

設計過程の分析と論理による形式化(第2報)

- 設計知識の分析 -

東京大学工学部 ○武田英明・石原啓・林千登・富山哲男・吉川弘之

1. はじめに

設計支援に人工知能あるいは知識工学を利用する試みは今まで多く行われてきたが、十分な成功を取めているとはいえない。その理由のひとつは設計における知識とは何か、また知識がどのように使われるかといった基本的な問題が未解決である点であると思われる。

本研究では、設計過程の研究の一環として、設計過程における知識についての考察を行なう。そしてその研究手法として前報[1]と同様に設計実験を利用する。設計実験は設計、特に設計過程に関する情報を得るひとつの有効な方法である。この方法で得られたデータの観察・分析を行ない、設計過程と知識利用の関係を明らかにする。

2. 設計実験による知識の収集

本研究では、設計実験[2]の手法を用いて、知識がどの様に設計で用いられているかを観察・分析を行なった。設計実験とは模倣的な設計を被験者に行わせて、その設計過程を記録し、結果を分析するものである。具体的な方法については前報[1]で記したものに準拠している。

実験は同じ課題を3組に対して行なった。うち2回は設計経験者による実験、1回は比較のための学生による実験である。被験者となった設計経験者は現在企業で設計業務に従事しており、経験年数は各々約10年である。学生は工学部の大学院生である。

設計課題は体重計の設計とした。課題の選定においては、①被験者が設計したことがない課題であること、②被験者の設計経験が利用できる課題であること、③短時間で設計が可能であること等を条件にした。特に②は設計知識の収集のために重要な条件である。

設計過程での発話・動作・作図をVTR等を用いて記録し、プロトコル・データを作成した[3]。また今回は実験者が作業を観察し、設計終了後、不明な点を被験者にインタビューを行なうことで、プロトコル解析

表1 実験の結果

実験	No.1	No.2	No.3
被験者	設計者2名	設計者2名	学生2名
所要時間	約5.5時間	約5.0時間	約3.5時間
発話	約270	約310	約270
図	48枚	30枚	42枚

では得られない部分を補強した。

各実験の所要時間、発話数、図の枚数を表1に示す。

3. 設計知識の分析

3.1 設計知識の抽出と分類

本研究では設計知識を「設計過程において、設計者の思考に直接影響を与えている記憶情報」と定義する。この定義に基づき前節の結果であるプロトコルから設計知識を抽出した。プロトコルとそこから抽出した知識の対応例を図1に、抽出した知識の例を図2に示す。

プロトコル・データ	「減速が足りないならそこにウォームを使おうか。それなら緩まないから固定する必要もない。」
抽出した知識	ウォームを使うと緩まないので固定する必要がなくなる。

図1 プロトコルからの知識の抽出

知識の例	分類
・ブリー径はどんなに細くても10mmである。	7,8 展開
・強度がないといけない所は板金でつくる。	3 提案
・動滑車ではストロークが2倍になる。	2 展開
・回転運動するものの動きを悪くするにはワッシャなどを使って締めてやればいい。	1 提案
・部品数は減らした方がいい。	9 提案
・くり抜くと強度が落ちる。	4 評価
・最小ブリー曲率は動的特性である。	5 展開
・ウォームを使うと緩まないで固定する必要がなくなる。	1 提案
・ピスの頭を出さないために樹脂をアンダーカットして引っかけることができる。	6 提案
・普通の体重計の目盛りは実は360度も回っていない。	4 問題提起
・自動組立では上からしか作業ができない。	8 提案

図2 抽出した知識の例

以上の方法で得られたものを観察すると、設計知識はある概念から別の概念を導く一種のルールとみることができる。設計者はその時点での設計対象(あるいは設計仕様)に利用できる知識を適用させて、設計対象に関する新たな情報を得ている。ここで用いられた概念は以下の7つに大別することができる。

- (a)モノ：実体。現実にはその名前が指し示される。
- (b)機能：注目しているモノが他のモノとの関係に於て持つ役割。
- (c)属性：注目しているもの自体の、形状、寸法といった性質。

(d)モノとモノとの位相的な接続関係

(e)モノとモノとの接続方法

(f)モノの製作方法

(g)設計方針：設計のノウハウ

ほとんどの設計知識はこれら7つの概念間の関係によって表現できる。実際に抽出された知識は以下の9通りに分類することができた。

- ①機能からそれを備えたモノを導出する知識。 [b→a]
- ②モノからその機能を導出する知識。 [a→b]
- ③属性からそれを備えたモノを導出する知識。 [c→a]
- ④モノからその属性を導出する知識。 [a→c]
- ⑤属性から同じモノの属性を導出する知識。 [c→c]
- ⑥モノとモノとの位相的な接続関係からその接続方法を導出する知識。 [d→e]
- ⑦モノからその製作方法を導出する知識。 [a→f]
- ⑧製作方法からその属性を導出する知識。 [f→c]
- ⑨設計方針に関する知識。 [g]

3. 2 設計知識と設計過程の関係

前報において設計過程は「問題提起」、「提案」、「展開」、「評価」、「決定」という5つの段階の繰り返しとしてとらえることができた[1]。

本研究においてもこれに従って、実験によって得られたデータを5段階の繰り返しとして整理を行った。そして、前節で分類した9種類の知識がどの段階で用いられているかを調べた。その結果を表2に示す。

表2 知識と設計過程の関係(3回の合計)

知識分類	A 問題提起	B 提案	C 展開	D 評価	計
①		22			22
②	5	1	1	1	8
③		1			1
④	7	15		16	38
⑤		1	3		4
⑥		24			24
⑦		1	2	6	9
⑧		5	2	10	17
⑨		3			3
計	12	81	8	33	134

次に各段階で知識がどのような働きをしているかを観察した。その結果、9種類の知識の各段階での使われ方にそれぞれある共通点があることが分かった。それについて以下に示す。

A. 問題提起

○与えられた設計仕様にさらに知っていることを付け

加えることによって仕様の詳細化を図る。

例:知識②…機能を付け加える場合。

B. 提案

○知識そのものが提案事項を提示する。

例:知識①…機能が分かっているものの、具体的なイメージがないところに適用される場合。

○思考の根拠としての知識を利用する。

例:知識④…属性により提案事項を理由づける場合。

C. 展開

○提案されたことが設計対象にどのような影響を及ぼすかを明らかにする。

例:知識⑤…提案事項がその対象自身に及ぼす影響を明らかにする場合。

D. 評価

○提案事項を評価基準と照らし合わせる際に、提案事項の特性を知識から得る。

例:知識⑥…製作コストなどの工程レベルの情報が必要になった場合。

○検討の余地もなく一意に決まることを知識から得る。

例:知識⑦…提案するまでもなく、一意に決まる工作法を出して、知識⑧による評価の準備をする場合。

また、設計者の実験と学生の実験では出現する知識の量と種類に多少違いがあった。種類に関しては製作法に関する知識、すなわち⑥~⑧が学生の場合少なかった。しかし知識の使い方には特に差はなかった。

4. 結論と展望

設計知識と設計過程に関わりについて、設計実験のデータを基に分析した。その結果、設計知識の分類と、設計過程における知識の使われ方について明らかにすることができた。このような人間の知識利用に対する実験的アプローチは設計支援のための知識ベースや知識を利用した推論に対し有効な指針となると思われる。

今後はさらに多くのデータを収集と分析を行い、設計過程の中での知識の意味・役割を明確化することにより、設計過程の形式化を進めていく予定である。

謝辞

本研究にあたっ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] 武田他：設計過程の分析と論理による形式化(第1報)、昭和63年度精密工学会春期大会講演論文集(1988)pp.131-132.
- [2] 吉川他：実験設計学、精密機械47.7(1981)pp.46-51.
- [3] K.A.Ericsson H.A.Simon "Verbal reports as data" Psychological Review Vol.87 (3) pp.215-251.