

3次元計測データによる曲がり外板加工方案設計プロセスのバーチャル化と知識抽出

The Virtualization and Knowledge Extraction of Curved Shell Plates' Processing Plan Design Process

稗方和夫¹ 大和裕幸¹ ソンショウギョク¹ 中垣憲人² 菅原晃佳²

Kazuo Hiekata¹, Hiroyuki Yamato¹, Jingyu Sun¹, Norito Nakagaki² and Akiyoshi Sugawara²

¹ 東京大学

¹The University of Tokyo

² 住友重機械マリンエンジニアリング(株)

² Sumitomo Heavy Industries Marine & Engineering Co., Ltd

Abstract: An approach of extracting the tacit knowledge during the curved shell plates' manufacturing process using the accuracy evaluation system is discussed. First, to extract the plate from the point cloud obtained from laser scanner which includes needless points automatically, a new extraction algorithm which is more efficient is proposed. Also, the flow of the measurement is totally automated by an automation engine for ease of use by the workers. On the basis of efficient data measurement, by virtualizing the templates of plates, the knowledge during the plates' manufacturing process can be finally extracted and rearranged into the system to propose proper heating factors.

Key words: laser scanner, tacit knowledge extraction, curved shell plate

1. 諸言

造船所における船首尾を構成する曲がり外板の加工方案の設計は、木型を板の上に固定して行う見透し線による目線確認の結果に基づいて属人的に行っている[1]。

図1に木型による加工方案(ぎょう鉄)と外板設計とのつながりを示す。まず、曲がり外板の形状を一枚ずつ設計し、設計データによる平面展開と木型製作を行う[2]。次は、曲がり外板をプレスし、ある程度に設計形状に近づいたら、加熱加工が始まる。この時、職人に与えられるものは、

- ① フレーム線を持つ鋼板
- ② 外板形状を示す木型
- ③ 加熱器などの加熱装置

もともと外板を設計した方からの指示は、上記の③を用いて、①を②に合致する滑らかな曲面に変形することである。具体的には、職人は①と②を見て、②を重ね合わせたり、①のフレーム線の上に②を置いたり、転がしたりして加工方案を考え、木型の底面と板のフレーム位置の形状を確認、③を利用して少しずつ目的形状に近づけていく。この作業のプロセスには職人の経験と勘にかかり、個人差がたくさん存在する。また、木型の角度、配置位置と転がす角度などのパラメータは定量的に指定してなく、なぜこの角度で加熱線をここに配置するのかを、熟練者でもうまく言葉で説明できないところが多い。そして、加工の方案は一つじゃなく、どちらがもつ

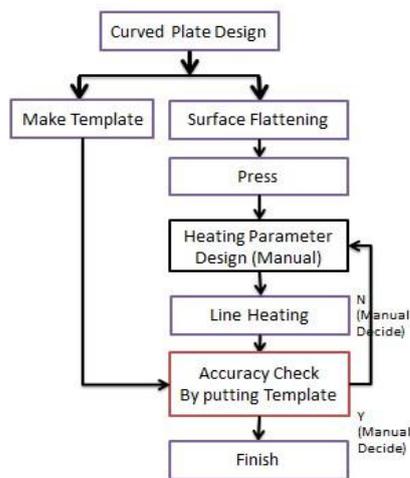


図1 現行の曲がり外板設計製造プロセス

とも変形にいい方案だとかは定量的に判断されない[3]。

本研究では、曲がり外板の3次元形状をレーザスキャナによる取得した計測データから抽出し、計測流れを全自動化する上で、加工プロセスのパラメータを定量的に表現し、部材を設計形状に近づけるための手順（加工方案）を設計するための暗黙知を抽出する方法を提案する。

2. 提案システム

図2に本知識抽出システムのアーキテクチャを示す。本システムは大きく分けて自動化エンジン、外板計測エンジン、バーチャル木型生成エンジン、加工方案自動生成エンジン、設計履歴記録エンジンの5つのエンジンと計測パラメータ選択インターフェイス、人間動作認識インターフェイスの2つのインターフェイスと知識抽出のレポジトリからなる。

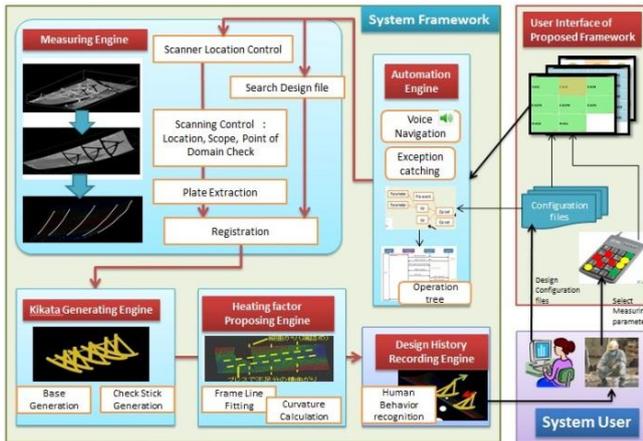


図2 システムアーキテクチャ

曲がり外板の3次元データの計測については、自動化インターフェイスを通じて、現場のどの板を計測するかなどの指令をシステムへ出し、レーザスキャナの台車を制御する上でその板の周りの3次元データを計測する。そして、外板抽出エンジンで外板部分のみを抽出する。また、同時に階層化されたワークスペースのフォルダからこの板の対応の設計データを見つけ、システム上に分析しやすい形式であるプロジェクト単位で管理し、計測データと設計データ間の初期位置合わせを行う。

また加工方案設計プロセスのバーチャル化については、まずバーチャル木型エンジンで設計データのフレーム点からバーチャル木型を生成する。次に、加工方案自動生成エンジンによりシステムが予測する加工方案を画面上に出し、設計履歴記録エンジンを起動し、職人の動作に応じて計算機上でバーチャ

ル化された木型を転がしながら、加工方案設計プロセスの全過程を記録する。その後、知識抽出レポジトリで、職人にインタビューにより、この板の加工方案設計プロセスのルールを暗黙知として抽出する。

造船所で、以上のサイクルが繰り返されることで、違う種類の複数の曲がり外板の加工方案設計プロセスのルールを知識として抽出することができる。

これより、図2に示したシステムが用いた手法を説明する。

2.1 外板計測

2.1.1 外板抽出アルゴリズム

精度評価に必要な外板の他に、地面や木型の影など多数の障害物も同時に計測してしまうため、図3(左)のような障害物を含む点群データから外板部分のみを抽出する必要がある。

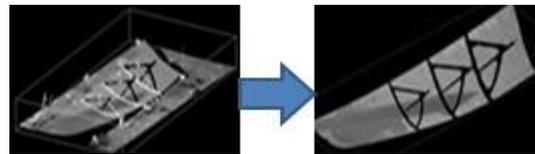


図3 外板抽出

本手法では、自動的に同一の外板上の点を高速かつ安定に抽出するため、平面フィッティングにより得られた近似平面と点との距離で連続領域を抽出する[4]。障害物の周辺ではこの距離が大きくなるため、連続領域のエッジで四次曲面フィッティングを適用し、計測データが不連続な外板のほかの一部を認識する。次は認識した部分で繰り返し同じ処理を行い、外板全体を抽出する。詳細を以下に述べる。

まずは、外板の任意の一点を起点として選択する。起点から計測データが連続する部分とエッジを計算コストの少ない平面フィッティングにより得る。次に式(1)のような、この連続領域のエッジで四次曲面フィッティングを行う[5]。

$$z = \sum_{j=4}^0 \left(\sum_{i=j}^0 c_{i,j-i} x^i y^{j-i} \right) \quad (1)$$

各エッジの点ごとに近傍点を算出し[7]、共通領域判定を行う。エッジの近傍点を代入した式(2)の誤差Dを最小化し、閾値より小さいと、この点が式(1)が代表する曲面と同じ曲面に存在していると判定され、この近傍点は同一の外板にある点ということがわかる[8]。

$$D = \sum_{k=1}^N \left[Z_k - \sum_{j=4}^0 \left(\sum_{i=j}^0 c_{i,j-i} x_k^i y_k^{j-i} \right) \right]^2 \quad (2)$$

最後に、この近傍点を次の起点として、以上のプロセスを繰り返し、全体の領域を認識していく。

2.1.2 計測流れの自動化

今後知識の抽出に取り組むためには現場で大量の計測データを得ることが必須であるため、計測作業の自動化にも取り組んだ[6]。

自動化エンジンはオペレーションシステムの機能を使って、システム操作コマンドを人間の代わりに送ることにより、システムのコントロールと処理状況の検知を行う。テンキーを用いて計測パラメータの選択画面から作業員から必要最小限の情報を取得する。また、必要な設定情報を設定ファイルに取り込み、計測中に設定情報により自動的に処理を行う。音声で処理の進捗を知らせる。

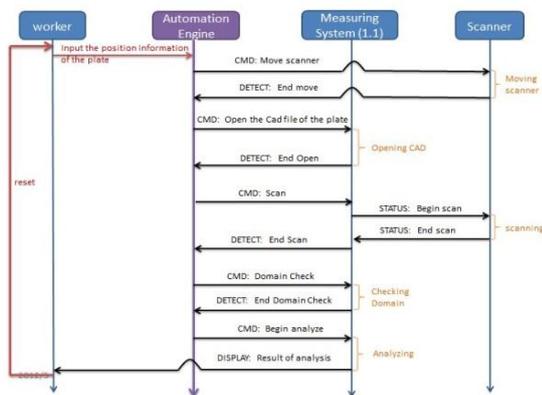


図 4 自動化された計測流れ

図 4 のように、人間の操作は左側の矢印の部分しかなく、自動化エンジンを通じて、計測システムとスキャナのコントロールと処理進捗の検知を自動的に行っている。

2.2 バーチャル木型生成

加工方案設計プロセスの全過程をバーチャル化するために、バーチャル木型を設計データから生成する必要がある。

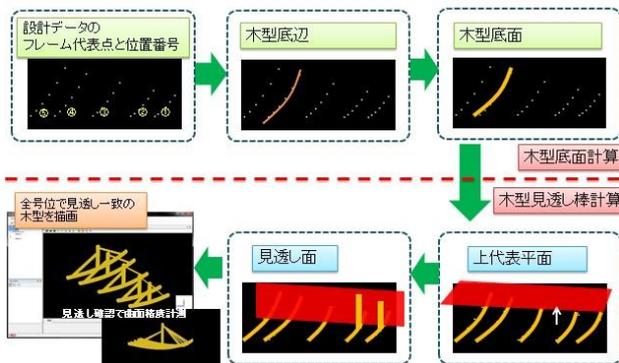


図 5 バーチャル木型生成

図 5 のように設計データのフレーム点から、バーチャル木型を生成する。

木型の棒を生成するには、上代表平面と見透し平面が必要になる。まず、式(3)のように v_i で示される各フレーム線の撓み方向のベクトルを相加し、正規化して見透し棒の設計高さ H と相乗して保持する。各設計フレーム点をそのベクトルとの相加により、板全体の撓み方向へ平行移動する。移動された点の集合 p によって最小二乗法で平面フィッティングを行い、上代表平面になる。

$$p'_i = p_i + N \left(\sum_{j=1}^n v_j \right) * H \quad \begin{matrix} p'_i \in P' \\ \forall p_i \in P_{frame} \end{matrix} \quad (3)$$

また、図 6 のように 1 号位フレーム線の中点 p_{m1} を上代表平面に投影し、対応の投影点 p_{proj} が得られ、その二点と、2 号位のフレーム線中点 p_{m2} 、三点で見透し平面を確定する。最後に、フレーム全号位で見透し一致の木型を計算機上で描画する。これで生成されたバーチャル木型は図 7 のように本物の木型と同様な目線確認法を達成した。

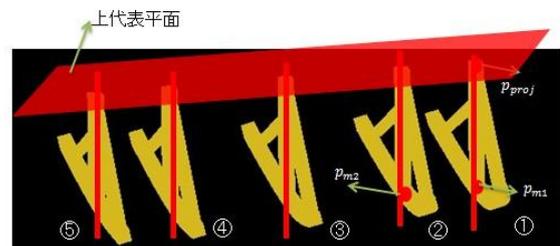


図 6 バーチャル木型側面



図 7 バーチャル木型前面

木型の底辺を生成する際は、離散的な設計フレーム点を式(4)に示した Lagrange 法を用いて曲線フィッティングすることにより[5]、設計フレームの各点を通る木型の底面を取得する。

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n L_i(x) * \sum_{k=1}^m L_k(y) * f(x_i, y_k) \quad (4)$$

2.3 知識抽出

工場での板の加工精度の判定は定量的な評価が行われず、木型を板の上に固定して見透し線による目線確認で属人的に行っている。本研究では実物の木型による評価の代わりに、木型をシステム上でバーチャル化し、システム上で二次加工方案を検討することで加工に関する知識の抽出を行うことを提案する。

2.3.1 加工方案自動生成による知識抽出

3次元計測データを用いて加工方案を自動的に設計するシステムを開発し、システムが設計した加工方案と職人が考えた加工方案との違いをインタビューにより発見することで加工方案設計プロセスの知識抽出を行う。

ここでは図8に示した加工方案自動生成の方法を説明する。

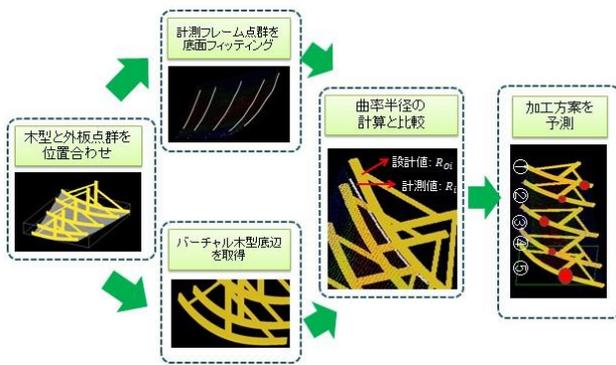


図8 加工方案自動生成

まず、ICP アルゴリズムを用いてバーチャル木型と外板計測点群データの位置合わせを行い[9]、式(5)に示した全部の制御点を通る必要がない B-spline 曲線を用い、計測点群のフレーム線を取得する。

$$P_{j,k}(t) = \sum_{i=1}^k N_i^{[k]}(t) P_{j,i-1} \quad (0 \leq t \leq 1; j = 2, 3, \dots, n-k+2)$$

$$N_i^{[k]}(t) = \sum_{m=1}^k a_{im}^{-|k|} t^{k-m} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (5)$$

最後に、図9のように計測データフレーム線各点の曲率半径 R_i と設計データフレーム線各点の曲率半径 R_{oi} を計算して式(6)を用いて比較する。加熱線は隣接なフレーム線の比較結果 μ が一番大きい点の間に配置し、計算機上で二次加工方案を出力する[10][11]。

$$\mu = |R_{oi} - R_i| \div R_{oi} > \varepsilon_{thresh} \quad (6)$$

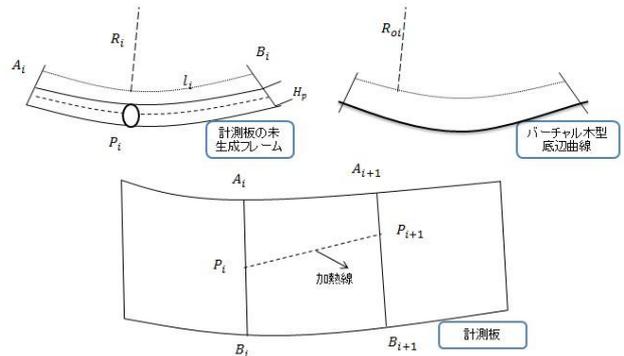


図9 加熱方案自動生成

2.3.2 設計履歴からの知識抽出

職人が曲がり外板と木型を使って行う加工方案設計プロセスを開発したシステムの中で、バーチャルに行うことができる機能を開発し、バーチャル環境で設計履歴を記録しながら、加工方案を設計する。設計履歴を用いたインタビューにより知識抽出を行う。

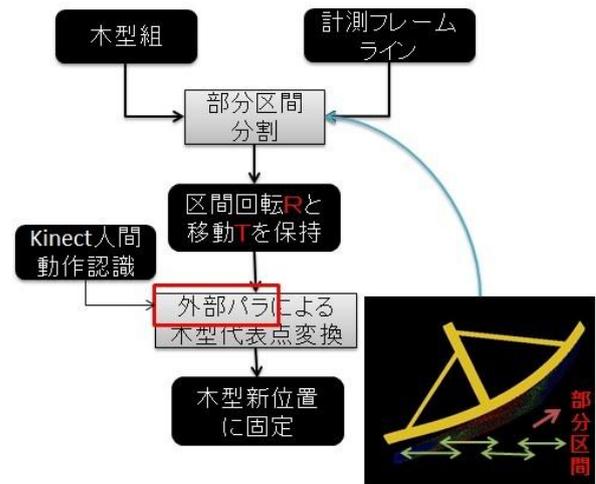


図10 バーチャル木型のコントロール

職人の従来の加工方案設計習慣を記録するために、バーチャル木型を職人より自由にコントロールできるようにしなければならない。本手法では、図10のように一つの木型のフレーム線の部分区間分割をし、部分位置合わせを用いて、バーチャル木型を計算機上で自由に転がすことが可能である[12]。

また、本手法では、人間動作を認識するには Kinect for Windows の Skeleton 識別機能を用いる。インタフェースが図11に示される[13]。

バーチャル環境で加工方案の設計履歴を記録して検討する上で、暗黙知を抽出することが可能である。

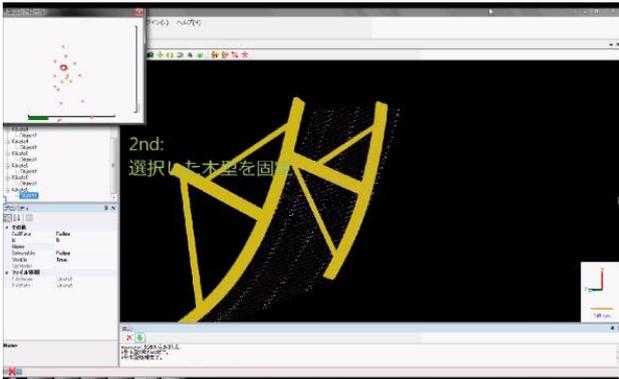


図 11 設計履歴記録インターフェース

3. ケーススタディ

3.1 外板抽出アルゴリズムの評価

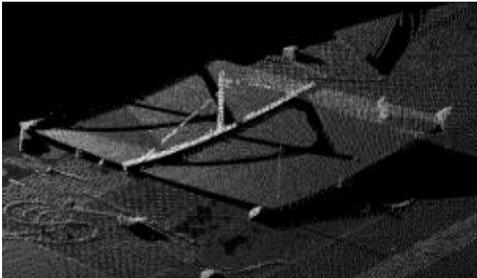


図 12 多数の障害物を含む計測データ

図 1 2 に示した木型をあてがってから計測した多数の障害物を含む外板 A の点群データから、外板の部分だけを抽出する。

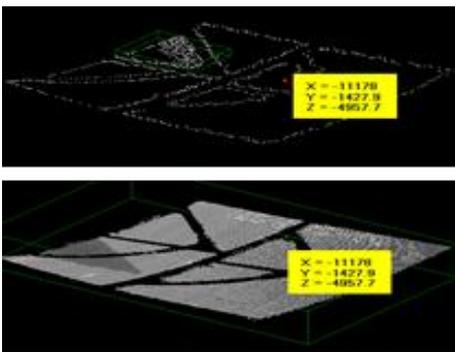


図 13 抽出結果

図 1 3 (上) のように逐次領域成長分のエッジを検出し、計測データが不連続な障害物周辺の点を同じ小領域に存在すると、繰り返して領域成長を行う。毎回のエッジ検出の時間として 8 万点のデータに約 10 秒かかる。

単純な領域成長法では、手で繰り返して小領域を順次に抽出して統合するには 9 分かかった。本手法では、1 分間程度で、図 1 3 (下) のように外板全体を自動的に抽出した。

3.2 計測作業の自動化

本研究で開発した自動化エンジンを取り込んで、住友重機械マリンエンジニアリング横須賀工場を外板精度評価システムの全自動化実験を行った。ユーザインタフェースを単純化し、全部の計測作業を自動化できた。

また、設定ファイルによりスキャナ測定範囲などの変数は現場で対応できることを確認した。

3.3 知識抽出に関する評価

提案したバーチャル木型による板曲率半径の誤差を分析した。フレーム線の②号位と③号位の対応代表点の設計データと計測データ間の μ 値を図 1 4 に示した。

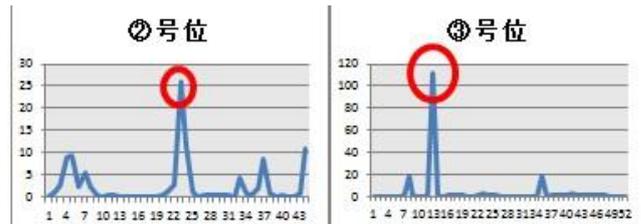


図 14 2 号位と 3 号位フレームの曲率誤差

生成したバーチャル木型が図 1 5 に示された。加熱線を隣接フレームの μ 値が一番大きい位置の間に図 1 6 のように配置する。

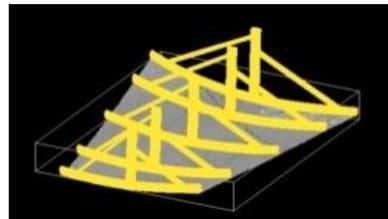


図 15 生成したバーチャル木型

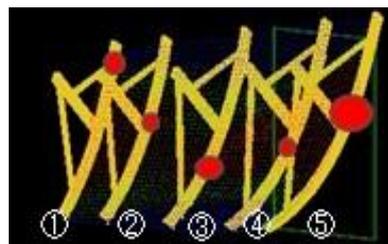


図 16 加熱方案予測結果

また、加工方案の妥当性の職人による評価と設計履歴からの知識抽出は今後の課題である。

4. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

3次元計測データによる曲がり外板加工方案設計プロセスのバーチャル化と知識抽出システムを提案した。

- I. 外板抽出アルゴリズムの高速化と計測作業の自動化により、実データを蓄積できる環境を構築した。
- II. 開発したシステムにより、以下の二種類の知識抽出手法を提案した。今後職人による評価を行う。
 - ① 自動生成した加工方案と職人が考えた加工方案の違いによる知識抽出
 - ② バーチャル環境での設計履歴に基づいたインタビューによる知識抽出

謝辞

本研究開発は、東京大学、住友重機械マリエン지니어リング、日本海事協会との共同研究体制により研究を実施すると共に、日本海事協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて実施した。

また、計測実験では FARO の[14]、情報システムの開発には㈱ユニークスに協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 稗方和夫, 大和裕幸, 笈田佳彰, 榎本昌一, 古川慈之: レーザースキャナを用いた曲がり外板の精度評価システムの開発, 日本船舶海洋工学会論文集第 13 号, 2011, pp.231-236
- [2] 林慎也他: ぎょう鉄技術・施工の現状, 日本造船学会講演会論文集、第 3 号、pp.107-108、2004.
- [3] 富澤茂他: ぎょう鉄技能の継承, 日本造船学会講演会論文集、第 3 号、pp.101-102、2004.
- [4] Markus Gross, Hanspeter Pfister : Point-based Graphics, Morgan Kaufmann pub, 2007
- [5] Eric Lengyel : ゲームプログラミングのための 3D グラフィックス数学, 株式会社ボーンデジタル, pp304-314, 2008
- [6] N Nakagaki, A Sugawara, K Hiekata, H Yamato, M Enomoto, K Takahashi : DEVELOPMENT OF THE

ALGORITHM FOR ACCURACY EVALUATION SYSTEM FOR CURVED SHELL PLATES BY LASER SCANNER, the 15th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding

- [7] Jeffrey S. Beis and David G. Lowe. : Shape Indexing Using Approximate Nearest-Neighbour Search in High-Dimensional Spaces, In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997, pp1000-1006
- [8] Evangelos Kalogerakis, Derek Nowrouzezahrai, Patricio Simari, Karan Singh : Extracting lines of curvature from noisy point clouds, Computer-Aided Design 41
- [9] OKUDA, H., HASHIMOTO, M., KITAAKI, Y., KANEKO, S. : 'Fast and High-precision 3-D Registration Algorithm using Hierarchical M-ICP', THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS, TECHNICAL REPORT OF IEICE, PRMU2003-54, pp1-8, 2004
- [10] 松岡一祥, 砂川祐一, 田中義照, 富澤茂, 高木英治, 浅利栄二 : ぎょう鉄作業と曲面の展開, 日本造船学会講演論文集, 第 3 号, 2004, pp.103-108
- [11] 奥本泰久 : 造船技術と生産システム, 成山堂書店, 2009
- [12] 野本敏治, ハリヤント : 船首尾構造の設計支援システムの構築に関する基礎的研究, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 1993
- [13] Breuer, P., Eckes, C., Muller, S., 2007. Hand gesture recognition with a novel IR time-of-flight range camera - a pilot study, in: Gagalowicz, A., Philips, W. (Eds.), Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, pp. 247-260.
- [14] FARO, FARO Photon 80/20 Specifications, Available at:<http://www.faro.com/pdf/FARO_Photon_en.pdf>. Accessed on : Aug. 6th 2010.