

設計過程の分析と論理による形式化 (第6報)

- 図形情報を中心とする解析 -

東京大学工学部 ○濱田進・武田英明・富山哲男・吉川弘之

1. はじめに

本研究では、設計過程の研究の方法として設計実験 [1]を用いてきたが、解析には多くの手間と時間を要する上に精度の面で問題があった。そこで、これまでの設計実験において得られたデータについて図面を中心として考察し、計算機化によってその欠点を補うために試みた実験方法と作業データの解析について述べる。

2. ツールを用いた実験

2.1 実験データの問題点

これまでの実験 [2][3]では、データはVTRによる発話・動作の記録と適宜とった図のコピーであり、主に発話をプロトコル解析することによって解析を行っていた。しかし、これは設計における図面の重要性を特に意識した方法ではなく、解析に当たっては大きく分けて次の2つの点で問題があった。

(1) 図面の読みやすさ

構想図は紙の上を手書きで描いていた。また解析の時に、VTR画面中で図面を認識のしやすくし、かつ設計途中の図面データを失わないために、ある程度の太さがあり消せない筆記用具を用いていた。これらのため、荒っぽさや細かい部分の窮屈さや何度も行われた重ね書きで、わかりにくい図があった。

(2) 時間的な精度

図面には設計の進行につれて様々なものが書き込まれるので、設計者が会話や指示行為を行っていた時に、実際にどのような状態の図を前にしていたかは、図面データだけではわからない。また、発話プロトコルもデータ作成者が主要な部分であると判断した部分のみをデータ化したものであり、他の人間が発話プロトコルとそれに対応する図面だけを見て設計を理解することは困難な場合があった。

2.2 設計実験用ツール

これらの不明な点は、書いたときの様子をVTRによって確認するしかないが、時間と手間を要する上、設計者の体の陰になって見えないなど、わからない場合もあった。このようなデータの欠点を補うために、2次元CADシステムと同様の機能を持つツールを用いた設計実験を行った。このようなツールにより、時間的にも詳細で整った図面データを容易に収集でき、さらに操作などのデータを得ることも可能になった。

実験の方法としては、ツールを用いること以外は出

来るだけこれまでの方法を踏襲することとした。対話型の実験は、自然に多くの発話を得るために有効であったので、今回も対話型で行った。設計の比較的初期の段階における設計者の思考と描画との関係を調べるのが目的なので、対象とする設計の範囲としては、グラフ用紙による製図を行う前までとした。

作成したツールは、基本的には2次元の描画システムである。ただし、2台の計算機を接続した状態で利用し、単一の図面に2人の設計者が各々の計算機から操作を加える。操作の結果は相手側にも反映し、画面の状態は同一になる。画面上で指示等の動作を行うことも可能で、図に関する設計者間の意志疎通は基本的にはこのシステムを通じて行う。これらの設計者の行為の履歴は描画プロトコルとして記録され、解析のために操作の再現や画面の出力を行えるようにした。

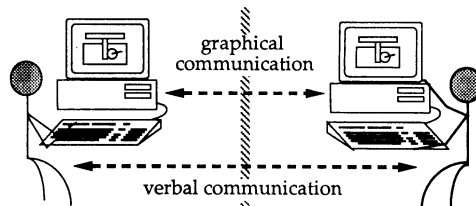


図1 ツールを用いた対話型設計実験

2.3 データの作成

実験は、2つの課題(首振り機構と飛ぶおもちゃ)を、企業の技術者2組(2人で1組)を被験者として、計4回行った。ツールによって収集されるデータとしては、描画プロトコルの他、マウス・ボタンの操作をも記録し、それぞれに時刻と操作者のデータを加えた。解析のための2次データとして、これらのデータとVTRによる記録より、①発話プロトコル、②発話プロトコル中の指示語の対象、③1操作毎の画面のデータを作成した。①については、データ作成者の主観が入ることを避け、かつ操作データの詳細度と合わせるために、話していることを逐一起こし、秒単位の発話時刻と発話者のデータを加えた。②は、指示語とその対象を示す画面データである。これらのデータにより、VTRを併用しなくても詳細に設計の過程を追って解析を行うことができる。

3. 実験結果の分析

以上のようにして得られたデータをもとに作業や操作レベルでの分析を行った。

3. 1 作業特性の分析

この場合の設計作業の全体的な特性を示す指標として、①発話レート、②操作レート、③メンタル・レートを用いた。①②は、全作業時間のうち発話や操作を行っていた時間の割合である。③は、①と②を差し引いた残りであり、何も行為をしておらず思考を行っていると考えられる時間の割合である。マウス操作を用いる3種類のタスクについて実験を行った研究では、それぞれのメンタル・レートはモグラたたき-12%、レイアウト-41%、プログラミング-62%と明かな違いがあり[2]、思考時間を反映していると考えられる。表1に今回の実験結果を示す。メンタル・レートの値は実験全体の平均で50%で、上記の3種類のタスクの値と比較してみると目標のはっきりしたタスク(レイアウト)と試行錯誤的なタスク(プログラミング)の中間の値になっており、思考と作図の混在する設計作業の特徴に対応していると考えられる。

表1 実験の作業レート(単位[%])

	発話レート	操作レート	メンタル・レート	
A 1	29.7	19.9	50.4	A・Bは、 課題を示す
B 1	23.2	37.3	39.5	
1組	26.6	28.3	45.1	1・2は、 別の被験者 の組を示す
A 2	22.3	23.4	54.3	
B 2	23.4	21.2	55.4	
2組	22.8	22.4	54.8	
全体	24.6	25.1	50.3	

また、課題別ではAとBで違いは見られないが、組別ではどちらの課題でも1組のメンタル・レートがかなり低くなっていることが観察され、1組の方が討論や作図を盛んに行って設計を進めていったことがわかる。これは、今回の実験においては、作業の特性は、課題による影響よりも被験者の違いによる影響を大きく受けていたことを示している。

3. 2 描画操作の分析

図面が設計者の頭の中のモデルを反映しているのであれば、図面に対する操作である描画も人間の思考と何らかの関係を持っていることが予想される。

まず、イベント間隔の時間分布を調べた。イベントとはマウス・ボタンの操作のことで、イベント間に思考を行っているとは仮定すれば、思考時間の分布となる。

図2に今回の実験におけるイベント間時間分布を示す

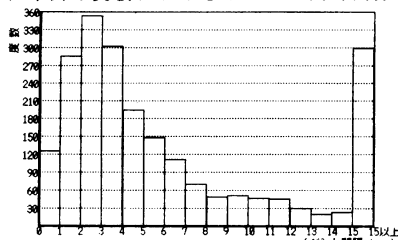


図2 イベント間時間分布

す。0秒から離れた2~3秒のところにはっきりとしたピークがあるほか、15秒以上の割合も高い。前者は前述のレイアウト・タスクにおける特徴と、後者はプログラミングにおける特徴と似通っており、これも設計作業の特徴を示すものであるといえる。

次に、2点を指定する描画操作において、始点を決定してから終点を決定するまでの所要時間とその他のパラメータ、移動距離・移動方向・発話量などの相関を求めた結果、いくつかのパラメータが相関を示したが、値の最も大きなもので移動距離の0.49で、値としては小さく、それらを合わせても所要時間の変動を説明しきれず、操作中の思考などの要因が大きく作用していることが推定される。

また、図面中で関係を持つ図形の組に着目しながら、図形の描画の順序関係を調べた。その結果、以下のような傾向が観察された。

- ①描画時に意識されている関係は数多くない。
- ②意味のある関係は近接して描画された図形同士の間によく存在する。
- ③ものの位相的關係や動力・変位等の伝達の流れと描画の順序は、よく対応する。
- ④重要なものがさきに描かれる。

関係は任意の2図形間に成立する可能性を持つが、意味のない関係を取り上げると余計な拘束を与えることになる。これらの傾向は、意味のある関係だけを抽出する基準として利用できる。

4. 結論と展望

設計実験のデータを改善するために、実験用のツールを作成し実験を行った。これまでの実験に比べ、見やすさや時間的精度の良い図面データが得られ、解析が容易であった。また、詳細な操作データをもとに設計作業や操作の特性を調べることができた。

今後は、実験方法について設計者に対する制約を減らす、製図段階まで範囲を広げる、より多くのデータを収集するなどの点でさらに考察が必要である。またユーザー・インタフェースなどへの応用が考えられる。

謝辞

設計実験に当たっては、三田工業株式会社のご協力を頂きました。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5報)本講演論文集
- [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)131.
- [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.
- [4]保科他:プログラミング時のユーザー操作データの分析、第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集(1989)pp.481-486