

II 自動化船運航をめぐる技術的問題

目 次

A	まえがき	125
B	近い将来の自動化船構想	125
C	システムへの Engineering Approach	127
D	SEと人間工学	130
E	システムの信頼性, 安全性, 保全性	132
F	あとがき	134

A. まえがき

船舶の技術革新の背景には

- (1) 造船の技術革新 (造船工程の革新と造船技術の革新)
- (2) 船員事情 (船員需要の拡大と志望者の減少, 船員の陸上転職)
- (3) 船舶採算性 (船員費, 船価, 燃料費, 運賃率等の関係)

が考えられる。船舶自動化に対しては各国で考えを異にする面があるが, 大勢としては今後ますます進展していくものと思われる。

自動化船といつても, 部分的自動化で, 正確には自動化装備率といった概念においてとらえる必要があるが, 世間的に自動化船の問題がクローズアップされてきたのは, 1961年の金華山丸の就航を契機とする。

われわれは技術革新と船員労働の変化に関し, 1961年

箱根山丸, 1962年ありぞ丸, 1963年春日山丸, 静岡丸, 1964~5年みししつび丸に乗船し, 実態調査を実施する機会を得た。このうち春日山丸とみししつび丸は金華山丸以後のいわゆる自動化船である。これらの調査を通じて, 船舶設備と船員労働の総合的な実態について多くの知見を得たが, 今回はシステムの最適化に対する技術的な approach の問題についてまとめた。

B. 近い将来の自動化船構想

1. 高経済船試設計

a. 20ノット20名船の構想

船舶自動化をめぐる世界情勢の中で, わが国がその行政面において抱きつつある自動化船の構想がどのようなものかを概観する。(以下本稿では対象船を商船隊の伝統的な中核体をなす外航定期貨物船を中心とする)。

(1) 1959年, 運輸大臣は造船審議会に対し, 「船舶の自動操縦化の技術的問題点並びにその対策」を諮問し,

そのあと、自動化開発に対する政府の研究補助金助成がはじまった。この過程から運輸省船舶局は「近い将来における自動化船」の試設計を急ぎ、1962年に日本造船研究協会の高経済性船舶試設計特別委員会に試設計作業を委託した。

自動化の具体的仕様は、直接本稿と関係しないので省略するが、ここから世にいう「20ノット20名」の基本方針が策定された。この基本方針の付帯事項として、「乗組員は……船舶の自動化、近代化がすすめられると……人間の労力、作業量が減少し、操作・取扱・保存も容易となるので、従来のような細分化された専門職は必ずしも必要ではなくなり、単一化された新しい職種となり、階級性も能率本位の単純なものに指向されることが考えられるようになった。」として、この観点から乗組員の構成は船長1名、船舶士8名、船舶員11名、計20名という、いわゆる「船舶士構想」がうち出された。ただしこの構想では乗組員は従来のような部門編成となっていて、甲板部・機関部・無線部という職能の水平分化のままである。

諸外国でも部員は甲・機統合職種をすでに実験的に実施しているところがあるが、士官については名称は種々であるが、大体甲・機別に考えられている。

b. この試設計作業は結局「本試設計による設備を総て採用しても、今直ちに乗組員を一挙に20名に削減することは疑問であり……乗組員数は船内設備の外、法規・船内作業・運航の安全性・航路事情・慣習・乗組員の再教育によつても影響をうける」とし、この各制約面について最後に経済性小委員会にその検討を付託するに至った。同小委員会はこの検討の後、20名運航の困難性を指摘しながらも、諸制度の改善、普遍的な船舶士、船舶員の実現（筆者注、水平分化を統合した甲機にわたる多能職で、基本方針の策定からさらに進んだもの。これがつぎの海技制度の審議にひきつがれる）。機器の信頼性向上、陸上からの relief 制度等が効果をあげるようになれば、20名運航が可能であるという仮定に基づいた政策的な見解を出した。

b. 試設計結果の課題

結局この試設計作業の報告書⁹⁾はその結論において、「今後の重要課題とその対策」として、つぎの4大課題を取りあげ、これを中心に、改めて船舶設備や船舶運航のあり方は如何にあるべきかを、世に問うた形となっている。

- (1) 自動化船として必要にして十分な設備の徹底的な検討
- (2) 自動化設備のコスト低減の促進
- (3) 関係法規・慣習・船務の陸上移管等における諸

問題の総合的検討

(4) 自動化船における機器の技術的信頼性の向上

すなわちこの報告書はその表現において楽観的な見解を随所に挿入してはいるが、実質的には船内労働や採算上の合理性を見出すことができなかつたのである。これははじめからわかり切っていた結論であつたはずであるが、ともあれ船舶設備だけを他の要素と切り離して試設計すること、あるいはその逆が、将来に向つても不可能であることを、この報告書は示唆しているのであるが、この点の認識が不徹底のまま経過していく。

2. 船員資格制度

a. 船舶士構想

このような自動化船構想にともない、船員行政面においても、近い将来の船員の資格制度と船員教育のあり方について、方針策定が進められた。

1963年より2年間の期限をもつて、海技審議会が発足し、運輸大臣の諮問(1)「船舶の自動化および近代化に対応する今後の海技に関する制度について」および(2)「現行の船員教育制度につき早急にとるべき措置について」の審議が進められる。このうち(1)項に関しては、さきの試設計船程度の装備のものを「想定船」と称し、船舶士構想について検討がすすめられた。

審議は難航したが（注、審議過程における経緯は本稿に直接重要でないので省略する）。1965年6月、関係者注目の中で「今後の海技資格に関する基本構想」と題する中間答申が行われた。この内容の骨子は、将来の船内労働としては航海運用と機関運転の最小限の業務が残ることになるという推定の上立つて、船橋統括制御方式が、さらに進んだ段階では、(1)甲板・機関の統合された「就労体制」が可能である、(2)別に高度化された機器の保全管理に専門職が必要であるとの2つの見解が成り立つとした。ここから(1)に対応した「船長」「船舶士」、(2)に対応した「船長」「船舶士」「機関管理士」の2案が答申されたのである。

しかしながらこれら資格者の性格、技術水準等本質的理解においてはなお見解の不統一が残つた。これは前提条件となる将来の船内労働の想定について、理解の相違があつた結果と思われる。またこのような船員の職能を極限まで圧縮し、統合した目標設定が海運業または船員にとつて向上目標であるという点に関しては、何ら説明がなされていない。この点が関係者とくに船員への説得性に乏しかつた主因であると思われるが、同時にそれは海技審議会の職分を超える問題であつたともいえる。同様のことがつぎの部分についてもいえる。

b. 付帯された関連問題

本中間答申は、さらに海技資格制度の改訂にあつて

は、つぎの諸対策の実施が必要であることを付帯させている。

- (1) 船舶機器の信頼性向上
- (2) 陸上サービス機構の確立
- (3) 港湾設備、航路補助施設等の整備
- (4) 海難防止に関連し、責任の所在および船員の責任範囲の明確化
- (5) 船内における人間と機械の結合については、人間工学的検討の促進
- (6) 労働力損失防止のため、安全・疲労および衛生に関する労働科学的検討の促進
- (7) 労働および生活条件の改善について、科学的検討の促進
- (8) 改訂された海技資格の実施にあたっては既成船員に不安を与えないように、その移行対策について特別な配慮を行なうこと

以上の内容は海技制度および船員教育制度の範囲をこえた船員行政一般から造船、港湾、海運に及ぶ事項がふくまれており、そのため最終審議の段階でも答申に盛り込むべきか否かで論議がかわされたのである。しかもなおこの関連諸事項を多数意見によつて答申に載せざるを得なかつた点は、あたかも試設計が造船技術以外の関連事項を重視した経過および結論と相似している。すなわち自動化船をめぐる諸問題は、個別、単独には技術的にも検討し得ないのであり、全体性、関連性を離れて論じ得ない。

3. 実験船

運輸省はついで1965年に入り、実験船調査委員会を設置して、実験方案と実験設備の立案作業にとりかかった。

乗組員再編成を検討する具体策として実験船実験を行うことは諸外国ではすでに着手されており、1962年以降、米国、フランス、ノルウェーなどですすめられているようである。英国でもシェル・タンカー社が甲・機部員の統合実験を1965年に公表している。

わが国の実験船構想については、まだ計画途上であるから多くをふれることはさけるが、練習船を兼ねたものであるとともに、船舶および機器の造船技術上の実験と乗組員編成の実験を兼ねる多目的な性格を有する。従つて「20名運航」の実験という点では船舶システムの内外にかなり制約条件がある。

C. システムへの engineering approach

I. 船舶および外部環境を全体としてとらえる視角

前章では試設計船、海技審議会、実験船とわが国がそ

の行政面において自動化船問題に対処してきた一連の事柄の経過を述べ、問題を個別に検討し得なかつた実態を指摘した。船員の編成は船舶設備が機械化、自動化されていく各段階において、これらと有機的で密接な結びつきが得られるものでなくてはならないし、逆に船舶設備の再編成もおおのの時点における船員およびその組織の機能的限界を無視することはできない。さらに船舶と船員をめぐる外部環境や企業の中の船舶として、これら全体と部分に関するシステムの編成と運用を同時的にとらえていく視角が今後ますます重要性を増すであろう。試設計船の報告書は「総合的な調査研究」の必要を強調しておきながら、そのための方法や研究の主体について突込みが足りなかつたのは惜まれる。そこにはそれにふさわしい技術なり engineering なるの援用が必要となる。それは物的システムと人的システムの総合的デザインに有用なものが指向されてくる。

2. Systems Engineering

a. SE におけるシステム概念

Systems Engineering と呼ばれるものは、このようなものの一つとみなされる。Systems Engineering なる名称はミシガン大学の Harry H. Goode と Robert E. Machol が1957年に同名の著書を刊行したことから、一般に用いられるようになったとされている¹⁴⁾。(注、以下 SE と略称する)。

システムの定義・分類は従来の Industrial Engineering を中心とする者、SE を中心とする者などそれぞれの立場によつて多様に表現されている。SE においても前掲の Goode, Machol の流れをくむ者は装置のシステムを対象とするが、これに人間要素をふくめたシステムを対象とする立場がある。

Richard B. Kershner のシステムに関する定義はこの場合最も有用であるように思われる。彼はつぎのように定義する。「システムとは一連の事象、事物の集合体であり、それはある input を受けとり、それら input に働きかけて、ある out put を生み出すように operate (挙動—藤山覚一郎訳)し、しかもその input と out put の間にある両数を極大化することを目的として operate するものである」。

さらにこれにとまらぬ彼の説明を要約すれば、(1) この System Composition と System Operation は人間により統制可能なものを指し、(2) システムは dynamic なもので、全く static なものはここでいうシステムとはならない。(注、船員が作業をし、燃料が消費され航海して貨物輸送を達成し、利益をあげる dynamic などらえ方を指し、単なる構造物としての船舶は、ここでいうシステムとはならない)。また(3) operation に人間の目

的意志が反映されるものだけを問題にし、(4) その目的とは input と out put の間にある函数の極大化である。

b. システムの属性

関連性と全体性が重視され、システム内では独立要素の集合体 S と要素間の関連性 R とによつて $\sigma = \{S | R\}$ なる下における operation がとりあげられるし、さらに外部環境と開システムが構成されるときは、これとの関連性も問題となる。

またシステムはそのピラミッド構成によつて level をもち、下位システムは上位システムによつて副次化された機能をもつから、常に上位システムとの関連において論ぜられるという性格をもつ。従つて上位システムへの従属性は全体性を指向し、システム評価においては integrated system が問題になる。自動化船もまさにこのようなシステムとしてとらえていかねばならぬ。

c. システムの目標と評価

システムの目標が optimization にあることは kershner の定義でみたところであるが、operation における数学的な解は、

$$E = F(X, Y) \quad E \text{ 有効度 utility effectiveness}$$

$$X \text{ 制御変数の集合}$$

$$Y \text{ 非制御変数の集合}$$

しかし、現実には制約条件下の最適化であり、非制御変数の関数としての制御変数の最適化を求めることになり、これを Charles T. Hitch は sub-optimization と呼んだ。

また Chestnut はシステムの定量的または定性的評価基準として、つぎの項目をあげる。

- (1) 成果 performance
- (2) コスト cost
- (3) 信頼性 reliability
- (4) 時間 time to build または寿命 install life of system
- (5) サービス性 serviceability

3. 船舶水準のシステム

a. sub-system の構成 (図 1)

船舶もまた kershner の定義したような定義において

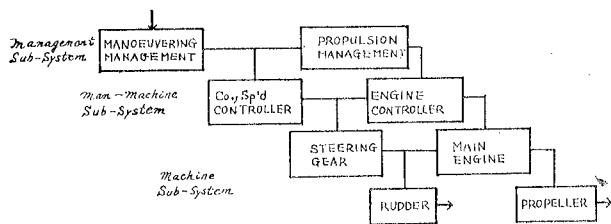


図 1. 操船システムの構成 (定常巡航)

とらえ、dynamic な機能の連鎖体系であり、人間の意志目的を反映して operate されるものとしてとらえられる。

筆者は当面の自動化船を処理機構の実体から管理システム、人間-機械システム、機械システムの 3 段階に分類してみる。これは Optner¹⁴⁾ の分類に近い。管理システムは情報の流れとしてとらえると情報システムとなるが、定量的にとらえられると電子計算機の導入となつていくが、1 人でも人間が要素として残っている間は管理システムが構成される¹⁵⁾。そこには基準化されていない procedure がふくまれ、意志決定を本質とし、コミュニケーションとリーダーシップにより man-man system を統制していく機能が課せられる。前章でもみたように自動化船についてもとかくこの管理システムの存在が軽視されがちであることは注意を要する。

人間-機械システムは kershner のいう quasi-mechanistic system¹⁶⁾ であり、人間の活動はここでは本質的には機械的な役割しか果たしていない。機械に直接働きかける作業や機械的処理、判断の領域で procedure は基準化されている。

b. 処理機構の機能連鎖

Optner のシステム 視は徹底して処理機構に中核をおく。SE の立場からさらにこの中の機能連鎖を定型化して考察すると、管理システムあるいは情報システムでは情報、決定、統制 (feed back) の諸機能が設定できる。

(1) 情報機能

① ここでは情報の収集、変換処理の諸機能がある。はじめの情報源の選択、識別の機能に対しては普通管理基準が定められていることが多い。

しかし船の機関室にはおよそ 700 点ぐらいの計測点が機側にあるといわれるが、常時情報源として利用されるのは 50 点ぐらいであり、外に官能的情報を計器以外から求める必要も生ずる。そこにはもはや routine はない。操船においては刻々に変化する外部環境の中から、適当な情報源を選択し、識別するが、船路標識のように routine 化された情報源は不十分でシステムとして不完全である。

つづく検出器の操作、状態量の測定機能では定められた procedure に従い、人は skill を必要とする。

② つぎに収集された情報に対しつぎの決定機能へ提供するため変換処理される。これには procedure が明示されていないと決定機能に支障を来たしたり、super system からの指示を逐一待たねばならない。人が行う場合には分担職位に権限が与えられ、この権限をこえた分は super system

へ送られる。

(2) 決定機能

① 選択決定機能。モデルが解析され、いくつかの計画が立てられ、その中からシステムの本質的な役割である意志決定に導かれる。意志決定には super system からの管理基準, policy が大きく影響する。

J.W. Forrester¹⁰⁾は policy がどの程度 routine 化されているかが、システム全体の安定性を左右するとして、つぎの4段階に分類している。

1 policy が固定化され、完全にプログラムされたルールとなつて、意思決定が機械によつて自動的に行われる段階

2 policy はなお formal なルールとなつていないが、意思決定が常規的に行われる段階

3 policy は全く記録されておらず、管理者の経験、判断により個々に形づくられる段階

4 未開発の極めて困難な意志決定の段階

② 指示伝達機能。システムの out put が具体化される段階で、操船システムならば意志決定の結果が、舵角やプロペラ回転数およびその方向といった、予め定めである具体的操作量に引きなおされ、伝達される過程である。この out put は明確に指示されないで下位システムが誤りを犯したり、送りかえされてくる。

4. 企業水準および外部環境とのシステム合成

a. 企業と船舶システム

海運会社の大手は企業集約によりますます巨大化され

てきた。某社のように150隻120万総トンの商船隊と13の支店出張所、460の代理店を擁し、船員4,000名、陸員1,000名を有するに至り、海運会社としては企業規模において世界のトップクラスとなつたものがある。

そこでは従来の情報管理システムでは役立たなくなりつつあるとみられ、本社の部門システムや個々の下位システムである船舶と船員を最も最効な活動に統合していくための、management information system の革新が行われていくことが考えられる。それは各レベルの管理者に各レベルの意思決定のための情報や policy を示し Forrester のいう②の段階(前出)から、さらに予めプログラムされた方式で機能させる①の段階へと発展していくであろう。そのようなシステムには EDPS からさらに進んで OLRT 方式(On Line-Real Time System)が導入される。

シェル・タンカー社が1964年から実験段階に入つたといわれる Radio Telemetry 方式¹¹⁾はこの OLRT システムである。それは情報起点である船舶と中央データ処理装置とを real time に直結するもので、航海諸統計、機関情報等100項目以上が自動遠隔計測により、データローガーに入り、自動的に船舶無線機から、英国およびオランダの海岸局に中継されて、ロンドンの本社の電子計算機に入る。従来このような統計資料は乗組員の事務作業により log book に記録され、帳票が本社へ送られている。この time delay, reliability, 情報量は大きく情報の有効利用を妨げている。このようなシステムは船舶の

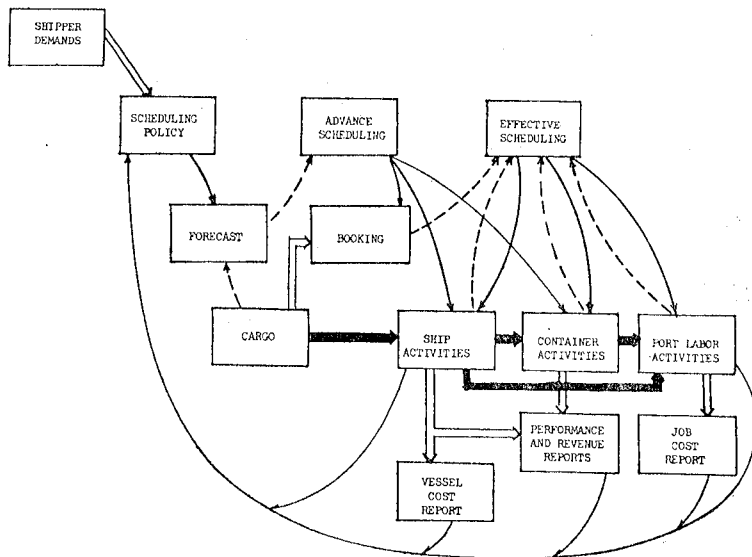


図 2. 海運における輸送システム — マトソン社

場合、列車の予約システムなどと異なり、ある程度の batch processing ですむだろうが、航海諸統計の他貨物、資材(船用品、燃料等)、乗組員の給料、人事等の情報を空いた時間を利用して載せることができよう。

Matson Navigation 社はカルフォルニア/ハワイ航路の輸送問題について、大規模な運航システムのシミュレーションを試みている。(図2)。

b. 外部環境とのシステム合成

航法の自動化についても Radio Telemetry や Radio Remote Control が考えられているが、後者については特殊航路ではあるが、ソ連のカスピ海における無人タンカー Pustoshkin 号が、ついに載油、航海、揚油の実験に成功したと伝えられている。たとえ無人でなくとも、このような船舶システムは陸上にある super system からの control を強くうけることになる。

また定期貨物船にあつては、雑貨のユニット化, palletisation, あるいはコンテナ輸送が、荷役能率の向上、運送付帯費の節約から論ぜられるが²²⁾、これは港湾における上屋設備や陸上輸送システムとの連繫システムにおいて design されないと有効にならない。英国におけるトマト輸送の例に1959年から1961年にかけて、市場における品質と価格維持のため、安全、speedy な輸送を達成するための palletisation 研究がなされたものがある²²⁾。ここでは pallet-loading centre から英国内150のマーケットに至る船舶、鉄道、道路が一つの palletisation system によつて連繫される。これにより船舶の載貨設備は改造され、運航スケジュールも変更され基準化された。

以上のように船舶システムは super system からの影響を大きく受け、これによつて船舶設備も乗組員の労働の procedure も変化する。

c. 航行安全からみたシステム合成

つぎに航行の安全という観点から巨大船を例にとつて、システム問題にふれたい。今井²³⁾は超大型船の出現による航路、港湾の問題点をつぎのようにまとめている。

- (1) 航路の地形的整備——幅員、水深の検討
- (2) 航行管制——漁業権と航行権の調整、余裕水深のない港内への入港制限
- (3) 係船設備、専用曳船の整備

すなわち港湾、航路、航行管制をふくめた integrated system が船舶の航行安全を左右するわけで、1965年5月、室蘭で起きたノルウェー・タンカー heimvard 号(5,800 D.T.)の火災爆発事故も衝突防止上の system design に多くの欠陥をもつていたことを教訓として残した²⁴⁾。

一般商船ではないが、国鉄の青函連絡船は輸送量の増大により、現在3時間の航走に7~8隻の反航連絡船に行き逢う。洞爺丸事件のながい経験もあり、新造船津軽丸は電波定点をレーダーが追尾する船位自動測定装置を装備した。今後はさらに自動的に基準航路に乗って走らせる方向に進むようである。(図3)。

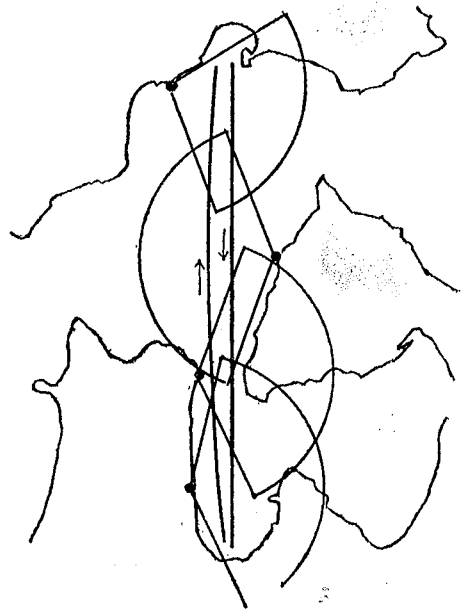


図3 青函連絡船の基準航路と電波定点

D. SE と人間工学

1. 人間工学の寄与

物的システムばかりでなく、人間要素をふくめて扱う立場の SE においては、人間工学からの寄与が多いことになる。T.W. Singleton²⁷⁾は「Ergonomics は基本的な生産ユニットは man-machine system であるという想定に基礎をおく。」とし、「容易に速くそして最小のエラーで使用でき、オペレーターが混乱とあいまいさなしに次になにをすべきかという情報を得ることのできるようなデザイン」に関する配慮を Product Ergonomics と呼んでいる。

SE への寄与については、A. Chapanis が、

- (1) 人間要素および機械要素への諸機能の配分
 - (2) システム要素に関する人間工学的考察
 - (3) man-machine system の評価
- の3項をあげているが(1)、(2)項と(3)項は design とその評価の関係と理解される。この問題を船の man-

machine system について考えてみる。

a. 人間と機械への機能配分

(1) 船舶の機械化、自動化の進展につれて、system design 上重要な課題となる。まず人間の信頼性であるが操船制御では相手船の操船の信頼性とパターン認識の困難性の問題がある。従来の radar は component として単なる検出器で、radar 装備船の衝突事故はあとを絶たない。その原因として

(1) radar 使用上の誤認(パターン誤認)

(2) 映像調整の誤り(検出器誤操作)

(3) 速力、変針、信号等 radar 過信による操船の不適正(作業基準の不実行)

などがあげられる。この点から津軽丸に装備されたような追尾 radar からさらに自動衝突予防装置へと発展しても、相手船の radar 過信による操船の不適正や radar 航法の基準についての理解の相違(村上 によれば国籍別に操船の傾向に特色をもつ)がある間は操船者が臨機の処置に備えることが必要であろう。

(2) 大洋における直線的な航行中の操舵は単純で持続的なプロセス制御作業で、このような操舵は戦前から auto pilot に代えてきた。これに反し入出港の操舵は操舵手による。船長からの order は舵角で示されるので操舵手は単に具体的な指示に従うだけに止まらず、外部環境に対する判断、船長の意図やクセの理解によつて、針路についての見通しやつぎの order の予想をしつつ、操舵を加減していく。このような機能においては人の適応性、学習能力の方が優れている。

(3) 情報伝達、確認の信頼性を維持するには適度の冗長さと同様検証を必要とする。船の動的な作業組織は入出港時をはじめとしてこのような情報検出、伝達における冗長さと同様の例が実に多い。そこには歴史的経験的な根拠も存在するように考えられ、機械化にあたっては既存の技術的背景を十分検討してみる必要がある。間接的作業の組織にはほとんど存在しないのをもみても伝統的組織を解明してみる必要がある。

また機械的なシーケンス制御、プログラム制御では、作業者の技能水準が高いと、設定された機械的な冗長性をカットして、time rag を小さくする動作が、機関士において観察された。これは火力発電所における調査でも報告されており、自動化されていても人間操作が残り効率をあげる。

(4) 設備制御の集中遠隔化にあつて、人間の情報処理能力が問題となる。SE としてはその質的量的な限界を人間工学に求める。津軽丸 では主機関が8台の martiple geared engine となつたので、少数人員で監視作業を可能にするため、データ処理装置をシステムに組

み入れた。

b. 物的要素に関する人間工学的考察

(1) 物的環境条件の適正化は、作業者の strain の緩和とシステムの performance に影響する。自動化第1船と称される金華山丸の design にあつた当事者は、この船を「作業環境改善船」とであると称している。

かくして作業者を独立の囲われた空間に入れてしまうことに反対する意見はあつたが、機関制御室が設けられた。その結果機関士は航海直中の約80%を、機関部員は約50%を制御室で勤務することになり、電話、口頭による情報連絡も容易となり、さらに雑談、休息も容易となつた。これにより従来当直時間の20%ぐらいを機関室外に出て休息していたのが²⁾、制御室にはりつけで勤務できるようになつた。乗組員の意見調査からも「仕事場の環境がよくなり」「設備が改善されて仕事がやりよくなつた」等好意的評価が明らかである。

こうなると船員にとつて在来船との条件差が問題となるが、在来船については簡易制御室を架設するという考えがあり、その普及が望まれる。

(2) 機器の arrangement

機関制御室に例をとれば、従来機側に散在していた多数の監視点、計測点、操作点のうちから何を選んで制御室内に持ち込んで遠隔化するかという問題と、持ち込まれた作業点をいかに人間工学的に arrange するか、さらにその表示器、制御器等の形状、大きさ等の designe をどうするかという process となる。

何を持ち込むかについては今日なお検討の余地が残されている。たとえばわれわれの調査でも、「機関異常の発見は、ときに量的表示器の指度変化から察知するよりも機械音の変化で発見する方が早いことがある³⁾」。し、また発電機について制御室内の計測点数のみでは情報不十分と判断され、従来通りの機側計測が併用されている例などもあり、これは発電機に対する乗組員の信頼感の低くさからくる。このように man-machine system における man と machine の接点に関する arrangement は作業者が機械にどのように approach しているかという側面を十分考慮に入れなければならない。

つぎに制御室内の作業点の配列について、金華山丸では mock-up を用い、当初制御盤と主計器盤を一体としてみたが作業者との combination が悪く両者を分離し、制御台を中央におき、その正面に主計器盤、制御台の後方に配電盤という配置が生まれた。これはその後基本的な型の一つとなつた。

この制御台には最も重要度の高い主機操縦装置とその関連計器が組み込まれ、操縦時の操作頻度の最も高い操縦ダイヤルを右手で、船橋との操縦通信系である tele-

graph を左手で操作する配置が生まれた。

みしつび丸の主機操縦における operative work と操作器、表示器の配置は telegraph (これは sub-system に operation の指令が入る点) がやや注視野外にある点を除けば概ね適当な配置で、かなりルーチン化されてきたといえる。

以上は運転制御の領域であるが、設備や機器の保守整備面においても、人間工学的配慮を要する。分解修理を必要とするものである限り、整備作業の容易性が設計に考慮されねばならない。

2. 人間工学的寄与の限界

a. Chapanis は実験的な方法は実験に権威を与え、個々の相違が有意であるかないか確信をもって述べることを可能してくれるが、その権威と確信の代りに少なからず現実の条件を犠牲にしているという意味のことをいつている。SE の立場からいえば実験室条件には現場のシステムの実体がないことが多いから、その成果を取り入れるにあたって、この点に十分注意を払う必要がある。視覚表示器についていえば環境を control してある制御室内に設置するものは人間工学の成果をそのまま取り入れることができるが、機側表示器は条件が全く異なり、既製品としても満足なものほとんどない。

また作業への機能配分と労働負担の関係といった問題についても、作業の実体は企業の従業員として課せられた job であり、engineering の対象はこの job である。これを機関部船員の監視業務についていえば、engine process における状態量の制御という微分時間内の擬機械的 out put のための機能の遂行 (これは実験室内で条件設定が容易である) の他、基準状態量が維持できなくなる状態すなわち故障発見行動と呼ばれる機能遂行、さらに長時間の時系列 (数千時間あるいは機関の寿命期間) における現時点の劣化情報に対する処理機能といったものがふくまれる。運転情報と maintenance 情報を同じ職位に課している船のような場合、現場調査においても両者の行動を区別してとらえることは極めて困難である。また刻々の状態量制御は policy がルーチン化されて、遠からず自動化されていく。このようなものを人間工学の課題として取りあげても応用面の意義は小さい。故障発見行動や劣化情報の処理はまだルーチン化されない部分が多く、従って乗組員の地位や engine に対する理解 (主として信頼性など) の相違によつて態度や行動が異なる。またこの面に関する情報処理の中には super system (上司や本社) への報告情報 (それはしばしば報告のための報告であり、本人の将来の job に関与しない) と本人の将来の意志決定のための現在情報 (これはしばしば個人的なメモなどになる) に関するものが

混在している。このような実態が西岡 のいう Vigilance Task の技術的背景にあるといえよう。

b. また現場的システムの実体がないという前項と関連し、非制御条件に対する考慮に乏しい場合もある。卑近な例として椅子をあげると、人間工学的 design と称されるものに往々にして人間工学的でないものがある。これは軍隊と違って人間そのものが非制御対象であるという配慮に欠けた結果であろう。

椅子に関しては船ではさらに動揺がある。金華丸では床面固定、回転式とし、背もたれはスプリング式で固定もできるように工夫された²⁾。現実にはこのように狭次最適化しかない。

人間工学的成果をシステムへ挿入する場合の有効性の評価は Chestnut の評価要素のようにいくつかの項目に weight を与えて、OR 的評価をすることになる。次章でシステム評価にふれたい。

E. システムの信頼性、安全性、保全性

1. 船舶機器の信頼性への関心

a. 船員は船用機器に対して一般に不信感をもっており、われわれが行なつた「私が技術革新や合理化の問題で会社にいいたいことは……」という意見調査の応答においても、4隻117名の応答者のうち20%以上の者が信頼性の問題に関して不満を表明した³⁻⁶⁾。主たる主張は定員問題は船員の労働負担の上で機器の信頼性の問題をぬきにしてはならないこと、そのためにはメーカーに信頼性のある機器をつくらせること、試用期間および修繕にあたってはメーカー側の責任体制を確立すること、また信頼性を高める手段の一つとして船員の意見をよく聞き入れることといったものであつた。ここにはすでに信頼性の問題が集約的に表現されている。

b. 技術革新からんで船舶設備、機器の信頼性の問題が公けに論ぜられたのは、おそらくII章であげた高経済船試設計のときであろう。その後、海技制度の審議過程において、1964年、約4カ月間「船用機器信頼性研究委員会」が設けられた。その結果海技制度に関する中間答申の付帯事項の第1項に「船舶機器の信頼性向上」が掲げられたことはすでに述べた。

このような状況の中から信頼性に関する具体的な研究に着手する機運が生まれ、1965年に入ると造船研究協会が4月から信頼性研究部会(85研究部会)を設けた。とりあえずニューヨーク定航船10隻分の事故調査を手がけた。一方日本船主協会でも機関管理研究会を設け、ユーザーの立場から企業のワクをこえて、大手7社の事故統計に着手した。

2. 製品信頼性

a. いわゆる信頼性 Reliability は「一般的には自動車、電子計算機、工作機械などの装置をある期間にわたって使用する時、時刻における作動確率 $R(t)$ が問題となる。このような作動確率 $R(t)$ が、その装置の（時刻 t における）信頼性と呼ばれている。」とか「装置が遭遇する運転条件下である予定された期間内に十分その目的を達成する確率」などと定義され、普通は故障率の検討が中心となっている。

そして一般にとりあげられているのは、製品信頼性としてのそれである。George F. Ruff(ノースアメリカン航空会社)は「システム、サブシステムあるいは機器が、指定された期間、劣化なしに指定された状態のもとに要求される機能を遂行する確率である。」としており、さらに具体的である。これは米空軍の定義らしいが、specified された期間と condition の下における信頼性を求めている。ここに至って信頼性とは具体的なシステムに関するものだけということになる。陸上試験で信頼がなくても船に持ち込んだ場合は別だという意見がよく聞かれるが、信頼性とはそのようなものとしてとらえることが必要である。II章で紹介した実験船はこの意味において各個の機器の信頼性をチェックする上に大きな意義がある。

米国の三軍は現在、発注の仕様書に信頼性の保証を織り込んでいるといわれるが、それは Ruff の定義にみるように指定した期間使ったときまでの保証である。

b.. こうした製品信頼性の保証は大部分設計によつて決まるとして、唐津 は信頼できる設計に考慮すべき要素として安全係数、レーティング、冗長度、人間工学および故障発見、修理、互換の容易性をあげる。しかしさらに設計が製品化される過程における品質管理の問題もあり、Reliability Control は human factor の問題にゆきつくと考えられる。海技審議会が対策を要望した「船舶機器の信頼性向上」もゆきつくところは造船関連工業の技師・工員の技術とモラルの向上とそのための企業努力であろう。唐津 は「学位論文にもならない寿命試験のような努力の積み重ね、一見くだらないことの連続であり、本当の production engineering とはこういうもの」といつている。

3. 信頼性、安全性、保全性と人間工学

製品信頼性をユーザーの立場からみると、Availability あるいは Serviceability としての Reliability が問題となる。メーカーの生産した製品信頼性を購入し、利用するから、ユーザーとしての経済性が base となる。たとえば主機燃料弁の取替え時間は1回5~6分ですが、主機停止ともなる航海時間のおくれは約1時間である

といった問題、あるいは発電機燃料弁すり合せ取替えが、1航海39本で延べ100MHの工数を要したといった問題の経済性検討などである。しかしここでは信頼性と不可分の安全性、保全性についてふれたい。

a. 安全性

(1) 経済性を無視しても（というより購買コストを無視しても）信頼性を高めねばならぬ sub-system もある。これは安全性が重大なものであろう。それが man-machine system を構成するものであれば fool proof design のような人間工学的 design がここに挿入されねばならない。かつて未熟練船員のバルブ誤操作によつて没水沈没海難を起した例もある。

(2) わが国船員の事故死亡の60%が海難によるものであり、機関故障による海難は原因別にみて汽船では第3位、漁船では第1位をしめる。また機関故障に関するばかりでなく、E. Abrahamsen はノルウェー商船隊の船体構造的強度の基準を改善することによつて、ノルウェー船員の海難死亡の30%、(すべての災害死亡に対して10%)を防ぐことができると仮定することには現実性が多分にあるといつている。また西部もわが国の漁船の海難について船体強度と遠洋航海の関係を指摘している。

(3) 米国では System Safety Engineering なるものが発展しつつあるようで、Ruff によれば System Safety とは「製品が設備、器具、procedure、人的欠陥等に内在する結果から導かれるような事故の potential をもたぬ保証」と定義され、システム安全工学はミサイル事故をなくそうということから出発し、システムの中に“設計された”安全をなす遂げることであるといわれる。

彼は crew を乗り組ませるところでは彼らの安全の確率がふくまれ、それが達成目標であるといつている。信頼性と関係については、安全性は air-breathing system を例にとり、純粋の酸素環境と混合ガスを比較する場合を指す。これに対し信頼性は、さきにあげたような Ruff の定義に従つて、この2つの sub-system を同じ確率に design することを指す。この場合システムの信頼性は同じでも安全性は同じでないかも知れない。

b. 保全性

(1) ユーザーとしては保全コストとともに保全の容易性が求められる。この保全コストと保全の容易性が、船員費および船員技術と密接に結びつく。保全性を時間の関数として求めると、 $M=P(t) t \leq t'$ ただし t は故障個所発見所要時間、修理・部品交換時間、修理後の点検確認時間、 t' は規定時間である⁴⁾。

われわれは船内の業務分布分析により、船舶設備の保全管理制度の近代化が急務であることを指摘して²⁾のき

表 1 整備関係業務量 (1 航海, 1 日あたり MI)

		船 別					
		H (1961)	A (1962)	S (1963)	K (1963)	M (1965)	
甲板部	整備作業	計 (A)	41.5	33.2	25.6	36.8	31.1
		1人あたり	2.3	2.1	1.6	2.6	2.4
	計 (B)	145.0	134.3	133.4	126.9	106.0	
	A/B %	29	25	19	29	29	
	人 数	(18)	(16)	(16)	(14)	(13)	
機関部	整備作業	t 計 (A)	34.6	31.3	37.1	36.8	25.1
		1人あたり	1.9	2.0	2.5	3.4	2.3
	計 (B)	134.7	115.1	117.9	102.8	82.0	
	A/B %	26	27	31	36	31	
	人 数	(18)	(16)	(15)	(11)	(11)	

たが、投下労働量からみても準備後始末作業に多くの工数が費やされる。(表1)。

(2) 劣化のパラッキの不安定、部品の互換性欠如等を補ってきたのは船員の技術であり、船員は米軍の LST (上陸用舟艇) などの経験で部品互換性等において彼我の較差の大きいことを知っている。保全を外注に依存する場合は請負側の技術水準も問題であり、既に船員の間で不満となっている。この問題はつきつめていくとわが国造船産業の産業構造に突き当たるであろうと想像される。

(3) かくして修理、交換を要するサブシステムにはシンプルなデザイン、故障を直しやすいデザインが要求される。現実にはカバーの取り外しが困難であったり、作業空間が不十分であるといったものが多い。そこで再び人間工学の挿入を必要とする。また前述の Ruff³⁰⁾ は製品の potential な事故には maintainance の容易性も関係し、maintainability を与えるためには人間工学をともしシステム安全工学が、デザインの criteria を提供するといつている。以上信頼性、安全性、保全性、人間工学の関係をみた。

e. 船からの feed back

信頼性の向上にはユーザーとメーカーの協力維持が必要であるとされる。ユーザーはメーカーから specified された信頼性を購買する代りに関係情報を feed back してやる。この情報は現場にある点では船も例外でなく、往々にして現場管理者のメモの中にある。

J.T. デンフォルム も「船員の失策と目されているものであっても、実は的確な仕事をなし難くしている設計上の失敗に帰すべきものが数多く……適切な feed back が行われないうことがこの業界の大きな弱点

である。」としている。

また彼は船舶と船会社との情報管理システムの有効利用を主張し、技術者(船員を指すらしい)をして修理者に終らしめることなく、アナリストたらしめることにより、自動化より時間および経費の節約になると主張している。このような検討を経た後はじめて“将来の船員”が指向されてくるものと思う。

以上信頼性等に関し主として船舶システムに関してのべたが、より大きなシステムとしても困難性は増すが同様に論じ得よう。問題はたとえば自動化、少数定員化により船舶システムの安全性が低下するおそれが明らかとなるような場合、より大きなシステムとして海難救助体制の強化をはかるなど、全体としての安全性保持が確立している必要がある。

F. あとがき

造船の技術革新と船員不足がもたらしつつある世界的な船舶自動化傾向の中で、わが国の近い将来の自動化船構想を紹介し、その審議の結果および経過の中に、船舶設備と乗組員との最適組合せの仕様はなお今後の課題として残されたこと、およびその最適化は船舶以外の関連要素(航路、港湾、企業等)の考慮なしには実現し得ないことが明らかにされている点を指摘した。一方では衝突等の海難事故や船員災害が、いぜんとして大きく潜在しており、自動化船運航におけるこの面の不安もめぐり得ない。

このような状態の optimization には、自動化船およびこれと連結する integrated system から sub-system まで一貫した観点に立つて、それぞれの局面および全体とし

ての信頼性、安全性、保全性等が追求さるべきだという主張が成り立つと思われる。局面のみつついてもより重大な potential な欠陥が他にあるかも知れない。

system を大きくとらえるほど、また human factor が多く入る system ほど design は定量的に困難となるが、試行しなければ発展もあり得ない。

他に system の中に具体的な船員を配置する局面や man-to-man における leadership などに関する編成技術の問題があるが、別の機会にゆずりたい。

(小石泰道, 労働科学, 42巻, 5号, 昭和41年5月, 発表)