

令和3年度研究成果報告会概要

「手打ち用箔打紙 調査研究委託」

所属 金沢大学理工研究域 物質化学系

氏名 山岸忠明

金沢の伝統産業技術の中に箔打ちがある。職人の技によってナノスケール（元素が数十個並んだ長さ）の厚さまで金を延ばす箔打ちは、最先端の科学技術をもってしてもなしえない優れた技術である。その製品である金箔の特性は、箔打ち職人の技術と箔打紙に大きく依存する。伝統・文化という面で、優れた金箔を作る技術を後世に残すことは重要である。

藩政期から続く縁付金箔製造技法の中で手打ちで製造された時代の金箔が、現代のものより薄く叩き延ばされていることが、近年の研究でわかってきた。このため、機械化される以前の手打ち用箔打紙や打紙の束打ちの技術（金箔を叩く強度や叩く速度など）を研究・再現し、金箔の伸縮性などに及ぼす科学的な要因を調査・研究することで、縁付金箔の技術継承を図ることを目的とした。

今回、以下の2つの事象について、検討を行った。

- 1) 金箔職人が紙仕込みの過程で、和紙がどのように変化して打紙となるか
- 2) 金箔を叩く強度が機械打ちと手打ちでどのようにちがうのか

検討結果

・紙仕込みについて

紙仕込みは、以下の操作により行われた。

- 1) 和紙を水に湿らせ、その後に乾燥させた。（和紙1）
- 2) 灰汁処理を1回行った。（和紙2）
- 3) 灰汁処理を2回行った。（和紙3）
- 4) 灰汁処理を3回行った。（和紙4）
- 5) 灰汁処理を4回行った。（和紙5）
- 6) 上がり前（和紙6）
- 7) ほし上がり（和紙7）

紙仕込み前の和紙について、新旧を比較するため、上述の試料と合わせて測定した。

- 8) 現在漉かれている和紙（和紙0）
- 9) 40年前に漉かれた和紙（和紙old）

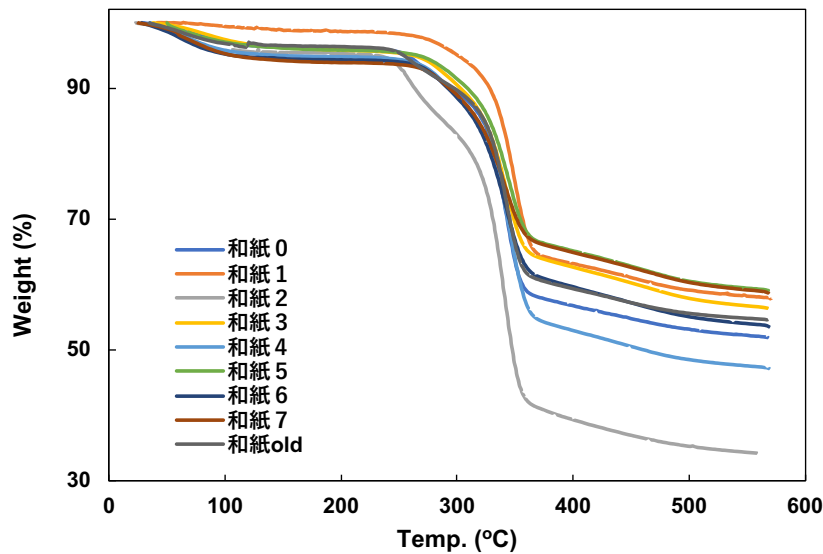


図 1. 打紙の熱重量測定結果

Sample	500 °Cでの炭化率 (%)
和紙0	53
和紙1	59
和紙2	35
和紙3	58
和紙4	49
和紙5	61
和紙6	55
和紙7	60
和紙old	56

和紙の主成分は、セルロースであり、500°C以上に加熱すると熱分解してわずかに炭化物が残る。名塩の和紙には泥が含まれており、500°C以上加熱しても泥は熱分解することなく残渣に残る。図1の結果から、紙仕込みを行なっても泥はしっかりと打紙の中に残っていることが確認された。和紙2は、残炭率がかなり低くなっている。これは、灰汁処理によるものというより和紙による個体差であると考えられる。

打紙表面の粘土の成分を比較することで、名塩の古い打紙と新しい打紙の比較を行なった。はじめに、粘土を構成している鉱物に含まれる元素を調べた。各種打紙のX線光電子分光測定（XPS測定）の結果を図2に示す。X線光電子分光法（XPS：X-ray Photoelectron Spectroscopy）は、試料表面にX線を照射し、試料表面から放出される光電子の運動エネルギーを計測することで、試料表面を構成する元素の組成、化学結合状態を分析する手法である。粘土の主な元素はケイ素（Si）であり、その周りにアルミニウム（Al）やマグネシウム（Mg）などが含まれている。図2よりケイ素とアルミニウムの存在比を調べたところ、名塩の古い打紙はケイ素：アルミニウム＝11：6、新しい打紙はケイ素：アルミニウム＝

10 : 5、川北の打紙は、ケイ素 : アルミニウム = 6 : 5.2 となった。さらに、アルミニウムの電子状態を調べると、名塩の古い打紙と新しい打紙の粘土において、ほぼ同じスペクトルを示すのに対して、川北の打紙の粘土ではスペクトルの形が異なり、名塩の打紙とはちがう電子状態であることがわかった。

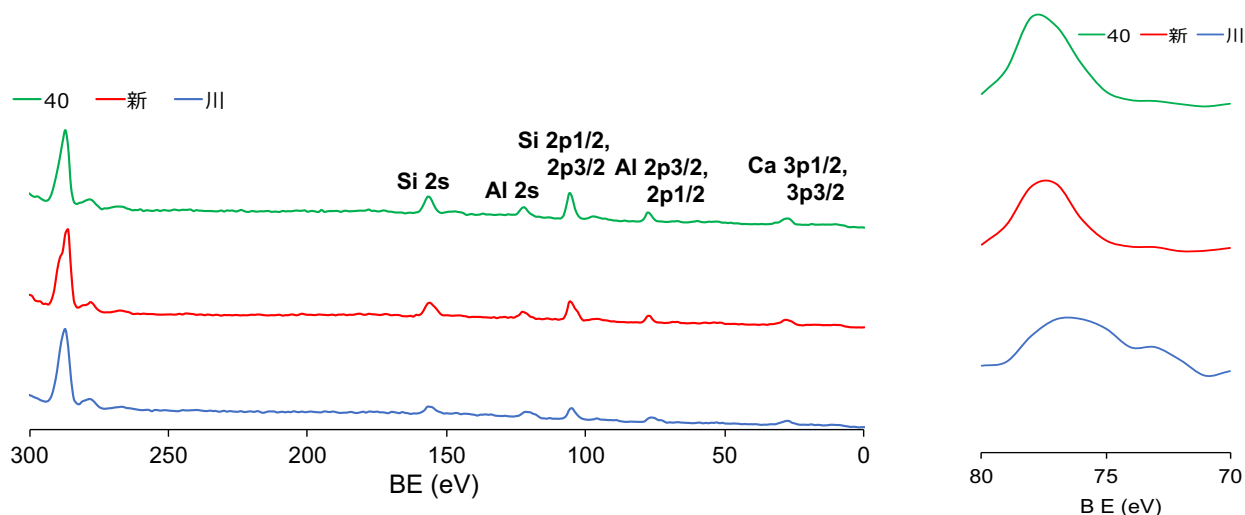


図2. 打紙の X 線光電子分光スペクトル
(打紙は紙仕込みをしていない)

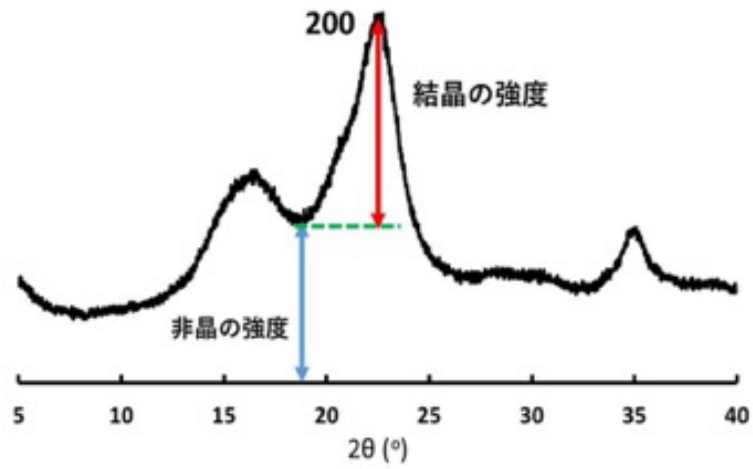
名塩の新しい打紙に用いられる粘土の産出場所が古い打紙の時とちがっていると言われていたが、今回の結果より、新しい打紙と古い打紙でほぼ同じ粘土を用いていると推察された。和紙0と和紙oldを比較して、炭化率のちがいが見られず、和紙の泥に関する新旧のちがいはあまりないと結論づけることができる。

一方、川北の打紙に用いられた粘土は名塩から運んできたと言われているが、粘土の成分から考えると、名塩の打紙とはちがう粘土を用いて打紙が作られたと考えられる。

次に、和紙の結晶性について検討を行った。結晶性は X 線回折法によって求めた。 $2\theta = 5-10^\circ$ のピークは名塩の泥の成分 (カオリナイトという鉱物) に対応する。 $2\theta = 15-25^\circ$ のピークは和紙のセルロースの結晶成分に対応する。このピークから図3を参考にして、打紙の結晶成分の割合 (結晶化度) を評価した。

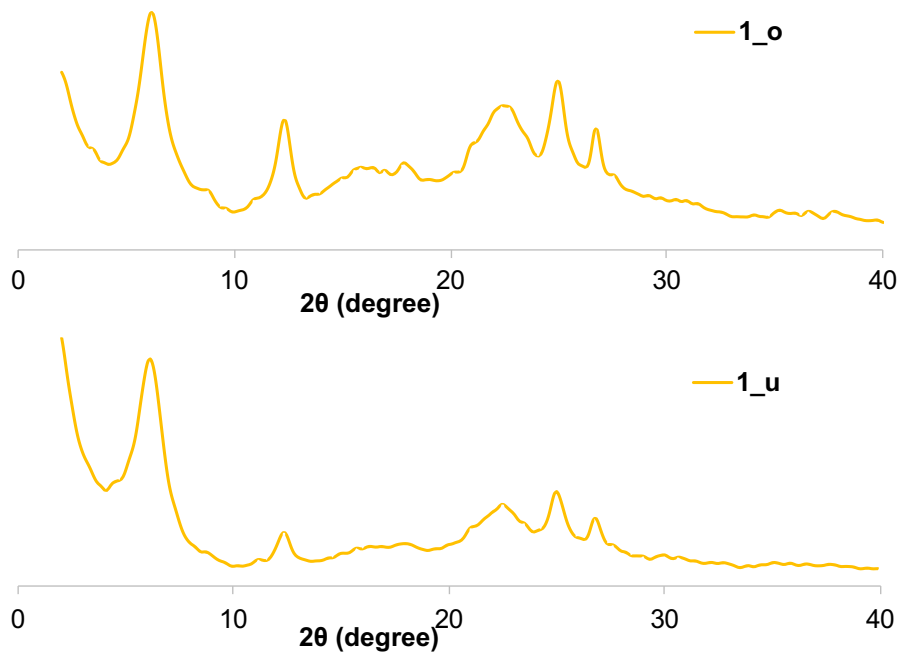
Segal法

$$\text{結晶化度 (\%)} = \left[\frac{\text{200の強度} - \text{非晶の強度}}{\text{200の強度}} \right] \times 100$$



出典：NEDO「セルロースナノファイバー利用促進のための原料評価書」
4.3.1.結晶化度 (X線回折、固体NMR)

図3. X線回折測定によるセルロースの結晶化度の測定



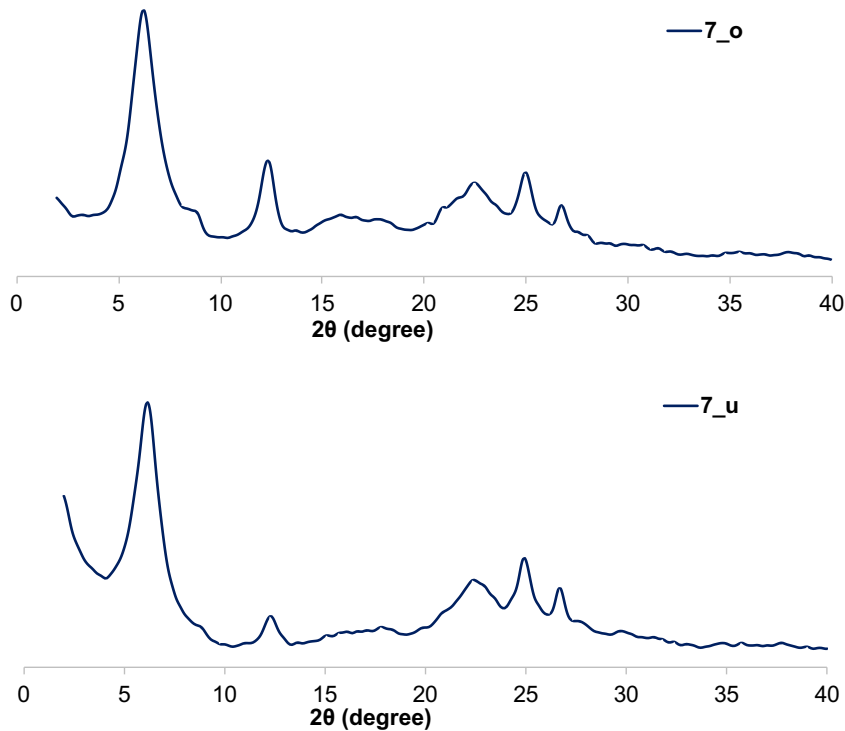


図4. 打紙のX線回折測定結果

和紙1の表(1_o)と裏(1_u)および和紙7の表(7_o)と裏(7_u)のX線回折測定結果を図4に示す。和紙1の表(1_o)と裏(1_u)では、 $2\theta=15\sim 25^\circ$ のピーク強度は大きく異なる。しかしながら、和紙7の表(7_o)と裏(7_u)では、ピーク強度はほとんど変わらない。この結果は、灰汁処理によって、和紙の表の裏の性質が同じになったことを示している。名塩の和紙は泥が含まれているため、和紙の表と裏で性質が大きく異なることが指摘されていた¹⁾。金箔の作成過程で1000枚ほど打紙を束ねて上から打ち付けて金箔を伸ばす。この時、金箔は必ず打紙の表と裏に接する。打紙の表裏に平滑性や凹凸などのちがいがあると、均一に金箔を伸ばすことができないため、紙仕込みを繰り返し施すことで、表と裏の差をできるだけ少なくするように工夫されていることが明らかとなった。

・金箔を叩く強度について

「金箔を叩く強度」を、金箔を打つ時の機械打ちのシリンダーが材料に与える力として計算することにした。すなわち、シリンダーが金箔を叩く時の変形量から強度(応力)を算出することとした。実際に、機械打ちのシリンダーに歪みゲージを取り付け、金箔を叩く時の強度が測定できるかを検証した。

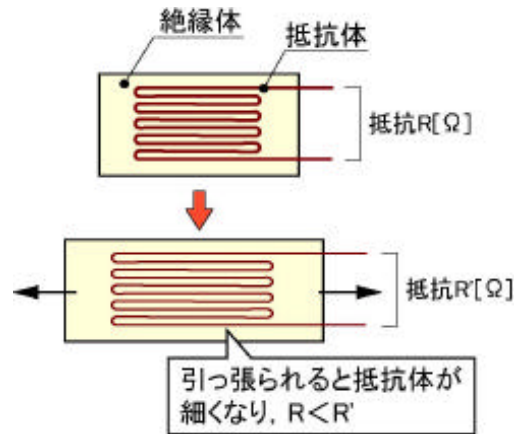
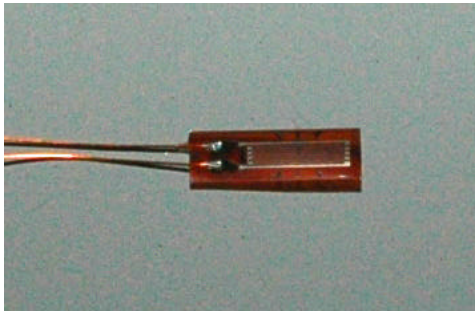


図5. 歪みゲージ²⁾

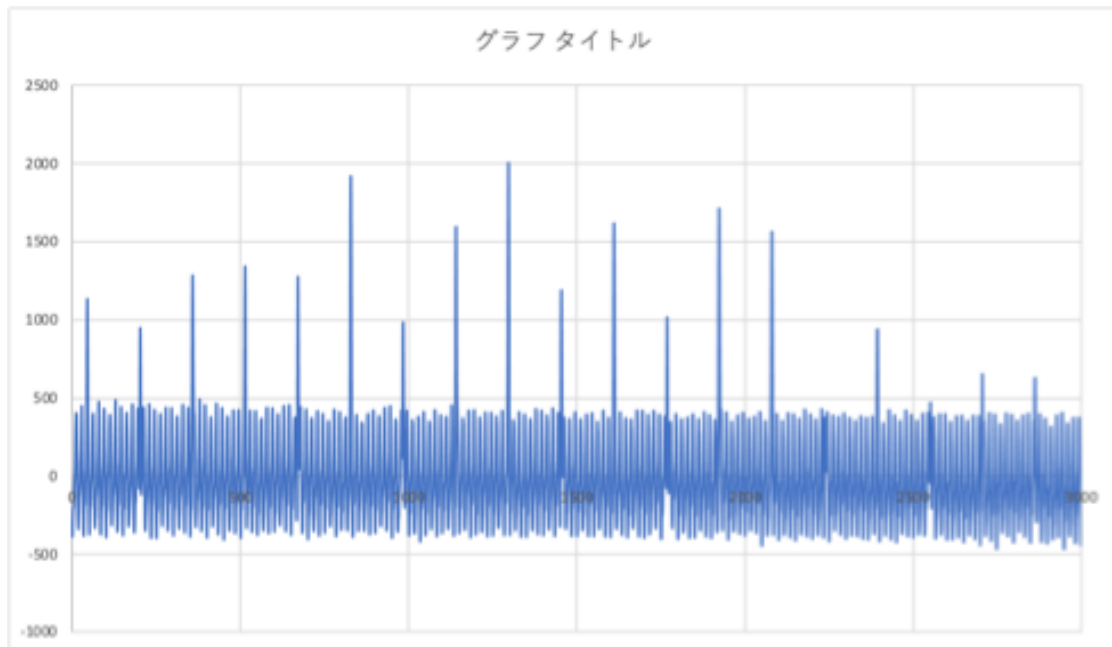


図6. 歪みゲージによって測定された強度の結果

直径 [mm]	ヤング率 [kgf/mm ²]	断面積 [mm ²]
35	20000	961.625

測定結果を図6に示す。それぞれのシグナルの高さが強度を示し、横軸が時間を表す。図6より、金箔を打つ時の強度がシグナルとして一定間隔（時間）ごとに観測されることを確認した。職人が金箔を挟んだ打紙の束を絶えず動かしているため、時間の経過とともにシリンダーが当たる位置が刻々と変化している。それぞれのシグナルの高さが時間により変化しているのは、シリンダーが当たる位置の状態（金箔の厚み、打紙の厚みなど）がちがっていることを示している。時間を追跡することで職人が打紙の束を動かす手順（例えば、中心か

ら始まって右上から左下へ動かすなど) などがシグナルに現れるため、金箔を仕上げる工程に応じた手順や職人の癖など、職人の技術を解析することができる。

令和4年度は歪みゲージを使った「金箔を叩く強度」の測定を中心に行い、手打ちによって金箔を叩く強度と機械打ちとの強度の比較を行う。その結果を基に縁付金箔の復興に関する知見を得る予定である。

謝辞：歪みゲージを使った「金箔を叩く強度」の測定に際し、装置の概要および実演を担当していただいた石川県工業試験場の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 加藤晴治、小倉京子、紙パ技協誌、14(11)、755-757(1960)
- 2) 平田宏一：「わかりやすい力学と機械強度設計法」(独) 海上技術安全研究所