

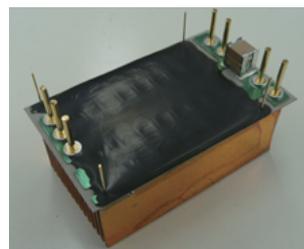
小型軽量インバーターで 電動化を加速！！

出力密度 70 kW/l, 50 kW/kg の 世界最小クラスのインバーターを開発

省エネ技術や温室効果ガス排出削減技術開発に期待が高まるなか、インバーターの役割が大きくなっている。さらなる効率化のためシリコンに代わる新しい半導体材料として SiC (Silicon Carbide: 炭化けい素) に注目が寄せられている。ここでは、高効率性能と低ノイズ性能を両立させる IHI 独自の SiC 駆動技術と小型軽量インバーター技術を紹介する。

株式会社 IHI
技術開発本部 総合開発センター
電機システム開発部

山口 浩二



小型軽量インバーター（出力 35 kW, サイズ約 500 cc, 質量約 660 g）

インバーターがつくる世界

世界の電力需要は、近年の新興国の発展に伴い急激に増加している。また、世界の電力需要の 50% 以上はモーターを駆動するために使われているといわれている。産業分野においては、工場内の機器別使用電力をみると、およそ 60% の電力がコンプレッサーやポンプ、ファンなどの機器を駆動するモーターに使われ

ている。

インバーターとは直流電力を交流電力に変換する電力変換装置のことであり、モーターを効率良く駆動するための装置として広く利用されている。身近な例ではインバーターエアコンやインバーター冷蔵庫などの家電製品として、普段の生活のなかでも活躍している。

実は日本は省エネ大国である。同じ GDP を生み出すために排出される CO₂ の量はアメリカと比較して

およそ半分、中国と比較するとおよそ 1/10 と非常に少ない。その要因の一つとして、日本では家電のインバーター化が進んでいることが挙げられる。エアコンの消費電力は 20 年前のおよそ 1/4 にまで改善されており、インバーター技術の進歩による大きな成果といえる。

また、近年は太陽光発電や風力発電などの新しいエネルギー技術開発、普及が盛んに進められているが、これらの新エネルギーを交流電力系統に接続するためにもインバーターは必要不可欠な装置である。新興国においても経済、産業の発展に伴いモーター・インバーターの使用は増加傾向にあり、インバーター技術の果たす役割は拡大傾向にある。

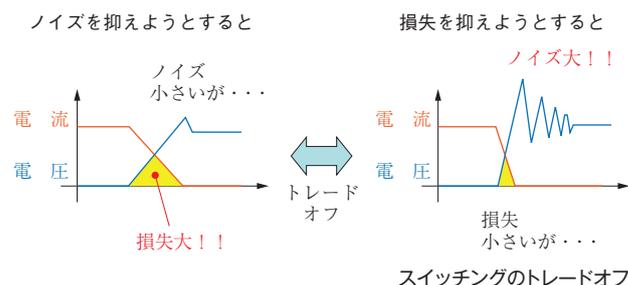
モーター・インバーターを活用したシステムの電動化技術開発も盛んになされている。電動化技術の身近な適用事例としてハイブリッドカーなど自動車の電動化がある。電動化による燃費性能向上、制御性能向上、情報通信技術と合わせたシステムのスマート化など、電動化によるメリットは非常に大きい。

ハイブリッドカーのように既存システムの電動化を検討する際、大きな障壁になるのが新たに加わる装置となるインバーターのサイズ・質量である。電動化によるシステムの付加価値アップを促進するためにもインバーターを小型軽量化することは重要な意味をもつ。

このように、これからのインバーターにはさらなる小型軽量化が求められている。インバーターの小型軽量化のためには、インバーターの損失削減と冷却性能向上の二つが必要である。インバーターで発生する損失を削減することができれば、ヒートシンクや冷却媒体用ポンプなどの冷却装置を縮小することができ、損失を発生する半導体素子自体を小さくすることも可能となる。また、冷却性能を向上することができれば、変換電力を維持したまま冷却装置を縮小することが可能となる。冷却装置や半導体素子サイズを縮小することでインバーターの小型軽量化を実現することができる。

半導体スイッチングのトレードオフ

インバーターなどの電力変換装置は、半導体デバイスをスイッチとして動作させ、オンオフを繰り返すことで効率の高い電力変換を実現している。その反面、スイッチングに伴い電圧、電流が急激に変化すること



で発生するスイッチングノイズが問題になることがある。

インバーター小型化のためには損失削減が重要であることは前述したとおりであるが、一般的に半導体デバイスのスイッチングにおいては、低損失性能と低ノイズ性能はトレードオフの関係にある。

図に示すように、ノイズを抑えようとしてゆっくりスイッチングすると、電流、電圧の変化が抑制されてノイズを小さくすることができる反面、スイッチング遷移期間での損失（電圧と電流の積に等しい）が大きくなってしまふ。損失の増大は、効率の低下、大型ヒートシンクや水冷装置など冷却装置の大型化、コストアップを招いてしまふ。

一方で、損失を抑えようとして速くスイッチングすると、電流、電圧の変化が激しくなり、スイッチングノイズが大きくなってしまふ。大きなノイズは信頼性を低下させ、ノイズフィルターやシールドなどのノイズ対策機器が必要となり、装置の大型化、コストアップを招いてしまふ。

インバーターの小型化のためには、損失とノイズのトレードオフを解消することが不可欠となる。

SiC のインパクト

シリコンに代わる新しい半導体材料として、SiC や GaN (Gallium Nitride : 窒化ガリウム) などのワイドバンドギャップ半導体が注目を集めている。GaN デバイスは新しい照明として普及の進む LED (発光ダイオード) としても利用されている。

従来のシリコン半導体と比較して SiC デバイスの主なメリットとして、次のような特長が挙げられる。

- (1) 損失が少ない
- (2) 高速スイッチングが可能
- (3) 耐高電圧化しやすい

SiC デバイスはシリコンデバイスと比較して損失が少ないことから、同じ電力を変換する際の発熱量が少ない。発熱量が少ないということは、ヒートシンクなどの冷却装置を小さくできるということであり、インバーターの小型軽量化を可能とする。

また、SiC デバイスは高速スイッチングが可能であるため、スイッチング周波数を高くして細かくオンオフを切り替えることにより、きめ細かい制御が可能となり、モーターの高速駆動、周辺装置の小型化などが可能となる。さらに、SiC は絶縁破壊電圧が高いことから高電圧デバイスを実現しやすいので、従来の高電圧システムの簡素化やさらなる高電圧化による効率改善が期待できる。

SiC デバイスの高速スイッチング特性を活かすためにもスイッチングノイズ対策が重要となる。

IHI はこの SiC デバイスのメリットをさらに有効活用するために、独自の SiC 駆動技術、SiC 小型パワーモジュールを開発し、インバーターの小型軽量化を検討した。

SiC 小型軽量インバーター

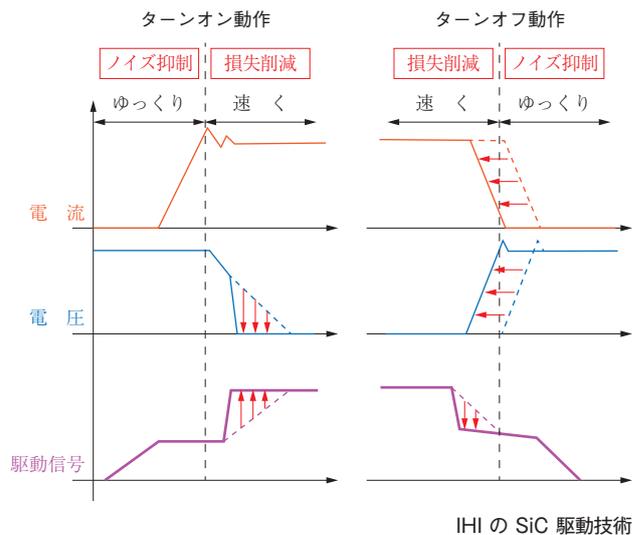
IHI はインバーターの小型軽量化を実現するために SiC デバイスを利用して、以下に挙げる二つのキーとなる技術を開発した。

- (1) 独自の SiC 駆動技術の開発
- (2) SiC 小型パワーモジュールの開発

はじめに損失削減のため IHI 独自の SiC 駆動技術を開発した。半導体における駆動技術とは、半導体デバイスのオンオフをコントロールする回路技術のことであり、より低損失でスイッチングするための駆動技術が求められる。次に冷却性能を高めた高熱伝導構造の小型パワーモジュールを開発した。このとき、これら二つの性能と低ノイズ性能を両立するようにならなければならない。

まず、IHI の SiC 駆動技術について紹介する。前述したように、半導体デバイスのスイッチングには損失とノイズのトレードオフがあるが、開発した駆動技術によれば低損失かつ低ノイズでのスイッチングが可能となり、スイッチングのトレードオフを解消することができる。

右上図に示すように、スイッチングの遷移期間の間



IHI の SiC 駆動技術

にスイッチングのスピードを適切に変化させることで、低損失かつ低ノイズのスイッチングを実現する。

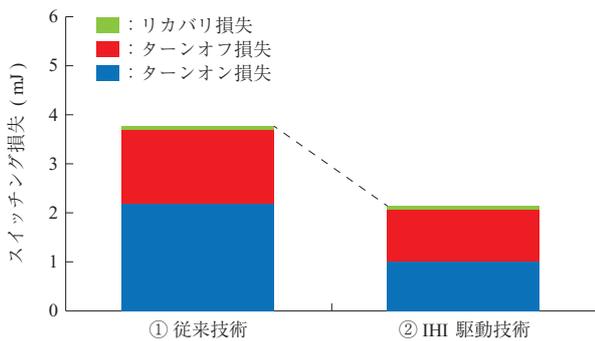
例えば、半導体スイッチをオフ状態からオン状態にするターンオン動作において、ノイズの発生しやすいスイッチング初期段階ではノイズ抑制のためゆっくりスイッチングを行う。また、ノイズ発生が少ないスイッチング後半部分では損失抑制のためにスイッチングを速くする。

次に、半導体スイッチをオン状態からオフ状態にするターンオフ動作において、電流電圧の変化が少なくノイズ発生リスクが少ないスイッチング初期段階では速くスイッチングをして損失を削減する。また、ノイズの発生しやすいスイッチング後半においては、ノイズ抑制のためにスイッチングスピードを緩めてノイズの発生を抑える。

このように、スイッチング遷移期間にスイッチングのスピードを調整することで、スイッチング損失とスイッチングノイズのトレードオフを解消し、低損失かつ低ノイズスイッチングを達成することが可能である。

次ページ左上図は、電圧 400 V、電流 100 A の条件において、SiC デバイスを 1 回スイッチングする度に発生するスイッチング損失を比較したものである。IHI 独自の駆動技術を適用することにより、従来駆動技術と比較してスイッチング損失をおよそ半分に削減できることが確認されている。

SiC デバイスと IHI 駆動技術の組み合わせにより、従来のシリコンデバイスに比べて、およそ 1/8 までスイッチング損失削減を達成した。



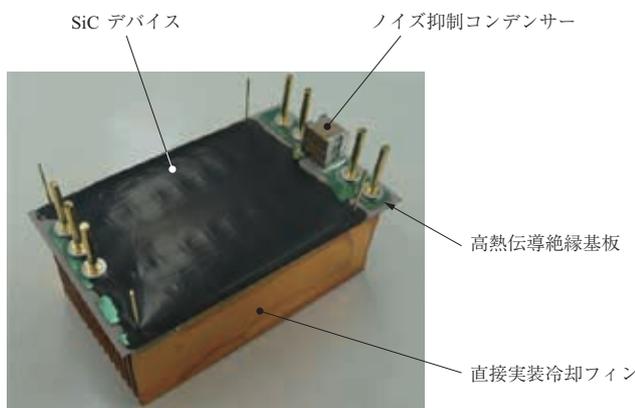
(注) 従来デバイスであるシリコン IGBT では約 18 mJ (IHI 評価による)

IHI 駆動技術の効果

下図は IHI の開発した小型パワーモジュールである。黒色の樹脂内部に SiC デバイスが実装されていて、ノイズ抑制のためのコンデンサーを内蔵していることも特徴の一つである。SiC デバイスのすぐ近くにコンデンサーを設置することでノイズ抑制効果を強化して、SiC デバイスの高速スイッチング特性を十分に引き出せるようにしている。

また、冷却性能を高めるために高熱伝導材を使用した絶縁基板に回路パターンを形成して、冷却用のフィンがパワーモジュール裏面に直接実装した。これにより、SiC デバイスで発生した熱を効率良く放熱して、小さな冷却システムで大電力を変換することを可能にした。

右上図は開発した SiC 駆動技術と SiC 小型パワーモジュールを適用した小型軽量インバーターのスペックである。ここ数年の間に、各研究機関やメーカーから SiC デバイスを活用した出力密度 50 kW/l を超える小型インバーターの開発事例が報告されているが、



IHI 小型パワーモジュール

項目	SiC 小型軽量インバーター	従来インバーター
出力	35 kW	15 kW
サイズ	104 × 110 × 45 = 514 cc	約 5 000 cc
質量	660 g	約 6 kg
出力密度	70 kW/l, 50 kW/kg	3 kW/l, 2.5 kW/kg
効率	98%	96%
冷却	強制空冷	水冷

SiC 小型軽量インバーターと従来品の比較

本開発品も出力密度で 70 kW/l, 50 kW/kg と世界最小クラスの小型軽量インバーターを実現することができた。最大効率も 98% 以上と高効率を達成した。

ニーズに合わせたブラッシュアップ

本検討においては、インバーターがより小型軽量となるように開発を進めた。その過程において、低損失・低ノイズ駆動技術、高速駆動技術、高熱伝導パワーモジュール技術、小型実装技術の要素技術を獲得した。競争力ある製品開発につなげるためには、各要素技術をニーズに合わせてブラッシュアップする必要がある。

また、現状では SiC デバイスはシリコンデバイスに比べて高価であることから、システムのコストアップを心配することが多い。しかし、インバーターの小型化による周辺部材のコスト削減効果や、冷却システムのコスト削減効果（例：冷却水循環システムの省略）などで、半導体素子のコスト増加分を吸収することが可能である。また、SiC デバイスの高速駆動特性を活かすことでフィルターなどノイズ対策装置の簡略化も期待されている。このように、SiC デバイスの適用によりトータルシステムコストの削減効果を期待することも十分可能である。

さらなる省エネ社会を実現するため、新半導体デバイスと IHI の小型軽量インバーター技術を活かすことのできる製品・プロジェクトがあれば、ぜひ協力させていただきたい。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 管理部

電話 (045) 759-2213

URL : www.ihico.jp/