線形構造条件式に基づく寸法整合システムの開発*

—HIMADES-1の応用機能(その1)—

北 嶋 克 寛** 小 口 琢 夫*** 吉 川 弘 之**

Development of Dimension Matching System
based on Linear Conditional Equation of
Machine Structure

—Applied Function of HIMADES-1 (1)—

Katsuhiko KITAJIMA, Takuo KOGUCHI
and Hiroyuki YOSHIKAWA

This study has been conducted in the stage of developing applied functions in machine design system HIMADES-1 whose basic functions were already reported. In the machine design system, the object of which is not only an individual part but a whole machine, it often occurs that after modifying a certain dimension of a part in some machine unit

other dimensions related latently to it should be modified simultaneously. This design activity is called as dimension matching in a broad sense. In the present paper, the dimension matching algorithm is introduced that is based on linear conditional equation of machine structure. The main part of this algorithm is automatical generation of the above equation, and the mathematical method to carry it out is mainly described. Finally, some examples of application to some units prove that the works of man side are extremely lightened.

Key words: CAD, HIMADES, dimension matching, structure model, network model, conditional equation, equation of dimension, loop matrix.

1. 緒 言

既報¹⁾で、機械を対象とする対話型の機械設計システム HIMADES-1 の構想と基本機能を報告した。本システムは単一部品の形状モデルとともに、基本設計の段階で必要とされる組立物(機械ユニット)の構造モデル¹⁾を階層的に整理された形でもつ点に特徴があるが、さらに各階層の標準モデルをデータベースとしてもつことにより、系統的な設計手段を設計者に与えることを目的としている。この手段はいくつかあるが、この中でシステムに要求される最も重要な機能は、標準モデルを基にして、その構造や寸法を変えつつ望みの対象物に変形させる修正機能である。この際、人が負担する作業を最小限に抑え、システム側でいかにこの修正機能を系統的に効率良く受けもたすかが重要な問題となる。

ところで、機械の寸法は個々独立に存在するのではなく、種々の要因から規定される関係式によって潜在的な拘束を受けている²⁾。要素の接合時の寸法整合や機械に組み込まれた部品の寸法修正(両者を合わせて広義の寸法整合と呼ぶ)を行う場合には、直接問題となる寸法を修正するだけでなく、この潜在的な関係式で拘束されているほかの寸法も同時に修正する必要がある。通常、人

はこのような関係式を考慮しながらほかの寸法も自分で修正していくが、本報で示す方法は、構造モデルに記述された寸法変数を接続関係の情報を利用して拾い出し、このような潜在的な関係式の一部を計算機の内部に明な形で自動的に発生させ、また任意の関係式を人が対話的に与えられる機能を追加することにより、修正問題を連立方程式の解法に帰着させようとするものである。

本研究はこのように、寸法整合問題が機械設計システムにおける重要な位置を占めるとの認識から、その問題を整理し、数学的な取扱いの基本的な方法と計算機用のアルゴリズムを開発することを目的とする。特に本報では、上記の関係式が線形(この意味は後述)となる場合に問題を限定し、種々のパターンの寸法整合問題が連立一次方程式の解法に帰着させられることを示し、その方程式の自動生成を中心とするアルゴリズムの概要を報告する。

2. 線形の場合の構造条件式

一般に、機械は面要素の接続関係を枝とするネットワークとして表現される¹⁾。機械部品が固有の寸法変数をもついくつかの体積素の接続で表現されているとすると、それら変数群と2体積素間の相対距離を表す変数群は、ネットワーク上の1つのループに着目することにより、幾何学的な制約から定まる関係式を構成する。このような関係式を構造条件式と呼び、非線形の場合及び時間変数(運動変数)を含む一般の構造条件式の概念を前

* 原稿受付 昭和57年9月27日。昭和56年度精機学会春季大会学術講演会(昭和56年3月27日)にて発表。

** 正 会 員 東京大学工学部(東京都文京区本郷7-3-1)

*** 学生会員 東京大学工学部(現、(株)日立製作所; 東京都千代田区丸の内1-5-1)

Where,

$$\begin{cases} a_{1x} = X_{s1} + X_{p12(3)} - X_{s2} \\ a_{2x} = X_{s2} + X_{p23(3)} - X_{s3} \\ a_{3x} = -X_{p43(1)} \\ a_{4x} = -X_{p14(1)} \end{cases}$$

X_{si} ; dimension of size
 $X_{pij(m)}$; dimension of relative position between V_i and V_j
 m ; mode which designates datum
 $m=1$ (between left sides), $m=2$ (between centers)
 $m=3$ (between right sides)

Fig. 1 A simple example in case where the conditional equation is linear

報²⁾で詳述した。特にこの中で、構造条件式が線形となる場合は式の扱いが代数的に行える利点があるので、非線形の場合とは別扱いした方が有利であることを述べた。

構造条件式が線形となるのは、図1のように寸法変数に回転変数を含まない構造（通常座標系に平行な構造）から成る場合である。ところでHIMADESにおける要素の結合法は各レベルとも面間の接続であるので、図1のような形状の部品はそれを構成する4つの体積素の大きさを表す寸法と体積素同士の相対距離を表す寸法として記述される。このように考えると、すべての寸法変数は各体積素の大きさを表す固有の寸法変数 $\{x_s\}$ と隣接する2体積素間の相対距離（向きも考慮）を表す寸法変数 $\{x_p\}$ で記述される*。このような計算機内での表現を意識した寸法を内部寸法と呼ぶ。一般に、寸法は機能的観点や加工上の問題から2つ以上の体積素にまたがって指定される場合があるが（これを外部寸法と呼ぶ）、これらは常に内部寸法の組に変換可能²⁾なので、以下で単に寸法と呼ぶ場合はこの内部寸法を意味することとする。なお、HIMADESではこのような内部寸法は構造モデルの上位の階層である機械構造モデルに記述され、図示などで必要となる幾何学情報が記述される下位の立体構造モデルは、それによって制御される点に特徴がある。

* x_p は基準面（点）の取り方により、いくつかのモードがある。詳しくは文献1), 2)を参照。

いま、ある機械構造物のネットワーク上の1つのループの1つの方向（たとえば x 方向）に着目すると、そこに含まれる内部寸法を $x_1, \dots, x_i$ とすると、

$$a_1x_1 + \dots + a_ix_i = 0 \quad (1)$$

なる構造条件式が成り立つ。たとえば、簡単な例として図1の場合では、一巡するベクトルに着目し、

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 0 \quad (2)$$

より、 x 方向に関しては、

$$x_{s1} + x_{p12(3)} + x_{p23(3)} - x_{s3}$$

$$- x_{p43(1)} - x_{p14(1)} = 0 \quad (3)$$

なる構造条件式が得られる。

一般に、連結なネットワーク上に m 個の独立なループと1つの方向に関して n 個の寸法変数が存在するとき、次式の連立一次方程式が形成される。

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = 0 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = 0 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = 0 \end{cases} \quad (4)$$

このとき、ネットワーク上の全寸法を D_A とし、1つの方向の構造条件式に含まれる寸法を D ($D < D_A$) とすると、式(4)の係数行列の形によって、 D が $D = \{D_1, \dots, D_k\}$ と互いに無関係な寸法群に分割される場合がある。すなわち、係数行列 $A = \{a_{ij}\}$ が

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & & 0 \\ & A_2 & \\ 0 & \ddots & \\ & & A_k \end{pmatrix} \quad (5)$$

となる場合である。これは、ネットワークの形が図2のようにいくつかのブロックから成る場合に生じる可能性があるが、構造が同じでも寸法変数の取り方により A の形が異なる場合があることに注意する必要がある（図2参照）。 A が式(5)の形になるときは、 $D_1, \dots, D_k$ に対応する式を別々の方程式群として扱えばよい。

このように構造に潜在的に存在する構造条件式は、一般に独立な式の数に比べ、寸法変数の数が多いのが普通である。すなわち、式(4)の係数行列が式(5)のようにならず共通の変数をもつとき、方程式のrank r (独立ならば $r=m$) は、 $r < n$ である。

寸法整合は、このような構造条件式をもとにして、次のような形で定式化される。

Fig. 2 An example in case where the network is divided into some blocks

3. 寸法整合

寸法整合ということばは、狭義では要素を結合したときに問題となる寸法同士を合わせる意味で用いられるが、ここでは、機械に組み込まれた部品の任意の寸法を変更したときに、それに関係するほかの寸法を自動的に修正することを広義の意味で寸法整合と呼ぶ。なお、ループをもたない単一部品の寸法修正は指定した寸法を修正すれば、後は接続の親子関係をもとに立体構造モデルを再構成するだけで一意の寸法修正が行われる¹⁾ので、ここでは扱わない。すなわち、(広義の)寸法整合とは、式(4)の構造条件式に含まれる寸法 D (係数行列が式(5)の形となる場合は $D_i (i=1, \dots, k)$) の中の既知の寸法変数群 $\{x_{\lambda_1}, \dots, x_{\lambda_r}\}$ から未知の寸法変数群 $\{x_{\lambda_{r+1}}, \dots, x_{\lambda_n}\}$ を定める問題である。このとき $i=n-r$ であれば、残りの寸法は自動的に定まる。しかし、一般に $i < n-r (i=1$ が最も多い) の場合を想定すると、構造条件式だけでは

方程式の数が不足することになる。したがって、一般に未知の寸法変数がすべて確定するためには、別の観点からの関係式が与えられる必要がある。これらは、外部寸法を内部寸法によって定義する関係式、機械部品の一般的性質に基づく関係式、任意に与えられる関係式及び構造条件式に含まれない寸法変数との間に成り立つ制約式²⁾などがある。このように構造条件式を含めて、未知の寸法変数を解くために必要なすべての関係式を総称して寸法方程式と呼ぶ。

寸法整合は、寸法方程式を解くことによって行われる点では共通であるが、次のような類型に分けて考えることができる。

(1) 二者間ループの寸法整合

図3(a)のように、軸と穴*のような局所的に成り立つループであり、内径=外径のような1つの構造条件

* データ上では、軸と穴の関係はループ表現されないが、その意味を考えて特別扱いをする。

Fig. 3 Classification of dimension matching in a broad sense

(a) Modification based on shaft-hole relation

(b) Dimension matching in a narrow sense

(c) Modification of a part which is restricted with components of upper level

式で規定されるものである。これは一方が定まれば他方が定まる最も簡単な寸法整合である。

(2) $n (> 2)$ 者間ループの寸法整合

(i) 狭義の寸法整合

図3(b)のように、決めるべき未知の寸法変数を指定して、それらをほかの既知の寸法変数から定める場合であり、要素の結合時の狭義の寸法整合に相当する。

(ii) ある寸法の修正がほかの寸法に波及する連動的修正

図3(c)のように、既知(変更する場合も含む)の寸法変数を指定して、残りの寸法変数を定める場合であり、すでに存在する構造内の一部の寸法を変更するときの修正法である。

以上の各類型は、すべて構造条件式に含まれる寸法変数から成る寸法方程式を解くことによって行われる。これを第一次寸法整合と呼ぶ。

これに対して、図4のように第一次寸法整合が終了した後、確定した寸法と構造条件式に含まれないほかの寸法間の関係式を利用して行う寸法整合を第二次寸法整合と呼ぶ。第二次寸法整合は、ここでは軸長と太さ、内径

と外径のように1対1の関係で与えられるものに限定しており、これを行うことは容易である。したがって、以下の寸法整合アルゴリズムでは、第一次寸法整合についての概要を示す。

4. 寸法整合のアルゴリズム

さて、前節までで定式化された寸法整合を計算機を用いてインタラクティブに行うアルゴリズムを示す。このアルゴリズムの中心部は、構造モデルに記述されている接続情報を頼りに寸法変数を拾い出し、構造条件式を計算機内に整理された形で自動生成するルーチンである。

4.1 構造条件式の自動生成

いま、注目する寸法変数が含まれる寸法の集合 D が存在する構成要素(固定

複合体、ユニット等自由に範囲を指定できる)を指定したとする。前述のように、一つの構造条件式は一つの原始ループによって規定される。したがって、構造条件式を自動生成するための第一ステップは、体積素のネットワークから独立な原始ループの組を見つけることである。HIMADESのデータ構造は、体積素の面間の接続関係を基本としており、データ構造から直接つぎのような接続行列を作成することは容易である。

$$C_v = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{木} & \text{補木} \\ k & l \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \cdots k \\ k+1 \cdots n \end{matrix} & \begin{matrix} \text{---} & \text{---} \\ \text{---} & \text{---} \end{matrix} \end{matrix} \quad (6)$$

これは、データ構造上で木(Tree)を探索することによって行われるが、この際、図5のようにデータの階層性を有効に利用し、まずユニット内の木を求め、次に固定複合体内の木を求め、…という手順によって探索が効率的に行われる。次に C_v の左の $k \times k$ の正方行列の逆行

Fig. 4 First and second dimension matching

Fig. 5 The way of searching the tree in the hierarchical network model

列を求め、それを左から乗ずることにより（または行に関する基本変形により）、次のような原始カットセット行列 C_V' が得られる。

$$C_V' = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k & l \\ N & k \end{bmatrix} \quad (7)$$

グラフ理論により、一般にカットセット行列 C とループ行列 L の間には、

$$CL^t = 0 \quad (8)$$

なる関係が成り立つので、(7), (8) 両式から、次のような

原始ループ行列 L_V が得られる。

$$L_V = \begin{bmatrix} k & l \\ N^t & \begin{matrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & \ddots \\ & & & & 1 \end{matrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ l \end{bmatrix} \quad (9)$$

以上で、 l 個の原始ループの組が得られるが、行に関する基本変形により任意のループ行列が得られる。

次に、得られたループ行列の各行のループに所属する各体積素の座標系の原点の位置を結ぶベクトルを考え、着目する方向の成分の和が 0 となるように、方程式を作成する。この際、ループを追う方向に注意しながら、各ベクトルの成分を寸法変数 x_s と $x_p(m)$ の式で表し、出現する寸法変数の順番を記憶しながら、その係数の表を作成していく。この際、2 番目以降のループに関しては、出現する寸法変数が新しいものであるかどうかを確認し、すでに出現したものであればその列に記述し、新たに出現したものであれば列を拡張していく。図 6 に 2 つのループから成る簡単な例について、この様子を示す。

このようにして得られた係数行列 A をもとに、以後の解法のために拡大係数行列 $\bar{A}$ の形で記憶する。すなわち、出現した寸法変数の数を n として、

$$\begin{bmatrix} l & n-l \\ A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (10)$$

About loop 1,

$$\begin{cases} a_{1x} = x_{p13}(1) \\ a_{2x} = x_{p35}(1) \\ a_{3x} = -x_{p25}(1) \\ a_{4x} = -x_{p12}(1) \end{cases}$$

First step

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{p13}(1) \\ x_{p35}(1) \\ x_{p25}(1) \\ x_{p12}(1) \end{bmatrix} = 0 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{extend}}$$

About loop 2,

$$\begin{cases} b_{1x} = x_{s1} + x_{p14}(3) - x_{s4} \\ b_{2x} = x_{s4} + x_{p45}(3) - x_{s5} \\ b_{3x} = -x_{p35}(1) \\ b_{4x} = -x_{p13}(1) \end{cases}$$

Second step

$$\begin{bmatrix} x_{p13}(1) \\ x_{p35}(1) \\ x_{p25}(1) \\ x_{p12}(1) \\ x_{s1} \\ x_{p14}(3) \\ x_{s4} \\ x_{p45}(3) \\ x_{s5} \end{bmatrix} = 0$$

Fig. 6 The way of generating coefficient matrix about a simple structure which has two volume-element loops

と表現しておく。各変数に対してさらにその意味を記述するエリアを用意し、表1のようなテーブルを作成する、以上の手順で構造条件式が計算機の中に作成される。

4.2 寸法方程式の生成と解法

さて、上の手順で生成された構造条件式に含まれる寸法変数 $D=\{x_1, \dots, x_n\}$ の中で、既知（修正する場合も含む）の変数群 $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_l}\}$ ($i < n-l$) が決まると、残りの $n-l-i$ 個の関係式が追加される必要があるが、説明の都合上 $i=1$ の場合で話を進める（複数の場合は、 $i=1$ の手順が繰り返されると考えればよい）。 x_i の値が既知である（初期値 a から b へ変更する場合も含む）とすると、 $x_i=b$ の関係式が式(10)の $l+1$ 番目に追加された後、掃出が行われ、式(10)は次のような形となる。

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & \\ & \ddots & & & & & & & \\ & & 1 & & & & & & \\ & & & \ddots & & & & & \\ & & & & 1 & & & & \\ & & & & & B & & & \\ & & & & & & b & & \\ & & & & & & & o & \\ & & & & & & & & o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (11)$$

この結果をもとに、係数行列の形から不定の変数を表示し、ほかの関係式の追加を人に促す。この際表示される変数の組は変数の順番に依存するが、数は常に不変（この場合 $n-l-1$ 個）である。人が与えられた入力方法によって線形の関係式を追加する度に掃出が行われ、同様の手順ですべての変数が確定するまで繰り返される。

4.3 構造モデルの再編成

以上の手順ですべての変数が確定した後、構造モデルの再編成が行われるが、この際、再編成された構造に干渉が生じないかの保証を行う必要がある。これには、2通りの方法がある。1つは、事前に人が変数間に拘束不

等式²⁾を与え、確定した各寸法をそれに代入し、満足しているかどうかを判定する方法である。もう1つは、確定した寸法をもとに構造モデルをいったん再編成した後、図示し、干渉の可能性のある要素同士に干渉チェックの機能を施す方法である。いずれかの方法により、データの完備性のチェックが行われる。

構造モデルの再編成を行うには、表1のテーブルを参照しながら更新された寸法変数について、機械構造モデルの所定の欄に記述されている初期値を更新された値に変更することによって行われる。この際、立体構造モデルは、上位の機械構造モデルに記述されている接続関係に基づき再編成が行われ、部品に対してはREC（再結合）¹⁾ルーチンが呼び出され、形状生成の演算が内部で

Table 1 The table where the meaning of the dimension is recorded

1 column	2 column	3 column	4 column	5 column
Flag (x_i or x_p ?)	Number of V-element	Type of dimension	Flag (unfixed or fixed?)	Initial value (unfixed) Fixed value
	Hierarchy (U, C, P) which the dimension belongs to.	Pointer to the area where the dimension is written.

Fig. 7 Piston as an example of complex

自動的に実行され, 新たな寸法に基づく立体構造モデルが再構成される. 以上で構造モデルの完全な更新が完成する.

5. 寸法整合の適用例

以上のアルゴリズムに基づく寸法整合の実例を以下に示す.

5.1 固定複合体の例

例として, 油圧シリンダのピストン部に3段階の寸法整合を適用したケースを取り上げる(図7).

1の過程は, ピストンロッドの外径を太くする修正コマンドを入力した例である. この円柱はループからの拘束を受けないので, 穴軸関係の小ループをたどり, それに接続する穴の内径を拡大し, 固定複合体を再編成する.

2の過程は, ピストンの外径を太くする修正コマンドを入力した例である. ピストンの外径はループからの拘束も穴軸関係も受けていないので, このままではこの外径だけが太くなる. そこで, ピストンの外径とピストンパッキンの外径が等しいという関係式を事前に入力しておくか, シリンダに組み込まれた状態で(すなわちユニットとして)修正コマンドを入力することにより, ピストンパッキンの外径も同時に太くなる.

3の過程は, ピストン部の長さを伸ばす修正コマンドを入力した例である. この場合は上の2つの例と異なり, ピストンロッド, ピストン及び2つのパッキンの間にループが存在し, 構造条件式が生成される. これにより, 1つの寸法(ここではピストンロッドの長さ)はほかの

Table 2 The result of comparing this method with other ones regarding the number of input commands

Method	Number of input commands
① New generation	54
② Modification of low level	12
③ Dimension matching	6 (4)

The number in parentheses is in the case when the relation of outside diameters between piston and piston-packing is given beforehand.

従属するが, 表示されたほかの寸法をそのままにするSAV(e)コマンドを入力することにより, ピストンの長さ及びロッドの長さが変更される.

以上の例からわかるように, 機械構造モデル上で変化する寸法の数が少なくても, 立体構造モデル上の幾何学情報(点の座標及び面の方程式等)は大きく変化するので, 寸法と立体構造モデルが有機的な関係をもつHIMADESの特徴が大きく生かされるのである. たとえば, 3の過程で変化する寸法は2つだけであるが, 右側のパッキン, ワッシャ及びロッド基部の位置が自動的に修正され, 立体構造モデルは大幅に変化している様子がわかる.

表2は, 本方法を用いて修正を施した場合とほかの方法による場合の入力コマンド数の比較結果を示したものである. ①は, 修正によらず, 修正後の寸法に等しい新たな別のピストンを生成する方法, ②は, 各体積素の大きさの変更や位置の移動を1つずつ人が低レベルの修正コマンド¹⁾を用いて修正していく方法である. これらに比べ, ③の本方法による修正は, 大幅に人の労力を軽減

Fig. 8 Gear box as an example of unit

することがわかる。

5.2 ユニットの例

例として、ギヤボックスに2段階の寸法整合を適用したケースを取り上げる(図8)。

1の過程は、軸の長さを縮める修正コマンドを入力した例である。図中のEXC RULE1等のコマンドは、端面合わせ(RULE1)、軸同士を中心合わせ(RULE2)、軸と穴の外径と内径を一致させる(RULE3)などの機械部品の一般的な性質に基づくマクロコマンドで、これらにかかわる寸法変数は定数としてみなされ、そのままの値が保たれ、変数の減少に寄与する。これを施した後の構造条件式の自由度は8となり、8つの自由な変数が表示される。SAVコマンドでそれらの値を元の値に保つことにより、残りの変数は自動的に定まり、値が更新され、(a)となる。

2の過程は、左のギヤの径を小さくする修正コマンドを入力した例である。4つの自由な変数が表示されるが、この後の作業の例として、2つの場合を示す。(b)は、表示された4つの変数を元の値に保たせた場合であり、(c)は、ギヤ比を入力して関係式を1つ追加し、残りの3つの変数を元の値にした場合である。

以上の例からわかるように、構造が複雑になりループ数が多くなるほど、本方法のメリットは発揮される。し

たがって、本手法は組立物のような部品間の接続の拘束を強く受ける機械の設計システム、特に寸法に関する設定値(デフォルト値)をもつ標準モデルをデータベースとする設計システムの重要な機能を担うものであることが実証されたい。

6. 結 言

本報は、HIMADES-1の重要な一機能である寸法整合の問題を整理し、構造条件式が線形となる場合について、理論的な定式化から具体的な実例に至るまでを、簡潔に示した。本システムはまだ試作の段階であり、実際面での応用の経験には乏しいが、このような寸法整合問題が今後の機械設計システムのテーマの1つの柱となり、また実際の応用面での強力な武器となりうることを示すことができた。本研究の成果を以下

にまとめる。

- (1) 組立物を含む機械ユニットを対象とする設計システムの重要な一機能を担う寸法整合問題を整理し、その理論的な定式化を行った。
- (2) (1)において基本的役割を担う構造条件式が線形となる場合に議論を限定し、構造条件式の自動生成の方法を中心とする数学的な手法及び計算機用のアルゴリズムの開発を行った。
- (3) 具体例に適用した結果、その有効性が明らかになり、人の作業を大きく軽減することを実証した。

本報では、構造条件式が線形となる場合に議論を限定したが、運動変数を含む一般の非線形の場合の寸法整合及び運動解析への応用などについては、次報で報告する予定である。なお本研究の一部は、文部省科学研究費奨励研究 575067 によるものである。

文 献

- 1) 北嶋克寛, 吉川弘之: 階層的ネットワークモデルに基づく対話型機械設計システム HIMADES-1 の開発, 精密機械, 47, 12 (1981) 1490.
- 2) 北嶋克寛, 吉川弘之: 機械のネットワークモデルに基づく運動及び寸法に関する統一的規則の研究, 精密機械, 48, 6 (1982) 764.