

電力の安定供給を支える 解析技術 PowerFactory における瞬時値解析機能の 妥当性検証

■ 森 佑介
Yusuke Mori

系統解析においては、時間のスケールによって実効値解析と瞬時値解析に分類され、それぞれ解析対象となる現象が異なるため、適切な使い分けが必要となる。東光高岳では、ドイツの DIgSILENT 社が開発した統合電力系統解析ソフトウェア「PowerFactory」を取り扱っているが、オプション機能を付けることで実効値解析だけでなく、瞬時値解析も可能である。本稿では、PowerFactory の瞬時値解析機能について、これまで瞬時値解析ソフトとして広く利用されている ATP と比較・検証し、その妥当性を確認した。

1 はじめに

系統解析技術は、電力系統の構築、安定的な運用から電力機器の開発に至るまで、電力の安定供給を様々な側面から支える重要な技術である。系統解析の対象となる現象は様々であり、時間のレンジやモデルの規模など多岐にわたる。時間のレンジについては、サージのような μsec オーダーの非常に短時間のものから、電力動揺のような秒オーダーのもの、潮流制御などの分・時オーダーのものまで非常に幅広い。また、系統解析は時間のスケールに応じて、実効値解析と瞬時値解析に大きく分類される。実効値解析は系統内の電圧・電流の実効値の変化を解析するものであり、瞬時値解析は電圧・電流波形を詳細に解析するものである。一般的に、潮流変化や電力動揺などの時間のスケールが秒オーダー以上のものは実効値解析を利用し、サージなどの高速な現象に対しては瞬時値解析を利用する。解析ソフトについても、実効値解析をベースとしたもの、瞬時値解析をベースにしたものがあり、解析対象に応じて解析の可否や向き不向きがある。したがって、解析対象に応じてツールを使い分けるのが一般的である。このように電力系統の各種現象を解析するために、実効値解析ベースの解析ソフト、瞬時値解析ベースの解析ソフト双方の開発が進められ、系統運用や電力機器の開発を支えてきた。

東光高岳においては、ドイツの DIgSILENT 社が開発・提供している統合電力系統解析ソフト PowerFactory の国内総代理店として、国内展開に向けた活動を行っている。PowerFactory は、豊富な解析機能を有しており、基本パッケージの他、オプション機能を付けることでユーザーのニーズに合わせた解析環境を構築することができる⁽¹⁾⁽²⁾。基本パッケージでは、静的な潮流解析や短絡電流解析などが可能である。また、瞬時値解析はオプション機能を付けることで対応可能である。PowerFactory では、各種解析に必要な定数が設定されていれば、各種実効値解析と瞬時値解析をシームレスに実行可能といった特長がある。そのため、解析の種類に応じた解析ソフトの変更が不要となるだけでなく、解析規模にもよるが、モデルの作り直しも不要といったメリットがある。その他にも、豊富なサンプルや各種機器、制御系等のライブラリが用意されていること、API^{注1)}により外部システムとの連携が可能といった特長もある。

これら各種解析機能を系統運用や機器開発に活用するためには、実現象によく合う適切な解析が必要である。この適切な解析の実現には、解析ソフトの妥当性とユーザーが作成した解析モデルの妥当性の双方が必要となる。適切な解析ができていない場合の多くは、ユーザーが作成したモデルや設定の誤りに起因するものと思われる。解析ソフトの妥当性については、新規に解析ソフトの導入を検討する際、ユーザーの解析したい現象を対象としてベンチマーク等で確認することが多い。そこで本稿では、PowerFactory の瞬時値解析機能について、これまで瞬時値解析ソフトとして広く利用され、評価も高い ATP^{注2)} と比較・検証し、その妥当性を確認した。

2 瞬時値解析の必要性

前述のとおり、瞬時値解析は非常に短時間な現象や詳細な電圧波形・電流波形を把握するために必要である。瞬時値解析が必要となる解析対象として、下記のような例があげられる。

- ・雷サージや開閉サージ現象
- ・事故発生時の電流零ミス現象
- ・変圧器の励磁突入電流
- ・鉄共振などの異常共振現象
- ・パワエレ機器の検討

ここで電流零ミス現象とは、地絡などによる事故電流が電流零点とクロスしなくなる現象であり、この期間は電流が遮断できないリスクが生じる。電流零ミス現象は、**図 1**、**図 2** に示すように、ケーブルの充電電流にリアクトルの過渡直流分を含む遅れ電流が重畳することで生じる。風力発電などの発電変電設備が系統連系点まで遠く、長距離ケーブルで接続される場合、充電電流の補償やフェランチ対策のためのリアクトルが接続されることがあり、電流零ミス現象の解析が必要となる。また、**図 2** に示した波形はイメージ図であり、実際は後述の解析例のように複雑な波形となることも多く、詳細な電流零ミス現象の検討には瞬時値解析が必要となる。本稿では、瞬時値解析の適用例として、投入サージ、電流零ミス現象について、PowerFactory および ATP で解析を行い、その結果を比較・検証する。

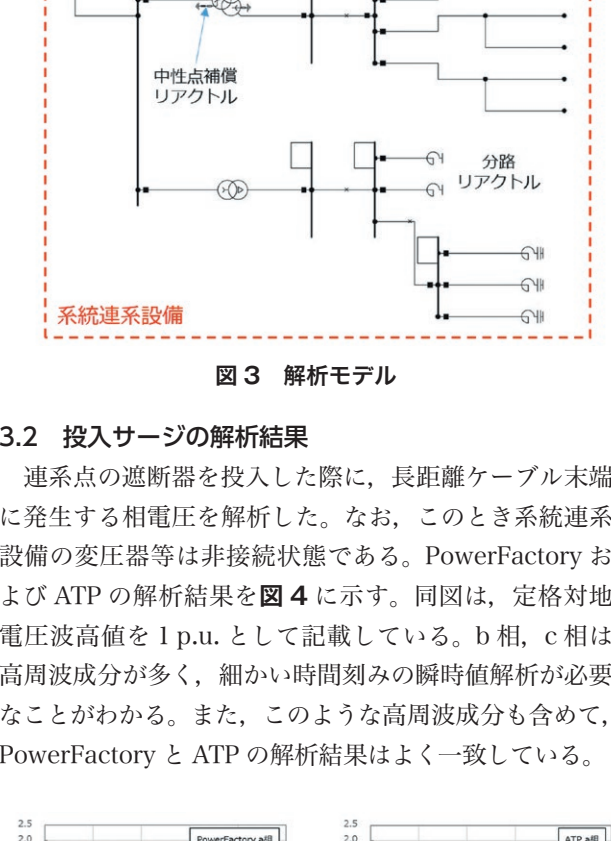


図 1 電流零ミス現象の回路概略図

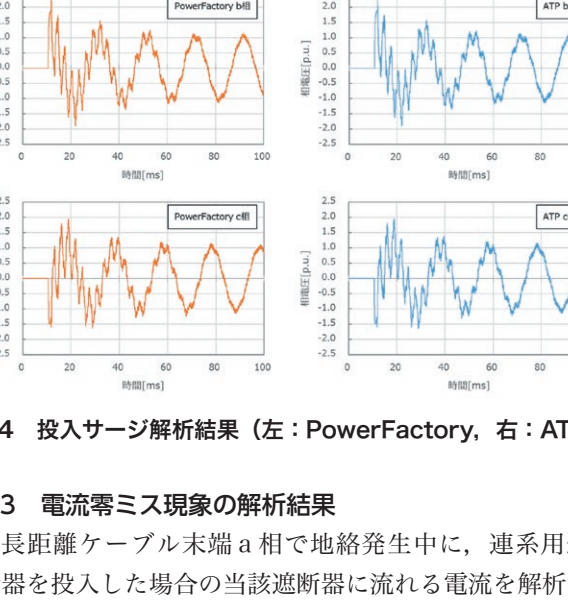


図 2 電流零ミス現象波形イメージ

3 瞬時値解析結果の比較

3.1 解析モデル概要

投入サージおよび電流零ミス解析を実施した PowerFactory のモデルを**図 3** に示す。変電設備を長距離ケーブルで系統連系したものである。風力発電設備などは、このような長距離ケーブル連系になることが多いと考えられる。連系する系統は低圧接地系である。系統連系設備は、変圧器を介して各種設備や負荷、構内ケーブルの静電容量を模擬している。なお、長距離ケーブルのみ分布定数回路としてモデル化した。また、長距離ケーブルの静電容量によるフェランチ現象対策や充電電流抑制対策として、分路リアクトルや中性点補償リアクトルを接続している。これにより**図 1**、**2** のように、事故電流に直流分が重畳し、電流零ミス現象が生じる可能性がある。

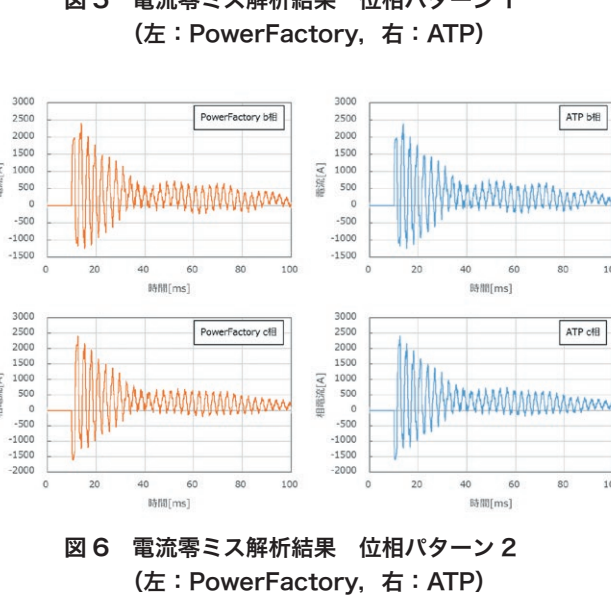


図 3 解析モデル

3.2 投入サージの解析結果

連系点の遮断器を投入した際に、長距離ケーブル末端に発生する相電圧を解析した。なお、このとき系統連系設備の変圧器等は非接続状態である。PowerFactory および ATP の解析結果を**図 4** に示す。同図は、定格対地電圧波高値を 1 p.u. として記載している。b 相、c 相は高周波成分が多く、細かい時間刻みの瞬時値解析が必要なのがわかる。また、このような高周波成分も含めて、PowerFactory と ATP の解析結果はよく一致している。

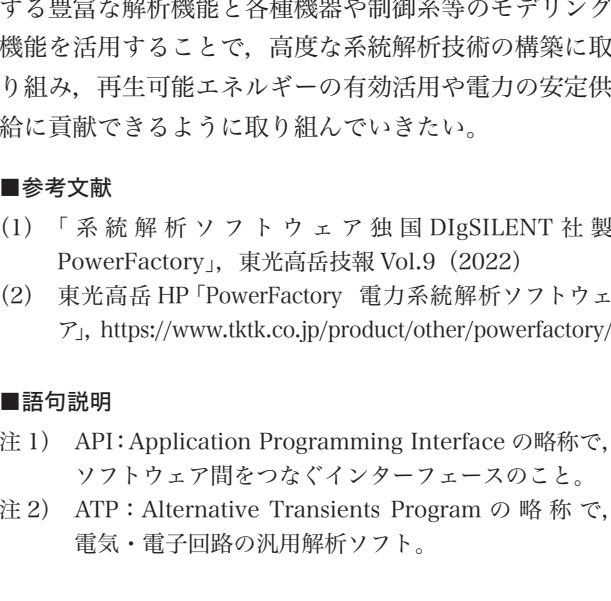


図 4 投入サージ解析結果（左：PowerFactory、右：ATP）

3.3 電流零ミス現象の解析結果

長距離ケーブル末端 a 相で地絡発生中に、連系用遮断器を投入した場合の当該遮断器に流れる電流を解析した。ここでは投入位相を変化させて、2つの条件で解析を実施した。それぞれの解析結果を**図 5**、**図 6** に示す。なお、地絡した a 相は、中性点抵抗による交流成分が過渡直流成分より大きく、電流零ミス現象が生じなかったため割愛し、電流零ミス現象の可能性のある健全相（b 相、c 相）の解析結果のみを示す。**図 5** をみると、過渡直流分の減衰が遅く、電流零ミス現象が生じていることがわかる。また、投入位相を変化させたパターン（**図 6**）においては、過渡直流分の現象が緩やかなのは同一であるが、振動波形が大きく異なることがわかる。同図からは、40 ms 付近や 90 ms 付近で、電流零ミス現象のリスクが高いことが見て取れる。これら解析結果と保護リレーおよび遮断器の動作時間から、電流零ミス現象による遮断失敗のリスクを評価することができる。また、**図 5**、**図 6** ともに、PowerFactory と ATP の解析結果はよく一致していることがわかる。

図 5 電流零ミス解析結果 位相パターン 1（左：PowerFactory、右：ATP）

図 6 電流零ミス解析結果 位相パターン 2（左：PowerFactory、右：ATP）

以上のように、簡易的なモデルではあるが、投入サージおよび電流零ミス現象、いずれの解析についても PowerFactory と ATP は同一の結果となることを確認できた。本稿で紹介した解析以外にも、変圧器の励磁突入電流解析、高調波解析などの各種解析で比較検証を実施し、同一の結果が得られており、PowerFactory の瞬時値解析機能の妥当性を確認している。

4 おわりに

本稿では、系統解析のなかでも瞬時値解析に焦点を当て、その必要性について述べた。また、PowerFactory とこれまで瞬時値解析として広く利用されてきた ATP を用いて、投入サージと電流零ミス現象を解析・比較した。いずれの解析結果も PowerFactory と ATP でよく一致しており、PowerFactory の瞬時値解析機能の妥当性を確認できた。ただし、はじめに記載したとおり、実現象と合う適切な解析を実施するためには、本稿で検討した解析ソフトの妥当性だけでなく、解析モデルの妥当性も必要である。これからは再生可能エネルギーの導入拡大、これに伴う諸問題に対応する次世代電力系統の実現に向けて、より高度な系統解析技術およびモデル化技術が要求されると思われる。今後も PowerFactory が有する豊富な解析機能と各種機器や制御系等のモデリング機能を活用することで、高度な系統解析技術の構築に取り組み、再生可能エネルギーの有効活用や電力の安定供給に貢献できるように取り組んでいきたい。

■参考文献

- (1) 「系統解析ソフトウェア独国 DIgSILENT 社製 PowerFactory」, 東光高岳技報 Vol.9 (2022)
- (2) 東光高岳 HP「PowerFactory 電力系統解析ソフトウェア」, <https://www.tktk.co.jp/product/other/powerfactory/>

■語句説明

注 1) API: Application Programming Interface の略称で、ソフトウェア間をつなぐインターフェースのこと。
注 2) ATP: Alternating Transients Program の略称で、電気・電子回路の汎用解析ソフト。

森 佑介

戦略技術研究所 技術開発センター
解析・試験技術グループ 所属