

ユニバーサルデザイン支援のための 操作構造解析に関する考察

A Method for analyzing structure of operations for supporting universal design

須藤秀紹*

Hidetsugu Suto*

秋田公立美術工芸短期大学

Akita Municipal Junior College of Arts and Craft

キーワード：ユニバーサルデザイン (Universal design), 拡張ペトリネット (Extended Petri net), 物理因果連鎖網 (Physical causal network), 概念設計支援 (Conceptual design support),

連絡先：〒010-1632 秋田市新屋大川町12-3 秋田公立美術工芸短期大学 産業デザイン学科
須藤秀紹, Tel.: (018)888-8108, Fax.: (018)888-8109, E-mail: suto@amcac.ac.jp

1. はじめに

わが国の急速な高齢化や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を背景に、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。

ユニバーサルデザインの考え方に基づく人工物の設計を行う場合、(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が、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。そこでわれわれのグループは、操作者や設計者の意図に注目した人工物の表現モデルであるADTモデル (Alethic/ Deontic/ Temporal model)²⁾とそのモデルに基づく人工物の操作構造シミュレーションシステムを提案し、その有用性について検証している³⁾。

ADTモデルの各層は表現対象の特性に応じて、中心層と上位層を拡張ペトリネットを用いて、ベース層を物理因果連鎖網 (PCN: physical causal net-

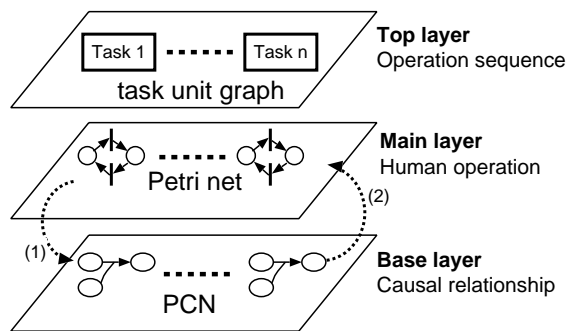


Fig. 1 Overview of ADT model.

work) 4)を用いてそれぞれ記述される。このモデルで記述された人工物の操作構造分析に、到達性の確認やデッドロックの検証といったペトリネットの一般的解析手法が導入できれば、その有用性がさらに向上するものと期待できる。

本研究では、ADTモデルによる人工物の操作構造表現を、拡張ペトリネットによる表現に翻訳する手法を提案する。さらに翻訳後の拡張ペトリネットの解析方法とユニバーサルデザインへの応用についての考察を加える。

2. ADTモデルの概略

ADTモデルは、Fig. 1に表すように上位層 (top layer)・中心層 (main layer)・ベース層 (base layer) からなる3層で構成される。中心層では自由な操作に伴う状態の遷移を標準的な1-boundedペトリネット⁵⁾を用いて表現する。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す。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⁾を用いて表現する。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) と呼ぶネットワーク構造を用いて表現する。

PCNは、ノードとノード同士を結ぶアークとから構成され、ノードは物理システムを構成する要

素 (構造素) とその持つ物理量を、アークはノード間の物理因果関係をそれぞれ表す。物理因果関係は、一つの果ノード (effect node) に対して複数の因ノード (causal node) を持つような多対一の関係も許容される。また、それぞれの物理因果関係は構造的成立条件 (structural condition) を持っており、これらの条件が成立しているときに限り因果関係が成り立つことを意味する。

中間層とベース層のインタラクション 分析哲学者である von Wright によって示された「“目的論的な操作”が引金になって“因果論的に閉じた系”が形成される」という物理現象の捉え方⁷⁾で説明されるように、操作による人工物の状態変化は、その操作から直接的に起こるものと、物理的な因果連鎖の波及効果として引き起こされるものの二種類に分けることができる。

ADTモデルでは、操作による直接的な状態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を用いてそれぞれ表現している。ベース層を構成するPCNは、中心層のトランジションの発火 (操作) を引金として生成される。このとき、中心層を構成するペトリネットのプレースがPCNの構造的成立条件となっており、マーキングが決定すると生成されるPCNが決定する (Fig. 1 (1))。また、PCNによって表される波及効果に起因する状態変化がある場合、その変化はペトリネットのマーキングに反映される (Fig. 1 (2))。

たとえば、Fig.2 (A) は、中心層において構造的成立条件“*condition_1 and condition_2*”が成立しているとき、操作“*operation_X*”を引金にしてベース層のPCNが生成される様子を表している。このとき、PCNのノード“*node_X*”が状態“*state_A*”から“*state_B*”への変化を引き起こす場合、「次ステップでの発火要請アーク」で結ばれたプレース“*P*”にトークンを投入する。次ステップにおいてトラ

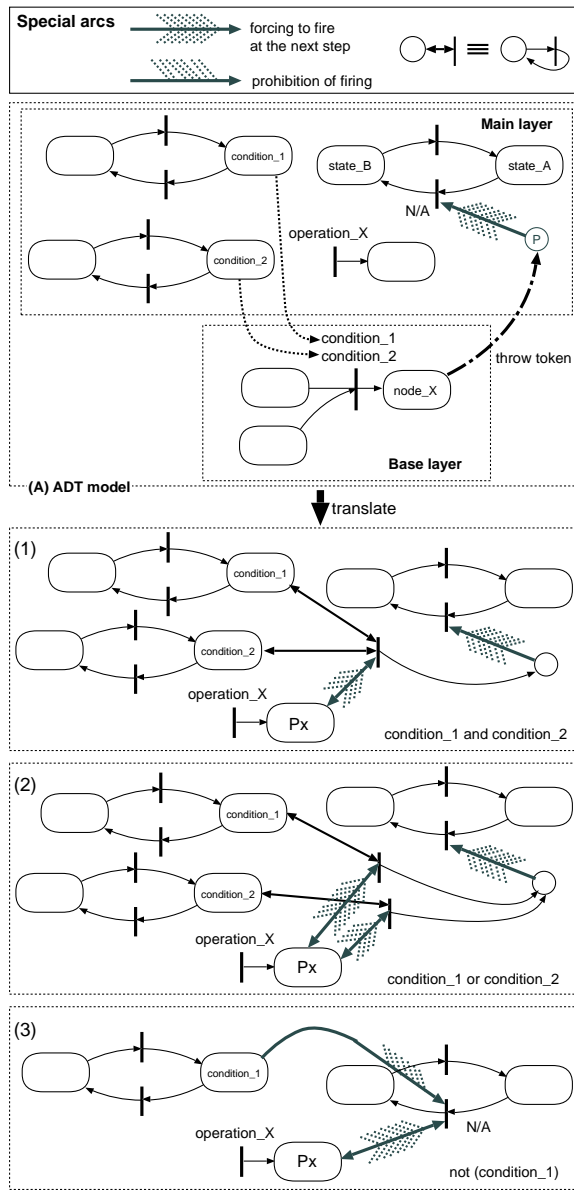


Fig. 2 Example of translation from PCN to EPN.

ンジション“N/A”は発火可能であり、「次ステップでの発火要請アーク」で結ばれているため発火しなければならず、状態は“state_A”から“state_B”へと変化する。

3. 操作構造解析法

ADTモデルの中心層・上位層は拡張ペトリネット、ベース層はPCNでそれぞれ記述されている。ここでモデル全体を拡張ペトリネットでは表現でき

れば、ペトリネットの一般的な解析手法を用いた人工物の操作構造分析が可能となる。本章では、ベース層のPCNを拡張ペトリネットに翻訳する方法とその解析方法について述べる。

3.1 拡張ペトリネットへの翻訳

前章で述べたように、ADTモデルのベース層を構成するPCNの成立条件は中心層を構成するペトリネットのプレースによって表現されており、どのようなPCNが生成されるかはペトリネットのマーキングによって決定される。またベース層のPCNで表現される物理的な波及効果は、「次ステップでの発火要請アーク」で結ばれたプレースにトークンを投入することによって中心層の状態変化に反映される。そこで、PCNの成立条件となっているプレースと、トークンが投入されるプレースを直接「次ステップでの発火要請アーク」とトランジションを用いて結ぶことによって、PCNで記述された部分を拡張ペトリネットへと翻訳することができる。また複数の条件を持っている場合には以下のように翻訳する。

“condition_1 and condition_2”の場合 Fig.2 (1) に示すように、トランジションを一つ追加し、構造的成立条件を表すプレースと追加したトランジションを双方向のアークで接続する。さらに、操作完了を表すプレースと追加したトランジションを双方向の「次ステップでの発火要請アーク」で接続する。

“condition_1 or condition_2”の場合 Fig.2 (2) に示すように、条件の数だけトランジションを追加し、構造的成立条件を表すプレースと追加したトランジションを一つずつ双方向のアークで接続する。さらに、操作完了を表すプレースと追加した各トランジションを双方向の「次ステップでの発火要請アーク」で接続する。

“not (condition_1)”の場合 Fig.2 (3) に示すように構造的成立条件を表すプレースとトランジション“N/A”を「発火禁止アーク」で結ぶ。さらに、操作完了を表すプレースとトランジション“N/A”を双方向の「次ステップでの発火要請アーク」で接続する。

Fig. 3に家庭用簡易謄写版の製版過程を表すADTモデルを、提案手法を用いて拡張ペトリネットに翻訳した例を示す。同図で黒色で示されたプレースはトークンを含むことを表す。また破線で示されたトランジションとアークはPCNより翻訳されたものであることを表す。

3.2 拡張ペトリネットの解析

通常のペトリネットの場合、マーキングを表すノードを発火トランジションを表すアークで結んだ被覆木を生成してデッドロックや可達性を解析する⁵⁾。ADTモデルから翻訳した拡張ペトリネットについても被覆木を生成することができれば、通常のペトリネット同様の解析が可能になる。

第2章で述べたように、翻訳後の拡張ペトリネットに含まれる特殊アークは「次ステップでの発火要請アーク」と「発火禁止アーク」の2種類である。これらはどちらもトランジションの発火を制限するものであり、その被覆木は「次ステップでの発火要請アーク」を通常のアークに置き換え、「発火禁止アーク」を削除して作成した一般的なペトリネットの被覆木に含まれる。本研究ではこの拡張ペトリネットを1-boundedに制限しているため、以下の手順で被覆木を生成できる。

Step 0 初期マーキング M_0 を木の根とし、“先端ノード”とラベルする。

Step 1 先端ノードが存在する限り、順次以下の操作を行う

- 1) 木の中に先端ノードと同一マーキングをもつ

他のノードが存在するとき、その先端ノードを“複製ノード”とラベルし、他の先端ノードに移る。

- 2) 先端ノードのマーキングにおいて、発火可能なトランジションが存在しないとき、その先端ノードを“終端ノード”とラベルし、他の先端ノードに移る。

- 3) 先端ノードのマーキングにおいて、発火可能なトランジションが存在するとき、そのおのおのについて以下の操作を行う。ただし、「次ステップでの発火要請アーク」で結ばれたトランジションが存在する場合は、それらのトランジションについてのみ以下の処理を行うものとする。

- (a) 先端ノードのマーキングを M とする。 M において、トランジション t を発火させて得られたマーキングを M' とする。

- (b) 先端ノードよりマーキング M' のノードにアークを描き、アークにトランジション t のラベルを付け、 M' のノードを先端ノードとラベルする。

処理を行った先端ノードを“内部ノード”とラベルする。

生成された被覆木を用いて、ADTモデルから翻訳された拡張ペトリネットを通常のペトリネットと同様に解析することができる。

4. ユニバーサルデザインへの応用可能性

ユニバーサルデザインについては、Ron Maceらによって7原則⁸⁾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、前章で提案した手法

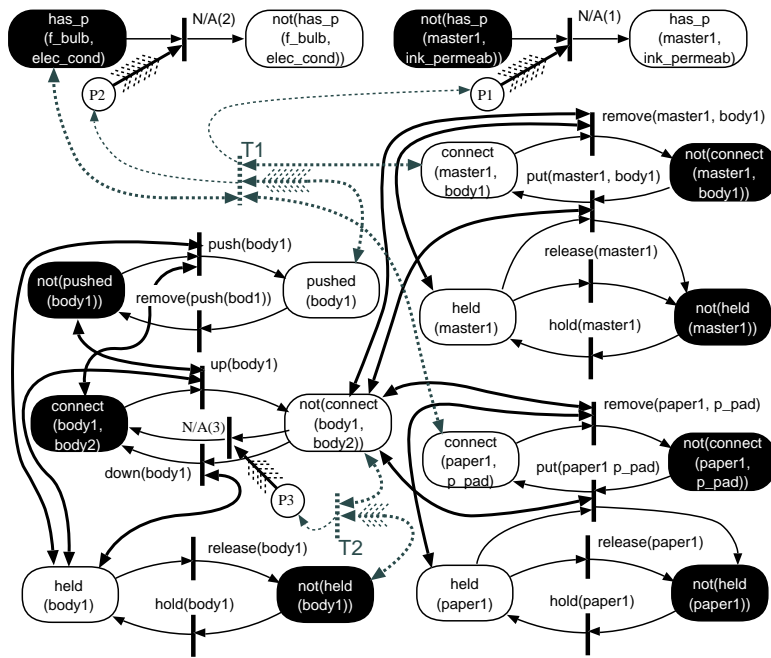


Fig. 3 Example of translating result.

を用いたADTモデルの解析結果のユニバーサルデザインへの応用可能性について考察する。

操作の自由度 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、また両手を使ったり二人以上で共同作業を行うことによって、より効率よく目的を達成することができれば柔軟に使える人工物であるといえる。

ADTモデルでは、「状態“held”を含むプレス」(以下、「heldプレス」と呼ぶ)は「手でなにかを掴んでいる」ことを表す。したがって、生成した被覆木のノードのマーキングを調べることによって、人工物の操作における自由度を調べることができる。すなわち、同じ目的を達成可能な操作系列が複数存在する場合、同時に1つ以上のheldプレースにトークンが投入されない操作系列を発見することによって、対象人工物が片手だけで操作可能か

どうか分かる。更に、同時に複数のheldプレースにトークンが投入される操作系列が存在し、それらの操作数が片手だけの場合と比べて短い場合、両手を使ったり共同作業を行うことによって作業効率を上げることが可能であることがわかり、操作の柔軟性の高い人工物であると呼べる。

身体的な負荷 人工物を操作するとき、何かを持ち上げている状態が長く続けば身体に大きな負荷がかかる。また、持ち上げなければならない対象によっては短時間であっても大きな負担となる。ADTモデルでは、「構造素 X を持ち上げる」という動作をトランジション:lift_up(X)の発火で、「構造素 X 下ろす」という動作をトランジション:let_down(X)の発火でそれぞれ表す。これによって、構造素 X を持ち上げている間の状態は、生成した被覆木を用いて、トランジション:lift_up(X)の発火からトランジション:let_down(X)の発火までの経路を調べることによって知ることができる。

安全性 「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」という視点も操作性検証と関連が深い。このためには、各々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。ADT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。つまり、ADTモデルから翻訳した拡張ペトリネットの被覆木を用いて可達性やデッドロックを確認することによって、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⁹⁾。

5. おわりに

本研究では、操作性と因果性に着目した人工物表現モデルであるADTモデルの拡張ペトリネットへの翻訳とその解析手法について提案した。また、「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、ユニバーサルデザインへの応用可能性について考察を加えた。

今後の課題として、本研究で提案した手法の計算機上への実装とシミュレーションを通じた有用性の確認を挙げることができる。われわれのグループでは、ADTモデルに対してオントロジー工学¹⁰⁾に基づいた考察を加え、その記述のための厳密なクラス定義を与えている¹¹⁾。これらのクラスを導入することによって、本研究で提案した翻訳過程を計算機を用いて機械的に処理することが可能になる。これによって、ユニバーサルデザインのための設計支援システムの構築が可能になるものと期待される。

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) 須藤秀紹, 川上浩司, 片井修. 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-人との関わりを重視したシステム的设计に向けて. 計測自動制御学会 論文集, Vol. 37, No. 11, p. 1078/1086, 2001.

- 3) 須藤秀紹, 川上浩司, 片井修. 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. 計測自動制御学会 論文集, Vol. 38, No. 10, p. 1008/1014, 2002.
- 4) 川上浩司, 野村大輔, 須藤秀紹, 小西忠孝, 片井修. 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, Vol. 37, No. 8, p. 786/794, 2001.
- 5) 社団法人計測自動制御学会. 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. 計測自動制御学会 論文集, Vol. 25, No. 12, p. 1005/1012, 1983.
- 7) G. H. ウリクト. 説明と理解. 産業図書, 1971.
- 8) 川内美彦. ユニバーサルデザイン, p. 112/114. 学芸出版社, 2001.
- 9) 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. In *Proc. of Asia Pacific Symposium on Safety 2001*, p. 249/252, 2001.
- 10) 溝口理一郎. オントロジー研究の基礎と応用. 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 6, p. 45/56, 1999.
- 11) 須藤秀紹, 川上浩司, 堀内匡, 片井修. 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, Vol. 38, No. 2, p. 210/218, 2002.