

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700101

研究課題名（和文） 直感的な理解のための 4 次元空間提示コンテンツの開発

研究課題名（英文） Development of 4-D CG Contents for Intuitive Understanding

研究代表者

酒井 幸仁（SAKAI, Yukihiro）

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：60409654

研究成果の概要：本課題では、様々な 4 次元空間の提示コンテンツを制作し、人間と 4 次元空間とのインタラクションから 4 次元データの直感的な理解を実現する。4 次元時空情報や数学的な高次元情報、4 次元迷路等のコンテンツを制作し、目的に応じた様々な理解および認知が可能であることを確認した。システムの有効性を明確にするために、ユーザテストを実施し、コンテンツとの直感的なインタラクションから 4 次元情報の獲得が容易く可能であることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	180,000	2,080,000

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：コンテンツ，グラフィクス，可視化情報学，ヒューマンインターフェイス，バーチャリアリティ

1. 研究開始当初の背景

人間には 4 次元空間の体験がないので、4 次元立体を直感的に理解することは難しい。例えば、4 次元立方体は、3 次元空間では立方体の中に立方体があるように表現されるが、4 次元空間の回転操作により、3 次元空間ではみられない旋回を行う。人間は、3 次元空間の体験に基づき、様々な視点から 3 次元立体の 2 次元透視図を描くことができる。また、2 次元透視図から 3 次元立体を想像す

ることもできる。このアナロジーから我々は、3 次元空間で 4 次元立体の 3 次元透視図を観察できれば、4 次元空間の情報を獲得できるのではないかと考えた。

我々は、4 次元空間の自由な移動が可能な 4 次元空間ディスプレイシステムを開発した（図 1）。本システムは、可搬性・操作性を重視し、PC・裸眼立体ディスプレイ・フライトコントローラパッドによって構成される。

本課題では、様々な 4 次元空間提示コンテ



図1 4次元空間ディスプレイシステム

ンツを制作し、人間と4次元空間とのインタラクションから4次元データの直感的な理解を実現する。

2. 研究の目的

インタラクションは、対象の理解や認知、または、コミュニケーションにおいて重要なファクターである。本システムは、4次元立体を観察することが可能であるが接触することはできない。本課題では、4次元空間および4次元立体の干渉問題の理論的枠組みを完成させ、様々な4次元空間提示コンテンツを開発し、4次元空間でのインタラクションを実現する。そして、提示コンテンツを用いて直感的な4次元空間の把握および認知に関しての評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 2007年度

空間と時間を合わせた時空や数学的な高次元情報等のコンテンツを制作し、目的に応じた様々な理解および認知が可能であることを確認する。また、システムの有効性を明確にするために、ユーザテストを実施し、コンテンツとの直感的なインタラクションから4次元情報の獲得が容易く可能であることを示す。さらに、人間と4次元空間とのインタラクションを向上させるために、4次元物体に接触するための判定を追加するとともに、4次元物体同士の幾何判定を行うための

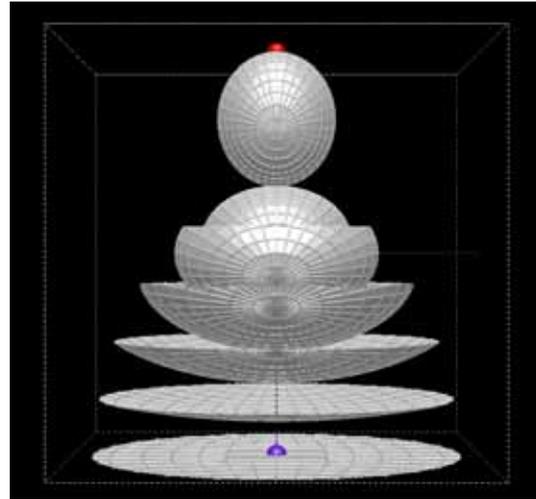


図2 4次元時空間での球体の膨張収縮

処理を実装する。

(2) 2008年度

2007年度に実装した4次元物体同士の幾何判定処理を用いて、複数の4次元物体を配置した4次元迷路を制作する。これにより、4次元空間での身体性を通して実空間でのインタラクションが期待できる。また、研究を遂行しながらシステムを改修し、パフォーマンスを向上させる。

4. 研究成果

(1) 2007年度

空間と時間を合わせた3次元物体の運動や変形のコンテンツから、4次元時空間での効果について確認した。一般に3次元空間で困難な時間を含めた4次元情報および世界線の観察を可能にただけでなく、3次元空間内の速度といったベクトル量の視認を容易にした。本手法を応用することにより、3次元物体の挙動解析および干渉問題等、様々な分野での活用が期待できると考えられる。図2に3次元空間で膨張収縮する球体を4次元時空間で観察した様子を示す。

システムの有効性を明確にするために、ユーザテストを実施した。フライトシミュレータと同様のユーザインタフェースで4次元空間を見通しよく観察でき、提示コンテンツとのインタラクションが直感的に可能であることを示した。この研究成果をまとめ、画像電子学会に論文を投稿し採択された。

数学分野では、関数や幾何の教育に2次元あるいは3次元のグラフを用いるが、複素数学、極値解析等では3次元以上のデータを対象とする場合がある。いくつかの複素関数や3変数関数を提示コンテンツとして可視化し、複素平面の写像の様子(図3)、2次関数の実数解および虚数解の視認、極値や等値面の生

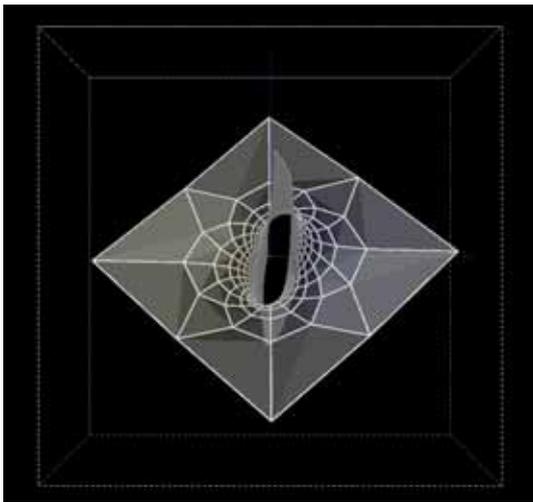


図3 複素関数 $f(Z)=1/Z$ の写像

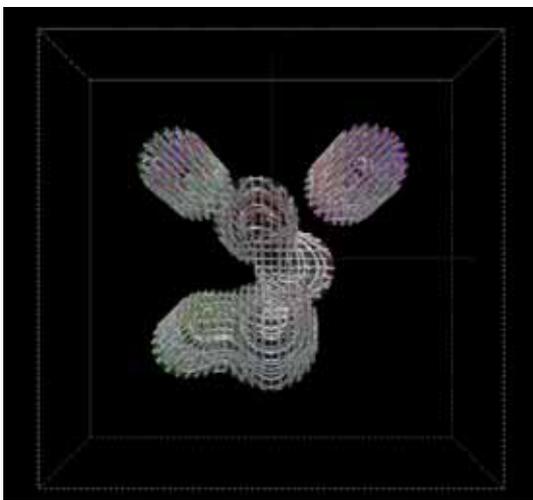


図4 複数のピークをもつ3次元ガウシアン関数の等値面

成(図4)等, 数学的な高次元情報の様々な理解が可能であることを確認した。

人間と4次元空間とのインタラクションを向上させるために, 4次元クリッピング処理に4次元物体に接触するための判定を追加するとともに, 4次元物体同士の様々な幾何判定(接触, 干渉, 交差等)を行うための処理を実装した。システムの幾何演算は, 一貫して5次元同次処理で構築しているため, 幾何判定においてもこの立場は変わらず, 5×5 行列・行列式演算によるアルゴリズムになっている。

また, 身体性を考慮した4次元ディスプレイシステムについて, 計測自動制御学会で発表した。2007年度は, 学会誌への投稿, 学会での口頭発表だけでなく, 4次元空間ディスプレイシステムのデモンストレーションを行い, 中学生, 高校生に4次元空間を体験してもらった。研究を通して社会的な貢献もで

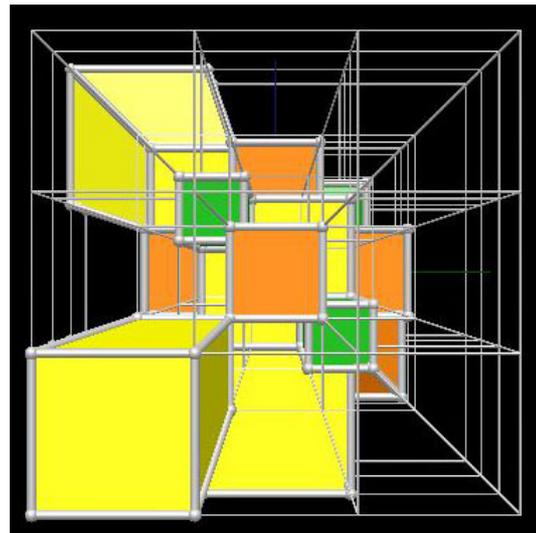
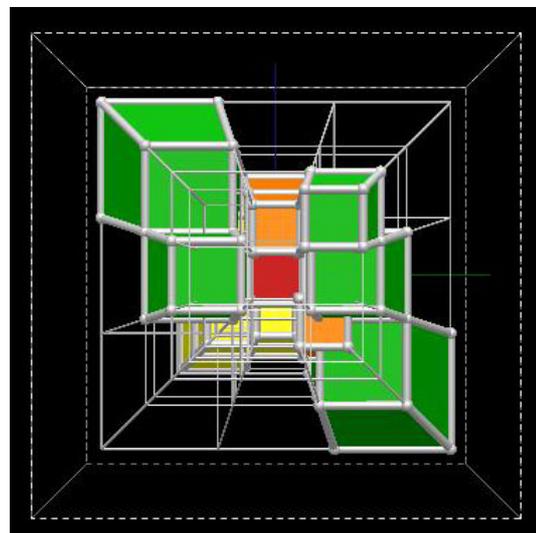


図5 4次元迷路



き, 非常に良い経験になった。

(2) 2008年度

2007年度, 数学的な高次元情報等のコンテンツを制作し, 目的に応じた様々な理解および認知が可能であることを確認した。2008年度, この研究成果をまとめ, 日本図学会で発表を行った。この発表で提案手法の数学教育システムとしての可能性を主張することができたばかりでなく, 提案システムの新規性と完成度を示すことができた。

また, 提案システムに4次元物体に接触するための判定と4次元物体同士の幾何判定を行うための処理を実装したため, 複数の4次元物体を配置した4次元迷路を構築することができ, より人間の身体性を考慮したインタラクションが実現できた(図5)。4次元空間の適当な位置に複数の障害物として4次元立方体を配置し(図5: 上図), これら避けながら, 原点に位置する赤い4次元立方体を目

指す(図5:下図)。

本システムは、視覚と触覚を含めて3次元空間に存在する人間の身体を4次元空間に入れ込むことが可能である。4次元物体の3次元空間への影は、3次元空間での人間の位置および姿勢と同調しており、この投影体の動きを通して3次元空間を運動する人間の気配を感じとることができると考えられる。投影体は、仮想物体であるが、3次元空間の人間の身体という実体を表現しているといえる。このように本課題を通して、4次元提示コンテンツから4次元空間メディアへ発展させるための着想を得ることができた。提案システムは、人間の行動をさりげなく伝え、心を安心して満たす“4次元空間アンビエントメディア”への発展が期待できる。将来的には、4次元空間アンビエントメディアを社会環境に溶け込ませることで、人間同士の空間的な出会いにおける新しいコミュニケーションの場の可能性を示し、人間の感覚的な思考にまで研究領域を広げることを目指したい。また、これまでの研究と本課題が、環境の変化に順応する生命の活動や実体の機能・性能に、どのような意味や価値を付与し、人間の認知が形成されるのか追究したい。

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) Yukihito Sakai, Shuji Hashimoto: “ Four-dimensional Space-time Visualization for Understanding Three-dimensional Motion, ” The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, 36, 4, pp. 371 381 (July 2007). 査読有

[学会発表](計3件)

- (1) 酒井 幸仁, 橋本 周司: “ 数学的な4次元データを観察するための4次元グラフィックスシステム, ” 日本図学会 2008年度大会(札幌)学術講演論文集, (2008年5月10日). 北海道大学
- (2) 酒井 幸仁, 橋本 周司: “ 身体性を考慮した4次元物体のインタラクティブ提示, ” 計測自動制御学会 第8回システムインテグレーション部門講演会論文集, (2007年12月21日). 広島国際大学
- (3) 酒井 幸仁, 橋本 周司: “ 4次元ディスプレイ, ” 21世紀COEプログラム「超高齢社会における人とロボット

技術の共生」21COEロボティクス・ブートキャンプ(2007年8月5日). 早稲田大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

酒井 幸仁(SAKAI, Yukihito)

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号: 60409654