

機関番号：32660

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510162

研究課題名 (和文) 社会基盤システム信頼性最適化支援ツールの開発研究

研究課題名 (英文) Development of reliability design tool for social infrastructure systems

研究代表者

渡邊 均 (WATANABE HITOHI)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：20439920

研究成果の概要 (和文)：通信網、電力システム、空調システム、鉄道網等、社会基盤を成す各種システムにおいて、可能な高信頼化対策の中から妥当なものを容易に決定するソフトウェアツールを実現するために必要な技術を検討した。特に電力システムに着目し、自然エネルギーなどの不安定な電力源を含む、任意の構成のシステムの信頼性を評価するための一般性のあるモデルと評価手法を確立するとともに、本手法に基づくソフトウェアツールを作成し、研究代表者の研究室HPに公開した。

研究成果の概要 (英文)：The fundamental research to develop software tools for selecting optimal reliability countermeasure of social infrastructure systems have been done. Electric power supply systems including micro grid are especially focused in this research period and a software tool for evaluating reliability of power supply systems with arbitrary structure has been developed and up loaded on the web page for public use.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：信頼性工学

科研費の分科・細目：社会システム、安全工学

キーワード：社会インフラ、信頼性、最適化、ソフトウェア、設計

1. 研究開始当初の背景

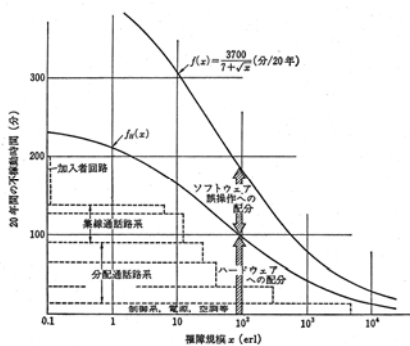
通信網、電力システム、空調システム、鉄道網等、社会生活や産業の基盤を成す各種のシステムがある。これらシステムの停止は社会に大きな損失をもたらすので、十分な高信頼化対策を要するのは当然である。しかしながら、一方で経済性も十分に勘案しなければならない。すなわち、システムの信頼性は、

コストを掛けて対策を手厚くすればするほど向上するが、システムの使命と経済性とのバランスを勘案し、適切なレベルの信頼性対策を決定する必要がある。これが、信頼性設計である。

信頼性設計を、コストと信頼性とのトレードオフと捉えると、システム構成要素への信

信頼度の最適配分の問題として定式化することも可能であり、従来多くの研究がなされている。しかし、これらの理論を現実に適用しようとした場合の問題点は、故障率等に関する十分なデータが得られないため、設計の基礎となるパラメータの値が不確かなことが多く、導かれた単一の最適解の現実的妥当性が不明なことである。現実の設計においては、多くの代替案の中からシステム構成を選択することとなるので、装置故障率、修理時間、保全体制、冗長構成等の各種要因が、システムの信頼性に及ぼす影響を分かり易く整理した上で、システムのあるべき姿から導き出した目標値との関係で、どの構成を選定するかを決定する手法が必要となる。そして、実用的な観点からは、このような手法を信頼性設計にあまり明るくない人にも利用できるよう、ソフトウェアツールとして具体化することが望ましい。

しかしながら、このような手法の確立やツールの普及は、いまだ不十分である。数少ない例として、通信ネットワークにおける、信頼性設計の手法がある。



信頼性規定法の適用例
(デジタル交換機の信頼性目標と設計値)

秋山、五嶋、島崎「デジタル電話交換」より引用

図1. 通信網の信頼性設計方法

その要点は、通信網を構成する装置の故障と、通信網が提供する機能との関係を抽象化・モデル化し、各種の信頼性施策の効果をこのモデル上で表現可能とし、さらに通信サ

ービス停止時の社会的影響の考察から導かれる信頼性目標と対比して表示(図1)することによって、設計者が高信頼化施策の選定を行う際の意思決定に資するというものである。

2. 研究の目的

本研究では、上記の技術を通信網だけでなく、電力システム、空調システム、鉄道網等、社会基盤を成す各種システムに適用し、各システムにおいて、(1)標準となる信頼性モデルと評価方法を確立し代替案選択を容易にする、(2)サービス停止の影響度を分析し信頼性目標を導く手法を確立する、(3)各システムの信頼性実態を把握し要改善点を抽出する、(4)複数の社会基盤システムの相互の利用関係を考慮した評価方法を確立する、の4点を狙いとして基本的な手法を確立するとともに、その設計を支援するソフトウェアツールを開発して、一般の利用に供することを目的としたものである。

現在、社会基盤システムの性能または信頼性に関しては、大地震発生時の通信網残存確率の評価⁽²⁾、地下鉄等の混雑に着目した乗客数分析⁽³⁾、マイクログリッド等電力システムの信頼性・経済性評価⁽⁴⁾等があるが、単一故障で影響が現れるとの想定での解析がほとんどであり高信頼性システムを想定していない、故障によるサービス停止の影響に関する視点が希薄、設備の変更等が及ぼす影響が容易に把握できない等により、高信頼化施策を容易に決定するという観点からは不十分と考える。本研究では、上記の諸点の解決を図るとともに、複数の社会基盤システム相互の信頼性の関係、災害時または故障時における信頼性関連資源の最適化をも考慮に入れた手法の確立を目指すものである。本研究成果は、過度な高信頼化を避け適正な資源利用に結びつく点で、実用性が高いと考えている。

3. 研究の方法

対象となる社会システムを、その特徴によって、当初は以下のように分類した。すなわち、(1)マイクログリッドを中心にした電力システムと空調システム、(2)地下鉄を中心にした鉄道網、(3)ユビキタスサービスの実現を視野に入れ、キャリア網の下部にセンサネットワーク等接続された次世代ネットワークの、3種類である。これらは、いずれもネットワーク状の構成であり、(1)は一方向または双方向へのエネルギーの流れがある、(2)はネットワークのノード(駅)相互の需要を運ぶ、(3)はセンサネットワークの担当エリアを面として捉える必要がある、といった特徴を有する。これらについて、まずは主に理論検討により信頼性モデルの作成と評価法の構築を図る。次に、シミュレーションと解析手法を併用した実用的な手法の検討を進め、最終的にはソフトウェアツールとして具体化する。

4. 研究成果

当初想定したシステムのうち、本期間は特に、電力・空調システムと通信ネットワークに着目し、以下の成果を上げた。電力システムに着目したのは、自然エネルギーの利用が盛んになる一方で、供給の安定化のためには精緻な信頼性設計が必要だからである。また、スマートグリッド等への応用をも想定し、途中からセキュリティへも scope を広げて検討を進めた。

(1)電力システムの一般的信頼性モデルの提案：内燃機関や自然エネルギーを用いた小規模電源を電力の需要地近くに配備し、蓄電池等と組み合わせて供給信頼度の向上を図る、所謂マイクログリッドと呼ばれるシステムを想定した、一般的な信頼性モデルを提案した。具体的には、出力が時間的に変動する複数の電力源と需要がやはり時間的に変動する複数の電力需要の間を、任意の構成のネッ

トワークで結んだシステムとしてモデル化し、供給優先順等の概念を盛り込むことで、一般的な電力システムを統一的に扱うことを可能とした(雑誌論文④)。

(2)電力・空調システムの信頼度シミュレーションの高速化：信頼性評価ソフトウェアの開発のためには、信頼性シミュレーションの高速化が必要である。電力・空調システムの性能は、故障発生時の気象状態などの外部条件に依存するので、信頼度シミュレーションにおいては、考慮すべき故障パターンとともに故障発生時の外部条件の数も膨大となる。このような状況における空調システムの信頼性評価方法として、ごく稀な故障状態も含め、システムの全状態を列挙し、それを初期条件としたシミュレーションを行って信頼性を算出する手法があるが、計算量が極めて多くなる欠点がある。そこで、システムを構成する装置の故障が発生した時点に着目し、それを初期状態としてシステムの状態変化を模擬するシミュレーションを行って信頼性を算出する方法を提案した。精度及び計算量の観点から既存手法と比較し、十分実用性があることを確認した。また、装置の故障率等に基づいて、システムの初期故障状態毎のシミュレーション回数を変化させ、信頼性算出の効率化を図る加重シミュレーションも提案し、その妥当性を検証した。この結果は、電力・空調システムの信頼性評価用ソフトウェアの実現に寄与するものである(雑誌論文③、学会発表⑤)。

(3)2ステージ位相法を用いた電力システム信頼性評価法の検討：信頼性設計の実用化のためには、シミュレーションよりも解析的な手法による信頼性評価法が望ましい。システム信頼性評価においては、マルコフ解析はよく使われる手法であるが、電力システムは、時間的に変動する電力需要や、故障後も一定

時間のバックアップ効果を有する蓄電池など、数多くの非マルコフ要素がある。そこで、簡易な信頼性評価法確立の試みとして、非マルコフ形の状態遷移を有する電力システムの信頼性解析に対して、フィードバックを持つ2ステージ位相法の適用を試み、簡単な条件下で、良好な近似精度が得られることを確認した。本成果は、マイクログリッドを始めとする電力システムの信頼性設計手法の確立に資するものである(学会発表④)。

(4)複数の社会基盤システムの信頼性評価: 複数の社会基盤システムの例として、既存の通信ネットワークの上位に、さらに適宜のネットワーク技術を用いて、階層的に構築されるネットワークに着目し、その信頼性を評価するモデルを提案した。このような場合、上位網の信頼性特性は、下位網の信頼性特性を反映したものとなる。よって、上位網の構築主体にとっては、下位網の信頼性特性を考慮した適切な信頼性対策が必要となる。逆に、通信網事業者等下位網の構築主体から見た場合、上位網の通信機能に対して如何なる信頼性を提供しているかは、自己の網の信頼性水準を決定する大きな判断根拠になると考えられる。このような検討に資することを目的に、本検討では、下位網の信頼性特性を考慮して上位網の信頼性を評価するモデルを提案すると共に、いくつかの解析を行い、特徴を考察した(雑誌論文①)。

(5)セキュリティモデルの検討: 現在広く実施されているセキュリティ対策は、インシデントの発生を未然に防ぐための事前対策が中心である。もし、事前対策を行っているにも関わらずインシデントが発生した場合、システムの管理者は攻撃に対し防御策を検討し、行動を取らなければならない。しかし、事前対策のみでは、平均的に最も大きなリスクをもたらすと想定される攻撃

を推定して対策を重点化し固定的に適用するため、攻撃者が事前対策を調べあげ、想定外の攻撃をしかけた場合に即応しにくいという欠点がある。この課題を解決する方針として、攻撃者はリスク最大化を、防御者はリスク最小化を図るよう行動すると仮定し、攻撃の進行過程において、攻撃状況から動的にリスク評価を行い、セキュリティ対策をリアルタイムに逐次意思決定することで、効果的に防御を行うための意思決定モデルを検討した。また、モデルを定式化し、適用例により検証を行った(学会発表①、②、③)。

(6)ソフトウェアの開発と公開: (1)から(3)において検討した手法を総合化し、ディーゼルエンジン発電機、燃料電池、太陽光発電、蓄電池、系統電力など様々な出力特性の複数の電力源から、時間的に需要が変動する複数の電力需要点までが、任意の形態のネットワークで接続される電力システムを対象に、供給信頼度をシミュレーションにより評価するソフトウェアを開発した。本ソフトウェアは、システム構成の入力をグラフィックインタフェースにより簡易に行えるようにするとともに、自然条件等によって変動する発電量や電力需要のデータを、外部データベースにアクセスして作成するルーチン等を具備している。本ソフトウェアは、一般の利用に供するべく、研究代表者の所属大学の研究室HPに公開した。

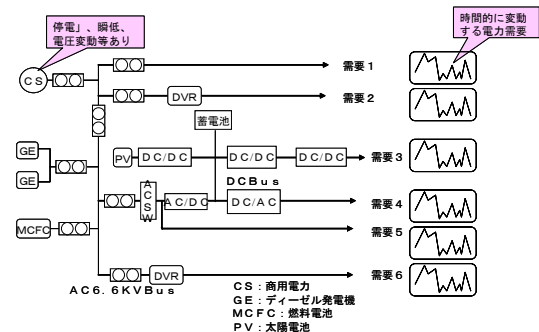
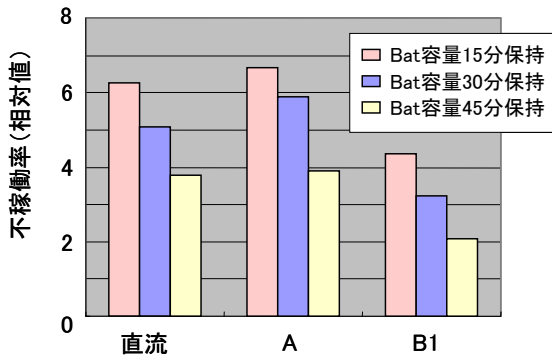


図2. 対象システム例



蓄電池容量(蓄電池保持時間)が大きいくほど、直流、高品質A、高品質B1の不稼働率を低減できる。

図3. 評価例

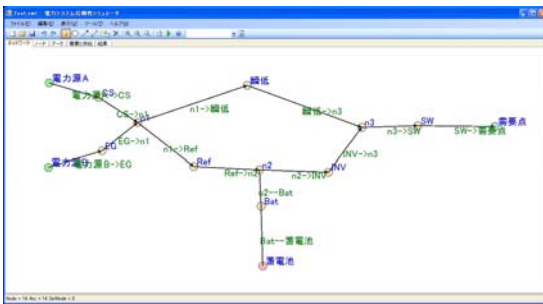


図4. 入力場面

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Ayako Suzuki, Hitoshi Watanabe, Naoshj Sato, Masaki Hanada, "A Reliability Evaluation Model of Overlapy Networks", Proceedings of 2010 RISP International Workshop on Non-linear Circuits and Signal Processing, 査読有, NCSF 2010, pp.174-177
- ② 鈴木亜矢子, 渡邊均, 佐藤直, 花田真樹, 「階層的に構成されるネットワークの信頼性評価に関する一検討」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、2009, pp.11-16
- ③ 越地弘順, 渡邊均, 「冗長系システムの信頼度シミュレーションの一検討 - 電力システムおよび空調システムへの応用 -」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、EE2008-54、2008, pp.1-6
- ④ Hitoshi Watanabe, Seiichi Muroyama, Takashi Takeda and Masaki Hanada, "An investigation of the reliability simulation of electric power supply system", International Workshop on Vision, Communication and Circuits

(IWVCC2008), 2008, 査読有, pp.7-10

- ⑤ 渡邊均, 佐藤直, 「故障が潜在化するシステムの信頼性評価に関する一検討」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、R2008-14、2008, pp.29-33

[学会発表] (計5件)

- ① 龍浩一, 佐藤直, 「DNS権威サーバをDNSSECに対応させるネットワーク機器の提案」、電子情報通信学会2011年総合大会、2011年3月14日、東京(東京都市大学)
- ② 鈴木亜矢子, 佐藤直, 「セキュリティ攻撃/防御戦略の意思決定モデルの検討」、情報処理学会平成23年(第73回)全国大会、2011年3月4日、東京(東京工業大学)
- ③ 佐藤直, 谷本重和, 「テロ対策ドラマにみる情報分析活動」、2010年日本社会情報学会(JASI&JSIS)合同研究発表大会自由報告III-1-1、2010年9月5日、長崎(長崎シーボルト大学)
- ④ 内田頌子, 花田真樹, 渡邊均, 「2ステージの位相法を用いた電力システム供給信頼度評価法に関する一検討」、電子情報通信学会2010年総合大会、2010.3.18、東北大学
- ⑤ 越地弘順, 渡邊均, 「通信ビル用空調システムの信頼度シミュレーションの一検討」、電子情報通信学会2009年総合大会、2009.3.18、愛媛大学

[その他]

ホームページ等

<http://watalab.ms.kagu.tus.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 均 (WATANABE HITOSHI)
東京理科大学・工学部第二部経営工学科・教授
研究者番号：20439920

(2) 研究分担者

花田 真樹 (HANADA MASAKI)
東京理科大学・工学部第二部経営工学科・助教
研究者番号：40373039
佐藤 直 (SATO NAOSHI)
情報セキュリティ大学院大学・教授
研究者番号：40387105