

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Modeling and analysis for design of dependable software systems and operations
著者(和文)	町田文雄
Author(English)	Fumio Machida
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10902号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三好 直人,樺島 祥介,横田 治夫,DEFAGO XAVIER,中野 張
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10902号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	町田 文雄	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	三好 直人	教授	中野 張	准教授
	審査員	樺島 祥介	教授		
		横田 治夫	教授		
DEFAGO XAVIER		教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“Modeling and analysis for design of dependable software systems and operations” (高信頼なソフトウェアシステムと運用の設計のためのモデリングおよび解析) と題し、英文全7章から構成されている。

本論文が扱うソフトウェアシステムは、ジョブ処理サービスやストレージシステム、クラウドシステムなど多岐にわたるが、社会や経済を支えるインフラストラクチャとして、高信頼かつ安定した性能が要求される点で共通する。これらのソフトウェアシステムの高信頼化要件に対して、様々な不確実要因を確率の概念を用いてモデル化し、その解析を通してシステムの改善点やボトルネックを特定することにより、システムの設計や運用の改善に応用することが、本論文全体に通底した考え方である。

第1章では、社会的に高信頼システムが求められる背景について述べており、システムの信頼性を低下させる障害等の不確実な要因の取り扱いが課題であることを示している。そして、本論文の主要な成果である確率モデルに基づく信頼性設計手法について、その概要を3つの領域に分けて述べている。これら3つの領域の研究成果は、それぞれ第4章、第5章、第6章で詳細が示される。

第2章では、本論文を通して扱われる性能指標である dependability (高信頼性) と performability (性能可用性) について、その概念と定義、および関連した指標や研究例を整理して紹介している。

第3章では、対象とするシステムの構成や振る舞いに基づき、前章で定義した性能指標を定量的に評価するための確率モデルの概要を示している。特に、次章以降で用いる CTMC (連続時間マルコフ連鎖)、SMP (セミマルコフ過程)、MRGP (マルコフ再生型過程)、MDP (マルコフ決定過程) 等を紹介している。

第4章から第6章が本論文の主体である。第4章では、長時間連続稼働するソフトウェアシステムが直面するソフトウェアエイジングの課題について述べている。ソフトウェアエイジングの問題を緩和する技術として従来研究されてきたソフトウェア若化技術について、4.2.1 節で従来研究の詳細な調査結果を示し、そして4.2.2 節と4.2.3 節では、ジョブ処理システムのソフトウェア若化を最適停止問題として定式化することにより、ジョブ処理性能の観点で最適なソフトウェア若化のタイミングを決定する手法を示している。これらの結果は、従来研究のように数値解析手法に頼ることなく、最適な条件を解析的な証明により導出しており、かつ、その条件がシンプルであることから、応用上の利用価値が高いものと考えられる。続く4.3 節ではソフトウェア延命技術を紹介している。4.3.1 節では、学位申請者が提案するソフトウェア延命技術の概念、およびその有効性を実験的に評価した結果を示している。そして4.3.2 節では、ソフトウェア延命を実行するシステムの状態推移を SMP としてモデル化し、システムの定常状態可用性を最大化するソフトウェア延命の実行タイミングが存在する条件を明らかにしている。ソフトウェア延命の最適実行タイミングの存在を解析的に証明したのは、本論文の基となる研究が世界初である。さらに、ソフトウェア若化とソフトウェア延命を組み合わせることにより、それぞれの手法を単独で用いるよりも、より高い性能可用性が実現できることを数値実験によって示している。ソフトウェア若化とソフトウェア延命を組合せた運用手法の有効性を示した点も世界初の成果である。

第5章では、情報システムのデータ可用性を向上させる技術として、RAID ストレージシステムの設計、ならびにデータバックアップのスケジュールについて述べている。5.2 節では、RAID ストレージシステムの性能可用性を正確に評価するための MRGP を用いたモデル化手法について述べており、従来のモデル化手法の問題点であった、マルコフ性が満たされないリビルド処理時間の扱いが可能になった結果、性能可用性をより正確に評価できるようになったことを示している。性能可用性の評価に

は、RAID6 と RAID10 の構成からなるシステムに対して実際に行った性能ベンチマークの結果を用いている。5.3 節では、データバックアップのスケジューリングの問題を MDP のフレームワークに帰着させ、MDP の解法によって最適なスケジュールを求める技術を示している。異なるデータ保護要件を持つ複数のデータソースからなるシステムに対して、データバックアップ処理を最適化するための新たな手法を切り拓いた研究である。

第 6 章では、クラウドの性能問題に対処するためのリソース管理の研究について述べている。従来多くの研究が行われている仮想マシンレベルのリソース管理に対し、それを包括しつつ、ホストサーバレベルのリソース管理、すなわちホストサーバの追加調達の決定問題に取り組んでいる。確率モデルを用いて仮想サーバのリクエスト到着、仮想サーバの負荷変動、仮想サーバの再配置アルゴリズムを捉え、コスト最適なサーバ調達時期を決定するフレームワークを提案している。シミュレーションによる評価結果により、ヒューリスティックに基づくアプローチと比較して最大で 71% のコスト削減効果が得られることを確認している。

第 7 章では、論文全体の結論として、第 4 章、第 5 章、第 6 章で示した主要な研究成果をまとめている。また、システムの高信頼化に向けた今後の研究課題について述べている。

以上、本論文は、これまでの多くの高信頼システムに関する研究に立脚し、従来研究の課題点を明らかにしたうえで、それを克服する新たな手法を提案し、その提案手法の有用性を解析的および実験を通して示している。様々な不確実要因に晒される近年のソフトウェアシステムを高信頼化するためには、本論文で示された確率モデルに基づく解析と設計改善の手法が貢献するところは大きいと考えられ、よって本論文は博士（学術）の学位論文として十分な価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。