

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 25 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18328

研究課題名(和文) 自然エネルギーを活用した離島地域における海水淡水化システムの最適運用法

研究課題名(英文) Optimal operation method of seawater desalination system utilizing renewable energy in isolated small island.

研究代表者

與那 篤史 (YONA, Atsushi)

琉球大学・工学部・助教

研究者番号：40505939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：昨今、世界規模で人口が増加しており、経済成長と共に水の需要が急増している。国内の小規模離島においては海水淡水化設備で消費される電力料金が水道料金へ上乗せされるため、他の地域と比較して水道料金が割高となっている地域がある。本研究では海水淡水化設備が設置されている小規模離島を対象として、自然エネルギー発電設備導入による水循環システムの協調的運用法と設備容量の最適化法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the population has increased in the world, and the water demand has increased with economic growth. In Japan, there are isolated islands where the water fee is expensive compared to other areas because the electricity charges consumed by the seawater desalination facility are added to the water fee. In this research, a cooperative operation method is proposed for water circulation system by introducing renewable energy power plants. And optimization method of the installation capacity is proposed for small scale isolated island where seawater desalination system is installed.

研究分野：電力エネルギー変換工学

キーワード：離島電力系統 海水淡水化設備 自然エネルギー 水循環システム

1. 研究開始当初の背景

日本の水資源は国土面積と人口を基にした一人当たりの量が世界平均の半分程度であるが、浄水処理、下水処理、逆浸透膜を用いた海水淡水化等の技術によって水不足の解消に対応している。これらの技術は水不足が深刻な国と共同で大規模な開発が進められている。例えば、省エネ型排水再生システムの実証事業や太陽光発電を利用した海水淡水化プラントの事業があり、今後も土地や気候条件に左右されない安定した水供給が期待される。しかしながら、立地条件によっては造水能力が低いことや、小規模の海水淡水化施設の場合は投資回収が困難である等の問題が懸念されている。海水淡水化施設で消費される電力料金が水道料金へ上乘せされるため、沖縄県内の小規模離島においては他の地域と比較して水道料金が2倍程度の割高となっている地域もある。また、沖縄県は年間降水量が全国と比較して上位であるが、山河や貯水池に恵まれない地域もあり、台風等の災害発生時には、停電によって断水を余儀なくされることが懸念される。以上の背景から水の生成、送水、貯水、下水および浄水等の水循環システムをより効率的に運用することが課題となっている。研究代表者は、これまでに日射量予測に基づく太陽光発電設備の最適運用法に関する研究に従事した経緯があり、前述の課題に対して自然エネルギー発電設備によって稼働する海水淡水化設備の導入が有効ではないかという着想に至った。

2. 研究の目的

国内の小規模離島においては海水淡水化設備で消費される電力料金が水道料金へ上乘せされるため、他の地域と比較して水道料金が割高となっている地域がある。本研究では実際に海水淡水化設備が設置されている小規模離島を対象として、気象条件、雨水の活用及び水需要を考慮した水循環システムの最適運用法を開発することを目的とした。また、停電時にも自然エネルギー発電設備によって稼働する防災対応型海水淡水化設備を検討し、当該設備の導入効果について省エネルギー及び経済的指標から評価することで最適設備容量の決定方法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するための研究計画は、対象地域の現地調査、類似地域の文献調査、水循環システムのモデル化、最適運用法の開発、最適容量決定方法の開発、研究成果収集を行い、既存の海水淡水化設備と需要負荷についてモデル化する。対象地域の海水淡水化設備、自然エネルギー発電設備を導入した場合の水循環システムの最適運用法を検討し、当該設備の最適設備容量の決定方法を

開発する。

4. 研究成果

(1) 図1に海水淡水化設備、需要負荷及び自然エネルギー発電設備を導入した場合の水循環システムのイメージ図を示す。海水淡水化発電設備の稼働に必要な電力及び一般家庭の需要負荷を可能な限り自然エネルギー発電設備によって供給するために、気象状況と電圧調整装置を考慮した配電システムのシミュレーションを行った。図2に一般家庭の負荷需要曲線及び太陽光発電が導入された場合の配電システムを示し、図3にシミュレーションに用いた太陽光発電電力及び需要負荷曲線の例を示す。ここで、図2において、太陽光発電電力は気象条件により発電電力が大きく変動するため、既存の電圧調整機器である負荷時タップ切替装置(LRT: Load Ratio control Transformer)と自動電圧調整器(SVR: Step Voltage Regulator)を用いて配電電圧は適正範囲に維持されている。本研究では、制御機器の最適運用、SVRの最適配置を同時に考慮し、配電電圧逸脱量とSVRのタップ位置切替回数の最小化を行うために、多目的最適化手法のNSGA-II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II)を用いて配電システムにおける多目的制御を試みた。

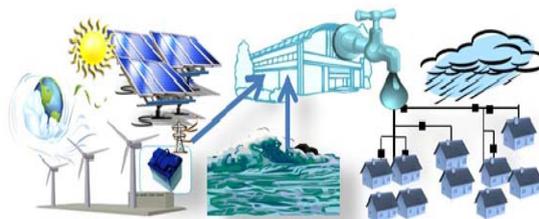


図1 自然エネルギー発電設備と海水淡水化設備

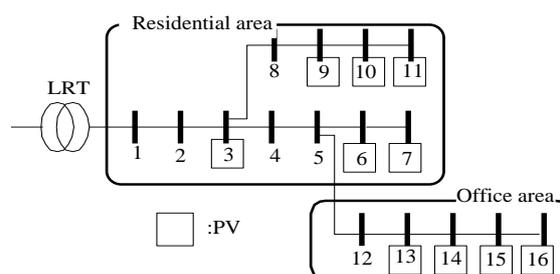


図2 太陽光発電を導入した配電システムモデル

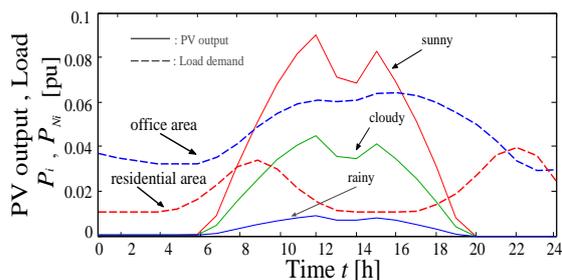


図3 太陽光発電電力及び負荷需要曲線

(2) 対象とした配電系統における種々の問題及び多目的問題の定式化について述べる。電力の安定供給や電力品質管理に関して配電電圧の適正範囲での維持は最も重要な課題であるが、近年の負荷需要の増加傾向や分散型電源の大量導入に伴い、電気事業法により定められた電圧適正範囲維持が困難な状況である。また、変圧器は制御機器の中でも耐用年数が長い機器だが、更新推奨期間の20年を過ぎても使用されている機器が多く存在する。タップ位置切替が可能な変圧器は、タップ位置切替回数に応じて耐久性が変化するため、SVRの耐用寿命の延長を図るためにはタップ位置切替の過制御を避ける必要がある。電圧維持性能はSVRの設置箇所により大きく左右されるため、SVR設置位置を決定することは配電系統構築において重要な課題である。ある任意の状況による最適配置を決定することは容易だが、年間を通して最適な配置を決定するのは計算量が膨大となり困難である。これらの配電系統の各問題を考慮するために、配電系統の各区間の線路は抵抗とリアクタンスでモデル化した。さらに、SVRはすべてのノード間に設置可能とした。目的関数は、SVRのタップ位置切替回数の最小化と配電電圧逸脱量の最小化とし、SVRの導入数と設置箇所を関連付けた。すなわち、二つの目的関数を最小化することで機器の最適導入数及び最適配置を求めることが可能となる。シミュレーション結果より得られた晴天時のSVRの導入数に応じたパレート最適解を図4~6に示す。パレート最適解により設計者の要望に合致した解を選択することが可能となる。

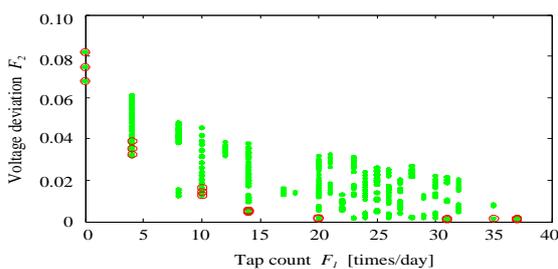


図4 SVR 1台を導入した場合のパレート解

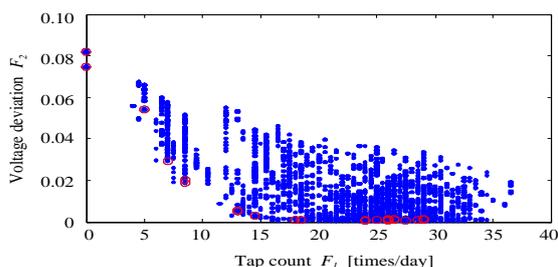


図5 SVR 2台を導入した場合のパレート解

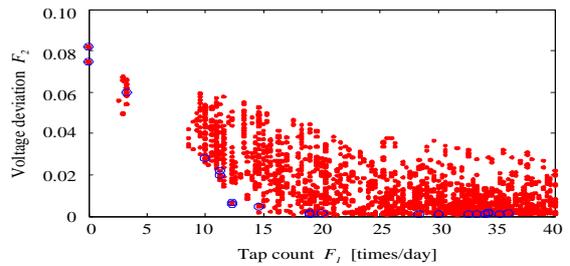


図6 SVR 3台を導入した場合のパレート解

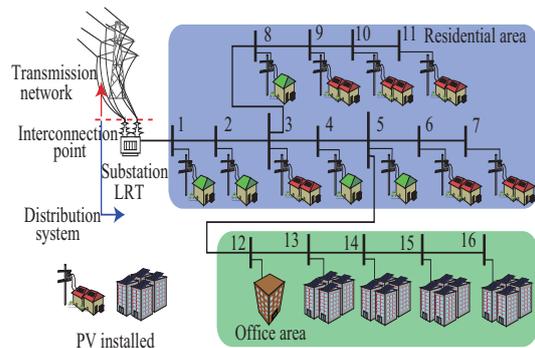


図7 太陽光発電群を導入した配電系統モデル

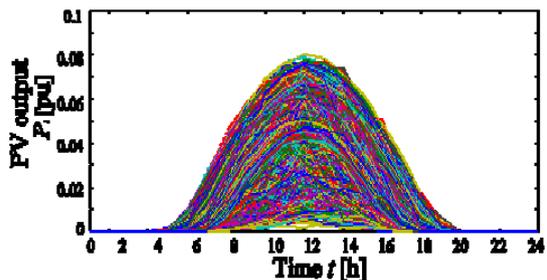


図8 年間の太陽光発電電

(3) 次に、年間を通して電圧維持可能な最適配置を長期シミュレーションにより算出した。ただし、最適化計算には多目的最適化手法のLCU-NSGA-II(Linkage Combination Update Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II)を用いた。従来の多目的最適化手法であるNSGA-IIに配置を鎖状で連結した更新(LCU:Linkage Combination Update)を組み込むことで、オペレーションによる多様性と配置による多様性を保持し、長期シミュレーションでの最適配置及び最適容量を決定することを試みた。図7に示す配電系統モデルを用いてシミュレーションを行った。ここで、シミュレーションに用いた条件として、SVRのタップ位置切替回数、機器導入数、時間断面、各時刻におけるSVRのタップ位置、電圧逸脱量、ノード総数、各時刻におけるタップ切替回数、各時刻のタップ切り替え時の配電電圧、SVR配置場所及びSVR設置の有無を変数として考慮した。また、電圧上下限值並びにタップ位置上下限値を制約条件として考慮した。図8に年間における太陽光発電

電力を示し、年間の電圧逸脱と電圧変動を図9に示す。図9の点Aを補償する機器配置が年間を通して最適配置となった。また、最適配置でのSVR制御回数を図10に示す。図10において、SVRを2台導入時より、3台導入した場合の方が制御回数の平均が少なくなることが分かった。以上の過程から年間の長期シミュレーションを通してSVRの導入数に応じた最適配置と電圧維持性能をパレート最適解として算出することができた。

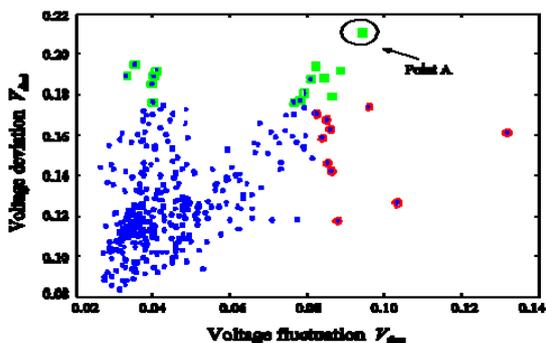


図9 年間の電圧逸脱と電圧変動

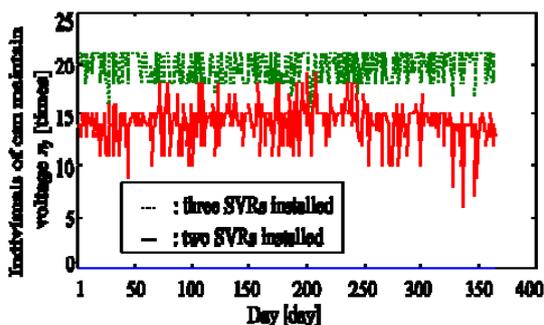


図10 最適配置におけるSVR制御回数

(3)本研究では海水淡水化設備と再生可能エネルギー発電設備を協調制御するために年間の気象状況を考慮した水循環システムの運用法を検討し、当該設備の設備容量の最適化方法を開発した。ただし、水循環システムの運用法については、さらに長期間の気象状況の変化を考慮した最適化法が必要であると考えられるため、今後の課題となる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

- ① 重信颯人, 桃原翔太, 與那篤史, 千住智信: 「SVRの年間計画及び最適配置を考慮した配電系統多目的最適化」, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集, 九州工業大学(福岡県北九州市), 論文番号164, 3-1-1~2, 9月7~9日, 2016.
- ② 重信颯人, 相良光軌, 與那篤史, 千住智信: 「気象状況およびSVRの最適配置を考慮した多目的最適化問題」, 平成27年

電気学会電力・エネルギー部門大会論文集, 名城大学(愛知県名古屋市), 論文番号P44, 87~88, 8月25~27日, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

與那 篤史 (YONA, Atsushi)

琉球大学・工学部・助教

研究者番号: 40505939

(2) 研究協力者

千住 智信 (SENJYU, Tomonobu)

舟橋 俊久 (FUNABASHI, Toshihisa)