



Title	船舶基本設計に関するエキスパートシステムの構築
Author(s)	赤木, 新介; 藤田, 喜久雄
Citation	関西造船協会誌. 1987, 206, p. 65-75
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3361
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

船舶基本設計に関する エキスパートシステムの構築*

正会員 赤木新介**, 藤田喜久雄***

Building an Expert System for the Basic Design of Ships

By Shinsuke AKAGI(Member) and Kikuo FUJITA

An expert system for the basic design of ships is developed. The design process is understood as determining the design parameters and the relationships among them.

The relationships among the design knowledges are represented by a network model. The object-oriented knowledge representations are introduced in the computer system to handle the design parameters such as the principal particulars of a ship in the network model.

The expert system build with the above concept provides the following functions:

- (1) Flexible model building and easy modification.
- (2) Effective diagnosis of the design process by using rule-based knowledge representations.
- (3) Hybrid function with both numerical computations and symbolic treatments of the design knowledge by coupling the systems programmed with LISP and FORTRAN languages.

Finally the system is ascertained its validity and effectiveness by applying to the basic design of a bulkcarrier ship.

1. 緒 言

最近、AI(Artificial Intelligence)技術の応用であるエキスパートシステムが広い分野で関心を集め、これを設計に適用するための研究も試みられ始めている。とりわけ、従来、作図や数値計算などに限られていたCADの機能を本来の設計シンセンスに拡大するためのツールとしてエキスパートシステムに対する期待が大きい¹⁾。しかし、この分野は現在やっと緒についたところであり、これを設計に有効に生かすには地道な研究が必要である。

造船設計においても、早期からCAD化が進められ、設計の各ステージで定着しているが、あらたな飛躍のためにエキスパートシステムの導入は非常に魅力のある課題である²⁾。造船設計は基本設計から生産設計まで機能とステージ毎に多様な分野を含んでおり、エキスパートシステムの導入に関してもその特徴を生かすためには、AI技術自体の理解と共に、一方で設計のもつ特性についても十分に研究する必要がある³⁾。著者らは船舶に限らず広い分野の工学設計に対して、設計エキスパートシステムの開発を進め⁴⁾⁵⁾、最近では汎用の設計システムを完成した⁶⁾。

本研究では、この汎用システムをベースに船舶の基本設計のエキスパートシステムを構築することを試み、造船設計に対するより広範囲の設計エキスパートシステム開発への足がかりとした。

* 昭和62年5月29日 関西造船協会春季講演会において講演

** 大阪大学工学部

*** 大阪大学大学院工学研究科

2. 船舶基本設計の特質とAI技術への要請

前述のようにエキスパートシステムを設計に有効に生かすには、設計とAIの両面からの検討が必要であるので、まず船舶基本設計の特質について取上げる。

2.1 船舶基本設計の特質

基本設計のもつ特質については、既に論じられてきているが⁷⁾、それらを要約すると次のように言えるであろう。すなわち、船舶の基本設計の特質は、要求されるサイズや速力を満たし、かつ安全性や運航コストなどの評価尺度を最適化するように要目などを定めるプロセスである。この過程は、ある程度、設計者の自由裁量を許しながら最適化を行うところに特徴がある。これは一種の最適化過程ではあるが、数理計画法などによる最適化計算処理⁸⁾とはやや異り、むしろ柔軟に試行錯誤を重ねながら結果を総合的な最適解に近づけるプロセスである⁹⁾。この過程はデザインスパイラル¹⁰⁾によって象徴され、あたかもらせん階段を昇るが如くに検討がくり返されながら目標値に近づけられる。その中における処理は、配置や形態などのような非数値的な判断も伴い、しかも複数の目標に対して総合的な最適化を行うものである。このようなプロセスは船の基本設計に限らず各種の大形システムの設計でも現れるものであり、AI創始者の一人であるH.A.Simonは、これを「満足化」のプロセスと呼びいわゆる最適化と区別している¹¹⁾。

したがって基本設計に関するエキスパートシステムには、上記のような過程を柔軟に支援する機能が要求される。実際の基本設計をさらに詳しくみると、スパイラルを回る過程は、実際には一筋ではなく、Fig. 1のようなネットワークで表現され、各項目間に互に多重な関連をもちながら、次々に設計要目が決められる。

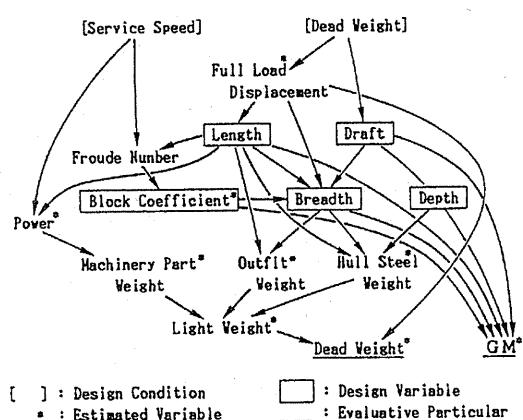


Fig. 1 Relational network for the basic design of a ship

MacCallum はこのようなネットワーク的処理に基づくコンピュータシステムを発表している¹²⁾。

今回の研究においても、このようなネットワーク処理を基本とし、これを実現するための方法として、最近AIの分野で注目されつつある「オブジェクト指向」の考え方¹³⁾を取り入れてシステムの構築を行うこととする。

2.2 AI技術としてのオブジェクト指向と機能

今回、AI技術として用いようとするオブジェクト指向の考え方は、上記のような基本設計過程における試行錯誤的な処理を支援するのに都合がよい。すなわち、このような過程において設計者は、まずある設計解（モデル）を想定してみて、その解が引き起こす機能がどのような結果となるかを調べる。若し結果が不具合であれば修正して再び試行の後、評価を行ながら満足な結果が得られるまで試行を繰り返す。

このような過程をコンピュータで支援することを考えてみると、システムに必要な機能として、「①扱うべき設計モデルの作成」「②設計モデルによるシミュレーションなどの情報処理」「③得られた結果の評価」「④評価結果に基づくモデルの修正」の4つが要求される。さらに、これを実行するためにシステムが持つべき重要な支援機能として、「モデルの記述が容易であり、かつ変更などを柔軟に行なうことができる」と「モデル中の設計パラメータを変化させたとき、関連する項目に及ぼす影響が感度解析的に把握できること」「評価の結果をみて元のモデルをどのように（どの方向に）修正すべきかの見透しが得られること」などが要求される。このような機能をコンピュータ上に実現するに適した知識表現手法は前述の「オブジェクト指

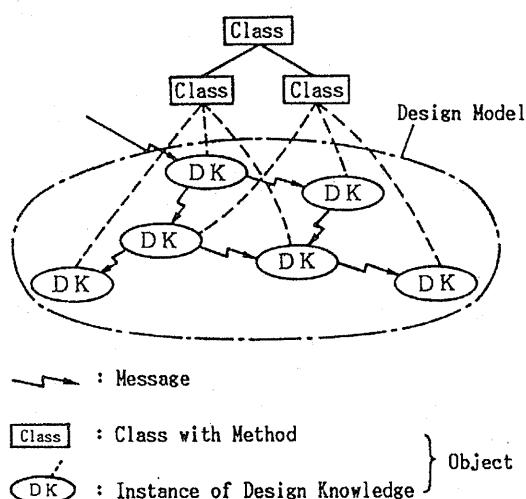


Fig. 2 Object-oriented model for design knowledge

向表現¹³⁾⁶⁾」である。詳細は後述するが、オブジェクト指向の取扱いでは、与えられた問題の中に現れる物やデータなどをすべて「オブジェクト」という対象物として記述する。そしてオブジェクト中で行われる処理や振舞い(計算や作図など)をオブジェクト自体の中にメソッドという手続き(プログラム記述)で記述し、そのような処理を行わせたい場合には、他の部分からメッセージを送って実行する。これを図によって概念的に表現すると Fig. 2 のようになる。図中に DK と記入した部分が個々のオブジェクトであり、具体的な知識(プログラム)の小単位であり、互のメッセージのやりとりで全体の処理が実行される。このようなオブジェクトはインスタンス(実体)と名付けられるが、これらに共通する概念などをさらに階層的に上位のクラス(概念)として定めている¹³⁾。さらに具体的に説明するためにこれを前述の船舶基本設計処理のネットワークモデル(Fig. 1)と対応させると、ちょうど船の主要目などの各項目が、Fig. 2 のオブジェクト(インスタンス)に相当することがわかる。それぞれのオブジェクトに対応する処理の内容(例えば「船速」というオブジェクトであれば、船速の計算式など)はオブジェクトの中に記述され、他からのメッセージによって処理が実行される。このように各オブジェクトの振舞いが独立的に記述できることから、設計過程においてある結果を生した時どのオブジェクトとの関連でそのような結果が生じたかがつかみやすいほか、変更を必要とする際にも個別オブジェクトを修正することが容易であるなど自律分散的な処理に適している。つまり、このようなオブジェクト指向による取扱いは、基本設計のネットワーク的処理を記述し実行を行うのに極めて都合がよいのである。また、上記のように個別的な変更に適することから、システム完成後のメンテナンスにも便利である。

以上のようなオブジェクト指向をシステムで実現する場合、最近の汎用エキスパートシステム用のプログラム(開発ツール¹¹⁾)には、それを具備しているものもあるが、直接、LISP 言語¹⁴⁾によるプログラミングでも比較的自由に記述することができる。むしろその方が設計処理に適するシステムができる。本システムでも LISP 言語で直接プログラミングを実施している。

つぎに、船舶の基本設計のエキスパートシステムに求められる機能として、ネットワーク処理以外に、設計結果の診断機能がある。診断機能は、いわゆる If—then— 形のプログラクションシステム¹⁵⁾として診断形のエキスパートシステムにはなじみのあるもので、LISP 言語を用いると容易にプログラミングできる。本システムでは、ネットワーク処理の中において評価を行う個所で用いている(詳細は後述)。

さらに基本設計エキスパートシステムに必須の機能として大規模な数値計算や図形処理がある。もともと AI 用に適するプログラム言語である LISP などは、簡単な計算は可能であるが、複雑な数値計算などには不向きであり、そのような箇所は FORTRAN で記述する必要がある。したがって LISP による AI 処理と FORTRAN による処理との連絡の機能がシステムに不可欠となる。本システムでは、LISP プログラムから自由に FORTRAN プログラムが呼べる方法を開発して用いている。

3. エキスパートシステムの構成と機能

以上のようにオブジェクト指向の導入によって有効に基本設計が支援できることがわかったので、次に具体的なエキスパートシステムの構成を考える。

Fig. 3 が本システムの構成である。システムは、「①汎用設計知識処理システム」の部分⁶⁾と、「②船の基本設計に固有な知識ベース」の部分に分れる。こ

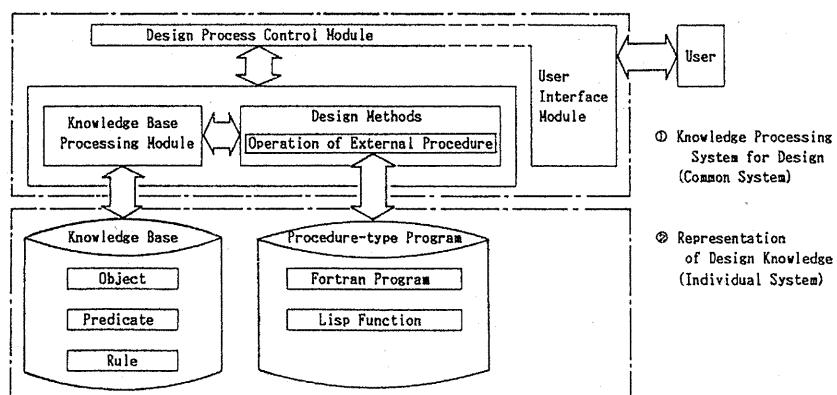


Fig. 3 Configurations of the expert system

のように汎用部と固有部のシステム構成を分離しておくことにより、汎用部を各種の設計に共用可能な汎用設計ツールとすることができると共に、それぞれの固有の設計知識ベースと結合することによって固有の設計対象に有効なシステムとすることができる。例えば、船が対象であれば、固有知識ベースに船の設計知識を記述するだけで船用のシステムができ、さらにシステムのメンテナンスも汎用部にさわることなく船の知識の追加や修正のみで対応できる。上記①、②の構成内容は次のようなである。

3.1 汎用設計知識処理システムの構成

Fig. 3 の①の部分に相当する汎用設計知識処理システムの部分は、知識ベースを操作し、設計者とのインターフェイスをとりつつ設計処理を実行する部分である。この部分は、設計プロセスの進行管理とユーザインターフェイスを行う部分、知識ベースの処理を行う部分、設計プロセスにおける基本処理を行うメソッドを定義する部分などから構成される。前述のFORTRANなどの手続き型プログラムの呼出しは、このようなメソッドの機能により実行される⁶⁾。

3.2 船の基本設計の固有知識ベースの構成

Fig. 3 の②の部分に相当する固有知識ベースの部分は、前述のオブジェクトに対応する個々の設計パラメータのほか、タイプシップのデータや、主機候補のデータなどをオブジェクトとしてもっている。また、設計結果の診断評価を行うための経験知識や法規を「ルール形」の知識表現により記述できる。さらに、後述するように設計過程の進行手順を管理するための知識を「述語形」の知識表現¹⁾により記述できるようになっている。オブジェクトから呼出して使われる手続き型のプログラムには、FORTRANによる船体形状の処理や表示、抵抗計算、LISP関数による載貨テーブルの作成プログラムや諸データとの照合などの機能をもつプログラム群などがある。

4. 知識表現とその処理内容

4.1 設計知識のオブジェクト表現とその内容

船の基本設計過程は、概念的にFig. 1のようなネットワークモデルで表わされ、オブジェクトを用いて操作できることができたが、次にこれを具体的なエキスパートシステムの知識表現として記述する。

まず、Fig. 3 のオブジェクトの概念に対応して具体的な船の設計知識を示したもののがFig. 4である。図中のL, B, ---, v_s , などがFig. 3 のオブジェクト(設計知識 DK)に相当する記述であり、それぞれの中に自身のもつ手続き(すなわち計算式など)が記述されている。このように固有知識として決められた記法に

従って算式などを記述しておけば、汎用システムの中にプログラムされた機能によって自動的に処理が実行される。処理を起動したいときには、前述したようにメッセージを送る(記述する)だけでよいのである。例えば、 F_n (フルード数)のオブジェクトには、その中に手続き(計算式)として $F_n = v_s / \sqrt{9.806 L}$ が示されており、さらにこの中の速力 v_s や船長 L は別のオブジェクトとして定められている。例えばオブジェクト v_s (m/s) は別途に入力された航海速力 V_s (Kt) から求められるが、このように各オブジェクトは互に独立かつ関連しながら一連の処理が行われる。これらのオブジェクトの中味は、後出 Fig. 6 に示すように簡単で見易い記法で記述でき、実際の処理はこのような記法を汎用システムの機能により LISP プログラムに変換することによって実行される。また、複雑な計算や図形処理は、前述したようにFORTRAN プログラムによらなければならないが、このような外部プログラムを呼出すための手続きもオブジェクト中に簡単に記述することができる。

さらに、これらの各インスタンスに共通する内容の処理を行うために、共通概念をクラスとして定義し、その具体的な処理をメソッド(設計手順)として定めている(Fig. 4)。このような内容に次のようなものがある。

a) DECIDE(決定メソッド) :

オブジェクト中の設計パラメータ(例: 主要寸法など)の値を参照し、既に定まっているれば、その値をメッセージの送信元に返す。未定であれば、インスタンス(オブジェクト)の中に記述された「手続」に従って値を決定して表示し、同時にその値を返す。

b) QUARRY(参照メソッド) :

オブジェクト中の設計パラメータの値を参照し、その値をそのまま返す。

c) DELETE(消去メソッド) :

設計パラメータの値を消去し、さらにその値に依存して定まっていたパラメータの値を消去する。

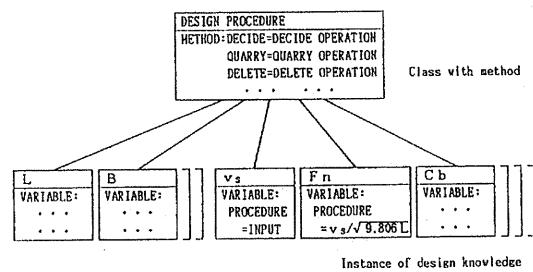


Fig. 4 Object-oriented knowledge

4.2 代表的な設計処理

以上のようなクラスメソッド（設計手続）を用いて実行することのできる設計処理を次に示す。

(1) ネットワーク処理

前述のネットワークモデルで表現される処理を、上記のメソッドを使って実行する。設計モデルは、前出のFig. 1 のように設計知識が個々の細分化された設計パラメータ（オブジェクト）として表現されたネットワーク知識である。これを用いてネットワーク全体で表わされる設計アルゴリズムは、各オブジェクトのつながりとして記述され、操作される。このように設計パラメータ間の依存関係がネットワーク的なつながりを用いて記述されていることから、ある特定のパラメータを修正した時（1次的修正），その影響が及ぶ他のパラメータも同時に修正できる（2次的修正）。このような修正はメッセージの送信を実行することにより自動的に操作できる。これにより個々のオブジェクトの知識の自律性が向上し、モジュール性も高くなり、知識の入れ換えなども容易になる。

Fig. 5 が具体的なネットワーク処理の例である。図の各インスタンス（各枠内）には、Light Weight とか、Machinery Part Weightなどの名前が付けられており、その中には、前出 Fig. 4 に従って変数名（Variable）が入れられている（図の左側のLight Weight 中に例示、右側の3つのインスタンスでは省略）。ある処理（例、前出 a）のDECIDE を行いたいときには、図の①のようにインスタンスに対してメソッドを起動するメッセージ（DECIDE）を送信すると、クラスから継承②されたメソッドがそのインスタンス③に働きかける。この場合は Light Weight の計算であるが、これを実行するためには、他のインスタンスに記述された Machinery Part Weight や Outfit Weight、Hull Steel Weightなどの値が必要である。

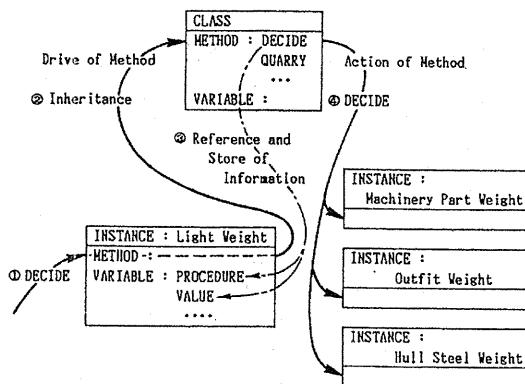


Fig. 5 Inheritance of the knowledges among related objects¹

これも自動的にこれらのインスタンスに対してもメソッド④を起動するメッセージを送信することによって、それぞれが起動して値が求まり、それらの値を使ってもとのLight Weightが計算される。4.1に示した他の共通メソッド、例えばDELETEの処理でも同様であり、上記のような連鎖によって関連する項目の値が自動的に消去できる。このように強力なネットワーク処理機能を備えているためにユーザは意のままに設計パラメータを操作することができる。

Fig. 6 には、ネットワーク処理の中で使われるインスタンスの記述例が示してある。それぞれ、(a)フルード数、(b)概略方形肥せき係数、(c)類似船の設計データ、(d)柱形肥せき係数であり、これらはそれぞれ、インスタンスに記述できる各種の手続きに対応し(a)は算術計算、(b)は条件式の記述、(c)は設計データの検索、(d)は外部のプログラム(FORTRANなど)の呼出し、の例であり、このように多様な処理が実行できる。これらの記述方法に対する詳細説明は文献⁶⁾に示している。

```

; INSTANCE (NAME FROUDE-NUMBER FN)
; (CLASS DNA)
; (INSTANCE-VARIABLE
;   (PROCEDURE ( R-VS // SQRT ( L * 0.806 ) ) ) ) ... ( a )
;
; INSTANCE (NAME APPROX-BLOCK-COEFFICIENT A-CB)
; (CLASS SKA)
; (INSTANCE-VARIABLE
;   (PROCEDURE
;     ( ( DECIDE-BY-OTHER APPROX-BLOCK-COEFFICIENT )
;       ( -> ( A-DISP-F // ( 1.025 * L * DF * B ) )
;             ( METHOD-OF-DPP = BY-TYPE-SHIP )
;             ( -> ( CB OF TYPE-SHIP )
;                   HEAN-CB ) )
;     ( INPUT-SENTENCE
;       " HOW MUCH IS BLOCK COEFFICIENT ? " ) ) ) ) ... ( b )
;
; INSTANCE (NAME TYPE-SHIP)
; (CLASS SHM)
; (INSTANCE-VARIABLE
;   (PROCEDURE
;     ( SEARCH ( ABS ( DEAD-WEIGHT OF *** - R-DV )
;                   + ABS ( VS OF *** - R-VS-KNOT )
;                   * R-DV // R-VS-KNOT ) )
;     ( OBJECT-OF-SEARCH ( INSTANCE OF KIND-OF-SHIP ) ) ) ) ) ... ( c )
;
; INSTANCE (NAME PRISMATIC-COEFFICIENT CP)
; (CLASS DNA)
; (INSTANCE-VARIABLE (PROCEDURE ( SCP CP-CURVE ) ) ) ) ... ( d )
;
```

Fig. 6 Examples of instance

```

; (RULE21-2 : IF ( &GREATERP DV ( 1.05 + R-DV ) )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-LARGE DV ( 1.05 + R-DV ) ) ) )
;
; (RULE32-1 : IF ( &LESSP HEIGHT-OF-DOUBLE-BOTTOM ( B // 16.0 ) )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-SMALL HEIGHT-OF-DOUBLE-BOTTOM
;           ( B // 16.0 ) ) ) )
;
; (RULE34-2 : IF ( &GREATERP TRIM-ON-FULL-LOAD 0.30 )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-LARGE TRIM-ON-FULL-LOAD 0.30 ) ) )
;
; (RULE34-3 : IF ( &LESSP TRIM-ON-FULL-LOAD -0.05 )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-SMALL TRIM-ON-FULL-LOAD -0.05 ) ) )
;
; (RULE36-1 : IF ( &LESSP ( B // D ) 1.60 )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-SMALL ( B // D ) 1.60 ) ) )
;
; (RULE36-2 : IF ( &GREATERP ( B // D ) 1.82 )
;   THEN ( &CREATE-PREDICATE
;         ( TOO-LARGE ( B // D ) 1.82 ) ) )
;
```

Fig. 7 Knowledge representations with rules for design

(2) 評価診断知識のルール表現とその処理

基本設計過程では、上記のネットワークの操作により、ある処理が行われる毎に結果を評価して修正が行われる。例えば、ある主要目を定めて DW を求めてみた際、結果が不満足であればもとの主要目の一部を修正する。このとき、結果が満足であるかどうかの評価と、修正すべき内容を、専門家に代って助言する機能が必要である。このために、経験的設計知識、法規などの知識内容をルール形の知識表現 (If — , then 一形) としてシステムに貯えておき、設計者を支援する。本システムはこのような機能も有している。このようなルール表現の例を Fig. 7 に示す。この例は、「DW が要求 DW の 1.05 倍以上なら大きすぎる（修正が必要）」、「二重底の高さが船幅の 1/16 より小さければ、二重底高さが小さすぎる」などの知識を表現している。このようなルール形知識による診断の実行は、メソッド QUARRY により、設計の進行中に求められた設計値とルール中の値との照合によって行われる。

(3) 設計プロセス管理とその処理

基本設計のプロセスは、前述のようにネットワーク処理をベースに展開されるが、後述（5 章）するように、どの時点でどのような処理を行えばよいかの手順をコントロールする必要がある。このような手順のコントロールは、前もってシステムに与えておくのが効率がよく。本システムでは各段階で何を決定し、何を表示するかをあらかじめ設定しておく。このような機能は「述語的知識」により記述する。そのような基本手順を表わす述語に次のようなものがある。

(STEP < N > < オブジェクト名 >) : < N > 番目の段階で< オブジェクト名 >に含まれるパラメータの値を決定する。

```

(STEP 0 LENGTH) (STEP 0 BREADTH) (STEP 0 DEPTH)
(STEP 0 APPROX-FULL-LOAD-DISPLACEMENT)
(STEP 0 FULL-LOAD-DRAFT) (STEP 0 APPROX-BLOCK-COEFFICIENT)
(STEP 0 MEAN-CB)
(DISPLAY 0 KIND-OF-SHIP) (DISPLAY 0 REQUIRED-DEAD-WEIGHT)
(DISPLAY 0 APPROX-DEAD-WEIGHT)
(DISPLAY 0 APPROX-FULL-LOAD-DISPLACEMENT)
(DISPLAY 0 LENGTH) (DISPLAY 0 BREADTH)
(DISPLAY 0 DEPTH) (DISPLAY 0 FULL-LOAD-DRAFT)
(DISPLAY 0 APPROX-BLOCK-COEFFICIENT) } ... (a)

(STEP 1 APPROX-GH-ON-FULL-LOAD) (STEP 1 APPROX-GH-ON-BALLAST)
(STEP 1 APPROX-DEAD-WEIGHT) (STEP 1 P-VALUE-ON-FULL-LOAD)
(STEP 1 P-VALUE-ON-BALLAST)
(STEP 1 NEEDED-VG-ON-GREN-FULL-LOAD)
(STEP 1 APPROX-VG-WITH-TOP-SIDE-TANK)
(DISPLAY 1 KIND-OF-SHIP) (DISPLAY 1 REQUIRED-DEAD-WEIGHT)
(DISPLAY 1 REQUIRED-DEAD-WEIGHT)
(DISPLAY 1 APPROX-FULL-LOAD-DISPLACEMENT) } ... (b)

(DISPLAY 1 NEEDED-VG-ON-GREN-FULL-LOAD)
(DISPLAY 1 APPROX-VG-WITH-TOP-SIDE-TANK) } ... (c)

(STEP 2 MAIN-ENGINE)
(DISPLAY 2 A-PS-HCO) (DISPLAY 2 KIND-OF-MAIN-ENGINE)
(DISPLAY 2 LENGTH-OF-HEIN-ENGINE) (DISPLAY 2 FUEL-CONSUMPTION) } ... (c)

(STEP 3 BODY-PLAN)
(GRAPHIC-DISPLAY 3
( $GRAPHUP LENGTH BREADTH FULL-LOAD-DRAFT DEPTH CP-CURVE
L-V-L UPPER-DECK-FORK VERTICAL-SECTION-FORK BODY-PLAN ) ) } ... (d)

(DISPLAY 3 BLOCK-COEFFICIENT) (DISPLAY 3 CH)
(DISPLAY 3 PRISMATIC-COEFFICIENT)
(DISPLAY 3 FULL-LOAD-DISPLACEMENT)
;
```

Fig. 8 Logic representations for the knowledge of design process

(DISPLAY < N > < オブジェクト名 >) : < N > 番目の段階で< オブジェクト名 >のパラメータの値を表示する。

(GRAPHIC-DISPLAY < N > < FORTRAN プログラムを呼出す記述 >) : < N > 番目の段階で FORTRAN プログラムを呼出し、設計結果を図形表示する。

Fig. 8 にこれらの述語知識表現の使用例を示す。この例は(a)の表現により STEP 0 で主要寸法が決定・表示され、(b)により STEP 1 で重量などの推定が行われて表示され、さらに(c)により STEP 2 で主機関の候補の選定が行われてそれぞれ結果が表示される。また(d)により STEP 3 で船体形状（線図など）が定められ、図形表示されるという一連のプロセスを記述している。このような流れは上記のような述語の組合せにより自由につくることが可能で、種々の設計プロセスが構成できる。このほか、設計状況の推移を感度解析的に表示したり、入力を簡略に行うための機能なども述語知識表現を使って記述できる。

以上が、本システムにおける知識表現とその処理、およびそれにより実現される主な機能である。なお、本システムは大型コンピュータ ACOS 1000 上に LISP 言語の一つである UTILISP により記述されている。

5. 船の基本設計プロセスとシステムの実行例

5.1 船の基本設計プロセス

4 章で述べた本システムの諸機能を組合せることに

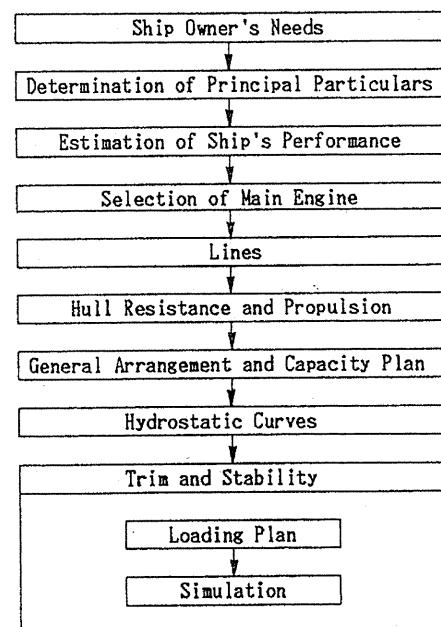


Fig. 9 Process of the basic design of a ship

よって船の基本設計過程のエキスパートシステムを構成することができる。2章で述べたように、船の基本設計過程は、要求される船のサイズや速力を満たすと共に安全性や運航コストなどの評価基準を満足化する

ように船の諸要目などを定めるプロセスであった。Fig. 9がその一例であるが、このような処理の中に、前述のネットワーク処理や診断、表示、図形表示などが組込まれて一連の設計プロセスが構成される。

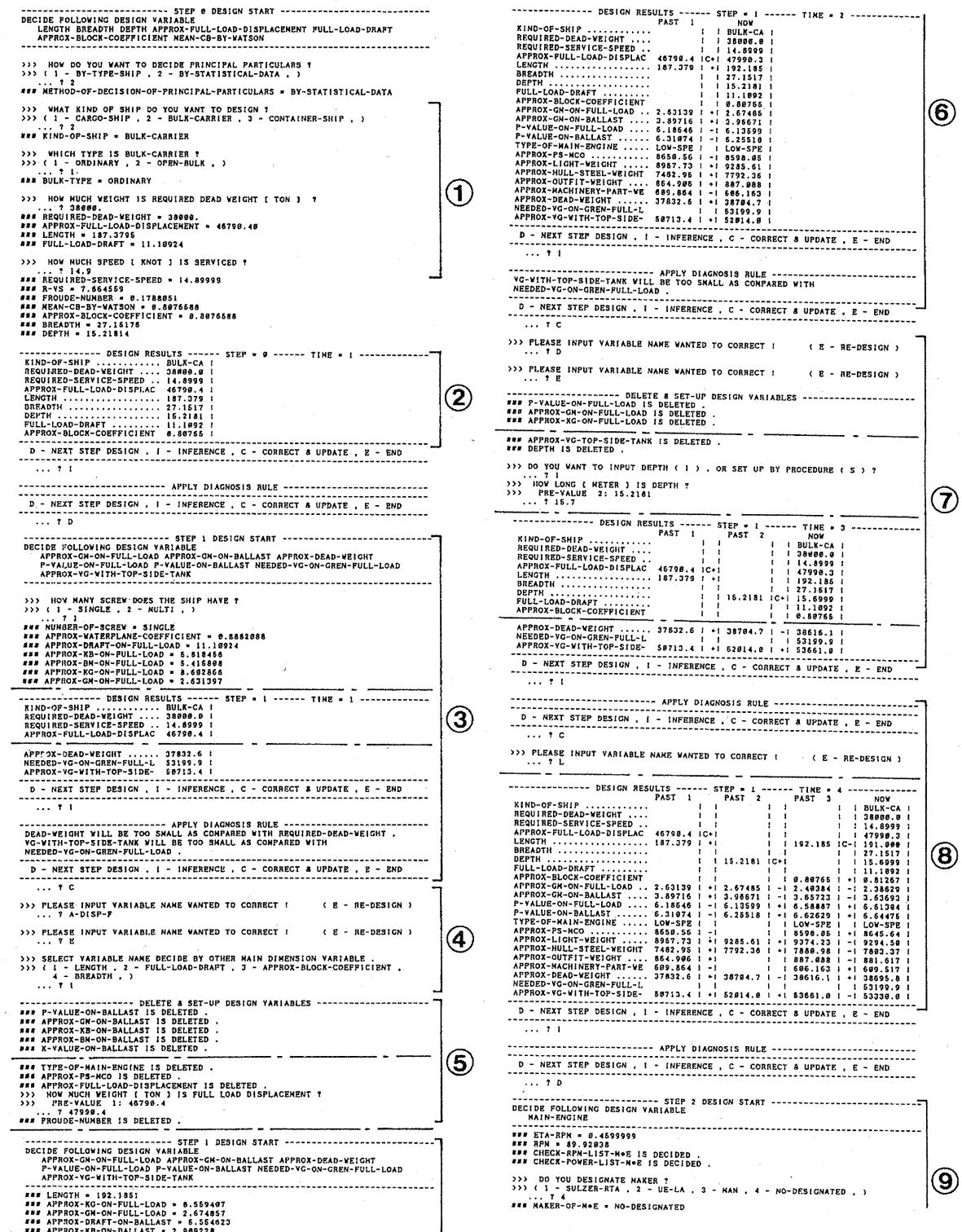
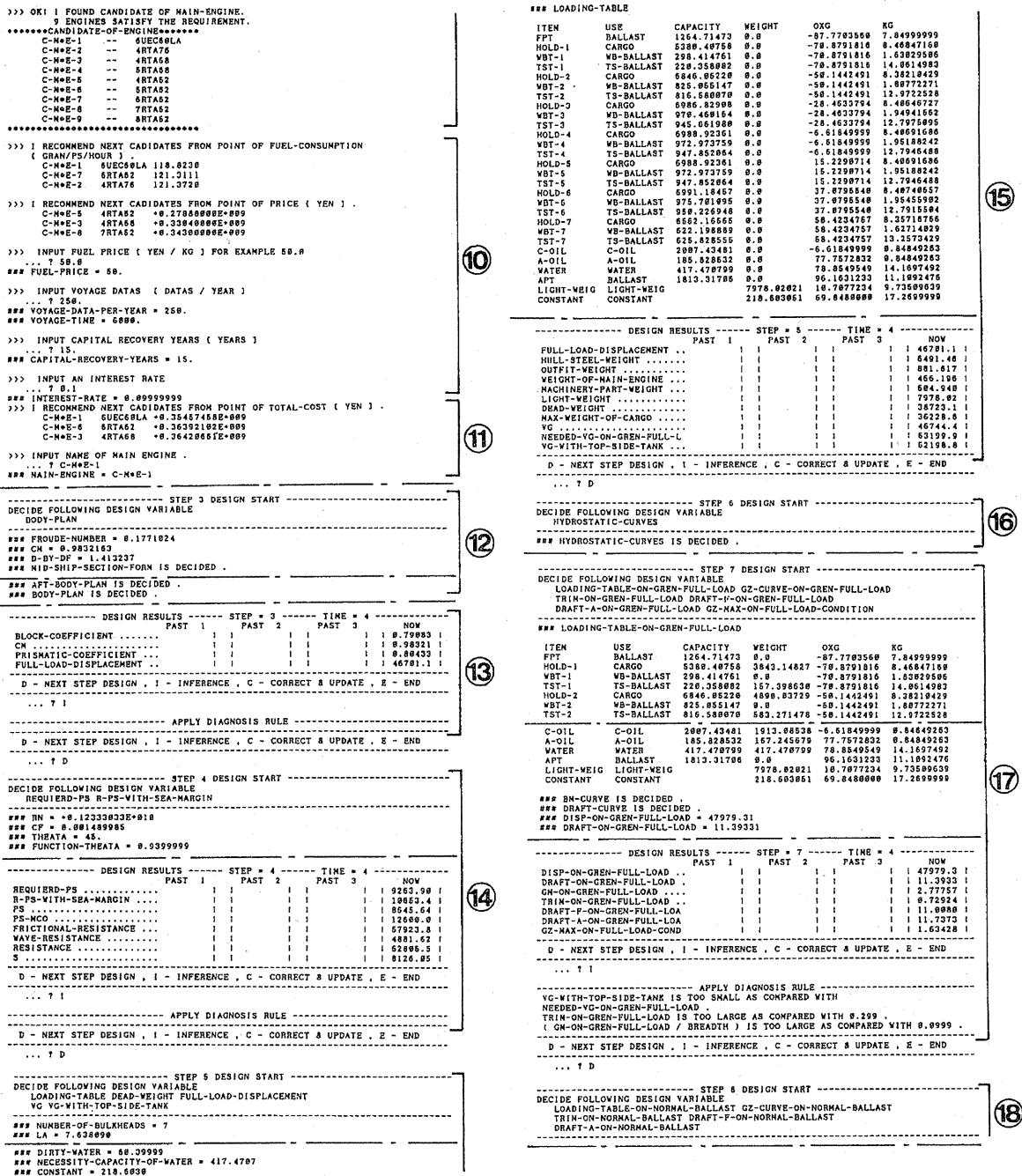


Fig. 10 Sequential representation of the design process for a bulk-carrier



次に、このようにして構成されたエキスパートシステムの実行例を示しながらその機能を説明する。

5.2 実行例とその処理内容

本実行例は、ばら積み貨物船の基本設計過程である。設計プロセスの一部を Fig. 10 に示すが、>>>がシステムからの応答、? はインプット、# # # はシステム中の処理結果である。Fig. 10 のプロセスの流れは次のようである。

① 設計条件の入力：

設計条件として要求 DW (38000 T)、航海速力 (14.9 Kt) を入力する。

② 概略主要目的決定 (STEP 0) :

① を満たす概略主要目として概略排水量 (46790 T)、長さ (187.38m)、幅 (27.15m)、深さ (15.22m)、満載吃水 (11.11m)を求めて返している。この概略値は、DW と V_s に対応する統計実績値をもとに富田¹⁵⁾

が作成した推定式をもとに求めた値である。推定式やデータはすべて各オブジェクト中に記述されている。

ここで、システムの中のルール知識を用いて診断を行い、問題がなければ次のステップに進む。

③概略諸要目の決定 (STEP 1) :

②に加えて、水線面積係数 (0.888)、満載時 GM 値 (2.63 m)などの諸要目の概略値が決定される。結果が“DESIGN RESULTS-STEP=1-TIME=1”として表に出力される。これらも統計実績値の推定式^{15)~17)}から定めたもので、各要目値はネットワーク処理にもとづいて連鎖的に算出されている。

ここで再び診断が行われる。診断の結果、「設計 DW 値が要求 DW 値に較べ小さくなるであろう」と、「トップサイドタンクを含めた貨物倉の容積が、グレン満載時の必要容積にくらべ不足するであろう」という問題点が示されている。このような診断は 4.2(2) のルールにもとづいて行われる。

④診断結果をもとに修正に入り、概略排水量と長さを修正したいことを入力する (1 次的修正)。

⑤まず概略排水量と長さに関連する項目がネットワークの連鎖により全部 DELETEされる (2 次的削除)。ここで概略排水量を $\Delta_F = 47990.4 \text{ T}$ にセットする。

⑥STEP 1 の諸要目が、ネットワークの連鎖によって再計算される (2 次的修正)。結果が表に STEP=1, TIME=2 として前回 (TIME=1) と対比して出力される。このとき 1 次的修正が行われた概略排水量の項目には、増加させたことを示すマーク C+ が付され、これに伴う増減 (2 次的修正) 項目には + または - のマークが付される。DW は 37832.6 T から 38704.7 T に増加している。ここで診断が行われる。診断結果は「トップサイドタンクを含むグレン容積がなお不足している」ことを示している。

⑦修正項目として今度は深さ D を選び $D = 15.7 \text{ m}$ を入力する。修正後の結果が STEP=1, TIME=3 として前 2 回の結果と対比して表示される。

⑧診断の結果、今度は問題なく DIAGNOSIS は出力されないが、ここで長さを $L = 191.0 \text{ m}$ と短縮してみる。3 回目の修正結果が TIME=4 として前 3 回の結果と対比して出力されている。

⑨STEP=2 として主機関の選定に入る。メーカーの指定は行わない。条件を満たす 9 種類の主機関候補が出力される。選定は、オブジェクトに入れられたカタログデータから出力と回転数が適合するものを検索することにより行われる。主機関選定のための設計知識もオブジェクトとして記述されている。

⑩上記 9 候補の中から燃費の低いものからベスト 3、さらに初期価格の安いものからベスト 3 の候補が示さ

れる。続いて、燃料費と資本費を合計した総コストの算定を行う。燃料価格、年間航海日数、償却年数、利率を入力し総コストを求める。

⑪総コストの低いものからベスト 3 が示され、最終的に C-M * E-1 番 (6 UEC 60 LA 型) が選定される。このような主機選定のプロセスの基本は別報⁸⁾で開発した手法によった。

⑫STEP=3 として船型線図の作成に入る。線図の作成は、ここでは専門家により提案された設計法¹⁹⁾²⁰⁾を基本として、次のようなオブジェクト処理に基づいて行う。

(i) C_b, C_w, l_{cb} などの諸係数値を理論的検討や実績データをもとに与える。

(ii) (i) で定めた諸係数をもとにプリズマ曲線、水線面形状 (満載時) などを定める。

(iii) 正面線図を作成する。このとき各断面形状がプリズマ曲線や幅などの条件を満たすように定める。このような処理手順では、手順自体が記述される必要はなく、すべてオブジェクト間のメッセージの送信により、(iii) の処理を行うためには (ii) が必要であり、(ii) のためには (i) が必要であるという関係を自動的にたどりながら後向きに実行される。なお、このような処理では、図形データを扱うことや数値演算が多いなどのために、各段階毎に FORTRAN プログラムを呼び出しながら行われる。作成された線図を Fig. 11 に示す。

⑬、⑭で作成された線図データをもとに C_b 、排水量などが再計算されて表示される。診断が行われるが、問題のないことが示される。

⑯ STEP=4 として推進抵抗の計算が行われ、表に摩擦抵抗値、造波抵抗値、全抵抗値、所要馬力などが表示される。

抵抗計算式には、⑬ の船型計画との関連からやはり

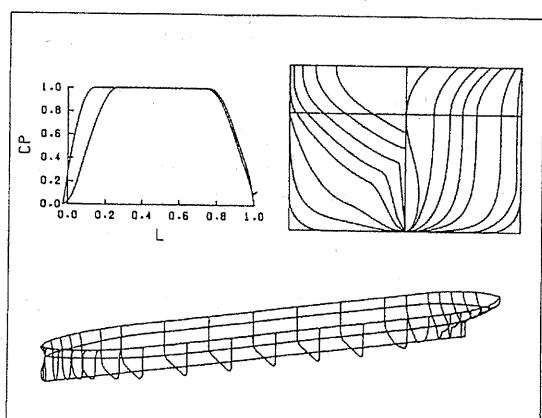


Fig. 11 Display of lines

塙による提案式¹⁹⁾²⁰⁾を用いることとし、摩擦抵抗計算は文献¹⁹⁾に、また造波抵抗計算は文献²⁰⁾によった。これらのは式は船型を表わすコントロールパラメータとの関連が明確であり、本システムのようなオブジェクト指向的な取扱いに適している。また、計算式中には線図データ等による積分計算などを含むが、これらは何れもFORTRANプログラムにより実行される。さらに、推進効率なども伴せて計算される。なお、この段階で、STEP=2で選んだ主機候補が再チェックされ、要すれば再選定することができる。

⑯ STEP = 5 では、主要配置の決定と各部重量の推定および載貨表の作成が行われる。主要配置では、貨物倉、燃料タンク、バラストタンク、機関室などを定める。このとき、実績値や法規の制約¹⁷⁾をもとに隔壁配置、中央断面形状が定められる。法規の制約などは、さらに、例えば、「貨物倉の長さが短かすぎる→倉口が小となり、グラブ荷役に支障」「倉長が長すぎる→二重底の強度に問題を生じる」などの経験則とともにルールとして表現され、設計結果の診断に用いられる。一方、FORTRAN プログラムを用いて容積計算が行われ、さらに LISP 関数により容積図の作成や載貨表の作成が行われる。配置図が作成されると図形表示される (Fig. 12)。

⑯ STEP= 6 では、排水量等曲線が線図データをもとに計算され、表示される(Fig. 13).

⑯ STEP=7 では、満載状態の横安定性とトリムス タビリティの検討が行われる。載貨表のデータによる 重量重心をもとにメタセンタ高さ、トリム、前後部吃 水が定められ、また GZ 曲線が計算される (Fig. 14).

これらの結果については、法規、経験則をもとにしたルール形知識によって診断が行われる。

⑯ STEP=8 では、同様にバラスト状態についての検討が行われる。

以上が、事例による実行例の一部の紹介である。設計は上記の手順で行われるが、設計知識のオブジェクト表現において、このような手順を意識する必要は全くなく、前述のようにオブジェクト間のメッセージ・パッシングにより自動的に設計処理が展開される。

6. 結 言

船舶の基本設計過程を支援するエキスパートシステムを開発した。設計過程をネットワークモデルとして構成し、具体的なコンピュータ処理方法として「オブジェクト指向」にもとづく知識表現を用いた。これによって基本設計過程をマン・マンインターラクティブにより柔軟に支援できるシステム構成が可能となった。開発されたシステムは大型コンピュータ ACOS 1000

上にUTILISP言語によりインプリメントされており、
次のような機能をもっている。

- 1) 基本設計諸項目の決定をネットワーク的つながりをもとに容易に操作することができ、ある項目を変

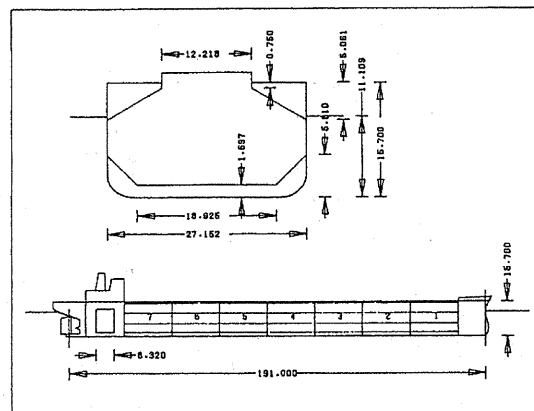


Fig. 12 Display of general arrangement

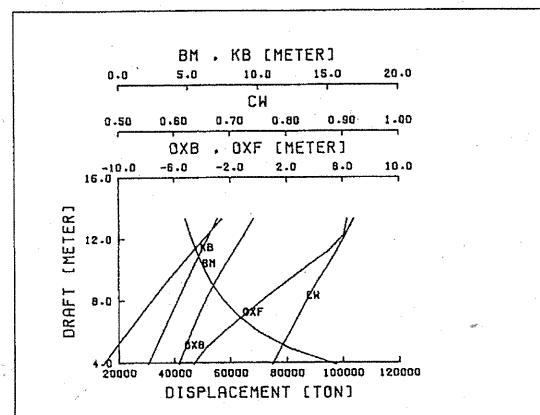


Fig. 13 Display of hydrostatic curves

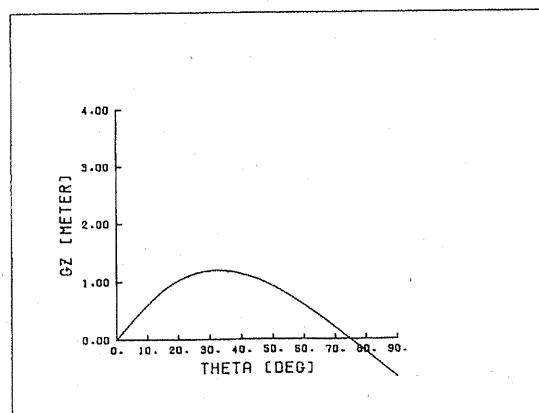


Fig. 14 Display of GZ curve

化させたとき関連項目が自動的に修正される。

2) 操作の過程で、設計経験知識や法規などのルール知識をもとに結果の評価、診断、修正の助言ができる。

3) 設計過程中で必要となる大規模数値計算や図形処理のためのFORTRANプログラム等との連係ができる。

4) 事例として、ばら積み貨物船の基本設計を実行しシステムの有効性を示した。

本システムは、さらに広範囲の造船設計に対するエキスパートシステム適用の足がかりを与えるものである。本システムの開発にあたり、三菱重工、神戸造船所の南波壯八氏、渡辺孝則氏には終始懇切なご助言を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日経コンピュータ(別冊)：AI(人工知能)実用化への夜明け、昭61.
- 2) 小山健夫：造船業におけるAI応用、日本機械学会誌89巻815号、昭61.10、p.1229.
- 3) 赤木新介：工学設計における知識工学の応用、大阪大学知識科学研究会 第3回資料、昭61.11、p.9.
- 4) 赤木新介、田中敏幸、窪西英俊、島本幸次郎、榎本隆一：AI技術を応用した船用動力プラントのエキスパートCADシステムの研究、日本機械学会論文集C編 53巻486号、昭62.2、p.512.
- 5) 赤木新介、田中敏幸、窪西英俊、島本幸次郎、榎本隆一：AI技術を応用した船用動力プラントのエキスパートCADシステムの研究(続報)日本機械学会論文集C編、53券、491号、昭和62.7、掲載予定
- 6) 赤木新介、藤田喜久雄：オブジェクト指向に基づく設計エキスパートシステムの研究、日本機械学会論文集C編投稿中。
- 7) 例えば、笠原協之：造船におけるシステム技術－基本設計の電算化・システム化、日本造船学会誌 641号、昭57.11、p.621.
- 8) 赤木新介：エンジニアリングシステム設計工学、昭57.7、p.141.
- 9) 赤木新介：最近の設計工学とその造船設計への応用、日本造船学会第10回夏季講座、昭59.9、p.1.
- 10) I.L.Buxton: Engineering Economics and Ship Design, BSRA Rep. 1971.
- 11) H.A.Simon: The Science of the Artificial, 1969. (高宮晋、稻葉元吉、吉原英樹訳:システムの科学、昭52.4、p.110)
- 12) K.J.MacCallum: Understanding Relationship in Marine System Design, Proc. 1st IM SDC, 1982, p.1.
- 13) 例えば、鈴木則久編：オブジェクト指向、昭60.
- 14) 例えば、P.H.Winston and B.K.P.Horn: LISP, 1981, (白井良明、安部憲広訳: LISP、昭57)
- 15) 富田哲次郎：船舶基本設計論、昭57.9、p.14.
- 16) 関西造船協会編：造船設計便覧(第3版)、昭51、p.460.
- 17) 教育テキスト研究会：商船設計の基礎知識(上巻)、昭52.12、p.217.
- 18) 赤木新介、藤田喜久雄、窪西英俊：プラント設計におけるエキスパートCADシステムの研究、日本機械学会論文集C編投稿中
- 19) 塙友雄：船型可分原理により助骨線形状を考慮した形状影響係数・自航要素推定法と船型設計法、関西造船協会誌 181、昭56.6、p.1.
- 20) 塙友雄：流体理論を応用するための船型設計コンセプト－船型可分思考と流体理論－、関西造船協会誌 185、昭57.6、p.177.

討論

[討論] 日本钢管株式会社 松本憲洋

造船設計に対し知識工学を適用する試みをお示しいただきましてありがとうございます。2件質問させていただきます。

- (1) 速力と馬力の関係はどのような形で取り込まれているのでしょうか。それとFortran言語で処理されている線図創造部分との関係を教えて下さい。
- (2) 最終結果は経済性も考慮して最適化されているのでしょうか。

[回答]

- (1) 本文中にも記載したように、抵抗計算式は、塙の提案式(文献19)20)によった。この式は、抵抗計算式中のパラメータと船型のコントロールパラメータの関連が明確であり、本システムのような取扱いに適している。
- (2) 本システムでは経済性計算は行っていないが、経済性評価式をオブジェクトとして追加することによって容易に扱うことが可能である。