

数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会科学解決に向けた展開

2019年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書
-----------------

梶原 健司

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所  
教授

設計の新パラダイムを拓く新しい離散的な曲面の幾何学

## § 1. 研究成果の概要

本研究課題では、連続曲面を形状要素にもつ新しい離散曲面の幾何学と離散変分原理に美的形状の理論を取り込んだ枠組みを確立し、美とアート性、力学的合理性を備え、施工性に優れ、幾何学的に性質のよい形状設計を直接可能にする「双方向循環型設計プラットフォーム」を構築する。テーマとしてⅠ. 新しい離散的な曲面論の構築、Ⅱ. Ⅰの数学的枠組みに基づいた設計法の構築と双方向循環型プラットフォーム開発、Ⅲ. 異分野融合による新しい設計技術と数値技術の開拓、を設定し、数学、計算幾何学、建築設計、工業意匠設計、形状処理工学の研究者からなる6グループが連携し研究を進めている。以下、今年度の研究成果について述べる。

Ⅰ. 区分的滑らかな曲線・曲面に対し曲率などの基本概念を変分法と整合的に定義し、離散変分原理の基本的枠組みを整備した。それをを用いて、ピロー型ボックスの体積最大化問題という実問題に応用し、厳密な解を得た。また、対数型美的曲線を相似幾何の枠組みで空間曲線・曲面へ拡張し、曲面のサブクラスが2次曲面とその変形を含む、既存の美的曲面の一般化であることを示した。

Ⅱ. 双方向循環型設計ソフトウェアに向け、自由曲面の可展面近似、曲面の特性に基づく区分的滑らかな可展面生成等の技術を構築し昨年度開発したプラットフォームに実装するとともに、視認性の高いユーザーインターフェースも開発した。また、空間曲線折りを含む可展形状の対話的設計法を開発した。美的曲面の可展面近似による、アート性と施工性を備えた太陽光発電構造物を構築した。さらに、対数型美的曲線の曲面上への拡張を考案した。

Ⅲ. リー球面幾何による施工性の高いグリッドシェル構造の生成手法を開発した。また、平面点列データの離散弾性曲線や対数型美的曲線によるフェアリング手法を開発した。さらに膜O曲面とその離散化の実装と建築設計への応用の検討を進めた。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 梶原グループ

- ① 研究代表者：梶原 健司（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 教授）
- ② 研究項目
  - ・新しい離散的な曲面論の創出
  - ・曲面に対する離散変分原理の構築
  - ・クライン幾何による美的形状の理論

### (2) 大崎グループ

- ① 主たる共同研究者：大崎 純（京都大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目
  - ・区分的連続曲面の幾何学に基づく力学的合理性とアート性を備えた曲面の生成法
  - ・美的形状を有する曲面状建築の設計法
  - ・区分的に滑らかな高次元多様体に基づく解析・同定と最適化手法

### (3) 横須賀グループ

- ① 主たる共同研究者：横須賀 洋平（鹿児島大学大学院理工学研究科 准教授）
- ② 研究項目
  - ・施工性+力学的合理性に優れた幾何的に性質の良い曲面構造
  - ・幾何的な汎関数の離散化と有限要素法への応用
  - ・折り紙工学における曲線折りの仮設構造物等への応用

### (4) 三浦グループ

- ① 主たる共同研究者：三浦 憲二郎（静岡大学創造科学技術大学院 教授）
- ② 研究項目
  - ・クライン幾何による美的曲線・曲面の理論と CAD システムへの実装
  - ・可展面や膜構造における美的曲面の定式化

### (5) 前川グループ

- ① 主たる共同研究者：前川 卓（早稲田大学理工学術院総合研究所 上級研究員）
- ② 研究項目
  - ・可展面による自由曲面の近似方法の確立
  - ・法線マップの画像処理による曲面情報の2次元化
  - ・最適化問題解法に基づく区分可展面の生成
  - ・アイソジオメトリック解析による構造解析

(6) 三谷グループ

① 主たる共同研究者：三谷 純（筑波大学システム情報系 教授）

② 研究項目

- ・ 折り目を含む可展形状の離散表現および対話的な設計手法の開発
- ・ 折り目が展開された状態から折られた状態への推移過程のモデル化
- ・ 可展面の連続変形とクライン幾何学的分析

【代表的な原著論文情報】

- 1) R. Takeoka, M. Ohsaki and Y. Sakai, “Non-parametric design of free-form shells with curved boundaries and specified reaction forces”, Eng. Struct., Vol. 255, Paper No. 113892, 2022.
- 2) M. Ohsaki and K. Hayakawa, “Non-parametric shape design of free-form shells using fairness measures and discrete differential geometry”, J. Int. Assoc. Shell Spatial. Struct., Vol. 62, No. 2, 93-101, 2021.
- 3) Y. Kanno, “Alternating minimization for data-driven computational elasticity from experimental data: kernel method for learning constitutive manifold”, Theoretical and Applied Mechanics Letters, Vol. 11, Paper No. 100289, 2021.
- 4) Jun Mitani, Kaoru Ohashi, Interactive “Curved fold modeling using a handle curve”, CAD Conference 2022, July 11-13, Beijing, to appear.
- 5) Yohei Yokosuka, Junichi Inoguchi, Makoto Ohsaki, Toshio Honma, “Gridshell structures with discrete curvature lines : Modeling technique and evaluation of mechanical performance”, Proceedings of the IASS Annual Symposium 2020/21 and the 7th International Conference on Spatial Structures Inspiring the Next Generation/pp.821-833, 2021-08  
DOI: <https://doi.org/10.15126/900337>