

地球環境に貢献する パワーエレクトロニクス技術



江口 直也

富士電機システムズ株式会社 取締役
執行役員常務 CTO(最高技術責任者)
兼)技術開発本部長
兼)富士電機ホールディングス株式会社
技術開発本部 副本部長

1. まえがき

近年の地球温暖化、エネルギー資源の枯渇に対して、再生エネルギーの利用や省エネルギー（省エネ）は、人類の喫緊の課題となっている。

国際社会において、温室効果ガスの排出を抑制し、持続可能な環境配慮型社会の形成を目指すという認識が共通のコンセンサスになりつつある。低炭素社会の実現に向けたパラダイムシフトが、一段と強く求められている。先進国だけでなく、アジア、南米地域に代表される新興国においても急激な経済成長に伴って、今後は地球温暖化への本格的な対応が求められ、世界規模でエネルギー・環境ビジネスが拡大するものと考えている。つまり、さまざまな地域で今後の低炭素社会の実現に必要な事業が創出され、活性化が進んでいく。具体的には、太陽光や太陽熱、風力、地熱などの再生エネルギーシステムの構築ならびに省エネ・創エネ・蓄エネ技術を組み合わせてエネルギー需給の双方向の最適制御を目指すスマートグリッドモデル事業や大量輸送が可能な鉄道の新規導入、さらにハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）の普及促進などが行われている。

2. パワー半導体技術・回路技術・制御技術の融合による パワーエレクトロニクス技術

このような社会状況の中で富士電機は、そのビジネスを“エネルギー・環境”にフォーカスし、研究開発資源もこの領域に集中的に投入している。例えば、環境調和型の大規模都市空間づくりを目指す将来のスマートグリッドへの道程を意識し、その前段で求められる地域コミュニティやビル、工場などの小規模グリッド（需要家グリッド）のスマート化も重要な開発ターゲットとなる。

この分野において、エネルギー需給の入口と出口に設けられ、エネルギーの最適利用を果たすパワーコンディショナ（PCS）などに適用するパワーエレクトロニクス（パワエレ）技術がコア技術となる。

パワエレ技術は、パワー半導体技術、回路技術、制御

技術の融合技術である。富士電機では、特に半導体技術を生かした開発に重点を置いている。

需要家グリッドにおいては、パワエレ装置がグリッド全体のエネルギー最適化制御の要であり、パワエレ装置自身の小型・高効率化が強く求められる。これは、次に述べるとおり、半導体と回路の一体開発によって、高い次元で要求に応えることができる。

まず、需要家グリッドの一単位である工場における省エネ・超高効率化を実現するために、電動機の永久磁石化とその駆動に炭素けい素（SiC）を用いた高効率ドライブ装置などの開発を推進している。

同様に需要家グリッドの省エネ対象として重要なインターネットデータセンター（IDC）向けでは、アドバンスド NPC（Neutral Point Clamped）で実現した新 3 レベル高効率 UPS（Uninterruptible Power Supply）の製品化を完了した。さらにサーバ内部電源においても、極低損失の SJ-MOSFET（Superjunction-Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）と SiC-SBD（Schottky Barrier Diode）を採用した業界最高効率のフロントエンド電源の開発を完了し、IDC 内の電源システム全体でエネルギー消費を大幅に削減できる製品群を提供できるようにしている。

需要家グリッドよりも小規模なグリッドの一単位と位置付けられ、今後急速に拡大することが期待される EV 関連機器においても、業界に先駆けて低価格で高品質な地上用急速充電器を展開している。同時に、車載用電源やパワートレインなどのパワエレ製品の開発を逐次完了し製品化している。

また、次世代パワー半導体として、SiC と窒化ガリウム（GaN）の開発に注力している。これらは外部機関と連携を行い、早期に立上げを完了することを目指している。前述の一部のパワエレ製品では既に製品展開ができる状況にあり、次章において具体的な取組みについて述べていく。

3. 現状の具体的な取組み

スマートコミュニティの実現に向けて取り組んでいる製品の中で、代表的な成果を次に取り上げる。いずれも最新のパワエレ技術を駆使して実現した成果である。

3.1 SiC デバイスと SiC インバータ

需要家グリッドにおける工場の生産設備や空調設備で一般的に適用される電動機駆動用インバータをさらに高効率化するために、SiC-SBD 搭載インバータの開発を進めている。SiC デバイスは、Si デバイスの性能限界を大幅に超える次世代デバイスである。Si デバイスと比較して、高耐圧化、低損失化、高温動作化が可能である。SiC デバイスの中で、SiC-SBD は実用化の段階に至っている。今回、Si-IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と組み合わせ、FWD (Free Wheeling Diode) に SiC-SBD を適用したパワーモジュールを開発し、汎用インバータへ搭載することを決定した。

SiC-SBD は、スイッチング時の逆回復電流が小さいという特徴がある。FWD の逆回復損失が低減されるとともに IGBT のスイッチング損失も低減される。図 1 に従来機種種のインバータと SiC-SBD 搭載インバータの発生損失の比較を示す。従来機種よりも 25% の損失低減を達成している。容量系列は、三相 200V 系列：7.5～15kW、三相 400V 系列：7.5～15kW を計画している。

3.2 先進技術を用いた高効率電源

IDC 分野の市場が拡大し、IDC のグリーン化（低損失化）が大きな課題となっている。IDC のグリーン化の指標として電力使用効率（PUE：Power Usage Effectiveness）^(注)が広く用いられている。

PUE は、IT 機器のエネルギー消費量に対するデータセンター全エネルギー消費量の比率で定義されている。こ

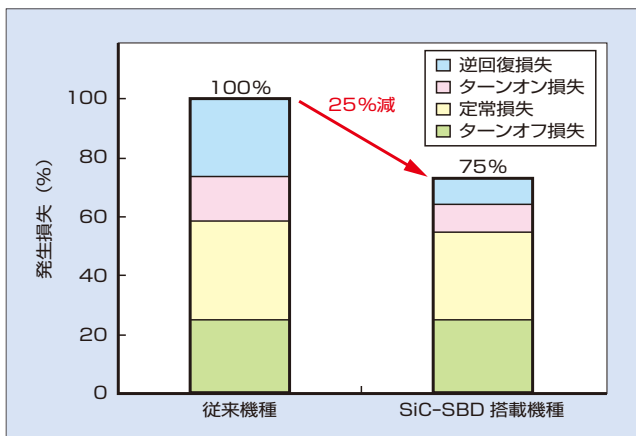


図 1 SiC インバータの発生損失の比較

〔注〕 PUE：電力使用効率＝データセンター全体の使用電力量／データセンター全体の IT 機器の使用電力量

の指標を向上させるためには、IT 機器の省エネだけでなく、IT 機器に供給する電源の高効率化も重要になる。

次世代の高効率変換回路として、マルチレベル変換回路の一つであるアドバンスト NPC 回路の開発に取り組み、2010 年 4 月にはこの回路方式を採用した新型中容量 UPS の市場投入を開始した。この UPS は、中容量（50～100kVA）の常時インバータ方式としてはトップレベルの効率 95% を実現し、従来商品に比べて損失の半減を達成した。特に、負荷率 50% から 100% にわたる広い範囲においてほぼ 95% を達成しており、実用的な特性となっている。

ここで、高効率化のキーとなるアドバンスト NPC 回路部には専用の IGBT モジュールを開発し採用した。このアドバンスト NPC 用 IGBT モジュールでは、富士電機独自の RB-IGBT (Reverse-Blocking IGBT：逆阻止 IGBT) が高効率化に大きく貢献している。現在、三相 400V 系 500kVA クラスの大容量 UPS についても効率 97% 以上を目標に新機種を開発中で、2011 年 3 月に製品化の予定である（図 2）。

また、自然エネルギーの有効な利用策として、このアドバンスト NPC 回路で構成した UPS のパワースタック部をベースにした中容量太陽光発電用 PCS への展開を推進している。出力電圧が三相 200V で 30kW と 50kW の製品を計画している。この容量クラスでは、UPS と同様トップレベルの変換効率を見込んでいる。この新型中容量 PCS は、単結晶太陽電池だけでなく富士電機のフィルム型アモルファス太陽電池「FWAVE」にも対応しており、フレキシブルなシステム構成を可能としている。

さらに、高効率・高電力密度の情報・通信用電源の開発にも取り組んでいる。2009 年度には 80 PLUS Gold 対応、2010 年度には Platinum 対応のフロントエンド電源 (FEP) を開発した。入力 AC100/200V、出力は 48V、2.5kW であり、電力密度は 1.7W/cm³ である。これらを達成するため、SJ-MOSFET や SiC-SBD を採用し高周波化や損失の低減を図っている。回路構成や制御方式にも独自の工夫を盛り込んでいる。

FEP の入力部には、入力電流波形を正弦波に保ちつつ AC-DC 変換を行う PFC (Power Factor Correction) 回路を設けている。今回の入力回路部は整流ブリッジを用

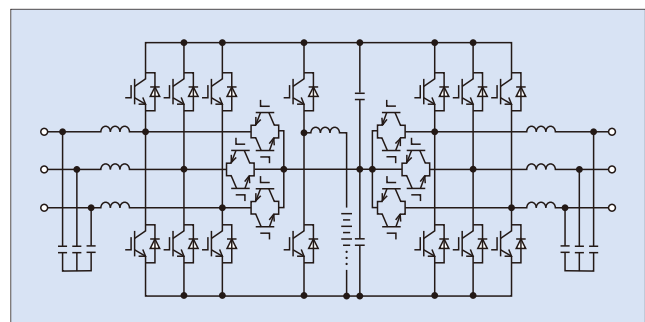


図 2 アドバンスト NPC 採用による大容量 UPS の回路トポロジー

いた従来型に代わり、**図3**に示すようにブリッジレス構成を用いることで半導体素子の導通損を低減した。また、後段のDC/DCコンバータ部の制御では、軽負荷時に損失の小さいスイッチングパターンと、定格付近で低損失となるスイッチングパターンを負荷率に応じて切り替えることにより、軽負荷から定格負荷までの広い範囲で高効率化を実現している。

3.3 EV用装置

温室効果ガスの排出量削減において、自動車分野における役割は重要である。これまでのパワーデバイスやセンサといった車載コンポーネントと自動車工場向け生産設備などの提供に加え、EVの実用化と量産に合わせて、地上充電設備や車載用電源、パワートレインに至る幅広い取組みを行っている。

(1) 地上用急速充電器

EVの普及・発展には、充電インフラの整備が不可欠である。EVの充電時間に応じて急速充電器と普通充電器があり、ホテルなどの駐車場への設置、ガソリンスタンドでの併設、さらには専用充電ステーションの構築とさまざまな形態で広がり始めている。富士電機が新たに開発・販売を始めた地上用急速充電器（200V受電、50kW）の

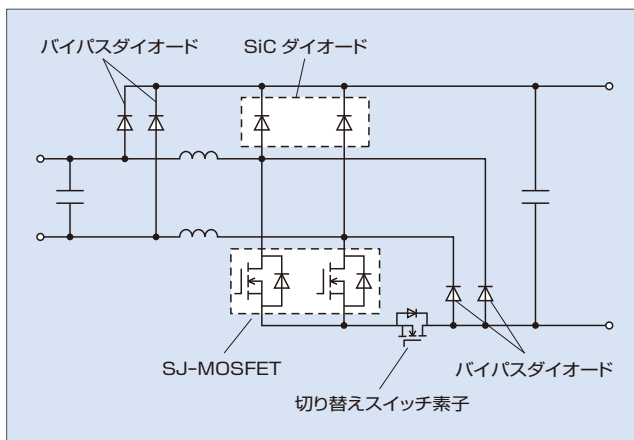


図3 ブリッジレス PFC

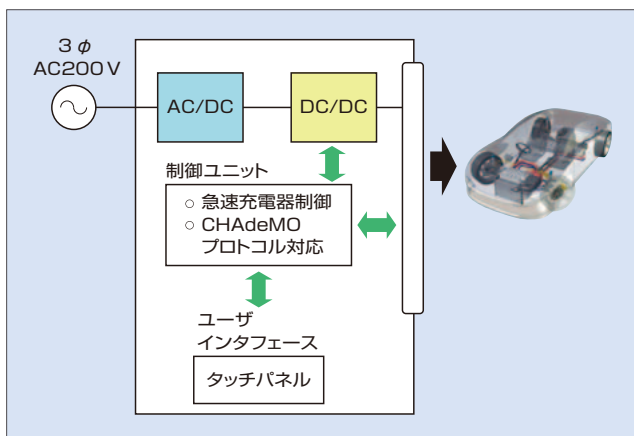


図4 地上用急速充電器の構成図

構成を**図4**に示す。この充電器は、チャデモ（CHAdeMO）^{〈注〉}協議会が標準化を進めている仕様に対応している。急速充電器として必要な機能、安全性を備えるとともに、産業用パワエレ機器とのユニット共通化により、業界最高レベルのコストパフォーマンスを実現した。

(2) EVバス用水冷インバータ

中国では、乗用車に先立って路線バスのEV化が進みつつある。EVは、搭載バッテリーによって航続距離が制限される。大都市圏の路線バスでは運行経路が比較的短く、その運行経路に合わせたバッテリーを搭載することで、重量や車体価格のアップを軽減している。富士電機は、汎用インバータで培った電力変換技術、モータ駆動技術をベースに、路線バス用水冷インバータの開発を完了した（**図5**）。

このインバータの容量は、連続165kW、過負荷耐量150%であり、バッテリー電圧は250～460Vまで対応できる。駆動モータは、誘導電動機と永久磁石形同期電動機の双方に対応し、今後は容量系列を拡大し、さまざまなEVバスに適用する。

4. 今後の課題と展望

これまで述べたとおり、スマートグリッドに代表されるエネルギー・環境ビジネスの拡大には、コアとなるパワエレ技術の強化が今後も重要となっていく。この中で、効率99%以上、電力密度は数十W/cm³など、装置の究極の小型・低損失化を進め、電圧・周波数限界も含めて、その適用範囲を拡大していくことになる。これらを実現するためには、半導体デバイスはシリコンデバイスの薄型化や高精細化により、さらなる性能限界を追求するとともに、SiCなどのワイドバンドギャップ素子の本格導入を進めることが前提となる。これらの素子開発は、もはや半導体部門単独で行えるものではなく、その適用を意識した最適化開発が常に必要となっていく。つまり、デバイスと回路の完全な一体化である。このため、半導体



図5 EVバス用水冷インバータ

〈注〉 CHAdeMO：チャデモ協議会の商標または登録商標

と回路の技術者の融合と技術者育成も必要になる。さらに、温度や周波数、ノイズ環境などその適用条件も従来とは比較にならないほどの過酷なものが要求されることが予想できる。エネルギー蓄積機能も重要なシステム要件になる。このため、周辺のコンデンサやリアクトルなどのいわゆるパッシブ部品やセンサ、制御回路などの電子部品、そして電池についても、ターゲットを明確にした総合的な開発を進める必要がある。これらに対しては、1社では解決できない課題となるため、国内外の先進企業と積極的に連携をとっていく。今後はグローバル化が進行する中で、装置構成ユニットの共通化がサプライチェーンにおいて有力な手段となる。これに対して、半導体から主回路、制御回路までを集積化する基本ユニットのコンセプトを積極的に取り入れていく。

5. あとがき

サイリスタが誕生してから50年以上が経過し、その間にMOSFETやIGBTなどさまざまなパワー半導体デバイスが開発されてきた。パワエレ技術はその流れとともに

に進化し、今日では、電力分野から、産業、電鉄、家電、通信に至るまで、多くの分野で適用されるようになった。そして、低炭素社会を目指す今日、その重要性はますます高まっている。この社会ニーズに応えるために、富士電機はたゆまぬ開発を進め、社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. Fourth Assessment Report. 2007-06.
- (2) 低炭素社会実現へ「変革」すべき時 日刊工業新聞. 2010年9月9日16面.
- (3) Komatsu, K. et al. New IGBT Modules for Advanced Neutral-Point-Clamped 3-Phase Power Converters. IPEC-Sapporo. 2010, June, p.523-527.
- (4) Mino, K. et al. Novel Bridgeless PFC Converters with Low Inrush Current, Stress and High Efficiency, The 2010 International Power Electronics Conference -ECCE ASIA-, IPEC-Sapporo 2010, Sapporo, Japan, June 21-24, p.1733-1739.





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。