超大形バルクキャリアにおける 省エネルギー推進プラントの開発*

—制御技術と省エネルギー・省スキル・省メンテナンス化—

福田純夫**・江原邦宏**
中村成充**・関岡信明***

Development of a Fuel Efficient Machinery Plant in Engine Room
for Very Large Bulk Carrier
— Control Engineering for Ship Energy Conservation,
Low-Manning Level and Ease of Maintenance

By Sumio Fukuda, Kunihiro Ehara, Shigemitsu Nakamura,
Nobuaki Sekioka

The Shinho Maru, an ultra-modern energy-saving very large bulk carrier, features more than 11 innovations for energy-saving and minimizing the ship running cost per unit weight of bulk cargo, and these innovations are incorporated so as to achieve, as a whole, the reduction in fuel consumption, labor cost, and maintenance cost.

For the above purpose, D-MAP MARK II diesel ship propulsion plant was employed with Mitsubishi electronic diesel engine remote control system as the plant control system. D-MAP MARK II plant contains a thyristor-controlled shaft generator, in addition to the basic economizer/turbogenerator system design. The propulsion plant and its control system proved quite successful, true to the expectation.

1. はじめに

超省エネルギー大形バルクキャリア“新豊丸”は、新日本製鉄(株)、新和海運(株)及び三菱重工(株)の三社で、輸送貨物トン当りの運航コストを最小にするという視点に立って共同研究を行い、三菱重工長崎造船所にて世界に先駆けて完成したものである。本船の主要目を表1に示す。本船の設計には、運航の経済性を最大限に追求した結果として、次の様な省エネルギーに関する新技術が採用されている。

- (1) 大直径可変ピッチプロペラ(CPP)及び三菱リアクションフィン
- (2) 三菱低速ディーゼル機関2基1軸方式及び電子式ディーゼル主機関制御システム
- (3) サイリスタ制御軸発電機付排ガス発電システム(D-MAP MARK II)
- (4) 最適船型

- (5) 最適航法・最適自動操舵システム
(三菱TONAC Pilot)
- (6) 船体重量軽減のための高張力鋼の使用範囲増大
- (7) 自己研磨性長期防汚塗料
- (8) バラスト航海での推進性能を改善する三菱バウ
- (9) バラスト水の重力排水方式
- (10) 風圧抵抗の少ない居住区・機関室ケーシング形状
- (11) スクープ冷却方式・機関室自然通風方式

省エネルギーに関する新技術の実用化に当っては、種々の観点からその有効性を検証する必要があるが、基本的には次の3項目の目標を達成することが重要な課題である。

- (1) 省エネルギー化(燃料費節減)
- (2) 省力化、省スキル化、且つ安全性向上
(人件費節減)
- (3) シンプル化(保守費節減)

ここでは機関部推進プラントを例として、制御技術とその役割、特に前述した3項目の目標の実現との関連について述べるものである。

省エネルギーを目標とした推進プラントに対する制御装置には、従来のそれと比較して、要求される制御内容が

*原稿受付 昭和59年3月3日

ISME TOKYO '83講演(昭和58年10月6日)

**正会員 三菱重工業(株)長崎造船所(長崎市飽ノ浦町1-1)

***三菱重工業(株)横浜製作所(横浜市金沢区幸浦1-8-1)

より高度化する等の傾向を有するのみならず, プラントを構成する個々の機器特性から相反する条件を処理することが要求されることもあるものである。この様な場合にも, 制御装置には, 船全体・推進プラント全体として前述の3項目の目標から構成されている運航上の最大限の経済性を実現する事, 即ち, 船体, プロペラ, 主機関, その他の各機器に対してプラント全体として調和の取れた運転をさせる事が求められていると言える。

以下に述べる三菱電子式ディーゼル主機関制御システム及びサイリスタ制御式軸発電機付の排ガスターボ発電システムは, この3項目の目標を追求した事例として, ここに紹介するものである。

表1 Principal particulars of the Shinho Maru

Dead weight	About 207,000Ton
L×B×D	302.5m×50.0m×24.6m
Speed at full load	12.8Knot
Main engine	6UEC 60/150H×2sets
Output	MAX. 18,900PS×140/60rpm NOR. 16,060PS×133/57rpm
Aux. Boiler	7,300kg/hr9Ksat×1set
Exhaust gas economizer	3,250kg/hr7K 250°C
Generating plant	1,500kg/hr3K set
Turbo generator	Dual press.type turbine driven 680kw×1set
Diesel generator	Diesel engine driven 600kw×2sets
Shaft generator	Main engine driven 280kw×1set
Propeller	Mitsubishi-KaMeVa 4 blades CPP dia. 9,300mm×1set

2. 電子式ディーゼル主機関制御システム

三菱電子式ディーゼル主機関制御システムは, マイクロコンピュータを用いたDirect Digital Control 装置であり, これは従来のディーゼル主機関制御システムにおいて, 度々生ずる特殊な操船環境における不具合を是正し, 且つ将来のプラント全体のコンピュータ化の礎とすべく開発したものである。

2.1 基本的制御方式 主機関の制御システムに要求される制御性能上の基本的条件は次の様に言う。

(1) 本船の如き超省エネルギー船では, 船型に比較して主機出力が小さいが, これは船体の加減速性能の相対的な悪化を意味する。この運動性能を補うためにCPPが設けられているが, 当然ながらCPP制御システムは, 船体運動性能を最大限に高めることが必要である。

(2) 船体運動性能を高める様にCPPを制御すれば, 操作の仕方, 積荷条件, 海象によっては主機関及びCPPに過負荷, 過速度等の無理がかかりがちであるが, 制御システムは安全な範囲で運動性能を高めることが必要である。

(3) 一方操作者から見れば, 積荷条件, 海象, 主機1基又は2基等の状況にかかわらず, 全速前進から全速後進までいかなる運転も安全に, しかも省スキルで操作できることが必要である。

(4) さらにCPP及び主機関を常に効率最大の運転点

で運転する事が必要である。

以上の4条件を満たすべく, 本システムの基本的制御方式を図1に示す様に計画した。即ち,

(1) 船速はプロペラ翼角により制御し, 主機回転数は一定に制御する。これにより翼角変化に伴うプロペラ負荷の変化は, そのまま主機負荷変化に対応する。図2にCPP翼角と主機出力との関係を示すが, プロペラ回転数は定常航行時には57rpm(0.95 s^{-1})に, 港内航行時には45rpm(0.75 s^{-1})に制御する2速制御方式を採用している。従来より, CPP船ではその船速におけるCPP効率と主機効率との積を最大にすべく, CPP翼角と主機回転数

図1 Block diagram of control

図2 Power performance

との両方を同時に変化させる方式の、いわゆる最適制御方式が可能と言われていたが、本船の場合、2速制御方式と比べて効率の差は無視できる程度であり、且つ最適制御方式とすれば操作上及び機器構成上複雑となるため、採用しなかったものである。

(2) 2機のエンジンの負荷をほぼ均等に制御するためのALB(Automatic Load Balancer)を設けることにより、あたかも12シリンダから構成される1台の機関であるかの如く操縦でき、且つ保守ができる様にした。2基運転から1基運転にするには、このALBを切離し、更に操作可能な最大翼角を制限する必要がある。

(3) 操縦が容易となる様に操舵室の操縦レバーは1本とする。

(4) 船体加減速性能向上の点からCPP翼角は、数秒オーダの高速動作をするように制御されるが、これは主機負荷の変化に即応するため、主機回転数制御用には高速動作をするDirect Digital Control方式の電子ガバナを採用する。

(5) 船体の経年変化に伴い、主機に付加されるトルクリッチを自動的に回避し、さらに積荷、海象等が変化した場合でも、主機の過負荷を自動的に回避するよう、ALC(Automatic Load Control)を設ける。

2.2 構成 主機関制御システムの構成を図3に示すが、これは3台のマイクロコンピュータ、FOアクチュエータ、マイクロコンピュータのバックアップ用アナログ調速回路、及び検出器類等で構成される。

(1) 調速系 調速系は、No.1及びNo.2マイクロコンピュータにて構成されたDDCである。

(2) 負荷分担系 ALBは、Master側の機関のFOポンプラック位置とSlave機関のFOポンプラック位置とを比較し、その偏差をALB制御回路に送り、その出力をSlave機関側の調速系電子ガバナに補正信号として加算することにより、2機の出力をほぼ平衡に保つものである。

(3) CPP翼角制御系 CPP翼角制御系は、No.3マイクロコンピュータにより構成される。

(a) ALC回路 Master機関側の実際のFOポンプラック位置と、操縦ハンドル位置に対応させて予め設定しているFOポンプラック位置とを比較し、もし負荷の増大(トルクリッチ)により実際ラック位置が設定ラック位置を超えた場合には、設定ラック位置に相当する負荷を保持するように自動的に翼角を低く制御する。また、設定ラック位置に対応する設定掃気圧力をマイクロコンピュータに記憶させておき、実際の主機の掃気圧力を検出し、設定された掃気圧力より実際の掃気圧力が低い、または船体加速過程では翼角の上昇を押さえている。

以上の制御により次の性能を持たせるものである。

① 船体の経年変化に伴い、主機に付加されるトルクリッチを自動的に回避する。

② 積荷・気象等の条件が変化した場合でも、許容主機出力内(設定FOポンプラック位置範囲内)にて運転する。

(b) 急速逆転タイムスケジュール回路 操縦レバーを急速逆転の位置に操作すれば、制御回路は自動的に急速逆転モードに切り換わり、主機は定常航行時の回転数を維持しつつも、あらかじめ設定された数個の変速点に従いながら翼角を反転させる。変速点の設定は1基、2基運転それぞれに独立である。

(c) 翼角増速プログラム 本船は定常航行時と港内航行時とで主機の回転数を2速制御するが、操縦が両船速間に跨って行われる場合、船速の急変がない様に、翼角と機関回転数とを同時に制御するプログラムである。

(4) 荒天回路 主機関制御システムには、主機関保護のためにトルクリミット回路を有しているものの、荒天時のように大きな負荷変動が繰返される場合は、船体の安全性も考慮に入れて、オーバートルクに対する減速機能をさらに付加する必要がある。

本回路は、定格回転数に対する変動率が設定値以上に

図3 Block diagram of Mitsubishi electronic diesel engine remote control system

なると、あらかじめ設定された回転数及びCPP翼角まで下げる様に制御し、設定値を超える回転数変動が継続される場合には、さらに回転数及びCPP翼角を下げる様に制御する。

2.3 運転実績とその評価

(1) 調速性能 図4に電子ガバナと従来の機械油圧式ガバナとの比較を示す。速度変動率は従来形の1/2から1/3に改善されている。図5は、第3次航における通常航海中の80%主機出力時の推進プラントの状態を示したものである。主軸回転数は、 $\pm 1\text{rpm}$ ($\pm 0.017\text{s}^{-1}$) ($\pm 1.8\%$)の変動幅に調速されている。図6は、海上運転におけるCrash Astern及びAhead時のプラントの動きを示す。主軸回転数の変動は、 $\pm 6\%$ 内に収っており、又FOポンプバック位置についても両舷機とも同様の動きを示しており、ALBが良好に作動していることを示している。

(2) 後進性能 図6に、Crash Asternの計算値と実測値との比較を示す。実績では、主機の過速度を防止するために、プロペラ翼角の制御スピードをCrash

図4 Governor test results

図5 Actual result at 3rd voyage

図6 Test result of crash astern & ahead

Astern発令後180秒までは計画値よりも遅くなる様にタイムスケジュールの設定変更をしたにもかかわらず、船体停止距離約3720m、船体停止時間約14分21秒の結果であった。これは、計画値よりもむしろ好転しており、さらに本船の船体停止性能は類似サイズの従来船に比して同等以上であることを示している。

3. サイリスタ制御式軸発電機付排ガス発電システム

最近の主機関の熱効率の向上に加え、運航計画の面からくる機関の低負荷運転は、排ガスエネルギーの減少を招き、排エコターボ発電システム(T/Gシステム)単独では成立し難い傾向にある。排ガスエネルギー不足の時には、補助ボイラの追焚か、又はディーゼル発電機によるBack Upを必要とし、これらは乗組員による操作を要するため省力化に逆行することにもなり、T/Gシステムを断念した場合は、排ガスエネルギーを無駄に棄てることになる。一方排ガスエネルギーが船内電力負荷より上回る場合は、電気エネルギーの現実的蓄積が不可能なため、上回った排ガスエネルギーは棄てることになり、これらがT/Gシステムの効率の良い運転を困難にしている。

本システムは、以上の不具合を是正するために、T/Gシステムとサイリスタ制御式軸発電機(S/G)とを電

氣的に結合させ、排ガスエネルギーの変動を主機関を経由して主機関燃油の形で吸収する複合電源プラントとしている。

3.1 システム構成 本システムの構成を図7に示す。

(1) 排ガスエコノマイザ蒸気プラント 本プラントは2段蒸気圧式排ガスエコノマイザと混蒸蒸気タービンとで構成される。

(2) サイリスタ制御式軸発電機 軸発電機は、主機関に減速機を経由して連結された同期発電機及びサイリスタ式周波数変換器とで構成される。

本船のサイリスタ式周波数変換器は他励式であるので、船内負荷への無効電力は並行運転されているT/Gにより供給される。周波数変換器を構成するサイリスタのゲートを制御することにより、主機により駆動されている同期発電機へ逆に電力を供給することができる。この場合軸発電機は同期電動機として動き、主機と共にプロペラへ回転エネルギーを与える(Motoring)ことができる。

図7 Configuration of electric power plant

3.2 制御方式 本制御システムの目的は、排ガスエネルギーを最大限に回収、且つ活用するために、T/Gの運転点をまず排ガスエコノマイザの発生蒸気エネルギーにはほぼ等しい出力に自動的に保ち、更にT/G発電量に対する船内負荷電力の過不足を補完する(発電量が過であればMotoring, 不足であればGenerating)様に、S/Gの運転点を自動的に定めることである。当然ながら、排エコドラム圧力は規定内に制御され、且つ系統周波数は規定値内に一定に維持される必要がある。

これらの制御要件を満たし、且つ主機回転数、主機FO量、排ガスエコノマイザドラム圧力、系統周波数等の機関部推進プラント全体にわたる諸量の変動が少ない安全な制御系として、図8に示すシステムを計画した。同図はT/G、S/G、排ガスエコノマイザ、主機関及びその電子式制御システムとの入出力関係を示す。T/Gのガバナコントロールは、排ガスエコノマイザ汽水分離ドラムの蒸気圧力を設定値に保つように制御するもので、同蒸気圧力が上昇した場合にはT/Gガバナの設定値を

図8 Block diagram of total engine plant

上げて、T/Gによる蒸気の消費量を増加させることにより、圧力上昇を押さえる。逆に、蒸気圧力が低下した場合はT/Gガバナの設定値を下げ、蒸気の消費量を減少させることにより圧力低下を回復させる。一方、S/Gのサイリスタゲートコントローラは系統周波数を一定に保つ様に制御を行う。

3.3 運転実績とその評価

(1) 省エネルギー効果 本システムを運転した場合、しない場合に対してFOカウンタの指示が0.8から1.6% (平均1.2%)だけ減少し、更に、積算回転計より割り出した出機回転数も若干高目(約0.14 rpm){約0.0023 s⁻¹}であった。図5に計測の一例を示す。本システム運転中は常にHPダンパ弁は閉となり、S/Gの停止中にダンパしていた蒸気はT/Gに入力され、最終的に主機をMotoringしていることがFOカウンタの指示を下げているものである。

(2) 操作性と安全性 主機関トリップ、Crash Astern Ahead, 片舷機航行を行った場合の実績を図9、図10に示す。

図9では、主機関がトリップして3分13秒後、補助ボイラは自動的に点火しており、その後はボイラドラム

図9 Test result of main engine trip

の蒸気圧力が上昇を始め, 系統周波数も常に安定している。

図6は, CPPピッチを変更して, Crash Astern Aheadを行った場合を示すが, Astern後, S/Gは電動運転から発電運転に自動的に切替わり, T/G出力の低下分を補充しているものの, Astern整定ではS/Gは逆に140~180kWの電動運転を行っている。この後の

図10 Actual data at single main engine running

Crash AheadからAhead 整定まで含めて, ドラム圧力及び系統周波数はほぼ一定に保たれているので, ボイラ追焚及びD/GのBack Upは共に不要であった。

さらに, 図10に示す様にS/G発電運転約200kWにてボイラ追焚, 又はD/GのBack Upなしに, 本システムにより片舷機航行も充分に可能であった。

図11は, 海上公試において, 推進プラントの動特性を確認するために, 操縦ハンドルを急速に変化させ主機出力を50%から75%に変化させたものであるが, T/G出力及びS/G出力は共にスムーズに変化していることが判る。即ち, 上記いずれの場合も安全性は保持され, 且つ省スキルであったと言えよう。

4. む す び

以上は, 超省エネルギー船“新豊丸”の機関部推進プラントを取り上げ, マイクロコンピュータによるDDCを用いた主機制御システム及びサイリスタ式軸発電機付排ガスターボ発電システムの制御システムを紹介しながら, 制御技術について考察したものであるが, 制御技術の狙いである省エネルギー化, 省力化, 省スキル化, 且つ安全性向上, シンプル化はほぼ実現されたと言えよう。

制御技術への要求は, 今後ますます, 制御内容の高度化, 各機器の特性のみならずプラント全体, 船全体, 運航面に及ぶ観点から見た総合的運航の経済性の追求, その点から各機器に調和のある運転を行わせる等の傾向が強くなると思われる。

本船の燃料消費量は海上公試では計画値より好転した結果を得たが, 就航結果については, 今後長期的実績を待つものである。

本船の建造に当っては, 機器メーカーの各社よりご協力を頂いた。更に, 新日鉄(株)殿, 新和海運(株)殿には, 本船初期計画より終始ご助言を頂いた。ここに関係各位に厚く御礼を申し上げる次第である。

〔質 疑 応 答〕

質問者 三井造船(株)玉野事業所 西浦茂夫

〔質問〕 軸発電機の装備を計画する場合, 航路の季節要素及び船の減速航行状況をも考慮に入れて, 船内の電力需要及びターボ発電機からの無効電力のバランスについて検討する必要がある。もし, 船内の電力負荷がターボ発電機の最大発生電力を上回る場合, 軸発電機はターボ発電機の電力が不足している分を補充する様に使用される。その逆の場合, 余剰電力は推進システムへ還元することができる。

しかしながら, この様なエネルギー回収プラントに対する初期投資は非常に大きいので, 他の熱回収システムとの経済的な比較分析を行う事が肝要である。この件に係りて以下の質問を行い度い。

1. 著者が述べている様に, 2基1軸推進システムは,

信頼性の向上、減速航行への適合性等の様に、1基1軸システムに比して多くの優位点を有している。一方、1基と2基推進システムでは、初期投資額が大きく異なる。更に、上述した優位点は定量的に評価するのが困難であるので、2基システムにおけるこれらの優位性のみでは、初期投資の差を補うことは難しいと思われる。

なぜ、本船に2基推進システムが選定されたかの主要な理由、及び2基システムの優位性をどう評価しているかに関し、回答頂き度い。

2. 著者は、CPPを本船に選択した主な理由の1つは、船の加減速性能の相対的悪化を補うためと述べている。このタイプのCPP船とFPP船とを比較した場合に、船の荒天航行特性及びクラッシュアスターン特性に差があると考えられるか否か伺い度い。

3. 航行時のプラントトータルとして経済的節減量はいくらであったか、もし可能ならば夏及び冬の両方についてエネルギー節減量を回答願ひ度い。

〔回答〕 1. 本船の計画に際し三社共同研究の中で、廃熱回収システムを有する低速1基1軸FPP船も議論された。運航採算については主として船主側で検討されたが、バラスト航海時には半分の出力で十分な船速が得られる事から、2基1軸システムでの減機運転が可能となり、これらの点から採算に合うものである。

即ち、主機出力50%以下の低速域で長時間航行する時にも、1主機の負荷は常用負荷に保たれるので、燃料は粗悪油のままでよく、又、最も燃料消費の少ない所で運転できる。

この運転方法は、機関保守の面から見ても良好な燃焼状態を続ける事で、保守作業の必要性そのものを減らす

ばかりでなく、従来港内においてしかできなかった主機のオーバーホールを大洋航行中にも可能とし、省人化を図ることができた。

2. 海上運転における本船のクラッシュアスターン特性を図12に示す。

一般にCPPの方が停止距離性能の点で勝ると言われているが、同図からも本船はFPP付の従来船に勝る実績であると見ている。尚、荒天航行におけるCPPとFPPとの操船性能に関する比較データは持ち合せていない。

3. ご指摘の様に1基運転等々の効果を評価することは困難であるが、推進プラントとしては採算が取れていると考える。

サイリスタ制御式軸発電機付の排ガスターボ発電システムについて言えば、75%主機出力において夏場・冬場共に平均650kWのエネルギー回収量を得た。これには、季節変動がほとんど見られなかったが、船の運航航路の影響と思われる。

質問者 ジャパンライン(株) 田崎淡海

〔質問〕 1. 二次のアンバランスモーメントが問題となる低速6シリンダ機関の両機の位相について、振動の点から特別の対策があれば説明願ひたい。

2. 2基1軸船のAuto Load Balanceに関連して我々は特はRough Seaにおいて苦労した経験がある。本論文中的応答特性はCalm Seaにおけるものであると推察出来るため、Rough Seaにおける実績が有れば説明願ひたい。

3. CPPを採用して二速制御とした理由の一つに「効率の面より」と論じているが、詳細説明願ひ度い。

4. 今日話題の超ロングストローク機関の時代になっても今後この様なGear Down Systemのプラントが成立するか否か、総合的な経済評価をされていたら説明願ひたい。

〔回答〕 1. 主機は140rpm{ 2.3s^{-1} }にて1基当り88.2T・m{ $864 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{m}$ }の垂直2次の不釣合偶力を有すが、船体の大きさの割に出力の小さいエンジンを搭載しているために、1基運転では問題無いと考えてバランスは装備していない。

2基運転時の対策として、クラッチを接合する時に両主機のクランク角の位相を $90^\circ\{\pi/2\text{rad}\}$ ずらすことにより、不釣合偶力を相殺するようにした。この結果、船体部のみならず上構部においても、振動レベルは問題としないことを試運転にて確認した。

2. 本船が台風に遭遇した時のALBの実績データを図13に示す。

本図はALBが良好に作動していることを示している。これはDDCの高速動作によるところ大と考えられる。

3. CPPの制御において最適制御の方が、二速制御より、推進効率の面でも主機燃料消費量の面でも勝っている。しかし、その差は、図14でCPP及び主機の特性を示す様に、低負荷域では顕著になるものの通常航海領

図12 Stopping distance

Atmospheric pressure 995 Date Aug. 26, 1982
 Wind force 7 Position Off Kagoshima
 30° 48' N
 126° 42' E

図 13 Actual response of ALB at rough sea

図 14 Engine performance

域では極くわずかなものに過ぎない。

したがって、むしろシステムの簡素化と操作の容易性を重視して二速制御としたものである。

4. 本船設計時点では、超ロングストローク機関はまだ実現されていなかったが、その後超ロングストローク機関が著しい低燃費と低回転とを実現したために、Geared Diesel System に取って替わって多くの計画船に採用されているのは事実であり、又、省メンテナンスの面でも 1 基 1 軸直結システムの方がメリットがある。

しかしながら、船体計画上機関室高さに制限があり、超ロングストローク機関が採用できない場合も当然あるし、本船の様に 2 基 1 軸 Gear Down システムにおいては、減機運転という運転上の特徴を活かして航海時に省燃費を狙う事もできる。

結局、船の運航計画、補機システムを含めたトータルのプラント計画、初期投資額、燃料費すべてが関連するので、その総合評価を一概に述べる事は難しく、各々の計画仕様に対して最適なシステムを検討する必要がある。その意味で Geared Diesel System が採用される場合も、されない場合もあるとしか言えない。

質問者 三菱電機(株)長崎製作所 坪井英二

〔質問〕 機関部プラントの達成に対して、しかもそれが特にサイリスタ制御式軸発電機を採用している点で、敬意を表したい。

プラントのエネルギー節減量は実績データにより示されているが、軸発電機を採用することにより、これ以外のメリット、例えば、プラント操作の容易性、制御の自動化による機器の運転労力の軽減、人件費減等々も確認されたものと考えられる。もしそうであれば、それはどんな点であったか、それらの有効性をどの様に評価しているか説明願ひ度い。

〔回答〕 本船の就航実績によれば、ディーゼル発電機を使用する機会が極めて少なく、その保守上非常に有利であり、更に通常航海中軸発電機が常にモータリング状態にあり、必要な場合には自動的に発電機となるので、ターボ発電機とディーゼル発電機との並行運転を行わなくても大形電動機、例えば、Fire & G.S. Pump の運転が可能であったと言われている。この様に省力化、省メンテナンス化が明らかに経験されているが、人件費減、保守費減として顕在化するまでの実績には今のところ到っていない。