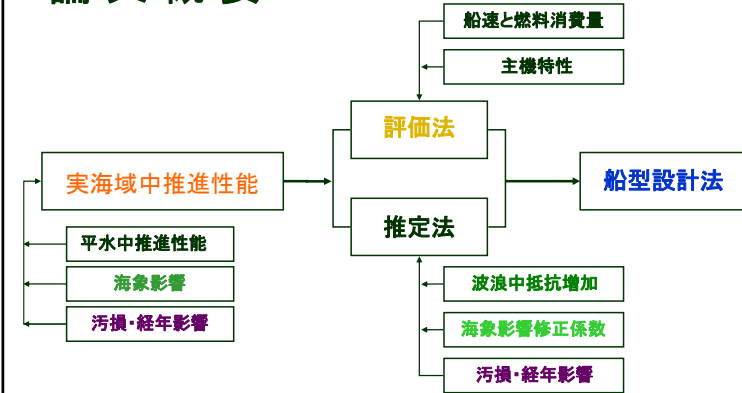


# 実海域中推進性能と船型設計

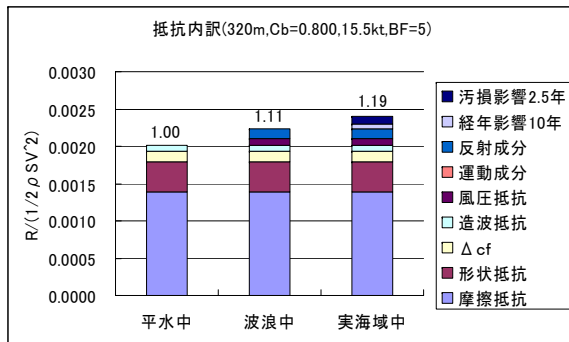
宮本雅史

(元日立造船、関西Kシニア)

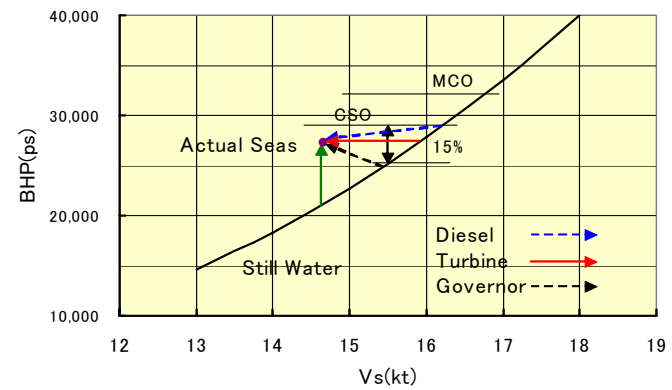
## 論文概要



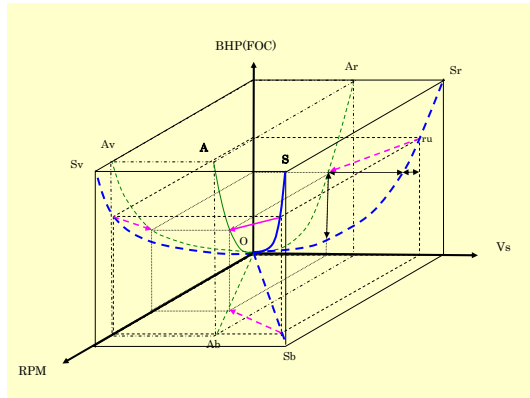
## 実海域中推進性能(抵抗内訳)



## 馬力曲線による推進性能評価

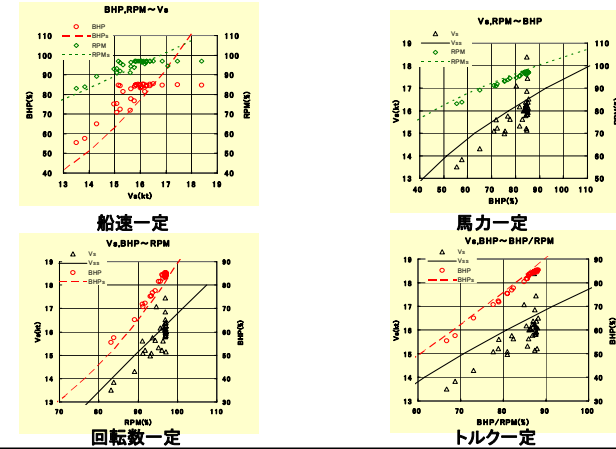


## 平水中性能と実海域中性能



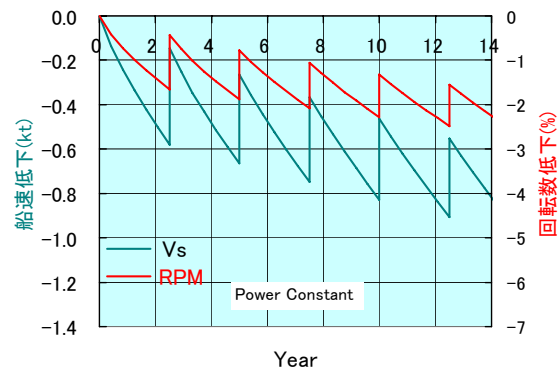
5

## 実海域中推進性能の評価



6

## 汚損・経年影響の推定



7

## 実海域中推進性能の近似推定法

- 海象等による抵抗増加  $\Delta R_S$ 
  - ・杉村の近似式(1972年)
- 汚損・経年影響
  - ・船体の表面粗度増加による抵抗増加  $\Delta R_F$
  - ・プロペラ表面粗度増加による特性の変化  $\Delta K_{TF}$   $\Delta K_{QF}$
  - ・船体汚損に伴う伴流率の減少  $\Delta(1-w)$
  - ・機関の発生トルクの低下  $\Delta Q_A$

8

## 杉村の近似式の拡張

基本式と仮定 拡張部分 近似展開式(初期値近傍)

$$R = kV^m; \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta R}{R}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = aJ + b$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} = a'J + b'$$

$$J = \frac{V(1-w)}{nD}$$

$$P = 2\pi nQ / 75$$

$$F = C_E \cdot Q \text{ (Diesel)}$$

$$\frac{\Delta T}{T_0} = m \frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta R_S}{R_0} \frac{\Delta R_F}{R_0}$$

$$\frac{\Delta T}{T_0} = b_1 \frac{\Delta J}{J_0} + \frac{\Delta K_{TF}}{K_{T0}} + 2 \frac{\Delta n}{n_0}; (b_1 = aJ_0 / K_{T0})$$

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = b_2 \frac{\Delta J}{J_0} + \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} + 2 \frac{\Delta n}{n_0}; (b_2 = a'J_0 / K_{Q0})$$

$$\frac{\Delta J}{J_0} = \frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta(1-w)}{(1-w)_0} - \frac{\Delta n}{n_0} + b_3 \frac{\Delta K_{TF}}{K_{T0}}$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{\Delta Q}{Q_0} + \frac{\Delta n}{n_0}; \left\{ b_3 = \frac{K_{T0}}{aJ_0 + 2b} \right\}$$

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \frac{\Delta Q}{Q_0} - \frac{\Delta Q_A}{Q_0}$$

9

## 燃料消費量一定の場合の近似式

評価条件は、 $\frac{\Delta F}{F_0} = 0$  であるから、

$$D_F = (2-b_1)b_2 - (2-b_2)(b_1-m) \text{ とおけば}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -\frac{2-b_2}{D_F} \left( \frac{\Delta R_S}{R_0} + \frac{\Delta R_F}{R_0} \right) + \frac{2(b_1-b_2)}{D_F} \frac{\Delta(1-w)}{(1-w)_0} + \frac{2-b_2+2(b_1-b_2)b_3}{D_F} \frac{\Delta K_{TF}}{K_{T0}} - \frac{2-b_1}{D_F} \left( \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} - \frac{\Delta Q_A}{Q_0} \right)$$

$$\frac{\Delta n}{n_0} = \frac{b_2}{D_F} \left( \frac{\Delta R_S}{R_0} + \frac{\Delta R_F}{R_0} \right) - \frac{b_2 m}{D_F} \frac{\Delta(1-w)}{(1-w)_0} - \frac{b_2(1+mb_3)}{D_F} \frac{\Delta K_{TF}}{K_{T0}} + \frac{b_1-m}{D_F} \left( \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} - \frac{\Delta Q_A}{Q_0} \right)$$

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = \frac{\Delta Q_A}{Q_0}$$

$$\frac{\Delta R_F}{R_0} = \frac{\delta \Delta C_f}{C_{T0}}$$

$$\delta \Delta C_f = 1.8 \times 10^{-5} R_n^{3/4} \times \frac{k_A - k_{A0}}{L}$$

$$\frac{\Delta K_{TF}}{K_{T0}} = -\frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} \quad \frac{\Delta \eta_p}{\eta_p} = f(K_p) : \text{Townsin 1983}$$

$$\frac{\Delta Q_A}{Q_0} = -0.5\% / \text{year}$$

10

## 燃料消費量一定の場合の数値例

$$K_{T0} = -0.390J_0 + 0.328 \quad K_{Q0} = -0.0354J_0 + 0.0349$$

$$b_1 = -1.068 \quad b_2 = -0.787 \quad b_3 = 0.326$$

$$m = 2.027 \quad J_0 = 0.434$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = -0.426 \frac{\delta \Delta C_f}{C_{T0}} - 0.913 \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} + 0.494 \frac{\Delta Q_A}{Q_0} - 0.449 \frac{\Delta C_S}{C_{T0}}$$

$$\frac{\Delta n}{n_0} = -0.190 \frac{\delta \Delta C_f}{C_{T0}} - 0.709 \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} + 0.498 \frac{\Delta Q_A}{Q_0} - 0.127 \frac{\Delta C_S}{C_{T0}}$$

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = \frac{\Delta Q_A}{Q_0}$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = -0.190 \frac{\delta \Delta C_f}{C_{T0}} - 0.709 \frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}} + 1.498 \frac{\Delta Q_A}{Q_0} - 0.127 \frac{\Delta C_S}{C_{T0}}$$

11

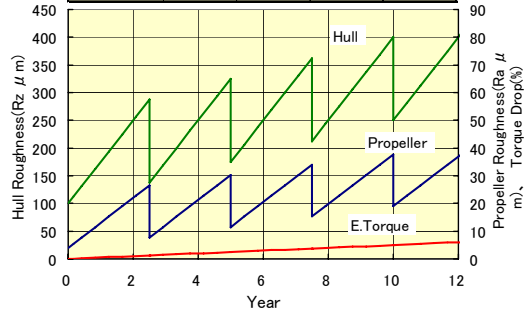
## 係数一覧表

Item	Constant condition	$\frac{\delta \Delta C_f}{C_{T0}}$	$\frac{\Delta K_{QF}}{K_{Q0}}$	$\frac{\Delta Q_A}{Q_0}$	$\frac{\Delta C_S}{C_{T0}}$	
$\frac{\Delta V}{V_0}$	FOC	-0.426	-0.913	0.494	-0.449	← 用船契約
	P	-0.364	-0.679	0.000	-0.407	→ 船速低下
	n	-0.238	-0.211	0.000	-0.323	
$\frac{\Delta n}{n_0}$	V	0.000	0.000	0.000	0.000	
	FOC	-0.190	-0.709	0.498	-0.127	→ 回転数低下
	P	-0.127	-0.473	0.000	-0.084	
$\frac{\Delta P}{P_0}$	n	0.000	0.000	0.000	0.000	
	V	0.240	0.212	0.000	0.326	
	FOC	-0.190	-0.709	1.498	-0.127	→ シーマージン
$\frac{\Delta Q}{Q_0}$	P	0.000	0.000	0.000	0.000	
	n	0.381	1.422	0.000	0.254	
	V	1.103	2.061	0.000	1.234	
$\frac{\Delta F}{F_0}$	FOC	0.000	0.000	1.000	0.000	← 用船契約
	P	0.127	0.473	-1.000	0.084	
	n	0.381	1.422	-1.000	0.254	
V	0.863	1.848	-1.000	0.908		

12

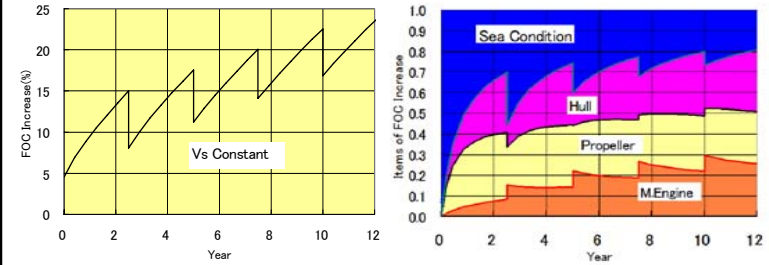
## 汚損・経年影響の推定条件

係数	船体 ( $\mu\text{m}:R_z$ )	プロペラ ( $\mu\text{m}:R_a$ )	機関 (%/y)	入渠間隔 (年)
新造時粗度	100	4		2.5
経年変化	15	1.5	-0.5	
汚損/経年	5	6		
汚損影響	75	9		



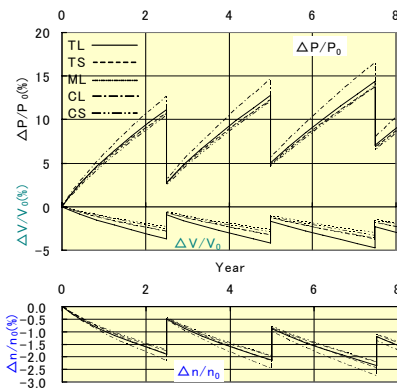
## 燃料消費量の内訳の変化

$$BF=5 \quad \Delta Q_A/Q_0 = -0.5\%/Y$$



14

## 汚損・経年影響の船型による差



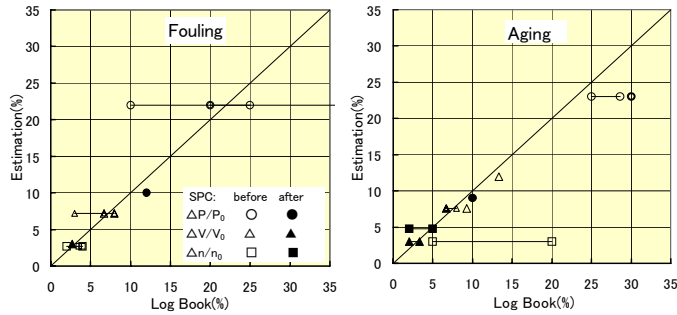
15

## これまでのログブック解析結果

性能項目	馬力変化							$P_R/(W \cdot V_s^3)$			
著者	鷺見他	曾根	田中他	佐々木			LL Buxton	西川他			
汚損	20~60%/y	15~25%/y	19, 37%/y	20%/y	6%/y	10~25%/y	39%/2.5y	35%/1.5y	30~40%/2y	40%/2.5y	0, 20%/3y
経年	20%/7~8y	10~15%/10y	3%/y	3%/y	1%/y				20~40%/10y		
備考	Cargo, Ore. Tanker	Seikan Ferry, CPP	130T	137T, Con.-AF	133BC, SPC	Con.-AF	VLCC	Container	BC	VLCC	Container
発表年	1971	1980	1982	1987			1995		2003		
性能項目	船速低下					回転数変化					
著者	別府他	表原他		羽田	箱田	LL Buxton	松原	鷺見他	田中他	折戸	
汚損	1kt/y	1.4kt/10y	2.0kt/10y	0.1~0.12kt/y	0.1kt/y	3~8%/y	0.4kt/2y	2~4%/y	3.5, 4%/y	0.3~0.5%/y	
経年	1kt/10y	1.4kt/10y	2.0kt/10y	0.1~0.12kt/y	0.1kt/y		0.3~0.5kt/10y	0.5~2%/y	0.5%/y	0.3~0.5%/y	0.2~0.5%/y
備考	75T, Turbine	Tanker, Turbine	Tanker, Diesel	Tanker, Diesel	165 Ore	Con.-AF	錫系AF	Cargo, Ore. Tanker	130T	VLCC	BC
発表年	1970	1978		1979	1980	1985	1985	1971	1982	1985	

16

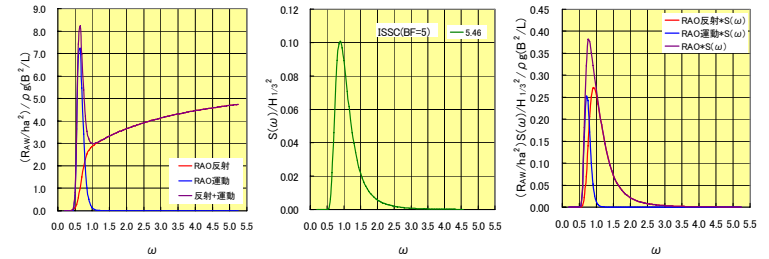
## 汚損・経年影響の検証



17

## 波浪中抵抗増加の計算

応答関数 \* 波スペクトラム = 応答スペクトラム



18

## 線形重畳法の近似値

ISSC波スペクトラム

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{C_{\zeta 1}}{\omega^5} e^{-\frac{C_{\zeta 2}}{\omega^4}}$$

$$C_{\zeta 1} = 0.11 H_{1/3}^2 \omega_0^4 \quad C_{\zeta 2} = 0.44 \omega_0^4 \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

近似応答関数

$$RAO(\omega) = C_3 \omega^n e^{-\frac{C_4}{\omega^4}} \rightarrow \text{未知数: } C_3, C_4, n$$

分散  
(抵抗増加の平均値)

$$E = 2 \int_0^{\infty} RAO(\omega) S_{\zeta}(\omega) d\omega$$

$$= 2 C_{\zeta 1} C_3 \int_0^{\infty} \omega^{(n-5)} e^{-\frac{C_{\zeta 2} + C_4}{\omega^4}} d\omega$$

分散の近似値

$$E = \frac{C_{\zeta 1} C_3 \Gamma(1 - \frac{n}{4})}{2(C_{\zeta 2} + C_4)^{(1-n/4)}}$$

19

## $R_{AW1}$ (反射)の近似式(ISSC)

$$R_{AW1}(t) = 0.198B \cdot \frac{(1 + \alpha_2(\omega_d)) \cdot f(X) \cdot \omega_d^{-n} \cdot e^{-\epsilon} \cdot \Gamma(1 - n/4)}{\left( \frac{3.09}{H_{1/3}^2} + \epsilon \omega_d^4 \right)^{(1-n/4)}}$$

$$\omega_L = \sqrt{\frac{2\pi g}{0.4L}} = \frac{12.41}{\sqrt{L}} \quad ; \quad \omega_d = \sqrt{\frac{g}{d}} = \frac{5.424}{\sqrt{d}}$$

$$\epsilon = \frac{\delta \omega_d^{-n}}{4} \quad ; \quad \delta = \left( \frac{\left( \frac{d\alpha_2/d\omega}{1 + \alpha_2} \right)}{\omega_d} \right)$$

$$f(X) = \sigma_{AWB} \frac{1 + \frac{2\omega_L V}{g}}{\alpha_1(\omega_L) \{1 + \alpha_2(\omega_L)\}}$$

$$\sigma_{AWB}' = 0.9191X + 0.0331$$

$$X = 2(1 - \frac{d}{B}) \sin^2 \beta \approx 2(1 - \frac{d}{B}) \text{Exp}(-1.74 \frac{L}{B} (1 - C_{WF}))$$

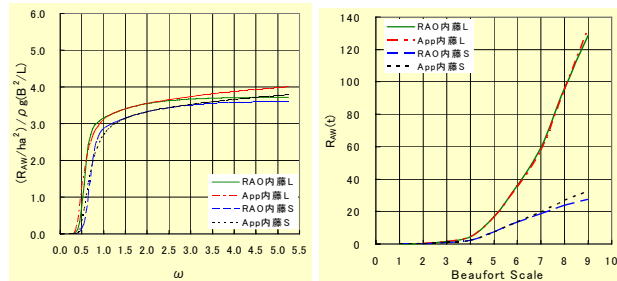
$$n = \delta \cdot \omega_d \cdot \gamma$$

$$\gamma = 0.7 (\text{Naito's } \alpha_2) \quad , \quad 0.85 (\text{Yamashita's } \alpha_2)$$

20

## RAO( $\omega$ ), $R_{AW1}$ (ton) の近似度

$\alpha_2$ : 内藤



21

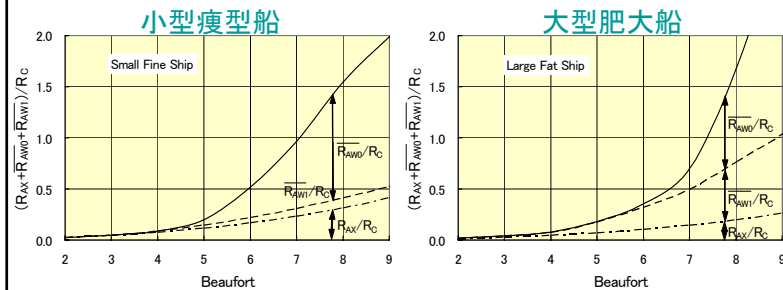
## 海象影響修正係数

$$\text{海象影響修正係数} = \frac{\text{海象等による抵抗増加 (ログブック)}}{\text{理論的推定値 (風、波浪)}}$$

- 海象等による抵抗増加(理論的推定値)の問題
  - 短波長域抵抗増加
  - 波スペクトラム
  - 風、操縦運動に起因する抵抗増加
  - 人為的要因(安全性、経済性)
- 海象影響修正係数=f(BF, 航路, 船型)

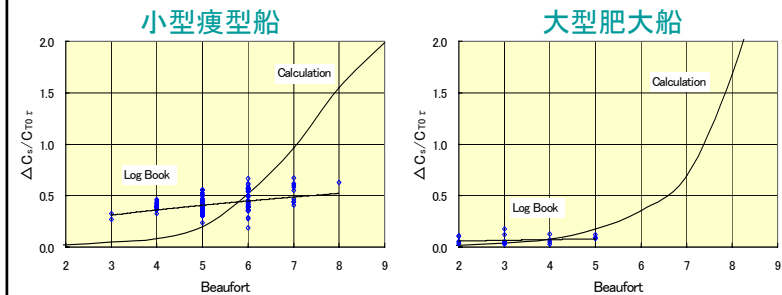
22

## 理論的推定値(風、波浪)



23

## 海象等による抵抗増加の実績値



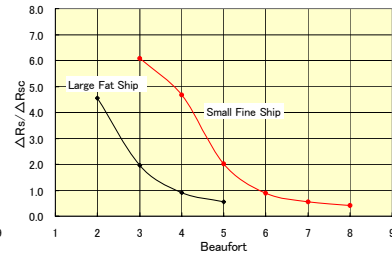
24

## 海象影響修正係数の実例

小型瘦型船



船型による差

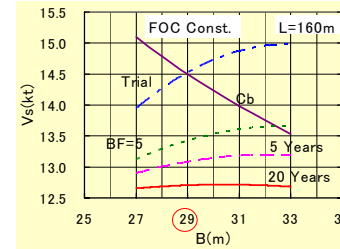


25

## 平均船速と船型主要目

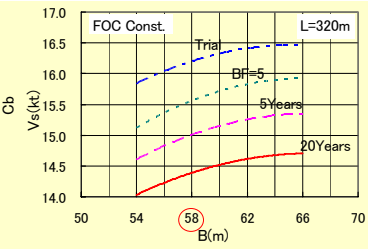
主機、 $\Delta$ 、L、d 一定

小型肥大船



基準船:  $C_b=0.80$ ;  $V_s=14.0$ kt ( $F_n=0.18$ )

大型肥大船

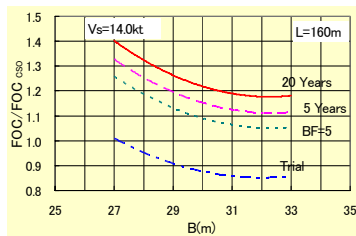


基準船:  $C_b=0.80$ ;  $V_s=15.5$ kt ( $F_n=0.14$ )

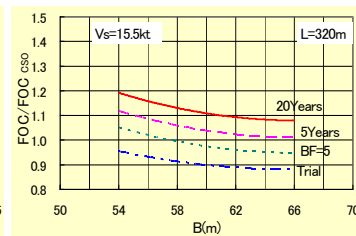
26

## 平均燃料消費量と船型主要目

小型肥大船



大型肥大船

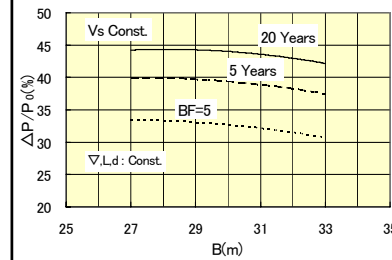


27

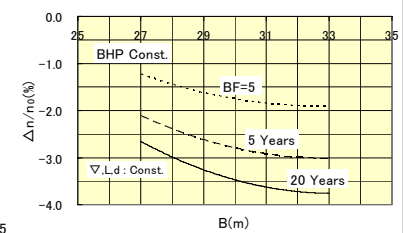
## 換算マージンと船型主要目

小型肥大船

換算シーマージン



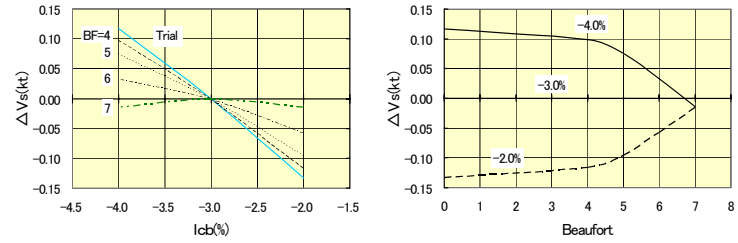
換算回転マージン



28

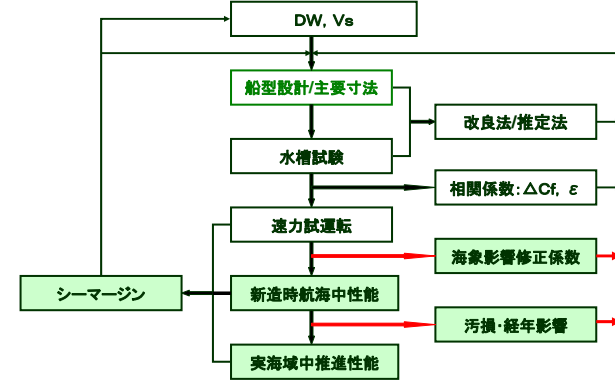
## 海象と最適lcb位置

### 大型肥大船



29

## 実海域中推進性能を考慮した船型設計



30