

HITAC 8000 シリーズ・エミュレータ・システム

Emulator System for HITAC 8000 Series

浦城恒雄* 内田頼利* 林健治*
 Tsuneo Uraki Yoritoshi Uchida Kenji Hayashi

要 旨

エミュレータとは新しい計算機を導入するに当たり、古い計算機のプログラムを全く書きかえることなく新しい計算機のハードウェアを用いて実行させるために、新しい計算機に付加されるオプションである。HITAC 8000 シリーズにおいてエミュレータの対象とされる機種は、IBM 1401, 1410 および HITAC 3010 であり、HITAC 8300 および 8400 の付加機構として用意される。

日立製作所におけるエミュレータ・システムの開発は HITAC 8300 用 1401 エミュレータを対象に 1965 年秋から始められ、HITAC 8400 用 3010 エミュレータは現在開発中である。エミュレータはハードウェアとソフトウェアが緊密に結びあっているものであり、その設計にあたっては両者のバランスを常に考えなければならない。ここでは HITAC 8300 用 1401 エミュレータを中心にハードウェアおよびソフトウェア両面から設計上の問題点を述べている。

1. 緒 言

新しい電子計算機が生み出されると古い計算機が新しい計算機に置きかえられてゆくが、古い計算機のために作成されたプログラムが新しいもの書きかえられるまでには、一般に相当な時間を必要とする。したがって古い計算機のためのプログラムがそのまま新しい計算機にかけることができるならば、ユーザーにとって非常に利益のあることにちがいない。このことを可能ならしめる新しい計算機の付加機構(オプション)がエミュレータであり ROM(Read Only Memory)を用いてマイクロプログラム制御を行なう方式の近年の計算機においてはじめて実用的に可能となったのである。

エミュレータという場合はシミュレータと異なり、なんらかの意味でエミュレーション・ソフトウェアを助けるエミュレーション・ハードウェアが存在し、ソフトウェアとハードウェアの協同動作のもとに古い計算機動作をシミュレートするのが普通である。エミュレーション・ハードウェアとは、ROMに格納されるマイクロプログラム(Emulator Micro Program=EMP)をはじめ新しい計算機に付加される種々のロジック回路である。エミュレーション・ソフトウェアとは入出力装置を御制するプログラム(Emulator Interface Program=EIP)のほか全体としてEMPとEIPを制御し、オペレーティングシステムに要求される種々の機能を与えるプログラム(Emulator Monitor System=EMS)からなり、エミュレータ・コントロール・プログラム(Emulator Control Program=ECP)と総称される。これらの間の関係を図1に示す。

エミュレータの目的には二種あり、一つは自社の古い世代の計算機をエミュレートして新しい世代の計算機に円滑に置換させる目的のもので、ほかの一つは他社の古い世代の計算機をエミュレートしてその市場に食い込もうとする目的のものである。

IBM社は、1964年システム360の発表とともに同社が当時までに生産販売していた膨大な台数にのぼる第2世代の計算機群を、システム360の対応する機種に円滑に置換するためにはじめてエミュレータオプションを発表したのである。表1は現在までに発表されているIBM社のエミュレータを示したものである。

日立製作所でもHITAC 8000シリーズの中形機種であるHITAC 8300およびHITAC 8400に、それぞれ表2のようなエミュレータシステムを開発し付加している。

日立製作所におけるエミュレータ開発の努力は、技術提携先の

* 日立製作所神奈川工場

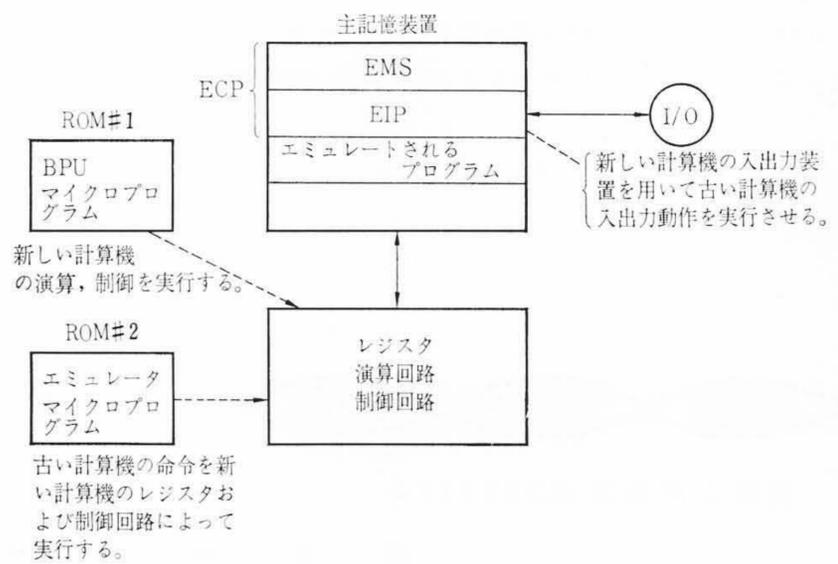


図1 エミュレータ模型図

表1 IBM エミュレータ・システム

システム	モデル	エミュレートされるシステム
360	モデル 30	1401/1440/1460, 1620
	モデル 40	1401/1460, 1410/7010
	モデル 50	1410/7010, 7070/7074
	モデル 65	7070/7074, 7080,
	67	709/7040/7044/7090/
	85	7094/7094 II

表2 日立エミュレータ・システム

HITAC 8000	モデル	エミュレートされるシステム	最初の出荷時
8300		IBM 1401/1460	1967年8月
8400		IBM 1401/1460 IBM 1410/7010 HITAC 3010	1967年9月

RCA社におけるエミュレータ開発に歩調を合わせ、1965年秋からHITAC 8300用1401エミュレータの開発から始まった。エミュレーション・ソフトウェアは当時RCA社で開発中であったRCA SPECTRA 70/45用1410エミュレータECPを利用するという前提で、エミュレーション・ハードウェア(EMP)の方式設計に力が注がれ、HITAC 8300の基本構造に影響を与えるようなハードウェア変更の必要性を早く洗い出すことに重点がおかれた。この結果1965年末には方式設計が完結し、次章で述べるようなHITAC 8300のエミュレーション・ハードウェアが整備された。実際にマイクロプロ

グラムがROMに実装され、1401エミュレータ・オプションがHITAC 8300に組み込まれたのは1967年5月である。その後、実際の1401プログラムをECPのコントロールの下で動作させ、性能検査ののち同年8月に納入した。

またHITAC 8400用1410エミュレータも1967年9月に納入、稼働している。HITAC 8400用3010エミュレータは現在開発中であり、1969年初めに利用可能となるであろう。

2. エミュレーション・ハードウェア

エミュレータが古い計算機の命令を新しい計算機のハードウェアを使用して実行する場合、一般に次のような順序で行なわれる。

- (a) エミュレートされるプログラム・カウンタ (EPC) の読出し。
- (b) EPCの内容を新しい計算機のアドレス方式に従って次の命令のロケーションを指すアドレスに変換する。
- (c) エミュレートされる命令の読出しとEPCの内容の更新。
- (d) エミュレートされる命令に関するインデクシングなどのアドレス変換を行ない実効アドレスをつくる。
- (e) 実効アドレスを新しい計算機のアドレス方式に従って命令のオペランドを指すアドレスに変換する。
- (f) エミュレートされる命令のコード (OP-CODE) に従って、それぞれの命令実行のルーチンにブランチし、古い計算機の命令を解釈し実行する。

エミュレーションの実行というのは以上のようなものであるが、このとき考えなくてはならない種々の問題について、筆者らが実際設計したHITAC 8300用1401エミュレータの経験を織りこんで述べてみよう。

(1) コード変換

古い計算機のために書かれたプログラムあるいはデータはエミュレーションのため新しい計算機に読み込まれるが、このとき二つの計算機の間では取り扱うコードが異なっているのが普通である。6ビットのBCDコードは磁気テープ制御装置の7トラック機構によって読みこまれ、8ビットのEBCDIKコードに変換される。EBCDIKコードはやはり7トラック機構によりBCDコードとして書き込まれる。カード・デックはトランスレート・モードのカード・リーダーによりやはり8ビットEBCDIKに変換され読み込まれる。入出力装置によるコード変換はプログラムにとって非常に便利であり、エミュレータはコード変換を考慮することなく、読み込まれたコードがそのまま古い計算機のコードであるとして取り扱うことができる。

(2) ハードウェア・マッピング

命令実行のために古い計算機のレジスタ、インディケータなどを新しい計算機のレジスタに対応させねばならない。新しい計算機のレジスタはたとえばローカル・メモリ内の特定のエリアであってもよい。HITAC 8300用1401エミュレータではHITAC 8300のフローティング・レジスタが利用された。また古い計算機のメモリも同様に新しい計算機のメモリにマッピングされねばならない。このときエミュレートされるメモリ境界の表示およびチェックには特に注意せねばならない。

(3) コード変換テーブル

エミュレーションのためのコード変換は入出力装置で行なわれるが古い計算機のアドレス表示が10進で、新しい計算機のアドレス表示が2進であると10進⇄2進のコード変換が必要になる。またBCD, EBCDIKの問題にしても、BCDコードでなければ取り扱えないようなタイプの命令もあり、BCD⇄EBCDIKのコード変換が必要になる。このためのコード変換テーブルは非アドレ

ス・メモリなどに格納される。

(4) ハードウェア・ロジック上の用意

(1)~(3)までのソフトウェア的な考慮のうえでさらにいくつかのハードウェア・ロジックを付加することが要求される。それらは(1)エミュレーション・モードの表示、(2)エミュレータROMに対するアドレス制御、(3)命令実行終了時における処理、(4)特殊な演算ロジックの追加、(5)特殊なテスト条件の追加などである。

(1)はエミュレーション実行中は新しい計算機の命令と古い計算機の命令が複雑に交さして実行されるため、(2)ROMアドレス制御ともからんで、古い計算機命令実行中を表示するインディケータが必要となる。このインディケータはいわばスーパーバイザ・ステートとプログラム・ステートを区別するインディケータの補助としての働きをする。(2)は第2のROMを追加し、マイクロ・プログラムを実行するために必要なハードウェアである。またエミュレータには古い計算機より高いパフォーマンスを要求されるのが普通であるので場合によっては(4)、(5)のような特別なロジックが必要となる。(3)は命令実行終了時に新しい計算機の割込みが起こった場合などにエミュレート中の命令終了時の状態を格納し、適当な処理ルーチンにブランチするなどの処理である。

このほかエミュレートされる計算機が割込み制御機構をもつような場合は割込み制御のエミュレーションも行なわれねばならない。そのためには古い計算機の割込みが起こると適当なインディケータをセットして、古い計算機の命令終了時にこのインディケータを調べることにより、割込み処理ルーチンへブランチするか否かを決定せねばならない。

入出力命令はハードウェアにより識別されEIPに制御が移されて、新しい計算機の入出力命令が実行される。入出力データ・バッファからエミュレート・メモリへのデータ転送は普通新しい計算機の特長命令による。この特長命令はOP-CODEトラップ割込みを起こし、付加された第2のROMのマイクロ・プログラムによって実行される。エミュレータにおいては必要な機能のどこまでをハードウェアにより実行し、どこまでをソフトウェアにゆだねるべきか非常にむずかしい問題である。したがって本章の冒頭で述べた(a)~(f)の処理の各段階にわたって、ソフトウェアとハードウェアの間の調整が必要となる。一般に小形計算機のエミュレーションほど処理がハードウェア (EMP) で行なわれる割合が高く、大形計算機のエミュレーションほどソフトウェア依存度が高いといえる。たとえばIBM 360モデル30におけるIBM 1401エミュレータのごときは入出力を含むすべての命令のエミュレーションをマイクロ・プログラムで行なっている。こういう方式はむしろ異常であって、新しい計算機のすべての入出力装置がなんらかのアダプタをもたねばならないことになる。そのうえエミュレートされるシステムが大きくなってくると、ROMのワード数も必然的に増加し、ソフトウェア的処理を借りないととてもコスト的に引き合わないことになる。

3. エミュレーション・ソフトウェア

エミュレータ・コントロール・プログラム (ECP) は、エミュレータ・モニタ・システム (EMS) およびエミュレータ・インターフェース・プログラム (EIP) よりなる。

EIPはエミュレーション・ハードウェアであるエミュレータ・マイクロプログラム (EMP) とともに、エミュレートされる機種 (たとえばIBM 1401) に固有のプログラムであり、ハードウェアで実行するとシステムの利用率のおちる命令とか (入出力命令, HALT 命令), コストのかかりすぎる命令をEMPの助けを借りてエミュレー

タを制御している。一方EMSはエミュレートされる機種とは独立したプログラムで、いかなるエミュレータにも共通に使われる一種のエミュレータのエグゼクティブ・プログラムである。EMSのもとでエミュレータとともに8000シリーズの命令でプログラムされた簡単なペリフェラル・ルーチンが数個、マルチ・プログラムベースで実行可能である。

3.1 EIP の機能

EIPはスーパーバイザのためのP2ステートで実行され、8000シリーズの全命令と一種のファームウェア的な数個のエミュレータ専用命令を使用し次の機能が行使される。

- (1) 対象とする機種の入出力命令の実行
- (2) 対象とする機種のコンソール機能
- (3) 対象とする機種のプログラムエラー処理

以下H-8300/8400における1401エミュレータのEIP機能を述べてみよう。

3.1.1 入出力命令の実行

P1ステートでEMPにより実行されている1401プログラムで入出力命令が出されると、EMPは定められた特定エリア(Floating Point Register)に必要な情報を格納し、直接P2ステートに制御を渡す。P2ステートでは8000シリーズの命令でプログラムされたEIPが常駐されており、1401の入出力命令のシミュレーションをファームウェア技術により、等価なデバイスにEMSを通して8000入出力機器に入出力命令を出す。入出力命令が終わるまでEIPはWAIT状態となるので、この待ち時間を利用しEMSは8000シリーズのペリフェラル・ルーチンに制御を渡し、マルチプログラム・ベースで仕事を続ける。EIPが要求した入出力からの終了割込みにより、EMSはEIPに制御を返す。入出力命令が実行されたことを確認したEIPは、1401の入出力命令で実行されたと等価なインディケータ、最終レジスタの内容、入出力データなどを編集し、P1のEMSに制御を渡す。

このようにして1401入出力命令は8000シリーズの命令体系でシミュレートされ、シミュレーションでは時間のかかりすぎる機能を一部ファームウェア技術で補って実行される。

3.1.2 入力データの検査機能

EMPでは1401用のプログラムおよびデータは64種のBCDコードのみからなると考えて実行されており、入出力からの入力データが間違っただけでBCDコード以外が入力された場合、予期しないエラーとなることが予想される。入力データがBCDコード以外となる可能性はおもにカード入力と考えられる。なぜなら、デ

バッグを必要とするプログラムなどでは新たなカードが使用されるのでミスパンチも考えられるからである。またカード読取機そのものの信頼性も磁気テープそのほかの入出力機器に比べ劣っている。このためEIPはカード入力に関しては、カードからの入力データがすべてBCDコードであるか否かをチェックし、予期しないエラーを極力防いでいる。これらの機能はプログラム制御でなければ実現不能に近いと考えられる。

3.2 EMS の機能

エミュレータにおいて、オペレーティング・システムの中核であるEMSのおもな機能は下記のとおりである。

- (1) システム・イニシャライザ
- (2) ジョブ・スケジュール、割込み処理
- (3) 入出力制御
- (4) オペレータ・コミュニケーション

現在はエミュレータ用オペレーティングシステムは、8000シリーズ標準オペレーティングシステム(たとえばTOS, TDOS)と独立に設計されているが、近い将来TOS, TDOSのもとでEIPおよびEPMが動作可能になり、そのときはEMSは不要となる。

4. 結 言

以上HITAC 8000シリーズ・エミュレータ・システムの概要および設計上の問題点について述べた。

マイクロプログラム方式のコンピュータの出現によりエミュレータ技術が開発され、エミュレータの中で一部使われているファームウェア的な技術が第4世代の方式設計の中核となることが予想されている。

現に書換え可能な固定記憶装置の開発により、新しいアーキテクチャの機械に一夜にして変わり得るコンピュータとしてIBM 360/25が発表されたことは記憶に新しい。このようにマイクロプログラム方式により開発されたエミュレータやファームウェアという技術が、書換え可能な固定記憶装置の開発により大きく開花し、今後ますます利用されるものと思われる。

終わりに日ごろご指導いただいている日立製作所神奈川工場高橋、坂田両部長、萱島主任技師はじめ所内関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) プログラムマニュアル (8300-3-047)
HITAC 8300/8400 1401 エミュレータ
- (2) System Reference Library IBM System /360 Model 30
1401/1440/1460 Compatibility Feature.