

氏 名 (本籍)	たか はし ひで かず 高 橋 英 和 (滋 賀 県)
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 5172 号
学位授与年月日	平成 21 年 7 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審 査 研 究 科	システム情報工学研究科
学 位 論 文 題 目	計算折り紙のアルゴリズムに関する研究
主 査	筑波大学 教授 理学博士 井 田 哲 雄
副 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 福 井 幸 男
副 査	筑波大学 教授 工学博士 岡 本 栄 司
副 査	筑波大学 准教授 博士 (工学) 亀 山 幸 義
副 査	筑波大学 准教授 博士 (理学) 南 出 靖 彦

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文では、折り紙を、代数的構造としてモデル化し、折り紙の数理的基礎を与えるとともに、計算折り紙の実用化に向けたシステムの実装に関する新たな知見を与えている。折り紙は、面の集合、その上の隣接関係、重なり関係の 3 つ組みの代数的構造で定義される。そして、この代数構造とそれへの操作はハイパーグラフの書換えとして形式化される。折り操作は、面の分割操作と回転操作の合成として表され、その実現には幾何オブジェクトに対する数値計算と離散オブジェクトに対する記号計算が必要とされる。グラフ書換えの手法を導入することにより、この 2 種類の計算を分離することができ、折り操作のアルゴリズムを簡潔に記述することが可能になっている。

本論文の前半では、面の分割や重畳関係の判定等の幾何的な操作のアルゴリズムとグラフ書換えで行われる隣接関係や重なり関係の生成等の離散的な操作のアルゴリズムについて考察している。

次に、折り紙の表示アルゴリズムについて述べている。折り操作が終了した時点で、面の隣接関係や重なり関係は、グラフから取得することができる。表示アルゴリズムでは、これらの関係を基に面の集合の同値類分割を行い、表示層を構成することによって面の表示順序を決定する。この表示順序に基づき、すべての面、辺、点の高さが決定され描画される。高さの異なる隣接面については、隣接関係を表示するため必要に応じて接線面が描かれる。折り操作のアルゴリズムと折り紙の表示アルゴリズムは、計算折り紙システム Eos (E-origami system) に実装されている。

最後に、本論文では、幾何図形の作図と定理の自動証明について述べている。上記 Eos では、折り操作の過程で生成されたすべての点と直線が、その生成条件と共に知識化されている。作図された幾何図形の性質は、この知識を基に証明することができる。この機能を用いることにより、一般化されたモーレイの定理が、折り紙作図から証明までの一貫したプロセスで自動証明されている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は折り紙の数理的な側面を考究し、基礎となるアルゴリズムを開発、実装して得られた知見を述べ

ている。特に、折り紙を折るときに、面がどのように変形を受け、また面の相互の関係が変化していくかを、グラフ書換え理論を駆使して、厳密に解明している点は独創的であり高く評価される。本研究で得られた知見は、折り紙の幾何学のより高度な展開や工学への応用を可能とするものであり、博士論文にふさわしい内容であると判断する。また、この研究の成果の一つとして、折り紙環境ソフトウェアが構築されている点も評価される。

三次元折り紙、モジュラー折り紙など高度な理論や技法を必要とする分野への適用は、今後の課題であり、さらに本研究を発展させることが期待される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。