

論 文 要 旨

Abstract

論 文 題 目

Title: Advanced Intelligent System Applications for Economic Power System Operation with Renewable Energy Sources

(再生可能エネルギー発電設備を導入した経済的電力システム運用への高度な知的システムの適用)

Economical operation of power system plays a key role deciding day-to-day electricity price in both regulated and de-regulated market. The power system researcher are continuously accelerating the efforts into inventing, scrutinizing and developing optimization methods ensuring both the consumers and the power production company have their deserved share. In our research, we tried to develop various advanced intelligent optimization methodologies to address some important aspects of power system economics, such as economic load dispatch (ELD), unit commitment (UC), energy storage system (ESS) ratings. Renewable sources are currently one of the biggest concerns due to the inevitable effects on environment. Additionally, the vulnerability of nuclear power system towards the natural epidemics gears up the renewables' investigation and partially full-concentration of policymakers. Moreover, the increasing declination of thermal power sources forced the trendsetters to focus on practically free, environment friendly renewable sources. However, because of the intermittency and hence non-dispatchability of renewable power systems, wind and solar powers are still not capable of fully replace the thermal powers.

The first intelligent approach we undertaken is Quantum Mechanics inspired evolution methods (QE). Two different variants of QE are deployed to solve two very important power system operations: ELD and UC. For ELD, QE is merged with binary particle swarm optimization (PSO) to provide the current global best solution. The non-linear constraints such as generators' prohibited zones and valve-point effect are incorporated with ELD. UC problem (integrated with solar energy system) is solved by another variant of QE using the principal of linear superposition of quantum states which successfully transformed to address non-linear complex optimization problem. In the second section, we provided the application of PSO solving thermal UC and security-constrained UC. In both of the cases, we considered wind power system coupled with battery while solving UC.

Third chapter provides two different intelligent methods namely, Tabu Search (TS) and Differential Evolution (DE). The optimal rating of ESS is very important for the manufacturers as well as the power companies. A novel TS based method is presented to find optimal generalized ESS rating in different scaled and various life-cycled power system. In the later part of that chapter, a new DE based optimization method is detailed to address thermal generation scheduling problem with solar-battery injection.

In the concluding part, the overall merits and scope of improvement are elucidated. Furthermore, the future study regarding the intelligent systems application in various power system fields are elaborated.

SHANTANU CHAKRABORTY

(様式第5-2号)

平成24年2月16日

琉球大学大学院  
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 千住 智信



副査 金城 寛



副査 浦崎 直光



### 学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学専攻 氏名 SHANTANU CHAKRABORTY 学籍番号 [REDACTED]
指導教員	千住 智信
成績評価	学位論文 (合格) 不合格 最終試験 (合格) 不合格
論文題目	Advanced Intelligent System Applications for Economic Power System Operation with Renewable Energy Sources (和文題目:再生可能エネルギー発電設備を導入した経済的電力システム運用への高度な知的システムの適用)
審査要旨 (2000字以内)	<p>全電化住宅の導入増により家庭における電気使用量が急速に増加している状況であり、発電所から排出される二酸化炭素が増加している。地球温暖化防止のためには二酸化炭素の排出量削減が重要であるため、太陽光発電や風力発電（再生可能エネルギー）が電力系統へ大規模に導入されている。また、化石燃料の枯渇も近年では懸念されており、今後ますます再生可能エネルギーが利用されることになる。</p> <p>再生可能エネルギーは、発電時に二酸化炭素を排出せず、燃料も必要ないことから将来的にも有望であるが、発電のエネルギー源である太陽光や風力は時間と共に大きく変化する可能性があるため、その特徴を考慮して電力系統で利用する必要がある。すなわち、電力系統の各種発電</p>

(次頁へ続く)

機は、時々刻々変化する電力需要に対応して発電所の発電電力を調整する必要がある。また、発電機は規模の大小や各種発電方式の特徴をそれぞれ有しているため、それぞれの発電機に対応した各種制約条件の下で運転させる必要がある。さらに、燃料を用いて発電する火力発電所では、発電単価を最小にするための最適運転計画で運用されなければならない。そのためには、消費される電力需要と再生可能エネルギーから発電可能な発電電力の時間的変化を予測しなければならないが、それらの予測値には不確実性（予測誤差）が含まれるため、その影響も考慮して最終的に各種発電機の経済的発電機運用計画が求められなければならない。

本学位論文では上記の各種制約条件や不確実性を考慮して電力系統の発電機を経済的に運用するための発電機起動停止計画問題を解くための各種アルゴリズムを提案している。本学位論文で得られた研究成果は下記のようにまとめられる。

#### 1. 大容量蓄電池を含む発電機起動停止計画問題の解法

再生可能エネルギーは短時間で大きく変化する可能性があるが、旧来の大型発電機はこのような変動に対処できない。そのため、再生可能エネルギーが電力系統に多数導入されると電力系統の安定運用が脅かされることになる。そこで、本学位論文は、大容量蓄電池を電力系統へ導入し、蓄電池の特性を考慮した発電機起動停止計画問題の定式化と解法を提案しており、様々な蓄電池の制約条件を考慮して最適な運用計画を得ている。

#### 2. セキュリティ制約条件付き発電機起動停止計画問題の解法

実電力系統では、送電線の送電容量の考慮が非常に重要である。また、風力発電機の発電電力は事前に予測されるが、予測誤差を考慮せずに発電機を運用すると急激な電力不足や系統電圧崩壊を発生する恐れがある。本学位論文は、このようなセキュリティ制約条件に関してファジー理論の概念を導入することにより各種セキュリティを考慮して発電機起動停止計画問題を解くためのアルゴリズムを開発している。開発されたアルゴリズムを適用することにより、求められる制約条件を満足しつつ経済的な発電機起動停止計画が立案できることを示している。

#### 3. 量子力学に基づく最適化手法による発電機起動停止計画問題の解法

本学位論文では新しい最適化手法として量子力学に基づく最適化手法を発電機起動停止計画問題へ適用し、シミュレーションにより提案手法の有効性を示している。開発された手法は、風力発電機の発電電力の不確かさを考慮することができるため実システム運用に有用である。本最適化手法で用いられる各種パラメータの感度に関しても調査しており、各種パラメータが最適化結果へどのような影響を及ぼすか示されている。

したがって、本研究成果は工学的に有用であり、提出された学位論文は博士の学位論文に相当するものと判断し、学位論文の審査を合格とする。また、論文発表会における発表ならびに質疑応答において、申請者は専門分野および関連分野の十分な知識ならびに琉球大学大学院理工学研究科博士後期課程修了者として十分な研究能力を有していることが確認できたので最終試験も合格とする。