



距離の導入による知的設計支援方法論の構築(第1報) : 設計における機能演算の数学的モデル

田浦, 俊春
吉川, 弘之

(Citation)

精密工学会誌, 57(4):718-724

(Issue Date)

1991-04-05

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001537>



距離の導入による知的設計支援方法論の構築 (第1報)*

——設計における機能演算の数学的モデル——

田 浦 俊 春** 吉 川 弘 之***

A Methodology of Intelligent CAD using a Metric Space Concept
(1st Report)

—A Mathematical Model of Function Operation in Design Process—

Toshiharu TAURA and Hiroyuki YOSHIKAWA

The purpose of this study is to find out an ideal design principle which has the characteristics of generality, practicality and computability. From the viewpoint of the ideality of design principle, the approaches made by this time can satisfy only a part of the characteristics required and can not satisfy all of them. The main reason is as follows. The essential nature of the design lies in the synthetic process (composing and decomposing). But, the previous studies have not been able to deal with the synthetic process itself. The synthetic process has been observed and represented only by its results. In this study, the attention is paid to topology which has a metric space concept in itself. And the design knowledge is organized in the metric space. This organization is expected to optimize the structure of the design knowledge and deal with the synthetic nature of design. In this paper, the mechanism of function operation is modeled mathematically. This model is very useful to construct the methodology of assisting the designers in the early stage in the design process.

Key words: intelligent CAD, design, design process, metric space, function, abduction

1. 序

設計支援に関する研究は、設計側及び情報処理の分野からのアプローチが種々の角度から試みられている。これらの研究の最終目標は、対象分野に依存しない一般性と実際に活用可能である実用性を有し、かつ計算可能な設計原理を見い出すことである。理想的な設計原理の観点から見ると、今までの各アプローチはある程度はこの理想性を満足するもののそれは一部分に過ぎない。筆者らは、設計の本質が総合（シンセシス）であるにもかかわらず、今までの研究は総合の過程を結果として観察したり表現することにとどまっておき、総合の過程そのものを取り扱うまでには至っていないからであると考え。

本研究では、総合の過程そのものを取り扱い得る理想的な設計原理を追求する。本論文では、理想的な設

計原理導出の準備として、設計における機能演算（合成・分解）の形式化を数学的に行う。

2. 課題の整理

2.1 設計側からの研究

今までの研究は、設計方法論・設計論に大別される。設計方法論は、今日までに技術として蓄積されている設計現場のノウハウを体系化しようという試みである。例えば、Hubka¹⁾は彼自身の設計技術者としての経験をもとに、機械設計過程の一般的モデルを構築している。又、規定的設計方法論としては、VDI-2221²⁾が定められている。これらの方法論に共通しているのは、設計過程が機能や部品の合成・分解の操作から構成されていることである。問題点としては、計算可能な形式で表現されていないことや、設計過程の各段階を進む際に設計知識がどのように操作されるのか明確でないことが挙げられる。

設計方法論が帰納的なアプローチであるのに対し、演繹的アプローチとしての理論の構築も試みられている。一般設計学^{3)~6)}では、概念を集合であると考え、

* 原稿受付 平成2年9月5日。1989年度精密工学会春季大会学術講演会（平成元年3月22日）にて発表

** 正 会 員 新日本製鐵(株)エレクトロニクス研究所（相模原市淵野辺5-10-1）

*** 正 会 員 東京大学工学部（東京都文京区本郷7-3-1）

設計に現れる特徴的な諸現象を位相空間上の数学的操作としてモデル化することが試みられている。その結果、総合としての設計が説明されるとしている。問題点としては、位相の具体的な生成方法や操作方法が明らかでないことが挙げられる。

2.2 情報処理側からの研究

人間の推論に関する研究は古くから行われている。例えば Peirce⁷⁾ によれば、人間の推論は、発想（アブダクション）・演繹（ディダクション）・帰納（インダクション）の3つの推論形式の組合せとして取り扱うことができるとしている。アブダクションとディダクションの違いは、論理的知識表現における含意の向きに帰着させるとらえ方が、特に計算機科学の分野では一般的である。その場合は、設計は全体としてはアブダクションで表現されるのが適当であると言われている⁸⁾。しかし、その理由は、設計知識のモデルから説明されるような厳密なものではない。一方で、人工知能の分野では、アブダクションは仮説推論の枠組みのなかで議論されてきており、その枠組みにおける設計問題への適用も試みられている⁹⁾。しかし、仮説推論には解決されるべき多くの課題が残されていると言われている⁹⁾。

以上に述べたように、設計のメカニズムはアブダクションに関係があると考えられてきている。しかし、アブダクションのメカニズムは十分に解明されていないのが実状である。

2.3 課題の整理

設計過程の動的な進行に伴って、設計知識の静的な構造が設計者によってどのように操作されているのかわかりにされていない。言い替えれば、静的な構造とそれらの操作としての動的な設計過程を十分に統合して説明するモデルが確立されていない。

3. 研究方針

3.1 基本方針

本研究では、一般設計学の考え方に基づいて、設計知識の構造とその操作を位相空間上で議論する。本研究の最大の特徴は、位相空間に内在する距離の概念に注目し、設計知識の構造化を距離空間上で行うことである。

3.2 基本方針設定の理由

設計者の行動を観察すると、設計解に近い先行事例の探索がよく行われている。この事実、設計者の有する知識が、距離の作動が可能のように構造化されていることを示唆している。

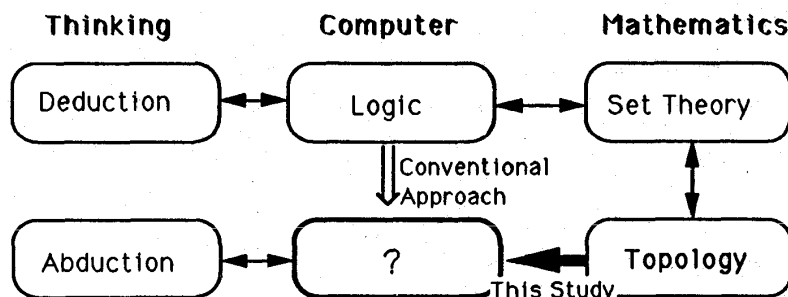


Fig. 1 Approach of this study

ここで、論理的な表現と集合・位相による表現を比較してみる。論理的な表現は、述語論理に代表されるように計算機による演算が容易であるのに対し、集合・位相表現は、そのままの形では計算機に入らない。しかし、集合論や位相空間論には距離の概念が内在している。本研究ではこの性質に注目する。ただし、位相空間上の距離が計算機で演算可能な形に変換されることが必要である。エキスパートシステムにおける確信度も、知識に対する一種の距離付けである。しかし、この方法では完成された論理の枠組みの最後に距離が導入されており、本研究とは明らかにアプローチが異なっている。

知識空間の距離付けのメカニズムを通じて設計原理を見い出そうとする本研究の立場は、広くとらえるとアブダクションの形式化へのひとつのアプローチでもある。

4. 機能演算の数学的モデルの構築

4.1 一般設計学の結果

今までの一般設計学の研究で、設計の特徴をよく説明する定理が導出されている。本論文に関連のあるものを次に示す。

（展1・仮1）* 現実的知識とは既知の物理法則について生成された概念を被覆としてコンパクト化された（実現可能な）実体概念集合のことである。

これから次のような定理が得られる。

（展2・理1）現実的知識は正規空間である。

（展2・理2）現実的知識では、二つの異なる実体概念間に距離を導入できる。

（展2・理2）の言う距離の導入とは、4.3節の補題2の実連続関数が求められるという意味である。

4.2 本研究で取り組む一般設計学の課題

本研究では、理想的な設計原理の導出に対して具体

* 引用を簡単にするために、文献5)一般設計学の展開（第1報）の定義を、（展1・義）、定理を（展1・理）と書く。数字は、それぞれの番号を示す。以下同様に、文献6)一般設計学の展開（第2報）は、展2と書く。

的に次の課題に取り組む。

① 機能演算（合成・分解）の数学的モデルの構築
機能分解や機能合成が設計のポイントであることは、設計方法論においても指摘されていることである。

② 設計過程の数学的モデルの構築
機能演算に関する数学的モデルを中心に設計過程モデルを導出する。

③ 設計知識の距離に注目した収束政策の構築
設計過程を具体的に駆動させる政策として、距離に注目した方法を導出する。

本論文では、機能演算（合成・分解）の数学的モデルを構築し、その性質に距離の観点から考察を加える。

4.3 数学的準備

集合論及び位相空間論において既知の事実のうちで、本論文で用いられるものを述べる。

補題1 コンパクト・ハウスドルフ空間は正規空間である。

補題2 (Urysohnの補題) 正規空間 X で互いに素な X の閉集合 A, B をとる。そのとき X 上の実連続関数 $f: X \rightarrow R$ で、次の条件を満足するものがある。

- (1) f は A 上では値 0, B 上では値 1 をとる。
- (2) 任意の $x \in X$ に対して $0 \leq f(x) \leq 1$

補題3 次の条件は、位相空間 X で定義された実数値関数 f が実連続関数であるための必要充分条件である。

x_0 を X の任意の点とすると、任意の正の実数 ε に対して、

$$f^{-1}((f(x_0) - \varepsilon, f(x_0) + \varepsilon)) \\ = \{x \mid x \in X, |f(x) - f(x_0)| < \varepsilon\}$$

は、 x_0 の (X における) 近傍である。

4.4 全体機能空間と部分機能空間

議論の準備として下記の定義を設ける。

定義1 理想的機能概念集合 M とは、(実体概念集合のある台集合 S_0 に導入され次のすべての性質を有する集合族を言う。

- (1) 高々可算個の機能概念 (S_0 の部分集合) から構成されている。 $M = \{M_i \mid M_i \subset S_0, i \in A, A: \text{可算又は有限集合}\}$
- (2) 任意に有限個とった機能概念の共通部分は、空集合ではない。
 $(M_{n1} \cap M_{n2} \cap \cdots \cap M_{ns}) \neq \phi$
- (3) 各機能概念において、その機能概念のみに属し他の機能概念に属さない S_0 の元がある。
- (4) S_0 から任意に2つの元をとったときに、一方

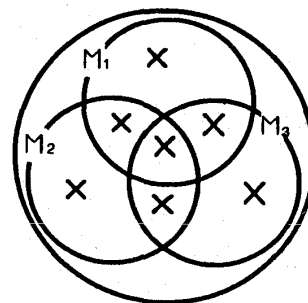


Fig. 2 Ideal function concept set

の元が属し他方の元が属さない $M_i \in M$ が存在する。

理想的機能概念集合の性質 (2)~(4) を直観的に説明すると、最大数の元を識別可能な機能概念構造である。

定義2 理想的機能概念集合が構造化されるとは、 ϕ と S_0 と、 $\cup (M_{n1} \cap M_{n2} \cap \cdots \cap M_{ns})$ の形のすべての集合を類とする位相空間 $(S_0, \tilde{M})$ が生成されることを言う。ここで、積集合 $\cap$ は、任意に有限個とった共通部分を表し、和集合 $\cup$ は、このような集合の任意個数 (有限個または無限個) の和を表している。

定義3 構造化された理想的機能概念集合が効率化されるとは、理想的機能概念集合の構造化された空間 $(S_0, \tilde{M})$ にある類 $(\tilde{M})$ が加えられることで、コンパクト・ハウスドルフの性質を有する位相空間 $(S_0, \tilde{T})$ が形成されることを言う。

定義1 から定義3 の位相の生成過程からは、次の過程が想像できる。人間が、実体概念を機能概念で識別することを始める。成長に従って、知っている実体概念と機能概念の数が増える。そこで再び構造化を行う。この過程を繰り返すうちに定義1 の理想性が得られる。次に、単なる識別から構造化された概念系を形成するようになり、定義2 の位相空間が形成される。更に、構造に距離を持ち込むべく定義3 の性質が得られる。

これらの準備のもとに、機能演算のための知識の枠組みを定義する。

定義4 実体概念がそれ自身として発現する機能概念を全体機能概念と呼ぶ。全体機能概念に注目して得られる理想的機能概念集合を、理想的全体機能概念集合 (M_t) と呼ぶ。

一般設計学では、今までは $M_i = M$ ととらえて議論してきている。本論文では、全体の機能概念と部分の機能概念の関係を議論するために、あえてこのような定義を設けた。

定義5 実体概念集合のある部分集合 S_1 を台集合とし、理想的全体機能概念集合 M_t の構造を効率化し

て得られる空間を全体機能空間 ($S_i, \tilde{T}_i$)
 と言う。

全体機能空間に関して、(展2・理2)
 と同様に次の定理が導出される。

定理1 全体機能空間では、二つの異なる実体概念間に距離を導入できる。

証明は(展2・理1)(展2・理2)に同様なので略。

次に、機能概念における部分の考え方を導入する。

定義6 理想的全体機能概念集合 M_i を構成する各機能概念 ($M_i^a \in M_i$) において、定義1の性質(3)より、その機能概念のみに属し他の機能概念に属さない実体概念が存在する。それを構成要素 e_a と呼ぶ。各機能概念に関して生成される構成要素の集合を総称して (E) とおく。

定義7 構成要素のべき集合で表される集合族を設計実体概念集合 S_d と呼び、その集合族の各要素を設計実体概念 s_d と呼ぶ。

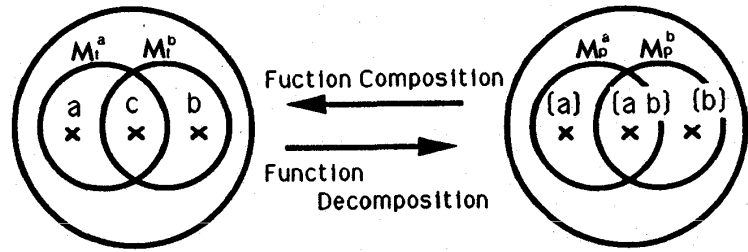
構成要素は、設計ハンドブックの部品のようなものであり、設計実体概念はそれらの組合せである。

定理2 設計実体概念集合 S_d は、全体機能空間の台集合 S_i に1対1対応する。

(証明) まず、理想的全体機能概念集合 M_i を構成する集合の数が有限 ($|M_i| = m$) の場合について証明する。定義1の(2)と(3)の性質より、 S_i は、 m 個の機能概念によって $2^m - 1$ 個の領域に分割される。同じく、(2)と(4)の性質より、各領域に属する実体概念は必ず存在し、しかも一つである。従って、 S_i の濃度は $2^m - 1$ である。一方で、設計実体概念集合 S_d の空集合を除く濃度は、 m 個の要素から作られるべき集合の濃度に等しく、 $2^m - 1$ である。従って、 S_d と S_i は濃度が等しいので1対1対応する。次に、 $|M_i| = \aleph^*$ ($\aleph^*$: 可算集合の濃度) の場合について証明する。有限の場合と同様に考えると、 S_d と S_i の濃度はいずれも $2^{\aleph^*}$ である。これらは、いずれも連続体濃度 ($\aleph$) に等しい。従って、 S_d と S_i は1対1対応する。 ■

この定理を直観的に言うと、実体概念集合は、部品の組合せで再現できる可能性があるということである。

定義8 各構成要素 e_a に対して、その構成要素を含む設計実体概念の集合をその構成要素の部分機能概念 M_p^a と呼ぶ。これらの類を総称し理想的部分機能概念集合 M_p と呼ぶ。



$$\begin{aligned}
 S_i &= \{a, b, c\} & E &= \{a, b\} & S_d &= \{\{a\}, \{b\}, \{a, b\}\} \\
 T_i &= \{\emptyset, M_i^a, M_i^b, M_i^a \cap M_i^b, & T_p &= \{\emptyset, M_p^a, M_p^b, M_p^a \cap M_p^b, M_p^a \cup M_p^b, \\
 & M_i^a \cup M_i^b, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\} & & \{\{a\}\}, \{\{b\}\}, \{\{a, b\}\}\} \\
 M_i^a &= \{a, c\}, & M_i^b &= \{b, c\} & M_p^a &= \{\{a\}, \{a, b\}\}, & M_p^b &= \{\{b\}, \{a, b\}\} \\
 M_i' &= \{\{a\}, \{b\}, \{a, b\}\} & & & M_p' &= \{\{\{a\}\}, \{\{b\}\}, \{\{a, b\}\}\}
 \end{aligned}$$

(S_i, T_i)

(S_d, T_p)

Fig. 3 Total function space and partial function space

部分機能概念は、各構成要素そのものではなく、実は各構成要素の発現する(全体)機能概念に注目して得られる類を意図している。定義1より、各構成要素に注目しても構成要素の発現する機能概念に注目しても同じ類を形成するので、数学的な表現をなるべく簡単にするために上のように定義した。

定義9 設計実体概念集合 S_d を台集合とし、理想的部分機能概念集合 M_p の構造を効率化して得られる空間を部分機能空間 ($S_d, \tilde{T}_p$) と言う。

定理3 部分機能空間では、二つの異なる設計実体概念間に距離を導入できる。

証明は(展2・理1)(展2・理2)に同様なので略。

4.5 機能演算の数学的モデル

本節では、機能に関する合成と分解の操作を定義する。

定義10 機能合成とは、部分機能空間から全体機能空間への写像である。機能分解とは、全体機能空間から部分機能空間への写像である。

ここで、機能合成と機能分解の性質について考える。機能合成と機能分解は、構造化や効率化の行われていない状態でも定義は可能である。しかし、構造化や効率化が施されて定理1と定理3で示した距離の導入が可能になることで、機能合成と機能分解の性質を探る手がかりが得られる。それを次に示す。

定理4 全体機能空間上のある元 s_i^1 とそれを含まない互いに素な2つの閉集合と、部分機能空間上のある元 s_d^1 とそれを含まない互いに素な2つの閉集合に注目する。“近さ”を補題2の実数軸上で評価するときに、全体機能空間上の実体概念 s_i^1 に対する任意の近さの部分機能概念を求めることができる。又、部分機能空間上の設計実体概念 s_d^1 に対する任意の近さの

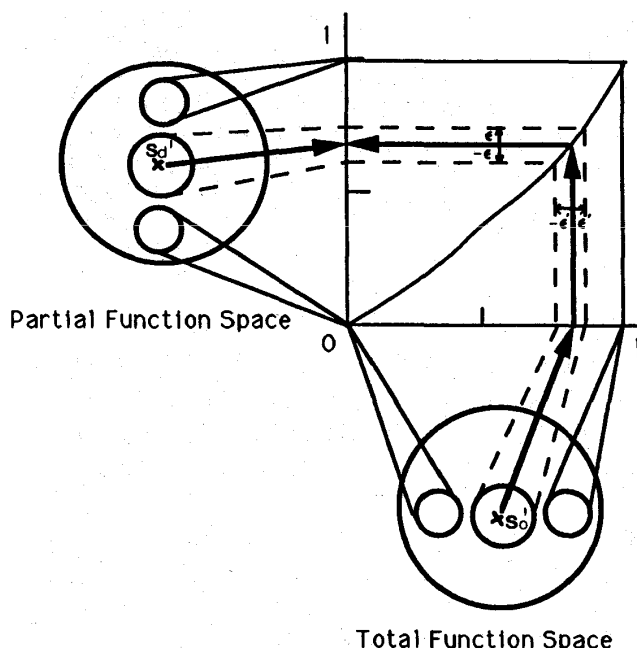


Fig. 4 Relation between total function space and partial function space

全体機能概念を求めることができる。

(証明) 定理1と定理3より、全体機能空間と部分機能空間のいずれに関しても、実連続関数が求められる。各々の実連続関数の値域 $[0, 1]$ の間に、 s_1^1 と s_d^1 が対応しており、かつ連続な関数を定義することができる。これらの3つの関数を合成し、その性質を補題3に鑑みれば、 s_1^1 と s_d^1 の各元に対して任意の近さの機能概念が得られることは明らかである。■

定理4の証明で求められた合成関数は、部分機能空間上の互いに近い元の集合と、全体機能空間上の互いに近い元の集合を対応させている。本研究では、実際の設計知識においても、機能演算の関数はこの合成関数のような性質を有していると仮定する。

仮定1 機能分解では、全体機能空間上で互いに近い元は、部分機能空間上でも互いに近い元に写像される。逆も成り立つ。

4.6 類似度

位相空間上で議論された距離を計算可能な形で表現することを試みる。本研究では、その表現方法の一つとして類似度行列を提案する。この提案は一意に定まるものではなく、いくつかの仮定が含まれる。補題2の証明では、対象とする2つの閉集合間に閉集合と開集合が交互に存在し、それがあたかも等高線のような役割をしていることが示される。図5の部分機能空間の例で考えてみよう。元 $\{a, b\}$ と元 $\{b, c\}$ の間の距離の定量化を試みる。元 $\{a\}$ のみを含む閉集合と元 $\{c\}$ のみを含む閉集合を考える。これら2つの閉集合を結ぶ線で、元 $\{a, b\}$ と元 $\{b, c\}$ と元 $\{a, b, c\} = \{a, b\} \cup$

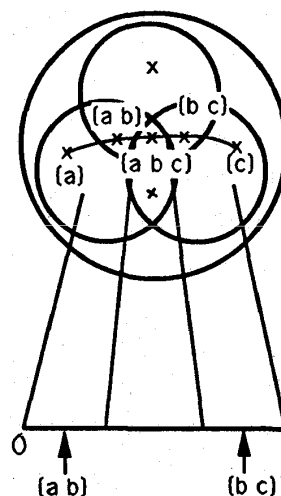


Fig. 5 An example of the metric in partial function space

$\{b, c\}$ を通るものを考えると、それは2本の等高線(開集合)をまたいでいることがわかる。ここで、実連続関数の値域 $[0, 1]$ が等高線によって均等に分割されると仮定する。そうすると、元 $\{a, b\}$ と元 $\{b, c\}$ 間の距離は、0.33と1.0の平均の値の0.67として求められる。

この演算を一般化する。全体機能空間または部分機能空間において、2つの元 s^1, s^2 が、 n_0 個の類を共有し、かつそれぞれ n_1 個、 n_2 個の固有の類に属しているとする。補題2における閉集合として、 s^1 と s^2 のそれぞれ固有の類の共通部分において、それらの類にしか属さない元の集合を考える。先の例を参考にして s^1 と s^2 の間の距離 d を考えてみると、次式が求められる。

$$d = \frac{n_1 + n_2}{2n_0 + n_1 + n_2 - 1} \quad (n_0 \geq 1) \quad (1)$$

$$d = 1 \quad (n_0 = 0)$$

ここで、 s^1 と s^2 の間の類似度 r として1から距離を引いた値を定義し、かつ、 $n_1 \ll n_0$, $1 \ll n_0$, $n_1 \approx n_2$ として式を簡略化すると類似度は次の式で表される。この値は s^1 の発現する機能概念の内、 s^2 も発現する機能概念の割合である。

$$r \doteq \frac{n_0}{n_0 + n_1} \quad (2)$$

全体機能空間または部分機能空間において2つの元の間の類似度がすべて求められると、それらは行列で表現される。求められた行列を類似度行列と呼ぶ。類似度行列は、位相空間上に導入された距離の定量的な表現の例である。

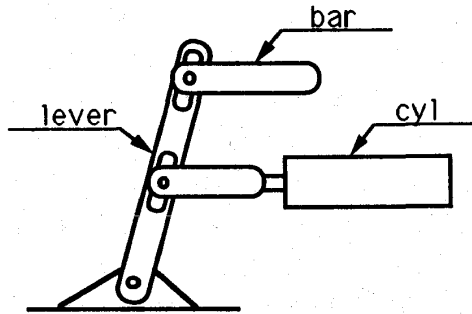


Fig. 6 An example of machine (MACHINE ①)

MACHINE①	{move, rotate, move}
MACHINE②	{move, rotate, move}
MACHINE③	{move, rotate, dif-rotate, rotate}
MACHINE④	{move, rotate, dif-rotate, rotate}
MACHINE⑤	{move, rotate, dif-rotate, rotate, rotate}
MACHINE⑥	{dif-rotate, rotate, move}
MACHINE⑦	{move, rotate, rotate, rotate}
MACHINE⑧	{rotate, rotate, dif-rotate, rotate}
MACHINE⑨	{move, rotate, rotate, rotate}
MACHINE⑩	{move, rotate, rotate}

Fig. 8 Partial function concepts manifested by the machines

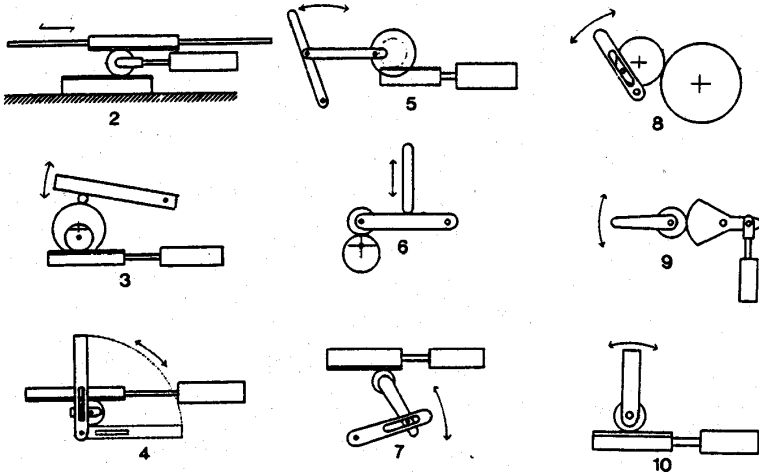


Fig. 7 Machines used in the example

5. 例題

5.1 機械への適用の考え方

前章で展開された理論の機械への適用を試みる。実問題への適用に際して、いくつかの拡張を行う。

第1は、設計実体概念の表現において、それを構成する構成要素が重複して存在することを認める。又、構成要素の順番にも意味があるとする。これは、エネルギーフローとしての機械の特徴を評価するためである。第2は、各機能概念に対して、それを代表する構成要素が複数存在することを認める。それに伴って、これらの複数の構成要素は定義8の部分機能概念の形成に際しては同一視することにする。すなわち、部分機能概念は構成要素に注目して生成されるのではなく、構成要素の属する（全体）機能概念に注目して得られるとする。部分機能概念に関するこのような解釈は、定義8の説明で述べたように、部分機能概念の本来の意図である。このように解釈することで、今回の拡張は本論文で展開してきた理論に対し本質的な変更を与えない。このように用いられる構成要素を拡張された構成要素と呼ぶ。

図6の例で考える。まず、この機械を設計実体概念としてとらえてみよう。この機械はいくつかの部品か

ら構成されている。cyl, lever, barの各部分が前節で述べた拡張された構成要素である。理想的機能概念集合の機能概念として、move（直進運動）、rotate（円運動）、dif-rotate（偏心運動）を定めると、cylとbarは機能概念moveの拡張された構成要素であり、leverは機能概念rotateの拡張された構成要素である。

図7の各機械に対しても機械①と同様にして各機械の発現する部分機能概念を求めることができる。図8に、得られた部分機能概念を入力側から出力側に並べた形で示す。

次に、機械①を機械②と比較しながら実体概念としてとらえてみよう。機械①と機械②は、全体機能概念としては、例えば、ストローク増幅機能であり、また、直進機能である。このように機械①と機械②は、多くの同じ全体機能概念を共有している。しかし、これらの機械は一見して全く異なる部品から構成されている。ここで、図8を見てみよう。機械①と機械②の部分機能概念は、いずれもmove, rotate, moveと同じである。すなわち、部分の発現する機能概念に注目することで機械①と機械②の間に部分に注目した共通性を見出すことができた。これが、仮定1の意味することである。

5.2 部分機能空間における類似度行列の試算と全体機能空間との関係の考察

本節では、機械①～機械⑩に対する類似度行列を試算し、部分機能空間における距離の表現としての有効性と仮定1の全体機能空間との関係を例示する。

まず、類似度行列を求める。2つの機械の間の類似度の計算方法を説明する。図8において、2つの機械の部分機能概念に共通性があれば1点、共通性が連続していれば更に2点を与え、その合計点を同一機械間の得点で割った値を類似度とする。部分機能概念の共通性に与えた1点は、式(2)の考え方に基づくもので

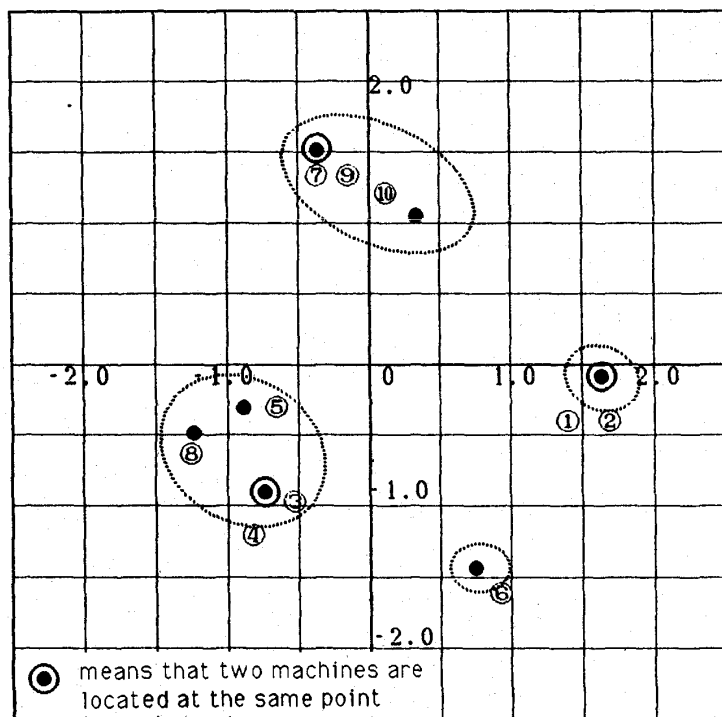


Fig. 9 Result of principal coordinates analysis applied to the similarity matrix

あり、共通性に与えた2点は、前節で述べたエネルギーフローとしての機械の性質に基づくものである。連続性に与えられる得点は、機械においては構成要素の順序が重要な意味をもつと考えて2点としている。計算の方向で値の異なる場合は、大きい方の値が採用される。求められた類似度行列を次に示す。

1.0	1.0	0.4	0.4	0.31	0.57	0.4	0.1	0.4	0.57
1.0	1.0	0.4	0.4	0.31	0.57	0.4	0.1	0.4	0.57
0.4	0.4	1.0	1.0	0.77	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5
0.4	0.4	1.0	1.0	0.77	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5
0.31	0.31	0.77	0.77	1.0	0.39	0.62	0.62	0.62	0.39
0.57	0.57	0.5	0.5	0.39	1.0	0.2	0.4	0.2	0.29
0.4	0.4	0.5	0.5	0.62	0.2	1.0	0.5	1.0	0.7
0.1	0.1	0.7	0.7	0.62	0.4	0.5	1.0	0.5	0.4
0.4	0.4	0.5	0.5	0.62	0.2	1.0	0.5	1.0	0.7
0.57	0.57	0.5	0.5	0.39	0.29	0.7	0.4	0.7	1.0

次に、類似度行列の表現する空間を多次元尺度構成法の一つである主座標分析法¹⁰⁾を用いてユークリッド空間に変換する。図9に主座標分析法で計算した結果を示す。

図9では、機械が大きく4つのグループに分類されていることが分かる。すなわち、類似度行列から位相が再生されたことを示している。この操作は、類似度行列が位相空間上の距離の別の表現であることを示している。

図9は部分機能空間として求められたものである

が、ここで、試みとして全体機能空間として見てみよう。各グループに属している機械の発現する全体機能概念を考えると、第1軸によって直線運動と揺動運動が区別されており、第2軸によって両端減速の有無が区別されていることが分かる。すなわち、この図は全体機能空間としても意味のあるものである。これは、部分機能空間上で近いものは全体機能空間でも近いという仮定1の意味していることに同じである。

6. 結 言

本報では、次の結果が得られた。

- (1) 距離の概念を導入して設計知識の構造化を行うことの背景と重要性を述べた。
- (2) 設計に関する理論として、機能演算の数学的モデルを一般設計学の延長として位相空間論に構築した。
- (3) 位相空間上の距離の計算可能な表現として類似度行列を提案した。
- (4) 2つの実体において、部分機能構造が似ていれば同じような全体機能を発現するという仮定を示し、その数学的意味を明らかにした。

なお、本研究の推進に際して、東京大学富山哲男助教授と新日本製鐵(株)エレクトロニクス研究所大力修主任研究員から有益なご助言を頂いた。また、本論文のとりまとめに際しては、神戸大学工学部小野里雅美氏より数々のご指摘を頂いた。ここに記して感謝します。

参 考 文 献

- 1) V. Hubka: 機械設計過程の一般的モデル (その1~その6), 設計製図, 15, 75 (1980) ほか。
- 2) Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products, Verein Deutscher Ingenieur, (1987).
- 3) 吉川弘之: 一般設計学序説, 精密機械, 45, 8 (1979) 906.
- 4) 吉川弘之: 一般設計過程, 精密機械, 47, 4 (1981) 405.
- 5) 富山哲男, 吉川弘之: 一般設計学の展開 (第1報)——概念空間のコンパクト化, 精密機械, 51, 4 (1985) 809.
- 6) 富山哲男, 吉川弘之: 一般設計学の展開 (第2報)——概念空間の距離付けとCADへの応用, 精密工学会誌, 52, 8 (1986) 1406.
- 7) 米盛祐二: バースの記号学, 勁草書房, (1989).
- 8) R. D. Coyne et al.: Innovation and Creativity in Knowledge-based CAD, Expert Systems in Computer-Aided Design, Proc. IFIP WG 5.2 Working Conf., (Australia), North-Holland, Amsterdam. (1987).
- 9) 国藤 進: 仮説推論, 人工知能学会誌, 2, 1 (1987) 22.
- 10) W. S. Torgerson: Multidimensional Scaling: 1. Theory and Method, Psychometrika, 17, 4, (1952) 401.