日経産業新聞フォーラム2008
広告企画
企画・制作=日本経済新聞社広告局

産業技術総合研究所シンポジウム

低炭素社会実現に向けたパワーエレクトロニクスのインパクト

独立行政法人
産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST

この特集は日経アドネットからもご覧になれます。
http://www.nikkei.co.jp/adnet

産業技術総合研究所シンポジウム「低炭素社会実現に向けたパワーエレクトロニクスのインパクト」（主催：産業技術総合研究所、日本経済新聞社）が、十月二十二日開催された。優れた操作性、利便性の観点から、エネルギーの電力としての利用がますます増加しており、その鍵となるパワーエレクトロニクスと省エネルギー化の技術進化が目覚ましい。当日のシンポジウムでは、最先端技術紹介の講演や、活発な意見交換が行われた。

開会あいさつ

産業技術総合研究所 イノベーション担当理事 伊藤 順司 氏

本日のシンポジウムには二つの重要な意味がある。一つはパワーエレクトロニクスという技術をはぐくんできた研究コミュニティーの方々が、社会に向けてアピールを行うとともに、社会的責任を宣言する機会と位置付けられることである。

もう二つは、パワーエレクトロニクスを社会、産業のために目に見える形で発展させていくための運命共同体として共通のミッションを担うべきであると考えており、今回のシンポジウムがそのスタートとなることを祈念している。

来賓あいさつ

経済産業省 商務情報政策局参事官 星野 岳穂 氏

パワーエレクトロニクスが注目されている背景には地球温暖化問題がある。二酸化炭素（CO_2）排出削減のため、エネルギーの電力シフトが一層進む中、さまざまな機器の電力損失を大幅に削減可能となるパワーエレクトロニクス技術を、経産省の推進する「グリーンIT」政策の中核に位置付けている。

日本の半導体産業の競争力強化の観点からも、材料、デバイス、装置各分野の強力な水平連携によるパワーエレクトロニクス戦略を構築していく必要がある。

基調講演① 我が国のエネルギー政策

資源エネルギー庁エネルギー政策企画室長 石崎 隆 氏

エネルギーを取り巻く状況が厳しさを増す中、エネルギーの安全保障・環境保全・経済成長などへの一体的な取り組みが求められている。この流れのもと、資源エネルギー庁では十年・二十年という長期的視野に立ち、エネルギーの将来像（「長期エネルギー需給見通し」）を提示している。

そこでは、二〇〇五年に比較し二〇年にはエネルギー起源の二酸化炭素（CO_2）排出の二三%削減が可能との展望を示している。

電力の有効利用が鍵握る

今後、こうした低炭素社会を実現するには、依然として高い化石燃料依存を下げることが最重要のテーマとなる。エネルギーの消費サイドに目を向ければ住宅やオフィスなど民生部門の省エネも欠かせない。オイルショック時に比べ産業部門のエネルギー消費はほぼ横ばいなのに対し、民生部門では約二・五倍と高い伸びとなっている。

加えてこれら部門のエネルギー構成では電力依存度が高い。このためグリーンITや高効率給湯・空調など最先端の省エネ型機器の普及に期待するところが大きい。

現在、運輸・自動車部門では石油依存度が極めて高い。ここでの過度の石油依存からの脱却には、ハイブリッド・電気自動車などが有効手段となる。こうした状況のもと、電力を便利に有効に使う技術であるパワーエレクトロニクスは、低炭素社会実現のためのコア技術として一段と重みを増してくる。

基調講演② パワーエレクトロニクスの重要性と課題

東京大学生産技術研究所 特任教授 荻本 和彦 氏

東京大学生産技術研究所では今年、エネルギー工学連携センターを設立した。併せて電気系や資源系でもセンターを設立するなど、エネルギー問題に総合的に取り組む態勢を強化している。

また、経済産業省は一連の地球環境問題に対する技術戦略検討の結果を反映した「クール・アース」として長期的視野のもと、これからのエネルギー革新技術を検証している。

創エネとEMSの重要性増す

現在のエネルギー状況に目を向けると、民生部門では、省エネに加え手元でエネルギーを生み出す創エネが注目されている。またエネルギーの効率的使用を図るエネルギーマネジメントシステム（EMS）も今後重要性を増すことが予想される。

例えば、太陽光発電を導入した住宅などでは、その出力変動を調整補償する建物エネルギーマネジメントが必要だ。さらに建物単位にとどまらず、地域のEMSに広げることでその効果は高まる。

一方、カーボンフリーエネルギーとして注目されている原子力や風力・太陽光・バイオマスなどの再生可能エネルギーは、使いやすい電気の形で提供されるが、効率よく電力に変換し需給に合わせることが不可欠である。パワーエレクトロニクスをはじめとする電力技術は、エネルギーをうまく使いこなすための基幹技術として、ますます重要性を増すと考えられる。

このようにシリコンIGBTの登場により、パワーデバイスは小型高効率化を実現してきたが、次世代技術として炭化ケイ素（SiC）、金属酸化膜半導体電界効果型トランジスタ（MOSFET）が関心を集めている。

新幹線ではIGBTが活躍しているが、SiC MOSFET化によるスイッチング周波数の格段の向上も可能とされるなど、多くの期待が寄せられている。

基調講演③ スイッチング電源から配電システムにおけるパワーエレクトロニクス変換

富士電機デバイステクノロジー 開発統括部長 関 康和 氏

絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（IGBT）は、省エネ実現のためのキーデバイスとして適用領域を広げている。その導入は産業用インバーターから始まり、現在では送配電・新幹線から自動車・家電まであらゆる分野で利用されている。

省エネのキーデバイスIGBT

小型・低損失化を軸とするIGBTの性能向上も着実に進展している。そしてさらなる進化を逐げるには、大規模集積回路（LSI）などとは異なるパワーデバイス独自の技術革新が求められる。

例えば、LSIと同じパワーデバイスでも微細期待も高い。IGBTモジュールのさらなる進化薄型化が進行しているが、そこではチップ表面にはパッケージ材料の耐だけでなく裏面構造形成高温化や放熱性の向上、にも技術が要求される。冷却技術などが決め手となるチップに加えパッケージレベルでも独自の技術が要求される。現在ではインテリジェント・パワー・モジュール（IPM）が広範な分野で用いられる。

最先端技術の紹介に注目集まる

グリーンITのためのデータセンター技術

NTTファシリティーズ研究開発本部 主幹研究員 廣瀬 圭一 氏

膨大な情報機器や空調設備を抱えるデータセンターは省エネが急務である。NTTファシリティーズは、その解決策として直流供給による高効率・高信頼化を提唱している。既存の交流供給では、電源から負荷に至るまで、交直の電力変換が多段に繰り返され、そのつど損失が生じていた。

一方、直流供給では少ない変換回数により損失を低減、発熱を抑制すると同時に設備の信頼性向上やスリム化も実現する。当社試算では、約一五%の給電効率の向上を想定している。直流供給の研究開発は海外でも進められ、データセンターのみならず、IT（情報技術）の導入が進む住宅内にも検討範囲が拡大している。今後は、高電圧直流供給も着目を浴びるであろう。

データセンターのグリーン化

産業技術総合研究所 情報技術研究部門 副研究部門長 伊藤 智 氏

産業技術総合研究所の情報技術研究部門では、データセンターのグリーン化の研究を進めている。現在の情報機器のプロセッサーでは電源を入れている限り、稼働状況にかかわらず消費電力はあまり変わらない。これに着目し電源を入れている機器には最大限の仕事をさせることが有効策となる。

データセンターの省エネでも、使わないマシンは落とす、使うマシンは使い尽くす、が基本となる。例えば夜間や週末など稼働率が低いときにはサービスを一サイトに集約することなどが考えられる。

さらに省エネ対応を供給側だけが担うのでなく、サービス利用者サイドでの分担も視野に入れることが必要だ。この観点からはグリーンSLA（サービス・レベル・アグリーメント）の動向に注目したい。

産業用モータードライブ

安川電機 開発研究所パワーエレクトロニクス チームリーダ 山田 健二 氏

安川電機は一九八五年に初めてIGBTを搭載した汎用インバーターを発売、IPMの導入などにより改良を重ねてきた。IGBTをはじめパワーデバイス進化の結果、インバーターの損失はここ二十五年間で約五分の一に低減。低騒音化でも向上を遂げている。

一昨年にはRB－IGBTを搭載したパワー変換装置のマトリクスコンバーターを発売。小型化などで成果を挙げている。次世代のモータードライブシステムではSiCパワーデバイスが注目されている。

安川電機ではオールSiCのパワーモジュールの組み込み評価を行い、損失五〇%低減などの成果を得た。併せてノイズや高温動作などにも取り組みを進めている。

自動車用パワーデバイス

日産自動車 総合研究所社会フロンティア研究所主管研究員 星 正勝 氏

二酸化炭素排出量削減に向け、日産自動車ではインバーターではシリコンのIGBTとダイオードが使われている。日産自動車ではSiCのヘテロ接合ダイオードHJD（ヘテロ・ジャンクション・ダイオード）をロームと共同で新たに開発し、チップ角五ミリ、耐圧九百ボルト、オン抵抗〇・八五mΩ平方センチメートルを達成。

ダイオードの小型化とインバーター効率の二〇%改善に成功している。また世界に先駆けて燃料電池車にこのSiCダイオードを搭載しての走行実験も行った。

内航電気推進船の紹介

アイ・エイチ・アイマリンユナイテッド 基本設計部電気システム計画グループ技師 渡辺 学 氏

アイ・エイチ・アイマリンユナイテッドでは二重反転プロペラ（CRP）を採用した内航電気推進船を開発した。電気推進船はエンジンで発電し、その電気でモーターを駆動しプロペラを回す。機関室を小型化できるなどの利点があるが、インバーターで電力変換するため伝達ロスが生じ、従来船より燃費が悪化するのが課題とされていた。

従来の船では無駄になっていたプロペラの回転流のエネルギーを二枚のプロペラをもつCRPにより回収することでこれを解決。従来船に比べ燃料消費の二〇%低減を実現していることを海上試運転にて確認した。CRPでのエネルギー効率改善にSiCインバーター化による損失低減が加われば、さらなる燃費向上と機器の小型化が期待できる。

分散電源による直流多端子配電システム構成

日立製作所日立研究所パワエレシステムユニットリーダ 一見 基生 氏

日立製作所は電源開発と共同で分散電源による直流多端子配電システム構成を開発した。分散電源の普及を念頭に、交流変換を介さず高圧の直流で配電することで高効率配電を図る。併せて故障・事故時の保護に万全をにらみ今回は多段の変換による損失防止を目指し、六キロボルトから六百ボルトに高効率で直接変換するDC／DC変換器を試作した。IGBT直列でスイッチングしたが、デバイスの進化によるさらなる高効率化にも期待したい。

期した高信頼なシステムづくりも目指した。

モデルとしては、太陽光など直流発電源があり二十メガワット規模の発電所を含むエリアを想定している。この規模の想定モデルでは高圧での直流変換装置が必要となる。これ

電鉄用パワーデバイス・インバーター

三菱電機 先端技術総合研究所 パワーエレクトロニクスシステム開発センターシステム統合化技術グループリーダ 大井 健史 氏

新幹線をはじめとする電鉄用パワーデバイスではIGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）が浸透している。電鉄では特に大容量高電圧対応が要求される。例えば架線電圧が在来線よりも高い新幹線では、三・三キロボルトのIGBTで三レベルの回路を組んだインバーターなどで対応している。

次世代の電鉄用パワーデバイスとしてのSiCへの期待も高い。三菱電機ではSiCパワーMOSFETとショットキバリアダイオードを試作評価。一・七キロボルト耐圧でオン抵抗・スイッチングロスなど特性面で好成績を挙げている。

実用化に際しては電車に要求される長寿命に応えるべく、パッケージ技術の進化にも期待したい。またさらなる高耐圧デバイスの開発動向にも注目している。

SiCパワー素子の現状と課題

京都大学工学研究科電子工学専攻教授 木本 恒暢 氏

SiCは低損失（低オン抵抗）を最大の特徴とする。高耐圧、高周波・高速スイッチング、高温動作などパワーデバイス材料として多くのメリットを備えている。パワーデバイスでは六百から千二百ボルトあたりを境に、既存のシリコンパワーデバイスに取って代わることが予想されている。

その実用化も着々と進み二〇〇一年にSiCショットキバリアダイオードが実用化。現在では大電流化も進み千二百ボルト・十アンペア級の製品も登場している。本命であるSiC MOSFETも実用化が視野に入り、現在は信頼性のテスト段階に到達しており、高移動度SiC MOSFET、大容量パワーモジュールなどで数々の優れた研究開発がなされている。

GaNパワーデバイスの現状と課題

パナソニック セミコンダクター社 主幹技師 柳原 学 氏

GaNは、シリコンの材料限界を超えた低オン抵抗・高耐圧特性を実現できるパワーデバイス用材料として、高い期待を集めている。

パナソニックセミコンダクター社ではGaNパワーデバイスの実用化に向けた研究開発を進めている。独自のGIT（ゲート・インジェクション・トランジスタ）を開発することで、電気機器の省エネ化に役立つ、安全で使いやすいGaNデバイスの実現に成功した。

また、安価なハチニンシリコン基板上へ良質なGaN結晶を成長させる技術を開発し、低コスト化の目途も得た。さらに一万ボルトを超える超高耐圧のGaNトランジスタの実現にも成功した。

パワーデバイスの周辺技術

東芝研究開発センター電子デバイスラボラトリー研究主幹 四戸 孝 氏

SiCやGaNなどワイドギャップ半導体の特性を最大限に引き出して、高効率でコンパクトなパワーエレクトロニクス機器を実現するためには、デバイス自身の性能向上だけでなく周辺技術も大きな役割を果たす。

例えば高速制御技術、電磁波ノイズ対策、大電流密度を低抵抗・低インダクタンスで引き出すための接合技術、熱対策に優れるパッケージング技術、耐熱性の高い受動部品、効率的な冷却技術など広範囲な技術開発が必要となる。

SiCパワーデバイス開発は、第一フェーズ（材料開発）、第二フェーズ（素子開発）を経て第三フェーズ（応用開発）へと進展しており、応用装置開発を軸とした材料・素子との連携開発が強く求められている。

エネルギー問題を解決するパワーエレクトロニクス革新のために産総研は何をするか

産業技術総合研究所エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボ長 奥村 元 氏

現代のエレクトロニクスはコンピューターと情報を主に扱う電子工学としての性格を強めている。しかし地球環境への意識が高まる中、電力エネルギーを扱うパワーエレクトロニクスとしても重要性を増している。

電気エネルギーの流れを概観すると、発電所の五十万ボルトの世界から消費の末端である半導体素子の一・二ボルトまでの間に、多段に渡る電流・電圧の変換過程が介在する。その各段階での損失低減と変換段数削減が低炭素社会実現に向けてのポイントとなる。

こうした課題へのアプローチとして、SiC、GaNなどワイドギャップ半導体への期待は高い。ちなみにSiCデバイス搭載のインバーターでは、損失が半減するという試算もなされている。

ワイドギャップ半導体の活用にはさまざまな面からの取り組みが必要となる。例えばインバーターでは素子レベルでの性能向上にとどまらず、実装や熱解析なども包括した統合型の設計手法が求められる。

また材料としてのウエハー、デバイスと回路設計、応用に際してのシステム技術など関連諸技術の連携が図れる体制構築も欠かせない。この観点のもと、産業技術総合研究所では、システムの効能実証により、ワイドギャップ半導体の有用性を明らかにしていくことに力を注いでいる。

併せて産業界を軸とする「グリーンパワエレ技術プロジェクト」のような研究開発の動きにも期待したい。

まとめ

産業技術総合研究所 研究コーディネーター 大和田野 芳郎 氏

パワーエレクトロニクスは、電車の例のようにかなり昔から利用されてきた。ワイドギャップ半導体が、現在なぜ必要なのか、低損失、高密度動作という観点から今一度考えたい。海外企業との競合も激しさを増す中、本当に新しい素子を開発していくにはどこに一番ニーズがあり、どこが一番強みを発揮できるかを明確にし、集中的な研究を行うべきであろう。

ウエハーから素子、システムに至る一貫した体制をニーズに応じて構築していくことには、あらゆる階層の連携が必要であると思う。産総研はこれらの基盤づくりにおいて長年努力をしてきたが、真に新しいパワーエレクトロニクスの革新のために、今後もさまざまな企業、大学と強固な連携を築いていきたい。