

一般社団法人日本機械学会 交通・物流部門大会 優秀論文講演表彰 SiC素子適用による主回路システムへの効果 ー直接的な効果と間接的な効果の具体例ー

1. まえがき

鉄道車両用VVVFインバータは1980年代から主回路半導体素子の進化とともにあり、現在ではIGBTが主流となっている。

近年、SiCに代表される化合物半導体が実用化され、鉄道向けインバータに適用、営業運転に投入されている例も増加してきている。これらのデバイスは、従来のIGBTに比べSiCの物性を活かしたインバータの低損失化が報告されており、消費電力の削減の報告例もみられる。しかしながら、鉄道用VVVFインバータの効率はIGBTを使用しても95%以上であり、また鉄道車両用駆動システムの電力消費におけるインバータ損失の割合はごくわずかであるため、SiC素子の適用のみによる消費電力低減効果はきわめて少ない。

SiC素子の適用による効果は2種類に大別され、一つは低損失の半導体を使用することによる半導体冷却系の簡素化・小型化、もう一つは主電動機特性を変更し、大電流化による素子損失の増大の抑制である。後者により消費電力低減は可能ではあるものの、これはSiC適用が主要因ではなく副次的なものであると考える。本論文では2種類のSiC素子適用例を用いて、鉄道用主回路システムへの効果を論じた。

2. SiC素子適用の直接的な効果の一例

路面電車向けに既存のGTO素子を使用したVVVFインバータ装置をハイブリッドSiC素子の適用により、小型化した例を述べる。この例は、VVVFインバータ装置以外は既存のものを用い、トルクパターンの変更を行っていない。よってVVVFインバータの主回路素子がGTO素子からハイブリッドSiC素子への変更のみの純粋な効果が検証できる。

■ 表1 VVVFインバータの比較

Table1 Comparison of propulsion inverters

	SiC-Hybrid	Si-IGBT	GTO
質量	65	67	100
占有体積	42	60	100
出力密度	240	167	100

※いずれも従来のGTOシステムを100とした場合

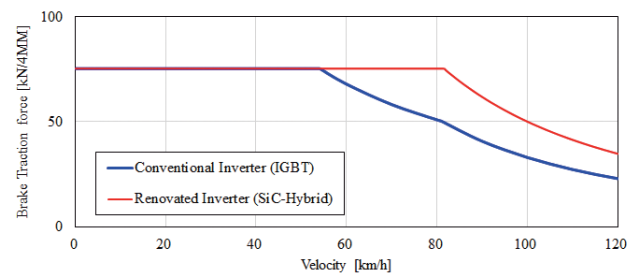
表1に本例におけるインバータ装置の質量、占有体積、出力密度の比較結果を示す。表1より、GTOに比べて出力密度は2.4倍となっている。一方、主回路素子損失による消費電

力の低減はシステム全体の出力容量に対し0.2%程度であり、消費電力低減効果はほぼないといえる。

3. SiC素子適用の間接的な効果の一例

主電動機、フィルタリアクトル設計の変更、回生トルクパターンの変更により省エネルギー化、それに伴う大電流化によるVVVFインバータ大型化の抑制のためSiC素子を適用した例を述べる。このケースでは6両編成の車両に搭載されている2セットの主回路システムのうち、1セットを消費電力の低減を主目的とした、ハイブリッドSiC素子を用いた主回路システムに試験的に置換した。

この例では消費電力低減のために回生ブレーキパターンの変更で(図1参照)、それに伴う機器の大型化を抑制するために高効率主電動機、銅コイル製フィルタリアクトル、ハイブリッドSiC素子適用により大型化を抑制した。消費電力は18%低減され、そのほとんどは回生ブレーキパターンの変更によるものである。



■ 図1 回生ブレーキパターンの比較

Fig.1 Regenerative brake pattern comparison

4. SiC素子適用の効果の考察

SiC素子適用の直接的な効果は主回路半導体冷却器の小型化のみであり、消費電力低減効果は回生ブレーキパターンの変更による回生電力増加に起因するものであり、SiC素子の直接的な効果でないことを明らかにした。一方Si-IGBT素子も技術が進展し、20年間で損失が40%近く低減され、消費電力低減に必ずしもSiCが必要ではないことを示した。車両システム上必要な機能や性能の実現に素子の選定がどのように寄与するのかを明らかにしたうえで判断が必要である。