操作構造に注目した人工物モデルとユニバーサルデザインへの応用[†]

須藤 秀紹*・川上 浩司**・片井 修**

An Artifact Model with Structure of Operations and Its Application to Universal Design[†]

Hidetsugu SUTO*, Hiroshi KAWAKAMI** and Osamu KATAI**

In this paper, we will propose a conceptual design support system based on the notion of the universal design by using a model for representing artifacts which focuses on operational structure. We have already proposed a hierarchical model for representing interactive artifacts involving “intentions”, “operations and states” and “physical phenomena” which are tightly related with each other from teleological, causal and temporal aspects. In this model, artifacts are interpreted as interfaces between humans and environments. In this sense, the proposed model is suitable for representing artifacts which are designed based on the notion of universal design. In order to apply the proposed model to design support system, we have proposed the conceptual classes that are suitable for representing “physical causalities” and “operations” based on “Ontology Engineering”. In this paper, we will propose a simulation system of our proposed model. The system consists of an “extended petri net simulator” and a “physical causal network generating system”. They interact with each other via a “node observation agent”. In order to elucidate the effectiveness of the proposed system, we will show an example of operational analysis result of an artifact.

Key Words: hierarchical artifact model, universal design, Petri net, physical causal network(PCN)

1. はじめに

あらゆる年齢、体型、能力の人が快適に利用可能なように人工物を設計しようとする試みであるユニバーサルデザインの考え方が注目を集めている背景には、わが国の急速な高齢化や能力制約（ハンディキャップ）をもつ人々の社会参加への意識の変化などがあることは良く知られている。このような傾向は今後も続く予測されることから、ユニバーサルデザインの考え方に基づく人工物設計の必要性はますます増加すると考えられる。このような人工物の設計を行なう場合、(1) できるだけ多くの選択肢を用意しておく、(2) ベースを用意しておいてオプションを追加する、(3) 汎用性の高いデザインを用意するといった方法が考えられている¹⁾。(1)(2)の方法は(3)の方法に比べてより現実的であると考えられており、洋服や文房具といった日用品の場合は(1)の方法で達成される場合が多い。また、ベースとなる仕様を用意して

おき、必要に応じてオプションを追加してゆく自動車の販売方法は(2)の方法の代表的な例と言える。

これに対し(3)の方法は実現が困難である。また“誰にでも適する”ような特殊解は、用途が特殊化するため、それによって恩恵をうける人が限られてしまい、コストが高い、対費用効果が低い、産業界からの評価が低いなどの問題点があり、一般解の重要性が強調されることもある。しかし、耐久消費財や社会的資本財のように多くの選択肢を用意することがコスト的に難しい場合や、使用者自身が（たとえば年齢の）変化に伴って要求を変える場合、汎用性の高いデザインが必要になる。

高い汎用性をもつ人工物の実現のためには、設計者が操作者の意図を的確に把握し設計に反映する必要がある。われわれはすでに、操作者や設計者の意図に注目した人工物の表現モデルを提案している²⁾。提案モデルにおいては、可能な操作とその前後の状態が、自然法則や物理現象と結び付いて表現されている。“操作前の状態”は“操作”の条件となっており、ここに身体的な条件を含めることによって対象を操作するためにどれだけの拘束が必要になるかを分析することが可能になる。これによって、“汎用性の高いデザイン”という特殊解を発見する支援に役立つものと期待される。

Ron Maceらによってユニバーサルデザインを説明するための7原則³⁾が提唱され、いくつかの指針が示されている。本研究では、その中でも特に「柔軟に使えること」「間違えても重大な結果にならないこと」の二つに注目して、提案モ

[†] 第29回知能システムシンポジウムで発表(2002・3)

* 秋田公立美術工芸短期大学産業デザイン学科

** 京都大学大学院情報学研究所

* Department of Industrial Design, Akita Municipal Junior College of Arts and Crafts, 12-3, Okawamachi, Araya, Akita City, Akita

** Graduate School of Informatics, Kyoto University, Yoshida Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto
(Received February 28, 2002)
(Revised August 22, 2002)

Fig. 1 Overview of the proposed model

デルのユニバーサルデザインの考え方に基づく人工物の設計支援への応用について検討する。

2. 操作を含む人工物モデルの3階層表現モデル

Fig. 1 左側は、われわれが提案した操作性を考慮に入れた人工物の表現モデルのイメージを表わしている。本章では提案モデルの概要について述べる。

2.1 3階層表現モデル

提案モデルは、真理論的様相・義務論的様相・時間論的様相の3つの視点⁴⁾から切り分けられた上位層 (top layer)・中心層 (main layer)・ベース層 (base layer) の3層で構成されている。

中心層では自由な操作による状態の遷移を標準的な 1-bounded ペトリネット⁵⁾を用いて表わす。ペトリネットのトランジションは操作を、プレースは操作の前後のローカルな状態をそれぞれ表現している。上位層では操作手順という形で操作者に託された設計者の意図からなる目的論的必然性を、様相論理表現を組み込み拡張したペトリネット⁶⁾を用いて表わす。下位のベース層では、物理現象に内在する因果論的必然性を物理因果連鎖網 (PCN: physical causal network) と呼ぶネットワーク構造を用いて表現する⁷⁾。PCN は因果連鎖によって構造的な変化が起こるまでが1つの時区間 (言わば因果連鎖のスナップショット) として区切られており、複数の時区間を束ねるようにして1つの PCN が構成されている。

物理システムは操作者に対してある時点でのオペレーションを複数許可しているが、操作手順書がその選択に制限を加える。提案モデルでは、中心層から上位層へシステムの現状態が伝えられ、逆に上位層から中心層に向けて「オペレーションの選択の制限」を表わす情報が伝えられる。ベース層のスナップショットを構成する各因果関係の構造的成立条件は、中心層のプレース (つまりシステムのローカルな状態) によって表現される。すなわち操作によるローカルな状態の変化が中心層からベース層へ伝わると、新たなスナップショット生成のトリガーとなる。一方、ベース層内で因果的必然性に任せて因果関係が連鎖した末に状態変化が導かれると、そ

の変化がベース層から中心層へ伝えられることによってマーキングが変化し、現在のスナップショットはそこで終端して新たなスナップショットが形成される。つまり、中心層では操作に伴う直接的な変化を、ベース層ではシステム的环境と操作から因果的に起る波及効果 (操作をトリガーとして発生する「因果的に閉じた系」⁸⁾) を表現している。

これらのインタラクションによって、「設計者の意図」、「物理現象や効果」、「操作」間の緊密な関係性が表出される。つまり、人間の諸特性と環境の双方を配慮して設計されるべきであるユニバーサルデザインの考えに基づいた人工物の表現モデルに適していると言える。

2.2 3階層モデルとオントロジー

提案モデルを設計支援に用いるためには、モデルを参照する人やシステムの間で共通の概念が共有されなければならない。われわれは、提案モデルに共通の概念を与えるため、物理因果と操作に関してオントロジー工学⁹⁾に基づいた考察を加え、Fig. 2 に示すクラス階層を定義した¹⁰⁾。

“オペレーションクラス” (operation class) は、“基本行為クラス” (basic action class) と“ローカルな状態クラス” (local state class) から構成される。また“物理因果クラス” (causal relationship class) は、“構造的成立条件クラス” (structural condition class)、“因果事象クラス” (causal event class)、“構造素クラス” (structural element class)、“物理量のラベルクラス” (label of physical quantity class) から構成される。ローカルな状態クラスと構造的成立条件クラスは共にトップオントロジーの“事実クラス”のサブクラスであり、von Wright の言う“閉じた系”における操作と物理因果の界面⁸⁾となっている。

これらのクラスを用いてモデルを記述することによって、モデルを参照する人々の間に共通の概念語彙を与えることができる。モデルは操作と状態の様相性に着目しており、共通概念を得ることにより、ユニバーサルデザインを考慮した人工物の設計支援やオペレーションを含んだ設計知識の再利用に应用することが可能となった。

Fig. 2 Relation among classes about physical causality and operations in artifacts

3. 提案モデルを用いた人工物シミュレータ

本研究では提案モデルの有用性を検証するため、Fig. 2に表わすクラスに基づいた、提案モデルによる人工物のシミュレータを計算機上に実装した。本章では、実装のための具体的な方法について述べる。

3.1 人工物シミュレータの概要

システムは、Fig. 1 右側に表わすように、上位層・中心層の動作を受け持つ拡張ペトリネットシミュレータ (Extended Petri Net Simulator: EPNS) 部と、ベース層を生成する物理因果連鎖網生成システム (Physical Causal Network Generating System: PGS) 部で構成されている。

EPNSは拡張ペトリネットの動作を計算機のメモリー上で再現する。拡張ペトリネットの構造は、前章で述べた操作クラスの定義にしたがって、以下に示す内容で構成される構造記述ファイルに定義する。

$P[P_1, P_2, \dots, P_{n1}]$: プレースの定義

構造に表われるプレースの有限集合 ($n1 \geq 0$)

$T[T_1, T_2, \dots, T_{n2}]$: トランジションの定義

構造に表われるトランジションの有限集合 ($n2 \geq 0$)

$I[T_i] = [P_1, P_2, \dots, P_{n3}]$: 入力関数の定義

トランジション T_i の入力側に接続するプレースの有限集合 ($n3 \geq 0$)

$O[T_j] = [P_1, P_2, \dots, P_{n4}]$: 出力関数の定義

トランジション T_j の出力側に接続するプレースの有限集合 ($n4 \geq 0$)

$R[T_k] = [P_1, P_2, \dots, P_{n5}]$: つぎのステップでの発火リクエスト定義

トランジション T_k の入力側に強制発火アークで接続するプレースの有限集合 ($n5 \geq 0$)

$S[P_1, P_2, \dots, P_{n6}]$: 初期のトークン配置 (marking) 定義
トークンを配置するプレースの有限集合 ($n6 \geq 0$)

$M[P_1, P_2, \dots, P_{n7}]$: モニタするプレースの指定

常に状態を表示させるプレースの有限集合 ($n7 \geq 0$)。これによって、「保持することが必要な動作が同時にいくつ必要になるか」などを知ることが可能である。

また、シミュレーションの実行中には、現在のローカルな状態 (トークンの存在するプレースの一覧) および、可能な操作 (発火可能なトランジション) の一覧表示、任意の可能な

操作の実行 (トランジション発火) が可能である。

PGSは状態モデリングシステム (State Modeling System: SMS)¹¹⁾と連携して物理因果連鎖網を生成する。SMSは定量的解析を担うエージェントであるのに対して、PGSは知識ベース推論に基づいたエージェントである。PGSでは表層的構造にとらわれない知識ベース推論を可能とするために定量的情報を扱っていない。しかし定性的な情報だけでは一般則が設定できない現象、たとえば“ある構造素が移動しほかの構造素の特定の部分を押す”、“ある構造素に一定以上の力が加わると形状が変化しほかの構造素に接触する”などを知ることができない。そのため、PGS単体では操作によって構造素間の接続関係が動的に変化していく場合には対応できないが、SMSとの連携によって動的な構造の変化を伴うシステムのPCNが生成可能となる。PGSは「構造条件」と「トリガーとなる操作」を受け取り、それによって引き起こされるPCNを生成する。生成されたPCNは、前章で述べた物理因果関係クラスを用いて表現されている。

3.2 EPNSとPGSのインタラクション

人工物の操作性を考えた場合、ある操作を行なったことによる状態の変化は、その操作から直接的に受けるものと、物理的な因果連鎖の波及効果として起るものの二つを考慮することができる。提案モデルでは、直接的な変化を中心層のペトリネットを用いて、物理法則による波及効果をベース層のPCNを用いて表現している。本節では、ベース層で表現される波及効果を中心層の状態変化に反映させる仕組みについて述べる。

Fig. 1 右側に中心層とベース層のインタラクションの概略を示す。PGSが生成したPCNの中から、中心層の状態変化に関連のあるノードを発見するため、新たに Node observation agent (NOA)を導入する。NOAはPCNのノードと関連するプレースの組からなるデータベースを持っており^(注1)、中心層のペトリネットの任意のプレースにトークンを投入することが可能である。

操作が与えられると (Fig. 1 (1)), まず操作と現在の状態 (ペトリネットのマーキング) がPGSに渡される (Fig. 1 (A)). PGSは渡された情報を基にスナップショットを作成

(注1) オントロジー工学⁹⁾に基づく概念定義によって、計算機を用いた一般的な処理を可能にしている。

Fig. 3 Example of force fire arc

する。生成されたPCNはNOAへと渡される (Fig. 1 (B))。NOAは渡されたPCNのノードを検索して、関連するプレースへトークンを投入する (Fig. 1 (C) (2))。最後にトランジションが発火し、それに伴ってトークンが移動する (Fig. 1 (C) (3))。

NOAがトークンを投入するプレースは、強制発火アークを用いてトランジションと接続されている。Fig. 3に示すのは、強制発火アークで接続されたプレースとトランジションの一例である。NOAは、PCNのノードとデータベースを参照することにより、物理的な波及効果 (因果連鎖) が状態を変化させたかどうかを知ることができる。たとえばNOAは、Fig. 3に示す状態P1から状態P2に変化することを探知すると、プレースP3にトークンを投入する。強制発火アークで結ばれたトランジションは、もし発火可能であれば必ず発火しなければならないので、つぎの状態P2のトークンはP2へ移動することになる。

4. ユニバーサルデザインへの応用

本章では、ユニバーサルデザインの考え方に基づいた人工物の設計支援に提案システムを活用する可能性について述べ、例題を用いたシミュレーションを通して検証する。

4.1 応用可能性

本研究ではユニバーサルデザインの7つの原則とその指針の内、特に「柔軟に使えること」「間違えても重大な結果にならないこと」の二つに注目している。

人工物を操作するとき、ひと一人が使える身体的リソースは限られており、柔軟に使える人工物実現のためには、操作に必要なリソースの自由度が大きくなるように設計されている必要がある。たとえば、片手しか使えない人でも苦勞することなく使用可能であり、また両手を使えばより効率よく目的を達することができれば、柔軟に使える人工物であると言える。

われわれのモデルの中心層は、操作による状態変化をベトリネットのプレースとトークンのマーキングを用いて表現している。プレースで表現されるローカルな状態クラス¹⁰⁾において、状態の対象はトップオントロジーの機能物クラスの下位概念として定義される。機能物クラスは「人工物」と「生命体」の概念を含んでおり、ローカルな状態クラスでも、状態の対象として人工物と生命体の両者が含まれる。これらの状態に操作者の「手」や「視線」といった身体的リソースの状態を加えることによって、これらを考慮した人工物の操作

Fig. 4 Handy mimeograph

性分析が可能になる。操作系列において同時にいくつかの「操作者の身体的リソースを表わすプレース」がトークンを持つかを調べることによって、「片手だけで操作可能か」「両手を使って効率的に操作可能か」といった分析ができる。さらに同時に3つ以上の「身体的リソースを表わすプレース」がトークンを持つことが可能であると設定すれば、二人以上で共同作業を行ない作業効率を上げることが可能であるかどうかを知ることができ、より自由度の高い人工物の設計支援が可能となる。

また、間違った操作をしても危険な状態に陥らないような人工物設計のためには、おのおのの操作がもたらす効果を設計者が的確に把握しておく必要がある。提案モデルは、可能な操作とその前後の状態が物理現象や効果と適切に関連づけて表現されているため、システム全体をベトリネットで表現できれば、可達性やデッドロックの確認によって、操作者が危険な状態に陥ることを防ぐための措置を講じることが可能となる¹²⁾。そこで現在、ベース層と中心層とのインタラクションが拡張ベトリネットの構造としてコーディングできることを確認するとともに、強制発火を含む状態遷移に対するベトリネット解析手法の拡張を検討している。また、構造的に対策を講じることが困難な場合には、安全な操作手順を操作者に提示するが、これらを上位層に記述してシミュレーションすることにより、操作手順自体にミスが無いかどうかを確認することが可能である。

次節では、上記の中でも「柔軟に使えること」という指針にそった人工物の設計支援に提案システムが有効であることを、シミュレーション結果に基づいて示す。例題としてはFig. 4に示す家庭用簡易謄写版を用いた。このシステムは操作の自由度が高く、さまざまな操作手順によって製版が可能である。また、操作手順書に従えば、製版途中で両方の手が拘束されてしまう状況が現れるため、改良の余地が残されている。

4.2 シミュレーション結果

Fig. 5は例題として用いた家庭用簡易謄写版の製版過程を提案モデルで表現したものである。ここで操作“hold”を含むプレースは「手でなにかを掴んでいる」ことを表わしている。自然な状態では二つ以上のものを同時に掴むこと、すなわちこれらのプレースのうちの二つ以上が同時にトークンを持つことは困難であると考えられる。つまり、Fig. 5のベト

Fig. 5 The main layer of handy mimeograph (make up process)

リネットの可達木をチェックすることによって、目的を達成するための自然な操作系列を知ることができる。

このモデルに対して、システムの初期状態を以下のように設定した。

- 手には何も持っていない
- ホルダーには何も無い
- 圧板は下がっている
- パッドの上に原稿無し
- ソケットには何も無し
- ランプハウスは取り外されている

目標は「プレース:connect(created_master,holder) にトークンが入る」ことで達成される。Table 1 に示すのは、目標達成までの可達木の生成をシミュレートさせたログである。同表 1~3 は、「ランプハウスにフラッシュ・バルブを取りつける」ための手順であり、同様に、同表 4~13 は

- ランプハウスを圧板に取りつける (4~5)
- 原稿をパッドの上に置く (6~9)
- ホルダーにマスターを取りつける (10~11)
- 圧板を押し下げる (12~13)

という一般的な手順を示す。“possible operations”はそのとき可能なオペレーションの一覧である。太字は選択したオペレーションを、斜体は NOA によるトークンの投げ込みと強制発火の様子を表わす。また、“holds”は操作の直前に塞がっている“手”の数を表わす。

4.3 考察

シミュレーション結果より、オペレーション 2, 8, 10 の直

後に両方の手が塞がっていることがわかる。

オペレーション 2 は、フラッシュ・バルブをソケットに取りつける操作であり、フラッシュ・バルブとランプハウスの両方を持って作業する必要がある。これは、ランプハウスを圧板に固定するなどの改良により、フラッシュ・バルブのみを持って作業することが可能になる。

オペレーション 8 は原稿をパッドの上に置く操作、オペレーション 10 はマスターを圧板に取りつける操作にそれぞれ相当する。これらは“圧板が上がっている”状態で作業する必要がある。このためオペレーション 7 で圧板を持ち上げて、オペレーション 12 で圧板を下げるまで常に片方の手が拘束されていることになる。仮にオペレーション 8 の直前に圧板を放す操作 (release(p.board)) を選択した場合、PGS は物理法則にしたがって、ノード “[p.board,displace]” を生成する。このノードは p_board の位置が変化することを意味している。NOA はこのノードを発見すると、プレース “P3” にトークンを投げ込む。このプレースは、強制発火によりトランジション NA3 と接続されておりつぎのステップで発火する。この結果トークンが not_connect(p.board,body) から connect(p.board,body) に移動するためトランジション put(manuscript,pad) が発火できなくなる。Table 2 はオペレーション 8 で release(p.board) を選択した場合のログの一部である。プレース P3 へトークンが投入され、トランジション NA3 が強制発火している。これによって、オペレーション 9 において、put(manuscript,pad) が選択できなくなっていることがわかる。これは手を放してしまったた

Table 1 A part of operation sequence of handy mimeograph (1)

no.	possible operations	holds	no.	possible operations	holds	no.	possible operations	holds
1	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	0	6	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	1	11	put(new_master,holder) release(new_master) hold(created_master) down(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	2
2	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) release(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	1	7	hold(new_master) hold(created_master) up(p_board) push(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	0	12	hold(new_master) hold(created_master) down(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	1
3	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) put(new_bulb,socket) release(new_bulb) hold(used_bulb) put(lamp_house,p_board) release(lamp_house)	2	8	hold(new_master) hold(created_master) down(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	1	13	hold(new_master) hold(created_master) up(p_board) push(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house) - throw token into place 'P4'. - throw token into place 'P1'. - Force fired: NA1 - - Force fired: NA4 - connect(created_master,holder):1	1
4	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) put(lamp_house,p_board) release(lamp_house)	1	9	hold(new_master) hold(created_master) down(p_board) release(p_board) put(manuscript,pad) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	2			
5	hold(new_master) hold(created_master) hold(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) remove(lamp_house,p_board) release(lamp_house)	1	10	hold(new_master) hold(created_master) down(p_board) release(p_board) hold(manuscript) hold(new_bulb) hold(used_bulb) hold(lamp_house)	1			

め圧板が下がってしまい、パッドの上に原稿を乗せることができなくなったことを表わしている。この場合、手を放しても圧板が落ちてこないようにバネを取りつけるなどの改良が考えられる。提案システムでは問題となる物理現象を明らかにすることができるため、PCNの事例データベースを用いることによって、改良案の提案システムを構築することの可能性を現在検討している。

5. おわりに

本研究では、操作を含む人工物モデルの定性シミュレータを計算機上に実装し、ユニバーサルデザインの考えに基づく人工物の設計支援に役立つことを検証した。提案システムは設計対象物を取りまく環境や操作を重視した表現モデルに基づいており、さまざまな人々のニーズを満足させる必要があるユニバーサルデザインへのための設計支援に適していると言える。

公共的な建物や都市空間をユニバーサルデザインに基づい

て設計しようとする場合、利用する人たちは不特定多数の人であるため、一人ひとりの意見や要望を聞くことは困難である。したがって、これらの公共性の高い人工物では“なぜこのような設計がなされたのか”、“どのように利用してゆくのか”といった設計の考え方が公開される必要がある。提案システムを用いれば、一般的な操作に対する操作者の負荷を一般的・客観的に分析することが可能となり、デザインの必然性の裏付けとして利用することが可能である。

また、個人向けの一般的な消耗品においてもニーズの的確な反映には多くのサンプルが必要であるが、データの収集には大きなコストが必要となる。提案システムのシミュレーションを用いて、設計の初期段階からサンプルの採取ができれば製品開発コストの軽減が期待できる。

本稿では操作者の“手の動き”に注目して、両手を同時に使う必要があるオペレーションを割り出し、それに基づいた改良を行なう例を示した。ただしこの枠組みは、人のリソースとして“手”に限定されるものではなく、たとえば“視線

Table 2 A part of operation sequence of handy mimeograph (2)

no.	possible operations	holds
7	hold(new_master)	0
	hold(created_master)	
	up(p_board)	
	push(p_board)	
	release(p_board)	
	hold(manuscript)	
	hold(new_bulb)	
	hold(used_bulb)	
	hold(lamp_house)	
8	hold(new_master)	1
	hold(created_master)	
	down(p_board)	
	release(p_board)	
	hold(manuscript)	
	hold(new_bulb)	
	hold(used_bulb)	
	hold(lamp_house)	
	- throw token into place 'P3' -	
	- Force fired: NA3 -	
9	hold(new_master)	0
	hold(created_master)	
	hold(p_board)	
	hold(manuscript)	
	hold(new_bulb)	
	hold(used_bulb)	
	hold(lamp_house)	

の動き”を加えることにより、操作者が注目しなければならない対象を分析することが可能になり、“操作ミスの起りづらい人工物”の設計支援にも役立つものと期待できる。また、ユニバーサルデザインのための7つの原則の1つである、「少ない労力で効率的に、楽に使えること」の新しい指針として、このような身体的リソースに着目した分析が可能になるものと期待している。

提案システムは、部品の大きさ、重さ、形状といった定量的情報をあえて捨象して対象の人工物を表現している。しかし実際には、これらの性質が人工物の操作性に影響を及ぼしている。今後、3章で述べたSMSとの連携を強化することにより、定量的な条件を考慮したシステムへの発展が考えられる。これによって、ユニバーサルデザインの7つの原則のうちの「使い手に不自由な姿勢を強いないこと」の検証に応用可能になることが期待される。また、代替え案提示システムとの連携により、より積極的な設計支援の実現を目指したい。

参 考 文 献

- 1) 古瀬敏:ユニバーサルデザインとはなにか, 都市文化社 (1998)
- 2) 須藤, 川上, 片井: 操作と状態の様相性に着目した人工物表現モデルの提案, 計測自動制御学会 論文集, **37**-11, 1078/1086 (2001)
- 3) 川内美彦:ユニバーサルデザイン, 学芸出版社, 112/114 (2001)
- 4) 岩井, 片井, 榎木, 坂口, 福森: 知識システム工学, 計測自動制御学会 (1991)
- 5) (社) 計測自動制御学会: ペトリネットとその応用, コロナ社 (1992)
- 6) 片井修: 時制論理とシステム制御, 計測と制御, **25**-12, 1005/1012 (1983)
- 7) 川上, 野村, 須藤, 小西, 片井: シンセシス支援のための物理因果説明構造とその導出法, 計測自動制御学会 論文集, **37**-8, 786/794 (2001)
- 8) G.H. von ウリクト: 説明と理解, 産業図書 (1971)
- 9) 溝口, 池田, 来村: オントロジー工学基礎論, 人工知能学会誌, **14**-6, 1091/1032 (1999)
- 10) 須藤, 川上, 堀内, 片井: 操作者とのインタラクションを考慮した人工物モデリングに関するオントロジカルな考察, 計測自動制御学会 論文集, **38**-2, 210/218 (2002)
- 11) 小野里, 岩田: 設計対象の物理的記述のためのモデリングフレームワーク, 精密工学会誌, **63**-10, 1395/1399 (1997)
- 12) H. Suto, H. Kawakami, T. Horiuchi and O. Katai: Safety Modality Analysis of Artifacts by Teleological/Causal/Interactional Modeling via Petri Nets and Modal Logic, *Proc. of Asia Pacific Symposium on Safety 2001*, **2**, 249/252 (2001)

[著 者 紹 介]

須 藤 秀 紹 (正会員)

1991年徳島大学総合科学部卒業。同年(株)ジャストシステム入社, 97年より大阪教育大学大学院修士課程を経て, 2002年京都大学大学院情報学研究科博士後期課程研究指導認定退学。同年, 秋田公立美術工芸短期大学産業デザイン学科講師, 現在に至る。関係性に注目した人工物の設計支援に関する研究に従事。

川 上 浩 司 (正会員)

1989年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 岡山大学工学部情報工学科助手, 98年, 京都大学大学院情報学研究科助教授, 現在に至る。共生システム設計方法論の研究に従事。人工知能学会などの会員。(工学博士)。

片 井 修 (正会員)

1969年京都大学工学部機械工学科卒業。同大学院博士課程機械工学科第二専攻修了。74年同大学助手。83年同助教授。94年同教授。96年同大学院工学研究科教授。98年同大学院情報学研究科教授, 現在に至る。その間, 80~81年フランス国INRIA客員研究員。主として共生的なシステム構築法に関する研究に従事。(工学博士)。