

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 ③CO₂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。本懇談会と連携させながら推進し、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、CO₂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における、電力システム上位システムにおける太陽光発電群の力率と調相設備・変圧器タップによる電圧上昇・電圧変動抑制手法、発電機出力と電力用コンデンサーを用いた計画手法、SOCを考慮した系統周波数制御手法を開発した。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、具体的に電圧安定性ならびに過渡安定度を考慮しながら、それを解決する手法も開発した。

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、ゲル分率測定の可能性があること、化学発光測定では酸化誘導期間を推定することにより酸化度合いの評価が可能であること、走査型プローブ顕微鏡による表面硬度測定では、高分子表面の顕微領域における酸化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、上記の酸化評価法による劣化度と相関する形でケーブル上の絶縁体の劣化位置を高精度で標定することが可能である。

「③CO₂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は、本年度はREBCO超電導テープ線材を用いた電力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、短絡事故電流通電時の発熱に対する冷媒（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、過電流が流入することにより超電導状態が破れると、冷媒（液体窒素）の温度は発生するジュール熱により上昇し、ケーブルの下流に向かって徐々に上昇度が増す。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まで温度が戻るまでの温度・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。本年度はこの課題の解決に向け、熊取試験場（住友電工）で行われた30m長ケーブルの試験（NEDOプロジェクト）を対象として、過電流通電時のケーブル内温度分布および液体窒素の温度・圧力分布の時間変化を求める数値解析プログラムコードの開発を行った。また実用化を想定し、循環ポンプを組み込んだ冷却システムにおける事故時の圧力解析コードの開発にも取り組んだ。さらにこれまでに開発した熱解析コードと圧力解析コードを連成することで、実システム運用時に短絡事故が発生した場合についてのシミュレーションを行い良好な結果を得た。

近年、環境・エネルギー問題への具体的な対策として太陽光発電（PV）システムが注目されている。しかし、PVシステムの出力は日射量に依存するため、PVシステムが電力系統に大量連系された場合、電圧上昇問題など電力品質の悪化が懸念されており、今後、PV出力の予測情報に基づく蓄電池等によるエネルギーマネジメント手法の重要性は一層高まるものと思われる。このような背景のもと今年度は、Just-In-Time (JIT) Modelingを用い、日射量予測値の信頼性の指標である予測信頼区間を推定する方法を開発した。また、精度検証の結果、高精度な予測信頼区間推定が行えることを明らかにした。

「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。発電量の急変に対する予測は、既存の予測が全体としての精度向上を目的としているのに対し、本研究では電力系統に影響を与える急変に重点を置き、その向上を目的としている。特に、機械学習的アプローチに基づくランプ予測に焦点を当て、本年度はランダムフォレスト回帰に基づく予測手法の初期実装と、既存の手法との比較、整理を進めた。また、蓄エネルギー制御技術開発では、出力の急変を蓄エネ設備による緩和と、蓄エネ設備を用いた発電量同時同量を行う。どちらも予測を用いる新しい運用手法の開発を目指す。蓄エネ設備は化学物質を用いず、大容量化が容易な圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）を対象とし、その特性を含めた検討を行う。本年度は連系要件をパラメータとした検討と、CAES特性1次モデルを構築した。

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

- ・ 会田峻介, 伊藤孝将, 岩本伸一, 北田亮平, 有吉信行, 電力系統上位系統における太陽光発電群の力率と調相設備・変圧器タップによる電圧上昇・電圧変動抑制手法, 電気学会論文誌. B, Vol.134, p.957-965, 2014-12
- ・ Aye Mya Mya Hlaing, Sho Ando, Yuki Kawaura, and Shinichi Iwamoto, “Photovoltaic Power Penetration Planning with Generator Output and Capacitor Adjustments Using PSO Considering N-1 Contingency” , IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2014, 2014. 12.
- ・ Masato Toge, Yu Kurita, Takuya Omi, and Shinichi Iwamoto, “LFC with Storage Battery considering SOC for Large-scale Wind Power Penetration” , IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2014, 2014. 12.
- ・ Peng Yang, Fuqiang Tian, and Yoshimichi Ohki, “Dielectric Properties of Poly(ethylene terephthalate) and Poly(ethylene 2,6-naphthalate)”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 21, No. 5, pp. 2310-2317, 2014.10.
- ・ Marina Komatsu, Masashi Hosobuchi, Xiaojun Xie, Yonghong Cheng, Yukio Furukawa, Maya Mizuno, Kaori Fukunaga, and Yoshimichi Ohki, “Terahertz Absorption Spectra of Oxidized Polyethylene and Their Analysis by Quantum Chemical Calculations”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 53, pp. 092402 1-9, 2014.8.8.
- ・ Yuka Hasegawa, Junya Takihana and Yoshimichi Ohki, “Estimation of Thermal Expansion Coefficients of Polymeric Insulating Films from Temperature Dependence of Dielectric Permittivity”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 53, No. 7, pp. 071501(1)- 071501(4), 2014.6.
- ・ Yuta Masui, Xudong Wang, Atsushi Ishiyama, Tomonori Watanabe, Naoki Hirano, Shigeo Nagaya, “ Experiment and Numerical Simulation on Quench Detection in Cryocooler-Cooled YBCO Coil for SMES Application” , IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 24, 4601005, 2014.
- ・ Yusuke Sato, Koh Agatsuma, Xudong Wang, Atsushi Ishiyama, “Temperature and Pressure Simulation of a High-Temperature Superconducting Cable Cooled by Sub-Cooled LN2 with Fault Current” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 25, 2387119, 2015.
- ・ 山寄朋秀, 本間隼人, 若尾真治, 藤本悠, 林泰弘, 太陽光発電出力予測のための Just-In-Time Modeling を用いた日射量予測信頼区間の推定方法, 電気学会論文誌 B, vol.135, no.3, 2014, DOI: 10.1541/ieejpes.135.1
- ・ T. Yamazaki, Y. Hara, S. Wakao, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, K. Nukada, T. Tamura, M. Takahata, Application of PV output prediction interval to battery operation of green base stations, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014
- ・ H. Homma, T. Yamazaki, S. Yoshizawa, H. Kikusato, S. Wakao, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, Fluctuation range prediction of PV output by using Just-In-Time modeling, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014
- ・ 藤本悠, 高橋由佳, 林泰弘, 高次元説明変数に基づく風力発電ランプ予測に関する基礎検討, 第

17回情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2014), 名古屋大学, 2014.11.

・ Takeru Inoue, Norihito Yasuda, Shunsuke Kawano, Yuji Takenobu, Shin-ichi Minato and Yasuhiro Hayashi, Distribution Network Verification for Secure Restoration by Enumerating All Critical Failure, IEEE Transactions on Smart Grid, Volume:6, Issue 2, pp. 843-852, 2015.3.

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。