

電子情報通信学会に見る 電子通信エネルギーの技術動向

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 オペレーション技術部長 大津 智

Keyword：電気通信，エネルギーシステム，電力システム，電力変換，蓄電池

1. はじめに

電子情報通信学会は、1911年（明治44年）5月に当時の通信省電気通信試験所第2部の「第2部研究会」に始まり、1917年（大正6年）5月に電信電話の学術技芸の研究、知識の交流および事業振興を図ることを目的として「電信電話学会」が設立された。その後、関連の学問および技術の発展と取り扱う対象分野の拡大に合わせて、「電子通信学会」「電子情報通信学会」に改称された¹⁾。

電子機器は集積化技術の発展により小形化、低コスト化が急速に進んだが、電子機器の電源部は集積化手法が適用できず、システムに占める電源部の割合が高まった。高周波スイッチング技術は電源の小形・軽量化を図るために有効であるが、同時に雑音発生など新たな課題が生まれた。24時間連続で動作する情報通信用電源は発熱抑制と電力コスト低減のため、高効率化も課題であった。また、情報通信システムは社会の重要なインフラであり、電源に対して高い信頼性が要求されるようになった。このような技術的課題を把握するために、1980年に電子通信用電源技術調査専門委員会が発足し、1984年4月に電子通信用電源技術研究専門委員会、1997年4月に現在の電子通信エネルギー技術研究専門委員会（EE研究会）に改称され、電子通信エネルギー分野の議論がなされている²⁾。

EE研究会以外でも、回路とシステム研究会（CAS）、コンピュータシステム研究会（CPSY）、インターネットアーキテクチャ研究会（IA）、情報通信マネジメント研究会（ICM）、情報ネットワーク研究会（IN）、非線形問題研究会（NLP）、ネットワークシステム研究会（NS）などでは情報通信システムやデータセンターの低消費電力化の観点からICT機器と空調機器の連携手法、電源を含む情報通信システムの構成法や制御手法などが議論されている。さらに、ICTをベースとしたスマートグリッドについては、ICTスマートグリッド（ICT-SG）技術研究会で扱われている。また、研究分野で関連の深い電子情報通信学会の無線電力伝送研究会（WPT）、電子・部品材料研究会（CMP）や電気学会の家電・民生技術委員会（IEE-HCA）、半導体電力変換研究会（IEE-

SPC）と連携して研究会を開催することで幅広い議論がなされている。

本稿では、EE研究会を中心に技術動向を報告する。

2. 電子通信エネルギー技術分野

電子通信エネルギーシステムとして重要な基本特性は、供給電力の精度と安定性である。それに加えて、体積・重量、効率、信頼性、価格が性能指数として挙げられる³⁾。応用別にその優先度が異なり、たとえば衛星搭載用電源システムでは体積・重量、効率、信頼性が優先されるなど、用途によって4項目のトレードオフでシステムが設計されている（図1）。

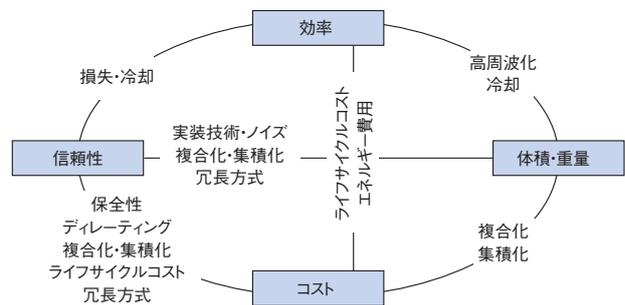


図1 電源技術と各性能の関連図

近年、通信装置の消費電力密度の増加や動作電圧の低電圧化が進み、これに対応できる給電方式が必要とされる。一方、地球温暖化や電力逼迫などの社会環境の変化に対応するため、省エネルギー、低炭素化、エネルギー有効活用、再生可能エネルギー利用に向けた研究開発が積極的に行われている。また、新たな給電方式として、電源ケーブルを使用せず、自由に電力を伝送するワイヤレス給電の研究開発が進められている。

これらを実現するために、EE研究会では下記のように部品からシステムまで幅広い技術領域が扱われている⁴⁾。

1) エネルギーシステム

太陽光発電、燃料電池発電、風力発電、エネルギー伝送・供給システム、省エネルギーシステム、超伝導技術、熱利用技術、水素エネルギー利用技術。

2) 電源システム

電力供給システム、無停電電源システム、ワイヤレス

給電、小形化・高密度化・集積化、実装・冷却技術、計測・解析・シミュレーション、信頼性、EMC、新しい産業用・家電用電源。

3) 電力変換装置

DC-DC コンバータ、整流器、インバータ、アクティブフィルタ、ソフトスイッチング、新しい電力変換回路技術・制御技術。

4) 電力用部品

半導体デバイス、磁性デバイス、大容量キャパシタ、圧電デバイス、マイクロエレクトロニクス応用技術。

5) 電池

高エネルギー密度化、長寿命化、高信頼化、保守・管理技術。

電子情報通信学会が主催する総合大会やソサイエティ大会では、旬の話題がシンポジウムとして取り上げられる。2000年前半までは、電力変換装置の小形化、低損失化を実現するための電力変換方式や回路構成のテーマが中心であった。2000年後半になると、ICT 社会や低炭素社会に対して電子通信エネルギー技術がどのように貢献できるかなど、電力変換装置から電源システムのテーマにうつった。さらに近年では、自然エネルギー活用やスマートグリッドなど省エネ・蓄エネ・創エネと地域エネルギーシステムのテーマへと広がっている⁴⁾。

2011年度から2013年度の3年間に、EE 研究会で報告された内容の分類を図2に示す。

以下、技術領域ごとに最近のトピックを紹介する。

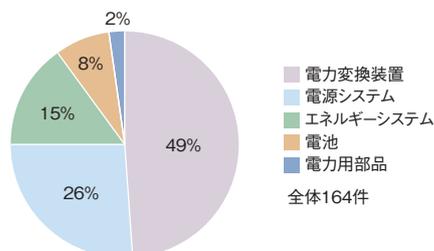


図2 EE 研究会への報告状況

3. エネルギーシステム

エネルギーシステムでは、近年は地球環境保護に向けて、再生可能エネルギーである太陽光発電や燃料電池などの創エネ、リチウムイオン電池や電気自動車などの蓄エネを用いたシステムが多く扱われている。さらに、東日本大震災の広域かつ長時間停電の発生や電力需要の逼迫による計画停電などの経験を通じて、分散電源に関する研究が盛んに行われている。

分散型電源を含めた地域エネルギー供給システムであるマイクログリッドでは、刻々と変化する電力需要に対応した需給制御が必要となる。報告例のシステム構成図を図3に示す。

電力コスト削減、蓄電池寿命維持を目的として、双方

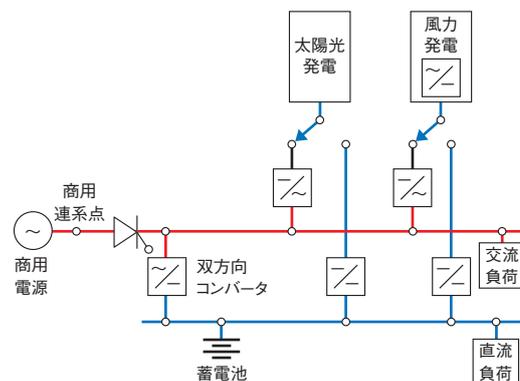


図3 マイクログリッドのシステム構成図

向コンバータを用いた商用連系点の電力制御による自立モード、系統連系モード、停電時などのバックアップモードの運用およびその効果の評価結果が報告されている⁵⁾。

無線基地局用システムでは、平常時の商用電力使用量削減と停電時の長時間運用を可能とするために、商用電源を整流した直流電源、太陽光発電、蓄電池、直流動作の通信装置を直流で統合するシステムが検討され⁶⁾、蓄電池の充放電制御による太陽光発電の自活率向上が報告されている⁷⁾。

また、長期間の停電に対応するために、蓄電池および燃料電池（固体高分子型）と燃料タンクが一体となった複数の燃料電池システムで、燃料消費を均等にするための燃料電池出力電力のバランス手法が報告されている⁸⁾。

通信機械室で消費される電力は、ICT 機器自体で消費される電力以外に、これらを冷却するための空調装置用電力が大きい（全体の約30%）ことから、冷却効率を高めて空調装置用電力を低減する技術も重要である。このため、通信機械室および通信装置へ気流の適正化方法が提案され、効果について報告されている⁹⁾。

4. 電源システム

給電システムでは、高電力密度の ICT 機器への給電に対応するため、給電電圧を高め、給電電流を低減することで、給電ケーブルの細径化や高い給電効率を得られる高電圧直流給電（HVDC）の研究開発が進められている。給電装置自体の開発に加えて、導入の普及拡大のためには、規格化が重要である。そこで、電圧規格の他に、保護方式（過電流、過電圧、地絡・感電）、アーク対策、接地方式などを規定するための検討が行われている¹⁰⁾。

ICT 装置は LSI の高集積化に伴い、駆動電圧が低下し、1V 以下で動作する負荷が出始めている。従来は図4 (A) のように、整流装置で直流に変換された電力は DC-DC コンバータで12V、5V や3.3V などの電圧に変換して負荷に供給していた。低駆動電圧化に対応し、図4 (B) のように負荷の直近に DC-DC コンバータ（POL: point of load）を配置することで、DC-DC コンバータと負荷間の配線インピーダンスを低減し、電圧安定化やノ

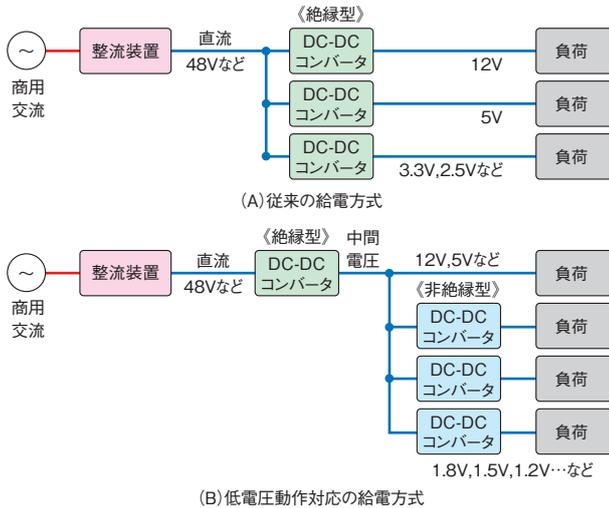


図4 ICT装置への給電方式

イズ低減を実現している。このPOLでは、低出力電圧、大電流出力、高速負荷応答、高効率、低コストなどの要求条件を実現するための電力変換回路、およびその制御回路の検討が行われている。

近年、無線通信システムの進展に伴い、さまざまな機器のモバイル化が進み、電源供給や充電に対してもワイヤレス化の期待が高まっている。ワイヤレス給電技術はモバイル端末ばかりでなく、ロボットや電気自動車などの可動機器への展開も検討されている。

この新しい給電形態であるワイヤレス給電には、表1に示す3方式がある¹¹⁾。

表1 ワイヤレス給電の種類

	電磁誘導方式	共鳴方式	電波放射方式
電力を送信できる距離	数mm以下	数十cm	数m
送信できる電力	数百W以下	数百W以下	数W以下
周波数	数百kHz以下	数~数百MHz帯	中波~マイクロ波
電力の利用効率	70~90%	40~60%	かなり低い
仕組み	起電圧 磁界	LC共振器 磁場	電波 共振回路 整流回路

電磁誘導方式は近接した携帯端末などのワイヤレス給電に適用され、無接点充電規格¹²⁾が策定されている。この統一規格を利用し、ポータブル機器内の電力変換回路を双方向コンバータ回路に変更することで、ポータブル機器間の双方向ワイヤレス充電が可能となり、機器間の電力融通が報告されている¹³⁾。

一方、電気自動車用などのワイヤレス給電として、数十cm離れても電力伝送できる共鳴方式の研究開発が活発に行われている。電力変換装置の技術である高周波スイッチング技術をワイヤレス給電に応用することで、電力伝送デバイスである複雑なコイルや共振器を必要としない高効率な電磁界共鳴型ワイヤレス給電が報告されている¹⁴⁾。

ハイブリッド自動車や電気自動車などは、蓄電池にエ

ネルギーを蓄えているが、蓄電池にはサイクル充放電による寿命や大出力充放電に課題があった。電気二重層コンデンサ (EDLC: electric double-layer capacitor) はサイクル充放電や大出力充放電に優れた特性があり、この特長を活かして、短時間の充放電はEDLC、長時間の充放電は蓄電池を組み合わせたハイブリッド方式の電源回路の提案がなされている¹⁵⁾。EDLCと蓄電池を双方向DC-DCコンバータを介して接続し、直流分は蓄電池から放電、変動分はEDLCで対応するように制御を実現している。

5. 電力変換装置

近年、負荷装置であるICT機器の消費電力がダイナミックに変化するようになり、電源装置も軽負荷から定格負荷まで高効率でかつ高速負荷応答が要求される。電源装置であるスイッチング電源の出力電圧を安定化するための制御回路には、従来はアナログ制御方式(図5(B))が主流であった。デジタル制御方式(図5(C))は信号処理で時間遅れが生じ、過渡応答特性を悪化させる課題があるが、各種設定値を容易に変更できる特長がある。この特長を活かすために、学習機能を使うことで過渡負荷応答特性を改善する制御方式¹⁶⁾や負荷電力に合わせてスイッチング半導体の駆動タイミングを調整することで、スイッチング損失を低減する駆動方式¹⁷⁾が報告されている。

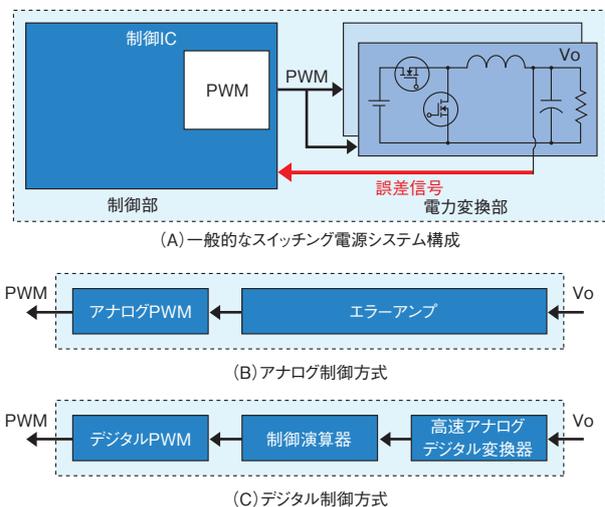


図5 スwitchング電源の制御方式

スイッチング電源を小形化するために、スイッチング周波数を高周波化すると、パワーMOSFETや整流ダイオードのオン・オフ時のスイッチング損失が増すため、これを低減する回路方式が提案されてきた。これまで、共振形変換回路や準共振形変換回路などが報告されてきたが、新たに報告された内容として、図6に示すLLC共振形回路がある。この回路方式は共振に必要なインダクタンスとして、トランスの漏れインダクタンス (L_r)

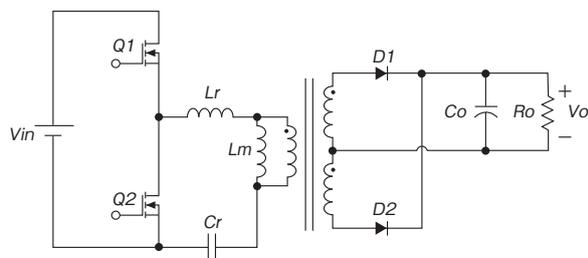


図6 LLC共振回路の例

と励磁インダクタンス (L_m) を利用することから、外付けの部品を必要としない利点があり、動作特性解析が多数報告されている¹⁸⁾。

6. 電力用部品

通信用給電システムとして、HVDC方式が進められているが、現在スイッチング電源で主流のSi(シリコン)パワー半導体は、性能が物性限界に近づいており、低損失化のためのブレイクスルーが求められている。SiC(シリコン・カーバイド)パワー半導体はSiパワー半導体に置き換わる次世代デバイスとして、その開発および利用の研究開発が進められており、SiCパワー半導体の低オン抵抗と高速スイッチング特性を活かし、電力変換効率の向上効果が報告されている¹⁹⁾。

7. 蓄電池

リチウムイオン電池はその高エネルギー密度からバックアップ用²⁰⁾、再生可能エネルギーの出力変動補償用²¹⁾、自動車用、宇宙用²²⁾と幅広く利用されている。

リチウムイオン電池は高エネルギー密度であることから、熱暴走や破裂・発火する可能性がある。これらを抑止するために、使用される電解液に難燃添加剤を加えることで、電池自体の安全性を確保する報告がある²³⁾。また、安全性を確保するための電池保護機能、組電池内の各セル電圧を調整する機能、状態を常時監視するための遠隔監視機能を備えたバッテリーマネジメントシステムが報告されている^{24, 25)}。

さらに、長寿命化を図るためには、蓄電池の劣化メカニズムを明らかにすることは重要である。蓄電池の容量劣化として、負極活物質表面上のSEI(solid electrolyte interface)と呼ばれる被膜成長と負極の集電容量減少の視点から、劣化量の変化の規則性を抽出し、構築した劣化モデル式を用いた放電可能な深度についての報告がある²⁶⁾。

8. まとめ

電子通信エネルギー技術は、通信装置やICT装置の進展および地球環境保護や社会インフラにおける情報通信システムの高信頼化に対応するために、電力変換装置の高効率化・小形化に加えて、エネルギーの有効利用や

再生可能エネルギー利用などの分野が広がっている。今後も、技術開発が加速し、社会要請に応じていくことが期待される。

[参考文献]

- 1) 電子情報通信学会資料, <http://www.ieice.org/jpn/about/gaiyou.html/>, 2014.4.21
- 2) 原田耕介: 最近における電子通信用電源の技術動向, 電子通信学会誌, pp.1078~1081, 1984.10
- 3) 原田耕介: 電子通信用電源技術・総論, 電子通信学会技術研究報告, PE81-1, pp.1~3, 1981.7
- 4) 電子情報通信学会資料, <http://www.ieice.org/cs/ee/jpn/index.html>, 2014.4.21
- 5) 後川知仁, 廣瀬圭一, 雪田和人, 一柳勝宏, 奥井芳明: マイクログリッド間における相互電力融通制御, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-38, pp. 41~45, 2012.1
- 6) 松岡保静, 関禎徳, 竹野和彦: グリーン基地局を想定した直流統合制御の一考察, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-20, pp. 11~15, 2011.10
- 7) 古谷崇, 小宮一公, 山内隆史, 竹野和彦: グリーン基地局試験装置のPV発電電力特性, 電子情報通信学会総合大会予稿集, B-9-4, 2014.3
- 8) 山内隆史, 松岡保静, 古谷崇, 小宮一公, 竹野和彦: 基地局バックアップ用燃料電池と蓄電池の動作検証, 電子情報通信学会総合大会予稿集, B-9-6, 2014.3
- 9) 高橋晶子, 矢島寛也, 丸山雅人, 竹内章, 山下暢彦, 松本守彦: 通信機械室の冷却効率改善と空調電力削減, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2013-6, pp. 75~80, 2013.5
- 10) 廣瀬圭一, 則竹政俊, 後川知仁, 三野正人: DC380V給電の電圧範囲に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-51, pp. 115~120, 2012.1
- 11) 庄木裕樹: ワイヤレス電力伝送の技術動向・課題と実用化に向けた取り組み, 電子情報通信学会技術研究報告, WPT2010-07, pp. 19~24, 2010.7
- 12) WIRELESS POWER CONSORTIUM, <http://www.wirelesspowerconsortium.com/jp/about/our-vision.html/>, 2014.5.2
- 13) 三浦慎平, 西嶋仁浩, 佐藤輝被, 鍋島隆: ポータブル機器間の双方向の非接触充電の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2012-23, pp. 13~17, 2012.11
- 14) 細谷達也, 大林雄一郎, 藤原耕二: ループコイルを用いた電磁界共鳴型複共振形ZVSワイヤレス給電システムの設計, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2012-17, pp. 9~14, 2012.10
- 15) 川地光之輔, 後藤研太, 梁時熏, 庄山正仁: 双方向DC-DCコンバータを用いたEDLCと蓄電池によるハイブリッド電源システム, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2012-53, pp. 147~152, 2013.1
- 16) 元村正志, 丸田英徳, 黒川不二雄: 機械学習を用いたDC-DCコンバータの過渡特性改善に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2012-14, pp. 87~91, 2012.7

- 17) 細山尚登, 米澤遊, 眞鍋厚, 佐々木智丈, 松井由信: サーバ向け DCDC デジタル電源高効率化のためのデッドタイム自動切替制御およびデッドタイムテーブル値自動最適化の実現, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2013-34, pp. 19~23, 2014.1
- 18) 本村聖, 安部征哉, 川原大輝, 土本和秀, 石塚洋一, 二宮保, 庄山正仁, 加賀雅人: 高電圧直流給電システムにおける LLC 電流共振形 DC-DC コンバータの高効率・高パワー密度化について, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2012-43, pp. 87~91, 2013.1
- 19) 船津龍浩, 田中哲郎: SiC-BGSIT を用いた部分共振形プッシュプルコンバータの動作特性, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2013-57, pp. 49~54, 2014.2
- 20) 松下傑, 辻川知伸, 藪田火峰, 荒川正泰, 林晃司: 通信バックアップ用大容量据置リチウムイオン電池の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-14, pp. 91~95, 2011.7
- 21) 原富太郎: 高安全な大形リチウムイオン電池の開発と今後の展望, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-56, pp. 21~26, 2012.2
- 22) 川瀬誠, 内藤均, 吉田浩明, 瀬川全澄: 宇宙用大型高性能リチウムイオン電池の試作評価, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-15, pp. 97~100, 2011.7
- 23) 藪田火峰, 北野利一, 松下傑, 辻川知伸, 荒川正泰, 林晃司: 通信用据置リチウムイオン電池の安全性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-37, pp. 37~40, 2012.1
- 24) 北野利一, 藪田火峰, 松下傑, 辻川知伸, 磯部武文, 小布施俊: 大容量据置リチウムイオン電池用マネジメントシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2011-36, pp. 31~36, 2012.1
- 25) 内藤均, 川瀬誠, 小島哲也, 舩分宏昌: 宇宙用リチウムイオン電池の寿命評価, 電子情報通信学会技術研究報告, EE2013-53, pp. 27~30, 2014.2
- 26) 中原宏, 青木智志, 平田崇人, 福井正博: リチウムイオン電池の劣化モデルの一考察 ~ SEI 劣化と負極容量劣化を用いた定式化 ~, 電子情報通信学会技術研究報告, EE 2011-54, pp. 13~16, 2012.2



おおつ さとし
大津 智

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 オペレーション技術部長
電力変換装置, 給電システム, 燃料電池システムに従事
工学博士
電子情報通信学会シニア会員, 電子通信エネルギー技術研究専門委員会委員長, IEEE シニアメンバ, 電気学会上級会員

Synopsis

Technology Trends for Electronics and Communications Energy in the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

Satoshi OHTSU

Electronics and communications energy technology is discussed focusing on Technical Committee on Energy Engineering in Electronics and Communications. The main themes are an energy system, an electric power system, a power converter, a storage battery, and power device. The main themes of an energy system are power generation technology, such as photovoltaic generation and fuel cell power generation, and energy-saving technologies. The main themes of an electric power system are uninterruptible power source systems, miniaturization, high density, and integration. The main themes of a power converter are DC-DC converters, rectifiers, and inverters. The main themes of a storage battery are high-energy-density, long life, high reliability, maintenance, and management technology. The main themes of devices are power semiconductor devices, magnetic devices, and large-capacity capacitors. This paper introduces each field recent topics.