

井村 順一

東京工業大学工学院
教授

太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築

§ 1. 研究成果の概要

本年度は、これまで実施してきた、本プロジェクト研究の大きな 2 つの柱である「PV発電予測を活用した調和型電力系統制御」と「系統運用層・中間層・ユーザーから成る電力システム構造設計」を軸に、連携研究を見据えた個別の基礎理論・技術に関する研究 30 テーマと、ユニット内およびユニット間での連携研究 12 テーマ、総計 42 テーマの研究を加速した。その結果、本年度の研究成果は、論文誌 41/107 編(本年度件数/累積件数、採択された論文を含む)、査読付き国際会議論文 47/157 編であった。特に注目すべきは、論文誌 41 編のうち、41%に相当する 17編(国際連携 8 編、グループ間連携 6 編、チーム間連携4編)、査読付き国際会議論文 47 編のうち、34%に相当する 16 編(国際連携 6 編、グループ間連携 8 件、チーム間連携 2 件)が連携研究となった。また、本プロジェクト研究全体をシステム理論として総括する一つの手段として、一連の研究成果をまとめた書籍「太陽光発電のスマート基幹電源化」を出版した。

連携研究の要となる電力コラボレーションルームも、様々なシミュレータおよび各種データを更新・改善し、また、OASIS 公開をはじめ、一部のデータを公開できるようにシステム開発を行い、公開した。

企業を巻き込んだ研究会(HARPS コンソーシアム:HARPCON)は、本年度までで計 6 回(設立準備会含む。本年度 1 回)実施し、社会実装の具体化を見据えた研究として、さらに、国際連携では引き続き、9 つの国際チームとの共同研究を実施し、研究者派遣や数多くの打ち合わせ等を実施し、本年度までに通算 18 編の国際論文誌、15 編の査読付き国際会議論文(採録含)など研究成果が順次得られてきている。

各ユニットの研究実施内容を表1にまとめる。

ユニット	研究実施内容
予測 U	<ul style="list-style-type: none"> ・日本エリア全体での日射量予測の大外れ事例の分析 ・衛星推定日射量を用いた日射量予測の面的評価 ・気象衛星を用いた高空間分解能PV出力推定技術の開発 ・複数の区間予測手法の比較分析
需給 U	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット内連携: 予見制御 LFC 評価のための標準周波数解析モデルの改良 (児島 G&益田 G) ・ユニット間連携: 需給運用における蓄電池システム・PV 出力抑制を考慮した当日運用プログラムの開発 (送配電 U)
需要家 U	<ul style="list-style-type: none"> ・前日スポット市場におけるアグリゲータの最適戦略、蓄電池充放電計画、および当日の予測誤差を許容する運用手法に関するシミュレーションによる連携研究を実施した。 ・大規模シミュレーション用の東日本市区町村レベルでの予測値を含む PV 発電、住宅負荷データセットを作成した。
送配電 U	<ul style="list-style-type: none"> ・ユニット内では平常時や事故時、計画外対応時を想定し、送配電系統における連携研究を実施 ・ユニット間では需給 U と連携として、EAST30 機系統モデルを対象として、変圧器や調相設備容量の制約を考慮可能な最適潮流計算を開発
基盤 U	<ul style="list-style-type: none"> ・物理系・情報系が混在する電力ネットワークの同時制御・最適化 ・縦の中間層を持つ階層化分散制御系の系統的設計法を電力ネットワークに応用 ・電力系統運用・市場モデルの数値シミュレーションによる中間層評価 ・電力系統の階層的モデルを用いた消散性に基づく安定性解析

表1 各ユニットの研究実施内容

【代表的な原著論文】

1. Takayuki Ishizaki, Aranya Chakraborty, Jun-ichi Imura, "Graph-Theoretic Analysis of Power Systems," Proceedings of the IEEE, Vol.106, Issue 5, pp.931-952, May 2018
2. Tomonori Sadamoto, Aranya Chakraborty, Takayuki Ishizaki, Jun-ichi Imura, "Retrofit Control of Wind-Integrated Power Systems," IEEE Transactions on Power Systems, Vol.33, Issue 3, pp. 2804-2815, May 2018
3. Kazuhiro Sato, Shun-ichi Azuma, "Secure Real-time Control Through Fog Computation," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.15, Issue 2, pp.1017-1026, Feb 2019

§ 2. 研究実施体制

(1)「東工大・井村」グループ

- ① 研究代表者:井村 順一 (東京工業大学工学院 教授)
- ② 研究項目
 - ・市場と需要集約・融通を統合した中間層設計の理論拡張(基盤理論ユニット)
 - ・計画外対応のための区分予測を用いた最適負荷配分の理論拡張(需要家制御ユニット)
 - ・クラスター分散設計を可能とするレトロフィット制御の理論拡張(需給制御ユニット)

(2)「京大・東」グループ

- ① 主たる共同研究者:東 俊一 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・予測ガバナの応用(PV 予測ユニット)
 - ・需要家集合の解析と設計(需要家制御ユニット)
 - ・モデル予測型需要制御手法の開発(主たる共同研究グループ(小林)、需要家制御ユニット)
 - ・需要供給家の分散制御法の開発(主たる共同研究グループ(櫻間)、需要家制御ユニット)

(3)「東京理科大・植田」グループ

- ① 主たる共同研究者:植田 譲 (東京理科大学工学部 准教授)
- ② 研究項目
 - ・アグリゲータにおける託送料を考慮した計画値作成と予測誤差を考慮した個別需要家への蓄電量配分および当日蓄電池運転アルゴリズムの検討(需要家制御ユニット)
 - ・調整力の創出に向けた翌日計画手法の検討(需要家制御ユニット)
 - ・PV 発電・需要データ整備(需要家制御ユニット)

(4)「産総研・大関」グループ

- ① 主たる共同研究者:大関 崇 (産業技術総合研究所太陽光発電研究センター 研究チーム長)
- ② 研究項目
 - ・PV 発電予測技術の高精度化(PV 予測ユニット)
 - ・複数予測の統合予測技術の開発(PV 予測ユニット)
 - ・区間予測/外れ値解析技術の開発(PV 予測ユニット)

(5)「京大・太田」グループ

- ① 主たる共同研究者:太田 快人 (京都大学大学院情報学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・送配電系の電圧・周波数制御と発電量変動への対応(主たる共同研究グループ(服部)、送配電制御ユニット)

- ・予測外れの影響の定量的評価に基づく需給制御(需給制御ユニット、送配電制御ユニットと連携)
- ・パワーエレクトロニクス装置の制御方法(平成 29 年度実施国際共同研究での招へい者と連携)

(6)「首都大東京・児島」グループ

- ① 主たる共同研究者:児島 晃 (首都大学東京大学院システムデザイン研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・外乱除去性能を考慮した予測制御論の開発とその LFC 制御への適用(需給制御ユニット)
 - ・外気温予測を考慮した電線温度モデルの整備とその EDC、EDC 修正運用法への展開(需給制御ユニット、送配電制御ユニット)
 - ・事故復旧時など異なる動特性に対処する制御手法の開発(送配電制御ユニット)

(7)「大阪大・杉原」グループ

- ① 主たる共同研究者:杉原 英治 (大阪大学大学院工学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・地域供給系統における予測大外れを考慮した送電線過負荷リスクの評価(送配電制御ユニット)
 - ・送配電系統における PV 大量導入時の電圧制御手法(送配電制御ユニット、需給制御ユニット)

(8)「阪大・鈴木」グループ

- ① 主たる共同研究者:鈴木 秀幸 (大阪大学大学院情報科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・電力系統の階層的モデル構築(基盤理論ユニット)
 - ・太陽光発電量の時系列予測手法の構築(PV 予測ユニット)

(9)「広大・造賀」グループ

- ① 主たる共同研究者:造賀 芳文 (広島大学大学院工学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・同期化力インバータ機能の拡張と実証(送配電制御ユニット)
 - ・柔軟な系統運用のための電圧制御方策の拡張についての検討(送配電制御ユニット)

(10)「東大・津村」グループ

- ① 主たる共同研究者:津村 幸治 (東京大学大学院情報理工学系研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・系統／市場調和型階層化分散制御理論の構築と設計手法の開発(基盤理論ユニット)
 - ・リスク軽減・レジリエンス強化と負担配分の関係解明(基盤理論ユニット)

・情報秘匿性と分散最適化(基盤理論ユニット)

(11)「名城大・益田」グループ

① 主たる共同研究者:益田 泰輔 (名城大学理工学部 准教授)

② 研究項目

- ・連系系統における蓄電池・従来電源の協調運用における送電ネットワークを考慮した需給バランス維持および経済負荷配分手法の検討(需給制御ユニット、送配電制御ユニット、PV予測ユニット)
- ・連系系統における予測利用型周波数解析モデルを用いた短時間予測に基づく周波数変動抑制効果の評価(需給制御ユニット、PV予測ユニット)

(12)「東京理科大・山口」グループ

① 主たる共同研究者:山口 順之 (東京理科大学工学部 講師)

② 研究項目

- ・電力コラボレーションルームの本格活用
- ・調和型アグリゲータが過渡安定度に及ぼす影響の評価(需給制御ユニット)
- ・調整力市場モデルを用いた中間層評価(基盤理論ユニット)