知識工学によるCADシステムの開発 (対象が簡単な場合の概念設計について)

伊藤 郁男**, 小野沢 孝夫***

An Intelligent Aspect of CAD for Mechanical Design (The Conceptual Design of Simple Object)

by Ikuo ITO and Takao ONOZAWA

An aim of the investigation is to take on an intelligent aspect of CAD (ICAD) for the mechanical design through all process from conceptual to detail even though the proposition of design is inputted semantically. First report as a preliminary study is, however, limited only in the conceptual design and in the case of simple object which has relatively low degree of freedom. ICAD in this report has carried out by means of applying so-called frame representation and production rules by which knowledges and controlling rules are activated. As an actual example coupling has been designed, and in that process, design shall be convergent and shall have an unique solution started from wherever inside the set which has the common top concept, for this instance, "torque transmission between shafts".

Key Words: Knowledge Engineering, CAD, Mechanical Design, Frame Representation, Production Rule, LISP.

1. ま え が き

CAMとともに発達したCADは、形状処理が中心であった。しかし新しいCADは、自由度の高い対象や意味内容へ進むであろう⁽¹⁾。具体的には知識工学の手法をかりて、知的CAD(ICAD)へ進むと予想される⁽²⁾⁽³⁾。筆者らは自由図か言語による入力に対し、人間の支援を得て、概念設計から出図までの一貫した自動設計を窮極の目的とするものであるが、第一段階として、言語入力に限り、かつ簡単な要素の概念設計のみを考える。例えば軸継手は形状がほぼ確定し、その概念設計は既知の離散値の組合せ選定にすぎない。このような簡単な対象へのICADの手法が、そのまま複雑な設計に利用できるかは不明である。この点を演えきに解明しようとする研究^{(4)~(6)}に対し、筆者らは場合を重ねて帰納的に解決する方法をとることにする。

ICADはCAD同様、人間が主体であることに変わりはないが、形式的には計算機が主体となり人間がこれを支援する。この支援度によりICADのレベルが決まるが、支援度が小さいほど、知識の抽象度が要求せ

られ、ローカルな知識を統括する上位概念が必要である。この点でも本報は中間(メタ)知識から出発する。

2. 基 本 方 針

2.1 設計における階層性 図1は設計活動の階層性を示し、専門家のメンタルな働きを模している。図中のPは概念構想を、Gは基本設計案Mに対する評価基準を、Uは設計知識の不足を示す。一つのMを選んだ結果は、(L-1)、(L-2)にフィードバックされる。(L-2)では知識として貯えられ、(L-1)ではGにかけて評価される。結果が不満足であれば、(L-3)に干渉してMを変更する。このサイクルの繰返しの結果まだ不満足であれば、Pを修正する。ICADが人間の支援を受けるためには、このプロセスをふむ必要がありPとGは随時人間から与えられ、代替案集合Mは知識ベースに貯えられる。

図1 設計作業における階層性

* 昭和60年4月1日 第62期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和59年10月24日。

** 正員、関西大学工学部 (〒564 吹田市山手町3丁目3-35)。

*** 関西大学大学院。

本報の内容は、(L-4) (詳細設計)を除いた設計プロセスにおいて、具体案 M を選定するまでを取扱い、表題では、これらを総称して概念設計と呼んだ。

2.2 ローカルでの一貫性 計算機との対話が成り立つためには、計算機が設計に関するメタ知識をもつ必要がある。メタ知識は知識獲得⁽⁹⁾にも必要で、これがないと軸継手の設計を通じて得た知識が他の設計に際して利用できない。

人間の支援を減らすためには、さらに上位の概念が必要で、例えば CD 理論⁽¹⁰⁾による図2のごときシステムが考えられる。対象が複雑になれば、人間による支援が頻繁となり、それを減らすためにはこのような方式によらねばならないであろう。しかし本報では局地的な範囲での手法の一貫性が保てること以外の上位知識は追求しない。

「軸継手の設計」なる命題が与えられた時、軸継手が属する小世界を知らなければならない。これは、「二軸間のトルク伝達機構」なる概念を意味し、メタ知識の一つである。そこで次の基本方針を設ける。

(1) 命題 X_{fi} と X_{fj} がともに上位概念 f をもつ時、設計作業は X_{fi} , X_{fj} および f のいずれからでも出発でき、その設計解は一意に定まること。

(2) メタ知識は、頂上概念 f の系列下の要素相互間の関係を教える知識で、ツリー構造をなす。

2.3 知識ベース 上記の方針によれば、知識はフレームで表現するのが便利である。そして各フレームは、直上の概念を表す AKO (a kind of), 直下の概念を示す VAR (variety), さらにそのフレームの置かれている設計環境を示す ENV, および力の伝ば経路を表す ROUTE の各スロットを常備し、さらに各フレームごとに独自の属性スロットを設ける。

X_{fi} が f 系のどの位置にあると、AKO を上にたどって f に達し、 f を返す。ユーザはこれにより入力が入正しく理解されていることを知る。またもし f を返すことに失敗すれば、 f までの路が切れていて、知識が

図2 スクリプト表現による自動設計プロセス

不足していることがわかる。別の命題 X_{fg} (歯車対やベルト伝動等) が与えられた時、同様に f が返されれば g は f の分岐であり、 i と g の関係が理解される。

ENV には、高価か安価か、JIS での汎用系列か、輸入か国産か等の性質が記入されていて、ユーザが部品や機構の選択を迫られた時の判断資料を提供する。後出の図4中にある (E-21), (E-22) 等はそれらの値を仮の記号で記入したものである。

ROUTE は力の伝達経路を示しているが、それをそのまま設計順序に置き換えて考える。専門家は無意識にこの順序で思考していると想像できるし、合理的である。これもメタ知識の一部を構成する。

2.4 プロダクションルール 設計手順に従い必要のつど、それに見合った知識をベースから呼び出し、 M を選択するためのルールが必要である。さらに設計の進行状況を把握、管理する情報 (作業記憶 WM) も必要である。そしてこれらには、少なくとも次の五つの状態変数を必要とする。すなわち、(1) GOAL; 思考目標のことで、そのとり得る値は、(a) Design, (b) Torque transmission, (c) Type decision (M の上, 下階層における種類の選定), (d) Process decision (設計順序の選定で ROUTE と同じ値), (e) Additional mechanism (力の伝達に直接携わらない部位の設計), (2) OBJECT; 現在の思考対象, (3) CANDIDATE; 選択回数に関する変数で、つぎの三つの値をとる。(a) Unique (代替案は一つ), (b) Plural (対案が複数個ある), (c) Decided (決定済み), (4) ROUTE, (5) SAFETY. WM の初期値は (GOAL DESIGN) と設定する。

2.5 マッチング 設計の進行過程で、ルールの条件部と WM の間にマッチングがとられる。この時の優先順位を、(1) GOAL の値が設計手順の中で下

図3 2軸間のトルク伝達機構の分類

位レベルにある時は、そのルールが、(2)同一レベルならば、ルール中の条件数が多いほうが、(3)それと同じであれば、使用頻度が多いルールが優先される。

3. 実行

図3に、 f が二軸間のトルク伝達である樹形図を、図4にそのフレーム表現の一部を示す。図5は、この段階までに必要としたルール群である。図6に、LISP関数の一つを例示しておく。

図7は、紙面の都合上、実行結果のごく一部のみを示したにすぎないが、図中のくゝは対話を、?くゝは人間からの入力である。

4. 結論

(1) 簡単な対象の一例として、フランジ継手と円筒継手の選定を行った。これらは「トルク伝達」なる上位概念をもつ。知識を追加すれば、プロダクションやLISP関数はほとんどそのままにして、歯車やベルト伝動機構の選択も可能である。すなわちこのシステムは知識の追加や削除の自由(モジュラリティ)をもっていて、設計対象の飛躍的拡大に有利である。

(2) 計算機は当然ながら、歯車や継手そのものの

```
(ON-THE-SAME-LINE
(AKO (VALUE (TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)))
(VARIETY (VALUE (COUPLING)))
(ENVIRONMENT (VALUE (ON-THE-SAME-LINE))))

(FLANGE-COUPLING
(AKO (VALUE (RIGID-COUPLING)))
(X1 (VALUE (BOSS) (FLANGE)))
(X2 (VALUE (FLANGE) (BOSS)))
(SAFETY (VALUE (RIM)))
(VARIETY (VALUE (COUPLING-BY-FRICTION)
(COUPLING-BY-SHEARING)))
(ENVIRONMENT (VALUE (E-21) (E-22))))

(COUPLING
(ROUTE-OF-ACTION (VALUE (D,S) (W1) (X1) (W2) (X2) (W3) (F,S)))
(D,S (VALUE (SHAFT)))
(F,S (VALUE (SHAFT)))
(W1 (VALUE (KEY)))
(W3 (VALUE (KEY)))
(VARIETY (VALUE (RIGID-COUPLING) (FLEXIBLE-COUPLING)))
(ENVIRONMENT (VALUE (E-14) (E-15)))
(AKO (VALUE (ON-THE-SAME-LINE))))

(RIGID-COUPLING
(AKO (VALUE (COUPLING)))
(VARIETY (VALUE (FLANGE-COUPLING) (CLYNDRICAL-COUPLING)))
(ENVIRONMENT (VALUE (E-16) (E-17))))

(COUPLING-BY-FRICTION
(AKO (VALUE (FLANGE-COUPLING)))
(W2 (VALUE (FLANGE-FRICTION)))
(ENVIRONMENT (VALUE (E-25) (E-26))))
(TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS
(VARIETY (VALUE (ON-THE-SAME-LINE)
(PARALLEL-LINES)
(NON-PARALLEL-LINES)))
(ENVIRONMENT (VALUE (E-1) (E-2) (E-3))))
```

図4 知識ベース(フレーム)の一部

具体的イメージは持っていない。しかし人間がイメージを持っている限り、設計順序の決定や幾何学的位置関係等を会話を通じて教えることにより、細部設計に

```
(R0 (GOAL DESIGN)
->
(*DEPOSIT (GOAL (*ASK-DETAIL))))
(R1 (GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
->
(*DEPOSIT (GOAL TYPE-DECISION)))
(R2 (GOAL TYPE-DECISION)
->
(*DEPOSIT (OBJECT
(*FBET-A TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS
VARIETY VALUE))))
(*DEPOSIT (CANDIDATES
(*DECIDE TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS
VARIETY VALUE))))
(R3 (GOAL TYPE-DECISION)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES PLURAL)
->
(*DELETE (OBJECT =X))
(*DEPOSIT (OBJECT (*ASK =X)))
(*DELETE (CANDIDATES PLURAL))
(*DEPOSIT (CANDIDATES UNIQUE)))
(R4 (GOAL TYPE-DECISION)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES UNIQUE)
->
(*DELETE (OBJECT =X))
(*DEPOSIT (OBJECT (*FBET-A =X VARIETY VALUE)))
(*DELETE (CANDIDATES UNIQUE))
(*DEPOSIT (CANDIDATES (*DECIDE =X VARIETY VALUE))))
(R5 (GOAL TYPE-DECISION)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES DECIDED)
->
(*DELETE (GOAL TYPE-DECISION)))
(R6 (GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES DECIDED)
->
(*DEPOSIT (GOAL PROCESS-DECISION)))
(R7 (GOAL PROCESS-DECISION)
(OBJECT =X)
->
(*DEPOSIT (ROUTE (*FBET-I =X ROUTE-OF-ACTION))))
(R8 (GOAL PROCESS-DECISION)
(OBJECT =X)
(ROUTE =Y)
->
(*DELETE (ROUTE =Y))
(*DEPOSIT (ROUTE (*SEARCH-TR =X =Y)))
(*DELETE (GOAL PROCESS-DECISION)))
(R9 (GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES DECIDED)
(ROUTE =Y)
->
(*DEPOSIT (GOAL ADDITIONAL-MECHANISM)))
(R10 (GOAL ADDITIONAL-MECHANISM)
(OBJECT =X)
->
(*DEPOSIT (SAFETY (*FBET-I =X SAFETY))))
(R11 (GOAL ADDITIONAL-MECHANISM)
(SAFETY =Z)
->
(*DELETE (GOAL ADDITIONAL-MECHANISM)))
(R12 (GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(OBJECT =X)
(CANDIDATES DECIDED)
(ROUTE =Y)
(SAFETY =Z)
->
(*HALT))
```

図5 プロダクションルール

```

(DEF ASK ()
  (PRINT '(PLEASE CHOOSE NUMBER IN THE FOLLOWINGS))
  (TERPRI)
  (PROG (NUMBER TYPE)
    (SETQ NUMBER 1)
    (SETQ TYPE =X)
    (SETQ A NIL)
    (SETQ PA NIL)
  )
  LOOP
  (SETQ A (APPEND A (LIST (LIST NUMBER (CAR TYPE))))))
  (SETQ PA (APPEND PA (LIST (LIST NUMBER
    (FGET (CAR TYPE) 'ENVIRONMENT
      'VALUE))))))
  (COND ((NULL (CDR TYPE))(RETURN A))
    (T (SETQ NUMBER (ADD1 NUMBER))
      (SETQ TYPE (CDR TYPE))))
  (GO LOOP))
  (PRINT PA)
  (SETQ B (L19READ))
  (SETQ C (ASSOC B A))
  (COND ((NULL C) (ASK))
    (T (SETQ F-INPUT-PATH
      (APPEND (REVERSE (CDR (FGETCLASSES
        F-INPUT)))
        (FGETCLASSES-V F-INPUT))))
      (COND ((MEMBER (CADR C) F-INPUT-PATH) (CADR C))
        (T (SETQ E (ASK-S))
          (COND ((EQUAL E 'Y) (SETQ F-INPUT
            (CADR C)))
            ((EQUAL E 'N) (ASK))))))))))

```

図 6 LISP 関数の一例

向けてそのまま続行が可能であり、引き続き研究中である。

(3) 複雑な設計や、人間との対話を減少させたいならば、CD 理論等に基づくさらにソフトな手法が必要であろう。

(4) 本研究では、電話回線を通じ大阪大学計算機センターの LISP 1.9 を使用した。

最後に、この研究に熱心に参画した関西大学学生の本谷浩、美能義照の両君に深甚なる謝意を表す。

文 献

- (1) 吉川, 第2回設計自動化工学講論, (昭59-6), 19.

```

(START)
**FIRE#R0
<WHAT ARE YOU GOING TO DESIGN? PLEASE INPUT IT>
? <COUPLING>
(GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(GOAL DESIGN))
**FIRE#R1
((GOAL TYPE-DECISION)
(GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(GOAL DESIGN))
**FIRE#R2
((CANDIDATES PLURAL)
(OBJECT (ON-THE-SAME-LINE PARALLEL-LINES
  NON-PARALLEL-LINES))
(GOAL TYPE-DECISION)
(GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(GOAL DESIGN))

```

Middle lines omitted.

```

**FIRE#R11
((SAFETY (RIM))
(ROUTE (SHAFT KEY BOSS FLANGE
  FLANGE-FRICTION FLANGE BOSS KEY SHAFT))
(CANDIDATES DECIDED)
(OBJECT COUPLING-BY-FRICTION)
(GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(GOAL DESIGN))
**FIRE#R12
((SAFETY (RIM))
(ROUTE (SHAFT KEY BOSS FLANGE
  FLANGE-FRICTION FLANGE BOSS KEY SHAFT))
(CANDIDATES DECIDED)
(OBJECT COUPLING-BY-FRICTION)
(GOAL TORQUE-TRANSMISSION-BETWEEN-SHAFTS)
(GOAL DESIGN))
***HALT

```

図 7 実行結果の一例 (フランジ継手の選択)

- (2) 久野・ほか2名, 第28回情報処理講論, (昭59前期), 1071.
- (3) 大須賀, 機誌, 87-790 (昭59), 982.
- (4) 吉川, 精機誌, 38-12 (昭47), 30.
- (5) 吉川, 精機誌, 45-8 (昭54), 20.
- (6) 吉川, 精機誌, 47-4 (昭56), 18.
- (7) 吉川・ほか2名, 精機誌, 47-7 (昭56), 46.
- (8) 富山・吉川, 精機誌, 49-4 (昭58), 27.
- (9) 田中, 知識工学, (昭59), 103, 朝倉書店.
- (10) 安西・佐伯・難波, LISP で学ぶ認知心理学, 2 (昭57), 163, 東大出版会.