

# 電力変換装置のシミュレーション技術

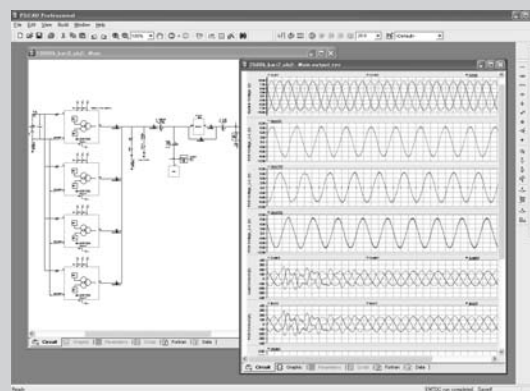
🔊 瞬時電圧低下，瞬時電圧低下補償装置，電力解析技術

\* 下村潤一 Jun'ichi Simomura

\* 大石 覚 Satoru Oishi

## 概要

電力変換装置（PCS）のシミュレーション技術は、装置の開発や設計段階における主回路責務・制御性能の解析、系統条件や負荷条件を考慮した製品導入前後におけるシステム全体の動作解析、系統事故、装置事故など実験による検証が困難な事象解析といった広い範囲で用いられている。当社の瞬時電圧低下（瞬低）補償装置について、PCS本体、需要家負荷、電力系統におけるシミュレーションによる検証を行い、電力システムを組み合わせるシミュレーションモデルを作成し、瞬低補償開始時の実験波形と比較することによりシミュレーションモデルによる解析波形が実験波形とほぼ同一であることを確認した。また、PCS主回路の動作解析の一例として交流フィルタ責務の解析を行った。



シミュレーション画面

## 1. ま え が き

近年、生産ラインの自動化やコンピュータ化、ICT化が進むのに伴い、需要家の電力品質に対する要求は高度化しているが、我が国では系統品質に悪影響を及ぼす雷の頻度は増加する傾向にある。雷をはじめとする系統事故は、需要家の重要負荷に影響を及ぼし、製品の歩留まりを左右するため、系統に事故が発生して瞬時電圧低下（瞬低）しても重要負荷を保護することができる瞬低補償装置が注目されている。

本稿では、当社の電力変換装置（PCS）のラインアップの中で、特に瞬低補償装置に焦点を絞り、同装置に関するシミュレーション技術を紹介する。

瞬低補償装置の主回路の要は、高速なスイッチングを可能とする半導体素子であり、この半導体素子で高速なミリ秒オーダーの瞬低補償機能を実現

するために、制御機能は非常に複雑化且つ高度化している。

また、当社の瞬低補償装置は、装置容量100kWオーダーの低圧機から最大で単機10,000kWの大容量高圧機まで取りそろえており、装置も大規模化している。このような背景により、当社では次に示すシミュレーションを行っており、解析ツールは解析内容に応じて使い分けている。

- (1) 装置の開発・設計段階における主回路責務・制御性能の解析
- (2) お客様の系統条件や負荷条件を考慮した製品導入前後におけるシステム全体の動作解析
- (3) 系統事故・装置事故など、実験による検証が困難な事象解析

シミュレーションプログラムは、以下の汎用アプリケーションソフトを用いている。

- (1) PSCAD/EMTDC

\*電力ソリューション技術部

- (2) EMTTP<sup>(注1)</sup> (ATP<sup>(注2)</sup>)
- (3) MATLAB/Simulink
- (4) SPICE<sup>(注3)</sup>系

## 2. シミュレーションによる検証

第1図に瞬低補償装置の回路図の各部におけるシミュレーションによる検討内容を示す。瞬低補償装置のシミュレーションを行う場合、実機に近い主回路及び制御回路のモデルを作成することが必須である。一方、瞬低補償装置には供給先として必ず需要家負荷が接続されており、需要家負荷に対する瞬低補償が正常に行われることを確認することが重要である。そのため、装置本体だけではなく、負荷特性や系統定数、事故様相といった多岐にわたる検討を行い、これらのモデルを作成し、マッチングを行うことが必要となる。

### 2.1 装置主回路の検討

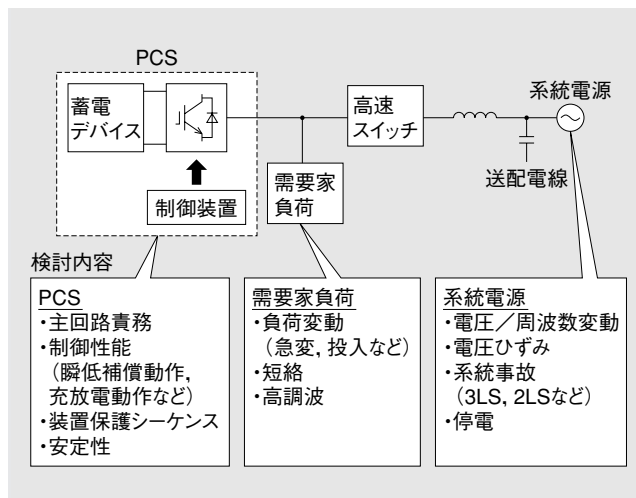
瞬低補償装置開発・設計時においては、スイッチング素子や変圧器、交流フィルタなどの主回路の諸特性に関する責務の解析、制御方式の検証、性能評価にシミュレーションを活用している。

それにより、装置の動作試験時において、装置がどのような動作をするのか試験前にあらかじめ検証することができ、また、短絡・制御異常・主回路故障の挙動など、実機による検証が装置に悪影響を与えるような現象についてもシミュレーションでは容易に把握することができる。

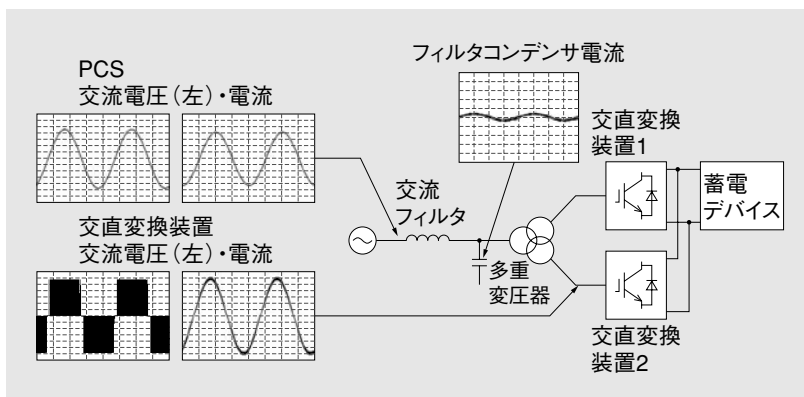
### 2.2 負荷モデル及び系統モデルの検討

瞬低補償時の需要家負荷の電圧・電流を解析するためには、負荷のモデリングが必須である。

負荷のモデリングは、まず負荷単体のモデリングが基本であり、種別としては線形負荷 [抵抗負荷・リアクトル負荷・進相コンデンサ (SC)], 誘導電動機負荷、整流器負荷などがある。これらの単体モデルを需要家負荷の構成状況に応じて組み合わせ、更に負荷電流・電圧の実測波形よりひずみ率やクレストファクタ (波高率) などを読みとり、モデルの精度を向上させ、需要家負荷全体のモデルを構築する。



第1図 PCSシミュレーション検討内容  
PCSのシミュレーションにおける検討内容を示す。



第2図 多重電力変換装置の解析例

PCS主回路の動作解析の一例として、変圧器により多重化された変換装置主回路の交流フィルタに関する検討例を示す。

系統についても系統定数が需要家負荷の電圧・電流ひずみ、及び事故時の電圧・電流特性に影響するため、設備定数をできるだけ正確に模擬することが必要である。

こうして作成した需要家負荷モデルと瞬低補償装置モデルを組み合わせることにより、系統事故時の挙動や負荷変動時、負荷短絡時の挙動など、実機での検証が困難な事象の解析を行うことが可能となり、これらの事象が装置本体や需要家負荷、系統に及ぼす影響を検討することができる。

## 3. 解析例

### 3.1 PCSの動作解析

第2図にPCS主回路の動作解析の一例を示す。これは、変圧器により多重化された変換装置主回路の交流フィルタに関する検討例である。この解析は、PSCAD/EMTDCを用いて行っている。変

圧器二次側は、交直変換装置のスイッチングにより、交流電圧・電流に高次のスイッチング周波数成分が重畳されているが、交流フィルタを通すことによって、一次側ではこの周波数成分が除去されていることがこの解析で確認できる。

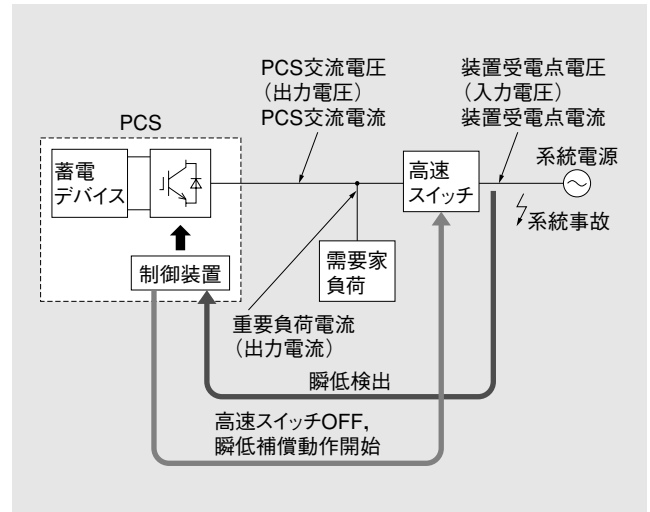
このようにシミュレーションモデルを用いて交流フィルタ通過後の交流電圧と電流を周波数解析し、フィルタコンデンサに流れる電流を解析することにより、系統側の電圧・電流ひずみ及び交流フィルタの責務を検討し、実機の設計に応用することができる。

### 3.2 瞬低補償装置の解析

第3図に瞬低補償装置の構成図を示す。この装置は、瞬低を検出すると高速スイッチをオフし、装置からミリ秒オーダーで需要家負荷に電力を供給する。そのため、本装置の性能において、瞬低補償動作開始時のPCS交流電圧の電圧低下とその低下時間が重要な要素となる。

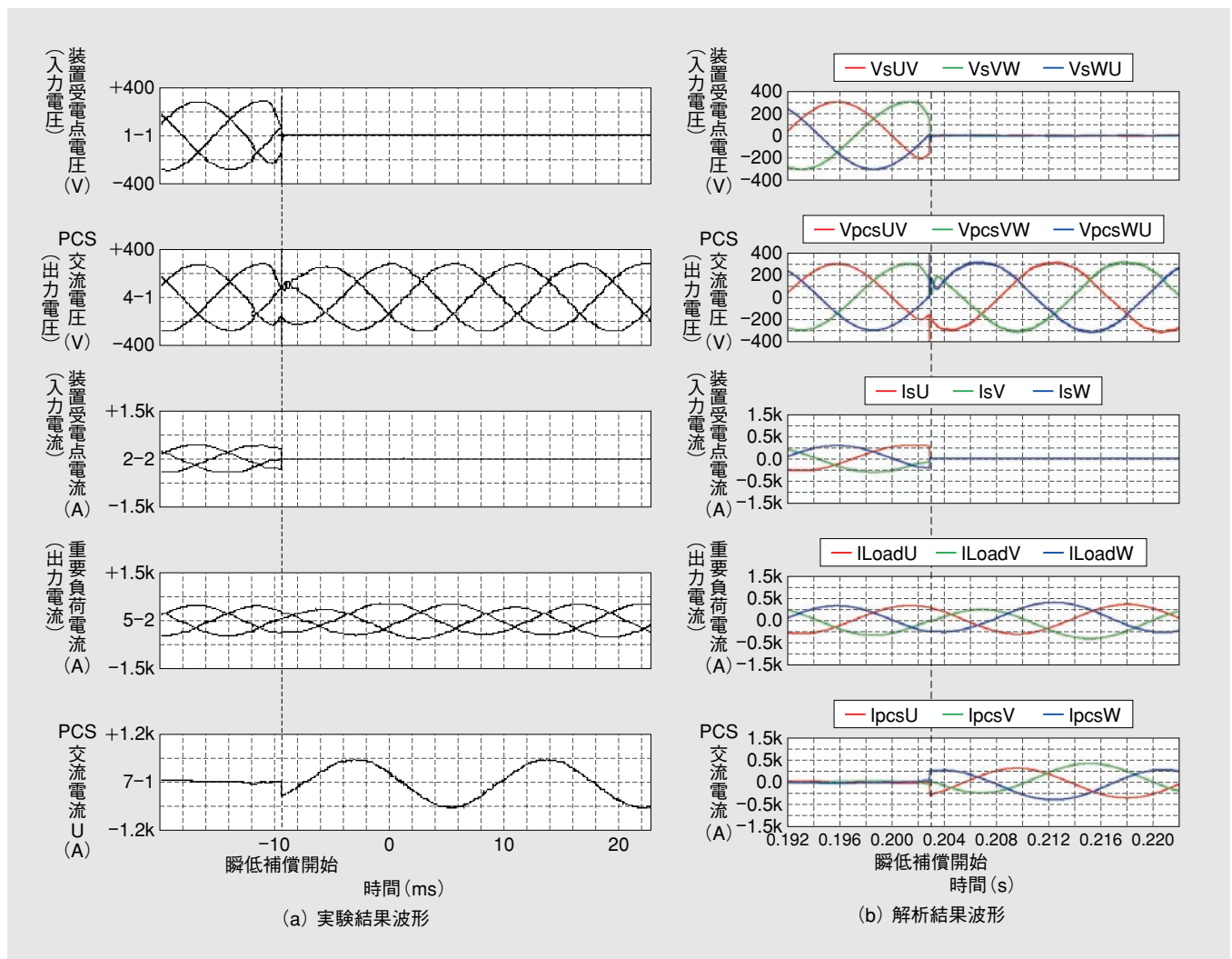
瞬低補償装置の解析を行うためには、瞬低補償動作開始時のPCS交流電圧変動が実験結果に近いシ

下時間が重要な要素となる。



第3図 瞬低補償装置構成図

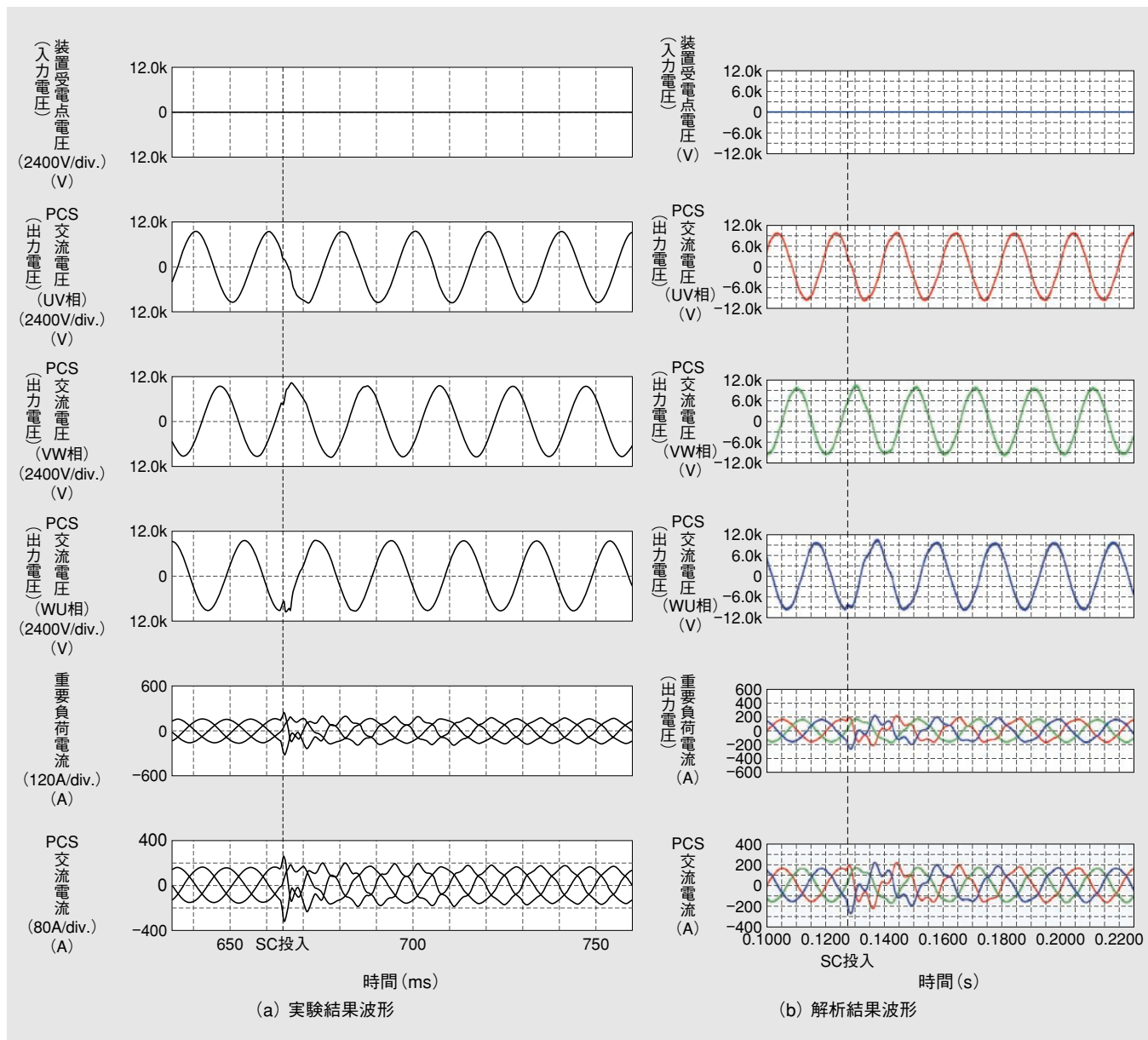
瞬低補償装置のシステム構成を示す。



第4図 低圧瞬低補償装置の解析例 瞬低切り替え動作

低圧瞬低補償装置の解析例として、瞬低補償開始時の実験結果波形と解析結果波形を示す。





第5図 高圧瞬低補償装置の解析例 瞬低補償動作中にSC投入

高圧瞬低補償装置の解析例として、瞬低補償動作中にSC投入した時の実験結果波形と解析結果波形を示す。

シミュレーションモデルを構築することが必要となる。また、瞬低補償動作開始時の動作解析のほかにも、瞬低補償動作中のPCS交流電圧ひずみや、負荷投入時のPCS交流電圧変動の解析も重要である。

当社の瞬時電圧低下補償装置には低圧機と高圧機があり、それぞれのシミュレーションモデルを構築している。この解析も、前述と同様にPSCAD/EMTDCを用いて行っている。

第4図に低圧機における瞬低切り替え動作の実験結果と解析結果を示す。装置容量比0.5p.u.の重要負荷に対し、上位遮断器開放(3LO)により瞬低を発生させている。瞬低補償開始時のPCS交流電圧(出力電圧)波形を比べると、実験結果に近い

解析結果が得られていることが分かる。

第5図に高圧機における瞬低補償動作中のSC投入時の実験結果と解析結果を示す。重要負荷1250kW(装置容量比0.5p.u.)に対して補償中の状態でSC 300kvarを投入している。SC投入時の電圧低下と重要負荷電流、PCS交流電流の変動に関して、実験結果に近い解析結果が得られていることが分かる。

#### 4. む す び

本稿では、当社のシミュレーション技術の一例として、瞬低補償装置のシミュレーションモデルを紹介し、解析結果と実験結果を比較することに

より、モデルが精度高く実機を模擬していることを示した。

このような精度の高い瞬低補償装置モデルを構築することは、系統異常・装置故障時の動作など、実機による検証が困難な事象の検討に有用であり、更に需要家負荷モデルと組み合わせることにより、導入の事前検討にも大きく貢献できるものである。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### (注記)

注1：米国BRAで開発されたシミュレーションプログラム (ElectroMagnetic Transients Program)

注2：電力系統回路現象解析用シミュレーションプログラム (Alternative Transients Program)

注3：カリフォルニア大学バークレー校で開発された電気回路・電子回路のアナログ動作の現象解析用シミュレーションプログラム (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)

### 《執筆者紹介》



下村潤一 Jun'ichi Simomura  
電力変換装置の解析業務に従事



大石 覚 Satoru Oishi  
電力変換装置の解析業務に従事

