

日本—米国 国際共同研究「AI・情報分野」 2023年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	計算機を活用した設計技術と製造技術による人と環境にやさしい人工物の実現
研究課題名（英文）	Realization of people- and environment-friendly artifacts by leveraging computational design and fabrication
日本側研究代表者氏名	五十嵐健夫
所属・役職	東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究期間	2023年 4月 1日 ～ 2028年 3月 31日

1. 研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
五十嵐 健夫	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授	日本側研究代表者 オーダーメイド グラフィクス・適応型インタラクション
川原 圭博	東京大学 大学院工学研究科 教授	日本側共同研究者 ユビキタス衣服・レスポンシブ衣食
舘 知宏	東京大学 大学院総合文化研究科 教授	日本側共同研究者 モジュール建築・計算幾何モジュール
鳴海 紘也	東京大学 大学院工学研究科 特任講師	日本側研究参加者 レスポンシブ衣食・ユビキタス衣服
Stefanie Mueller	Associate Professor, Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology	米国側研究代表者 適応型インタラクション

2. 研究目標及び計画概要

本研究の目的は、計算科学的アプローチによる多様な分野を横断した適応的な人工物の設計と製造、すなわち Computational Tailor-Making の実現である。具体的には、新しい衣食住の体験を生む製造・制御手法「Computational Fabrication」(WP1-3)と、機械学習、物理シミュレーション、ユーザインタラクション、幾何学などの知見を統合した設計「Computational Design」(WP4-6)からなる。

それぞれの WP の本年度の研究目標と概要は以下のとおりである。

WP1: ユビキタス衣服：ウェアラブルコンピューティングによる適応的な衣服を実現する。Narayan et al., ToG2019]などを参考にしつつ、3D モデルを入力としてニットマシンに必要な編み図を出力する GUI を作成する。この際、最終的な編み図の生成に関しては、適宜 [Takahashi et al., CHI2022, 川原研究室で過去に実施] の共著者らと相談し助言を得る。

WP2: レスポンシブ衣食：素材特性により環境に応じて形態や状態を変化させる衣食を実現する。鳴海らによる熱応答性の自己折り技術[Narumi et al., RA-L2020][Narumi & Koyama et al., ToG2023 (Accepted)]や、Yao Group による湿度応答性のフィルムアクチュエータ[Yao et al., CHI2015][Wang et al. Sci. Adv. 2017]などを発展させ、環境刺激に応答する衣服やプロダクトを開発する。この際、適宜ファッションブランドなどと協業を行う。この際、製造だけではなく実世界での制約（厚みや重力など）を考慮した設計最適化なども実施する。

WP3: モジュール建築：組み換え可能なモジュールによる可変建築を実現する。中間時点までに要素技術を開発し、終了時点までにシステムの実装を行う。折りや曲げ加工の可能な板材をモジュールとする組み立て手法について、その折り・曲げの加工やモジュール同士のジョイント加工法、さらに構造的な安定性などを検証する。メートルスケールのパビリオンを構築することで、その実証的な検証も行う。

WP4: オーダーメイド・グラフィクス：個々人の体型と環境負荷を同時に考慮した衣服の 3次元設計を実現する。①フィッティングと②ジェネレーションという 2 側面について並行して進める。①フィッティングに関しては、可動式のマネキンで実際の衣服の変形を学習することにより実現するリアルタイムでの仮想試着 (Chong et al., UIST2021, 五十嵐研究室で過去に実施) を発展させる。具体的には、これまでは単純な形状と変形しか実現できていなかったマネキンを機械的に改善し、より実際の人間に近い体型と動きを達成する。また、生成される衣服のレンダリング・物理シミュレーションを改善し、オクルージョンの解決とより自然な変形を目指す。②ジェネレーションに関しては、3D プリンタと柔軟な素材により、メッシュ状の構造と布に近い物性を持つ印刷物を（環境負荷の大きいサポート材に頼ることなく）造形する。

WP5: 適応型インタラクション：適応型インタラクティブシステムの設計支援を実現する。

適応型の機械システムとしてどのようなものが可能であるか、求められているかを総合的に検討し、研究の対象とするアプリケーション群を決定する。合わせて、適応型のシステムに関する過去の研究事例を調査し、未解決の問題を明らかにする。

WP6: 計算幾何モジュール : 多様な形状・機能に変形・組み換え可能な構造モジュールを開発する。アートや工芸に見られる様々な形状の構成方法について、離散微分幾何学の観点でモデル化する。特に、(a1)単位の構造が空間充填したり、曲面をタイリングする「詰む」アプローチ（三重周期極小曲面の可展面分割、非周期タイリング）、(a2)シートやリンケージを折り・曲げでしなやかに変形させる「折る」アプローチ（剛体折紙、曲線折紙、双安定構造）、(a3)直線部材を組紐や織布のように「編む」アプローチ（測地線に沿った曲げシザース構造）に着目する。このような多様なアプローチの構成方法を、主に微分幾何学やその離散版を用いて共通の形式で表現可能とする。

3. 研究実施概要

WP1 では、衣類上の色々な場所に置かれたウェアラブルデバイスを継続的に駆動するために、大面積・安全・高効率な全身無線給電服を「メア ندا コイル」を用いて実装した。さらに、家庭用洗濯機で 100 回以上洗濯しても故障せず、無線給電の性能が低下しない耐久性を備えることを確認した。

WP2 では、加熱することによって変形するシートの自己折り技術「Inkjet 4D Print」の産業応用を達成した。具体的には、ISSEY MIYAKE および他 3 者と共同で、加熱することによって変形する腕輪「TYPE-X」を開発し、パリファッションウィーク（通称パリコレクション）にてプロダクト試作品の展示とデモを実施した。国際展示を通じ、当初の計画通りの成果を得られた上、デモに参加した海外の研究者と交流の機会が生まれ、発展性のある取り組みを行うことができた。

WP3 では、シートパーツの組み合わせによるメートルスケールパビリオンを実現したほか、新規物性を持つメタマテリアルについて計画どおり研究が進展したほか、博士学生の招聘および、ワークショップ開催を通じた国際交流によって、当初の計画以上に多くの新規の共同研究テーマが生まれた。

WP4 では、深層学習表現を活用した仮想試着における衣服の重ね着の実現、および体に合った衣服のパターン設計のためのダーツ自動生成に取り組んだ。前者では、物理シミュレーションと深層学習表現の一種であるガウシアン表現による衣服を組み合わせた新しいスクリーン空間における衝突解決法を提示し、コンシューマレベルのハードウェアを用いて、インタラクティブな速度でリアルな多層ミックスアンドマッチアバターの着せ替えを可能にした。後者では、ユーザーの指定（ダーツが挿入される領域）に基づき、フィットネスを向上させるために最適なダーツ構成を計算する手法を開発した。様々な衣服デザインや動物を含む幅広い体型のフィットネスを向上させるダーツを自動的に生成することができることを実験的に示した。

WP5 では、適応型インタラクティブシステムの設計を支援する手法として、遠隔地に存在する設計者同士が協力して設計を行う手法を提案した。特に、ミニメイツと呼ぶ新しいアプローチで、小型の遠隔 3D アバターを使用することを提案した。実証実験により、共同存在感を伝えながら効率的なコミュニケーションを行うことができ、限られた物理的パーソ

ナルスペース内で方向指示のジェスチャーを伝えられることが示された。
WP6 では「詰む」テーマについては曲面を分割して構成する方法論について研究進展があったほか、「編む」テーマについてグリッド状のシザース構造研究が順調に進展した。特に「折る」のテーマについては、ワークショップ開催を通じた国際交流によって生まれたテーマについて、博士学生の派遣によってその後共同研究を推進できている。

4. 持続的な国際ネットワーク構築・参画・拡大のための実施計画概要

学生・研究員の派遣と招聘については、まずは学生・研究員からの留学の希望を募る。その際に、研究提案書を提出させる。その研究提案書をもとに、具体的にどのような研究プロジェクトに取り組んでもらうかを決定する。滞在中は、滞在先の研究グループと密に対面で議論をしながら研究を推進する。適宜、所属機関のグループとも遠隔で議論する。論文の執筆は、滞在中に完成させることが難しいことが多いので、帰国後も継続的に連絡を取りながら行う。

ワークショップなどのイベントについては、大きな国際会議での併設イベントを中心に考えている。まず、議論テーマを設定し、国際会議側にワークショップや Special interest group などとして提案する。採択された場合には、本プロジェクトに参画している日本側および米国側グループから参加者を派遣する。また、同じテーマに興味を持つ一般の会議参加者の参加も受け付け、議論を行う。国際会議への派遣に合わせて、1週間程度の短期滞在も検討している。

5. 持続的な国際ネットワーク構築・参画・拡大のための実施概要

派遣については、CMU(6か月),IST AUstria(2か月), EPFL TUWien(3か月)、インスブルック大学（1週間）への学生の派遣を行った。受け入れについては、CMU,Texas A&M, Dartmouth Univeristy, Unviersity of Bern, UCLA, Aalto Univeristy, Polytechnic Institute of Paris, Cornell University, Chicago Univeristy, MIT, Harvard University, TU Wien, Princeton University などからの客員学生を2~3か月程度受け入れた。

ワークショップ・シンポジウムについては、国際会議 SIGGRPAH 2023 における Bring Your Bunny と題したワークショップの開催、国際会議 ACM Symposium on Computational Fabrication への参画と招待講演者の派遣、パリファッションウィーク 2024 における加熱することにより変形する腕輪「TYPE-X」の展示、ICC Annual 2023 における CONNECTING ARTIFACTS 2.5 の開催、建築幾何学のトップ国際会議 Advances in Architectural Geometry 2023 における、展開可能な構造物を制作する協働ワークショップの開催、インスブルック大学における構造折紙に関する未解決問題を協働で解くワークショップの開催を行った。