

# 天鷹丸主機関と可変ピッチプロペラ との総合運転特性について—II\*

トロール操業における基準曳網速力時の特性

日笠純扶・松下博

The Running Characteristics between the Main Engine and the Controllable  
Pitch Propeller of the M. S. Tenyo Maru - II.\*

Running Characteristics during Trawling after Correction into Those at  
Standard Speed of Trawling

By

Sumio HIKASA and Hiroshi MATSUSHITA

The overall characteristics of the main engine and the controllable pitch propeller of the Tenyo Maru have not been fully clarified yet, in spite of the fact that this ship has to engage in not only cruising but also fishing. The preceding report dealt with the desirable pitch angle for cruise. To examine the same problem during trawling, the pitch angle was changed from 12° to 17°, and the accompanied changes in several factors were measured. And these observed values were corrected into those at a standard speed of trawling (3.55 knot) in this ship through the following methods: the coefficients at respective pitch angles were estimated by substituting the observed values into the formulae commonly used. The changes of respective coefficients with increase in pitch angle were expressed by the experimental formulae. And the final correction was made by substituting again the coefficients thus estimated and the values corrected at the above-mentioned speed into the same formulae used at the first step.

The results shown in Fig. 2 were summarized into as follows:

1. For towing the net at the standard speed with minimum fuel consumption, the larger pitch angle was, the more desirable the result was.
2. In respect of lasting the engine, the revolution of main engine and turbo charger is the most influential factors. The trawling at the larger pitch angle resulted in the slower revolution, although too slow revolution increased the corrosion due to imperfect combustion.
3. The key factors of reliability of engine are the mechanical and the thermal loads. In respect of mechanical load, there was no problem in the range of revolution of either main

---

\*水産大学校研究業績 第815号、1977年11月21日受理。

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No 815.

Received Nov. 21, 1977.

engine or turbo charger within the range of pitch angle used here. The maximum pressure in cylinder, which is the most probable factor of governing the applicable range of pitch angle in commercial trawlers that tow the net at full load, was sufficiently lower than the permissible pressure range, showing the convex curve with vertex at 15.5° of pitch angle. In respect of thermal load, the temperature of both of the exhaust gas of main engine and the inlet gas of turbo charger showed the pattern in the decreasing half of convex curve.

Based on all these results, it may be concluded that the trawling with the pitch angle of 15° to 16° was desirable under the conditions studied here.

## 1. ま え が き

可変ピッチプロペラを装備している本校練習船天鷹丸は、航海実習、漁業実習および海洋調査等に稼働している。可変ピッチプロペラは推進効率面では必ずしも最適とは考えられないが、上記のように種々の用途で稼働される場合には、用途別に最適条件を求めることによって、推進効率を向上させることが可能なのである。

前報<sup>1)</sup>では航海状態における機関特性を調査し、一応の結論を得たので、今回はトロール操業時における機関特性を実験調査した。トロール操業ではほぼ一定速力で曳網が行なわれる。この一定速力に対応する最適プロペラピッチ角が存在するはずである。そこで、今回は速力をできるだけ一定に保ちながら、主機回転数とプロペラピッチ指示角を相互に変化させて、これらの運転条件が推進効率、機関特性および経済性におよぼす影響を実験調査し、主機回転数とプロペラピッチ指示角との関係を追求したので、その結果を報告する。

## 2. 実験装置および方法

### 2・1 実験装置

実験には水産大学校練習船天鷹丸を使用した。天鷹丸の主要諸元および実験に使用した計測器類はつぎのとおりである。

船体

|         |                  |
|---------|------------------|
| 用途      | 漁船               |
| 総トン数    | 518.31 (ton)     |
| 長さ・幅・深さ | 42.7・8.3・4.3 (m) |

主機関

|        |         |       |         |
|--------|---------|-------|---------|
| 型式     | 単動4サイクル | アカサカ  | ディーゼル機関 |
| 名称     | SR6SS   |       |         |
| シリンダー数 | 6       |       |         |
| シリンダー径 | 350     | (mm)  |         |
| ストローク  | 500     | (mm)  |         |
| 回転数    | 330     | (rpm) |         |
| 連続最大出力 | 1030    | (PS)  |         |
| 過給機型式  | VTR-250 |       |         |

可変ピッチプロペラ

|    |             |        |
|----|-------------|--------|
| 型式 | 川崎-エッシャウイス式 | B-640型 |
|----|-------------|--------|

|       |   |        |
|-------|---|--------|
| 直径    | 2100  | (mm)   |
| 展開面積比 | 0.475   |        |
| ピッチ   | $0.7\pi \tan(\theta - 2.33^\circ) \times 2.1$ | (m)    |
|       | ここに $\theta$ ：ピッチ指示角                          | (deg.) |
| 使用燃料油 | 1種2号(A重油)                                     |        |
|       | 比重 15/4°C                                     | 0.8400 |
| トロール網 | 100尺網(両そで間32m)                                |        |

## 2・2 実験および計測方法

船舶での実験は陸上の実験室での実験と異なり、自然条件の変化のため良好な再現性を得ることが困難である。したがって気象の比較的良好な操業日を選び、つぎの方法で行なった。まず、トロール網を曳網するのに適する速力を設定する。つぎにプロペラピッチ指示角を12度から17度まで1度間隔で変化させ、設定速力を維持するよう主機回転数を変える。それぞれのプロペラピッチ指示角における、以下の(1)~(7)の項目について計測を行なった。

### (1) 速力 $V$ (knot)

各実験の曳網速力が最初の設定値からはずれないようにするため、あらかじめCM-2型電流速計で瞬時対水速力を計測すると同時に、E型TSシップログで、0.2マイル航走する時間をストップウォッチで計測しながら、主機回転数を調節した。その後前記のシップログにより、0.8マイルを航走するに要する時間(約15分間)をストップウォッチで計測して、速力を求めた。

### (2) 回転数 $N$ (rpm)

(a) 主機回転数  $N$  (rpm) : 吸気弁棒の揺動回数を計測する方式のストロークカウンターを用いて、10分間の積算値より毎分回転数を求めた。

(b) 過給機回転数  $n$  (rpm) : プロウ軸端よりハスラー回転計で3回計測してその平均値を求めた。

### (3) 図示馬力 $N_i$ (PS)

2, 4および5番の各シリンダー内の圧力をひずみゲージ式圧力変換器で検出し、直記式電磁オシログラフにより、 $P-\alpha$ 線図( $P$ :シリンダー内圧力,  $\alpha$ :時間)に3~4回記録した。この $P-\alpha$ 線図より各シリンダーの図示平均有効圧力を計算し、それに基づいて3シリンダー分の図示馬力を算出し、その値を2倍して図示馬力とした。

### (4) 燃料消費量 $B$ (kg/h)

燃料タンクと主機燃料ポンプとの間に装備されているオーバル流量計で、一定量(10l)の燃料油が通過するに要する時間を計測した。同時に燃料油の温度および比重を計測して、重量に換算した。

### (5) 圧力 (kg/cm<sup>2</sup>) および温度 (°C)

各部の圧力および温度はブルドン管式圧力計、圧力変換器、棒状温度計および電気抵抗温度計でそれぞれ計測した。ただし各シリンダーの圧力および温度はそれぞれの平均値で表わした。

### (6) 排水量 $D$ (ton)

前部、中央部および後部きつ水とトリムを計測の上、ハイドロテーブルより排水量を求めた。

### (7) 気象

天候、風向、風力および海況は中央気象台風浪階級表より求めた。

## 3. 結果および補正

### 3・1 計測結果

計測結果を第1表に示す。先きにも述べたように、プロペラピッチ指示角 $\theta$ と $N$ を変化させて、トロール

Table 1. The running records under trawling

| $\theta$<br>(deg.) | $N$<br>(rpm) | $V$<br>(knot) | $S$<br>(%) | $N_i$<br>(PS) | $P_{mi}$<br>(kg/cmf) | $B$<br>(kg/h) | $q$<br>(g/PS-h) | $P_s$<br>(kg/cmf) | $n$<br>(rpm) | $P_{max}$<br>(kg/cmf) | $T_a$<br>(°C) | $T_w$<br>(°C) | $T_s$<br>(°C) | $T_e$<br>(°C) | $T_t$<br>(°C) | $T_o$<br>(°C) | $D$<br>(ton) | Sailing condition<br>D.W. F.W. S.S. W. |
|--------------------|--------------|---------------|------------|---------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--|
| 12                 | 287.8        | 3.54          | 51.75      | 514.85        | 5.58                 | 75.29         | 146.24          | 0.14              | 8550         | 50.1                  | 23.8          | 31.5          | 32.1          | 308           | 353           | 337           | 699          | ↘Δ 3 2 b                               |
| 13                 | 275.9        | 3.45          | 55.64      | 493.26        | 5.57                 | 75.24         | 152.54          | 0.15              | 8700         | 51.2                  | 23.8          | 31.5          | 32.1          | 302           | 356           | 338           | 699          | ↘Δ 2 2 b                               |
| 13                 | 270.0        | 3.35          | 55.98      | 463.39        | 5.35                 | 76.36         | 145.36          | 0.125             | 7800         | 50.1                  | 24.7          | 31.5          | 32.4          | 290           | 335           | 319           | 699          | Δ↘ 3 2 bc                              |
| 14                 | 266.1        | 3.57          | 56.58      | 465.79        | 5.46                 | 71.78         | 154.10          | 0.145             | 8500         | 51.9                  | 23.8          | 31.5          | 32.1          | 290           | 349           | 332           | 699          | ↘Δ 2 2 b                               |
| 14                 | 260.3        | 3.37          | 58.10      | 447.02        | 5.35                 | 67.36         | 150.69          | 0.13              | 8000         | 51.4                  | 24.7          | 31.5          | 32.2          | 289           | 343           | 322           | 699          | Δ↘ 3 2 bc                              |
| 15                 | 254.8        | 3.55          | 58.57      | 457.72        | 5.60                 | 68.60         | 149.87          | 0.14              | 8100         | 53.2                  | 24.7          | 31.5          | 32.2          | 281           | 341           | 324           | 699          | ↘Δ 3 2 bc                              |
| 16                 | 242.4        | 3.72          | 57.82      | 441.65        | 5.68                 | 66.56         | 150.71          | 0.135             | 8000         | 54.1                  | 24.7          | 31.5          | 32.2          | 272           | 338           | 322           | 699          | ↘Δ 3 2 b                               |
| 17                 | 224.7        | 3.77          | 57.16      | 403.65        | 5.60                 | 61.46         | 152.26          | 0.125             | 7700         | 53.9                  | 24.7          | 31.5          | 32.2          | 260           | 328           | 313           | 699          | ↘Δ 3 2 b                               |

Legend ;  $\theta$  : Indicated pitch angle  
 $N$  : Revolution of main engine  
 $V$  : Ship speed  
 $S$  : Propeller slip  
 $N_i$  : Indicated horse power  
 $P_{mi}$  : Indicated mean effective pressure  
 $B$  : Fuel consumption  
 $q$  : Indicated specific fuel consumption  
 $P_s$  : Suction air pressure  
 $n$  : Revolution of turbo charger  
 $P_{max}$  : Maximum pressure  
 $T_a$  : Temperature of atmosphere  
 $T_w$  : Temperature of sea water  
 $T_s$  : Temperature of suction air  
 $T_e$  : Temperature of exhaust gas from main engine  
 $T_t$  : Temperature of inlet gas to turbo charger  
 $T_o$  : Temperature of outlet gas from turbo charger  
 $D$  : Displacement  
 Sailing condition  
 D.W. : Direction of wind  
 F.W. : Force of wind  
 S.S. : State of sea  
 W. : Weather (b : Blue sky, bc : Blue sky with detached clouds)

電網に最適と思われる一定速力を得ようとしたが、同一速力は得られなかった。したがって、各々の計測結果を直接比較検討することはできない。そこで各々の計測値を一定速力に対応する値に補正して、比較することにした。計測で得られた速力は、3.35 knot から 3.77 knot の間で、その変動が比較的小さいので、ここでは計測速力の平均である 3.55 knot を基準として、これに対応するように各計測値を補正することとした。

### 3・2 補正の方法

#### 3・2・1 回転数 $N$ の補正

今まで一般に用いられているプロペラピッチ  $P$  と  $V$  より  $N$  を求める式に  $P$  と  $V$  および  $N$  の実測値を代入し、各  $P$  における比例定数を求める。この比例定数は各  $P$  すなわち  $\theta$  によって変わるので ( $P = 0.7\pi \tan(\theta - 2.33^\circ) \times 2.1\text{m}$ )、これと  $\theta$  との関係を実験式で表わし、その式を用いて基準電網速力 (平均速力 = 3.55 knot) における  $N$  を求めた。

すなわち、船舶で一般に用いられる見掛けのスリップ率  $S$  を表わす式(1)より  $N$  を求めると、つぎのようになる。

$$S = \left( 1 - 30.87 \frac{V}{P \cdot N} \right) \times 100 \quad (1)$$

ここに  $S$  : 見掛けのスリップ率 (%)  
 $V$  : 速力 (knot)  
 $P$  : プロペラピッチ (m)  
 $N$  : プロペラ回転数 (rpm)

$$N = \frac{30.87 V}{\left( 1 - \frac{S}{100} \right) P} \quad (2)$$

本実験は投網から揚網までの短時間内に  $P$  を変えて行なわれたもので、網の状態、船体抵抗、海況等は、ほぼ一定であると考えてよい。したがって、各  $\theta$  における  $S$  をほぼ一定と考えると式(2)より  $N$  はつぎのように表わされる。

$$N = \frac{1}{K_N} \frac{V}{P} \quad \text{より} \quad K_N = \frac{V}{N \cdot P} \quad (3)$$

ここに  $K_N$  : 比例定数

この式に各々の  $\theta$  における  $V$  および  $N$  の実測値を代入し  $K_N$  を求める。この値は  $\theta$  によって変わり (第1図) つぎの実験式で表わされる。

$$K_N = \frac{1}{4750} (\theta - 15.25)^2 + 0.01341 \quad (4)$$

この式(3)および(4)より基準電網速力における  $\theta$  と補正回転数  $N'$  との関係を求め、これを第2図に示す。

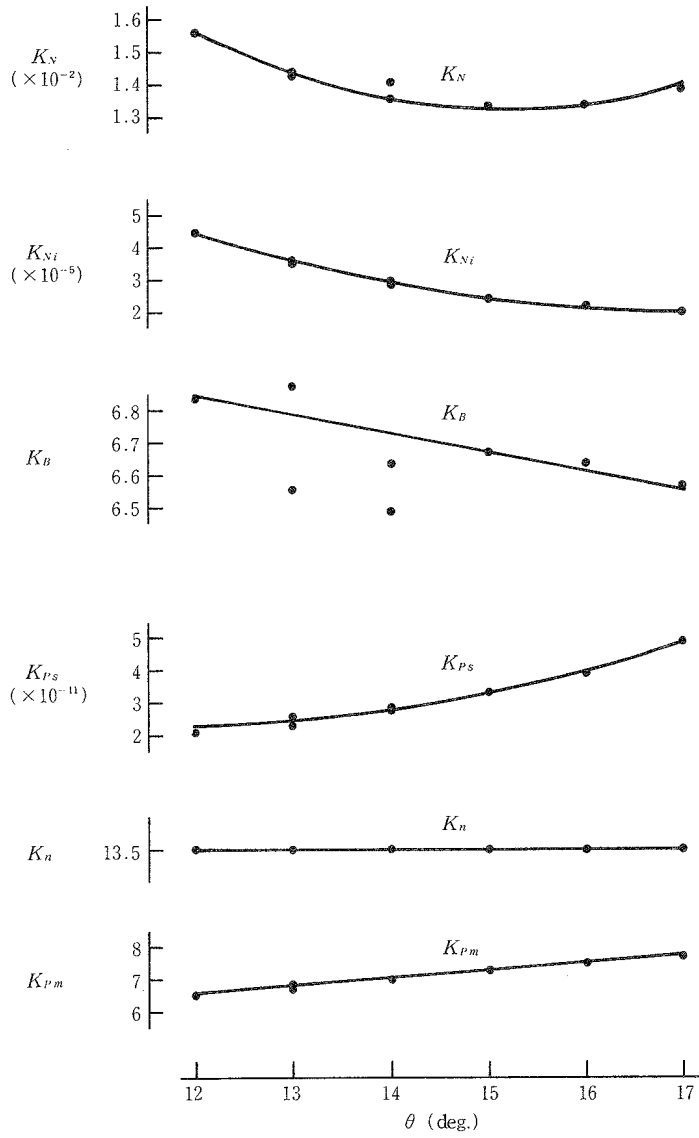


Fig. 1 The characteristics of correction factor.

- Legend ;
- : The first correction
  - : The second correction
  - $\theta$  : Indicated pitch angle
  - $K_N$  : Correction factor of revolution of main engine
  - $K_{Ni}$  : Correction factor of indicated horse power
  - $K_B$  : Correction factor of fuel consumption
  - $K_{ps}$  : Correction factor of suction air pressure
  - $K_n$  : Correction factor of revolution of turbo charger
  - $K_{pm}$  : Correction factor of maximum pressure

### 3・2・2 スリップ率 $S$ の補正

同一  $\theta$  において  $S$  は一定と仮定した。しかし、 $\theta$  が変われば  $S$  も変わる。式(1)と  $N'$  を用いて、基準曳網速度における  $\theta$  と補正スリップ率  $S'$  との関係を求めた。これを第2図に示す。

### 3・2・3 図示馬力 $N_i$ および図示平均有効圧力 $P_{mi}$ の補正

一般に用いられる  $N_i$  と  $V$  の関係式および  $V \cdot P$  と  $N$  の関係式にそれぞれの実測値を代入し、各  $P$  すなわち各  $\theta$  における比例定数を求める。この比例定数は  $\theta$  によって変わるので、これと  $\theta$  の関係を実験式で表わし、その式を用いて基準曳網速度における補正図示馬力  $N'_i$  を求めた。すなわち、 $N_i$  の算出にはつぎの式が用いられる。

$$N_i = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot V^3}{C}$$

ここに  $D$  : 排水量 (ton)  
 $V$  : 速度 (knot)  
 $C$  : アドミラルティ係数

本実験では  $C$  および  $D$  が一定であるので、各  $\theta$  における  $S$  を一定とすれば、 $V = KPN$  ( $K$  : 比例定数) となる。ゆえに

$$N_i = K_{Ni} \cdot P^3 \cdot N^3 \quad (5)$$

ここに  $K_{Ni}$  : 比例定数  
 となる。この式に各  $\theta$  における  $N_i$  および  $N$  の実測値を代入し、それぞれの  $\theta$  における  $K_{Ni}$  を求める。この値は  $\theta$  によって変わり (第1図) つぎの実験式で表わされる。

$$K_{Ni} = \{0.0023(19.75 - \theta)^{3.4} + 2.013\} \times 10^{-5} \quad (6)$$

この式(5)および(6)と  $N'$  を用いて、基準曳網速度における、 $\theta$  と補正図示馬力  $N'_i$  の関係を求め、これを第2図に示す。

また図示平均有効圧力  $P_{mi}$  はつぎの式で表わされる

$$P_{mi} = C_c \frac{N_i}{N}$$

ここに  $C_c$  : シリンダー一定数

この式に  $N'$  と  $N'_i$  を代入し、基準曳網速度における  $\theta$  と補正図示平均有効圧力  $P_{mi}$  の関係を求め、これを第2図に示す。

### 3・2・4 燃料消費量 $B$ および図示燃料消費率 $q$ の補正

燃焼状態が一定ならば  $N_i$  は  $B$  にほぼ比例するので、つぎの式が成り立つ。

$$N_i = K_B \cdot B \quad (7)$$

ここに  $K_B$  : 比例定数

この式に  $N_i$  および  $B$  の実測値を代入し、各  $\theta$  における  $K_B$  を求める。 $\theta$  が12度と15度の値は基準曳網速度か、それに近い速度における測定値であるので、この2点を結ぶ線で実験式の代用とした。

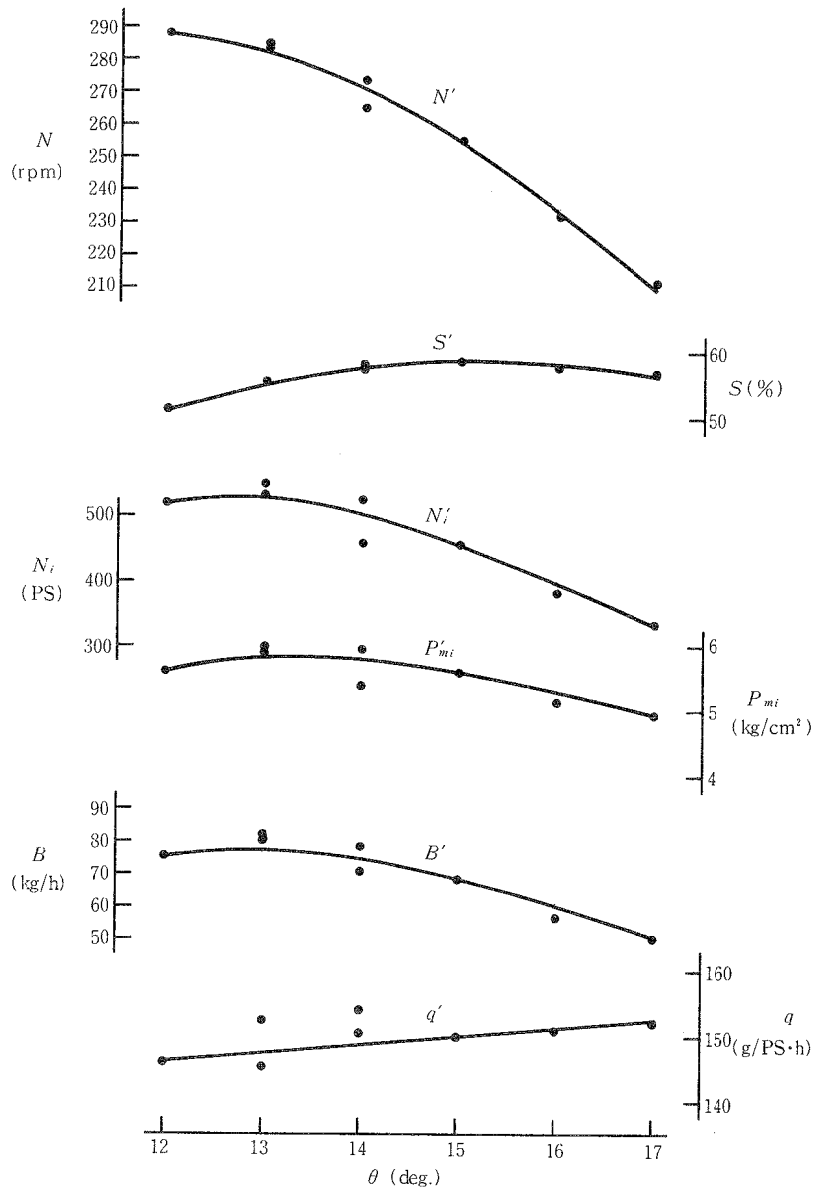
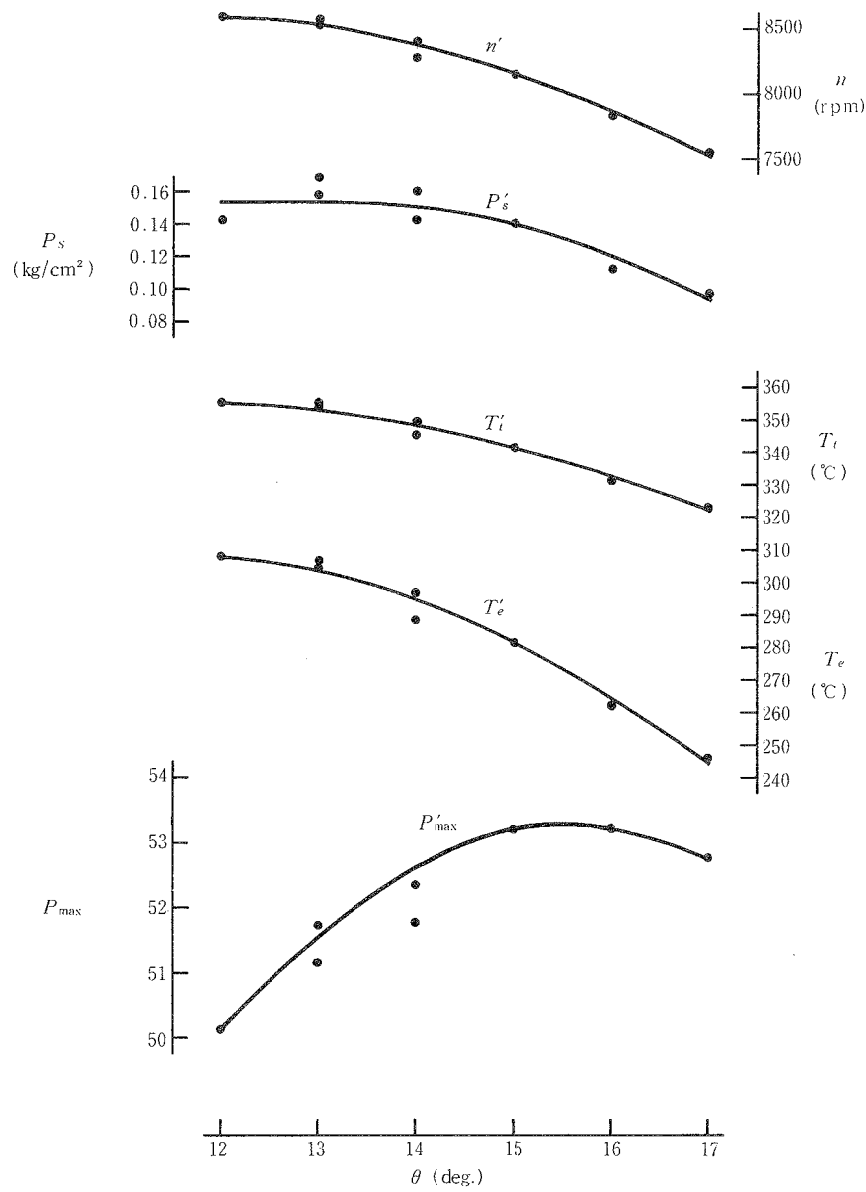


Fig. 2. The characteristics of the main engine and the propeller pitch during trawling.

- Legend ; ● : Calculated value after the first correction  
 — : Calculated value after the second correction  
 $\theta$  : Indicated pitch angle (deg.)  
 $N$  : Revolution of main engine (rpm)  
 $S$  : Propeller slip (%)  
 $N_i$  : Indicated horse power (PS)  
 $P_{mi}$  : Indicated mean effective pressure (kg/cm<sup>2</sup>)





- $B$  : Fuel consumption (kg/h)  
 $q$  : Indicated specific fuel consumption (g/PS-h)  
 $n$  : Revolution of turbo charger (rpm)  
 $P_s$  : Suction air pressure (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $T_e$  : Temperature of exhaust gas from main engine (°C)  
 $T_t$  : Temperature of inlet gas to turbo charger (°C)  
 $P_{max}$  : Maximum pressure (kg/cm<sup>2</sup>)

$$K_B = 0.06(17 - \theta) + 6.55 \quad (8)$$

なお他の  $\theta$  における値とこの式より求めた値は多少異なるが、第2図にみられる関係に根本的な差を生じない。式(7)および(8)と  $N_i$  を用いて基準曳網速力における  $\theta$  と補正燃料消費量  $B'$  の関係を求め、これを第2図に示す。

また図示燃料消費率の補正は、 $N_i$  および  $B'$  から求め、補正図示燃料消費率  $q'$  として、これを第2図に示す。

### 3・2・5 給気圧力 $P_s$ の補正

$P_s$  と  $N$  の関係については一般に使われている式がないので、各  $\theta$  における両者の関係を実験式で表わし、その係数と  $\theta$  の関係より、前項と同様の方法で  $P_s$  を補正した。すなわち、 $P_s$  と  $N$  の実測値の関係はつぎの実験式で表わされる。

$$P_s = K_{P_s} \cdot N^4 \quad (9)$$

ここに  $K_{P_s}$ : 比例定数

この  $K_{P_s}$  は  $\theta$  によって変わり(第1図)つぎの実験式で表わされる。

$$K_{P_s} = \{0.09(\theta - 11.5)^2 + 2.2185\} \times 10^{-11} \quad (10)$$

この式(9)および(10)と  $N'$  を用いて基準曳網速力における  $\theta$  と補正給気圧力  $P'_s$  の関係を求め、これを第2図に示す。

### 3・2・6 排気タービン回転数 $n$ の補正

$n$  は  $N$  によって変わるので、各  $\theta$  における関係式を求め、その比例定数と  $\theta$  の関係より、前項と同様に補正を行なった。

すなわち、前報<sup>1)</sup>に示したように  $n$  は  $N$  に比例し、つぎの式で表わされる。

$$n = K_n \cdot N + 4700 \quad (11)$$

ここに  $K_n$ : 比例定数

この式に各  $\theta$  における  $n$  および  $N$  の実測値を代入し、それぞれの  $\theta$  における  $K_n$  を求めると  $\theta$  の如何にかかわらず、ほぼ一定の値をとり、 $K_n = 13.5$  (第1図)とみなされる。

この式(11)および  $K_n$  と  $N'$  を用いて基準曳網速力における  $\theta$  と補正排気タービン回転数  $n'$  の関係を求め、これを第2図に示す。

### 3・2・7 最高圧力 $P_{\max}$ の補正

前報<sup>1)</sup>の式(18)を参考にして  $P_{\max}$  と  $N$  の実測値の関係を実験式で表わして比例定数を求め、前項と同様に補正した。

すなわち

$$P_{\max} = K_{P_m} \cdot N^{0.358} \quad (12)$$

ここに  $K_{P_m}$ : 比例定数

この式に各  $\theta$  における  $P_{\max}$  と  $N$  の実測値を代入し、それぞれの  $\theta$  における  $K_{P_m}$  を求める。この値は  $\theta$  により変わり(第1図)つぎの実験式で表わされる。

$$K_{P_m} = 0.24\theta + 3.72 \quad (13)$$

この式(12)および(13)と $N'$ を用いて基準曳網速力における $\theta$ と補正最高圧力 $P_{\max}$ の関係を求め、これを第2図に示す。

### 3・2・8 排気温度 $T_e$ および排気タービン入口温度 $T_i$ の補正

$T_e$ と $N$ の関係を実測値より実験式で表わし補正した。すなわち、

$$T_e = 0.81N + (T_s + 42.5)$$

ここに  $T_s$ : 給気温度

この式と $N'$ を用いて補正排気温度 $T'_e$ を求め、これを第2図に示す。

また同様にして排気タービン入口温度を補正した。すなわち

$$T_i = 0.43N + (T_s + 199.5)$$

この式を用いて補正排気タービン入口温度 $T'_i$ を求め、これを第2図に示す。

## 3・3 考察

### 3・3・1 回転数 $N$ とスリップ率 $S$

一般の推進における $N \cdot P$ および $V$ の関係は式(1)より、 $V = \{(1 - S/100)/30.87\} \cdot PN$ であり、トルール網を曳網する際は一定速力が要求される。 $S$ を一定とすれば、 $N = K/P$ (ただし $K$ : 比例定数)となる。本船では $P = 0.7\pi \tan(\theta - 2.33^\circ) \times 2.1$ であって、しかも $\theta$ の変域は狭いので、 $N \propto 1/\theta$ となる。しかし実際には $S$ があり、実験結果から第2図 $N'$ のように $\theta$ が15度のとき $S$ が最大となることがわかったので、この角度で運転することはこの観点から適当でない。

機関部分の摩耗の点からは低速回転の方が好ましい。しかし本船の場合170~210 (rpm) が危険回転域であるから、この範囲の回転数で運転することは不適当であり、また210 (rpm) 以下にすると、後述する(3・3・4)過給機のサージングの恐れがある。したがって $N$ を210 (rpm) 以下すなわち $\theta$ を17度以上にすることは適当でない。

### 3・3・2 図示馬力 $N_i$ および図示平均有効圧力 $P_{mi}$

本実験では一定速力で曳網しているので、スラスト馬力 $N_T$ は一定、すなわち $\theta$ および $N$ に無関係であると考えられる。

$N_T$ と $N_i$ の関係は

$$N_T = N_i \eta_m \eta_r \eta_B, \quad N_i \propto \frac{1}{\eta_m \eta_r \eta_B}$$

ここに  $\eta_m$ : 機械効率、 $\eta_r$ : 伝達効率、 $\eta_B$ : プロペラ効率

第2図 $N_i$ より、 $\theta$ を大きくするほど、 $N_i$ は小さくなっている。このことは $\theta$ を大きくすると、 $\eta_m \eta_r \eta_B$ が大きくなることを示している。しかし、 $\eta_m$ は $N$ の影響をうけにくく、 $\eta_r$ は同一船舶で、同一状態の場合ほとんど変わらないので、 $\eta_B$ が大きく変化していることになる。 $\eta_B$ と $\theta$ との関係は $S$ の変化と関係がある。先に述べたように、 $\theta$ が15度で最大となっているが、 $\theta$ が16度以上では $S$ は減少している。しかしこの $S$ を算出したプロペラピッチ $P$ は、 $P = 0.7\pi \tan(\theta - 2.33^\circ) \times 2.1$ であり、また $S$ は見掛けのスリップ率であるからスリップ率が小さいほどプロペラ効率が良いとは言えない。

つぎに $P_{mi}$ は一般に $P_{mi} \propto N_i/N$ で表わされる。 $\theta$ を大きくすると、 $N_i$ および $N$ がともに減少する。しかし、 $N_i$ の減少に比べて $N$ の減少が大きいので $\theta$ が大きくなるにつれて、 $P_{mi}$ が大きくなると考えられる。しかし実験結果(第2図 $P_{mi}$ )ではこれとは反対に $\theta$ を大きくしても $P_{mi}$ は減少している。このことは $\theta$ に対

する $N$ の減少よりも、 $N_i$ の減少の方が大きいことを示している。すなわち、 $N_i$ の場合と同様 $\theta$ を大きくすると、 $\eta_m \eta_r \eta_B$ が大きくなることを意味している。これは $\eta_m$ よりも、 $\eta_B$ の影響が大きいととえられる。したがって $\theta$ は大きい方がよいことになる。

### 3・3・3 燃料消費量 $B$ および図示燃料消費率 $q$

図示熱効率を一定とすれば、 $B \propto N_i$ である。 $\theta$ を大きくすれば $N_i$ は小さくなり、 $B$ も減少する。しかし、 $N$ の変化によって線図係数 $\eta_\theta$ が変わるため、図示熱効率は一定とはならない。本実験ではほぼ、 $B \propto N_{th}$  ( $N_{th}$ : 理論馬力)ととえられる。 $\eta_\theta = N_i/N_{th}$ に $N_i \propto P_{mi}N$  および  $N_{th} \propto B \propto bN$  ( $b$ : 1回の噴射量)を代入すると $\eta_\theta = C \frac{P_{mi}}{b}$ となる。ただし $C$ は比例定数。

また $q \propto B/N_i \propto bN/P_{mi}N$ であるから $q \propto 1/\eta_\theta$ となる。 $\theta$ を大きくすると、 $B$ および $N_i$ がともに減少しているが、 $q$ は多くなっている。すなわち、 $B$ の減少割合より $N_i$ の減少割合の方が大きいことを示している。一方、 $\theta$ を大きくすれば $B$ が減少するのは、 $\eta_\theta$ が小さくなるにもかかわらず、 $\eta_B$ が大きくなるためと思われる。

### 3・3・4 給気圧力 $P_s$ および排気タービン回転数 $n$

排気タービンの出力 $N_t$ およびプロワ駆動動力 $N_s$ は次式<sup>1)</sup>で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} N_t &= C_{pe} G_e T_t \left\{ 1 - \left( \frac{P_0}{P_t} \right)^{\frac{x_e-1}{x_e}} \right\} \eta_t \\ N_s &= C_{ps} G_a T_a \left\{ \left( \frac{P_s}{P_a} \right)^{\frac{x_a-1}{x_a}} - 1 \right\} / \eta_B \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ここに  $G_e, G_a$  : 排気ガスおよび給気の流量  
 $x_e, x_a$  : 排気ガスおよび給気の比熱比  
 $C_{pe}, C_{ps}$  : 排気ガスおよび給気の定圧比熱  
 $T_t, T_a$  : タービン入口ガスおよびプロワ入口空気の温度  
 $P_0, P_t$  : 大気圧力および排気タービン入口圧力  
 $P_a, P_s$  : プロワ吸入および噴出の圧力  
 $\eta_t, \eta_B$  : タービン効率およびプロワの全熱効率

式(14)において、 $N_t = N_s$ であり、前報<sup>1)</sup>で説明したように、 $\theta$ を大きくすれば、 $G_e, T_t, \eta_t, \eta_B, P_0/P_t, x_e$  および  $G_a$ は減少する。ただし、 $G_e = G_a + B$ であり、 $G_a$ の減少割合は $G_e$ のそれより小さい。以上の理由により、 $\theta$ を大きくすれば $P_s/P_a$ は減少することになる。しかし本実験の結果、 $\theta$ が17度以下なら $P_s$ について支障は生じない。

つぎに、 $n$ はプロワ特性から $G_a$ および $P_s$ により決まる。すなわち、 $\theta$ を大きくすると排気に失われる熱量 $Q_f \cdot \varphi$  ( $Q_f$ : 機関へ供給される熱量、 $\varphi$ : 排気に失われる熱量の割合)が減少するため、 $N_t$ は減少し、 $P_s$ および $G_a$ がともに減少する。この減少割合はプロワ特性と機関吸込み特性によって決まる。本実験の結果、 $\theta$ が17度以下なら $n$ について支障は生じない。しかし、17度を過ぎると作動点がサージング域に近ずき不安定な運転となるので適当でない。

### 3・3・5 最高圧力 $P_{max}$

$P_{max}$ は次式で表わされる。

$$P_{max} = a \cdot P_c, \quad P_c = P_s \cdot e^c$$

ここに  $\alpha$  : 爆発度  
 $P_c$  : 圧縮圧力 (ata)  
 $P_s$  : 給気圧力 (ata)  
 $\epsilon$  : 圧縮比  
 $\kappa$  : 比熱比

$\epsilon$  は  $\theta$  に関係なく一定である。 $\theta$  を大きくすると、 $P_s$  は小さくなり、 $\kappa$  は大きくなる。しかし、 $\theta$  が大きくなると圧縮空気の冷却および漏洩時間が大きくなるため、 $P_s$  の影響が強くなり現われてくる。したがって  $P_c$  は小さくなる。 $\alpha$  は発火時の可燃性混合気量および発火時期 (クランク角度) 等種々の要素に影響される。 $\theta$  を大きくすればつぎの変化が生じる。すなわち、圧縮空気の圧力および温度が下るので発火遅れ期間が長くなる。また、噴射時期は一定であるから、発火時期は相対的に早くなる。したがって、結果として可燃性混合気量が多くなる。以上のため  $\theta$  が大きくなれば、 $P_{\max}$  は大きくなる。第2図 ( $P'_{\max}$ ) で示すように、 $P_{\max}$  は  $\theta$  が 15.5 度で最大となる。 $\theta$  が 15.5 度より大きくなると、 $P_{\max}$  が低下する理由としてはつぎのことがあげられる。

1)  $N$  が小さいため圧縮圧力および温度が低い。2) シリンダー内の空気流動も小さい。3) 発火遅れは非常に大きいにもかかわらず、燃焼室壁は素通り空気によって過冷却されるため、発火時の可燃性混合気量が減少する。これらの理由から、緩慢な燃焼となり、 $P_{\max}$  が小さくなると考えられる。以上の点から  $\theta$  を 16 度以上で運転する事は燃焼の面から好ましくない。 $P_{\max}$  を高くすれば理論熱効率を向上させることが可能である。しかし同時に、機関構造部の強度、機械効率、振動および摩擦部の摩耗等が問題となる。ただし本実験では、 $P_{\max}$  は最大でも 54 kg/cm<sup>2</sup> 以下であるため、 $P_{\max}$  から運転条件を制限されることはない。

### 3・3・6 排気温度 $T_e$ および排気タービン入口温度 $T_i$

排気温度は近似的に次式で表わされる。

$$T_e = \frac{Q_f \cdot \varphi}{C_p \cdot G_a} + T_s \quad (15)$$

ここに  $C_p$  : 排気ガスの定圧比熱  
 $Q_f$  : 機関へ供給される熱量  
 $\varphi$  : 排気に失われる熱量の割合  
 $G_a$  : 機関への供給空気量

$Q_f \cdot \varphi$  についてつぎのことが考えられる。 $\theta$  が大きくなると  $B$  が減少し (第2図  $B'$ )  $\eta_\theta$  も減少する (3・3・3)。すなわち  $Q_f \cdot \varphi$  が減少する。また、前報<sup>1)</sup> に示したように  $\theta$  を大きくすると、 $G_a$  は減少する。一方、 $C_p$  および  $T_s$  は一定と考えてよい。したがって、 $\theta$  を大きくすると式(15)の分子および分母がともに減少する。実験結果では、 $T_e$  が低下していることから、 $Q_f \cdot \varphi$  の減少割合より  $G_a$  のそれが小さいことがわかる。これは一定時間中のオーバーラップ時間面積が  $N$  に無関係であり、素通り空気量の変化が小さいためと考えられる。

つぎに、前報<sup>1)</sup> に示したように  $T_i$  は  $T_e$  より大きくなる。 $\theta$  を大きくするとつぎのことが生じ、 $T_i - T_e$  は大きくなる。1)  $N$  が減少する。2) 1回の燃料噴射が増す。3) 排気吹出しエネルギーが増加する。

$T_e$  および  $T_i$  は一般に熱負荷の面から低い方がよいが、本実験では許容範囲内で支障はない。反面、 $\theta$  が 16 度以上では  $T_e$  および  $T_i$  が低すぎて、燃焼不良さらに腐食の危険性がある。したがって、この点からは  $\theta$  は 15 度より小さい方がよい。

## 4. ま と め

巡航時の実験に続いて、トロール操業時の実験を行なった。その結果をまとめると、本船のトロール操業時の最適回転数と最適ピッチ指示角が得られた。すなわち、

1) 燃料経済の点からは燃料消費量を少なくすることが最も重要で、ピッチ指示角  $\theta$  を大きくするほどよい。しかし、 $\theta$  が 16 度以上になると主機回転数  $N$  は小さくなり、燃焼は次第に緩慢となる。それにとまって熱効率は低下し、燃料消費量の減少割合も小さくなる。

2) 機関寿命の点から最も大きな影響をおよぼす因子は摩耗と考えられる。摩耗は滑り面の面圧、滑動速度、往復回数、燃焼状態などの諸因子によって影響される。滑り面の面圧は慣性力の点からほぼ  $N^2$  ( $N$ : 回転数) に比例する。 $N$  と燃焼との関係は前にも述べたように、 $N$  が小さいと燃焼は緩慢となる。以上の点を考慮して、本実験で適当な  $\theta$  の範囲を選ぶなら、15~16 度が適当と思われる。

3) 機関信頼性が大きいということは、故障発生の可能性が少ないと考える。故障は多種多様であるが、特に機械的負荷および熱負荷の増大によるものが多い。機械的負荷には主として慣性力および最高圧力  $P_{\max}$  等の影響が大きい。慣性力は  $N^2$  に比例するが、本実験の範囲では慣性力、すなわち  $N$  は信頼性に大きな影響をおよぼさないとと思われる。過給機の回転数も許容範囲内にある。最高圧力  $P_{\max}$  は  $\theta$  が 15.5 度で最大となっている。燃焼状態は最良で運転に最適な点であると考えられる。本実験では低負荷のため、 $P_{\max}$  の絶対値が 54 kg/cm<sup>2</sup> であって、信頼性に影響しないが、一般にはこの値に十分注意をすべきである。

つぎに熱負荷については、燃焼ガスから燃焼室壁に流れる単位時間当りの熱量が問題になる。本実験範囲内の負荷では許容範囲内にある。また、過給機に与える負荷の点から、タービン入口温度が問題となるが、本実験では絶対値が低く問題はない。かえて  $\theta$  を大きくしすぎると、排気温度が低いため、燃焼不良等の問題がおこる。

本船では、一般のトロール船に比較すると、曳網時の負荷が小さい。これは本船が練習船であるため、漁獲量よりも実習に適した大きさの網を使用しているためである。これに反し、一般船では全出力に近い負荷で曳網するのが普通であるから、このような実験方法により最適回転数およびピッチ角を求めることは、低負荷で曳網する本船以上に重要なことであり、燃料経済および機関寿命の面からも有利となるはずである。

終りに終始御指導をいただいた水産大学校機関学科、金岡浩助教授をはじめ、実験計測にあたっては、天鷹丸乗組員諸氏の協力を厚く感謝する次第である。

## 文 献

- 1) 日笠純扶, 西矢豊就, 1974: 本報告, 23(1), 31~46.