

博士論文

室内における接触感染曝露量に関する評価

Evaluation of Contact Infection Exposure in Indoor Environment

2018 年 2 月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科
建築学専攻 建築環境研究

尾方 壮行
Masayuki OGATA

室内における接触感染曝露量に関する評価
Evaluation of Contact Infection Exposure in Indoor Environment

目次

第1章 序論 pp.1 ~ 15

- 1.1 目的
- 1.2 背景
 - 1.2.1 感染症
 - 1.2.2 感染経路
 - ・ 接触感染
 - ・ 飛沫感染
 - ・ 空気感染
 - 1.2.3 感染対策
 - 1) 標準予防策
 - 2) 感染経路別予防策
 - ・ 接触予防策
 - ・ 飛沫予防策
 - ・ 空気予防策
- 1.3 関連する既往の活動・調査・研究
 - 1.3.1 ナイチンゲール「病院覚え書」
 - 1.3.2 換気と感染症被害
 - 1.3.3 咳による病原体の拡散
 - 1.3.4 病原体の生存率
 - 1.3.5 曝露量評価
 - 1.3.6 高頻度接触面
 - 1.3.7 顔粘膜面への手指による接触行動
 - 1.3.8 用量反応関係
- 1.4 本論文の構成
- 参考文献

第 2 章 模擬咳発生装置を用いた咳飛沫沈着量分布の測定..... pp.17 ~ 36

- 2.1 はじめに
- 2.2 模擬咳発生装置
 - 2.2.1 咳マシンの概要
 - 2.2.2 咳呼出風量
 - 2.2.3 咳速度・到達距離
 - 2.2.4 咳飛沫量
 - 2.2.5 飛沫の粒径分布
- 2.3 水平面への咳飛沫の沈着量分布
 - 2.3.1 実験方法
 - 2.3.2 水平面への咳飛沫沈着量測定結果と考察
- 2.4 顔粘膜面への咳飛沫の沈着量
 - 2.4.1 実験方法
 - 2.4.2 顔粘膜面への咳飛沫沈着量測定結果と考察
- 2.5 まとめ
- 注
- 参考文献

第 3 章 診察室における ATP 測定法による表面汚染度実測調査..... pp.37 ~ 59

- 3.1 背景と目的
- 3.2 ATP 測定法
 - 3.2.1 測定法の概要
 - 3.2.2 ATP 測定の微生物管理に対する有効性
 - 3.2.3 ATP 測定による汚染度の評価基準
 - 3.2.4 スワブによる対象面の拭き取り方法
- 3.3 診察室における汚染度の実測方法
 - 3.3.1 測定概要
 - 3.3.2 測定方法
 - 3.3.3 測定対象箇所
- 3.4 看護師と清掃者への意識調査概要
- 3.5 診察室における汚染度の実測結果
 - 3.5.1 業務前後の ATP 測定値
 - 3.5.2 汚染度の評価

- (1) 業務開始前の汚染度評価
 - (2) 業務終了後の汚染度評価
- 3.5.3 業務後の汚染度の増加
 - (1) 汚染度評価が悪化しなかった箇所
 - (2) 汚染度評価が悪化した箇所
- 3.5.4 用途や材質による汚染度の変化
 - (1) 椅子の手摺
 - (2) ドアノブ
- 3.6 看護師と清掃者への意識調査結果
 - 3.6.1 看護師と清掃者の清掃状況
 - 3.6.2 看護師と清掃者の汚染に対する意識
- 3.7 清掃方法の検討
 - 3.7.1 現状の清掃方法
 - 3.7.2 清掃方法の提案
- 3.8 まとめ
- 参考文献

第4章 ATP測定法による病室における清掃前後の表面汚染度実測調査..... pp.61～84

- 4.1 はじめに
- 4.2 対象病室における清掃方法
- 4.3 療養環境における環境表面汚染の実測概要
 - 4.3.1 実測概要
 - 4.3.2 実測手順
 - 4.3.3 実測対象面
 - 4.3.4 実測方法
 - 4.3.5 汚染度判定基準
- 4.4 実測結果および考察
 - 4.4.1 清掃前後のATP測定
 - (1) 清掃前のATP測定値
 - (2) 清掃後のATP測定値
 - 4.4.2 汚染度評価
 - (1) 清掃前の汚染度評価
 - (2) 清掃後の汚染度評価

- (3) 清掃前後の汚染度評価の変化
- 4.4.3 清掃方法による汚染度上昇
- 4.4.4 清掃順序による汚染度上昇
- 4.5 清掃方法の検討
 - 4.5.1 現状の清掃方法の課題
 - 4.5.2 清掃方法の提案
- 参考文献

第5章 診察室における接触行動を考慮した接触感染防止対策効果の評価.....pp.85 ~ 101

- 5.1 はじめに
- 5.2 診察室における接触行動データの取得
 - 5.2.1 解析概要
 - 5.2.2 模擬診察実験の概要
- 5.3 接触行動の解析結果
 - 5.3.1 診察の内容
 - 5.3.2 環境表面への接触回数
 - 5.3.3 医師の接触行動
 - 5.3.4 看護師の接触行動
 - 5.3.5 患者の接触行動
 - 5.3.6 患者症状別の接触回数
- 5.4 接触行動による汚染伝搬シミュレーション
 - 5.4.1 概要
 - 5.4.2 環境表面と手指間の汚染転写
 - 1) 転写効率
 - 2) 手と表面の面積
 - 3) 手と表面での病原体の不活率
 - 4) 会話、咳により表面に附着する飛沫量
 - 5) 環境表面の距離と素材
 - 6) 接触行動スケジュール
 - 7) 接触感染対策の評価
 - 5.4.3 接触感染対策手法の評価
- 5.5 まとめ
- 参考文献

第 6 章 模擬電車内における顔面接触頻度の測定..... pp.103 ~ 119

- 6.1 はじめに
- 6.2 実験概要
 - 6.2.1 測定項目
 - 6.2.2 実験条件
 - 6.2.3 実験手順
 - 6.2.4 アンケート調査
 - 6.2.5 環境条件
- 6.3 実験結果
 - 6.3.1 顔面・粘膜面接触頻度
 - 6.3.2 被験者属性による比較
 - (1) 皮膚表面の状態による影響
 - (2) 表面汚染に対する意識の影響
- 6.4 まとめ
- 参考文献

第 7 章 総括..... pp.121 ~ 125

Appendix..... pp. 127 ~ 156

- 英文要約 – English abstract-
- 図表リスト
- 調査原票
- 研究業績リスト

謝辞

第 1 章

序論

第 1 章 序論

1.1 目的

現代社会では、都市化や交通の発達により、感染症リスクが大きくなっている¹⁾。世界のどこかで発生した新しい感染症は、ただちに各地に伝播され、世界同時的に流行する恐れがある²⁾。2009 年に流行した新型インフルエンザ（H1N1）は、メキシコで発症した後、米国を経て 60 日で約 110 カ国に拡大した。2009 年新型インフルエンザウイルスは弱毒性であったが、今後、強毒性の H5N1 型病原性鳥インフルエンザウイルスなどが、変異によりヒト-ヒト感染能力を獲得した場合の被害は甚大になると考えられる。厚生労働省は新型インフルエンザ発生時の被害について、日本の人口の 25%である 3,200 万人が感染することを想定し、被害として 53 万人から 200 万人が入院患者となり、17 万人から 64 万人の死亡者が出ることを推定している^{3,4)}。今後も新興感染症が世界的に流行する可能性は増加すると考えられる。また、既存の感染症の制御も容易ではない。日本では冬季に流行し、毎年約 1,000 万人が感染する季節性インフルエンザについても、2015 年は死亡者が 2,000 人を超え、過去 20 年で最多となった。

感染拡大を抑制する上では予防的な対策を行うことが重要である。効果的な感染対策を取るためには、有効性を検討するために感染リスクを定量的に評価する必要がある。医療の現場においても、「経験に基づく医療（Experience-based Medicine）」から「根拠に基づく医療（Evidence-based Medicine）」への転換が進められており、感染対策の有効性を測る尺度の重要性は非常に高まっている。医療施設では、組織的な感染制御の取り組みが普及しているが、建築・建築環境設備の設計、運用についての検証を行うことは難しく、建築分野からの取り組みが不可欠である。

室内において感染症が伝播する経路には、主に飛沫感染、空気感染、接触感染の 3 つがあり、それぞれに対して有効な対策は異なる。空気感染、飛沫感染については、実験や数値熱流体解析の研究結果に基づいた曝露量評価が試みられている。一方で、接触感染はその経路が複雑であり、曝露量の定量化には、人から発生する病原体の拡散、室内環境の汚染状況、人の接触行動などを明らかにする必要があるが、研究事例は少ない。接触感染はメチシリン耐性黄色ブドウ球菌に代表される薬剤耐性菌の主要な感染経路であり、特に感染対策が重要である医療福祉施設において発生する感染の多くは手指による接触を介して発生することが知られている。また、飛沫感染が主な経路だと考えられているインフルエンザウイルスも接触感染すると報告されており、感染メカニズムの解明および効果的な対策の創出が求められる。

以上のような背景から、本論文では、接触感染経路による感染性物質への曝露量を評価し、有効な接触感染対策についての知見を得るため、咳飛沫の沈着量、室内の表面汚染度、室内における接触行動および顔面への接触頻度を明らかにすることを目的とした。

1.2 背景

1.2.1 感染症

感染とは、病原体が皮膚や粘膜面に侵入し、体組織内で安定的に増殖が継続する場合をいい、病原体の感染により生じる望まれない反応を総称して感染症という。感染症を引き起こす病原体には様々なものがあり、細菌、ウイルス、真菌などが含まれる。感染症を引き起こす病原体の伝播には、感染源、感受性宿主（被感染者）、感染経路が必要である。次項 1.2.2 に、建築・建築環境設備分野に深く関係する感染経路について、米国疾病管理予防センター（Centers for Disease Control and Prevention: CDC）によるレビューの要約を示す⁹⁾。

1.2.2 感染経路

室内環境において病原体が伝播する経路には、主に接触感染、飛沫感染、空気感染がある。伝播経路は病原体によって異なり、複数の経路により伝播するものもある。感染の拡大を防止するためには、伝播経路を遮断する必要がある。感染経路により有効な対策は異なり、それぞれに検討する必要がある。

・接触感染

接触感染は、最も一般的な感染経路であり、直接接触と間接接触に分けられる。直接接触感染は、汚染物を介さずに病原体が感染者から直接伝播することで発生するものである。間接接触感染は、感染者が触れた物や環境表面との間接接触によって発生する。間接接触による病原体の伝播経路を特定することは難しい。

・飛沫感染

飛沫感染は、咳やくしゃみなどによって口から発生する病原体を含む飛沫が、短距離で被感染者の感受性粘膜表面に伝播することで発生する。飛沫は、直径 5 μm 以上であると定義されている。飛沫感染は、正確に解釈すると接触感染の一形態であり、飛沫感染経路により伝播される病原体は、接触感染経路によっても伝播されると考えられる。鼻腔粘膜、結膜および口腔が呼吸器ウイルスを受け入れやすい侵入口であると報告されている。

・空気感染

空気感染は、長い間感染性を維持する病原体を含んだ飛沫核や微粒子の拡散によって起こる。飛沫核は、人が咳やくしゃみ、会話などをする時に生じる飛沫から水分が蒸発した粒子であり、直径 5 μm 以下であると定義されている。飛沫核は空気中に長時間浮遊し、室内や隣接する空間、空気が

流れる方向に運ばれる。インフルエンザウイルスやノロウイルス、SARS コロナウイルスなどの接触感染、飛沫感染すると考えられる病原体であっても、室内の限定された距離や、換気が不足した室内など特定の状況においては空気感染することがある。

1.2.3 感染対策

特に感染対策が重要である医療福祉施設については、重篤な感染症が発生した後に、感染症を予防するための調査が行われ、設計、運用のためのガイドラインなどが作成されてきた。日本では、主に CDC、American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)、American Institute of Architects (AIA)のガイドラインを参考に、日本医療福祉設備協会が病院設備設計ガイドラインを発行している。

CDC によるガイドラインは、膨大なサーベイランス、先行研究のレビューに基づいて作成されており、国際的に活用されている。CDC ガイドラインでは、感染症の伝播経路を断つための感染予防策として、標準予防策と感染経路別予防策を提唱している。全ての患者に適用する標準予防策（Standard Precaution）は、病原体を伝播する可能性のある血液や体液、分泌液など、すべての生体物質が感染を媒介するものとみなして対応し、感染症の診断が確定する前に発生しうる感染を防ぐ対策である。また、特定の感染症に対しては、更に空気感染、飛沫感染、接触感染の伝播を遮断する感染経路別予防策を追加して行う。以下に、標準予防策、感染経路別予防策の要約を示す。

1) 標準予防策

標準予防策には、手指衛生、予想される曝露に基づき使用される手袋、ガウン、マスク、ゴーグル、フェイスシールドなどの個人防護具、安全な注射手技、咳エチケットがある。手指衛生は、血液や体液、分泌物、汚染された物品などに触った後、手袋を外した直後、患者に接触した後に次の患者に接触する間に行う。血液や体液、分泌物、汚染された物品などに触る際や、目や鼻、口の粘膜面への曝露が想定される場合には、個人防護具を使用する。また、患者ケア区域における環境表面の清掃、消毒も標準予防策に含まれる。

2) 感染経路別予防策

・接触予防策

接触予防策の目的は、患者または患者周辺の環境に接触することによる病原体の伝播を防ぐことである。接触感染により伝播する危険性の高い感染症が疑われるかわかっている患者に用いる。患者または患者周辺の環境表面や物品に触れる際には常に手袋を装着し、衣類が接触する可能性がある場合にはガウンを着用する。手袋、衣類は入室時に装着し、退室時に脱いで手指衛生を行う。接触予防策

の対象となる患者の病室においては、高頻度接触面（ベッドレール、オーバーテーブル、ベッドサイド棚、洗面所表面、ドアノブなど）および患者周辺の器具に集中して、毎日1回以上など高頻度に洗浄と消毒を実施する。接触予防策を必要とする患者は個室に配することが望ましい。個室が利用できない場合には、他の患者配置方法について様々なリスクを見積もるため、感染対策担当者との協議が推奨される。多床室では、感染症患者と他の患者との間で物品が共有される機会を減らすために、3フィート以上の距離を確保することが推奨される。接触予防策が必要とされる病原体には、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌やバンコマイシン耐性腸球菌などの多剤耐性菌、クロストリジウム・ディフィシル、感染性胃腸炎を引き起こすロタウイルスやノロウイルスなどがある。

・飛沫予防策

飛沫予防策の目的は、感染者の呼吸器から発生した飛沫が被感染者の粘膜に接触することによる病原体の伝播を防ぐことである。空気予防策を必要としない病原体は、医療施設内では長距離にわたって感染性を維持しないと考えられているため、飛沫感染を防ぐために特殊な空気処理および換気を行う必要はない。飛沫予防策を必要とする患者は、接触予防策を要する患者と同様に、個室に配することが望ましい。多床室では、患者のベッドとベッドの間に3フィート以上の距離を確保することおよび、カーテンを閉め遮断することは特に重要である。医療従事者は、飛沫予防策下の患者と農耕接触するときにはマスクを着用する。飛沫予防策下の患者を病室外に搬送しなければならない際は、耐えられない場合を除きマスクを着用させ、咳エチケットを守る。飛沫予防策が必要とされる病原体には、百日咳、インフルエンザウイルス、アデノウイルス、ライノウイルス、髄膜炎菌、A群レンサ球菌などがある。

・空気予防策

空気予防策の目的は、空気中を浮遊し長距離にわたり感染性を維持する病原体の伝播を防ぐことである。空気予防策が必要な患者は空気感染隔離室に配することが望ましい。空気感染隔離室は1床室であり、隣接する空間に対して陰圧を保ち、それが監視できること、1時間あたり既存施設で6回、新改築施設では12回の換気が行えること、排気は外部に直接出すか、HEPA フィルターを通して再循環させることなどが必要である⁶⁾。空気予防策下の患者に対して医療行為を行う医療従事者は、病原体ごとの推奨事項に応じ、マスクもしくはレスピレーターを入室前に着用する。空気予防策が必要とされる病原体には、麻疹ウイルス、水痘ウイルス、結核菌などがある。

1.3 関連する既往の活動・調査・研究

1.3.1 ナイチンゲール「病院覚え書」

感染制御を目指す建築の原点として、フロレンス・ナイチンゲールによる「病院覚え書」⁷⁾が知られている。ナイチンゲールは、人口の密集する都市部の病院における患者の死亡率が、病院以外の場所で手当を受ける患者について予想される同じ疾病の死亡率よりも高いことを指摘し、“病院がそなえているべき第一の必要条件は、病院は病人に害を与えないことである”と提唱した。病院建築の設計上の欠陥として、多数の病人が密集していること、ベッド一つあたりの空間、換気、暖房、日照の不足を挙げ、この問題を改善することにより病院内で蔓延していた感染症の伝播を防ぐことが重要であると主張した。

1.3.2 換気と感染症被害

換気を行うことで、室内で発生する汚染物質を含んだ室内空気を排気し、新鮮な空気を取り入れることで汚染物質の濃度を低減することができる。居住者から室内空気中に発散され空気感染を引き起こす病原体に対して有効な対策である。建物の換気とヒトの健康性に関する調査は 19 世紀から行われており、これまでの研究により、換気量が多くなるに従い、疾病の罹患率や職場での病気による欠席率が低下することがわかっている。Seppänen ら⁸⁾は換気による健康への影響および身体反応についてレビュー調査を行い、換気量の増大により、空気感染の罹患率を低減させることができること、一人あたりの換気量が 10L/s 以下であると、一つ以上の健康影響または近く空気室に対する症状が現れることを報告した。Sundell ら⁹⁾は、換気量と人の健康影響の関係を調査した論文についてレビュー調査を行い、住宅においては 0.5 回/h 以下の不足した換気量とアレルギーの間に関連性があること、換気量とアレルギー罹患率に用量反応関係がみられたことを報告している。また、オフィスにおいて、換気量を 12L/s から 24L/s に上げると短期間の病欠率が 35%低減すること、換気量と風邪症状を引き起こすライノウィルスの検出率の間に正の相関がみられることを報告している。

1.3.3 咳による病原体の拡散

人からの病原体発散量については、いまだに十分な情報が得られていない。咳により生じる飛沫が環境表面にどのように分布するのかは定量的に把握されていない。また、どれだけの粒子が蒸発して飛沫核化するかも明らかではない。Zhu ら¹⁰⁾は、咳に伴う空気やエアロゾルの伝搬特性を被験者実験により検討した。PIV 測定により咳の気流速度を測定し、その影響範囲を可視化した。結果、咳の呼出速度は 6 ~ 22 m/s の広範囲に分布し平均値は 11.2 m/s であった。呼出気団中心の速度はおよそ 18.6 m/s であった。可視化実験においてトレーサー粒子として使用した小麦粉は呼出後、勢いを失わずに約 30 cm 以上飛び、その後速度減衰により拡散が進むとともに径が大きくなり影響範囲が広がっ

た。Gupta ら¹¹⁾は、咳の挙動と特徴を調査するために、肺活量計を使用して健康な被験者の咳流量を測定した。また、タバコの煙をトレーサーとして咳気流を高速度カメラにより撮影し、噴出角度および開口面積を画像から解析した。その結果、咳気流の流量の経時的变化、噴出角度、開口面積を人間の生理的特徴である性別、身長、体重を用いて定義した。咳の噴出角度は個体間で偏差が少なかったが、同じ被験者において咳をしている間の口の開口面積はほぼ一定にも関わらず、個体間による偏差が大きかったと報告している。

1.3.4 病原体の生存率

感染症を引き起こす主な病原体に室内環境の条件が与える影響に関しては、多くの研究が行われている。Harper¹²⁾は、異なる相対湿度環境下で 4 種の空気中浮遊ウイルスの生存率を測定し、低湿度環境においてインフルエンザウイルスの生存率が高かったと報告している。Shaman ら¹³⁾は、Harper により報告されたインフルエンザウイルスの生存率と相対湿度の相関性に関する実験データを再解析し、絶対湿度が空気温度や相対湿度よりもウイルスの生存率と強い相関があることを報告した。しかし、飛沫核に含まれたインフルエンザウイルスの安定性がなぜ大気中の絶対湿度条件に敏感なのかは明確ではなく、絶対湿度によってウイルスの生存率がどのように変化するかを明らかにするため、異なる環境条件下で飛沫を含む咳やくしゃみにより吐出される粒子の粒径分布がどのように変わることについて調査する必要があると報告している。東野ら¹⁴⁾は、MRSA を含む各種黄色ブドウ球菌の環境表面上での生存率を調査し、プロピレン布、アルミニウム表面、およびステンレス表面ではいずれも 30 日後の生存が確認されたため、表面の材質によっては長期間生存することを報告した。Bean ら¹⁵⁾は、Influenza A viruses、B viruses は、ステンレス、プラスチック等の硬質あるいは無孔質素材の表面上では 24~48 時間、布および紙上では 8~12 時間生存すると報告している。また、環境表面から人の手指に移動したウイルスは 5 分以上生存したことから、環境表面の汚染度が高い場合は、手指を介して環境表面からインフルエンザウイルスが体内に侵入し、感染が拡大する可能性があるとして報告している。

1.3.5 曝露量評価

相対湿度や空気温度などの温熱環境の変化により、病原体の生存率のみならず、咳により飛散される病原体を含んだ飛沫の挙動も変化し、曝露量に影響することが考えられる。このため、リスク評価を行う際には病原体の疫学的特徴に加え、感染経路となる人と環境の間において病原体を媒介する感染体の挙動も考慮する必要がある。Noti ら¹⁶⁾は、異なる相対湿度環境における空気感染について、インフルエンザウイルスを含んだ溶液を咳シミュレーターにより噴霧し、室内空気を呼吸マネキンにより吸引させ、吸気中のインフルエンザウイルス量および活性を測定した。その結果、40%RH 以上の環境で 15 分以内にインフルエンザウイルスの生存率が大きく下がり、感染リスクが低くなると報告している。Liu ら¹⁷⁾は短距離での空気感染について、トレーサーガスと呼吸サーマルマネキンを用い

て呼吸および咳による飛沫および飛沫核への曝露量を評価し、また数値熱流体解析によって人体各部位への飛沫の沈着について検討した。その結果、1.0~1.5 m 以内での咳飛沫核への曝露量が大きいこと、飛沫の沈着量分布は相対湿度により異なることを報告している。しかし、実験はトレーサースガスを用いて行われており、飛沫感染に関わる飛沫の顔粘膜面への沈着や、接触感染に関わる室内表面への飛沫の沈着量は実験的に測定されていない。咳飛沫核に関してはその挙動および吸気による曝露量について報告した研究は多いが、咳飛沫についてはその挙動を実験的に検証することが難しく、詳細に報告した研究は少ない。今後、感染リスクをより適切に評価するためには咳による飛沫の沈着量分布を把握する必要がある。

1.3.6 高頻度接触面

医療関連感染の多くは接触感染により起こると考えられている¹⁸⁾。CDC が発行した隔離予防策ガイドライン⁵⁾では、環境処置の項目において、すべての患者ケア区域において、高頻度接触面、特に患者に最も近く、最も汚染されている可能性がある箇所では清掃・消毒が重要であるとしている。しかし、こまめな清掃が必要とされる高頻度接触面については、ベッドレール、ベッドサイドの机、室内用便器、ドアノブ、シンク、患者近傍の表面等と述べるにとどまっており、明確に定義されておらず、どのような範囲を接触予防策の対象とするかは医療福祉施設ごとの判断に委ねられている。そのため、科学的な根拠に基づいて対策を検討することが難しく、環境表面の清浄化が不十分となることや、過剰な清掃の要求により業務負担が増大する恐れがあると考えられる。以上より、汚染源の清掃が不十分となる恐れがあるため、科学的根拠に基づいた対策が求められる。Huslage ら¹⁹⁾は、医療動作を観察することによりに医療従事者が接触する箇所に関して調査を行った。結果、ICU の病室において高頻度に接触される high-touch と分類した箇所は、ベッドレール、ベッド表面、サプライカートの3箇所であり、これらの箇所はそれぞれ1回の医療動作につき3回以上接触されていたこと、一般外科病棟の病室において high-touch と分類した箇所は、ベッドレール、オーバーテーブル、点滴ポンプ、ベッド表面の4箇所であり、これらの箇所はそれぞれ1回の医療動作につき1回以上接触されていたことを報告した。

1.3.7 顔粘膜面への手指による接触行動

Nicas ら²⁰⁾は、男性5名、女性5名の実験参加者を対象として、実験室内でのデスクワークを3時間撮影し、顔面への手指による接触回数を測定し、全実験参加者の平均顔面接触回数は47回、標準偏差は34回であったと報告している。Alonso ら²¹⁾は、公共広場および地下鉄内において、無作為に選出した249名を対象に、合計66.2時間の行動観察を行い、顔面および環境表面への接触頻度を報告した。口および鼻の粘膜面に3.6回/h、公共物などの環境表面に3.3回/hの頻度で接触していると報告した。Johnston ら²²⁾は、バイオセーフティレベル2実験室の男性52名、女性41名の実験室スタッフの通常実験業務時に手指による顔面への接触頻度および接触箇所を測定した。結果として、全体で

計 396 回の顔面接触があり、接触頻度は平均で 2.6 回/h となった。測定対象者の 72%が 1 回以上顔面に接触し、接触頻度は 0.2~16.0 回/h の範囲で分布した。顔面接触箇所の内訳は、鼻への接触が最大で 44.9%、次いで額への接触が 36.9%、頬および顎への接触が 12.5%、口への接触が 4.0%、目への接触が 1.7%であった。また、実験室における感染制御のレベルが上昇すると、実験室スタッフの顔面接触回数は有意に減少する傾向があったことを報告している。Kwok ら²³⁾は、ニューサウスウェールズの医学生 26 名を対象として、大学教室において講義を受講する様子をビデオカメラにより 4 時間撮影し、顔面接触頻度を測定した。対象者となる医学生は、感染制御に関する 4 時間の講義を測定前の 12 ヶ月以内に受講した。結果として、平均顔面接触頻度は 22.6 回/h、口への平均接触頻度は 4 回/h、鼻へは 3 回/h、目へは 3 回/h であったと報告している。全顔面接触のうち、44%が粘膜面への接触、56%が非粘膜面への接触であった。また、粘膜面接触の内訳は口への接触が 36%、鼻への接触が 31%、目への接触が 27%、複数粘膜面への接触の組み合わせが 6%であったことを示している。以上のように、異なる環境下での顔粘膜および顔面への接触頻度の報告はいくつかあるが、実験参加者の属性によってどのように接触頻度が異なるかは明らかではない。また、活動の内容や身体の姿勢が接触頻度に影響する可能性も考えられるが、知見は少なく解明が求められる。

1.3.8 用量反応関係

用量反応関係とは、生物に対して物質や物理的作用を与えたときに、その用量、濃度や作用強度と生物の反応との間にみられる関係である。代表的な感染症については、特定の病原体が対象とする集団に引き起こす影響の確率を、病原体の曝露量の関数として表した用量反応モデルが開発されている。モデルの開発には実験協力者や、遺伝子組み換えマウスによる曝露量とその影響を調査した実験データが用いられる。Watanabe ら²⁴⁾は、SARS コロナウイルスに感受性のある遺伝子組み換えマウスの感染と、SARS と臨床的に関連があると考えられる Murine hepatitis virus strain 1 (MHV-1)へのマウスの感染の 2 つのデータセットを基に、SARS コロナウイルスの用量反応モデルを開発し、10%および 50%感染量は、それぞれ 43、280 PFU (plaque forming units) であると推定した。この推定感染力は、ヒトの一般的な風邪の病原体として知られている人コロナウイルス-229E と同等であると報告した。また、2003 年に香港アモイガーデンで発生した SARS の疫学データを開発したモデルにより解析し、アウトブレイク時の住民の SARS コロナウイルスの推定曝露量は、16~60 PFU/人の範囲であると推計した。また、インフルエンザウイルスについても人の被験者実験結果から用量反応モデルを開発し、ウイルスのタイプと人の年齢が用量反応関係を決定する重要な因子であることを報告した²⁵⁾。

1.4 本論文の構成

Fig. 1-1 に本論文の構成を示す。本論文は7章で構成されている。

第1章では、本研究の目的を述べるとともに、研究背景および既往の研究について概観し、本研究の範囲および意義を示した。

第2章では、咳による感染リスクを評価するために製作した模擬咳発生装置の咳呼出風量、咳速度・到達距離、咳飛沫量、飛沫の粒径分布を被験者実験結果と比較し、精度を検証した。同装置を用いて水平面、顔粘膜面に沈着する咳飛沫量を測定し、距離および相対湿度による影響を調べた。

第3章では、医療施設における環境表面の汚染実態と清掃による汚染除去効果を把握することを目的として、都内大学病院の外来診察室において業務前後における表面汚染度の実測調査を ATP (Adenosine Tri-Phosphate) 測定法により行った。また、看護師と清掃者の表面汚染に対する意識と汚染実態の関係を明らかにすることを目的として、外来診察室を担当する看護師および清掃者へのヒアリングによる意識調査を行った。

第4章では、病室において患者退院後に行われる退院時清掃の前後で表面汚染度を把握し、高濃度に汚染される箇所の特定および清掃の効果を評価することを目的として、ATP 測定法により病室 35 床の表面汚染度を測定した。また、実測結果をもとに清掃方法を検討し、効果を改善する方法を提案した。

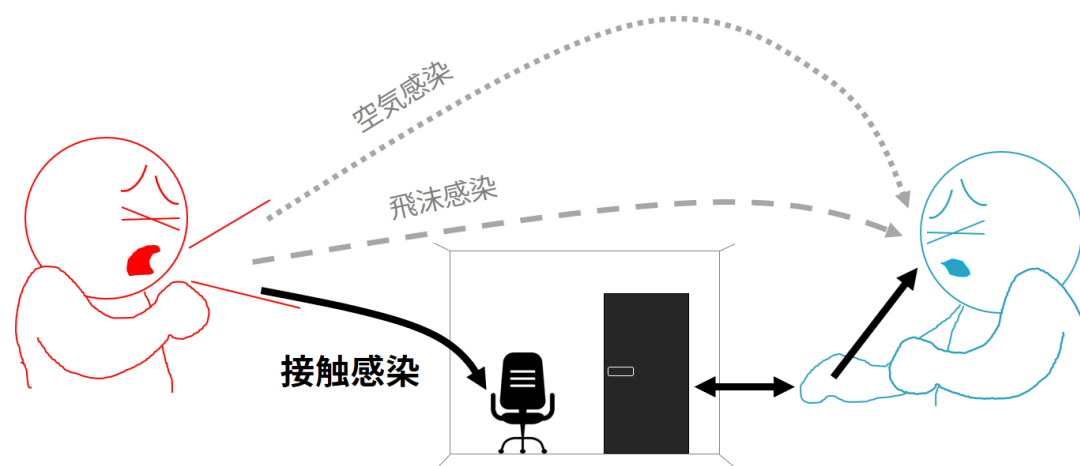
第5章では、診察室における医者・看護師の手指による接触行動を模擬診察実験動画の解析により明らかにした。また、得られた接触行動データをもとに手指と環境表面間の汚染転写について数値解析を行い、接触感染対策として行われる手指衛生および清掃の効果を評価した。

第6章では、不特定多数の人が自由に利用する室内環境における接触感染曝露量評価に関して、接触感染を引き起こす直接的な原因となる手指による顔面への接触頻度を明らかにするために、感染リスクが高いと考えられる電車室内を模擬した実験室を作製し、実験参加者の協力を得て測定を行った。また、皮膚の状態や衛生意識に関してアンケート調査を行い、実験結果との関係を分析した。

第7章では、各章の研究結果を総括した。

第1章 序論

研究目的・背景、論文構成、関連する活動・研究の調査



咳による病原体の拡散

第2章

模擬咳発生装置による
咳飛沫沈着分布の測定

室内環境での 汚染度分布

第3章

診察室の表面汚染度調査

第4章

病室の表面汚染度調査

接触行動

第5章

診察室における接触行動調査

第6章

顔面接触頻度の測定

第7章 総括

Fig. 1-1 Contents of the thesis

参考文献

- 1) World Health Organization: International Health Regulations (2005) Third edition, 2016
- 2) Watts, D. J.: Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness, Princeton University Press, 1999
- 3) 4th Meeting for Experts on Measures against Pandemic Influenza, etc. Subcommittee on Medical and Public Health : Assumption of Damage at the Time of Occurrence of a New Type of Influenza, 2012.11
新型インフルエンザ等対策有識者会議 医療・公衆衛生に関する分科会（第4回）, 新型インフルエンザ発生時の被害想定について, 2012.11.12
- 4) Cabinet Secretariat Countermeasures Office for New Influenza etc., Countermeasures Against New Influenza etc.: Government Action Plan, 2013.06
内閣官房新型インフルエンザ等対策室, 新型インフルエンザ等対策政府行動計画, 2013.6.7
- 5) Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., Chiarello, L., and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings.
- 6) AIA. Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities. In: American Institute of Architects. Washington, DC: American Institute of Architects Press; 2006.
- 7) ナイチングール著作集 第二巻, 現代社, 第1版, 1997年
- 8) Seppänen, O. A. and Fisk, W. J.: Summary of human responses to ventilation, Indoor Air, 14(7), pp.102-118, 2004
- 9) Sundell, J. et al.: Commemorating 20 Years of Indoor Air, Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature, Indoor Air, 21(3), pp. 191–204, 2011. doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x.
- 10) Zhu, S., Kato, S., and Yang, J.-H.: Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment, Building and Environment, 41, pp.1691-1702, 2006. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.06.024
- 11) Gupta, J.K., Lin, D.-H., and Chen, Q.: Flow dynamics and characterization of a cough, Indoor Air, 19(6), pp.517-525, 2009. doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00619.x.
- 12) Harper, G. J.: Airborne Micro-Organisms: Survival Tests with Four Viruses, The Journal of Hygiene, 59(4), pp. 479-486, 1961
- 13) Shaman, J., and Kohn, M.: Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality, PNAS, 109(9), pp.3243-3248, 2009. doi: 10.1073/pnas.0806852106.
- 14) 東野督子, 神谷和人: 医療施設で使用する資材や器材に付着した Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* の各種温度条件における生存性, 環境感染誌, 26(2), pp.67-73, 2011
- 15) Bean, B., Moore, M., Sterner, B., Peterson, L. R., Gerding, D. N., Balfour, H. H.: Survival of Influenza Viruses on Environmental Surfaces, The Journal of Infection Diseases, 146(1), pp.47-51, 1982.

- 16) Noti, J. D., Blachere, F. M., McMillen, C. M., Lindsley, W. G., Kashon, M. L., Slaughter, D. R., Beezhold, D. H.: High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs, *PLOS ONE*, 8 (2), e57485, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0057485.
- 17) Liu, L., Li, Y., Nielsen, P. V., Wei, J., and Jensen, R. L.: Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people, *Indoor Air*, 27(2), pp.452-462, 2017. doi: 10.1111/ina.12314.
- 18) Weber DJ, Rutala WA, Miller MB, Huslage K, Sickbert-Bennett E: Role of hospital surface in the transmission of emerging health care-associated pathogens, *Am J Infect Control*, 38, pp.25-33, 2010
- 19) Huslage K et al : A quantitative approach to defining "high-touch" surfaces in hospitals, *Infection control and hospital epidemiology*, 31(8), pp.850-853, 2010. doi: 10.1086/655016.
- 20) Nicas, M., and Best, D. : A Study Quantifying the Hand-to-Face Contact Rate and Its Potential Application to Predicting Respiratory Tract Infection, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(6), pp. 347-352, 2008. doi: 10.1080/15459620802003896.
- 21) Alonso, W. J., Nascimento, F. C., Shapiro, J., Schuck-Paim, C.: Facing Ubiquitous Viruses: When Hand Washing Is Not Enough, *Clinical Infectious Diseases*, 56(4), p.617, 2013. doi: 10.1093/cid/cis961.
- 22) Johnston, J. D., Eggett, D., Johnson, M. J., Reading, J. C.: The Influence of Risk Perception on Biosafety Level-2 Laboratory Worker's Hand-To-Face Contact Behaviors, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11(9), pp.625-632, 2014. doi: 10.1016/j.ajic.2017.08.036.
- 23) Kwok, Y. L., Gralton, J., Mclaws, M. L.: Face Touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene, *American Journal of Infection Control*, 43(2), pp.112-114, 2015. doi: 10.1016/j.ajic.2014.10.015.
- 24) Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., Omura, T., and Haas, C.N.: Development of a Dose-Response Model for SARS Coronavirus, *Risk Analysis*, Vol. 30, No. 7, pp.1129-1138, 2010. doi: 10.1111/j.1539-6924.2010.01427.x.
- 25) Watanabe, T., Bartrand, T.A., Omura, T., and Haas, C.N.: Dose-Response Assessment for Influenza A Virus Based on Data Sets of Infection with its Live Attenuated Reassortants, *Risk Analysis*, Vol. 32, No. 3, pp.555-565, 2012. doi: 10.1111/j.1539-6924.2011.01680.x.

第 2 章

模擬咳発生装置を用いた咳飛沫沈着量分布の測定

第 2 章 模擬咳発生装置を用いた咳飛沫沈着量分布の測定

2.1 はじめに

インフルエンザなどの呼吸器感染症は、咳により生じる病原体を含む飛沫によって感染拡大する。インフルエンザについては顔の粘膜面への飛沫の曝露によって起きる飛沫感染が主な感染経路であると考えられている¹⁾が、咳飛沫などによって汚染された表面から手指を介して起きる接触感染や、飛沫核を吸引することにより起きる空気感染が支配的であるとする報告もある^{2, 3)}。感染者の咳やくしゃみによる病原体の飛散はどの感染経路を経る場合においても大きな脅威であり^{4, 5)}、特に医療福祉施設には多くの感染患者が来院するため、医療従事者は診察や治療のため感染源となる患者から直接咳による曝露を受けるリスクが高い。2003 年に世界的に流行した Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) の事例では、感染者の 21%が医療従事者であり、医療関連感染が感染拡大の重要な要因であった⁶⁾。

感染症を引き起こす病原体に環境が与える影響に関しては、多くの研究が行われている。Harper⁷⁾は、異なる相対湿度環境下で 4 種の空气中浮遊ウイルスの生存率を測定し、低湿度環境においてインフルエンザウイルスの生存率が高かったと報告している。しかし、相対湿度や空気温度などの温熱環境により、病原体の生存率のみならず、咳により飛散される病原体を含んだ飛沫の挙動も変化し、曝露量に影響することが考えられる。このため、リスク評価を行う際には病原体の疫学的特徴に加え、感染経路となる人と環境の間において病原体を媒介する感染体の挙動も考慮する必要がある。

Noti ら⁸⁾は、異なる相対湿度環境における空気感染について、インフルエンザウイルスを含んだ溶液を咳シミュレーターにより噴霧し、室内空気を呼吸マネキンにより吸引させ、吸気中のインフルエンザウイルス量および活性を測定した。その結果、40%RH 以上の環境で 15 分以内にインフルエンザウイルスの生存率が大きく下がり、感染リスクが低くなると報告している。Liu ら⁹⁾は短距離での空気感染について、トレーサースガスと呼吸サーマルマネキンを用いて呼吸および咳による飛沫および飛沫核への曝露量を評価し、また数値熱流体解析によって人体各部位への飛沫の附着について検討した。その結果、1.0～1.5 m 以内での咳飛沫核への曝露量が大きいこと、飛沫の附着量分布は相対湿度により異なることを報告している。しかし、実験はトレーサースガスを用いて行われており、飛沫感染に関わる飛沫の顔粘膜面への沈着や、接触感染に関わる室内表面への飛沫の沈着量は実験的に測定されていない。咳飛沫核に関してはその挙動および吸気による曝露量について報告した研究は多いが、咳飛沫についてはその挙動を実験的に検証することが難しく、詳細に報告した研究は少ない。また、数学的モデルにより感染リスクを評価し、感染経路の相対的な影響度を評価した研究^{2, 3, 10)}はあるが、多くの推定値が用いられており、未だ各感染経路の相対的な重要度は明らかではない^{1, 8)}。今後、接触感染のリスクをより適切に検討するためには咳による飛沫の沈着量分布を把握する必要がある。

本章では、感染リスクを定量的に評価するために作製した模擬咳発生装置の概要を示し、人の咳に関する先行研究調査および本研究で行った実験により得られた咳に関するデータと比較し、精度検証を行った結果を報告する。また、この模擬咳発生装置を用いて感染経路ごとの曝露量評価に必要なデータを得ることを目的として、水平面への飛沫沈着量、顔粘膜面への飛沫沈着量を測定した実験について報告する。

2.2 模擬咳発生装置

咳による感染リスクを定量的に評価するために、模擬咳発生装置（以下、咳マシン）を開発した。以下に咳マシンの概要と風量、咳到達距離・速度、飛沫量、飛沫の粒径分布について、咳マシンの精度検証を行った方法および結果を示す。

2.2.1 咳マシンの概要

Fig. 2-1 に咳マシンの概略図を、Fig.2-2 に咳マシンの写真を示す。本装置はコンプレッサーもしくはガスシリンダーによる圧縮気体の気体圧力および電磁弁の開閉時間を調節し、口腔モデルから噴射することで咳気流を模擬する。また、二流体ノズルを用いて、水タンクから気体の吸引効果により液体を送り、混合することで飛沫を生成する。混合された気液は口腔モデルを経て開口部から模擬咳として噴出される。口腔モデルは直径4 cm、長さ13 cmの円筒とした。口腔モデルに設けた開口部は、Gupta ら¹¹⁾により報告された咳噴出時の開口面積である4 cm²とした。電磁弁の開放時間についても、Gupta らにより報告された人間の咳噴射時間である0.2秒とした。また、本稿で報告する実験では、コンプレッサーもしくはガスシリンダーに接続するレギュレーターにより設定する気体圧力は0.4 MPaとした。

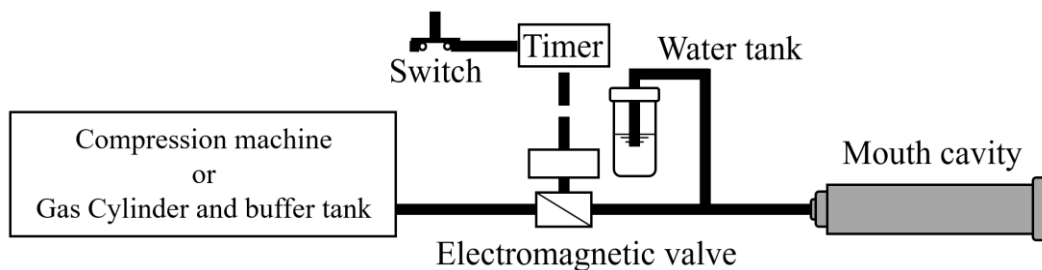


Fig. 2-1 Schematic diagram of the cough machine

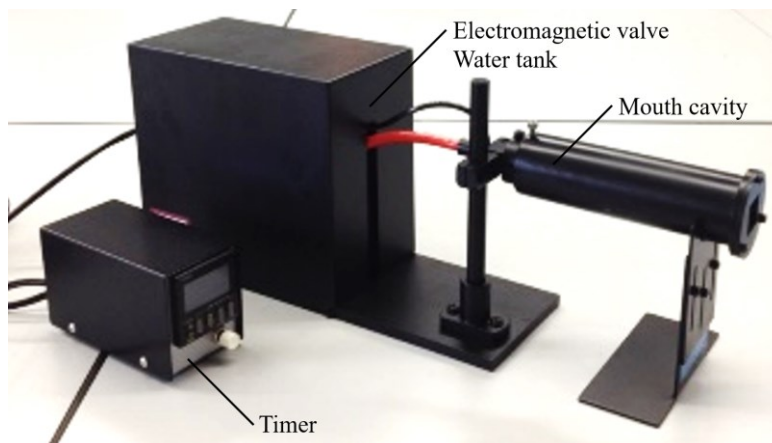


Fig. 2-2 Photograph of the cough machine

2.2.2 咳呼出風量

模擬咳の咳呼出風量について、サンプリングバッグに模擬咳を 5 回噴射し、捕集した空気を積算流量計 (WS-1A: シナガワ) により測定した。5 回の平均をとり模擬咳 1 回分の咳呼出風量を算出した。同様の方法で、3 回の測定を行った。測定の結果、平均値と標準偏差は 0.97 ± 0.03 L となった。

Zhu ら¹²⁾は、男性 3 名の実験参加者について咳呼出風量を測定し、0.8 ~ 2.2 L であったと報告している。また、Gupta ら¹¹⁾は女性 12 名、男性 13 名の実験参加者について咳呼出風量を測定し、女性で 0.25 ~ 1.25 L、男性で 0.40 ~ 1.60 L となったと報告している。以上より、咳マシンによる咳呼出風量が先行研究で報告されている咳呼出風量の範囲内の値を取ることを確認した。

2.2.3 咳速度・到達距離

咳マシンによる模擬咳気流が人の咳速度を再現しているかを検証した。口腔モデル内に散布したベビーパウダー (ピジョンベビーパウダー) を模擬咳気流によって噴射し、レーザーシートを垂直に照射することで可視化した。横方向から高速度カメラ (K-III: カトウ光研) を用いて 1000 frame per second で撮影し、3 回の測定を行った。Tang ら¹³⁾が咳の気流挙動を可視化画像から解析した方法と同様に、各画像の咳気流の水平最大到達距離を目視により定め、時間的に連続する 2 画像間の水平最大到達距離の差を経過時間で除することで、咳の伝搬速度を求めた。使用したベビーパウダーの粒径は 0.3 ~ 170 μm の範囲に分布している¹⁴⁾。

Fig. 2-3 に模擬咳気流の可視化画像を、Fig. 2-4 に咳到達距離および咳速度の経時変化を示す。グラフには 3 回の測定で得られた平均値を示している。最大咳速度は噴射直後にみられ、平均で 8.8 m/s、最大で 10.9 m/s となった。可視化された咳気流の到達距離は、0.1 秒後に 0.4 m、0.2 秒後に 0.6 m、0.3 秒後に 0.7 m となった。

Zhu ら¹⁵⁾は、男性 3 名の実験参加者の咳気流を Particle Image Velocimetry 法により測定し、咳の初期速度は 10 m/s 前後の値が最も多く、平均で 11.2 m/s であったと報告している。その他に、Xie ら¹⁶⁾は 10 m/s、Chao ら¹⁷⁾は 11.7 m/s であったと報告しており、先行研究で報告されている最大咳速度と咳マシンによる結果はおおむね一致し、人の咳気流を模擬できていることを確認した。

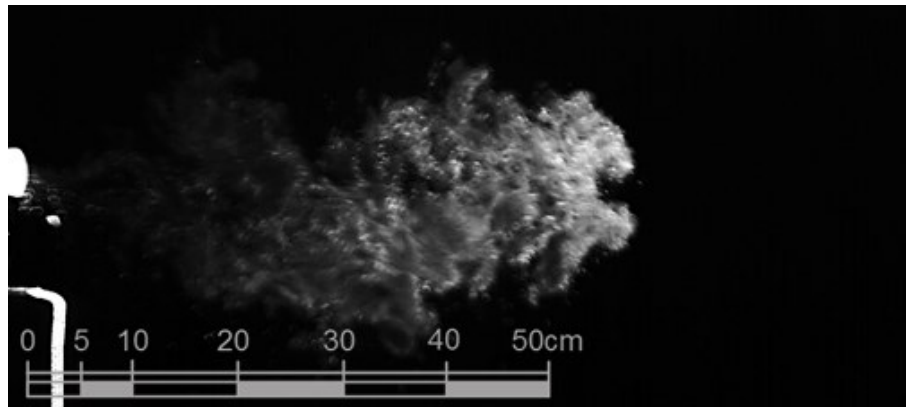


Fig. 2-3 Visualization of a simulated cough

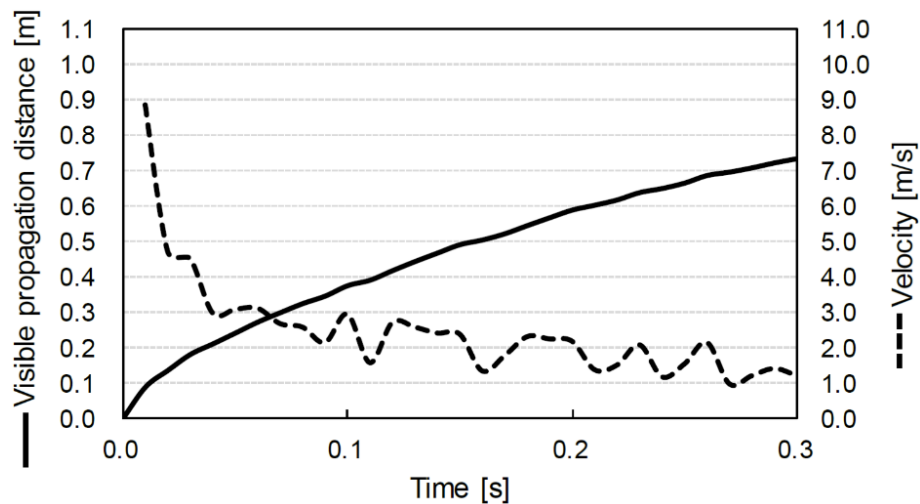


Fig. 2-4 Visible propagation distance and velocity of the simulated cough

2.2.4 咳飛沫量

1回の模擬咳あたりに含まれる飛沫量について、ポリフッ化ビニル製のサンプリングバック内に模擬咳を5回噴射し、噴射前後の重量の差をとり、咳1回分の飛沫重量を算出し、3回の測定を行った。飛沫には水1 Lに対して、塩化ナトリウム 12 g とグリセリン 76 g を加え、粘性を調整した模擬唾液¹⁸⁾を用いた。結果として、咳マシンによる咳1回あたりの飛沫量は平均で 11.3 mg となった。

Zhu らは¹⁵⁾、サージカルマスクにより捕集される実験参加者による咳飛沫の重量を測定し、咳1回あたりの飛沫重量は実験参加者により 6~8 mg となり、平均で 6.7 mg となったと報告している。Xie

ら¹⁵⁾は同様の測定を行い、マスクを使った捕集により咳1回あたり平均で1.1 mg、プラスチックバックを用いた捕集により平均で4.2 mg となったと報告している。また、Lindsley ら¹⁹⁾により用いられた咳シミュレーターが1回の咳で発生させる飛沫量は63 mg であった。

人の咳飛沫重量を測定した研究は少ないが、飛沫の個数濃度についてはより多くの報告²⁰⁻²²⁾があり、0.001~5.5/cm³と非常に大きなばらつきがある。本測定では、Zhu らの結果よりも飛沫重量はやや多い結果となった。咳飛沫量が多い場合、飛沫の相互作用が挙動に影響を与える可能性があるが、Lindsley らの咳シミュレーターよりも咳マシンの結果は人の咳飛沫重量に近く、その影響は比較的小さいと考えられる。

2.2.5 飛沫の粒径分布

咳マシンによる模擬咳が人の咳に含まれる飛沫の粒径が分布する範囲の飛沫を発生させられているかを確認することを目的とし、咳マシンによる模擬咳と実験参加者の咳による飛沫の粒径を比較した。実験参加者は健康な20代男性2名とし、各1回の測定を行った。Table 2-1 に実験参加者の属性を示す。咳マシンについては3回の測定を行った。

幅30.5 cm、奥行き50.8 cm、高さ36.6 cmの箱内部に計60枚の感水紙(Sygenta: Switzerland)を設置した。感水紙とは、水滴の沈着した部分が発色する特殊コーティング紙である。本研究では縦5.2 cm、横7.6 cmの大きさの感水紙を用いた。室内環境を空気温度26℃、相対湿度70%RHに調整した後、実験参加者もしくは咳マシンは、箱内部に向かって咳を15秒間隔で20回行った。20回目の咳噴射から3分後に感水紙を回収し、飛沫が沈着した部分が発色した感水紙からスキャナー(GT-X980: エプソン)により2400 dot per inch で画像データを取得し、飛沫痕の沈着数とそれぞれの面積を画像解析ソフトImage J (Wayne Rasband: アメリカ国立衛生研究所)を用いて算出した。また、得られた飛沫痕の面積から感水紙解析ソフトウェアまいAのード(ノズルネットワーク)により飛沫痕直径および飛沫の粒径を解析し^{注1)}、実験参加者と咳マシンの結果を比較した。

Fig. 2-5 に実験参加者・咳マシンによる飛沫の粒径分布を示す。横軸に粒径幅10 μm ごとに区分した粒径範囲をとり、縦軸に飛沫総数に対する各粒径範囲の飛沫個数の割合を粒径幅で除した確率密度を示している。本研究では、検出下限の粒径が4 μm^{注2)}となったため、粒径10 μm 以下とする範囲の粒径幅は6 μm である。実験参加者Aでは粒径10 μm 以下の飛沫が全体に占める割合が最大の25%となり、その後は飛沫の粒径が大きくなるにつれて割合が減少する傾向が見られた。実験参加者Aでも同様の傾向が見られ、粒径10 μm 以下の飛沫が全体に占める割合は27%となった。実験参加者と咳マシンによる飛沫の粒径分布を比較した場合、咳マシンは粒径10 μm 以下で最大の29%となり、実験参加者の全飛沫に対して粒径10 μm 以下の飛沫が占める割合に近い値を示した。咳マシンによる飛沫に

において、小さな飛沫の占める割合が大きくなった理由として、実験参加者よりも咳マシンが発生させる飛沫量がやや多いことが考えられる。飛沫の粒径が大きくなるにつれて全体に占める割合が減少する傾向は実験の結果と一致した。以上より、咳マシンは人の咳に含まれる飛沫の粒径が分布する範囲の飛沫を発生させることができ、人の咳を十分模擬できると考えられる。

Table 2-1 Physiological data of participants

Subject	Age	Height [m]	Weight [kg]	Sex
A	23	1.79	65	Male
B	25	1.69	68	Male

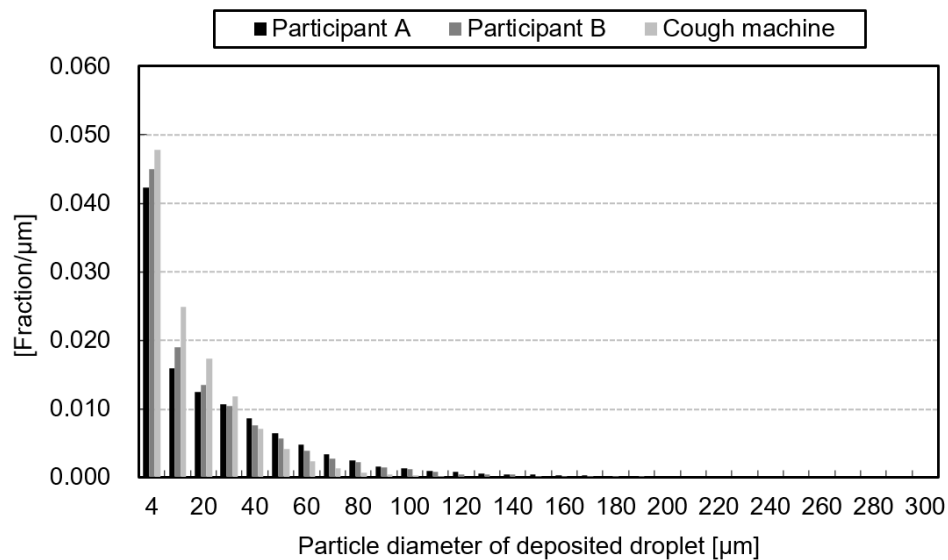


Fig. 2-5 Number-size distribution of deposited droplets

2.3 水平面への咳飛沫の沈着量分布

咳により飛散する飛沫の沈着量分布を測定するために、2015年1月9日から1月18日にかけて昭和女子大学の人工気候室（4.0 m×7.9 m×3.0 m）にて実験を行った。咳マシンを用いて模擬咳を噴射し、測定対象面に設置した感水紙により、飛沫沈着数、飛沫沈着量を測定した。Fig. 2-6 に実験室平面図を示す。

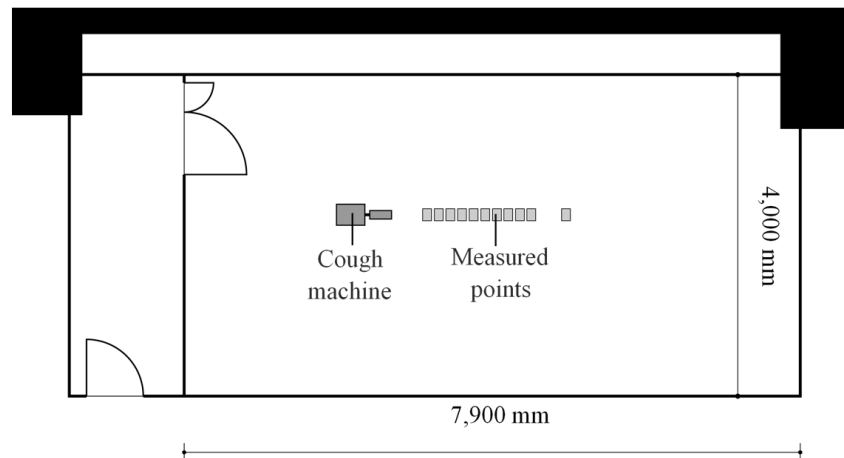


Fig. 2-6 The plan of the experimental room (no-scale)

2.3.1 実験方法

Fig. 2-7 に水平面飛沫沈着量測定実験の概略図を示す。咳マシンの前方に測定面を設け、測定面上に感水紙を設置した。椅子座位時の口と机上面の距離を想定した 30 cm 下、立位時の口と机上面の距離を想定した 90 cm 下に測定面を設けた。環境条件が安定したことを確認した後に、空調による気流の影響を低減するために空調の運転を停止し、実験者 1 名以外は実験室から退室した。感水紙を各測定箇所へ設置し、3 分間経過した後に 1 回目の模擬咳を噴霧した。15 秒経過後に次の噴霧を行い、同様の手順で計 20 回の噴霧を行った。模擬咳噴霧終了後 3 分間経過時を実験終了時刻とし、実験終了後は速やかに感水紙を回収し、感水紙上に沈着した飛沫痕をスキャナーにより読み取った。「2.5 飛沫の粒径分布」に記述した方法で、得られた画像データから各飛沫痕の面積と数を算出し、感水紙に沈着した飛沫の粒径および飛沫量を求めた。

空気温度は 23°C とし、相対湿度は 30%RH、50%RH の 2 条件を設定した。各条件について 3 回ずつ測定を行った。また、空調停止時に実験室内中央点床上 1.1 m の位置で風速計（Climomaster model 6533: KANOMAX）により 3 分間 1 秒間隔で気流速度を測定し、平均風速が 0.15 m/s 以下になることを確認した。

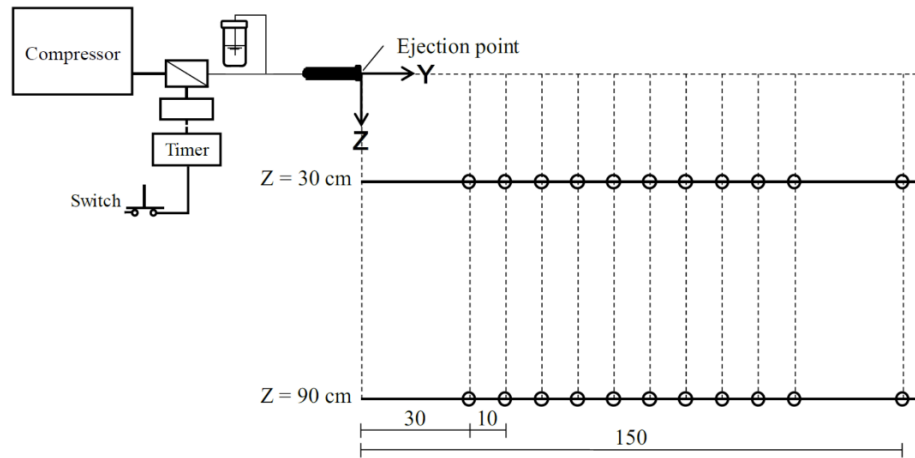


Fig. 2-7 Experimental set-up used to quantify droplet deposition on environmental surfaces (Section) [values are given in cm]

2.3.2 水平面への咳飛沫沈着量測定結果と考察

Fig. 2-8 に水平面への飛沫沈着数を、Figs. 2-9, 2-10 に水平面への飛沫沈着量を示す。縦軸に各測定点へ咳 1 回、感水紙 1 cm² あたりに沈着した飛沫の数または体積を、横軸に咳マシンの噴出口からの水平距離を示している。Fig. 2-10 には粒径 200 μm 以下の飛沫のみを対象とした結果を示している。

全ての条件で、模擬咳噴出口から前方 50、60 cm で最も飛沫沈着数が多くなり、60 cm 以降は徐々に減少し、前方 150 cm に沈着した飛沫は少なかった。また、全測定点で測定された飛沫沈着数の 95% 以上が前方 100 cm までに沈着した。アメリカ疾病管理予防センターのガイドライン²³⁾に明確なリスクがあると定められた距離である 90 cm まででは、90%以上の飛沫が沈着した。

飛沫沈着数は、ほとんどの測定点で 50%RH 条件より 30%RH 条件の方が少なくなり、50%RH 条件での全測定点の合計は 30%RH 条件の約 1.3 倍であった。また、測定面高さについては咳噴射口から近い条件で飛沫沈着数が多く、咳噴射口から 30 cm 下の水平面における飛沫沈着数は、90 cm 下の水平面の約 4.2 倍となった。また、咳噴射口から 90 cm 下の水平面では 30 cm 下の水平面よりも相対湿度による沈着数の差が小さかった。この原因として、相対湿度の低下や飛沫の浮遊時間が長くなることで飛沫の蒸発が促進され、表面に沈着する前に乾燥し、飛沫核となる飛沫が増加することが挙げられる。

飛沫沈着体積について、全粒径範囲を対象とした結果を見ると、飛沫沈着数のグラフと比較し各条件で傾向が異なったが、Fig.2-10 の粒径 200 μm 以下の結果では、どの条件でも同様の傾向を示した。

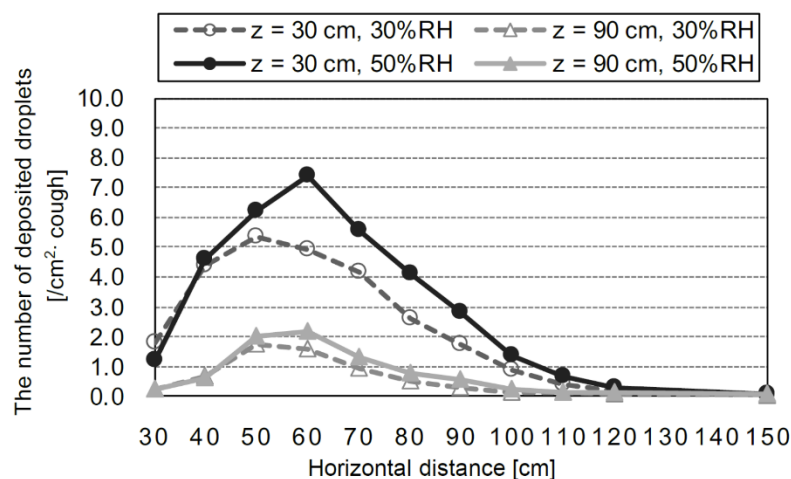


Fig. 2-8 Distribution of the number of deposited droplets

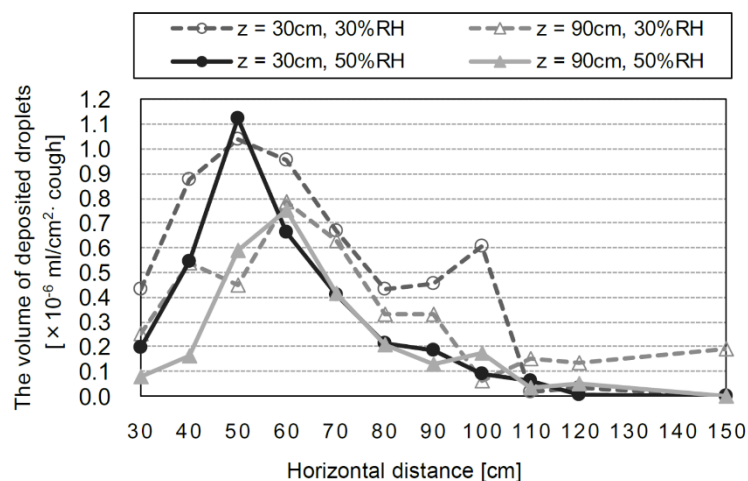


Fig. 2-9 Distribution of the volume of deposited droplets (All)

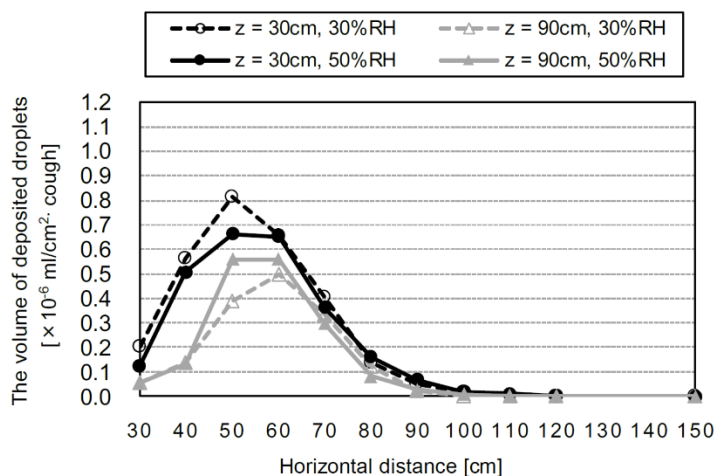


Fig. 2-10 Distribution of the volume of deposited droplets (<200 $\mu\text{m}\phi$)

飛沫沈着体積には相対湿度による明確な傾向は見られず、飛沫沈着数の結果と比較し、測定面高さの影響も小さかった。これは、相対湿度の条件に依らず表面に沈着する粒径の大きな飛沫は、数として全体に占める割合は小さいが、体積としては大きく、飛沫沈着体積の結果に与える影響が大きいためであると考えられる。

感染リスクを評価する際には、咳飛沫に含まれる生存ウイルス量を考慮する必要がある。咳飛沫核の粒径と含まれるウイルス量について、Lindsley ら⁴⁾は、インフルエンザ患者による咳飛沫に含まれる生存ウイルス量を測定し、42%が粒径 1 μm 未満の飛沫核、23%が粒径 1~4 μm の飛沫核、25%が粒径 4 μm を上回る飛沫核に含まれていたと報告している。また、Milton らは⁹⁾、インフルエンザ患者による呼気飛沫に含まれる生存ウイルス量を測定し、粒径 5 μm 以下の飛沫核に含まれる生存ウイルス量は粒径 5 μm を超える飛沫核の 8.8 倍であったと報告している。しかし、これらの研究で用いられたサンプリング方法では、接触感染を引き起こすと考えられる粒径 10~50 μm 以上の大きな飛沫を捕集できていない^{4, 5, 24)}ため、その感染症伝搬への潜在的寄与は明らかではない。

本項では、主に測定対象面の感水紙に沈着した咳飛沫の数と飛沫痕面積を基に算出した体積の結果を示した。表面への咳飛沫沈着数が減少する場合には、表面に存在する生存ウイルスが含まれる可能性のある飛沫が少なくなるため、接触感染のリスクは相対的に低くなる。咳飛沫沈着体積が減少する場合については、その減少量に環境条件に依らずに表面に沈着する飛沫の一部が蒸発した分が含まれており、表面に沈着するウイルス量は咳飛沫沈着体積の減少量と単純に比例しないと考えられる。飛沫による感染リスクを評価するためには、粒径 10~50 μm 以上の飛沫について、今後より多くの飛沫中生存ウイルス量に関する報告と合わせて検討する必要がある。

2.4 顔粘膜面への咳飛沫の沈着量

感染者、被感染者が正対する際に、感染者の咳により被感染者の顔粘膜面の位置へ沈着する飛沫量を把握することを目的とし、2015 年 1 月 18 日、19 日に昭和女子大学の人工気候室にて実験を行った。咳マシンにより咳飛沫を噴射し、その飛沫の沈着量を感水紙により測定した。

2.4.1 実験方法

Fig. 2-11 に飛沫沈着量測定の概略を示す。感染者を咳マシン、被感染者をサーマルマネキンで模擬し、咳マシンとサーマルマネキンを向かい合わせに配置した。咳マシンから飛沫の噴霧を行い、被感染者の顔粘膜面への飛沫沈着量は感水紙をマネキンの目、口の位置に設置することで測定した。実験の手順は、「3. 水平面への咳飛沫の沈着量分布」と同様である。

サーマルマネキンの位置は咳マシン開口部から前方 90 cm を基準として、近距離 60 cm、遠距離 120 cm の 2 条件を加えた計 3 条件を設定した。サーマルマネキンの着衣は下着、スラックス、長袖シャツとした。発熱条件はコンフォート制御²⁵⁾とし、呼吸は模擬しなかった。空気温度は 23°C 一定とし、相対湿度は 50%と 30%の 2 条件を設定し、測定は 1 条件につき 3 回行った。

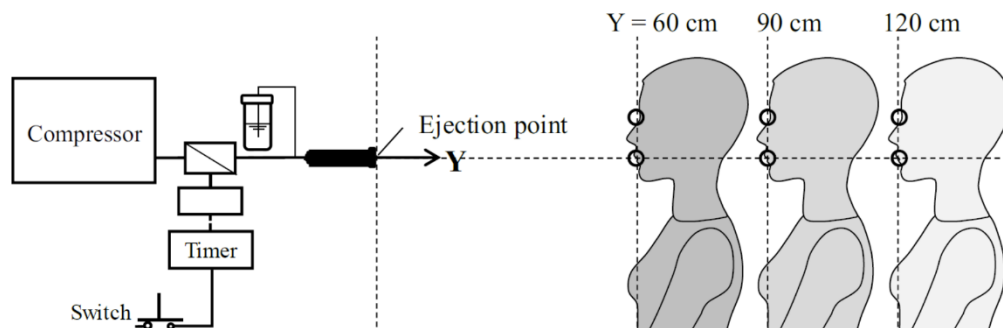


Fig. 2-11 Experimental set-up used to quantify droplet deposition on mucous-membranes

2.4.2 顔粘膜面への咳飛沫沈着量測定結果と考察

Fig. 2-12 に顔粘膜面における飛沫沈着数および体積を示す。Fig. 2-11 b) には、粒径 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下の飛沫の結果を示している。前方 60 cm では、目よりも口の方が沈着数は多く、相対湿度による差が大きかった。目は咳を噴射する口よりも高く位置したため、飛沫が到達しにくかったと考えられる。前方 90 、 120 cm では沈着数は非常に少なかった。 90 cm 以上離れると咳飛沫は顔粘膜位置にはほとんど沈着しないことが分かった。 $30\%\text{RH}$ と $50\%\text{RH}$ を比較すると、 $30\%\text{RH}$ の方が沈着数は少なくなった。沈着体積についても沈着数と同様の傾向が見られたが、相対湿度による影響は小さかった。

この実験は感染者と被感染者の顔が同じ高さとなることを想定して行ったが、電車やバスで感染者が立位、被感染者が座位をとることを想定するとその高低差は約 30 cm となり、水平面への飛沫附着を測定した結果と同様に、発生源から 90 cm までの距離ではある程度の飛沫沈着量があると考えられる。

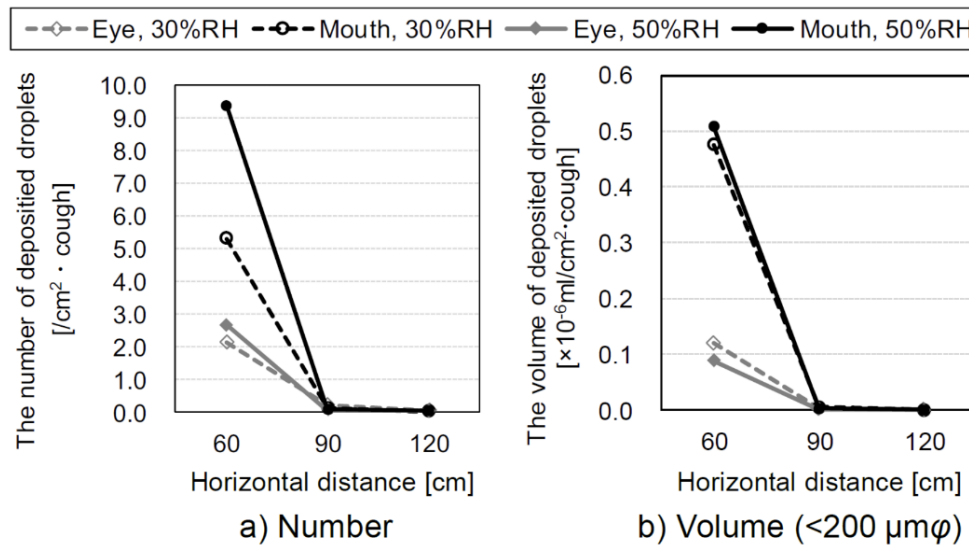


Fig. 2-12 The droplet deposition on the position of mucous membranes

2.5 まとめ

本章では、開発した咳マシンの概要を示し、飛沫の顔粘膜面・水平面への沈着数および体積を測定した実験について報告した。主な結果を以下に示す。

- 1) 咳による感染リスクを定量的に評価するために咳マシンを開発し、咳呼出風量、咳速度、咳飛沫量、飛沫の粒径分布を人の咳に関する先行研究および実験の結果と比較し、飛沫を含む人の咳を模擬できることを確認した。
- 2) 水平面への咳飛沫沈着量は、咳噴射口の前方 50, 60 cm において最も多くなり、95%以上の飛沫が 100 cm 以内に沈着した。
- 3) 50%RH 条件で、30%RH 条件よりも水平面への飛沫沈着数が多くなった。また、咳噴射口から 30 cm 下の水平面において、90 cm 下の水平面よりも相対湿度による飛沫沈着数の差が大きかった。
- 4) 感染者と被感染者が同じ高さで正対する場合、顔粘膜面位置への咳飛沫沈着量は、その距離が 60 cm の条件では多くみられるが、90 cm 以上では飛沫の沈着数および体積は大幅に減少した。
- 5) 従来のヒト被験者による実験では繰り返し測定が難しく、定量的な分析ができなかった咳飛沫の沈着量分布を実験的に明らかにし、接触感染リスク評価および感染経路別の対策方法を検討するための重要な知見が得られた。

注

注 1) 測定面上の飛沫痕から飛沫の粒径を算出する際には、測定された飛沫痕の直径と飛沫の粒径の比²⁶⁾や、解析ソフトウェアごとに設定された関係式が用いられ、精度検証が行われている^{27, 28)}。

Duguid²⁶⁾は飛沫の粒径とガラススライドおよびセルロイドで表面加工されたスライド上の飛沫痕直径の関係を測定し、ガラス面上では粒径の大きさは飛沫痕直径の1/3倍、セルロイド面上では1/2倍になると報告している。Fig. 2-13に本研究で用いた感水紙解析ソフトウェアとDuguidにより報告された飛沫痕直径と粒径の比に基づいて算出する方法、既往研究²⁸⁾により報告された他の感水紙解析ソフトウェア(USDA-ARS System, Droplet Scan, Swath Kit)で用いられる関係式との飛沫粒径算出結果の比較を示す。本研究で用いた解析ソフトウェアにより算出される粒径は、飛沫痕直径の約2/5倍となった。解析対象とする飛沫痕直径が500 μm 以下の範囲では、他の解析ソフトウェアよりも粒径を約2割小さく算出したが、飛沫痕直径500 μm 以上の範囲では差が小さくなった。粒径の算出に用いる関係式の違いにより、粒径を基に算出された沈着飛沫体積の値は変化するが、本論文で報告した飛沫沈着量分布の相対的な傾向には影響しないと考える。

注 2) 本研究では、飛沫痕面積を解析するために画像に2値化処理を行う際の閾値を255階調中200と設定した。その結果、本手法の検出下限として得られる最小の飛沫痕面積は112 μm^2 となり、その時に算出される飛沫痕直径は12 μm 、飛沫の粒径は4 μm となった。

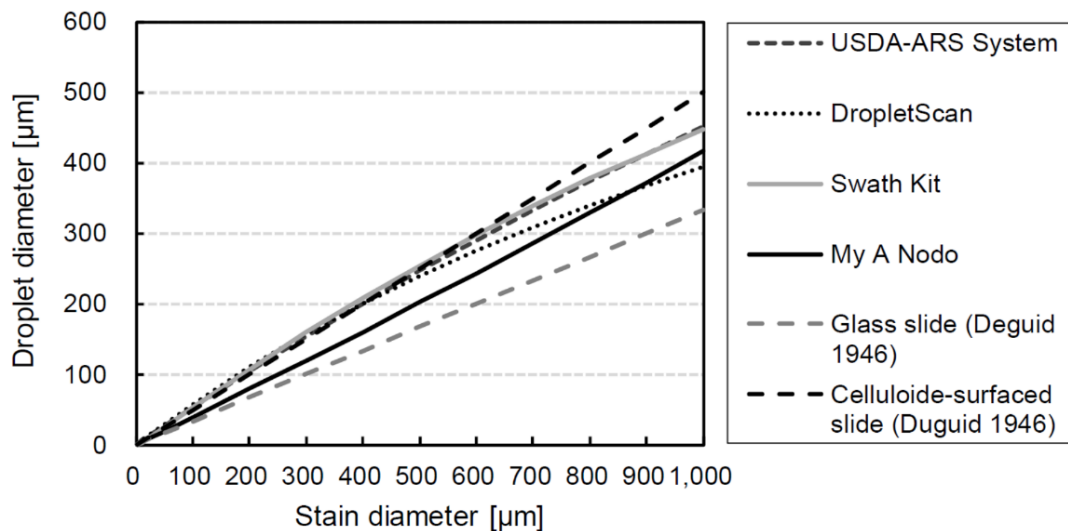


Fig. 2-13 Calculated values for droplet diameter from stain size

参考文献

- 1) Weber, T. P., Stilianakis NI: Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review, *Journal of Infection*, 57, pp.361-373, 2008
- 2) Atkinson, M. P. and Wein, L. M.: Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza, *Bull. Math. Biol.*, 70, pp. 820-867, 2008
- 3) Spicknall, I. H., Koopman, J. S., Nicas, M. et al.: Informing optimal environmental influenza interventions: how the host, agent, and environment alter dominant routes of transmission, *PLOS Computational Biology*, 6, e1000969, 2010
- 4) Lindsley, W. G., Blachere, F. M., Thewlis, R. E., Vishnu, A., Davis, K. A., Cao, G., Palmer, J. E., Clark, K. E., Fisher, M. A., Khakoo, R., Beezhold, D. H.: Measurements of Airborne Influenza Virus in Aerosol Particles from Human Coughs, *PLoS ONE*, 5(11), e15100, 2010
- 5) Milton, D. K., Fabian, M. P., Cowling, B. J., Grantham, M. L., McDevitt, J. J.: Influenza virus aerosols in human exhaled breath: particle size, culturability, and effect of surgical masks, *PLOS Pathogens*, 9(3), e1003205, 2013
- 6) World Health Organization, Department of Communicable Disease Surveillance and Response: Consensus document on the epidemiology of severe acute respiratory syndrome (SARS), Global Meeting on the Epidemiology of SARS, Geneva - Switzerland, 2003
- 7) Harper, G. J.: Airborne Micro-Organisms: Survival Tests with Four Viruses, *The Journal of Hygiene*, Vol. 59, No. 4, pp. 479-486, 1961
- 8) Noti, J. D., Blachere, F. M., McMillen, C. M., Lindsley, W. G., Kashon, M. L., Slaughter, D. R., Beezhold, D. H.: High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs, *PLOS ONE*, 8 (2), e57485, 2013
- 9) Liu, L., Li, Y., Nielsen, P. V., Wei, J., and Jensen, R. L.: Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people, *Indoor Air*, 27(2), pp.452-462, 2017
- 10) Nicas, M. and Jones, R. M.: Relative Contributions of Four Exposure Pathways to Influenza Infection Risk, *Risk Analysis*, 29(9), pp.1292-1303, 2009
- 11) Gupta, J. K., Lin, D.-H., and Chen, Q.: Flow dynamics and characterization of a cough, *Indoor Air*, 19(6), pp.517-525, 2009
- 12) Zhu, S., Kato, S., Yang, J.-H.: Investigation into Airborne Transport Characteristics of Airflow Due to Coughing in a Stagnant Indoor Environment, *ASHRAE Transaction*, 112(1), pp. 123-133, 2006
- 13) Tang, J. W., Nicolle, A., Pantelic, J., Kou, G. C., Wang, L. D., Amin, M., Klettner, C. A., Cheong, D. K. W., Sekhar, C., Tham, K. W.: Airflow Dynamics of Coughing in Healthy Human Volunteers by Shadowgraph Imaging: An Aid to Aerosol Infection Control, *PLOS ONE*, 7(4), e34818, 2012
- 14) Miyata, H.: Experimental Report on Dedusting Performance Evaluation of Air Recovery 003 PM Cleaner

(Bigbang Corp.), Department of Pharmacy, Setsunan University, 2008

宮田秀明: (株)ビッグバン製エアリーカバリ-003PM 捕集機の除塵性能評価実験成果報告書, 摂南大学薬学部, 2008

- 15) Zhu, S., Kato, S., and Yang, J.-H.: Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment, *Building and Environment*, 41(12), pp.1691-1702, 2006
- 16) Xie, X., Li, Y., Sun, H., and Liu, L.: Exhaled droplets due to talking and coughing, *Journal of The Royal Society Interface*, 6, pp. S703-S714, 2009
- 17) Chao, C. Y. H., Wan, M. P., Morawska, L., Johnson, G. R., Ristovski, Z. D., Hargreaves, M., Mengersen, K., Corbett, S., Li, Y., Xie, X., and Katoshevski, D.: Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening, *Aerosol Science*, 40, pp.122-133, 2009
- 18) Wan, M. P., C. Y. H. Chao, Ng, Y. D., Sze To, G. N., and Yu, W. C.: Dispersion of Expiratory Droplets in a General Hospital Ward with Ceiling Mixing Type Mechanical Ventilation System, *Aerosol Science and Technology*, 41:3, 244-258, 2007.
- 19) Lindsley, W. G., Reynolds, J. S., Szalajda, J. V., Noti, J. D., and Beezhold, D. H.: A Cough Aerosol Simulator for the Study of Disease Transmission by Human Cough-Generated Aerosols, *Aerosol Science and Technology*, 47 (8), pp.937-944, 2013
- 20) Papineni, R. S. and Rosenthal, F. S.: The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects, *Journal of aerosol medicine: the official journal of the International Society for Aerosols in Medicine*, 10, pp.105-116, 1997
- 21) Morawska, L., Johnson, G. R., and Ristovski, Z. D.: Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities, *Journal of Aerosol Science*, 40, pp.256-269, 2009
- 22) Lindsley, W. G., Pearce, T. A., and Hudnall, J. B.: Quantity and Size Distribution of Cough-Generated Aerosol Droplets Produced by Influenza Patients During and After Illness, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 9, pp.443-449, 2012
- 23) Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., Chiarello, L., and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings.
- 24) Lindsley, W. G., Blachere, F. M., Beezhold, D. H., Thewlis, R. E., Noorbakhsh, B., Othumpangat, S., Goldsmith, W. T., McMillen, C. M., Andrew, M. E., Burrell, C. N., and Noti, J. D.: Viable influenza A virus in airborne particles expelled during coughs versus exhalations. *Influenza and Other Respiratory Viruses* 10 (5), pp.404-413, 2016
- 25) Tanabe, S., Hasebe, Y.: Evaluation of Thermal Environments with a Skin-Surface-Temperature-Controlled Thermal Manikin, *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, No 448, pp.1-8, 1993.6 (in Japanese)

田辺新一, 長谷部ヤエ: 皮膚温可変型サーマルマネキンによる室内環境評価法に関する研究, 日本

建築学会計画系論文報告集, 第 448 号, pp.1-8, 1993.6

26) Duguid, J. F.: The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei, *Epidemiology and Infection*, 44(6), pp.471-480, 1946. doi:10.1017/S0022172400019288

27) Cunha, M., Carvalho, C., and Marcal, A. R. S.: Assessing the ability of image processing software to analyze spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets, *Biosystems Engineering*, pp.11-23, 2012

28) Hoffmann, W. C. and Hewitt, A. J.: Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers, *Applied Engineering in Agriculture*, 21(6), pp.961-964, 2005

第 3 章

診察室における ATP 測定法による表面汚染度実測調査

第3章 診察室における ATP 測定法による表面汚染度実測調査

3.1 はじめに

感染経路には、接触感染、飛沫感染、空気感染の3つの経路がある¹⁾が、医療関連感染の多くは接触感染によると考えられている^{2,3)}。東野ら⁴⁾は施設内の患者周辺環境の表面に残存した *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA) が医療従事者の手指や器具を介して周辺環境へ拡大していく可能性を示唆している。また、医療従事者は患者に直接触れない場合でも患者周辺環境に接触した後には適切な手袋などの取り扱いと手指衛生、適切な環境清掃が必要であると述べた。

環境表面に附着した菌およびウイルスの生存時間について、Boyce⁵⁾は MRSA、Vancomycin-resistant *Enterococcus*、*Clostridium difficile* といった医療関連感染を引き起こす恐れのある病原体は環境表面で数週間生存すると述べている。Bean ら⁶⁾はインフルエンザウイルスの環境表面での生存時間を調査し、インフルエンザ A ウイルス、B ウイルスともにスチールやプラスチックといった硬い表面上では 24～48 時間、布や紙では 8～12 時間生存することを報告している。また、環境表面から手へ移動したウイルスは少なくとも 5 分以上生存しており、飛沫感染、接触感染の2経路を感染経路とするインフルエンザについて重度の環境表面の汚染はウイルスの伝播を媒介し、感染拡大を引き起こす恐れがあると述べている。よって病原体は長時間環境表面に生存し、感染の媒介となる恐れがあるため、危険の高い場所に対する適切な清掃が接触感染リスク低減に有効であると考えられる。

現在、接触感染への対策として手指衛生や室内の環境表面の清掃がなされている。CDC (Centers for Disease Control and Prevention) ガイドライン^{7,8)}では環境処置の項目において、全ての患者ケア区域の高頻度接触面、特に患者に最も近く最も汚染されている可能性がある区域では洗浄と消毒が重要であるとしている。しかし、高頻度接触面についてはベッドレール、ベッドサイドの机、室内用便器、ドアノブ、シンク、患者近傍の表面などと述べるにとどまっており、十分なエビデンスが示されておらず、明確な定義づけがなされていない。そのため、特に患者近傍の表面は清掃箇所に個人差が発生し、環境表面の清浄化が不十分となる恐れがあると考えられる。適切な清掃を実施するためには、業務中の医療施設における環境表面の汚染状況を把握する必要がある。

そこで本研究では、接触感染を対象とし、実際の医療施設における環境表面の汚染実態と清掃による汚染除去効果を把握することを目的として、外来診察室において ATP 測定法を用いて業務前後の汚染度測定を行った。さらに、環境表面の清浄化に影響を与えられと考えられる看護師と清掃スタッフの意識や、意識と環境表面汚染の実態との関係を明らかにすることを目的として、外来診察室を担当する看護師および清掃スタッフに汚染に対する意識調査を行った。

3.2 ATP 測定法

3.2.1 測定法の概要

ATP 測定法とは、全ての生物の細胞内に存在する化合物であるアデノシン三リン酸（Adenosine Tri-Phosphate；ATP）とルシフェラーゼ酵素等の化学反応により発生する光（Relative Light Unit；相対発光量 [RLU]）を測定する方法である。発光量は ATP 量に比例することから、発光量を測定することで ATP 量を推測することができる⁹⁾。

3.2.2 ATP 測定の微生物管理に対する有効性

柴田ら¹⁰⁾は微生物が検出されるサンプルの ATP 量は微生物が検出されないサンプルの ATP 量より有意に高い範囲（ $p < 0.01$ ）であることを確認している。一方で、ATP 量とコロニー数の間に直線的関係は確立されず、環境の微生物汚染の測定においては ATP 測定法を用いて得られるデータは定量的ではなく定性的であることも示唆している。また、存在する汚染質や微生物の生存率は環境の条件によって異なるため、ATP 量と微生物の関係は環境によって異なると考えられる。しかしながら、ATP モニタリングは微生物による環境汚染と持続的な汚染状態にある可能性を把握し、現在の清掃方法を見直す上で迅速かつ簡便で優れた方法であると述べている。また、坂下ら¹¹⁾は医療施設で測定される ATP 量は患者や医療スタッフ由来の ATP であり、ATP 量が高い箇所は人の関与が大きいと考察している。

以上より、環境表面の ATP 量を測定することで感染の原因となる微生物が存在する確率が高く、人の手指の接触により接触され、接触感染症を媒介しやすい感染リスクの高い箇所を推定することができると考えられる。本研究では接触感染を媒介する危険性が高い箇所の検討を目的として ATP 測定法を用いた汚染実態調査を行った。

3.2.3 ATP 測定による汚染度の評価基準

ATP 測定法による環境表面の汚染度レベルについて、Emanuele¹²⁾らは 1990 年から 2012 年に発表された ATP 測定法を用いた病院の清浄度調査に関する 12 の論文をレビューし、清浄度基準の閾値として 100 RLU を採用しているものが 2 件、250 RLU が 5 件、500 RLU が 4 件、250 と 500 RLU 両方を用いているものが 1 件であることを報告している。Brown¹³⁾らは異なる 2 つの ATP 測定器には 10 倍以上の測定値の差があり、清浄度基準を定めるには機器ごとの特異性を少なくする必要があると述べている。よって、現状では測定器ごとに ATP 量の感度には差があるため使用する機器に適した基準を設ける必要があることが明らかになった。

Hygiena 社の測定器（ルミノメーター：SystemSURE PLUS、スワブ：Ultrasnap）を用いて英国 2 病院を対象に NHS Foundation Trust によって表面汚染度のモニタリング調査¹⁴⁾が行われた。評価基準値は測定対象面積 100cm²あたり、合格を 100 RLU 以下、101～199 RLU を注意、200 RLU 以上を不合格とし、2008 年から 5 年間継続してモニタリングを行った。その結果、導入後 3 年間で入院 48 時間以降の *C.difficile* 感染症数が 35 %、占有 10,000 病床数の 1 日あたりの感染症数が 39 %減少したことが報告されている。

Fig. 3-1 に使用した ATP 測定機器を示す。本研究では、ATP 検査用ルミノメーターに EnSURE を、ATP 検査用試薬一体型スワブに Supersnap（いずれも Hygiena 社）を用いた。Hygiena の報告¹⁵⁾では、ルミノメーター EnSURE は SystemSURE PLUS の 4 倍、スワブ Supersnap は Ultrasnap の 2 倍の感度を示すため、EnSURE と Supersnap の組み合わせで測定した場合、SystemSURE PLUS と Ultrasnap の組み合わせで測定した場合と比較し、測定値が約 8 倍となることが述べられている。



a) Luminometer



b) Sampling swab

Fig. 3-1 ATP measurement equipment used

これらを考慮し、本研究の評価基準値はモニタリング調査で用いられた基準値¹⁴⁾を 8 倍し、対象面積 100 cm²あたり 800 RLU 未満を清浄である「合格 (Pass)」、800 RLU 以上、1600 RLU 未満を「注意 (Caution)」、1600 RLU 以上を「不合格 (Fail)」とした。

本研究では、高濃度に汚染されており、重点的な清掃が必要な表面として、測定対象面の代表値が「注意」と判定される 800 RLU 以上となった箇所を高濃度汚染面 (highly-contaminated surface) とした。

3.2.4 スワブによる対象表面の拭き取り方法

ATP 測定法では、スワブによって対象表面を拭き取り、そのスワブを試料として試薬と反応させ、発光量を測定する。拭き取り方法については、スワブがしなる程度にスワブの先端を測定対象面に当て、スワブを回転させながら上下左右にスワブを往復させて対象範囲を満遍なく拭き取ることとされているが、スワブによる縦横方向の往復回数については具体的に決定されていない。実環境で ATP 法による実測を行う際には、迅速に測定できることが望ましいが、対象面の拭き取りが十分に行えていなければ適切に汚染度を評価できない恐れがある。また、測定ごとに拭き取り方法が変わってしまうと、測定結果に影響する可能性がある。本研究では、ATP 測定法を用いる際の適切な往復回数を定めることを目的として、拭き取り方法に関して実験を行った。

汚染度の基準を定めた 10 cm 平方の亚克力板に、濃度を $1.81 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ に調整した ATP 溶液を噴霧し、乾燥させ一様な汚染面を作成した。拭き取り方法の条件として、縦・横 1 cm あたりの往復回数を 1 回、2 回、3 回とした 3 条件を設定し、結果を比較した。試薬一体型スワブ (Hygiena, Supersnap) を用いて対象面の拭き取りを行った。拭き取り後、試薬と反応させ、15 秒経過後に測定機 (Hygiena, ルミノメーター Ensure) より相対発光量を測定した。実験参加者は手袋とマスクを装着し、汚染面に直接触れないようにした。拭き取り対象面の周囲 4 辺に拭き取り幅の目安となるように 1 cm 間隔で印をつけたシートを用いて、実験参加者の利き手で行った。各条件につき、1 名あたり 5 回ずつ測定した。実験参加者は 21 歳から 25 歳の男性 10 名、女性 9 名の計 19 名であった。

Fig. 3-2 に各条件の ATP 測定結果について、平均値と標準偏差を示す。1 cm あたり 1 往復の拭き取りを行う条件では、平均で 3267 RLU、標準誤差は 178 RLU、2 往復の条件では、平均で 4148 RLU、標準誤差は 308 RLU、3 往復の条件では、平均で 3759 RLU、標準誤差は 199 RLU となった。IBM SPSS ver. 24 を用い、対応のある t 検定により各条件間の有意差を検定した結果、1 cm あたり 2 往復の拭き取りを行う条件では、1 往復の条件よりも有意に測定値が高かった ($p < 0.01$)。また、3 往復の条件でも同様に、1 往復の条件よりも有意に測定値が高かった ($p < 0.05$)。2 往復の条件と 3 往復の条件の間には、優位差はみられなかった。以上の結果から、1 cm あたりスワブを 2 往復させて拭き取りを行うことで 1 往復の場合よりも表面の拭き取りがよくでき、3 往復とした場合と同等の効果が得られることが確認された。以上より、本研究では 1 cm あたりスワブを 2 往復させる方法で測定対象表面の拭き取りを行うこととした。

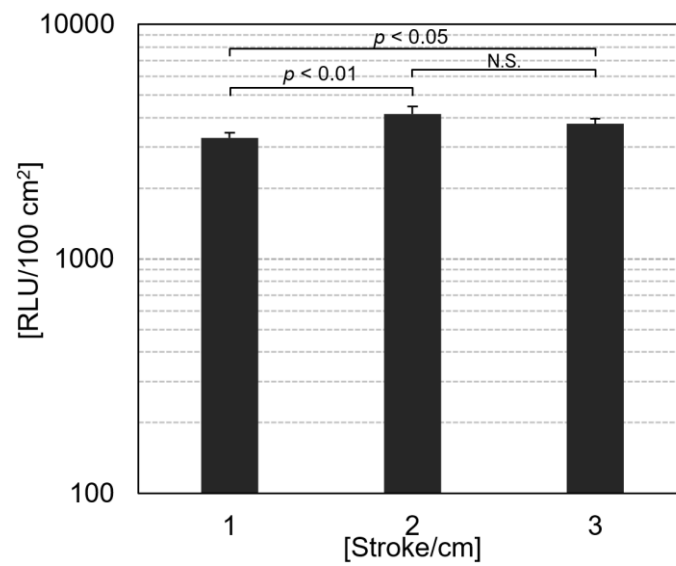


Fig. 3-2 ATP measurement results for each swab-method

3.3 診察室における汚染度の実測方法

3.3.1 実測概要

医療施設における環境表面の汚染実態を把握することを目的として、2013 年 12 月 9 日（月）、16 日（月）に都内大学病院の外来診察室 2 室を対象に実測を行った。測定は、測定当日の朝の業務開始前（清掃直後の 7 時 30 分から 8 時 30 分）と夕方の業務終了後（清掃前の 16 時 30 分から 18 時）の 1 日 2 回、看護師付き添いのもと業務の妨げとならないよう行った。測定対象とした 2 つの診察室においては午前・午後に診察を行った医師はそれぞれ異なり、各診察室計 2 名の医師が診察を行う前後の測定結果が得られた。Fig. 3-3 に測定対象とした診察室の平面図を示す。

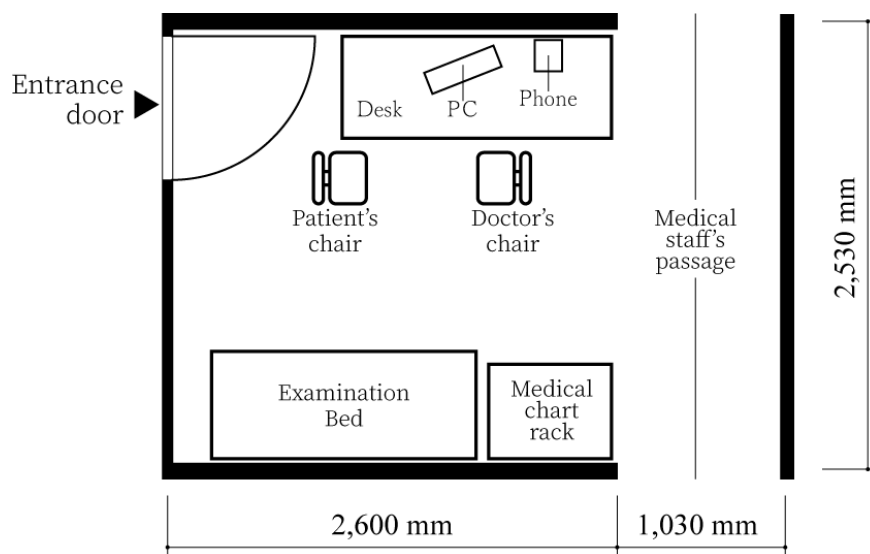


Fig. 3-3 Floor plan of measured medical examination room

3.3.2 実測方法

実測には ATP 測定法を用いた。測定の誤差を低減するため、1 cm 間隔で目盛りをつけたシートを用い、1 cm につき試薬一体型スワブを 2 往復させ、全面を万遍なく拭き取ることでサンプリングを行い、試薬と反応させた。全測定を同一の測定者が行った。測定面積は 1 辺 10 cm の可能な限り大きな長方形（最大 10 cm×10 cm の正方形）とした。各対象面 1 cm 幅につき縦横 2 往復で拭き取り、汚染度の評価は測定結果を 100 cm² あたりの相対発光量に面積換算して行った。なお人間の手指や唾液には ATP が多く含まれるため、測定時にはマスクと手袋を着用し、対象面に直接触れないよう注意した。相対発光量の経時変化を考慮し、反応開始 15 秒後に ATP 検査用ルミノメーターに設置し、相対発光量の計測を開始した。Fig. 3-4 にサンプリング風景と手法を示す。

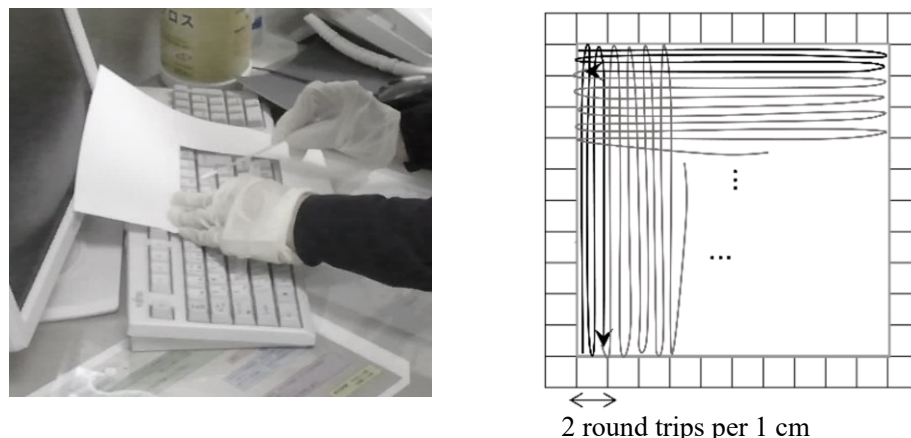


Fig. 3-4 Sampling scene (Left) and sampling method (Right)

3.3.3 実測対象面

Table 3-1 に各測定箇所と測定面積を、Fig. 3-5 に実測対象面の位置を示す。対象の診察室における測定箇所として、医師、看護師と相談の上、高頻度で接触されと考えられる 8 箇所の計 11 表面を選定した。各対象箇所につき実測 2 日間で 2 診察室の測定から 4 サンプルを得た。業務終了後の医師の椅子の手摺（左）は 1 サンプル欠測となった。サンプリングの際、ドアノブは正・裏の平滑面をそれぞれ 4 往復ずつ拭き取った。

Table 3-1 Measured points

Measured surfaces	Points	Area [cm ²]
Doctors' chair-handrest	2 (left, right)	40
Patients' chair-handrest	2 (left, right)	40
Desk	1	100
Internal phone handle	1	40
Doorknob	2 (interior, exterior)	45
Bed handrail	2 (head, foot)	40
Keyboard	1	100

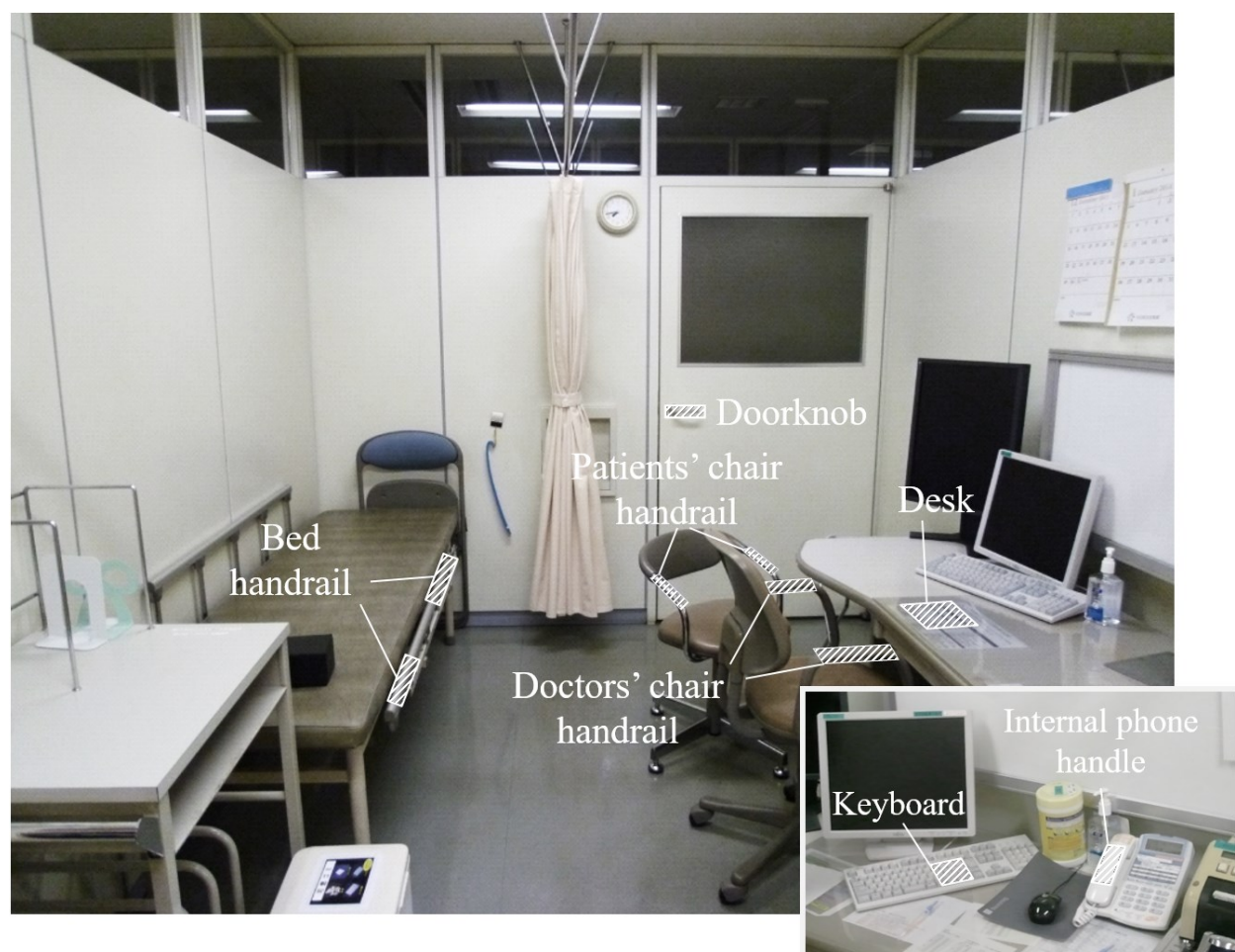


Fig. 3-5 Location of measured surfaces

3.4 看護師と清掃スタッフへの意識調査概要

看護師と清掃スタッフの、表面の汚染に対する意識の差異や、意識と環境表面汚染度との関係を明らかにすることを目的として、外来診察室を担当する看護師および清掃スタッフに意識調査を行った。2014 年 10 月 22 日（水）に調査用紙を配布し、11 月 1 日（土）に看護師、11 月 7 日（金）に清掃スタッフから用紙を回収した。

主に診療時間中の使用状況や汚染に対する意識について診察室担当の看護師から回答を得た。また、重点的に清掃を行う箇所や清掃用クロスの交換頻度など、清掃時の意識や実際の清掃状況について診察室の清掃を担当する清掃スタッフから回答を得た。

3.5 診察室における汚染度の実測結果

3.5.1 業務前後の ATP 測定値

Fig. 3-6 に業務開始前と終了後における ATP 測定結果を示す。対象とした 8 箇所に対して汚染度の平均値、最小値、最大値を示した。統計解析は IBM SPSS Statistics (ver.22) により行い、各箇所の業務開始前と終了後の ATP 値には Wilcoxon の符号付順位検定を、業務後の対象箇所間の比較には Mann-Whitney の U 検定を用いた。

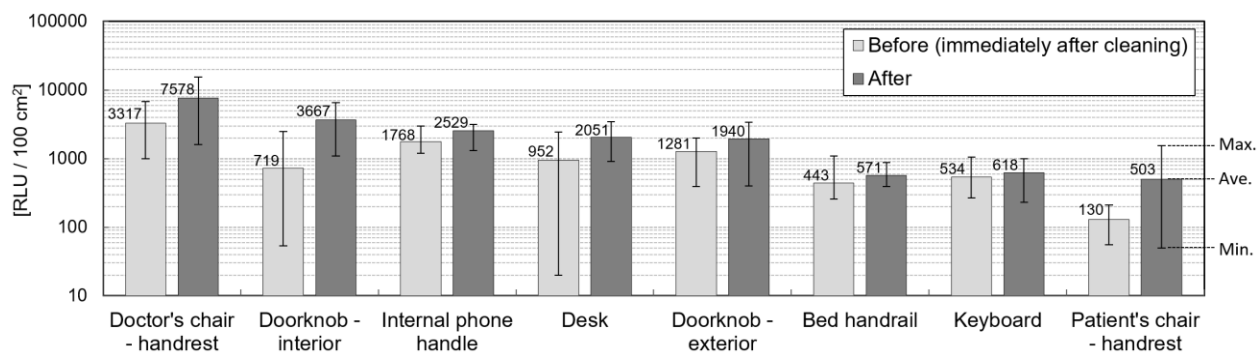


Fig. 3-6 ATP measurement results before and after working

業務後 ATP 測定値の平均値を測定箇所ごとに比較すると、医師の椅子手摺、室内側のドアノブ、内線電話受話器、机、室外側のドアノブ、ベッド手摺、キーボード、患者の椅子手摺の順に高かった。医師の椅子手摺、ドアノブ、内線電話受話器、机で業務後 ATP 測定値の平均値が不合格と判定される 1600 RLU 以上となり、高濃度汚染面であった。ベッド手摺、キーボード、患者の椅子では平均値が 800 RLU 未満となった。

清掃の直後である業務前 ATP 測定値の平均値を測定箇所ごとに比較すると、医師の椅子手摺、内線電話受話器、室外側のドアノブ、机、室内側のドアノブ、キーボード、ベッド手摺、患者の椅子手摺の順に高かった。医師の椅子手摺、内線受話器では業務前 ATP 測定値の平均値が 1600 RLU 以上となった。また、室外側のドアノブ、デスクでは平均値が注意と判定される 800 RLU 以上となった。室内側のドアノブ、ベッド手摺、キーボード、患者の椅子では平均値が 800 RLU 未満となった。

業務後に患者の椅子の手摺は有意に汚染度が増加し ($p < 0.05$)、医師の椅子の手摺、ドアノブ（室内側）は汚染度が増加する傾向が確認された ($p < 0.1$)。業務終了後に汚染度の平均値が最も大きかった医師の椅子の手摺と他の測定箇所を比較すると、患者の椅子の手摺、ベッド手摺、キーボードよりも有意に汚染度が高かった ($p < 0.01$)。また、机、ドアノブ（室外側）よりも汚染度が高い傾向であった ($p < 0.1$)。

3.5.2 汚染度の評価

Fig. 3-6 に業務開始前と業務終了後の汚染度の評価結果を示す。汚染度の評価は、対象とした 11 表面の ATP 測定値に対して規定した基準をもとに合格、注意、不合格に分類し、結果の内訳を示した。医師の椅子手摺の左側では、12 月 16 日総合診療科診察室での業務後の測定 1 回が欠測となった。

(1) 業務開始前の汚染度評価

医師の椅子の手摺（右、左）、ドアノブ（室外側）の計 3 箇所において、清掃直後である業務開始前に複数サンプルで ATP 測定値が不合格と判定された。特に医師の椅子の手摺（右）は 4 サンプル全て不合格となっており最も汚染度が高かった。一方で、患者の椅子の手摺（右、左）、ベッド手摺（足部）の 3 箇所は全て合格であり、業務開始前に清浄な値まで十分な清掃が行われていたことが分かった。

(2) 業務終了後の汚染度評価

高濃度汚染面と判定された医師の椅子の手摺（右、左）、机、内線電話の受話器、ドアノブ（室内側、室外側）の計 6 箇所において、業務終了後に複数サンプルで ATP 測定値が不合格と判定された。医師の椅子の手摺（右、左）やドアノブ（室外側）は業務開始前から終了後にかけて常に高い汚染度で使用されていたと考えられる。一方で、業務終了後に全てのサンプルで合格となったのは患者の椅子の手摺（左）とベッド手摺（足部）の 2 箇所であった。

業務前と比較して、業務後に高濃度汚染面と評価された箇所は 3 から 6 に増加し、全て合格で清浄な箇所は 3 から 2 に減少した。業務中に人の手指が接触することで汚染度が増加したと考えられる。

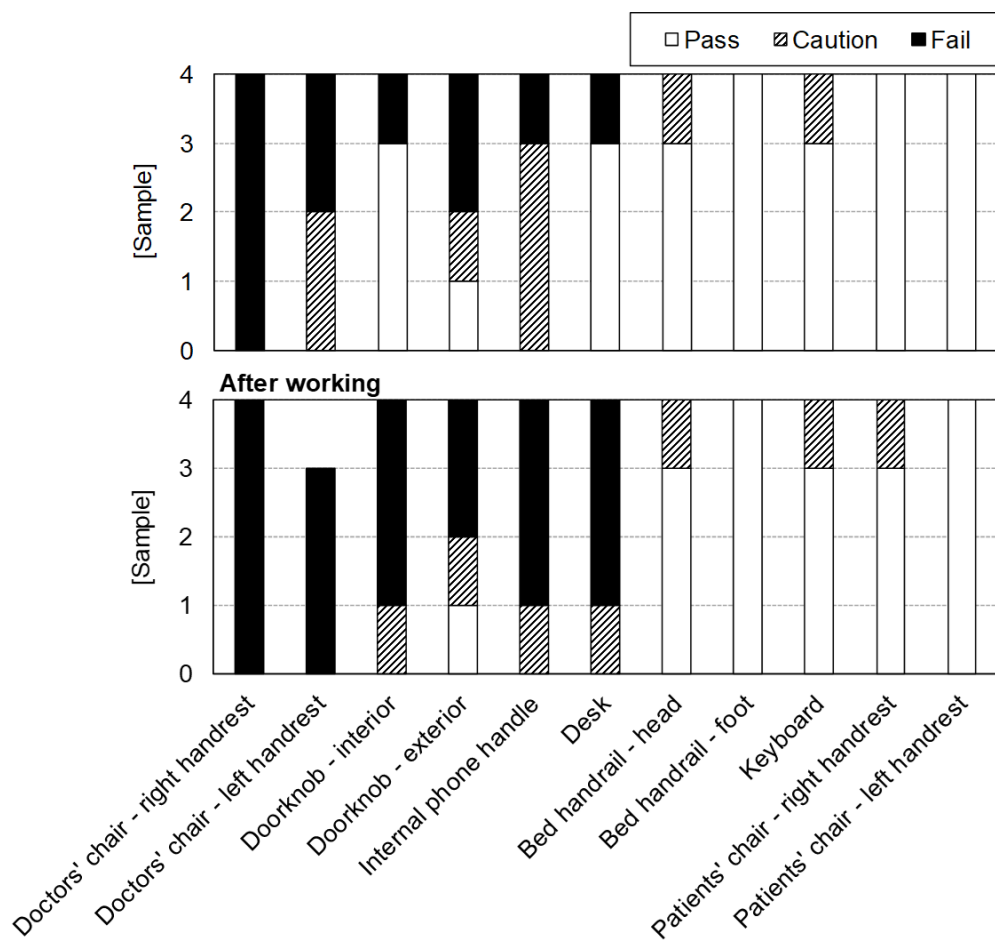


Fig. 3-6 Evaluation of contamination before and after working

3.5.3 業務後の汚染度の増加

Fig. 3-7 に業務終了後に汚染度が増加した件数を示す。業務開始前から終了後までの汚染度の増加量が 800 RLU 以上・1600 RLU 未満の件数および 1600 RLU 以上の件数の内訳を示した。

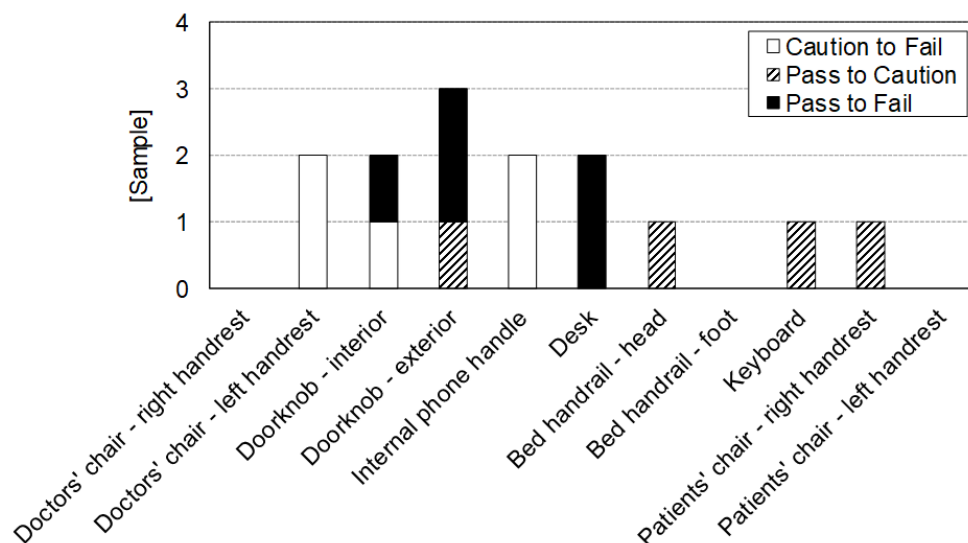


Fig. 3-7 Number of cases with increased contamination after working

(1) 汚染度評価が悪化しなかった箇所

汚染度の評価が悪化しなかった箇所は、患者の椅子の手摺（左）、医師の椅子の手摺（右）、ベッド手摺（足部）であった。

患者の椅子（左）は業務前後で全サンプルが合格であり、清浄な状態で使用されていたと考えられる。医師の椅子（右）において汚染度評価は悪化しなかったが全サンプルが不合格となっており清掃方法の改善が必要であると考えられる。

診察室のベッドは毎回使用されるのではなく、症状が重い患者の診察の際に使用されるため、人の接触頻度が低く、汚染度が増加しにくかったと考えられる。

(2) 汚染度評価が悪化した箇所

医師の椅子の手摺（左）、内線電話の受話器、ドアノブ（室外側）は注意から不合格になったサンプルが確認された。そのうち医師の椅子の手摺（左）とドアノブ（室外側）は業務開始前に高濃度汚染面と評価された箇所であった。

机、ドアノブ（室内側）は合格から不合格になったサンプルが複数確認され、特に汚染度が増加しやすい箇所であることが分かった。このような箇所は、業務開始前に十分清掃を行うことで汚染度を低下させた場合でも、業務終了後には高濃度の汚染面となる。そのため、まず業務開始前に十分な清掃を行い、さらに業務時間中にも定期的に清掃を行うなどの工夫が必要であると考えられる。

3.5.4 用途や材質による汚染度の変化

(1) 椅子の手摺

医師の椅子の手摺は業務開始前から左右ともに複数サンプルが不合格の高濃度汚染面となっていた。業務終了後にはさらに汚染度が増加し全てのサンプルで不合格であり、一日を通して微生物の温床となりやすい環境であったと考えられる。

また、業務開始前、終了後ともに医師の方が患者よりも有意に高い値となっていた（前、後： $p < 0.01$ ）。1日を通して滞在時間が長く、接触頻度が高いことが一つの原因であると考えられる。手摺の材質にも違いがあり、患者の椅子は金属製、医師の椅子は樹脂製で表面に浅い細かな凹凸があった。清掃を同じように行った場合でも表面の凹凸によって清掃性が低くなり、業務開始前に医師の椅子の手摺が十分に清浄にならなかった恐れがある。医師以外の看護師や患者が医師の椅子に直接的に接触することは稀であるが、医師の手指を介して間接的に汚染が伝播する可能性があるため、接触人数の少ない医師の手摺においても清掃の効果を改善する必要があると考えられる。

(2) ドアノブ

ドアノブ（室外側）は業務開始前と終了後で高濃度の汚染面であった。ドアノブ（室内側）は業務開始前では1サンプルのみ不合格であったが、終了後に3サンプルが不合格の高濃度汚染面となった。室外側と室内側で形状は同じだが、室内側の方が汚染度評価の悪化数が多かった。扉が内開きであるため室内側のドアノブの方が強く握ることや看護師が患者を呼び込み、扉の開閉を行うため室外側のドアノブの方では使用頻度が低い可能性が考えられる。

汚染度調査の結果から、環境表面の汚染状況には接触回数だけでなく、接触時の圧力や表面の材質が影響を与えると考えられる。また、現状の清掃方法のままで接触感染リスクを低減させるには汚染されにくい材質や清掃性の高い平滑な表面などの使用を推奨することが考えられる。

3.6 看護師と清掃スタッフへの意識調査結果

外来診察室の業務を担当する女性看護師 5 名（勤続年数：5 年未満 2 名、5 年以上 10 年未満 1 名、10 年以上 2 名）、男性清掃スタッフ 4 名（勤続年数 2 年 2 名、3 年 1 名、4 年 1 名）から回答を得た。

3.6.1 看護師と清掃スタッフの清掃状況

対象病院の清掃マニュアルでは、原則として清掃業者が清掃を実施し、医療機器については医療スタッフが清掃することとしている。しかし、実際には診療時間中の患者入れ替え時などに看護師 5 名全員が医療機器以外の箇所も清掃していることが分かった。

清掃スタッフの清掃用具の交換頻度について調査したところ、清掃用クロス、手袋ともに 1 診察室ごとに交換が 2 名、全診察室の清掃後が 1 名、汚れがひどくなったときに 1 名であった。現状の清掃マニュアルでは交換頻度について明確な規定がなく、交換のタイミングに個人差があることが分かった。清掃用具の交換頻度や清掃の順序が適切でない場合、汚染された用具により汚染が拡大する恐れがある。このような清掃の有効性を損なう要因を取り除くため、エビデンスに基づき清掃用具の交換頻度や清掃順序を規定する必要がある。

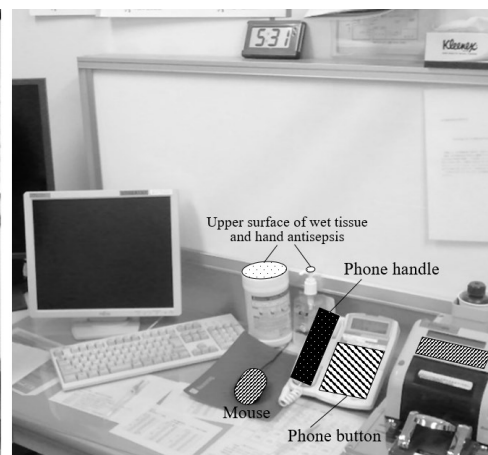
3.6.2 看護師と清掃スタッフの汚染に対する意識

Fig. 3-8 に看護師の環境表面の汚染に対する意識、Fig. 3-9 に清掃スタッフの環境表面の汚染に対する意識を示す。看護師に対しては汚染されていると考える箇所を、清掃スタッフに対しては重点的に清掃を行う箇所を調査した。

両者ともに 50%以上が回答したのは、清掃マニュアルに明記されているドアノブや、患者が主に触れる箇所であるベッド手摺やベッド全体、患者の椅子の手摺であった。

看護師は 100%がドアノブ、パソコンのキーボード、患者および医師の椅子の手摺、内線の受話器は汚染されていると考えていた。カーテン、靴べら、パソコンのマウスは 80 %であった。よって看護師は医療スタッフ、患者ともに多く触れると考える箇所を強く意識していると考えられる。

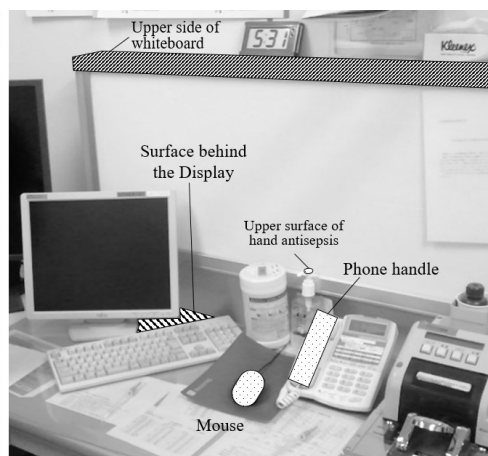
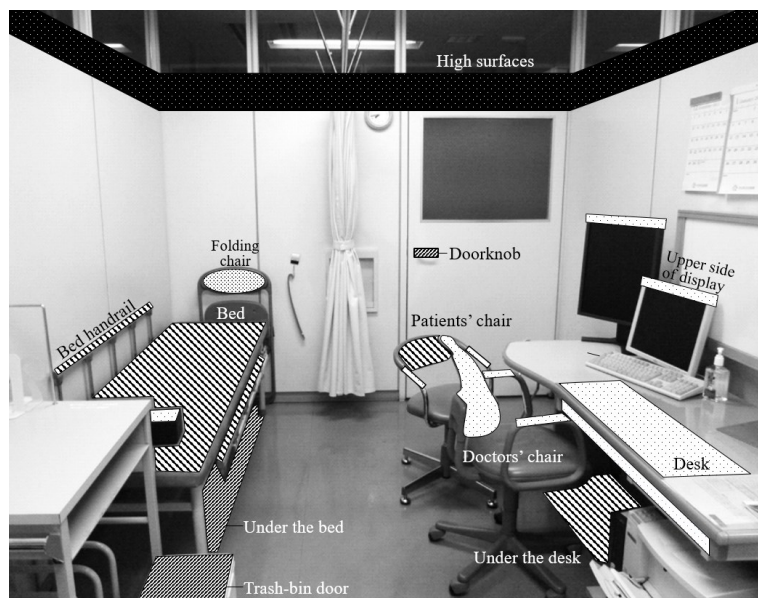
一方、清掃スタッフは 100%が間仕切り壁上部の高所を重点的に清掃すると回答した。次いで意識が高かったのは 75%が回答したドアノブ、ゴミ箱のふた、ベッドの下、パソコン裏の死角、ホワイトボード上部であった。よって清掃スタッフは埃がたまりやすい箇所を強く意識する傾向があると考えられる。この結果から、看護師と清掃スタッフの両者がとらえる汚染には違いがある可能性が示された。



Rate of respondent who think the surface is contaminated (n = 5)

20% 40% 60% 80% 100%

Fig. 3-8 Nurses' consciousness of environmental surface contamination



Rate of respondent who clean the surface intensively (n = 4)

25% 50% 75% 100%

Fig. 3-9 Cleaning crews' consciousness of environmental surface contamination

3.7 清掃方法の検討

業務前後の ATP 測定結果および看護師と清掃スタッフへの意識調査の結果を踏まえ、診察室の清掃方法について検討した。

3.7.1 現状の清掃方法

対象病院の清掃マニュアルは、病室、待合室、トイレなど施設の場所ごとに作成されており、病院側が作成した清掃の指針を示したものと清掃業務を委託されている清掃業者が作成した詳細な手順を写真入りで示したものの2種類がある。対象とした外来診察室については、清掃業者作成のマニュアルがなかったため、本章では病院が作成したマニュアルについて考察した。

病院が作成した診察室の清掃マニュアルでは、ベッドランプ・コード類、机・椅子、ベッド手摺、ベッド用リモコン、照明用ボタン、ベッドサイド照明の持ち手、ゴミ箱の蓋、床面の除塵・清拭、手洗い洗面台、水道蛇口、ファンコイルの上、電気スイッチ板、ドアノブの順で清掃を行うことが示されていた。

汚染度調査の結果より、医師近傍の環境表面である医師の椅子手摺、内線電話の受話器、机が業務後に高濃度汚染面となることが確認された。清掃を行う際、汚染度の高い面を清掃した後に相対的に汚染度の低い面を清掃すると、清掃用具に残存する汚染の拭き広げが発生する可能性がある。現状のマニュアルでは高濃度汚染面である医師の机、椅子がより汚染度の低い面よりも先に清掃されるため、清掃の順序を変更するか、次の表面を清掃する前にクロスの交換を行う必要があると考えられる。また、汚染度の異なる医師の椅子と患者の椅子について別々に清掃順序を規定することが望ましい。内線電話の受話器は高濃度汚染面であり、1 サンプルが不合格、3 サンプルが注意と判定されたが、アンケート調査の結果から、重点的な清掃を意識している清掃スタッフは1名にとどまっていた。清掃マニュアルに明記することで効果的な清掃が可能になると考えられる。

3.7.2 清掃方法の提案

Table 3-2 に提案する清掃順序を示す。清掃箇所を医師近傍の環境表面とその他に分け、診察室の清掃を行う順序を決定した。清掃の順序は、汚染の拭き広げを防ぐために、原則環境表面の汚染度が低い箇所から高い箇所へ清掃が行われるようにした。また、普段接触されないと考えられるコード類やゴミ箱などの箇所は、接触される可能性がある箇所の後に清掃することとした。今回の実測対象箇所に含まれていない面については、高濃度汚染面ではないことを仮定し、面積の小さな箇所から大きな箇所へと清掃することとした。

Table 3-2 Proposition of cleaning order of the medical examination room

Surfaces and equipment in close proximity to the doctor	Other surfaces
<ul style="list-style-type: none"> 1. Keyboard 2. Desk 3. Internal phone handle 4. Doctors' chair 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Patients' chair 2. Bed controller 3. Bed handrail 4. Bed – light switch 5. Bed light handle 6. Doorknob (interior) 7. Doorknob (exterior) 8. Wires 9. Dust bin

3.8 まとめ

外来診察室を対象に ATP 測定法を用いた業務前後の汚染度調査を行い、実測値から 8 箇所、計 11 の環境表面に対する汚染度を評価した。また、看護師と清掃スタッフの意識の差異や意識と環境表面汚染度との関係を明らかにすることを目的として外来診察室を担当する看護師および清掃スタッフに汚染に対する意識調査を行った。本章においては、清掃の前後で対象表面の汚染度を測定していないため、清掃による汚染除去の効果は直接的に評価できていない。しかし、業務前の測定値によって清掃が不十分な箇所を、業務後の測定値によって汚染されやすい箇所を特定することができると考えられる。主な結果は以下の通りである。

- 1) 医師の椅子手摺、室内側・室外側のドアノブ、内線電話受話器、机で業務後の平均 ATP 測定値が不合格と判定される 1600 RLU 以上となり、高濃度汚染面であった。
- 2) 医師の椅子の手摺、内線受話器、室外側のドアノブ、机では清掃直後である業務開始前においても平均 ATP 測定値が 800 RLU 以上の高濃度汚染面となっており、清掃方法の改善が必要であると考えられる。
- 3) 医師の椅子手摺で患者の椅子手摺よりも業務前後で ATP 測定値が有意に高かった ($p < 0.01$)。医師の椅子の手摺表面の凹凸により清掃性が低いことが原因として考えられる。
- 4) ドアノブは、室内側の方が室外側よりも汚染度が高くなりやすかった。看護師が室内側から扉を開閉するため使用頻度が室外側と比較して高いことが原因として考えられる。
- 5) 看護師と清掃スタッフへの意識調査から、看護師は人が頻繁に触れる箇所を、清掃スタッフは埃のたまりやすい箇所を汚染度が高い箇所として強く意識する傾向がみられた。
- 6) 業務前後で汚染度が高い医師の椅子の手摺や内線電話の受話器を重点的に清掃する清掃スタッフは 1 名にとどまっていたため、清掃マニュアルに明記するなど清掃スタッフの意識を変えることで効果的な清掃が可能になると考えられる。
- 7) 明確な規定のない ATP 測定法でのスワブによる測定対象表面の拭き取り方法について実験を行い、適切な方法を提案した。また、重点的な清掃が必要な箇所として新たに高濃度汚染面を定義し、実測結果から診察室における高濃度汚染面を明らかにした。

参考文献

- 1) Atkinson, M. P. and Wein, L. M.: Quantifying the Routes of Transmission for Pandemic Influenza, *Bulletin of Mathematical Biology*, 70, pp.820-867, 2008
- 2) Weber, D. J., Rutala, W. A., Miller, M. B., Huslage, K., Sickbert-Bennett, E. E.: Role of hospital surface in the transmission of emerging health care-associated pathogens, *American Journal of Infection Control*, 38, pp.25-33, 2010
- 3) Kramer, A., Schwebke, I., Kampf, G.: How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review, *BMC Infectious Diseases*, 6, 130, 2006. doi:10.1186/1471-2334-6-130.
- 4) 東野督子, 神谷和人: ICUにおける患者療養環境への methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* の汚染状況, *環境感染誌*, 30(5), pp.309-316, 2015
- 5) Boyce, J. M.: Environmental contamination makes an important contribution to hospital infection, *Journal of Hospital Infection*, 65(52), pp.50-54, 2007
- 6) Bean, B., Moore, M., Sterner, B., Peterson, L. R., Gerding, D. N., Balfour, H. H.: Survival of Influenza Viruses on Environmental Surfaces, *The Journal of Infection Diseases*, 146(1), pp.47-51, 1982.7
- 7) Schulster, L. M., Chinn, R. Y. W., Arduino, M. J., Carpenter, J., Donlan, R., Ashford, D., Besser, R., Fields, B., McNeil, M. M., Whitney, C., Wong, S., Juranek, D., Cleveland, J.: Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Chicago IL; American Society for Healthcare Engineering/American Hospital Association, p.134, 2004.
- 8) Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., Chiarello, L., and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings, pp.63-73, 2007
- 9) 菅井滋 : ATP (拭き取り検査法) とは, *眼科手術*, 17, pp.531-532, 2004
- 10) 柴田洋文, 川添和義, 柴田高洋, 伏谷秀治, 渡邊美穂, 高開登茂子, 長尾多美子, 東満美, 水口和生: ATP 拭き取り調査による院内環境表面のモニタリング, *環境感染誌*, 29(6), pp.417-423, 2014
- 11) 坂下聖加子, 岩沢篤郎, 中村良子 : ATP 拭き取り検査を用いた病院環境の清浄度評価, *機能水医療環境*, 3 (2) , pp.97-101, 2002
- 12) Emanuele, A., Claudia, D.: Use of ATP Bioluminescence for Assessing the Cleanliness of Hospital Surfaces; A Review of the Published Literature (1990-2012), *Journal of Infection and Public Health*, 7, pp.92-98, 2014
- 13) Brown, E., Eder, A. R., Thompson, K. M.: Do Surface and Cleaning Chemistries Interfere with ATP Measurement Systems for Monitoring Patient Room Hygiene? *The Hospital Infection Society*, pp.193-195, 2009
- 14) Hygiena: Two Hospitals Improve Cleaning Score and Experience Lower Infection Rates Five Year Case Study of Hygiena SystemSURE Plus ATP Cleaning Verification, 2013

- 15) Hygiena, Technical Document: Product Comparison ; Sensitivity Comparison Between EnSURE and SystemSURE Plus Luminometers, 2013

第 4 章

病室における ATP 測定法による清掃前後の表面汚染度実測調査

第 4 章 病室における ATP 測定法による清掃前後の表面汚染度実測調査

4.1 はじめに

医療関連感染の多くは手指の接触を介して発生することが知られている¹⁻⁴⁾。東野ら⁵⁾は、ICU の患者療養環境への Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) の汚染状況を調査し、MRSA 検出患者周囲の環境汚染は早期に出現し、時間経過とともに高率となること、また遺伝子学的検討により、MRSA 検出なし患者の病室でも、先に入室した MRSA 検出患者による療養環境からの MRSA が検出されたことを報告している。これは、環境中に残存している MRSA が汚染源となり、それに接触した医療従事者の手指や物品が汚染されることで、医療従事者が意図しないうちに院内の他の場所に汚染を拡大させている可能性を示唆している。

医療関連感染を未然に防ぐためには医療従事者が適切な手袋、ガウン、マスクなどの個人保護具の取り扱いと手指衛生を行うこと、また環境を介した病原体の伝播を遮断するために効果的な清掃が必要である。現在、医療施設における基本的な感染防止策としては、手指衛生の励行や室内環境表面の清掃がなされている⁶⁾。CDC (Centers for Disease Control and Prevention) ガイドライン⁷⁾では、こまめな清掃と消毒を要する高頻度接触面が規定されているが、ベッドレール、ベッドサイドの机、室内用便器、ドアノブ、シンク、患者近傍の表面などと述べるに留まっており、十分なエビデンスがない。Huslage ら⁸⁾は、病院における高頻度接触面を同定するために ICU および一般病棟において医療従事者と患者を観察し、その結果からベッド手摺、ベッド表面、サプライカート、オーバーベッドテーブル、輸液ポンプを高頻度接触面として定義した。

基本的な感染防止策としての清掃に関する指針を再検討し、エビデンスに基づいた適切な清掃を行い、感染症を引き起こす病原体の伝播を防ぐためにはある箇所が接触される頻度のみではなく清掃の有効性を評価する必要がある、実環境の汚染状況および清掃の効果に関する知見が求められる。現在医療福祉施設において環境の汚染度をモニタリングするためのガイドラインや標準的な手法はなく、微生物汚染の指針としては信頼性を欠くが、目視による判断が最も一般的である⁹⁾。信頼性のある汚染度の判定法としては、従来細菌培養検査が行われてきたが、判定に要する時間が長く迅速な判定が困難であり、また方法によっては検出が不可能な病原体があることが問題であった¹⁰⁾。この中で、近年アデノシン三リン酸 (Adenosine tri-phosphate: ATP) を指標として汚染度を評価する ATP 測定法が注目されている¹¹⁾。

柴田ら¹²⁾は、ATP 測定法により病院環境表面のモニタリングを行い、微生物が検出されるサンプルの ATP 測定値は微生物が検出されないサンプルよりも有意に高い範囲をとることを報告している。また、NHS Foundation Trust によりルミノメーター SystemSURE PLUS とスワブ Ultrasnap (Hygiena 社)

を用いて英国 2 病院を対象に環境表面汚染度と医療関連感染発生件数のモニタリング¹³⁾が行われた。評価基準値は測定対象面積 100 cm² あたり、100 RLU 以下を合格、101～199 RLU を注意、200 RLU 以上を不合格とし、2008 年から 5 年間調査が行われた。その結果、開始後 3 年間で入院 48 時間以降の *Clostridium difficile* 感染症数が 35 %、患者が滞在する 10,000 病床数の 1 日あたりの感染症数が 39 % 減少したことを報告している。

環境表面を介した接触感染を防ぐためには、効果的な清掃方法を定め環境を清浄に保つために、こまめな清掃が必要となる高頻度接触面だけではなく、高濃度に汚染される面や環境中の汚染度の分布を把握する必要がある。しかし、多く行われている微生物学的な調査では、対象菌検出の有無に限られることが多く、環境表面の汚染度を評価した研究は少ない。

本章では、入院患者が入院期間中に最も多くの時間を過ごす一般病室を対象に、室内環境表面の汚染実態を把握し療養環境において高濃度に汚染される面を明らかにすることを目的とし、患者退院後に病室の環境表面汚染度を ATP 測定法により測定した。また、同時に病室における清掃方法を調査し、清掃後の環境表面汚染度を測定することで清掃の効果を評価し、改善すべき点を検討した。

4.2 対象病室における清掃方法

今回測定対象とした病院では、病室の清掃方法として、清掃業者が原則 1 日に 1 回行う通常時清掃と、入院患者の退院直後に行う退院時清掃の 2 種類が規定されている。本研究では退院時清掃を対象とし、患者退院後の退院時清掃前後に ATP 測定を行った。

対象病院の清掃マニュアルは、病院側が作成した清掃の指針を示すものと清掃業務を委託された清掃業者が詳細な手順を写真入りで作成しているものの 2 種類があり、病室については病院・清掃業者両方のマニュアルがあった。清掃スタッフは、清掃業者が作成したマニュアルがある場合には、それに従って清掃を行うと考えられるため、本章では清掃業者が作成したマニュアルについて考察した。

病室の清掃は、手指衛生の実施、個人防護具の着用、入室の挨拶、垂直面・水平面の清掃、高頻度接触面の清掃、床面の清掃、ごみの分別回収、清掃道具の清掃の順序で行うようにマニュアルで規定されていた。以降では、環境表面を含む水平面、垂直面、高頻度接触面の清掃に関する通常時清掃・退院時清掃の方法について記述する。

4.2.1 通常時清掃

通常時清掃では、窓ガラス、壁、扉などの垂直面は目視により確認できる汚れがある部分のみを清拭し、窓台などの水平面は全面を消毒液で湿らせた清掃用クロスを用いて清拭し汚染物を除去する。また、高頻度接触面としてドアノブ、手摺、ライトスイッチを清拭することが規定されている。患者の在不在に関わらず病室の清掃は原則的にマニュアルに規定された通りに行われているが、患者の要望や都合により清掃が行えない場合もある。以下に通常時清掃の手順を示す。

1. 移動

清掃カートを清掃対象病室の前に移動させる。感染症患者の病室の清掃順序は最後とする。

2. 手指衛生の実施、防護具の着用

手指衛生の実施として、衛生的手洗い、あるいは手指消毒用アルコールを手に擦り込む。感染症患者の病室では、感染経路別予防策に則り、マスク、エプロン、手袋等を着用する。

3. 入室の挨拶、ゴミ箱出し

入室の挨拶をし、カーテンを開ける場合は患者に伝える。ゴミ箱を外へ、感染症患者の病室では入口へ移動させ、作業中の病室の出入りは最小限にする。ただし、空気感染の場合には病室の扉を閉める。

4. 床面の除塵

マイクロファイバーモップ（緑色）を用いて床面の除塵を行う。感染症患者の病室では 1 室ごとに交換する。

5. 垂直面・水平面の清拭

垂直面として、窓ガラス、壁、および扉の汚れのある部分のみを清拭する。窓台等の水平面は全面清拭を行う。清拭の際は一方向へ拭き上げる。

6. 手の頻繁に触れる部位の清拭・消毒

手の頻繁に触れる部位として、ドアノブ、手摺、照明スイッチを清拭する。清拭の際は一方向へ拭き上げる。

7. 水廻りの清掃・消毒

トイレおよびシャワー室等の水廻りを清掃し、場合により消毒を行う。（個室）

8. 床面の清拭

マイクロファイバーモップ（青色）を用いてスプレースポット拭き、あるいは全面拭きを行う。感染症患者の病室では1室ごとに交換する。

9. ゴミの分別回収

感染症患者の病室では手袋を着用し、病院の規定に従ってゴミを分別回収する。また、すべて感染性廃棄物とする。ゴミ箱が汚れている場合は清拭を行い、その後手袋を外す。ゴミ箱を所定の位置に戻す。

10. 後処理・退室

感染症患者の病室では、使用したディスポワイプを病院の規定に従って分別廃棄し、モップを外して交換する。その後エプロンを外して、カーテンを閉めて退室の挨拶をする。きれいなワイプでドアノブを掴み、退出する。

11. 清掃用具の清掃

空気感染予防策時は、N95 マスクを外して感染性廃棄物として廃棄する。掃除機を用いてマイクロファイバーモップ（緑色）を清掃し、最後にモップのハンドル等を清拭する。

4.2.2 退院時清掃

退院時清掃では、通常時清掃で行う垂直面、水平面、高頻度接触面に加え、オーバーテーブルやナースコール、床頭台、ベッドライトなどの患者周辺の環境表面とベッドについても清掃を行うことが規定されている。また、清掃業者の清掃終了後に看護師長などの責任者が目視で確認を行い、不十分であると判断された場合は清掃業者により再度清掃が行われる。以下に退院時清掃の手順を示す。

1. 移動

清掃カートを清掃対象病室の前に移動させる。

2. 手指衛生の実施、防護具の着用

手指衛生の実施として、衛生的手洗い、あるいは手指消毒用アルコールを手に擦り込む。感染症患者の病室では、エプロン、手袋等を着用する。ただし空気感染の場合は、十分な換気後の作業を想定

している。

3. 清掃の準備

オーバーテーブル、床頭台、椅子、およびゴミ箱を病室外の廊下へ移動させる。感染症患者の病室では、ゴミ箱を病室の入口へ移動させる。

4. 高所・壁面の除塵

高所である天井、アネモ、棚の上、および壁面をほこり取り（テラモト、フラワークリーン）によって除塵する。

5. 垂直面・水平面・手の触れる部位の清拭・消毒

垂直面である窓ガラス、壁はスポット拭き、扉は全面拭きを行う。水平面である床および棚を清拭する。また手の触れる部位として、ドアノブ、手摺、スイッチを清拭する。清拭の際は一方向へ拭き上げる。

6. 患者周辺の環境表面の清拭・消毒

患者周辺の環境表面として、オーバーテーブル、ナースコール、メディカルコンソール、ベッドライト、床頭台、冷蔵庫、および椅子等の清拭を行う。清拭の際は一方向へ拭き上げる。

7. ベッドの清拭・消毒

ベッドを清拭する。清拭する際は一方向へ拭き上げる。

8. 水廻りの清拭・消毒

トイレおよびシャワー室等の水廻りを清掃し、場合により消毒を行う。

9. 床清掃

マイクロファイバーモップ（緑色）で除塵する。感染症患者の病室では 1 室ごとに交換する。マイクロファイバーモップ（青色）を用いて全面拭きする。使用したモップは 1 室ごとに交換する。

10. ゴミの分別回収

感染症患者の病室では、手袋を着用して、ゴミを回収・分別する。また、すべて感染性廃棄物とする。ゴミ箱を清拭し、手袋を外す。

11. 物品のセッティング

ベッド、オーバーテーブル、床頭台、椅子、およびゴミ箱を所定の位置に配置する。

12. 後処理・清掃用具の清掃

感染症患者の病室では、使用したワイプを病院の規定に従い分別廃棄する。また、モップ（緑色）およびモップ（青色）を交換する。エプロンを外し、モップ、ハンドルを清拭する。

清掃に使用されるクロスは不織布で、使い捨てではないが清掃担当者がそれぞれ数枚のクロスを携帯し、エリアごとに交換する規定がある。しかし、規定にはエリアの詳細な定義がなく、清掃者によって解釈が異なり、個人差が生じている。病室の清掃を担当する清掃者 4 名に対し、「クロスの交換頻度はどの程度ですか」と質問したところ、1 名が 1 床ごと、2 名が 1 病室ごと、1 名がクロスの汚れがひどくなった時、または感染原因となると考えられる体液等を拭き取った時と回答した。以上によ

り、クロス交換のタイミングには個人差があり、1床を清掃している間にはクロスが交換されない場合が多いことが分かった。

4.3 療養環境における環境表面汚染の実測概要

4.3.1 実測概要

患者退院後に行われる退院時清掃の前後での汚染度を把握し、高濃度に汚染される面の特定および清掃効果を評価することを目的として、ATP 測定法を用いて病室内環境表面汚染の測定を行った。都内大学病院の一般入院病棟内 4 床室に設置されたベッドおよびベッド周辺の療養環境を対象とし、2014 年 10 月 25 日（土）、11 月 1 日（土）、2016 年 12 月 24 日（土）、25 日（日）、28 日（水）に計 35 床で測定を行った。実測対象とした病室にはベッドの間に手すりや棚を備えた間仕切り家具が設置されており、視・音環境を調節するための可動間仕切りが設けられている。Fig. 4-1 に病室の平面図を示す。

4.3.2 実測手順

入院患者の退院直後に療養環境の環境表面汚染度を ATP 測定法により測定した。また、清掃業者が通常通り退院時清掃を行った後に、再び汚染度測定を行った。測定は 1 床単位で退院後の患者不在時に行った。

4.3.3 実測対象面

Table 4-1 に実測対象箇所、Fig. 4-2 に実測対象面の位置、Fig. 4-3 に実測対象面の詳細を示す。実測対象面は、患者や看護師が頻繁に接触し汚染される可能性が高いと考えられる 10 箇所 15 表面を選定した。

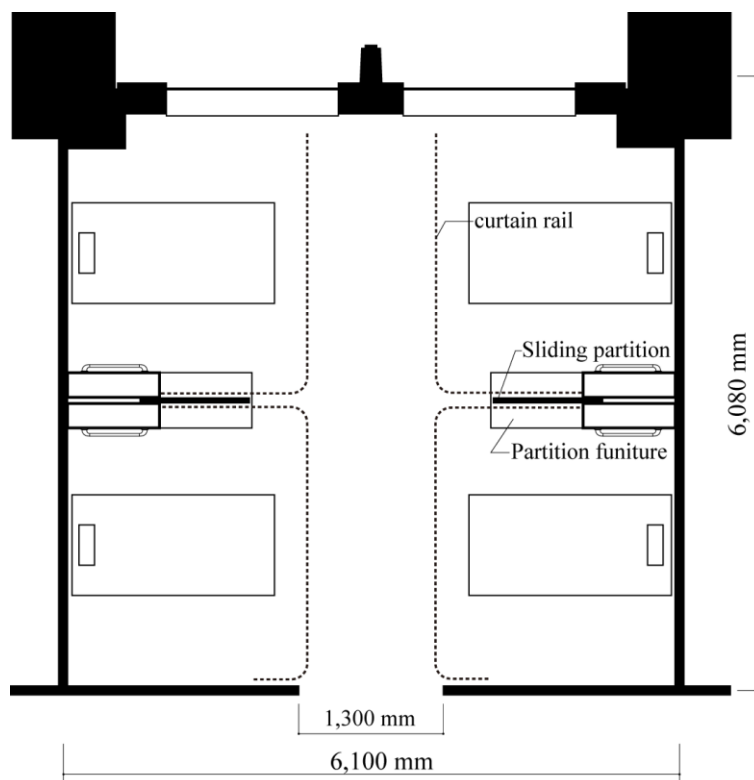


Fig. 4-1 Floor plan of measured patient room

Table 4-1 Measured points

Measured surfaces	Points	Area [cm ²]
a. Bed handrail (foot, side)	4 (left, right)	40
b. Bed switch	1	80
c. Over table	3 (left, center, right)	100
d. Partition furniture – cabinet handle	1 (center)	23
e. Partition furniture – shelf plate	1 (center)	100
f. Partition furniture – handrail	1 (center)	40
g. Sliding partition	1	60
h. Nurse call	1	16
i. Light switch	1	4
j. TV remote controller	1	40

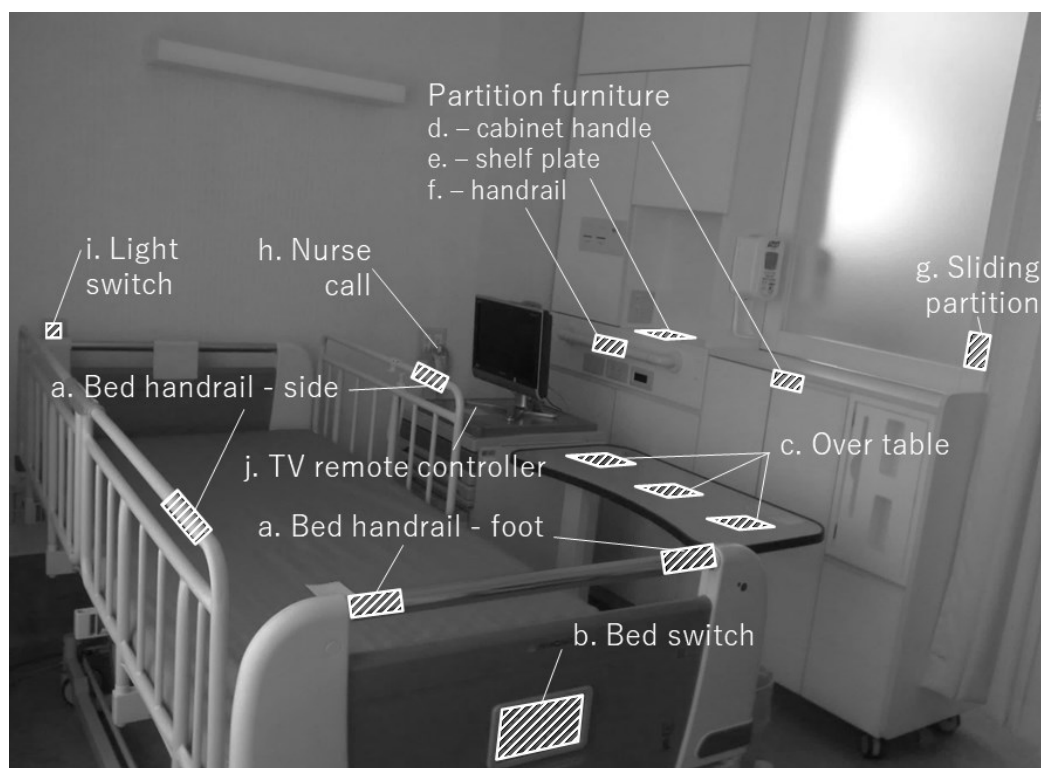
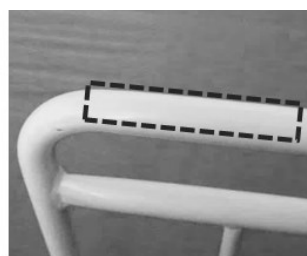
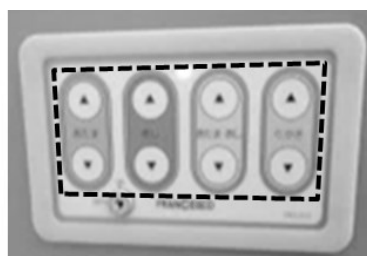


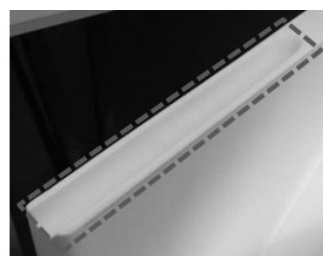
Fig. 4-2 Location of measured surfaces



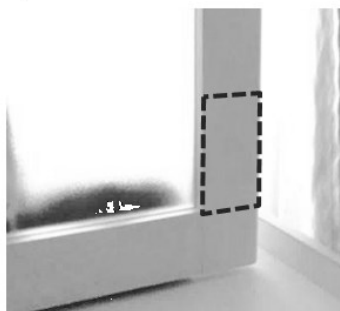
a) Bed handrail



b) Bed switch



d) Cabinet handle



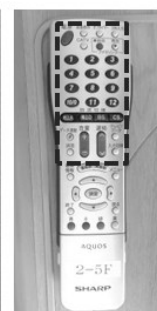
g) Sliding partition



h) Nurse call



i) Light switch



j) TV remote controller

Fig. 4-3 Detail of measured surfaces

4.3.4 実測方法

実測対象面は実測対象箇所において可能な限り大きな面を設定し、上下・左右共にスワブを1 cm 幅あたり2 往復させて拭き取り、ATP 検査用ルミノメーターによりRLU 値を測定した¹⁴⁾。拭き取り面積が異なる測定値は100 cm² 当りに換算することで比較した。オーバーテーブルは水平面が広く、汚染状況に影響を及ぼす接触頻度に分布が生じると考えられるため、左、中央、右の3 箇所に分割して測定を行った。Fig. 4-3 に示すようにナースコール、ライトスイッチはボタン部分のみを実測対象面とし、ベッド電動スイッチおよびテレビリモコンは、主にボタン部分を中心に測定を行った。測定は1 床3 名で行い、測定者ごとに担当する測定箇所を定めた。なお、人間の手指や唾液にはATP が多く含まれるため、測定時にはマスクと手袋を着用し、対象面に直接触れないよう注意した。

4.3.5 汚染度判定基準

本研究においては、ATP 検査用ルミノメーターに EnSURE を、ATP 検査用試薬一体型スワブに Supersnap (いずれも Hygiena 社) を用いた。Hygiena の報告¹⁵⁾ では、ルミノメーター EnSURE は SystemSURE PLUS の4 倍、スワブ Supersnap は Ultrasnap の2 倍の感度を示すため、EnSURE と Supersnap の組み合わせで測定した場合、SystemSURE PLUS と Ultrasnap の組み合わせで測定した場合と比較し、測定値が約8 倍となることが述べられている。SystemSURE PLUS と Ultrasnap の組み合わせで行われたモニタリング調査¹³⁾ で用いられた拭き取り面積100 cm² あたり100 RLU 未満を清浄である「合格」、100 RLU 以上200 RLU 未満を「注意」、200 RLU 以上を「不合格」とする評価基準値を8 倍し、本研究の評価基準値は800 RLU 未満を「合格」、800 以上1600 RLU 未満を「注意」、1600 RLU 以上を「不合格」とした。本章では、測定対象面の中央値が「注意」と判定される800 RLU 以上となった箇所を高濃度汚染面とした。

4.4 実測結果および考察

35 床において環境表面 15 箇所の測定を行い、計 522 箇所の汚染度調査結果を得た。ただし、1 床で清掃後にオーバーテーブルが他病室へ移動されたため、清掃後のオーバーテーブル 3 箇所については欠測とした。

4.4.1 清掃前後の ATP 測定

Fig. 4-4 に清掃前後の ATP 測定結果を、Table 4-2 に測定箇所間の清掃前 ATP 測定値の有意差確率を示す。清掃前に各測定箇所で測定された ATP 測定値の有意差を調べるために Mann-Whitney の U 検定を、清掃前後の ATP 測定値について有意差を調べるために Wilcoxon の符号付順位検定を行った。統計解析は IBM SPSS Statistics Ver. 22 により行った。図表中に、有意確率 $p < 0.01$ を満たす場合に「**」、 $p < 0.05$ を満たす場合に「*」、 $p < 0.10$ を満たす場合に「+」と示した。

(1) 清掃前の ATP 測定値

清掃前の ATP 測定値が最も高い値となった箇所はテレビリモコンの 14640 RLU であり、続いてテレビリモコンの 11358 RLU、ナースコールの 9438 RLU となった。可動間仕切りについては、最大値が 272 RLU と 800 RLU 以下となり、35 床すべてにおいて 800 RLU 以下であったことが分かった。

清掃前の ATP 測定値の中央値を測定箇所ごとに比較すると、間仕切り家具の把手、ライトスイッチ、テレビリモコン、ナースコール、オーバーテーブル、ベッド手摺の横部、ベッド手摺の足部、間仕切り家具の手摺、間仕切り家具の棚、ベッド電動スイッチ、可動間仕切りの把手の順に高かった。中央値が不合格と判定される 1600 RLU 以上となった箇所は、間仕切り家具の把手とライトスイッチであり、注意と判定される 800 RLU 以上となった箇所はテレビリモコン、ナースコール、オーバーテーブル、ベッド手摺の横部であった。合格と判定される 800 RLU 以下となった箇所はベッド手摺の足部、間仕切り家具の手摺および棚、ベッド電動スイッチ、可動間仕切りの把手であった。

オーバーテーブル、間仕切り家具の把手、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンでは、ベッド手摺の足部、間仕切り家具の棚および手摺、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチよりも 1%水準で有意に清掃前の ATP 測定値が高かった。また、間仕切り家具の把手、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンでは、ベッド手摺の横部より 1%水準で有意に清掃前の ATP 測定値が高かった。間仕切り家具の棚および手摺、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチでは、ベッド手摺の横部の方が 1%水準で有意に高いことが分かった。ベッド手摺の横部とベッド手摺の足部、オーバーテーブルとの間には、有意な差はみられなかった。

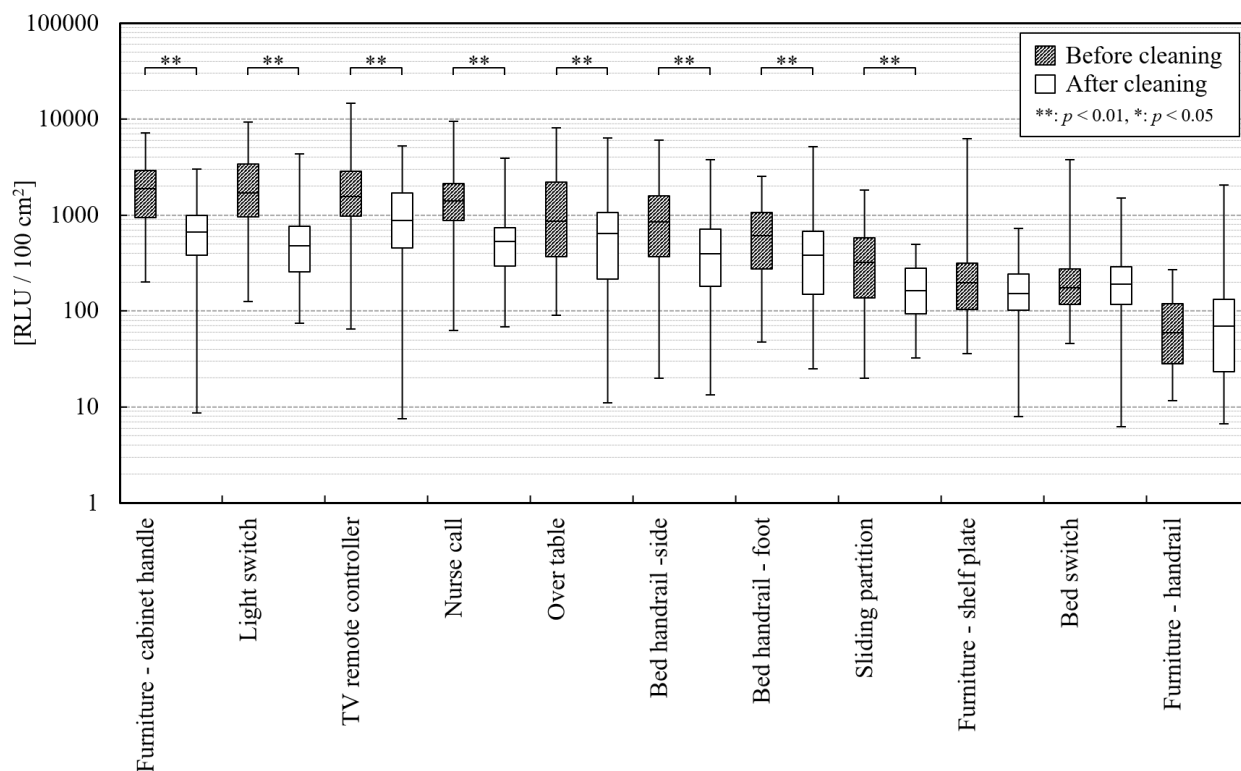


Fig. 4-4 ATP measurement results before and after cleaning

Table 4-2 Measurement of ATP before cleaning – p-value between measured points

	Furniture - cabinet handle	Light switch	TV remote controller	Nurse call	Over table	Bed handrail - side	Bed handrail - foot	Sliding partition	Furniture - shelf plate	Bed switch	Furniture - handrail
Furniture - cabinet handle											
Light switch	0.668										
TV remote controller	0.967	0.707									
Nurse call	0.160	0.121	0.168								
Over table	0.004**	0.001**	0.001**	0.144							
Bed handrail - side	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.477						
Bed handrail - foot	0.001**	0.001**	0.001**	0.040*	0.030*	0.145					
Sliding partition	0.002**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**				
Furniture - shelf plate	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**			
Bed switch	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.879		
Furniture - handrail	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.002**	0.001**	0.062 ⁺	0.024*	

 $p < 0.01$: **, $p < 0.05$: *, $p < 0.10$: ⁺

(2) 清掃前後の ATP 測定値

清掃前後の ATP 測定値を測定箇所ごとに比較すると、ベッド手摺の横部および足部、オーバーテーブル、間仕切り家具の把手および手摺、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンでは、1%水準で有意に清掃後の ATP 測定値が低くなった。一方、間仕切り家具の棚、可動間仕切りの把手、およびベッド電動スイッチでは清掃前後の ATP 測定値に有意な差はみられなかった。これらの箇所については、清掃前の汚染度が低かったことが影響し、清掃後の ATP 測定値が有意に低くならなかったと考えられる。

清掃前の ATP 測定値が高いライトスイッチ、テレビリモコン、間仕切り家具の収納把手では清掃による汚染の除去効果が高く、有意確率が高くなったと考えられる。また、これらの箇所よりも清掃前の ATP 測定値が有意 ($p < 0.01$) に低いベッド手摺においても明確に清掃の効果がみられ、ベッド手摺においては同程度に汚染された他の面よりも効果的に清掃が行われていたと考えられる。間仕切り家具の棚、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチでは清掃前後の ATP 測定値に有意差がみられなかった。清掃前の ATP 測定値が他の箇所よりも比較的低く、清掃後の ATP 測定値との差が小さくなったこと、測定値のばらつきが大きかったことがその要因として考えられる。

4.4.2 汚染度評価

詳細な汚染状況と清掃の効果を評価するため、以降では 35 床で測定した 15 表面それぞれについて汚染度を基準値に基づいて評価した。Fig. 4-5 に清掃前後の汚染度の評価結果を示す。グラフ縦軸は各箇所において合格、注意、不合格となった床数を示している。

(1) 清掃前の汚染度評価

高濃度汚染面である間仕切り家具の把手、ライトスイッチ、テレビリモコン、ナースコール、オーバーテーブルおよびベッド手摺の横部では、8 床以上で不合格と判定された。特に、間仕切り家具の把手とナースコールでは、20 床において不合格と判定された。オーバーテーブルにおいては、18 床で測定した左・中央・右の 3 箇所のうち、いずれかが 1600 RLU 以上となり不合格と判定され、局所的に汚染度が高い病床が多くみられた。原因としては、食事の際など入院中に使用される頻度が高く、患者が滞在している時は通常時清掃が行われにくいことが原因として考えられる。

間仕切り家具の把手については、日常的に使用する箇所であり、また清掃マニュアルに高頻度接触面として規定されていないことが原因として考えられる。ナースコールおよびライトスイッチについては、その使用方法から接触する部分が集中するために、汚染度が高くなりやすい可能性がある。

清掃前の ATP 測定値が低い間仕切り家具の棚、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチではその他の日常的に使用される物品とは異なり、接触される頻度が低いために汚染度が高くなりにくいと考えられる。

(2) 清掃後の汚染度評価

35 床すべてで合格と判定された箇所は、間仕切り家具の棚のみであった。また、すべての病床において不合格判定がみられなかった箇所は、間仕切り家具の棚および手摺、ベッド電動スイッチであった。オーバーテーブル、間仕切り家具の把手、テレビリモコンでは、5 床以上で不合格と判定された。可動間仕切りの把手では、清掃前の汚染度評価では 35 床すべてで合格となっていたのに対し、清掃後 1 床において不合格と判定される結果となり、清掃によって汚染度が高くなる場合が確認された。

オーバーテーブルについては、清掃後も ATP 測定値が 1600 RLU 以上となった床数が最も多く、特に清掃が効果的に行われていなかったと考えられる。間仕切り家具の把手については、把手部分が溝状であるため、意識して清拭を行わない限り、効果的に除染されないと考えられる。テレビリモコンについては、ボタンの凸凹による隙間の清掃が行いにくいために、清掃による除染が難しかったと考えられ、このために清掃前の汚染度も非常に高くなったと考えられる。一方、間仕切り家具の棚部分では、清掃により効果的に除染ができたことが示され、対象面が平面、かつ対象面が広くないことにより汚染除去しやすかったと考えられる。

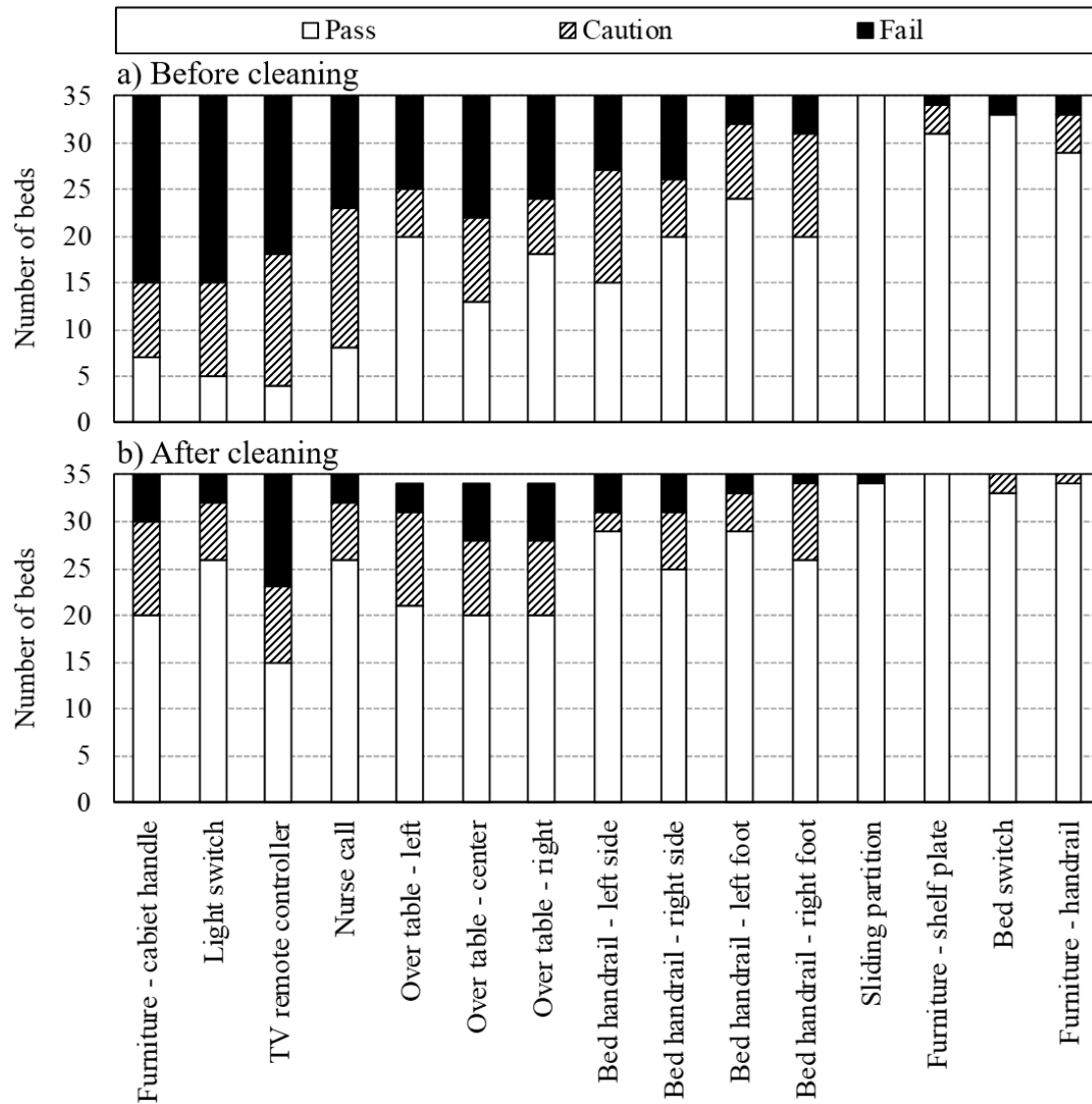


Fig. 4-5 Contamination evaluation before and after cleaning

(3) 清掃前後の汚染度評価の変化

Fig. 4-6 に清掃後に各測定面で汚染度判定結果が悪化した床数を示す。清浄度判定基準により、清掃後に汚染度が上昇して注意および不合格と判定された箇所は 50 箇所であった。特に、オーバーテーブルにおいてその傾向が顕著であり、注意と判定された箇所は 10 箇所、不合格と判定された箇所は 6 箇所となった。また、1 箇所において注意および不合格の判定数が最も多くなった箇所は、ベッド手摺の右横であった。一方、汚染上昇が 800 RLU 以内に収まっていた箇所は、間仕切り家具の棚および手摺、ベッド電動スイッチであった。多くの病床で清掃後に汚染度が上昇している箇所については、清掃方法もしくは清掃順序が適切ではなかった可能性が考えられる。

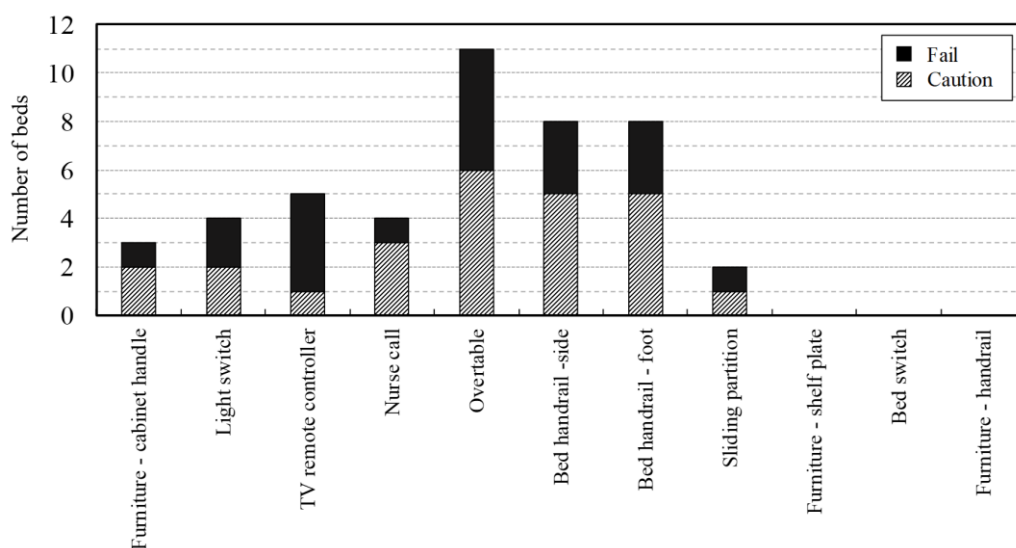


Fig. 4-6 Number of beds with higher contamination scores after cleaning

4.4.3 清掃による汚染度上昇

Table 4-3 に清掃後にオーバーテーブルにおいて汚染度評価が悪化した場合の汚染度の変化を示す。35 床中 11 床 16 箇所において清掃後の汚染度が上昇し、800 RLU 以上となった。清掃前に汚染度が高い箇所においては、清掃後に減少していることが確認できる。このことから、オーバーテーブルでは、表面上で汚染度に分布があり、清掃前は清浄であった部分が清掃後に汚染される状況が確認された。オーバーテーブルの清掃時に、同一平面上の高濃度に汚染された部分を拭くことで汚染されたクロスによって汚染度の低い部分の拭き取りが行われることによって汚染度が上昇した可能性がある。同様の現象はベッド手摺においても生じている可能性がある。これを防ぐためには、一方向に拭き取る清掃方法を徹底するほか、特に汚染度が高く表面が大きな箇所については対象面を十分に清浄化できる清掃方法をエビデンスに基づいて決定し、マニュアルに規定することで清掃が適切に行われるようにする必要がある。

Table 4-3 Increase in contamination level of overbed tables after cleaning

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Before Cleaning	Left	2501	3190	2170	1260	511	1086	1	1599	499	443	678
	Center	127	357	2335	260	1540	2637	1381	1414	372	1133	923
	Right	219	161	1554	893	1551	1449	6924	399	581	2148	247
After Cleaning	Left	616	1660	1664	784	1219	1370	996	883	1149	850	846
	Center	2007	2901	777	1043	2223	796	2716	340	881	609	766
	Right	1280	2146	2295	383	1074	658	6407	878	792	927	229

■: Fail (The ATP Value increased after cleaning) ■: Caution (The ATP Value increased after cleaning)

4.4.4 清掃順序による汚染度上昇

ナースコールや可動間仕切りの把手などの面が小さく、同一表面上で汚染の分布がない箇所において、清掃後に汚染度判定が悪化した部分では、清掃手順や清掃に用いるクロスを交換するタイミングが適切ではなく、より汚染度の高い表面を清掃することで汚染された清掃用具を用いて清掃が行われたために二次汚染が生じ、汚染度が増加した可能性が考えられる。間仕切り家具の棚と間仕切り家具の手摺は位置が近いため、連続して清掃されやすいと考えられるが、手摺では棚よりも有意に汚染度が高いため、手摺を清掃した後に棚が同じクロスで清拭されることで清掃後に汚染度が上昇した可能性がある。また、オーバーテーブルにおいても同様に、汚染されたクロスで清掃が行われたために汚染度が上昇した可能性がある。特に、清掃マニュアルに規定されていない詳細な清掃順序は作業の効率性などの観点から清掃順序が定まることが考えられる。汚染状況の調査結果に基づき、汚染度の低い面から高い面へ清掃が行われるよう手順を変更し、二次汚染の発生を防ぎ効果的な清掃を行うために必要なクロス交換の適切なタイミングについても検討する必要がある。

4.5 清掃方法の検討

本調査結果から、汚染度が高い箇所が局所的である場合においても病床全体の汚染度が増加する可能性が示唆され、清掃効果を向上させることの重要性が確認された。そこで、本調査結果をもとに、マニュアルに規定された清掃方法の課題について考察し、清掃効果を高めるための改善方法を提案した。

4.5.1 現状の清掃方法の課題

現状のマニュアルでは、退院時清掃は水平面（窓の棧・柵）、手の触れる部位（ドアノブ・手摺・ライトスイッチ）、患者周辺の環境表面（オーバーテーブル、ナースコール・メディカルコンソール・ベッドライト・床頭台・冷蔵庫・椅子）、ベッドの順に行うこととされている。この順序は、患者に近い表面ほど接触される頻度が高く、汚染度が高くなることを想定し、患者から遠い表面から患者近傍の表面の順に清掃が行われるように規定されていると考えられる。

現状のマニュアルでは、水平面、手の触れる部位、患者周辺の環境表面など大まかなまとまりでは清掃の順序が指示されているが、各表面の清掃順序は記述された順に従うのかが明確ではない。清掃者によって清掃を行う順序が異なる恐れがあるため、具体的に規定する必要がある。オーバーテーブルについては、患者周辺の環境表面としてナースコールなどと共に清掃することとなっているが、特に面積が大きく汚染度が高いために清掃による汚染の拡大が起りやすいため、最後に清掃を行うこととし、また表面の汚染を除去するために拭き取り清掃の方法を改善する必要がある。また、退院患者が感染症患者ではない場合には、清掃作業前にオーバーテーブル、床頭台、椅子を病室の外に移動させることも考慮し、作業性の観点からも清掃時に移動させる可動什器と病床近傍の環境表面を分けて清掃した方が良い。また、間仕切り家具の把手およびテレビリモコンについては高濃度汚染面と判定されたが、清掃マニュアルには具体的な記載がないため、どのような順序で清掃するかを記述すべきである。

4.5.2 清掃方法の提案

本調査により得られた測定箇所ごとの清掃前 ATP 測定値および清掃前後の汚染度評価の結果から、清掃の効果を改善する方法を提案する。

清掃の順序

Table 4-4 に提案する清掃順序を示す。清掃時の作業性を考慮し、移動が少なく済むように清掃箇所を患者近傍の環境表面、ベッド、可搬什器に分け、病床の清掃を行う順序を決定した。清掃の順序は、汚染の拭き上げを防ぐために、原則環境表面の汚染度が低い箇所から高い箇所へ清掃が行われるようにした。清掃前の ATP 測定値に統計的な有意差がみられなかった箇所については、面積の小さな箇所から清掃することとした。また、普段接触されないと考えられるマットレス下のベッドフレームなどの箇所は、接触される可能性がある箇所の後に清掃することとした。今回の実測対象箇所に含まれていない面については、高濃度汚染面ではないことを仮定した。

Table4-4 Proposition of cleaning order based on measured results

Surfaces and equipment in close proximity to the patient	Bed	Transportable furniture
1. Furniture - handrail 2. Furniture - shelf plate 3. Sliding partition 4. Medical console panel 5. Light switch 6. Nurse call 7. TV remote controller 8. Furniture - cabinet handle	1. Switch 2. Handrail (foot) 3. Handrail (side) 4. Bed frame	1. Chair 2. Bedside cabinet 3. Over table

拭き取り清掃の方法

オーバーテーブルは、患者近傍の表面として汚染に対する意識が高く、重点的に清掃が行われるにも関わらず、清掃後の汚染上昇箇所が多数確認されたことから、汚染の拭き上げが生じている可能性がある。また、清掃に用いる薬品に含まれているオキシドールによって、タンパク質が変質し環境表面に固着する可能性も考えられるため、水拭きを行った後に消毒薬を用いて清拭を行うこととする。また、清拭の際には、一方向拭きを徹底し、清掃後に汚染された手袋等で接触しないように注意する必要がある。

4.6 まとめ

一般入院病棟4床室を対象として、退院時清掃前後の表面汚染度を計35床においてATP測定法により測定し、10箇所の15表面について汚染度および清掃の効果を評価した。また、実測調査結果に基づき清掃による汚染除去効果を改善する方法を提案した。主な結果を以下に示す。

- 1) 間仕切り家具の収納把手、ライトスイッチ、テレビリモコン、オーバーテーブル、ベッド横手摺では、清掃前ATP測定値の中央値が800RLU以上の高濃度汚染面となった。
- 2) 清掃前のATP測定値を測定箇所ごとに比較した結果、オーバーテーブル、間仕切り家具の把手、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンでは、ベッド手摺の足部、間仕切り家具の棚および手摺、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチよりも1%水準で有意に高かった。また、間仕切り家具の把手、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンでは、ベッド手摺の横部より1%水準で有意に高かった。間仕切り家具の棚および手摺、可動間仕切りの把手、ベッド電動スイッチでは、ベッド手摺の横部の方が1%水準で有意に高いことが分かった。
- 3) オーバーテーブルでは5床において清掃後に汚染度が上昇しており、汚染度の高い部分から同表面の他の部分に汚染が拭き広げられた可能性がある。特に汚染度の高い面については汚染が十分に除去できるように清掃方法を変更し、マニュアルに記載することで清掃の効果を改善できると考えられる。
- 4) 面が小さく同一表面上で汚染の拭き広げが起これにくいと考えられるライトスイッチなどにおいても清掃後にATP測定値が上昇する場合が確認され、清掃順序やクロス交換のタイミングが適切でなければ、清掃によって汚染が拡大される可能性が示された。汚染度の低い面から清掃が行われるように清掃順序を規定し、またクロス交換のタイミングなど清掃用具の使用方法についても検討することで、接触感染リスクが低減できると考えられる。
- 5) 患者の療養環境の清掃方法を検討するために重要な知見となる病室の高濃度汚染面を明らかにした。また、実測結果に基づいて効果的な清掃が行えるように清掃マニュアルを改善する提案を行った。

参考文献

- 1) Boyce, J. M., Potter-Bynoe, G., Chenevert, C., King, T.: Environmental contamination due to methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: possible infection control implications, *Infect Control and Hospital Epidemiology*, 18(9), pp.622-624, 1997
- 2) Farrington, M., Ling, J., Ling, T., French, G. L.: Outbreaks of infection with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* on neonatal and burns units of a new hospital, *Epidemiology and Infection*, 105, pp. 215-228, 1990
- 3) Laborde, D. J., Weigle, K. A., Weber, D. J., Kotch, J. B.: Effect of fecal contamination on diarrheal illness rates in day-care centers, *American Journal of Epidemiology*, 138, pp.243-255, 1993
- 4) Mermel, L. A., Josephson, S. L., Dempsey, J., Parenteau, S., Perry, C., Magill, N.: Outbreak of *Shigella sonnei* in a clinical microbiology laboratory, *Journal of Clinical Microbiology*, 35, pp.3163-3165, 1997
- 5) 東野督子, 神谷和人: ICU における患者療養環境への methicillin- resistant *Staphylococcus aureus* の汚染状況, *環境感染誌*, 30(5), pp.309-316, 2015
- 6) Siegel, J. D., Rhinehart, E., Jackson, M., Chiarello, L., and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, 2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings, pp.63-73
- 7) Sehulster, L. M., Chinn, R. Y. W., Arduino, M. J., Carpenter, J., Donlan, R., Ashford, D., Besser, R., Fields, B., McNeil, M. M., Whitney, C., Wong, S., Juranek, D., Cleveland, J.: Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Chicago IL; American Society for Healthcare Engineering/American Hospital Association; 2004., p.134
- 8) Huslage, K., Rutala, W. A., and Sickbert-Bennett, E. E.: A Quantitative Approach to Defining “High-Touch” Surfaces in Hospital, *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 31(8), pp.850-853, 2010
- 9) Siani, H., Maillard, J. Y.: Best practice in healthcare environment decontamination, *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 34(1), 2015, p. 1-11
- 10) 渡部博一, 関川浩司: ATP・AMP ふき取り検査を用いた消化器内視鏡の再処理工程管理に関する検討, *感染制御*, 6(3), 2010, pp. 237-244
- 11) Fushimi, R., Takashina, M., Yoshikawa, H., Kobayashi, H., Okubo, T., Nakata, S., Kaku, M.: Comparison of adenosine triphosphate, microbiological load, and residual protein as indicators for assessing the cleanliness of flexible gastrointestinal endoscopes, *American Journal of Infection Control*, 41, pp.161-164, 2013
- 12) Shibata, H., Kawazoe, K., Shibata, T., Fushitani, S., Watanabe, M., Takagai, T., Nagao, T., Azuma, M. and Minakuchi, K.: Investigation of Cleanliness of Hospital Environmental Surfaces by Adenosine Triphosphate Bioluminescence Assay, *Japanesse Journal of Infection Prevention and Control*, 29(6), pp.417-423, 2014
- 13) Hygiena: Two Hospitals Improve Cleaning Score and Experience Lower Infection Rates Five Year Case

Study of Hygiena SystemSURE Plus ATP Cleaning Verification, 2013

- 14) 松村美保, 藤原舞, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢: 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 21 ATP を用いた高頻度接触面の測定方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学Ⅱ, pp. 893-894, 2014
- 15) Hygiena: Technical Document: Product Comparison; Sensitivity Comparison Between EnSURE and SystemSURE PLUS Luminometers, 2013

第 5 章

診察室における接触行動を考慮した接触感染防止対策効果の評価

第 5 章 診察室における接触行動を考慮した接触感染防止対策効果の評価

5.1 はじめに

医療関連感染症は、医療施設や福祉施設の機能に悪影響を及ぼす重大な問題である。接触感染は、医療関連感染の主要な感染経路であり、手指を介した病原体の伝播により発生する。接触感染予防策として、手指衛生と環境表面の清掃が挙げられる。アメリカ疾病管理センターは、厳密な手指衛生と患者の部屋の環境表面の清掃を推奨している。これらの対策は、実施する頻度が増すにつれて感染リスクを低減することができるが、実際に実施できる頻度には限界がある。また、過剰な清掃の要求は、医療スタッフの負担増大につながり、医療事故を招く恐れがある。また、過度な手指衛生の実施は、肌荒れを引き起こし手指表面の衛生環境を悪化させるため、感染のリスクを増加させる可能性がある。したがって、これらの感染対策は適切な頻度で実施されるべきである。

医療施設における感染リスクを評価するためにいくつかのモデルが提案されている。Nicas¹⁾は感染リスクの統合モデルを提示し、システムパラメータを指定するのに必要な関連する公開データが不足していることを報告した。King ら²⁾は、医療従事者の動きを観察した CFD シミュレーションと、手指の汚染のマルコフ連鎖モンテカルロモデリングを組み合わせ、行われるケアタイプによって接触行動が異なることに最も影響を受けていることを報告し、表面接触の数と表面病原体の分布を報告した。

外来診察室は、様々な感染症患者が受診しに訪問するため、危険な環境となる可能性が高いと考えられる。感染症患者は迅速には認識されないため、検査や治療が行われる診察室が不衛生な状態で回転使用される可能性がある。接触感染曝露量を推計し、対策の効果を評価するためには、医師、看護師、外来患者の手指による室内表面への接触行動を明らかにする必要がある。堤ら³⁾は、撮影された模擬診察動画を基に、医療従事者および患者の動作範囲と位置・角度関係を報告しているが、手指による表面への接触頻度や順序については明らかになっていない。

本章では、環境表面への接触回数、医療従事者や患者の環境表面への接触順序を把握し、接触感染対策としての手指衛生、清掃の効果を評価することを目的として、模擬診察の動画を解析した結果および得られた接触行動データを用いた数値計算による対策効果の評価について報告する。

5.2 診察室における接触行動データの取得

5.2.1 解析概要

2009 年に行われた模擬診察実験¹⁾の動画を解析することで、医師、看護師、患者が接触した環境表面、接触順序および接触の継続時間を記録し、24 ケースの診察行動データを得た。対象者が手指で環境表面に触れる行動を 1 回の接触とした。

5.2.2 模擬診察実験の概要

都内大学病院の発熱外来診察室において模擬診察実験が行われた。Fig. 5-1 に実験を行った模擬診察室の平面図を、Fig. 5-2 に模擬診察の様子を示す。模擬診察室の面積、什器の配置は第 3 章で表面の汚染度実測を行った外来診察室と同様である。医師、看護師、患者の診察中の様子が、4 台のビデオカメラ（HDR-XR500V, SONY）で撮影された。

医師および看護師には、通常通り外来の診察を行うように指示した。男性医師 3 名、女性看護師 1 名が実験に参加し、患者役の被験者は男性 7 名、女性 1 名とした。患者の症状は 3 段階で、軽度「熱はないが、患者や同僚がインフルエンザに感染しており、体調が悪い」、中度「37°C を超える微熱があり、家族や同僚がインフルエンザに感染しており、体調が悪い」、重度「39°C 程度の発熱があり、足元もおぼつかない状況」であった。軽度 9 回、中度 6 回、重度 9 回の計 24 回の診察行為を行った。

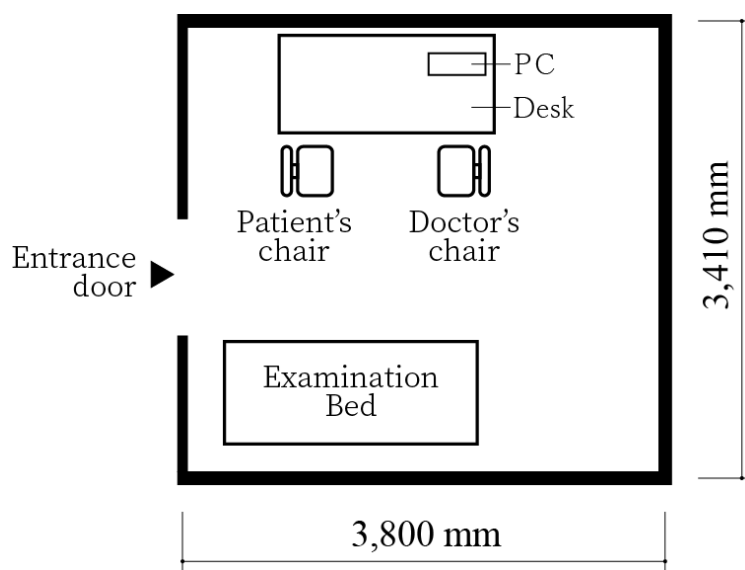


Fig. 5-1 Floor plan of examination room for simulated examination (No-scale)



Fig. 5-2 Scene of simulated examination

5.3 接触行動の解析結果

5.3.1 診察の内容

模擬診察では、問診、聴診、喉、リンパ節の触診、全身の触診、鼻汁検査が行われていた。患者の症状が重度である場合、9 ケース中 8 ケースにおいてベッドを用いた寝診察が行われた。問診では患者が医師に自身の症状を説明するため、問診時間には患者によって個人差があった。特に寝診察の場合、患者の症状によっては体への負担を軽減するため、短時間で終える場合があった。問診時間およびお話しカルテは、診察時間の半分以上を占める結果となった。

患者の症状が軽く、座った状態で診察を行う場合、患者が入室してから問診が始まるまでの時間は最短 2 秒、最長 10 秒、平均 6 秒であった。患者の症状が重く寝た姿勢で診察を行う場合、入室後から問診開始までは、最短 16 秒、最長 37 秒、平均 24 秒であった。寝診察の場合は患者の足元がおぼつかない状態であるため、問診開始に要する時間が座診察の場合よりも長くなる傾向がみられた。

問診時間は座診察の場合、最短 45 秒、最長 2 分 38 秒、平均 1 分 18 秒であった。寝診察の場合は、最短 17 秒、最長 3 分 10 秒、平均 1 分 7 秒であった。問診において患者が医師に自身の症状を説明するため、問診時間には患者ごとに個人差があった。特に寝診察の場合、患者の症状によっては、体への負担を軽減するため話をする時間を短めに取る場合があった。

ケースごとの診察時間は、座診察の場合、最短で 1 分 55 秒、最長 5 分 16 秒、平均 3 分 38 秒であった。寝診察の場合は最短で 2 分 48 秒、最長で 6 分 39 秒、平均 4 分 27 秒であった。診察時間は、寝診察の方が座診察よりも長くなる傾向がみられた。しかし、診察時間の最短は座、寝ともに医師 A が実施した場合であり、最長時間は座診察、寝診察ともに医師 B が実施した場合であった。そのため、診察時間は患者の症状の重さだけでなく、医師ごとにも個人差があると考えられる。

5.3.2 環境表面への接触回数

Table 5-1 に 1 診察あたりの各表面への接触回数を示す。手指により接触された表面は計 31 箇所であった。接触された表面は、家具、医療器具、患者の体、医師の体、看護師の体、手指衛生の 6 つに分類した。キーボードの接触回数の計測は、タイピングの際のそれぞれの指の接触は考慮しておらず、手のキーボードへの一連の接触を 1 回として計測している。また、椅子への接触回数は、手すりおよび背もたれなどの部位による接触箇所の違いは考慮していない。舌圧子 (Spatula) は、口やのどを観察しやすくするため舌を押さえるのに用いる、へら状の医療器具である。綿棒 (Cotton swab) は、インフルエンザの鼻汁採取検査の際に使用されるものである。

医師は什器への平均接触回数が 7.9 回と最も多かった。看護師は患者の体への接触が 2.7 回と最も多く、特に患者背中への平均接触回数は 1.2 回であった。患者の椅子への接触は 1.1 回と患者背中と同程度であった。患者は自分の体への平均接触回数が 4.1 回と最も多かった。

Table 5-1 Number of contact per examination for each surface

Surface		[Number in times]					
Category	Item	Doctor		Nurse		Patient	
Category 1 Furniture	1-1 Keyboard	7.9	3.7	1.7	0.0	2.1	0.0
	1-2 Desk		1.1		0.0		0.1
	1-3 Chair-Doctor		2.3		0.0		0.0
	1-4 Bed		0.7		0.0		0.7
	1-5 Chair-Patient		0.1		1.1		1.1
	1-6 Wheelchair		0.0		0.5		0.2
Category 2 Medical Instrument	2-1 Stethoscope	4.3	1.3	1.1	0.0	0.5	0.0
	2-2 Spatula		1.0		0.0		0.0
	2-3 Thermometer		0.4		0.2		0.5
	2-4 Cotton swab		0.2		0.2		0.0
	2-5 Pen-light		1.4		0.0		0.0
	2-6 Disposal bag		0.0		0.7		0.0
Category 3 Patient	3-1 Patient-Throat	3.0	1.0	2.7	0.0	4.1	0.0
	3-2 Patient-Shoulder		0.3		0.2		0.0
	3-3 Patient-Arm		0.7		0.7		0.0
	3-4 Patient-Stomach		0.2		0.1		0.1
	3-5 Patient-Hand		0.4		0.0		0.0
	3-6 Patient-Head		0.0		0.0		0.1
	3-7 Patient-Thigh		0.4		0.5		1.5
	3-8 Patient-Back		0.0		1.2		0.0
	3-9 Mask		0.0		0.0		2.4
Category 4 Doctor	4-1 Doctor-Face	2.0	1.4	—		—	—
	4-2 Doctor-Thigh		0.8				—
	4-3 Doctor-Head		0.0				—
	4-4 Doctor-Lower back		0.1				—
Category 5 Nurse	5-1 Nurse-Hand	—	—	0.0	0.0	—	—
	5-2 Nurse-Face		—		0.0		—
	5-3 Nurse-Thigh		—		0.0		—
	5-4 Nurse-Head		—		0.0		—
	5-5 Nurse-Lower back		—		0.0		—
Category 6 Hygiene product	6-1 Antiseptic solution	0.8	0.8	0.2	0.2	—	—
Total			18.0		5.7		6.6

5.3.3 医師の接触行動

Fig. 5-3 に医師の診察ごとの各表面への平均接触回数を左から大きい順に示す。キーボードへの接触回数が最も多く、3.8 回となった。次に、医師の椅子で 2.3 回、顔面で 1.4 回、ペンライトで 1.4 回、聴診器で 1.3 回、机で 1.1 回となった。顔面への接触があった医師は 3 名中 1 名のみであったが、顔面に頻繁に触れていたため、平均接触回数が 1.2 回と多くなった。医師は患者の症状に関わらず診察開始時、終了時には PC キーボードや椅子の手摺、机など自身近傍の表面に接触していた。診察開始後は、医療器具への接触が増加した。患者の症状が重度の場合、患者の喉の診察、触診後に患者の腕や足への触診が行われることが多かった。手指衛生剤の平均使用頻度は診察ごとに 0.8 回となった。顔面に手指で頻繁に触れていた医師は手指衛生剤を使用していなかった。

5.3.4 看護師の接触行動

Fig. 5-4 に看護師の箇所ごとの平均接触回数を左から大きい順に示す。患者の背中への平均接触回数が最も多く 1.2 回となった。また、患者の椅子に平均して 1 回以上接触していた。看護師は医師の業務補助に加えて患者の体を支える行動をとるため、患者の体やその周辺の表面への接触が多かったと考えられる。看護師は患者の症状が軽度、中度の場合、問診中は医師の診察業務をスムーズにするため医療器具などの準備を行い、重度の場合、入退出時に患者の背中などに触れながら体を支えていた。看護師は、医師や患者に比べて環境表面への接触時間が短い特徴が見られた。手指衛生剤の平均使用頻度は診察ごとに 0.5 回であった。

5.3.5 患者の接触行動

Fig. 5-5 に患者の箇所ごとの平均接触回数を左から大きい順に示す。患者は自身の身体への接触が多く、特にマスクへの接触が 2.4 回と多かった。喉の診察や鼻汁検査を行う場合、医師の指示に従いマスクの着脱を行ったためと考えられる。また、自身の太腿部や椅子の手摺にも平均して 1 回以上の接触がみられた。その他、医師の指示に従いベッドや体温計を使用する際に各表面に接触していた。患者の行動は座診察の場合、自身への接触時間が長く、診察室内の表面への接触時間は短かった。寝診察の場合、ベッドに寝る際にベッド手摺に接触するが、他の箇所にはあまり接触せず、症状が重いと判断された場合、車いすで退出した。

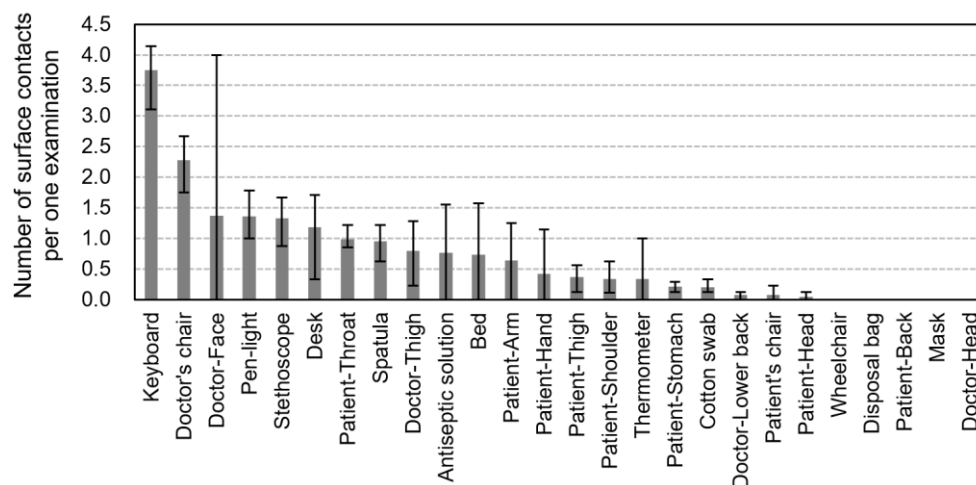


Fig. 5-3 Doctor's mean number of surface contacts per one examination

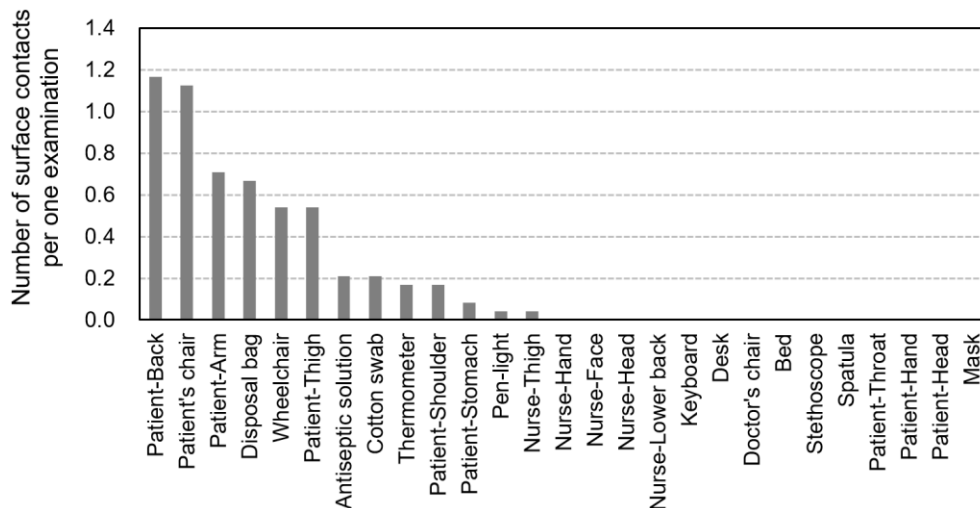


Fig. 5-4 Nurse's mean number of surface contacts per one examination

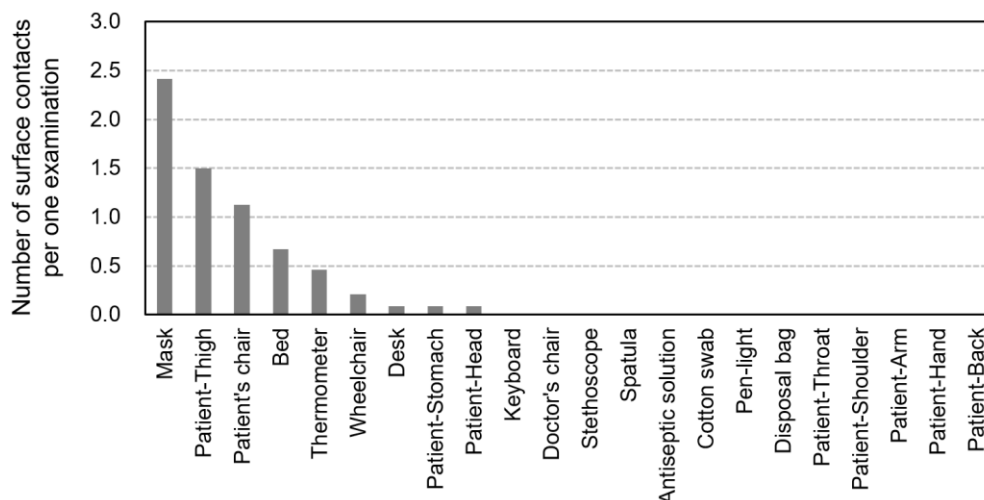


Fig. 5-5 Patient's mean number of surface contacts per one examination

5.3.6 患者症状別の接触回数

Fig. 5-6 に患者症状別の診察ごとの接触回数を示す。統計解析には IBM SPSS Statistic (Ver.24) を用い、Willcoxon の符号付き順位検定を行った。医師は、患者の症状が重くなるに従い有意に環境表面への接触回数が増加した。看護師は、患者の症状が重度の場合、他の症状と比べて有意に環境表面への接触回数が増加した。患者の症状が重くなるに従い、医師は患者の体への触診を行う回数が、看護師は患者を補助する行動が増えるため、接触回数が増加したと考えられる。患者は、自身の症状が重度の場合、ベッドに寝た状態での診察が増えるため接触回数が減少したと考えられる。

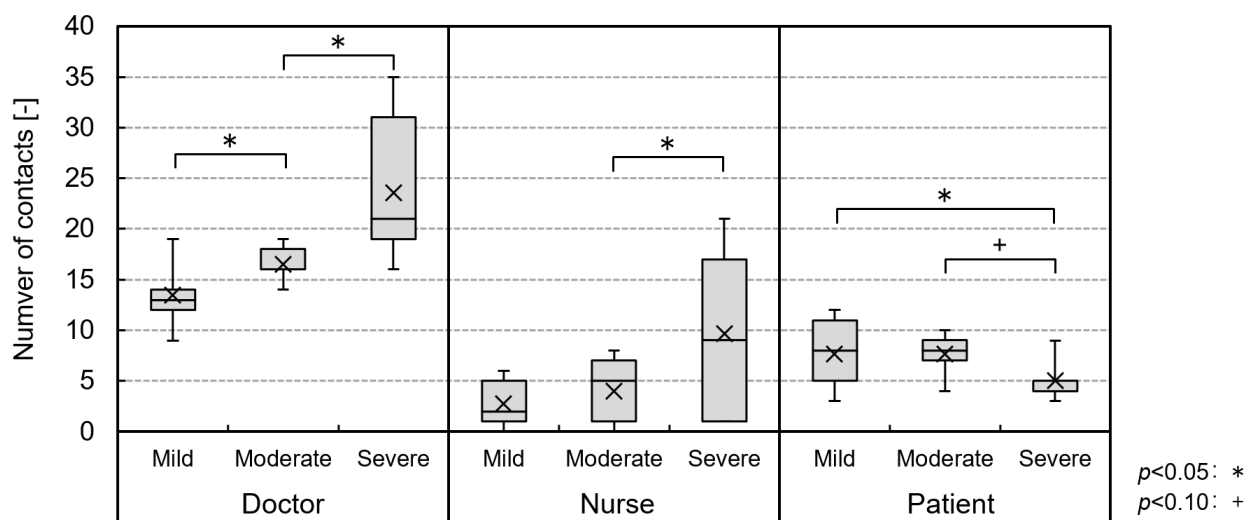


Fig. 5-6 Number of contact per examination for each patient's symptom level

本章で得られた医療従事者の接触行動データは、医師3名、看護師1名のものである。医師による診察・記録行為や看護師による補助動作については、患者の症状により決まった動作が繰り返されるため、一定の普遍性があると考えられる。しかし、診察・記録技術の発展によりその方法が変化した場合には、診察に用いる器具や患者への接触の有無自体が変わるため、改めて調査を行う必要がある。また、診察・記録行為に直接的にかかわらない自身の身体や什器などの環境表面への接触行動については個人差が大きいことが確認されたため、より定量的に分析するためには多くの対象者から協力を得て調査を行う必要があると考えられる。

5.4 接触行動による汚染伝搬シミュレーション

5.4.1 概要

行動解析により得た24ケースの行動データを用いて、手指と環境表面への汚染の附着量を算出し、接触感染対策の効果を評価した。診察室内に訪れた患者から感染源となる汚染が持ち込まれることを想定し、2条件を設定した。会話条件では、問診時の会話によって、咳条件では問診時の会話に加えて診察中に患者が咳をすることで、環境表面が感染性物質で汚染されることとした。診察開始時の室内は十分清浄化された空間であると仮定した。

5.4.2 環境表面と手指間の汚染転写

環境表面と接触者の手指の間におこる汚染の移動量を推定するため、手指と環境表面での菌の移転効率や、病原体の環境表面での不活率を文献調査により定めた。評価式は Nicas ら¹⁾の式を元に、接触順序に前項で取得した行動データを用いることで、時間経過での汚染の移動を加味した。汚染された環境表面に接触した人の手指に附着する汚染 C_h を式 (1) で、接触した表面に附着する汚染 C_s を式 (2) で求めた。

$$C_{h, n} = C_{s, n-1} \cdot \lambda_{surface \text{ to hand}} \cdot I_s \cdot t + C_{h, n-1} \cdot (1 - \lambda_{hand \text{ to surface}}) \cdot I_h \cdot t \quad \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

C_h	: 手に附着する汚染 [mg]
C_s	: 接触した表面に附着している汚染 [mg/cm ²]
n	: 接触順序
$\lambda_{surface \text{ to hand}}$: 表面材質による表面から手への転写効率 [-]
$\lambda_{hand \text{ to surface}}$: 表面材質による手から表面への転写効率 [-]
I_h	: 病原体の手での不活率 [%/min]
I_s	: 病原体の表面での不活率 [%/min]
t	: 経過時間 [min]

$$C_{s, n} = D_v + \lambda_{hand \text{ to surface}} \cdot C_{h, n-1} \cdot I_h \cdot t \cdot A_h / A_s + (1 - \lambda_{surface \text{ to hand}}) \cdot C_{s, n-1} \cdot I_s \cdot t \quad \dots\dots\dots \text{式 (2)}$$

D_v	: 会話、咳により表面に附着した飛沫量 [mg]
A_h	: 接触する手の面積 [cm ²]
A_s	: 対象表面の面積 [cm ²]

次項から各係数の詳細を述べる。

1) 転写効率 $\lambda_{\text{surface to hand}}, \lambda_{\text{hand to surface}}$:

Rusin ら⁴⁾は、実験により平滑で無孔質な表面から手指への菌の転写効率、布などの多孔質な表面から手指への転写効率を求めた。Rusin らが示した 3 種類の菌 (*Micrococcus luteus*, PRD-1, *Serratia rubidea*) の転写効率から平均値を求め、無孔質な表面からの転写効率を 35%、多孔質な表面からの転写効率を 0.06%とした。また、手から表面への転写効率は十分な知見がないため、表面から手への転写効率と同様の値を用いることとした¹⁾。

2) 手と表面の面積 A_h, A_s :

どの表面にも人差し指で接触すると仮定し、AIST 日本人の手の寸法データの統計値から男性の平均面積 11 cm² を用いた⁵⁾。

3) 手と表面での病原体の不活率 l_h, l_s :

菌やウイルスなどの病原体は、時間経過とともに感染価が低下する。今回はインフルエンザウイルスの不活率を用いた。手表面では 1.2%/min、無孔質な表面では 0.002%/min、多孔質な表面では 0.016%/min¹⁾の割合で減少することとした。

4) 会話、咳により表面に附着する飛沫量 D_v :

Xie ら⁶⁾は、縦 508 mm、横 305 mm、高さ 366 mm の箱内部にスライドガラスを設置し、被験者に 1 から 100 までカウントする発語や咳をさせる実験により、会話と咳による飛沫量と附着位置の分布を求めた。この結果から会話による飛沫沈着量を 0.93 mg/cm²、咳による飛沫附着量は 3 回分の咳とし 1.45 mg/cm² と定めた。

$$D_v = \pi \times r^3 / 4 \times 0.9975 \dots \dots \dots \text{式 (3)}$$

D_v : 飛沫量 [mg]

r : スライドガラスに附着した飛沫径 [mm]

この実験結果より、会話での飛沫の最大到達距離を 0.5 m とし、第 2 章で報告した実験の結果から、1.5 m までの飛沫の沈着量を仮定した。発生源からの距離により飛沫附着量が増えるため、患者から表面の距離条件を会話では 0.3 m、0.5 m の 2 段階、咳では会話の 2 段階に加えて 0.9 m、1.2 m、1.5 m の計 5 段階を設け、それぞれの距離の飛沫沈着量分布から係数を決定した。

診察のタイムスケジュールは模擬診察実験で行われた座診察 16 件、寝診察 8 件の平均時間から求めた。座診察の場合は入室 5 秒後に問診が開始され 65 秒後に終了、寝診察の場合は入室 25 秒後に問

診が開始され 85 秒後に終了されることとした。計算を単純化するため、飛沫は問診時間にのみ噴出されると仮定した。

5) 環境表面の距離と素材

病原体の発生源となる患者と各表面との距離は、汚染度調査の際に、室内に設置された家具を実測した寸法を用いて、座診察と寝診察の 2 条件で場合分けして設定した。患者の背中には直接飛沫は沈着しないと仮定した。Table 5-2 に解析対象表面に設定した条件を示す。

Table 5-2 Conditions of surfaces for analysis

Surfaces	Distance from the source [m]		Surface character	Surfaces	Distance from the source [m]		Surface character
	Sitting	Lying			Sitting	Lying	
Keyboard	1.2	1.2 <	Non-porous	Patient-Throat	0.3	0.3	Porous
Desk	0.9	1.2 <	Non-porous	Patient-Shoulder	0.3	0.3	Porous
Doctors' chair	0.9	1.2	Non-porous	Patient-Arm	0.3	0.5	Porous
Bed	1.2	0.9	Non-porous	Patient-Stomach	0.3	0.9	Porous
Patients' chair	0.3	1.2 <	Non-porous	Patient-Hand	0.3	0.9	Porous
Wheel chair	0.3	0.3	Non-porous	Patient-Head	0.3	0.3	Porous
Stethoscope	0.3	0.3	Non-porous	Patient-Thigh	0.3	0.9	Porous
Thermometer	0.3	0.3	Non-porous	Doctor-Face	0.9	0.9	Porous
Cotton swab	1.2 <	1.2 <	Porous	Doctor-Thigh	0.9	0.9	Porous
Pen-light	0.3	0.3	Non-porous	Doctor-Head	0.9	0.9	Porous
Disposal bag	1.2 <	1.2 <	Non-porous	Doctor-Lower back	0.9	0.9	Porous

6) 接触行動スケジュール

業務における午前、午後の部の診察時間である 3 時間を想定して、時間経過に伴う汚染の推移を評価した。診察時間が 3 時間に達するまで計 24 診察ケースを無作為に選んだ。続いて咳、会話条件についても無作為に決定した。なお、医療スタッフは交代せず継続して業務を行うこと、患者は毎回異なることとし、各ケースの診察開始時点で患者の手指は清浄であると仮定した。患者入退室時に看護師がドアの開閉を行くこととした。

7) 接触感染対策の評価

接触感染対策として実施されている手指衛生と環境表面の清掃効果を確認するため、対策を行った場合の手指の汚染量を評価した。Table 5-3 に接触感染対策の条件を示す。

Table 5-3 Infection control condition

Infection control condition	Frequency			
Control	—			
Hand hygiene	Present situation (Doctor: 0.8 time /examination, Nurse: 0.3 times /examination)		Increased (Doctor: 1 time /examination, Nurse: 0.5 times /examination)	
Cleaning (Doctor's chair・doorknob・ patient's chair)	1 time/hr		2 time/hr	
Hand hygiene + Cleaning	Present situation		Increased	
	1 time/hr	2 time/hr	1 time/hr	2 time/hr

模擬診察では、手指消毒液による手指衛生を 24 回の診察のうち、医師は 19 回、看護師は 5 回行っていた。現状条件では行動データに基づいて、手指衛生の頻度を増加させた条件では医師は診察ごとに 1 回、看護師は 2 診察ごとに 1 回の手指衛生を行うこととした。本シミュレーションにおいては、手指衛生を行った際の手指表面の汚染除去効果を 70%と仮定した。多くの箇所や高頻度の清掃は診察業務の妨げやスタッフの負担増加につながると予想される。そのため、頻繁に接触されるために汚染されやすく、感染症を媒介しやすいと考えられるドアノブ、医師の椅子、患者の椅子の 3 箇所を異なる頻度で清掃する 2 条件を設けた。これらの条件は以下、清掃 1h、清掃 0.5h 条件とする。清掃による汚染低減の定量的なデータはないため、清掃時に手指衛生と同様に 70%汚染が低減することとした。以上の合計 8 パターンの対策の汚染低減効果を確認した。

5.4.3 接触感染対策手法の評価

Fig. 5-7 に全診察で手指に附着した汚染の合計と低減率を示す。手指衛生を現状の頻度で実施した場合、手指衛生の頻度が診察ごとに平均して 0.8 回であった医師は手に附着した汚染が 35%、0.2 回であった看護師は 24%、全体では 30%低減すると推計された。手指衛生の頻度を上げ、診察ごとに手指衛生を行う条件では、全体で 37%汚染が低減し、現状条件と比較して効果が 7%大きくなる結果となった。手指衛生の頻度を医師で診察ごとに 1 回、看護師で診察ごとに 0.5 回となるように、手指衛生の回数を増加すると医師では 40%、看護師では 37%まで手指の汚染除去効果が増加する結果となった。清掃 1h 条件では低減率は 11%、清掃 0.5h 条件では 20%であり清掃頻度を 2 倍にすることで効果も約 2 倍となった。1 時間に 1 回の清掃に加えて手指衛生を行う条件では、清掃のみの条件よりも効果が 25%上昇した。この条件に加えて手指衛生の頻度を増加すると 7%、さらに清掃頻度を 30 分に 1

回に増加した条件では 5%効果が上昇した。対策を増やす毎に効果の増加率が緩やかになったことから、単純に対策を増やすだけでなく効果を維持しながらスタッフの負担が増加しない手法の選択が重要であると考えられる。

現状の手指衛生の頻度は、医師と看護師が自発的に行った回数であるため、両スタッフへの負担は過剰ではないと考えられる。さらに定期的な清掃を組み合わせることで、より大きな汚染の低減効果が得られることが分かった。今回のシミュレーション条件においては業務時間中に診察室全体を清掃しない場合、室内の数箇所を定期的に清掃することで最大 48%の低減効果が得られると推計された。

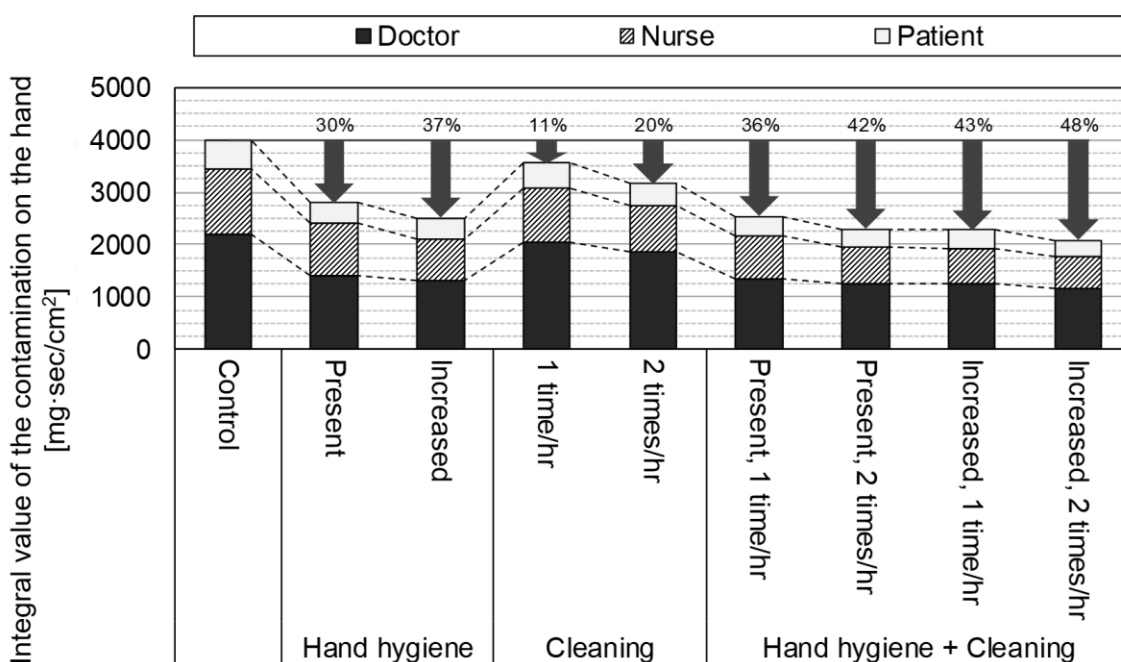


Fig. 5-7 Integral value of the contamination on the hand and its reduction rate

5.5 まとめ

診察室における医療従事者および患者の環境表面への接触行動を把握することを目的として、模擬診察動画から診察室における医者、看護師の接触行動データを解析した。また、得られた接触行動データを利用した数値解析により、診察室内表面と手指の間の汚染転写を数値計算し、手指衛生、清掃による手指汚染度の低減効果を評価した。主な結果を以下に示す。

- 1) 医師はキーボード、椅子に高頻度に接触しており、医療機器ではペンライト、聴診器の使用頻度が高かった。
- 2) 看護師は患者を補助するために、患者の背中や腕、患者の椅子に高頻度に接触していた。
- 3) 模擬診察時の手指衛生実施頻度は、医師平均で診察ごとに 0.8 回、看護師で 0.2 回であった。
- 4) 医師、看護師の患者身体および環境表面への接触回数は、患者の症状が重いほど多くなった。
- 5) 数値解析の結果、現状の手指衛生実施頻度では対策を行わない条件と比較して手指表面の汚染度が 30%低減すると推計された。
- 6) 高頻度接触面であると考えられる医者の椅子手摺、患者の椅子手摺、室内側のドアノブを 30 分に 1 回清掃し、診察ごとの医師、看護師の手指衛生実施頻度をそれぞれ診察ごとに 1 回、0.5 回とすることにより、汚染低減率は 48%まで向上すると推計された。
- 7) 診察室における医療従事者の接触行動の特徴を明らかにした。医療行為に直接関わらない接触行動については、特に個人差が大きいと考えられるため、定量的な分析を行うために今後多くの対象者から協力を得て実験、実測を行う必要がある。

参考文献

- 1) Nicas, M., and Sun, G.: An Integrated Model of Infection Risk in a Health-Care Environment, *Risk Analysis*, 26(4), pp.1085-1095, 2006. doi: 10.1111/j.1539-6924.2006.00802.x.
- 2) King, M.-F., Noakes, C. J., and Sleigh, P. A.: Modeling environmental contamination in hospital single- and four-bed rooms, *Indoor Air*, 25(6), pp.694-707, 2015. doi: 10.1111/ina.12186.
- 3) 堤仁美ら：医療・福祉施設における感染リスクに関する研究その 6 診察行為の動作範囲測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学Ⅱ, pp. 845-846, 2010.
- 4) Rusin, P., Maxwell, S., and Gerba, C.: Comparative surface-to-hand and fingertip-to-mouth transfer efficiency of gram-positive bacteria, gram-negative bacteria, and phage, *Journal of Applied Microbiology*, 93(4), pp.585-592, 2002. doi: 10.1046/j.1365-2672.2002.01734.x.
- 5) 河内まき子: AIST 日本人の手の寸法データ, 2012. <https://www.dh.aist.go.jp/database/hand/>, 2015.10.22 参照.
- 6) Xie, X., Li, Y., Sun, H., and Liu, L.: Exhaled droplets due to talking and coughing, *The Royal Society*, 6, pp.S701-S714, 2009. doi: 10.1098/rsif.2009.0388.focus.
- 7) Brouwer D. H., Boeniger, M. F., and van Hemmen, J.: Hand Wash and Manual Skin Wipes, *The Annals of Occupational Hygiene*, 44(7), pp.501-510, 2000. doi: 10.1093/annhyg/44.7.501

第 6 章

模擬電車内における顔面接触頻度の測定

第 6 章 模擬電車内における顔面接触頻度の測定

6.1 はじめに

人間の呼吸器感染症は、汚染された手指によって目、鼻および口を接触することで伝播され、その後、結膜、鼻咽頭および口腔領域の標的組織部位に輸送される可能性がある¹⁾。接触感染経路による病原体の曝露量は、直接的に顔粘膜面への接触頻度に依存すると考えられる。

医療施設では、手指衛生と環境表面の清掃・消毒が有効な接触感染対策とされている。しかし、不特定多数の人が自由に利用する環境では、頻繁に清掃を行うことは難しく、手指衛生が行えない場合も多く、汚染された表面に手指で接触した後に顔粘膜面を触ってしまう可能性がある。接触感染を防ぐためには、手が清浄ではない時には眼や鼻などの粘膜面を触らないことを徹底する必要があるが、感染制御の知識がない場合には難しい。接触感染現象を解明し、有効な対策手法を検討するために、顔面への接触頻度について測定を行い、何が影響する要因であるかを把握することは重要である。

これまでにいくつかの研究により、実験室内でのデスクワーク²⁾、公共広場および地下鉄内³⁾、バイオセーフティレベル 2 実験室⁴⁾、大学教室での講義受講時⁵⁾において主にビデオモニタリングによって顔面への接触行動が測定され、接触頻度や接触箇所の内訳が報告されている。しかし、実験参加者の属性によってどのように顔粘膜および顔面への接触頻度が異なるかは明らかではない。また、活動の内容や身体の姿勢が接触頻度に影響する可能性も考えられる。

本章では、顔面への手指による接触頻度を把握するために、2017 年 9 月 27 日から 10 月 19 日に模擬電車実験室内で行った実験について報告する。本研究では、電車内空間を模擬して作製した実験室において参加者の協力のもと、実験を行った。都市における電車などの公共交通空間は人員密度が高く、感染者の咳やくしゃみより飛散する病原体が付いた表面を介して感染の拡大が起きやすい。よって不特定多数の人が同空間内に存在し、手摺やつり革を共用する電車内空間を想定し、顔面接触回数を測定することは実用価値があると考えられる。

6.2 実験概要

2017年9月27日から10月19日にかけて、早稲田大学58号館301A室に作製した模擬電車内空間にて顔面接触行動を測定する実験を行った。実験参加者は健康な20代の早稲田大学の学生で、男女各20名の計40名とした。実験時の姿勢は立位あるいは座位でそれぞれ20名ずつ実施した。

Fig. 6-1 に模擬電車実験室の立面図、Fig. 6-2 に模擬電車実験室の平面図、Fig. 6-3 に模擬電車実験室の内観、Fig. 6-4 に実験風景を示す。実験室は組み立てたアルミフレームにボードを貼り、作製した。電車内の一般的な寸法⁷⁾を参考に、幅を2740 mm、天井高を2300 mmとした。座席は幅を450 mm、高さを850 mm、奥行きを510 mm、座面高さを430 mmとした。つり革は間隔を350 mm、下端高さを1650 mmとした。座席は個別の椅子を座席間隔が450 mmとなるように配置し、フェルト生地製のカバーで被覆し、連続した座席とした。実験室の窓を電車の窓に見立て、外部の景色が見られるように、座位者は窓と対面した座席にのみ座り、立位者は窓側の座席前にのみ立つこととした。実験室内には電車の車内広告を模擬した写真や文章により構成された印刷物を設置した。

6.2.1 測定項目

実験参加者の顔面接触頻度をビデオモニタリングにより測定した。撮影に際して、立位者および座位者の顔面を正面から撮影できる位置2か所に、小型広角ビデオカメラ（GoPro Hero5 Black, GoPro）を並列させて1台ずつ設置した。実験参加者が撮影されていることを過度に意識することを防ぐため、ビデオカメラにはカバーをかけて目立たないようにした。

Fig. 6-5 に顔面接触箇所の分類を示す。手指、手の平、手の甲のいずれかで接触した箇所を目、鼻、口の粘膜面と粘膜面以外の皮膚面に分類して接触回数を測定した。鼻に関しては、小鼻の下部を粘膜面付近として粘膜面の接触回数に含めた。接触回数を測定する顔面の範囲は、顔に正対した際に見える範囲とした。前髪をかき上げたり眼鏡を直したりした場合は、手指が顔面に直接触れていない限り接触回数には含めないこととした。また、同じ箇所に接触し続ける場合は、手指が顔面から明確に離れるか、触り方が大きく変化するまでは、接触が継続する時間の長短に関わらず1回の接触として数えた。測定された接触回数を測定時間により除することで接触頻度を算出した。

また、実験中は空気温度、相対湿度、照度の測定を行い、各実験環境を確認した。また、想定する空間である電車内と相違ない環境であるかを確認した。空気温度、相対湿度については模擬電車内空間の南東部と北西部の2か所、高さ1.1 mにおいて、照度については窓側の座面上の1か所において測定を行った。

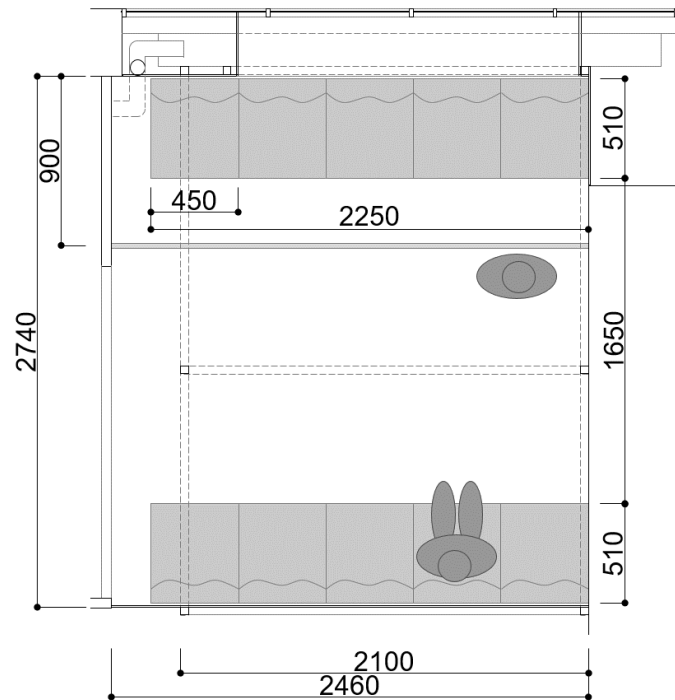


Fig. 6-1 Experimental set-up (Plan) [mm]

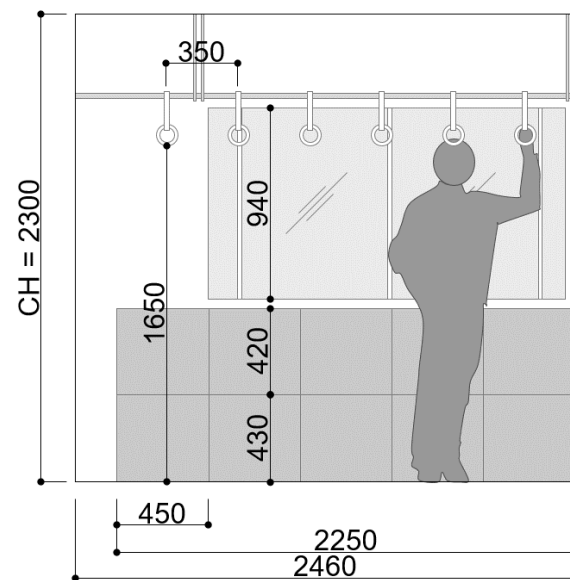


Fig. 6-2 Experimental set-up (Section) [mm]



Fig. 6-3 Photograph of the experimental room



Fig. 6-4 Condition of the experiment

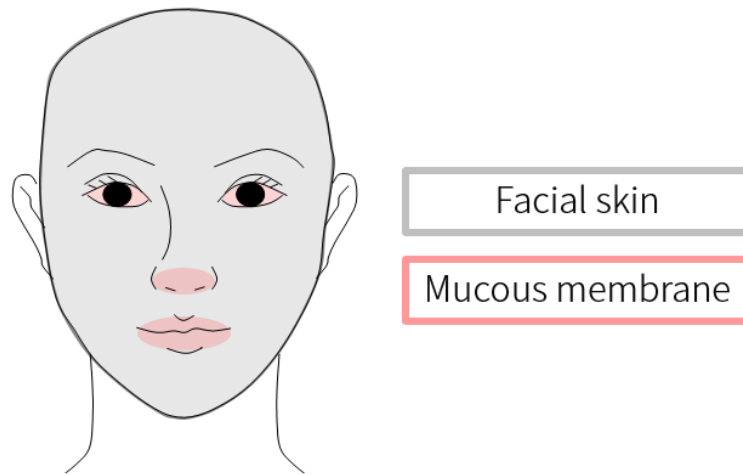


Fig. 6-5 The classification of face area

6.2.2 実験条件

実験条件として、実験参加者が実験室内で行う行動と姿勢を設定した。行動内容について、スマートフォン操作と非動作の2条件を設定した。スマートフォン操作の条件においては、実験参加者各自が持参したスマートフォンを自由に操作させた。非動作の条件においては、主体的な体動を伴う行為は何も行わないものとし、睡眠を除く、車窓の景色や車内広告を見るまたは考え事をするなどの行為を行うものとした。姿勢について、立位姿勢と座位姿勢の2条件を設定した。実験参加者には一貫して立位あるいは座位いずれかの姿勢をとらせた。また、立位姿勢の実験参加者には、原則として片手でつり革を把持するよう指示した。

6.2.3 実験手順

実験開始前に実験内容の説明を行った。実験目的の告知により、実験参加者の行動が変化することを避けるため、実験前に目的は説明せず、実験参加者には模擬電車内で過ごしている様子を撮影すると伝えた。1つの行動内容を行う実験時間は30分間とした。実験参加者1名につき2条件の実験を連続で行った。実験を行う順序による影響を考慮し、実験参加者を半分に分け、2条件の実験順序が2群で異なるように設定した。鞆などの実験参加者の手荷物については、普段電車に乗る際と同様に扱うよう指示した。また、実験参加者同士の会話は行わないものとした。各実験の間には、ビデオカメラや実験器具の準備および実験参加者の水分補給などのために5分間の準備時間を設けた。実験終了後、実験の目的を説明し、電車利用、皮膚表面、汚染意識に関するアンケート調査を行った。

6.2.4 アンケート調査

Table 6-1 にアンケート項目を示す。皮膚表面に関して、顔面接触頻度に影響する可能性が考えられる皮膚表面の乾燥感やかゆみ感などの皮膚症状、さらに眼鏡やコンタクトレンズ使用、化粧の有無について調査項目を設けた。汚染に対する意識に関して、顔面接触頻度との関係を把握することを目的とし、環境表面への汚染意識と手指衛生の習慣について調査項目を設けた。本実験では電車内におけるスマートフォン操作について実験を実施しているため、主に電車内のつり革や手すりおよびスマートフォンに対する汚染意識を調査した。電車利用に関するアンケートは、通常の電車内での行動および実際の通学時間と、本実験の条件を比較することを目的とした。

Table 6-1 Question items

Question #	Items
1	Do you usually use a train to school?
2	What do you do on the train?
3	How long is the train ride time when going to school?
4	Do you have atopic dermatitis
5	Do you have dry sensitive skin?
6	Do you have itch on your face?
7	What do you think is the cause?
8	Do you usually makeup?
9	Do you mind wearing makeup when the hand touches the face?
10	Are you using glasses or contact lenses?
11	Do you feel resistive to grasp the straps and handrails on the train?
12	Do you usually grab straps and handrails on trains? [Always, Sometimes, When the train shakes strongly, Never]
13	When and how often do you wash your hands? When - [After getting off the train, Before meal, After the toilet, After coming back home, other] How - [Always, Often, Sometimes, When a hand get dirty, Never]
14	Do you have a habit of disinfecting smartphone alcohol?

6.2.5 環境条件

模擬電車内空間における実験中の空気温度は最低値が 10 月 19 日の 17.9℃、最高値が 9 月 27 日の 24.5℃であった。相対湿度は最低値が 10 月 6 日の 42%、最高値が 10 月 13 日の 72%であった。いずれの測定値も通勤列車の車内温熱環境実測値⁶⁾の範囲内である。また、実験中の照度については 200 lx 以上の値を保ち、JIS の鉄道車両の照度の基準⁷⁾を満たしていた。以上より模擬電車内空間における環境条件は実際の電車内を模擬できていると言える。

6.3 実験結果

6.3.1 顔面・粘膜面接触頻度

各実験中、実験時間の半分にあたる 15 分以上目を閉じ、体動がみられなかった実験参加者は本解析の対象から除外した。また、実験中にティッシュにより鼻をかむ行動がみられ、鼻炎症状が疑われた実験参加者 2 名についても本解析から除外した。統計解析は IBM SPSS Statistics Ver. 24 を用いて行った。

Fig.6-6 に条件ごとの顔面接触頻度分布を、Fig.6-7 に条件ごとの粘膜面接触頻度分布を示す。測定した全条件の顔面接触頻度の平均値は 25.6 回/h、中央値は 14.2 回/h となった。全条件の粘膜面接触頻度の平均値は 10.5 回/h、中央値は 4.0 回/h であった。

性差について、ウェルチの検定により検証した結果、男性の方が女性よりも有意に顔面接触頻度および粘膜面接触頻度が高かった ($p < 0.01$)。行動内容について見ると、スマートフォン操作時と比較して非動作時の顔面接触頻度の平均値および中央値が高かったが、対応のある t 検定の結果、有意差は見られなかった。姿勢についても、ウェルチの検定の結果、有意差は見られなかった。本実験の実験参加者群においては、行動内容および姿勢による顔面接触頻度への明確な影響は見られなかった。

Fig. 6-8 に顔面接触頻度と粘膜面接触頻度の関係を示す。顔面接触頻度と粘膜面接触頻度の関係についても大きなばらつきがみられたが、顔面接触頻度が高いほど、粘膜面接触頻度も高くなる傾向がみられた。全顔面接触回数のうち、粘膜面への接触は 42%、粘膜面ではない皮膚面への接触は 58% であった。粘膜面接触の内訳は、目への接触が 21%、鼻への接触が 58%、口への接触が 21% であり、鼻への接触が最も多かった。Kwok ら⁵⁾は、測定した全顔面接触回数のうち、粘膜面への接触が 44%、皮膚面への接触が 56% であったと報告しており、先行研究と同様に、粘膜面への接触頻度よりも皮膚面への接触頻度が高かった。

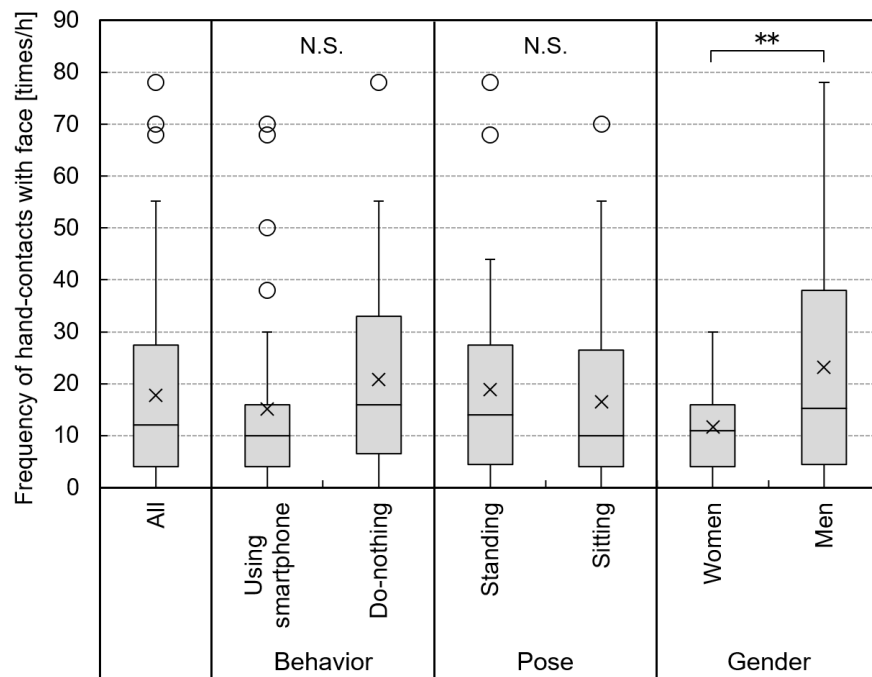


Fig. 6-6 The frequency of hand-contacts with face

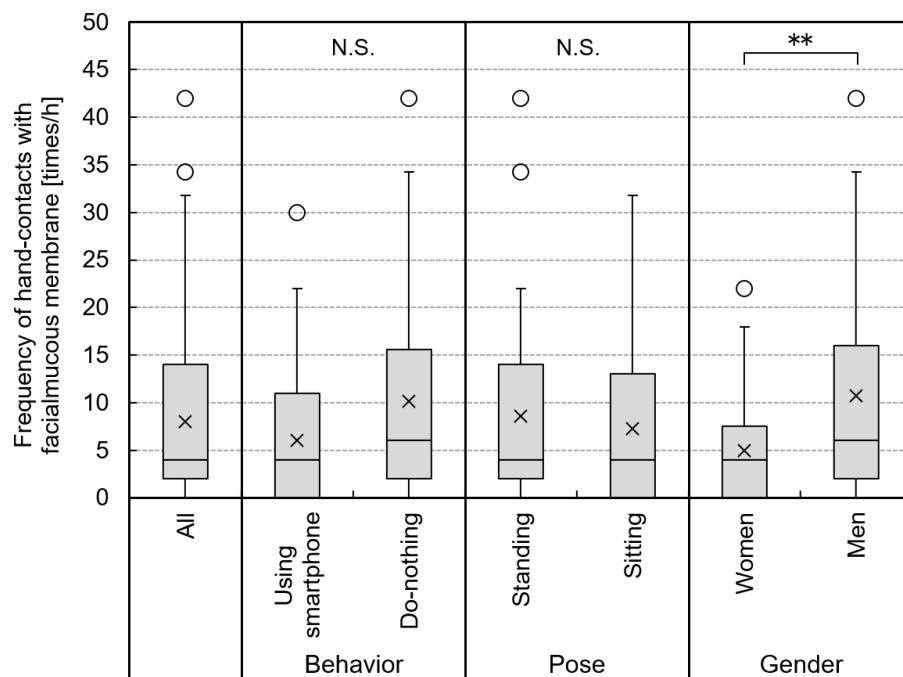


Fig. 6-7 The frequency of hand-contacts with mucous membranes

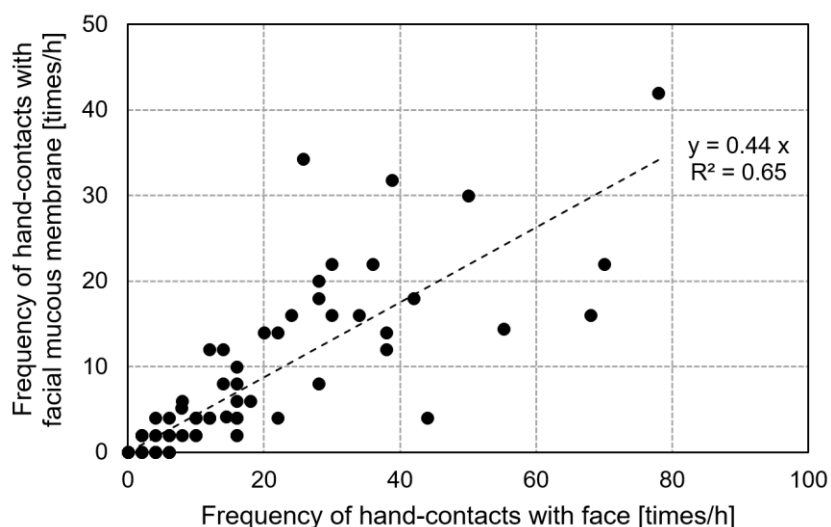


Fig. 6-8 The frequency of hand-contacts with face and facial mucous membranes

6.3.2 実験参加者の属性による比較

アンケート調査により得られた実験参加者の情報に基づき、実験参加者の皮膚表面の状況および表面の汚染に対する意識が顔面・顔粘膜面接触頻度に与える影響について分析した。

(1) 皮膚表面の状態による影響

Fig. 6-9 に顔面および粘膜面接触頻度と化粧の有無の関係を示す。Fig. 6-10 に顔面および粘膜面接触頻度と乾燥性敏感肌の有無の関係を示す。

普段化粧をする実験参加者の平均顔面接触頻度は 12.4 回/h、中央値は 12.0 回/h、化粧をしない実験参加者の平均値顔面接触頻度は 22.0 回/h、中央値は 14.2 回/h であった。また、粘膜面接触頻度は化粧をする実験参加者で平均 5.3 回/h、中央値は 4.0 回/h、化粧をしない実験参加者で平均値が 10.1 回/h、中央値は 5.1 回/h であった。ウェルチの検定の結果、化粧なしの実験参加者の顔面接触頻度および顔粘膜面接触頻度は、化粧ありの実験参加者よりも有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。

乾燥性敏感肌であるかについては、顔面接触頻度は乾燥性敏感肌である場合に平均値が 10.9 回/h、中央値が 8.0 回/h、乾燥性敏感肌でない場合に平均値が 19.7 回/h、中央値が 14.5 回/h であった。乾燥性敏感肌である場合と比較して、乾燥性敏感肌でない場合に顔面接触頻度が有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。粘膜面接触頻度に関しても同様の傾向であったが、有意差はみられなかった。

アトピー性皮膚炎発症の有無については、平均値、中央値共に症状ありの実験参加者と比較して、

症状なしの実験参加者で頻度が高くなったが、有意差はみられなかった。顔面のかゆみ症状の有無についても、同様の傾向がみられたが、有意差はみられなかった。アトピー性皮膚炎を発症していると回答した実験参加者は 5 名、顔面にかゆみ症状があると回答した実験参加者は 3 名のみであった。

化粧なしの実験参加者と比較し、化粧ありの実験参加者で顔面接触頻度が低下した理由として、化粧をしている人は顔を触ることにより化粧が崩れることを避ける可能性が考えられる。なお、化粧をしていないと回答した実験参加者の中には女性が 2 名含まれていた。また、乾燥性敏感肌でないと申告した実験参加者と比較して、乾燥性敏感肌であると申告した実験参加者で粘膜面接触頻度が減少した理由として、接触による肌への刺激に伴う不快感の回避が考えられる。

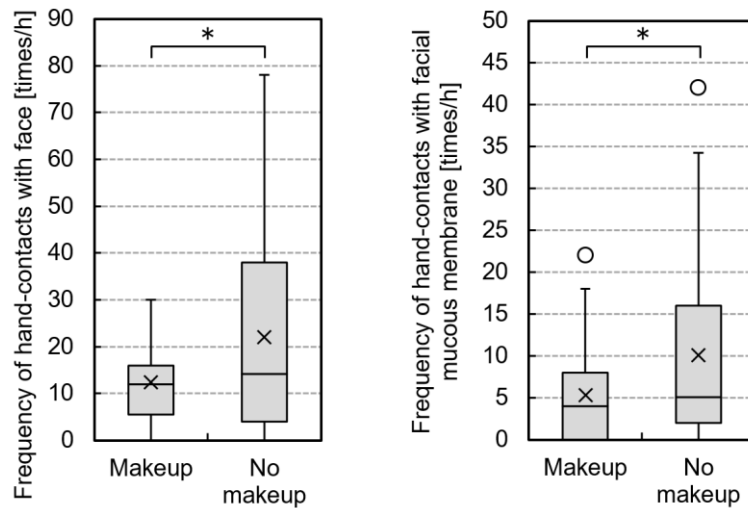


Fig. 6-9 The frequency of face-touch with or without makeup

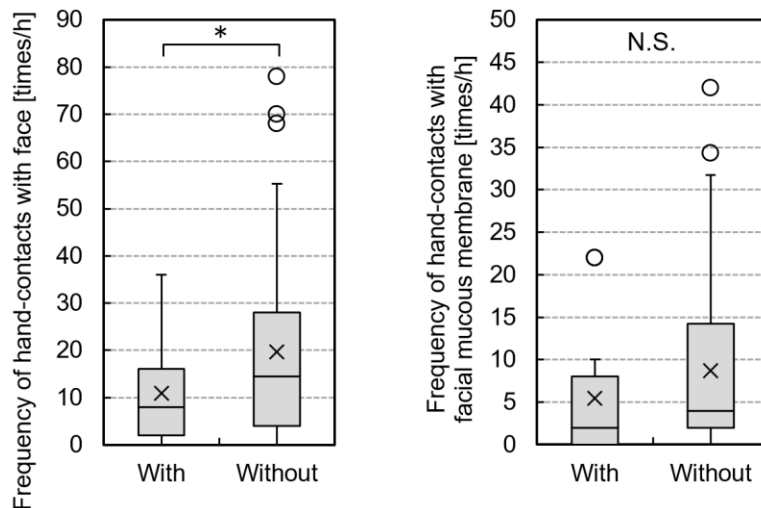


Fig. 6-10 The frequency of face-touch with or without dry sensitive skin

(2) 表面汚染に対する意識の影響

Fig. 6-11 に顔面接触頻度と汚染意識に関するアンケート調査結果の関係、Fig. 6-12 に顔粘膜面接触頻度と汚染意識に関するアンケート調査結果を示す。接触頻度と汚染意識に関するアンケート調査結果との相関関係の有無を確認するため、Spearman の順位相関係数 r_s を算出した。

電車利用後の手指衛生の実施頻度について、手指衛生を実施しない実験参加者は、手指衛生を行う実験参加者よりも顔面接触頻度および粘膜面接触頻度が高かった。また、電車を利用する際に、つり革や手摺をいつも把持すると回答した実験参加者は、あまり把持しない、揺れたときのみ把持すると回答した実験参加者よりも顔面接触頻度および粘膜面接触頻度が高かった。Spearman の順位相関係数 r_s を算出した結果、つり革や手すりを把持する習慣と顔面接触頻度との間では 1%水準で有意な相関が、粘膜面接触頻度との間では 5%水準で有意な相関がみられた。また、電車利用後の手指衛生の実施頻度と顔面接触頻度との間には有意な相関はみられなかったが、粘膜面接触頻度との間には 5%水準で有意な相関がみられた。

本結果から、汚染意識の低い人ほど顔面接触頻度が高くなる可能性が考えられる。汚染が伝播する可能性のあるつり革などを把持した後に手指衛生を実施せず、顔面接触頻度も高い傾向がある場合、接触感染リスクが増す恐れがあると考えられる。このように、人の意識と接触行動に相関がみられたことから、感染症流行時には適切な情報を伝え、電車内のつり革や手すりなど公共空間における環境表面に関する汚染意識を向上するなど感染対策の意識を高めることで顔面接触頻度を減少させ、接触感染リスクを効果的に低減できる可能性があると考えられる。

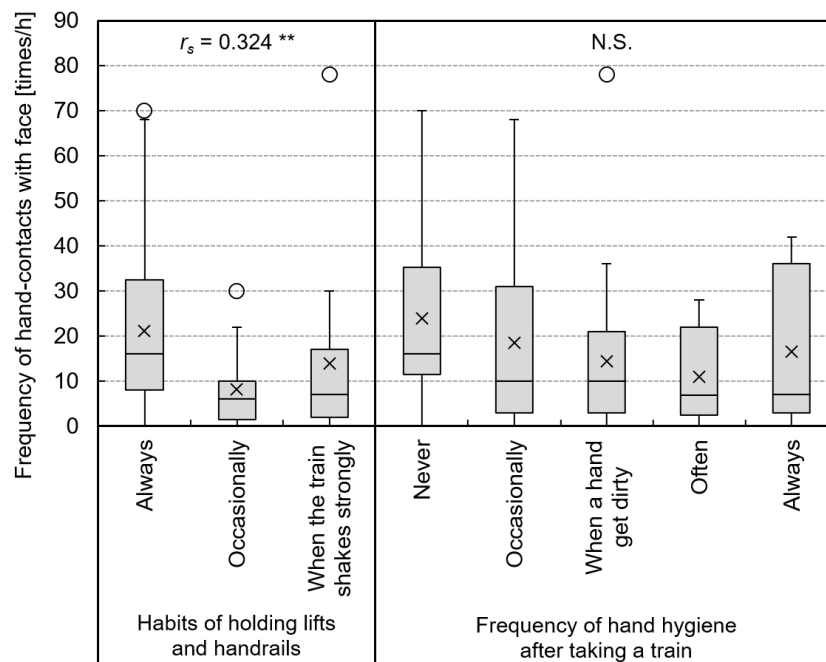


Fig. 6-11 The frequency of face-touch and the concern about pollution

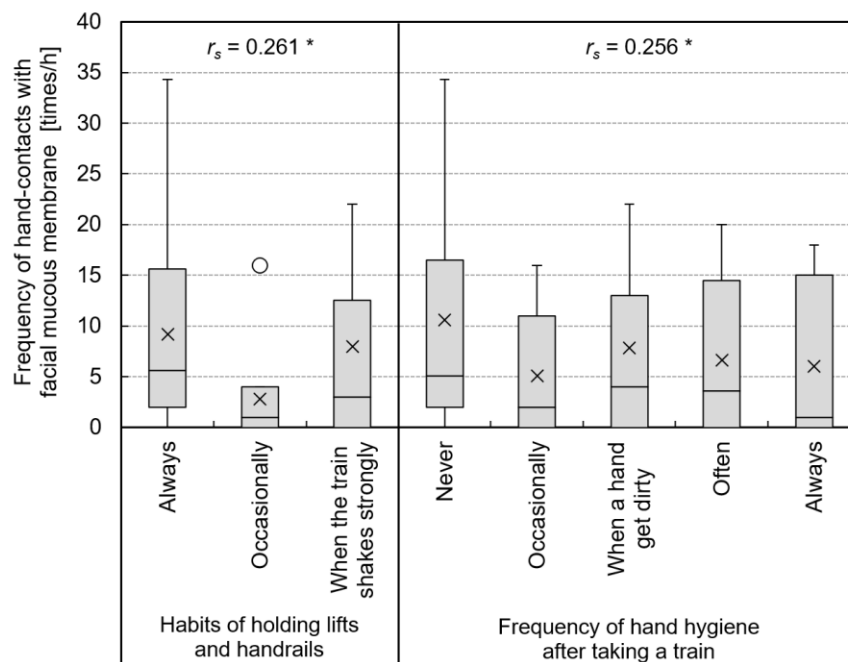


Fig.6-12 The frequency of touch on mucous membranes and the concern about pollution

6.4 まとめ

本章では、模擬電車実験室において参加者の協力のもと、顔面接触頻度を測定した実験について報告した。また、実験条件や性別、アンケートの回答結果と顔面接触頻度との関係を分析した。主な結果を以下に示す。

- 1) 男性の顔面接触頻度、粘膜面接触頻度は女性よりも有意に高かった ($p < 0.01$)。
- 2) 行動内容について、スマートフォンを操作する条件と、なにもしない条件を比較した結果、両条件の顔面および粘膜面接触頻度の間に明確な傾向および有意差はみられなかった。
- 3) 姿勢について、立位条件と座位条件を比較した結果、両条件の顔面および粘膜面接触頻度の間に明確な傾向および有意差はみられなかった。
- 3) 乾燥性敏感肌である場合と比較して、乾燥性敏感肌でない場合に粘膜面接触頻度が有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。
- 4) 電車において、つり革や手すりを把持する習慣があり、電車利用後に手指衛生を実施しないと回答した人ほど顔面接触頻度および粘膜面接触頻度が高い傾向がみられた。
- 5) 接触感染現象を解明するための重要な因子であるが知見が少ない顔面への接触頻度について、定量的な測定結果を報告し、性差があることを明らかにした。また、人の意識と接触行動に相関がみられたことから、情報の発信により行動変容を促すことで、接触感染リスクが低減できる可能性を示した。

参考文献

- 1) Atkinson, M. P. and Wein, L. M.: Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza, *Bulletin of Mathematical Biology*, 70(3), pp.820-867, 2008. doi: 10.1007/s11538-007-9281-2
- 2) Nicas, M., and Best, D. : A Study Quantifying the Hand-to-Face Contact Rate and Its Potential Application to Predicting Respiratory Tract Infection, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(6), pp. 347-352, 2008. doi: 10.1080/15459620802003896.
- 3) Alonso, W. J., Nascimento, F. C., Shapiro, J., Schuck-Paim, C.: Facing Ubiquitous Viruses: When Hand Washing Is Not Enough, *Clinical Infectious Diseases*, 56(4), p.617, 2013. doi: 10.1093/cid/cis961.
- 4) Johnston, J. D., Eggett, D., Johnson, M. J., Reading, J. C.: The Influence of Risk Perception on Biosafety Level-2 Laboratory Worker's Hand-To-Face Contact Behaviors, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11(9), pp.625-632, 2014. doi: 10.1016/j.ajic.2017.08.036.
- 5) Kwok, Y. L., Gralton, J., Mclaws, M. L.: Face Touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene, *American Journal of Infection Control*, 43(2), pp.112-114, 2015. doi: 10.1016/j.ajic.2014.10.015.
- 6) 遠藤広晴, 伊積康彦: 通勤列車内の温熱快適性に関する研究, *人間工学*, 49, pp.S352-S353, 2013. doi: 10.5100/jje.49.S352.
- 7) JIS E 4016 : 2009, 鉄道車両の照度－基準及び測定方法 Illuminance for rolling stock-Recommended levels and measuring methods.

第 7 章

総括

第7章 総括

本論文では、接触感染経路による感染性物質への曝露量を評価し、効果的な接触感染対策についての知見を得ることを目的とした。そのために、咳飛沫の沈着量、室内の表面汚染度、室内での接触行動および顔面への接触頻度に関して実験および実測を行った。

第1章では、本研究の目的を述べるとともに、研究背景および既往の研究について概観した。

第2章では、咳による感染リスクを定量的に評価するために模擬咳発生装置を開発し、咳飛沫沈着量を測定した。本装置は、コンプレッサーもしくはガスシリンダーによる圧縮気体をレギュレーターおよび電磁弁の開閉により制御し、二流体ノズルを用いて模擬唾液を送り、口腔モデル内で混合された気液を開口部から噴出することで、咳を模擬する装置である。本装置について、風量、速度、飛沫量、飛沫の粒径分布を先行研究及び被験者実験の結果と比較することで、飛沫を含むヒトの咳を模擬できることを確認した。模擬唾液は水、塩化ナトリウム、グリセリンからなる溶液とし、粘性が人の唾液と同等となるように調製した。開発した装置を用い、水平面への飛沫沈着量分布および顔粘膜面への飛沫沈着量を、空気温度 23°C、相対湿度 30%、50%の環境下で測定した。飛沫沈着量については、測定点に設置した感水紙により記録し、画像解析により沈着した飛沫の数および体積を算出した。実験の結果、水平面への咳飛沫沈着量は、咳噴射口の前方 50~60 cm において最も多くなり、95%以上の飛沫が 100 cm 以内に沈着した。咳噴射口から 30 cm 下の水平面における飛沫沈着数は、90 cm 下の水平面の約 4.2 倍であった。また、相対湿度 50%条件での水平面への飛沫沈着数は、30%条件の約 1.3 倍であった。この理由として浮遊時間が長くなることや相対湿度の低下により、表面に沈着する前に乾燥し飛沫核となる飛沫が増加することが考えられる。感染者と被感染者が同じ高さで正対する場合、顔粘膜面位置への咳飛沫沈着数は、2 者間の距離が 60 cm の条件では、2 [個/cm²·cough]以上と多くみられたが、90 cm 以上では飛沫沈着数が 99%以上低減した。模擬咳発生装置を開発し、従来のヒト被験者による実験では繰り返し測定が難しく、定量的な分析ができなかった咳飛沫の沈着量分布を実験的に明らかにした。

第3章では、医療施設における環境表面の汚染実態と清掃による汚染除去効果を把握することを目的として、都内大学病院の外来診察室を対象に ATP (Adenosine Tri-Phosphate) 測定法を用いた業務前後の表面汚染度調査を行い、実測値から 8 箇所の計 11 表面について汚染度を評価した。ATP 測定法とは、アデノシン三リン酸とルシフェラーゼ酵素等の化学反応により発生する、試料中の ATP 量に比例する光 (Relative Light Unit ; RLU) を測定し、汚染度を評価する方法である。本研究では、明確な基準のないスワブによる測定対象表面の拭き取り方法について、適切な拭き取り方法として 1 cm 幅あたり 2 往復させることを実験により定めた。ATP 測定値による汚染度評価は、病床数あたりの感染症数低減が報告された英国 NHS Foundation Trust によるモニタリング調査で用いられた基準値を用い、

対象面積 100 cm² あたり 800 RLU 未満を合格、800 RLU 以上 1600 RLU 未満を注意、1600 RLU 以上を不合格として行った。また、対象箇所の平均値または中央値が 800 RLU 以上となった表面を高濃度汚染面とした。実測の結果、医師の椅子手摺、ドアノブ、内線電話受話器、机において業務後の ATP 測定平均値が 800 RLU 以上となり、高濃度汚染面であった。医師の椅子手摺、室外側のドアノブでは清掃直後である業務前に複数室で不合格と判定され、医師の椅子手摺では表面の凹凸により清掃性が低くなる可能性があると考えられる。また、看護師と清掃スタッフの意識と表面汚染状況の関係を明らかにするため、外来診察室を担当する看護師および清掃スタッフに汚染に対する意識調査を行った。その結果、看護師は人が頻繁に触れる箇所を、清掃スタッフは塵埃の溜まりやすい箇所を汚染度が高い箇所として強く意識する傾向がみられた。高濃度汚染面であった医師の椅子手摺や内線電話の受話器を重点的に清掃すると回答した清掃者は少なかったため、清掃マニュアルにこれらの箇所を明記することで、効果的な清掃が可能になると考えられる。実測調査により明らかになった汚染の程度が高い場所について、「高濃度汚染面」という用語を定義し、感染予防のために頻繁な清掃と消毒が必要とされているが知見の少ない「高頻度接触面」に代わる新しい概念として提唱した。

第 4 章では、一般入院病棟 4 床病室の中から 35 床を対象に、ATP 測定法を用いた退院時清掃前後の表面汚染度調査を各床 10 箇所の計 15 表面において行い、汚染度および清掃の効果を評価した。実測の結果、間仕切り家具の収納把手、ライトスイッチ、テレビリモコン、オーバーテーブル、ベッド横手摺では清掃前 ATP 測定値の中央値が 800 RLU 以上の高濃度汚染面となり、間仕切り家具の柵・手摺、可動間仕切りの把手よりも統計的に有意に高かった。清掃前後の ATP 測定値を比較した結果、オーバーテーブルでは 5 床において清掃後に汚染度が上昇し不合格と判定された。この原因として、汚染度の高い部分から同表面の他の部分に汚染が拭き広げられた可能性が考えられる。また、面が小さく同一表面上で汚染の拭き広げが起りにくいと考えられるライトスイッチなどでも清掃後に ATP 測定値が上昇する場合が確認され、他表面の清掃で汚染されたクロスにより二次汚染が生じる可能性があると考えられる。実測調査結果から、十分に汚染が除去できるよう高濃度汚染面の清掃方法を変更し、表面間の交差汚染を防ぐために汚染度の低い面から高い面へ清掃が行われるように清掃順序を規定することで、病室の清掃効果を改善する方法を提案した。

第 5 章では、外来診察室における医師・看護師の接触行動を過去に行われた模擬診察実験動画の解析により明らかにした。接触行動解析の結果、医師はキーボード、椅子に高頻度に接触し、看護師は患者を補助するために患者の背中や腕、患者の椅子に高頻度に接触していた。接触行動解析の結果、医師・看護師の診察ごとの室内表面、患者身体への接触回数は、患者の症状が重いほど多くなることがわかった。手指衛生の実施頻度は、医師平均で診察ごとに 0.8 回、看護師は 0.2 回であった。また、得られた接触行動データを用いて診察室内表面と手指の間で起こる汚染転写について数値解析を行い、接触感染対策として行われる手指衛生および室内表面清掃の実施頻度による手指汚染度の低減効果を、何も対策を行わない条件からの低減率によって評価した。1 回の手指衛生および表面の清掃に

よる汚染除去効果については、先行研究調査により 70%と仮定した。数値解析の結果、現状の頻度で手指衛生を実施する場合、汚染低減率は 30%となると推計された。また、医師椅子の手摺、患者椅子の手摺、ドアノブを 30 分ごとに清掃し、診察ごとの手指衛生頻度を医師で 1 回、看護師で 0.5 回に増加させることにより、汚染低減率は 48%まで向上すると推計された。本調査により診察室における医療従事者の接触行動を明らかにし、接触感染対策としての手指衛生および清掃の頻度による効果を評価した。医療行為に直接関わらない接触行動については、特に個人差が大きいことが予想されるため、定量的に分析するためには今後多くの対象者に協力を得て実験、実測を行う必要がある。

第 6 章では、接触感染を引き起こす原因となる手指による顔面への接触頻度について、感染リスクが高いと考えられる電車室内を模擬し、男性 20 名、女性 20 名の参加者の協力を得て測定する実験を行った。実験の結果、目、鼻、口の粘膜面とそれ以外の皮膚面への接触頻度の割合は、粘膜面 44%、皮膚面 56%となった。平均顔面接触頻度は男性で 23.2 回/h、女性で 11.6 回/h となった。そのうち、顔粘膜面への平均接触頻度は、男性で 10.7 回/h、女性で 5.0 回/h となった。顔面、顔粘膜面への接触頻度には大きな個人差がみられたが、男性の顔面接触頻度および粘膜面接触頻度は、女性よりも有意に高かった。また、乗車後に手指衛生を実施する頻度が低い被験者ほど顔面、顔粘膜面接触頻度が高い傾向がみられた。本実験により、接触感染現象を解明するための有用な値が得られた。また、人の意識と接触行動に相関がみられたことから、感染症流行時などには適切な情報を伝えることで感染対策の意識を促し、接触感染リスクが低減できる可能性が示された。

第 7 章では、各章の研究結果を総括した。

本論文では、室内環境における接触感染経路に関して、ヒトからの病原体の拡散、室内の汚染状況、接触行動の観点から実験、実測を行い、咳飛沫の沈着量分布、外来診察室および病室の表面汚染度分布、診察室における医療従事者の接触行動、手指による顔面接触頻度について重要な知見を提供した。

Appendix

英文要約 - English abstract -

Evaluation of Contact Infection Exposure in Indoor Environment

Masayuki OGATA

Today, urbanization and the development of transportation have created an environment where pathogens spread easily. It is important, therefore, to discuss preventive measures against infectious diseases. There are three principal routes of transmission through which pathogens cause infection: contact transmission, droplet transmission, and airborne transmission. Exposure assessment of airborne and droplet transmission has been attempted through experiments, field surveys and numerical analysis. Contact transmission, however, occurs through complicated pathways and published data on that subject are sparse. This thesis aims to evaluate the amount of exposure to hypothetical infectious agents by contact transmission, and obtain knowledge about effective methods to control contact infection. For this purpose, experiments and actual measurements have been conducted on the distribution of coughed-droplets deposition, the degree of environmental surface contamination, contact behavior in rooms, and the frequency of hand-to-face touches.

This thesis is composed of seven chapters and the main findings of each chapter are explained as follows:

In Chapter 1, the research objectives are stated and the relevant extant research is summarized.

In Chapter 2, we developed a simulated-cough generator, in order to quantitatively evaluate the risk of infection due to cough, and measured deposition of coughed droplets using the device. We confirmed that the device can simulate human cough, including droplets, by comparing air volume, velocity, and generated droplet volume and size distribution of the device with previous studies and experimental results on human cough. The simulated saliva consists of water, sodium chloride, and glycerin, and its viscosity was equivalent to that of human saliva. We measured the coughed-droplets deposition on a horizontal surface and facial mucosal surface using the developed device. The experiment room was maintained at an air temperature of 23 °C, with 30% or 50% relative humidity (RH). Droplets deposited on the measurement point were recorded with water-sensitive paper and the number and volume of deposited droplets were calculated by image analysis. Experimental results showed that the amount of coughed droplets deposited on the horizontal plane was greatest at 50 to 60 cm in front of the mouth opening of the cough machine and that over 95% of the droplets had deposited within 100 cm. The number of deposited droplets on the horizontal plane 30 cm below the mouth opening was about 4.2 times greater than that on the plane 90 cm below. The number of deposited droplets on the horizontal plane under 50% RH was about 1.3 times that of the plane under 30% RH. This difference may have been caused by the increased floating

time and the decrease in RH, which increase the number of droplets that dry and become droplet nuclei before depositing on the surface. When the infected person and the susceptible person were opposed at the same height, with a distance of 60 cm between the two, the number of cough droplets deposited on facial mucosal surfaces was over 2 /cm²·cough. However, when the distance between them was 90 cm or more, the number of deposited droplets decreased by 99% or more compared to the scenario with 60 cm. Our simulated cough machine enables us to study the distribution of cough droplet deposition in a way that was difficult to achieve through quantitative analysis in the conventional human subject experiment, thus, allowing us to contribute to important scientific knowledge for infection control.

In Chapter 3, the degree of contamination of environmental surfaces in the examination room was evaluated using an adenosine triphosphate (ATP) measurement method before and after a work day. The ATP measurement method evaluates the degree of contamination based on the amount of measured light (Relative Light Unit; RLU) proportional to the amount of ATP in a sample generated by a chemical reaction of ATP and a luciferase enzyme. To evaluate the degree of contamination by ATP measurement value, pass scores were categorized as any score below 800 RLU per 100 cm². Scores in the caution range were 800 RLU or more, but less than 1600 RLU. Fail scores were 1600 RLU or more. We use the term “highly-contaminated surface” where the average value or the median value of the target surface is 800 RLU or more based on measured values. As a result, the average ATP value after work on a doctor's chair armrest, doorknob, extension telephone handset, or desk, was reported to be over 800 RLU; thus, these surfaces were categorized as highly contaminated. In addition, we investigated the awareness of contamination by nurses and cleaning staff who were in charge of the examination room. Results showed that nurses tend to consider a place frequently touched by a person as being highly contaminated, whereas the cleaning staff tends to consider a place where dust accumulates as being highly contaminated. Since there were few cleaning staff members who claimed that doctors' chair armrests and extension telephone handsets should be cleaned intensely, although these surfaces were highly contaminated even after cleaning, the effectiveness of examination room cleaning might be increased by clearly stating in the cleaning manual that those surfaces are highly contaminated and require intensive cleaning.

In Chapter 4, the contamination degree of environmental surfaces in the patient room was evaluated using the ATP measurement method before and after the terminal cleaning. The results indicated that before cleaning, the median ATP value for the storage handle of the partitioning furniture, the light switch, the television remote control, the over-bed table, and the bedside handrail were found to be highly-contaminated surfaces of 800 RLU or more. On the over-bed table, the degree of contamination increased after cleaning five wards; there is a possibility that the contamination was transferred from wiping a highly contaminated part to another part of the same surface. In addition, the measured ATP value increased after cleaning, even for a light switch which is small in surface area and unlikely to cause cross-contamination by wiping the same surfaces. Cross-contamination by

cleaning may also occur with the source of other surfaces. Based on the results of evaluation, we proposed a method for improving the effectiveness of cleaning patient rooms, specifying that cleaning should progress from low-contamination surfaces to high-contamination surfaces in order to prevent cross-contamination, rather than wiping the highly contaminated surface first to sufficiently remove the contamination.

In Chapter 5, contact behavior of doctors and a nurse with a patient in an examination room was investigated through video monitoring of simulated examinations. The results show the doctor in frequent contact with the keyboard and the doctor's chair, while the nurse frequently touched the patient's back, arm, and patient's chair in order to assist the patient. The amount of contact with the environmental surfaces and the patient's body for each examination by a doctor and a nurse increased as the patient's symptoms increased in severity. The average frequency of a doctor's hand hygiene practices was 0.8 times for each examination and the same was 0.2 times for a nurse. Numerical analysis was performed on the contamination transfer occurring between the environmental surface of the examination room and the hands, using the obtained contact behavior data. The effect of reducing the degree of hand contamination through contact infection measures (i.e., frequency of hand hygiene practices and environmental surface cleaning) was evaluated based on the reduction rate compared to the no-control condition. When implementing hand hygiene at the current frequency, it is estimated that the contamination reduction rate will be 30%. By cleaning the armrests of doctors' chairs, armrests of patient chairs, and doorknobs every 30 minutes, and increasing hand hygiene frequency for each examination to 1 time for doctors and 0.5 times for nurses, the contamination reduction rate will be 48%.

In Chapter 6, the frequency of hand-to-face touches that result in contact infection was measured for 20 male and 20 female participants. The experiment took place in a simulated train room, which is considered to have a high risk of infection. The results indicated that 44% of all face touches were with mucosal surfaces, such as the eyes, nose, and mouth, whereas 56% were with a skin surface of all face touches. The average face-touch frequency was 23.2/h for men and 11.6/h for females; the average frequency of hand contact with mucosal surfaces was 10.7/h for men and 5.0/h for female. Although there was a significant individual difference in contact frequency, it was shown that the frequency of face touch and the frequency of hand contact with mucosal surfaces of men was significantly higher than that of females. In addition, participants who engaged less frequently in hand hygiene practices after use of the train showed a tendency to have a higher frequency of face and facial mucosal surface contact.

Chapter 7 summarizes the conclusions of each chapter. In this paper, we investigated contact transmission in different indoor environments, including the spread of pathogens from humans, environmental surface contamination, and contact behavior. This study provides important knowledge about the deposition of coughed droplets, environmental surface contamination distribution in the examination room and patient room, contact

behavior of medical staff in the examination room, and frequency of hand-to-face contact. These findings could help in investigating the mechanism of infection via each transmission route, in particular, and in developing efficient infection control measures in healthcare facilities and indoor environments, in general.

Appendix

図表リスト

List of Figures

1-1	Contents of the thesis	13
2-1	Schematic diagram of the cough machine	21
2-2	Visualization of a simulated cough	23
2-3	Visible propagation distance and velocity of the simulated cough	23
2-4	Number-size distribution of deposited droplets	25
2-5	The plan of the experimental room (no-scale)	26
2-6	Experimental set-up used to quantify droplet deposition on environmental surfaces (Section) [values are given in cm].....	27
2-7	Distribution of the number of deposited droplets	28
2-8	Distribution of the volume of deposited droplets (All).....	28
2-9	Distribution of the volume of deposited droplets (<200 $\mu\text{m}\phi$)	28
2-10	Experimental set-up used to quantify droplet deposition on mucous-membranes.....	30
2-11	The droplet deposition on the position of mucous membranes.....	31
2-12	Calculated values for droplet diameter from stain size	33
3-1	ATP measurement equipment used	3
3-2	Floor plan of measured medical examination room.....	6
3-3	Sampling scene (Left) and sampling method (Right)	7
3-4	Location of measured surfaces.....	8
3-5	ATP measurement results before and after working	10
3-6	Evaluation of contamination before and after working.....	12
3-7	Number of cases with increased contamination after working	13
3-8	Nurses' consciousness of environmental surface contamination	16
3-8	Cleaning crews' consciousness of environmental surface contamination.....	16
4-1	Floor plan of measured patient room	70

4-2	Location of measured surfaces.....	71
4-3	Detail of measured surfaces	71
4-4	ATP measurement results before and after cleaning	74
4-5	Contamination evaluation before and after cleaning.....	77
4-6	Number of beds with higher contamination scores after cleaning	78
5-1	Floor plan of examination room for simulated examination (No-scale).....	88
5-2	Scene of simulated examination	89
5-3	Doctor's mean number of surface contacts per one examination.....	93
5-4	Nurse's mean number of surface contacts per one examination	93
5-5	Patient's mean number of surface contacts per one examination.....	93
5-6	Number of contact per examination for each patient's symptom level	94
5-7	Integral value of the contamination on the hand and its reduction rate	99
6-1	Experimental set-up (Plan) [mm].....	107
6-2	Experimental set-up (Section) [mm].....	107
6-3	Photograph of the experimental room.....	108
6-4	Condition of the experiment	108
6-5	The classification of face area.....	109
6-6	The frequency of hand-contacts with face	113
6-7	The frequency of hand-contacts with mucous membranes	113
6-8	The frequency of hand-contacts with face and facial mucous membranes.....	114
6-9	The frequency of face-touch with or without makeup	115
6-10	The frequency of face-touch with or without dry sensitive skin.....	115
6-11	The frequency of face-touch and the concern about pollution.....	117
6-12	The frequency of touch on mucous membranes and the concern about pollution	117

List of Tables

1-1	Physiological data of participants	25
3-1	Measured points	7
4-1	Measured points	70
4-2	Measurement of ATP before cleaning – p-value between measured points	74
4-3	Increase in contamination level of overbed tables after cleaning	79
4-4	Proposition of cleaning order based on measured results	81
5-1	Number of contact per examination for each surface	91
5-2	Conditions of surfaces for analysis	97
5-3	Infection control condition	98
6-1	Question items	110

Appendix

アンケート調査票

【個人属性】

問 1 あなたの性別をお知らせください。(当てはまるものに○)

①男性 ②女性

問 2 あなたのご職業の勤続年数をお知らせください。(数字で記入)

(年)

外来診察室に関する以下の質問についてお答えください。

【環境表面の清潔さに関する意識】

問 1 汚染されていると考える箇所に印をつけてください。(複数回答可)



裏面に続きます。

【清掃状況】

問 2 医療機器以外に自ら清掃を行うことはありますか。（当てはまるものに○）

- ①はい
- ②いいえ

それはどのような箇所ですか。（記述回答）

問 3 現状の清掃で不十分だと感じる箇所はありますか。（当てはまるものに○）

- ①はい
- ②いいえ

それはどのような箇所ですか。（記述回答）

【手指衛生の実施状況】

問 4 アルコールジェルはどのような時に使用しますか。（当てはまるものに○）

- ①診察室に入る前は必ず使用する
- ②気が付いたときにだけ使用する
- ③手が汚れていると感じた時にだけ使用する
- ④あまり使用しない
- ⑤その他（

）

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

【個人属性】

問 1 あなたの性別をお知らせください。(当てはまるものに○)

①男性 ②女性

問 2 あなたのご職業の勤続年数をお知らせください。(数字で記入)

(年)

外来診察室に関する以下の質問についてお答えください。

【環境表面の清潔さに関する意識】

問 1 重点的に清掃を行う箇所に印をつけてください。(複数回答可)



裏面に続きます。

【清掃状況】

問 2 清掃用クロスの交換頻度はどの程度ですか。(当てはまるものに○をし、空欄に記入)

- ①1 診察室ごとに取り替える
- ②全診察室の清掃後に取り替える
- ③その他 ()

問 3 清掃用手袋の交換頻度はどの程度ですか。(当てはまるものに○をし、空欄に記入)

- ①1 診察室ごとに取り替える
- ②全診察室の清掃後に取り替える
- ③その他 ()

問 4 規定通りの清掃が行いにくいと感じることはありますか。(当てはまるものに○)

- ①はい
 - ②いいえ
- それはどのような時ですか。(記述回答)

問 5 清掃が行いにくい箇所はありますか。(当てはまるものに○)

- ①はい
 - ②いいえ
- それはどのような箇所ですか。(記述回答)

問 6 清掃を行う際にどのようなことに気を付けていますか。(記述回答)

【手指衛生の実施状況】

問 7 アルコールジェルはどのような時に使用しますか。(当てはまるものに○)

- ①診察室に入る前は必ず使用する
- ②気が付いたときにだけ使用する
- ③手が汚れていると感じた時にだけ使用する
- ④あまり使用しない
- ⑤その他 ()

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

あなたの基本情報についてお伺いします。*必須

1. 被験者番号 *

2. 性別 *

1 つだけマークしてください。

☐ 男性

☐ 女性

3. 年齢 *

1 つだけマークしてください。

☐ 20

☐ 21

☐ 22

☐ 23

☐ 24

☐ 25

☐ 26

☐ 27

☐ 28

☐ 29

電車の利用についてお伺いします。

4. 1) 普段の通学手段に電車は含まれますか？ *

1 つだけマークしてください。

☐ はい

☐ いいえ このセクションの最後の質問の後、質問 8 に進んでください。

5. 2) 電車に乗車した際、電車内では何をして過ごしますか？（複数回答可） *

当てはまるものをすべて選択してください。

☐ 特に何もしていない

☐ 音楽を聴く

☐ 読書

☐ スマートフォン操作

☐ その他：_____

4.1) 普段の通学手段に電車は含まれますか？ で「はい」と回答した方にお聞きます。

6. 1-1) 乗り換えも含めた通学時の電車乗車時間はどれくらいですか？

(1 時間以上の場合はその他欄に 詳しい時間を記入してください) *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 5 分以下
- ☐ 5 分～30 分
- ☐ 30 分～1 時間
- ☐ その他： _____

7. 1-2) そのうち、最も長く乗車する路線の乗車時間はどれくらいですか？

(1 時間以上の場合はその他 欄に詳しい時間を記入してください) *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 5 分以下
- ☐ 5 分～30 分
- ☐ 30 分～1 時間
- ☐ その他： _____

皮膚症状についてお伺いします。

8. 3) アトピー性皮膚炎を発症していますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ はい
- ☐ いいえ

9. 4) 乾燥性敏感肌ですか？（自己申告で構いません） *

1 つだけマークしてください。

- ☐ はい
- ☐ いいえ

10. 5) 顔面にかゆみ症状はありますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ はい
- ☐ いいえ 質問 12 に進んでください。

10.5) 顔面にかゆみ症状はありますか？ ではないと回答した方にお聞きます。

11. 5-1) 顔面のかゆみの原因として考えられることは何ですか？（自由回答）

お化粧品についてお伺いします。

12. 6) 普段お化粧品をしていますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ はい
- ☐ いいえ 質問 15 に進んでください。

12.6) 普段お化粧品をしていますか？ で「はい」と回答した方にお聞きます。

13. 6-1) どのようなお化粧品をしていますか？（該当するもの全て） *

当てはまるものをすべて選択してください。

- ☐ ファンデーション
- ☐ チーク
- ☐ アイメイク（アイライン・アイシャドー等）
- ☐ グロスまたは口紅
- ☐ その他: _____

14. 6-2) 手が顔に触れたときに化粧がつくことを気にしますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 気にする
- ☐ 少し気にする
- ☐ どちらともいえない
- ☐ あまり気にしない
- ☐ 気にしない

眼鏡の使用についてお伺いします。

15. 7) 日常生活で眼鏡やコンタクトレンズを使用していますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 眼鏡
- ☐ コンタクトレンズ
- ☐ 裸眼

16. 8) 授業時に眼鏡やコンタクトレンズを使用していますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 眼鏡
☐ コンタクトレンズ
☐ 裸眼

日常生活における汚染意識についてお伺いします。

17. 9) 電車内でつり革や手すりをつかむことに抵抗はありますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ ある
☐ 少しある
☐ どちらともいえない
☐ あまりない
☐ ない

18. 10) 電車内で普段からつり革や手すりをつかみますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ つかむ
☐ あまりつかまない
☐ 激しく揺れた時のみつかむ
☐ つかまない

19. 11) 外出時に手洗いをするタイミングはいつですか？ *

1 行につき 1 つだけマークしてください。

	必ず洗う	洗わない時もある	たまに洗う	汚れている時のみ洗う	洗わない
電車に乗った後	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
食事前	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
食事後	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
トイレ後	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
帰宅後	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. その他、上記以外で手洗いをするタイミングはいつですか？

21. 1 行につき 1 つだけマークしてください。

	必ず洗う	洗わない時もある	たまに洗う	汚れている時のみ洗う	洗わない
その他	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. 12) スマートフォンをアルコール除菌する習慣はありますか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ はい
- ☐ いいえ このフォームの記入を止めてください。

22. 12) スマートフォンをアルコール除菌する習慣はありますか？ で「はい」と回答した方にお聞きます。

23. 12-1) スマートフォンをアルコール除菌する頻度はどのくらいですか？ *

1 つだけマークしてください。

- ☐ 毎日
- ☐ 2～3日に1度
- ☐ 1週間に1度
- ☐ 1か月に1度
- ☐ 気づいた時のみ（不定期）

Powered by



Appendix

研究業績リスト

研究業績

査読論文

尾方壮行, 市川真帆, 堤仁美, 有賀隆男, 堀賢, 田辺新一, 模擬咳発生装置による飛沫沈着量分布の測定, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol. 83 No.743, 2018.01

松村美保, 藤原舞, 尾方壮行, 堤仁美, 堀賢, 田辺新一, ATP 測定法による診察室の汚染実態および看護師と清掃者の意識調査, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol.81 No.728, pp.795-802, 2016.10

尾方壮行, 飯嶋美希, 松村美保, 堤仁美, 堀賢, 田辺新一, ATP 測定法による病室における清掃前後の環境表面汚染度実測調査, 日本建築学会環境系論文集, Vol.81 No.726, pp.723-729, 2016.08

秋山雄一, 三宅絵美香, 松崎里穂, 尾方壮行, 都築和代, 田辺新一, 夏季の自宅寝室における温熱環境が睡眠段階を考慮した睡眠の質に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol.83 No. 745, 2018.03 (掲載決定)

尾関義一, 中村俊太, 尾方壮行, 宮嶋裕基, 鈴木雅一, 田辺新一, 体温調節モデルを用いた局所温冷感予測手法の開発, 日本建築学会環境系論文集, 一般社団法人日本建築学会, Vol.81 No.727, pp.893-899, 2016.09

国際学会予稿集・発表

Masayuki Ogata, Hitomi Tsutsumi, Satoshi Hori, Shin-ichi Tanabe, Evaluation of hand hygiene and cleaning efficacy with contact-behavior in a medical examination room, Healthy Buildings 2017 Europe, Proc. of Health Buildings 2017 Europe, 2017

Maho Ichikawa, Miki Iijima, Masayuki Ogata, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Evaluation of the risk for infection via three transmission routes using droplet deposition and tracer gas from a cough machine, Healthy Buildings 2017 Europe, Proc. of Health Buildings 2017 Europe, 2017

Masayuki Ogata, Masakazu Suzuki, Maho Ichikawa, Hitomi Tsutsumi, Satoshi Hori, Shin-ichi Tanabe, Exposure Impact of Infection Routes: Droplet, Airborne, and Contact, Indoor Air 2016, Indoor Air 2016 - proceedings, 2016

Miki Iijima, Masakazu Suzuki, Miho Matsumura, Masayuki Ogata, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Hitomi Tsutsumi, Measuring Environmental Contamination in Patient Rooms and Improving Cleaning Methods, Proc. of Indoor Air 2016, 2016

Miho Matsumura, Masayuki Ogata, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Hitomi Tsutsumi, Evaluation of environmental surface contamination in medical examination rooms using an ATP measurement system, Healthy Buildings EUROPE 2015, Healthy Buildings 2015 - proceedings, 2015

Jun-ichi Asaka, Hiroki Miyajima, **Masayuki Ogata**, Shin-ichi Tanabe, Development of a thermoregulation model considering seasonal changes under mildly cold environments, Healthy Buildings 2017 Asia, Healthy Buildings 2017 Asia - The Proceedings, 2017

Yuichi Akiyama, Riho Matsuzaki, Akihiro Takimoto, Emika Miyake, **Masayuki Ogata**, Kazuyo Tsuzuki, Shin-ichi Tanabe, Healthy Buildings 2017 Europe, Proc. of Health Buildings 2017 Europe, 2017

Jun-ichi Asaka, Hiroki Miyajima, **Masayuki Ogata**, Shin-ichi Tanabe, Development of thermoregulation model by considering cold acclimation and simulation of thermal sensation change, ICHES 2016, ICHES 2016 - proceedings, 2016

Shin-ichi Tanabe, Yoshiichi Ozeki, **Masayuki Ogata**, Hiroki Miyajima, Thermoregulation model JOS-2 and prediction of local thermal comfort, Proc. of Indoor Air 2016, 2016

Hiroki Miyajima, **Masayuki Ogata**, Shin-ichi Tanabe, Prediction of the effect of the cooling methods during watching outdoor games in summer, Proc. of Indoor Air 2016, 2016

Masayuki Ogata, Rita Streblow, Shin-ichi Tanabe, Dirk Mueller, Comparison of Two Human Thermoregulation Models Using Stable and Transient Conditions, Healthy Buildings 2015, Healthy Buildings 2015 - proceedings, 2015

Masakazu Suzuki, **Masayuki Ogata**, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Shoichi Morimoto, Hitomi Tsutsumi, Effect of partitioning furniture size on airborne infection risk in multi-bed ward, Healthy Buildings EUROPE 2015, Healthy Buildings 2015 - proceedings, 2015

Masayuki Ogata, Masakazu Suzuki, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Shoichi Morimoto, Hitomi Tsutsumi, Size of Multibed Patient Room and Airborne Infection Risk, Indoor Air 2014, Proc. of Indoor Air 2014, 2014

Masayuki Ogata, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Masakazu Setsujima, Kouichi Nakahara, Reducing Chlorine Dioxide Gas Concentrations After Fumigation Using Filters, CLIMA 2013, CLIMA 2013 - proceedings, 2013

国内学会予稿集・発表

橋本果歩, 尾方壮行, 飯嶋美希, 市川真帆, 秋山雄一, 堤仁美, 堀賢, 田辺新一, 医療福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 38 模擬電車内における顔面接触行動の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.633-634, 2017.08

尾方壮行, 橋本果歩, 飯嶋美希, 市川真帆, 秋山雄一, 堤仁美, 堀賢, 田辺新一, 医療・福祉施設における感染症リスク低減に関する研究 その 37 大学研究室における顔面接触行動の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.631-632, 2017.08

飯嶋美希, 市川真帆, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に

関する研究 その 36 病室における接触を考慮した手指汚染度評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.629-630, 2017.08

市川真帆, 飯嶋美希, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 35 病室における環境表面の汚染実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.627-628, 2017.08

市川真帆, 飯嶋美希, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染制御に関する研究 (第 18 報) 咳飛沫の感染経路別の伝播特性測定実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.21-24, 2016.09

松村美保, 飯嶋美希, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 34 診察室における環境表面汚染の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.775-776, 2016.08

飯嶋美希, 松村美保, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 33 医療スタッフと患者の診察行為の行動解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.773-774, 2016.08

鈴木雅一, 市川真帆, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 32 咳飛沫の伝搬特性を考慮したインフルエンザの感染経路別リスク評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.771-772, 2016.08

尾方壮行, 鈴木雅一, 市川真帆, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 31 環境表面への咳飛沫附着量と飛沫核吸引量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.769-770, 2016.08

市川真帆, 尾方壮行, 鈴木雅一, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 30 模擬咳発生装置を用いた被感染者への咳飛沫附着量測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.767-768, 2016.08

飯嶋美希, 鈴木雅一, 松村美保, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染制御に関する研究 (第 17 報) 病室内環境表面における清掃方法の改善提案, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.97-100, 2015.09

鈴木雅一, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 有賀隆男, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 29 気流・飛沫一系統式模擬咳発生装置の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.877-878, 2015.09

飯嶋美希, 鈴木雅一, 松村美保, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 28 病室内環境表面の汚染実態および清掃効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.875-876, 2015.09

松村 美保, 尾方 壮行, 堤 仁美, 田辺 新一, 堀 賢, 医療・福祉施設における感染制御に関する研究

(第 14 報) ATP 測定法による病院内環境表面汚染度の評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.85-88, 2014.09

松村美保, 鈴木雅一, 飯嶋美希, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 27 診察室の看護師, 清掃者の汚染に対する意識と実態の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.873-874, 2015.09

藤原舞, 松村美保, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 22 ATP を用いた病院内の高頻度接触面の調査, , 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.895-896, 2014.09

松村美保, 藤原舞, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 21 ATP を用いた高頻度接触面の測定方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.893-894, 2014.09

尾関義一, 尾方壮行, 浅賀潤一, 野元彬久, 田辺新一, 人体温冷感・快適感予測モデルに関する研究 (その 10) 非定常環境における局所温冷感予測モデル開発のための被験者実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.101-104, 2017.09

尾方壮行, 尾関義一, 浅賀潤一, 野元彬久, 田辺新一, 人体温冷感・快適感予測モデルに関する研究 (その 11) 非定常環境における局所温冷感予測モデルの開発, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.105-108, 2017.09

尾方壮行, 尾関義一, 宮嶋裕基, 鈴木雅一, 田辺新一, 人間-熱環境系快適性数値シミュレータ その 54 部位別温冷感予測モデル開発のための高温・寒冷環境における被験者実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.415-416, 2015.09

尾関義一, 尾方壮行, 宮嶋裕基, 鈴木雅一, 田辺新一, 人間-熱環境系快適性数値シミュレータ その 55 人体モデルを用いた部位別温冷感予測モデルの改良, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.415-416, 2015.09

尾方壮行, 鈴木雅一, 新井啓太郎, 堤仁美, 田辺新一, 森本正一, 堀賢, 新型インフルエンザ感染防止対策に関する研究 その 23 多床室における病室寸法と空気感染リスクの関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.897-898, 2014.09

鈴木雅一, 新井啓太郎, 尾方壮行, 堤仁美, 田辺新一, 森本正一, 堀賢, 医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その 24 多床室におけるベッド間パーティション寸法と感染リスクの関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.899-900, 2014.09

謝辭

謝辞

本論文は、私が早稲田大学建築学科田邊新一研究室にて 2014 年から 2017 年に実施した研究の成果をまとめたものです。

本研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたり、終始ご指導ご鞭撻を賜りました早稲田大学創造理工学部建築学科教授 田邊新一先生に、心より感謝と敬愛の意を申し上げます。学士論文の研究室配属時から本日まで、多くの貴重な機会を与えていただきながら、自律性を重んじてご指導いただきましたこと、謹んでお礼申し上げます。

早稲田大学創造理工学部建築学科教授 長谷見雄二先生、高口洋人先生には学位論文審査の労をお執りいただき、多くの貴重なご助言とあたたかいご支援を賜りました。学内外でお会いする度に声を掛けてくださり、励ましていただいたことは、日々の業務の中で自身の研究と論文の執筆を推進するための大きな心の支えとなりました。感謝申し上げます。

順天堂大学医学部教授 堀賢先生には、研究の計画段階から論文執筆まで丁寧にご指導いただきました。本論文 3 章、4 章、5 章で得られた成果は堀先生の力強いご協力によって実現した実測調査を基にしたものです。ご多用のなか実測調査を行うための連絡、調整までをも快くお引き受けくださりましたこと、誠にありがとうございます。また、学位論文審査の労をお執りくださいましたことにつきましても、重ねて深くお礼申し上げます。

昭和女子大学 堤仁美先生には、2 章での模擬咳発生装置による咳飛沫沈着量を測定した実験を実施するための場として実験室を提供していただき、また実験計画、実施方法についても親身にご助言をいただきました。深く感謝いたします。

有限会社アドテック 有賀隆男様、有賀淳也様は、模擬咳発生装置の開発にご尽力くださいました。私たちが装置に求める目標に対して、いつも丁寧にご対応いただき、具体的な提案をしてくださいました。誠にありがとうございます。

大同大学教授（元清水建設株式会社） 山口一先生、森本正一博士、日建設計株式会社 伊藤昭博士、清水建設株式会社 辻裕次様、町田晃一様、有限会社アーバン・ファクトリー 藤江創様には、次世代環境医療研究会において貴重なご助言をいただきました。特に、森本博士には研究計画や実験の方法について多くの具体的なアドバイスをいただきました。みなさまに感謝の意を表します。

早稲田大学田辺研究室の研究員、修士課程、OBOG のみなさまにも大変お世話になりました。深く感謝いたします。特に、研究を共にした藤原舞様、鈴木雅一様、松村美保様、飯嶋美希様、市川真帆様、橋本果歩様、森田健太郎様には、研究の遂行にあたり多大なるご協力をいただきました。對馬聖菜博士には、論文の執筆を進めるにあたり多くのご助言をいただきました。みなさまと共に研究に励み、議論できたことは、かけがえのない学びの経験となりました。記して心からの謝意を表します。

最後に、これまで私をあたたかく見守り、限りのない応援をしてくださった両親に心から感謝の意を表して謝辞といたします。

ありがとうございました。

2018 年 2 月

尾方壮行
