

## 相互作用モデルに基づいた HI 設計方法の検討

小場 久雄 下平 博

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

認知工学的手法を用いた人とシステムとの相互作用モデルに基づいた HI 設計方法について検討する。思考エンジン、STM、LTM、入出力機構の4点から構成される本モデルにおいて、その構成要素における情報処理のコストの概念を導入し、HIの善し悪しをコストの大小として評価することを提案する。さらに、このことから導かれる、「楽」な HI、すなわち情報処理のコストが低い HI の設計に関する一般的な原則を提案すると共に、この原則を具体的なシステムの設計に生かすための手法を検討する。そして、実際に具体的なシステムの HI を設計・実験することによって、本設計方法による、使うのが「楽」な HI が設計の可能性を示した。

## A Study of HI Design Methodology Based on the Human-System Interaction Model with Cognitive Engineering Approach

Hisao Koba Hiroshi Shimodaira

School of Information Science

Japan Advanced Institute of Science and Technology

E-mail: koba@jaist.ac.jp

We investigate the HI design methodology based on human-system interaction with cognitive engineering approach. We introduce a concept of information processing cost on our model and propose it for evaluation of HI. Furthermore, we propose general HI design principle derived from our model and examine how to apply this principle to definite systems. Then we give a sign of probability of "easy to use" HI design based on our methodology by designing and testing HI of some definite system.

## 1 はじめに

現代のさまざまなシステムはより高機能かつ複雑になっており、これに伴って利用者にとっての「わかりやすさ」「使いやすさ」がますます求められている。

また、近年「人にやさしい」、「ヒューマン・フレンドリー」などの合言葉のもとに、人工のシステムをより使いやすくするための技術として、VR(Virtual Reality)やGUI(Graphic User Interface)、各種パターン認識(音声合成・認識、文字認識など)などが研究されている。

しかし、これらの多くはより良いユーザインタフェースを構成するための要素技術であり、どのように生かせば良いのか、更にはなぜ有効なのかは個々の研究者や設計者の経験に基づいた直観や know how の段階に留まっているかあるいは特定のシステムに限定されたものが多いので、人工物や人工のシステム(以下システムと呼ぶ)の設計全般に広く応用できる形式にはいまだなっていない。

そこで、本研究では使うのが「楽」なシステムのユーザインタフェースとはどのようなものであるのかを認知工学的に考察し、

1. システムと人との相互作用モデル
2. 一般的設計原則
3. 具体的システムの設計手法

の3点から構成されるユーザインタフェースの設計方法を検討すると共に、将来的には具体的システムによる設計の評価・検証手法も含んだ、ユーザインタフェースの設計方法の構築を目指す。

## 2 インタフェース設計

本研究では、システムを使用することが「楽」であると感じられるような HI が、「良いユーザインタフェース」であると考えます。また、本研究において目標とする、「楽」なシステムとは、

“目的を間違える事無く素早く解決できるシステム”

であると定義し、このことを実現するための条件を以下で検討していく。

### 2.1 相互作用モデル

まず、人の情報処理の構造を分析した定性的なモデルを作成し、外界との相互作用において人の情報処理機構のどこが問題となるのかを明らかにしていく。

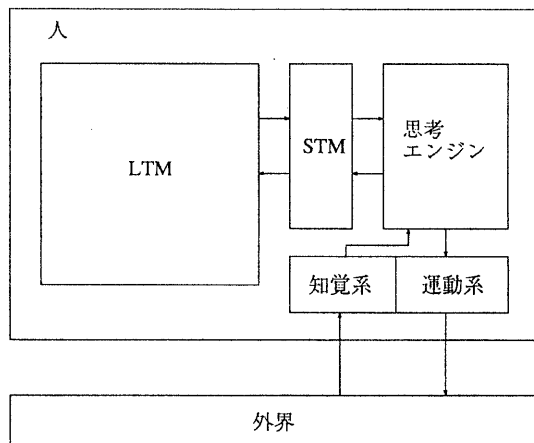


図 1: 相互作用モデル

このモデルは、

1. 思考エンジン
2. STM(Short Term Memory)
3. LTM(Long Term Memory)
4. 外界との入出力機構

の4つの部分から構成される。(図1)

#### 2.1.1 思考エンジン

ここはコンピュータにおける CPU の役割を果たす、人の情報処理において中心的な役割を担っている部分である。

思考エンジンの情報処理は、Norman の行為の7段階理論 [7] をより精緻化したものであり、その基本的な流れは、

1. 目標設定
2. 意図形成
3. 実行手続き系列生成
4. 手続き内操作実行
5. 手続き内予測値と実行結果との照合・評価

を目標達成まで繰り返すようになっている。(図2)

3の実行手続き系列生成とは、自らの知識や能力と外界の状況を考慮して、外界に対する操作とその結果生じ

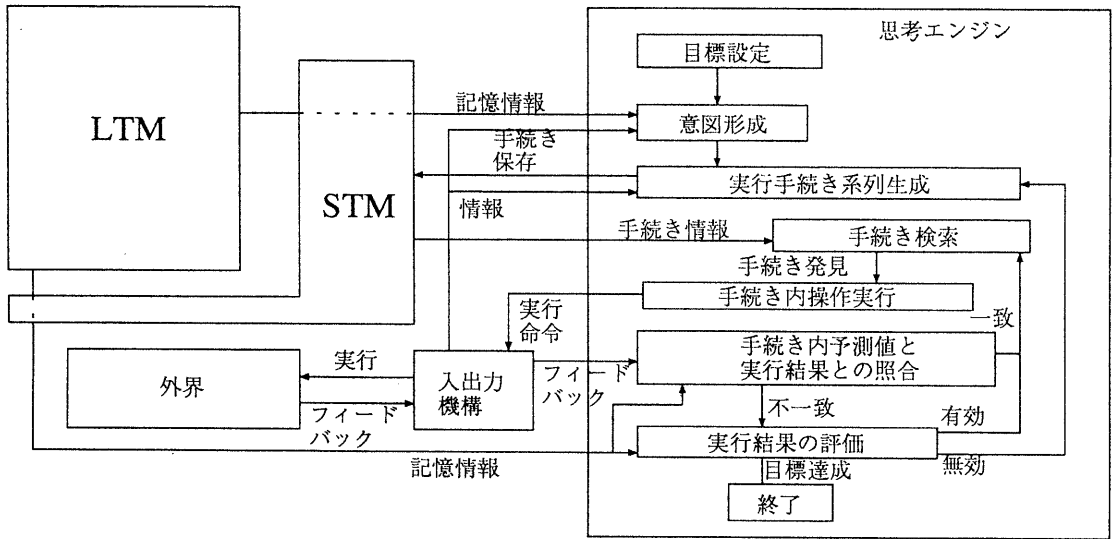


図 2: 思考エンジンのモデル

ると期待される外界からのフィードバックの予測値を対としたものを一つの手続きとして生成し、その繰り返しのよって系列を生成することである。生成された手続き系列はSTMへ記憶される。

また、この段階ではまだ行動を開始するのに十分なだけ操作が精細化されているとは限らない。その場合は思考エンジンの情報処理機構が再帰的に呼び出されて、更に精細化される。外界への操作が行動を開始するのに十分な精細化が行なわれるまでこの操作が繰り返され、実行手続き系列が最終的に生成される。操作の精細化の程度は、その人が持っている自動手続き(特に意識しなくても実行可能な操作のパッケージ)に依存する。

あるいは目標達成に必要な完全な実行手続き系列が一度に生成できない場合は、不完全な実行手続き系列をある程度生成し、その操作を実行して外界と相互作用することによって得られる新たな情報をもとに手続きの再構成と補間を行なっていく。

実際の相互作用では、手続きを一つずつSTMから取り出し、操作を実行し、外界から返ってくる情報を予測値と照合して評価するという一連の作業が目標達成まで逐次的に行われる(4,5)。

照合結果が異なる場合は、再びLTMや外界の他の情報を探してその有効性を推論し、決定することになる。

外界からの情報が予測値と異なり、有効性も否定された場合は、生成した実行手続き系列自体の有効性が否定されたことになるので、また新たな実行手続き生成からやり直すことになる。

目標達成のための完全な実行手続き系列が(一度にではなくとも)生成・操作され、最終結果が目標と一致した場合、ここでこの目標に関する相互作用は終了し、目標は達成されたことになる。

### 2.1.2 STM(Short Term Memory)

STMには、(1)記憶容量が限られている、(2)検索が高速、(3)時間減衰率が大きい、(4)情報の強度(ここでいう情報の強度とは、その情報にたいする興味や感心、印象の強さのことである)によって減衰時間が異なる、の4つの特徴がある。

また、STMにおける記憶強度は記憶情報が参照・再記憶される回数や情報強度によるので、その強度を表すために積算情報強度を、

- “ある情報に対する情報強度を一定期間における参照・再記憶の回数加算したもの”

と定義することにより、情報強度の強い情報の記憶がなかなか薄れないことや、情報強度の弱い(関心の薄い)情

感覚	特徴
視覚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間当たり情報密度最大</li> <li>・時間に関係なくランダムアクセス可能</li> <li>・能動的</li> </ul>
聴覚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間当たり情報密度は中程度</li> <li>・時間軸に沿ったシーケンシャルアクセスだけ可能</li> <li>・受動的</li> </ul>
触覚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間当たり情報密度小</li> <li>・情報処理負荷大</li> </ul>
嗅覚、味覚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システムとのインタラクションにおいてはほとんど利用されることはない</li> </ul>

表 1: 知覚系の特徴

報でも繰り返し耳にすることによって記憶に残ることが説明できる。

### 2.1.3 LTM(Long Term Memory)

LTMの特徴には、(1) 記憶容量が大きい、(2) 検索に時間がかかる場合がある、(3) 時間減衰率が小さい、(4) 記憶するためにはある程度の情報強度が必要、(5) 記憶情報の再配置・グループ化が行われる、の5つの特徴がある。

記憶の再配置・グループ化とは、記憶情報の参照頻度に応じて、記憶情報の再配置が常時行われ、参照の多い記憶情報ほど検索優先順位の高い位置に再配置される。また、同時に参照されることが多い情報はグループ化され、自動手続きとして参照することが可能となることである。

### 2.1.4 外界との入出力機構

外界の情報を得るための知覚系（視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚）と、外界へ働きかけるための運動系（手など）からなる。

知覚系はそれぞれに特徴（表1）があり、それぞれの情報を総合して利用していると考えられる。また、運動系は、物理的な制約が最も大きい。

### 2.1.5 相互作用モデルにおける認知処理のコスト

本モデルにおいて、処理能力を規定する際の要素となる点は、

1. 外界との入出力にかかるコスト
2. LTM の検索にかかるコスト
3. STM の記憶にかかるコスト
4. 外界の情報と記憶情報との照合コスト

の4点におけるコストをいかに削減することができるかと言う事である。

1. 外界との入出力にかかるコスト

人の入出力機構には能力を発揮できる適正な範囲があり、その範囲に合わせた情報の提示がなされないと、情報を得るために過度の負担がかかり、コストの上昇を招く。また、入出力機構に何らかの障害を持っている人の場合は他の情報処理資源で補う事になるので、その分入出力コストが増大する。

2. LTM の検索にかかるコスト

検索順位の高い記憶情報に対応した情報の場合はすぐに検索が終了するので検索コストが小さく、逆に検索順位の低い記憶情報に対応する情報はなかなか検索が終了しないので、検索コストが大きいといえる。

3. STM の記憶にかかるコスト

STM の情報は、常に情報を再書き込みし続けなければ消えてしまう事から高コスト要素であるといえる。

4. 外界の情報と記憶情報との照合コスト

外界の情報と記憶情報が完全に一致する場合は照合コストは非常に低いが、部分的にしか一致しない場合も少なくないと考えられる。このような場合は過去の経験による、LTM の記憶情報に基づいた直観や論理的推論と、外界からの新たな情報に基づいて情報を変形させることによって双方の情報の照合を行うので、入出力コストやLTM の検索コストが余分にかかると共に情報の変形操作に対する照合自体のコストも上昇することになる。

## 2.2 一般的设计原則

相互作用モデル（図1）に基づいて、人間の認知特性をシステム設計に応用するための原則を作成する。前節

の、人間の認知負荷を規定する4つの要素の特性を考慮し、それぞれのコストを削減するための一般的な設計原則として以下の4点を考える。

1. 記憶負荷の削減
2. 効果的な情報提示
3. 適切な制約の利用
4. 心理的抵抗の除去

### 2.2.1 記憶負荷の削減

STMの記憶とLTMの検索にかかるコストを削減するためには、一貫性の保持、必要動作の削減、ユーザの知識の利用、外界の知識(記憶)の利用、システムの頑健性などが必要である。また、ユーザの知識の利用のためには、アナロジー・メタファや常識の利用などが考えられる。

外界の知識(記憶)の利用とは、外界に情報を置く事により、ユーザの記憶負荷を削減することである。これは、外界に記憶の一部を分担してもらう恰好になるので、ユーザはその外界への記憶へのポインタだけを保持すれば良く、その情報量の大小にかかわらず少量の記憶容量の負担だけで済む。

システムが頑健であるとは、(1)不正な入力に対して誤動作しない、(2)多様な入力に柔軟に対応する、(3)いつでも操作を取り消したり再開できる(Undo、Redo)事であるとする。システムが頑健であれば、個々の操作を正確に記憶・再生する必要が無くなるので、その分記憶負荷が削減できる。

### 2.2.2 効果的な情報提示

外界との入出力にかかるコストを削減するためには、必要な情報の提示と十分な情報の提示、それに情報間の自然な対応づけの一見相矛盾する原則を満たす必要がある。そのためには、ユーザの目的や意図と現在実行している作業(タスク)の両方を考慮した、システムからの適切なフィードバックを設計しなければならない。

### 2.2.3 適切な制約の利用

以下のような制約の利用は、設計者の意図に的確にユーザを誘導するために有効な方法である。

- 物理的制約

物体の3次元形状を利用する事により、入出力にかかるコストを削減する。

- 論理的制約

物事の機能や因果律を利用する事により、LTMの検索コストを削減する。

- 文化的制約

ユーザが属している社会における常識や物事の意味を利用する事により、LTMの検索コストを削減する。

### 2.2.4 心理的抵抗の除去

心理的抵抗は、ユーザが自らの経験に基づいて推論した結果、自身の情報処理資源では目標の解決が不可能である、あるいはあまりにコストが高すぎると予想するからであると考えられる。これを除去するためには、ユーザの情報処理の一部をシステム側が肩代りすることが必要となる。そのための条件には、効果的な情報提示やシステムの頑健性が効果的であると考えられる。効果的な情報提示としては、適切なフィードバックや適切なヘルプシステムなど、頑健なシステムのためには、UndoやRedo、入力への柔軟な対処などが求められる。

## 2.3 インタフェース設計手法

システム設計の際にはまず、「誰に何」をさせるのか」を明確にする事が必要である。

そこで、システムを設計する際にまず「何」と「誰」を明らかにするために、それぞれに対応した、タスク分析とユーザ分析を行う事により、対象となるタスクとユーザの特徴を明らかにする。

そして、その結果を相互作用モデルから導き出した一般的な設計原則に当てはめる事により、対象となるシステムの設計に適応する設計指針をつくり出す。

### 2.3.1 タスク分析

タスク分析とは、システムが達成すべき目標や機能をタスクとして分析し、設計者にとってのシステムとは何か(システムモデル)を明確にする事である。

そのために行なわなければならないことは、(1)システムの目標の設定、(2)システムの機能の設定、(3)各機能の精細化の3点である。

### 2.3.2 ユーザ分析

ユーザ分析とは、相互作用モデルにおける思考エンジンとSTMやLTMに当たる、タスクやそれに関するユーザの知識や常識などを調査・分析し、ユーザにとってのシステムのタスク(ユーザモデル)とはどのような物であるかを、(1)タスクに直接関連するユーザの知識、(2)タスクに間接的に関連するユーザの知識、(3)その他の知識・常識の3点に関して検討する。

また、ユーザの能力(身体的、心理的)を調査し、その結果を設計指針の優先順位づけに利用する。これは、相互作用モデルにおける、外界との入出力デバイス部分の調査・分析に当たる。

### 2.3.3 具体的システムの設計指針の作成

タスク分析とユーザ分析によって、システムが対象とする目標とタスク、ユーザについての情報が明らかになったら、その情報をシステムの制約条件として、一般的設計原則から具体的なシステムの設計指針を作成することになる。

ここで行われる作業は以下の2点である。

- 一般的設計原則から具体的な操作への変換
- 設計原則間の優先順位づけ

## 3 設計、試作

本研究では、ユーザインタフェース設計の具体例として、知的自動点訳システム[3]のユーザインタフェースの設計を取り上げた。

### 3.1 知的自動点訳システムの概要

視覚障害者が墨字を読む事は従来ボランティアによる点訳や音読のテープ吹き込みなどに頼らざるを得ない状態が続いていた。本システムは、日本語墨字文書から点字文書への自動変換を実現し、視覚障害者が日本語墨字文書を自由に読む事のできる環境を提供するものである。

### 3.2 タスク分析

本システムで提供される機能は、音声読み上げ出力、点字ディスプレイ表示、点字印刷、各種ファイル出力の4種類である。以上から分かるように、全ての機能には「原稿を読みとる」タスクが付随している。

よって、システムモデルは、「原稿読みとり」+「4種類の機能のいずれか、あるいは複数の組合せ」となる。

### 3.3 ユーザ分析

今回対象とするユーザは、「ワープロが打てる程度のコンピュータに対する知識を持った視覚障害者」である。

この条件から想定されるユーザ像は、

- キーボードは操作可能
- フロッピーを利用可能
- “ファイル”という概念がある

というものと、

- 聴覚、触覚が頼りである

というものである。

ここで、最も特徴的な点は、「視覚障害者」という事である。これは、比較的高コストな感覚に頼らざるを得ないので、外界の記憶(知識)を自由に活用することが困難である、言い替えると、暗眼者に比べて相対的に記憶容量が少ないということを意味している。

従って、視覚障害者のユーザインタフェースにとっては、記憶負荷の削減と適切な情報提示を最優先に考えなければならない。

### 3.4 設計指針の作成・設計

タスク分析とユーザ分析の結果を2.2の設計の一般的原则に当てはめ、知的自動点訳システムのユーザインタフェースの設計指針を表2のように作成し、実際に設計を行った。

## 4 実験・評価

本研究では、知的自動点訳システムのユーザインタフェース部を設計するという想定のもとに設計・作成し、実際に対象ユーザである視覚障害者に使用してもらう事により、設計したユーザインタフェースの有効性を検討した。

実験は、石川県点字図書館の協力を得て、3回にわたって行った。

一般的設計原則	具体的設計指針
(記憶負荷の削減) ・一貫性の保持	・常に一貫したキー操作 ・操作系列は出力先にかかわらず同じ
・必要動作の削減	・操作キーは4種類だけ ・入力回数の削減
・外界の知識の利用	・操作毎に次の操作を指示 ・システムの作業の終了を通知
・システムの頑健性	・操作に関係ないキー入力は受け付けない
(効果的な情報提示) ・適切なフィードバック	・システム状態の提供 ・操作毎に次の操作を指示 ・システム作業の終了を通知
(適切な制約の利用) ・物理的制約の利用	・操作キーは互いに離れた位置にあるものを使用
(心理的抵抗の除去) ・適切な情報提示	・操作毎に次の操作を指示 ・適切なヘルプシステム
・システムの頑健性	・Undo ・Redo

表 2: 一般的設計原則と具体的設計指針との対応

## 4.1 実験条件

知的自動点訳システムは現在も開発中のシステムであるため、実際のシステムによる実験はできず、今回はユーザインタフェースの部分だけを作成し、実際の処理に関しては処理時間のエミュレーション程度にとどめた。実験に使用した装置は、富士通 FM-TOWNS と音声合成装置、イメージスキャナの3点である。

作成したユーザインタフェースソフトウェアはメニュー方式になっており、(1) メニューから出力先を選択、(2) 原稿をスキャナにセット、(3) 原稿読みとり、(4) 出力、(5) システム終了確認の5段階を繰り返す(2,3はスキップされる場合あり)ようになっている。操作体系は、メニュー選択として上下矢印(カーソル)キーを使うものと数字を入力するもの、その他のキー入力としてリターン/エスケープを使うものと Y/N のもの、その他フィードバックの有無などについて異なる組合せのものを用意した。

また、本システムは従来に無いものなので、実験前にシステムの概要を説明することにした。

## 4.2 実験

5種類の異なる操作体系のものを、こちらが指定したタスク(音声読み上げ、テキストファイル出力、点字印刷など。あるいはその組合せ)について6人の視覚障害者に操作してもらい、それぞれの操作について記録し、設計者が想定した操作と比較した。また、被験者の操作状況を観察すると共に、実験後に操作感などについてインタビューを行なった。

## 4.3 考察

3回の実験の結果をまとめると以下ようになる。

1. 単純な操作体系は学習効果が大きかった。
2. キーの押し間違えはほとんど見られなかった。
3. メニュー画面での選択肢とカーソル位置との対応に戸惑いが多く見られた。
4. 用語の誤解が数多く見られた。
5. ワープロが使えても、特殊キー(リターンやエスケープなど)以外のキーの位置がわからない人が少なからずいた。

1と2は設計の有効性を示す結果である。1から記憶負荷の削減、2から物理的制約の利用という原則の有効性が確認できた。

3から5は逆に設計の問題点を示す結果である。3は自然な対応づけをしなかった結果である。4は設計者の知識や常識とユーザのものとの間にずれがあったことを示している。5は設計時における原則間の優先順位づけに問題があったことを示している。

このことから、

- 記憶負荷の削減は有効であり、情報処理の負荷が小さい。
- ユーザの既存の知識の把握が不十分だった。

ということがいえるだろう。

## 5 まとめ

本研究は、使うのが「楽」なシステムのユーザインタフェース設計の方法について、認知工学的手法を基に検討した。

まず、人とシステムとの相互作用モデルを基盤とし、一般的设计原則とタスク分析やユーザ分析などの具体的なシステム的设计手法を含む総合的なユーザインタフェース設計方法を検討・提案し、それを知的自動点訳システムの視覚障害者用ユーザインタフェースという具体的な目標に本研究の手法を実際に適応し、設計と試作を行い、実際に視覚障害者に使用してもらった。

その結果は、学習効果が大きく、論理的な操作誤りも少なかったことから、単純な操作体系は記憶負荷の削減に有効であり、したがって、本研究で提案した設計方法による、学習効果の高いシステム設計の可能性があることを示すことができた。

今後の課題としては、

- ユーザ分析の改良(ユーザの知識の把握など)
- 実験における「使いやすさ」の評価基準の検討
- 実験結果の設計方法へのフィードバックの方法

等があげられる。

## 6 謝辞

本研究を行なうにあたり、日頃御指導頂く木村正行教授に感謝致します。また、本研究方法の検証のための実

験について、特に視覚障害者の立場から有益なアドバイスを頂いた静岡県立大学の石川准先生や国立特殊教育総合研究所の木塚泰弘部長を始めとする知的自動点訳システムプロジェクトの皆様や、実際に実験に御協力頂いた視覚障害者の皆様と、細川啓子様を始めとする石川県点字図書館職員の皆様に感謝します。

なお、本研究の一部は文部省科研費(試験研究(A)04508001)の補助による。

## 参考文献

- [1] Cart,S.K., Moran,T.P., Newell,A. (1983), USER INFORMATION-PROCESSING MECHANIZMS, In The Psychology of Human-Computer Interaction, Hillsdale,N.J.:Lawrence Erlbaum Associates.
- [2] 海保博之,原田悦子,黒須正明(1991),認知的インタフェース,新曜社
- [3] 勝山裕(1994),知的自動点訳システム,「障害者とコンピュータ」セッション 視覚障害者ワークショップ ACM日本支部設立記念シンポジウム IISF 国際シンポジウム「コンピュータと人間の共生」,
- [4] Lewis,C., Rieman,J. (1993), TASK-CENTERED USER INTERFACE DESIGN (A Practical Introduction), available by anonymous ftp from ftp.cs.colorado.edu: /pub/cs/distrib/clewis/HCI-Design-Book
- [5] Lindsay,P.H., Norman,D.A. (1977), Human information processing (2nd ed.), Academic Press, (中溝幸夫,箱田裕司,近藤倫明訳「情報処理心理学入門 I,II,III」サイエンス社)
- [6] 西田正吾,佐伯洋(1991),ヒューマン・コンピュータ交流技術,オーム社
- [7] Norman,D.A. (1986), Cognitive Engineering, In Norman,D.A., Draper,S.W. (Eds.), In User Centered System Design, Lawrence Erlbaum Associates
- [8] Norman,D.A. (1988), The Psychology Of Everyday Things, Basic Books, (野島久雄訳「誰のためのデザイン?」新曜社)
- [9] Polson,P.G., Lewis,C., Rieman,J., Wharton,C. (1992), Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces, In International Journal of Man-Machine Studies 36, pp741-773, Academic Press
- [10] Shneiderman,B. (1992), Designing the User Interface 2nd edition, Addison-Wesley, (東基衛,井関治監訳「ユーザー・インタフェースの設計 第2版」日経BP社)
- [11] Sidney,L.S., Jane, N.M. (1986), GUIDELINES FOR DESIGNING USER INTERFACE SOFTWARE, Report ESD-TR-86-278, Electronic System Division, the MITRE Corporation, Bedford, MA.
- [12] Suchman,L.A. (1987), Plans and Situated Actions (The problems of human machine communication), Cambridge Univ. Press