

## 階層型定性シミュレータによるシステム・ダイナミクスの

5 D - 7

因果理解支援システム-BECAUSE-秋吉 政徳 西田 正吾  
三菱電機(株) 中央研究所

## 1. はじめに

プラントなどのシステムの大規模化に伴い、運転員の訓練の高度化が要求されている。我々は、現象に対する運転員の深い理解の達成のために、因果理解に焦点をあてた教育・訓練を考えている。動的システムの因果解析としては、従来から定性推論の枠組みの中で論じられてきた。[2]は、対象の記述からシステムティックに因果を導出しようとしている。

我々は教育・訓練の観点から、運転員の現象を捉える理解プロセスを支援するとともに、現象を説明する因果を導出することを目的とした因果理解支援システム BECAUSE (Basic Environment for Causal Understanding Enhancement) の構築を行っている。本報告では、その基本思想および階層型定性モデルを用いた支援システムの構成について述べ、その適用例を報告する。

## 2. 理解支援環境

## 2.1 運転員の理解

熟練運転員は、現場のデータ(現在のプラントの状態、プロセス量の時系列データ、アラーム情報)に対して、多くの背景知識(構造知識、動特性知識、計装・制御知識、運転知識、経験知識)を用いて、判断を行っている。これをまとめると、図1のよう

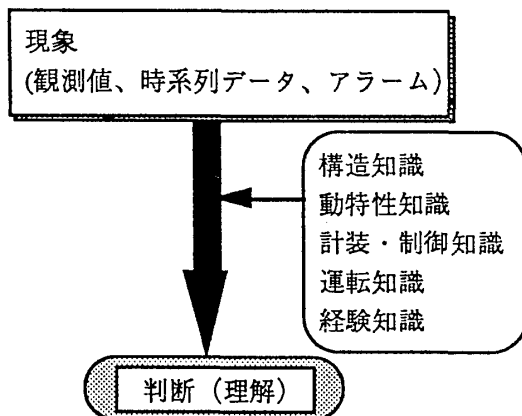


図1 運転員の理解

になる。

熟練運転員がこれらの背景知識を適用する際に、現場のデータを捉える視点として、次の点がある。

- ・プラントのプロセス量の変化として、厳密な観測値そのものよりも正常値からの定性的変化を捉え、その上で機器間の接続関係をもとにしたプラント変数の影響依存関係に着目している。

つまり、プラントの構造と変数の定性的変化をキー・データとして、必要な背景知識を用いて現象を因果的に理解している。しかも、プラントの機器モデルに対して、現象に応じて詳細度を変更するといった階層性を持った視点を設定している。

## 2.2 支援形態

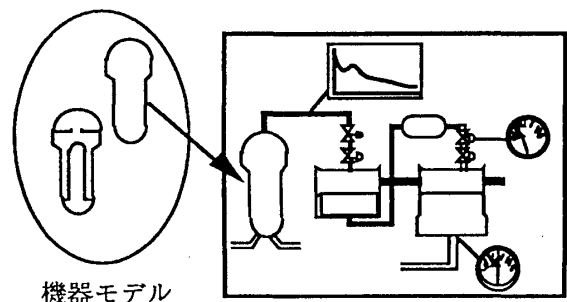
前節のことから、教育・訓練において、まず次の二点を学習者に獲得させていくことが必要となる。

- ・現象に応じたプラント・モデルを構築する視点
- ・定量データを定性データに変換する観点およびそれらの間の影響依存関係

前者の点に関しては、機器ごとに階層性をもたせたモデルを準備し、それらを柔軟に組み合わせる機能をシステムに備える。

後者の点に関しては、我々はプラントの現象のデータとして、プラントのプロセス量(圧力、温度など)の時系列データを考える。この時に前述したようにキー・データとなるのは、プロセス量の定性的変化である。定量データを定性データに変換して、その影響依存関係を導出する機能を備える。

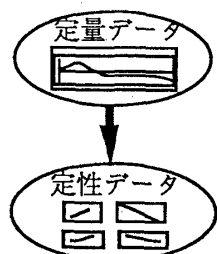
以上のことから、学習者の現象に対する視点を考慮した支援形態は次のようになる。



機器モデル

図2 視点を反映したモデル構築

定量空間から定性空間  
への変換



定定量間の因果関係

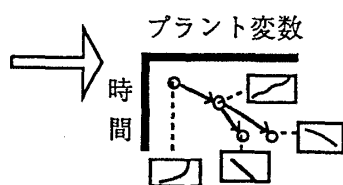


図3 定定量間の影響依存関係導出

3. 階層型定性モデル利用による因果トリーの導出  
因果理解支援システム BECAUSE の中心となる階層型定性モデルと因果トリーの導出について述べる。

### 3.1 階層型定性モデルの表現

プラントの機器モデルとしては、以下の二つの要素からなる。

#### 変数の定定量記述

定量軸を正規化したうえで、境界値と区間を用いた定性表現を用いる。機器の動作点などの定量データで概念的に重要な値を定性軸の中に埋め込むことができる様な機能を備える。

また、定性的変化方向を表現するために、定性推論の中で行われている1階の定性微分値を用いている。

#### 変数間の影響依存関係記述

変数の値が変化すると、それに関連する変数に影響が生じる。このような部分因果関係を変数ごとに記述しておく。定定量記述の制約から変数間には、遅れなしで伝わる比例関係と1次遅れで伝わる微分関係を定義している。

以上の表現を用いたプラント・モデルには、前述した詳細度による階層性を設定する。例えば、合流のある管を一つの管とみた粗いモデルと各々を別の管とみた詳細モデルを機器モデルとして準備する。

### 3.2 因果トリーの導出

階層型定性モデルを用いて部分因果関係を現象に対応して合成することにより、現象を説明する因果トリーを導出している。ある変数の定性的変化が部分因果関係を活性化し、比例関係もしくは微分関係にしたがって、他の変数の定性的変化を生起させる。このような伝播と状態遷移を交互に繰り返しながら、因果トリーを合成していく。

ここで、伝播の過程で生じる曖昧さや状態遷移の

遷移可能性を考えなければならない。このような非決定処理を枝別れによって処理することも可能であるが、学習者が定量データを観測し、選択することも可能である。我々は、後者の方法を用いて処理を継続するとともに、その記録を管理し、因果トリーの修正を学習者が行う場合の有用情報として用いている。

### 3.3 適用例

以上のような考えに基づいて、原子力プラントの現象に対して因果トリーの導出を行った。プラント・モデルとしては、機器の数41、プラント変数の数120の規模である。現象としては、負荷遮断を実行した。

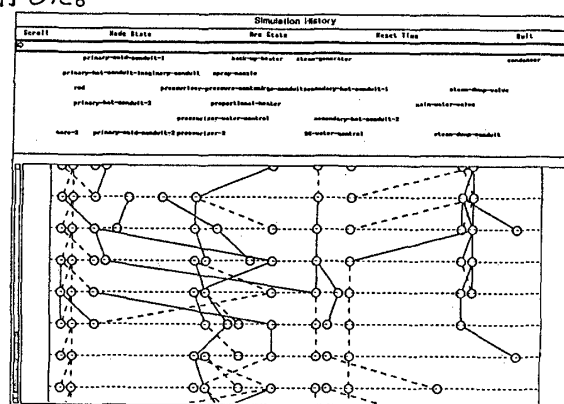


図4 因果トリーの画面例

### 4. まとめ

大規模システムの現象に対する因果理解を支援するために、機器モデルを組み合わせることにより、現象に対応したプラント・モデルを計算機上に表象し、そのモデルを用いた因果トリーの導出をインタラクティブに実行する支援方式を提案した。

この中で、定性的表現による非決定処理が規模の大きいモデルでは頻繁におこり、学習者の負荷が大きくなることが判った。定量データを定性データに変換する中で、時間の情報を組み込むことにより、この負荷を軽減することを検討している。

#### 参考文献

- [1] J.De Kleer, J.S. Brown "A Qualitative Physics Based on Confluences", AI Vol.24 pp.7-83(1984)
- [2] Y.Iwasaki, H.A.Simon "Causality in Device Behavior", AI Vol.29, pp.3-32(1986)
- [3] 西田他, "動的因果関係解析法による電子回路の定性的解析, 情報処理学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.177-188(1987)
- [4] 吉田他, "階層的定性推論", 人工知能学会研究会資料, SIG-KBS-8801-4, pp.32-41(1988)
- [5] 秋吉他, "階層型定性シミュレーションによるシステムダイナミクスの理解支援", 情報処理学会, 知識工学と人工知能研究会, 65-5(1989)