

船体構造の診断 (検査・修繕の計画) 支援システムの開発

平方 勝*、安藤 孝弘*、岡 修二**、丹羽 敏男*

Development of Diagnostic Support System for Hull Survey and Repair

by

Masaru HIRAKATA, Takahiro ANDO, Shuji OKA
and Toshio NIWA

Abstract

It is often said that naval architecture is experience engineering. Ship hull design and hull construction rules and regulations must be dealt with uncertainty of working load and strength, so that ship hull designer and rule maker regarding hull structure have been managing based on lessons to be learned damage which was found during hull survey.

According to some reports, capability to find hull damage relates to circumstances in tank/hold and individual experience and knowledge which are acquired during hull survey. These individual experience and knowledge tend to be tacit knowledge in each surveyor. Although experience and knowledge are required for hull survey and repair action, system/framework that utilizes explicit knowledge instead of tacit knowledge has not been matured yet.

Recently, study on Knowledge Management system by using Information Technology is developed and is introduced. System/framework by sharing survey information and knowledge regarding damage and repair is expected for feedback lessons to be learnt hull damage. Our aim is to construct network system by using survey and repair knowledge in addition to survey information.

In this paper, diagnostic support system, which is prototype applied for only oil tanker at this stage, for hull survey and repair by using experience knowledge and information are introduced.

* 構造系、** 海洋開発系 (研究当時、構造系)

原稿受付 平成 23 年 9 月 16 日

審査日 平成 23 年 12 月 9 日

目 次

1. まえがき	70
2. 油タンカーの検査	70
2.1 統計からみる損傷の傾向	70
2.2 損傷の典型的事例とその修繕	71
2.2.1 設計・工作に起因する典型的な損傷	71
2.2.2 損傷に対する修繕の基本的考え方	75
2.3 腐食衰耗への対処	75
2.4 検査要注意箇所	76
2.5 損傷の報告	76
3. 知識・情報処理システムの開発	77
3.1 システム上の知識表現技術の歴史	77
3.2 オントロジー利用事例	77
3.3 本システムへのオントロジーの利用	78
3.4 システムの構成	79
3.5 プロトタイプの機能	80
3.5.1 Planning モード	80
3.5.2 Report モード	82
4. まとめ	86
参考文献	86

1. まえがき

造船学は経験工学といわれる。なかでも、船体構造に関わる設計や規則要件は、荷重や強度に内在する不確定な要因を相手にせざるを得ないため、これまでも、検査で確認された諸々の問題を解決しながら、それらの経験と知識が、設計や規則の改良に反映されてきた。

また、これまでの報告では、損傷の発見には、タンク内の環境¹⁾さらには経験と知識のような個人的要素^{2),3)}に左右される傾向があると述べられている。おそらく、これらの経験と知識は、いわゆる暗黙知として個人の記憶として残されているものの、形式知として共有できる仕組みに至っていないものと思慮される。

最近では、集合知といった用語をはじめ、知識伝承、知識基盤技術整備等に IT 技術を活用する仕組みが提案されている。そこで、上記背景を踏まえ、「損傷に学ぶ」知識基盤の整備に、これら IT 技術を活用し、検査・修繕計画作成にあたって、関連する情報と知識を活用できるネットワークシステムの構築を目指す。

本研究では、典型的な損傷事例を基に、経験的知識を反映した知識・情報処理システムである船体構造の診断（検査・修繕の計画）支援システムのプロトタイプを作成する。なお、本プロトタイプは、対象を油タンカーに限定している。

2. 油タンカーの検査

油タンカーの検査・修繕計画作成に利用する知識・情報処理システムを構築するにあたって、まず、油タンカーの検査、とりわけ損傷、修繕の実態を把握しておく必要がある。2003 年に改正された MARPOL 条約附属書 I 規則によると、シングルハル油タンカーの航行は原則 2010 年までとなっている。ただし、CAS (Condition Assessment Scheme) 適合船は、旗国の判断により、2010 年を超えて、2015 年または船齢 25 年のいずれか早い時期までの運航が認められている。このような状況を踏まえ、本研究では、ダブルハル油タンカーを対象にした検査・修繕計画作成を支援するシステムを構築することとした。ここでは、ダブルハル油タンカーの検査・損傷実態を中心に整理する。

2.1 統計からみる損傷の傾向

日本海事協会誌で毎年報告される「損傷のまとめ」^{4),5)}によると、油タンカーについて、最近では、海洋汚染を伴う重大事故は発生していない。これは、2000 年前後に立て続けに発生したシングルハル油タンカーの折損事故後の安全規制の強化が機能していることによるものと考えられる。また、いわゆる第二世代 VLCC（シングルハル油タンカー）において多発した縦通肋骨と横桁または横隔壁の交差部の縦通肋骨に発生する疲労き裂損傷は、ダブルハル油タンカーでは報告されていない^{4),5)}。一般的には、船齢の上昇とともに、損傷率（損傷発生件数の総数を日本海事協会登録隻数で割ったもの）は上昇する傾向にある。船齢が若いうちは、経年劣化を伴わない設計・工作不良または設計時の想定荷重以上の負荷が原因となるき裂および変形損傷が多数を占めるが、船齢を重ねるにつれ、腐食衰耗を伴う損傷が多数見られるようになる⁵⁾といわれている。すなわち、検査・修繕計画策定にあたって船齢は重要な要素である。

2005 年度の船体損傷のまとめ⁶⁾では、油タンカー（シングルハル VLCC、ダブルハル VLCC、アフラマックス）の貨物区域の損傷（1996 年から 2005 年）について整理している。この時点では、シングルハル油タンカーに比べてダブルハル油タンカーは船齢が若いことなどにより、ダブルハルタンカーの損傷数はシングルハル油タンカーに比べて劇的に少ない。タンクごとの損傷発生数（割合）の比較では、シングルハル VLCC およびダブルハル VLCC では、貨物タンクとバラストタンクで概ね同じ割合であったのに対し、アフラマックスでは、バラストタンクの損傷割合が 70%と貨物

タンクよりも発生数が多かったと報告している。その理由の一つとして、アフラマックスは、加熱が必要な精製油を積載することもあり、加熱したタンクのヒーティングコイル裏(バラストタンク)側が腐食しやすい環境であることを挙げ、バラストタンクに腐食を伴う損傷が多く発生していると報告している。ダブルハルタイプのアフラマックスの検査において、引き続き注意しておく必要がある。

損傷の代表事例としては、図-2.1 に示すように、船側、船底肋骨と横桁または横隔壁との交差部における横桁付防撓材または肘板(ブラケット)に発生する損傷が挙げられる。その割合は全体の約60%を占めており、シングルハル油タンカー、ダブルハル油タンカー問わず発生している典型的な損傷であるといえる。また、アフラマックスタンカーでは、構造的には似ているが、縦通隔壁付縦通肋骨と横桁または横隔壁との交差部において、横桁付防撓材、肘板(ブラケット)または縦通肋骨に損傷が発生している。どの部材が損傷するかは構造的な不連続部等の応力集中部の応力集中度合いや各構造部材強度の大小関係によるが、両者とも船体運動に伴う変動圧力が、疲労き裂を進展させる原因であると考えられる。

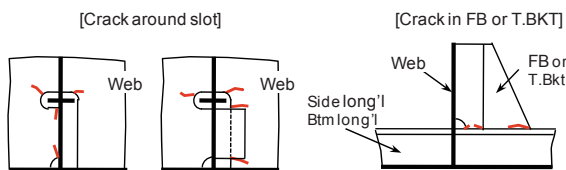


図-2.1 縦通肋骨と横桁または横隔壁の交差部における損傷事例(茶色線はき裂)

図-2.2 に示すように、マニホールド付近に設置されるホースハンドリングクレーン下部の甲板縦通梁に発生した損傷も、シングルハル油タンカー、ダブルハル油タンカーを問わず発生している。ホースハンドクレーンは、通常、船体中央部に設置されており、その下部は補強が施されていることが多いが、縦曲げによる前後方向応力がブラケット端部で縦通肋骨を引き下げる力に変わり、これが繰り返し曲げ応力となることによって疲労き裂損傷が発生するといわれる。この箇所は、PMA(Permanent Means of Access)が設置されていなければ、検査でのアクセスが困難な場所であるので、検査要注意箇所の一つである。ブラケット端部に発生する疲労き裂損傷を修繕する場合には、通常、ブラケット端部をソフトな形状にすることで対処できるが、このような原因によって発生する疲労き裂損傷では、ブラケット端部をソフトな

形状にしても応力を下げる効果は限定的だとされ、別の修繕方法が講じられなければならない。縦通材の深さの異なる類似した損傷として、ビルジウェルブラケットトウ部で発生するものが挙げられる。これらの損傷のメカニズムは同じである。

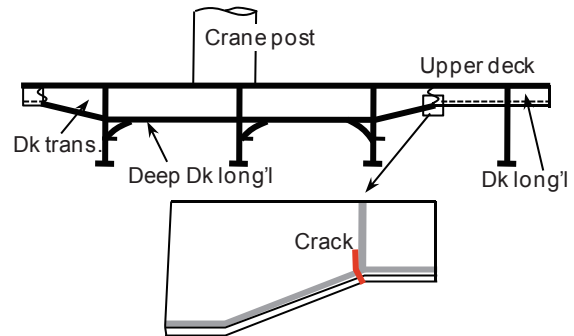


図-2.2 ホースハンドリングクレーン下の甲板縦通梁の損傷事例

2.2 損傷の典型的事例とその修繕

ここでは、衝突、接触、座礁といった海難による損傷、操作ミスによる損傷ではなく、設計及び工作上の問題によって発生した損傷並びに設計時の想定を超える運航条件下におかれたために発生したと判断される損傷を中心に考える。

2.2.1 設計・工作に起因する典型的な損傷

損傷の発生箇所は、構造部材の寸法と配置、運航状況によって異なるが、損傷とその修繕は、ある程度パターン化することができる。Tanker Structure Co-operative Forum^{7),8)}では、典型的な損傷事例とその修繕方法がセットで紹介されており、現場で利用されている。2.1節で損傷事例を紹介したが、改めて典型的な損傷とその修繕について、以下に詳しくまとめる。

- (1) 図-2.3 上図に示すように、縦通肋骨が横桁あるいは横隔壁を交差する箇所において、横桁付防撓材に発生するき裂損傷である(図-2.1 右図に対応)。縦通肋骨に作用した荷重を横桁あるいは横隔壁のような主要支持部材に荷重を伝達する過程で、横桁付防撓材が主要支持部材をその横桁付防撓材の方向に引っ張るために、当該部横桁付防撓材基部に曲げモーメントが発生し、この曲げモーメントが原因となって、構造の不連続な溶接固着部に応力集中が生じてき裂が発生する。効果的な修繕は、図-2.3 下図に示すように、バックブラケットを新設することである。その際、横桁付防撓材溶接固着部の応力集中ができ

るだけ軽減できるように、ブラケットはソフトな形状に改善することがよい。

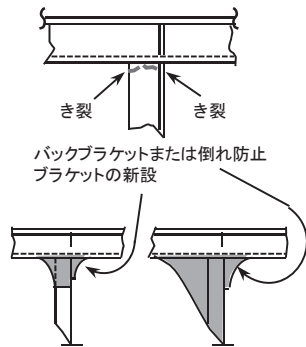


図-2.3 横桁付防撓材の疲労き裂損傷と修繕⁹⁾

- (2) 図-2.4 に示す損傷は、発生箇所は(1)と同じであるが、損傷部材が(1)と異なる。これは、縦通肋骨の強度不足あるいは上記(1)の場合と同様に、溶接固着部横桁付防撓材との取り付け構造の不連続に起因して発生する損傷である。そのため、修繕としては、(1)と同様、図-2.4 下図に示すように、バックブラケットの新設が一般的である。その目的は、縦通肋骨の支持間隔（スパン）を短くすることにあるので、図-2.5 に示すように横桁付防撓材基部も切り替えてブラケット形状にするほか、横桁あるいは横隔壁の裏側にもブラケットを設けることが望ましい。第二世代VLCCの船側縦通肋骨に多く発生した損傷はこのタイプである。最近では、アフラマックスタンカーの縦通隔壁付縦通肋骨に発生している損傷がこのタイプである。

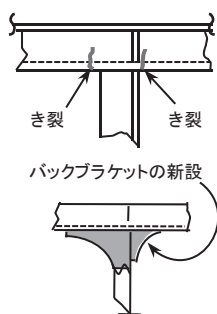


図-2.4 縦通肋骨の疲労き裂損傷と修繕⁹⁾

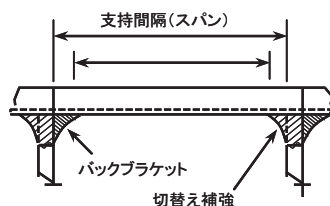
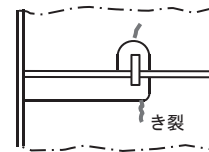


図-2.5 バックブラケット新設によるスパン修正

- (3) 図-2.6 上図に示す損傷は、主に横桁に生じたせん断力によって、スロットの応力集中部にき裂が生じるもので、修繕としては、図-2.6 下図に示すように、開口部を塞ぐのが最も効果的である。その際に、き裂の進展方向から、せん断力の方向を正しく見極める必要がある。構造によってはその開口部がドレンコースやエアコースとなっている場合もあるため、その場合はできる限り開口を小さくし、横桁を局部的に増厚することも必要となる。



スロット塞ぎ

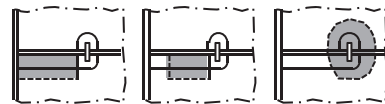


図-2.6 横桁の疲労き裂損傷と修繕⁹⁾

- (4) 図-2.7 上図に示すように、主要支持部材に接続するブラケット頭部付近にき裂が発生することがある。これは、ブラケット部は応力が高い箇所である上に、構造上どうしても不連続となるため過大な応力集中が発生するためである。この場合、図-2.7 下図に示すように、先端部をソフトな形状に変更すればよい。先端部の一部切替補強の際に注意しなければならないのは、テーパを付ける対策をとることである。この部分は応力的に厳しいところであるため、切替位置を高応力部の範囲から外れた位置に設けるよう留意しなければならない。

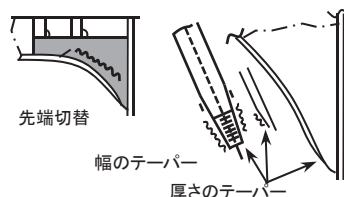
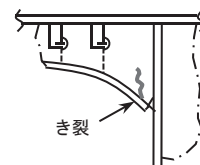


図-2.7 主要支持部材ブラケット端部の疲労き裂損傷と修繕⁹⁾

- (5) 主要支持部材の端部には大きなせん断力が加わるため、横桁板の板厚が薄い、または、その端部のパネルが大きすぎるなどの場合、図-2.8 上図に示すように、横桁板にせん断座屈が生じることがある。建造当初は、板が十分に厚くても、衰耗すれば座屈強度が低下するため、その場合には、図-2.8 下図に示すように、横桁付防撓材を新設するのが一般的である。しかし、板の衰耗が進んでしまった場合には、板を取り替える必要がある。

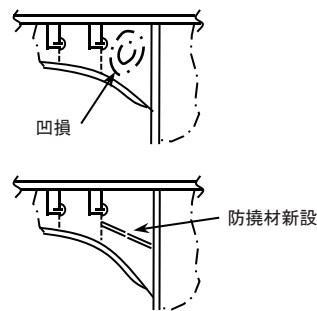


図-2.8 横桁板の座屈損傷と修繕⁹⁾

- (6) 板材に、板面に垂直方向の荷重がかかった場合や、振動によって繰り返し変位が加えられたときに、図-2.9 上図に示すように、防撓板の長辺部中央箇所にかき裂が発生する。ここに挙げた例は、振動に起因するパネルのかき裂であるが、この種のかき裂は、船尾や機関室付近の外板や隔壁、あるいは主要支持部材の板部材に発生することが多い。

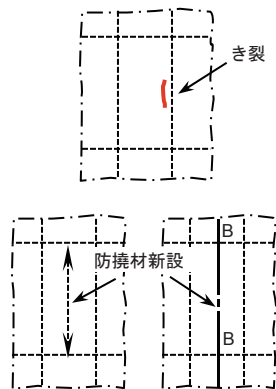


図-2.9 防撓板の損傷と修繕⁹⁾

修繕は、図-2.9 下図に示すように、防撓材を新設するなどにより防撓板の面積を小さくして、防撓板の面外固有振動数を高くすればよい。また、上甲板や船底外板、あるいはそれらとつながった縦通隔壁の板の場合には、船体の縦曲げにより船の長手方向に繰

り返しの応力が生じてき裂が発生しやすいため、板面に対して部材を取り付ける場合には、溶接欠陥等工作不良を無くすよう注意が必要である。

- (7) 図-2.10 上図は、トランスリング部ストラット基部にかき裂が生じた例であり、その修繕方法は、図-2.10 下図に示すとおりである。損傷の直接原因は、センタータンクとウィングタンクの荷重条件の違いによる船側外板と縦通隔壁の上下方向の相対変位あるいはバラスト・積荷・波浪などによる大きな軸方向の荷重が発生したことが考えられる。このような要因から、ストラット基部の応力が増大し、フェイスプレートと横桁付防撓材又はリブとの取り付け溶接部からかき裂が発生したもので、かき裂の起点は、その溶接がフェイスのエッジを傷めたために、それが切欠き状となって応力集中が生じたものが多い。このような損傷は、シングルハルタンカーでは多く発生した。ダブルハルタンカーでは、このような不均衡な荷重がシングルハルの場合に比べて発生しにくいいため、あまり見られなくなっている。

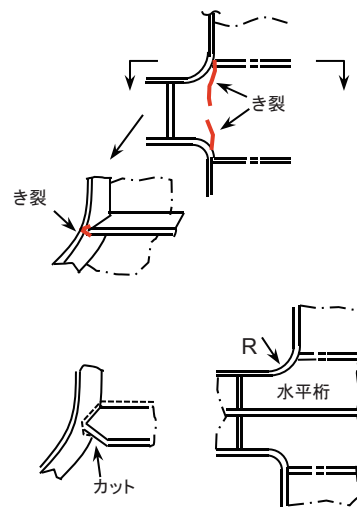


図-2.10 ストラット基部の損傷と修繕⁹⁾

修繕方法の一つは、フェイスプレートを切替えた上で、図-2.10 下図に示すように、横桁付防撓材の端部をカットし、フェイスのエッジを傷めないようにフェイス端部への溶接を避ける方法である。船齢の若い船の場合は、ストラットの補強が必要で、その方法としてはフェイスの板厚を増したり、大きな水平桁を新設したりすることが挙げられる。ま

た、修繕を行う際に注意する点は、フェイスを取り替える場合に溶接継手を R 端部よりできるだけ遠ざけることである。

- (8) ビルジホッパーを持つ構造の船では、図-2.11 に示す斜板下端部に損傷の発生が見られることがある。シングルハルトンカーにはこのような構造箇所は無かったが、ダブルハル構造にすることによって、このような構造箇所が現れた。図-2.11 に示す損傷は、同じような構造様式をもつばら積み貨物船で多く発生した事例である。この損傷は、二重底全体を支持する形となるビルジホッパーの下端部に高い応力が発生し、構造の不連続性から当該部に応力集中が発生することによって起こる。ただし、今のところ、ダブルハル油タンカーにおいて、ビルジホッパー部に損傷が発生した事例は報告されていない。これは、工作管理が徹底されているためと考えられる。

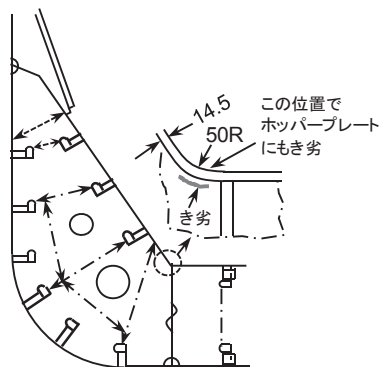


図-2.11 ビルジホッパー部の損傷⁹⁾

修繕方法は、損傷が生じた状況によって異なる。スカラップ部にき裂が発生している場合は、図-2.12 に示すように、スカラップ部を塞ぐのが一般的な修繕方法である。

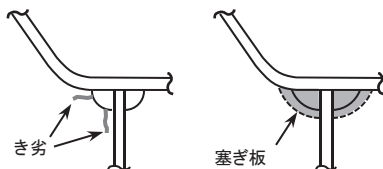


図-2.12 ビルジホッパー部の修繕⁹⁾

棚板構造部にき裂が発生している場合は、き裂は斜板の隅肉溶接部から発生し、二重底板を貫通したもので、図-2.13 上図に示すように、目違いとなっている場合が多く見られる。修繕は、図-2.13 下図に示すように、斜板とガーダー部の溶接ラインを上下で一致

させることである。しかし、この種の修繕工事は大がかりになるため、ガーダーを途中でナックルさせてラインをあわせる方法、あるいはダブリングによってラインをあわせる方法がある。いずれも、ラインあわせがわずかな場合であり、ガーダーを折ってラインを合わせた場合には、ガーダーのナックル部の補強が必要となることもある。

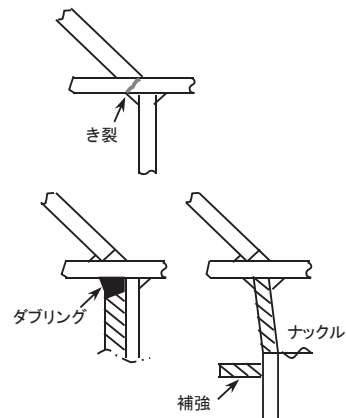


図-2.13 ビルジホッパー部の修繕⁹⁾

図-2.14 上図に示すように、斜板にき裂が発生する場合がある。これは斜板とトランスウェブとの継手隅肉溶接部に引き離す力が作用して、その溶接部や斜板自体にき裂が生じたもので、斜板の切替が必要のほか、修繕としては、図-2.14 下図に示すように、ナックル近傍に斜板ロングスチフナと並行の小骨を新設し当該部集中応力を軽減する方法がある。

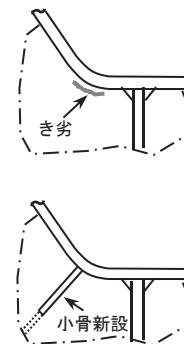


図-2.14 ビルジホッパー部の修繕⁹⁾

- (9) 船尾部構造に生ずる損傷は、振動に起因する疲労によるものが多い。たとえば、静水タンクでは、図-2.15 に示すような(ア)横桁板、(イ)防撓材端部、(ウ)横桁下端ブラケットにき裂が発生する。(ア)の損傷の場合、板の共振を避けるために、図-2.15 右図に示

すように、パネルの長辺に防撓材を新設してパネルを小さくして固有振動数を上げる。パネルの短辺に平行に防撓材を新設する場合、縦横比が1.5程度以下となるようにしないと効果がない。(イ)の損傷に対する修繕は、図-2.15 右図に示すように端部にブラケットを新設する。(ウ)の損傷は、横桁の横倒れ振動によるもので、修繕としてはブラケットや水平桁を新設して横倒れを防止する方法がある。

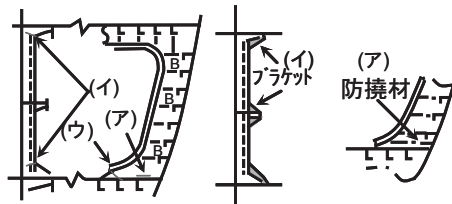


図-2.15 船尾部の損傷と修繕⁹⁾

2.2.2 損傷に対する修繕の基本的考え方

検査において損傷とみなされるのは、大別してき裂と変形である。すなわち、腐食単独では損傷とみなされない。き裂は、学術的には、延性き裂、脆性き裂、疲労き裂に分類されるが、これらの種類によって修繕方法も異なってくる。延性き裂は、衝突、接触、座礁、爆発等の過大な荷重を受けた場合に発生するほか、船首部などに大きな波浪衝撃荷重を受けて船体が局部的に大きく変形したときなどに、疲労き裂を起点に内部材に派生的に生ずることもある。この場合の修繕としては、現状復旧が基本的なやり方と考えられているが、船首部への過大な波浪衝撃荷重による場合、その発生状況によっては補強の必要性が出てくるため、現場での判断に委ねられる。疲労き裂は、繰り返し応力によって、微小なき裂から徐々に進展していく損傷である。修繕方法としては、就航実績(船齢)と今後の運航(余寿命)を判断して、修繕計画が策定されることになる。

変形には、「座屈」と「曲がり」がある。修繕方法は、変形の原因によって異なり、衝突、接触、座礁などで生じた変形の場合には、原寸法への復旧が修繕の原則である。波浪衝撃で生じたものについては、再発防止を図り、補強対策が必要となることもある。変形に対する一般的な修繕の考え方について、以下にまとめる。

変形の修繕方法としては、変形した板や骨の切替が一般的である。その場合、衰耗がそれほど進行していないにもかかわらず、波浪衝撃や船体の曲げ、せん断を引き起こす波浪外力、あるいは積荷荷重によって変形が生じたと判断される場合には、現状復旧の修繕では、その後も損傷が再発す

る可能性が大きい。防撓材新設あるいは板の増厚切替による座屈強度の補強が必要である。しかし一般的には板の増厚よりは防撓材の新設によって、防撓板の面積を小さくするのが効果的である。

外板や甲板など厚板材の切替修繕を行う場合には、修繕施工中に板面の溶接による収縮によって、内部材の歪が引き起こされることがあり、内部材に新たに歪が生じてしまうことがある。特に、内部材にマンホールや軽目孔あるいはそれにつながった薄板材などがある場合に多い。内部材が板面から切り離されて縁がフリーになったときにも多いが、そのような場合には、あらかじめ歪防止用スチフナを設けておき、工事施工後もそのスチフナを残して補強材としたほうがよい。

2.3 腐食衰耗への対処

一般的に、建造時板厚に対する腐食衰耗限度が規定されているため、腐食衰耗限度を超えて衰耗している場合は、当該箇所を直ちに切替える必要がある。切替える範囲については、原則として健全な板と接合することであるが、周辺の板厚分布を勘案して計画する必要がある。衰耗によって板厚が局部的に減少した場合には、図-2.16に示すように、防撓材を新設して補強する方法がよくとられる。これは、板厚減少によるパネルの座屈強度の低下を防ぐために防撓材を新設する方法である。その防撓材は板の衰耗の程度が少ない場合には両端スニップでも構わないが、できるだけクリップ止めがよい。また、衰耗が相当進んでいる場合には板の切替が望ましい。

腐食環境下では、防食措置が十分でなければ、材料の疲労限度が低下することによって、疲労き裂が発生しやすいといわれている。

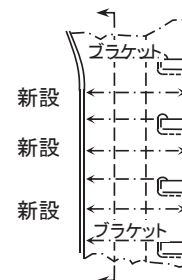


図-2.16 衰耗した板部材の補強⁹⁾

孔食については、シングルハルトンカーではさほど問題視されていなかったが、ダブルハルトンカーになって以降、内底板の孔食の発生数、発生範囲、成長速度などが問題となっている。修繕としては、孔食の深さに応じて、板部材を切替えるか、溶接で埋める処置を施すかのいずれかである。

2.4 検査要注意箇所

船ごとに構造部材寸法や配置が異なるため、損傷が発生する箇所を特定することは困難であるが、一般的に構造上の弱点とされる箇所は、ある程度パターン化できる。検査関係機関では、構造上の弱点箇所をパターン化し、船体構造断面図に検査要注意箇所を示した教育研修用教材を独自に用意している。また、Tanker Structure Co-operative Forum では、船主、船舶管理会社、船級協会がそれぞれ保有する損傷実績に基づき、シングルハル油タンカー用の保守点検のガイドラインを作成した⁷⁾。つづいて、ダブルハル油タンカー用の保守点検のガイドラインも作成している⁸⁾が、こちらは、ダブルハル構造の強制化後間もなく、損傷実績に限られるため、ダブルハル油タンカーに類似の二重船底構造をもつ、ばら積み貨物船の損傷実績等を参考に作成されている。

検査員は、一般的な検査要注意箇所に対する知識に加えて、当該船舶の検査履歴、同型船の損傷事例等の情報を調べた上で検査に臨むことが多い。船体構造断面図に示された検査要注意箇所を示された箇所に加えて、疲労き裂であれば、構造上の不連続箇所、応力集中部、変形の大きい箇所、主要支持部材と局部支持部材の接合部（荷重を伝達する箇所）などの損傷に対する一般的知識を、各検査員が経験を踏まえて記憶しているものと思われる。主要支持部材に接合しているブラケット、またはトリッピングブラケットは、まわりの箇所よりも荷重を伝達する機能を担っている関係で、損傷が発生しやすい箇所といわれており、トリッピングブラケットの接合されている溶接箇所は、検査要注意箇所といわれている。また、ペイントクラックまたは錆汁が発生している箇所は、き裂が発生しているか、またはいずれき裂が発生する箇所といわれており、き裂の検知に有効である。同型船に損傷が発生した場合、損傷が発生する確率が経験的に高いといわれている。また、ある片側で発見された損傷は、工作上の問題でなければ、反対側の同じ部材に損傷が発生している可能性が高いといわれている。いずれも検査要注意箇所である。

疲労き裂損傷の場合、当該部材を修繕したものの、その周辺の応力レベルの同じような箇所では、同様の損傷を引き起こす可能性がある。したがって、修繕した箇所とその周辺（反対舷も含む）を経過観察する意味において検査要注意箇所である。また、修繕後まもなく再発する損傷については、修繕方法に何らかの問題があったと思われるため、そのような情報を一般化して、再発防止に努めることはもちろん、その原因を知識として処理でき

るレベルに昇華する必要がある。

2.5 損傷の報告

修繕方法を検討する場合、損傷内容を正しく把握することが前提となる。和田は、不適切な損傷レポートが適当でない修繕計画図を作成する結果となった事例を紹介している²⁾。図-2.17 左図は、船齢12年のバルクキャリア型LPG船のホールドフレームの下端ブラケット部の先端に生じたき裂のレポートに示されたスケッチである。本損傷レポートによれば、各ホールドにき裂が多発しており、右舷側に多く発生していると報告している。

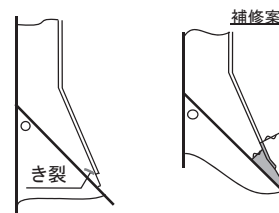


図-2.17 ブラケットのき裂損傷報告図とそれを基にした修繕計画図²⁾

また、和田は、同型船で同種のき裂が発生していたと報告している。ここで、図-2.17 左図に示す損傷レポート図（スケッチ）をみて、修繕図を検討した設計者は、き裂が多発していることから構造的な欠陥が原因だと判断し、図-2.17 右図に示すような修繕図を作成したとしている。しかし、和田は、き裂発生箇所に合理的な規則性がないこと、き裂の片舷への偏りが理論的に説明できないようであれば、修繕部門の経験から、き裂の原因が工作不良ではないかと疑ってみるべきだと述べている。設計に起因すると考えて計画した修繕図では、ホールドフレーム下端部で応力を逃がすような形状に修繕することになるが、工作に起因すると考えれば、き裂部の適切な要領でのハツリ、溶接とフェイスプレート端部の回し溶接部の形状を、増盛溶接とグラインダー掛けでスムーズなものに修正すること、および、フェイスプレートの先端部での板厚のテーパを適切なものにすることで、簡単な修繕で済ませることができたとし、損傷の正しい報告が求められると主張している。なお、図-2.18 は、き裂部の詳細を正しく報告するときのスケッチとして紹介している。

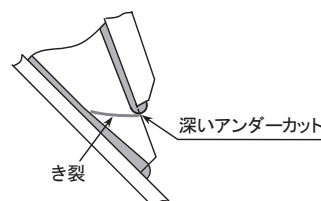


図-2.18 推薦されるき裂損傷報告図²⁾

このように、単にクラックと報告するだけでは原因を追究して修繕計画を立てるには十分でない。原因推定の鍵となるき裂の起点の状況を付記することが大切である。板の変形も、せん断座屈か圧縮座屈か、あるいは、直応力によるものかが、変形の形で判定できることが多く、適切な修繕図を作成するために正確なスケッチが必要となる。

最近では、デジタルカメラの普及により、損傷画像が数多く保存されるようになった。デジタル画像から発信される情報量は莫大なものである一方、要点をおさえたスケッチの方が、適切な情報発信になっていることもある。検査の現場において負担のない方法を採用しながら、適切な損傷報告が行える方法を検討していく必要がある。

3. 知識・情報処理システムの開発

3.1 システム上の知識表現技術の歴史

知識処理システムにおいて、推論は重要な役割を果たすが、人間が行う推論（演繹的推論、機能的推論）と異なり、推論を行う前提として、対象とする専門領域の知識表現、いわゆる知識ベースの作成が重要であるとされてきた。特に、1970年代ごろから開発された多くのエキスパートシステムでは、AND-OR 木等を利用した探索による推論を行うために、専門領域のルール知識を記述（知識表現）する必要がある。知識表現には、IF-THEN 型のルールからなるプロダクションルール、対象とする概念とそれらの間の関係を表現する意味ネットワーク、さらに人間が一度に想起あるいは連想する概念を属性等で表現するフレームが提案され、これらが目的に応じて利用された。そして、当時のエキスパートシステムに求められた処理は、システムによる自動問題解決が多かった。

その後、知識表現にあたって、オントロジーという概念が人工知能の分野で利用されるようになった。オントロジーは、従来の知識表現や知識利用に欠けていた共有可能性や再利用性の視点を実現するために登場したといわれている¹⁰⁾。共有可能性と再利用性を高めるために、オントロジーは、XML (eXtensible Markup Language)形式で構造化した表現が使用される。また、専門領域ごとの領域オントロジー作成に加え、全ての概念に関わる最上位の概念として、トップレベルオントロジーを整備する取り組みが行われている。オントロジーとは、本来、哲学用語としては存在論を意味するが、人工知能の分野では「概念の明示的規約」と定義され、計算機が理解可能な「概念辞書」と

捕らえられることが多い。オントロジーは意味ネットワークやフレーム等知識表現技術のもっていた形式性と推論可能性、すなわち、概念や概念間の関係を表現、概念の属性をスロットにて表現する等の点を継承している。現在では、インターネットに代表されるように、システムによる自動問題解決というよりは、人間とシステムの共生、パートナーとして利用者とのインタラクションが重視されるようになっており、そのような知識・情報処理システムの構築が期待されている。すなわち、知識ベースシステム構築から知識情報処理システム構築へと転換してきているといえる。

このような人工知能の分野におけるオントロジー技術の整備と並行して、W3C (World Wide Web Consortium)を中心に、図-3.1に示す階層構成からなるセマンティックウェブ技術が整備されつつある。これは、Web2.0が誕生して以来、通信技術の中にXMLを多用したWebの構造化が進んでいることに関連する。セマンティックウェブの構成要素の一つであるメタデータ、すなわち図-3.1のRDF model & Syntax層は、画像データのようなコンテンツの検索で活用される。これはメタデータが画像データ等のコンテンツに内在する意味情報を明示的に記述し、外部からの処理を容易にすることを図っているためである。図-3.1のRDF Schema層、およびOntology層は、対象領域の意味・論理構造を記述する。したがって、オントロジー(Ontology層)は構造化されたデータベーススキーマと見ることでもできる。オントロジーは、ウェブページ(リソース)とその関係に対して計算機の意味を与え、推論を可能にすることに用いられるRDF Schemaの上位階層に位置づけられた利用方法も提案されている。また、それを適用した事例も紹介されている^{11),12)}。

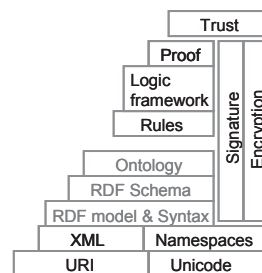


図-3.1 セマンティックウェブ階層

3.2 オントロジーの利用事例

最近では、生物学、医療、情報家電等、様々な分野においてオントロジーが利用されている。古崎は、オントロジーの利用法について、つぎの9種類に分類している¹³⁾。すなわち、1) 共通語彙の提供、2) 意味検索への利用、3) インデックス

としての利用、4) データスキーマとしての利用、5) 知識共有の媒体としての利用、6) 情報分析への利用、7) 情報抽出への利用、8) 知識モデルの規約としての利用、9) 知識の体系化への利用である。

利用されている分野は、上述のように多岐にわたっているが、ここに紹介された利用法は分野を問わず、知識処理を行う上で、横断的に利用できる内容となっている。先行するこれら事例を参考に、船体の検査・修繕分野を対象にしたシステム運用目的（機能）に照らして、知識をオントロジーにて記述すること、本分野へのオントロジーの利用について検討する。

3.3 本システムへのオントロジーの利用

冒頭から述べているように、検査、修繕計画においては経験的知識が求められる。和田²⁾は、「経験のない人は、足元に松茸が生えていても気がつかないし、松茸が生えていそうにないところを一生懸命さがしている。」と松茸狩りを例に、船体構造の点検、検査における経験と知識の関与について説明している。また、岡田¹⁴⁾や Okumoto ら¹⁵⁾は、船殻設計者がこれまでに多くの損傷を教訓に対策をとってきたことの紹介とともに、過去の損傷を決して風化させることなく、それらの事例等を教材に、基準・ルールの背景をしっかりと伝えていくことの大切さを述べている。2.5 節で述べたように、損傷原因の推論を適切に行い、適切な修繕方法を計画することの大切さ、ここにも、経験的知識が利用される。このように、経験的知識について、いかにオントロジーを利用して表現し、検査で得られるデータ（情報）と組み合わせ、それらをいかに活用していくかを検討しながら、

知識・情報処理システムを構築していかなければならない。

3.2 節で述べた他の分野におけるオントロジーの利用法を参考にし、船体構造の検査・修繕計画のシステム構築にむけて、オントロジーの利用法について考える。はじめに、システムの目的（機能）に応じた知識処理に必要な語彙を定義する。それら語彙は、主に、船体構造、検査・修繕に関連する語彙にあたる。船体構造部材の呼び方については、日本語、英語の別に加えて様々な呼び方があるのが現状である。ここでは、油タンカーおよびばら積み貨物船の検査強化プログラム(IMO 総会決議 A.744(18)¹⁶⁾)の中で使用されている語彙を使用した。検査関連用語についても IMO 総会決議 A.744(18)の中で使用されている語彙を使用した。これらの語彙はオントロジーの中で、概念として定義される。たとえば、“Survey Report”という概念をまず定義し、その詳細定義については、図-3.2 に示すように、part-of（部分-全体関係）又は attribute-of（属性）といったスロットを作成し、また、“Survey Report”概念を継承する“TM Report”、“Damage Report”、“Repair Report”、“Photo Report”概念を定義し、それらとの間の関係を is-a 階層（上位、下位概念の設定）で定義した。さらに、どのような箇所のどの部材が損傷するかを予めパターン化した上で、図-3.3 に示す損傷パターンの概念や概念間の関係を定義し、典型的な損傷パターンと紐付け、その典型的な損傷パターンに対する修繕方法との紐付けにあたる経験的知識の記述をオントロジーの中で行った。また、検査データベースデータ（インスタンス）に対するクラス定義をオントロジーの中で記述、すなわち、データスキーマとして利用した。

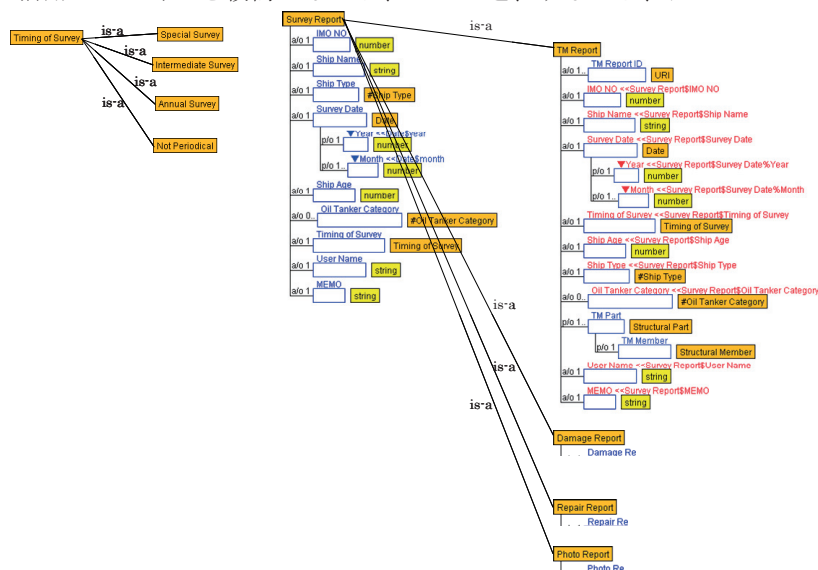


図-3.2 検査・修繕分野の概念の一例

開発にあたり、Eclipse (Ver.3.5)と Apache Tomcat (Ver.6.0)を用いてシステムを作成した。知識表現、すなわちオントロジーの作成にあたり、大阪大学で開発された法造オントロジーエディタを使用した。現在、ここに記述されているオントロジーの内容は、典型的な損傷図と修繕計画図のメタデータ、データベースの意味構造を規定したデータスキーマ、船体構造、検査関連用語語彙の定義となっている。データベースの管理には、汎用的なデータベースアプリケーション(MySQL)を使用した。サプレット機能、オントロジーの処理には、Javaを使用した。

本プロトタイプは、現在のところ、海上技術安全研究所に設置したサーバーに LAN で接続した端末から、ブラウザ (Internet Explorer 8 または Fire Fox 3.6.12 で動作確認) を起動し、ユーザー名とパスワードを入力して利用する形態となっている。今後、実用化に向け、セキュリティ機能の充実などを図りながら一般からのアクセスに対応できるよう整備を進めていく予定である。

3.5 プロトタイプの機能

検査強化プログラム (IMO 総会決議 A.744(18)¹⁶⁾) に従った検査を行うことを前提にシステムの構築を行う。本プロトタイプでは、検査・修繕の計画(Planning)を支援することを目的としているが、2.5 節で述べたように、損傷報告の大切さ、また、検査データの意味を踏まえた管理と円滑な処理を行えるようにするためには、報告様式の画一化が求められる。そこで、本プロトタイプでは、計画(Planning モード)と報告(Report モード)の二つの場面を想定した。修繕の計画 (典型的な修繕方法提示) は Report モードから行えるようにした。また、検査の現状を踏まえ、板厚計測 (A744(18)様式に準拠)、損傷レポート、修繕レポート、写真レポートをシステム内のデータベースに保存するようにした。さらに、損傷とその修繕が、今後、体系的に整理されるように、損傷図と修繕図が対応付けられてデータベースに保存されるようにした。

当該船舶および同型船の検査・修繕計画にこれらの情報を活用し、検査要注意箇所を検査計画案として提示するようにした。また、腐食衰耗、損傷に対する典型的な修繕計画を提示するようにした。

図-3.6 は、ログイン後のトップページを示したものである (画面は Planning モード)。画面上部に用意した Planning と Report のモード選択により、それぞれのモードに移り、必要な基本データを入力する。トップページで入力する必要な情

報は、いずれも、船名、IMO No.、船種、タンカーのカテゴリ (現在のところ、オントロジーにて定義された語彙 VLCC、Aflamax かを選択)、検査日および検査の種類 (A744(18)¹⁶⁾ に準拠して、オントロジーにて定義された語彙 Renewal Survey、Intermediate Survey、Annual Survey かを選択) である。本システムに船舶を登録した際に、建造年月が予め入力しており、検査日を入力すると船齢を自動計算し、種々の計画にあたって船齢を考慮した計画が表示されるようになっている。同じく、船舶を登録した際に同型船を登録しており、同型船の情報が活用できるようにしている。

図-3.6 トップページ画面

3.5.1 Planning モード

Planning モードでは、日本海事協会の Hull Care サービスにあるように、当該船舶の過去の検査履歴をテーブル形式で表示 (図-3.7 参照) するようにした。図-3.7 では、過去の検査履歴が、Survey Date、Report (TM Report、Damage Report、Repair Report、Photo Report)の別、Report ID、場所 (Compartment)、部材(Member)とともに表示され、Report IDに表示されたリンクされた番号をクリックすることによって、Report に添付された写真 (またはスケッチ) 情報を参考情報として表示するようにした。

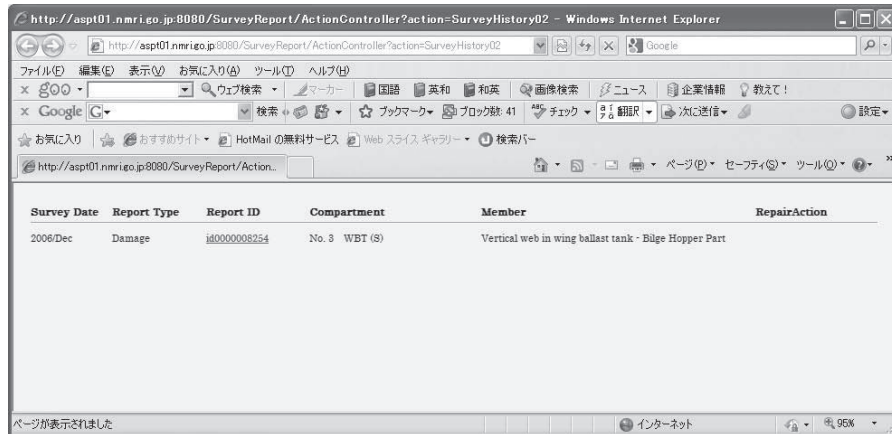


図-3.7 検査履歴表示

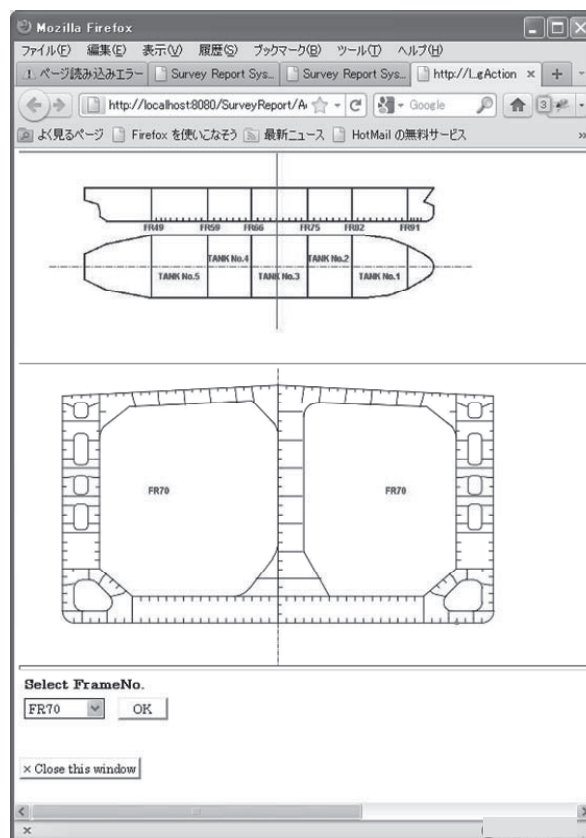


図-3.8 Planning 画面一例

当該船舶の過去の検査履歴と同型船の損傷実績を基に、図-3.8 のような一般配置図と船体横断面上に検査要注意箇所を表示するようにした。当該船舶の過去の損傷履歴から注意する箇所は赤丸で、同型船の損傷情報から注意する箇所は緑丸で、フレーム番号ごとに表示するようにした。また、トリッピングブラケット部は検査要注意箇所であることから、図面上に表示し、注意を促すようにした。損傷の発生箇所は、構造部材寸法、配置によ

って、さらには就航履歴によって大きく変わるため、いつ、どの箇所に損傷が発生するかを言い当てることは不可能に近いが、検査計画立案において、設計情報が有効な情報であることは確かである。また、これら設計情報と検査結果を重ね合わせることで、さらに統計的な情報処理等を行うことによって、設計へのフィードバックに一步前進するものと思われる。検査結果と設計情報とのリンクについては、今後の課題としたい。

3.5.2 Report モード

(1) Damage Report

本レポートでは、データベース上の損傷データの管理とともに、典型的な損傷パターンの照合と、典型的な損傷パターンに対応する典型的な修繕計画図を提示することを目的とし、そのために必要なデータを図-3.9 に示す画面に従って入力していくこととする。したがって、ここで入力する項目は、報告内容であると同時に、パターン照合のためのメタデータとして取り扱われる。

目的に応じた処理（記憶されている典型的な損傷パターンの中からどのパターンに近いかが検索する）が行えるように、2.節で調査した油タンカーの損傷実績等、最近のダブルハル油タンカーの損傷データをみながら、それら損傷データが網羅されるよう、Tanker Structure Cooperative Forum の分類⁷⁾を参考に、典型的な損傷事例を整理し、Damage Part Groupとして、7通り(Inter Section Part、Forepeak Part、Transverse Web Frame End Bracket Part、Longitudinal Girders/BHD Part、Crossties and their End Connection Part、Joint Part、Transverse Bulkhead Stiffener/Primary Web Intersection Part)に分類した。なお、損傷タイプ(Damage Type)は、2.2.2 節で述べたように、き裂(Crack)と変形(Deformation)のみを対象にし、衰耗は損傷(Damage)の対象にしていない。なお、“Crack”、“Deformation”は、オントロジーの中で概念として語彙が定義されている。

画面（図-3.9 参照）では、その他、損傷箇所（タンクの種類、タンク No.、左右舷の選択、フレーム No.）情報で、損傷データの管理、典型的な修繕計画図提示に必要な情報を入力する。入力後、典型的な損傷パターンを特定するために必要な、損傷箇所の構造部材と損傷部材を入力する画面（図-3.10 参照）に進む。構造部材は、設計や規則（CSR: Common Structural Rule）で使用される表現であり、これを“Primary Support Member”、“Plating Member”、“Local Support Member”、“Other Member”に分類する。それぞれの具体的な部材名は、A.744(18)¹⁶⁾で使用されている部材名について予めオントロジーの中に語彙を定義しておき、それらを画面セレクトボックスの選択肢として表示させるようにした。さらにスロットタイプ等の詳細構造を選択する。これら詳細構造のタイプとしては、CSR で使用されるタイプを利用した。本入力により、典型的な損傷パ

ーンを見つけ出すことが可能になる。構造部材および損傷部材の入力の方法、すなわち図-3.10 に示す画面については、船体横断面図の当該箇所をクリックすることによって、自動的にこれら構造部材が処理されるようにするなど、今後、入力者の負担を減らす工夫を施すことを検討していく。

さらに、図-3.11 に示す画面にて、疲労き裂の場合、その起点とき裂長さ、き裂進展方向（損傷内容により、き裂の伝播方向図表示がかわる）等、損傷原因の推論に必要なデータ入力を行う。また、写真やスケッチの参考データを添付して、データベースに送信（レポート）する。2.5 節で述べたように、修繕計画図を作成するにあたっては、適切な損傷状況報告が求められる。そこで、写真の撮影の仕方、またはスケッチの仕方について、ガイドラインを作成することも考えられるが、本システムで対応できるように、可能な限り、誘導していく対話形式の運用を目指していく予定である。また、これら画像データが効果的に利用できるように、画像に対する所見を追記するようにし、これら所見が、メタデータとして機能するようにしていく予定である。

データベースに送信する前に、図-3.11 の画面左下にある“Typical Repair Plan”ボタンを押下すると、典型的な修繕計画図を提示できるようにした。これは、損傷が発生しそうな箇所、関連する部材に応じて修繕事例をオントロジーにて記述しており、入力された部材に応じて類似パターンを検索した結果である。図-3.12 に示すように、最も近い典型的損傷事例、さらにその典型的損傷事例に紐付けられた修繕計画図を表示させるようにした。その際に、メモ(Damage Memo、Repair Plan Memo)と想定される原因(Factors Contributing to Damage)をあわせて表示させるようにした。

今後、個別の損傷・腐食状態を基にした修繕計画図の提示を行っていく上で、想定される原因を推論するためのコンテンツの充実（因果関係等を記述したオントロジー表現の充実）を図り、修繕方法と修繕範囲を提示する機能を盛り込むため、対話的なやり取りを充実させていく予定である。

Survey Report System - Windows Internet Explorer

http://asp01.nmri.go.jp:8080/SurveyReport/

Expert [Planning] [Report] logout

REPORT

Damage Report(1)

User Name : nmri

Ship Name :

IMO No. :

Sister Ship :

Ship Type :

Oil Tanker Category : Aframax

Survey Date : 2011/04

Timing of Survey : Not Periodical

Ship Age : 15

Input Meta Data for Damage Report

Damage Type : Crack

Damage Part

Damage Part Group

- ☐ Intersection Part
- ☐ Forepeak Part
- ☐ Transverse Web Frame End Bracket Part
- ☐ Longitudinal Girders/BHD Part
- ☐ Cross-ribs and their End Connection Part
- ☐ Joint Part
- ☐ Transverse Bulkhead Stiffener/Primary Web Intersection Part

Damage Part Tank/Location

WTB : Tank No. :

Port Side ☐ Starboard Side ☐ Frame No. : FR

Prev Next

図-3.9 損傷タイプ、損傷箇所入力画面

Survey Report System - Windows Internet Explorer

http://asp01.nmri.go.jp:8080/SurveyReport/

Expert [Planning] [Report] logout

REPORT

Damage Report(2)

User Name : nmri

Ship Name :

IMO No. :

Sister Ship :

Ship Type :

Oil Tanker Category : Aframax

Survey Date : 2011/04

Timing of Survey : Not Periodical

Ship Age : 15

Input Meta Data for Damage Report

Damage Type : Crack

Damage Part Member

Damage Part Tank

WTB (P) : Tank No. : 1

Frame No. : FR90

Damage Part Member

Primary Support Member

☒ Member ID :

☐ Member ID :

☐ Member ID :

Plating Member

☐ Member ID :

☐ Member ID :

☐ Member ID :

Local Support Member

☐ Member ID :

☐ Member ID :

☐ Member ID :

Other Support Member

☐ Member ID :

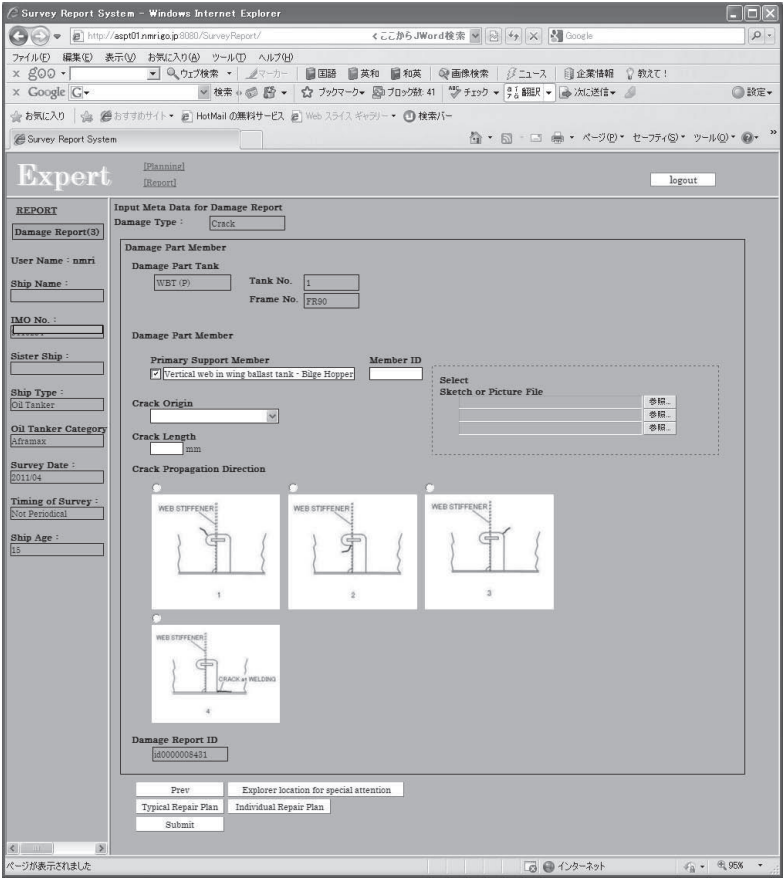
☐ Member ID :

End Con. Type : **Slot Type** :

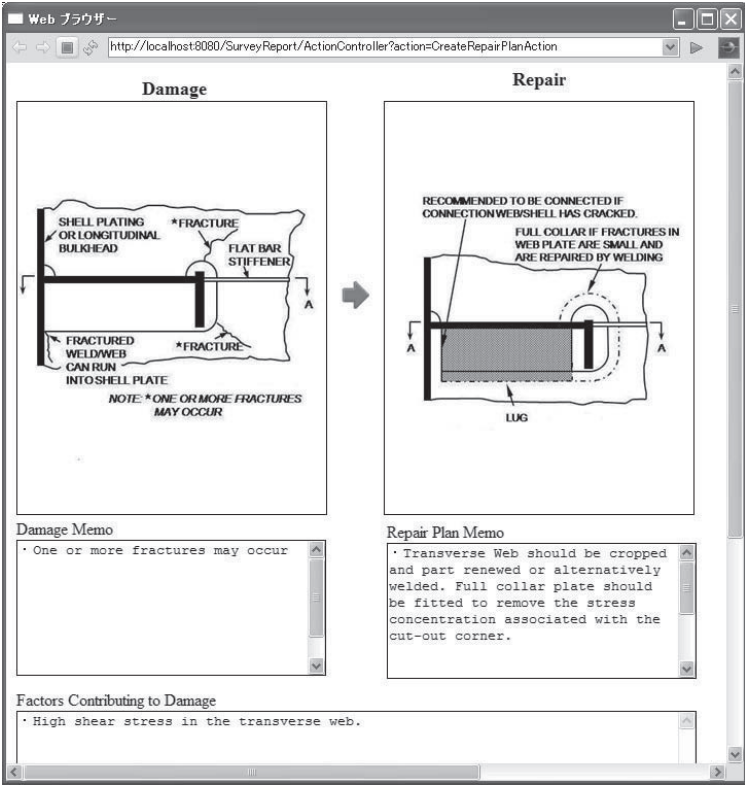
CSR Type : CSR Type : CSR Type :

Prev Next

図-3.10 損傷部材入力画面(1)



図－3.11 損傷部材入力画面 (2)



図－3.12 典型的な損傷に対する修繕計画図の表示

(2) Repair Report

修繕計画図を作成する上で、過去の事例を参考できるという観点から、損傷図と修繕図がセットになってデータベースに保管されることが望ましい。Damage Report を送信した際に、Damage Report ID が自動的に付与されることから、図-3.13 に示すように、その ID を入力することによって、Damage Report と Repair Report を関連付ける。そして、Repair Report に必要な、修繕方法と修繕範囲等、最終的に決定された修繕図を次の画面で入力し、データベースに送信 (Report) するようにした。

(3) TM Report

図-3.14 は、板厚計測結果を報告する TM

Report の画面の一例 (TM3) である。IMO A.744(18)¹⁶⁾の様式に準拠 (TM1 から TM6 の画面を用意) し、板厚測定箇所、測定部材を選択肢の中から選び、オリジナル板厚を入力すると、許容衰耗率と許容衰耗量が算定される。そして計測結果を入力し、データベースに送信 (レポート) する。

図-3.14 の画面右下には”Repair Plan”ボタンを用意している。このボタンを押下すると、板厚衰耗による典型的な修繕計画図を提示するようにした。これは、板厚衰耗しそうな箇所、関連する部材に応じて修繕事例をオントロジーとして記述しており、入力された部材に応じて類似パターンを検索した結果である。

Survey Report System - Windows Internet Explorer

http://asp01.nmri.go.jp:8080/SurveyReport/

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

x Google

x Google

お気に入り | おすすめサイト | HotMail の無料サービス | Web スライスギャラリー

Survey Report System

Expert

[Planning] [Report]

REPORT

Repair Report(1)

User Name : nmri

Ship Name :

Input Meta Data for Repair Report

Damage Report ID :

Prev Next

図-3.13 Repair Report 画面のトップ

TMReport 3 - Windows Internet Explorer

http://asp01.nmri.go.jp:8080/SurveyReport/ActionController?action=TMReport03&init=true

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

x Google

x Google

お気に入り | おすすめサイト | HotMail の無料サービス | Web スライスギャラリー | 検索バー

TMReport 3

TM3

Report on Thickness Measurement of Longitudinal Members (one transverse section)

Location of Structure: FR74-FR75 Ex)FR71-FR72

Structural Member	No. or Letter	Web or Face	Original Thickness (mm)	Max. Alwb. Dim (mm)	Pmsh. Dim. Level (%)	Gauged (mm)		Diminution P		Diminution S	
						P	S	mm	%	mm	%
Deck longitudinals	DLL20	Web	15	4.5	80%	10	11	5.0	33.3	4.0	26.7
		Web									
		Web									
		Web									
		Web									
		Web									
		Web									
		Web									
		Web									

Prev Next submit

Repair Structural Member: Web or Face: Web

Repair Plan

ページが表示されました

インターネット

95%

図-3.14 TM Report 画面の一例

図－3.15 Photo Report 画面トップ

(4) Photo Report

本レポートの目的は、タンク内の状態（主に塗装状態）を画像データとともに記録として残し、その後の検査における参考情報とすることである。また、IMO A744(18)¹⁶⁾で求められる塗装状態 (Good, Fair, Poor) を図－3.15 の画面に従って入力した後、必要な所見(Memo)とともに、データベースに送信 (Report) することとする。なお、Damage Report 同様、データの管理、推論にあたって必要な、どこかの状況かを入力するために、現行の検査実態に即して、タンク種別(WBT、COT、FPT 等)を選択、左右舷の別、タンク番号とフレーム番号の情報を入力するようにした。ここで入力する項目は、意味を踏まえた処理を行う上でのメタデータとして取り扱われ、関連ある画像データの入手を効率的に行うことができる。

4. まとめ

ダブルハル油タンカーの最近の損傷事例を調査するとともに、典型的な損傷事例を中心に、その修繕計画について、専門家からその経験と知識を聴取した。そして、これらの知識をシステム上に表現するために、オントロジーの利用について検討した。本システムの中では、典型的な損傷図と修繕計画図を取り扱うためのメタデータ、検査データベース内の意味構造を規定したデータスキーマとしてオントロジーを利用しており、知識処理

に必要な船体構造、検査関連用語の定義をはじめ、典型的な損傷パターンの知識表現等を行った。

本システムは、損傷・修繕に関する知識と検査で得られるデータ（情報）を組み合わせる検査計画、修繕計画を支援することを目的としており、インターネットを介して利用する Web アプリケーションの形態をとった。本システムは、今後、個別の損傷、腐食状態を基にした修繕計画図を作成するための、知識・推論等コンテンツの充実と利用者に負担の少ない対話的機能の充実、より大規模な検査データと船舶管理他、実用化に向けた検討が必要なことから、現時点では、油タンカーに対象を限定したプロトタイプである。今後は、これらの課題を解決しながら、実用化に向けた整備を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 山本規雄、他、“構造物検査と検査情報の有効利用に関する信頼性工学アプローチ”、第12回海洋工学シンポジウム（1994）、pp.285-pp.292
- 2) 和田隼夫、“損傷と修繕”、日本造船学会誌 787号（1995）、pp.12-pp.16
- 3) 日本造船研究協会、“き裂伝播解析手法の実用化に関する研究“成果報告書、（1996）
- 4) 日本海事協会、“2008年度の損傷のまとめ”、日本海事協会会誌、No.288、（2009）、pp.17-pp.37
- 5) 日本海事協会、“2009年度の損傷のまとめ”、日本海事協会会誌、No.292、（2010）、pp.183-pp.206

- 6) 日本海事協会、“2005年度の船体損傷のまとめ”、日本海事協会会誌、(2006)
- 7) Tanker Structure Co-operative Forum、“Guidance Manual for the Inspection and Condition Assessment of Tanker”, 1985
- 8) Tanker Structure Co-operative Forum、“Guidelines for the inspection and maintenance of double hull tanker structures”, 1995
- 9) 船のメンテナンス研究会、“船のメンテナンス技術”、(2006)
- 10) 武田英明、“人工知能におけるオントロジーとその応用”、情報知識学会第9回研究会講演論文集、(2001)、pp.1-pp.12
- 11) 稗方和夫、他、“オントロジーを利用した生産工程記述手法に関する研究”、日本船舶海洋工学会講演会論文集第7E号(2008)、pp.131-pp.132
- 12) 稗方和夫、他、“造船業における知識伝承システムに関する研究”、日本船舶海洋工学会論文集2巻(2005)、pp.131-137
- 13) 古崎晃司、オントロジー利用研究の分類と傾向分析、人工知能学会誌25巻4号、(2010)、pp.475-pp.484
- 14) 岡田哲男、“F.P. TANK内外板ロンジのスロット損傷について”、日本造船学会誌882号(2004)、pp.14-16
- 15) Yasuhisa Okumoto, et al.,”Design of Ship Hull Structures”, Springer
- 16) IMO,”Guidelines on the Enhanced Programme of Inspections during Surveys of Bulk Carriers and Oil Tankers, 2005