

## 東日本大震災後の電力システム再構築

### Reconstruction of Power System after the Great East Japan Disaster

研究代表者 岩本 伸一

(先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授)

#### 1. 研究課題

東日本大震災後、電力不足が大きな問題となり、それを考慮した電気エネルギー技術の開発に注目が集まっている。同時に環境問題や都市問題などを背景に、電気エネルギー分野を中心に、持続可能な街づくりは世界共通の課題になっている。本プロジェクトでは、これらの問題を解決すべく、様々な角度から総合的な研究を行う。特に、①地球環境を考慮した電力システムの計画・運用の研究 ②電気絶縁材料の劣化診断に関する研究 ③CO<sub>2</sub>削減を目指した超電導応用電力機器の基盤技術に関する研究 ④太陽光発電システムの運用最適化に関する研究 ⑤次世代エネルギーマネジメントシステム(EMS)技術に関する研究について実施する。

研究課題は、東日本大震災後、非常に重要であるエネルギー問題の中で、特に地球環境考慮下での電力供給の高信頼度化・低コスト化に焦点をあて、総合的に独特な組織の中で、学内・外の技術者が研究する。外部の協力として主要な電力会社、重電機メーカー、電線メーカーが加わる点で、先端の技術開発に寄与できると考えられる。

この研究プロジェクトは、本学が主体となり電力業界各社から構成される産学協同体「電力技術懇談会」(約30社がメンバー)と一体となった研究組織である点に特徴がある。本懇談会と連繋させながら推進し、有用な研究成果を挙げる。また、産学交流の発展のため、約2ヶ月おきに講演会が企画されている。これも含めて総合的に研究に当たる。

#### 2. 主な研究成果

現在、電力システムへの再生可能エネルギーの大量導入が、CO<sub>2</sub>による地球環境問題の解決のために進められているが、電力システムは、この再生可能エネルギーの大量導入に適切に対応できるように技術的な整備がなされなくてはならない。そのため、「①地球環境を考慮した電力システムの計画・運用の研究」では、特に、太陽光発電大量導入時のファジィ計画法を用いた系統電圧・無効電力制御に関する研究、ニューラルネットワークを用いた発電機・蓄電池協調負荷周波数に関する研究、最適ポートフォリオ選択手法を用いた再生可能エネルギー導入時における変圧器増強・更新手法に関する研究、を行った。再生可能エネルギーの大量導入により、火力発電の出力を下げる必要が出てくるが、具体的に過渡安定度に関して、機械学習を用いたパターン認識とクラスタリングによるN波脱調を考慮した過渡安定度高速スクリーニング手法も開発した。

また、「②電気絶縁材料の劣化診断に関する研究」のうち、テラヘルツ領域誘電分光の測定では、劣化評価、成分分析、異物および空隙検出が可能であること、化学発光測定では酸化反応時の発光を捉えており、これは放射線照射により生成されたラジカルに由来する可能性

があること、走査型プローブ顕微鏡およびインデントモデュラスによる表面硬度測定では、高分子表面の酸化や架橋の評価が可能であることを確認している。さらに、原子力発電所で使用されている電気ケーブルの劣化判定に資する目的で行っている非破壊劣化位置標定法として、我々が開発している周波数領域反射測定法では、例えば局所的に熱・放射線同時劣化したシリコンゴム絶縁ケーブルについて、市販装置に比べて劣化位置を高精度で標定することが可能である。よって、この測定法は原子力発電所における予防保全における診断法として適用可能である。

「③CO<sub>2</sub>削減を目指した超電導応用電力機器の基盤技術に関する研究」のうち、超電導応用電力機器として本年度は、66kV 系統における高温超電導ケーブルの実用化に向けた研究・開発を行った。超電導ケーブルの実用化に向けた課題の一つとして、短絡事故時の発熱に対する冷媒である液体窒素の挙動解析に基づく温度・圧力上昇への対応が挙げられている。一度短絡事故が発生し、短絡電流が流入することにより超電導状態が破れると、超電導ケーブル内の温度が急激に上昇する。また、冷媒もケーブル内のジュール熱により温度上昇が起こる。したがって超電導ケーブル実用化に向けて、事故後に操作可能なレベルに戻るまでの温度・圧力分布の時間変化を推定・評価することが重要であると考えられる。本年度は実用時を想定して実規模 3km 級超電導ケーブルにおける温度及び冷媒の温度・圧力解析を行った。2010年に住友電気工業株式会社・熊取試験場で行われた 30m ケーブル短絡電流模擬試験（NEDO プロジェクト）の結果から、超電導ケーブル内の銅フォーマ内部に存在する液体窒素が気化する影響で、冷却システム全体の圧力上昇を引き起こすことが確認された。このため、今回は銅フォーマ内部に液体窒素が存在しない構造を提案（特許出願中）し、これを解析している。加えて、本研究は実用時をより再現するため AC ロス、誘電損失、ジョイント部における損失を考慮した。結果としては、66kV 系統における最大想定短絡電流 31.5kA-2.0s が流れた場合は飽和温度に達するため、冷却システムに設置した安全弁を作動させる事により対応する必要がある。また、今回の解析では短絡電流継続時間が 0.6s 以下であれば飽和温度に達することなくシステムを復旧できることが分かった。

「④太陽光発電システムの運用最適化に関する研究」では、先ず出力不安定性を有する PV システムにおいて、効果的なエネルギーマネジメントを実現することを目指し、**Just-In-Time (JIT) Modeling** を用いた日射量予測値の信頼区間推定の高精度化に取り組んだ。また、コミュニティにおける負荷予測についても検討を行い、容易に入手できる世帯属性情報を基に月別負荷量を予測するモデルの構築に取り組んだ。具体的には、関東地方に居住する約 1,700 世帯を対象に実施したアンケート情報をデータベースとして、負荷情報と世帯属性情報との相関モデルを開発した。提案モデルを用いた住宅群負荷の予測を行い、実測値と比較し、その有効性も明らかにした。

「⑤次世代エネルギーマネジメントシステム（EMS）技術に関する研究」では、地球温暖化対策となる風力発電をさらに電力系統に連系できるよう、発電量の急変に対する予測と、予測と組み合わせた蓄エネルギー制御技術開発を NEDO 技術開発機構の委託事業として進めている。本年度は次世代エネルギーマネジメントにおいて重要となる風力発電量の急変予測精度の向上を目的として **Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)** のランダムフォレスト回帰で学習されるデータ **Proximity** を利用した予測技術の開発を実施した。時間毎の発電量の予測精度のみに着目した既存の予測手法と比較して、開発技術では発電量の急変イベントの発生予測精度が改善されることを、過去の風力発電量推移実データに基づき検証した。ま

た、蓄エネルギー制御技術開発では、予測を用いた出力の急変を蓄エネ設備による緩和と、発電量同時同量を進めているが、本年度は時間枠と出力幅で設定される連系要件とパラメータとし、基本的な制御方法で所要容量がどのように変化するか検討を行った。

### 3. 共同研究者

大木 義路 (先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授)

石山 敦士 (先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授)

若尾 真治 (先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授)

林 泰弘 (先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授)

### 4. 研究業績

#### 4.1 学術論文

- ・安藤 翔, 五味 知幸, 岩本 伸一, “太陽光発電出力予測誤差を考慮したポテンシャルゲームに基づく系統電圧制御”, 電気学会論文誌 B, Vol. 135, No. 10, pp605-612, 2015.10.
- ・小見 拓也, 柿阪 博登, 岩本 伸一, “過渡安定度における N 波脱調予測に対するオンラインデータマイニング手法の適用”, 電気学会論文誌 B, Vol. 136, No. 2, pp137-144, 2016.2.
- ・Marina Komatsu, Maya Mizuno, Shingo Saito, Kaori Fukunaga, and Yoshimichi Ohki, “Terahertz Spectral Change Associated with Glass Transition of Poly- $\epsilon$ -caprolactone”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 117, pp. 133102 1-7, 2015.4.
- ・Takayuki Niki, Naoshi Hirai, and Yoshimichi Ohki, “Diagnosis of Surface Degradation of Flame-retardant Ethylene Propylene Diene Copolymer by Scanning Probe Microscopy”, *J. Nucl. Sci. Technol*, Vol. 53, No. 1, pp. 82-88, 2016.1.
- ・Yoshimichi Ohki and Naoshi Hirai, “Effects of the Structure and Insulation Material of a Cable on the Ability of a Location Method by FDR”, *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 23, No. 1, pp. 77-84, 2016.2.
- ・Tetsuo Yasui, Yusuke Sato, Koh Agatsuma, Atsushi Ishiyama, Xudong Wang, Masayoshi Ohya, Takato Masuda, Shoichi Honjo “Temperature and Pressure Simulation of a 1.5-km HTS Power Cable Cooled by Subcooled LN2 with a Fault Current” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol 26, no.3, 2016, p.5402005.

#### 4.2 総説・著書

#### 4.3 招待講演

#### 4.4 受賞・表彰

#### 4.5 学会および社会的活動

- ・Shunsuke Aida, Takayuki Ito, Yuta Mori, Shinichi Iwamoto (Waseda University), Shingo Sakaeda, Yukihiro Onoue (CHUBU Electric Power Co.,Inc.), “Voltage Control by using PV Power Factor, Var Controllers and Transformer Tap for Large Scale Photovoltaic Penetration”, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Asia 2015*, Nov. 2015.

- ・ Tomohide Yamazaki, Shinji Wakao, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, “Improvement of prediction interval estimation algorithm with Just-In-Time modeling for PV system operation,” The 42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference (the 42nd IEEE PVSC), Jun. 2015, New Orleans.
- ・ Hiroto Kuroiwa, Tomohide Yamazaki, Shinji Wakao, Kei Morita, Yasuo Nakatsuka, “A study on the maximum use of PV power in a residential community -the case of utilizing of demand response program-,” The 42nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference (the 42nd IEEE PVSC), Jun. 2015, New Orleans.
- ・ Yuka Takahashi, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, Interval Forecasting for Wind Power Generation Based on Random Forests, 2015 International Conference on Electrical Engineering, Pok Fu Lam, Jul. 2015.
- ・ Yuka Takahashi, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi, Prediction of Wind Power Output for Alerting Ramp Events, The 10th International Renewable Energy Storage Conference, Dusseldorf, Mar. 2016.
- ・ Masakazu Ito, Yu Fujimoto, Masataka Mitsuoka, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi, Power and Hour Capacity Requirement for an Energy Storage from Grid Codes, IEEE PES APPEEC, Brisbane, Nov. 2015.

## 5. 研究活動の課題と展望

環境問題や東日本大震災後に顕著に現れた電力不足は喫緊の課題である。本プロジェクトでは電力系統運用・計画、材料の劣化診断、超伝導、発電量予測、エネルギーマネジメントの5つに焦点を当て、幅の広い総合的な研究アプローチを開始した。本年度実施した研究成果をベースに、世界共通の課題となっている環境問題や都市問題などの電気エネルギー分野を対象とした研究開発を進め、「電力技術懇談会」と連携させながらこれらの問題の解決を目指す。