

線状加熱自動鋼板曲げシステムの効率化

Efficiency Improvement of Automated Line Heating for Plate Forming Using IHI-ALPHA System

藤村 清文 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部
丹後 義彦 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 生産・システム技術統括部
石山 隆庸 株式会社アイ・イー・エム エンジニアリング本部 技師長
田邊 忠幸 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部
井本 治孝 技術開発本部生産技術センター生産技術開発部 課長

船体の曲がり外板を製作する線状加熱自動鋼板曲げシステム（IHI- α ）は、造船固有の加工法である線状加熱を自動化した門型の2軸NC装置であるが、近年の近隣諸国の台頭などによる厳しい価格競争に伴い、さらなるコストダウン、加工能力の向上が重要となっており、IHI- α の昼夜連続無人運転（完全自動化）へのニーズが高まっている。本稿では、船体の曲がり外板の工期短縮、仕上げ精度向上を目的として開発した、計測センサを用いたIHI- α の自動化への取り組みについて紹介する。

Steel shell plates for ship hulls have been formed using a line heating method, or a combination of line heating and cold forming. The IHI-Alpha System can achieve line heating automatically and has been employed to construct a number of bulk carriers, VLCCs, and containerships. In recent years, increased manufacturing efficiency has been required for further cost reduction to cope with severer ship price competition. Consequently, the IHI-Alpha System has been fully automated. Shortening of the period required for fabrication and improved manufacturing efficiency is described.

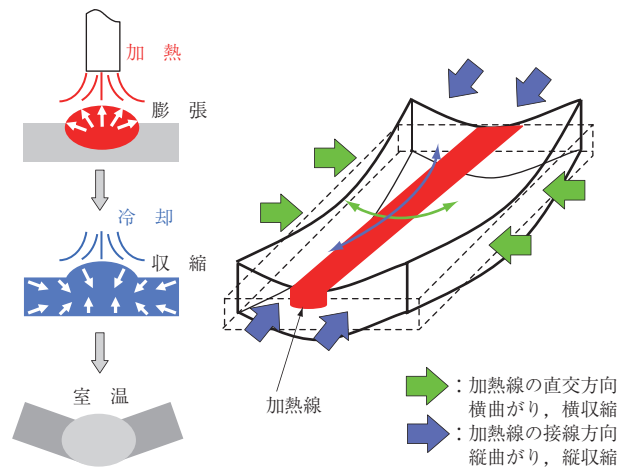
1. 緒言

三次元曲面をもつ船体の曲がり外板は、古くから線状加熱という日本独自の曲げ加工法（第1図）を用いて製作されている。

線状加熱とは、金属板の切断や溶接の際に問題となる局所熱応力による塑性変形を逆に利用して曲面形成を行う造船固有の加工法（第2図）である。作業者の経験と勘に頼る部分が多く、完全に習得するのに10～20年程度を要する加工法であり、近年のベテラン技能者の減少に伴い、技能伝承や外板の加工能力低下が問題となってきた。



第1図 線状加熱曲げ加工
Fig. 1 Line heating



第2図 線状加熱のメカニズム
Fig. 2 Line heating mechanism

このような問題に対して当社（現、IHIMU）は、1998年に船体の曲がり外板を自動加工する線状加熱自動鋼板曲げシステム（以後、IHI- α と呼ぶ）を世界に先駆けて開発し、これまでにバルクキャリア、VLCC、コンテナ船の鋼板曲げ加工に適用してきた。

しかし、造船業界では昨今の近隣諸国の台頭などによる厳しい価格競争に伴い、さらなるコストダウン、加工能力の向上が重要となっており、IHI- α の昼夜連続無人運

転化（完全自動化）へのニーズも高まっている。

本稿では、船体の曲がり外板の工期短縮、仕上げ精度向上を目的とした、計測センサを用いた IHI- α の自動化への取組みについて紹介する。

2. IHI- α の概要

IHI- α は、定盤に設置されたレール上を移動する、高周波電磁誘導を用いた加熱コイルを搭載した門型の 2 軸 NC（数値制御：Numerical Control）装置であり、世界で初めて船体曲がり外板の自動加工を実現している。定盤上には任意の形状をした鋼板を保持するための自動ジャッキが複数台内蔵され（第 3 図）、船体形状の CAD 情報から、それを実現するための加工情報（加熱条件と加熱位置。以後両者を合わせて加熱方案とする）と同時に加熱前の平面形状も自動で算出するトータル曲げ加工システムである。

これまでの研究開発によって板枚数比で全曲がり外板の 6 割程度を占める緩曲率板については自動で仕上げること



第 3 図 線状加熱自動鋼板曲げシステム (IHI- α)
Fig. 3 IHI-ALPHA system

が可能となり、加工コスト削減、工期短縮を実現している。

しかし、既存の IHI- α では、鋼板の加熱・冷却による変形に伴って、自動ジャッキ上に置かれた鋼板の移動によって加熱前に設定したワーク座標と実際の鋼板位置がずれてくる。このため加熱位置精度の確保が難しく、加熱方案を正確に反映した施工ができず、その結果、加熱後の形状精度が悪化し、作業による修正作業に時間を要していた。また、最悪の場合、板端部の溶け落ちによる施工不良の発生や、加熱コイルが鋼板から落下し作業の自動復帰ができなくなる課題を抱えており、自動化の障害となっていた（第 4 図）。

3. システム開発内容

今回、既存の IHI- α が抱える課題を解決する手段として、鋼板の動きを逐次検出しワーク座標を補正することによって、常に正確な位置を加熱する手法を検討しシステム化した。

3.1 非接触計測センサを用いた位置補正システム

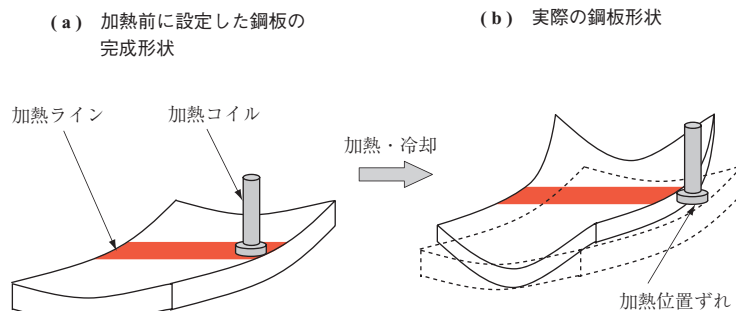
NC 装置の加熱部近傍に、非接触のレーザ変位センサ（以後、計測センサとする）を新規に設置し、加工時の鋼板位置である板端部やコーナ位置、板形状を適切なタイミングで検出するシステムを開発した。

計測センサは、加熱コイルと同軸に取り付けられており、相対位置関係は一定に保たれている。このため、あらかじめ加熱コイルとの相対位置関係を正確に把握し、オフセット情報として NC 装置のパラメータに登録することで、計測センサによる加熱コイルの加工位置を決定する。

本システムの適用によって、加工時の加工用座標系が適切に自動更新されるため、加熱位置のズレが解決され、以後の加熱作業を正確に実施することが可能となった。

(1) 鋼板の検出方法

計測センサは、リアルタイムで定盤上をモニタリン



第 4 図 加熱状況
Fig. 4 Heating status of shell plate

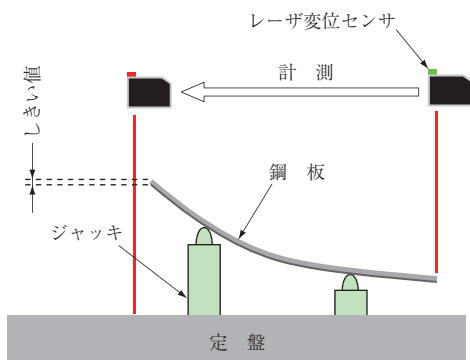
グしており、走査する計測センサの値が一定のしきい値以上の変位を示した位置を板端部としている。

また、計測センサは板端部検出のみでなく、NC 装置から取得される加熱コイルの水平面内の位置情報と組み合わせることで、鋼板の三次元形状を測定する機能も持っている（第 5 図）。

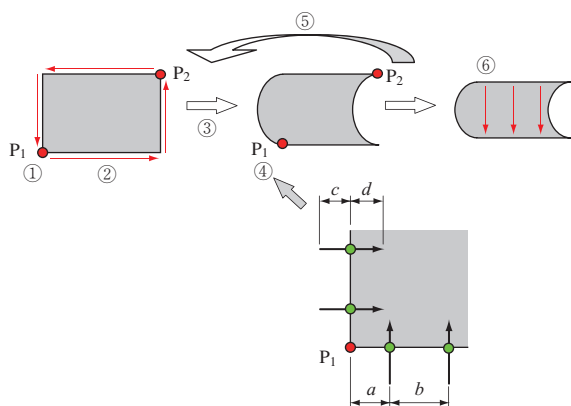
(2) システムの動作手順

本システムの動作手順をつぎに示す（第 6 図）。

- ① 板端部の初期設定（ワーク座標系の設定）
計測センサで鋼板上のコーナ位置 P_1 , P_2 を設定する。
- ② 板位置の確認
計測センサを走査し、枠内に鋼板があることを確認する。
- ③ 加熱作業開始
船体の曲がり外板の FEM（Finite Element Method：有限要素法）モデルを、シミュレーションソフトを用いて平面形状に展開し、加熱方案を作成する。加熱方案は、鋼板の曲



第 5 図 鋼板の検出方法と計測方法
Fig. 5 Detection method and measurement of shell plate



第 6 図 動作手順と板コーナ算出方法
Fig. 6 Operating procedure and calculation of plate edge position

げ形状に合わせて複数のステップに分割される。次に、各ステップの加熱方案を元に NC の座標系を設定し、NC プログラムを作成する。作成した NC プログラムを NC 装置に送信し、加熱作業を開始する。

④ 端部 P_1 , P_2 の再取得

加熱後の鋼板の変形に伴う端部の加熱位置のずれを修正するために、加熱作業 1 ステップごとに計測センサで端部の再検出を行ない、コーナ位置 P_1 , P_2 を再取得する（第 7 図）。コーナ位置 P_1 , P_2 の再取得手法を第 6 図に示す。工程 ① で検出した P_1 , P_2 の値を基準として、板端部位置から矢印の方向に計測センサを走査し、板端部を新たに検出する。そして、板端部位置 4 点（ a , b と c , d ）から作られる 2 本の直線の交点を新しい P_1 , P_2 として取得する。

⑤ ③に戻る。

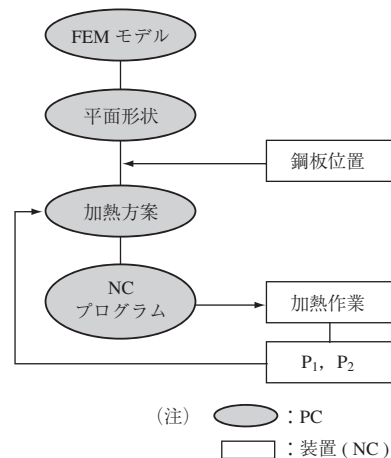
⑥ 全体形状取得

最後に、計測位置のデータファイルを作成し NC 装置にプログラムを転送した後、計測センサを走査して鋼板の全体形状を取得する（第 8 図）。

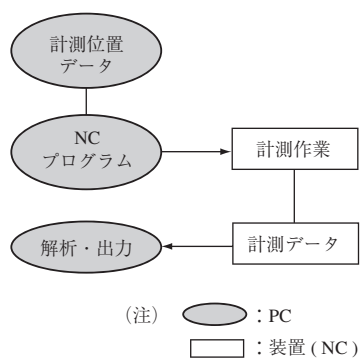
3.2 システム管理ソフト

定盤上の複数の鋼板を連続して加熱するために、複数枚の対象鋼板の情報を同時に管理する機能と、ジャッキ動作制御や各種データ（加熱方案データ、計測データなど）の管理機能の最適化を行うシステム管理ソフトを開発した。

このシステム管理ソフトの導入によって、複数枚の曲が



第 7 図 加熱作業のフローチャート
Fig. 7 Heating work flowchart



第 8 図 計測作業のフローチャート
Fig. 8 Measurement flowchart

り外板を完全自動加工することが可能となった。

4. 結 言

既存の IHI- α に新たに非接触計測センサを設置し、システム化することで得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 移動するワーク座標系を逐次補正することによって、

正確な加熱作業を実現した。

- ・ 計測センサを用いた位置補正システムを適用し、鋼板の端部溶け落ちや加熱コイル落下の問題を解決した。
- ・ 従来は IHI- α に整備された接触式の計測機器を用いて作業者が船体の曲がり外板の計測を行っていたが、計測センサを用いることによって、自動計測を実現した。
- ・ 鋼板の配材後の複数枚連続加熱処理方法を確立し、IHI- α の自動化を実現した。

仕上げ精度については、現在定量的な検証を実施中である。

参 考 文 献

- (1) 丹後義彦, 石山隆庸, 永原章二, 長島智樹, 小林 順: 線状加熱自動鋼板曲げシステムの実船適用— システムの概要と適用実績— 日本造船学会論文集 第 193 号 2003 年 pp. 85 - 95