CCD カメラを用いた接岸速度計の開発と評価試験

環境・エネルギー研究領域*星野 邦弘、原 正一スーパーエコシッププロジェクト加納 敏幸、川島 英幹

1. はじめに

環境負荷低減及び労務負荷低減が可能な次世代 の内航船の開発・普及を目的とするスーパーエコ シッププロジェクトでは、二重反転プロペラ型ポ ッド推進器や高効率な電気推進システム等の実現 を目指している。スーパーエコシッププロジェク トでは同プロジェクトの一環として、省力化支援 システムの研究開発を実施しているところであ る。内航海運において労働力の確保が困難になる と共に船員の高齢化が進み内航船における労働負 荷の低減が喫緊の課題となっている。

また、鉄道建設・運輸施設整備支援機構の運輸 分野における基礎的研究推進制度の資金を得て 「内航船の労働効率向上のための港内操船・係船 支援に資する研究」の研究開発を行っているとこ ろである。この研究開発の要素技術の一つとして、 船舶の離着桟時における接岸速度と係船時の船体 運動情報を計測するための CCD カメラを用いた 光学式計測装置に関し、実船試験を含む各種評価 試験を行ったのでその結果について報告する。

2. 接岸速度計の開発目標

接岸速度計の開発は内航船の離着桟橋バーシン グ支援システム開発の一環として行なうものであ る。離着桟時の操船誘導は操船者がもっとも緊張 し神経を使う瞬間である。何故なら、操船者の一 瞬の不注意や勘違いによる判断ミスが岸壁への衝 突による自船損傷や港湾施設の破損等の重大な事 故を引き起こす可能性があるからである。

離着桟バーシング支援システムは、離着桟時に 操船者に対して時々刻々に変化する①接岸速度、 ②岸壁までの相対距離、③船の運動などを瞬時に 理解できる形で操船者に与え、操船を支援する装 置である。着岸速度計は離着桟橋バーシング支援 システムを構成する計測機器のなかで最も重要な センサーの一つである。

大型船の専用バースには離着桟バーシング支援 システムとして「水中超音波式」、「空中発射式 レーザ距離計」、「RT-KGPS (Real-Time Kinematic GPS)」等の着岸速度計を用いたシステムが既に 利用されている。これらの既存の着岸速度計では 岸壁発射型の超音波式やレーザ式はもちろん RTK-GPS 方式においてもバース側に基準局や無 線リンク等の施設が必要となる。内航船は全国各 地の不特定多数の港湾に入港するため新たな港湾 施設への設備投資は膨大なものとなる。従って内 航船の着岸速度計としては自船内で完全完結した 汎用型のシステムの開発が必要となる。

3. 開発システムの概要

自船内で完全に完結したシステムとして構築可 能な方式として以下が考えられる

- カメラによりバース上の物体を捉えて三角測 量等の原理により距離計測を行う方式
- ② 自動車の衝突防止用システムに代表されるミ リ波レーダやレーザレーダ技術の応用計測
- ③ StarFire、OmniStar、SkyFix 等の高精度広域 DGPS 方式

本論では、①のカメラ方式について詳細な検討 をおこなったので、この結果について紹介する。 内航船の接岸速度計としては動作の安定性と高速 処理と低コスト化が求められる。これらの要求を 満たすため基本的な画像処理は汎用の FA(Factory Automation)用の廉価な外部プログラミング可能 な画像処理 ECU (Electronic Control Unit) を用い 高速度で簡易な画像処理のみを行なう。位置計測、 運動計測、速度演算等の2次処理は全て通信回線 を介して PC へ転送して Microsoft Visual Basic6.0 および C++で新たにプログラムを作成して処理した。CCD カメラを用いた距離計測では通常のステ レオカメラによる三角測量の原理で距離を求めた。ステレオ方式のカメラでは、CCD イメージセ ンサーの回転ズレ、レンズの歪み、光軸のズレな どが発生し、これらに起因する測定誤差が生じる。 これらの誤差要因の低減策として 2 次処理用の PC 内でソフトウェアで誤差補正を行なうことで 精度の確保を行なった。

図-1 に考案した CCD カメラを用いた着岸速度 計の概要を示す。目標物として既設のバース上の 物体である係船柱等を使用することを考える。目 標物の追

尾計測は予め登録した目標物の形状を基準画像と して登録しておき正規化相関法によりテンプレー トマッチングを行なって位置座標の演算を行うこ ととする。接岸速度と距離計測は船首と船尾に同 ーの装置を設置して船首・船尾でのデータを別個 に取得する。

海上実験に先立って実験室内での小規模実験と 検定および大空間の室内実験を行なった。大空間 室内実験の様子を図-2に示す。目標物は図中の写 真に示す白色の石油ポリタンクを使用した。ポリ タンクは幾何学的に他の物体と明確に識別できる ため単純2値化演算を行い基準画像として登録 し、この形状を全画像領域で探査した。カメラ間 の距離(基線長)は4.2mである。カメラシステ ムから目標物のポリタンクまでの標準距離を38 mとしてカメラシステムを固定して目標物のポリ タンクを移動させた。図-3に室内実験での目標物 の移動実験の様子を示す。目標物のポリタンクを

係船柱 A

ハンドパレット上に1m間隔で2つ載せて岸壁を 見立てた場所へ手動で操作を行い移動体としての 計測を行った。計測結果の一例として、移動物体 をその場で回頭させた場合の計測値と設定値の比 較を図-4に示す。図から2つの目標物の位置計測 結果を用いてハンドパレットの回頭角が精度よく





図-1 CCD カメラを用いた接岸速度計の構成





図-3 目標物追尾実験の概要

計測できていることが分かる。図-5 に移動体をハ ンドパレットで目標位置まで手動で移動させた場 合の距離計測値の時系列データを示す。計測結果 からノイズなくスムースに移動体の計測が出来て いることが分かる。

4. 実船試験

大空間室内実験での結果を踏まえて実船を使っ た検証実験を行った。実船実験時の計測システム の全体構成図を図-6に示す。実船実験は豊海水産 埠頭(東京都中央区)の岸壁(写真-1)において 東京海洋大学の練習船汐路丸を使用して実施し た。図中のレーザ距離計は本論の「CCD カメラを







用いた接岸速度計」と並行して海上技術安全研究 所で開発している「目標物自動追尾型レーザ測距 離装置による接岸船舶位置計測装置」の開発に使 用している機器である。レーザレーダは同じく「レ ーザレーダを使った接岸岸壁監視装置」の開発に 使用している機器であり、開発目的である CCD カメラを使った装置画像処理と同時に比較検討の ために計測を行なった。カメラは船首側および船 尾側へステレオカメラを各1システム設置しカメ ラシステム毎に1台のカメラコントローラを設置 した。レーザ距離計、カメラコントローラを設置 した。レーザ距離計、カメラコントローラからの 出力は全てインターフェイスとしてRS-232Cを介 して1台の PC で取り込み、データの収録と距離 データ等の演算および演算結果の簡易表示を Visual Basic で作成したプログラムにより行った。

実験時の汐路丸への各種計測機器の設置状態を 写真-2に示す。岸壁へダンボール箱を一時的に設 置して、これを目標物として船首および船尾側の カメラで計測を行なった。図-7に計測結果の1例 を示す。レーザ距離計の計測結果は安定的な計測 データが得られたのに対して画像処理から求めた 距離計測はノイズが多くほとんど計測できなかっ た。この原因は目標物として単純な長方形のダン



写真·1 豊海水産埠頭

ボール箱を使用したため、テンプレートに使用し た形状と相関値の近い形状の物体が多くあっ たためと、日照の影響により対象物体の見え方 にむらがあったことに原因がある。レーザ距離 計による計測は全ての実験状態で安定的に計 測することができた。レーザ距離計の計測デー タから着岸を演算した例を図-8に示す。

5. 計測法の改良

実船実験でうまく計測できなかった理由の 一つとして画像処理の基本部分を2値化画像に よって行なったことがあげられる。その解決策



図-6 潮路丸実船検証実験計測装置系統図



写真-2 潮路丸実船計測カメラ設置状況



図-7 実船実験計測時系列の一例

として解析にグレースケール画像(濃淡画像) を用い、パターンの抽出としてエッジ検出法を 用い、移動追跡法としては2値化法と同様に正 規化相関法を用いた計測の検討を行なった。グ レースケール画像は2値化画像に比べ情報量が 多く、単純に考えると256階調のグレースケー ルでは2値化方式の256倍2値化画像よりも精 度や信頼性の高い結果が得られる。ただし、情 報量が多い分だけ相関値の計算処理量が膨大 となる。パターンの抽出のエッジ検出用フィル ターとして Sobel オペレータを用いた。検証実 験は大きな窓が側面にある大空間の実験室で



図-8 実船実験計測時系列の一例 (レーザ距離計)

時間帯により目標物の見え方が大きく異なり、 また背景に沢山の物体が同時に写りこむよう な環境で実験を実施した。目標物として金属製 の消火器を用いた。実験の目標物セットアップ の状態を写真-3に示す。目標物の消火器をレー ルに載せた台車上にセットし、台車を手で押す ことにより移動速度を与えた。消火器後方のダ ンボールは比較計測用のレーザ距離計の反射 面として置いたもので画像計測のみの計測で はダンボール箱を撤去した。図-9 は写真-3 の 画像を Sobel オペレータにより線分検出した結 果である。図の右上に消火器部分を拡大表示し たものを示す。図-10 にカメラシステム1と2 およびレーザ距離計の計測結果の比較を示す。 図より CCD カメラから求めた計測結果はレーザ 距離計に比べても遜色なく精度よく計測され ていることが分かる。時間分解能がレーザ式よ り画像処理方式の方が良いのでむしろ画像処 理方式の方がスムースな速度および距離の時 系列波形が得られている。また2値化方式で計 測困難であった夕暮れの薄明かりや窓側から 強い日差しが差し込む状況でも安定的に計測 することができた。なお、逆光の影響には逆光 補正カメラの使用を、単純な照度の変化には自 動絞りレンズの使用による改善を行なう。改良 した方式について今年度に実船実験による検 証を行なう予定である。

6. おわりに

CCD カメラを用いた接岸速度計の開発は平成 17 年度末を目処に開発を行う事としており、こ の一環としてシステムの概要を検討し、実船を 用いた評価試験を行い問題点の抽出と解決策 の検討を行った。その結果、実用化の可能性を 見出すことができた。海上技術安全研究所では 着岸速度計として本論で検討した方式以外に もミリ波レーダ式、レーザレーダ式等の各種の システム設計と基礎実験を実施しており CCD カ メラ方式と合わせて検討を進めている。

謝辞

本研究は国土交通省委託研究「次世代内航船の 研究開発」および鉄道建設・運輸施設整備支援機 構公募型研究「内航船の労働効率向上のための港



図-10 距離計測結果

内操船・係船支援に資する研究」により実施した ものである。また、実船実験にあたっては東京海 洋大学の練習船汐路丸の乗組員にお世話になった。 本研究を実施するに当り、お世話になった上記の 関係各位に感謝申し上げる。



写真-3 目標物



図-9 線分検出画像



図-11 速度計測結果