比率トルク方式による CPP-機関負荷 制御装置について*

武田幸男**・三原伊文**
奥村宗行***・根岸道明****

On the Combined Control System for Diesel Engine and
C-P Propeller by the Method of Proportional Torque Control

By Yukio Takeda, Yoshinori Mihara, Muneyuki Okumura, Michiaki Negishi

We formerly reported the outline of Proportional Torque Control (PTC) method, named to a combined control system for diesel engine and C-P propeller, where the pitch angle of propeller is controlled so that the power of diesel engine may be proportional to square the revolution of it.

This paper describes the summary of the apparatus manufactured for PTC method and the system for load control by this method, and discusses the experiments practised on the training ship Fukaemaru, 360 G.T., with this system.

Making comparisons PTC system with a conventional system, especially by ship's speed, shaft horse power and fuel consumption, we have made sure that the PTC method is effective to preventing for diesel engine from getting into torque rich condition and to minimizing fuel consumption for a same ship's speed.

1. ま え が き

CPP船において、ディーゼル主機関の発生トルクが回転数に比例するようプロペラ翼角を制御すると、回転数の自乗に比例した出力を得ることが出来る。これを比率トルク制御(Proportional Torque Control, PTCと略記する)と呼び、神戸商船大学付属練習船深江丸(360 G.T.)での主機運転記録の検討結果から、PTC方式がトルクリッチの防止にも、又、省エネルギー運転にも有効な方式であるとの手懸りを得た旨、前回報告した¹⁾。

今回は、同船にこのPTC方式による機関負荷制御装置を装備し、種々の実験を行い、前記の利点を確認することが出来たので、回路構成、操縦方式及び実測結果などについて、その概要を報告する。

2. CPP船の運航方式

CPP船では、主機回転数 N_e とプロペラ翼角 θ_p の2要素で主機出力を調整することが出来るので、種々の制御法が実施されている。図1の回転数 N_e -出力BHP座標

図1 CPP船の機関負荷制御

- ① 連続運転推奨範囲
② 連続運転許容範囲

* 原稿受付 昭和55年12月22日

昭和55年秋季学術講演(昭和55年10月22日)

** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

*** 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

**** 正会員 (株)根岸製作所(大阪市淀川区田川北1-2-6)

上でこれらを検討してみる。

2.1 定速運転 今、常用出力点(N点)で主機を運転している時、主機直結の発電機や油圧ポンプなどの前負荷を使用する船においては、 N_e 一定で運転しなければならないため、船底汚損や荒天航海などによってプロペラ負荷が増加すると、その運転点は矢印Aのように上方に移行する。この場合、図におけるトルクリミット直線、すなわち、燃料噴射ポンプのラックストッパーで過負荷保護を行うが、排気温度の上昇を抑制したり、連続運転推奨範囲内で運転するためには翼角を下げて、運転点を矢印aのように下方に移行させねばならない。

2.2 可変速運転 上記に対して主機を可変速で運転するCPP船では、船底汚損などによる負荷増加時に θ_p 一定のままで N_e を減少させれば、その運転点は矢印Bのごとく左方に移行する。この場合はトルクリッチとなり、排気温度の上昇や過給機のサージングの発生を招く。従って、 N_e だけでなく θ_p も制御して、その運転点を例えば矢印bのように移行させねばならないが、これらの制御量は一般に経験によって選ばれている。

この対策として、カムやマイコンを利用した、 N_e と θ_p の最適プログラム制御を行う方法もあるが、これらは一般に装置が複雑なものになる。

2.3 PTC運転 PTC方式は可変速運転主機に適用する方式であって、負荷増加時、その運転点が図1の一点鎖線、すなわち、N点を通る自乗特性曲線に沿って、cの方向へ移行するように、 N_e 及び θ_p を制御する。つまり、機関出力が回転数の自乗に比例するよう、簡潔な制御機構をもって θ_p を制御し、機関のトルクリッチを防止することを目的としたものであるが、この結果、本船では同一船速に対する燃料最少運転となっていることが実測された。

3. PTC制御方式

3.1 PTCの原理 主機軸出力 SHP は、軸トルク τ と回転数 N_e との積で求められる。ディーゼル機関では τ は平均有効圧力 P_{me} に比例すると共に、燃料噴射ポンプラック位置 Y と比例的な関係にある。そこで、 Y を N_e に比例するようプロペラ翼角 θ_p を制御すると、 SHP は

$$SHP = \tau \cdot N_e \propto \left(\frac{Y}{N_e}\right) \cdot N_e^2 \propto Z_0 \cdot N_e^2 \quad (1)$$

但し、 $Z_0 = Y/N_e$ ：負荷率
となり、主機は常に N_e^2 に比例した出力で運転される。従って、この自乗特性が機関の連続運転許容範囲内にあるように負荷率の大きさを定めておくと、トルクリッチの危険を生じることなく、主機回転数に相応なピッチ角最大の制御が実施出来る。

3.2 システムの構成 PTC方式による機関負荷制御装置の構成を図2に示す。主機の回転は減速機(1/2.182)を介してプロペラに伝達され、プロペラ翼角 θ_p は

Z_0	負荷率	DM	DC サーボモータ
K_Z	負荷率設定器	SAP	サーボアンプ
V_s	船速	SM	サーボモータ
N_{ec}	回転設定器	PC	翼角サーボ
θ_{pc}	翼角設定器	DE	ディーゼル機関
θ_p	翼角	T_{ex}	排ガス温度
θ_d	修正翼角	TP	トルク検出器
CT	発信シンクロ	N_p	プロペラ回転数
CX	受信シンクロ	X	乗算器
CDX	差動シンクロ	SHP	軸馬力計
N_t	過給機回転数	FO	燃料系統
Y	ラック位置	TG	回転計発電機
N_e	DE 回転数	GOV	ガバナ
$\div$	除算器	Q_f	燃料流量
A	PI 増幅器	SC	過給機
SAD	サーボアンプ	LOG	電磁ログ

図2 PTC方式による機関負荷制御装置

翼角サーボ部PCの油圧ピストンの駆動により制御される。 N_e 、 Y 、 Q_f 、 T_{ex} 、 N_t 、 SHP 、 τ 、 N_p は主要各部の検出量を、 N_{ec} 、 K_Z 、 θ_{pc} は各設定値を示し、点線で囲まれた部分がPTC制御部である。

PTC制御部は、トルク τ に比例するラック位置 Y と回転数 N_e との比を求める除算器($\div$)、その商を表示する負荷率指示器 Z_0 、自乗特性曲線の傾きを決定する負荷率設定器 K_Z 、この K_Z と Z_0 の偏差を増幅するPI増幅器A、更にこの信号により設定翼角 θ_{pc} を減角するためのサーボアンプSAD、直流サーボモータDM、及び差動シンクロCDXで構成されている。

(1) トルク/回転数除算器($\div$) Y はポテンシオメーターで角度→電圧に、 N_e は回転計発電機TGで回転数→電圧に変換される。連続常用出力点NCRにおける Y_n 、 N_{en} をそれぞれ100%と定めると、

$$Z_{0n} = Y_n / N_{en} = 1.0 \quad (2)$$

となり、種々の運転点における負荷状態(Z_0)は、

$$Z_0 = Y / N_e \quad (3)$$

で求めることが出来る。従って、除算器出力を表示することにより、過渡・定常時の負荷状態が推定出来ると共に、 Z_0 信号はPTC制御系の入力信号となる。

(2) 負荷率設定器(K_Z) (2)、(3)式で求めた Z_{0n} 、 Z_0 の逆比を

$$K_Z = Z_0 / Z_{0n} \quad (4)$$

とすると、ディーゼルエンジンDEの出力 SHP を求める(1)式は、

$$SHP = \tau \cdot N_e \propto Z_0 \cdot N_e^2 = K_Z \cdot Z_{0n} \cdot N_e^2 \quad (5)$$

となり, K_Z で定まる定負荷率制御を行うことになる。

3.3 PTC運転線図 図3の横軸に N_e , 縦軸に BHP をとった座標上で, PTC特性を説明する。なお, 表1にはグラフ上に記したa~gまでの各点の N_e , BHP , P_{me} , 及び Z_0 の値を単位法で示している。

a点はMCR点で, この点における N_e , BHP を100%値としている。 θ_{pn} はこの時のプロペラ翼角で, これを一定とすると, すなわち, FPP運転を行うと $BHP \propto N_e^3$ のプロペラ特性曲線が得られ, これを細線で示す。この細線上にあるb点は, $N_e=95\%$, $BHP=85\%$ のNCR点である。この点の Y/N_e を1.0, つまり Z_{0n} とする。

このb点と, $N_e=80\%$, $BHP=60\%$ のe点を通る $K_Z=1.0$ の太線は, BHP が $Z_{0n} \cdot N_e^2$ で与えられるPTC運転線図である。従って, $K_Z=1.0$ に設定すると, 主機関は各回転数に対し, b点を通るこの自乗特性曲線上の機関出力で運転することになる。

又, c点はa点を通るトルクリミット直線上にあり, b点と同じ機関出力85%となる点で, 低速運転時の機関

出力の限界点である。d点は, b点を通るトルク一定直線上に位置し, 常用トルクの最大点で $N_e=88\%$, $BHP=79\%$ に相当する。

深江丸の現在の使用回転数は, Stand-by時の550 r/mから常用回転数の690 r/mであるが, これは単位法で75~95%に相当する。 $K_Z=1.0$ でPTC運転を行えば, 同図から明らかなように, この回転域において連続運転推奨範囲をほとんどはずれることなく, a, b点を通る θ_p 一定の三乗特性の運転に比べ, $N_e=80\%$ を例にとると約10%の出力増大をはかることが出来る。

更に, 船底汚損や喫水状態による負荷増加に伴い, 三乗特性曲線は立ち上がって, 許容範囲からも逸脱してしまうが, PTC方式による運転点は, 如何なる場合も K_Z で定まる自乗特性曲線上にセットされる。

また, 荒天航海時や, 機関各部の汚損又は海水温度の上昇などによる排気ガス温度の上昇時においても, K_Z を0.7~1.1の任意の値に選ぶことによって, 許容範囲あるいは推奨範囲内の安定した連続運転が可能となる。

図3の機関もその一例であるが, 従来, プロペラ特性曲線に似た領域にあった推奨範囲や許容範囲の限界を, 最近のディーゼル機関では, 例えば常用トルク直線上のd点やトルクリミット直線上のc点を通る自乗特性曲線の近傍まで拡大する傾向にある。従って, a点を通る $K_Z=1.06$ の自乗特性曲線で示すように, より広範囲にわたってPTC方式が適用出来る。この負荷制限域の拡大例を, ピールスティックの12PC-2V型機関²⁾や阪神内燃機の6L24GSH型機関³⁾に見ることが出来る。

筆者らの検討によれば, それらの負荷制限線はいずれもほぼ自乗特性になっている。それ故, この負荷制限線にPTC方式による自乗特性曲線が一致するように K_Z を選定すれば, 機関出力は決して負荷制限線を越えない。同様の傾向は, 最近のSULZER, あるいはUECについても見る事が出来る⁴⁾。

4. PTC制御装置

PTCシンクロサーボ系の概要を図4に示す。上段が従来からのCPP制御装置, 中・下段がPTC制御部である。

従来のCPP制御装置は, 通常のシンクロサーボ系で, PTC制御部はこの発信器CTと受信器CXの中間に, PTC用差動シンクロCDXを挿入したもので, PTCから従来のCPP制御への切り替えは, 図のリレー接点のON-OFFのみで容易に行いえる。なお, 図中の θ_T , θ_D , θ_X はシンクロ角度で, それぞれプロペラ翼角の4倍になっている。

CDXの動作角 θ_D はCTの指令角 θ_{pc} に対する修正角として与えられるので, CXの受信角 θ_X を4で割った実翼角 θ_p は, 平衡状態では

$$\theta_p = \theta_{pc} - \theta_D / 4 \quad (6)$$

となる。

図3 PTC運転線図

表1 運転状態表(ダイハツ: 6PSHTCM-26D)

	a	b	c	d	e	f	g
N_e %	100	95	85	88	80	103	100
BHP %	100	85	85	79	60	110	30
P_{me} %	100	90	100	90	75	max	30
Z_0 %	106	Z_{0n} 100	125	108	100	112	30

図4 PTC制御系統図

(NC 航海船舶 EC 機関制御室
ER 機関室 DE ディーゼル機関)

図5 PTC演算部外観

図6 差動シンクロサーボ機構

図7 エンジンコンソール

θ_{pc} を大きくとった時、主機関の負荷状態 Z_0 が設定負荷率 K_Z を越えると、 θ_D が減角指令として導入されるので、プロペラ翼角 θ_p は抑制される。例えば、 $\theta_p = 20^\circ$ 、船速11ノットで直進中、急速旋回を行うと、主機関は過負荷状態になるが、 Z_0 が K_Z を越えると、その差をPI増幅器Aで増幅し、サーボアンプSADではそのサイリスタ無接点出力により、サーボモータDMを駆動し、CDXの動作角 θ_D だけ翼角を下げ負荷率一定の制御を行う。直進に戻ると予め設定された 20° になる。このCDXによる翼角修正は $0^\circ \sim 5^\circ$ で、 0° 及び -5° の位置にリミットスイッチ及び機械的ストッパを設けている。

S/S (Sea State)は差動シンクロの不感帯幅を設定するもので、PTC運転時荒天に遭遇すると、負荷状態の周期的変動によりひん繁な制御動作を生じるが、これを避けるためのもので、この時、PTCは $K_Z \pm S/S$ の範囲で制御する。

PTC演算部の外観を図5に示す。①除算器 Y/N_0 、②比率・不感帯設定増幅器A、③サーボ増幅器SAD、④テスト回路用パネル、⑤速度継電器、⑥変圧器がコンパクトにまとめられている。

図6は差動シンクロサーボ機構の組立て図で、⑦直流サーボモータDM、⑧差動シンクロCDX、⑨ポテンシオメータである。図7はエンジンコンソールの一部を示したもので、従来のCPP制御関連スイッチ類に、⑩負荷率指示計 Z_0 、⑪PTCへの切替スイッチ、⑫荒天時の

不感帯幅設定器S/S、及び⑬負荷率設定器 K_Z を付加した簡潔なものである。

負荷率指示計の拡大図を図8に示す。軽負荷率($Z_0 = 0.3 \sim 0.8$)は青色、常用負荷率($Z_0 = 0.8 \sim 1.0$)は黄色、重負荷率($Z_0 = 1.0 \sim 1.2$)は赤色で表示している。負荷率決定の基準は、深江丸の現在の使用回転範囲 $N_0 = 550 \sim 690$ r/mで、機関出力がエンジンメーカーの連続運転推奨範囲をほとんど越えることなく、しかも、建造後10年以上を経過した最近の1年間で通常使用される領域を常用負荷率とし、又、軽負荷率の下限は、上記の回転数範囲で、30%トルク一定直線とはほぼ一致する出力で定め

図8 負荷率指示計

図9 深江丸1年間の負荷率変化

ている。

この負荷率指示計は、主機回転数 N_e と燃料噴射ポンプのラック位置 Y を検出し演算しているの、応答が早く、これによって、PTC不使用時でも、定常時や過渡時の機関負荷状態を即座に推定出来る。

1979年10月出渠以来の運航記録の中から、負荷率指示計の読みをピックアップし、月別にプロットしたものを図9に示す。これより、船底汚損の推移が判断出来る。深江丸が係留している付近では、4月ころから海洋生成物の付着又は成長が始まっている。8月下旬、負荷率 Z_0

が急減しているのは、ダイバーによってプロペラの目洗浄したもので、負荷率 Z_0 が約20%減少している。なお、点線部は同一翼角で、回転数が異なる時のデータより算出したものである。

5. PTC運転特性

5.1 直進航走 表2は負荷率 K_Z を0.8, 0.9, 1.0に設定した場合のPTCの運転特性と、同一船速に対するFPP運転時の諸特性を比較したものである。表の N_e , θ_p の比較により、同一船速に対し、

表2 PTC及びFPP運転諸元

DATE	K_Z	V_S (knots)	N_e (rpm)		θ_p (°)		SHP (PS)		Q_f (l/min)		T_{ex1} (°C)	
			PTC	FPP	PTC	FPP	PTC	FPP	PTC	FPP	PTC	FPP
JUL. 19, 1980	0.8	9.1	536	608	20.6	17.7	274	283	1.09	1.17	296	305
		9.45	567	642	20.1	17.7	296	337	1.18	1.38	305	319
		9.5	572	654	20.0	17.7	306	354	1.20	1.45	311	324
		9.7	634	665	18.6	17.7	354	372	1.44	1.51	323	331
		9.85	—	675	—	17.7	—	387	—	1.57	—	335
	0.9	9.45	—	608	—	18.5	—	314	—	1.29	—	306
		9.6	554	—	21.5	—	332	—	1.27	—	322	—
		9.7	559	634	21.2	18.5	339	357	1.31	1.44	323	323
		9.9	611	659	20.2	18.5	392	405	1.55	1.64	340	341
		10.1	653	685	19.4	18.5	440	466	1.74	1.87	353	358
	1.0	10.25	608	657	21.0	19.4	439	460	1.69	1.82	352	358
		10.35	634	675	20.5	19.4	475	505	1.82	1.99	363	368
SEP. 19, 1980	0.9	8.6	530	607	20.1	16.8	308	338	1.2	1.35	319	331
		8.75	556	620	19.3	16.8	335	359	1.31	1.48	324	338
		8.9	583	636	18.6	16.8	363	391	1.42	1.55	335	348
		9.0	608	654	18.2	16.8	385	423	1.52	1.68	343	359
		9.1	634	—	17.5	—	414	—	1.64	—	353	—
	1.0	9.1	533	609	21.2	18.0	349	372	1.34	1.46	333	342
		9.2	556	624	20.6	18.0	375	400	1.44	1.58	340	350
		9.35	583	634	20.0	18.0	408	423	1.56	1.66	350	356
		9.5	610	657	19.5	18.0	444	470	1.70	1.88	361	369

(a) JUL. 19, 1980 $K_Z=0.9$

(b) JUL. 19, 1980 $K_Z=0.8$

(c) SEP. 19, 1980 $K_Z=1.0$

(d) SEP. 19, 1980 $K_Z=0.9$

図10 PTC/FPP運転特性

FPP運転では N_e を高く, θ_p を小さくする制御が, PTC運転では逆に N_e を低く, θ_p を大とする制御が行われている.

表2の記録の内, 1980年7月, $K_Z=0.9$ に設定した場合について, 両者の運転特性を示すと図10(a)になる. 図の横軸は N_e , 縦軸はそれぞれ, θ_p , SHP , Q_f である. PTC運転では N_e の上昇と共に θ_p は 21.5° からFPP運転時の設定翼角 18.5° まで漸次減少している.

同一船速を得るに要する SHP はPTC運転の方が, $V_S=9.7, 9.9, 10.1$ ノットにおいて, それぞれ18, 13, 26PSだけFPP運転より低くなっている. 又, 燃料消費量 Q_f もPTC運転が, 上記各船速で0.13, 0.09, 0.13 [l/min] (7.8, 5.4, 7.8 [l/h]) だけFPP運転より小さくなっている. これらの傾向は, $K_Z=0.8$ の場合の図10(b)についても同様である.

図10(c), (d)は, 同年9月期, 船底汚損が更に進んだ場合の実測データで, $K_Z=1.0$ と0.9についてPTC運転とFPP運転を比較したものである. いずれの場合も, SHP , Q_f 特性上の等船速を結んだ線は右上りのこう配となっており, 船底汚損時にもPTC運転が有効であることが示されている.

以上の実測値に対する検討結果から, 機関出力, 燃料消費量はPTC運転の方がFPP運転よりも減少しており, PTC方式の適用が本船では極めて効果的であることがたしかめられた.

燃料消費量について比較した結果を表3に示す. 船底汚損の少ない7月中旬における通常航海速力10.3ノット付近で約7~8.5%, 船底汚損の進んだ9月中旬の通常航海速力9.5ノットで約9.5%の燃料節約が, PTC運転によってなされている.

5.2 急速旋回 PTC

運転時の船の危険回避性能を見るため, 急速旋回試験及び急速後進試験を行った. 表4に旋回試験結果を示す. 表のFPP運転は, $V_S=9.15$ ノット, $SHP=379$ PSで直進航行中, Hard Starboardに転だした場合である. 又, PTC運転は $K_Z=0.9$ に設定し, $V_S=9.1$ ノット, $SHP=379$ PS及び383PSで直進中について, 二つの旋回実験例をあげている. 表の転だ欄の各数値は最大変

表3 燃料消費量比較表(PTC & FPP)

DATE	JUL. 19, 1980									
K_Z	0.8					0.9				
V_S (knots)	9.1	9.45	9.5	9.7	9.7	9.9	10.1	10.25	10.35	
Q_f (PTC) (l/min)	1.09	1.18	1.20	1.44	1.31	1.55	1.74	1.69	1.82	
Q_f (FPP) (l/min)	1.17	1.38	1.45	1.51	1.44	1.64	1.87	1.82	1.99	
$\frac{Q_f(\text{FPP})-Q_f(\text{PTC})}{Q_f(\text{FPP})}$ (%)	6.84	14.5	17.2	4.64	9.03	5.49	6.95	7.14	8.54	

DATE	SEP. 19, 1980							
K_Z	0.9				1.0			
V_S (knots)	8.6	8.75	8.9	9.0	9.1	9.2	9.35	9.5
Q_f (PTC) (l/min)	1.20	1.31	1.42	1.52	1.34	1.44	1.56	1.70
Q_f (FPP) (l/min)	1.35	1.48	1.55	1.68	1.46	1.58	1.66	1.88
$\frac{Q_f(\text{FPP})-Q_f(\text{PTC})}{Q_f(\text{FPP})}$ (%)	11.1	11.5	8.39	9.52	8.22	8.86	6.02	9.57

表4 急速旋回試験

OCT. 6, 1980						
	FPP		PTC		PTC	
	直進	転だ	直進	転だ	直進	転だ
Time	12:30	12:40	12:45	12:50	12:55	13:00
N_t (rpm)	12200	14400	12300	12500	12300	12600
τ (kg·m)	970	1227	964	1045	977	1045
SHP (PS)	379	477	379	400	383	400
N_p (rpm)	281	281	281	281	281	281
Y (mm)	16.5	18.9	16.1	17.5	16.3	17.5
N_e (rpm)	604	604	604	604	604	600
Z_0	0.90	1.14	0.90	1.00	0.90	1.00
θ_p ($^\circ$)	19.3	19.3	19.3	17.3	19.3	17.4
V_S (knt)	9.15	4.7	9.1	4.5	9.1	4.6
G_{ov}	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65
P_{air} (kg/cm 2)	0.23	0.33	0.22	0.27	0.23	0.26
T_{ex1} ($^\circ$ C)	341	364	342	344	341	344
T_{ex2} ($^\circ$ C)	334	366	337	340	340	343
S/W Temp. ($^\circ$ C)	24	24	24	24	24	24
E/R Temp. ($^\circ$ C)	34	34	34	34	34	34
Wind Force (m/s)	4	—	3	—	3	—
Wind Direction
State of the Sea	3	3	3	3	3	3
c. f		Hard Starboard 30 $^\circ$		Hard Starboard 30 $^\circ$		Hard Starboard 30 $^\circ$

動時の値を示している。旋回中の最低速力 V_S はFPP運転時の4.7ノットに対して、PTC運転時は4.5、4.6ノットとほとんど差はなく、旋回試験の軌跡から求められる縦距、横距はFPP運転時よりも大きくはならない。

一方、旋回中の最大軸トルク τ は1227 kg・mに対して1045 kg・m、軸出力 SHP は477 PSに対して400 PSと、約15% PTC運転時の方が低く、この運転方式による機関保護が確実に実行されている。

又、急速後進性能に関する実験でも、トルク τ が急増大することはない、操縦上の問題はなかった。

6. あとがき

小形船におけるワンマンコントロールシステムと同程度の簡易さでもって、大形船のワンマンコントロールを実現するためには、主機関及びプロペラにどのような制御システムを適用すればよいのか、という点を主題にして種々の検討を行って来た。

その一つの技術的接近として、主機関の運転状態が、予定された自乗特性曲線上に固定されるような機関負荷制御装置(PTC)を試作した。そして、その実船での実測結果を本報でのべている。

実船での作動状態から見れば、燃料噴射ポンプのラック位置 Y と主機回転数 N_e の比を常時演算し表示することにより、主機関の負荷状況が絶えずアナログ的に確認出来るという便利さがある。且つ、船底汚損や急速旋回による負荷増加時におけるトルクリッチの防止が、確実に実行されており、本学練習船のように主機を広範囲に可変速制御するCPP船の運航方式には、特に適した方式と考えられる。

また、この運転法は、本船においては同一船速に対する燃料最少運転という省エネ運転方式であることがたしかめられた。更に、本方式が船舶の安全性と操縦性を何ら妨げないことを多数の実船実験でたしかめている。

いうまでもなく、主機関の性能、船型、プロペラ形状などにより、CPP船における燃料最少運転が、常にPTC方式で実現するか否かは明確ではない。PTC方式に適した主機関、プロペラ形状等々の検討が今後必要である。

結言すれば、ワンマンコントロールシステムとして最適な操縦方式を、出来るだけ単純な負荷還制御系で実現するという試行に対する一つの方法として、PTC方式は比較的有効と考えられる。

終りに、実験に多大な御協力を頂いた石田広史一等航海士、武中光夫一等機関士をはじめ深江丸乗組員の方々、及び卒業研究として実験に協力された所祐司、中村喜成、久門明人、佐藤千春学生に謝意を表します。

文 献

- 1) 三原・奥村・根岸・武田, 日本船用機関学会誌, "CPP船総合制御の一方式について", Vol. 15, No. 4(1980・4)。

- 2) 海上保安庁船舶技術課, 船舶, "改ヘリコプタ巡視船(その2)「つがる」", Vol. 52, No. 577(1980・10)。
- 3) 海上保安庁船舶技術課, 船舶, "設標船「はくと」", Vol. 53, No. 583(1980・4)。
- 4) 道上, 海技と受検, 機関長コース(海文堂), "ディーゼル機関の運転基準(上)", 1976・5, p. 20。

〔質 疑 応 答〕

質問者 ダイハツディーゼル 瀬戸憲一

〔質問〕 PTC制御と経済運航制御(燃費とプロペラ効率から最良点をとる)とは一致しますか。

〔回答〕 深江丸の多くの実測結果から、翼角最大、機関回転数最低で運転すると最少燃料消費状態で同一船速が得られており、これとトルクリッチ防止とを同時に実現する方式としてPTC方式の開発を行ったもので、御質問の経済運航制御とは直接一致しません。

機関回転数と、燃料に関するグラフは本文図10に示しておりますが、これをまとめると付図1となります。付図1は標準状態(船底、プロペラ清浄時)における N_e と Q_f の関係を、翼角 θ_p および船速 V_S をパラメータとして表わしたもので、細実線は θ_p (3乗特性)を、点線は等船速 V_S を示しています。PTC運転は太実線で、 $K_Z=1, 0.9, 0.8$ について自乗特性として示しており、常に定められた負荷率 K_Z の下で運転するとき、最大翼角、最低回転数となっており、同時に、燃料最少運転となっています。

付図1 PTC運転の燃料消費特性