

氏 名	あき よし まさ のり 秋 吉 政 徳
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3117 号
学位授与の日付	平 成 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	定 性 推 論 に 基 づ く 動 的 シ ス テ ム の 因 果 理 解 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)
教 授 布 川 昊 教 授 片 井 修 教 授 足 立 紀 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、動的システムに内在する因果関係を理解するという側面から、人間の思考に合った機能を備えた人間とのインターフェースの構築き取り組んだもので、7章より成り立っている。

第1章は序論であり、複雑な人工システムの挙動の背後にある因果関係を解明することの意義と必要性を述べ、そのための技術としての定性推論の位置づけを与えている。

第2章では、定性推論の基本的な方法を概説した後、動的システムの因果性の取り扱いに関する、従来の代表的な二つの手法：「架空の因果性を用いた挙動解析」と「構造方程式を用いた因果解析」について、問題点を含めて、説明している。前者の局所的な影響伝播という考え方は、我々の因果理解の形式に近いものでありながら、そこで用いられるヒューリスティクスの正当性に対する十分な保証がない。したがって実際問題への適用にあたって、より強力な因果解析の手法が望まれることを指摘している。後者の場合は、方程式系に含まれる変数間の依存構造の導出は系統的ではあるが、方程式系の解は同時的に求められることから、同時的制約関係にある変数群の内部に、我々の因果理解に近い因果的説明を必ずしも見出し得ないことを明らかにしている。

第3章は、大規模な動的システムの挙動に関する因果的な説明を、前章での問題点を考慮して、計算機上で具体的に実現するため、定性モデルの構築、定性シミュレーション手法や因果的説明の導出を、定量的解析と関連づける手法を提案している。それによって、定性シミュレーションとして次の点が可能になった。(1) 定性モデルの構築にあたっては、定量モデルから導かれた依存構造を利用することにより、運転員が選択した変数群に関して定性関係を定義することができる。(2) 定量データに対する定性的視点をもとに導いた変換データと「解釈のための時間」を用いて、定性シミュレーションに発生する曖昧さの解消を行なう。(3) 定量データとの対応づけを組み込んだ定性シミュレーションを、影響の伝播にもとづいて実行することにより、現象に内在する変数間の相互の影響を明らかにし、因果的説明を導出する。

第4章では、第3章の手法を発電プラントに適用した結果を述べている。定量モデルとしては、微分方程式の数が38、平衡方程式の数が37、変数の数が113のものを用いた。定量モデルの依存構造の縮約に関

しては、プラントの運転員が通常注視する25個の変数群について実行し、この際に直接的な影響と考えられない依存構造が運転員との対話的処理により省かれている。この定性モデルを用いた定性シミュレーションによって得られた因果シーケンスから、負荷変化に対するプラントの「冷却水の温度上昇」や「蒸気ダンプ弁の開動作」の説明が得られていることを述べている。さらに、定性シミュレーション中に発生した変数間の影響の相互伝播の不具合から、定性モデルの修正のための情報が得られる点を指摘している。

第5章は、因果理解という認知プロセスをメンタルモデルの形成という立場から考察し、因果理解支援方式を提案したものである。すなわち、運転者に対する教育という観点から、不測の異常事態に対する的確な判断を実行できるようなプラント運転員の知識の向上を目指し、学習者自らの対象プラントの物理的階層の捉え方にもとづく定性モデルを利用して、実挙動を因果的に解釈するツールを提供している。学習者は納得のいくまで、このツールを用いて自らの理解を深める方式となっており、定性シミュレーションによって現象に対する因果的な説明を導き出す過程で、相反する影響が発生する時点を学習者に認識させ、納得できない場合は任意の時点に戻って解釈をやり直すことの効用を述べている。

第6章では、故障木について議論している。故障時点と観測時点が異なり、その間に故障状態が変化しう対象では、専門家といえども故障木解析は困難である。この種の問題に対して、対象を構成する機器の接続情報とモデル・ライブラリにもとづいて定性的動作モデルを作成し、観測された兆候から制約伝播処理や状態遷移処理を利用して故障原因候補を見出す手法を提案した。適用例を通してその動作を確認し、結果として得られた故障木によってテスト入力などの確認試験の作業における支援の可能性を示した。実用的には、ユーザとインタラクティブに故障木解析を実行し、ユーザが故障原因候補があり得ないと判断した回路については、必要以上に解析を実行しないようなインターフェースを準備している。この結果、専門家による故障木解析の負荷を軽減することができる。

第7章は、本論文全体のまとめと、今後の研究課題についての展望である。

論文審査の結果の要旨

複雑なシステムの設計・運用においては、計算機による支援技術の開発が重要になっているが、支援技術における複雑さ対策についてはいまだ満足できる状態にはない。本論文は「動的システムの因果理解を支援する」という観点から定性推論に関する新たな方法を開発し、電力システムを対象にその運用・教育・故障診断の支援方式を考案したもので、得られた主な結果はつぎの通りである。

1. システムの詳細な定量モデルから、運転員が選択した変数群に対して定性モデルを作り、実データを参照しつつ、システムの因果関係を解明する組織的な方法を開発した。まず、運転員が選択した変数間の依存構造を求め、定性モデルを構築する。次に定量的な実データから導かれた定性的なデータと定性シミュレーションの結果との比較を可能にするため「解釈のための時間」を導入し、定性シミュレーションより生じる曖昧さを除き、因果的説明を可能にした。本法を、発電プラントに適用、変数を113個から25個に縮約した定性モデルを作成し、負荷遮断現象に対する因果的説明に満足のいく結果を得た。

2. 不測の異常事態に対処できる運転員を養成するため、学習者の視点から、対象プラントの物理的階層を捉え、それにもとづく定性モデルを利用して実挙動を因果的に解釈するツールを提供した。とくに定

性シミュレーションで変数間の影響の伝播をおこなう中で、相反する影響が発生する時点を学習者に認識させ、納思のいくまで自らの理解を深める方式となっており、現象を定性的に捉える色々な視点の設定ができる点、および既習得の知識を再検討する道具として使える点で有用である。

3. 観測兆候を遡って故障原因候補を求める故障木解析において、観測時点と故障時点が異なる可能性がある場合、解析は困難とされていたが、状態遷移の定住モデルを組み込む手法によって、この難点を克服した。

以上、要するに本論文は、動的システムの因果理解という側面から人間と計算機のインターフェースの構築に取り組み、実データと比較可能な定性モデルの作成手法を開発し、運転者の教育や故障木解析に適用したものであって学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成8年1月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。