

2022 年 01 月 15 日

リビンガード[®]技術の選択透過型マスクのモデル検証

第 1 報：初期性能評価その 1

株式会社 iPAST

東京都調布市仙川町 3-5-14-305

代表取締役 高見和之



1. 検証の目的

本検証は、通過・接触するウイルスを無害化することができると言われているリビンガード[®]技術を用いたマスクの通過するウイルス含有飛沫のウイルス除去性能を評価することを目的とする。

本検証を行うために、①くしゃみで発生したウイルス含有飛沫と類似した状態を作成する疑似くしゃみ発生装置の作成と、②ウイルス含有飛沫を含む空気を、サンプルを通過させ、のちに通過したウイルスを回収するウイルス実験手法の確立と、③補足したウイルスを定量分析する分析方法の確立を新たに構築する。

また得られた結果を解析し、生じている現象を補足するために必要な実験についても提案を行う。

2. 実験装置と実験条件

2-1：疑似くしゃみ発生装置の作成

くしゃみの1回の平均噴霧量は50mgとされている。その飛沫の平均サイズを $6\mu\text{m}$ と仮定すると、飛沫体積は $0.6\times 10^{-10}\text{mg}/\text{滴}$ となるので、1回のくしゃみで飛散する飛沫の数量は、 8×10^{11} 滴になる。

本装置で採用したエアミスティノズルでは、0.2MPaの圧力下で噴霧される液体の平均粒径は $10\mu\text{m}$ となるので、実際のくしゃみと同じ飛沫数： 8×10^{11} 滴を噴霧するためには、単純計算で250mg/回噴射すればよいことになる。

このくしゃみ発生装置で採用されているエアタンクのタンク容量は2Lで、0.4MPaまで空気を圧縮できる。エアミスティノズルの噴霧速度は、5ml/min (0.15MPa)、20ml/min (0.20MPa)、40ml/min (0.30MPa)であることも知られている(図1)。このことから単純計算すると、250mg ($\div 0.25\text{ml}$)を噴霧しようとした場合、0.15MPaであれば3sec、0.20MPaであれば0.75sec、0.30MPaであれば0.4sec噴霧すればいいことになる。

実際に検証した結果から導かれた、250mgを噴霧するための条件は、0.15MPaであれば2.2sec、0.20MPaであれば1.7sec、0.30MPaであれば1.3secであることが明らかになった。そこで本検討では、噴霧時間を2秒とすることとした。

飛沫に含まれるウイルス量を最大 10^8 個/mlであると仮定すると、1回のくしゃみで放出されるウイルス量は、 5×10^6 個にも相当する可能性がある。くしゃみによる飛沫の拡散距離が平均2mであるとすると、その飛沫範囲(半径2mの半球形で試算)は 10m^3 となる。この範囲に排出されたウイルスが均一に分散したとすれば、単純計算で、その濃度は 5×10^5 個/ m^3 と試算される。

本検証で準備した簡易グローブボックスの内体積は、 0.25m^3 である。この検証範囲内に、約250mgの液滴を噴霧して、ウイルス濃度= 5×10^5 個/ m^3 を再現するためには、噴霧する液体のウイルス濃度を 5×10^4 個/mlで準備すればいいことになる

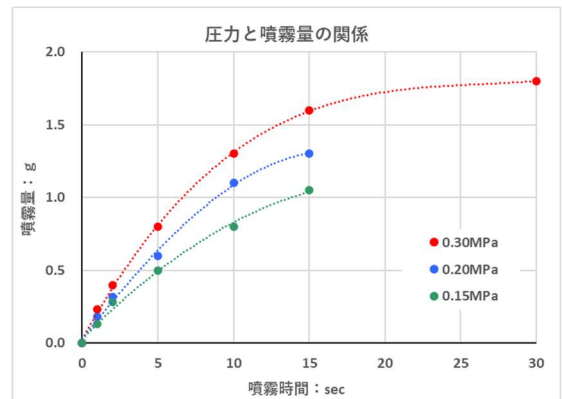


図1：くしゃみ発生装置の外観（上）と飛沫の噴霧量と圧力・噴霧時間の関係

※エアタンク容量は2Lのため、噴霧速度は時間とともに低下する

2-2：ウイルス回収実験手法の確立

直径 25 mm のサンプル（開口部直径 22 mm）とゼラチンフィルター（同寸）を、サンプルの表裏に気を付けながらフィルターホルダーに収納し、25ml ディスポシリンジに取り付け、ウイルス汚染ガスを例えば 15ml 通過させる（図 2）。人が一回の呼吸で吸い込む空気の量は平均 500ml（マスクサイズ 150 cm²）と言われており、通気量 15ml/直径 22 mm は、ほぼ呼吸 1 回分に相当する。仮に、ウイルス濃度 = 5×10^5 個/m³ で汚染されたガスが、含有するウイルスがサンプルに補足されずにそのまま通過した場合、ゼラチンフィルターのウイルス回収率は 90% 以上になるので、理論上、1 回の呼吸で 200 個程度のウイルスがゼラチンフィルターに補足されることになる。このゼラチンフィルターを直ちに液体培地に加えて溶解し、定法に従って付着したウイルス数をカウントすれば、定量できる。



【フィルターの組み立て】

左から順にホルダー・メス、メッシュプレート、サンプル布、メッシュプレート、ホルダー・オスの順



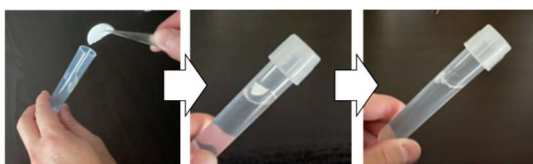
【サンプリング】

組み立てたフィルターをディスポシリンジに取り付け、汚染区域から 25ml 吸引する。
全てのガスはまずサンプル布を通過し、次いで蛋白質を良く吸着するメッシュフィルターを通過する。

図 2：ウイルス回収のためのフィルター構成とサンプリング

2-3：ウイルスの定量方法

ゼラチンフィルターに補足したウイルスは、直ちに、500 倍希釈した普通ブイヨン培地（NB 培地）に溶解させる。フォルダーから取り出したゼラチンフィルターは水によく溶けるので、丁寧に二つ折りした後、NB 培地 10ml に溶解させる（図 3）。



【ウイルスの回収】

ウイルスを補足したゼラチンフィルターを 1/500NB 培地に溶解させる。

図 3：捕集したウイルスの液体培地への回収

次に、回収したウイルス含有液 1ml に当日培養した 10⁸ CFU の若い大腸菌 0.2ml を混ぜ、37°C で 5 分間感染させた後、45°C に温調した軟寒天 LB 培地 4ml に混釈し、直ちに 37°C に温調した LB 寒天培地に重層させて風乾・固化させる。固化後 37°C × 18 時間の条件で培養して、発生したプラーク数をカウントすることで、ウイルス数を定量分析する。

吸着であれ分解であれ、サンプル布通過時にウイルスが除去されていれば、ゼラチンフィルターにウイルスが付着することではなく、その後の定量分析でもウイルスは検出されないであろう。ブランク（サンプル無し）との比をもってサンプルのウイルス除去性能とする。

2-4：実験条件と想定される評価モデル

サンプル布によるウイルスの除去では、表面吸着、化学吸着、分解、不活性化等、様々な要因が考えられる。つまり本検証方法では、くしゃみ回数、呼吸回数、呼吸のタイミングによって結果が変わる可能性がある（表 1）。今回の評価では、事前相談の上、実験条件①（基本測定）にて検証を行うが、得られた結果次第では、追加検証として、実験条件②～④を行う必要が生じる可能性があることを補足する。

表 1：実験条件と想定される評価モデル

		実験条件①	実験条件②	実験条件③	実験条件④
実験条件	くしゃみ回数	1 回	30 回	1 回	1 回
	呼吸回数	1 回	1 回	100 回	1 回
	呼吸のタイミング	直後 (30 秒)	直後 (30 秒)	直後 (30 秒)	30 分後等
	ウイルス環境	常温多湿	常温多湿	常温多湿	常温多湿
評価の特徴		基本 他結果との比較で 様々な考察を行う	濃度依存性評価 高濃度時の 吸着特性を見る。 吸着平衡評価	吸着限界評価 吸着量の 最大値を見る 吸着飽和量評価	噴霧サイズ評価 経時的乾燥に伴う 噴霧径の寄与。 サイズ依存性評価

3. 実験の結果

評価サンプルは御社支給品の中から、以下の 9 品種（+ブランク）とした。

【評価サンプル】

サンプル 1：不織布 2 枚入り

サンプル 2：不織布 1 枚入り

サンプル 3：不織布無し

サンプル 4：スポーツ仕様

サンプル 5：サンプル 1 の洗濯品

不織布 1：市販不織布マスク

不織布 3：市販不織布マスク

不織布 4：市販不織布マスク

不織布 5：市販ウレタンマスク

培養したシャーレで確認されたプラークの写真とその数を図 4、表 2 にまとめる。なお写真でのプラークの目視確認は困難であったため、プラーク発生部分は赤でマーキングを施した。

定量分析の結果、ブランクのウイルス検出量は 216 個/回 (441 個/cm²) であった。これは第 2 章の計画を良く再現した結果であり、準備した検証装置が計画通りであることを示唆している。

これに対し、評価サンプル比較サンプルとも、サンプル布を通過したウイルス量は一様に減少し、その数は 6～47 個程度であった。これは 90%以上の除去率が発揮されていると示唆される。

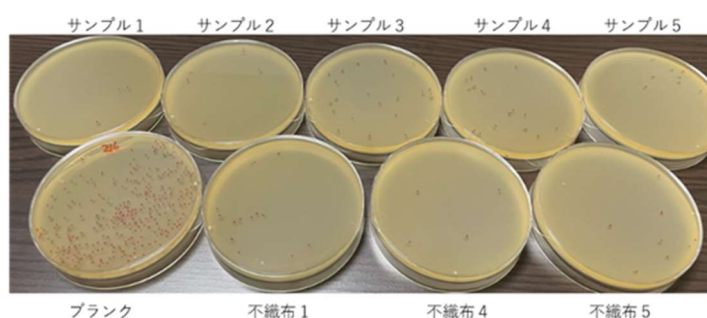


図 4：プラークの発生状況

プラークの目視確認は困難であったため、プラークを赤でマーキングを施した。

表 2：各サンプルのウイルス除去率

サンプル名	ウイルス除去率	測定結果	
		測定値	ブランク
サンプル①	99%	6pfu/cm ²	441pfu/cm ²
サンプル②	98%	10pfu/cm ²	
サンプル③	89%	47pfu/cm ²	
サンプル④	92%	35pfu/cm ²	
サンプル⑤	96%	18pfu/cm ²	
不織布①	94%	27pfu/cm ²	
不織布②	93%	30pfu/cm ²	
不織布③	98%	8pfu/cm ²	
不織布④	96%	16pfu/cm ²	

次に各サンプルの通気性について確認した結果を表3に示す。不織布の通気性は約25ml/cm²secでほぼ統一されているのに対し、サンプルは、組み合わせられている不織布の枚数等で通気性が大きく変化していることが確認された。またサンプル品の通気性のばらつきは比較的小さいのに対し、一部の不織布サンプルの通気性はばらつきが大きいことも確認された。これは目付（繊維密度）にばらつきがあることを意味するが、不織布の製造上充分起こり得るものである。

これらのデータをまとめて整理したグラフを図5に示す。図5から明らかな様に、各サンプルの通気性は様々であるにも関わらず、いずれのサンプルを高いウイルス除去能を発揮することが確認された。この結果からリビンガード織布は、

- (1) 不織布同様高いウイルス除去性能が発揮されている。
- (2) サンプル4（スポーツ仕様は）、少なくともその初期においては、高いウイルス除去能と優れた通気性を兼ね備えている可能性があることが明らかになった。

なお不織布品（比較）については、通気性のばらつきが大きいことも確認されており、ウイルス除去性能が場所によってばらついている可能性があることが危惧される。これに対しリビンガードサンプルは、サンプル4を除き、通気性のばらつきが小さいことから、ウイルス除去性能が安定して発揮していると期待される。

4. まとめ

マスクに求められる機能の方向性はおおむね、①感染者が、ウイルスを周囲に飛散させることを予防する。②健常者が、周囲に飛散しているウイルス（飛沫）を吸引して感染することを予防する。に大別される。本検証はおおむね②の機能について、特にその初期性能について検証した結果である。

少なくともその初期においては、被検サンプルも市販マスクも、高いウイルス除去性能があることが確認された。ここでいうウイルス除去は、物理的ろ過による効果、物理吸着による効果、化学吸着による効果など、様々な物理現象が複合的に寄与した結果であることは間違いないが、その主たる原因がどれに起因したものは、少なくとも本検討結果では明らかになっておらず、またそれぞれのサンプルで、各作用の寄与率が異なる可能性も高い。最終的には各サンプルの物理的構造、表面の化学的状態などを

表3：各サンプルの目付・通気度

装置) 自動フラジール通気度試験機 DAP-360 (大栄科学精器製作所)
口径) φ25 mm 測定回数) 10 回

サンプル名	目付	通気性 相対比較	通気度	
			平均値	分散値/平均値
サンプル①	289g/m ²	3.0	8.0 cc/cm ² sec	3.2%
サンプル②	265g/m ²	1.7	13.9 cc/cm ² sec	8.4%
サンプル③	240g/m ²	0.8	30.7 cc/cm ² sec	3.3%
サンプル④	145g/m ²	0.2	158.9 cc/cm ² sec	12.5%
サンプル⑤	303g/m ²	3.0	8.0 cc/cm ² sec	2.8%
不織布①	71g/m ²	1.0	24.3 cc/cm ² sec	10.5%
不織布②	82g/m ²	1.0	24.1 cc/cm ² sec	14.0%
不織布③	102g/m ²	0.9	27.1 cc/cm ² sec	14.7%
不織布④	116g/m ²	0.9	26.3 cc/cm ² sec	5.8%

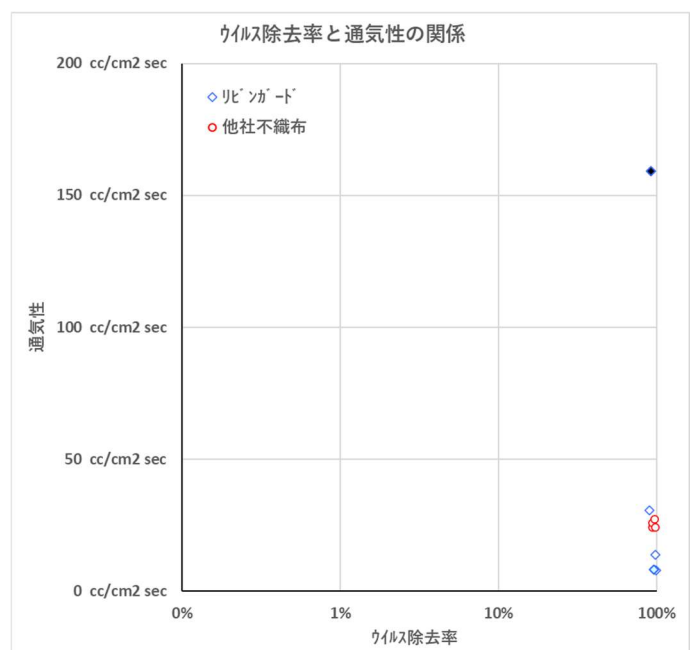


図5：各サンプルの通気度と初期ウイルス除去率の関係

- ◇ サンプル1～3：通気性によらず高い初期ウイルス除去能を示す。
- ◆ サンプル4：高い通気性と高い初期ウイルス除去能を兼ね備える。
- ◇ サンプル5：複数回洗濯を行っても初期ウイルス除去能は失われない。
- 市販マスク類：各社とも同様の通気性と初期ウイルス除去能は確認される。

詳細に検討する必要があるが、例えばサンプル4（スポーツ仕様）等は、その外観及び通気性試験の結果から、物理的ろ過の寄与はほとんど考えられず、おそらく化学吸着による寄与が大きいと推察される。他方比較の不織布マスクは、その目の細かさ、すなわち物理的ろ過の寄与を主張する報告が多く確認されることから、おそらくは物理的ろ過の寄与によるものを思われる。但し不織布の製造過程で良く用いられる静電対策としての界面活性剤の塗布では、カチオン型（陽イオン型）、アニオン型（陰イオン型）等様々な界面活性剤が利用されているが、一部の界面活性剤はそれ自体に抗ウイルス性能が認められることも確認されており^{※1}、工程上で使用された界面活性剤が、抗ウイルス性能を発揮するには至らなくとも、何かしらの化学吸着機能に寄与していた可能性は現段階では否定できない。被検サンプルには、たんぱく質を吸着する機能があるとうたわれているが、結果的に全てのサンプルで類似した結果となったのは、この様な背景が原因となっていると予想される。

但しこの結果をもって、例えば長時間マスクを着用しても、この効果が維持できるかどうかは別途検証が必要となる。例えば、健常者の呼吸回数を平均的な15回/分としても、8時間の連続着用で、実に10万回を超える呼吸を行うことになる。仮に不織布マスクのウイルス除去機能の主たる要因が界面活性剤によるものであったと仮定すると、10万回の呼吸の間に、呼吸に含まれる水分で繊維表面に塗布された界面活性剤が流れ落ち、初期のウイルス除去性能が維持されない可能性は十分に危惧される。経済産業省が認めている界面活性剤の消毒効果も、あくまでも手洗い時の効果であってその効果が持続されるとは言われていない。一方被検サンプルは、サンプル5（サンプル1の複数回洗濯品）でも抗ウイルス除去性能が損なわれておらず、また別の評価機関においても、繰り返し洗濯しても不織布の物理的構造に起因した諸物性が大きく損なわれないとの報告がある^{※2}ことから、抗ウイルス機能が長期間維持されている可能性は十分に期待できる。

マスクの①の機能、すなわち感染者がウイルスを周囲に飛散させることを予防する機能については、上記とは異なる検証が必要になる。第一に、ウイルスの濃度が数桁異なることに留意する必要がある。物理吸着では一般的に吸着飽和する濃度が低い。すなわち高濃度のウイルスを高いレベルで除去するためには化学吸着と物理的ろ過の寄与が非常に重要になる。但し物理的ろ過の寄与が大きいというメリットは、通気性が悪く、圧力を緩和する何かしらの工夫がない限り、くしゃみをした際にマスクが浮いて、その隙間から咳、すなわちウイルスが漏れ出るという現象を誘引しやすいというデメリットと表裏一体である。汎用な不織布マスクの場合、物理ろ過によるウイルス除去をうたうのであれば、少なくともマスクの①の機能については、マスク構造の工夫が強く求められるであろう。一方、被検サンプルを用いたマスクは、咳や呼吸時の圧力変化を緩和して、息や咳を漏れにくくするマスク構造となっていることは重要な特徴と言える。実際にオーストラリアでは医療用として認定されていることから、マスク構造の秀逸さが示唆されている。本報告書内では、あくまでも筆者が試用した際の所見にすぎず、本検討ではマスク構造についての検討は行っていないことから、あくまでも期待できるとの言にとどめるが、本被検体を用いた特殊構造のマスクは、マスクの①の機能を目的とした医療・介護向けといった、ハイスpek用途に適した製品となる可能性が期待される。

ハイスpek用途に適し、繰り返し使用可能であることが期待されると、汎用な使い捨てマスクでは深く考慮する必要がない、繰り返し使用時の二次感染の危険性も考慮する必要がある。すなわち、ウイルスを吸着させたマスクに手等が触れることによる二次感染の危険性である。本検証及び上記考察では、あくまでもサンプル布でのウイルス除去性能にのみ着目しており、付着したウイルスの状態については

検証を行っていない。しかしながらこの視点に基づく検証は、既に多く検証されており※³⁻⁶、これらの研究成果に、抗ウイルス機能の繰り返し耐久性試験の結果が加われば、繰り返し使用時の懸念は解消されると期待される。新型コロナウイルス・デルタ株に対する効果も確認されていることから、コロナ過での感染予防への貢献も十分期待できる。

以上の様に、被検サンプル布及びこれらを活用した高機能性マスクは、次世代の高性能マスクとして充分期待できるものである。ユーザーフレンドリーな製品設計・機能設計とこれを直接的に確認した更なる効果検証が整って、当該機能性マスクが適切に普及することを期待しつつ、本報告の結語に変わる。

※ 1 経済産業省発表 <https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200529005/20200529005.html>

※ 2 Report No:P1700404 The South India Textile Research Association

※ 3 Uwe Rösler, “Report - Antiviral Activity of textile product HEFM47.CO.01”, 30. Jul 2020,

※ 4 Luisa A. Ikner and Charles P. Gerba, “Modified ISO 18184: Determination of Antiviral Activity of Textile. Products to Evaluate Three Treated Fabrics against. Human Coronavirus 229E”, 04 May 2020

※ 5 Ref No: BVDU/IRSHA/89612021-22, National immunogenicity & Biologics Evaluation Centre

※ 6 Evaluation of Antiviral Activity by AATCC 100 - 2012, Biotech Testing Services