

応 用 例

電力分野における応用

Application for Electric Power Systems

神原貞夫* Sadao Kambara・谷川雅郎** Masao Tanigawa

I. まえがき

電力関係における応用例としては、変電所、水力発電所、火力発電所、原子力発電所などの各電気所に設置されるシステムや、制御所、給電所に設置される集中制御システム、水系制御所システム、給電所（系統制御所）システムなどである。これらのシステムにおける最近の主な動向は、次のとおりである。

- (1) マイクロプロセッサを用いた各種デバイス、装置を採用して、各装置のインテリジェンス化を図り、制御用計算機に過度の負担をかけずに機能の拡大、高信頼度化及び運用のしやすさをねらう。
- (2) 大規模制御所の出現、機能の高度化、データの大容量化、マンマシンインタフェース性能の高度化による高密度 CRT ディスプレイの多数使用などのため、高位ミニコンピュータの採用と補助記憶装置の大容量化の傾向がある。
- (3) 機能の高度化に伴って、計算機の記憶容量も大規模となり、機能の拡張、ソフトウェアのメンテナンスなどから、各種プログラムとデータ類とのインタフェースの整合性を保つため、電力系統用のデータベースの導入が図られてきた。
- (4) 二重化システムの採用が電力関係では一般化し、定着化してきた。今後は、機能拡張時、試験時の運用などを容易にし、かつシステム全体の信頼度向上を図るきめ細かな配慮が必要とされよう。
- (5) 機能の高度化に伴い、機能の検証方法も高度化が要

求されてきており、シミュレーション装置の採用あるいはソフトウェアシミュレーションの利用が行われつつある。

上記の背景・動向を考慮しながら、電力関係のシステム設計上特に留意している事項を以下に述べ、最適なシステム設計をする上で参考とされることを期待するものである。

II. システム設計上の主なポイント

1. システム構成と各機器の機能分担

システムをどのような機器で構成し、それらにどのような機能分担をさせるかは、非常に重要である。これを決定するのは、当然のことながら機能のみならず、経済性、信頼性、運用性、拡張性、保守性などを総合的に判断しなければならない。集中制御システムにおける制御、監視、表示・計測、及び他所への情報転送の各機能に対してのシステム構成各機器の機能分担例を第1表にまとめる。

また集中制御システム、給電所（系統制御所）システムなどで一番問題となる遠方監視制御装置（以下テレコンと略称）と計算機との機能分担について第2表にまとめる。この表に記載した例は主なもので、このほかにも種々のバリエーションや組合せがあるが、特にこの部分について当社は研究と実績を積み重ねてきた。

最初はテレコンの表示・計測情報と制御情報を計算機との間でDMA（Direct Memory Access）モードで授

第1表 集中制御システムにおける機能分担
Table 1. Function division in computer control system for electric power systems

制 御	① 制 御 盤 ② オペレータコンソール+CRTディスプレイ ③ 制 御 盤 オペレータコンソール+CRTディスプレイ(自動操作)	① 計算機を経由しない ② すべて計算機経由
表示・計測	① 制 御 盤 ② 系統盤、集合表示盤 ③ 系統盤+CRTディスプレイ ④ 制 御 盤 系統盤+CRTディスプレイ	③ { 系統盤でマクロの監視 CRTディスプレイでミクロの監視
他所への情報転送	① 遠方監視制御装置(親)経由 ② データ中継装置経由 ③ 計算機経由	営業所、上位制御所などへの情報転送

* 富士ファコム制御 システム本部 ** 電力事業部 電力系統技術部

第2表 テレコンと計算機の機能分担
Table 2. Function division between supervisory remote control equipment and computer

ケース	状態検出	情報転送	系統盤表示	備 考
1	プロセス 入出力装置	計 算 機	計 算 機	通常のテレコン
2	テレコン	計 算 機	テレコン	テレコン(親)としてマイクロプロセッサを用いた DISTA 3000などを採用
3	テレコン	テレコン	テレコン	同上。ただし情報転送するデータは、比較的簡単な編集・加工したもの

受する方式を実現して、電力系統特有のサイクリック情報の取込みにおける計算機の占有率の低減に効果を発揮した。その後も状態情報を検出編集して計算機に渡すCDPデバイス(Cyclic Digital Process Unit)を開発し、多数のシステムで採用いただいている。更にマイクロプロセッサを用いたデータ中継装置(DISTA 3000)を開発している。この装置は各社、各種の異なる方式のテレコンをソフトウェアで処理し、計算機とのインタフェースは統一してシンプルな構成とし、更に他電気所への情報転送、系統盤への表示などのインテリジェンス機能を持たせている。

火力発電所、原子力発電所などのシステムでは起動、停止、燃料交換装置などの制御において、計算機とシーケンサなどとの機能分担を図ることが重要である。

重要な部分の制御装置としては、シーケンサを二重化して、1台の装置故障時でも運転可能としている。一部分の故障で誤出力が出ないように、二重・三重のインタロック条件を組み込んであり、また不必要な時は制御回路を切り離しておき、万一の故障時にも誤出力の出ないシステムとしている。計算機では、シーケンサなどでは判断の困難な高度な処理を行わせるが、制御指令はシーケンサを経由して出力するようにしてある。したがって、万一計算機の停止や故障によって、判断ができなかったり、間違った判断をした場合も、シーケンサによる手動運転、あるいはシーケンサによるインタロックによる誤出力の防止が行えるようになっている。

2. 計算機その他の二系列構成、バックアップシステム

システムの機能が增大し、かつ重要な機能をもつにつれて、そのシステムが停止した場合、重大な影響を与える。特に電力関係では短時間でも監視、制御などの機能

が不能となることは許されない。したがって重要部の二系列化、あるいはバックアップシステムが必要になってくる。これらは、前項のシステム構成と密接な関係があるが、重要な検討項目である。どこを二系列にするかは種々の方式があり、総合的に判断する必要があるが、主な例を第3表に示す。

二系列構成に当たっては、共通部、切換部が重要であり、信頼性の上からシステムの死命を制することもありうる。したがって、これらの部分のシステム設計においては、ハードウェア、ソフトウェアともできるだけシンプルな構成として、信頼性をあげるとともに、異常時にもシステム全体に影響を与えないように故障部分を的確に切り離す。あるいはそれと等価な状態になるような方式、装置の採用を図っている。その他見落としがちな、イニシャル時、復旧時、電源断時などの特殊ケースについても十分検討して問題なく運用が可能なハードウェア、ソフトウェアを用意している。

二系列間の結合方式は種々の方式があるが、次のような点を重点に考慮して設計している。

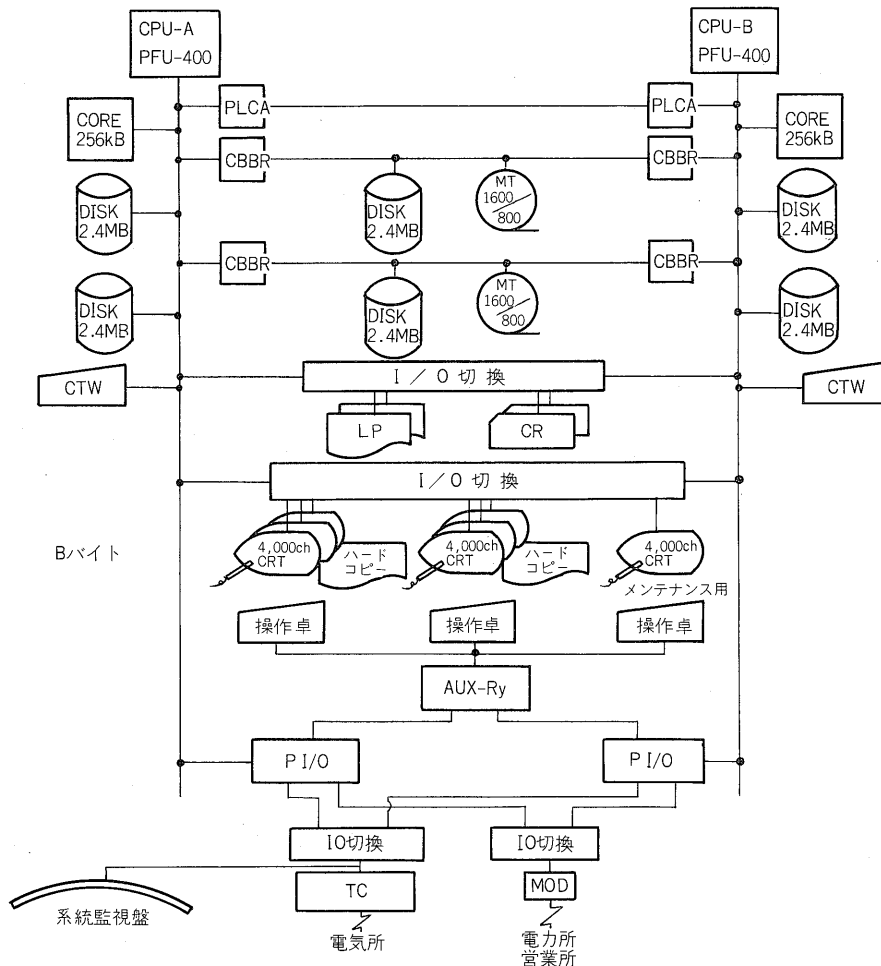
- (1) 結合部の故障時の切離し、修理、復旧手順
- (2) 切換時の処理機能、データの連続性
- (3) ソフトウェアの変更の容易性
- (4) 両計算機間のデータの同期化

計算機間の結合方式としては、PLCA (Parallel Line Communication Adapter) を用いて、高速でのデータ転送を可能としている。更に必要な場合はCBBR (Common Bus Branch Adapter) を用いて、磁気ディスクにデータを転送することも可能であり、この場合は二系列共有の磁気ディスクとなる。したがってこの共有磁気ディスクは、1台故障の場合も必要なデータが欠損

第3表 二系列構成とバックアップシステム
Table 3. Duplex system and back up system

ケース	計算機	オペレータ コンソール	テレコン(親)	テレコン 制 御 盤	備 考
1	一 系 列	二 系 列	一 系 列	一 系 列	
2	二 系 列	二 系 列 以 上	一 系 列	一 系 列	
3	二 系 列	二 系 列 以 上	二 系 列 (集合化)	*Nルートに 対して一組	テレコン(親)としては、テレコンI/Oあるいは、DISTA 3000によるデータ中継方式など
4	二 系 列	二 系 列 以 上	一 系 列	他制御所に 一 系 列	既設の小規模制御所を活用

* 1 : N 集中監視制御システム(DISTA 2000)などの採用



第 1 図 二系列のシステム
構成図
Fig. 1. Block diagram of
duplex system

となることから、2 台を常時接続する方式を採用している。2 台に同じデータを書き込む場合、完全に並行して書き込めるようなハードウェア、ソフトウェア構造になっており、余分な時間はほとんど不要である。CBBR を用いた最近の二系列システム例を第 1 図に示す。

3. プラントとのインタフェース

集中制御システム、給電所システムなどでは、プラントとのインタフェースは、テレコン、CDT (Cyclic Digital Transmitter) が大部分であり、テレコンの子局におけるインタフェースは、オン・オフ情報と電流・電圧などの計測情報がある。

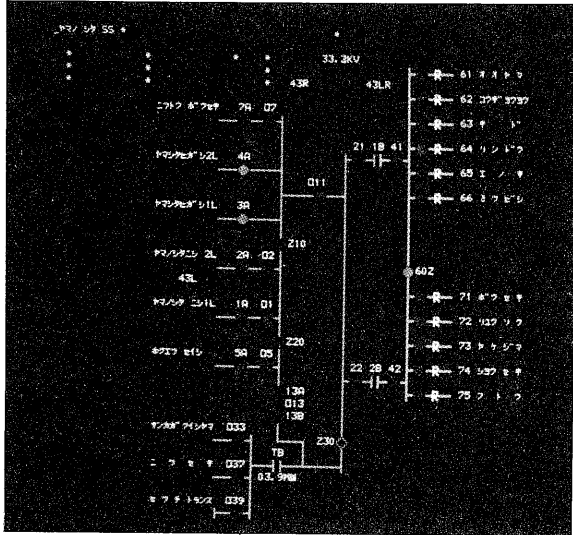
火力・原子力発電所などでは、オン・オフ情報は上記とほぼ同じ条件であるが、アナログ情報は、上記の電流電圧変換器の出力のほかに、熱電対、圧力変換器の出力などがあり、電圧値が異なるが、これらに適合したプロセス入出力装置を採用できるようなデバイスがそろっている。その他、パルス入力などもある。オン・オフ入力に注意すべきことは、事故解析などのために分解能 10ms 程度で、故障情報を読み取る必要がある場合は、プロセス入出力装置の入力デバイスの入力フィルタ値を選定して対処している。アナログ入力では、プロセス入出力装置以外に、制御装置、指示計などへ分岐する場合は、ア

ンプなどを入れて、インピーダンスのマッチングをとっている。また、断線チェック回路や、零点補償回路などを付加する必要があるが、これらのいずれに対しても対応できるようなプロセス入出力装置を用意している。

集中制御所システム、系統制御所システムは通常重要変電所などに設置されることが多く、この変電所の監視制御なども、これらシステムに包含するのが通例である。この変電所と計算機システムとのインタフェースは、前述のテレコン子局のインタフェースに類似のものである。しかしシステムとしては、これらのインタフェースも他のテレコン経由の電気所と同じようなインタフェースにした方が、処理及びソフトウェアの整合性がとれる。したがってテレコンの子局と同等の機能を持ち、かつテレコンの親局と同等の機能をもった装置が必要となる。当社は、この装置をマイクロプロセッサを用いて実現し、制御所自所監視制御用計算機結合装置と称しており、幾つかのシステムで採用し、好評を得ている。

4. マンマシンインタフェース装置

電力分野においては、計算機で各種処理を実施させたとしてもすべてを機械にまかせるのではなく、人が判断して介入することが非常に多く、マンマシンインタフェース装置の重要度が高い。以下に主なマンマシンインタ



第2図 CRT画面(変電所)

Fig. 2. CRT picture (substation)

フェース装置について、システム設計上の留意点を記す。

1) ディスプレイ装置

電力関係では大部分が4,000字級のキャラクタCRTディスプレイを採用しているので、これについて説明する。

(1) CRTディスプレイ画面の種類

CRTディスプレイの画面としては、各種のものがあ
るが、主なものは次のとおりである。当社のCRTディ
スプレイは、これら各種画面が容易に作成でき、かつ活
用しやすい機能をもっており、以下にその主なものを説
明する。

- ① 電気所スケルトン（第2図参照）
- ② 送電線
- ③ 系統全体
- ④ 監視用棒グラフ（電圧監視、潮流監視など）
- ⑤ 潮流図
- ⑥ 記録画面
- ⑦ 各種リスト画面
- ⑧ 各種設定画面
- ⑨ 制御対象ブロック図
- ⑩ 制御シーケンス監視画面
- ⑪ 各種オペレータガイダンス画面
- ⑫ 操作手順表
- ⑬ 操作・事故記録画面
- ⑭ 発電プログラム画面
- ⑮ ダム水位画面
- ⑯ その他

(2) 特殊シンボル

上記のような各種画面を構成するためには、システム
ごとの特定のシンボルを必要とする例が多い。また電気
所名、線路名などの固有名詞に漢字を用いれば判読しや

すくなり、CRTディスプレイのメリットも増大してく
る。このようなニーズにこたえるために、CRTディス
プレイはRAMを内蔵しており、システムごとに必要な
シンボル、漢字などを書き込むことが可能となっている。

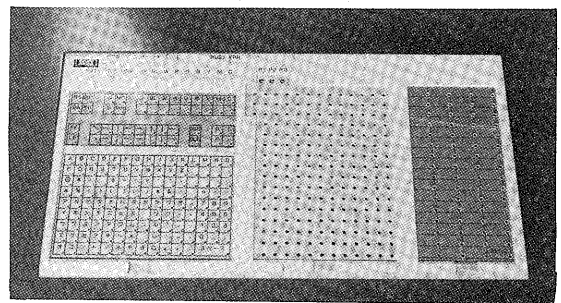
(3) ライトペン、ジョイスティック、トラッカボール

スケルトン画面上の機器の選択、あるいはデータの設定
などのために、画面上の特定の位置を指定するライトペ
ンとジョイスティックがあり、これらを目的及び好みによ
って選定できる。ライトペンは操作が直接的であり、
感覚的に即応性があり、確実な操作ができれば速い。ジ
ョイスティックは操作が間接的であり、やや遅いが確実
である。また防じん対策としては、ライトペンよりジョ
イスティックの方が有利であろう。ジョイスティックと
同じ目的で、トラッカボールを用いることもできる。

(4) キーボード、パターン入力装置

データ設定、文字の入力などのためにはキーボード、
パターン入力装置を用意する。ただし、入力する文字、数
字などが限定されている場合には、必要なものだけをオ
ペレータコンソール上に設けて、コード変換器を通して
CRTディスプレイの制御装置に接続することができ、
オペレータコンソールのスペースを最少限にしている。

ソフトウェアのメンテナンスを行う場合には、画面の
作成、特殊文字の入力などが必要となり、このためにパ
ターン入力装置（第3図参照）が用意されている。パタ
ーン入力装置にはファンクションキーが63個設けてあり、
これを活用すれば、オペレータコンソールボタン及び関
連するリレー回路を削減することが可能である。パター
ン入力装置は、2台のCRTディスプレイに切り換えて使
用できるような切換回路も用意しており、オペレータコ
ンソールの設計がやりやすくなっている。



第3図 パターン入力装置

Fig. 3. Pattern board

(5) ハードコピー

CRTディスプレイ上に出た画面を記録する方式とし
ては、タイプライタ、ラインプリンタなどに印字させる
方法があるが、前述のようにシステムごとに特殊シンボ
ル、特殊文字を使うために困難である。したがって、
CRTディスプレイのコントローラあるいはCRTモニ
タから直接コピーするハードコピー装置を採用すれば容

易である。ハードコピー装置は、複数台の CRT ディスプレイに切り換えて使用することが可能となっている。

2) 系統盤

系統盤はモザイク式を採用する例が多いが、これにも各種の方式があり、その目的に応じて適切な方式を選択することが可能である。モザイク石の大きさとしては、15、25、50mm 角の種類がある。表示ランプとしては、通常のランプと発光ダイオードを用いたものがある。発光ダイオード方式の場合、点灯方式としてスタティック方式とダイナミック方式とがあり、いずれも採用可能である。これらのうちどれを選定するかは、表示内容、表示量、監視距離、盤寸法などを基本として、経済性、保守性、拡張性などを考慮して最適の方式を選定する必要があるが、15mm 角のモザイク石を採用して系統盤を縮小するとともに、監視室のスペース削減を図る例が多い。

3) オペレータコンソール

オペレータコンソールは、オペレータが最も高頻度使用するものであり、その操作性が非常に重要である。したがって、当社では意匠デザイナーが、機能及び人間工学の両面から検討したものをベースにして、ユーザの意向を聴き、設計しており、使いやすいものになっていると信ずる。特に CRT ディスプレイの操作性、オペレータコンソールボタンの操作性、電話の操作性、系統盤の監視の容易さに加えて、作業スペースの確保などを総合的に考慮し、更にレイアウト、色彩までを含めてデザイナーがまとめることが多い。

5. 計算機の機種と記憶容量

計算機の機種、主記憶容量、磁気ディスクの補助記憶容量などは、そのシステムの機能（大きさ、異常処理、エラー処理の内容も含めて）、性能（計算精度、応答性など）、拡張性、信頼性、保守性、などによって変わってくる。機能の拡大、システムの中に占めるソフトウェア費の増大、ハードウェアの技術革新などとともに、拡張性、性能などに対するユーザのニーズが特に強くなっており、上級機種の採用、主記憶容量、補助記憶容量の増大が目立っている。機種の選定、容量の決定に大きな影響を及ぼす要因を整理すると、次のようになる。

1) 計算機の機種

- (1) 最大主記憶容量の制約にかかるか否か
- (2) 浮動小数点演算の必要の有無
- (3) 特定の機能あるいは複数の機能が競合した時の要求応答速度
- (4) 多重系列のシステム構成を採用するか否か
- (5) 納入済類似システムとの整合

2) 主記憶容量

- (1) OSの種類、OSとして組み込むモジュール種類
- (2) 入力データ量

- (3) 各種 I/O 機器の種類と台数(PI/O, CRT, TWなど)
 - (4) 各種業務の輻奏度とその時の応答速度
 - (5) 大容量プログラムの有無
- 3) 補助記憶容量
- (1) 各種機能及びそれぞれの異常処理の内容
 - (2) 各種出力フォーマットの種類と数
 - (3) 入力、出力などに関連したインデックステーブルの量
 - (4) 各種名称テーブルの量
 - (5) ステータスファイル（機器状態、計測値など）処理待ちファイル、履歴ファイル（日報、月報、送信メッセージなど）の量
 - (6) 主記憶の多重処理による待避領域
 - (7) バックグラウンドジョブの内容

第 4 表に最近の各種システムの例を示す。

第 4 表 各種システムの規模
Table 4. Scale of recent computer control systems

システムの種類	対象電気所数	計算機機種	主記憶容量(kB)	補助記憶容量(MB)
系統制御所 給電所	20~100	PFU-400 PFU-1500	192~384	5~20
集中制御所	10~30	PFU-400	128~192	2.4~7.2
水系制御所	5~10	PFU-400/1300	64~192	1~2.4
ダム制御所	1~3	PFU-200	64	0.5
火力発電所 原子力発電所	1	PFU-400	128	2.4~4.8

上記のとおりシステムの種類によって規模の違いはあるが、同一種類のシステム内でもかなりの違いがあるように、個々のシステムの各種条件を考慮して最適な構成となるよう設計している。特に電力系統制御システムでは、平常時と系統事故時の状態が大幅に異なるため、系統事故時のデータ量、プログラムの輻奏度、CRT ディスプレイの同時使用台数などを考慮して、計算機の機種、主記憶容量を決定している。系統事故時は処理待ちデータ量が増大するが、計算機内では縮小化した記号方式で記憶させておき、処理時に翻訳することにより記憶容量を節約し、多数状変発生時もデータ欠損のないような工夫などを実施している。

6. ソフトウェアのメンテナンス

システムの拡張・改造が短期間で、安価にかつ既存のシステムの機能をできるだけ損なわないで達成できることが望まれる。このためにシステム構成上、あるいはハードウェア上考慮すべきことは多々あるが、これらについては、前述（1、2 節など）したので、この節ではソフトウェアについてだけ取り上げる。

火力・原子力発電所用あるいはダム用などのシステム

においては、定数の変更、ロギングデータの一部修正などが通常であるが、集中制御所、給電所（系統制御所）などでは、系統の変更、運用の変更が年に数回程度は必ずあることが通常である。これらを確実にかつ、システムの停止を最小限に抑えて達成する必要がある。特に電力においては、他の業種に比し、人のローテーションが比較的多いため、ソフトウェアメンテナンスの専任者でなくとも、短期間の実習で、ソフトウェアのメンテナンスが確実に実施できることが要求される。したがって、計算機特有の用語やソフトウェア構造を知らなくても対応できるようにしている。

運用に必要なデータの指定、作表データの修正、スケールの変更、設備名、機器名の変更などは、オンラインで、CRT ディスプレイとライトペン、キーボードを用いて実施する。電力設備の新增設・改良に伴い必要となる CRT 画面の変更、記録フォーマットの変更、印字、表示項目の変更などに対しては、CRT ディスプレイにより画面の変更を行い、その他はカードリーダを用いる

など、操作性、運用のやりやすさを考慮した方式を採用している。入力すべき情報は簡単なマニュアルを参照することにより、容易に可能な方式としてユーザのニーズにこたえている。

III. あとがき

電力関係における最近の動向を見ながら、システム設計上の留意点について当社の考えを述べたが、ふれることのできなかつた重要な項目も幾つかある。例えば電力関係特有の課題としては、電力系統用データベースの充実と標準化、機能検証の効率化を図るシミュレーション機能、方法の研究、運用、保守を的確に実施するためのソフトウェアメンテナンス手法の充実とソフトウェアのドキュメンテーションの整備などがあげられる。これらの課題に対して当社は日夜努力を続けているが、今後も更に発展させるため、ユーザ各位の御指導、御援助をお願いしたい。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。