ネットワークによる仕様充足問題解決の一方法*

岸 義 樹**

An Approach to Specification Satisfaction by Network Based Method

Yoshiki KISHI

This paper describes a method of specification satisfaction, which is a kind of inverse problem solving, aiming to reason values of design variables of a hydraulic robot arm from given specifications of work area variables. Information representation for the aim is based on a network composed of nodes, which mean terms of each mathematical expression included in constraints to satisfy specifications, and arcs which connect terms with their mathematical expressions. Therefore, nodes and arcs make a bidirectional structure of constraints network between work area variables and design variables. The solution process has two phases. One is modification propagation employing linear approximation. It gradually modifies values of design variables in inverse from specifications of work area variables on the network. The other calculates values of work area variables regularly using the modified values of design variables. The two are repeated by turns till all the values of work area variables reach their specifications within given errors. A system by this method is programmed in Prolog and applied to real problems. As a result, the validity of the method is confirmed.

Key words: specifications satisfaction, constraint-oriented logic programming, network, Prolog, coupling symbolic and numerical computing, inverse problem solving

1. 緒 言

価値感多様化や高度化した製造技術などへ対応するために設計品質の向上が指摘され、知的なCADシステムの開発や導入が盛んである。しかし、設計は、知識や経験、直観等の人間が獲得した高度な知的能力への依存が大きいことを認識しなければならない。したがって、知的に振舞うCADシステム構築には、設計における人間の知的活動をモデル化する必要がある。

特に、概念設計は、要求仕様の設計可能性を扱うため、知的活動の高度な統合モデルを必要とするが、モデルの作成には設計の直接的経験や疑似体験が基礎となる。そのため、筆者は、スケッチ図入力装置¹⁾、鍛金加工装置²⁾、レーザーグラフィックデバイス³⁾等の設計・試作や油圧ショベルフロント部に代表される大型油圧アームの設計シミュレーション⁴⁾を基に、概念設計における知能統合モデルの一つとして、設計アイデアを探索する発想、発想と設計情報の論理的整合を図る知識、論理情報と形状を融合する概形からなる知能形設計支援モデルを明らかにしてきた⁵⁾⁶⁾。

しかし、知識から概形への設計値受渡しはデフォルト値を多く利用しており、設計意図を活かすことが困難であった。この問題を解決するためには、知識と概形の間に、知識を概形に翻訳する拘束条件を扱う段階が必要である⁷⁾。この部分を解析と定義する。

解析は、知識を拘束条件に翻訳する制約生成、仕様と拘束条件から設計値を導く仕様充足と二者に分けられる。本報は、後者、仕様充足の基本システム構成と大型油圧アーム設計への適用により、システムの有効性を検証する⁸⁾。そのため、まず、仕様充足問題の考え方を明らかにして、次に、非線形拘束条件がある大型油圧アーム設計を基礎とした汎用的仕様充足モデルの提案を行い、最後に、モデルに基づいて構築したシステムを実データに適用して、有効性を検討する。

2. 仕様充足問題へのアプローチ

2.1 仕様充足問題について

仕様が与えられた変数（仕様変数）と拘束条件知識（非線形式やルール）から寸法や位置等の変数（設計変数）の値を導く問題は逆問題の一つとされ、設計では試行錯誤による逆問題解決が現在まで主であった。しかし、計算機の著しい性能向上に伴い、その計算パワーを利用し逆問題を解く試みが盛んである⁹⁾。本研

* 原稿受付 平成2年8月29日。1990年度精密工学会春季大会学術講演会（平成2年3月28日）にて発表

** 正 会 員 製品科学研究所（つくば市東1-1-4）

究では上記の問題を「仕様充足」問題と呼んでおく。

仕様充足問題は、一般に、仕様変数と設計変数の制約を表す等式及び不等式拘束条件や計算手順、仕様、設計変数の初期値が必要とされる。これらには個別問題固有の特徴が伴うが、大形油圧アームについては2.2節で述べる。このような特徴を持つ仕様充足問題を解くため、従来から種々の方法が行われている。

試行錯誤で計算する仕様充足は、拘束条件に出現する変数と仕様変数の相関関係を理解する必要がある。この関係に従って変数を修正し、仕様変数の計算値を仕様に近づけていく。そのため、熟練すると設計手順がノウハウとして蓄積されるが、ノウハウの明示的な知識化⁴⁾¹⁰⁾¹¹⁾は多大な労力を要する。

しかし、試行錯誤によって、仕様充足方式の改良や新方式の導入など、拘束条件の構造自体も再構成することができる。このようなプロセスは多重原理エキスパートシステム¹²⁾などで提案されているが、設計要求の理解にまで立ち返ってソフトウェア上で再構成を行うことは現状では困難である。

拘束条件の再構成までを含む問題を、「広義」の逆問題と定義しておくと、本節冒頭に述べた、拘束条件が既知である場合は「狭義」の逆問題とみなすことができる。この定義は、前章最後に述べた知識から解析、解析から概形に至る考察に対応する。

数理計画法¹³⁾等では計算方法が種々工夫されている。もし、適当な評価関数が構成できるなら、仕様充足問題は「最適化」問題と見なせる。しかし、複雑な拘束条件やデータベースの扱い、計算途中の値操作や複数仕様を同時に充足する評価関数の構成は困難で、インタラクティブ処理や知識処理も必要となる。そのため、SLPにおける逐次線形処理¹⁴⁾などの外に、例えば、直接に非線形問題を解くための数理計画法のランダム探索¹⁵⁾、多目的計画法¹⁵⁾、知識も利用した全数探索的方法¹⁶⁾などが注目されるが、全数探索法では、式の扱いに新しい知識が必要となる。

一方、プログラム手法的に見ると、仕様充足問題は制約論理プログラミング¹⁷⁾の一つとしても分類できる。この考えは、仕様充足問題を、拘束条件式が扱えるように拡張した論理を用いる知識処理と見なすことで、完全かつ健全な推論を与える。しかし、現在の制約論理プログラミングは非線形問題に対して強力な解法は与えてはいない¹⁸⁾¹⁹⁾。

また、拘束式間あるいは変数間関係の記述、処理という点から見ると、データフローに近いネットワークプログラミング²⁰⁾の手法が考えられる。この手法では、定性推論的な処理過程の追跡が可能であるが、逆

Fig. 1 Frame of specifications satisfaction

問題を直接解決するには、仕様変数により設計変数を計算する逆関数が用意されない限り困難である。

本報は、上に述べた方法の優れた性質である試行錯誤ルール、逐次線形化処理、論理推論、拘束条件のネットワーク記述を融合した方法の提案と、この方法の実際の設計問題への適用を図る。図1に仕様充足問題、逆問題に対する枠組を示す。

2.2 大形油圧アームにおける仕様充足問題の解決法

本報で対象とする大型油圧アームでは、上に述べた一般的特徴に加え、以下の諸点が伴う。

- 仕様許容誤差内への仕様変数計算値の追い込み
- 仕様変数（関数である）の区間性
- 計算途中における変数の丸めや最大・最小問題
- 経験を基にした計算ノウハウの存在
- 社内規格など、データベースの利用

以上から、本報の問題解決には次項が必要である。

- [拘束表現] 推論向きの拘束条件の構成
- [推論機構] 変数修正の伝播を制御する論理
- [充足目標] 許容誤差内への仕様変数計算値の収束
- [メタ知識] 数式計算における試行錯誤ノウハウ

本報では、拘束条件にある数式の各項をネットワークに展開し、逐次線形近似と汎用的な試行錯誤規則の適用により変数修正と伝播を行って仕様を充足する論理プログラム、ネットワーク・スペシフィケーション・ソルバ (NSS)⁸⁾の原理を提案し、大形油圧アームの実際の設計問題で検証する。逐次線形近似の概念はSLPに近いが、NSSは並列処理²¹⁾や拘束条件の定性的な知識処理への結合を目指している。

設計変数は、図2に示すバケット先端で設定される大形油圧アームの最大作業仕様（高さ、半径、深さ、力）から導かれる部材接続のピン位置 ($x(11)$, z

Fig. 2 Outline of hydraulic large-scale arm

(11) 等, 油圧シリンダ長・径・圧である。なお, 現システムは計算途中の変数値丸めは扱っていない。

3. 大形油圧アームを基にした仕様充足基本モデル

3.1 ネットワークの表現

モデルに現れる情報は以下の通りである。

- (1) 仕様変数 (仕様が与えられる変数)
- (2) 設計変数 (初期値が自由に設定できる独立変数)
- (3) 隠れ変数 ((2) から (1) を導く変数)
- (4) 変数に関する知識
- (5) 仕様変数に与えた仕様 (中心値及び許容誤差)

(6) 設計変数の初期値, 前回及び今回試行の計算値

(7) 各変数間の等式拘束条件式とその参照関係

(8) 変数値近似しきい値

(9) 変数値修正, 伝播ルール

(10) 各変数間の不等式拘束条件式

(11) 学習ないし記憶された変数の修正履歴

(12) 仕様充足に必要な変数集合間の包含関係

上述の情報はネットワーク, データベース及びロジックプログラムで記述されている。

ネットワークはノードとアークで表現する。ノードは変数を表しフレーム形式で記述するが, 現在は人手でデータを作成している。アークは等式拘束条件のノード参照関係を表し, ポインタとしてノードに記述する。図3にネットワーク記述例の一部を示す。

node_name は (1)~(3) の変数名を保持し, node_name によりすべてのノードはアクセスされる。

inherit_key, value_range 及び forced_value は (4) に関する情報である。複数の仕様変数から異なった値を持つように利用されるノードは, 仕様変数ごとに inherit_key を探索キーとしてノード定義が行われる。また, forced_value は設計者が指定した値を強制的に設定することを意味する。なお, value_range は変数の取り得る最大, 最小値を保持している。

spec_value は (5) に関する情報であり, 仕様変数の仕様値, 正側及び負側許容誤差の3項組からなる。

initial_value, old_value, new_value は (6) に関

representations	explanations
node_name(e6).	node name of this node which represents the length from ① pin to ⑫ pin in Fig. 2
inherit_key([]).	spec node name which controls modification propagation of this node([] by default)
node_switch([]).	original expressions of activation condition for this node([] by default)
original_form(sqrt((x(11)-x(12))**2+(z(11)-z(12))**2)).	original expression of equality constraint(x(*) and z(*) are the pin coordinate of *)
approximation_form([x(11), (x(11)-x(12))/e6], [z(11), (z(11)-z(12))/e6], [x(12), (x(12)-x(11))/e6], [z(12), (z(12)-z(11))/e6]).	list of the 1st-order partial differential expressions for approximation absolute x coordinate value of ① pin absolute z coordinate value of ① pin absolute x coordinate value of ⑫ pin absolute z coordinate value of ⑫ pin
parent_arc(c6, [q1, hmax], [q1, dmax]).	arc list to parents which quote this node
children_arc([x(11), RX11, WX11, KeyX11], [x(11), RZ11, WZ11, KeyZ11], [x(12), RX12, WX12, KeyX12], [z(12), RZ12, WZ12, KeyZ12]).	arc list to children which are for the equality constraint R** is a value of the 1st-order partial differential expression of a child node (..... is inferred at each satisfaction trial, and same in below) W** is an arc weight to associate each arc (not used) Key*** are indexes to search in the network (the data of 'inherit_key' by default)
switch_arc([]).	arcs to nodes which are included in conditions of the 'node_switch'
spec_value([], [], []).	list of nominal spec value, +error and -error ([] except spec nodes)
old_value([]).	value by the last satisfaction trial according to the 'original_form'
new_value([], []).	value and spec name by the current trial according to the 'approximation_form'
node_threshold(0.05).	limit ratio to modify the old_value (0.05 by default)
initial_value([]).	initial value of this node
value_range([], []).	upper and lower limit of value of this node ([] by default)
forced_value([]).	value for this node to be set forcibly ([] by default)

Fig. 3 Representation of nodes and arcs

連する。initial_value は非線形拘束条件式（原式）の初期値を与え、設計変数に定義される。old_value は原式の逐次近似式で全設計変数の近似値が決まった後、原式に従い算出される値である。new_value は近似値を与えた仕様変数名と近似値からなる。

node_switch, original_form, approximation_form は (7) に関する情報である。node_switch は等式拘束条件式が成立条件を有する時のノード参照の切り替え、例えば、図 3 のノードが $e6 > 1000.0$ で成立するならば larger_than (e6, 1000.0) で表す。original_form は等式拘束条件式を表し、approximation_form はその一次偏微分係数を変数ごとに表している。拘束式は一次偏微分係数と変数の積の総和として一次近似される。

更に、拘束関係は、parent_arc, children_arc 及び switch_arc によりアーク情報として表す。parent_arc は children_arc を参照して定義できる。hmax, dmax は inherit_key 指示付き探索を示す。children_arc は、approximation_form に現れる子ノード（変数）名、修正ごとに逐次算出される子ノードの一次偏微分係数値、子ノードの連想値、探索キーの 4 項組からなるが、子ノード連想値は将来の拡張項で、現在は使用していない。switch_arc は node_switch に現れる変数のアークを保持し、ノード名と探索キーの 2 項組からなる。

node_threshold は (8) に関する情報で、その値は 1 回の推論終了ごとに、修正ルールで自動設定される。

(9) は論理であり、(10)~(12) はデータベースに保持する。共に、K-Prolog²²⁾ で記述する。

3.2 仕様充足モデルの主要機能

以下、モデルが有する主要機能の概略を述べる。

拘束条件の扱い 等式拘束条件は二重に表現する。一つは実際の非線形拘束条件を表す原式、他は一次近似式である。一次近似式は変数の近似値の推論に、原式は全設計変数の値を推論した後、仕様変数及び隠れ変数の正確な値を計算する。図 4 に等式拘束条件のネットワーク構成例を示す。

不等式拘束条件 はデータベースに保持する。不等式拘束条件は、それが含む変数の出現ごとに呼び出され、ネットワーク上で必要な変数修正を行いつつ、条件の成立が検証される。真なら修正値を採用、偽なら修正は失敗する。現モデルは多重呼び出しができない。

変数修正と修正伝播 変数修正は一次近似式で推論するが、原式との誤差を抑えるため充足過程ごとに自

Fig. 4 Example of network structure

動決定する近似しきい値内で行う。充足過程は、仕様変数の仕様からの誤差を初期修正量とし、変数値の推論に必要な他の子ノードに、ネットワーク上で修正を伝播する。伝播先ノードは、設定された近似しきい値内で処理できる新しい修正量を、更にもう他のノードに伝播する。ノードは伝播された修正量の中で処理不能な量を伝播元ノードに返す。仕様変数にまで返された処理不能量は棄却される。また、1 回の充足過程において、修正量が決定された変数は、それ以降に伝播を受けると、伝播された修正量自体を伝播元ノードに返す。

伝播先ノード選択順と修正量割当ては、大形油圧アーム設計ノウハウの一部を推論向きに以下のごとく一般化する。修正可能性が大きく子アークの少ない順に伝播先ノードをソートし、その先頭から、①他の仕様変数と独立な要素をソート順に、②過去の修正比が小さい要素順（同一修正比ならソート順）に 1 個ずつノードを選び、伝播修正量中の未処理量を割り当てる。

充足の評価 修正伝播は仕様変数ごとに行い、修正伝播が可能な設計変数ノードの値がすべて決まった後、原式で正確な値を再計算する。仕様変数の値が仕様の許容誤差内ならその仕様変数は充足したとし、誤差外なら充足過程を繰り返す。図 5 に近似と再計算による 1 回の充足過程、図 6 にノードにおける修正伝播と不等式拘束条件処理の概要を示す。

効率的な充足過程の発見 数値計画法は各種の効率的計算手法を持つが、本法は修正変数と伝播経路発見の効率的ヒューリスティクスが必要である。

伝播経路発見では、仕様変数ごとにアクセス可能な変数とその経路集合が抽出される。仕様変数充足順は

Fig. 5 Principle of 1 cycle satisfaction

Fig. 6 Principle of modification propagation

前述の一般化ノウハウを現在用いている。しかし、集合包含関係から、他の仕様変数に独立な推論経路を持つ仕様変数は後回しにする等の充足順序知識が自動的に獲得できるが、方法の一般化には至っていない。

修正伝播では、修正すべき変数ノード発見に関し、大きな修正を受けた変数の選択が誘因する既充足仕様変数の修正を抑えるため、各変数の初期値に対する修正履歴をデータベースに学習、保持している。推論途中で既充足仕様変数が仕様を逸脱すれば、学習した履歴を使い、その仕様変数から再度推論を繰り返す。

4. システムの実装と実験

4.1 システムの実装

前章で述べたモデルに従い仕様充足システムを作成した。図7がその概略処理フローで、①～⑪の処理を行うが、モデルの各機能が各処理に直接対応するわけではない。以下、各々の概略を述べる。

- ① ネットワーク定義・生成 図3に示したネットワーク情報を定義あるいは生成する。現在は、仕様変数計算に必要な情報から人手により作成している。
- ② ネットワーク読み込み ノード、アーク及び不等式拘束条件等の情報を読み込み、推論環境を整える。

Fig. 7 Flow of experimental system

- ③ 仕様、初期値の設定 ユーザが与える仕様、ピン初期値を読み込み、推論初期情報を計算、設定する。
- ④ 効率的伝播経路の発見 他の仕様変数と独立な伝播経路など、推論効率化伝播経路を見つけておく。
- ⑤ 推論仕様変数の選択 目標仕様変数を選択する。現在は、設計経験に基づき選択順序を設定している。
- ⑥ 仕様変数修正量の決定 ノードごとの近似式係数の逐次計算、修正ルールに従った変数の近似しきい値設定、及び伝播すべき仕様変数の修正量の決定を行う。
- ⑦ 修正伝播推論 伝播ルールから伝播先ノードと伝播修正量を決定して修正の伝播を行い、ノードの近似値 (new_value) を決定する。
- ⑧ 伝播終了試験 伝播が不能になれば、伝播に関する1回の推論が終了する。同時に、終了時の設計変数の new_value を old_value に書き移す。
- ⑨ 仕様変数充足試験 設計変数値と正規拘束式から隠れ変数と仕様変数の値を計算し、old_value と変数の修正履歴を更新する。仕様変数が未充足なら修正を繰り返す。
- ⑩ 既充足仕様変数の変動試験 既充足仕様変数が当該仕様変数の充足により仕様の許容範囲を逸脱したなら、逸脱した既充足仕様変数から再充足を行う。
- ⑪ 未充足仕様変数試験 全仕様変数の充足が完了したなら、仕様充足問題は解決されたこととする。この時点の old_value 値が充足結果である。

4.2 実データによる実験と若干の考察

approximation end.

Threshold is 0.05

No.13 depth error=0.052 070 932 98, value=6 640.052 071, spec=6 640.

No.13 radius error=-0.504 749 018 8, value=9 919.495 251, spec=9 920.

No.13 height error=-4.696 554 824, value=9 386.303 445, spec=9 390.

No.13 force error=10.089 826 1, value=10 710.089 83, spec=10 700.

Obtained radius is 9 919 under the spec of 9 920 by 1.

Obtained depth is 6 640 equal to the spec of 6 640 by 0.

Obtained height is 9 390 over the spec of 9 386 by 4.

Obtained force is 10 710 over the spec of 10 700 by 10.

Fig. 8 Example of satisfaction execution

Table 1 Example of experiment using real data

Init X	Z	Pin No.	Result		Init		Cyl. Length	Result	
			X	Z	max	min		max	min
1 480	0	①	1 466	0	3 010	1 755	boom	3 010	1 774
-75	430	②	-75	430	3 740	2 165	stick	3 740	2 164
0	0	③	0	0	2 600	1 580	bucket	2 600	1 580
2 907.6	0	④	2 872	208	Init		Others		Result
2 469.2	55.8	⑤	2 430	232	570		link		590
497.1	773.1	⑥	412	805	590		rod		579
-853.6	272.4	⑦	-870	210	280		bucket cyl. pr.		320
0	0	⑧	0	0	125		bucket cyl. dia.		115.9
5 673	0	⑨	5 718	0	Init		Specs, Value, Error		Result
2 993	1 188	⑩	2 689	1 180	9 830		radius, 9 920, ± 10		9 919
2 181	1 000	⑪	2 181	1 000	9 390		height, 9 386, ± 10		9 390
0	0	⑫	0	0	6 550		depth, 6 639, ± 10		6 640
70	1 697	abs.⑬	70	1 454	10 700		force, 10 700, ± 100		10 710
600	1 097	⑬	600	854					

(Cf. The units are kgf/cm² for 'pr.', kgf for 'force' and mm for others.)

仕様変数は2.2節に示した最大作業半径, 高さ, 深さ, 力で, 設計変数はピン位置, シリンダ長・径・圧である。図8に実行表示, 表1に初期値と充足値の一例を示す。結果は作図で妥当性を確かめている。なお, 仕様変数初期値は設計変数からの計算値である。

現在の性能は, SUN 4/260 C上のK-Prologコンパイラで5 000行, 推論時間は充足1回に100~150秒, データ数は約140ノード, 500アークである。データアクセスはassert等のコンパイラ外の方法を用いるため遅いが, システム最適化により改善は可能と考える。

一充足過程に修正値を得た変数はその過程で修正を以後受けなため, 一充足中の修正伝播は収束する。充足の収束性では, 実験によれば, 15%程度の仕様変更は収束するが, 一般的な充足収束性判別は困難で, 判別法の確立を今後要する。充足総回数の制限等は実用的判別法である。また, 本法は, その知見を主に油圧アーム設計で得たため, 構造の類似するリンク機構までは方法に大きな変更なく適用可能と判断する。目下, 光学計算³⁾への適用性も検討中である。

5. 結 言

仕様充足問題解決のため, ネットワーク・スペシフィケーション・ソルバー(NSS)を提案し, 大型油圧アーム設計への適用で有効性を確かめた。今後, 並列処理形充足法の検討と知識的数式処理²³⁾²⁴⁾を採用した発想から形状に至るデザイン・インテリジェンス⁷⁾の統合モデル実現を目指したい。

最後に, 資料を快くご提供いただいた(株)新キャタピラー三菱, (株)CSK 両社に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岸 義樹, 中島尚正, 北郷 薫: フリーハンドスケッチ図で表現された機械部品の計算機による認識, 昭和52年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1975) 295.
- 2) 岸 義樹: 工芸感性製品のCAD/CAM技術の現状と将来, 精密工学会誌, 55, 10 (1989) 1741.
- 3) 岸 義樹: Laser Graphic Deviceの研究, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(1986) 39, 41.
- 4) 萩野久子, 広瀬省三, 本沢昌三, 土橋稔美, 岸 義樹: 設計問題における逆問題へのAI技術の適用, 人工知能学会 SIG-KBS-9002 (1990) 59.
- 5) 岸 義樹: 設計智のモデリング, 1989年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1989) 3.
- 6) Y. Kishi: An Architecture of Design Intelligence Modeling for Creative Conceptual Design Processing, Preprints of the 3rd IFIP W. G. 5.2 Workshop on Intelligent CAD-Supplement Version, (1989) 48.
- 7) Y. Kishi: Towards Design Intelligence Modeling, Proc. of the MIT-JSME Workshop on Cooperative Product Development, (1989).
- 8) 岸 義樹: 仕様充足問題解決の一方法, 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990) 311.
- 9) 山岡則夫: 最適設計を目指す逆解析CAE, 日経メカニカル, 309 (1989. 10. 30) 18.
- 10) 赤木新介: 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), 54, 100 (1988) 1017.
- 11) 人工知能学会編: 特集「エキスパートシステム」, 人工知能学会誌, 3, 1 (1988) 8.
- 12) A. L. Elias: Computer-Aided Engineering: The AI Connection, Astronautics & Aeronautics, (7-8, 1983) 48.
- 13) 関根泰次: 数理計画法, 岩波書店, (1976).
- 14) 日本機械学会編: 構造・材料の最適設計, 技法堂出版, (1989).
- 15) 馬場則夫, 坂和正敏: 数理計画法入門, 共立出版, (1989).

- 16) 永沢俊郎, 吉居佳彦: Pro/ENGINEER と IMPAKT, コンピュートロール, 25 (1989) 118.
- 17) 横井俊夫, 相場 亮: 制約ロジック・プログラミング, 情報処理, 30, 1 (1989) 29.
- 18) 長沢 勲, 古川由美子, 荒巻重登: 論理プログラミングを基礎とした設計記述言語 ADL, 情報処理学会論文誌, 25, 4 (1984) 606.
- 19) N. Heintze, S. Michaylov & P. Stuckey: CLP and Some Electrical Engineering Problems, in: J.-L. Lassez (ed.): *Logic Programming*, The MIT Press, MA, (1987) 675.
- 20) 沼尾雅之: 制約プログラミング, コンピュートロール, 25 (1989) 27.
- 21) 岸 義樹: Parallel Prolog による問題解決の一方法, 1989 年度人工知能学会全国大会, (1989) 303.
- 22) ISAC 編: K-PROLOG user's manual, ISAC, (1988).
- 23) 岸 義樹: 知識依存型概念設計システムの研究, 精密工学会誌, 52, 8 (1986) 1412.
- 24) 岸 義樹: 形状の意味と構造に関する推論方法の基礎研究, 製品科学研究所研究報告, 110 (1988) 41.

情 報

マイクロマシン技術の開発・活発化

通産省では平成3年度から10か年計画で総額約250億円を投じて大型プロジェクトとして標記の開発を進める予定である。

ところで、マイクロマシンは医療、バイオテクノロジーを始め、微細な加工・組立、半導体製造などの広い分野で、これまで不可能とされていた微小スケール領域での各種作業を実現しようというものである。最大でも1cm³ほどの微小な機械に、集積度および密度の高い運動機構を搭載した、いわばマイクロロボットである。

この研究開発を大型プロとして進めるに当たり、通産省では国際協力へ向けた「インターナショナル」、関係省庁との連携を図る「インターエージェンシー」、境界領域を制限しない「インターディシプリナリー」という

三つの「I」を基本方針に打ち出している。

研究開発の内容は、①極微細メカニカルデバイス技術、②微小センサ・制御回路などの要素技術、③システム技術、④計測・評価技術、⑤支援技術、⑥トータルシステムの研究開発——といった6つの項目があげられている。

これらはいずれも、応用製品に対する共通要素技術となっている。

この大型プロに対して、わが国では日本産業用ロボット工業会内に「マイクロロボット研究開発動向調査専門委員会」を設置し、有識者とともに20数社の企業が参画し、産官学共同体で臨んでいる。しかも参画企業は、ロボット、半導体、医療機器メーカーなど広範囲な業種にわたっており、マイクロマシン技術の関心の高さをうかがうことができる。

一方、海外では米国の場合、カリフォルニア大学バークレー校(UCB)やマサチューセッツ工科大学(MIT)などが、表面マイクロマシンング法の研究を進めている。このほか、ATTベル研究所では、ICプロセスを用いて基板上でXY方向の移動と回転の3自由度を持つ並列リンク機構を開発した。こうした活動に対し、米国科学財団(NSF)は全面的に支援している。

また、欧州でもドイツのフラウンホーファー研究所やベルリン工科大学、オランダのトゥエンテ大学など、各国の研究機関や大学でマイクロマシンに関する施設がつけられつつあり、ECや各国政府が積極的にこれを援助している。

マイクロマシン技術に関し、米国では半導体マイクロマシンングが進んでいるが、微細機械加工と応用を目指した生産技術ではわが国が優位に立っている。一方、欧州はセンサ分野の研究が盛んであるが、アクチュエータの開発が遅れている。こうした状況から、日米欧を中心とした国際協力をベースにこれを展開していくことは開発の効率性はもとより、大型プロの国際化を一段と推し進め、技術開発のグローバル化の進展に大きく貢献していくことになる。(服部 敏夫)

マイクロマシン技術の研究開発内容

	項 目	内 容
(1)	極微細メカニカルデバイス技術	マイクロマシンが必要とする微小寸法の機構・機能要素の構造、材料とその加工法、集積法、エネルギー供給法を開発し、各種メカニカルデバイスの製作を可能とする技術開発
(2)	微小センサ・制御回路などの要素技術	マイクロマシンに搭載する微小センサ、微小制御回路などの極めて微小な電子デバイスの作成に必要な技術の開発
(3)	システム技術	微小機構における運動制御・操作技術などの開発
(4)	計測・評価技術	各種デバイスに関する計測法、評価法、極微細計測技術などの基礎研究
(5)	支援技術	(1)～(4)に必要な微小部品の潤滑法、超清浄環境技術、理論シミュレーションなどに関する基礎研究
(6)	トータルシステム研究開発	要素技術の高度化を図るとともに、トータルシステムとして実証用マイクロマシンを開発