

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25242014

研究課題名(和文) 自律型研究人材育成を目指した安全教育・管理システムの提案

研究課題名(英文) Proposal of Safety Education and Management System for Human Resource Development of Autonomous Researchers

研究代表者

大島 義人(Oshima, Yoshito)

東京大学・新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：70213709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,300,000円

研究成果の概要(和文)：大学等の研究教育現場において、実験者が作業に存在するリスクを自立的に最小化し、適切な作業環境で活動することを支援するための、合理的かつ実効的な安全管理・教育システムを提案することを目的とした。実験事故発生メカニズムを明らかにするための実験作業の行動科学的解析、各種センサー、測定機器等を用いた化学物質の使用実態調査、自主的リスク管理の醸成を目指した安全管理チェック手法の確立、レジリエンスとフレキシビリティが両立する実験室設計、留学生・外国人研究者に関する安全管理・教育の実態調査、安全教育ツールとしての実験シミュレーションコンテンツの開発について検討し、安全管理・教育システムの構築へと展開した。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted to propose a reasonable and effective safety education system so that researchers themselves can minimize the risks involved with their work, and to help provide an appropriate working environment at institutions where research education is conducted. We have conducted behavioral science analysis on lab work to clarify the mechanisms that cause accidents in the lab, and investigated the conditions where chemical substances are used by employing various sensors and measurement equipment. To expand the safety management/education system we are building a safety management check method which fosters voluntary risk management, designing labs for both resilience and flexibility, surveying the actual safety management and education for international students and foreign researchers and considering the development of experiment simulation as a tool for safety education.

研究分野：環境システム工学

キーワード：科学教育カリキュラム 環境安全学 実験研究 安全配慮型人材

1. 研究開始当初の背景

科学技術立国を支える理工学研究の推進において、実験研究現場の安全確保が前提であることは言うまでもない。国立大学等の法人化に伴い、労働安全衛生法に対応するための安全衛生管理体制が整備されつつあるが、実験に伴う事故の発生件数や事故内容を見る限り、実際の実験研究の現場において安全な作業環境が十分に整備されているとは言えない現状がある。そもそも学術研究の新規性や先端性、そして教育の場であることに鑑み、大学等の実験研究現場における安全管理には、定常作業、大量生産を前提とする労働安全衛生とは本質的に異なる新しい手法が必要である。また、研究分野の多様化や学際的融合が進む中で、対象や目的、手法等の異なる様々な研究が安全に実施されるためには、画一的なトップダウン型安全管理手法には限界があり、学生を含む個々の研究者による規則や規制の遵守にとどまらない自主的・自律的なリスク管理の姿勢が必要である。申請者は平成 15～17 年度文部科学省科学研究費特定領域研究「環境安全学の創成と教育プログラムの開発」の計画研究を通じ、実験現場において実験者自らが主体的にリスク評価を行うこと、ならびにそれを支援する具体的ツール開発の重要性を明らかにした。これを受け、平成 21～23 年度同基盤研究 A「実験研究現場の自発的リスク管理を支援するリスク評価ツール及び教育プログラムの開発」では、実験研究者が自らの実験の危険性や環境リスクを自発的に認識できるような、合理的かつ実効的なリスク評価支援ツール及び環境安全教育プログラムを提案してきた。これらの成果を拡張し、研究現場の実情や教員と学生の関係を中心に据え、その関係の中での問題点を明らかにした上で、ユーザーの安全感覚を醸成しつつ研究現場の安全向上に資するための、新しい安全マネジメントシステムの構築が重要であるという着想に至った。

このシステムの開発において、教育的な効果が加味されたものでなければならないことも非常に重要な観点である。大学等の研究教育機関は、学術研究の推進とともに、次世代を担う若い研究者に対して、安全配慮の重要性を充分理解させて、社会に輩出する責務を負っている。構成員の多様性や、研究の先端性・個別性・自主性といった複雑な事情を有する大学等の研究教育機関において、研究のアクティビティを落とすことなく安全配慮ができる人材を育成するためには、各構成員が自らの研究に伴うリスクを正確に把握し、それをコントロールできるようになるための教育が不可欠であり、組織としての安全管理においても、自律的リスク管理を前提としながら、各専門分野に対応可能なフレキシビリティを考慮した、研究教育機関独自の管理・教育一体型マネジメントシステムが必要となると考えた。

2. 研究の目的

大学の実験研究では、科学技術の基盤を支える研究の自由な発展を目指すとともに、環境配慮・安全確保・法律遵守を満足させつつ、その過程で高度な技術力と安全配慮姿勢を身に付けた人材を育成するという、単純ではない命題を負っている。産業界の事故事例解析や安全管理のあり方については数多くの既往研究があるが、大学の実験研究は、最先端の研究を通じて高度な人材の基礎を育成するという産業界とは明らかに性質の異なるものであるにもかかわらず、大学固有の事情を考慮した合理的な安全管理・教育手法については未だ確立されていない。本研究は、大学などの研究教育現場において、学生を含む実験研究者が、自らの作業に存在するリスクを自律的に最小化する姿勢を涵養し、適切な作業環境で実験研究活動を実施することを支援するための、合理的かつ実効的な安全管理・教育システムを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験事故発生メカニズムに関する行動科学的解析

作業に対する作業因子の相互作用の観点から、具体的な実験作業について被験者実験を行い、統計解析を用いて実験作業の特徴による分類とパラメータ化を行い、危険発生を生じうる要因について行動科学的に解析した。

(2) 化学物質の使用実態の把握と合理的管理・教育手法の提案

実際の実験現場における化学物質の使用実態をセンサー機器、ヒヤリング、アンケートにより調査し、実験者の化学物質に対する知識（性質や危険性など）や技術（扱い方、正確性など）を実験作業内容と関連付けて解析した。一方で、実験室環境を濃度測定器やレーザーを用いて、化学物質濃度状況や気流環境を解析することにより、化学物質を扱う実験室の安全に留意すべき点について検討した。

(3) 自主的リスク管理の醸成を目指した安全管理チェック手法の確立

実験室環境の安全度に対する評価指標を得ることを目的として、多くの実験室に設置されている局所排気装置の利用について、ヒヤリングおよび写真撮影により実態を調査し解析した。また、衛生管理者巡視の指摘項目の推移と事故事例を照らし合わせることで、実験環境の自己・相互点検評価が可能となる手法について検討した。

(4) レジリアンスとフレキシビリティが両立する実験室設計に関する検討

多くの実験室で利用されている局所排気装置の利用実態の調査結果をもとに、機能的な設備配置や実験者の健康と安全への配慮、設備配置のフレキシビリティなどの観点から改良を加えることによって、事故や災害に

対する実験室の被害・損害の最小化とロバスト性向上に向けた合理的指針を策定した。

(5) 留学生・外国人研究者に関する安全管理・安全教育指針の提案

留学生や外国人研究者の実験安全に関わる現状調査、諸外国の安全教育手法に関する実情調査などを通じ、言語や文化の違いを考慮した実効的な安全管理・教育手法について検討するとともに、実験環境の危険性を直感的に伝えられるユニバーサルなピクトグラムを提案するための実態調査を実施した。

(6) 安全教育ツールとしての実験シミュレーションコンテンツの開発

単なる基本的な実験知識や実験技術の伝達ではなく、実験に携わる研究者の安全に関する想像力や安全配慮の啓発に主眼を置き、具体的な体験的学習教材として、実験作業を対象としたシミュレーションコンテンツを開発した。

4. 研究成果

(1) 実験事故発生メカニズムに関する行動科学的解析

実験事故発生メカニズムに関する検討として、まず実験作業の特徴に基づく分類とパラメータ化に着手した。具体的には基本的な実験作業、水の秤量操作および中和滴定操作を対象とした被験者実験を行い、各作業を特徴付ける因子を統計手法によって抽出し、作業結果を作業者の特性と作業の特徴との関係性から説明する数式モデルを作成した。

まず水の秤量操作が「調整」、「プランニング」といった成分パラメータで構成されていることを統計的に明らかにし、これらのパラメータ値から行動結果を記述する数理モデルを作成した。同様な手法を用いて、実験研究を行っていくうえで必要不可欠な探索的な学習に着目し、中和滴定をモデル作業とした被験者実験を行い、数理モデルによる解析を行った。中和滴定操作の繰り返しの中で、滴定量を見つけた後の結果と、始めから秤量値が分かっている水の秤量操作の結果を比較したところ、最終的な滴定量が分かった後は、水の秤量操作と同じように操作していることが示された。これらのことから作業の類似性に関する作業者認識を数理モデルを用いて解析することが可能であり、作業者が誤りを犯しやすい要因を明らかにできる可能性が示された。

(2) 化学物質の使用実態の把握と合理的管理・教育手法の提案

化学物質の利用実態を明らかにするために、実際の実験室の様子を定点カメラで撮影、RFIDシステムによって化学物質(試薬・洗瓶)の移動情報を取得、実験者における個人ばく露測定を行った。特に化学系の実験室で使用頻度の高い洗瓶について解析を行った。その結果、一回の使用量は少量であるが、実験だけでなく実験の片づけにおいても局所排気装置外で使用されることが多く、洗瓶利用の

安全指針について別途検討する必要性が示された。

また、化学物質の利用実態調査対象を複数の研究室に拡張し、ヒヤリングや行動観察等を行い、実験室中の試薬や廃液等の保管場所や、作業者の動線に関する情報等を整理した。試薬の種類や使用量、研究内容によって、いくつかのパターンに整理できることが示された。

一方で、レーザーや粒子イメージ流速計測法 (Particle Image Velocimetry) を用いて実際の実験室における気流データを取得し、実験室内に設置されている局所排気装置、換気扇に起因する複合的な気流環境の解析を行い、これらのレイアウトによって生じる排気効率の低下について詳細に検討を行った。その結果、室内に置かれている廃液タンクやサンプル等から発生する溶媒蒸気が室外へ排出されにくい状況を作り出す可能性が示唆された。

(3) 自主的リスク管理の醸成を目指した安全管理チェック手法の確立

実験室環境の安全度に対する評価指標を得ることを目的として、大阪大学内のすべてのヒュームフード(約 1000 台)について、実地調査と写真撮影を行った。使用形態の分布を調査し、装置等が固定的に置かれているもの、多目的に実験で使用するもの、廃溶媒等有害蒸気の発散防止に使われているものなどに分類した。

現場における安全管理のチェック項目を抽出するために、複数大学の安全チェックシート等の内容の確認と、大阪大学における衛生管理者巡視の指摘項目の推移を 7 年間分、月別でまとめ、大学で起こる事故の情報などと照らし合わせることで、現場で必要な安全チェック項目について精査した。

(4) レジリアンスとフレキシビリティが両立する実験室設計に関する検討

安全で快適な実験室を構築するために、実験室内に 6 面体構造のフレーム構造を構築し、室内のフレキシビリティ、気流、耐震という 3 要素の同時向上について検討を行った。実験設備はすべてそのフレームの柱や梁へ固定することで実験者の安全を確保し、給排水等の配管、照明設備、電気配線、給排気設備ダクトなどは、フレーム外間隙を利用することで実験台や局所排気装置など実験室内設備のレイアウトの自由度を確保するものである。このような空間において実際に実験研究を行ってもらい、利用実態に則した実験室環境を実現できるかについても検討を行った。

実験室内の気流解析については、(2) の検討項目の結果も踏まえ、実際に使用されている実験室利用状況から、レイアウトの変化、実験室扉の開閉やドラフトサッシの開閉、複数の作業者が実験室にいる状況での化学物質の使用など、実験室内の非定常性や共有性といった大学実験室に特有な状況を抽出し、

CFD シミュレーションによる気流解析、化学物質拡散への影響を検討した。これらの検討から、非定常性が室内の換気効率を低下させる可能性や、実験室共有による同室者への化学物質のばく露の要因について明らかにできる可能性が示された。

(5) 留学生・外国人研究者に関する安全管理・安全教育指針の提案

外国人の留学生・研究者を対象にアンケートを愛媛大学で試行後、初めての全国調査を実施し、日本の大学における安全衛生管理及び教育が欠如している現実を明確にした。留学生や外国人研究者への対応のために、海外の大学における安全衛生管理・教育体制等について、豪州クイーンズランド大学、シンガポール国立大学、ミャンマーの大学において実態調査を行い、外国人の留学生・研究者への対応において留意すべき点を整理した。

一方で、英語による外国人向けの教育プログラムの試行を実施した結果を基に、教材および教育プログラムの開発を進めた。また、教育手法としてのeラーニングの有効性について、国大協の安全教育教材「大学生のための安心安全講座」のeラーニング化(日本語)を行い、一般に公開した。またそれとともにeラーニングの外国人向けの教育手法としての有効性について検討した。

また、現在一般に使われている実験に関するものから日常生活に使われているピクトサインの通用性について、日本人および留学生を対象に調査した。特に、危険を示すGHSサインについては、日本人外国人を問わず誤解や理解できないサインがあることが明らかになり、異言語圏の外国人に危険性を直感的に伝えられるピクトサイン等のデザインについて検討する必要性を明らかにした。

(6) 安全教育ツールとしての実験シミュレーションコンテンツの開発

大阪大学でこれまで紙ベースで実施している、学生や教職員の危険意識を醸成することを目的としたブラインドシミュレーションのソフトウェア化を行い、複数のプレイヤーがネットワークを通じて同時に参加し、参加者間でチャットによる意見交換を行えるような安全教育ツールのシステムを構築した。

実験室のレイアウトをする時に、立体的な視点で俯瞰的に、完成後の実験室をイメージしながら安全な実験環境を有する実験室の計画を目的として1/20スケールの実験室の模型を作成した。CCDカメラを人の視点で撮影すれば通路幅や必要なスペースを、また模型内にスモークを導入すれば実験室内の気流を視覚化できるなど、安全教育用コンテンツとしての利用を検討した。また実験室内だけでなく災害時の建物避難について、3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフトを用いてシミュレーションを行った。これらの結果をもとに避難上の問題点を抽出・改善するとともに、建物の在室者に避難シミュレ

ーションしてもらおうための教育ツールとしての活用を目指した。

高圧ガスの使用を擬似的に体験できる教育ツールを作成し、安全講習で実際に使用して受講者らとディスカッションを行った。

化学実験室における火災と消火方法について、有機溶媒への引火、禁水性物質と水との反応、実験台や着衣に実際に火がついたらといった現象を、また二酸化炭素消火器や粉末消火器を使った消火についても実際の様子を映像に収めることによって、教育的効果の高いシミュレーション動画コンテンツを作成し、一般に公開した。

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12件)

- (1) 小淵 喜一、大島 義人、実験安全評価のための作業者特性の数値化 中と滴定操作を例とした実験操作における探索的学習についての数理的解析、環境と安全(査読有)7(1),2016,3-10、DOI:http://doi.org/10.11162/daikankyo.15G1001.
- (2) 山本 仁、大学にフィットした合理的な化学物質リスクアセスメントのあり方、環境と安全(査読有)6(3),2015,165-168、DOI:http://doi.org/10.11162/daikankyo.15C0903
- (3) Yuki Nabeshima, Yukiko Nezu, Hitoshi Yamamoto and Yoshito Oshima, Analysis on the Influence of Laboratory Design and Operations on Airflow in Experimental Laboratory, Journal of Environment and Safety (査読有), 6(2),2015,111-114, DOI:http://doi.org/10.11162/daikankyo.E14PROCP18.
- (4) Ai Shuhara, Yoshito Oshima, Survey on Actual Status of Usage of Fume Hood in Experimental Laboratories, Journal of Environment and Safety (査読有), 6(2),2015,107-109, DOI:http://doi.org/10.11162/daikankyo.E14PROCP17.
- (5) Ruth Vergin, Kazutaka Itoh, Toshiro Tanaka, The present state of lab safety education for international graduate students in Japanese National Universities and its implications, Journal of Environment and Safety (査読有)6(2),2015,79-80, DOI:http://doi.org/10.11162/daikankyo.E14PROCP012.
- (6) Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, Case study of experimental behavior analysis in an academic

chemical laboratory using fixed-point observation via web cameras, Journal of Environment and Safety (査読有) 5(2),2014,99-105, DOI:http://doi.org/10.11162/daikan kyo.E14RP0601.

〔学会発表〕(計 28 件)

- (1) 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 5 回研究成果発表会、2016 年 3 月 12 日、東京大学、東京都文京区本郷
- (2) 百瀬 英毅、高橋 賢臣、山本 仁、高圧ガスについての安全教育用コンテンツ作成について、研究実験施設・環境安全教育研究会第 5 回研究成果発表会、2016 年 3 月 12 日、東京大学、東京都文京区本郷
- (3) Toshiro Tanaka, Ruth Vergin and Kazutaka Itoh, A survey of the validity of pictograms for Lab Safety, 2nd Asian Conference on Safety and Education in Laboratory (国際学会), December 1-2, 2015, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.
- (4) 富田 賢吾「大学の研究現場における「安全」」日本化学会北海道支部 2015 年度 環境・安全講習会 (招待講演) 2015 年 10 月 7 日 北海道大学、札幌(北海道)
- (5) Kiichi Obuchi and Yoshito Oshima, Profile analysis on experimenters' behaviors in Titration Operation by Mathematical Method, 1st Asian Conference on Safety and Education in Laboratory, November 28-29, 2014, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.
- (6) Yukiko Nezu, Rumiko Hayashi, Yoshito Oshima, Direct Observation of Experimental Behavior and Treatment of Chemical Substances in Academic Chemical Laboratory, 1st Asian Conference on Safety and Education in Laboratory, November 28-29, 2014, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan.

〔その他〕

ホームページ等

大学生のための安心安全基礎講座

<https://moodle2x.lms.ehime-u.ac.jp/course/view.php?id=2123>

化学実験室における火災と消火方法に関するシミュレーションコンテンツ

URL:http://www.oshimalab.k.u-tokyo.ac.jp/japanese/research/environment_safety.html

html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

山本 仁 (YAMAMOTO HITOSHI)

大阪大学・安全衛生管理部・教授

研究者番号：20222383

(3) 研究分担者

伊藤 和貴 (ITOH KAZUTAKA)

愛媛大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50253323

(4) 研究分担者

Ruth Carol Vergin

愛媛大学・国際連携推進機構・教授

研究者番号：50284394

(5) 研究分担者

林 瑠美子 (HAYASHI RUMIKO)

東京大学・環境安全本部・助教

研究者番号：50508421

(6) 研究分担者

田中 寿郎 (TANAKA TOSHIRO)

愛媛大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60171782

(7) 研究分担者

富田 賢吾 (TOMITA KENGO)

名古屋大学・環境安全衛生推進本部・教授

研究者番号：70422459

(8) 研究分担者

百瀬 英毅 (MOMOSE HIDEKI)

大阪大学・安全衛生管理室・准教授

研究者番号：80260636