

海外調査報告：

INTELEC 2009に見る 電子通信エネルギー技術の動向

取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 通信エネルギー技術本部長
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 エネルギー技術部長

山下 隆司
室山 誠一



1. はじめに

国際電子通信エネルギー会議（INTELEC）は、IEEE PELS（IEEE Power Electronics Society, 米国電気電子学会パワーエレクトロニクスソサイエティ）が運営する、情報通信用エネルギーを専門とする唯一の国際会議で、昨年開催された INTELEC 2009は第31回目にあたる。本会議では情報通信エネルギー技術分野における広範な技術領域について、最新の研究成果が議論されるとともに展示会も併設され、最新の電源機器や電源システムの展示が行われた。

本報告では、INTELEC 2009で発表された論文と展示会の情報を通して、電子通信エネルギー技術の最新技術動向を考察することとする。

2. INTELEC 2009の概要

INTELEC 2009は、2009年10月18日から22日まで韓国インチョン市で開催された。本会議は“Global Convergence for Smart Energy-Telecommunication”（スマートエネルギー通信のためのグローバルな融合）をメインテーマとし、エネルギーと通信に関する最近の課題が取り上げられ、活発な情報交換が行われた。世界的にクリーンなエネルギーの活用が大きな課題となっている中、通信とスマートエネルギーの関連については高い関心が寄せられた。

本会議の参加者数を図1に示す。参加登録総数は33カ国、576人であった。その半数を超える302人は地元韓国で、次いで、日本92人（16%）、中国36人（6%）を合わせるとこれら3カ国からの参加者が約75%を占めている。今回の大会は、東アジアにおける日本以外での初の開催であり、日本もその成功に向け、電子情報通信学会、電気学会が積極的に支援した。この他の国では、アメリカ、スウェーデン、イラン、インド、イタリアからの参加者が2桁であった。昨今の経済不況にもかかわらず、多くの参加者を得たといえる。本会議の特徴の一つに、電子通信システムに関する通信キャリア、大学・研究機

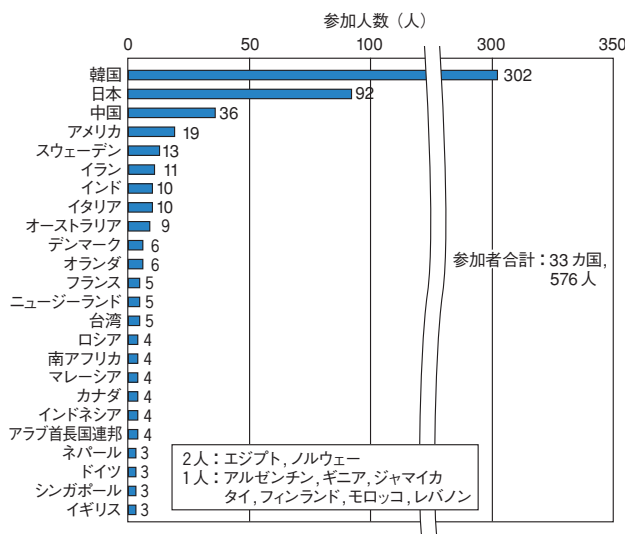


図1 INTELEC 2009の国別参加者数

関、製造メーカーという3者が一同に介して議論を行うことがあるが、今回の日本からの参加者は、NTTファシリティーズをはじめ、NTT研究所、九州大学、長崎大学、大分大学、崇城大学、東京理科大学、産総研、JAXA（航空宇宙研究開発機構）、新神戸電機、山洋電気、オリジン電気、新電元工業、富士電機、東芝三菱、サンケン電気など（順不同）で、この特徴がよく現れていた。

図2に国別の発表論文件数を示す。この発表論文件数も韓国が126件で全体の約半数、日本が57件（24%）、中国が15件（6%）で、これら3カ国が80%を超える論文を発表した。

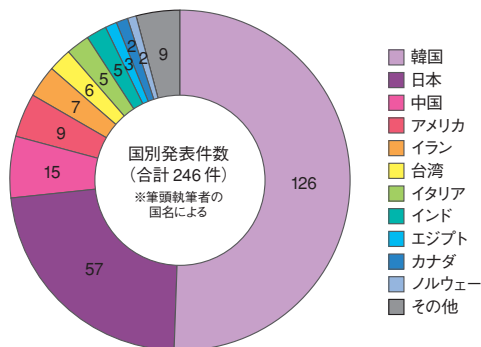


図2 INTELEC 2009における国別発表論文件数

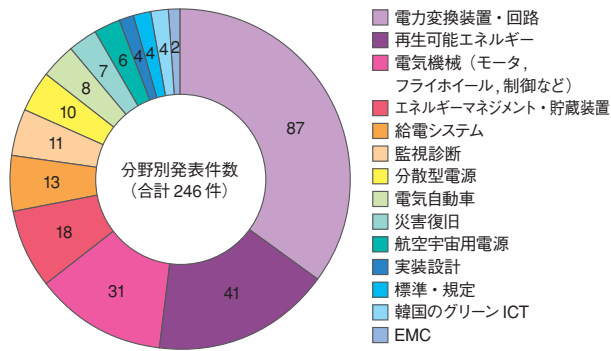


図3 INTELEC 2009における分野別発表論文件数

図3に技術分野別の発表論文件数を示す。コンバータ、インバータ、UPS等の電力変換装置・回路が最も多く、87件(35%)であった。次いで、再生可能エネルギー41件(17%)、電気機械(モータ、フライホイール、制御など)31件(13%)、エネルギーマネジメント・貯蔵装置18件(7%)、給電システム13件(5%)、監視診断11件(4%)、分散型電源10件(4%)などである。今回の特徴として、電気自動車、航空宇宙用電源のセッションが設けられ、従来の通信エネルギー分野を越える、より広い観点からの議論が行われたことと、蓄電池については単独のセッションが設けられず、エネルギーマネジメント・貯蔵、監視診断のセッションでわずかに発表が行われたのみであったことが挙げられる。蓄電池については、展示会場ではリチウムイオン電池を搭載したUPSなどが大きなスペースを利用して展示されており、着実に製品化は進められている。

3. 電子通信エネルギー技術の動向

主要技術テーマごとに、発表論文と展示から技術動向を考察する。

3.1 400V 直流給電方式

今回のINTELECのハイライトの一つは、情報通信ビルやデータセンターにおける高信頼で高効率な給電システムとして、NTTグループが開発を進めている400V 直流給電システムである。本技術については、NTTグループから5つの論文が発表され、いずれも大きな注目を浴びていた。

近年、多数のICT機器が情報通信ビルやデータセンターに設置され、通信、金融取引など非常に重要なサービスが提供されるようになってきている。このためこれらのICT機器を動作させる給電システムには、高い信頼性ととも、地球環境保護の観点から高効率化が重要な課題になっている。そのソリューションの一つとして、NTTファシリティーズおよびNTT環境エネルギー研究所が400V 直流給電システムを開発している^{1, 2)}。400V 直流給電システムの構成を図4に示す。基本構成は現行

の48V 直流給電システムと同じであり、常時は整流装置(Rectifier)の出力で負荷のICT機器に給電し、商用電源(Utility Grid)の停電時や整流装置が故障した場合は、蓄電池から無停電で供給を継続する。蓄電池の電圧低下は、電圧補償装置(Voltage Compensator)で補償する。整流装置の主な仕様を表1に示す。この報告では2種類の試作結果が報告されているが、表1はそのうちの1つ(タイプA)の主要諸元である。システムの出力は100kWであり、出力電圧精度は定格値の±1%という高い精度である。また、電圧補償装置は表2に示すように、最大100Vの昇圧能力を持つ。このシステムの特徴は広い負荷率の範囲で高効率であることで、最大効率は93%、負荷率が25%以上の領域で90%以上の高効率を達成している(図5)。

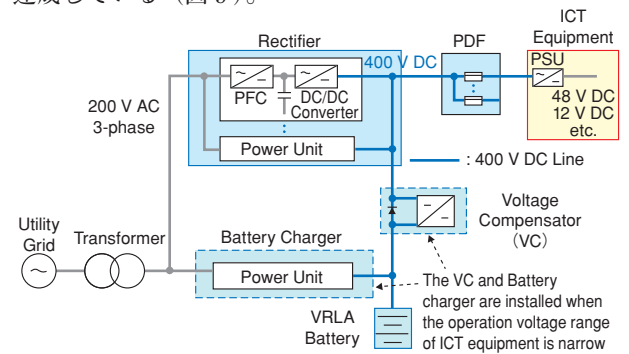


図4 400V 直流給電システムの構成¹⁾

表1 整流装置(タイプA)の主要諸元¹⁾

Item	Value
Rated power	100 kW
Size of rectifier (Width, Depth, Height)	600, 800, 2,000 mm
Number of units (N+1)	9
AC input voltage	210 V ± 30 V
Regulation of output voltage	401.4 V ± 1 %

表2 電圧補償装置の主要諸元¹⁾

Item	Value
Rated power	25 kW
Size of VC (Width, Depth, Height)	600, 800, 2,000 mm
Number of units (N+1)	6
DC input voltage	266.0 to 401.4 V
DC output voltage	366.0 to 401.4 V
Compensating voltage	100 V

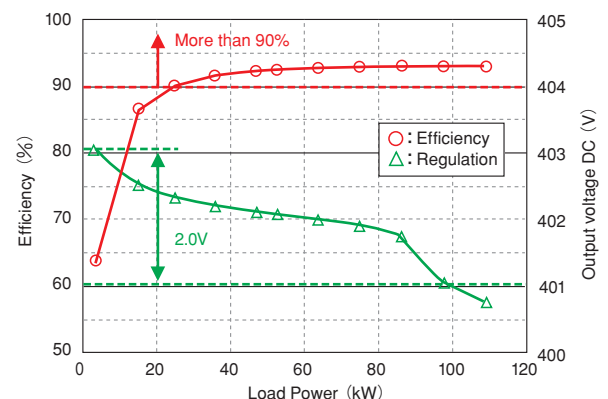


図5 400V 直流給電システム(タイプA)の特性¹⁾

この400 V 直流給電システムに適用する分電盤には、ヒューズとコンデンサを搭載し、負荷側で短絡事故が発生しても電圧変動や健全系統への影響を抑制できる設計法がシミュレーションモデルとともに開発されている^{2, 3)}。システムのシミュレーションモデルを図6³⁾に示す。このモデルにより分電盤のヒューズが溶断した場合に発生する過渡電圧変動を給電系のインダクタンスやキャパシタンスをパラメータとして計算した。その結果、分電盤に設ける変動抑制用コンデンサの直列インダクタンスが大きい影響を持つことを明らかにしている。また、健全系 ICT 機器から短絡ポイントに電流が流出することによる電圧変動および電流のジュール積分値 (I^2t) を算出しヒューズの溶断リスクを評価したリスクマップを作成し、システム構築の設計指針を提示している (図7)。

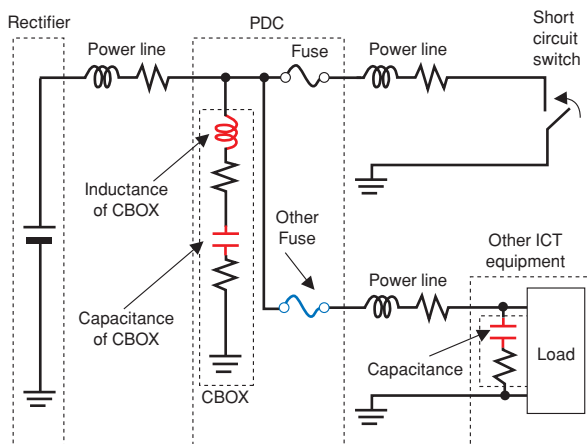


図6 400 V 直流給電システムのシミュレーションモデル³⁾

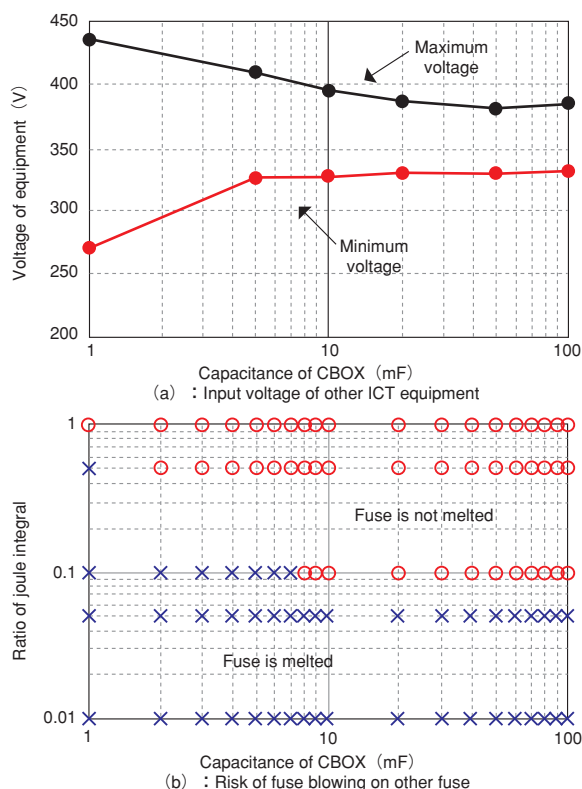


図7 400 V 直流給電システムにおけるコンデンサ容量と電圧過渡変動、ジュール積分値 (ヒューズ溶断マップ) の関係³⁾

また、ICT 装置内で400 V の電力を安全に分配するため直流用コンセントとプラグ²⁾ も開発されている。図8に示したコンセントとプラグはプラグの抜け止め機構、アーク消弧機能付きスイッチなど安全に配慮した設計が行われている。この他に接地方法に関する基礎的な検討⁴⁾、安全性と接地方法に関する考察⁵⁾ が発表されており、基礎的な検討から実証システムによる検証まで着実に開発が進められていることがわかる。

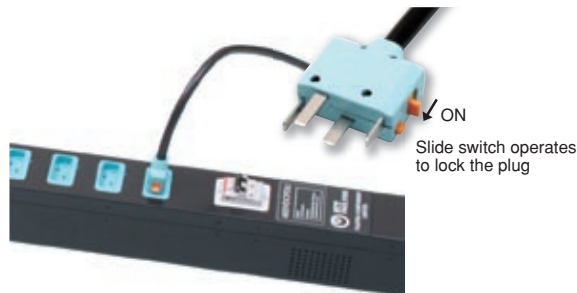


図8 400 V 直流給電システムに適用可能なコンセントとプラグ³⁾

400 V 直流給電システムについては、展示会でも NTT ファシリティーズから展示され、大きな関心を集めていた。NTT ファシリティーズの展示ブースの写真を図9に示す。整流ユニット、電圧補償ユニットのプロトタイプが19インチラックに搭載されて展示されていた。また、DVD によるプレゼンテーションが流され、多くの来訪者でにぎわっていた。このシステムは ICT 用給電システムとして高信頼、省エネルギー、小形化などの点で優れ、各国の注目を集めており、今後の主流技術となる可能性が高いといえる。



図9 全景 (左) と来訪者でにぎわうNTTファシリティーズの展示ブース (右)

給電方式に関し、省エネルギーを目的にデータセンターにおける交流給電と直流給電を比較するとともに、一般ビル内での直流給電方式の可能性について考察している論文⁶⁾ が注目された。この論文は韓国政府の“Power IT Research Program” によるサポートを受けた研究の結果である。韓国の KT (Korean Telecom, 韓国テレコム) のデータセンターで交流380 V 給電と直流48 V 給電の実測効率が比較され、交流給電が67.4%、直流給電が76.2%と報告されている。さらに直流380 V 給電にすると84.5%が期待できるとしている。また、一般ビル向けとして太陽光発電、燃料電池やプラグインハイブリッド車などを設置した場合に、直流を給電系のバックボーン

にすることにより、より高効率な給電ができる可能性に言及している。ビル内の直流給電のモデルを図10⁶⁾に示す。分散型電源と親和性の高い直流をバックボーンにし、直流負荷に対しては必要によりDC-DCコンバータ、交流負荷に対してはインバータを介して供給することで、交流をバックボーンとした場合と比較し、変換器の数を減少できるとともに高効率化が図れる、としている。このシステムを実現するための課題として給電電圧の選定、直流配線用器具の開発、安全性を確保するための接地方式等が挙げられている。交流給電と直流給電の比較は、変換装置の改良により一概に断定できない要素もあるが、実測例として参考になる。また、ビル内の直流給電も今後の分散型電源や電気自動車の開発・普及を考えると検討の価値は十分あると考えられる。

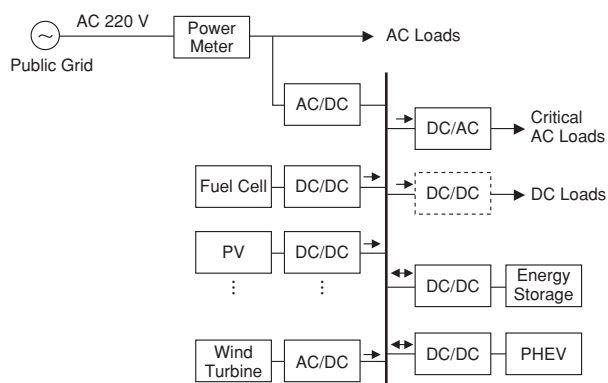


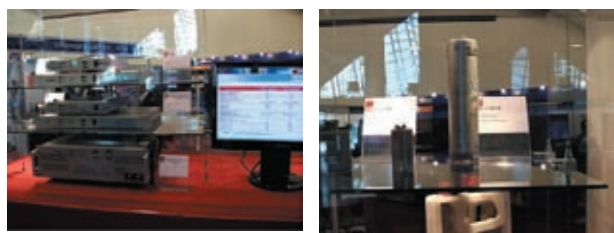
図10 分散型電源を有するビルにおける直流をバックボーンとした給電システム構成⁶⁾

3.2 高エネルギー密度蓄電池技術

現在、バックアップ用として使われているシール鉛蓄電池に替わる高エネルギー密度電池として、リチウムイオン電池の開発が活発に行われている。今回のINTELECでは、リチウムイオン電池に関する発表は少なく、計2件の論文が発表されたのみであった。1件はDSPを使用し、ファジィ制御により充電時間短縮やセル電圧管理を行う充電システム⁷⁾、2件目は充電器につながるセルを順次切り換えることにより小形化と低コスト化を目指す充電システム⁸⁾である。いずれもリチウムイオン電池の充電システムに関する論文であり、同電池を種々のシステムに適用する上で必要な技術である。

展示会では、フランスのSAFT社からリチウムイオン電池を適用した直流電源システム(図11(a))が展示されていた。同社はNiCd電池メーカーとして長い歴史を持っているが、最近リチウムイオン電池の開発にも力を入れており、図11(a)に示すような電源システムを商品化している。この写真で上から48V、2kW出力(電池容量3.5Ah、3分保持)、48V、4kW出力(電池容量7Ah、3分保持)、48V、3.2kW出力(電池容量45Ah、30分保持)で、高さはそれぞれ1U、1U、3Uである。同社のリチウムイオン電池の容量は、現在のところまだ小容量

(45Ahまで、図11(b))であるが、より大容量の電池も研究している模様であり、今後の動向を注視する必要がある。このように小容量のリチウムイオン電池から実用化が進んでおり、今後、低コスト化や利用技術の進歩により一層の導入が進むと考えられる。



(a) リチウムイオン電池を使用した直流電源システム (b) リチウムイオン電池(45Ah円筒形電池)

図11 リチウムイオン電池を適用した電源システム(SAFT社)

3.3 電力変換技術

毎回論文数の多いDC-DCコンバータ、整流器、UPS等の電力変換装置、電力変換技術については、今回も多くの論文が発表された。

発表論文のテーマとしては、高効率化、高エネルギー密度化が多かった。さらに本会議のメインテーマとも関連する太陽光発電用の電力変換器についても発表件数が多かった。

太陽光発電や風力発電など自然エネルギーを利用した発電では、出力電圧が気象条件により大きく変動する。この変化の大きい電圧を入力とするDC-DCコンバータには広い入力範囲で効率が高いことが望まれる。このようなアプリケーションに適した回路方式として、降圧コンバータと昇圧コンバータの直列接続方式と、従来からの昇降圧コンバータを効率面から比較した結果が報告されている⁹⁾。効率評価の指標として出力インピーダンスを使い、入出力の電圧変換比と出力インピーダンスの関係性を定式化している。検討回路と出力インピーダンスの計算結果を図12に示す。カスケード方式の出力インピーダンスは、昇降圧方式と比較して入出力電圧比に係らず小さく、高効率が可能と考えられる。常識的には変換段数が多いと効率は低くなると考えられるが、回路の動作特性から計算すると、2段構成の方が高効率になるということで興味深い。

展示会では、整流器やUPSは複数の会社から展示されていた。グリーンや環境などを掲げ、本会議のテーマと関連付けた展示が多かった。展示されていた整流装置とUPSを図13に示す。Dongah Elecomm社(韓国)は単相220V入力、直流48V出力の整流装置を展示していた。効率は94%ということで、小形・高効率をアピールしていた。また、Enatel社(ニュージーランド)はマイクロコンパクト整流器として、800W出力の整流装置を3台、1Uに搭載したシステムを展示していた。さらにChloride社(イギリス)は「Trinergy」という商品名の

UPS を展示していた。この UPS は商用直送，ダブルコンバージョン，ラインインタラクティブの3つの動作モードを用途に応じて切替可能なことを特徴としている。これらの展示では，いずれも高効率，小形等がアピールされており，今後も引き続き，製品情報等を注視する必要がある。

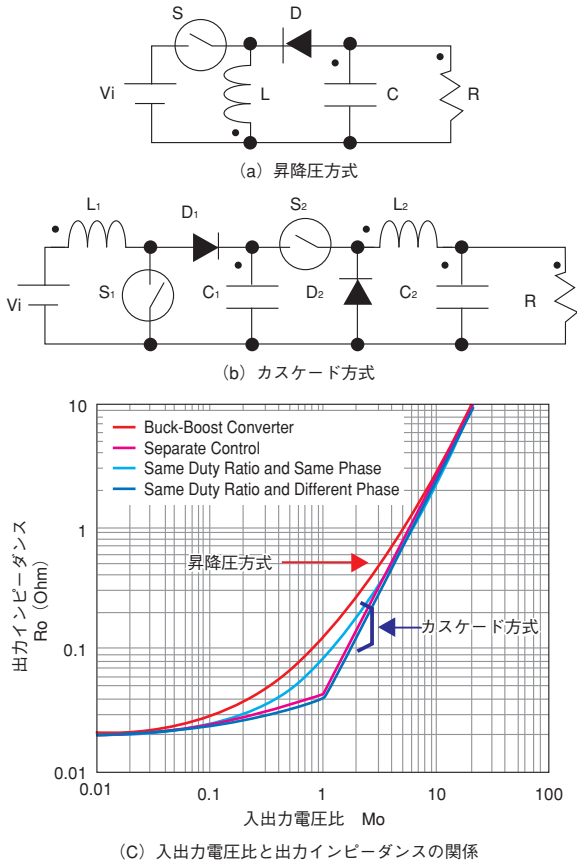


図12 自然エネルギー用 DC-DC コンバータ (カスケード方式対昇降圧方式)⁹⁾



(a) 48 V, 280 A 出力整流装置
入力：単相200 V
効率：94%
(Dongah Elecomm 社)

(b) マイクロコンパクト整流器
出力：48 V, 13 A (800 W)
× 3
(Enatel 社)



(c) UPS 「Trinary」
出力：1,200 kW
3つの動作モードを選択可能
(Chloride 社)

図13 整流装置，UPS の展示

3.4 分散型電源，マイクログリッド技術

この分野では，計10件の論文が発表された。系統連系インバータのテスト方法，無効電力補償システム，マイクログリッドにおけるスマートエネルギー蓄積装置の特性などが計算機シミュレーションにより検証されている論文が多い。

実証試験結果を基にした論文として，分散型電源と蓄電池を利用した無停電給電システムにおける蓄電池充電方法の検討が発表されている¹⁰⁾。システム構成を図14に示す。このシステムは分散型電源として太陽光発電 (PV 10 kW) を用い，双方向コンバータ (P.P. UPS) を介して蓄電池を接続している。通常は太陽光発電により自立運転し，蓄電池が充電不足の場合，商用電源で充電する構成である。この蓄電池について，充電ピーク電力を抑え，夜間電力を利用することにより，約10%の電気料金削減に効果があったことを述べている。このシステム構成は，分散型電源を活用できる新しい構成であり，今後の研究の進展が期待される。

また，遠隔地に設置される無線基地局などに給電するための自立電源として，ディーゼルエンジン発電機と NiCd 電池を組合せたシステムが報告されている¹¹⁾。これまで2台のディーゼルエンジン発電機を交互運転する方法をとってきたが，このハイブリッドシステムを採用することで，運転コストの低減と CO₂排出量の削減を図ることができるとしている。

展示会においては，5 kW 出力のメタノール燃料電池 (図15) が注目された。これまで燃料電池はバックアッ

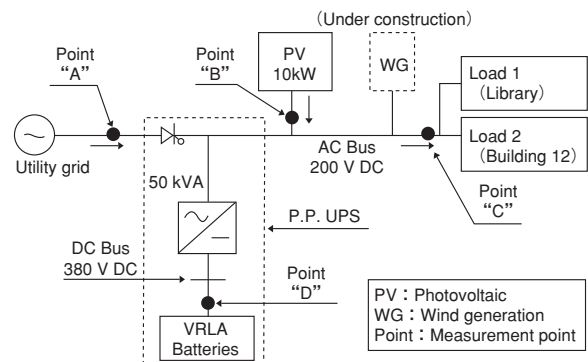


図14 分散型電源を用いた無停電給電システムの構成¹⁰⁾



図15 5 kW 出力のメタノール燃料電池 (固体高分子式) (IdaTech 社)

ブ電源として試験が行われてきているが、始動性や寿命などの点で問題が多かった。この製品は燃料電池セルの改良が行われており、セルの湿度の維持などで改良されているとのことであった。実証試験は2007年に開始され、無線基地局や小型交換局に約500セットが導入された。現在は実用段階とのことである。導入数もかなり多いので、運用結果の発表などに注視する必要がある。

4. おわりに

INTELEC 2009の論文発表、展示から電子通信用エネルギー技術の動向を考察した。主な結果をまとめると次の通りである。

- ・ 400 V 直流給電システムは、ICT 用給電システムとして高信頼、省エネルギー、小形化などの点で優れ、各国の注目を集めており、今後の主流技術となる可能性が高い。
- ・ 直流給電システムは、太陽光発電や燃料電池の出力と親和性が高いと考えられ、一般ビルへの適用が検討され始めている。
- ・ 高エネルギー密度蓄電池としてリチウムイオン電池を利用した直流電源が市販されており、今後、一層の大容量化や低価格化により、適用範囲拡大が期待される。
- ・ 電力変換技術では、高効率化や高エネルギー密度化の研究が活発であり、さらに自然エネルギーの利用に向けた特性改善、高効率化技術などの開発が期待される。
- ・ 分散型電源と蓄電池を組合せ、多様な制御を行うシステムの検討が進んでいる。また、燃料電池はバックアップ用電源の実証試験として多数導入されている例があり、今後の試験結果などに注視する必要がある。

INTELEC は、情報通信用エネルギー技術について毎回広範な立場で活発な議論が行われており、継続的な情報発信、情報収集の場として有効である。

〔参考文献〕

- 1) Akira Matsumoto, Akiyoshi Fukui, Takashi Takeda, Keiichi Hirose and Mikio Yamasaki, "Development of 400 Vdc power distribution system and 400 Vdc output rectifier", PA2-1, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 2) Tadatoshi Babasaki, Toshimitsu Tanaka, Yousuke Nozaki, Toru Tanaka, Tadahito Aoki and Fujio Kurokawa, "Developing of higher voltage direct-current power-feeding prototype system", PA2-4, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 3) Toshimitsu Tanaka, Tadatoshi Babasaki, Yosuke Nozaki and Tadahito Aoki, "Effect of system parameters when fuse blows in high voltage direct current (HVDC) power supply systems", PA3-1, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 4) Toshimitsu Tanaka, Yasuhiro Honma, Shoichi Kuramoto, Toru Tanaka, Tadatoshi Babasaki and Yousuke Nozaki, "Basic study on grounding system for high-voltage direct current power supply system", PA3-3, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 5) Masatoshi Noritake, Tomonori Iino, Akiyoshi Fukui, Keiichi Hirose and Mikio Yamasaki, "A study of the safety of the DC 400 V distribution system", PA2-2, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 6) Sung-Yong Son, "DC-based power feeding system approaches for green ICT in Korea", IK1-4, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 7) Shih-Ming Wang, Ming-Wang Cheng, Yuang-Shung Lee, Ren-Her Chen and Wun-Tong Sie, "Intelligent charged system for Lithium-ion batteries strings", PES-6, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 8) Chol-Ho Kim, Moon-young Kim, Jun-Ho Kim and Gun-Woo Moon, "Modularized charge equalizer with intelligent switch block for Lithium-ion batteries in an HEV", ES2-3, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 9) Koosuke Harada, Katsuaki Murata and Michihiko Nagao, "A cascade connection of switching converters for new energy control", PC17-3, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 10) H. Murai, T. Takeda, K. Hirose, Y. Okui, Y. Iwase, K. Yukita and K. Ichiyonagi, "A study on charge patterns for uninterruptible power supply system with distributed generators", MG2-1, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10
- 11) Joel Brunarie, Gerge Myerscough, Ake Nystrom and Jan Ronsen, "Delivering cost savings and environmental benefits with hybrid power", MG1-2, Proceedings of INTELEC 2009, 2009.10