

研究室紹介シリーズ

東北文化学園大学 「エアフィルタ、マスク、空気清浄機による 新型コロナウイルス感染症と環境アレルギー対策」

野崎 淳夫 一條 佑介

東北文化学園大学

1. 新型コロナウイルス対策製品

新型コロナウイルス粒子は、直径 $0.06\mu\text{m}$ ～ $0.14\mu\text{m}$ の球形との報告がある。

東北文化学園大学野崎研究室と一條研究室では、新型コロナウイルス、花粉、PM2.5などの粒子径に相当する模擬粒子を用いて、エアフィルタ、ろ材、マスク、空気清浄機、換気（機械換気と自然換気）などの実験検証を行っている。

たとえば、新型コロナウイルスには、PSL標準粒子、スギ花粉：石松子、PM2.5：JIS11種、微細粒子（ $0.3\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ ）：多分散エアロゾル（PAO, KCL, NaCl など）を使用し、製品の粒子捕集率をJIS、JEMA、ASTM、JACA、EN、ISO に準じて求めた。

ここでは、空調換気用エアフィルタ、各種のフィルタろ材、マスク、空気清浄機、換気に関して、新型コロナウイルス除去に関わる研究事例について紹介する。

2. エアフィルタとろ材

2.1 空調換気用エアフィルタの試験法

コロナウイルスなどの微細粒子の除去性能を求める性能試験は、JIS B 9908、JIS B 9927、ISO16890、EN 799などで規定されており、これらの試験法で製品固有の性能が定量化される。

表1には空調換気装置などに使用されるエアフィルタ（粗塵用、準HEPA、HEPA、ULPAなど）の国内外の試験規格が示されている。これら

の試験規格で製品の粒子捕集率、圧力損失、フィルタへの粒子供給に伴う圧損の変化が求められる。



写真1 各種のエアフィルタ・ろ材（不織布、布、ガラス繊維、ウレタンなどの材料で作成され、粗塵用、HEPA、準HEPA、中性能、車載用フィルタ、あるいは住宅、電子機器用など広範囲に利用されている。）

表1 空調換気用エアフィルタの試験規格

試験規格	
ISO16890-1~4:2016	一般換気用エアフィルタ
ASHRAE 52.2	一般換気用エアフィルタ
EN779	一般換気用エアフィルタ
JIS B9908-1~6:2019	換気用エアフィルタユニット・換気用電気集塵器の性能試験方法
JIS B9927:1999	クリーンルーム用エアフィルター性能試験方法

空調機器や空気清浄機などに搭載されるエアフィルタの性能試験は、日本空気清浄協会郡山試験所(暮らしの科学研究所)で行われており、ここでは同試験所の協力を得て、最新の検証結果を紹介する。

2.2 空調換気用エアフィルタ除去性能の実態

図1に空調換気用エアフィルタの圧力損失の測定事例を示す。本フィルタは空調換気用 HEPA フィルタであるが、初期圧力損失は203Pa と求められた。また、粒子径範囲：0.2~0.3 μm (幾何平均径：0.245 μm) の粒子捕集率は99.99%であり、粒子径範囲：0.3~0.5 μm (幾何平均径：0.387 μm) の粒子捕集率では99.98%であった。これから、

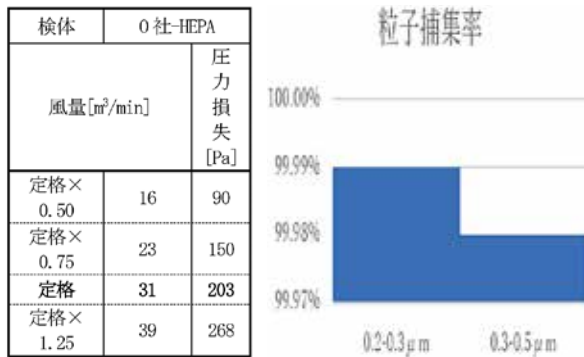


図1 空調用エアフィルタの風量・圧力損失と粒子捕集率の測定事例



写真2 空調換気用フィルタ試験装置 (HEPA・中高性能用試験装置) (ビルの空調換気に使用されるエアフィルタは、大型で縦 (61cm) × 横 (61cm) × 厚 (~30cm 程度) (暮らしの科学研究所)

0.3 μm 粒子の粒子捕集率は99.98%と求められた。

これまで、JIS Z 8122では「定格風量で粒子径が0.3 μm の粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率を有し、かつ初期圧力損失が245Pa以下の性能を持つエアフィルタをHEPA、95%以下では準HEPA、0.15 μm の粒子捕集率：99.9995%以上をULPA (Ultra Low Penetration Air Filter) と定義してきた。そのため、本エアフィルタはカタログの表示通りにHEPAの性能を有すると判断された。

ところで、JIS B 9908 (2011) では0.3 μm の粒子でHEPAフィルタの粒子捕集率を試験するが、新JIS B 9908 (2019) やEN18822ではMPPS試験を行うこととしている。EN1822 (H14グレードのHEPAフィルタ) では、MPPS：99.995%以上の粒子捕集率が求められる。

ここで、MPPS (Most Penetrating Particle Size) とは、最もろ材を透過しやすい粒子径で、0.3 μm 未満でおおよそ0.1~0.2 μm の範囲にあるとされている。



写真3 フィルタ・ろ材試験装置 (暮らしの科学研究所)

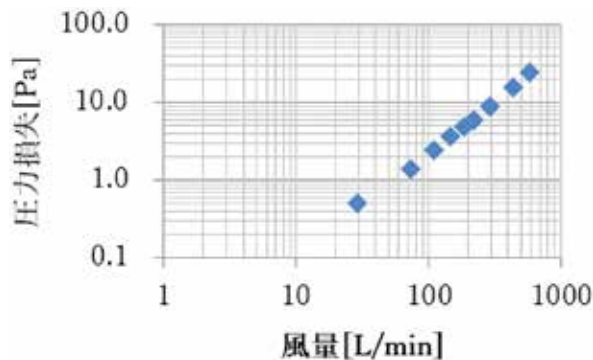


図2 住宅用換気用フィルタ (s) の風量・圧損 (P-Q) 特性の試験事例



図3 住宅換気用フィルタ (s) の粒子捕集率の試験事例

日本のフィルタメーカーの製品はよくできており、品質の高い製品が数多く存在する。このようなフィルタ製品を空調換気システム内で使用すれば、室内コロナウイルス濃度は有効に低下する。

2.3 各種フィルタ・ろ材の試験法（住宅用、自動車、電子機器など）

図2には住宅用外気処理フィルタ (S) の風量と圧力損失を示し、図3には粒子捕集率の測定事例を示す。この試験は、JIS B 9908に準拠し、試料面積：49 cm²、試験風速：50cm/s、試験粒子：JIS11種を用い、重量法で行われた。粒子径毎の除去率は求めているが、得られた粒子捕集率は約60%であった。

3. マスク

3.1 試験方法

在来より、マスクは花粉やインフルエンザウイルスの防護製品として広く用いられてきた。現在、新型コロナウイルス感染症への有用性が盛んに議論されている。

マスクの性能（体内への侵入防御性と空気中への飛散防止性）を正しく評価するために、各国でマスクの試験規格が定められている（表2）。我が国においては、長らく米国のASTM規格などを参考に、試験機関・メーカーが独自に試験評価を行ってきたが、2021年6月16日にJIS T 9001（医療用マスク及び一般用マスクの性能要件及び試験方法）が標準化された。

JIS T 9001では医療用及び一般用のマスクに対する試験方法が定められており、PFE（微小粒子）、BFE（バクテリア飛沫）、VFE（ウイルス飛沫）、花粉の4項目の捕集効率の求め方が規定されており、95%以上の捕集効率が求められている。

写真4はマスクの捕集効率を求める試験装置の一例である。本マスク試験装置は、試験片（マスク）をセットし、試験粒子を通気させる試験ダクト部と粒子発生部、粒子測定部などで構成される。マスク試験においては、多様な粒子の試験評価を行うため、粒子の種類に応じて発生器と測定器を選択する。写真4の事例では、花粉などの大きな粒子に対しては重量制御式の粒子発生器やロータリーブラシ式粒子発生器（RBG）を用い、PFEなどの微小粒子に対してはアトマイザー方式のエアロゾル発生器を使用している。計測方法も粒子の種類により異なり、花粉等の粗大粒子に対しては電子天秤を用いた重量法、微小粒子に対

表2 マスクの試験規格

国名	機関	試験規格
日本	厚生労働省	国家検定規格DS2
日本	日本産業標準調査会	JIS T9001 (PFE, BFE, VFE, 花粉)
米国	米国試験材料協会 (ASTM)	ASTM F2101 (BFE)
米国	米国試験材料協会 (ASTM)	ASTM F2299 (PFE)
欧州	欧州標準化委員会 (CEN)	EN149 FFP
中国	中国国家標準化管理委員会	GB/T 32610

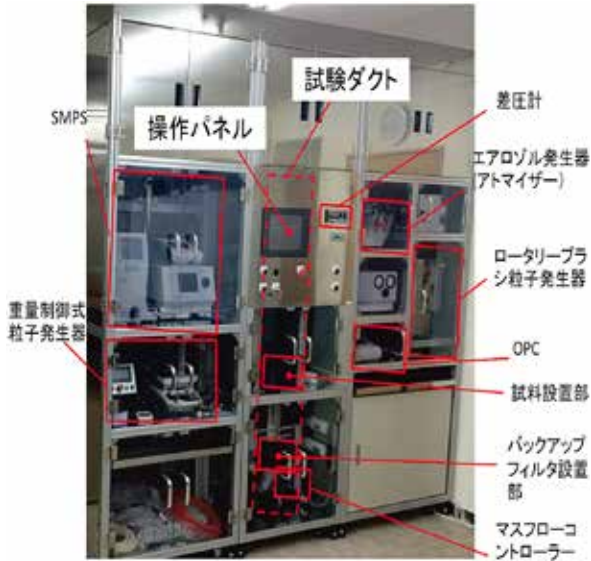


写真4 マスク試験装置 (暮らしの科学研究所)

しては光散乱式のパーティクルカウンター (OPC) や SMPS による計数法が用いられる。

3.2 マスク除去性能の実態

図4、5はJIS T9001に準拠した実際の試験事例である。

PFE試験は、 $0.1\ \mu\text{m}$ (又は $0.3\ \mu\text{m}$) の微小粒子の捕集率を求めるものであるが、マスクの材質・構成 (例えば、3層不織布タイプ、布製タイプなど) により、捕集率が異なる。

一方で、花粉粒子の捕集率は、花粉の粒子径が大きい (約 $30\ \mu\text{m}$)、目の粗い布製マスクでもある程度の捕集率を有していることが分かる。本研究の範囲では、不織布マスクの新型コロナウイルス粒子に相当する模擬粒子 (PSL 粒子) の捕集率は高く、99%以上を示した。

4. 空気清浄機

現在、様々な形式の空気清浄機が販売されている。厚生労働省の検討チームは、新型コロナ問題に対してHEPAフィルタを装着した空気清浄機は、空気中のウイルス濃度を低減させる効果があると報告している¹⁻⁴⁾。

表3に、空気清浄機試験の試験規格を示すが、空気清浄機に求められる能力には、集塵、脱臭、



図4 PFE試験 (JIS T9001) の試験事例 (各種マスクの新型コロナウイルスの模擬粒子 (PSL 粒子) での捕集性能 原図)

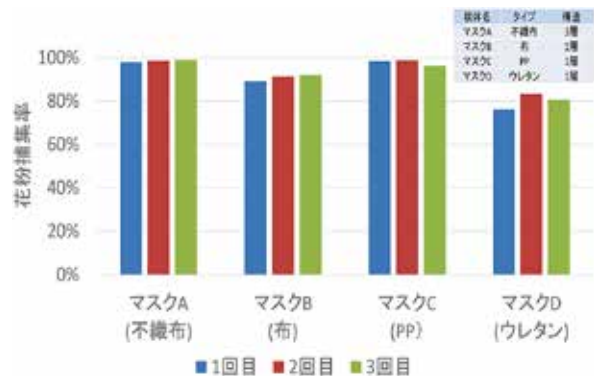


図5 花粉試験 (JIS T9001) の試験事例 (各種マスクのスギ花粉の模擬粒子 (石松子) での捕集性能原図)

表3 空気清浄機の試験規格

試験規格	試験規格
IEC 63086-2-1など	HOUSEHOLD AND SIMILAR ELECTRICAL AIR CLEANING APPLIANCES - METHODS FOR MEASURING THE PERFORMANCE
JEM1467	家庭用空気清浄機
JAPOC-01	空気清浄機による花粉 (花粉片) 除去性能評価試験方法
JACA No.50	空気清浄機の性能評価指針
ANSI/AHAM AC-1-2015	Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners
GB/T18801-2015	空気清浄器

細菌・真菌・ウイルスの抑制、花粉除去などである。国内では、JISによる空気清浄機試験法が制定されているものの、ほとんど使用されていない¹¹⁾。この理由としては、業界試験法 (日本電機工業会のJEM1467、花粉問題対策事業者協議会のJAPOC-01) やGB規格の試験内容が、我が国の市場ニーズに合致しているからである¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁶⁾。

現在、大型チャンバーを用いた空気清浄機性能試験が盛んに行われるようになり、JEMAのJEM1467、AHAM（米国家電製品協会）のANSI/AHAM AC-1-2015やGB規格（中国標準規格）のGB/T 18801-2015 : Air Cleanerにその試験内容が示されている⁹⁾¹²⁾¹⁴⁾。

近年、IEC/TC59/WG17にISO/TC142/WG11が合流し、両者が連携して、国際基準の制定作業が行われている¹⁶⁾。

空気清浄機のウイルス除去試験としては、（一社）日本電機工業会によるJEM1467附属書D「浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験」がある。ただし、実試験ではバイオハザードの観点から、ウイルスではなくMS2やPhi-X174などのバクテリオファージを用いることとなっている¹¹⁾¹⁴⁾¹⁶⁾。

4.1 空気清浄機のウイルス試験（JEM1467）

JEM1467では空気清浄機におけるインフルエンザウイルスを意識したウイルス試験が規定されている。

インフルエンザウイルスや新型コロナウイルスにおける飛沫核の粒子径は $0.1\ \mu\text{m}$ 程度であるとされている。

そこで、筆者らはウイルス粒子に相当する代替粒子（例えば、KCl、PAO、PSLなど）を試験粒子とした実験検証を行っている。表4に示す海外製の空気清浄機（M）を 25m^3 の大型チャンバーに設置し、大腸菌バクテリオファージとウイルス相当径の代替粒子を用いて、大型チャンバーによる実験を行った。

結果として、図6に示すように大型チャンバー内のバクテリオファージと代替粒子の濃度は有意に低下した。また、この室内濃度の低下特性から、空気清浄機の器機性能（相当換気量：CADR (m^3/h)) が求まる。バクテリオファージと代替粒子の相当換気量は $131\ \text{m}^3/\text{h}$ と $128\ \text{m}^3/\text{h}$ と非常に近似しており、代替粒子によっても空気清浄機のウイルス除去性能を正しく求められることが判明した⁶⁾⁷⁾。

表4 ウイルス試験で使用した空気清浄機（M）

フィルタ構成	機器風量 [m^3/min]					製造年
	1	2	3	4	5	
集じんフィルタ 脱臭フィルタ	0.32	0.50	0.81	1.34	2.34	2020

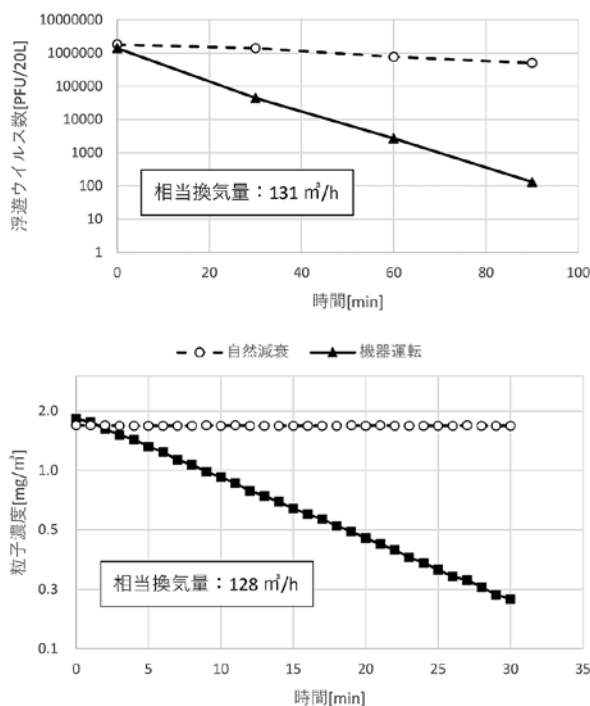


図6 空気清浄機運転（M）に伴うチャンバー内 E. coli phage 濃度（上）と新型コロナウイルス粒子の代替粒子濃度（下）の変化

謝辞

ここで紹介した研究を実施するにあたり、ご協力を頂いた暮らしの科学研究所の高橋久美子、上遠野光市、高松 佑、成田泰章さんに謝意を申し上げます。

引用文献

- 1) 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15102.html, 2020年11月
- 2) 厚生労働省 (2020b) 熱中症予防に留意した「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について 2020年6月
- 3) Quin H, Li Y, Sun H, Nielsen PV, Huang X, Zheng X: Particle removal efficiency of the portable HEPA air

- cleaner in a simulated hospital ward. *Build. Simul.* Vol. 3, No.3 pp.215-224,2010
- 4) Mousavi ES, Godri Pollitt KJ, Sherman J, Martinello RA.: Performance analysis of portable HEPA filters and temporary plastic anterooms on the spread of surrogate coronavirus. *Build Environ*, 2020
 - 5) ECDC TECHNICAL REPORT: Guidelines for the use of non-pharmaceutical measures to delay and mitigate the impact of 2019-nCoV,2020, Feb.
 - 6) 野崎淳夫：マスクと空気清浄機による花粉・新型コロナ対策, 室内環境学会シンポジウム, pp.17-19, 2020年12月
 - 7) 野崎淳夫ほか：マスクと空気清浄機による花粉・新型コロナ対策, 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp. 61-62, 2021年4月
 - 8) ユニ・チャーム ジャパン (Unicharm Japan) : https://www.youtube.com/watch?v=I_yiJUusdUs
 - 9) 野崎淳夫：家庭用空気清浄機における臭気物質除去性能の実態, 空気清浄, 2021年4月
 - 10) 野崎淳夫, 清澤裕美, 吉澤 晋：家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究 (その1) —環境とタバコ煙に対する除去効果—, 日本建築学会環境系論文集, No.576, pp.37 ~ 42, 2004年2月
 - 11) 野崎淳夫：業務用空気清浄機における規制基準, 試験評価, および実性能について, 建築設備と配管工事, pp11-16, 2014年9月.
 - 12) 空気清浄機の性能評価指針 (案), 空気清浄, 第52巻, 第4号, pp.58-73, 2014年11月
 - 13) JAPOC-01, 空気清浄機による空気中の花粉 (花粉片) 除去性能評価試験方法, 花粉問題対策事業者協議会, 2015年7月
 - 14) 野崎淳夫ほか：空気清浄機における試験評価の事例について, 空機清浄, 第53巻第1号, pp31-40, 2015年5月
 - 15) 野崎淳夫, 一條佑介ほか：空気清浄機における脱臭性能の実態 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.907-908, 2019年9月
 - 16) 岡本誉士夫：特集：クリーン化技術の最前線, 家庭用空気清浄機の国際規格の動向, 粉体技術, Vol.13, No.7, pp.1-9,202)