

(14) 鋼船規則検査要領V編V2.1.1-2.において、1988年議定書を適用しない船舶に対し、乾舷の指定において

IACSの統一解釈を適用する旨を明記した。(外国籍船舶のみ)

#### 4. 鋼船規則A編、C編、I編及びP編、旅客船規則並びに 関連検査要領における改正点の解説 (極地氷海船等)

##### 1. はじめに

2007年9月27日付一部改正により改正されている鋼船規則A編、C編、I編及びP編、旅客船規則並びに関連検査要領中、極地氷海船等に関する事項について、その内容を解説する。なお、本改正は2008年3月1日以降に建造契約が行われる船舶（一部の要件については、2007年7月1日以降に起工又は同等段階にある船舶）に適用されている。

##### 2. 改正の背景

IACSは2006年8月に極地氷海船の船体構造及び機関に関する統一規則（UR I1、UR I2及びUR I3）を採択した。本統一規則は、IMOが2002年に採択したMSC/Circ.1056及びMEPC/Circ.399 “Guideline for ships operating in Arctic ice-covered waters” のA部2章「構造」及び7章「主機」の規定において参照されており、北極海のように年間を通して結氷している水域を自力航行可能な船舶までも対象とする規則である。

一方、北バルト海のような冬季及び春季にのみ結氷する水域での航行に耐える船舶を対象とする規則として、Finnish-Swedish Ice Class Rules 2002（以下、FSICRという。）に基づく規定が、鋼船規則C編28章に定められている。このFSICRに関し、フィンランド及びスウェーデン政府は、2006年12月に喫水線の定義及びその取り扱いに関する規定を改正した。

このため、氷水域を航行する船舶を対象とする規則として鋼船規則I編を新設し、IACS統一規則を参考に、極地氷海船に関する規定を制定した。また、鋼船規則C編28章の規定を上記FSICRの改正を参考として一部改正し、同I編に移設した。

##### 3. 改正の内容

###### 3.1 鋼船規則I編／鋼船規則検査要領I編

IMOのMSC/Circ.1056及びMEPC/Circ.399に対応する船舶を極地氷海船と定義し、IACS統一規則等を参考に、適用、定義、材料、船体構造及び機関に関する規定を鋼船規

則I編1章から4章に規定した。また、FSICRに対応する船舶を耐氷船と定義し、現行鋼船規則C編28章の規定のうち、定義及び分類に関する規定を鋼船規則I編1章に、船体及び機関関係等の規定を鋼船規則I編5章に、それぞれ一部改正のうえ移設した。(表1参照)

###### 3.1.1 I編1章（総則）

- (1) 鋼船規則I編の規定は、氷で覆われた水域（氷水域）での航行を計画する船舶に適用することとし、これらの船舶（極地氷海船及び耐氷船）の定義及び適用規定を規則1.1.1に定めた。また、I編の規定は通常の船舶に要求される規定に追加して適用される旨明記した。
- (2) 規則を適用する上で必要な事項（極地氷海船階級又は耐氷船階級、最大氷海喫水線及び最小氷海喫水線など）を提出図面に記載する旨1.1.2に規定した。
- (3) 1.1.3の低温に対する配慮に関する規定は、FSICRに基づく鋼船規則C編28章28.1.1-4の規定を移設したものであるが、一般的な規定であることから、極地氷海船にも適用することとした。
- (4) IMOのガイドライン及びIACS統一規則の定義に従い、規則1.2.2に極地氷海船の階級（Polar Class 1からPolar Class 7の7階級）を明記するとともに、極地氷海船階級の定義に用いられる氷の厚さに関する説明を検査要領I編I1.2.2に示した。また、フィンランド及びスウェーデン政府の規則並びにカナダ政府の規則に倣い、規則1.2.2に耐氷船の階級（IA【ワンエー】SuperからIDの5階級）を明記した。なお、極地氷海船階級Polar Class 6及び7に対する要件は、耐氷船階級IA Super及びIAに対する要件とほぼ同等である。(図1参照)
- (5) 規則図I1.1及び図I1.2に極地氷海船及び耐氷船の船体区域の分類を示した。極地氷海船は、氷との接触だけでなく氷塊との衝突（氷に乗り上げての砕氷を含む）についても考慮しているため、船体を船長方向に、船首域、船首中間域、中央域及び船尾域の4つに分類し、さらに船首中間域、中央域及び船尾域を船の深さ方向に耐氷帯域、下部域及び船底域の3つに分類している。一方、耐氷船は、砕氷された氷

との接触のみを考慮しているため、船長方向は、前方域、中間域及び後方域の3つに分類し、船の深さ方向は、最小氷海喫水から最大氷海喫水までの間(耐氷帯)に限定したものとなっている。

### 3.1.2 1編2章(極地氷海船の材料及び溶接関連)

#### (1) 鋼材の使用区分(2.1.2及び2.1.3)

氷海船に対する鋼材の使用区分は、常に海水に接する箇所、低温外気に曝される箇所、氷荷重の作用箇所及び氷海船階級に応じた規定となっている。常に海水に接する箇所は、鋼船規則C編1章の一般船に対する規定と同一である。氷海船に対する使用区分においては、前述のように追加事項が多いため、IACS統一規則S6 (UR S6) の表S6.1及びS6.2をそのまま用い、表I2.1及びI2.3を規定した。また、氷海船を対象とする構造部材分類を表I2.2に規定し、それに対し要求される鋼種を表I2.4に規定した。更に、低温外気に曝される風雨暴露部の船殻部材に付けられる防撓材も低温に対する配慮が必要なため、表I2.5として防撓材等に対する鋼材の使用区分を定めた。なお、外板にクラッド鋼を用いる場合は、板厚を母材厚さとして規則を適用する旨検査要領に規定した。

#### (2) 機関の材料(2.1.5から2.1.7)

海水に曝される材料及び海水温度に曝される材料の設計温度は、0℃(海水温度)とした。また、低温空気に曝される機関の材料の設計温度は、想定される使用温度とした。これらの材料は、設計温度より10℃低い温度にてシャルピー衝撃試験を実施し、平均吸収エネルギーが20J以上有するものでなければならぬ旨2.1.5から2.1.7に規定した。

#### (3) 防食措置及び耐磨耗措置(2.3.1及び2.3.2)

一般的に外板に使用される防錆及び防汚塗料は、氷との接触を考慮する必要がある氷海船にあっては、あまり有効でない。塗膜の劣化した場合、腐食及び磨耗により板厚減少が通常より大きいいため、外板に対し、強化した腐食予備厚とする旨規定した。また、市販されている氷との接触を考慮した特殊な塗料(表I2.6備考(1)参照)を用いた場合は、その効果を考慮した腐食予備厚を適用する旨規定した。なお、外板の対腐食及び対磨耗対策は、効果的な塗装又は強化された腐食予備厚の適用のどちらも同等であると考えているため、氷との接触を考慮した塗装等効果的な保護を施すことについては、推奨事項とした。

#### (4) 防撓材に対する腐食予備厚を2.3.3に定めた。

### 3.1.3 1編3章(極地氷海船の船体構造関連)

#### (1) 適用

氷海船にあっては、氷との接触、氷片への乗上げを考慮して、船首の形状が、一般的な船舶に見られる球状船首(バルバスバウ)ではなく、砕氷船首形状

(スプーン形状或いは楔形形状)が採用されることから、氷荷重の評価は、当該形状に対してのみ評価されている。従って、規則に規定する設計氷荷重は、砕氷船首形状を有する船舶にのみ適用できる旨規定した。

#### (2) 荷重シナリオ

設計氷荷重は、氷が船首に衝突する衝突荷重シナリオに基づいて定められている。衝突荷重シナリオは、局部強度評価用のものと縦強度評価用の2つがある。2つの荷重シナリオの概念を図2に示す。このシナリオに基づく荷重評価の考え方を3.1.2に規定した。

#### (3) 復原性及び区画

復原性及び区画に関する規定は、IACS統一規則にはないため、IMOのMSC/Circ.1056及びMEPC/Circ.399のPart A 3章の規定を参考に定めた。

#### (4) 設計氷荷重

設計氷荷重は、氷海船階級に応じた氷の厚さ、氷の強度、衝突時の船速、排水量、氷荷重の作用面の大きさ、船体区域をパラメータとして、経験及びカナダ政府が実施した研究成果に基づき定められた。規則に規定する破砕係数、曲げ破壊係数、荷重作用面係数、排水量係数、縦強度係数、船速、氷厚及び氷強度と氷海船階級の関係を図3に示す。なお、氷海船階級PC6は、FSICRのIA Superと整合する船速、氷厚となっている。

#### (5) 局部強度

板厚算式は、鋼船規則C編に規定する横圧を受ける板厚算式と同一の考え方に基づく。

防撓材算式は、鋼船規則C編の弾性梁理論ではなく、塑性理論に基づいている。具体的には、塑性梁断面の中立軸及び塑性断面係数の簡易算定方法を示し、設計氷荷重及び許容応力(使用材料の降伏応力)により要求塑性断面係数の算式を規定した。また、防撓材のせん断強度については、許容応力を限界せん断強度となる降伏強度の $\sqrt{3/3}(=0.577)$ 倍とした。

本会には氷海船として登録された船舶が現在のところ1隻もないため、IACS統一規則による寸法影響を具体的に評価することができない。そこで、統一規則の要求レベルを把握するため、FSICRに基づくIA Superとして登録された船舶の船首部の外板を例として、氷海船階級毎に算定した結果を図4に示す。なお、計算は、IA Superに採用されている防撓材配置及び使用材料を仮定して計算した。

氷海船階級PC1の要求板厚は、IA Super(氷海船階級PC-6)に対するものの約2倍、また、防撓材の要求断面係数は、設計氷荷重の計算結果から約4倍と、非常に大きなものとなる。このことから、PC1のように厳しい氷海船階級の船舶は、防撓材や桁の配置

を、通常の船舶よりかなり密にする必要があることが分かる。

#### (6) 桁部材

特設肋骨や船側縦通桁などの桁部材も、局部強度と同様に塑性理論に基づき評価する旨規定した。なお、直接強度計算は、格子構造の構造応答を求めるために実施しなければならないが、規則算式の代替評価手法として認められない旨規定した。

#### (7) 縦強度

氷海船の縦強度は、通常の船舶に要求される規定を満足することに加え、船首部が氷片に乗上げた場合に生じるせん断力及び曲げモーメントを考慮する必要がある。本評価は、波浪中の縦強度評価算式における波浪荷重の代わりに氷から受ける荷重を用いて評価されることになる。

### 3.1.4 I編4章（極地氷海船の機関関連）

#### (1) 一般（規則I編4.1）

統一規則I3.2に基づき、規則I編4章に関連して提出が要求される図面及び資料の項目を定めた。また、システム全体の設計要件として、防火設備、自動化設備等に関する追加の要件を定めた。

#### (2) 設計荷重（規則I編4.2）

統一規則I3.4に基づき、プロペラ、軸系及び動力伝達装置の設計時に検討すべき荷重について要件を定めた。規則I編4.2.1にこれらの荷重の項目を定めるとともに、同4.2.2から4.2.9に荷重（表2参照）の具体的な計算方法及び計算式について定めた。これらの計算式によって与えられる荷重の値は、実船計測から得られたデータと比較することにより検討されたものである。参考として、図5から図9にこれらの荷重の計算結果の例を示す。

#### (3) 設計要件（規則I編4.3）

統一規則I3.5に基づき、プロペラ、軸系及び動力伝達装置の設計要件を定めた。プロペラの強度については、4.2.2及び4.2.3により求めた荷重を用いて有限要素解析によりプロペラ羽根に生じる応力を計算し、当該応力がプロペラ羽根の材料の許容応力を超えないように定めた。また、損傷が発生しやすい羽根の先端部については、最小厚さを定めることにより特別に考慮したものとなっている。軸系の強度については、一般の船舶に要求されるねじり振動の計算とは異なり、プロペラに氷が衝突することによって軸系に作用する過渡的なトルクについて検討するように定めている。ここでは、プロペラと氷の衝突によって生じるパルストルク（図I4.1の4ケース）に対する軸系の応答計算が要求される。

#### (4) 機関の支持部（規則I編4.5）

統一規則I3.7に基づき、原動機、発電機及びその他

の重要な装置の支持部の強度設計においては、船体と氷が衝突することによって発生する慣性力について考慮するよう定めた。ここでは、慣性力の計算式を定めている。ここに定める慣性力の値は計測データと比較することにより検討されたものである。

#### (5) その他の低温対策（規則I編4.6及び4.7）

規則I編4.6に、雪の滞留及び凍結から機関やタンクを保護するために必要となる措置について要件を定めた。タンクの凍結防止のための具体的な措置としては、ヒーティングコイルやエアバブル発生装置の採用等が挙げられる。

規則I編4.6.2では、統一規則I3.8に基づき、海水冷却ラインに氷が侵入することによって管が閉塞することを防止するための要件を定めるとともに、IMOのMSC/Circ.504“GUIDANCE ON DESIGN AND CONSTRUCTION OF SEA INLETS UNDER SLUSH ICE CONDITIONS”を参考に、シーベイ及びアイスボックスを用いた海水取入れ設備の配置例（図I4.2）を示した。

規則I編4.7では、氷水域を航行中に通気を確保するための一般的な要件を定めている。

#### (6) 舵及び操舵装置（規則I編4.8）

規則I編4.8は、舵及び操舵装置の設計について、舵に氷が衝突することにより発生する荷重を考慮するよう定めている。

### 3.1.5 5章（耐氷船関連）

フィンランド及びスウェーデン政府が定めた規則に基づいた鋼船規則C編28章の規定をI編5章に移設するとともに、喫水線に関する用語を変更した。

また、今回追加された図I5.1は、2006年12月のFSICRの改正事項を取り入れたものであり、夏季淡水満載喫水船（図I5.1のFの位置）が最大氷海喫水線（図I5.1のICEの位置）より上方にある場合、それを示す逆三角形の標示が必要である旨を規定したものである。

## 3.2 鋼船規則A編

極地氷海船階級（PC1からPC7）に対応する船級付記符号を1.2.5-1に定めた。

## 3.3 鋼船規則検査要領B編

FSICRの改正に基づいた喫水線（I編5章図I5.1）の標示に関し、2007年7月1日より前に起工された船舶であっても、当該標示が要求される船舶にあっては、同日以降の最初の入渠又は上架の時期までに検査により当該標示の確認を受けるように検査要領B編B1.1.3-5.(13)に規定した。

## 3.4 鋼船規則C編、B編／鋼船規則検査要領D編、N編、P編／旅客船規則

鋼船規則C編28章の規定をI編5章に移設したことに伴い、参照番号を変更した。

表1 鋼船規則I編の構成

	極地氷海船 (Polar Class (PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7))	耐氷船 (Finnish-Swedish Ice Class Rules 2002 関連)
1章	定義, 分類等に関する規定	
2章	材料及び溶接に関する規定	—
3章	船体構造に関する規定	
4章	機関及び機関艙装に関する規定	
5章	—	船体, 機関及び艙装に関する規定 (鋼船規則C編28章から移設)

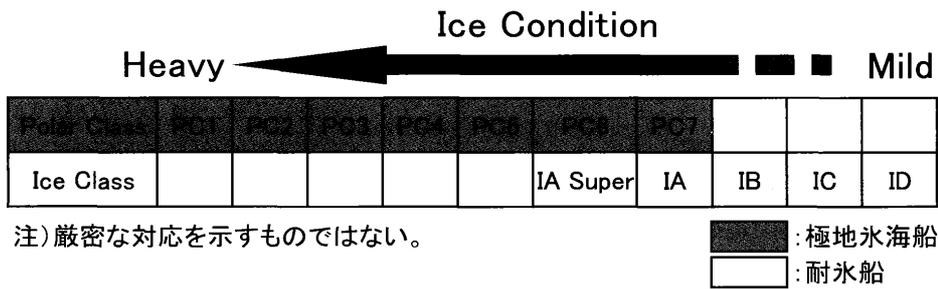


図1 極地氷海船階級及び耐氷船階級

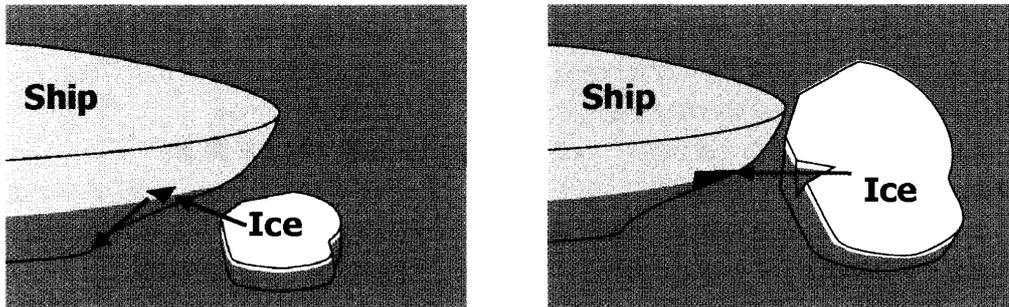


図2 衝突シナリオ

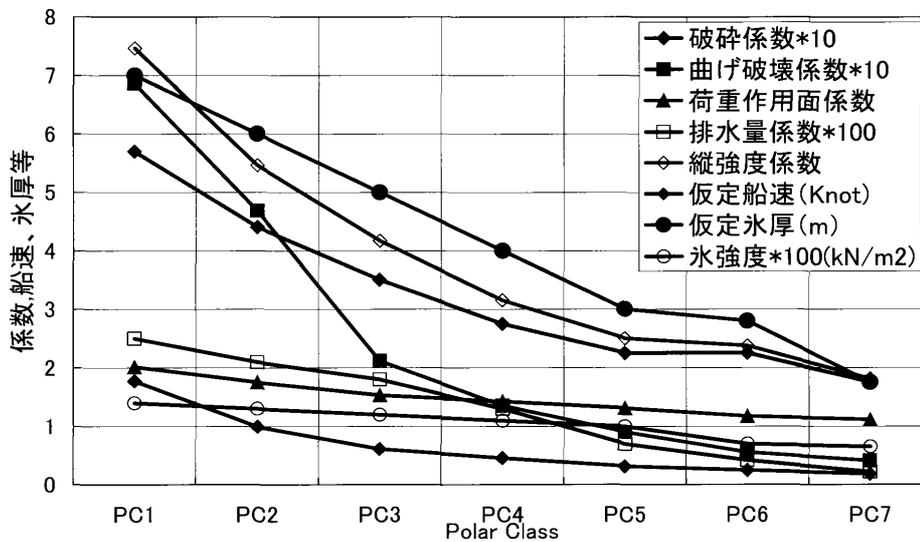


図3 氷荷重に関する諸係数

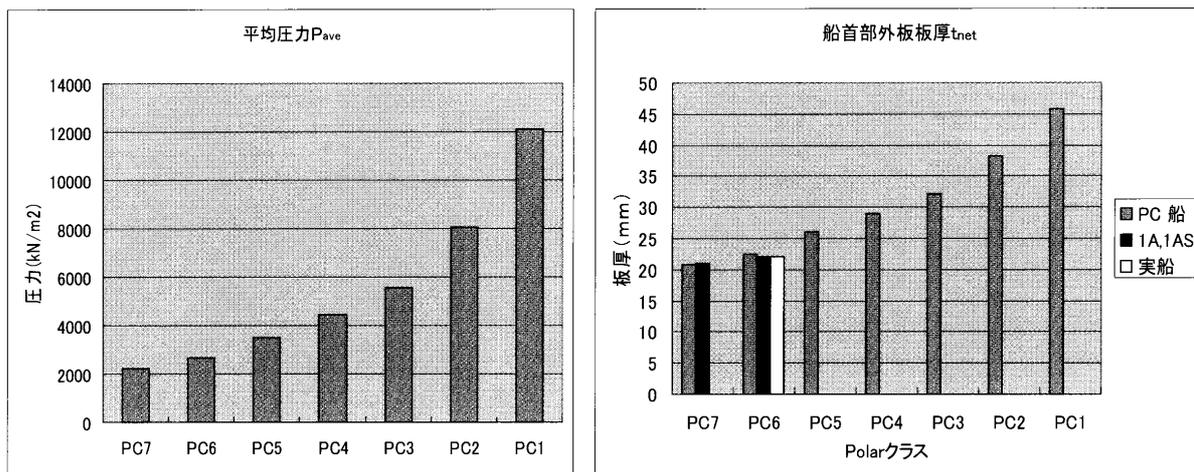


図4 船首部外板の水荷重及び要求板厚

表2 機関の設計荷重

荷重	定義	設計
$F_b, F_f$ [I編 4.2.2/4.2.3]	プロペラと氷の相互作用により、船舶の一生においてプロペラ羽根に作用する最大荷重（流体力学的荷重を含む）。ここで、 $F_b$ ：船尾方向の荷重/ $F_f$ ：船首方向の荷重	プロペラ羽根の強度計算に用いる設計荷重
$Q_{smax}$ [I編 4.2.4]	プロペラと氷の相互作用により、船舶の一生においてプロペラ羽根に作用する最大スピンドルトルク	可変ピッチ機構及び羽根取付けボルト等の強度計算に用いる設計スピンドルトルク
$T_b, T_f$ [I編 4.2.6]	プロペラと氷の相互作用により、船舶の一生においてプロペラ（全翼）に作用する最大スラスト。ただし、 $T_b$ は船尾方向スラストであって、 $T_f$ は船首方向スラスト	応答スラスト $T_r$ を算出するための縦振動計算に用いる起振力。ただし、統一規則 I3 では動的拡大係数が与えられており、縦振動計算は要求されない。
$Q_{max}$ [I編 4.2.5]	プロペラと氷の相互作用により、プロペラ羽根に作用するアイストルク（流体力学的トルクを含む）	推進軸系に沿った応答トルク $Q_r$ を算出するための起振トルク
$F_{ex}$ [I編 4.2.9]	プロペラ羽根の損傷（塑性曲げ）を発生させる羽根損傷荷重。当該荷重は羽根の付け根部分の曲損を生じさせる荷重であって、プロペラ羽根の半径位置 0.8 Rの位置に作用する。羽根の回転軸から荷重の作用点までの距離（スピンドル軸からの腕の長さ）は、羽根回転軸と半径位置 0.8 Rにおける前縁及び後縁の距離のいずれか大きい方の値に 2/3を乗じた値とする。	羽根損傷荷重は、羽根取付けボルト、可変ピッチ機構、プロペラ軸、プロペラ軸受及びスラスト軸受の寸法の算定に用いる。 当該荷重は、プロペラ羽根が損傷する前にこれらの部品が損傷することはない “Selective strength principle”「選択強度理論」に基づいた設計である。（プロペラ羽根が犠牲となることにより軸系部品の重大な損傷を防ぐ設計）
$Q_r$ [I編 4.2.7]	軸系の氷起振による動的作用（ねじり振動）及びプロペラの流体力学的平均トルクを考慮したプロペラ軸系に沿った最大応答トルク	推進軸系の設計トルク
$T_r$ [I編 4.2.8]	軸系の氷起振による動的作用（縦振動）及びプロペラの流体力学的平均スラストを考慮したプロペラ軸系に沿った最大応答スラスト	推進軸系の設計スラスト

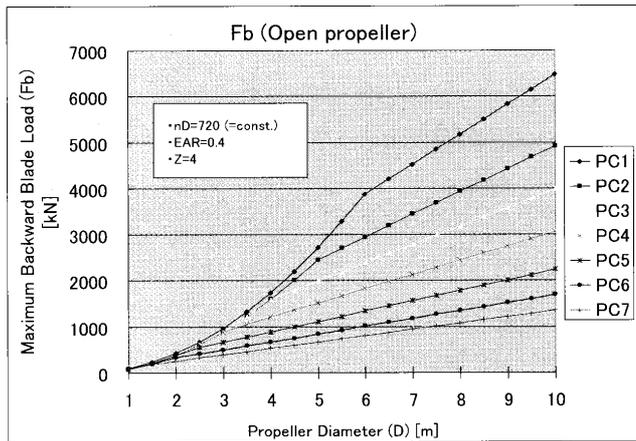


図5 プロペラ羽根後方荷重 (ノズル無)

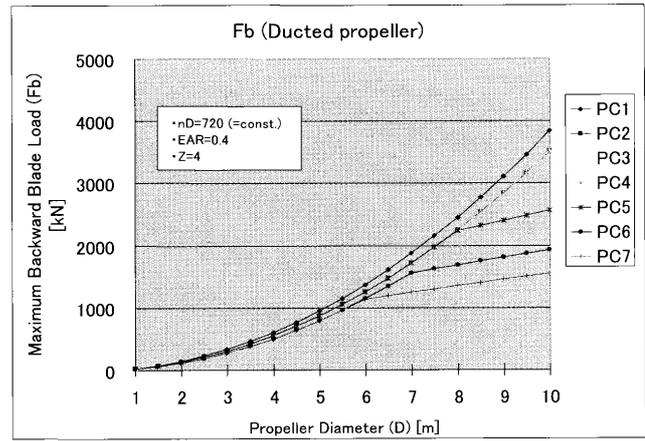


図6 プロペラ羽根後方荷重 (ノズル有)

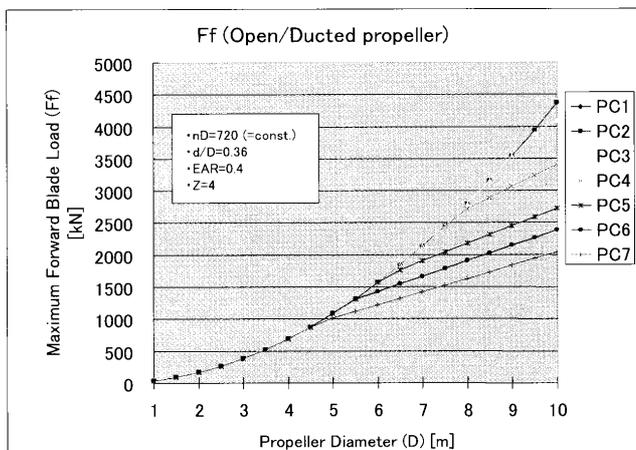


図7 プロペラ羽根前方荷重 (ノズル有)

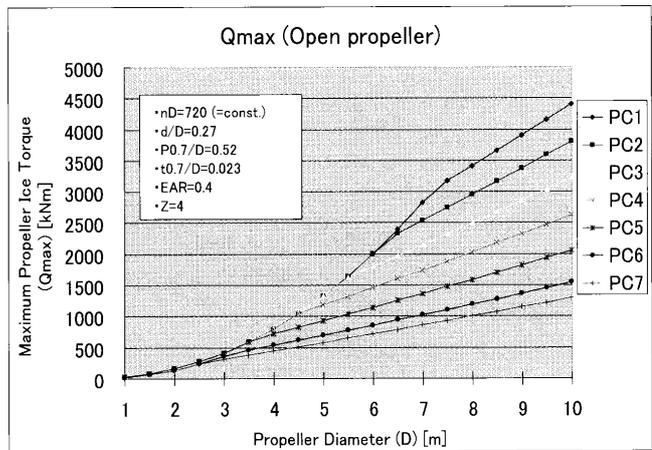


図8 プロペラアイストルク (ノズル無)

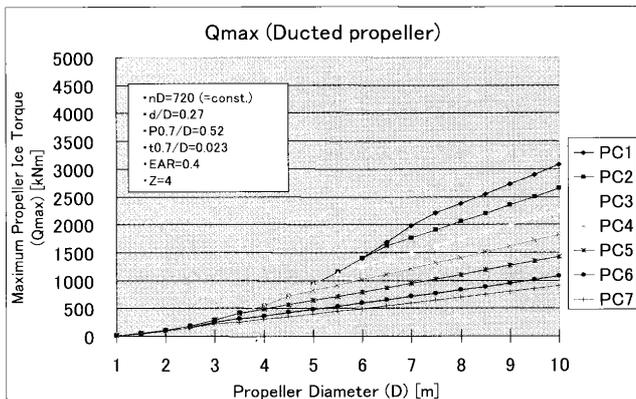


図9 プロペラアイストルク (ノズル有)