

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360112

研究課題名（和文） 情報融合形ユビキタスパワーネットワーク実現のための理論構築

研究課題名（英文） Theory Construction of Information-oriented Ubiquitous Power Network

研究代表者

横山 明彦 (YOKOYAMA AKIHIKO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：30174866

研究成果の概要（和文）：ヒートポンプ機器と電気自動車を集約し、電力システムの需給制御やマイクログリッドの短周期変動補償に活用する、情報融合型ユビキタスパワーネットワークの理論構築を行った。電力システムの運用・制御を模擬した数値シミュレーション、ヒートポンプ機器・電気自動車の機器試験、通信系を含んだ試験により、機器特性・通信特性を考慮した制御手法を設計し、その効果を検証した。

研究成果の概要（英文）：A theory of Ubiquitous Power Network was proposed. Heat pump devices and electric vehicles are aggregated and integrated into supply and demand control of the power system and short period fluctuation suppression control of the microgrid. The integrated control schemes were established through numerical simulations assuming the power system operation and control, fundamental experiments by use of actual heat pump devices and electric vehicle, and integration test considering communication characteristics. And effectiveness of the proposed control schemes was verified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電力系統工学

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策と化石燃料ピークアウトに応じた省エネルギーは喫緊の課題であり、電力エネルギー分野の対応策の一つとしてスマートグリッドが期待されている。ヨーロッパでは、高密度メッシュ状のパワープールとしての電力システムに風力・太陽光発電を地域局在的に大量導入する際の系統運用・信頼性維持が課題となり、米国では、脆弱な電力インフラの増強はもちろんのこと、発送電インフラの不足を需要のスマート化

で補う観点でのスマートメーター、スマートハウス、電気自動車の活用などが強調されている。

日本では、電力会社毎、電力会社間に張り巡らされた情報通信ネットワークを介した電力システム運用・制御体系の上に、CO2削減に向けた再生可能エネルギーの活用推進のため、狭い国土に密集している膨大な数の家庭や工場等の需要家末端に太陽光発電が大量導入される特徴がある。また、気象条件次第で出力が変動しやすい再生可能エ

エネルギーの欠点を補うべく、需要家側の省エネルギー機器であることに加えて制御可能なエネルギー貯蔵機器の側面を持つヒートポンプ機器や蓄電池を搭載する電気自動車も大量導入される背景がある。

2. 研究の目的

本研究では、需要家端まで双方向情報通信ネットワークを拡張し、機器ニーズや利用者の利便性を確保しながら制御可能機器を積極的に活用することで、電力システム全体の経済性・運用性・信頼性・電力品質等の指標を両立する、すなわち、全体最適化を追求する、情報融合形ユビキタスパワーネットワークの理論構築を行うことを目的とする。再生可能エネルギーの電力システム運用・制御体系との協調、需要家端までの双方向情報通信の設計、エネルギー貯蔵機器の使いこなし、という観点で、スマートグリッドの基盤技術となりうる学術的で普遍的な理論構築をねらいとする。

3. 研究の方法

需要家側のエネルギー貯蔵機器の利用者利便性、機器特性、通信仕様などを考慮したモデリング・制御手法について検討し、電力システムの需給制御手法との協調や、全体最適の効果を示す数値シミュレーションを実施する。多数台に対する現実的な制御・通信構成として、多数台のエネルギー貯蔵機器を集約する配電用変電所レベルでのローカルコントロールセンターを想定し、電力システムの中央給電指令所や各エネルギー貯蔵機器との間での情報授受や通信負担などに関する仕様を明らかにする。ヒートポンプ・電気自動車には、機器特性や制御・通信インターフェースに関する特徴があるため、個別機器試験による実機特性の知見を反映した制御手法を設計し、通信を含んだ総合的な試験を実施する。

4. 研究成果

本研究では情報融合形ユビキタスパワーネットワークに関する以下のような研究成果が得られた。国内外論文への積極的な成果発表を通じて、スマートグリッドの基盤的、学術的な理論を構築することができた。

(1) 多数台のヒートポンプ給湯機の統計的モデリングやグループ運用手法を提案し、利用者利便性と電力システム運用にとっての制御確実性を両立させる制御手法を確立した。電力システムの周波数制御・経済負荷配分制御との協調や全体最適への効果を数値シミュレーションにより確認した。制御可能時間が比較的確保できる電気自動車については、電力システムへの貢献と充電状態

管理を同時実現する多数台制御手法を提案するとともに、ヒートポンプとの特徴の違いを考慮した協調制御手法を確立した。

(2) ローカルコントロールセンターと多数台のヒートポンプ給湯機・電気自動車群の間の情報通信仕様を想定した、配電用フィーダにおけるケーススタディと、TCP/IPによる通信制御試験により、情報通信の仕様が制御効果に与える影響を考察した。

(3) 空調用・給湯用ヒートポンプには、熱系・機械系の特性があるため、制御応答への影響が懸念される短周期変動抑制についての機器試験を重ねることで、実機特性の把握を行った。その上で、短周期変動抑制が要求されるマイクログリッドの統合制御手法を設計し、計測・制御・通信系の特性を反映した総合的な制御試験により、制御手法の有効性を確認した。

(4) 電気自動車実車を対象としたシームレスな充放電が可能な制御・通信インターフェースを構成し、利用者の充電要求に配慮しつつ、電力システムの瞬動予備力・周波数制御に自律的に貢献し、(1)の制御手法を同時実行できる制御手法を設計した。そして、電気自動車・充電インフラシステムへ実装することにより、制御・通信性能を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- (1) 益田泰輔, 井上孝弘, 横山明彦, 負荷周波数制御と経済負荷配分のための多数台のヒートポンプ給湯機の運転計画作成手法, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 133, No. 4, 2013, pp. 302-312, 10.1541/ieejpes.133.302
- (2) 河内駿介, 馬場旬平, 古川慧, 下田英介, 業務用空調機消費電力制御による短周期電力変動補償のマイクログリッドにおける実証試験, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 133, No. 4, 2013, pp. 358-361, 10.1541/ieejpes.133.358
- (3) T. Masuta and A. Yokoyama, Supplementary Load Frequency Control by use of a Number of Both Electric Vehicles and Heat Pump Water Heaters, IEEE Transactions on Smart Grid, 査読有, Vol. 3, Issue. 3, 2012, pp. 1253-1262, 10.1109/TSG.2012.2194746
- (4) S. Kawachi, H. Hagiwara, J. Baba, K. Furukawa, E. Shimoda, and S. Numata, Feasibility Study on Short Period

- Power Fluctuation Compensation Using Heat Pump Air Conditioning System, Journal of International Council on Electrical Engineering, 査読有, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 139-145, 10. 5370/JICEE. 2012. 2. 2. 139
- (5) 益田泰輔, 清水浩一郎, 横山明彦, 大量の再生可能エネルギーが導入された電力系統における多数台のヒートポンプ給湯機と電気自動車を利用した負荷周波数制御, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 132, No. 1, 2012, pp. 22-33, 10. 1541/ieejpes. 132. 23
- (6) 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦, 系統周波数変動抑制のための電気自動車群の利用者利便性を考慮した SOC 同期制御手法, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 132, No. 1, 2012, pp. 57-64, 10. 1541/ieejpes. 132. 57
- (7) 河内駿介, 萩原裕人, 馬場旬平, 古川慧, 下田英介, 沼田茂生, 空調用ヒートポンプを用いた短周期電力変動補償に関する実機検討, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 132, No. 1, 2012, pp. 77-85, 10. 1541/ieejpes. 132. 77
- (8) Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, J. Baba, and A. Yokoyama, Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) Satisfying Scheduled Charging, IEEE Transactions on Smart Grid, 査読有, Vol. 3, Issue. 1, 2012, pp. 559-564, 10. 1109/TSG. 2011. 2167993
- (9) Y. Ota, H. Taniguchi, T. Nakajima, K. M. Liyanage, K. Shimizu, T. Masuta, J. Baba, and A. Yokoyama, Autonomous Distributed Vehicle-to-Grid for Ubiquitous Power Grid and its Effect as a Spinning Reserve, Journal of International Council on Electrical Engineering, 査読有, Vol. 1, No. 2, 2011, pp. 214-221, 10. 5370/JICEE. 2011. 1. 2. 214
- (10) K. M. Liyanage, T. Masuta, K. Shimizu, H. Kihara, A. Yokoyama, Y. Ota, T. Nakajima, and H. Taniguchi, Performance Analysis of Ubiquitous Power Systems under Coordinated Control of System Elements, Journal of International Council on Electrical Engineering, 査読有, Vol. 1, No. 1, 2011, pp. 67-73, 10. 5370/JICEE. 2011. 1. 1. 067
- (11) 太田豊, 谷口治人, 中島達人, K. M. Liyanage, 清水浩一郎, 益田泰輔, 馬場旬平, 横山明彦, ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果, 電気学会論文誌 B, 査読有, Vol. 131, No. 1, 2011, pp. 94-100, 10. 1541/ieejpes. 131. 94
- [学会発表] (計 36 件)
- (1) 河内駿介, 電力変動補償時のエネルギー貯蔵装置充電量制御のパラメータ決定に関する周波数領域上での考察, 電気学会全国大会, 2013/3/20-23, 名古屋大学, 愛知県
- (2) Y. Ota, Implementation of Load Frequency Control Scheme to Electric Vehicle and Supply Equipment System, IEEJ P&ES - IEEE PES Thailand Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, 6 Mar. 2013, Bangkok, Thailand
- (3) S. Kawachi, Thermal Comfort Analysis during Power Fluctuation Compensation by Use of Air-Conditioning System, IEEE PES ISGT Europe, 14-17 Oct. 2012, Berlin, Germany
- (4) Y. Ota, Implementation of Grid-Friendly Charging Scheme to Electric Vehicle Off-Board Charger for V2G, IEEE PES ISGT Europe, 14-17 Oct. 2012, Berlin, Germany
- (5) 井上孝弘, 多数台のヒートポンプ給湯機の最適運転計画による余剰電力問題への貢献に関する検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2012/9/12-14, 北海道大学, 北海道
- (6) 太田豊, 電気自動車/充電インフラの V2G (Vehicle-to-Grid) テストシステムの構築, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2012/9/12-14, 北海道大学, 北海道
- (7) S. Kawachi, Experimental Verification of Power Fluctuation Compensation in Microgrid by Use of Heat Pump Air Conditioning System, International Power Electronics and Motion Control Conference, 4-9 Sep. 2012, Novi Sad, Serbia
- (8) 太田豊, スマート充電・V2G 制御手法の電気自動車/充電インフラへの実装, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2012/8/6-8, 東京大学, 東京都
- (9) 井上孝弘, 周波数調整容量を考慮したタブサーチによるヒートポンプ給湯機の群制御手法に関する検討, 電気学会全国大会, 2012/3/21-23, 広島工業大学, 広島県
- (10) 河内駿介, 空調用ヒートポンプを可制御負荷として用いたマイクログリッドの連系点潮流指令値追従制御の実証試験, 電気学会全国大会, 2012/3/21-23, 広島工業大学, 広島県

- (11) 萩原裕人, 可制御負荷として用いた空調用ヒートポンプ消費電力の指令値追従性および熱処理量変化の実験的検証, 電気学会全国大会, 2012/3/21-23, 広島工業大学, 広島県
- (12) 益田泰輔, 多数台のヒートポンプ給湯機を利用した二階層制御システムにおける系統周波数制御手法の検討, 電気学会電力系統技術研究会, 2012/1/27, 名城大学, 愛知県
- (13) 井上孝弘, 経済負荷配分制御のためのタブサーチを用いた多数台のヒートポンプ給湯機の群制御手法に関する検討, 電気学会電力系統技術研究会, 2012/1/27, 名城大学, 愛知県
- (14) 太田豊, 系統周波数制御のための電気自動車群のスマート充電・V2G (Vehicle-to-Grid) の組み合わせ制御手法, 電気学会電力系統技術研究会, 2012/1/27, 名城大学, 愛知県
- (15) 益田泰輔, 多数台のヒートポンプ給湯機と電気自動車を利用した負荷周波数制御手法の定量的評価, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2011/9/30, 常翔学園大阪センター, 大阪府
- (16) 井上孝弘, 大量の再生可能エネルギー電源が導入された電力系統の経済運用のための多数台のヒートポンプ給湯機の群制御手法の基礎的検討, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2011/9/30, 常翔学園大阪センター, 大阪府
- (17) 井上孝弘, 再生可能エネルギー電源が大量導入された電力系統における多数台の可制御ヒートポンプ給湯機の需給制御への適用に関する検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2011/8/30-9/1, 福井大学, 福井県
- (18) 太田豊, V2G (Vehicle-to-Grid) の電気自動車用充電器への実装についての基礎的検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2011/8/30-9/1, 福井大学, 福井県
- (19) S. Kawachi, Modeling and Simulation of Heat Pump Air Conditioning Unit Intending Energy Capacity Reduction of Energy Storage System in MicroGrid, European Conference on Power Electronics and Applications, 30 Aug. --1 Sep. 2011, Birmingham, United Kingdom
- (20) T. Masuta, A Supplementary Load Frequency Control Method by Use of Heat Pump Water Heaters on Customer Side without Real-Time Information, Power System Computation Conference, 22-26 Aug. 2011, Stockholm, Sweden
- (21) K. M. Liyanage, Impact of Communication over a TCP/IP Network on the Performance of a Coordinated Control Scheme to Reduce Power fluctuation Due to Distributed Renewable Energy Generation, IEEE ICIIS, 16-19 Aug. 2011, Sri Lanka
- (22) T. Masuta, System Frequency Control by use of both Electric Vehicles and Heat Pump Water Heaters in Power System with a Large Penetration of Renewable Energy Sources, International Conference on Electrical Engineering, 10-14 Jul. 2011, Hong Kong, China
- (23) T. Inoue, Demand and Supply Control by use of Heat Pump Water Heaters on Customer Side for Alleviating Surplus Energy Problem Caused by a Large Integration of Photovoltaic Generations, International Conference on Electrical Engineering, 10-14 Jul. 2011, Hong Kong, China
- (24) T. Masuta, Modeling of a Number of Heat Pump Water Heaters as Control Equipment for Load Frequency Control in Power Systems, IEEE PowerTech Conference, 19-23 Jun, 2011, Trondheim, Norway
- (25) H. Hagiwara, Fundamental Study on Controllability of Heat Pump Power Consumption for Fluctuated Power Compensation, International Conference on Clean Electrical Power, 14-16 Jun. 2011, Ischia, Italy
- (26) 益田泰輔, 系統周波数制御のための多数台のヒートポンプ給湯機の群制御手法の基礎的検討, 電気学会全国大会, 2011/3/5, 大阪大学, 大阪府
- (27) 清水浩一郎, 系統周波数制御のための多数台の電気自動車の SOC 同期制御, 電気学会全国大会, 2011/3/5, 大阪大学, 大阪府
- (28) 河内駿介, 可制御負荷としてのヒートポンプの応答速度とエネルギー貯蔵装置の必要容量に関する検討, 電気学会全国大会, 2011/3/5, 大阪大学, 大阪府
- (29) 萩原裕人, 電力変動補償に用いるヒートポンプのモデル化および室温変化の数値計算, 電気学会全国大会, 2011/3/5, 大阪大学, 大阪府
- (30) 太田豊, リチウムイオン電池のモデリングについての基礎的考察, 電気学会全国大会, 2011/3/5, 大阪大学, 大阪

- 府
- (31) 清水浩一郎, 系統周波数制御のための多数台の電気自動車のSOC同期制御, 電気学会電力系統技術研究会, 2011/1/21, 北海道大学, 北海道
- (32) Y. Ota, Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) considering Charging Request and Battery Condition, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, 12 Oct. 2010, Gothenburg, Sweden
- (33) Y. Ota, Impacts of Communication Delay on the Performance of a Control Scheme to Minimize Power Fluctuations Introduced by Renewable Generation under Varying V2G Vehicle Pool Size, IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 4 Oct. 2010, Maryland, USA
- (34) 清水浩一郎, 系統周波数制御のための多数台の電気自動車のモデリング, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2010/9/29, 広島大学, 広島県
- (35) 太田豊, ユビキタスパワーネットワークにおけるプラグアンドプレイ V2G (Vehicle-to-Grid), 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2010/9/28, 広島大学, 広島県
- (36) S. Kawachi, Energy Capacity Reduction of Energy Storage System in Microgrid by Use of Heat Pump-Characteristic Study by Use of Actual Machine-, EPE PEMC, 7 Sep. 2010, Ohrid, Macedonia

[その他]

東京大学先端電力エネルギー・環境技術教育
研究センター (APET) ホームページ:
<http://www.apet.t.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 明彦 (YOKOYAMA AKIHIKO)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
教授
研究者番号: 30174866

(2) 研究分担者

谷口 治人 (TANIGUCHI HARUHITO)
東京大学・大学院工学系研究科・特任教授
研究者番号: 00531849
馬場 旬平 (BABA JUMPEI)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授
研究者番号: 80339118
中島 達人 (NAKAJIMA TATSUHITO)
東京大学・大学院工学系研究科・特任准教

授

研究者番号: 10212086
(H24以降, 連携研究者: 東京電力株式会
社)
リヤナゲ キッシリ (K. M. LIYANAGE)
東京大学・大学院工学系研究科・特任研究
員
研究者番号: 40531851
(H23以降, 連携研究者: ペラデニヤ大学)
太田 豊 (OTA YUTAKA)
東京大学・大学院工学系研究科・特任助教
研究者番号: 50372537