

令和元年6月19日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04758

研究課題名(和文) 数理閉曲線・曲面を用いたデザイン支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of a design assistant system using mathematical curves and surfaces

研究代表者

松浦 真也 (MATSUURA, Masaya)

愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：70334258

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：北欧ではラメ曲線(別名：スーパー楕円)がデザインに用いられてきた。20世紀末にベルギーの植物学者Johan Giellisは、ラメ曲線を拡張したギーリス曲線を提案した。本研究では第一に、ギーリス曲線等の幾何学的特徴を、数学的に調べた。具体的には、ギーリス曲線のパラメータの値と幾何学的形状の関係や極限曲線に関する定理を導いた。また、人間の感覚と幾何学的特徴との関係を、人間工学的手法により調査しモデル化した。例えば、数学的に定義される曲率と、人間が感じるカーブのきつさとの間の関係を導いた。その上で、これらの解析結果を元に、デザイン開発を支援する計算機ソフトを作成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したような数理曲線・曲面を用いてデザイン開発を支援する計算機ソフトを用いれば、プロのデザイナーでなくても、誰でも手軽に自分の好みのデザインを作成できるようになる。モノづくりの世界では、個人の好みに応える多品種少量生産の時代へと、ハード面での技術革新が進んでいる。本研究は、それをソフト面で後押しするものである。

また、近年、第4次産業革命の到来で、急速に技術革新の進んでいるデータサイエンス、特にAIの技術と組み合わせれば、自分のデザイン的な嗜好をAIが分析してくれて、好みに応じたデザインを自動的に生成してくれるところまで行ってくれるようにできると思われる。

研究成果の概要(英文)：In Nordic countries, Lamé curves (also known as superellipses) have been utilized for product design. At the end of the 20th century, a Belgian botanist Johan Giellis generalized the notion of Lamé curves and proposed so-called Giellis curves. With this in mind, we started this research by analyzing the geometric characteristics of Giellis curves from the viewpoint of mathematics. For example, we proved several theorems on the limit curves of Giellis curves and the relation between the parameter values of Giellis curves and their geometric features. We also derived models which describe the relation between human senses and geometric features. For example, we showed the relation between the values of curvature and intuitive feelings about how tight the curves are. Based on these results, we finally implemented computer programs which assist product design development.

研究分野：数理工学

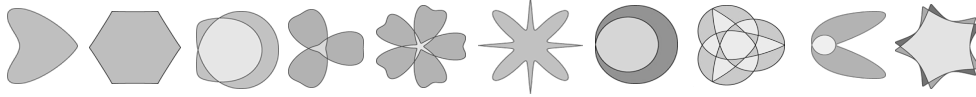
キーワード：数理曲線 数理曲面 プロダクトデザイン 北欧デザイン ラメ曲線 ギーリス曲線

1. 研究開始当初の背景

20世紀半ばより、北欧ではラメ曲線(別名:スーパー楕円)がデザインに用いられてきた。20世紀末にベルギーの植物学者 Johan Gielis は、ラメ曲線を拡張したギーリス曲線を提案した。ギーリス曲線は6個のパラメータを持つ平面曲線で、極座標の方程式

$$r(\theta) = \left\{ \left| \frac{1}{a} \cos \frac{n\theta}{4} \right|^{p_1} + \left| \frac{1}{b} \sin \frac{n\theta}{4} \right|^{p_2} \right\}^{-\frac{1}{q}} \quad (n, a, b, p_1, p_2, q \text{ は定数})$$

で表される。パラメータの値を変化させると、多様な形が表現できる。



豊かな表現力をもつギーリス曲線は、プロダクトデザインの分野に幅広い応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、ギーリス曲線等の閉曲線・曲面の幾何学的特徴を、数学的に調べることを第1の目的とした。また、人間の感覚と幾何学的特徴との関係を、人間工学的手法により調査しモデル化することを第2の目的とした。その上で、これらの解析結果を元に、デザイン開発を支援する計算機ソフトを作成することを最終目的とした。これにより、プロのデザイナーでなくても、手軽に自分の好みのデザインを作成できるようになる。モノづくりの世界では、個人の好みに応える多品種少量生産の時代へと、ハード面での技術革新が進んでいる。本研究は、それをソフト面で後押しするものである。

3. 研究の方法

主として数学的研究、デザイン学的研究、情報科学的研究およびインテリア実物の制作を通じた実証を行った。数学的にはギーリス曲線等の数理閉曲線・曲面(以下、単に曲線と略記)において、曲線のパラメータの値を変化させたとき、その幾何学的特徴がどう変化するか分析した。デザイン学的研究としては、「幾何学的特徴」(曲率や対称性等)と「人間の感覚」の関係のモデル化を試みた。例えば、曲率が2倍だからといって、人間が目を見たときに、カーブのきつさが2倍だと感じるわけではない。したがって、曲率と「見た目のカーブのきつさ」の関係を示す数理モデルが必要となる。モデル化には、人間工学の分野で実績のあるマグニチュード推定法を活用した。情報科学的研究としては、最適デザインの候補を自動で精度よく大量生成し、「形のカタログ」を自動作成したり、アニメーション表示したりするソフトウェアの開発を進めた。

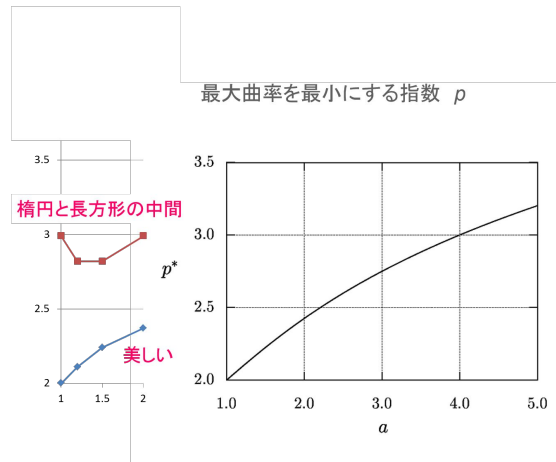
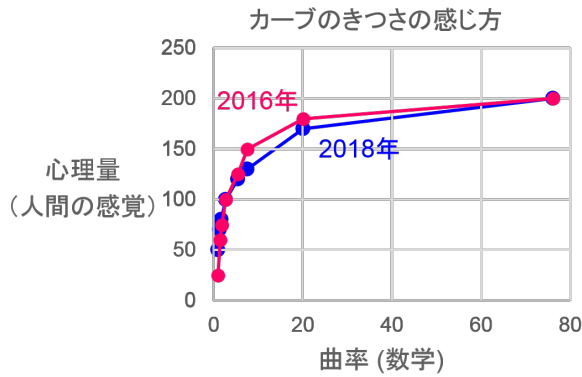
4. 研究成果

(1) 数学的研究

ギーリス曲線には6つのパラメータがある。これらのパラメータの符号が特定(1つのみ負で、残りはすべて正)の場合について、現れる花形模様を詳細に解析し、パラメータ値と幾何学的形状の関係性を明らかにした。この結果、花形模様を直感的な操作で変形できるようになった。また、ギーリス曲線のうち、特にアンケート調査で、多くの人が美しい形として選んだもの(具体的には円の中にハートマークが描かれたような形など)について、パラメータの値を変化させたときの形の変形の仕方や、パラメータの値を無限大に飛ばしたときの極限の形を、解析的に調べ、数学的な定理を導いた。その他、ギーリス曲線の極限曲線についての法則性を調べた。具体的には、ギーリス曲線の6つのパラメータのうち5つを固定し、残り1つを無限大に飛ばした際、どんな極限曲線に収束するか調べた。

(2) デザイン学的研究

形の美しさやカーブのきつさ、丸っぼさ(四角っぼさ)についての人間の感じ方と、数学的な特性量との間関係を、アンケート調査(3回に分け、のべ250名程度を対象に実施)によって解明し、モデル化した。例えば、数学的に定義される曲率と、カーブのきつさとの間関係は、左下のグラフで示されるように対数関数的である。また、右下のグラフで示されるように、人間が感じる形の美しさと最大曲率との間に密接な関係があることも示された。



(3) 情報科学的研究

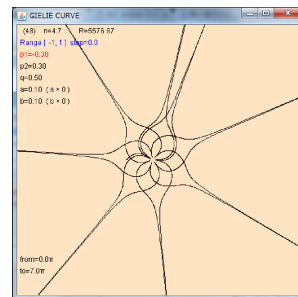
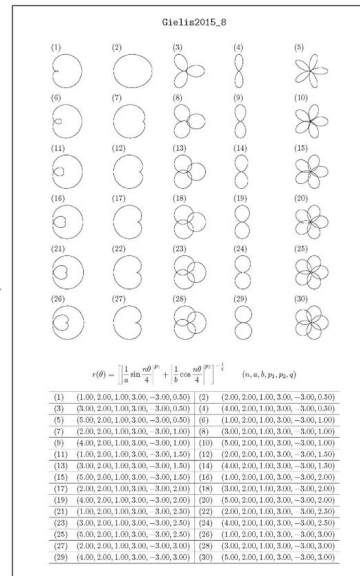
「形のカatalog自動生成ソフト」(下記上の図) および「形生成アニメーションソフト」(下記下の図) の2種類を作成した。

パラメータの動かし方のルールを指定

```

for ($number=1; $number<=$end; $number++) {
  $pn[$number]=($number-1)%5+1;
  $pa[$number]=2.00;
  $pb[$number]=1.00;
  $pp1[$number]=3.00;
  $pp2[$number]=-3.00;
  $pq[$number]=(int(($number-1)/5)+1)*0.5;
  $ptmin[$number]=0;
  $ptmax[$number]="16*pi";
}
  
```

自動生成



(4) インテリア実物の制作

ギーリス曲線を用いた2次元的および3次元的造形物として、ネームプレート、ハンドタオル、陶器のプレート、ガラスボウル・ガラスコップの装飾カバー等を制作した。これらの制作過程を通じ、数値曲線をデザイン開発に用いることの実用性を確認した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

松浦真也、数理解析とプロダクトデザイン、研究集会「数理解析およびデータサイエンス研究の最前線 - ビッグデータ、AI、ブロックチェーン -、2017年

齋藤邦彦、数理解析とプロダクトデザインのビッグデータ分析とAI、研究集会「数理解析およびデータサイエンス研究の最前線 - ビッグデータ、AI、ブロックチェーン -、2017年

松浦真也、ギーリス曲線の特徴とプロダクトデザインへの応用、第81回形の科学シンポジウム「量子科学と私たち」、2016年

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.math.sci.ehime-u.ac.jp/~matsuura/nd/index.html>

地域住民向けイベントの実施

イベント名：愛媛大学国回講演会「北欧の魅力 ～ことば、デザイン、そして数学」という名

開催日時：2016年3月27日

講演：松浦真也「スウェーデンのど真ん中に隠された数学的秘密」

多田羅景太「北欧デザインと日本の意外な関係」

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：多田羅 景太

ローマ字氏名：TATARA, Keita

所属研究機関名：京都工芸繊維大学

部局名：デザイン・建築学系

職名：助教

研究者番号(8桁)：00504250

研究分担者氏名：齋藤 邦彦

ローマ字氏名：SAITO, Kunihiko

所属研究機関名：滋賀大学

部局名：データサイエンス学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：00195984

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。