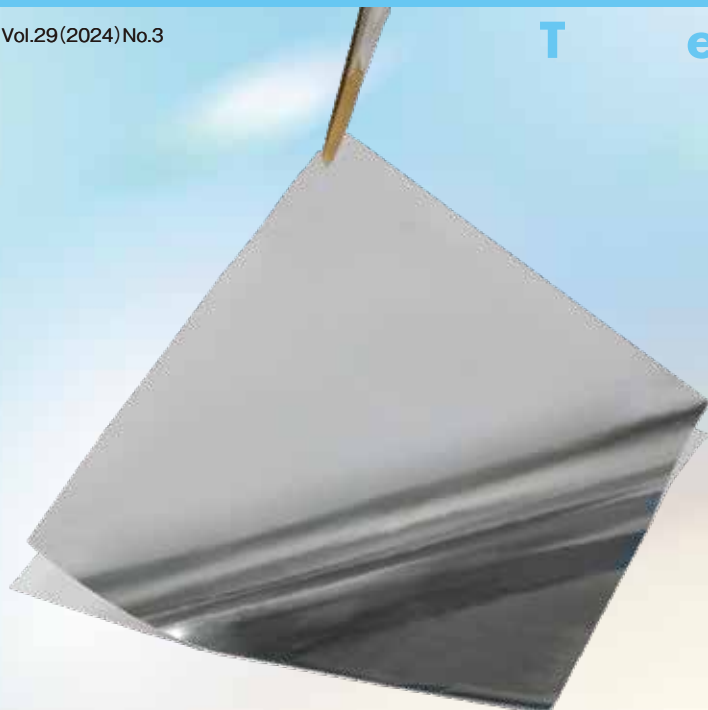




冷間圧延後のステンレス鋼箔を丁寧に引き出す。

撮影協力：リカザイ(株)

極薄金属箔の世界

金属を薄く延ばしたものを「箔」と呼ぶ。金属の強い印象とは異なる箔は、身近な用途にも使われている。今回は、日本で古い歴史を持つ金箔と、金属薄箔に豊富な実績を持つ精密圧延メーカーの取り組みについて紹介する。

歴史と技が作り上げる金沢の金箔

金属箔の歴史はかなり古く、例えばエジプトのツタンカーメンのマスクには厚さ1 μm 程度の金箔が使われ、ピラミッド内部の壁画には、箔打ち職人の姿が描かれている。日本では、5～6世紀ごろ中国から仏教が伝来したのとはほぼ同時期に金箔の製造が始まったといわれている。

金は古代から永遠、不変の象徴として用いられ、奈良・平安期に建立された仏教寺院や仏像には金箔が多く使われた。安土桃山時代には、仏教関係のみならず、調度品、絵画や工芸などにも広く応用されるようになった。

金箔の産地といえば、石川県金沢市が有名であり、現在日本の金箔生産量の99%は金沢で作られている。

金沢で金箔製造が盛んになった理由は、製造に品質の良い箔打ち紙が不可欠であり、紙の製造に必要な良質の水に恵まれていたこと、加賀藩が工芸政策に力を入れ、モノづくりの伝統が根付いていたことなどが挙げられる。

金沢では、16世紀後半には加賀・能登地方で金銀箔が製造されていたと言われている。1593年(文禄2年)、藩主前田利家が書状の中で、七尾で金箔を、金沢で銀箔を打つように命じた。江戸時代には、幕府が金銀銅の地金を集約的に管理し、金銀箔類の製造販売を統制し、金沢での製造は途絶えた。しかし1808年(文化5年)に金沢城二の丸が全焼し、再建のために大量の金箔が必要となったことから、再び金箔が製造されるようになった。明治時代になる

と金銀箔類の統制が廃止されて江戸の製箔産業が衰退し、替わって金沢製の箔が注目されるようになる。

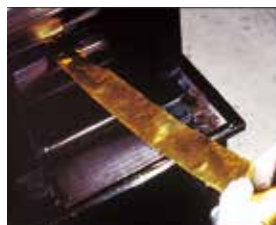
1915年(大正4年)には箔打ち機が開発され、生産技術が向上し、第一次大戦でドイツ製箔の生産量が減少した穴を埋めるように、金沢の製箔・輸出は飛躍的に伸びた。第二次大戦後は、仏壇や仏具向けの需要が増加し、1990年代に生産量は大きく伸びたが、バブル崩壊以降減少した。最近では、食品や化粧品、アクセサリ、インテリア、エクステリアなどの新用途開発が進んでいる。

金箔の種類と組成

金箔は、打ち紙の違いによって二つの種類がある。一つは縁付箔と呼ばれる、伝統的な製法による金箔である。打ち紙には、特殊な粘土を混入した雁皮紙^{えんぴし}*を箔打ち紙に用いて金箔を打ち延ばし、正方形に仕上げる。この箔を台紙の上に1枚ずつ重ねるのだが、台紙の寸法が金箔を縁どるように一回り大きいことから縁付箔と呼ばれる。縁付箔の製造工程は「澄工程」「箔工程」「箔移し(仕上げ)」の大きく3段階に分かれる(図1)。澄工程では、金に微量の銀や銅などを混ぜた金合金を作り、厚さ1 μm まで打ち延ばす。打ち延ばしたものを「澄」と呼ぶ。箔工程では、澄を打ち延ばして厚さ0.1 μm の箔に仕上げる。最後の箔移しでは、

* 和紙の三大原料の一つと言われる雁皮(ジンチョウゲ科の落葉低木)から作られる紙で、丈夫で虫の害に強いので、古くは貴重な文書に多く使われていた。

■ 澄工程



「延金」 金合金をロール圧延機にかけ、帯状に延ばす。この後、打ち紙に挟み、丹念に打ち延ばす。

■ 箔工程



「仕入れ」 打ち延ばした澄は小片に切り分け、小間紙と呼ばれる箔打ち紙に挟み込む。



「箔打ち」 通常約1,800枚を1束にしてまき革に包み込み、牛革で固定し、箔打ち機で打つ。

■ 箔移し(仕上げ)



箔を、鹿皮を張った革盤に1枚ずつ竹箸で移し、竹杵をあてて裁断する。

資料提供：箔座(株)

縁付箔の製造工程は大きく3段階に分かれる。最初の「澄工程」では、金、銀、銅の地金を約1300℃で溶かして金合金を作り、厚さ約1μmまで延ばす。次の「箔工程」では、さらに0.1μmにまで打ち延ばす。最後は「箔移し(仕上げ)」で、0.1μmの薄い金箔を一枚一枚四角に切り揃えて仕上げる。

図1 金箔(縁付箔)の主な製造工程

出来上がった薄い金箔を1枚ずつ四角に切り揃えて仕上げる。

もう一つは、^{たちきりばく}断切箔であり、打ち紙にグラシン紙(耐油性や耐水性に優れる半透明の薄葉紙)を用いる製法一般を指している。打ち上がった不定形の箔を、大きな合紙と交互に重ねた状態で定寸の正方形に一気に裁断するので、縁付箔に対し断切箔と呼ばれる。

市販の金箔は、不純物元素をほとんど含まない純金(99.99%以上)だけではなく、通常、銀や銅を添加した合金でできている(表1)。合金にする理由は、打ち延ばしをしやすくするために、材料に適度な硬さと変形抵抗を与えるためである。打ち延ばしやすさだけでなく、銀や銅を適量加えることによって、色調を変化させることができる。材料の色調は、金の純度が高いと赤みを帯びた黄金色になる。また銀の量が多いと赤みは消失し、銅を添加すると赤みを帯びる。金箔の種類と組成は、石川県箔商工業協同組合で規定されている。一般に多く作られている金箔は純金4号色と言われる種類で、延びが良く、用途も多岐にわたる。

薄さを極める製造技術

現在生産されている金箔の標準的な厚さは約0.1μmである。金をここまで薄くすることができるのは、金が展延性に優れており、圧力を受けると、結晶構造がすべて変形する性質を持っているからである。

金箔の製造方法は、打って延ばすという単純なものである。しかし材料の金を直接打つのではなく、均一に延ばすためには、必ず何かの間に挟んで打つ必要がある。そのために重要なのが打ち紙である。金箔の製造では、工程に応じて紙の種類を変えるもので、きめ細かな紙の使い分けが特徴である。

打ち紙にはさまざまな仕込みが施され、作業には通常5、6か月を要する。長い時間を紙仕込みに費やすのは、紙の出来ばえが箔の仕上がりに大きく影響するからである。そのため「箔作りは紙作り」とも言われる。

長年培われてきた匠の技術だが、最近では金価格の高騰を受け、需要減少の傾向が続いている。この状況を打開

	純金5毛色	純金1号色	純金2号色	純金3号色	純金4号色	三步色	定色
金	98.912%	97.666%	96.721%	95.795%	94.438%	75.534%	58.824%
銀	0.495%	1.357%	2.602%	3.535%	4.901%	24.466%	41.176%
銅	0.593%	0.977%	0.677%	0.670%	0.661%		

(石川県箔商工業協同組合の合金組成の規定)

表1 金箔の種類と主な合金の組成

出典：https://www.kanazawa-museum.jp/kinpaku/property/index.htm

するため、金箔産業各社では、アクセサリーや化粧品、食品などの用途開発に取り組んでいる。さらには太陽電池の電極や導電性インクの方法など、新たな工業用途への応用が模索されている。

2020年(令和2年)12月、「縁付金箔製造」を含む「伝統建築工匠の技」が、ユネスコの無形文化遺産に登録され、大きな話題となった。歴史ある日本の金箔は、今後どのように輝いていくのだろうか。

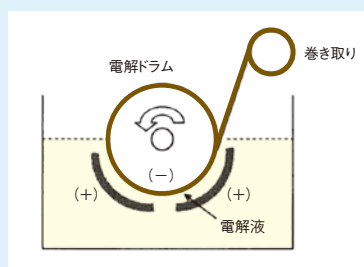
薄い金属箔に豊富なノウハウを持つ ——リカザイ(株)

金属箔の製造に長年の実績を持つ、精密圧延メーカーのリカザイ(株)を訪ね、製品や製造技術についてお話を伺った。

同社の創業は1947年である。当初は、冷間圧延による精密製造で腕時計用ゼンマイや音響機器用振動板などの製品を製造していた。1980年ごろから、カセットテープコーダーの磁気ヘッド用のチタン箔の製造を開始した。ヘッドに厚さ1 μm 程度のチタン箔を入れることにより、記録性能の向上と磁気ヘッドの小型化に貢献し、国内で大きなシェアを占めた。並行して、銅合金、チタン合金など、各種の薄箔の圧延ノウハウを蓄積し、1984年には冷間可逆式20段圧延機を導入し、業界に先駆けて μm オーダーの薄箔の製造に成功した。

電解銅箔と圧延銅箔

金属箔の中で需要の大きいものの一つに銅箔がある。銅箔は、一般的に使用される金属の中では銀に次いで電気抵抗が低く、コネクタ、スイッチなどの電気電子部品の導体として使用される。プリント配線基板の高密度化、薄型化ニーズに対応する電解銅箔は、電解ドラムを回転させながら電気めっきを施し、連続的に巻き取ったものである。このほかインゴットを圧延して製造する圧延銅箔も広く使われている。



電解銅箔の製造プロセス

(三宅 淳司、エレクトロニクス実装学会誌Vol.6 No.6 (2003) p528 を元に作図)

これまでチタン系、アルミニウム系、鉄系、ニッケルコバルト系、銅系、マグネシウム系など多くの金属箔を製造してきた。主な用途の一つがシム・スペーサーである。シムとは「くさび」、スペーサーとは「隙間を調整するもの」の意味で、精密機器や精密金型で、高さや隙間を調整するために部品の間に差し入れて使用する薄板状の部品である。シム・スペーサーには、用途によって精密な板厚公差や、剛性、堅牢性、耐食性等が求められる。精密機器で、部品位置を1 μm 単位で高精度に調整するため、極薄の金属箔が多く使われている。材料は適用される機器によって、ステンレス鋼、純チタン、銅合金やアルミニウム合金など様々である。例えば液晶露光装置では、微細な回路パターンを鮮明に露光させるための位置調整用としてシム・スペーサーが使われる。厚さは5～50 μm 程度が多いが薄いものでは1 μm 程度のものもある。

その他、スピーカー振動板にも金属箔が多く使われる。スピーカーの内部に使われる振動板は、変換する音波の周波数特性などにより、各種の材質や厚さが選択される。スピーカーのほか、マイクロホンやヘッドホンなどの振動板にも、マグネシウム合金、純チタン、アルミニウム合金などの金属箔が使われる。

精度を決める冷間圧延工程

リカザイ(株)で製造する製品の板厚は1.0 mm～0.001 mm、標準箔サイズは幅100 mm、長さ300 mmである。公差は板厚 $\pm 10\%$ (標準品)であり、特殊仕様の場合の公差は板厚 $\pm 2\%$ 以下の実績もある。小さな金属箔だが、この中に他社にないノウハウが詰まっている。

箔圧延の工程の概要を紹介する(図2)。インゴットなどの厚い材料は、まず温間圧延機で厚さ1 mm程度まで薄くしておく。次にこれを冷間圧延機で圧延するが、材料は上下をカバー材(薄板)で挟んで圧延する。片側から「入れ手」がロール間に材料を通し、反対側から「受け手」が材料を受け取る。受け取った材料は、慎重にカバー材を外して、厚さや外観を検査する。圧延時には、材料表面の酸化を防ぎ、表面にゴミなどが付かないように注意し、材料を数回通すたびにロールを磨く。圧延時のロール圧力を手作業で慎重に調整しながら、徐々に薄くしていく。材料によっては、圧延後に真空熱処理装置で加熱し、再度圧延を行う。

圧延作業は、入れ手と受け手との緊張感があふれる工程である。受け手は圧延した材料に触っただけで、箔の厚みがわかるという。金属箔の高い精度と品質を維持するため、粛々と作業が進められていく。



冷間圧延機では入れ手と受け手が息を合わせてロール間に材料を通す。



代表取締役
小室 好夫氏



管理部品質保証課
伊藤 進 部長

精密圧延で μm 単位の薄さを実現するために、金属材料の品質には妥協しない。延ばす、はがす、切るなどの取り扱いにも長年のノウハウが生きている。(小室氏)



冷間圧延後の厚さ検査



真空熱処理炉



精密切断



切断後の厚さ検査

図2 高精度を実現する金属箔の精密圧延(リカザイ(株))

薄い箔を圧延する難しさ

リカザイ(株)には、研究機関や企業から、開発材料がどの程度まで薄くできるか試したい、という相談が多い。持ち込まれる材料の種類は多岐にわたる。純アルミニウムやマグネシウムなど比較的軟らかい材料は、圧延時に破れたりしわになりやすく、箔としての取り扱いが難しい。むしろ、硬さのあるステンレス鋼やチタンなどの方が圧延しやすいという。

「圧延のメリットは、硬い金属材料でも板厚を均一に延ばすことができ、薄くても強度を維持できること。例えば銅合金の場合、合金成分を添加した硬い銅合金でも、電気めっきの原理を利用して作る電解銅箔と同じくらいに薄く圧延することもできる。」(伊藤部長)

最近では、これまで難しかったマグネシウム箔の製造技術の確立に取り組んでいる。マグネシウムを精密圧延した極薄箔は、加速器内で使用されるフィルター部品や、マグネシウム電池の電極材などへの用途が期待できる。しかし、マグネシウムは軟らかいため、圧延時にシワやちぎれなどが生じ

やすく、圧延条件を微妙に調整する必要がある。これらの技術課題を克服し、厚さ $1\mu\text{m}$ でピンホールのないマグネシウム極薄箔目指して、高度な箔圧延技術の確立を進めている。

また特殊な材料としては、電波望遠鏡の計測機器に使われる超電導材料の例が挙げられる。計測機器用回路に使うため、超電導材料であるニオブ・チタン合金の厚さ 0.02mm の薄箔を製作した。これを細かい配線パターンに加工することにより、線材よりも薄いわずかな隙間に回路を形成できる。この回路は高エネルギー加速器研究機構の電波望遠鏡ポーラーベア(チリ)に採用された。さらに海外の量子コンピュータの配線材にも採用され、今後は量子コンピュータの高集積化に貢献することが期待されている。

「極薄箔」という形状を強みに、広がる金属の可能性に期待したい。

●取材協力 箔座(株)、リカザイ(株)

●文 杉山香里

参考文献

川上明孝：表面技術、70(2019)5、248