

紙の基礎と防錆包装に使われる加工紙

防錆材技研 清水良直 | (株)イーパック 會田敬三

Vol.3

第3章 防錆加工以外の加工と評価方法

3-1 さまざまな加工の概観

防錆包装の分野では紙にバリア性や強靱性などの物性を付与するさまざまな加工が実施されている。防錆紙に対しても行われているが、防錆油を施したのちに外装として使われる防湿包装紙にとってはもっとも大切な加工である。第3章ではこれらの加工について紹介する。

表14にどのような加工が行なわれるかまとめた。次節で説明するポリラミがラミネートによって紙にPEのバリア層を施す加工なのに対して、PEクロスやOPPフィルムをクラフト紙に貼り合わせる加工によってバリア性と同時に紙のみでは実現できない強度が付与される。この強靱化については3-3と3-4で詳しく説明するが、ポリラミでは強度の向上にはならない。金属箔貼合はバリア性付与の手段の1つであり、金属の高いバリア性を利用している。JIS Z 0303「さび止め包装方法通則」における脱酸素包装用のハイバリア材として使用することも可能である。またクレープ加工は強靱性と共に柔軟性も兼ね備えることができる加工であり3-5で詳しく説明する。表の最後にある「油脂含浸」と「糸入り」は防錆油塗布後の外装として使用される加工紙であるが、昔の主役といった感で近年では減少の傾向にある。

3-2 バリア性の付与

ポリラミは防錆紙でも広く実施されている加工であり、PEラミされた防錆紙で透湿度が $50\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 未満のものを前出のJIS Z 1535では「バリア形」としている(p.11の表6を参照)。防湿包装紙としてはポリラミ紙と言われる加工紙がもっとも普遍的であるが、JIS Z 0303「さび止め包装方法通則」においては、透湿度の基準¹⁵⁾が防錆紙のレベルよりも厳しく

表14 防錆包装の世界で行われる加工と目的

加工方法	加工の目的					加工紙	対応するJIS
	バリア性の付与			物性の向上			
	防湿性	防水性	耐油性	強度	フィット性		
ポリラミ	○	○	○	—	—	防錆紙・ 防湿包装紙	ポリエチレン加工紙 (JIS Z 1514-1994)
紙2層ポリサンド	○	○	○	○	—		—
PEクロス貼合	○	○	○	○	—		—
OPPフィルム貼合	○	○	○	○	—		—
糸入りOPP貼合	○	○	○	○	—		—
金属箔貼合	○	○	○	(○)	—		はり合せアルミニウムはく (JIS Z 1520-1990)
クレープ加工	—	(○)	—	—	○		—
油脂含浸	—	○	○	—	—	油紙	—
糸入り	—	—	—	○	—	糸入り紙	—

表15 JIS Z 1514-1994「ポリエチレン加工紙」の品質規定

種類 ^{注1)}		透湿度 [g/(m ² ・d)]	引張強さ (NまたはkN/m)	引裂強さ (mN)	伸び(%)		ヒートシール 強さ (N)	(参考)樹脂皮膜 の厚さ ^{注2)} (μm)
					縦	横		
片面 両面	1級	15以下	原紙の規格による	原紙の規格による	原紙の規格による	5.9以上		40
	2級	15超～25以下						30
	3級	25超～40以下						20
	4級	40超～60以下		原紙の規格値－0.3	当事者間の 協定による	15		
	5級	60超～100以下				15未満		
サンド	1級	15以下	原紙の規格の2倍 ^{注3)}	原紙の規格による	原紙の規格による	—	—	
	2級	15超～25以下						
	3級	25超～40以下						
	4級	40超～60以下		原紙の規格値－0.3				
	5級	60超～100以下						

注1) 片面:膜状のポリエチレンが原紙の片面に密着しているもの
両面:膜状のポリエチレンが原紙の両面に密着しているもの
サンド:膜状のポリエチレンが2層の原紙の間に密着しているもの

注2) 片面加工紙の場合

注3) 両面が同じ種類の原紙の場合。それ以外のときは当事者間の協定による。

15g/(m²・d) 以下となっているから注意が必要である。

日本産業規格にはクラフト紙に PE に代表される樹脂を加工した紙の規格として JIS Z 1514-1994「ポリエチレン加工紙」があり、表15に示したように片面・両面・サンドの3種類に分類されている。そのうちの片面加工品の一部がポリラミ紙と呼ばれるものになる。透湿度は2つの測定方法が示されていて、バリア層を通過する水蒸気を乾燥剤に吸収させて乾燥剤の質量増加を測定する JIS Z 0208-1976「防湿包装材料の透湿度試験方法 (カップ法)」とバリア層を通過する水蒸気量を GC (ガスクロマトグラフ) によって分析する JIS K 7129-4:2019「プラスチック-フィルム及びシート-水蒸気透過度の求め方-第4部:ガスクロマトグラフ法」である。防湿性の高い(透湿度が小さい)加工紙について測定するときは後者の方法を使った方が高い精度で測定でき短時間で結果が得られる。また透湿度以外の品質としてヒートシール強さの規定があるが、防錆包装用としてはヒートシール強さの重要性はない。それよりも加工紙そのものの強度が重要であるが表15に示したように『強度は原紙による』とされている。つまり PE ラミによって強度が向上することはないことを示している。なお、PE 厚が薄い4級と5級については伸びの規格値が原紙よりも小さくなっているが、それについては解説に説明があるものの実態に合わせたとのことであり、どのような科学的根拠によるのか書かれていない。

ところで、この JIS では紙にコーティングする樹脂は PE と記されているが、付属の解説によると純粋な PE には限定しておらず、エチレン酢酸ビニル共重合体 (EVA) やポリプロピレン (PP) を含むとも受け取れる記述になっている。しかし防錆用途として市場にあるポリラミ紙で EVA や PP を用いたものは見かけない。なお、JIS Z 1712:2009「包装用延伸ポリプロピレンフィルム」に定められている2軸延伸のポリプロピレン (OPP) フィルムをクラフト紙に貼り付けると PE ラミよりも高いバリア性を付与することができる。構造はポリラミ紙と同じであるがフィルム貼合タイプはポリラミ紙とは呼ばない。

PE ラミや OPP フィルム貼合では実現できない高いバリア性をもたらすが、アルミニウムに代表される金属箔やアルミニウムやシリカを蒸着させバリア層とした蒸着フィルムである。それらを紙に貼合したものが包装材料として使用される。アルミ箔は金属そのものであるから、酸素透過度や透湿度は限りなく「0」に近い。そのためにアルミ箔貼合紙は第2章の表11 (p.15) に示したハイバリア材 (脱酸素包装の外装材) として使用できる。一方の蒸着フィルム貼合紙は、厚さが約100nm 以下の極めて薄い蒸着層を基材フィルム上に形成させて製造された蒸着フィルムを紙に貼り合わせたもので、銀色のものはアルミニウムを、透明なものは酸化ケイ素や酸化アルミを蒸着させている。蒸着フィルム貼合紙はアルミ箔貼合紙と比較すれば酸素透過度や透湿度は高くバリア性は劣るが、経済的でありまた加工適性の高さから表11の除湿包装などに多く使用されている。アルミ箔貼合紙も蒸着フィルム貼合紙もバリア層による物理的な機能性の付与であり、ピンホールやク

ラックなどが存在するとその性能は大きく低下するから注意が必要である。ちなみにアルミニウム箔については JIS Z 1520-1990「はり合せアルミニウムはく」の規格¹⁶⁾があり厚さに応じた透湿度が定められている。

PE ラミ¹⁷⁾、OPP フィルム¹⁸⁾、アルミ箔の3つの規格に示されているバリア層の厚さと透湿度の関係を図14に示した。PE ラミとアルミ箔については規格値に幅があるのでハッチを掛けてその範囲を示したが、OPP フィルムの透湿度には幅はない。いずれも厚さが薄くなると透湿度が上昇するからバリア性は低下することになる。図には、防錆紙の場合にバリア形と分類される透湿度と、JIS Z 0303で防湿性となる透湿度のそれぞれの基準を破線で示した。PE ラミについてみるとバリア形防錆紙であるためにはPE厚さは少なくとも15 μm ほどとする必要があることを示している。またJIS Z 0303で言う防湿包装材料とするためにはPE ラミを30 μm まで厚くしても十分でない可能性があると言えよう。参考までにネットで「ポリラミ紙」を検索してどのようなPE 厚のものが売られているか調べたところ15 μm 程度であったから防錆包装に使用できる防湿包装材料にはならない。

透湿度が気体である水蒸気の透過をみるのに対し、液体の水が透過するのを調べる防水性一試験法は後述の3-9の(1)を参照一とPE 厚の関係を筆者（清水）が調べた結果を表16に示す。PE 厚が15 μm の場合、20℃では2日間の試験では透水を認めなかったが、3日間で透水がみられた。PE 皮膜にピンホールがあった結果である。試験温度を60℃に高めると、2日間でも透水があり、温度の上昇により、PE皮膜の柔軟性が増すとともに水の運動エネルギーが高くなったことによると考えてよい。PE厚を20 μm にすると防水性は明らかに向上し、20℃では7日間の試験で透水はなかった。60℃の場合でも透水を認めたのは試験開始から3日後でありその後透水が増えるようすはなかった。PE厚が30 μm になると透水はまったくみられず、PEが厚くなることでピンホールの発生がなくなったことが伺われる。前段のネットで売られているポリラミ紙は防水をうたっているものがあるがPE 厚15 μm 程度では十分な防水性はないといえよう。

3-3 強靱性の付与

小さな製品を包む場合はクラフト紙の強度で間にあうであろうが、大型の鉄鋼コイルの場合はどうだろうか。何十トンもの鉄鋼コイルは包装紙で包まれてクレーンなどによって構内を移動するが、ポリラミ紙ではその用途に耐えることは不可能である。人の手でハンドリングできないほどに大きかったり重量のある金属製品を包装するときには強靱化した包装紙が必要となる。この強靱性を付与するのにもっとも一般的な材料が図15に示したようなクロス材である。このクロス材を紙に貼り合わせることで重量物や大型の製品に対応する加工紙となる。鉄鋼コイルをPE クロス貼合の防錆紙で包装している例を図16に示した。

クロス材とはヤーンと呼ばれる幅が約3～5mm程度のPE またはPP の狭幅フィルムを編んだ材料である。それらヤーンは延伸をかけ熱処理されることで一般的なPE フィルムと比較すると遥かに強い強度を得ている。1インチの間に縦と横のそれぞれに何本のヤーンを入れるか（これを目付と呼ぶ）でさまざまな種類がある。また、ヤーンはデニール（d）やデシテックス（dt）という規定長さにおける

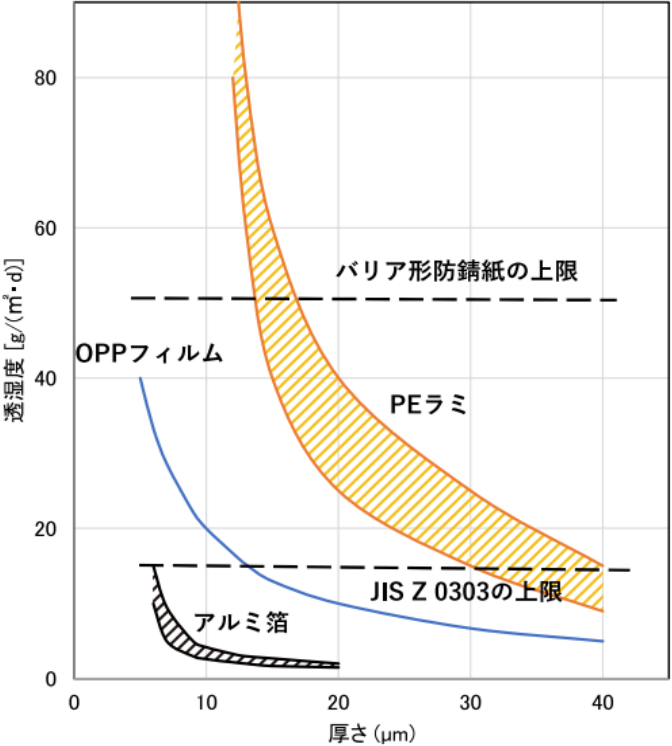


図14 PE ラミなどの透湿度

表16 PE ラミ紙の防水性^{注)}

PE厚さ (μm)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	試験日数(日)				
		1	2	3	5	7
15	20	0	0	2	2	2
	60	0	3	3	3	3
20	20	0	0	0	0	0
	60	0	0	1	1	1
30	20	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0
50	20	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0

注) 水が透過した箇所の数

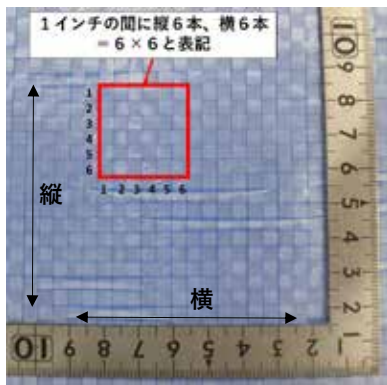


図15 PEクロス (PE6×6)

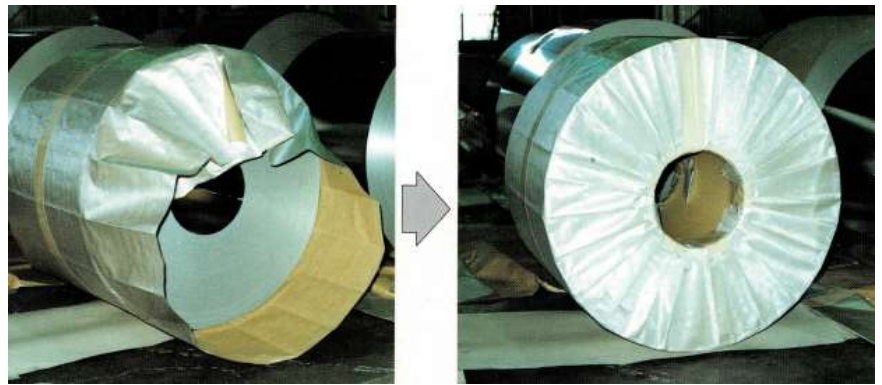
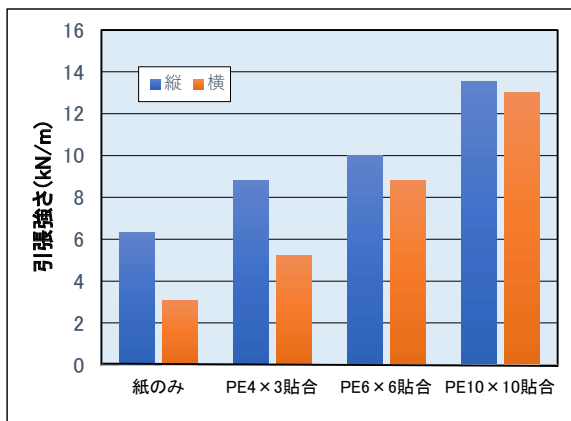
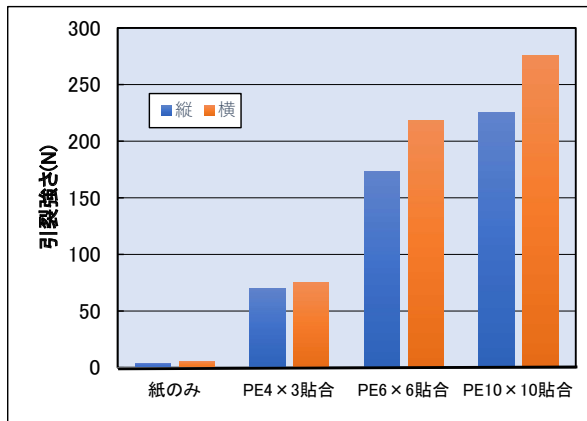


図16 鉄鋼コイルをクロス貼合した防錆紙で包装しているようす



(a) 引張強さ



(b) 引裂強さ

図17 PEクロス貼合紙の強度

1本の重量で管理されている。図15はPEヤーンを使用して縦6本、横6本で編まれているから、PE6×6という目付表記になる。PPの場合はPP○×○である。同じ太さのヤーンであれば、この目付（編み込み数）が多い方が強度は高くなる。6×6くらいまではヤーンがフラットな状態で編まれるが、それ以上になるとヤーンの編み込まれる密度が上がるため、ヤーンが幅方向に2つ折りやZ字状態になるものが主流である。後述するように、このヤーンの状態というのは貼り合わせ作業において非常に重要な要素となる。

これらクロス材と紙との貼り合わせはラミネーターを用いて溶融したPEやPPの樹脂を接着剤とする方法で実施されることが多い。図17は75g未晒クラフト紙にPEクロス材を貼り合わせた製品の引張試験（JIS P 8113）と引裂試験（JIS L 1096のC法）の結果である。PEクロスの貼合、そして目付の増加により強度が大きくなっているのがわかる。とくに引裂試験ではその傾向が顕著であり、紙のみではわずか数Nだった強度がPEクロス材の存在により飛躍的に上昇し、PE10×10のクロス貼合では紙だけの場合の100倍近い強度になっている。

このようにPEクロス材を貼合すると加工紙の強度を向上させることができるが、加工に際しては熱劣化に十分注意が必要である。ラミネーターから押し出される樹脂の温度は300℃以上もあり、その高温の樹脂にクロス材が触れることでクロスの樹脂が溶融して強度が低下する可能性がある。とくに縦糸と横糸が重なっていない部分はヤーン1本でこの熱を受けることになるから、熱劣化による強度低下のダメージは著しい。場合によってはクロス材がほとんど溶融してしまって強度の向上に寄与しなくなる恐れすらある。防湿性をさらに向上させるためにPEクロス材の上にもう1層PEラミネートする場合にはとくに注意が必要である。

クロス材貼合以外にOPPフィルムをクラフト紙に貼り付けることによっても優れた強度を付与することができ、さらに強度の向上を図るためには、OPPフィルムとクラフト紙の間に糸を挟みこむ工夫がある。具体的な品質については3-6で示す。

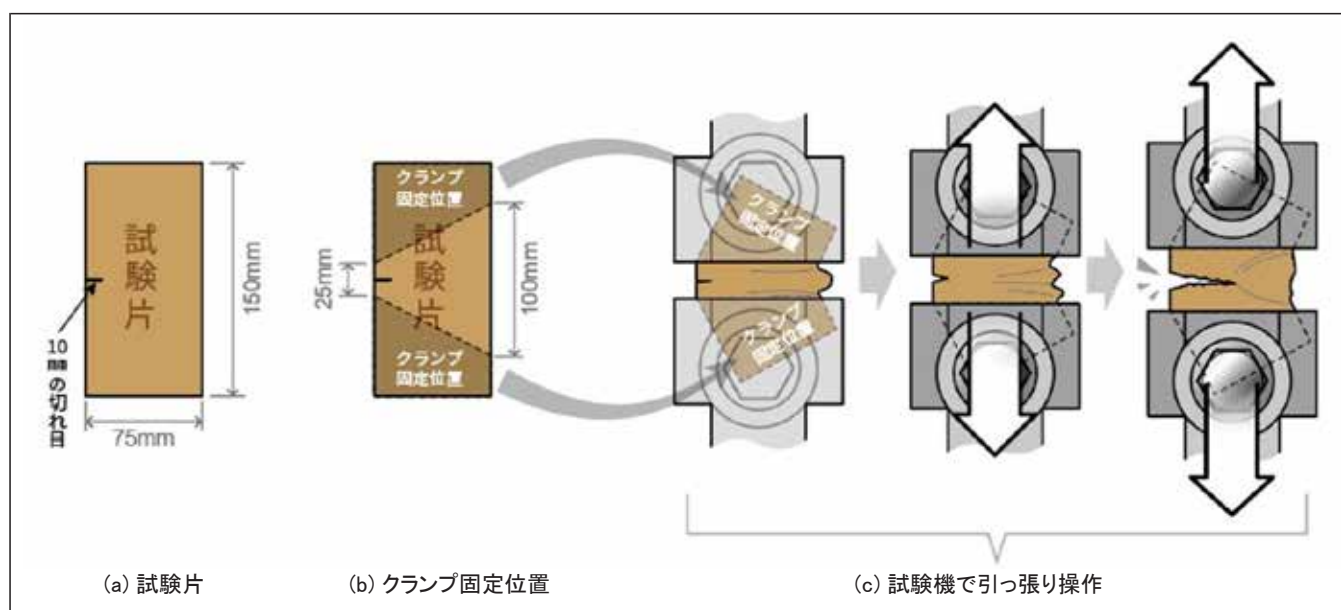


図18 引裂試験の模式図

3-4 強靱性の評価方法

防湿包装紙のように高度に複合化された紙の強度を評価するには、紙の JIS に規定された試験方法では不十分である。表 5 (p.7) に示した強度の試験方法の代表である引張強さ (JIS P 8113の一部)、引裂強さ (JIS P 8116)、破裂強さ (JIS P 8112) だけでは十分な評価はできない。とくに JIS P 8116による引裂強さは複合化することで測定そのものができなくなってしまう。そこで前節の図17に示した引裂試験は織物の規格である JIS L 1096によって測定した。JIS L 1096による測定は、図18に示したように切れ目をつけた試験片を用い、これを斜めにしてクランプでつかみ、引張り試験機で上下に引っ張る操作を行う。試験片は切れ目から引き裂かれるのでそのときの最大荷重を測定する。

また端裂抵抗も複合化された加工紙の強度を評価するのに有効な試験方法である。測定法の概略を図19¹⁹⁾に示した。短冊状の試験片を逆V字形の金属の治具に掛けて試験片の両端を揃え、引張り試験機で上下に引っ張ると、試験片は端から引きちぎられる。このとき試験機にかかる最大荷重を測定するものである。引き裂きが始まるきっかけとなる切れ目をつけずに測定することが特徴である。この端裂抵抗はTAPPI T-470 om-89 “Edge tearing resistance of paper (edge-tear stirrup method)” に定められており、わが国でも以前はJIS Z 1523「紙粘着テープ」に規定されていた。しかし1973年の改正でこの JIS が削除されてしばらくの JIS にも規定がない状態にあったが、2010年に JIS C 2300-2「電気用セルロース紙—第2部：試験方法」の中に「端部引裂強さ」の名称で復活した。

JIS L 1096による引裂試験と TAPPI の端裂抵抗のいずれも、JIS P 8116による引裂強さでは評価できない強度を定量化できる優れた試験方法である。なお複合化の内容によっては試験室での測定では評価できないこともあるから注意が必要である。それは菱目に糸を入れたタイプの加工紙である。糸が菱目に入っていることが引張試験機による強度測定にとって致命的な問題となる。すなわち、試験のために試料を短冊状に切り出して試験片とするとき、試験片の幅が狭いと必然的に糸を切断することになる。極端な場合は試験片に連続した糸が1本もなくなってしまう、糸を入れた効果は測定に反映されなくなってしまう。

3-5 柔軟性の付与

図20に示したスパイラル包装（ゲートル巻き）ではフィット性の優れたクレープ紙が使用される。スリッターコイルや巻き取られた線材をスパイラル状にラッピングするとき、通常のフラットな紙では重なり合った部分が隙間だらけになってしま

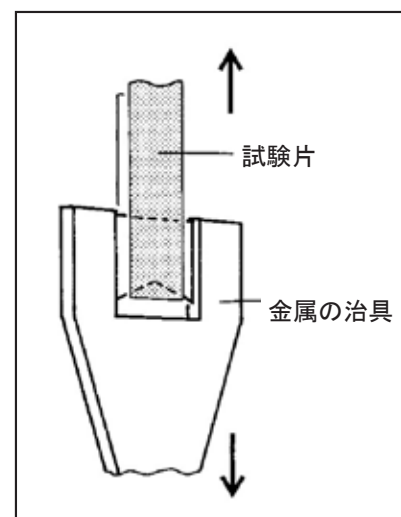


図19 端裂抵抗の測定方法

う。それに対してクレープ紙であれば紙幅の中央部が耳部よりも大きく伸びてくれるから、よくフィットして隙間は小さくなる。クレープ加工に使われる紙は未晒クラフト紙であるが、長網紙より円網紙を使うのが一般的である。その理由は紙の強度の違いである（p.5の表3を参照）。クレープ紙をスパイラル包装に用いるとき、包装機のテンションによって紙がちぎれてしまつては作業にならない。そこで、縦方向の引張強さの大きい円網紙が好まれることになる。クレープ紙には一次クレープ紙と二次クレープ紙があり、前者は抄紙の段階でしわをつけてクレープ紙にしたものであるから JIS P 0001 の定義からすると加工紙には分類されない。一方、後者は抄紙されたフラットな紙に改めてしわをつける加工を行ったものであり、JIS P 0001 の定義に基づく加工紙に位置づけできる。

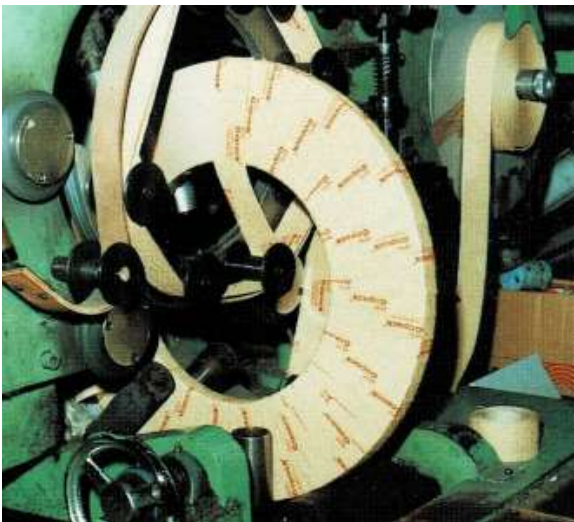


図20 クレープ紙によるスパイラル包装のようす

しわをつける加工においては第1章の1-4で紹介したヤンキードライヤーが主役となる。一次クレープ紙は、プレスパートを出た紙をヤンキードライヤーに張り付けて乾燥させるときに、ブレードでかきとってはがすことでしわをつけ、そのまましわを伸ばさずにして巻き取って生産される。二次クレープ紙は、2枚の紙を酢酸ビニルエマルジョンやデンプンなどの水性の糊で貼り合わせて、紙が濡れた状態のまま、あるいは貼り合わせた後に改めて表面に水を与えて湿らせ、ヤンキードライヤーに張り付けて乾燥させながら、ブレードでかきとるようにしてはがしとることで製造される。いずれの製法でももとの長さに対しどの程度の縮みをもたせているかを表すクレープ率で管理される。2枚のクラフト紙を貼り合わせてつくる二次クレープ紙の方が一次クレープ紙よりも強い製品になるが、さらに強度を高めるために、2枚の紙を貼り合わせるときに縦糸を入れながら加工したタイプもあり、クレープ加工後にクロスを貼り合わせたものもある。しわの入り具合は加工条件によってさまざまとなる。なお第1章の1-4の(1)で述べたクラフト伸張紙も微細なしわが付いているが、これはクレープ紙とは別な紙であり、伸びの値は数%しかなく通常のフラットな紙と大差ない。

クレープ紙の主な用途であるスパイラル包装では密封ができないから、包装に用いるクレープ紙に防湿性を付与しても防湿包装にはならない。しかし、防水性や撥水性という付加価値は得られる。二次加工で貼り合わせる紙の一方にPEラミネート紙を用いたクレープ紙が市場にあるが、これは防水や撥水あるいは耐油性を目的に加工されているものと理解してよいであろう。

表17にクレープ紙の強さの特徴をまとめた。表の中で「60+60」と示したのは、坪量60g/m²の紙を2枚貼り合わせるという意味である。また「100」と示したのは坪量100g/m²の一次クレープ紙である。参考のためにフラットな紙である長網クラフト紙の品質も示した。クレープ紙の縦方向の伸びはフラットな長網クラフト紙の30倍以上と大きくこれが柔軟性につながる。また引裂強さを比較すると、クレープ紙の横方向の強さはフラットな長網クラフト紙をはるかに超えており、横方向に引裂きにくい特徴が表れている。同じ「60+60」のクレープ紙同士で比較すると、円網の方が長網よりも縦方向の引張強さにおいて高い強度を有していることや、一次クレープよりも2枚のクラフト紙を貼り合わせた二次クレープの方が

表17 クレープ紙の強さの特徴

項目	単位	方向	クレープ紙			[参考]		測定JIS
			長網	円網		長網クラフト紙		
			60+60	100	60+60	60	100	
引張強さ	kN/m	縦	8.9	3.2	10.6	5.2	7.5	P 8113:2006
		横	4.6	1.7	4.2	2.4	3.1	
伸び	%	縦	37.0	32.4	48.3	1.6	1.7	
		横	3.1	3.6	6.1	4.1	4.1	
引裂強さ	N	縦	6	5	7	4	5	L 1096:2010 のC法
		横	56	13	84	5	7	

大きな強度向上が見込めることがわかるであろう。

3-6 防湿包装紙の品質

表18に数種類の防湿包装紙について強度などを比較した結果を示す。表には参考として紙のみ（貼合タイプのベースとなるクラフト紙）とポリラミ紙の値も一緒に載せた。PEクロス貼合タイプについては図17で紹介した構成のものを中心に改めて載せている。クレープ紙についても表17で紹介したものも再度示した。

PEクロス貼合タイプについて見ると、①～③は目付が大きくなるに伴って引張、引裂、破裂のいずれの強度も大きくなっている。ところが③より目付が大きい④は引裂と破裂が③よりも小さく、逆転している。これは貼り合わせ工程での熱劣化が④の加工紙の方が大きかったためと考えられる。

OPPフィルム貼合タイプの加工紙①と②を比較すると、糸を挟み込んだ②の方が糸のない①よりも引張、引裂、破裂のいずれの強度も高くなっており、糸を入れた効果が表れている。また横方向の引張強さは紙のみの場合よりも確実に大きい。OPPフィルム貼合の特徴と言えよう。また①を紙のみと比較すると JIS L 1096による引裂強さは同じでありフィルム貼合の効果は見られないが、③を紙のみと比べると、端裂抵抗は紙のみの約10倍の強さを示している。JIS L 1096による引裂強さと TAPPI の端裂抵抗の測定値の違いは引き裂きが発生する箇所にあらかじめ切れ目があるかないかの違いである。

表18-1 各種加工紙の防湿性と強度

項目	単位	方向	PEクロス貼合タイプ				OPPフィルム貼合タイプ			クレープタイプ				[参考]		測定JIS
			①	②	③	④	①	②	③	①	②	③	④	ポリラミ紙	紙のみ	
透湿度	g/(m ² ・d)	—	6.5	5.9	6.0	6.1	5.6	5.5	6.1	—	—	—	—	40.3	—	Z 0208 の条件B
引張強さ	kN/m	縦	8.8	10.0	12.8	13.5	7.8	8.8	6.1	10.6	8.9	10.0	7.8	6.9	6.3	P 8113
		横	5.2	8.8	9.4	13.0	6.3	5.7	7.0	4.2	4.6	—	—	2.9	3.1	
伸び	%	縦	2.9	6.1	13.4	17.7	2.2	1.7	2.9	48.3	37.0	16.2	18.1	1.7	2.1	
		横	6.4	12.1	21.5	13.2	8.0	6.0	9.7	6.1	3.1	—	—	4.4	6.0	
引裂強さ	N	縦	70	173	300	225	4	9	—	7	6	—	—	4	4	L 1096 のC法
		横	75	218	289	276	5	10	—	84	56	—	—	5	5	
		縦	引裂不可				引裂不可			引裂不可				—	0.76	P 8116
		横	引裂不可				引裂不可			引裂不可				—	0.81	
端裂抵抗	kN/m	縦	—	9.8	—	10.8	—	—	9.2	—	—	8.3	6.4	1.2	—	C 2300-2
		横	—	12.3	—	11.0	—	—	14.6	—	—	—	—	1.4	—	
破裂強さ	kPa	—	785	1520	1717	1550	991	1167	850	334	—	284	481	324	265	P 8112
構成の特徴			4×3	6×6	8×8	10×10	20μm	20μm+糸入り	30μm+糸入り	円網2枚	長網2枚	円網2枚+糸入り	長網2枚+糸入り	15μm	—	—

表18-2 加工紙の構成

		1層目	2層目	3層目
PEクロス貼合タイプ	①	PEクロス(4×3)	PE(15μm)	長網紙(75g/m ²)
	②	PEクロス(6×6)	PE(20μm)	長網紙(75g/m ²)
	③	PEクロス(8×8)	PE(20μm)	長網紙(75g/m ²)
	④	PEクロス(10×10)	PE(20μm)	長網紙(75g/m ²)
OPPフィルム貼合タイプ	①	OPPフィルム(20μm)	PE(20μm)	長網紙(75g/m ²)
	②	OPPフィルム(20μm)	PE(20μm)+糸	長網紙(75g/m ²)
	③	OPPフィルム(30μm)	APP+糸	長網紙(75g/m ²)
クレープタイプ	①	円網紙(60g/m ²)	デンプン	円網紙(60g/m ²)
	②	長網紙(60g/m ²)	デンプン	長網紙(60g/m ²)
	③	円網紙(60g/m ²)	デンプン+糸	円網紙(60g/m ²)
	④	長網紙(60g/m ²)	APP+糸	長網紙(60g/m ²)
ポリラミ紙		PE(20μm)	長網紙(75g/m ²)	—
紙のみ		長網紙(75g/m ²)	—	—

注1) PEクロスの()内の数値は目付の数

注2) APPはアタクチックポリプロピレンの略で接着剤として使用

クレープタイプについて比較すると円網紙を使用した①のタイプは長網紙を用いた②よりも縦方向の引張強さが大きい。これは第1章で説明したようにパルプ繊維が縦方向に揃っているからである。また①、②にくらべて③、④の伸びの値が小さいのは加工時のテンションの違いであり、③、④は加工時のテンションに負けてクレープが伸びてしまったものである。

以上のようにポリラミでは大きな強度向上は望めないが、フィルムやPEクロスを貼り合わせることでその物性が大きく向上し、さらに透湿度が低下すなわち防湿性が増大した丈夫な加工紙になる。また、クレープタイプではフラットな紙では実現できない特徴を付与することができる。

3-7 複合化につきもののカール

防湿包装紙を使用するにあたって必ずと言ってよいほど生じる問題がカールである。カールはJIS P 0001「紙・パルプ用語」では『紙が湾曲すること』と定義されており、包装紙がさまざまな要因で反ったり、激しいときには丸まったりする現象である。このカールの原因について簡単に紹介すると、①環境の影響、②テンションの影響、③巻きグセの影響の主に3つになる。これらは単独で影響を及ぼすこともあるがほとんどのケースは複合された結果生じる。順に説明する。

(1) 環境の影響

ポリラミ紙やPEクロス材などの貼合紙は片面が紙そのものなので環境の影響を受けやすい。第1章の1-7で述べたように紙はその環境に応じた平衡水分をもち、それよりも環境湿度が高くなれば吸湿し、低くなれば水分を放出する。これがカールを引き起こす原因である。23℃、50% RH で調湿されたポリラミ紙を例にとる。このポリラミ紙を同じ温度で湿度80% RH のところへ持って行くと紙の表面（PE が貼られていない面）で急激な吸湿が始まり、その表面は水分を得ただけ膨張する。一方PE ラミと接着している紙面は吸湿しないため、ポリラミ紙の表裏で寸法差が生じ、カールする。

(2) テンションの影響

押出ラミネートや糊による貼合などにおいては、巻取りになっているクラフト紙とそれに貼り合わされる素材はそれぞれ流れ方向（縦方向）に引っ張りながら貼り合わされる。図21に示すようにPE フィルムとクラフト紙を貼り合わせようとして、それぞれに100N のテンションをかけたとする。PE フィルムは伸びやすく、かけられたテンションによって10mm 伸びるが、紙は無視できるほどしか伸びない。その伸びた状態で貼り合わせると、PE フィルムには貼り合わせで伸びた長さ分がもとに戻ろうとする力が残っているから縮もうとする。すなわちカールする。このときPE フィルムのような素材は流れ方向に伸びる一方で幅方向（横方向）に収縮するため、斜めといった縦横の複合のカールが発生する場合がある。

(3) 巻きグセの影響

包装紙を使用する際にはシート状の場合もあるが巻取り状態で供給されることの方が一般的である。巻きグセはこの巻取

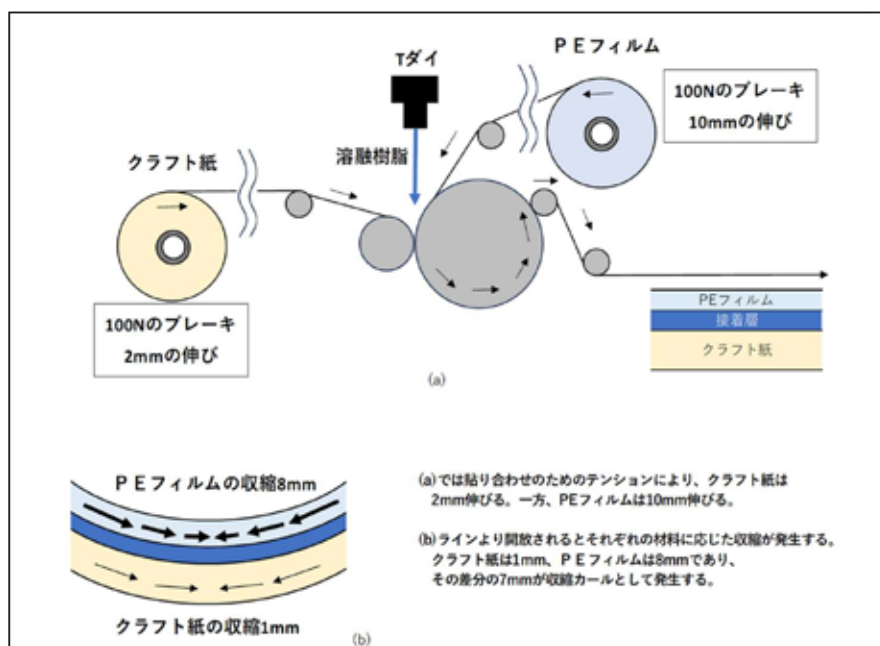


図21 カール発生イメージ

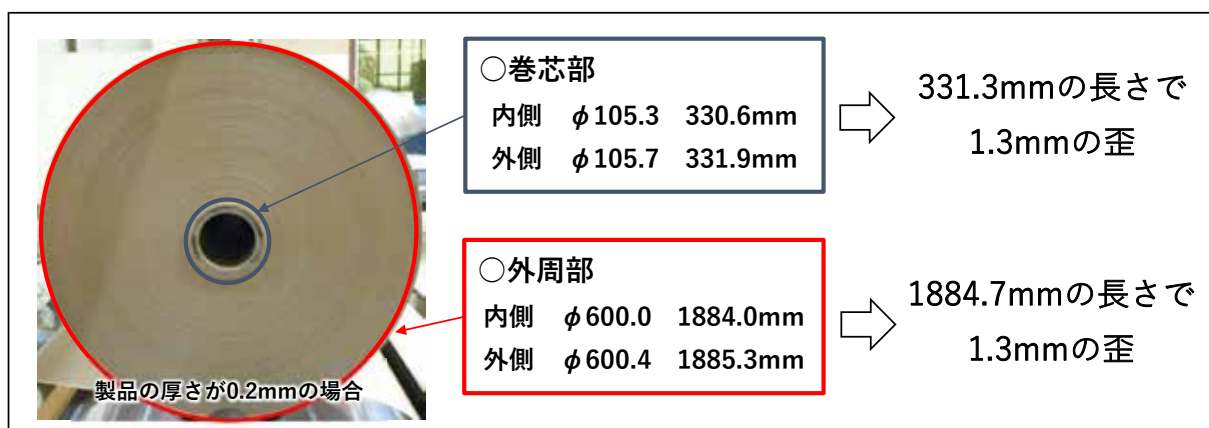


図22 巻きグセカール発生イメージ

り状態にあることによって発生する。図22は厚さが0.2mmのとある加工紙の巻取りで紙管に巻かれているようすである。巻取り1周の長さは巻取りの直径に円周率(3.14)を乗じて求められるが、巻芯部と最外周部とで、さらには1枚の表裏(巻面の内外)で比較すると図22に示したように長さが異なる。すなわち巻芯部の直径が105.3mmだとすると、巻芯部1周の長さは内側が330.6mmであるのに対し、外側は331.9mmとなり、表裏で1.3mmの差がある。この1.3mmの歪は内側では圧縮、外側では伸張の負荷によって生じており、とくに外側では繊維が伸びきってしまい本来の縮む力は小さくなり、負荷を開放してももとの長さには戻ることができない。そのためカールはなかなか直らない。それに対して最外周(直径600mmとする)であれば、表裏差は巻芯部と同じ1.3mmであるのに対して、1周の長さは巻芯部の5～6倍の1884.0mmとなる。この1周の長さは巻芯部と比較して遥かに長いので負荷が小さくなり、内側と外側の差も解消されて平らになる。

厚手の紙ほど表裏差は大きくなるから巻きグセによるカールは顕著となり、注意が必要である。

(4) 複合カール

現実のカールはさまざまな要素が複雑に絡んで発生している。その事例を紹介する。図23は防錆紙にPEクロス材を貼り合わせた製品(300mm×300mm)の写真である。一見カールしていないように見えている(a)が、150mm×150mmのクロスカットを入れると流れ方向クロス面凹カールが見られ(b)、紙を裏返すと幅方向防錆面凹カール(c)が見られた。このようにカールの成分が複合されていることがわかる。さらにこの製品が高湿度下に置かれて吸湿すると力関係に変化が生じ、状況は変化する(d)。防錆面の吸湿により防錆面が幅方向に膨張し、クロス面凹カールする力が働く。それまで幅方向防錆面凹カールによって抑えられていた流れ方向クロス面凹カールの成分が解放され、凹カールが発生する。さらにクロス面の流れ方向と幅方向の凹カール成分が合わさることで、新たに斜めのカールを生じる。

なお、このようにカール成分を調査するには製品にクロスカットを入れるとよい。

3-8 加工紙のカール対策

紙のカールはクロス材などの貼合がなくても発生する。紙に防錆加工する場合である。片面塗布にて防錆紙を製造するとき、塗布後の乾燥工程において塗布面はその反対面よりも収縮量が大きくなり、塗布面幅方向凹カールが発生してしまう。これを防止するには、塗布面とは逆面にも同様の収縮量を与えれば良い。たとえば水などを塗布または吹き付けて乾燥させ



図23 複合カールのようす

ればカール対策となる。また、片面塗布による防錆加工でも直ちに反対面まで防錆液が含浸するような塗料設計やサイズ剤を使わないクラフト紙を使用しても良い。

一方、片面塗布による防錆加工の後にフィルムやクロス材などを貼合するときには、貼り合わせ時にフィルムやクロス材面に凹カールしやすいため、防錆加工時に意図的に凹カールするように製造すると対策となる。

このようにメーカーは創意工夫してカール対策を行っている。紹介してきたようにカールにはさまざまな要因が組み合わさっているが、そのバランスを崩すきっかけとなっているのが環境湿度の変化であることが多い。p.2の図1に示したように紙の繊維には水酸基がたくさんついており常に吸湿と乾燥を繰り返す。つまり紙は呼吸をしており、まさに「紙は生き物」なのである。

3-9 廃止 JIS に見られる有用な品質評価方法

防湿包装紙には防湿性や強度以外の品質が求められることがある。2013年に廃止になった耐油性バリア材の旧規格²⁰⁾ — この規格では「バリア」でなく「バリヤー」と称している—の中に定められていた試験方法で参考になるものを以下に示す。詳しくは旧規格を見て欲しい。

(1) 防水性の試験方法²¹⁾

規定の大きさのカップに染料と界面活性剤の水溶液を25cm³入れ、その上部に直径100mmで質量2.5kgの重りで十字に折り目をつけた防湿包装紙を重ね、さらに白色濾紙を重ねてふたをして水漏れを防止する。これを上下逆さにして24時間保持した後、水溶液が防湿包装紙を通過したかどうか、目視によって濾紙に表れる汚点の有無を調べる。3-2のポリラミ紙の防水性の結果（p.21の表16）はこの試験法に準じて実施したものである。

(2) 耐油性の試験方法²²⁾

直径100mmで質量2.5kgの重りで十字に折り目をつけた防湿包装紙を白色濾紙に重ね、折り目の上に砂を置いて、そこに着色した油を1.5cm³滴下する。24時間後に油が透過したかどうか、下敷きの濾紙に表れる汚点の有無を目視で判定する。油の着色は赤色染料によって行い、脱水したテレピン油（100cm³）にリチウムグリース（25g）を溶解したものを油として使う。

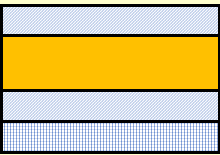
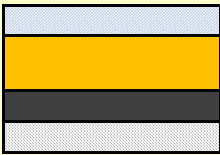
(3) はねかえり性²³⁾

折り目に直径45mmで質量0.5kgの重りを30秒間乗せて防湿包装紙を二つ折りにし、重りをとり去ったときに、はね返った角度を測定する。

3-10 両面に樹脂加工された加工紙の注意点

クラフト紙の両面にバリア材を貼り合わせた防湿包装紙が、塗油された鉄鋼コイルの包装に使用されることがある。この包装紙の性能を試験したときに起きた現象について筆者（清水）の経験した試験結果²⁴⁾を紹介する。表19に示したように、

表19 素材による吸油性の違いと防錆性能への影響

		防湿包装紙①	防湿包装紙②
鋼板への 接触面	PEラミ	顕著な錆	やや激しい錆
	PEクロス	明らかな錆	—
	OPPフィルム	—	明らかな錆
防湿包装紙の構成		 PEラミ クラフト紙 PE PEクロス	 PEラミ クラフト紙 APP OPPフィルム

注 APPはアタクチックポリプロピレンの略で接着剤として使用
鋼板の前処理：#240研磨仕上のSPCCに少量の防錆油を塗布
試験方法：腐食促進試験3日間

塗油鋼板を防湿包装紙で包装したとき鋼板に接触したバリア材の種類によって鋼板に発生する錆の程度が異なった。鋼板に接触させたバリア材が異なっても防湿包装紙の防湿性は変わらないから、錆の程度が異なった原因が防湿性であるはずはない。違いが見られたのはバリア材そのものがもっている性質の違いを反映した結果と考えるのが自然である。鋼板に塗布された油は、接しているバリア材に一部吸収されて油膜切れが発生する可能性がある。発錆の程度に差を生じたのは、鋼板に接触したバリア材の種類によって防錆油の吸収されやすさが異なったためと判断した。防湿包装紙をどのような構成とするか、どんなバリア材を貼り合わせるか、包装材料の設計には注意が必要である。

おわりに

防錆包装の分野で使われる加工紙について解説した。なかでも「防湿包装紙」と総称される製品は、1枚の紙だけでは得られない強度と、防湿性・耐油性を兼ね備えた包装材料であり、塗油された鋼板など重量物の包装に使われることで発展してきた経緯がある。現在、防錆包装の分野では防錆フィルムが多用されているが、強度が見劣りするものは避けられない。強度の向上のためには、防錆フィルムでも3-3で説明した複合化の手法は役に立つであろう。

また防錆紙は防錆剤という化学物質の作用によって金属の腐食を抑制する機能をもつ加工紙である。清浄にした金属表面に作用してナノレベルで機能を発揮する。ごくわずかな量の化学物質しか必要としないから自然環境にも優しい材料と言える。

なお防錆包装の仕事は金属と空気の界面、すなわちコロイドの大きさの世界に起こる腐食という現象を対象としているから、界面化学の基礎的な知識を備えておくことをお勧めしたい。参考文献2はその一助になるであろう。また、紙そのものについてもっと知りたいときは、参考文献1に示した「紙のなんでも小事典」が手頃である。

最後に一部の図の作成にお手伝いいただいた日本化工機材の杉山氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 紙の博物館編「紙のなんでも小事典」, 講談社 (2007)
- 2) 福田清成「界面化学事始めー楽しい界面化学の実験と歴史秘話ー (電子版)」, <https://fukuseikai.net/>「界面化学事始め」の紹介サイトからダウンロード (2018)
- 3) 中嶋隆吉「紙への道」, <https://dtp-bbs.com/road-to-the-paper/> (2013)
- 4) 日本規格協会: JIS P 3401-2007「クラフト紙」, 日本規格協会 (2007)
- 5) 日本規格協会: JIS Z 1535:2014「鉄鋼用防せい(錆)紙」, 日本規格協会 (2014)
- 6) 日本規格協会: JIS Z 0321-1997「銅及び銅合金用気化性腐食抑制紙」, 日本規格協会 (1997)
- 7) 日本規格協会: JIS Z 0303:2009「さび止め包装方法通則」, 日本規格協会 (2009)

引用文献

- 1) 紙の博物館編「紙のなんでも小事典」図8-2, p.207, 講談社 (2007)
- 2) 紙の博物館編「紙のなんでも小事典」表8-2, p.210, 講談社 (2007)
- 3) 清水良直: 加工紙 (その2) 表6, 防錆管理, vol.63 [1], p.37 (2019)
- 4) 日本規格協会: JIS P 3401-2007「クラフト紙」表2~表6, p.3~4, 日本規格協会 (2007)
- 5) A.Wacher, T.Skei and N.Stillman: Dicyclohexylammonium Nitrite a Volatile Inhibitor for Corrosion Preventive Packaging, *Corrosion*, vol.7 [9], p.284 (1951)
- 6) P.Jimenez, M.V.Roux and C.Turrion: Thermochemical properties of *N*-heterocyclic compounds II. Enthalpies of combustion, vapour pressures, enthalpies of sublimation, and enthalpies of formation of 1,2,4-triazole and benzotriazole, *J.Chem.Thermodynamics*, vol.21, p.759~764 (1989)
- 7) 日本化学会編「化学便覧基礎編改訂3版」表8・14, 丸善, p. II -117 (1984)
- 8) 日本化学会編「化学便覧基礎編改訂3版」表8・16, 丸善, p. II -121 (1984)
- 9) 日本化学会編「化学便覧基礎編改訂3版」表8・16, 丸善, p. II -125 (1984)
- 10) 日本化学会編「化学便覧基礎編改訂3版」表8・15, 丸善, p. II -118 (1984)

- 11) 清水良直：さび止め包装方法通則の JIS 改正について，防錆管理，vol.53 [7]，p.268～273 (2009)
- 12) 清水良直：気化性防錆紙からの距離と防錆性能に関する指針の見直し，防錆管理，vol.62 [3]，p.95～103 (2018)
- 13) 清水良直：DICHAN 系気化性防錆紙からの距離と気化性防錆性能に関する指針の見直し，防錆管理，vol.62 [12]，p.443～449 (2018)
- 14) 近藤裕樹，会田敬三，松本加央里：防錆剤の距離による防錆効果と成分濃度の実際，防錆管理，vol.66 [8]，p.270～275 (2022)
- 15) 日本規格協会：JIS Z 0303：2009「さび止め包装方法通則」3.8防湿性，p.2，日本規格協会 (2009)
- 16) 日本規格協会：JIS Z 1520-1990「はり合わせアルミニウムはく」表 1，p.1，日本規格協会 (1990)
- 17) 日本規格協会：JIS Z 1514-1994「ポリエチレン加工紙」表 3，p.2，日本規格協会 (1994)
- 18) 日本規格協会：JIS Z 1712：2009「包装用延伸ポリプロピレンフィルム」表 4，p.3，日本規格協会 (2009)
- 19) 清水良直：防錆包装再考－気化性防錆材料の賢い使い方－ (5) 図21，コンバーテック vol.32 [8]，p.52 (2004)
- 20) 日本規格協会：JIS Z 1705-1976「さび止め用耐油性バリアー材」，日本規格協会 (1976)
- 21) 日本規格協会：JIS Z 1705-1976「さび止め用耐油性バリアー材」p.4，日本規格協会 (1976)
- 22) 日本規格協会：JIS Z 1705-1976「さび止め用耐油性バリアー材」p.3，日本規格協会 (1976)
- 23) 日本規格協会：JIS Z 1705-1976「さび止め用耐油性バリアー材」p.5，日本規格協会 (1976)
- 24) 清水良直，山田英智：鋼板梱包紙の防錆性能比較試験結果，防錆管理，39 [6]，p.196～199 (1995)