

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13942

研究課題名（和文）リーマン幾何学に基づく船体曲面表現に関する研究

研究課題名（英文）Study on ship-hull surface modeling based on Riemannian geometry

研究代表者

竹澤 正仁（Takezawa, Masahito）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50782489

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、離散的な主方向場を入力データとして、その幾何特徴量を満たすように曲面形状を変形させる手法を確立した。提案手法に基づき、任意の主方向データを事前に作成して、変形させた B-spline 曲面データを入力として非線形最適化計算を実施することで、曲面上の主方向を任意に制御することを可能とした。主方向を任意に制御することで、形状の特徴を失わずに曲面品質を向上させ、また目的に応じて形状を任意に変形させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来とは異なる新しい観点に基づく形状設計手法を考案した。実際に、従来手法では実施が困難な意図的な形状操作も提案手法を用いることで実現することができた。新しい設計パラメータを導入した提案手法により、これまでにない新たな製品形状の創生が期待される。本研究の成果は海事産業だけでなく、意匠性に優れた曲面形状を有する工業製品（自動車、飛行機、建築物、家電等）に対して重要な役割を果たすと考えられ、様々な分野への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a new method for designing a B-spline surface to satisfy input geometric features based on a discrete principal direction field. We can arbitrarily control principal directions on the surface by solving a nonlinear optimization problem. By controlling the principal directions arbitrarily, we can improve the quality of the surface without losing the characteristics of the shape, and deform the shape arbitrarily according to purposes.

研究分野：形状処理工学

キーワード：B-spline曲面 NURBS曲面 曲面幾何 曲率線 フェアリング

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

造船では3次元情報に基づく設計・工作法の普及により種々の技術が高度化し、その重要性が高まっている。そのうち船体形状の設計作業では、摩擦抵抗、粘性圧力抵抗、造波抵抗等を考慮した滑らかな形状となるように設計が行われており、特に船首と船尾部は、複曲率を有する複雑な曲面でその形状が表現されている。このような形状を含め、一般的に滑らかな曲面形状を有する工業製品は、ユークリッド直交座標系に基づく位置情報を用いて製品設計が行われている。一方、ユークリッド幾何的観点と比較してリーマン幾何学的観点では、自然界におけるモノの形の捉え方・評価が全く異なるため、その観点から製品設計を行うことで、これまでにない新しい製品表現手法、設計手法、工作法等を構築できる可能性がある。船舶設計の場合も様々な想定があり得るが、本研究では船体曲面の設計手法の高度化に着目し、曲面上の幾何学的特徴量（主曲率、ガウス曲率、平均曲率等）を用いることで、従来のフレーム、ウォータ、バトックラインといったユークリッド直交座標系の2次元断面情報に基づく古典的な手法から脱却した新しい設計手法の構築を図る。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、意匠性を有する船体曲面の曲率線（主方向）に着目し、従来の線図による位置情報（XYZ座標の点群、ユークリッド幾何的観点）だけではなく、形状の幾何特徴量である主方向（リーマン計量、リーマン幾何学的観点）を設計パラメータに加えることで、高品質で滑らかな曲面を生成する新たな設計手法を構築する。

### 3. 研究の方法

本研究では、リーマン幾何学的観点における形状設計手法として、離散的な主方向場を入力データとし、その幾何特徴量を満たすようにB-spline曲面形状を変形させる最適化手法を確立した。ここでB-spline曲面とは、3次元CADソフトウェアで標準的に用いられる曲面形状の表現形式である。設計者が意図した主方向データを定義して最適化計算を実施することで、曲面上の曲率線（主方向）を任意に制御することを可能とした。このような形状設計は、従来のユークリッド幾何的観点からでは実現が困難である。この手法の開発のために、主に以下の項目について取り組んだ。

#### (1) 船体の曲面形状の品質評価

曲面を幾何学的観点から評価するシステムを開発し、種々の船体形状の品質評価に取り組んだ。特に、試験用精度の曲面（ラフに設計された状態）と、熟練の作業者により平滑化された建造用精度の曲面（緻密に設計された状態）について曲率線（主方向）の観点から調査した結果、曲面の平滑化作業であるフェアリングの前後において、曲面全体の曲率線の大域的な傾向は変化せずに、曲率線の歪みが除去されて滑らかな曲線群になっている様子を確認できた。そのため曲率線情報は船体曲面の品質を構成する特徴量の一つになり得ることを確認した。

#### (2) 主方向入力データの作成

事前に定義した主方向データに基づいて曲面形状を最適化するために、入力となる主方向データの生成手法について検討した。具体的には、十分に滑らかでない主方向場データから、ノイズが除去された滑らかな主方向場データを生成する手法を考案した。まず曲面のパラメータ空間（図1(a))を基準に対象曲面形状から主方向データを離散的に抽出し（図1(b))、画像処理分野で用いられるフィルタリング手法に基づいて考案したアルゴリズムを適用することで滑らかな主方向場データを生成した（図1(d))。この際、フィルタリングのパラメータを調整することで、主方向場の流れの特徴を失わずに、ノイズを除去できることを確認した。提案手法で生成した主方向場データは、あくまで離散的な情報であり、これらの情報から意図した曲率線の流れが得られるとは限らない。そのため、離散的な主方向場データから疑似的な曲率線（離散的な主方向場データから推定され得る曲率線）を計算する手法を開発し、平滑化手法の妥当性を確認した（図1(c, e))。

#### (3) 主方向を入力データとした曲面の編集手法の開発と評価

B-spline曲面を入力データとして、変形量をできる限り抑えつつ、入力的主方向場データを満たすように最適化計算を行うことで、曲面上の曲率線の流れを任意に制御できるアルゴリズムを開発した（図2参照）。また様々な曲面に対して、どの程度の変形量を許せば、どの程度まで任意に曲面上の曲率線（主方向）を制御できるかについても調査を行った。その結果、変形量と制御できる主方向の限界は強いトレードオフの関係にあり、もし曲面の変形量に制限が無ければ、主方向の流れを大幅に修正することも可能であることを確認した。

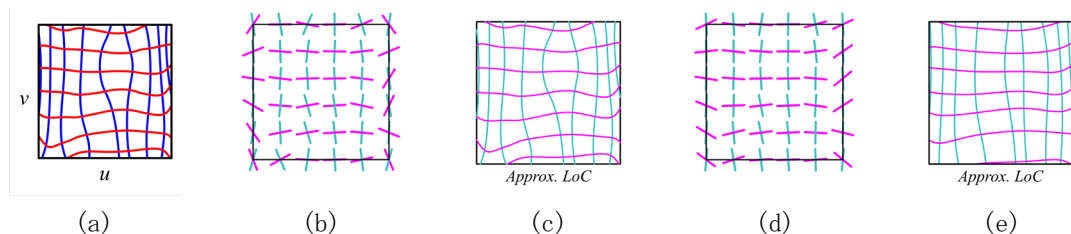


図1 パラメータ空間に基づく主方向場データの平滑化<sup>[1]</sup>: (a) オリジナルの曲率線, (b) 離散的に抽出した主方向データ, (c) (b) から算出した疑似曲率線 ((b)の離散的な主方向データから推定される曲率線), (d) (b) をフィルタリング手法により平滑化した主方向データ, (e) (d) から算出した疑似曲率線.

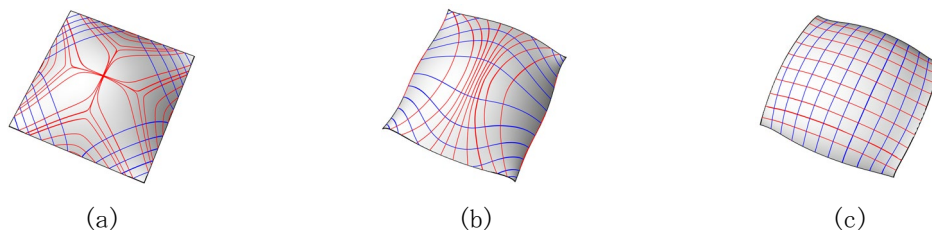


図2 提案手法による曲率線（主方向）制御に基づく曲面変形<sup>[1]</sup>: (a) 変形前の曲面 S, (b) 曲面 S から微小変形後の曲面例 1, (c) 曲面 S から微小変形後の曲面例 2. いずれも元の曲面 S から微小変形内で, 大幅に曲率線の傾向が変化しており, 任意に主方向を制御可能であることを確認した.

#### (4) 種々の特徴量の評価

形状の品質評価パラメータとして主方向以外に, 様々な曲面幾何量について検討を行うとともに, それらの特徴量と形状品質や工作法との関係性について整理を行った. また実際に, 様々な特徴量・特徴曲線群を算出するプログラムを開発して形状評価を実施した. 特に計算に B-spline 曲面のパラメータに関する高次導関数を要する特徴量・特徴曲線群は, 対象曲面の凹凸に非常に敏感であり, 形状の品質評価に利用できることを確認した.

#### (5) 基盤プラットフォームのコンセプト設計

研究成果を, 将来的に汎用 3DCAD ソフトウェア上に実装することを目的に, 基盤プラットフォームの仕様検討ならびに試作に取り組んだ. 具体的には, 汎用 3DCAD ソフトウェアである Rhinoceros において, そのプラグインソフトウェアの Grasshopper を用いて曲面評価システムを試作した.

### 4. 研究成果

形状の幾何特徴量である主方向（リーマン計量, リーマン幾何学的観点）を設計パラメータに加えた, 高品質で滑らかな曲面を生成する新たな設計手法を構築した. 図 3 は, 長さ 278 m のばら積み貨物船の船首部に提案手法を適用した例である. 上段が曲面形状を変形させる前で, 下段が提案手法を用いて形状を修正した結果である. 主方向データを離散的に算出し, フィルタリング手法を用いて平滑化し (図 3 (a, e)), それらを入力データとして意図的に曲率線方向を制御することで曲率線の流れをスムーズにし (図 3 (c, g)), 曲面品質が向上したことを確認した (図 3 (d, h)). つづけて主方向を制御することで, 曲率線直交網の特異点である臍点を曲面上から除去した例を示す.

曲率線展開法<sup>[2]</sup>は, 船体外板曲面を効率的に加工・成形するために考案された手法である. 曲率線展開法は, 曲面上の曲率線情報に基づいて施工情報を出力するが, 原則として, 手法の制限上, 曲率線直交網の特異点である臍点が存在する曲面形状は適用対象外としている. そこで, 臍点が存在する外板形状を対象に, 考案した主方向場データの平滑化手法と併用することで, 曲面上から臍点を除去するような修正を試みた (図 4). いま図 4 の外板曲面は臍点を曲面の境界付近に有している (図 4 中の黒点). 提案手法を用いて, 曲率線の方法を意図的に制御することで, 微小変形内で, 外板上から臍点を除去することができた. このような意図的な形状操作は, 従来のユークリッド幾何学的観点のみでは困難である. このように提案手法を用いることで, これまで実現が難しかった意図的な形状操作も可能とした.

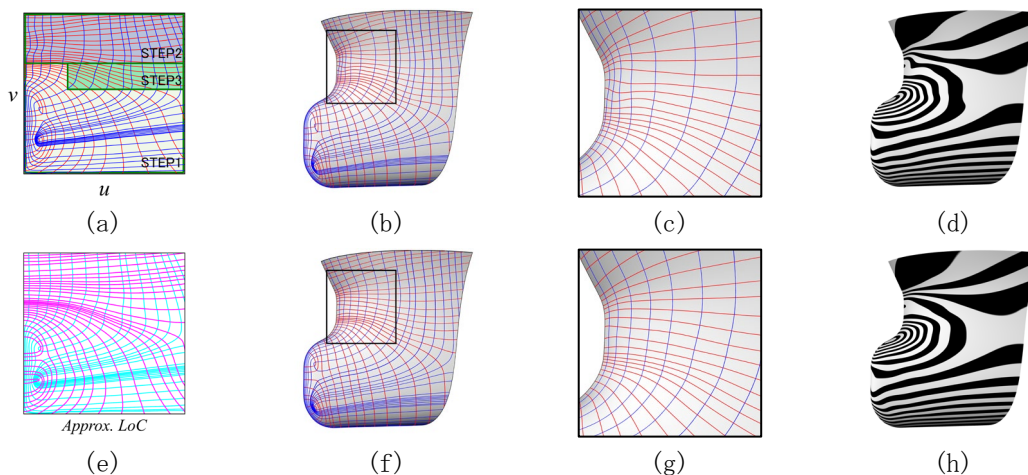


図3 船首部曲面の最適化<sup>[1]</sup>: 上段, 最適化前. 下段, 最適化後. 左から右へ: パラメータ空間の曲率線, Geometry 空間の曲面とその曲率線, 拡大図, ゼブラマッピング.

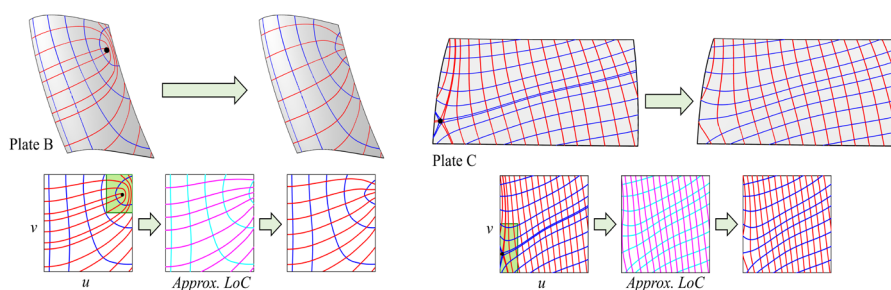


図4 曲率線制御による曲面変形<sup>[1]</sup>: 上段, Geometry 空間における形状変形の前後. 黒い点が曲率線直交網の特異点である臍点を示す. 下段, パラメータ空間における形状変形の前後. マゼンタとシアン色の曲線は, 離散的な主方向場データから算出した疑似曲率線である.

本研究の特徴として, 以下の点が挙げられる.

- (i) 主方向に着目することで, 品質の良い曲面の生成を可能とした.
- (ii) 設計者が意図した形状の特徴 (曲がりの傾向, つまり主方向の傾向) を保ちながら, 曲面の生成・平滑化を可能とした.
- (iii) 新しい設計パラメータを導入した曲面設計手法を開発したことにより, これまでにない意匠性に優れた形状の創生が期待される. 例えば, 優れた2隻の船体の主方向情報を線形結合させた結果を入力データとすることで, 新しい船体形状を創生することが可能となる. 今後はこのような研究課題への展開も検討している.

本研究の成果は造船だけでなく, 意匠性に優れた製品 (自動車, 飛行機, 家電等) に対しても重要な役割を果たすと考えられ, 様々な分野への応用が期待される.

#### <引用文献>

1. M. Takezawa, K. Matsuo, and T. Maekawa, "Control of lines of curvature for plate forming in shipbuilding," *Computer Aided Geometric Design*, vol. 75, p. 101785, 2019.
2. 松尾宏平, 藤本修平, 島田道男, "曲率線情報に基づく造船プレス加工支援システムに関する研究", 日本船舶海洋工学会論文集, vol. 28, pp. 189-201, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takezawa Masahito, Matsuo Kohei, Maekawa Takashi	4. 巻 75
2. 論文標題 Control of lines of curvature for plate forming in shipbuilding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computer Aided Geometric Design	6. 最初と最後の頁 101785 ~ 101785
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cagd.2019.101785	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------