

最近の船用主機関自動化装置について

石川島播磨重工業株式会社 林 昭三郎
電気技術部計装制御四課長

はじめに

近年船舶の自動化の問題が盛に論議されるようになり、主としてその経済性と自動化の質の問題が、クローズアップされるようになった。本稿では、自動化の概念と特に主機関自動化装置について述べ、終りに之等自動化機器の信頼性について、述べてみたいと思う。

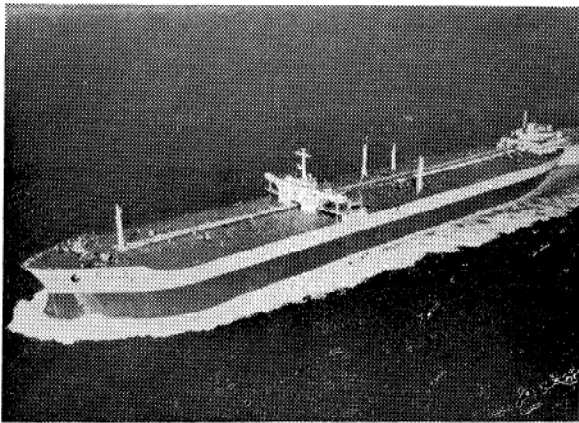


図1 主機自動化装置を装備した大型タンカー

§1 自動化の概念

最近の陸上における各種プラントの計装技術は、フィードバックをもった制御即ち自動制御技術が既に安定技術として、普及している。更には、判断機能や記憶機能をもった計算機を使って、最も効率のよい制御を行うことも試みられている。之らの制御技術と使用される自動化機器の信頼性の向上と相俟って、船舶の自動化が云々されるようになったと考えるのが妥当であろう。

今少し歴史的に見るならば、船舶における自動制御は舵取装置やボイラーの A. C. C. (AUTOMATIC COMBUSTION CONTROL) に見られる如く、古くから行われているが、之等の装置は、技術的な理由で、当然装備されたものであったが、昨今自動化の問題は、明らかに経済運航を目標に、積極的に改善策を考えようということである。ここで一つ問題となるのは、自動化をすれば、人員が削減できると考え勝ちであるが、一義的に、そのように考えることは、早計であろう。即ち自

動化の真の目的は、如何なる条件の下でも、そのプラントなり、装置の効率を最大限に發揮できるように仕向けることであって、その結果人員が削減できれば、それは自動化のためではなく、合理化のためである。

従って、やたらに高級な装置を数多く持込んでも、自動化とは全く関係もなく、寧ろ人員を多く要する不合理装置となる。然らば、どのような目標に留意すればよいかと云うと

(1) 直接的な目標

- ① 建造諸経費
- ② 運航諸経費
- ③ 保守諸経費
- ④ 修理諸経費

(2) 間接的な目標

- ① 船の安全性の改善
- ② 信頼性の向上
- ③ 人間による錯誤と遅れの減少
- ④ データー検出の確実化及び簡易化
- ⑤ 貨物容積の増加
- ⑥ 機能装置の重複の除去

等が挙げられる。之らの目標は、若干抽象的ではあるが要は、人間による各種の動作には(2)―③に述べた如く、錯誤や遅れの問題がある。従って、機械で代行できる分野として、例えば SENSOR や ACTUATOR を含む CLOSED LOOP としての制御系を作ることは、人間にとって、大いに助かるわけである。現在行われつつある自動化船は、斯様な実用的な範囲で、自動化されている言わば部分的自動化船と言われるもので、ここにおける人間の役割は、之らの各方面より集められた INFORMATION を総合判断するに尽きると言える。一方 C. T. CLAYTON (UNITED AIRCRAFT CORP.) が、VISION として述べている全自動化船なるものは、全航海を通じ無人航走するもので、今日の衛星技術の発達に伴ない、その可能性を論じている。然し乍ら、船舶相互間の自動衝突回避の問題一つにしても、残された課題は、余りにも多く、全自動化船は一応の夢として、おいておこう。

部分的自動化船においては、既述の如く、実用的な範

間で自動化が進められており、機能的に分類することができる。即ち

- (1) 主機関の自動化
- (2) 補機の自動化
- (3) 甲板機械（繫船）の自動化
- (4) 荷役機械の自動化
- (5) 発電プラントの自動化（ボイラーを含む）
- (6) 航海関係の自動化

を挙げることができる。本稿では以下第(1)項について述べる。

§2 主機関の自動化（タービン船）

2-1 機能

最も重点的に自動化の行われつつある分野であって、要求される事項としては、装置が簡単で操作し易く、且信頼性の高いものという当然の要求であるが、具体的には

- (1) 前後進及び速度指令は人がする
- (2) ブリッジコントロールもできること
- (3) 場合によっては、手動操作もできること
- (4) 点検、修理が簡単に行えること

である。吾々が今回「東京丸」や「出光丸」で計画した自動化装置は之らの要求を十分満足するだけでなく、更に一步前進して、

- (1) ブリッジ及び機関室内の制御室で、コントロールレバー 1 本で前後進を連続的にコントロールできる
- (2) 主軸回転数をフィードバックし閉ループを作り、負荷条件、抽気状態、蒸気状態に関係なく、設定レバー通りのタービン速度が維持できる
- (3) 蒸気圧低下による補助的制御
- (4) モードスイッチによる抽気弁、ドレン弁、後進中間弁の同時開閉遠隔操作
- (5) ボイラーのキャリオーバー、コンデンサー高水位潤滑油圧力低下に対する保護装置
- (6) ターニングインターロック及びオートスピニング装置

等を装備した。特に第(1)項のブリッジコントロールは国際シンポジウムでも論議されているように特に港の出入時の操船の合理化には、不可欠とされている。従来は、ブリッジからの間接的指令をうけて、エンジン側のオペレーターが、ハンドルを回すという、二度手間を余儀なくされていた。言わば同一系統にある SENSOR と ACTUATOR を二人の人間で動かしていたわけである。

2-2 配置

ブリッジ側にはブリッジコントロールスタンド（両ウ

イングを含む）を設け、中央操作室にはボイラータービンコントロール盤と並び、コントロールオペレーションデスクを備える。之らの両コントロールを行うシーケンス及び演算装置は、コントロールキャビネットとして、中央操作室の近くに装備する。第2図に示す配置は一例である。

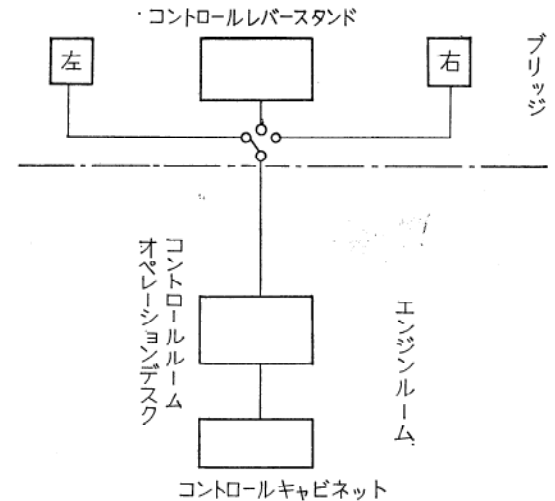


図2 配置

2-3 構成

2-2 で述べた如く、ブリッジコントロールスタンド、コントロールルームオペレーションデスク、コントロールキャビネット及び之らに附属する機側装備品の四つより成っている。

2-3-1 コントロールルームオペレーションデスク

この中に装備される主な機器は次の通りである

- コントロールレバー（インジケータ付）
- コントロールセクタースイッチ
- 機関室及びブリッジコントロール表示灯
- コントロールレバーマッチング表示灯
- コントロール切換中表示
- 前後進用ダイレクトコントロールスイッチ
- モードスイッチ及び表示灯
- ボイラーインターロックバイパススイッチ
- ターニングギヤー表示灯嵌脱
- オートスピニングスイッチおよび表示灯
- タービン停止表示灯

2-3-2 ブリッジオペレーションスタンド

電話及びエンジンテレグラフも装備してある。

- コントロールレバー（インジケータ付）(第3図)
- ブリッジ及び機関室コントロール表示灯
- コントロール切換表示ブザー
- コントロールレバーマッチング表示灯
- コントロール切換中表示灯
- オートスピニング表示灯

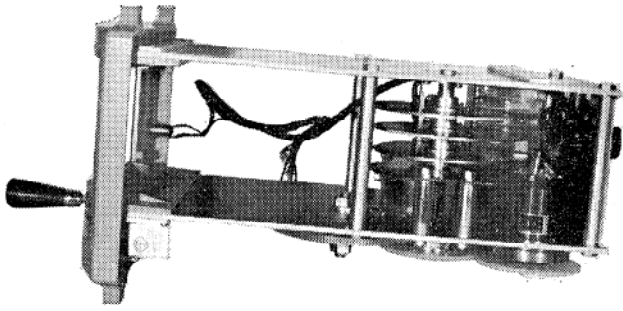


図3 コントロールレバー (内部)

2-3-3 コントロールキャビネット

本自動化装置の中核部が収納されており、シーケンス回路と演算装置に分類される。第4図で左1/3は高信頼リレーによる、シーケンス回路で、右2/3は磁気増巾器による演算装置が、収めてある。主な内訳は、

関数発生器 (K(x)³)

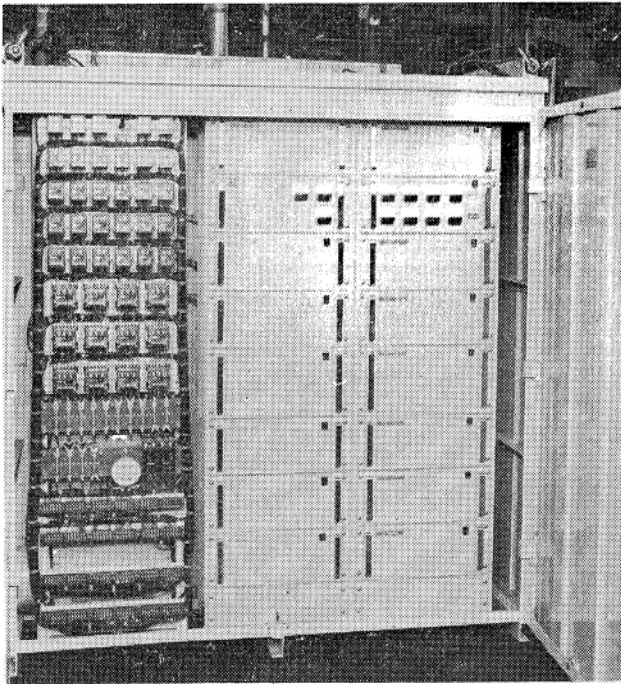


図4 キャビネット

調節器 (K₂)

サーボ増巾器 (K₃, K₅, K₆)

蒸気圧インターロックユニット(K₄)

r. p. m. リレーユニット

マッチングリレーユニット

オートスピニングユニット

リレーパネル

コントロール切換回路

ボイラードラム水位インターロック

ターニングインターロック

非常停止回路

蒸気弁オーバーラップインターロック

マニユーバリングモード回路

2-3-4 機側装備品 (第5図参照)

モーターアクチュエーター (前後進用)

ポジションセンサー

油圧パワーサーボ系

オーバースピードガバナー

主軸回転数検出発電機及び増巾器

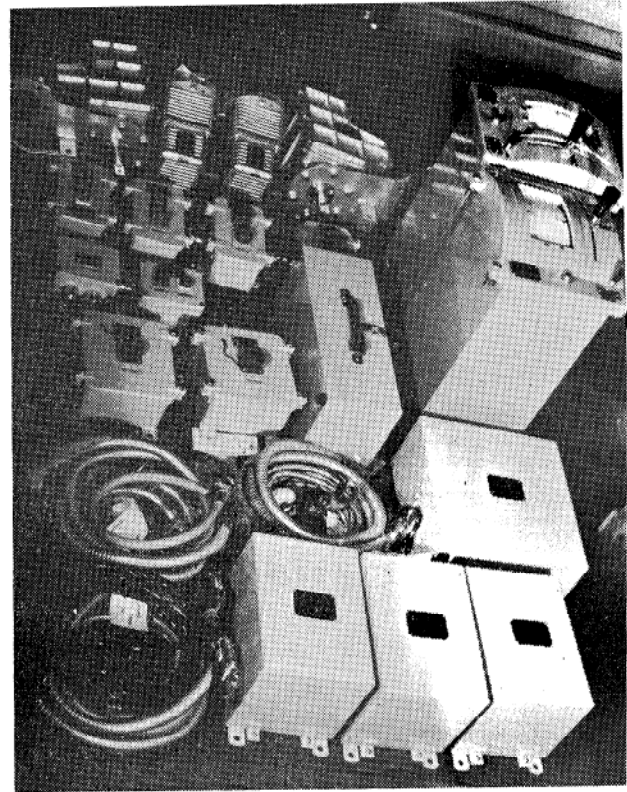


図5 装備品一式

2-4 制御方式

第6図に示す如く、制御メインループは凡て、磁気増巾器による電気信号を用い、蒸気弁操作は、油圧で行っ()

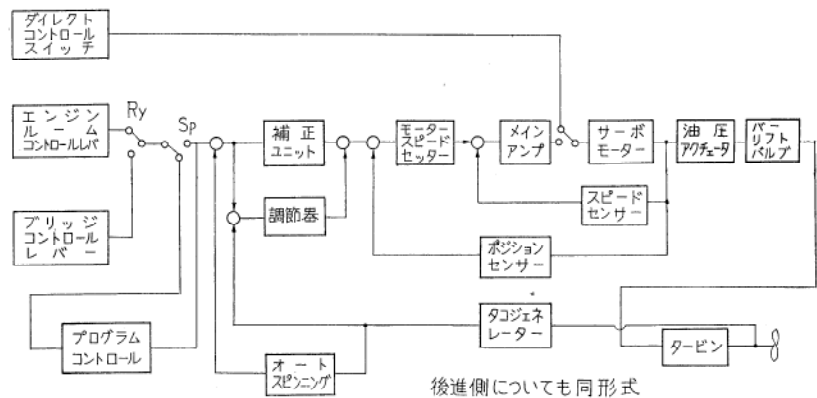


図6 ブロックダイヤグラム

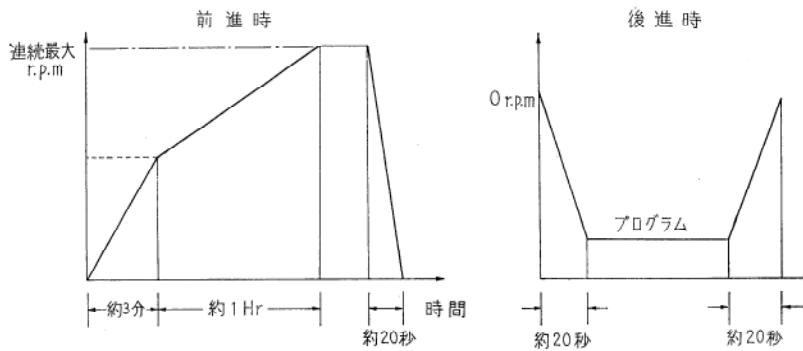


図7 プログラムコントロール

ている。コントロールの場所により、
 入力の変換リレーによって、ブリッジ
 またはエンジンルームの何れかのレバ
 ー信号に切換え、補正ユニット K(x)³
 によって、レバーで設定された r. p.
 m. 相当の信号を、所要の蒸気量に比
 例した電気信号に変換される。マイナ
 ーループでは、この電気信号に応じて、
 蒸気弁の位置を制御することと、所定
 の位置に整定するまでの時間を制御す
 ることを行う。即ちサーボモーターの
 出力軸に結合されたポジションセンサ

第1表 コントロール切換シーケンス

コントロ ールの切 換ステッ プ	場所	機 関 室					ブ リ ッ ジ				
		操 作	操 作 卓				操 作	操 作 卓			
			コント ロール セレク タ スイッ チ	機関室 コント ロール 表示灯	コント ロール 切換中 表示灯	コント ロール マッチ ング 表示灯		ブリッ ジ コント ロール 表示灯	機関室 コント ロール 表示灯	コント ロール 切換中 表示灯	コント ロール マッチ ング 表示灯

機関室→ブリッジ

①	機関室	切換の電話通 告 機関室↔ブリ ッジ	機関室	ON	OFF	OFF	OFF	レバーを機関 室 レバー指示に 合わせる	ON	OFF	OFF	OFF	停 止
②	"	セレクタスイ ッチを回す 機関室↔ブリ ッジ	ブリッ ジ	"	ON	"	"	確認ボタンを 押す	"	ON	"	"	鳴 る
③	"	—	"	"	"	ON	"	—	"	"	ON	"	"
④	ブリッジ	—	"	OFF	OFF	"	ON	—	"	OFF	"	ON	停 止

機関室←ブリッジ

①	ブリッジ	切換の電話通 告 ブリッジ↔機 関室	ブリッ ジ	OFF	OFF	OFF	ON	—	OFF	OFF	OFF	ON	停 止
②	"	レバーをブリ ッジ レバー指示に 合わせる	"	"	"	ON	"	—	"	"	ON	"	"
③	"	セレクタスイ ッチを回す ブリッジ↔機 関室	機関室	"	ON	"	"	—	"	ON	"	"	鳴 る
④	機関室	—	"	ON	OFF	"	OFF	—	ON	OFF	"	OFF	"
⑤	"	—	"	"	"	"	"	レバーをスト ップ位置に戻 す	ON	"	"	"	停 止

- (注) 1. ステップ④では、確認押しボタンを押してから約1秒後にコントロールが機関室からブリッジに切換えられる。
 2. ステップ③では、スイッチを回すと約1秒後に自動的にステップ④に移る。

一により、位置を、タコジェネレーターにより、サーボモーターのスピードコントロールを行うようになっている。タービン軸回転数については、メジャーのフィードバックを行い、調節器により、設定信号との比較を行っている。従って、何れかのレバーの ONE HANDLE 操作によって、タービン回転数を制御することができる。

また出航時には、機関の暖まりの具合を見ながら、徐々に出力を増してゆく必要があるわけで、このような場合には、運転員が、スタンドに長時間ランプされねばならない。このために、この操作を自動的に行うこともできるようになっている。即ちプログラム方式がそれであって、第7図の如き、プログラムの一例に対して、入力側の切換スイッチ Sp をプログラム側に切換えると、時間と共に所定の出力を得ることができる。前後進夫々異なったプログラムをもち、磁気増巾器による積分器で電気信号に変換される。

2-5 操作切換方式

電源が供給されると、機関室に制御操作がセットされるが、その移行は、半自動的に行われる。原則的には電話で通告されるが、切換時の安全性を勘案して、電気的なインターロックが施してあり、仮令、手続を間違えても、危険を防止してある。切換シーケンスは第1表に示す通りである。

一例を示すと、機関室よりブリッジ側に切換えるには、先づセレクトスイッチをブリッジ側に切換えると、ブリッジでは、ブザーが鳴り、表示灯が点灯する。ブリッジの確認押釦を押すと、操作はブリッジ側に移行する。従って、セレクトスイッチの切換え、レバーマッチング、確認押釦の AND によって、始めて操作の切換えが行われるようにしてある。逆の場合はセレクトスイッチとレバーマッチングの AND で移行できるようにしてある。

2-6 オートスピニング

エンジンが停止すると、自動的にスピニングを開始するようになっている。コントロールレバーのストップ

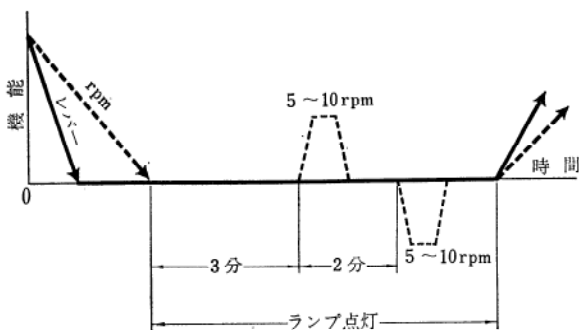


図8 オートスピニング

位置とプロペラ軸の零回転を同時検出して、約2分間継続するとスピニング開始信号を出す。この信号は2分間隔で行われ、タービンを前後進する。回転数は5 r. p. m. に抑え、何らかの事故で10 r. p. m. を超える場合には、保護装置が働いて、蒸気弁を閉じタービンを停止するようになっている。(第8図)

2-7 インターロック (ボイラー関係)

ボイラー蒸気圧力が規定値以下になると、その度合いに応じて蒸気弁を絞り、圧力回復を助長し、下限値に達すると、タービンを停止させる。(第9図)

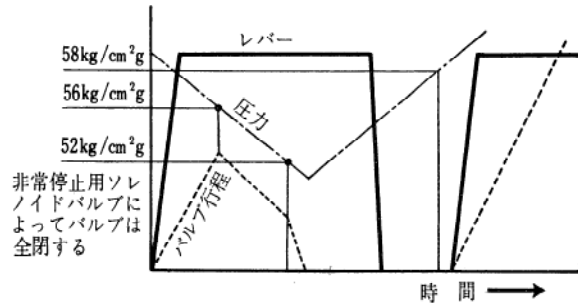
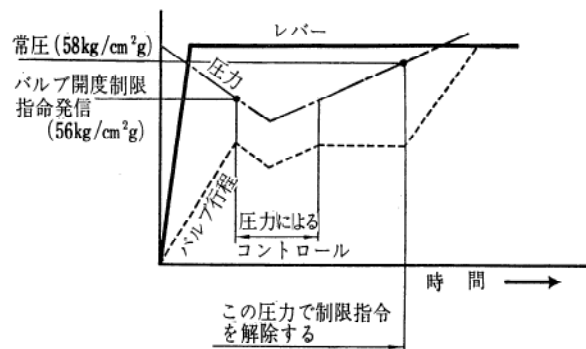


図9 ボイラーインターロック

またボイラーの逆応答特性などにより、ドラム内の水()がタービンに流入する保護としては、水位が規定値に達すると、弁開の進行を停止するようになっている。(第10図)

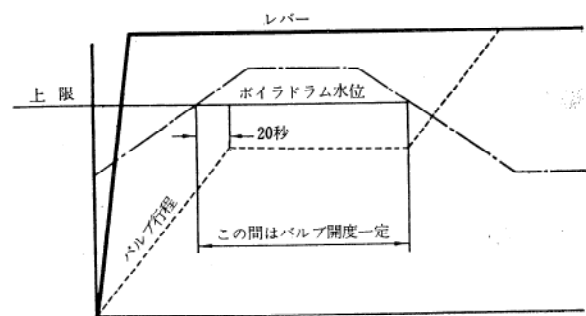


図10 ボイラーインターロック

2-8 エマージェンシー

非常停止の場合は、弁操作油圧サーボ系の油がダンブ弁により抜かれ、弁がスプリング力によって、全閉される。之は前進弁のみで、後進弁は、ブレーキとして、使用される場合が多く、常に作動できる条件を備えておくことが安全であるためである。

ダンブ弁作動条件としては、

- (1) 非常止スイッチ
- (2) 潤滑油の圧力低下
- (3) コンデンサー水位の上限
- (4) 蒸気圧力の低下下限
- (5) 停電

があり、リセット条件としては、油圧サーボ系の入力信号が零であることを確認するインターロックがある。また非常用操作機構としては

- (1) ダイレクトコントロールスイッチ (第6図参照)
サーボモーターの入力回路を切換え、直接手動で、サーボモーターを操作するもので、演算部をバイパスする。

- (2) 手動操作

油圧サーボ系入口のモーター減速軸ハンドルを現場操作するもので、電気系が使用できず油圧系が生きている場合に使用する。

電気油圧系共、不具合を生じた場合には、蒸気弁をレバーで直接操作できるようになっている。(第

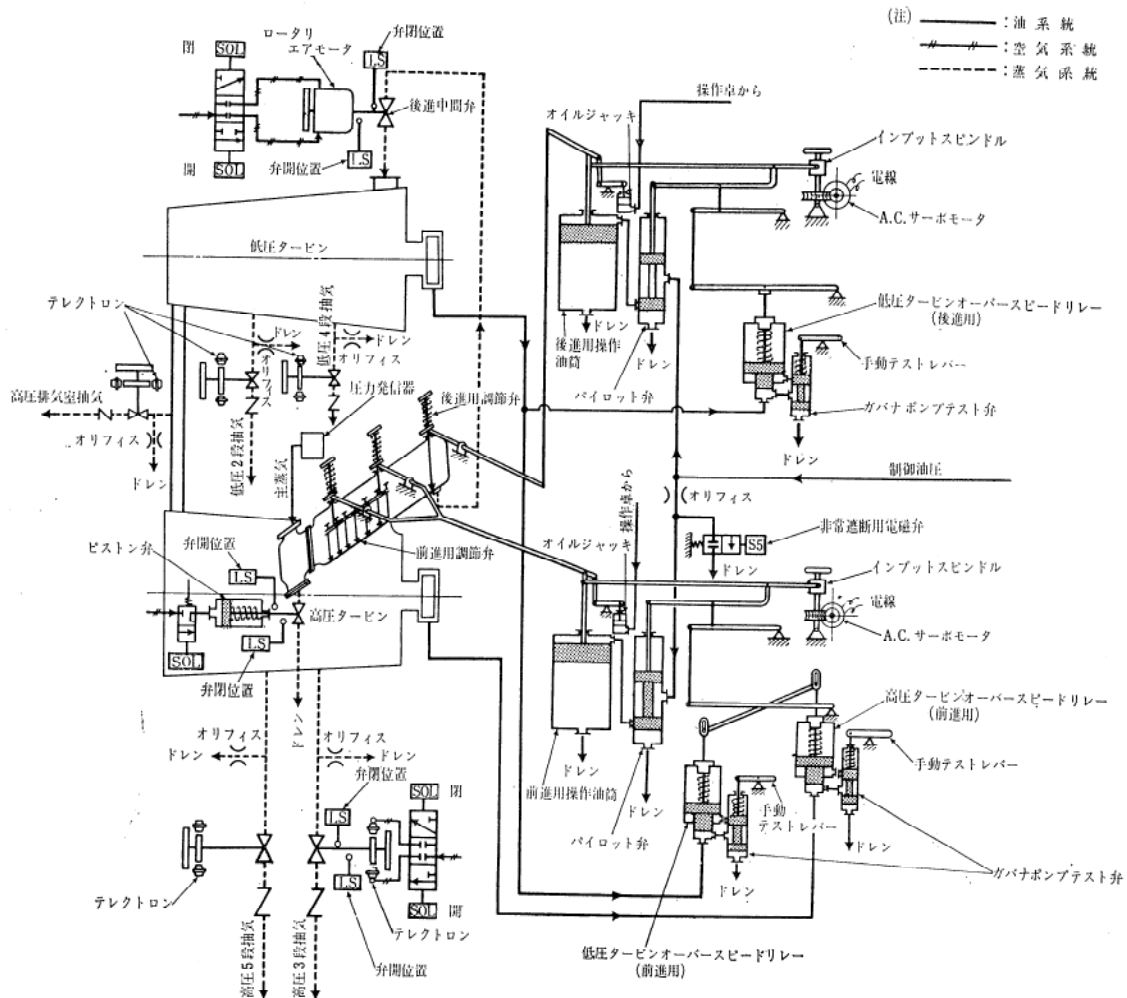


図11 機関部メカニズム

11図参照)

§3 自動化機器の信頼性

冒頭にも述べた如く、船舶における自動化が、陸上産業界のそれに較べて、立遅れている理由は、之らの自動

化機器の信頼性の問題に尽きると言えよう。船舶の特殊な条件のために、陸上では、処置のできる問題でも、船舶では、大いに危険を醸んでいることも否めない事実である。

特殊な条件とは、

- (1) 簡単な事故でも、重大な結果を招くことがある

生産と技術

- (2) 常に環境が変わる.
- (3) 手助けを求めることは、困難である.
- (4) 乗組員の数に制限があり、今後も低下の傾向にある.
- (5) 止ることが許されない. 故障しても何とか非常手段を講じて運航しなければならない.

等挙げられる. 之らを満足するためには、機器自体の信頼性は勿論のこと、非常対策について、万全の方策を立てて、計画しなければ決して成功しないであろう.

然らば具体的に機器に要求される条件としては、

- (1) 動揺 ローリング ±30°
- (2) 傾斜 横 ±15°
縦 ±10°
- (3) 振動 600~1200 c/m ±1.5 mm
60~600 c/m ±5.0 mm
- (4) 衝撃 2g
- (5) 温度 制御室 10~30°C
機関室 0~50°C
ブリッジ 0~40°C

(6) 湿度 95%

(7) 電源変動

電圧 瞬間 ±20% 整定時 ±5%

周波数 瞬間 ±7% 整定時 ±3%

があるが、その他、塩分、油分を含んだ空気に常時曝されることもあるし、連続航海時の経時変化や、出入港時の頻繁な制御動作も十分考慮に入れなければならない.

一般に信頼性とは「その品物に期待されている性能なり動作が決められた空間的、時間的条件のもとで、実現する確からしさ」と定義されている. 自動化に使われる機器も各種のタイプがあり、夫々個々の信頼度をもっているから、それらを総合して、装置としての信頼度を云々しなければならない. 例えば99%の信頼度をもつ部品を10ヶ使って、1ヶでも故障すると全体の装置に影響を及ぼすような場合には $(0.99)^{10} = 0.9$ つまり装置としては90%の信頼度になってしまう. このように、部品の数が多くなればなる程、その信頼性を高めることは、○かしくなってくる.

今一つの目安として、第2表を掲載してみた. ここに

第2表

部 品 名	ビ ッ ト	部 品 名	ビ ッ ト
抵 抗 器	10	ス イ ッ チ	30
コンデンサー	10	ゲルマニウムトランジスター	900
誘 導 器	20	シリコンダイオード	200
電源変圧器	20	ゲルマニウムダイオード	300
中間周波変成器	100	可変コンデンサー	1000
モーター	150	高 信 頼 管	2000
リレー	100~500		
可変抵抗器	500		

あるビット数は、各部品を1000ヶ、1000時間使用した時の故障個数の%である. 例えば高信頼管を1000ヶ、1000時間使用すると20ヶ故障することになる. 勿論、使用条件によって異なると思うが装置設計に当り、一応の参考になると思われる.

吾々の計画した主機自動化装置の主要コンポーネントには、磁気増巾器を数多く使っているが、その理由も本表に帰因する. 即ち磁気増巾器は第2表で誘導器または、電源変圧と同類と考えられる (20ビット).

之に反し真空管 (2000ビット)、トランジスター (900ビット) は、故障率高く、概念的な見方ではあるが、磁気増巾器が優れていることが判る. 尤も最近の半導体技術の進歩はめざましく、IC への道が開拓されているが、現状では、FAIL SAFE, FOOL-PROOF の立場ら、磁気増巾器が、その用途次第で、十分信頼度の高いコンポーネントと言える. 一方欠点として、重量、容量が大き

いこと、応答速度が ELECTRONICS に較べ遅いことがあるが、主機自動化装置に関する限り、全く問題とはならない.

磁気増巾器を使用しても、やはり抵抗器、コンデンサー、シリコンダイオード等の回路部品を使用するから、装置としての信頼度は、部品比率を勘案して考えなければならない. 一例として、CONTROLLER を考えてみると、第12図の如くなる.

部品比率及び故障比率より総ビット数の比をとると磁気増巾器式を1とすると真空管式は、2.32、トランジスター式は、少々良くて1.82となる.

目安としての計算は、此迄の話であるが、吾々がもっと、注目すべき問題は、日本における此種、フィールドデータの充実であろう. 海外における信頼性工学が、単に THEORY だけでなく、各部品についても十分な環境試験を行い、組織的に信頼性向上について、取組ん

(以下14頁へ)