

学位論文題名

開放及び短絡故障モードを持つシステムの信頼性評価
に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、技術の進歩とともに電子部品等の信頼性の向上がめざましい。一方でシステムの規模が大きくなるにつれシステム全体の信頼性向上やその評価技術の研究が重要となってきている。さらに従来、信頼性の評価として論じられているシステムが故障か正常かという単純な評価ではなく、システムがどのような故障を起こしているのか、あるいはどの程度の確率で故障する可能性があるのか、また正常状態でもどのような状態で正常となっているのか、という状態の細分化が要求されている。

これらの要求を満たすためにはシステムを構成する各部品の状態を細分化し複数の故障モードを仮定したシステムの信頼性評価が必要となってきている。このような多状態システムの信頼度解析は故障か否かの二状態システムに比べ急激な計算量の増大を伴う。

多状態システムは大きく二つに分類することができる。一つは劣化の状態が徐々に進行する劣化システムであり、他の一つは互いに排反な複数の故障が存在するシステムである。後者のシステムにおいて故障モードとして短絡故障と開放故障を仮定したモデルが一般に三状態システムと呼ばれている。この三状態システムは電流を媒体とする電気回路または水やオイルを運ぶ流体システムの信頼性解析に適しているとされ信頼性に関するさまざまな研究が行われている。三状態システムに関する従来の研究は主に信頼度評価式の導出と信頼度を評価尺度とした各部品の最適配置問題であった。その中で Jenny 等はシステムの入力から出力に至る複数のパスが正常であることを要求するモデルを提案し信頼度解析を行った。このモデルはより現実モデルに近く実用性が高いモデルであるが、その解析方法に誤りであることが Malon により指摘された。

本論文は、上に述べたように故障モードを複数有する部品から構成される工学的に重要なシステムの信頼性解析において、複数パスが要求されるシステムを含め、新たな種々の解析方法を提案したものである。

第一章では、本論文の目的および構成について述べた。

第二章では、信頼性理論および三状態システムの基礎概念の説明を行い、また本論文で取り上げる数学モデルの説明を行った。

第三章は流量の制約がある三状態システムの信頼度解析を行った。三状態システムは従来、システムの始点に入力された流体が終点に到着するかどうかによりシステムが正常であるか故障であるかの判断を行ってきた。しかし、電気回路や流体システムなどの適用例を考える

と、流体が終点に到着する量がある一定以上のときシステムが正常とみなされることが多い。例えば太陽電池では定格の電圧、電流が得られていること、またパイプラインネットワークでは要求している流量が流れていることが求められる。また終点で一定値以上の量が得られていてもそれを遮断することができなければシステムが正常といえない。そのようなシステムモデルでの信頼性解析は簡単な直列や並列構造以外のシステム構成では現在まで信頼度を求める評価式が得られていない。よって第三章で流量の制約がある三状態システムの信頼度解析を行った。方法として四種類の解析方法を提案した。それは、組み合わせ論的アプローチを用いる方法、バス集合またはカット集合を用いた Inclusion-Exclusion 法、構造関数を用いて信頼度を得る方法、及びシミュレーションにより信頼度を得る方法である。

第四章はシステムを構成している各部品が故障した場合、修復を行うと仮定した場合のアベイラビリティ解析を行った。システムの信頼性を評価するとき、時点評価だけでは不十分であり、区間評価をすることが重要である。アベイラビリティの解析は故障率、修復率が指数分布に従うとき、状態推移がマルコフ過程に従うことを用いて解析することができる。しかし、その状態数は二状態システムに比べるとはるかに大きいので部品の数が大きいときアベイラビリティを得ることが困難であった。本論文では修復の方法あるいは状態推移にいくつかの仮定を設けることにより、 n 個の部品から構成される直列並列システム、並直列、直並列システム等のシステム構造に対して、定常アベイラビリティが比較的容易に求められることを示した。また定常アベイラビリティを評価尺度とした最適なシステム構成を議論している。

第五章は各部品に与えられる命令が、定周期で交替する場合の解析を行ったものである。前章までに述べた解析はシステムに与えられている命令のことは考慮に入れず、どのような命令に対しても正常である確率を求めてきた。しかし、三状態システムが適用される流体システム等では、システムに与えられている任務が流すことを目的とするのか、あるいは止めることを目的とするのか時刻により変化（交替）することが通常であるので、その時刻における命令を考慮に入れた解析を行う必要がある。よって本章では、故障モードと修復の方法により異なる三通りの数学モデルに対して MTTF、アベイラビリティ解析を行った。このモデルには三状態モデルに加え漏洩故障を想定した故障モードが存在する場合を考慮している。

第六章は結論である。従来困難であった故障モードを複数有するシステムにおける本研究の意義を述べたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 義 治
副 査 教 授 新 保 勝
副 査 教 授 伊 達 惇

学 位 論 文 題 名

開放及び短絡故障モードを持つシステムの信頼性評価 に関する研究

システムの規模が大きくなるに従い、システム全体の信頼性評価の研究が重要となってきた。更に従来、信頼性解析を行う上で論じられてきた、システムが故障か正常かという単純な評価ではなく、どのような故障を起こしているか、というシステムの状態の細分化が要求されている。これらの要求を満たすためには、システムを構成する各部品の状態を細分化し複数の故障モードを仮定したシステムの信頼性評価が必要となってきた。故障モードとして短絡故障と開放故障を仮定したモデルが一般に 3-state システムと呼ばれている。この 3-state システムは、電流を媒体とする電気回路または水やオイルを運ぶ流体システムの信頼性解析に適しているとされ、信頼性に関する様々な研究が行われてきた。その中で、システムの入力から出力に至る複数のパスの正常が要求されるモデルが提案され、その信頼度解析が行なわれている。このモデルは、より現実モデルに近く実用性が高いモデルであるが、その解析方法には誤りのあること、すなわち二つの故障モードが同時に起こる状態が存在することが指摘されている。

本論文は、開放及び短絡の二種類の故障モードが存在するコンポーネントから構成されるシステムの信頼性解析において、現在までの研究の問題点を検討し、新たな種々の解析方法を提案したものである。

第一章では、本論文の目的及び構成について述べている。

第二章では、信頼性理論及び 3-state システムの基礎概念の説明を行い、また本論文で取り上げる数学モデルの説明を行っている。

第三章では、流量の制約がある 3-state システムの信頼度解析を行っている。3-state システムは従来、システムの始点に入力された流体が終点に到着するかどうかによりシステムが正常であるか故障であるかの判断を行ってきた。しかし電気回路や流体システムなどの適用例を考えると、流体が終点に到着する量がある一定以上のときシステムが正常と

みなされることが多い。そのようなシステムモデルでの信頼性解析は、簡単な直列や並列構造以外のシステム構成では、現在まで信頼度を求める評価式が得られていない。よって本章で流量の制約がある 3-state システムの信頼度解析を行っている。方法として四つの解析方法を提案している。それは組み合わせ論的アプローチを用いる方法、パス集合またはカット集合を用いた Inclusion-Exclusion 法、構造関数を用いて信頼度を得る方法、及びネットワークの最大流を求める手法とシミュレーションにより信頼度を得る方法である。また、各手法を用いて、信頼度を評価尺度としたコンポーネントの最適配置問題を考察している。

第四章では、システムを構成している各コンポーネントが故障したとき、修復を行うと仮定した場合のアベイラビリティ解析を行っている。システムの信頼性評価は時点評価だけでは不十分であり、区間評価をすることが重要である。本章では、修復の方法あるいは状態推移にいくつかの仮定を設けることにより、 n 個のコンポーネントから構成される直列、並列、並直列、直並列等のシステム構造に対して、定常アベイラビリティが比較的容易に求められることを示している。また、定常アベイラビリティを評価尺度とした最適なシステム構成について議論している。

第五章では、コンポーネントの運用形態が、周期的に変化する場合の解析を行っている。前章までに述べた解析は、システムに与えられている命令のことは考慮に入れず、どのような命令に対しても正常である確率を求めていた。しかし 3-state システムが適用される流体システム等では、システムに与えられている任務が流すことを目的とするのか、あるいは止めることを目的とするのか時刻により変化（交替）することが通常であるので、その時刻における命令を考慮に入れた解析を行う必要がある。よって本章では、故障モードと修復の方法により異なる三通りの数学モデルに対して、平均故障時間、アベイラビリティ解析を行っている。このモデルには 3-state モデルに加え漏洩故障を想定した故障モードが存在する場合を考慮している。

第六章では、本研究で得られた結果をまとめ、今後の課題の検討を行っている。

これを要するに、著者は、種々の開放及び短絡故障モードを持つシステムに対して、システム信頼度の導出方法を確立し、信頼性理論において有益な新知見を得ており、システム工学、信頼性工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。