

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22011

研究課題名（和文）高効率捕集性能を有する排気装置POL-CAPTUREの革新的開発手法に関する研究

研究課題名（英文）Radical development method of exhaust device of "pollutant capture" with high capture efficiency

研究代表者

山中 俊夫（Yamanaka, Toshio）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：80182575

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、様々な換気システムのなかから、局所的に発生した汚染質を効率的に排出することのできる局所排気装置に焦点を当て、様々な吸い込み口（フード）形状において、外乱（横風気流）が汚染質捕集性能に与える影響について、実験とCFD解析によって検討を行った。その結果、外乱気流下ではフランジ型フードが最も効率がよく、耐風性能に優れていることが明らかになった。また、横風気流と吸い込み気流の合成により、フードの捕集効率に影響を与える気流の簡易予測手法を開発することができた。さらに、局所排気装置と床面全面吹き出し空調を併用することで、感染症の感染を予防する診察室用換気システムの提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室内では様々な空気汚染物質が発生し、在室者の健康や快適性に重大な影響を及ぼすことがある。そのため、室内で発生する汚染質は、室内に拡散し拡がる前に、可能な限り速やかに、換気設備によって室外に排出しなければならない。また、その場合最も考慮しなければならないのが、外乱となる横風などの外乱気流であり、本研究は外乱気流の影響を正しく考慮し、効率の高い換気システムの設計方法を確立することを目的としており、優れたフード形状と全面床吹き出し空調との組み合わせなど、先進的な換気システムの性能を評価した上で、診察室に適した換気システムの提案を行い、学術的のみならず、社会的に大きな意義のあるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this study, "local exhaust system" is selected as an efficient system to eliminate the contaminant emitted locally inside room among many ventilation systems, and the effect of disturbing airflow in the room on the capture efficacy of contaminant was tested using full-scale experimental room. As a result, the flanged-type hood has the highest efficiency and quite durable to the crossing airflow along the flange face. In addition, a simple prediction method of suction airstream under crossing airflow was developed. Finally, the new ventilation system consisting of local exhaust hood with flange and whole floor supply was presented as an infection prevention system for a hospital consulting room, and the performance was tested by the full-scale experimental model and CFD analysis with standard k-ε model.

研究分野：建築環境工学

キーワード：局所排気装置 フード 外乱 実大模型実験 CFD解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

様々な用途の室空間において、いろいろな汚染質の発生があるが、それらが室内に拡散する前に、いかに効率的に捕集し排出するかが換気システムの重要な役割であるが、その換気システムの設計方法は実務的には確立されているものの、そのための基礎資料は必ずしも十分なものではなく、より高い効率を求める場合には、実験や高精度の流体解析などに頼らなければならなかった。また、実際の室内における気流が外乱となって捕集率の低下を招く場合があり、そのことが設計と実際の乖離を生む原因となっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、様々な換気システムのなかから、局所的に発生した汚染質を効率的に排出することのできる局所排気装置に焦点を当てて、その先端形状によって外乱（横風気流）に対する捕集率がどの様な特性を示すのかを CFD 解析や実験によって明らかにするとともに、そのメカニズムを解明し、より合理的な局所排気装置の設計手法を確立することを目的としている。さらに、具体的な室空間を想定し、局所排気装置の応用手法について検討することをもう1つの目的とした。

3. 研究の方法

研究の方法としては、以下の通り、段階的に様々な手法により、局所排気装置の性能の評価を行った。

(1) 吸い込み口形状が横風条件下における排気性能に及ぼす影響

外乱気流にさらされる局所排気装置の先端形状として、ダクトのみ、フランジ付ダクト、キャノピーフードの3種類を対象として、標準 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いた CFD 解析を行い、排気装置周辺の気流性状と発生した汚染質の吸引性状を明らかにし、局所排気装置の先端形状が外乱気流下における汚染質捕集にどのような影響を有するかを明らかにする。換気システムの性能評価としては、汚染質捕集率を用いる。

(2) 横風気流の影響を考慮した局所排気装置の捕集性能予測法

さらに様々な先端形状の局所排気装置を対象として、外乱気流下での捕集性能を実験と CFD 解析により評価することを試みる。形状としては、(1)ダクトのみ、(2)フランジ形、(3)キャノピーフード（箱形フード）、(4)テーパ型フード（60度）、(5)テーパ型フード（10度）の5種類とし、想定した汚染物発生源は、(1)等温球形発生源（直径10cm）と(2)加熱立方体（10cm角）の2種類とする。捕集性能は①と同様、汚染質捕集率とする。その上で、外乱気流下における汚染質の捕集性能を実務レベルで予測するため、基礎的データとなる外乱気流下での吸い込み気流場の簡易な予測手法の構築を行う。

(3) 診察室における感染予防対策としての局所排気システムの性能評価

高効率の局所排気装置を応用した換気システムの設計例として、病院の診察室で感染した患者から発生する新型コロナウイルスを含む飛沫核の暴露から対面する医師の感染を防ぐための換気システムとして、局所排気装置と床全面吹き出し空調との併用システムを提案し、その換気性能を実験と CFD 解析により検証する。

4. 研究成果

4. 1 吸い込み口形状が横風条件下における排気性能に及ぼす影響

図-1に示す通り、3種類の局所排気装置の吸い込み口形状を設定し、外乱条件として、0.1m/sの横風条件を設定し、標準 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる気流解析を行った。メッシュ数は300万～500万メッシュとした。なお、汚染質発生源はフード下端面の中心下1mの位置とした。

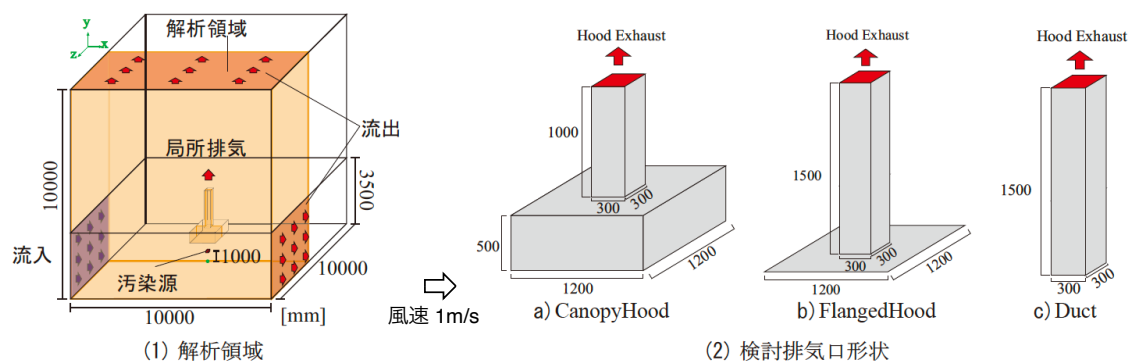
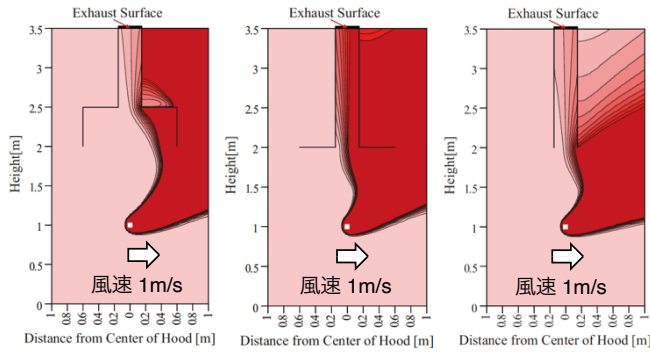


図-1 解析領域と検討対象排気口形状



(1) キャンピ型 (2) フランジ付 (3) ダクト型
 図-2 排気口周辺の汚染質濃度分布 (排気量 600m³/h)

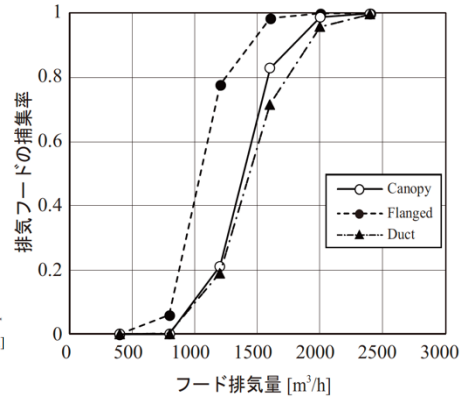


図-3 排気量と排気フード捕集率との関係

図-2 に、排気量 600m³/h における局所排気装置の排気口周辺における汚染質の濃度分布形状を示している。図-3 にはフードの排気量と汚染質の捕集率との関係を示す。フードの排気量が 600m³/h から 2000m³/h の間で、捕集率が 0 から 100%へと大きく変化していることがわかる。また、キャンピ型やダクト型に比較して、フランジ付の排気装置が最も捕集性能が良いことがわかる。捕集率が大きく減衰する排気量を限界排気量と定義すれば、キャンピ型とダクト型の限界排気量が約 2000 m³/h 付近であるのに対して、キャンピ型の場合は約 1600m³/h となり、捕集性能の差異を排気量で表現することができると言える。

4. 2 横風気流の影響を考慮した局所排気装置の捕集性能予測法

横風気流が局所排気装置の捕集率性能に与える影響をより詳細に検討を行うとともに、外乱となる横風気流の影響をより簡易に予測する手法の確立を目的として、横風気流下での換気実験を行った。図-4 に、横風を発生させるために用いた風洞の実験装置の配置を示す。また、用いたフードの形状を図-5 に示す。ここでは、4. 1 で用いたフード形状に加えて、テーパ型を 2 種類を追加している。風洞内に横風として、0.1~0.5m/s の風速を生じさせた条件下で、汚染質を発生させ、各横風風速下で発生汚染質の捕集率を測定した。なお、フードの排気量については、382m³/h に固定している。なお、汚染質発生源については、発熱のない等温球形発生源と 120W の発熱のある立方体アルミ箱の 2 種類を用いた。また、汚染質としては、トレーサガスとして、CO₂ を発生させた。

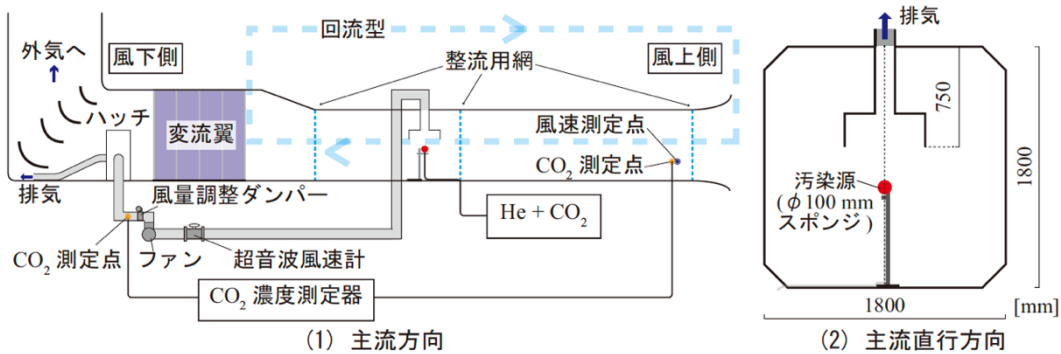
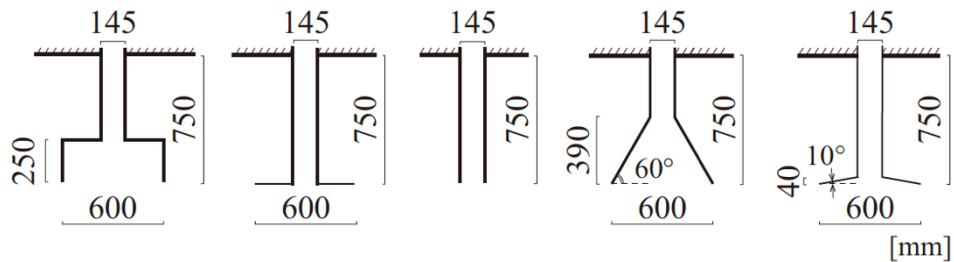


図-4 風洞断面図と実験装置配置



(1) キャンピ型 (2) フランジ型 (3) ダクト型 (4) テーパー型 60° (5) テーパー型 10°

図-5 各フード形状

実験より得られた捕集率について、横風気流風速とフードの汚染質捕集効率との関係を示したものが、図-6 である。等温球形汚染質発生源に対しては、フードと汚染質発生源の距離が 100mm では横風風速によらず、ほぼ 100%の捕集率となり、フードと汚染質発生源の距離が 500mm では横風風速が 0.2m/s でいずれのフードにおいても捕集率は 0%となるが、フードと汚染質発生源の距離が 300mm では、フードによって差異が顕著であり、捕集率が高いものから順

次に、フランジ型、テーパ型 10°、ダクト型、キャノピー型、テーパ型 60°の順となった。特に、フランジ形は、横風風速によらず、ほぼ 100% となっており、非常に捕集性能が高いことがわかる。

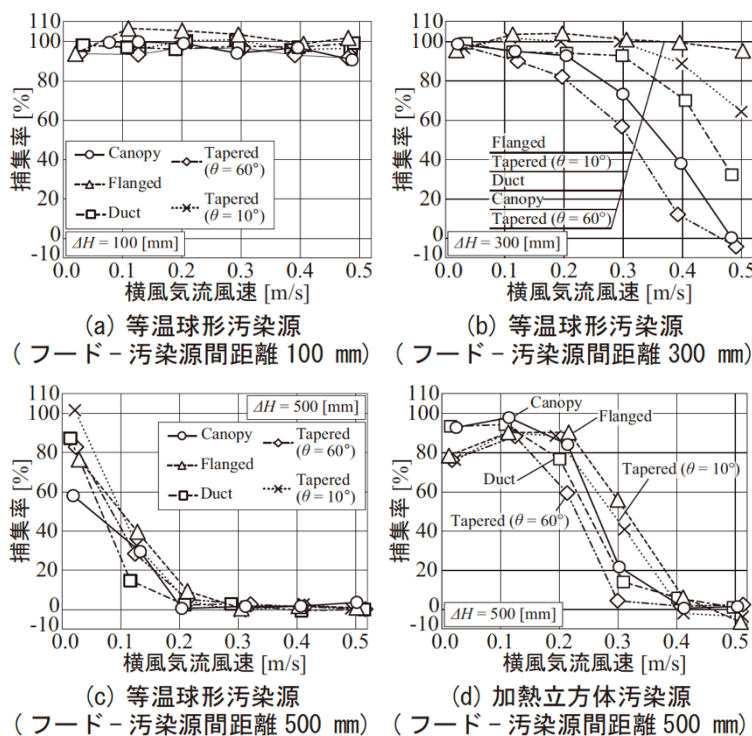


図-6 横風気流風速と汚染質捕集率との関係

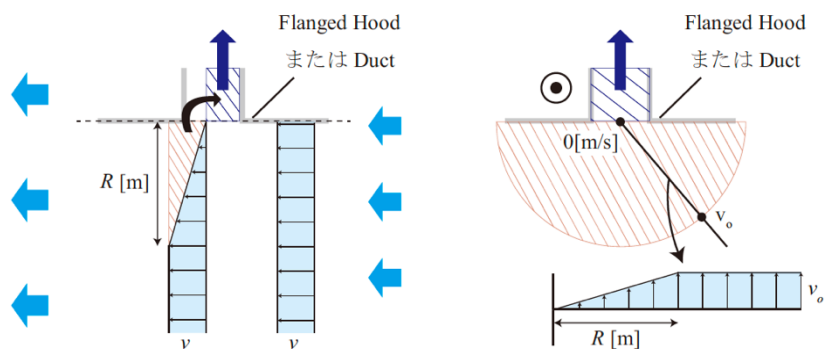


図-7 横風気流下での吸い込み気流予測手法の概要

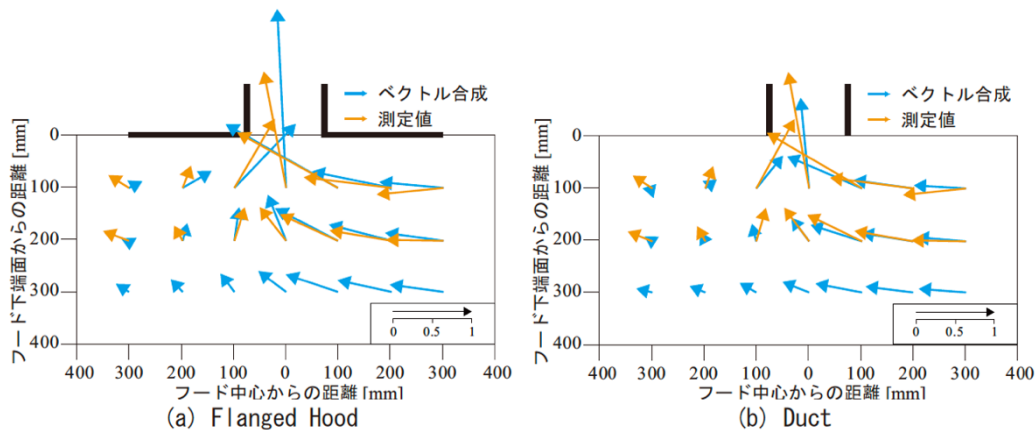


図-8 横風気流下での吸い込み気流予測結果 (フランジ型、ダクト型)

また、フードの捕集率を予測する上で、重要となるのが、気流分布であると考え、実務的なレベルで簡易に横風気流下でのフードの吸い込み気流を予測する手法について検討を行った。図-7に、横風気流下でフード吸い込み気流風速分布簡易予測手法の考え方を示す。ここでは吸い込み気流を最も単純な点吸い込み気流としている。フランジ型フードとダクト型の排気口につい

での予測結果と測定値との関係を図-8 に示す。図-8 よりいずれのフード形状に対しても、予測した風速ベクトルと実験値は概ね一致しており、簡易な手法ではあるが、実務的に目的としては可能性の高い予測手法であると言えることができる。残る課題は、汚染質の拡散を考慮した濃度分布の予測手法の確立である。

4. 3 診察室における感染予防対策としての局所排気システムの性能評価

4. 2 までの検討により、局所排気装置の吸込み口形状としては、フランジ型のフードが最も横風外乱に対して強く、捕集率が高いことが明らかになったことから、同局所換気を利用して診察室を対象として、換気効率が高く、患者と対面する医師の感染防止に効果的と考えられる換気システムとして、床全面吹き出し空調（床染み出し空調）との組み合わせによる高効率換気システムを考案し、その換気性能を実験と CFD から明らかにすることを試みた。

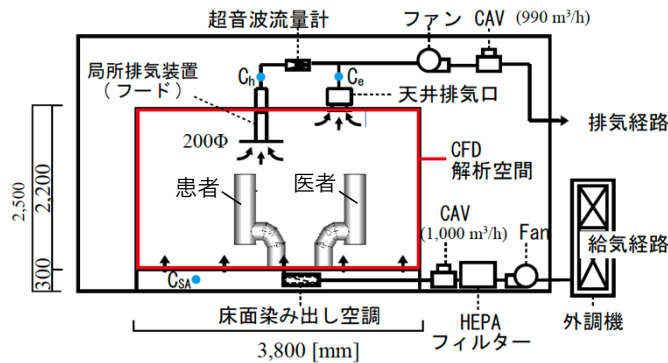
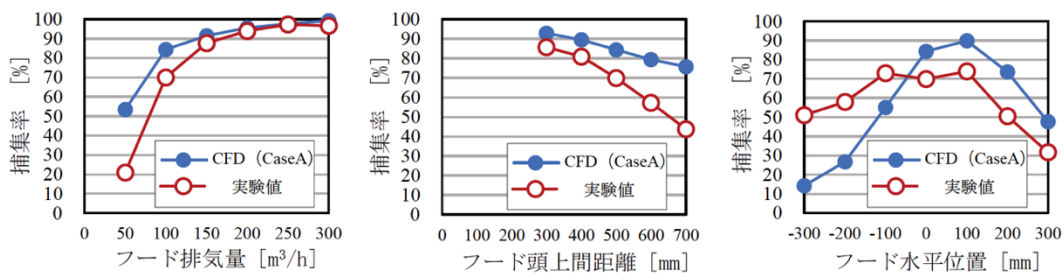


図-9 診察室での局所排気と床面染み出し空調との併用システム実験装置



(a) パラメータ：フード排気量 (b) パラメータ：フード-頭上距離 (c) パラメータ：フード水平位置

図-10 フード排気量・フード頭上距離・フード水平位置と捕集率との関係

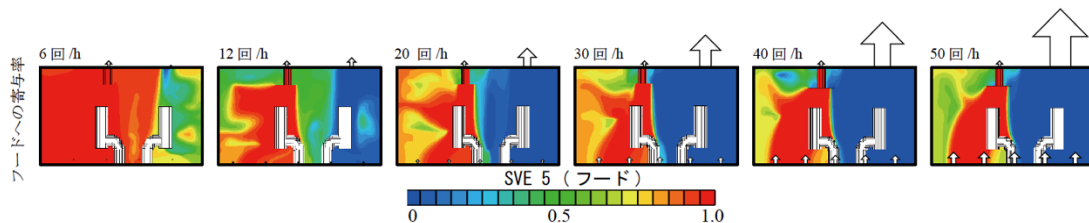


図-11 各全体換気回数におけるフード寄与率 SVE5 の分布（フード排気量：100m³/h）

図-9 に診察室の感染予防のために提案する局所排気と床面染み出し空調（床面全面吹き出し空調）を併用した換気システム実験室の概要を示す。本システムは給気量とフランジ型フードの局所排気量と、天井排気口からの排気量を個別に制御をすることができるシステムである。患者（図中左）と医師は円筒形を基本とした発熱量 75W の模擬人体×2 とし、患者の口の位置から、トレーサーガス（CO₂）を発生させ、フードの捕集率を測定した。また、標準 k-ε モデルによる CFD 解析を行い、各パラメータと捕集率との関係を図-10 に示す。これらの関係から、フード排気量を 200m³/h 以上とし、フード位置は患者の頭上 30cm、水平位置は 0 から医師方向に 10cm 以下とすることで、感染リスクを低く抑えることができることがわかる。また、図-11 は、フードの排気量を 100m³/h とした上で、全体の換気回数を変化させた条件でフードの勢力範囲を示す換気効率指標である SVE5 の分布を示したものである。図より、医師と患者が異なる排気口の勢力範囲に入るためには、少なくとも 20 回/h の換気回数が必要であることがわかる。

本研究により、横風などの外乱気流が捕集率に与える影響を明らかにすることができ、その気流場の簡易な予測モデルの開発を行うことができた。また、診察室を例として、室内気流場を考慮した局所排気システムの設計例を示すことにより、局所排気装置の有効な利用方法に関して、重要で価値ある知見が得られたものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木悠太, 山中俊夫, 小林知広, 崔ナレ
2. 発表標題 高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究 (第2報) 吸い込み口形状が横風条件下における排気性能に及ぼす影響
3. 学会等名 令和2年度空気調和・衛生工学会大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小森 美晴, 山中 俊夫, 小林 知広, 崔 ナレ, 小林 典彰, 鈴木 悠太
2. 発表標題 高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究 (第3報) 横風風速及びフード形状が汚染物捕集性能に及ぼす影響
3. 学会等名 令和2年度(第50回)空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小森 美晴, 山中 俊夫, 小林 知広, 崔 ナレ, 小林 典彰
2. 発表標題 横風気流下における局所排気装置の汚染物捕集性能に関する研究 (その1) 実験による汚染物捕集性能の検討
3. 学会等名 令和3年度日本建築学会 近畿支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小森 美晴, 山中 俊夫, 小林 知広, 崔 ナレ, 小林 典彰
2. 発表標題 横風気流下における局所排気装置の汚染物捕集性能に関する研究 (その2) フード形状及び汚染源の発熱の有無が汚染物捕集性能に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木悠太、山中俊夫、小林知広、崔ナレ
2. 発表標題 高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究(第2報)吸い込み口形状が横風条件下における排気性能に及ぼす影響
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会(福井)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木悠太、山中俊夫、小林知広、崔ナレ
2. 発表標題 局所限界風量比を用いた排気フードの設計手法に関する研究 (Part1) 通過気流が汚染物の捕集性状に及ぼす影響に関する検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木悠太、山中俊夫、小林知広、崔ナレ
2. 発表標題 高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究(その1)CFDを用いた局所排気装置の捕集性能の評価
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会 第49回近畿支部学術研究発表会(大阪)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小森美晴, 山中俊夫, 小林知広・崔ナレ, 小林典彰
2. 発表標題 高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究 (第5報) 横風気流条件下におけるフード下部気流予測モデルの検討
3. 学会等名 令和3年度空気調和・衛生工学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	袁 継輝 (Yuan Jihui) (10781437)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	
研究分担者	崔 ナレ (Choi Narae) (10826481)	大阪大学・工学研究科・特任助教(常勤) (14401)	
研究分担者	小林 知広 (Kobayashi Tomohiro) (90580952)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	小林 典彰 (Kobayashi Noriaki) (60880656)	大阪大学・工学研究科・技術職員 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------