

# Representations of Strategic Knowledge in Design

Linda Candy: Representations of Strategic Knowledge in Design, Knowledge-Based Systems, vol.11, no.7-8, pp.379-390 (1998).

本稿は、デザインにおける方略的知識表現の目的および形式に関心がある。デザインにおける表現の役割に関する多くの問題が含まれる。デザインを記述するための表現と、デザインをガイド・規定するための表現の間に区別を置く。デザインの、そしてデザインのための表現の役割と形式に関する問題は、乗り物の工学デザインの事例研究の経験に照らし合わせて考察される。この仕事が発生するプロジェクトのゴールは、1. 領域専門家から方略的知識の例を明らかにすること、2. この問題に関する計算機支援の領域に知見を与えることの2つである。採用されたアプローチは、経験的な情報の収集、および異なる分析フレームワークを用いた結果のモデル化である。3種類の表現、インタラクティブなシステム設計支援のための方略的知識の領域モデル、計算機上の方略的知識表現のためのモデル、工学デザインにおける方略的知識のデザインプロセスモデルを記述する。

キーワード：方略的知識，デザイン，表現，インタラクティブなシステム設計

## 1 INTRODUCTION

- 関心：デザインにおける方略的知識 (strategic knowledge) 表現
- MULTIK プロジェクト [Edmonds 1997] の試み
  1. デザイン（特に方略的知識使用）の方法
  2. 方略的知識を実装したフレームワーク開発
- デザイン研究の目的の方向
  1. 質的・経験的データから抽出した方略的知識の表現
  2. 計算機システム実装のための方略的知識の表現
- 本研究の目的
  1. 方略的知識の例を明らかにすること
  2. 計算機支援設計に知見を与えること  
経験的データ収集・結果のモデル化
- 本研究からの3つのモデル（5節以後）
  1. 計算機上で方略的知識を表現するモデル
  2. インタラクティブなシステム設計の方略的知識のモデル
  3. 工学デザインプロセスを再構築する方略的知識のモデル

## 2 BACKGROUND

2つの背景テーマ

1. 「目的」と「ユーザのタイプ」によるデザインの表現の区別
2. 経験的デザイン研究の結果をモデル化する表現の役割

### 2.1 Representations of design: purpose and methods for empirical studies

表現

- 多様な目的・形式
  - 日常的な外化表現（⇔ 内心的表象）：グラフ，表，流れ図
  - 専門家のツール：数式，楽譜，ニットの型，プログラミング言語，製品モデル
- デザインと表現の理解
  - 「デザインを記述する表現」- 「デザインをガイド・規定する表現」の区別
  - デザイン「の (of)」表現 - デザイン「のための (for)」表現

Table 1: 表現の目的とユーザ

目的	ユーザ
デザインがどう行われるか記述	研究者
デザインの伝達	デザイナー / デザインチーム
デザインの規定・制御	デザイン管理者
最良デザインの助言・教育	デザイン教育者
ユーザモデル表現とシステム設計	システムデザイナー

- 基準
  1. 正確たれ：領域・システムの本質的な特徴 / 属性を含む
  2. 混乱すな：明確だが単純化しすぎない
  3. 表現スタイルは目的と使用文脈に適切たれ
- データ収集法
  - 観察によるデザイン活動のモニタ，構造化インタビュー，ディスカッション，音声・映像記録
  - 情報・被験者の性質等は分析と結果の利用に影響
- 分析法
  - 目的を明らかに
  - データの深さ・幅
- 表現の選択・抽象度

## 目的とユーザ

- 重要な項目
  1. 誰が意図するユーザか？， 2. 何の目的で使われるのか？， 3. どんな形式を取るのか？
- モデルに対する影響要因
  1. ターゲットのレベル（例：粒度，建物・drug infuser・ナットとボルトの設計）
  2. モデルの目的（例：教育，活動記録，個々の記録）
  3. 適用領域の影響（エンジニアリングと製品デザインで異なるかどうか）
  4. ツールと手法のインパクト
- 主な目的-ユーザ間の関係（ Table 1）

## 3 種類の表現

- 計算機システムデザインの 2 種類の表現
  1. ユーザのニーズ・タスクの表現（領域モデル等）
  2. システム自身の設計に関するアイデア（計算機モデル）
- +デザイン管理の表現
  3. プロセスをガイド・制御，チーム内のコミュニケーションを可能にする表現

## 2.2 Representations for interactive computer systems design

### 表現の選択

- 設計者に求められるもの
  - ユーザのニーズと要件の理解
  - アイデアの探索・生成・評価，デザイナー・デザインチームの意思決定  
ユーザ・タスク・文脈の表現
- 表現形式
  - 流れ図，ユーザモデル，機能的階層，知識に基づく構造，ルール，ユーザインタフェース
  - 各ステージに対応する表現の使用 要件分析・タスク分析
- タスクの配置
  - 人手に任せる，計算機化する箇所

## 実状と問題

- モデルと表現に対する制限
  - デザイナーとユーザのコミュニケーション？
- HCI とソフトウェア工学のギャップ
  - ユーザ中心（インタラクション） vs 計算機システム中心（知識ベース）
- モデル化
  - 専門家の知識のモデル化とインタラクティブデザインの仕事の分離
  - 領域モデルは計算機表現にのっからない

## 2.3 Representing strategic knowledge

足りないもの？

- 時間変化の表現の必要性
  - 既存モデルは静的
  - ↔ 方略的知識は専門的，動的，発展的
  - 発散的なタスク（アイデア生成・評価にヒューリスティックス使用）
- 「なぜ」特定のアプローチをとるのか？
  - 記述的研究は「何」 ↔ 「なぜ」
  - 「方略」レベル：個々の状況で取られた方略のデザインモデルの必要性
- 専門知識・経験の役割
  - カテゴリ：宣言的，手続き的，方略的領域，名詞，一般的目的
  - 方略使用はプロセスの中間段階に依存

## 3 FRAMEWORK FOR ANALYSING EMPIRICAL DESIGN DATA

データ分析結果を表現する 2 つの分析フレームワーク（分析結果は 4 節）

### 3.1 Representations of design: a domain model

- 計算機支援ツール設計のためのデザインモデル
- 機械設計からのモデル [Blessing 1994] ( Fig 1 )
  - ステージ，活動，方略からなるデザイン
  - ステージ
    - : 問題定義 概念設計 詳細設計
  - 活動
    - : 個々の問題解決に関するアイテム
    - : 生成，評価，選択，修正，ドキュメント化，情報収集
  - 方略
    - : 計画・実行されるステージと活動の系列
    - : タイプ：インタラクティブ，循環的，分解，段階的
- 問題間の差の表現を意図
  - モデル自身に対象領域を含まない
  - 計算機支援ツールの役割考慮を示唆
  - （詳細は 4.1 節）

## 3.2 Representations for design: a knowledge model

- 医療アプリケーションの知識獲得の方略的知識表現 [Gruber 1989]
  - 方略的知識：エージェントが外界に対して次の行動を決定する際に使用する知識
  - ≠ 名詞的知識：計算機システムが探索空間を制約する際に使用する知識
- Gruber の方略的知識獲得
  - 「計算機システム内の同じ記号的表現を使用する」想定を除外  
暗黙知，専門家-計算機の知識表現のミスマッチ
  - (既存のシステム構築手法は一般的手続による，領域専門的でない?)
- reactive な方法の必要性
  - 動的な評価・修正・添加 (augmentation) のためのインタフェース
  - 事前想定なし，エキスパートがステップごとに判断 [Candy 1993, Candy 1995]
- 本研究における方略的知識獲得・表現
  1. 領域専門家から方略的知識を直接獲得
  2. 方略ルールの表現を設計 (詳細は 4.1 節)
  3. 人の知識システムのダイアログのためのインタフェースを設計  
(本研究じゃやりません，[Edmons 1997] を参照されたし)

## 4 A STUDY IN VEHICLE ENGINEERING DESIGN

- 乗物の工学デザイン
  - 目的：顧客の要求から製品仕様に使用された方略を明らかに
  - 成果：デザインモデルと計算機システム設計に関する知見
- アプローチ
  - エキスパートからの質的データ収集
  - データに照らし合わせて既存モデルを検討
  - ADECT[Woodcock 1996] に基づく構造的インタビュー (自動車設計者用の人間工学的解明ツール?)
  - インタビュー項目に回答
    1. デザインプロセスのモデル，2. デザインプロジェクトの例，3. 市場 / 顧客要求，4. 製品  
デザイン仕様，5. 概念設計 / 詳細設計，6. 計算機支援システム
  - 3 節のフレームワークで分析
    1. 3 種類のアノテーション
    2. 被験者へのフィードバックのためのカテゴリを使った分析

### 4.1 Analysis frameworks applied

- 2 種類の分析
  - フレームワーク 1：デザインの表現 [Blessing 1994] (3.1 節)
  - フレームワーク 2：デザインのための表現 [Gruber 1989] (3.2 節)
- Blessing のモデルによる分析
  - 3 人の評価者によるラベルづけ  
：ステージ・活動・方略 × 個人・チーム・組織
  - 知見：組織のデザインプロセス，チーム・個人のデザイン方略
- Gruber のモデルによる分析
  - 3 種類のカテゴリ
    1. 分類：デザインプロセスの特徴  
要件，概念設計，詳細設計，商業的成功，設計の質
    2. 前条件：既存の要因
    3. 方略：前条件と関連して取られた行動
  - 知識を洗練するために被験者と共にチェック?( Fig 2 : 例)
  - 計算機上の (メタな) 知識表現

## 4.2 Results

フレームワーク 1 からの例

- 革新的 対 進化的デザイン方略
  - 重要な制約がなくデザインのスコープが革新的- 既存システムをインクリメンタルに改造・改良して取り込んで進化的
- 制約の適用
  - 実問題はコスト要因から全検討できない
  - downline(?) の考慮を省略, 新しい問題の解生成
- 解 対 問題主導の方略
  - 個人-解主導, チーム-問題主導
- 解選択での知識・経験の使用
  - 意思決定のための方略
  - 例: 解候補を減らす方法には知識・経験が必要
- 専門知識とプロトタイプ評価
  - プロトタイプ: デザインの属性・構成要素評価
  - プロトタイプからの情報収集を最大化
- チームデザインの例
  - 技術者の適所適材
- 個々のデザイナーの方略の例
  - デザインプロセス初期でのインパクト高/低要素の判断
  - 重要度の低い決定は保留 (suspended)

フレームワーク 2 からの例

- 異なる分類に関連する重要な方略とその前条件
- 状況: 大手から高級車のサスペンションデザイン改善の委任 ( Fig 2 )
  - 専門家の知識と先行経験の結合, 市場の隙間狙い?
  - クライアント要求の前条件 (高品質維持, 改良すべきサスペンションシステム)
- 方略 ( 図中右リスト )
  - 既存デザインをテスト・改良する最重要目標から開始
  - 対象ユーザの視点を採用・様々な路面で熟練/初心者運転者の主観的評価
  - 求める質を与えるシステム原理の解明
  - システム特性間の相互作用を最小化する設計を形成, 競合解消

## 5 TREE MODELS OF STRATEGIC KNOWLEDGE

- 乗物工学デザインの研究
  - 既存デザイン表現の適切性・効果性
- 新しい 3 つのモデル
  1. 計算機上に方略知識を表現するモデル
  2. インタラクティブなシステムデザインのための方略知識のモデル
  3. 工学デザインプロセスを再構築する方略知識のモデル
- 1: NASK [Edmonds 1986] の適用
  - Prolog の拡張版, ネガティブな知識の組込み・自動質問メカニズム
- 2,3: MULTIK モデル [Edmonds 1997]
  - オブジェクト: 入出力アイテム
  - コネクタ: オブジェクト入出力間の活動, ラベル付記
  - アクタ: 人間・ツールの役割

## 5.1 A model for representing strategic knowledge computationally

- フレームワーク 2 による分析より抽出
- 方略ルールの表現
  - 分析結果から命題表現- データの構造化：分類・前条件・方略 ( Fig 3・4 例)
- 計算機表現の構築
  - NASK によるコーディング例

```
design_car:-requirements(X),design(X).
design(X):-subjective(X),(objectify(X);team_eval(X)).
design(X):-objectify(X),confirm(X).
objectify(X):-quantify(X,Xq),confirm(Xq).
team_eval(X):-set_people(P,X),acceptable_to(P,X).
```
  - ユーザ-NASK のインタラクションの例

```
User: design_car
NASK: ?requirements(X)
User: X is good_ride
NASK: ?subjective(good_ride)
User: true
NASK: ?quantify(good_ride,Y)
User: do_not_know
NASK: ?objectify(good_ride)
User: do_not_know
NASK: ?set_people(Z,good_ride)
User: Z = 25
NASK: ?acceptable_to(25,good_ride) Perform experiments
User: true
NASK: design_done
```
  - 計算機表現による「知識の曖昧さ」の判明

## 5.2 A model of strategic knowledge for interactive system design

- steering column connector ( ハンドルの部品？ ) の設計プロセスの例
  - 候補をクライアントに提示，フィードバックを受けて除去
    - 要件を受けて，多量のアイデアに戻って，そしたら先方はそうした理由であまり良くないと言ったんですが，でも私らそれ前には聞いてませんでしたよって…先方は我々がスプリングの提案をするまで，スプリングの是非を考えてなかったんです．先方が考えてたかどうかは別の問題ですが，先方の元々の要件にはなかったんですよ．
    - 解「スプリングは壊れるからフェールセーフではない」( 危険判断 )，指針が pragmatic な工学的判断を無視
      - 確かな能力のパーセンテージのスプリングを使うならいいって言う人があるかもしれないが，そのスプリングの原理が正しいなんて認めちゃいかんって言う人もいるかもしれないんです．
- steering column connector プロジェクトの概要 ( Fig 3：MULTIK モデルでの表現 )
  - 要件
    - ：ハンドル機構に 1 アクションで繋ぐ steering column，安全上重要アイテム，点検が簡単，最小の部品数
  - 概念設計
    - ：たくさんアイデアを生成，可能な機構配列を全て考慮，分析・評価
  - 概念設計の評価
    - ：評価のため解候補をクライアントに，繰り返す，要件導入で仕様がより大変に，1 つの解に同意
  - 詳細設計
  - 構築
  - プロトタイプ作成
  - クライアントにデモンストレーション
- コンセプトデザインは 1 つ 2 つ残るのみ ( Fig 3 )，その後改良が進む ( Fig 5 )

### 5.3 A model of strategic knowledge in engineering design

- サスペンションシステム設計のモデル
  - スプリングのテスト, システムと部品が他製品にも適用可能
- 熟達と知識の先行モデル [Hogg 1992] の instantiation
  - 経験・知識の重要性

## 6 DISCUSSION

- 例 1: 計算機上の方略知識表現手法
  - ステップ: 分類・前条件・方略
  - 領域専門家からの知見の確認に有効
- 例 2: 手続・アクタ・活動とその結合によるプロセス記述
  - インタラクティブシステム: 人間とシステムのタスク配置
- 例 3: 特定製品のプロセスモデルの再構築
- プロセス表現における MULTIK モデルの効果
  - 活動 - 特定のアクタと活動の関連の違い
- オブジェクト・コネクタ・アクタの表現
  - 計算機支援システムデザインのモデルが含む本質
  - 計算機による自動化・人手による使用の区別

## 7 CONCLUSION

- 質的データ分析の例と結果の表現
- 方略的知識の考察
  1. 支援システム実装に役立つ方略的知識の計算機上における表現
  2. 支援システムの設計で役立つ方略的知識モデル
  3. 工学デザインプロセスの理解・コミュニケーション・開発を支援するモデル
- 目的: 領域タスクモデル・計算機モデル・プロセスの改良