

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12371

研究課題名(和文) 大学実験室の特殊性に鑑みた合理的なリスク評価軸の探索

研究課題名(英文) Research of practical risk evaluation axes of laboratories incorporating the essential characteristics of research works in University.

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・特任研究員

研究者番号：00746779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、大学における研究の本質的な特徴に鑑みた実験室の合理的なリスク評価軸の探索を目的とする。実際の実験室における化学物質の移動や置く場所といったデータ取得から化学物質の流れに関する解析や、実験室の全体を気流解析することによる化学物質の空間的な拡散に関する検討、実際に起きた実験中のトラブル事例の解析を行った。その結果、実験者の行動を含めた化学物質の取扱い方に関する特徴や実験室の気流特性を明らかにし、ガラス器具の払出し簿を活用したトラブル事例解析が実験作業の具体的なリスクを明らかにするのに有効であることを示した。これらの知見は、大学の実験研究特有のリスク評価軸の抽出に役立つものとして期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to find the practical risk evaluation axes of laboratories associated with the essential characteristics of research works in universities. In order to clarify the potential risks in experimental laboratories, the following case studies were carried out: (1) tracking of chemical reagent bottles in a chemical laboratory, (2) analysis on airflow and chemical diffusion in laboratory, (3) trouble analysis during instructional laboratory classes in university. From these investigations, we elucidated the characteristics of chemical usage associated with experimenter behavior, and obtained basic features of airflow in laboratory. We also clarified that the trouble analysis using the record of glassware breakage is an effective method for extracting the risks in practical experiments. These findings are expected to contribute to the extraction of practical risk evaluation axes inherent to the research laboratories in university.

研究分野：実験安全、気流解析、化学物質濃度測定

キーワード：リスクアセスメント 実験作業 化学物質拡散

1. 研究開始当初の背景

大学の実験室では、複数かつ多数の実験者がそれぞれのテーマに基づいた実験を、空間を共有しながら行っている。また実験という作業は、新規性、先端性の高い研究テーマを扱い、試行錯誤を要する作業を行うため、産業界と比べて非定常作業の割合が格段に高いという特徴を持つ。既往の研究[1]によると、国内のある大学で過去 10 年間に発生した化学物質に関する事故は、目や皮膚への接触による薬傷 (約 57%)、引火・火災 (約 15%)、環境漏洩 (約 10%)、吸引による体調不良 (約 2%) と報告されており、この割合は全国の大学で類似の傾向であると言われている。

一方、厚労省を中心に作業場のリスクアセスメント (RA) を実施することが推奨されており、特に化学物質を使用する作業場においては平成 28 年 6 月までに義務化された。この厚労省による化学物質使用作業場の RA は、「化学物質の有害性」「物理的形態 (揮発性/飛散性)」「取扱量」の 3 つの要素情報からリスクの程度をランク分けしているが、この手法は、定常作業主体で各作業が空間的に分離されている工場等を中心に考えられており、大学の実験室の特徴である実験室空間の共有や実験作業の非定常性、さらには曝露以外のハザード (薬傷、火災、漏洩等) を数値化してリスクに盛り込むことが極めて難しいのが現状である。またこれまでに、大学実験室の空間共有性や実験作業の非定常性を念頭においたリスク評価の検討例はほとんど無い。実際の実験室における実験作業や実験環境の実態を具体的なデータとして明らかにし、大学実験室の特殊性を鑑みた合理的なリスク評価軸の形で明示することは、実験研究活動の安全に関する喫緊の課題である。[1]山本仁, 環境と安全, 5(3), 143-147(2014).

2. 研究の目的

既存の RA では、大学の実験研究の特徴である実験作業の非定常性と実験室の共有性が考慮されておらず、また曝露リスクに重点が置かれ、それ以外のハザードのリスク評価をすることが困難である。そこで、本研究では、大学における研究の本質的な特徴に鑑みた実験室の合理的なリスク評価軸の探索することを目的とする。具体的には、実際の実験室における化学物質の移動や置かれる場所といったデータ取得から化学物質の流れに関する解析や、実験室の全体を気流解析することによる化学物質の空間的な拡散に関する検討、実際に起きた実験中のトラブル事例の解析を行う。このようなこれまでリスク解析の対象とされていなかった部分を新たに解析することによって、より大学実験室の実態に即したリスクを合理的に見積もるためのリスク評価軸を抽出、大学をはじめとする研究機関における新しい RA 手法の提案に直結する知見を得る。

3. 研究の方法

(1) 実験室における化学物質の取扱い方解析

実際の実験室では試薬瓶、洗瓶、ガラス器具に収められた化学物質が使われており、これらがどのように取扱われるかを解析することは、暴露ハザード以外について検討することが可能となる。化学物質の移動には Radio Frequency Identification (RFID) システムを使用した。実際の実験室を対象に、使われている試薬瓶、洗瓶に RF タグを添付し、実験室内での位置情報を時間ごとに記録した。これらの情報から、化学物質ごとの移動履歴や、場所ごとの存在率を算出し、定常的な実験室における化学物質の存在分布の定量化を試みた。

(2) 共有空間である実験室の気流解析

①CFD シミュレーションによるヒュームフード(FH)と FH 給気のレイアウトの変化による気流への影響の検討[雑誌論文①]

実験什器等も配置された実際の実験室に近い状況を再現した条件で、FH 給気の位置を変化させた条件と化学物質を発生させた条件で計算した。

②フルスケールおよび 1/10 スケールモデル実験室を用いた室内気流解析

実際の実験室では、局所の気流を直接測定することは可能であるが、部屋全体の気流を計測することは容易ではない。そこで、フルスケール実験室 (図 1 7.0×7.2×5.0 m) を投影したモデルを作成し、レイアウトの影響等を検討した。検討にあたり図 2 に示すように、フルスケールの計算 (CFD) と実測 (風速計、レーザーによる気流の可視化および画像解析手法 PIV: Particle Image Velocimetry) の比較、1/10 スケールでの計算と実測の比較、最終的にフルスケールと 1/10 スケールの実測の比較を行った。実際の実験室と 1/10 サイズモデルの気流条件を揃えるために、アルキメ

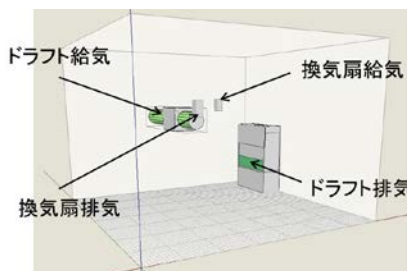


図 1 対象実験室の概略図

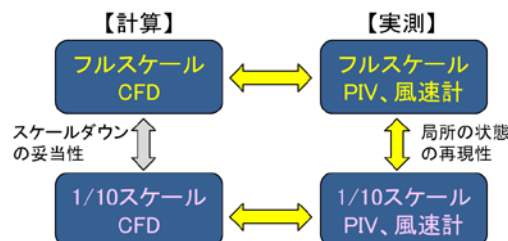


図 2 研究の方針

デス数を用いた相似則に基づいて換気設備の流量を設定した。

(3) 学生実験室におけるトラブル事例解析

実験室における事故は、頻度的に少なく、事故の個性が高いことから、事故事例から事故の本質的な原因やメカニズムを探ることは極めて難しい。そこで、学生実験のシナリオや実験作業内容毎の総作業時間数や従事人数などの情報が高精度で得られる学生実験を対象とし、実験シナリオとトラブル事例を照らし合わせて解析した。解析対象はある大学の理学部化学科 2、3 年生の学生実験（有機、無機、物理化学、分析化学）で、2007～2014 年の 8 年間における、破損、紛失によって払い出された器具の種類および数である。

4. 研究成果

(1) 実験室における化学物質の取扱い方解析

RFID を用いて、実際の実験室の稼働状況の中で化学物質の流れの追跡を試みた。具体的には、RFID 機器を試薬庫に設置し、試薬の出入庫の記録を取得した。また、RFID 機器を実験室内各所に配置し、実験室内のどこに試薬瓶・洗瓶が置かれたかを記録した。試薬の出入庫の記録から、試薬の保管状況の傾向が抽出でき、対象研究室においてはすぐに保管庫へ返却されケースと、30 分以上出庫されているケースの 2 つに大別された。これらを保管庫ごと、試薬の用途ごとに細かく解析を行うと、実験の都合で出入庫のタイミングが決まっていることが見いだされた。次に、実験室内での試薬の置かれる場所は、大部分は実験台に 1 度は置かれる結果となり、その中で実験台を経由して別の場所で使用されるといった、実験台がハブ的役割を示していることが明らかになった。このように、実際の実験室における試薬の動態の定量的データにより、化学物質管理システムなどでは追跡できない実験室内の化学物質の取扱い方に関する特徴が明らかになるとともに、非正常作業や実験室を共有していることによるリスクの抽出に有用な知見となることが期待される。

(2) 共有空間である実験室の気流解析

①CFD シミュレーションによる FH と FH 給気のレイアウトの変化による気流への影響の検討[雑誌論文①]

FH 給気の配置を FH の直前という配置(配置 Q)と、そこから直線的に 300 cm 程度離れた場所に設置(配置 P)した場合について、室内気流を解析した。その結果、直前に給気がある配置 Q の場合はすぐに FH へ排気されるが、離れた場所に FH 給気が設置された配置 P は、室内を空気が巡った後に排気される結果となった。この状況の中、FH 脇に廃液タンクを想定して、アセトンが拡散させたところ、配置 P の場合、前述の気流に従い、室内全体に

アセトンが拡散する結果となった。このように、給排気のレイアウトが部屋全体の気流や化学物質の拡散、濃度分布に大きく影響するため、正確なリスクアセスメントには(換気扇も含めて)給排気的位置についての検討が不可欠であることが示された。

②フルスケールおよび 1/10 スケールモデル実験室を用いた室内気流解析

(I)フルスケールにおける計算と実測の比較

FH および換気扇を稼働した実験室内で、150 cm 高さ、9 か所に風速計を設置し、計測した値と CFD で計算した同じ個所の風速を比較した結果、同程度の風速値であった。一方で、PIV 解析による換気扇給気口直下およびその近隣の床面上では、渦の形成が観察されたが、CFD 計算では観察されなかった。

(II)1/10 スケールにおける計算と実測の比較

フルスケールと同様に、FH と換気扇を稼働した 1/10 スケール実験室内で、換気扇給気口直下の床から 5, 10, 20 cm の風速値を計算と実測で比較したところ、同程度の値を示した。一方で、PIV 解析結果(図 3)と CFD 計算結果を比較したところ、全体の気流の流れる方向は概ね一致しているが、フルスケールと同様に、PIV の結果では換気扇給気口直下および床近傍では渦の形成が確認されたが、CFD 計算結果(図 4)では渦の形成は確認されなかった。これらの結果から、化学物質の拡散挙動の推定をするためには、計算によって推定が可能な現象と実測でしか得られない現象があり、精度向上のためには実測と計算の両輪で検討していく必要性が示された。

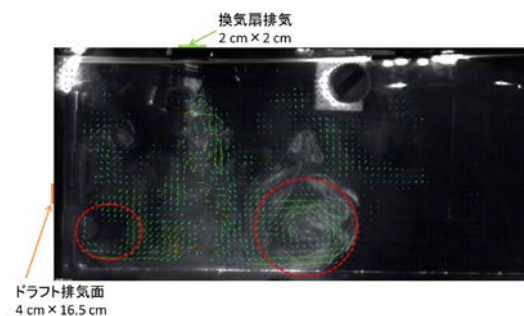


図 3 PIV 解析結果 (1/10 スケールモデル)

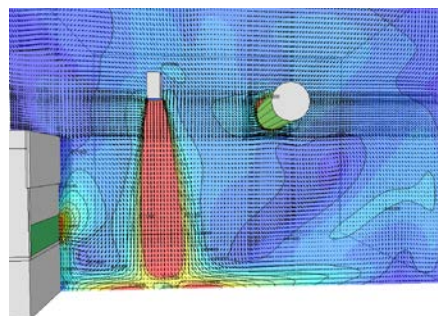


図 4 CFD 計算結果 (1/10 スケールモデル)

(III) フルスケールおよび 1/10 スケールの実測の比較

PIV 解析では、フルスケールおよび 1/10 スケールの両方で、換気扇給気口直下の床近傍での渦形成が確認された。渦の縮尺、また生成から消失等の時間スケールの比較は行っていないが、渦が形成されるという傾向は同一であり、その点においてはフルスケールを投影した 1/10 スケールモデルを製作できた。今後はフルスケール実験室での FH や換気装置のレイアウトの変更による気流への影響と 1/10 スケールモデルでの再現性を詳細に検討する。

これら (I)～(III) の結果から実験室全体の気流を理解することが可能となり、実験室を複数人で共有することによる非意図的な暴露を防ぐための化学物質拡散挙動について精度よく予測可能となることが期待される。

(3) 学生実験におけるトラブル事例解析

約 88.8% がガラス器具による破損・紛失であった。これらのデータを事故率 (1 式) とトラブル率 (2 式) を定義し、その割合を算出したところ、事故率：トラブル率=1：24 となり、概ねハイインリッヒの法則と同程度の値を示した。このことは、払出簿の解析がトラブルの発生状況を議論する上で、ある程度有効な手法であることを示唆していると考えられる。

$$\text{事故率} = \frac{\text{事故の数}}{\text{実験者の数} \times \text{実験時間}} \dots (1)$$

$$\text{トラブル率} = \frac{\text{トラブルの数}}{\text{実験者の数} \times \text{実験時間}} \dots (2)$$

また、各実験のトラブル率の比較を図 5 に示す。どの年も 3 年生の後半 (3rd year CE2) におけるトラブル率が上昇しているが、学年が上がるほどに実験経験が増えることを考慮すると、これは実験が難しくなっていると推定される。さらに、実験中に破損・紛失した器具の種類とその数について年度ごとに示す (図 6)。各年度で共通に破損・紛失しているものは、実験手順に主に影響を受け、各年度で破損・紛失にバラツキが生じているものは、実験者に主に影響を受けていると考えられる。

このように、払出簿の解析が、実際の実験現場におけるトラブル事例の解析にある程度有効であることが確認された。またこのような手法を用いて、手順のどこで破損したかという情報を取得することによって、手順側の要因や実験者側の要因を分けて考えることが可能となり、より詳細にリスクアセスメントをすることが可能になることが示された。

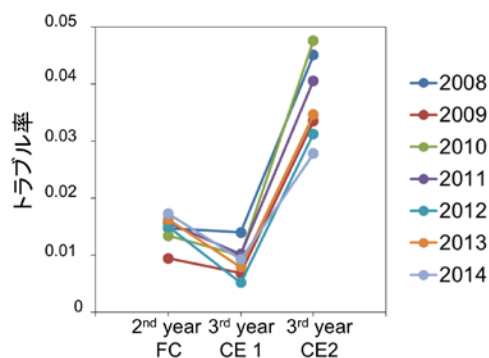


図 5 学年ごとのトラブル率

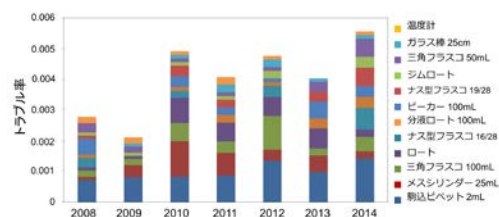


図 6 器具ごとのトラブル率

(4) まとめ

各々の検討により、実験の特徴に鑑みた RA に必要となる評価軸についての知見が得られた。このような個々の検討を統合的に解釈すると、実験室での化学物質の移動、使用、保管場所といった情報と室内気流の情報を組み合わせることで、よりリスクを低減した実験室の条件を抽出可能となる。また、既存の RA は使用する化学物質に主眼が置かれているが、これは定常作業を前提とするためであって、作業の非定常性や作業側側の任意性が高い実験のリスクアセスメントにおいては、実験作業内容や実験者側の要因においても考慮に含める必要性が示された。

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 1 件)

① Katsunori Uneme, Yuki Nabeshima, Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima, "Analysis on the relationship of laboratory layout and air environment in shared places", *Journal of Environment and Safety*, **8**(2), 53-56, 2017 (査読有). DOI: <https://doi.org/10.11162/daikankyo.E16PROCP29>

[学会発表] (計 10 件)

① 根津 友紀子, 林 瑠美子, 山本 仁, 大島 義人, センシング技術を用いた実験室利用実態の可視化の重要性, 研究実験施設・環境安全教育研究会第七回研究成果発表会 (2018).

② 山口 里奈, 根津 友紀子, 西田 淳, 山本 仁, 大島 義人, 1/10 スケールモデルを用いた大学実験室の気流環境の解析, 研究実験施設・環境安全教育研究会第七回研究成果発表

会(2018).

③采女 勝紀, 根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人, 大学実験室の特殊性を考慮した実験室空気環境に関する解析, 研究実験施設・環境安全教育研究会第六回研究成果発表会(2017).

④ Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima, " Analysis on Experimental Troubles in Instructional Laboratory Classes in University", Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (ACSEL) 2017 & 3rd NUS Safety, Health and Environment Conference (2017) .

⑤鍋島 優輝, 根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人, 大学実験室の特殊性を考慮した実験室空気環境に関する解析, 研究実験施設・環境安全教育研究会第五回研究成果発表会(2016).

⑥根津 友紀子, 山本 仁, 大島 義人, 学生実験における器具払出データからのトラブル事例解析, 研究実験施設・環境安全教育研究会第五回研究成果発表会(2016).

⑦Katsunori Uneme, Yuki Nabeshima, Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima, " Analysis on the Relationship Laboratory Layout and Air Environment in Shared Places", The 3rd Asian conference on Safety and Education in Laboratory(2016).

⑧Yoshito Oshima, Yukiko Nezu, and Hitoshi Yamamoto " Assessment and Management of Chemical Risks in Academic Laboratories (3) - Observations behavior of chemical reagents in a chemical laboratory-", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015.

⑨Yukiko Nezu, Yuki Nabeshima, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima, " Assessment and Management of Chemical Risks in Academic Laboratories (2) - Influence of laboratory layout on airflow in university laboratory -", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015.

⑩ Hitoshi Yamamoto, Yukiko Nezu and Yoshito Oshima, " Assessment and Management of Chemical Risks in Academic Laboratory (1)-Important factors for risk assessment in chemical laboratories-", The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015.

6. 研究組織

(1)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・特任研究員

研究者番号 : 00746779

(2)研究分担者

大島 義人 (Oshima Yoshito)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・

教授

研究者番号 : 70213709

山本 仁 (Yamamoto Hitoshi)

大阪大学・安全衛生管理部・教授

研究者番号 : 20222383