

機関番号：32503

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500809

研究課題名（和文） 触覚コミュニケーションとその教育応用に関する研究

研究課題名（英文） Study and Development of Educational Applications on Haptics Communication

研究代表者

中村 直人 (NAKAMURA NAOTO)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：20201676

研究成果の概要（和文）：基礎研究として、触覚ディスプレイを用いてヒトの触覚特性を心理物理学の実験から解明を行った。その後、教育システムへの応用として、触覚をともなった触れるデジタル教材システムを開発した。さらに、健常者と視覚障害者を対象としたコミュニケーションシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：Basic Research, psychophysical experiments have elucidated the characteristics of human haptic perception using a haptic display. As an application, and develop the system accompanied by tactile touch digital materials. In addition, we developed a communication system who are visually impaired and healthy subjects.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：教育工学，マルチメディア

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，教育工学

キーワード：触覚，コミュニケーション，教育システム，障害者教育，インタフェース

1. 研究開始当初の背景

いわゆるVRの研究で、触覚（Haptics）に関する実現は、これまでも多くの事例がある。そのような触覚に関する研究の中で、研究代表者中村と連携研究者大西のグループは、心理物理学というアプローチで触覚に関する人間の認知特性の分析を行っている。このアプローチからの知見を本研究組織の専門分野である教育システムの開発に応用することが、本研究課題の着想の原点である。

一方、教育分野においてはマルチメディア利用が進んでおり、視覚・聴覚・触覚といった人間の感覚に働きかける直感的なマルチメディアシステム・教材の開発も活発に行われ、体感的直感的にイメージがつかみやすく

なり学習効率の向上が多く報告されている。その中で、触覚をともなったシステムは、力や働きを操作するといった力覚の制御に関するものであり、本来の触覚であるモノに触れることを表現したものは少ない。また、現在のマルチメディア教材には現実味が欠如しているとの指摘がされていることから、触覚の応用システムとして触覚本来の触るという行為ができるような触れる教材という発想に至った。

さらに、視覚障害者への触覚デバイスの利用として、触覚デバイスにふさわしい入出力提示方法が、これまでの本研究メンバーの触覚実験システムの構築経験から提案できるのではないかという課題が生み出された。さ

らにこのインタフェースを発展させ、ネットワークを介して障害者と健常者のコミュニケーションの実現ができれば、新たな形態での障害児・者教育の研究につながるものとして本研究の意義が明確になった。

2. 研究の目的

コミュニケーションにおいて、物体に触れた時の感覚すなわち「触覚」を伝え合うことは、頻繁に行われている行為である。とくに教育の場においては、実際に物体に触るという経験によりさまざまな知識を学習することは多い。そこで、本研究ではそのような物体に触れるという行為を通して、人と人あるいは人と機械が情報を伝える・操作することを「触覚コミュニケーション」とよび、遠隔教育・e-learningを対象とした触覚コミュニケーションの実現を目的とする。また、視覚障害者にとって触覚は重要な感覚であり、健常者の視覚と障害者の触覚とのコミュニケーションメディアの変換を実現し、障害者と健常者の協調的な学習や協調作業のシステムを開発する。

3. 研究の方法

- (1) 触覚に関するメカニズムを心理物理学による手法で解明する。
- (2) (1)の知見に基づき、人と人あるいは人と機械のコミュニケーションシステムを構築する。
- (3) 触覚をとまなうシステムを用いて教育、とくに視覚障害者のコミュニケーションに応用する。

これらのプロセスを単に年度ごとに順次行うのではなく、「触れる教材」などの応用のテーマや、明らかになった触覚のメカニズムなどに基づき並行して研究を進める。

4. 研究成果

(1) 力覚ディスプレイを用いて、触感覚は如何にして知覚されるのかについて、特に運動過程の影響から心理物理学的に実験を行った。ばねを代表する身近な物性の弾性は、その知覚を専用とする受容体は現在見つかっていない。そのため、他の受容された物理量を組み合わせて弾性として知覚されていると考えられる。弾性知覚の素朴な考え方は、変形に要した力を変形量で割るというもの（以下、素朴仮説）、あるいは弾性の最終的に掛かる力を手がかりに知覚する（以下、終端力仮説）ものだろう。

そこで、図1に示す力覚ディスプレイ PHAToM PREMIUM151AG (SensAble 社) を用いて、ばねを押し込んでいる最中に弾性係数が変化するような仮想ばねを構築した。そして、変化前の弾性が変化後の弾性に与える影響について、心理物理学の実験から、被験者の

主観的な弾性の大きさを示す主観的等価点（以下、PSE）を測定した。このとき、変化後の弾性係数はどの条件も一定とした。先に予測したように、素朴仮説や終端力仮説に従って弾性知覚が行われているのであれば、いずれの条件においても終端力が一定であれば、PSEは等しくなるはずである。



図1 実験に使用した PHAToM PREMIUM 151AG

図2に実験条件毎のPSEの測定結果（95%信頼区間）を、変化前の弾性係数毎にその持続時間の長さによる変化の様子を示す。

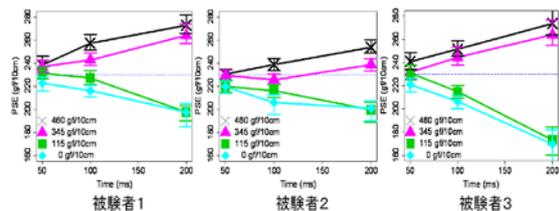


図2 変化前の弾性と持続時間によるPSE

どの被験者も、変化前の弾性係数が変化後よりも小さい（大きい）条件の時、実際の変化後の弾性よりも小さく（大きく）知覚し、弾性変化までの持続時間が長いほどより小さく（大きく）知覚した。さらに、変化後の弾性係数はいずれも一定であるにも関わらずPSEの値は異なった。これらのことから、弾性は単に終端力に基づいて知覚されているわけではなく、ばねを押し過程に依存して知覚されることが示唆された。

実験結果を基に、その結果を定量的に説明するモデルの提案を行う。実験結果から、積分量として知覚されるか積分量の項を含むと考えられる。さらに、変化前の弾性の大きさを知覚していた時刻が過去になればなるほど、その変化前の弾性の影響は小さくなったことから、忘却を含むと考えられる。そこで、ばねを押しプロセスでの反力とその変化率を考慮し、次のようなモデルを提案した。PSEは条件*c*における弾性の主観的等価点を表し、 ω は重みを、 $f(\tau)$ は時刻 *τ* における反力、 T は弾性を押し込む時間を、 λ は忘却係数表す。そして、反力、反力の押し込み位

置での微分, 反力の時間微分に関連する項の重みづけ平均となっている.

$$PSE^c = \omega_1 F_1^c + \omega_2 F_2^c + \omega_3 F_3^c$$

$$F_1^c = \frac{\int_0^T \lambda_1^{T-\tau} f^c(\tau) d\tau}{\int_0^T \lambda_1^{T-\tau} d\tau}$$

$$F_2^c = \frac{\int_0^T \lambda_2^{T-\tau} \frac{d}{d\tau} f^c(\tau) d\tau}{\int_0^T \lambda_2^{T-\tau} d\tau}$$

$$F_3^c = \frac{\int_0^T \lambda_3^{T-\tau} \frac{d}{d\tau} f^c(\tau) d\tau}{\int_0^T \lambda_3^{T-\tau} d\tau}$$

提案した推定モデルの選択には AIC の値を基準としその結果, 空間微分に関する項を除いた反力・時間微分モデルが選択された.

モデルの妥当性を検証するために, 新たな弾性の触運動知覚実験として, 弾性の反力の遅延実験を行った. そして, その実験結果と推定モデルによる PSE の推定結果とを比較した. その結果を図 3 に示す. 各点が実験による PSE を, 実線が本モデルによる推定された PSE を表す.

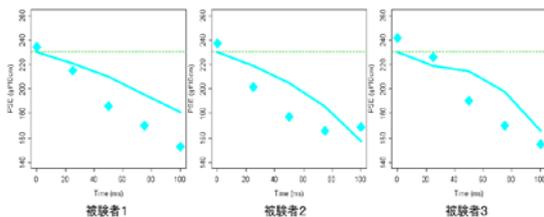


図 3 提案モデルによる反力遅延実験の推定結果

全体的にモデルから推定された PSE は, 実験による PSE の変化の傾向を捉えることができている. このため, 反力・時間微分モデルの妥当性が示唆された.

(2) 学校教育における ICT の活用として, 従来の教科書や参考書などによる理論の学習だけでなく, デジタル教材による視覚と触力覚を通じた体感的な学習をすることで, 定性的な理解と演繹的学習や興味の向上などが期待できる.

そこで, 仮想空間に配置された物体に対して力覚を伴った操作および物体の質感提示が可能なシステムを開発した. 三次元入力インタフェースとして力覚デバイスを用い, 仮想物体に設定された材質特性による様々な触り心地の体感が可能であり, さらに, 重力や摩擦といった物理特性の設定もできるシステムとした. 図 4 に本システムの外観を示す.

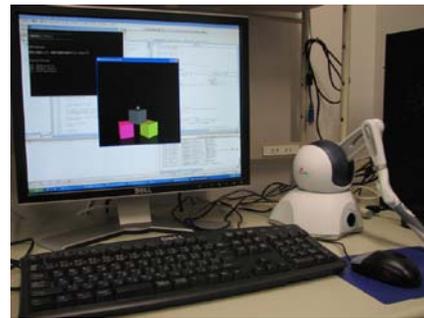


図 4 触力覚提示システムの外観

学習者が仮想物体の配置や実験環境の設定を自由に行うことで主体的な学習環境を実現する. また, PHANTOM Omni (SensAble 社) や Falcon (NOVINT 社) などの様々な力覚デバイスを利用することで, 特定のインタフェースに限らずシステム利用を可能とする.

重力, 摩擦, 衝突といった物理現象を仮想空間内で再現する. これらの特性を学習者が自由に設定可能にすることで, 自由度の高い物理現象の再現環境を実現する.

仮想物体を操作する際に力覚デバイスによる力覚提示を行うことで体感的学習を実現する. 能動的な操作とその時の反力および仮想物体からの反力の受動的知覚によって, 物理現象を体感的に学習することが可能となり, その現象の定性的理解と学習意欲の向上を促す. 仮想物体に接触した際には, 力覚デバイスの形状特性と材質特性から力覚を提示することで質感提示を行う. これにより, 融解した金属の粘性や希少な物質の触感など, 様々な体感操作の実現を可能とする.

図 5 に本システムの構成図を示す. 力覚デバイスを制御するハプティック処理には, 力覚デバイス制御フレームワークの CHAI3D を用いた. CHAI3D は一般発売されている力覚デバイスの多くに対応しており, 学習者は特定のインタフェースに限られることなくシステムを利用することができる. また, 物理シミュレーションに Open Dynamics Engine と GEL Dynamics Engine を用いた.

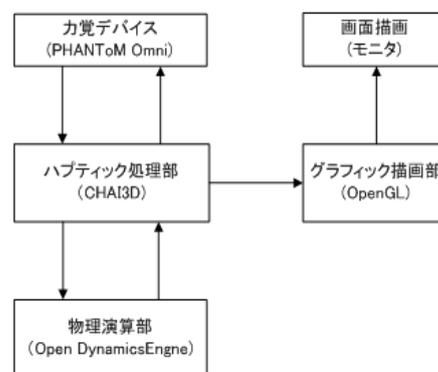


図 5 触力覚提示システムの構成図

最後に本システムを用いた剛体シミュレーションの実行画面と流体シミュレーションの実行画面を図6と図7に示す。

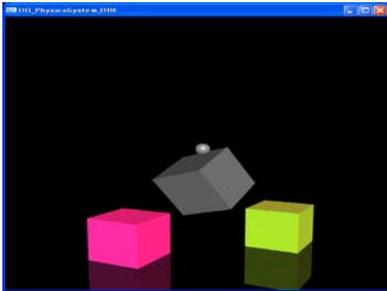


図6 剛体シミュレーションの実行画面例

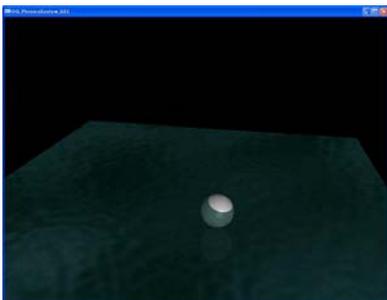


図7 流体シミュレーションの実行画面例

(3) 視覚障害者にとって、音声読み上げソフトの普及により、文章情報によるコミュニケーションは格段に向上した。しかし、図形や概念図などのように主に視覚で表現されることの多い情報に対しては、依然として難しい状況である。そんな中、様々な触覚デバイスの開発により、視覚や聴覚に加えて触覚による情報の伝達や表現が可能となっている。触覚デバイスのひとつには、触図ディスプレイがある。触図ディスプレイは、点字の他に図形情報を点図として表示することができ、マルチモーダルインタフェースとして注目されている。

そこで、触図ディスプレイを用いた、晴眼者と視覚障害者とのコミュニケーションを想定したシステムを構築した。視覚障害者に図8に示す触図ディスプレイ Dot View DV-2を用いることで、晴眼者が伝えたい意図した視覚的情報を触覚情報として提示できるシステムとした。



図8 Dot View DV-2 の外観

本システムを用いた晴眼者と視覚障害者とのコミュニケーション過程を図9に示す。

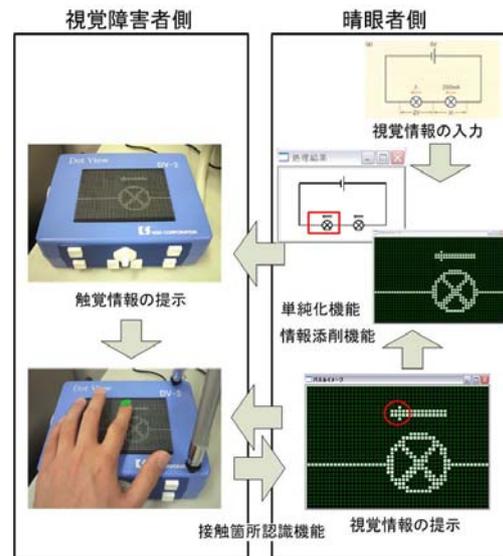


図9 コミュニケーションシステムの概要

視覚障害者側に触図ディスプレイを置き、晴眼者が提示したい視覚情報を触図ディスプレイにデータを送信することで、触覚(点図)情報として提示される。これにより、晴眼者の視覚情報と視覚障害者の触覚情報とで情報の共有を実現した。

晴眼者と視覚障害者とで共有された情報を用いて双方向なコミュニケーションが行えるように、視覚障害者側から晴眼者側への情報提示も可能とした。視覚障害者側からは、提示された触図情報に対して現在触知している箇所をデータとして送り、晴眼者側ではその箇所を視覚情報として表示するよう実装した。この接触箇所認識機能の実行例を図10に示す。

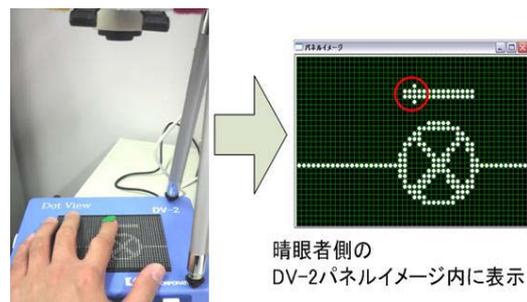


図10 接触箇所認識機能の実行例

視覚情報を点図情報として提示するためには、視覚情報の二値化や線分化などの単純化処理が必要となる。このとき、単純に二値化しただけでは、晴眼者が意図した情報が得られるとは限らない。そこで、晴眼者自らが用途に合った画像処理を選択して最適な点図情報として作成できるようにした。しかし、用意された画像処理だけで、最適な点図画像

を得られるとも限らない。そのため、さらに情報の書き加えや削除といった修正が可能な機能を実装し、晴眼者が目的に合った最適な点図画像を作成することを可能とした。触図ディスプレイへの情報提示後も修正は可能とし、視覚障害者とコミュニケーションを取りながら最適な点図情報として随時修正することもできる。

今回使用した Dot View DV-2 の特徴として、点図の表示部を高速にリフレッシュでき即時性に優れている。この特徴を活かして点滅による提示も可能とした。これにより、視覚障害者への情報の協調や気付かせといった提示も可能である。

今後、これらの機能を駆使すれば、色などの表現も可能であると考えられる。さらには、顔などの表情や視線といったノンバーバルな視覚的情報の触知覚化も期待される。

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)

[学会発表] (計 11 件)

- ① 荻原貴文, 林大作, 中村直人, “力覚デバイスを用いた質感提示システムの構築”, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2010 年 12 月 10 日, 九州工業大学戸畑キャンパス.
- ② 林大作, 荻原貴文, 遠西学, 中村直人, “点図ディスプレイを用いた触図図形提示方法の検討”, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2010 年 12 月 10 日, 九州工業大学戸畑キャンパス.
- ③ 林大作, 荻原貴文, 遠西学, 中村直人, “触図ディスプレイを用いたコミュニケーションシステムの開発”, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2010 年 9 月 25 日, 独立行政法人国立特別支援教育総合研究所.
- ④ 荻原貴文, 林大作, 中村直人, “体感的学習が可能な物理シミュレーションシステムの構築”, FIT2010 第 9 回情報科学技術フォーラム, 2010 年 9 月 7 日, 九州大学伊都キャンパス.
- ⑤ 林大作, 遠西学, 中村直人, “WEB カメラと触図ディスプレイを用いたコミュニケーションツールの開発”, 教育システム情報学会第 35 回全国大会, 2010 年 8 月 27 日, 北海道大学.
- ⑥ 林大作, 大西仁, 中村直人, “運動過程を考慮した粘性の触運動知覚モデルの検討” 2010 年電子情報通信学会総合大会, 2010 年 3 月 18 日, 東北大学川内キャンパス.
- ⑦ 林大作, 大西仁, 中村直人, “運動過程を考慮した弾性の触運動知覚モデルの検討” 2009 年電子情報通信学会総合大会,

2009 年 3 月 18 日, 愛媛大学城北地区.

- ⑧ 大西仁, 林大作, 中村直人, 望月要, “弾性はいかに知覚されるか?”, 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, 2008 年 11 月 11 日, 金沢工業大学.
- ⑨ 大西仁, 林大作, 中村直人, 望月要, “弾性の触運動知覚: 手がかりとモデルの再構築”, 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, 2008 年 7 月 18 日, 釧路市生涯学習センター.
- ⑩ 林大作, 大西仁, 中村直人, “粘性の触運動知覚に与える影響の検討”, 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, 2008 年 7 月 18 日, 釧路市生涯学習センター.
- ⑪ 林大作, 大西仁, 中村直人, “弾性の触運動知覚モデル ~運動過程を考慮したモデルの検討~”, 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, 2008 年 4 月 24 日, 弘前大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 直人 (NAKAMURA NAOTO)
千葉工業大学・情報科学部・教授
研究者番号: 20201676

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

大西 仁 (OONISHI HITOSHI)
放送大学・ICT 活用・遠隔教育センター・
准教授
研究者番号: 40280549