

敬天丸の主発電機原動機に於ける低負荷運転域 での燃焼改善対策

嶋田起宜*, 仲武正臣*, 中武利郎*, 善福 忍*, 佐藤忠明*

Improved Low-Load Combustion of Main Generator Engine of T/V Keiten-Maru

Kiyoshi Shimada*, Masaomi Nakatake*, Toshirou Nakatake*,
Shinobu Zenfuku*, and Tadaaki Satou*

Keywords : Low-load combustion, Diversity factor, Demand factor.

Abstract

Generator capacities on fisheries training vessels are designed according to demand to utilize deck machinery for fishing training, such as trawling and tuna longlining. The designed generator capacity was reviewed and measures for rationalized combustion were tested on T/V Keiten-maru. Analysis of the actually demanded power recorded every one hour for the last ten years proved that the average diversity factor was 35 % and demand factor 66 %. The load on the generator engine did not exceed 70 % of the designed maximum even when all the deck facilities were run. While independent running of the generator engine during normal cruise, load did not exceed 60 % and most frequently appeared around 40 %. The load was much lower when anchored. The designed diversity and demand factors were both assessed to have been set exceedingly.

The observed irregular abrasion on pistons, piston rings and cylinderliners, were attributed to such troubles as jam of combustion residue and converse flow of exhaust gas toward intake due to inappropriate combustion induced by low-load running. In order to reset the maximum capacity of the generator engine at 80 % to 90 % of the initially designed capacity the following measures were tested.

- (1) delayed timing of fuel injection by adjustment of fuel cams,
- (2) reduced diameter of nozzle holes of fuel injection valves,
- (3) replacement of the turbine nozzles of the turbo charger by low-load type ones, and
- (4) reduced flow angle for blower blades of the turbo charger (the last two were tested simultaneously)

The tested measures were concluded to be effective for improvement of low-load combustion.

* 鹿児島大学水産学部練習船敬天丸 (Training Ship Keiten-Maru, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

一般に漁業練習船においては、発電機負荷の不等率(%)が商船に比べて大きな値が用いられる為、発電機の低負荷運転がみられる¹⁾という。不等率(%)とは、発電機容量を決定する際その基礎となる需要電力を推定する方法で、間欠使用負荷の合計に不等率(%)を乗算することによって連続使用負荷に換算する数値のことである。

漁業練習船敬天丸においても、間欠使用負荷である漁労機器や冷凍機のような大電力を消費する機械が数多く装備されており、不等率(%)が実際の運転の値より大きく設定されているので、常時低負荷運転を行っている。新造時の電力調査表(内海造船所)による所要電力と実際運転している時の所要電力とを対照した結果を Table 1, Table 2 に示す。

実際の運転所要電力は、発電機単独運転時は、最大負荷率58.3%であり、最小負荷率16.7%となっており、また出入港時及び操業時の発電機並列運転時には、最大負荷率67.5%である。そして最も使用頻度の多い負荷率は、40%前後である。

Table 1 Grand total (Generator indulgence operation load)

Division	Electricity designation table electric energy (Kw)		Input machinery total measure electric energy (Kw) ($\sqrt{3} \eta VA \cos \theta$)			
	voyage	anchorage	study voyage		operation voyage	
			voyage	anchorage	voyage	anchorage
Continuous load power (summer)	213.4		111.4	74.5	145.1	108.2
" (winter)	174.2	24.6	79.5	42.6	113.2	76.3
Intermittent power total	122.1	56.0	74.7	67.4	74.7	67.4
Diversity factor (%)	50	50				
Intermittent power	61.1	28.0				
Required power total (summer)	274.5	—				
" (winter)	235.3	52.6				
Maximum required power (summer)			140.0	110.0	175.0	145.0
" (winter)			110.0	95.0	140.0	115.0
Minimum required power (summer)			115.0	85.0	145.0	110.0
" (winter)			85.0	50.0	110.0	80.0
Load factor (summer) (%)	91.5	—	max 46.7 min 38.3	38.3 31.7	58.3 46.7	48.3 36.7
" (winter) (%)	78.4	87.7	max 36.7 min 28.3	28.3 16.7	48.3 38.3	38.3 26.7

The maxima and minima of electric power were recorded every one hour for the last ten years at the KW-meter on the main electricity distribution control panel.

Diversity factors were calculated on the sum of either maxima or minima of electric power for intermittent use. Electric power for occasional use ranged from 0% to 40% during cruising while 3% to 77% when anchored. Therefore, the diversity factor allocated in the electricity designation table, or 50%, was assessed over-estimation.

Table 2 S/B. Trawl. Tuna. Operation. Electric energy (Generator parallel operation load)

Division	S / B (Kw)	Trawl operation (Kw)	Tuna operation (Kw)
Reserve L.O pump	7.1	—	—
Reserve reduction gear L.O pump	4.2	—	—
Bow thruster	167.7	—	167.7
Trawl winch	—	156.7	—
Windlass	32.4	—	—
Moor winch	22.7	—	—
Line hauler	—	—	13.1
Fish hatch cover	—	6.6	6.6
Required power total	234.1	163.3	187.4
Continuous load (summer)	133.6(FWG. stop)	145.1	145.1
Training voyage (winter)	101.7(")	113.2	113.2
Intermittent power total	74.7	74.7	74.7
Diversity factor (%)	50.0	50.0	50.0
Intermittent power total	37.4	37.4	37.4
Required power total (summer)	405.1	345.8	369.9
" (winter)	373.2	313.9	338.0
Parallel running (summer)	67.5	57.6	61.7
Load factor (%) (winter)	62.2	52.3	56.3

このような低負荷運転を常時行う事により, 下記のような弊害がおこってきた。

- 1) 燃焼室の早期汚損
- 2) ピストンリング, ピストンリング溝の異常摩耗
(第一リング溝摩耗率: $4 \sim 7 / [100 \text{ mm} / 1000 \text{ h}]$)
- 3) 過給機の早期汚損
- 4) 煙突に燃焼残渣のカーボン付着大
- 5) 燃料消費率が大

これらの改善策として原動機を低負荷対応型に改造すべく対策を検討し, 実験を行ったので報告する。

方 法

低負荷時の燃焼状態を改善するために

- 1) 燃料噴射時期の変更
- 2) 燃料の噴霧状態の改善
- 3) 給気圧の上昇

の3つの項目を採択した。以下にその概要を述べる。

使用発電機の型式を Table 3 に, 原動機の型式を Table 4 に示す。

- 1). 燃料ポンプの突き始めを遅らせる。

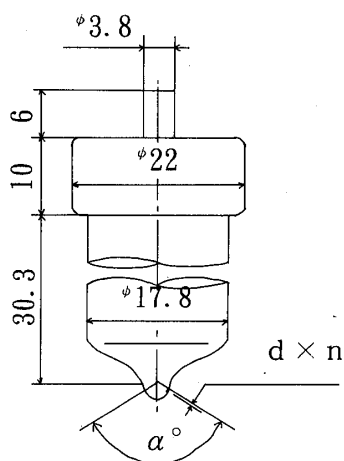
燃料ポンプの突き始めを遅らせるために, 燃料カムを遅らせる。全シリンダー平均で燃料

Table 3 Specifications of self excited A.C. generator.

Type	Model	Out put	Volts	No. of phases	Cycles
Drip-proof	AE8045-8	375KVA	450V	3 ^φ 3WIRE	60Hz
R.P.M	P.F	Maker			
900	0.8	Taiyo Electric Mfg. Co., Ltd			

Table 4 Specifications of diesel engine.

Type	Out put	Cylinder No.	Bore	Stroak
6PSHTc-20	450PS	6	200mm	250mm
R.P.M	Maker			
900	Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd			

**Fig. 1** Outward form of fuel injection valve.**Table 5** Specifications of fuel injection valve.

Type	Injection Angle α°	Diameter of nozzle d mm	Number of nozzle n
DLF160T-306	160	0.30	6
DLF160T-286	160	0.28	6

カムを3度遅らせて、上死点前23度より上死点前20度にカム角度を変更することにより、燃焼ガス圧を下げ、低負荷域でのガス交換の効率上昇を図る。

2). 1)の対策と併せて燃料噴射弁を変更する。

燃料噴射弁のノズル孔の直径を小径にするために、DLF 160 T/306型より DLF 160 T/286型 (Table 5 参照)に変更すると、ノズル孔の直径は30/100^φから28/100^φとなり、従来の87.1%の燃料通過面積となる。

ノズル孔を小径にする事により噴霧状態を改善する。つまり、燃料の空気への接触面積の増加を図る。これを従来の燃料弁ホルダーに取り付けた。燃料弁の外形を Fig. 1 に示す。

3). 1), 2)と併せて、過給機のタービンノズルとブロワーのディフューザーの変更を行う。

過給機 (型式: VTR 200 (Z4R271 II CH 50 WE))のタービンノズルのノズル面積を小さくするため II CH 50型から II CH 47型に、ブロワーのディフューザーの内径を少し小さくするために4R271型から4R269型に変更 (Table 6 & 7 参照)。

タービンのノズル面積を小さくする事により、ローターの回転数の上昇を図り、尚且つディフューザーの変更により、給気圧の増加を図る。この事により、低負荷時の給排気弁のオーバーラップ時の排ガスの給気側への吹き返し防止、並びに、体積効率の上昇を求め、燃焼状態の改善を図る。

ノズル及びディフューザーの形状を Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。

従来の状態及び対策1), 2), 3)を各々、各負荷毎に、過給機回転数、給気圧、排気ガス温

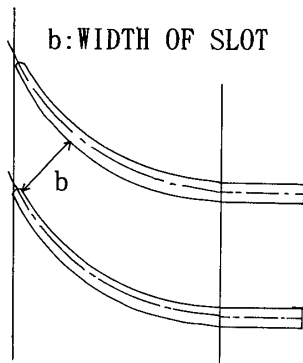


Fig. 2 Form of nozzle.

Table 6 Specifications of nozzle.

Type	Width of slot b mm	Area of nozzle F cm ²
II CH50	7.8	50
II CH47	7.3	47

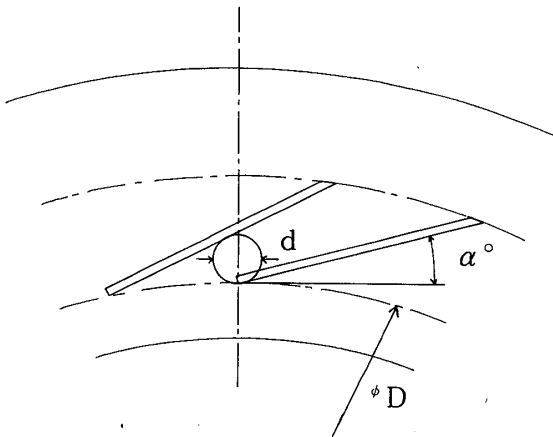


Fig. 3 Form of diffuser.

Table 7 Specifications of diffuser.

Type	Inside diameter of diffuser ϕD mm	Angle of blade α°	Width of slot d mm
4R271	271	22.27	6.71
4R269	269	21.10	6.29

度, 最高圧力, 燃料消費量のデータを採取すると共に燃焼ガス分析計を用いて, 排気管サイレンサーマンホールに加工した取り付け穴部より, 燃焼ガス分析値 O_2 (%), CO (p.p.m), CO_2 (%) を検出した。そして, 採取した燃料消費量の値とその時の消費電力の値から燃料消費率 (g/kwh) を計算によって求めた。燃焼ガス検出器の取り付け位置を Fig. 4 に, 使用燃料油の性状を Table 8 に示す。また使用した計測機器は, 下記の通りである。

- (1) 燃焼ガス検出器
燃焼ガス分析計 : 型式 Testo 340 (テストターム製)
- (2) 過給機回転数計
ハンド タコメーター : 型式 D-5 (倉本計器製)
- (3) シリンダー最高圧力計
: 型式 T2-4 (永野計器製)
- (4) 給気圧力計
水銀マノメーター : 型式 PM-12-181 (永野計器製)
- (5) 燃料流量計
: 型式 FRAB-X (トキコ計器製)
- (6) 電力計
: 型式 LWK-12N (第一電気製)

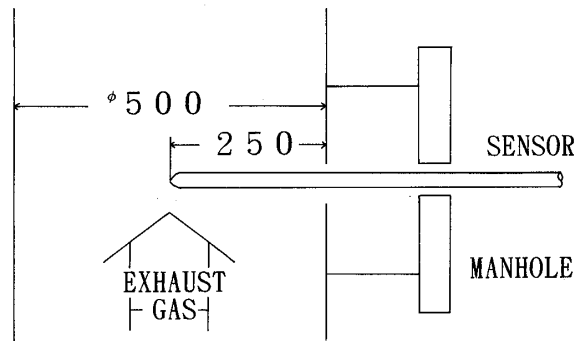


Fig. 4 Set position of gas analyzer.

Table 8 Specifications of fuel oil.

Density	Viscosity	10% C.C.R
g/cm ³	(cst) 50°C	% wt.
0.8517	3.166	0.04
Sulphur	Reaction	C.C.V.
% wt.		cal/g
0.66	Neutral	10,800

結果及び考察

発電機原動機を、まず始めに無対策で運転し、次に対策1)、対策2)、最後に対策3)を順次加えて運転し、各負荷毎にデータを採取した。

計測条件も研究航海中、又は停泊中の為制限されたが、今回の主目的が低負荷域での燃焼改善という事であり、発電機負荷を、40 KW ~ 230 KW (13% ~ 77%) で、各対策、同一負荷にて約30分間運転、各データを計測記録した。

計測結果を縦軸に、計測時の出力を横軸にとり、Fig. 5-(1) から Fig. 5-(8) に図示する。これらの図から次のことが明らかになった。

対策1)の場合、燃料噴射時期を遅らせる為、従前より高圧のシリンダーに燃料を噴射する事により、着火時間は短くなるが、噴射終わりが遅くなるので、後燃えの現象となり最高圧力は低くなり、排気温度は上昇する。

しかし、給気弁が開く時のシリンダー内残圧が低くなり、新しい空気の増加につながり、O₂濃度、CO濃度が減り、CO₂濃度が増え、又、若干、給気圧力も増え燃焼効率の改善につながっている。

対策2)の場合、燃料噴射弁のノズル孔を小さくする事により、燃料の霧化状態が良くなる。つまり、噴流の単位体積当たりの表面積が大きくなり、空気抵抗も大きくなり、油粒は小さくなる。この結果、空気との混合接触が改善され、着火時間が尚早くなり、燃焼効率はより改善される為、排気ガス温度は低くなり、最高圧力は上昇し、燃料消費率も良くなっている。

更に、対策3)の場合、過給機の改善策として、過給機回転数(給気圧力)を上昇させる事により、特に低負荷域での体積効率(ガス交換効率)も大幅に改善され、排気ガス中のO₂、CO濃度が減り、CO₂濃度が増えている。排気ガス温度は、対策前に比べ、低負荷域で高く、高負荷域で低くなっている。最高圧力は全般的に低くなっている。

燃料消費率も200 KW付近で谷の部分を示し、低負荷域での向上を示している。

以上の結果から、対策1)、2)、3)を併せて実施する事により、明らかに低負荷域での燃焼が改善されたと思われる。

又、目視による煙色の状態も、対策前後を比べると、暗紫色より無色透明に近い状態となっ

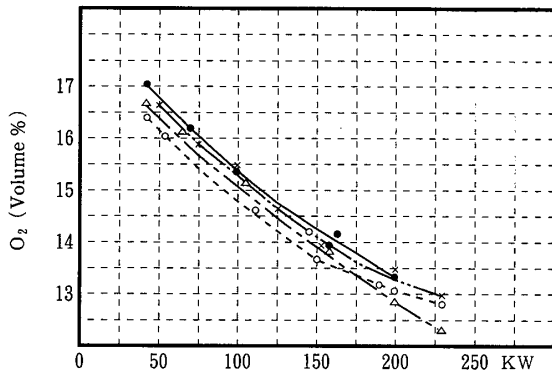


Fig. 5-1 Generator output (Kw)-O₂ (volume) curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

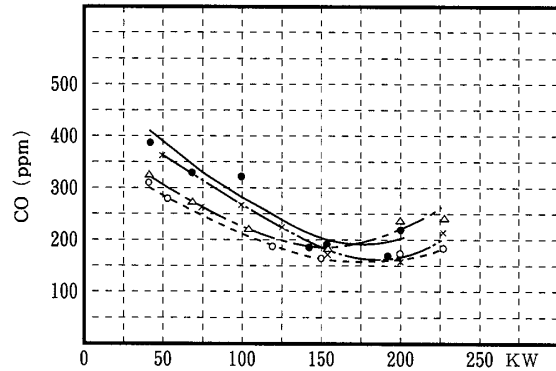


Fig. 5-2 Generator output (Kw)-CO (ppm) curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

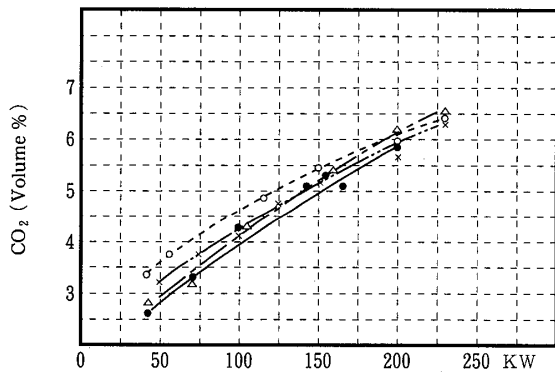


Fig. 5-3 Generator output (Kw)-CO₂ (volume) curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

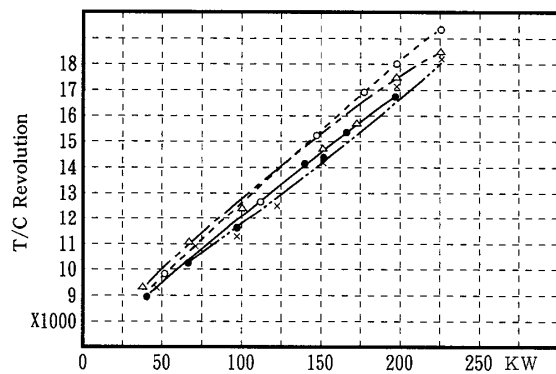


Fig. 5-4 Generator output (Kw)-T/C revolution curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

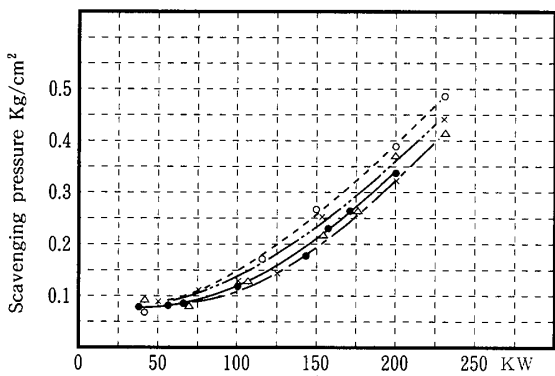


Fig. 5-5 Generator output (Kw)-scavenging pressure curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

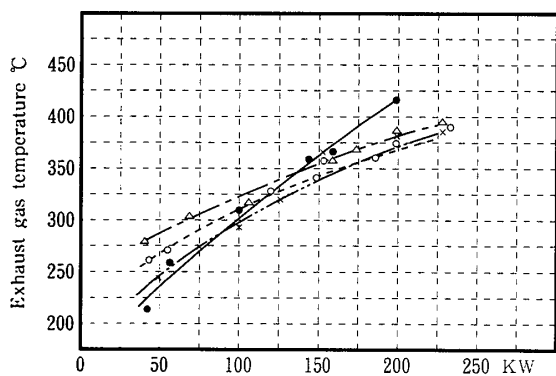


Fig. 5-6 Generator output (Kw)-exhaust gas temperature curves.

- Original engine.
- -△ : After adjusting FOV.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- ·-·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

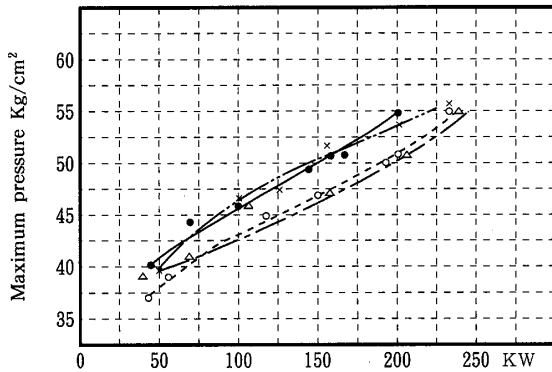


Fig. 5-7 Generator output (Kw)-maximum pressure curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- · - ·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

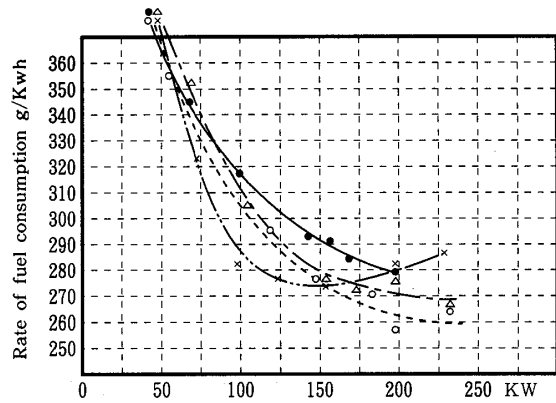


Fig. 5-8 Generator output (Kw)-rate of fuel consumption curves.

- Original engine.
- -△ 1) After adjusting FO CAM.
- × 2) After changing FOV. (include 1))
- · - ·○ 3) After changing T/C diffuser. (Include 1) 2))

た。短時間ではあるが、250 KW ~ 280 KW 付近で運転した結果、過給機のサージング現象や振動等もみられなかった。

要 約

漁業練習船の発電機容量は、その特性として、トロール操業、鮪操業実習時等に使用する甲板機械をも併せて設定してあるが、調査した結果、不等率(%), 需要率共かなり高く計画されており、敬天丸では、不等率(%), 平均35%, 需要率平均66%であった。甲板機械が総て運転された場合も、約70%の負荷で電力は供給される。

通常航海では、発電機の単独運転で60%以下の負荷で運転しており、最も多い使用負荷は、40%付近である。停泊中は更に低い負荷となる。

この結果、発電機原動機の燃焼状態が非常に悪い為、燃焼残渣物の嘔込、排気ガスの給気側への吹き返し等による弊害として、ピストンリング、ピストン、シリンダライナーの異常摩耗を発生させていた。

そこで、従来の発電機原動機の出力量の80%~90%をMAX'とすべく、下記項目を変更して実験、検討した。

- 1) 燃料カムを調整することにより、燃料噴射時期を遅らせる。
- 2) 燃料噴射弁のノズル孔を小さくする。
- 3) 過給機のタービンノズルを低負荷型とする。
- 4) 過給機のブロワーの導翼の流出角を小とする。

(但, 3), 4)は同時に施行)

この結果、特に低負荷域での燃焼改善に有効との結論を得た。今後に残る課題として、漁業練習船の発電機の不等率(%), の再考が必要と思われる。さらに、発電機原動機の容量を必要最小限にするためには、主機駆動の軸発電機の設置等が望ましいと思われる。

謝 辞

最後に, この論文を取りまとめるにあたり御指導いただいた, 米盛 亨 鹿児島大学名誉教授に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 酒井久治, 北野庸介, 熊谷和哉, 山根勝行 (1990): 漁業練習船における発電機負荷の不等率. 日本舶用機関学会誌, 286-293.