

所 外 発 表 論 文 等 概 要

操船支援システムにおける IT 技術の活用

Utilization of IT technology for an
Advanced Navigation Support System

福戸 淳司（システム技術部）

平成13年11月22日

電気学会産業システム情報化技術委員会
空間情報統合利用調査専門委員会
リアルタイム空間情報研究会講演集

本論文では、航海支援システムにおけるリアルタイム空間情報の利用を中心とした IT 技術の利用状況に関する現状の紹介を行った。具体的には、当所で研究開発を行ったヒューマン・マシンインターフェースに音声入出力を用いた航海支援システムを紹介すると共に、その中で用いられている電子海図を中心とする情報提供及び計画航路に基づいたトラックコントロールシステムによる自動操舵の技術等、一名当直に必要な航海支援機能と電子海図情報や GPS 等測位システムの関係について述べた。さらに、開発したシステムを実際に搭載したプロパンガス運搬船に乗船調査を行い、その有用性及びユーザビリティに関する聞き取り調査による主観的評価及び作業分析による客観的評価結果に述べ、操船者から実用に耐えうる、良好な評価を得たことを報告した。

また、最後に今後出てくる船舶自動識別システム（AIS）について紹介し、現在、この AIS から得られる情報を利用して、操船支援の高度化や輻輳海域での交通管制に関する研究を進めていることを紹介した。

折損タンカーの波漂流力と漂流運動

Wave Drift Force and Drift Motion of the
Bow Broken Tanker

星野邦弘、湯川和浩、原 正一、山川賢次

平成13年11月

西部造船会会報 第103号

1997年1月に発生したロシア船籍タンカー「ナホトカ」号の海難事故では、荒天下で波浪により折損した船首部が1月2日から7日にかけて漂流したのち海岸へ漂着した。本事故では長期間の船首部の漂流と海岸への漂着により被害が拡大した。この一因として、現場での情報不足や時間遅れなどが考えられる。緊急時の漂流防止と航行不能船舶の回収にあたっては現場での迅速な意思決定を支援するシステムの開発が必要である。当所では、航行不能船舶の回収を支援する装置として最適曳航支援システムを開発中である。

本論では最適曳航支援システムに組み込む予定で開発中のシミュレータを検証するため、航行不能船舶の波浪による漂流力と漂流運動を実験的に求めた結果について報告する。船首折損船舶のように極めて異常な形状となった船舶の波漂流力や漂流運動に関する水槽試験はこれまで行われた例がない。本報では本研究で得られた以下の知見について報告している。

- (1) 船首折損船舶の波浪中漂流運動計測実験から、漂流運動は波との初期出会い角度により複数の異なる漂流軌跡を通ることが分かった。
- (2) 船首折損船舶の漂流軌跡は波に対して直角に進む場合や波に向かう場合、あるいは左右に大きく蛇行する場合もある、このような複雑な漂流軌跡をとる場合であっても波高、波長、模型船初期姿勢が同一であれば漂流経路には再現性がある。
- (3) 漂流運動は、同一模型船を用いた波漂流力計測実験によって求めた流体力の作用方向と大きさから類推することが出来る。
- (4) 波漂流力は波高の自乗に比例し漂流速度は波高に比例する。

曳航時における巡視船の曳航索張力 On the Towline Tension of the Patrol Boat During Towing

原 正一、山川賢次、星野邦弘、
湯川和浩、長谷川純

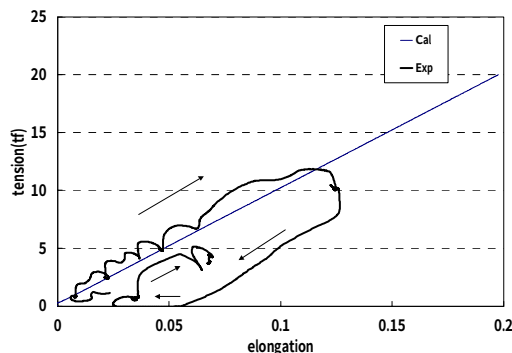
平成 13 年 11 月

関西造船協会誌 第 237 号

荒天下において遭難した船舶等を曳航する際、曳航索には曳船と被曳船の相対運動により動的な張力がかかり、索が切断して 2 次災害を引き起こす事故が多々発生している。また、曳航時の被曳船におこる不安定挙動（ふれまわり運動）の予測は、曳航索張力を正確に推定するための要因となる。著者らはこれまで船舶等の曳航時における曳航索張力を計測するための模型実験、実機実験を実施し、理論解析との比較検討を行ってきた。今回は、海上保安大学校で、毎年実施されている訓練船「こじま」による曳航実験に参加し、曳航索張力及び KGPS による曳船、被曳船の水平距離の計測の機会を得た。また、計測結果と数値計算との比較を行った。実施した KGPS の計測精度は、KGPS の基地局と実験海域の距離が大きかったことが原因で目標としたレベルには達しなかったが、索張力と 2 船間の水平距離との関係について、いくつかの知見を得た。

下図は、KGPS により求めた索の伸び率と索張力との関係を示したものである。この図では、合成繊維索の塑性伸びと負荷時と除荷時の勾配がほぼ等しい合成繊維索のヒステリシス特性が読みとれる。索の弾性定数は $0.320(\text{tf}/\text{m})$ であり、本試験での最大伸び率は 12.5% であった。

本曳航実験において、曳船と被曳船の相対位置を計測して曳航時の索張力との関係を明らかにし、実験結果と数値計算との比較を行い良好な一致を得た。



合成繊維索の伸びと索張力の関係

Waterhammer Caused by a Steam Explosion in an LWR Severe Accident

軽水炉シビアアクシデント時の蒸気爆発により
生じる水撃

汐崎浩毅、安達雅樹、稲坂富士夫、綾 威雄
平成 14 年 6 月

American Nuclear Society
Transaction of ANS 2002 Annual Meeting

軽水炉のシビアアクシデント（炉心溶融に至るような過酷事故）において、圧力容器外蒸気爆発は、その発生が未だ完全には否定できない要因の一つである。事故の典型的な想定は、圧力容器直下の冷却水プール中に溶融炉心が落下し、そこで蒸気爆発が生じるというものである。

蒸気爆発が生じた際に、まず問題となるのは発生した圧力波による直接的な衝撃であるが、これに加え、急激な気泡成長に伴って押し上げられた水塊による水撃力の問題が、今後一層の研究が望まれるものとして指摘されている。発生する水撃力の大きさは水塊運動の同時・同方向性（コヒーレント性）の程度に大きく依存するが、こうしたコヒーレント性の問題に関して、過去に数値解析によって推測された例はあるものの、大規模装置を用いて実験的に検証された例は見られない。本研究では、内径 1 m の模擬格納容器を製作し、蒸気爆発による急激な気泡発生を水中への高圧空気（最大 2MPa）注入によって模擬して、空気圧力やプール初期水位が水塊運動、水撃力に及ぼす影響を調べた。

結果として、気泡が発生する水深によっては、水塊はかなりの高さまで気泡の吹抜け無しに押し上げられ、水塊が装置途中部に設けたオリフィス板に衝突して生じる水撃圧力は数 MPa に達することを確認した。

**A Methodology and Methods for
Probabilistic Safety Assessment of Ships**
船舶の確率論的安全評価のための方法論と手
法について

金湖富士夫
平成14年6月

ClassNK TECHNICAL BULLETIN

IMOにおける基準作成の新たな方法として、1993年のIMO/MSC62において英国はFSA(Formal Safety Assessment)を提案した。FSAの核心部分は安全対策を施した場合の船舶のリスク評価である。本論文はそのために当所が(社)日本造船研究協会との共同研究で開発した、FSAのためのリスク評価手法について論じている。それらは、①リスク評価の方法論、②衝突回避失敗確率の評価手法、③火災災害進展シナリオの数の削減方法、および、④旅客船の居室火災リスクの試算である。①においては、ハザードの発生から事故発生に至る過程、事故発生から災害進展への対処、および避難後の最終的な人命損失数の推定に至る過程を図で表し、リスク評価のための種々の手続きおよびデータについて論じている。②においては、遭遇危険の発生頻度を対象海域の船舶航行状況から推定する手法を導き、同手法の検証を行っている。対象海域において同手法を用いて遭遇危険の発生数を求め、同海域での衝突事故数をその数で除することにより、衝突回避失敗確率が求められる。また、本手法を東京湾浦賀航路に適用し、同航路における避航失敗確率を求めており、その値が藤井等による値と良い一致を見ていることを示している。③においては、シミュレーションにより種々の災害進展シナリオにおける人命損失数を求める場合の問題点である災害進展シナリオの数の多さを解消するために開発された手法について論じている。この方法の核心は、災害進展に影響を与える要素のみからイベントツリーを構成することにより簡略化し、他の要素の間接的な影響を主要な要素の成功時間の確率密度関数に反映させるというものである。④では、③の手法を仮設計された国際航海を行う小型旅客船に試験的に適用し、同船舶の居室火災リスクを求めた。

以上より、リスクを推定するために本論文で提案した種々の手法は有効であることが示されるが、実験等による検証がさらに必要である。

なお、本論文は、平成13年度の日本造船学会賞受賞論文(船舶の確率論的安全評価に関する研究、その1、2、3)に基づいており、日本海事協会英文技報への招待論文である。

**Fleet and Operation Planning Based on the
Ship Design and Logistic Simulation**

船舶設計と物流シミュレーションに基づく船
隊と運航計画に関する研究

大和 裕幸、山内 康友、田中 謙司、
勝原光治郎、久保 登、道田亮二

平成14年9月

ICCAS2002 proceedings

In this paper, a methodology of planning the ship, fleet and their operational timetable, which are based on the formal ship design procedure and also on the logistic simulation in a particular route, is presented. To evaluate the feasibility of some particular route, logistic data such as item names, time values of items, quantity and cargo's emergence pattern of the day are necessary for the proposed system. Firstly, the tariff can be assessed based on the design of the ship, accordingly the quantity of the cargo assigned to the ship can be estimated by the sacrifice mode. The feasible ship design can be defined in this process. And secondly, assuming the ship design and timetable, where the ship price and the operational cost are determined, the simulation is carried out over time not only for ships but also for other land based and airborne competitors. When the cargo appears to be transported, then the sacrifice cost will be calculated for every mode to choose the cheapest one. Iteration is made for the variety of the ship design and the timetable to find the most prospective solution. Financial project evaluation can be given in terms of the cash flow analysis. An example of the ferry service between Tokyo and Hokkaido newly commenced illustrates the effectiveness and reality of the methodology.

プラント模型のための状態監視システム

Observation System for a Model Plant

松岡 猛、三友 信夫、宮崎 恵子、丹羽 康之(システム技術部)、松原 暁雄、新井 和吉(法政大学)
平成 14 年 3 月

日本原子力学会 2002 年春の年会

当所では、将来型の自律型原子力プラントに適合した状態監視システムを作製し、自律機能を持つプラントシミュレーターおよび加圧水型原子力プラントを模擬したプラント模型を監視対象とした本システムの評価実験を行った。その結果から、警告音の追加、表示方法・表示色の変更、判断ルールの整備等の改善を行い、改善の有効性を検討するための評価実験も行った。本報では、本システムの更なる改善及び改善の有効性を検討するための評価実験について報告する。

被験者がオペレーターとして、本システムによりプラント模型の運転状態を監視し、プラント模型に異常が発生した際は、それを発見し、異常の原因を同定できるかどうかという実験を行い、実験中の被験者の挙動については、研究者がそばについての観察およびビデオ撮影を行い、評価の資料とした。被験者からの申告事項は、プラントの状態変化の発見、状態変化の原因同定についてである。これらの実験結果と実験後に行ったアンケート調査により本システムの評価を行っている。

実験の結果、プラント模型を監視対象とした場合には、本システムを用いることにより、プラントの状態変化を捉えることができた。改善前と改善後のどちらのインターフェースにおいても、被験者全員が 1 次系片側ポンプの停止を確認することができたが、改善後の画面のほうが改善前に比べ、迅速に確認に至ったこと、また 改善後の画面のほうが正確にプラント状態の変化を捉えることができるという結果についても示している。以上のこと等から改善の有効性について述べている。

Buckling Strength of CP Grade 2

Titanium Hull Structure

2 種純チタン船殻構造の座屈強度

岩田知明、安藤孝弘、田中義照、松岡一祥
平成 14 年 10 月

Proceedings of ITA (International Titanium Association) 18th Annual Conference & Exhibition

軽量かつ高強度で海洋環境における優れた耐食性を併せ持つチタンは、船体構造材料に適した材料であると考えられる。しかし、近年、漁船の構造部材として使用され始めてはいるものの、検査基準の厳しい艦艇や商船への適用はなく、また、座屈強度や疲労強度に関する研究例も少ない。新形式船舶の設計・建造を行う場合には、船体構造強度を直接計算により求め、安全性を評価する DBA (Design by Analysis) 手法が主流である。そのため、使用する材料強度、構造強度特性などを十分に把握しておくことが合理的な設計を行う上で重要となる。

軽構造高速船の船体材料としては、既にパイセクションなどのアルミニウム合金押出形材が実用化され、様々な船体に採用されており、著者らも、pi-sectionあるいは hollow section等を縦強度部材に用いた場合の座屈強度について実験的検討を行った¹⁾。本論文でもチタン材料を用いた同様な座屈実験および有限要素解析を行い、防撓板としての圧縮強度特性を検討するとともに、最終強度を簡便に評価するための簡易計算法を示した。また、防撓板構造を純チタン材料により溶接組立てする際に生じる溶接残留応力分布も計測した。これらの試験結果を元に、船用アルミニウム合金材料による防撓構造の圧縮強度との比較を行い、チタン材料の優位性を示した。

以下に得られた結論を要約する。

- (1) 防撓材が横倒れせず、パネルの弾性座屈後に横部材を支持点とするオイラー座屈モードに移行する場合の座屈崩壊強度について、簡易計算およびFEM解析により検討を行い、チタン材料の有効性を確認した。
- (2) チタン材料においても防撓材の隅肉溶接により溶接残留応力が発生する。本実験で使用した寸法の防撓板では、パネル中央部の縦方向の圧縮残留応力は40～50MPa程度であり、防撓材直下の引張残留応力は、ほぼ0.2%耐力程度と推定される。このパネル中央部の圧縮残留応力はパネルの弾性座屈強度を低下させるが、本実験で使用した試験体のように比較的早い荷重段階でオイラー座屈モードに移行する場合、溶接残留応力が最終強度に及ぼす影響はほとんどない。
- (3) 機械的性質がほぼ同等の規準値を持つアルミニウム合金材料と比較して、座屈・最終強度に対するチタン材料の有効性を確認した。
- (4) 適正な設計を行うため、使用材料の機械的性質を考慮した最適なパネル及び防撓材の板厚比、防撓材間隔の検討が必要である。この場合、同規準の材料であっても機械的性質のばらつきに注意しなければならない。

アルミニウム合金船における 5083-H321 溶接継手の設計耐力

Proof Strength of 5083-H321 Welded Joint for Aluminium Ship Design

蓑田和之、岩田知明、松岡一祥

平成14年12月

軽金属溶接構造協会誌 Vol.40 No.12

近年、高速アルミニウム合金船体の軽量化を図る目的で高強度のアルミニウム合金加工硬化材5083-H321を主要構造材として使用することが世界的趨勢となっている。アルミニウム合金加工硬化材は溶接時の加熱により熱影響部（HAZ）が軟化するのが特徴であり、鋼構造の設計と大きく異なる点である。溶接継手HAZ軟化部は溶接入熱量と板厚により変化し、軟化部を持つ継手耐力は引張試験標点距離（ゲージ長GL）の影響を受ける。移動熱源の熱伝導理論から2次元熱流の場合、HAZの軟化（耐力）は入熱 Q ／板厚 T に比例するので $Q/(T \cdot GL)$ と継手耐力の関係をを用いて全資料を整理した。

強度資料の解析考察結果から、船体構造にアルミニウム合金5083-H321を適用する場合の突合せ溶接継手設計耐力として以下の指針を提案する。

i) MIG 溶接継手

Case1：溶接技術、品質管理、品質保証が十分実施される場合、溶接継手設計耐力値は170MPa（但しコンベンショナルMIG溶接で、 $Q/(T \cdot GL) < 25J/(cm \cdot mm^2)$ ）

Case2：最小限の溶接技術、品質管理、品質保証を満たす場合、溶接継手の設計耐力値 150MPa（溶接法、入熱制限無し）

Case3：Case2 の条件を満たさない場合、溶接継手の設計耐力値 130MPa（溶接法、入熱制限無し）

ii) TIG 溶接継手

Case1 及び Case2：最小限の溶接技術、品質管理、品質保証を満たす場合、溶接継手耐力設計値 150MPa（入熱制限無し）

Case3：Case2の条件を満たさない場合、溶接継手設計耐力値130MPa（入熱制限無し）

5083-H321は加工硬化材であるから加熱温度が高い場合、当然のことながら加熱部母材は軟化する。従って、ひずみ取り作業など熱間加工を行う場合はJIS Z3602「アルミニウムのイナートガスアーク溶接作業標準」に示される加熱限界温度（加熱急冷：300℃、熱間加工：250℃）を守る必要がある。造船における一般的な放水と加熱を同時に行う「線状加熱ひずみ取り」を適用する場合、強度の低下はほとんど生じないのが普通である。アルミニウム合金5083の標準的な線状加熱速度は900～1200mm/min程度であり、加熱開始から終了までの加熱線上の最高到達温度は250℃以下である。但し、松葉焼き、格子焼き、点焼き等急冷を伴わない加熱ひずみ取りを施工する場合、又はTIG溶接ビード置きひずみ取りを全面的に施工する場合などでは、TIG溶接並みの強度低下を伴うことが考えられる。

Improvement of Performance on Multi-purpose Work Vessel

多目的作業船の性能向上

原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩
影本 浩、木下嗣基、丸亀 力（東京大学）

平成14年3月

3rd International R&D Forum on high-density oil spill response

不幸にして「ナホトカ号」のような海難事故が発生した場合には、可能な限り流出油が海岸に漂着する前に洋上で回収することが肝要であるが、既存の油回収船・回収装置は港内や内海での油流出事故を想定した仕様であり、波浪中では稼働できないか、あるいは回収効率が大きく低下する。また、C重油や経時変化によりムース化した高粘度油に対しても現有の油回収装置では必ずしも十分とは言えない。したがって、沖合で効率よく流出油を回収できるシステムの開発が必要となっている。

本研究で対象とした油回収船は、船尾の取入部から水路部を経て船体中央部に設けたムーンプールと呼ばれる作業水面に漂流油を取り入れて機械的装置により回収する箱型台船である。取入部、水路部及びムーンプールの各部に波浪低減用の付加物を設けて静穏化を図るものである。

波浪中での油回収実験には、波浪低減のためのムーンプール付き台船模型に、新たに製作したネットベルトコンベア式小型油回収装置模型を設置した。コンベアベルトにはメッシュ5mmのものを取り付けた。ムーンプール内に予め6リットル（5.7kg）の油を注ぎ、波高10cmの波浪中で1分間コンベアを駆動して、回収容器に溜まった重量を油水回収量とした。供試油には、C重油、及びC重油と水をミキサにて攪拌して作成したムース化した高粘度油を使用した。実験により以下のことが明らかとなった。

油回収性能は、平水中での回収量が最も大きく、静穏化が良好であるほど回収効率が高い。波浪中では回収装置の前面（ムーンプール中央部）の静穏の程度が一定であれば、波長が長くなるに従い回収量が大きくなる傾向がある。また、付加物を除去していくに従い、相対水位が上昇し、回収油水量も減少していく傾向、即ち水面が静穏であるほど回収量が増加する傾向が見られる。

以上、ムーンプール付き台船模型に小型油回収装置（高粘度油対応型ネットベルトコンベア式）を取り付けた油回収船の波浪中実験を実施し、水面の静穏化が良好であると回収量が増加する傾向があることを確認した。

粒状貨物による倉内圧の実験的検討
 —その2 粒状貨物荷重の設定法について—
 Experimental Study on Internal Pressure
 Induced by Granular Cargo
 - second report : Estimation Methods of Bulk
 Cargo Pressure -
 田中義照、佐久間正明、安藤孝弘、
 重見利幸、原田 実、船越正泰
 平成 14 年 11 月
 日本造船学会論文集第 192 号

バルクキャリアの構造強度を正確に評価するためには、倉内荷重として加わる粒状貨物荷重の推定精度の向上が不可欠である。しかしながら、粒状貨物はバラスト、貨物油などの液体やコンテナ、木材などの固体とは異なり、粒状体相互の内部摩擦を考慮した力の釣合いにより貨物荷姿を形成していることから、粒状貨物内部に働く圧力や粒状貨物が船体構造に与える圧力は考慮する位置において、また、粒状貨物の物性の違いにより複雑な分布となる。

粒状体による圧力（土圧）については、主に土木の分野で古くから様々な推定手法が提案され、船舶の分野でも利用されてきたが、船舶のように粒状貨物が閉囲されたホールドに積載され、さらに船体が一規則に運動すると共に弾性変形するような場合については、未だ十分に確立された手法は見当たらない。

著者らは、前報で船倉模型による粒状貨物圧計測実験を行い、水平および鉛直板に作用する静的および動的圧力の特性を把握するとともに、Janssen理論を適用した粒状貨物圧推定法を示した。

本研究では、より実船に近い形状の側壁斜板角度を変えた船倉模型を製作し、乾燥砂を用いた粒状貨物圧計測実験を実施した。初めに、傾斜板に生じる静的圧力をJanssen理論に基づいて推定する手法を示し、この推定法で求まる圧力と実験結果との比較により、推定法の有効性を確認した。次に、実験、Janssen理論に基づく推定、および、土圧に関する文献調査の結果を参照し、粒状貨物による静的圧力および変動圧力の実用的な簡易推定算式を提案した。すなわち、静的圧力については強度用荷姿の導入、変動圧力については見かけの加速度および液体貨物の変動圧推定法の準用による粒状貨物荷重設定手法を示した。

高圧水中における二酸化炭素液滴の挙動観察
 Observation of Liquid CO₂ Droplets in High
 Pressured Water

中島康晴、久松勝久、佐伯延博、波江貞弘
 平成 14 年 11 月
 高圧力の科学と技術第 12 巻特別号
 （第 43 回高圧討論会講演要旨集）

液化した二酸化炭素（CO₂）を深海底に送り込み、長期間に亘って貯留するCO₂深海貯留は、地球温暖化を防止するための革新的技術として研究されている。液体CO₂は水と比べて圧縮性が高く、水深2700m相当の圧力で海水よりも密度が高くなる。また、液体CO₂と水との間にCO₂ハイドレートと呼ばれる結晶性の物質が生成し、これがCO₂の海水中への溶出を抑制することが知られている。そこで、高圧タンクを用いて、高圧水中でのCO₂液滴の挙動を観察した。

本実験で使用した高圧タンクは、内径1.1m、内部高さ3.0mの縦置き円筒型タンクであり、常用最高圧力は60MPaである。内部には、CO₂投入用ノズル、モニターカメラ、照明灯、温度計、圧力計、潮流発生装置及び微流速計が設置され、制御室内でこれらのデータ及び内部の映像をモニターできる。さらに、加圧装置、温度調節装置、CO₂投入装置、pH調整装置等が附属している。実験では、高圧タンクに清水を満たして密閉し、冷却して温度を調整した後、内部圧力を30MPaまで上昇させ、液体CO₂を投入して液滴の挙動をモニターカメラにより観察した。

実験の結果、以下の挙動が観察された。高圧水中に投入された液体CO₂は液滴としてノズルから放出され、タンク内を沈降する。投入時における液滴と水との密度差が大きくなると液滴径は小さくなり、沈降速度は上昇した。さらに、沈降中のCO₂液滴の表面にはCO₂ハイドレート膜が生成した。障害物との衝突などにより液滴が分裂した場合は、分裂中にハイドレート膜が生成することにより液滴形状の変形が保存される場合もあった。温度を変えて液体CO₂の投入を行い、過冷却度が大きいほどハイドレート膜の生成速度が速いことを確認した。

フィルター振動法によるディーゼル微粒子測定に及ぼす排ガス中の水分の影響

Effect of Moisture in Exhaust Emissions on Particulate Measurement by Filter Oscillating Method

西川和美、高杉喜雄

平成14年11月

第68回日本マリンエンジニアリング学会講演会論文集

ディーゼル機関のPM測定をフィルター振動法による場合、従来の方式と比べてリアルタイムで短時間の連続測定が可能である等の特徴をもっている反面、微粒子中に含まれる蒸発分、圧力変動等の測定値への変動要因があると考えられ、この要因のうち、主として蒸発分としての水分の影響について検討した。そして、軽油の水添加率を10%から30%と変えて、排ガス中水分量のセンサーへの吸収特性を調べ、水分量の違いによるPM測定値への影響及び、水分量の推定等に関して検討した。更に、圧力変動、サンプリング流量の影響について調べた。蒸発分として水分量が推定できれば、本測定により環境や人体への影響がより大きいと考えられている湿度の影響下での微量な浮遊微粒子測定等の場合も、リアルタイムでデータ処理上の補正をしつつ、より正確に測定が出来る可能性があると考えられる。

サンプリングガス中の水分の、センサー部に対する影響を想定した湿分の加湿器付加試験によると、安定な測定状態では、フィルター上の既集積PMを含むセンサー構成部分は、湿分の補給と蒸発がほぼ釣り合っている状態と考えられ、センサーの測定状態での蒸発挙動を調べた結果は次のようなものである。

1. 本測定法によるPM測定では、測定開始時には測定値に蒸発水分の影響をより大きく受ける傾向があり、これは、フィルターを含むセンサー部分への集積水分の増加過程による。
2. センサー部への水分の吸収特性から推定すると、測定開始初期を除く通常の測定状態の測定値に及ぼす蒸発水分量は、軽油の水添加率10%から30%と増すほど多い傾向があるが、何れも測定値の1%以内である。
3. 本測定法によるPM測定では、微少な圧力変化の影響を受けるが、一時的な増加や減少であれば影響も一時的である。
4. PM測定停止後のセンサー部からの水分蒸発速度は、サンプリング流量大になるほど速い。

イベントツリー手法による事故発生頻度の評価(座礁・乗り揚げ事故)

Evaluation of Accident Occurrence Frequency by Event Tree Analysis (Ship Grounding Accident)

松岡 猛

平成15年1月

「海上防災」第116号

船舶分野の確率論的安全評価としてはIMO・MSC(Maritime Safety Committee)においてFSAという名称のもとに討議されてガイドライン草案が作成されている。これはIMOの規則作成過程において使用する事を目的としている。この様な動きのなか、当所では、日本造船研究協会との共同研究を通じてFSA関連の研究を進めてきている。

海技研で実施した座礁・乗り揚げ事故発生頻度評価は以下の手順に沿って行った。まず、座礁・乗り揚げ事故の発生状況を海難審判庁の報告書を参照して検討し座礁・乗り揚げ事故を引き起こす要因を調べ上げた。この結果をもとに座礁・乗り揚げ事故発生に至る筋道を一般化してモデル化し、イベント・ツリー(以下ETと表現)形式で表現した。座礁・乗り揚げ事故の場合は、発生の様態毎に別々のシーケンスを考え7種類のシーケンスにまとめ、それらに対応するETを作成した。ET中に現れる事象(ETのヘディング)の発生確率を算定するため、それぞれのヘディングについてフォールト・ツリー(FT)を作成し、基本事象(ベイシックイベント)の発生確率を与えFTの頂上事象発生確率を求めた。

ヒューマンファクターに関する事象発生確率は適切なデータがないため、人間行動の過誤率等について船長等の航行経験者にアンケート調査を実施し推定した。得られたデータを用いてETの定量解析を実施し、船舶の座礁・乗り揚げ事故発生頻度を評価した。

さらに、座礁・乗り揚げ事故低減のための対策(リスクコントロールオプション:RCO)の評価を行い、安全対策についての検討も行った。RCOとして、水深警報、航路逸脱警報、居眠り防止装置について検討してみた。その結果、座礁・乗り揚げ事故発生頻度の低減割合は、水深警報は24%、航路逸脱警報は9.8%、居眠り防止装置は2.4%、という結果が得られた。本RCOの検討で示したように、事故要因を分解し各要因の寄与度が定量的に評価されると、各種安全対策の効果が定量的に算定可能となり、安全対策相互の優劣が容易に比較可能となる。

今後は、浸水、転覆等の各種事故についてのET作成、データベース整備をすすめ、船舶分野における標準的な確率論的安全評価方法実施手順としてまとめていく予定である。

シミュレーションによる手の推進力の推定

佐藤 陽平、日野 孝則

平成 14 年 12 月

第 6 回日本水泳科学研究会シンポジウム

船舶と同じく、人間が速く泳ぐためには、推進力を増し、抵抗を減らす必要がある。体格的に不利な場合が多い日本人競泳選手が、世界を相手に活躍しつづけるためには、世界の一流選手の真似ではなく、最速の泳ぎ方を開発し続ける必要がある。泳ぎ方の改良は、競泳選手の試行錯誤だけではなく、工学的アプローチが必須である。

本研究では、手の推進力に着目し、シミュレーションによる推進力のメカニズム解明と最適ストロークの考察を行った。特に、推進力のうち大きな割合を占めていると考えられている、揚力に着目するため、異なる迎角での計算を行った。

シミュレーションには、当所が開発した粘性流体ソルバーSURFを用いた。SURFは、非構造格子の計算が可能であり、手のような複雑形状周りの流れ場解析に適している。

シミュレーションの結果、手の周りの流れ場、および手の表面圧力分布が明らかになった。手の平側にストロークした場合では、手の甲側で大規模な剥離が起きていた。

迎角を変えてシミュレーションした結果、迎角 30° で揚抗比は最大0.6、迎角 105° で最大推進力となることが分かった。最大推進力のケースでは、揚抗比は0.2と低く、推進力の大部分を抗力が占めていることが分かった。



反応性プラズマ溶射を用いた半導体

SrTiO_3 皮膜の電気的特性

Physical and electrical properties of SrTiO_3 coating

prepared by reactive plasma spraying

大森 明、石崎 祥希、

植松 進、

平成 14 年 11 月

(社) 高温学会 第 11 回溶射総合討論会講演
概要集

本研究では、膜厚のコントロールが容易で、複雑形状の皮膜作成ができる溶射法を用いて、 SrCO_3 と TiO_2 および La_2O_3 の複合造粒粉末を、プラズマフレーム中で反応させることにより、半導体特性を有する SrTiO_3 皮膜を創製した。

溶射粉末としては、スプレー造粒法にて SrCO_3 とアナターゼ型 TiO_2 を等モルづつ均一に混合した粉末(以下:ST粉末)および上記のパウダーに0.5mol% La_2O_3 を均一に混合した粉末(以下:STL粉末)を用いた。基材はステンレス鋼板(SUS304)を使用し、溶射皮膜の構造解析法および結晶構造解析をそれぞれSEM、XRDで行った。また、電気的特性評価には、抵抗率測定ならびに比誘電率測定を行った。

皮膜評価のうち、プラズマアーク電流と抵抗率および比誘電率測定結果から、アーク電流が増大するに伴い、皮膜が緻密化するため、抵抗率が低下し、比誘電率は増加する傾向が見られた。希土類酸化物である酸化ランタンの添加の有無では、すべての溶射条件においてSTL皮膜の抵抗率が低下していたが、これは希土類酸化物での添加によって原子価制御による不純物欠陥が生じるためと考えられる。また、比誘電率をST皮膜とSTL皮膜を比較すると、すべての溶射条件においてSTL皮膜の方が大きく増大していた。これは比誘電率を決定する要因の一つに誘電分極があり、本研究ではLaを添加することにより、3価のLaは2価のSrと置換するため、原子価が1価余り、このとき4価のTiの一部が電子を捕捉して全体の電子的中性を保つため、 Sr^{2+} 、 Ti^{4+} 、 O^{2-} がそれぞれ変位しやすい構造をとると考えられる。すなわち、比誘電率が増大したのは、イオン分極によるものだと考えられる。

Spreading of Oil under Ice Covers –Effects of Bottom Roughness of Ice–

氷板下における流出油の拡散
—氷盤下面凹凸の影響—

Koh Izumiyama, Shotaro Uto, Akihisa Konno,
Mitsuhiro Sakikawa and Shigeki Sakai
平成14年12月
第16回国際水理学会氷工学会
The 15th IAHR Symposium on Ice

わが国北方に位置するサハリン島沖の大陸棚における海底資源の開発が本格化している。一部鉱区ではすでに石油の商業生産が開始されている。現在、開発活動は無氷季に限定されているが、数年後には冬季を含めた通年生産が開始される予定である。万が一、海氷の存在する海域において油の流出事故が発生した場合、油の挙動・変化、回収方法等について、わが国における研究、技術開発は、極めて未発達の段階にある。このような状況に鑑み、当所を含む5研究機関により、運輸施設整備事業団の研究制度を用いた研究「氷海域における流出油の挙動と回収に関する基礎的研究」が平成12年度より開始された。本研究では、氷海域での油流出について様々な観点からの研究が行われているが、本論文では、氷に覆われた海域で海中に油が流出した場合の油の拡散挙動について、当所の氷海水槽において実施した水中油流出実験、数値計算による流出油の拡散挙動シミュレーション及び北海道紋別沖において実施されている、氷盤底面の凹凸形状に関する現地計測の3種類の研究成果を組み合わせた研究結果について報告した。

本論文ではまず、氷盤下面に油が流出した場合の油の拡散挙動に対する氷盤底面の凹凸の影響について、水槽実験結果を述べた。氷盤底面の凹凸の程度を、海洋波浪の波高の評価に用いられる有義波高と同様の手法を用いて有義振幅を定義することにより評価した。氷盤下の油の拡散面積は、氷盤下面の凹凸の有義振幅の増大に伴って減少することが示された。次に水槽実験結果と数値計算結果との比較を行い、両者が良く一致することを示した。最後に数値計算シミュレーションにより、実際の油流出事故が発生した場合を想定した油の拡散挙動の計算を行った。この計算では、紋別沖において計測されている氷盤下面の凹凸の現地計測結果より、4種類のデータセットを選び、これらについて、毎秒 1 m^3 で合計 $40,000\text{ m}^3$ の油流出があった場合を想定した計算を行った。なお、この油の流出量はアラスカ沖におけるExxon Valdez号の事故時に流出した油の量にほぼ等しい。計算の結果は、氷盤底面の凹凸の程度により、油の流出が停止したときの油の拡散面積が 0.14 km^2 から 0.32 km^2 程度となることが示された。

Effect of Carbide Grain Size on Microstructure and Sliding Wear Behavior of HVOF-sprayed WC-12%Co Coatings HVOF 溶射した WC-12%Co 皮膜の微細構造と 摺動摩耗挙動における炭化物粒径の影響 Q, Yang、千田哲也、大森 明 平成15年2月 Wear, Vol. 254

炭化タングステン粒子をコバルトに分散させた溶射（WC-Co溶射）は、耐摩耗性に優れた表面処理として船用機械等の摺動部材への適用が期待される。この材料は、溶射粉末の組成と製法、溶射方法と条件等により、皮膜の特性が変化する。本研究では、炭化タングステン（WC）粒子の粒径を変えた粉末を溶射し、その摺動摩耗を評価し摩耗メカニズムを考察した。

WC粒径が1.2、3.8及び7.9 μm の3種類のWC-12%Co粉末を作製し、高速ガス炎溶射（HVOF）システムで軟鋼上に皮膜形成した。形成された皮膜は、WC粒径が0.8、1.4及び2.8 μm であり、粒径が小さいほどWCの分解がやや多くなった。摺動摩耗特性は、アルミナ焼結体との面接触形式の摩耗試験で評価を行った。摩擦係数は、WC粒径や試験条件に依存せずほぼ一定であった。比摩耗量は $10^{-6}\text{ mm}^3/(\text{Nm})$ のオーダーと非常に低く、WC粒径が小さいと減少した。この粒径依存性は、以前に報告したダイヤモンド研磨剤によるアブレシブ摩耗と逆であった。

摩耗面の詳細な観察の結果、WC-Co皮膜の摺動摩耗では、コバルトがまず摩耗し、その後にWC粒子の引き抜き（pull-out）が起きていることがわかった。摩擦面において、コバルトは摩耗粉のバインダーの役割を果たして表面に延性的で緻密な膜を形成し、摩耗の進行を抑制すると考えられ、これが摩耗量低下のメカニズムであるという結論を得た。この場合、WC粒径が小さいほど引き抜きによる摩耗量は低く、さらに摩耗粉による母材の損傷も軽いことが、粒径が小さいほど比摩耗量が低くなった理由であると考えられる。アブレシブ摩耗では、皮膜の硬度及び破壊靱性と摩耗量との間に相関があったが、摺動摩耗では、アブレシブ摩耗のような脆性的な破壊は摩耗メカニズムとして重要ではないことを明らかにした。

疲労き裂検出用塗料の試作および性能評価 Trial manufacture and performance evaluation of a paint system for fatigue crack detection.

高橋一比古、秋山 繁、牛嶋通雄、高田篤志
小野口富夫、内田光彦

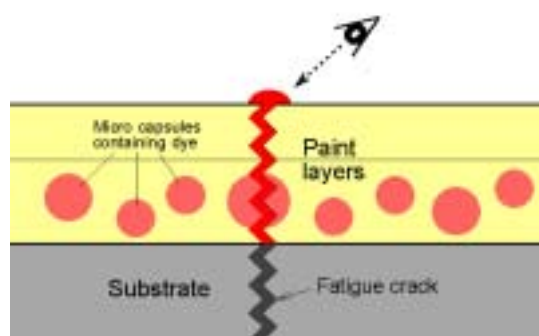
平成 15 年 1 月

日本造船学会誌 Techno Marine 第 871 号

船体検査における疲労き裂の検出は、現在その殆どが目視検査に依っている。しかしながら、実際の検査環境は想像以上に厳しく、十分な照明設備も期待できない場合が多いため、溶接部等の複雑形状部分に生じたき裂を現場で発見し、その寸法を把握する事は容易でない。従って、き裂の検出率及び検出精度を高めるためには、現場における目視検査を有効に支援し得るような新たな方策を講ずる必要がある。

本研究で用いた疲労き裂検出用塗料は、き裂の発生が予測される箇所に予め特殊な塗料を塗布しておく事により、き裂が発生・伝播すると同時に染料入りのマイクロカプセルが破壊して染料を流出し、その発色によってき裂の発見および寸法把握を容易にするというもので、目視検査の支援ツールとして有効であると考えられる。

今回は研究の第一段階として、染料入りマイクロカプセルを試作し、これをエポキシ樹脂系の船用防食塗料と混合して切欠き付き平板試験片および小型溶接継手に塗布し、実際の疲労き裂が発生・伝播する過程で塗料が確実に発色することを確認した。



疲労き裂検出用塗料の概念図



き裂進展に伴う発色（試験片幅 70mm）

原子力プラントの マン・マシン・インターフェースに関する研究 Research on Man-Machine-Interface for Nuclear Power Plant

三友 信夫、宮崎 恵子、丹羽 康之、松岡 猛
松原 暁雄（法政大学大学院）

平成 14 年 12 月

電子情報通信学会技術研究報告

原子力プラントにおいては、自動化の導入が積極的に行われている。しかしながら自動化の導入は、プラントを監視制御するオペレーターにとって理解の範囲を越え、システムのブラックボックス化などの危惧が指摘されている。このような危惧に対応するために、容易にプラント状態を把握できるマン・マシン・インターフェース(MMI)が必要となる。当所ではこの様な問題の解決も可能な MMI を提案している。本報告では、監視対象として、2 ループ加圧水型原子力プラントを模擬したプラント模型を設定し、この MMI の評価・改善を目的とした実験を行った結果について示した。

被験者がオペレーターとしてプラント模型の運転状態を監視し、プラント模型に異常が発生した際は、その発見、異常の原因の同定ができるかどうかという実験を行った。実験中の被験者の挙動については、観察を行うとともにビデオ撮影も行った。申告事項は、プラントの状態変化の発見と状態変化の原因同定である。これらの申告時刻をデータとして記録し、さらに実験毎にアンケートにより本 MMI についての意見を収集した。被験者としては、工学系の大学院生 7 名とし、シナリオとしては『定常運転時に 1 次系左側ポンプが停止し、停止 5 分後にポンプ停止のままで加熱器出力が 50%まで自動的に低下』を設定した。

実験により、全ての被験者がポンプ停止の確認を行うことが出来た等の結果が得られた。MMI の機能の役割分担として、プラント状態に変化が起こった際、

①プラント状態自動分類でプラントの状態変化に気づき、

②プラント状態判断で状態変化の原因推定を行い、

③三次元画像表示でプラント全体および各機器の状態を確認する、

という行動が多く観察され、またこれらの各機能の役割は合理的なものと考えられる。しかしながら、ポンプ停止後に加熱器の出力が 50%になる際のプラント状態変化については、被験者の全てが把握することができなかった。

これらの結果等より MMI の各機能の問題点を明らかにし、それらを反映して MMI の各機能の改善を行い、さらに実験を行う予定である。

ガスタービン用耐熱超合金のエロージョン損傷 Erosion of Heat-Resistant Superalloys for Gas Turbines

千田哲也、古谷典子

新井和吉、原田広史、村雲岳郎

平成15年1月

腐食防食協会第139回腐食防食シンポジウム

果エロージョン損傷速度が増大したと考えられる。

粒子衝突エロージョンは、高速ガス流路で使用する部材にみられる損傷である。船舶用ガスタービンでは、低質燃料の燃焼により生じる未燃炭素成分等が固体粒子として高温部材に衝突することがあり、耐熱超合金製の部材はエロージョンによる機械的損傷と酸化等の化学的損傷の重畳作用を受ける。本研究では、ガスタービン用材料の900℃までのエロージョン試験を行い、その損傷機構を検討した。

電気炉で加熱された試験片に、加熱された圧縮空気と固体粒子の混相流を噴射する試験を行い、損傷体積を質量変化から求めた。試験片には第三世代に属する2種類のNi基超合金TMS-75とCMSX-10の単結晶材(γ 相と γ' 相の格子状構造による強化材)を用い、厚さ3mmの円板を直径10mmまたは12.7mmの丸棒から切り出した。衝突粒子には平均粒径360 μm のアルミナ粒子を用い、粒子衝突速度を50~120m/sの範囲で変化させ、衝突角度は75°とした。衝突粒子の単位質量あたりの損傷体積を損傷速度と定義した。

損傷速度は、温度の上昇とともに増加する傾向を示した。損傷面の表面及び断面を走査電子顕微鏡(SEM)観察するとともに、電子線マイクロアナライザ(EPMA)による元素分析、透過電子顕微鏡(TEM)による観察、元素分析及び電子線回折分析を行い、損傷面の微細構造変化を調べた。高温では、表面側から酸化層、 γ' 相消失層(格子パターンの消失)、 γ - γ' 相組織の変形層の順になっていた。また、最表面では再結晶が起きていること及び変形層にReを多量に含むTCP(Topologically-Close-Packed)相と呼ばれる粒子状析出物が存在することがわかった。一方、室温では、ほぼ最表面まで γ - γ' 相組織の変形層であり、酸化層と γ' 相消失層はほとんど観察されず、析出物もみられなかった。

これらの結果からエロージョンメカニズムを考察した。衝突により表面には掘り起こし(ploughing)変形が生じ、直下の組織に転位が導入される。このとき、室温では γ - γ' 構造は大きく変形するものの、2相組織は表面近くまで残されており、過大な変形領域が摩耗粉として除去されることでエロージョンが進行する。400℃以上では、表面の変形領域で拡散が起きて、Al及びCr等の一部の元素は表面に拡散して酸化層を形成し γ - γ' の格子状構造が消失している。800℃以上でこれらの特徴は顕著で、衝突に伴う転位の導入と局所的な高温化が過飽和に固溶した元素の拡散を促進したことによると推測される。その下部の組織も大きく変形し、 γ - γ' 格子状構造は残しながらその中に転位によるセル構造が形成される。こうした変形はRe等の固溶元素の拡散を促進して強度上有害なTCP相を形成するとともに、表面下き裂の発生も誘起し、その結

シビアアクシデント時の気泡急成長
による水撃力の研究
(第三報：RELAP5-3Dによる二次元解析)
Study on Slug Impact Followed by Rapid
Bubble Growth in an LWR Severe Accident
(Third Report: 2D analysis with
RELAP5-3D)
安達雅樹、稲坂富士夫、汐崎浩毅、綾 威雄
平成 15 年 3 月
日本原子力学会 2003 年春の年会 第Ⅱ分冊

軽水炉の設計基準を超えたシビアアクシデント（過酷事故）において、溶融した1,000℃以上の燃料棒が冷却水プールへ流出した場合、相変化による水蒸気爆発が想定される。このとき通常の爆発とは異なり大量の蒸気が発生することから、溶融燃料周囲の水塊が蒸気圧により加速され水撃荷重が構造物に作用する可能性がある。この荷重は個々の水塊運動のコヒーレント性（同時性と同方向性）に依存していることから、この水撃荷重を評価するために、高圧空気を使った模擬実験を行ってきた。さらにこの現象のメカニズムを解明することと、既存の解析コードによるこの現象の模擬を検証するために、軽水炉プラントの過渡解析で信頼が高い解析コード RELAP5-3Dを使った解析を試みた。

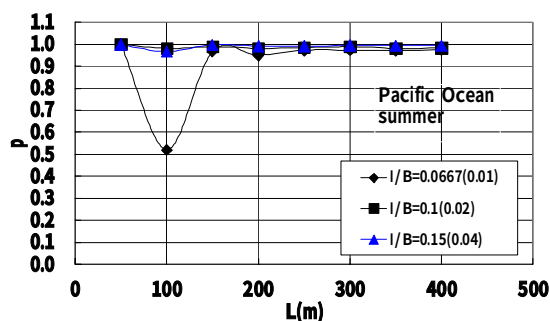
高圧空気タンクから冷却プールに相当する模擬格納容器への流路方向のみの一次元解析では、水位の上昇と構造物への衝突による水撃圧が確認されたが、水塊からの空気の吹き抜けが模擬されなかったためコヒーレント性が過大となり水撃圧が実験での数倍という結果になった。そこで径方向の過渡変化も考慮するために模擬格納容器を“多次元要素”2つを使い二次元円筒座標系でモデル化しそれ以外は一次元入力モデルのままとした。このとき各“多次元要素”のボリューム数は径方向9×高さ方向40の計360である。

これにより高圧空気単成分域(大気泡)の成長による水塊の加速が再現できた事に加えて、断面中心から側壁への流れにより、水が側壁側に集まり壁に沿って上方に流れる状態に遷移するという、空気の吹き抜けにあたる現象が模擬された。また二成分流における音速の減衰も模擬されたことで、コヒーレント性の程度と水撃圧が一次元解析の結果より改善されていることも確認した。

Towing Field Test and Critical Towing
Operation on Mega-Float Unit
メガフロート曳航実験と曳航出動限界に
ついて
原 正一、大松重雄、山川賢次、
星野邦弘、湯川和浩、鳥海 誠
平成 15 年 1 月
Proceedings of International Symposium on
Ocean Space Utilization Technology
including 4th International Workshop on
Very Large Floating Structures

地震、津波などによる大規模災害が発生した場合、メガフロートを災害対応のための防災拠点とする構想が考えられる。この際、被災現場にメガフロートを安全かつ迅速に曳航することが必要となる。これまでメガフロートフェイズⅠでは、合計で9つの構造物ユニットから構成され、それぞれの建造された造船所から浮体が設置海域である横須賀市追浜沖に曳航された実績がある。さらに、フェイズⅡでは最大で長さ383mの浮体が愛知県知多市から太平洋を曳航された。このうち、フェイズⅠでは、岡山県水島から追浜まで、またフェイズⅡでは愛知県知多および三重県津から追浜までの曳航中に実機計測が船舶技術研究所（現海上技術安全研究所）によって実施された。

本報告では、フェイズⅡでの曳航実績結果を紹介するとともに、長さ400mまでの浮体寸法の構造物（浮体ユニット）を対象にして、その安全な曳航に密接な関連をもつ浮体剛性を変化させて主に波浪中の曲げモーメント、弾性変位、抵抗増加、索張力について計算を行った。その結果をもとに、浮体ユニットを安全に曳航できる曳船の必要馬力および曳航限界波浪条件を提示し、さらに日本近海における曳航出動確率を求めた。



浮体剛性による曳航出動限界確率（太平洋、夏期）