

## 大学化学実験室における環境安全改善手法の提案

環境リスク評価学分野 66755 主原 愛 (指導教員: 大島義人教授)

Keyword: Environmental Safety, Visualization, Quantification, Ergonomics, Laboratory, University

### 1. 緒言

科学技術の高度化と環境問題の深刻化に伴い、ナノテクなどの新技術が短時間で実用化したり、その環境影響に関心が集まったりしており、研究における安全確保と環境配慮が求められている。さらに、研究の深化や多様化に伴い、未知の実験作業が追加される機会が増加する一方で、より厳しい安全基準の構築が要求される傾向が高まっており、両者を共存させるためには、従来の一元的な環境安全対策では対応出来ないケースが増えている。

このような社会的要請に対応すべく、特に2004年の国立大学の独立行政法人化以降、大学では多くの努力がなされているが、依然として、年間100件以上の事故報告があり、残念ながらその努力が充分であるとは言えない。また、大学の環境安全に関する近年の動向として、研究の新規性と環境安全の確保との両立の重要性が再認識され、大学における環境安全の理念構築はなされてきた<sup>1)</sup>。だが、その実現のための具体的な手法がなく、理念の具現化は困難である。

本研究では、これらの現状を踏まえ、研究対象が複雑多様化する大学において、従来の一面的な環境安全管理では対応しきれない諸問題について、事故事例解析を中心にその本質的な要因を探るとともに、作業員を中心に据えた視点で、環境安全に関する人、物、情報の関係を可視化・定量化するための方法論やツールを開発し、多様化に対応した新しい環境安全管理のあり方について提案することを目的とする。

### 2. 事故事例解析

大学の環境安全に関する問題点の抽出および大学実験室の特徴の明確化を図るべく、それらの問題が具体的な現象として表れている事故事例を解析した。具体的には、2004年4月から2007年8月までに東京大学の構内で発生した457件の事故事例のうち、実験室で発生した165件について、事故件数、身分、現象、原因、改善策といった観点に基づく分類で解析した。

まず、事故件数は、年々増加傾向にあり、事例として顕在化する事故が全体の一部であることを考えると、実験作業に伴う危険性の増加、あるいはそれに追いついていない安全管理や意識の問題が指摘される。身分では、初心者は単純な知識不足など初歩的な事故の発生割合が高く、一方熟練者では専門性に深く関係する危険予測能力が要求される事故が多いことが分かった。現象(Fig. 1)では、最大原因は化学物質(42%, 70件)によるものであった。また、現象に関係なく繰り返し類似事故が起きる傾向があり、また、転倒・落下物など日本の実験室特有の狭さ・窮屈さに由来する事故も多く見られた。事故の原因となる化学物質は、フェノールなどの汎用性の高い物質が主であり、初心者の事故原因となる物質は22種類でほぼ全てであった。改善策についてみると、複数の要因が同時あるいは逐次的に組み合わせるといった、事故と要因が一対一対応になっていない事例も散見された。

これらの解析結果から、従来規制遵守に基づく環境安全管理手法では十分に考慮されていない要因として、作業員中心の視点に基づいた作業員と作業との関係の見直しをテーマとして取り上げ、a) 作業の合理性を高めるためのモノ自身の改良、b) 作業員の安全知識を向上させるための情報提供のあり方、c) 作業員の動きに伴う危険性認識の変化、d) 作業員の熟練度やパーソナリティと作業結果との関連づけ、e) 作業員の行動様式を決定する潜在意識、などについて、具体的なツールや解析方法の提案を通じて、大学実験室の新しい環境安全管理の方向性について検討を行った。

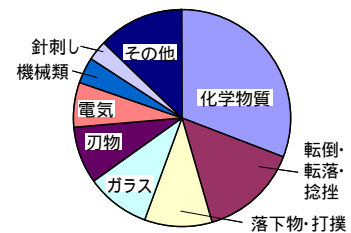


Fig. 1 事故事例分類の一例

### 3. 作業の合理性を高めるためのモノの改良 ~ 化学物質の安全管理 保管ツールの開発 ~

技術による安全確保への努力は長年続けられてきたが、技術発展が、法律遵守や技術深化の視点でなされ、必ずしも人の本質的な安全追求の視点でなされてきたとは言えない。その典型例として、試薬庫の鍵管理の問題がある。従来の安全管理は、鍵管理という既存管理法に人を如何に順応させるかという視点でなされてきた。しかし、本質的に重要なことは、試薬が適正管理されることであり、鍵管理法の採用ではない。そこで、鍵よりも現場の事情に即した手法である Felica カード認証型試薬庫(Fig. 2)の開発を試みた。人の危険回避の視点に立てば、鍵による管理の必然性はなく、使用者限定と利用記録管理のできる個人 ID による手法の方が合理的である。この人間中心の視点は、ドラフトチャンバーの不適切な操作や、保護具の装着率が向上しない問題などに対して、その技術的解決にも役立つ方法論であると考える。



Fig. 2 新規薬品庫

### 4. 作業者の安全知識を向上させるための情報提供のあり方 ~ 化学物質の危険性評価のためのインターフェースの開発 ~

事故事例解析からも明らかのように、化学実験の安全をはかる上で、化学物質の危険性や事例に関する情報が作業者に確実に伝わるのが重要である。ここでは、大学実験室で化学物質を使用する際に、作業者が知識として所有すべき最低限必要な危険有害性情報を、ユーザー中心の視点で供給するための情報提供のあり方について検討した。具体的には、実験で頻繁に使われる化学物質について、危険性や有害性をレーダーチャート形式で標記すると同時に、当該物質の事故事例や管理方法を組み合わせることにより、化学実験に重要な情報も盛り込んだ web 形式のデータベース(Fig. 3)の提案である。危険情報の伝達手段としては、危険性の数値的情報を多数掲載する MSDS や、万人に分かりやすいサインを活用する GHS があるが、前者は情報過多で情報探索が容易でなく、後者は逆に実用的な定量的数値や事故報告や管理指針が与えられないため、いずれも作業員への危険性情報の伝達手法としては必ずしも有効に機能していない。これに対し、本手法は、大学の実験室において必要となる最低限の情報に絞り、それらを危険有害性の Rader Chart 方式や、学内事故事例および規則や管理方法の併記によって、作業員にわかりやすかつ確実に伝達することに主眼を置いている。

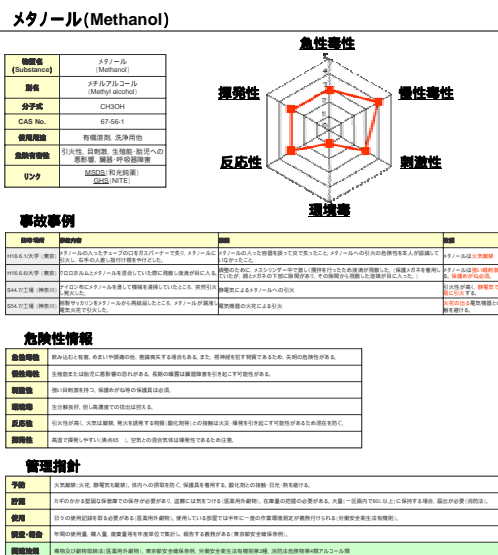


Fig. 3 化学物質情報データベースの web 画面

### 5. 作業者の動きに伴う危険性認識の変化 ~ 視線解析による危険性評価手法の提案 ~

モノのリスクを考える場合、その形状や物性に基づくモノ自身の本質的な危険性に加え、作業員の行動を前提とした置かれ方や扱われ方によるリスクを含めて総合的に考える必要がある。このような状況を考慮したリスク評価に力点を置き、視線解析の手法を用いて作業員の危険性認識に関する潜在意識の可視化を試みた。具体的には、被験者にアイカメラを装着してもらい、実験室(Fig. 4)内のある順路を歩行中に「危険だと思う箇所」を抽出してもらおう一方、実験室内に置いた60箇所の注視箇所を何秒注視したのか、アイカメラの映像のコマ数をカウントし記録した。各注目箇所について、全被験者の注視時間、危険と認識した被験者の注視時間をそれぞれ合計し、(1)式のように危険度を定義し、実験室内のモノの各危険度を算出した(Fig. 5)。危

危険の高かった top5 は、バケツ (注視箇所番号: (16)), イス(9), ゴミ箱(51), イス(33), バケツ (22)であり, 名前や特徴などモノそれ自体に危険性のあるものではなく, 置かれている状況で決まる危険性であった.

|      |  |
|------|--|
| カメラ  | 眼球運動計測装置アイマークレコーダEMR-8B<br>(両眼タイプ, 300 g, (株)ナックイメージテクノロジー製) |
| 実験場所 | 東京大学大学院柏キャンパス環境棟411号室<br>(当研究室 実験室, 7.2 m × 8.45m)           |
| 被験者  | 環境棟 420号室 (当研究室居室)の学生14名                                     |
| 実験時間 | 11時-19時  |

$$\frac{\text{危険と認識した総時間 [sec]}}{\text{注視総時間 [sec]}} = \text{危険度} \quad \dots(1)$$

また, 危険箇所抽出後にもう一度同じ経路を歩行してもらい, 抽出前後での注視箇所個数の変化を解析した(Fig. 6)ところ, ほぼすべての箇所について総注視時間が増加するとともに, 初回には注視しなかった箇所も意識するようになり, 注視した箇所数も増加することが分かった. 危険箇所抽出という行為によって能動的な危険回避の意識が潜在的に働いた結果が, 視線の変化に現れたと解釈できる.

さらに, イスに座る立つという姿勢変化する所(52)では, 危険度が高くて気付き難く, また歩行時の進行方向にあたる器具棚(34)や, 派手な形状の作業着(10)などは, 低危険性でも総注視時間の長くなる傾向があった. 前者は, 同時作業における注意意識の低下に関連する現象であり, 後者は人の目につきやすいことが重要な緊急避難経路やアラームモニターなどの設置場所に関して有用な情報となることが期待される.

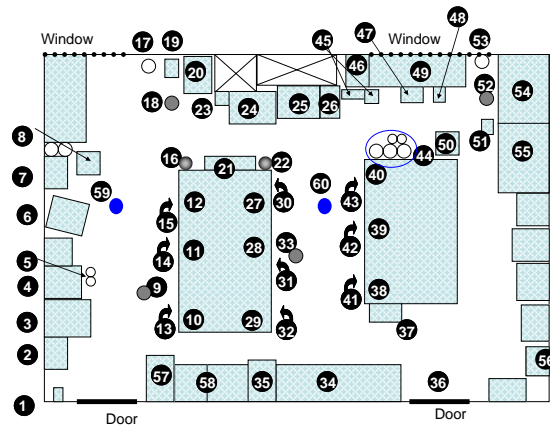


Fig. 4 実験室見取り図

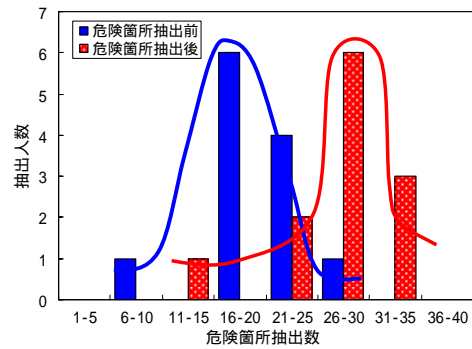


Fig. 6 危険抽出数と人数

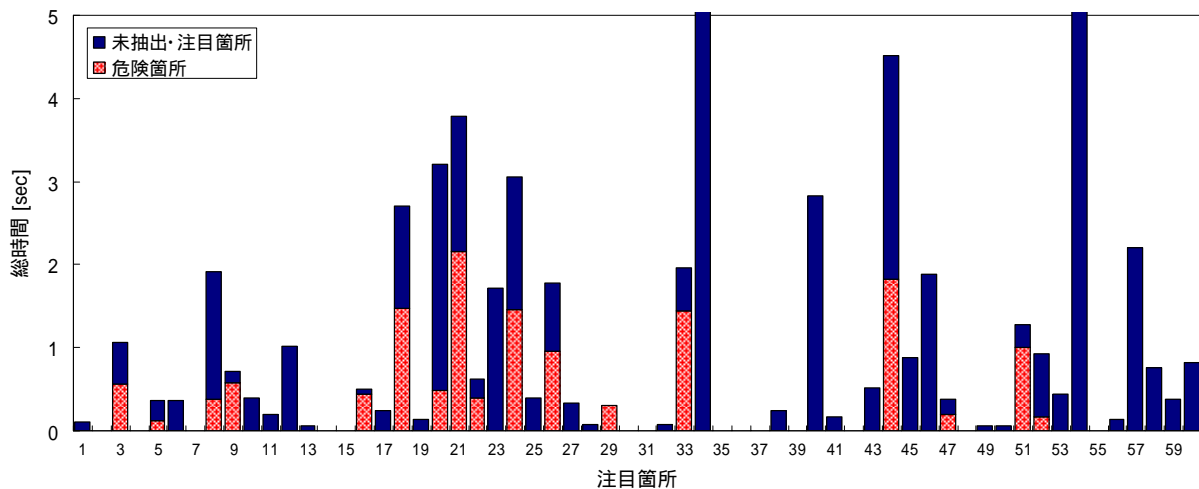


Fig. 5 危険箇所抽出数と人数

## 6 作業者の熟練度やパーソナリティと作業結果との関連づけ

### ～量り取り作業における作業者間の差違～

一般に、同じ作業を行っても作業者の熟練度や性格によって、作業の結果や危険性に差違がある。そこで、実験者の性格と作業の正確性に着目し、次の実験を行った。被験者には、液体容器から細い試験管に、ろう



Fig. 7 量り取り作業

とを使って目盛線まで液体を量り取る作業をしてもらった。ビーカー、透明ポリ容器、茶色不透明ポリ容器、ガラス容器の4種類の容器に、液量の多少を設けて5種類の液体を作成した。容器種類毎の量り取り作業の所要時間や量り取りの正確性(成功率)、視線解析手法を用いた作業中の注視場所、注視時間などのデータを収集した。さらに、各被験者の性格について、NEO PI-Rを行い、作業との関連性を調べた。ただし、データ量が膨大であるため、一部のみを解析した。

解析から、熟練度と成功率に相関が見られた(Table 2)。すなわち、熟練度の低い被験者(2, 5)は、量り取りやすいビーカーでは高成功率を示したが、量り取りにくい茶色ポリ容器では低成功率を示し、熟練度の高い被験者(3, 7)と逆傾向となった。実験慣れしている熟練度の高い者は、量り取りの正確性に高い柔軟性を示したと言える。一方、注視場所や注視時間と作業の正確性の関連については、目標とする液面や実際の液面、容器の口などを偏りなく見た実験者の方が成功する傾向はあるものの、有意な差は見られなかった。また、性格と成功率の関係についても、統計的に有意な相関を示す性格因子は抽出できなかった。これは、今回採用した作業が比較的単純なものであったことに起因すると考えられ、今後はこのような解析に適切な作業について精査する必要がある。

### 7. 結言と今後の方針

大学実験室を一つのシステムとして、それを構成する人、物、情報などをエレメントとして捉えた場合、本研究で提案する各手法は、エレメント間の関係性を定量的に評価、解析するための手法と捉えることができる。実験室の安全性を向上させるためには、システム全体の最適化問題として総合的に評価する必要があると考えられる。また、環境やエネルギー、作業効率など、安全とは違った評価軸を置いた場合には、同じシステムでも最適解が異なる可能性が考えられる。今後は、本研究で提案した各手法の精度の向上、システムの最適化を図る上で考慮すべき他のエレメント間の関係性の抽出を行うとともに、これらの情報を用いたシステムの最適化について実際の実験室を使ったケーススタディによって検証したいと考えている。

### 8. 参考文献

- 1) 研究代表者 高月紘名誉教授、研究成果報告書「環境安全学の創成と教育プログラムの開発」文部科学省特定領域研究 15069101 (2003-2005 年度)
- 2) J. Kevin O Regan: Eye Movements and reading, Eye movements and their role in visual and cognitive processes, Reviews of oculomotor research, 4, Elsevier, 395-453 (1990)
- 3) 鈴木利友, 岡崎甚幸, 徳永貴士: 地下鉄駅舎における探索歩行時の注視に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 No.543, pp.163 ~ 170, 2001.5

謝辞) 本研究を進めるにあたり、事故事例提供等に御協力下さった東京大学環境安全本部 富田賢吾助教、視線解析に御協力下さった(株)ナックイメージテクノロジー 山本昌樹様、シミュレータ開発に御協力下さった千葉大学融合科学研究科情報科学専攻修士課程一年の片岡大祐様に深く御礼申し上げます。

Table 2 容器毎の所要時間と成功率

| No. | 所要時間<br>成功率 | 容器種類       |            |            |            |            |
|-----|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|     |             | ビーカー       | 透明ポリ       | 茶ポリ(少)     | 茶ポリ(多)     | ガラス        |
| 1   | 所要時間<br>成功率 | 127<br>1.2 | 221<br>1.2 | 239<br>1.2 | 107<br>1.2 | 406<br>1.2 |
| 2   | 所要時間<br>成功率 | 286<br>2   | 335<br>2   | 313<br>2   | 70<br>4    | 404<br>1.2 |
| 3   | 所要時間<br>成功率 | 204<br>2   | 377<br>2   | 188<br>2   | 134<br>4   | 251<br>3   |
| 4   | 所要時間<br>成功率 | 96<br>3    | 143<br>3   | 140<br>3   | 106<br>3   | 135<br>3   |
| 5   | 所要時間<br>成功率 | 115<br>1.5 | 143<br>3   | 165<br>3   | 117<br>3   | 280<br>1.5 |
| 6   | 所要時間<br>成功率 | 167<br>2   | 173<br>1.5 | 204<br>1.5 | 195<br>1.5 | 415<br>1.2 |
| 7   | 所要時間<br>成功率 | 168<br>1.2 | 182<br>1.2 | 318<br>1.2 | 636<br>1.2 | 304<br>1.2 |
| 8   | 所要時間<br>成功率 | 128<br>2   | 214<br>2   | 173<br>2   | 38<br>2    | 171<br>2   |
| 9   | 所要時間<br>成功率 | 127<br>2   | 275<br>1.5 | 366<br>1.5 | 198<br>1.5 | 191<br>2   |
| 10  | 所要時間<br>成功率 | 255<br>1.2 | 489<br>1.2 | 541<br>1.2 | 239.5<br>2 | 364<br>1.2 |
| 11  | 所要時間<br>成功率 | 84<br>1.5  | 132<br>1.2 | 173<br>1.2 | 83<br>2    | 263<br>1.2 |