

氏 名	ゾウ 周	ヤン 楊	ビン 平
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)		
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 118 号		
学位授与の日付	平 成 17 年 9 月 26 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当		
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 社 会 ・ 環 境 科 学 専 攻		
学位論文題目	A Study on Soft Computing Methodologies for Operational Support System of Process Plant (プロセスプラントの運用支援システムのソフトコンピューティング手法に関する研究)		
論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 川 榮 和	教 授 手 塚 哲 央	助教授 下 田 宏

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、あいまい推論、遺伝アルゴリズム、マルチレベルフローモデル等の人工知能の新たな計算法であるソフトコンピューティング手法を、プロセスプラントの異常診断手法の導出および運転支援システムの開発に適用した研究をまとめたもので、5章からなっている。

第1章は序論で、プロセスプラントにおける運転員の基本的な役割はプラントを適切に制御することであるが、プラント情報を過大に提示したり、またプラントに異常事象が発生する際にヒューマンエラーが起こりうることを述べ、運転員のプラント運転を適切に支援するシステムを導入する必要性と、そのための有効な方法論として人の自然な思考を取り入れたソフトコンピューティング手法の適用を提起すること、そして具体的にその方法を用いたプラント異常事象発生時の診断手法の導出と、運転支援システム構成のためのマンマシンインタフェース構築手法の確立を本論文の主題とすることを述べた後、本論文の構成を示している。

第2章では、プラントに通常生じない予測されない事象が生じる場合、多重故障事象の場合、および紛らわしい状況下での異常事象が発生した場合に有効な異常事象診断手法として、あいまい推論と遺伝的アルゴリズムを組み合わせる異常事象診断方法を提案し、その有効性を原子力プラントシミュレータによる異常事象時のシミュレーションデータを用いて数値実験で検証している。具体的には、想定する各種の異常原因を染色体配列として表現するとともに、プラント異常事象診断のための知識ベースとして、各種の異常時にプラント信号に現れる兆候と原因の因果関係やプラント動特性挙動等の知識を断片的なプロダクションルールで表す。そしてランダムに作成した400の染色体配列から出発して、2つの染色体配列間の交叉および1つの染色体配列内の突然変異および逆転を用いた遺伝アルゴリズムによる反復計算を行い、最終的にプロダクションルールとあいまい推論によって異常原因を表現する50の染色体に集約し、その中から確からしさの高いものを用いて異常事象を診断する新たな手法を提案している。

次いで、本手法の有効性を検証するため、PWR型原子力プラントシミュレータを用いて、高圧ヒーターのバイパス弁誤開等の様々な異常事象を模擬したプラントデータをもとに本手法によりその事象の根本原因を診断する数値実験を行っている。ここでは、とくにプラントデータ全部が一時的に欠落したり一部のデータがリセットされた状態になっても提案する診断手法はロバストに診断できる事例を示している。

以上から、要するに提案する手法は、(1)異常発生時のプラントデータを取り込んで多重故障を含めた異常診断がリアルタイムで実行できる、(2)偽信号の一時的混入があっても正しく異常事象を診断できる、(3)不完全な診断ルールでも診断できる、などの長所がありプラントの多様な異常事象発生時の診断に有効な方法であると結論している。

第3章では、対象プラントのプロセスが簡単な微分方程式では数学的に表現できないような複雑な挙動を示す実際のプラントに対する効果的な異常診断法を導出するとともに、診断結果を運転員に理解しやすい形で提示して効果的に運転員の異常診断作業を支援するために、機能モデル化手法のマルチレベルフローモデルを応用した新たな異常事象診断手法の構成方

法を提案している。その方法は、プロセスプラントでのエネルギー、質量、情報の流れとプラントを構成する各要素の階層的な機能と構造、目標と手段のような意味情報との関連性を定性的に図式記号で表現するマルチレベルフローモデルを用いて、そのモデル上の各要素シンボルに対応する各種観測信号の間で正常の運転状態で成立する因果関係を基に、異常事象発生時の信号に現れる兆候を利用して、異常事象発生の原因を推論するものである。導出した推論手法は、警報の検証、意味のある兆候の確認、根本原因の同定の3ステップから構成するものである。

次いで、マイクロガスタービン（MGT）プラントの実測データと原子力プラントのシミュレーションデータを用いたシミュレーション実験により提案手法の有効性を検証している。まず、MGTプラントでは、エンジン点火失敗やバッテリー配線過電圧等の異常事象を具体例としてその実測データから、警報の検証、兆候の確認、根本原因の同定の3ステップでリアルタイムに異常事象の根本原因が同定可能なことを確認している。一方、原子力プラントのシミュレーションでは、PWR型原子力プラントの挙動を精度よく模擬するRELAP5/MOD2コードを用いて、様々な配管位置での冷却水漏洩事象、様々な大きさの蒸気発生器細管破断事象、様々な大きさの主蒸気管破断事象等の異常事象を模擬する数値実験により異常事象の根本原因が特定可能なことを確認している。ここでは、特にPWR型原子力プラントの加圧器の機能を表現するために、そのマルチレベルフローモデルに「アジャスター」と呼ぶ新たなシンボルの導入を提案している。また、提案した手法による異常事象の診断結果がその機能モデルであるマルチレベルフローモデル上でのシグナルの因果関係に基づいて運転員に理解しやすい形式で表現している。以上より、(1)提案手法が複雑な挙動を示す実際のプロセスプラントの異常事象診断に有効なこと、(2)診断結果が理解しやすい形式で提示することが運転員の異常診断の支援に有効なことを述べている。

第4章では、マルチレベルフローモデルによるプロセスプラントの意味論的解析から図式モデルの作成、異常事象診断法的设计・開発を一貫して支援し、実際のプラント運転支援に用いることができるインタフェース環境のソフトウェアシステムを開発し、その機能を検証している。具体的には、運転員がソフトウェア技術者の援助がなくても運転支援システムが開発できるという人間中心的设计開発を基本方針とするもので、ソフトウェアシステムの開発に必要なプログラミング言語を何ら使用せずに、運転員自身が対象プロセスプラントのマルチレベルフローモデルの記述やシグナル間の因果関係の記述ができ、さらにそれらに基づいて異常事象の原因同定が可能な「MFM Studio」と呼ぶ開発支援ソフトウェアシステムを構築したことを述べている。また、このシステムではエージェントによるプラント状態認知の支援や図・音声・動画等のマルチメディアを用いた詳細情報提示手法を導入し、高度な運転支援機能を提供していると述べている。さらに、MFM Studioの有効性を検証するため、MGTプラントの運転支援システムの開発を例題にして、従来の開発手法とMFM Studioを用いた開発手法での開発期間を比較し、MFM Studioを用いることにより、(1)運転支援システムの開発期間が大幅に短縮されること、(2)特別なプログラミング知識なしで運転支援システムが開発できること、(3)プラント構成の変更や計測シグナルの追加・変更等に柔軟に対応できることを挙げて、MFM Studioがプロセスプラントの運転支援ツールを開発する上で実用的な手段であると述べている。

第5章の結論では、本論文で得られた成果を要約し、今後の課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、あいまい推論、遺伝アルゴリズム、マルチレベルフローモデル等の人工知能の新たな計算法であるソフトコンピューティング手法をプロセスプラントの異常診断手法の導出および運転支援システムの開発に適用した研究をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. プロセスプラントに異常事象が発生した場合のその根本原因の診断手法として、想定する各種の異常原因を予め染色体配列として表現する一方で、プラント信号に現れる兆候と原因の因果関係やプラント動特性等の知識を断片的なプロダクションルールで表すことで、遺伝的アルゴリズムとあいまい推論の組み合わせにより異常事象の原因を推定する新たな方法を提起した。
2. PWR型原子力プラントシミュレータにより様々な異常事象を模擬したプラントデータを用いて数値実験をおこない、上記1の手法により(1)多重故障を含めた異常診断が可能なこと、(2)偽信号が一時的に混入しても正しい診断が可能なことを示し、提起した手法の有効性を検証した。

3. 複雑な挙動を示す実際のプロセスプラントに対する効果的な異常診断手法として、プラントでのエネルギー、質量、情報の流れと、プラントを構成する各要素の階層的な機能と構造、目標と手段のような意味情報との関連性を定性的に図式表現するマルチレベルフローモデルを応用し、警報の検証、意味のある兆候の検証、根本原因の同定の3段階で構成する新たな異常診断手法を提起した。
4. 上記3の手法を検証するため、マイクロガスタービンシステムでの異常発生時の実測データとPWR型原子力プラントシミュレータによる異常発生時のシミュレーションデータを用いた数値実験を行い、リアルタイムで異常事象の根本原因が正しく診断できることを示した。
5. マルチレベルフローモデルにより、プロセスプラントの意味論的解析を行い、その結果を図式モデルとして表現し、これを基にプロセスプラントの異常診断システムを設計して実行可能なソフトウェアとして生成するまでの作業を、特別なプログラミング知識がなくても運転員自身が一貫して実行することができる支援インタフェースとして、ソフトウェアシステムMFM Studioを開発した。
6. マイクロガスタービンシステムの運転支援システムの開発を実例にして、上記5のMFM Studioの機能を検証するとともに、MFM Studioを用いて開発する場合と、プログラミングを行って開発する場合とを比較し、MFM Studioを用いた開発により運転支援システムの開発期間が大幅に短縮できること、およびプラント構成の変更や計測信号の追加・変更等が容易に行えることを示した。

以上要するに本論文は、ソフトコンピューティングを適用して、新たなプラント異常診断手法の開発と検証および人間中心設計による運転支援システム開発方法の新たな提案を行ったもので、得られた成果はプロセス工学の向上に貢献するものであり、学術上、實際上、資するところが大きい。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年8月2日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。