

## 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 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：52201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：H22～24

課題番号：22500954

研究課題名（和文）

仮想現実を用いた実験実習装置の開発

研究課題名（英文）

Development of experiment training device using the virtual reality

研究代表者

石原 学（ISHIHARA MANABU）

小山工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号：20211047

研究成果の概要（和文）：

本研究では、技術者に求められるデザイン教育について、ものづくり作業も含みながらの一連のカリキュラムについて力覚装置の試作を基にトライアルから述べて、モデルカリキュラムを提案した。さらに、仮想現実の装置である力覚装置とタブレットを協働作業するシステムを検討し、その問題点について明らかにした。また、力覚装置を利用した表面形状の識別について弁別閾を実験から求めた。今後、仮想現実中での再現やネットワーク等を利用して遠隔の装置を操作する場合の形状識別のための知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：

Haptic displays are developed actively, and haptic media will be in widespread use. The virtual reality (VR) is one in the intelligence information communications technologies. As the application to the education field of VR, we conduct the experiment that trialists use the system. As a result, the effectiveness of the education of producing objects for a design education is considered. The virtual reality (VR) is one in the intelligence information communications technologies. As the application to the education field of VR, we construct a support system for the penmanship using the pen tablet. The purpose of this system is to realize the penmanship model for pen strokes. As result, we can learn penmanship freely without being limited to place and time. The smoothness of the paper medium will change depending on the paper quality. We examined methods of sensing roughness with haptic displays. Representation of paper quality applies to dictionaries, notebooks and other everyday items, not just calligraphy and washi paper.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
平成 23 年度	600,000	180,000	780,000
平成 24 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育，教育工学

キーワード：教育工学，バーチャルリアリティ，ネットワーク工学，ユーザインタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

“ものづくり”のキーワードは、日本にお

ける技能者・技術者の重要なテーマであり、文部科学省や厚生労働省をはじめとする各

省庁の重要な要件となっている。我々教育機関、特に理工学分野において“ものづくり”は重要な課題となっているものの理科離れが言われて久しい。それは、初等中等教育におけるものづくり経験の減少や授業における課題の減少も原因の一つと考えられる。経験の少なさから、ものを作る興味や工夫に対応できていない。そのような背景からカリキュラムとして初期導入にもものづくりを組み入れる工夫がされている。また、“ものづくり”は、古くはものが作れることであって、指示した(された)ものを、作る作業としていた時期があった。模倣することで技能・技術を取得する過程である。技能者の顕著な例では、技能五輪(国際技能競技大会)において出題される課題にもその傾向があり、当初日本が上位を得ていたものの、20世紀後半には下位を低迷することになった。これは、ものをつくるだけを教育・訓練の中心としたことによる。しかし、その技術を超えるところから創意工夫が必要とされるように変化した。その結果として、新しい技術への発展を求める時代の流れがあり、この世界的な変化に対応して、最近では単純なものをつくる以外の要素を取り入れた成果が表れ、また世界の上位を得られるようになってきている。

## 2. 研究の目的

我々工学教育の立場において、JABEE や認証評価において“ものづくり教育”と“創造性教育”の創生と“デザイン教育”が求められている。これらがイコールなのか、それぞれが異なるものなのかは解釈者によって見解が異なっている。JABEE では、エンジニアリング・デザイン教育(デザイン教育)の観点として以下の3点を挙げている。1. デザイン能力に関して具体的な達成目標を設定しているか。2. 学生がデザインあるいは問題解決策についての学習体験をしているか。3. 学生に以下のような能力を育成できる内容を含む複合的な課題を提示しているか。4. 提案される達成度評価を実施しているか。このJABEEの文章中には、創造性と問題解決能力のキーワードが記述されているので、ものづくり教育を含むことにより一通りのカリキュラムが実施できる。また、目標学習成果がどの程度まで身に付いたかをデザイン教育の重要性と関係付けている。

今までに実施され公表されている例からPBLである問題発見解決型(問題設定解決型)学習の授業に関しては特に定められた形式はなく、学科によってそれぞれ独自の手法が取り入れられている。共通的な取り組みや学科ごとの取り組みなどである。電気関係学科では、多くはハードウェア作成またはハードウェアとソフトウェアを組み合わせた種類の実施であった。または、ソフトウェア関連学

科では、PBL(Project Based Learning)としての教育が実施されているようである。さらに、電気系学科においての問題発見解決型(問題設定解決型)学習の情報教育を実践するために、主としてソフトウェアを中心としたPBL(Problem Based Learning)手法への実践例について報告されている。そこでまず、モデルカリキュラムについて検討した。

つぎに、力覚教材として習字システムの開発を行った。力覚装置とそれ以外の入力装置との協働利用について明らかにした。また、システムと考えた場合には、対象となる媒体である紙のイメージを検討する必要を感じ、紙のイメージの再現を試みた。力覚装置の場合とタブレット等の盤面の変化によって紙等の再現の可能性について実験より報告する。

## 3. 研究の方法

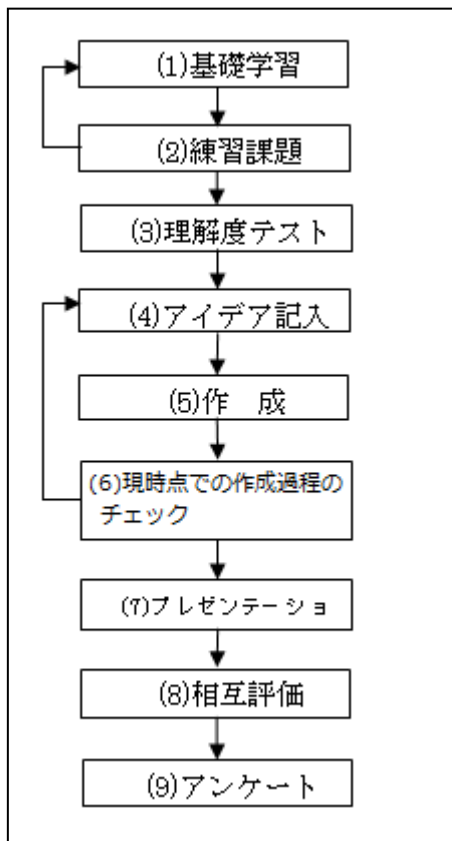
(1) カリキュラム開発 課題設定として東工大の佐藤誠教授が考案し発表しているSpidar-mouseを利用する。背景としては、近年のFlashコンテンツなど、視覚・聴覚効果を活用したインタラクティブ性の高いコンテンツが作成されている。これらのコンテンツに、五感の一つである触覚・力覚を加えることができれば、より現実感の高いコンテンツが作成できる。このことは利用方法を考えたときに自由度が高いと捉えることができる。そこで、公開されているSpidar-mouseの一連の試作をすることで、“ものづくり”をPBLの課題とし、ものづくり教育とデザイン教育を兼ねたカリキュラムとして実践した。

スケジュールは、図1の流れ図のように実施した。この流れは、石井らの研究事例と筆者のPBL研究を参考に筆者が今回の課題向きに変更したものである。まず、流れ(1)から(2)を2週間で実施し、次に予備学習終了後に(3)で学習の評価テストを実施する。内容としてはシステムの概要説明と原理の解説を行った。今回は(4)から(6)で各班の考える完成モデルを考案させ、作成スケジュールを検討させ、機構部・電子回路部・プログラム作成を行う。

この(6)において、毎時間の進捗状況を原因と結果チャート(フィッシュボーンチャート)に記述させ、完成までの予定時間と現在の完成度(結果)と動作の不具合点(原因)について報告をさせている。この実施時間は15週間である。1週に3時間連続授業を2回実施している。今回のトライアルとしては、高専の5年次学生を対象とした。最後に、成果についての報告会としてプレゼンテーションと評価(相互評価を含む)を実施した。基本的な構成として、ハードウェア構成としては、ノートPC、一般的なマウス、プーリ、

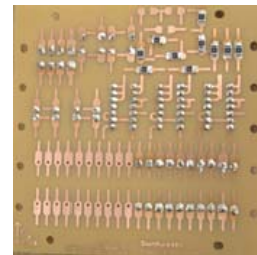
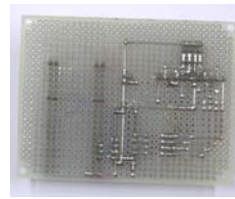
モータ、糸、PIC コントローラを用いた制御回路から構成される。力覚提示方法としては、糸の張力を用いるストリングベースの機構であり、モータで糸の聴力を制御することにより、2次元平面上の任意の方向へマウスに力覚を提示する。力覚制御コントローラとしては、4つのモータの制御性とPCとの接続性から、複数のPWM機能を有し、USBコントローラを内蔵しているPIC24USBを採用した。

①フレーム作成: Spidar-mouse で使用するマウス操作機構部を作成する。



制約条件：市販のフレーム材 16 本で作成するものとした。各フレームの長さは 12mm×200mm である。②電子回路の作成：ユニバーサル基盤を用いた配線方法と部品配置が回路デザインに関係するようにしている。③ソフトウェアの作成を中心に行う。さらに、①半田付のスキル②回路パターン設計③計画の進め方（業務分担）④プログラムの進め方である。1 グループ 3 名とし、5 班編成としている。特に、半田付けの訓練は実施しているものの、頻度はそれほど多くない。本実験ではチップ抵抗やキャパシタ等の微小部品が多く、はんだ付けには苦勞をし、動作不良の発生など問題があった。そこで、ユニバーサル部品を使ったパターンの訓練のために LED 表示回路を個人ごとにパターン設計と実装訓練を実施した。これは、部品をなるべく小さい面積中に設計配置して、半田付けを

して動作させている。また、一般部品やチップ抵抗等は、技能検定 3 級の訓練ボードを導入することで、技能の向上を図った。



また、日報としてポーンチャートとその日の作業について記載させている。これは、製作過程と納期の概念の訓練のためである。作業工程の必要性と理解を補強するために、企業から講師を招聘し業務分担の重要性や企業内訓練の実践を経験させるようにした。また、マニュアル作成を行い、実際に作成したものを第三者に伝えることとそのマニュアルだけを読んで復元できることを求めている。コミュニケーション能力をみている。設定目標は、最終的にソフトウェアとハードウェアを動作させて、一つのシステムとして動くことを目標としている。また、力覚装置を利用することが的確なソフトウェアであるかも対象になる。

①目標達成度：決めてある目標にどれだけ近づいたか。目標設定の確認と現状 ②問題解決能力（フィードバック）：問題点の把握と解決策の提案（フィードバック） ③科目との関連性：基礎科目や応用科目との関連を把握しているか。 ④チームワーク：班員がそれぞれ力を発揮しているか（相互の努力、班内の個人位置、提案のあり方） ⑤発表：コミュニケーション能力：発表方法を含む。

(2) 力覚装置による習字学習システム  
仮想現実（以降 VR とする）を実現するために SenseAble 社の PHANToM Omni という力覚装置を用いる。PHANToM Omni（以後 PHANToM Omni は PHANToM と略す）は、MATLAB/Simulink（MathWorks 社）によって構成され、バーチャル空間を体感することができる力覚ディスプレイである。制御用のコンピュータは、CPU: Intel Pentium4, 2.8GHz で RAM: 512MB, OS: Windows XP Professional SP2 の仕様である。ネットワークで接続された習字の教師側の PHANToM、生徒側の PHANToM 及び習字学習システム上の共有仮想空間である紙面で構成している。2つの PHANToM は動作状態を同期させてあり、教師側の PHANToM を動かすと生徒側の PHANToM が追従して教師側と同様の動作をする。生徒側の PHANToM を動かしても教師側には影響はない。この PHANToM のペン部分を毛筆とみなして、仮想空間内に作成された紙面に文字が書けるシステムとし、

仮想空間内で文字を書くと、実際に紙の上に文字を書いているような感覚が得られるように設計した。PHANToM のペン部分を毛筆とみなして、バーチャル空間内に作成された紙面に文字が描けるシステムである。バーチャル空間内で文字を書くと、実際に紙の上に文字を書いているような感覚が得られる。さらに、送受信の両側で力覚装置を用いない、簡易なシステムを考案した。これは、ペンタブレットと PHANToM との構成として協働作業を行うシステムとした。

ペンタブレットを操作することで PHANToM を制御し、PHANToM は誘導するように文字を書いているような感覚が得られるようにした。ペンタブレットは、WACOM 社ペンタブレット（型式：CTE-640、ペン入力 9bit）である。

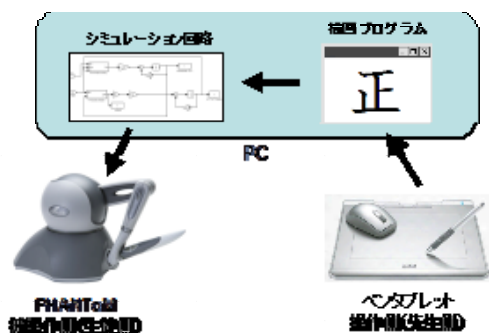


図2に示されたシステムにおいて、ペンタブレットで文字を書き、筆運びの速さを変化させて PHANToM で再表示させた。そのときの被験者の再現性に対する印象について調査した。力覚デバイスの PHANToM の操作性は構造上アームによる制限があるが、ペンタブレットにおいてはその制限がなく、自由度が高い。しかし、ペンタブレットでは、表現できる部分が数ミリと大変小さい。例えば、筆との対比をみてもその長さの違いがわかる。毛筆の長さで表現する文字の太さ等を変化させるように力覚デバイスを設計すると、ペンタブレットのペン部分では表現が難しい。また、ペンタブレット側では力覚の特性を出すことができない欠点がある。

### (3) 対象としての紙のモデル

(3-1) 力覚装置でのモデル：紙の表面感触のイメージや物の表面イメージを考へて、摩擦を利用することでモデル化する。力覚装置で摩擦を作成した時に、どの程度の大きさで摩擦を分別できるかを実験から求めた。摩擦力の閾値と主観的等価点を測定するに当たり、動摩擦と静止摩擦を用いた実験を各々に行った。被験者数は両実験共に 20 歳前後の男性 3 名である。測定では 2 種類の刺激を被験者に呈示し、両者の比較を求める。

比較尺度には被験者の主観的印象の大きさを「強い」、「等しい」、「弱い」の中から選択する 3 件法を用いた。

測定実験は、1 回につき被験者 1 名ごとに行った。被験者を PHANToM の前に着席させ、ペンの部分を持つように保持させた。被験者はコンピュータから出る合図に従い、腕だけを動かして、板状のモデルを任意の力で平行に撫でる様に動かした。被験者には SS 同士の組合せも含める 7 組の刺激を各々 10 回ずつの計 70 回をランダムに提示して判断を求めた。

(3-2) タブレット上でのモデル：本研究では、タッチスクリーン上で凹凸や粗さを表現するためにアクチュエータによりタッチスクリーン面を操作して、表面上に再現された刺激の相違を被験者が判別できる範囲について実験を行ったので報告する。測定には恒常法を用いた。被験者には比較の基準となる触覚（標準刺激）と比較対象となるその他の触覚（比較刺激）をそれぞれ与え、両者の触覚の強さの比較をした。比較尺度には[標準刺激より弱い]、[標準刺激と変わらない]、[標準刺激より強い]の中から選択する 3 件法で実施した。また、実験データの解析には確率モデルを導入し、最尤法を用いてデータに対するパラメータの解析を行った。予備実験を実施し、主観からの弁別閾が 1000 程度で判別可能であることが得た。この数値は本実験装置の設定値であり凹凸の変化は別途計測している。計測例を表 1 に示す。本実験の標準刺激は、振幅刺激の S5 (5000)、比較刺激は標準刺激を中心として 9 種類の触覚を S1=1000 から S10=10000 までを 1000 ごとに触覚を与えことにした。被験者数は 10 人で、年齢は 18 歳から 21 歳である。また、刺激はランダムに提示し被験者には刺激が想定できないように実施した。

## 4. 研究成果

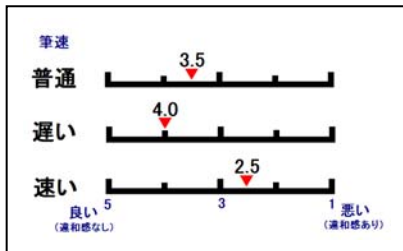
### (1) カリキュラムモデル：

本研究では、技術者に求められるデザイン教育について、ものづくり作業も含みながらの一連のカリキュラムについてトライアルから述べた。実際に、部材の提供については制限をかけ、如何にして提供されたものだけで完成させるかを問題とした。指定された装置は、指示された通りに完成させる。また、完成品のイメージは特に指定がなく、班ごとに完成品が異なる自由度を持たせた。身の回りにあまり存在していない装置である力覚装置をテーマとして使い、利用できる対象を考へて具現化させるようになっている。やはり電気情報系の学生であるので、紙の上や創造性の訓練だけでなく、自分たちの装置を何に使うか、どう動かすかをシステムとして考えることを期待している。機構部・電子回路部・ソフトウェア部と広範囲な知識とアイデ

ニアを必要とし、工作の手際とくに“ものづくり”も重要な項目になった。トライアルからの改訂項目である①半田付のスキル②回路パターン設計③計画進行方法④プログラムの補助のそれぞれについて実施した。新たな問題として、小さな問題にとらわれすぎる傾向が見られた。指導していく過程での注意が必要と考えられる。

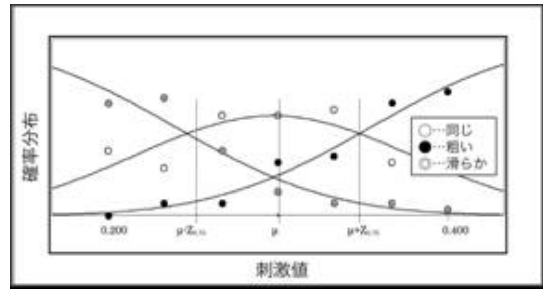
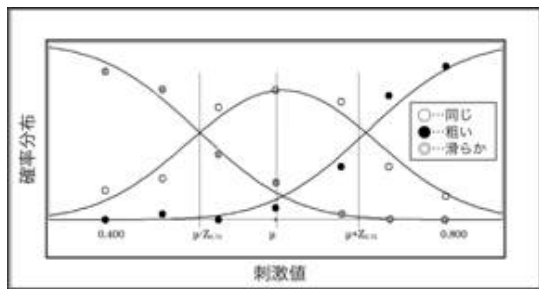
### (2) 力覚装置の協働作業

操作が速い場合の違和感を強く感じている。ペンタブレットの動きが遅いものが、力覚デバイスを通した情報提示として被験者に違和感が少なくなることが分かった。すなわち、力覚デバイスと異機種であるペンタブレットを用いて、共通のプラットフォームで操作できる筆文字入力システムを試作した。その結果、移動情報の変換などが復元情報として必要で被験者に違和感の発生原因になることが分かった。すなわち、筆運びの速度変化による連係情報に対する検討が必要である。力覚デバイスと異機種間での情報共有として、変化に対するフィルタ等のモデルを作成して適応を検討する必要がある。



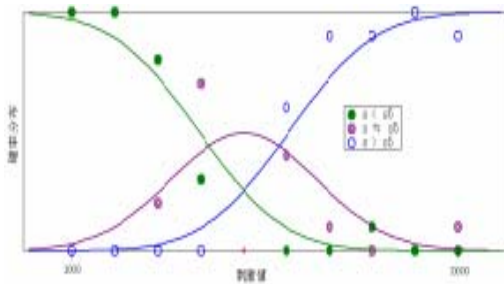
### (3) 対象での紙のモデル

(3-1) 力覚装置の PHANTOM を用いて、筆で和紙に文字を書くときの抵抗感を再現する実験を行った。そのときの、力覚装置に表現される静特性および動特性について実験を行った。横軸が呈示刺激値、すなわち摩擦係数を表し、縦軸が判断の確率あるいは比率を表している。小円がデータ値を表しており、◎が標準刺激の方が強い ( $S_i < S_4$ ) 判断、○が等しい ( $S_i = S_4$ ) 判断、●が比較刺激の方が強い ( $S_i > S_4$ ) 判断を表している。曲線が実験データから求めたパラメータ値による判断の確率である。



実験結果から、動摩擦では摩擦係数 0.600 を標準刺激とした場合、主観的等価点は  $\mu = 0.6083$  となる。静止摩擦では摩擦係数 0.300 を標準刺激とした場合、主観的等価点は  $\mu = 0.2972$  となった。標準刺激と主観的等価点の恒等誤差が小さく、個人の実験誤差が少ないことがわかる。一方、弁別閾は動摩擦で  $Z_{0.75} = 0.0685$ 、静止摩擦では  $Z_{0.75} = 0.0466$  となる。ここで垂直抗力の制限を考慮すると、それぞれ最大で 0.685[N], 0.466[N] の力の変化を感じ取る事ができているといえる。しかし、PHANTOM で呈示できるものはペンを握る手を通した力覚である。そのため、実験結果は皮膚感覚ではなく深部感覚の特性になるので、実際の手で感じ取れる摩擦力よりも遥かに大きくなってしまふ。しかし、本システムのように力覚装置を介して表面の粗さとして、ノートのように紙に書く・触る・めくるなどの基本動作の特徴として有用であると考えられる。しかし、PHANTOM 自身の持つ誤差の検討も重要な課題になった。

(3-2) タブレット面の変位モデルとして、タブレット PC 上の面をアクチュエータで振動させる方式で、面に接触するとタブレット面が反応するシステムを検討した。タブレット面は平面であるので、どの程度の変化があると被験者は平面でないかと判断できるのかを実験で明らかにした。実験システムは、Immersion 社が開発したタッチスクリーンを利用した。本実験では、タッチスクリーン上で指で押されると、その刺激によってタッチスクリーンが触覚を返すシステムとなっている。横軸は呈示刺激値、縦軸は判断の確率を表している。小円がデータ値を表しており、●が標準刺激より弱い ( $s < s_{10}$ ) 判断、◎が標準刺激と変わらない ( $s = s_{10}$ ) 判断、○が標準刺激より強い ( $s > s_{10}$ ) 判断となっている。曲線が実験データから求めたパラメータ値による判断の確率となっている。実験結果より、振幅では 5000 を標準刺激とした場合、主観的等価点は 5004 となる。標準刺激と主観的等価点の誤差が少ない。また、被験者が触覚の違いを感じる事が出来る振幅の閾値は 3942 から 6066 の間に存在しているといえる。しかし、ここで測定される閾値は装置の指定値であるので実寸としての変化値との換算を行う必要がある。



## 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1件)

1) Manabu ISHIHARA:” Prototype of Haptic Device and Pen Tablet Collaborative Work System”, Journal of Computing, Vol. 3, No. 8, pp. 51-54(2011) 査読有

〔学会発表〕(計5件)

1) 石原学:” デザイン教育へのものづくり教育への導入例—力覚装置の開発を例として—”, 電気学会, 教育フロンティア研究会, FIE-11-008, 2011年3月4日

2) 石原学, 今成一雄, 千田正勝, 小林幸夫:” エンジニアリングデザイン教育とものづくり教育—力覚装置の製作を課題として—”, 電子情報通信学会教育工学研究会, ET, 教育工学 111(141), 1-6, 2011-07-09

3) 石原学:” 仮想現実によるノートの感触の検討”, FIT(情報科学技術フォーラム), pp. 787-788, 2011. 09

4) 石原学, 鈴木真ノ介:” 表面の粗さを持つ教材を力覚装置で再現するための検討”, 電子情報通信学会総合大会, 情報・システム(1), pp. 224, 2012. 03

5) 石原学:” タッチスクリーン上の粗さ刺激の範囲”, 平成25年電気学会全国大会, 講演論文集3分冊, pp. 24, No. 3-019, 2013.

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 学 (ISHIHARA MANABU)

小山工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号: 20211047