件で切断実験を行った結果、刃と固定プレートの間隔を極力小さくし、積層体を斜めに切り込むことにより、良好に切断できる傾向にあることが確認できた。その際には、丸ナイフの回転一直動比が小さい時（ほとんど回転させずに刃を引いて切るような時）か大きい時（刃の移動に比べて回転量が多い時）が切断状態が良いことが分かった。

今後は、明らかになった切断条件をもとに、まず、1面を自動で切断する裁断装置を試作・検討し、最終的には、コストや取り扱いやすさなども総合的に考慮して、4面を自動で切断する裁断機を開発していく予定である。

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4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。