

解説



プロセス制御システムへのデータベース技術の応用†

松本吉弘^{††} 本位田真一^{††}

1. ま え が き

外界のプロセス（計算機が制御する対象システム内における機器の時間領域での状態のつながり）を制御する計算機システムのことをプロセス制御システムとよんでいる。狭義のプロセス制御システムは工業プロセスのみを対象とし、広義のプロセス制御システムは移動物体の制御、たとえば交通、航空、宇宙に関するリアルタイム制御システムなどを含んでいる。

商用のプロセス制御システムが本格的なデータベースの採用を計画したのは1970年代の中頃である（表-1参照）。プロセス制御システムが用いるデータベースは（1）センサデータベースとよばれる制御変数専用のものと、（2）情報データベースとよばれる汎用データベースに近いものと大別される。両者に本質的な差はないが、その利用に対する考え方が2.3.4.に述べるように若干異なる。

プロセス制御システムのほとんどは、システムが稼動する以前にソフトウェアの大半が作成され、そのままの形でかなりの期間、用いられる。このために効率の良いスキーマジェネレータ、およびデータ（項の値）ジェネレータが5.で述べるようにツールとしてあらかじめソフトウェア作成者のために開発されていることが多い。

つぎに、工業用プロセス制御システムでは、データウェイを用いた機能分散システムが数多くみられるが、このようなシステムのいくつかではデータベースが分散して配置されている。これらデータベースに対するアクセスの実現方法は6.に述べるようにプロセス制御特有のものである。

本稿では、これらプロセス制御にみられる特有点のいくつかをとらえて解説を試みる。

2. センサデータベースと情報データベース

プロセス制御においては、センサデータベースとか、センサベースデータウェイというように、センサに関する（sensor-based）ものをセンサなにかしと表現することがある。

プロセス制御システムでは実行される業務プログラムの大半が外界のプロセス変数のデータを使用している。業務プログラムでは、その実行中に必要となったプロセス変数をその使用時点で読んでいたのではスキャンや変換に時間がかかり、レスポンス（イベント発生からそれに対応したタスクが生成され、必要な出力を発生するまでの時間）が制限値に入らないことが起り得る。そこで、プロセス変数の生成元である外界プロセス自体が連続的に変化し、データの連続性を保持している性質を利用して、特定のデータベースを設けて計算機内の業務プログラムと無関係にプロセス変数をできるだけ頻繁に読み込み、このデータベースに最新値を記憶せしめ、業務プログラムはプロセス変数の値をその都度、外部からとることをせず、このデータベースから必要に応じてとるようにしている。読みとりと更新のタイミング非同期に起因して発生すると予想される問題は、外界プロセスの変化の時定数とスキャン間隔との関係を適正に選ぶことによって、解消させることができる。このような目的で設定されたデータベースのことをセンサデータベースと通称している。このようなデータベース内の項の値を更新する目的で設けられているデータウェイのことをセンサベースデータウェイとも称している。センサデータベースの更新はあらかじめ定められた手順で、業務プログラムとは無関係にサイクリックに行われ、その手順処理のオーバーヘッドをなくし、高速化するために様々な工夫がなされている。

大規模なプロセス制御システムになると、経営、管理などに関する情報も大量に処理せねばならなくなるので、上に述べたセンサデータベースとは別に、汎用

† Applications of the Data Base Technology to the Process Control System by Yoshihiro MATSUMOTO and Shinich HONIDEN (Heavy Apparatus Engineering Laboratory, Toshiba Corporation).

†† 東京芝浦電気(株)

計算機のそれと良く似たデータベースをも併用するようになる。これをセンサデータベースと区別して情報データベースとよぶ場合もある。あとの実施例で述べるように、センサデータベースと情報データベースの双方を兼ね合わせたものも実用されている。

3. 要求される特徴

一般にプロセス制御に用いるデータベースに対しては、作りつけた業務プログラムのほかにはそのプロセスにかかわる特定の運転員とデータベース管理者である保守員のみがアクセスの可能性をもつに過ぎない。したがって複雑な機密性はとくに必要としない。その代り、アクセスの高速性と信頼性に対しては、きわめて厳しい要求が課せられる。まず高速性について考えてみよう。ユーザと製作者の間では、高速性と保守性のトレードオフについてしばしば真剣な討論が交されることが多い。たとえば、あるひとつの項値の検索(get)を平均100マイクロ秒以下に押えることが要求されるが、このような場合には、論理面でのユーザインタフェースを変えないで、その項を含む一部のスキーマを主記憶内に常置したり、その項の存在する物理アドレスとそれを利用する業務プログラムとの間になんらかの特定関係を設けたりする必要に迫られることがある。これらのことを不用意に解決すると、データの業務プログラムに対する独立性を損うことになり、保守性が低下する。

上に述べた意味での高速性と保守性とのトレード

オフはユーザの運用形態によって変化する。運用に入ってからもしばしばスキーマや項の値の変更を行うユーザと、そうでないユーザとでは著しくこのトレードオフに対する観点が異なるのが常である。

プロセス制御システムの大部分は、フォールトトレランシィ(耐故障性)を重視して設計されている。データベースも通常、独立した2つ以上の記憶装置に同じものを置き、同時に更新する方式をとっていることが多い。読出しはいずれか特定のひとつのデータベースに対して行い、それが故障すると他のデータベースにアクセスを切換えできることなどにより、システムを再構成、回復を行うように設計されている。

4. データベースの構成

プロセス制御システムの一般的データベースの構成を図-1に示す。データベースに記憶されている値は通常つぎのようなものである。

- (イ) プロセス変数の走査、変換処理に必要なパラメータと変換後の値
- (ロ) CRT画面を構成する画素のパターン
- (ハ) 報告書作成のためのフォーマットパラメータ
- (ニ) 制御出力を外へ出すために必要なパラメータ
- (ホ) 外界プロセスの属性を定義した値

図-1の中央部にあるのがデータベース、およびデータベース管理システムである。左半は外界プロセスがこのデータベース内の値を更新する機構を示している。中央上部はこのデータベースに対するデータベ

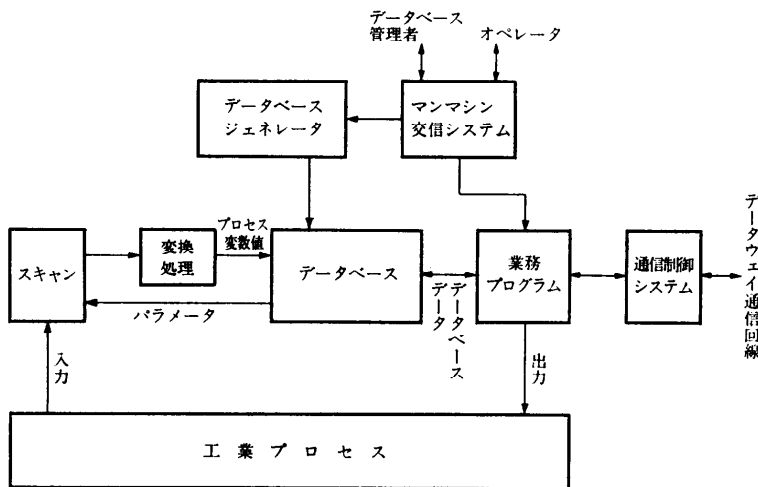


図-1 データベースの構成

管理者のためのアクセス機構を示している。通常バックグラウンドで作動するデータベースジェネレータを備え、外界プロセスのみの知識しかなくても、理解できるような特定形式に配列されたデータを入力して、データベースのスキーマ変更、値変更をできるようにしている。右の半分はフォアグラウンドで作動する業務プログラムを示している。データベースをアクセスする業務プログラムにはアセンブラ言語で書かれている部分と、フォートランなどの高位言語で書かれている部分とがある。データ操作部はこの両者に対してインタフェースすることを考えて作成される。CRT表示、通信制御、コンピュータ間伝送、直接デジタル制御などに関する業務プログラムでデータベースにアクセスするものはアセンブラで書かれていることが多い。

プロセス制御システムでは数十から数百に及ぶタスクがひとつのシステムの中で同時に存在し、並行してアクティベート(活動化)させられている。割込処理ドライバとタスク、およびタスク間の頻繁な通信が行われる(タスクとはプログラムの制御軌跡を管理するために時間領域に設けられた制御の単位)。さらにこれにタスク間優先度と、外界からの割込み制御がからむ。このために同一項目へ近い時刻にアクセスする複数タスク間にわたるデータの完全性を保つことは大変難しい。排他制御を行う機能も設けられているが、これを理想までもっていかうとするといたずらにオーバヘッドを増加することになるので適当なところにとどめ、一般にはつぎのような経験に依存した方法をとっている。

(イ) 各タスクの同一項目へのアクセスタイミングがあらかじめ予想されるので、更新と読出しが合理的に行われるように各タスクの活動化時点を設計する。

(ロ) プロセス変数値は本質的に連続であるから、そのプロセス変数の時定数によって定まる適正な周期でデータベースの更新を平滑処理などを経て行っていけば、排他制御を用いなくてもそれほどデータの完全性を失うことは少ない。

(ハ) 上記で解決できない同時アクセスに対しては、ごく簡単な排他制御を行う。

5. データベースジェネレータ

データベースを自動生成するジェネレータがどのようなものを説明するには実例を示すのが手っとり早い。電力系統を制御する計算機システムは、その計算機が対象としている電力系統を構成する変電線母線、しゃ断器、変圧器、送電線、負荷などに関する細かい情報を図-2, 3のようなスキーマをもったデータベースに記憶せしめて管理している。このような計算機システム(ターゲットシステム)を製作するときには、このデータベースを構築(スキーマを作り、項に値を入れる)するのにかかり手間がかかるのが普通である。そこで、たとえば世界の中のある大陸の全電力系統の

スキーマ名: 電気所

アトリビュート名	設 備 数															
	電気所番号	接統子	送電線	仮想母線	母線群	変圧器	局変	発電機	発電機母線群	調相設備	中性点接地装置	中性点母線	G Tr	PT	調相3次母線	テレメータ数
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
ダブル																

カッコ内の数字は各項の値の桁数

図-2 電力系統スキーマ例(1)

スキーマ名: 送電線

アトリビュート名	第 1 回 線										過負荷監視対象	接地LS情報		
	送電線番号	接統情報		相手電気所内				送電線名	回線番号				MSG送コード	
		接統子番号	端子番号	送電線番号	回線番号	甲	乙		(A)	(B)				
	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)	(3)	(2)	(12)	(2)	(3)	(4)	(4)	(1)	(1)
ダブル														

カッコ内の数字は各項の値の桁数

注) 図-2 のスキーマのアトリビュートのひとつ(送電線)に対応
図-3 電力系統スキーマ例(2)

情報を工場のソフトウェア生産用計算機に蓄え、ターゲットシステムが対象とするその一部の地域のデータベースを、必要なときにこの計算機へ必要パラメータを入力することによって自動生成するようなものが実用化されている。大規模なデータベースジェネレータは工場の計算機によって目的を果すが、小規模のものは図-1 によって説明したようにターゲット計算機のバックグラウンドで作動する。

6. データベースの分散

鉄鋼生産工場、浄水場、空港のような広大な事業所(ローカルエリア)に跨るプロセス制御システムでは、センサベースデータウェイ(前記)と、管理または制御のために使用する通常の情報を伝達する情報データウェイの2種類が使用されていることが多い。このようなデータウェイに結合された計算機相互間で、他の計算機のデータベースをアクセスする必要が生れ、データウェイ通信制御ソフトウェアとデータベース管理システムを連結して、容易に他のデータベースに対するデータ操作を行い得るようにすることが考えられている。また電力系統制御システムではそれぞれの間を通信回線で結ばれた中央給電指令所、地方給電指令所、集中制御所が階層を構成しており、それぞれの事業所がデータベースをもっているため、全データベースの上にひとつの大きな仮想の階層形データベースを想定し、これに対して各業務プログラムがアクセスするよ

うにデータベースを設計して、分散されたデータベース間の統一をとることが可能とされている。

7. スキーマの例

プロセス制御システムの各タスクが参照するような共通データのモデルは、テーブルにして示すと分りやすいものが多い。したがって、これをデータベースのデータモデルに変換することを考えると、データモデルは関係型モデルであるほうが合理的である。図-2, 3は電力系統用スキーマの例を示している。図-2は電気所という名のスキーマであり、図-3はその中のアトリビュートのひとつである送電線に対応した別のスキーマである。他のアトリビュートもそれぞれ、別のスキーマによって詳細化がされている。アトリビュートに階層構造を許すので、これらを複合してひとつのスキーマにすることもできる。スキーマの生成に対して、データ定義部をもち、キーボード、またはカードによってデータ定義言語によるスキーマ記述が入力できることは、汎用データベースシステムとなら変わるころがない。

スキーマのあるものは、高速でアクセスをせねばならないので、主記憶におき、他は複数の同時書込み可能な補助記憶におく。どちらにおくかの選択指定はデータ定義言語によって行うようにされている。データ操作において、補助記憶にいるスキーマのデータは、アクセスに時間がかかるので、プリフェッチ、ま

表-1 制御用データベースの変遷

名称	ターゲット計算機	特徴	主な適用分野	発表年代	方式*
BICEPS ⁽¹⁾	T-7000	・空欄記入方式 ・データベースおよび業務プログラム・ジェネレータ	・石油プラント	1970年	セ
PROSPRO ⁽²⁾	IBM 1800	同上	同上	1970年	セ
COPOS ⁽³⁾	T-7000 T-7/40 T-7/70	同上	・火力・原子力発電所	1975年 (T-7000版)	セ
PCS/DAS ⁽⁴⁾	H-80	同上	・化学プラント	1976年	セ
ADHOC ⁽¹¹⁾	H-80	・種々のファイル編成 ・データリンク機能		1976年	混
RDSS ⁽¹²⁾	M-350/50	・種々のファイル編成 ・主メモリファイル		1978年	混
PRODAS ⁽⁷⁾	M-350/50	・データベースの変更追加がCRTとの対話穴うめ形式	・電力用	1978年	混
PRIMO ⁽⁸⁾	PDP-11	・関係モデル型	・電力系統制御	1979年	集
TOSPOL ⁽¹⁰⁾	T-7/40	・空欄記入方式 ・データベースジェネレータ	・連続プロセス制御	1980年	セ
POS-DBMS ⁽¹³⁾	T-7/70	・高速関係モデル型	・電力系統制御	1982年	集

*注) セはセンサデータベース

集は集中ファイル方式

混は個別ファイル方式、集中ファイル方式の併用

たはアクセスがひとしきり片づいたところで補助記憶へストアするなどといった工夫がなされている。

8. 実施例

過去から現在に至る商用システムのいくつかを表-1に掲げてある。初期のもののは大半はセンサデータベースであり、業務プログラムからのデータベースの独立化によるレスポンスの低下を恐れて、これにアクセスする業務プログラムを含めてデータベースジェネレータが生成するような方式をとっていた。データベースおよび業務プログラムジェネレータが必要とするシステム生成用パラメータは空欄埋込 (fill-in-the-blank) 形式の用紙に記入させるようにしていた。1970年代中期になると、センサ情報以外の一般情報が増加し、業務プログラムからの切離しが図られたが、なおかつレスポンス低下は最大の問題とされたので、個別ファイル方式 (業務プログラムごとに個々別々のファイルを与え、データのユニーク性 (重複して記憶しないこと) を一部犠牲にする) と集中ファイル方式が併用された。最近ではデータ量が増加し、データベース管理 (保守) の重要性も増大してきたので、前章に述べたような工夫をこらしつつ、業務プログラムから独立した集中ファイル方式をとるものがふえてきている。

9. むすび

プロセス制御システム用データベース管理システムにおける最大の問題点は、データの独立性と、アクセス速度とのトレードオフである。つきに重要な点は、耐故障性である。データの完全性については、プロセス変数値と一般情報値とでは扱い方に思想の差がみられる。データの機密性についてはそれほど大きな問題にはなっていない。第一の問題に対しては、両者が両立し得るような技術がいろいろ研究されている。

参考文献

- 1) Koller, H. et al.: PRIMO Data Base Management System, Brown Boveri Review, 66, pp. 204-209 (1979).
- 2) 松本: 計算機制御システム, 電気書院 (昭47).
- 3) 工業用コンピュータにおけるソフトウェアの動向, 日本電子工業振興協会 (昭46).
- 4) 工業用コンピュータソフトウェアの標準化動向 (第三報), 同上 (昭49).
- 5) 工業用計算機システムの動向に関する調査報告書, 同上 (昭54).
- 6) 工業用計算機システムの動向に関する調査報告書, 同上 (昭53).
- 7) 松本他: 発電分野における計算機システムの現状と今後の動向, 三菱電機技報, 52, No. 9 (昭53).
- 8) 長谷川他: 化学プラントにおける計算機制御システム, 日立評論, 58 (昭51-6).
- 9) 塩永: 制御用計算機システムにおけるデータベースの概要, 電気学会給電調査専門委員会資料 (昭56-4).
- 10) 柵木他: 電力系統用計算機システムのデータファイル設計, 電気学会情報処理研究会資料, IP-78-79 (昭53).
- 11) 加藤他: 制御用データベース管理システム (ADHOC) について, 情報処理学会第17回全国大会論文集, pp. 469-470 (昭51).
- 12) 谷内他: 制御用データベースシステム, 情報処理学会第24回全国大会論文集, pp. 501-502 (昭57).
- 13) BICEPS 各種マニュアル, GE社.
- 14) TOSPOL 各種マニュアル, 東芝.
- 15) Matsumoto, Y. et al.: A Specification Analysis and Documentation System for Process Control Software, Proc. COMPSAC '81, IEEE, pp. 411-417 (Nov. 1981).
- 16) Tanaka, S. et al.: New Concept Software System for Power Generation Plant Computer Control, COPOS, 9th PICA, IEEE (1975).
- 17) 加藤他: MELCOM 350-50における分散形ファイルシステム, 情報処理学会第19回全国大会論文集, pp. 247-248 (昭53).
- 18) 志岐他: 最近の系統制御における基本応用ソフトウェア, 三菱電機技報, Vol. 53, No. 10 (昭54).
- 19) 吉年他: 火力発電所計算機制御の動向, 三菱電機技報, Vol. 47, No. 8 (昭48).
- 20) 大島他: HIDIC V90/50ソフトウェア開発支援システム, 日立評論, Vol. 63, No. 12 (昭56).
- 21) 龍田他: 産業分野における工業用計算機システム, 三菱電機技報, Vol. 52, No. 9 (昭53).

(昭和57年6月4日受付)