終わりに、検討対象とした発電プラントには本例以外にも種々の検討が加えられ、その安全性が確認されていることを付記する。

文 献

- 1) 電気工学ハンドブック(1967), 1164, 電気学会.
- 2) 電気工学ハンドブック(1967), 1167, 電気学会.

技術資料

省燃費を考慮した発電プラント*

高木康光**・上田敏明***

Generating Plant for Energy Saving

By Yasumitsu Takagi, Toshiaki Ueda

For the purpose of energy saving, the exhaust gas turbo-generator utilizing exhaust gas of main engine is adopted in many of recent generating plants. On the other hand, due to installation of various energy saving plants, reduction of ship speed, etc. there is a tendency to increase in the number of ships where output of exhaust gas turbo-generator is insufficient compared with the required electric power of ships. Accordingly, there arises a need for auxiliary generating means to supply this insufficiency.

This report describes comparison in features and payability of various auxiliary means to exhaust gas turbo-generator, such as means by auxiliary diesel generator, shaft generator and auxiliary boiler.

1. ま え が き

昨今の石油価格の高騰は著しく、船舶においても運航費の低減のため、省エネルギー化は必ずの条件となっている。その一つの方法として、主機関の排ガスエネルギーを利用した排ガスターボ発電機が船舶の主電源として多く用いられている。ところが、種々の省エネルギープラントの採用、あるいは、船速の低速化等により今後建造される船舶の主機関はますます低馬力化の傾向にある。したがって、同じ船型の船舶においても排ガスターボ発電機の出力は小さくなりつつあり、常用航海中排ガスターボ発電機だけで船内電力を賄うことが難しい船舶が多くなると予想される。この問題を解決するため、次のような対策が検討あるいは実用化されている。

- (1) フロンタービン等を利用し排ガスターボ発電機の最大発生電力を大きくする方法
- (2) 吸気式空調設備、可変速ポンプ等を利用し船内電力を小さくする方法
- (3) 排ガスターボ発電機の不足分を適当な補助手段により補う方法

本資料は、上記対策のうち(3)項に焦点をあて排ガスターボ発電機による省エネルギーを効果的に計るため、その不足電力を補う有効な補助手段(以下補充装置と記す)について、その種類、特徴および採算性の比較等を紹介したものである。

2. 排ガスターボ発電機の出力と船内電力

排ガスターボ発電機は主機関の排ガスを熱源とする排ガスボイラの発生蒸気により駆動されるため、その最大発生出力は主機関の排ガスエネルギーすなわち、主機関の出力にほぼ比例する。一方、常用航海時の船内電力は主機関関係用電力と主機関出力とは無関係な居住区画用電力等により構成されているため、船内電力は排ガスターボ発電機の出力に比べ主機関の出力の影響を強くうけない。主機関出力に対する船内電力および排ガスターボ発電機出力の関係は一般的に図1に示すようになる。すなわち、主機出力が小さくなると排ガスターボ発電機の出力は不足気味となり、大きくなると余剰気味となる。図1において、船内電力と排ガスターボ発電機の出力がバランスする時の主機関の常用航海時の出力は船の種類、グレード等により異なるが、一般的に四サイクル機関の場合、最低11,000~12,000 PS程度、二サイクル機関の場合、最低13,000~14,000 PS程度である。主機関の常

* 原稿受付 昭和56年4月28日

** 正会員 川崎重工業(株)(神戸市中央区東川崎町3-1-1)

*** 川崎重工業(株)(神戸市中央区東川崎町3-1-1)

図1 船内電力と排ガスターボ発電機の出カ

用航海時の出力が上記より小さい船舶、あるいは冷凍コンテナのとう載、ホールドファンの運転等により船内電力が一般の船舶に比べて大きい船舶に排ガスターボ発電機を設ける場合には後述する排ガスターボ発電機を補助する手段を考慮し効果的な省エネルギー化を計る必要がある。

3. 排ガスターボ発電機の補充装置の種類と特徴

排ガスターボ発電機の補充装置はその分担電力が季節あるいは時間により種々変動することにより次のような性能が要求される。

- (1) 負荷変動に対して安定して動作すること。
- (2) 速応性があること。
- (3) 軽負荷運転に耐えること。
- (4) 燃費が軽負荷時でも良いこと。

一方、排ガスターボ発電機の補充装置としては、補助ディーゼル発電機あるいは軸発電機により直接不足電力を補う方法および、補助ボイラにより発電機タービンの駆動蒸気を補い不足電力を補充する方法等がある。以下、これらの三つのケースすなわち、補助ディーゼル発電機による方法(T/G + Aux. D/G案)、軸発電機による方法(T/G + S/G案)および補助ボイラによる方法(T/G + A/B案)について比較検討を行う。

上記諸要求に対するこれらの補充装置の適合度は大略次のようである。

補助ディーゼル発電機は始動に多少時間を要すること、ひん繁な発停および長時間にわたる軽負荷運転(30~40%以下の負荷)は機関にとって好ましくないことにより速応性、軽負荷運転に対し多少の難点がある。

軸発電機は上記要求に対し良好な性能を有している。

補助ボイラは始動に時間を要すること、ひん繁な発停は機関にとって好ましくないこと、燃費、特に軽負荷での燃費が良くないことにより速応性、燃費に対し多少の難点がある。

ただし、補助ディーゼル発電機あるいは補助ボイラにみられる難点はその運転制御方法を考慮することにより多少改善することができ、補充装置としての致命的な欠

点とはならない。

4. 各補充装置の採算性の比較

前項に示す補充装置の採算性を比較するために次に示すようなプラントを想定し各々のケースにつき採算性の検討を行った。

4.1 推進プラント 主機関は二サイクル機関とし、その最大連続定格出力が約10,000 PSと約14,000 PSである2ケースについて検討する。この時の排ガスターボ発電機の最大可能出力は常用航海時(主機関出力=85%×MCO)それぞれ250 kWおよび375 kW得られるものとする。

4.2 船内電力 常用航海時の船内電力は船の種類、主機関の出力等により種々異なるので、各推進プラントに対し4種類の船内電力を想定しそれぞれのケースについて比較を行った。その船内電力は4.1項に示す排ガスターボ発電機の出力がそれぞれ50 kW, 100 kW, 200 kW, 300 kW不足するような値とした。各ケースにおける常用航海時の船内電力の値を表1に示す。

表1 常用航海中の船内電力

主機出力 不足電力	常用航海中の船内電力			
	50 kW	100 kW	200 kW	300 kW
10,000 PS (MCO) (T/G OUTPUT 250 kW)	300 kW	350 kW	450 kW	550 kW
14,000 PS (MCO) (T/G OUTPUT 375 kW)	425 kW	475 kW	575 kW	675 kW

4.3 発電プラント 常用航海時の電力をディーゼル発電機のみで賄う発電プラントをベースとし、(T/G + Aux. D/G)案、(T/G + S/G)案および(T/G + A/B)案について比較する。

(1) ベース(D/G)案 ディーゼル発電機3台およびA重油/C重油ブレンド装置を設け、常用航海時の電力を1台のディーゼル発電機で賄う。発電機燃料はブレンド油(A:C=7:3)を使用するものとする。

(2) T/G + Aux. D/G案 排ガスターボ発電機1台、小容量の補助ディーゼル発電機1台およびディーゼル発電機2台を設け、常用航海時の電力を排ガスターボ発電機と補助ディーゼル発電機で賄う。補助ディーゼル発電機燃料はそのエンジンが小容量であること、低負荷運転となりやすいことなどによりA重油を使用するものとする。

(3) T/G + S/G案 排ガスターボ発電機1台、軸発電機1台およびディーゼル発電機2台を設け、常用航海時の電力を排ガスターボ発電機および軸発電機で賄う。軸発電機はサイリスタインバータ制御装置付とし主機回転数が85~100%の範囲で定格出力が取り出せるものとした。

(4) T/G + A/B案 排ガスターボ発電機1台, ディーゼル発電機2台および排ガスボイラを補助する小容量の補助ボイラを設け, 常用航海時の電力を排ガスターボ発電機で賄う。ただし, 排ガスエネルギーの不足分は補助ボイラにより追いだきを行う。補助ボイラの燃料はC重油を使用するものとする。

なお, 上記いずれのケースも出入港, 荷役およびホテルサービス時はディーゼル発電機を1台または2台使用するものとする。

発電機容量は, 常用航海時の船内電力に対し発電機負荷率が約85%となるように決めた。ディーゼル発電機の容量はすべてベース案の容量に合せた。

(A) BASE案

(B) T/G + Aux. D/G案

(C) T/G + S/G案

(D) T/G + A/B案

図2 発電プラントの構成図

表2 発電プラントの構成

船内電力	発電プラント種	発電機容量及び台数			
		DIESEL GEN.	TURBO GEN.	Aux. D/G	SHAFT GEN.
425 kW	BASE	3×500 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×500 kW	1×440 kW	1×60 kW	—
	T/G+S/G	2×500 kW	1×440 kW	—	1×60 kW
	T/G+A/B	2×500 kW	1×500 kW	—	—
475 kW	BASE	3×560 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×560 kW	1×440 kW	1×120 kW	—
	T/G+S/G	2×560 kW	1×440 kW	—	1×120 kW
	T/G+A/B	2×560 kW	1×560 kW	—	—
575 kW	BASE	3×680 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×680 kW	1×440 kW	1×240 kW	—
	T/G+S/G	2×680 kW	1×440 kW	—	1×240 kW
	T/G+A/B	2×680 kW	1×680 kW	—	—
675 kW	BASE	3×800 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×800 kW	1×440 kW	1×360 kW	—
	T/G+S/G	2×800 kW	1×440 kW	—	1×360 kW
	T/G+A/B	2×800 kW	1×800 kW	—	—

MAIN ENGINE OUTPUT: 14,000 PS

TURBO-GENERATOR OUTPUT: 375 kW

表3 発電プラントの構成

船内電力	発電プラント種	発電機容量及び台数			
		DIESEL GEN.	TURBO GEN.	Aux. D/G	SHAFT GEN.
300 kW	BASE	3×360 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×360 kW	1×300 kW	1×60 kW	—
	T/G+S/G	2×360 kW	1×300 kW	—	1×60 kW
	T/G+A/B	2×360 kW	1×360 kW	—	—
350 kW	BASE	3×420 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×420 kW	1×300 kW	1×120 kW	—
	T/G+S/G	2×420 kW	1×300 kW	—	1×120 kW
	T/G+A/B	2×420 kW	1×420 kW	—	—
450 kW	BASE	3×540 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×540 kW	1×300 kW	1×240 kW	—
	T/G+S/G	2×540 kW	1×300 kW	—	1×240 kW
	T/G+A/B	2×540 kW	1×540 kW	—	—
550 kW	BASE	3×660 kW	—	—	—
	T/G+Aux. D/G	2×660 kW	1×300 kW	1×360 kW	—
	T/G+S/G	2×660 kW	1×300 kW	—	1×360 kW
	T/G+A/B	2×660 kW	1×660 kW	—	—

MAIN ENGINE OUTPUT: 10,000 PS

TURBO-GENERATOR OUTPUT: 250 kW

これらの発電プラントの構成図を図2に, それぞれのケースにおける発電機容量を表2および3に示す。

4.4 イニシャルコスト 表2および3に示す各発電プラントのイニシャルコストの比較を次のように行った。

各発電プラントのイニシャルコストは各船内電力値ごとのベース案のコストをそれぞれ基準とし(T/G + Aux. D/G)案, (T/G + S/G)案および(T/G + A/B)案の

図3 不足電力とイニシャルコスト，償却年数及び年間燃料節減費
(MAIN ENGINE OUTPUT: 10,000 PS, TURBO-GENERATOR OUTPUT: 250 kW)

図4 不足電力とイニシャルコスト，償却年数及び年間燃料節減費
(MAIN ENGINE OUTPUT: 14,000 PS, TURBO-GENERATOR OUTPUT: 375 kW)

コストとの差額をイニシャルコストとした。すなわち、排ガスボイラ、排ガスターボ発電機、補充装置のコストよりディーゼル発電機1台およびA/Cブレンダのコストを差し引いたものである。図3(a)および図4(a)はイニシャルコストの推移を表わしたものであり、便宜上、不足電力が50 kWのときの(T/G + Aux. D/G)案のイニシャルコストを100とした。

4.5 省燃費効果と償却年数 各発電プラントをとう載した船舶が下記条件のもとに運航された場合の省燃費効果および償却年数を算出した。なお、省燃費効果

(年間燃料節減費)とは、各ケースにおいてベース案にて消費される発電機用燃料と(T/G + Aux. D/G)案、(T/G + S/G)案および(T/G + A/B)案にて消費される発電機用燃料(いずれも常用航海時の量)の差額分である。この場合、排ガスエネルギーによる排ガスターボ発電機の出力は無駄なく利用するものとする。

(1) 年間運航日数(航海日数) 300日/年

(2) 使用燃料

主ディーゼル発電機 ブレンド油(A:C=7:3)

補助ディーゼル発電機 A重油

軸発電機	C重油
補助ボイラ	C重油
(3) 燃費効率	
ディーゼル発電機	約 6 kg/kW/日
軸発電機	約 5.5 kg/kW/日
補助ボイラ	約 17 kg/kW/日
(4) A重油価格	80,000 円/t
(5) C重油価格	40,000 円/t
(6) 燃料費アップ率	10% / 年
(7) 金利	8% / 年

以上をもとに算出した値を図3および4に示す。年間燃料節減費は不足電力が50 kWの場合で(T/G + Aux. D/G)案の値を便宜上100としたときの推移を示す。

5. 各補充装置の評価

排ガスターボ発電機の不足電力を補充する装置は図3および4より、次の傾向をもっていることが分る。

イニシャルコストに関しては、(T/G + S/G)案が最も高く、次いで(T/G + A/B)案、(T/G + Aux. D/G)案の順となっており、この傾向は不足電力の大小に関係なく表われている。ただし、不足電力が小さいほどイニシャルコストの差は少なくなっている。

年間燃料節減費は不足電力が少ない範囲ではどのケースもほぼ同じであるが、不足電力が増加すると各補充装置の燃費の差がそのまま表われる。すなわち、(T/G + S/G)案の場合は、排ガスターボ発電機の省エネルギー効果に加え、軸発電機の省エネルギー効果が発揮されるため不足電力の増加とともに燃料節減費が増えている。逆に、(T/G + Aux. D/G)案および(T/G + A/B)案の場合はその補充装置の燃費がベース案のディーゼル発電機(ブレンド油使用)の燃費に比べ悪いため不足電力の増加とともに排ガスターボ発電機の省エネルギー効果が徐々に相殺され、燃料節減費が減少している。特に(T/G + A/B)案はその傾向が顕著であり、不足電力が大きい場合はその省エネルギー効果はあまり期待できない。

なお、図3(c)および図4(c)において不足電力が0の時の燃料節減費は排ガスターボ発電機による省エネルギー効果である。

償却年数は不足電力が少ない範囲ではどのケースもほぼ同じであるが、不足電力が大きくなるほど(T/G + A/B)案は長くなり実用的でなくなる。(T/G + Aux. D/G)案と(T/G + S/G)案を比較した場合、いずれも同程

度であるが不足電力が小さい範囲では(T/G + Aux. D/G)案がわずかに短く、不足電力が大きい範囲では(T/G + S/G)案の方がわずかに短い。

これらの特徴をもつ各補充装置は一般的に次のような使い方が適していると考えられる。

(1) (T/G + Aux. D/G)案の適用 本装置はイニシャルコストを下げたい場合、不足電力が小さい場合、冷凍コンテナとう載時あるいはホールドファン運転時等一時的に比較的大きな不足電力が生じる場合等に適用するのが効果的である。

(2) (T/G + S/G)案の適用 本装置は不足電力の大きさにかかわらず燃料節減費が最も良く、償却年数も比較的短いので、あらゆる船舶に適用すれば省エネルギー化が計れるが、イニシャルコストが高いこと、軸発電機の配置に制限があること等を考慮に入れて適用の可否を決める必要がある。

(3) (T/G + A/B)案の適用 本装置はイニシャルコストおよび燃料節減費のどちらの面からもあまり魅力はないが、あらかじめ、排ガスポイラのバックアップ用として補助ボイラが装備されている場合には短時間生じる一時的な不足電力の補充には適当な方法といえる。いずれの場合でも連続的に不足電力が生じる場合には本装置は適当とはいえない。

6. あとがき

本資料は排ガスターボ発電機の不足分を補う補充装置の傾向をつかむための概略検討であり、実船への適用についてはその船舶の種類、航路、運航目的等を考慮し最適な発電プラントを計画する必要がある。具体的には、

(1) 常用航海時、出入港時、荷役時等あらゆる状態での船内電力値および発電機の使い方。

(2) 航海距離が短く出入港および荷役に要する時間が長い場合は航海中の省エネルギー化と合せ、出入港および荷役時の省エネルギー化を検討する必要がある。

(3) 機関室内の合理的な配置。

(4) タンカの場合にはイナートガストッピング時余剰蒸気が生じるのでこの有効的な利用方法。等の検討が必要となる。

今後、石油供給事情の改善があまり期待できない以上あらゆるプラントに対し省エネルギー技術の応用が要求されてくると考えられる。本資料がそれらの一助になれば幸いである。