

所 外 発 表 論 文 等 概 要

海洋での流出オイル広域モニタリング

A Wide Scale Monitoring for Oil Pollution
on the Ocean Environment

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、
樋富和夫、山岸 進
平成13年9月
日本化学会第80秋季年会講演予稿集

船舶起源の海洋汚染を中心とした状況を把握するためのモニタリングシステム構築を行っている。本研究の対象は船舶事故などが起源の「大量流出オイル」と、航行中船舶からのリークオイル、油田や石油コンビナートなどからのもれが起源となり最終的に「海水中に微量に分散したオイル」の2つの異なる形態である。前者は、存在自体が海洋を汚し、さらに漂着して沿岸を汚染するので、回収のための情報として必要である。後者は、長期的に生態内へ濃縮されて汚染が進んでいく。そのために定期的かつ広域なモニタリングが必要である。

海上の「大量流出オイル」検出は紫外光励起蛍光分光法を利用したリモートセンシング法(蛍光ライダー法)で行った。光源はNd:YAG レーザ(355 nm)を使用した。検出側は波長選択フィルターを組み込み、イメージ・インテンシファイヤーで増感し、最終的にCCDカメラで蛍光スポットの周辺情報を含めた2次元マッピングを行う。

また本装置を飛行機に搭載し、日本海沖のナホトカ号沈没ポイント近辺で観測飛行を行った。観測時は、検出側に405 nm近辺の透過フィルターを使用し、高度約300 m上空より太陽光励起の条件で海上を浮遊しているオイルと考えられる物質を目標にフィルター画像の取得を行った。フィルター画像および可視画像を飛行機より捉えることができた。

次に海洋環境中に微量分散したオイルの評価法を蛍光分析法で行った。蛍光分析法では、軽油、A重油では共に277 nmの光で励起すると318 nmにピークトップが出現する。このピークを利用して蛍光分光法で分析できるオイル含有量の下限値は約50 ppbと見積もった。また本分析法を利用して海洋中の分布を広域検出するために船舶に積み込んで分析するシステムについて検討を行っている。

以上の海洋汚染モニタリング法は海洋汚染防除及び広域な海洋環境監視の新しい技術で今後重要な役割を果たすものである。

海洋表面の汚染物質検出法についての基礎的研究

A Fundamental Research for Detecting
Pollutants on Sea Surface

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、
樋富和夫、山岸 進
平成13年9月
第54回コロイドおよび界面化学討論会予稿集

海洋でのオイル事故対策及び環境汚染モニタリングのために、海洋表面における汚染物質検出センサーの基礎的研究を行っている。本研究での船舶事故などで大量流出したオイルの検出方法は、飛行機や船舶に搭載できる小型リモートセンシング装置を用いて海上で紫外線励起蛍光検出法で判別する手法である。得られた情報はオイル回収のサポートなどに使用できる。さらに海水中にオイルなどが分散した微量な場合は、海洋の汚れの指標として混濁した量の検出が必要である。起源は事故回収後の残留物、油田、石油コンビナート、船舶からのリークなど様々であり、海洋に流出後エマルジョン化などの過程で微細分散化をし、海水を汚染する。これらの過程については推測はされているが追跡された例が非常に少ない。また生態への汚染及び濃縮も起こり、移動過程の解明は重要である。微量オイルは各地で様々な汚染源があり海水中での存在形態が異なる。海洋での全体像の把握のために様々な場所での分布を同じタイムスケールで計測を行うために船舶などの海洋観測プラットフォームに搭載する。我々は、このシステムの基礎的分析法の確立を目指している。

実験として、参照試料はオイルを水または海水に微量添加して高速攪拌して分散させて調整した。この試料を原液として、各分散量の調整を行いオイル含有試料のスペクトル計測を行った。計測には蛍光分光装置を使用した。計測条件は、励起波長220nmから730nmの間、検出波長220nmから730nmの間で、それぞれ5nmおきに励起波長、蛍光波長及びその強度を計測して、3次元蛍光分布のスペクトルを取得した。結果は、A重油500 ppbで励起波長277nm 検出波長318 nmにピークトップを持つスペクトルが得られた。これはA重油、軽油ともにスペクトル傾向が同じであった。またA重油で下限値を見積もったところ約50 ppbであった。最後にこの手法は蛍光を発する海洋汚染化学物質の検出にも応用出来る手法である。

広域及び定期計測に向けての 海水中含有オイル分析手法の検討

A study on the periodic analysis of
microscopic oil in seawater for wide area.

山口良隆、小俣美郁子、岡田安弘、田口 昇、
山之内博、太田英介、樋富和夫、山岸 進、
原島 省

平成 13 年 11 月

日本分析化学会第 50 年会講演要旨集

海洋環境を広域かつ経時的に調査を行うために、定期船舶を用いて航路上観測が行われている。その計測項目として海洋物理的及び海洋化学的の様々な要素が計測されており、船上で計測したデータのいくつかは通信回線を用いて陸上の研究機関に送信されている。我々は定期船舶を海洋観測プラットフォームとし、通信を利用した自動化観測ネットワークの構築を目指している。本研究では、海洋環境中に混濁したオイル計測の検討を行った。海洋環境中の微量オイル挙動は推測されているが、直接観察された例は少ない。またオイルは、環境汚染や生態系への濃縮も問題となっており、様々な海域での含有量を計測して、分布や移動把握のための基礎データとして重要である。以上のことを実現できる手段として船上で自動化を目指した分析手法について検討を行った。

海洋でのオイル汚染状態の調査を行った。関西汽船さんふらわあいぼり号の船内海水採取ラインを使用して、航行中に大阪湾、松山湾、別府湾のそれぞれの海水試料を採取した。オイル定量は、標準品としてクリセンを使用した。海水の前処理として四塩化炭素で抽出後、蒸発乾固させたものを n-ヘキサンに溶解させ蛍光分光法で定量を行った。また自動化分析法の検討は、高感度蛍光分析法を使用した。試料調整は、海水及び蒸留水中に既知量のオイルを添加して高速攪拌を行い、それぞれの含有量に希釈を行ったものを蛍光分析用の試料とした。

海水の四塩化炭素抽出の添加回収率を求めた。クリセンを添加して平均 81% となった。またそれぞれの海域での含有量の平均値は、大阪湾 Trace 量、松山湾 ND、別府湾 3.3 ppb となった。また、蛍光分光法を利用した直接含有量計測の検出下限値は約 50 ppb まで可能であると見積もった。以上の結果より海洋でのオイル含有量を蛍光法で直接計測する場合は、オイル流出事故の海洋汚染状態や地域的なリークオイルの発見用に 50ppb 以上の異常値の監視用として用いることができる。また 50ppb 以下の含有量についても簡便な採取法及び分析法が必要であることも分かり、現在検討中である。

マクロ計測及びマイクロ分析による 海上流出化学物質の広域モニタリング

Wide-scale monitoring systems for spilled oil and chemicals in
the ocean using macro-monitoring and micro-detection

山口良隆、田口 昇、山之内博、柴田俊明、
樋富和夫、山岸 進

平成 13 年 12 月

分析化学 2001 年 12 月号

物質の大量流通において海上輸送は大きな役割を果たしている。しかしながら残念なことに事故により海洋環境中へ化学物質、原油や重油などオイル類の流出が度々起こる。これらの回収を迅速に行うために流出状況把握が必要である。そこで大量流出した物質のマクロ的視野で状態把握を行うために紫外線励起蛍光検出リモートセンシング装置（蛍光ライダー）の開発を行っている。

流出した大量の化学物質を回収処理後にはそれらの残留物がある。海水中の含有量の変化や生物への影響などについて未知な部分が多く、事故起源以外のものとも混合されており、動態を解明するのは環境化学として重要な事である。そこで海水に含有する化学物質のスクリーニング検出手法について蛍光分光法を利用し開発を行った。

これらの装置は海洋環境計測を目的としているために広域にモニタリングを行うためのプラットフォームが必要である。マクロ的な広域観測は上空からの行うためにヘリコプターや飛行機を使用し、また海水中のマイクロ的分析は船舶に搭載し、航海中に採取しながら計測するように考えている。

本研究では、対象物質をオイルとした。マクロ検出では蛍光ライダー装置を航空機に搭載し実海域実験を行った。ナホトカ号沈没現場付近の日本海上空で浮遊しているオイルと考えられるの可視画像を取得し、また太陽光励起ではあるが同じ場所の波長選択フィルター像を得た。

またマイクロ分析は蛍光分光法のオイル検出試験より得られた結果より、船舶搭載の可能性について報告を行った。

Chemical Stability of Anti-fouling Agents Substituting for TBT

TBT船底防汚剤代替品の化学的安定性
山口良隆、熊倉 陽、山田康洋、千田哲也
平成13年11月
日本分析化学会第50年会講演要旨集

国際海事機関(IMO)において船底防汚塗料に使用されているトリブチルスズ(TBT)が禁止の方向になり、その代替品の開発及び評価が重要な課題となっている。日本においては約20種類のTBT防汚塗料代替品が考案または使用されている。しかしながら新規防汚剤の環境への影響評価について総合的に行われているものは少なく、基礎データをそろえて検討を行う必要がある。そこで本研究は、新規防汚剤として使用量が多いと言われているジंकピリチオンを中心とした海洋中での挙動を把握の基礎データを取得するために、水溶液中での安定性について研究を行った。

3 ppmのジंकピリチオン水溶液を調製し、水溶液中での溶解分子について光安定性を調べた。光源は超高圧水銀灯を使用し、水溶液に照射を行った。また溶解分子の状態を判別するために、それぞれの照射時間において紫外可視吸光度計を用いてスペクトル計測を行った。

調整したジंकピリチオン水溶液を紫外可視吸光度計で計測すると230~240 nm, 255~275 nm および 300~335 nm にジंकピリチオン由来の3つのピークが得られた。このジंकピリチオン水溶液に照射を行うと、これら3つのピークが減少し、小さいながら新しいピークが確認された。またさらに照射を続けると新しいピークとバックグラウンドと考えていたスペクトル部分も減少をした。ジंकピリチオンの光分解反応はいくつかの過程を経て進行すると考えられる。

以上のような分解反応を追跡する手法や水溶液中での挙動について報告をする。

On the relationship of the oil/water interfacial tension and the spread of oil slick under ice cover 水・油界面の界面張力と平坦氷板下での油拡散との 相関について

金野祥久、泉山 耕
平成14年2月

THE 17TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON OKHOTSK SEA & SEA ICE

氷板下に油が流出した場合、その油層の挙動を支配する要因には、油の浮力、氷・水・油の各界面での界面張力、水および氷下面との摩擦力、氷下面への付着などがある。流れや氷の移動が無い静的な状態では、これらの要因のうち油の浮力と界面張力が支配的である。しかしこれらの支配パラメタの明確な定式化は、浮力を除き、これまで行なわれていなかった。そのために例えば氷下面での油拡散を定量的な意味で予測したり、数値シミュレーションすることはできなかった。

本研究では、まず Rotemberg et al. (1983)によって開発されたADSA (Axisymmetric Drop Shape Analysis)と呼ばれる界面張力計測手法を適用し、供試油と水との界面張力および氷・水・油界面の接触角を測定した。接触角はほぼ180°であった。

次にADSAの基礎理論を適用し、平坦氷板下に流出した油についてその体積と拡散半径との関係を理論的に導いた。導出された結論は、海上技術安全研究所にて行なわれた実験結果とよく一致した。

また、過去の研究で用いられていた「正味の界面張力」(netinterfacial tension)と呼ばれる経験定数について、その物理的意味を検討した。この正味の界面張力は Yapa and Chowdhury (1989)が導入したもののだが、これまで物理的な意味が明確でなかった。

本研究で検討の結果、接触角が180°との仮定の下に、正味の界面張力は水・油界面の界面張力の2倍で与えられることを見出した。この結果を用いて油の拡散範囲を近似的に求めたところ、上記の理論および実験結果とよく一致した。

本研究は平坦氷板下での油拡散について調査したもののだが、得られた結論は一般的なものであるため、氷板下の油拡散の数値モデルを構成する際に利用できる。オホーツク海のような凹凸氷板下での油拡散を予測する場合、理論解析のみで予測するのは不可能なので何らかのモデル化を行ない数値計算に供する必要があるが、その際に重要な因子である界面張力のモデル化を提案するものである。具体的には、界面張力に起因する単位長さ当たりの収縮力は、水・油界面の界面張力の2倍に等しい。

本研究の成果を踏台として、氷海域での油拡散予測に関する研究が推進されることを期待する。

本研究は運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」による研究の一環として実施された。

船用筒形水こしの安全性評価
(第1報 強度実験による安全性評価)

The Safety Assessment of Can Water Filters for ship

伊飼通明、三浦 稔、西岡成憲、上本佳則

平成 14 年 3 月

船舶標準第 246 号

平成 12 年度から平成 13 年度において船用水こし規格 (JISF7121) の見直しがなされ、この規格の安全性を評価すべく (財)日本船舶標準協会と共同で実験・解析を行った。船用水こしは、船舶の海水ポンプなどの入口側に装備され、冷却海水中に含まれているごみを取り除く目的で使用されるものである。航海中にメンテナンスのために清掃しなければならないときもあるため、水こしは作業性が重要視されている。このため、こしふたと本体の接続にヒンジピン (呼び径 125 以上) が使用され、ふたの取り外しが容易な構造となっている。また、こしふたと本体の接続フランジは加工性や漏れにくい等の理由から平面座の形状が採用されている。このため、水こしを組み立てた段階で、すでにふたボルト締めによる応力が発生していると考えられる。このことから、水こしについては、この応力を考慮した安全性の評価を行った。なお、実験は、呼び径 200 の水こしを用いて行った。本論文では次の結果が得られた。

- (1) 水こしの強度実験から、実験圧力が 1MPa において安全率 4.63 の値が得られた。水圧検査圧力が 0.3MPa であることから、安全性は十分確保できていると考える。
- (2) ふたボルト締めによる発生応力を考慮した場合、安全率は 4.63 から 3.30 と約 29%ほど低下する。ふたフランジが平面座形状の圧力容器等では、安全性の評価を行うに当たって、やはりふたボルト締めによる発生応力を考慮する必要があると考える。

Simple Calculation Method and Database of Secondary
Gamma-Ray Dose Distributions in Shield
Irregularities

遮蔽複雑形状部における二次ガンマ線線量分布の簡易計
算法とデータベース

三浦俊正、平尾好弘、佐藤 理

平成 14 年 4 月

Proceeding of the 12th Biennial Topical Meeting of the
Radiation Protection and Shielding Division

我々は中性子と一次ガンマ線ストリーミングに関する簡易線量計算法とそれに使用するデータベースを開発してきた。データベースは円筒ダクト、スリットおよび円環ダクトに対するストリーミング線量減衰関数(SDAF)である。本研究はこの簡易計算法を二次ガンマ線まで適用範囲を広げるためのものである。新しいデータ・ベースの作成には MCNP-4B によるモンテカルロ (MC) 計算を使用する。計算の信頼性を確かめるため ANISN による Sn 計算と透過問題に関して比較を行った。MC 計算では FSXLIB-J3R2 あるいは ENDF60 を、Sn 計算では VITAMIN-B6 断面積を使用した。これらの計算では MC と Sn 計算の間でわずかな差が見られたが、概ねよく一致しており MC 計算の信頼性が確かめられた。データベースはコンクリート中の複雑形状部に対して作成する。コンクリートの元素組成比は花崗岩、安山岩、玄武岩を粗骨材とするコンクリートに対し透過計算を行い、二次ガンマ線量を安全側に計算する観点から玄武岩コンクリートのもを選んだ。コンクリートの密度は同じく透過計算から代表的なものとして 2.1 を選んだ。また、入射放射線の性質がストリーミング線量に及ぼす影響を調べるため、入射中性子のエネルギー、方向を変えた計算を行った。さらに、円筒ダクトに対していくつかのストリーミング計算を行い、二次ガンマ線の分布を調べた。これらのデータを元に 二次ガンマ線量の簡易計算法を導出した。入射中性子は速、中速、熱中性子群に分けた。直ダクトに対しては入射中性子の各群に対して用意された SDAF を入射角度分布にあわせて内挿計算し、加え合わせる方法である。屈曲ダクトに対してはストリーミング 2 次ガンマ線を 3 つの成分に分け、それらに対してそれぞれ計算式を導出し加え合わせた。式中のデータとしては、二次ガンマ線線源及びストリーミング中性子による屈曲ダクト中での SDAF 及び透過中性子による二次ガンマ線線量分布である。これらのデータはデータベースとして用意する。データベースは線源として 3 つの中性子群、複雑形状部として直および屈曲円筒ダクト、直、屈曲およびオフセットスリット、そして直およびオフセット円環ダクトに対して作成する。今後はデータベースを完成させ、簡易計算法の評価を行う。

Ship-based Sea Ice Thickness Observations
in Lutzow-Holm Bay, Antarctica in the 42nd
Japanese Antarctic Research Expedition

第42次日本南極地域観測隊における南極リュツォホルム湾の海水厚の船上観測

宇都正太郎、下田春人、泉山 耕

平成14年2月

第17回オホーツク海と流氷に関する
国際シンポジウム 講演要旨集

南極大陸周辺に発達する海水の勢力は季節変動が非常に大きく、地球規模の気候に関わる様々な現象と密接に関係している。特に海水の成長は世界の海洋深層循環を駆動する深層水の供給源であり、地球規模の気候・環境変化に大きな影響を及ぼしている。今日では海水域の拡がりは衛星リモートセンシングによってモニタリングすることが可能となったが、海水の厚さを広域で観測する手段は極めて限られており、従って観測データの蓄積は十分ではない。著者らは第42次日本南極地域観測隊夏隊において、南極観測船「しらせ」の船上での海水厚観測を実施した。本研究の目的は、電磁誘導法を核とした南極観測船「しらせ」船上における海水厚モニタリングシステムの有効性を検証すること及び海水厚の変動に関する知見を高めることにある。特にリュツォホルム湾に発達する定着氷は流出、融解と結氷を繰り返し、季節及び年々変動が非常に大きいので、「しらせ」の運航に重大な支障をきたすこともある。本研究では海水厚の観測手段として、電磁誘導法、ビデオ法及び目視観測の3種類の方法を採用した。電磁誘導法によるキャリブレーションとして昭和基地周辺の定着氷上で氷盤を掘削し、氷厚及び積雪深を計測した。当所では過去に南極及びオホーツク海において実施した氷厚観測にビデオ法を用いている。また目視観測は南極研究科学委員会 (SCAR) において推奨されたフォーマットに則って実施した。観測は2000年12月中旬から2001年2月中旬にかけて行われた。電磁誘導法によって計測された氷厚はビデオ法による結果と良い一致を示し、その有効性を確認することができた。

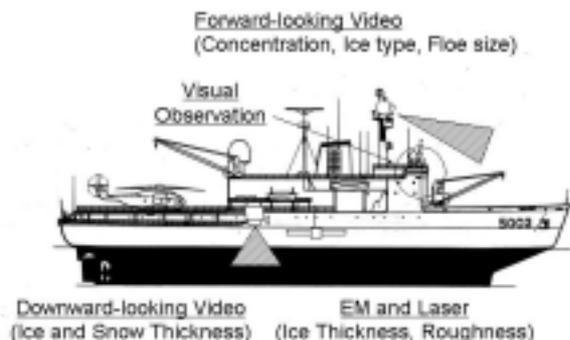


Fig.1 Schematic View of Ship-based Sea Ice Observations

電子制御船用ディーゼル機関の有害排ガスへの
変動要因

---- 吸排気弁開閉時期の変更 ----

Fluctuation Factor of harmful exhaust

Emission on Electronically Controlled Marine Diesel Engine

-- Inlet/Exhaust valve timing variation --

高杉喜雄、石村恵以子、西尾澄人、菊地正晃、

張 潔、菅 進

平成14年6月

日本機械学会第8回動力・エネルギー技術シンポジウム
「新世紀の動力・エネルギー技術2002」論文講演集

当所では船用4サイクル中型中速ディーゼル機関の燃料噴射系の電子制御化を実施し、限られた範囲ではあるが大気汚染物質及び燃料消費率の同時低減が実現できる最適な燃焼範囲を得た。続いて、更なる大気汚染物質及び燃料消費率の低減を目的に吸排気弁系の電子制御化を実施し、まず、排気弁開閉時期と燃料噴射時期の組み合わせによるNO_x13の低減をはかった。しかし、吸排気弁開閉時期については、ほぼカム駆動時の状態を踏襲したものであり、また、それぞれの弁の揚程曲線はカム駆動時と様相が異なり、必ずしも電子制御化の特徴を生かした吸排気弁開閉時期とは云えず、より適切な時期があるものと考えられる。そのため、船用特性25%負荷にて吸排気弁開閉時期を個々に変化させた。この実験から、代表的な大気汚染物質であるNO_x13と燃料消費率はトレードオフの関係にあるといわれるが、同時低減が実現する範囲をいくつか見いだした。最後にNO_x13と燃料消費率の同時低減が実現する吸排気弁開閉時期および燃料噴射時期を組み合わせた実験を行い、運転が可能であることを確認した。

水中における防汚化学物質の挙動についての研究

A Study on behavior of Anti-Fouling

Chemicals in aqueous solution

山口良隆、熊倉 陽、山田康洋、千田哲也

平成14年3月

日本化学会第81春季年会予稿集第一分冊

船底防汚塗料に使用されていたトリブチルスズ(TBT)類は、生態内への蓄積や貝類の性のバランスを崩すと言う海洋汚染を引き起こし、社会問題とまでになった。そのために2001年10月に国際海事機関(IMO)の海洋環境保護委員会(MEPC)において使用禁止へ向けての条約の枠組みが取り決められた。今述べたような背景よりTBTの代替品として新規船底防汚剤が必要になり、現在は代替品としてジंकピリチオン、カップピリチオン、ピリジン-トリフェニルボラン及び4,5-ジクロロ-2n-オクチル-4-イソチアゾリン-3-オンの4種類の化学物質が多く使用されていると言われている。しかしながらこれらの化学物質について環境影響評価をした例は少なく、不十分である。そこで我々はTBTで問題となった海洋での残余や蓄積の指標を出すためにジंकピリチオンの分解について検討を行った。

実験はジंकピリチオン水溶液に光を照射して、水溶液中の分子の安定性について調べた。光源は超高压水銀灯を使用した。また、水溶液中の分子状態は紫外可視吸光光度計を用いて行った。

ジंकピリチオン水溶液の紫外可視吸光スペクトルは230~240 nm, 255~275 nm および 300~335 nm の3つのピークを持つ。この水溶液に照射を行うとこれら3つのピークが減少し、ジंकピリチオンが光反応をする事がわかった。さらに光源を高出力で長時間照射を続けるとバックグラウンドと考えていたスペクトル部分も減少した。これはさらに光を吸収して別な反応が進行したと言うことである。以上の2つの結果よりジंकピリチオンの光分解反応は2段階で進行すると考えられる。

今回は水溶液中の分子分解反応を追跡する手法やジंकピリチオン水溶液中での挙動について報告をする。

Time Difference Measurement of Ultrasonic Pulses Using Cross-correlation Function between Analytic Signals

解析信号の相互相関関数を用いた

超音波パルスの時間差測定

菅澤 忍

平成14年5月

Japanese Journal of Applied Physics Vol.41, No.5B

物質の性質を評価するにあたり、音速は重要なパラメーターの一つであり、このため今までに物質中の音速を正確に測るためにさまざまな方法が開発されてきた。その中でも超音波パルスを利用する方法は、操作が比較的簡単なながらも高精度な結果が得られるため、広く使われている。しかし、大部分の方法は、波形が伝搬するに従って歪まないことを仮定している。このような条件は、現実には存在する物質では減衰や分散などを伴うため、近似的にしか成り立たない。このため、音速の正確な測定には困難が伴ってきた。

本論文では、この問題を解決するために、相互相関法を改良することを試みた。まず、材料内を伝搬する波動を複素信号の一種である解析信号に拡張し、このようにして得られた解析信号間の相互相関関数の理論を展開した。この理論から得られた結果として、従来知られているように解析信号の絶対値は元の信号の包絡線になるという性質だけではなく、さらに元の信号から一定の手続きで導出される無数の波形(元の信号に任意の定位相を加える、または、信号のスペクトルを周波数軸上をシフトさせる等によって得られる信号)の包絡線にもなっていることを明らかにしたことや、元の信号とその Hilbert 変換との相互相関関数は、one-sided spectrum の sin 変換に等しいことも示したことが挙げられる。

以上の手法を超音波パルスによる音速計測に応用し、媒質が以下の性質を持つ場合に適用できることを明らかにした。すなわち、(1) 媒質に分散がない場合、(2) 一定の位相シフトが波形に混入する場合、(3) 媒質に分散がないが減衰に周波数依存性がある場合、(4) 媒質に分散がある場合、(5) (2)から(4)のすべてを含む場合、である。分散がある場合は、パルスの帯域内で群速度が一定と見なせると仮定した。なお、(2)から(5)の場合は、パルスは伝搬するに従い波形が徐々に歪むため、たんに波形に含まれる位相成分を比べる方法では、正確な時間差を求めることができない。

また、雑音による影響も考察し、雑音が白色雑音と仮定したとき、本方法が matched-filter を用いたときと同程度の SN 比を持つことも示した。

Conceptual Core Design of Passively Safe Small Reactor for Distributed Energy System, PSRD-100

分散型エネルギーシステム用受動安全小型炉の炉心概念設計

小田野直光、石田紀久、澤田健一、藤田聡志、今井 洋

平成14年10月

Proceedings of International Conference on the New Frontiers of Nuclear Technology: Reactor Physics, Safety and High-Performance Computing

日本原子力研究所では、分散型エネルギー源として、熱出力100MWtの分散型小型炉PSRD-100 (Passively Safe Small Reactor for Distributed Energy System)の概念検討を行っている。PSRD-100は、大型船舶用改良船用炉MRXの設計をベースにし、蒸気発生器等一次系機器を原子炉容器内に納めた一体型軽水炉である。

PSRD-100の設計は、これまでに十分実績のある軽水炉技術に立脚して行う方針とし、PSRD-100に特徴的な点として以下の様な設計方針を定めた。まず、経済性向上のために、燃料交換間隔を長くする方針とした。エネルギー需要の調査より、原子炉の年間負荷率は50%程度であるが、50%の負荷率を仮定した場合に、10年間程度燃料無交換で連続運転できる炉心設計を目指した。また、主に安全性向上の観点から徹底した系統の簡素化を目標として、プラント運転中は化学体積制御系を作動させない方針なので、反応度制御には可溶性ポロンを用いない設計とする。原子炉は一次冷却系に自然循環方式を採用しており、熱水力設計の観点から、平均線出力を低く抑えることとする。PSRD-100に使用する燃料棒は、現行PWRの17×17型燃料集合体に使用されているものと同一仕様のジルカロイ4被覆UO₂燃料棒とする。また、核燃棒耐放射線の観点から、燃料棒には²³⁵U濃縮度が5%未満の低濃縮ウランを用いることとする。

これらの方針に基づき、PSRD-100炉心の基本仕様を決定した。核特性の評価は、汎用核計算コードシステムSRAC95を用いて行った。燃料棒のピッチは13.9mmとし、現行PWRに比べて広げることによって、高減速化を図り、炉心寿命の長期化を目指した。炉心のサイズは、等価直径162cm、実効高さ140cmである。また、PSRD-100はポロンによる反応度制御を行わないので、制御棒による独立した2系統の停止系を持たせることにした。核設計上、炉停止余裕の基準を満足させることが重要な設計課題である。また、全集合体に制御棒を配置するため、制御棒運動時の冷却材流路が十分確保されるよう、集合体内の制御棒配置に配慮した。炉心核特性解析の結果、負荷率50%を考慮した炉心寿命は、熱供給炉で10年、発電炉で9.4年であった。37体ある制御棒種別機構を、21体の系と、16体の系との2系統の炉停止系に振り分け、低温状態での炉停止余裕を評価した。その結果、いずれの系も1% k/k以上の停止余裕が確保されていることを確認した。

最短時間を目指した自動定点停止操船に関する研究

Study on automatic stopping system for minimum time control

岡崎忠胤、大津皓平、福田人意

平成14年3月

日本航海学会論文集第106号

近年、内航海運の船員の高齢化による船員不足と労働負荷軽減の立場から、一人当直を目標とした航行支援システムが提案されており、労働負荷が集中する着離棧操船の支援システムのニーズもでてきている。そこで本研究では、着棧操船を念頭に置き目標地点へ任意の姿勢で停船させる自動制御システムの開発を行った。本システムでは、操縦性能の限界となる最短時間操船を操縦運動モデルから数値的に導出し、誘導時の目標値に設定した。そして、トラッキング制御によりこの目標値を追従する制御系を構成した。

操縦運動モデルから導出した最短時間定点停止操船を、実船に適用する場合、速力低減の問題から停船点付近での制御が困難となる。そこで停船操船を停船点手前まで誘導しながら減速するアプローチフェーズと停船点付近での姿勢制御と停止を行うパーシングフェーズに分割し、パーシングフェーズ開始点における速度を任意に設定する事により実船での制御が可能な数値解を導出した。

実船誘導システムでは、最短時間定点停止操船の軌跡上にウェイポイントを設定し、各ウェイポイント上を最短時間操船時の速度で通過するルートトラッキング制御を行う。そこで、最短時間定点停止操船解から抽出したウェイポイントとウェイポイント上の目標方位および目標速度を出力するサブシステムと、ウェイポイントに目標速度で到達するための指令方位と指令速度を出力するサブシステムと、指令方位および指令速度と本船の状態から舵角、バウスタスタ翼角、CPPピッチ角の制御値を出力するフィードバックコントローラーの3つのサブシステムを構成した。

実船実験の結果、図に示す通り、目標ルートに沿った制御結果を得ることができ、本研究で提案した手法と制御システムが有効であることが確認できた。

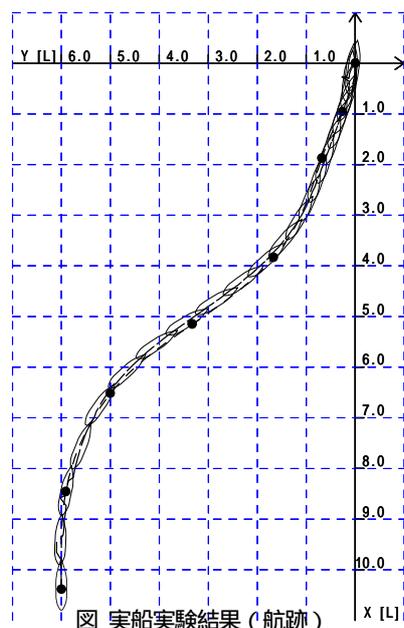


図 実船実験結果 (航跡)

特集「大深度重作業技術」1・サルベージ
1.4 具体例その3「えひめ丸」の引き揚げ

Deep Water Heavy Work Technology
Salvage Examle-3 Recovery of Ehime Maru
竹本博安
平成 14 年 5 月

日本造船学会誌 Techno Marine 2002 年 5 月号 867 巻

筆者は、米海軍の引き揚げの技術的検討の段階では、技術協力のために日本政府が派遣した専門家ミッションの一員として、引き揚げの検討に参加し、また、米海軍の「えひめ丸引き揚げプロジェクト」に関しては、日本政府派遣のオブザーバとして現場海域での引き揚げ作業に参加した。この間に検討、あるいは見聞した「えひめ丸」引き揚げの技術的側面について概要を報告する。

漁業練習船えひめ丸は、昨年 2 月に米海軍原潜 Green Ville と衝突、沈没した。2 月下旬に米海軍は 9 名の行方不明者捜索のために、「えひめ丸」引き揚げの技術的検討を開始した。600 m の深海から約 700ton の船体を引き揚げる作業は、過去に例のないものである。3 月中旬、米海軍は、「えひめ丸」引き揚げの環境影響評価が必要であるが、引き揚げは技術的に可能であると発表した。この後、6 月中旬の環境評価の結論を経て、引き揚げの準備が進められ、8 月上旬から現場海域での作業が始まった。海底の「えひめ丸」の船底に lifting plate を取り付ける作業がもっとも難しく、作業は困難を極めた。様々な方法を試みた末、作業開始から 2 ヶ月後この作業に成功し、10 月中旬「えひめ丸」は 600 m の深海から約 45 m の浅海に引き揚げられた。

並進運動に伴う球形液滴周りの減圧挙動に対する微小慣性の影響 (第 1 報、外部展開の影響とレイノルズ数擾動成分に関する理論解析)

Small Inertia Effect on Depressurization Behavior due to Translational Motion of Spherical Drop (1st Report, Theoretical Analysis of Outer Expansion Effect and Perturbed Component of Reynolds Number)
杉山和靖、高木 周、松本洋一郎

平成 14 年 5 月

日本機械学会論文集 B 編 68 巻 669 号

気泡・液滴・固体粒子が並進運動することによって、界面上で平均化された圧力は無限遠における圧力よりも低くなる。この並進運動に伴う減圧は、「並進減圧」と呼ばれ、気泡間の相互作用に対して重要である。多体問題では、個々の気泡の並進運動に伴い、気泡の周囲に圧力の分布が生じ、他の気泡の運動がその圧力分布の影響を受けるが、そのような圧力分布は、抗力・揚力だけではなく、並進減圧にも起因するためである。

レイノルズ数 Re が微小である条件では、揚力や並進減圧は抗力に比べて小さいと言えるが、例えば微小な気泡を含む管内上昇流では、抗力に比べて十分に小さな力である揚力が気泡分布に影響を及ぼし、揚力は流れの構造を決める要因として重要である。並進減圧も揚力と同程度の影響があり、その値を評価することは低 Re における揚力の評価と同様、重要であると考えられる。

本研究では、並進減圧を流体の密度と並進速度で無次元化して並進減圧係数 C_{TDP} を定義し、 Re が微小である条件の下、接合漸近展開法によって、 $Re^2 \log Re$ のオーダーまで考慮して並進減圧係数を求めた。その結果、 C_{TDP} に対する $O(Re^0)$ (リーディングオーダー)、 $O(Re^1)$ の成分には、内部展開領域の影響のみが寄与し、外部展開領域の影響は寄与しないのに対し、 $O(Re^2 \log Re)$ の成分には外部展開領域の影響が寄与することがわかった。また、連続相の粘性係数 μ_f 、分散相の粘性係数 μ_p を用いて、 C_{TDP} を以下のように導出した。

$$C_{TDP} = \frac{4\mu_f^2 + 6\mu_f\mu_p + 3\mu_p^2}{48(\mu_f + \mu_p)^2} + \frac{8\mu_f^3 + 24\mu_f^2\mu_p + 24\mu_f\mu_p^2 + 9\mu_p^3}{384(\mu_f + \mu_p)^3} Re + \frac{48\mu_f^4 + 232\mu_f^3\mu_p + 416\mu_f^2\mu_p^2 + 330\mu_f\mu_p^3 + 99\mu_p^4}{3840(\mu_f + \mu_p)^4} \times Re^2 \log Re + O(Re^2).$$

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
藁田和之、岩田知明、松岡一祥
平成14年5月

軽金属溶接構造協会第32回研究発表会講演概要

船体構造にアルミニウム合金加工硬化材 5083-H321 を適用する場合に必要な突合せ溶接継手の設計耐力指針を提案することを目的として、軽金属溶接構造協会 SOD 委員会 (委員長: 阪大富田康光教授) において共同研究を実施した。ここで得られた成果を中心に、過去に実施された船舶用軽金属委員会等の主要共同研究及び委員各社保有の技術資料を加えて解析した結果を述べる。

これらの供試材料は 5083-H321 若しくはこれと同等材で (板厚 T: 4, 6, 8, 及び 12mm) 溶加材 5183 を用いて MIG 及び TIG 溶接により実用範囲で種々の溶接条件が選定されており、さらに引張試験における標点距離 (GL) を 50, 75, 100, 150, 及び 200mm に変化させて継手耐力を測定、得られた結果を [溶接入熱 Q / 板厚 T · 標点距離 GL] と継手耐力の関係で整理考察した。

これらの試験結果は造船におけるアルミニウム溶接品質管理、品質保証とリンクして $Q/T \cdot GL$ と継手耐力の関係から設計耐力を評価できることを示した。また、造船工作における溶接ひずみ取りなど熱加工と設計耐力との関連について付帯事項として考察した。

メタンハイドレートペレットの自己保存性試験

Experiments on self preservation effect of
methane hydrate pellets

疋田賢次郎、岩崎 徹、太田 進
平成14年9月
日本航海学会論文集 第107号

天然ガスハイドレートペレット (NGHP) は様々な規模のガス田から天然ガスを輸送する手段になり得ると考えられる。そのため、運輸施設整備事業団の委託により、三年計画で研究を実施している。この研究における重要な課題の一つは NGHP の自己保存性の評価である。

ガスハイドレートとは、籠状の構造を有する水分子内に気体の分子が取り込まれたものである。天然ガスのハイドレート化による輸送の成否は、自己保存性によるが、そのメカニズムについては、未だ不明な点が多い。例えば Stem らは、ハイドレートの分解速度と温度の関係について実験を行い、約 25 近傍と約 5 近傍の狭い範囲で分解速度が大幅に低下するとの結果を得ている。

本研究は、NGHP の海上輸送の見通しを得るため、NGHP に近い性質を有すると考えられるメタンハイドレートペレットの自己保存性及びその温度依存性を確認することを目的とする。そのため、三井造船 (株) が NGHP の大量生産の研究用に製作した装置で製造したメタンハイドレートペレットを用いて、分解速度の実験を行い、以下の結論が得られた。

- (1) 3 週間程度の期間が経過しても、実験に用いた試料では、 -20 の場合、約 5% しか分解しなかった。よって、自己保存性の観点からは、NGHP の海上輸送は実現の可能性があると考えられる。
- (2) Stem らが指摘したような自己保存性の複雑な温度依存性は、本実験では観察されなかった。

メタンハイドレートの自己保存性の評価には、さらに精度の高い実験が必要であり、今後の課題である。

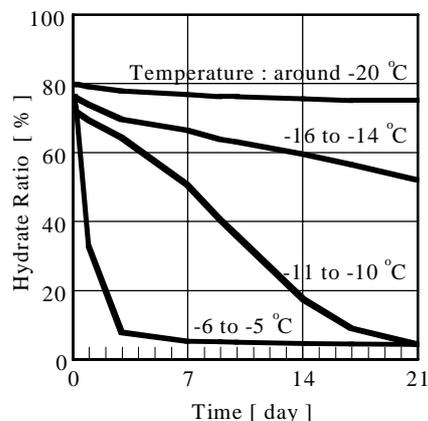


図 ハイドレート化率の経時変化

船舶まわりの流れ解析と可視化

Analysis and Visualization of Flows about
a Ship

平田信行

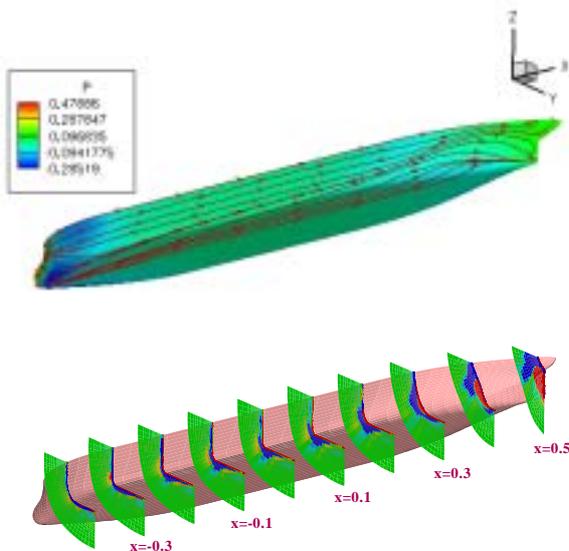
平成 14 年 7 月

土木学会誌 2002 年 7 月号

ここ十年の計算機の性能向上と CFD (計算流体力学) の発展により、CFD 解析は種々の流体機器の設計に必要な不可欠な実用ツールになってきた。船型を設計する現場においても、船のまわりの流れやその積分量である抵抗、横力等を求めるため、CFD による流体解析を日常的に使用しつつあり、船型改良に対する定量的な議論を可能にしている。しかしながら、CFD の計算結果として出力されるのは、格子点座標とそこでの圧力、速度といった物理量に過ぎず、流れを容易に理解するためには、これらの膨大な数値データを基に等高線やベクトル図を描くなどの適切な後処理を施すことが重要である。

本稿では、船型の改良や設計に必要な数値計算における流れの可視化例として、船舶に特有な問題である、プロペラ面に流入する船体から剥離した縦渦と船の造る波の様子を紹介した。また、一般の方に船型と抵抗との関係を理解してもらうために、当所では CAD / CFD / レース表示で構成されるソフトウェア「パーチャルポートレース」を開発し、これまで、一般公開を含めいくつかのイベントで設計コンペを実施している。このレース表示も紹介し、船舶分野における流れの可視化の重要性を示した。

なお、本稿は、土木学会誌の特集企画「コンピュータ・グラフィックス(CG)の活用」の一つとして掲載されるものである。



図：肥大船まわりの流れの様子 (上：限界流線と船体表面圧力、下：主流方向の渦度成分)

遺伝的アルゴリズムと勾配法との性能比較

- 船型の全抵抗最小化問題への適用 -

Compariosn of Genetic Algorithm and
Gradient-based Method

- Application of Ship Drag Minimization -

平田信行

平成 14 年 3 月

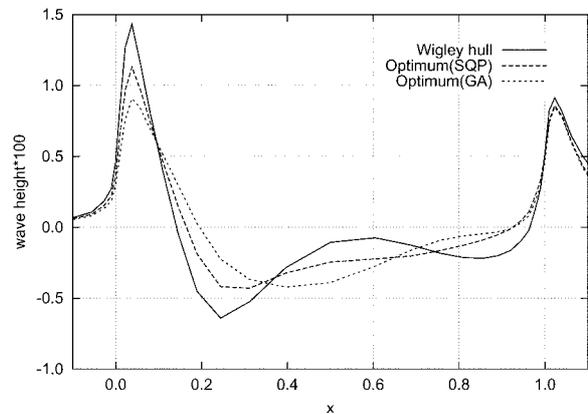
九大応力研究集会報告

「移動境界とその周りの流れ解析」

近年、CFD による形状最適化が盛んに行われるようになってきたが、現状では CFD の計算負荷は大きいため、最適解の善し悪しと最適解に到る時間の 2 点から optimizer を選択する必要がある。

本研究では、船の全抵抗の最小化問題に対して、簡単な CAD、高効率な NS ソルバー (NEPTUNE コード) と optimizer (勾配法・遺伝的アルゴリズム (GA)) を組合せた船型設計システムを開発し、本システムを用いて 2 種類の optimizer に関する性能比較を行った。なお、勾配法では、感度係数を差分法により求め、非線形最適化手法としては SQP を用いた。また、GA には、再初期化を繰り返すことにより、小さい集団数で早い収束を有する micro-GA を用いた。

対象とする船型は、wigley 船型のようにフレームラインは放物線で、水線面形状は 4 点のコントロールポイントで決定するベジェ曲線で表現した数式船型とし、排水量一定の条件を課した。レイノルズ数を固定し、フルード数を変えて抵抗最小化を行った結果、全てのフルード数において、CFD の計算回数はほぼ同程度だが、GA の方が勾配法に比べて大きな抵抗低減を得た。一例として、レイノルズ数が 1×10^6 、フルード数が 0.289 の時、GA の結果は、下図に示すように勾配法や wigley 船型に比べて造波が小さくなっており、全抵抗も wigley 船型と比べて勾配法は 8.6% 減、GA は 11.8% 減となっている。これより、今回用いた GA は勾配法に比べて、ほぼ同程度の効率で、より大域的な最適解を探索することが可能であることが示された。今後は、さらに実用的な船型に対して本 GA を適用する予定である。



図：勾配法と GA の船側波形の比較

一様流中の円柱周りの減圧挙動に対する微小慣性の影響

Small Inertia Effect on Depressurization Behavior of Circular Cylinder in Uniform Flow

杉山和靖、高木 周、松本洋一郎

平成14年7月

日本機械学会論文集 B編 68巻 671号

気泡・液滴・固体粒子が並進運動することによって、界面上で平均化された圧力は無限遠における圧力よりも低くなる。この並進運動に伴う減圧は、「並進減圧」と呼ばれる。混相流の数値予測では、二流体モデルのような平均化方程式を用いた解析が主流であるが、混相流体としての応力を記述する構成方程式を定式化する上で、並進減圧の評価手法の高度化が求められている。そのためには、まず、理論解析可能な微小レイノルズ数の条件で解析を行い、その理論が適用可能なレイノルズ数の範囲や形状の違いによる近傍場・遠方場での並進減圧の寄与の仕方の違いを明らかにすることが重要である。

著者らは、これまでに、並進減圧を流体の密度と並進速度で無次元化して並進減圧係数 C_{TDP} を定義し、直接数値シミュレーション (DNS) や理論解析によって「球形」液滴に対する C_{TDP} のレイノルズ数 (Re) や流体・粒子粘性比に対する依存性を調べてきた。本報では、微小 Re の「円柱」周りの流れ場を対象とした理論解析と DNS を行い、 C_{TDP} に対する形状の影響を調べた。

はじめに、接合漸近展開法による理論解析を行い、円柱の C_{TDP} を以下のように求めた。

$$C_{TDP} = \frac{-(\log Re)/2 + 0.259\dots + o(Re^0)}{(\log(8/Re) - \gamma + 1/2)^2},$$

ここで、 γ は Euler の定数 (0.57721...) である。理論解析より、円柱の C_{TDP} のリーディング項は、外部展開領域の速度場によって求まり、外部展開領域の速度場が C_{TDP} のリーディング項に寄与しない球形液滴の場合と異なることがわかった。また、 Re が 0 の極限では、球形液滴の C_{TDP} は有限値へと漸近するのに対して、円柱の C_{TDP} は 0 になることがわかった。

次に DNS を行い、 C_{TDP} の理論解の検証を行った。まず、 C_{TDP} に対する Re 依存性を調べるために必要な計算領域の大きさを決定するため、抗力係数の計算領域依存性を調べ、 $Re=0.1$ 程度では、計算領域の遠方境界の半径が円柱半径の 10^4 倍程度であれば十分であることを確認した。また、DNS の結果が、抗力係数の Re 依存性を、よく再現できることを確認した。そして、 C_{TDP} と Re の関係や C_{TDP} と関連のある圧力の 0 次モード p_0 の分布を調べ、 Re が十分に小さい場合において DNS 結果と理論解がよく一致することから、本理論の妥当性を確認した。また、微小 Re を仮定した本理論の適用限界について調べた。 $Re \rightarrow 0(1)$ では外部展開領域と内部展開領域での p_0 の理論解が分離してしまうため、 C_{TDP} の理論解の Re 依存性は DNS 結果と異なる傾向を示すことがわかった。

FRP製救命艇のCO₂排出に関するLCI分析Life Cycle Inventory Analysis on CO₂ Emission from FRP Lifeboat

櫻井昭男、小野正夫、東 登

平成14年9月

47th FRP CON-EX 2002 講演要旨集

近年、地球環境への関心が高まるにつれ、FRP製品の廃棄やリサイクル性に対する問題がクローズアップされている。救命艇においても主要構造材にFRPを多用していることからその例外ではなく、全ライフサイクルを通じた環境負荷を評価し、改善することが求められている。本研究ではその手がかりとして、FRP製の救命艇の製造における環境負荷の概略を把握するために、現在製造が続けられている救命艇の製造の実績値に基づいてインベントリ分析を実施した。

対象とした救命艇は、全長5.4m、25人乗りのもので、全閉囲型救命艇 (TR艇) と耐火救命艇 (FR艇) である。

救命艇のライフサイクルにはFRP資材、主機関の部品及び電力、燃料等のエネルギーの生産に加え、救命艇の製造、使用及び解体並びにリサイクル等のステージが含まれる。しかし、本解析では救命艇の製造のみを解析の対象とし、救命艇の使用、解体及びリサイクルはシステムの対象外とした。解析の対象とした環境負荷項目はCO₂である。また参考として、石炭、原油、天然ガス、水、原木、鉄鉱石、ガラス原料等の消費資源の消費及びスチレンモノマー、固形廃棄物、鉄スクラップ、アルミスクラップ等の排出物を考慮する。解析は製造のプロセスフローに基づいてプロセス行列を作成し、行列法により実施した。

その結果、救命艇の建造に関するCO₂排出量はTR艇が6,199(kg)、FR艇が7,132(kg)であった。TR艇では、ガラス繊維の生産に係わるCO₂排出量が全体の約30%、工場での建造作業 (重油の燃焼) と電力の製造が約15%、鋼材及び樹脂の製造が約14%を占めた。またFR艇では、ガラス繊維の生産に係わるCO₂排出量が全体の約26%、工場での建造作業 (重油の燃焼) と電力及び鋼材の製造が16~17%、樹脂の製造が約11%を占めた。なお、部品の製造プロセスを素材の重量のみ考慮したため、CO₂排出は主として電力の製造等のエネルギー及び素材の製造に関するプロセスから排出される結果となっている。

Inspection Method for Identification of TBT-containing Antifouling Paints

TBT を含む防汚塗料の検査方法
千田哲也、宮田 修、木原 洸、山田康治郎
平成 14 年 7 月

11th International Congress on Marine Corrosion
and Biofouling (Marine 2002)

防汚塗料への有機スズ化合物の使用を禁止する条約が採択されたが、その実効性を確保するためには、船舶の防汚塗料中の防汚物質を検査する方法が必要とされている。そこで、船舶検査又はPSCの現場において、塗膜サンプルの採取とスズ元素を対象とする1次試験を行い、スズが検出された際は、ガスクロマトグラフ質量分析法による2次試験を分析専門機関で行う検査方法を提案する。

船体からのサンプルの採取方法は、船体に重大な損傷を与えず、容易で作業員間の差が小さい方法である必要がある。試作したサンプリング装置は、直径約10mm程度のディスクの表面に研磨紙を貼付し、塗装面上に押しつけてモータで回転させて、船体表面から塗料断片を削り取る方式である。実船において試験したところ、分析に十分な量を採取した場合の塗装面の損傷は、表面から20 μ m以下であった。

1次試験では、蛍光X線分析によりスズ元素の含有を検証する。この場合、サンプルの採取厚さの影響を受けにくいスズL α 線を対象とする。このため、エネルギー分解能が高くかつ液体窒素等を必要としないエネルギー分散方式のSDD型X線検出器を採用した。スズ元素が存在しない場合は有機スズ化合物が存在しないことは明らかである。適当な判定基準値を決めれば、禁止物質以外のスズ化合物を識別して実質上禁止物質を検査現場で即時に判定することもできる。本研究では、検査専用ソフトウェアを開発した。これにより、分析専門家ではない船舶検査官でも容易に操作・判定が可能である。

スズが検出された場合は、必要に応じてガスクロマトグラフ質量法による2次検査を実施することにより科学的に厳密な判定も可能である。2次試験方法の確立のためには、試料の前処理方法、詳細な分析手順、結果の判定基準等の検討が必要である。

トライボマテリアルとしてのセラミックス

Ceramics as a Tribo-Material

千田哲也

平成 14 年 8 月

月刊トライボロジ 2002 年 8 月号

トライボロジー材料としてのセラミックスの現状と展望を解説した。セラミックスは、1980年代の新素材ブームのなかで注目され、1990年代に入り高性能の実用品が市場に登場しはじめた。トライボロジー特性としては、軽荷重の場合に無潤滑で比摩耗量が 10^{-6} mm³/(Nm)以下となる優れた特徴を示す。これは表面吸着物や反応生成物による潤滑効果とされるが、水環境下では、反応生成物が水に適度の粘性を与え、良好な潤滑剤となるというユニークな特徴をもつ。

構造用セラミックスを代表する窒化ケイ素は、転がり軸受に応用される。軽量で高剛性という特徴から工作機械の主軸のほか、高精度と高速回転が要求されるハードディスクドライブや耐食性の必要な水ポンプの軸受に適用された。ディーゼルエンジンでは、排ガス再循環システム等の開発に伴い潤滑油の劣化等による摩耗が問題となり、摺動部に窒化ケイ素が適用された。潤滑油の吸着特性を改善するために鉄系の化合物を分散させた窒化ケイ素系材料も開発されている。

炭化ケイ素は、自動車の冷却水ポンプ等の回転軸に用いられるメカニカルシールに応用されている。耐摩耗性のほか耐食性、耐熱性、高熱伝導性及び水との反応生成物形成等で、炭化ケイ素が安定した性能を発揮する。

アルミナのマイルド摩耗は、同種材料の大気中無潤滑での摺動だけでなく、800以上の高温でもみられる特異な材料である。半導体製造用電子ビーム露光装置の超音波モータ駆動X-Yステージの摩擦駆動部に、精度向上と小型化のために、高い摩擦係数と優れた耐摩耗性を示すアルミナが応用されている。

トライボロジー分野では、セラミックスはすでに大きな市場を形成しつつあるが、期待された高温雰囲気やエロージョン条件下等の過酷な条件での実用化はこれからである。また、摩擦摩耗現象の地道な解明、トライボロジー特性の評価方法の確立、複合セラミックスのトライボロジー等が今後の研究課題である。

An Experimental Study of Breaking Wave on
Current by Wave Profile Visualization
流れを遡る砕波の波形可視化による実験的研究

富田 宏、Pierre Bonmarin
平成 14 年 8 月

Proceedings of ISFV10(10th International
Symposium on Flow Visualization)

外洋域における砕波現象は船舶・海洋構造物等に対して危険な存在であるにもかかわらずその実態は依然として明らかにされていない。殊に強力な海流ないし潮流の卓越する海域ではこの様な波浪の生成によって海難事故の多いことが知られている。本研究ではマルセイユ第 2 大学の大型回流風波実験水槽を利用して波浪の空間波形の可視化手法を開発し、静水中での波形変化の様子についてビデオ装置を用いて観測し、画像処理によってその幾何学的ならびに運動学的な性質を調べた。砕波の発生は規則波列に生じる非線形変調不安定 (Benjamin-Feir) によるものを採用した。この方法ではエネルギー収束法による過渡的現象に比べて自然に近い砕波が観察されるが、その形状は様々なものとなる。ここではそのうち最も興味深い Plunging Breaker (巻き波砕波) のみを取り上げてその性質を統計的に調べ、また個々の波形についても時空変化を計測した。

計測項目は波形のパラメーターとしてまとめることとし、砕波直前の限界波形勾配の他に

1. Crest Front Steepness
2. Crest Rear Steepness
3. Crest Vertical Asymmetry
4. Crest Horizontal Asymmetry

の砕波時およびその前後での値を求め、砕波時に特有に見られる波形の非対称性の発展経過を明らかにした。

また上記の各種パラメーター変化を説明するための簡単な幾何学的砕波モデルを提案した。このモデルは波形の変曲点に注目したものであり、結果は統計的計測値ばかりでなく砕波直前の強い非対称性を持つ波形をも再現することが出来た。

次に水槽中にやや強い流れを起こし、その中での上記パラメーター等の受ける影響を調べた。反流の流速は波の位相速度の 10% 程度で所謂 Stopping Velocity の 25% に比較すると小さいが現実の海流と考えれば妥当な値である。この反流による効果は

- 1) 限界波形勾配の減少
- 2) Crest Front Steepness の顕著な増大

という結果をもたらしたが、予期に反して他のパラメーターには大きな影響を与えないことが分かった。

巻き波が水面に突入した後の表面の様子をビデオにより詳細に捉えることが出来た。最初の空気巻き込みはその全面に同程度か更に大きな巻き込みを生成するが、これは突入する水塊の跳ね水ではないと思われる。

Ship-Based Sea Ice Observations in Lützow-
Holm Bay, East Antarctica

東南極リュツォホルム湾における船上での
海水観測について

宇都正太郎、下田春人、泉山 耕
平成 14 年 12 月

Proceeding of the 16th International
IAHR Symposium on Ice

2000 年 12 月から 2001 年 2 月にかけて、第 42 次日本南極地域観測隊夏隊の観測プロジェクトの一環として、南極リュツォホルム湾において船上海水観測を行った。ここではリュツォホルム湾に発達する定着氷の厚さに焦点を絞って報告する。海水の厚さは当該海域における海水の成長及び融解過程を研究する際に必要不可欠な基本的情報であるとともに、南極観測船「しらせ」の運航に大きな影響を及ぼす。しかしながら観測の困難さ故に、従来はほとんど観測データがなかった。

本研究では小型の電磁誘導センサを南極観測船「しらせ」に搭載し、積雪を含む氷の厚さを計測した。また鉛直下向きビデオカメラによって氷厚及び積雪深を計測した。さらに「しらせ」船上からの目視観測によって毎正時に海水の厚さを含む全体の氷況を観測した。なお目視観測は南極研究科学委員会 (SCAR) による ASPeCt プログラムで提案された手法に従って実施した。予備的な解析を実施した結果、以下の結論を得た。

- 1) 電磁誘導法はリュツォホルム湾に発達する定着氷の観測に有効であることがわかった。観測精度を高めるためには現地でセンサのキャリブレーションデータを蓄積する必要がある。
- 2) 目視観測の結果から、夏の融解期において積雪の消耗が著しいが、氷厚の変化は少ないことがわかった。積雪が断熱層としての機能を果たした結果であると考えられる。

- 3) 電磁誘導法による観測結果から、氷の厚さ分布に明確な不連続があることがわかった。これは過去の海水の流出・成長の過程を反映したものと考えられる。

本観測は 43 次隊夏隊 (2001-2002) で既に実施され、44 次隊夏隊でも予定されている。観測データの蓄積によって、今後リュツォホルム湾定着氷の厚さが変動するメカニズムの解明や、南極観測船の運航等に大きな貢献ができると考えられる。

実船における曳航時の索強度

Towline Strength during Towing of Patrol
Boat

山川賢次、原 正一、星野邦弘、湯川和浩、
正野崎稔、馬淵 巖、首藤洋一、守谷敏之、
小松正博

平成 14 年 9 月

資源・素材関係学協会合同秋季大会 2002 (熊本) で講演

平成 9 年 1 月、荒天下の日本海でロシア船籍の油タンカー「ナホトカ号」の海難事故が発生した。この海難は船体が折損・分離して船尾部が沈没し、船首部は積荷の重油を流出しながら海岸に漂着した。「ナホトカ号」からの重油の流出量は、約 6200kl と推定され、1 府 9 県にわたって日本海沿岸を汚染し、わが国最大規模の海洋汚染事故となった。日本近海は油タンカーの輻輳海域であり、今後もこのような海難事故が再び発生する可能性は低いと考えられる。

不幸にしてこうした海難事故が発生した場合には、

- 1) 損傷船舶及び流出油の拡散・漂流の予測
- 2) 損傷船舶の漂流防止 (曳航)
- 3) 流出油の回収

を迅速に実施することが肝要である。本研究は、このような観点から曳航技術の向上をめざして「荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究」の下に、漂流運動の研究、最適曳航法の実施中である。この研究の一環として、巡視船による曳航実験を実施した。この実験では救難曳航を前提として、船首部を損傷して船首部からの曳航が困難な状態を想定して、被曳船の船尾部から曳航索を引き出す船尾曳航を主に実施した。この実験では、曳航索が切断するという経験をしたので、実験時の曳航索切断に至る経過と切断原因について考察した。

その結果、次のようにまとめられる。

- 1) 今回の曳航実験における曳航索の切断は、被曳船の船尾曳航索繰出部端部のエッジによる摩滅によるものと考えられる。
- 2) 曳航索取付け部の選定にあたって、曳航時の船体の姿勢で索の接触する可能性のある船体部材には、曳航索径の 5 倍以上の曲率半径をもつ防護材による養生が必要である。

Reliability Inducements for Dynamic Systems by GO-FLOW and ATRD Methods

GO-FLOW および ATRD 手法による

動的システムの信頼性解析

Gueorgui Petkov、松岡 猛

平成 14 年 10 月 8 日

2002 年 確率論的安全評価に関する国際学会(PSA02)

従来から動的システムの信頼性解析は伝統的なイベント・ツリー、フォールト・ツリーを拡張した種々の解析手法により試みられてきた。それぞれの背景・考え方、モデル化技法、解析手順は種々異なっているが、目的とするところは共通である。

それ故、それらの手法を同一の解析対象に適用し結果を比較することにより、手法の欠点、定式化の一般的規則、今後の改善の方向性が見えてくる。

本論では、GO-FLOW 手法と ATRD 手法(Dr. Petkov により開発された手法)を動的システムの信頼性解析に適用した。解析により単に手法の主要な特徴、実用性、有用性がわかるだけでなく、マンマシン系のモデル化、動的システムの表現方法のシステムティックな理解や、信頼度と制御指標の統合にも帰納的なアプローチで役立てられる。

論文においては、まず動的システムを概観し、次に GO-FLOW 手法についてのやや詳細な紹介がなされている。さらに、Dr. Petkov により開発された ATRD(Analysis of Topological Reliability of Digraphs) の解説がなされている。その後、動的システムの信頼性解析方法の概要が原理的な面にまでさかのぼりなされている。

本論で解析対象とした系(ホールドアップタンク問題)の動作条件が説明され、GO-FLOW、ATRD による解析手順が述べられている。解析の結果、GO-FLOW では ATRD に比較してより厳密解に近い値が得られた。また両方法とも複雑な物理課程、人間行動を含んだシナリオの定量的評価に適用可能であることがわかった。また、セミ・マルコフ法によるアプローチはホールドアップタンク問題には適しているが、心理プロセスの含まれた状況の解析にはやや困難が伴う。

本報告はソフィア工科大学の Dr. Petkov が短期外来研究者として海上技術安全研究所に滞在した時の研究成果である。

Event Tree Analysis of Ship Collision Accident

イベントツリー手法による船舶衝突事故の解析

松岡 猛、福戸淳司、三友信夫、金湖富士夫、

太田 進、宮本 武

平成 14 年 10 月 7 日

2002 年 確率論的安全評価に関する国際学会(PSA02)

船舶衝突事故発生頻度のイベント・ツリー(ET)による算出方法についての米国原子力学会主催の確率論的安全評価国際集會での発表である。本集會は主として原子力分野の解析が主であるが、確率論的評価の船舶分野への応用結果について報告し異なった分野間の情報交換を実施してきた。

船舶分野の確率論的安全評価としては IMO・MSC(Ma-ritime 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、海上技術安全研究所では、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。

海技研で実施した衝突事故発生頻度評価は以下の手順に沿って行った。まず、衝突事故の発生状況を海難審判庁の報告書、審判裁決録等を参照して検討し衝突事故を引き起こす要因を調べ上げた。この結果をもとに衝突事故発生に至る筋道を一般化してモデル化し、ET 形式で表現した。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(ベシクイベント)の発生確率を与え FT の頂上事象発生確率を求めた。機器故障発生確率は長年、国土交通省海事局・海技研で整備してきた船舶信頼性データベース(SRIC)を用いて評価した。

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、船舶衝突事故発生頻度を評価した。

さらに、衝突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。航行支援装置、AIS、ECDIS、安全教育等が効果的な RCO であると評価された。

今後は機関室火災、座礁・乗り揚げ、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。また、開発・整備した評価手法・データベースを用いて個別のテーマについての評価をタイムリーに実施していく。

Phone for Reducing Number of Dead or Missing People in Maritime Accidents

海難事故における遭難者数減少に及ぼす携帯電話の効果の評価

三友信夫、松岡 猛、岡崎忠胤

平成 14 年 10 月

International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment

海難事故における通信装置の役割は緊急時の連絡手段という点からも重要なものであり、連絡手段無くして救助は困難である。しかしながら、漁船、プレジャーボート等といった通信装置の義務付けられていない小型船舶もある。これらの船舶では、海難発生時には通信手段が無い場合が考えられ、限定沿海等航行範囲が限られているような場合でも海難発生時における対応策の少なさから危険性は大きなものがある。

一方、ここ数年来携帯電話の普及は通話エリアの拡大も含めさまざまに、またその機能も年々向上している。普及率も 50% を超え、現在では 2 人に 1 人が所有していることになる。

ここでは、海難事故時における携帯電話の有効性を検討するために、事故発生から通報により関知されるまでのシナリオを考え、イベント・ツリー(以下 ET とする)を用い評価を行った。

海難事故発生時からその海難遭遇者による連絡、そして海上保安庁の救助に至るまでの基本的な流れを取り上げ、海難事故の結果として死亡行方不明者(以下、死亡者とする)の発生数を検討し、携帯電話の海難事故における有効性を評価した。対象海難としては、時間的な余裕がある程度あり、携帯電話の有効性が認められるものとして、転覆・火災・浸水とした。

評価の結果、ET の解析結果と実際の死亡者数の傾向の一致が得られた。また、全員携帯電話を所持した場合の死亡者数は、11 年間の平均で 40% の減少が示され、携帯電話を所持する優位性が得られた。

ハイドレートの不思議な性質(未知物性の宝庫)

Mysterious Nature of Hydrate
(Mine of Unknown Properties)

綾 威雄

平成 14 年 9 月

混相流 16 巻 3 号

マスコミなどでは、ハイドレートの性状をシャーベット状と表現することが多い。水との混合物は確かにその様に見えるが、ハイドレートそのものは氷に似ている。そのため、1811 年にハイドレートを発見した英国の Davy 卿は、「塩素水は、凝固点降下の原理に合わず、清水より高温で氷る」と主張した。1823 年に Faraday により、それがハイドレートであると認定された。それからの 1 世紀余りは、ハイドレートを生成するゲスト分子の特定とその組成に関心が集まり、ハイドレート研究の基礎が築かれた。

歴史的には、ハイドレート相平衡図を求めることが大きな目標であったことから、筆者が 1990 年に二酸化炭素海洋隔離研究を始めた頃には、工業的に重要な時間項の含まれる物性値データがほとんどない状況であった。以来、広範な圧力・温度範囲における精緻な相平衡図を求める努力とともに、時間項の含まれる物性値も調べられるようになった。その結果、ハイドレートには従来理論からは予測しがたい性質のあることが次々に明らかになってきた。特異性が広い範囲に亘っており、未発見の現象もあると思われ、まさに未知物性の宝庫といえる。

特異性の具体例として、二酸化炭素ハイドレートの研究を通して観察された、「溶解度の 2 元性」、「ゲスト分子とホスト分子の境界に生成する膜状ハイドレートの 2 種類の強度異常」、「ハイドレートの形態が動的生成と静的生成とで大きく異なること」、「ストレスに伴うハイドレート膜の再生」など、混相流として捉えた場合の諸現象を写真を多用し、紹介している。

天然ガスの輸送パイプライン閉塞回避という工学的目的に始まった近年のハイドレート研究は、海底下に大量に眠るメタンハイドレート採掘や CO₂ の海洋貯留といったトピックス的な技術への応用だけでなく、メタンハイドレート輸送船、ハイドレート化ガス貯蔵、氷点より高温での蓄熱や海水からの造水といった広範な工業分野へも広がりつつある。さらには、彗星のような低温天体は、氷よりもむしろガスハイドレートで覆われているとの説が現れ、自然界理解へもさらに深い関わりを持つようになってきている。

未だに不思議な物性の宝庫であるハイドレートには、想像もできないような素晴らしい応用分野が隠れているに違いない。そのような宝を探し当てるには、これまでも増して、工学的な立場からの研究が重要となる。

Response to the Disabled Ships in Rough Seas

荒天下における航行不能船舶への対応

原 正一、星野邦弘、山川賢次、湯川和浩、
谷澤克治、上野道雄、南真紀子、桐谷伸夫

平成 14 年 3 月 15 日

Proceedings of the conference towards safer and
cleaner seas

緊急曳航法は、座礁や衝突などの 2 次災害を引き起こす可能性を有する航行不能船舶に対応するために通常用いられる手法である。まず、とるべき初動対策は索取りであり、乗員が船上の場合は比較的容易であるが、ナホトカ号のように船体が折損・転覆したり乗員がすでに船に残っていない場合には極端に困難となる。特に、そのような船を曳航するために必要な力を予測することは極端に難しく、数値計算よりは実験的なデータが必要となる。本報告では、最適な曳航を行うための支援システムの概要と、緊急曳航における実際的な運用を想定した安全な曳航のための技術的指針とする研究を紹介する。

海上技術安全研究所は、1998 年度から 2002 年度までの 5 年計画で荒天下における航行不能船舶の漂流防止に関する研究を実施している。海上保安庁、大学、民間サルヴェージ会社、ロープ会社をメンバーとする曳航技術研究員会を組織し、曳航技術に関連した以下の主な研究課題に取り組んでいる。

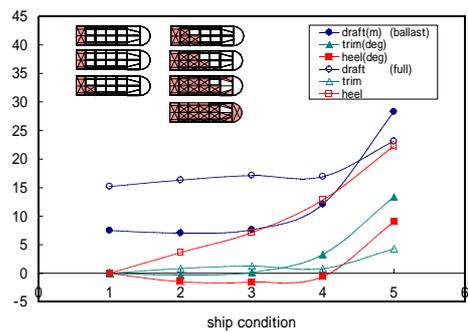
(1) 漂流運動の研究：漂流運動の推定と漂流抵抗の推定手法の検討。ナホトカ号のような船首折損船体の漂流模型実験を実施し、漂流時の安定姿勢等について検討した。

(2) 索取り法の研究：ドライビットを使用した曳航ブラケット試験片を製作し、強度試験を実施した。その結果、最大で 14.7tf の曳航力に耐えることがわかり、曳航方法とあわせてその利用法の提案を行った。

(3) 最適曳航法の研究：船首折損船体を想定し、操船シミュレーションを実施して、曳航索張力、ふれまわり幅、曳航馬力を求めた。これによれば、ふれまわり幅が極端に小さくなる波向きが存在し曳航可能な波向きの範囲を知ることができる。

(4) 最適曳航支援システムの研究：最適曳航支援システムの流れを示し、その技術要素を紹介した。また、15 万トンタンカーを例にとり、折損したタンカーのタンク内に連続して浸水する場合の浸水シミュレーション計算結果を示した。

Ship status on fore part residual condition (Ballast & full)



折損タンカーの浸水シミュレーション