

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：33803

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12394

研究課題名(和文)分散協調電力制御における情報理論と制御理論の統一理論の構築

研究課題名(英文) Toward Theory Integration between Information and Electrical Power Control based on Cooperative Distributed Power Flow Coloring

研究代表者

加藤 丈和 (Kato, Takekazu)

静岡理工科大学・理工学部・准教授

研究者番号：30362859

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本提案は、電力エネルギーの伝送において、電力の送り手と受け手の協調制御によって送り手と受け手を区別して電力を配送するという分散協調電力カラーリングのコンセプトに基づくものである。複数の電源、負荷が混在する電力ネットワークにおいて、変動する電源の発電量に可制御負荷の消費電力を一致させるように同期制御する、あるいは、変動負荷の消費電力に可制御電源の発電量を一致させるように同期制御することで、特定の電源から特定の負荷へ、仮想的に電力を個別配送したものとして扱うアルゴリズムを考案した。

研究成果の概要(英文)：Our project proposes the unique concept of the power flow coloring, by allocating a unique ID to each power flow between a specific power source and a specific power load. It allows us to design versatile power flow patterns between distributed power sources and power loads by taking into consideration energy cost, accessibility and gas emissions. It performs virtual power flow from specific power source to specific power load on the power grid. We implemented e-Power distributor that controls generating and consuming electrical power of sources and loads. And we evaluated our concept by experimental environment including three power sources(PV generator, battery and utility power line) and three power loads (fan, TV and heater).

研究分野：情報通信分野

キーワード：電力フロー 電力カラーリング 分散協調制御

1. 研究開始当初の背景

本提案の目的は、分散協調電力制御システムにおける情報理論と制御理論の統一理論の構築である。電力制御においては、電力ネットワーク上の消費電力と供給電力を一致させることは電力ネットワークの安定維持のための重要である。

本提案は、複数の分散配置された電力制御装置間の協調制御により電力の送り手と受け手を区別して電力配送を行う「分散協調電力カラーリング (図1.)」とよぶ電力配送において、情報理論の観点から電力ネットワークの安定性を維持しつつ電力制御装置間で電力配送が可能な限界を求めるための基礎理論の構築を目的とする。

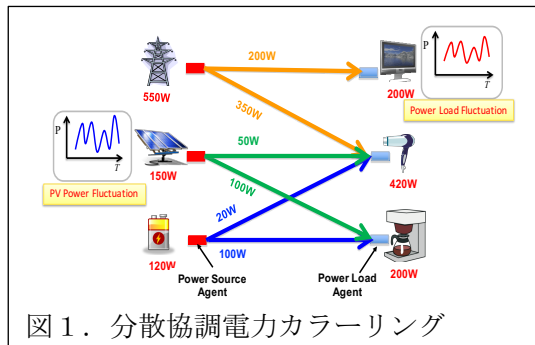


図1. 分散協調電力カラーリング

分散協調電力カラーリングのように情報通信技術を用いて電力制御を行う場合、情報通信技術と電力制御技術が互いに関連して電力ネットワークの安定性に影響を与える。このような状況において情報理論と制御理論を統一したモデル化を行うことで電力配送の理論的限界を定義できると考えられる。従来の電力ネットワーク制御であれば、電力の送り手と受け手の区別はなく、電力ネットワーク全体の大域的な制御モデルと取られるため、電気回路としての複雑なモデルが必要であり、個々の電源や負荷の変動の影響を見積もることが困難であったが、送り手と受け手を区別して協調制御する分散協調電力カラーリングのモデルであれば、基本的に送り手と受け手の一対一の関係であり、それが電力ネットワークに与える影響として問題を簡略化できる。

2. 研究の目的

本提案では、分散協調制御する電力ネットワーク制御において、情報理論と制御理論を統合した新しいモデルを構築することであるが、具体的には以下の2つの項目に関する研究を行う。

- A) 需要家内などの小規模電力ネットワークにおける分散協調電力カラーリングの基礎理論の構築、および、実証実験  
少数の電源、電力消費機器が接続された小規模電力ネットワークでは、電力ネットワークの安定性は電圧の制御によって維持される。このような簡略化された状況で、送り手である電源と受け手が1対1の関係で協調制御を行う場合の基礎理論の構築を行い、実際の電力制御装置を用いて提案理論の検証を行う。
- B) 一般的な電力網への拡張の検討、および検

証

Aで構築した基礎理論を、送り手と受け手がN対Mの場合に拡張するとともに、変動電源、変動負荷が混在する状況に一般化する方法を検討する。

3. 研究の方法

平成28年度には、まず数台の電源や負荷が含まれる小規模の電力ネットワークにおいて、1個の電力の送り手が1個の電力の受け手に電力を伝送する場合における基礎理論の構築を行う。また、実際に協調動作する電力制御装置を用いた実証実験を実施する。

本提案は、電力ネットワーク上に分散配置した電力制御装置の協調動作により、電力の送り手と受け手を区別して電力を配送するという「分散協調電力カラーリング」に基づいた電力伝送を前提としている。

本提案では、このコンセプトに従った電力制御システムにおける情報伝達が電力ネットワークの安定性にどのような影響と与えるかという問題として理論構築を行う。

具体的には、太陽光発電のような変動電源を電力の送り手とし、可制御負荷を電力の受け手としたとき、変動電源の供給電力の情報を受け手に伝えて、受け手である可制御負荷が電源の供給電力に合わせて負荷制御を行う。

このとき、送り手の供給電力と受け手の消費電力が完全に一致していれば、電力ネットワーク上の電圧や他の電源、負荷への影響は(配線上の電力ロスを除いて)ない。このような状況において送り手の電力変動と情報伝達の電力ネットワークへの影響をモデル化する。

また、実際に電力制御装置と協調制御アルゴリズムを適用して電力配送実験を行い、提案手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

ネットワーク制御可能なAC/DC双方向の変換を行うコンバーターと蓄電池を組み合わせた、電力ディストリビュータを開発した(電力ディストリビュータ)。

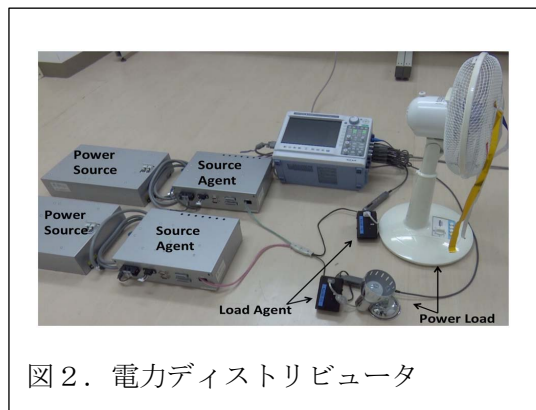


図2. 電力ディストリビュータ

電力ディストリビュータは互いに協調動作することで、仮想的に特定の電源から特定の負荷に電力伝送を行うための装置である。さらに一般の家電にスマートタップと呼ぶ電力計測と簡易電力制御機能を持つ装置を組み合わせた簡易版電力ディストリビュータを開発した。

まず、初年度には電力ディストリビューターによる2台の可制御電源と簡易版電力ディストリビュータで計測制御する2台の家電を電力ネットワークに接続して、家電の負荷変動に合わせて可制御電源の出力をコントロールすることで、仮想的に特定の電源から特定の負荷に電力供給を行うフロー制御を実現した。また、変動電源である太陽光発電を電力ディストリビュータで模擬するように電力制御を行い、簡易版電力ディストリビュータで制御する家電を可制御負荷として使用して、変動電源を含む2台の電源と、2台の可制御負荷に対して、変動電源の出力に同期して負荷制御を行うことで、変動電源から可制御負荷に電力供給を行うフロー制御を実現した。

平成29年度には、前年度におこなったシステムをさらに一般化し、変動電源、可制御電源、変動負荷、可制御負荷が混在している場合における、変動電源-可制御負荷間、可制御電源-変動負荷間、変動電源-変動負荷間、可制御電源-可制御不可間の全ての組み合わせに対して、仮想的に電力伝送を実現するアルゴリズムを考案した。また、電力フローも1対1の関係だけでなく、複数電源からの電力供給や1電源から複数負荷への電力供給など、一般的な電力配送パターンに対応するアルゴリズムを提案した。また実際に3電源(系統電源、太陽電池、蓄電池)と3負荷(テレビ、扇風機、ヒーター)という構成で、仮想的な電力伝送を実現し、提案手法の有効性を示した(図3)。

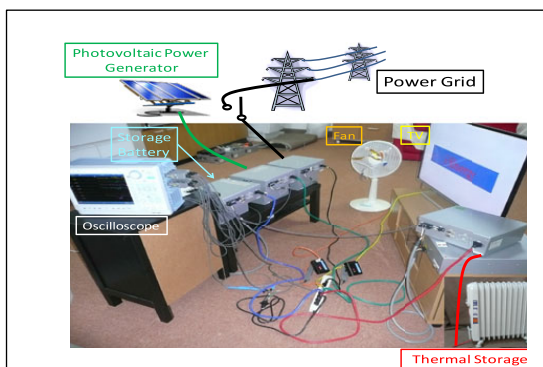


Fig. 6. Physical experiment setup.

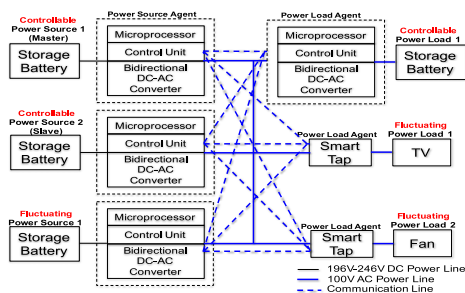


Fig. 7. Experiment setup.

図3. 3電源、3負荷の実験環境

## 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1件)

Saher Javaid, Takekazu Kato, and Takashi Matsuyama: Power Flow Coloring System over a Nano-Grid with Fluctuating Power Sources and Loads, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 13, pp. 3147-3184. doi: 10.1109/TII.2017.2733550, 2017.12.

[学会発表] (計3件)

Saher Javaid, Takekazu Kato: ID-based power flow coloring for power fluctuation management: concept and classification, IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 2017.6.12-14.

Saher Javaid, Takekazu Kato: Real-time power supply and demand mediation algorithm for energy on demand system, IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 2017.6.12-14.

Saher Javaid, Takekazu Kato: Agent-based feedback control for fluctuating power sources and loads: watch TV with PV power, IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 2017.6.12-14.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://i-energy.jp/activityrecords29.html>

研究成果の一部を、エネルギーの情報化

WGと京都大学スマートエネルギーマネジメント研究ユニットが共催するスマートエネルギーマネジメントシンポジウム～革新的なエネルギーマネジメント技術の実現に向けて～において発表した。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 丈和 (KATO, Takekazu)

静岡理工科大学・理工学部・准教授

研究者番号：30362859