

視線追跡装置とフットペダルを利用した実験支援インタフェース

門田暁人*, 松矢明宏***, 大和正武***, 松本健一*

An Experiment Support Interface Using
an Eye-Tracking Device and a Foot PedalAkito MONDEN*, Akihiro MATSUYA***, Masatake YAMATO***,
Ken-ichi MATSUMOTO*

This paper proposes an interface to support biological experiments. The interface provides a digitally converted protocol and movies, which helps experimenters to understand the protocol, and enables the experimenters to access them by using an eye tracking device and a foot pedal. The result of an experimental evaluation with "an experiment to dissect a horse mackerel" showed that while subjects without the interface made 8.4 misses on average, subjects with the interface did not make any mistake. Moreover, the result of an evaluation by questionnaires to subjects showed that the interface was very useful and it did not annoy the subjects.

キーワード：ユーザインタフェース，実験支援，視線追跡装置

1. はじめに

多くの生物学実験は、実験手順書（プロトコル）に基づいて実験が進められる。しかし、経験の浅い実験者は、手順書通りに作業が進められず、作業の正確性を欠いたり作業手順を誤ったりするため、何度も実験をやり直すことがある。

実験者が繰り返し誤りをおかす理由の一つは、実験上の制約により実験中に手順書を読むことが困難なことである。多くの実験では、クリーンベンチと呼ばれ

る実験台に両腕が拘束されるため、手順書のページをめくることが物理的に難しいだけでなく、手順書などのクリーンベンチの外にある物に触れることが禁止されている。

もう一つの理由は、手順書に書かれた内容が必ずしも十分に詳しくないことである。例えば、手順書の中で「マウスから脾臓を採取する」とだけ書かれていた場合でも、実際には、上皮の切除、腹壁の切除、欠陥の切除等のより詳細な作業を順に実施する必要がある。

本論文では、実験者の作業支援を目的として、両手がクリーンベンチに拘束された状態であっても、手順書、及び、その補助となる情報（動画）を視線追跡装置とフットペダルにより参照可能とするインタフェースを提案する。

* 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute
of Science and Technology

** 現在、日立公共システムエンジニアリング株式会社
Hitachi Government & Public Corporation System En-
gineering, Ltd.

*** レッドハット株式会社
Red Hat Japan, Inc.

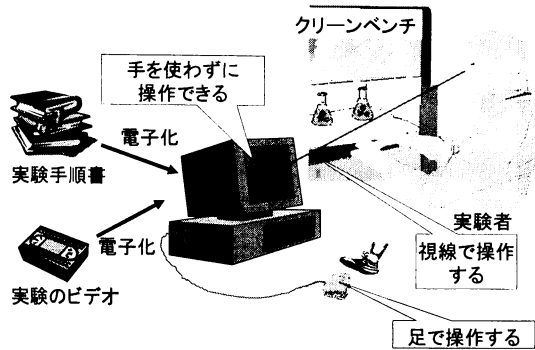


図1 提案インターフェースの概略

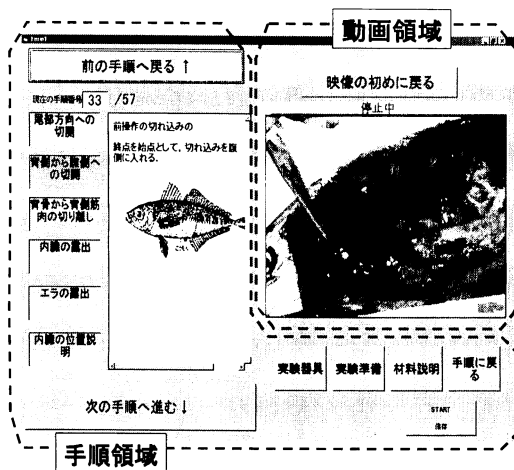


図2 提案インターフェースの画面

2. 提案するインターフェース

2.1 概要

提案インターフェースの概略を図1に示す。提案インターフェースでは、次の資料を電子化して計算機に保存する。

(1) 実験手順書：次の4つの部分から構成される。

- (ア) 実験器具や試薬の説明（ピンセット、ピペット、滅菌シャーレ等）
- (イ) 実験準備（クリーンベンチやトレイの消毒等）
- (ウ) 実験材料の説明（実験材料の配置、消毒に関する説明）
- (エ) 実験内容（実験のメインとなる手順）

(2) 手順の理解のためのビデオ

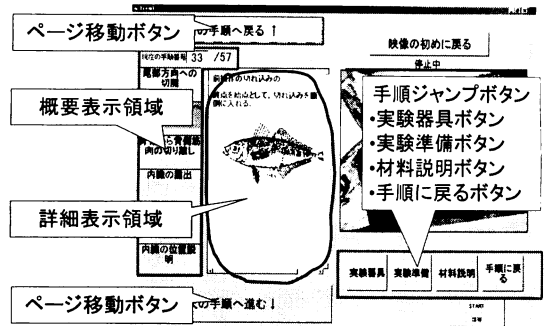


図3 手順領域

提案インターフェースでは、上記の(ア)~(エ)を一連の手順としてまとめ、各手順の作業内容を1ページずつ順番に閲覧したり、ページ間をジャンプするための仕組みを提供する。また、各手順に対応したビデオ（動画）を閲覧する仕組みを提供する。

計算機への入力手段としては、実験者の視線と足を用いる。視線を計算機の入力として利用するために、視線追跡装置を用い、足を入力として用いるためにフットペダルを利用する。

提案インターフェースの画面は、2つの領域から構成される（図2）。実験者に実験手順を示す「手順領域」（左側、及び、下側）と、手順の理解を補助するための情報を示す「動画領域」（右側）である。

2.2 提案インターフェースの画面構成

2.2.1 手順領域

手順領域は、各手順の作業の概略を表示する概要表示領域、各手順の詳細な作業内容を表示する詳細表示領域、ページ移動ボタン、及び、手順ジャンプボタンから構成される（図3）。概要表示領域では、現在の手順の概要、その一つ前の手順の概要、及び、4つ後ろまでの手順の概要が表示される（合計6手順）。現在の手順の詳細は、詳細表示領域に示される。この領域では、文章の他に必要に応じて図も示される。

実験者は、実験の進行に合わせてページ移動ボタンを選択することで、次の手順に進んだり前の手順に戻ることができる。実験手順は大きく4つの部分（実験器具と試薬の説明、実験準備、実験材料の説明、実験内容）に分かれており、手順ジャンプボタン（「実験器具ボタン」「実験準備ボタン」「実験材料ボタン」）

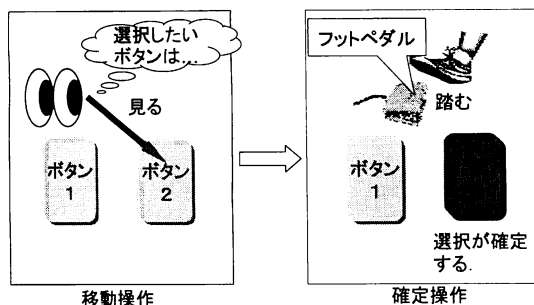


図4 視線と足の併用方式

を選択することで、一時的に各部分の手順の先頭にジャンプできる。「手順に戻るボタン」を選択した場合には、ジャンプ前の手順に戻ることができる。

2.2.2 動画領域

動画領域は、動画表示領域、動画頭出しボタン、及び、状態表示領域から構成される。実験の各手順の理解を促進するための動画が動画表示領域に表示される。この動画は各手順とリンクしており、手順の切り替わりに合わせて再生される動画も自動的に切り替わる。

2.3 視線とフットペダルによる操作

2.3.1 ボタンの選択方式

実験者はクリーンベンチの外にある物に触れることができないため、計算機のマウスやキーボードを手で操作して計算機画面上のボタンを選択することは困難である。そこで、目と足を使うことによりボタンを選択できる方式を提案する。

提案方式では、ボタンの選択操作を(a)カーソルを選択したいボタンの領域内へ移動する操作(移動操作)と(b)ボタンを押して選択を確定する操作(確定操作)に分ける。そして、(a)の移動操作用デバイスには視線追跡装置を用い、(b)の確定操作用デバイスにはフットペダルを用いる(図4)。実験者は、選択したいボタンを目で見てフットペダルを踏むことで、そのボタンを選択できる。

従来、キーボードやマウスの代わりに視線を入力として用いる視線インタフェースの研究が盛んに行われており、計算機画面上のボタンを視線により選択する方式が提案されてきた⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。実験者が注視したボタンが即座に選択される方式が最も直感的であるが、意図せずに見たボタンが次々と選択されてしまうとい

う問題(Midas touch problem)が起こる⁽¹⁾。本論文では、視線と足を併用することでMidas touch problemを解決しつつ、ボタンの効率的な選択を可能としている。

一方、視線を用いずに足だけで操作を行うことも考えられる。金田他⁽²⁾は、上肢障害者のための入力装置として、フットマウスと呼ばれる両足で操作するトラックボールを提案している。しかし、フットマウスは通常のマウスと比べて著しく操作効率が悪いことが報告されており、本論文では視線を併用することにした。

実験者の注視点の計測にあたっては、視線追跡装置の計測誤差の問題、及び、眼球の固視微動の問題⁽⁴⁾があり、正確な注視点の計測は容易でないが、提案するインタフェースでは、十分に大きなボタンを画面上に配置することで、誤選択ができるだけ起こらないように配慮した。また、計測誤差の問題を緩和するために、注視点が計算機画面上にあり、かつ、どのボタンの選択領域にも入っていない場合は、フットペダル押下時に最寄りのボタンが選択される方式(Auto方式)を採用した⁽⁴⁾。

2.3.2 動画の制御方式

動画領域では、実験者が動画表示領域を見た場合に、動画の再生を自動的にを行い、動画表示領域から視線を外すと、自動的に再生を一時停止する。再び実験者が動画表示領域を見た時点で、動画の再生を再開する。また、動画表示領域の閲覧時にフットペダルを1回踏むと、再生中の動画が3秒前に巻き戻され、再生が再開する。動画の先頭から再生したい場合には、動画頭出しボタン(図2の「映像の初めに戻る」ボタン)を選択する。

2.4 実装

ディスプレイとして、解像度を1,024×768ピクセルに設定した21インチのものをを用いた。有効表示領域の大きさは縦30cm、横40cmであり、図2の提案インタフェースをほぼ画面いっぱいに表示させた。

視線の計測には、NAC社製の視線追跡装置EMRNCを用いた⁽⁵⁾。この装置は非接触型であるため、視線計測による実験者の負荷は大きくない(実験者はマーカーの付いた眼鏡をかけるだけでよい)。眼球から50

cm前方に位置するディスプレイ上では、注視点の計測誤差は0.9~1.7cmである⁽³⁾。

図2に示されるように、最も使用頻度の高いボタン「前の手順へ戻る」「次の手順へ進む」を上下に離して設置したため、この2つに関しては計測誤差による誤選択が発生する可能性は低い。

一方、図2の右下の4つの手順ジャンプボタンは、サイズは十分に大きい(約2cm×2cm)ものの、近接して配置されているため、誤選択が発生する可能性がある。そこで、提案方式では、ボタンの誤選択を抑止するために、視線が選択可能な領域(ボタンの上)に入った時点でその領域の色を変え、視線が領域内から出ると元の色に戻すことにした。実験者は、選択したいボタンを見て、そのボタンの色が変わるのを確認してからフットペダルを踏むことで、誤選択を避けつつボタンの確定を行うことができる。

フットペダルは、MIDI (Musical Instrument Digital Interface) 端子を備えた Roland 社製 FC-50を用い、ペダルのオン/オフの情報を MIDI 信号として計算機で受信した。提案インタフェースは、Microsoft Visual Basic 及び Visual C++を用いて実装し、Windows NT 上で動作する。

3. 評価実験

3.1 概要

本実験の主目的は、提案インタフェースにより実験ミス発生回数を軽減できることを確かめることである。実験動物として鰯(アジ)を用い、手順書中で示され

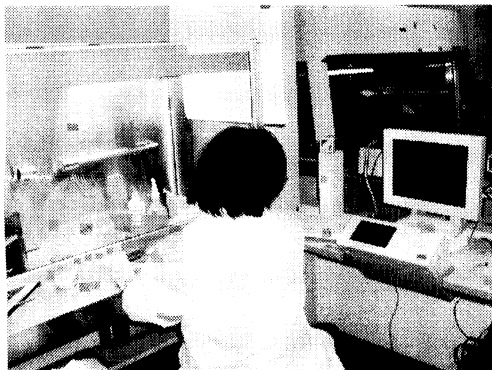


図5 提案インタフェースを用いた実験

る五つの臓器(エラ、肝臓、胃、心臓、脳)を摘出する実験を行った。提案インタフェースを用いた実験の様子を図5に示す。

3.2 被験者

被験者は9名で、いずれも奈良先端科学技術大学院大学の学生である。4名が提案インタフェースを使用し、残りの5名は使用せずに実験を行った。ここでは、インタフェースを使用した被験者をそれぞれU1, U2, U3, U4と記し、不使用の被験者をそれぞれN1, N2, N3, N4, N5と記す。U1とN1はバイオサイエンス研究科の学生で、U2~U4とN2~N5は情報科学研究科の学生である。いずれの被験者も、これまでに動物を用いた実験を行ったことがなかった。U1~U4は日常的に計算機を使用しており、視線と足を併用したボタンの選択方式については、簡単な説明と練習だけで正しく理解し操作できた。

3.3 手順書と動画

実験で用いる手順書の手順数は全部で58あり、手順番号1~10は実験器具と試薬に関する説明、11~31は実験準備、32は実験材料の説明、33~58はメインとなる実験の手順(後かたづけを含む)である。インタフェース使用グループは電子化された手順書を閲覧し、不使用グループは紙に書かれた手順書を閲覧する。手順書にはアジの模式図、及び、アジに切れ込みを入れる場所を示す図が含まれる。紙の手順書はA4サイズで6ページである。手順中で取り扱う器具は11種類、薬品は3種類である。

補足資料として、過去に実施された同じ課題の実験の映像を用意した。映像の長さは15分程度である。全ての被験者は、実験に先立ってこの映像を自由に閲覧できる。実験の各手順に対応するように映像を58個に分割し、提案インタフェースの動画領域にて閲覧可能とした。

3.4 タスク

実験のタスクは次の3つの手順から構成される。

(1) 紙製の実験手順書及び実験のビデオによる学習

このタスクは全ての被験者が行った。手順書と解剖映像を各被験者に30分間自由に閲覧してもらい、

内容をできるかぎり記憶してもらった。

(2) 手順書に基づく解剖実験

各被験者は、手順書通りにアジを解剖し、5つの臓器を摘出した。臓器の摘出ミス等により実験の続行が不可能となった場合には、新たなアジを用意し、成功するまで実験を繰り返してもらった。

(3) 評価用アンケートに対する回答

インタフェース使用グループは、インタフェースの使用感を評価するためのアンケートに回答する。アンケートは3部（総合評価、手順表示機能の評価、動画表示機能の評価）から構成される。総合評価の質問が14項目、手順表示に関する質問が11項目、動画表示に関する質問が8項目である。被験者は、アンケートの各質問に対して5段階評価（有用でない -2 ~ +2 有用である）を行った。

4. 実験結果と考察

4.1 誤りの回数

誤りの回数を表1に示す。表中の(*)印は臓器の摘出誤りが発生したために、実験続行が不可能となり、実験中にアジの交換を行ったことを示す。インタフェース使用グループでは全被験者が一度も誤りをおかさなかった。一方、不使用グループは全被験者が誤りをおかし、その平均回数は8.4回であった。今回の実験では、インタフェース使用グループだけでなく不使用グループに対しても、非常に詳細な実験手順書（実験器具、試薬、実験準備、実験材料に関する説明を含む）とビデオを与えたが、不使用グループは実験中に非常に多くの誤りをおかすことが観測された。以上のことから、詳細な実験手順書とビデオを用意するだけでは初心者の実験誤りをなくすことは難しく、提案インタ

表1 誤りの回数

| 使用グループ | | 不使用グループ | |
|--------|---|---------|-------|
| U1 | 0 | N1 | 9 |
| U2 | 0 | N2 | 4 |
| U3 | 0 | N3 | 6 |
| U4 | 0 | N4 | 13(*) |
| - | - | N5 | 10(*) |
| 平均 | 0 | 平均 | 8.4 |

(*)は臓器の摘出誤りの発生を示す。

フェースを用いることで実験誤りを大幅に減らすことができる（もしくは誤りをゼロにできる）ことが分かった。また、インタフェース使用により、致命的な誤りである臓器摘出誤りも低減できることがうかがえた。

表2 アンケート結果（総合評価）

| 質問内容 | 評価 |
|-----------------------|------|
| システムは解剖実験に役立った。 | 1.75 |
| システムを使用した方が実験を正確にできる。 | 2.00 |
| 手順及び映像は見やすい。 | 1.00 |
| 自由に見たい箇所に行ける。 | 1.25 |
| 操作方法は分かりやすい。 | 1.50 |
| システムに使われている用語は分かりやすい。 | 1.75 |
| システムの操作方法に一貫性がある。 | 2.00 |
| 動作原理の理解に負担を感じない。 | 2.00 |
| 情報提示方法は思考に合っている。 | 1.75 |
| 使用時にストレスを感じない。 | 0.75 |
| 材料説明ボタンは押しやすい。 | 1.00 |
| 材料の説明は役立った。 | 0.50 |
| 実験準備ボタンは押しやすい。 | 0.75 |
| 実験準備の説明は役立った。 | 1.00 |

表3 アンケート結果（手順表示）

| 質問内容 | 評価 |
|-------------------|------|
| 実験中の手順の閲覧は役立った。 | 2.00 |
| 手順の内容は適切であった。 | 1.75 |
| 役立つページがあった。 | 2.00 |
| 手順の概要表示機能は役立った。 | 1.75 |
| 手順の詳細表示機能は役立った。 | 1.50 |
| 手順番号表示機能は役立った。 | 0.25 |
| レイアウトは簡潔である。 | 1.00 |
| 前の手順に戻るボタンは押しやすい。 | 1.00 |
| 前の手順に戻るボタンは役立った。 | 1.50 |
| 次の手順に進むボタンは押しやすい。 | 1.50 |
| 次の手順に進むボタンは役立った。 | 1.00 |

表4 アンケート結果（動画表示）

| 質問内容 | 評価 |
|-----------------------|-------|
| 実験中の動画の閲覧は役立った。 | 2.00 |
| 動画の内容は適切であった。 | 1.75 |
| 動画を再生するタイミングは適切であった。 | 2.00 |
| 見ると動画が自動再生される機能は役立った。 | 2.00 |
| 動画の巻き戻し機能は役立った。 | -0.25 |
| 動画の頭出し機能は役立った。 | -0.50 |
| 動画の状態表示機能は役立った。 | 0 |
| レイアウトは簡潔である。 | 1.75 |

なお、2つのグループの間では、実験に要した時間に有意差は見られなかった。

4.2 アンケート結果

アンケートの回答結果を表2～4に示す。表中の数値はアンケートの各項目に対して回答された評価値の平均を表す。

総合評価においては、全ての項目の評価値の平均は正の値であった。このことから、提案インタフェースは全体的に高い評価を得たといえる。特に、「システムを使用した方が実験を正確にできる」という項目に対しては、全員が最高の評価である2を回答し、提案インタフェースが実験の正確さの確保に役立つことが伺えた。また、操作方法の一貫性、動作原理の理解のしやすさ、及び、情報提示方法についても全員が2を回答した。「使用時にストレスを感じない」という項目に対しては、評価の平均値は0.75であり最高評価ではなかったものの、提案インタフェースが実験を進める上で大きなストレスとならないことが分かった。手順表示機能に対しても全ての項目の平均値は正の値であり、提案インタフェースの手順表示機能は全体的に高い評価を得たといえる。特に、「実験中の手順の閲覧は役立った」「手順の内容は適切であった」「手順の概要表示機能は役立った」「手順の詳細表示機能は役立った」の4つの項目に対しては、評価値の平均値は1.75～2であり、手順の概要、及び、手順の詳細を実験中に閲覧できることに対して非常に高い評価が得られた。一方、「手順番号表示機能は役立った」に対しては、平均値は0.25であり、手順番号表示機能は他の機能程評価が高くなかった。

動画表示機能に対しては、3つの質問（動画の巻き戻し、動画の頭出し、動画の状態表示）以外は評価値の平均は正の値であり、概ね高い評価が得られた。特に、「実験中の動画の閲覧は役立った」「映像を再生するタイミングは適切であった」「見ると動画が自動再生される機能は役立った」という項目に対しては全員が2を回答し、提案方式による動画再生が実験の遂行に役立つことが分かった。一方、評価の低かった3つの質問から、動画の巻き戻しと頭出し、及び、動画の状態表示はさほど役立っていないことが分かった。この原因は、各動画の再生時間が20秒程度であり、頭出

しや巻き戻しをさほど必要としなかったためと考えられる。より長時間の動画を用いた場合には、これらの機能が役立つ可能性がある。

5. まとめ

本論文では、初心者の生物学実験の支援を目的として、手順書及び手順書の理解を補助する資料を電子化されたファイルとして計算機上に蓄積し、視線とフットペダルを用いて実験中に閲覧可能とするインタフェースを提案した。

本インタフェースを開発するに至った問題点は、評価実験の結果においても示されるように、詳細な実験手順書と手順の解説ビデオにより実験内容の学習を行ったとしても、初心者は実験中に非常に多くの誤りをおかすことである。評価実験の結果、提案インタフェースは生物学実験における誤りを軽減でき、実験者の評価も高いことが分かった。今後は、様々な実験において汎用的に用いることのできる仕様書の記述フォーマットについて検討していく予定である。

(2004年4月27日 受付)

参 考 文 献

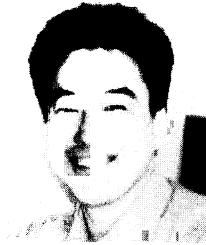
- (1) Jacob, R. J. K.: "What You Look At Is What You Get: Eye Movement-based Interaction Techniques", Proceedings of Human Factors in Computing System Conference, pp.11-18 (1990)
- (2) 金田忠裕, 西高志, 土井智晴, 藤沢正一郎, 吉田丈夫: "上肢障害者のためのヒューマン・インターフェース装置", 電子情報通信学会技術研究報告 No.ET98-129, pp.83-88 (1999)
- (3) 大野健彦: "視線を用いた高速なメニュー選択作業", 情報処理学会論文誌 Vol.40, No.2, pp.602-612 (1999)
- (4) 大和正武, 門田暁人, 松本健一, 井上克郎, 鳥居宏次: "一般的な GUI に適した視線・マウス併用型ターゲット選択方式", 情報処理学会論文誌 Vol.42, No.6, pp.1320-1329 (2001)
- (5) 吉川厚, 大野健彦: "視線を読むユーザーにやさしい視線測定環境", NTT R&D, Vol.48, No.4, pp.399-

408 (1999)

理学会, IEEE, ACM 各会員。

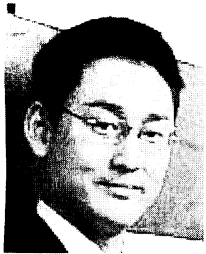
著者紹介

門田 暁人



1994名大・工・電気卒。1998奈良先端科学技術大学院大博士後期課程修了。同年同大情報科学研究科助手。2004同大助教授。博士(工学)。ソフトウェアの安全性, 信頼性, ユーザインタフェースの研究に従事。教育システム情報学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, JSSST, IEEE, ACM 各会員。

松矢 明宏



1999京産大・生物工卒。2001奈良先端科学技術大学院大博士前期課程修了。同年日立公共システムエンジニアリング株式会社入社。ヒューマンインタフェース, バイオインフォマティクスに興味を持つ。

大和 正武



1997立命館大・理工・情報卒。2002奈良先端科学技術大学院大博士後期課程修了。同年レッドハット株式会社入社。博士(工学)。オープンソースソフトウェア, ヒューマンインタフェースに興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各会員。

松本 健一



1985阪大・基礎工・情報卒。1989同大大学院博士課程中退。同年同大基礎工学部情報工学科助手。1993奈良先端科学技術大学院大助教授。2001同大教授。工学博士。エンピリカルソフトウェア工学の研究に従事。電子情報通信学会, 情報処