

船舶曲がり外板の精度計測による技能の可視化システム

稗方和夫¹ 大和裕幸¹ 榎本昌一² 笈田佳彰³ 古川慈之⁴

Kazuo HIEKATA¹, Hiroyuki YAMATO¹, Masakazu ENOMOTO² Yoshiaki OIDA³ and Yoshiyuki FURUKAWA⁴

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹ Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

² 東京大学大学院工学系研究科

² Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

³ 東京大学工学部

³ School of Engineering, The University of Tokyo

⁴ 産業技術総合研究所

⁴ Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: Accuracy evaluation and visualization system of a curved shell plate was developed. The proposed system compares point cloud data of curved shell plates measured by laser scanners and the design dimensions. Then the variations between measured data and design dimension are evaluated and visualized in several display formats. Qualitative analysis is conducted for extracting the skills.

1. 研究背景

船舶の曲がり外板とは船の船首尾に多くみられる任意の形状を持つ外板である。一般商船の外板は鋼でできており、形状の目安となる木型をあてがいつつ、加熱と冷却の繰り返しによる塑性変形で目的の

れるが、曲がり外板の工作精度の評価は属人的な技能に依存した数個の木型による職人の目視で行われている。ぎょう鉄の工作手法を定量化・技術化することは、今後素人工化が進むと考えられる造船業においては喫緊の課題である^[1]。

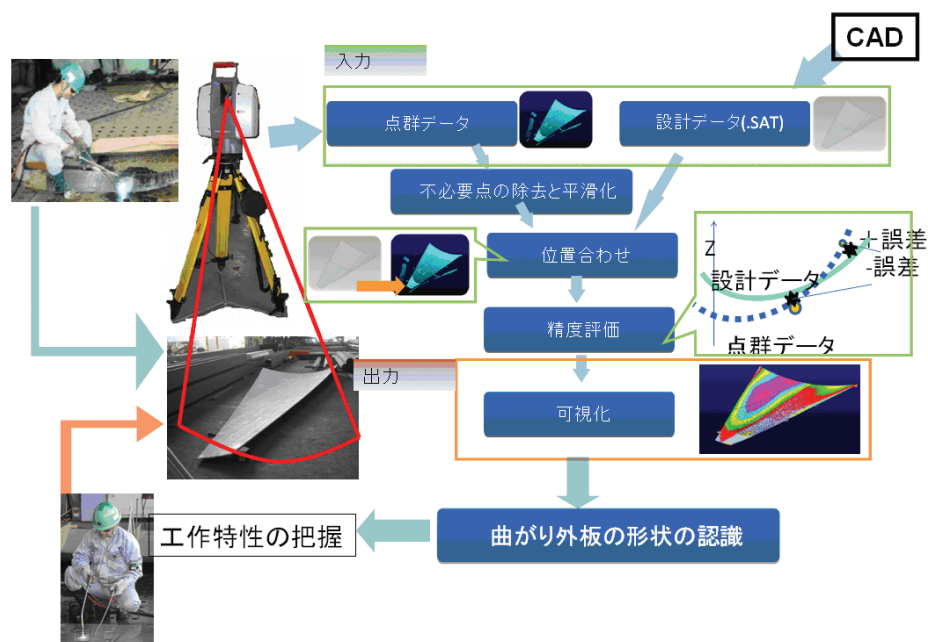


図 1. システム概要図

形状に加工される。この工作手法はぎょう鉄と呼ば

2. 目的

本研究では、レーザスキャナにより得られた曲がり外板の3次元点群データと設計データを比較し、その違いを可視化することで曲面全体の工作精度を評価するシステムの開発を目指す。また、平面（定盤）によるシステムの基本性能の確認と、実際の曲がり外板への適用による有効性の検証を行う。

3. 提案システム

本章では、本研究で開発したシステムについて説明する。システムの概要を図1に示し、各節でシステムが行うプロセスを説明する。

3. 1 入力データ方式

システムに入力するデータは、実際の曲がり外板を計測した点群データおよび設計データである。点群データの形式はレーザスキャナにより計測される3次元座標値と色の輝度を保持するテキストデータ、設計データはACISカーネルによるCADの標準ファイル形式であるSATファイルを用いる。SAT形式では曲線及び曲面がNURBS^[2]で描かれる。

3. 2 外れ値除去と平滑化及び不必要点群の除去

計測点群は真の値を中心としてばらつきを含み、そのばらつきを小さくするため移動最小二乗法^[3]による平滑化処理を行う。また想定外のばらつきを持つものに対しては平面基準の外れ値処理^[4]を行う。加えて、計測点群には外板以外の部材や定盤が含まれ、これらの除去に領域成長法^[5]を用いる。

3. 3 位置合わせ

位置合わせの基準として、シーム、バットと呼ばれる外板端部を利用する。まず、計測点群から端点

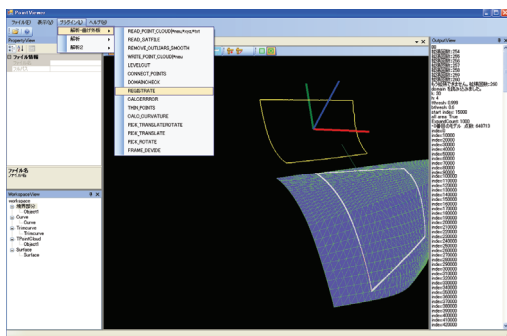


図2. PointViewerのインターフェース

の集合を抽出し、隣接2点間の中点を位置、距離を重みとし、外板全体の重心と慣性主軸を計算する。最後にそれらが重なるような平行移動と座標変換を行う。

3. 4 誤差の計算

重なり合った点群と設計曲面までの距離を誤差とする。点とNURBS曲面の距離は非線形最適化問題であり、本システムではニュートン法を用いて解を求める。

3. 5 誤差の可視化

計算された誤差に対しては、以下の方法で可視化する。I)誤差平均を真緑とし、負の最大誤差から正の最大誤差まで、青緑赤の順に配色を行うグラデーション表示、II)誤差を階級に分け、隣接階級毎にコントラストの強い色を用いるコンタ表示、III)横軸を誤差階級、縦軸を度数としたヒストグラム表示、IV)見通し上の誤差の断面表示の4種類の方法を用いる。

4. 工作精度評価システム

4. 1 システムの概要

本システムは株式会社ユニクスが開発した点群処理フレームワークであるPointViewerの曲がり外板工作精度評価プラグインという形で実装した。図2にPointViewerのユーザインターフェースを示す。

4. 2 システムの検証実験

4. 2. 1 検証実験の目的

本検証実験の目的はシステムの基本的な精度と感度の確認である。

4. 2. 2 実験方法

表1にレーザスキャナの仕様を示す。開発したシステムの基本的な精度の確認のため、定盤表面を完

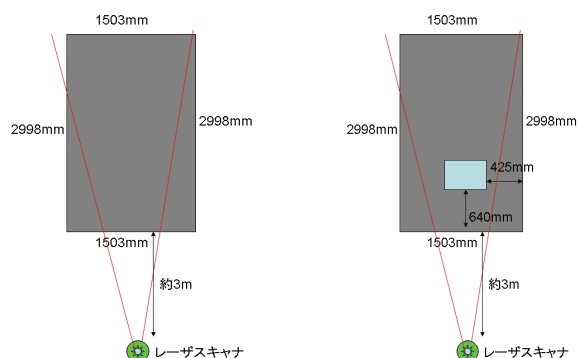


図3. 計測方法

全な平面と仮定して、その計測結果を定盤の寸法を元に作成した設計データと比較する。また、システムによる感度・分解能を確認するため、定盤の上に厚さを計測したアルミ平板を置き、平板の厚さが誤差として検出されるか確認した。なお、アルミ平板の厚さは2.31mmである。図3に計測方法を示す。

表 1. レーザスキャナの仕様

メーカー	Leica
スキャナ	ScanstationC10
測距精度*	4mm
測角精度**	12"/12"
位置精度*	6mm
計測方式	Time Of Flight
**水平/垂直	*1-50m range 1σ

4. 2. 3 実験結果

定盤およびアルミ板を置いた定盤のグラデーション表示結果を図4に、それぞれのヒストグラムを図5および図6に示す。図4左側で定盤が緑一色に描画されている。図5から-0.015を中心として標準偏差0.31となり、本システムによる計測点は9.7%が -0.015 ± 0.93 の範囲内に収まった。同様にアルミ板を乗せて計測した実験のグラデーション表示では、アルミ板部分が明確に区別され、2.31mmの違いが検出されることが示された。本実験における精度は、ヒストグラムの階級が1.9mmであったことから0.4mm程度であった。以上から、開発したシステムの基本性能と精度・分解能を示した。

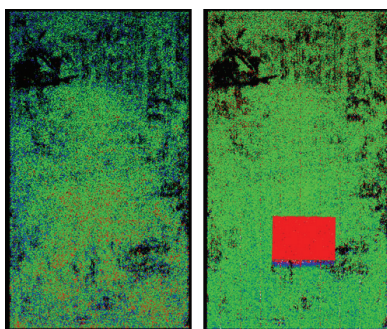


図 4. グラデーション表示結果

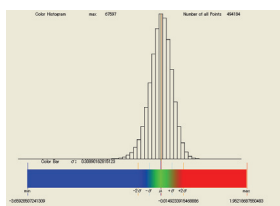


図 5. 定盤計測結果のヒストグラム表示 (ヒストグラムの階級は0.1mm)

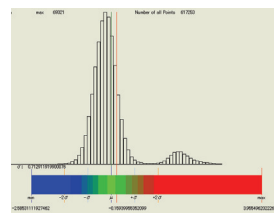


図 6. アルミ板を乗せた定盤計測結果のヒストグラム表示 (ヒストグラムの階級は0.1mm)

5. ケーススタディ

ケーススタディでは、実際の曲がり外板の評価を行う。今回計測を行うのは、図7に示す曲がり外板である。計測された点群の上方から表示結果を図8に示す。

図9から図12にケーススタディの結果の本システムによる出力結果を示す。図9は設計データとの違いをグラデーション表示した結果、図10はそのヒストグラム、図11は設計データとの違いの大きさを等高線表示したコンタ表示、図12は右下に見通し上の誤差の断面表示を示す。

これらの可視化結果から、図9中に示した縦方向に設計値との違いが小さい部分が存在し、この部分と図12の断面表示に示した極値あるいは鞍点のような状況を示す点の対応が見られる。また、これらの特徴を有する部分は、現場で木型による精度の確認を行っている木型の位置とも一致する。この木型による確認が行われない位置での設計データとの違いは最大で2mm程度になる部分もある。

木型による精度評価から、提案システムによる定量的な評価に移行することで、属人的なぎょう鉄作業の加工方法とその結果の対応付けが可能になることが期待される。

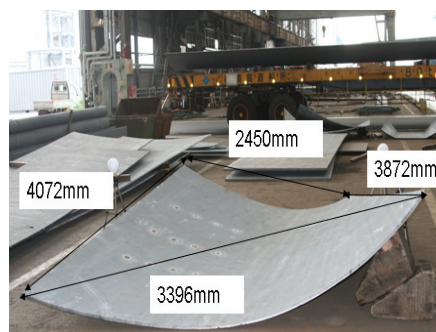


図 7. 曲がり外板の外観

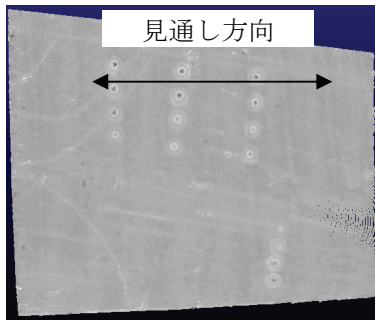


図 8. 曲がり外板の上方からの計測結果

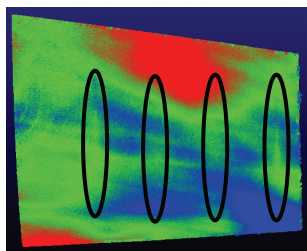


図 9. グラデーション表示結果

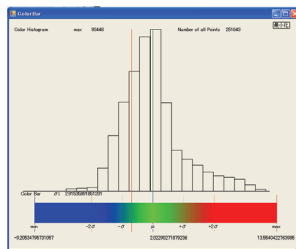


図 10. ヒストグラム結果

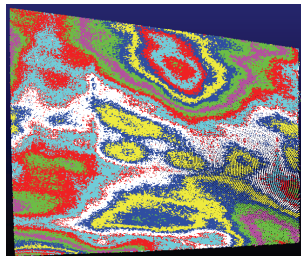


図 11. コンタ表示

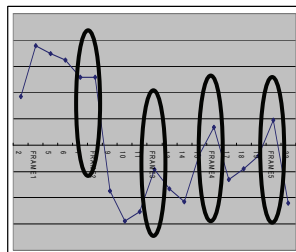


図 12. 設計データと計測結果の違いの断面表示
(縦軸目盛は 0.5mm、横軸は見通し上の位置)

6. 結論

レーザスキャナにより計測された三次元点群データを用いることで、属人的な評価が行われている曲がり外板の形状の定量評価が可能なシステムを開発した。平面（定盤）の計測結果からシステムの基本機能の確認を行った。

開発したシステムを利用して実際の曲がり外板の評価を行い、曲がり外板中の加工精度のばらつきと現行の精度評価に利用されている木型の位置の対応があることが示された。

今後、多くの曲がり外板の計測を行い、可視化された結果を元に熟練作業者のヒアリングを行い、ぎょう鉄作業に有益な知識の獲得や精度向上のための改善点の発見が期待される。

謝辞

本報告は東京大学と住友重機械マリンエンジニアリング株式会社の共同研究の成果の一部である。ソフトウェアの開発は株式会社ユニークスの支援を受けた。レーザスキャナによる計測ではライカジオシステムズ株式会社にご協力いただいた。関係者の皆様に深く感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 奥本泰久, 造船技術と生産システム, 成山堂書店, 2009
- [2] Les Piegl and Wayne Tiller, The NURBS Book 2nd Edition, Springer, 1996
- [3] Levin, Mesh-independent surface interpolation, Geometric modeling for Scientific Visualization, 2003, pp. 37-49
- [4] Markus Gross, Hanspeter Pfister, Point-based Graphics, Morgan Kaufmann pub, 2007
- [5] David A. Forsyth, Jean Ponce, コンピュータビジョン, 共立出版株式会社, 2007, pp. 539-540