The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	運動形態マーカと空間セルを用いた機構システムの機能と配置の形態創成法
Author(s)	藤田, 喜久雄; 赤木, 新介; 福間, 直樹
Citation	日本機械学会論文集 C編. 2000, 66(642), p. 673-680
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3098
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

日本機械学会論文集 (C 編)
66 巻 642 号 (2000-2)

論文 No. 98-1756

運動形態マーカと空間セルを用いた機構システムの機能と配置の形態創成法 *

藤田　喜久雄 *1, 赤　木　新　介 *1, 福　間　直　樹 *2

A Configuration Synthesis Method of Mechanism Systems using Motion Marker Sequence and Planar Cells*

Kikuo FUJITA*3, Shinsuke AKAGI and Naoki FUKUMA

*3 *Osaka University, Dept. of Computer-Controlled Mechanical Systems, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan*

Mechanism synthesis problem is discussed with an example of configuration design of chain-type mechanisms. Mechanisms are system elements of various products which are composed of mechanical pairs. In the design process, the functional structure of mechanisms, i.e., sequential chains of pairs and the spatial configuration of them, i.e., arrangement and geometry are determined simultaneously. In this paper, we propose a method for simultaneously considering both issues for designing a certain level of practical mechanisms. The concepts of marker sequences and cell-based planar representation are introduced to manipulate a design through generating marker sequences, mapping between markers and cells, refining both of them, and embodying configuration and arrangement of mechanisms. Finally, an experimental computer system is applied to several design examples. This study leads the necessity of imaginary media for representing and computing the conceptual and configurational phases of design process.

Key Words : Mechanism Synthesis, Design Engineering, Conceptual Design, Configuration Design, Function Structure, Spatial Arrangement, Chain-Type Mechanisms, Marker and Cell

1　緒　言

各種の機械システムの設計においては，機能要求に対してシステムとしての機能構造を定めるとともに，個々のシステム要素の形態や形状をもとにシステム全体の空間的な配置構造を定める必要がある．このようなシステムの設計において，対象を表現したり，それに対応させて個別の設計内容を検討し評価したりする上での基準には，多階層で多領域にわたるものが含まれており，優れた設計を行うためには，相互の内容を適切に考慮しつつ設計を進める必要がある(1)．設計がある程度進展し，具体的な内容が明らかになりつつある段階においては，設計対象の内容を物理的な実体に対して比較的忠実なモデルを構成して，検討や評価を行うことも可能であるが，いわゆる概念設計や形態設計の段階は，どちらかといえば，そのようなモデルを構成する上での基盤となる内容を決定する段階であり，設計対象や設計知識の内容を明示的に表現することは容易ではない．このような内容は，上流段階での設計内容をコンピュータ化することが困難であるとされる主要な一因であると考えられる．

* 原稿受付 1999 年 11 月 25 日
*1 正員, 大阪大学大学院工学研究科 (〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1).
*2 正員, 日揮, (研究当時, 大阪大学大学院).
Email: fujita@mech.eng.osaka-u.ac.jp

本研究では，機構を連鎖的に連結することによって運動を伝達して，要素部品の位置を変更したり，何らかの仕事を行わせたりするメカニズムを「連結型運動伝達機構」と呼び，そのようなシステムの機能と配置の形態創成問題を想定問題として取り上げることにより，機械システムについての概念設計や形態設計の段階における設計対象の表現方法やそれに対応した設計シンセシスの方法を構成するための試案を展開する．具体的には，まず，運動形態マーカの導入による対象機構の抽象化とその空間セルへの割り付けを基本とした設計システムを構成して，その実行例を示す．その上で，機構システムに限らず，設計の上流段階に対するコンピュータ化を進める上での着眼点を指摘する．

2　機構設計における機能構造と配置形態との連成

2.1　機構設計における設計条件　機械システムにおける機構の役割は，第一義的には，何らかの運動や力を伝達することにより，システムを動作させたり，動作を制御したりすることにある．主要な設計条件はそのような基本機能に直接的に対応するものであるが，所要の目的を果たせるとともに，物理的な実在として実現可能なシステムを成立させるためには，その他の付随的な内容についての条件をも満足する必要がある．具体的には，以下のような各内容を考慮する

必要がある．

- 機構原理の組合せにおける主条件 ··· 原動節と従動節において規定されている運動形態を，中間節における機構のシーケンスが満足すること．
- 機構原理の組合せにおける付随条件 ··· そのようなシーケンスが，従動節における動作のタイミングや力の大きさなどの内容を制御できるようになっていること．
- 機構群の連係性 ··· 一入力多出力の機構などにおいては，各系統間の動作連係が適切に実現できること．
- 機構要素の空間配置条件 ··· 機構のシーケンスを構成する各要素が対象空間内に存在できること．これは動きを伴わない機器の配置とは異なるものであり，機構要素の運動領域についての条件やそれらの相互干渉についての条件なども含まれる．
- 機構システムの最適性 ··· 機構の全体構成がシンプルであるなど，最適性に関わる内容を満たしていること．

2.2 機能構造と空間配置の相互依存性 上記のような各種の条件を総合的に整理すると，配置条件を評価するためには，機構の動作原理と照らし合わせて機構要素列が定まっている必要があり，その一方で，機構要素列が配置可能であるためには，対象空間に適合している必要がある．そのため，例えば，従動節の位置を適合させるために機構要素列中に新しい要素を介在させるなどの，機構原理そのものに対する修正が必要となる場合を生じることにもなる．このことは，機構設計の問題を，単純に，システム構造に関わる概念設計，概略配置に関わる基本設計などからなる段階的なプロセスとして順序立てて分割することが不可能であり，両者の間には相互依存性が存在していて，機能構造に関する情報と空間配置に関する情報とが連成しており，それぞれを協調的に操作しながら設計を行うことが不可欠であることを示している．

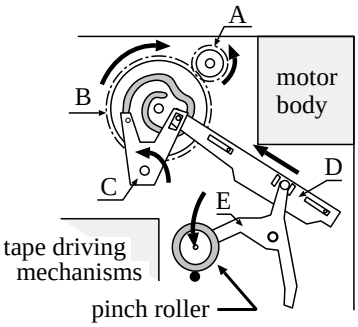
2.3 領域性と抽象度レベルへの対応 機能構造と空間配置はそれぞれに異なる領域 (discipline) に関するものであるが，両者が全体的な状況や部分的な状況に関して相互に依存しているとすれば，それぞれの内容を表現し形式化するためには，領域に加えて，全体や部分のそれぞれを適切に記述できる枠組が必要となる．機構を機能システムとして見た場合，連結型運動伝達機構においては，個別の機構鎖，それらを構成する個々の機構要素，さらに，要素の属性ともいえるそれぞれのサイズや寸法，などの各種の枠組が考えられる．一方，空間配置に関しても，全体としての概略配置から，個別要素の具体的な形状に関わる詳細配置に至るいくつかのレベルを想定することができる．これらは対象表現や設計操作における粒度 (granularity)[1]に関するものである．それらのうち，個別の機構要素の形状については，それぞれを幾何学的に正確に記述すれば厳密な表現や評価が可能である．しかし，例えば，全体としての概略配置やそれに対応するレベルでの機構システムの機能要素については，それらを簡潔に表現できる手段は一般的には存在しない．したがって，上述のような協調的な連成構造を明示的に処理するためには，特にコンピュータ処理のためには，それぞれの領域と抽象度のレベルに対応した人為的な記号化表現を導入し，それらのもとで設計操作を行ったり設計知識を記述したりする必要がある．

3 運動形態マーカと空間セルによる機構の表現

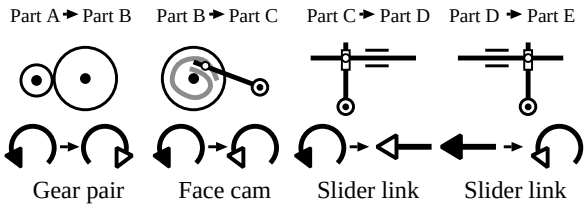
3.1 機構システムの抽象化表現 まず，上述のような視点による記号化表現を導入するに先だって，領域間や抽象度レベル間の関係が具体的にどのようなものであるかを考えてみることにする．

図 1は，あるビデオデッキのピンチローラ圧着機構に関して，その具体的な構成を機能構造と配置形態に関して抽象化を試みたものである．図中 (a) は具体的な機構における構成と配置を示したものである．機能に関しては，図中 (b) にも示すように， A の回転運動を歯車で減速した上で，カムを用いて従動節における動作タイミングや移動距離などを制御できるようにし， 2 つのスライダ・リンクを用いてそのような動作を従動節の存在する位置 E まで伝達している．この例の場合，機能的な要求に加えて，原動節と従動節の空間的な位置関係が，機構列の決定におけるひとつの支配因子となっている．一方，そのような機構要素の位置関係を考えた場合には，図中 (c) にも示すように，大局的な配置空間の分割によって生成される個別の小領域に対して機能的な要素を割り付けているとする理解を形成することが可能である．

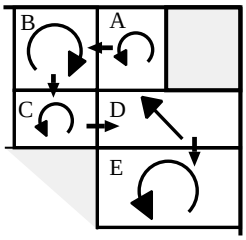
本研究では，まず，図 1(b) に対応させて，個別機構要素の基本的な機能と大まかなサイズを代表するシンボルとして「運動形態マーカ」なるものを導入し，それらの列により表現される機構全体を「マーカ・シーケンス」と呼ぶことにする．また，図 1(c) に対応させて，空間配置を概念的で定性的な形態情報レベルで操作するために，配置空間における小領域を仮説として矩形に限定した上で，それらを「空間セル」と呼ぶことにする．これらの表現方法の導入により，マーカ・シーケンスを生成し，また，マーカをセルに対して割



(a) Pinch roller mechanism



(b) Sequence of mechanism pairs



(c) Mechanism element arrangement on cells

Fig. 1 Functional structure and configurational arrangement of a mechanism

り付けることによって，設計対象を表現したり，設計操作を記述したりすることができるようになる．

なお，空間をセルに分割することは，プラントの機器配置[2]や配管処理[3]などにおいても行われており，その意義は，空間に関する本来は複雑な情報からそのレベルで処理しようとする内容に適合した本質的な内容のみを抽出することにより，効率的な情報処理を可能にすることにある．例えば，プラント設計において空間を矩形に分割することには，建屋の持つ性質からその合理性を見い出すことができるが，機構設計の場合には同等の合理性は明確ではないものの，本研究では，矩形に特有の簡潔性や効率性を優先して，セルによる表現を導入することにする．

3.2 運動形態マーカの意味 図 2は，上記の考え方に従って導入する運動形態マーカの種類を示したものである．マーカの導入にあたっては，まず，それらの持つ意味を以下の 3 つのレベルに分けて考え，上位のものを下位のものへと展開することによって設計の

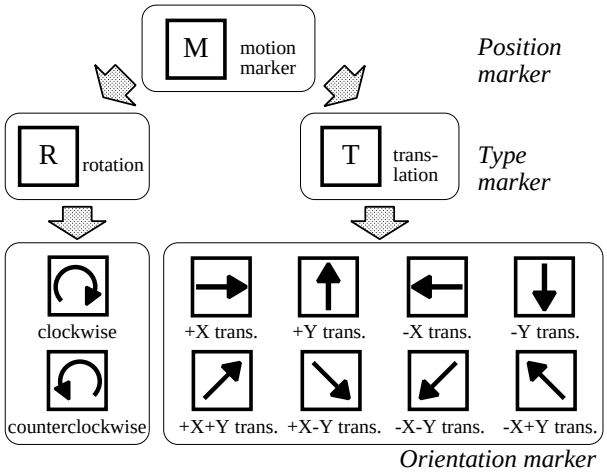


Fig. 2 Motion marker levels

詳細化を進めるものとして意味付ける．

位置 (position) ··· 機構要素の配置される位置を指し示すために，単に空間セルに割り付けられた状態のマーカ．

形式 (type) ··· セルに固定されたマーカの形成するシーケンスに基づいて，その位置での機構要素の機能，すなわち回転要素であるか並進要素であるかを特定したもの．

方位 (orientation) ··· さらに，シーケンスを構成するセル相互の位置関係を考慮して，相互の矛盾がないように機能要素の動作方位を特定したもの．

なお，空間セルの構成に関しては，このようなマーカのシーケンスとの適合性を考慮しつつ，再構成を繰り返すことにより適切なものを探索する必要がある．

3.3 マーカ・シーケンスの持つ意味 連結型運動伝達機構においては，原動節から従動節に至る各機構対のそれぞれにおいて，運動形態をいずれかの点で変更したり，運動そのものの存在する位置を移送したりすることにより，目的の機能を達成している．

(1) 運動機能の定性的表現 そのような機能を設計するには，前述のように表現や処理に適合したレベルの導入が必要であり，加えて，機能と形態との協調性を処理するには，図 2に示したマーカとセルによる配置上の意味に適合した機能に関する意味付けを導入する必要がある．そこで，機構要素や機構システムの機能における概念的な意味[4]を表現するために，以下のような定性的な機能パラメータを考える．

方向 (direction) ··· 回転，並進運動など運動の分類を示す運動形態．

様式 (mode) ··· 動作が ‘連続一定方向’ 運動，‘連続往復’ 運動，姿勢や位置を遷移させることを目的

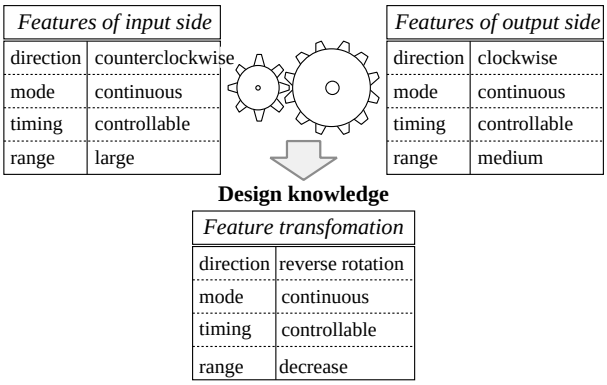


Fig. 3　Qualitative representation of a pair of gears

としている ‘モード移行’ 型運動などのいずれであるかを示す.

制御 (timing) ･･･ 機構要素の間で一方が他方の動作タイミングを制御できるかどうかを示す.

移動量 (range) ･･･ 要素の運動する距離長さである移動量．これに関しては，本来は定量的なものであるが，上記の 3 つのものと連合させるために，適当な境界標を仮想した上で，‘大きい’,‘中程度’,‘小さい’ という定性的表現を導入する.

(2)　機能変換器としての機構原理とその連結

機能パラメータによる表現のもとでは，例えば，原動節である入力における移動量が “大” であり，従動節である出力におけるそれが “小” であれば，個別の機構全体における要求機能は移動量の “減少” として記述できるようになる．これに対して，歯車対やカム，ラックとピニオンなどの機構要素の対は，機構全体での変換を構成するプリミティブとすることができる．個別の機構要素を様々な付随的な内容を捨象して機能の変換器とみなした場合，それぞれの機構原理としての機能は，入力側の機能パラメータと出力側の機能パラーメータにより特徴づけることができる．図 3はそのような特徴付けの一例として歯車対を示したものであり，図中上部のような入力側と出力側における定性的記述の差分として，図中下部のような要素対の持つ抽象機能が導出できることを示している.

以上を考えれば，機構における機能構造の設計問題は全体としての変換が要求に相当する変換要素の列を求める問題として把握することができる．つまり，これは，マーカの対を連結してマーカのシーケンスを生成する問題であり，プリミティブが既知の合成問題としてとらえることができ，ある種の探索問題として定式化することができるはずである．その際，図 3の下部に示した内容は，全体としての目標に対してプリミティブを選定するための知識であり，後述の設計システムにおいてはそのような知識を知識ベースに蓄えておくことになる.

3.4　機能と配置の連成構造　前述の相互依存性は，以上の各意味付けのもとでは，より具体的に把握することができる．すなわち，機能面からは要求機能に適合する，例えば，少ないマーカから構成されるシーケンスが望ましいと考えられ，また，探索を行う上でもそのようなシーケンスが優先的に生成されるが，一方では，マーカ・シーケンスが配置空間におけるセルの数やマーカの方位などの面で適合できるかどうかは，あらかじめ仮定したシーケンスを個々のセルに割り当ててみることによって初めて判断できるものである．つまり，機能と配置は，どちらか一方を仮定することでもう一方を操作できるというものであり，相互に連成していると言える.

4　連結型運動伝達機構の形態創成法

本節では，運動形態マーカと空間セルを用いた機構の創成法について述べる.

4.1　マーカ・シーケンスの生成　マーカ・シーケンスの仮定は，上述のような要求機能と機構原理に関する定性的表現に基づいて，機構全体で求められる入出力関係に適合する機構原理の列を探索により求めることによって行う．すなわち，定性的に表現される様々な要求機能に対して，個別の内容に適合する機構要素を入力の側から検索しては，段階的にシーケンスに追加していき，最終的にすべての機能項目を満足するシーケンスの候補を探索する．この問題は多数のゴールを有する探索問題とみなすことができるが，機構としては組み合わせる機構要素の数が少ないものが望ましいことから，幅優先探索を行って，単純なものを優先するようにする．また，その一方では，この段階でのシーケンスはあくまでも仮のものであり，後ほど行う空間への割り付けがうまく行かない可能性も存在するため，深さ，すなわち要素の数を限定した上で，一定数のシーケンス候補を探索により列挙して保持しておくものとする．なお，このような過程において，個別の内容に適合する機構要素が見当たらない場合には，適当な要素を挿入して条件を転換するなどして，探索を継続できるようにもする.

4.2　配置空間へのマーカの割り付け　空間的な配置は，配置空間を矩形セルに分割して表現した上で，そのようなセルに対して仮定したシーケンスを構成するマーカを順序に従って割り付けていくことによって，機構配置における形態を生成することにより

行う．このような問題は，機構としての成立条件から演繹されるマーカ間の空間的な制約条件を満足するように，マーカとセルとの対応関係を探索する問題[2]となる．そのような探索処理は，以下の‘セルの操作’，‘マーカの配置’，‘個別マーカの方位決定’の各操作を繰り返すことにより行う．

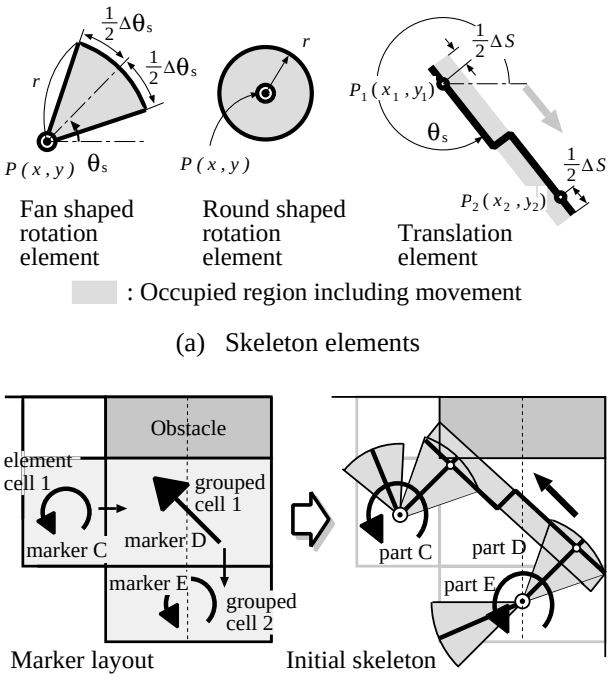
(1) セルの操作　セルの操作においては，まず，プラントの配管処理において用いられた対象領域や障害物の形状を基準にした領域の分割法[3]により，矩形のセル群を用意する．その上で，個別のセルのサイズや運動形態マーカとの関連に基づいて，個々のセルを集合化してまとめたり，細分化により分割したりすることにより，適当なサイズのセルの集合として配置対象領域を表現する．なお，続いて行うマーカの配置や方位の決定などの処理において，個々のセル相互間の接続関係が重要であるため，配置空間の表現においては，そのような関係を同時に把握しながら，操作処理を繰り返して行う必要がある．

(2) マーカの配置　マーカの配置においては，上記のようにして生成されたセルの集合に対して，マーカ・シーケンスにおける順序に従って，相互の対応を決定していく．この過程についても，セル相互の隣接関係などによる制約条件のもとでのある種の探索問題となるが，状況によっては，セルの集合化や細分化などの処理との協調が必要となる．

(3) マーカの方位決定　さらに，セルに配置したマーカの方位を，シーケンス内におけるマーカ相互の機能的な連続性と対応する空間セル相互の位置関係に基づいて定まる空間的な拘束条件に対して探索を行うことによって，決定する．これに関しても，マーカ・シーケンスの仮定やセルの分割が不適切であることがこの段階において方位の決定が行えなくなって判明することもあるため，そのような場合には，上述したシーケンスの生成やセルの操作などの段階に後戻りを行って，形態設計をやり直す必要も生じる．

4.3 マーカとセルによる表現からの機構の具体化

以上のマーカとセルによる表現や操作に対して，各種の設計条件を考えた場合，そのような人為的な表現から具体的な位置や寸法を伴った機構の表現を導出して，その上で評価や検討を行う必要があるものも多い．そこで，マーカやセルによって定まる機構要素間の位相的な位置関係を拘束条件と考えた上で，そのような内容を満足するように各要素の位置情報や寸法情報を決定する．すなわち，著者らによる形態に基づいた形状モデリング法[1][5]を適用することにより，数値的な最適化計算を行って，機構形態から配置や形状を定めるようにする．



(a) Skeleton elements

(b) Translation of markers to skeletons

Fig. 4 Skeleton model for embodying arrangement

図 4はそのような処理の内容を概念的に示したものである．まず，図中 (a) のように各マーカの持つ意味内容に従って動作範囲を伴ったある種のスケルトン状の機構表現を導入し，各ジョイントの位置や個別機構要素の形状寸法を設計変数として考える一方，相互の接続関係や他の部分との干渉の排除，などの条件を等式や不等式による制約条件として記述し，さらに，機構全体のコンパクトさに対応する目的関数を設定した上で，非線形最適化法を適用して，設定した設計変数の値を決定する．図中 (b) は前出の図 1(a) の機構の一部に対応するテンプレートとなるスケルトン表現を示したものである．

5 連結型運動伝達機構の形態創成システム

5.1 形態創成法の全体構成　前節のような創成法において適切な機構の形態を定めるためには，機構原理に関する側面と空間配置における側面との両処理に関する協調的な操作が不可欠である．図 5は両側面を統合した機構形態の創成法における全体構成を示したものである．基本的には，まず，原動節と従動節における運動形態に基づいて知識処理と探索処理によりマーカ・シーケンスを仮定する．その一方で，配置空間をセルに分割した上で，両者の関係付けおよび各種設計条件との対比などを行いながら，問題点がある

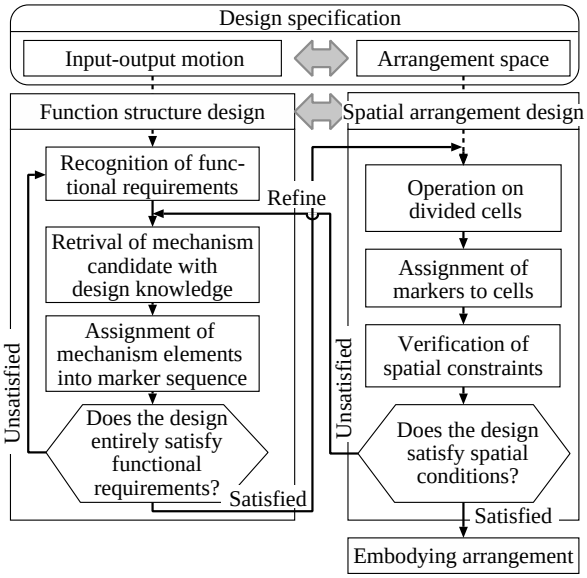


Fig. 5 Mechanism configuration synthesis

場合には，セルの再分割や統合を行ったり，マーカ・シーケンスに修正を加えるなどして，段階的に最終的な機構形態を設定し，その後に，機構と配置に関する形態をもとに，全体の詳細配置や機構要素の形状を決定するようになっている．

5.2 設計支援における設計者の役割 以上の処理を具体的に展開した場合，一方における代替性のもとに他方の代替性が展開されるという再帰的な関係によって，問題空間を閉鎖的に記述することは実質的には不可能となる．ひいては，例えば，一方の処理において生じた不具合や問題点を解消するためには，その中での修正操作のみならず，他方の操作による問題解決の可能性をも睨んでおく必要も生じることになる．これを克服することは設計における本質的な課題ではあるが，本研究の目的である対象表現の枠組や連成構造の明確化のみによっては，完全な自動化システムを構築するまでには及ばない．そのため，本研究での試作システムでは，個々の段階において，適宜，設計者がシステムが自動的に生成し優先度を伴って列挙した代替案の中から適切なものを選択したり，適当な段階に後戻りしたりすることができるようにしており，対話的なシステムとなっている．

5.3 機構形態創成システムの試作 具体的なシステムの構築にあたっては，オブジェクト指向によるモデリングが可能で，各種の知識処理や探索処理などにも適した Common Lisp 上のオブジェクト指向システム Common Lisp Object System[6]を用いてその基本的な部分を構築した．

Table 1 Required functions of VCR mechanism

Features	Input	Output		
		TL-A	TL-B	PR
direction	counter-clockwise	+Y trans.	+Y trans.	counter-clockwise
mode	mode trans.	mode trans.	mode trans.	mode trans.
timing	—	controllable	controllable	controllable
range	large	medium	medium	small

TL-A, B: tape loading mechanism A and B
PR: pinch roller pressing mechanism

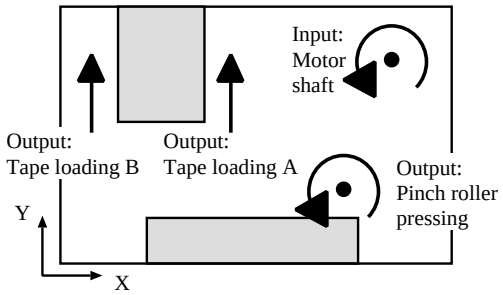


Fig. 6 Spatial design conditions of VCR mechanism

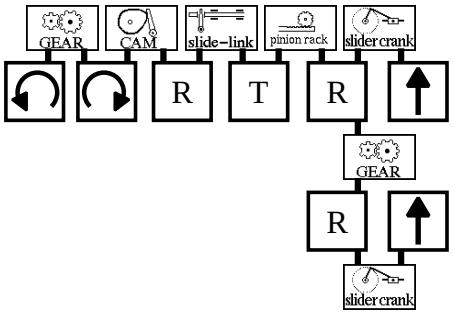
6 設計事例

本節では，試作した機構形態創成システムをいくつかの機構シンセシスの問題に適用した事例を示す．

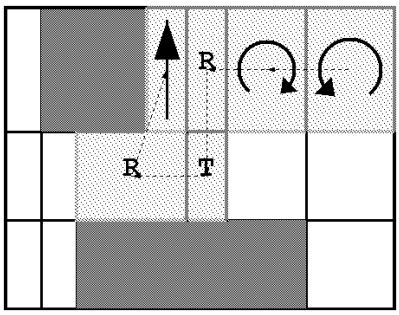
6.1 ビデオデッキにおける機構のシンセシス

まず，ビデオデッキ (Video Cassette Recorder, VCR) の一部機構の設計問題に適用した事例を示す．表 1は対象とする部分についての機能パラメータによる設計条件の記述を示したものであり，モータの回転によりテープをヘッドに巻き付けるための 2 本のピンを駆動するメカニズムと，ピンチローラを押し付けるためのメカニズムを図 6に示すような領域の中に構成する問題を考える．

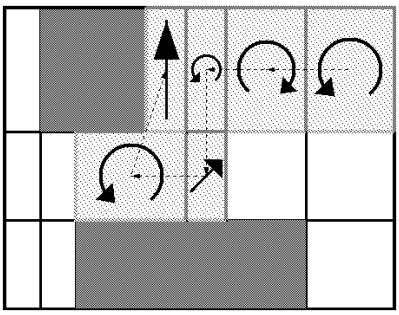
図 7の (a) から (e) は，そのうち，テープ・ローディング機構についての設計過程を示したものであり，二つのアームのスライド運動を出力とする機構を生成している． (a) はその機構構造であるマーカ・シーケンスの生成段階での模式図を示しており，この段階では，方位の定まっていないマーカも含まれている．(b) は，続いてその一部を探索によりセルに割り付けたものである．これにより，配置における隣接関係すなわち運動形態の連結性が判定できるようになり， (c) のようにマーカの方位を決定することができる．さらに， (d) は残りの部分の配置を行い方位を決定して，(a) に示したすべてのマーカをいずれかのセルへと割り付けることによって配置形態を確定させた状況を示している． (e) はそれらのもとで具体化された配置や形



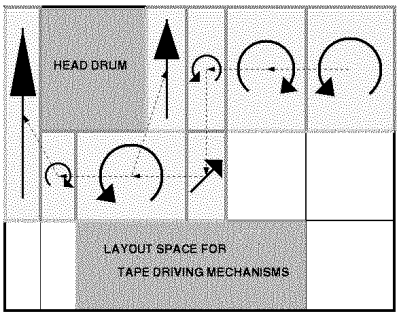
(a) Marker sequence with undirected markers



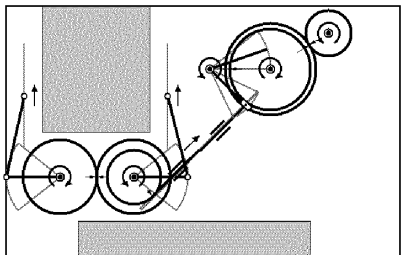
(b) Marker layout with undirected ones



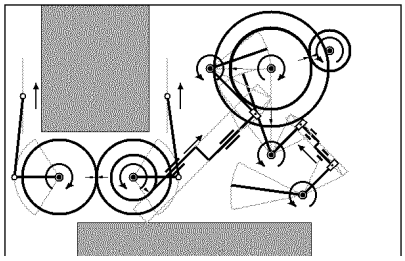
(c) Determination of marker directions



(d) Mechanism layout configuration



(e) Embodied skeleton model of tape loading mechanism



(f) Design result of the overall system

Fig. 7 Application to tape loading mechanism and pinch roller mechanism

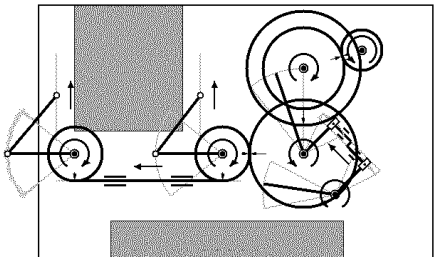


Fig. 8 An alternative of the overall system

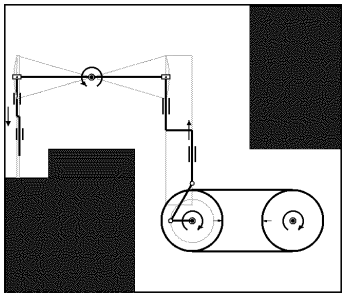


Fig. 9 Application to motor-press mechanism

状についてのスケルトンモデルである．(f) は以上に続いての他の部分を含めた全体についての設計結果であり，ほぼ実在の機構に相当するものとなっている．

なお，図 7 (f) の結果を得る途中では，図 8のような，歯車対ではなくスライダ・リンクによって同期運動を実現する機構も生成されている．しかし，そのような機構では，クランク部分を配置可能領域の内部に納めることができないことに加えて，設計者は，テープ・ローディング機構 A, B の同期性をより確実なものにするためには機構原理における共有部分を増加させた方が好ましいとの判断を行って，分岐点を図の左側に移動させるとの方針のもと，対応する設計段階にまで後戻りを行った上で，改めて設計を展開していくことにより，図 7 (f) の結果を最終的に得ている．以上のように設計が展開される背後には，設計者の判断に依存する部分も大きいが，設計者はシステムの提示する候補の中から適当なものを選択しているに過ぎず，そのような適切な結果が得られていることや，その過程で図 8のような代替案の生成されていることは，本研究で導入した人為的な対象表現や推論方式がより高度な設計支援に向けての基盤として合理的であることを示すものであると言える．

6.2 モータプレス機構のシンセシス 次に，モータプレス機構の設計問題に適用した事例を示す．図 9はその結果であり，右上と左下の非配置領域を避けながら，右下のモータの回転運動から左中のプレス動作のための上下運動に至る機構のシーケンスが生成されている．なお，このほか，ピストン・クランク型エンジンにおける機構の例などへの適用を行った．

7 関連研究と考察

最後に，機構のシンセシスについての従来からの研究との関連について述べる．機構は機械システムにおける重要な構成要素であり，従来より多方面から研究が行われている．例えば，多節リンク機構を対象に所要の動作を行う最適な機構構成と形状寸法を求めるための手法[7]や，個別の機構要素そのものを創成するための手法[8]，与えられた運動形態に対して様々な既知の機構やその組合せの中から適切なものを検索するための手法[9][10]などが考案されている．しかしながら，それらは単一の機構要素を対象にしているなどの点で，未だに限定的である．これに対して，Kota[11]は，行列表現を導入した機能分解による機構システムの設計法を提案しており，機構要素の単体ではなく，システムとしての機能に着目している．

以上のような研究に対して，本研究での視点は機構要素間の連成や空間配置情報との関連性に着目している点に大きな特徴がある．全体としてのシステムの設計を考える場合，前述のように，領域や粒度の多様性を考えざるを得ない．形状の取り扱いは各種の工学的問題における主要な課題であるが，概念レベルでの操作においては，詳細な内容を直接扱うのではなく，全体的な状況の重要性が指摘されており，人工知能の分野では機能や振舞いに関する定性推論の成功を受けて，その種の推論方式として「図による推論 (diagrammatic reasoning)[12]」が提唱されている．一方，概念設計における困難性の一面は，例えばPughによる方法[13]が示すように，システム要素の組合せの適合性が重要であり，それらが膨大であるために，部分での組合せを全体へと重ね合わせて行かざるを得ないことにある．

これらの事柄を踏まえた上で，本研究で提案した機構の創成法をとらえた場合，マーカとセルという人為的な表現法を導入することにより，ある種の図による推論が実装されており，それによって，全体システムの創成に向けての状況を段階的に形成することが可能になっており，さらに，設計の上流過程における内容を形式化して記述できたり，一定の機能を有する設計支援システムが構成できていると考えることができる．つまり，本研究での内容は，特定のクラスに属する機構システムの問題に限定されてはいるものの，設計の上流過程に対してコンピュータ化を進めるためには，抽象的な内容を形式化して操作できる具体的な表現手段を人為的に導入した上で，設計処理の内容を一定の様式のもとに展開できるようにすることが必須であることを示しているものとすることができる．また，機能と配置との連成関係が示すように，各種の設計項目による相互の状況が重要な役割を果していることも，具体的に構成した創成法や設計システムの内容を考えれば，明らかであり，そのような「状況」に着目することは機械システムの構造に関する概念設計や形態設計を考える上での，重要な着眼点であるということになる．

8 結 言

本研究では，運動形態に着目した機構のマーカとセルによる表現方法とその操作による連結型運動伝達機構の形態設計法を提案した．また，本手法に基づいて試作した形態設計システムを実際の機構設計に適用することにより本手法の有効性を確認し，設計における上流段階の内容をコンピュータ化するためにはその内容を適切に反映した人為的な形式化が重要であることを示した．今後は，本手法をより洗練化するために，空間表現の方法や機能と配置との協調構造などについての検討をさらに進める予定である．

なお，本研究の一部は，文部省科学研究費補助金 (10650144) ならびに 日本学術振興協会未来開拓学術研究推進事業 (96P00702) の援助によるものである．

文 献

(1) 藤田・赤木, 形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開 (第 1 報：基本概念と実装方法), 機論, **62**-600, C (1996), 3347-3354.
(2) 赤木・藤田, 制約指向に基づく基本配置設計支援システムの研究 (第 1 報：制約指向による基本アルゴリズム), 機論, **56**-528, C (1990), 2286-2293.
(3) 小林・ほか 4 名, 知識工学の配管ルーチング CAD への応用, 日立評論, **67**-12, (1985), 49-52.
(4) 和田, 着想メカニズム設計, (1977), テクノ, 10.
(5) 藤田・ほか 3 名, 形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開 (第 3 報：形態に基づく形状モデリング法), 機論, **62**-600, C (1996), 3363-3370.
(6) Steele, G. L. Jr., *Common Lisp — The Language (2nd edition)*, (1990), Digital Press.
(7) Hoeltzel, D. A. and Chieng, W-H., Knowledge-based approaches for the creative synthesis of mechanisms, *Computer-Aided Design*, **22**-1, (1990), 57-67.
(8) Gupta, R. and Jakiela, M., Simulation and shape synthesis of kinematic pairs via small-scale interface detection, *Research in Engineering Design*, **6**-2, (1994), 103-123.
(9) 村上・中島, コンフィグレーション空間を用いた機構原理の検索, 機論, **60**-580, C (1996), 4400-4408.
(10) Subramanian, D. and Wang, C-S., Kinematic Synthesis with Configuration Spaces, *Research in Engineering Design*, **7**-3, (1995), 193-213.
(11) Kota, S., A Qualitative Matrix Representation Scheme for the Conceptual Design of Mechanisms, *Proceedings of 21st Biennial Mechanisms Conference*, (1990), ASME, 217-230.
(12) 例えば, 岩崎, 図による推論と定性推論, 人工知能学会誌, **9**-2, (1994), 183-189.
(13) Cross, N., *Engineering Design Methods — Strategies for Product Design (Second Edition)*, (1994), John Wiley & Sons, 105-143.