

CAPIS モデルによる設計思考過程の表現支援法の提案

An Expression Support Method of Design Thought Process by CAPIS Model

八木沼 修[†] 大山 勝徳^{††} 武内 惇^{††} 藤本 洋^{††}

Osamu Yaginuma[†], Katsunori Oyama^{††}, Atsushi Takeuchi^{††}, Hiroshi Fujimoto^{††}

Abstract: ソフトウェア開発における設計者の設計思考過程を表現して、他の設計者が利用できるようにする CAPIS モデル (CAality of Problem-Issue-Solution Model) の研究を進めている。本論文では、設計者が思考過程の表現で記述すべき記述項目の「構造」と記述項目間の「関係」を考慮して思考の内容を表現できるようにする方法 (表現支援法) について述べる。さらに、ライントレースロボットの制御システムの開発への適用実験を行い、提案する表現支援法を用いることにより思考過程の表現に慣れていない設計者でも設計過程における思考の内容を正しく表現できることを確認する。

1. はじめに

大規模なソフトウェア開発において高い品質を備えたソフトウェアを短期間で開発するには、熟練した設計者 (以降、熟練者と呼ぶ) の実務経験に裏付けされた設計技術を効果的に利用する方法が重要となる。筆者らは、熟練者の設計技術を利用できるようにするために、設計思考過程を熟練者が表現して他の設計者が利用できるようにすることに着眼して、設計の思考過程を表現する CAPIS (CAality of Problem-Issue-Solution) モデルを考案した[1]。これまでに、CAPIS モデルに基づいてオブジェクト指向分析設計におけるクラス抽出作業に関する熟練者の思考過程を表現して、他の設計者が利用できることを確認している[2][3]。

CAPIS モデルに基づく思考過程の表現に残された問題は、記述マニュアル (作業手順、思考過程表現で記述すべき記述項目の説明文) があるにもかかわらず、思考過程の表現に慣れていない設計者にとって思考の内容を表現すること、すなわち、後述の概念化プロセスの実行が難しいことである。難しさの原因は、(1)設計者が思考過程表現で記述すべき記述項目 (以降、記述項目と呼ぶ) が表す対象概念の構造 (以降、記述項目の構造と呼ぶ) を考慮せずに記述を行っていること、(2)記述項目間の関係を考慮せずに記述を行っている

ることである。

難しさの解決を目的として「記述項目の構造を示すオントロジー」と「記述項目間の関係を示す関係マップ」を用いる思考過程の表現支援法を提案する。

2章で CAPIS モデルによる思考過程表現の難しさや課題について、3章で難しさを解決するための思考過程の表現支援法について述べる。次に4章でライントレースロボットの制御システムの開発への適用実験を行い、表現支援法を用いる設計者が記述項目の構造と記述項目間の関係を考慮して思考の内容が表現できることを述べる。さらに6章で結論と今後の課題を述べる。

2. CAPIS モデルによる思考過程表現の難しさ

2.1 ナレッジ階層に基づく概念化プロセス

人間が持つ思考の内容を分類するために Bellinger は、データから情報、知識、知恵への遷移が「理解」であると考え、データ、情報、知識、知恵からなる階層 (ナレッジ階層) で思考の内容を分類した[4]。これまでに筆者らは、Bellinger のナレッジ階層に基づき、表1に示すデータ、情報、知識、知恵の階層に分けて設計過程における思考の内容を表現する方法 (概念化プロセス) を提案している[5]。

概念化プロセスは、設計要件や設計結果をデータと捉えて、文章上で明確にされなかった用語の意味、適用した専門知識、設計の意図を正しく表現する手順である。概念化プロセスでは、データ層、情報層、知識層、知恵層からなる階層間の関係に基づいて、「理解プロセス」と「表現プロセス」の2つのプロセスに分けて思考の内

[†] 日本大学大学院工学研究科情報工学専攻
Graduate School of Computer Science, College of Engineering,
Nihon University

^{††} 日本大学工学部情報工学科
Department of Computer Science, College of Engineering,
Nihon University

容を表現する[5] (図1)。

理解プロセスは、データ層を基に思考の内容を記述する手順である(表2)。この手順は、「意味付け」「分類」「正当化」から構成する[5]。

表現プロセスは、知恵層に示す問題を解決する過程の「判断」を他の設計者へ伝達可能とするために思考の内容を記述する手順である。この手順は「導出」「説明」「記号化」から構成する[5]。

2.2 概念化プロセスの難しさ課題

CAPISモデルに基づく思考過程表現に残された問題は、記述マニュアルがあるにもかかわらず、思考の内容を表現することが難しいことである。筆者らは、概念化プロセスを実行して思考の内容を表現した経験を踏まえて、概念化プロセスを実行する際の難しさを以下の4点に分類する。

難しさ1:「意味付け」および「説明」において、本来は行うべき用語の説明が行われていない。

難しさ2:「分類」および「導出」において、「事実」と「ルール」が記述できない。

難しさ3:「正当化」において、「理由」と「価値」の記述内容には「判断」を正当化する文章を記述する必要があるにもかかわらず、記述できない。

難しさ4:データ層を基にして情報層や知識層に記述すべき内容を思い出せない。

難しさ2の原因は、設計者はどういう視点から記述すればナレッジ階層と概念化プロセスの定義に従って記述したことになるのかが分からないことである(原因1)。難しさ1,3,4の原因は、設計者は思考の内容を記述するにあたって記述項目間にどういう関係があるのかが分からないことである(原因2)。

これらの原因を解決するために、2つの課題を設定する。

課題1: 記述項目の「構造」を可視化する方法の考案

原因1を解決するため、記述項目を列挙するだけでなく、記述項目がどのような要素から構成されているのかを示す記述項目の「構造」を表現する方法を考案する。

課題2: 記述項目間の「関係」を可視化する方法の考案

原因2を解決するため、参照すべき記述項目の「構造」を表現するだけでなく、複数ある記述項目間の「関係」を示す方法を考案する。

筆者らは、設計者が記述項目の「構造」と記述項目間の「関係」を考慮して概念化プロセスを実行できるようにするためにCAPISモデルによる思考過程の表現支援法を提案する。

表1 ナレッジ階層の記述項目

ナレッジ階層	記述項目
知恵層	問題を解決する過程の「判断」と、それを正当化する「理由」と「価値」
知識層	常識や専門知識を表す「命題」(「ルール」と「事実」で表される)
情報層	データ層で表した記号に関する「意味の説明」
データ層	文章や図で表現された「記号」や「記号列」

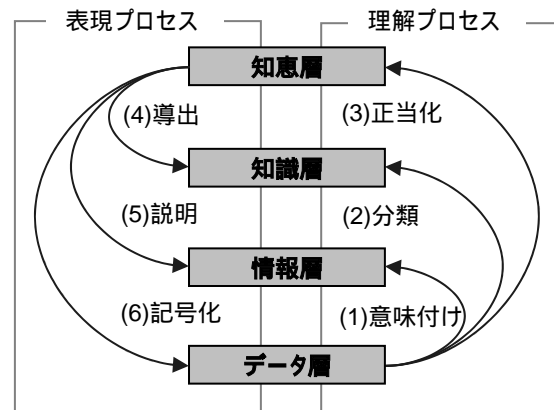


図1 ナレッジ階層に基づく概念化プロセス

表2 概念化プロセスの定義

概念化プロセス	定義	
理解プロセス	(1)意味付け	ミーニングトライアングル(記号, 事物, 概念)に基づいて文章中に出てきた記号に対し、対応する事物を示す。設計者が意味を一意に解釈できるように、予め決められた規則(専門分野によって異なる記述項目, 説明方法など)を用いて説明する。
	(2)分類	意味付けされた記号が表す概念を主体とする命題を列挙する。その命題に関連する常識や専門知識を記述する。このときの命題とは、真偽が問える事実またはルールである。
	(3)正当化	文章中から概念化の対象(主題)を見つける。その内容を判断、理由、価値として抽出するとともに主題の正しさを説明する。
表現プロセス	(4)導出	正当化の結果、真だとされた判断の内容(命題)を結論として記述する。さらに、結論に関連した項目を説明する。各命題を詳細化した結果、矛盾や不足があったときは修正を行う。
	(5)説明	正当化の過程で新たに記述された用語に対応する事物を示す。
	(6)記号化	概念化によって新たに必要となった記号を追加し、正当化された主題の文章表現を改善する。それと同時に、伝える対象(設計者)、手段(言語、メディア)を決定する。

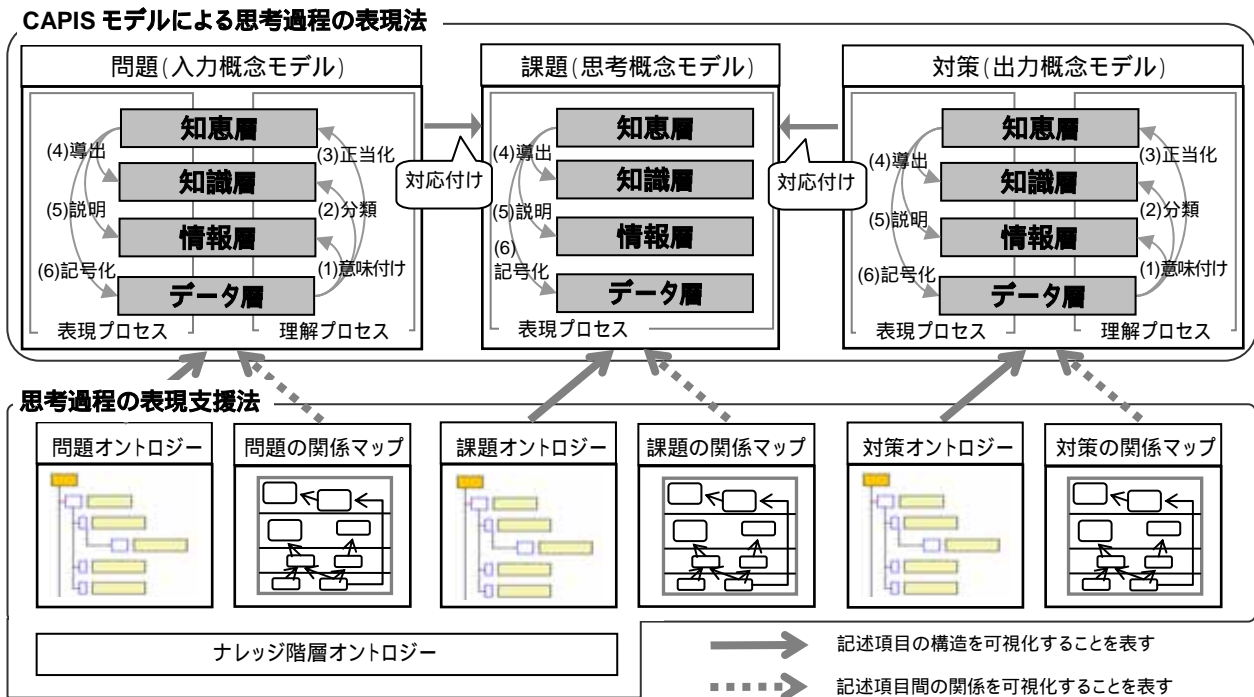


図2 CAPISモデルによる思考過程の表現支援法

3. CAPIS モデルによる思考過程の表現支援法

2.2 節の課題 1 を実現するため、記述項目の構造を示すオントロジーを構築する。設計者が思考の内容を表現する際、設計者によって記述項目を捉える視点は様々である。このため、オントロジーを用いて記述項目の構造を示すことにより、設計者の記述項目を捉える視点を統一する。

課題 2 を実現するため、オントロジーにより表現する記述項目の構造に基づいて、記述項目間の関係を示す関係マップを構築する。

CAPIS モデルは、ソフトウェアを開発することによって解決すべき原因を「問題」、問題解決の着眼点を「課題」、問題解決のアイデアを「対策」と呼び、思考過程を「問題」「課題」「対策」の3つの要素に分けて表現する(図2)。このため、「問題」「課題」「対策」それぞれの(1)記述項目の構造を示すオントロジーと(2)記述項目間の関係を示す関係マップを構築する。

3.1 「問題」「課題」「対策」のオントロジーの構築

「問題」「課題」「対策」の記述項目の構造をオントロジーを用いて表現するために、ナレッジ階層そのものが持つ構造を示すナレッジ階層オントロジーを構築する。

3.1.1 ナレッジ階層オントロジーの構築

ナレッジ階層オントロジー(図3)は、思考の内容をデータ層、情報層、知識層、知恵層に分けて表現する。

知恵層は、「判断」「理由」「価値」を示すことにより記述項目の構造を構成する。

知識層は、「命題」の表現が難しいため、「命題」の

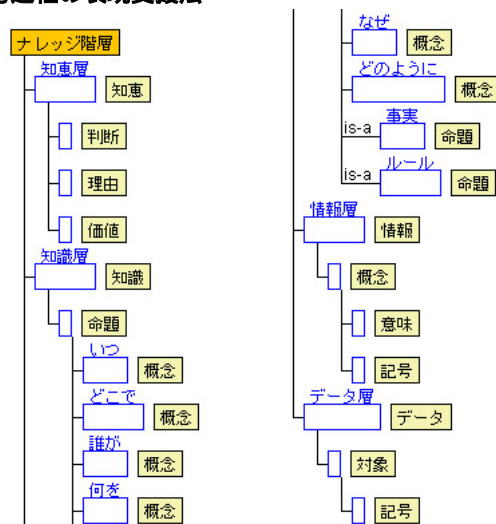


図3 ナレッジ階層オントロジー

構造を詳細に説明する。「命題」は、「事実」と「ルール」で表現することから、事実やルールを説明する際の視点である。「いつ」「どこで」「誰が」「何を」「なぜ」「どのように」、すなわち、5W1H に基づいて「命題」の構造を構成する。

情報層は、「概念」「意味」「記号」を示すことにより記述項目の構造を構成する。

データ層は、「対象」「記号」を示すことにより記述項目の構造を構成する。

3.1.2 ナレッジ階層オントロジーに基づく「問題」「課題」「対策」オントロジーの構築

「問題」「課題」「対策」についてのナレッジ階層の記述項目は表3のように分類する。記述項目の分類に

表3 ナレッジ階層に基づく「問題」「課題」「対策」の記述項目

	共通	問題	課題	対策
知恵層	判断	状況	選択肢	方法
	理由	原因	着眼点	アイデア
	価値	影響	意義	効果
知識層	事実	事実問題	設計技術	実践結果
	ルール	前提条件	設計手順	実現方法
情報層	意味	用語説明	用語説明	用語説明
データ層	記号	設計要件	マニュアル	設計結果

基づいて問題オントロジー、課題オントロジー、対策オントロジーを構築する。

問題オントロジー(図4)は、「問題」を表現する際記述項目を理解し易くするために、ナレッジ階層オントロジーが示す記述項目の名称を変更する。例えば、知識層では「事実」と「ルール」の記述項目を「事実問題」と「前提条件」に名称を変更する。「事実」の構造であるSWIHを「時期」「場所」「対象者」「対象物」「理由」「状態」に名称を変更して「事実問題」を表現する。また、「ルール」の構造であるSWIHを「時期」「場所」「対象者」「対象物」「理由」「制約」に名称を変更して「前提条件」を表現する。

課題オントロジー、対策オントロジーも同様にナレッジ階層オントロジーを基にして構築する。

3.2 「問題」「課題」「対策」の関係マップの構築

関係マップは、設計者に記述項目間の関係を示すものである。設計者は、データ層を基に情報層を記述する際に関係マップを参照する。同様に、データ層と情報層を基に知識層を記述する際、データ層と情報層と知識層を基に知恵層を記述する際に関係マップを参照する。記述項目間にはそれぞれ関係があり、記述項目の役割を明記することにより記述項目間の関係を示す。

「問題」の関係マップ(図5)において、

(1)「意味付け」の手順では、データ層の設計要件から「記号」を選び、記号に対する説明文を記述することにより記号を持つ「概念」を表現することを示す。「概念」には意味、「記号」には象徴というルールを示す(図5の)。

(2)「分類」の手順では、「事実問題」と「前提条件」を記述するためには、情報層で記述する「概念」と「記号」を参照することを示す。「事実問題」と「前提条件」には集合、「概念」「記号」には要素というルールを示す(図5の)。さらに、複数の「事実問題」の間、複数の「前提条件」の間には因果関係があることから、それぞれ原因と結果のルールを示す(図5の)。

(3)「正当化」の手順では、データ層を基に「状況」

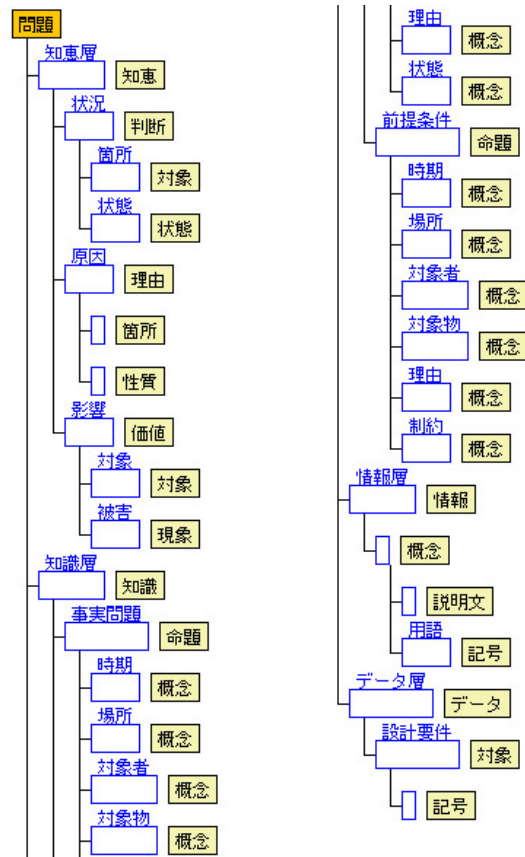


図4 問題オントロジー

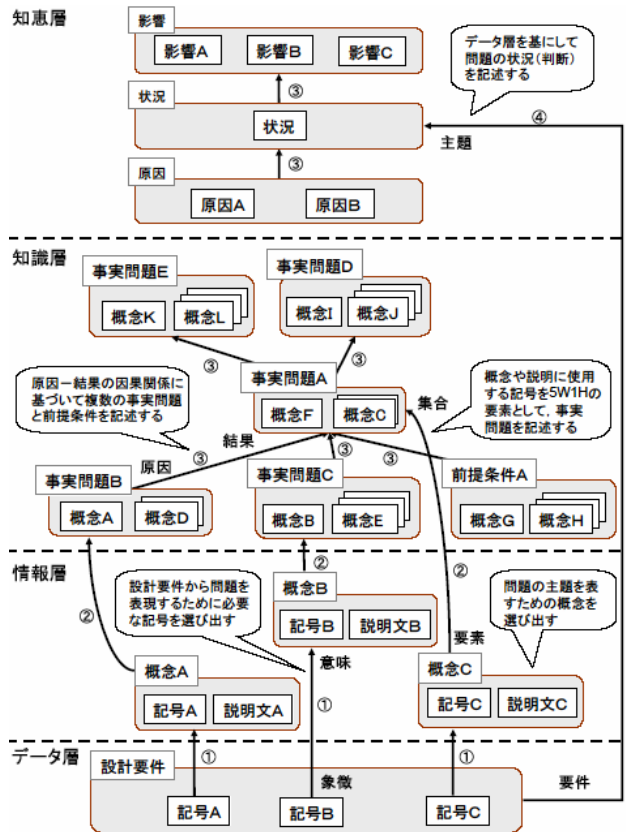


図5 「問題」の関係マップ

を記述し、「原因」と「結果」の因果関係を考慮して「状況」に対する「原因」と「影響」を記述することを示す。「状況」には主題、「設計要件」には要件というルールを示す(図5の)。

3.3 表現支援法の実行手順

「問題」の表現手順を図6に示す。設計者は、(1)理解プロセスの「意味付け」「分類」「正当化」、(2)表現プロセスの「導出」「説明」「記号化」を実行することにより設計要件を実現する際に捉えた問題を表現する。例えば「意味付け」の手順では、問題オントロジーを用いて記述項目の構造を理解する。次に問題の関係マップを用いてデータ層、情報層間の関係を理解する。その後、設計要件の用語の意味付けを行う。「分類」と「正当化」の手順でも同様に、記述項目の構造と記述項目間の関係を理解した後に用語の意味や状況、原因、影響を記述する。さらに、「分類」「正当化」「導出」の手順では、設計者が問題オントロジーが示す構造の要素と記述内容を比較することにより、記述内容に漏れがないかを確認する。

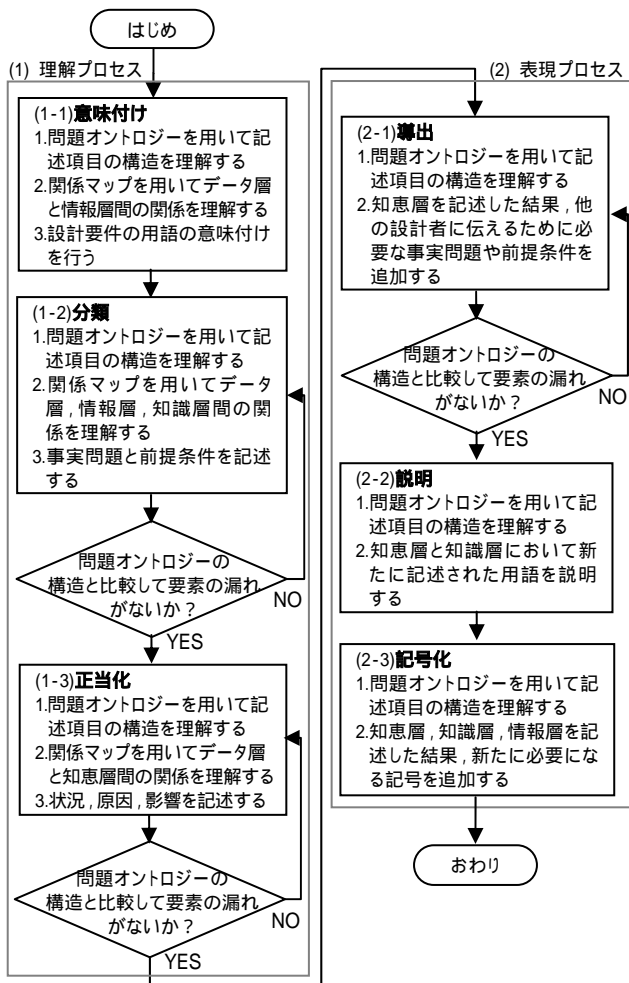


図6 表現支援法による「問題」の表現手順

4. 適用実験

本実験では ET ロボットコンテスト[6]のためのライントレースロボットの制御システムの開発における設計思考過程を対象とする。毎年のコンテストでは参加者が異なるため、ライントレースロボット制御システムの開発の経験がある設計者の設計技術を利用できるように思考過程を表現して、他の設計者に専門知識や設計の意図を伝える必要がある。

4.1 目的と手順

(1) 目的

CAPIS モデルによる思考過程の表現支援法の実行可能性を調べるために、「問題」を表現する概念化プロセスを実行できることを以下の2つから確認する。

確認事項 1: 設計者が記述項目の構造を考慮して思考の内容を表現していること

確認事項 2: 設計者が記述項目間の関係を考慮して思考の内容を表現していること

(2) 手順

設計者(被験者)は、UMLを用いたオブジェクト指向モデリングを2年経験し、ETロボコンへ過去1回参加した修士課程学生(A,B)、UMLを用いたオブジェクト指向モデリングを1年経験し、ETロボコンへ過去1回参加した学部4年生(C)の3名を設計者とする。以下の手順で実験を行う。

手順 1: 各設計者は、表現支援法を用いずに、現行のマニュアルのみで自身が行った問題解決の思考過程を表現する

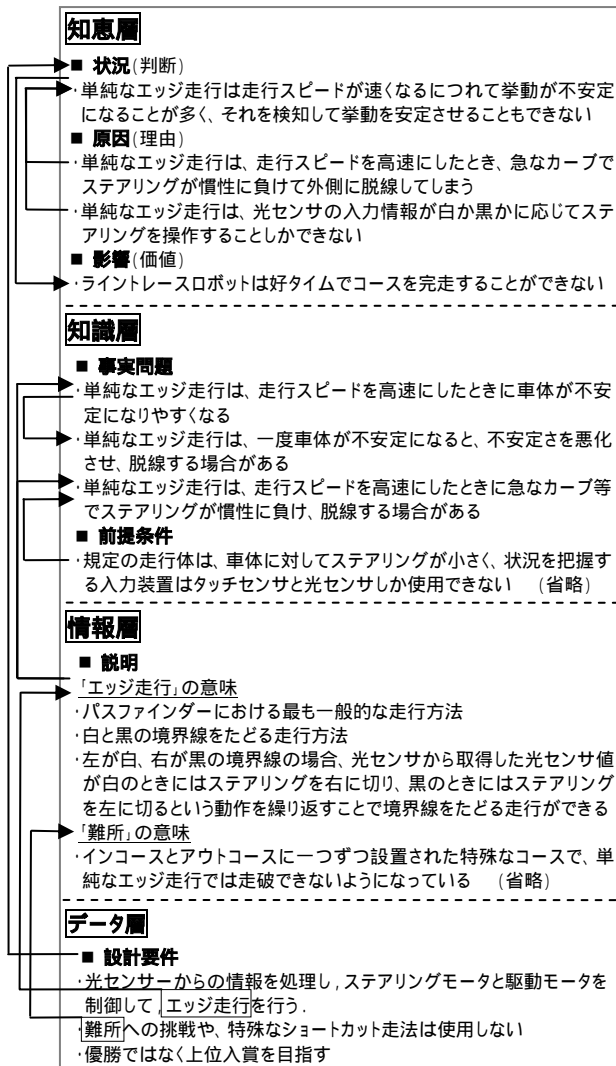
手順 2: 各設計者は、表現支援法を用いて、自身が行った問題解決の思考過程を表現する

手順 3: 表現結果と問題オントロジーで示す構造の要素を対応付けることにより、確認事項1を確認する

手順 4: 表現結果に関係マップで示す記述項目間の関係を明記すること、および、手順1,2の表現結果の記述量を比較することにより、確認事項2を確認する

4.2 結果と考察

設計者Aは、ETロボットコンテスト2007におけるライントレースロボットのエッジ走行に関する問題解決の思考過程を表現した。表現支援法を用いて設計者Aが記述した問題の表現結果(図7)は、データ層の設計要件を実現する際に設計者が捉えた問題を表す。情報層では、データ層に記述した設計要件から「エッジ走行」と「難所」の意味を説明している。さらに、知識層では、エッジ走行を実現する際に、設計者Aが過去に経験した「事実問題」と「前提条件」を記述している。知恵層では、「単純なエッジ走行は、走行スピ



は記述項目間の関係を示す (図5参照)

図7 「エッジ走行」に関する問題の表現結果

ードが速くなるにつれて走行中に挙動が不安定になることが多く、それを検知して挙動を安定させることもできない」という状況に対して、2つの「原因」と1つの「影響」を述べることにより、状況を正当化している。

確認事項1を確認するために手順3を行った結果、設計者Aは、「事実問題」「前提条件」「状況」「原因」「影響」それぞれの記述内容を問題オントロジーで示す構造の要素を対応付けることができた。

確認事項2を確認するために手順4を行った結果、設計者Aが問題の表現結果に対して、問題の関係マップで示す記述項目間の関係を明記することができた。

他の設計者B,Cでも同様に手順3,4を設計者自身が行えることを確認した。

表現支援法を用いる場合と用いない場合について、問題の表現結果の記述量を比較した結果(表4)、すべての設計者が知恵層、知識層、情報層の記述項目に関

表4 記述量の比較結果

設計者	項目	表現支援法を用いない場合の記述量	表現支援法を用いる場合の記述量
設計者 A	知恵層	3	4
	知識層	5	6
	情報層	3	3
設計者 B	知恵層	4	5
	知識層	2	4
	情報層	3	3
設計者 C	知恵層	3	5
	知識層	3	4
	情報層	3	4

する記述量を増加させていることを確認した。

以上の結果から、CAPISモデルによる思考過程の表現支援法を用いて設計者が記述項目の構造と記述項目間の関係を考慮して概念化プロセスを実行することにより、思考の内容を表現できる見込みを得ることができた。

5. おわりに

本論文では、「記述項目の構造を示すオントロジー」と「記述項目間の関係を示す関係マップ」を用いる思考過程の表現支援法を提案した。CAPISモデルによる思考過程の表現支援法の適用実験においては、設計者が記述項目の「構造」を考慮して思考の内容が表現できること、および、記述項目間の「関係」を考慮して概念化プロセスを実行できることを確認した。

今後の課題としては、課題オントロジーと対策オントロジーを基に「課題」「対策」に対応する関係マップの構築を行う。さらに、設計者の手作業による負荷を軽減するために表現支援システムの開発を進める。

参考文献

- [1] 大山勝徳, 武内惇, 藤本洋, CAPISモデル方式による設計思考過程の表現法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 8, pp.136-139 (2005).
- [2] 大山勝徳, 武内惇, 藤本洋, 品質特性を考慮したUMLモデリングの思考過程表現に関する考察, 組込みソフトウェアシンポジウム ESS2005 論文集, pp.136-139 (2005).
- [3] 大山勝徳, 八木沼修, 武内惇, 藤本洋, 経験者の思考過程を用いたクラス抽出実験に関する報告, 組込みシステムシンポジウム ESS2006 論文集, pp.104-108 (2006).
- [4] Bellinger, G., Castro, D. and Mils, A., Data, Information, Knowledge, Wisdom, <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>.
- [5] 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).
- [6] ETソフトウェアデザインロボットコンテスト, <http://www.etrobo.jp/>