

### 第3章 整理期（昭和52～63年度）

石油危機の後、造船界は10年以上にわたる長期の不況期に入った。我が国の造船業は優れた建造技術と納期の速さで世界の造船業をリードしており、世界の建造量の過半を占めていたため、この影響は極めて深刻であった。

深刻な不況につれて、当会の基本姿勢である産官学の共同による基礎的研究のあり方そのものの整理を行うと共に、その規模も縮小せざるをえなくなり、SR研究は大きな危機を迎えたといえよう。

しかし、この時期の後半に入って、長期の視野での研究開発が滞っていることへの反省が高まり、トンネルの先に明るい将来技術を見いだそうという努力から、再度プロジェクト的な大掛かりな研究に着手することが試みられ、生産技術近代化や高度自動運航システムの特別委員会の研究をはじめとして、CIMSの研究(SR210)が実施された。これらは運輸技術審議会の第13号答申や、日本造船学会の将来技術検討委員会報告を受けたものである。

これらの大型研究に対応して、当会としては一転して繁忙を極めることとなったが、その後、基礎研究への再注力気運が芽生えてきたにも拘らず、大型研究の影響もあり、基礎的なSR研究がかえって縮小されたのは残念であった。従ってこの時期の特色は、前半期が縮小期、後半期が模索の時期ということができ、極めて苦難の多い時期であった。

SR研究の全体を通じた特色は、時代の背景を受けて、エネルギー対策と海洋開発が目立ち、TMCP鋼やコンクリートなどの材料関係、幅広船等の船型改良、石油備蓄、石炭関連、粗悪油、スターリング機関等の課題が取り上げられている。

SR研究は合計数で38件（年間平均3.2件）と最小になった。その構成は構造材料溶接関係課題が9件（24%）、流体力学関係が

12件 (32%), 設計・工作・艤装関係が14件 (37%), 機関動力補機関係が3件 (8%) となっており, 設計・工作関係の課題が多いのが特色となっている。1件のSR研究当りの研究費は平均72,057千円 (最大338,241千円, 最小1,387千円) であり, 額としてはなお増加しているものの, 研究件数そのものが激減している。研究の実施期間は平均2.9年のため, 1件当りの年間平均研究費は約25,300千円である。

## 第1節 構造材料溶接部門

### 1. 全般的な研究動向

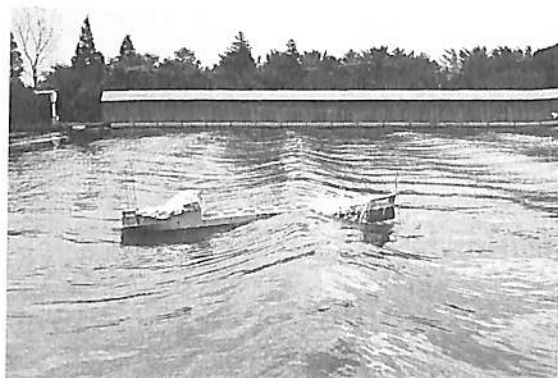
躍進期の主要テーマであった船舶の巨大化と高速化を指向する開発研究は、この時期には全面的に方向転換せざるを得なくなった。船舶の記録的大量建造が行われた直後であり、海運界では船腹過剰が社会問題となると共に造船需要は激減し造船界は未曾有の不況に見舞われた。当然ながら造船の技術開発も低調となったが、石油危機を契機として新たにエネルギー需給の改善を目指した海洋開発に関する研究や省エネルギーを目的とする船舶の軽量化、高経済性の研究が行われた。一方で安全問題として遭難事故が相次いで発生した大型ばら積船の波浪中の構造強度究明のための研究が実施された。

### 2. 構造強度

昭和55年12月に北太平洋航行中に発生した尾道丸の船体折損事故を契機として、急速に大型化したばら積貨物船が荒天時波浪により縦曲げモーメントと同時に船首船底にスラミング衝撃力を受け船体破壊に至る機構を解明する研究 (SR 194) が行われた。この研究は運輸省が実施した船舶の異常海難防止に関する総合研究プロジェクトの一環として逐行された。

研究は模型試験水槽を使用して行われた波浪中の船体運動の解明と併せて、波浪中の船体運動計算プログラムの開発を行うと共にそれを利用した波浪中の船体運動を計算によって求め、実験値と計算値がよく一致することを確めた。

この水槽試験では船体模型として従来の木製による剛な模型に代って弾性模型が使用されたのが特徴である。剛な船体部分を弾性バネで接合し接合部の曲げモーメントを計測することで実船の受ける波浪外力を求める従来の模型では、ホッピング現象などの影響を選別することができなかった。弾性模型は船の幾何学的形状、弾性的性質及び重量の分布を実船に対して同時に



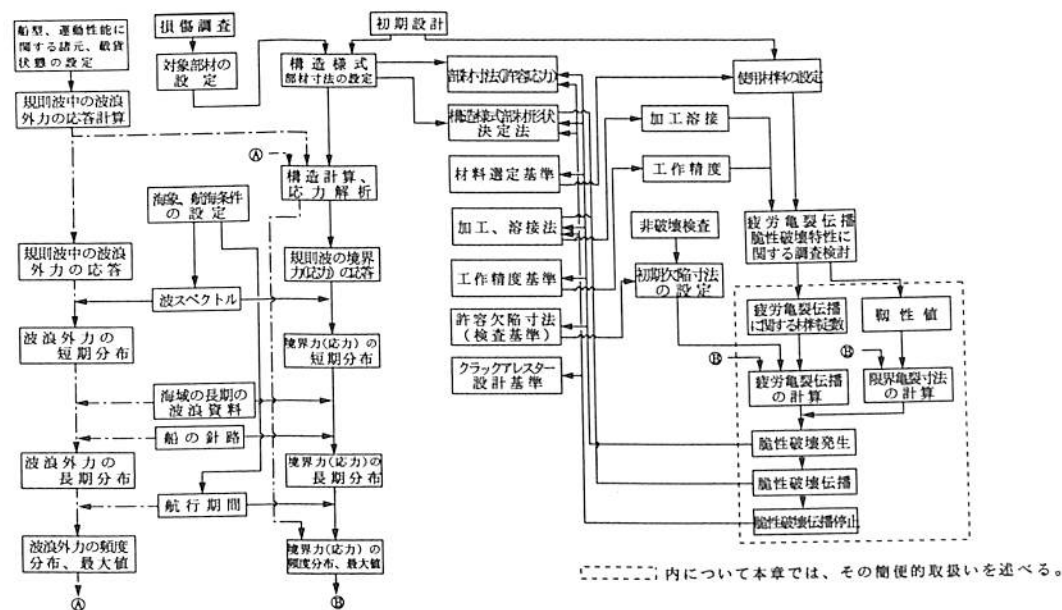
SR194 波浪中の船体応答に関する研究 尾道丸弾性模型による波浪中の実験

相似にした模型である。

船首船底のスラミング衝撃圧の発生機構については特に肥満船型に注目して研究が行われた。これら波浪中の船体運動並びに強度に関する研究成果は、運輸省が同時期に実施した「船載型安全運航支援システム」の完成に大きな役割を果たすことができた。

船殻の最終破壊強度を理論的に究明し、船殻設計、船殻材料の選定及び工作等を合理的に進める船体構造の破壊管理制御設計の研究 (SR 169) が我が国で始めて実施された。この研究はまた、就航中の船舶の船殻損傷時の安全対策としても活用することができる。

SR 169は「亀裂損傷の評価を目指した船殻局部構造の破壊強度試算及び船体構造の破壊管理制御設計指針の整理作製」及び「船体構造の破壊管理制御設計確立に必要な構造要素強度に関する基礎的研究」をそれぞれ目的として、二つの幹事会が設置され、船殻設計技術者と、破壊力学研究者の密接な協力と相互啓蒙によって総勢120名以上の委員及び討議参加者の努力によって精力的な研究が行われた。その報告書は638頁にもおよぶ膨大なもので、今後の船殻設計業務の中に広く浸透して破壊管理制御の実現のための基礎資料となる貴重なものである。



SR169 船体破壊管理制御設計のフローチャート

図は破壊管理制御設計の近未来での設計内容の流れに関するビジョンを示したものであり、各項目それぞれにおいて複雑多岐にわたる因子が未解決のまま残されており、不明確な問題点が多いことも事実である。

この研究では、船殻の局部構造であるダブルハル構造、タンカーのクロスタイ及びサイドロンジ結合部、タンカーの縦通部材などを対象に最終破壊強度の理論計算を行うと共に、船殻の破壊強度を推定する上で重要な脆性不安定亀裂伝播、伝播停止機構及び伝播開始挙動の解明並びに評価が行われた。これらの研究結果をふまえ、造船所の船殻設計者及び破壊力学の研究者が協力して、これまでに蓄積された脆性破壊強度及び疲労強度に関する研究資料を活用し、“破壊力学解析”“基本要素のK値解析”、“材料定数の便覧化”及び“破壊力学の応用例”などに関し充実した成果が得られた。

船体構造の疲労設計法に関する新たな研究としては、特に問題の多い不連続部の疲労強度に関する研究 (SR 170) が行われた。この分野の研究では既に膨大な数の報告が行われているが、実用的な見地からはなお十分とはいえず、この研究で特に船体構造不連続部の疲労設計について資料をまとめた。この少し前に、疲労強度に関する内外文献の網羅的調査検討が SR 200においても数年間にわたって実施され、その成果の一部として船体縦通部材の疲労強度に関する許容応力の算定式が提案されている。しかし従来の疲労試験結果の多くは応力または歪に対する破断までの時間強度すなわち  $S-N_f$  または  $\epsilon-N_f$  の関係を求めており、疲労亀裂発生までの回数  $N_c$  と亀裂伝播寿命との関係を明確にしていない。従って亀裂伝播則を適用して  $S-N_f$  試験結果の修正を行い、また構造要素模型と基礎継手の疲労強度との関連性を明らかにし基礎継手の  $S-N_c$  線図から構造要素の応力解析結果を用いて構造要素模型の  $S-N_c$  線図を推定した。また実船の疲労損傷部の解析を行って実船の構造要素と模型との相関を明らかにした。

### 3. 構造材料

経済界は、昭和48年及び54年と2度の石油危機を経験し、造船工業界は、深刻な構造不況に見舞われ、昭和54年には、新造船建造量は昭和50年の1/3以下にまで低下した。これを打開するために各種の省エネルギー施策が材料開発及び溶接工作技術の観点からも官民をあげて強力に推進された。

このような情勢のもとで世界の最高水準にある我が国の製鋼技術を駆使した熱加工制御法 (Thermo-Mechanical Controlled Processing) が開発され、いわゆる TMCP 鋼が製造され新たな船殻用鋼材として注目を集めることとなった。図は水冷型 TMCP 鋼の製造プロセスを模式的に示したものである。

折からの造船不況の中にあってもその研究の重要性にかんがみ、大手造船所及び大手製

鉄所並びに日本海事協会の強力なサポートもあって、研究開始が若干遅れたが、昭和57年6月にSR 193が発足し、昭和60年3月まで、新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用に関する研究が遂行された。

SR 193には次の4つの作業部会を設置し、精力的な研究が行われた。

第1作業部会では、母材及び溶接部の破壊靱性についての検討

第2作業部会では、溶接継手の強度についての検討

第3作業部会では、工作面における新鋼材の有効利用についての検討

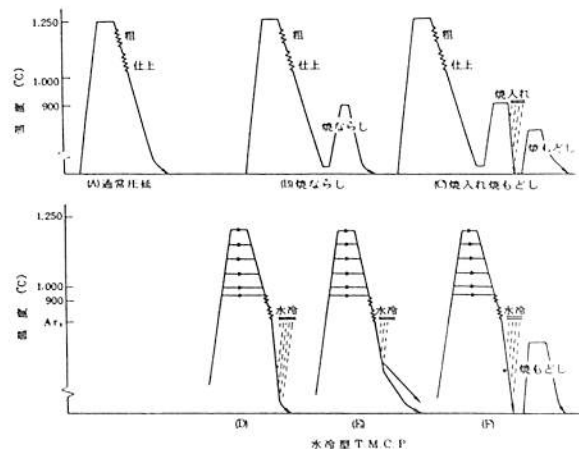
第4作業部会では、船舶及び海洋構造物用鋼材の製造面の現状と今後の展望についての検討

新製造法による50キロ級高張力鋼の有効利用を図る目的で、非冷式の新制御圧延型50キロ級高張力鋼板を対象にし、母材及び溶接継手部の破壊靱性を中心とした強度特性を把握すると共に、水冷型、非水冷型の新CR型50キロ級高張力鋼板と従来の圧延型50キロ級高張力鋼について耐溶接割れ特性を把握した。母材及び溶接継手部の破壊靱性の試験結果に関し、NK規格との比較、新材料と従来の材料との性能比較を行い評価を行った。耐溶接割れ特性に関しては、溶接施工上の制約につき溶接棒についての現行基準の緩和可能条件を明らかにした。

線状加熱加工特性、熱歪とり加工特性については現行のJSQSの作業標準よりさらに苛酷な再加熱または冷却条件での特性を調査し、新制御圧延鋼に対して加熱温度及び冷却開始温度を緩和できるとの判断ができた。

結果として得られた主な結論は次の通りである。

- 1) 溶接の余熱温度を低く設定できる。
- 2) 非低水素系溶接棒の使用が可能となり手直し工数の減少が期待できる。
- 3) ショートビードの制限緩和により仮付け、補修溶接時の溶接量の減少が期待できる。
- 4) 大入熱溶接を行っても溶接部の靱性はほとんど劣化せずエレクトロガス溶接、エレクトロスラグ溶接等の大



SR193 水冷型TMCPの3つのプロセスパターンと従来のプロセスの比較(模式図)

入熱溶接法の適用が可能である。

等が明らかになり TMCP 鋼の工作基準が提案された。

一方、SR 193の研究と並行して日本海事協会においては IACS（国際船級協会連合）に対して、日本で開発された TMCP 鋼の船級協会規則への採用を熱心に働きかけ、その結果、昭和61年には TMCP 鋼の名称と共に採用されることとなった。また日本工業規格 (JIS 規格) は勿論、同時に諸外国の規則にも採用された。

これら SR 193の業績に対して、昭和60年に日本鉄鋼協会から鉄鋼の学術技術の共同研究の推進に著しい功績があったものとして山岡賞が贈呈された。

なお、このように我が国で開発され、その有用性が世界各国からも認められた結果、その後の船体用高張力鋼のほとんどが TMCP 鋼であると言っても過言ではない状態である。

船舶用の材料として我が国でもフェロセメントが注目されるようになり船体に使用した場合の強度を中心に SR 305の研究が実施された。フェロセメントを材料とする小型船舶はプレジャー用を始め各種用途の船舶が既に海外で建造されているが、我が国では実績がほとんどなく国としての建造基準の策定が要望された。

既に外国で多数の建造実績があることから外国での基準や既存船の構造解析を行って基準の参考とする一方で、フェロセメント材料の強度を実験室での試験によって解析し評価を行った。試験模型としては平板、肋骨付平板及び局部構造を作製し、静的及び動的荷重試験のほか繰返し荷重試験も行って破壊に至るまでの材料の挙動を解明した。

フェロセメントはワイヤーメッシュをセメントモルタルの補強材として使用するもので、材料強度はワイヤーメッシュ及びモルタルの性質により大きく変化することが特徴である。これらの材料組成を適当にすることにより軽量でかつ十分な強度を有するフェロセメントを造ることができる。しかしこの材料は金属と異なり強度の均質性に劣ることが問題で、強度のばらつきやクラックの発生状況など強度基準の評価が難しい欠点がある。陸上の構造物と異なり船舶に使用する場合は衝撃荷重を受けた場合の水密性については慎重な検討が要求される材料である。これらの研究成果に基づいて暫定的なフェロセメント船建造に関する構造設計基準案を提案することができた。

#### 4. 海洋構造物の強度

海洋構造物の建造は実績が少なく資料も乏しいことから、設計建造規則及び基準に関して製造者側が陸上構造物や各種材料規格等を参考として要求値を求めている現状に対し

て、構造材料強度及び外力条件等に関する新しい知識を導入して合理的な解析を行い海洋構造物に使用する鋼材の選定基準を設定する研究 (SR 195) が行われた。

海洋構造物では格点構造の応力・ひずみが集中する部材の強度が問題となるが、強度の評価にあたって流水による衝撃荷重の影響や構造物に存在する微小欠陥の実態などの推定が難しい問題である。

この研究の内容は海洋構造物の安全性に関し、初期に材料に存在すると予測される欠陥や応力頻度及び最大応力等の外力条件の評価をはじめ、疲労亀裂進展の評価、ひずみ集中部におけるひずみの評価、ひずみ速度と破壊靱性、欠陥からの脆性破壊強度の評価、靱性要求値の設定などの各課題を実用的な立場から解析と検討を行い、設定条件のもとで構造物の安全性が十分かどうかの評価を行うと共に、欠陥から万一亀裂が成長しても重大な破壊へと進展しないように設計する指針を求めた。

一方で海洋構造物に繰り返して加わる波浪荷重による構造材料の疲労強度に関して、疲労設計法及び溶接部の品質に関する研究 (SR 202) が行われた。Alexander L. Kielland 号が北海にて荒天中に大事故を発生したのを契機として、世界的に海洋構造物の強度基準の根本的な見直しが行われ、特に構造の疲労強度に関して新しい規格がヨーロッパで初めて導入された。しかしこの規格はなお不備が指摘され日本においても早急に疲労強度に関する基準を求めることが要望された。

研究はブラケット構造、ダブルパッド溶接部、スティフナ端部及び鋼管継手等のホットスポット応力算定法及び疲労強度の評価法などについて検討を行った。また海洋構造物建造にあたっての溶接部の品質基準の検討を行い、アンダーカットの許容量の提案、止端処理、プロファイル処理及び今後実用化が期待されるショットピーニング、TIG ドレッシングなどの効果を明らかにし、止端部の応力集中係数の計算法の提案、応力集中係数と疲労亀裂発生・進展寿命の関係を明確にすることができた。これらの成果は直接間接に関係する諸規則に反映させるべく努力が行われた。

海洋構造物に使用する新材料の研究として、これまで外国において特に大型構造に使用されているコンクリート製の海洋構造物に関する調査研究 (SR 197, 205) が初めて SR 研究で行われ、我が国としての設計指針の作成が行われた。

海洋構造物を浮遊式、浮遊一着底及び着底式の三種類に分類し、浮遊式については鋼・コンクリート製プラント台船を例にとり、船底横桁、船側構造の継手部を中心に応力解析を行って継手部設計の基礎資料を求めた。浮遊一着底式については耐氷壁の設計式及び解



析法を求め、着底方法については自然環境条件に対応した新しいアイデアを提案した。着底式については沈設時及び浮上時の安全性に関して重点的に検討を行い、特に地震時の安定性に関して液状化に対する新しい解析法を求めると共に地震時に構造物に滑動を許す新しい設計法について検討が行われた。

## 第2節 流体力学部門

### 1. 抵抗推進

昭和48年、54年の2度の石油危機により原油価格がほぼ一桁高騰したことは、船の設計や研究に大きな影響を与えた。いわゆる省エネルギーへの努力である。エンジンの燃費の改善や、船体重量の減少など各方面にわたるが、抵抗推進性能の改善が最も重要な項目の1つであることは多言を要しないであろう。すなわち抵抗の少ない船型の開発とプロペラの性能改善の2つが大きな目標となった。

昭和52年度に開始された馬力節減を目的とした1軸中型船の船尾形状の開発に関する研究(SR 174)はそのような背景により行われたものであった。プロペラの効率を向上させる手段として、ダクトやフィンなどの付加物の装着や、2重反転プロペラなど多くの方法が考えられるが、最も基本的で重要なものは、出来るだけ大量の水を少ない加速によって加速し、推力を得るという低回転大直径プロペラの考えである。

SR 174ではこの問題を総合的にとらえて研究を実施している。すなわち、プロペラ効率の向上のみでなく、抵抗や自航要素の面からみた船型の改善、キャビテーション、プロペラ起振力、急速停止性能等の検討等を行っている。例えばパナマックス船型において、プロペラ回転数を122rpmから65rpmに減少させ、それに合った船型とプロペラを選べば、12~16%の推進性能向上となるなどの成果が得られた。

大直径プロペラは船体とプロペラの間隙を小さくさせ、さらに船舶の居住性向上の要求の高まりともあいまって、プロペラによる船尾振動・騒音の軽減の要求が強まった。これらをふまえ昭和55年度にSR 183が設置され、米国海軍を中心に開発が進められてきたハイスキュープロペラの振動低減効果を調査することになった。

SR 183の成果の内、特筆すべきは昭和57年に行われた、運輸省航海訓練所所属の練習船「青雲丸」による、2度にわたる実船実験であろう。SR 183で設計・製作されたハイスキュープロペラによる船尾変動圧力は、本船装備の在来型プロペラの1/3に減少し、乗組員の絶賛を博した。

また2度の実船実験で船尾変動圧力のほか、キャビティ範囲・厚さの計測、翼応力、船体振動、水中騒音、船内騒音等の総合的な計測が行われ、学術的にも大きな成果をあげたSRであった。なお、この研究は後に述べるSR 206に引き継がれることになる。

昭和60年度に開始されたプロペラ推進性能と騒音特性の推定法に関する研究 (SR 199) は SR 183の成果をふまえて、プロペラ性能の推定法の向上を目指して、5ヶ年の予定で研究を実施するよう計画されたものであった。ところが62年度より SR 210が設置されることになり SR 199は未了のまま2ヶ年で終了した。SR 199の研究成果の一部である伴流中を作動する最適プロペラ設計法の研究や実船伴流計測法の開発等は、後に別のSRや他の共同研究に引き継がれ、成果をあげている。

省エネルギー対策のもう1つの柱である船型の研究は、昭和59年度に開始された船尾形状設計法に関する研究 (SR 196) により行われた。船尾形状によって生じる船尾流場は抵抗・推進の両面から重要であり、さらにプロペラによる振動・騒音の軽減にも深くかかわっている。

一方、流場の複雑さのために従来の設計法は多分に経験的、試行錯誤的であった。これに対して、粘性流体理論の発展の成果を活用して、理論的、合理的な設計法を開発することを目的として設置されたのが SR 196である。

抵抗値や自航要素ばかりでなく、境界層速度分布、伴流分布、圧力分布などの計測や、可視化等を行ない、広汎な理論計算結果と比較して、理論的手法が船型設計に有力な指針を与えるものであると結論している。このことは、計算流体力学 (CFD) を含めた理論解析の研究者に勇気を与えるものであり、整理期に続く新生期の研究に発展して行くことになる。

## 2. 船型計画

この時期造船不況のさなかにあり、かつ造船後発国の追い上げを受けているという認識から、高付加価値船への特化が日本造船業の大きな課題として採り上げられる風潮があった。このような状況の中で船型計画の分野でもいくつか関連したプロジェクトが行われた。SR 171「総合輸送効率向上をめざした幅広船型の開発に関する研究」、SR 176「海上幹線輸送システムに適する双胴船船型に関する調査研究」等はこの範疇にはいる例として良いであろう。

幅広船型の研究は当初3年間の研究期間で合計11隻の系統試験を行い、船型理論による計算を合わせて、総合的に、当時造船各社が経済船型として注目していた幅広浅喫水船の船型計画法を構築する予定であった。しかし当時の事情が許さず、研究期間は2年に短縮され、模型試験も4隻にとどまった。

海上幹線輸送システムも、もともと新規需要開拓志向のプロジェクトである。別途運輸経済研究センターで全体プロジェクトのフェージビリティスタディが行われており、その

一環として双胴船の船型開発プロジェクトが実施された。親プロジェクトの進展がはかばかしく進まない中、この研究も当初計画を大幅に縮減して終了した。

これらのプロジェクトは、あえていえば当協会の研究テーマとしては無理があったというべきであろう。幅広船型は当時各社共通の関心事であったことは事実である。しかし同時に各社の真剣な競合事項でもあった。競合状態にあるテーマを共同研究に乗せるためには何らかの論理が必要であろう。当協会の歴史においては、共通の関心事すなわち共同研究のテーマであった時代が長く続いた。しかしそれは日本の造船業にとって市場が大きかった事によっている。市場が相対的に小さくなったとき、共通の関心事であるからこそ共同研究にはなじまないという事態が生じやすくなっている事を認識すべきであろう。

海上幹線輸送システム自体は当時も魅力的なプロジェクトであったと見て良からう。しかし、そのプロジェクトが双胴船を考えているからといって、直ちにそれが精緻な双胴船型の開発につながるとはいえない。双胴船型が有力な候補として検討されたからといって、数%の推進性能の向上を目的としているわけではない。

これら二つの研究プロジェクトは当協会が取り上げるべき今後の研究テーマに重要な示唆を与えるものである。共同研究が成り立つためには共通の関心事である必要がある。それは必然的に競合との調和を要求する。競合があるとはいっても原理的には抽象度を上げるなどして調和の可能性は存在するであろう。また、今後海上幹線輸送システムのようなプロジェクトも行われるであろう。その場合、プロジェクトの一部を分担するにしても、そのテーマのプロジェクト内での位置づけを十分理解して取り組む必要がある。

なおこの他に、中小型砕氷船に関する調査研究として **SR 204**が実施されている。

### 3. 操縦性

海上交通の過密化に伴ない港湾内や海峡等の交通量の多い海域での航行安全確保の観点から、従来研究が比較的遅れていた船舶の加減速性能が **SR 175**で取り上げられた。加減速時の船の操縦性能として、プロペラが順転中または逆転中の性能が拘束模型による流体力計測、及び加減速運動のシミュレーションと自由航走模型試験によって明らかにされた。特にプロペラ逆転によって船体に生ずる横力と回頭モーメントの発生メカニズムや船型によって異なるこれら横方向流体力の前進定数依存性が詳細に調べられた。また加減速性能に対する浅水及び狭水路の影響も同様の手法で調査された。

一方、航行安全確保の目的から操船者と船を合せたマン・マシン・システムとして性能

を捕える重要性から実時間シミュレーションによって、船長／船速比や船固有の針路安定性が定点停止操船や避航操船に及ぼす影響が調べられた。また海上交通流の多い海域での船舶に対する加減速要求性能の調査の一環として交差点における管制の方法を仮定し、マクロな交通流シミュレーションを行うことにより要求される加減速性能を所要調整時間で定義し、性能による所要調整時間の変化が分析された。

#### 4. 海洋構造物

海洋空間利用の一環として沿岸や島に近い浅海域における箱型海洋構造物を取り上げ、その運動特性の高精度予測手法を確立すること及び係留システムの設計基準を作成することを主目的として SR 179 の研究が行われた。具体的には海洋構造物に作用する流体力を 2 次元及び 3 次元特異点分布法で計算し、その結果を水槽試験結果と比較して計算法の有効性を検証すると共に、流体力の推定に使用できる図表等が整備された。また、3 次元箱型海洋構造物の波浪中における運動特性の推定精度の検証として理論計算結果と水槽試験結果の比較図が作成された。

係留システムの研究としては、索・鎖係留ラインの静的及び動的特性、ドルフィン・ダンパーの静的及び動的特性、多点係留方式、一点係留方式及びドルフィン・ダンパー方式についての水槽試験、数値計算等に関する調査が実施された。その結果に基づき浅海域における箱型海洋構造物の係留方式による構造物の挙動や係留力の特性が比較検討された。さらに、これらの研究成果と既に公表されている設計基準等とを勘案して浮遊式海洋構造物の係留システムに関する設計指針案が新たに作成された。

近い将来に予想される北極海周辺のエネルギー資源開発の具体化に備えるため、氷海用船舶及び氷海用海洋構造物の設計及び建造に係わる技術の研究開発を目的として 5 カ年間にわたる SR 186 の調査が行われた。まず氷海用船舶の航路を想定し、文献調査により想定航路沿いの気象・海象・氷況が調査された。これらの調査結果に基づき氷海用船舶及び氷海用海洋構造物の概略試設計に必要な環境条件及び航行条件が設定された。氷海用船舶の水中及び平水中諸性能が系統的模型試験で調査され、これらの成果等を基に 20 万重量トン砕氷タンカーの概略試設計が船体構造、船体艀装、機関等にわたって実施された。また本船が前記の想定航路を運航する際の運航採算が検討され、最適運航パターンや運航経済性が調査された。さらに実船の水中航行性能の調査の一環として、第 25 次南極観測航海の機会を利用して砕氷船「しらせ」による南極氷海域実船試験が実施された。

氷海用海洋構造物についても稼動水深別に3種類のリグが概念設計された。また氷海用海洋構造物の要素構造物に対する氷荷重に関する研究現況の取りまとめや氷海用船舶試験水槽における模型実験が行われ、設計や試算に便なるよう氷荷重算式が取りまとめられた。

今後に予想される深海域での人間の諸活動を支援する浮遊式海洋構造物の深海域における係留技術を調査することを目的としてSR 187の研究が行われた。基礎調査として、既存または計画中的の浮遊式海洋構造物の主要寸法、型式、稼動水深、稼動海域、係留方式及び設計条件等の文献調査が行われ、これらの間の関係が調査された。また各船級協会等の設計基準等に基づき自然環境条件の設定及びそれに対する外力の推定法、係留装置の設計条件が調査された。これらの調査を基に本研究での主たる調査項目を、浮体の挙動及び係留力の推定法の確立、係留用索及び鎖の疲労強度に関する系統的实验の実施等による索及び鎖の強度特性の明確化に絞り込んだ。特に前者については索・鎖係留ラインの動的張力特性の簡便かつ実用的な計算手法を提示すると共に、係留浮体の長周期運動などの数値シミュレーションを実施し、その特性を明らかにした。さらに以上の成果を総合し、係留システムの設計指針を作成した。

大型石油掘削リグの転覆海難の多発を契機に国際的にも海洋構造物の安全性確保が強く認識されつつあることにかんがみ、海洋構造物の部材や全体構造に働く風圧力、波力などの推定精度向上と、これら外力中における海洋構造物の復原性評価に関する研究が実施された(SR 192)。主な検討項目は、海象条件推定法に関する各国、各船級協会の考え方の比較検討、転覆機構解明及び波、風、潮流などの設計外力推定法の精密化などである。特に後者に関しては水槽及び風洞において、セミサブ型海洋構造物の波浪中動揺試験、大傾斜実験、複合外力下実験、風圧転倒モーメントの研究、潮流力の転倒モーメント計測実験等が詳細に実施された。さらに、こうした知見を用いてセミサブ型海洋構造物が転覆に至るような異常状態を模型実験で再現すると共に、これらの現象をシミュレーションする手法が完成され、シリーズ計算により主要パラメータの影響を定量的に示し、安全性確保のための設計手法の改良に役立つ資料が取りまとめられた。



SR186 南極観測船しらせ 氷海航行実船試験

### 第3節 設計工作艙装部門

#### 1. 新世代造船システムに関する調査研究

この研究は、日本の造船業が今後とも魅力のある基幹産業として社会的責務を果たし続けて行くために必要な基盤技術についてのフィージビリティスタディとして行われた。21世紀に向けての展望という意味から **SR 210** という部会番号が付され、延べ数百人を超えるメンバーが参加した。

対象となった研究開発課題は、造船 CIMS、新船体構造設計法、数値水槽の3課題である。これらは事前に日本造船学会将来技術検討委員会（藤田譲委員長）が行った21世紀に向けて取り組むべき課題として選定された7課題中の4課題を包含するものである。造船学会からの提案の後、日本造船工業会技術委員会での検討を経て、研究内容の詳細化と共同研究として行う場合の実施方法について検討された。

造船以外の他産業、特に大量生産を行う工業分野においては高度生産システムが確立され、そのキーテクノロジーとして CIMS がすでに確立されている。典型的な受注生産形態をとり、かつその製品規模が大きい造船業にとって、CIMS の実施は困難であるとはいえ必然の要件である。造船のシステム化の歴史は古く、各社において独自のシステムが運用され、第2世代のシステムの開発が終わり運用に入りつつある状態であった。一方でまた、造船業にとってシステム化は失望の歴史でもあった。出来るといわれまた必要と思われたシステムの機能要件が中途半端にしか実現できず、しかもシステム化のための開発投資は常に予定を上回るという苦い経験の連続であった。従って造船業の近代化のため CIMS が必要であることは当然としても、そのための情報処理技術の基盤が整っているのか、負担可能の投資額の下で開発が可能であるか、あるいは共同開発の可能性があるかなど疑問点が多くあった。

**SR 210** の調査研究は文献調査、専門家からのヒアリングにとどまらず、最新のシステム開発環境を使って実際にシステム開発の試行をしながら進められた。CAD CAM におけるプロダクトモデルの考え方、エキスパートシステムによる手続き型では困難な処理システムの開発、分散処理、ネットワーク技術の進展など、ハードウェア、ソフトウェア両面にわたる情報処理技術の急速な進展を実感し、これら最新技術を駆使すれば、非常に困難と考えられていた造船 CIMS も開発可能であるという結論を得た。本研究はその後、造

船振興財団（現シップ・アンド・オーシャン財団）の造船 CIMS パイロットモデルの開発研究プロジェクトへと引き継がれた。

機能設計の分野でも従来からの夢である新船体構造設計法及び数値水槽の可能性について検討された。これらの分野では特にスーパーコンピュータの急速な性能向上の見通しが大きな影響を持っている。

新船体構造設計法は、従来の構造規則ベースの設計から脱却し、必要に応じ全船一体解析も含む合理的な設計法を開発すると共に、船のライフタイムに関わる諸問題に取り組もうとするものである。経験ベースで行われてきた構造設計をいわば理論ベースに置き換えようとする試みであり、そのためには単に高度の解析システムを用いるのみでなく、広く視野を広げたシステムが必要となるので、荷重解析、座屈・崩壊強度、疲労破壊強度、信頼性評価の各分野を統合した新しい構造設計法の枠組みを構成するという作業が行われた。また、その枠組みを実証するための大型実験・実船計測も計画された。この調査研究の結論を直ちに実施するには至らなかったが、多くの面でその後ここで行われた成果が生かされようとしている。

数値水槽は究極的にはナビエストークスの方程式をそのまま解くソルバーを開発し、現在の試験期間、相似則等に問題のある水槽実験に代えて、船型設計においての最適化の検討を十分に行える数値シミュレータ環境を作ろうとするものである。数値シミュレータとしては造波流場、粘性流場、船体近傍乱流場、プロペラ流場、波浪中流場、平水中推進性能流場、波浪中推進性能の各シミュレータが検討された。

調査研究の結果明らかになったことは、実船レベルでの定量的な抵抗推定にはスーパーコンピュータのさらなる処理性能の向上が必要であると同時に、理論モデルについての基礎研究の進展が必要であるということであった。ただし、現状の技術によっても部分的には十分実用の域に達しているものもあり、また、数値シミュレーションの結果を定性的に利用して船型改良を行う技術も進んでいる。このプロジェクトでは総合的な数値水槽研究推進の必要性を主張しているが実現には至らなかった。

## 2. 一般の設計機装

前記研究のほか造船海運界を取り巻く環境から、エネルギー関連、タンカーの安全と汚染防止関連、救命設備関連、乗組員の少人数化等の多岐にわたる研究が行われた。これは石油危機の影響により、エネルギー関連の課題が目立ち、他はほとんど安全の維持確保という



永遠の課題の中で、不況下の業界にあっても不可欠な重要度の高いものが取り上げられている。

エネルギー関連の課題の一つは石油備蓄タンカーの保全に関する調査研究（SR 180）である。石油輸入量の減少に伴って係船を余儀なくされた余剰タンカーの利用と、石油備蓄という国家的見地からの要請との一石二鳥をねらいとして、昭和53年から橘湾（錨泊）及び南方海域（漂泊）でタンカー備蓄が開始された。その安全性維持のためには既に十分に検討が行われ対策が採られていたが、長期にわたる備蓄期間中とその終了時の保全問題は未経験の事項であった。このため、荷役機器の保全対策、堆積スラッジ対策と備蓄終了時の揚げ荷対策、発生ペーパーの防止対策及び船体への付着生物対策について検討を行い、整備基準などを作成した。この成果は実際の備蓄中及び備蓄終了時に用いられ、またその後のタンカー運用・保全技術に大きな貢献を果たした。

もう一つの課題に、石炭の新輸送技術についてコールチェーンの経済性に及ぼす影響を調査したもの（SR 191）がある。この調査研究は原油価格の高騰に伴って、埋蔵量の多い石炭の需要が高まってきた背景を受けて、石炭スラリーや石炭バルクなどの輸送システムとその採算性を検討したものである。その結果、大型の浅喫水船の利用が最も適しており、船型の開発及びスラリー物性の把握が重要なことを指摘した。これらの成果はその後の石炭利用の大型発電施設の実現に寄与するところとなった。

さらに特色のあるエネルギー関連課題として、放射性物質の海上輸送に関する課題（SR 198, 203）がある。これは原子力発電の重要性が増し、その廃棄物輸送が問題となると想定したものである。従来のSR研究ではあまり採り上げられなかったもので、その前後から実施されているこの分野のRR研究とも異なり、より広く概念的な視点の下で調査を行ったものである。

タンカーの安全と海洋汚染防止関連課題では、イナートガス・システムに関係した課題が2件実施された。その一つはノンガスフリー工事施工に関する調査研究（SR 178）である。これはタンク内が不活性状態である事を利用して、簡単な工事であれば可能ではないかとの発想で調査を行ったものである。この結果一部のタンカー（主に石油・鉍石運搬船等）では、この方法により入渠期間の短縮が可能となってきた。

さらに、原油洗浄に係る洗浄面積率計算法（いわゆるシャドウ・エリア）についてのSR 184がある。IMOのMARPOLの規定で、この洗浄面積の比率が水平方向で90%以上、垂直方向で85%以上と定められたため、この計算法を確立して船級協会の検査承認を受け

ることが義務付けられた。これは正に共同研究にふさわしい課題であり、かつ計算機のソフトの規模は大変に膨大になることが予想された。このため、日本海事協会を中心として造船各社で研究を行い、プログラムを作成し、これを実船計測との比較により完成させた。プログラムは初期基本計画段階でも詳細設計段階でも使用できるように配慮されており、各種計算機にもコンバートする等使用者に対しても配慮されている。このプログラムはその後日本海事協会において保守改良を行いつつ、実際の検査承認業務において威力を発揮している。

救命設備に関しては、全閉囲型の救命艇の耐波性能を向上させて自己復原性を確保するための研究 (SR 181)、救命艇主機が転倒状態でも運転できることを確認した研究 (SR 190) がある。これは SOLAS 条約の改正に伴い必要な要件となったものであり、救命艇のキャノピー形状を改良して自己復原性を維持できることが確認され、その後の救命艇ではこの成果が利用され、設計されている。

この他には、11～12名の少人数運航船の構想の下に、技術的問題を検討した SR 177 があり、機器類の信頼性の向上、メンテナンスや故障対策等について重要度や優先度のランク付けを明確にした。さらに船内事務管理や陸上支援体制等、その後の技術的動向を的確に捕えたものである。

### 3. 防食防汚関係

この時期においては、船舶のバラストタンク内の防食基準設定及び長期防汚塗料の開発が、防食防汚上重要な検討課題となった。また、海洋構造物の増加と大型化に対応してその信頼性を長期間維持するための重防食も大きな検討課題となった。

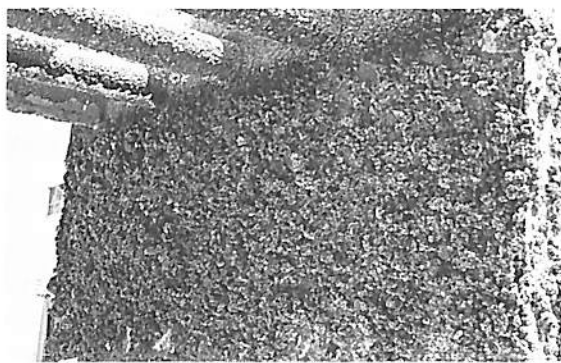
前者についてはまず SR 172 によって関連の研究が実施された。すなわち、バラストタンク防食については、各種のデータ収集、陽極による防食試験、スクラバ海水利用試験等が実施され、その成果としてバラストタンクの防食基準（解説を含む）が提案された。長期防汚塗料の開発については、ロータリー装置による促進溶出試験、実船試験等が行われ、防食寿命推算の見通しが得られた。また、公害対策塗料に関し、各種の試験が行われ、その実用化における技術的知見が得られた。

SR 172 に引き続き、SR 189 による船舶の防食防汚の性能と経済性向上に関する研究が実施された。ここでは、防食防汚性能を改善して船舶の運航性能を向上させることが主目的であり、実船調査や各種試験を含む広範囲の研究が行われた。その成果として、長期防

汚塗料評価法，船体表面粗度と燃費節減の関係，鋼材表面処理法，及びタンク防食基準の実用性に関する有益な資料が得られた。このうち，鋼材表面処理法については，「塗装前鋼材表面処理規準第2版（改訂版）」として出版され，実際の塗装工事に広く用いられている。

後者，すなわち海洋構造物の重防食については，SR 182において海洋構造物を対象とし，防食材料の浸漬暴露試験，劣化促進法による劣化判定試験等が実施された。この結果，電気的インピーダンスによる材料劣化判定が有望であるという見通しも得られた。さらに，重防食の材料とその施工法についても調査検討が行われ，また，海洋生物による影響や海上浮揚中の構造物のメンテナンスについても防食試験や機器による実験が行われた。これらの成果は，海洋構造物の防食対策やその後の開発研究に十分に寄与したと考えられる。

この時期の終りには，船体の腐食衰耗による損傷防止の観点からの塗膜の耐久性能，及び運航性能の観点からの耐生物汚染性が問題となり，SR 201の研究が実施された。この研究は，塗膜の耐久性評価に関する各種試験や調査を行った。この研究では，防食については電気的インピーダンスによる劣化の評価，防汚についてはアントロン法による評価法等が検討された。これらの成果は，その後の関連の研究開発に活用されることが期待される。



SR182 海洋構造物の重防食に関する研究 浮体構造物試験体の外観（浮体応力発生部）

## 第4節 機関動力補機部門

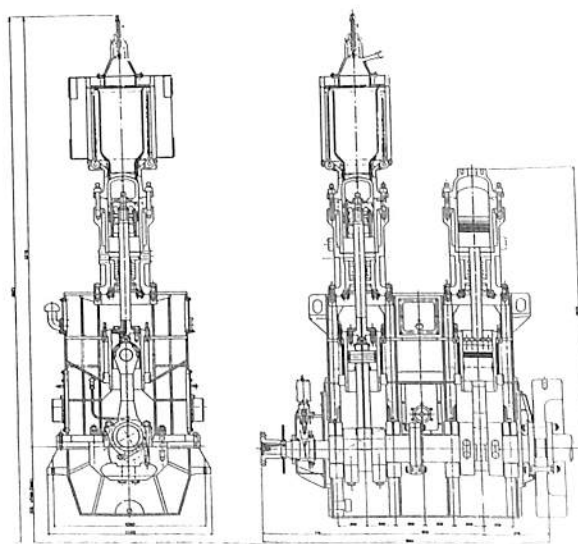
### 1. 全般的な研究動向

この期間内では機関動力補機に関して行われたSR研究は3件に限られている。その理由とするところはさておき、この3件の内訳を見ると何れも省エネルギー、脱石油燃料を主題とするものである。すなわち昭和48年10月のOPEC石油戦略の発動に伴ういわゆる第一次石油危機で、石油の価格の高騰と需給の不安が世界経済に深刻な影響を与えた。さらには昭和54年には第二次石油危機に見舞われて、我が国造船界には構造不況が浸透して機関の大型化、高出力化の気運が一時停滞の状況にあった。しかも国を挙げて省エネルギー、脱石油を最優先課題とする施策がとられていたこともあって、上記3件の調査研究項目はまさにそのような事情が具現化したものであった。

### 2. 石油節減、脱石油に関連する研究

内燃機関に対抗して、外燃の往復動機関という一風変わった動力源としてのスターリング機関が欧州で開発が続けられ、昭和48年頃に至って一応の体裁を整えた機関として登場して話題を呼ぶようになった。この機関は外燃方式のゆえに原則的には燃料の多様性に耐え、かつ爆発が無いので低騒音機関である。また何よりも熱サイクルが理想効率になるところのカルノーサイクルの要件に近いために高い熱効率が期待されるなど、優れた動力源となる素地を持つ機関であるとされた。時あたかも脱石油、省エネルギー、公害防止が高唱されている時期でもあり、行政当局の強い要請もあってSR173のスターリング機関に関する研究がプロジェクト研究の体裁を持って発足した。

この機関の基本原理と、欧州で開発された機関の基本構造は明確である。しかし我が国で新たに開発に着手するに際しては、



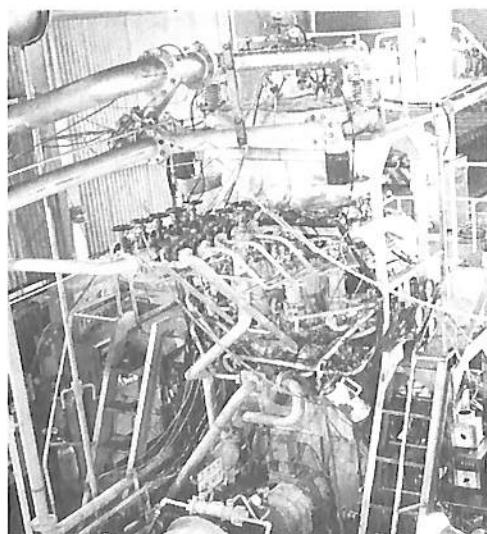
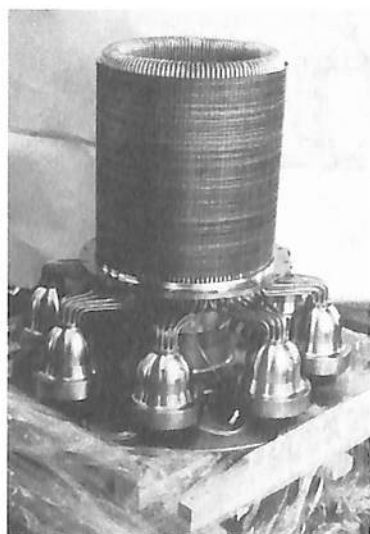
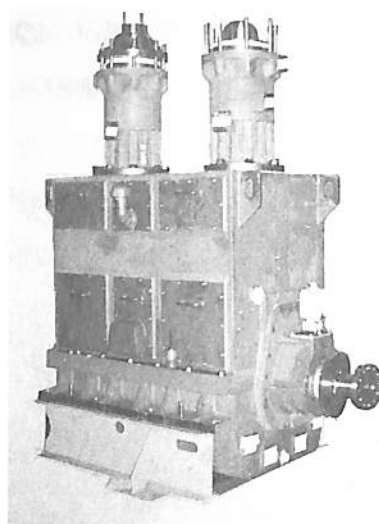
SR173 スターリング機関実験機関断面図

実用機の熱サイクルを始め、機関の基本構成、それを構成する個々の機器の具体的要件等の面で余りに未経験のことが多く、全くの手探りの状態で発足したといっても過言ではなかった。

調査研究は主として熱サイクル解明のグループと船用機関を想定した相当規模の実証機関を開発するグループに分かれて進められた。熱サイクル解明のグループでは、研究所、大学研究室が分担して簡易な模型スターリング機関の試作と、この模型機関の作動を根拠にした熱サイクルの理論的解明とサイクルシミュレーションの開発を進めて成果を得た。

一方、実証機関を製作するグループでは、これを構成する高温の作動気体加熱器と燃焼器、高温のガスシール装置等、何れも高度の技術が要求される各要素の開発が試みられた。これと同時に実証機関の基本計画の策定と機関の製作を担当した。この結果単動2気筒の実験機関が製作され、合計176時間の運転実績を上げることができた。

以上の調査研究により実証機関の熱効率や耐久性（実用性）の評価は論外としても、一応の運転目標を達成して多くの基礎データが集積され、この機関に対する貴重な知



SR173 スターリング機関に関する研究(上：機関本体 左：加熱器と再生器、右：運転状況)

見が得られた。しかしこの機関を実用化するには工学的に逐一解決して行かなければならない難問があり、しかもそれらは技術的に甚だ高度の対応を必要とする。従って近い将来に高効率の船用機関としての地位を得ることは現時点では容易でないことが認識された。

OPEC 石油戦略に伴う原油価格の高騰は、原油から可能な限り軽質溜分を抽出する傾向をもたらし、またそのために石油精製技術の面でも在来と異なる手法が採用されるようになって、これまでほとんど経験されたことが無いような超粗悪油がバンカー油として供給される恐れがでてきた。また一部ではこの種の燃料油を使用したために、機関に損傷を生じた例も経験されるようになった。そこでこの問題に対応するために外航大型船における超粗悪油使用に関する研究 (SR 185) が設けられた。調査研究は超粗悪燃料油がディーゼル機関、関連機器、配管、タンクシステムに与える重大な影響を考慮して、技術面からも経済面からも最も効果的な対策を立てることを目標に進められた。そこで現状の実情調査から始めて、現在直ちに国内では入手が不可能な極超粗悪油の試作 (研究用として) と、この油の物性値の解明、タンク配管模型による流動実験、燃料清浄機を通した時の問題点の解明等が実施された。その他バンカー油としてこの種の油が積み込まれた際に考えられ得る限りの広範な問題点を指摘し、かつ対応策を検討した。しかしこのような超粗悪油に当面する時はその技術的対応は甚だ容易でないことが認識された。

石油の需給の逼迫または価格の極端な高騰から、必然的に石油以外の代替燃料導入の志向が生じるが、その際船舶では当面石炭が最も卑近な候補となる。一方石炭燃料の消費が今後拡大するならば石炭の海上流通が増大し、これに充当される石炭運搬船は石炭焚船となる可能性も考えられる。現に豪州船主が石炭焚きの7.5万総トン級ボーキサイト運搬船4隻を日本も含めて発注した事実があった。このような状況のもとで石炭焚船が今後現実のものになることも考えられたので、技術的対応策を検討するために SR 188 の石炭焚船の建造促進のための調査が実施された。

今後建造されるであろう石炭焚船は、高度の自動化と保守整備が容易なこと、さらには灰の処理や排気ガスが関連する公害防止要件を満たすことなど、要求される課題は少なくない。そこで石炭焚船のボイラ自体の問題を始めとして、運航安全性、船内環境保全性等、現時点で考えられる問題点を網羅して検討を加えた。その結果各課題ごとの評価と結論を得たが、石炭船の全体像を評価する取りまとめにまでは至らなかった。