

燃料節減型 主機新制御ガバナーの実船による試験結果*

-NABTESCO 70Xの開発

岩野淳一**	廣岡秀昭**	近藤健介**
志垣富雄***	小山健夫****	濱田和光****
高橋寿和****	梶山勝徳****	藤原崇****

Onboard Testing Results for New Fuel Efficient Main Engine Governor System
- Developments of NABTESCO 70X

By Junichi Iwano, Hideaki Hirooka, Kensuke Kondo, Tomio Shigaki, Takeo Koyama,
Kazumitsu Hamada, Toshikazu Takahashi, Katsunori Kajiyama, Takashi Fujiwara

The governor has been the key component in the operation of the stable-heat engine since the invention of Stevenson's "Rocket". However, concerning the operational management of the marine diesel engine, doubts have been expressed as to whether it is required. Under seagoing conditions and against the always-changing resistance of the ocean, we do continually control the volume of the fuel-oil supply, so as to maintain constant engine speed. On the other hand, this leads to the doubt as to whether harder operations are forced onto marine diesel engines. This project was to return to the starting point and reconsider the definition of the governor's purpose. We focused attention on the idea that it might be better - in terms of both fuel-oil consumption and engine load - to maintain a stable ignition pressure within each cylinder, and then allow the engine's revolutions to vary, somewhat. We stopped the former practice of micro-controlling the amount of fuel oil supplied. We then changed fuel-oil supply comparatively slowly. And although engine speeds vary, the average engine speed remains generally as before. This paper introduces the basic research results gathered from container vessels in the development of a "fuel save mode" control system, one built around the new governor.

1. はじめに

ガバナーとは調速機とも呼ばれ、元々機器備え付けの機械方式であったが現在はほぼ電子機械化され、一部、機械式機構を残すのみである。その役割は主機の実回転数を安定に且つ一定に保つもので、その役割は非常に重要である。図1に現在の主機ガバナーのシステムを大略的に示した。

一方、船用ディーゼル主機の場合では Navigation Full の運転時では極めて安定な特性をもつことが知られ、回転数変動幅が少ないにもかかわらず敏感にラック位置を制御することに対する疑問も提起されていた。ガバナーは数10ミリ秒の単位にて実回転数を制御しているが、そもそも主機の応答速度は5秒程度であ

り、また洋上での外乱(風・波・うねり等)は数秒から数分と考えた場合、ガバナーコントロールを現状と比較し少し鈍化させても運転自体には問題はないのではという発想が生まれる。

ガバナーの目的は何かという原点に戻った再定義を考えると、主機の安定した運転を保証することが最重要であることは当然である。現状のガバナーには、トルクリッチ状態の防止、最大出力の制限、プロペラレーシング発生時等の過回転防止という3機能があり、これらについては十分な実績を積み重ねている。これら3条件を従来通り満たしているならば、Navigation Full の状態では少なくとも刻々の回転数制御の正確さにこだわる必要はない。航海中回転数を所定の値に制御したいのはもっぱら航海計向上の要請であろう。

このような考え方で、NYK グループは基本特許出願を行い、これに基づきナブテスコと以下の主機新制御ガバナーの開発を行った。

* 原稿受付 平成21年2月20日。
** 正会員 日本郵船株式会社
*** ナブテスコ株式会社(神戸市西区福吉台1-1614-1)
**** 株式会社MTI(東京都千代田区丸の内2-3-2)

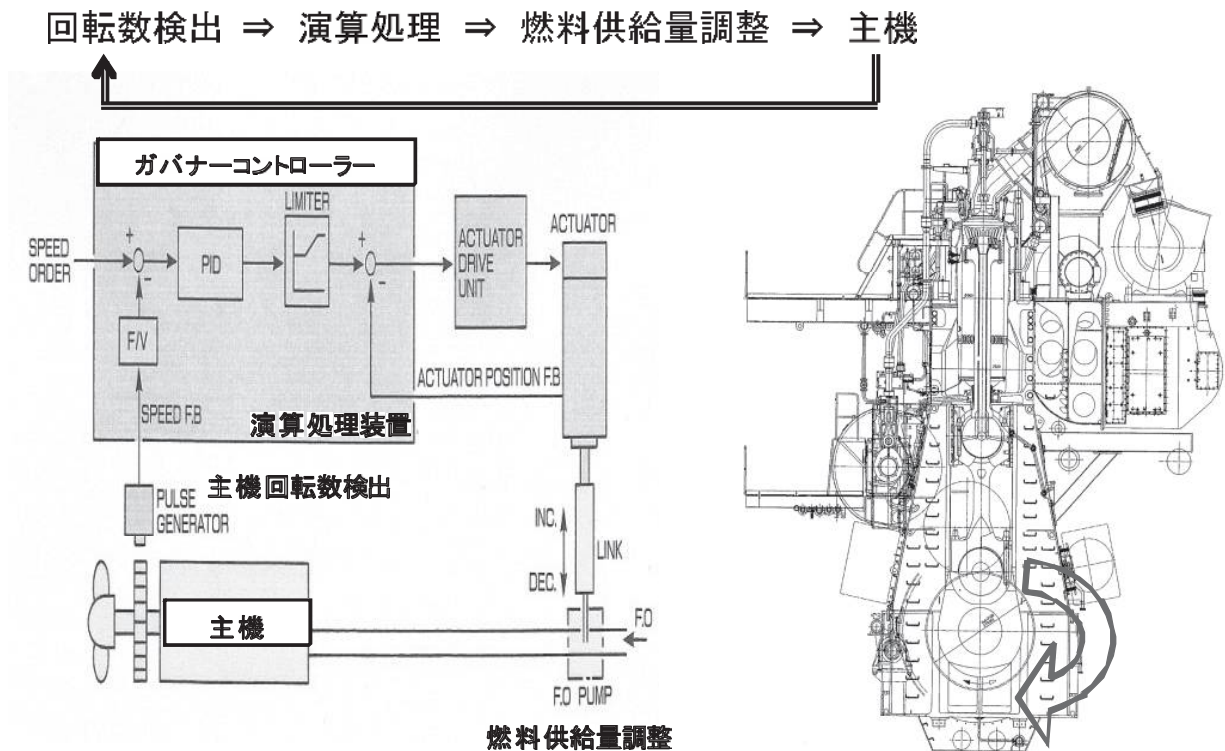


図1 主機ガバナーのシステム図

2. 開発までの経緯

ナブテスコの旧型ガバナーにはIndex mode というオプションがあり、回転数変動が所定値以下のとき制御を止めることができる。しかし、このような限定的な使い方では効果が明確でないためあまり使われず、最近のガバナーからはこのオプションは停止されている。

そこで新たな制御方式として『Fuel Save mode』開発にあたり、ガバナーコントローラーの動作感度を主機と同程度まで落とし燃費効率の良い領域のみでガバニングを行うと共に、洋上にて外乱に変化があった場合でも設定回転数に追従ができ航続距離及び航海スケジュールに影響を与えない仕様を目指した。

本ガバナー開発のフィジビリティスタディとして、まずはこのIndex modeをもつ従来のガバナーを搭載したコンテナ船で『Normal mode』と『Index mode』つまり『標準仕様mode』と『ガバナー制御しないmode』の比較検証を始めた。回転数変動の許容値は通常 1rpm であるが、これを 3rpm に広げて実験を行った。しかし、荒天中ではすぐに許容範囲を超えるため、これを 5rpm にまで広げた。結果としては 3m 余りの波浪中では設定許容範囲を超えることはなく、1m 前後の波浪中では約 1% 程度、3m を超える場合は 2% 余りの燃料節減効果が認められた。

これらを踏まえた試作機設計の当初は波浪外乱による

回転数変動に敏感に対応しないようにすれば済むと考えていたが、それだけでは不十分であり数 100 秒以上の変動が燃料消費に影響することが計測結果から明らかになった。このような長周期の外乱としては風の影響が思い浮かぶが、波浪外力による非線形外乱も考慮すべきであり、この問題については、今後、船体運動学上からの 一般的検討も必要である。

3. 検証結果および考察

『Fuel Save mode』ガバナーを製作するにあたり本船に実際に使用した場合の挙動を事前に確認する必要があった。出来る限り机上にて効果検証を行う為に『シミュレーションプログラム』を製作し、過去のプロジェクトにて得られた主機運転データをプログラムに入力、その出力波形を確認し実際の運転に適しているかどうか確認を行った。また、ガバナーメーカーであるナブテスコ株式会社の運転シミュレーターにより各種運転テストを実施、より実機に近い状態での挙動確認も行った。

3. 1 省エネ効果の検証

一般に燃費節減効果は使用燃料あたりのマイレージで測られる。船の場合、速力を落とせばマイレージは容易に上げることができる。

スケジュール遵守の要請が強まる中、速力については要求を満たさなければならない。そこで本プロジェクトでは燃費節減効果の評価法として下記の指標を採用した。

$$\eta_F = \frac{L \cdot R(V)}{FOC} \propto \frac{L/T \cdot (L/T)^2}{FOC/T} = \frac{(L/T)^3}{FOC/T}$$

すなわち、航走距離をL、速力Vで航走するときの抵抗をR(V)、燃料消費をFOCとすれば、第1式は実効的に使われたエネルギーと投入エネルギーの比となる。分子を航走時間Tで割り、抵抗を平均速力L/Tの2乗で近似すれば第2式・第3式はパワー比の意味になる。これは伝統的に造船学で用いられるアドミラルティ係数の速力を平均速力に置き換え、主機馬力を時間当たり燃料消費量に置き換えたものと同じ意味を持つ。アドミラルティ係数が異なる船の間での性能比較に使われるのに対し、この指標は同一船で運転状態による性能の比較を行うものである。同量の燃料でどれだけ走れるかの指標であると言っても良い。

この指標の計測にあたっては、航走距離と燃料消費量を測ればよく、対水ログと機側のフローメータを読みとることにした。

計測時間Tは任意であるが、計測精度を上げるには長くすることが望ましい。一方、この指標は海象条件により大きく影響を受けることを考慮すれば、同一条件での比較を行うためには短いことが望ましい。これらを勘案しNormal-Fuel saveのモードで60分ずつ連続計測し、コンテナシリーズ船6隻におけるデータ集計結果を表1に示す。また、コンテナ船の要目を表2に示す。

各船の平均から燃料節減効果として最大2.10%、最小0.67%、平均1.34%であった。

表1 コンテナシリーズ船のデータ集計結果

CTNR	就航航路	データ数	燃費改善効果 (%)
A	アジア～北米	39	1.69
B		7	0.82
C		8	1.69
D	アジア～欧州	29	0.67
E		8	2.10
F		3	1.06
合計=		94	
平均=			1.34

表2 コンテナ船の機関要目と燃料油

全長	m	299.90
垂線間長	m	283.80
幅	m	40.00
喫水 (sum)	m	14.00
総トン数	GT	76,000
載貨重量	DWT	80,750
主機型式(1基)		12RTA96C
過給機型式(3台)		TPL85
連続最大出力	PS (kW)	83,413 (61,333)
	rpm	97.7
常用出力	PS (kW)	70,904 (52,135)
	rpm	92.5
使用燃料油		IFO-500cSt

波高による海象条件を考慮した場合には smooth (calm - 0.75m)である時は原理的に改善はないはずである。コンテナシリーズ船6隻における各波高の海象条件による燃費改善比率の平均を図2に示す。

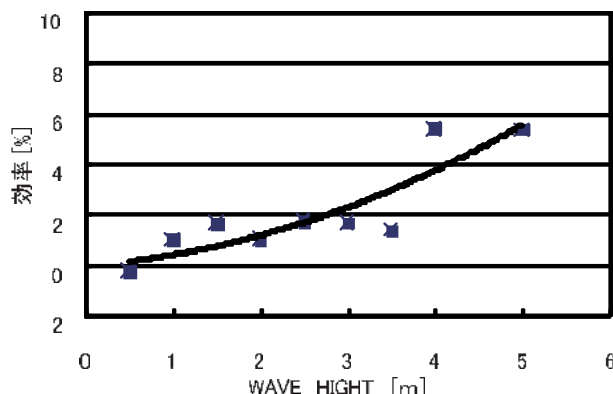


図2 コンテナシリーズ船の波高と効率の関係

また、一例として下記の北太平洋海洋波の観測データに対応した波高区分別の出現確率にあてはめてみる。

- smooth (calm - 0.75)11.6%
- moderate (0.75 - 2.75)68.6%
- rough (2.75 - 4.75)16.9%
- high (4.75 - 5.75) 1.3%
- > high (> 5.75) 1.6%

これにあてはめた各波高での燃料節減率の平均である0.17%、1.04%、3.46%、5.61%、0.00%の加重平均を求めると1.39%となる。

これらは年間平均でどの程度改善できるかは就航航

路によるため、長期海象条件下での期待値として評価すべきであろう。

また、回転数変動許容範囲 5rpm については根拠が明確でなく手探り状態であるが、これを広げてかまわないとすれば荒天時の燃料節減効果は拡大する。

3. 2 主機に優しい効果の検証

燃料供給量を一定とし運転した方が主機にかかる負担が軽減されるのではないかと言うことにも着目し、下記の筒内圧計測などで『Normal mode』と『Fuel Save mode』で違いが出るのかコンテナ船で比較検証を行った。

A) 筒内圧計測

『Index mode』での燃焼状態の解析のため、本船装備のYSK SYSTEM社ポータブル筒内圧計NH-X IIによる計測を行った。ポータブル型であるため1回の計測あたり最大80ストローク分しか記録できないが、時間にすれば約1分弱であり、ガバナーによる燃焼状態の比

較は可能であろうと考えた。

『Normal mode』と『Index mode』での筒内圧を採取し Pmax 付近を拡大してみた比較を図3に示す。『Normal mode』では燃料ラックは絶えず1機回転数を一定に保つべく燃料供給量を調整しているが、反ってピストンの行程において圧力に差が生じ燃焼にムラがある傾向になる。一方、『Index mode』では燃料供給量を一定とした運転となることから各筒の爆発による燃焼圧力が比較的に一定にある傾向になる。

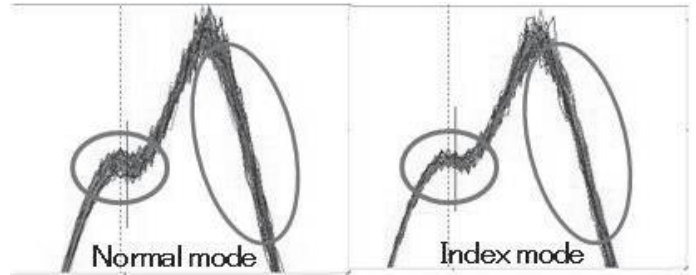
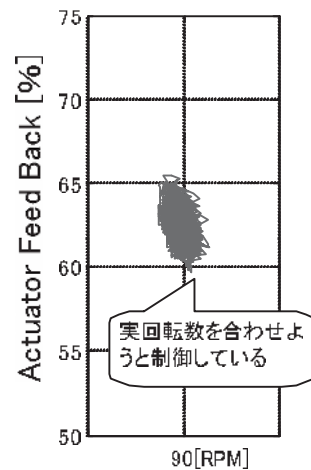
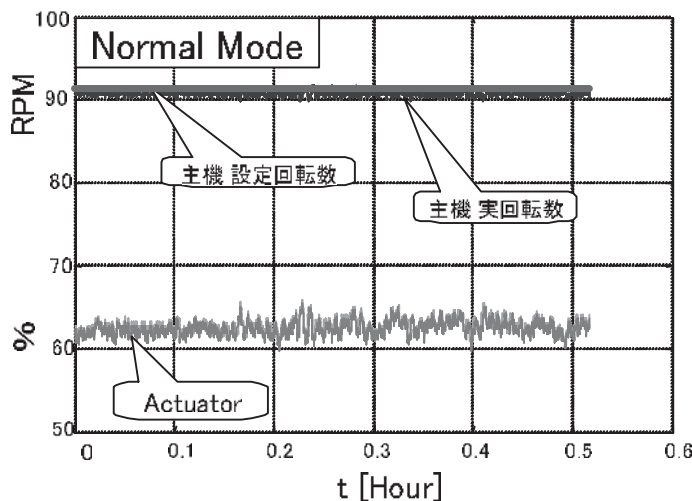
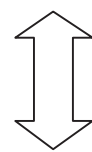


図3 連続筒内圧による変動比較



平均回転数
89.19

Normal mode /
Fuel Save mode
共に回転数
に変化なし



航続距離に
変化なし

平均回転数
89.24

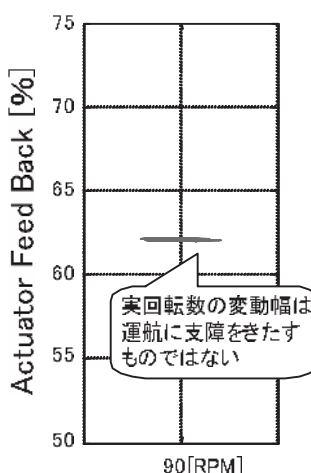
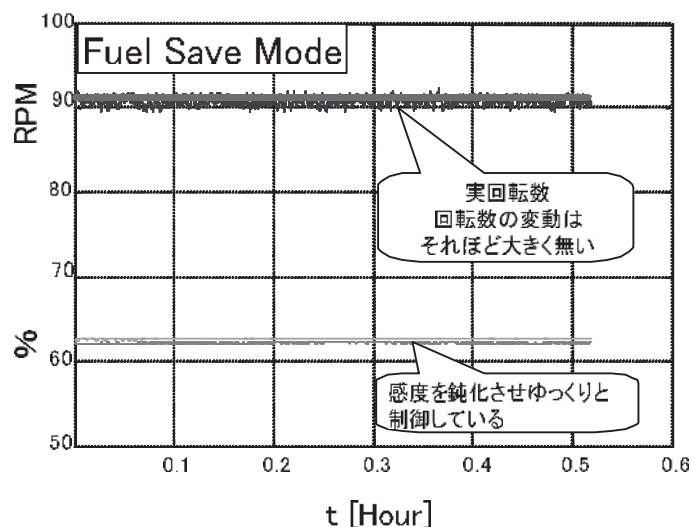


図4 主機連続データ 回転数と Actuator の変動比較

B) 連続データの記録

回転数指令値と実際の回転数、ガバナーの actuator 指令値と実際の位置の信号がガバナー制御盤内にあるためこれを 0.2 秒間隔のサンプル時間で収録した。参考値として配線が容易であった主機川方も合わせて記録した。また、データ記録器には NEC Omnicore II RA1300 を使用した。

図4に示すとおり『Normal mode』では燃料ラックつまり Actuator は絶えず主機回転数を一定に保つべく絶えず燃料供給量を調整するために偏差が大きくなってしまふ。一方、『Fuel Save mode』では燃料供給量を一定とし運転しているため回転数の変動幅はやや大きくなるが負荷つまり燃焼状態一定となる。

また、図5に示すように主機のトルクリミット曲線図に Actuator 位置-回転数の変動データを当てはめた。それにリミット曲線を平行に推移させたならば、『Normal mode』の上辺が『Fuel Save mode』の左辺よりトルクリミットに近づく傾向にあることが窺える。

上記からも『Normal mode』と比較し『Fuel Save mode』の方が主機にかかる負荷は少なく、特にピストンの下降工程時にあつては燃料の後燃えにも改善があるうと

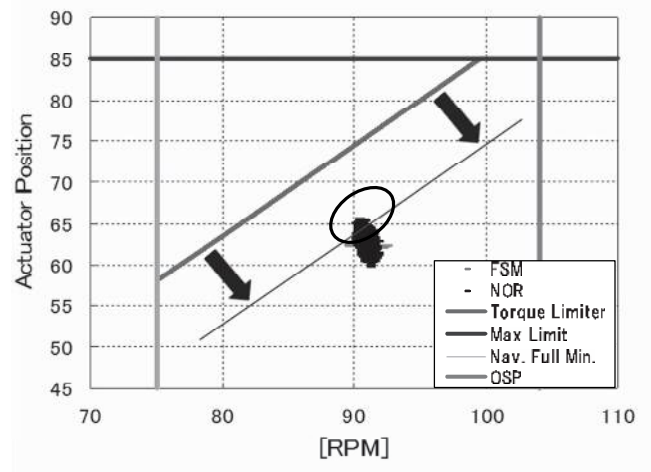


図5 機関負荷の比較 (波高 1 m)

推測は出来るが、解析目標としていた「ガバナーの作動状況による主機の燃焼状態の変化を調べる」と言う最終的な結果まで導き出す事はできなかった。

重要なことは、現在のガバナーは主機に対し無理な運転を強要することになっていないかという点である。従来型と新制御ガバナーを比較すると、爆発ごとの

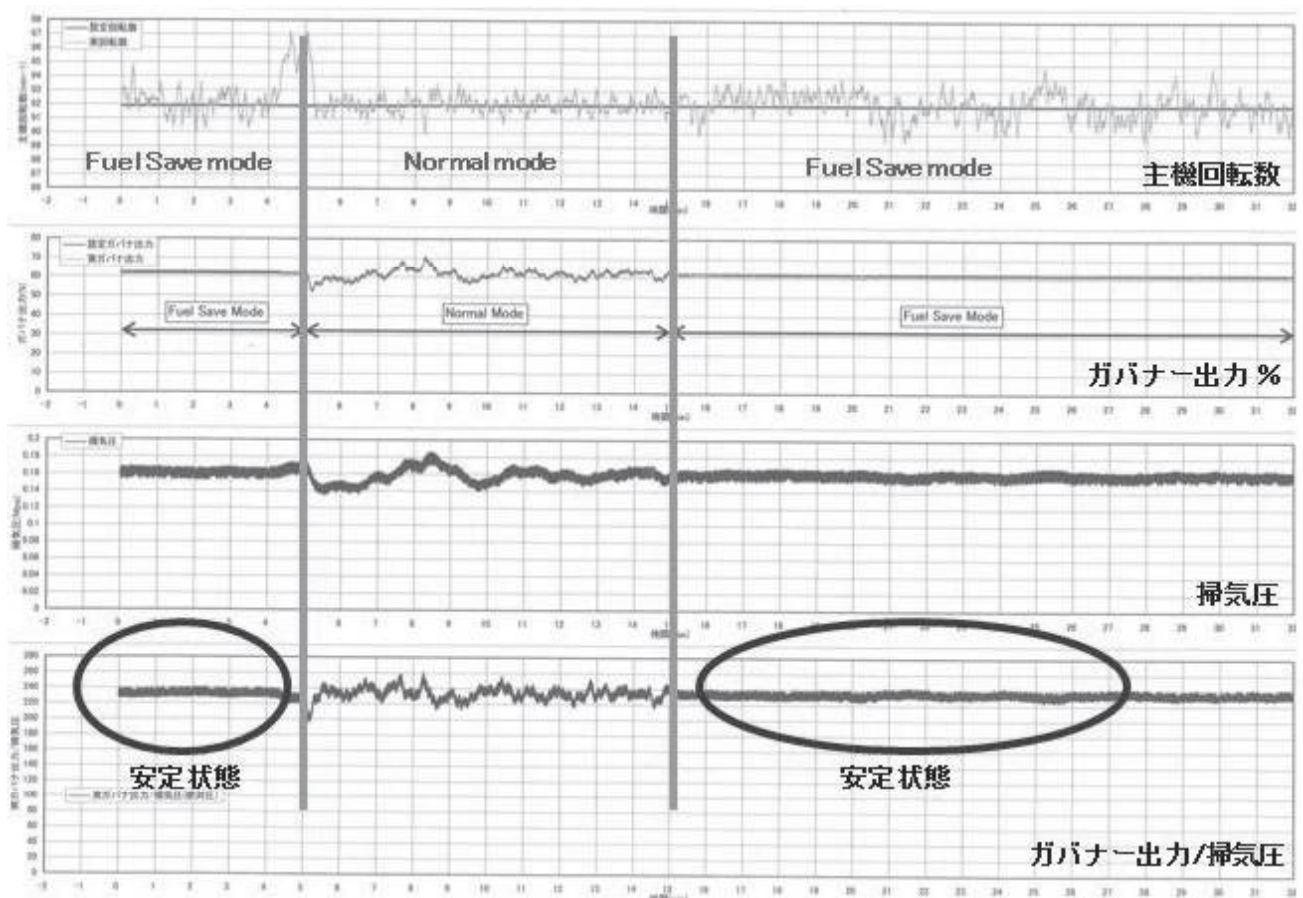


図6 主機連続データ ガバナー出力対掃気圧の変動比較

P_{max} のバラツキにかなりの差がみられ、ガバナー出力がラック位置に相関することから一例を図6に示すように卒燃比に近いであろうラック位置対掃気圧比の値も新制御ガバナーは従来型に比較し極めて変動が少ない。これら和違が機関事故の軽減あるいはメンテナンスに良い影響を与えるものと期待される。

そして主機を運転管理する実務では燃料供給量を一定とした『Fuel Save mode』では波高による影響が少なく、定期的な各筒内圧、 P_{max} の測定においてバラツキの比較的容易な発見、傾向の把握にも役立つであろう。

4. 結論と今後の展望

主機新制御ガバナー『Fuel Save mode』の開発過程で基礎研究を行った結果、次のようなことが言える。

- (1) 燃料節減効果は海象条件にもよるが年平均で1.3%程度が期待できる。
- (2) 主機の運転にも優しい傾向にある。

これら効果は大きいとはいえないが、就航船にも適用が可能で停泊中に制御システムの交換作業のみで済むため費用対効果の極めて高い製品である。

現在、NYK 就航船の適用可能な主機ガバナーを順次交換中であり、2010年以降からは外販を行う予定である。また、ナブテスコの次世代ガバナー70Xシリーズにもオプションで搭載することもできる。

最近コモンレールをもつ主機に新形式の電子制御ガバナーが使われ始めている。これはシリンダー毎の燃料噴射時期や噴射パターンを制御するもので、新制御ガバナーとは目標レベルが異なる。新制御ガバナーはいわば1噴射あたりの燃料噴射の総量を適正化する装置であり、これらの電子制御ガバナーと併用することにより機関性能はさらに向上する。

参考文献

- 1) 山内保文 監修, 船舶・海洋技術者のための不規則現象論 (海文堂1986年)