

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電力系統におけるロバスト性を考慮した設備配置のための数理計画モデル
Title(English)	
著者(和文)	渡邊 勇
Author(English)	Isamu Watanabe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12348号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野 功,三宅 美博,山村 雅幸,石井 秀明,青西 亨
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12348号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論文要旨

(和文2000字程度)

Dissertation Summary (approx. 2000 characters in Japanese)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	渡 邊 勇
(要 旨) (Summary) 本論文は、電力系統の適切な設備形成などを検討する際にしばしば直面する、将来の不確実性を考慮した電力設備配置のための新たな数理計画モデルの提案とその有効性の検証を行ったものであり、「電力系統におけるロバスト性を考慮した設備配置のための数理計画モデル」と題し、5章より構成される。 第1章「序論」では、本研究の背景として、電力システムは最も重要な社会インフラの一つであり、安定的かつ経済的な電力供給の維持向上には、停電発生に対する事前および事後の両面からの対策検討が必要不可欠であること、想定しうる様々な状況に対応可能なロバストな対策が重要であることを述べる。そして、設備面での対策のうち、事前対策として電力系統の状態把握に必要な観測メータへのサイバー攻撃を検知するロバストなメータ配置問題、事後対策として系統事故による停電負荷の迅速な復旧を可能とする分散型エネルギー資源の配置問題に対し、既存の数理計画モデルは適用可能な問題規模が限定的である点や電気事業を取り巻く近年の環境変化を十分に考慮できていない点を指摘する。次に、本論文の目的は、様々な同時協調的なサイバー攻撃や偶発的な設備故障などを考慮した新たな数理計画モデルを提案し、その有効性の確認を行うことにあることを述べる。最後に、本論文における研究の方法と意義について論じる。 第2章「問題の所在」では、事前対策であるサイバー攻撃の検知と事後対策である事故時の復旧操作のそれぞれについて論じる。まず、前者の準備として、電力系統の状態推定、不良データ検出、およびサイバー攻撃の一種である不正データ注入攻撃の仕組みを紹介する。次に、不正データ注入攻撃を検知するための既存の数理計画モデルを紹介し、検討すべき攻撃パターンが不十分である点などの問題点が残されていることを指摘する。そして、既存モデルの問題点を解決し、新たな数理計画モデルを構築するにあたって本論文が採用するモデル化の基本方針について論じる。後者については、まず準備として、系統事故時の復旧操作手順の最適化問題を定義する。次に、復旧操作全体の最適化、分散型電源や蓄電池などの分散型エネルギー資源の配置と活用、設備故障などの不確実性を考慮したモデル構築の重要性について議論し、先行研究では部分的にしか考慮できていない点で問題があることを指摘する。最後に、上記の項目を考慮した数理計画モデルを構築するにあたっての基本方針について論じる。 第3章「状態推定における不正データ注入攻撃に対するロバストなメータ配置」では、3箇所のメータへの同時攻撃までを対象に、状態推定に必要な「必須メータ」に加えて可観測性を高めるために追加した「冗長メータ」への同時攻撃も考慮したロバストなメータ配置を求めるための数理計画モデル			

ルを提案する。さらに、最適なメータ配置を効率的に求めるために、非線形制約の線形化に加え、冗長な制約式を排除して問題をコンパクト化する方法についても提案する。問題規模の異なる複数のテストシステムを用いた数値実験により、2箇所メータへの同時攻撃に対して既存モデルよりも効率的に最適配置が求まること、既存モデルでは対応できなかった3箇所メータへの同時攻撃についても最適配置を求められることを示す。また、問題のコンパクト化の有効性やユーザパラメータの違いによる影響について考察する。

第4章「不確実環境下における事故復旧のための分散型エネルギー資源の最適配置」では、系統事故によって停電した負荷へ迅速に電力を再供給することを目的に、復旧操作時の設備故障などの不確実性を考慮した分散型エネルギー資源の最適配置を求めるための数理計画モデルを提案する。提案モデルは、不確実性を複数のシナリオとその発生確率として表現し、分散型エネルギー資源の運用制約などの制約条件の下で復旧操作全体の復旧電力量を最大化する、分散型エネルギー資源の最適配置を求めるモデルである。13母線のテストシステムを用いた数値実験により、分散型エネルギー資源の最適配置により効率的な復旧操作が実現できること、分散型電源の故障確率に応じた適切な分散型エネルギー資源の配置が求められることを示す。

第5章「結論」では、本論文は、電力系統における設備配置を対象に、「不正データ注入攻撃に対するメータ配置」および「迅速な事故復旧のための分散型エネルギー資源の最適配置」のそれぞれについて、先行研究の問題点を克服し、想定しうる多様な不正データ注入攻撃や設備故障などの不確実性を考慮した新たな数理計画モデルを提案し、その性能評価を行ったものであると総括する。また、今後の課題として、より大きな規模の問題や複雑な条件設定での最適配置に向けた提案モデルの高度化やさらなる計算効率化、他の最適化手法との組み合わせによる性能向上などが挙げられることを述べる。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、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。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論文要旨 (英文)

(300語程度)

Dissertation Summary (approx. 300 words in English)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	渡 邊 勇
(要 旨) (Summary) This thesis proposes a new mathematical programming (MP) model to study pre- and post-countermeasures against power outages from the viewpoint of facility placement to maintain and improve a stable power supply. The thesis, titled "Mathematical Programming Model for Facility Placement Considering Robustness in Power Systems," consists of five chapters. Chapter 1 first describes the background and objectives of this study. This study aims to propose new MP models for robust facility placement considering simultaneous coordinated cyber-attacks and accidental facility failures, respectively. Then, the methodology and significance of this study are discussed. In Chapter 2, we first explain how False Data Injection (FDI) attacks, a type of cyber-attacks on power systems, work and the difficulty of detecting them using conventional methods. It then points out the problems with an existing MP model and presents an approach to solving them. Next, regarding the optimal placement of distributed energy resources (DERs) for service restoration, we first discuss the essential items to achieve rapid restoration and then present the problems with existing models that address these issues. Finally, the approach adopted in this thesis is presented. In Chapter 3, we propose an MP model to obtain robust meter placement against FDI attacks. We also offer a method to compact the coefficient matrix by eliminating redundant constraints. Numerical experiments are conducted to demonstrate the superiority of the proposed model over an existing model. We also discuss the effectiveness of the coefficient matrix compactification. Chapter 4 proposes an MP model for DERs placement optimization considering uncertainties such as equipment failures. Uncertainty is expressed in multiple scenarios, and the amount of restored power is maximized. Numerical experiments show that the appropriate placement of DERs can be obtained according to the failure probabilities of distributed generators. Chapter 5 concludes this thesis and discusses future prospects for the proposed model.			

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

注意：論文要旨は、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。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.