

電力の安定供給を陰で支える縁の下の力持ち (電力系統解析について)

(株)JPビジネスサービス 電力技術部 系統技術G 木田雄三



JPOWER 田子倉ダム



解析用シミュレータ RTDS

紹介内容

1. 講演者の紹介
2. JPBSの紹介
3. 電力系統とは
4. 電力系統解析とは
5. RTDSについて
6. その他、質疑応答



JPOWER 佐久間ダム
(年間発電量日本一の水力発電所のダム)

講演者の紹介

1970年 横浜市鶴見区生まれ

1989年 神奈川大学工学部電気工学科入学

1993年 ㈱開発計算センター入社

1996年～1997年 電源開発㈱出向

2000年～2007年 茅ヶ崎研究所勤務
(2002年 電源開発の愛称が「でんぱつ」から「JPOWER」へ)
(2004年 電産産業㈱とKCCが合併し㈱JPビジネスサービスへ)

2008年～ JPBS本店勤務



JPビジネスサービスの紹介

JPBSは多様なサービスで電気の安定供給を支えている企業です

◎クリエイティブ事業(人と暮らしに関わるサービス)

- ▶ 事務用品の販売、会社案内・商品パンフレットの企画・制作、環境・防災商品の販売。
- ▶ 寮、社員食堂、保養所などの施設の運営計画から管理運営、栄養管理までトータルサービス
- ▶ 食堂運営ノウハウを活かし外食事業を展開
- ▶ 火力発電所に関する警備、緑化工事、自動車運転などの運営
- ▶ 不動産の賃貸、管理・運営、仲介や設計・内装工事。
- ▶ 研修体系構築から研修実施、コンサルティング。



◎シェアード事業(管理間接業務に関わるサービス)

- ▶ 管理間接業務の集中・標準化を実現し、コスト低減や業務品質向上で、事業の効率化・高度化を支援。
- ▶ 人事・労務・厚生業務、総務・庶務業務、管財業務、調達業務



◎IT事業(情報サービス)

- ◆ 人事労務業務、財務会計業務、資材調達業務など、基幹業務システムの企画・構築から運用・保守。
- ◆ 火力、水力、原子力発電といった電力事業分野でのエンジニアリング知識とIT技術を基盤とした、コンサルティングから導入・運用・保守までの一貫したノウハウで、各種技術系業務システムの企画・構築から運用・保守。
- ◆ **電力系統技術**、土木・環境・防災関連技術、原子力関連技術など電気事業におけるエンジニアリングとIT技術を融合した**ソフトウェア開発と解析・評価**。
- ◆ 大規模ネットワークの運用・保守実績を活かした情報ネットワーク、セキュリティ、利用者教育などトータルソリューションの提供。
- ◆ 電気事業のITサービスで培った技術ノウハウを活かし外部展開。



JPOWERの紹介

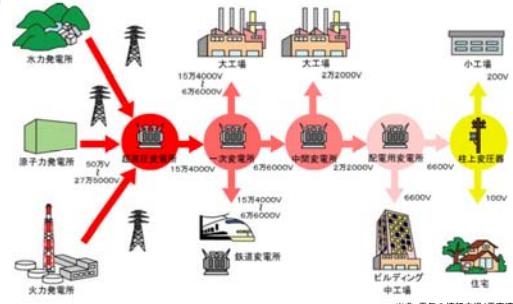
国内最大規模の卸電気事業者
北は北海道、南は九州、沖縄まで、
火力発電所、水力発電所、地熱発電所、風力
発電所などで電気を作り、
電力会社に電気を卸し、
そこを通じて各家庭や
企業に電気を供給



JPOWER 梶子火力発電所 (石炭火力発電所として
世界最高水準の発電効率と環境保全対策を実現)

電力系統とは

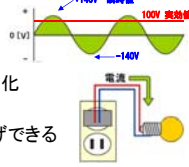
電力系統とは発電から消費までに至る、発電所、変電所、送電線、
配電線、負荷(家庭、工場)など設備全体をいう。



電力系統とは(交流と直流について)

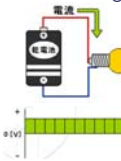
○ 交流

- コンセントを通して送られてくる電気
- 電圧・電流は波のように周期的に変化
- 1秒間に50周期だと50Hz
- 変圧器により容易に電圧を上げ下げできる



○ 直流

- 携帯電話や時計などに使われている電気(電池)
- 電圧・電流は時間に関係なく一定
- 長距離送電に向き、送電設備コストが安い
- 事故発生時の電流の増加を抑制
- 周波数変換



電力系統とは(送電設備)

○ 日本の電力系統の特徴

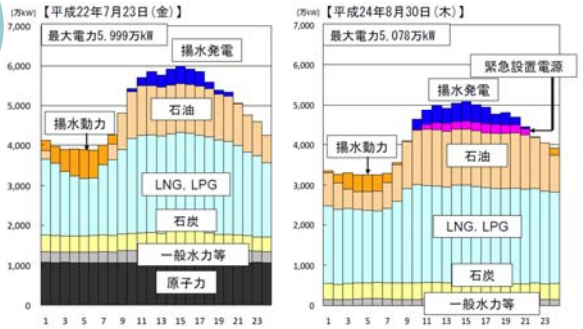
- 50Hzと60Hzが存在
- 電力会社間は1点or2点で連系
- 大電源は海岸の一部に集中



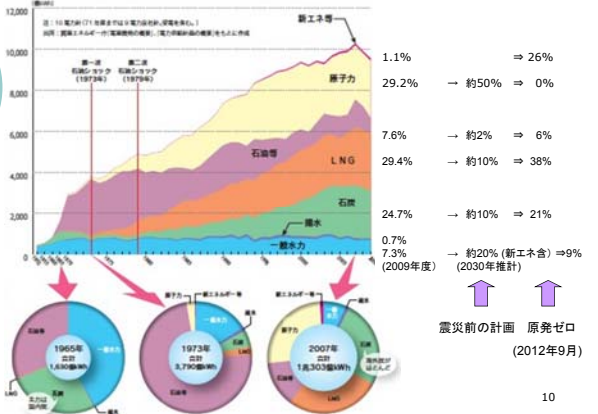
出典: エネルギーの基礎(電事連)

電力系統とは(発電設備)

負荷量と発電設備の関係(平成22年と今夏の最大電力発生日の電源運用)



電力系統とは(発電電力量の推移)



震災前の計画 原発ゼロ (2012年9月)

電力系統に関する最近の話題1

○ 東日本大震災 地震発生直後の影響とその対応

- 地震発生直前の東北・東京系統の周波数 50Hz
- 電源停止等による需給ギャップにより周波数大幅低下
- 他エリアからの即応周波数維持装置が自動対応
- 需給ギャップ解消せず、周波数低下継続(48.5Hz)
- 一部の需要への供給の自動停止(負荷遮断)、および運転継続発電所の出力増により周波数は地震発生から約5分後に50Hzに復帰し、**全系停止(ブラックアウト)回避** 翌週14日月曜日から需給ギャップのため**計画停電**実施

電力系統に関する最近の話題2

○ エネルギー基本計画

- 震災後原子力発電への影響大
- 震災前: 自主エネルギー比率現行38%→70%に
- CO₂排出量を1990年比30%削減
- ゼロエミッション電源比率34%→70%程度に
- (原子力発電の新設推進・設備利用率61%→90%に)
- 震災後: 脱原子力・急速な再生可能エネルギーへシフト
- 見直し必須条件:
- エネルギー安全保障: 経済成長と生活水準の基盤
- 世界のモデルとなる低炭素型経済成長の実現

電力システムに関する最近の話題2

○エネルギー基本計画(化石燃料とゼロエミッション電源)

	エネルギー 安全保障	温暖化 防止	コスト 負担(円/kWh)	資源量	エネルギー 密度	事故 リスク
石油	×(中東依存)	×	×(10.7)	△	◎	△
石炭	△(低自給率)	×	○(5.7)	○	◎	△
ガス	△(低自給率)	△	△(6.2)	△	◎	△
原子力	○(準国産)	◎	?(5-6)	◎	◎	×
水力	◎(国産)	◎	△(8-13)	◎	△	○
風力	◎(国産)	◎	×(10-14)	◎	×	◎
太陽光	◎(国産)	◎	×(49)	◎	×	◎
地熱	◎(国産)	◎	×(8-22)	◎	×	◎
省エネ	◎	◎	△(限界費用大)	-	-	-

全てにおいて満点のエネルギーは無い→総合評価が必要

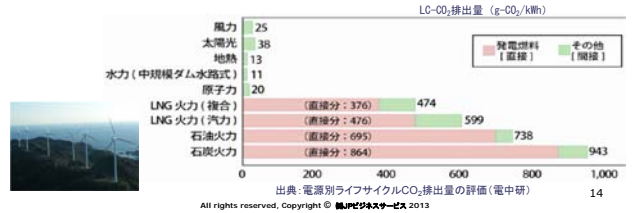
4つの安(安定・安全・安心・安価)

エネルギー自給率4%の日本で急速な脱原子力は困難

電力システムに関する最近の話題3

○再生可能エネルギー

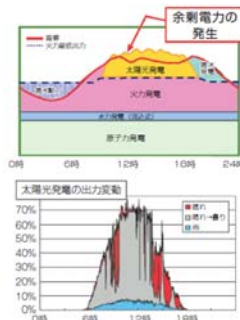
- 太陽、風力、地熱、波力、海流、水力、バイオマス等が対象
- 温暖化対策(枯渇しない、発電時CO₂無し、高コスト)
- 太陽光(出力不安定、予測困難、設備利用率12%)
- 風力(出力不安定、予測困難、設備利用率17%)
- 地熱(出力安定、立地困難、設備利用率59%)



電力システムに関する最近の話題4

○太陽光発電等の再生可能エネルギー大量導入時の課題

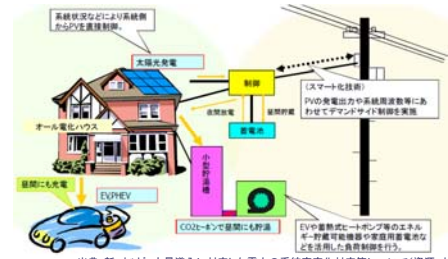
- 1 余剰電力の発生**
 - 【課題】 太陽光発電が増加すると、休日などの需要の少ない時期に、ベース供給力(原子力+水力+火力最低出力)と太陽光の合計発電量が需要を上回り、余剰電力が発生(右図)。
 - 【対策】 蓄電池の設置、GWや年末年始などの低負荷期における出力抑制、等
- 2 出力の変動**
 - 【課題】 太陽光発電の出力は、天候などの影響で大きく変動(右下図)。短期間では電力バランスが崩れると周波数が低下値を越えて、電圧の安定供給(負の確保)に問題が生ずるおそれ。
 - 【対策】 出力調整機能の増強、等
- 3 電圧上昇**
 - 【課題】 太陽光パネルの設置数が増加した場合、配電網の電圧を適正値(101±6V)にするため太陽光発電の出力を抑制せざるを得なくなるおそれ。
 - 【対策】 配電網の強化(柱上変圧器の増設)、等



電力システムに関する最近の話題5

○スマートグリッド

- 電力の流れを供給側(通信機能付計測器)と需要側の両方から制御し、最適化できるようにした送電網。



電力システムに関する最近の話題6

○スマートコミュニティ

電気だけでなく、エネルギー消費の半分を占める「熱」も含めた全体の効率化
交通システムやライフスタイルの変革も視野に入れ、総合的な社会システム
国内実証拠点として横浜市・豊田市・京都府・北九州市が選出

出典: 「次世代エネルギー社会の実証地域」選定結果について(資源エネルギー庁)



電力システムに関する最近の話題7

○発送電分離

発電事業と送電事業を切り分け、それぞれ別の事業者が行うこと

- メリット
 - 消費者が電力会社を選ぶことが可能になる
 - 電力市場に競争原理が導入され、サービスの向上・価格低下が期待できる
 - 再生可能エネルギーの大量導入が容易になる
 - 発電事業のみであれば民間企業が比較的参入しやすい
 - 個別専門事業となる為、設備信頼性の向上が期待できる
- デメリット
 - 停電が起こりやすくなる
 - 燃料価格によっては現在より高い電気料金になる可能性もある
 - 契約形態が難解・厳格化される
 - 事業者個別に料金を支払う必要性が起こる
 - 発電事業者による電気価格吊り上げのような不正が発生することがある

電力系統解析とは 電力系統解析の必要性

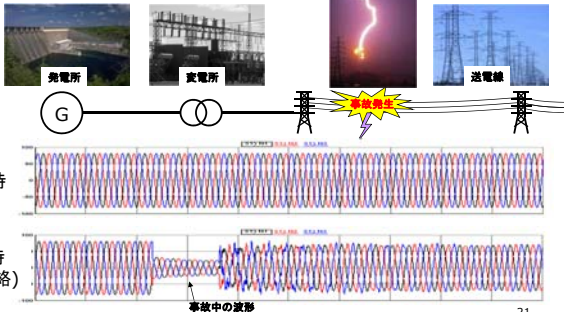
- 事前検討(設備計画)
 - 送電線に電流が流れすぎでないか
 - 台風等で送電線が切れても安定して電力が供給できるか
 - 新しい機器(発電機、変圧器など)や制御装置などを接続しても大丈夫か
- 異常現象発生時の原因究明(再現)
 - 遮断器(スイッチ)が誤動作した原因は何か
 - 発電機が緊急停止した原因は何か
 - 機器が故障した原因は何か

電力系統解析とは 電力系統解析の必要性

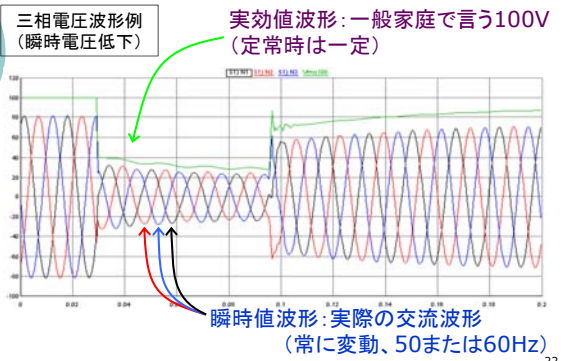
- 4つの運用制約 ⇒ 制約の逸脱は場合によって大停電も
- 電圧(±6V)
 - 需要増⇒電圧低下
 - 水圧のイメージ(多くの人が一斉にシャワーを浴びると出が悪くなる)
 - 対策:電圧を一定にする装置AVR、変圧器、コンデンサ等
 - 周波数(±0.1~0.3Hz)
 - 電気は貯蔵できないので生産即消費
 - 需要<供給⇒周波数上昇、需要>供給⇒周波数低下
 - エアロバイクのイメージ(荷物が増えると回転数が下がる)
 - 周波数低下は発電機や負荷機器の安定運転を阻害
 - 対策:発電機出力を一定にする装置GOV、周波数制御AFC、電源制御等
 - 安定度
 - 負荷変化や故障等に対し、安定して電力供給を維持できるか
 - 荷馬車イメージ(大きい負荷が掛かっている線が切れると崩壊する)
 - 対策:システムを安定にする装置PSS、増設、電源制御、保護リレー等
 - 熱容量
 - 台風等で電線が切れると、他の電線に想定以上の電流が流れ過熱するため輸送力の設定が重要
 - 対策:潮流計算、保護リレー(家のブレーカ)等

電力系統解析とは シミュレーション例

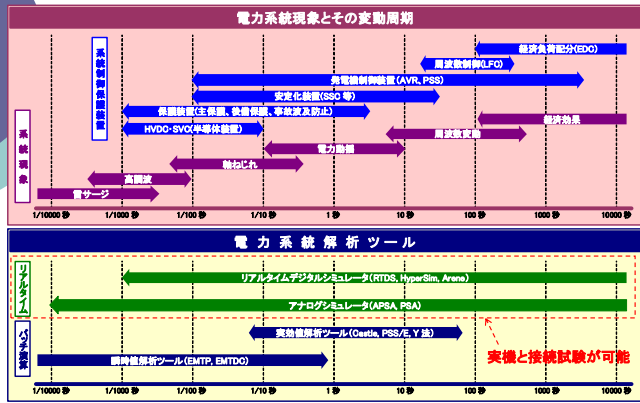
電力系統解析とは、電力系統上のさまざまな現象をシミュレーションすることである。



電力系統解析とは 瞬時値波形と実効値波形の違い

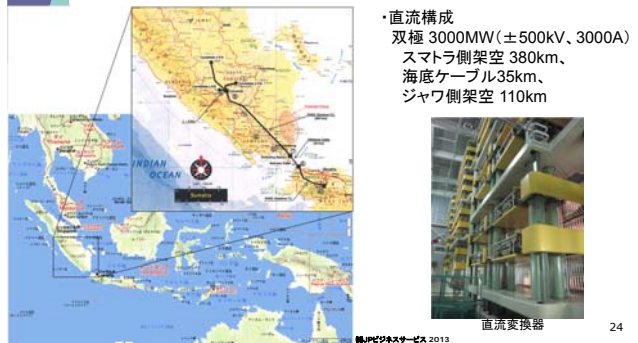


電力系統現象と解析ツール



電力系統解析とは 最近の解析業務

インドネシア共和国のスマトラ島とジャワ島間を直流で送電するプロジェクト



電力系統解析とは 最近の解析業務

直流送電プロジェクトの解析業務の関わり

- システム基本仕様を決める(基本回路構成、直流定格電圧・電流)

○ 各種解析の実施

- ・ 運転諸量解析(無効電力補償検討)
- ・ 高調波解析(変換器の出す高調波電流・電圧からフィルタ設計)
- ・ f-z特性解析(共振点の確認)
- ・ 電圧変動解析(許容変動値内に抑制する対策検討)
- ・ 安定度解析(事故後の動揺の傾向確認・対策検討)
- ・ 高調波不安定現象解析(現象の有無を解析し、対策検討)
- ・ 過渡過電圧解析(許容値に抑制する対策検討)
- ・ SST現象解析(発電機軸ねじれ現象の対策検討)
- ・ 運用解析(変圧器投入時の電圧歪による転流失敗の有無の確認等)
- ・ 直流単独送電解析(発電機と直流システムの協調制御の検討)

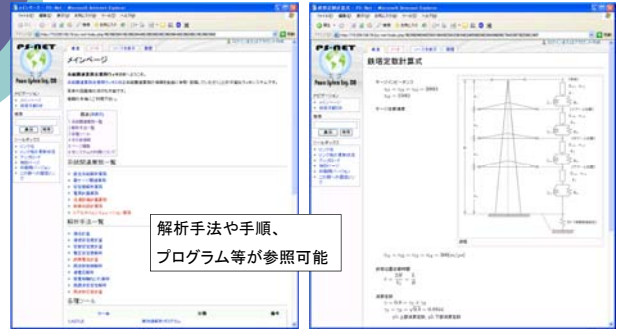
○ システム仕様の決定

All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

25

電力系統解析とは 技術継承対策

解析のノウハウを参照できるWiki DBを作成



解析手法や手順、
プログラム等が参照可能

All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

26

リアルタイムデジタルシミュレータについて

リアルタイムデジタルシミュレータとは、実設備(装置)と同じ状況を仮想的に模擬するハードウェアやソフトウェアである。

代表例)

- ドライブシミュレータ
 - フライトシミュレータ
- 同期間隔 = 数十ミリ秒
(1ミリ秒 = 10^{-3} 秒)

実機では危険を伴うような体験ができる

電力系統解析用シミュレータ

実機では危険(大停電など)を伴うような検討ができる

RTDSの同期間隔 = 約50マイクロ秒
(1マイクロ秒 = 10^{-6} 秒)

All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

27

リアルタイムシミュレータについて

	長所	短所
アナログシミュレータ	実機に忠実 広い周波数領域での 一貫した現象解析	フレキシビリティ低い 設置スペースが大 保守が煩雑 高価
リアルタイムデジタルシミュレータ	操作性がよい フレキシビリティ高い 設置スペースが小 保守が容易 比較的安価 過度な条件での試験が可能	現象解明されたモデルのみ 計算刻み以上の現象解析不可

All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

28

RTDSについて

- RTDSとは、
Real Time Digital Simulator
(実時間) (デジタル) (シミュレータ)
- 実時間で計算する全デジタルの電力系統解析用シミュレータ
- DSP(Digital Signal Processor)を用いたカスタム形並列計算機
⇒ 解析規模に合わせて拡張が容易

実時間で計算を行なうことにより、あたかも実際の電力系統が動作している状況を作り出すことができる。



All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

29

RTDSの歴史

- ◆ 1980年代にカナダのマントバ HVDCリサーチセンターで Nelson River HVDC の解析を目的とするシミュレータの研究・開発が開始
- ◆ 1993年に世界初のリアルタイムデジタルシミュレータとして最初の製品を出荷
- ◆ 1994年にRTDSテクノロジーズ社として独立
- ◆ 現在、世界33ヶ国で利用

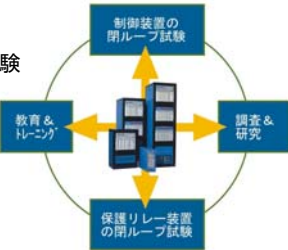
電力系統の様々な現象をリアルタイムで解析するデジタルシミュレータとして、「完成度が高い」と評価

All rights reserved, Copyright © 株式会社IPS 2013

30

RTDSの利用用途

- 装置の動作試験
 - 保護リレー装置の試験
 - 発電機等の制御装置の試験
 - ⇒ 装置の信頼性向上
- 訓練シミュレータ
 - 発電所機器操作訓練
 - 変電所機器操作訓練
 - ⇒ 機器操作員の技術力向上
- 調査・研究



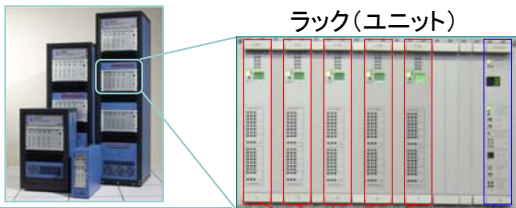
RTDS用ハードウェア:キュービクル

- フルサイズキュービクル
 - 3ラックまで収納可能
- ミッドサイズキュービクル
 - 2ラックまで収納可能
- ミニサイズキュービクル
 - 1ラック用(PB5基板9枚まで)
- ポータブルキュービクル
 - 1ラック用(PB5基板3枚まで)



キュービクルを複数接続することで拡張(大規模化)が可能

RTDS用ハードウェア:ラック



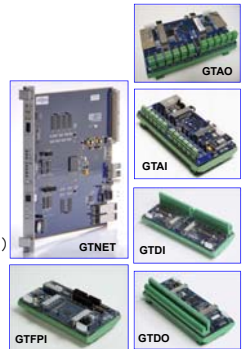
プロセッサカードの追加・交換により、拡張・メンテナンスが容易にできる。

プロセッサカード(PB5基板)
インターフェースカード(GTWIF基板)

ラックは基本的に1枚のインターフェースカードと複数枚*のプロセッサカードで構成している。
※: PB5基板(プロセッサカード)は最大6枚まで挿入可能である。

RTDS用ハードウェア:I/O基板

- GTA0
 - アナログ信号出力(12チャンネル、16ビット、絶縁)
- GTA1
 - アナログ信号入力(12チャンネル、16ビット、絶縁)
- GTD0
 - デジタル信号出力(64チャンネル、絶縁)
- GTD1
 - デジタル信号入力(64チャンネル、絶縁)
- GTNET
 - イーサネットインターフェース基板
(IEC61850規格、DNP3プロトコル、Playback等)
- GTFPI
 - デジタル信号入出力(16/16チャンネル、絶縁)
(ミッドサイズキュービクル以上に標準搭載)



シミュレーション機能

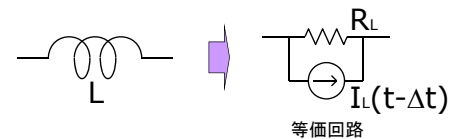
- 解析刻み : 約50 μ s(通常)
約2 μ s(small-dt計算機能)
- ノード数 : 1ラック最大72ノード×2(48母線)
- スイッチ数 : 1ラック最大100スイッチ(単相)
- ライブラリ : 電力機器コンポーネント
制御系コンポーネント
- その他 : 潮流計算
スクリプト(バッチ処理、自動実行)
コンポーネント作成ツール(C-Builder)

RTDSの計算原理 Dommelアルゴリズム:概要

RTDSではEMTPなどと同様にDommelアルゴリズムを採用

Dommelアルゴリズムとは

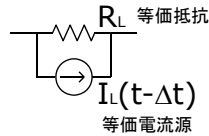
- ・台形積分手法
- ・各要素(RLC)を等価抵抗+等価電流源で模擬
- ・節点解析によりノード電圧を計算



RTDSの計算原理 Dommelアルゴリズム: 電力機器

すべての電力機器は、それぞれの

- 等価抵抗
- 等価電流源



で表現される。

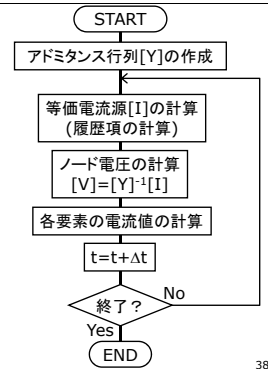
複雑な電力機器となれば、等価電流源の計算も複雑で膨大である。

RTDSの計算原理 計算フロー

計算フローは主に

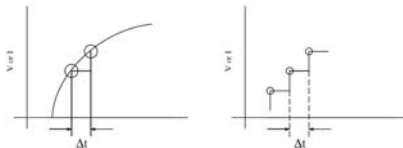
- ・等価電流源の計算 (履歴項の計算)
- ・ノード電圧の計算 $[V]=[Y]^{-1}[I]$
- ・電流計算

のループ計算である。



RTDSの計算原理 デジタルシミュレーション

- 瞬時値計算
電力系統の瞬時状態を離散的に求める
- 計算刻みは検討している現象に合わせて選択する
- 通常の電力系統解析では一般的に50μsを使用する
- 新しい状態は過去の状態を基に求める



RTDS操作用ソフトウェアRSCAD

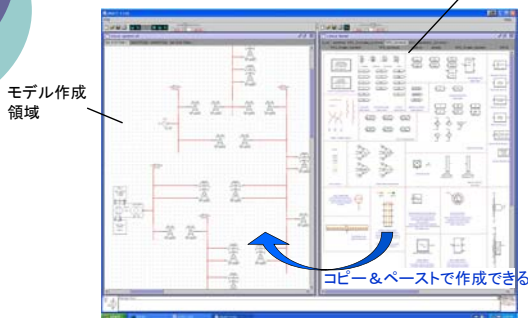


システムモデル作成画面 (CADイメージでシミュレーションシステムが作成可能)

操作・監視画面 (操作盤イメージでシミュレーション内容を監視・操作可能)

RSCAD : DRAFT

シミュレーションモデル作成画面 コンポーネントライブラリ領域



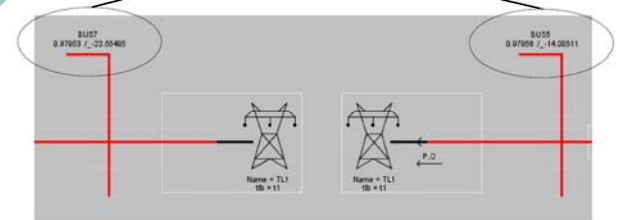
モデル作成領域

コピー&ペーストで作成できる

RSCAD : DRAFT

潮流計算機能

潮流計算機能により母線の初期電圧・位相を計算し、発電機のパラメータが初期化可能
母線電圧・位相



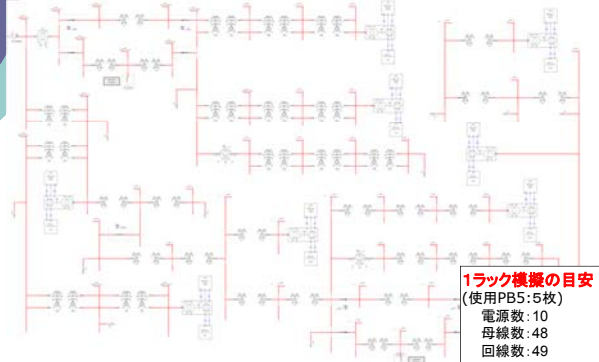
RSCAD: RUNTIME

シミュレーションの操作・監視画面
 ・スクリプト機能を用いたバッチ処理(自動実行)が可能



All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

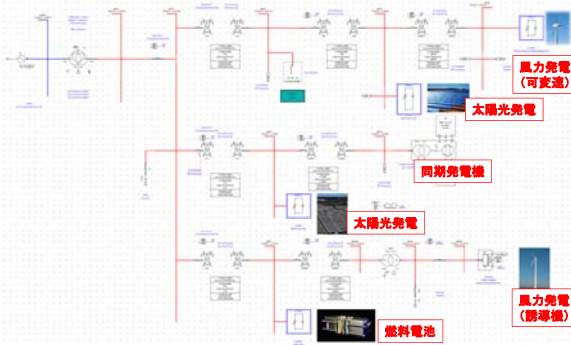
RTDSのシミュレーション規模 1ラック模擬の目安: 系統規模例



1ラック模擬の目安
 (使用PBS: 5枚)
 電源数: 10
 母線数: 48
 回線数: 49

All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

解析モデル例: 多数の分散型電源を連系した配電系統



All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

RTDS独占代理店契約の締結

- JPBS (KCC) の経験と実績
 - RTDSを約10年利用してきた実績
 - 電力系統解析に関する豊富な経験・知識
 - システム関連に関する豊富な経験・知識

RTDS社より代理店の依頼



2013年10月
RTDS国内独占販売代理店契約を締結

All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

RTDS営業業務

- 説明会・デモ
 - 会社訪問
 - 当社開催
- 展示会
 - 電気学会全国大会等
- 広告
 - 電気新聞、雑誌(OHM)等
- 販売
 - 電力会社、メーカー、大学



All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

RTDSサポート業務

- メンテナンス契約の締結
 - 現在11社と契約
- サポート対応
 - ユーザサポート(電話、メール)対応
 - システムおよびシミュレーションに関する問合せ
 - RTDS社への問合せ
 - 不良基板補修対応
 - 無償修理または交換
 - 現地出張サービス
 - 最新バージョンGUIソフト(RSCAD)の提供
 - RTDS社Webサイトからダウンロード
 - RSCADバージョンアップ内容のお知らせ
- 講習会
 - RTDS社主催
 - 当社主催



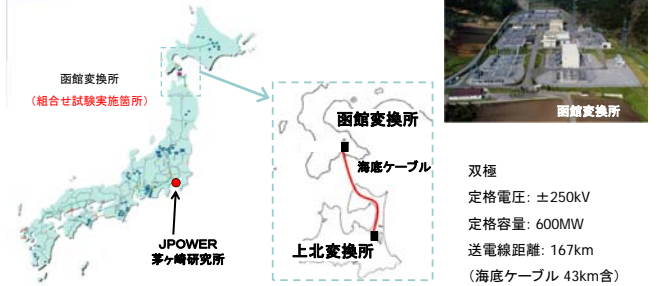
All rights reserved, Copyright © 株式会社エヌ・ピー・エス 2013

代理店業務 今後の課題

- 新規顧客の獲得
 - ニーズを調査、分析した的確な提案活動の実施
- サポート体制の強化
 - 専門技術者の育成
 - 英語力の強化
- さらなる技術力の向上
 - 新規モデルへの対応
 - 多分野への適応技術

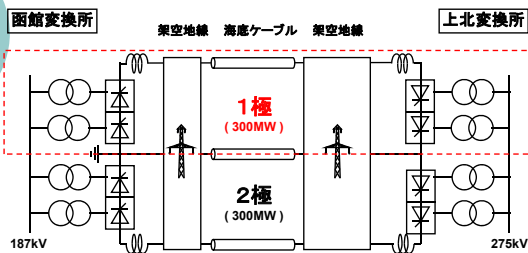


RTDSによる北本制御装置シミュレータ組合せ試験 JPOWER北海道・本州間電力連系設備について (北本HVDC連系設備)



■ 制御システムの動作を確認 ⇒ 更新工事のリスクの低減

JPOWER北海道・本州間電力連系設備



1極 : 1979 & 1980 運開
(150MW) + (150MW)

2極 : 1993 運開
(300MW)

更新対象
制御装置

RTDSによる北本制御装置シミュレータ組合せ試験 更新工事の背景

- 北本第1極制御保護装置は、運開後30年近くが経過し劣化が進行しており、安定性、信頼性の維持が喫緊の課題
- 補修部品の入手困難化に加え、アナログ制御のため、JPOWERならびにメーカーの技術者が不足(退職等)し、今後益々保守が困難化

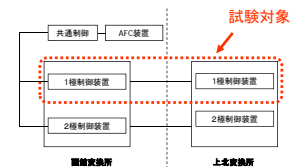
⇒ 1極の制御方式を最新技術のデジタル制御へ更新

シミュレータ組合せ試験の必要性

- 現地搬入前に実系統試験相当のシステム動作確認が可能
 - 現地調整・現地改造等の低減による試験期間の短縮
 - 実系統試験で実施困難な試験の評価が可能
 - 両端の調整、異メーカー間の調整が容易
-
- 多くの試験ケースが実施可能
 - 短時間でモデル変更可能
 - 可搬型RTDSを用いることで限られたスペースでの現地試験が可能

(1) 第1極制御保護装置試験【茅ヶ崎研究所】 シミュレータ組合せ試験の概要

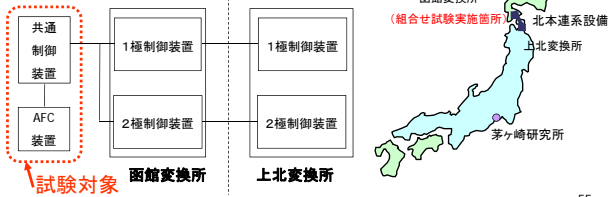
- 電力系統シミュレータ(RTDS)と北本第1極制御保護装置を組合せて、現地搬入前に茅ヶ崎研究所にて、函館～上北間の通信を含めた一連の制御システムの動作を確認。
⇒ 更新工事のリスクの低減
- 北本直流回路、交流回路は、RTDSで模擬
- 制御装置とシミュレータ間は、インターフェイス装置(電圧、電流アンプ等で接続)



(2) 共通制御装置・AFC現地試験【函館変換所】 シミュレータ組合せ試験の概要

電力系統シミュレータRTDSと共通制御装置MC・AFCを組合せて、現地搬入後に一連の制御システムの動作を確認。

⇒更新工事のリスクの低減



シミュレータ組合せ試験総括

(1) 第1極制御・保護装置試験【茅ヶ崎研究所】
→基本動作確認のほか、実系統では実施困難な直流及び交流系統の事故や稀頻度事故を含む500ケース以上の試験を実施

(2) 共通制御装置・AFC試験【函館変換所】
→新しい周波数検出方式を採用したことによる周波数検出部試験、基本動作試験、系統事故時及び機器側故障等、140ケース以上の試験を実施

各ケース実施ごとに社内関係部門と装置製作者で結果を検討し、必要な装置の機能改善を実施

- 現地で制御装置の動作確認・調整・改造の合理化
(時間短縮・コスト削減)
- 制御装置の信頼性確保

本試験は北本HVDC連系設備の制御・保護装置の動作確認に非常に貢献することができた。

まとめ

紹介内容

- 電力系統解析
電力の安定供給を確認するためのシミュレーション
- リアルタイムデジタルシミュレータ
実際の電力系統を仮想的に模擬する装置
実機で危険を伴うような検討が可能
- RTDS
機器の動作検証、調査・研究などが可能な装置である

講演者から皆さんへ

- 「為せば成る 為さねば成らぬ 何事も」
失敗は無駄にはならない
成功するまで歯を食いしばって努力する
- 「ほうれんそう」
報告・連絡・相談が基本
一人で抱え込まない



ご清聴ありがとうございました