

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601  
 研究種目：基盤研究（A）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21240068  
 研究課題名（和文） 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  
 研究課題名（英文） Development of risk evaluation tools and educational programs  
 for self-motivated risk management at experimental laboratories  
 研究代表者  
 大島 義人（OSHIMA YOSHITO）  
 東京大学・大学院領域創成科学研究科・教授  
 研究者番号：70213709

## 研究成果の概要（和文）：

大学などの実験研究現場において、学生を含む実験研究者が自らの実験作業のリスクや危険性を自発的に認識し、適切な作業環境での実験作業を支援するための合理的で実効的なリスク評価支援ツール及び教育安全プログラムの開発を目的とした。事故災害防止のための集合教育資料、化学物質リスク情報取得サイト、溶剤使用に起因する環境負荷の評価支援のフレームワーク、火災事故体感教材の素材、地震対策の実験室内設備チェックリストを作成し、また、人移動による気流乱れの影響評価、安全意識の潜在因子の抽出、実験作業の作業工程の類似性に基づく分類手法について検討した。

## 研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to develop reasonable and effective supporting tools for risk evaluation and educational programs on safety at experimental laboratories. The tools and programs was aimed for leading experimental operators to recognize experimental risks of their own will and for helping to realize appropriate experimental environment. Through this study, we developed an analytical method for case of experimental accidents, a summarized information database of chemicals, an assessment method for environmental impact, a resource for educational materials on fire accidents, and a safety checklist for devise in laboratories as earthquake countermeasure. It was also discussed that impact evaluation of airflow caused by movement of persons, extraction of safety awareness, and classification method for experimental operations.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	19,900,000	5,970,000	25,870,000
2010 年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2011 年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
総計	36,800,000	11,040,000	47,840,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、科学教育

キーワード：環境安全・実験研究・大学・安全教育・教育プログラム・リスク評価・支援ツール・事故事例解析

## 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、実験研究現場の環境安全が確保さ

れることが前提となることは論を待たない。大学や研究所の法人化に伴い、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、実際の実験研究の現場においては、実験に伴う事故の発生件数や事故内容を見る限り、安全状況が著しく改善されたようには感じられず、環境安全の理念が具現化した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に鑑み、実験研究現場の環境安全管理には、定常作業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なリスク管理の姿勢が必要である。一方で、現実的には、限られたスペース、人的、経済的リソースの不足といった大学特有の事情があり、環境安全に対する配慮規範を構築する上で、これらの実情を前提としたものでなければ実効的な規範にはなり得ない。

このような複雑な事情を抱える研究実験現場の安全においては、実験者自らの主体的にリスク評価、ならびにそれを支援する具体的なツール開発が非常に重要となる。すなわち、研究教育機関である大学において、自らが行う実験研究の適切な実験研究環境で安心して研究に没頭することができるためには、教育の受け手である個々の作業者が環境安全を自分の問題として捉え、自発的に考えるようになるための仕掛けとして、合理的かつ実効的で具体的な教育プログラムやツールによる支援が必要であるという結論に至った。

一方、このようなプログラムやツールの開発において、教育的な効果が加味されたものでなければならぬことも非常に重要な観点である。使用者が犯しやすいミスを予測し、不注意による事故を未然に防いでくれる安全対策技術の向上は、事故防止の観点からは有効であるかもしれないが、ユーザーがそれに頼り危険を意識する必要がなくなることによって、実験作業における危険やリスクに対する感性が鈍化することは、教育的側面から見ると好ましいことではない。また、大学における実験研究の深化や多様化が急速に進む中で、どんな対象や分野に対しても適用できるオールマイティな道具やマニュアルを求めるのは実効性が薄く、各専門分野に対応可能なフレキシビリティを考慮したツールやプログラムであることが要求される。さらに、実験研究現場において、教員が教えたつもりであることが学生にとって必ずしも理解されていないといった安全に関する知識や認識の乖離が、大学の実験研究における事故の裏側にある重大な背景要因として存在すると考えられる。このような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、あくまで現場サイドに立ち、ユーザーの安全感覚を醸成しつつ現場の安全向上に資する

ような、教育効果の高いツールやプログラムを開発することが重要であるという着想に至った。

## 2. 研究の目的

大学における実験研究を対象に、事故事例解析や教員や学生の意識調査などを通じて、環境安全に配慮した実験研究の実現を目指す上での現状の構造的背景要因や課題を抽出・整理し、それらを反映した安全教育プログラムとして提案するとともに、様々な理工学分野の実情に即した適切な環境安全リスク評価手法や実験計画手法の開発を行い、研究教育現場における自発的なリスク管理を支援するための実践的リスク評価支援ツールとして提案することを、本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 「**事故事例解析**」：大学実験室で過去に起こった事故例やヒヤリハット事例の収集や、現場における教員や学生の安全に関する意識の実態調査を実施し、それらについて、単に個々の事故の物理的因果関係にとどまらず、研究教育現場の実情を背景要因としてふまえた解析と解決策の提案を行った。

(2) 「**化学物質リスクの可視化**」：化学物質の物性や危険性、健康影響、環境影響など、大学の実験研究で化学物質を扱う者が知っておくべき化学物質リスクを整理し、レーダーチャートなどの方法で表記した。

(3) 「**室内気流環境解析**」：単なる実験設備の一つとして捉えられることが多い局所排気装置について、実験者の安全や健康影響、化学物質の環境影響、エアコンの吹き出しや人の動きに伴う室内の気温や気流の変化といった快適性、法的規制などを総合的に加味し、実験研究において考慮すべき室内気流環境を、実験および流体解析シミュレーションなどによって科学的に解析した。

(4) 「**リスク評価実験**」：マネキンを使った化学物質の暴露状況測定、高速度カメラを用いた液体の飛散現象の観測、実験室内の動線解析や視線解析に基づいた実験装置や什器の配置レイアウトに起因する潜在的危険行動の解析など、実験室内の様々な環境安全リスクについて科学的に解析した。

(5) 「**実験室内リスクに関する基礎的検討**」：実験を安全に行う上でのヒューマンファクターの影響や安全意識について検討するため、ビデオ撮影した実験作業の様子の解析や眼球運動解析実験、アンケート調査の統計学的解析など、実験室内のリスクに関係する様々な基礎的データの収集・解析を行った。

(6) 「**実験研究支援ツール・教育プログラムの開発**」：上記の各項目に関する検討結果をふまえ、実験研究現場の自主的リスク管理を

支援する以下の安全管理・安全教育ツール、プログラムの開発を行った。

- ・ 実験室計画支援ツール
- ・ リスク評価支援ツール
- ・ 環境安全教育プログラム

#### 4. 研究成果

(1) 「**事故事例解析**」：大学実験室における法人化以後の実験事故事例の収集と解析を行なった。収集した事例は大阪大学・東京大学の約 2400 件であり、発生時間帯や被災者の研究分野などで整理した。事故の背景の解析から、重大事故につながり易い化学薬品が関わる事故が、化学とその他の分野では異なるパターンで生じていること、事故につながる作業と作業者間の相対的な関係の不適切さが5つのパターンに分類されることが明らかとなった。また、背景的要因や社会心理的要因の調査プロトコルを作成した。

また、収集された事故災害事例等における事故発生状況等の自由記載情報から背景要因及びヒューマンファクターを解析者が想定していない要因を含めて抽出するために、テキストマイニング手法の応用について検討し、形態素解析、構文解析によるデータ化の手法を整備した。このことにより、分析者の主観の介入を低減し、計量的に事故災害の分析及び分類が可能となった。ヒューマンファクター及び背景要因に対する事故災害防止のための集合教育用資料を作成した。

このほか、化学物質のリスク情報を簡易取得できるサイトを作成し、データ拡張のために、大学で事故の原因となる化学物質や保持量の多い物質を抽出し、その物質情報を作成した。

(2) 「**化学物質リスクの可視化**」：化学物質リスクをレーダーチャート表記によって視覚的に表現するための、情報整理と具体的な作業を行う一方、その化学物質に関わる法的規制や管理方法などを加え、大学で化学物質を扱う者が知っておくべき化学物質の総合的リスク情報データベースを構築した。

(3) 「**室内気流環境解析**」：実験室内で人の移動による危険物質の拡散、特にドラフトからの危険物質の逆流をCFD解析する基礎的検討を行った。単純形状での移動を伴う気流、汚染拡散の検討が可能であることを確認した。また、人体移動および室内気流分布の影響による化学物質の拡散性状変化が実現象に対応できるよう、人体形状や解析方法に対する検討を行った。人体移動の再現に伴う数値解析時間の増加を抑えるために、人の直線移動における室内気流の影響に関するモデリングを行い、人体の直線移動により駆動された気流速度の大きさは、人体の後ろの所で最も大きいこと、人体の直線移動により生じる空気圧力は、加速時と速度一定時に、前面

では正圧、後面では負圧であり、減速時と停止時に、前面では負圧、後面では正圧であることが明らかとなった。

(4) 「**リスク評価実験**」：室内漏洩や健康リスク要因となる化学物質に関して、漏洩量と室内環境変数による濃度変化を推算する既存の化学物質運命・暴露モデルを調査した。その解析から、排出源と排気設備の位置関係、室内空気交換に関わる物やヒトの移動と健康リスクの関係について明らかにした。

実験室における化学物質リスクおよび環境影響の要因を分析し、それぞれの定量的に評価するために収集すべき情報を整理した。そして、実験室内における化学物質への暴露や環境への放出に起因する環境影響を評価するためのツールの構造を設計した。また、実験中だけでなく、実験廃液を処理するための廃液処理プロセスについて、実際にプロセスを、ライフサイクルアセスメントを用いて評価し、評価結果の解釈を行った。

実験室での溶剤使用に起因する環境負荷をライフサイクルアセスメントで評価した。また、溶剤使用による環境負荷の評価手順を明らかにし支援システムのフレームワークを構築した。

(5) 「**実験室内リスクに関する基礎的検討**」：事故やヒヤリハットが、物理的な因果関係にとどまらず、作業者の安全意識の違いや教育環境現場の実情が背景要因となっていると考え、実験室の環境安全に関するアンケートを実施した。得られた結果を主因子法により因子分析し、学生の安全意識を構成する潜在的因子を抽出した。

また、有機化学の学生実験を対象として、作業者の実験作業における巧拙の因子と、実験を構成する作業工程の巧拙とを相関分析することにより、各作業工程の類似性に基づく分類の可能性を実証した。

さらに、水の秤量及びガラス管の穴あけをモデルとした被験者実験を実施し、各作業を表現する指標を抽出し、それによる作業のなされ方を記述した。作業者の相違や経時変化の仕方をこの指標により記述し、作業と作業者の関連を検討した。

(6) 「**実験研究支援ツール・教育プログラムの開発**」：

- ・ モデル実験室の製作

本検討項目に関する研究を効率的かつ実効的に進める場として、モデル実験室を製作した。本研究で目指した実験室のモデル化とは、高度な機器の実装による理想的実験環境整備の意ではなく、仕様や性能が変更可能なドラフトや什器等を実装し、実験室計画支援ツールやリスク評価支援ツールの開発において、ツールの妥当性を検証するための「ラボ」として機能と、環境安全実験プログラムの教材を発信する「スタジオ」としての機能

を有するものである。これまでに、学内の環境安全教育に活用するとともに、国内外の安全管理者の見学を受け入れてきた。また、以下の実験的検討の一部を、このモデル実験室を用いて実施した。

・実験室計画支援ツール

実験室内の局所排気装置を中心とする室内気流環境と化学物質暴露リスク、省エネやCO<sub>2</sub>排出といった環境影響に加え、予算やスペース、人数を境界条件として考慮に入れ、目的とする実験を行うために必要最小限の実験設備や適切な配置を提案するツールの開発を目指して検討を行った。

実験室における化学物質リスクおよび環境影響の要因を分析した結果を基に、実験室内における化学物質への暴露や環境への放出に起因する環境影響を評価するためのツールの構造を設計した。

実験室での溶剤使用に起因する環境負荷をライフサイクルアセスメントで評価した検討を基に、溶剤使用による実験者への化学物質リスク評価に必要な情報が実験室内で収集できるかを考慮しながら評価手順を明らかにし支援システムのフレームワークを構築した。

・リスク評価支援ツール

上記(2)の検討により化学物質リスクをリーダーチャート表記によって視覚的に表現するための、情報整理と具体的な作業を行った一方、事故事例、管理情報など、上記(1)の事故事例解析によって得られた成果などを加え、化学物質のリスク情報を物質ごとに簡易に取得できるサイトを作成し、実験に伴うリスク自発的評価を支援するツールとしてウェブサイトの形で整備した。作成したツールは、ホームページ上でのシステム仮運用を行い、その妥当性と実効性についての検証を行った。このツールは、化学物質を使用する全国の実験研究の場において需要があると考えられ、全国の大学で情報を活用・共有化できる手段として期待される。

・環境安全教育プログラム

大学の理科系学生を対象とし、実験研究における環境安全に関する理解を深めるための総合的教育プログラムを開発した。教育する側の要求度と教育される側の理解度の乖離の解消や、教育内容の整理・体系化といった現状の課題に対して、前述の各種支援ツールを活用した講義や演習、体験的学習を取り入れた環境安全実験など、より実効的な教育プログラムとして開発・提案した。具体的には、実験系廃液処理の模擬実験、発煙装置を用いた排気装置の体感実験、視線と行動の関連性についての実験的検討、大学におけるリスク管理のブラインドシミュレーション、クリッカーを用いた参加型講義などを作成し、実践した。

また、大学研究機関の実験室内で起こる火災事故に関して、火災の規模や被害を体感できる講習、そのための教材の開発を目的として、消防署の協力の下、有機溶剤の引火実験、白衣等の着衣の燃焼実験、ドラフト内での火災実験等を行い、教材として活用できる映像を撮影し、編集、作成した。

このほか、地震に備えた実験室環境を実験者自らが整備することを目的として、実験室内の設備や装置に関して、安全確保のために満たすべき項目と活用道具をリストアップし、チェックリスト形式に整理した。

これらのプログラムには、座学だけでは十分に習得できない部分を体験的に理解させる効果があり、習得した環境安全や事故防止に関する知識を実験現場において実効的に活かすための方法論として期待される。

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3件)

- ① 主原愛、大島義人、大学の学生実験における作業評価基準と作業工程との関連性に関する統計学的解析、環境と安全、査読有、2(2)、2011、119-125
- ② Ai Shuhara, Hitoshi Yamamoto, Yoshito Oshima, Factor Analysis on Safety Awareness in University Research Laboratories in Japan, Safety Science Monitor, 査読有, 15(3), 2011, Article 5
- ③ Yasunori Kikuchi, Kohjiro Kurata, Jun Nakatani, Masahiko Hirao, Yoshito Oshima, Analysis of supercritical water oxidation for detoxification of waste organic solvent in university based on life cycle assessment, Journal of Hazardous Materials, 査読有, 194, 2011, 283-289, 10.1016/j.jhazmat.2011.07.107

[学会発表] (計18件)

- ① 陳石、加藤信介、姜允敬、中尾圭佑、人の直線移動による部屋間の気流の影響に関するCFD解析(その1)移動による生じる抗力と仕事率の計算、空気調和・衛生工学会 2012年9月5日~7日、北海道札幌 北海道大学
- ② Yasushi Okubo, Reiko Kuroda, Mami Furusawa, "A text analysis on the human factors in the accident reports", International Committee on Occupational Health, 2012年3月21日, Cancun, Mexico
- ③ 根津友紀子、大島義人、"統計解析による

- 化学物質に対する危険性イメージの可視化手法の提案”、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ④ 主原愛、大島義人、”統計学的解析手法を用いた大学の実験研究における安全意識の定量化”、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ⑤ 小淵喜一、大島義人、”実験作業の物理的表現に基づいた作業プロセスのモデル化と作業条件による影響の定量的評価”、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ⑥ 牧田碧夏、大島義人、”作業—作業関係の記述を目的とした作業変数の抽出による作業—結果マップの作成”、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ⑦ 富田賢吾、山本仁、化学物質リスク情報可視化システムの開発 —データ拡張のための一考察—、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ⑧ 村田和香、富田賢吾、山本仁、大学における研究実験の安全性評価方法についての考察、NPO 法人研究実験施設・環境安全教育研究会第1回研究成果発表会、2012年2月20日、大阪府吹田市 大阪大学
- ⑨ Yasushi Okubo, Mami Furusawa, Reiko Kuroda, Tadashi Umekage, “A Study on the Factors of the Accidents with Chemicals in a University”, Asia Pacific Symposium on Safety, 2011年10月20日, Jeju, Korea
- ⑩ Yasushi Okubo, Reiko Kuroda, Mami Furusawa, Tadashi Umekage, “A text mining on the human factors in the accident reports”, Japan-China-Korea Joint Conference on Occupational Health, 2011年5月27日, Jinnan, China
- ⑪ 大久保靖司, 古澤真美, 黒田玲子, 梅景正、“テキストマイニング手法を用いた事故災害の背景要因の分析方法の開発”、日本産業衛生学会、2011年5月19日、東京 ニューピアホール
- ⑫ 大久保靖司, Analysis of accident reports in a university - present status and background factors, The 20th Asian Conference on Occupational Health 、2011年3月9日、タイ
- バンコク
- ⑬ 大久保靖司, A descriptive analysis on incident in a university in Japan, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月19日、アメリカ合衆国 ホノルル
- ⑭ 大島義人, Analysis of safety culture and safety awareness in the chemical laboratory in universities 1: Statistical analysis of safety culture by questionnaire technique”, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月19日、アメリカ合衆国 ホノルル
- ⑮ 主原愛、大島義人、”Analysis of safety culture and safty awareness in the chemical laboratory in universities 2: Risk analysis in the experimental laboratory by eye tracking and danger perception ”、2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010/12/19、アメリカ合衆国 ホノルル
- ⑯ 山本仁, Analyses of experimental accidents in Osaka University, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月19日、アメリカ合衆国 ホノルル
- ⑰ 富田賢吾, Development of visualized information detabase of chemical risks, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月19日、アメリカ合衆国 ホノルル
- ⑱ 大久保靖司, “Analysis of accident reports in a university ”、2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010/10/20、韓国 釜山

## 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

大久保 靖司 (OKUBO YASUSHI)  
 東京大学・環境安全本部・教授  
 研究者番号：00301094

加藤 信介 (KATO SHINSUKE)  
東京大学・生産技術研究所・教授  
研究者番号：00142240

平尾 雅彦 (HIRAO MASAHIKO)  
東京大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：80282573

富田 賢吾 (TOMITA KENGO)  
大阪大学・安全衛生管理部・准教授  
研究者番号：70422459

菊池 康紀 (KIKUCHI YASUNORI)  
東京大学・大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：70545649