

安全・安心な社会の構築に向けた 感染症対策技術の開発

Development of Infectious Diseases Control Measures



鵜飼 展行*¹
Nobuyuki Ukai

田中 大輔*²
Daisuke Tanaka

米田 次郎*³
Jiro Yoneda

竹井 怜*⁴
Rei Takei

中嶋 祐二*⁵
Yuji Nakajima

中山 悠*⁶
Haruka Nakayama

新型コロナウイルスをはじめとする感染症の拡大に対して、感染リスクの低減による安全・安心な社会の構築が望まれている。三菱重工業株式会社(以下、当社)では、鉄道車両などの輸送システムやフェリー、大空間向けの空調設備などに向けて、感染症対策技術・製品を開発している。その一部として、ウイルス制御技術では、気流制御によるウイルスの除去方法及び物理・化学的手法(UV-C, 薬剤, オゾン, 吸着材)によるウイルスの不活化方法を、見える化技術では、シミュレーション(CFD, 疫学モデルなど)による感染性物質・感染リスクの推定方法を紹介する。

1. はじめに

近年の新型コロナウイルス(COVID-19)などの感染症拡大に対して、感染リスクの低減が望まれている。当社は輸送システムやフェリーなどの乗り物や、大型商業施設・空港・病院などの大空間の重要インフラにおいて、感染の拡大を抑止するため感染症対策技術・製品の開発を推進している。

2. 感染経路と感染症対策技術

感染症の感染経路として、飛沫感染、接触感染、空気感染が知られている⁽¹⁾([図1](#))。厚生労働省によれば、新型コロナウイルスの感染経路の中心は飛沫感染と接触感染とされている。

当社では、これらの感染経路に対する対策技術の開発を進めている。効率的にウイルスを排除する気流制御、ウイルスを不活化する紫外線、オゾン、薬剤(酵素・尿素)によるウイルス制御技術、空間中での感染性物質の挙動を推定するシミュレーション技術について紹介する。

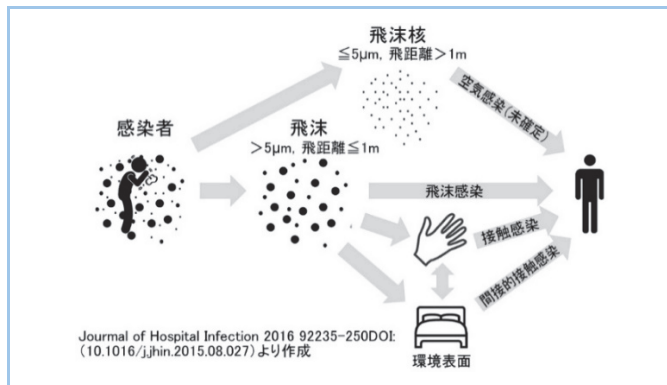


図1 感染症の主要な感染経路⁽¹⁾

*1 総合研究所 化学研究部 主席研究員 技術士(衛生工学部門, 総合技術監理部門)

*2 総合研究所 製造研究部 主席研究員

*3 総合研究所 流体研究部 主席研究員

*4 総合研究所 流体研究部 技術士(機械部門)

*5 総合研究所 化学研究部 主席研究員 農学博士

*6 総合研究所 流体研究部

3. 感染症対策技術

感染症対策では、ウイルスの制御とその効果の確認として監視・計測、効果の推定を行う。ここでは開発中のウイルス制御技術、見える化技術について説明する。

3.1 ウイルス制御技術

(1) 気流制御

気流制御技術は、ウイルスを含む空気を空調機器に取り込む方法で、機器内で除去・不活化することによりウイルスを低減する。気流制御技術の方式として、当社製品で実績のある再循環気流制御がある。再循環気流制御は、空調機器の空気吹き出し口と床面や壁面の間の空間に、再循環渦を生成し、空調機器の吸い込み口に空気を取り込む方法である。空間内に再循環渦を形成することで、空間内の多くの空気を効率よく取り込むことができ、同時に空間内に浮遊するウイルスを効率よく取り込むことができる(図2, 3)。これにより飛沫感染のリスクを低減できる。

当社では、輸送システムの車室内空間へ気流制御を適用した際の効果を CFD(数値流体力学, Computational Fluid Dynamics)により検証するとともに、実規模のモックアップによる検証試験を実施し再循環気流の発生状況を確認した。気流装置の吹き出し口の見直しにより、空間内に浮遊する粒子の回収率を向上できることを定量的に推測できた。

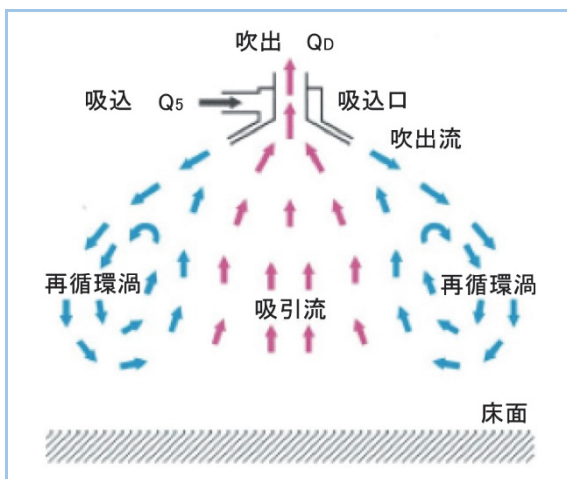


図2 再循環気流制御の概念

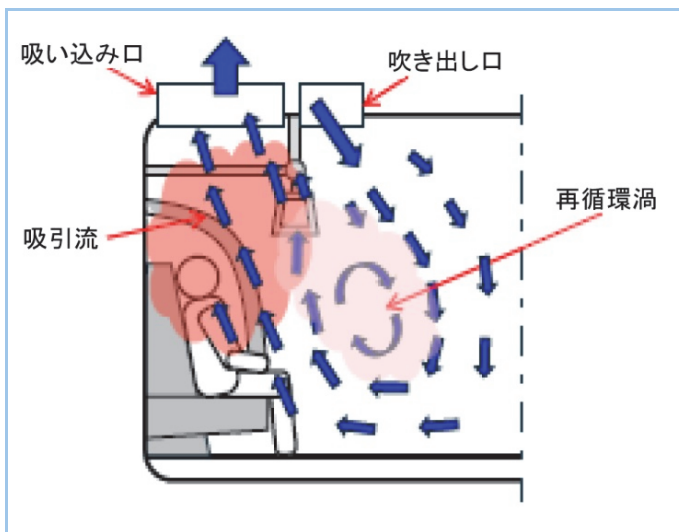


図3 再循環気流制御の車室内空間への適用案

(2) 紫外線

紫外線によりウイルスを不活化することで、感染リスクを低減する。紫外線の照射には UV-C LED (深紫外線発光ダイオード) を用いる。その適用方法は二つあり、ウイルスの浮遊する空気を取り込み、深紫外線を照射して浮遊しているウイルスを不活化する方法、空間全体に深紫外線を照射して壁面や手摺り等の人々が触れる部分にあるウイルスを不活化する方法である。前者では飛沫感染を、後者では接触感染のリスクを低減できる。

深紫外線のウイルス不活化効果の検証のため、当社と北里大学大村記念研究所片山教授との共同研究にて検証試験を行った⁽²⁾。試験では、樹脂製のプレート上に数万個の SARS-CoV-2 粒子を含む液体を塗り広げ、3cm の距離から UV-C LED により深紫外線を照射した。照射面のウイルスを回収し、不活性化効率を測定した結果、10 分間の照射で、ほぼ完全に不活性化できることを明らかにした。

(3) 薬剤

薬剤(酵素・尿素)によりウイルスを不活化することで、感染リスクを低減する。この酵素・尿素製剤は、エアコン(ビーバーエアコン、三菱重工サーマルシステムズ(株))向けの素材(バイオクリアフィルター)として、約 20 年間の販売実績がある(図4)。また、2020 年より、バイオクリアフィルターを搭載したマスク(ビーバーマスク、三菱重工サーマルシステムズ(株))を販売している。

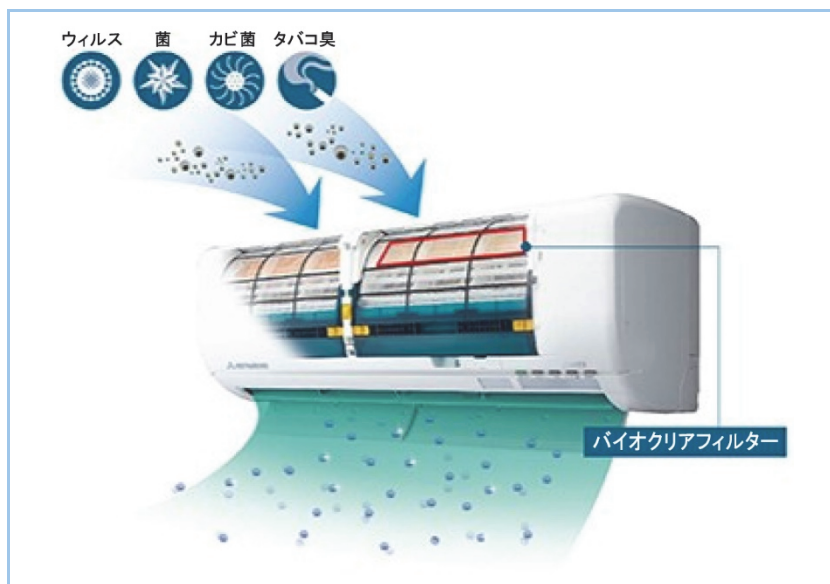


図4 バイオクリアフィルターを搭載した空調機のイメージ

薬剤(酵素・尿素)のウイルス不活化効果の検証のため、当社と北里大学大村記念研究所片山教授との共同研究にて検証試験を行った⁽²⁾。試験では、数万個の SARS-CoV-2 が、集塵用エアフィルターに含まれるウイルス不活化剤(尿素と酵素)により、反応時間60分間でほぼ完全に不活性化されることを確認した。

薬剤(酵素・尿素)を空調機と組み合わせることで、飛沫感染のリスクを低減できる。

(4) オゾン

オゾンは強い酸化力を持つため、細菌やウイルスの活動の抑制に使用されている。オゾンによる新型コロナウイルスの不活化効果については、2020 年5月に奈良県立医科大学の研究グループが、オゾンガス曝露による新型コロナウイルスの不活化結果を発表した⁽³⁾。CT 値 330(オゾン濃度 6ppm で 55 分曝露)では、1/1000~1/10000 まで不活化、CT 値 60(オゾン濃度 1ppm で 60 分曝露)では、1/10~1/100 まで不活化できるとしている。(CT 値:オゾン処理条件を示す評価指標。オゾン濃度 C (ppm) と曝露時間 T (min) の積で表す)

オゾン処理の実用化においては、2021 年9月に三菱パワー環境ソリューション(株)(現三菱

重工パワー環境ソリューション(株)がオゾン発生器を用いた大空間向け空気浄化装置を発表している⁽⁴⁾。特長は大風量(3000m³/h)での浄化が可能なことであり、大規模閉鎖空間であるアリーナなどのドームや、空港、ショッピングモール、大型テーマパーク、病院などへ広く導入を提案している。オゾンを散布することで、空間、床・壁面に存在するウイルスの活動を抑制し、大空間の浄化を可能とする。これにより、飛沫感染とともに接触感染のリスクも低減できる。

また、当社では、より小規模な空間用に、小型・軽量・大風量(約 1500m³/h)で低コストのオゾン散布装置を開発している(図5)。想定適用先は電車・バスなどの運輸事業者であり、現在行われているふき取り作業の代替として、オゾン散布を提案している(図6)。当社では、鉄道車両におけるオゾン散布の特性把握のため、当社内の三原試験車両センター(広島県)の実車両を用いて、オゾン散布試験とシミュレーション(CFD)を実施した。その結果を元に、オゾン噴霧方法(噴霧位置、噴霧時間など)の最適化を行っている。

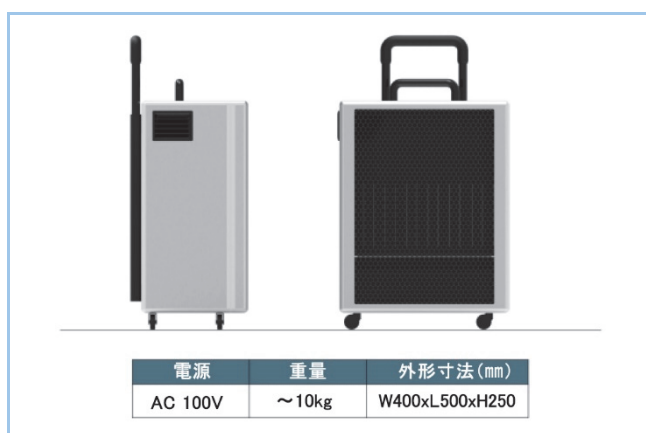


図5 小型オゾン発生装置外観



図6 オゾン発生・散布イメージ

(5) 吸着材

香港大学の報告によると、新型コロナウイルスが付着した表面によりその安定性が異なること、印刷用紙やティッシュペーパーでは3時間でウイルスが検出されなくなったことが示されている⁽⁵⁾。

当社では、上記の情報を元に、紙系素材による新型コロナウイルスの不活化は、ウイルスを含む飛沫のセルロース繊維への吸着と飛沫の乾燥・脱水、それに伴うタンパク質の変性により感染力を失うことと仮説をした。セルロース系の工業材料に対して、特に、壁紙等の内装に適用できるコットン(主成分はセルロース)を選定し、新型コロナウイルスの不活化効果を実験にて確認した。その結果、ウイルスのコットンへの接触直後で95%、接触後6時間で99%以上の不活化を確認した(図7)。また、電子顕微鏡写真において、新型コロナウイルスと推測される直径100nm程度の粒子がセルロース繊維の表面に捕捉されていることを観察した(図8)。

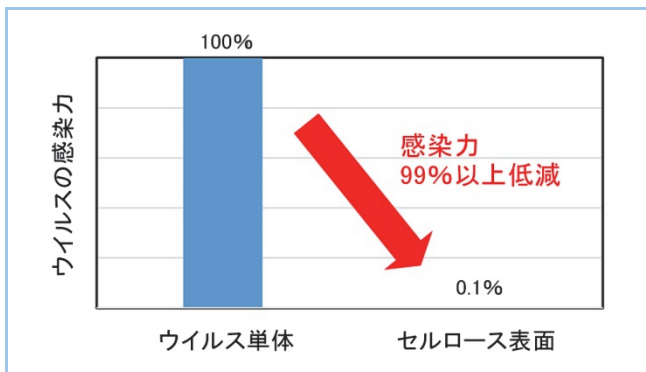


図7 吸着材の新型コロナウイルス不活化効果

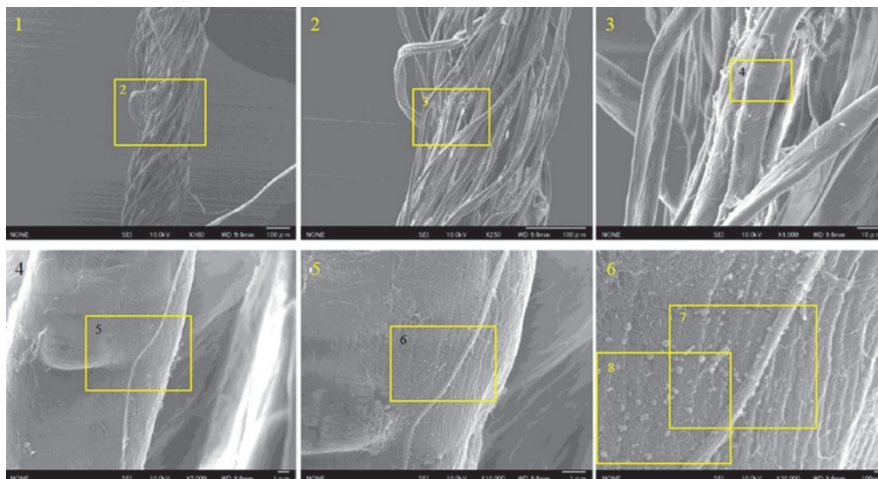


図8 新型コロナウイルスを接触した後に洗浄したコットン表面の電子顕微鏡像

3.2 見える化技術

上記3.1でウイルス制御技術を示したが、ウイルスは直径100nm程度と小さく確認しにくいこと、現段階では空間中の濃度の測定は困難であることから、ウイルス制御技術の効果が見えにくい点が課題であった。これに対して、当社では、CFD解析ソフトに数理疫学モデルを実装した連成解析手法を開発した。なお、数理疫学モデルにはSIRモデルとWells-Rileyモデルを用い⁽⁶⁾、新型コロナウイルスの感染力についてはHulらの研究成果を適用した⁽⁷⁾。CFDの可視化機能を活用し、感染物質の移流拡散に伴う感染伝播や局所的な感染リスクの推定・定量化・見える化を行った。加えて、ウイルス制御技術の機能・特性を数理モデル化し、ウイルス制御機器による感染リスク低減効果を評価できるようにした(図9)。それにより、ウイルス制御機器の効果的な空間配置を提案できるようになった。

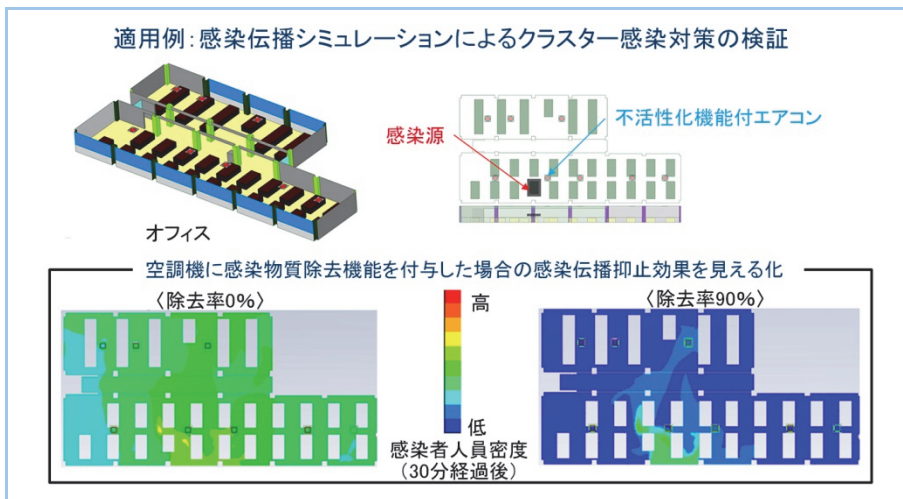


図9 感染物質の空間分布の推定

4. まとめ

新型コロナウイルスなどの感染症に対する社会のレジリエント化のための、当社製品に機能を追加するウイルス制御技術と見える化技術の検討事例を示した。これらの技術の適用により、輸送システムや船舶、航空機、大空間向け空調設備における感染リスクの低減が期待できる。今後は、これらの技術の社会実装に向けて研究開発を継続する。

参考文献

- (1) J.A.Otter et al., Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination, *Journal of Hospital Infection*, 2016 Mar; 92(3): 235-250.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7114921/>
- (2) 三菱重工プレスリリース, 独自の空間浄化技術による新型コロナウイルス除去・不活性化を実証 三菱重工サーマルシステムズ, 北里大学 大村智記念研究所との共同研究, (2021)
<https://www.mhi.com/jp/news/210210.html>
- (3) 公立大学法人奈良県立医科大学, オゾンによる新型コロナウイルス不活化を確認, (2020)
https://www.naramed-u.ac.jp/university/kenkyu-sangakukan/oshirase/r2nendo/documents/press_2.pdf
- (4) 三菱重工プレスリリース, 三菱パワー環境ソリューションが大規模空間向けの空気浄化装置を開発 オゾンの力でウイルスの活動を抑制, (2021)
<https://power.mhi.com/jp/news/20210929.html>
- (5) Alex W H Chin et al., Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions, *Microbe*, April 02, 2020, DOI:[https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
[https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247\(20\)30003-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanmic/article/PIIS2666-5247(20)30003-3/fulltext)
- (6) 浅沼宏亮ほか, 病院空間を対象とした非定常不均一濃度分布と数理疫学モデルの連成解析による感染伝播予測, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻 第 688 号, 481-487, 2013 年6月
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aije/78/688/78_481/_pdf
- (7) Hui Dai et al., Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces, *Build Simul.* 2020 Aug 4 : 1-7
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7398856/pdf/12273_2020_Article_703.pdf