

AT A TCTATAAGA CTCTAACT

ショートレポート

新型コロナウイルス感染症に関する環境・エネルギー分野における世界の研究開発動向： 「都市環境と感染症」編

2020年8月7日版（第一版）

TCTATA
GCC AATTAATA
ATC A AAGA C C
A TCTATAAGA
AATC A AAG
C CTAACT C
1 1110 00
11 001

GA CCC
CC AAAA GGCCI
ATAAGA CTCTAACT CI
AA TAACT
AAT A TCTATAAGA CTCT/
CTC GCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAACT
A T A TCTATAAGA CTCTAACT
CTC GCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAACT CTCA
A T A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA C CTAACT CTCAGACC
00 1 1110 000
11 001010 1
1110 000
0011 1110 000
00 11 001010 1
11 1110 000

国立研究開発法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター

はじめに

- 本資料は国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター（以下、「JST-CRDS」と呼ぶ。）内にて実施したセミナーシリーズを基にとりまとめたものです。様々な分野の有識者から、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）と関わりの深い研究開発動向や、今後のウィズコロナ/ポストコロナの時代における社会や科学技術の在り方について講演いただき、議論しました。その中から、早期発信が有益な研究開発動向や科学的知見等をJST-CRDSの観点から抽出し、とりまとめています。
- 一連のセミナーシリーズの詳細は近日中に報告書としてとりまとめる予定です。現在進行形の事態であることに鑑み、得られた情報を迅速に公表することにより、関係各所におけるCOVID-19への対応の一助となれば幸いです。
- 本資料はセミナーに参加いただいた有識者からの同意を得て公開するものですが、本資料の著作権はJSTに帰属します。教育、報道、研究など著作権法で認められる範囲においては利用許諾を得ずに利用できますが、本資料を引用・抜粋することによって生じるいかなる事態に対してもJST-CRDSは一切の責任を負いません。また、新たに判明する科学的事実等に応じて、本資料の内容を更新、修正する場合があります。引用・抜粋した資料がいつ時点のものであるかの確認もお願いいたします。ご不明点等についてのお問合せは以下へお願いいたします。

【本資料に関する問い合わせ先】

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

メール：crds@jst.go.jp

電話：03-5214-7481

- 本資料を引用・抜粋する際の出典記載例は以下のとおりです：
国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター「ショートレポート 新型コロナウイルス感染症に関する環境・エネルギー分野における世界の研究開発動向：「都市環境と感染症」編 2020年8月7日版（第一版）」

「感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー」

＜開催実績＞

開催日	区分	演題、講師（敬称略）
2020年7月8日	都市空間と感染症	「COVID-19を抑えるために空調・換気設備ができること」 柳 宇（工学院大学 建築学部 教授） 「建築環境と感染症」 田辺 新一（早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 建築学科 教授）

※随時更新予定

※各講演の概要については本資料末尾参照

1-1. 感染経路についての用語

- 疾病を引き起こす菌・ウイルスについて、既往研究で判明している主な感染経路（動物を介した感染を除く）：（1）飛沫感染（droplet infection）、（2）接触感染（contact infection）、（3）空気感染（airborne transmission）
- 空気感染とは？：飛沫*¹ から水分が蒸発してできる飛沫核（ひまつかく）*² を介した感染を指す。既往研究により結核菌や麻疹ウイルスは空気感染が認められている。
- インフルエンザウイルスの感染経路は主に飛沫感染と接触感染とみられている。一方、密閉した屋内環境で乾燥した条件が揃う場合に、浮遊するマイクロ飛沫による感染も成立するとみられている。
- 新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）が結核や麻疹のように屋外でも長時間にわたって空気感染する経路は、現在、明確な確認はなされておらず、可能性は高くないとみられている。一方、インフルエンザのような室内環境でのマイクロ飛沫感染は、我が国の事例研究によってCOVID-19発生当初より可能性が強く指摘されている。関連して、室内環境での空調・換気の影響について、多角的な分析や科学的な検討が進められている。
- 上記状況に鑑み、ここでは結核や麻疹のような空気感染ではなく、「室内環境でのマイクロ飛沫感染」を取り扱う。ここで「マイクロ飛沫」は、5 μ m程度よりも小さく、肉眼や散乱光で見えない小さな飛沫で、室内環境でより長く浮遊するエアロゾルを想定する。

*¹ 飛沫：感染者の咳、くしゃみ、会話等で放出された直後の水滴のこと。ほとんどの飛沫は1～2mの短い距離で落下する。飛沫感染の予防として2m程度思いやりの距離をとることが推奨されている。WHOでは5 μ mよりも大きなものとしている。

*² 飛沫核（droplet nuclei）：飛沫の核であり、含まれる菌やウイルス、塵埃などを含んだ微粒子。

*³ エアロゾル：「気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と周囲の気体の混合体」（日本エアロゾル学会より）を指す。大きさ（粒径）は数nm～数100 μ mと幅広く、飛沫も飛沫核も含む用語である。

1-2. 室内環境でのマイクロ飛沫感染に関連する研究動向

<マイクロ飛沫の粒径について>

- 粒径10 μ m以下の粒子は無風状態で室内に長時間浮遊する。（粒径1 μ mで14.4時間、粒径5 μ mで35分、粒径10 μ mで9分）（柳 宇, BE建築設備, 834, 2020）
- 既往の研究では、ヒトの呼吸器系由来のマイクロ飛沫の粒径は殆ど5～10 μ m以下であることが分かっている。（Johnson GR *et al.*, Journal of Aerosol Science, 42, pp.839-851, 2011）
- 武漢の病院から採取されたエアロゾルを調べると、医療スタッフが使用する部屋で2.5 μ m以下の微小なエアロゾル中にSARS-CoV-2のRNAが検出された。この結果を受け、換気、殺菌、トイレの適切な利用等への配慮が必要と指摘。（Liu Y *et al.*, Nature, 582, pp.557-560, 2020）

1-2. 室内環境でのマイクロ飛沫感染に関連する研究動向

<室内環境での新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の挙動について>

- 日本国内初期110例の感染事例調査をもとに一人の感染者が生み出す二次感染者数を分析した結果、密閉された室内環境（換気が不十分な環境）での感染確率は屋外環境と比べ18.7倍も高いと推計された。（Nishiura H *et al.*, MedRxiv, 2020.02.28.20029272）
- 集団感染（クラスター）が発生した広州市のレストランの当日の状況を再現した分析の結果、換気のための排気ファンはほぼ全て止められており、換気量は0.7～3.7 m³/(時間・人)（換気回数0.56～0.77回/時間）だったことが明らかになった。（Yuguo Li *et al.*, medRxiv, 2020.04.16.20067728）
- ダイヤモンド・プリンセス・クルーズ船の諸表面と空中のSARS-CoV-2の調査からは空気伝播を示唆する証拠は得られなかった。しかし、廊下、天井、排気口からSARS-CoV-2のRNAが検出された。このことから特殊な環境でウイルスが遠方まで浮遊する可能性について更なる検討が必要と指摘。（国立感染症研究所：ダイヤモンドプリンセス号環境検査に関する報告（要旨），2020.05.03公表） また米国疾病予防管理センター（CDC）は、同船について、2月8日時点で空調機（エアハンドリングユニット）を介した空間のウイルスの伝播に関するエビデンスはないとした。アウトブレイクの主要な感染経路は飛沫・接触感染であり、中央空調システムを介した長距離の空気感染は起きていないと考えられるとの見解を示した。（Xu *et al.*, medRxiv, 2020.04.09.20059113）

1-2. 室内環境でのマイクロ飛沫感染に関連する研究動向

<専門家らによる提言>

- “How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimized?”
(Morawska *et al.*, Environmental International, 142, 2020) :
36名の科学者による提案で、SARS-CoV-2の感染経路として飛沫感染、接触感染に加え、室内環境でのマイクロ飛沫による感染経路への工学的な備えの重要性を指摘。室内環境での感染防止策として、工学的には適切な換気が必要不可欠である。換気が困難な場合、フィルターや局所の紫外線殺菌が有効な可能性がある」と主張。この後、同一グループがWHOへ公式書簡を提出
- “Can HVAC Systems Spread COVID-19?” (ASHRAE, 2020.05.31) :
米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) の専門家会議は、COVID-19が空調システムを介して感染拡大したという事例報告はなく、空調は換気とフィルタによるろ過によって感染リスクの低減に寄与することを認識することが重要と主張。
- “空調・換気によるCOVID 19 の拡散はあるのか？ 空気調和・衛生工学分野の専門家からの見解” (空気調和・衛生工学会 新型コロナウイルス対策特別委員会, 2020.06.15) :
建築物衛生法を遵守して計画・運用されている建築物では、換気とフィルタの性能を勘案すれば人員密度が適切に管理されている限り空調システムを介した空間の感染拡大のリスクは極めて低いものと考えられると主張。

1-3. 室内環境でのマイクロ飛沫感染のリスクを抑えるための研究開発

- 室内環境でのマイクロ飛沫感染についての研究に加え、空調の観点からは以下のような研究開発が今後一層重要となる可能性

(例)

- 感染症と換気・ろ過の関係の解明（数理モデル化）
- 適切な換気・ろ過のための空調・換気設備の開発
- UVGI（紫外線殺菌照射装置）を活用した空調・換気設備の開発

表 感染症への工学的な対策：居住空間での具体策と実用・研究における優先度

対策	対象となるカテゴリー	実用への優先度	研究としての優先度
希釈換気	すべて	高	中
温湿度管理	すべて（7と11を除く）	中	高
個別換気	1, 4, 6, 9, 10, 14	中	高
局所排気	1, 2, 8, 14	中	中
全般換気でのフィルター設備	すべて	高	高
局所換気でのフィルター設備	1, 4, 6, 7, 8, 10	中	高
室上部での殺菌照射（UVGI）	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 14	高	特に高い
ダクト、空調機内での殺菌照射（UVGI）	1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 14	中	特に高い
室内気流制御	1, 6, 8, 9, 10, 14	高	高
差圧による自然換気	1, 2, 7, 8, 11, 14	高	高

※個々の対策を併用すると効果が高まる

1. 病院等（入院・外来）、2. 施設、3. 教育機関（小学校低学年以下）、
4. 教育機関（小学校高学年以上）、5. 飲食店、6. インターネットカフェ/娯楽室、
7. ホテル、宿泊施設、寮等、8. 避難所等、9. 集会場、待合室、10. 交通機関、
11. 多世帯住宅、長屋等、12. 小売店、13. スポーツ施設、14. 感染症の動物を扱う研究所

アメリカ暖房冷凍空調学会（ASHRAE）によるASHRAE Position Document on Airborne Infections Diseases (Expires August 5, 2020) 中のTable1をJST-CRDSが仮訳し表作成。
<https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/airborne-infectious-diseases.pdf>

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年7月8日実施
- 演題：「COVID-19を抑えるために空調・換気設備ができること」
- 講師：柳 宇（工学院大学 建築学部 教授）
- 概要：
 - 感染症の感染経路の一つとして空気感染と呼ばれる分類があること、これについて科学的に分かっていることを紹介。また新型コロナウイルスに関する報告や専門家らによる見解等についても紹介。
 - 空調・換気設備の観点からの感染症対策の可能性について先行研究等を紹介。

COVID-19の感染経路のまとめ

1. COVID-19の主な感染経路は接触感染と大きな飛沫感染である。
2. 飛沫が環境中を浮遊しているうちに、蒸発し様々な粒径の飛沫になる。
3. $<5\sim 10\mu\text{m}$ の感染性粒子が感染症の伝播に重要な役割を果たす。 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子は空中で長時間に浮遊する。
4. 換気量が少なく、部屋全体の希釈が充分に行われていない場合、SARS-CoV-2が1~2mより遠くまで拡散し、エアロゾル感染が起きる可能性がある（広州レストランの事例、SARS-CoV-1の R_0 の幅）。
5. 空調・換気システムを介した感染事例は報告されてない。
6. 人員密度を管理し、適切な空調・換気が計画・運用されれば、空調システムを介した室間の感染拡大のリスクは極めて低いものと考えられる。

SARS-CoV-2における空調・換気設備対策のまとめ

1. 感染者と非感染者の位置関係が特定されれば、ピストフローやPush-pull方式が適用できる（診察室、検査室）。一方、実際の場合、感染者の位置が分からない。この場合、室内に滞留域（ウイルス濃度が高くなる恐れがある）を作らないことを前提に混合型の換気方法が有効となる。
2. 換気量を増やせば増やすほど感染のリスク（確率）が下がる。
3. SARS-CoV-2は粒子状物質であるゆえに、エアフィルタによるろ過が有効である。
4. ヒトの呼吸器系由来の活性飛沫の粒径は殆ど $<5\sim 10\mu\text{m}$ である。オフィスの空調機に一般使用されている中性能エアフィルタは感染粒子を90%以上捕集できる。
5. SARS-CoV-2は微生物であるゆえに、UVGIによる対策が有効である。WHO、CDC、ASHRAEがUVGIを推奨しているが、国内の応用例が少ない。

図：柳教授講演資料から許可を得て抜粋

[参考] 講演概要

- 開催日：2020年7月8日実施
- 演題：「建築環境と感染症」
- 講師：田辺 新一（早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 建築学科 教授）
- 概要：
 - 感染症の感染経路の一つとして空気感染と呼ばれる分類があること、これについて科学的に分かっていることを紹介。また新型コロナウイルスに関する専門家による見解についても紹介。
 - 室内環境における飛沫、あるいは飛沫から水分が蒸発してできる飛沫核の挙動に関する研究例や対策例などについて紹介。
 - 在宅勤務の増加に伴うエネルギー消費の変化に関する今後の課題について指摘。

政府の注意喚起

WASEDA University

1. 換気を励行する：窓のある環境では、可能であれば2方向の窓を同時に開け、換気を励行します。ただ、どの程度の換気が十分であるかの確立したエビデンスはまだ十分にありません。
2. 人の密度を下げる：人が多く集まる場合には、会場の広さを確保し、お互いの距離を1-2メートル程度あけるなどして、人の密度を減らす。
3. 近距離での会話や発声、高唱を避ける：周囲の人が近距離で発声するような場を避けてください。やむを得ず近距離での会話が必要な場合には、自分から飛沫を飛ばさないよう、咳エチケットの要領でマスクを装着するかします。

引用：厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策専門家会議が2020年3月9日に公表した「新型コロナウイルス感染症対策の見解」

Department of Architecture, WASEDA University

空気感染対策手法の評価実験

WASEDA University

診察室において、各種感染防止対策手法を行った際の患者の咳による空気感染リスク低減効果を検討

咳気流（飛沫核）の模擬として
 トレーサーガスCO₂・模擬唾液・粉塵を噴出

マネキンの呼吸域の
 温度を測定

診察室を模擬した実験室

模擬咳気流発生装置を備えたマネキン（咳をする患者）

サーマルマネキン（咳に曝露される医師）

▲実験風景

感染防止対策

- 人体位置の変更
- プッシュプル装置
- 隔壁
- マスク

Department of Architecture, WASEDA University

図：田辺教授講演資料から許可を得て抜粋

謝辞

- 本資料の作成にあたり、国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センターが実施したエキスパートセミナーで専門分野の知見、研究開発動向などを講演いただいた有識者の皆様方に深く感謝いたします。