

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23246103

研究課題名(和文)医療福祉施設における感染症リスク低減に関する研究

研究課題名(英文)Infection risk controll in medical and welfare facilities

研究代表者

田邊 新一(Tanabe, Shin-ichi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30188362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 22,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、感染リスクの評価手法の構築及び各種手法を用いた感染リスク低減効果の評価、それらの知見を基盤とした次世代型病院建築・設備システムの提案を行うことを目的とした。感染リスク評価手法として、模擬咳発生装置の開発、再現性の高い環境表面汚染度測定手法の検討、感染リスク評価式の構築を行った。各種手法を用いて病室・診察室・待合室における感染リスク評価を行い、感染リスクの低い医療福祉施設の建築・建築設備デザイン、既存施設における感染リスク低減策を提案し、また清掃方法など現状の対策の改善点を明確に示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to present evidence-based design of hospital architectures and systems of heating, cooling and ventilation. A Human cough simulation machine, a reproducible swab method of the environmental surface contamination and evaluation formulae of infection risk were developed to evaluate infection risk in health-care facilities. The risk of infection and the effectiveness of protective measures were evaluated in patient rooms, examination rooms and a waiting room. Possible architectural designs with engineering systems and measures in existing facilities which prevent the spread of infection were proposed based on the results obtained from full-scale experiments, field measurements and numerical analyses.

研究分野：建築環境学

キーワード：感染リスク低減 模擬咳発生装置 環境表面汚染 空気感染 ATP測定法 接触感染 動作解析 数値流体解析

1. 研究開始当初の背景

医療福祉施設における新型インフルエンザ、結核、麻疹などの感染症リスクが現代社会で問題となっている。医療福祉施設における感染拡大は社会全体への感染拡大を引き起こすおそれがあり、対策が非常に重要であると考えられる。様々な手段が感染対策として講じられているが、その手法は医師や技術者の感覚や勘によるところが大きく、評価する手法は確立されていない現状にある。医療の現場では、「経験に基づく医療」から「証拠のある医療(Evidence-Based Medicine)」への転換を強く求められている状況にあり、感染対策の有効性を測る尺度への要望は非常に高まっている。また、適切な感染症制御のためには、医学的側面だけでなく建築環境・設備的な側面からもリスク低減策を考える必要がある。

2. 研究の目的

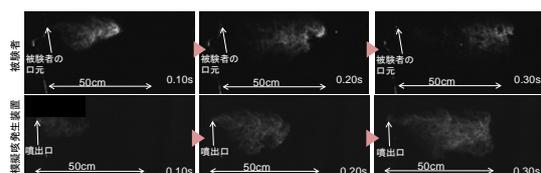
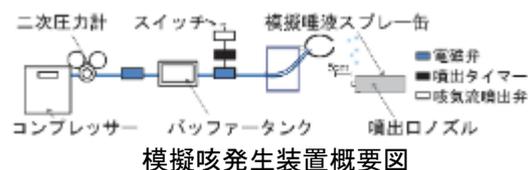
本研究では、感染リスク低減の評価手法の構築及び各種手法を用いた感染リスクの評価、それらの知見を基盤として次世代型病院建築・設備システムの提案を行うことを目的とする。本研究では医学と建築学が協力して医療福祉施設の安全性向上に貢献することを目標としている。

3. 研究の方法

エビデンスに基づいた感染リスクの低い医療福祉施設の実現のため、以下の項目について研究を実施した。

(1) 模擬咳発生装置を用いた感染リスク評価

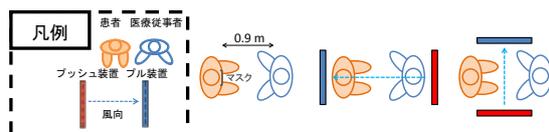
咳により発生する飛沫や飛沫核による感染リスクを評価するため、人の咳を再現性を持って模擬できる模擬咳発生装置を開発した。装置により模擬咳を発生させ、咳により飛散する飛沫の環境表面への附着位置及び附着量の分布を感水紙を用いて測定した。実験結果から得られた咳飛沫附着量分布と病室における医療従事者の各環境表面接触頻度の文献調査から、病室における咳飛沫を感染源とする接触感染リスクを提案し、リスク低減策の検討を行った。



(2) 診察室における感染リスク低減策

医療従事者は診察行為中に感染患者の咳

により吐出された飛沫及び飛沫核に曝露させる危険性があり、医療従事者への感染拡大は医療従事者を媒介とした更なる感染拡大に繋がるおそれがあるため、診察室における感染対策は非常に重要である。飛沫感染だけでなく、近距離における空気感染も考慮に入れ、診察行為中の感染患者の咳による感染リスクの評価を行った。二酸化炭素ガスを噴出する模擬咳気流発生装置を用い、医療従事者呼吸域への侵入量によって感染リスクを評価し、プッシュプル装置などを使用した際の感染リスクの低減効果検討実験を行った。また、実験結果を踏まえた数値流体解析によるケーススタディを行った。



検討した感染対策方法の例

(3) 診察室内における動作解析

診察室における診察行為の動作範囲、高頻度接触面を明確にし、感染リスク発生状況と対策の必要な範囲を明らかにするため、医療従事者(医師・看護師)と患者の動作範囲をモーションキャプチャーにより調査した。また、(2)で示した数値流体解析の結果をもとに咳気流による診察行為中の医療従事者の感染リスク評価式を作成した。

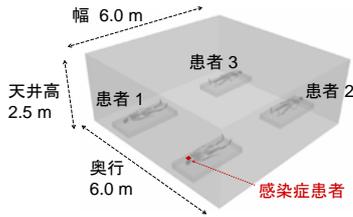
(4) 環境表面汚染の実態調査

接触感染は医療関連感染における主要な感染経路の1つであるため、接触感染を防止するために感染症伝播の媒介となる環境表面の清掃が重要である。病室内での清浄度検査では簡便で即時的に結果を得られるATP(adenosine-triphosphate)測定法が普及しているが、明確な測定方法が示されておらず、測定者によって結果に差が生じる恐れがある。まずATP測定法を用いる際に検査の精度を高めることを目的として、サンプリング時の拭き取りの往復回数を変化させた被験者実験とアンケート調査によって最適な拭き取り回数を定めた。さらに医療施設において汚染度が高い表面を明らかにし対策の提案を行うことを目的として、定めた手法を用いて実測調査を行った。実測は、不特定多数の患者が訪れる外来診察室および外来待合室、同一の患者が一定期間滞在する病室を対象とした。

(5) 感染リスクの低い病室デザインの創出

多床室では感染症と診断される前の患者が他の患者と同室する可能性があり二次感染が発生する恐れがある。予防的に感染を防ぐ感染伝播リスクの低い多床室計画のための知見を獲得するため、4床病室において1名の感染症患者が存在する場合の、給排気口の位置、病室の広さ・高さ、ベッド間に設置

するパーティションの高さ・長さと同室患者の空気感染リスクの関係を数値流体解析により評価した。



基準の病室モデル

4. 研究成果

研究成果の概要は、以下の通りである。

(1) 模擬咳発生装置を用いた感染リスク評価

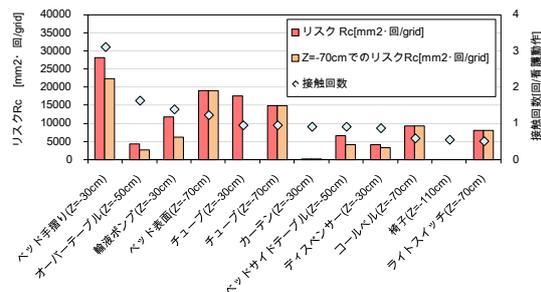
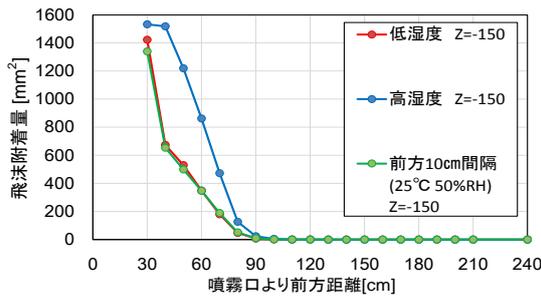
・咳飛沫附着量は前方 90 cm までに大きく減少するが、200 cm 以上離れた測定点においても飛沫の附着が確認された。

・附着した飛沫からの接触感染リスクを構築した。病状による違いや接触予防策の効果に応じて対応可能な係数を設定し、拡張性を持たせた。

・患者の口近くにあり、飛沫附着量が多く、接触回数が多いベッド手摺りや点滴チューブは、感染リスク値が高かった。

・コールベルやライトスイッチのように接触回数が比較的少ない接触面でもリスクが高い箇所があった。飛沫附着量が多いと考えられるこのような面は重点的に清掃を行う必要がある。

・空調による気流環境制御、家具のデザインや素材変更、環境表面の清掃、患者のマスク着用などにより、飛沫附着量又は接触回数を減らし、感染リスクを低減することができると思われる。



病室における接触感染リスク評価

(2) 診察室における感染リスク低減策

・医療従事者と患者の人体位置を直接気流が当たらないようにすることで、咳気流を模擬した呼吸域の二酸化炭素ガス濃度ピーク値を大幅に下げることができた。

・プッシュプル装置の使用は、すべての条件において二酸化炭素濃度ピーク値低減効果が見られたが、その中でも横方向からのプッシュプル気流で最も感染リスク低減効果が高くなった。

・隔壁やマスクの使用はそれのみで濃度ピーク値の低減効果が得られたが、プッシュプル装置との併用でより大きな効果が得られた。

・数値流体解析による計算値と実験値を比較した。感染リスクの評価手法の一つとしての数値流体解析の妥当性が確認された。

・数値流体解析により、気流分布、二酸化炭素濃度の瞬時値を求め、空間中の二酸化炭素の挙動を視覚的に明らかにした。

・障害物に遮られることなくプッシュプル気流による層流が形成されていた条件において濃度ピーク値の大きな減少が見られたことや、プル装置に捕集される過程で汚染濃度の高い部分が発生することがわかった。診察室における気流設計手法について有用な知見が得られた。

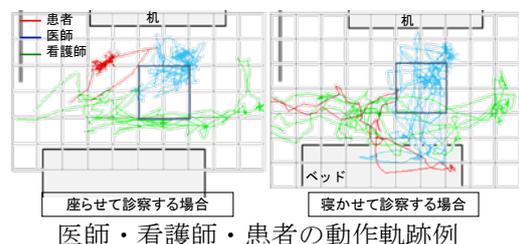
(3) 診察室内における動作解析

・診察動線は、軽度の場合では全体を通じて医師は一定の場所にとどまっている一方で、看護師は診察室内を広範囲に動き回っていた。重度の場合には、看護師だけでなく医師も広範囲に動き回っていた。患者の動きは重症度にかかわらず限定的であり、特に重度時には極めて限定的で感染源が一定の範囲にとどまっていることが分かった。

・重度の患者に対しては、軽度のときに比べて、医師・看護師ともに患者との距離が近くなっていた。特に問診時は距離が近く、患者の咳気流を直接受ける可能性がありリスクの高い状態になっていた。また、問診前や説明後のベッドへの移動の際、看護師は補助動作を行うので、距離が非常に近くなっていた。

・高頻度接触面について、診察行為中の接触が一番多いのはキーボードへの接触で 3.75 回であった。次に医師の椅子への接触が 2.54 回と多かった。

・患者と医療従事者の位置関係、感染物質濃度等をもとに感染リスク評価式を提案した。



医師・看護師・患者の動作軌跡図

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (E_{dij} I_{ij}(z=h) + E_{sij} I_{ij}(z=1.40))}{1 + \alpha F} \quad \dots (1)$$

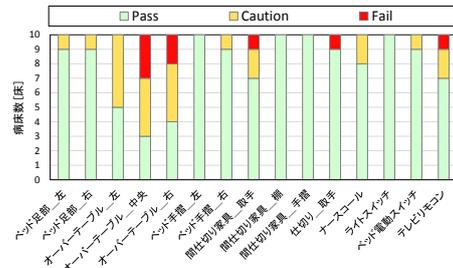
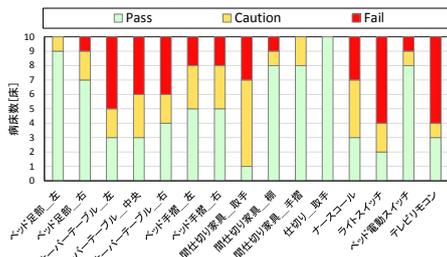
E_{dij} : 医師の各格子中の存在割合[%]
 I_{ij} : 各格子中心の感染原因物質積算値[ppm・s]
 z : 積算点の高さ[m]
 h : 座らせて診察をする時 $h=1.05$ [m]
 寝かせて診察をする時 $h=1.40$ [m]
 E_{sij} : 看護師の各格子中の存在割合[%]
 α : 感染症による各感染経路の支配率によって決定する係数
 (飛沫感染が支配的ならば $\alpha=0$ に近づく。
 空気感染が支配的ならば α は大きな値をとる)
 F : 換気流のうち、室外に排気された割合(捕集効率)[%]
 ただし、 I_{ij} は以下の条件に基づき算出する
 $h=1.05$ の時:
 患者席位置から医師席方向水平に核を模擬し、
 感染原因物質の放出を行った際の積算値
 $h=1.40$ の時:
 患者をベッドに寝かせた時の口の位置から、上向きに核を
 模擬して感染原因物質の放出を行った際の積算値

感染リスク R の算出式

(4) 環境表面汚染の実態調査

サンプリングを縦横 10、20、30 往復の 3 条件で行った被験者実験の結果から、縦横 10 往復よりも 20、30 往復のほうが有意に相対発光量が大きいことが分かった。アンケート調査から往復回数の増加につれて負担も増加することがわかったため、縦横 20 往復(1cmにつき2往復)を標準的な拭き取り回数とした。定めた手法で行った医療施設における環境表面汚染度実測調査から以下の知見が得られた。

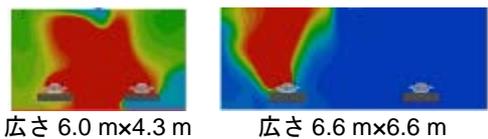
- ・診察室は、医師の椅子の手摺が業務開始前、終了後ともに最も高い汚染度となった。患者が直接接触しないため、清掃の意識が低かったことが原因と考えられる。
- ・使用頻度が高い階段の手摺や医師の椅子の手摺、握るなど圧力をかける動作を行うドアノブは業務前後の相対発光量の増加量が多かった。
- ・使用頻度が少ないベッドの手摺やカーテン、使用時の触れ度合いが軽度の自動診察受付機のパネルやキーボードは汚染の増加量が少なかった。
- ・病室の測定において、汚染が高濃度であると評価された箇所はオーバーテーブル、ベッド手摺、間仕切り家具の取手、ナースコール、ライトスイッチ、テレビリモコンであった。
- ・オーバーテーブルは清掃後の汚染度が十分に低下していなかったため清掃方法の改善が必要である。
- ・スイッチ類は清掃による汚染除去効果が高いが、形状によっては十分に清掃できない場合があることが示唆された。



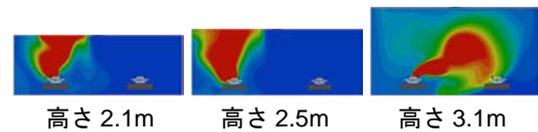
(5) 感染リスクの低い病室デザインの創出

数値流体解析より、以下の知見が得られた。
 ・排気口を患者ごとに設けることで、天井面中央一か所で排気するよりも効果的に感染症患者から噴出される感染性物質の拡散を防止できる。

- ・各患者領域でパーソナル排気を行う場合には、病室を広くすることにより空気感染リスクが低減する。
- ・感染者口元と排気口の距離が 2.2 m 以上となる場合に空気感染リスクが大きくなる傾向がある。
- ・天井面中央で給排気を行う病室においては、病室を広くするよりも換気回数を増加することで空気感染リスクが低減する。
- ・ベッド間にパーティションを設置することで感染症患者の隣の患者の空気感染リスクを低減する一方で、前方の患者の感染リスクが増加する危険がある。
- ・パーティションと天井間に隙間が生じている場合、感染性物質が漏洩し感染症患者の隣の患者の空気感染リスクが増加するため、パーティションは天井高まで設ける必要がある。
- ・パーティションが長くなると、吹出気流がパーティションにより阻害され十分に室内に拡散せず、換気効率が低下する可能性がある。



拡散物質濃度分布
 病室広さが増すほど空気感染リスクが低減



拡散物質濃度分布
 天井高 3.1 m では換気効率が低下

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 25 件)

- ① 新井啓太郎・鈴木雅一・尾方壮行・堤仁美・森本正一・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25: 多床室における換気回数と感染リスクの関係、日本建築学会、2014年9月、神戸大学
- ② 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、2014年9月、神戸大学
- ③ 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、2014年9月、神戸大学
- ④ 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を用いた院内の高頻度接触面の調査、日本建築学会、2014年9月、神戸大学
- ⑤ 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、2014年9月、神戸大学
- ⑥ 田坂愛美・藤原舞・堤仁美・森本正一・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20: 病室内高頻度接触面に附着した飛沫の接触感染リスク評価、日本建築学会、2014年9月、神戸大学
- ⑦ 堤仁美・田坂愛美・藤原舞・尾方壮行・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19: 感水紙を用いた飛沫付着量測定実験、日本建築学会、2014年9月、神戸大学
- ⑧ 鈴木雅一・尾方壮行・堤仁美・森本正一・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15報) 4床室におけるベッド間パーティション寸法が空気感染リスクに与える影響・空気調和・衛生工学会・2014年9月・秋田大学
- ⑨ 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・2014年9月・秋田大学
- ⑩ Keitaro Arai・Masayuki Ogata・Mai Fujiwara・Hitomi Tsutsumi・Shoichi Morimoto・Shin-ichi Tanabe・Satoshi Hori・Takao Ariga,

Evaluation of infection-control effectiveness through use of an infection-control bed, Indoor Air 2014, 2014.7, Hongkong

⑪ 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, 2014.7, Hongkong

⑫ 岡島彩子・新井啓太郎・藤原舞・堤仁美・森本正一・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17: 感染防止ベッドの性能検証実験、日本建築学会、2013年8月、北海道大学

⑬ 新井啓太郎・岡島彩子・藤原舞・堤仁美・森本正一・藤江創・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16: 感染防止ベッドの開発、日本建築学会、2013年8月、北海道大学

⑭ 新井啓太郎・岡島彩子・藤原舞・堤仁美・森本正一・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12報) ベッド周辺の局所気流による空気感染防止対策・空気調和・衛生工学会・2013年9月・信州大学

⑮ Mai Fujiwara・Ayako Okajima・Hitomi Tsutsumi・Shin-ichi Tanabe・Satoshi Hori・Shoichi Morimoto・Takao Ariga, Estimation of Infection Risks by Droplets Attached to Surfaces in a Patient Room, Clima 2013, 2013.6, Czech

⑯ 諫早俊樹・藤原舞・岡島彩子・堤仁美・森本正一・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14: 診察室における附着した飛沫からの接触感染リスク評価、日本建築学会、2012年9月、名古屋大学

⑰ 藤原舞・岡島彩子・諫早俊樹・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13: 病室における附着した飛沫からの接触感染リスク評価、日本建築学会、2012年9月、名古屋大学

⑱ 岡島彩子・藤原舞・諫早俊樹・堤仁美・森本正一・田辺新一・堀賢・有賀隆男、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12: 模擬飛沫噴霧装置による飛沫の附着位置及び附着量把握、日本建築学会、2012年9月、名古屋大学

⑲ 藤原舞・岡島彩子・堤仁美・諫早俊樹・森本正一・田辺新一・堀賢・有賀隆男、医療・福祉施設における感染制御に関する研究 (第10報) 病室における附着した飛沫からの接触感染リスク・空気調和・衛生工学会・2012年9月・北海道大学

⑳ Ayako Okajima・Hitomi Tsutsumi・Shin-ichi Tanabe・Toshiki Isahaya・Takashi Ito・Shoichi Morimoto・Satoshi Hori・Takao Ariga, Transmission Characteristics of Coughed air using Cough Generator with Simulated Oral Airway, Healthy Buildings 2012, 2012.7, Australia

⑱ Ayako Okajima ・ Hitomi Tsutsumi ・ Shin-ichi Tanabe ・ Shoichi Morimoto ・ Satoshi Hori ・ Takao Ariga, Transmission Dynamics of Coughed Droplet Nuclei Investigated using Cough Generating Manikin with Simulated Oral Airway, 9I3M 2012, 2012.8, Tokyo

⑳ Hitomi Tsutsumi ・ Ayako Okajima ・ Mai Fujiwara ・ Shoichi Morimoto ・ Satoshi Hori ・ Shin-ichi Tanabe ・ Takao Ariga, Area and Amount of Deposited Cough Droplets Ejected by a Droplet Atomization Manikin, 9I3M 2012, 2012.8, Tokyo

㉑ 諫早俊樹 ・ 岡島彩子 ・ 伊藤隆 ・ 堤仁美 ・ 森本正一 ・ 田辺新一 ・ 堀賢 ・ 有賀隆男、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9: 飛沫核を想定した粒子による咳の伝搬特性把握、日本建築学会、2011年8月、早稲田大学

㉒ 岡島彩子 ・ 諫早俊樹 ・ 伊藤隆 ・ 堤仁美 ・ 森本正一 ・ 田辺新一 ・ 堀賢 ・ 有賀隆男、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8: 改良型模擬咳気流発生装置の開発・性能試験、日本建築学会、2011年8月、早稲田大学

㉓ 岡島彩子 ・ 諫早俊樹 ・ 伊藤隆 ・ 堤仁美 ・ 森本正一 ・ 田辺新一 ・ 堀賢 ・ 有賀隆男、医療・福祉施設における感染制御に関する研究（第7報）人体の口腔形状を再現した模擬咳気流発生装置による咳の伝搬特性把握・空気調和・衛生工学会・2011年9月・名古屋大学

㉔ Takashi Ito ・ Shin-ichi Tanabe ・ Toshiki Isahaya ・ Hitomi Tsutsumi ・ Fumihiko Shinoda ・ Satoshi Hori, Evaluation of Infection Risk by Coughed Air in Hospital : Simulation of Coughed Air Distribution Using CFD, Indoor Air 2011, 2011.6, USA

㉕ Toshiki Isahaya ・ Takashi Ito ・ Hitomi Tsutsumi ・ Fumihiko Shinoda ・ Shin-ichi Tanabe ・ Satoshi Hori ・ Shoichi Morimoto ・ Takao Ariga, Evaluation of Infection Risk by Coughed Air in Hospital : Measurement of Infection Risk Using the Human Cough Simulation Machine in a Medical Examination Room, Indoor Air 2011, Indoor Air 2011, 2011.6, USA

〔図書〕（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田邊 新一 (TANABE Shin-ich)

早稲田大学創造理工学部建築学科・教授

研究者番号：30188362

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：