

状況の理論に基づくオペレータの操作構造に対する メンタルモデルの表現

A representational operator's mental model for operation based on situation theory

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 Crafts

キーワード： SRKモデル (SRK model), 拡張ペトリネット (Extended Petri net), 状況の理論 (Situation Theory), メンタルモデル (mental model),

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

認知工学的手法に基づくオペレータ行動の表現手法として、ペトリネットと様相論理を用いたモデルが提案されている¹⁾。このモデルは、オペレータの行動を Rasmussen の人間行動の制御に関するレベル分けに基づいて切り分けており、オペレータの操作と状態の変化をペトリネットを用いて、プロセスの動態に対する制御規範であるタスクを様相論理命題から翻訳した拡張ペトリネットを用いてそれぞれ記述する。しかし、実際のオペレータ行動を考えたとき、オペレータはタスク遂行のためのルールを常に的確に把握しているとは限らない。たとえ操作手順書に目を通していても、その手順をルールベースで遂行できるようになるためには多くの訓練や経験を必要とする。また、操作手順書には記入されていないが、効率よ

くタスクを遂行するために必要な“暗黙的なルール”は、システムとの対話を通じて獲得される。

われわれは、人工物の操作を“操作者と人工物との対話”と捉えて、その対話の意味を状況理論³⁾に基づいて考察するための枠組みを提案している⁵⁾。操作者は人工物とのインタラクションを通じて、システムをとりまく様々な制約に同調する。そして、同調している制約を用いることによって、ある情報からより大きな情報を手にいれることが可能になる。

本研究ではまず始めに、上記の状況の理論を用いた枠組みを、先に述べたオペレータ行動モデルに導入可能であることを示す。さらに、状況理論の“制約”として記述されたシステムに関する知識を様相論理式へと変換する方法について考察を加える。これらによって、タスクを効率的に達成するための暗黙的なルールを、システムとの対話を

通じて習得ゆくプロセスの表現が可能となる。

$A, \sim A, B, \sim B, Free, AUB$ を意味する。

2. ペトリネットを用いたタスクの表現

2.1 タスクと時制論理

本研究では「次ステップにおいて命題 A が真でなければならない」といった時間の概念を記述するために時制論理を用いる。人工物の操作構造においては未来に関する事象が重要な意味をもつ。そこで、未来に関する様相子に限定して以下に表す様相子を導入する。

- TA A will be true at the next moment of time
- GA A will be true forever
- FA A will be true at some time in the future
- AUB A will be true at all times from the next moment until the moment that B becomes true

これらの時制子を用いた時制論理命題によって、プロセスがどのように動作するか」といったプロセス動態に関する記述と、それが正しく満たされているかどうかの検証が可能になる。

それぞれの作用子はわれわれがタスク単位グラフと呼ぶ、Fig.1に示す特殊アークを導入して拡張したペトリネットに翻訳できることを確認している⁶⁾。

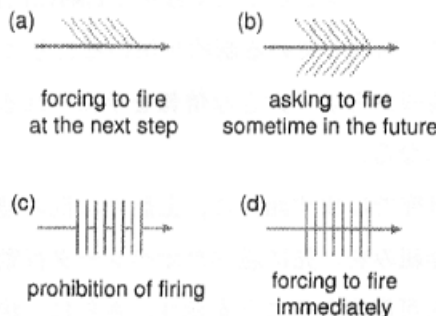


Fig. 1 Special arcs.

Fig.2に“ AUB ”を表すタスク単位グラフの例を示す。ここで $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ はそれぞれ

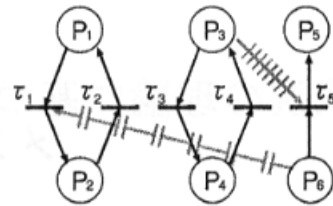


Fig. 2 Example of task unit graph.

2.2 オペレータ行動モデル

本研究で考えるオペレータ行動モデルは、Fig.3に示す3階層で構成される。

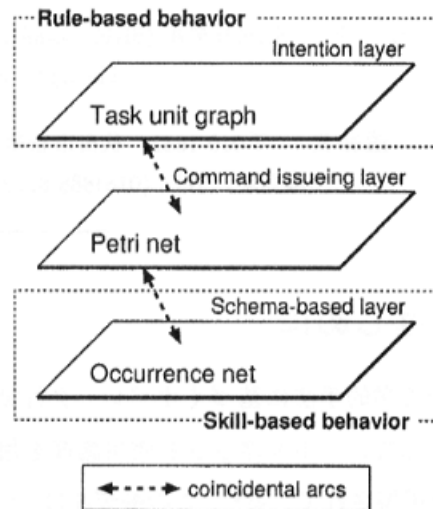


Fig. 3 A model of operator behavior.

3層の中心に位置するのが“command-issuing layer”である。これは対象プロセスにおける condition - event model となっており、ペトリネットを用いて、対象プロセスの事象駆動構造を表す。この層の情報は人工物の操作構造を反映したものである。

上位に位置するのは、“intention layer”である。この層は、対象プロセスにおけるトランジションの発火に関する時間的な制約を、タスク単位グラフを用いて規定するものである。オペレータの行動を考えると、この層から“command-issuing layer”

への制御は、熟練に応じて動的に変化すると考えられる。この変化は、状況理論における“主体の同調している制約”の変化として捉えることが可能である。

また、下層に位置するのが“schema-based layer”である。この層では、対象プロセスの特定局面における典型的な行動系列のパターンとしてのスキーマをペトリネットの一種の展開図である発生ネットを用いて表現する。

これら3層の間は、論理的な整合性を保つため、bi-direction coincidental arcs によって互いに結合されている。

3. オペレータ行動モデルの拡張

第2.2章で述べたモデルは操作者の静的なメンタルモデルを解析するためには有用なものであるが、熟練や慣れに伴うメンタルモデルの変化を表現することはできない。本章では、このモデルに状況理論を導入することによって、メンタルモデルの動的な変化に対応できるように拡張する。さらに状況の理論における制約をタスクに翻訳する手法についても述べる。

3.1 状況の理論の導入

オペレータは、システムの構造、振る舞い、操作手順書などにもとづいて対象システムを解釈し、メンタルモデル化する。メンタルモデルはオペレータが対象システムについてどのように扱えば良いか知っている（あるいは考えている）ことを具体化したものである。一方、状況の理論における制約は、「どのように行動すればよいのかについて主体が知っていること」を表すために用いられる。

たとえば、高温になったランプに触ると危険であることを知っている人の知識は以下のように記

述される。

$$C/i, \dot{h} := at l_u : involves/i, \dot{h}, E(i, \dot{h}, \dot{b}), \\ E'(i, \dot{h}); yes$$

$$E(i, \dot{h}, \dot{b}) := at \dot{h} : touch, \dot{b}, i; yes \\ high_temperature, \dot{b}; yes$$

$$E'(i, \dot{h}) := at \dot{h} : hurting, i; yes$$

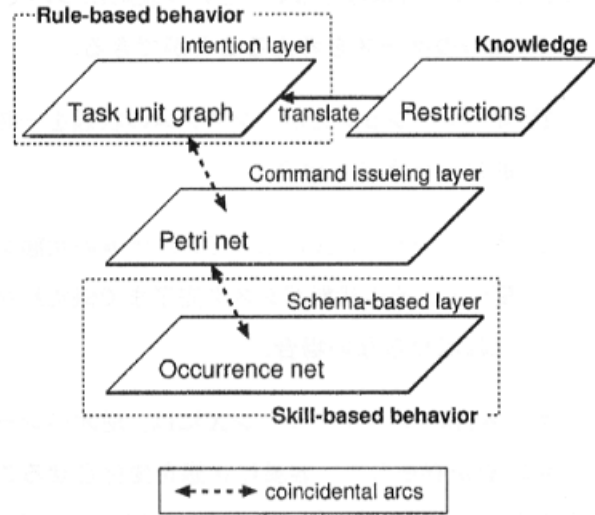


Fig. 4 A Modified model of operator behavior.

本研究では、Fig.4に示すように、オペレータ行動モデルに制約の概念を導入する。この枠組みでは、Intention layer を構成するタスクは、オペレータが同調している制約から翻訳される。またオペレータは、対象システムとのインタラクションを通じて、同調している制約を動的に変化させる。つまり、オペレータがシステムについてより多くの知識を得れば、intention layer 上により多くのタスクが生成される。

これによって、オペレータの対象システムにたいするメンタルモデルの動的な表現が可能になる。

3.2 オペレータの同調する制約

状況理論における指標付き制約は、世の中でどのように行動すれば良いかを知っている主体の“

知っていること”を表すために用いられる。主体は、対話を通じて様々な制約に同調し、これらの制約に基づいてさらに多くの情報を手に入れている。前述したオペレータ行動モデルは、定性的な操作構造を扱うものであるため、本研究では2つのオペレーション間の時間的前後関係に関する制約に注目する。

“オペレーションXはオペレーションYに先行して行われなければならない”という制約について、以下の2つのケースを考えることができる。

- 1) オペレーションXが、システムの状態を一時的に変化させる場合。
- 2) オペレーションXによってシステムの状態が変化し、その状態がタスク完了まで保たれなければならない場合。

ケース1は、オペレーションXには、逆オペレーションX'が存在して、容易に状態を変化させることが可能な場合である。蓋の開け・閉め、スイッチのオン・オフなどがこれに該当する。これは制約というより、むしろオペレーションX実行のための条件と言えるようなものである。

一方、ケース2は容易に状態を元に戻すことができない場合である。誤ってオペレーションYを先に実行してしまうと、気が付いた時点でオペレーションY実行前まで遡り、もう一度やり直さなければならない。このような制約への同調はシステムとの対話によって可能になる。本研究では2のケースの制約に着目する。本研究で用いるオペレータ行動モデルの“intention layer”は、オペレータの行動規範をタスクとして表現している。次節では、オペレータの同調している制約をタスクへと変換するメカニズムについて述べる。

3.3 制約からタスクへの翻訳

操作Xによって状態がAからA'に、操作Yによって状態がBからB'にそれぞれ遷移するという知識は以下のように記述される。

$$C_1/\dot{h} := at l_u : involves, E_3(\dot{h}) + E_1(\dot{h}) + E_0, \\ E'_3(\dot{h}'); yes \quad (1)$$

$$E_0 := \dot{h}' \succ \dot{h}$$

$$E_1(\dot{h}) := at \dot{h} : X; yes$$

$$E_3(\dot{h}) := at \dot{h} : A; yes$$

$$E'_3(\dot{h}) := at \dot{h} : A'; yes$$

$$C_2/\dot{h} := at l_u : involves, E_4(\dot{h}) + E_2(\dot{h}) + E_0, \\ E'_4(\dot{h}'); yes \quad (2)$$

$$E_2(\dot{h}) := at \dot{h} : Y; yes$$

$$E_4(\dot{h}) := at \dot{h} : B; yes$$

$$E'_4(\dot{h}) := at \dot{h} : B'; yes$$

ここで、 \dot{h} は、“操作者の時空位置”を表す特殊ロールである¹。また、X, Yはそれぞれ操作（操作対象を含む）を意味し、オントロジー工学⁸)に基づいて定義された操作クラス⁷)を用いて記述される。

“オペレーションXはオペレーションYに先行して行われなければならない”という制約の型は、以下のように記述される。

$$C_3/\dot{h} := at l_u : \\ involves/\dot{h}, E_1(\dot{h}) + E_3 + E_4 + E_0, \\ E_6(\dot{h}'); yes \quad (3)$$

$$involves/\dot{h}, E_2(\dot{h}) + E_3 + E_4 + E_0, \\ E_5(\dot{h}'); yes \quad (4)$$

$$E_5(\dot{h}) := at \dot{h} : \sim(\diamond E_1(\dot{h})); yes$$

$$E_6(\dot{h}) := at \dot{h} : \diamond E_2(\dot{h}); yes$$

ここで“ \diamond ”は真理論的様相の「可能」を表す作用子である。たとえば、少なくとも一つの可能世界

¹ 主体 \dot{h} は、操作者に固定していると考えられる。

で r が成立するとき (r が「可能的」に成立するとき), $\diamond r$ と表記する.

制約(1), (2)より次の制約が導かれる.

$$C'_1/\dot{h} := \text{at } l_u : \text{involves}, \sim(\diamond E_1(\dot{h})) + E_0, \\ \sim(\diamond E'_3(\dot{h}')) ; \text{yes} \quad (5)$$

$$C'_2/\dot{h} := \text{at } l_u : \text{involves}, \diamond E_2(\dot{h}) + E_0, \\ \diamond E'_4(\dot{h}') ; \text{yes} \quad (6)$$

(1)~(6)より以下の制約が導かれる.

$$C'_3/\dot{h} := \text{at } l_u : \\ \text{involves}/\dot{h}, E'_3(\dot{h}) + E_4, \\ \diamond E'_4(\dot{h}') ; \text{yes} \quad (7)$$

$$\text{involves}/\dot{h}, E_3 + E'_4(\dot{h}), \\ \sim(\diamond E'_3(\dot{h}')) ; \text{yes} \quad (8)$$

制約(7)(8)は様相論理式を用いてそれぞれ(9)(10)のように記述される.

$$A' \wedge B \supset \diamond FB' \quad (9)$$

$$A \wedge B' \supset \sim(\diamond FA') \quad (10)$$

また, ゴールの一部として, 以下のタスクが要求される.

$$\mathcal{F}(A' \wedge B') \quad (11)$$

ここで, $A \rightarrow A'$, $B \rightarrow B'$ の遷移は不可逆なので, (10), (11)より, 以下のタスクが導かれる.

$$B \cup A' \quad (12)$$

4. おわりに

本研究では, ペトリネットを用いたオペレータ行動モデルに状況の理論を導入した. さらに, オペレータの同調している制約を, 様相論理命題に変換する手法について考察を加えた. これによって, オペレータがシステムとのインタラクションを通じて暗黙的な知識を獲得してゆくプロセスを,

オペレータが同調している制約の変化として表現することが可能になった. ここで記述される制約は, オペレータのシステムに対する概念モデルであると捉えることができる. システムに熟練していない一般的なオペレータの概念モデルは動的に変化するため, 本研究で提案した枠組みによるシステムの分析が有効であると考えられる. また本研究の成果は, 安全性や操作性を重視したシステム設計支援に繋がるものと期待される.

参考文献

- 1) 渋谷, 片井, プロセスの時間構造と制御構造の表現に関する研究, 第14回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 559-564, 1997.
- 2) J. Rasmussen, Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering, Elsevier Science Ltd, 1986.
- 3) J. Barwise and J. Perry, Situations and Attitudes, A Bradford Book, The MIT Press, 1983.
- 4) 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 -人との関わりを重視したシステムの設計に向けて-, 計測自動制御学会 論文集, Vol. 37, No. 11, pp. 1078-1086, 2001.
- 5) 須藤, 川上, 片井, 状況の理論に基づく人工物の対話性に関する考察, ヒューマンインタフェースシンポジウム2003論文集, pp. 377-380, 2003.
- 6) O. Katai et al., Decentralized control of discrete event systems based on extended higher order Petri nets, Proc. of the 1st Asian Control Conference, No. 2, pp. 897-900, 1994.
- 7) 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, Vol. 38, No. 2, pp. 210-218, 2002.
- 8) 溝口, 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, pp. 45-56, 1999