

設計の思考過程を表現するための概念処理モデルに関する検討

大山 勝徳*¹ 武内惇*² 藤本洋*²

*¹ 日本大学大学院工学研究科情報工学専攻

*² 日本大学工学部情報工学科

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1

oyama@csse10.ce.nihon-u.ac.jp

1. はじめに

高度な設計技術を効果的に用いることのできる技術者（熟練者と呼ぶ）の設計判断を他の技術者（設計者と呼ぶ）が同様に使用できるようにするため、熟練者が設計作業を行なうときの思考過程の表現法を開発する。熟練者の思考過程には次に示す4つの特徴があることから、設計者が利用できるように設計判断の理由や価値を顕在化させて表現することが難しいという問題がある。

- 1) 設計判断には多くの試行錯誤が繰り返される。
- 2) 高度な問題であるほど設計判断の列（道筋）は長くなる。
- 3) 思考の進め方は環境や経験に依存するので熟練者によって異なる。
- 4) 問題の捉え方によって、思考すべき設計判断の内容が異なる。

思考過程の表現上の問題を解決するため、設計判断を選んだ理由とその結果から明らかになった価値を補足し設計を進めることができる概念処理モデル方式[1]を提案している。

本稿では、思考過程を表現するための概念処理モデルの構想を述べ、オブジェクト指向設計技術に思考過程表現を用いた事例に関する結果と残された課題につ

いて考察する。

2. 概念処理モデルの構想

2.1 思考過程のモデル化

設計作業は仕様（入力）を解釈し、それを実現するための仕組みに関する具体的な仕様（出力）を定義する問題解決の流れとして捉えて、思考過程をモデル化する。設計作業を分析し、思考過程を文章で記述するには、設計の成果物だけでなく、熟練者の常識や専門知識、設計判断の内容やそれらを正当化する理由や価値を表現する必要がある。したがって、思考過程を誰にでも理解可能な表現にするには設計作業を概念の世界で捉えること、すなわち、「概念化」の手法が必要である。

概念化は、対象を誰が見ても解釈できるように、文章上では明確にされなかった用語の意味、常識や専門知識、さらに、設計判断の内容やそれらを正当化する理由や価値を表現することである。思考過程の概念化とは、入力の仕様を問題と捉えて、出力の仕様を対策と捉えて概念化し、入力概念モデルと出力概念モデルを決定し、さらに、問題解決の流れそのものを思考概念モデルとして表現することである。図1のように入力概念モデルと出力概念モデル、および、思考概念モデルで表された思考過程を概念処理モデルと呼ぶ。

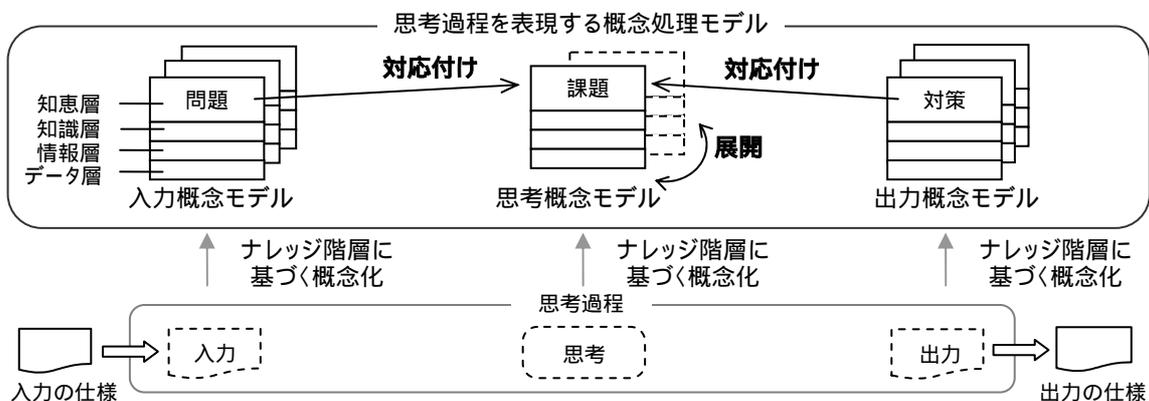


図1 概念処理モデル

表1 思考過程のナレッジ階層

ナレッジ階層	思考過程の表現に特化した定義	入出力概念モデル	思考概念モデル
知恵	問題を解決していく過程で判断した内容と、それを正当化する理由と価値	<ul style="list-style-type: none"> 主題をシステムの機能とする 主題について設定した問題（状況，原因，影響）や，対策（方法，アイデア，効果） 	<ul style="list-style-type: none"> 主題を設計判断（経験技術）とする 主題について設定した課題（方針，着眼点，特徴）と，課題の比較によって明らかにされた設計意図
知識	設計技術を用いるための，常識や専門知識（命題と呼ぶ）とそれらに関連する命題	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書において機能を定義している命題 機能に関して補足する命題（設計者が持っている常識や専門知識） 	<ul style="list-style-type: none"> 設計技術の使い方（ルールと事実で表される）
情報	誰でも同じ解釈ができるように，記号や記号列の意味の説明	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書における用語の意味の説明 	<ul style="list-style-type: none"> 経験技術の説明に使用される用語の意味の説明
データ	文章や図で表現された記号や記号列	<ul style="list-style-type: none"> 仕様書における文章記述 	<ul style="list-style-type: none"> 経験技術（マニュアル，指導書）における文章記述

2.2 ナレッジ階層に基づく概念化

2.2.1 ナレッジ階層と概念化

ナレッジ階層に基づく概念化[2]は仕様書をデータと捉えて最初の出発点とし，文章上で明確にされなかった用語の意味，熟練者の常識・専門知識や設計判断の正しさを表現する手法である．概念化の対象（主題と呼ぶ）をデータ，情報，知識，知恵の階層の各視点で理解可能となるように我々が定義するナレッジ階層（表1）は思考過程の表現に特化している．

思考過程のナレッジ階層における知恵層の役割は，知識層で説明された命題の良否，または，真偽を決定する仕方を示すことである．「判断」とその判断の「理由」は，「どうして他の理由ではなく，選ばれた理由から判断を行なったのか」という原因と結果の関係で結ぶことができるので，知恵を表現するために必要な項目である．さらに，設計の思考過程では判断の選択肢を比較説明することが重要なため，判断には「価値」があると考える．以上のことから，思考過程の知恵層を判断・理由・価値の枠組みで表現する．

2.2.1 概念化のプロセス

思考過程を表現するには，仕様書に記述されるような機能や特徴だけでなく，それらに関する熟練者の設計意図や前提となる事実についても明示する必要がある．仕様書に記述されている機能や特徴から設計意図や前提となる事実を関係付けながら段階的に概念を記述するため，思考過程をナレッジ階層間の関係に注目して表現する．また，データ，情報，知識，知恵で目標とする表現内容を「誰でも」満たせる仕組みが必要であることから，ナレッジ階層に基づく概念化では意味付け，分類，正当化，命題の検証，意味の洗練，記号化からなる6プロセスで概念化を進める．

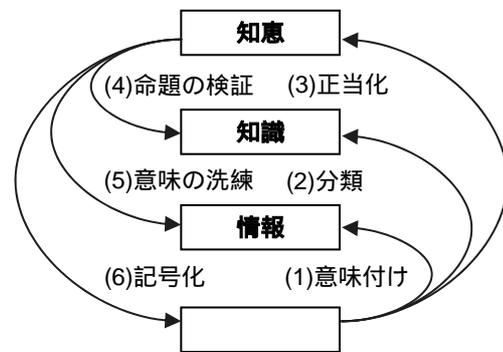


図2 ナレッジ階層に基づく概念化

2.3 CAPIS に基づく対応付けと展開による思考過程表現

概念処理モデルでは，設計の入出力となる仕様からナレッジ階層に基づいて概念化することにより入力概念モデルと出力概念モデル（以降，両者あわせて入出力概念モデルと呼ぶ）を構築する．設計の入出力は設計ドキュメントとして記述され実在しているため，概念化しやすい．

しかしながら，思考過程の概念化の対象は熟練者の思考であり，思考はドキュメントとして残されていないため，思考概念モデルを構築することが難しいという問題がある．この問題を解決するため，CAPIS（Causality of Problem-Issue-Solution）に基づく対応付けと展開による思考過程の表現では，思考過程を問題・課題・対策の因果関係に基づいた問題解決の枠組みに従って捉える．問題の原因と対策のアイデアとの因果関係を結びつける着眼点を定義し，思考概念モデルを対応付けと展開によって命題の検証から概念化を進められるようにする（図3）．

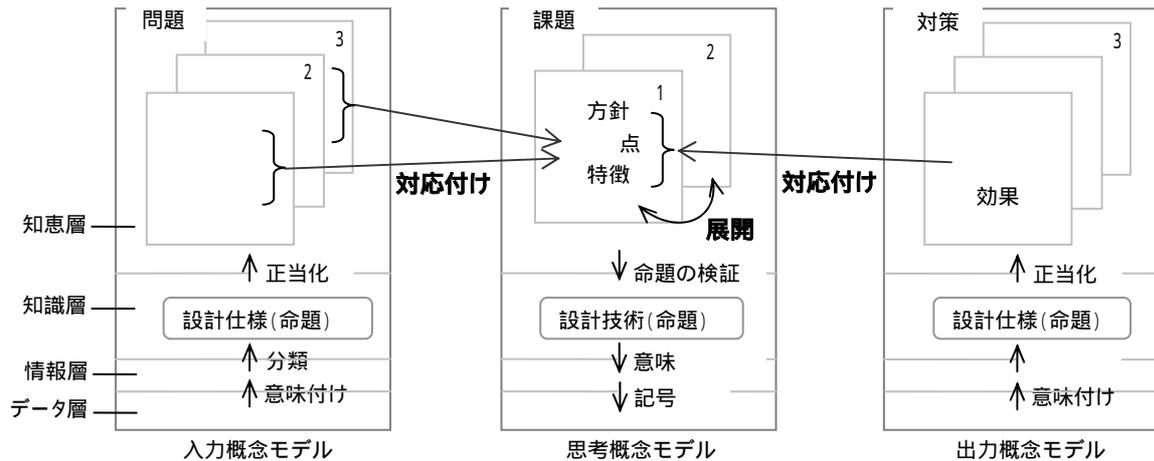


図3 対応付けと展開による思考概念モデルの構築手順

2.3.1 対応付けの考え方と手順

設計判断の道筋を明らかにするために、問題（入力概念モデル）と対策（出力概念モデル）の因果関係を分析し、判明した着眼点、方針と、特徴を用いて課題を設定する。これを対応付けと呼ぶ。

対応付けの手順を以下に示す。

- 1) 問題の「原因」と対策の「アイデア」を関係付ける。
- 2) 入出力間の関係をもとに設計判断の道筋を分析し、着眼点を定義する。着眼点に基づいて、課題（方針、着眼点、特徴）を記述する。
- 3) 課題が問題解決に役立つことを確認するため、問題と課題の順序で設計判断の道筋を説明する。その説明で用いられた課題（方針、着眼点、特徴）を思考概念モデルの知恵層に記述する。

2.3.2 展開の考え方と手順

熟練者の設計意図を設計者にとって理解可能とするために、最終的な決定（方針）だけでなく「一時的な設計判断（別の方針）」も抽出する。方針同士の特徴を比較することで、課題の内容を明確に理解可能にする。この過程を展開と呼ぶ。展開では、課題の特徴どうしを比較することにより、検討されていた別の方針、着眼点からなる新たな課題を記述する。

展開の手順を以下に示す。

- 1) 対応付けで設定した課題の「特徴」を分析して、比較検討された別の方針と着眼点を記述する。
- 2) 別の方針と着眼点から比較対象となる一時的な課題を記述する。
- 3) 最終的な決定となった課題では、「なぜこの課題を選んだか」が分かるように、一時的な課題と比較して特徴を記述する。

3. 思考過程の適用実験

3.1 ライントレースロボット分析の思考過程の表現

1) 目的

思考過程に対する設計者（被験者）の理解度を示すため、筆者が概念化した思考過程を用いて被験者が分析してできたクラス図は筆者のクラス図と同様の構成となるか確認する。

2) 適用対象

コース上の黒線を光センサーで読み取って一周する速さと、UMLを用いた分析・設計モデルの良さを競うロボットコンテスト[3]に向けてライトレースロボットの開発をしている。

コース上にある黒線の光反射率は太陽光や照明等による周囲の明るさによって変化するため、ライトレースロボットはすぐに脱線してしまうという問題がある。光反射率の変化に対する補正（キャリブレーション）を行なうことにより問題を解決するまでの思考過程を概念化した。

3) 方法

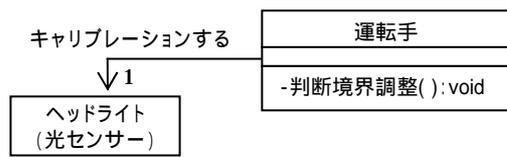
UMLを用いてソフトウェアの設計や実装を行なった経験を有する6人の被験者に分析を行なわせる。

はじめに、被験者に要求仕様書（走行機能の説明）と思考過程のデータ層を提示しクラス図を完成させる。次に、思考過程のデータ層に加えて、情報層、知識層、知恵層を提示しクラス図を完成させる。得られた2つのクラス図を比較し、思考過程が理解されていることを確認する。

3.2 実験結果

3.2.1 データ層を提示した場合の分析結果

被験者6人のクラス図のうち1つはキャリブレーションをクラスの操作で表現し（図4 a-1）、残り5つはキャリブレーションをクラスとして表現している。後者の代表例（図4 a-2）を示す。これらの結果は筆者の分析結果とはキャリブレーション方式が異なってお



(a-1) クラスの操作として表現されたキャリブレーション



(b-1) 方式を選択可能にしたキャリブレーション



(a-2) クラスとして表現されたキャリブレーションの例



(b-2) 反射率の最大値・最小値を用いたキャリブレーション

図4 実験結果のクラス図

り、さらに、分析手順のヒアリング結果から筆者の思考過程と異なっていることが分かった。

3.2.2 知恵層・知識層・情報層・データ層を提示した場合の分析結果

被験者6人のうち1人(過去2回のロボットコンテスト参加経験者)は一時的な設計判断を採用した新たなアイデア、すなわち、キャリブレーション方法を走行前と走行中で選択可能にするという仕組みを表現し(図4 b-1)、残り5人は筆者のクラス図と同様の構成で表現している(図4 b-2)。

前者1人のヒアリング結果から、思考過程の知恵層に記述されている問題と対策を参照して、課題の特徴を比較し新たに別の着眼点から課題を設定する試みを行なっていることが明らかになった。

一方、後者5人のヒアリング結果から以下の2点が明らかになった。

- (a) どの被験者も思考過程をデータ層、情報層、知識層、知恵層の順に参照し、知識層の命題や関連事項をクラス図に直接反映させている。
- (b) 「一時的な設計判断と最終的な決定を比べることで走行の直前にキャリブレーションすべき理由は知恵層の記述から分かったが、内容が抽象的であるので具体的な方法は知識層を用いて表現した」、または「以前に同様な課題で分析を行なったことがあり、当然のことだと考えた」という回答から、思考過程の知恵層の課題で示された最終的な決定に従って知識層の内容が使用されていると考えられる。

4. まとめと今後の課題

4.1 思考過程の表現法

概念処理モデルの構成法に従って思考過程を概念化できることを確認し、以下の課題が明らかになった。

- (a) ナレッジ階層の記述に自然言語を用いているた

め別の解釈が行なわれる余地がある。したがって、利便性を維持しながら表現法を形式化する方法を必要とする。

- (b) ナレッジ階層に基づいて概念化することによって、概念の説明に要する記述量が多くなる。この問題を解決するためオントロジーエディタと連携し、データ、情報、知識、知恵の相互関係を定義可能な記述支援システムによって効率的な思考過程の概念化を実現する必要がある。

4.2 思考過程の活用法

思考過程を用いてオブジェクト指向分析を行なった結果、被験者6人中5人のクラス図が筆者の分析結果と同様の構成になった。5人が知識層の内容を用いて分析したのに対し、残り1人は知恵層の内容を用いて新たな対策のアイデアを表現している。その結果、思考過程は初心者に対し経験技術を伝える役割があるだけでなく、熟練者に対しては新たな着眼点やアイデアを創造する機会を与えているといえる。新たに思考過程を概念化するには既存の思考過程表現を引用することが効率的だと考えられる。情報層と知識層は比較的引用しやすいのに対し、知恵層の設計判断は文脈に依存しているためそのまま用いることが難しい。

文献

- [1] 大山勝徳, 武内惇, 藤本洋, “設計の思考過程を表現する概念処理モデルに関する一考察”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 295, 2005.
- [2] 大山勝徳, 武内惇, 藤本洋, “ナレッジ階層に基づく概念化による思考過程支援の構想”, 人工知能学会第8回セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-A403-03, 2004
- [3] オブジェクトテクノロジー研究所, <http://www.otij.org/>

知恵層

「走行機能」における問題

- **状況** (判断)
ライントレースロボットは脱線し、リタイアすることがある。
- **原因** (理由)
光センサー情報 (光反射率) の閾値は周囲の環境 (太陽光や照明) に影響されて不適になる。赤外線反射方式の光センサーは、太陽や照明からの影響を受けるという特徴がある。
- **影響** (価値)
走行直前で光反射率の閾値を設定しないと、コースを誤認識し、リタイアになる。コースをショートカットして走行するとき、光反射率の変化が特にシビアになる。

知恵層

「キャリブレーション」における対策

- **方法** (判断)
ボタンが押されたとき、白地の光反射率と黒線の光反射率を記録して、計算式を用いて閾値を設定する。
- **アイデア** (理由)
白地の光反射率と黒地の光反射率の間で値を設定する。それによって、人間の手で設定するよりも常に正確な閾値になり、それに加え、補正が簡単になると考えられる。
- **効果** (価値)
脱線率が平均1(回/週)から平均0.2(回/週)に減った。呼び出しにかかるオーバーヘッド時間は、センサーの処理に比べて誤差の範囲だった。

知識層

「走行機能」に関する命題

- **命題**
ライントレースロボットはステアリング方式で走行する。ライントレースロボットは脱線し、リタイアすることがある。現地のコースでは光反射率が周囲の環境によってすぐに変化する。
- **関連事項: 現地のコース**
ビニルテープ製の黒線で一周のコースが作成されている。コース上のトラックには白の模造紙が敷かれている。コース全長は20m程である。

知識層

「キャリブレーション」に関する命題

- **命題**
ボタンが押されたとき、白地の光反射率と黒線の光反射率を記録し、閾値の計算式を用いて閾値を設定する。
 - 1) ボタンが押されたときのイベントを監視する。
 - 2) 光反射率の平均値を閾値とする。
- **関連事項: 閾値の計算式**
より最適な値を求めるために黒線の光反射率の最大値 (BLmax) と、白地の光反射率の最小値 (WLmin) との平均値をとる。式は以下のとおり。
$$\text{Boundary} = (\text{BLmax} + \text{WLmin}) / 2$$

情報層

「走行機能」の意味

- **定義** (内包的な意味)
ステアリングと駆動部のモーターを回転させ、走行可能にする。かつ、最大速度でコースを巡回可能にする。
- **例** (外延的な意味)
省略 (走行方法を表す図面とコメント)

情報層

「キャリブレーション」の意味

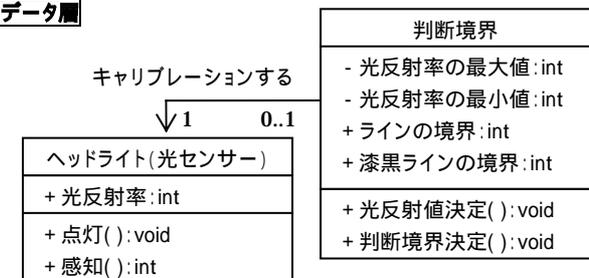
- **定義** (内包的な意味)
光センサー情報から白地に対する光反射率、黒線に対する光反射率をそれぞれ取得する。2つの値の差から計算式を求め、閾値を設定する。
- **例** (外延的な意味)
省略 (キャリブレーションの方法を表す図面とコメント)

データ層

• 走行機能
光センサーからの情報を処理し、ステアリングを操作してライントレースロボットの方向を決め、駆動モーターで進行速度を制御する。

(a) 入力概念モデル

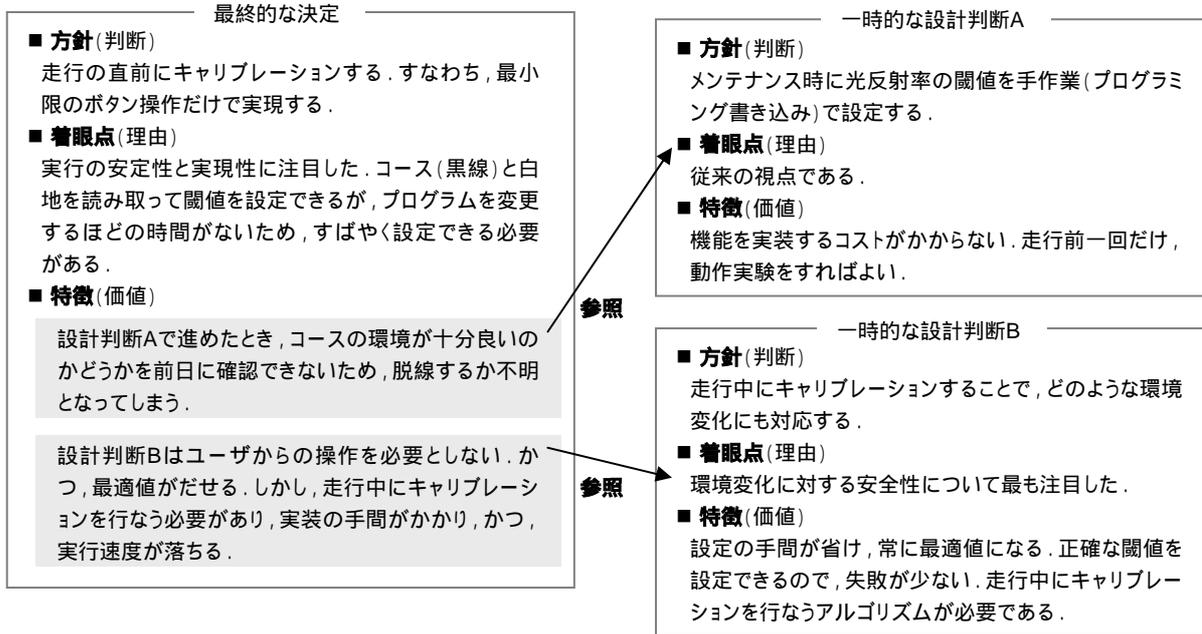
データ層



(b) 出力概念モデル

付録 A 入出力概念モデル

知恵層 「走行機能」における課題



知識層 課題に関する命題

■ 命題

走行の直前に閾値を設定するため、キャリブレーションを実行する。パスファインダーが用いる光反射率の閾値を決める。閾値は白地と黒線の光反射率のバランスで調整される。

■ 関連事項: キャリブレーション

キャリブレーションには、今回のように光反射率をそのまま閾値にする方法や、光反射率の変化パターンを閾値にする方法がある。

■ 関連事項: パスファインダー

競技に用いられるライトレースロボットの名称である。

情報層

課題の意味

■ 定義 (内包的な定義)

キャリブレーションとは、常に標準的な動作ができるように、ある機器を調整(補正)することである。

■ 例 (外延的な定義)

省略(手順や実行の様子を表す写真)

「パスファインダー」の意味

■ 定義 (内包的な定義)

材料はA社製品であり、それをを用いた組み立て方が公開されている。全体の構造はステアリング、車体に分かれる。

■ 例 (外延的な定義)

省略(機器の外観を表す写真・図)

データ層

パスファインダーは光センサーの情報を用いてコースを周回する。(省略)あらかじめ設定された閾値は現地のコースで不適になってしまうことがある。走行の直前には必ずキャリブレーションするべきである

付録B 思考概念モデル