携帯型船体検査支援システムに関する研究

正員 川 村 恭 己*
正員 角 洋 一***

櫻 木 達 矢**

A Study on a Ship Inspection Supporting System by Using a Portable Computer

by Yasumi Kawamura, *Member* Tatsuya Sakuragi
Yoichi Sumi, *Member*

Summary

Recently, a concept of the information system for structural damages of ships has been proposed by the authors¹⁾. In this concept, not only the information of ship hull structures but also the information about damages obtained by the inspection are stored in the database, and the evaluation such as fatigue life of the structure is carried by the system. For the efficient use of such system, the inspection with high detectability of damages and a convenient recording system are necessary. In this paper, a ship inspection supporting system by using a portable (wearable) computer and virtual reality technique has been proposed. The proposed system assists instruction of the process of the inspection and the efficient recording of the detected damages during the inspection.

1. 緒 言

近年、環境問題・省エネ問題が重要視されライフサイクルエンジニアリングの概念が提唱されるようになってきた。船舶のような大型構造物においても設計・製造だけではなく、運航から廃棄に至るまでのライフサイクルを総合的にサポートすることが課題となってきた。特に、運航中の船舶に重大な事故が発生した場合には、環境破壊や人的損害を与える可能性があるため、船体保守管理の合理的な支援は最重要課題であると言える。そのような背景から、最近、船体の保守管理をコンピュータを用いて支援する考え方が提案されている^{1,2)}。著者らは、データベースを中心として、船殻構造と損傷

情報を一元管理することにより、船体の保守管理を支援する「船体損傷情報システム」の提案を行っている¹⁾。

このようなシステムを有効活用するためには、損傷の記録の面を担う「検査・点検」がこれまで以上に重要になってくると考えられる。正確な検査の実行・検査結果の記録を行うことによって、現時点での船の全体的な安全性の確認ができると共に、損傷を評価し適切な対処を行うことが可能となる。しかしながら、現状の船体検査の問題点として以下のような項目が挙げられる。

(1) 現在の検査内容は検査員の経験に大きく依存している。経験の豊富な検査員は経験的に損傷の発生しやすい箇所を把握しているが、経験の浅い検査員はそのすべての箇所を把握しているわけではない。そのため損傷の見落としが発生したり、検査結果にばらつきがでることが考えられる。

(2) 船体構造の複雑さゆえに検査に必要となる情報は膨大である。しかし、検査員が把握できる情報には限りがあるという問題がある。

(3) 著者らは文献 1)において、損傷情報を統一的に記

* 横浜国立大学大学院工学研究科

** 横浜銀行

(研究当時 横浜国立大学大学院工学研究科)

*** 横浜国立大学工学部

述するためのモデルとそれに基づいたデータベースを提案した。このようなデータベースを利用するためには、検査結果をデータベースに格納することが必要となるが、その入力には多大な労力が必要であると考えられる。

本研究では以上のような問題点を解決するために、船体検査時に携帯可能な「船体検査支援システム」の研究を行った。

2. 船体損傷情報システム

本研究では、船体損傷情報システム¹⁾の存在を前提に船体検査支援システムの提案を行う。よってここでは、研究の背景となる船体損傷情報システムについて述べると共に、そのようなシステム実現のための展望について論じる。

Fig.1 に船体損傷情報システムの概要を示す¹⁾。船体損傷情報システムは船体損傷データベースと船体損傷評価システムから成っている。船体損傷データベースは、個船の船殻情報と検査等で発見された損傷情報を格納し個船の健康状態を記録する役目を果たす。また、船体損傷評価システムはデータベースの損傷情報を用いて、損傷の危険性の評価を行い、検査や運航計画の作成や修理の支援を行うものである。このようなシステムでは、船体の情報を一元管理するために、造船所や船級協会、船会社間の緊密な協力関係に基づいた運用形態と各機関の間での情報交換が必要となる。しかしながら、現状では以下のような問題点がある。

(1) 船殻モデル、損傷モデルのデータ交換の問題点

船体損傷データベースを構築するためには、まず、個船の船殻モデルをデータベース化する必要がある。設計・生産の分野では、個々の造船所が船殻モデルについて電子化を行っているが、損傷情報システムの実現のためには、そのようなデータを各機関の間でフレキシブルに情報交換できるようにする必要があると思われる。そのためには、一般的に通用する標準化されたモデルの利用が不可欠であると考えられる。過去には、船殻モデルについては造船 CIM に関する研究等が行われ^{3,4)}、また、損傷情報についてもいくつかのモデルが提案されている^{1,2)}。しかしながら現状では、それらは一般に利用できる標準モデルとして機能するには至っておらず、情報交換の手段としての利用は難しい。今後、損傷情報モデルの開発と共に、STEP^{5,6)}等の標準化された船体モデルの利用が不可欠になると考えられる。

(2) 運用形態に関する問題点

損傷情報システムの運用により、合理的な船舶の保守管理が可能となり、より高度な船舶の健全性の確保が行えると考えられる。前報ではその運用形態として、船会

社が運用する場合、船級協会が運用する場合、公共機関が運用する場合について論じた¹⁾。しかしながら、そのようなシステムを運用するには大きなコストがかかるため、たとえ技術的にシステム構築が可能となっても、現状ではシステムを導入することは困難であると思われる。また、構造や損傷の情報自体が機密性の高い情報として取り扱われることも多く、各機関の間での情報交換のための協力関係の確立も難しい。よって、損傷情報システム実現のためには、技術的な課題を解決すると同時に、システム導入による経済的メリットがより明確になるような環境作りが不可欠であると思われる。

Fig.2(a)に、船体損傷情報システムの導入が可能と思われる運用形態の一例を提案する。図では、船体保守管理を行うコンサルティング会社が設立され損傷データベースを管理している。コンサルティング会社は、

Fig.1 Concept of the information system for damages of ship structures

(a) コンサルティング会社による運用

(b) 造船会社による運用

Fig.2 Application of the information system for damages of ship structures

船会社から持ち船の損傷情報の管理を委託され損傷情報・運行情報等の情報を取得する。造船所からは船殻データ等の情報を取得し、データベースを構築する。船級協会からは検査情報等取得するとともに、指導を受ける場合もあると考えられる。そして、このようなコンサルティングの規模が拡大すれば保守管理の状態を社会的に評価できるようになり、それに基づいて船体の定量的状態把握が可能となるであろう。船会社は保守管理に力を入れることで、より高度な健全性確保が行えるだけでなく、高い評価を得ることで経済的メリットも得られるようになると考えられる。また、船級協会も船体の保守管理状態の定量的把握に基づいて、検査内容を変えることができれば、同様な効果が得られ、よりシステム導入への環境が整うと思われる。

なお、他の運用形態として、上記のようなコンサルティングを造船会社自身が行うことにより、造船会社を中心としたシステム運用も考えられる(Fig.2(b))。

3. 船体の検査^{7,8)}と検査スタイル

本研究では上記のような損傷情報システムの存在を前提とした船体検査を支援するシステムの研究を行った。ここでは、まず現状における船体検査とその問題点について簡単に述べる。

船体の検査においては、船級協会や管海官庁が規定に従ってある限定された時期に実施する検査(定期検査や中間検査等)と、船会社が自主的に行ったり、備船・売船・保険の加入時等に行われる点検とに分類できる。それらの中でも、実際に検査員がタンク内に入って行う、内部検査や精密検査(目視検査)は重要な位置付けにあると考えられる。Fig.3 に現状における典型的な検査スタイルを示す。検査するタンク内は、一般に、暗くて足場が悪い等の悪環境にあり、ライトやヘルメット、安全靴等の装着が必要となる。特に夏場では、タンク内がかなりの高温になり厳しい検査環境となる。また、高所において作業することも多く安全ベルト等を携帯している。ハンマーは、厚錆や固いかさぶた状の錆を落とすために用いられる。

検査においては、検査員がタンク内に入ると、検査計画や経験に基づいて要所を順次点検し、損傷などが発見されると記録を行う。例えば、き裂損傷の記録の際には、タンクナンバー、フレームナンバー、ロンジナンバーをメモ帳に記載する等により損傷の位置を記録する。また、場合によっては損傷のスケッチやデジタルカメラによる撮影を行う。そして検査後は、それに基づいて損傷状況の図面等を作成し修理計画を立案することになる。

以上のように現状の検査では、(1)検査や検査の記録が

検査員の知識や経験によるところが大きい、(2)検査結果を統一的に取り扱うことができないために、合理的な検査情報の利用が難しい、という問題があると考えられる。

Fig.3 Typical equipments in the survey of the inside of the tank

4. 船体検査支援システムの提案

4.1 船体検査支援システムの構想

本研究では、以上のような船体検査時の問題点を解決する方法として、船体検査時に検査員が携帯する船体検査支援システムを提案する。本システムは、検査支援機能として、以下の3項目の役割を果たすことを考える。

- ①経験の浅い検査員でも、効率よく検査を行うためにマニュアル的な役割をする。
- ②効率的な検査結果(損傷情報・板厚計測情報・検査員の移動経路・視界情報)の記録とデータベースへの入力を行えるようにする。
- ③検査員が必要とする情報(過去の検査履歴や損傷履歴等)を表示することにより検査を支援する。

Fig.4 Concept of the ship inspection supporting system

本研究で提案するシステムの全体構想を Fig.4 に示す。図のように本構想は著者が提案した船体損傷情報システム内に船殻モデルが格納されており、損傷の評価ができることを前提としている。すなわち、船体検査支援システムを用いた検査活動においては、まず、検査前に船体損傷情報システムより、船殻モデルや損傷履歴情報等を検査支援システム内に読み込む。検査を開始すると携帯した検査支援システムから検査の要点や過去の損傷情報などの情報を受けながら検査を行う。検査結果として損傷情報・板厚計測結果等は検査員が検査をしている最中にシステムに入力する。そして、検査終了後は、収集した損傷データ等を船体損傷情報システムに送り、寿命等の評価や検査計画の支援、損傷に対しての修理支援を行うことになる。

4.2 携帯型検査支援システムの構成

本研究では船体損傷情報データベースの内の船殻モデルを読みこみ、それを3次元で表示することにより検査活動に利用することを考えた。Fig.5 に提案するシステムを用いた検査員のスタイルを示す。まず、検査員は携帯型コンピュータに接続されたヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着し、HMD内には3Dでグラフィックス化された船の様子が表示される。ただし、HMDとしては半透明な物や単眼の物等を使用し、検査員は実際の船の中の様子と3Dでグラフィックス化された船の様子の両方を見ながら検査を行えるようにする。また、HMDには検査員の動きをセンスするVR(バーチャルリアリティ)センサーを装着し、検査員が移動し視点や首を動かすとそれに応じてHMD内の3Dグラフィックが変化し、検査員の船の中の視界を船殻モデルの3Dのグラフィックと一致させる。これにより、複雑な船殻構造内においても、効率の良い損傷位置の特定が可能となり、効率的な検査結果の記録が行えると考えられる。また、検査員の移動経路や視界情報を検査行為の情報としてコンピュータに格納することも可能になると思われる。

入力装置は検査結果であるき裂損傷や腐食損傷の形状・位置を迅速かつ容易に3Dモデル内に描写するのに用いる。ところで、3節で示したように、本システムは、(足場が悪い・照明が不十分等)両手が自由に使えない悪環境下で用いられることが考えられるため、通常のコンピュータのようにマウス等の入力装置でシステムに命令を与えることは容易ではない。よって本研究では、音声入力装置を用いて検査結果の記録や命令を与えることを支援するようなシステムを提案する。また、音声入力装置を用いることにより、検査中の検査員の損傷に対するコメントなどを口述筆記することも可能となる。

Fig.5 Ship inspection supported by a portable (wearable) computer

4.3 検査情報モデル

著者が提案した船体損傷情報システムでは、損傷情報の統一的な記述として、船殻モデルに加えて、き裂・腐食損傷に関するオブジェクト指向モデルの提案を行った⁹⁾。検査支援システムの構築のためには、これに加えて修理情報や計測情報等の情報をモデル化する必要があると考えられる。また、検査支援システム構築を容易にするために取扱うデータの定義としては単純なものを使用することが望ましい。そこで本研究では、船体検査支援システム構築という観点から損傷モデルを再定義するとともに、新たに修理情報や板厚計測情報のモデルの定義を行った⁹⁾。ここでは、モデル化の一例として、き裂損傷の情報と修理情報のモデル化について示す。

4.3.1 き裂損傷情報のモデル化

Fig.6 にき裂損傷モデルを示す。き裂損傷には様々な形態があるが、文献 1)と同様に、き裂形状を表現する Crack_Geom オブジェクトのサブクラスとして、貫通き裂・表面き裂をそれぞれ Through_Crack・Surface_Crack としてモデル化した。そしてこれらのオブジェクトは Plate オブジェクトとの関係を結び、損傷位置を表している。また、き裂が複数の部材にわたって進展して行く場合を考え CrackGroup オブジェクトを定義し、き裂形状情報とき裂が発見された時間情報を持たせた。CrackGroup オブジェクトは文献 1)における Crack オブジェクトと同様であるが、本研究では簡単のため、ある特定の組み合わせを表すような子クラスは定義していない。また、文献 1)においてはある特定の位置に生じるき裂を CrackLocation と定義したが、ここでは単純にき裂損傷の履歴情報だけを表現するように CrackHist オブジェクトを定義した。

以上のように本研究では、船体検査支援システム内のデータの取扱いを容易にするために文献 1)のモデルを単純化して用いている。

4.3.2 修理情報のモデル化

一般的な船体の修理においては、き裂損傷が発見された場合には部材の取り替え、腐食損傷が激しい場合には

Fig.6 Definition of the objects for cracks

Fig.7 Definition of the objects for repairs

再塗装を行う。部材の取替えの際には再度同じ箇所に同様の損傷が発生しないように部材を補強・形状を変えるなどの工夫がなされている。このような修理履歴情報は、その後の修理方法の立案や損傷対策を行う上でも非常に有用である。本研究では、修理情報として同形状の板部材の交換情報と再塗装の情報を表す Repair_Plate オブジェクトと Surface_State オブジェクトを定義した。ここでは、Repair_Plate の定義を示す (Fig.7)。Repair_Plate は属性として交換した修理プレートの形状情報を持ち、部材の交換を行った場合には既存のモデルに追加される。また RepairGroup オブジェクトは、属性として修理が行われた時の時間・修理メモを持ち、Repair_Plate と 1 対多の関係を結んでいる。これにより、Fig.7 下のような複数の Plate が交換される状況を表現する。また、上記のき裂損傷の場合と同様に Repair_Hist オブジェクトを用いることにより修理履歴情報を管理

することとした。

以上、本研究で提案する検査情報モデルについて述べたが、以降に示す試作システムでは、上記に基づいたモデルを用いて、船体損傷データベースとテキストファイルを介して情報のやりとりを行うことを想定した。

5. 船体検査支援システムの試作

5.1 試作システムの開発

本研究では、以上の概念に基づいた船体検査支援システムの試作を行った。Fig.8 に試作したシステムを用いた検査スタイルを示す。透過型の HMD として、Display Systems 社の I-Glasses を使い、VR センサーにはデータテック社の VR センサー (GU-3011) を用いた。このセンサーは、小型で 3 軸方向の角度と加速度を検出できる。また、損傷等を入力するための入力装置として 3 次元 6 自由度の入力が可能な Spaceball (SPACEBALL 社製) を用いた (Fig.9)。音声入力装置としては、IBM 社の音声認識システム ViaVoice¹⁰ とその開発ツールを用いている。これらの装置は、携帯型コンピュータ (本研究では IBM 社のノートパソコンを用いた) に接続され、本研究で開発したソフトウェアを用いて統合されている。ソフトウェアの開発には、Visual C++ と SENSE8 社の WorldToolKit¹¹ と呼ばれる VR アプリケーション開発用のツールキットを用いている。

Fig.8 Equipments for the ship survey by using proposed ship inspection supporting system

Fig.9 Input device for 3-dimensional information (Spaceball)

先に示したように船体検査支援システムは検査活動に携帯してもちいるシステムであり、その試作においては 4 節で提案した 3 つの機能 (要点的指示 (マニュアル的な役割)、過去の検査履歴の表示、検査結果の記録) の実現を念頭にシステム構築を行った。具体的な試作システムを用いた検査の流れを以下に示す (Fig.10)。

Fig.10 Flow chart for the developed proto-type system

5.2 試作システムの実行

試作システムを用いた検査において船殻モデルは船体損傷情報システム内から読み込むことを想定して汎用性の高いテキスト形式のファイルから読みこむことにした。今回の試作システムでは、Fig. 10の「船殻モデルの読み込み」と「過去の損傷情報・修理情報の読み込み」が行われた後を想定し、Fig. 11に示す典型的な船殻の実モデル（模型）を実験室内に用意し、それに対応する3Dモデルをシステム内に読み込み実行した。

Fig.11 Simple ship structural model for the proto-type system

5.2.1 損傷情報の記録

船殻情報や過去の検査情報を読みこんだ後、検査を開始する。ここでは、フェイスとウェブスティフナーの交差部に発生している表面き裂(Fig.11 参照)を発見した場合の実行例を示す。損傷を発見した際には、まず損傷のある部材の選択を行う。船体検査支援システムの構成においては、検査員の視界とHMD内の3Dモデルとは一致していることを想定したが、センサーの読み込みの問題等から、今回はこの機能は実現できなかった。そこで、音声認識の機能を用い、検査員が部材名を発声することにより選択を可能とした。部材を選択すると、選択した部材表面にポインタボールが出現し、ポインタボールをSpaceballで動かし表面き裂の発生している箇所まで移動させる。き裂が曲がっている場合にはその各点にポインタボールを動かし球を仮置きしていくことにより、き

裂形状の入力を行う(Fig.12)。また、実際のき裂サイズや状態に関するコメントなどは、音声コマンド「表面き裂の書きこみ」によって表示されるダイアログ上で、音声入力できるようになっている。

Fig.12 Recording process of the detected crack damage

次に、腐食の例としてドレインホール周りに腐食を発見した場合の記録状況を示す。Fig.13のようにまず音声により腐食しているホールを選択する。音声コマンド「ホール腐食の書きこみ」を実行すると、図に示す腐食ダイアログが出現するので腐食の状況（腐食幅・穴の増加量等のサイズ、腐食状態・状態等を音声により入力する。

Fig.13 Recording of the detected corrosion damage

以上のように、本システムにより損傷情報を3次元モデル上に正確に記録することが可能となり、検査結果の利用も合理的に行えると考えられる。

5.2.2 マニュアル的機能

船体検査支援システムの機能として、検査上の要点を指示するようなインストラクションアシストの機能が考えられる。本システムでは、検査の要点として、き裂損傷の要点・腐食損傷の要点・板厚計測の要点を必要に応じて表示できるようにした。Fig.14にき裂損傷の要点を表示した例を示す。音声コマンドを入力することによってHMD内の3次元グラフィックス上に要点が表示される。このような機能は、経験の浅い検査員に対する有効な補助手段になると考えられる。

5.2.3 検査員への情報提供

検査中に、損傷履歴・修理履歴・検査結果の一覧等を参照できるようにした。ここでは、損傷履歴を表示した

例を示す (Fig.15)。このように、データベースと連携したシステムとすることで、検査員個人では把握できない膨大な量の検査情報を引き出し参照することが可能となる。

Fig.14 The display of the location to be inspected

Fig.15 The window for the display of history of the damages

以上、システム使用の様子について記したが、検査終了後は、検査結果を船体損傷情報システムに出力することになる (Fig.10 参照)。そして、損傷評価システムが評価を行い、損傷に対する対処などを決定することになる。

6. 結 言

本研究では、船体損傷情報システムと連携して検査活動を支援する船体検査支援システムの提案を行った。以下にその成果をまとめる。

(1) VR 技術と音声入力装置を利用して、検査の要点の表示、検査履歴の表示、損傷情報の効率的な取得が可能な検査時に携帯する船体検査支援システムを提案した。

(2) 検査支援システム構築のための簡易的な検査情報モデルを提案し、それに基づいた試作システムの構築を行った。

(3) 試作システムの実行により、現状の技術を用いて検査の支援がある程度行えることがわかった。

また問題点及び今後の課題としては以下の点が挙げられる。

(1) 船体検査支援システムの構想においては、検査員の視界と HMD 内の 3D モデルとを一致させることを提案したが、この機能は実現できなかった。今後実現に向けて検討する必要がある。

(2) 本システムは、船体損傷情報システムの存在を前提に行われた研究である。このようなシステムの実現のためには、システム導入による経済的メリットが生まれるような環境作りが不可欠である。また、データベースを構築するためには、各機関でデータ交換を行うために STEP⁵⁾等の標準モデルの実用化などを検討する必要があると思われる。

謝 辞

本研究の実施にあたり貴重な御助言を頂いた三菱重工業 (株) の田村邦夫氏に感謝の意を表する。また、本研究は、文部省科学研究費 (ダブルハル船体の疲労き裂伝播余寿命計算法の開発、基盤研究(B)-(2)、課題番号 10555338) より補助金を受けていることを記す。

参 考 文 献

- 1) 川村恭己、角洋一、関智哉：船体損傷情報システムに関する研究、日本造船学会誌論文集、第 184 号、1998、pp.523-532
- 2) 濱田邦裕、藤本由紀夫、坂口義之：製品モデルを利用した船体検査支援システムに関する研究、日本造船学会論文集、第 186 号、1999、pp.611-619
- 3) 例えば、シップアンドオーシャン財団：造船 CIM フレームモデル開発研究報告書、平成元年度～5 年度
- 4) 野本敏治、青山和浩、濱田邦裕：関係情報の記述による船体構造の設計法に関する研究、日本造船学会論文集、第 177 号、1995、pp.313-326
- 5) 木村文彦、小島俊雄編：製品モデル表現とその利用技術 (STEP)、日本規格協会、1995
- 6) 例えば、<http://www.nist.gov/sc4>
- 7) 船のメンテナンス研究会：船のメンテナンス技術、成山堂
- 8) 日本海事協会：船主/オペレーターのための船級維持の手引き
- 9) 櫻木達矢：船体検査支援システムに関する研究、横浜国立大学大学院工学研究科修士論文、平成 12 年 3 月
- 10) IBM : ViaVoice SDK1.5 日本語マニュアル、<http://www.ibm.co.jp/voiceland/>
- 11) 旭エレクトロニクス株式会社：WorldToolKit Reference Manual Release7