

パワーエレクトロニクスシステムの複合的モデリングとシミュレーション技術調査専門委員会
設置趣意書

半導体電力変換技術委員会

1. 目的

パワーエレクトロニクス(PE)システムはパワー半導体を用いたスイッチング素子や受動素子で構成される電力変換器、バッテリーなどの電源装置、モータなどの負荷によって構成される。これらの構成要素は日進月歩で性能が向上しており、PEシステムの高効率化や高性能化、地球環境問題対策などの実現を目指して多様な研究開発が続けられている。さらに近年の地球温暖化抑制を目的とした二酸化炭素排出量削減のため、エネルギーの有効活用が社会的に重要な目標となっている社会情勢から、電気エネルギーを利便性の高い形態に自在に変換できるパワーエレクトロニクス技術は、従来に比べて存在感を増しており、同時に、そのシミュレーション技術の重要性も高まっている。

このような社会的、技術的背景のなか、構成要素やシステムの設計、基本動作検証をはじめとして、HILS (Hardware In the Loop Simulation)を用いてシステムの挙動を把握することや、実機において複数の原因要素が相互に干渉し合うような現象の解明に適用されている。さらに、物理空間にある現実の機器や設備、作業員の稼働状況や環境情報をリアルタイムで収集し、仮想空間上に構築された機器や設備のデジタル情報(モデル)を用いたシミュレーションに適用し、設計の改善や環境に応じた動作指示、故障予測などに用いることで、より効率的な設計開発や運用管理コストの最適化などを主な目的としているデジタルツインといった新しい概念も産業界に広がっている状況がある。このように、PEをシステムとして捉えた場合、その構成要素は多岐にわたる。従来の、電源/電力変換/モータ/負荷等の基本的なシステムにおいても、電気化学反応や熱、機械的な要素など電気というくくりの工学分野のみでは製品要求を満足するのが困難になっているため、これに対応していく必要がある。

本調査専門委員会では以上のような状況をふまえ、解析目的に応じたシステムを対象とし、広範囲かつ実践的なモデリング手法や新しいシミュレーション技術に関する調査検討および情報提供を行うことを目的とする。

調査検討結果についてはホームページによる継続的な情報提供も行いたい。

2. 背景および内外機関における調査活動

PEシステムのシミュレーションにおいて、従来の理想モデルによる単純化した原理的現象の解析だけでなく、複数の原因要素が相互に干渉し合うような現象の詳細解析、さらには実機の代用として堪えうる高精度解析など、モデリングとシミュレーション技術に対するニーズはさらに高まっている。シミュレーションを行うための重要な要素として解析対象のモデリング、離散値に対する数学的求解法、および計算機機能の有効活用の3つが挙げられる。これらはそれぞれにおいて様々な手法が検討されているが、これらの適切な組み合わせが効率の良い、合理的な、あるいは精度の良いシミュレーションを実現する。

モデリングにおいては、例えば、自動車や航空機分野で小型、高効率化を目指し、注目されているSiCやGaNといったワイドバンドギャップ半導体も含めたスイッチング素子のモデリングでは、理想スイッチモデル、実測結果や解析結果に基づいてスイッチング時の電圧・電流特性を模擬するテーブルモデル、温度や電圧に依存する接合容量モデル、素子内部での物理現象を模擬する物理モデル、モジュールの内部構造を考慮した自己発熱モデルなど、着目する現象に応じた様々なモデルが開発されている。また、温度特性やスイッチング特性を考慮できるスイッチング素子モデルを適用して電力変換器を構成して損失解析やノイズ解析も行うなど、国内外を問わず、モデリングに関する研究開発が数多くなされている。さらに、スイッチングの高速化により、パワーデバイス、受動素子とも周波数依存性を考慮したモデルの提案も報告され始めている。この場合、精度を追求するモデリングと、計算速度を優先しつつ精度もある程度満足する、といった目的に応じたシミュレーションのためのモデリング技術を提案できる意義は大きい。さらに、モデリング言語として従来から用いられている、SPICE、MatLab/Simulink、Modelica、VHDL-AMSなどに加え、近年海外を中心に注目を集めているPythonやJuliaなども念頭に、モデリング技術と同時に分類、実務的な利用技術についても調査を進めていく。

一方、シミュレーション技術の観点からは、例えば自動車分野など、パワーエレクトロニクスシステムが全体のシステムの一部として適用される分野において設計法としてMBD(Model Based Development)、モデル接続仕様としてFunctional Mock-up Interface (FMI)が代表的な事例であり、シミュレータの進化の方向性の一つとしてこれらに追随する動きがある。さらに、航空機、自動車産業を中心に活用が望まれている新しい手法であるデジタルツインをパワーエレクトロニクスシステムに適用することもシミュレーション技術の進化の方向性の一つとして注目すべき技術の一つであり、詳細に調査する必要があると考えられる。そして、新たな試みとして、他の委員会との強調した調査活動も積極的に行っていく。

これまでに電気学会産業応用部門半導体電力変換技術委員会に設置された一連のPEシミュレーションに関する協同研究委員会・調査専門委員会では、PEに関連するシミュレーション技術、モデリング技術、シミュレーションプログラムについて幅広い調査や体系化、標準的モデルの提案を行ってきた。

前回の2017年に設置された「パワーエレクトロニクスにおける実践的モデリングとシミュレーション技術調査専門委員会」ではパワーエレクトロニクスシステムに適用されるデバイス、電力変換回路、電気機器、および電力系統との連系解析のための実践的なモデリング手法やシミュレーション技術に関する文献調査を行なった。さらに、実測結果と解析結果の対比による、解析対象や解析目的に適したモデリング手法に関する議論や、実測結果とHILSシステムによる解析結果の対比によるモデリングおよび解析手法の現状と課題を把握する調査も行った。

本委員会において、このような動向を注視しながらPEシステムのモデリングおよびシミュレーション技術に関する理論的・系統的調査検討を行うことは、シミュレーションに対する社会的要求に応えることでもあり、電気学会の活動として価値が高い。

以上の状況から、電気学会で本調査専門委員会を設置し活動するのは大変意義があり、時宜を得ている。

3. 調査検討事項

本委員会では、PE及びその応用としてのシステムまでも包括し、以下の項目に対する調査検討を行うものとする。

- (1) 基礎：モデリング技術およびシミュレーションの求解法等の基礎技術
- (2) 応用：PEを中心とし、システムとして産業界で利用される技術
- (3) 展開：MBDを実現する共通モデルの開発、提案、展開

4. 予想される効果

本調査により、パワエレの基礎からシステムまで幅広いシミュレーション手法の系統的な把握が可能となる。また、多くのアプリケーション開発に対する広範囲で様々なモデリング技術を提供することで、シミュレーションに対する指針を把握でき、技術者の目的とする解析・設計をより円滑に達成することを可能にする。そして、委員会ホームページを活用し、広く最新情報を公開することで、PE技術者に基盤となる情報を与える。さらに、協調活動による他の委員会への波及効果も同時に期待できる。

5. 調査期間

令和3年(2021年)4月～令和6年(2024年)3月

6. 委員会の構成（職名別の五十音順に配列）

委員長	重松 浩一	名古屋大学	会員
委員	阿部貴志	長崎大学	会員
	石川裕記	岐阜大学	会員
	伊東淳一	長岡技術科学大学	会員
	伊藤将人	三菱重工業	非会員
	市原純一	AZAPA	会員
	今岡 淳	名古屋大学	会員
	上村浩文	富士電機	会員
	大河内裕太	ローム	会員
	大橋俊介	関西大学	会員

	小笠原 悟司	北海道大学	会員
	香川秀樹	SimEngine	会員
	加藤利次	同志社大学	会員
	加藤直樹	NEAT	会員
	加藤久嗣	田淵電機	非会員
	木村紀之	福井工業大学	会員
	桐淵岳	オムロン	会員
	黒江康明	関西大学・京都工芸繊維大学	会員
	河野佑介	東芝インフラシステムズ	会員
	甲野藤正明	ヤンマーホールディングス	会員
	佐々木広明	キーサイト・テクノロジー	非会員
	庄山正仁	九州大学	会員
	関末崇行	アンシス・ジャパン	会員
	高木茂行	東京工科大学	会員
	田所兼	電力中央研究所	会員
	寺沢光城	村田製作所	非会員
	寺園勝志	安川電機	会員
	中嶋純一	三菱電機	非会員
	平山 斉	鹿児島大学	会員
	舟木 剛	大阪大学	会員
	古井崇介	日本電産モビリティ	非会員
	松野知愛	MYWAY プラス	会員
	水野佑美	Maplesoft Japan	非会員
	森實俊充	大阪工業大学	会員
	横山智紀	東京電機大学	会員
幹事	加藤 真嗣	神戸市立工業高等専門学校	会員
	井上 征則	大阪府立大学	会員
幹事補佐	佐藤 大介	長岡モータデベロップメント	会員

7. 活動予定

委員会 4回/年 幹事会 4回/年

8. 報告形態

- (1) 技術報告
- (2) 電気学会全国大会もしくは産業応用部門大会におけるシンポジウムの開催