

プロトコル解析を用いた設計過程の分析の方法について

東京大学工学部 ○武田英明・富山哲男・吉川弘之

1. はじめに

本研究では設計の計算機による知的支援を実現するために、設計（主に機械設計）過程の分析を行なっている。設計の知的支援のためには、まず設計がどのようなものであるか、設計過程では何が行なわれているかについて解明する必要がある。設計過程は設計者の思考過程であるので、プロトコル解析を用いることが可能であるが、設計の課題は一般の心理学実験と異なり、かなり複雑であり、その思考過程も複雑である。そこで本報告では特にその実験方法についての検討について報告する。

2. 設計実験

本研究では基本的には、以下に示すような方法で設計過程を調べており、これを設計実験と呼んでいる[1]。

設計実験では、単数あるいは複数（ほとんどが2人）の被験者に簡単な設計課題を与え、考えていることを口に出しながら、設計を進める。そしてその間に話した内容、設計中に描いたポンチ絵、略図、製図図面等を適当な間隔でコピーしたもの、および終了後の質問などを記録して、これを分析する。この方法は基本的にはプロトコル解析であり、一部補完的に回想的報告（retrospective reporting）を用いているといえる。

表1に最近3年間に行なった設計実験の概要を示す。また、各々の実験のデータに基づく解析は[2][3][4]などを参考にされたい。

表1 これまで行った設計実験

実験No	被験者	時間	課題
I-1 I-2 I-3	学生2名 学生2名 学生&技術者	約3:00 約4:00 約3:00	自動販売機の搬出部の設計(1)
II-A-1 II-A-2	学生2名 学生2名	3:10 2:10	自動販売機の搬出部の設計(2)
II-B-1 II-B-2 II-B-3	技術者2名 技術者2名 学生2名	5:00 5:20 3:35	体重計の設計
III-A-1 III-A-2	技術者2名 技術者2名	2:27 2:15	首振り機構の設計
III-B-1 III-B-2	技術者2名 技術者2名	2:29 2:16	おもちゃ(jumping machine)

3. 方法の検討

3.1 検討の視点

ここでは心理学的な立場からの検討と設計研究の立場

からの検討の二つを考える。

(1) 心理学的視点

設計実験を心理学実験とみた場合、多くの点で不十分である。特に実験数の不足や、被験者や課題の選定などにおける恣意性が問題であり、比較実験すら十分に行なっていない。しかし、設計課題の解決は極めて複雑かつ大規模であり、一般の心理学実験と同程度の精度で実験を設定したり、解析をすることは不可能である。しかし、思考を調べる方法としてどれだけ妥当であるについては検討する必要がある。

設計実験は主にプロトコル解析によって行っている。したがってプロトコル解析によって得られるデータ（発話）がどれだけ被験者の思考を反映しているかについては確かめる必要がある。これについてはEricssonら[5]が議論している。このなかで、データの正当性を保証するためには、データが思考過程とずれないことと、データが不完全になってはいけないということを挙げている。これらの条件を満たすためには、

- ①被験者に実験者が何を求めているかを知られてはいけない。
- ②被験者がやりなれている課題を選ばない、
- ③被験者にできるだけ多くのことを話させるようにすることが必要である。

(2) 設計の視点

設計実験は設計者の設計を行うときの思考過程に関する情報を得るために行うものである。従って、得られたデータが思考過程を忠実に反映しているものであっても、設計に関する有効な情報を含んでいなければ無意味である。すなわち、設計実験で行った設計過程がどれだけ実際の設計過程を反映したものであるかが問題になる。このためには設計に影響を与える要因について十分に注意を払う必要がある。Dixon[6]は設計に影響を与える要因として以下のものを挙げている。

- ①人間（設計者）
- ②問題
- ③組織的な環境
- ④設計環境（利用可能な器具、計算機、情報源など）
- ⑤時間

特に①、②、④が問題である。これらの要因を設計実験

と実際の設計でできるだけ差を小さくすること、あるいはどれだけ異なっているかを知ることが重要である。

3.2 各実験の検討

○被験者

被験者は技術者および学生である。技術者は精密機械メーカーに勤めており、通常は設計業務に従事している（I 3実験を除く）。設計経験はII実験の被験者は10年前後、III実験では約6~7年であった。学生は主に精密機械工学科の大学院の学生であった。

これらの被験者（特に技術者）はこの実験の主旨は知らされていたものの、具体的に発話、行為のどの部分が分析対象になるかまでは教えられてはいない。しかし、実験者の意図を読もうとする思考も時々みられ、よりよい実験方法が必要と思われる。また、学生実験を行ったのは技術者との差異をみるためであり、これは(2)の④の要因の影響をみるためであった。

○課題

課題は表1に示す通りのもので行った。これらの課題の選択においては以下の条件を設けた。

- ①機能が明確である。
- ②機構は未知である。
- ③解が実際に存在するものである。
- ④専門的な知識を必要としない。
- ⑤数時間で設計できるものである。

ここで問題になるのは④の条件である。すなわち技術者にもその技術者の通常従事している範囲の課題ではなく異なる範囲の簡単な課題を与えた。これは(1)の②の条件を満たすためである。しかし、これは(2)の②の要因を通常の設計と変えて行っているわけであり、注意が必要である。しかし、機械分野一般という意味では共通であるので、その意味での情報は得られたデータに含まれているといえる。また、実際的な課題を与えることは課題設定上困難であると同時にデータ収集の際にも多くの問題を生じると思われる。今後検討すべき問題である。

○設計環境

被験者には2人一組にして課題を与え、対話によって設計を進めさせている。これは(1)の③のために、より多くの発話が自然にできると期待したからである。より多くの発話が取れるという意味では有効であったが、二人で行うのは不自然であると指摘する被験者もあり、設計環境という意味では検討すべき点であった。

被験者にはIII実験を除き、紙と筆記具を使って設計を行わせた。III実験ではCADと同様の描画システムを併用して、設計を行わせた。この場合、被験者の行動は被

験者個人のCAD経験の有無、CAD利用分野などに強く作用されることがわかった。また、設計過程自身も描画システムの導入により変化していることが観察された。しかし、その反面、描画操作を限定したためにより、設計者の行う描画行為が明確になり、解析が容易になった。

4 データ収集法の検討

データ収集は基本的にはVTRによる発話、ジェスチャー等の記録と適宜とった図のコピーによって行っている。それらによって得られたものを、発話の文字化と図の整理・再描画を行うことにより、プロトコル・データを作成している。しかし、これらの処理に多くの時間がかかる上に、データ作成者の主観に依存する点（特に図の整理と図と発話の対応）があり問題であった。このため、III実験では描画及び指示動作を行えるシステムを開発して、この上でこれらの作業を行わせ、そのシステムによって記録を収集した。この結果描画プロトコルに関しては機械的な処理によって得られるようになり、処理時間の軽減とより客観的なデータを得ることができた。さらに記録の精度（時間、描画単位）が上がったので、より細かい分析が可能になった。このように計算機を利用した方法は設計実験の手法として有効であり、今後さらに進める必要がある。

5. まとめ

本報では設計実験の方法の有効性について議論を行った。設計実験の手法はいくつかの点で問題があるものの、設計過程を解析するひとつの有効な方法であるといえる。今後、データ収集用ツールといった処理のシステム化等を行ない、より客観的で精度の高い方法について検討していく必要がある。

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) 830.
- [2] 武田他: 設計過程の分析と論理による形式化 (第1報) 63年度精密工学会春季大会講演論文集. (1988), pp. 131-132.
- [3] 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) 5-6.
- [4] 濱田他: 機械設計における図形情報に着目した設計行為の分析(1989) pp. 197-200
- [5] K. A. Ericsson & A. E. Simon: Protocol Analysis, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, (1985).
- [6] J. R. Dixon: On Research Methodology Towards a Scientific Theory of Engineering Design, (AIEDAM), 1(3), (1988) pp.145-157.