

|         |                          |        |        |
|---------|--------------------------|--------|--------|
| 氏名(本籍)  | 鶴田 直也                    |        |        |
| 学位の種類   | 博士(工学)                   |        |        |
| 学位記番号   | 博 甲 第 7284 号             |        |        |
| 学位授与年月日 | 平成 27 年 3 月 25 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  | 折紙の幾何的な制約を考慮した形状設計に関する研究 |        |        |
| 主 査     | 筑波大学 教授                  | Ph. D. | 田中 二郎  |
| 副 査     | 北陸先端科学技術<br>大学院大学 教授     | 博士(理学) | 上原 隆平  |
| 副 査     | 筑波大学 教授                  | 博士(工学) | 狩野 均   |
| 副 査     | 筑波大学 准教授                 | 博士(理学) | 志築 文太郎 |
| 副 査     | 筑波大学 准教授                 | 博士(工学) | 三谷 純   |

## 論 文 の 要 旨

紙を折ることで形を作り出す「折り紙」は、日本に古くから伝わる遊びであり、我々の多くが幼少期に体験するものである。しかし、単なる遊びとして捉えられるだけでなく、紙を折る操作と幾何学の密接な関係から数学の研究対象としても着目されてきた。ものを折り畳んで小さくすることは、収納や運搬に必要なスペースを減らすという利点があり、近年では、折り紙の折り畳み構造を工学的に応用するための研究も活発になっている。その一方で、紙のような伸縮しない素材の折り曲げのみで制作可能な形は自由度が低く、意図した形状を作り出すことは困難な課題である。

この問題に取り組んだこれまでの種々の研究は、伝統的な折り紙にない緻密さや意匠性を持つ形状を実現し、折り紙の応用可能性を少しずつ示してきた。折り紙の世界は多くの価値ある形状を内包していると考えられるが、未だ開拓されていない領域を残す分野でもある。折り紙の形状設計問題に取り組み、これまで知られてこなかった折り方や形状を発掘することは、折り紙界の発展だけでなく、他分野との融合によって新たな価値を創出する機会を増加させるという大きな意義がある。そして、これを達成するためには、多種多様な設計手法を確立していくことが必要不可欠である。

本研究では、折り紙において最も基本となる平坦に折り畳めるもの、近年注目されている立体的な曲げを含むもの、そしてユニット折り紙と呼ばれる複数枚の紙を部品のように組み合わせるものの3つのテーマに対して、それぞれに新しい設計アプローチおよびシステムを提案する。1つ目は、折り畳み形状提示による平坦折り紙作品の発見手法で、既存の設計手法では困難だった折り回数の少ない作品を対象としている。2つ目はスリット(細長い切り込み)を入れた平板素材の折り曲げ形状を設

計するシステムであり、切込みを許容することで自由度の高い設計を可能にした。最後は、ユニット折り紙と呼ばれる、複数の小さな部品を折ってそれらを組み合わせて大きな立体作る折り紙を対象としたものである。基礎となる構造が正三角形集合で表現されることに着目して、そのような正三角形集合の立体の設計を行っている。これらは、いずれも折り紙の裾野を広げる上で重要なテーマである。

上記のシステムを構築し、出力として作例を示すことで、これまでの手法では設計が困難、あるいは発見が難しい形状が生成できることを確認した。また、これらのシステムを通して得られた結果を元に、折り曲げによる形状設計の難しさと折り紙研究の展望について議論する。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

折り操作によって形を操作する折り紙に関する研究は、工学的な有用性から近年になって大きく注目されるようになってきている。本論文は、この折り紙を対象とした平坦な折りたたみ操作、立体的な曲げ操作、および複数枚の紙を組み合わせる操作、という、折り操作の中でも重要な3つの操作に対して、それぞれに形状設計を支援するための理論と、その検証のためのシステムの実装例を示した。1枚の平坦な素材を切らずに、折る操作だけで形を扱うことは幾何学的な厳しい制約を伴うが、提案手法では既定の折り操作の組み合わせや、形状の最適化計算による変形などにより、形状設計に伴う問題を回避している。さらに実装したシステムでは対話的な操作や、可能な形状の例示により、ユーザーの設計を支援する工夫が提案されている。このシステムを通して作り出された事例により、提案手法の有効性が示されている。本論文には新規性・有用性が認められるため、博士論文として十分な内容を擁していると判断できる。

### 【最終試験の結果】

平成27年1月22日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、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。