

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350460

研究課題名(和文) ネットワーク型社会基盤システム信頼性設計法の基礎的研究

研究課題名(英文) A basic research of reliability design method of social infrastructures with network structure

研究代表者

渡邊 均 (WATANABE, HITOSHI)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：20439920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

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、社会基盤システムの多くが、他のシステムと連携して機能している点に着目して、支援・被支援の関係として新しいモデルを提案した。そして、支援側システムの故障による、支援される側の用益の低下度合いに基づいて、ネットワークの要素に要求される信頼性を自動的に決定する手法を検討した。また、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 establish the methods for selecting optimal reliability countermeasure and for management of social infrastructure systems; i.e. electric power supply, railroad networks, and telecommunication networks etc. have been done. The new models to evaluate these systems have been proposed. Especially, the relationship between two infrastructures have been focused on and these networks are modelled as supporting and supported networks. Moreover, the possibility of the method to determine the reliability requirement of the elements of networks taking account of the degradation of the benefits of supported networks have been investigated. The software systems for evaluating reliability of infrastructure systems have been developed and up loaded on the web page for public use.

研究分野：信頼性工学

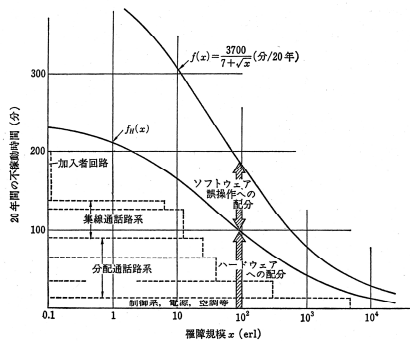
キーワード：社会インフラ 信頼性 経済性 シミュレーション ネットワーク 効用 設計

1. 研究開始当初の背景

電力システム、鉄道等の交通網あるいは通信網等、社会活動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混乱をもたらすので、十分な高信頼化対策を要するのは当然である。ここで、高信頼化の意味するところは、平常時においては装置等の故障が十分少なく安定して動作し、災害時においては仮に破壊されたとしても、迅速な修理や残存機能の有効な活用ができることである。そして、平常時の安定化にしても災害時の対応にしても、各種対策の実施判断に当たっては、経済性の十分な考慮が必要である。すなわち、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。

信頼性設計の実施のためには、対象とするシステムのあるべき信頼性水準を決定し、各種対策を実施した場合の信頼性向上効果を定量的に評価する方法を確立することが必要である。そして、このような方法を実際のシステムに適用することによって、具体的な改善点等が明らかになる。

しかし、これらの手法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。

研究代表者らは、このような発想に基づき、従来通信ネットワークで培ってきたネットワーク状システムの信頼性設計手法を他の社会基盤システムにも適用可能とすべく検討を進めてきた。

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、道路・鉄道等の交通網など、ネットワーク状に構成される各種の社会基盤システムに対して、それらシステムのあるべき信頼性水準、簡易な信頼性設計方法および災害時における設備等のマネジメントのあり方を決定する手法を確立することを目的とする。併せて、これらシステムの信頼性実態を明確にし、具体的な改善案を提言する。また、理論の構築のみにとどまらず、手法をソフトウェアツールとして使いやすくまとめるとともに、Web ページ等で広く公開することを目指して進めてきた。

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、地下鉄等の混雑に着目した乗客数分析、マイクログリッド等電力システムの信頼性・経済性評価等があるが、いずれも対象とするモデルが簡単である、想定する故障の数が少なく設備の高度な信頼性を実現するための設計には適用しにくい、多様なシステム構成を一般的扱い得るモデルとはなっていない等、実用段階に達しているものは少ない。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

具体的な検討内容は、電話網を対象とした従来手法の概念的整理すなわち、本設計法が実務で成果を上げた理由および適用を可能とする条件の理論的な検証をはじめとして、各種の社会インフラをモデル化し、理論解析またはシミュレーションによって、機能喪失時の影響度から要求信頼度の決定ができないか、対象とするシステムの信頼性上の弱点となる箇所nのできないか等を検討していく。

とくに今期は、複数存在する社会インフラ

システムが、相互に支援しあうことで社会活動が成り立っている点に着目した、モデル化と解析を進めた。

4. 研究成果

(1)電気自動車の給電スタンド密度に関する検討：交通網に関しては、電気自動車のための給電スタンド配置と信頼性の関係についての検討を行った。電気自動車においては蓄電池充電時間が長いという問題があり、この解決のために給電スタンドでは顧客の電池への充電はせず、フルに充電された蓄電池を用意しておき、顧客の蓄電池と交換する方式（蓄電池交換方式）が提案されている。この方式によれば、充電のための時間は省略できるが、充電済み蓄電池の品切れによる利便性の低下の可能性は依然として残る。その確率を小さくするには蓄電池数量を増やせばよいが、経済性を維持するには最低限の準備数を明らかにする必要がある。そこで、シミュレーションと理論解析により、品切れ率を一定以下にする蓄電池数等を求める手法を検討した。蓄電池品切れ率を一定にするには、自動車密度が同一ならば、1つの給電スタンドの規模が大きいくほど余分な蓄電池が少なく済むという特徴がある。しかし、給電スタンドの規模が大きくなれば、逆に密度は疎になり、走行中の電池切れ率が增大する。このトレードオフを行うモデルについても検討し、給電スタンドの経済性と走行中の電池切れ率とを考慮して、適切な給電スタンド密度を算出するモデルを提案し、実道路網でのシミュレーションを行った。また、給電方式の良否をビジネス的観点から評価するモデルにまで踏み込んだ検討を行い、新たなモデルを提案した。（雑誌論文、学会発表）

(2)連携するネットワークの効用に着目した一般モデルの構築：通信網において従来より用いられていた、規模を考慮した信頼性設計法を、他のネットワークシステムあるいは災害を考慮した設計へ応用可能とすべく、ネットワークの連携に着目した、一般的信頼性モデルの提案を行った。人間活動の多くは、人間または物資もしくは情報が移動することで成り立っている。そしてこの移動には、通常複数のネットワークが関与している。例えば、情報のやり取りは情報通信技術が無ければ、人対人の対面によるコミュニケーションに依らざるを得ない。従って、情報流通は人間同士がネットワーク的に移動すること、情報通信ネットワークとが補完して成り立っている。ただ、コミュニケーションのための人間の移動と情報通信ネットワークどちらが主であるかと考えた場合、情報通信ネットワークが支援する側、人間の移動のネットワークが被支援側と考えるのが自然である。このような関係は、複数のネットワークの支援・被支援関係と見なすことが出来、多くの例を見出すことが出来る。上記以外にも、災害時の避難を通信ネットワークが効率

化する等があるし、通信ネットワーク内部における伝達網と制御網の関係もこの視点で捉えることが出来る。そこで、人間活動等のネットワークを被支援網、通信ネットワークを支援網として抽象化する。ここで、災害等により、支援網あるいは被支援網に故障が発生し、その結果これらの網の機能が低下または停止する場合を考える。このとき、被支援網の機能の低下度合いこそが最終的な便益低下である。そしてこの便益の低下度合いのうち、支援網信頼性によってもたらされる部分に着目することで、支援網に必要とされる信頼度水準を明らかにする手順の可能性を検討した。（雑誌論文、学会発表）

(3)ネットワーク要素の要求信頼性自動決定法：我が国の通信網では、交換機等のネットワーク要素の要求信頼性を、着目装置が故障した時の社会的影響度に応じて決定し、結果としてネットワーク全体が信頼性において過不足のないバランスのとれた構成となることを目指している。しかしながら、本手法は、非常に簡単なネットワーク構成のみを想定しており、複雑な構成の場合の一般的方法ではなかった。一方、道路網等のネットワークを考えると、その構成は様々なものがある。よって、このような一般的な形状のネットワークにおいて、要素の要求信頼度を自動的に決定する手法があれば、反射的效果として、現在の各種インフラにおける弱点が炙り出されることになる。このような発想に基づき検討を進めた結果、ネットワークの需要を経路に割り付け、さらに故障における損失を考慮することで、任意形状のネットワークの要素の要求信頼度を自動的に求める手法を見出した。本方法を、対象とするネットワークに繰り返し適用することで、バランスのとれた設計を実現できる（図2）。現在のところ、簡単なモデルにおける検証にとどまっているが、遺伝的アルゴリズムの一種としての定式化が可能と考えており、さらなる検討を進めていく予定である。（雑誌論文、学会発表）

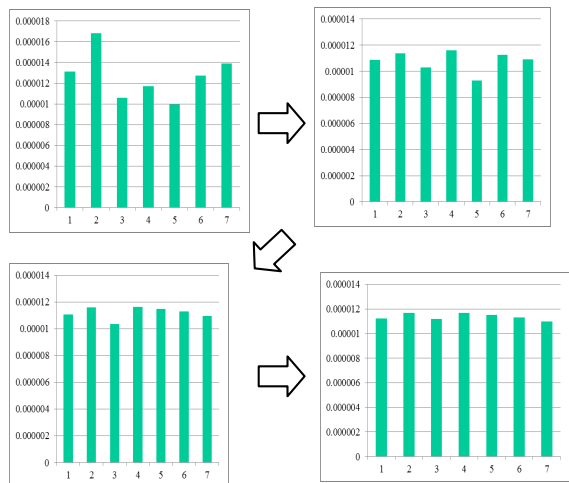


図2. 漸進的アルゴリズムによる損失の均等化

(4)災害時の避難効率に着目した通信網要求信頼性決定法の検討：災害時の通信ネットワークの役割は大きく、災害の経過に合わせて適切な機能を発揮することで、減災に貢献することが期待されている。例えば、中央防災会議等では、帰宅者の混雑の軽減には知人の安否等に関する情報有無が影響すること等が明らかにされている。また、歩行速度は道路の混雑度合いに大きく影響されるので、その情報が適格に伝達できるかどうかは、避難の効率化に大きな影響を及ぼす。よって、情報伝達の効果の大きい機能ほど高信頼にすることで、減災に貢献できる通信網の実現の可能性が広がる。そこで、災害時の避難効率化に及ぼす影響に着目し、通信網の要求信頼性を求める手法に可能性を、シミュレーションにより検討した。その結果、通信機能の有無は、避難時間に大きな影響を及ぼすので、通信網の要求信頼性を決定できる可能性があることを確認した。本方法では、未だ限定的なモデルでしか検討していないが、今後より詳細な検討を行う予定である。また、実スケールのシミュレーションを可能とし、減災に対する通信網の貢献を明確化すべく検討していく予定である。(雑誌論文)

(5)ソフトウェアの開発と公開：上記で検討した解析手法のうち、一般的なネットワークに適用可能なものを選定し、Webシステムにて利用可能な形にまとめた。おもなソフトウェアは、通信網信頼度評価、災害時の避難シミュレーションである。これらと、既開発の再生エネルギーの供給信頼度シミュレーションを利用可能としている。図3は、通信網故障を考慮した避難シミュレーションの結果例である。本ソフトウェアは、一般の利用に供すべく、研究代表者の所属大学の研究室HPに公開した。

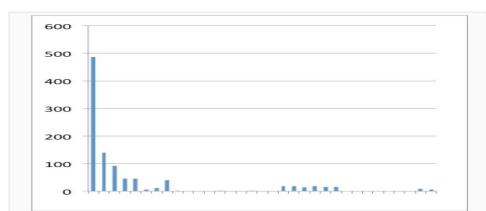


図3．出力例

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6件)

迎 尚吾、黄 平国、渡邊 均、「電気自動車の走行利便性と普及率の関係に関する一検討」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、ITS2013-72、pp.25-30、2014、<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009861450>

渡邊 均、黄 平国、「減災のための通信網信頼性モデルの構築に関する一考察」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、R2014-68、pp.19-24、2014、

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009977292>

渡邊 均、黄 平国、「2つのネットワークが連携する場合の要求信頼性決定手法の一考察」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、CQ2014-114、pp.13-18、2015、<http://ci.nii.ac.jp/naid/110010017843>

渡邊 均、黄 平国、「サービス停止時の損失に基づくネットワーク要求信頼性決定手法の一考察」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、R2015-8、pp.39-43、2015、<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020492412>

黄 平国、渡邊 均、「Reliability specification of telecommunication networks based on the failure influence by using evolutionary algorithm」、Advances in Intelligent Systems and Computing、査読有、Vol. 388、pp.115-126、2015、DOI:10.1007/978-3-319-23207-2

渡邊均、黄平国、「減災への貢献度に基づく通信網の要求信頼性決定方法に関する一考察」、電子情報通信学会研究技術報告、査読無、CQ2015-96、pp.19-24、2016、<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020737149>

[学会発表](計3件)

マラット・ザニケエフ、渡邊均、「A Model and Simulation of EV Use in Environments with V2H and Battery Replacement Infrastructure」、ITS世界会議東京2013、査読有、2013年10月17日、東京(東京ビッグサイト)

渡邊均、「A Reliability Model for Design and Operation of Telecommunication Network Considering Disaster Conditions」、第26回 International Teletraffic Congress、招待あり、2014年9月9日、カールススクローナ(プレキング工科大学)

黄 平国、「Reliability specification of telecommunication networks based on the failure influence by using evolutionary algorithm」、The Ninth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing、2015年8月27日、ミャンマー ヤンゴン市(ヤンゴン大)

[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

黄 平国(Pingguo Huang)

東京理科大学・工学部第二部経営工学科・助教

研究者番号：60713154