

不織布製マスクの素材特性に関する検討

A Study of Material Properties of Masks made of Non-woven Fabric

杉 村 桃 子

Momoko SUGIMURA

1. 諸言

マスクの主な役割は、①のどと鼻腔の保湿により、ウイルスの好む低湿の環境を防ぐこと、②くしゃみや咳によるウイルスの飛び散りを防ぐこと、③冷たい外気の刺激をやわらげること等があげられる。

マスクは用途別に、医療用、家庭用、産業用に分類される。家庭用マスクには、ガーゼマスクと不織布マスクがあり、不織布マスクはさらにプリーツ型と立体型に分類される。新型インフルエンザ発生時の対応としてマスクの着用が推奨され、国内のマスクの生産量・在庫数量ともに増加してきている。多種多様なマスクが販売されるようになり、消費者が状況に応じて、かつ、自分の顔に合ったマスクを選ぶことが難しい状況となっている。

①や②にあげたような役割によりウイルスの感染予防を期待でき、着用が推奨されているマスクであるが、着用際に「息苦しい」、「蒸れる」などの理由により不快と感じ、着用を敬遠する人も多い。

産業用・医療用などのマスクが防塵性・細菌ろ過性などが求められ、米国などではそれぞれに基準が設けられているのに対し、家庭用マスクには基準といったものは特に設けられていない。家庭用マスクに求められることは、快適に長時間着用し続けられることであり、マスク着用時の快適性を向上させるため、様々な研究・開発が行われている。

マスクの材料特性に関する研究として、菅井・佐藤らは、市販の7種類のマスクの通気性、透湿性を測定し、比較用織布とマスクの性能評価が比較検討している。その結果、厚みのあるマスクほど通気性

が低い傾向を示し、また、透湿性は通気性と似た結果を示したが、吸湿性のある綿製品において違いがあるということを報告している¹⁾。

マスクのフィット感評価に関する研究では、森島は、フィット性能に関するサイズ展開の有用性について検討し、若年女性にとって、Lサイズのマスクは他サイズのものに比べてフィット性能が低いことを明らかにしている²⁾。

また、森島は、花粉症用の平面型ガーゼマスク、立体型ガーゼマスク、プリーツ型不織布マスク、成型不織布マスクを試料とした場合のフィット性能について検討し、素材とデザインが異なるマスクを着用した場合には、異なるフィット性能を示すことを明らかにしている。また、花粉症用マスクに求められるアレルゲン遮断を考慮した場合には、望ましい素材と形状を有するものは不織布マスクであることを明らかにし、プリーツ数とプリーツの形状の変更によるフィット性の向上を提案している³⁾。

また、マスクの温湿度感に関する研究では、森島・上條らは、素材と形状の異なるマスク内の湿度について、装着後約6分程度で平衡状態に近づくことを報告している⁴⁾。

さらに、マスクの熱特性に関する研究では、森島・上條らは、平面型ガーゼマスク、立体型ガーゼマスク、プリーツ型不織布マスク、立体型不織布マスクの被覆内環境と装着感を調べ、平面型ガーゼマスクは他の試料と比べて、より息苦しく、嗜好性が低いと評価される傾向があることを報告している⁵⁾。

マスクの材料特性や熱特性、フィット感等について検討されているが、市販のマスクについて幅広くその物理特性や着用感についての検討はあまり行われていない。

そこで、本研究では、市販されている素材や形態が異なるマスクを幅広く収集し、その物理特性を測定することにより、マスクの着用感を評価する試料を選出し、その着用感を調べ、マスクの物理特性値とマスクの着用感に関する主観評価値との関係から、消費者が快適なマスクを選択する時の一つの指標を提案することを目的とした。

2. 方法

2.1 試料

市販のかげ・花粉用マスク20種類（プリーツ型不織布マスク：13種類（1種類が2層構造、8種類が3層構造、3種類が4層構造）、立体型不織布マスク：2種類、平面型ガーゼマスク：5種類）を用いた。また、比較用織布8種類（アクリル、ナイロン、ポリエステル、羊毛、レーヨン、綿、ポリプロピレン、キュブラ）を用いた。試料の詳細を表1に示した。

2.2 物理特性の測定

通気度の測定には、通気性試験機 FX3300-3（テ

クステスト社製）を用いた。たて10×よこ10cm四方の試料を用い、1層ずつと重ねた時の各試料について1回ずつ通気度 F ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$) を測定した。

吸水性の測定には、バイレック法を用いた。通常の水では吸水が起こらなかったため、界面活性剤を用いて吸水性を観察した。ドデシル硫酸ナトリウム（東京化成工業製 特級）10gに脱イオン水を加えて調整した0.2%ドデシル硫酸ナトリウム水溶液に、染料としてダイレクトスカイブルー（日本化薬製）を加えた。縦20×横2.5cmの各試料を5枚ずつ用意し、試料ごとに縦方向について5回測定した。10分間吸水させた時の吸水長さを記録し、1分間の吸水速度 I_m (mm/min) を算出した。

吸湿性の実験は、日本工業規格（JIS）で定められている水分率測定法に従い、各試料の水分率 R (%) を測定した。標準状態と絶乾状態での重さを電子天秤 AB204-S（METTLER TOREDO製）により測定し、以下の式で算出した。

$$\text{水分率 } R (\%) = \frac{(W - W')}{W'} \times 100$$

W : 標準状態の試料重量 (g)

W' : 絶乾状態の試料重量 (g)

表1 試料表

	層	試料番号	重さ (g/cm^2)	厚さ (mm)	素 材
プリーツ不織布	2	①	1.89	0.14	ポリプロピレン, ポリエステル, レーヨン
	3	②	2.74	0.19	ポリプロピレン
		③	2.66	0.17	ポリプロピレン
		④	2.72	0.18	ポリプロピレン
		⑤	2.59	0.17	ポリプロピレン
		⑥	3.05	0.22	ポリプロピレン
		⑦	3.2	0.20	ポリプロピレン
		⑧	2.93	0.19	ポリプロピレン, ポリエチレン
		⑨	2.71	0.18	ポリプロピレン, ポリエチレン
		⑩	3.12	0.19	ポリプロピレン, ポリエチレン
	4	⑪	3.68	0.24	ポリプロピレン, アクリレート系繊維
		⑫	3.34	0.24	ポリプロピレン, ナイロン
		⑬	4.21	0.35	ポリプロピレン, ポリエステル, レーヨン
立体	1	⑭	2.55	0.40	ポリオレフィン, ポリエステル
	3	⑮	2.74	0.27	ポリプロピレン
ガーゼ	12	⑯	4.33	1.11	綿
	16	⑰	8.33	1.30	綿
	16	⑱	5.18	1.35	綿
	18	⑲	8.78	1.49	綿
	18	⑳	8.43	1.35	綿

縦20×横20cm四方の試料を24時間放置した時の重量を標準状態の試料重量とした。また、各試料を103℃に設定した乾燥機FORCED CONVECTION OVEN (TOYO SEISAKUSYO製)で乾燥させ、1時間ごとの重量を測定し、重量が変化しなくなった時の重量を絶乾状態の試料重量とした。測定は各試料につき1回ずつ行った。

曲げ特性の測定には、KES-FB2 純曲げ試験機(カトーテック社製)を用いた。試料の大きさは縦5×横5cm四方の試料とし、各層及び重ねた時の縦方向と横方向の曲げ剛性B ($\text{gf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$)及び曲げヒステリシス2HB ($\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}$)を計測し、縦方向と横方向の平均値を曲げ特性値とした。

厚さ及び圧縮特性の測定にはKES-G5 圧縮試験機(カトーテック社製)を用いた。圧縮特性(圧縮特性の圧縮仕事量WC ($\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$), 圧縮特性の直線性LC (-), 圧縮レジリエンスRC (%)), 厚さT (mm)を求めた。

重さの測定には、電子天秤AB204-S (METTLER TOREDO製)を用い、各試料の単位面積当たりの重さW (g/cm^2)を測定した。

測定は、恒湿恒温室内で温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 3\%$ の環境条件下において行った。

3. 結果

3.1 通気性

マスクの使用時を考慮して、重ねた状態での通気度Fの結果を図1に示す。

図1から、通気度が最も高かったのは、プリーツ型不織布マスク(2層構造)の試料①であり、通気度が最も低かったのはプリーツ型不織布マスク(3層構造)の試料②であった。マスクの種類及び構造が異なるが、プリーツ型不織布マスク(3層構造)の試料⑤と平面型ガーゼマスク(16層構造)の⑬は

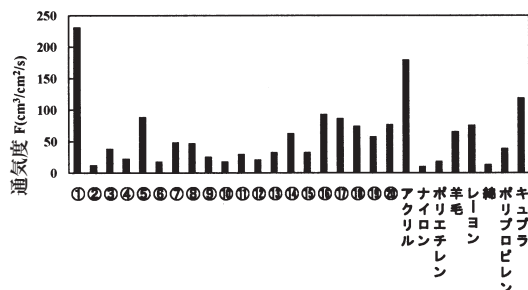


図1 通気度の比較

同程度の通気性であった。

不織布マスクについて、同じ層数のマスクの各層の通気度をみると、2層構造マスクはフィルター部分がなく、1層目も2層目も高い通気性であった。3層構造マスクは、4層目がフィルターになっており、最も通気性が低かった。また、4層マスクは内側から2層目がフィルターになっているもの(試料⑫)と、3層目の層がフィルターになっているもの(試料⑪、⑬)とがあった。

3.2 吸水性

各マスク試料の吸水速度Imの結果を図2に示す。

図2から、各試料は比較用布よりも吸水速度がかなり遅かった。吸水速度が遅かった比較用布中で、最も吸水速度が遅かったポリプロピレン織布と、最も吸水速度が速かったプリーツ型不織布マスク(3層構造)の試料⑥が同程度の吸水速度であった。

不織布マスクで最も吸水速度が速かったのは、プリーツ型不織布マスク(3層構造)の試料⑥で、次いで、同様の構造である試料⑩であった。それに対して、吸水速度が最も遅かったのは、プリーツ型不織布マスク(2層構造)の試料①であった。ガーゼマスクで最も吸水速度が速かったのは、平面型ガーゼマスク(12層構造)の試料⑮であり、最も遅かったのは、平面型ガーゼマスク(18層構造)の試料⑲であった。

吸水性は、素材の親水性・疎水性等の影響も受けるが、主に毛細管現象によるため、布に小気孔が多いほど、吸水性は高くなり、大気孔があるほど高くなる通気性とは逆となる傾向がみられた。

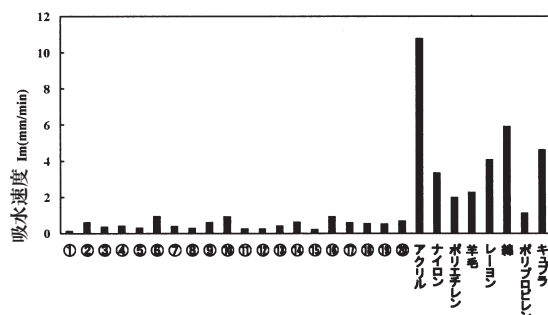


図2 吸水速度の比較

3.3 吸湿性

各マスク試料の水分率（R）の結果を図3に示す。

図3から、マスク別に比較すると、水分率の高い綿を材料とした平面型ガーゼマスクは、水分率の低いポリプロピレンを主とした不織布マスクよりも、水分率が全体的に高いことが確認された。

不織布マスクで最も水分率が高かったのは、プリーツ型不織布マスク（3層構造）の試料⑧で、次いで、同様の構造である試料④であった。それに対して、最も水分率が低かったのは、プリーツ型不織布マスク（2層構造）の試料①であった。

試料の素材についてみると、ポリプロピレン・ナイロン混紡のプリーツ型不織布マスク（4層構造）の試料⑫は、比較用布のナイロンよりも水分率が低いため、ポリプロピレンの比率が高いのではないかと考えられた。また、ガーゼマスクと比較用綿織布の水分率は、約6～7%で、綿の水分率を反映した値となっていた。

マスク別に比較すると、水分率の高い綿を材料としたガーゼマスクは、水分率の低いポリプロピレンを主体とした不織布マスクよりも、水分率が全体的に高いことがわかった。ガーゼマスクの方が水分率が高いのは、吸湿に関与する官能基があるだけでなく、層数が多いことから、マスクの構造（層数）にも影響を受けていることが示唆された。

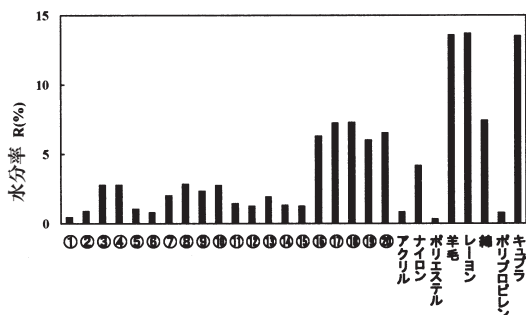


図3 水分率の比較

3.4 曲げ特性

マスクの使用時を考慮して、重ねた状態での曲げ剛性 B 及び曲げヒステリシス 2HB の結果を、それぞれ図4及び図5に示す。平面型ガーゼマスクは、12～18層構造で測定不能であったため、結果を省略した。

図4から、不織布マスクの重ねた時の曲げ剛性を比較すると、最も曲げかたかったのは、立体型不織布マスク（3層構造）の試料⑮で、次いで、プリー

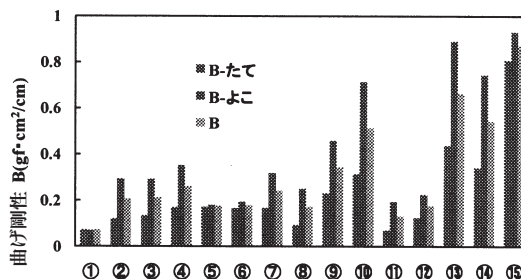


図4 曲げ剛性の比較

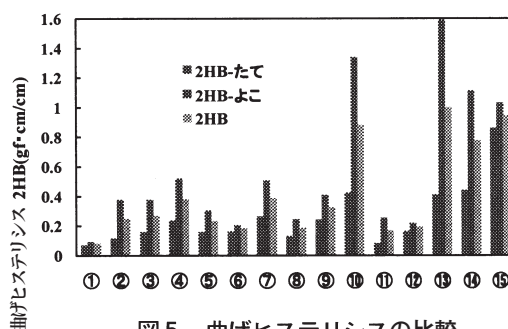


図5 曲げヒステリシスの比較

ツ型不織布マスク（4層構造）の試料⑬であった。最も曲げやわらかかったのは、プリーツ型不織布マスク（2層構造）の試料①であった。

図5から、重ねた時の曲げヒステリシスを比較すると、最も曲げ変形からの回復エネルギーが大きかったのは、プリーツ型不織布マスク（4層構造）の試料⑬で、次いで、立体型不織布マスク（3層構造）の試料⑮であった。最も曲げ変形からの回復エネルギーが小さかったのは、プリーツ型不織布マスク（2層構造）の試料①であった。

プリーツ型不織布マスクの試料⑪、⑫のように4層構造でも曲げやわらかかったものや、プリーツ型不織布マスクの試料⑩のように3層構造でも曲げかたかったものがあり、層数が多いほど曲げかたくなるわけではなく、各層に曲げかたい層があるかどうかによって使用時の曲げ剛性が左右されていた。

3.5 圧縮特性

各マスク試料の圧縮特性の直線性（LC）、圧縮仕事量（WC）、圧縮レジリエンス（RC）の結果を、それぞれ図6～8に示す。

図6から、圧縮特性の直線性が最も大きく、圧縮かたかったのは、平面型ガーゼマスク（18層構造）

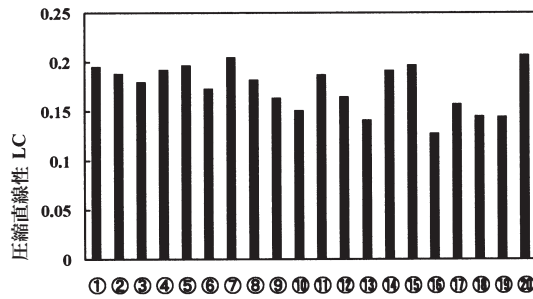


図6 圧縮特性の直線性の比較

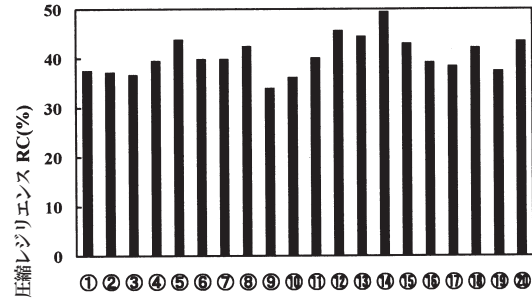


図8 圧縮レジリエンスの比較

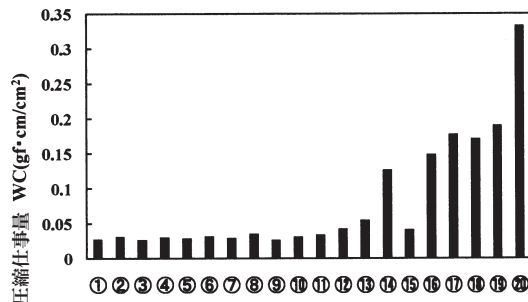


図7 圧縮仕事量の比較

の試料⑳, 次いで, プリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料⑦であった。圧縮特性の直線性が最も小さく, 圧縮やわらかかったのは, 平面型ガーゼマスク (12層構造) の試料⑯, 次いで, プリーツ型不織布マスク (4層構造) の試料⑬であった。

図7から, 最も圧縮仕事量が大きかったのは, 平面型ガーゼマスク (18層構造) の試料⑳であった。

平面型ガーゼマスクは, 不織布マスクよりも, 圧縮仕事量が大きく, 圧縮かたいことがわかった。一方, 不織布マスクで最も圧縮仕事量が大きかったのは, 立体型不織布マスク (1層構造) の試料⑭であった。最も圧縮仕事量が小さかったのは, プリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料③と試料⑨であった。

図8から, 圧縮レジリエンスが最も大きく, 圧縮変形からの回復エネルギーが大きかったのは, 立体型不織布マスク (1層構造) の試料⑭であった。それに対して, 圧縮レジリエンスが最も小さく, 圧縮変形からの回復エネルギーが小さかったのは, プリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料⑨であった。

4. 考察

市販のかぜ・花粉用マスクの素材特性値間の関係を調べるために, マスクの物理特性値をパラメーターとして相関分析を行った。その結果を表2に示す。

表2から, 通気度Fは, 重さWと有意水準5%

表2 マスクの物理特性の相関関係

	F	Im	R	B	2HB	W	T	WC	LC	RC
F	1.000	-0.448	-0.434	-0.289	-0.276	-0.587*	-0.243	-0.010	0.369	-0.012
Im		1.000	0.118	0.140	0.239	0.096	0.108	0.141	-0.425	-0.238
R			1.000	0.130	0.216	0.217	-0.133	-0.151	-0.310	-0.271
B				1.000	0.952**	0.242	0.655**	0.428	-0.270	0.306
2HB					1.000	0.334	0.675**	0.469	-0.366	0.309
W						1.000	0.438	0.023	-0.579*	0.229
T							1.000	0.863**	-0.237	0.747**
WC								1.000	0.006	0.735**
LC									1.000	0.097
RC										1.000

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

で負の高い相関があった ($r=-0.587$)。マスクが軽いほど、通気度が大きいことがわかった。

曲げ特性では、曲げ剛性 B は、曲げヒステリシス $2HB$ ($r=0.952$) と厚さ T ($r=0.655$) と有意水準 1% で正の極めて高い相関があった。曲げかたいマスクは、曲げ変形からの回復エネルギーが大きく、厚いことがわかった。曲げヒステリシス $2HB$ は、厚さ T と有意水準 1% で正の相関があった ($r=0.675$)。

圧縮特性では、圧縮仕事量 WC は、圧縮レジリエンス RC ($r=0.735$) と厚さ T ($r=0.863$) と有意水準 1% で正の極めて高い相関があった。圧縮変形での仕事量が多いマスクは、圧縮変形からの回復エネルギーが大きく、厚いことがわかった。圧縮特性の直線性 LC は、重さ W と有意水準 5% で負の高い相関があった ($r=-0.579$)。

マスクの水分移動特性を表す吸水速度や水分率は、本研究で測定したマスクの物理特性値とはあまり相関がみられなかった。

5. 結論

本研究では、市販のかぜ・花粉用マスク20種類 (ブリーツ型不織布マスク、立体型不織布マスク平面型ガーゼマスク) を試料とし、これらの物理特性を測定し、以下のような結果が得られた。

通気性では、通気度が最も高かったのは、ブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①、最も低かったのはブリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料②であった。

吸水性では、吸水速度が最も速かったのは、ブリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料⑥、最も遅かったのはブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①であった。

吸湿性では、水分率が最も高かったのは、平面型ガーゼマスク (16層構造) の試料⑧、最も低かったのはブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①であった。

曲げ特性では、重ねた時に最も曲げかたかったのは、立体型不織布マスク (3層構造) の試料⑬、最も曲げやわらかかったのはブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①であった。また、曲げ変形からの回復エネルギーが最も大きかったのはブリーツ型不織布マスク (4層構造) の試料⑬、最も小さかったのはブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①であった。

圧縮特性では、圧縮仕事量が最も大きかったのは、平面型ガーゼマスク (18層構造) の試料⑳、最も小さかったのはブリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料③と⑨であった。また、最も圧縮かたかったのは、ブリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料⑦、最も圧縮やわらかかったのは平面型ガーゼマスク (18層構造) の試料㉑であった。さらに、最も圧縮変形からの回復エネルギーが大きかったのは、立体型不織布マスク (1層構造) の試料⑭、最も小さかったのはブリーツ型不織布マスク (3層構造) の試料⑨であった。

厚さおよび重さでは、平面型ガーゼマスク (18層構造) の試料⑨が最も大きく、ブリーツ型不織布マスク (2層構造) の試料①は最も小さかった。

今後は、選定した試料を用いて、マスクの着用感評価試験を行い、マスクの着け心地を調べる。また、着用感評価値と材料の物理特性値、マスク内環境との関係についても検討する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力いただいた、新潟大学教育人間科学部の中村綾美さんに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 菅井清美・佐藤麻衣; 「不織布マスクの材料特性に関する研究」, 日本繊維製品消費科学会2010年年次大会・研究発表要旨, p.141
- 2) 森島美佳; 「花粉症用平面型ガーゼマスクのフィット性能に関する一考察」, 日本感性工学会研究論文誌, Vol.7, No.3, p.537-543 (2008)
- 3) 森島美佳; 「素材と形状が異なる花粉症用マスクのフィット性能」, 日本感性工学会論文誌, Vol.8, No4, p.1011-1020 (2009)
- 4) 森島美佳・上條正義; 「花粉症用マスクの装着感と熱特性に関する検討」, 日本繊維学会発表要旨集, Vol.62, No.1, p.224 (2007)
- 5) 森島美佳・上條正義; 「花粉症用マスクの装着による被覆内環境の時間的依存性と装着感評価に関する検討」, 日本繊維機械学会年次大会研究発表論文集・講演要旨集, Vol.62, No.3, p.74 (2007)