

# 地球環境問題に対応する 最新のパワー半導体スイッチング回路技術

地球環境問題に対応する  
最新のパワー半導体スイッチング回路技術  
調査専門委員会編

目		次	
1.	はじめに	3	
2.	省エネシステムとスイッチング回路技術	4	
2.1	家電民生分野	4	
2.1.1	冷熱機器とスイッチング回路技術	4	
2.1.2	照明機器とスイッチング回路技術	7	
2.1.3	調理機器とスイッチング回路技術	11	
2.1.4	まとめ	15	
2.2	運輸交通分野	17	
2.2.1	運輸交通応用スイッチング技術動向	17	
2.2.2	運輸交通応用スイッチング技術の 研究事例	20	
2.2.3	スイッチング技術応用課題	25	
2.2.4	まとめ	25	
3.	蓄エネシステムとスイッチング回路技術	27	
3.1	蓄エネシステムの動向	27	
3.1.1	蓄エネデバイスの動向	27	
3.1.2	蓄エネデバイスと電力変換装置	27	
3.2	鉄道用パワーエレクトロニクス装置に おける蓄エネ電力変換技術	27	
3.2.1	鉄道への応用	27	
3.2.2	車上搭載の例	27	
3.2.3	地上設置の例	28	
3.3	産業分野における蓄エネ電力変換技術	30	
3.3.1	トランスファークレーンにおける 蓄エネ電力変換技術	30	
3.3.2	太陽光発電システムにおける 蓄電装置応用と電力変換技術の動向	30	
3.4	住宅用エネルギーマネジメントシステムに おける蓄エネ電力変換技術	31	
3.5	充電インフラにおける電力変換技術	32	
3.6	蓄エネシステムにおける電力変換回路技術	33	
3.6.1	非接触給電によるバッテリー充電回路	33	
3.6.2	双方向直流電力変換回路	33	
3.6.3	LLC 共振回路を用いたワンステージ 3 レベル共振 AC-DC コンバータ	34	
3.6.4	自動車用電源	35	
3.6.5	EDLC 電圧バランス回路	35	
3.7	まとめ	37	
4.	創エネシステムとスイッチング回路技術	39	
4.1	創エネシステム	39	
4.1.1	太陽光発電システムと スイッチング回路技術	39	
4.1.2	燃料電池システムと スイッチング回路技術	41	
4.1.3	風力発電システムと スイッチング回路技術	44	
4.1.4	ガスエンジン発電システムと スイッチング回路技術	45	
4.2	系統連系システム	46	
4.3	まとめ	49	
5.	省エネ・蓄エネ・創エネに貢献するデバイス技術 -パワー半導体デバイスと エネルギー変換デバイス-	51	
5.1	パワー半導体デバイス	51	
5.1.1	IGBT の開発動向と今後の展望	51	
5.1.2	整流素子の開発動向と今後の展開	52	
5.1.3	化合物パワーデバイス (SiC および GaN) の開発動向と今後の展開	53	
5.1.4	パワーモジュールの開発動向	55	
5.2	エネルギー変換デバイス	58	
5.2.1	太陽電池	58	
5.2.2	燃料電池	59	
5.2.3	二次電池	59	
5.2.4	その他のエネルギー変換デバイス	61	
5.3	まとめ	62	
6.	総括	63	

# 地球環境問題に対応する 最新のパワー半導体スイッチング回路技術 調査専門委員会委員

委員長 大森 英樹(大阪工業大学)  
幹事 平地 克也(舞鶴高専)  
幹事 岸本 圭司(三洋電機)  
幹事補佐 住吉 眞一郎(パナソニック)  
幹事補佐 安井 健治(パナソニック)  
委員 安部 征哉(九州大学)  
石川 裕記(岐阜大学)  
石田 宗秋(三重大学)  
石飛 学(奈良高専)  
入江 寿一  
岩倉 哲史(京三製作所)  
岩村 剛宏(デンソー)  
宇敷 修一(オリジン電気)  
江口 政樹(シャープ)  
萩原 弘之(足利工業大学)  
小倉 常雄(東芝)  
笠 展 幸(岡山理科大学)  
勝嶋 肇(三社電機製作所)  
河村 篤男(横浜国立大学)  
弦田 幸憲(横浜国立大学)  
木船 弘康(東京海洋大学)  
栗尾 信広(日新電機)  
小新 博昭(パナソニック電工)  
小西 義弘(工業技術研究院)  
斉藤 亮治  
篠原 貞夫(本田技術研究所)

委員 清水 敏久(首都大学東京)  
庄司 浩幸(日立製作所)  
鈴木 定典(豊田自動織機)  
高野 博司(日立メディコ)  
田久保 拓(富士電機ホールディングス)  
竹島 由浩(三菱電機)  
谷口 勝則(大阪工業大学)  
中岡 睦雄(慶南大学大学院)  
西田 克美(宇部高専)  
西田 保幸(千葉工業大学)  
西村 和則(広島工業大学)  
丹羽 章雅(デンソー)  
服部 将之(ダイヘン)  
平木 英治(山口大学)  
福田 典子(鉄道総合技術研究所)  
夫馬 弘雄(豊田中央研究所)  
船曳 繁之(岡山大学)  
北條 昌秀(徳島大学)  
松井 景樹(中部大学)  
三浦 友史(大阪大学)  
三島 智和(神戸大学)  
道平 雅一(神戸高専)  
茂木 進一(ヤンマー)  
山口 雅英(GSユアサ)  
米森 秀登(神戸大学)  
渡辺 晴夫(新電元工業)  
渥美 淳(日本ガイシ)  
北島 真(パナソニック)  
瀬山 幸隆(GSユアサ)  
丸山 英治(三洋電機)  
村井 正樹(日新電機)  
山口 浩(産業技術総合研究所)  
山本 真義(島根大学)

主な協力者

## 1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)において、地球温暖化が地球環境の最も重要な問題であり温室効果ガスの増加がその主原因と報告されている。産業革命以後、人間活動による温室効果ガス排出量が自然界の吸収量を越えており、年々増加している。温室効果ガスの増加を止めるため、負荷側の省エネルギーを一層進めると共に、再生可能エネルギーの大規模導入が求められる。

一方、MOSFET や IGBT といった半導体スイッチングデバイスの高性能化と普及価格化を背景に、高周波スイッチング技術を用いた電力変換装置はスイッチング電源、産業用動力機器や、鉄道分野、照明・調理器・冷凍空調などの家電機器、さらに最近ではハイブリッド自動車・電気自動車などの新たな自動車分野、太陽光・風力などの新エネルギー利用設備といった幅広い分野に応用が拡大している。これらの電力変換システムには、今後、世界最先端の省エネ技術の普及加速に加え、太陽光発電・風力発電などの不安定な新エネルギーの有効利用と系統安定化に対応した役割が、低炭素社会への必須要件として注目されよう。

「地球環境問題に対応する最新のパワー半導体スイッチング回路技術調査専門委員会」は、温暖化対策を中心とした地球環境問題への対応として(1)各種エネルギー利用機器・システムの電力変換回路技術に関する研究動向の調査、(2)進化するパワー半導体スイッチング回路技術の各種応用分野での最新研究動向とソフトスイッチング技術の実用化動向に関する調査、(3) 高効率電力変換技術への変革につながる新型パワー半導体などの次世代デバイス研究動向の調査を目的として 2008 年 11 月に発足した。発足以来 2010 年 10 月までに 15 回の委員会を開催し、65 件の論文を詳細調査すると共に 7 件の招待講演を実施し、この分野の動向を詳しく調査した。また 2010 年 8 月に産業応用部門大会シンポジウムにおいてこの調査成果を報告し多数の技術者と意見交換を行った。これらの活動の結果、地球環境問題に対応する最新のパワー半導体スイッチング回路技術の研究動向と実用化動向を明らかにすることができたので、2010 年 10 月末をもって委員会を解散し、その成果を本技術報告書にまとめた。

本技術報告書では、高周波スイッチング半導体電力変換装置に関して、家電民生分野・運輸交通分野などから、省エネ・蓄エネ・創エネの各システムとスイッチング回路技術およびデバイス技術について近年の動向をまとめた。

家電分野の電力利用機器では、1974 年の IH (誘導加熱)調理器をはじめとして 1980 年代にインバータ家電群が形成され、電力周波数変換による新たな利便性をユーザーに提供してきたが、近年、地球環境問題を背景に省エネ家電の台頭という新たな局面を迎えている。日本の家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出量は 2009 年 1 億 6 千万トンで 90 年比で 27%上昇した。

その 2/3 は電力利用機器で排出されていることから、エアコン、冷蔵庫の高効率インバータ運転や、照明の LED 化の拡大が省エネルギーとして注目される。また、低炭素由来エネルギーの利用拡大のため家庭の電力化率を大幅にあげていくことが求められるが、調理と給湯という場面で電力をエネルギーとして需要家に選択してもらうため IH 調理器とヒートポンプ給湯器の普及が求められる。

日本の運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量は 2009 年 2 億 3 千万トンで 1990 年比で 5.4%上昇した。この分野で最も注目されるのは周知の通りハイブリッド自動車・電気自動車、さらに将来は燃料電池車など新世代自動車で、これらの普及拡大が大幅な省エネと CO<sub>2</sub> 排出量低減をもたらすことが期待されるとともに、二次電池や大容量キャパシタの革新を導くものと思われる。

蓄電池は 1990 年代半ばからニッケル水素電池とリチウムイオン電池の生産が急速に拡大した。これは携帯機器の増加によるものであるが、今後は地球環境問題に対応して電気自動車やエネルギー貯蔵などの新たな分野でさらに大きな拡大が予想されている。また、太陽光や風力など定格に対する平均出力が 10%台前半という自然エネルギーの大量導入に備え、大規模な蓄電バッファを分散配置して供給と負荷側双方の平準化を図るために蓄エネルギー技術の進化が期待される。

地球環境問題に対応する創エネシステムとして太陽光発電と風力発電が注目されている。また、燃料電池が家庭用コジェネレーションシステムと電気自動車の分野で普及することが期待されている。太陽光や風力など自然エネルギーを用いた創エネシステムでは発電電力が不安定であり、効果的に電力系統に供給するために高効率なパワー半導体電力変換装置による連系が必須である。燃料電池の低電圧直流出力を電力系統に供給、あるいは高出力モータの駆動に利用するためにも電力変換装置が重要な役割を果たす。

上記の省エネ・蓄エネ・創エネの全領域に関連して電力変換装置の役割が一層重要になってきているが、それを支えるパワー半導体デバイスの進化が注目される。パワー半導体は目下ところ、Si の MOSFET と IGBT が中心になっており、長期にわたって低損失化を中心とした改良がなされてきた。最近では、SiC や GaN など革新的な性能向上が期待できる素材のワイドバンドギャップ半導体の実用化の域に近づきつつある。ジョンソン指数などに Si の数百倍という優れた値を示す物性値の材料であるが、結晶の安定性やコストなど解決すべき課題も多い。ワイドバンドギャップ半導体に期待される領域は Si リミットよりも 2~3 桁低い Ron の領域であり、少なくとも 1/4 程度の大幅な変換損失の低減が予想され、今後のパワー半導体スイッチング回路技術の応用拡大の新たな原動力になるものと期待される。