

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760359

研究課題名（和文）自律分散型スマートグリッドの解析モデルと機械学習型電力融通システムの開発

研究課題名（英文）An optimization model of autonomous decentralized energy network and energy routing algorithms based on machine learning techniques

## 研究代表者

榊原 一紀（SAKAKIBARA KAZUTOSHI）

立命館大学・情報理工学部・講師

研究者番号：30388110

## 研究成果の概要（和文）：

太陽光発電機や蓄電池，電力消費機器，および電力ルータなどの機器を有する施設（クラスタと呼ぶ）が相互に電力を融通できるような，自律分散型の電力ネットワークを対象とし，数理計画モデルを構築した．そこでは，電力の利用効率を最大とするような電力の融通則を導出した．さらには，蓄電池の劣化抑制を指向した電力融通則を導出することを目的としたモデルを構築し，劣化の抑制と全体効率との関係を明らかにした．

## 研究成果の概要（英文）：

We study a decentralized solar energy network composed of multiple clusters, which correspond households equipped with PV units, rechargeable batteries, electrical appliances, and an electric power router. The routers manage the power transfer over the clusters. A mathematical programming model is formulated for optimizing the design and the utilization of this overall energy network in order to evaluate efficiency and stability of the whole energy network. Through some simulation results, the effectiveness and the potential, e.g. for clarifying the effect of the batteries, of the proposed model are investigated. Moreover, we also develop a mathematical programming model which controls degradation of batteries in the decentralized solar energy networks in order to clarify the relationship between the system efficiency and the degree of degradation control.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：社会システム工学、自律分散システム

## 1. 研究開始当初の背景

近年，発電および送電の形態についての見直しが喫緊の課題として社会全体で議論されており，その一解決策として，電力を消費する需要家が各々で再生可能エネルギーによ

る発電を行い，かつ，これらが電力ネットワークで結ばれることにより，相互に電力を融通できるような自律分散型の発電・消費方式が様々な観点から考案・実証されつつある．本研究では，再生可能エネルギーを地産地消

する自律分散型スマートグリッドの効果的実現の為に必要な諸条件を、種々の最適化モデルを導入、比較することにより明らかにする。具体的には、システムを構成する発電機や蓄電池、コンバータ、あるいは発電・消費電力量予測器などの各種電力機器に求められる仕様を全体最適の立場から明らかにし、要素技術の研究開発における目標設定にフィードバックすることを目的とする。そこで明らかになったシステム特性を踏まえ、電力機器の中でもとくに蓄電池、蓄電池の充放電特性・劣化特性に着目し、機械学習を活用した充放電マネジメント則の開発を目指す。

## 2. 研究の目的

自律分散型の発電・消費方式を実現するために、近年、必要なハードウェア技術が完備されつつある一方で、安定的な需給ネットワークや取引システムに関する検討がほとんどなされていないのが現状である。一方で、センサネットワークの拡充、統計技術を応用した機械学習技術の進展により、太陽光発電(すなわち天候)の長期に渡る高精度の予測が利用可能になりつつあり、これらを援用するシステム開発が重要となる。

システムを構成する発電機や蓄電池、コンバータ、あるいは発電・消費電力量予測器などの各種電力機器に求められる仕様を全体最適の立場から明らかにし、要素技術の研究開発における目標設定にフィードバックすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 将来に渡る発電量・消費量が未知のもとで、電力融通が電力利用効率に与える影響を求めるために、数理計画モデルを作成し、発電量および消費量に関わる定数の、目的関数(融通効率)に対する感度を求めた。

発電・蓄電・電力消費の各装置を要素として最小単位をクラスタと呼ぶ(図1)。クラスタは1家庭あるいは1店舗に相当する。クラスタ間で電力の融通を制御する機器を電力ルータと呼び、各クラスタは電力ルータを持つ。住宅や店舗あるいは工場などの、規模の異なるクラスタが地域内に存在する。地域内でクラスタ同士が電力を融通することで電力ネットワークが構成される。また、各クラスタは他クラスタ以外にも既存の系統電力網から電力供給が得られるものとする(図2)。ここで、蓄電池の容量および太陽光パネルのサイズは、発電・消費パターンや電力融通、送電ロスをもふまえた決定がなされる必要がある。そのためには、ネットワークデザインモデルを構築し、最適ネットワークフローを計算することにより決定可能となると考えられる。

(2) 自律分散型の電力融通ネットワークにおいて重要な要素デバイスである蓄電池に焦点を当て、その劣化特性がネットワークに与える影響と、劣化を抑制する融通方策について最適化モデルにより検討を加えた。これは、蓄電池は一般に高価であり、また蓄電池の充放電則を適切に設定しなければ、蓄電池が急速に劣化特性を示すことが知られていることを前提としている。そこで、各時刻における発電量・需要電力量が既知の下で、蓄電池の劣化特性と密接に関わりのあるサイクル回数に制約を設け、ネットワーク外からの電力流入を最小化するモデルを構築した。

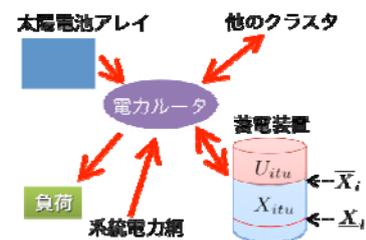


図1: 電力クラスタの構成

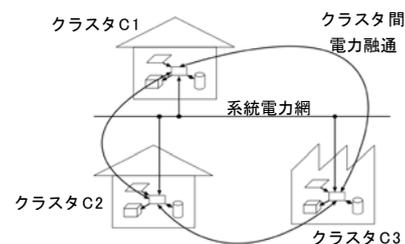


図2: 電力クラスタ・ネットワーク

## 4. 研究成果

(1) 発電量と消費量の予測精度が電力ネットワーク全体(図2)に与える影響を定量的に検証することが可能となった(図3,4)。これにより、電力融通則の設計における予測値の導入について、とくに予測の精度が求められる状況を、電力施設(クラスタ)単位で(図1)、分単位の粒度で示すことが可能となった。これにより、地域内で閉じた発電電力融通のみならず、外部系統電力との売り買いなども表現可能となる。また、国内外で様々な形態が模索されている多様なスマートグリッド形態をシミュレーションし、それらの特長を、感度解析などを通じて数値的に明らかにし、実現可能性を有無・程度を示すことができる。ここで得られた結果は、将来(1週間先)の太陽光発電電力量ならびに需要電力が既知の仮定のもとでの最適制御であり、現実の制御システムの効率の上界を与えている。これらの上界を指標とすることにより、太陽電池、蓄電池の配置や融通方式の適切な設計が可

能になると考えられる。

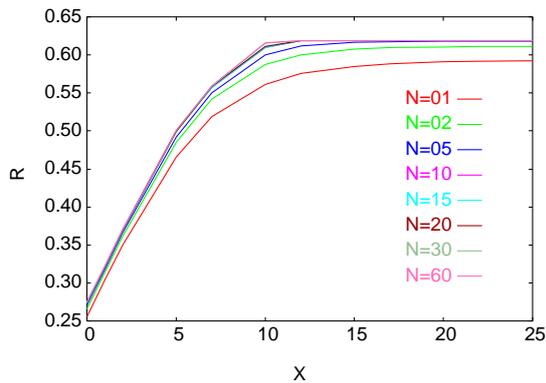


図 3 蓄電池容量と全体効率との関係(縦軸は再生可能エネルギーの有効活用割合を表し、N はネットワーク内に含まれるクラスタの数を表す。N が増えるにつれて、有効活用割合が増大することが分かる。)

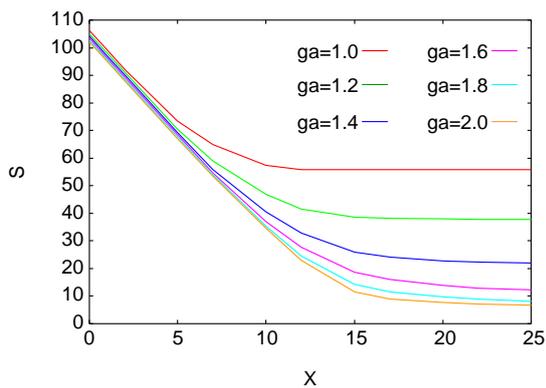


図 4 蓄電池容量と全体効率との関係(縦軸は再生可能エネルギーの有効活用割合を表すし、ga は太陽光発電容量比を表す。ga が増大するにつれて、系統電力への依存度が低くなることが確認される。)

(2) 蓄電池の劣化抑制の方法として、サイクル劣化に着目し、サイクル劣化の抑制がネットワーク全体の効率に与える影響について、その関係を示すことが可能となった(図 5)。

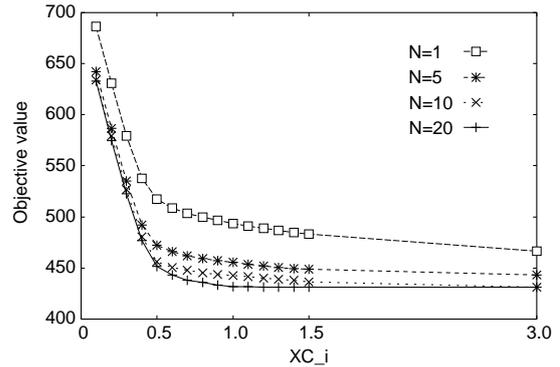


図 5 充放電速度と効率との関係(縦軸は外部電力の依存度を表す。充放電速度が大きくなるにつれて、系統電力への依存度が少なくなることが分かる。一方で、充電速度は蓄電池の劣化に大きく影響を与えることに注意されたい。一方で、同じ充放電速度でも、クラスタ数 N を増やすことにより、系統電力の依存度を低く抑えることが可能になることが分かる。)

## 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 2 件)

(1) 著者名: 加藤 晋也, 谷口 一徹, 榊原一紀, 福井 正博, 論文標題: 分散型電力ネットワークにおける蓄電池劣化抑制を指向した最適電力ルーティング手法, 雑誌名: 電気学会論文誌 C, 査読: 有, 巻: 133, 発行年: 2013, 印刷中

(2) 著者名: Ittetsu Taniguchi, Kazutoshi Sakakibara, Shinya Kato, and Masahiro Fukui, 論文標題: Network Topology and Battery Size Exploration for Decentralized Energy Network with MIP base Power Flow Optimization, 雑誌名: IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 査読: 有, 巻: E96-A No.7, 発行年: 2013, 印刷中

[学会発表] (計 4 件)

(1) 発表者名: 鈴木将義, 榊原一紀, 西川郁子, 発表標題: 太陽光発電の融通最適化モデルに対する効率の解析と感度分析,

学会名等：第 40 回知能システムシンポジウム，

発表年月日：2013 年 03 月 15 日，

発表場所：京都工芸繊維大学，京都府

(2) 発表者名：加藤晋也，西原英，谷口一徹，榊原一紀，福井正博，

発表標題：Analysis on Battery Storage Utilization in Decentralized Solar Energy Networks Based on A Mathematical Programming Model，

学会名等：The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and the 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems，

発表年月日：2012 年 11 月 21 日，

発表場所：神戸コンベンションセンター，兵庫県

(3) 発表者名：加藤晋也，谷口一徹，榊原一紀，福井正博，

発表標題：A Battery Degradation Aware Optimal Power Distribution on Decentralized Energy Network，

学会名等：IEEE International NEWCAS Conference 2012，

発表年月日：2012 年 06 月 21 日，

発表場所：Montreal, Canada

(4) 発表者名：加藤晋也，谷口一徹，榊原一紀，福井正博，

発表標題：自律分散型電力ネットワークにおける蓄電池の劣化抑制を指向した最適電力ルーティング手法，

学会名等：第 56 回システム制御情報学会研究発表講演会，

発表年月日：2012 年 05 月 23 日，

発表場所：京都テルサ，京都府

〔図書〕（計 1 件）

(1) 著者名：榊原一紀，

出版社名：システム制御情報学会，

書名：「電力の地産地消を目指した自律分散型スマートグリッド」システム/制御/情報「社会インフラの設計と運用—数理計画から制度設計まで」特集号，Vol. 56, No. 8，

発行年：2012， ページ：433-441

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榊原 一紀 (SAKAKIBARA KAZUTOSHI)

立命館大学・情報理工学部・講師

研究者番号：30388110