

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420365

研究課題名(和文)分散制御に基づく直接中継型電力パケット伝送ネットワーク

研究課題名(英文)Direct relayed power packet network based on decentralized control

研究代表者

杉山 久佳(SUGIYAMA, Hisayoshi)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20264799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：以下の4項目に関する研究成果を得た。(1)送電容量テーブル作成と更新に関する分散アルゴリズムを設計し、同アルゴリズムに基づく配電ネットワークの動作をシミュレーションによって確認した。(2)分散型電源との親和性や非常時における信頼性などのパルス化配電ネットワークの利点を示すことを目的として、展示用システムを作成した。(3)電力パルス間双方向キャンセルのアルゴリズムを設計し、同アルゴリズムによりネットワーク送電容量が向上することをシミュレーションによって確認した。(4)分散型電源と電力消費者のみからなる局所的配電ネットワークの運用方式を設計し、その動作をシミュレーションによって確認した。

研究成果の概要(英文)：Following four research products are obtained. (1) Decentralized algorithm is designed for the power transmission capacity table construction and refreshing. The performance of the power transmission network with the algorithm is confirmed by simulations. (2) A miniature system of the pulsed power network is constructed to demonstrate the affinity with distributed generations and the reliability in emergencies. (3) An algorithm is designed for mutual cancellations among electric power pulses. The improvement of power transmission capacity with the algorithm is confirmed by simulations. (4) A operational protocol is designed for localized pulsed power network with distributed generations and consumers. The performance of the power network is confirmed by simulations.

研究分野：スマートグリッド

キーワード：スマートグリッド 電力パケット パルス化配電ネットワーク 配電網 分散型電源

1. 研究開始当初の背景

本研究が課題名とする「分散制御に基づく直接中継型電力パケット伝送ネットワーク」は、災害などの非常時における信頼性と柔軟性を有し、かつ送電時に生ずる電力損失の低減を可能とする、新たな原理にもとづく配電ネットワークであり、以下の特長を持つ：(1) 特定の中央局を持たない分散処理にもとづくネットワーク運用による高い信頼性。(2) 太陽光や風力などを用いた分散型電源からの近距離送電の比率を高めることによる、非常時の信頼性と低損失性。(3) 非常時において病院や要介護者が住む住居などの特定ユーザに対するピンポイントに給電を可能とする柔軟性。

これらの特長のうち(1)と(3)は、従来研究である電力パケット伝送[1]を用いても実現可能である。しかし電力パケット伝送は従来の情報パケット伝送と同様の蓄積交換方式を用いるので、送電にともなう中継損失とその累積が無視できない点に問題があった。[1] 井上, 藤井, "パケット電力取引に基づく革新的配電システムの提案," 電気学会論文誌 B, Vol. 131, No. 2, 2011.

2. 研究の目的

分散制御に基づく直接中継型電力パケット伝送ネットワーク(以下、直接中継電力パケット網と呼ぶ)に関して、以下の研究目的を設定した。(1) 情報伝送における同期 QoS 技術に基づく、直接中継型電力パケット伝送方式を確立する。(2) 分散型電源の普及を促進し、これによる近距離送電を主体とする配電網の設計例を示す。(3) 非常時における選択的給電など、受電者を中心とする送電プロトコルを明らかにする。

3. 研究の方法

研究の目的(1)に関しては、送電容量テーブル作成と更新に関する分散アルゴリズムの設計、および電力パルス間双方向キャンセルのアルゴリズムを設計し、同アルゴリズムに基づく配電ネットワークの動作をシミュレーションによって確認する。(2)および(3)に関しては、分散型電源と電力消費者のみからなる局所的配電ネットワークの運用方式を設計し、その動作をシミュレーションによって確認する。これらに加えて、提案する直接中継電力パケット網が局所的な配電網において実際に作動することの検証を目的として、小型の電力網を作成して作動させ、その可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) 送電容量テーブル作成と更新に関する分散アルゴリズムの設計

送電容量テーブルは直接中継電力パケット網運用の基盤となる要素である。各ノードは、同テーブルを常時更新し、これを参照することにより送電経路の予約を行うことが

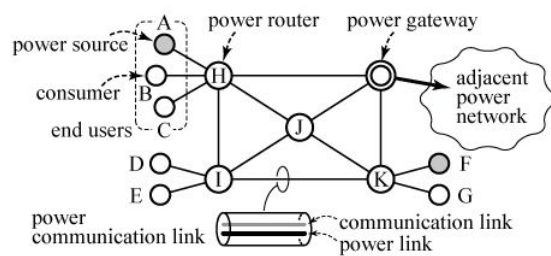


図1 直接中継電力パケット網の例

できる。送電容量テーブルの更新を行う分散制御アルゴリズムの設計を行った。まず図1に直接中継電力パケット網の例を示す。図中の各ノードがしたがう更新アルゴリズムを図2に示す(雑誌論文)。

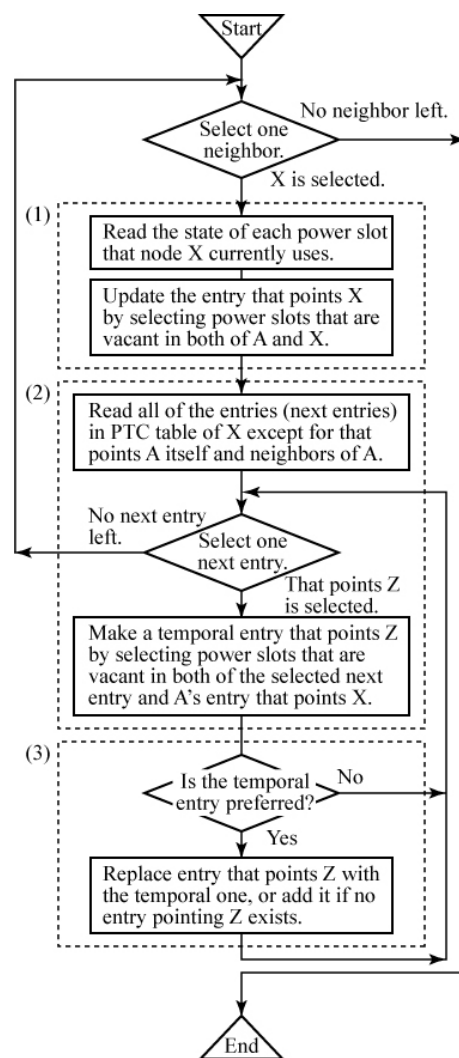


図2 送電容量テーブル更新アルゴリズム

各ノードは、図示のアルゴリズムにしたがって隣接ノードとの情報交換を行い、得られた新たな情報にもとづいて自己の送電容量テーブルの更新を行う。

図2に示す設計アルゴリズムにしたがえば、直接中継電力パケット網が正しく作動することをシミュレーションによって検証し

た。

(2) 電力パルス間双方向キャンセルアルゴリズムの設計

最小単位のネットワークを例にとり，双方向キャンセルの例を図3に示す。

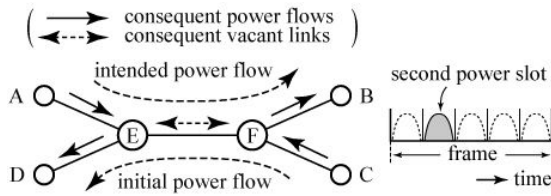


図3 双方向キャンセルの例

同図では，初期パルス流がノードC → F → E → Dにあり，これに対して希望パルス流A → E → F → Bがある場合を示す．このときノードE → F間で双方向キャンセルが可能となり，この結果，実線矢印で示す実パルス流と破線で示す仮想パルス流が発生する．

このような双方向キャンセルを，送電容量テーブルの機能拡張を行うことによって実現する方法を提案した．要点は，双方向キャンセルの可能性のある場合は使用可能スロット表示を とすることである．表示のスロットを使用した送電パス予約は，双方向キャンセル可能かどうかを適宜判断して実行する．表示を含む送電容量テーブルの例を図4に示す．

(E : power slot status of node E; F : that of node F
A : evaluated availability of power slot E → F)

No.	E	F	A	initial flow	condition for available
1	○	○	○	—	—
2	○	×	△	B → F → C	[any] → (E) → (F) → B
3	×	○	△	A → E → D	D → (E) → (F) → [any]
4			△	B → F → C A → E → D	D → (E) → (F) → B
5	×	×	×	E → F	—
6			○	F → E	—

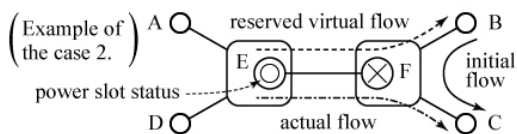


図4 双方向キャンセルを可能にする送電容量テーブル更新方法

(3) 局所的配電ネットワークの運用方式

直接中継電力パケット網は，分散型電源との親和性が高いので，分散型電源のみからなる局所的配電ネットワークの構成が可能である．この局所的ネットワークの運用方式を提案した．提案方式の要点は，ネットワーク内のすべてのノードが持つ余剰電力と電力需要を表示した拡張送電容量テーブルの使用にある．拡張送電容量テーブルの例を図5に示す．

EFT of power plant A

dst	nxt	hop	dist[km]	c/p/r/g	pow[W]
B	F	2	0.18	c	-350
D	F	4	2.10	p	2500
E	F	4	1.65	c	-250
F	F	1	0.07	r	—

図5 拡張送電容量テーブル

図5に示すように，拡張送電容量テーブルではネットワーク内各ノードへの距離と種類，および電力需要量と余剰電力が表示される．各送電者は全受電者の状況から送電先を設定し，送電パスを予約後に送電を開始する．提案方式にもとづく局所的配電ネットワークの動作を図6に示すモデルにもとづいてシミュレーションし，この結果，図7に示すように複数送電者からの特定受電者への同時送電など，意図した送電状況が実現することを確認した．

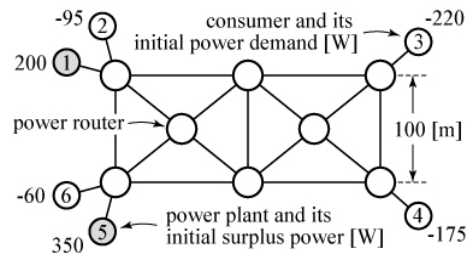


図6 局所的ネットワーク

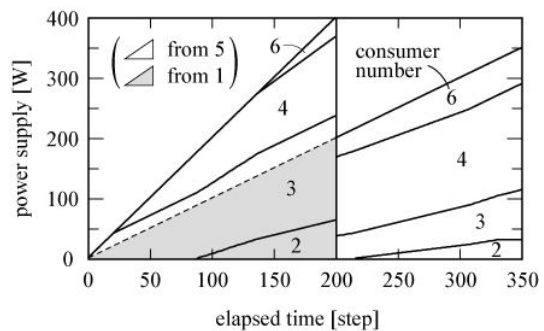


図7 ネットワーク内送電状況

(4) 小型電力網の作成と展示

直接中継電力パケット網の基盤となるパルス化送電の実証を目的として，机上で展示

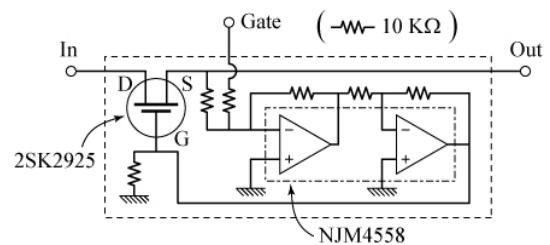


図8 電力ルータ内半導体スイッチ

できる小型電力網を作成し、展示会（Innovation Japan, 東京, 2015年8月）および国際会議（IEEE GCCE2015, 大阪, 2015年10月）においてデモンストレーションを行った。

同展示システムは、火力発電所と太陽光発電所を想定した2基の送電者、一般家庭と病院を想定した2軒の受電者、および4台の電力ルータからなる。電力ルータは Power MOSFET による電力スイッチを複数用いた構成とした。電力スイッチの回路図を図8に示す。

すべての電力ルータはLinuxコンピュータによって制御される。同コンピュータは USB インタフェースと GUI を備え、GUI がシステムを制御するオペレータとのインタフェースとなる。システム本体の様子を図9に示す。

同システムは展示会と学会において高い関心を集め、技術系有力誌「日経エレクトロニクス」で紹介され[2]、また国際会議 IEEE GCCE2015 において Outstanding Demo! Award を受賞した[3]。

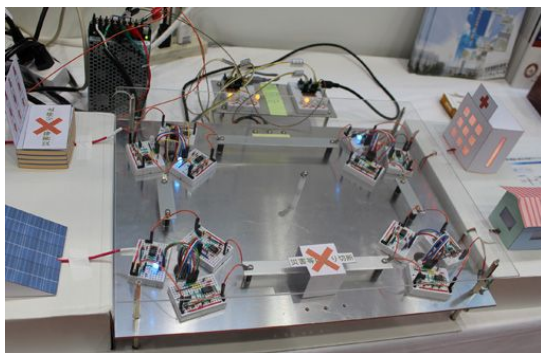


図9 展示システム

[2] 野澤哲生, "電力の送配電技術に革命," 日経エレクトロニクス, 日経 BP 社, Nov. 2015.

[3] N. Nampei, T. Onishi, H. Sugiyama, "Simultaneous Power Transmissions among Specified Sources and Consumers Through Shared Power Lines," IEEE GCCE2015, Osaka, Japan, 2015 (Outstanding Demo! Award).

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)

"Pulsed Power Network Based on Decentralized Intelligence for Reliable and Low Loss Electrical Power Distribution," Hisayoshi Sugiyama, Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research (JAISCR), (招待論文により査読無し) vol. 5, no. 2, pp. 97-108, 2015.

〔学会発表〕(計6件)

"A Protocol for Energy Transmission in Packetized Energy Networks with Source and Consumers," Hisayoshi Sugiyama, IEEE International Conference on Consumer Electronics -Taiwan (ICCE-TW), 査読有り, pp. 291-292, Nantou County, Taiwan, May 28, 2016.

"Mutual Cancellation among Electric Pulse Flows for Advanced Performance of Pulsed Power Network," Hisayoshi Sugiyama, IEEE International Energy Conference (ENERGYCON 2016), Leuven, Belgium, 査読有り, Apr. 8, 2016.

"Simultaneous Power Transmissions Among Specified Sources and Consumers Through Shared Power Lines" N. Nampei, T. Onishi, H. Sugiyama, IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015), (Outstanding Demo! Award 受賞), 査読有り, pp. 384-385, Osaka, Japan, Oct. 29, 2015.

"Pulsed Power Network for Seamless Integration of Power Systems with Distributed Generations," Hisayoshi Sugiyama, 3rd International Symposium on Energy Challenges and Mechanics (ECM3), Aberdeen, Scotland, UK, 査読有り, July 7, 2015.

"Power Distribution Protocol among Power Plants and Consumers in Power Packet Networks," Hisayoshi Sugiyama, IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2014), 査読有り, pp. 662-663, Tokyo, Japan, Oct. 10, 2014.

"Pulsed Power Network Based on Decentralized Intelligence for Reliable and Low Loss Electrical Power Distribution," Hisayoshi Sugiyama, IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), 査読有り, Orlando, Florida, USA, Dec. 8, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山 久佳 (SUGIYAMA Hisayoshi)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20264799