

No.470

2011 May

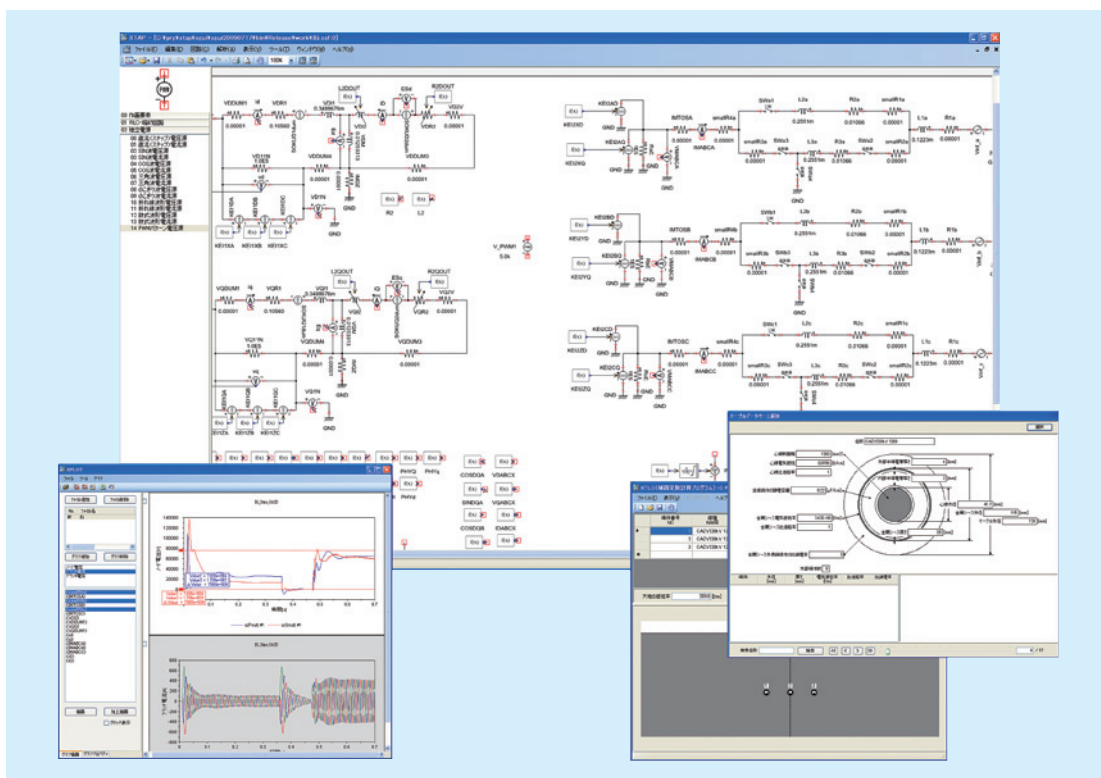
電

中

研

# 電力系統に生じる様々な現象を波形レベルで解析するプログラム

——電力系統瞬時値解析プログラム XTAP の開発——



電力系統瞬時値解析プログラム XTAP のユーザインターフェース（解析回路作成画面、解析結果例）

太陽光発電など再生可能エネルギーの導入にあたっては、これらの発電装置を電力系統に接続、すなわち、連系するためにインバータと呼ばれる機器を用います。インバータの開発においては、連系時の機器の動作の確認のため、電力系統の電圧や電流を波形レベルで解析する目的で瞬時値解析プログラムを利用します。しかしながら、これまで解析に用いられてきたプログラムでは、計算結果の波形に実現象には生じない架空の振動が生じてしまう場合があるなどの問題がありました。また、海外で開発されたプログラムであるため、国内の解析ニーズに対応して柔軟に拡張、変更することができないという問題もありました。電力中央研究所ではこれらの問題を解決するため、新しい瞬時値解析プログラムである XTAP (eXpandable Transient Analysis Program) を開発しました。本プログラムは現在、電力会社などで広く活用されています。

電中研ニユース  
ZEMUS

# 1

## 電力系統に生じる現象を解析する 様々なプログラム

### ● 電力系統解析プログラムの種類

社会活動の中で日々使われる電力。この電力を安定供給するためには、電力系統に生じる様々な現象を解析し、電圧、電流、周波数などを適切に管理していく必要があります。電力系統に生じる現象は多岐にわたるため、これらをひとつのプログラムで解析することは不可能で、現象の種類や時間オーダごとにいくつかのプログラムが開発され、活用されています。これらのプログラムをおおまかに分類すると以下のとおりとなります。(図-1)

- ① 送電線を流れる電力や変電所の電圧の定常値を解析
- ② 事故発生時の系統全体の電圧・電流の変化を実効値レベルで解析
- ③ 事故発生時の系統一部分における電圧・電流の変化を瞬時値レベルで解析
- ④ 送電線や配電線への雷撃時に電磁現象として発生する電圧・電流の解析

当研究所では、既に①、②、④の解析ができるプログラムを開発し、これらは電気事業や学術研究機関などで幅広く利用されています。

### ● 瞬時値解析とは何か？

③の解析のためには、これまで海外の機関で開発された EMTP (Electro-Magnetic Transients Program) というプログラムが広く利用されてきましたが、日本国内のニーズにあわせた改良が柔軟に行えないなどの課題がありました。

そこで当研究所では、わが国ではじめての瞬時値解析用プログラムとなる「電力系統瞬時値解析プログラム XTAP」を開発しました。これにより、国内のニーズにあわせた柔軟な改良が可能となっただけでなく、図-1 に示すとおり、当研究所開発のプログラムにより電力系統の全ての時間領域における解析が可能となりました。

瞬時値解析とは、主に電力系統に生じる  $\mu$  秒～秒オーダの現象を精緻に解析し、結果を波形の形で示すものです。これまでも、開閉器の操作や雷などによって生じる過電圧や過電流の解析で高いニーズがありました。近年ではこれに加えて、電力品質の解析や太陽光発電など再生可能エネルギー発電装置の連系用インバータの解析にも活用されています。

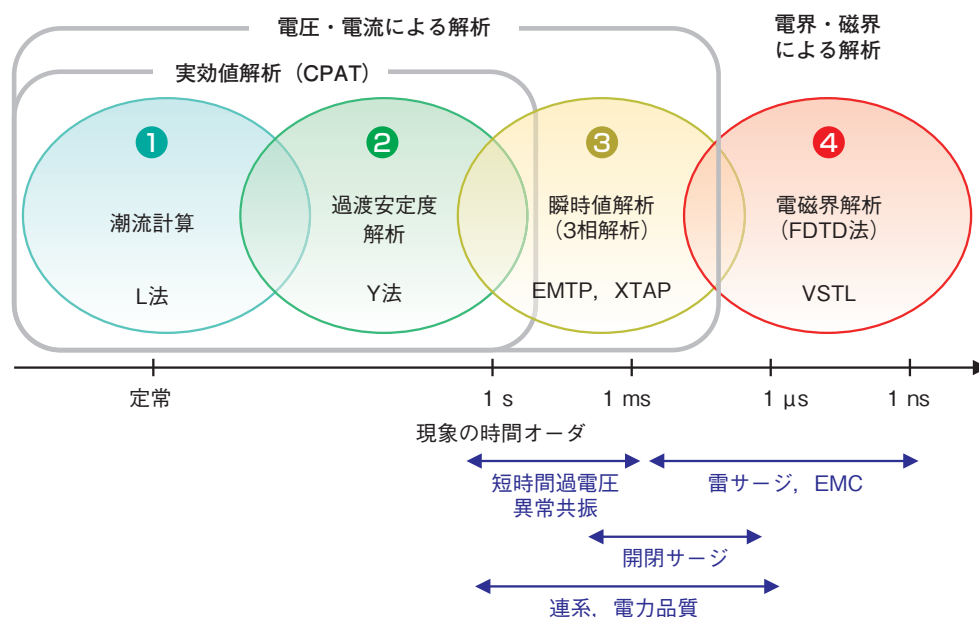


図-1 電力系統解析用プログラムの種類

# 2

## XTAP で何ができるか

### ● XTAP の特徴

XTAP には次のような特徴があります。

#### (1) 正確な計算を行うためのアルゴリズム

EMTP などでも用いられてきた数値解析手法のひとつである台形積分アルゴリズムでは、コイルの電流やコンデンサの電圧が急変すると実現象には生じない架空の数値振動を生じてしまい、解析の障害となっていました。XTAP では 2S-DIRK 積分アルゴリズムという数値解析手法を採用して、この問題を解決しています。また、複雑な電気回路を解析する場合でも、途中で計算が収束せずにストップすることが無い独自の計算アルゴリズムを開発し、組み込んでいます。

#### (2) 瞬時値解析に必要なモデルを標準装備

基本的な電気回路素子、送電線・地中ケーブルのモデル、同期機・誘導機のモデルなど、電力系統の瞬時値解析に必要なモデルを標準装備しており（図-2）、電力系統の運用や設計のための迅速な解析が可能です。

#### (3) 視覚的なユーザ・インターフェース

視覚的かつ効率的な回路図の入力や、解析結果のフレキシブルな表示が可能なユーザ・インターフェースを有しています。また、わが国で使用されている電線やケーブルのデータベースを装備し、データ入力の省力化を図っています。

### ● XTAP の活用事例

XTAP の活用事例として、SiC（シリコンカーバイド）素子を適用した高効率インバータの開発における電気的特性の解析事例を紹介します。

近年、太陽光発電など再生可能エネルギー発電装置の連系や、電力系統の制御・安定化の目的で、パワーエレクトロニクス機器を用いるケースが多くなっています。当研究所ではパワーエレクトロニクス機器の効率向上やコンパクト化、その結果としてのコスト低減の実現を目指し、次世代の半導体スイッチングデバイスである SiC 素子を適用した高効率インバータの開発・研究を進めています。開発にあたっては、パワーエレクトロニクスシステム全体での効率や損失、電力変換時に発生する過電圧や過電流などの電気的特性の解析・評価が必要です。

XTAP は先に述べた計算アルゴリズムの特徴により、これらの解析を適切に行うことが可能であるため、当研究所では XTAP を活用した解析を行いました。

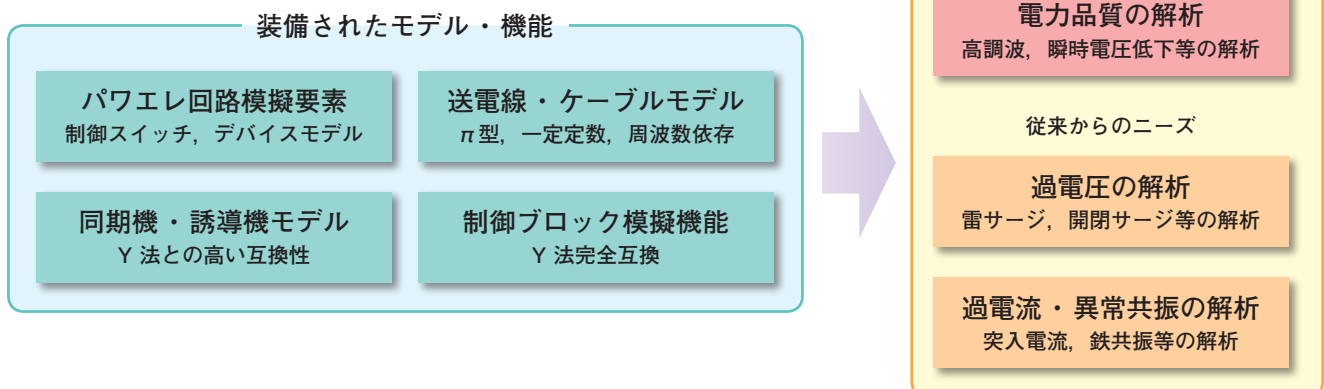


図-2 装備している解析モデル・機能と可能となった解析

# 3 XTAP を広く使って頂くために

## ● XTAP による解析の結果

解析の結果、半導体スイッチング素子の過渡的な特性まで詳細に考慮したシミュレーションを高精度かつ安定的に行うことができました。結果の一部を図-3 に示します。インバータ回路内の半導体スイッチング素子における電圧や電流の波形は、試作したインバータで実測した結果とほぼ一致しました（青線が実測結果、赤線が解析結果）。

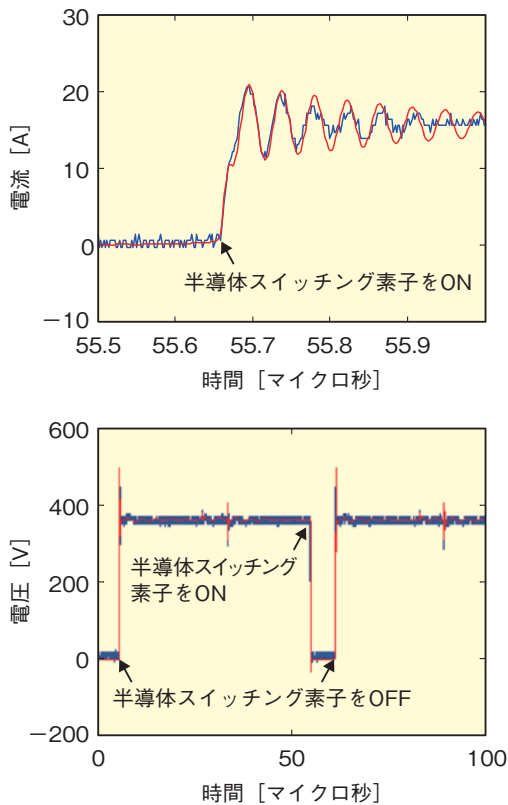


図-3 インバータ回路中の半導体素子の電流(図上)、電圧(図下)解析結果

## ● 今後の展開

2006年にプログラムの基本部分の開発をスタートし、その後、使いやすさの向上のために様々な機能を追加しています。わが国における瞬時値解析の標準プログラムとなることを目指して、解析に必要な機器モデルを集めた「国内標準機器モデルライブラリー」の整備、XTAPでの解析のコツや実例を紹介する「電力系統瞬時値解析ガイドブック」の作成、ならびに、解析速度の更なる向上に向けた並列計算アルゴリズムの開発などを進めています。将来はXTAPの技術をベースに、電力系統の保護装置や制御装置の試験が可能なりアルタイムシミュレータの開発を目指していく予定です(図-4)。

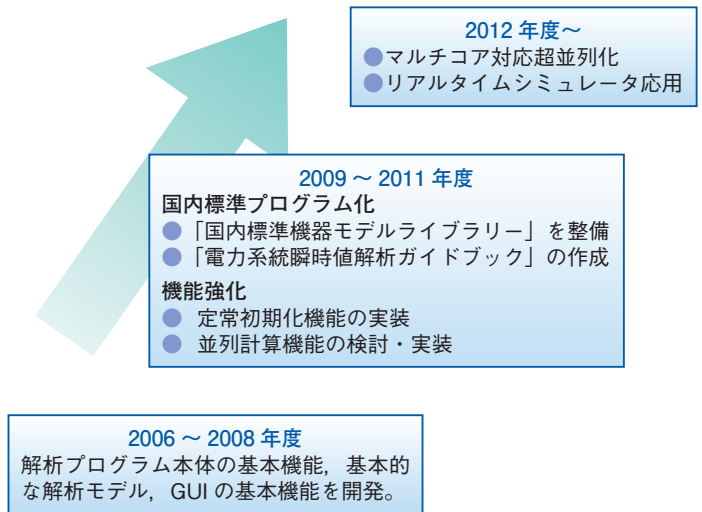


図-4 XTAPの開発ロードマップ

## ひ と こ と

電力技術研究所 電力応用領域 上席研究員 野田 琢  
 当研究所の開発メンバーをはじめ多くの関係者、そして電力会社の技術者の方々の協力を得て国産の電力系統瞬時値解析プログラムXTAPを世に送り出すことができました。今後は、国内での解析に便利なモデルや機能を拡充し、ユーザが解析ケース作成に費やす労力を少しでも軽減していきたいと思っております。



## 関連の電力中央研究所報告

「電力系統瞬時値解析プログラムの開発(その1)～(その4)」H06002、H07004、H08002、H09007  
 「インバータシミュレーションプログラムの開発(その1)～(その2)」R06017、R07016