

〔報告〕 電磁式膜厚計による紙厚測定の精度評価

大和 あすか・西田 典由・趙 依寧

1. はじめに

紙の厚み測定は、製紙工業や印刷業など、製品の品質管理が重視される工業製品分野だけでなく、文化財修復における本紙の基礎情報の把握や修理材料の選定、さらには歴史資料の材料科学的研究や文化史の解明においても必要不可欠な作業である。

工業製品として紙の厚みを計測する場合、 β 線を用いた非接触型測定装置が作業レーンでの効率化を図る目的などに応じて使用されることがある¹⁾。一方、一般的には JIS 規格 (JIS P 8118) に準拠し、一定の圧力下で物理的接触により計測するダイヤルゲージ式厚さ計が広く採用されている。文化財分野においても、主にこのダイヤルゲージ式厚さ計が使用されているものの、ダイヤルゲージ式厚さ計にはいくつかの課題が存在する。計測部に紙を差し込み、厚みに応じて回転したダイヤルの指針を厚さの数値として読み取る方式であるため、特殊な製品を除けば、測定部の可動範囲である 25 mm 程度の狭い範囲に本紙を差し込む動作が必要となること。また、紙を差し込める奥行きにも制限があり、測定したい箇所到達できない場合があること。さらに、測定データをパソコンに転送できる装置が限られているため、調査に時間を要するなどの問題が挙げられる。また、物理的に挟み込むことで本紙にダメージを与えるリスクもある。

本稿では、ダイヤルゲージ式厚さ計に替わる紙厚の計測方法として、電磁式膜厚計を使用した測定結果を報告する。また、電磁式膜厚計の問題点や、ダイヤルゲージ式厚さ計との精度比較の結果についても併せて報告する。

2. 電磁式膜厚計の測定原理

電磁式膜厚計は、金属基材の表面にある膜や塗装の厚さを非破壊で測定する装置である。この装置は、コイル（センサー）に電流を流して磁力を発生させ、その磁力と金属基材との相互作用を測定することで膜厚を算出する仕組みを持つ。

コイルに電流を流すと磁場が発生し、金属基材が近づくと磁場が強くなる。しかし、金属基材とコイルの間に非磁性体の膜が存在すると、磁束密度が低下するため、磁場の強さが膜の厚みに応じて弱くなる。この磁場の減少量をセンサーで検出し、膜厚を定量的に評価することが可能である²⁾。

本原理は、素地が鉄やニッケルなどの磁性体で、膜がプラスチック、塗料、亜鉛メッキなどの非磁性体である場合に適用される。センサーは膜表面に直接接触する方式を採用しており、高精度な測定が可能である一方、膜表面の平滑性や膜材質の特性が測定値に影響を与える場合があるため、適切な校正と使用条件の確認が必要である。

3. 実験方法

実験試料には以下の6種類を用いた。主に紙試料を用意したが、文化財分野でダイヤルゲージ式厚さ計が用いられている可能性のある材料として、染色布試料も対象とした。

- ・コピー用紙（寸法：5×10 cm）
- ・機械漉ロール石州紙（寸法：5×10 cm）
- ・縮緬紙（寸法：13×17 cm）
- ・機械漉ロール石州紙にプルシアンブルー（フェロシアン化第二鉄）を塗布した試料（以下、プルシアンブルー塗布紙と略、寸法：5×10 cm）
- ・ゴバイシ染めにアルミ媒染を施した絹（以下ゴバイシ Al 媒染絹と略、寸法：3×7 cm）
- ・ゴバイシ染めに鉄媒染を施した絹（以下ゴバイシ Fe 媒染絹と略、寸法：3×6 cm）

プルシアンブルー塗布紙およびゴバイシ Fe 媒染絹は、いずれも鉄を含む試料である。電磁式膜厚計は、磁性を持つ鉄を含む試料において、塗膜そのものを磁性体として認識し、測定値に誤差が生じる可能性がある。本実験では、これらの試料を用いてその影響を評価した。

紙厚の測定には、図1に示す電磁式膜厚計とダイヤルゲージ式厚さ計を用いた。それぞれ JIS P 8118に準拠し、各試料の異なる20か所を測定し、その平均厚さ、標準偏差、変動係数、繰返し精度許容差を求めた。なお、測定の際には JIS P 8118を参考にしたが、事前の試料の調湿を行っておらず、ダイヤルゲージ式厚さ計の加圧面の直径が規定の16.0 mm ±0.5 mm を満たしていない、という差異があるが、これらは文化財修復の現場で広く行われている測定法を優先したものである。また、JIS は工業製品を対象にしたものであり、少なくとも20枚の試験片を調製することが指示されているが、文化財分野でこの指示に対応することは不可能であるので、本報告では試験片は1枚のみとしている。

本研究で使用した電磁式膜厚計は、株式会社サンコウ電子研究所製の SWT-NEO に鉄素地用プローブ SFe-2.5（試料と接触するプローブの直径：約15 mm、厚さ測定範囲：0～2.50 mm）を装着したものである。測定前にはゼロ点校正（ゼロ点合わせ用鉄板に直接プローブを接触させる）と標準調整点校正（厚さ標準試料を鉄板上に乗せてからプローブを接触させる）による2点校正を実施した。測定時には、ゼロ調整に用いた鉄板を測定試料の基底材として使用し、その上に測定試料を配置した。図2のようにセンサー部分であるプローブの先端を試料に対して垂直に近づけ、軽く触れる程度の力で測定を行った。この時のセンサーの押し下げ力については、電子天秤の上で疑似的な測定を20回行い、その重さの平均値から算出した。測定は、プローブが試料に一定の速度と力で接触するように注意深く行った。



図1 電磁式膜厚計（右）とダイヤルゲージ式厚さ計（左）

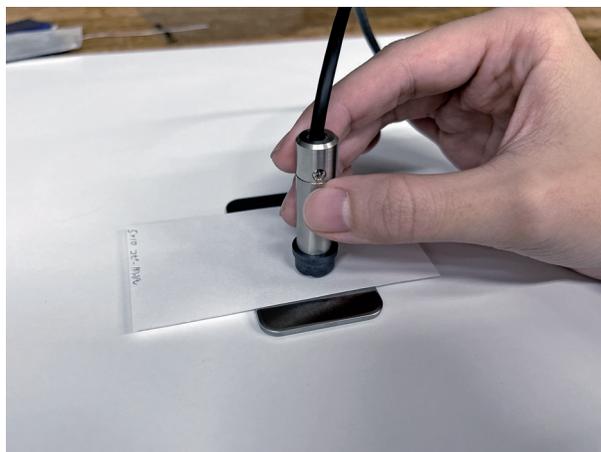


図2 電磁式膜厚計を用いた紙厚測定の様子

プローブ中央には1 mm程度の突起があるため、縮緬紙や染色布の凹凸部分でセンサーが凹みに潜り込む可能性がある。この影響を評価するため、厚み40 μm の二軸延伸ポリプロピレンフィルム（以下OPPフィルムと略、株式会社オーセロ）を実験試料に被せて測定した場合と、被せずに測定した場合の両方の測定を行った。測定データの抽出にはUSB転送ケーブルを用い、パソコン（Windows 11）に接続してSWT専用転送ソフト（SWT Monitor）を使用した。

ダイヤルゲージ式厚さ計には、株式会社尾崎製作所社製デジタルシックネスゲージPEACOCK G-7Cを採用した。JIS規格では、紙厚測定に用いる装置の加圧面の直径を16.0 mm \pm 0.5 mmと規定しているが、本実験では最小単位が0.001 mmの高精度測定が可能な本装置を採用した。本装置の測定子（加圧面）の直径は5 mmであり、プラスチックフィルムの厚さ測定に対応するJIS K 7130に準拠する装置である。

4. 結果と考察

4-1. 試料に与える圧力

ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計はいずれも接触式の厚さ計測装置である。よって、それぞれの機器が測定時に試料に与える圧力について比較した。ダイヤルゲージ式厚さ計の測定力は1.8 N以下³⁾であり測定子の直径は5 mmであることから、試料に加わる圧力は最大で92.0 mN/mm^2 となる。一方、電磁式膜厚計は同一測定者による電子天秤上での20回の測定平均重量は6.2 gであり、試料に与える力は60.8 mN となった。プローブの接触部に当たるセンサーの直径は約2 mmであることから、試料に加わる圧力は19.0 mN/mm^2 である。以上の結果から、電磁式膜厚計による試料への加圧はダイヤルゲージ式厚さ計よりも小さいことが示され、測定時に試料に与える影響も少ないといえる。しかし、ダイヤルゲージ式厚さ計の最大圧力は測定機構により制御されているのに対し、電磁式膜厚計は通常、手持ちで試料に直接押し当てて測定するため、測定者によっては本結果よりも強い圧力で押し付けてしまう危険性もある。

4-2. 同一測定者による繰返し分析の結果

同一測定者により各試料20点測定を行った結果を表1に示す。JIS P 8118によると厚さの繰り

返し測定の誤差は正規分布しているとみなしているため、厚さ測定における測定値のばらつきは一般に正規分布に従うとみなすことができる。本研究での厚さ測定結果も正規分布に従うとみなし、測定結果から得られた平均厚さ、標準偏差、変動係数、繰返し精度許容差を求めた。結果を表2に示す。なお、繰返し精度許容差はJIS P 8118に従い、標準偏差に2.77を乗ずることで得た。また、測定結果のばらつきを一目で把握できるようにすることを目的に、表2の結果から作図した確率密度関数を図3に示す。

4-2-1. コピー用紙

ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計で、平均厚さ・繰返し精度許容差ともに近い値が得られた。電磁式膜厚計にOPPフィルムを挟んだ場合は平均厚さ測定値の差が大きくなった。

4-2-2. 機械漉ロール石州紙

いずれの厚さ測定方法でも、和紙はコピー用紙より凹凸があることを反映してコピー用紙に比べ繰返し精度許容差が大きくなったものの、ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計で平均厚さは近い値が得られた。ただし、コピー用紙測定時のダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計の厚さ平均値誤差が0.7 mmであったのに対し、機械漉ロール石州紙ではその誤差が2.4 mmとなっており、コピー用紙測定時ほどの一致ではなかった。電磁式膜厚計にOPPフィルムを挟んだ場合は、ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計との平均厚さ測定値の差が大きくなった。

4-2-3. 縮緬紙

縮緬紙は試料の凹凸が非常に大きいため、いずれの測定法でも繰返し精度許容差が大きくなった。コピー用紙と同様、ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計で、平均値・繰返し精度許容差ともに非常に近い値が得られた。電磁式膜厚計にOPPフィルムを挟んだ場合も、他の測定法との平均厚さの差が大きくなった。

表1 同一測定者による厚さ測定結果

測定法(*)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
コピー用紙 (μm)	D	92	89	86	88	97	90	89	90	91	88	89	93	90	88	89	91	93	88	91	90
	E	90.3	89.7	91.5	86.3	85.7	94.4	95.6	84.6	88.0	91.7	92.3	92.7	85.9	86.4	90.6	86.7	90.0	87.3	86.7	90.9
	E+OPP	129	129	124	125	130	123	124	126	132	120	125	124	132	129	118	130	120	122	123	124
機械漉ロール 石州紙 (μm)	D	98	109	100	92	91	79	74	81	93	75	86	88	97	90	97	90	96	102	86	91
	E	83.4	88.9	89.3	91.4	79.1	83.6	85.5	89.7	83.4	84.4	85.3	84.5	94.1	90.0	90.2	86.1	89.5	83.7	83.3	82.2
	E+OPP	117	121	128	126	104	111	110	124	134	114	128	132	97	131	115	112	101	122	119	131
縮緬紙 (μm)	D	492	568	493	522	524	501	522	561	539	456	529	543	560	492	545	428	450	485	456	496
	E	463	496	495	538	601	481	440	543	495	506	439	470	483	490	511	543	481	536	473	582
	E+OPP	562	576	586	594	575	576	559	574	626	580	592	594	626	589	616	641	621	579	511	506
ブルシアンブルー塗布紙 (μm)	D	104	92	95	88	87	87	100	99	100	90	83	91	97	94	96	91	93	90	80	95
	E	106	86.2	70.1	89.5	77.4	79.1	81.9	90.2	89.0	82.7	81.7	99.9	83.5	79.0	71.8	115	70.1	79.8	79.0	81.7
	E+OPP	128	128	115	106	145	134	116	92.9	106	108	117	122	120	102	151	119	147	123	106	118
ゴバイシ Al 媒染絹 (μm)	D	311	311	313	318	313	313	310	313	309	309	315	314	314	317	316	313	306	309	309	310
	E	286	274	274	281	286	292	285	272	277	289	282	288	282	277	289	300	295	298	300	274
	E+OPP	340	347	347	353	355	362	338	333	359	358	365	370	342	339	322	357	347	324	355	356
ゴバイシ Fe 媒染絹 (μm)	D	311	312	308	310	314	319	312	312	313	313	316	309	308	317	307	308	305	318	306	307
	E	285	305	286	273	279	277	298	293	284	289	271	282	281	288	281	276	294	277	301	314
	E+OPP	348	352	333	341	344	345	357	330	346	343	326	323	337	335	334	342	344	348	352	350
参考: OPP シート (μm)	E	39.2	35.1	38.3	37.1	38.9	40.6	39.6	40.1	42.8	44.4	43.0	45.5	34.5	36.4	37.9	36.3	39.2	34.0	41.6	38.0

(*)D:ダイヤルゲージ式厚さ計、E:電磁誘導式膜厚計、E+OPP:OPPフィルムを被せて電磁誘導式膜厚計
ダイヤルゲージ式は表示は1 μm までで誤差は $\pm 10\mu\text{m}$ 、電磁誘導式は表示は0.1 μm までで誤差は指示値の2%
このことから、ダイヤルゲージ式は表示値をそのまま記載し、電磁誘導式は有効数字3桁に丸めて記載した。

表2 同一測定者による厚さ測定結果より得られた繰り返し精度

試料名	測定法 (*)	試料数	平均厚さ (μm)	繰り返し精度 標準偏差 (μm)	変動係数 (%)	繰り返し精度 許容差 (μm)
コピー用紙 (μm)	D	20	90.1	2.34	2.60	6.48
	E		89.4	3.05	3.41	8.45
	E+OPP		86.2	3.92	4.55	10.9
機械漉きロール石州紙 (μm)	D	20	90.8	8.73	9.61	24.2
	E		86.4	3.68	4.26	10.2
	E+OPP		79.8	10.7	13.4	29.6
縮緬紙 (μm)	D	20	508	39.0	7.68	108
	E		503	41.9	8.33	116
	E+OPP		545	33.9	6.22	93.9
プルシアンブルー塗布紙 (μm)	D	20	92.6	5.83	6.30	16.1
	E		84.7	11.1	13.1	30.7
	E+OPP		80.9	15.2	18.8	42.1
ゴバイシ Al 媒染絹 (μm)	D	20	312	3.00	0.961	8.31
	E		285	8.74	3.07	24.2
	E+OPP		309	12.9	4.17	35.7
ゴバイシ Fe 媒染絹 (μm)	D	20	311	3.99	1.28	11.1
	E		287	11.0	3.83	30.5
	E+OPP		302	8.92	2.95	24.7
参考：OPP シートのみ (μm)	E	20	39.1	3.19	8.16	8.84

(*)D：ダイヤルゲージ式厚さ計、E：電磁誘導式膜厚計、E+OPP：OPP フィルムを被せて電磁誘導式膜厚計

4-2-4. プルシアンブルー塗布紙

電磁式膜厚計での測定値は、ダイヤルゲージ式膜厚計による測定値に対し、平均厚さは小さくなり、繰り返し許容精度は大きくなった。プルシアンブルーは磁性体であるが⁴⁾、鉄の含有量がわずかであるため測定値に影響が出ないことも考えられた。しかし、本測定の結果により、プルシアンブルー塗布紙は電磁式膜厚計の厚さ測定に影響を与えることが確認された。

4-2-5. ゴバイシ Al 媒染絹

ダイヤルゲージ式膜厚計と OPP フィルムを挟んだ電磁式膜厚計による平均厚さ測定値はよく一致した一方、OPP フィルムを挟まない電磁式膜厚計による平均厚さ測定値は大きな差が生じた。絹布は経糸と緯糸の間に隙間があり、フィルムがない場合は隙間に電磁式膜厚計の細いプローブが入り込むため、ダイヤル式膜厚計に比べ平均厚さが小さくなるが、フィルムを間に挟むことでそれを防ぐことが可能となったと考えられる。

4-2-6. ゴバイシ Fe 媒染絹

ゴバイシ Al 媒染絹と同じく、フィルムを挟んで電磁式膜厚計で厚さを測定することでダイヤル式膜厚計による平均厚さ測定値との差が小さくなったものの、それでも平均厚さの差が大きなものとなった。4-2-4. と同様、鉄媒染のような少量の鉄の存在も電磁式膜厚計による厚さ測定に影響を与えることが確認された。

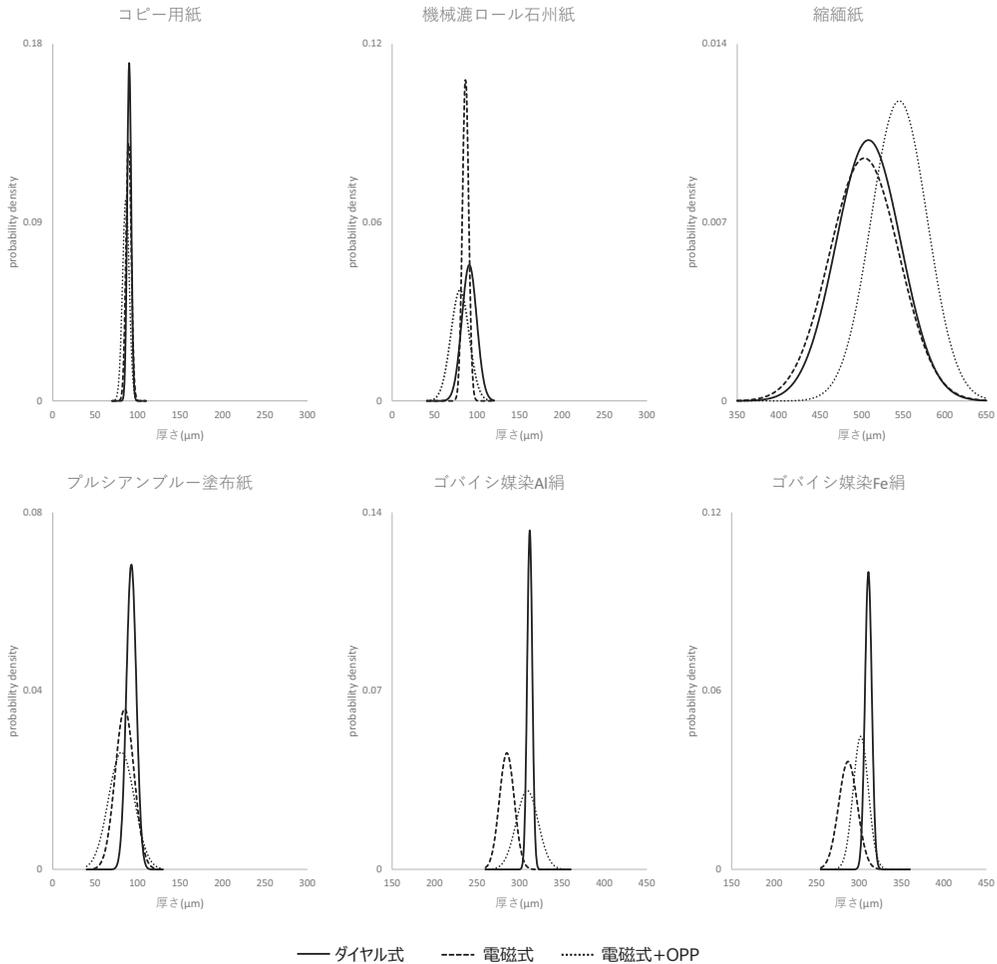


図3 同一測定者による厚さ測定結果より得られた繰り返し精度の確率密度関数

4-3. 異なる測定者による繰返し分析の結果

4-2. では、プルシアンブルー塗布によりダイヤルゲージ式膜厚計と電磁式膜厚計の測定値に誤差が生じることが確認されたが、これが測定者の癖によるものではなくプルシアンブルーの有無によって生じるものであるか確認することを目的として、機械漉ロール石州紙および同支持体にプルシアンブルーを塗布したプルシアンブルー塗布紙について、合計3人の測定者によってダイヤルゲージ式厚さ計および電磁式膜厚計を用いて厚さを測定した結果を表3に示す。また、測定結果から得られた平均厚さ、標準偏差、変動係数、繰返し精度許容差を求めた。結果を表4および図4に示す。

4-3-1. 機械漉ロール石州紙

ダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計で測定した際の繰返し精度許容差の違いは小さく、精度は同等と言える。一方で、すべての測定者で電磁式膜厚計による平均厚さはダイヤルゲージ式に比べ小さい値が得られた。ダイヤルゲージ式の場合、試料に加わる圧力はほぼ一定であるが、電磁式膜厚計を用いる場合、測定者によってプローブを押し当てる際の速度や荷重が異

表3 異なる測定者による厚さ測定結果

試料名	測定 点数	測定法 (*)	測定者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
機械漉ロール 石州紙 (μm)	20	D	a	98	109	100	92	91	79	74	81	93	75	86	88	97	90	97	90	96	102	86	91
			b	89	88	89	91	85	83	90	81	91	100	100	90	85	72	84	94	94	86	93	89
			c	87	96	86	91	89	74	98	87	86	107	101	93	109	102	79	94	99	83	91	75
	E	a	83.4	88.9	89.3	91.4	79.1	83.6	85.5	89.7	83.4	84.4	85.3	84.5	94.1	90.0	90.2	86.1	89.5	83.7	83.3	82.2	
		b	68.9	101	99.3	76.4	77.2	77.3	74.6	84.1	78.6	68.6	85.7	88.4	79.5	75.1	86.6	75.8	80.6	61.9	59.9	60.0	
		c	61.1	81.4	69.4	79.6	74.0	85.4	77.4	81.4	88.9	81.3	64.0	83.6	68.6	69.8	66.8	79.5	50.1	78.2	75.4	85.7	
プルシアン ブルー 塗布紙 (μm)	20	D	a	104	92	95	88	87	87	100	99	100	90	83	91	97	94	96	91	93	90	80	95
			b	95	90	86	91	92	99	104	90	98	92	93	91	102	95	100	88	92	97	102	89
			c	103	101	92	93	95	86	102	102	106	92	88	98	86	106	100	98	84	109	95	101
	E	a	106	86.2	70.1	89.5	77.4	79.1	81.9	90.2	89.0	82.7	81.7	99.9	83.5	79.0	71.8	115	70.1	79.8	79.0	81.7	
		b	78.0	82.2	83.2	78.1	68.2	78.1	67.7	69.8	74.9	86.8	69.7	95.3	48.7	76.8	73.1	66.1	80.0	75.4	94.2	81.5	
		c	71.5	82.3	71.0	84.2	72.9	64.1	74.9	68.0	48.0	63.5	82.2	99.3	73.6	58.1	63.2	61.7	78.9	83.3	66.1	94.0	

(*)D:ダイヤルゲージ式厚さ計, E:電磁誘導式膜厚計

表4 異なる測定者による厚さ測定結果より得られた繰り返し精度

試料名	測定 点数	測定法 (*)	測定者	平均厚さ (μm)	繰返し精度 標準偏差 (μm)	変動係数 (%)	繰返し精度 許容差 (μm)
機械漉ロール 石州紙	20	D	a	90.8	8.73	9.61	24.2
			b	88.7	6.21	7.00	17.2
			c	91.4	9.46	10.4	26.2
		E	a	86.4	3.68	4.26	10.2
			b	78.0	4.76	6.10	13.2
			c	72.3	12.9	17.8	35.7
プルシアンブルー 塗布紙	20	D	a	92.6	5.83	6.30	16.1
			b	94.3	5.01	5.31	13.9
			c	96.9	7.07	7.30	19.6
		E	a	84.7	11.1	13.1	30.7
			b	76.4	4.41	5.77	12.2
			c	73.0	12.0	16.4	33.2

(*)D:ダイヤルゲージ式厚さ計 E:電磁式膜厚計

なり、これが圧力変動の原因となって和紙のような柔軟な素材の変形をもたらしていると考えられる。厳密な厚さ測定を行う際には、プローブを試料に接触させる際に常に一定の速度や荷重でプローブを押し当てるのが可能なような機構を用いるべきであると思われる。

4-3-2. プルシアンブルー塗布紙

電磁式膜厚計による繰返し精度許容差は、ダイヤルゲージ式厚さ計を用いた場合より大きくなる傾向があり、精度が悪い傾向がある。また、平均厚さを比較すると、機械漉ロール石州紙の測定時以上に測定者による誤差が大きくなり、平均厚さが小さくなる傾向を示した。ダイヤルゲージ式厚さ計と比較して、電磁式膜厚計の平均厚さが小さくなったのは、試料に含まれる磁性体の影響で磁束密度が高まるため、本来の値よりも小さい値が得られたと推定される。

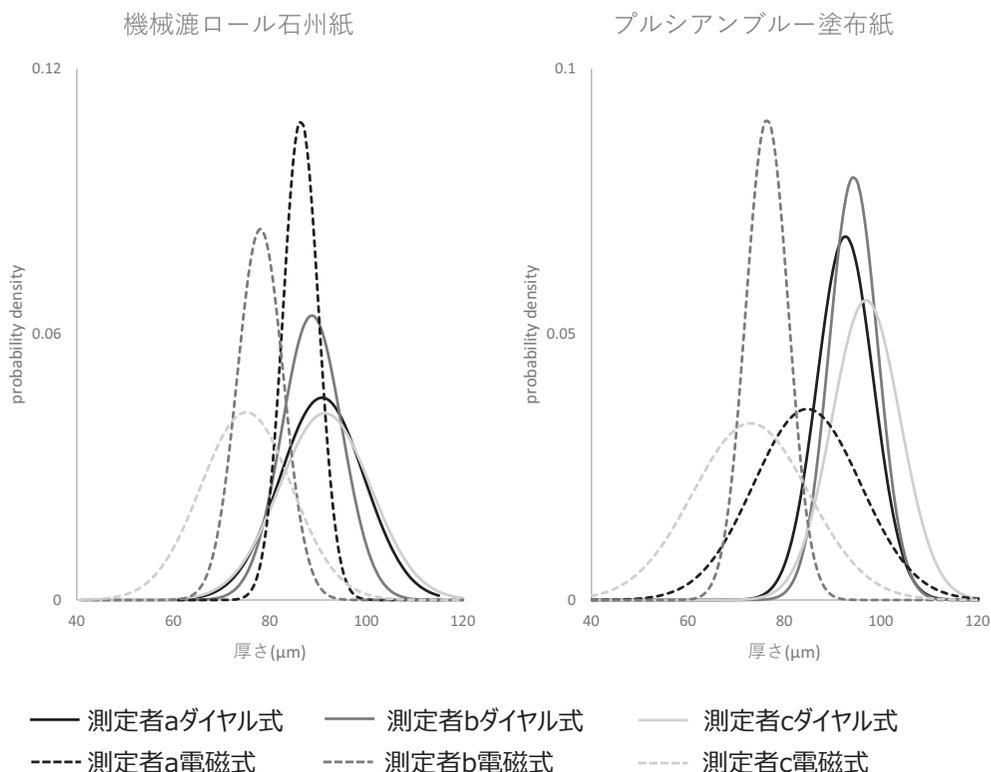


図4 異なる測定者による厚さ測定結果より得られた繰り返し精度の確率密度関数

5. おわりに

本研究では、従来のダイヤルゲージ式厚さ計と電磁式膜厚計を用いて、試料に与える圧力と測定精度を比較した。結果として、電磁式膜厚計による試料への圧力はダイヤルゲージ式厚さ計よりも小さく、測定時に試料に与える影響が少ないことが示された。計測精度に関しては、コピー用紙と縮緬紙では、両機器の測定結果がほぼ一致し、いずれの方法でも良好な精度が確認された。機械漉きロール石州紙においては、平均値は同じであるものの、電磁式膜厚計の精度が優れていることが示された。一方、プルシアンブルー塗布紙やゴバイシ Fe 媒染絹では、ダイヤル式と電磁式の測定結果に大きな差が見られ、磁性体を含む試料により測定結果に影響が生じたと考えられる。ゴバイシ Al 媒染絹に関しては、ダイヤル式と電磁式膜厚計 (OPP フィルム使用) の測定結果は近かったが、精度はダイヤル式が優れていた。

これらの結果から、電磁式膜厚計は、ダイヤルゲージ式厚さ計と同様に、紙や布の厚さ測定に適していると考えられる。特に、ダイヤルゲージ式では測定が難しい大型試料の中央部の測定や、もろい試料の測定においても有効であり、さらに測定時間が短縮できる利点がある。紙の場合は直接測定し、布の場合は OPP フィルムを挟むことで、ダイヤルゲージ式と近い結果が得られることが確認された。しかし、プルシアンブルーや鉄媒染など、磁性体を含む試料に対しては注意が必要であり、測定結果に影響を与える可能性がある。

今後は、測定者による誤差が生じやすい電磁式膜厚計について、測定者数を増やして精度評

価を行う予定である。また、電磁式膜厚計の有効性は確認されたものの、実際の資料への応用についてはまだ検証が行われていないため、今後は実際の資料に対する応用を進め、その実用性を評価することが重要である。

謝辞 本稿をまとめるにあたり、東京藝術大学名誉教授である稲葉政満氏より貴重なご助言を賜りました。心より御礼申し上げます。また、実験試料として使用した縮緬紙は、実践女子大学研究員の日比谷孟俊氏の依頼により、参宮ブランド擬革紙の会会長である堀木茂氏が作製されたものです。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) <https://www.jemima.or.jp/tech/6-04-02-01.html> (2024年12月2日参照)
- 2) 菅谷一郎：電磁式膜厚計による塗膜厚さの測定法、実務表面技術、28巻11号、20-24 (1981)
- 3) http://peacockozaki.jp/sub01_24.htm (2024年12月2日参照)
- 4) 吉野 和典：プルシアンブルー；新しい応用とそのナノ粒子、THE CHEMICAL TIMES、3、23-27 (2013)

キーワード：電磁式膜厚計 (electro-magnetic coating thickness meter)；ダイヤルゲージ式膜厚計 (dial thickness gauge)；紙厚計測 (paper thickness measurement)

Accuracy Evaluation of Paper Thickness Measurement Using an Electromagnetic Coating Thickness Meter

YAMATO Asuka, NISHIDA Noriyoshi and ZHAO Yining

Paper thickness measurement is an essential task not only in the paper manufacturing and printing industries but also in understanding the basic properties of paper. Moreover, it is important for selecting repair materials for the restoration of cultural properties, conducting materials science research on historical documents, and clarifying cultural history.

In general, dial thickness gauges are used to measure paper thickness. However, this method requires inserting a sample into the gauge's measuring section, and the spindle's movable range is limited to several tens of millimeters, creating restrictions when paper is inserted. Additionally, the gauge's inability to reach a desired measurement point and the limited depth of its measuring section are also problematic. Another issue is that there are not many models of gauges that allow data to be digitally transferred to PCs, making investigations involving this device time-consuming.

In this paper, we propose the use of an electromagnetic coating thickness meter as an alternative to the dial thickness gauge and compare the former's accuracy with that of the latter. The results show that the electromagnetic coating thickness meter, like the dial thickness gauge, is suitable for measuring the thickness of paper and cloth. Specifically, the electromagnetic coating thickness meter provided the same average thickness as the dial thickness gauge for smooth-surfaced copy paper and machine-made rolled *Sekishu washi* paper (Japanese paper).

For crepe paper with significant irregularities and silk cloth with grooves in the weave, the average thickness measured by the dial thickness gauge tended to be smaller than that measured by the electromagnetic coating thickness meter. However, when a film was applied to the silk cloth to prevent the sensor of the dial thickness gauge from penetrating into the sample, the measurement values improved compared to those of silk cloth without a film. On the other hand, for Prussian blue-coated paper and iron-dyed silk, both of which contain magnetic substances, a significant difference was observed in the measurement results between the dial thickness gauge and the electromagnetic coating thickness meter, suggesting that the selection of measurement samples requires careful consideration.