

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5月31日現在

機関番号：12605
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21500117
 研究課題名（和文） 化学実験非熟練者の安全技能を向上するスマート実験室に関する研究
 研究課題名（英文） A Smart Experimental Room that Mediates Safety Training for
 Beginners of Chemistry Experiments
 研究代表者
 藤波 香織（FUJINAMI KAORI）
 東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：10409633

研究成果の概要（和文）：

本研究では化学実験実施時に危険回避を実現しつつも、実験作業を通して安全技能を向上するスマート実験室の設計原理を明らかにすることを目的とし、意図的に多義な情報を提示することによる「非教示的な支援」方法とその実装技術の開発を行った。すなわち、机上にプロジェクタ投影により支援情報を提示する際の、内容・タイミング・場所についてのガイドラインを危険回避と安全技能取得の2つの点からまとめ、プロトタイプシステムとその基盤ソフトウェアを開発した。

研究成果の概要（英文）：

The objective of the project is to investigate a method that allows students to learn safe ways of chemistry experiments during an experiment. We proposed “nondirective presentation” to facilitate active-thinking of students, which was realized by three aspects of ambiguous presentation: semantic, spatial and temporal aspects. As a result of a comparative study with combinations of the types of ambiguity, we concluded that a presentation with low-semantic, low-spatial and low-temporal ambiguities was suitable for avoiding a danger in front of a student, while a presentation with low-semantic, high-spatial and high-temporal ambiguities implied effectiveness for learning. We also investigated a method of acquiring user’s context by the spatial relationship of visual markers attached on experimental apparatuses, as well as a middleware for developing procedure-aware camera-projector systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：拡張現実感，安全教育，情報多義性，化学実験

1. 研究開始当初の背景
 化学実験では大学初年時の実験初心者の半

数がヒヤリ・ハット経験をしており、これは
 機器操作のミスや知識不足が原因である。軽

微な事故であればむしろその後には注意深くなるための良薬であるという見方も現場にはあるが、大事故に繋がる事故を起こしてからでは遅く、未然に防ぐことが重要である。

我が国ではこれまで、一般市民を対象として時空を超えた「日常の見守り」に重点を置いた「安全・安心」のための研究開発・設備投資が多くなされてきた。実験などの非日常に潜む危険に対する安全教育や安全意識醸成については、文部科学省「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」においても重要課題として位置づけられている。しかし化学の教育現場では、依然として安全マニュアルやビデオ学習等に頼った安全教育が行われている。実験中は熟練者が常時立ち会い、体験を通じて安全面の指導も行っているが、実験室全体に監督の目が行き届かず、安全教育を徹底できない状況が多々存在する。従って、熟練者の代替や補助を目的とした知的(スマート)実験室が、この改善のために重要な役割を担うことが期待されてきた。

知的実験室の類似概念である知的住宅・オフィスはユビキタスコンピューティングの文脈において国内外で数多く試作されてきたが、導入・維持費を度外視できる場合を除きほとんど実用化に至っていなかった。これに対し近年、火災現場や工事現場、病院のように特殊かつ重大なために高コストに対して比較的寛容な場に適用するなど、対象領域を模索・拡大する動きが見られるが、単純作業または熟練者を対象としてきている。また、教育工学の文脈では身体性を伴う学習のための卓上インタフェースも研究されているが、初等教育における理解や意欲向上が目的であり安全性に関わる教育は対象とされていなかった。

このような国内外の動向を踏まえ本研究では、重要であるにもかかわらずこれまで見過ごされてきた化学実験の非熟練者を対象とし実験作業を通じて安全確保に関わる技能を向上するシステムの設計原理を明らかにする必要があると考えるに至った。

2. 研究の目的

以下を目的として、取り組んだ。

(1) 危険回避と安全学習に効果的な情報提示方法の理解

一般に、安全な作業支援のためのメッセージ設計においては、極力曖昧さを排除して作業者が迅速に確実に回避行動をとるようにすることが求められてきた。しかし、システムが過度に親切な注意・警告メッセージを発することで作業者が依存するようになることは、システムが導入されていない場所では却って危険な状態を招くことになる。このため、作業状況から予想される事故リスクに

じて、危険回避モードと安全学習モードの2つを切り替える必要がある。これに先立ち、それぞれのモードの実現方法を明らかにする必要がある。ここで実現方法とは、机上に提示する情報の「提示場所・中身・タイミング」の3つ組みを指す。

(2) 周辺他者情報の効果的な提示手法の理解

化学実験の授業では複数のグループが同時に作業することが想定され、自分の状況だけでなく周囲の状況(他者情報)も把握することが重要である。ここで、他者情報とは、ユーザの周辺にいる人物の行動、あるいはユーザの周辺で起きている事柄などに関連した情報を指す。他者情報がユーザに与える影響を調査し、システムの中で他者情報を提示する際の指針を策定することを目指した。

(3) 実験作業状況の把握手法および机上への情報提示手法の確立と基盤システム構成方法の理解

実験室の制約を反映したシステム構成法(センシングや情報提示方式)を明らかにすることは、迅速に開発技術を現場に導入する際の大きな利点となる。また、様々な実験に対する支援を容易に実現可能なソフトウェア基盤システムの構成法も明らかにすることを目指した。

センサを多用し、快適性や効率性を重視した空間のスマート化事例は多く存在するが、その依存回避すなわち「安全ボケ防止」まで考慮したものは、国内外に見当たらない。教育機関における安全作業支援システムとして、作業者の安全配慮の姿勢を育み、将来的に支援システムがない環境でも安全に作業できるようになる意義は大きい。また、座学中心の従来の安全教育とは異なり、身体全体を使った体験的な安全学習という、新しい教育方法の開発にも繋がることを期待される。そして、本研究では導入の容易さも重視しているため、実際の使用を通しての方式評価や改良が容易になり、より実態に即したシステム構成方法の確立に繋がると考えられる。

3. 研究の方法

前述の目的の達成に向けて以下を実施した。

(1) 危険作業状況把握と机上への情報提示に必要な情報の特定

目的(3)のため、化学実験専門家へのヒアリングや安全教育の教科書などの分析を御通じて実際の学生実験室の特性や用いられる器具の種類、新技術を導入する際の注意点などを明らかにして、システム内で取得・処理すべき情報を特定した。

(2) 情報提示の中身・タイミング・場所における多義性の効果検証

情報が多義である（複数の解釈をもたらす）ことは、自発的な思考を促し注意力や記憶力の増大をもたらす可能性が指摘されているため、本研究においてその適用可否を検討した。先の3要素に対して多義性の高低の制御方法を明らかにする予備実験を行い、これに基づいて、危険回避と安全学習の2つのモードを実現するための3要素の高低の組み合わせ方を机上シミュレーション実験により明らかにした。危険回避については反応性（Reaction）と理解性（Comprehension）という尺度を、学習効果については学習性（Learnability）と記憶性（Memorability）という尺度をそれぞれ導入して、被験者からの主観的な意見とともに定量的な把握を試みた。

(3) 周辺他者情報提示の際のタイミング策定と音フィードバックの効果検証

他者情報がユーザに与える影響を調査するために、化学の習熟度などに左右されない、単純化された実験システムが必要であった。このため、化学実験の手順を分析した上で「積み木」を代替として用いることを決定し、画像認識により作業状況（積み木形状）を認識する実験システムを開発した。作業者が行う代替実験作業をメインタスク、提示される他者情報への対処をサブタスクとして、メインタスクの成功率（所定の形に積み木を積み上げられたか否か）と、サブタスク指示のタイミングならびにその際の音の有無の関係を調査した。

(4) 実験作業認識と位置特定技術の探求

目的(3)達成のため、上記(1)での分析を加味して、行動および位置認識技術のサーベイを行った。既存の実験室や器具への「後付け」のしやすさや、実験作業の妨げになりにくいこと、多様な作業への拡張性を重視して方式を検討した。

(5) 実験器具付近への情報提示技術の探求

上記(4)と同様に、既存設備への容易な拡張性を意識して情報提示技術の選定を行った。プロトタイプ評価を通じて具体化した問題点（物体密集時に情報が指す物体が曖昧になること）について、直線・色・囲みといった異なるアノテーション手法を比較検討した。

(6) 任意の実験内容に対する危険回避および安全学習情報を提示するためのソフトウェア基盤開発とアプリケーション開発による評価

上記(4)および(5)の検討を踏まえて、実験

器具同士または器具と作業者の位置関係から作業状況を取得することとし、この関係検出のルール処理の仕組みを導入した。併せて、任意の作業状況に対して情報提示を行うためのルール処理の機構も導入した。3種類の異なる作業支援アプリケーションをこのソフトウェア基盤上に開発することで、その開発ツールとしての有用性を評価した。

4. 研究成果

「2. 研究目的」で挙げた3項目に対して以下のような成果を得た。

(1) 危険回避と安全学習に効果的な情報提示方法の理解

① 情報の多義性の制御方法の開発

情報の提示場所・内容・提示タイミングに関する多義性をそれぞれ、空間的多義性・意味的多義性・時間的多義性と名付け、その高低を、18~40名のユーザから得られた解釈数によって決定した。表1~3にそれぞれの定義方法を示す。これらの表にあるような基準で情報の提示方法を設計することで、解釈数（多義性）を制御することができる。ここで、「限定的危険」とは、硫酸の性質のように化学実験に見られる特有の危険を指し、「普遍的危険」とは、やけどのような日常で遭遇する危険を表している。

表1 空間的多義性

空間的接続性	提示場所	多義性の度合い
弱	固定箇所	高
強	対象付近	低

表2 意味的多義性

危険の普遍性	提示内容	多義性の度合い
限定的危険	注意	高
	対処	低
普遍的危険	名称	高
	注意	低

表3 時間的多義性

時間的接続性	提示契機	多義性の度合い
弱	はじめから	高
強	直前	低

② 情報の多義性と危険回避効果の関係理解
図1に意味的多義性と空間的多義性の組み合わせと危険回避効果（反応性および理解性）の関係を図示する。この図より、いずれも少義な提示を行うことが危険回避に必要であることが分かった（S1'）。これはごく当たり前ともいえるが、実験的に示された点に意

義がある。別の解釈をすると、拡張現実感で情報を物体付近に提示する際には、確実な関連づけを可能としないと、支援の意味が無ばかりかかえって不利益を被ることになることを示唆している。

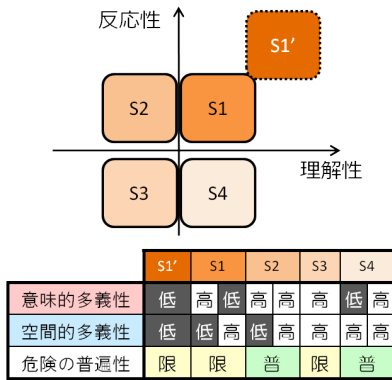


図 1 意味的多義性と空間的多義性のペアと安全効果の関係

一方、時間的多義性が低い提示タイミング（警告対象となるポイントの直前）は反応性が高く、時間的多義性が高い提示タイミングよりも理解性が高いことから安全効果が高いと考えられ、危険に対する警告を即座に行いたい場合には時間的多義性が低い提示タイミングで行うことが効果的であることが分かった。

③ 情報の多義性と安全学習効果の関係理解

図 2 に、意味的多義性と空間的多義性の組み合わせと学習効果（学習性および記憶性）の関係を図示する。この図は、第 1 象限すなわち、低い意味的多義性をもった情報を固定箇所（空間的多義性：高）に提示することで、学習性と記憶性の双方を高くすることができることを表している (L1)。情報をはっき

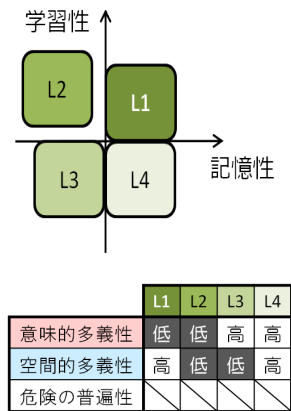


図 2 意味的多義性と空間的多義性のペアと学習効果の関係

りと（低い曖昧さで）表現することが常に良いとは限らないという一例であり興味深い。

一方、時間的多義性においては、多義性が高い提示タイミングは学習性が高い傾向にあり、多義性が低い提示タイミングでは記憶性が高い傾向にあることが実験より分かった。多義性が高い提示タイミングにおける記憶性は繰り返し学習により補うことができると考えられる。多義性が高い提示タイミングは学習性が高い傾向にあるため、繰り返し学習により記憶性の低さを補うことができると考えられる。このため学習効果を重視する場面では、時間的多義性が高いタイミングでの提示、すなわち実験当初から情報を提示し続けることが望ましいと結論づけた。

予測されるリスクに応じて、②と③の提示方法を使い分けることで、2つの相反する効果の使い分けが可能になると考えられる。

(2) 周辺他者情報の効果的な提示手法の理解

自らの作業中に周辺で発生する危険に対する気づきを促して、迅速に次の行動（自分の実験を安全な状態にしたうえでの回避行動）に移るには、ランダムなタイミングより、手順と手順の間で通知を行うことで、自タスクの成功率と周辺他者情報の理解率がともに高く、効果的であることが分かった。一方、通知媒体（音の有無）については差が無いことも分かった。

(3) 実験作業状況の把握手法および机上への情報提示手法の確立と基盤システム構成方法の理解

① 基盤システムの開発

図 3 のようなシステム構成を提案した。作業コンテキスト判別器、実験手順管理、情報表示制御の 3 要素に分離することで、多様な物体とその使用状況・位置特定手段、任意位置への情報提示と、実験ロジックを分離することができ、アプリケーション開発（情報提示タイミングとコンテンツのルール記述）に注力できる環境を実現した。アプリケーションロジックの定義には XML を用いてルールを

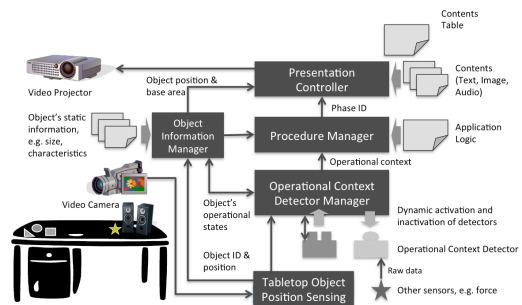


図 3 システム構成図

```

<?xml version="1.0" encoding="shift_jis"?>
<procedure id="ACUBE">
  <judge name="hide-or-appear" subjects="mortar1,paper1,paper2,wiregauze" />
  <judge name="up-and-down" subjects="matchbox" />
  <judge name="clipping" subjects="clipper" objects="tube1"/> 1) Global context detectors

  <phasedef nextphase="P2">
    <if currentphase="P1">
      <if subjects="paper1" predicate="appear" />
      <if subjects="paper2" predicate="appear" /> 3) Transition condition with
      <if subjects="mortar1" predicate="hide" /> multiple-operational contexts
    </if>
  </phasedef>
  .....
  <phasedef nextphase="P5">
    <judge name="in-or-out" subjects="mortar1" objects="case"/>
    <if currentphase="P4"/>
    <if subjects="mortar1" predicate="out" objects="case"/> 4) Phase definition with a
    </if> local context detector
  </phasedef>
  .....
  <phasedef nextphase="E1">
    <if subjects="mortar1" predicate="on" objects="edges"/>
    </if> 5) Phase definition for
  </phasedef> temporal transition
  .....
  <phasedef nextphase="PREV">
    <if currentphase="E1"/>
    <if subjects="mortar1" predicate="out" objects="edges"/> 6) Phase definition for
    </if> returning transition
  </phasedef>
  .....
</procedure>

```

図4 アプリケーションロジックの定義例

羅列する手法をとっている(図4)。実験作業を任意数の段階(フェーズ)に分けて、段階間の遷移条件と各段階での情報提示内容を記述する。ここでの遷移条件は、②で述べる実験作業状況と前提となるフェーズで表される。これにより、プログラミング言語を使ったことがない者でも、新たな実験コンテンツに対応することを可能とした。実際に4種類(化学実験3種類, 料理1種類)の手順依存型作業支援アプリケーションの開発を通じて、その記述力を確認した。

②実験作業状況の把握手法の開発

実験作業状況を把握するにあたっては、実際の学生実験環境での適用可能性を重視して手法を選択した。従来は物体側に加速度センサや無線タグを貼付したり、カメラで直接的に行動を認識する試みがなされてきた。しかし、試験管のように液体や熱の影響を受けると考えられる物体に対しては、電子回路を貼付しにくかったり、多様な物体や作業内容を正確に認識するほど画像認識技術が確立されていないことから、拡張現実感で用いられる視覚マーカーを用いた手法を開発した。

すなわち、図5に示すように、視覚マーカーの検出・不検出、一定距離内への接近・離脱といった位置関係の変化に関するイベントとマーカーが貼付されている物体の意味情報を組み合わせて「アルコールランプの近くにマッチ箱が置かれた」(左から2つ目)といった作業内容を認識する。

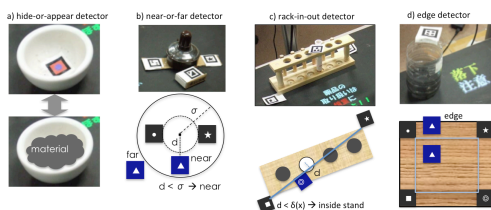


図5 視覚マーカーによる作業認識

③机上への情報提示手法の開発

既存の実験卓を活用できるように、プロジェクトにより上部から情報を投影する方式を採用した。図6に見られるように、投影の際には、物体の底面積(図3のObject Information Managerより取得)と置かれている象限を考慮して、物体に重ならず、机からはみ出ない場所を動的に計算する手法を考案した。

以上をまとめると、図7のように視覚マーカーを取り付けた物体の位置関係(中央)や物体の位置(右)に応じて情報を付近に投影することができる。なお、アノテーション方式に関しては、情報と対象の関連づけ速度と正解率を求めた結果、物体に付加されているマーカーと情報の双方に共通する「色」を用いる方式がやや良好な結果となった。

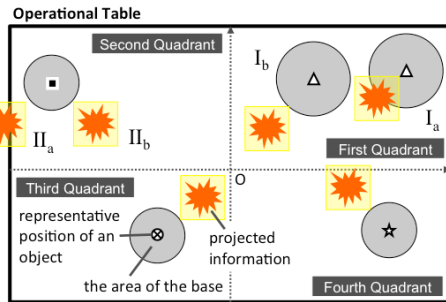


図6 情報投影時の工夫



図7 視覚マーカーを用いた作業認識と物体付近への情報提示

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2件)

1. Akifumi Sokan, Ming Wei Hou, Norihide Shinagawa, Hironori Egi and Kaori Fujinami; "A Tangible Experiment Support System with Presentation Ambiguity for Safe and Independent Chemistry Experiments", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Vol. 3, No. 2, pp. 125-139, Springer, 2012. (査読有)

2. Kaori Fujinami, Nobuhiro Inagawa, Kosuke Nishio and Akifumi Sokan; "A Middleware for a Tabletop Procedure-aware Information Display",

Multimedia Tools and Applications, Vol. 57, No. 2, pp. 269-293, Springer, 2012. (査読有)

[学会発表] (計 2 4 件)

1. Kaori Fujinami and Akifumi Sokan; “Nondirective Information Presentation for On-site Safety Training in Chemistry Experiments”, In Proc. of ACM International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI2012), pp. 308-311, Capri Island, Italy, 2012/5/22. (査読有)

2. 内藤理佐, 宗官祥史, 藤波香織; “化学実験中における危険回避と安全学習の両立に向けた情報提示タイミングの基礎検討”, 情報処理学会第 74 回全国大会, 6ZG-1, 愛知県名古屋市, 2012/3/8. (査読無)

3. Akifumi Sokan, Hironori Egi and Kaori Fujinami; “Spatial Connectedness of Information Presentation for Safety Training in Chemistry Experiments”, In Proc. of ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces 2011 (ITS2011), pp. 252-253, Kobe, Japan, 2011/11/15. (査読有)

4. Kaori Fujinami; “Smartness for People and Objects”, Infotech Oulu Lecture Series, Oulu, Finland, 2011/1/18. (査読無. 依頼講演)

5. 藤波香織; “コンピュータが埋め込まれた日常物による実世界活動の強化”, 早稲田大学グローバル COE 第 7 回シンポジウム, 東京都新宿区, 2010/12/18. (査読無. 招待講演)

6. 宗官祥史, 松澤沙緒里, 江木啓訓, 品川徳秀, 藤波香織; “化学実験の安全学習支援のための警告メッセージにおける多義性尺度設計の基礎検討”, ヒューマンインタフェース学会 第 68 回研究会報告集 Vol. 12, No. 10, pp. 5-12, 奈良県, 2010/11/17. (査読無)

7. Akifumi Sokan, Nobuhiro Inagawa, Kosuke Nishijo, Norihide Shinagawa, Hironori Egi and Kaori Fujinami; “Alerting Accidents with Ambiguity: A Tangible Tabletop Application for Safe and Independent Chemistry Experiments”, In Proc. of the 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2010), pp. 151-166, Xi'an, China, 2010/10/27. (査読有)

8. 江木啓訓, 松澤沙緒里, 宗官祥史, 品川徳秀, 藤波香織; “化学安全学習における周辺情報の提示に関する検討”, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2010 予稿集, pp. 25-29, 新潟県, 2010/9/16. (査

読有)

9. Kaori Fujinami; “Weaving Information into Daily Activities to Maximize the Effects”, “East Meets West” workshop in conjunction with British Computer Society HCI conference (BCS-HCI2010), Dundee, Scotland, 2010/9/6. (査読無. 招待講演)

10. Kaori Fujinami, Akifumi Sokan, Nobuhiro Inagawa, Kosuke Nishijo, Norihide Shinagawa and Hironori Egi; “A Preliminary Experiment on Ambiguous Presentation for Safe and Independent Chemistry Experiments”, In Adj. Proc. of the 8th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive2010), Helsinki, Finland, 2010/5/18. (査読有)

11. 宗官祥史, 稲川暢浩, 品川徳秀, 江木啓訓, 藤波香織; “危険情報の提示による化学実験の安全技能向上支援原理の基礎検討”, インタラクション 2010, pp. 103-106, 学術情報センター (東京), 2010/3/1. (査読有)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~fujinami/lab/ost4ce.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤波 香織 (FUJINAMI KAORI)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10409633

(2) 研究分担者

品川 徳秀 (SHINAGAWA NORIHIDE)

筑波大学・図書館情報メディア研究科・研究員

研究者番号：60334215

江木 啓訓 (EGI HIRONORI)

東京農工大学・総合情報メディアセンター・助教

研究者番号：30422504

(3) 研究協力者

レンゴロ ウレット (LENGGORO WULED)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10304403