

Title	プラント設計におけるエキスパートCADシステムの研究
Author(s)	赤木, 新介; 藤田, 喜久雄; 窪西, 英俊
Citation	日本機械学会論文集 C編. 54(497) P.228-P.233
Issue Date	1988-01
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/3457
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

プラント設計におけるエキスパートCADシステムの研究*

赤木新介*¹, 藤田喜久雄*¹, 窪西英俊*²

Building an Expert CAD System for Plant Design

Shinsuke AKAGI, Kikuo FUJITA and Hidetoshi KUBONISHI

An expert CAD system is developed for supporting the design process of engineering plants. The system is built following the general-purpose expert design system which has been developed by the authors. The design of engineering plants is characterized by selecting candidates for various machinery and equipment which compose the plants based on the experts' knowledge of plant design. In the system, the design knowledge is described in the form of object-oriented knowledge representations which can support the design process flexibly, and in a user-friendly way. The system also provides the hybrid functions with numerical computations and graphics, as well as AI techniques, by combining the system programmed with LISP and FORTRAN languages. Through the applications of the developed system to a marine-power design, it is ascertained that the system is effective as a design tool assisting designers.

Key Words : Design Engineering, Expert System, CAD, Plant Design

1. 緒言

知識工学が種々の分野で注目され、エキスパートシステムによる設計支援が検討されつつある⁽¹⁾。設計支援への知識工学の導入は、CADに対するあらたな飛躍のために魅力ある課題であり、著者らは、このような設計支援の試みとして、AI技術と数値計画法による最適化手法を統合したハイブリッド化にもとづく、船用動力プラントの設計を支援するシステム⁽²⁾⁽³⁾を開発した。一般にプラント設計の過程は、「①構成機器種類の選定」と「②それらの要目・運用の最適化」からなっている。上記のシステムは、設計手順や構成機器の選定知識をプロダクション・ルール、検索対象の機器データをフレームとして表現したプロダクション型のシステムであり、①をLISPによるAI手法で、②をFORTRANによる最適化手法で支援するものである。プラント設計計画の本質は、与えられた設計条件を満足する多様な機器の種類とその構成を多数のカタログ

データの中から検索する点にあり、このようなシステムは、「検索型」の問題⁽⁴⁾であると言える。

本研究では、このような検索型の問題をより容易に、より柔軟に支援できるように、著者らが別途開発したオブジェクト指向⁽⁵⁾を基本概念とする汎用設計知識処理システム⁽⁶⁾を用いて、プラント設計に対するエキスパートCADシステムを開発する。本システムの特徴は、検索型の設計を支援するために、上記システム⁽⁶⁾の機能を拡張した点にある。すなわち、設計知識と検索対象の機器データを分離し、オブジェクト指向に基づいて、知識を階層的に細分化して表現する。これにより、設計知識やデータ表現のモジュール性が向上し、モデリング過程やデータの入れ換えなども容易になり、柔軟性が向上する。さらに、最適化計算やプラントのレイアウト図の作画なども容易に呼び出すことができる。事例として、船用動力プラントの機器構成を取り上げ、本システムの有効性を検証する。

2. プラント設計におけるタスク

プラント設計の過程は、対象システムの基本構成からより詳細で具体的な構成機器の検索・決定へ、すな

* 昭和62年3月14日 関西支部第62期定時総会講演会において講演、原稿受付 昭和62年6月1日。

¹ 正員、大阪大学工学部 (〒565 吹田市山田丘2-1)。² 学生員、大阪大学大学院。

わち上位概念から下位概念へと進んでいく。また、この過程は、いくつかのタスクに分かれ、プラント設計の場合は、図1のようなになる。すなわち、

- (1) 構成機器の検索：設計要求を満足するプラントの構成方式を決定し、構成機器を検索する過程。
- (2) 機器規模・台数の決定：使用条件をもとに(1)の種類について規模や台数の組合せを定める過程。
- (3) 機器要目・運用の最適化：(2)で絞り込んだ規模と台数について、運用時の負荷の変化などを考慮し、燃費、初期コスト、総費用などの観点から最適なものを選定する過程。
- (4) 概略レイアウト図の作成：選定した機器の概略レイアウト図を作成する過程。

以上の過程に続いて、プラント設計では機器の配置や配管などが行われるが、この過程は検索型の問題とは性質が異なるため、別途研究を進める。

3. 知識表現の基本概念

オブジェクト指向に基づいたプラント設計に対する知識表現の基本概念を示す。

3.1 構成機器の選定に対するモデル 構成機器の選定過程は、あらかじめ用意されたカタログデータ中の機器を設計条件をもとにした知識にもとづいて検索を進めてゆくプロセスである。つまり、プラント構成機器の概念を上位概念から下位概念へと絞り込んでゆく過程である。ここでは、機器の属性を(インスタンス)変数として保持するオブジェクトとして表現し、概念上の階層関係をスーパークラス・サブクラスの関係⁽⁵⁾に対応させる。本エキスパートCADシステムの事例として取り上げる船用動力プラントを構成する主機関のカタログデータの階層関係を図2に示す。プラント設計における主機関の選定は、図のオブジェクトを上から下へと移りながら選定される。すなわち、方式、型式、・・・、候補の順に検索が行われる。例えば、型式がRTAと決定されれば、次の検索対象は、そのサブクラスであるRTA84, RTA78, ... となる。また、

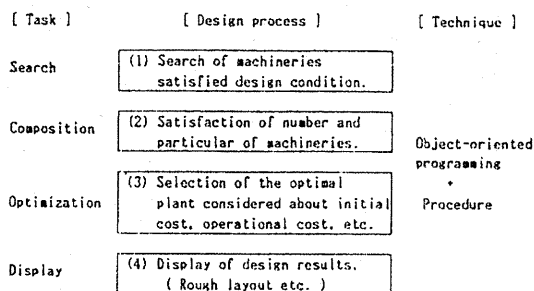


図1 プラント設計のプロセスとタスク

オブジェクト間の属性の継承により、機器属性の記述が簡潔になり、さらにオブジェクト表現のもつ高いモジュール性により、新しい機器データの追加や機器属性の変更に対しても容易に対応できるようになる。具体的なオブジェクトの記述は後述するが、プラントを構成する他の機器(ターボ発電機、ディーゼル発電機など)も同様に表現される。以後、この機器を表現したオブジェクトを、後出の設計オブジェクトと区別するためにデータオブジェクトと称する。

3.2 プラント全体構成に対するモデル 2章で述べたように、設計条件を満足する各機器が選定されると、プラントの全体構成が定まる。プラント全体構成に対しては、各構成機器候補の種類を(インスタンス)変数として保持するオブジェクトとして表現する(図3のObject(Plant))。これにより、例えば、図中に示されているPlant-1のD=Gの性質には、変数の値D=G-1を通して図3のデータオブジェクト中のD=G-1が保持する性能特性が受け継がれる。

プラントを構成する機器の検索は、以上のデータオブジェクトを操作しながら行われる。また、データオブジェクトは、各機器に固有な性能の計算式などの手続きをメソッドとして保持しており、検索の過程で適時、その手続きが起動される。

3.3 設計知識のオブジェクトモデル プラント構成機器候補の検索を行うための設計知識は、汎用システム⁽⁶⁾の設計知識表現の手法に従い、オブジェクト(以後、前述のデータオブジェクトと区別するために設計オブジェクトと称する)として表現する。この設計オブジェクトは、設計処理を細分化した各設計処理(設計パラメータ)に対応し、汎用システムが用意するクラスのインスタンスとして記述される。設計処理は、これらが互いにネットワーク状に連鎖しながら

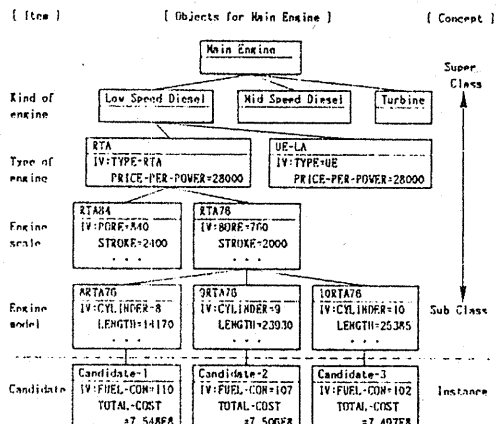


図2 機器データオブジェクトの表現とその階層関係

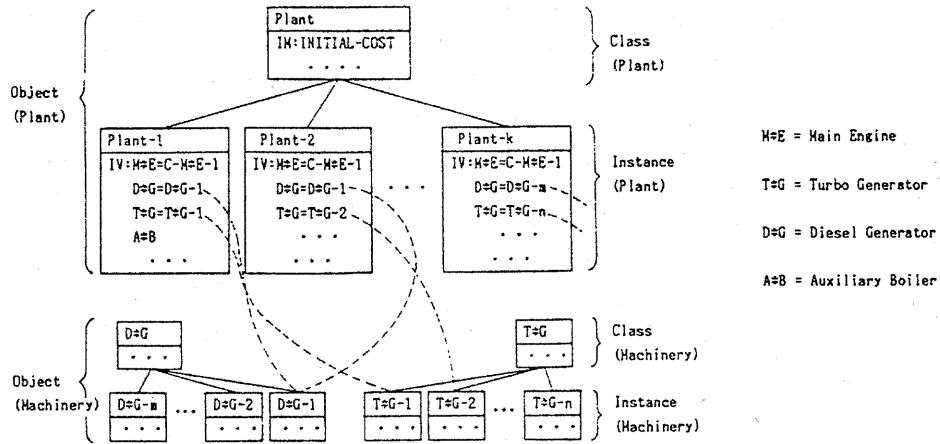


図3 プラント全体構成のデータオブジェクト表現

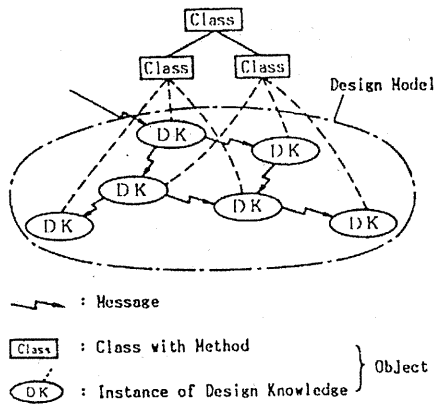


図4 設計知識のネットワークモデル

行われる⁽⁶⁾(図4)。すなわち、ある処理を行うために他の処理の結果が必要になるという関係に対応するネットワークは、汎用システムにより各処理を起動するメッセージが再帰的に送信されることにより、自動的に構成される。したがって、プラント設計システムとしては、各処理を設計オブジェクトとして独立に記述すればよく、設計知識のモジュール性が高くなり、知識の入れ換えなども容易になる。図5は、事例として取り上げる船用動力プラントの主機関選定過程における設計オブジェクトとデータオブジェクトとのこのような関連を示したものである。設計オブジェクトの記述は、後述(4・2節)するが、設計処理は、設計オブジェクトがデータオブジェクトに働きかけながら行われる。

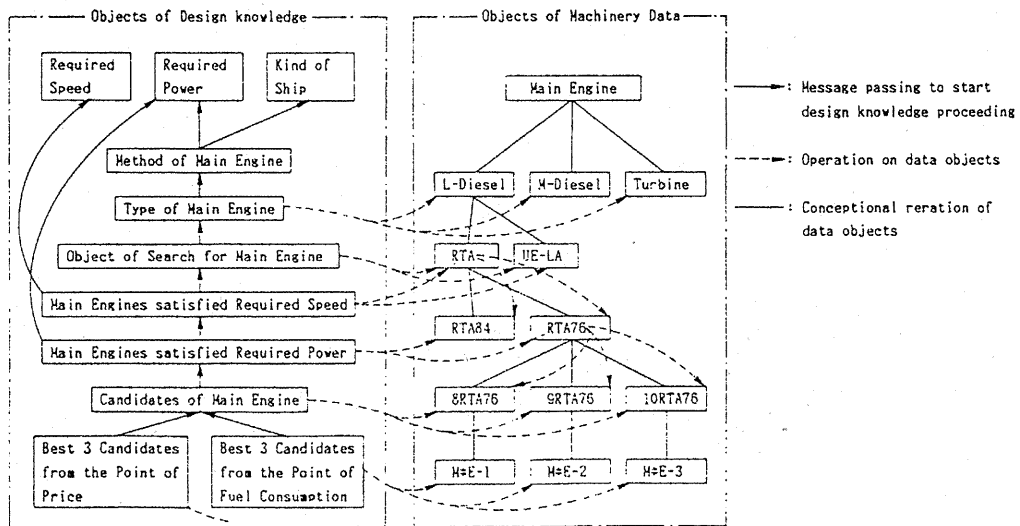


図5 設計オブジェクトとデータオブジェクトの関連

4. プラント設計エキスパートシステム

4.1 システムの構成 以上の知識表現にもとづくプラント設計エキスパートシステムの構成を図6に示す。システムは、①汎用設計知識処理システム⁽⁶⁾と②プラント設計に固有な知識ベースからなる。前者は、後者の知識ベースを操作し、ユーザとインタフェースをとりつつ設計処理を行う部分である。後者は、前述の設計オブジェクト、データオブジェクトのほか、設計プロセスの進行を管理するための述語、個別設計処理を記述したLISP関数、ならびに最適化計算や作画を行うFORTRANプログラムから構成される。①②のようなシステムの分離により、プラント設計用のシステムとしては、②の部分だけを記述すればよくなる。

4.2 プラント設計における知識表現 プラント設計における知識は、以下の形で表現される。

4.2.1 設計知識のオブジェクト表現と述語による設計プロセス管理 設計知識は前述のようにオブジェクトとして表現し、そのインスタンス変数(IV)であるPROCEDUREに、設計パラメータの決定手続きを記述する⁽⁶⁾。この手続きには、算術計算や論理演算、条件式、検索、LISPあるいはFORTRANによる外部プログラムの呼び出し、および知識ベースの操作などが記述できる。図7に具体的な設計オブジェクトの記述例を示す。これらは、事例の船用動力プラントにおけるものである。(a)は主機関の所要回転数に関するもので、手続きとして $V_s \neq 60 \pm 0.514 / (0.65 \pm d_f)$ という算術計算式が記述されている。この記述に従い、所要回転数を決定するときには、汎用システムの機能により、船の所要航海速度 (V_s) と吃水 (d_f) に対してその値を決定する処理を起動するメッセージが送信される。(b)は主機関の方式に関するもので、「船の種類がフェリーならば、中速ディーゼル、船の種類がタンカーかLNG船で、所要出力が55000PS以上であれば、タービン、所要出力が55000PS以下であれば、低速ディーゼルと

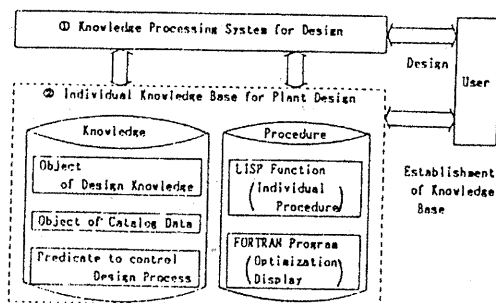


図6 システムの構成

する」というIF-THEN型の条件式が、手続きとして記述されている。(c)は所要回転数を満足する主機関の候補の検索に対するもので、手続きとして検索処理が記述されている。つまり、主機関の検索対象のデータオブジェクトのサブクラスのそれぞれに対して、メソッドCHECK-RPMを起動するメッセージを送信することにより、この検索処理が行われる。(d)は設計条件を満足する主機関候補の中で燃費率が低いベスト3を求める処理に関するものである。その他、種々の設計パラメータの決定手続きが同様に記述できる。

以上の設計オブジェクトの操作は、図1の設計プロセスの進行に対応して管理する必要があり、述語型知識表現を用いて、設計プロセスの各段階で何を決定し何を表示するかを記述しておくことにより、この管理が行われる。図8は、図1の設計プロセスに対応した述語の一部で、船用動力プラントに対するものである。

4.2.2 機器データ等のオブジェクト表現 検索対象の機器データもカタログ等より前述のようにオブジェクトとして表現する。図9に具体的な記述例を示す。(a)は、主機関候補の一つであるRTA86型に対応するものであり、そのスーパークラスがRTAであることのほか、その機器属性である主要寸法(ボアやストローク)、シリンダ当りの出力、回転数などがインスタンス変数(IV)に、シリンダ数が確定した時に機関全

```

(Instance (NAME RPM-RTA)
 (CLASS DM1)
 (IV (PROCEDURE ( R-VS-KNOT * 60 0 * 0.514 // ( 0.65 * DF ) ) ) ) )
)
(a)
(Instance (NAME TYPE-OF-MAIN-ENGINE T-ENGINE)
 (CLASS SHINA)
 (IV (PROCEDURE
 ( ( KIND-OF-SHIP * FERRY ) --> 'MID-SPEED-DIESEL
 ( ( KIND-OF-SHIP * TANKER
 ( ( KIND-OF-SHIP * LNG
 ( ( A * A-PS-MCO > 55000 ) --> 'TURBINE
 ( ( A-PS-MCO * 55000 ) --> 'LOW-SPEED-DIESEL
 ) ) )
)
(b)
(Instance (NAME CHECK-RPM-LIST-MFE)
 (CLASS DM1)
 (IV (PROCEDURE
 ( SATISFY ( SEND-MESSAGE *** 'GET-VALUE 'CM 'CHECK-RPM )
 ( OBJECT-OF-SEARCH ' SUBCLASS OF OBJECT-OF-SEARCH-MAE ) ) ) )
)
(c)
(Instance (NAME BEST-3-FUEL-CONSUMPTION-LIST-MFE BEST-3-NENPI-LIST-MFE)
 (CLASS DM1)
 (IV (PROCEDURE ( SELECT-BEST-N 3 ( FUEL-CONSUMPTION OF *** ) ) )
 (M (DISPLAY
 ( OBJECT-OF-SEARCH ' SATISFY-LIST-MFE )
 ( CALL DISPLAY-CAND
 ( ITEM FUEL-CONSUMPTION )
 ) ) )
)
(d)
    
```

図7 設計知識のオブジェクトの記述例

```

(PREDICATE INITIAL-DATA
 (STEP 0 KIND-OF-SHIP)
 (STEP 0 R-VS-KNOT)
 (STEP 0 DF)
 (STEP 0 A-PS-MCO)
 (STEP 1 MAIN-ENGINE)
 :
 (DISPLAY 0 KIND-OF-SHIP)
 (DISPLAY 0 R-VS-KNOT)
 (DISPLAY 0 DF)
 (DISPLAY 0 A-PS-MCO)
 (DISPLAY 1 A-PS-MCO)
 :
    
```

図8 設計プロセス管理のための述語

長を計算する手続きがインスタンスメソッド(IM)に記述されている。(b)は、あるディーゼル発電機に対応するもので、種々の機器属性のほか、機器特性がインスタンス変数に記述されている。(c)は、構成されるべきプラント候補のクラスのデータオブジェクトに対するものであり、初期コストや最適運転方策の決定を行うFORTRAN名の手続きがインスタンスメソッドに記述されている。(d)は、設計時に作成されるプラント候補の一例であり、このインスタンスのクラスがPLANT(図9(c))であることのほか、構成機器の種類をインスタンス変数に保持している。

4.3 プラント設計における処理 設計処理は、4.2.1項で示したオブジェクトに基づいて行われるが、このうちの代表的な処理である検索処理と最適化処理について説明する。

4.3.1 検索処理 プラントの設計条件を満足する機器を検索し、プラントの全体構成を求める処理は、3章で述べたように、階層構造を持つ機器データのオブジェクトに対して、設計知識から構成された設計オブジェクトが働きかけながら、だんだん検索対象を絞りこんでいくことにより行われる。そして、この時どのような順序で設計知識のオブジェクトを働かせるかという操作の管理は、図8のような述語によって行われる。例えば、次に述べる船用動力プラントの設計であれば、まず、主機関が検索選定され、ついで熱-

```

CLASS (NAME RTA75)
(SUPERCLASS RTA)
  IV (SCALE) 700 0
  IV (BROKE) 2200 0
  IV (SCALE) 75
  IV (SPEED) (R1 98 0) (R2 93 0) (R3 71 0) (R4 71 0)
  IV (FUEL-CONSUM) (R1 127 0) (R2 121 0) (R3 129 0) (R4 121 0)
  IV (FUEL-CONSUM) (R1 125 0) (R2 152 0) (R3 124 0) (R4 120 0)
  IV (RPM) (R1 18 93) (R2 92 9) (R3 16 83) (R4 12 83)
  IV (HEIGHT) 12580 0
  IV (WIDTH) 4180 0
  IV (CYLINDER-RANGE) (R1 2680 0) (R2 2020 0) (R3 2550 0) (R4 2020 0)
  IV (CYLINDER-RANGE) (R1 4 10 12)
  IV (LENGTH) (LAMBDA (N))
  IV (COND) ((LESTP N 9)
              (PLUS 8370 0
                    (TIMES 1450 0 (DIFFERENCE N 4)))
              (TIMES 1455 0 (DIFFERENCE N 4))))
  IV (PROPERTY) ((TIMES 1455 0 (DIFFERENCE N 4)))

```

(a)

```

CLASS (NAME DNG-TYPE2)
(SUPERCLASS DIESEL-GENERATOR)
  IV (SEARCH-DNG) (CALL SEARCH-DNG)
  IV (SCALE) 2
  IV (OUTPUT) ((LOWER-LIMIT 500 0) (UPPER-LIMIT 1000 0))
  IV (FUEL-CONSUMPTION) ((LOWER-LIMIT 3 8) (UPPER-LIMIT 300 0))
  IV (COEFFICIENT) ((C0 5 769) (C1 0 2123) (C2 0 0))
  IV (PROPERTY) ((LAMBDA (N))
                 (PLUS (TIMES 0 2123 N) 5 769))

```

(b)

```

CLASS (NAME PLANT)
  IV (INITIAL-COST) NIL
  IV (RUNNING-COST) NIL
  IV (TOTAL-COST) NIL
  IV (INITIAL-COST) (CALL CALCULATE-INITIAL-COST)
  IV (RUNNING-COST) (CALL CALCULATE-RUNNING-COST)
  IV (TOTAL-COST) (CALL CALCULATE-PLANT-TOTAL-COST)
  IV (DISPLAY-PLANT) (CALL DISPLAY-ARRANGEMENT)

```

(c)

```

(INSTANCE (NAME PLANT-106))
  IV (EXHAUST-GAS-ECONOMIZER) (E+E-CANDIDATE1)
  IV (SMALL-GENERATOR) (S+S-CANDIDATE1)
  IV (TURBO-GENERATOR) (T+G-CANDIDATE4)
  IV (AUXILIARY-BOILER) (A+B-CANDIDATE9)
  IV (DIESEL-GENERATOR) (D+G-CANDIDATE1)
  IV (INITIAL-COST) 0
  IV (NUMBER) 106
  IV (RUNNING-COST) (+ 52210513E+008)
  IV (TOTAL-COST) (+ 98155183E+009)

```

(d)

図9 機器データのオブジェクトの記述例

電力供給プラントを構成する各機器が検索選定されるという具合に進められる。このような一連の処理に対して、述語、設計オブジェクト、機器データオブジェクトの各知識表現が互いに連係して作用する。これによって設計プロセスが対話的に柔軟に処理されていく。さらに、このような検索過程では、次に述べるように燃費などの費用に対して最適化計算の処理が行われる。

4.3.2 最適化処理 例えば、事例の船用動力プラントの設計では、初期コストと燃料費の和の最適化が行われる。この場合、プラントを構成する機器は発電機やボイラなど多くの種類があるため、多数の機器の組合せの中から年間費用を最適化するプラントを選ぶためには、最適化計算により最適運転方策を決める必要があり、かなり複雑な処理を要する。

この最適運転方策の決定は、船の航海パターンやプラントの構成機器の特性を考慮しながら年間の総燃料費が最小になる運転方策を決定する問題であり、各機器の運転・停止を考慮する必要があるため、0-1整数変数を含む混合整数計画問題として定式化される⁽⁷⁾。このような処理を含む年間費用の最適化計算処理は、プラント候補のクラスオブジェクトの中にメソッドとして記述され、その中から混合整数計画問題を解くFORTRANプログラムが呼び出される。具体的には、図10のように、①プラント候補のクラスのインスタンスのそれぞれに対し、年間費用を決定するメソッドを起動するメッセージを送信する。②クラスから継承されるメソッドが最適運用方策を決定するメソッドを起動する。③インスタンス変数に記述された各機器の種類を通じ、それぞれの特性を参照し、④FORTRANプログラムに引き渡す。⑤混合整数計画問題を解く。⑥計算結果を受け取ることで、より行われる。

4.4 船用動力プラント設計への適用事例 本システムの適用事例として、既報⁽²⁾⁽³⁾で取り上げた

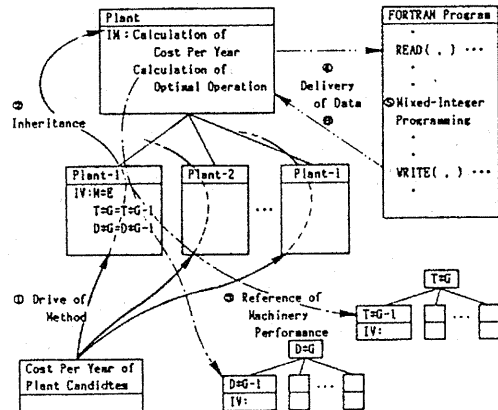


図10 最適化処理

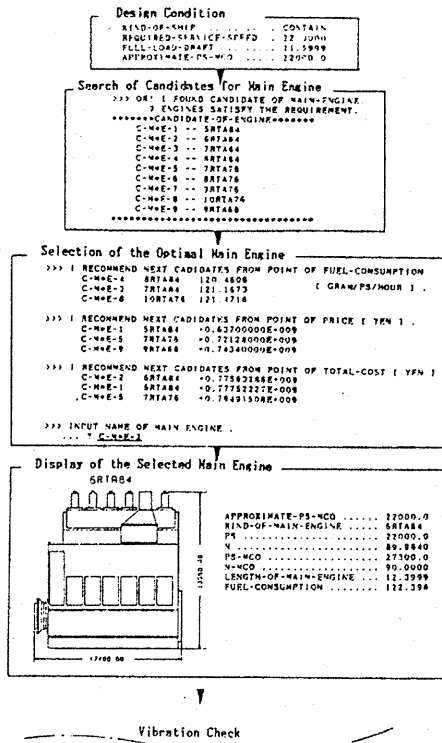


図 11 船用プラントの主機関の選定結果

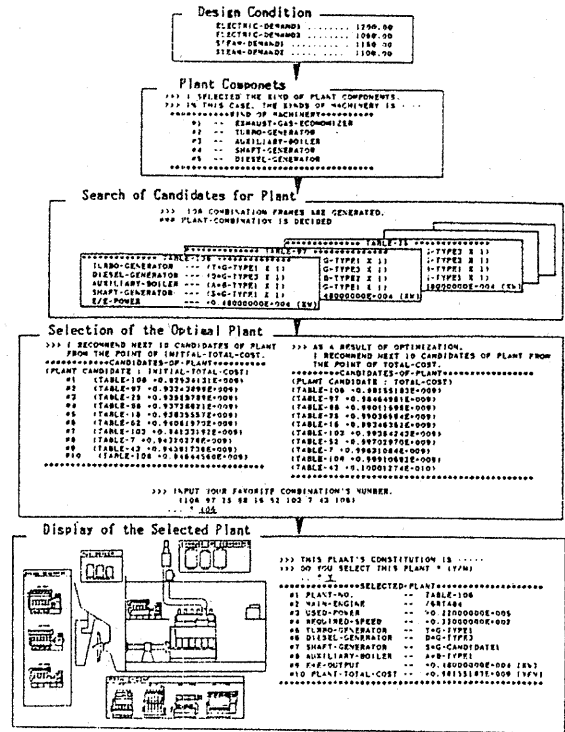


図 12 船用熱・電力供給プラントの設計結果

船用動力プラント設計への応用を示す。船用動力プラントは、船を推進するための主機関と熱や電力を供給するための補機から構成され、その設計プロセスは主機関と熱・電力供給プラントのそれぞれの設計過程に大別される。それぞれの設計結果を図11、図12に示す。図11の主機関選定では、設計条件である船の要目の把握、条件を満たす9種類の主機関候補の提示、それぞれ燃費、初期価格、総コストのベスト3の候補を提示の後、C-M#E-2を決定し、図示している。図12の熱・電力供給プラントの設計では、設計条件の電力と蒸気需要量の把握、構成機器種類の提示、機器の組合せによるプラント候補の作成、初期コストと総コストの観点からの候補の評価による最適なプラントの選定、選定された機器要目と概略レイアウトの図示の順で進行している。この際システムは、プラント運用時の最適化計算を行う最適化ルーチンや、プラントの概略レイアウト図を描くための図形処理ルーチンといったFORTRANプログラムを随時駆動し、設計を有効に支援している。

なお、本システムは、大型コンピュータACOS1000上のUTILISP言語により記述されている。

5. 結 言

汎用設計エキスパートシステム⁽⁶⁾を応用して、プラント設計に対するエキスパートCADシステムを開発し、事例として船用動力プラントの設計を取り上げ、その有効性を示した。本システムは、特定のプラント設計に対する知識やデータを、オブジェクトや手続きなどの形で知識ベースに表現しておくことにより、様々な設計を柔軟に支援することができ、機器データの追加や削除、属性の変更などに容易に対応できる。また、FORTRANプログラムによる手続き処理との融合により、最適化計算や作画などを実時間で行うことができ、プラント設計に対する強力な支援ツールとなっている。

今回導入した検索型問題に対する知識表現の手法は、プラント設計のみならず、種々のシステム設計に対しても有効であると考えられる。

文 献

- (1) Srinan, D., and Adex, R., et al., Applications of artificial Intelligence in Engineering Problem, I. II, 1st Int. Conf., (1986), Spring-Verlag.
- (2) 赤木ほか4名, 機論, 53-486, C (昭62), 512.
- (3) 赤木ほか4名, 機論, 53-491, C (昭62), 1622
- (4) 赤木, 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回研究会資料, (昭61), 9.
- (5) 例., 鈴木編, オブジェクト指向, (昭60), 共立出版.
- (6) 赤木, 藤田, 機論C編掲載予定.
- (7) 赤木, 藤山, 伊東, 機論52-476, C (昭61), 1469.