

# パワーエレクトロニクス応用システムの シミュレーションのための標準的モデル

～ スマートグリッド，モータドライブ，自動車分野の解析 ～

パワーエレクトロニクスシミュレーションのための  
標準モデル開発協同研究委員会編

## 目 次

1. はじめに	3	3.3.2 制御系	54
2. スマートグリッドに関連する解析のための標準的モデル	5	3.3.3 駆動回路モデル	56
2.1 開発した標準的モデル	5	3.3.4 負荷モデル	56
2.1.1 配電用変電所のモデル	7	3.4 標準的モデルによるシミュレーション結果	57
2.1.2 配電線，引込線のモデル	11	3.4.1 直流モータモデル	57
2.1.3 SVR のモデル	14	3.4.2 誘導モータモデル	59
2.1.4 配電用 STATCOM のモデル	19	4. 自動車シミュレーションモデル	65
2.1.5 柱上変圧器のモデル	23	4.1 はじめに	65
2.1.6 PV パネルのモデル	24	4.2 自動車シミュレーションの現状	65
2.1.7 太陽光発電用パワーコンディショナのモデル	27	4.2.1 背景と世の中の状況	65
2.1.8 リチウムイオン二次電池のモデル	31	4.2.2 シミュレーション言語	66
2.1.9 マイクロ・小形風車のモデル	34	4.3 燃費演算	67
2.2 シミュレーション例	37	4.3.1 燃費シミュレーションの概要	67
2.2.1 太陽光発電設備と定置用蓄電池の協調に関するシミュレーション	37	4.3.2 燃費演算	67
2.2.2 住宅用太陽光発電設備が集中連系された高圧配電線の電圧変動解析	39	4.4 逆計算モデル	68
2.2.3 無効電力補償装置による高圧配電線の電圧上昇抑制効果	42	4.4.1 各種パラメータ	68
3. モータドライブシステムの標準的モデル	46	4.4.2 各種解析モデル	70
3.1 標準的モデルの位置付け	46	4.4.3 解析結果	72
3.2 モータモデル	47	4.5 順計算モデル	72
3.2.1 単位系	47	4.5.1 各種モデル構成及びパラメータ	73
3.2.2 直流モータモデル	47	4.5.2 解析結果	75
3.2.3 誘導モータモデル	49	4.5.3 トルクアシストシステムへの拡張例	76
3.3 制御系と駆動回路モデル	53	4.6 HEV への応用事例	77
3.3.1 モータの伝達関数	53	4.6.1 SHEV のシステムシミュレーションモデル	77
		4.6.2 シミュレーション結果	79
		4.7 まとめ	80
		5. おわりに	82

# パワーエレクトロニクスシミュレーションのための 標準モデル開発協同研究委員会委員

委員長 野田 琢 (電力中央研究所)  
幹事 石川 裕記 (岐阜大学)  
幹事 加藤 真嗣 (神戸市立高専)  
幹事補佐 福島 健太郎 (電力中央研究所)  
委員 阿部 貴志 (長崎大学)  
池田 雅博 (長崎総合科学大学)  
石山 俊彦 (八戸工業大学)  
市原 純一 (AZAP A)  
井上 馨 (同志社大学)  
井上 征則 (大阪府立大学)  
梅田 信弘 (安川電機)  
大橋 俊介 (関西大学)  
小笠原 悟司 (北海道大学)  
柿ヶ野 浩明 (立命館大学)  
加藤 利次 (同志社大学)  
樺澤 祐一郎 (東北電力)  
木村 紀之 (大阪工業大学)  
久保田 裕孝 (三菱重工業)  
黒江 康明 (京都工芸繊維大学)  
河野 佑介 (東芝)  
甲野藤 正明 (パナソニック)

委員 齊藤 亮治 (元 オリジン電気)  
坂本 幸隆 (田淵電機)  
重松 浩一 (サイバネットシステム)  
下村 潤一 (明電舎)  
庄山 正仁 (九州大学)  
関末 崇行 (アンシスジャパン)  
田子 一農 (日立製作所)  
徳田 寛和 (富士電機)  
長嶋 友宏 (電力中央研究所)  
西田 保幸 (千葉工業大学)  
萩原 誠 (東京工業大学)  
舟木 剛 (大阪大学)  
堀口 剛司 (三菱電機)  
松井 幹彦 (東京学芸大学)  
道平 雅一 (神戸市立高専)  
森實 俊充 (大阪工業大学)  
横山 智紀 (東京電機大学)  
安井 和也 (東芝)  
加藤 久嗣 (田淵電機)  
関場 陽一 (電力計算センター)

途中退任  
委員  
主な  
協力者

## 1. はじめに

近年、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。このため、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。2011年の東日本大震災に伴う電力不足を経験し、この流れは一層加速した感がある。一方、技術的観点からは、近年ではシミュレーションが実際の機器設計や問題解決に頻繁に利用される段階に入ったと言える。

このような社会的、技術的背景の下、電気学会 産業応用部門 半導体電力変換技術委員会は、パワーエレクトロニクス関連分野のシミュレーションに必要な標準的モデルの開発を行うため、「パワーエレクトロニクスシミュレーションのための標準モデル開発協同研究委員会」（設置期間：平成24年8月～平成26年7月）を設置した。この協同研究委員会内部には、スマートグリッド・ワーキンググループ（以降、ワーキンググループをWGと略す）、モータドライブWG、自動車WGが設置され、それぞれの分野のシミュレーションに必要な各種構成要素の標準的モデルの開発を行ってきた。これらWGの活動については、電気学会全国大会や国際会議でも途中経過<sup>(1)-(24)</sup>を報告してきたが、本技術報告はその最終版の位置付けで執筆されたものである。途中経過では開発予定とされていたモデルも本技術報告では、最終版が報告されている。なお、モデル開発作業の一部は先行した「パワーエレクトロニクスシステムのシミュレーション適用技術協同研究委員会」（委員長：同志社大学 加藤 利次、設置期間：平成22年4月～平成24年3月）でも実施したことを付記しておく。

以上に委員会活動の概要を述べたが、何のために標準的モデルを開発したのか、そして、そもそも標準的モデルとはどのようなモデルなのか必ずしも明らかではないため、ここに説明しておく。例えば、スマートグリッドWGの場合、配電用変電所、高圧・低圧配電線、各種配電機材、住宅用太陽光発電システムなど、配電システムの構成要素とそこに接続される需要家機器について標準的モデルを開発した。技術者や研究者は、これらのモデルを組み合わせるだけでスマートグリッドに関連した様々な解析を行えるようになる。具体的には、メーカーなどで開発中の機器をスマートグリッド中で動作させた場合の挙動を解析する際に当該機器以外の構成要素の模擬に標準的モデルを使用するという活用方法や、機器個別の小さな差異は無視してスマートグリッド全体の協調制御や保護のシミュレーションに使用するという活用方法が考えられる。また、パワーコンディショナなどパワーエレクトロニクス機器の設計者は配電技術について不案内で、逆に、配電分野の技術者はパワーエレクトロニクス技術について不案内である場合が

多く、標準的モデルは自分が詳しくない部分も含んだ解析を行うときに便利である。本技術報告で提案される標準的モデルは、当該機器について最も基本的と考えられる等価回路と制御方式から構成され、その上で可能な範囲で平均的な特性を再現するよう回路定数や制御定数を選定している。従って、実用面を重視した教育や研究の目的にも大いに活用できるものと思われる。現実的なシミュレーションに際しては、解析対象の構成要素について、どのようなモデルを用いれば良いのか、そして、どのようなパラメータ値をセットすれば良いのかという検討に膨大な時間を費やすのが常である。その意味で、本技術報告で提案する標準的モデルは、この問題を解決するひとつのソリューションと考えることもできる。

モデル開発作業を行うには、当然、シミュレーション・プログラムを用いる必要がある。その意味で、本技術報告で提案される標準的モデルは、それぞれが特定のシミュレーション・プログラムを用いて開発されている。しかしながら、これは、それぞれのモデルが特定のシミュレーション・プログラム専用開発されたことを意味するわけではなく、できるだけ多くのシミュレーション・プログラムで動作するよう、固有の部品を使わないなどの配慮の上、開発されたことに注意されたい。今後、シミュレーション・プログラムのベンダーなどが、本技術報告の標準的モデルを自社プログラム用に作成し、有償・無償を問わず公開することに期待するところである。

なお、「パワーエレクトロニクスシミュレーションのための標準モデル開発協同研究委員会」の内部には、電源回路WGも設置されたが、電源回路分野のシミュレーションでは、各種構成要素の標準的モデルを開発するよりも、実用の観点から各種電源回路の動作の理解を深めるための実用的例題を作成した方が役に立つと考え、標準的モデルではなく実用的例題の作成を行った。電源回路WGの活動成果については、今後、委員会のウェブサイト等を通して公表する予定である。