

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名 | 宋 梦楚 |
| 授与した学位 | 博 士 |
| 専攻分野の名称 | 工 学 |
| 学位授与番号 | 博甲第6060号 |
| 学位授与の日付 | 2019年 9月25日 |
| 学位授与の要件 | 自然科学研究科 生命医用工学専攻 (学位規則第4条第1項該当) |
| 学位論文の題目 | Knowledge-based Planning of Counter Operation Procedures for Operators in Industrial Plants (工業プラントの運転員のための知識ベースの対応操作手順計画) |
| 論文審査委員 | 教授 五福明夫 教授 神田岳文 教授 見浪 護 講師 亀川哲志 |
| 学位論文内容の概要 | |
| <p>Response planning plays a significant role in the safety of complex industrial process such as nuclear power plant (NPP). Although operators can normally be guided by established procedures, there are emergency situations that may not be completely analyzed and prepared. Consequently, knowledge-based decision making is called upon, during when operators have challenges of developing mental models of plant and mentally reasoning out response plans. The same difficulties faced by human expect to be resolved by support systems taking advantages of computer's capabilities for knowledge representation and inference.</p> <p>This thesis presents a work related to the planning support by applying multilevel flow modeling (MFM). MFM, whose schemes of decomposing and integrating plant's intentional knowledge have been proven to be consistent with the standard function-oriental emergency procedure development in the nuclear industry. Besides intentions, MFM is also able to cover another aspect of actions to be planned, namely causality by providing a method of causal reasoning, which makes MFM suitable and competitive to be the domain knowledge base for the action planning.</p> <p>An MFM-based approach of operating procedure synthesis (OPS) is proposed. In terms of MFM, the traditional artificial intelligence (AI) planning is transferred into a process of searching function states and their realizations, i.e. control actions on components that can lead plant to a prescribed goal state by propagating causal influences along relations. The thesis presents a rule inference strategy for implementing the MFM-based OPS method and a rule-based inference system for OPS is developed by using a rule engine called DROOLS. The thesis also proposes the framework of a potential real-time planning support system, which can integrate the model-based and rule-based inference system. Function status assessment should be further considered for interpretation of valid operating procedures.</p> <p>Boiling water reactor (BWR) is selected as the case to illustrate the applications. First, an MFM model that describes BWR's objectives and functions is constructed. The analyzed scenario is station blackout (SBO), which is exactly what occurred in the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. The developed OPS technique is applied to generate mitigation approaches in the format of operating procedure for the goals of preventing core damage and maintaining containment integrity. It is concluded that MFM has strengths of generating many optional alternatives but is restricted by modeling boundary and abstraction levels. Moreover, the generated procedures can offer insights on how plant resources should be prepared in advance to enhance plant's capability of recovering from unprepared accidents.</p> | |

論文審査結果の要旨

本学位論文では、原子力プラントのような複雑大規模な工業プラントの安全において重要なテーマである、大きな異常が発生した緊急時での対応操作計画のコンピュータによる生成手法を対象としている。緊急時での対応操作については、通常は事前に十分検討されて緊急時運転手順書等として準備され、運転員はそれに従って対応操作を行うのが原則とされているが、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故のように対応手順を想定されていない事故の発生もあり得る。

このテーマに対して、本学位論文では、プラントコンポーネントの機能をモデル化した対象プラントの機能モデルを基礎として、知識ベースの対応操作計画を行う手法を提案し、ルールベースのシステムを実装している。具体的には、機能モデル構築によく用いられているMultilevel Flow Modelling (MFM) の手法により対象プラントの機能モデル (MFMモデル) を構築し、対応操作が可能なコンポーネントの操作とその機能的効果をモデルに追加する方法を整理し、機能に関する影響波及ルールを用いて、運転員が指定する望ましいプラント状態へ移行することが可能な対応操作手順を導出するアルゴリズムを考案している。そして、このアルゴリズムを、DROOLSと呼ばれる商用のルールベースの推論エンジンを用いたシステムへ実装している。

提案手法の有効性評価のために、沸騰水型原子力プラント (BWRプラント) の外部電源喪失事故を対象として、BWRプラントのMFMモデルの構築、操作可能コンポーネントの情報の追加を行い、対応操作手順の導出を行っている。対応操作手順がいくつか導出されたが、それらは外部電源喪失事故時に準備されているシビアアクシデント対応ガイドラインと呼ばれる対応操作手順と一致しているかどうかやプラント状態への影響の定性的評価から、効果があることを確認している。

以上のように、本学位論文は、工業プラントの更なる安全性向上のために重要な技術である、緊急時の対応操作手順の導出手法を提案してコンピュータシステムに実装していることから、安全工学や人工知能の分野に対して学術的な貢献が顕著であり、学位授与に値すると判定する。