

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11901

研究課題名（和文）直交軸からの「さりげない」力覚サポートを体感できる空中描画インタフェースの実現

研究課題名（英文）Realization of an aerial drawing interface that allows the user to experience "subtle" force support from the orthogonal axes

研究代表者

佐賀 聡人 (Saga, Sato)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90270793

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：空間直交軸からの「さりげない」力覚サポートを受けて安定した描画を行える空中描画インタフェースを実現した。令和2年度に、現実の「静止摩擦力」を仮想的に概念拡張した「直交軸別ファジー静止摩擦力」を提案し、これを体感できるシステムを力覚フィードバック装置で実現した。令和3年度は、これを3D手書きCADインタフェースに実装し、これが空中描画の安定化に寄与すること確かめた。また「直交軸別ファジー静止摩擦力」を発展させた「曲面法線方向ファジー静止摩擦力」を新たに提案した。令和4年度に、「直交軸別ファジー静止摩擦力」および「曲面法線方向ファジー静止摩擦力」を実装したWeb公開デモ・ソフトを制作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の核心は「ファジー静止摩擦力」なる超現実的な仮想静止摩擦力のモデルをファジー理論により構築し、これを力覚フィードバック装置で実現することで、仮想空間中の直交軸やオブジェクトから「さりげない」力覚的支持を受けて自在かつ安定的な描画を行える画期的な空中描画インタフェースを実現できることを実証したことにある。この成果はファジー理論の新たな応用を切り拓くとともに力学フィードバック装置の新たな活用を提示するもので、理論および応用の両面において学術的に新たな知見を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We realized an aerial drawing interface that enables stable drawing with "subtle" force support from the spatial orthogonal axes. In FY2020, we proposed "fuzzy static friction force by orthogonal axes," which is a virtual extension of the real "static friction force," and realized a system that enables the user to experience this force with a force feedback device. In FY2021, we implemented this system in a 3D hand-drawn CAD interface and confirmed that it contributes to the stabilization of aerial drawing. We also proposed "fuzzy static friction force in the normal direction of a curved surface," which is an extension of the "fuzzy static friction force by orthogonal axes." In FY2022, we produced a web demo software that implements the "fuzzy static friction force by orthogonal axes" and the "fuzzy static friction force in the normal direction of a curved surface."

研究分野：人間情報学

キーワード：ヒューマンインタフェース 手書き入力 CAD 図形入力 力覚フィードバック ファジー理論

### 1. 研究開始当初の背景

我々はオンライン手書き入力された曲線に関して、描画の「曖昧さ/厳密さ」の程度を意図表現の「象徴性/具象性」に結び付けるユニークな幾何曲線認識アルゴリズム「ファジースプライン曲線同定法 (FSCI)」を開発し、3D 手書き CAD システムを既の実現していた。しかし没入型 VR 環境での完全に自由な空中描画は不安定で、たとえ空間直交グリッドが視覚的に見えていても意図どおりに幾何図形を認識させ空間に配置させること難しく、これが作図効率の低下を招いていた。そこで我々は、空間直交軸からのさりげない力覚的支持を受けるインタフェースを実現することでこの問題が解決するのではないかと考えた。

### 2. 研究の目的

本課題の当初の目的は、描画の局面に応じてフワッと出現/消失する空間直交軸からの「さりげない」力覚サポートを受けつつ自在ながらも安定した描画を行える斬新な空中描画インタフェースを実現することにあった。より具体的には、ファジー理論に基づいて「直交軸別ファジー静止摩擦力」なる超現実的な仮想静止摩擦力をモデル化し、これを力覚フィードバック装置で実現することで、空中での「静止」だけでなく、直交軸に沿った「直線描画」や「平面描画」までも、空間直交軸からのさりげない力覚的支持を受けて自在かつ安定に行えてしまう画期的な空中描画インタフェースを実現することを目的とした。



図1 「ファジー静止摩擦力」の実装環境

### 3. 研究の方法

(1) 「直交軸別静止摩擦力」の実現: 力覚フィードバック装置 (Phantom Premium 1.5) を設備品費で調達し、まずは単純な停止判定と静止摩擦力計算に基づく「直交軸別静止摩擦力」を実現した。

(2) 「直交軸別ファジー静止摩擦力」の実現: 停止判定と静止摩擦力計算に「ファジー点」の概念を導入し、描画範囲の大小や描画意図の抽象性/具象性に応じて刻々変化する描画の「曖昧さ/厳密さ」に動的に適應できる「直交軸別ファジー静止摩擦力」を実現した。

(3) 実証評価実験: 「直交軸別ファジー静止摩擦力」を既開発済みの 3D 手書き CAD 「BlueGrotto」に実装して没入型 VR 環境における実証評価実験環境を構築した (図 1 参照)。また、この環境を用いた動作実験により、描画局面に応じたさりげない力覚サポートが動的に出現/消失し以下の多様で有用な拘束状態遷移が起きることで、自在かつ安定な描画ができること確認した。

3 軸方向に移動している状態では拘束を受けず、空間描画が自由に行える。

1 軸方向に停止した時点でその 1 軸方向に 1D 拘束され、他の 2 軸の成す平面に平行な平面

描画だけが自由に行える状態に移行する (図 2 参照)。

2 軸方向に停止した時点でその 2 軸方向に 2D 拘束され、他の 1 軸方向の直線描画だけが自由

に行える状態に移行する (図 3 参照)。

3 軸方向に停止した時点で、3 軸方向に 3D 拘束され、静止状態に移行する (図 4 参照)。

何れかの軸方向に最大静止摩擦力以上の力が加わるとその軸方向の拘束のみ解放される。

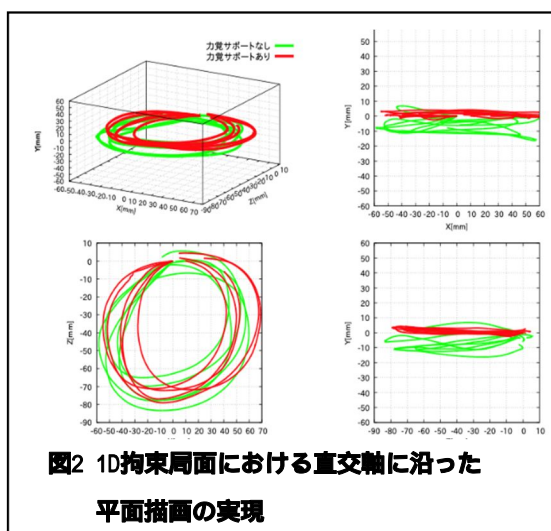
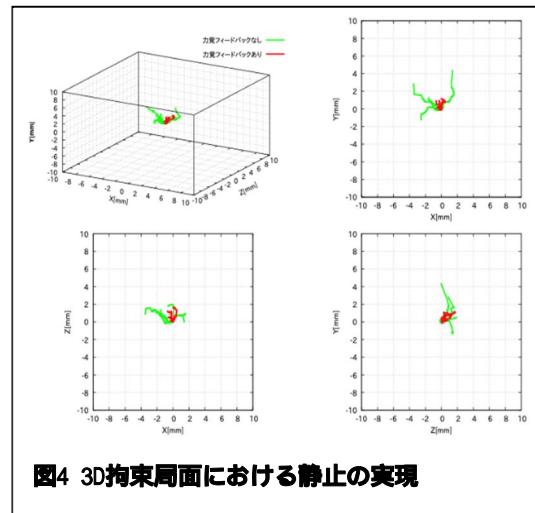
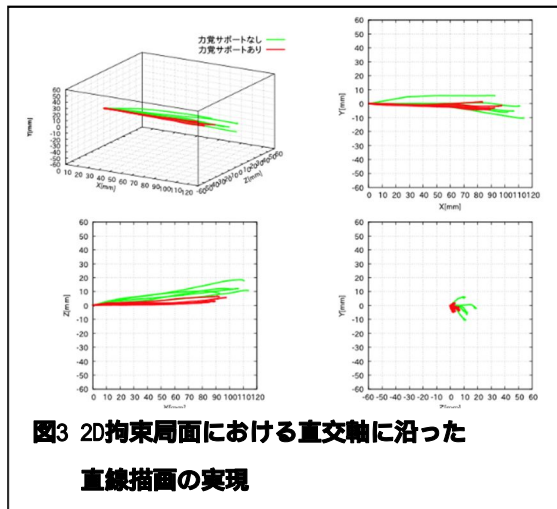


図2 1D拘束局面における直交軸に沿った平面描画の実現

なお、当初は、BlueGrotto で幾何作図実験を行い、「直交軸別ファジー静止摩擦力」の有無による

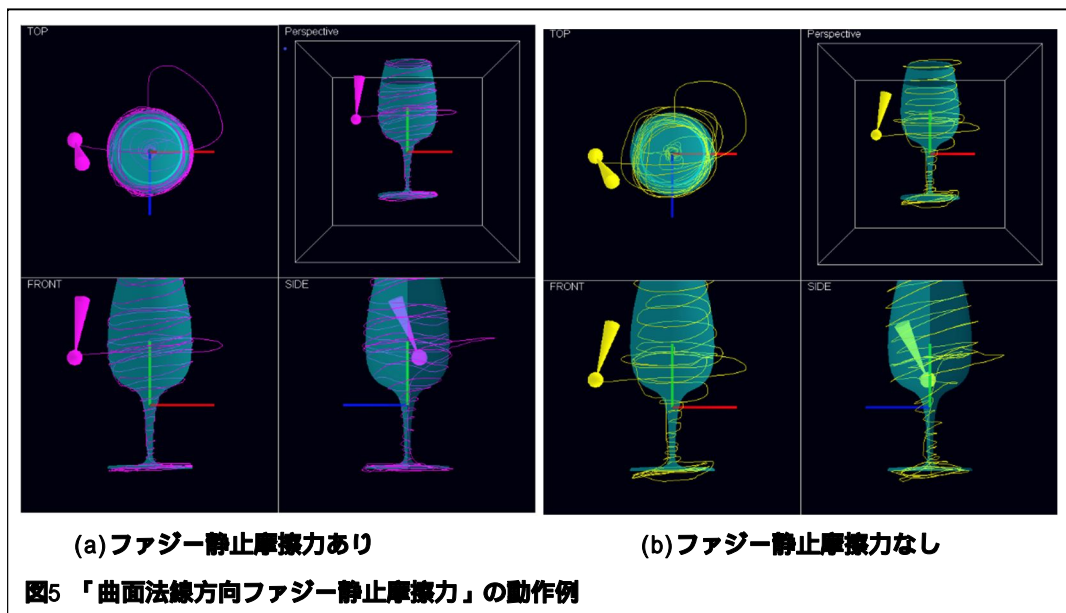


る幾何作図達成時間の違いを比較することで、本課題で提案する「さりげない」力覚 サポートによる空中描画の安定化が手書き幾何作図の効率化にどの程度寄与するかを定量的に評価する予定であったが、BlueGrotto のスナッピングアルゴリズムとの実装上の相性の問題が生じ、本課題内での定量評価には至らなかった。

(4)「曲面法線方向ファジー静止摩擦力」の提案と実現：当初の計画にはなかったが、「直交軸別ファジー静止摩擦力」の考え方をさらに発展させた「曲面法線方向ファジー静止摩擦力」を新たに提案した。これは「ファジー静止摩擦力」を VR 空間中にある仮想オブジェクト表面の法線方向に描画局面に応じて出現/消失させるもので、これによって

- ・仮想オブジェクトの表面に沿った描画の局面では力覚フィードバック出現し、表面上への描画をさりげなくサポートする
- ・仮想オブジェクトの表面を突き抜ける描画の局面では力覚フィードバックが消失し、ペンの自由な動きをさまたげない

という二つの状態が自然に遷移することを実験的に確かめた(図5参照)。これにより、VR 空間中に多数の仮想オブジェクトがあっても、これらに妨げられることなくペン先を自由に移動しつつも、あるオブジェクトの表面に描画をしたい場合には表面に引き付けられるような力覚サポートが得られるという、従来の衝突判定による力学フィードバックでは実現不可能な、インタフェースが実現された。

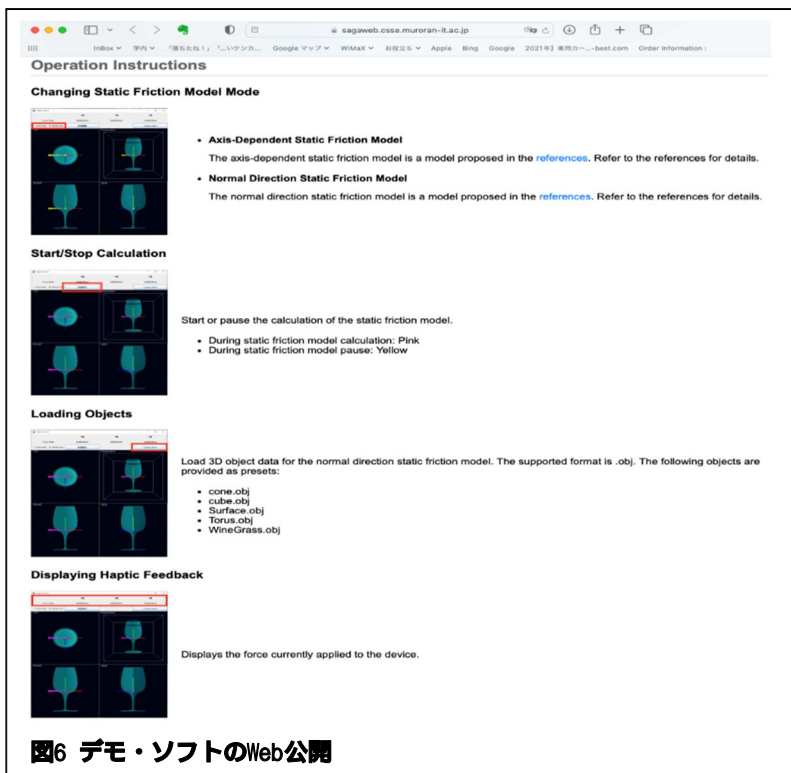


(5) Web 公開用デモ・ソフトの制作：本課題で提案した「直交軸別ファジー静止摩擦力」および「曲面法線方向ファジー静止摩擦力」を実装した Web 公開用のシンプルなデモ・ソフトを制作し、公開した(図6参照)。( <https://sagaweb.csse.muroran-it.ac.jp/haptics/> )

#### 4. 研究成果

力覚フィードバックによるインタフェースの研究は既に多くあり、遠隔操作や医療用シミュレータなどに応用されている。これらは「仮想物体」に触れる感覚を体感させるものであるが、本

課題はそれらとは異なり「仮想物体」を配置しない。本課題は「直交軸別静止摩擦」という「仮想現象」を超現実的に体感させるもので、力覚フィードバックの新たな用途を開拓するものである。本課題では、その応用範囲を手書き図形入力に絞り「直交軸」の体感に止めているが、これを一般化して空間直交軸を局所座標系(フルネ枠)に連動させれば、現実には観察困難な「3次元ベクトル場」や「3次元等高曲面」といった3D情報を没入型VR環境中で力覚的に感じ取れる汎用的3D情報提示手法の開発につながり、その応用範囲は大きく広がると期待している。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ito Tomohiko, Kaneko Teruyoshi, Tanaka Yoshiki, Saga Sato	4. 巻 103
2. 論文標題 An interactive sketch-based CAD interface realizing geometrical and topological editing across multiple objects based on fuzzy logic	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computers & Graphics	6. 最初と最後の頁 153 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cag.2022.02.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Ten, Yoshikawa Tomohito, Ito Tomohiko, Miwa Yuto, Shibata Takeshi, Saga Sato	4. 巻 89
2. 論文標題 An infinite-resolution grid snapping technique based on fuzzy theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Soft Computing	6. 最初と最後の頁 106112 ~ 106112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asoc.2020.106112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 須坂 元晴, 割田 怜, 佐賀 聡人
2. 発表標題 空中静止摩擦モデルに基づく自由曲面表面への描画インターフェースの提案
3. 学会等名 令和4年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohiko Ito, Teruyoshi Kaneko, Yoshiki Tanaka, Sato Saga
2. 発表標題 Over-sketching Operation to Realize Geometrical and Topological Editing across Multiple Objects in Sketch-based CAD Interface
3. 学会等名 IUI '21: 26th International Conference on Intelligent User Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ito Tomohiko、Kaneko Teruyoshi、Tanaka Yoshiki、Saga Sato
2. 発表標題 An interactive sketch-based CAD interface realizing geometrical and topological editing across multiple objects based on fuzzy logic
3. 学会等名 SMI 2023: Shape Modeling International 2023 (Computers & graphicsに2022に掲載された同名の雑誌論文の内容を招待講演として講演するもの) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有澤恭兵, 佐賀聡人
2. 発表標題 法線方向静止摩擦モデルの没入空間への実装
3. 学会等名 令和3年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関