

# 発電所向け配電盤エンジニアリング支援システム

Computer-Aided Engineering for Power Plant Switchgears

榊 吉孝  
SAKAKI Yoshitaka

田村 節生  
TAMURA Setsuo

高梨 由美子  
TAKANASHI Yumiko

特集  
II

発電所内の補機類に電源を供給する配電盤のフィーダ数は膨大である。従来、配電盤のエンジニアリングには多くの時間と労力を必要としたが、現在では配電盤 CAE システムを用いて効率的に作業が行われている。配電盤 CAE システムの実行ユニットは各種データベース(DB)を読み込み、定義したパターンに従って自動的にエンジニアリングを行う。配電盤 CAE システムには電源構成設計、変圧器仕様検討、負荷の母線振分け、配電盤器具選定、配電盤のユニット配置設計、単線結線図の作成、保護協調などの機能がある。DB のデータの多くは作業過程で自動生成される。DB は工場の生産設計とリンクし、生産性向上に大きく貢献している。

There are many feeders in switchgears that supply electric power to the auxiliary loads of a power station. While switchgear engineering formerly required a great deal of time and effort to accomplish, nowadays it is efficiently carried out by computer. In the switchgear engineering support system, the modules collect data from various databases and automatically execute the engineering according to a pattern. Most data are automatically generated in the database.

This system has numerous functions, including designing the power supply system configuration, calculating transformer ratings, distributing loads to buses, selecting switchgear components, arranging switchgear layout, drawing one-line diagrams, and coordinating the protection system.

## 1 まえがき

発電所内にはポンプやファン、照明、制御装置など多くの種類の電気機器があり、これらの所内負荷に電源を供給する配電盤のフィーダ数も膨大である。所内電源設備は、高圧配電盤(メタクラ)、低圧配電盤(パワーセンタ、コントロールセンタ、分電盤)が変圧器を介して階層的に構成されている。原子力や石炭火力の場合、下位のコントロールセンタのフィーダ数は千数百あり、最下流の分電盤のフィーダ数はさらに多くなる。配電盤のエンジニアリングに必要な所内負荷の初期情報は少なく、所内負荷の設計進捗(ちよく)に伴ってデータの精度が向上していくため、配電盤エンジニアリングは必然的に繰り返し作業が多くなる。

また、ユーザーの仕様要求、輸入品や多機能デジタルリレー(マルチリレー)の採用など、エンジニアリングプロセスは多様化している。

従来は、これらエンジニアリングに多くの時間と労力を必要としたが、現在では配電盤 CAE(Computer Aided Engineering)システムを用いて効率的にエンジニアリングが行われるようになってきた。ここではその概要について述べる。

## 2 システムの概要

配電盤 CAE システムは大きく分けて、エンジニアリング

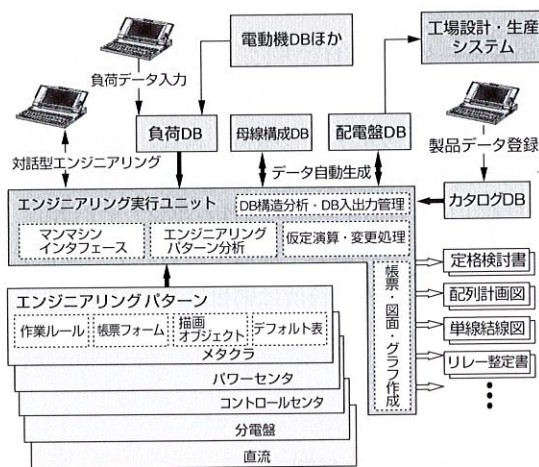


図1. 配電盤 CAE システムの構成 実行ユニットは定義パターンを解釈し、自動的にエンジニアリングを行う。

Configuration of computer-aided engineering system for switchgears

実行ユニット、エンジニアリングパターン、DBからなり、その構成の概要を図1に示す。

### 2.1 エンジニアリング実行ユニット

エンジニアリング実行ユニットは、各種DBからデータを読み込み、あらかじめ定義されたエンジニアリングパターンに従って機器定格の自動選定や各種帳票や図面の自動作図などを行う。

エンジニアリング実行ユニットはエンジニアリング項目

ごとにあるが、高圧配電盤から分電盤まで共通のユニットが使用される。

## 2.2 エンジニアリングパターン

エンジニアリング実行ユニットはエンジニアリングパターンを解釈し実行するだけで、ノウハウはエンジニアリングパターンに記述される。エンジニアリングパターンには、技術検討書、帳票、図面、グラフなどの出力フォームや単線結線図のシンボルなどが配電盤の種類ごとに定義されている。また、技術計算や図面作成などの作業プロセス、およびデータ不足時の仮定データの自動生成ルールについてもエンジニアリングパターンで定義される。

## 2.3 DBの概要

DBは以下の内容で構成される。

- (1) 負荷DB 電源が必要な負荷の定格や電気特性などのデータからなり、各種DBの核となる。
- (2) 母線構成DB 母線構成や遮断器運用条件などのデータからなり、電源構成のキーデータとなる。
- (3) 配電盤DB 高圧配電盤から分電盤まで配電盤に応じたデータ構造をもち、収納器具など詳細データを含む。
- (4) カタログDB 電動弁の標準データや保護継電器の動作特性データなど、負荷や器具の標準データからなる。

DBの各データには項目ごとに、仮定データを示す“仮定”属性、正規なデータを示す“決定”属性、配電盤出荷後の自動データ更新を防止する“凍結”属性、変更の有無を示す“変更”属性がある。実行ユニットはこれらのデータ属性から自動生成されるデータの属性を決定している。

以下の例に示す各種帳票や図面中において、仮定データは斜体で表示され、変更箇所は網掛けなどでマーキングされるため、エンジニアリング途上のデータの確定状況を認識しやすくなっている。

## 3 エンジニアリング例

エンジニアリングは主にマウス操作によって対話型で行われ、負荷仕様以外のデータの多くはこのシステムを用いたエンジニアリングを通して自動的に生成される。以下に各エンジニアリング段階で使用されるサブシステムの例を紹介する。

### 3.1 電源構成設計システム

配電設備のエンジニアリングの第一ステップは発電所の電源構成計画から始まる。所内負荷を発電所起動用、通常運転用、非常用などに分けて母線ごとの積算容量が均衡するよう母線構成と負荷の接続母線を決定し、短絡電流や電圧降下計算により変圧器や遮断器などの主要機器の仕様を決定していく。

電源構成はこのシステムを用いて概略下記ステップで設計される。

- (1) 母線の配置 画面上に母線を置き母線名称などを定義
  - (2) 母線間接続 受電回路や母線連絡回路で母線間を接続
  - (3) 所内負荷の配置 母線上に所内負荷を配置
  - (4) 遮断器運用条件の設定 起動時、通常運転時、非常時などの運転モードに応じた遮断器の入切状態を指向上記操作過程において、次の計算結果が母線や変圧器近傍にリアルタイムで表示される。
- (1) 変圧器や母線の下流所内負荷の積算容量
  - (2) 母線短絡電流
  - (3) 最大電動機始動時の母線電圧降下

図2はこのシステムによる作業過程を示している。

(1)~(3)の計算方法はユーザーや適用する海外規格によって異なるため、計算方法はエンジニアリングパターンとして登録している。(1)~(3)の値が機器定格を超える場合には、機器の定格を変更するか母線分割や所内負荷の移動を行うなどして、母線構成を決定する。

エンジニアリング結果は負荷DBと母線構成DBに保存される。以後、プラントの設計ステップに応じて評価を繰り返すことになる。

### 3.2 器具選定システム

負荷DBと母線構成DBのデータは配電盤の種類に応じた配電盤DBにロードされる。ここで“器具選定”ボタンを押すとエンジニアリングパターンの定義に基づき、母線、遮断器、計器・継電器、電磁接触器などの配電盤構成器具

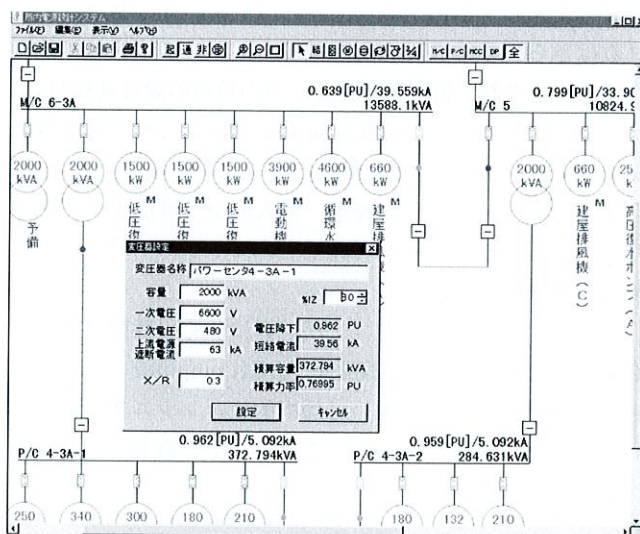


図2. 電源構成設計画面 変圧器や母線近傍に表示された集算容量、電圧降下、短絡電流を参照し、母線構成と負荷配分を決定する。User interface for auxiliary power supply system design

の形式や定格事項などが配電盤DBに書き込まれる。

このとき選定条件にデータ不足があれば、所内負荷の名称などから不足データを仮定し、仮定データを条件に収納器具の定格などを選定した後、仮定データの属性をもって配電盤DBに出力される。

### 3.3 ユニット配列設計システム

器具選定システムで遮断器収納ユニットの大きさが決定される。ここでユニット配列設計システムを起動すると、定義したエンジニアリングパターンに従って、遮断器収納ユニットの最適配置が行われる。すでに配置が決定済みの場合は自動配置されないが、負荷の仕様変更によってユニットの大きさが変更されていると、図3の例のようにユニット収納スペースに過不足が生じてくる。ユニット配列設計システムでは負荷用ユニットの仕様をコピーして予備ユニットとして追加する機能、空ユニット追加機能、ユニット入替機能があり、これらを用いて対話形式で配置変更する。

この作業結果は配電盤DBに保存され、ユニット配列図作成システムを起動するとユニット配列図が作成される。

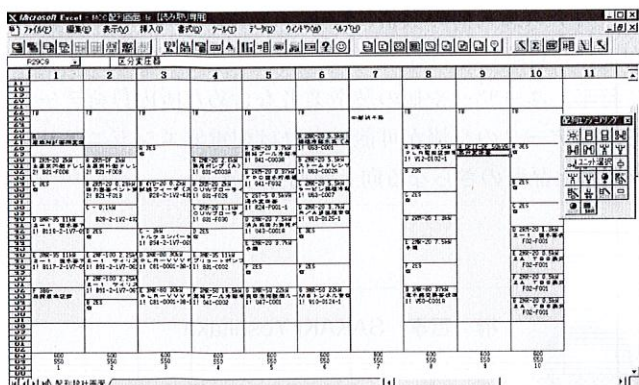


図3. ユニット配列設計画面 負荷の仕様変更で配列スペースの過不足が生じている。マウス操作で配列を見直す。  
User interface for arrangement of circuit-breaker unit

### 3.4 単線結線図自動作成システム

単線結線図は三相や単相回路の接続を1本の線で描いた電気回路の結線図であり、配電盤の電気回路構成が集約された図面である。器具のシンボルの規格はあるが、地域や慣習によって様でないため、エンジニアリングパターンの中で使用するシンボルと記載事項を定義している。

単線結線図作成ボタンを押すと、プリンタから図出される。図4は自動作成されたコントロールセンタの単線結線図の例である。

### 3.5 保護協調システム

配電盤には通常の電源の入切以外に、短絡や過負荷によ

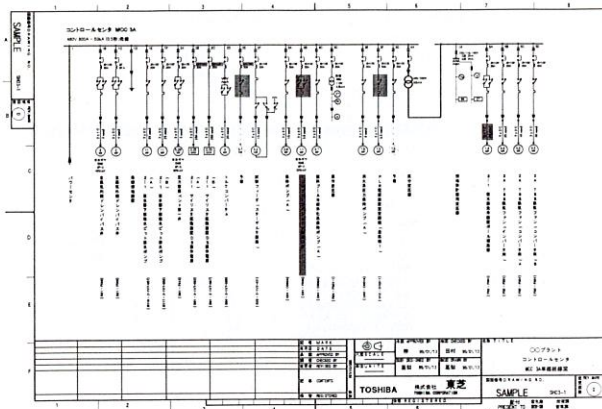


図4. コントロールセンタの単線結線図出力例 単線結線図の変更された数値やシンボルがマーキングされている。  
Example of one-line diagram of motor control center

る機器の損傷防止、事故の波及防止といった重要な役割がある。

短絡や過負荷は保護継電器で検出される。保護継電器の設定値は機器保護の観点からは小さくしたいが、通常運転時の誤動作防止の観点からは大きくしたい。事故波及防止のためには上流側の継電器より速く動作し、下流側の継電器より遅く動作しなければならない。これらの保護協調を総合的に評価して継電器の設定値が決定される。

保護協調の考えかたや設定項目はユーザーの基準や保護継電器の種類などで異なる。保護協調の設定値検討プロセスや検討書、保護協調曲線はエンジニアリングパターンで定義される。

保護継電器の動作特性や設定タップは器具固有のものであり、保護継電器カタログDBに登録される。保護継電器カタログDBでは動作特性曲線を下式で近似し、二乗誤差を最小にする定数を特性データとして保存している。現在、誘導円盤形、マルチリレー、SSTD、MCBB、熱動形などの保護継電器が登録されている。

$$(\beta / \text{動作時間})^{\alpha} = (\text{通電電流} / a)^{\gamma \times \alpha} + 1$$

保護協調システムは、配電盤DBと保護継電器カタログDBのデータを読み込み、エンジニアリングパターンに従って設定値を決め、保護協調曲線や設定値一覧表を作成する。設定結果は必要によりダイアログボックスで変更できる。図5はパワーセンタの保護継電器(SSTD)の設定変更画面の例を示している。

### 3.6 その他の例

直流コントロールセンタには始動抵抗器があり、順次抵抗値を切り換えて、直流電動機の始動電流を許容値以下に抑制している。直流コントロールセンタの始動抵抗設計システムは、ポンプの要求始動時間に応じて、経済的な切換え段数、抵抗値、切換え時間を決定する。決定結果はシミ

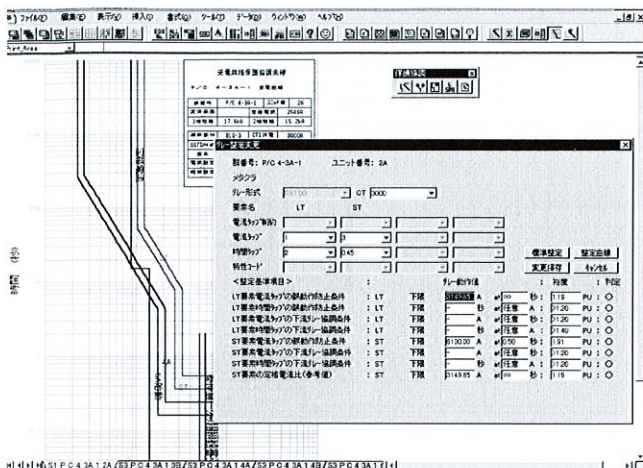


図5. 保護協調設計画面 設定値変更ボタンを押すと設定可能タップや設定値の評価結果を示すダイアログボックスが表示される。  
User interface for protection relay coordination

ェレーション波形を見ながらマウス操作で修正される。ボタンを押すと始動抵抗計算書が印刷され、単線結線図を印刷すると始動抵抗段数に応じた開閉器のシンボルが反映される。

#### 4 配電盤データの受渡し

図6は配電盤CAEシステムに関する他のシステムとデータの流れを示している。配電盤エンジニアリングは、プラント設計面からは下流に位置するため、より早く正確なデータを収集できるか否かがエンジニアリング品質を左右する。このため、電動機など他のシステムのDBから配電盤CAEシステムの負荷DBにデータを読み込む機能がある。また、配電盤CAEシステムによるエンジニアリング結果は配電盤DBに反映され、工場の設計・生産システムのDBに取り込まれる。

電動機や配電盤CAEシステムのDBの所内負荷の識別番号管理や各種DB間の識別番号の対応付けは自動的に行われている。作業者はデータリンクを意識することなく、異なるDB間で変更データの受渡しを行なっている。

#### 5 あとがき

今回紹介した配電盤CAEシステムは、火力発電所や原子

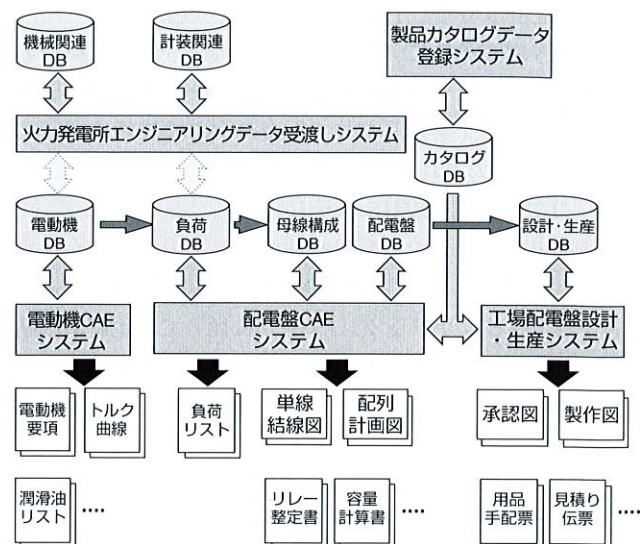


図6. 配電盤関連データの受渡し 上流データが配電盤CAEシステムに取り込まれ、作業結果が工場に渡される。  
Data flows around engineering system for switchgears

力発電所のエンジニアリングのほか、一般産業向けの配電盤設計にも利用されている。自動化された業務の作業効率システム導入前の数倍に向上し、エンジニアリング品質向上にも貢献している。

将来、ユーザーや他の製造業者も含めた所内負荷データや製品データの交流が可能になれば配電盤エンジニアリング効率と品質のさらなる向上が期待できる。



**榊 吉孝 SAKAKI Yoshitaka**  
電力システム社 火力事業部 火力開発技術部電機担当グループ長。火力発電所電気設備の開発、業務機械化に従事。電気学会会員。  
Thermal Power Systems Div.



**田村 節生 TAMURA Setsuo**  
電力システム社 電力・産業システム技術開発センター情報処理・通信技術担当。情報処理応用分野の研究・開発に従事。情報処理学会会員。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



**高梨 由美子 TAKANASHI Yumiko**  
電力システム社 火力事業部 火力情報システム技術部。火力発電所電気設備の開発、業務機械化に従事。  
Thermal Power Systems Div.