

# 設計過程の分析と論理による形式化 (第7報)

## - 設計概念の構造の分析 -

東京大学工学部 ○松木淳一・武田英明・富山哲男・吉川弘之

### 1. はじめに

設計過程における知識の分析を行うにあたって、設計実験から得られるプロトコル・データの分析は、1つの有効な手段であり、これまで度々行なわれてきた[1]。第2報[2]において設計実験をもとに分析をし、1つの知識の抽出方法を示したが、これは知識の部分的な抽出であり、設計における知識全体の役割やその構造を分析することはできなかった。そこで本研究では、設計における思考過程の分析法としてコネクシヨニストモデルを用い、設計概念の構造を明らかにする。

### 2. コネクシヨニストモデル

半田ら[3]は、文章中における概念の重要性を評価する基準として以下のものを挙げた。

- ・重要な概念に近接した概念はやはり重要である。
- ・他の多くの概念と近接している概念ほど重要である。

これを実現するために、まず概念をノードとし、概念間をリンクで結ぶことで文章を意味ネットワークで表現する。そして、この意味ネットワークをコネクシヨニストモデルのネットワークとして用いる。すなわち、各ノードに活性度を与え、リンクを通じて近接するノードへ伝搬させる。これを繰り返すと、ある飽和状態に至る。このとき各ノードの活性度は上記の2つの基準を満足しているの、概念の重要度と見なすことができる。また、その計算手法として以下を示した。

$$X(0) = C \tag{1}$$

$$X(t+1) = A * X(t) + C \quad (t=1,2,3,\dots) \tag{2}$$

行列Aの各成分a(i,j)は、ノードi,j間の結び付きの強さに比例した値を与える。上式はX(t)が時間tにおける全ノードの活性度を成分とするベクトルである。Cは各ノードの定常的外部入力を示すベクトルである。Xが収束する場合、収束値X<sub>inf</sub>は、

$$X_{inf} = (I - A)^{-1} * C \quad (I \text{ は単位行列}) \tag{3}$$

であり、これが飽和状態での各ノードの活性度を示している。実際には(3)式を計算するのではなく、(2)式を繰り返し計算することで求められる。

本研究では、設計過程における設計概念の構造を解明する手がかりとして、上記の方法を用いて設計概念の重要度を求め、その結果を考察する。

### 3. 計算機処理用データの作成

今回、「飛ぶおもちゃ」という課題で被験者が異なる

2回の設計実験を行なった[4]。以下、実験1、実験2と呼ぶ。その発話プロトコルの例を図1に示す。

```
[13:09:14(K)]だからね、例えばね、こうゼンマ
イ巻くギアがあるやろ、シャフトがあるやろ、で
ギアがあるやろ、で、それにまーター付いね
てるよ、ね、で1ヶ所ギアに欠けて、そ
でワイヤーと空回りするわけね。
```

図1 得られた発話プロトコルの例

本研究では設計概念を「名詞あるいは動詞で表わされる概念の最小単位」と定義し、発話をこの設計概念間の関係として表現する。この定義に基づき発話プロトコルをすべて次の表現形式に変換した。

(動詞 名詞1 名詞2)

(isa 名詞3 名詞4)

ただし、名詞4は名詞3の上位概念を示す。

(inst 名詞5 名詞6)

ただし、名詞5は名詞6のインスタンスを示す。ここで、変換する際に次のようなことに特に留意した。

- ・可能な限り設計概念を抽出し、それらの間でリンクを張る。
  - ・同内容で異なった表現の設計概念は1つに統一する。
- このようにして図1のデータを計算機処理用に変換した例を図2に示す。

```
[13:09:14(K)](maku gear-1 zenmai)
(isa gear-1 gear)
(motsu omochai shaft)
(tsuiteiru motor gear-2)
(isa gear-2 gear)
(motsu gear-2 ikasho kaketa-bubun)
(maku zenmai)
(kara-mawarisuru gear-2 ikasho-kaketa-bubun)
```

図2 図1のデータの変換例

そして、名詞に相当する設計概念をノードとし、設計概念間の関係をリンクとして行列Aを求め、第2節で示した繰り返し計算をSun 4上のAllegro Common Lispで書かれたシステムで実行した。ノード数は実験1では255、実験2では301であった。

### 4. 計算上の設定とその意味

上記のデータを計算機で処理するに際してあたり次の2つの計算方法を導入した。

- ・設計過程を一定の間隔で切り、区間毎に計算する。
  - ・isa、instでリンクを結んでいる概念は同一の概念として計算する。
- この2つの組合せで実際に行なった設定を表1に示す。

表1 計算処理における設定

		時間区分なし	時間区分あり
階層概念の同一化	なし	設定Ⅰ	設定Ⅲ
	あり	設定Ⅱ	

ここで、Cの成分はすべて1である。設定Ⅰでは、1実験を通しての設計者の各概念に対する注目度が結果として現われる。また2つの実験の結果を比較した場合、注目度の高い概念を比較することにより、共通の概念があるならば、その中で注目度の違いが明らかになる。設定Ⅱでは、階層を持つ概念の最上位の概念に対する注目度がより明確に分かる。設定Ⅲでは各概念に対する注目度の時間的推移を知ることができる。

5. 計算結果及び考察

○時間区分を行わない場合

まず設定Ⅰにより実験1、実験2の概念の活性度を高い順に列挙したものを表2に示す。上位の概念の中で共通なものとして「モータ」「バネ」「ギア」「スイッチ」「カム」の5個があった。これらの5つの概念は、設計者が設計対象に対して抱いている概念構造の共通部分を示している。さらにその5つを観察すると、実験1では実験2より「モータ」「バネ」「ギア」が重視され、実験2では実験1より「スイッチ」「カム」が重視されていることが分かる。最終的に出来た図面を見ると、実験1は実験2より「バネ」「ギア」において設計上の工夫がより多く凝らされていた。したがって、この結果は、間接的ではあるが設計者の設計対象に対する意図を示していると思われる。

表2 設定Ⅰの結果(括弧内は各概念の活性度)

実験1:	実験2:
1. omochal(2.142)	1. omochal(2.151)
2. motor(1.385)	2. switch(1.813)
3. bane(1.304)	3. switch-on(1.435)
4. gear(1.201)	4. 2ko-no-switch(1.265)
5. mabuchi-motor(1.174)	5. switch-6-on(1.263)
6. warm-&-wheel(1.139)	6. switch-off(1.245)
7. neji(1.124)	7. cam(1.238)
8. rack-&-pinion(1.109)	8. zenmai(1.231)
9. siten(1.106)	9. ue-no-switch(1.229)
10. ita(1.105)	10. te(1.213)
11. asshuku-bane(1.097)	11. micro-switch(1.210)
12. neji-kiri(1.090)	12. gear(1.202)
13. phai-50-no-gear(1.088)	13. motor(1.201)
14. 20-stroke(1.086)	14. sita-no-switch(1.194)
15. iko-no-tan3-denchi(1.082)	15. bane(1.185)
16. switch(1.077)	16. setten(1.160)

次に実験1の結果をそれぞれ順位の変化と活性度の変化の関係を見ると、1位から4位までは活性度が比較的急激に減少していたが、4位以降は比較的減少量が少なかった。この設計においては、特に上位3概念が強く意識されており、設計の中心的概念として働いていたことが分かる。実験2についても同様であった。実験2においては、「スイッチ」に関する概念が上

位30概念中に15個出現していた。また実験2を設定Ⅱで計算した結果はスイッチが突出して1位であった。従ってこの設計過程では全体を通じて「スイッチ」とその関連する概念が強く意識されており、この設計の鍵となる概念であったことが分かる。

○時間区分を行う場合

設定Ⅰにおいて得られた5つの共通の概念の活性度のみを、設定Ⅲにおいて得られた結果から抜き出し、その時間的変化を見た(図3)。実験1のグラフを見ると「モータ」が設計の初期の段階で設計対象の中で最も注目され、その後は常に意識はされているものの、その程度が低いことが分かる。実験2のグラフの「スイッチ」の変化は、「スイッチ」がこの設計の中期段階で特に問題になっていたことを示している。また、2実験の共通の傾向として、「ギア」がほぼ一定の値を保っていた。これは、「ギア」が、今回の設計対象にとって、不可欠な概念であると同時に、設計過程で常に意識されている概念であり設計の進行に常に影響を与えていた概念であると思われる。

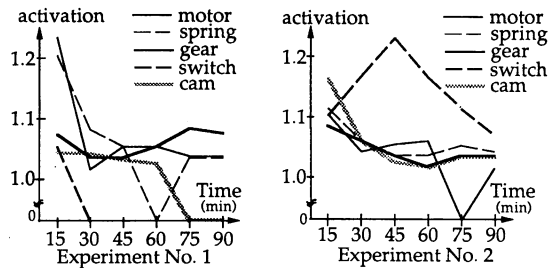


Figure3: Results of Mode III

6. 結論

本報では、コネクショニストモデルを用いた重要性の抽出という手法を用いて設計実験のデータを分析した。これにより設計時に重要であった概念とそれらの関係や設計過程における注目点の移り変わりを見ることができた。この手法は、設計に共通な概念の構造の解明や設計過程での思考の流れの分析に有効であり、設計過程分析の一つの重要な方法であると言える。

謝辞

本研究においては三田工業株式会社にご協力していただきました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

[1] 吉川他:実験設計学、精密機械47,7(1981)pp.46-51  
 [2] 武田他:設計過程の分析と論理による形式化(第2報)1989年度精密工学会春季大会講演論文集(1989)pp.5-6  
 [3] 半田、石崎:概念階層構造とコネクショニストアプローチによる重要概念の抽出、情報処理学会第36回全国大会(1988)pp.1685-1686  
 [4] 武田他:設計過程の分析と論理による形式化(第5報)本大会講演論文集