

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18626

研究課題名（和文）イノベーション創出を支援する実験室デザインを目指した実験室リスク評価軸の探索

研究課題名（英文）Exploration of laboratory risk assessment axes for laboratory design to support innovation creation

研究代表者

根津 友紀子（NEZU, YUKIKO）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任助教

研究者番号：00746779

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、「実験行動解析」と「実験室環境解析」を二つの柱とし、実際に実験が行われている現場を科学的手法によって解析をし、イノベーション創出と安全の両立を支援する実験室リスク評価軸の探索や実験室のデザインのあり方について検討を行った。実験作業中のトラブルを解析することにより、モノの扱い方によってそのリスクが変動することが示された。一方で、動線解析により、実験室の環境条件によって経路選択に影響が与えられること、また、実験者の室内移動に関する気流解析により、換気設備の守備範囲との関係解析の必要性が明らかになった。このように、実験室デザインには実験行動と実験室環境を統合的に捉える必要があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、事故の低減を目的に事件事例解析や化学物質の濃度測定については、多くの検討されてきているが、個々の実験作業や実験中の動線といった具体的な実験行動について解析は行われていない。また、実験室を一つのシステムとして捉えると、実験者の行動が実験環境に影響を与えていることは明らかであるが、これらの関係を包括的に解析した例はない。本研究では、実験中の動線情報や実験器具の破損情報から、実験中のリスク評価軸を明らかにし、室内気流を実験者の行動と統合的に解析した点で意義深い。また、これらは研究機関の実験室におけるイノベーション創出と安全の両立を支援するための共通の知見となるため、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In this research, we analyzed the actual laboratories where experiments were conducted by scientific methods, and explored the laboratory risk evaluation axes and laboratory design that can support both the creation of innovation and safety, with “experimental behavior analysis” and “laboratory environment analysis” as pillars. By analyzing the “troubles” during the experimental work, it was shown that the risk varied depending on how things are handled. On the other hand, flow line analysis showed that the route selection was affected by the environmental conditions of the laboratory. Airflow analysis of the experimenter's indoor movement revealed the necessity of analyzing its relationship with coverage of the ventilation equipment. These results indicate that laboratory design requires an integrated view of experimental behavior and laboratory environment.

研究分野：環境安全

キーワード：実験行動解析 動線解析 気流解析

## 1. 研究開始当初の背景

平成16年の国立大学の法人化以降、大学は運営・研究費等の獲得の自助努力をする一方、教職員の人員削減も着々と進め、どこも人員不足に陥っている現状は否めない。学術研究の発展のためには、実験中の安全を確保しながら、大学の研究環境を維持していくことと、一方で少ない人員で研究のパフォーマンスを落とさず、イノベーションを創出していくためには、研究環境の最適化への努力は必須である。そのためには、研究が遂行される実験室という環境が、その中で作業する研究者に与える影響を系統的に理解することが肝要であるが、実験室をそのレイアウトだけでなく、中で作業する研究者の行為・行動を包括的に捉える必要がある。

そこで、実験室の包括的理解と最適化を目的として、研究環境の直接的な阻害要因となるリスクに焦点を当てることに着眼した。具体的には、まず学生実験を対象として、学生の実験行動の解析をし、次に実験室内での化学物質の拡散に大きく影響を与えている気流環境について、実際の実験中の人の行動情報に基づき、その影響を実測・計算の両面から検討することにより、実験室内でのリスクを低減するような実験者の行動デザインに資するデータを取得する。これらの基礎的な検討から、実験研究を行う研究実験室におけるリスク、実験室デザインについて検討可能となることが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では、実験室の包括的理解と最適化を目的として、まず研究環境の直接的な阻害要因となるリスクに焦点を当てる。そのための方針として、人側の要因としての「実験行動解析」と、場の要因としての「実験室環境解析」の二つを柱とし、実際に実験が行われている現場の状況を科学的手法によって定量的に表現するとともに、その解析を通じて、イノベーション創出と安全の両立の支援する実験室リスク評価軸の探索や実験室のデザインのあり方について検討を行う。

## 3. 研究の方法

人に関する「実験行動解析」と、モノに関する「モノの扱われ方解析」、場に関する「実験室環境解析」の三つを柱としてそれぞれを検討し、実験者、実験内容、実験室におけるリスク評価軸の探索を行った。

### 3-1 実験行動解析

#### 3-1-1 模擬実験室における動線解析

実験者の実験中におけるルート選択において、実験室の環境がどのような影響を与えているかを検討するために、各条件における作業者の動線情報を取得し、解析を行った。具体的には、島形に2つの実験台が配置された模擬実験室を用いて、実験室内の各地点間の移動の際に選択する経路を調べる被験者実験を行った。具体的には、実験室を3×3に分割し、被験者は1つのエリアに到達するたびに次の目的地に移動するよう指示される。1人あたり合計30回のエリア間移動を指示し、各移動で被験者が実際に選択した移動経路をすべて記録し、全員学生の被験者7人の合計1,830回の移動に基づいて、エリア間で各経路が選択される割合を、移動確率として算出した。また、定点に障害物として椅子に座る人を置いた実験や、通路幅を狭くした実験も行い、各障害が経路選択に及ぼす影響についても調べた。

#### 3-1-2 VR実験室における視線解析

一般的な実験室の3Dモデルで作成し、Unity上にVR(Virtual Reality)実験室に作製した。部屋の大きさ、明るさ、モノの着色、不安全状況の再現など、様々な状況の実験室を作成し、学生および安全管理者に実験室内を歩行してもらった。その際、被験者には視線解析機能付きVRゴーグルを着用してもらった。得られるデータは、被験者の室内を見た際の座標(x,y,z)の情報であり、そこから、見た場所、モノを同定し、解析を行った。

#### 3-2 モノの扱われ方解析

作業内容や作業時間等が比較的明確で、実験技量が同等な学生が同じ実験に従事する学生実験を対象とし、実験中に破損した実験器具の補充データをトラブルの発生指標として利用することを試みた。具体的には、各作業中の時間および従事人数当たりの器具の破損数をその作業におけるトラブル(TF)率と定義し、各科目(有機化学、無機化学、物理化学、分析化学)ごと、有機化学実験における合成、精製、蒸留などの要素作業ごとのTF率を算出した一方で、各実験中の事故の発生率も同様に算出した。解析年数は2007年から2014年の7年分である。

#### 3-3 実験室環境解析

化学実験室における化学物質のばく露リスクを低減するために、局所排気装置、換気扇を有した一般的な部屋の1/10モデルを作製して気流解析実験を行った。検討項目は、CFD(Computational Fluid Dynamics)計算による1/10スケールモデルの再現性に関する検討、縮尺モデルを用いた部屋全体の気流性状の実測(Particle Image Velocimetry(PIV)解析)とCFD計算の比較、PIV解析による人の縮尺モデルを用いた実験室内気流への人の影響評価である。

## 4. 研究成果

### 4-1 実験行動解析

通路の幅が一定で、途中に障害物がない場合には、ほぼ100%で地点間の最短ルートが選択され、目的地まで等距離のルートが2つある場合は、ほぼ同じ確率で選択されることが確認された。また、部屋の対角線にあるエリアへの移動では、等距離のルートが3つ存在することになる

が、実際には、真ん中の通路を通る（すなわち2回曲がるが必要となる）ルートはほとんど選択されず、右折・左折の回数が多いルートは選ばれにくい傾向が観察された。一方、最短経路の途中に障害物としての人が存在する場合、必ずしも最短経路を選択せず、障害者を避けるために回り道をする傾向が顕著であり、経路上の人の存在が作業者の移動経路選択に大きな影響を与えることが示された。

通路幅を変化させた場合の経路選択への影響を図1に示す。通路幅80cmの等距離の2つのルートが選択可能で、片方のルートの幅を狭くした場合（図1の●）、片方のルートの通路幅を80cmから70cm程度に狭くしても選択への影響は少ないが、さらに通路幅を狭くすると狭い方のルートを選ぶ人の割合が減少することがわかった。同様に、迂回ルートが通路幅80cmの場合（図1の■）、短いルートの通路幅を70cm程度に狭めても、ルート選択率にはほとんど影響しない、つまり通路幅の狭いルートが選択的に選ばれることがわかった。しかし、短経路の通路幅をさらに狭くすると、短経路の選択率も低下する。通路幅が55cmになると、迂回路の選択率と短縮路の選択率がほぼ等しくなった。この結果は、通路幅が経路選択に大きな影響を与えることを示し、リスクの少ない実験室のレイアウト設計において貴重な情報となることが期待される。

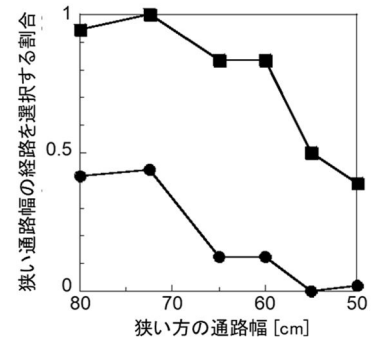


図1 通路幅が経路選択に及ぼす影響  
●：2経路が等しい移動距離の場合  
■：迂回路の通路幅が80cmの場合

得られた各地点間の移動経路選択の割合を経路選択確率として組み込んだシミュレータを作成し、同時在室者数や通路幅を変化させた場合の作業者間の接触頻度への影響を計算した。計算では、各人が主な作業を行う装置が部屋の外周部にあり、それ以外の部分に分析装置やシンク、試薬庫などの共用設備があるとした上で、部屋の作業時間の約80%を主装置のある場所で、残り20%を分析装置やシンク、試薬庫などの共用設備のある場所で過ごすとして仮定した。「重複頻度（1000ステップあたりで複数の人と同時に同じエリアにいる回数）」および「通過頻度（1000ステップあたりで他の人が存在するエリアを通過する回数）」の同時作業数依存性を図2に示す。通過頻度は人数の増加にほぼ比例するのに対し、重複頻度は人数の増加に伴い二次関数的に増加する結果となった。また、設備のある場所と共有設備のある場所を部分的に入れ替えた場合、人数の増加に伴う頻度の増加傾向は変わらないが、増加の大きさは仮定するシナリオによって若干変化した。これらの結果は、

実験室内で同時に作業する人数や各装置・機器の配置によって、実験者間の人的接触頻度が変化することを示しており、作業者間の不用意な接触や化学物質の非意図的曝露など、実験室内の共有や人の動きに伴うリスクを防ぐための設計指針に役立つ知見が得られた。

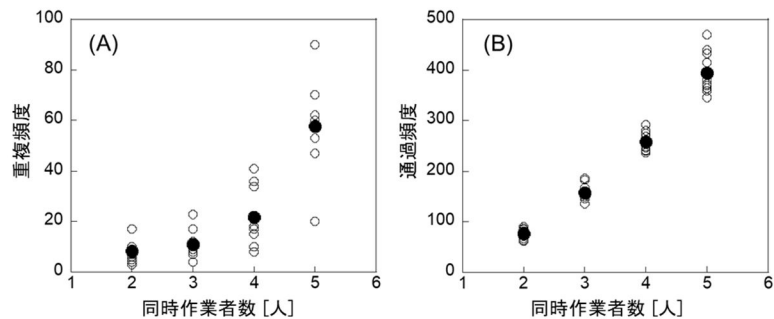


図2 重複頻度(A)および通過頻度(B)の同時作業数依存性

一方で、実際の実験室を対象にして、模擬実験室と同様に移動指示を出して動線解析を実施したが、そのプロセスにおいて、実際の実験室の環境影響要素が多く、このまま実際の実験室で検討することが困難であると考え、試行的に実験室環境条件を容易に作製、変更できるVirtual Realityを使った実験室を作製し、その中で被験者に歩行をしてもらい視線解析の検討を行った。部屋の大きさを小さくし、実質的に通路が狭くなった条件においては、被験者の視線は下向きになる、部屋が暗くなった場合は、明るい時と比較してモノを見る時間が長くなる、実験室内に置いてある大きなワゴンや試薬瓶の小さな蓋を赤に着色した場合は、誘目性が格段に上がることが示唆された。これらの結果はいずれも単独の条件での検討であるため、複合的になった場合に、どの程度大きな影響を被験者に与えるかはまだ明らかではないが、実験室環境が視覚に影響を与えることが示唆されたことで、実験者の視線をコントロールし、より安全な実験室の構築のための手法の開発に応用することが期待される。

#### 4-2 モノの扱われ方解析

図3に、各年における有機化学のTF率に対して、無機化学、物理化学、分析化学のTF率をプロットした図を示す。正の相関が見られることから、有機化学でTF率が高い場合は、他の科目の実験においてもTF率が高く、大学に入学した年度ごとにトラブルが発生しやすい集団か、そうではないかが傾向として明らかにすることが可能であることが示唆された。またここでの近似曲線の傾きは、有機化学に対して各実験の相対的な実験の難しさ、切片は人の特性には依存しない実験特有のトラブルの起きやすさを示していると考えられ、実験の内容毎にトラブルの起きやすさを指標化することが可能であると期待される。次に各有機実験において使用される500mLのビーカーのTF率を比較しました(表1)。その結果、水素化還元より重合化の実験の方が、TF率が3倍も異なることが明らかになった。このように、同じ道具であっても実験によって発生するトラブルの頻度は異なることから、道具自体の危なさではなく、扱われ方によってそのリスクが異なることを数値データとして示すことが明らかになった。従って、実験のリスクアセスメントを行う上で、その扱い方を数値指標として活用されることが期待される。

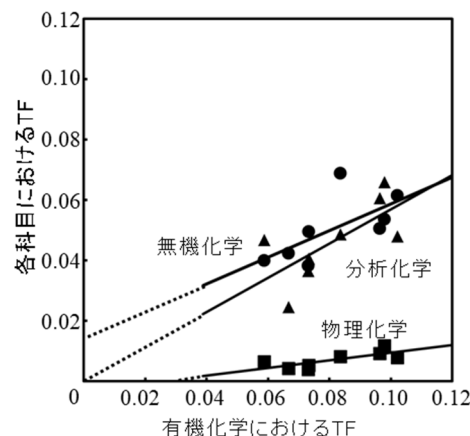


図3 有機実験に対する各科目のTF率

表1 各有機実験に対するTF率

| 化学反応     | TF                   |
|----------|----------------------|
| ビニル酢酸の重合 | $1.5 \times 10^{-2}$ |
| 水素化還元    | $5.0 \times 10^{-3}$ |
| 全ての実験の平均 | $1.7 \times 10^{-3}$ |

### 4-3 実験室環境解析

CFD計算により、対象とする実験室の解析場において、フルード数による相似則を適用して決定した局所排気装置や換気扇の吹出口吸込み口の速度条件での計算結果により、フルスケールの結果が、概ね1/10スケールの計算結果と一致することを確認した。次に、実測により、換気扇を稼働させた状態で、1/10スケールモデルとフルスケール実験室の気流を確認したところ、換気扇の吹出口周辺の気流は、同様の傾向を示したため、1/10スケールによってフルスケール実験室内の気流の再現が可能であることが示された。

実験室の気流環境において、人の影響を検討するために、模型内に人形を入れて移動させ、その際の気流の変化をPIV解析により明らかにした。まず、換気設備が何も稼働していない状態で、FH前まで人形が0.64 m/sのスピードで移動し、そのまま停止した状態から10秒経過しても気流は初期条件には回復はしなかった。次に、FH稼働時に、同様にFHに向かって人形が0.64 m/sのスピードで歩行をし、FH前で人形が停止した場合、その約10秒後にはFHの排気による流れが回復することが示された(図4)。別の条件として、FHの前を人形が通り過ぎた場合も、

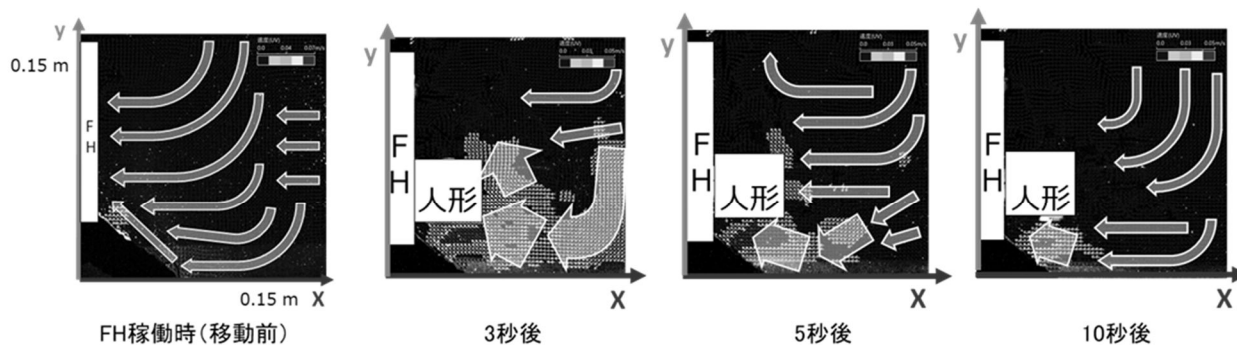


図4 FHへ向かって人形が歩いた場合の気流の変化

その約10秒後にはFHの排気による流れが回復したため、FHが稼働した場合のFH近傍の気流の口バスト性の高さが示唆された。一方で、何も換気設備が稼働していない場合の気流の結果から、FHから離れた場所はFHからの気流影響は少ないため、廃液タンクや分析装置など化学物質の発生源となり得るものの配置によっては、非意図的ばく露を発生させる可能性があることが示唆された。

### 4-4 まとめ

このように、実験室の環境が実験者の行動に与える影響、逆に実験者の行動が実験室に与える影響の両面から、実験室のリスク評価軸の探索および実験室デザインのあり方について検討した。実験室のリスク評価軸は、実験者が行う実験作業に大部分が存在するものと認識しており、

今回学生実験を対象として、モノの扱い方によってそのリスクが変動することが示されたことから、モノの危なさに特化した化学物質のリスクアセスメントという手法だけでなく、その扱い方を含めた新しいリスク評価手法の開発が期待される。一方で、直接的な実験作業だけではなく、実験室における実験者の行動を対象とし、動線解析を行ったことにより、実験室の環境条件によって最短経路を回避、実験者同士の接触回数の増加などの影響が出てくることが明らかになった。また、実験者がいる条件での気流解析結果から、換気設備の守備範囲を実験室全体を包含する形で明らかにすることが可能であることが示された。今後、動線への環境影響要因の関係を詳細に検討し、整理することで、実験室設計段階において、人の立ち入りを極力制限したい、逆にこのルートを積極的に使って欲しいなどといった意図に合わせて、動線をコントロールすることで、環境設計だけでは対策することが難しい実験室のリスクを回避するための方法論として確立することが期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima  | 4. 巻<br>12          |
| 2. 論文標題<br>Analysis of Troubles during Experiments in order to Develop Suitable Risk Assessment Methods for Experimental Work in University Laboratories | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Environment and Safety  | 6. 最初と最後の頁<br>29-31 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11162/daikankyo.E20PROCP23   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima  | 4. 巻<br>10          |
| 2. 論文標題<br>Visualization of activity in university laboratory for experimental accidents/incidents prevention using non-empirical approach | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Environment and Safety  | 6. 最初と最後の頁<br>45-47 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11162/daikankyo.E18PROCP46   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Rina Yamaguchi, Yukiko Nezu, Atushi Nishida, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima  | 4. 巻<br>10          |
| 2. 論文標題<br>Risk analysis based on the relationship between characteristics of experimental works and indoor airflow in experimental laboratories | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Environment and Safety  | 6. 最初と最後の頁<br>41-44 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11162/daikankyo.E18PROCP44   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-           |

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima   |
| 2. 発表標題<br>Analysis of Troubles during Experiments in order to Develop Suitable Risk Assessment Methods for Experimental Work in University Laboratories |
| 3. 学会等名<br>The 7th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL2020)（国際学会）  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kazuki Yoshimoto, Reiya Ota, Yukiko Nezu, Yoshito Oshima   |
| 2. 発表標題<br>Analysis of flow lines of experimenters in the laboratory and development of mathematical models |
| 3. 学会等名<br>The 7th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL2020) (国際学会)                |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉本 一貴, 太田 礼哉, 根津 友紀子, 大島 義人 |
| 2. 発表標題<br>実験室の作業者動線の解析と動線シミュレーターの開発   |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第十回研究成果発表会  |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>根津 友紀子, 宮崎 隆文, 山本 仁, 大島 義人 |
| 2. 発表標題<br>大学実験室におけるリスク要因可視化手法の開発     |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第十回研究成果発表会 |
| 4. 発表年<br>2021年                       |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人        |
| 2. 発表標題<br>大学実験室内の化学物質濃度変化に対するパターン解析  |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第九回研究成果発表会 |
| 4. 発表年<br>2020年                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉本 一貴, 飯塚 啓太郎, 根津 友紀子, 大島 義人 |
| 2. 発表標題<br>実験者行動予測のための実験者動線の数理解         |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第九回研究成果発表会   |
| 4. 発表年<br>2020年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人                |
| 2. 発表標題<br>実験作業にフィットしたRA手法の構築を目指した作業中トラブルの定量化 |
| 3. 学会等名<br>日本化学会 第100春季年会 (2020)              |
| 4. 発表年<br>2020年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima  |
| 2. 発表標題<br>Visualization of activity in university laboratory for experimental accidents/incidents prevention using non-empirical approach |
| 3. 学会等名<br>The 5th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL2018) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Rina Yamaguchi, Yukiko Nezu, Atushi Nishida, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima  |
| 2. 発表標題<br>Risk analysis based on the relationship between characteristics of experimental works and indoor airflow in experimental laboratories |
| 3. 学会等名<br>The 5th Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL2018) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山口 里奈, 根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人        |
| 2. 発表標題<br>1/10スケール模型を用いた実験室の気流環境に対する人の影響の解析 |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第八回研究成果発表会        |
| 4. 発表年<br>2019年                              |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>飯塚 啓太郎, 根津 友紀子, 大島 義人      |
| 2. 発表標題<br>合理的な実験室計画のための実験者動線の解析      |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第八回研究成果発表会 |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>根津 友紀子, 林 瑠美子, 山本 仁, 大島 義人 |
| 2. 発表標題<br>RFIDを用いた実験室における化学物質の動態解析   |
| 3. 学会等名<br>研究実験施設・環境安全教育研究会第八回研究成果発表会 |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 山本 仁<br><br>(YAMAMOTO HITOSHI)<br><br>(20222383) | 大阪大学・安全衛生管理部・教授<br><br><br><br>(14401) |    |

6. 研究組織（つづき）

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                            | 備考 |
|-------------------|---|--|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 大島 義人<br><br>(OSHIMA YOSHITO)<br><br>(70213709) | 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授<br><br><br><br><br>(12601) |    |

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 |
|---------|---------|
|         |         |