

第160研究部会  
氷海商船に関する研究  
報告書

昭和51年3月

社団法人

日本造船研究協会

# は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和50年度補助事業として、日本造船研究協会第160研究部会においてとりまとめたものである。

近年、北方圏の豊富な資源の開発が注目され、それら資源の大量輸送機関としての氷海商船の技術開発が要求されている。本研究は、この観点から、氷海商船の設計、建造のため解明すべき技術的問題点について調査研究を行うものであり、昭和50年度はその初年度として、世界の氷海用船舶の現状、氷海用船舶に関する技術の現状、氷海用船舶設計上の考慮事項及び宗谷、ふじの実績について調査を行った。

本報告書の第1編「氷海用船舶に関する技術調査報告」は、三井造船(株)が担当し、ARCTEC INCORPORATED社の協力を得て調査取りまとめたものであり、第2編「宗谷・ふじの実績調査報告」は、日本鋼管(株)が担当して取りまとめたものである。

なお、本研究部会では、上記調査と並行して、第3回北極環境下港湾海洋工学会議論文概要、北東航路航行事情等の文献を集収し、本研究の参考に供した。

## 第160研究部会委員名簿（敬称略，五十音順）

部会長	浜田昇（日本船用機器開発協会）	
委員	芦野民雄（日本船用機器開発協会）	伊藤達郎（船舶技術研究所）
	井上勝（三菱重工業）	漆谷一雄（日立造船）
	大島正直（三井造船）	大塚弼（日本鋼管）
	上村晃（船舶技術研究所）	黒田七郎（川崎重工業）
	宝田直之助（住友重機械工業）	寺沢一雄（大阪大学）
	成田仁（三井造船）	浜村建治（石川島播磨重工業）
	元良誠三（東京大学）	村山雅美（国立極地研究所）

# 目 次

第1編 氷海用船舶に関する技術調査報告 .....	1
1. 序 文 .....	1
2. 世界の氷海用船舶 .....	2
2.1 概 論 .....	2
2.2 ソ連の氷海用船舶 .....	2
2.2.1 KAPITAN級砕氷船 .....	2
2.2.2 MOSKVA級砕氷船 .....	5
2.2.3 VASILITY PRONCHI SHCEV級氷海タグボート .....	5
2.2.4 砕氷船ERMAK .....	7
2.2.5 原子力砕氷船LENIN .....	7
2.2.6 ARKTIKA級原子力砕氷船 .....	9
2.2.7 砕氷船ADMILAL MAKAROV .....	9
2.2.8 LENA級およびAMQUEMA級氷海貨物船 .....	9
2.2.9 SAMOTLOR級氷海タンカー .....	11
2.3 カナダの氷海用船舶 .....	12
2.3.1 砕氷船JOHN A. McDONALD .....	12
2.3.2 砕氷船D'IBERVILLE .....	13
2.3.3 砕氷船LABRADOR .....	13
2.3.4 砕氷船LOUIS ST. LAURENT .....	15
2.3.5 砕氷船NORMAN MCLEOD .....	15
2.3.6 五大湖用砕氷船SIR HUMPHREY GILBERTおよびSIR WILLIAM ALEXANDER .....	18
2.3.7 建造計画中のR級砕氷船 .....	19
2.3.8 建造計画中の砕氷船POLAR 7 .....	19
2.3.9 氷海フェリー-ABEGWEIT .....	19
2.3.10 砕氷形海底電線敷設JOHN CABOT .....	20
2.3.11 ARCTIC CLASSII撒積貨物船 .....	20
2.3.12 大型フェリー-WILLIAM CARSON .....	21
2.3.13 氷海タンカー-IMPERIAL BEDFORD .....	23
2.3.14 氷海用貨物船FORT CHAMBLYおよびFORT ST. LOUIS .....	23
2.4 フィンランドの氷海用船舶 .....	23
2.4.1 砕氷船VOIMA .....	23
2.4.2 KARHU級砕氷船 .....	24
2.4.3 砕氷船HANSE .....	26
2.4.4 TARMO級砕氷船 .....	26
2.4.5 URHO級砕氷船 .....	29
2.4.6 氷海貨物船FINNCARRIER .....	29
2.4.7 氷海フェリー-FINNHANSA .....	31

2.4.8	氷海フェリー FINLANDIA	31
2.5	米国の氷海用船舶	33
2.5.1	WIND級砕氷船	33
2.5.2	砕氷船 MACKINAW	34
2.5.3	砕氷船 GLACIER	34
2.5.4	POLAR級砕氷船	35
2.5.5	砕氷タンカー MANHATTAN	36
2.5.6	五大湖用砕氷フェリー VACATION LAND	36
2.6	スウェーデンの氷海用船舶	38
2.6.1	ODEN級砕氷船	38
2.6.2	砕氷船 TOR	38
2.6.3	砕氷船 ATLE	41
2.6.4	氷海フェリー SVEA DROTT	41
2.7	デンマークの氷海用船舶	43
2.7.1	砕氷船 DANBJORN	43
2.7.2	氷海用貨物船 BAMSA DAN	43
2.8	日本の氷海用船舶	44
2.8.1	南極観測船ふじ	44
2.9	アルゼンチンの氷海用船舶	47
2.9.1	南極観測船 GENERAL SAN MARTIN	47
2.10	英国の氷海用船舶	48
2.10.1	極地観測船 BRANSFIELD	48
2.10.2	氷海用サブライボート POLAR SHORE	48
2.11	氷海用船舶一覧表	51
3.	氷海用船舶に関する技術の現状	59
3.1	技術開発の経緯と研究活動の現状	59
3.1.1	氷海中の船体抵抗	59
3.1.2	船体形状	77
3.1.3	船殻材料と構造	87
3.1.4	推進システム	93
3.1.5	操縦性能	97
3.1.6	砕氷船における原子力の利用	98
3.2	既設および計画中の氷海試験水槽の概要	99
3.2.1	概 論	99
3.2.2	モデル氷の材料	99
3.2.3	アークテック・カナダ社	100
3.2.4	アークテック社	101
3.2.5	ソ連北極南極科学研究所	101
3.2.6	米国陸軍寒冷地研究所	102
3.2.7	ハンブルグ船舶試験水槽	102

3.2.8	バルチラ氷海試験水槽	102
3.2.9	その他の施設	104
3.3	氷海実験の実績例	104
3.3.1	概論	104
3.3.2	過去の実船実験	104
3.3.3	代表的な実船テスト方法の一例	105
4.	氷海用船舶設計上の考慮事項	109
4.1	砕氷船設計の系統的な手法	109
4.1.1	概論	109
4.1.2	船主要求事項	110
4.1.3	設計上の変数	112
4.1.4	設計上の制約事項	113
4.1.5	氷海用船級規則	113
4.1.6	船体寸法の決定	115
4.1.7	船首および船体前部形状	115
4.1.8	船尾および船体後部形状	117
4.1.9	操縦性および進路安定性	117
4.1.10	復元力と安定性	118
4.1.11	所要出力の推定	118
4.2	船体構造の選択に関する設計上の考察	118
4.2.1	概論	118
4.2.2	航行海域の決定	118
4.2.3	氷荷重の決定	120
4.2.4	アイスベルト領域の選択	122
4.2.5	船級協会規則の選択	122
4.2.6	材料の選択	123
4.2.7	船体の許容腐食量とコーティング方法の選択	123
4.2.8	肋骨方式の選択	123
4.2.9	アイスベルトの設計方法	124
4.2.10	その他の構造に関する要求チェック	125
4.2.11	詳細設計	125
4.3	推進機関	126
4.3.1	概論	126
4.3.2	出力使用状態	126
4.3.3	推進プラントに要求される事項	126
4.3.4	推進プラント計画と配置	127
4.3.5	機器の信頼性、保守性および入手の容易さ	127
4.3.6	機器の重量および価格	127
4.3.7	推進プラントの制御および乗組員計画	127
4.3.8	推進プラントの評価および選択	127

4.3.9	プロペラ軸数および出力配分	127
4.3.10	プロペラ直径および取付位置	128
4.3.11	軸出力の決定	128
4.4	砕氷船補助設備	131
4.4.1	概論	131
4.4.2	救命設備	131
4.4.3	ヘリコプターデッキ	131
4.4.4	船橋および橋上見張り場所	131
4.4.5	曳航設備	131
4.4.6	着氷防止および解氷装置	132
4.5	一般配置	132
5.	結論	133
付録	参考文献リスト	134
第2編 宗谷・ふじの実績調査報告		141
1.	南極調査船「宗谷」の改造修理工事	141
1.1	まえがき	141
1.2	改造工事と使用実績	141
1.2.1	第1次改造工事	141
1.2.2	第1次南極航海使用実績	142
1.2.3	第2次改造修理工事	142
1.2.4	第2次南極航海使用実績	143
1.2.5	第3次改造修理工事	144
1.2.6	第3次南極航海使用実績	144
1.2.7	第4次改造修理工事	145
1.2.8	第4次南極航海使用実績	145
1.2.9	第5次修理工事	146
1.2.10	第5次南極航海使用実績	146
1.2.11	第6次修理工事	146
1.2.12	第6次南極航海使用実績	146
1.3	あとがき	146
2.	南極観測船「ふじ」	155
2.1	建造計画	155
2.1.1	主要目等	155
2.1.2	機関出力および航続距離	156
2.1.3	船体形状	156
2.1.4	砕氷能力	156
2.1.5	復原性、動揺性等	157
2.1.6	船体構造	157
2.1.7	推進性能	157

2.1.8	配置その他	157
2.2	運航実績	158
2.2.1	氷の状態	158
2.2.2	砕氷能力	158
2.2.3	プロペラ折損に対する対策	159
2.2.4	推進発電機用機関	159
2.2.5	その他	159

# 第1編 氷海用船舶に関する技術調査報告

## 1. 序 文

この調査は、砕氷船及び氷海航行商船に関する技術の現状をまとめたものである。この技術は1864年にはじめてソ連で砕氷船が建造されて以来100年にわたり蓄積されて来たが、PRUDHOE BAY周辺で石油が発見された1965年から1970年にかけて大きく発展した。カナダやソ連の北極圏、ベーリング海やチャクチ海など、氷におおわれた海域で、石油探査が進められている今日、この氷海域航行船舶に関する技術は、非常にその重要性を増して来ていると云えよう。

1973年にMARAD でまとめられた報告(文献1.1)によれば、米国アラスカ間の輸送だけでも砕氷大型タンカー21～33隻、氷海航行撒積船6隻が必要であるとされている。もしカナダの北極圏における天然資源の開発が完全に進められれば、これらの需要は容易に2倍になると考えられよう。最も新しい情報(文献1.2, 1.3)などによれば、カナダ北極圏での鉱物輸送の為に3隻の氷海用撒積船が建造中であり、またソ連の為に14隻の砕氷タンカーがフィンランドで建造されようとして居り、その中の1隻は既に就航していると云われている。いずれにせよ今後より多くの氷海航行商船や砕氷船が建造されるであろうことは明らかであり、より効果的な砕氷船を建造するために必要な技術が必要となろう。

本報告には、まず現存の砕氷船及び氷海航行商船の主要なものについて、要目その他をリストアップし、つぎに、現在までにつちかわれて来た、氷海での推進抵抗推定法や、砕氷能力、氷から受ける力などの技術の現状について、船首や船体形状、推進プラント、砕氷に必要な設備、原子力の利用などについても触れながらまとめている。つづけて、砕氷船の基本計画に必要なことごとについて述べ、最後に、将来の技術開発に対する指針的なものを掲げている。

また、参考となり得る文献のリストを最後にまとめている。

## 2. 世界の氷海用船舶

### 2.1 概 論

1864年ソ連で最初の砕氷船が建造されて以来、多くの砕氷船が、商船の護衛・救助、氷海での水路づくり、科学的探査、軍事等の目的で建造された。氷海商船のほとんどがソ連、フィンランド、ノルウェー製で、人や貨物の輸送をしている。現在では砕氷船の助けを要しない氷海商船は数少ないが、今後増加することが予想されるので、建造船をふり返って、砕氷船の基本的な条件をこの章で見ることとした。最初に国別に、船をリストアップし、搭載機器や就航海域、それに船の基本寸法などを簡単に付記した。可能な場合は一般配置図、ライン図をも付記した。早見表として2-11節に図ごとに船のリストを掲載した。

氷海用船舶は、いわゆる砕氷船と、氷海商船とに大別される。いわゆる砕氷船とは1940年以後に建造されたもので、出力が5000shp以上のものと定義した。この船は、氷海域の商船の補助を行なうものである。氷海商船とは1940年以後に建造されたもので、出力が5000shp以上のものと定義した。人や品物を運ぶ船で、砕氷船の護衛の要、不要は問わない。データ収集に当り、Trade Journals, Ship Registration Society Logs, 関係大使館所持資料、手持ち文献等を参照した。砕氷能力とは、連続的に一定の厚さの氷を砕く能力と定義した。資料が入手できなかったものは、同じような出力船幅比を持つ同型船から推察した。最終的に50隻の砕氷船と、17隻の氷海商船についてリストアップした。

	砕 氷 船	氷 海 商 船
ソ 連	17	3
米 国	6	2
カ ナ ダ	10	4
フィンランド	10	3
スウェーデン	5	1
デンマーク	1	1
日 本	—	1
アルゼンチン	1	—
英 国	—	2

### 2.2 ソ連の氷海用船舶

#### 2.2.1 KAPITAN 級砕氷船

ソ連は冬になると氷海に囲まれ、砕氷船の必要性が他のどの国よりも強かった為に、1864年に最初の砕氷船が建造されているし、現在も、最大の砕氷船を有している。我々の分類要求に合致するソ連の初期砕氷船は KAPITAN クラスであり、1954年に KAPITAN BELOUSOV, 55年に KAPITAN VERONIN と KAPITAN MELEKHOV がフィンランドで建造されている。これらの船は、氷結した海峡やバルト海、白海の港湾、河川などの砕氷用として建造されたものである。前後に1対ずつ計4個のプロペラを有し、船尾にはかしわの木をライニングしたけん引ノッチがある。KAPITAN クラスの乗員は約115人である。以下に寸法、排水量、肥せき係数、船速、最高軸馬力、推進方式、プロペラ数、馬力/船幅比、砕氷能力、造船所、船主名等を記す。

全 長	273 feet
水 線 長	265 "
型 幅	63.6 "
水 線 幅	63 "

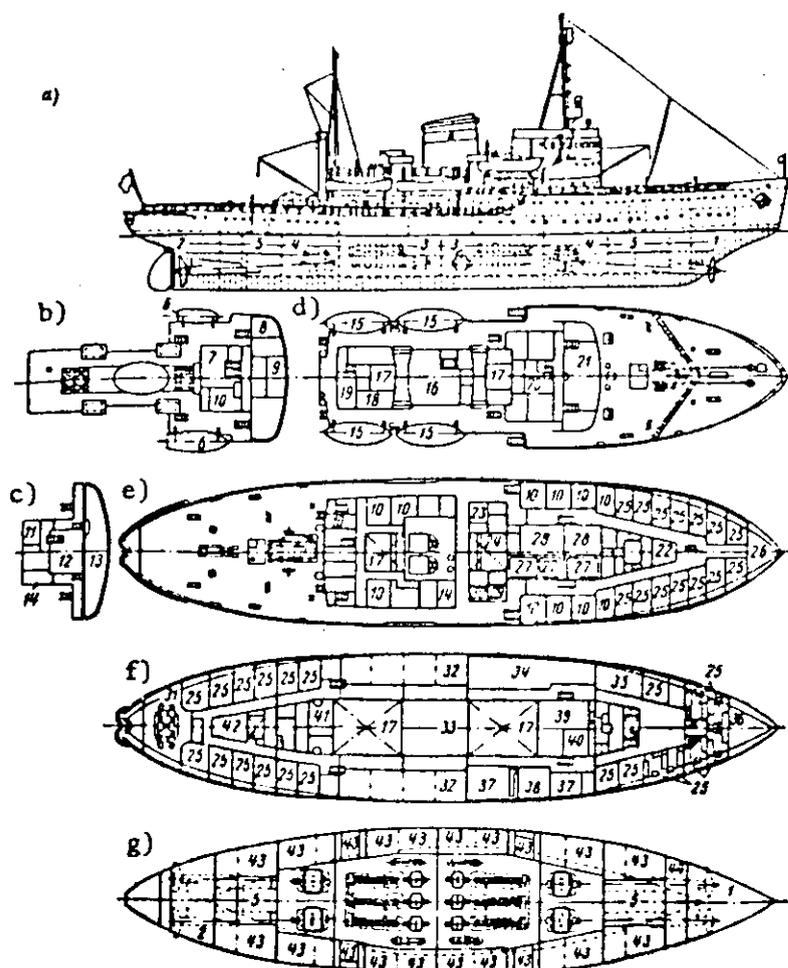


图 2.1 General Layout of the KAPITAN BELOUSOV

- |                           |                                       |                            |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| a. Side view              | 13. Wheel house                       | 31. Rudder machinery       |
| b. Command deck           | 14. Battery room                      | 32. List tanks             |
| c. Bridge                 | 15. Life boat                         | 33. Central command post   |
| d. Forecastle deck        | 16. Boiler shaft                      | 34. Command ward room      |
| e. Upper deck             | 17. Engine shaft                      | 35. Command club           |
| f. Main deck              | 18. Quarantine                        | 36. Boatswain's store      |
| g. Inner bottom           | 19. Sick bay and<br>outpatient clinic | 37. Repair shop            |
| 1. Fore-peak              | 20. Galley                            | 38. Store house            |
| 2. After-peak             | 21. Ward room                         | 39. Galley                 |
| 3. Main diesel generators | 22. Office                            | 40. Bakery                 |
| 4. Main electric motors   | 23. Shipwright's office               | 41. Towing winch machinery |
| 5. Hold                   | 24. Machine shop                      | 42. Laundry                |
| 6. Launch                 | 25. Command quarters                  | 43. Side tanks             |
| 7. Radio office           | 26. Paint store                       | 44. Cable box              |
| 8. Director's cabin       | 27. Refrigerator room                 |                            |
| 9. Captain's cabin        | 28. Store room                        |                            |
| 10. Crew quarters         | 29. Lamp room                         |                            |
| 11. Pilot's cabin         | 30. Watch house                       |                            |
| 12. Chart house           |                                       |                            |

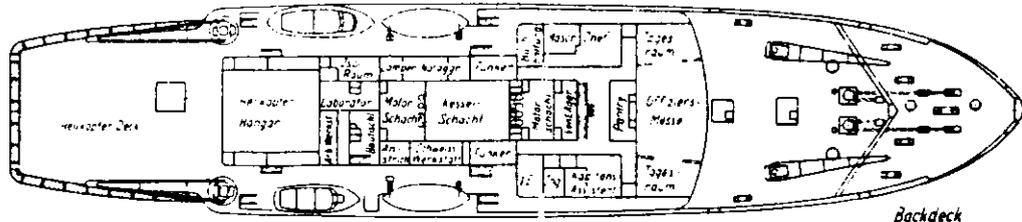
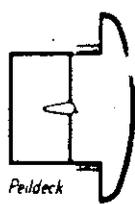
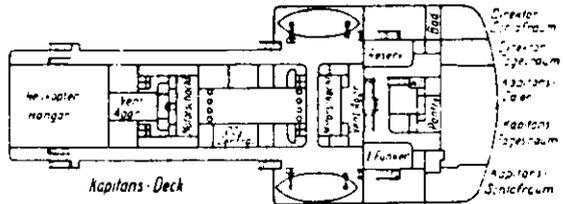
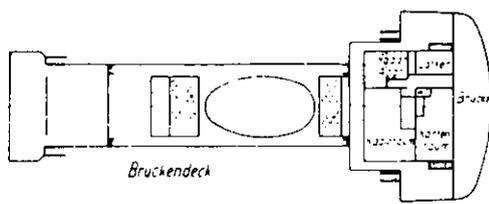
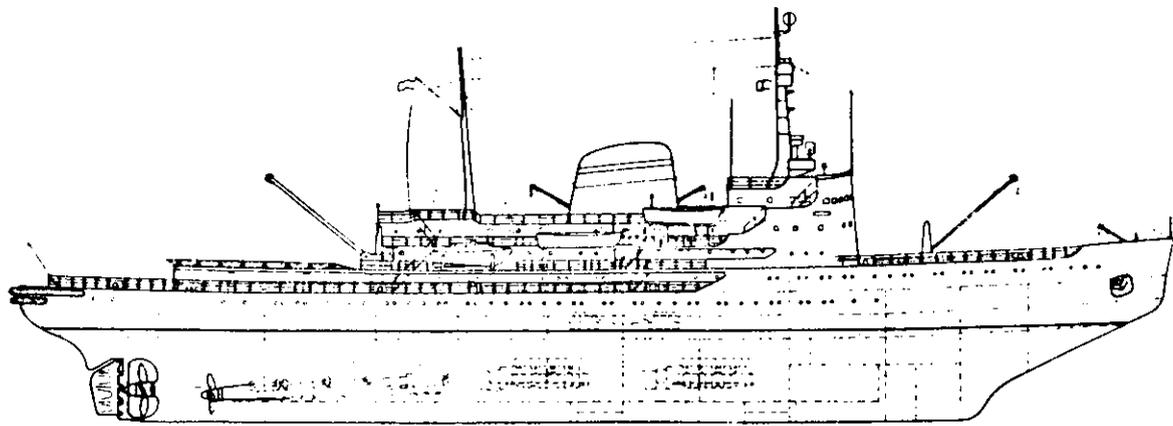
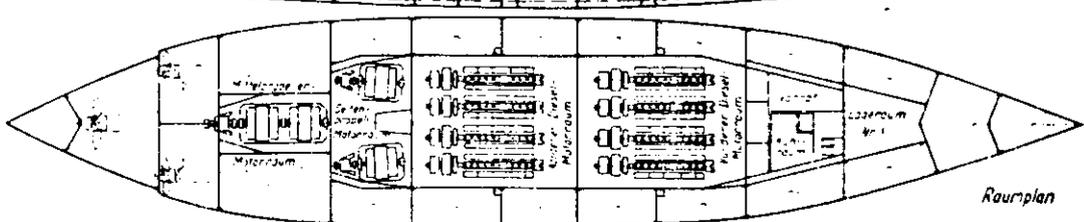
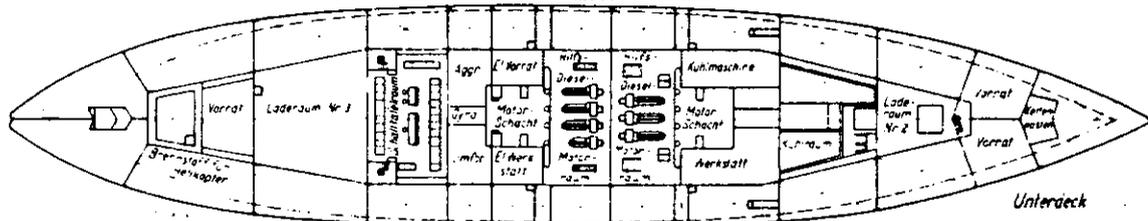
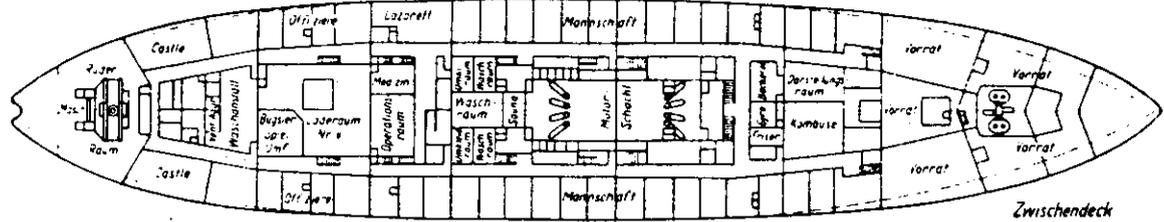
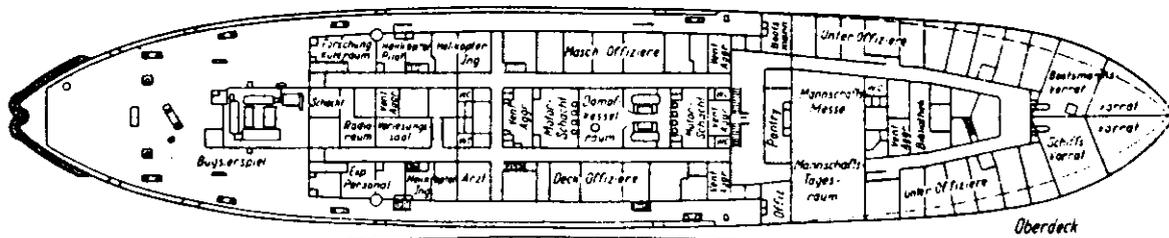


Bild 3 (Forts. S. 147)



☒ 2.2 General Layout of MOSKVA

吃水	23 feet
型深さ	31.2 "
排水量	4,415 tons ( 5,300 tons full load )
肥せき係数	0.489
船速	16.5 knots
軸馬力	10,500 SHP
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	164.8
砕氷能力	2.7 feet ( 予想 )
造船所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki, Finland

### 2.2.2 MOSKVA 級砕氷船

図 2.2 は、ソ連向けにフィンランドで建造された MOSKVA である。このクラスの砕氷船は、3 層の平甲板、プロペラ 3 基、大きな船首楼甲板、ヘリコプター用デッキ、格納庫等が装備されている。乗組員数は 126 人であるが 152 人を収容することができる。このクラスの船としては 1961 年に建造された LENINGRAD, 65 年の KIEV, 68 年の MURMANSK それに 69 年の VLADIVOSTOK がある。以下にその主要目を示す。

全長	400.7 feet
水線長	368.8 "
型幅	80.3 "
吃水	34.5 "
型深さ	37.7 "
排水量	12,840 tons ( 15,360 tons full load )
船速	18 knots
軸馬力	22,000 SHP
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	3
軸馬力 / 型幅	247
砕氷能力	3.5 feet ( 予想 )
造船所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki Finland
船主	ソ連

### 2.2.3 VASILITY PRONCHISHCHEV 級氷海タグボート

これらの船は、砕氷船と共同であるいは独自にバルト海やオホーツク海での船舶の航行支援の役についている。この種の砕氷タグの 1 番船は図 2.3 に示した VASILIIY PRONCHISHCHEV で 1961 年に進水している。最近では同型船が 15 隻あり、その主要目は以下の通りである。

全長	222.1 feet
水線長	203.4 "
型幅	59.2 "
水線幅	57.4 "

吃水	18 feet
型深さ	27.2 "
排水量	2,718 tons
肥せき係数	0.456
船速	14.5 knots
軸馬力	5,400 BHP
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 1 船首
軸馬力 / 型幅	91.2

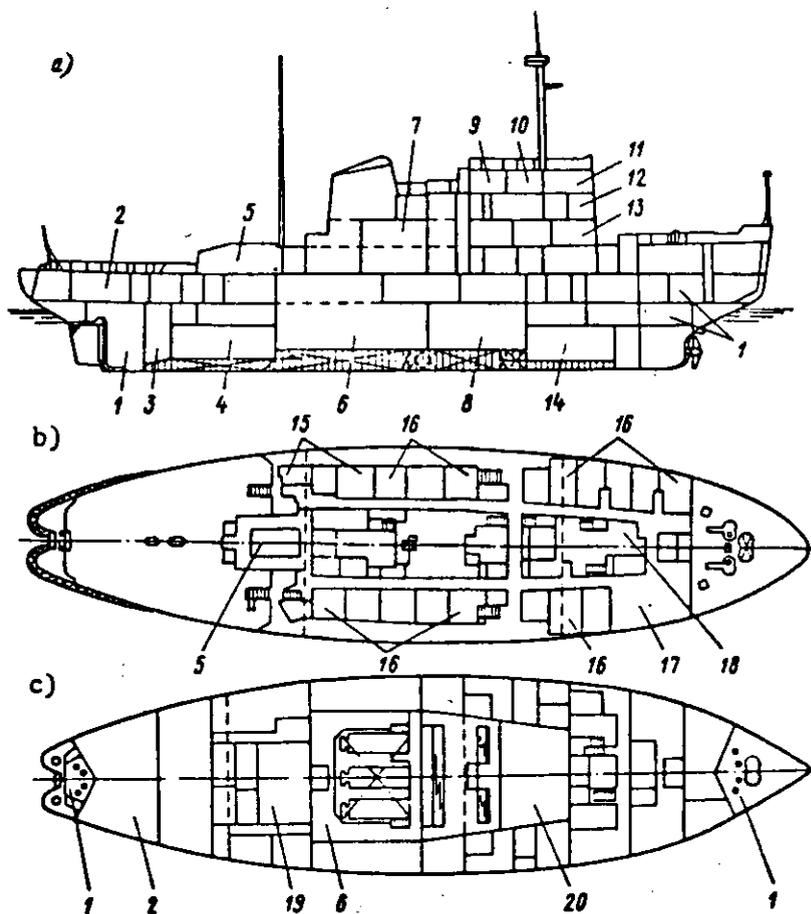


図 2.3 General Layout of VASILITY PRONCHISHCHEV

- |                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| a. Longitudinal cross section  | 10. Chart room            |
| b. Upper deck                  | 11. Wheel house           |
| c. Lower deck                  | 12. Captain's quarters    |
| 1. Trim compartment            | 13. Ward room             |
| 2. Tiller room                 | 14. Bow propulsion motor  |
| 3. Diesel fuel tank            | 15. Medical unit          |
| 4. Stern propulsion motors     | 16. Two-man crew quarters |
| 4. Towing winch                | 17. Dining room           |
| 6. Main diesel generators      | 18. Galley                |
| 7. Boiler room                 | 19. Transformers          |
| 8. Auxiliary diesel generators | 20. Machine shop          |
| 9. Radio house                 |                           |

砕氷能力	2.0 feet (予想)
造船所	Admiral Teyski Shipyard
	ソ連
船主	ソ連

#### 2.2.4 砕氷船 ERMAK

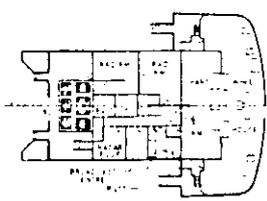
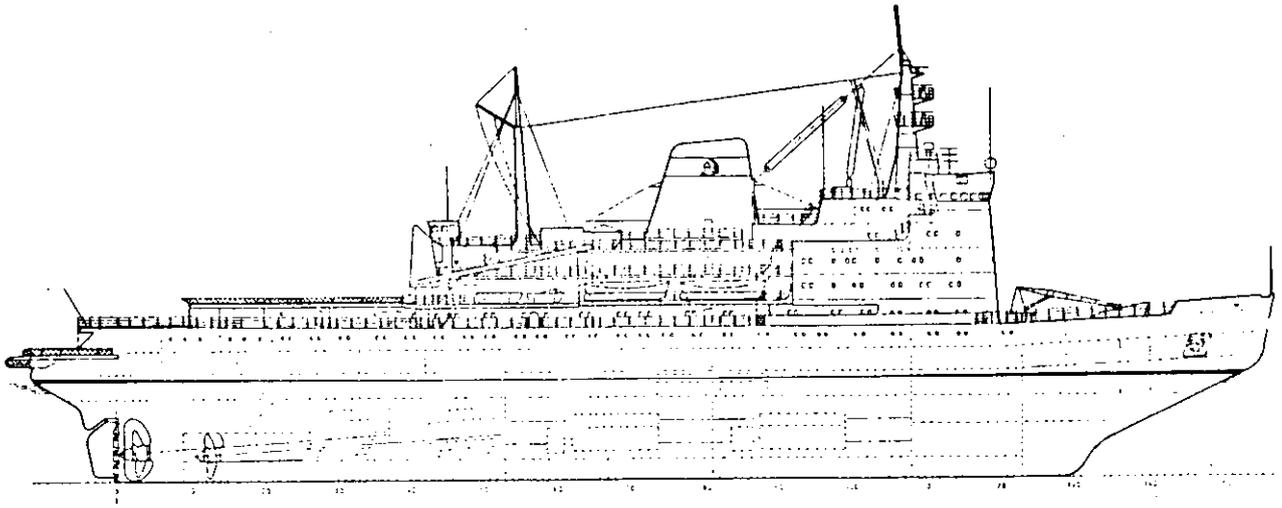
ERMAK (YERMAK 又は JERMAK と書く) は 36,000 馬力のソ連所有の砕氷船である。1974 年に北極海向けに建造されたものである。図 2.4 に示すこの船は排水量 20,241 tons でエアバブリングシステムを装備し、船体と氷の摩擦を減少させる役をしている。3つのプロペラは diesel - electric 形式で駆動されている。乗組員は 118 人で、サウナ、プール、100 名収容の映画館などが設置されており、ヘリコプター甲板や、格納庫も設けられている。主要目は次の通り。

全長	445.4 feet
垂線間長さ	426.4 "
型幅	85.3 "
水線幅	84 "
吃水	36 "
型深さ	54.8 "
排水量	20,100 long tons
船速	20 knots
軸馬力	36,000 shp
推進形式	Diesel - electric
プロペラ数	3
軸馬力/型幅	422.04
砕氷能力	5.0 feet (予想)
建造年	1974
造船所	Oy Wartsila shipyard.
	Finland
船主	ソ連

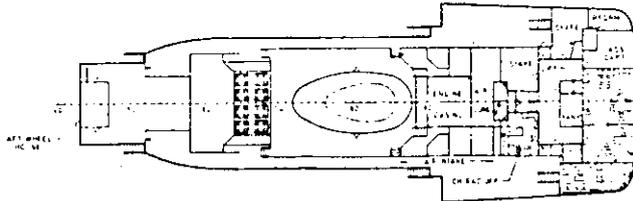
#### 2.2.5 原子力砕氷船 LENIN

ソ連の砕氷船 LENIN は、世界最初の原子力砕氷船である。3基の加圧水型原子炉により蒸気を発生させ、蒸気タービン電気推進方式によりプロペラを駆動している。LENIN は北極海用に建造され 230 人を収容できる。これも格納庫とヘリコプター用プラットフォームを装備している。主要目は次の通り。

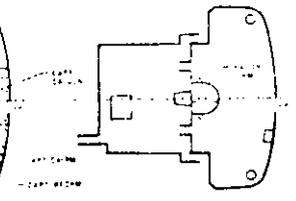
全長	444 feet
垂線間長さ	420 "
型幅	90.5 "
吃水	30.2 "
型深さ	52.9 "
排水量	16,000 tons
肥せき係数	0.49
船速	18 knots
軸馬力	44,000 shp



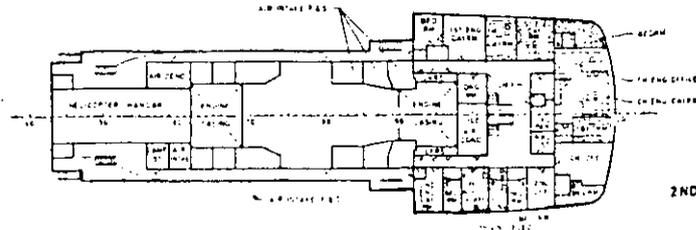
6TH BRIDGE DECK



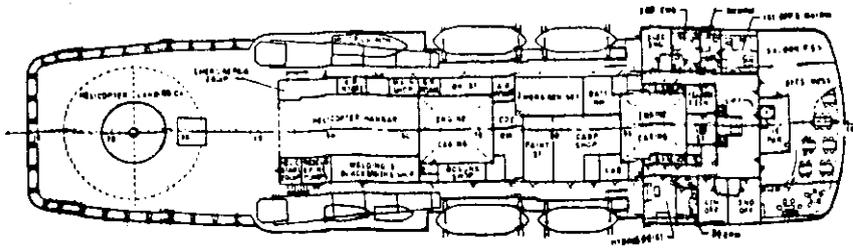
3RD BRIDGE DECK



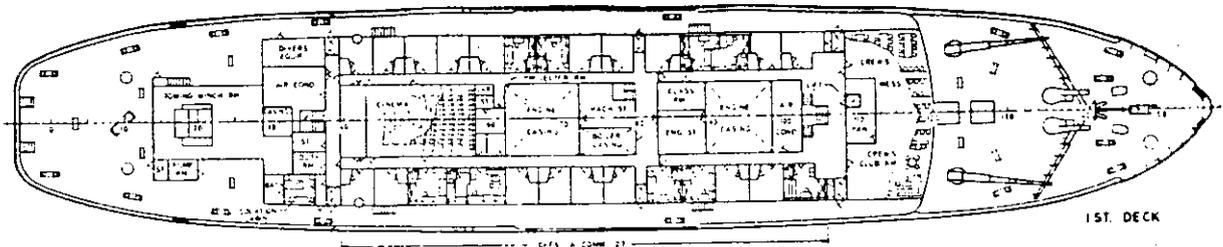
UPPER BRIDGE DECK



2ND BRIDGE DECK



1ST BRIDGE DECK



1ST. DECK

图 2.4 General Layout of the ERMAK

推進方式	Nuclear & Steam Turbines - electric
プロペラ数	3
軸馬力/型幅	486.2
砕氷能力	4.7 feet (予想)
建造年	1957
造船所	Admiralty Yard , Leningrad . USSR
船主	ソ連

LENIN とほぼ同型のものとしては 1971 年 9 月に完成した SEMYON DE SHNEV と同年 3 月に完成した IVAN MOSKVITIN がある。両者ともソ連で建造され、2つの原子炉をもっている。出力は 30,000 shp で排水量 15,000 ton である。

#### 2.2.6 ARKTIKA 級原子力砕氷船

1973 年にソ連で進水した原子力砕氷船 ARKTIKA は 74 年に新形式の炉を装備した。姉妹船の LEDOKOLY はまだ進水していない。これらの船はヘリコプター用デッキと格納庫を備えている。主要目は次の通り。

全長	459 feet
型幅	98.4 "
吃水	34 "
排水量	25,000 tons
船速	25 knots
軸馬力	75,000 shp ( 30,000 shp と書かれた資料も有る )
推進形式	Nuclear / Steam Turbine
軸馬力/型幅	762.2 ( 304.9 30,000 SHP の時 )
砕氷能力	5.8 feet ( 3.6 feet ) ( 予想 )
造船所	Baltic Shipbuilding and Engineering . Leningrad

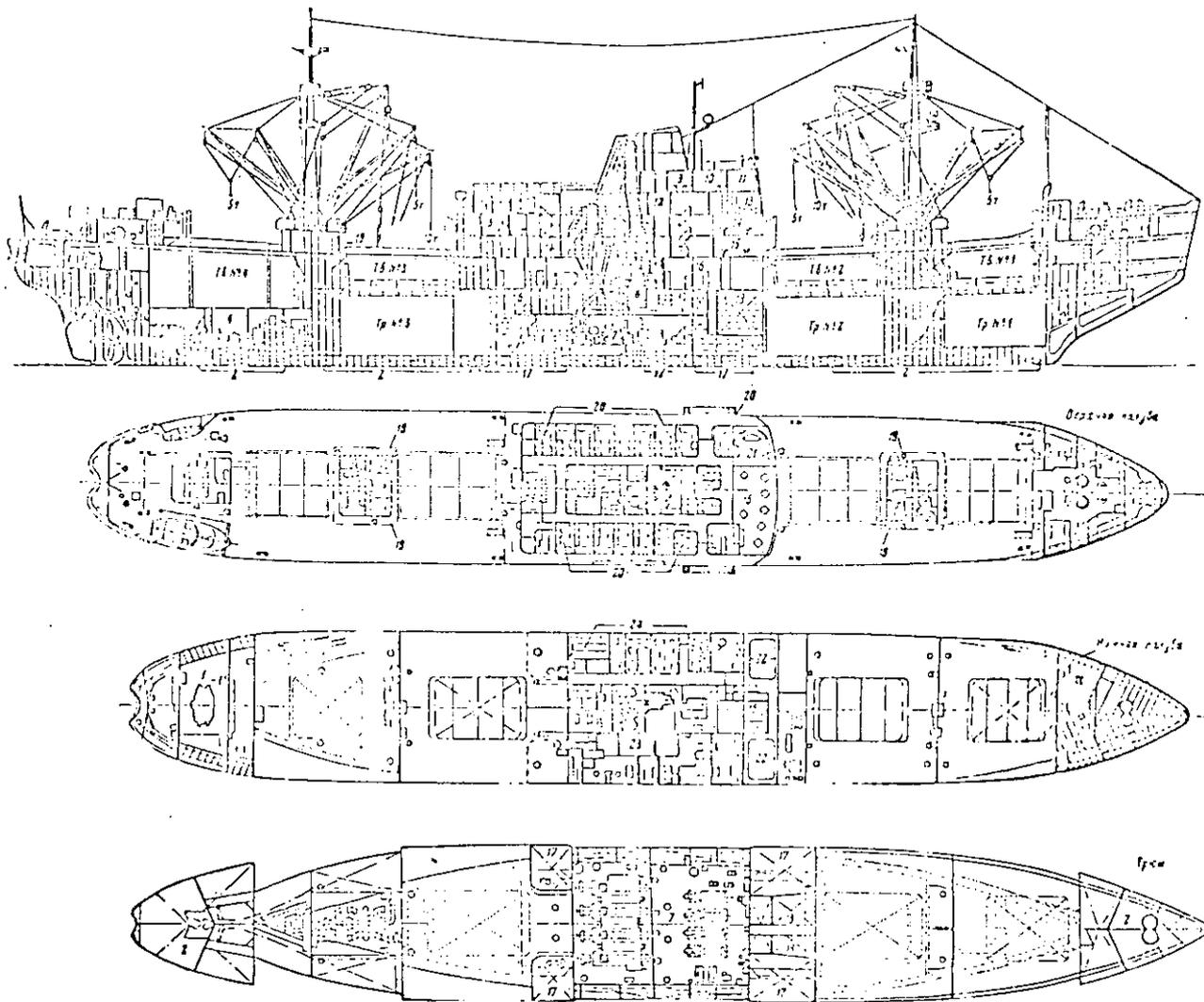
#### 2.2.7 砕氷船 ADMIRAL MAKAROV

1975 年完成予定の新砕氷船は ADMIRAL MAKAROV でその主要目は次の通り。

全長	442.8 feet
垂線間長	426.4 "
型幅	85.3 "
吃水	36.1 "
型深さ	54.8 "
船速	21 knots
軸馬力	36,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
軸馬力/型幅	422.3
砕氷能力	4.4 feet ( 予想 )
建造年	1975 ( 予定 )
造船所	Oy Wartsila . Helsinki Finland
船主	U/O Sudoimport Moscow , USSR

#### 2.2.8 LENA 級および AMGUEMA 級氷海貨物船

ソ連の砕氷貨物船には、LENA クラスと AMGUEMA クラスの 2 つがある。図 2.5 は砕氷貨物船の一般配置図を示



2.5 General Layout of the Icebreaking Cargo Vessel

- |                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Tiller flat                      | 13. Chief engineer's cabin    |
| 2. Ballast compartments             | 14. Wardroom                  |
| 3. Towing winch                     | 15. Crew's mess               |
| 4. Electric drive motor compartment | 16. Gyro position             |
| 5. Sickbay                          | 17. Diesel fuel tank          |
| 6. Central control position         | 18. Diesel fuel settling tank |
| 7. Engine room                      | 19. Carbon dioxide equipment  |
| 8. Auxiliary boiler                 | 20. Two-berth cabins          |
| 9. Wireless cabin                   | 21. Red corner                |
| 10. Charthouse                      | 22. Freshwater tanks          |
| 11. Wheelhouse                      | 23. Heads and bathrooms       |
| 12. Emergency diesel generator      | 24. Provision stores          |

す。LENAクラスは、貨物船に砕氷性能を導入して設計されたものである。これらの船の運航実績をもとに、新しい設計の砕氷貨物船が建造された。AMGUEMAクラスがそれで、主な改良点として、機関室通風システム用のフレイミングフィルター強化、より進歩した荷役設備の導入、吃水の増加といったものが挙げられる。貨物の載荷量はLENAクラスでは317,172 ft<sup>3</sup>であるが、AMGUEMAクラスでは342,602 ft<sup>3</sup>である。一般貨物載荷重量はそれぞれ4,810トンと5,000トンで、撒積貨物はそれぞれ6,100トンと7,400トンである。これら2クラスの氷海貨物船の主要目を次に示す。

(LENA クラス)

全 長	427.2 feet
最大 船 幅	62 "
吃 水	21.1 "
型 深 さ	36.7 "
船 速	15.4 knots
軸 馬 力	8,200 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	1
軸馬力/船幅	132.2
砕氷能力	2.4 feet (予想)

(AMGUEMA クラス)

全 長	436.7 feet
最大 船 幅	62 "
吃 水	29.9 "
型 深 さ	38.1 "
船 速	15 knots
軸 馬 力	7,200 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	1
軸馬力/船幅	116.1
砕氷能力	2.3 feet (予想)

2.2.9 SAMOTLOR 級氷海タンカー

北極地域用タンカーとしてSAMOTLORクラスの船がソ連向けにフィンランドで建造されている。1975年から77年の間に14隻が建造されを予定で、その第1船のM/T SAMOTLORが最近完成した。この船は二重底構造およびカーゴ区域の二重外板構造を採用することにより、事故時の油漏洩の防止を計っている。乗組員は46名であるが、通常航海中は制御室で機関部当直を行なうことができる。主な要目は次の通り。

全 長	524.8 feet
垂線間長さ	485.5 "
型 幅	75.4 "
型 深 さ	42.3 "
吃 水	27.9 "
排 水 量	14,500 tons
軸 馬 力	11,600 BHP

推進形式	Diesel
プロペラ数	1 (固定ピッチ)
造船所	Rauma - Repola Oy, Finland
船主	V/O Sudoimport, ソ連

## 2.3 カナダの氷海用船舶

### 2.3.1 砕氷船 JOHN A. Mc DONALD

カナダは大型砕氷船を商船の護衛、凍結した氷の破壊、科学観察やその他に就航させている。JOHN A. MCDONALD がその一つで、図 2.6 にその概要を示す。この船は北極圏での就航を目的として設計され、カナダでは最初の 3 軸船で出力はそれぞれ 1 : 1 : 1 に等分されている。ヘリコプター用の 2 つの格納庫を有し、リフトシステムやけん引用フックはもたない。主要目は次の通りである。

全長	315 feet
垂線間長	290 "
型幅	70 "
吃水	28.1 "
型深さ	41.1 "
排水量	9,160 tons (満載時)
肥せき係数	0.5
船速	15.5 knots
軸馬力	15,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	3
軸馬力/型幅	21.3
砕氷能力	3.0 feet (予想)
建造年	1960
造船所	Davie shipbuilding Ltd, Canada
船主	カナダ, コーストガード (カナダ沿岸警備隊)

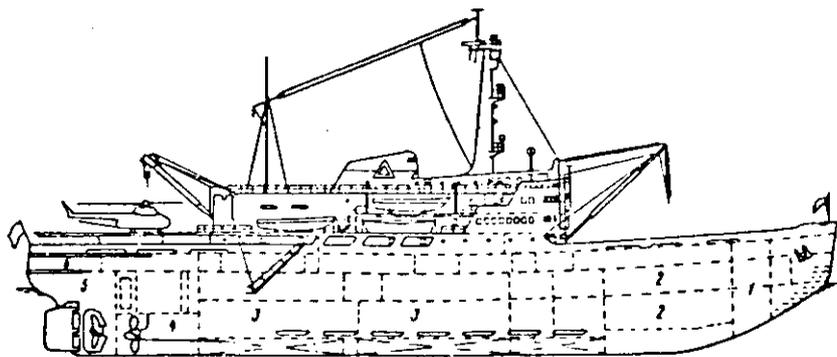


図 2.6 Profiles of the JOHN A. MCDONALD

- |                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| 1. Fore-peak    | 4. Electric propulsion motors |
| 2. Hold         | 5. After-peak                 |
| 3. Main engines | 6. Tiller room                |

### 2.3.2 砕氷船 D'IBERVILLE

D'IBERVILLE は蒸気機関を採用しており、北極圏やセントローレンス航路に就航しており、図 2.7 にその概要を示す。推進機関は "skinner Uniflow" 型の蒸気原動機である。引き船用ノッチや舵の安全装置はないが、ヘリコプターと格納庫をもっている。乗組員 61 人を収容できる。主要目は次の通り。

全 長	310 feet
垂線間長	285 "
型 幅	66.5 "
水 線 幅	65 "
吃 水	30.25 "
型 深 さ	40.25 "
排 水 量	8,700 tons ( 載荷時 9,930 tons )
肥せき係数	0.59
船 速	15 knots
軸 馬 力	10,800 IHP
推進形式	Steam
プロペラ数	1
軸馬力/型幅	162.4
砕氷能力	2.7 feet
建 造 年	1953
造 船 所	Davie Shipbuilding Ltd. Canada
船 主	カナダ, コーストガード

### 2.3.3 砕氷船 LABRADOR

1958年に改装された砕氷船 LABRADOR はトリムおよびリストシステムと Denni - Braun タイプのロールスタビライザを備えている。この設計は米国の WIND クラスがもとになっているが船首にプロペラがないのが、主な相違点である。定員は 96 名で普通の砕氷船の働きの他に北極圏の研究活動にも用いられる。その概要を図 2.8 に示す。主要目は次の通り。

全 長	290 feet
型 幅	63.5 "
水 線 幅	62 "
吃 水	29.1 "
型 深 さ	37.75 "
排 水 量	6,490 tons ( 載荷時 )
肥せき係数	0.5
船 速	16 knots
軸 馬 力	10,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2
軸馬力/型幅	157.5
砕氷能力	2.7 feet
建 造 年	1954

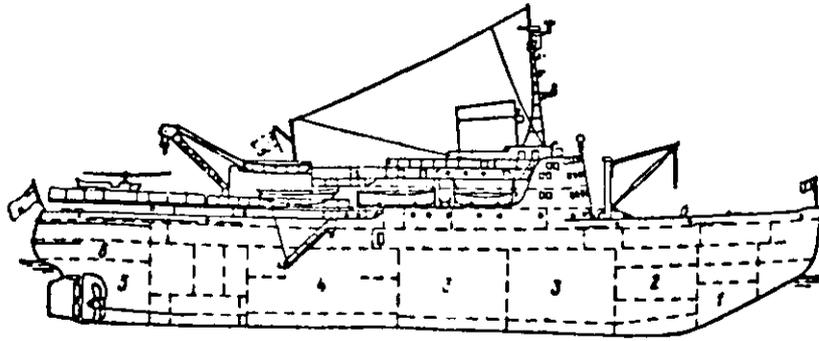
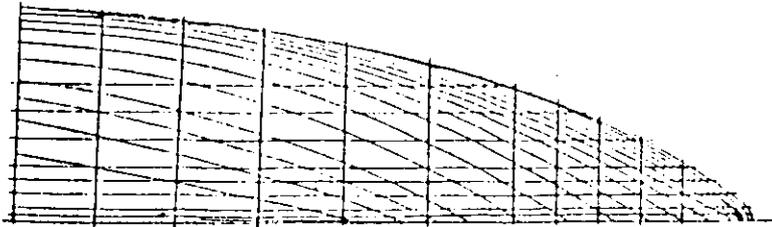
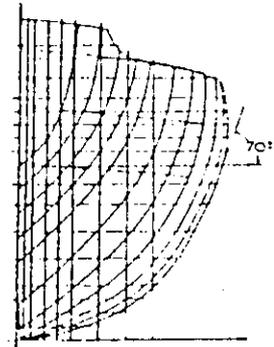
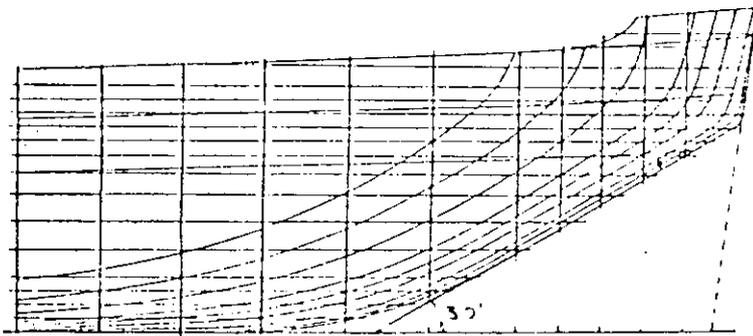


图 2.7 Profile of the D'IBERVILLE

- 1. Fore-peak
- 2. Hold
- 3. Boilers

- 4. Steam engines
- 5. After-peak
- 6. Tiller room



Lines of the LABRADOR

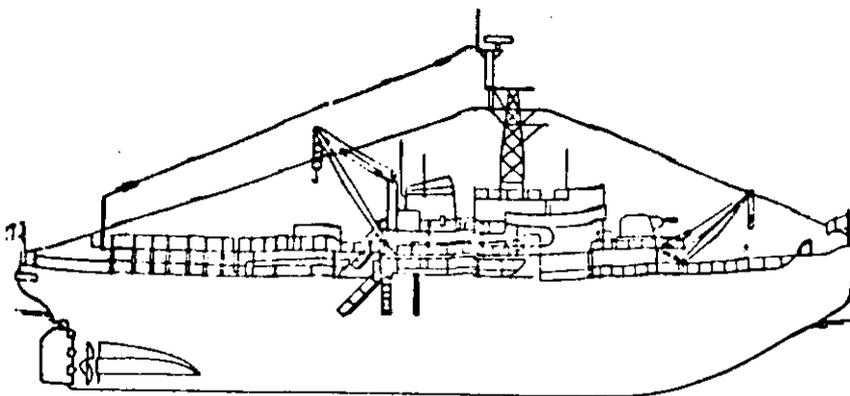


图 2.8 Profile of the LABRADOR

造 船 所 Marine Industries, Ltd, Sorel, Canada  
 船 主 カナダ, コーストガード

#### 2.3.4 砕氷船 LOUIS ST. LAURENT

LOUIS ST. LAURENT がカナダの最高出力砕氷船である。図 2.9 と図 2.10 にこれを示す。北極圏とセントローレンス湾が就航区域である。850 ton の貨物と、多くの科学者や乗員を乗せることができる。またヘリコプターと格納庫、曳航用ウィンチを装備しているが曳航用ノッチはない。バウスラスト "Flume" ロールスタビライザーシステムそれに自動リストシステムが装備されており、2 隻の大型ランチを搭載している。主要目は次の通り。

全 長	366.5 feet
垂線間長	334 "
型 幅	80 "
吃 水	29.5 "
型 深 さ	4.3 "
肥せき係数	0.59
船 速	13 knots (クルージング) 17.5 knots 最高
軸 馬 力	24,000 shp
推進形式	Turbo Electric
プロペラ数	3
軸馬力/型幅	300
砕氷能力	3.0 feet
建 造 年	1969 (完成)
造 船 所	Canadian Vickers, Ltd. Montreal Canada
船 主	カナダ, コーストガード

#### 2.3.5 砕氷船 NORMAN MCLEOD

NORMAN MCLEOD は diesel - electric 形式で、砕氷時は gas turbine - electric システムによりパワー補給するようになっており、この種のものとしてはカナダで初めてのものである。図 2.11 にライン図 2.12 に一般配置図を示す。この船は砕氷サブライポートと、ブイの補給船として設計されたものである。船体の安定装置としては、ビルジキールの代わりに、減揺タンク設備を設けている。これは総容量 20.2 トンの上下 2 つのタンクから成り、船体中央部前方に設備され、ローリングの防止や、砕氷に役立っている。定員は 55 名でヘリコプター、格納庫を有している。主要目

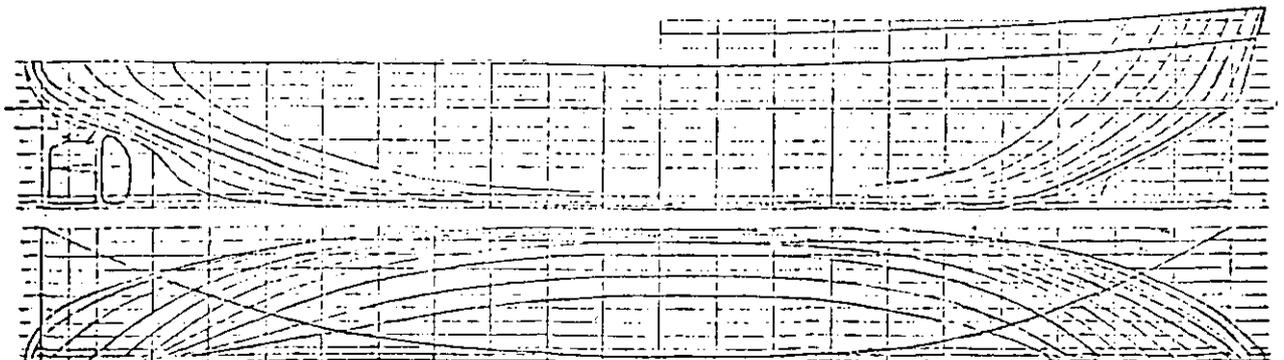
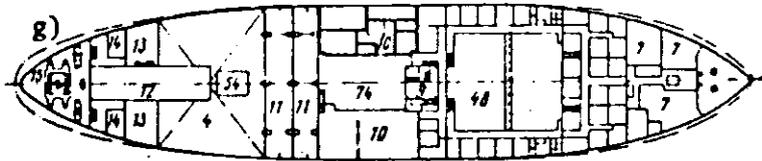
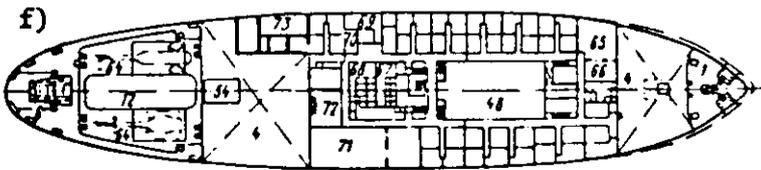
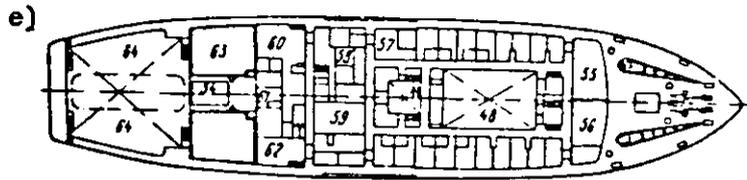
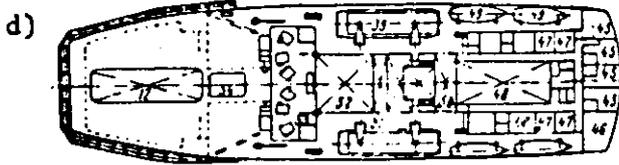
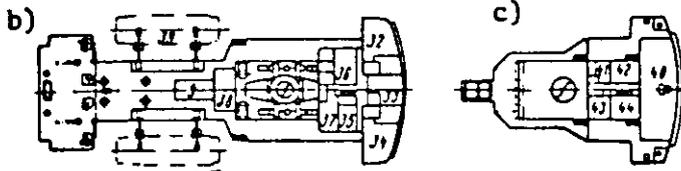
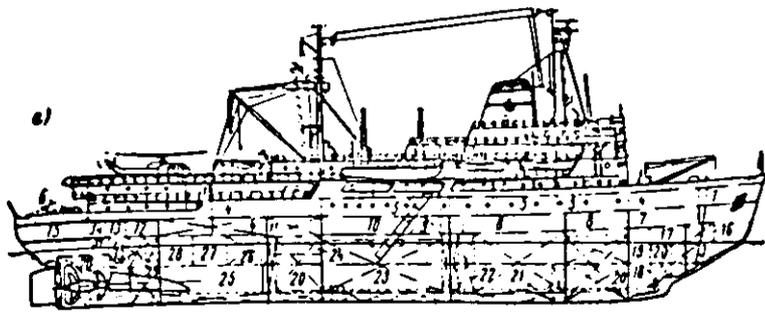
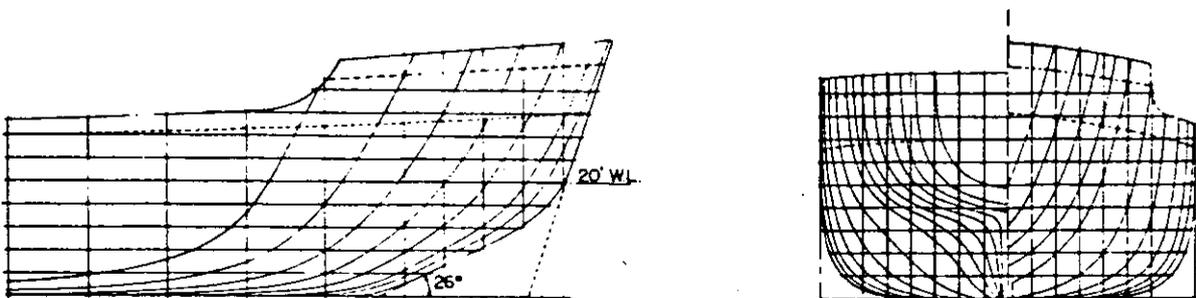


図 2.9 Lines of the LOUIS ST. LAURENT



☒ 210 General Layout of the LOUIS ST. LAURENT



☒ 211 Lines of the NORMAN MCLEOD ROGERS



は次の通り。

全 長	295	feet
垂線間長さ	266.25	"
型 幅	62.5	"
吃 水	20.5	"
型 深 さ	26	"
排 水 量	6,569 tons	(満載時)
船 速	15.5	knots
軸 馬 力	13,200	shp
推 進 形 式	Diesel - Electric / Gas	
軸馬力/型幅	211.2	
砕氷能力	3.0	feet
建 造 年	1969	
造 船 所	Canadian Vickers Ltd, Montreal, Canada	
船 主	カナダ, コーストガード	

#### 2.3.6 五大湖用砕氷船 SIR HUMPHREY GILBERT および SIR WILLIAM ALEXANDER

五大湖で就航している2隻の砕氷船として SIR HUMPHREY GILBERT と SIR WILLIAM ALEXANDER がある。前者の主要目は次の通り。

##### ( SIR HUMPHREY GILBERT )

全 長	208.5	feet
型 幅	48.2	"
型 深 さ	19.1	"
排 水 量	3,000 tons	(満載時)
船 速	13	knots
軸 馬 力	5,330	shp
推 進 形 式	Diesel - Electric	
軸馬力/型幅	110.6	
砕氷能力	2.2	feet (予想)
建 造 年	1959	
造 船 所	Davie Shipbuilding Ltd.	
船 主	カナダ, コーストガード	

後者は減揺タンク装置を備えている。主要目は次の通り

##### ( SIR WILLIAM ALEXANDER )

全 長	258.25	feet
型 幅	42.5	"
型 深 さ	18.67	"
排 水 量	3,555 tons	(満載時)
船 速	15	knots
軸 馬 力	5,330	shp
推 進 形 式	Diesel - Electric	

軸馬力／型幅	117.9
砕氷能力	2.3 feet (予想)
建造年	1959
造船所	Halifax Shipyards, Ltd, Canada
船主	カナダ, コーストガード

### 2.3.7 建造計画中の「R」級砕氷船

最近カナダでは数隻の砕氷船の建造計画がある。1978年と79年に完成予定の SHIPBUILDING #1 "R" クラスと SHIPBUILDING #2 "R" クラスの砕氷船がそれである。主要目は次の通り。

全長	322 feet
型幅	64 "
吃水	23.5 " (最高)
型深さ	35.5 "
排水量	7,716 long ton (最高)
軸馬力	13,000 BHP
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2
軸馬力／型幅	203.2
砕氷能力	3.0 feet (予想)

カナダ, コーストガードがこれらの船を所有し, 五大湖, 北極, セントローレンス湾の区域で運航することになっている。ウォータージェットを利用したバウスラストヤ, タンクスタビライザも装備される予定である。

### 2.3.8 建造計画中の砕氷船 POLAR 7

米国の POLAR クラスを基にした大型砕氷船 POLAR 7 はまだ設計段階である。乗組員102人, 飛行要員と, 士官候補生が56名, 合計183名が乗船することになっている。北極の海上輸送の補助と, 海難防止の役につく予定である。主要目は次の通り。

全長	597 feet
水線長	567.4 "
垂線間長	549.7 "
型幅	105.6 "
水線幅	98.6 "
型深さ	60 "
排水量	33,000 long tons
船速	16.75 knots
軸馬力	90,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
軸馬力／型幅	852.3
砕氷能力	6.2 feet (予想)

### 2.3.9 氷海フェリー ABEGWEIT

またカナダには数隻の砕氷フェリーがある。ABEGWEIT が最大で, この ro / ro フェリーは, 自動車, 鉄道車輛旅客などを輸送している。就航海域は Northumberland 海峡である。主要目は次の通り。

全長	372.5 feet
----	------------

水線長	355 feet
垂線間長	348 "
型幅	61 "
載貨船幅	60.2 "
吃水	19 "
型深さ	24.75 "
排水量	6,900 tons
肥せき係数	0.51
船速	16 knots
軸馬力	15,400 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 1 船首
軸馬力 / 型幅	252.5
砕氷能力	2.4 feet (予想)
建造年	1947
造船所	Sorel, Canada
船主	カナダ運輸省

### 2.3.10 砕氷形海底電線敷設船 JOHN CABOT

世界最大級の砕氷ケーブル船のひとつである JOHN CABOT はケーブル敷設装置を備え、ケーブルの敷設、補修に当たっている。図 2.1.3 にその概要を示す。定員は約 100 人で、大西洋、北極の東部、セントローレンス湾などの地域で就航している。主な要目は次の通り。

全長	313.3 feet
垂線間長	275.9 "
型幅	60 "
吃水	22.1 "
型深さ	34.2 "
排水量	5,234 tons
軸馬力	9,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2
軸馬力 / 型幅	150
砕氷能力	2.5 feet (予想)
建造年	1965
造船所	Canadian Vickers Ltd. Montreal Canada
船主	カナダ運輸省

### 2.3.11 ARCTIC CLASS II 撒積貨物船

1978 年末までにカナダは世界で最初の砕氷形バルクキャリア ARCTIC CLASS II を進水させる計画である。図 2.1.4 にこの概要を示す。これはカナダ運輸省と民間会社の共同出資によるものである。本船は 1 年のうち天候が最も穏やかな時期 4 ~ 5 ヶ月間、採鉱区域である Baffin 島の北部及び北西部に就航する予定である。残りの期間はセントローレンス航路、五大湖に就航させる予定である。厳冬期でも五大湖での就航は可能と思われる。バルチック海もこ

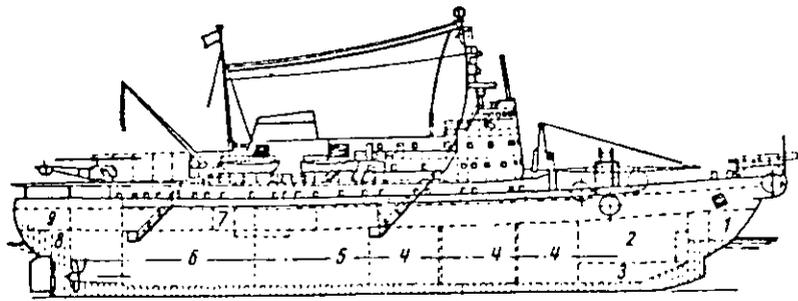


図 2.13 Profile of the JOHN CABOT

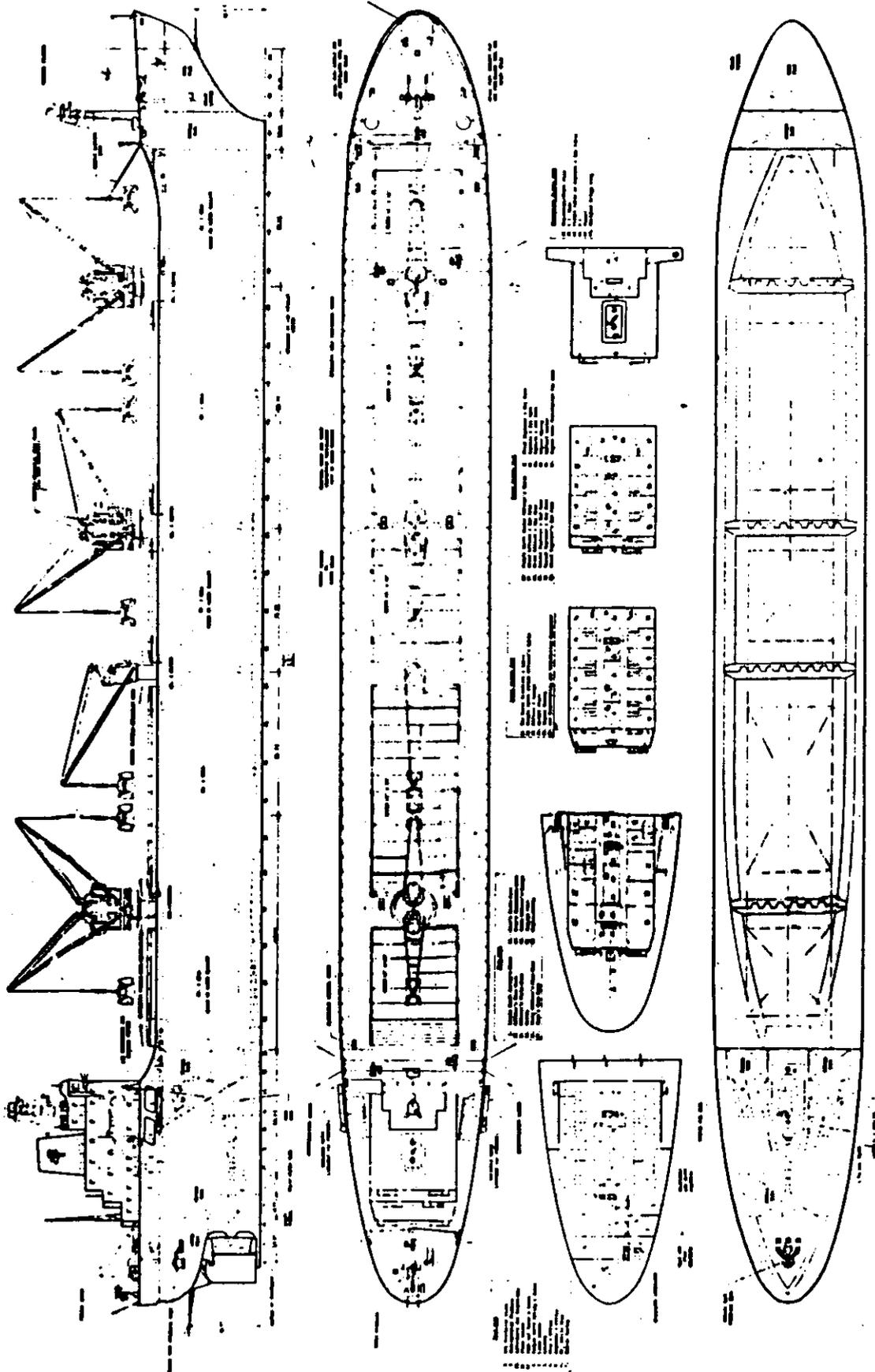
の種の船の就航区域に挙げることができると思われる。バルクカーゴ搭載量は 28,000 トンで連続的に厚さ 2 フィートの砕氷が可能である。エアバブリングシステムを備え、固定式ノズル付きの可変ピッチプロペラを採用する予定である。定員は 46 人。主要目は次の通り。

全 長	687.4 feet
垂線間長	645 "
型 幅	75 "
吃 水	36 "
型 深 さ	50 "
排 水 量	37,636 long tons (満載時)
船 速	15.5 knot
軸 馬 力	14,770 bhp
推 進 形 式	Diesel
プロペラ数	1 (CCP)
軸馬力/型幅	2 feet
建 造 年	1978 (予定)

### 2.3.12 大型フェリー WILLIAM CARSON

もうひとつの大型フェリーは WILLIAM CARSON である。これは Cabot 海峡区域に就航しており、旅客、自動車、貨物を運搬している。主要目は次の通り。

全 長	351 feet
垂線間長	325 "
型 幅	68 "
水線上幅	67 "
吃 水	18.3 "
型 深 さ	34.75 "
排 水 量	6,838 tons (7,108 tons 満載時)
肥せき係数	0.615
船 速	16 knots
軸 馬 力	10,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 1 船首
軸馬力/型幅	147.1



2.1.4 General Layout of ARCTIC CLASS II Bulk Carrier

砕氷能力	2.5 feet (予想)
建造年	1955
造船所	Montreal, Canada
船主	Dominion of Canada

### 2.3.13 氷海タンカー IMPERIAL BEDFORD

他の砕氷輸送船として IMPERIAL BEDFORD がある。本船はタンカーで主要目は次の通り。

全長	486.1 feet
垂線間長	459.8 "
型幅	69.9 "
吃水	26 "
型深さ	33.3 "
排水量	9,500 tons
船速	13.5 knots
軸馬力	6,410 bhp
軸馬力/型幅	91.7 feet
砕氷能力	1.2 " (予想)
建造年	1969
造船所	Davie shipbuilding, Ltd. Canada
船主	Imperial Oil Limited

### 2.3.14 氷海貨物船 FORT CHAMBLY および FORT ST. LOUIS

氷海の貨物船には FORT CHAMBLY (1961年建造)と FORT ST. LOUIS (1963年建造)の2隻がある。主要目は次の通り。

全長	463 feet
垂線間長	441.25 "
型幅	56.0 "
吃水	23.2 "
型深さ	32 "
軸馬力	6,000 shp
推進形式	Diesel
軸馬力/型幅	107
砕氷能力	2.2 feet (予想)
造船所	FORT CHAMBLY - Collingwood shipyards, Canada FORT ST. LOUIS - Davie Shipbuilding, Canada
船主	Canada Steamship Co.

## 2.4 フィンランドの氷海用船舶

### 2.4.1 砕氷船 VOIMA

フィンランドの砕氷船 VOIMA を図2.15 に示す。本船は1953年に建造され、船首に2つのプロペラをもつ最初の船であった。ソ連の KAPITAN BELOUSOV と同じ設計で、VOIMA は出力が10,500馬力で排水量が4,415トンである。この船はバルト海向けに建造されたものである。その主要目は次の通りである。

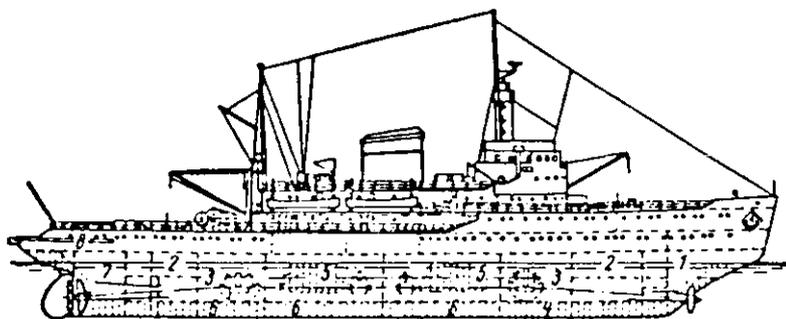


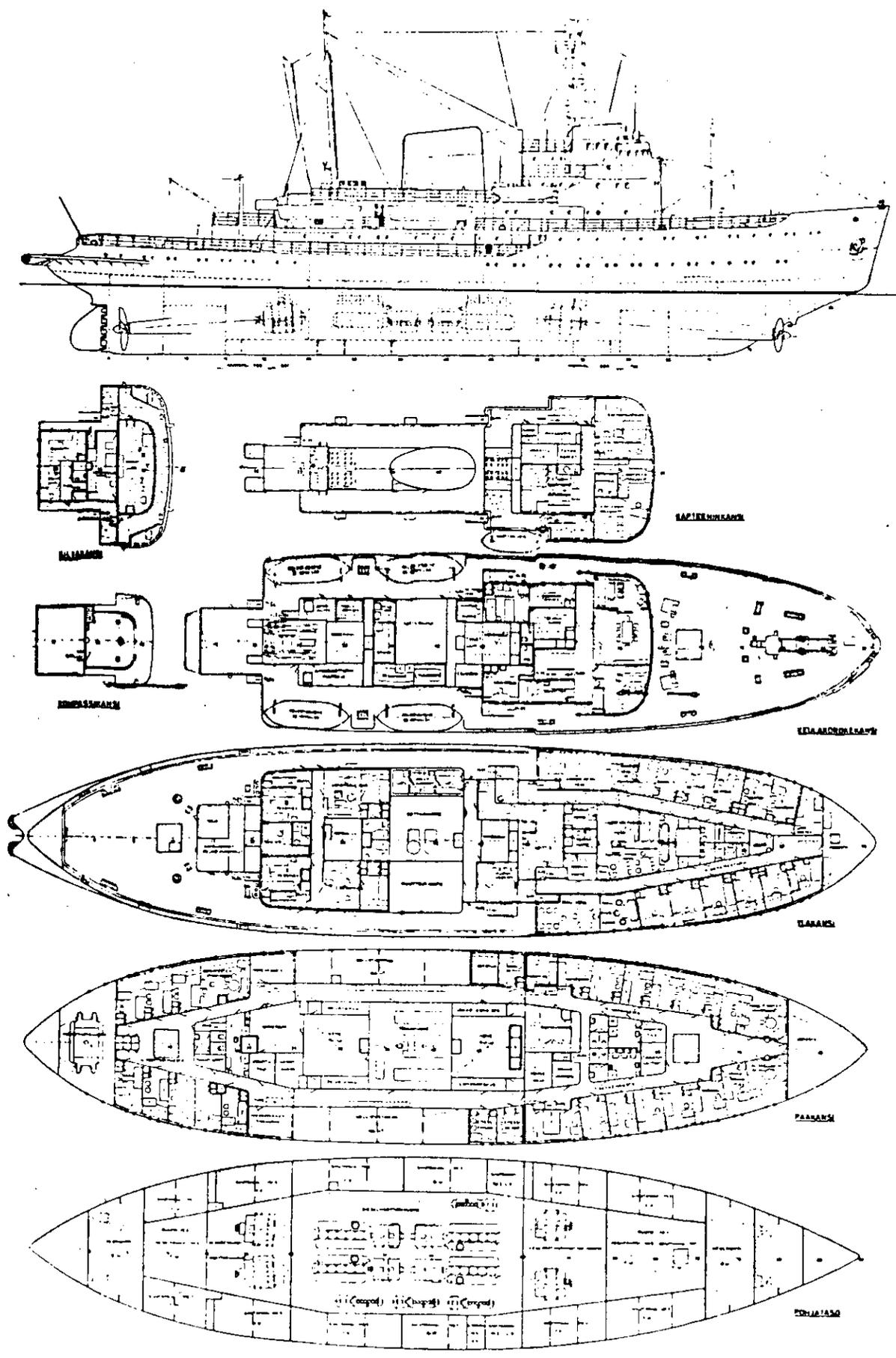
図 2.15 Profile of the VOIMA

- |                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| 1. Forepeak                   | 5. Main engines |
| 2. Hold                       | 6. Fuel         |
| 3. Electric propulsion motors | 7. Afterpeak    |
| 4. Water ballast              | 8. Tiller room  |

全 長	274 feet
水 線 長	254.3 "
垂 線 間 長	265 "
型 幅	63.5 "
水 線 幅	61.4 "
吃 水	22.1 "
型 深 さ	31.2 "
排 水 量	4,415 tons
肥 せ き 係 数	0.482
船 速	16.5 knots
軸 馬 力	10,500 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	165.4
碎 氷 能 力	2.7 feet ( 予想 )
建 造 年	1953
造 船 所	Oy Wartsila Shipyard, Finland
船 主	フィンランド政府 ( 船舶局 )

#### 2.4.2 KARHU 級碎氷船

フィンランドの 7,500 馬力クラスの碎氷船は 3 隻ある。1957 年建造の KARHU , 1958 年に建造された MUR-TAJA ( 図 2.16 に示す ) , それに 1960 年に建造された SAMPO である。これらの船は通常の海域における商船を十分に援助する能力を持ち、また吃水が浅いので、狭い航路や Bothnia 湾の浅い港などに就航している。船の中央部にある diesel - electric 推進プラントによって駆動されている。KARHU と MURTAJA のヒーリングに要する時間は 90 秒で、この間に 110 トンのバラスト水を移送する。SAMPO は 2 台のヒーリングポンプを装備しているので半分の 45 秒間である。各船の定員は 58 人で居住区は商船の居住区に関するフィンランドの法規にかなっている。主要目は次の通り。



2.16 General Layout of the MURTAJA

全 長	243.3 feet
垂線間長	224 "
型 幅	54.75 "
吃 水	19 "
型 深 さ	28.5 "
排 水 量	3,370 tons
肥せき係数	0.506
船 速	16 knots
軸 出 力	7,500 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	131.6
砕氷能力	2.3 feet (予想)
造 船 所	Oy Wartsila Shipyards Helsinki
船 主	フィンランド政府 (船舶局)

#### 2.4.3 砕氷船 HANSE

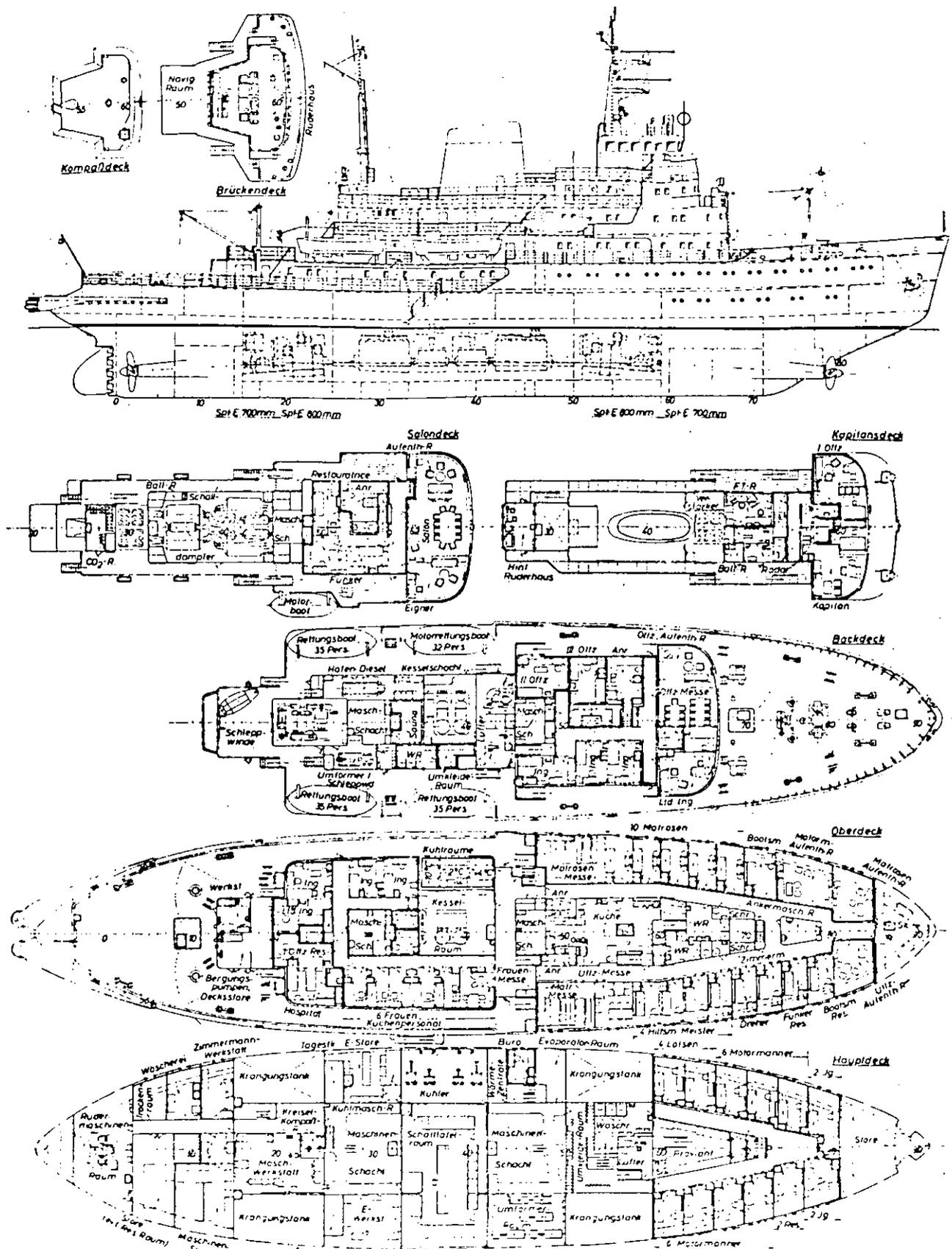
図 2.17 に示してある HANSE は 1966 に建造されたもので、これも KARHU クラスの砕氷船である。これは西独と共同所有の形になっているが、フィンランド国旗を掲げている。冬には西独に、その他はフィンランドに就航している。主要目は次の通り。

垂線間長	243.2 feet
型 幅	57 "
吃 水	20 "
排 水 量	3,700 tons
船 速	16 knots
軸 馬 力	7,500 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	131.6
砕氷能力	2.4 feet (予想)
建 造 年	1966
造 船 所	Oy Wartsila, Helsinki, Finland
船 主	フィンランド、西独

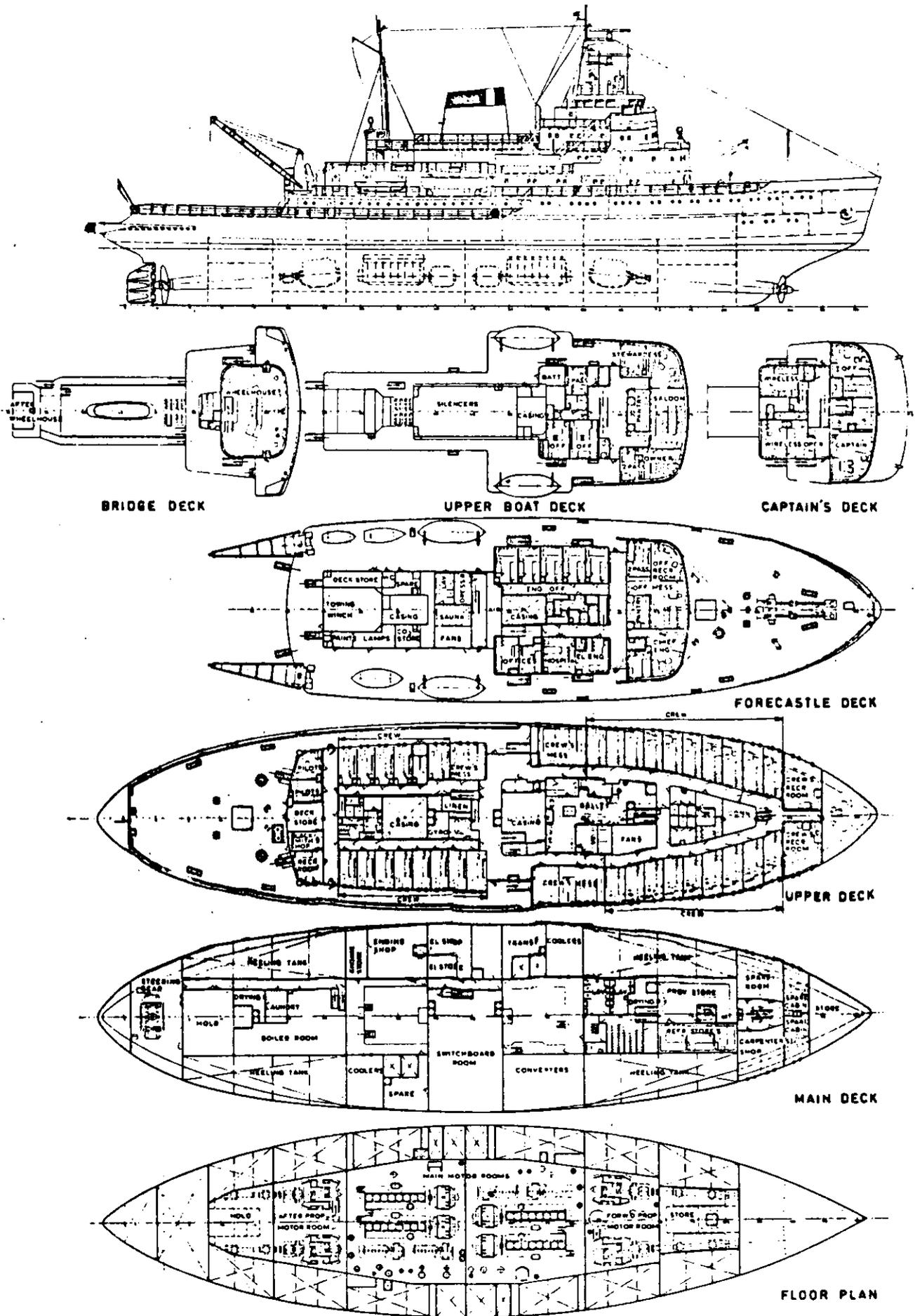
#### 2.4.4 TARMO 級砕氷船

図 2.18 は 1963 年に建造された TARMO を示している。1968 年建造の VARMO、1970 年建造の APU も TARMO クラスのバルト海の砕氷船で、フィンランドで最大のものである。定員は 63 人で居住区は主甲板上にある。これらの船はヘリコプターを搭載している。主要目は次の通り。

全 長	277.25 feet
垂線間長	254.2 "
型 幅	69.45 "
吃 水	20.3 "



☒ 2.17 General Layout of the HANSE



☒ 2.18 General Layout of the TARMO

型 深 さ	31.6 feet
排 水 量	4,890 tons
船 速	17 knots
軸 馬 力	12,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	169
砕水能力	2.8 feet (予想)
造 船 所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki
船 主	フィンランド政府(船舶局)

#### 2.4.5 URHO 級砕氷船

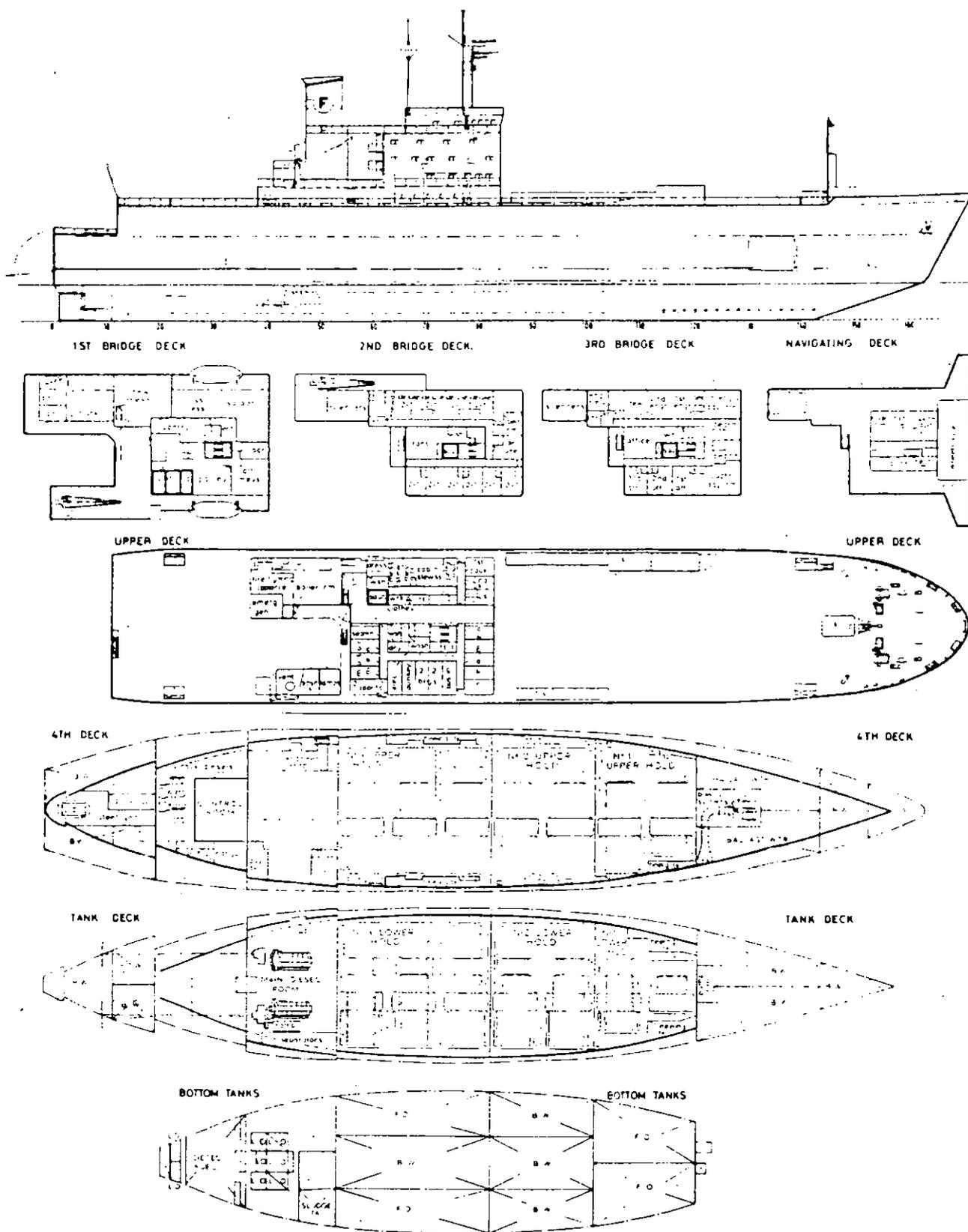
1974年に進水した URHO と 1976年完成予定の SISU は URHO クラスの砕氷船で、定員 57 人で、ヘリコプターを装備している。主要目は次の通り。

全 長	337.8 feet
型 幅	77.1 "
吃 水	24.6 "
排 水 量	7,800 tons
船 速	17 knots
軸 馬 力	20,000 bhp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 1 船首
軸馬力 / 型幅	259.4
砕水能力	3.4 feet (予想)
造 船 所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki
船 主	フィンランド政府(船舶局)

#### 2.4.6 氷海貨物船 FINNCARRIER

FINNCARRIER はバルト海の砕氷貨物船として設計されたもので、図 2.19 にこれを示す。エアブリングシステムを装備しており、氷海域を航行する際にはバウスラスターの役目も兼ねることができる。プロペラが氷塊をたいた場合に減速歯車に伝わるトルク変動を減ずる目的でプロペラシャフトにはフライホイールが備えてある。FINNCARRIER の船倉容量は 887,000 立方フィート、そのうちの 55,000 立方フィートが冷凍倉である。定員は 36 人で通常は運航要員のみである。Helsinki と Tnbeck 間に就航しており、復路 Copenhagen を経由している。主要目は次の通り。

全 長	450.3 feet
垂線間長	426.3 "
最 大 幅	80.6 "
吃 水	18.6 "
型 深 さ	56.9 "
排 水 量	10,400 tons
肥せき係数	0.585
船 速	17 knots



☒ 2.19 General Layout of the FINNCARRIER

軸馬力	11,160 shp
推進形式	Diesel
プロペラ数	2
軸馬力/最大幅	138.4
砕氷能力	2.7 feet (予想)
造船所	Oy Wartsila, Helsinki, Finland
船主	Enso - Gutzeit O/Y

#### 2.4.7 氷海フェリー FINNHANSA

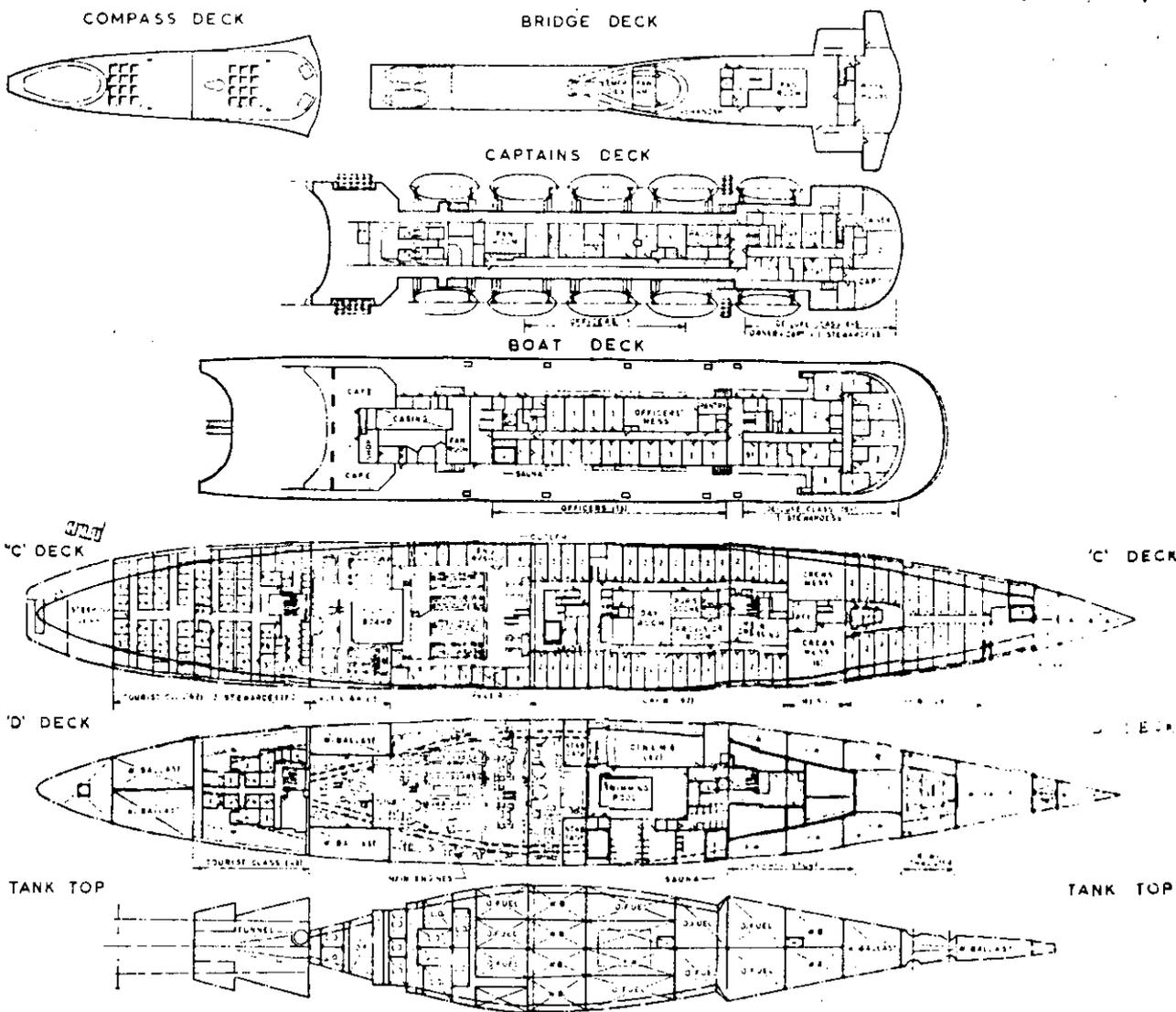
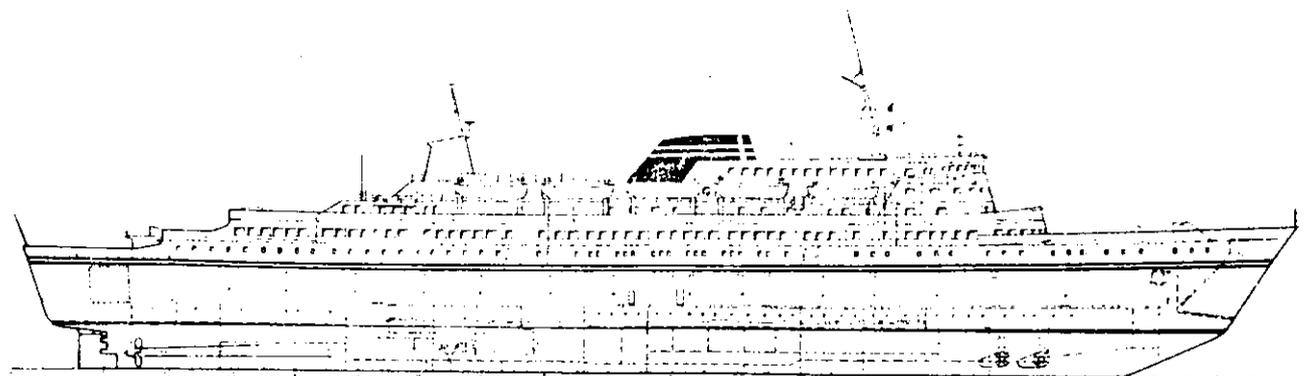
FINNHANSA はフィンランドのフェリーである。船首尾にドアが設置されている。主要目は次の通り。

全長	441 feet
垂線間長	390.2 "
型幅	65.3 "
水線幅	65.9 "
吃水	18.75 "
型深さ	23.9 "
軸馬力	14,000 bhp
推進形式	Diesel
軸馬力/型幅	214.4
砕氷能力	2.5 feet (予想)
建造年	1966
造船所	Oy Wartsila Shipyards, Helsinki
船主	Merivienti O/Y, Finland

#### 2.4.8 氷海フェリー FINLANDIA

図 2.2.0 に示す FINLANDIA はロールオン、ロールオフの旅客及び、カーキャリアでフィンランドと大陸間のバルト海に就航している。130人の乗組員で656名分の宿泊施設がある。一般席数は812席ある。輸送車輛は約1,000トンで貨物自動車(14×25×4.2m)では36台、一般乗用車(1.7×4.2m)では320台が収容できる。主要目は次の通り。

全長	501.75 feet
水線長	459.2 "
垂線間長	439.5 "
型幅	65.6 "
吃水	18.3 "
排水量	6,600 tons
肥せき係数	0.483
船速	23 knots
軸馬力	16,400 bhp
推進形式	Diesel
プロペラ数	2 (可変ピッチプロペラ)
建造年	1967
造船所	Oy Wartsila Shipyards, Helsinki



⊗ 2.2.0 General Layout of the FINLANDIA

## 2.5 米国の氷海用船舶

## 2.5.1 WIND 級砕氷船

現在3隻の WIND クラスの砕氷船が就航している。それらは1943年に建造された WESTWIND, 1945年建造の NORTHWIND, それに1946年建造の BURTON ISLAND である。このクラスは主として五大湖に就航している。船体が完全溶接構造で、ヘリコプター用甲板を備えたものとしては最初の船である。また、リストバラストポンプ、トリムシステム、船尾けん引ウィンチ及びノッチ、それに兵器を装備している。図 2.21 にこのクラスの砕氷船のライン図を、図 2.22 に外観図を示す。主要目は次の通り。

全 長	269 feet
垂線間長	250 "

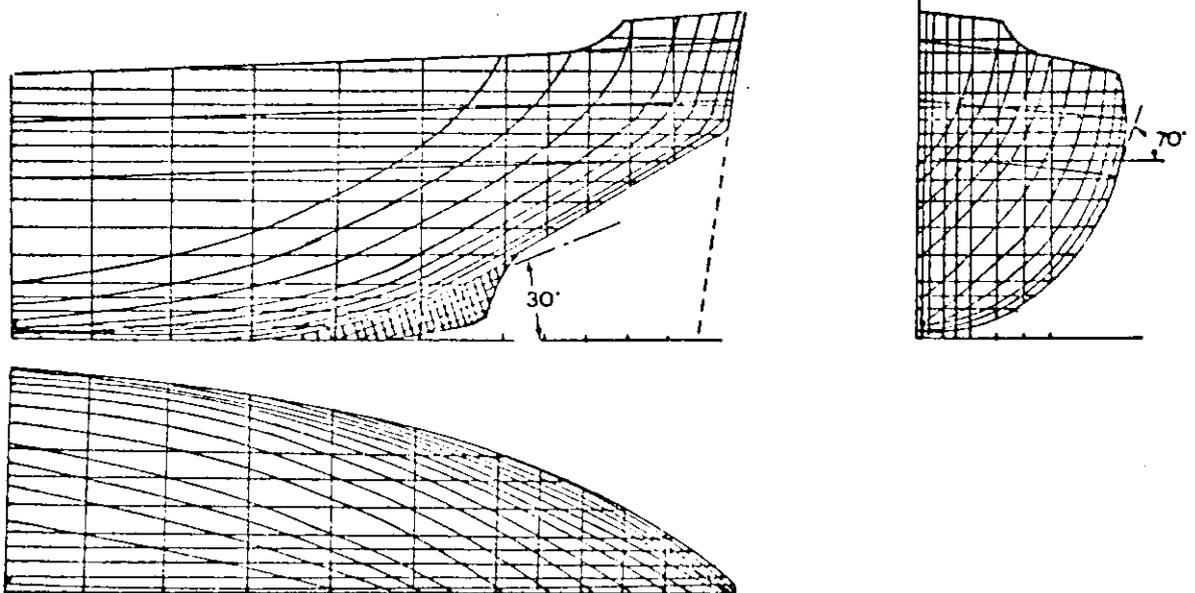


図 2.21 Lines of the WIND Class

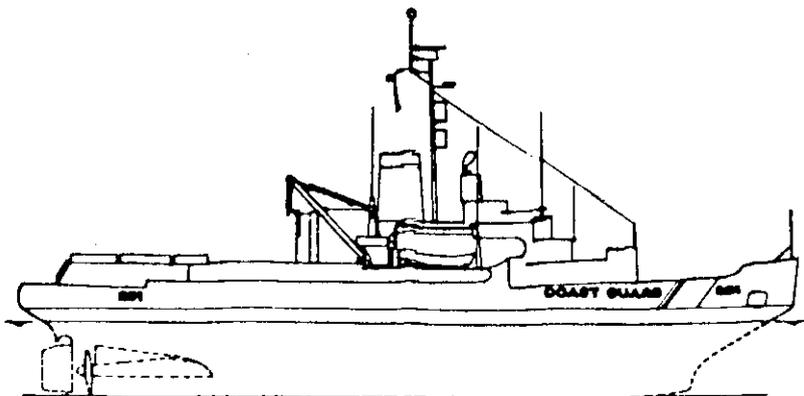


図 2.22 Profile of the WIND Class

型 幅	63.5 feet
吃 水	29 "
排 水 量	3,500 tons ( 6,515 tons 満載時 )
肥せき係数	0.465
船 速	16 knots
軸 馬 力	10,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 feet
軸馬力/型幅	157.5
砕氷能力	2.7 feet
船 主	米 国 コーストガード

### 2.5.2 砕氷船 MACKINAW

五大湖用の他の砕氷船として MACKINAW がある。定員 127 名で 12 トンクレーン，ヘリコプターを装備している。主要目は次の通り。

全 長	290 feet
垂線間長さ	280 "
型 幅	74 "
吃 水	19 "
排 水 量	5,252 tons
船 速	18.7 knots
軸 馬 力	10,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 1 船首
軸馬力/型幅	135.14
砕氷能力	2.7 feet
建 造 年	1945
造 船 所	Toledo Shipbuilding Co, Ohio
船 主	米 国 コーストガード

### 2.5.3 砕氷船 GLACIER

図 2.2.3 に GLACIER の概要を示す。これには海洋研究室や船尾けん引ノッチとウィンチ，トリムシステムなどが装備され，ヘリコプター 2 機と格納庫をもっている。定員は 229 人。主要目は次の通り。

全 長	309.6 feet
型 幅	74 "
吃 水	25.75 "
型 深 さ	29 "
肥せき係数	0.537
排 水 量	8,300 tons
船 速	17.6 knots
軸 馬 力	21,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric

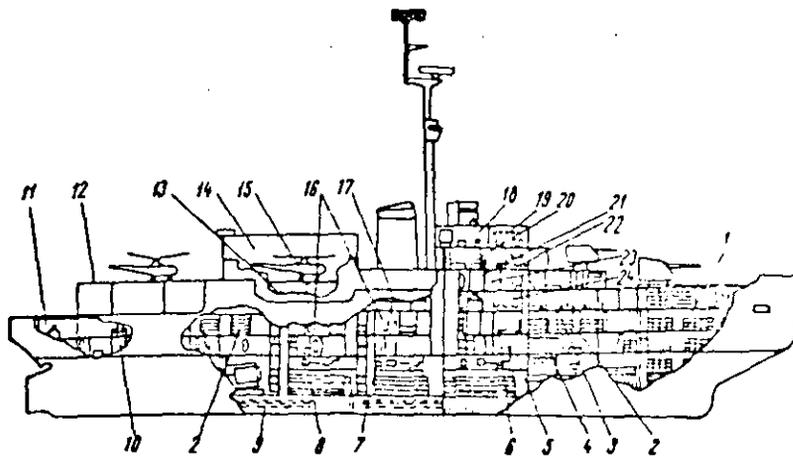


図 2.23 Profile of the GLACIER

- |                                       |                                  |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Cargo hold                         | 13. Helium cylinder storage room |
| 2. Mess deck                          | 14. Helicopter hangar            |
| 3. Crew dining room & recreation room | 15. Oceanographic laboratory     |
| 4. Refrigerators                      | 16. Officers' quarters           |
| 5. Gyrocompass room                   | 17. Auxiliary boiler room        |
| 6. Hospital                           | 18. Military intelligence center |
| 7. Laundry                            | 19. Wheel house                  |
| 8. Main diesel generator room         | 20. Radio house                  |
| 9. List tanks                         | 21. X-ray room                   |
| 10. Pump room                         | 22. Captain's quarters           |
| 11. Tiller room                       | 23. Dentist's office             |
| 12. Helicopter takeoff & landing pad  | 24. Galley                       |

プロペラ数	2
砕氷能力	3 feet
軸馬力/型幅	283.8
建造年	1955
造船所	Ingalls Shipbuilding Corp.
船主	米国 コーストガード

#### 2.5.4 POLAR 級砕氷船

POLARクラスの砕氷船は米国で建造された最新のものである。米国コーストガードは最適構造を求めるための研究開発と試験に4年間を費やしている。1973年にこのクラスの1番船である POLAR STAR が Seattle の Lockheed 造船所により建造され76年5月に総合試験が予定されている。76年には船尾に3基のプロペラをもった船速17ノットの POLAR SEA が建造される。本船の定員は155人その他に10人の科学者が乗船できる。外観を図2.24に、ライン図を図2.25に示す。主要目は次の通り。

全長	399 feet
水線長	352 "
型幅	83.5 "
型深さ	49.25 "

吃 水	28 feet
排 水 量	12,000 tons
船 速	17 knots
軸 馬 力	60,000 shp w/Gas turbiue 18,000 " w/Diesel - electric
プロペラ数	3
軸馬力/型幅	769.3
砕氷能力	6 feet ( 60,000 shp )
造 船 所	Lockheed Shipbuilding Co. Seattle, Washington
船 主	米国, コーストガード

### 2.5.5 砕氷タンカー MANHATTAN

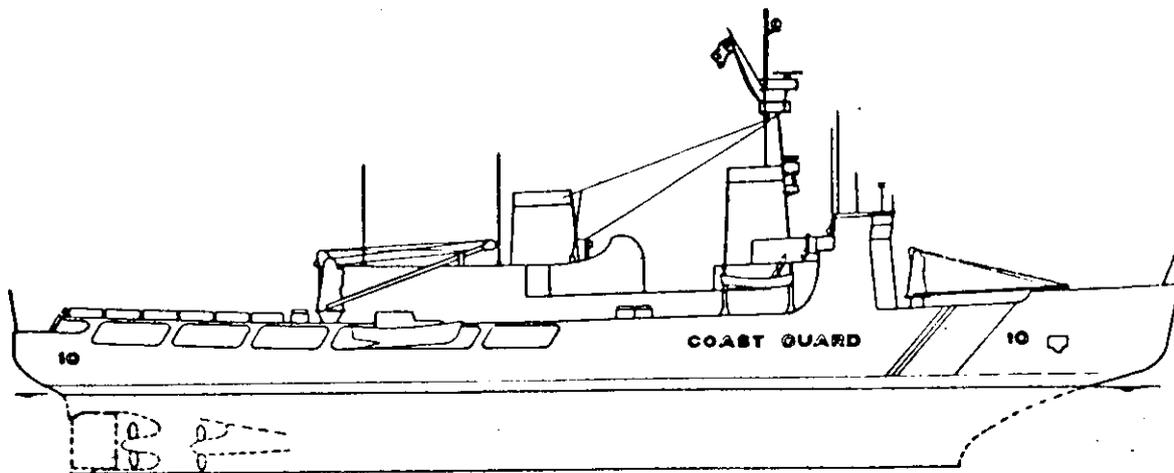
MANHATTAN は 1962 年に建造された世界初の砕氷タンカーである。1969 年に砕氷タンカーに改造されたものである。図 2.2.6 に示すように船体は 4 つの部分に切断され各部分はそれぞれ異なる造船所で改造工事が行われた。もとは 65 フィートだった船首部は 125 フィートの砕氷船首となった。各部分は耐氷性を強化し、舵やプロペラも改造し、氷よけのガードが舵とプロペラを保護するために設けられた。9 フィート幅のアイスベルトを船体や水線部に設け、船尾部にはヘリコプターの甲板も装備された。テールシャフトとプロペラは氷海航行に適するよう新しくされたが、主機は 43,000 shp の在来のままである。1969 年 8 月 24 日に Northwest 航路の航海に出発した。主要目は次の通り。

全 長	1,005.5 feet
垂線間長	954.25 "
型 幅	132 "
吃 水	52.75 "
型 深 さ	67.6 "
排 水 量	151,000 tons
船 速	17.5 knots
軸 馬 力	43,000 shp
推進形式	Steam Turbines
プロペラ数	2
軸馬力/型幅	325.8
砕氷能力	3.5 feet ( 予想 )
建 造 年	1962 ( 1969 年改造 )
造 船 所	Bethlehem Steel Co., Massachusetts
船 主	Manhattan Tanker Corp., Delaware

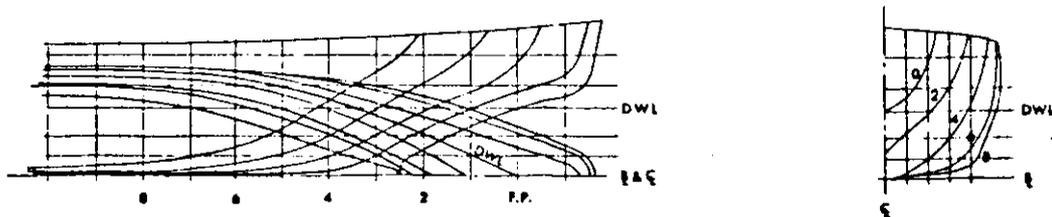
### 2.5.6 五大湖用砕氷フェリー VACATION LAND

VACATION LAND は大型砕氷フェリーで、五大湖で就航している。主要目は次の通り。

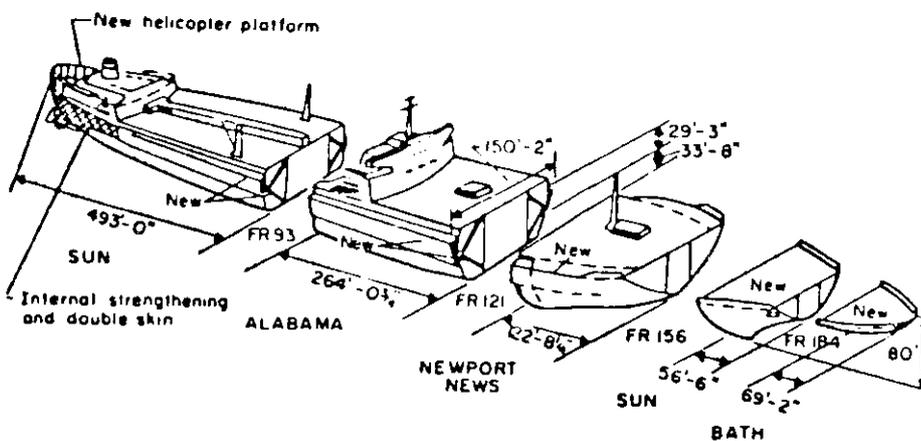
全 長	361.8 feet
型 幅	73.5 "
水 線 幅	67.9 "
最大吃水	18 "
型 深 さ	25.3 "
排 水 量	6,740 long tons



☒ 2.24 Profile of the POLAR STAR



☒ 2.25 Lines of the POLAR Class Icebreaker



☒ 2.26 Sections of the MANHATTAN

軸馬力	9,440 shp
推進形式	Diesel
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	139
砕氷能力	2.2 feet (予想)
建造年	1952
造船所	River Rouge, Michign

## 2.6 スウェーデンの氷海用船舶

### 2.6.1 ODEN 級砕氷船

図 2.27 に示す ODEN はこのクラスの 5 番目の船で、デザインはフィンランド砕氷船の VOIMA と同類であるが、パワープラントがこちらの方が大きい。定員は 75 名でその主要目は次の通りである。

全長	273.5 feet
垂線間長	255.9 "
型幅	63.75 "
吃水	23 "
型深さ	31.2 "
排水量	4,950 tons
肥せき係数	0.483
船速	17 knots
軸馬力	10,500 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	164.8
砕氷能力	2.7 feet (予想)
建造年	1957
造船所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki, Finland
船主	スウェーデン海軍

### 2.6.2 砕氷船 TOR

図 2.28 に示される TOR は TARMO 型のバルト海の砕氷船である。1964 年に建造され、姉妹船の NJORD は 1969 年に建造された。スウェーデン政府が所有しており必要ならば武装することもできる。船体は砲塔を搭載するために強化されており、船倉が弾薬庫として用いられる。82 人の定員で、フィンランドで建造された。主要目は次の通り。

全長	277.2 feet
垂線間長	254.3 "
型幅	69.5 "
吃水	21.3 "
型深さ	31.2 "
排水量	4,980 tons (5,290 tons 満載時)
船速	18 knots
軸馬力	12,000 shp

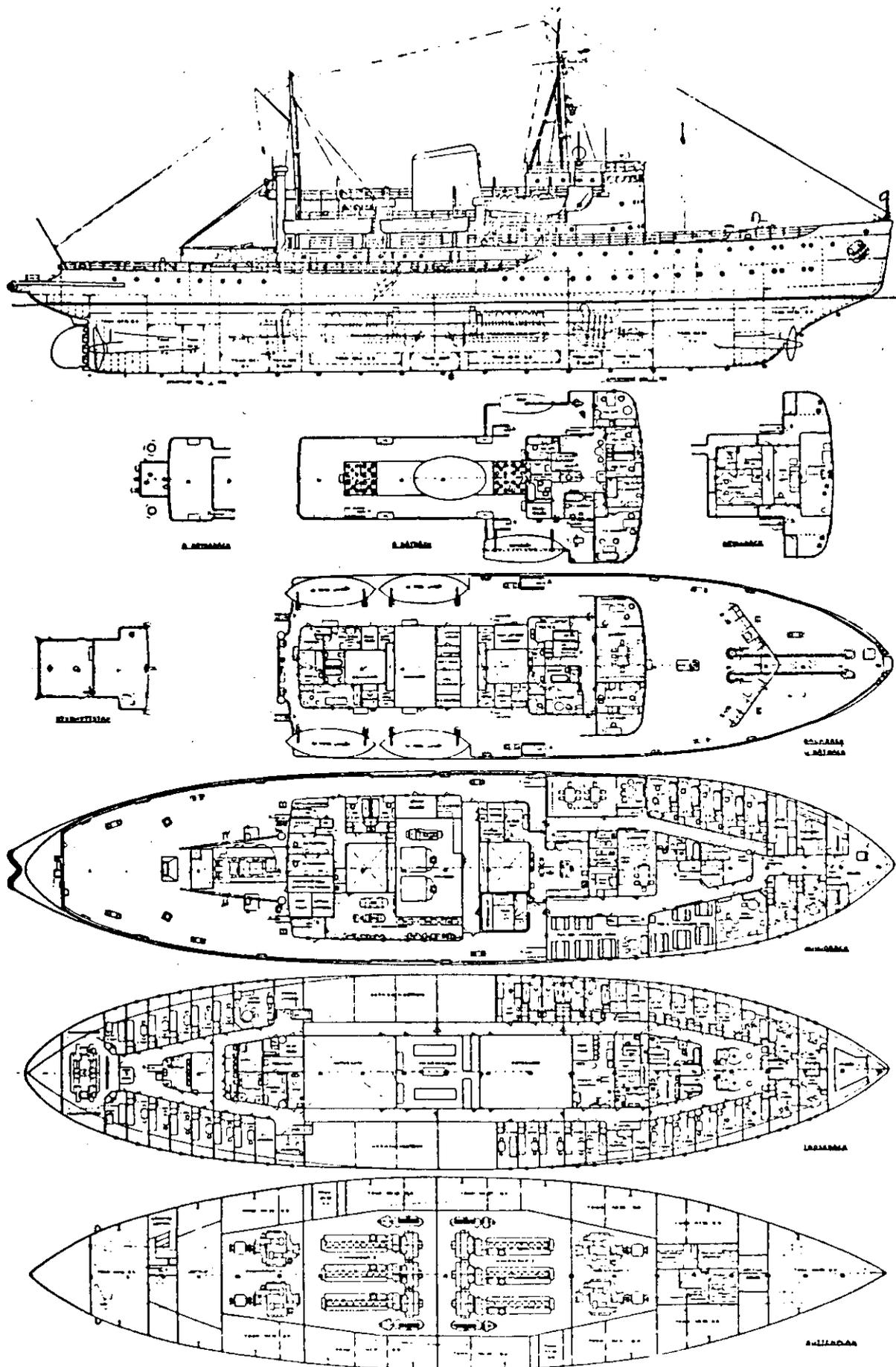
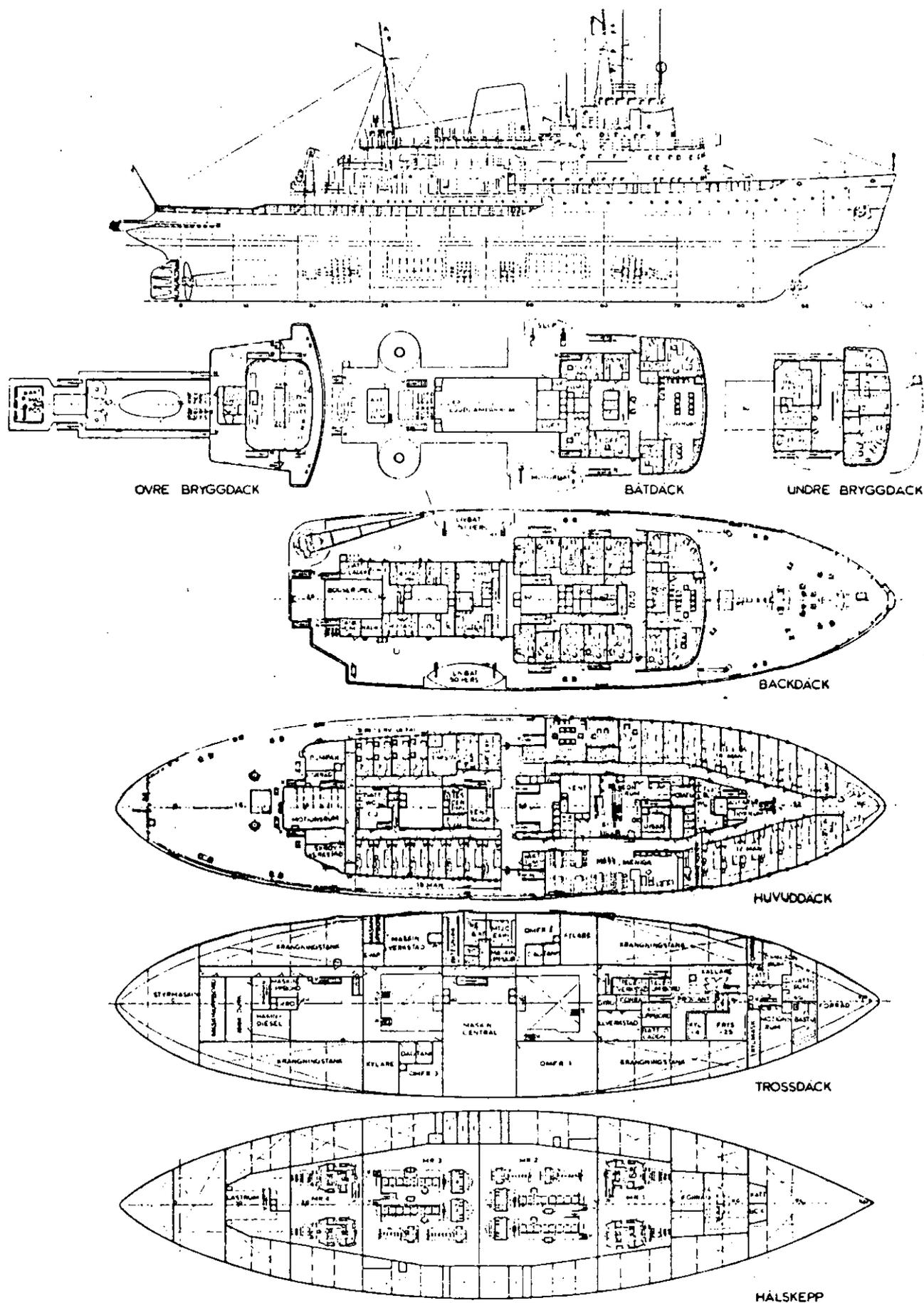


图 2.27 一般布局的 ODEN



☒ 2.2.8 General Layout of the TOR

推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	172.7
砕氷能力	2.8 feet (予想)
造船所	Oy Wartsila Shipyard, Helsinki, Finland
船主	スウェーデン海軍

### 2.6.3 砕氷船 ATLE

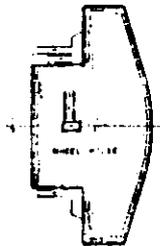
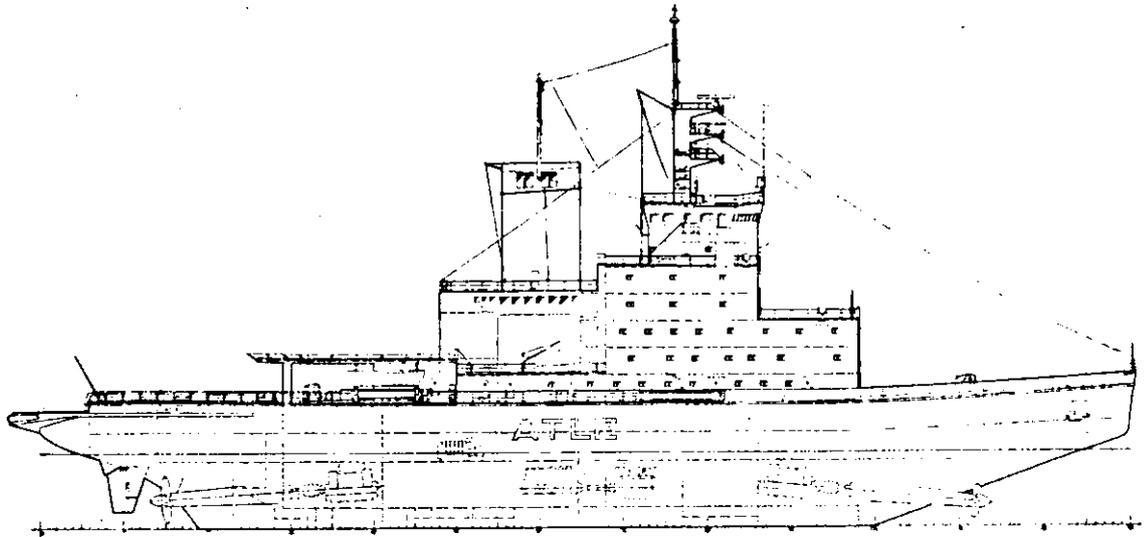
バルト海で、スウェーデンの海運局が使用している砕氷船を図 2.29 に示す。1975 年に進水した ATLE と 1974 年に進水した YMER であり、これらは URHO クラスの船である。両船ともそれぞれ 2 基の舵、船尾プロペラ、船首プロペラをもっている。船首プロペラのボッキングは従来前開きの配置となっていたが、本船では船首部での水流の状態を良好にする為下向きの傾斜を持っている。ATLE、YMER ともに定員が 56 人で、砲塔を搭載し、大型ヘリコプター用の甲板 2 つを有する。ヒーリングシステムは 610 トンの海水を片舷からもう一方へ移すのに 50 秒かかりその時の最大ヒール角が 13° である。ATLE は細菌を利用した汚水処理プラントをもっている。主要目は次の通り。

全長	338 feet
水線長	315 "
型幅	77 "
吃水	23.9 "
型深さ	24.5 "
排水量	7,900 tons
肥せき係数	0.495
船速	17 knots
軸馬力	22,000 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	259.7
砕氷能力	3.4 feet (予想)
建造年	1975
造船所	Oy Wartsila Shipyard, Finland

### 2.6.4 氷海フェリー SVEA DROTT

SVEA DROTT は 1966 年に建造された旅客・自動車運搬フェリーである。2 基の CPP をもち、主機は 2 基の大型ディーゼルと 2 基の小型ディーゼルの親子になっており、それぞれ大型と小型が 1 対になっている。従って一方の機関が駆動している時、他方は推進ラインから切り離すことが可能となっている。出力は 12,000 shp。定員は 900 人で居室は 116、160 台の自動車もしくは 20 台の大型トラックを搭載できる。その主要目は次の通り。

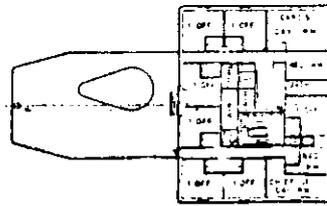
全長	325.3 feet
垂線間長	295.25 "
型幅	34 "
船速	20 knots
軸馬力	12,000 shp
推進形式	Diesel
軸馬力 / 型幅	352.9



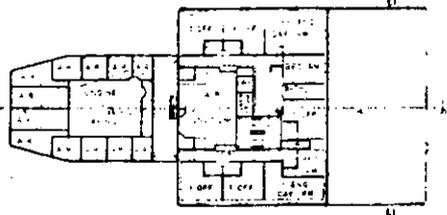
NAVIGATION DECK



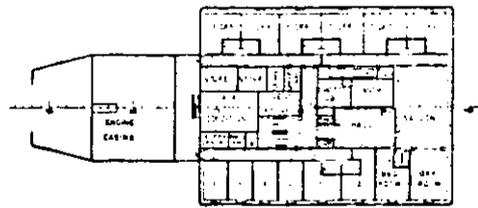
5<sup>th</sup> BRIDGE DECK



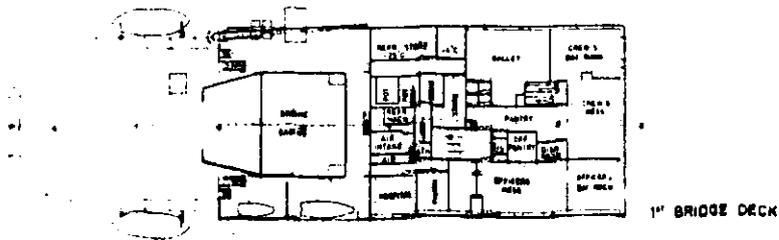
4<sup>th</sup> BRIDGE DECK



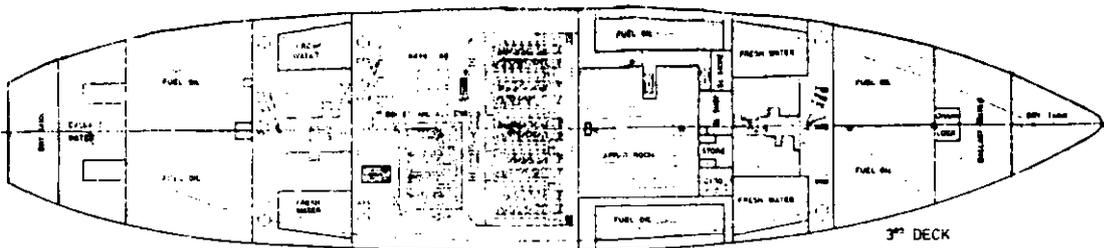
3<sup>rd</sup> BRIDGE DECK



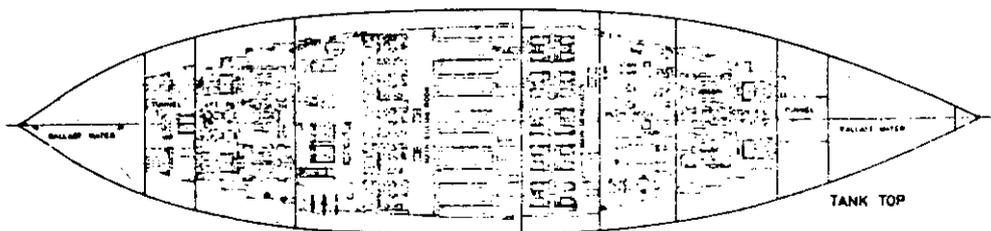
2<sup>nd</sup> BRIDGE DECK



1<sup>st</sup> BRIDGE DECK



3<sup>rd</sup> DECK



TANK TOP

2.29 General Layout of the ATLE

砕氷能力	3.5 feet (予想)
建造年	1966
造船所	Oresund Svorvet A/B of Landskrona
船主	Rederiet AB, SVEA

## 2.7 デンマークの氷海用船舶

### 2.7.1 砕氷船 DANBJORN

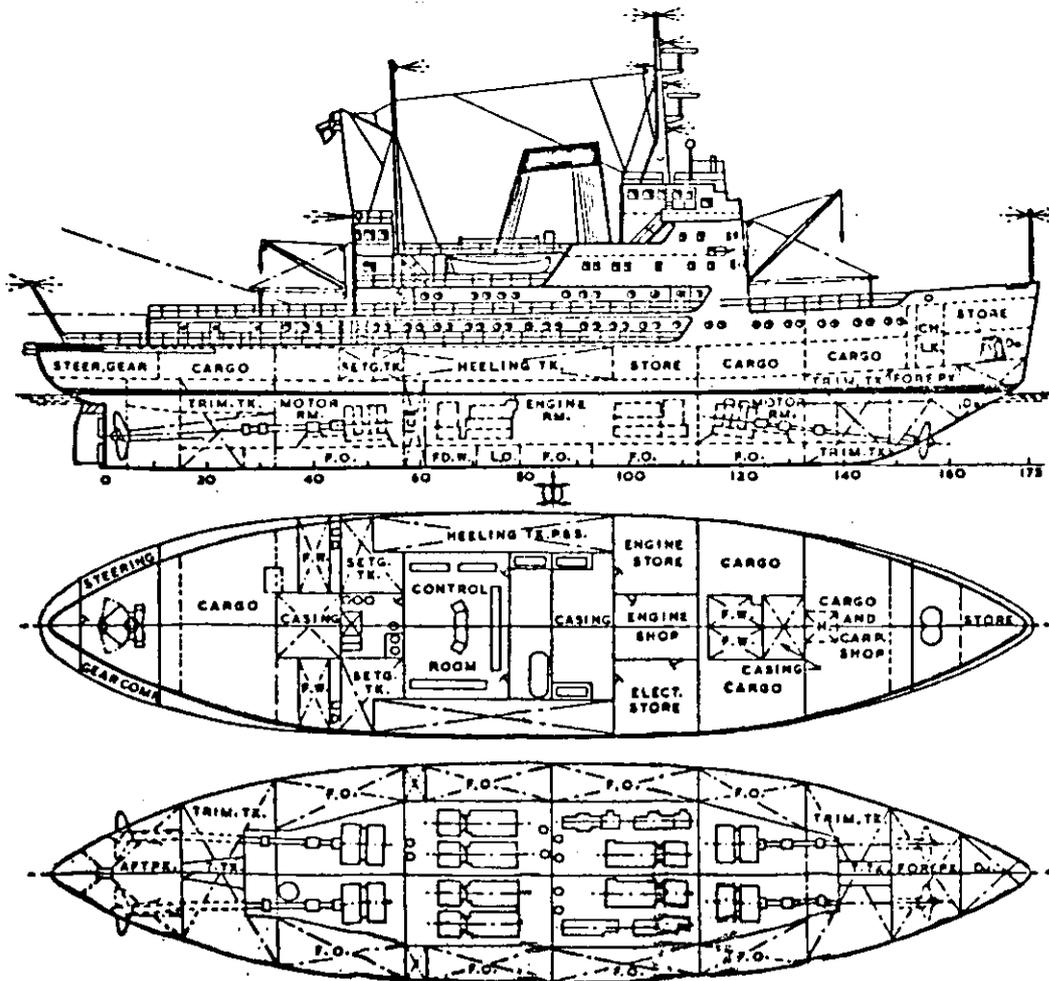
図 2.3.0 に示したのはデンマークの砕氷船 DANBJORN で、その他に ISBJORN がある。これらの船の機関室長さは全長の約 57% である。2 層の貨物倉が 3 ヶ所あり、海図室と操舵室は一緒になっている。主甲板には定員 34 人のシングルキャビンがある。主要目は次の通り。

全長	247 feet
垂線間長	223 "
型幅	55.75 "
吃水	19.67 "
型深さ	29.5 "
排水量	3,685 tons
船速	17 knots
軸馬力	10,500 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2 船尾 / 2 船首
軸馬力 / 型幅	213.1
砕氷能力	3.1 feet (予想)
建造年	1965
造船所	Odense Steel Shipyard, Denmark
船主	デンマーク海軍

### 2.7.2 氷海貨物船 BAMS DAN

図 2.3.1 に示したのは貨物船 BAMS DAN でデンマーク、グリーンランド間に就航するために設計された。船首は砕氷構造で、アイスナイフが装着されており、舵やプロペラの保護用のフィンも設けられている。主機に B & W、ボア 500 mm の中速ディーゼルを使用した最初の船である。積載容積は 11,718 m<sup>3</sup>。主要目は次の通り。

全長	443.1 feet
垂線間長	410 "
型幅	59.5 "
吃水	24.3 "
型深さ	36.9 "
排水量	11,900 long tons
船速	17.5 knots
軸馬力	9,000 shp
推進形式	Diesel
プロペラ数	1 (可変ピッチ)
軸馬力 / 型幅	151.3



### DANBJORN

図 2.30 General Layout of the DANBJORN

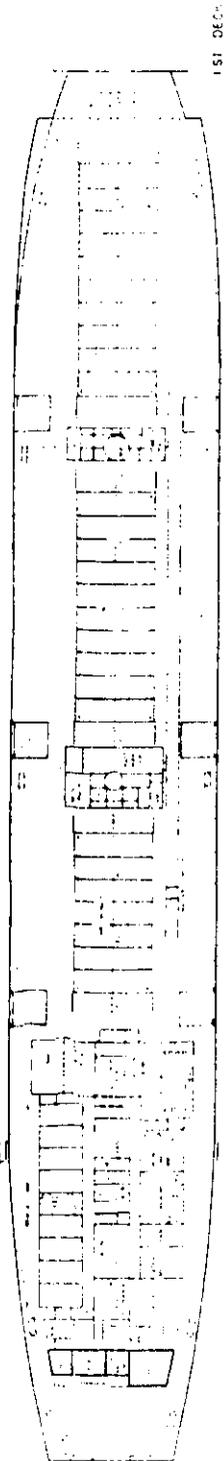
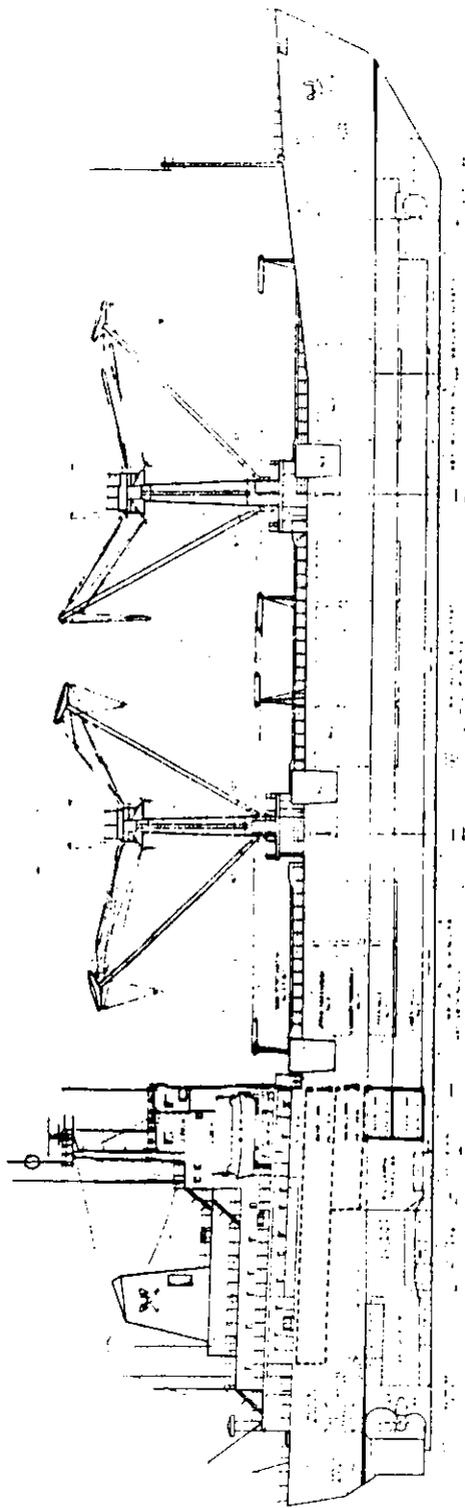
砕氷能力	2.2 feet (予想)
建造年	1973
造船所	Aalborg Uaer Ft, Denmark
船主	J. Lauritzen

## 2.8 日本の氷海用船舶

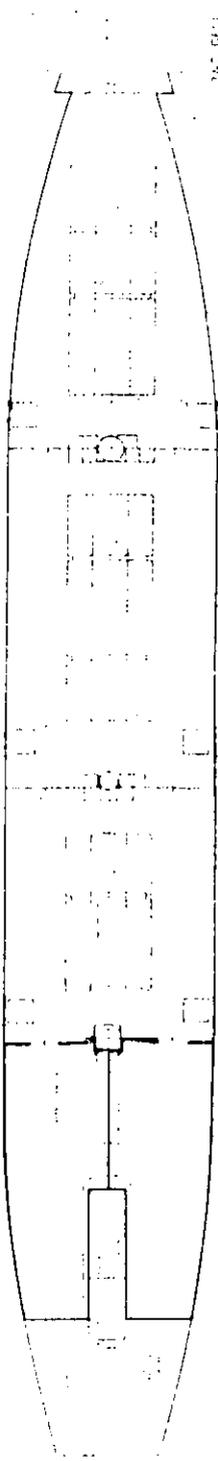
### 2.8.1 南極観測船 ふじ

図 2.32 は 1965 年、日本鋼管・鶴見で建造された南極観測船 FUJI である。ビルジキールのかわりに 3 対の U 字型ローリング防止タンクを備えている。4 つの船倉は南極探検のとき使用される建築資材、物資食糧など 400 トンを収容することができる。3 層の連続甲板をもち、中央部にはデッキハウス、それに広い船首楼、3 台のヘリコプターを収容する格納庫などがある。ブリッジやデッキハウスのほとんどは研究室である。乗員約 200 人、それに司令官、約 40 人の科学者らが乗船する。主要目は次に示す。

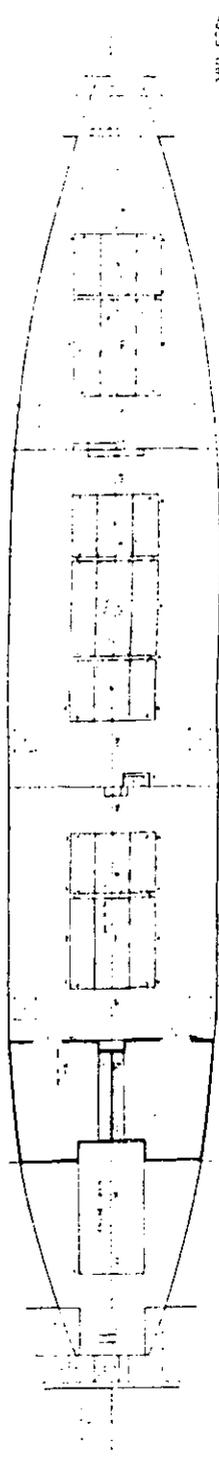
全長	328 feet
垂線間長	295.25 "
型幅	70.5 "



1ST DECK



2ND DECK



3RD DECK

图 2.3.1 General Layout of the BAMSA DAN



吃 水	28.8 feet
型 深 さ	38.6 "
排 水 量	7,760 tons ( 8,566 tons 満載時 )
肥せき係数	0.505
船 速	17 knots
軸 馬 力	12,000 shp
推 進 形 式	Diesel - Electric
プロペラ数	2
軸馬力/型幅	165.5
砕氷能力	2.7 feet ( 予想 )
建 造 年	1965
船 主	防衛庁

## 2.9 アルゼンチンの水海用船舶

### 2.9.1 南極観測船 GENERAL SAN MARTIN

図 2.33 はアルゼンチン所有の砕氷船 GENERAL SAN MARTIN である。この船の主な役目は南極の観測と探検であり、ヘリコプターと小型の水上飛行機を装備している。船尾にはノッチはないが、けん引力 40 トンの自動ウィンチがついている。主要目は次の通り。

全 長	277.75 feet
垂線間長	252.2 "
型 幅	62.2 "
吃 水	22.6 "
型 深 さ	28.3 "

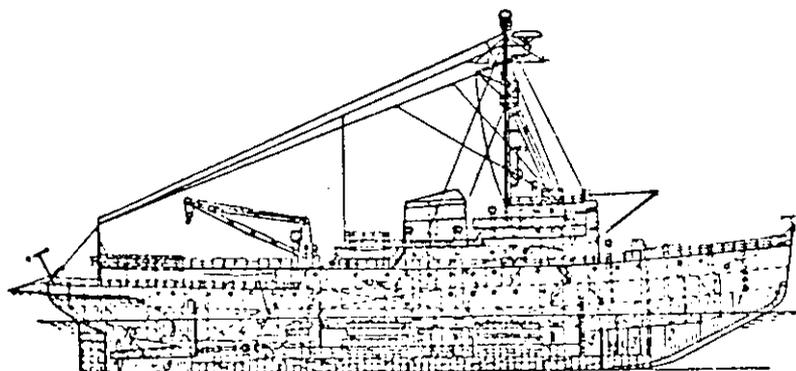


図 2.33 Profile of the GENERAL SAN MARTIN

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Trim Tank        | 6. Diesel Fuel Tank   |
| 2. Fresh Water Tank | 7. Fresh Water Tank   |
| 3. Magazine         | 8. Aviation Fuel Tank |
| 4. Cargo Hold       | 9. Cofferdam          |
| 5. Echo Sounder     | 10. Afterpeak         |

排水量	4,584 tons (5,301 tons 満載時)
肥せき係数	0.522
船速	16 knots
軸馬力	7,100 shp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	2
軸馬力/型幅	116.4
砕氷能力	2.3 feet (予想)
建造年	1954
造船所	Secbeck Yard, Wesserals, W. Germany
船主	アルゼンチン

## 2.10 英国の氷海用船舶

### 2.10.1 極地観測船 BRANSFIELD

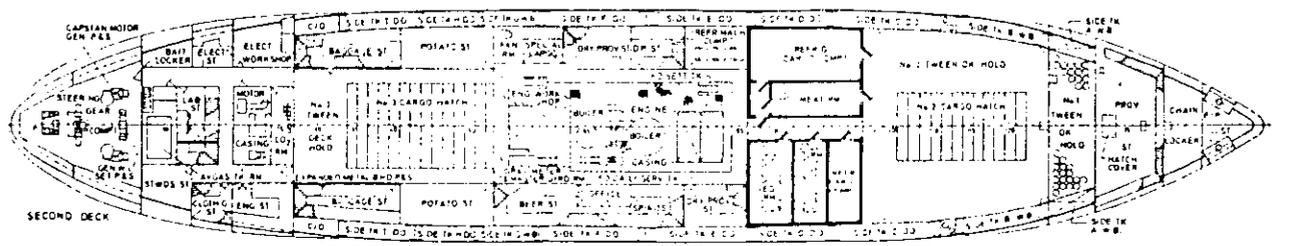
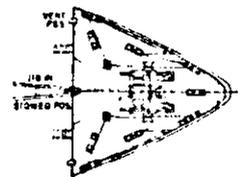
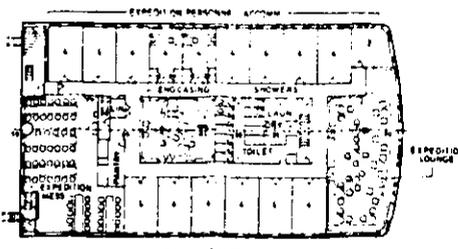
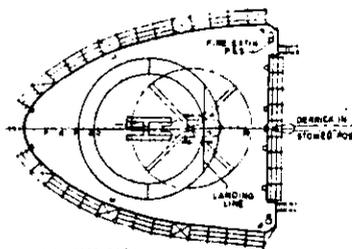
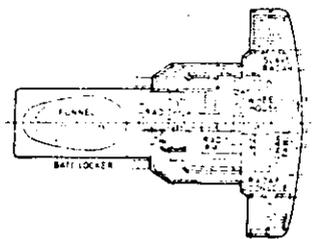
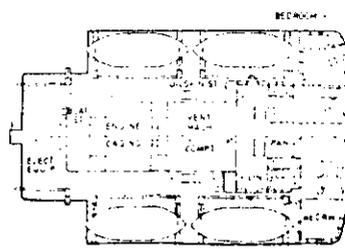
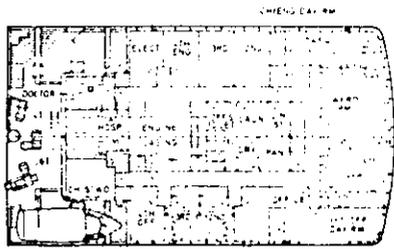
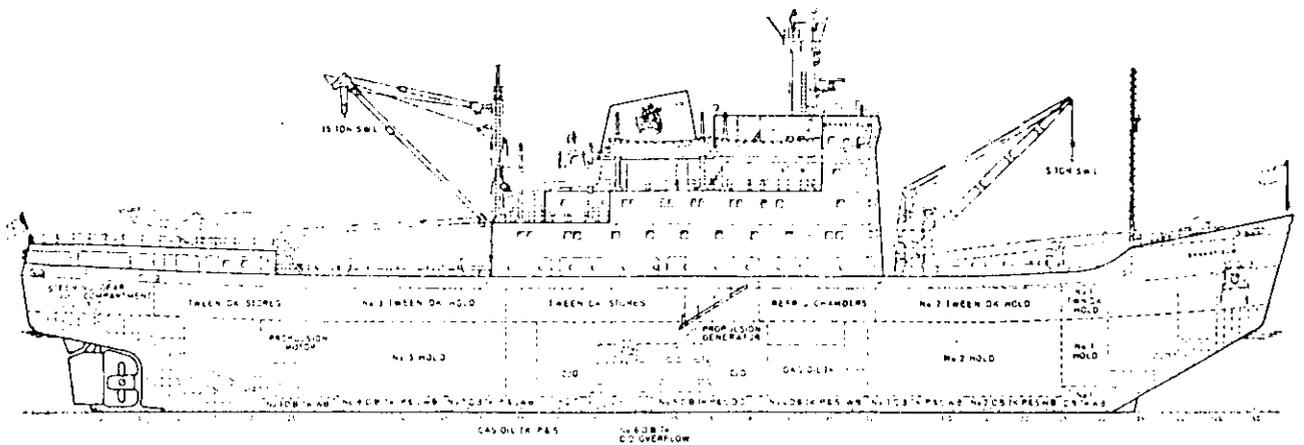
図 2.3.4 に示す。英国の BRANSFIELD は極地の探検や基地への補給用として設計されたもので、船体は丸味をもたせ、氷圧に耐えるようにプロペラは船尾の両側にある水平フィンによって氷塊から保護されている。貨物倉全容積は約 120,000 立方フィートである。ヘリコプター用の設備は装備しているが、格納庫はもたない。定員は 36 人で必要な場合は更に 62 人が乗れる。主要目は次の通り。

全長	325.5 feet
垂線間長	295.2 "
型幅	60 "
吃水	20.4 "
型深さ	31.2 "
排水量	6,900 long tons
肥せき係数	0.656
船速	13.5 knots
軸馬力	5,000 sbp
推進形式	Diesel - Electric
プロペラ数	1 (可変ピッチ)
軸馬力/型幅	83.3
砕氷能力	1.7 feet (予想)
建造年	1971
造船所	Lerth Div. of Robb Caledon Shipbuilders
船主	National Environment Research Council

### 2.10.2 氷海用サプライボート POLAR SHORE

POLAR SHORE は、世界初の砕氷補給船であり、図 2.3.5 にこれを示す。1973 年に海上補給サービス用に建造された。この種の船にはめずらしく可変ピッチプロペラでダクトプロペラを採用している。主甲板下にはスタビライゼーション用のタンクをもっている。船尾には 400 トンの貨物が搭載でき、1,230 立方フィートのセメントタンク 3 基を装備する。主要目は次の通り。

全長	183.7 feet
----	------------



2.3.4 General Layout of the BRANSFIELD

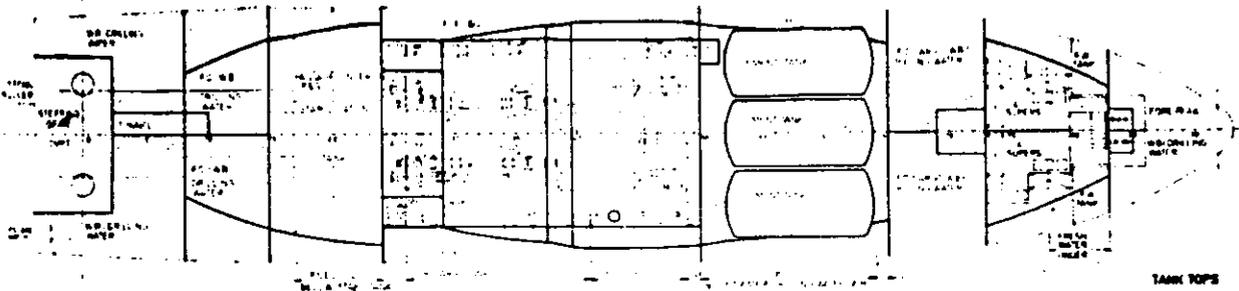
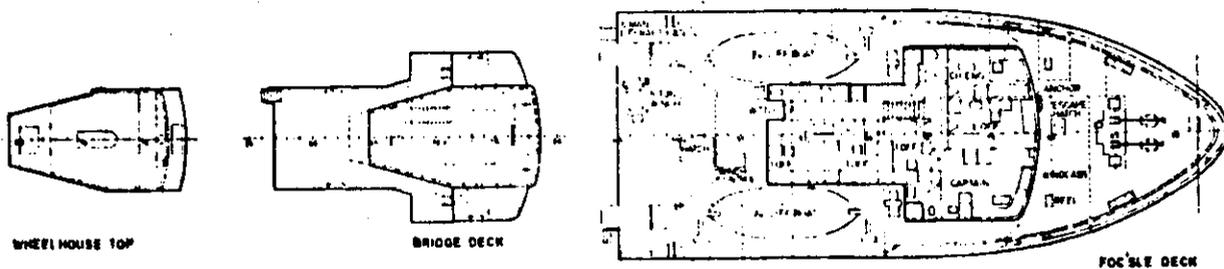
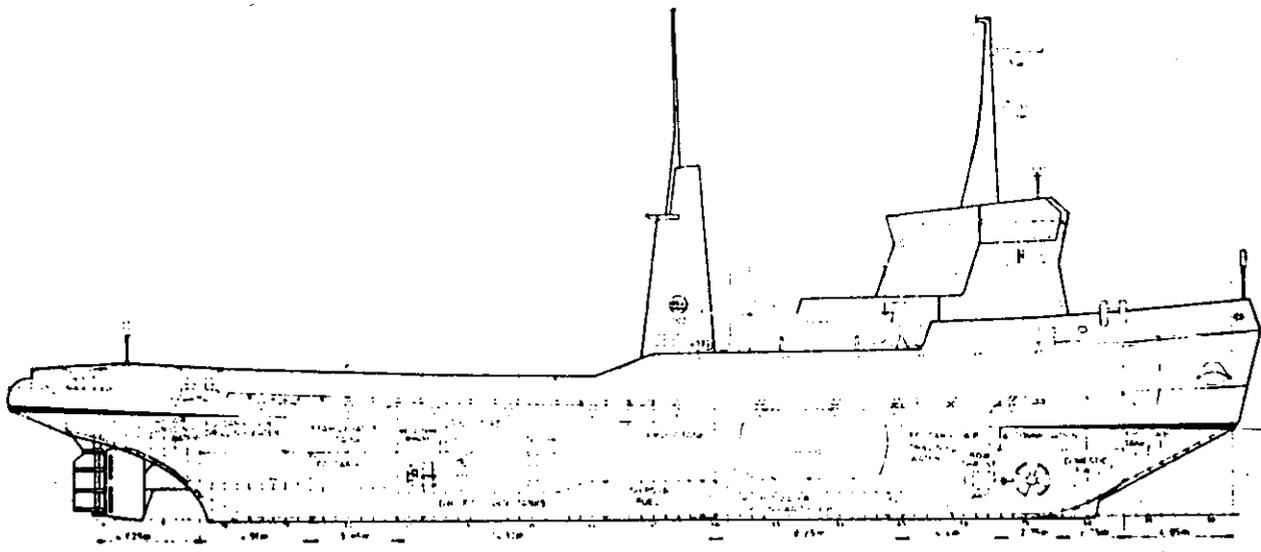


图 2.35 General Layout of the POLAR SHORE

垂線間長	167.5 feet
型幅	38.6 "
吃水	14.2 "
型深さ	16.7 "
船速	13.75 knots
軸馬力	5,280 bhp
推進形式	Diesel
プロペラ数	2 (可変ピッチ)
軸馬力/型幅	136.8
砕氷能力	2.5 feet (予想)
造船所	Cochrane & Sons / Dry Pool Group
船主	Offshore Supply Assoc.

## 2.11 氷海用船舶一覧表

氷海用船舶の一覧表に用いる主要目の略語は、以下に示す通りである。

LOA	=	length overall
DEPTH, MLD.	=	depth, molded
DISPL, (DES)	=	displacement (design)
DISPL, (LOAD)	=	displacement (load)
HP	=	horsepower
HP/B	=	horsepower / beam
HP/△'	=	horsepower / displacement
L/B	=	length over all / beam
B/H	=	beam / draft

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP'S CLASS AND NAME	KAPITAN CLASS	MOSKVA CLASS	VASILIV PRONCHISHCHEV CLASS	ERMAK	LENIN	ARKTIKA CLASS	ADMIRAL MAKAROV
COUNTRY	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.
TYPE OF SHIP	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker
LOA (FT.)	273	400.7	222.1	445.4	444	459	442.8
BEAM (FT.)	63.6	80.3	59.2	85.3	90.5	98.4	85.3
DRAFT (FT.)	23	34.5	18	36	30.2	34	36.1
DEPTH, MLD. (FT.)	31.2	37.7	27.2	54.8	52.9		54.8
DISPL. (DES.) (TONS)	4415	12,840	2718	20,100*	16,000	25,000	
DISPL. (LOAD) (TONS)	5300	15,360					
SPEED (KTS.)	16.5	18	14.5	20	18	25	21
PROPULSION MACHINERY	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Nuclear/Steam Turbo/Elec.	Nuclear/Steam Turbine	Diesel-Electric
NUMBER OF PROPELLERS	2 stern/ 1 bow	3	2 stern/ 1 bow	3	3		
HP	10,500 shp	22,000 shp	5400 shp	36,000 shp	44,000 shp	75,000 shp (30,000 shp)	36,000 shp
HP/B	164.8	274	91.2	422.04	486.2	762.2/(304.9)	422.3
HP/L	2.38/1.98	1.71/1.43	1.99	1.79	2.75	3/(1.2)	
L/B	4.29	4.99	3.75	5.22	4.91	4.66	5.19
B/H	2.77	2.33	3.29	2.37	3.00	2.89	2.36
ICEBREAKING CAPACITY	2.7 feet (est.)	3.5 feet (est.)	2.0 feet (est.)	5.0 feet (est.)	4.7 feet (est.)	5.6 feet (3.6 feet) (est.)	4.4 feet (est.)
BUILDER	Oy Wartsila Finland	Oy Wartsila Finland	Admiral Teyski Shipyard U.S.S.R.	Oy Wartsila Finland	Admiralty Yard U.S.S.R.	Baltic Shipbuilding and Engineering, U.S.S.R.	Oy Wartsila, Finland
OWNER	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U.S.S.R.	U/O Sudoinport MOSCOW, U.S.S.R.
YEAR BUILT	-	-	-	-	1957	-	1975

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	ANGARA (LENA CLASS)	ANGUEMA (ANGUEMA CLASS)	JOHN A. McDONALD	D'IBERVILLE	LABRADOR	LOUIS ST. LAURENT	NORMAN MCLEOD ROGERS
COUNTRY TYPE OF SHIP	U.S.S.R. Cargo	U.S.S.R. Cargo	CANADA Icebreaker	CANADA Icebreaker	CANADA Icebreaker	CANADA Icebreaker	CANADA Icebreaker
LOA (FT.)	427.2	436.7	315	310	290	366.5	295.5
BEAM (FT.)	62	62	70	66.5	63.5	80	62.5
DRAFT (FT.)	21.1	29.9	28.1	30.25	29.1	29.5	20.5
DEPTH, MLD. (FT.)	36.7	38.1	41.1	40.25	37.75	43	26
DISPL.(DES.)(TONS)			9160	8700	6490	13,300*	6569
SPEED (KTS.)	15.4	15	15.5	15	16	17.75	15.5
PROPULSION	Diesel-	Diesel-	Diesel-	Steam	Diesel-	Turbo	Diesel-Elec.
MACHINERY	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric	Electric	Turbine/Elec.
NUMBER OF	1	1	3	1	2	3	2
PROPELLERS							
HP	8200 ehp	7200 ehp	15,000 shp	10,800 ihp	10,000 shp	24,000 shp	13,200 shp
HP/B	132.3	116.1	214.3	162.4	157.5	300	211.2
HP/			1.64	1.24	1.54	1.80	2.01
L/B	6.89	7.04	4.5	4.66	4.57	4.58	4.73
B/H	2.94	2.07	2.49	2.20	2.18	2.71	3.05
ICEBREAKING	2.4 feet(est.)	2.3 feet(est.)	3.0 feet(est.)	2.7 feet(est.)	2.7 feet	3.0 feet	3.0 feet(est.)
BUILDER	-	-	Davie Shipbuilding, Canada	Davie Shipbuilding, Canada	Marine Industries, Canada	Canadian Vickers, Canada	Canadian Vickers, Canada
OWNER	U.S.S.R.	U.S.S.R.	Canadian Coast Guard	Canadian Coast Guard	Canadian Coast Guard	Canadian Coast Guard	Canadian Coast Guard
YEAR BUILT	-	-	1960	1953	1954	1969	1969

\* Long Tons

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	SIR HUMPHREY GILBERT	SIR WILLIAM ALEXANDER	SHIPBUILDING #1 R CLASS SHIPBUILDING #2 R CLASS	POLAR 7	ABEGWEIT	WILLIAM CARSON	JOHN CABOT
COUNTRY	CANADA	CANADA	CANADA	CANADA	CANADA	CANADA	CANADA
TYPE OF SHIP	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Ferry	Ferry	Cable Ship
LOA (FT.)	208.25	258.25	322	597	372.5	351	313.3
BEAM (FT.)	48.2	45.2	64	105.6	61	68	60
DRAFT (FT.)	18.1	18.67	23.5	60 *	19	18.3	22.1
DEPTH, MLD. (FT)			35.5		24.75	34.75	34.2
DISPL. (DES.) (TONS)	3000	3555	7716*	33,000 *	6,900	6838	5234
DISPL. (LOAD) (TONS)	13	13		16.75	16	7108	37,636
SPEED (KTS.)							
PROPULSION MACHINERY	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric	Diesel-Electric
NUMBER OF PROPELLERS	2	2	2	2	2	2	2
HP	5330 shp	5330 shp	13,000 bhp	90,000 shp	15,400 shp	10,000 shp	9,000 shp
HP/B	110.6	117.9	203.2	282.3	252.5	147.1	150
HP/	1.78	1.50	1.68	2.73	2.23	1.46/1.41	1.72
L/B	4.32	5.71	5.03	5.65	6.11	5.16	5.22
B/H			2.72		2.21	3.72	2.71
ICEBREAKING CAPACITY	2.2 feet (est.)	2.3 feet (est.)	3.0 feet (est.)	6.2 feet (est.)	2.4 feet (est.)	2.5 feet (est.)	2.5 feet (est.)
BUILDER	Davies Ship Building	Halifax Shipyards, Canada			Sorel, Canada	Montreal, Canada	Canadian Vickers, Canada
OWNER	Canadian Coast Guard	Canadian Coast Guard			Dominion of Canada	Dominion of Canada	Canadian Ministry of Transport
YEAR BUILT	1959	1959			1947	1955	1965

\*Long Tons

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	ARCTOC CLASS	IMPERIAL BEDFORD	FOR CHAMBLY FORT ST. LOUIS	VOIMA	KARHU CLASS	TARMO CLASS	URHO CLASS
COUNTRY	CANADA	CANADA	CANADA	FINLAND	FINLAND	FINLAND	FINLAND
TYPE OF SHIP	Cargo	Tanker	Cargo	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker	Icebreaker
LOA (FT.)	687.4	486.1	463.0	274.0	243.25	277.25	337.8
BEAM (FT.)	75	69.9		63.5	54.75	69.45	77.1
DRAFT (FT.)	36	26	23.2	22.1	19	20.3	24.6
DEPTH, MLD. (FT.)	50	33.3	32	31.2	28.9	31.6	
DISPL. (DES.) (TONS)	37636*	9500		4415	3370	4890	7800
DISPL. (LOAD) (TONS)	15.5	13.5		16.5	16	17	17
SPEED (KTS.)	Diesel-		Diesel	Diesel-	Diesel-	Diesel-	Diesel-
PROPULSION MACHINERY	Electric			Electric	Electric	Electric	Electric
NUMBER OF PROPELLERS	1			2 Stern/ 2 Bow	2 Stern/ 2 Bow	2 Stern/ 1 Bow	2 Stern/ 1 Bow
HP	14770 bhp	6410 bhp	6000 bhp	10500 shp	4500 shp	12000 shp	20000 bhp
HP/B	196.9	91.7		165.4	131.6	169.0	259.4
HP/Δ	.39	.675		2.38	2.23	2.45	2.56
L/B	9.17	6.95		4.3	4.4	3.99	4.38
B/H	2.08	2.69		2.87	2.88	3.42	3.13
ICE BREAKING CAPACITY	2 feet	1.2 feet (est.)	2.2 feet (est.)	2.7 feet (est.)	2.3 feet (est.)	2.8 feet (est.)	3.4 feet (est.)
BUILDER	—	Davie Ship Building Canada	David Ship Building Canada	Oy Wartsila Finland	Oy Wartsila Helsinki	Oy Wartsila Helsinki	Oy Wartsila Helsinki
OWNER	—	Imperial oil Limited	Canada Steamship Co.	Finnish State (Board of Navigation)			
YEAR BUILT	1978	1969	1963	1953	—	—	1974

\* Long Tons

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	HANSE	FINNCARRIER	FINLANDIA	FINNHANSA	ODEN CLASS	TOR	STLE
COUNTRY	FINLAND	FINLAND	FINLAND	FINLAND	(5 Ships)	TOR	URHO CLASS
TYPE OF SHIP	Icebreaker	Cargo	Ferry	Ferry	SWEDEN	NJORD	ATLE
LOA (FT.)	243.2	450.3	501.75	441.0	Icebreaker	SWEDEN	YMER
BEAM (FT.)	57	80.6	65.6	65.3		Icebreaker	SWEDEN
DRAFT (FT.)	20	18.6	18.3	18.75			Icebreaker
DEPTH, MLD. (FT.)		56.9		23.9			
DISPL. (DES.) (TONS)	3700	10400	6600		273.5	277.2	338.0
DISPL. (LOAD) (TONS)					63.75	69.5	77
SPEED (KTS.)	16	17	23		23	21.3	23.9
PROPULSION MACHINERY	Diesel-Electric	Diesel	Diesel	Diesel	Icebreaker	Icebreaker	24.5
NUMBER OF PROPELLERS	2 Stern/ 2 Bow	2	2				7900
HP	7500 shp	11160 shp	16400 bhp	14000 bhp	10500 shp	120000 shp	22000 shp
HP/B	131.6	138.4	250.0	214.4	164.8	172.7	259.7
HP/A	2.03	1.07	2.48		2.12	2.40/2.27	2.78
L/B	4.27	5.59	7.65	6.75	4.29	3.99	4.39
B/H	2.85	4.33	3.58	3.48	2.77	3.26	3.22
ICEBREAKING CAPACITY	2.4 feet (est.)	2.7 feet (est.)	3.0 feet (est.)	2.5 feet (est.)	2.7 feet (est.)	2.8 feet (est.)	3.4 feet (est.)
BUILDER	Oy Wartsila, Finland	Oy Wartsila, Finland	Oy Wartsila, Helsinki	Oy Wartsila, Helsinki	Oy Wartsila, Finland	Oy Wartsila, Finland	Oy Wartsila, Finland
OWNER	Finland, West Germany	Enso-Gutzeit O/Y	Finland Steamship Company, Ltd	Merivienti O/Y, Finland	Royal Swedish Navy	Royal Swedish Navy	—
YEAR BUILT	1966	—	1967	1966	1957	—	1975

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	SVEA DROTT	WIND CLASS WESTWIND NORTHWIND BURTON ISLAND	MACKINAW	GLACIER	POLAR CLASS POLAR SEA POLAR STAR	MANHATTAN	VACATION LAND
COUNTRY TYPE OF SHIP	UNITED STATES Icebreaker	UNITED STATES Icebreaker	UNITED STATES Icebreaker	UNITED STATES Icebreaker	UNITED STATES Icebreaker	UNITED STATES Tanker	UNITED STATES Ferry
LOA (FT.)	325.3	269	290	309.6	399	1005.5	361.8
BEAM (FT.)	34	63.5	74	74	83.5	132	73.5
DRAFT (FT.)		29	19	25.75	28	52.75	18
DEPTH, MLD. (FT.)				29		67.6	25.3
DISPL. (DES.) (TONS)		3500	5252	8300	12,000	151,000	6740*
DISPL. (LOAD) (TONS)		6,515	18.7	8449	17	17.5	
SPEED (KTS.)	20	16		17.6			
PROPULSION MACHINERY	Diesel	Diesel- Electric	Diesel- Electric	Diesel- Electric	gas-turbine/ Diesel-Elec.	Steam Turbine	Diesel
NUMBER OF PROPELLERS		2	2 Stern/ 1 Bow	2	3	2	2 Stern/ 2 Bow
HP	12,000 shp	10,000 shp	10,000 shp	21,000 shp	60000 Gas-Turb	43,000 shp	9440 shp
HP/B	352.9	157.5	135.14	283.8	18000 Dies-Elec	325.8	139
HP/Δ		2.86/1.53	1.90	2.53	718.6/215.6	.285	1.40
L/B	9.57	4.24	3.92	4.18	5.0/1.5	7.62	4.92
B/H		2.19	3.89	2.87	4.78	2.50	4.08
ICEBREAKING CAPACITY	3.5 feet (est.)	2.7 feet	2.7 feet	3.0 feet	6 feet(60000SHP)	3.5 feet (est.)	2.2 feet (est.)
BUILDER	Oresund Svorvet A/B of dandstrona		Toledo Shipbuilding Ohio	Ingalls Shipbuilding	Lockeed Ship- building Seattle.	Bethlehem Steel Massachusetts	River Rouge, Michigan
OWNER	Rederiet AB, SVEA	US.Coast Guard	U.S. Coast Guard	U.S. Coast Guard	U.S. Coast Guard	Manhattan Tanker Corp., Delaware	—
YEAR BUILT	1966	—	1945	1955	—	1962 (CONVERTED '69)	1952

\* Long Tons

SUMMARY OF SHIPS AND THEIR PRINCIPAL DIMENSIONS (CONT'D)

SHIP'S NAME	DANBJORN	BAMSA DAN	FUJI	GENERAL SAN MARTIN	BRANSFIELD	POLAR SHORE	SAMOTLOR
COUNTRY	DENMARK	DENMARK	JAPAN	ARGENTINA	GREAT BRITAIN	GREAT BRITAIN	U.S.S.R.
TYPE OF SHIP	Icebreaker	Cargo	Research	Icebreaker	Research	Offshore Supply	Tanker
LOA (FT.)	247	443.1	328	277.75	325.5	183.7	524.8
BEAM (FT.)	55.75	59.5	70.5	62.2	60	38.6	75.4
DRAFT (FT.)	19.67	24.3	28.8	22.6	20.4	14.2	27.9
DEPTH, MLD. (FT.)	29.5	36.9	38.6	28.3	31.2	16.7	42.3
DISPL. (DES.) (TONS)	3,685	11,900*	7760	4854	6900*		14,500
DISPL. (LOAD) (TONS)			8566	5301			
SPEED (KTS.)	17	17.5	17	16	13.5	13.75	
PROPULSION MACHINERY	Diesel-Elec.	Diesel	Diesel-Elec	Diesel-Elec.	Diesel-Elec.	Diesel	Diesel
NUMBER OF PROPELLERS	2	1	2	2	1	2	1
HP	11,880 bhp	9,000 bhp	12,000 shp	7100 shp	5,000 shp	5280 bhp	11,600 bhp
HP/B	213.1	151.3	165.5	116.4	83.03	136.8	153.8
HP/Δ	3.22	.756	1.55/1.40	1.46/1.34	.725		.80
L/B	4.43	7.45	4.65	4.47	5.43	4.76	6.96
B/H	2.83	2.45	2.45	2.75	2.94	2.72	2.70
ICEBREAKING CAPACITY	3.1 feet (est.)	2.2 feet (est.)	2.7 feet (est.)	2.3 feet (est.)	1.7 feet (est.)	2.5 feet (est.)	
BUILDER	Odense Steel Shipyard, Denmark	Aalborg Uaer Ft, Denmark	NIHON KOKAN	Seebeck Yard, Wesserals, W. Germany	Lerth Div. of Roff Caledon Shipbuilders	Cochrane & Sons/Dry Pool Group	Rauma-Repola Oy, Finland
OWNER	Royal Danish Navy	J. Lauritzen	Japanese Navy	Argentina	National Environment Research Council	Offshore Supply Assoc.	V/O Sudoimport
YEAR BUILT	1965	1973	1965	1954	1971		

### 3 氷海用船舶に関する技術の現状

#### 3.1 技術開発の経緯と研究活動の現状

##### 3.1.1 氷海中の船体抵抗

###### 3.1.1.1 概 論

砕氷船舶の能力はプロペラによる推進力と氷の抵抗により推定できる。この内、推進力の評価は造船技術者にとって、造船設計の一過程として手馴れた作業である。しかし、氷の抵抗を評価するためには、その船が航行する海域の氷の状態を知り、かつ使用すべき抵抗の推定法を決定しなければならない。

図 3.1.1 に船舶が航行中遭遇する氷の状態の模式図を示す。船は氷海域に近づくにしたがい、まず最初に一つづきの平坦氷がわれて生じた比較的大きな氷板群に出会う。この型の氷は無氷水域との境にもっともよくみられるものである。この氷板を割ったり、移動させる事により船速は低下する。

つぎに船は一つづきの平坦氷に出会う。これは比較的厚さが均等で、通常表面は雪におおわれている。船はこの平坦氷を連続的に砕きつつ進み、船速はさらに低下する。そして船の通った後には小さな氷片が多数浮かぶ水路が出来る。

もし、船が2隻以上引きつづいて航行する場合は、2番目の船はこの種の氷の状態に出会い氷を砕く必要はない。平坦氷域をさらに進むと船は風や海流の作用により氷がつみ重なって出きた氷丘脈に出会う。この型の氷の状態は砕氷船舶にとり、もっとも厳しい条件を与えるものである。船が氷丘脈に突入すると船速は一旦著しく低下した後第2の氷丘脈に出会うまで再び増加する。以上述べた船速の変化を同じく図 3.1.1 に示す。

さて、船が受ける氷の抵抗は以下の方法のうち、いずれかにより推定できる。すなわち

- 理論的方法
- 実験的方法
- 半実験的方法

まず、理論的方法では理論的解析により一番経費をかけずに氷の抵抗の推定を行うことができる。実験的方法では、氷海再現水槽における模型実験あるいは、類似船型をもつプロトタイプ船が必要である。

もし、計画している船と類似の船型の船での実際の航路におけるフルスケールデータが最小コストで得られればこれがもっともよい抵抗の推定といえる。一方模型船をもちいた水槽テストによる方法は、最近実用化しつつあり比較的精度のよい氷の抵抗の推定が得られるようになっており、又その費用もほぼ妥当な線になっている。

第3の方法は、理論解析と模型実験あるいは実船実験の結果を組み合わせるものである。

この方法では、推定値の計算式の形を理論解析により定め、そこにもちいられる係数の値を実験によりもとめる。この方法による他のアプローチのしかたとしては、過去に得られている模型実験や実船実験よりもとめた推定式に手を加え、船型を表現するパラメータを式の中に取り込むことによって種々の船型に対して使用可能な式に拡張する事が挙げられる。

###### 3.1.1.2 解析的方法

初期の砕氷船は小さく、かつ小出力であったため、氷海に航行する際は、氷を砕くため断続的な氷への突入(チャージング)をよぎなくされた。そのためこの時代の研究者の関心はチャージング時に船首底がうける力の推定に集中した。しかし、ひとたびチャージングの態勢に入ると、船の前進はきわめて遅く、かつ困難になる。それゆえチャージングの能力というものは近代的な砕氷船舶においては、どちらかといえば第二義的なもので第一に問題にすべきは連続的な砕氷能力である。

初期のまだ模型実験の手法が開発される前には、研究者は解析的手法により、砕氷船舶の能力を推定する事を試

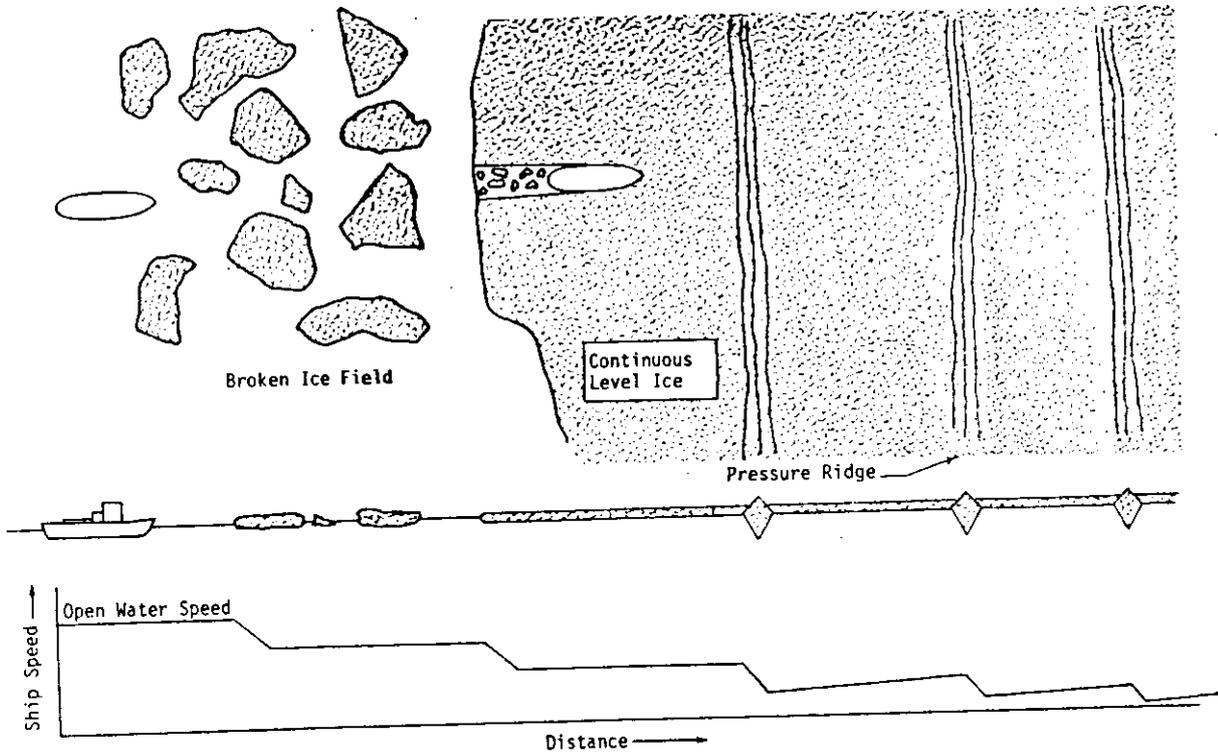


図 3.1.1 Typical Ice Conditions and Ship Performance

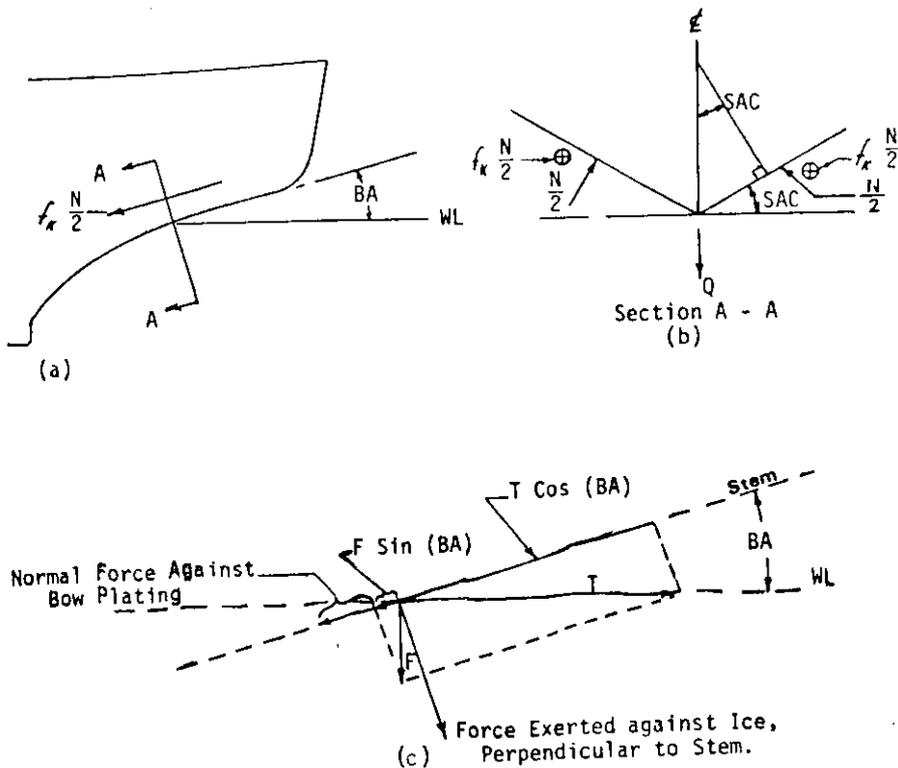


図 3.1.2 Definition of Terms Used by Runeberg

みた。彼らはまず、与えられたプロペラ推進力により、砕氷船の船首に発生する下むきの力をもとめ、つぎに、この力と氷板を割る事とを関係つけた。そして彼らは、氷板を割る事に要する力のみが砕氷船がうける抵抗になると考えた。この仮定の下に初期の解析手法でも砕氷船の能力を良く推定していた。

しかし、現在では砕氷に要する力に起因する抵抗は、氷海で船がうける抵抗中 2 次的な大きさである事がわかっ

ている。

1888年 Runeberg は、氷に働く下むきの力 (F) を船の推進力 (T)、船首角 (BA)、船首の舷側方向の角度 (SAC) で表わした。(図 3.1.2 参照) すなわち

$$F = T \frac{\cos(BA) \cdot \cos(SAC) - f_k \sin(BA)}{\sin(BA) \cdot \cos(SAC) + f_k \cos(BA)}$$

ここで  $f_k$  は動摩擦係数である。

彼はまた、砕かれる氷の厚さ  $h$  と  $F$  との関係式として次式を導いた。

$$h = cF^{0.5} B^{-0.25}$$

ここで  $C = 0.18$  (ただし、秋氷に対して)

$h$  = 氷厚 (in)

$F$  = 下向きの力 (lb)

$B$  = 船幅 (ft)

これより、船の推進力は、その速度の関数であるので、船の連続的に氷を割る能力を決定する事が可能である。

又、上の式より、氷をわる事に要する力を氷の抵抗とすると

$$F = 31 \cdot B^{0.5} h^2$$

となる。

この式では、氷の抵抗は、船速に関係なく定まる。すなわち初期の砕氷船は、小出力であった為、氷の抵抗に対する船速の影響は、表面に出てこなかったといえる。ともあれここで、氷の抵抗が、氷厚の2乗と船幅の平方根に比例するとなっているのは、興味深い。この Runeberg の研究は、後に船首の下向きの力を推定すると同様の式を導いた Vinogradov [3.1]、White [3.2] および Milano [3.3] に影響を与えた。

1938年、Shimansky [3.4] は連続砕氷、助走つき砕氷および船体強度に関する広範な解析を行なった。彼は砕氷船の船首形状の重要性をみとめ、この形の影響を船により生ずる下向きの力の推定式にとり入れた最初の研究者であり、船首形状の影響をしらべる為に数種の係数を定義した。

まず、船の水線に沿った単位幅 (垂直方向) の船体表面に単位法線力をかけたとき船体がうける船の長さ、横および垂直方向の合力 ( $P_x$ )、( $P_y$ )、( $P_z$ ) は次式で与えられる。

$$P_x = \int_0^{L_x} \frac{\tan^2 \alpha \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta} dx$$

$$P_y = \int_0^{L_x} \frac{\tan \alpha \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta} dx$$

$$P_z = \int_0^{L_x} \frac{\tan \alpha \tan \beta \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta} dx$$

ここで  $\alpha$ 、 $\beta$  は図 3.1.3 を参照、又  $L_x$  は船首から最大船幅部までの長さ方向の距離である。彼はこれよりつぎの船体形状係数を定義した。

$$\text{砕氷係数, } \eta_1 = \frac{P_x}{P_z}$$

$$\text{切氷係数, } \eta_2 = \frac{P_y}{P_x}$$

これらの係数は、船の中心線にそった水平方向の力の垂直および船幅方向の力への転換を表わしている。この砕氷係数  $\eta_1$  を用い氷に対する下向き力の合計は  $T$  を船の推進力とすると

$$F = T \eta_1$$

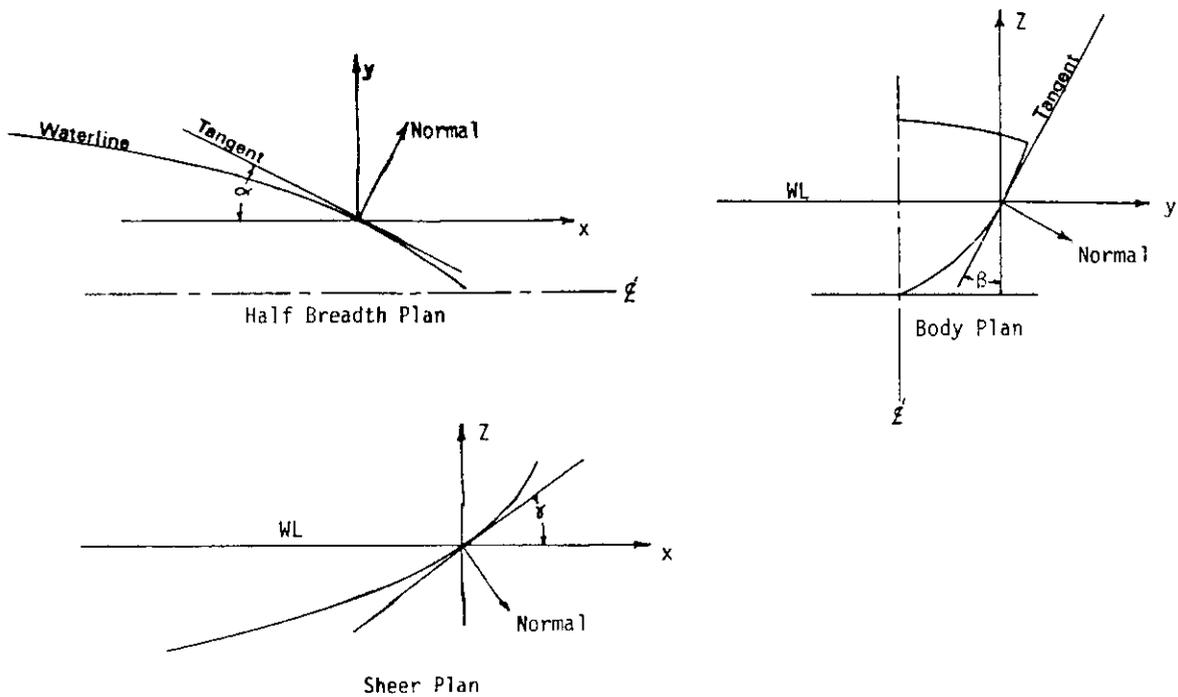


図 3.1.3 Three Mutually Perpendicular Views of the Normal to a Hull as Used By Shimansky.

この力を砕かれる氷の厚さと関係づけるために Shimansky は、弾性床上の半無限梁の氷を砕く下向き力としてつぎの式を導いた。

$$N = \frac{\alpha}{1.93} \sigma h^2$$

ここで、N = 単位幅の氷板を砕くに必要な力

$$\alpha = \sqrt{\frac{3}{E h^3}}$$

$\sigma$  = 氷の曲げ強度

E = 弾性係数

この式により T により砕かれる氷の厚さがつぎのようにもとまる。

$$h = 1.93 T \frac{\eta_1}{2} / \alpha \sigma$$

Shimansky は他の力、すなわち浮力、および船の運動による動的作用による力は考慮に入れなかった。しかし、砕氷力に対する船体形状の影響を表わす彼の係数は大変効果的でその後、Kashtelyan により氷の抵抗推進に適用された。

もう一つの重要な理論的方法は Vinogradov [3.1] により開発された。彼は、助走つき砕氷の際の船首の下向き力をもとめるにあたり、エネルギー保存則を用いた。

彼は、そのエネルギー保存則として、つぎの表現を使用した。すなわち、

$$(E_0 - E_1) + E_2 = E_3 + E_4 + E_5$$

ここで  $E_0$  = 最初に氷に接した時の船の運動エネルギー

$E_1$  = 氷が破壊した時の " "

$E_2$  = プロペラ推進力より得られるエネルギー

$E_3$  = 衝突によりうしなわれるエネルギー

$E_4$  = トリムおよび喫水の変化により船が得るポテンシャルエネルギー

$E_5$  = 摩擦力によりうしなわれるエネルギー

彼はつぎに船の寸法および運動のパラメータを用いて以上のエネルギーを表わし、下向き力 (F) をもとめた。

$$F = XT + \sqrt{X^2 T^2 \frac{YM}{AH} \{ v_0^2 [1 - (1 - e^2) \sin^2(BA)] - v_1^2 \}}$$

ここで  $X = X(f_k, BA, SAC)$

$Y = Y(f_k, BA, SAC)$

$$A = \frac{C_B}{C_W} \left[ 1 + \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^2 \frac{1}{\Delta C_W} \right]$$

T = 船の推進力

M = 船の質量

H = 船の喫水

$v_0$  = 衝突速度

$v_1$  = 破壊速度

e = 反発係数

$f_k$  = 摩擦係数

$C_B$  = 方形係数

$C_W$  = 水線面係数

$K_1 = \ell / (L/2)$

$\ell$  = 氷との接点と水線面の長手方向重心点との距離

L = 船の垂線間長

$$K_2 = \sqrt{GM_1 \Delta C_B / (C_W L^2)}$$

$GM_1$  = 縦メタセンタ高

$\Delta$  = 排水量

砕氷能力を決定する為に、この下向き力は Shimansky と同様な方法により、氷板を砕く力と関係づけねばならない。Vinogradov の方法は、このようにして船の助走つき砕氷能力すなわち助走つき砕氷により砕かれる氷厚の決定に使用できる。

このエネルギー保存則による方法は、後に White と Milano により彼らの氷の抵抗値の推定法の開発に適用された。1962年、Milano [3.3] は、砕氷船の船首の下向き力 F をもとめる Runeberg の式の改良案を提案した。すなわち

$$F = 2 T \frac{\cos(BA) \cos(SAC) - f_k \sin(BA)}{\sin(BA) \cos(SAC) + f_k \cos(BA)}$$

この力と砕氷能力とを関連づけるため、彼は Nevel の理論 [3.6] を氷板を破壊する力をもとめる為に用いた。そこで彼は助走つき砕氷を行なう砕氷船が半無限の氷板に出会うと仮定し、かつその氷板は、半径方向クラックにより八つの角度  $22.5^\circ$  をもつクサビの形に破壊するとした。この破壊モードを生じさせる力  $F_0$  は

$$F_0 = 0.425 \sigma h^2$$

で与えられる。以上の二つの式を組み合わせ、Milano は次式を導いた。

$$h = CF^{0.3} \sigma^{-0.5}$$

ここで C は約 1.535 である。

White [3.2] は、助走つき砕氷に対する非常に広範な解析を行なった。他の手法と異なり、彼は助走つき砕氷における砕氷船の運動すなわち surge, heave および pitch を表現するのに微分方程式を用い、船首の下向き力をも

とめた。

彼は氷の摩擦力、氷の反力、静的流体力、動的流体力およびプロベラ力を考慮に入れたが、これらは以前の研究では無視されていたものである。これにより彼の導いた式は

$$F = 6.64 V_i (WR)^{0.845} \Delta^{0.845}$$

ここで  $V_i$  = 衝突速度

$\Delta$  = 船の排水量

WR = White ratio

$$= 0.000234 (10.72 + B/H) (0.1833 + C_w) (1.652 - C_b) \\ \times (6.14 - SA^2) (0.725 - f_k) (1.718 - BA)$$

$C_w$  = 水線面係数

$C_b$  = 方形係数

$B/H$  = 型幅/喫水

助走つき砕氷により砕かれる氷厚は、先と同様にしてもとめられる。つぎに連続砕氷の場合の砕氷能力をもとめるためにWhiteはつぎのRunebergの式に似た式を提案した。

$$F = T \frac{\cos(BA) [\cos(SAC) + f_k \sin(SAC)] - f_k \sin(BA)}{\sin(BA) [\cos(SAC) + f_k \sin(SAC)] + f_k \cos(BA)}$$

MilanoとWhiteは、彼らの先行者と同様に、船速の影響および砕かれた氷片が海中に落ち、かつ移動するに要する動的な力を無視した。彼らの方法のもう一つの重要な欠点は、砕氷が船首端のみで起り、それゆえ、それ以外の船首部の形状の影響が彼らの式に含まれてないことである。つい最近Milano[3.7]は、これらの欠点のすべてを解消した、より内容豊富な運動する船に対する氷の抵抗をもとめる数学モデルを開発した。彼はエネルギー保存則を用い、かつ船の運動を微分方程式で表わしている。その基礎式は、

$$E_T = E_1 + E_{21} + E_3 + E_4 + E_5$$

ここで  $E_T$  = 全エネルギー

$E_1$  = 氷がつまった水路を通るときのエネルギー損失

$E_2$  = まだわれていない氷板端にぶつかり1部砕く際に費されるエネルギー

$E_3$  = 氷板上にのり上げる為のエネルギー

$E_4$  = 氷が曲げて破壊した後の船体落下に際してのエネルギー変化

$E_5$  = 氷をおし上げる為のエネルギー(この後、船の前方にはいくらかの砕かれた氷が浮んだ水路ができる)

彼は、この $E_1$ から $E_5$ までを1回の砕氷サイクルと考えこれらのエネルギーを船の寸法と運動パラメータにより表わし、氷の抵抗( $F_T$ )についてつぎの解を得ている。

$$F_T = E_T / x'$$

ここで  $x'$  は砕氷サイクルと1周期の距離である。

彼は、またマッシュアイス(こまかく砕けた氷が多数水面に浮かんでいる状態)中での抵抗も計算している。この結果は文献3.8中にある。

### 3.1.1.3 実験的および半実験的方法

実験的に氷の抵抗をもとめるには、二つの方法がある。一つは類似船型船の実船実験より推定する方法である。この方法はそのような船がある場合にかぎられる。もう一つは氷海再現水槽を用いた模型実験による方法である。模型実験の技術は最近開発され、かつ氷の抵抗の推定の為に有効な結果を与える事がたしかめられている。

この実験には、曳船実験、自航実験および突入実験の3方式がある。この内、前二者は氷板の中を走る以外は通常の水槽実験と同じであるが、突入実験は助走つきの砕氷を再現する為、モデルを一旦加速した上で、加速をやめ

氷板に突入させるものである。

半実験的方法是、氷の抵抗をもとめるのに解析結果と実験結果を組み合わせる。この手法における常套手段は、理論的に推定式を導き、その係数を模型ないし実船実験により定める事である。

最初の模型実験はNogid〔3.9〕により考えられ、1939年にパラフィンを用いた模造氷により実行された。この実験の目的は、砕かれた氷の中での抵抗を推定するための技術を開発する事であった。彼はさらに強度を落したパラフィンワックスを用い、彼が導いた相似則を用いて連続水中の抵抗をもとめるための実験を1950年に実施した。しかし、この時満足すべき結果は得られなかった。

1955年、最初の氷海再現水槽がレニングラードのソビエト北極南極研究所に建設され、ここでは塩水氷をもちいてこれまでに多数の模型実験が実施されている。Kashtelyanは、この研究所の一連の研究の成果として、半実験的方法にもとづいた氷の抵抗に対する推定式を導いた。

すなわち、彼はまず理論解析により推定式を決定し、つぎに実験によりその係数を決定した。彼は船が受ける氷の抵抗をつぎのようにいくつかの部分にわけた。

$$R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_w$$

ここで  $R_i$  = 全砕氷抵抗 ( ton )

$R_1$  = 氷を砕くことによる抵抗

$R_2$  = 砕かれた氷の潜水、回転に要する力および船体と氷の間の摩擦力による抵抗

$R_3$  = 砕かれた氷を押しつけて通過する際の抵抗

$R_w$  = 水の抵抗

これらの抵抗要素は、船体形状の影響も含めつぎのように表わされた。

$$R_1 = K_1 B \sigma h \mu_0$$

および  $R_2 = K_2 B \gamma_i h^2 \mu_0$

ここで  $K_1, K_2$  = 実験により定められる未定係数

$B$  = 船の型幅 ( m )

$h$  = 氷厚 ( m )

$\sigma$  = 氷のまげ強度 ( ton / m<sup>2</sup> )

$\gamma_i$  = 氷の密度 ( ton / m<sup>3</sup> )

$\mu_0$  = 船体効果係数,  $1 + \frac{1}{\eta_1}$

$\eta_1$  = Shimansky の砕氷係数

速度に支配される氷の抵抗要素は、

$$R_3 = K_3 B^x h^y v^z \frac{1}{\eta_2}$$

ここで  $K_3$  = 未定係数

$x, y$  = 未定指数

$\eta_2$  = Shimansky の切氷係数

$v$  = 船速 ( m / sec )

水の抵抗  $R_w$  は通常の氷のない水槽テストより得られる。

Kashtelyan は砕氷船 ERMAK を未定係数をもとめるためにもちいた。

まず、模型実験より  $K_1 = 0.004$

$$K_2 = 3.6$$

$$y = 1$$

が、船速=0~0.4 m/sec の領域でもとめられ、又  $K_s$  および  $x$  は実船実験より

$$K_s = 0.25$$

$$x = 1.65$$

ともとめられた。これより、上述のすべての式を組み合わせ

$$R_i = 0.004 B \rho h \mu_0 + 3.6 \tau_i B h^2 \mu_0 + 0.25 B^{1.65} h v \frac{1}{7^2} + R_w$$

がとまる。この式より、ある推進力が与えられたとき、任意の厚さの氷海中での船の推進性能が速度の関数としてもとめられる。この意味から Kashtelyan の研究は砕氷船舶の連続的な砕氷能力を決定する為の最初の重要な成果とみなす事ができ、彼の方法は現在でも他の推定法との比較に用いられている。ただ、彼の方法の欠点は、その係数が一つの実船のデータより定められ、それゆえ他の船に対してもとめた氷の抵抗値の精度に疑問が残る事である。

このUSSRの初期の研究にひきつづき、模型実験が西独で淡水氷について、又、英国とオランダでパラフィンを用いて実施された。しかし、これらの研究では別に見るべき成果は得られなかった。ついで1968年、フィンランドのWärtsiläの氷海再現水槽が運転を開始し、塩水氷を用いて模型実験が実施された。

まずMANHATTAN号の模型が、北極海におけるその性能を推定する為、各種の氷の状態の下で実験された。

つぎに五大湖におけるバルクキャリアーの氷の抵抗に対する船首部の形状と船の主寸法の影響を知るための系統的实验が米国海事局の要請で実施された。その模型を図3.1.4に示す。この系統的实验の結果をもとに Johansson [3.1.0] は、つぎのような氷の抵抗をもとめる式を提案した。

$$R_{ice} = BhK_T \rho_{\Delta} g \text{ (9)(10)(11) } [ \text{(1)-(2)+(3) ( (4)(5)-(6)(7) ) } ]$$

ここで  $K_T \rho_{\Delta} g = 149 \text{ lb / ft}^2$  が淡水氷の場合使われた。係数(1)から(11)までの値は図3.1.5に示すグラフより取る。この式を導くにあたって使われた氷厚および船のパラメータの領域は以下の通りである。

$$\text{氷厚 } h = 1 \sim 3 \text{ f,}$$

$$\begin{aligned} \text{船速 (ノット)} \quad v &= 2 \sim 12 \quad \text{when } h = 1 \text{ f,} \\ &= 2 \sim 9 \quad \text{when } h = 2 \text{ f,} \\ &= 2 \sim 6 \quad \text{when } h = 3 \text{ f,} \end{aligned}$$

$$\text{船長 (f)} \quad L = 32.5 \sim 71.5$$

$$\text{型幅 (f)} \quad B = 5.5 \sim 10.0$$

$$\text{喫水 (f)} \quad T = 2.65$$

$$\text{船首角 (度)} \quad \varphi = 2.0 \sim 8.2, \text{ no forefoot}$$

Makinen [3.1.1] は、この実験データを再び解析し、つぎのような改良された推定式を導いている。

$$R_{ice} = Bh^2 \rho_{\Delta} g C_{\mu} (C_s + C_v)$$

$$\text{ここで } C_{\mu} = [ 1.0347 + 0.009087 \varphi + 0.0000445 \left( \frac{L}{B} \right) ]$$

$$C_s = [ 60.64 \varphi^{-0.72751} \times \left( \frac{B}{h} \right)^{0.0067} \varphi^{+0.14115} \sqrt{L/B} ]$$

$$C_v = [ 20068.3^{-1.77083} \times \left( \frac{v^2}{Bg} \right)^{0.77867} \sqrt{B/L} \times \left( \frac{B}{h} \right)^{0.0144} \varphi ]$$

$L$  = 水線面長さ

$B$  = 水線面幅

$h$  = 氷厚

$\rho_{\Delta}$  = 水の密度 - 氷の密度

$v$  = 船速

$g$  = 重力の加速度

$\varphi$  = 船首角, (度)

なお、係数は、無次元化されているので単位は首尾一貫しておればよい。この式は、つぎの領域で有効である。

速度: 2.3 ~ 13.8 mph for 1 ft 氷厚

2.3 ~ 10.4 mph for 2 ft 氷厚

2.3 ~ 6.9 mph for 3 ft 氷厚

船首角: 30 ~ 82度

$L/B$  : 4.33 ~ 9.54 (又は拡張して3.25 ~ 13.0)

型幅: 50 ~ 120 ft

喫水: 26.5 ft, しかし、この影響は小さい。

この式は、五大湖の通常のバルクキャリアーのような鈍角の船首形状をもつ船の抵抗をもとめるときは、注意して使用される必要がある。というのは、船首角が80度以上になると、多くの場合氷は圧縮破壊あるいは、座屈まげ破壊する。しかし、このような破壊モードは、不幸にして塩水の模型氷では再現できない。実験データはほとんどが角度のついた船首で、氷がまげにより下におし割られる場合のものである為、実際とずれてしまう。そして上の式は氷の強度が式に含まれていないため、その抵抗に対する影響は、完全に無視される。

さて、西独では1972年、ハンブルグ水槽に新しい氷海再現水槽が加わった。西独政府は、EOS船と呼ばれる北極海バルクキャリアーの設計を後援し、これに対し、ハンブルグ水槽は、砕氷能力をもとめる為の広範なシリーズ模型実験を行なった。

ここでは、異った縮尺の三つの模型が使用された。(それらの主要寸法とプロトタイプ船のスケッチを図3.1.6に示す。)この実験結果をもとにKloppenburg [3.1.2]は、先にLewis, Edwards [3.1.3, 3.1.4]とVance [3.1.5]により導かれた式にもとづきEOS船の氷の抵抗を推定した。これらの式を次に示す。

$$(Lewis \text{ および } Edwards, 1970 \text{ 年}): R_i = C_0 \sigma h^2 + C_1 \rho_i g B h^2 + C_2 \rho_i B h v^2$$

$$(Edwards \text{ および } Lewis, 1972 \text{ 年}): R_i = C_0 \sigma B h + C_1 \rho_w g B h^2 + C_2 \rho_w B v \sqrt{g h^3}$$

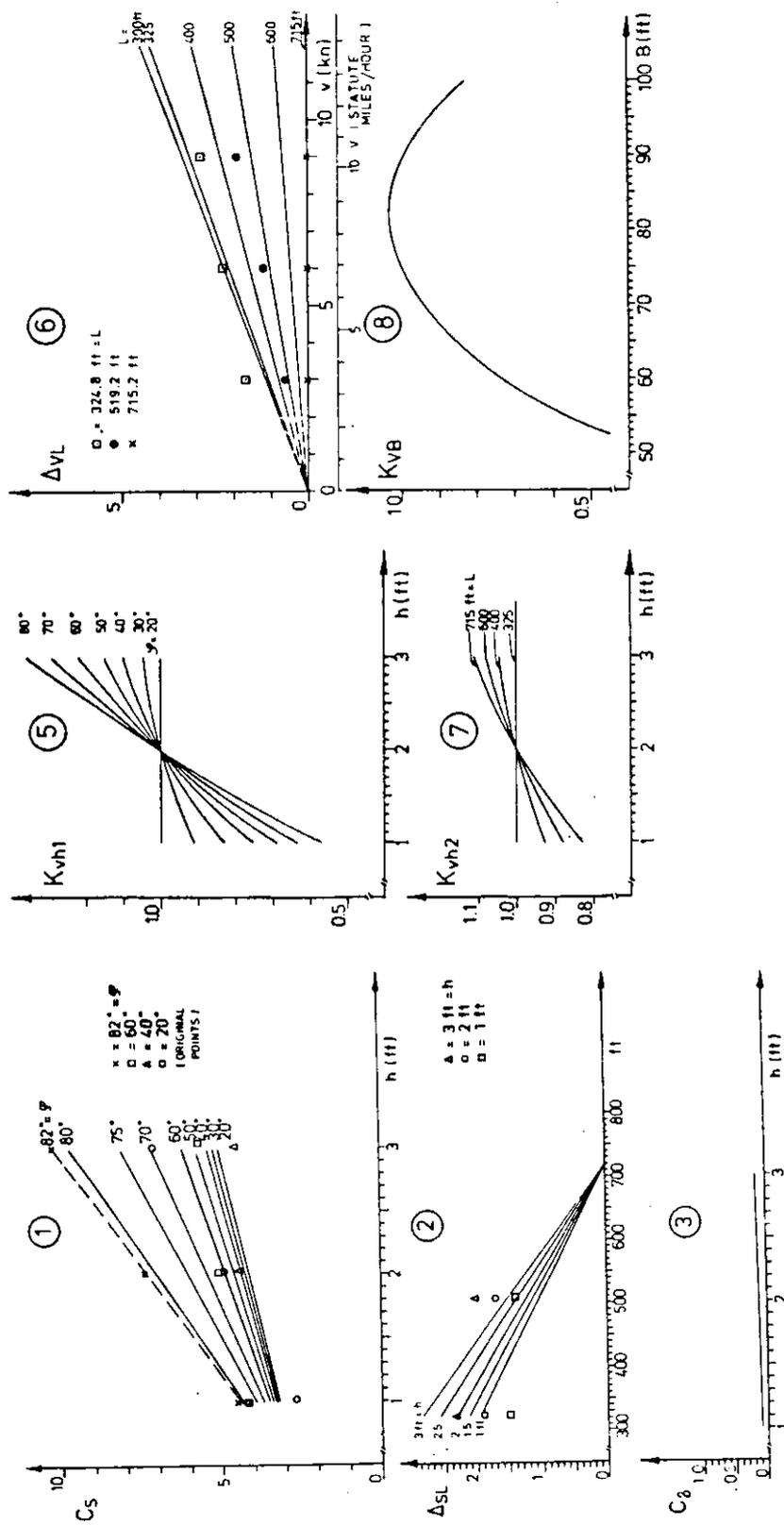
$$(Vance, 1975 \text{ 年}): R_i = C_0 \sigma B h + C_1 \rho_{\Delta} g B h^2 + C_2 \rho_i v^2 L H^{0.65} B^{0.35}$$

ここで、係数 $C_0$ 、 $C_1$ および $C_2$ は先にのべた三つの模型実験結果より定まる(3.1.2)

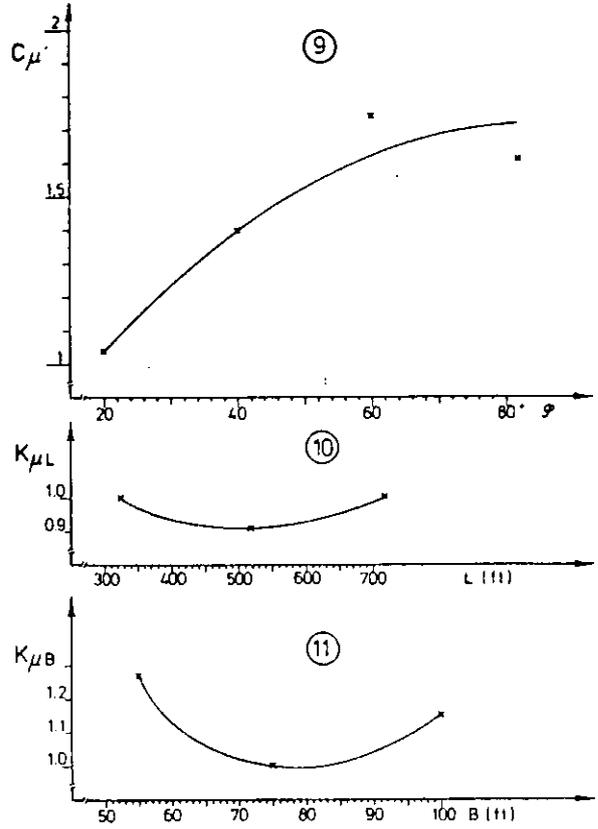
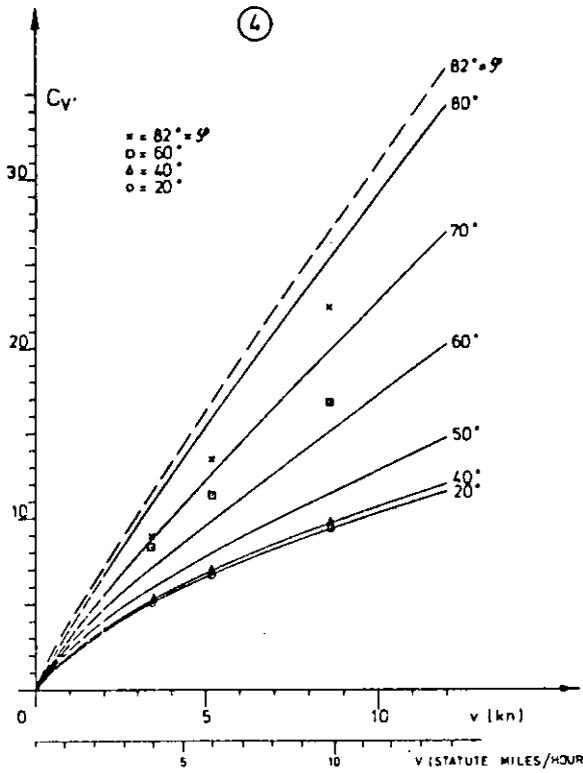
上記の結果は、彼らの実験技術に起因するいくつかの欠点を含んでいることが知られている。まず、氷の強度が実験中正しく縮尺されておらず、相似則は維持されていない。つぎは回帰法による解析が無次元量によらず行なわれており、そのため推定式が実際にはもう一つの項、すなわち剰余項をもっている。

米国においては、1960年代前半に助走つき砕氷時の船首部に生じる力を実験的にもとめるいくつかの試みがなされたが、いずれも意味ある成果は出ぬままであった。1966年と1967年U.S. Coast GuardはBritish Hovercraft Experimental Divisionにワックスによるシリーズ模型実験を委託した。この実験では船首端の段の影響をしらべるためにWIND級砕氷船の模型が使われた。又、M-5と名づけられた新船型も実験された。この型の船首はWhite [3.2]が提唱したクライテリアに従い設計されたものである。実験結果は、新船型がWIND級よりすぐれている事を示し、又WIND級の船首の段は、助走つきおよび連続砕氷のどちらのオペレーションをも制約するものである事を明らかにした。それ以来、かなり多数の実船実験が、RARITAN号、NORTHWIND号、およびSTATEN ISLAND号を用いて実施され、理論および半実験式と比較された。又、砕氷能力の推定のための模型実験技術の確認のため広範な模型実験が淡水水中でWIND級の模型をもちいて実施された。その結果Kashtelyanの推定値は実船実験結果と十分満足いく一致を示し、一方淡水水での模型実験からもとめた推定値は実船計測値より非常に低い事がわかった。

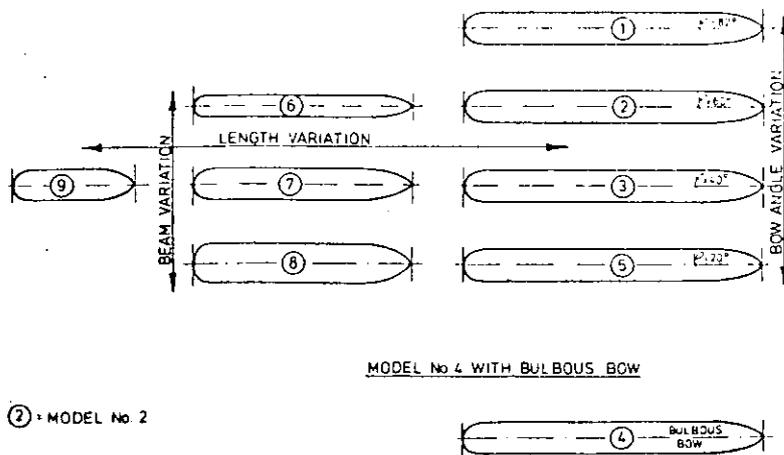
1970年、LewisとEdwards[3.1.3]は、その時点で得られたすべての模型および実船実験結果を解析して推定



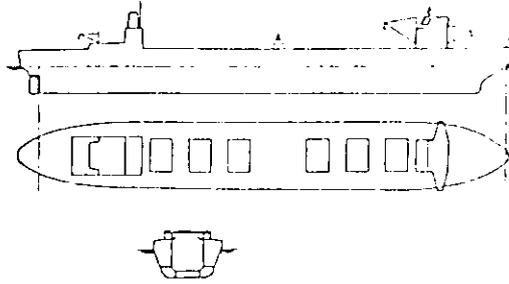
3.1.5 Diagrams for Calculating Ice Resistance



3.1.5 (Con't) Diagrams for Calculating Ice Resistance



3.1.4 Models In Wartsila Test Series



	Ship	Model 1	Model 2	Model 3
Scale ratio		50.0	65.0	38.0
Length b.p. [m]	250.00	5.00	3.85	6.58
Length o.a. [m]	258.50	5.17	3.98	6.80
Beam <sub>max</sub> [m]	35.00	.70	.54	.92
Draft [m]	15.00	.30	.23	.39
Displacement Volume [m <sup>3</sup> ]	90,858.00	.727	.331	1.656
Block Coefficient	.693			
Midship Section Coefficient	.875			

図 3.1.6 Icebreaking Bulk Carrier

式を導いた。この式の形は理論解析にもとづき次式のようにもとめられた。

$$R_{ice} = C_0 \sigma h^2 + C_1 \rho_i g B h^2 + C_2 \rho_i B h v^2$$

回帰法により上式の係数を定めるのにもちいられた実験データは、海水におけるWIND級実船実験、淡水氷および塩水氷中のWIND級の模型実験、純水氷中のM-5およびM-9型船型模型実船および海水中のRARITAN号実船実験よりなる。

以上のデータ全部よりもとめられた解は

$$R_{ice} = 0.146 \sigma h^2 + 8.84 \rho_i g B h^2 + 5.905 \rho_i B h v^2$$

WIND級のデータの場合

$$R_{ice} = 0.303 \sigma h^2 + 7.304 \rho_i g B h^2 + 5.90 \rho_i B h v^2$$

この実験データにもとづいた推定値と、KashtelyanおよびWhiteの方法および実船実験結果とが比較された。その結果図3.1.7に示すように推定値は低速域では比較的良く実船結果と合うが、速度の増加と共に差が出てくる。この方法の利点は式が単位系について矛盾がないので、模型実験と実船実験の結果を無次元量で直接比較できる事である。

ARCTEC 社氷再現水槽 (AIMB) は、1971年運転を開始し、急速結氷技術を用いて、塩水氷にて多数の模型実験を行なった。

現在、USCGのMACKINAW号についてのARCTEC社によって行なわれた多数の信頼できる実船および模型実験結果が集積されている。

EdwardsとLewis〔3.1.4〕はMACKINAW号の全データを解析し、次元解析により次式を導いた。

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = C_0 + C_1 \frac{v}{\sqrt{g h}} + \frac{\sigma_i}{\rho_w g h}$$

この式では、先にのべた彼らの前の式と異なる氷の抵抗が船速に比例している。前と同様に模型実験データより係数を定めると

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 3.46 + 4.68 \frac{v}{\sqrt{gh}} + 0.019 \frac{\sigma_i}{\rho_w g h}$$

この式は、無次元量が以下の範囲の時有効である。

$$3.0 \leq \frac{\sigma_i}{\rho_w g h} \leq 3.56$$

$$0.02 \leq \frac{v}{\sqrt{gh}} \leq 2.66$$

又、実船実験データよりもとめた場合は

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 5.96 + 4.35 \frac{v}{\sqrt{gh}} + 1.68 \left( \frac{v}{\sqrt{gh}} \right)^2$$

$$+ 5.46 \frac{SC}{h}$$

ここでSCは、積雪である。

この式よりわかるように氷上の積雪は、氷の抵抗に重要な影響をあたえる。図3.1.8に模型および実船実験結果の比較を示す。実船実験データでは、プロペラによる抵抗増加（推力減少率）が考慮されていない事を考えると両者はほぼ満足できる一致を示していると考えられる。

将来の砕氷船の設計資料を得るためのU. S. Coast Guardの一連の作業の一部としてAIMBにおいて抵抗に対する船長と型幅の影響をしらべる実験計画が実施された。これを行なうためL/B=2, 3, 4, 5, 6, 8の6箇の模型が使用され(主寸法を表3.1.1に示す)基本模型としてはUSCGのMACKINAW号の48分の1模型を用いた。この実験より, Kotras (3.16)は次式を導いた。

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 1.58 + 0.91 \frac{L}{B} + 3.11 \frac{v^2}{gh} + \frac{\sigma_i}{\rho_w g h}$$

ここで使用されている無次元量の範囲は

$$2 \leq \frac{L}{B} \leq 8$$

$$0.17 \leq \frac{v}{\sqrt{gh}} \leq 2.63$$

$$3.4 \leq \frac{\sigma_i}{\rho_w g h} \leq 2.89$$

船体形状の抵抗に対する影響を入れる為、彼はKashtelyanの方法をとり入れ、上式を船体形状係数 $\mu_0$ と $\eta_2$ をもちいて修正した。

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = \left( 1.58 + 0.91 \frac{L}{B} + 0.025 \right) \frac{\mu_0}{1.58} + 3.11 \left( \frac{v}{\sqrt{gh}} \right)^2 \frac{(1.16)}{\eta_2}$$

すなわちMACKINAW号が基本形として用いられたため同船の船体形状係数( $\mu_0 = 1.58$ ,  $\eta_2 = 1.16$ )が式の中に入り、他の形状に対する修正に用いられている。

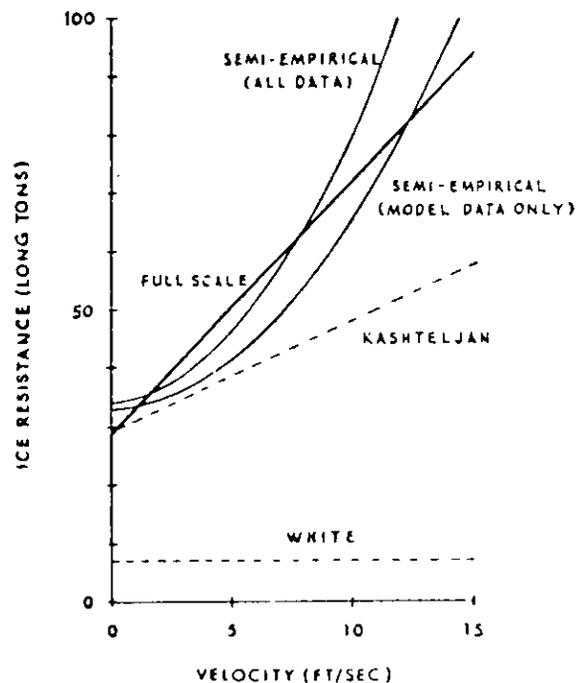
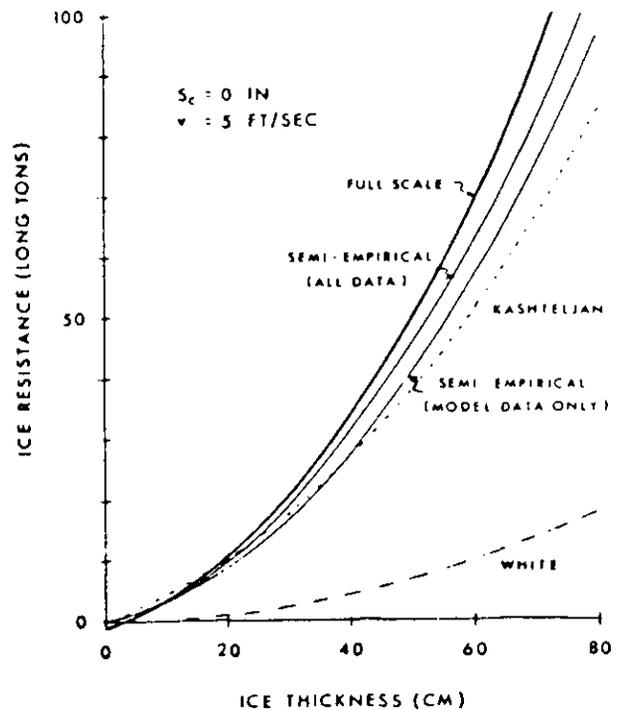
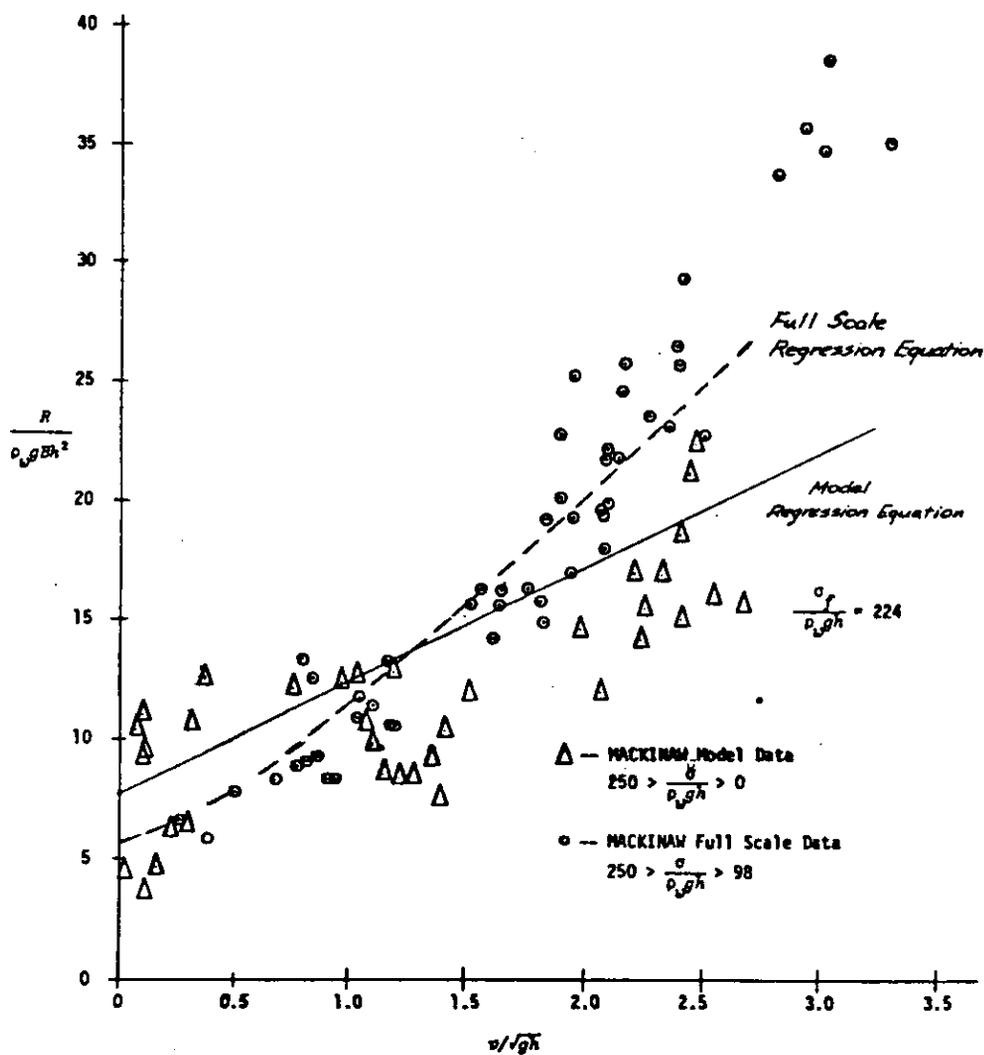


図 3.1.7 Comparison of Predicted and Full Scale Test Results



☒ 3.1.8 MACKINAW Model and Full Scale Test Data

表 3.1.1 Model Sizes For L/B Testing

Model	L/B	B/H	L (ft.)	B (ft.)	H (ft.)	∇ (ft. <sup>3</sup> )	C <sub>B</sub>
1	2	5.41	4.28	2.14	0.396	2.67	0.734
2	3	4.30	5.11	1.70	0.396	2.67	0.775
3	4	3.68	5.83	1.46	0.396	2.67	0.791
4	5	3.28	6.50	1.30	0.396	2.67	0.798
5	6	2.99	7.11	1.18	0.396	2.67	0.801
6	8	2.59	8.21	1.03	0.396	2.67	0.799

L = length of model at water surface

B = beam of model at water surface

H = draft of model

∇ = volume of water displaced

C<sub>B</sub> = Block coefficient

上式でもとめため無次元化された抵抗値とMACKINAW号の模型および実船データの推力から推定された抵抗値比較を図3.1.9に示す。この図でわかるようにこの推定式は、データとのよい相関を示し、それゆえ船型の異なる任意の船の水の抵抗の推定に使う事ができる。

カナダCoast Guardの中型砕氷船のR級と呼ばれる新船型の砕氷能力を既存のカナダCoast GuardのN.M. ROGERS号のそれと比較する為の模型試験がAIMBで行なわれた。これらの船の寸法は表3.1.2に示す模型実験で得られたデータをもとにEdwards[3.17]は次式を導いた。

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = C_0 + C_1 \frac{\sigma_f}{\rho_w g h} + C_2 \frac{v}{\sqrt{g h}}$$

ここで、無次元係数 $C_0$ 、 $C_1$ および $C_2$ は両方の模型について異なる船体-氷摩擦係数に対して次のようにまとまる。

Friction Factor ( $\mu$ ) Vs. Values of Coefficients

$\mu$	$C_0$	$C_1$	$C_2$
0.352	7	0.056	6.3
0.133	1	0.036	6.3

これらの係数は、USCGのMACKINAW号の五大湖における実船実験で得られた $\mu = 0.145$ を用いて修正された。修正されたR級およびROGERS号に対する式は以下の通りである。

$$\frac{R}{\rho_w g h^2 B} = (1.5767 + .9114 \frac{L}{B} + .0252 \frac{\sigma_f}{\rho_w g h}) \frac{1.52}{1.58} + 3.1059 \frac{v^2}{g h} (\frac{1.16}{2.72})$$

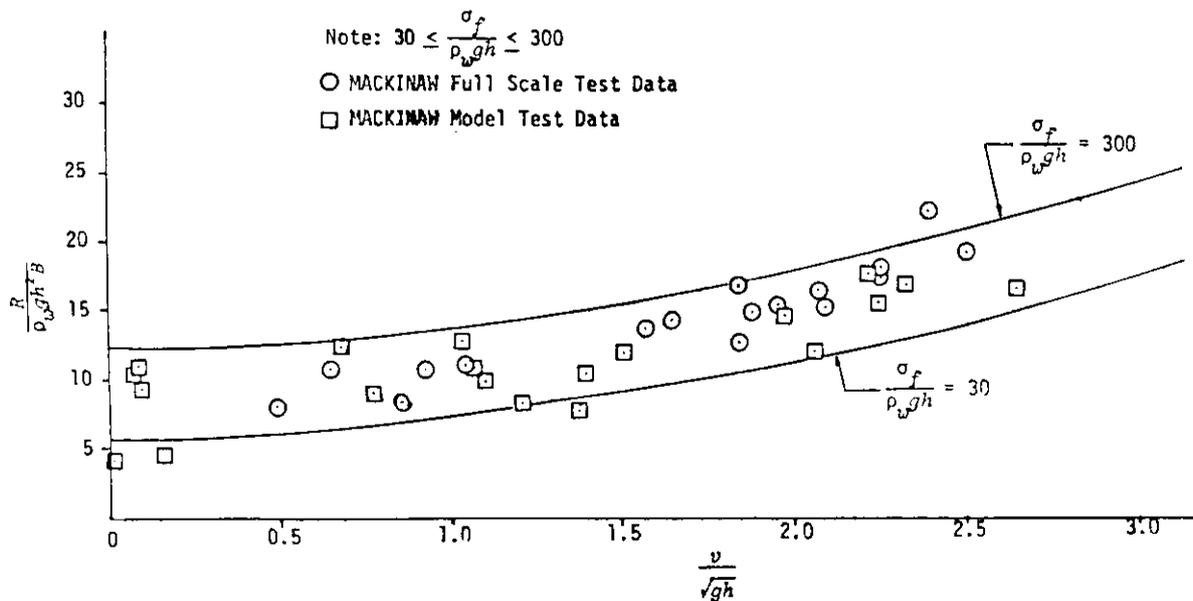


図 3.1.9 Model and Full Scale Data Correlation

R級 — 設計喫水

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 1.67 + 0.041 \frac{\sigma_f}{\rho_w g h} + 6.9 \frac{v}{\sqrt{g h}}$$

R級 — 深喫水

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 1.30 + 0.037 \frac{\sigma_f}{\rho_w g h} + 6.3 \frac{v}{\sqrt{g h}}$$

		"R" CLASS		NORMAN MCLEOD ROGERS	
		Full Scale	Model ( $\lambda=36$ )	Full Scale	Model ( $\lambda=36$ )
$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 1.49 + 0.039 \times \frac{\sigma_f}{\rho_w g h} + 11.0 \frac{v}{\sqrt{gh}}$	Length (ft.)	315.0	8.750	266.0	7.390
ここで実験された無次元量の範囲は	Breadth (ft.) at waterline	63.0	1.720	62.5	1.730
$16.6 \leq \frac{B}{h} \leq 51.0$	Draft Design (ft.)	20.0	0.555	20.0	0.555
	Deep (ft.)	24.0	0.666	24.0	0.666
	Block Coefficient $C_B$	0.625	---	0.680	---
$8.11 \leq \frac{\sigma_f}{\rho_w g h} \leq 32.5$	Hull Coefficients Design $\eta_2$	2.450	2.450	2.410	2.410
	$\mu_0$	1.530	1.530	2.440	2.440
$0 \leq \frac{v}{\sqrt{gh}} \leq 2.8$	Deep Draft $\eta_2$	2.660	2.660	---	---
	$\mu_0$	1.530	1.540	---	---

図 3.1.1 0 に上式で得られた R 級砕

氷船の無次元化された抵抗値と実船データの比較を示す。この模型実験によれば R 級の船型は ROGERS 号よりすぐれている事がわかる。

ROGERS 号と R 級の模型はマッシュアイスの中でも実験された。

これによると R 級

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 0.60 + 0.57 \frac{v^2}{\sqrt{gh}}$$

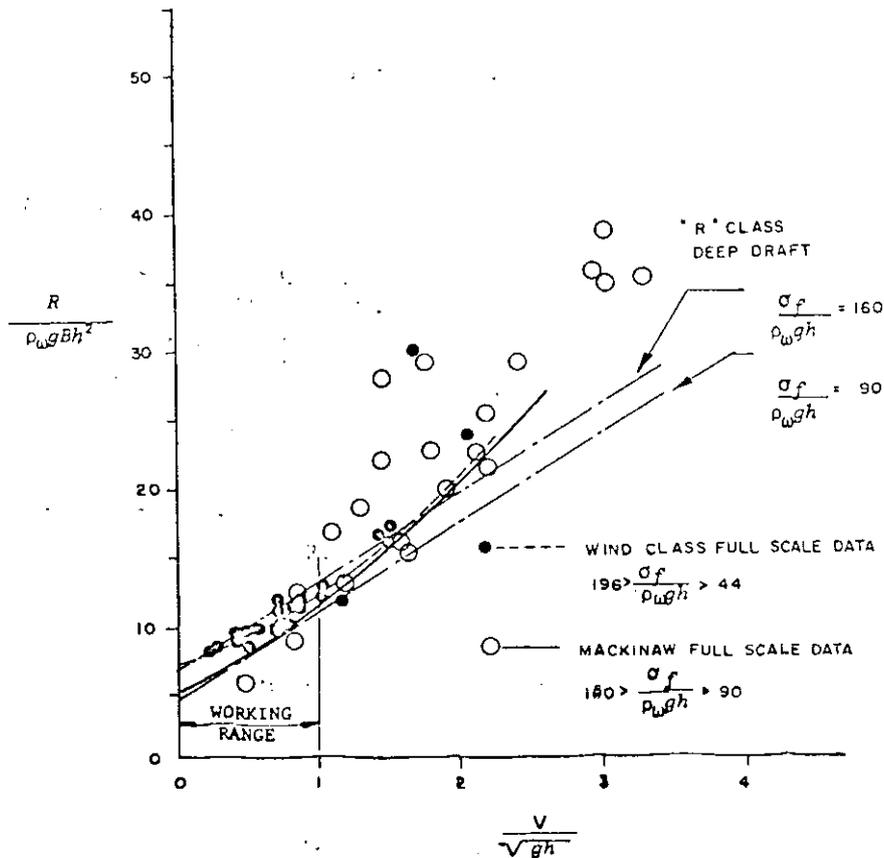


図 3.1.1 0 Comparison of R Class Regression Line with Full Scale Data

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 0.68 + 0.83 \frac{v^2}{gh}$$

ともとまる。AIMB で行なわれた破砕氷中での RYERSON 号の初期の模型実験では上式と似た式が得られている。Levine [ 3.1 8 ] は、破砕氷での抵抗の結果をまとめ次式を導いた。

$$\frac{R}{\rho_i g B h^2} = 1.29 + 1.37 \frac{v^2}{gh}$$

この抵抗に対する水路の幅の影響も又調査され、図 3.1.1 1 に示すようになっている。

砕氷タグボートに適した船型での実験もその氷の抵抗の推定式を作るため行なわれた。この場合の模型と実船の主寸法を表 3.1.3 に示す。

推定式としては 2 種類あり、一つは Edward と Lewis [ 3.1 4 ] , 他の一つは Vance [ 3.1 5 ] により導かれた。これらは実験データの解析に用いられたが Vance の式の方がすぐれている。最終的な式は Kim ら [ 3.1 9 ] により以下のようにもとめられた。

$$R = 7.34 \rho_{\Delta} g B h^2 + 0.0119 \sigma_i B h + 0.268 \rho_i v^2 L B^{0.35} h^{0.65}$$

ここで

$\rho_{\Delta}$  = 水の密度 — 氷の密度

$\rho_i$  = 氷の密度

L = 垂線間長

さて、氷の抵抗の数式化については、以上挙げたものと系列の異なる研究がある。Kim [ 3.2 0 ] は他の研究者の以前にもとめた推定式の改良型を提案した。それは、氷圧、船長および摩擦係数の影響を考慮に入れている。

$$R = K_b B h \sigma \mu_0 + K_s \rho_w g B h^2 \mu_0 + K_f (1 + SC) L C_b h \sin \theta \cdot P + K_v \rho_i B^{1.05} h v^2 / h^2$$

ここで SC = 船体-氷摩擦に対する積雪の影響

$\theta$  = 船体中央部のフレア角

P = 横方向の氷圧

未定係数  $K_b$  ,  $K_s$  ,  $K_f$  および  $K_v$  は模型あるいは実船実験データより定める。つぎに Vance [ 3.1 5 ] によ

り行なわれたもう一つの重要な研究においては、すべての入手可能な模型および実船実験データについて回帰法による広範な解析が行なわれた。この研究で使用された船は USCG の MACKINAW 号と STATEN ISLAND 号、ソ連の MOSKVA 号と ERMAK 号、タグの JELPPARI 号およびフェリーの FINCARRIER 号である。彼は多数の可能な無次元量の組み合わせを試みた後、つぎの推定式がデータにもっとも一致する事を見いだした。

$$R = C_s \rho_{\Delta} g B h^2 + C_b \sigma_i B h + C_v \rho_i v^2 L h^{0.65} B^{0.35}$$

ここで、係数  $C_s$  ,  $C_b$  および  $C_v$  は、実験データより表 3.1.4 に示すようにもとまる。彼はすべての模型および実船実験結果を総括し、それぞれを他の推定法と比較した。その結果、Vance は模型実験は氷海における船の推進性能を推定するのに有効な方法であるとし、未定係数  $C_s$  ,  $C_b$  ,  $C_v$  はこの方法で決定されるべきだとした。

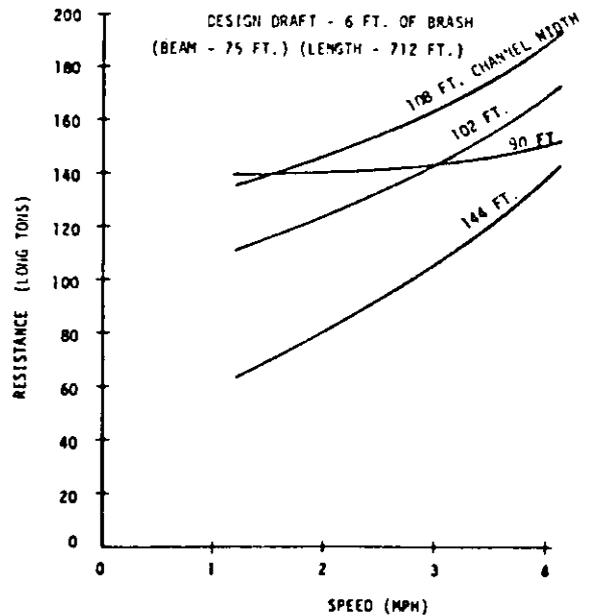


図 3.1.11 Effect of Channel Width on Resistance

表 3.1.3 Characteristics of Model and Ship

	Model Scale Ratio $\lambda = 24$	Full-Scale Ship
Length Overall, ft.	7.51	180.3
Length Between Perpendiculars, ft.	7.08	170
Beam, $B$ , ft.	1.875	45
Draft, $T$ , ft. Fwd.	0.71	17
Draft, $T$ , ft. Aft.	0.75	18
Displacement	317.0 lbs	1956 long tons
Stem Angle (degrees)	22	22
Friction Factor, $\eta$	0.196	0.196
Hull Coefficient ( $\eta_2$ )	2.67	2.67
Hull Coefficient ( $\mu_0$ )	1.54	1.54
Block Coefficient	0.466	0.466

表 3.1.4 Coefficient Summary

		Conf. Level	$C_S$	$C_B$	$C_D$
MACKINAW	FS *	95%	16.91	.034	.165
	Mod**	95	37.45	.0238	.166
STATEN ISLAND	FS	95	72.66	.0382	.2231
	Mod	95	85.524	.0257	.0495
MOSKVA	FS	95	27.168	.0483	.1340
	Mod	95	54.164	.0	.1092
		90	53.16	.00256	.1064
ERMAK	FS	95	132.08	.0	.1690
	Mod	95	61.51	.0	.1830
JELPPARI	FS	95	13.32	.036	.322
	Mod	95	37.127	.0385	.1652
FINNCARRIER	FS	95	49.45	.0	.1831
	Mod	90	53.70	.05	.1831
		95	75.63	.0297	.240

\*FS - Full Scale Data

\*\*Mod - Model Scale Data

#### 3.1.1.4 予定される今後の研究および開発

砕氷時の抵抗の特性は最近の広範なモデルおよび実船試験結果からよりよく理解できるので、今後の研究および開発計画は、つぎのようなものの開発に向かうと思われる。

- 氷の弾性率および圧縮強度を正しく尺縮表現した実験材料
- 氷の抵抗のスケール効果のよりよき定量化
- 氷丘脈地帯における推進性能の推定式

- 最小の氷の抵抗を与える船首形状
- 摩擦係数の低減方法, 例えばコーティング, エアバブルシステム
- 氷海中の操縦性の解明とそれに基づくよりすぐれた舵等の設計
- 氷の抵抗軽減装置, 例えばピッチングシステム砕氷および抵抗軽減の為のエアクション装置

これらの研究のうち, いくつかはすでに開始されており, 今後の砕氷船舶のニーズの増加にしたがい促進されるだろう。

### 3.1.2 船体形状

#### 3.1.2.1 船首形状

船首の形状は, 船の氷海航行能力に大きな影響を与える。それは, 船体抵抗, 衝撃荷重の大きさと位置, そして後続する船の為に水路を切り開く能力に影響するからである。船首形状は, 氷を砕き, その氷を上下左右に動かしても構造上破損しな様, 十分な強度をもたねばならない。船首形状のファインネス(肥瘦度)が砕氷抵抗に与える影響は, 砕氷抵抗の章で論じられた。この章では, 船首の一般的形状を論ずる。

##### a) 初期の船首形状

一世紀逆上った, 初期の砕氷船は, その頃の他の船舶と殆んど同じ形状をしていた。通常船舶の典型的線図を図 3.1.1.2 に示す。この線図の主な特徴は, その船首が水線に対して殆んど垂直であるということである。砕氷船と違って多くの耐氷船は, 通常船舶の船型を保ち続けている。このタイプの船型は, 氷を船首前方で圧壊するので, 大きな力が作用することとなり, しばしば船体の損傷を受ける。まもなく, 船首に傾斜した船型を用いて氷を下方に破碎するよう設計された砕氷船が現われた。最初の船首角は, 約 45° であったが, 後に氷板をより効果的に砕く為, 角度はさらに減じられた。図 3.1.1.3 は, このタイプの船首形状をもったカナダ運航のブイ監視と砕氷の兼用船である。この船が, 設計喫水線で浮く場合, 氷と船首の接触は, 図 3.1.1.2 に示した垂直船首の船と同様である。もし, 船が図に試運転時の水

線で示したように船尾にトリムしているならば, 船首角はより好ましいものとなり, より効果的に砕氷できる。図 3.1.1.4 は, このタイプを大型極地砕氷船のカナダ沿岸警備船 LOUIS ST. LAURENT に採用する為, 拡張したものである。スプーン型船首形状あるいは凸状船首は, それが幾分船尾にトリムしている時, 最も効果的であることに注意すべきである。船が氷棚(ice shelf)に乗り上げた時, 安定性を失わないよう, キール付近に船首止め(bow stop)がある。図 3.1.1.5 は, U.S. 沿岸警備砕氷船 GLACIER とそのプロフィールを示したものである。GLACIER の船首は, baseline に 30° の角度をなす直線で船首止めは, LOUIS ST. LAURENT に用いたものより幾分大きい。

Principal Dimensions	
Length over all.....	255' 4"
Length on designer's LWL.....	249' 0"
Length between perpendiculars(Classification Society).....	243' 0"
Breadth, molded.....	40' 0"
Depth, molded at ⅓, Upper Deck.....	18' 9"
Draft, molded, DLWL.....	16' 0"
Displacement, molded, salt water.....	3180 tons
Deadweight, (approximate).....	2000 tons

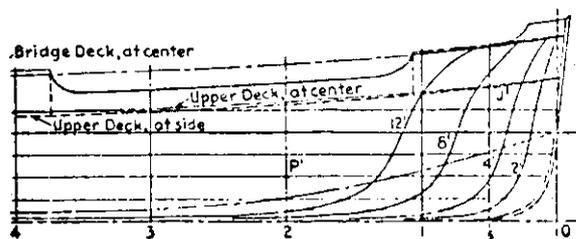


図 3.1.1.2 Plumb Stem

##### b) 今日採用されている船首形状

前章で示された現存の船が設計されて以来, 船の砕氷能力を理解する為に大きな進歩がなされた。これらの砕氷船が建造された当時, 実際の砕氷状態で砕氷船の実験ができる船型水槽は無かった。図 3.1.1.6 の ERMAK は今日ロシアとフィンランドの極地砕氷船に採用されている船首形状を示している。この船の船首は, baseline と 30° 以下の角度をなす直線である。この船首の直線部分は, 水線上数フィートからキール付近の船首止めまで

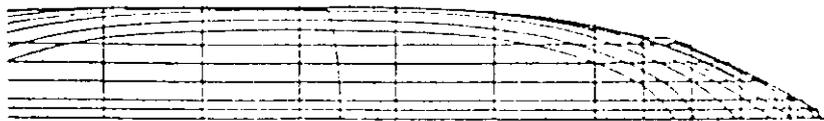
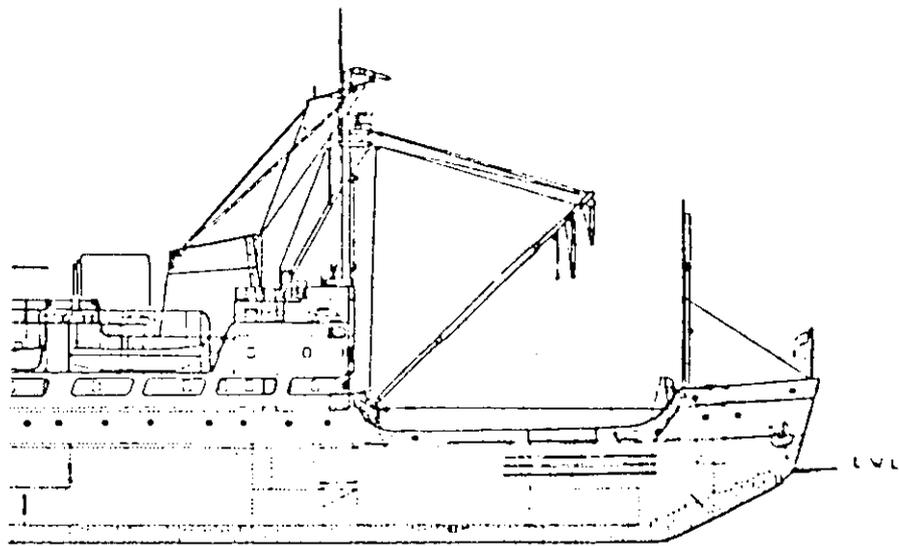
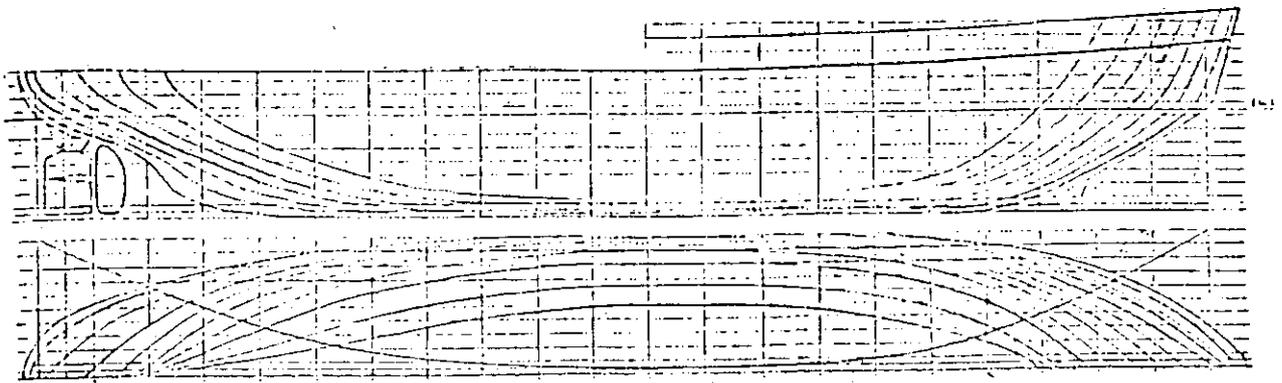


図 3.1.13 C.C.G.S. "WOLFE"

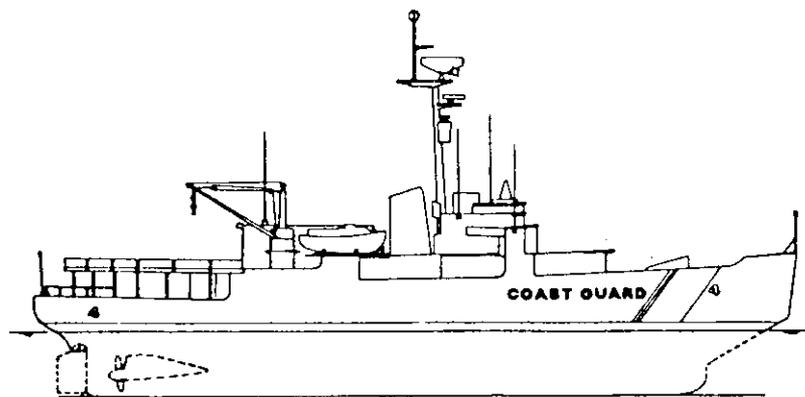


LOA - 366'-6"  
 LWL - 348'-9"  
 LBP - 334'-0"  
 B(MAX.) - 80'-0"

B(WL) - 79'-7"  
 H(DESIGN) - 29'-6"  
 CORRESPONDING A - 13.300 LT  
 CORRESPONDING  $C_b$  - .585 (CALCULATED - LBP)

図 3.1.14 C.C.G.S. "LOUIS S. ST-LAURENT"

延びている。船体外板が直線的なので氷は、表面から、船底に向って滑らかに通過する。この直線的通過は、氷抵抗を減ずると言われている。この船型の線図は、単純な湾曲をもつ船尾が、特徴である。この船型の不利な点は、水線から殆んどキールまで低い角度を保っている為、大きな排水量が船首部で失われることである。これは機関が船尾にある 鉱石運搬船やタンカーに於いて特にきびしい問題で、満載状態での船首トリムを防ぐため、大量の浮力が、船首に必要である。Baltic 海では、この直線型船首形状を採用している船には、2軸の船首スクリューが使用されている。図 3.1.17 は、非常に低い船首角をキールまで使用した。最近のスウェーデンの砕氷船である。この船は、極地砕氷船より、はるかに薄い氷の条件下を運航するので氷棚に乗り上げる危険が全



Length overall-----	310'-7"	Displacement to DWL-----	7,600 long tons
Length, DWL-----	290'-0"	Displacement, maximum---	8,449 long tons
Beam, maximum-----	74'-3-1/2"	Complement-----	197
Beam, DWL-----	72'-6"	Speed, knots, cruising---	17.6
Depth to main deck---	38'-4"	Propulsion-----	Diesel-electric
Draft to DWL-----	25'-9"	SHP-----	16,000
Draft, maximum-----	28'-6"	Number of screws-----	2

図 3.1.15 GLACIER Profile and Characteristics

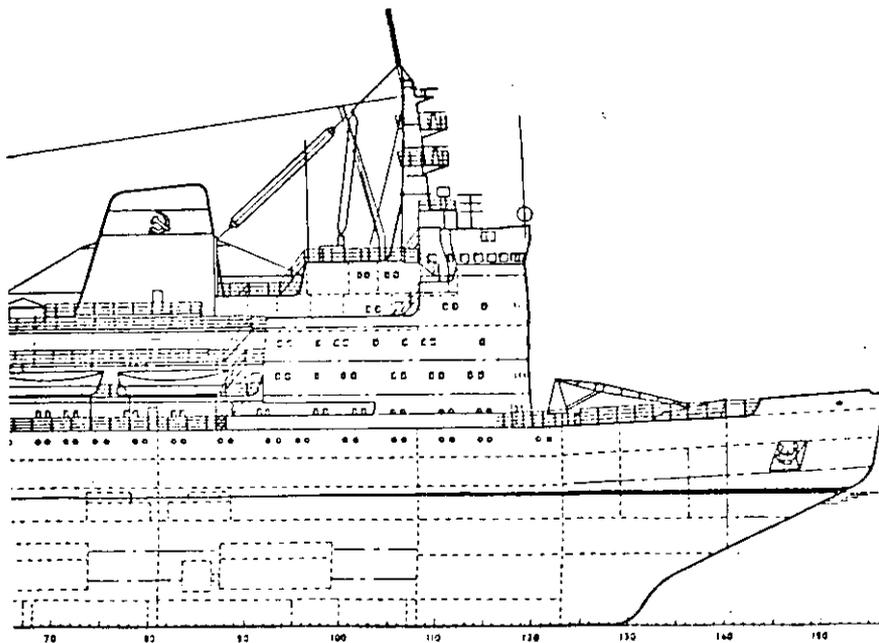


図 3.1.16 ERMAK

くない。この図に描かれた船首スクリューは、氷丘脈 ( pressure ridge) のところで、砕かれた氷を吸い込んで後方に送り水が船首に接することによる摩擦を防ぐ。推力の大半は、この船の船尾スクリューで出す。

直線型船首形状に替わるものとして、タンカー-MANHATTANに初めて使われた指数曲線型船首形状 ( exponential bow form ) がある。これは、今やアメリカやカナダの極地砕氷船に使われている。図3.1.18は、POLARクラスの砕氷船に見られる指数曲線型船首を描いたものである。このタイプの船首形状の場合、前部の排水量をそれ程大きく失うことなく、水線での船首角を15°程度に保つことができる。凹型船首の湾曲増加が、水線下の貧弱な氷の状態、どのような作用をするか、数人によって考察が加えられている。今までのところでは、これら二つのタイプの船首形状を直接比較したモデル・テストは無い。

c) 実験中及び提案中の船首形状

ごく限られた実験を行なったものや、まだテストの行なわれていない砕氷船の船首形状に関する概念図は、多

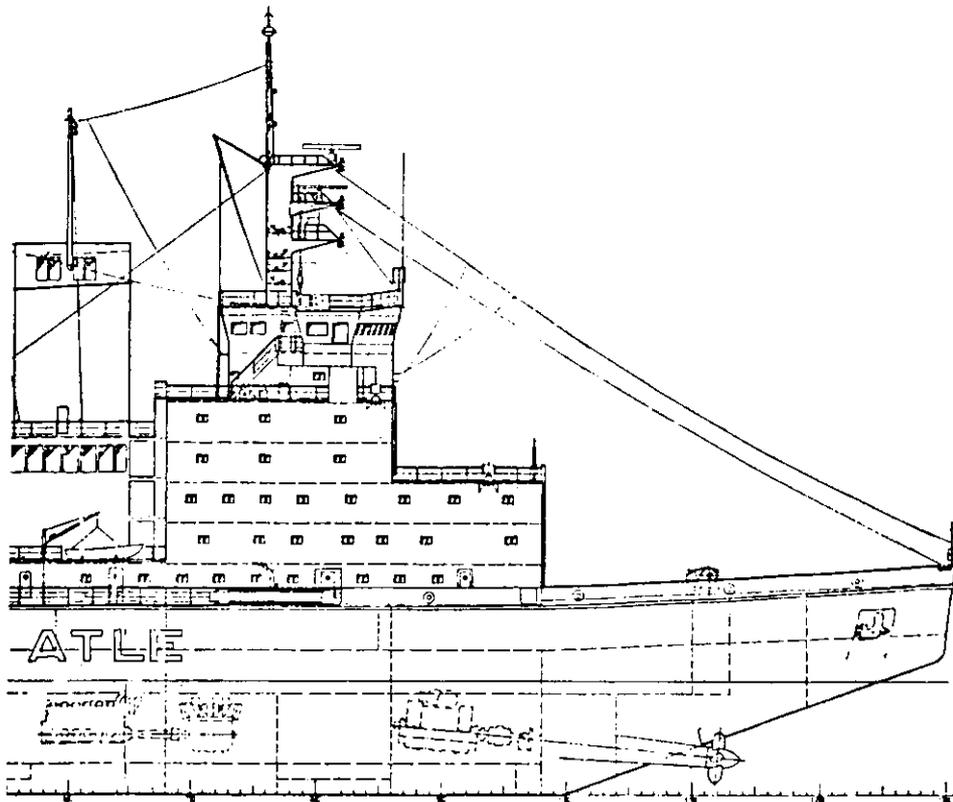
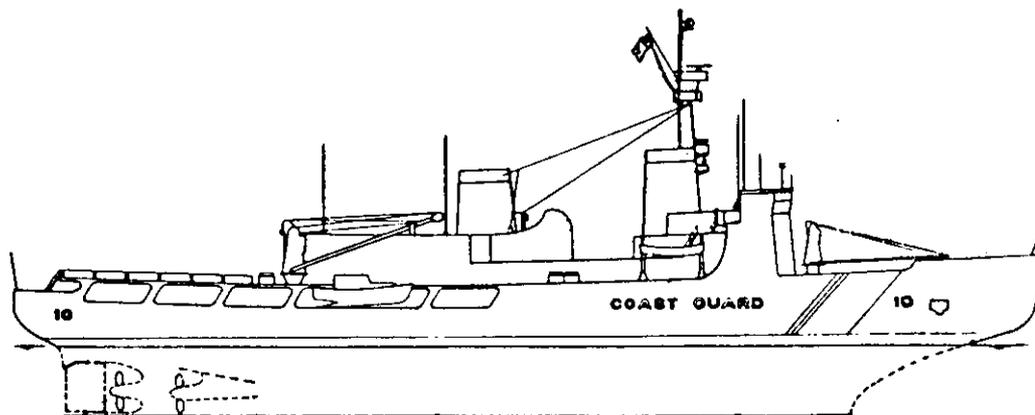


図 3.1.17 ATLE



Length overall-----	399'-0"	Displacement, maximum---	13,179 long tons
Length, DWL-----	352'-0"	Complement-----	138
Beam, maximum-----	83'-7"	Speed, knots, cruising--	17
Beam, DWL-----	78'-0"	Propulsion-----	Diesel-electric or
Depth to main deck--	49'-3-1/2"		Gas turbine
Draft to DWL-----	28'-0"	SHP-----	18,000 D-E
Draft, maximum-----	31'-9"		60,000 G-T
Displacement to DWL--	11,000 long tons	Number of screws-----	3

図 3.1.18 POLAR Class Profile and Characteristics

数ある。これらの概念は、二つの種類に分けて論じられている。第1は、砕氷船と引き船に関するもので、他はタンカーとバルクキャリアに関するものである。

砕氷船及び引き船に関して提案されている実験的船首形状がある。これは、特に河川用で、図 3.1.19 に代表される上方破碎型船首 (upbreak bow) であり、図は Alexbow の概念図を示したものである。Alexbow は実物大に建造され、テストされた。そして、通常の下方向破碎型 (downbreak) に比べ、同じ幅の水路を切り開くのに相当

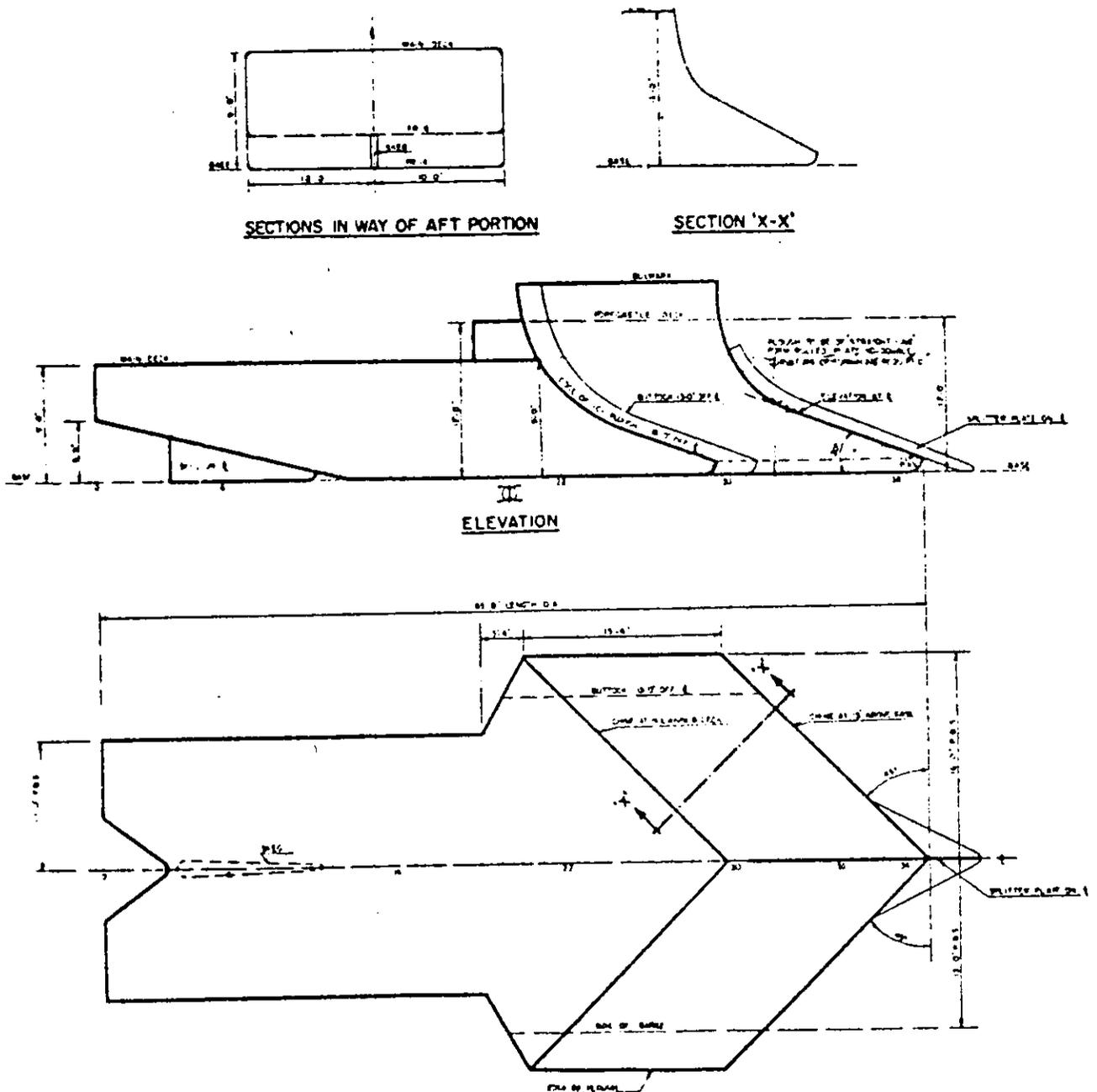
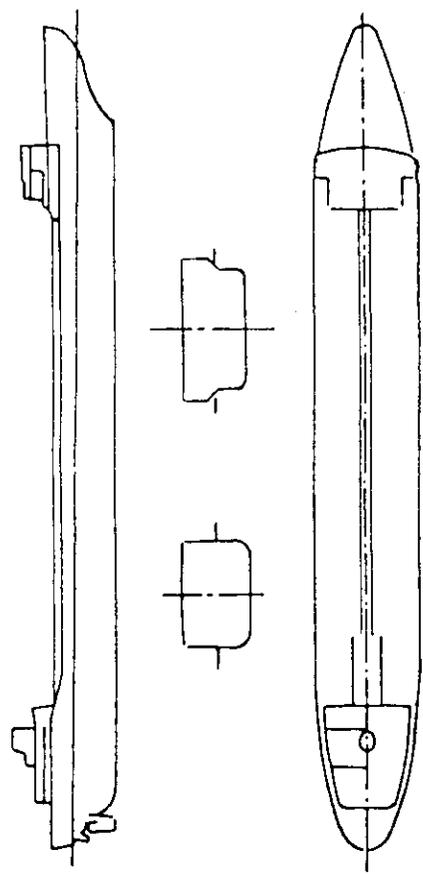


図 3.1.19 Line Plans for Alexbow Icebreaking Attachment

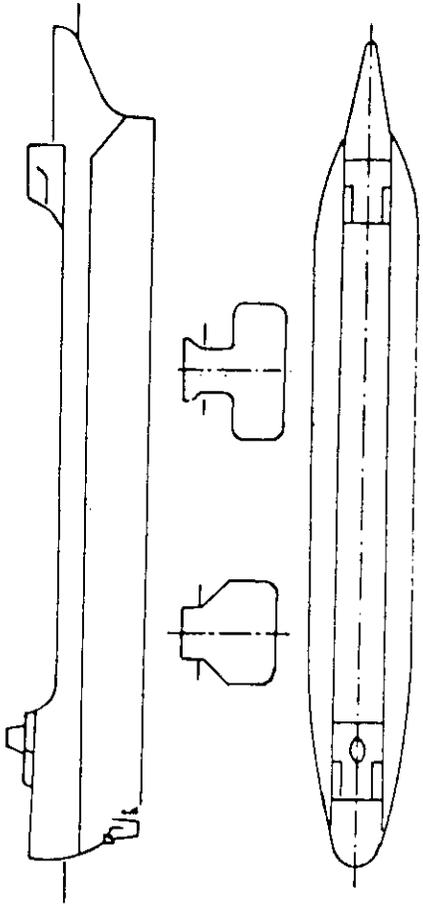
大きな馬力を要することがわかった。それ故、現在、このタイプの船首形状についての活動的な研究は、行なわれていない。最近、この上方破碎型を修正した二つの案が興味を引いている。これは、下から氷を砕く為に、高速ガスジェットを船首先端部で上方に噴出させるものと、爆発を直接下方にさせて砕氷船首を持ち上げ、下の氷を割るものである。前者は最初のクラックには、下方破碎型より少ないエネルギーでよいが、氷を水路の幅に亘って水から大気中に持ち上げるので水面下で氷を押し除けるより、はるかに大きなエネルギーを要する。後者は、氷の浮力にのみ打ち勝てばよい。砕氷船と引き船に関する数多くの補足的な案が通常の下方向破碎型船首について試みられた。これらの補足案は、後に論じられるが、水砲 (wafer cannons)、のこぎり、そして回転ドリルといったものが含まれる。

### 3.1.2.2 提案中の船体形状

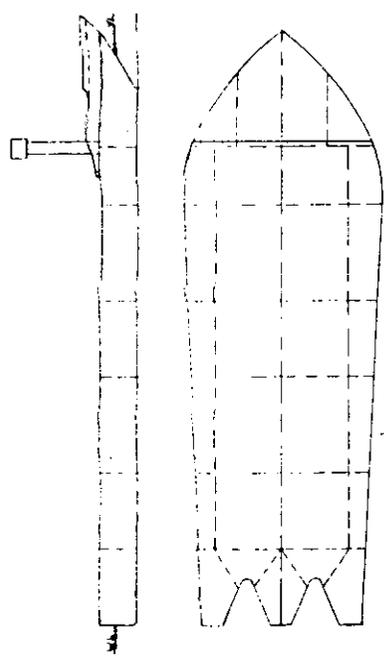
最近、北極用の貨物船を設計する問題に、大きな注目が集まっている。普通の北極用タンカーを設計するアプローチの一つは、通常のタンカーの線図に砕氷船首を単に付加したもので図 3.1.20 に示す通りである。このタイプ



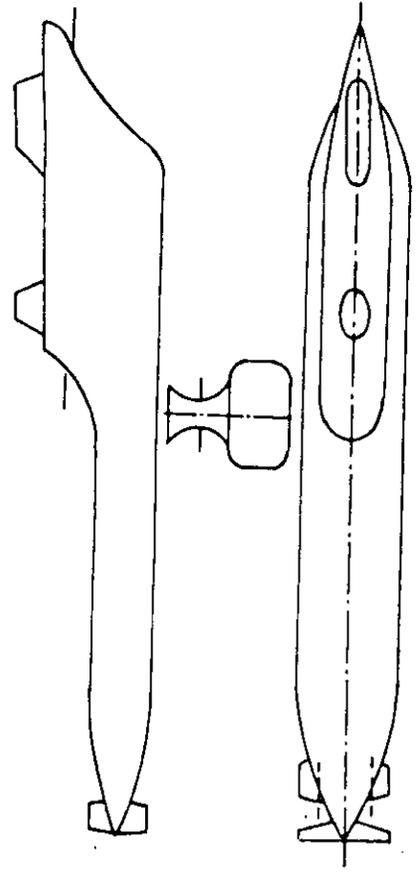
☒ 3.1.2.0 Conventional Surface Icebreaking Tanker



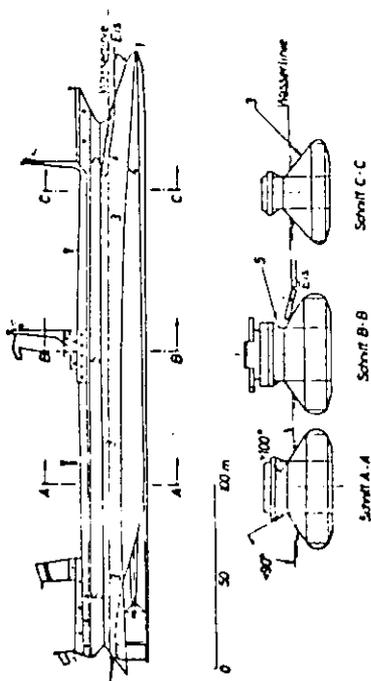
☒ 3.1.2.2 Semi-Submerged Hull Form B-1



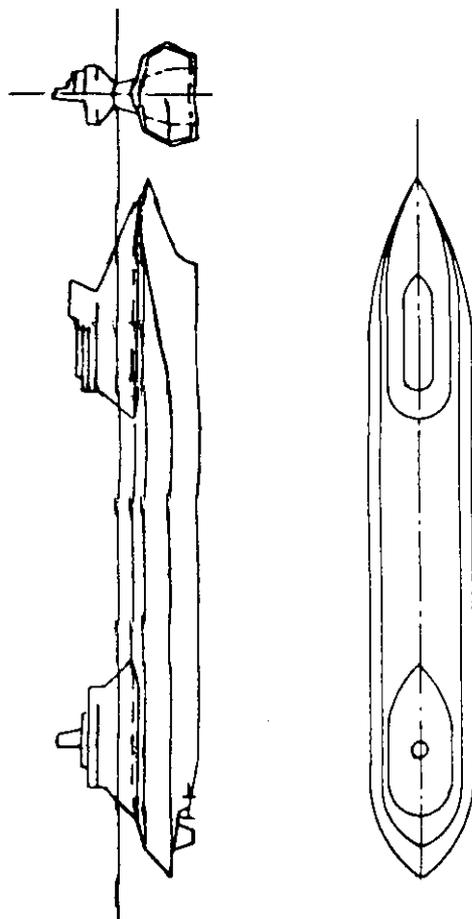
☒ 3.1.2.1 Icebreaking Barge with Wide Beam Forward



☒ 3 ☒ 3.1.2.3 Semi-Submerged Hull Form B-2



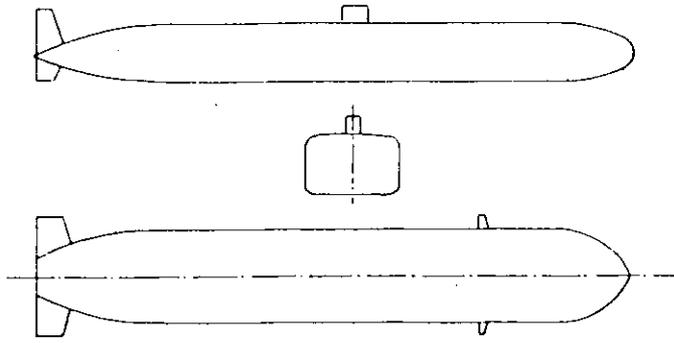
1 図 3.1.2.4 Upbreaking Semi-Submersible



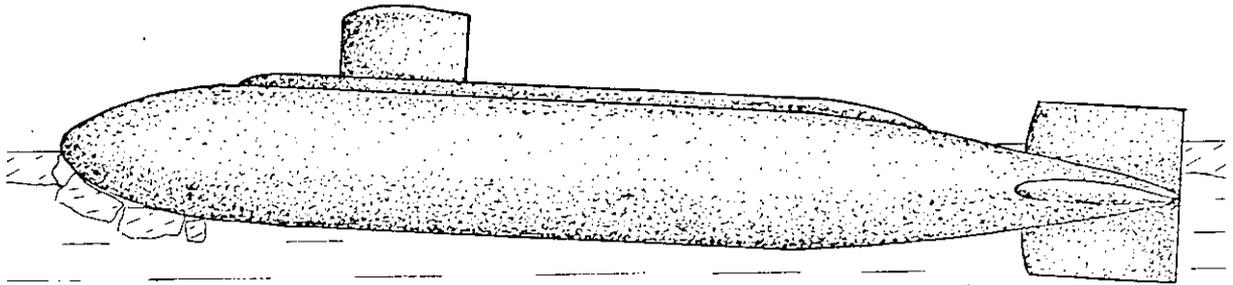
2 図 3.1.2.5 Semi-submarine Icebreaking Tanker

の船に対して、氷抵抗を減らす為、船体前部の幅を広くすることが推奨されている。そして、図 3.1.2.1 は、この砕氷バージ船体前部のフレアーを示したものである。大半の砕氷抵抗の式は、抵抗決定の最大パラメータとして砕氷船の幅を使っている。船幅を減らす一つの方法は、図 3.1.2.2 に描いたように半没水船型を使うことである。このような船型の操縦性は、水線形状が極めて細長いので悪い。この水線長さを減らす為には、おそらく図 3.1.2.3 に示したように、船体没水部を潜水艦の形状に近づけ、氷表面から上に延びているのは、ただ船体の前部だけという船型にすることであろう。AKERグループは、図 3.1.2.4 に描いたタイプの船型を提案している。この半没水砕氷タンカーは、存在し得るものである為には、深い喫水をもった極めて大きなものである必要がある。船型はバラスト時は下方に、そして載荷時は上方に氷を砕くよう設計されている。図 3.1.2.5 は、アップブレイク型船首を砕氷貨物船に応用したものである。このデザインには、又、砕氷抵抗を減らす為、水線幅の狭い形状が採用された。

タンカーあるいは、バルクキャリアの抵抗から完全に砕氷抵抗を無くする一つの方法は、図 3.1.2.6 に示したように潜水船を使うことである。しかし、このような潜水船を浅い領域に使う為には、潜水船の最下部が海底の障害物との間隙をもつと同時に最上部は氷丘脈の底と十分の間隙を持たねばならない。北極では、このタイプの船が運航するのに十分な水深をもった領域は、非常に少ない。それ故、潜水船は、おそらく図 3.1.2.7 に描いたように、ある領域では下方破碎方式で氷を砕くか図 3.1.2.8 のように上方破碎方式で砕く必要があるだろう。通常の砕氷船と潜水バージの組合わせを図 3.1.2.9 に示す。この潜水船に対する喫水の制限は、又次のような概念に応用されるだろう。氷の条件は、極めてきびしいわけではないが、通常船舶の航行にはあまりにもきびしいような場所では、現在の円筒状船首形状を修正したものが手助けとなるかも知れない。図 3.1.3.0 ~ 3.1.3.3 は、1 フィート以下の氷の条件下で五大湖を航行する鉱石運搬船に対して提案された概念である。これらの船首形状の各々の利点は、各図に示されている。これらの船首形状については、模型試験も実船試験も行われていない。



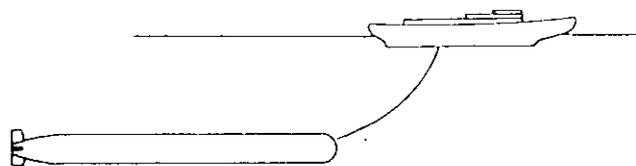
☒ 3.1.2 6 Submarine Tanker



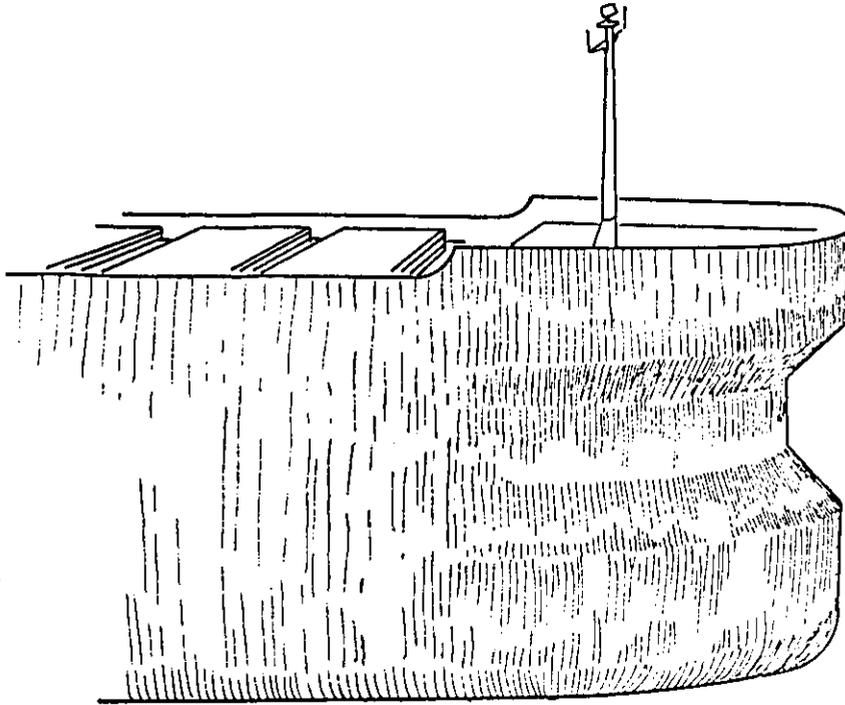
☒ 3.1.2 7 Submarine Breaking Ice Downward



☒ 3.1.2 8 Up-breaking Submarine



☒ 3.1.2 9 Icebreaker Towing Submersible Barge



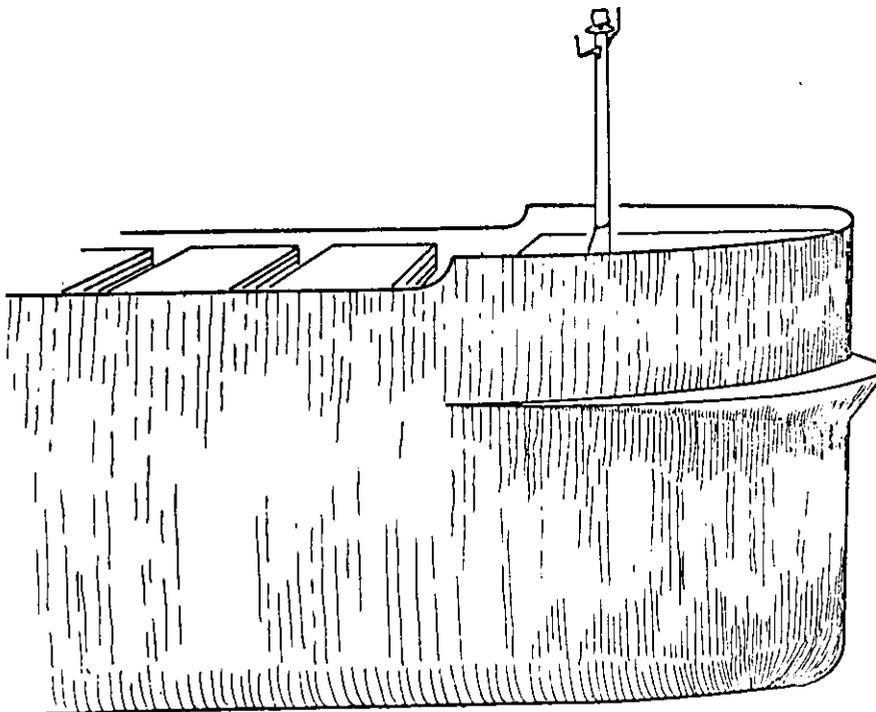
☒ 3.1.3 0 Ice Transiting Bow Form No. 1

**ADVANTAGES**

1. Down-Icebreaking at Load Waterline
2. Up-Icebreaking at Ballast Waterline
3. No Appendages

**DISADVANTAGES**

1. Very Small Loss in Deadweight Compared to Non-Ice Transiting Bow Form



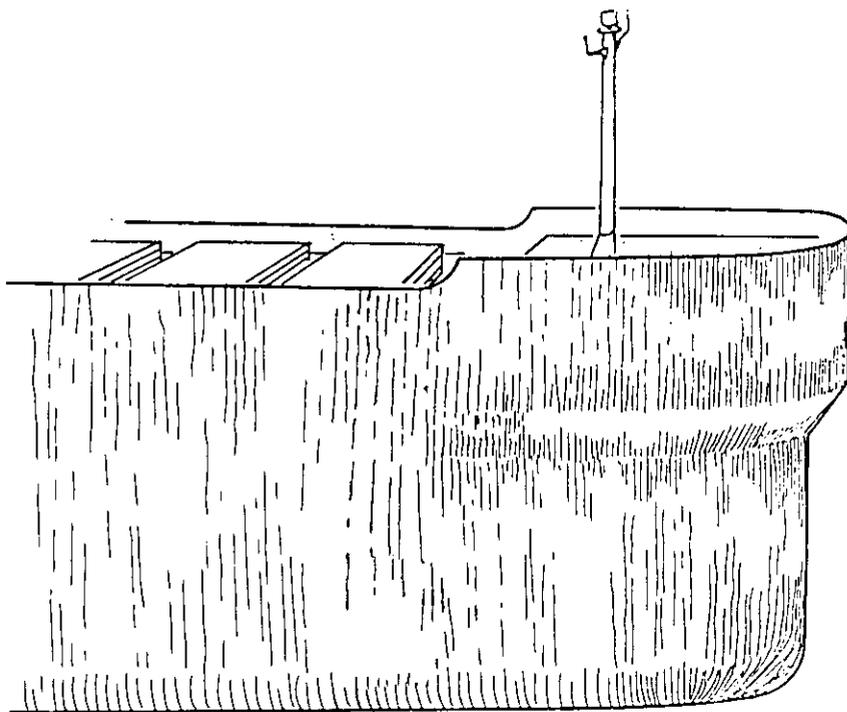
☒ 3.1.3 1 Ice Transiting Bow Form No. 2

**ADVANTAGES**

1. Down-Icebreaking at Load Waterline
2. Easy to Fabricate and Install
3. Can be Used on Existing Ships
4. Minimum Loss in Deadweight Compared to Non-Ice Transiting Bow Form

**Disadvantages**

1. Appendage May Require Special Care When Maneuvering Near Terminal
2. No Icebreaking at Ballast Waterline



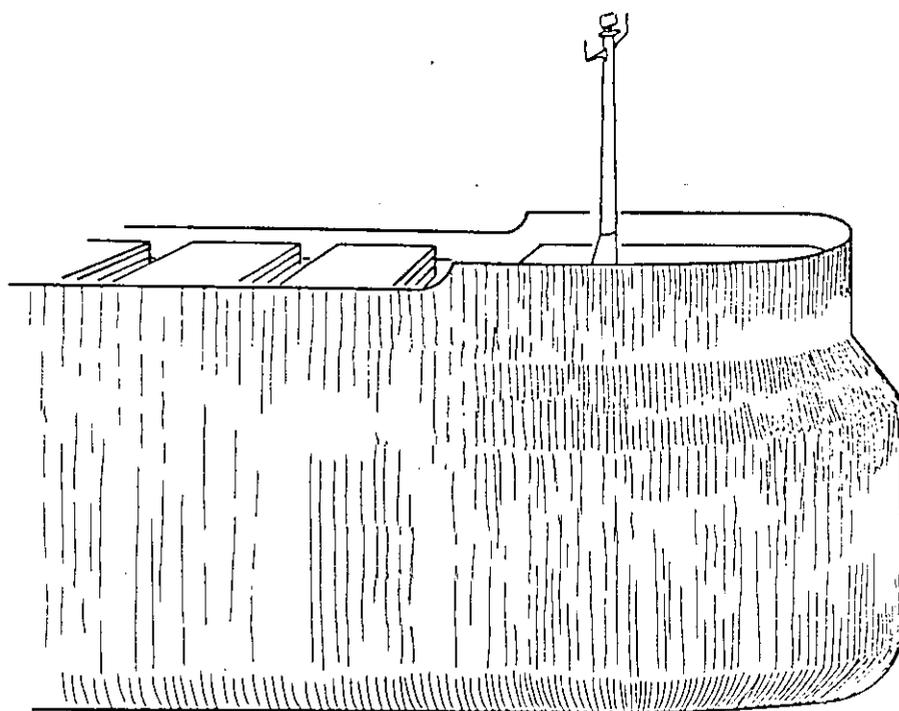
☒ 3. 1. 3 2 Ice Transiting Bow Form No. 3

ADVANTAGES

1. Down-Icebreaking at Load Waterline
2. No Appendages

DISADVANTAGES

1. Some Loss in Deadweight Compared to Non-Ice Transiting Bow Form
2. No Icebreaking at Ballast Waterline



☒ 3. 1. 3 3 Ice Transiting Bow Form No. 4

ADVANTAGES

1. Up-Icebreaking at Load Waterline
2. Negligible Loss of Deadweight Compared to Non-Ice Transiting Bow Form
3. No Appendages
4. Possible to Displace Most of Broken Ice Pieces on Top of Ice at Channel Edge

DISADVANTAGE

1. No Icebreaking at Ballast Waterline

### 3.1.3 船殻材料と構造

#### 3.1.3.1 概 論

この章では、船殻材料の選択（通常は steel と考えられる）とそれ等の材料を使って、Frame や shell plate を成形する方法、腐食代と船体-氷間のマサツを減じる為の exotic material を使った shell plate の塗装の可能性等について記述する。

船舶が初めて永海を航行した頃から、通常の家象では損傷の無い船が氷海を航行する時、損傷を受ける事は明らかである。それ故、より強い船体が氷海を航行するには必要である。

この章では、ice damage に耐える船のこれまでの設計法と現在使用されている設計法、又、それらの方法の今後の改善に関する展望等を記述する。

図 3.1.3.4 は、U.S.WIND class の砕氷船について 25 年以上にもわたる損傷の分布を示したものである [3.2.2]。損傷の多くは bow propeller bossing であった。bow propeller はほんの短期間使用されたか、又は何隻かの船では取り付けてはいても全然使用されなかったかである。

この船の propeller bossing は、残りの船体と同じ強度基準で設計された。この図からわかるように bossing はより大きな設計強度をもたなければならない。又、damage 分布の 2 番目のピークは、FP から 2 番目の square station で起っている。ここは、いわゆる船の肩 (shoulder of the ship) で理論的に最も高い荷重がかかる所である。

もし、プロペラ・ボッシングが無ければ、殆どどの損傷がこの範囲に集中するだろう。図 3.1.3.5 は、ULCC にかかる衝撃荷重予測値を FP からの距離の関数として表わしたものである。[3.2.3] この衝撃荷重は元来、ソ連で開発された理論的モデルに基づいている。

ここでも、最大衝撃荷重を受けるのは船首の“肩”であり、それ故、局部強度には最大の注意を要することがわかる。もし、船が砕氷船としてチャージングをしてる時に相当トリムする事が予想されるならば、氷と接すると考えられる限りの範囲にわたって船体を補強しなければならない。これは、船体前部のキールからずっと広がった船体外板の補強を要することになるかもしれない。現在、理論と実際の両面からの損傷の評価によって砕氷船の船体で最大荷重のかかる箇所は分るが、荷重の正確な値がわかっていない。その値は、極めて高く、極地域では WIND class 船体の設計値を超え貫通を引き起す程に達しない。

砕氷船が運航している時の温度は、特に水面上で  $-60^{\circ}\text{C}$  に達し、一方、水面下の船体は、殆んど氷点近くの温度にさらされている。氷の荷重は、船にかかる荷重の中では、特殊な荷重の一つで、過去に収集されたデータは、多いとは云えない。特に、より強力な砕氷船が計画されている地域では、その極端な ice condition についての経験は、何ら得られていない。それ故、理論

的外挿法や実験的に導かれた経験を組み合わせて極地の砕氷船に対する設計荷重の推定法を開発しなければならない。氷や極端な温度環境による荷重に加えて、通常の船にみられる荷重条件がすべて存在する。それには、スラミング、波浪荷重、振動が含まれる。

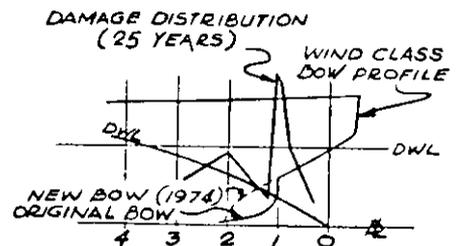


図 3.1.3.4 WIND Damage Location

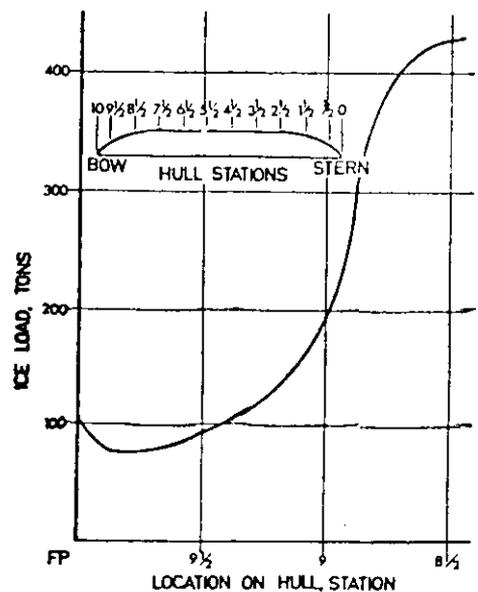


図 3.1.3.5 ULCC Loading

### 3.1.3.2 船殻材料について

普通のサイズの砕氷船や氷海船の船体構造に現在採用されている設計では、最も高い氷の衝撃荷重を受けた時、塑性変形を起こすだろう。氷海船の船殻や耐氷肋骨用の材料を選択する際、最も重要な基準は、降伏してなお破壊せずに応力に耐える力である。この力は、普通、シャルピーVノッチ衝撃試験、dynamic tear testそれに各種のクラック進展試験で計測する。砕氷船の水面より上の部分は、氷の衝撃を受け、又非常に寒い極地の大気にさらされる。それ故、使用される材料には、極低温での良好な材料特性がなければならない。

さらに母材 (parent material) だけでなく、溶接部も良い低温特性をもつ必要がある。図 3.1.3.6 は、U.S Navy で用いた種々の船殻鋼材に対するVノッチシャルピーと dynamic tear energy の比較を示す。〔3.2.5〕

ここで図に NDT (Nil-ductility temperature) と示した温度についてであるが、過去の砕氷船に脆性破壊が見られたので、その時には、船殻材料がこの温度に達したに違いない。ABS type C steel で圧延のままの状態 (untreated condition) と焼なましの状態 (normalized condition) の相違は、Vノッチシャルピー、dynamic tear energy 及び nil-ductility temperature の間の相違として容易にわかる。船体に使う steel が、焼ならし (normalizing)、焼入れ (quenching) 焼戻し (tempering) といった工程を通して可能な限り、大きな tear energy をもつ様、改良されていることは、重要である。このプロットは、より exotic な steel のあるもの

が非常に良い dynamic tear energy と Vノッチシャルピーの結果をもつことを示しているが、これらの材料を溶接するときの付加的問題や熱影響部 (heat-affected zone) の問題は、母材の改善された特性を無効にするかもしれない。新しい USCG の砕氷船 POLAR STAR は Coast Guard が開発した仕様 (spec.) を使って建造された。この仕様は ASTM type A 537 steel に基づいており、低温靱性を改善する為、改正されている。そこでは steel は、圧延方向に直角な方向 (より弱い方向) と、溶接に直角な方向の drop rate と Vノッチシャルピー衝撃力に関する要求値に適合する様、要求されている。spec. の要求は、 $-60^{\circ}\text{F}$  での 20 ft-lb のシャルピーVノッチテストと圧延の Trans 方向及び溶接 Trans 方向の試験片についての  $-60^{\circ}\text{F}$  での drop weight test に合格することである。試験片は、 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、結果は試験片の平均値である。

溶接部の腐食は氷海航行船の建造上特に問題だった。これは、氷が砕氷船船体の塗装の大半をすり減らすということによって一層悪くしている。たとえば腐食による凹損が WIND class の砕氷船の溶接線に沿って観測された。炭素の集中や気泡の混入を減らす為、溶接時熱影響部を最小にするのは重要なことである。これは、低入熱の溶接を使えば可能かも知れないが、自動や半自動溶接に比べより高価である。どんな溶接法を用いても、熱影響部を最小にし、且つ母材の腐食特性をそのまま保つようにしなければならない。現在のところ、エレクトロスラグ及びエレクトロガス溶接は、あまりにも熱影響部が大き過ぎるが、この分野での溶接技術の進展が問題を次第に解決していくだろう。

現在、大半の船級協会の ice class に関する Rule は、ice belt steel に関する特定の靱性基準を要求していない。しかし、Rule はむしろ船体の他の高応力域に関する厳密な要求をしている。

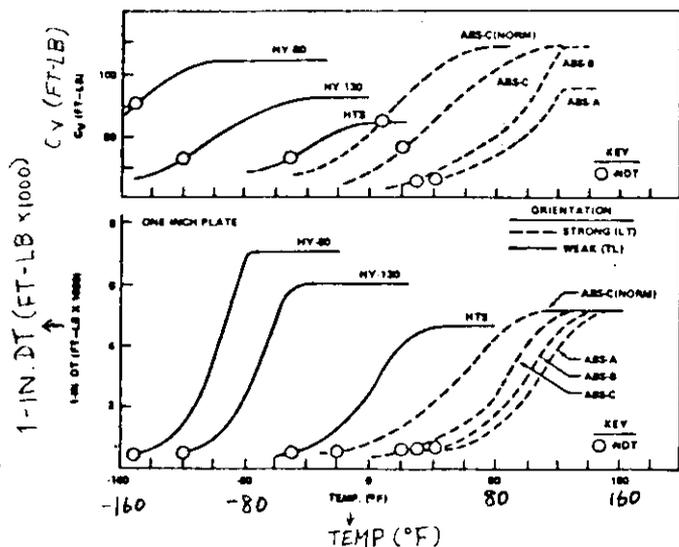


図 3.1.3.6 Comparison of Charpy-V and Dynamic Tear Energy for Various Hull Steels

これらの要求は、金属中に小さな grain size を生ずる焼ならしの工程あるいは“焼入れ—焼戻し”工程のあるセミキルド鋼又はキルド鋼の使用に関するものである。これらの工程は、steel の切欠感度 ( crack sensitivity ) を下げる為になされるものである。

氷海運航船の ice belt 付近に ( 材料の降伏応力を超えた ) 非常に高応力がみられるので、このような低切欠感度を達成する事に関する検討が ice 用に補強された領域に対し、より一層重要である。新 U. S. 砕氷船 POLAR STAR に関しては、船殻全体は、低切欠感度材 A537M から構成され、船殻外板とそのすぐ後の frame も含んでいる。外板から速く離れた領域についてのみ通常の A537A あるいは、A537B の使用が許されている。

船体は氷との接触により非常に摩耗を生じ、これは従来の塗装を維持することを實際上、不可能にする。U. S. Navy と Canadian Coast Guard は、次の冬、最初の氷との接触で塗装全部がはげ落ちることを予想して、冬期の終り毎に砕氷船の船体の塗装をしている。普通、無塗装の船体はほんのわずかの期間で電気腐食を起こすが、この塗装により、それは防がれる。

U. S. C. G は通常、砕氷船の船体を完全に塗装しているわけではない。最近 U. S. C. G は、氷海期を通じて砕氷船の船体塗装の維持に、いくつか成功した。又 Mackinen は、Finnish Coast Guard の砕氷船とソ連の極地砕氷船 ERMAK が無溶剤型 ( solvent-free ) エポキシ塗料を維持することに成功したことを報じている。Calabrese は、五大湖を航行する U. S. C. G の砕氷船に無溶剤型ポリウレタン塗料を使い維持に成功したことを報告している。砕氷船の塗装がうまくいけば、二重の利益がある。第 1 に、以前は砕氷船のペイント塗装に失敗していたので、今後は許容腐食代に対する要求値は減じられてもよい。

Finnish-Swedish rule の Baltic 海での Practice に準じた Ice class rule は、2 mm の許容腐食代を要求しているが、一方、U. S. C. G の砕氷船 POLAR STAR は、許容値、 $\frac{1}{4}$  inch で設計された。POLAR STAR の場合さらに  $\frac{1}{8}$  inch 船殻外板の板厚を増すと、コストにして 25 万ドル (  $\frac{1}{4}$  million dollar ) 重量にして 90 ton の増加と推定される。良い船体、塗装材料は、許容腐食代の要求を削除するだろう。第 2 に、船体塗装の材料は氷に対してしばしば steel より低い動摩擦係数を有し、船の能力を増大する。これは、早くから氷の中での船の抵抗の面で論じられて来た。Makinen も又、ステンレス鋼を使った曳船船体の部分的コーティングを論じている。部分的にステンレスを使うと特に塩水域で運航する船の場合、異材に伴う電気腐食は著しい。砕氷船 ERMAK では、ステンレスを使った近傍で、電気腐食が問題になったので、溶接したところからステンレスを完全に取りはがした。

アルミニウム板あるいは FRP は、未だ砕氷船や氷海船の建造に使われていない。

### 3.1.3.3 船殻構造について

船殻設計において、過去に幾つかのアプローチがなされ、今日、より多くの調査研究がなされている。今、大半の船級協会が使われているアプローチは、氷海域を航行した船の損傷解析に基づいている。第 2 のアプローチは、ソ連の ice class rule に基づいて考えられたものであるが、完全に理論的に扱っている。

カナダは、Canadian Arctic で出合い極端な ice condition を cover する様、Arctic Pollution Prevention Regulations を作成したが、これは今日の ice class rule から外挿を行なって求めたものである。これら三つのシステムは、それぞれ氷海での ice load をまず決定し、この荷重に耐えるに必要な構造を設計するようになっている。

#### a) 損傷からのアプローチ

1960 年代の終りまでは、氷に対する船体強度は、通常船の寸法を何割増しするかという、考えに基づいて設計されていた。

このアプローチをもとに船級協会から ice class を得ることは、現在でも可能である。なぜならば船級協会は損傷に船が耐えるには、どの位寸法を増したらいいか、歴史的データをもとに設計法を開発しているからである。しかし、この割増規則は、氷海船のサイズの増大につれて大きな問題となってきた。つまり、この割増規則によ

って、Weight Penalty が大きくなる一方、依然として ice class の船が損傷を受けているのである。そこで Lloyd's Register は、B.M. Johansson に Baltic 海の氷海船についてその損傷を再解析する様命じた。彼は船殻に対する氷の強度についてその研究結果を論文に書いた。その内容は、その後、殆んど全ての船級協会の新しい ice rule の基礎となった〔3.2.6〕。Johansson は Baltic 海を航行する全ての船を表にし、損傷の有無を記した。そして、それぞれの船の寸法を使って 800mm の板厚の band を用いた場合どの位の圧力で損傷が起こるかを rigid-plastic analysis で決定した。圧力は、三つの部分すなわち、船首、中央部、船尾、それぞれについて、 $\sqrt{\text{軸馬力} \times \text{排水量}}$  に対してプロットされた。そして損傷の大半をなくすに十分な設計圧力が、プロットから決定された。船級協会は、Johansson が rigid-plastic analysis で得た圧力を弾性設計で使う為に等価な圧力に置き換えた。したがってこの船級協会の設計圧力を船の設計に使えば、塑性変形が予想される。Achtarides は、Johansson の集めたデータを再び解析し、Johansson の得た値より、さらに高い設計圧力を決定した。Achtarides は、その高い圧力を Clarkson の方法に基づく弾塑性解析を使って求めた〔3.2.8〕。Clarkson は、過去の実績を調べた結果、氷圧を受ける平板の設計では、その圧力による板の永久変形が工作誤差の範囲内におさまる様を強度を与えれば十分であるとした。全ての船級協会は今や氷との接触によるある程度の永久変形 (Permanent set) を受け入れている。しかしながら設計荷重とその値を構造設計に適用する方法は、ふつう弾性設計法によってなされている。船殻協会の設計荷重は人為的に得られるので、実験で得られる圧力と比較することはできない。

#### b) 理論的取扱い

ソ連は、実際の ice condition を氷海船の設計荷重に適用しようとしている最も積極的な国である。この方法を最もうまく要約したものに Popov その他により書かれた本がある〔3.2.4〕。そこでは、エネルギー法を使って船体と氷の接触荷重を設計荷重と面積に変換している。このアプローチでの欠点はといえば、接触表面の幾何形状が、固定され、ある意味では独断的に仮定されたものであるということである。多くの文献に於いて、ソ連のモデルは、電算化されており、氷の特性を変えてその効果を決定するパラメトリックな研究がなされた。それ故、船の航行する地域の氷の特性がわかれば、理論的な設計荷重が、このモデルから得られる。大半の文献は又 USCG の Cutter MACKINAW と五大湖のバルクキャリアー LEON FRASER で行われた実験とを直接比較することにより、モデルが、それらの計測値よりずっと高い荷重を予測していることも示している。又、ソ連のデータは、この結果を確認している。

#### c) 設計荷重の外挿

1972年、カナダ政府は、Canadian Arctic を航行する船による汚染を防ぐ事を目的とした Arctic Pollution Prevention Regulations〔3.3.0〕を発行した。この Rule は、はるかに厳しい ice condition に応用する為、今日の ice class rule の外挿を基にしたものである。現在までこの安全規則に適合する船は、建造されていない。しかし、カナダは、arctic class 2 の rule に合う様設計されたバルクキャリアを建造中である。カナダの砕氷船のいくつかは、ice class に指定された。これらの rule を開発するのに使われた考え方の一部は、Matthews の文献〔3.3.1〕に要約されている。

#### d) 荷重による構造

古い ice class の要求に従うと圧力を基にした新しい ice class の要求に従う重い構造になるので、排水量の増加につれて、一般に採用されなくなっている。設計荷重と設計のアプローチが選定される、とこの設計荷重を達成するにはどうしたら良いか決定する必要がある。過去いくつかの砕氷船、特に WIND class U.S. ice breaker と USCG GLACIER に ice belt を支持する為、ガーダーシステムあるいはトラスが用いられた。このガーダーシステムに overload がかった時には、大規模の破壊が起こり、ガーダーシステムは、完全に崩壊するだろう。ヨーロッパの icebreaker と小型の U.S. icebreaker は、一貫して、格子構造を用いてきた。

このシステムでは、一度、降伏応力より高い over load に達すると、システムは、単に塑性変形をおこすのみで、崩壊は起こらない。格子構造の設計は、それ故、今日の耐氷船殻 (ice - strengthened ship hull) に使用されている。

arctic ice sheet の小さな部分には、非常にきめの細かい淡水でできた氷片の様に、極めてかたい氷が含まれているかも知れない。それ故、船体の非常に小さな部分が極めて高い圧力を受ける可能性がある。この圧力については、塑性設計の考え方で設計がなされるべきであると云う事は、殆んどあまねく受け入れられている。この極めて高い圧力は、大きな流氷や厚い ice sheet に対する船のチャージングや、小さいが非常に強い氷に出会うことによるものである。それ故、特にこの塑性設計に対し注意を要するのは船首である。図 3.1.3.7 は、Barber [3.2.2] によって開発された ice breaker の船首殻構造の相対強度を示す。特に多くの今日の ice breaker の framing 強度は、商船に対する最高の ice class の要求ほどでは無いことに注意する必要がある。

### 3.1.3.4 材料改善に対する計画

ice class 船の建造に関する最大の改善はおそらく工作法の改善によってなされるだろう。溶接工程で起こる熱影響部の低い靱性と貧弱な腐食特性は、最も大きな今日の問題である。そこで、熱影響部を減らし、溶接金属と母材の化学的性質を改善する為、溶接工程の溶接 speed を速くするか deposit rate を低くすることが腐食特性と靱性を最も改善することになるであろう。現在、市販されている材料にはいろいろな靱性のものがあるので、その選択と品質管理に十分注意を要する。

より徹底した特性が試験の要求を減じるだろう。溶接された船殻外板は、所要の強度特性をもつだけでなく、靱性もち、無きずでなければならない。母材特性の改善には、Barber によって列挙された次の要求も満たさなければならない。[3.2.2]

1. 低温靱性
2. 疲労強度
3. 降伏点と引張強さ
4. 工作与補修の容易さ
5. コスト
6. 腐食抵抗

これらの要求は、重要な順になっている。

Coating の改善は又、ice breaking ship 運航上、大いなる節約と改善を約束するものである。Coating には、船体-氷のマサツを減じ、よって性能を改善し、又所要為力を減じるという大きな可能性がある。現在 solvent-free の epoxy と solvent free の polyurethane は、全シーズンにわたる氷海中の運航に耐えることが示されている。しかし、これらの coating が、何シーズン持続するかは示されていない。しかし、USCG のテストでは、摩損が激しく、翌年の運航の為に再び coating する必要があった。

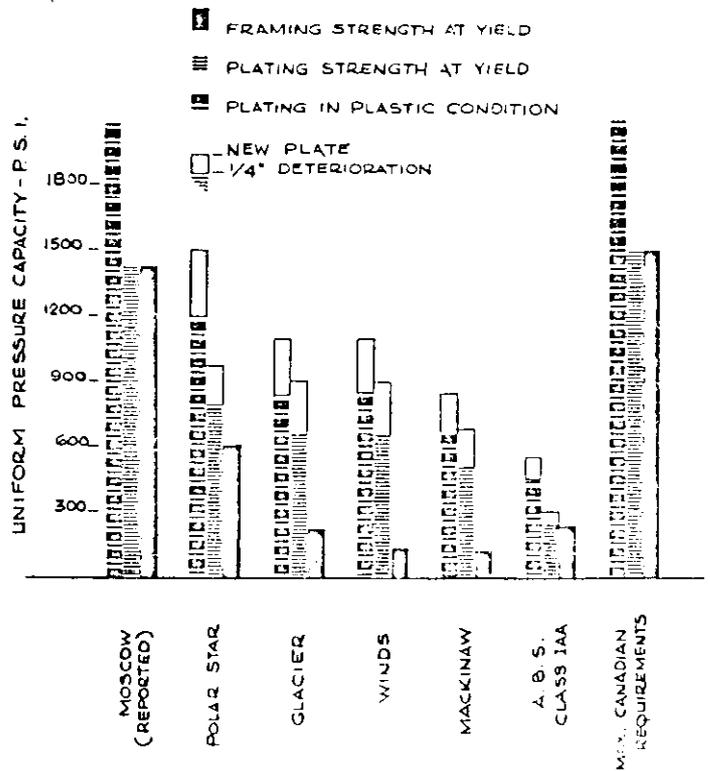


図 3.1.3.7 Relative Strengths of Icebreaker Bow Shell Structures

icebreaker coating に関する膨大な実験で、他の全ての材料が完全に不満足であることがわかり、広範囲な破壊を示した。Copper nickel cladding は、船体の fouling のひどい場所に使われてきた。完全に Copper - nickel metal 製のエビ漁船が建造され、テストされた。ステンレス鋼は又、cladding process に使われた。おそらく、これらの金属の一つは、今、最も注意を引いているプラスチック・コーティングより効果的であることがわかるだろう。アルミとFRP は、damage に対して、相対的に傷つき易いので、その使用はあまり期待されない。

### 3.1.3.5 構造改善に対する計画

氷海商船の建造改善は、二つの大きな分野から起ることが期待される：氷荷重に関する知識と、変形量又は氷久歪を伴って氷荷重に耐える構造設計の分野である。

#### a) 荷 重

氷によって船体にかかる荷重に関する知識は、現在非常に乏しい。注意深く管理された実物の実験が、おそらくこの荷重を決定する最良の方法だろう。実物大の実験に関連して、実験の行なわれる実際の ice condition を詳しく知ることは、極めて重要である。そして理論的アプローチを使って氷荷重が異なった ice condition でどうなるか決定することができるかもしれない。荷重の形状及び大きさ、それと荷重領域内での圧力変動については現在のところあまりわかっていない。荷重領域での圧力変動を知るには、船体全部に圧力トランスデューサーをつけることが必要かも知れない。高速度撮影が氷荷重による荷重領域の形状とキレツパターンを決定するのに手助けとなるだろう。今日の理論的方法の弱点は、割れの形状も接触圧力の状態もわからないと云うことである。1976年中にUSCG icebreaker POLAR STARとCanadian icebreaker NORMAN MCLEOD ROGERSでテストが行なわれる。これらの船体それぞれに抵抗型歪計と時系列記録装置が取り付けられる。ice sheet によって船体にかかる total 荷重を決定する為、キャリブレーションが行なわれるが、この荷重の分布については、いぜんとしてその得られる知識は乏しいと考えられる。ビデオテープ、高速度写真、そして外歪歪計の解析が、おそらく氷の衝撃荷重の分布を知る為に必要だろう。氷海域を運航する船が増大するにつれて、より多くの経験も又得られるようになる。

管理されたモデルテストは、氷の衝撃力問題に、相当寄与する。一つのアプローチは、模型船に歪計のパネルを設置して、モデルの ice field を通過させることである。系統的实验によって、broken channel や深く積み重なった砕氷の中を通るとき、field の氷厚変化の関数として荷重の変動がわかる。

もう一つのアプローチとしては、別の歪計パネルを設けて impact wedge をいろいろ変えてみることであろう。そうすると、楔の角度とか先端の半径による荷重変化がわかるだろう。

#### b) 構造設計

実際の氷荷重とその船体に沿った分布が、実験の結果としてわかると、これらの荷重を使って、ある要求に合う船体構造の設計をするのは、簡単なことである。それらの要求は、たぶんピーク荷重時の永久歪も含まれるべきである。船体外板や支持構造の設計への弾塑性のアプローチは、実際の荷重に対して可能な最良のアプローチだろう。そして電算化された設計は、外板や支持構造のサイズを決めるのに使用できるだろう。有限要素プログラムは、全体構造の寸法を決めるのに極めて有力であるが、構造の詳細を改善するにはそれほどではない。構造の詳細を改善するには、光弾性あるいは小型の構造モデルが必要だろう。光弾性モデルは、個々の部材に対し、氷の衝撃力によって起る最大荷重の箇所をみたり、その値を決定するのに使用されてきた。特殊な荷重による応力を測定するには、アルミ又は、epoxy の船体部分モデルに歪計が使用されてきた。これらの応力は、実物の応力を予測する為にスケールアップできる。図 3.1.3.8 は POLAR STAR の部材の光弾性モデルの写真である。図 3.1.3.9 は、POLAR STAR のエポキシ製船殻外板モデルを示す。このモデルには、歪計が取り付けられ、氷荷重と同様な動的荷重がかけられた。このモデルにかけられた荷重の時間は 1 / 100 秒未満である。

他国の管轄域を通過する氷海商船の場合、別の問題が生じる可能性がある。いくつかの国は、石油製品を運ぶ

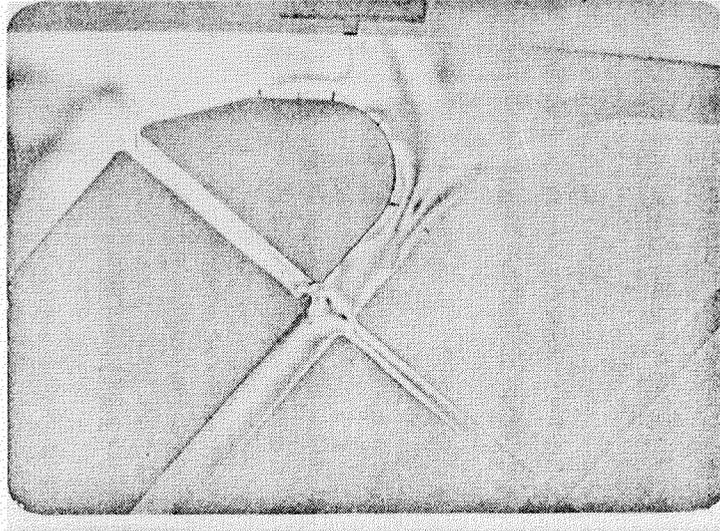


図 3.1.3 8 . Photo of Photoelastic Model of Cant Frame on POLAR STAR

場合あるいは、自船の燃料タンクにすら二重殻を要求している。二重殻にしても、衝撃損傷に対してはなんら効果はないが、外殻が破損した場合でも汚染物質の流出はない。従って船を設計する場合、他国の要求を知っておく必要があり、新しく設計された船が別の国の法律に支配されている区域を通過可能かどうか確かめるのに外交ルートを使うかも知れない。

### 3.1.4 推進システム

#### 3.1.4.1 概 論

砕氷船の推進システムは、1基もしくは複数基の主機、動力伝達系統、プロペラ、制御系統などからなっており、主機については特にトルク-回転速度特性が重要な意味を持つ。また、砕氷船の動力伝達系統は、通常の動力伝達の役割だけでなく、主機出力とプロペラにかかる負荷のトルク-回転速度特性をうまく調整するという役割もある。従って主機は常に、最も経済的な点で運転を行ない、動力伝達系統で、プロペラに必要な最適トルク-回転速度特性を作ることが考えられる。このような伝達系の1例としてワードレオナード法と呼ばれるAC-DC電気推進方式などがあり、ディーゼル主機と組合せてよく使われる。推進制御系統には、自動化要素が多く、船橋から与えられる前後進および出力レベルの指令により、主機への燃料流量、回転数、プロペラピッチ、電気推進の場合の電機子電流などを自動的に適切に制御する必要がある。

#### 3.1.4.2 氷海用船舶の運転環境

どの程度の厚さの水まで連続的に砕氷して進むことができるかは、船の機関出力、プロペラの形式、船首形状、船形、氷の性状により左右されることになる。氷海航行時には、氷を砕く力、氷を航路から押し除ける力、氷と船体との摩擦力などに打撃だけの推力が必要となり、船速は同じ出力で通常の海域を航行する場合と比較すると著しく低下することになる。このような連続砕氷航行状態では、砕かれた氷がプロペラ近くを通過することが多い。

さらに氷が厚くなると、連続砕氷は不能となり、船の前後進を繰返えすいわゆるチャージングにより氷を砕いて前進することになる。船を一定速度以上の船速で前進させ氷に衝突し氷を砕き、氷の反力により船が停止したら後進させ、適当な距離から再び前進砕氷を繰返えす。船が氷に衝突して、およそ3～7秒で船は停止してしまいが、衝突する時の船速が一定値以下の場合には、氷を割ることができずに氷の上に乗ってしまう。

砕氷船の砕氷能力は推進プラントの特性に大きく影響されるので、どのような船速でも最大推力を出し得るような特性が重要である。また砕氷船は一般の船舶が航行できないような地域を航行する場合が多いので推進プラント

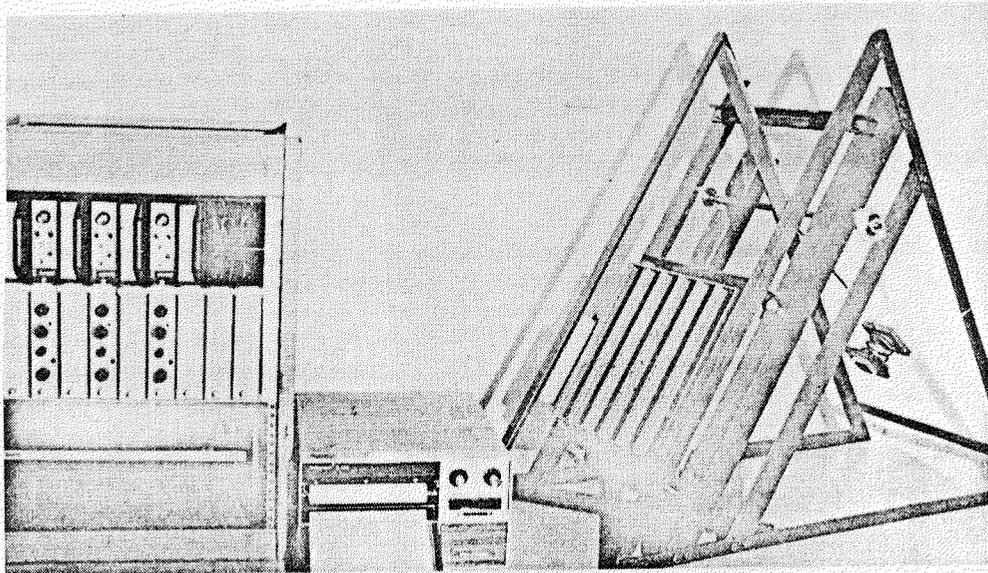


図 3-1-39 . Photo of Epoxy Model of POLAR STAR Hull

は信頼性の高いことが絶対的に要求される。

連続砕氷を行なう速度を最大にするには、プロペラにより得られる推力を最大にする必要がある。またプロペラ周辺に氷塊が多くある場合には、プロペラ回転数を低下せざるを得ないが、推力低下につながるため、氷が無くなった場合短時間のうちに回転数を上昇し得る特性が要求される。

チャージングにより砕氷を行なう場合、砕氷速度は1回のチャージングサイクルの時間をいかにして最短にするかにかかって来る。これは船速前後進の如何にかかわらず、推進プラントが全力を出し得ること、前進全速から後進全速もしくはその逆に要する時間を最短にすることにより達成される。

特に氷に乗上げたときに船を氷から引き降ろすような場合に後進状態で最大推力を得ることが必要になる。また出来る限り短い距離で前進および後進の最大速度を得られるような性能も重視される。砕氷船が前後進を反覆しているときは、プロペラが止まったり極低速で回転する機会が多くなるので、氷によりプロペラが損傷を受ける危険性が大変大きい。氷片がプロペラと船体の間にはさまったりしたような場合、プロペラを自由にするために、推進プラントは短時間で大トルクを発生する必要がある。このような場合に、電機子電流が大きく変動してモータが停止したりオーバースピードとなったりしてはならない。

#### 3.1.4.3 推進システムの形式およびその得失

前述のごとく砕氷船の推進システムは、主機、動力伝達系統、プロペラおよび制御系統から成っており、種々のシステムの得失を比較するには、それらの評価要素、たとえば、出力当りのプラントコスト、重量、容積、燃料消費率、保守性や信頼性、船用としての実績などを知る必要がある。

##### a) 主機

往復動蒸気機関 船用主機としてもはや使われなくなったが、初期の砕氷船には盛んに使われ、その性能は大変砕氷船に適していたので、ここで少々触れておくこととする。

まず、蒸気レシプロ機関の回転数はプロペラ回転数と同じにとれ、減速装置が不要であり、比較的単純である。また出力のトルク-回転数特性は砕氷船に非常に適していた。即ち、蒸気レシプロ機関は、トルク一定出力の機関であるため、前後進、回転数の如何にかかわらず常に最大トルクを得ることができる為、プロペラに氷が接したような時に有効である。したがって蒸気レシプロ機関の場合には動力伝達系統を必要としないが、それ故に主機を最も効率的な運転点に保つまま、プロペラから要求される種々なトルク-回転数特性に従わせるということができない。しかし、これは主機の性能が悪いのでは無く、動力伝達系統を通常設けないという理由による。

また蒸気レンプロ機関は、信頼性も高く、保守も容易であり、船用としての実績も確立していることは良く知られている通りである。

ディーゼル機関 現在大部分の砕氷船はディーゼル主機を採用している。その主な理由としては、比較的小さい出力当りの重量、容積および安いコスト、少ない燃費などが挙げられる。また、信頼性、保守性、制御性についても船用としての実績を十分積んだ今日では満足のゆけるものとなっている。

ディーゼル機関の最も不利な点は、そのトルク-回転数特性である。蒸気レンプロ機関と異り、ディーゼルは負荷をかけたままで始動することは難しく、何らかの形のクラッチや動力伝達系が必要となる。また通常ディーゼル機関はトルク一定機関と考えられているが、実際には、この特性は非常に限られた狭いスピード範囲のものであり、大きく回転数が下ると、かなり鋭角的にトルクが低下する。(図 3.1.4.0 参照)

砕氷船としては不都合なこの特性をカバーする為に、砕氷行動に適したトルク-回転特性に変換する伝達系を装備することになる。通常この為に電気推進方式が採用される。

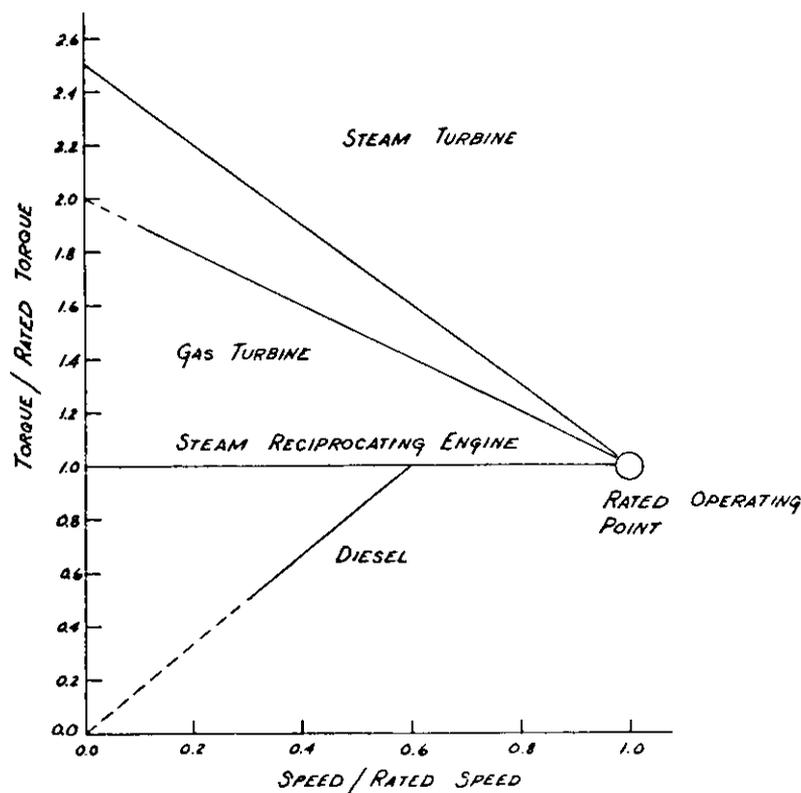


図 3.1.4.0 TYPICAL OUTPUT TORQUE-SPEED CHARACTERISTICS FOR SEVERAL COMMON PRIME MOVERS

蒸気タービン 蒸気タービンは多くの一般船舶に採用されている割には、砕氷船には採用されていない。この理由としては、現存する砕氷船の出力領域では、ディーゼルの方が非常に経済的であるということが挙げられる。蒸気タービンプラントもより大出力の砕氷船や原子力を採用した船では使われている。

図 3.1.4.0 から見る限り、蒸気タービンのトルク-回転数特性は、砕氷船に大変適しているように思われるが、減速歯車が、プロペラが氷の破片に当たった時の衝撃に弱いとされていること、通常、後進能力が前進出力に比較して十分大きく無いことなどから、現存の蒸気タービンを採用した砕氷船は、電気推進方式の動力伝達系を採用している。

ガスタービン ガスタービンは極く最近になって砕氷船の主機として検討されるようになったもので、最初のガスタービン搭載砕氷艦である米国コーストガードのポーラ・スター号はまだ就航していない。

ガスタービン主機の最大の利点は、重量及び容積の小さいことであろう。燃料消費率については、今まで不採

用の最大の理由であった程悪かったが、最近に至り非常に改善され、あるものは殆んどディーゼル機関と同程度の経済性を持つと云われている。信頼性についてはディーゼルや蒸気タービンに比較するとやや劣ると思われるが、ガスジェネレータを簡単に交換し得ること、海水に強い材料の研究が熱心に進められていることなどから、将来のガスタービンに関しては十分な信頼性を期待出来よう。

ガスタービンは、そのトルク-回転数特性が砕氷船に適していること、それ自身で逆転出来ないこと、出力軸回転数が非常に高いこと、などで大変蒸気タービンと良く似ている。従って減速および逆転装置が必要となる。

最近の砕氷船の大出力化の傾向から、その重量容積に関する性能が優れていることから、今後ガスタービンを主機に採用した砕氷船が増えるであろうことは疑い無い。

#### b) 動力伝達系

電気推進方式 前述のごとく、主機の形式によっては、動力伝達系が必要となり、機能としては、主機出力軸回転数の減速、トルク-回転数特性の変更、軸回転方向の逆転などが求められるが、電気推進方式は容易にこれらの機能を満足するので広く採用されている。

最も一般的な電気推進方式はDC-DC方式もしくはワードレオナード法と呼ばれる方式で、それぞれ1台もしくは複数の直流発電機および直流電動機を組合わせたもので、減速は発電機及び電動機の極数をそれぞれ適当に選ぶことによって行なわれる。トルク-回転数特性の変更は界磁電流を制御することによりほぼ理想的に行なえる。また、逆転も極性を変えるだけで容易に行なえ、逆転状態で最大出力を出すことも何ら問題無い。

DC-DC方式は、この様に利点が多いが、欠点が無い訳ではない。まず第1には、重く、大きく価格が高いことである。また、複雑なシステムである為、信頼性や保守性にやや問題があるが、結線によりどの主機と、どのプロペラとも組合せることが出来るため、全体的には信頼性を向上し得ると考えられる。

しかし、直流方式では整流子があるので扱える回転数および高出力化に問題がある。主機の軸回転数が高くなる傾向から、先ず発電機側からmultiple armature(多電機子)発電機もしくは整流器とともに交流発電機を使うことが試みられて来た。交流発電機を使うことにより発電機側の問題は解決するが、やはり電動機側の整流子に問題が生ずる。例えば、電動機の回転数が130rpmでは電機子1つ当りの出力は25000HP以上であるが、190rpmになると17,000HP以下となる。もちろん多電機子の電動機を使えば良い訳であるが、今度はスペース上の問題が生じるであろう。AC発電機およびAC電動機を使う方式は、DC-DC方式に比して不利な点も多いが上記のような利点もある。今後はAC-AC方式と可変ピッチプロペラを組合わせた方式が魅力あるものとして検討されることになろう。

その他の動力伝達方式 固定ピッチプロペラ装備の砕氷船では電気推進方式に匹敵するような動力伝達システムは見当たらない。かつて、油圧駆動方式がどこかの船で使われたが、大出力のプラントに使用出来るとは思われない。クラッチ付可逆転減速歯車装置も砕氷船の動力伝達系として考えられないことは無いが、減速比の変換装置を組み込まぬ限り主機の出力を最大限に利用出来るのはある一定のプロペラ回転数の場合のみに限られてしまう。

#### c) プロペラ

砕氷船のプロペラについては、固定ピッチプロペラを使うべきか、可変ピッチプロペラとすべきかが問題となろう。今日までの砕氷船は大部分固定ピッチプロペラを採用しているが、極く最近になって可変ピッチプロペラの採用が考えられるようになり、USCGの砕氷船POLAR STARに装備されることになっているが、まだ就航はしていない。過去においては、可変ピッチプロペラは氷に対して強度的に問題があると考えられていたが、固定ピッチプロペラの切損事故等の原因を調べて見ると、逆転の為に一時プロペラを停止させねばならないことが最大の原因と考えられることが判明した。即ち、逆転操作は、船がかなりの前進速度を持っている状態で行なわれる場合もあり、プロペラが停止するとプロペラ翼面で水の衝撃を受け、容易に曲げられたり切損することになる。

このような観点からUSCGC POLAR STARでは可変ピッチプロペラを採用することにしたのであろう。可変ピッチプロペラの採用とガスタービンのトルク回転数特性により、電気推進方式を使わずとも、どのような船速でも主機の全出力を発揮できることになる。このプロジェクトが成功すれば、今後の砕氷船では、可変ピッチプロペラを装備した主機直結方式やAC-AC方式の電気非進が主流となるであろう。

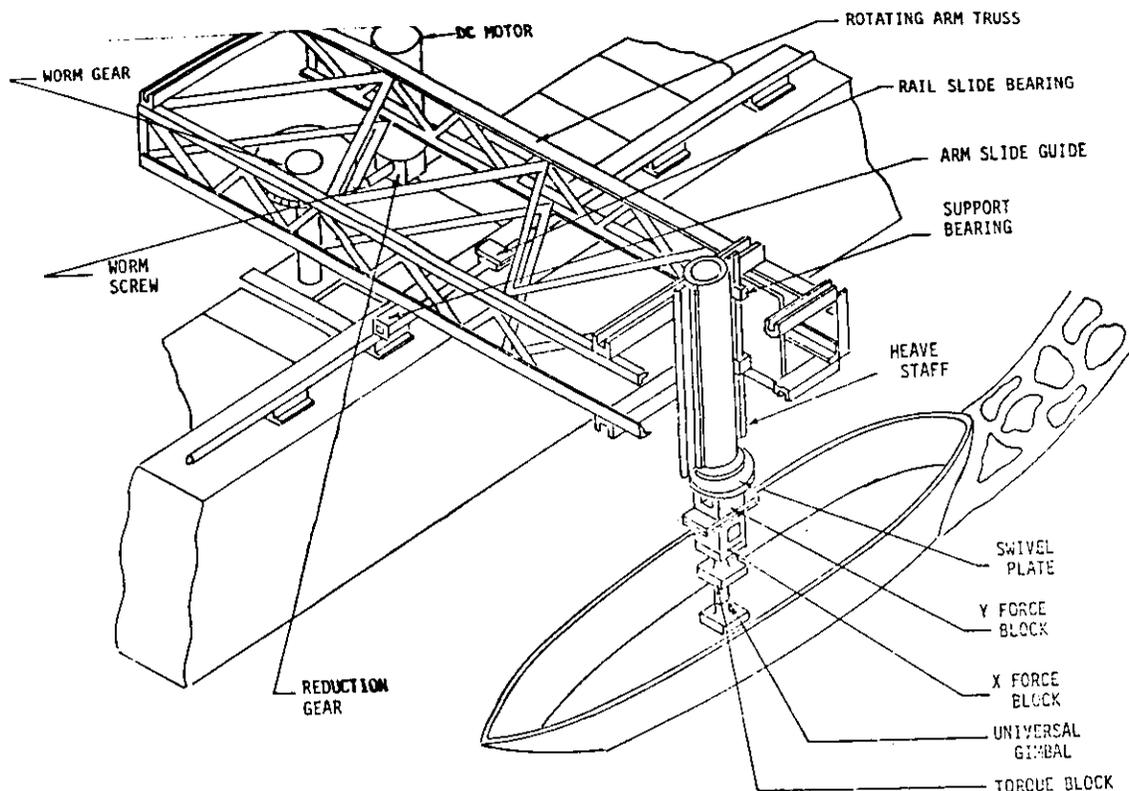


図 3.1.4.1 Schematic of Rotating Arm Facility

### 3.1.5 操縦性能

氷海に於ける操縦性能は砕氷船にとって非常に重要な性能の一つであるが、一般船舶の操縦性能に関する設計データは豊富に揃えられているのに対し、砕氷船の氷海に於ける操縦性能に関するデータは非常に少ない。ソ連はこの分野でかなりの研究を行なっているが、その結果については、ほんの僅かしか知られていない。カナダでは1972年にCCGC LABRADOR を使って氷海での操縦性能をつかむ為の実船テストが行なわれており、そのデータは文献3.3.4に紹介されている。この船の氷海に於ける旋回半径は船の長さの2~4倍であり、通常海域での約2倍となることが知られた。

一般に氷海での操縦は、通常海域に比べて難かしい。最近氷海での操縦性について、模型試験の有効性や船の長さや肥瘠係数が与える影響について知る目的で、カナダ運輸省の出資によりARCTEC社の氷海水槽で初めて一連のテストが行なわれた。

この実験は、均一厚さの氷の張った水槽で斜航試験及びローテティングアーム試験を行ない、操縦性及び方向安定性のデータを求めた。図3.1.4.1にローテティングアーム試験設備を示す。

修正した線型運動理論と、氷海抵抗試験に使われたものと同じような無次元化手法を上記2方法による模型実験結果をまとめるのに用いた。またCCGS LABRADORによる実船試験結果と上記模型実験による結果との比較を行なったが、旋回試験の結果はかなり良く一致している。

POLAR V11型砕氷船の船形を用いて船の長さや肥瘠係数を種々変えてシリーズテストが行なわれた。この結果、肥瘠係数を大きく採ると旋回半径は大きく増加し、船の長さや氷の厚さを増加すると旋回半径はさらに極端に増大することが判明した。

これら一連の結果から、模型試験と実船試験の間に良い相関関係がつかめることが判明したので、今後砕氷船や氷海商船の操縦性能やコーススタビリティに対して、設計上の各種パラメータがどのように影響を与えるかを一連の模型試験で得ることが出来るようになった。

### 3.1.6 砕氷船への原子力の利用

#### 3.1.6.1 概 論

原子力を採用するに適した船舶は、a) 長い航続距離が必要とされるもの、また、b) 大出力が要求されるものであるが、今のところ原子力を利用した船舶は大部分は、潜水艦や駆逐艦、巡洋艦、航空母艦など海軍艦艇により占められているが、幾つかの国で原子力商船が経済的な適合性の検討は無く、主として技術的な可能性を検討する目的で建造されている。

砕氷船に原子力を搭載した場合の利点もやはり航続距離が大きい事と大出力が得られることである。この目的でまずソ連で原子力砕氷船 LENIN が 3 基の原子炉を装備して建造された。この船は 1960 年代に原子力プラントに何らかの問題を生じ、より改善された原子力プラントに換装されたと言われている。1960 年代後半に、US Coast Guard は原子力砕氷船の建造を真剣に検討し、15,000 HP、35,000 HP、55,000 HP 及び 75,000 HP の各出力についての原子プラント及び在来形蒸気タービン案、ディーゼル案、ガスタービン案などについて 1966 年～1970 年にかけて価格や重量、配置、運航コストなどの比較検討が行なわれた。この他に原子力を採用して、長期間南氷洋や北氷洋で観測活動を行なう砕氷船も検討されたことがある。

今日でも原子力は砕氷船にとって一つの魅力ある推進機関であることは変わり無く、ソ連では最近 2 隻の 80,000 馬力級砕氷船を建造している。しかしながら原子力プラントの採用は必ずしも技術的な検討だけでは決められず、政治的な配慮やその他の要素により採否が決められることに注意を要する。

#### 3.1.6.2 原子力砕氷船設計上の注意事項

前述のごとく原子力は高出力、大航続距離の船に適している為、35,000 馬力以下、氷海での活動日数 4～6 週間以下の船では技術的にはまずもって原子力プラントの採用は正当化されない。最初の原子力砕氷船レーニン号は 3 基の原子炉を持っていたが、現在の技術では原子炉は一基装備すれば十分である。また、3 系統もしくはそれ以上の蒸気発生器を持った加圧水力型原子炉は船用としての実績も十分あり、新たな開発を必要とせずに採用することが出来る。

加圧水力型原子力プラントには、安全弁、清浄系統、冷却系統、廃棄物処理系統、安全設備、圧力容器、1 次及び 2 次遮蔽などの標準的な補助システムが必要である。

原子力プラントを採用すれば、蒸気タービン主機となり大きな復水器を必要とするが、冷却水は機関室に近接したウィングタンクから循環水を取ることが出来る、このタンクが大きなシーチェストとしての働きをするので、冷却系統に氷を吸込んだりする不都合は生じない。蒸気タービンは、砕氷タンカーマンハッタン号や USCG の新しい砕氷船のように減速歯車を介して直接プロペラに結合することが出来る。即ち大きな直流推進モータを装備する必要はない。

非常用発電機駆動用や船内加熱用として、油焚の補助ボイラや原子炉冷却用のポンプを駆動する為や制御用電源を確保する為のディーゼル発電機も機関室内に必要となる。

砕氷活動時に要求される大幅な負荷変動に対する追従性は原子力プラントであっても問題にはならない。しかしながら、原子炉は、遮蔽等でかなりの重量を持っている為、船体の浮力中心近くに設置しなくてはならないこと、また、燃料交換の為の開放スペースを確保しなくてはならないことなどは注意を要する。

一般に原子力船に必要な乗組員数は在来船に比べるとやや多くなるが、氷海域での稼働率が非常に高くなる為、原子力潜水艦と同じように複数組の乗組員が必要となる。また機関部乗組員の為の訓練設備や在来船よりは高級な医療設備が必要となる。

また、原子力船の建造に当っては、監督機関による安全審査や原子炉圧力容器の製作、性能確認のための陸上運転及び海上運転に多くの時間を要するため、通常船舶に比較し、50%増程度の建造期間を要する。いずれにしても原子力プラントは、1 番機であるが故に非常に高いコストが必要になる場合が多く、出来るだけ他で実績のある

プラントを採用することが有利である。また原子力プラントを考える上では陸上に燃料交換用設備が必要となるが他の原子力船と兼用することも考えられる。

### 3.2 既設および計画中の氷海試験水槽の概要

#### 3.2.1 概 論

近年、世界の氷海航行技術の開発は、氷海曳行試験水槽に集約されているといった段階である。表3.2.1は世界の既設および計画中の氷海試験水槽の場所、水槽の大きさ、建設年、所属、冷却方法等についてまとめたものである。各々の施設の特徴については、水槽操作の手順や最近の活動状況をまじえて以下の各項で論じることとする。

#### 3.2.2 モデル海氷の材料

氷海水槽での船舶模型実験で水槽で均一の氷膜を作るために、いくつかの氷海再現のための物質—モデリングメディア—が提案され試されてきた。モデリングメディアとしては、淡水氷、塩水氷、パラフィン、合成ワックス、合成焼き石膏などがあげられていた。これらの中で現在では塩水氷とワックスコンパウンドタイプの合成氷の2種が使用されている。塩水氷は船体形状の模型試験用として一般によく使用されている。実船実験による氷海の船体抵抗の計測値と、塩水氷を使った模型実験から近似した抵抗値のあいだに良好な相関関係が得られているけれども、塩水氷は依然として欠点があることを認めざるを得ない。塩水氷の最大の欠点は、曲げ強さ、破砕強さ、弾性係数を同時に正確に再現できないことである。現在行なわれている塩水氷での砕氷船の模型実験の結果では、曲げ強さは換算係数を使って線型の適当な値を得ている。さらに破砕強さと弾性係数も同時に換算係数で表わせるような適当なスケールも要求されている。塩水氷による模型実験では、破砕強さは実測値よりもかなり高い値をとり、弾性係数は逆に非常に低い値をとる。それ故砕氷船は破砕モードではなしに曲げモードで氷を破壊しているので、破砕強さだけのスケールでは不十分である。又、それでは、弾性係数の計測も必要でなくなるかという問題も簡単に説明されず調査が必要となってくる。

塩水氷使用の正当性は、予測されたフルスケールの砕氷抵抗が、実測のものと同様一致することにより、最終的に達成される。その結果として砕氷船体設計用抵抗決定に塩水氷の使用が適当であるという確信が得られたとしても塩水氷の使用は以下のような時に疑わしくなる。すなわち、氷の破壊において押し込みモードが優位をしめるときとか、円柱状の海洋構造物の場合とか、ホーバークラフトのように弾性係数が重大な重要性を持つと考えられる場合などである。塩水氷はこれらの欠点を持っているので、現在でも、物理的性質を正確に示してくれる平塩氷を水槽に再現できるような人造物質の開発に多大の努力が払われている。

現在までに開発された人造物質の中で最も将来有望なのは、アークテックカナダ社で、模型実験に現在使われている

表 3-2-1 Summary of The World's Icebreaking Model Basins

Facility	Location	Type	Year Built	Length m	Width m	Depth m	Media	Refrigeration
ARCTEC CANADA, Limited	Montreal, Quebec, Canada	Commercial	1974	18.3	4.3	0.61	Synthetic	
ARCTEC CANADA, Limited	Montreal, Quebec, Canada	Commercial	Proposed	22.9	6.1	1.52	Saline Ice	Cryogenic
ARCTEC, Incorporated	Columbia, Maryland, U.S.A.	Commercial	1974	30.5	3.7	1.52	Saline Ice	Cryogenic
Arctic and Antarctic Research Institute	Leningrad, U.S.S.R.	Government	1955	13.5	1.9	2.00	Saline Ice	Mechanical
Cold Regions Research and Engineering Lab	Hanover, New Hampshire U.S.A.	Government	Proposed	36.6	9.1	1.68	Saline Ice	Mechanical
Hamburg Ship Model Basin	Hamburg, West Germany	Government	1971	30.0	6.0	1.20	Saline Ice	Mechanical
Wartsila Icebreaking Model Basin	Helsinki, Finland	Commercial	1970	50.0	4.8	1.15	Saline Ice	Mechanical

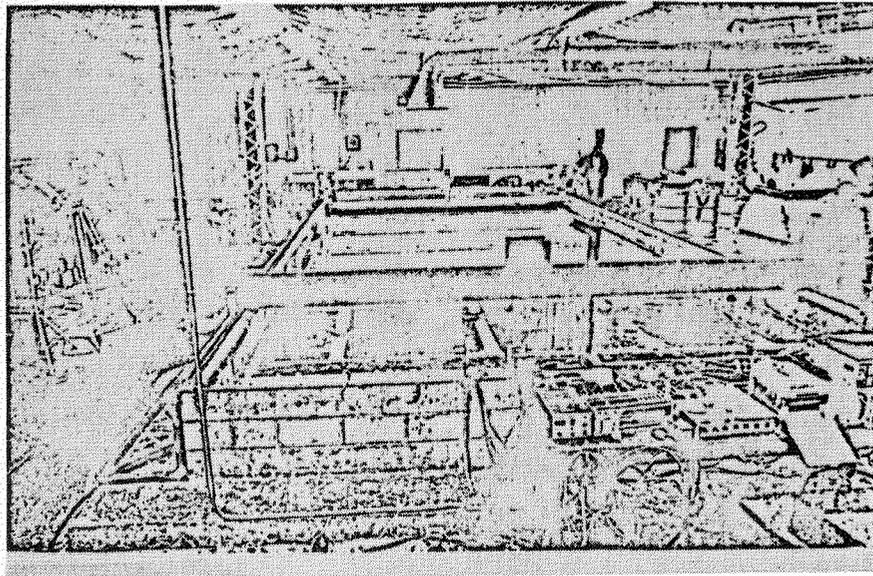


図 3.2.1 Photograph of ARCTEC CANADA Limited's Ice Towing Tank With a Synthetic Ice Cover in Place.

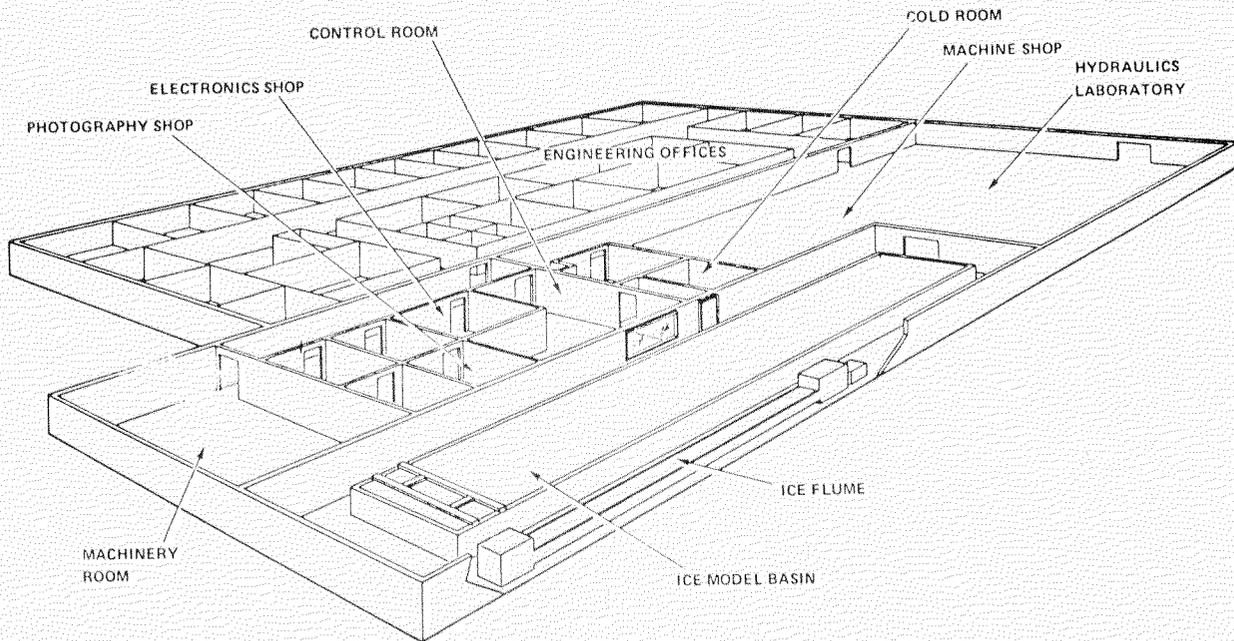


図 3.2.2 Photograph of The New Ice Towing Tank at ARCTEC, Incorporated

ワックスコンパウンドタイプの物質である。多くの物理的性質 — 密度、曲げ強さ、圧縮強さ、せん断強さ、弾性係数、まさつ係数など — について個々に制御でき、かつ正確な計測がなされている。このモデルの使用は、曲げ強さ、圧縮強さ、弾性係数が同時にしかも高精度で必要と考えられる時に非常に有効である。しかしながら高速衝突させるときなどこの物質では、塩水氷や実船テストでみられるよりも速度依存がはるかに大きくなっている。この理由からこの物質は、船体形状の模型実験には一般に使用されていない。一般的にいって、現在の実験は、曲げモードが破壊の基本モードである時は、塩水氷が用いられ、圧縮モードが破壊の基本モードとされたり、物理的作用のモデル化のごとく弾性係数が重要と考えられる場合には、人造の模型用物質が使われている。万能のモデリングメディアの探求には、これからも多くの年月がかかるであろうことは疑いなくところである。

### 3.2.3 アークテックカナダ社

アークテックカナダ社は、1973年、カナダのモントリオールに米国メリーランド州コロンビアにあるアークテックイ

ンコーボレイティッドの関連会社として設立されたものである。ラバル大学のバーナードミッシェル教授との関係のもとにアークテックカナダ社は、当初より水槽試験に使う均一氷としての人造物質の開発と使用を大きなテーマとしてきた。1974年に同社が建設した氷海水槽は、模型実験用の均一氷を人造氷膜で実現するために計画されたものである。なお、図 3.2.1 はこの施設の写真である。アークテックカナダ社の人造氷による最近の模型実験としては、砕氷船体形状試験、海洋構造物の試験、砕氷ホーバーの試験、氷による人工島に与える平坦氷の衝撃及び砕氷船用の変位ビッチプロベラによる氷のフライス削りなどがあげられている。

アークテックカナダ社では、現在、アークテックインコーポレイテッドにて開発された超低温寒剤冷凍による新しい塩氷水を使う水槽を計画中である。この新水槽は1976年夏に稼働の予定である。

### 3.2.4 アークテック インコーポレイテッド

水槽で塩氷水を使った船体砕氷抵抗テストは、1970年、アークテックインコーポレイテッドの小試験水槽で初めて行われた。この試験水槽は、液体窒素による超低温冷却方式によって結氷させるという実験方法の可能性をためすために使われた。この開発実験の成功に基き、アークテックインコーポレイテッドは、18.0m × 2.4m × 1.5mの試験水槽を計画、建設し、1971年に稼働させた。この試験水槽において超低温冷却方式は改善され、このシステムは米国防許庁より特許を獲得するところまでいった。3年間にわたるこの水槽での実験を基にアークテックインコーポレイテッドは、より大きく洗練された試験水槽を計画建設し、1974年に稼働させた。この水槽は図 2 に示されるが、現在同社で使用している水槽の一つである。ここで使われている超低温冷却方式は、非常に短時間で塩氷水製成を可能にしている。又、その氷の性質は、塩分濃度、冷却温度、氷の成長率などによって制御することが出来る。この超低温方式によってつくられた塩氷水は、均一で一層氷であり、又すべて垂直の結晶構造となっている。等速度抵抗試験において模型は、0.05~6 m/sec の速度範囲をもつ輪索運転システムによって曳航されている。曳引車の速度は、フィードバック制御を組入れたらず電流クラッチ運転システムによって制御されている。

アークテックインコーポレイテッドにおける模型実験は、非常に広範囲の模型氷質について行なわれている。この数年間に砕氷船、氷海タンカー、氷海オアキャリア、氷海フェリーボート、氷海バージなど各種の船形について広範囲にわたる試験が行なわれてきた。又同社では、氷海及び寒冷地での輸送手段として、ホーバーを含む独特の乗り物も試験を行なっている。船形による砕氷抵抗を減ずるための各種の技術方法に関する試験も行なわれてきた。試みられたものとしては、ウォータージェットや空気注入で船体の潤滑をしたり、空氣的に誘発する縦揺れシステムなどがある。アークテックインコーポレイテッドでは、多く海上構造物の形状に関する模型実験も行なわれてきた。同社では又、均一氷、砕かれた氷、単純な氷丘脈や複雑な形状をした氷丘脈などの条件下で模型試験を行っている。最近の予定の中には、均一氷での船の操縦性能を解明する試験も含まれている。

### 3.2.5 ソ連北極南極科学研究所

ソ連邦の北極南極科学研究所は、1955年以来、現在もある氷海水槽で研究を続けてきている。この水槽では、機械冷凍方式で冷却が行なわれ、その冷却能力は、450,000 kcal/h である。

適当な結晶構造をもつ水槽水をつくるために、ここでは氷結晶体の成長初期の段階を制御する技術を開発してきた。その中には、静かにした水槽水面に結晶化の小さな核を多数まきちらしておく技術も含まれている。この間、水槽室の温度は零度以下に保たれている。この研究所では、塩氷水の曲げ強さを制御するのに塩分濃度、水面上の結晶の量、水温、室温などを用いている。図 3.2.3 は、ソ連の施設の写真である。

この北極南極科学研究所でなされた数多くの研究は、砕氷や氷海航行用の船舶の設計に有用なデータを提供している。水槽実験の結果は、砕氷船や各種の氷海用輸送船など各種の実船航行に役立てられてきた。又、氷海における船の操縦性や氷に閉じ込められた時の脱出技術の開発などにも水槽実験が役立っている。

北極南極科学研究所は新しい水槽をつくる動きがあると伝えられている。

同研究所にさらに大きな施設が計画され、特徴をもたせて設計されている。この新施設は大きく優れた氷海研究室と

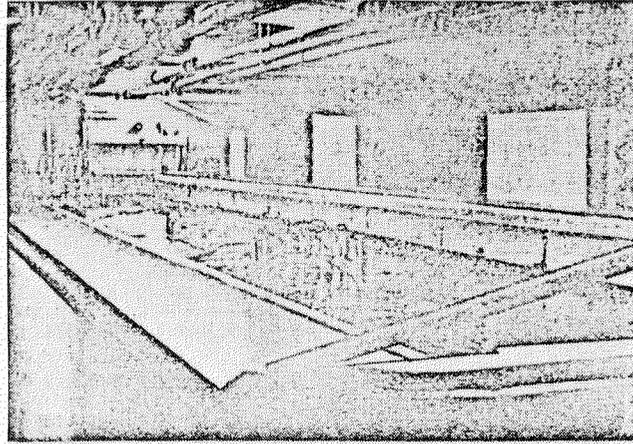


図 3.2.3 . Photograph of the Ice Towing Tank of the Arctic and Antarctic Research Institute.

なるが、この施設の詳細や計画されている実験内容はまだ明らかにされていない。

### 3.2.6 米国陸軍寒冷地研究所

1972年に米陸軍は、ニューハンプシャーのハノーバーにある寒冷地研究所の一部に新たな氷工学の施設をつくる意向を発表した。この新施設の中には、大きさ  $36.6\text{ m} \times 9.1\text{ m} \times 1.68\text{ m}$  の氷海水槽も計画されている。この施設の細部仕様については、除々に知られてきているが実験の目標日時は、まだ公にされていない。ここの冷却設備は、機械冷凍で2インチ/16時間の結氷能力を有している。曳引車は、 $2.5\text{ m/sec}$ までの速度を出せる。この氷海水槽では、応用研究ニーズにそくした基礎研究を基本的に行なうと伝えられている。

### 3.2.7 ハンブルグ船舶試験水槽

ハンブルグ船舶試験水槽の氷海水槽は、1972年初めにつくられ稼動している。この施設では、機械冷凍システムを用い、塩氷水をつかって試験が行なわれている。この特徴は、水槽の下全長にわたってトンネルがあり、水槽床面に七つの窓があることである。これにより実験中にトンネルを通り砕氷模型船の観測が可能となっている。機械冷凍システムは、 $65,000\text{ kcal/h}$ の冷凍能力で氷をつくる。曳引台車は、 $0.2\sim 200\text{ cm/sec}$ の範囲で運転される。図3.2.4は、この施設のスケッチである。

1972年初めに稼動以来、ハンブルグ水槽における研究は、もっぱらドイツのブレーメンにあるAGウェザー造船所で設計された氷海貨物船の研究が行なわれてきた。このプロジェクトは、連邦科学技術省が出資したものであった。氷海貨物船用の三つの幾何学的模型をつかって、連続砕氷時の試験が行なわれた。この広範なテストプログラムの中で、三種の模型による相似比3.8, 5.0, 6.5の実験が行なわれた。

### 3.2.8 ベルツィレ氷海試験水槽

1970年につくられた、ベルツィレ氷海試験水槽は冷凍能力142トンの機械冷凍装置で、モデリングメディアには、塩氷水を使用している。曳引台車は屋根に通ったアイビームからとったオーバヘッドの1本レールに乗っていて、 $0\sim 1.5\text{ m/sec}$ の速度範囲をもっている。この実験室は変っていてヘルシンキ市からかりたかつての爆薬洞窟の中につくられている。

ベルツィレにおける氷海模型試験は、親会社であるヘルツィレヘルシンキ造船所や国内外の顧客のために設計、建造

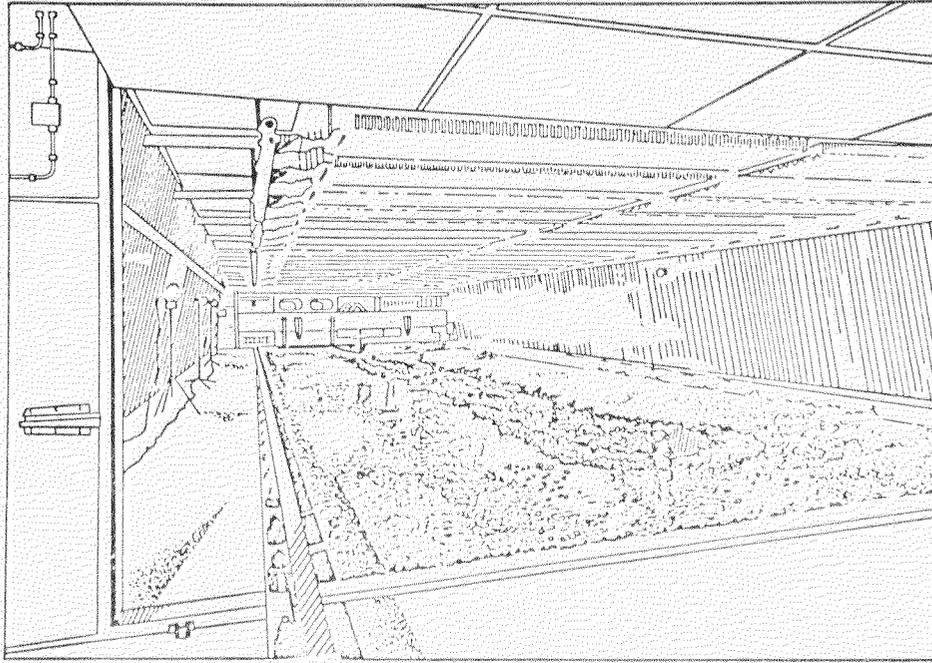


図 3.2.4 Artist's Sketch of the Ice Towing Tank at the Hamburg Ship Model Basin.

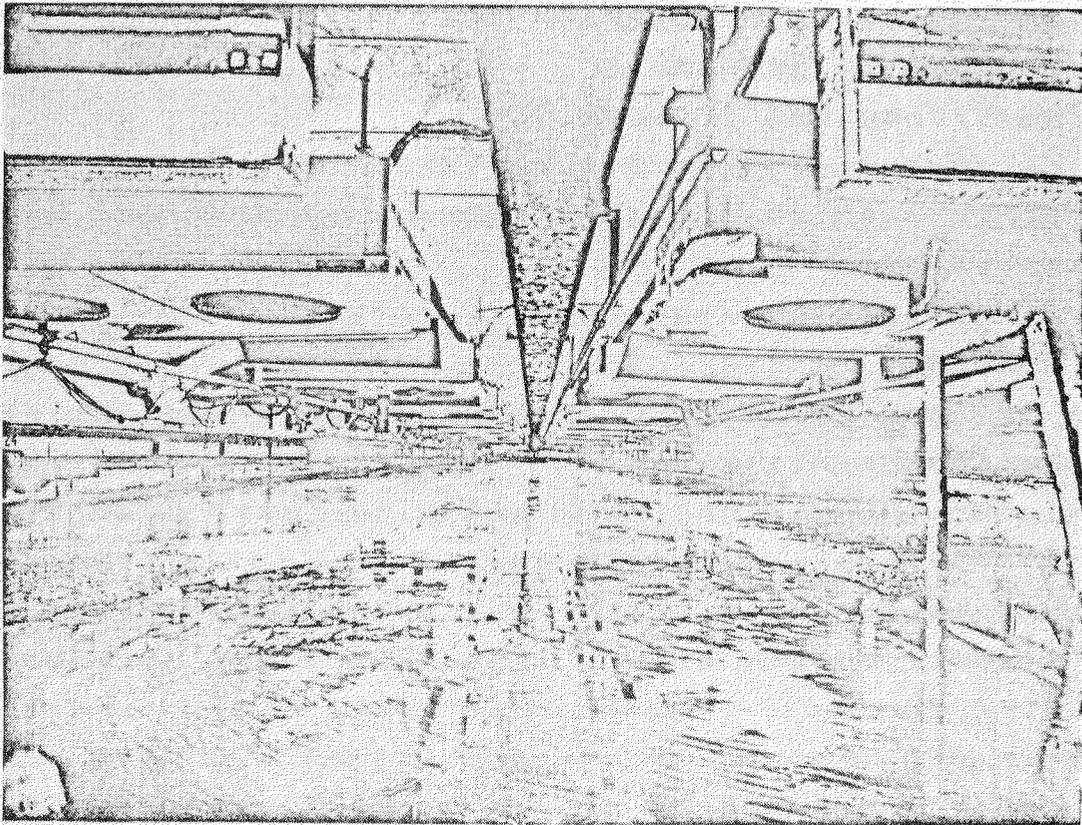


図 3.2.5 . Photograph of Wartsila's Ice Towing Tank

される船に役立てられている。ここでの大部分の試験は、均一な水平氷で行なわれてきた。その他では砕かれた氷の水路や隆起氷や側水圧のある氷原に関する模型実験も行なってきた。さらに、砕氷船、氷海タグボート、氷海タンカー、

氷海フェリーボートについても模型試験を行ってきた。そして、船首の形状、かじの調節方法、プロペラハウジングの形状などについて研究されてきている。さらにベルツィレは、船体と氷との通過抵抗を減じる目的をもったエアバブルシステムを開発してきている。

### 3.2.9 他の施設

以上紹介してきた主な氷海水槽の他には、過去においてかぎられた氷海模型試験しかみあたらない。この中には、英国ホーバークラフトコーポレーション、アイオワ流体力学研究所、オランダ船舶試験水槽、オフショアテクノロジーコーポレーションなどがある。初期の水槽実験では、英国ホーバークラフトコーポレーションやオランダ船舶試験水槽でモデリングメディアとして、パラフィンが使われていた。これらの試験の大多数は、アメリカやカナダの政府からの請け負いで行なわれていた。しかし、今では、これらのどの施設も氷海模型試験の活動は行なっていない。ただ、アイオワ流体力学研究所において小さな冷却水槽がつかわれているに過ぎない。この水槽は幅 0.6 m、深さ 0.3 m という限られた大きさであるため、船体形状の氷海模型試験をやるにはあまり適していないといわざるをえない。結局のところアメリカカリフォルニアエスコンディオにあるオフショアテクノロジーコーポレーションが人造の氷原で、ドリルバージの氷海試験を行なったただけであった。この試験は、さしたる成果をおさめることなく終わり、同社は、ここ 2、3 年氷海模型試験の分野では積極的活動を行なっていない。

## 3.3 氷海実験の実績例

### 3.3.1 概 論

本章では今日までに行なわれた主要な氷海での実験、特に砕氷船や氷海商船を使った実船実験について述べる。

実船実験の目的としては次の五つの主目的が考えられる。

1. 砕氷時の抵抗や強度を対象とした船型設計の為のデータ収集
2. 船の操縦性能をつかみ、運航者の参考にする。
3. 推進プラントの特性を記録し、プラントの評価を行なう。
4. 船体、プロペラ、舵と氷との相互作用に関する設計条件を調査する。
5. 現在の技術レベルを向上させる為の模型実験と実船の相関関係のチェック、推進機関の動特性、船体各部の荷重条件調査など一般的研究

以下にこれらデータの収集方法について過去の実船実験をもとに考えてみる。

### 3.3.2 過去の実船実験

新型、大出力の砕氷船を計画するに当たって、この分野での技術的蓄積が少ないことが認識され、最近 10 年間砕氷船の性能に関する実験が行なわれるようになった。

米国では 1966 年から 1970 年にかけて老朽化した WIND 級の砕氷船 ( 1942 ~ 45 年建造 ) の代替船としての新しい砕氷船計画プロジェクトが始められた。この計画は、船の性能とそれまで主としてソ連で行なわれて来たモデルテストによる実験の有効性を知る目的の実船実験から始められた。従って、種々な種類の船が氷海でテストされた。これらの中には、氷海における 10,000 HP 砕氷船、淡水水域における 10,000 HP 砕氷船、ブイ補給船、曳船、鉸石船及びタンカーが含まれている。鉸石船及びタンカーなどの商船については氷海航行が可能ないように改造が行なわれた。

米国における最初の科学的な砕氷抵抗テストは 1960 年代後半にベーリング海で、WIND 級砕氷船、STATEN ISLAND 号を使って行なわれ、船の各種性能と海水条件との関係が記録された。この平坦氷域での実験結果については文献 3.13 に示されている。この実験では、本船建造後 25 年を経て初めて、ほぼ設計通り 3 ft の平坦氷を 3 ノットの船速で砕氷が行なえるという砕氷能力の確認が行なわれた。

これに続いて 1971 年、五大湖用砕氷船 MACK INAW を使って、平坦氷や氷片の多い水路での航行テストや、船速や氷の厚さをパラメータとして船体外板の受ける力について計測が行なわれた。この結果については文献 3.14 及び 3.35 に示されているが、この船は氷から受ける力に関しては余裕が大きすぎることが判明した。

1976年春にはPOLAR STAR号(60,000 SPH)による今までは最大規模の実船実験がU.S Coast Guardの手によりベーリング海及びChukchi Seaにて行なわれることになっている。このテストには、平坦水域における抵抗、氷丘脈(Pressure ridge)での抵抗、氷海中での推進機関の動特性、船体と水の摩擦係数、砕氷抵抗測定時の衝撃力などの測定が含まれている。

1969年及び1970年に砕氷タンカーMANHATTAN号により、北西航路の歴史的な航海が行なわれ、この航海について多くの文章が書かれているが、結果については公表されていない。文献によれば、この航海実験の結論は、年間を通じてのこの海域での商用航海は、技術的には可能であるが、経済的には、他の輸送手段例えばパイプライン等に比して現時点では魅力が無いということと考えられる。

カナダに於ては、CCGS WOLFE を使って1967年に初めて氷の抵抗測定の実船テストがSAGUENCY川の雪の積った平坦水からなる淡水水域で行なわれた。これに続いて1970年にLOUIST ST. LAURENTによりPond Inletにて氷海域の砕氷テストが行なわれたが、平坦氷の厚さが船の連続砕氷能力を上まわっていた為、チャージング(Ramming)によるテストのみが行なわれた。その後1973年にLABRADOR号を使って連続砕氷モードのテストが、北西航路に近いBarrow Straitで計画されたが、氷の状態が十分で無く単に氷丘脈の通過テストや操縦性能テストのみしか行なえなかった。文献3.3.4の中で著者German及びLawrenceは氷の状態が変化するためテスト方法が他の例とは異なっていると述べている。これら三つのテスト結果については生データの形で上記文献に示されている。1975～76年の冬期にSt. Lawrence川(淡水)でMCCLEOD ROGERS号による氷の船体に対する衝撃力のテストおよび五大湖のThunder Bayに於けるホークラフト形式の装置を砕氷船HENRY号の船首部に取付けて行なり砕氷時の抵抗低減テストの二つの実験が計画されている。

その他実船テスト例えばFINNCARRIER, JELPARI, ERMAKその他の船を使ったものがフィンランドやソ連で行なわれており、技術論文にその結果が時々出されているが、生データについては発表されていないものが多い。

米国の五大湖では、年間を通じての水上輸送手段を確保するために多くの研究がなされて来た。最終的には3～6フィートの厚さの砕氷群、1～2フィートの厚さの不均一な氷、もしくは5～10フィート厚さの氷丘脈や風に吹き集められた氷のある氷水域を航行可能な商用鉱石運搬船が必要となる。

今まで、特に氷海航行用の設備を持たない船で、冬期鉱石船を運航するにはCOAST GUARDの砕氷船の協力が必要であった。多くの船主は、船首部の外板を2重にしたりフレーム数を増加させたりブラケットを追加したりする程度の耐氷構造を採用しているが、その他の船体部や出力に対する配慮は通常行なわれていない。しかしながら居住区やその他作業スペースへの氷結防止や加熱設備は設けている。

1972～73及び73～74年の冬期に鉱石船LEON FRASER号により、氷の衝撃力計測及びエアバブリングのテストの為に実船実験が行なわれた。このテストはMaritime Administration及びU.S スチールの出資で船は通常の商業航海に従事したまま行なわれた。この結果は文献3.1.8及び3.3.6に示されており、エアバブリングにより船の抵抗を減じ得ることが知られ、五大湖水域用として建造中の長さ1,000フィート、幅105深さ26フィートの新造大形鉱石船及び石炭船にこの方式を採用し、その経済性が確認されることになっている。

### 3.3.3 代表的な実船テスト方法の例

砕氷船の実船実験は非常に多くの時間と資金を必要とする。従って、まずは実験計画を練ることが非常に大切である。この計画には、実験目的、計測設備の詳細計画、実験に必要な人員の計画、実験日程及び必要な氷の条件の設定などを含まねばならない。次のステップは計測装置及び記録装置の実船への取付である。代表的な計測では次の各項目を計測しなくてはならない。

- 船速
- プロペラ回転数
- プロペラトルク

- プロペラ推力
- 船首部数カ所での氷の衝撃力
- 舵に加わる氷の衝撃力
- 加 速 度
- 推進プラントの動特性
- 船の船首方向
- 風 速
- 風 向
- 大気温度
- 船の喫水（船首及び船尾）
- 平坦氷の厚さ
- 氷の曲げ強さ
- 氷丘脈の厚さ
- 積 雪 量

データ解析を容易にしたり、データ量を減ずる為には写真による記録も必要なことである。

実験計画及び適切な計測設備が準備出来れば氷海中での実験が可能となるが、次のような計測を行なう必要がある。

- 平坦氷での砕氷抵抗計測
- 砕氷域での       "
- 氷丘脈での       "
- 氷原（Ice field）での砕氷抵抗及び氷圧
- 操縦性能テスト
- チャージング（Ramming）時の抵抗
- 船首を氷から引抜く時の抵抗

上記各状態でのテストでは、船体に加わる氷の力を計測し記録しなくてはならない。また、船体と氷との摩擦係数を推定しなくてはならないがこのベースとなる氷の中での船の抵抗は、氷から受ける力により大きく変る。連続砕氷時の抵抗テストは大略次のようにして行なわれる。

1. まず実験場所の平坦氷内で停止し、氷状観測チームを下船させる。このチームには、水陸両用車1台、雪上車1台、氷の厚さ計測装置1式及びFM通信器1台を装備し、図3.3.1に示すように、船の予定進路上で約5000フィート毎に氷の厚さを計測し、FM通信器で本船に連絡する。
2. 実験指揮者は、送られてきた氷厚さのデータを基にプロペラに加えるべき出力の決定を行なう。
3. この軸出力は通常図3.3.2のような形であらかじめ準備された計画に従って決められる。まず、最大出力で加速し一定船速に達したら第1段の出力レベルに相当する定速度運転に入る。始動を最大出力で行なうのは、実験コースを加速の為に多く使ってしまうのを防ぐ為である。一定出力による一定速度運転で計測に必要な距離は船の全長の2倍程度である。この距離を進んだらまた、次の出力レベルに加速する訳であるが、この加速に船の全長の約3倍の距離が必要となる。ここでまた船の全長の2倍の距離の定速運転を行ない、このシーケンスを氷の状態が許す限り繰返して実験を行なう。この場合氷の厚さ観測チームが見えなくならぬよう注意が必要である。
4. 連続砕氷テストの最終段階では図3.3.3に示すように船の進路に沿って200～250フィートの間隔で氷の厚さを計測する。必要な全ての気象観測データが収集された最後に船首の方向を記録し、その後氷の厚さ観測チームや計測設備を収容する。

氷丘脈（Pressure ridges）でのチャージング及び船首引抜時の抵抗計測テストは大略次のようにして行なわれる。

1. 船は計測装置を全て作動状態にして一定厚さの平坦氷内を進み、氷丘脈へ突入する。船橋に居る実験指揮者は氷丘脈に突入した瞬間に計測室へ信号を送る。船はそのまま氷丘脈を突抜けるか、氷丘脈に突っ込んで停止するかのどちらかとなる。
2. 氷丘脈を突抜けた場合には、その後約 800 フィート前進するまで最大出力による運転を続け、その後停船させ、氷状観測チームにより、氷丘脈の高さ及び幅を計測する。また気象データを観測し写真を撮っておく。
3. 氷丘脈を突抜けなかった場合には、船を後進させ氷丘脈から約 800 フィートの位置で停船させる。ここで氷状観測チームを下船させ、氷丘脈の高さ及び幅の計測と第 1 回のチャージングで突進んだ距離の計測を行ない、突進んだ先端の位置に図 3.3.4 に示すように目印を立てる。

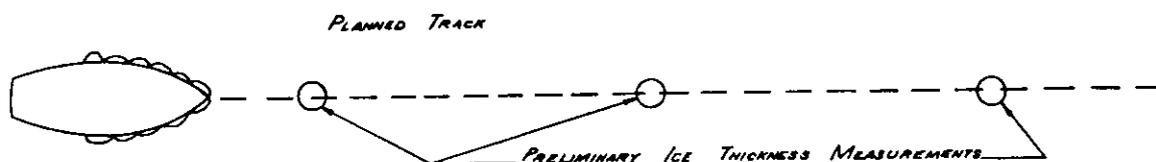


図 3.3.1 Ice Survey Prior to Continuous Icebreaking Test

4. 氷状に関する計測が完了したら、実験指揮者は全ての計測装置の作動を指示した後、前進全速で船を進めさせる。この前進でうまく氷丘脈を通過することが出来たらそのまま全出力で前進を続け氷丘脈から 800 フィートのところで停船させる。もし突抜けることが出来なかった場合には第 2 の目印を立て、突進んだ距離を計測する。船が停止するまで、前進全速の状態を保ち、停船したら、船を引きもどすに必要な最低出力レベルで後進させる。この場合にヒーリングシステムを使うか否かについても決めておく必要がある。この氷からの引きもどしテストの際に舵及び両舷軸の出力レベルを変えることにより船を曲げるテストも行なう。

これらのテストを全て行なうにはテストの内容にもよるが、約 2 カ月の氷海中の航海と 5 ~ 15 人の実験要員が必要となる。この日数は、特定のテストを繰返して行なうに必要な時間や、氷の状態が適当である場所を見つけるに必要な時間も含まれている。

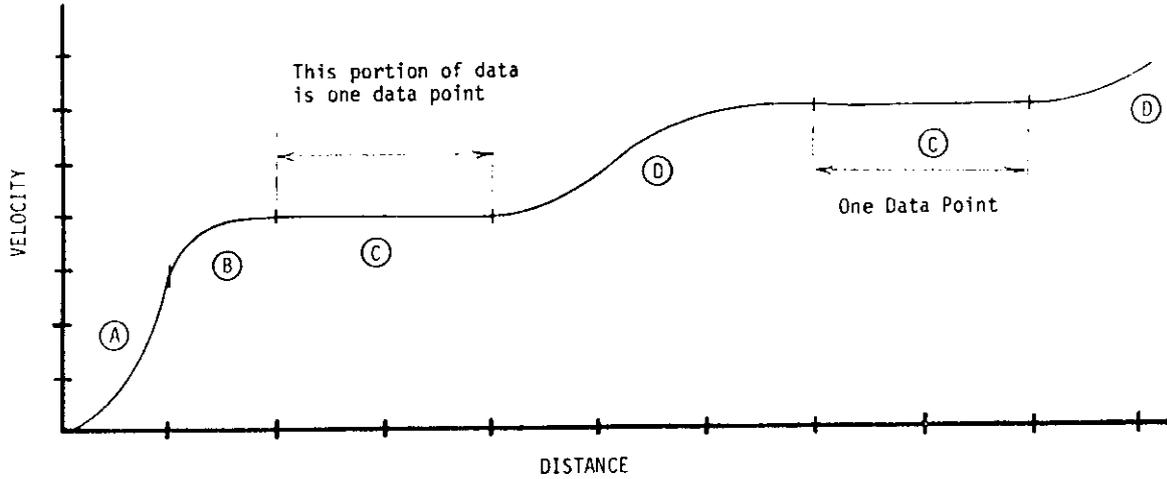
適当なテスト地点が見つけれられてから、最も時間を要するものは氷に関するデータを収集することである為、観測チームは能率的に作業が行なえるように人選をする必要がある。

船上でデータ整理や解析を行なえれば、理論値や予測値と比較することが出来、計測装置がうまく作動しているか否かのチェックが行なえる。しかしながらデータ収集に時間がかかるため、データ整理の為の時間は、ほんの僅かしか無い。従って大部分のデータはテスト終了後整理解析されることになる。

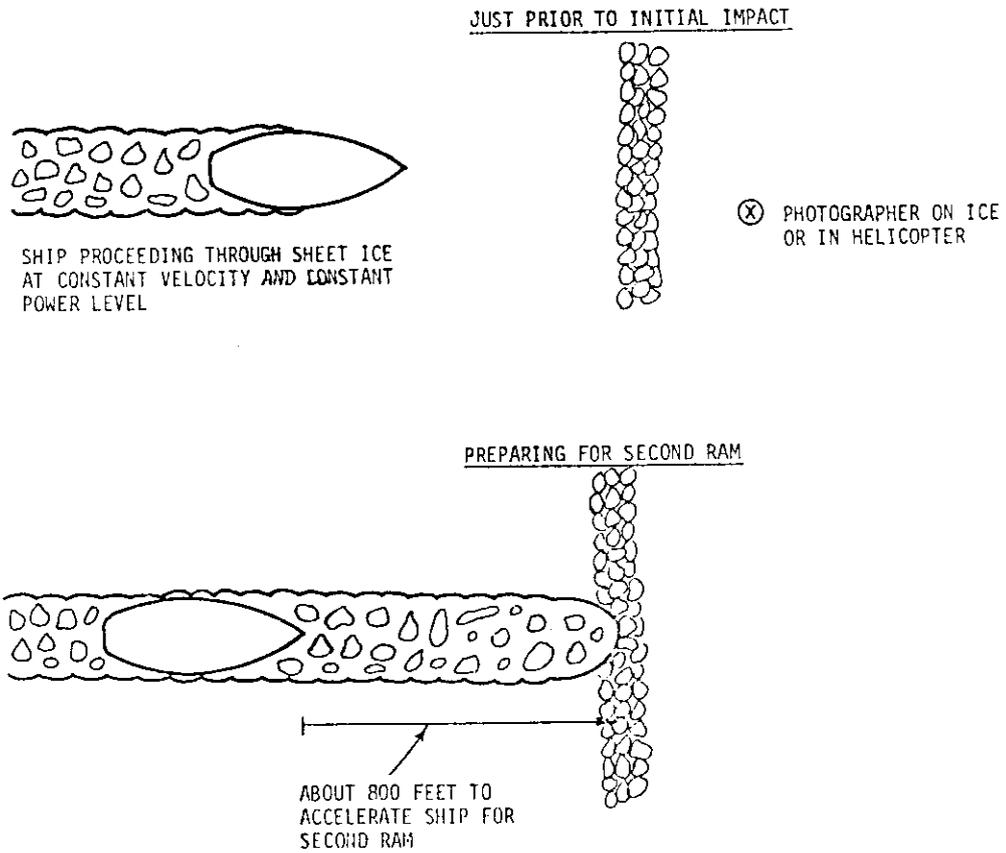
平坦氷についての Lewis 及び Edwards の文献 [ 3.13 ] に示された砕氷抵抗の実験式を導くには Linear multiple regression analysis は貴重なテクニックである。

過去における実船テストについては、米国の始め、ソ連、フィンランド、カナダ等の文献で紹介されている。これらの大部分の文献ではそれぞれの実験式が導かれているが、氷の抵抗や船体強度に関する一般式ははまだ出来ていない。実船実験によるデータの集積とたゆまない模型試験などの努力が砕氷技術の進歩に必要なことであろう。

- (A) Full power applied to accelerate
- (B) Power level reduced to give constant velocity
- (C) Steady state power level and velocity
- (D) Increase power level to achieve new velocity



3.3.2 Typical Shaft Horsepower Settings During Continuous Icebreaking Tests



3.3.3 Ramming a Pressure Ridge

## 4. 氷海用船舶設計上の考慮事項

### 4.1 砕氷船設計の系統的な手法

砕氷船の設計に際して特に考慮しなくてはならない事項には、通常の船舶と異なった船体構造や、出力上の要求事項、補助システムなどが含まれる。この章では設計方法とシステムの選定法（船体のディメンション、基本的性能などの決定方法、更に構造上の要求や構造の選定について）の概要を検討している。船体形状が決まると、推進形式、プロペラ数、動力伝達と軸馬力などが決定されなければならない。氷の中での船の抵抗を減じたり、あるいはその船本来の目的のために用いられる補助システムについても検討する必要がある。

#### 4.1.1 概論

船の設計には基本設計、見積設計、詳細設計があるのが普通である。設計条件にかなり最適設計を得るためにこれらのステップがくり返される。この段階は図 4.1.1 のデザインスパイラルという形でしばしば表示される。

設計対象は設計パラメータを用いて次の様に明確に表示すべきである。

$$f = f(\text{船の設計変数})$$

ここで  $f$  は最小又は最大にすべき関数で、設計条件下における、メリットの大きさに依存するものである。

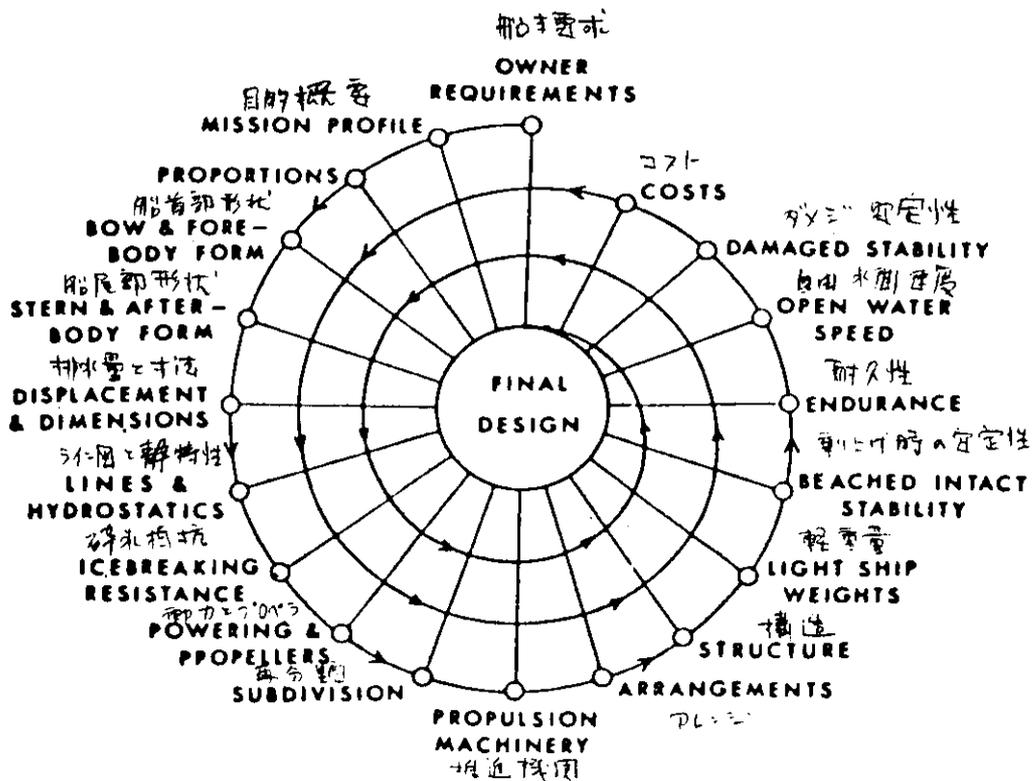


図 4.1.1 Icebreaking Ship Design Spiral

設計条件は次のように表わされる。

$$d_i = d_i(\text{船の設計変数})$$

$d_i$  は  $i$  番目の設計条件である。商船に対する目的関数としては投資回収を最大にしたり、輸送コストを最小にすることとなる。砕氷船の設計においても、その関数によって、限られた予算内で最大の利益を上げるように、あるいは利益がどれ位か推定できないような時にはコスト効果を最大にするように設計する。代表的な設計条件としては、運航

上の制限，海事規則，造船所の慣例などがある。これらの条件を満足させる，設計のアプローチ法が氷海商船と砕氷船についてそれぞれ図 4.1.2，4.1.3 に示されている。利益の大きさは，コンピュータに組み込まれており，最適設計の選定に用いられている。この目的のために用いる代表的なテクニックについては参考文献 4.1 と 4.2 に示されている。

#### 4.1.2 船主要求事項

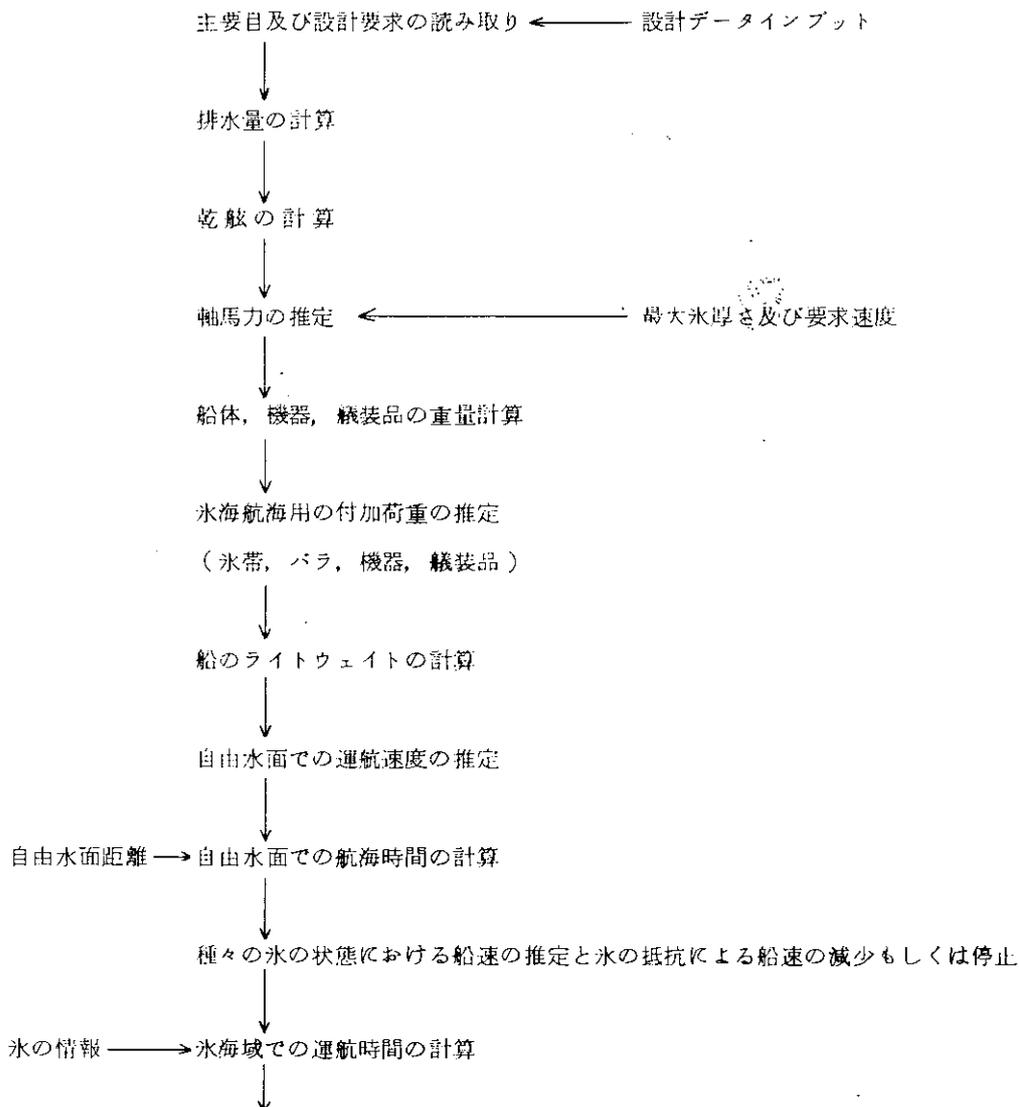
設計は先ず，船主の出した要求によって開始される。この要求は，氷海商船と，政府などにより運航されている砕氷船とは全く異ったものとなる。これらの要求を具体化するために決定するアイテムの例が表 4.1.1 と 4.1.2 に示してある。この段階で要求項目が決定されると，これは設計を進める上での基本条件として扱われる。航路の環境条件も良く調査すべきで，特に氷の状態は，砕氷能力や航続距離を船主要求に見合ったものにする上で重要な意味を持つ。

メイン インプット パラメータ

- \* 船種の候補選定
- \* 航路の選定
- \* 運航戦略

ルーチン インプット パラメータ

- \* 財務データ（利率，補助金等）
- \* コストデータ（運航，建造コスト）
- \* 設計データ（主要目と性能）
- \* 氷の情報



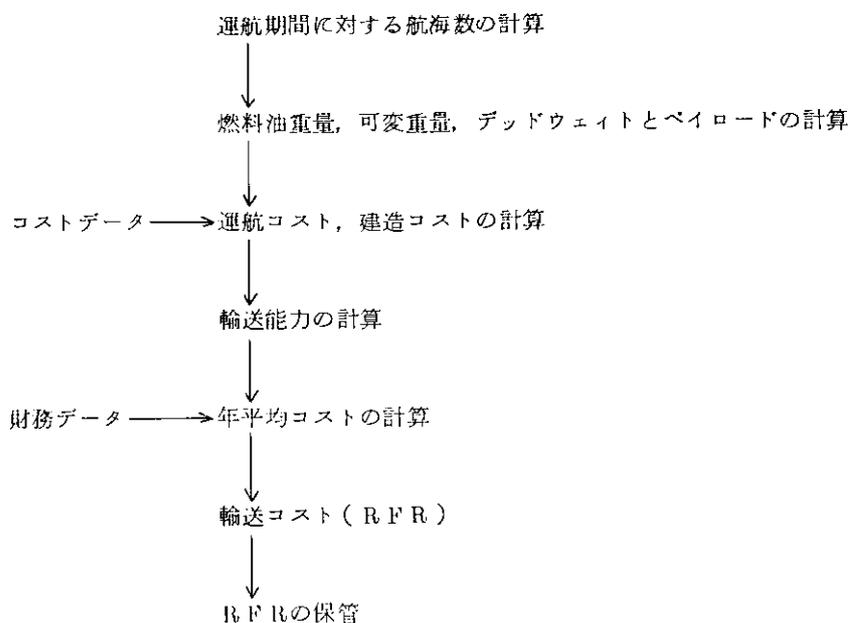


図 4.1.2 砕氷船設計フローチャート

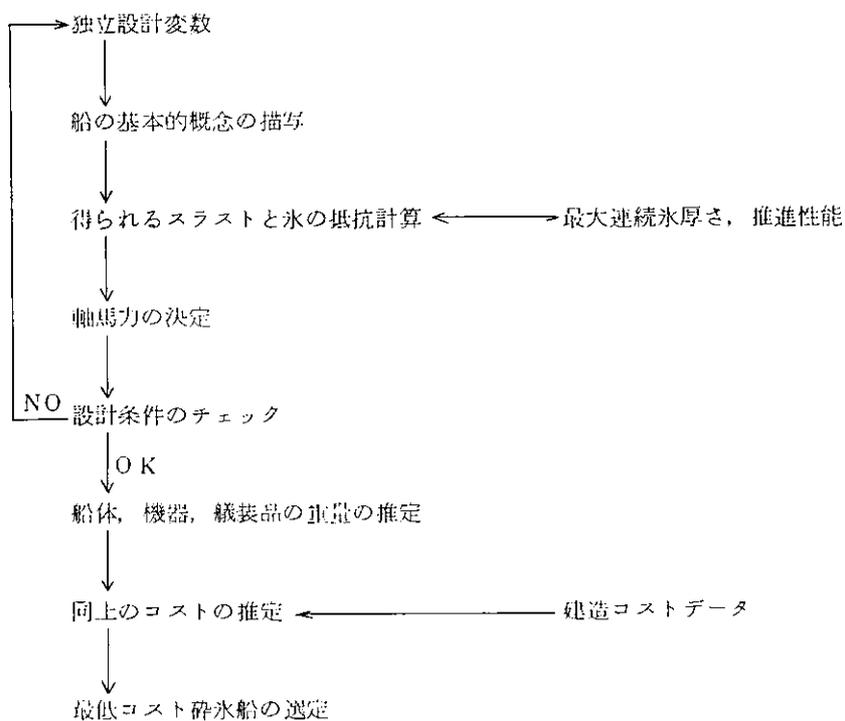


図 4.1.3 砕氷船設計モデル

表 4.1.1 砕氷商船に関する船主要求

要求	設計との関連
1. 輸送カーゴのタイプ	船種, タンカー, バルクキャリア, 貨物容量
2. 貯蔵要因	貨物容量
3. 航路	水の状態, 航続距離, 燃料容量, 航海上の制限事項
4. 入手カーゴ予想量	隻数, 船体の大きさ, 排水量
5. 財務要求事項, 投資回収率, 償却	利益の大きさ
6. 乗組員数	デッキハウスアレンジ, 自動化の度合
7. 推進方式	エンジンの選定

- |            |            |
|------------|------------|
| 8. 適用船級    | 船体部材寸法     |
| 9. 居住区及び倉庫 | デッキハウスアレンジ |

表 4.1.2 基本的要求事項と設計との関連

要求事項	設計との関連
1. 氷海域商業輸送の開発と支援	氷の状態, 航行支援のための開水路の最小幅
2. 遠隔地の基地に対する物資輸送の支援	氷の状態, 荷役装置, 航行支援のための開水路の最小幅
3. 氷海域での経済開発を支援するための科学調査	氷の状態, 研究室, ローリング防止システム, 面積, 体積, 排水量, 補助動力
4. 航続距離	推進機関の配置型式, 船型
5. カargo容量	面積, 体積, 排水量
6. 通常海域における船速 氷海域における船速	船型, 大きさ, 軸馬力
7. 要求航路	海象条件, 氷の状態
8. ポート, ヘリコプター	面積, 体積, 排水量
9. 居住区, 倉庫	同 上

氷のデータは次のものを含むべきである。

- 氷のタイプ(砕かれている状態, シート状態等)
- 氷の密接度
- 氷の機械的性質(圧縮, 曲げ強度, ヤング率)
- 氷丘脈の分布
- 氷原の内部圧力
- 積雪量

燃料コスト, 乗組員コスト, 造船所の工費などの運航コストと材料コストもコンピュータモデル開発に必要なもので, 設計条件を設定するベースとして用いられるべきである。

#### 4.1.3 設計上の変数

設計変数は各々が独立であるように注意して選定すべきである。これらの変数から各種の船体形状係数や実験式を用いる事により, 船体の基本的な形状特性を表現する事になる。代表的な変数として次のものがある。

- 水線上長さ L
  - 最大幅 B
  - 最大吃水 H
  - 方形係数  $C_B$
  - 軸馬力 SHP
  - 船速 V
- 次の変数も選定される
- 長さ/船幅比 L/B
  - 船幅/吃水比 B/H
  - 排水量  $\Delta$
  - 方形係数  $C_B$

・柱形係数  $C_P$

これらの変数の関係や主要目は次の式で与えられる。

$$B = \frac{3.5(B/H)\Delta}{(L/B)C_B}$$

$$H = B / (B/H)$$

$$L = B(L/B)$$

#### 4.1.4 設計上の制約事項

設計条件は多くのファクターを考慮しなければならない。船の長さはドックの長さあるいは、荷役ふ頭の長さによって制限されるであろう。砕氷船幅もそのつくろうとする海路幅より広くなければならない。氷海商船についてもその幅は水門や運河の大きさによって限定される。吃水の制限は浅瀬の通航から決まろう。フリーボードは安全な通航のために所轄官庁の規定によって限定されている。例えば五大湖の船に関して、米国コーストガードは冬期にはある一定の値のフリーボードを要求している。更に船体の大きさは、建造上の制限によって限定される。砕氷船は又氷のない海域でも有用かつ安定であるべきである。

又、復原性の観点からある値以上のGM値を確保すべきであり、又氷上に乗り上げた時の安定性については特に注意して検討されねばならない。砕氷船の設計では、連続的に砕氷するモードと、衝突させるモードの両面を考えた上で最低の軸馬力と排水量を決める。氷海商船ではその最低軸馬力は所轄官庁の法規で規定されている。もし氷海域クラスの船を船主が要求したときには、冬期における船級協会の規定やカナダ北極汚染防止法(CAPPR)に注意を払うべきである。これらのルールについては次節でふれる。

#### 4.1.5 氷海用船級規則

世界中でいくつかの船級協会が氷海域での通航に関する規定を設けている。その中には、Norske Veritas, Lloyd's Register, Germanische Lloyd それにABSがあるが、いずれも、この種のルールとして最初のルールであるSwedish-Finnish Winter Navigation Boardに基本的に準じている。このルールの骨子は最低出力、船体の強度それに推進に対する要求である。アイスクラスの区分けについては各船級協会によって異なっているが、所要出力に対する要求については大きな差は無い。代表的なアイスクラスの区分けを表4.1.3に示す。船主はこのアイスクラスから1つを選定する。というのは、このクラスによって保険料が決まるからである。ここでは、最低出力の要求について検討されている。ABSでは最低軸馬力を次のように規定している。

クラス IAA

$$SHP = 0.40\Delta + 1500 \quad \text{但し } 25000 \text{ shp をこえる必要なし。}$$

クラス IA

$$SHP = 0.35\Delta + 1000 \quad \text{但し } 22000 \text{ shp をこえない}$$

但し $\Delta$ は排水量

表 4.1.3 砕氷船の分類

A. カナダ北極汚染防止法による

北極海に就航する船を次のようなクラスに分類する。

クラス 12 : 平均氷厚 12 フィートまでの多年氷により 100% 覆われた海域を自航する船舶

クラス 10 : 平均氷厚 10 フィートまでの多年氷により 100% 覆われた海域を自航する船舶

クラス 8 : 氷厚 8 フィートの氷による被覆度 100% の氷海面で 70% が一冬氷で 30% が多年氷であるような海域を自航する船舶

クラス 6 : 平均氷厚 6 フィートまでの一冬氷で 100% 覆われた海域を自航する船舶

クラス 4 : 同上, 平均氷厚 4 フィート

クラス 2 : 同上, 平均氷厚 2 フィート

クラス 1A : 同上, 平均氷厚 18 インチ

クラス 1B : 平均氷厚 12 インチまでの一冬氷で 60% 覆われた海域を自航する船舶

クラス 1C : 自由海面を自航するもの

B. ABS による砕氷船の定義

クラス 1AA は極端にきびしい氷海条件下での就航用

クラス 1A はきびしい氷海条件下での就航用

クラス 1B は中程度の氷海条件下での就航用

クラス 1C は軽度の氷海条件下での就航用

クラス 1B では  $shp = 0.30\Delta + 500$  但し 18500 shp はこえる必要なし。

クラス 1C では  $shp = 0.25\Delta$  " 15000 " "

ここで  $\Delta$  = 船の排水量

カナダの北極海に就航する船はカナダ北極汚染防止法にかかっていなければならない。同法によればすべての砕氷船に要求される最小軸馬力は次の式で与えられるものより小さくしてはならない。

$$Pr = (22 - 0.1\Delta)BA$$

ここで  $Pr$  = 要求軸馬力

$B$  = 最大船幅

$A$  = 乗数 (表 4.1.4 に示す)

$\Delta$  = 排水量

この最小軸馬力はプロペラの寸法および数により調整される

$$Pr' = Pr \times \frac{Dr}{D} \quad \text{もし } \frac{Dr}{D} > 1$$

$$Pr' = Pr \quad \text{もし } \frac{Dr}{D} < 1$$

ここで

$$Dr = 4.5 \sqrt{\frac{Pr}{1000 \times Z}}$$

$$D = \text{形状平均プロペラ直径} = \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2}{Z}}$$

$Z$  = プロペラ数

$D_1, D_2, D_3$  = 各プロペラの直径

他のシステムと同様に推進システムに関する詳細な法令要求がある。

表 4.1.4 クラス毎の砕氷船に対する A の値

アークティッククラス	A の 値	
	フィート	メートル
1	1	0.305
1 A	1.5	0.458
2	2	0.610
3	3	0.915
4	4	1.220
6	6	1.830
7	7	2.135
8	8	2.440
10	10	3.050

#### 4.1.6 船体寸法の決定

最適な砕氷船の主要目、すなわち船長、型幅、吃水、型深さ、および方形係数は以下に示す諸検討に基づいて決定されなければならない。まず船長は氷の抵抗に対して、他の要目と比較するとあまり影響がないと考えられる。それに、他の要求がかなっていない場合には、幅の広いものよりもむしろ長さの長い方が望ましい。しかし長い船は通常の船よりも鋼材重量面で劣るのでこの点は考慮されるべきである。その上、旋回性能が悪くなるのでより高度な操縦装置が必要となってくる。船の長さは間接的には船体係数に影響し、 $\eta_2$  の値を大きくし、氷の抵抗を減少させる。又直接的には操縦性能と進路安定性に影響を与える。

一般に砕氷船は氷にとじこめられた商船を救出したり、混雑した港内を動きまわったりする関係で高い操縦性能が必要となり、船長の短い方が有利である。しかし氷海中の開水路の保全に使用される航続距離の長い砕氷船の場合は、船長を長くして進路安定性を増している。

船幅は氷の抵抗を決める主要因のひとつである。氷の抵抗をへらすためにできるだけ幅を小さくすべきである。砕氷船の船幅は通常はそれがつくる水路が商船にとって十分な幅を持つかという判断によって決定される。

吃水は氷の抵抗増加にはほとんど影響しないと思われ、むしろ運航地域の水深によって決定される。吃水決定のもうひとつの条件は、吃水が深ければ大きなプロペラを装備できるということである。大きなプロペラを用いると、小さなプロペラよりも大きな推力を出すことができる。それに吃水が増せばプロペラも深くなり、氷からの保護の役もかねる。砕氷船の深さは、その安全な就航と、要求される船倉の容量とによって決定される。

方形係数は砕氷の効率が低い船形になるように選定される。というのは、船体形状係数は間接的に方形係数に関連しているからである。

望ましい排水量を決めるためには次のような判断がなされるべきである。要求ペイロード以外に航海期間中の十分な燃料や他の補給物資を運べなければならない。排水量は、衝突モードの砕氷性能や氷丘脈での砕氷性能に重要な影響を持つパラメータであり、これらの要求にかなりよう選定されるべきである。

#### 4.1.7 船首及び船体前部形状

##### a) 船首設計

砕氷する時に船首付近の氷には半径方向クラックと周方向クラックの2種類が生ずる。半径方向クラックは通常、船首によって生じ、又円周方向クラックは水線のまわりに発生する。半径方向クラックを発生させる力を増加させる

ために、ステム角を小さくして力の下方成分を増すべきである。ホワイトはこの最適なステム角を解明し、16～17度の角度をもつ船首部の形状を開発した。最適角度を決めるために、衝突モードでの後退時の難易も考慮すべきだし、船首部の後端に垂直部を設け、船体が氷上に乗り上げない対策も必要である。

b) 船体前部設計

水線に沿った船首部形状は、氷の抵抗を決定する上で最も重要な効果をもたらすと信じられている。この部分の設計の要点は、円周方向クラックを引き起す船の推力の向下きの分力を最大にし、船の運動方向の氷の抵抗の水平成分を最小にすることである。氷の抵抗に対する船型の効果を知る為の方法として、Kastalyanは前出の船体係数 $\mu_0$ と $\eta_2$ を用いた。砕氷係数 $\mu_0$ と氷切断係数 $\eta_2$ は水線部分の船首の型によって決まるもので、参考文献4.3にこれらの値の組み合わせが記述されている。Kastalyanの式によると、氷の抵抗を減ずるためには $\mu_0$ を小さく $\eta_2$ を大きくするとよいそうである。これらの船体係数は、お互に相関があるため、一方への影響を無視して係数を変えることはできない。また、これらの係数は船体中央部のフレア角度によっても影響される。この角度の代表的な影響についてはドイツ人〔4.4〕によって示された。ソ連の科学者たちは〔4.5〕、船体係数と肥せき係数の関係や、船長と船幅の比などを研究調査した。Malberg〔4.6〕は、砕氷船設計に関する彼のペーパーの中で、局地的な水線面角度とフレア角度が $\mu_0$ と $\mu_2$ の支配的要因となっていて、それぞれ1.4と3.0程度であると述べている。これらの値を得るには、F. P. での水線面角度が15～18度の間でなければならない。船体中央部のフレア角度は、横づけになっている氷に曲げ破壊を生じさせるのに必要で、氷に取り囲まれた時に、圧縮荷重をやわらげる役目をする。船首と船体中央部の代表的な断面形状を図4.1.4に示す。

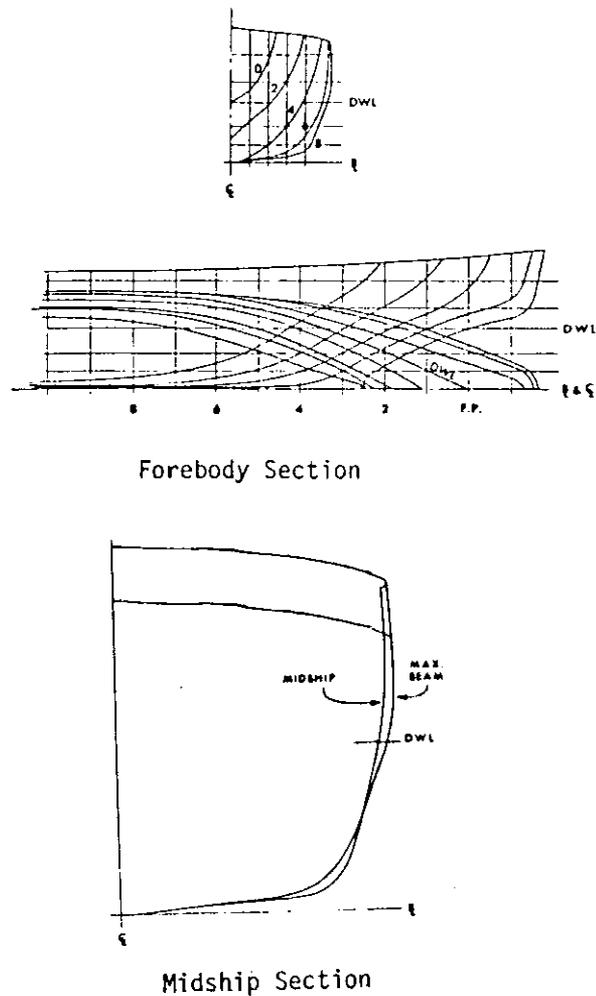


図 4.1.4 Typical Forebody and Midship Sections of an Icebreaking Ship

#### 4.1.8 船尾及び後部船体構造

船体後部の構造を決めるための重要な判断基準は、舵と同様にプロペラ保護のためプロペラへの氷のかみ込みを最小にすることである。これを果すためには、最大船幅以後の水線幅はできるだけせまくすべきで、氷が表面に出るスペースを設けることである。もうひとつの船尾の形状の決定基準となるのは、衝突モードの際の後進である。船尾の形状は前進の場合と同様に後進時も、プロペラや舵を保護する為に氷を容易に追い払うことができるよう設計されるべきである。後進時に舵の上方表面を保護するため、アイスシューが船尾に設けられている。代表的なアイスシューと舵が図4.1.5に示されている。砕氷船や氷海商船用の舵は氷海中でも有効であるべきである。このため、フラップ式の舵よりもセミバランスの舵の方が好ましい。図4.1.6に代表的な後部船体のライン図として極地用砕氷船のものが示されている。

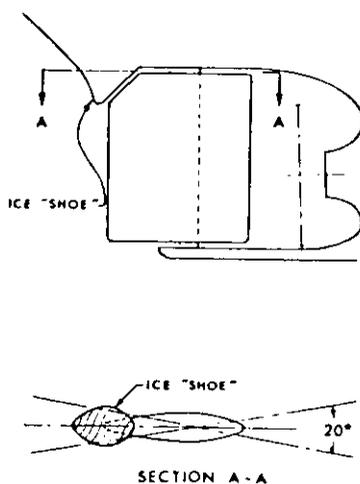


図4.1.5 Ice Shoe for Rudder Protection

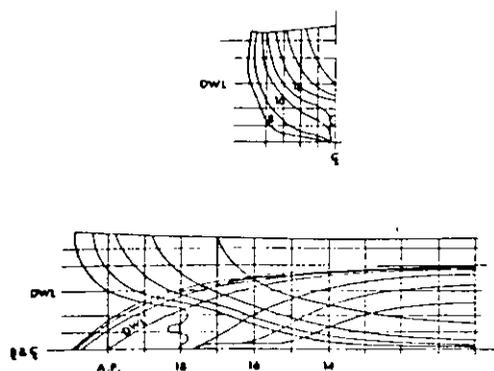


図4.1.6 Typical lines for Afterbody of a Polar Icebreaker

#### 4.1.9 操縦性と進路安定性

操縦性と進路安定性は砕氷船の設計において重要な項目であり、通常船主要求として課せられることもあり得る。砕氷船の支援運航時や、氷海商船が氷丘脈や流氷中を通過する際には高い操縦性が要求される。砕氷船でも厚い氷の中では向きを変えるのは困難であることが知られている。操縦性の目安としての回転半径はしばしば船主によって特定の要求が出される。操縦性を増すために舵表面積は増加されるべきで、舵の位置も水の流れを増進させるように注意深く選択されるべきである。

砕氷船の船体にも同じルールが適用される。つまり船の長さとはできるだけ短かくすべきで、固定フィンやスケグの表面は最小にすべきである。水線に沿ったフレアも操縦性能に影響し、砕氷船の回転を容易にさせる。

大型バトロール砕氷船は良好な進路安定性が要求される。船体に関する限り、良好な操縦性と進路安定性が要求の争

点となる所であり、また妥協すべきものでもある。

#### 4.1.1.0 復元力と安定性

砕氷船に対する基本的な要求は、普通の船のそれと変わりはないが、復元性についてはより多くの判断基準が要求される。衝突モードのとき、砕氷船が氷の上に乗り上がった場合、復元性は急速に低下し、危険な状態になる。この状態は、甲板上に氷が存在したり、強風が吹いたりするとますます悪い状態になってしまう。このように乗り上げた時の復元性の計算は文献〔4.6〕に記述されている。最悪の事態となるのは、甲板やデッキハウスに氷が堆積したときで、ほとんどが、凍結する過程で強風が吹き荒した結果できるものである。そのため着氷問題は十分に調査すべき問題である。船の区画割は浸水長さで決る。砕氷船についていえば、区画割係数を決めるに当り2区画の損傷を仮定して文献〔4.6〕に示されている次式による損傷長さ( $L_D$ )をもとに考える。

$$L_D = 0.417 \times L^{0.75} \quad \text{ここで } L \text{ は船長}$$

#### 4.1.1.1 所要出力の推定

設計者は船主の運航要求にかなう軸馬力の決定かもしくは、与えられた軸馬力での船の性能を予想するか、いずれかの問題にぶつかるだろう。公共体からの投資で砕氷船が発注されている場合は軸馬力の決定の問題が主となる。氷海商船を設計する場合は、いろいろな出力レベルでの正確な船の運航性能というものの予測が要求される。砕氷船としての使命を最大に果たし得るように、また砕氷商船の場合は投資回収が最大となるように最適なパワーレベルが決定される。いずれの場合も、ある氷の条件下での船の推力と抵抗が推定されるべきである。船の推力はプロペラとパワープラント性能によって決まる。前の章でも述べたように、船の抵抗については理論的あるいは経験的に予想することができる。理論的に氷の抵抗を予想する方法は最も安価な方法であるが、予想値と実船のデータとは一致せず満足できるものではない。実船のデータとよく一致するモデルテストの結果を基にした予想の式に、船形効果の考え方を導入することにより他の船の抵抗を予想することができる。この方法も最少の労力で行なえる簡単な方法である。Kastelyanが提示した船体形状係数は、抵抗の面で、船型効果を適正なものにするのに使えるが、このアプローチではある限られたケースについてのみ満足することがわかった。純粋の実験方法は、要求された船のモデルをモデル氷海中で曳航し、氷の抵抗を測定するものである。モデルテスト方法が抵抗を予想する場合、最も満足の行く方法であることが立証されたが、この方法はモデルを製作したり、相似な氷の状態で実験する必要がある。船の抵抗を推定する方法の詳細については前章で述べている。

## 4.2 船体構造の選択に関する設計上の考察

### 4.2.1 概論

氷海船の船体構造は厳しい環境に出会う。構造に作用する荷重の厳しさの度合は、まさに環境の厳しさと同視できる。この度合がわかれば船体にかかる氷荷重の分布は幾つかのモデルから決定でき、氷との接触に耐える様設計される必要があるアイスベルトの部分も又決定される。次に船級協会の規則や政府の法令を調べ、船の建造に際してどの船級協会を選択するかを決める。この規則に従って、船殻材料を選択し、さらに、船の耐用年数に基づくコーティング方法や、許容腐食代も決めていく。次に、肋骨方式の概略型式を決定し、アイスベルトを設計する。又通常船の設計基準のような他の構造上の要求もチェックする。最後に、構造部材とブラケットの接続についての詳細を注意深く調べる。

### 4.2.2 航行海域の決定

船主の要求で決定する為、初期に行われるmission studyの結果として、計画使用環境についての幾つかの情報はずでわかっている。船体に対する氷の設計荷重のもとになる環境は、必ずしも最大氷厚とはならない。というのは荷重は氷自身の特性のみならず、船と氷との接触速度の関数であるからでもある。

氷荷重のモデルとしては、それ故次の事が要求される。氷厚、氷原の大きさ、氷の曲げ強度、軸圧縮強度、塩分度、そして、氷の温度である。氷の機械的特性についての情報は、政府刊行の様々な図や表から直接得られる。

図 4.2.1 は、St. Lawrence 湾の航路の氷量 (amount of coverage) を、種々の氷に対して、年間の時間の関数として示したものである [ 4.7 ]。この図の作成の原情報は、カナダ政府によって発行された図表より得たものである。衛星写真は、船が通航する領域の氷の状態がどうなるかを予測するのに、時には有用である。もし、以前その地域で船が通航されたことがあれば、その航路に沿った各港の局地的データがあるかも知れない。もし、氷の特性が直接得られないならば、積算寒度の総数 (total number of degree days) あるいはモデルを使った平均気温のようなデータから計算される。図 4.2.2 は、Quebec 市と、Cabot 海峡間の全冬期間での積算寒度の等高線を示す St. Lawrence 川の海図である [ 4.7 ]。このような情報は、月々をベースとした表にでき、それから海図に変換できる。図 4.2.3 は、アラスカ北岸の氷厚のプロフィールである。海水の曲げ強度は、Wecks と Assur の式から合理的に求められる。 [ 4.8 ]

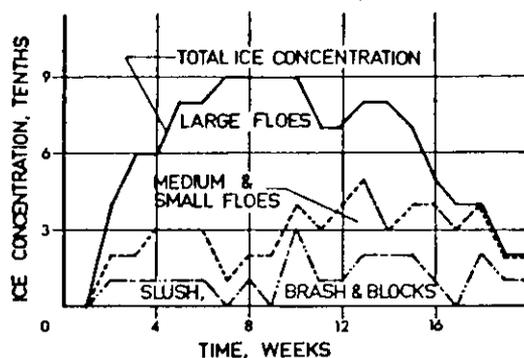


図 4.2.1 Gulf of St. Lawrence after December 1, Average Ice Condition

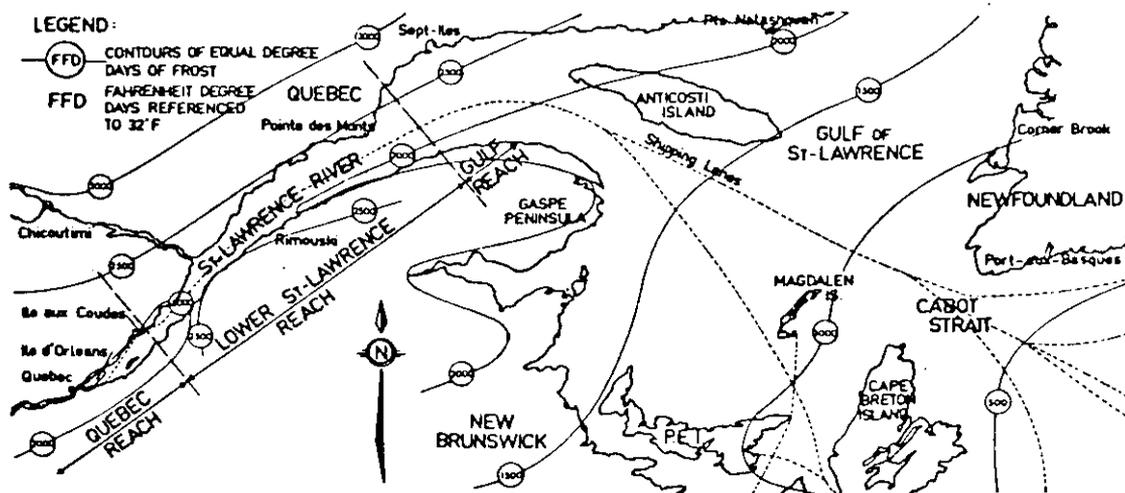


図 4.2.2 Reaches of the St. Lawrence Estuary with Similar Ice Conditions and Contours of Mean Annual Degree Days of Frost

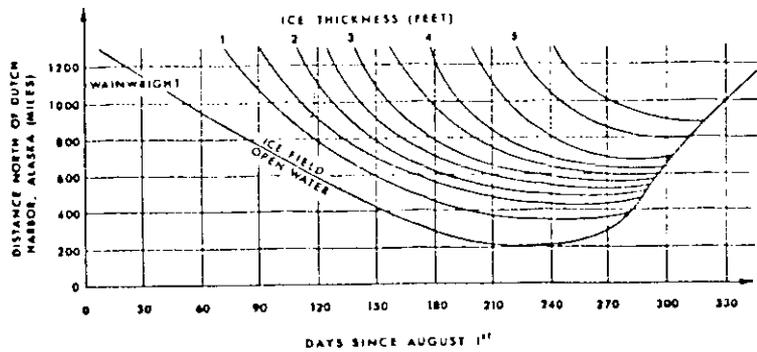


図 4.2.3 Estimated Annual Ice Profile (Severe Year) of the Type Needed for Construction Voyage Profiles Between Dutch Harbor and Wainwright, Alaska

$$\sigma_f = 1.422 \times 7.5 \left[ 1 - \sqrt{\frac{v}{.202}} \right] \text{ psi}$$

•  $v > 0.11$  の場合

$$\sigma_f = 1.427 \times 2 \text{ psi}$$

•  $v \leq 0.11$  の場合

$$v = \frac{S}{10^3} \left[ -\frac{49.185}{T_i} + 0.532 \right]$$

$s$  = 千分率

$T_i$  = 氷の温度 (°C)

$v$  = 氷の全体積に占めるブライン量の絶対比率

圧壊強度はあまり知られていないが、表 4.2.1 に示されているデータから外挿することができる。

表 4.2.1 圧壊強度

温度 F °C	ブライン量 (千分率)	平均強度 psi (kg/cm <sup>2</sup> )	強度の標準偏差 psi (kg/cm <sup>2</sup> )
23° - 5°	5.1	363 (25.5)	54 (3.8)
8.6° - 13°	2.1	640 (45.0)	43 (3.0)

氷の機械的特性に関する情報は絶えず最新のものであるべきであり、どんな新しい船の設計に着手するにも、前もって注意深くチェックすべきである。

#### 4.2.3 氷荷重の決定

様々な状態で、船の様々な部分に作用するかもしれない氷荷重のタイプとして、3つが一般的に考えられる。

第1のタイプは、包囲荷重 (beset load) である。この荷重は、図 4.2.4 に図示してあるが、連続的な性質を示している。このタイプの荷重は、船が氷海中に立往生し、風や潮流力によって氷板中に内部圧力が引き起される時存在する。氷は、全氷線に沿い、破壊され、全深さにわたり荷重が一樣になり、破壊する、氷海船の中央断面において、フレアに関する要求が出されるのは、このタイプの荷重の為である。ソ連のテストでは、氷板の前部をバラバラに破砕するには、船体と直角に、一樣な圧壊を引き起すより、むしろ 8° 以上のフレア角をもたせてやれば十分であるという結論を出している。この場合、荷重は、ice beam の単純静的荷重を使って計算される。船側の角度が 8° 以下の場合、氷は板厚によって、座屈か圧壊を起す。それ故、設計荷重としては、氷の座屈強度と圧壊強度のうち小さい値を使うべきである。

第2のタイプの荷重は、氷原の中をチャージングしたり、あるいは連続的に前進している際、出会う衝撃荷重である。最大荷重は、おそらく図 4.2.5 に示すチャージングの時に起るだろう。この場合、氷板や氷原の一部を破壊し、充分接触面が大きくなる様、氷板の前部が圧壊する。最も厳しいタイプであるチャージング時の衝撃荷重は、船が水路の片側にぶつかり、反動で水路を横切り、反対側に不利な角度でぶつかる時起る。船首部は一般に、このチャージングによる衝撃荷重に耐え、塑性変形を起さない様設計されている。現在、この衝撃荷重を決定する最良の方法は、Levine〔4.9〕によって表現されたモデルである。このモデルは、水路の片側からはね返った際の方向の変化を考慮に入れていないが、一方 Popov〔4.10〕により初めて提案されたより理論的なモデルや、Major〔4.7〕により、計算、解析されたモデルは、実船試験による値を大きく越えるものである。

第3のタイプの荷重は、普通の氷板の中に非常に堅い氷を含んでいる場合に起る。氷に関する単独圧壊試験では、圧壊強度として 1500 psi が示された。このタイプの荷重は海水氷の中に、極めてきめの細かい組織構造をもつ、淡水氷を含むことによって起る。このタイプの氷を ice inclusion といい、そのサイズは一般に 2 Feet<sup>3</sup>以下と考えられる。この第3のタイプの荷重は、塑性設計に使われる。この際、船体の塑性変形が通常の工作誤差より小さくなる様設計される。船尾も衝撃荷重に対して設計されるだろう。しかし、これは砕氷船が破砕氷の水路をバックしたり、次のチャージングに備える際の速度によってのみ起るものである。薄氷の状態では、破砕氷路での衝撃に関する Levine の式が、この荷重を推定する最良の方法である〔4.19〕。

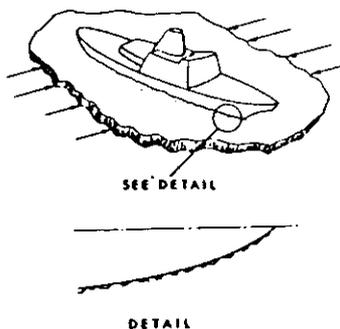


図 4.2.4

An Icebreaker Beset in Ice Showing Uniform Load Distribution

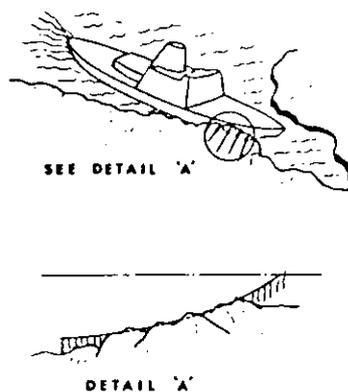


図 4.2.5

An Icebreaker in the Ramming-Mode Icebreaking Conditions Showing Impact Loading

#### 4.2.4 アイスベルト領域の選択

アイスベルト領域とは、前章で決った氷荷重に耐える様設計されねばならない船殻の一部のことである。船の重量やコストを減少させる為、バラストシステムが、この領域を最小にする様設計されることは重要である。アイスベルトは浮氷との接触がアイスベルト内で起る様、最も深い設計水線より十分上まで延長されねばならない。又、いかなる氷荷重領域をも含む様、最も浅い航海吃水線より、十分下まで延長しなければならない。もし、船が船首部で氷に乗り上げる様設計されるならば、アイスベルトを決めるに当り、このトリムラインを考慮に入れねばならない。アイスベルトはプロペラによって船体に押しつけられたり、ぶつかってくる氷のブロックから船尾のプロペラ付近を防護する為、下部まで延長されねばならない。船がヒールシステムを用いる様設計されるならば、アイスベルトによって覆われる領域を決定する際、これも考慮に入れねばならない。図 4.2.6 は、カナダ極地汚染防止法 (Canadian Arctic Pollution Prevention Regulations) に発表されたアイスベルトに関する船体区分を示す。この法令は、アイスベルトとそれ以外の通常船殻間の transition plating についても要求している。

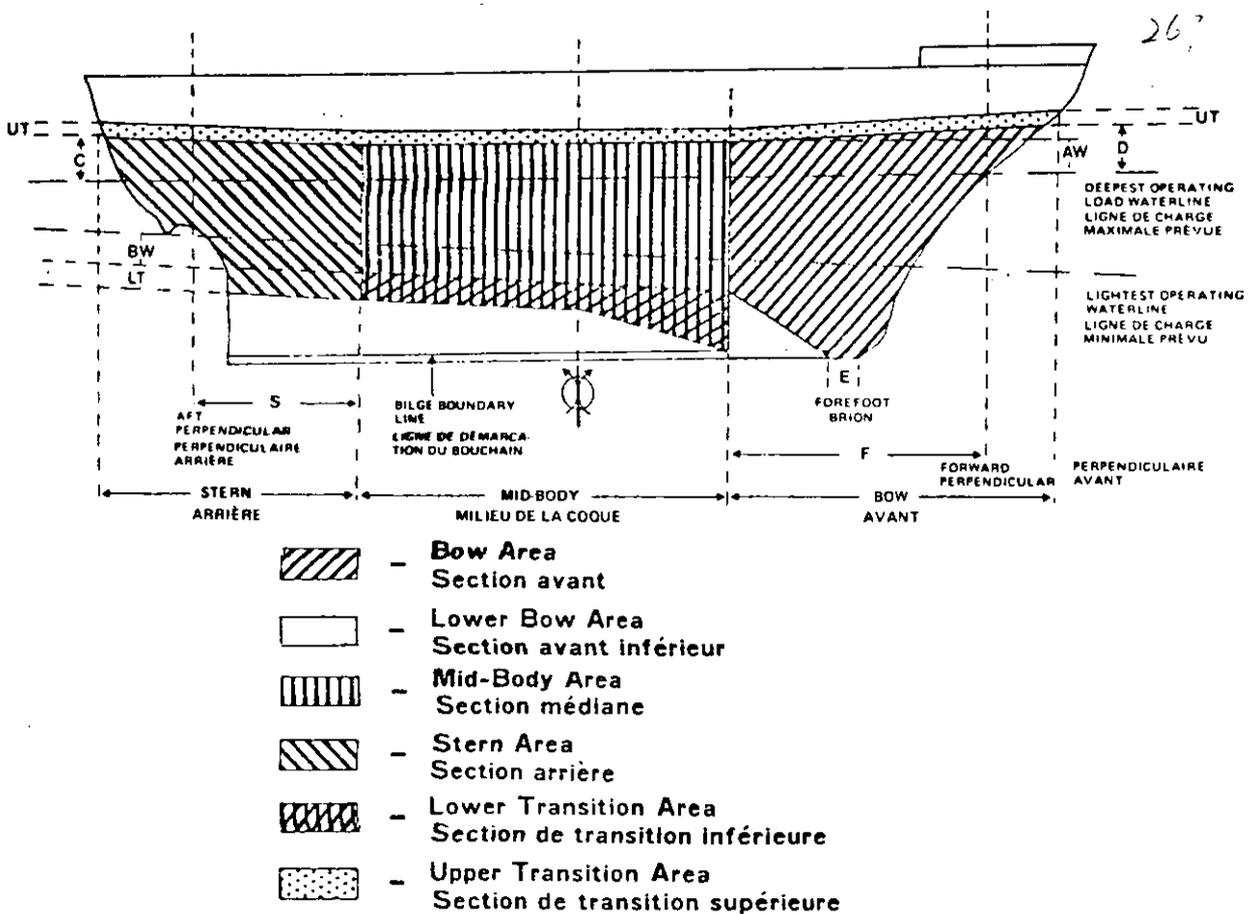


図 4.2.6 Canadian Arctic Pollution Prevention Regulations - Ice Belts

#### 4.2.5 船級協会規則の選択

もし、氷海船が商船ならば、おそらく船級協会規則で設計する必要があるだろう。U.S.及びUSSRの砕氷船は、環境条件の解析によって決定された荷重を用いて理論的見地から設計された。カナダの砕氷船は一般に最高のアイスクラスの船として、Lloyd's Registerに加入されている。

多くの船級協会は今や、B.M.JohanssonのBaltic海の損傷解析に基づいた規則をもっている〔4.11〕。それ故船に適用する船級協会の規則に大差はなく、その選択は便宜上のものである。これらの規則は、最大氷厚800mmに基づいている。そしてこの値は、実際の環境条件がより厳しい場合には、厳密に考慮されるべきである。その他にも利用できるice classに関する規則は、いくつかの船級協会にある。しかし、これらによると、大型船舶は重い船と

なってしまう。これらは又、合理的な背景をもたないが故に、故意でないにしろ、船に損傷を受けるかも知れない。

1972年以来、カナダ極地汚染防止法には、船体に関する追加の要求がある。船がカナダ水域に入る場合、あるいは、Canada極地の島々の付近の国際水域に入る場合、おそらのこの法令に合った設計をする必要があるだろう。この法令は、いかなる場合も、どの船級協会の要求より厳しい。一般に、この法令に合う船は、又いかなる船級協会規則にも適合するだろう。

#### 4.2.6 材料の選択

アルミヤプラスチック構造が現在氷による高い衝撃荷重に耐えない以上、船殻材料には、Steel合金を使用することになる。船殻鋼材の最も重要な特性は、低温靱性である。浮いている船の水線上のアイスベルトの上部は-50℃にもなる気温にさらされる。アイスベルトは、この温度下で船体衝撃を受ける時、脆性破壊を起こしてはならない。Vノッチシャルピーエネルギーあるいは、dynamic tear energyの特定値に関する仕様と、この値を達成し得る温度が、鋼材の仕様に必要である。非常な低温で良い延性と低い切欠感度をもった鋼材は、又、良い疲労特性をもつ傾向にある。大量の溶接が砕氷船船体建造に際して必要であり、しばしば非常に近ずき難い場所にもあるので、工作の容易さも船殻材料の重要な特性である。船殻鋼材が持たねばならない他の特性は、降伏点と引張強度が高いこと、イニシャルコストが低いこと、そして耐食性が良いことである。アイスベルトの板は、最も厳しい特性要求をもち、又肋骨は衝撃荷重下で板を支えねばならないので、板と肋骨は、おそらく、同一鋼材で建造すべきであろう。船体のSheer strakeではアイスベルトでの荷重より小さいだろうが、Sheer strakeの切欠感度は非常に重要である。それ故Sheer strakeは、耐氷肋骨やアイスベルトに使った鋼材と同じもので建造すべきであろう。船の残りの部分は通常船舶に使用するものと同じ鋼材を使って建造できる。

氷海船に異なった鋼材を選択した例を表4.2.2に示す。これは、POLAR STARクラスの砕氷船のものである。この砕氷船では、5種類の鋼材が船体の異なった使用箇所の為選定された。鋼材選択の上で、この特殊船が最も異なる点はアイスベルトの板と肋骨により特殊な材料を使い、残りの部分に標準の造船用鋼材を使うということである。

#### 4.2.7 船体の許容腐食量とコーティング方法の選択

現在の全てのアイスクラスに関する規則は、船の寿命以上に船体の許容腐食量を盛り込んでいる。というのは過去に全ての砕氷船が、最初の氷との接触後短期間でコーティングがはげ落ちたからである。これは又氷海船の真実である。最近、少なくとも1シーズン、氷の摩損に耐える2つのコーティングが発見された。この特殊なコーティングは、共に極めて高価で、許容腐食量を減じると同時に、船の運航を増大せしめる時のみ妥当である。将来、さらに運航シーズンあるいはより長期間、氷の摩損に耐えるようなコーティングの開発が期待されるかも知れない。又、既に開発された2つのコーティングのコストが、使用頻度の増大につれ下がることが期待されるかも知れない。又コーティングのコストが高い為、別の案として、アイスベルトの箇所あるいは水線下船体でなく、アイスベルトの一部さえコーティングすればよいという考え方がある。そして、より安いコーティングを残りの水線下部に使用するという方法もある。氷海船を運航する人達の中には、氷海中航海しない時に、腐食とファウリングを単に止めるような、非常に安い塗装を水線下船体全部に行えばよいという考え方の人もある。この場合コーティングはシーズン中、最初の氷との接触ではげ落ちるだろう。又、別の氷海運航者は、単純に船体没水部には全く塗装を施さないという人もいる。塗装をしないか、安い塗装をするか、又、特殊な耐食性コーティングを用いるかによって、必要な許容腐食量が変わる。表4.2.3は、USCG、POLAR CLASS砕氷船、ソ連の砕氷船、そして、Finnish Board of Navigation rulesにより、現在採用されている許容腐食代である。

#### 4.2.8 肋骨方式の選択

今日の全ての砕氷船は、横肋骨方式である。なぜならば、この方法によると砕氷船特有の湾曲した船底に対し、重量が軽減されるからである。しかし、氷海船が大きくなると、縦肋骨方式が見直されるだろう。特に、油槽船(tank vessel)においていえる。船体の各部分に対して両方の肋骨方式について検討したり、船の端部に横肋骨方式、湾曲

のゆるやかな中央部に縦肋骨方式を用いるようなHybrid systemを検討することもある。従来の肋骨が外板に鋭角をなす船首尾部の肋骨の trippingを減じる為に、多くの砕氷船は外板により垂直に立てた、cant frameを採用している。図 4.2.7は、POLAR STARの初期設計における hybrid framing systemの典型的概念図を示したものである。POLAR STARは船体中央部を縦肋骨方式で描いてあるが、結局、横肋骨方式で建造された。

表 4.2.2 POLAR Class Steel Types

APPLICATION	REQUIRED MATERIAL
Low-temperature	
Shell including Icebelt	CG-A537M
Ice frames	CG-A537M
Other shapes, Fabricated	CG-A537M
Rolled	CG-A537M or ASTM-A537A or ASTM-A537B
Flight Deck	HY-80
Other Weather Decks (Main & O1)	CG-A537M
Internal Structure Adjacent to Shell or Weather Decks (plate) (rolled shapes)	CG-A537M ASTM-A537A or ASTM-A537B
Surrounding Large Deck Openings	HY-80
Interior Structure Not Subject to Low Temperatures	ASTM-A131
Superstructure	ASTM-A131

表 4.2.3 Corrosion Allowance

	Inches	mm.
POLAR STAR	0.25	6.35
Soviet Register	0.16	4.0
Finnish Board of Navigation	0.08	2.0

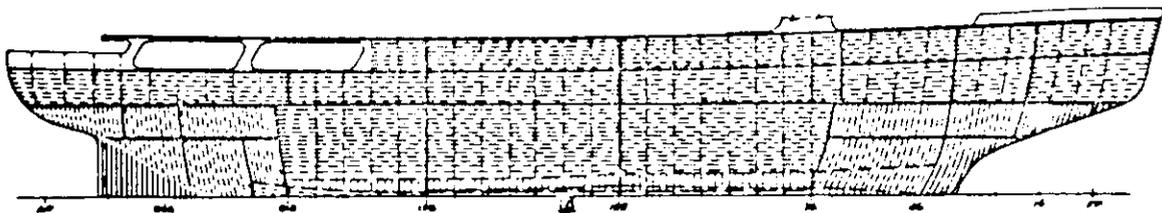


図 4.2.7 Conceptual Logitudinal Framing System with Cant Frames Fore and Aft for POLAR STAR

砕氷船あるいは氷海船の肋骨方式は、メインデッキの1つできれば Complete deck がちょうど最も高い荷重を受けらるであろう計画水線に位置するよう、あるいは、ほんの少し下に位置するよう選択すべきである。

氷海船のデッキは、シアーによって船首に向いデッキ間スペースが増大するよりむしろ、一様であるようそれぞれ平行にすべきである。肋骨方式の選択に影響を与える他の項目として、二重殻に対する要求あるいは燃料油などの油を船体外板からできるだけ離しておきたいという要求である。

#### 4.2.9 アイスベルトの設計方法

過去、幾つかの船に使われたトラス方式の構造のかわりに、格子構造をアイスベルトに使わねばならない。トラスがオーバーロードを受ける時には、トラスの崩壊に続いて、ジョイントで設計曲げモーメントを越え、大変形の進展性破壊を起すかも知れない。

格子構造が降伏する時、終局の破壊が起る以前に、大きな塑性変形をする。しかし、肋骨心距は、Ice sheet に非

常に強い氷を含んでいるときの高い局部衝撃荷重に耐えるよう小さくとらねばならない。

前もって決定された氷荷重に耐える部材の寸法を決定するのに使用できる幾つかのアプローチがある。構造重量を軽減する為、以前の設計者は一般に、幾分塑性変形が起させることを考慮してきた。事実、今日の大半の氷に関する船級協会の規則は、特に高強度の氷を含んだ氷による高い局部衝撃荷重の為に塑性変形が起ることを予期している。材料の降伏点を用いた弾性設計は、他の荷重、例えば船体中央部での一様な包囲荷重や、船首尾部での局部衝撃荷重に対して使われるべきである。以前の経験によって、次のことが示された。すなわち、構造物が通常の衝撃荷重に耐える弾性設計をされた時、高強度の氷を含有する氷に対しては通常、溶接時にみられる変形より小さな変形を起すだろう。

#### 4.2.1.0 その他の構造に関する要求のチェック

中央断面の寸法のうち、以上の事から決まらない残りの部分については、通常の船舶設計のアプローチを使って設計すべきである。アイスベルト部分から、通常の船体部に移る箇所では、高い局部集中応力が生じない様にゆるやかに部材寸法を変化させるべきである。

船体については、船が波に遭遇するとき生じるいかなる高い静荷重にも耐えるようチェックすべきである。船首外板は、スラミング荷重の予測値に耐えるようチェックすべきである。船のいかなる機器も船体に強制振動を起させないよう振動解析をすべきである。プロペラのブレードの周波数は、しばしば縦振動を引き起すので、この船体との共振点を注意深くチェックすべきである。氷海船にかかる荷重のうち、通常的气候ではみられない大きな荷重は、非常に寒い大気と、相対的に暖かい海水によって起る。大気と海水との温度差は50℃に達することもある。POLAR STARの外板設計において、この応力の解析の結果、熱応力は850 kg/cm<sup>2</sup>にも達することが示された。

#### 4.2.1.1 詳細設計

氷海船が色々な荷重条件の下で、塑性変形を許す様設計されるとき、實際上、構造の不安定さに大きな注意を払うことが要求される。tripping bracketは、耐氷肋骨(ice frame)を形成する大きな部材に関しては、約1mの非常に短い間隔で取付けねばならない。又、隔壁と甲板を通る全ての構造部材の連続性にも大きな注意を払う必要がある。構造用コンピュータープログラムや有限要素プログラムは、構造部材間の結合点での剪断と曲げ荷重の値を決定するのに使ってよい。図4.2.8は、2つの構造部材の結合点での典型的補強材を示す。この特殊な結合点補強材は、組立縦通材のカットアウトに関して、American Bureau of Shippingで開発されたものである。クラックは、カットアウトのラウンドコーナーと、カットアウトと外板の結合点で生ずることがわかった。開口部のカットアウト側に補強材を付加することによって、クラックを生ずるような高応力の領域を消すことができた。隔壁の防撓材と縦通材とを結合点でブラケットにより補強すると、この縦通材の基底部に沿ったクラックが同様になくなった。船首は、ice sheetや浮氷と最初に接触するので、この部分の設計には特に注意を払わねばならない。船首の外形線は滑らかであらねばならない。

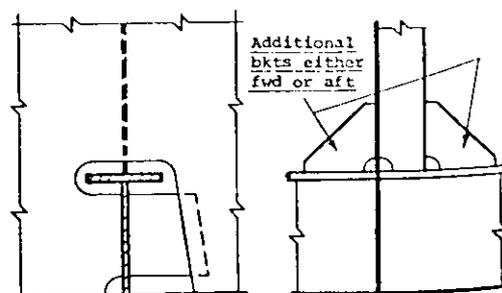


図4.2.8 Typical Reinforcement of Cutout for Build-up Longitudinal

もし、船首止め (bow stop) が、船首部材と一体にされるならば、これは他の船首部材に使われる荷重より、幾分高い値に対して設計すべきである。というのは、船首止め (bow stop) は、しばしば氷の圧壊荷重を直接受けると考えられるからである。過去に、砕氷船の船首上部を船首止め (bow stop) の重い鑄造部材と結合する為、中実の round-stock が使われた。

### 4.3 推進機関

#### 4.3.1 概論

砕氷船の推進機関の選定に当っては、その船がどのような用途に使われるかを良く考える必要がある。砕氷船ということだけで、共通した推進プラントに対する要求事項もあるが、このような一般論だけで搭載すべきプラントを決めることは好ましくない。各船の用途により要求される数多くの要素を細かく検討する必要がある、この章では、考えなくてはならない各要素や、推進機関選択の概略の考え方について述べる。

#### 4.3.2 出力使用状態

船の一生を通じての役割を注意深く検討し、それぞれの出力領域でどの程度の時間推進機関が使われるかを考えると、種々な推進方式について、船の一生を通じての経済性評価を行なうことが出来、また主機を何台にするか、それらの主機が全負荷および部分負荷でどの程度の時間運転されるか、必要な航続距離はいくらか、燃料消費はどの程度となるか等が決められる。米国で新造される砕氷船の出力使用状態を文献 4.6 から引用して図 4.3.1 に示す。

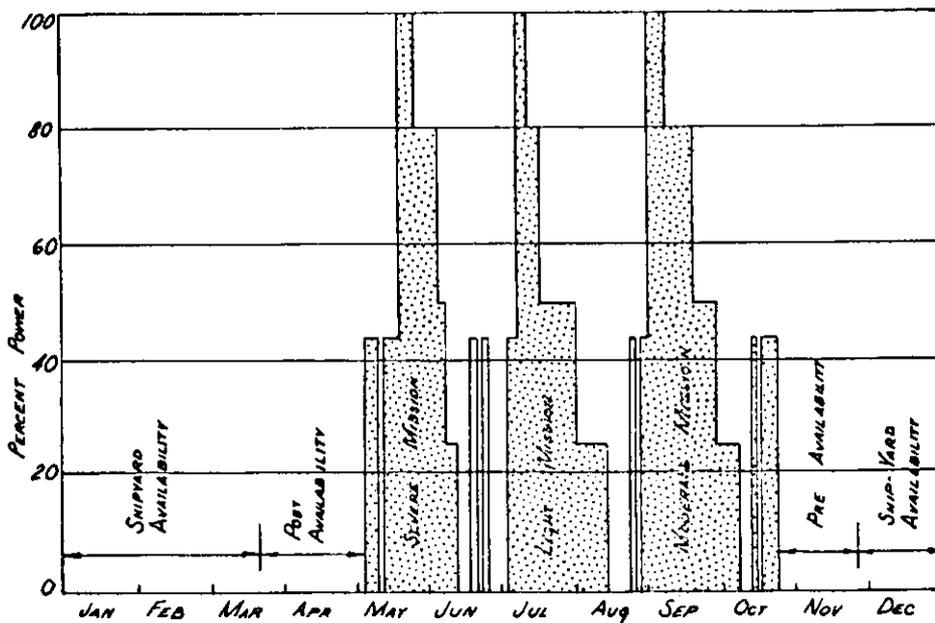


図 4.3.1 Typical Power Profile for American Icebreakers

#### 4.3.3 推進プラントに要求される事項

砕氷船の計画に当っては、推進プラントに要求される事項や仕様のリストを作成する必要がある。これら要求事項のうちあるものは、砕氷船として一般的なものであろうが、計画される船独自の用途から生ずる項目も含まれる筈である。砕氷船として一般的に要求される事項としては以下のものが考えられる。

- 1) 巡航時、軸回転数からその 50% 回転数の範囲で自動的に一定軸出力を出せるようにすること。
- 2) 軸停止状態で、主機を定格回転で運転したまま、少なくとも 30 秒間、巡航時に要するトルクの 250% のトルクを出し得ること。
- 3) 前進全速から後進全速への切換が 10 秒以内に行なえること、また 1 回ずつの時間に制限無しに一時間に少なくとも 30 回はこのような切換が可能であること。

- 4) 前進巡航速度から後進10ノットの速度までの状態で後進方向に全出力をかけ得ること。
- 5) プロペラ軸は、プロペラ翼の50%の深さまで粉々に砕かれた氷につき、巡航船速で船が進んだ場合に受けるトルクに打勝つこと。
- 6) プロペラ翼は上部25%が砕かれた氷におおわれた場合に受ける曲げの力に耐え得ること。

#### 4.3.4 推進プラント計画と配置

各船に適した推進システムには、幾つかの代案が考えられよう。これには主機、動力伝達系、プロペラ等の型式や製造メーカーの代案などが考えられる。これら各々の代案について配置図を作成し、必要なスペースの比較検討も行なわねばならない。

#### 4.3.5 機器の信頼性、保守性および入手の容易さ

考えている機器が造船所の建造工程に見合ったタイミングで入手出来るか、その機器の信頼性は十分にあるのか、などに関する情報は慎重に検討する必要がある。砕氷船は、只1隻だけで他船の近づかない海域で長時間運航する機会が多いので、機器の信頼性は非常に重要な問題である。また、保守性には保守の間隔、必要な設備、労働力等について調べる必要がある。この保守性の良し悪しは船の生涯を通じての経済性評価に大きな影響を与える。

#### 4.3.6 機器の重量および価格

機器の寸法と同時に重量および価格についても比較検討する必要がある。プラントの総重量は航続距離にも影響を与える。また価格は船の経済性に影響を与えることになる。重量の予測については、従来のデータの積重ねによっても行なえるし、文献〔4.6〕にもMelbergによって一つの方法が紹介されている。

#### 4.3.7 推進プラントの制御および乗組員計画

推進プラントの自動化の程度によって、氷海中での性能や信頼性、船価や必要乗組員数が異なって来る。前述の推進プラントの要求事項を考えると、自動化設備は出来る限り単純なシステムが望ましい。機関室を無人化で計画することも可能であるが、砕氷船では砕氷時のプロペラ負荷変動が激しいので、一般には無人運転を行なうことは適切ではない。

#### 4.3.8 推進プラントの評価および選択

最終的な推進プラントの選定は通常、船価等の経済性と性能との兼ね合いとなる。どのような性能をどの程度重視するかは設計者の判断にゆだねられるが、船の用途も当然考えねばならない。

商船の場合では、船の生涯を通じての経済性が最も有利となればまず船主の要求どおりのものとなるが、その砕氷船が大きな船隊の1部となる場合にはシステム全体としての評価が必要となる。

#### 4.3.9 プロペラ軸数および出力配分

最近の砕氷船の傾向としては3軸で、均等出力配分とするものが増えている。3軸船は操縦性能、信頼性および最大出力の大きさの可能性などが向上する。

3軸船の操縦性が向上する理由は、砕氷船は通常1舵の船が多いが、中央のプロペラが舵にまともに水流を与えるためである。最近建造されたスウェーデンの砕氷船では、従来の慣習を破って2軸2舵が採用されている。砕氷船は低速で高い操縦性能が要求されることを考えれば、舵はプロペラ後流中に設けられるべきである。

信頼性が向上する理由は単純に一軸が不調となっても全出力の33%が失なわれるだけであることに帰因する。また、通常の海域で長時間巡航を行なう場合には、中央軸のみで運転し、両舷軸を遊転させたり、逆に両舷軸で運転し、中央軸を遊転させることにより燃料節減を行なうことが出来る。

また、通常の型幅/吃水比の砕氷船では、3軸船の方が1軸船や2軸船より合計のプロペラディスク面積が多く採れるので、最大出力を大きく採ることが出来る。

3軸船の各軸の出力配分については、種々議論を呼ぶところであるが、最近では各軸1/3づつの均等出力配分が、幾つかの理由により、1/4、1/2、1/4という配分より勝れていると考えられている。

その理由としては第1に両舷軸の負荷配分が少ないと一時的に片舷の軸が負荷を受け持たなくなる可能性があること。

第2に、中央軸の推力減少率が均等配分の時に少ないこと。また最後に、これが最も重要な理由であろうが、ソ連の経験では、 $1/4$ 、 $1/2$ 、 $1/4$ 出力配分にした場合、両舷軸は中央軸よりも多くの氷を受けることがあり、出力が小さい為に停止してしまうことが有るということなどが挙げられる。

#### 4.3.1.0 プロペラ直径および取付位置

概算的にプロペラ直径を求めるには、次の2式から求められる数値のうち小さい方を考えれば良い。

$$D = H - 9.0 \quad (\text{吃水が制限される場合}) \quad (4.1)$$

$$D = (0.625 \times B - 4.0) / 3 \quad (\text{型幅が制限される場合}) \quad (4.2)$$

ここに  $D$  : プロペラ直径 (フィート)

$H$  : 吃水 (フィート)

$B$  : 最大幅 (フィート)

図4.3.2は3軸プロペラの推奨できる配置の一例である。

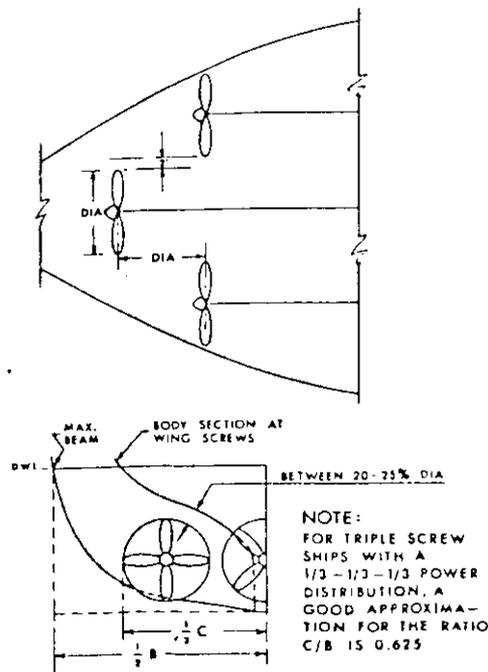


図4.3.2 Recommended layout of a Triple Propeller Installation for an Ice Breaking Ship

#### 4.3.1.1 軸出力の決定

軸所要出力は、通常連続砕氷時が他の状態よりも大である為、この時の必要出力を基に決めているが、平水中航行時の最大速力時に必要な出力および、各プロペラが氷を巻込んだ場合に、軸が止まってしまう為に必要な出力についても検討しておく必要がある。

軸出力を決める前に、プロペラの設計を行なわねばならないが、これには下記の手順で考えると良い。

1. 3.1.1節で与えられている式から、設計速度に於ける氷の全抵抗 ( $R_T$ ) を求める。
2. 式(4.1)および(4.2)を使ってプロペラの最大径を決める。
3. 設計点における全体の推力減少係数 ( $1-t$ ) を推定する。
4. ステップ1で決められた全砕氷抵抗に見合った有効推力を得るに必要な出力を下記のようにして推定する。

$$\frac{\text{SHP}}{\text{SHAFT}} = \left[ \frac{R_T / 3}{(1-t) \left( 2.4 \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \text{dia}^{2/3} \right)} \right]^{2/3}$$

- ここに  $K_T$  = 推力係数  
 $K_Q$  = トルク係数  
 $K_T / K_Q^{2/3}$  = 2.9 (第1次近似)  
 $R_T$  = 砕氷時全抵抗

5.  $(1-W_Q)$  および  $(1-W_T)$  を中央軸および両舷軸について推定する。

$W_Q$  = Taylor の伴流係数 (トルク一致法)

$W_T$  # (推力一致法)

6.  $K_Q / J^3$  を次のようにして計算する。

$$\frac{K_Q}{J^3} = \frac{9.376 (\text{Shp}/\text{Shaft})}{(\text{dia})^2 V_s^3 (1-W_Q)^3}$$

$V_s$  = 設計船速 (ノット)

$J$  = プロペラ前進係数

採用の考えられるプロペラシリーズのチャート上に  $K_T - J$  の関係を求められた関係 ( $K_Q / J^3 = \text{一定}$ ) ベースにプロットする。考慮の対象となっている各プロペラシリーズのピッチー直径比 ( $P/\text{dia}$ ) の各値に対して、良く知られた手法でトルク一致法による  $J (J_Q)$  推力一致法による  $J (J_T)$ 、 $K_T$ 、rpm、推力/軸 ( $T$ )、キャピテーション係数 ( $\sigma_p$ ) および推力負荷係数 ( $\tau$ ) などの値が求められる。

$$J = \frac{v(1-w)}{n \times \text{dia}} = \text{前進係数}$$

$n$  = プロペラ回転数 rpm

$$J_Q = J/w = w_Q$$

$$J_T = J/w = w_T$$

$$\sigma_p = \text{キャピテーション係数} = \frac{\text{プロペラ中心線上の全水頭}}{V^2}$$

$V$  = プロペラ半径 0.7 に於ける合成速度

$$\tau = \frac{2T}{(\rho)(\text{投影面積})V^2}$$

7. 前述のステップで検討されたプロペラでも、プロペラ翼の 10% 以上の面積が背面キャピテーションでおおわれた場合考え直さねばならない。(即ち、 $\tau > 0.49 \sigma_p^{0.87}$ )

8. ステップ 6 および 7 から導かれたプロペラは後進性能について検討されねばならない。即ち、後進時  $J = 0$  における  $[K_T / K_Q^{2/3}]$  を前進時  $J = 0$  における  $K_T / K_Q^{2/3}$  で除したものが 0.70 以下とならぬようにする。この処理により実際に採り得る  $P/\text{dia}$  比をある程度以下に制限することになる。

$$P/\text{dia} \geq 0.75 \quad (\text{Troost series})$$

9. 残った範囲のプロペラから中央軸及び両舷軸の推力が最大となるようなものを選択する。

もし  $(1-t)(2Tw + Tc) < R_T$  であれば

$Tw$  = 両舷軸推力

$Tc$  = 中央軸推力

ステップ 6 から 8 を出力を増大させながら繰返す。3 軸船の場合、夫々の軸の真の  $(1-t)$  の値を知ることは不

可能であるため、この繰返し検討は  $K_T / J^2$  ではなく  $K_Q / J^3$  を用いて行なり。最適なプロペラが選定されたら平水域でのプロペラ性能について、モーターの最大回転数、キャビテーションに耐える性能、推進効率についてチェックしておく。

10. 曳航模型試験により、合計の  $(1-t)$ 、 $(1-w_Q)$  および  $(1-w_T)$  が得られた段階で、また、ステップ3から9を繰返す。
11. Ignatev が出している文献 4.10 やその改定版 4.11 に示されている強度検討法を用いて必要な厚翼比および翼厚分布を決定する。また、経験的に下記範囲の適当なボス直径を決定する。

$$0.27 < \frac{\text{ボス直径}}{\text{プロペラ直径}} < 0.3$$

12. ステップ11によって求められた標準プロペラに対する変更点が出力やキャビテーション性能、回転数などを与える影響を検討しておく必要がある。ピッチ比やピッチ分布、翼面積比などを多少調整する必要がある場合もある。理想的には、推進系統の設計が完了するまでに、プロペラの単独性能試験や船後性能試験、キャビテーショントンネルによる試験などが行なわれるべきである。

プロペラの性能や軸出力が決められたら、氷により受けるトルクを計算し、このトルクに打勝つに必要な出力が得られるか否か、プロペラ翼の強度は十分にあるかを考える。

文献〔4.12〕に示す Jagodkin の方法や、これを改良した文献〔4.13〕に示す Lewis の理論的な方法で以上のチェックを行なうことが出来る。この検討結果はプロペラが氷に接する深さをパラメータとして図 4.3.3 のように示すことができる。プロペラのボス部まで砕かれた氷に没した場合でも、軸が止まってしまうことのない程度の出力を持った方が有利である。軸が止ってしまうのを防ぐ為に必要な最小出力は図 4.3.3 中の点 A に示すものであるが、この A 点での回転数はボラード状態の回転数に比較し、かなり低いところにある為、駆動電動機やエンジンは、このような低回転で運転可能であるような配慮をしておく必要がある。

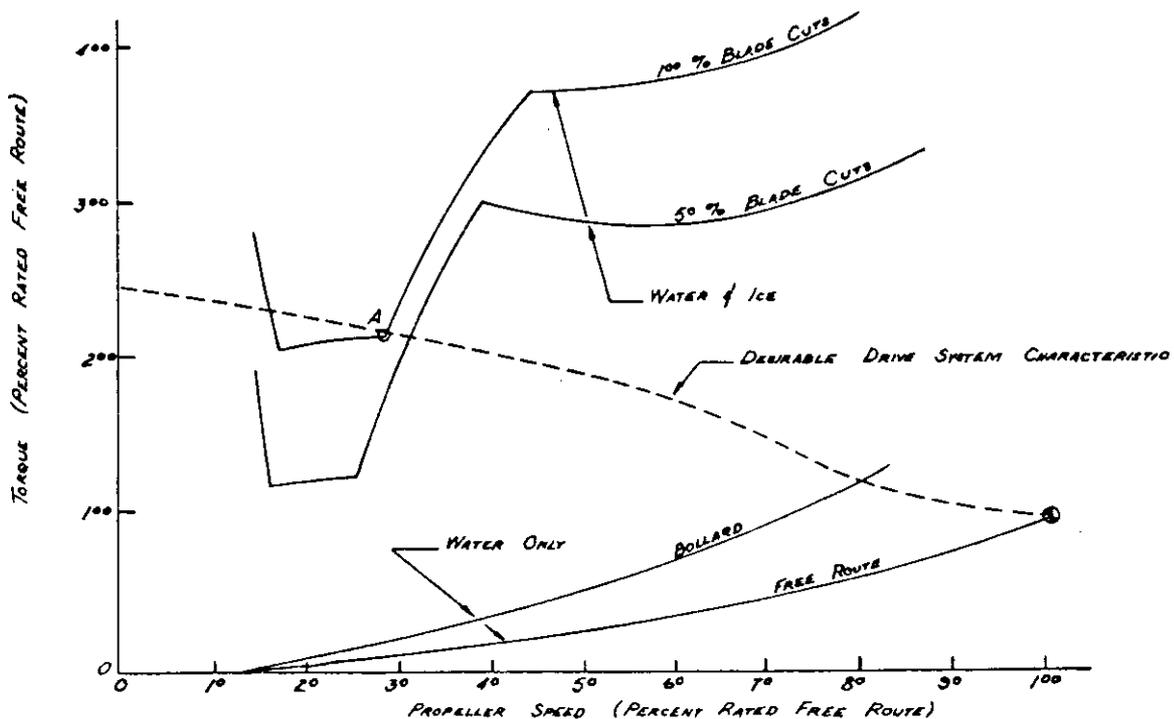


図 4.3.3 Load Torques on Propeller from water & Ice

## 4.4 砕氷船補助設備

### 4.4.1 概論

この分類にはヘリコプターや曳航に必要な機械類、アンカーハンドリング設備、補助ポンプ類、荷役装置その他種々なものが含まれる。従って個々の設備については言及しないが、一般論として、砕氷船の全ての設備に要求される要求事項は、信頼性である。砕氷船は基地から数千マイルも離れて行動することが多い為、このように強く信頼性が要求されるもので、出来る限り設備は2重装備とし、保守が容易であるような設計とし、出来る限り暴露甲板より下に装備することが望ましい。当然例外は出て来るが、ウィンドラスや曳航用ウィンチ、その他甲板機械類にも暖房を設けた囲壁を設ける必要がある。

### 4.4.2 救命設備

今日まで砕氷船の救命設備に氷海に於て避難しなくてはならないという特別の配慮はあまりされて無く、通常の開放形救命ボートやライフラフトが使われて来た。今後の船に対しては、プロペラや熱源、食料や通信手段を備えた全閉型のライフラフトを装備する必要がある。また、氷に閉ざされた海上で火災の船から逃れるような場合、ライフラフトでは役に立たないので、氷上で生き残ることができるような、食料や熱源、通信設備を備えた可搬式の避難壕なども必要となる。

### 4.4.3 ヘリコプターデッキ

氷海を単独で行動するような商船や砕氷船は、非常退避もしくは物資の受入れの為にヘリコプターの着陸設備を必要とする。しかし、通常の氷海商船にはそのような意味でのヘリコプターデッキは必要無い。ヘリコプターデッキを設ける場所は船内どこでもかまわない訳であるが、船橋の後部甲板上に設けることを好む船主が多い。

### 4.4.4 船橋および橋上見張り場所

砕氷船の船橋は、船の全幅にわたって完全に覆われ、開閉可能な窓が設けられているものが好ましい。操舵室は最も高いデッキ上に設け、吃水線上の高さがいくらかあるかにもよるが、橋上に見張り場所が必要となる場合も多い。大型、大出力で高い上部構造物を持つ砕氷船では、たまにしか使用しない見張り場所を、多くの追加費用と重量増加の犠牲を払って設けることは好ましくない。

砕氷能力を持つ商船では一般に、船尾に設けられた構造物に操舵室が設けられているだけで十分である。しかし、船首部橋上に、見透しの悪い氷船を航行する時の為に操船および推進機関制御の行なえる設備のある見張り場所を設けることも考えられる。

今後5年間程度で、砕氷船の運航に最も影響を与えるであろうと思われる技術進歩には、衛星を使った氷の状態観測と氷の状態図を毎日入手できるようになるということであろう。今回のヘリコプターによる観測では観測範囲は30マイル程度であるし、それも飛行に適した日にしか行なえないので、上記技術が確立すれば、船の航路決定は非常に有利に行なえるようになり、より効率的な航海が行なえるようになる。

衛星による氷状態観測や予測に関する文献としては、文献4.14、4.15、4.16などが有効である。

### 4.4.5 曳航設備

曳航設備については、国によって、商船を援護する必要性が異なるので要求が変わってくる。例えば、ソ連では、砕氷船は一般に商船曳航用の設備を設けているが、米国では、ほとんどの商業航路は氷結しないので、商船を曳航しなくてはならぬことは非常に希である。

また、船首形状や乾舷高さに制約のある砕氷船に設置する曳航用ノッチは特殊な設計をされているので、そのノッチにうまく適しない船の場合には満足に曳航することができない。

従って、曳航業務が、その砕氷船にとって1次的な仕事であるのか、2次的なものなのかを明確に区別する必要がある。多くの砕氷船にとって、曳航作業を行なうのは3年ないし5年に1回程度であるので、2次的な仕事であろう。従って高度な設備を設けても効果は少なく、自動曳航ウィンチなどは経済的に成立しない。

#### 4.4.6 着氷防止および解氷装置

上部構造物の着氷は小型船では非常に重大な結果をもたらすことがある。着氷の成長速度は風速（波のしぶきは風速16ノット以上で発生する）、波浪の荒さ、大気温度（29°F以下）およびその環境での滞留時間などにより変る。氷点下の温度で強風下に長時間さらされると、着氷は非常に成長し小型船では最終的には転覆してしまう。

米国海軍Oceanographic Officeは文献4.19に次のように報告している。

一般に、ブーフォート5ないし6の強さの風では僅かな着氷がみられ、ブーフォート7～8では中位の着氷がみられ、ブーフォート8を超えると非常に激しい着氷となる。風速34ノット以上、気温28°F以下になれば、ほぼまちがいに激しい着氷がみられる。

U.S.Coast Guardの砕氷船では、上部の着氷は致命的な復元性の問題とはならないが、注意しておく必要はある。一般に解氷作業を行なわねばならぬということは、甲板上での作業が可能でなければならない。従って波が穏やかであるか、船がドックに係留されている状態でなくてはならない。砕氷船で荒天航行中に解氷作業を試みた例はあるがその方法は機械的システムか人が叩く方法のどちらかに分けられる。叩く方法では良く野球のバットやハンマーが使われる。パイプレータを使う方法も試されたことがある。五大湖では湯を使うのが最も一般的であるが、ガスタービンの排気を使う方法も提案されたことがある。今までは砕氷船に対する特別な配慮はされていないが、着氷防止および解氷方法に関する研究は行なわれている。しかし、主として小型船で問題になる。

#### 4.5 一般配置

船内の配置は、その船の任務や補助設備の使用優先順位などにより変り得るが、一般的に考慮すべき点もある。砕氷航行時にはかなりの騒音を発するので吃水線下の船内や、船の最大幅を持つ部分より前方は乗組員の居住スペースとしては不適當である。

通常の砕氷商船では特に問題となることは無いが、砕氷船では乗組員数も非常に多いため、必ずしも満足の行く配置となるとは限らない。最近、フィンランドやカナダで居室配置やスペース当りの人員、防音及び防熱用インシュレーションに関するリコメンデーションが出されている。最新の砕氷船ではリクレーション用のスペースが大変重要視されるようになって来た。これらの設備は航海日数の長さを考慮して決めねばならないが、いずれにしても騒音の高い場所に設けるのは好ましくない。

ヘリコプタデッキおよび操舵室の配置については先に述べた。また、貨物倉は荷役の便利さおよび騒音の高い部分を使うという意味から上部構造物の前方に配置されるのが一般的である。

砕氷船の一般配置を考える上での特別な手引のようなものは存在しない。

## 5. 結 論

砕氷船に関する技術の現状を調査した結果、下記のことを結論として述べる事が出来よう。

- 砕氷船の設計技術は最近長足の進歩を遂げており、これに関連した技術の進歩も著しい。これらの技術進歩は、寒冷地域での設備投資が増加していることが原動力となって居よう。  
1970年から1980年の間に砕氷船および氷海商船の為に使われる投資額は、まちがいなく10億ドル(3,000億円)に達すると思われる。また、その他の設備、例えば海洋掘削装置や海洋生産設備に対する投資額も同程度となる。
- 1970年より適当な縮尺で行なわれる氷海模型実験の可能性および信頼性が確立し、その結果砕氷時の抵抗推定の為の準実験式が非常に進歩した。しかしながら、これらの実験式は限られたデータの基で作られているので、新しい船型に対しては、通常の船の計画同様、氷海を模した模型試験を行なうことになる。このようなテストを行ない得る試験設備はカナダ、フィンランド、ドイツ、ソ連および米国に有る。
- ここ5年間で砕氷船設計技術に関する文献の量は倍増している。砕氷船の新造計画に当っては、まずこれらの文献を集めることから始めねばなるまい。これらの文献の大部分は英語で書かれているし、主要なソ連の文献については英訳が出来る。このような文献増加の傾向はここ当分続くと思われるし、1974年にMontrealで行なわれたSNAME "Ice Tech"のような氷に関する会議の開かれる事も多くなり、価値ある文献が出されるようになる。
- 砕氷船設計の経験および技術の積重ねにより、運航上や環境上の各種要求条件に対し、最適な設計を行なう電子計算機プログラムも作られている。このアウトプットとしては船体基本寸法、重量、排水量、所要出力、貨物倉容積、船価その他が得られる。このプログラムは新しいデータを入れて設計に反映させることが出来るよう計画されている。
- 1977年までに50,000SHPを超える大出力砕氷船が4隻就航することになっている。2隻は80,000SHPのソ連の原子力砕氷船であり、2隻は60,000SHPの米国のガスタービン駆動砕氷船である。これら大出力船の設計思想は在来の低出力砕氷船のものとは変えるべきであろう。
- 氷海水槽により系統的な模型試験が行なわれれば、船型計画を行なう上での技術はより進歩するであろう。また、砕氷時の抵抗を減ずるための模型実験や実船テストも続けられるであろう。

推進プラントの大出力化の傾向は下記のように原子力もしくは化石燃料使用を問わず続くであろう。

年	軸出力
1945	10,000
1955	16,900
1960	44,000 (原子力)
1965	24,000
1970	36,000
1975	60,000
1976	80,000 (原子力)
1980	100,000

参考文献リスト

REFERENCES

- 1.1 Arctic Institute of North America, "Arctic Marine Commerce," Vols. I and II, Final Report, AINA for the Maritime Administration, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., Aug., 1973.
- 1.2 Cale, Peter and Maurice Cutler, "Prototype May Lead to Big Arctic Fleet," *Canadian Shipping and Marine Engineering*, Vol. 46, No. 11, Aug., 1975, pp. 24-27.
- 1.3 "Rauma-Repola Oy, Finland, Building 14 Ice-Strengthened Tankers for USSR," *Maritime Reporter/Engineering News*, Vol. 38, No. 1, Jan. 1, 1976, p. 35.
- 2.1 Kastelyan, V.I., et al., "Icebreakers," *Izdatel'stvo Sudostroyeniye*, 1972, Draft Translation 418, Corps of Engineers, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Aug., 1973.
- 2.2 Landtman, Christian, "Technische Gesichtspunkte Über Moderne Grosse Eisbrecher," Report No. 56, *Shipbuilding Technical Association Yearbook*, 1961, (in German).
- 2.3 "'Ermak', First of Three 36,000 SHP Icebreakers for Sudoimport from Wartsila's Helsinki Shipyard," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 167, No. 3896, Aug., 1974, pp. 847-852.
- 2.4 Malakov, N.T., "Icebreaking Cargo Vessels for Arctic Waters," *Sudostroenie*, 27, No. 1, 1961, p. 4, British Ship Research Association Translation No. 1870.
- 2.5 Kim, J.K. and Jack W. Lewis, "Icebreaker Model Maneuvering Test Results," Report No. 15E, ARCTEC, Incorporated, Columbia, Maryland, Oct. 8, 1975.
- 2.6 German, J. Gordon and R.G.A. Lawrence, "Full Scale Testing in Ice of Three Icebreakers," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 2.7 Edwards, Roderick Y., Jr., J. Gordon German and R.G.A. Lawrence, "Comparative Model Tests of the Icebreaking Performance of Two Canadian Coast Guard Icebreakers," *Proceedings, Second International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*, University of Iceland, Reykjavik, Aug., 1973, pp. 80-100.
- 2.8 "'Norman McLeod Rogers', Icebreaker with Diesel-Electric and Gas Turbine-Electric Propulsion," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 163, No. 3841, Jan., 1970, pp. 175-180.
- 2.9 Cale, Peter and Maurice Cutler, "Prototype May Lead to Big Arctic Fleet," *Canadian Shipping and Marine Engineering*, Vol. 46, No. 11, Aug., 1975, pp. 24-27.
- 2.10 Wartsila-Koncernen A/B, "7500 SHP Icebreakers 'Karhu', 'Murtaja' and 'Sampo'," Helsinki, Finland, 1960.
- 2.11 Johannsen, Von K., "Det Neuce Deutsche Eisbrecker 'Hanse'," *Schiff und Hafen*, Vol. 19, Mar., 1967, pp. 147-160, (in German).

- 2.12 Wartsila Sandvikens Skeppsdocka, "12,000 SHP Icebreaker 'Tarmo'," Helsinki, Finland, 1964.
- 2.13 "'Finncarrier'," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 163, No. 3841, Jan., 1970, pp. 166-173.
- 2.14 "'Finlandia', Finnish-Built Passenger and Car Liner - Some Design Considerations," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 160, No. 3811, Sept., 1967, pp. 1500-1513.
- 2.15 Barber, Bruce H., Luis M. Baez and Gary J. North, "Structural Considerations in the Design of the 'Polar' Class of Coast Guard Icebreakers," *Ship Structure Symposium*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, New York, Oct., 1975.
- 2.16 Melberg, L.C., Jr., et al., "The Design of Polar Icebreakers," Spring Meeting, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Washington, D.C., Apr., 1970.
- 2.17 "'Manhattan', the World's First Icebreaking Tanker," *Shipping-World & Shipbuilder*, Vol. 162, No. 3840, Dec., 1969, pp. 1703-1705.
- 2.18. Wartsila-Koncernen A/B, "Icebreaker 'Oden'," Helingfors, Finland, 1957.
- 2.19 Wartsila Sandvikens Skeppsdocka, "Icebreaker 'Tor'," Helingfors, Finland, 1964.
- 2.20 "'Atle', First of Two Finnish-Built 22,000 SHP Icebreakers for Sweden," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 168, No. 3901, Jan., 1975.
- 2.21 "Diesel-Electric Icebreaker 'Danbjorn'," *Shipbuilding and Shipping Record*, Apr. 22, 1965, pp. 508-509.
- 2.22 "'Bansa Dan', First Ship Fitted with a B&W U50 Medium Speed Engine," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 166, No. 3888, Dec., 1973, pp. 1326-1329.
- 2.23 Ono, Yoshihiko, et al., "New Antarctic Observation Ship 'Fuji'," *Nippon Kokan Technical Report-Overseas*, May, 1966. pp. 35-63.
- 2.24 "'Bransfield', Research and Supply Vessel for Antarctic Operation," *Shipping World & Shipbuilder*, Vol. 164, No. 3854, Feb., 1971, pp. 233-237.
- 2.25 "'Polar Shore'," *Shipping World & Shipbuilder*, Aug., 1972, pp. 957-959.
- 3.1 Vinogradov, I.V., "The Icebreaker," *Schiff und Hafen*, Jan., 1958, pp. 54-64.
- 3.2 White, R.M., "Dynamically Developed Force at the Bow of an Icebreaker," thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science at the Massachusetts Institute of Technology, Sept., 1965.
- 3.3 Milano, V.R., "Notes on the Preliminary Design of Icebreakers," thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Naval Architecture at the Webb Institute of Naval Architecture, 1961.

- 3.4 Shimansky, J.A., "Conditional Standards of Ice Qualities of a Ship," *Transactions*, The Arctic Institute of the Chief Administration of the Northern Sea Route, Vol. 130, Leningrad, 1938, (translated from the original Russian by MARCOM Corp., 1969.)
- 3.5 Kastelyan, V.I. and A. Ja. Ryvlin, "The Influence of Natural Characteristics of Solid Ice in Evaluation of Its Resistance to Icebreaker Passage," *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 22, 1966, p. 75.
- 3.6 Nevel, D.E., "The Narrow Free Infinite Wedge on an Elastic Foundation," Research Report 79, Corps of Engineers, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Jul., 1961.
- 3.7 Milano, V.R., "Ship Resistance to Continuous Motion in Ice," a dissertation submitted to the faculty of the Stevens Institute of Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1972.
- 3.8 Milano, V.R., "Ship Resistance to Continuous Motion in Mush Ice," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.9 Nogid, L.M., "Model Representation of a Ship Going Through a Continuous Ice Field or Pack Ice," *Transactions*, Leningrad Shipbuilding Institute, No. 28, 1959, p. 45.
- 3.10 Johansson, Bengt M. and Eero Makinen, "Great Lakes Ore Carrier Service, Ice Resistance Model Test Program," Test Report No. 18, Wärtsilä Icebreaking Model Basin, Helsinki, Dec. 29, 1972.
- 3.11 Makinen, Eero and Aale M. Roos, "Ice Resistance in Level Ice of Ships with Main Dimensions Typical for the Great Lakes Bulk Carriers," Supplement to Test Report No. 18, Wärtsilä Icebreaking Model Basin, Helsinki, Sept. 28, 1973.
- 3.12 Kloppenburg, Meinolf, "Ice Resistance of a Cargo Vessel in the Continuous Mode of Icebreaking. Tests of Three Geosim Models in Ice," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canada Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.13 Lewis, Jack W. and Roderick Y. Edwards, Jr., "Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers," *Transactions*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 78, 1970.
- 3.14 Edwards, Roderick Y., Jr., et al., "Full-Scale and Model Tests of a Great Lakes Icebreaker," *Transactions*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 80, 1972, pp. 170-207.
- 3.15 Vance, G.P., "A Scaling System for Vessels Modeled in Ice," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.16 Kotras, T.V., D.L. Benze and W.B. Blanton, "Length/Beam Effect on Icebreaking Resistance," Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jan., 1974.

- 3.17 Edwards, Roderick Y., Jr., J. Gordon German and R.G.A. Lawrence, "Comparative Model Tests of the Icebreaking Performance of Two Canadian Coast Guard Icebreakers," *Proceedings, Second International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*, University of Iceland, Reykjavik, Aug., 1973, pp. 80-100.
- 3.18 Levine, George H., Richard P. Voelker and Paul B. Mentz, "Advances in the Development of Commercial Ice-Transiting Ships," The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, Nov., 1974.
- 3.19 Kim, J.K., et al., "Icebreaking Resistance Tests of a Great Lakes Tug," Report No. 175C, ARCTEC, Incorporated for the University of Michigan, Columbia, Maryland, Sept., 1974.
- 3.20 Kim, J.K., "Arctic Marine Commerce," Vol. III, "Fleet Requirements," (draft), Arctic Institute of North America for the Maritime Administration, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., Aug., 1973.
- 3.21 Kim, J.K. and Jack W. Lewis, "Ice Resistance Tests of 1/36th and 1/48th Scale Models of the C.C.G.S. 'Louis S. St-Laurent'," Technical Report 125C-2, ARCTEC, Incorporated for ARCTEC CANADA Limited, Mar., 1975.
- 3.22 Barber, Bruce H., Luis M. Baez and Gary J. North, "Structural Considerations in the Design of the 'Polar' Class of Coast Guard Icebreakers," *Ship Structure Symposium*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, New York, Oct., 1975.
- 3.23 Major, R.A., D.M. Berenger and C.J.R. Lawrie, "A Model to Predict Hull-Ice Impact Loads in the St. Lawrence," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.24 Popov, Yu. N., et al., "Strength of Ships Navigating in Ice," *Sudostroenie*, Leningrad, 1968.
- 3.25 Palermo, Peter M., "An Overview of Structural Integrity Technology," *Ship Structure Symposium*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, New York, Oct., 1975.
- 3.26 Johansson, Bengt M., "On the Ice-Strengthening of Ship Hulls," *International Shipbuilding Progress*, Vol. 14, No. 154, pp. 231-245.
- 3.27 Acharides, T.A., "Plastic Design of Plate Panels for Ice Strengthening and Slamming," New England Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Sept. 22, 1972.
- 3.28 Clarkson, J., "A New Approach to the Design of Plates to Withstand Lateral Pressure," *Transactions*, The Institution of Naval Architects, Vol. 98, 1956, pp. 443-461.
- 3.29 Kheisin, D.J. and Y.N. Popov, "Ice Navigation Qualities of Ships," Translation 417, U.S. Army Corps of Engineers Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Aug., 1973.
- 3.30 "Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations," *Canada Gazette*, Part II, Vol. 106, No. 20, Oct. 10, 1972, Amendments, C.G., Part II, Vol. 108, No. 3, Jan. 21, 1974.

- 3.31 Mathews, Sydney T., "Aspects of the Propulsion Power of Arctic Vessels, Considering Their Operating Environment," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.32 Lecourt, E.J., Jr., et al., "Mechanical Ice Cutter, Design and Testing of 1/6th Scale Model," Vols. I and II, Report No. 71-2, ARCTEC, Incorporated for United States Coast Guard, Columbia, Maryland, July, 1973.
- 3.33 Kastelyan, V.I., et al., "Icebreakers," *Izdatel'stvo Sudostroyeniye*, 1972, Draft Translation 418, Corps of Engineers, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Aug., 1973.
- 3.34 German, J. Gordon and R.G.A. Lawrence, "Full Scale Testing in Ice of Three Icebreakers," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.
- 3.35 Lewis, Jack W., "Ship Model Ice Resistance Experiments; Air Bubbler Hull Lubrication for 1/26 Scale Model of 'Sundew'," Report No. 29, ARCTEC, Incorporated for United States Coast Guard, Columbia, Maryland, Oct., 1972.
- 3.36 Levine, George H., et al., "Results From Two Years of Testing a Great Lakes Ore Carrier in Ice Fields," Vols. I and II, Report No. 127-3, ARCTEC, Incorporated for the Maritime Administration, Columbia, Maryland, July, 1974.
- 4.1 Mandel, P. and R. Leopold, "Optimization Methods Applied to Ship Design," *Transactions*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, New York, Vol. 74, 1966, pp. 477-521.
- 4.2 Parsons, Michael G., "Optimization Methods for Use in Computer-Aided Ship Design," *First Ship Technology and Research Symposium*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Washington, D.C., Aug., 1975.
- 4.3 Kasteljan, V.I. and A. Ja. Ryvlin, "The Influence of Natural Characteristics of Solid Ice in Evaluation of its Resistance to Icebreaker Passage," *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 27, 1966, p. 75.
- 4.4 German, J. Gordon and N. Dadachanji, "Hull Forms for Arctic Bulk Cargo Transportation," The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Spring Meeting, Vancouver, B.C., Canada, May, 1975.
- 4.5 Kastelyan, V.I., et al., "Icebreakers," *Izdatel'stvo Sudostroyeniye*, 1972, Draft Translation 418, Corps of Engineers, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Aug., 1973.
- 4.6 Melberg, L.C., et al., "The Design of Polar Icebreakers," Spring Meeting, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Washington, D.C., Apr., 1970.
- 4.7 Major, R.A., D.M. Berenger and C.J.R. Lawrie, "A Model to Predict Hull-Ice Impact Loads in the St. Lawrence," *Ice Tech Symposium*, Eastern Canadian Section, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Montreal, Apr., 1975.

- 4.8 Assur, A. and W.F. Weeks, "Growth, Structure, and Strength of Sea Ice," *Research Report 135*, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Oct., 1964.
- 4.9 Levine, George H., Richard P. Voelker and Paul B. Mentz, "Advances in the Development of Commercial Ice-Transiting Ships," The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, Nov., 1974.
- 4.10 Popov, Yu. N., et al., "Strength of Ships Navigating in Ice," *Sudostroenie*, Leningrad, 1968.
- 4.11 Johansson, Bengt M., "On the Ice-Strengthening of Ship Hulls," *International Shipbuilding Progress*, Vol. 14, No. 154, pp. 231-245.
- 4.12 Jagodkin, V.J., "Analytic Determination of the Resistance Moment of a Propeller During Its Interaction with Ice," *Problemy Arktiki i Anarktiki*, 13, 1963, pp. 79-88.
- 4.13 Lewis, Jack W., "Some Aspects of the Design of Diesel-Electric Icebreaker Propulsion Systems," *Naval Engineers Journal*, Vol. 81, No. 2, Apr., 1969, pp. 90-105.
- 4.14 *Proceedings of the Third International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*, The University of Alaska, Fairbanks, Alaska, Aug., 1975, (in press).
- 4.15 Santeford, Henry S. and James L. Smith, *Advanced Concepts and Techniques in the Study of Snow and Ice Resources, an Interdisciplinary Symposium*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1974.
- 4.16 Reed, John C. and John E. Sater, editors, *The Coast and Shelf of the Beaufort Sea; Proceedings of a Symposium on Beaufort Sea Coast and Shelf Research*, Arctic Institute of North America, Arlington, Virginia, Dec., 1974.

## 第2編 宗谷・ふじの実績調査報告

### 1. 南極調査船「宗谷」の改造修理工事

#### 1.1 まえがき

IGYの南極観測に参加する日本隊を輸送するため、海上保安庁燈台部所属燈台補給船「宗谷」は、1956年砕氷能力1m、貨物積載能力400tの砕氷船に改造された。1956～1957年の予備観測において、昭和基地を設営し、越冬隊11名を残して帰国した「宗谷」は、1957～1958年の本観測に備えて、推力2割増、貨物積載能力500tになるよう軸系推進器と船艙を改造した。1957年12月31日より1958年2月17日までの間、「宗谷」は密群氷に閉じ込められて漂流し、第1次越冬隊を救出したのみで帰国した。

1958～1959年の第3次南極観測では、大型ヘリコプターによる空輸作戦に切り替えられたので、飛行甲板・ガソリン給油設備を新設した。この時、越冬隊14名、57tの空輸に成功した。1959年の第4次改造では、航空機に対する指揮通信を強化し、飛行準備作業の能率化を図った。この結果、本船の機敏な運用と相まって、越冬隊15名、126tの空輸に成功した。しかしながら、この航海で船体と軸系に相当の損傷を受けたので、大事故が発生しないうちに「宗谷」による観測行動を終了されるべきであるとの方針が決定した。1960年の第5次工事では、損傷した船体各部の修理工事が実施された。1960～1961年の第5次南極観測では、最後の越冬隊16名と129tの空輸に成功した。1961年の第6次の工事も修理工事に留まった。1961～1962年の第6次最終観測では、昭和基地の閉鎖と16名の越冬隊員の収容、航空写真の撮影が行われた。

#### 1.2 改造工事と使用実績

##### 1.2.1 第1次改造工事

宗谷は1938年竣工の耐氷貨物船で、総トン数2,207.92t、垂線間長77.53m、幅12.80m、深7.00m、主機関は往復動蒸気機関1,450IHP、毎分90回転、速力10ノットであった。1955年11月16日南極観測に従事する日本隊の人員器材を、プリンスハラルド海岸に輸送する調査船に決定し、1956年10月10日までに次の改造工事を行なった。

- 1) 主機関は信頼性あり、国産で使用実績のある新潟鉄工所製堅型2サイクルディーゼル機関TN8E型2,400馬力2基とし、機関回転数は、プロペラの推力、流氷の衝撃および機械強度の点より、なるべく低回転のものが望ましいが、推進器の没水度、船尾形状より、推進器直径を2.95mとして、210R.P.M.となった。推進器は4翼組立式鋳鋼製で、翼厚は規程の2%増とし、100tの静荷重に対して安全とした。
- 2) 船首材の傾斜は改造前水平線に対して35度であったが、船の推力によって氷を割るのに適する様船首形状を改造し、船首材を27度の傾斜とした。また、船首材は1肋骨心距に100tの衝撃力がかかるものとして、充分強力とした。船首部外板は改造前18mmであったが、すべて25mmに新替した。
- 3) 船尾骨材は一軸用であったが、推進器柱を船尾管の上下で切断撤去し、ここに両舷一体の鋳鋼製スペクタクルフレームを挿入し、溶接によって旧船尾骨材と連結した。スペクタクルフレームの腕には、先端に100tの静荷重がかかっても充分なものとした。また舵効きを良くするため、単板舵、面積6.3m<sup>2</sup>であったのを、流線形舵、面積10.7m<sup>2</sup>に改めた。舵柱は25mm二重張鋼板で補強した。なお、舵頭保護のため静荷重300tに耐える尾端材を巡洋艦型船尾に取り付けた。
- 4) 船体の平行部を無くし、船側外板に、水平線に対して75度の傾斜を与えるため、長さ54m(垂線間長の70%)、頂板幅1.5m、下端は基線上2.05mの楔形のバルジ(重量169t)を両側に取り付けた。バルジ取り付けの最大の目的は、船幅を増して復原力を大とすることにあったが、また、機関室を二重船殻の中に包んで保護する役目も兼ねている。バルジ外板板厚は25mm、内部は片舷が4区画に分かれ、中央の2区画に重油100tを搭載する。重油を消費したとき

は、海水バラストを入れ、そのうち60tを3分間で反対舷に移して6.8度船体を傾け、船を左右に動揺させて砕氷するヒーリングポンプ(25HP)2台を備えた。バルジ以外の船首尾部は、上縁は上甲板舷側線、下縁はキール上2mの範囲に二重張を施し、旧外板板厚と二重張鋼板板厚の合計が25mmになるようにした。二重張鋼板重量は船首新替部を含み71tである。肋骨は1本おきに補強し、船首尾部に船側縦通材を多数取り付けた。

- 5) 航続距離10,000 哩、連続行動60日分の燃料と真水タンクを設けることとし、前後部船艙の下部を重油タンク(638 t)、清水タンク(407 t)とした。艙水艙(136 t)と艙水艙(148 t)はトリミングタンクを兼ね、100 tの海水を8分で移動させて1度のトリムを与え砕氷するトリミングポンプ(60HP)1台を装備した。
- 6) 主機関、缶、発電機等一切の主補機の新替にもない、機関室が拡大されたため、同室前後の横隔壁を移設し、缶室と機械室とに分けた。機械室船底にアイスチェスト4個を設け、機関の冷却水を戻し、蒸気を吹き込むようにして冷却水に氷片が混入するのを防いだ。
- 7) 船橋楼甲板と船尾楼甲板とを結ぶ甲板を新設し、木甲板を張ってヘリコプター発着甲板とした。船橋甲板と端艇甲板間の船側外板を張って、舷側通路を機関室囲壁両側に移して居住区とした。
- 8) 乗組員77名、観測隊員53名、計130名の居住区を設け、第1船艙に越冬用ガソリンドラムを、第2、第3船艙に雪上車・基地家屋の材料、各種観測器材・越冬用食糧合計400tを搭載する。
- 9) ベル47G型ヘリコプター2機を格納できる格納庫を端艇甲板中央に、セスナー用架台を前部ウエル甲板の第2船艙上に設けた。
- 10) 電離層、気象および海象、宇宙線の各観測室と夜光極光の観測設備を設けた。
- 11) 11m救命艇兼作業艇1隻と7.5m救命艇を左舷に、9mと8m救命艇を右舷に搭載して、片舷で130名収容できるようにした。
- 12) 前橋はもとのままとし、デリックブームは第1船艙用2t×2台、電動ウィンチ3t×30m/min×2台、第2および第3船艙用デリックブームは5t×2台、電動ウィンチは3t×30m/min×2台とする。後橋は鳥居型デリックポストを新設し、デリックブームは3t×2台、電動ウィンチは3t×2台(キャブスタン兼用)とする。
- 13) 上部船橋上に三脚橋を有する見張所を新設、冷房装置付犬小屋を第3船艙に設けた。

### 1.2.2 第1次南極航海使用実績

1957年1月25日、南緯69度1.8分、東経39度8分、オングル島より7哩の地点に到達し、昭和基地の設営という使命を果たして帰港した時の宗谷は、船首部は竜骨まで、中央部で基線上1.5mより6mの範囲の船底塗料が剝離して鋼板表面が光っていた。船側外板では船首基線上1mのA列14mm外板に6~16mmの凹みが、C列とD列外板の一部に6~12mmの凹みが認められただけで、他には損傷がなかった。

一方、居住性については、印度洋航海中の観測隊員室の換気通風の改善が強く要望された。また、調理室内の室温が高く主計科より対策の要望があった。冷房糧食庫内の防湿が充分でなかった。

### 1.2.3 第2次改造修理工事

- 1) 第1次航海の結果、砕氷能力の増強が要望されたので、主機出力の増大を図るため、排気タービン電動プロア等を使用することが検討されたが、機械室の容積上または工期上実現できないので、プロペラピッチを変化させて、推力を2割増す方法がとられた。

第1次のときのプロペラピッチ比は0.74であったが、これを0.64に改めた結果、定格トルク(正味平均有効圧力4.67 暫)において船速0のとき回転数183で約48tの推力となった。第1次のとき毎分回転数155から165の間に許容以上の2節12次振動があったので、第1次のとき連続使用を禁止していたが、第2次航海では、推力増大にもない、氷海においてこの範囲の回転数を使用する機会が多くなるので、掃気ポンプのクランク軸を新替し、機関側クランク軸との接合部フランジを大きくして、この部分にダンパー重錘を附して2節12次の軸系振動を減衰させた。また上記ダンパーの装備により、1節2次の振動が毎分回転数210以下において発生する恐れがあるので、その位置を

定格回転数以上にもってゆくため中間軸の径を40mm増し、中間軸受も新替した。

- 2) 砕氷航行では、前後進の切換時間を極力短くする必要があった。そのため主機械には主機付潤滑油ポンプが附属しているが、頻繁に発停を繰り返す時、潤滑油圧力が常に一定に保たれるように、左右舷それぞれに独立の潤滑油ポンプから給油し得る方式を採った。冷却水海水ポンプも、主機付の他に独立ポンプを備え、砕氷航行時には併用するようになった。
- 3) 第1次改造工事のとき施工済の二重張外板の下方ガス長で2.5mの範囲と機械室のバルジの下部外板に二重張を追加した。二重張鋼板の追加重量は30tである。これによって機械室後部隔壁より前の旧二重底のタンクサイドカッティングラインより上方は、すべて二重張外板とバルジ外板とで被われることになった。
- 4) 第1次航海のとき問題になった横揺を緩和するため、FR32より75の間に片舷4個より成る深さ0.3mのビルジキールを新設し、氷に当たると湾曲するよう板厚を8mmとした。これによって、横揺角は1次のときの60%に減る見込みがたった。
- 5) 氷中航海においては、全力前進をかけても、船速は1節にも達し得ない場合が多く、しかも、そのような状態において、進航できそうな方向に回頭しなければならないが、このような船速では操舵による回頭は困難である。そこで、サイドスラスタを装備するなどの実験を行ったが、結局舵面積を1割ふやすと共に揚錨機を電動60馬力に新替し、船首方向を変えるとき、強力なワーピングエンド(使用力10t)を使用することにした。
- 6) 第1次航海のとき、400tであった貨物が500tになったので、前部ウエルデッキを塞ぎ船首楼甲板と船橋楼甲板とを連結して、全通の強力甲板とした。ウエルを塞いで得られた容積の前部は船艙に、後部には第1次のとき下甲板にあった科員室を移動し、旧科員室の一部は冷凍庫、他は4船艙とした。その結果、船艙容積は1,383m<sup>3</sup>より1,741m<sup>3</sup>に増した。第1次のとき2室で67m<sup>3</sup>の容積であった冷蔵庫は、-18℃の冷凍庫2室を含む5室となり、この外に小出し冷蔵庫を設けたので、冷蔵庫の容積は169m<sup>3</sup>(防熱内側)となった。冷凍機は7.5馬力3台の外に30馬力2台を増設した。
- 7) 観測隊居住区は最大4入室を目標として区画変更を行った。
- 8) 電離層観測室と宇宙線観測室は廃止され、重力測定室と海洋観測室が設けられた。端艇甲板後端右舷の2馬力採水用電動捲揚機を撤去し、この跡に5馬力の採水用電動捲揚機を新設した。海洋観測および極地航海のため10,000mの極深海用音響測深儀をソナー室に装備した。
- 9) 舷側の氷の状況を確認するため、現装の投光器位置の変更の外に、1kW30cm探照灯2個と500W投光器8個を増設した。
- 10) 氷海航行中は船橋指揮官と船首見張員、船尾両舷推進器見張員との間の連絡を密にする必要があるので、高聲電話機を新設した。
- 11) 前甲板に搭載する航空機がセスナ機より一段大型のビーバー機となったため、前櫓を門型デリックポストとし、揚収のときアウトリーチを充分とれるようにした。
- 12) 送信機出力の増大および船内交流電力不足の為15kVA電動交流発電機1基を増設した。
- 13) 右舷推進軸はプロペラ嵌合部において、0.3mm曲がっていることが曲がり検査で明らかとなったので新替した。
- 14) 第1次のとき設けなかった機関室開口をヘリコプター格納庫の前部に設け、ここにあった調理室を右舷舷側に移設して天窗を設け、また、調理室専用排気通風機を設けて、熱帯航海中の調理室の環境改善を図った。
- 15) 給気通風系統を改めて給気量を30%増し、また、排気通風機7.5馬力を新設して、上甲板中央部諸室、科員室および通路の換気通風の改善を行った。また、観測隊員食堂にルームクーラー2台を装備した。

#### 1.2.4 第2次南極航海使用実績

「宗谷」は1957年12月31日より1958年2月17日まで密群氷に閉ざされて漂流した後、自力で脱出したが、1958年2月1日左舷プロペラ4翼のうち1翼が根元近くから折損した。このため異常振動を生じ、帰りの航海では主機常用回

転数を 180 より 145 に落した。また、この行動中に舵軸が左へ10度35分振れた。なお、左舷中央部バルジ外板および内部肋骨肘板等に数肋骨心距にわたって外板の凹入、肋骨の切断、肋骨と縦通材との溶接の割れを生じた。

船首部左舷の外板(25 mm)が基線上3.7mの箇所で、肋骨と共に約10~20 mm凹入しており、2個の肋板が前方に約50 mm膨んでいた。ビルジキールは往航において横揺軽減に役立ったが、氷海航行のため、両舷8個全部が上方に折れ曲がり、計画が適切であったことを示した。スペクタクルフレームを磁気探傷した結果、鋳鋼の表面に長さ150 mm、深さ15 mmの割れ傷2個をはじめ相当数の傷を発見したが、メーカーの意見では、押湯附近の割れであって強度に影響ないとのことであった。居住性については、往航時観測隊員居住区の換気通風が期待したほど改善されていないという声があった。

### 1.2.5 第3次改造修理工事

第1次と第2次の経験から「宗谷」の力によって、確実に進入しうる限度は、昭和基地から約80哩の地点であると考えられるので、それより先は大型ヘリコプター、シコルスキーS-58 2機を使用して、最低の目標として12名の観測隊員および30 tの荷物を輸送することに方針が定められた。各国の砕氷船の有するヘリコプターは、S55以下であって、S-58のように大型を搭載した例はない。

- 1) 端艇甲板を後方に延長して、ヘリコプター甲板を増設し、S-58 2機を暴露のまま輸送。
- 2) 容積35m<sup>3</sup>のS-58燃料タンク2個を船首部に取り付ける。
- 3) 電離層、宇宙線、高層気象および生物観測室を新設し、10 kVAの交流発電機2台を増設。
- 4) ヘリコプターを短艇甲板に暴露輸送のため、煙突よりの火の粉防止装置として、
  - a. 主機排気管に掃除用マンホールおよびドレン管を増設。
  - b. 主機掃気ポンプの吐出側と吸入側との間に、バイパス管を新設。
- 5) プロペラ翼材質を鋳鋼よりクロム鋳鋼に変更。また、取付ボルトの材質も鍛鋼よりステンレス鋼に変更す。

			材質 記号	引張強さ	降伏点	伸	絞	硬 度 ブリネル	衝 撃 シャルピ
				kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>				kg-m/mm <sup>2</sup>
翼	2次	鋳鋼	KSC49	51.3-53.9	36.3-39.0	33-36	58.7-62.3	-	-
	3次	13クローム 鋳鋼	SCS 2	68.9-72.9	46.0-55.7	24-26.6	56-63	201-207	6.4-8.1
翼取付	2次	鍛鋼	SF 55	57.8-58.0	34.2-39.7	28.0-30.0	-	163	-
ボルト	3次	ステンレス鋼 第2種	SUS 2	65.6-67.7	44.8-52.1	28.8-31.2	66.0-69.0	192-197	17.5-27.1

- 6) 舵頭材は、舵軸管ブッシュの肉厚の余裕を削って、径を大きくした。
- 7) 湾曲したビルジキールの新替。
- 8) 左舷推進軸の曲がりによる新替。

### 1.2.6 第3次南極航海使用実績

第3次は1959年1月14日より2月3日までの間に、S-58 2機による58便で、越冬隊員14名と資材57 tを昭和基地に空輸することに成功した。暴露甲板に繋止されて暴風圏を通過するS-58の機体の安全性、および大量のガソリンの目的地までの輸送の安全性は、本船の慎重な運用の結果、充分立証された。今航海で被った損傷について述べると、船首部で、中心線桁板が人孔の内縁で擦れたり肋板が前方に凹入したりしたが、船首材には異状がなかった。更に船首部の副肋骨(1次るとき補強のため取り付けしたもの)の桁板の溶接接手および肋骨と肋板頂部との取合部の亀裂や肋板の軽目孔の上下の凹入が一部にみられた。

なお、船首部の外板(船首吃水マーク1mの後部)に第2次るときと同様凹入があった。

バルジでは、中央部で、右舷中甲板の脚板の上下各1カ所が凹入、バルジ肋骨とバルジ外板の縦通材との溶接部には亀裂が生じていた。スペクタクルフレームを磁気探傷した所、第3次工事のとき修理した部分以外に割れ傷があることが分ったが、これは構造上の欠陥に基づくものと考えられた。ガソリンタンク空所ではFR 112 隔壁の左舷が中甲板下で船尾側に凹入していた。また、前部数ヶ所で、船側縦通材と肋骨との溶接部が、亀裂または桁板切断を生じていた。

#### 1.2.7 第4次改造修理工事

第4次改造修理工事は、第3次南極航海の貴重な経験を基にして、航空作戦がなお一層迅速円滑に行なわれるように、諸設備を改善することを主眼として実施された。

- 1) 航海船橋に航空指令室を新設。
- 2) S-58 吊揚用枠型クレーンの取り付け。
- 3) 航空標識灯を新設。
- 4) 船首部の補強。
- 5) タンク空所内肋骨と船側縦通材との取合溶接部の亀裂ははつり取り、再溶接の上、バットストラップを当てる。

#### 1.2.8 第4次南極航海使用実績

第4次航海では、1960年1月1日オビ号と会合、1月2日09時05分より同月6日06時00分までに第1次空輸拠点（昭和基地の北緯東44度の地点）より59便で77t、雪上車の片道輸送による15t、合計92tを輸送した。1月16日より19日までに、17便で19tもの第2次空輸を行ない、次いで2月4日より6日までに第3次空輸27便で30t、雪上車により13tを輸送し、11日11時33分無事外洋に離脱した。総輸送量は154tに達し、第3次の輸送量の約3倍という予期以上の好成績を取めた。この間、氷海航行距離およびチャージングの回数は、4回の南極航海中最も多かった。また、ヒーリングタンクを使用しつつチャージングを行なう等操船方法にも新しい方法が採られた。

4月22日の学術会議総会で南極観測の2年延長が決議されたのに対し、海上保安庁としては4次の観測を終わって帰港した「宗谷」の船体機関、航空機の状況を調査の上、態度を決めることになった。IGY当初の予定では2年間3航海で終わるはずであったが、すでに2年延長された上に、更に2年再延長されるかもしれない事態になっていた。一方、「宗谷」は第1次の改造後4年を経過しており、この年が定期検査の年に当たるので、船体機関を徹底的に調査して、今後の使用に耐えうるか否かを決めなければならなかった。ところが、調査工事の結果、予期しなかったスペクタクルフレームの亀裂、船首材と外板との溶接接手の亀裂、左舷二重張外板と旧外板との間に重油の漏洩、旧舵柱の傷、機橋室内重油タンクのマージンアングルの鉋よりタンクサイドへの重油の漏洩等、過去3回の調査工事において例を見なかった種類の大きな損傷が発見されたので、大事故を起さぬうちに南極観測を終わらせたいという方に関係者の考えが傾き、航空機の方の事情も加わって、8月22日2年延長案を検討していた文部省南極総合推進本部は、越冬1か年延長を決定した。第4次航海後、調査工事において発見された損傷箇所について述べると、

- 1) 船首材と25mm外板との溶接部が、右舷3.7m吃水マーク附近で亀裂を生じ、洩水していたので、溶接部をはつりとして調査したところ、鋳鋼製船首材のラベット部と25mm外板とが肌すきのまま溶接されていたため、第1層目のビードの溶込不良が原因であったと推定された。r線による写真撮影により、右舷3.2~4.2m、左舷3.6~4.0mの溶接接手にも同様の欠陥が認められ、手直しすることになった。
- 2) 艀水艙の内部にあって、船首材の上端部を支持する中甲板前端部が人孔の両側でバックルしていた。
- 3) バルジでは中甲板下のバルジ外板付きの縦通材のブラケットのバット溶接部、および中甲板脚板の上の縦通材のブラケットの亀裂、バルジ内肋骨同士のバット溶接部の亀裂等が見られた。
- 4) 左舷FR 94  $\frac{1}{2}$  のバルジ最前部区画（第2次航海より非常用として重油を搭載した所）の下舷より二重張外板と旧外板間に重油が漏洩していることが発見された。
- 5) 機械室左舷二重底にある第3重油タンクのマージンアングルから、重油が二重張外板と旧外板との間に洩れていることが分かった。

- 6) スペクタクルフレームの左舷アームの付根に、鋳物肉厚 75 mm一杯に達する長さ 400 mmの割れが発見された。左舷推進軸も、このとき一見して判るほど甚しく曲がっていた。計測偏心量は 96 mmあった。
- 7) 舵柱左舷側二重張補強板の上縁に近い所に、舵柱鋳鋼部に長さ 90 mmの割れが発見された。また、右舷の二重張補強板溶接部にクラックがあり、かつ舵柱整流板の凹損 2 か所があった。
- 8) F R 123 隔壁の周囲山形鋼のうち左舷中甲板下の一部から、艀水艀の水が、ガソリタンク空所側に洩れていることが帰航中に発見された。
- 9) ガソリタンク空所の内部の肋骨と、船側縦通材との交線溶接部の亀裂は、右舷側に 5 か所発見された。

#### 1.2.9 第5次修理工事

- 1) 鋳鋼製スペクタクルフレームを鋼板製に新替、強度は改造前の約 1.9 倍になる。
- 2) 機械室二重底のマージンアングルを撤去、マージンプレート構造に改める。
- 3) 船底外板の鉄打ち換え。
- 4) 上部船橋甲板の補強。
- 5) S-58 用サイドステーの新設。

#### 1.2.10 第5次南極航海使用実績

本航海では、越冬隊 16 人、資材 121 t を昭和基地に空輸するのに成功した。1961 年 1 月 19 日に船尾真水兼バラストタンク内の真水に海水が浸入していることが発見されたが、浸水箇所が、スペクタクルフレームの後端にある整流板の溶接線附近であると推定され、溶接部の亀裂が強度部分に波及する恐れは少ないとして、そのままになった。亀裂面の発錆のため、浸水量は日と共に減じた。航海を終わって入渠し、調査したところ、上記の推定は正しかったことが判明した。

第5次工事のとき、手直しした船首材と外板との溶接部は、X線撮影の結果、異常なかった。また、機械室二重底両舷のマージンアングルを廃止して、溶接に改めた箇所も異常なかった。左舷バルジ最前部区画の下縁で、二重張外板に重油が洩っていたのを修理した箇所も異常なかった。舵柱の整流板を第5次するとき 8 mm から 10 mm に改めたが、左舷 4 m の所で凹入していた。

#### 1.2.11 第6次修理工事

- 1) スペクタクルフレーム整流板の亀裂部を新替。
- 2) 機械室船底外板の補強。
- 3) セスナを前甲板上に繫止。

#### 1.2.12 第6次南極航海使用実績

1962 年 1 月 10 日船尾真水兼鈹合タンク左舷スペクタクルフレーム後部より海水が浸水していることが発見された。浸水量は日を追って減少したことは、前回と同様であった。帰国後調査したところ、左舷整流板の一部に亀裂を生じている外、船尾端部の縦通断接板(厚さ 16 mm)が両舷共船体中心線に向かって膨れて外れていた。このことから推測すると、船尾タンク内の真水が外板側から凍結した際、体積が膨張して、断接板を膨らませ、また、整流板に亀裂を生じたのではないかと考えられる。第5次航海における浸水事故の原因もこれと同じであるかもしれない。

### 1.3 あとがき

「宗谷」は 6 回の南極航海において、南極海の苛酷な気象海象と闘い、さまざまな困難に直面したが、船体機関航空機の大きな事故によって、人命を落すことなく、無事にその使命を達成することができた。その後、1965 年に新鋭の南極観測船「ふじ」が誕生し、その優れた砕氷能力と航空機の力をもって、昭和基地における諸観測が成功裡に継続されていることは、この「宗谷」の貴重な経験による所が大きいものと信じている。

尚、本稿は、上記の工事を直接指導された海上保安庁の徳永陽一郎技術部長の御厚意のもとに、同氏の論文より抜粋さ

せて戴いたものであることを、謝意と共に付記しておく。

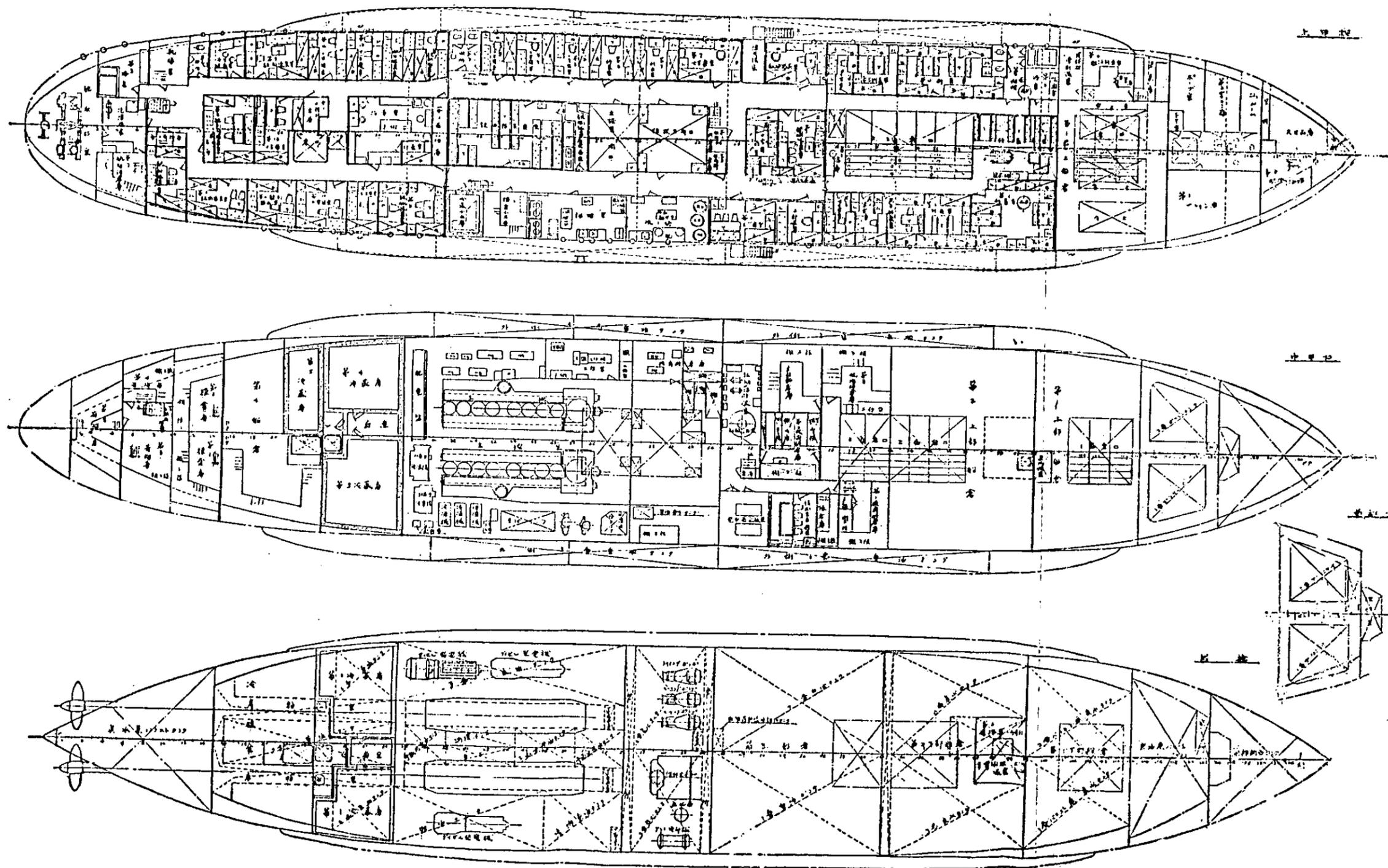
第 1 表 要 目 一 覧 表

	燈台補給船當時	第 1 次 改 造 後	第 2 次 改 造 後	第 3 次 改 造 後	第 4 次 改 造 後	第 5 次 改 造 後	第 6 次 修 理 後
竣 工 年 月 日	1938年6月19日	1956年10月10日	1957年9月30日	1958年10月5日	1959年9月19日	1960年9月30日	1961年9月5日
総 噸 数	2207.92	2497.61	2790.29	2722.42	2736.06	同 左	同 左
純 噸 数	1005.35	843.40	1063.94	1137.22	1142.07	同 左	同 左
全 長	82.255m	83.285m	同 左	83.660m	同 左	同 左	同 左
垂 線 間 長	77.530m	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
幅 { 上 甲 板 バルジ上 縁	12.800m	12.800m	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
深 { 上 甲 板 最 上 甲 板	7.000m	同 左	—	—	—	—	—
満 載 排 水 量	3905.4t	4235.11t	4651.04t	4818.13t	4848.57t	4866.29t	4614.40t
満 載 状 態 { 前部吃水 後部吃水 平均吃水	5.20m	4.75m	5.26m	5.55m	5.59m	5.67m	5.20m
	5.20m	5.94m	6.27m	6.33m	6.35m	6.31m	6.29m
	5.20m	5.35m	5.76m	5.94m	5.96m	5.99m	5.745m
ト リ ム	0m	艀へ 1.19m	艀へ 1.10m	艀へ 0.78m	艀へ 0.76m	艀へ 0.64m	艀へ 1.09m
主 機 関 { 種 類 数 回 転 数 馬 力	川南製3連成 往復動蒸気機関	堅型2サイクル 単動無気噴油デ ィーゼル機関	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	90	210	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	1450IHP	2400BHP×2	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
速 力 4/4 出 力	10KTS	13.942KTS	12.772KTS	12.529KTS	12.287KTS	12.409KTS	12.319KTS
推 進 器 { 数 直 径, ピ ッ チ 比	1	2	2	同 左	同 左	同 左	同 左
		2.95m 0.74	2.95m 0.64				

航続距離	8.5Kで 4,080NM	12.5Kで 14,950NM	11Kで 18,098NM	11Kで 16,400NM	同左	同左	同左
乗組員数	67人	78人	80人	96人	94人	同左	同左
観測隊員数	0人	52人	50人	34人	36人	同左	同左
船艙容積(ベール)	貨物艙 2,549m <sup>3</sup>	貨物艙 1,382.728m <sup>3</sup>	貨物艙 1,741.13m <sup>3</sup> 冷蔵冷房庫 231.6m <sup>3</sup>	貨物艙 1,533.54m <sup>3</sup> 冷蔵冷房庫 231.6m <sup>3</sup>	同左	同左	同左
航空機	種類	ベール 47G	メスナ 180型	ベール DHC-2 47C-2	ベール DHC-2 47G-2	ベール DHC-2 47G-2	ベール DHC-2 47G-2
		0	1	2	1	2	2
航空機	数	0	2	1	2	2	2
				ベール 47G-2 S-58	ベール 47G-2 S-58	ベール 47G-2 S-58	ベール 47G-2 S-58
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1
				2	2	2	2
				2	2	2	2
				1	1	1	1



Plate 1-2. General arrangement of the M. S. Sora.



## 2. 南極観測船「ふじ」

### 2.1 建造計画

「宗谷」による1956～57年の第1次以来1961～62年の第6次に亘る南極観測支援が、船体の老朽により中断されていたが、1965年から再開することが決定された。

そのための輸送面を防衛庁が担当することが閣議で決り、それに伴って新しく建造される観測船の計画が1963年に開始された。

新観測船に与えられる任務は、「船上および極地における観測に従事する南極観測隊員ならびに同物資の極地への輸送」ということで、排水量約5,000トン、速力約17ノット、大型ヘリコプター3機を搭載、400トンの物資を積載できることが要求された。

この計画に当っては文部省南極観測統合推進本部に新船舶設計審議会が設置され、また防衛庁技術研究本部に設計研究会が設けられて、関係各方面と意見の調整が行われると同時に慎重な計画の審議がなされた。

#### 2.1.1 主要目等

本船は上述のように砕氷、輸送、観測の3つの任務を兼ね備えねばならないが、以下の主要寸法、船体形状等は主として砕氷船としての特性から決ってきたもので、これに輸送と観測の能力を付与したものと考えることができる。

全体の船型については、

- 機械室、貨物艙、観測室、ヘリコプター格納庫等に大きな船内スペースが必要となる。
- 暴風圏航行中や砕氷行動中には大きな乾舷が欲しい。
- 後部に飛行甲板とともに観測用ウインチ等を備える作業甲板を必要とする。
- 前後部荷役甲板を同一レベルとし、荷物運搬の便を図る。

等の理由から、船首楼を有する3層全通甲板船とし、かなり長い甲板室の上に船首楼甲板を船尾まで延長している。

次に砕氷船の範疇の中でも特に極地用ということから密群氷中における砕氷の場合などには限られた水域中での優れた操縦性を要求され、小廻りがきくようにL/Bは5以内に抑えた。長さの点では前部の艙口の大きさ、続く居住区、格納庫および後部の飛行甲板の広さなどから全長100mは必要最小限である。

深さについては、船首は途中の暴風圏航行を、船尾については砕氷中船首を氷にのり上げた状態を考慮すれば上述の如く大きな乾舷を必要とすることとなる。

吃水については、プロペラの没水深度を極力大きくして砕氷片との接触をさける必要性を考慮せねばならない。

第1表 主要目

全長(飛行甲板後端まで)	100.00m
計画水線長(DWLにて)	90.00m
最大幅	22.00m
深さ(ベースラインから第1甲板舷側線まで)	11.80m
計画吃水(DWLにて)	8.00m
満載吃水	8.81m
満載排水量	8,838t
主機(推進用発電機原動機)	
単動4サイクルトランクピストン形	3,500PS × 600rpm 4台
無気噴油過給機付ディーゼル機関	

## 推進用発電機

全閉自己通風冷却器付(直流三界磁) 2,420kW×850V×2,850A 4台

## 推進用電動機

全閉他力通風冷却器付(直流他励220V)

(2台づつタンデム) 2,250kW×850V×2,850A 4台

回転数 110rpm(強め界磁)

150rpm(弱め界磁)

### 2.1.2 機関出力および航続距離

本船の所要軸馬力は

- 最高速力を満足すること。
- 4機のうち2機の発電機運転でおおむね航海速力を出せること。
- 砕氷能力を極力大とすること。

の3条件を満たすことが要求された。機関出力は大きい程これらの条件に対し有利であることは言うを待たないが、機関スペース、所要燃料搭載量、乗員等を考慮して本船では12,000軸馬力が選ばれた。

航続距離は、15ノットで15,000浬であって、これに要する燃料約1,900トンを搭載する。この燃料は最悪の場合本船が氷海でビセットされ越冬を余議なくされた場合でも必要人員が船内で生活するための必要最小限の量をまかなうものと考えられる。

### 2.1.3 船体形状

砕氷船の船体形状については断片的な所説は数多くあるが、系統的実験結果等は最近になって漸く発表されつつある段階で、建造当時検討し選択した事柄は次の如くである。

- いわゆる all convex surface と no parallel body の線図とした。
- 船首材は満載吃水線上2mの附近から下を水平に対し30度の傾斜をもたせ、最下端には垂直のステップを設けた。
- midship section の形状としては満載吃水線附近を垂直に対し20度傾斜させ、周囲の海水が結氷し押しつけられても船体が浮き上る方向に力がはたらく様考慮した。

### 2.1.4 砕氷能力

砕氷能力を決める要素は船の大きさ即ち排水量、馬力、船体形状、プロペラ等があげられる。

極地における砕氷運動は、

- 定着氷のように比較的平らで堅牢な氷板を、前後進を行い衝突乗り上げを繰返しながら割って進むいわゆる charring (又は ramming) 砕氷
- pack ice が密に存在する海面を船の推力で押し分けながら水路を開いて進むいわゆる連続砕氷に分けられるが、昭和基地周辺ではむしろ後者の状況が多く、「宗谷」はこの様な場面で悪戦苦闘したことが報告されている。この場合もっともものをいうのは推力であってその目安となる軸馬力/排水量比は本船の場合米国の砕氷船“WIND”級のものとほぼ同じ値となっている。

一般に砕氷能力は破壊できる氷の厚さで表現されるが氷の性状はその成因、外界条件で多種多様で一概には言い現わせない。従ってたゞ氷の厚さだけを言うのは無意味で、他船との比較で表わすのが妥当である。本船の能力は米国の砕氷船“GLACIER”より若干劣り、“WIND”級の約20%増、“宗谷”の約2倍位と推定される。

砕氷運動に関連してヒーリング装置とトリミング装置が設けられている。ヒーリング装置としては本船では3対の舷側タンクがあり、合計340トンの水を半周期90秒で片舷から他舷に移動できる4,500t/hr×1台、3,000t/hr×2台のポンプを備えている。トリミング装置としては本船では200トンの水を約10分間で移動できる様1,200t/hrのポンプを1台備えている。

### 2.1.5 復原性動揺性等

一般に砕氷船は幅が広いので復原力はむしろ過大となる傾向がある。また砕氷中船首を氷に乗りあげた状態では座礁した場合と同じように見掛のGMの減小をきたすので忘れてはならない検討項目である。

一方前述の如く船体断面が円形に近くて横揺の動揺減衰が小さい。またビルジキールは、途中の暴風圏航行を考えれば欲しいが、「宗谷」の経験から砕氷行動中に曲損し減揺効果を失うばかりでなく途中航行にも障害となるおそれがあるので、これを設けないこととした。従って他に何らかの対策を施す必要があるので、passive形の減揺タンクを採用することとした。すなわち1組の主タンクと2組の副タンクを設けた。合計水量は約210トンで排水量の約3%に相当する。この効果はタンクを使用しない場合の横揺角の約 $1/2 \sim 1/3$ に減小した。

### 2.1.6 船体構造

全般的には商船式の構造方式をとり、日本海事協会の鋼船規則に従って設計されたが、砕氷船としての補強についてはノルウェー船級協会の規則に準拠した。

構造方式は横肋骨式とし、氷から受ける外力は水線にそった線荷重が主と考えられるので、これに対抗するためなるべく多数の横肋骨で受けこれを甲板、船側縦通材で支持、さらに隔壁に分散させて吸収する様にした。

またいわゆるアイスベルトとして水線附近の上下ある幅の外板を特に厚くして氷圧に対抗しているが、本船の場合前部は最大45mm厚、中央部で30~35mm厚、後部は38mm厚の50kg/mm<sup>2</sup>高張力鋼材を使用した。高張力鋼の規格は日本海事協会の規則に準拠したもので、上記のアイスベルト以外にも舵板、暴露部甲板、肋板等にも用いている。使用区分は以下の通りである。(添付図2参照)

使用区分	板厚	級別
外板・舵板	30mm以上	K5E
	30mm未満	K5D
暴露部甲板		K5D
肋板等	23mm以上	K5D
	23mm未満	K5A

### 2.1.7 推進方式

砕氷船の推進機関の所要特性は

- 零から全力の全範囲にわたる急激なプロペラ負荷の変動に対応できること。
- 急激な増減速、前後進が頻繁に行われるがこれに対応できること。
- プロペラが氷を打った時の過大な瞬間的トルクに対応できる様大きなストールトルクを有すること。
- 数箇所操舵ステーションから遠隔管制ができること。

等の条件を満たすものであることが必要である。

これらの条件に合致する推進機関はディーゼル電気推進方式で、電気推進にも種々の方式があるが、本船では過負荷抑制と停動動作を有しかつ定出力特性をもったワードレオナード方式が採用された。

### 2.1.8 配置その他

附図1に示す如く、中央部は大きな機関区画によって占められその前後は輸送貨物用の貨物艙、冷蔵庫等、両端部はトリミングタンクとなっている。中央部第3甲板は機械操縦室、倉庫、作業区画に、第2甲板中央部は観測隊員居住区、その前後は乗組員居住区にあてている。第1甲板上船首楼と後部甲板室は乗組員居住区および観測室、O1甲板上は煙突より前は船橋、後部はヘリコプター格納庫、後部は飛行甲板となっている。船橋は3層として士官居住区、観測室、船橋等となっている。

二重船殻構造および二重底内は殆ど各種のタンクに当てられている。

その他前部甲板上には貨物荷役用に10トンおよび8トンのデッキクレーンを設け、後部にはエレベーター、また前後部貨物艙付付近にはコンベレーターを設け、またO1甲板右舷側には通路をつくりフォークリフトにより前後の貨物運搬に便ならしめる等頻繁なヘリコプターによる貨物のピストン輸送に対応できる様考慮している。

その他、輸送用および偵察用のヘリコプター3機を搭載している、航海中海洋観測を行うため後部第1甲板上には観測用ウインチを配置し作業甲板としている、その他にも気象海象宇宙線等種々の観測機器類を搭載している、遠隔の極地で単独行動をするため強力な通信機器を備えている、等々特殊な装備が数多くあるが、上述の特に砕氷船としての特徴的な事柄に記述を止め、以下行動実績に話を移すこととしたい。

## 2.2 運航実績

1965年夏に竣工して以後、1965～66年の第7次以降10回におよぶ南極行を経験し、その間第11、12、13次の3回に一時氷海中にピセットされた事もあったが、概ね本船の使命とする観測隊の人員および物資の輸送を達成してきている。

その経験の中で今後の参考となる事柄を摘記してみることにする。

### 2.2.1 氷の状態

第7次航の報告によれば、「次年度以降の昭和基地接岸または至近距離進入の可能性は、今次のみの経験をもつて即断はできないが、今後特に氷状に変化が無い限り云々」とあるが、事実各年次で氷の状態も非常に差異があるととも刻々変化するものの様である。

第10次までの4回は氷状も比較的近似しており昭和基地への接岸も達成している。第11次航は昭和基地への接岸および輸送は達成したものの、帰路密群氷中に閉じ込められ、この際右舷のプロペラ4翼が切損脱落し約20日間ピセット状態が続いた後、天候および氷状の回復を待つて漸く氷海を脱出することができた。(対策については後述する。)この第11次以来氷状は極めて悪く、第12、13次にもそれぞれ約1ヶ月、約20日のピセットがあり、第12次には右舷のプロペラ中1翼が切損脱落している。第12次以降は第11次の時の戦訓に鑑み無理して昭和基地への接岸を企画せず、概ね基地から30～40哩離れた定着氷に接舷して輸送拠点とし、人員物資は専ら空輸を利用することに方針が変更されている。

なお密群氷地帯では大きさ数哩におよぶ氷山群が座礁定着していたり、ハンモックアイスは厚さ数mにおよぶものが多数ある様な状態である。

また定着氷地帯では1年氷は概ね積雪10～30cm、氷厚0.5～1.5m、2年氷は積雪10～40cm、氷厚1.5～4mという様な数字が報告されている。

### 2.2.2 砕氷性能

第7次航の報告によれば「ふじの砕氷艦としての全般性能はほぼ計画に近い能力を発揮しており、今後の観測支援任務達成上特に支障はないと認める」とあり、東京帰港後の観察によっても氷との摩擦により水線附近のペイントが剥落している以外何等船体構造に支障は発見されていない。砕氷状況については次のように報告されている。

連続砕氷時(氷量10/10のとき)

厚さ約1.2mのレベルアイスの場合 2機運転で4～5ノットの速力を保持した。

厚さ約2mのハンモックアイスの場合 4機運転で5ノットの速力を保持した。

チャージング砕氷時

定着氷(氷厚1.5～2m)接岸時

2機運転で助走距離200m衝突直前速力6ノットで進入距離平均35mを得た。

また連続砕氷時厚さ4mの青氷のリッジに遭遇し4機運転(出力6/10)助走距離100m5ノットでこれを破砕し通り抜けた。

従って前述の11、12、13次航のピセットは上記を越える密群氷に閉じ込められたことになる。

またチャージングについては数10回ですんでいることがあるかと思うと、数1,000回のチャージングを行っている場合

が報告されており、その時々氷の状態、艦の運用により非常に差違がある。最もひどい場合には1時間当たり平均10～11回のサイクルで30時間ぶつづけにチャージングを繰り返している。

なおチャージング時の水平前後加速度は最大0.03～0.04gが記録されたにとどまり、衝撃は殆ど問題にならなかったと報告されている。

### 2.2.3 プロペラ折損に対する対策

建造当時はプロペラの材料選択の因子として降伏強度、耐衝撃性、耐腐食性の3点から12%クロム系ステンレス鋼が選ばれた。上述の如く第11次航の氷海脱出時に右舷プロペラが4翼とも根元から切損脱落した。この情報を受けて文部省内に調査委員会が設けられ、東京帰港後の入渠時にその状況を観察するとともに成分の分析、残った材料から試験片を作製して機械的試験、左舷のプロペラのダイチェックを行い種々対策が検討された。この際左舷のプロペラも4翼とも根元近くにクラックが発見された。検討の結果、プロペラ翼に対して何らかの衝撃があり、脆性的な破壊により折損したものと推断された。対策としては、推進機関の動特性、特に電氣的回路の過負荷自動遮断等の考慮、プロペラ材質の改良とこれに対応したプロペラ強度設計の再検討、あるいはプロペラ材質の劣化防止のための各種電気防食の検討等を考慮すべきであると結論づけられた。この結果電気回路の改良とプロペラ材質の新材質への変更が実施された。旧プロペラおよび新プロペラの材質は下記の通りである。

材 質	旧プロペラ 12Cr系ステンレス鋳鋼 JIS SCS-1	新プロペラ 三菱特殊鋳鋼 MSS
C	< 0.15 %	< 0.08 %
Si	< 1.50 %	< 0.8 %
Mn	< 1.00 %	0.2～0.8 %
Cr	11.50～14.00%	11.0～13.0%
Ni	< 0.60 %	4.5～7.0 %
	P < 0.050 %	Co 3.0～5.0 %
	S < 0.040 %	Mo 1.0～2.5 %
$\sigma_y$	> 45 kg/mm <sup>2</sup>	> 35 kg/mm <sup>2</sup>
$\sigma_b$	> 55 kg/mm <sup>2</sup>	> 90 kg/mm <sup>2</sup>
伸び	> 20 %	> 10 %
絞り	> 40 %	> 30 %
硬さ HB	163～229	> 260

全プロペラ翼が新材質に換装された第13次航以降は、吊上孔周辺に微小クラックが発見されたものが1個、翼後縁に微小クラックが発見されたものが2個あったがこれらは手直しの上使用できる程度のものであり、材質変更の効果があったものと考えられる。

### 2.2.4 推進発電機用機関

推進装置関係としては電氣的部分すなわち推進用発電機、全電動機には各年次の修理報告でも大きな問題となる様な項目は報告されていない。

発電機用原動機については、就航当初から附属諸弁の補修新替が通常より多く報告されていたが、この2～3年の間にシリンダー蓋は殆ど全数新替を行い、またシリンダーライナーの新替も若干数づつ報告されており、船体に比し機関の衰耗度が激しい様である。

### 2.2.5 その他

各種通信用アンテナ、起倒式手摺の小破損、諸管の腐食等が時々報告されているが、大きな問題となるものはない様

に思われる。その他居住区の破損、汚れが目につく様になったとして整備を要望されているが、厳しい環境の下で長期間航海する本船の如きは居住環境は通常船舶以上に快適なものとする考慮が必要と思われる。

以上で「ふじ」に関する報告を終えるが、計画に関する部分は防衛庁海上幕僚監部の山川健郎氏の御好意によりその発表を引用させていただき、また運航実績については同庁南極観測支援室より資料の提供を仰いだ事を付記しここに謝意を表します。

船体側面

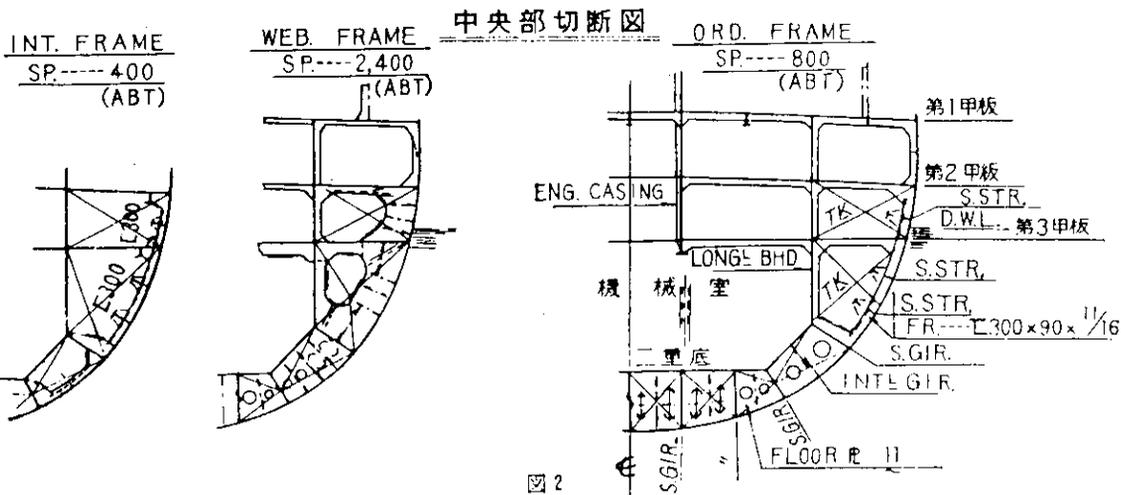
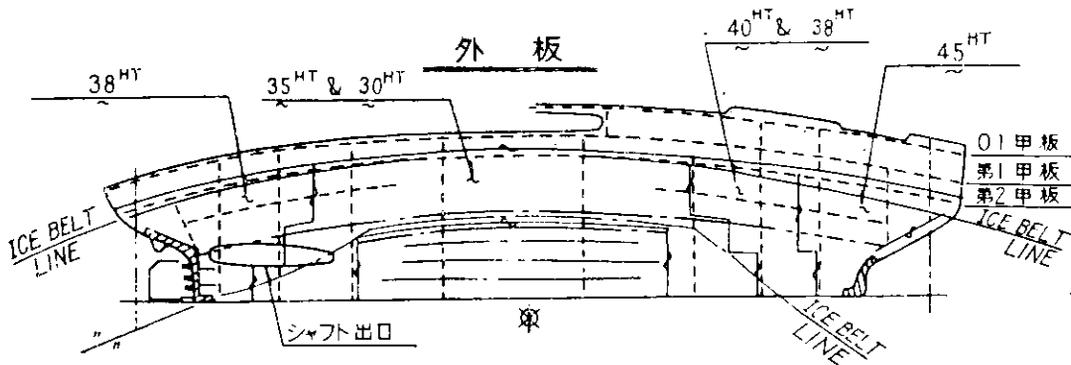
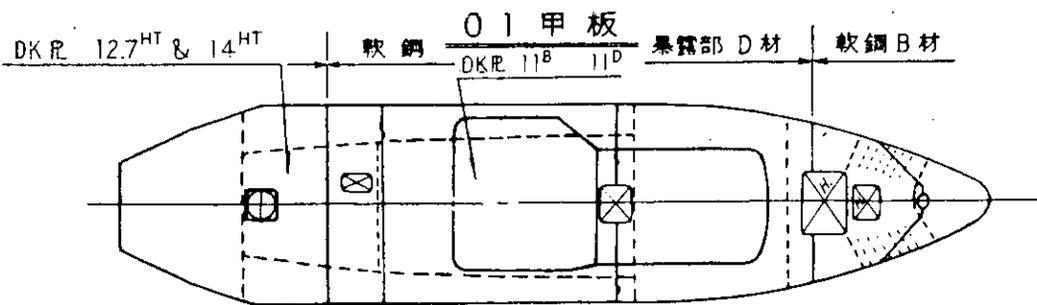
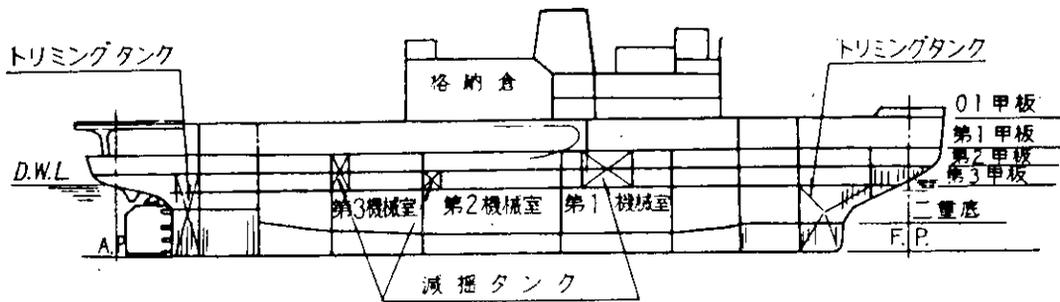
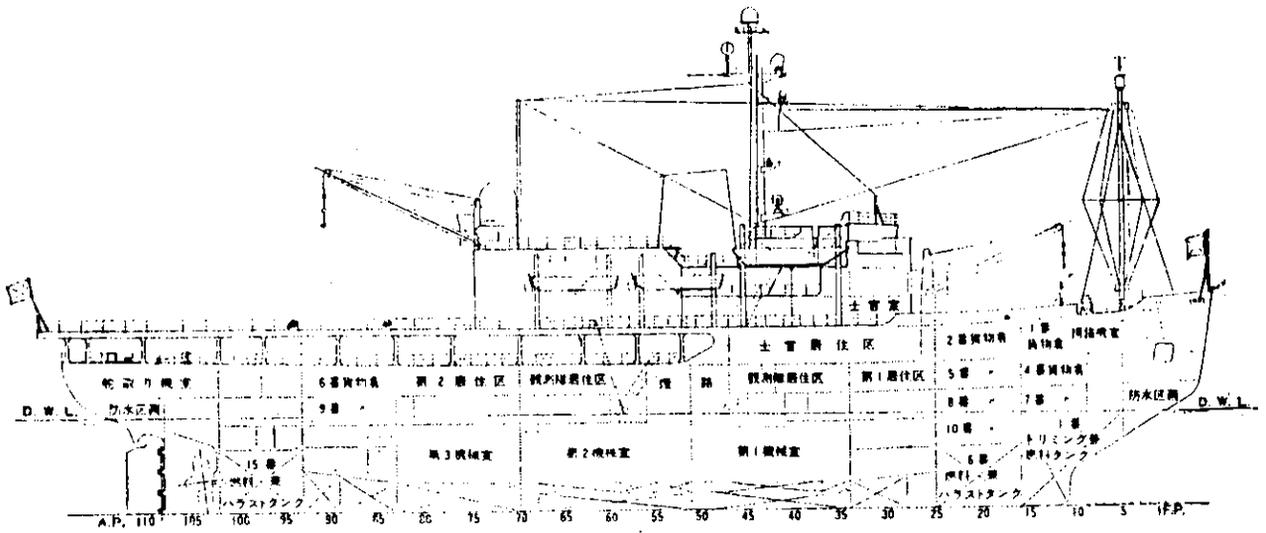


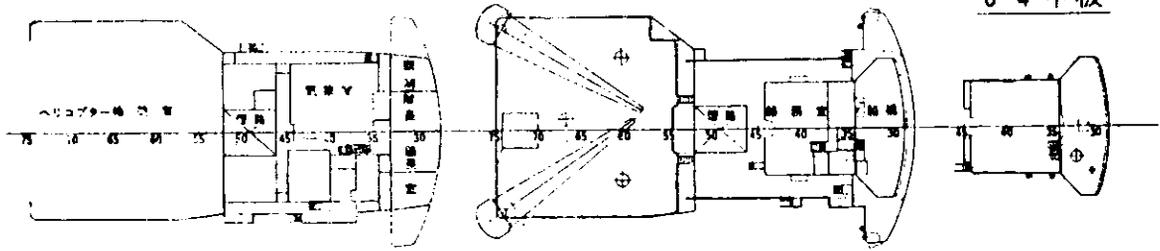
図 2



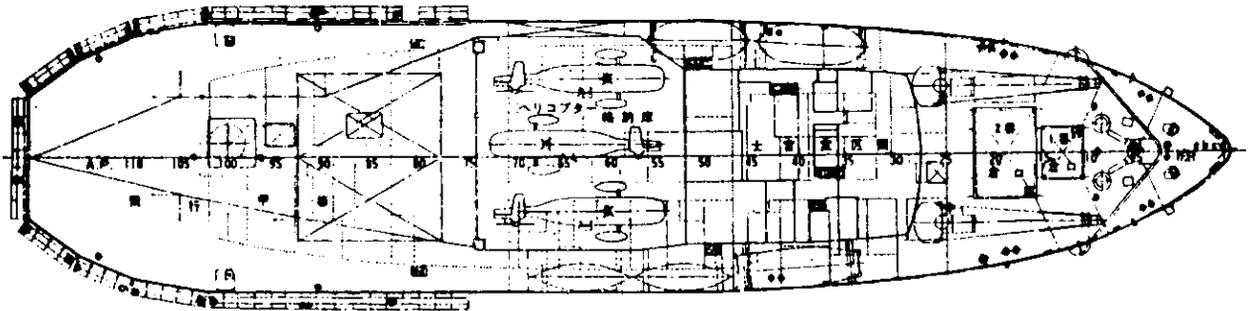
G 2 甲板

O 3 甲板

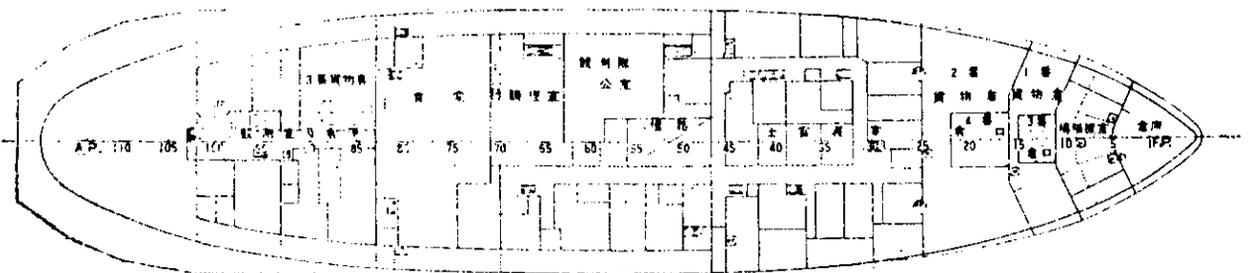
O 4 甲板



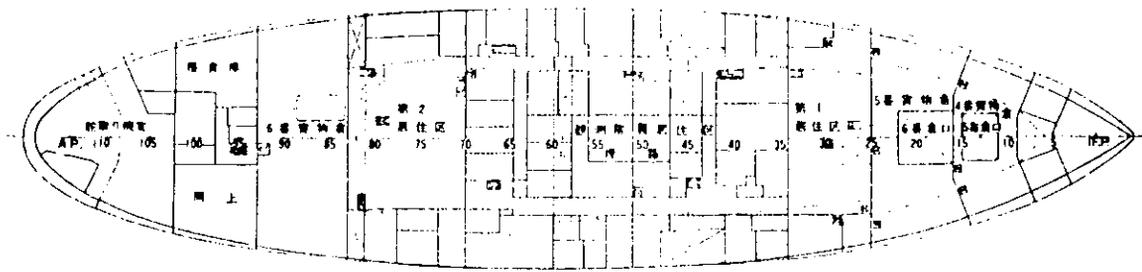
O 1 甲板



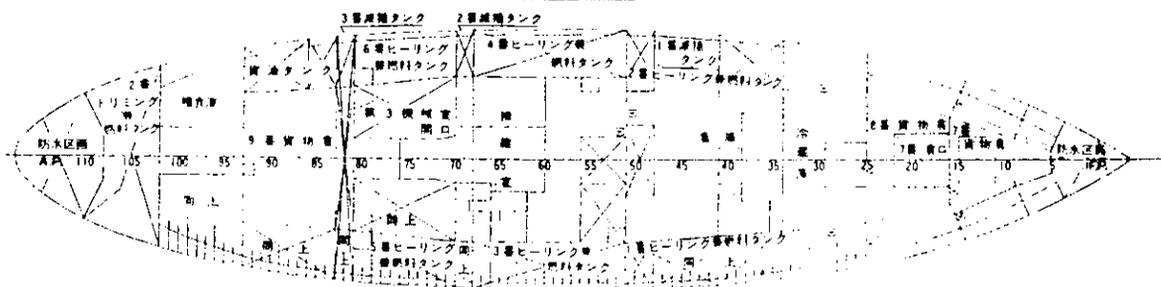
第 1 甲板



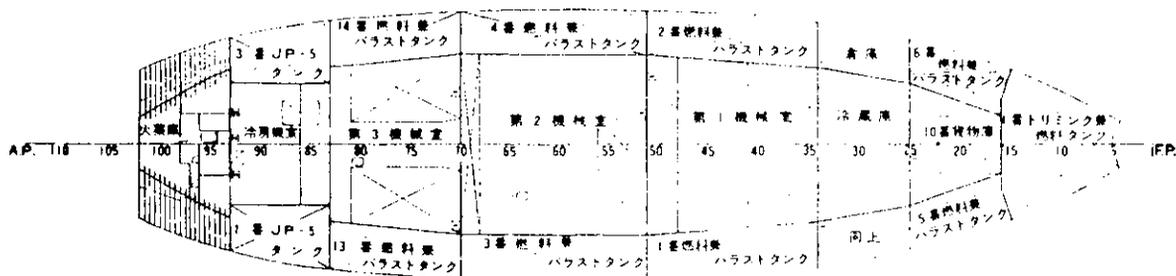
### 第 2 甲板



### 第 3 甲板



### 第 4 甲板



### 船倉

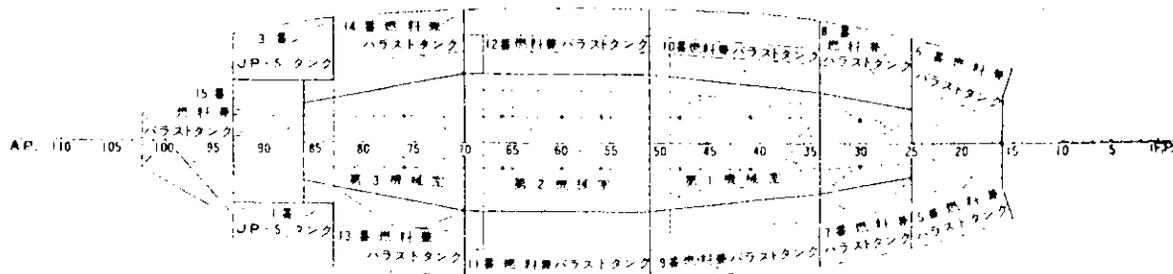


図1 一般配置図