

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 林 泰弘
(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 ③需要側（電気鉄道車両）のピーク電力カット・省エネルギー化 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、再生可能エネルギー大量導入時の問題の研究を行った。

「②電気絶縁材料の劣化診断に関する研究」では、主につぎの研究を行った。原子力発電所においては、事故時に内部の温度や圧力をモニターするとともに、原子炉を安全に停止させるために、「安全系ケーブル」が使われている。このケーブルに使われている難燃架橋ポリエチレン、架橋ポリエチレン、難燃エチレン・プロピレン・ディエン共重合体ゴム、シリコーンゴム、架橋ポリオレフィンと、原子炉格納容器電線貫通部（電気ペネ）に使用されているエポキシ樹脂が、高温あるいは高温下で放射線にさらされたときの劣化挙動を実験的に解明した。主な手法として、テラヘルツ時間領域分光法、化学発光測定、FT-IR 測定、示差走査熱量測定、複素誘電特性測定、インデンターモデュラスによる表面硬度測定、引張破断伸び測定等を用

いた。その結果、各材料の劣化挙動や劣化機構を明らかにすることができ、電気ペネについても、種々の高温・高圧蒸気環境下にさらされた後の、電気的特性や気密性に関する重要な知見を得ることが出来た。「③需要側（電気鉄道車両）のピーク電力カット・省エネルギー化」については、直流電気鉄道において、電源系統から見た負荷である直流き電系統のピークカットと省エネルギー化に寄与する、回生ブレーキエネルギーを有効利用するための、電気車の回生制御系の設計指針を与える、同制御系の安定性を明らかとした。また、個々の負荷である車両のピーク電力カットの一手法として、燃料電池・蓄電池ハイブリッド車を対象として、燃料電池のピーク電力を抑えるための蓄電池の充放電制御法についてその一手法を明らかとした。これらは、一般的な電源と需要家における関係にも演繹できるパワー・エネルギーの手法である。「④太陽光発電システムの運用最適化に関する研究」では、昨年度に引き続き、再生可能エネルギーの災害対応に焦点を当て、分散設置の複数の蓄電池併設型太陽光発電（PV）システムの統合制御に関する検討を行った。具体的には、通信基地局へのPVシステム導入を視野に入れ、電力逼迫時のデマンドレスポンスにも対応可能な制御アルゴリズムの開発を行った。経済性、環境性、耐災害性の3つの視点で開発アルゴリズムの年間シミュレーションを実測データに基づき行い、PV発電量や負荷量の予測誤差の影響評価と合わせて、開発制御法の実用性を検証した。「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研究および再生可能エネルギー大量導入時代の電力系統の運用・制御に関する研究を、NEDO技術開発総合機構の委託事業として進めてきた。本年度は風力発電、太陽光発電、及び電力需要の予測誤差や短期的変動を吸収するために電力系統で保持すべき運転予備力について、高頻度で計測する発電量・需要量データにより最適化を行うアルゴリズムの検討を進め、北海道エリアにおけるケーススタディによりその有効性を明らかにした。また、スマートインバータと呼ばれる電力系統支援機能を有するパワーコンディショナーが家庭用太陽光発電、家庭用蓄電池に搭載された系統において、各家庭がアグリゲータとの取引により得られる利益を最大化することを目的として、前日の計画と当日の制御を組合せる手法について、配電系統レベルでのシミュレーションにより実行性を検証した。

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）
若尾 真治（先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授）
近藤 圭一郎（先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授）
岩本 伸一（理工総研 名誉研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

・ Ziyang Liu, Yu Miyazaki, Naoshi Hirai, Yoshimichi Ohki, “Comparison of the Effects of Heat and Gamma Irradiation on the Degradation of Cross-Linked Polyethylene”, IEEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 15, pp. 24-29, 2020.1

- ・ Takuya Kaneko, Seitaro Ito, Takefumi Minakawa, Naoshi Hirai, Yoshimichi Ohki, “Degradation Mechanisms of Silicone Rubber under Different Aging Conditions”, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 168, 108936, 2019.10
- ・ Keigo Mori, Tomofumi Seki, Naoshi Hirai, Yoshimichi Ohki, “Terahertz Absorption Spectra of Several Polymer Nanocomposites Indicating Polymer-filler Interactions”, *AIP Advances*, Vol. 9, pp. 105109-1-4, 2019.10
- ・ Takaaki Ogishima, Chiaki Kuroda, Naoshi Hirai, Yoshimichi Ohki, “Broadband FIR absorption spectra of low-density polyethylene sheets containing six different antioxidants and estimation of their contents by chemometric analysis”, *High Voltage*, Vol. 4, No. 3, pp. 161-166, 2019.8
- ・ Van Tu Dao, Hideo Ishii, Yuji Takenobu, Shinya Yoshizawa, Yasuhiro Hayashi, “Home Energy Management Systems under Effects of Solar-Battery Smart Inverter Functions”, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, pp.1-12, 2020
- ・ Van Tu Dao, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi, “Intensive Quadratic Programming Approach for Home Energy Management Systems with Power Utility Requirements”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol.115, 2020
- ・ Aki Kikuchi, Masakazu Ito, Yasuhiro Hayashi, “Scheduling method of wind power generation for electricity market using state-of-charge transition and forecast error”, *Journal of International Council on Electrical Engineering*, Vol. 9, Issue. 1, pp.123-132, 2020
- ・ Thi Nguyet Hanh, Nguyen, Kuniaki Yabe, Masakazu Ito, Van Tu Dao, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi, "Spinning Reserve Quantification considering confidence levels of Forecast in systems with High Wind and Solar Power Penetration", *IEEE Transactions of Electrical and Electronic Engineering* Vol. 14, pp.1304-1313, 2019
- ・ Aki Kikuchi, Masakazu Ito, Yasuhiro Hayashi, “Bid Determination Method for an Electricity Market with State-of-Charge Maintenance of a Compressed Air Energy Storage System Using the Prediction Interval of Wind Power Output”, *Atlantis Highlights in Engineering*, Vol. 4 (13th International Renewable Energy Storage Conference, IRES2019), pp.176-182, 2019,
- ・ Van Tu Dao, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi, "Double-layer optimization of home energy management systems with volt-watt functions", *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.14, No. 5 pp.1-11, 2019
- ・ Hiroyasu Kobayashi, Natsuki Kawagoe, Keiichiro Kondo, Tetsuya Iwasaki, Akihiro Tsumura “Method to Design Control System of Traction Inverter of DC-electrified Railway Vehicle for an Increase in Regenerative Brake Power”(Selected and English Translation Paper of *IEEE Trans. IA*), *IEEEJ, Journal of Industry Applications*, vol.9, No.1, pp92.-101(Translated from *IEEEJ Transaction on Industry Applications*, Vol. No.1 pp.30-39)
- ・ 小川賢一, 近藤 圭一郎「燃料電池ーリチウムイオン二次電池ハイブリッド鉄道車両の燃料電池・蓄電池容量設計法」*電気学会論文誌 D*, Vol. 139, No. 5, pp.472-479, 2019.5

4.2 総説・著書

特になし。

4.3 講演

- (1) 講演:「Frequency Problems for Large-scale Renewable Energy Introduction in Japan」6月、早稲田大学
- (2) 講演:「Renewable Energy Penetration in Japan before and after Fukushima Nuclear Accident」11月、海南大学(中国)
- (3) 講演:「日本での再生可能エネルギーと最近の出来事」11月、早稲田大学
- (4) 講演:「Historical Progress in Japanese Deregulation」12月、早稲田大学

4.4 受賞・表彰

受賞者:

大木義路、2019年度大隈学術記念賞、
大木義路、林 泰弘、2019年早稲田大学リサーチアワード
林 泰弘、平成31年度 文部科学大臣表彰（科学技術分野、研究部門）

4.5 学会および社会的活動

- ・ Naoshi Hirai, Takuya Kaneko, Seitaro Ito, Takefumi Minakawa, Yoshimichi Ohki, “Degradation in Mechanical and Dielectric properties of Silicone Rubber under Severe Aging Conditions”, 2019 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2B-5, pp. 131-134, Richland, USA, 2019.10
- ・ Hiroyuki Ishii, Hikaru Yamaguchi, Keigo Mori, Naoshi Hirai, Yoshimichi Ohki, “Degradation in Dielectric Behavior of Soft Epoxy Resin by Concurrent Aging with Heat and Radiation”, 2019 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1-2, pp. 18-21, Richland, USA, 2019.10
- ・ Yoshimichi Ohki and Naoshi Hirai, “Spatial Resolution of a Cable Fault Location Attempt by Frequency Domain Reflectometry”, Proceedings of the 19th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, pp. 845-851, 2019.8
- ・ Yoshimichi Ohki, Daichi Fujishima, Marika Okamoto, Naoshi Hirai, “Origins of Chemiluminescence in Polymeric Insulating Materials”, 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment, 1-1-4, pp. 12-16, Guangzhou, China, 2019.4
- ・ Akito Kawanobe, Shinji Wakao, Tomoya Taima, Norihiro Kanno, Hiroyuki Mabuchi, Prediction of representative waveform of surplus PV power based on cluster analysis of power demand and PV output, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Jun. 2019, Chicago
- ・ Mako Katuragawa, Shinji Wakao, Confidence interval estimation of apparent residential load with PV system based on Just-In-Time modeling, 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Jun. 2019, Chicago

・ Yu Yanagiya, Kohei Murakami, Shinya Yoshizawa, Hideo Ishii, Yasuhiro Hayashi, "Voltage Control Performance Evaluation of Advanced Inverter Function for Photovoltaic Integration in Distribution", The International Conference on Electrical Engineering (ICEE) Conference, July 2019

5. 研究活動の課題と展望

これまでの活動によって、東日本大震災後の諸課題に対して一定の貢献できる研究成果を複数創出できた。しかしながら、脱炭素化をはじめとする環境問題への対応や、レジリエンス確保などの社会課題については、多くの課題が残されており、本プロジェクトで扱ってきた再生可能エネルギー大量導入時の電力系統問題、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は引き続き重要なテーマである。幅の広い総合的な研究アプローチを今後も展開し、世界共通の課題であ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。