

# 次世代パワーエレクトロニクスを牽引する システムインテグレーション —高パワー密度化に向けた要素技術と そのロードマップ—

機械技術と融合・進化するパワーエレクトロニクス  
システムインテグレーション技術調査専門委員会編

## 目 次

1. 緒言	3	4. 駆動・制御回路, センサからのアプローチ	26
1.1 はじめに	3	4.1 はじめに	26
1.2 委員会活動の目的	4	4.2 ゲート駆動回路	26
1.3 委員会活動の経緯	4	4.3 高速制御を可能とするデジタル制御技術	30
1.4 高パワー密度化に向けたインテグレーション 技術	4	4.4 電流センサの高速化・小型化	31
1.5 おわりに	7	4.5 おわりに	32
2. 主回路からのアプローチ	8	5. デバイスからのアプローチ	34
2.1 はじめに	8	5.1 はじめに	34
2.2 損失を低減する回路トポロジー	8	5.2 Si パワーデバイスとパッケージ	34
2.3 インダクタンスを低減する回路トポロジー	11	5.3 新材料パワーデバイスとパッケージ	37
2.4 キャパシタンスを低減する回路トポロジー	13	5.4 おわりに	41
2.5 主回路技術によるパワー密度ロードマップ	15	6. 実装・冷却からのアプローチ	43
2.6 おわりに	16	6.1 はじめに	43
3. 周辺受動回路からのアプローチ	18	6.2 実装技術 (パッケージング)	43
3.1 はじめに	18	6.3 冷却技術 (サーマルマネージメント)	46
3.2 周辺受動回路構成と他構成部品の依存関係	18	6.4 おわりに	49
3.3 周辺受動回路のロードマップ	20	7. システムインテグレーションによる高パワー 密度インバータの試設計例	50
3.4 周辺受動回路の要素技術例	22	7.1 はじめに	50
3.5 おわりに	24	7.2 高パワー密度化へのキーワード	50
		7.3 試設計の対象と市販品の調査	50
		7.4 汎用インバータの0次試設計	52
		7.5 新技術を適用したインバータの1次試設計	54
		7.6 2次試設計—スイッチング周波数とパワー密度 の関係—	56
		7.7 おわりに	58
		8. 結言	59

# 機械技術と融合・進化するパワーエレクトロニクス システムインテグレーション技術調査専門委員会委員

委員長 中尾 一成(福井工業大学)  
幹事 三野 和明(村田製作所)  
幹事 椋木 康滋(三菱電機)  
幹事補佐 和田 圭二(首都大学東京)  
委員 磯部 高範(筑波大学)  
伊東 淳一(長岡技術科学大学)  
岩谷 一生(TDKラムダ)  
植木 浩一(村田製作所)  
江口 政樹(シャープ)  
小倉 常雄(東芝)  
小林 雅志(トヨタ自動車)  
小谷 和也(東芝)  
白川 和博(デンソー)  
杉山 隆英(トヨタ中央研究所)  
住吉 眞一郎(パナソニック)

委員 高橋 広樹(長岡技術科学大学)  
田中 三博(ダイキン工業)  
長井 真一郎(ポニー電機)  
中澤 知之(東邦亜鉛)  
西田 保幸(千葉工業大学)  
芳賀 浩之(新電元工業)  
平川 三昭(本田技術研究所)  
廣川 貴之(パナソニック)  
舟木 剛(大阪大学)  
船渡 寛人(宇都宮大学)  
松田 真一(東洋電機製造)  
馬淵 雄一(日立製作所)  
宮 脇 慧(長岡パワエレ)  
山本 知信(東洋電機製造)

# 1. 緒言

## 1.1 はじめに

システムインテグレーション技術の重要性に対する認識度合いは欧米が先行しており、企業と著名大学がコンソーシアムを組んでパッケージング技術やシステムインテグレーション技術に関する研究開発を行っている。欧州の ECPE(European Center for Power Electronics) や北米の CPES(Center for Power Electronics Systems) 、さらには米国電気電子学会のパワーエレクトロニクスソサエティのパッケージング技術に関するテクニカルコミッティーにおける先行的な試みがそれを象徴している。

図 1.1 は、ECPE において定義されたシステムインテグレーションの概念を示す。中心にシステムとコンポーネントの信頼性を置き、これを実現すべき周辺技術をその外周に位置させている。その一つとしてシステムデザインがあり、その中に、methodology(方法論)、インテグレートデザイン、機能的インテグレーション、サーマルマネジメントおよび EMI の要素技術が包含されており、システムインテグレーションを強く意図していることが分かる。

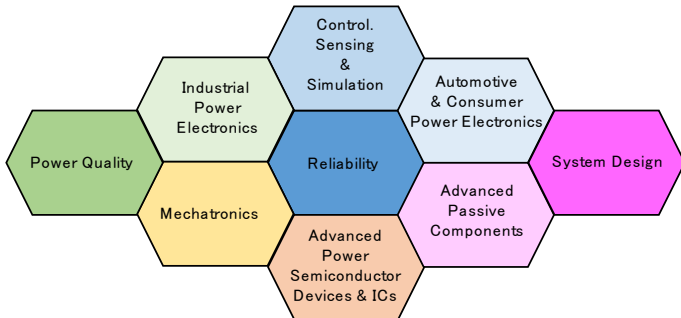


図 1.1 ECPE におけるシステムインテグレーションの概念<sup>(1)</sup>  
Fig.1.1. Concept of integration in ECPE

出典:“The Industrial and Research Network for Power Electronics in Europe”, ECPE 9/2005

前身の委員会で提案したパワーエレクトロニクスシステムインテグレーション技術の概念を図 1.2 に示す<sup>(2)</sup>。パワーエレクトロニクスは、従来、電子工学、制御工学、電力工学の 3 つの分野が融合された分野として定義されているが、従来の設計においてはトポロジーの比重が一番高く、他の Packaging、Thermal Management、EMI(Electromagnetic Interference)は設計の下流段階で考慮されていた。つまり上流側のトポロジーを優先させて、それ以外の技術を付加的に順次、設計していく一方(One way design)の手法が行われていた。ゆえに、製品不具合があっても下流側においての対処療法的な対応にならざるを得なかった。

近年ではトータルシステムを考慮して、その低コスト化ならびに小型化などのニーズに合った最適解を見出すため

に、すべての技術を設計の前段階で統合・結集し、従来に捉われない形を創造していく「システムインテグレーション」の概念が注目を浴びている。

具体的には電力変換システムを構成するコンポーネント(パワーデバイス、受動部品など)、それらの選定、解析技術をベースにしたパッケージング、トポロジー選定や電気設計と EMI のトレードオフを改善する Circuit design management、熱設計と信頼性を改善する Thermal management などの要素技術を相互にやりとりしながら、同時並行的 (Concurrent design)に目標仕様を達成していくことが求められている。

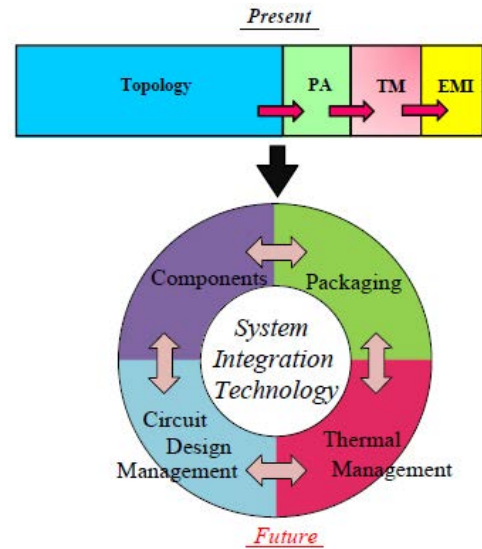


図 1.2 システムインテグレーション技術の概念<sup>(2)</sup>  
Fig.1.2. Concept of system integration technology

出典: 伊東ら“パワーエレクトロニクスにおけるシステムインテグレーション技術”, 電気学会技術報告 第 1299 号, 2014 年

ロニクスシステムにおいてはパワーデバイスの高効率化とともに低コスト化、小型化および高信頼性化の要求に応えながらシステムのパワー密度(電力/容積)を上げていくことが求められている。新トポロジー採用による低損失化、損失そのものが減少する SiC などの次世代素子の開発が進む中、パワー密度を上げていくためにもデバイスや回路技術など複雑に関連した技術や構造最適化に影響を及ぼすサーマルマネジメント技術、実装技術ならびに材料技術など各要素技術をいかに抽出し組み合わせて、最適化構造としていくかのシステムインテグレーション技術が不可欠である。しかし、この作業はメーカーや研究機関などの技術者のノウハウに任されているのが現状である。

本章では、高パワー密度電力変換器の開發現状、高パワー密度化に向けたシステムインテグレーションのための要素技術と特性要因図の概要及びシステムインテグレーションのプロセス例について概説する。