

SiC パワーデバイスを適用した三相電力ルータ装置の実証試験 － 鉄軌道(ニュートラム¹)上の電力線を用いた分散電源系統運用実証実験 －

引原 隆士，京都大学大学院・工学研究科電気工学専攻，教授

高橋 亮， 同上，特定助教

研究代表：

京都大学

共同実施：

大阪市立大学，大阪市，

一般社団法人 SSICA 2.0 (咲洲アジアスマートコミュニティ協議会)

<研究開発の概要>

国立大学法人京都大学は，平成 25 年度より，文部科学省・科学技術振興機構（JST）による支援プログラム「研究成果展開事業（スーパークラスタープログラム）」の委託事業において開発してきた SiC パワーデバイスを適用した「三相電力ルータ」の実証試験を，平成 27 年 9 月に環境省 地球温暖化対策技術開発・実証研究事業（既設熱源・電源を自立分散型エネルギー化し鉄道網を利用した地域融通エネルギーシステムの開発）の一環として大阪市咲洲地区において実施しました．既存の鉄軌道部の配線スペースを活用し，安価に自営電力線を敷設することが可能であるか，また，電力ルーティングにおける切替え時等のノイズが鉄軌道の信号，通信設備に対し，影響を与えないかの検証のため確認を行いました．

分散電源の電力をニュートラム（コスモスクエア駅―トレードセンター前駅間）に沿って敷設した自営電力線を介して送電し，負荷側配電系に設置した電力ルータを用い，供給する負荷の切り替えを伴う運用試験を営業終了後の深夜に行いました．電力ルータ動作時に電力系統から試験車両を使用し，設備および軌道上を走行する車両の信号，通信に与える影響を測定しました．この結果，開発した電力ルータの負荷切替え機能が実証され，SiC パワーデバイスの開発によって，新しい電力制御機器の開発につなげることができました．

開発した電力ルータは，電源と負荷の接続を物理的にかつ時間的に動的に切

¹ ニュートラム：大阪市交通局南港ポートタウン線，ゴムタイヤで走行する中規模の鉄軌道

替えるばかりではなく、これまでの研究から変圧器としても機能することが確認されており、将来分散電源を地域に敷設する際に適用できるオンデマンドの電力制御装置として期待されます。この機能の実現には、ワイドバンドギャップ半導体である SiC パワーデバイスおよびその適用技術の研究開発が重要となっています。

1. 背景説明

世界的な地球温暖化問題や東日本大震災後の国内の電力需給の逼迫など、持続可能な社会に向けたエネルギー問題の解決は、我が国が直面する重要な課題となっています。再生可能エネルギーを含む、分散エネルギー電源の有効利用の為に、従来の完成された電力システムを維持しつつ新しいシステムを導入する必要があります。分散電源側の系統連系技術が不可欠となります。三相電力ルーティング装置（以下、電力ルータ）は、我が国の電力系統の配電方式である三相三線式配電法を前提に、従来開発してきた単相電力ルータ[1,2]を基に新規開発した電力制御装置です。電力ルータは分散電源と既存の電力系統を時間および空間を切り分けて利用することを可能にするネットワーク装置として開発されました。

電力は末端の機器に至るまで不可欠なエネルギーですが、その供給を司るインフラが電力系統です。このインフラは、発電機と負荷を回路で繋いだ電気回路で構成されます。従って、定電圧の電力を供給する場合には、その配分は電流によって決定しますが、電力系統による電力供給を安定に維持するためには、接続点の電圧値および接続点間の電圧位相差の関係を一定条件内に抑制し、電力系統内で、発電機を同期（一定周波数の発電電圧）させて運転する必要があります。これを司ってきたのが電力会社です。

一方、既存の電気エネルギーネットワークに、再生可能エネルギーによる分散電源や蓄電機器を情報通信ネットワークと統合して導入し、高効率で新しいエネルギー供給系を構築するスマートグリッドに関する研究の多くは、実証を経て評価段階にあります。スマートグリッドの電力系統との連携運用に於いては、相互の連系と分離を行える技術が必要になります。その上で、その供給電力を利用しながらこれまでの大容量の発電機とは異なる小容量の電源である分散電源を利用して生成された電力を、蓄電系および負荷の間で人の生活要求に合わせて ICT (Information and Communication Technology) により最適に運

用する技術も必要となります。このような観点の電力供給の運営を実現可能な機器として、三相電力ルータを開発しました。

2. 電力ルータ技術について

電力ルータを用いた電力伝送の概念は、1990 年代に既に提案されています。豊田らは、電力供給側の技術として電力の単位（電力パケット）に情報ネットワークを介してタグ付けし、電力をタグに応じて振り分けすると同時に、バッファとなる貯蔵装置に蓄えられた電力を必要に応じてネットワークに供給する概念を提案しました [3,4]。この電力の振り分けを行う機器としてルータが提案されています。ルータは、発電機器の電力をスケジューリングしながら蓄電装置に蓄え、負荷の必要に応じて出力します。

豊田らの研究を受けて、マトリクスコンバータを用いた電力系統連系用直接変換（交流—交流直接変換）機器にルータ機能を持たせる提案 [5]等があります。その他にも多くの研究が進められています。

3. 実証試験の内容と将来の可能性

京都大学は、SiC パワーデバイスの新規応用分野を開拓することを目的として、平成 25 年度より、文部科学省・科学技術振興機構（JST）による支援プログラム「研究成果展開事業（スーパークラスタープログラム）」の委託事業において「三相電力ルータ」を開発し、その実証試験を環境省地球温暖化対策技術開発・実証研究事業（既設熱源・電源を自立分散型エネルギー化し鉄道網を利用した地域融通エネルギーシステムの開発）の一環として、大阪市咲洲地区において平成 27 年 9 月に実施しました。分散電源（定格 20 kVA）の電力を鉄軌道（コスモスクエア駅—トレードセンター前駅間）に沿って敷設した 6.6 kV 自営電力線を介して送電し、負荷側 200 V 配電系に設置した電力ルータが負荷（三相有圧ファン 200 V / 0.4 kW）の瞬時切り替えに供することができることを、実験的に可能であることを示しました。この切り替えが、自営電力線を敷設した鉄軌道において、列車運行に影響を与えるものではないことも、信号、通信設備に関して確認されました。このことは、鉄軌道を配線スペースとして活用した分散電源の電力供給の可能性を実証すると同時に、その利用において電力ルータを負荷側の切り替え機器として適用しても、系統において障害を発生するものではないことを実証しました。

このような電力用機器の実証試験は、電力会社が所有する商用の電力系統あるいは配電系統では実施することはできません。今回、環境省事業の支援を受け、大阪市、(一社)SSCA 2.0 の協力を得たことで、これらの商用系統から分離された自営線からなる電力供給系において、電力ルータの、動力機器を負荷とした切り替えを伴う機能試験および性能試験を実施することができました。今回の試験規模の電力供給系において、電力ルータの動作試験を実施し、成功裏にその機能を確認した例は未だ世界で報告がありません。同時に、高耐圧、低損失な物理的特徴を有して高速電力切り替えに適する SiC パワーデバイスの活用が、新しい電力装置の可能性を示しました。装置の定格は、200 V / 20 A (SiC MOSFET 定格 1200 V / 40 A) です。SiC パワーデバイスの高耐圧化、大容量化により、商用電力系統と分散電源系統を分離して運用する装置として適用できる可能性を示しました。同様の機能はリレーなどの機械的遮断機でも可能ですが、高頻度の切替えや、装置の耐久性などから実用的ではありません。

この実証実験を受けた三相電力ルータの開発は、地域電力網の開発を必要とする国、地域において、自営線を基盤とした分散電源をベースとする電力網構築の可能性を示しています。また、これまでに開発済みの単相電力ルータと合わせて、ICT を併用した新しいオンデマンドの電力供給システムの構築が期待されます。SiC パワーデバイスが、特に中容量の電力系統のスイッチ素子として導入が進むことで、新たな装置開発の起点になることも期待されます。さらに、本成果は、分電盤や変圧器などの改良も促す可能性があり、新旧の電力技術に活性化をもたらすことが期待されます。

4. おわりに

本研究成果は、SiC パワーデバイスの応用機器の開発にとどまらず、電力技術、制御技術、電力変換技術、通信技術などを総合する、エネルギーと情報の統合技術です。デバイスの置き換えによる既存の機器の効率化ではなく、システムそのものの簡素化、および高機能化につなげるものとして今後も研究開発を進めていきます。

尚、本実証試験は昨年9月に実施したのですが、その後、結果の妥当性評価を終え、今回のまとめに至ったものです。引き続きご協力、ご支援をよろしくお願い致します。

文献

[1] T. Takuno, M. Koyama, T. Hikihara, In-home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching, 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 427-430, 4-6 Oct. 2010, Maryland, USA.

[2] T. Takuno, Y. Kitamori, R. Takahashi, and T. Hikihara, AC Power Routing System in Home Based on Demand and Supply Utilizing Distributed Power Sources, *Energies*, 4(5), 717-726, April (2011).

[3] 豊田, 開放型ネットワークの可能性, 電学誌, Vol.117, No.6, 345-348 (1997)

[4] 斎藤, 宮森, 島田, 豊田, 開放型電力熱湯ワークにおける自律分散電力流通を実現する機構の基礎的検討, 電学論誌, Vol.117, No.1, 11-18 (1997).

[5] 鎌倉, 林, 黒川, マトリクスコンバータを用いた系統連系用ルータ機器の開発, 平成 18 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 185 (2006).

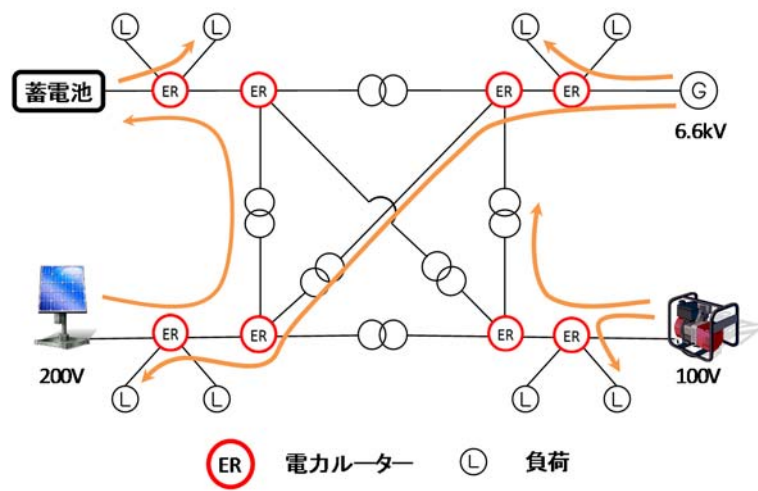


図1 電力ルーティングの概念図



図2 三相電力ルータ設置写真

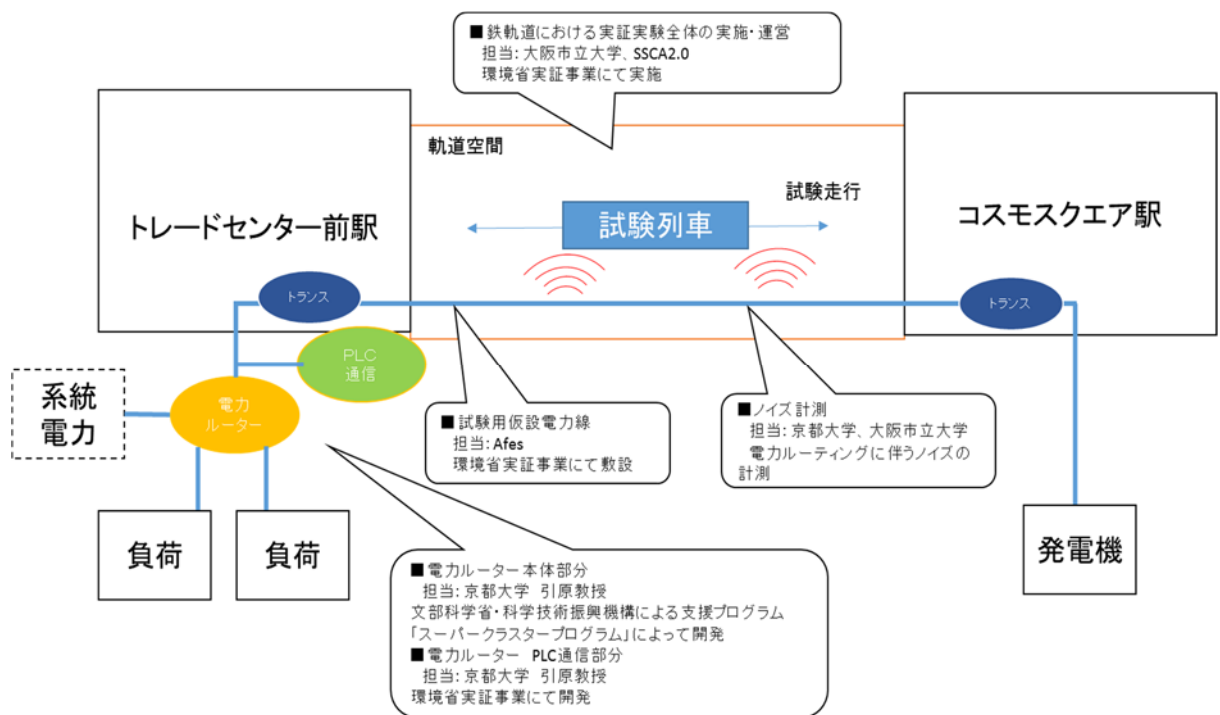


図 3 実証試験フィールド