

京都大学	博士（工学）	氏名	松本 智史
論文題目	Studies on the Dependability of Phased-Mission Systems (フェーズドミッションシステムの信頼性に関する研究)		
（論文内容の要旨） 本論文は、航空機や化学プラントなどに応用されるフェーズドミッションシステムの新たな信頼性解析手法について述べたものであり、7章よりなっている。 第1章は序論であり、フェーズドミッションシステムの解析手法の従来のアプローチとその問題点について述べている。従来の手法においては解析が困難であった複数故障モード、優先 AND ゲート、動的システムを含むフェーズドミッションの解析手法の概略について述べている。 第2章では、複数故障モードを含むフェーズドミッションシステムの信頼性解析手法について述べている。本章においては、構成要素の故障の定義が作業段階に応じて変化する、複数故障モードを含むシステムを解析対象としている。このような複数故障モードを持つ構成要素を含むシステムを評価するため、構成要素名、故障モード、フェーズ番号を明記できる3項表現を導入している。まずシステム異常事象が発生する要素故障の組み合わせである異常事象条件を3項表現により表現し、その後状態変数に変換することによって特定のフェーズで初めて異常事象が発生する条件である異常事象発生条件を導出する手法を示している。求められた異常事象発生条件より、各フェーズでの特定の時刻における異常事象発生確率を導出する手法を同様に示している。従来の Birnbaum 重要度を、複数故障モードを持つフェーズドミッションシステムに応用できるよう改良し、拡張された重要度評価手法を示している。2つの異常事象を想定した航空機の電子システムの解析例においては、各異常事象の発生確率と重要度の比較を通じて提案手法の有効性を確認している。 第3章においては、複数故障モードを含むフェーズドミッションシステムの可用性解析手法について述べている。第2章の解析では、システムはすべての構成要素が修理不可能な非修理系を構成していたが、本章においては、構成要素がフェーズに応じて修理系にも非修理系にもなるフェーズドミッションシステムの信頼度も算出できる手法を提案している。まず異常事象条件を修理系と非修理系に区別された2種類の3項表現により表現し、その後2種類の状態変数表現に変換することによって、異常事象条件から異常事象発生条件を導出する手法を示している。異常事象発生条件の導出に必要な簡便化ルールを新たに提案している。求められた異常事象発生条件を用い、各フェーズでの特定の時刻における異常事象発生確率を求める手法を同様に示している。異常事象発生確率の評価に必要な2種類の要素確率評価式ならびに要素確率の境界条件の設定法について提案している。従来の Birnbaum 重要度を、修理系の複数故障モードを持つフェーズドミッションシステムに応用するため2種類の状態変数に対応できるよう改良し、拡張された重要度評価手法を示している。航空機の電子システムの解析例においては、各異常事象の発生確率を導出し、提案手法の概略および有効性を確認している。 第4章においては、依存性のある複数故障モードを含むフェーズドミッションシステムの信頼性解析手法について述べている。本章においては構成要素について、互いの故障モードが排他的でなく、同一構成要素の2つ以上の故障モードが同時に発生する場合を考慮し、また、1つの故障モードの発生が他の故障モードの発生率に影響す			

京都大学	博士（工学）	氏名	松本 智史
ると仮定している。そのような構成要素を定式化するためにマルコフ連鎖を導入しており、一例として3つの故障モードをもつ構成要素の解析手法を示している。事故条件を明確に表現するため、どの要素の、どの故障モードが、どの時間に発生しているかを示すことができる要素故障表現を提案している。各フェーズの故障木から、各フェーズでの事故条件を導出し、特定のフェーズで初めてシステム事故が発生する条件である事故発生条件を導出する手法を示している。事故発生条件の導出に必要な、同一要素の2つ以上の故障モードの同時発生を考慮した単純化ルールを新たに提案している。事故発生条件の期待値操作を行うことにより、システム不信頼度を導出している。解析例においては、故障木から、事故条件並びに事故発生条件を導出する手法および要素故障確率の評価法、各時刻における事故発生確率を示し、本解析手法の有効性を確認している。 第5章においては、マルコフ解析を用いない優先 AND ゲートを持つフェーズドミッション解析について述べている。まず、マルコフ解析を用いない優先 AND ゲートを含む一般的システムの信頼度を得る簡便な方法を導入している。構成要素の故障の発生順序を記述するため、2つの順序条件を示している。2つの順序条件が含まれる場合のカット集合の展開手法を新たに示しており、展開されたカット集合の確率評価には、包除原理法を導入している。優先 AND ゲートを持つフェーズドミッションシステムには、Esary らの手法を適用している。構成要素の故障を表す項を各フェーズの故障に分割し、各フェーズの故障木を OR 結合し、2種類の単純化ルールを適用することによりミッション不信頼度を求めている。解析例においては、2フェーズ、3要素からなるフェーズドミッションシステムを対象としており、解析手法を明確に示し、ミッション不信頼度を導出している。例を通じ、本提案手法の有効性を確認している。 第6章においては、再構成制御を持つ相互接続された動的システムのフェーズドミッション分析手法について述べている。再構成可能な制御システムには、複数のフィードバックを持ち、駆動部の故障の度合いによってフィードバックが切り替わるものがある。そのようなシステムの信頼性解析を可能にするため、ロバスト信頼性という手法を導入している。また、複数のフィードバックの切り替えに対応するため、フェーズドミッションシステムアプローチを適用している。まず、ロバスト信頼性の手法に基づき、動的システムのサブシステムの状態方程式から、各状態変数の共分散行列を求め、サブシステムの故障確率を求める方法を提案している。次に、フェーズドミッションシステムアプローチにより、サブシステムの故障状態が表現できる状態変数を導入し、状態変数の論理積によりシステム全体の故障状態を表現する方法を示している。任意の時刻における故障確率を求めるため、システム全体の故障状態から事故発生条件を導出している。解析例においては、3つのフィードバックを持つサブシステムを含む動的システムを解析対象としている。解析を通じ導出手法を具体的に述べ、任意の時刻における不信頼度を示すことで、本提案手法の有効性を確認している。 第7章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、航空機や化学プラントなどに応用されるフェーズドミッションシステムの信頼性解析手法を新たに確立することを目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 複数故障モードを持つフェーズドミッションシステムの新たな信頼性解析手法を示した。3項表現および状態変数の導入により、計算量を低減し、手法を単純化した。また、新たな重要度評価法を提案し、解析範囲を拡張した。
2. 複数故障モードを持つフェーズドミッションシステムの新たな可用性解析手法を示した。2種類の3項表現および状態変数を導入し、フェーズ境界での保全性の切り替わりを考慮に入れ解析に含めることにより、計算量を低減し、解析範囲を拡張した。
3. 依存複数故障モードを持つ非修理系のフェーズドミッションシステムの新たな信頼性解析手法を示した。複数故障モード間の依存性を許容した新しい構成要素の定義を考え、マルコフ解析および要素故障表現を導入することにより、解析範囲を拡張した。
4. マルコフ解析を用いない優先 AND ゲートを持つ新たなフェーズドミッション分析を示した。最小カット集合表現と MOCUS アルゴリズムを採用した、優先 AND ゲートを持つシステム解析手法と、Esary らによるフェーズドミッションシステム解析手法を応用することにより、計算量を低減し、手法を単純化した。
5. 再構成制御を持つ相互接続された動的システムのフェーズドミッション分析手法を新たに示した。ロバスト信頼性手法によりサブシステムの故障確率の評価を行い、再構成制御を持つ相互接続された動的システムに対しフェーズドミッションシステムアプローチを応用することにより、解析範囲を拡張した。

以上のように、本論文は、フェーズドミッションシステムの新しい信頼性解析手法を考案し、計算例を通じてその有効性を確認したものであり、学術上、實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25年1月29日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。