

ウイルス対策のマスクの機能性について

吉田 翔・小畑 颯矢・小林 日菜向・山田 怜央・藤原 実咲
(兵庫県立西脇高等学校 地学部 繊維班)

要旨

本研究は、どのようなマスクが飛沫を防ぐのに効果的かを調べることを目的とした。2019年12月頃に確認された新型コロナウイルスは、飛沫感染をし、飛沫の大きさは $5\mu\text{m}$ 以上と言われている¹⁾。そのため、 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子を含む抹茶の粉末を「模擬的な飛沫」とし、通気性試験機 (KES-F8-AP1) を使用して各マスクを調べた。息のしやすさの体感を数値化するために、市販のティッシュペーパーを複数枚重ねたものを通気性の基準とした。

3種類の紙マスクと3種類の布マスク、計6種類のマスクを比べてみると、相対的に紙マスクは通気性はよくないが飛沫を通しにくく、布マスクは通気性が良いが飛沫を通しやすいと言える。

序論

日本人はかねてより風邪や花粉症の予防などでよくマスクを使ってきた。新型コロナウイルスが2019年12月に確認されてからマスクは世界的に生活必需品となった。ウイルスの大きさは約 $0.1\mu\text{m}$ (数十～数百nm前後) であり、約 $0.1\mu\text{m}$ の粒子を防ぐことは不織布やガーゼなどでは困難であると予想できる。ただ、飛沫感染の原因となる粒子は $5\mu\text{m}$ 以上の大きさであるため、 $5\mu\text{m}$ の粒子の通過を防ぐことができれば感染防止に効果があると仮定した。

実験方法

実験を行うにあたり、紙マスク3種類、布マスク3種類の計6種類を用意した。図1～図6は各マスクの口元側から撮影した拡大率100倍の顕微鏡写真である。飛沫粒子の模擬粉末の候補として「抹茶、きな粉、昆布茶、小麦粉、片栗粉、粉末寒天」をあげ、JIS試験用網ふるいと電子顕微鏡で確認したところ、抹茶以外の粒子は約 $10.0\mu\text{m}$ 以上であったが、抹茶にのみ約 $5.0\mu\text{m}$ の粒子を多く確認することができた (図7)。そのため、模擬的な飛沫として抹茶の粉末を使用することにした。

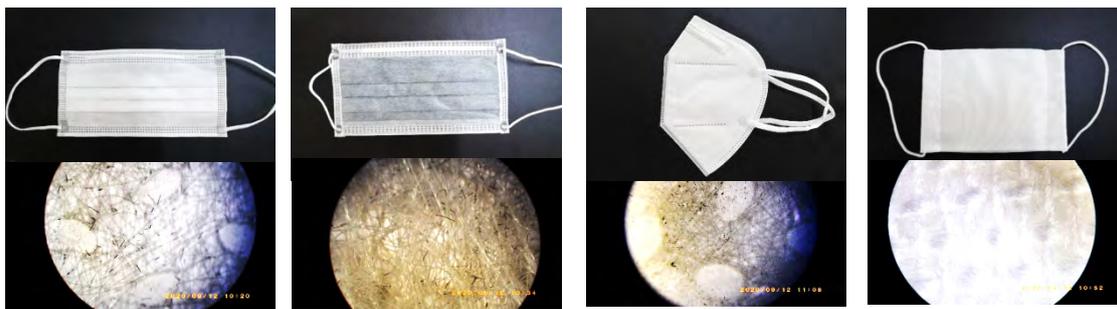


図1 紙マスク (i) 図2 紙マスク (ii) 図3 紙マスク (iii) 図4 布マスク (iv)

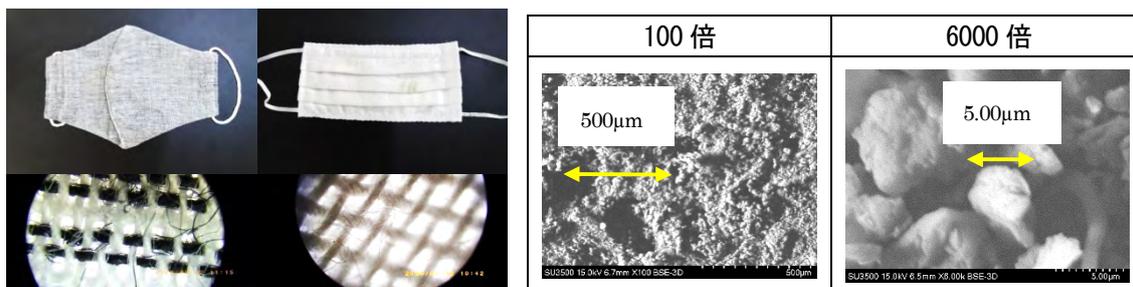


図5 布マスク (v) 図6 布マスク (vi) 図7 顕微鏡で見た抹茶の粉末

実験1：透過性の確認

- ① 光散乱粒度測定装置 (HORIBA LA-910) に200mLの蒸留水と抹茶の粉末を入れ、粒子径を測定する。この結果を「通過前」とする。
- ② 吸引ろ過装置 (図8) にマスクをセットし、エアープンプにつなげて上記の混合液を吸引ろ過する。
- ③ ろ過後の混合液を光散乱粒度測定装置で粒子径と頻度を測定する。この結果を「通過後」とする。(通過後では全粒子量が減少)



図8

結果

各マスク通過前後の抹茶粒子量の割合分布をグラフに示す。横軸は粒子径であり、区間に存在する粒子量の割合 (該当区間中の粒子量/全粒子量) を縦軸に表す。グラフは累積%ふるい下、点線は頻度15%を表している。

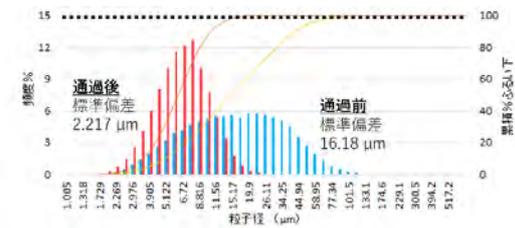


図9 紙マスク (i)

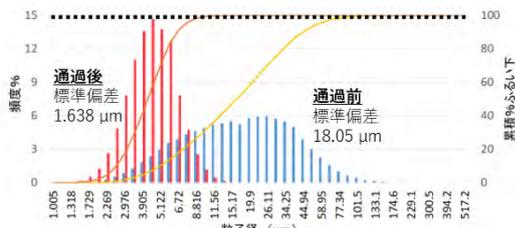


図10 紙マスク (ii)

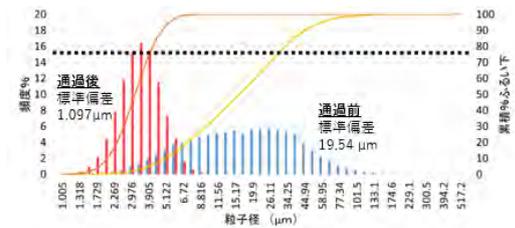


図11 紙マスク (iii)

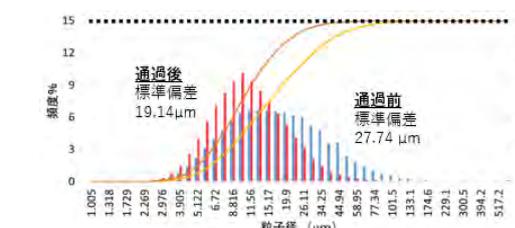


図12 布マスク (iv)

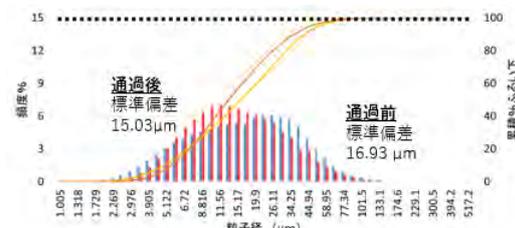


図13 布マスク (v)

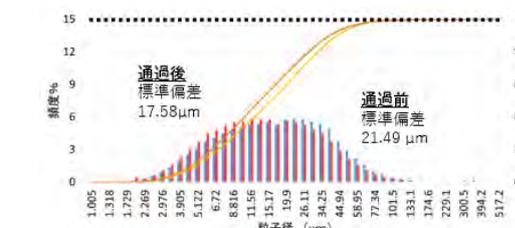


図14 布マスク (vi)

実験結果から、(i) は約20μm以上の大きさの粒子はほぼ通過できず、同様に (ii) では約15μm以上、(iii) では約10μm以上、(iv) では約80μm以上はほぼ通過できなかった (図9~12)。ただ (v) (vi) ではほぼ全ての粒子が通過した (図13、14)。

通気性試験について

気性試験機 (KES-F8-AP1) を用いて通気性を測定した。通気量は $4 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ で行った。通気量の算出方法を以下に記す。

本計測器内部のシリンダー内直径4cm
 シリンダー断面積: $2^2 \times \pi = 4\pi \text{ cm}^2$
 ピストンの運動スピードは2cm/s
 流量: $4\pi \text{ cm}^2 \times 2 \text{ cm/s} = 8\pi \text{ cm}^3/\text{s}$

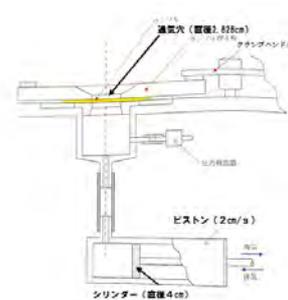


図15 通気性試験機

通気穴の直径は 2.828 cmより、通気穴面積 $1.414^2 \times \pi = 2 \pi \text{ cm}^2$

単位面積当たりの通気量 V は、流量/通気穴面積で算出されるため以下となる。

$$V = 8 \pi \text{ cm}^3/\text{s} \div 2 \pi \text{ cm}^2 = 4 \text{ cm}^3/\text{s} \cdot \text{cm}^2 = 4 \text{ cm}/\text{s} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}/\text{s}$$

通気前後の圧力差を ΔP (kPa) とし、通気抵抗 R は $\Delta P/V$ (kPa・s/m) つまり、電気抵抗と同じように圧力/通気量で表される。 V の値は一定であるため、圧力と通気抵抗が比例することにより圧力差から通気抵抗を算出できる。

実験2 通気性の良し悪しの基準

市販のティッシュペーパーを重ね合わせて実際に口元に当てて呼吸することで、体感としての呼吸のしやすさや息苦しさから通気性の基準になると考えて、西脇高校の生徒や教員に実際に試してみた結果、8層でやや息がしにくい、10層で息苦しい、が多数を占めたため、「10層を通気性が悪い」と仮定した。一般的な市販の2層で1枚となって取り出されるタイプのティッシュペーパーを3種類A~C用意し、1層から順に通気性試験を行った。2回行ったところで近い値となったため2回ずつで行い平均をとった。

実験結果から通気抵抗と層数はほぼ比例した。通気抵抗 $R > 1$ の時に「通気性が悪い」と仮定する。

	1層	2層	4層	8層	10層
A	0.0672	0.158	0.386	0.775	1.04
B	0.0648	0.157	0.360	0.799	1.04
C	0.574	0.187	0.377	0.844	1.01

実験3 マスクの通気性

通気性を調べるにあたり、マスクの中心と四隅の構造に違いはないことを確認した。1回目はマスクの中心、2回目~5回目はそれぞれの四隅を測定し平均値を算出した(図16)。図20は布マスク(iv)の両端を切断して、展開したものである。

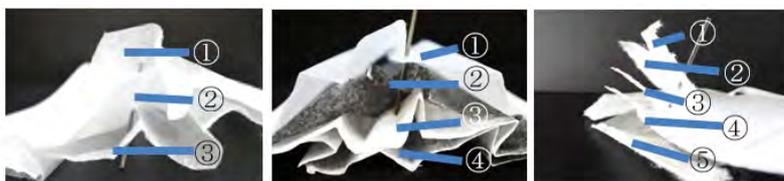


図17 (i) の構造

図18 (ii) の構造

図19 (iii) の構造

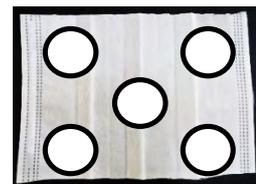


図16 測定箇所



図20 (iv) を展開

- (i) ①不織布、②メルトブローン不織布、③不織布 (図17)
- (ii) ①不織布、②活性炭シート入り不織布、③メルトブローン不織布、④不織布 (図18)
- (iii) ①不織布、②綿、③④ともメルトブローン不織布、⑤不織布 (図19)
- (iv) ガーゼを3つ折りにしたものが5つ重なっている15層構造 (図20)

※メルトブローン不織布かどうかは外観と手触りからで判断した。

結果

マスク	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
写真						
構造	3層	4層	5層	15層	—	—
中心	1.59	0.697	1.53	0.518	0.137	0.0899
四隅平均	1.57	0.922	1.60	0.591	0.108	0.0816

考察

今回の実験結果からは紙マスクと布マスクを比べると、紙マスクが飛沫を防ぐ可能性が高いことがわかった。また、布マスクの中にはほぼすべての粒子を通過させてしまっているものもあり、マスクとしての本来の機能を果たしているのか疑問が残った。

(i) (iii) の通気抵抗は「通気性が悪い」に該当する数値の約1.5倍、つまりティッシュペーパー約15層分であり、本来であれば息ができないほどであるが、実際の体感としてはそれほどの息苦しさは感じられない。可能性としては、ほぼすべての空気は顔とマスクの隙間から出入りしていること、もしくは、マスクと口元の隙間があることで息苦しさを軽減できていることがあり、新たな疑問となった。

紙マスクの透過性や通気性の違いは、メルトブローン不織布と活性炭シートが関係していると考えている。実験1より (iii) は、(i) (ii) に比べてより多くの5 μm 以上の粒子を防いでいることから、層の数ではなくメルトブローン不織布の枚数が粒子の透過性に関係している可能性がある。しかし、実験3から (i) (iii) の通気抵抗はあまり差がないことから、(i) と (iii) のメルトブローン不織布は品質が異なる、もしくは、1～2枚程度の違いでは通気抵抗は変化しない、と考えられる。また、(ii) は、(i) と比べて通気抵抗が低いことから、(i) と異なるメルトブローン不織布を使用している可能性がある。また、活性炭シートについても実験1の結果からだけでは考察が難しい。いずれも確かめるためには分解して1層ずつ、そして2枚重ねて実験する必要がある。

今後の課題

メルトブローン不織布について知ったのは論文投稿の2日前であった。今後はメルトブローン不織布の顕微鏡写真を撮影し、実験を行い詳細なデータを取りたい。またより多くのメーカーや構造のマスクを集め分解し、層ごとに透過性の確認や通気性を調べたい。

実験1の通過前の値が全てバラバラである。本来であれば通過前の値の標準偏差は一致すべきだが、最大10 μm 以上の差があり、正確なデータの取り方とはいえない。とはいえ、紙マスクにおいては通過前後で標準偏差が異なることから、紙マスクにおいては今回の実験手法も有効であろう。ただ今後は実験の際には混合前に念入りにすり潰し、均一に混合した液を使う。

謝辞

本研究をおこなうにあたって、兵庫県立工業技術センターの中野氏と新田氏には、測定機器の使用許可や助言をしていただいた。また、本校地学部顧問の松本誠司教諭、藤本陽子教諭、瀬川英樹教諭には、研究の進め方について多くの助言を得た。本研究は公益財団法人中谷医工計測技術振興財団から助成を得て行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 新型コロナウイルスに関する Q&A (一般の方向け) 厚生労働省 (最終閲覧日: 2020年9月18日)
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/
- 2) 谷口清州 気道症状を呈する感染症に対する対策と予防 (日耳鼻感染症エアロゾル会誌 (2020) 8 (1): 17)
- 3) 本川達雄ほか 生物基礎改訂版 株式会社新興出版社啓林館