

氏名	こやなぎ じゅん じ 小 柳 淳 二
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	論 情 博 第 12 号
学位授与の日付	平 成 13 年 1 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	A Study on Maintenance Policies for Deteriorating Queueing Systems (劣化する待ち行列システムに対する最適保全政策に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 茨 木 俊 秀 教 授 高 橋 豊 助 教 授 滝 根 哲 哉

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ネットワークのサーバーのような多くの客に利用される待ち行列システムに対して、客に対するサービス機能をなるべく損なわずに保全を行うという問題を取り扱っている。すなわち、従来の信頼性理論と待ち行列理論を組み合わせ、新しい視点から解析を加えることによって、最適政策のもつ特徴を導いている。全体は8章からなっており、保全問題に対する過去の研究、本論文における定式化の方法、様々なシステムに対する最適保全政策の性質とその証明、さらに、今後の課題について述べている。

第1章は序論であり、従来の信頼性理論による故障時間の定式化(マルコフ劣化システムにおける故障時間分布)と、それに対する時間取替え政策などの代表的保全方策について概括している。また待ち行列システムにおける保全政策に関する従来の研究結果についても触れている。最適政策の代表的性質についてもまとめており、本論文で主要な結果となる最適政策の単調性、特にスイッチカーブ構造を扱った論文の結果について説明している。

第2章ではセミマルコフ決定過程と、その解法について述べている。セミマルコフ決定過程は、確率的に状態が変化するシステムにおいて、最適なアクションを決定する問題に対して適用される手法である。本論文のいくつかのモデルは、セミマルコフ決定過程の中でも、状態変化の時間分布として指数分布を仮定した、連続時間マルコフ決定過程とのつながりが深い。このような決定過程の要素である、状態、アクション、コストと、それらによって記述される最適性方程式についての説明を行い、解法として値反復法や一様化の方法について述べている。

第3章ではM/M/1待ち行列において、そのサーバーが、ある故障時間分布にしたがって故障する場合を考え、故障や予防修理によって生じる損失客の最小化についての結果を述べている。M/M/1とはポアソン過程によって客が到着し、一つのサーバーで指数時間分布に従うサービスを受けるというモデルである。故障は一定時間間隔の点検によって検出され、そのときに故障していれば直ちに修理を行いサーバーを新品にするが、故障していないときでも予防修理によりサーバーを新品にすることができる。従来の信頼性理論では稼働時間のみに着目した時間保全の研究がされているが、本章では待ち行列に並んでいる客の人数も保全を決定する要素であるとして、最適政策の性質を導出している。

第4章では、サービス時間分布を一般化したM/G/1待ち行列システムにおいて、サーバーの劣化がマルコフ劣化過程に従う場合を取り上げている。ここでも劣化状態だけに着目した従来の信頼性理論とは異なり、待ち行列の人数も考慮にいられた保全政策を提案し、その分析を行っている。

第5章では、劣化によってサービスに影響があるモデルについて議論している。通常システムでは、劣化は故障の起こりやすさのみならず、サービスの速度にも影響を与える。人間でいえば疲労により仕事が遅くなったり、コンピュータでは、プログラムの動作にともなうファイルの断片化、作業ファイルによるハードディスクの容量の圧迫などによる動作速度の劣化があげられる。さらに、本章では第2、3章の結果を拡張し、客が複数の端末によりサービスされる場合も含んだモデルを扱っている。

第6章、第7章ではサーバーの劣化が客の到着過程に影響を与える場合を議論している。これは注文を受けて品物を製作

し、それに対して料金を取る施設において、施設の劣化や製品の陳腐化にともない、客が減少する場合を扱うものである。客の減少を防ぐために施設を新装したり、新製品を売り出すことを保全と考え、その保全時期について考察している。6章においては、いったん受けた注文をキャンセルして保全を行うことができる場合、7章では、いったん受けた注文をキャンセルできない場合をとりあげて、その最適政策の構造について解析を行っている。

第8章は結論であり、本論文で得られた結果をまとめ、拡張モデルとして考えられるものを取り上げ、それらの得失を比較すると共に、今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

様々な製品や設備を使用する上で、その設備が故障によって使用できずに不利益をこうむることがある。このような事態を防ぐため、信頼性理論では使用時に動作する確率や、稼働時間の割合などを最大化するよう、様々な保全問題が研究されてきた。これは、その製品を一人が使用している場合には有用な指標であるが、時間によって人数の異なる人間が使用する場合には、故障によって使用できなくなった人数を考慮に入れることが必要となる。

本論文ではこのような問題を扱うため、客が故障や劣化をともなう待ち行列システムによってサービスされるモデルを提案した。これはセミマルコフ決定過程として定式化され、最適保全政策を求めるには計算機による数値計算が必要となる。しかし、本論文では、いくつかのモデルに対して妥当な仮定をおくことで、最適保全政策がもつ様々な性質を理論的に解析している。得られた主な成果として以下のものがあげられる。

1. 定期的な点検される $M/M/1$ 待ち行列が故障時間分布関数を持つ場合を考え、損失客を最小化する最適政策の数学的構造を明らかにした。すなわち、このモデルに対し、いくつかの仮定をおき、その最適政策が単調に変化するという構造（スイッチカーブ構造）を持つことを証明した。マルコフ劣化過程に従う $M/G/1$ 待ち行列に対しても同様の結果を証明した。

2. 劣化により故障が生じやすくなるとともにサービス能力の低下を起こすシステムをマルコフ劣化過程に基づいて定式化し、ここでも、上と同様に、その最適保全政策が、スイッチカーブ構造を持つことを証明した。さらに構造を特徴づける関数の値の範囲を与えた。

3. 注文を受けてから生産をおこなうようなシステムを待ち行列としてとらえ、そのシステムの劣化により、注文が減少し、収入も減少する場合に、システムを更新することにより、収入を最大にする最適保全政策を考えた。このモデルにおいては、予防保全のみを扱っているが、最適政策の性質として、客がいるときには保全を行わないほうがよいという結果を、多くの場合について証明した。

以上、本論文は、待ち行列システムの保全政策について議論しており、多くの客が利用する施設の保全政策について基本的な性質を解明している。このような性質は、これらのシステムの理解を深め、最適政策を具体的に数値計算で求める場合に有効に使用でき、学術上、応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年11月22日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。