

計数型汎用シミュレーション装置*

(モンテカルロシミュレータ)

内山辰丙** 堀川映二** 菅原晟介** 西木俊彦**

水野幸男*** 木村正信*** 松木 顕一***

1. はじめに

計算機によるシミュレーションは、従来大形計算機でおこなわれてきた。しかしその欠点は、プログラミングに膨大な手数を要し長時間かかることである。われわれはこれらの点を考慮して、容易にプログラミングができ、安いコストでかつ大形計算機なみのシミュレーションのできるシステムを NEAC 2200 シリーズをベースとして開発した。シミュレーションの言語を決定するにあたって種々の言語を検討したが、工場現場の人にも簡単に使いこなせるようにという前提条件のもとに、flow oriented な GPSS 型の言語をとることにした。そして、この言語の中で欠けていると思われる機能を追加し、FOMOS (Flow Oriented Monte Carlo Simulator) と名づけた。さらにシミュレーションには欠くことのできない一様乱数については、物理乱数を採用することによってすぐれた効果を上げるようにした。

2. 物理乱数の発生

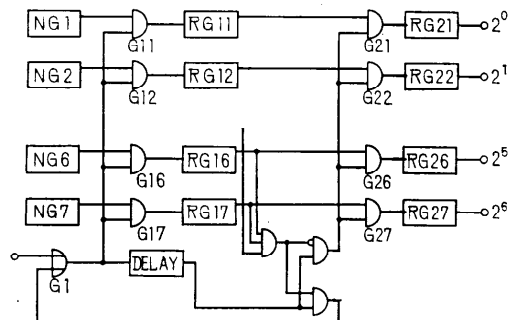
一般に計算機によるシミュレーションには高精度の多数の一様乱数を必要とする。このため従来内部の演算ルーチンで作られた擬似乱数を使っているが、この乱数にはある種の傾向や周期性があり、この欠点を除くために、物理乱数を発生させて、計算機に直接読み込む方法が考えられた。

物理乱数を発生させる方法には放射性同位元素のガンマ線崩壊を利用する方法もあったが¹⁾、このシミュレータではさらに実用的な方法として放電管のノイズを利用して2進乱数を得²⁾、これを組み合わせて10進法で0~99の数値を得ている。また一つの命令で必要な数値をいくつでも得られるように設計されている。

* General Purpose Simulator by Tatsuei Uchiyama, Yukio Mizuno, Eiji Horikawa, Masanobu Kimura, Seisuke Sugawara, Kenichi Matsuki and Toshihiko Nisiki (Yawata Iron & Steel Co., Ltd.) (Nippon Electric Co., Ltd.)

** 八幡製鉄(株) 八幡製鉄所

*** 日本電気(株) データ処理システム(事)



第1図 乱数発生装置ブロック図

乱数発生方法について簡単に述べる(第1図参照)。

OR ゲート (G 1) のパルスと放電管 (NG 1) のパルスが、AND ゲート (G 11) で組み合わせられ、この AND ゲートの出力の1ビットがレジスタ (RG 11) に入る。このビットは ON か OFF の状態にあり、ON の時の状態を1、OFF の時の状態を0と決めれば、レジスタ (RG 11) の出力は0か1のどちらかの値をとる。このようなレジスタを複数用意してある。たとえば7個の場合には各レジスタを $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^6$ の位に相当するものとすれば 2^7 までの数値を得ることができる。すなわち10進数で0~127の数値を得ることができる。一般に10進数でとり扱うことが多いので0~99までの数値しか出現しないように適当なゲート回路によって100~127の値をカットするようにしてある。放電管は常にノイズをランダムに発生しているので、無作為の一様分布が得られる。乱数の一様性のチェックはハードウェアおよびソフトウェアの双方でおこなっている。各ビットの1または0の出現率の期待値はそれぞれ50%ずつである。1024回乱数を発生し、1のビットが期待値の±3%以上からはみでる場合には、ハードウェアで自動的にチェックされて、エラーインディケータがセットされる。また一つのレジスタから続けて二つの乱数を採ればその出現する組み合わせは、11, 10, 01, 00 の四つであり、それぞれの出現する期待値は1/4である。その期待値の±3%以内に収まっているかどうか常にハードウェア

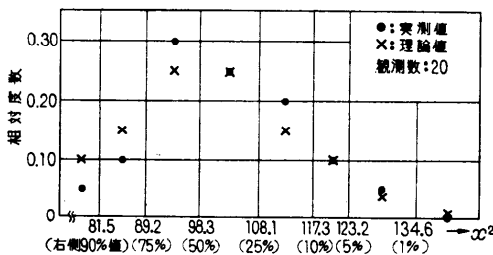
でカウントをとりチェックしている。現在の状況では、約100万個の乱数をとると1回くらいの割り合いでエラーが起こる。なお、この乱数の一様性については理論的検討もなされているが³⁾、本シミュレータでの実験結果も満足なものが得られている。その一例を第2図に示す。さらに、このサンプル1万個の実験を20回繰り返えしたとき観測された χ^2 の値の分布状況を第3図に示す。このようにして、安定性も十分確かめられている。

RANDOM NUMBER GENERATOR FREQUENCY TEST		
EXPECTED FREQUENCY 100 EACH		
VALUE OF RANDOM NUMBER(DECIMAL)	OBSERVED FREQUENCY	DIFFERENCE FROM EXP. FREQ.
00	97	3-
01	103	3
02	104	4
03	115	15
04	92	8-
05	106	6
06	95	5-
07	100	0
08	84	16-
09	91	9-
10	115	15
11	114	14
12		2-

98	99	
98	92	8-
99	98	2-

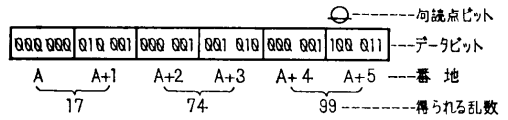
CHI-SQUARE TEST FOR UNIFORMITY		
VALUE OF CHI-SQUARE		
OBSERVED	5%	1%
87.3	123.2	134.6

第2図 物理乱数の一様性検定例



第3図 物理乱数の一様性検定 χ^2 観測値の分布

このシミュレータは可変長の2アドレス方式の計算機をベースとしている⁴⁾。1桁はデータとして6ビット区切り用として2ビットから構成されている。一つの読み取り命令が乱数発生装置に出されると、第4図のような状態でメモリに読みこまれる。この例では、



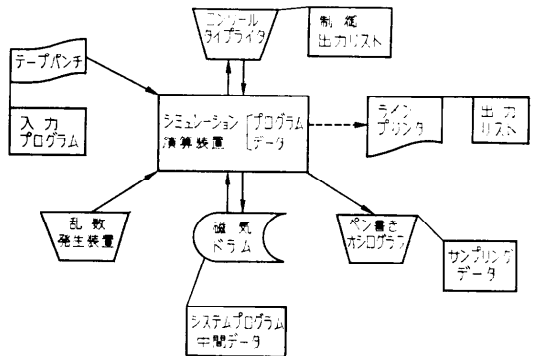
第4図 乱数の読みみ例

一つの読み取り命令で三つの乱数を得ている。このシミュレータでは一つの乱数に2桁を使用し、句読点ビットの存在する桁まで自由に乱数が読み込まれる。この読み込まれた値は乱数としても使用できるし、与えられた関数の変数としても利用できる。

3. 機器構成

このシミュレータは小型の計算機を本体とし、ソフトウェアと密着した機器構成をとっている。シミュレーションのモデルをインプットする媒体として紙テープ(カードも可)を使用している。少ないメイン・メモリを補うために磁気ドラムが使われている。これはシミュレーションの性格上、計算機の実行中にデータの変更、および移送が度々ランダムにおこなわれるので、ランダム・アクセス・ファイルを必要とするからである。

またシミュレーションの実行中にある特定のシステム変数の状態をサンプリングして、演算終了後アウトプットする。この情報は、データそのものをプリントすることもできるが、この状態をグラフ化し視覚にうったえるためにペン書きオシログラフが装備されている。普通のアウトプットは、コンソールまたはラインプリンタによっておこなわれる(第5図参照)。



第5図 機器構成

4. 言語

このシミュレータで使用される言語 FOMOS は、はじめに述べたように GPSS II と同じ考え方を基本

にし、過去の多数のシミュレーション例⁷⁾の言語機能の分析結果をとり入れて、その拡張として構成されている。すなわち、各種の機能を持つ 39 種のブロックで flow oriented にシステムを記述し、そのシステム内を各種の情報を持つトランザクション（以後 Trans. と略す）を動かして行く方法をとっている。なお、このブロック、Trans. の概念のほか、アクションタイム、セレクションモード、パラメータ、プライオリティ、アセンブリセット、システム変数、Facility, Storage, Queue, ロジックスイッチなどの用語は GPSS と全く同じ概念で用いているので、これらの定義は省略する。

以下では、特に実用的な見地から拡張を行なった機能のうち主要なものをあげてみる。

(1) QUEUE の拡張

GPSS II では、待ち行列はプライオリティ順、先着順に限られていたが、任意のサービス機構、任意の待ち行列規約 (queue discipline) を許すよう QUEUE ブロックの機能を二分にした WAIT, DEPART というブロックを新設した。両ブロック間に適当なロジックを組み込むことによって、優先権がダイナミックに変化する行列が扱えるし、また、ダイナミックな条件による行列からの離脱も許される。

(2) Storage のハイレベルの使用

OBSTRUCT, CANCEL という二つのブロックを新設した。すなわちローレベルで Storage を使用中の Trans. は、ハイレベルの Trans. の割り込みによって使用の中断を受けることが可能になった。ただ Storage 中には、Facility とは異なり、一般に複数個の Trans. が存在するので、中断の順序を定める必要がある。これには現在一定のルールを用いているが、将来は順序を自由に指定できるようにする予定である。

(3) ASSEMBLE の拡張、タグの新設

ASSEMBLE ブロックでは、アセンブリセットによる組み合わせのほか、指定によりアセンブリセットに無関係の Trans. を各ルートから 1 個宛集めて組み合わせることも可能にした。そして何れの場合でも、組み合わせの際どの Trans. の持つ情報を残すのかをタグ（新設、各 Trans が持つ）によって直接に指定できるようにした。なお、Trans. にタグをつけたり、消したりするための TAG および ERASE ブロックを新設した。またタグの突き合わせによって、別ルートの Trans. の進行の同調が図れるよう MATCH およ

び GATE ブロックを拡張した。

(4) 推移状態のアウトプット

任意のシステム変数の値のサンプリングを可能にした。これによってダイナミックなシミュレーションの途中経過を知ることができる。サンプリングはランダム間隔（間隔をブロックのアクションタイムと同じ形で指定する。一定の間隔も可）も許されるし、別の方法として一定期間ごとに各期間内の 1 時点をランダムにとることも許される。

この値はプリントできるほか、先に述べたとおり、ペン書きオシロに書き出される。

(5) BYE モードの新設

サービス中に中断を受けた Trans. は通常中断の終るのを待って残りのサービスを受けるが、中断と同時に別のルートに送り出すことも可能にした。すなわち、BYE とよぶセレクションモードを新設し、ローベルで装置を使用するに際して、その Trans. が中断をうけて押しのけられたときの行先を指定できるようにした。

(6) 初期値の設定

SAVEX バリュウの初期値をブロックを使用しなくてもセットできるようにした。

(7) 間接指定の拡張

Trans. の持つパラメータによるほか、SAVEX バリュウによっても間接指定ができるようにした。

(8) その他

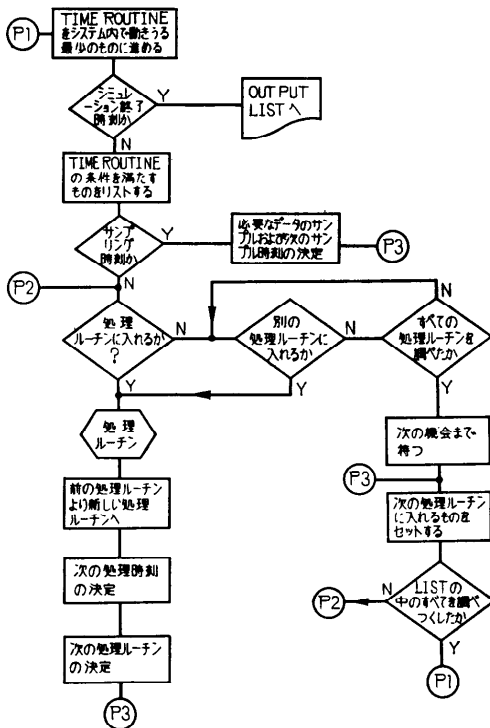
各 Trans. の持つプライオリティをシステム変数に加えた。

さらにアクション・タイムに VARIABLE ステートメントを許したので、たとえば窓口でのサービス時間が待ち時間などから決定される場合も簡単に取り扱えることになった（一例を 6(2) に示す）。

5. システム・プログラム

(1) シミュレーションの進め方

FOMOS で記述されたシステムのモデルは、インプットの段階で編集とコンパイルが行なわれる。その後のシミュレーションのランは第 6 図に示した流れによって進められる。すなわち、シミュレーションの各時点で、その時刻に動ける Trans. がリストアップされる。この中には、サンプリングを行なうための特別な Trans. も含まれている。ついでリスト中の Trans. は、それぞれに進むべきブロックの処理ルーチンに入れるかどうかチェックされる。入れる時には、そこで各



第6図 シミュレーション・プロセスの流れ図

ブロック特有の機能の処理を受けた後、次に動く時刻と、その行先のブロックが定められる。一つの Trans. の処置がこのようにして終ると、リストの順序に従って次の Trans. に移る。リスト中のすべての Trans. について調べ (scan) 終ると、event-to-event 方式のタイミングルーチンが、どれかの Trans. が動けるようになる最小限だけ時刻を進める。以後シミュレーション終了時刻に到達するまで、これが繰り返される。終了すると、アウトプット・ルーチンによってシミュレーションの結果がうち出される。

(2) プログラムの構成

システム・プログラムは、大別して

- (i) インプット (2フェイズ)
- (ii) メイン
- (iii) アウトプット
- (iv) コントロール (モニタ)

の四つの部分からなっており、さらにメインは

- (i) スキャン・ルーチン
- (ii) ブロック処理ルーチン
- (iii) ドラム書込み・読出しルーチン
- (iv) 関数計算ルーチン

(v) VARIABLE ステートメント計算ルーチン

(iv) 各種パッケージ (浮動小数点演算など)

などからなっている。これらそれぞれの詳述は省き、特徴となる点だけを記す (なお、スキャンルーチンの働きは (i) 参照)。

まず関数の計算には8進法の浮動小数点演算を用いており、これによって指数部の桁数が節約できた。また特に参照頻度の高い関数 (ただし、アーギュメントは物理乱数に限る。15種類まで) は、一定の形の関数表にしてコアに記憶させ、スピードアップをはかっている。

VARIABLE ステートメントは、インプットの段階で、一つずつコンパイルされてドラムに収められており、必要の都度コアに読み込んで使用される。この計算ルーチンは、メモリ節約のため、インタプリチブな考えを入れたサブルーチン・リンクの方式を採用している。

次にシミュレーションの情報を記録するためのエリアは

- (i) ブロック
- (ii) トランザクション
- (iii) SAVEX バリュウ
- (iv) ロジックスイッチ
- (v) Facility
- (vi) Storage
- (vii) Queue
- (viii) 度数分布表 (TABLE)
- (ix) SAMPLE 値

の諸表からなっている。

ブロックの八つのフィールドはドラムに記憶されており、コアにはただブロックに入った Trans. の個数だけを持っている。

Trans. に必要な情報は、移動のための出発時刻、Trans. の状態を類別して同類に属する Trans. を結びつけるチェーン、現在 Trans. が入っているブロックの番号、次に入る予定のブロック番号、タグおよびタグのチェーン、プライオリティ、ならびにパラメータ (可変長、15個まで) などである。これらの記憶のための各 Trans. に対しドラムに 42 桁、コアに 8 桁が用意される。

Storage はハイレベルの使用を許すことにしたので、ローレベルで使用中の Trans. を記憶する必要が生じた。このため各 Storage に対し、Trans. 50 個分のエリアがドラム内にとられている。

SAMPLE 値は、サンプリングすべきシステム変数、

サンプリング時刻を算定するための情報、サンプリング回数などを記憶しており、サンプリングの都度その時刻と、システム変数の値を記録に加えて行く。一度に25個のシステム変数の値を、最大600回までサンプリングできる。

6. 応 用

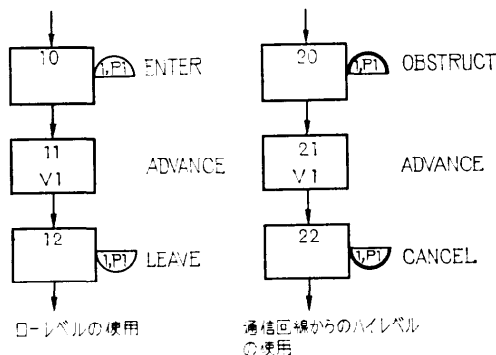
(1) FOMOS の使用例

4. に述べた GPSS II より拡張されたブロックなどの特徴を示すため、部分的な使用例を1, 2に示す。

(a) 設備のハイレベルの使用例

たとえばマルチ・プログラムを扱える電子計算機において、幾つかのプログラムがある。各プログラムの大きさによって当然、記憶装置を占める大きさは異なっている。通信回線から入ってくる情報を処理するプログラムはハイレベルで計算機を使用し、ローレベルで使用されていたプログラムは、そのハイレベルのプログラムでの優先的な計算機の使用が終るまで退避される。計算機の使用時間はプログラムの種類、特にレベルおよび入ってくる情報量により異なる。その平*

*均使用率、平均使用時間などをシミュレーションするため、第7図のとおり FOMOS ブロックで簡単に記述できる。ローレベルの使用は ENTER, LEAVE のブロックで Storage を使用し、ハイレベルでの使用は OBSTRUCT, CANCEL ブロックで前者に優先して Storage を使用する。その使用時間は V1 で定義される。これらをコーディングしたものが第8図である。



第7図 設備のハイレベルの使用ブロック図

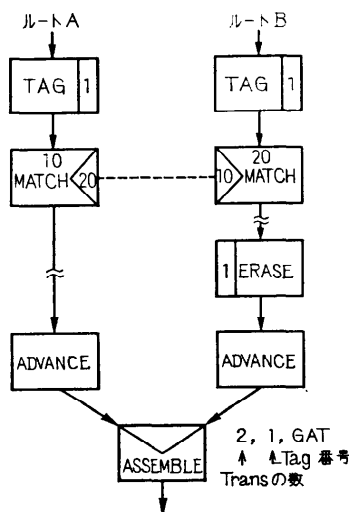
LOCATION	NAME	X	Y	Z	SELECTION MDOE	NEXT BLOCK A	NEXT BLOCK B	MEAN TIME	MODIFIER
10	ENTER	1	P1			11			
11	ADVANCE					12		V1	
12	LEAVE	1	P1			13			
20	OBSTRUCT	1	P1			21			
21	ADVANCE					22		V2	
22	CANCEL	1	P1			23			

第8図 設備のハイレベルの使用コーディング例

(b) 部品の組み立ての例

いま、ルートAおよびBで製造される2種類の部品がある。おのおのの部品は後に組み立てられるがそのための検査を行なうため、第9図のブロック10および20のMATCHにより同一時点で両部品の対応をとる。そのため、双方の部品に同一のタグ1をTAGブロックによりつける。

また、これら部品は ASSEMBLE ブロックで一つの製品に組み立てられるが、それにはルートAからきた部品のもつ情報を残すことを指示するため、ルートAの部品のタグ1は残し、ルートBの部品のそれは消す。そして ASSEMBLE ブロックは各ルートからそれぞれ1個宛の Trans. を組み合わせるものであることを明示するため GAT と記入する。



第9図 部品の組み立てブロック図

(2) シミュレーションの実例

鉄鋼の製造工程において、高温で到着した鋼塊をある一定温度に炉で再加熱して、次の工程へ流す場合についてシミュレーションしてみる。鋼塊の到着間隔はある確率分布に従う。複数の炉の前に到着順に一例の待行列を作る。その場合、炉での加熱順位は、待行列の長さが2以上の場合、後着優先である。

一方、炉での加熱所要時間は、到着した鋼塊が高温であるため、炉の前での待時間に関し単調増大で、いま、次のように定まる。

$$T_h = T_w + C_i$$

ただし

T_h : 炉での加熱時間

T_w : 炉前での待時間

C_i : 鋼塊の種類 i ($i=1, 2, \dots, n$) によって定まる定数

また、炉の加率効率を上げるため、この加熱時間がある一定の時間以上（ここでは 20 単位時間）かかる場

合は、鋼塊を炉に入れず、他の工程へ流すとする。

以上のシミュレーション・モデルを FOMOS プロックで流れ図に示したのが第 10 図である。Trans. の発生間隔すなわち、鋼塊の炉への到着間隔は、H FUNCTION 1 で指定される。また、加熱時間は VARIABLE 1 で定義されており、それが炉での加熱の可否の判断、および炉でのアクションタイムに用いられる。

このシミュレーションのアウトプットの一例（部分）を第 11 図に、待ち行列の長さをランダムな時点で SAMPLE して、ペン書きオシロで描かせたものを第 12 図に示している。

(3) モンテ・カルロシミュレータの応用分野

(a) FOMOS の観点から

FOMOS は特に待ち合わせ問題のシミュレーションに適している。本来、これは鉄鋼業の製造工程のシミュレーションを目的に研究開発したものであるが、結果的にはより広い応用分野を持っている。たとえば

(i) 装置工業

(ii) 機械工業

の製造工程は、本質的に待ち合わせ現象の連続であり、それらの解析を目的としたシステムシミュレーションにはプログラミングの手法上、効果を発揮するものと考えられる。

また、このほか

(iii) 電子計算機的设计

(iv) 計算機制御システム的设计

(v) 交通管制システム的设计

などのためのシミュレーションにも有効であろう。

(b) ハードウェアの観点から

物理的に発生された乱数のもつ、高速、高精度の特質を生かし

(i) 原子物理学, 原子力工学

(ii) 宇宙工学

(iii) 統計学

(iv) 高分子化学

(v) 生物学

などの研究において

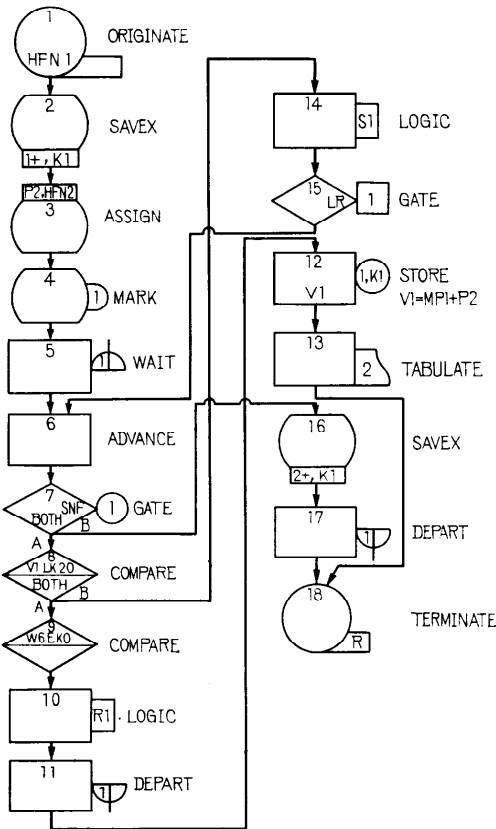
(i) 確率過程

(ii) 偏微分方程式

(iii) 定積分

(iv) 逆行列

の解を求めるのに、このシミュレータは用いられよう。



第 10 図 鋼塊の加熱工程ブロック図

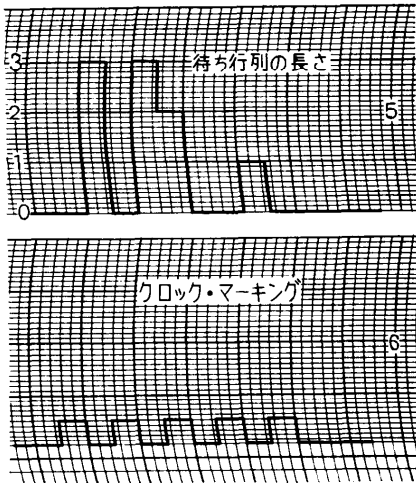
STORAGE										
NR	CAPA	NUMBER	ENTRIES	AVERAGE	CONTENTS	AVERAGE	UTILIZ	AVERAGE	TIME/UNITS	OBST/
1	2	(TOTL)	(OBST)	(TOTL)	(OBST)	(TOTL)	(OBST)	(TOTL)	(OBST)	(TIME)
1	2	836	0	1.582	0.000	0.7914	0.0000	11.918		0.000

QUEUE									
NR	TABLE	CONTENTS		ENTRIES		AVERAGE	ZEROS/TOTAL	CURRE	
1	3	(MAXIMUM)	(AVERAGE)	(TOTL)	(ZERO)	TIME/UNITS	ENTRIES	CONTE	
1	3	7	0.614	1000	425	3.867		0.4249	

TABLE NUMBER 2				
ENTRIES IN TABLE	MEAN	ARGUMENT	STANDARD DEVIATION	
836	13.837		5.259	NON-WEIGHTED
836	13.837		5.259	WEIGHTED

UPPER LIMIT	OBSERVED FREQUENCY	RELATIVE FREQUENCY	CUMULATIVE FREQUENCY	UPPER LIMIT /MEAN	DEVIATION FROM MEAN
10	425	0.5083	0.508366	0.722	-0.72
12	85	0.1016	0.610043	0.867	-0.34
14	80	0.0956	0.705731	1.011	0.03
16	49	0.0586	0.764345	1.156	0.41
18	46	0.0550	0.819374	1.300	0.79
20	33	0.0394	0.858839	1.445	1.17
22	35	0.0418	0.900709	1.589	1.55
24	34	0.0406	0.941380	1.734	1.93
26	26	0.0310	0.972480	1.878	2.31
28	23	0.0275	0.999985	2.023	2.69
30	0	0.0000	0.999985	2.168	3.07
32	0	0.0000	0.999985	2.312	3.45
OVERFLOW	0	0.0000	0.999985		

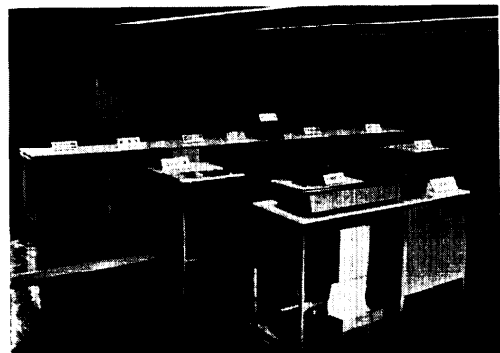
第 11 図 鋼塊の加熱工程シミュレーションのアウトプット例 (部分)



第 12 図 ペン書きオシロによるアウトプット例

7. むすび

以上のようにして開発されたモンテ・カルロシミュレータは、実際に Y 製鉄所に設置され (NEAC 2200 モデル 200 ベース: 第 13 図参照) 実用に供されている。この研究開発に当たって終始、協力と援助を賜つ



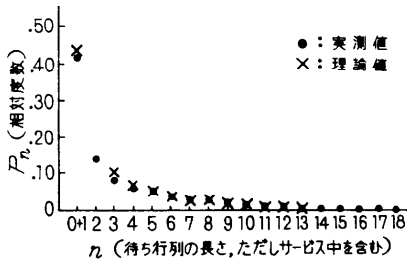
第 13 図 Y 製鉄所に設置されたモンテ・カルロシミュレータ

た日本電気 (株) および八幡製鉄 (株) の関係者の方々に深甚の謝意を表わしたい。なおシステム・プログラム作成に当たり、慶応義塾大学の浦教授および大瀬氏に援助頂いたことを付記しておく。

〔付 1〕 待ち行列で理論解の知られている数個のケースについて、本シミュレータによる実験を行なってみた。待ち行列の条件および理論値と対比した結果の概要を第 1 表に示す。試行回数は何れも 2,000 であるが、ほぼ満足すべき結果が得られている。なおその

第1表 待ち行列の理論との比較結果の概要 (試行回数 2,000)

待ち行列の型		M/M/1(∞)	M/M/1(3)	M/M/1(4)	M/M/1(5)	M/D/1(∞)	M/D/1(4)		
条件	到着時間間隔	分布	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布		
		平均	20	20	20	20	20		
	サービス時間	分布	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布	一定	一定	
		平均	15	15	15	15	15	15	
行列の長さの許容限度 (サービス中をふくむ)		∞	3	4	5	∞	4		
サービス順位		先着順	先着順	先着順	先着順	先着順	先着順		
実験結果と理論値	行列の平均長さ (サービス中を含まず)		実測値	2.34	0.49	0.77	0.97	0.92	0.58
			理論値	2.25	0.61	0.73	1.10	1.12	0.62
	平均待ち時間 (サービス中を含まず)		実測値	46.26	12.04	16.90	20.30	18.39	12.05
			理論値	45.00	12.16	14.60	21.96	22.50	12.44
	理論値に対する誤差	行列の長さ [%]	誤差	+0.09	-0.12	+0.04	-0.13	-0.20	-0.04
			%	+4.0	-19.7	+5.5	-11.6	-17.9	-6.5
	誤差	待ち時間 [%]	誤差	+1.26	-0.12	+2.30	-1.65	-4.11	-0.39
			%	+2.8	-1.0	+15.8	-7.5	-18.3	-3.1



第14図 M/M/1(∞)型待ち行列の状態確率の理論値との比較 (試行回数 2,000, $\rho=0.75$)

うちの一例について、待ち行列の長さが n である状態の起こる確率 P_n の比較を第14図に示した。これに要した時間は約1.5時間である。

[付2] このシミュレータで同時に取扱い得るシステム変数を第2表に示す。

第2表 システム変数の大きさ

システム変数名	システム変数の大きさ
Transaction	50.0
BLOCK	40.0
Savexvalue	55.0
Equipment Storage	12.0
Facility	12.0
Function Software	8.0
Hardware	1.5
Variable Statement	5.0
Logic Switch	12.0

参考文献

- 1) 平井平八郎, 浅居喜代治, 石桁正士: ランダム・ワーク装置と乱数検定への応用, 電気通信学会, 電子計算機研究資料, 1963年1月19日 (於関西)
- 2) K. Kunisawa, H. Morimura and Y. Mizuno: Queuing Simulator and Its Applications, Preprint for TIMS & ORSJ Joint Int'l Meeting, C 2, Tokyo Aug. 1963
- 3) 佐藤拓宋: 乱数電圧法による積分演算器, 自動制御, Vol. 6, No. 6 (1959)
- 4) たとえば, NEAC-2200 プログラミング説明書, 日本電気(株), EOI-39501
- 5) General Purpose Systems Simulator II, IBM Reference Manual, B 20-6346
- 6) NEAC モンテカルロ・シミュレータ FOMOS-I 説明書, 日本電気(株) (1966) EOI-37405
- 7) たとえば
 - 7-1) 菅原晟介: 厚板圧延機ワークロール手持本数をこうして減らした, オペレーションズ・リサーチ (JUSE 出版社) Vol. 6 No. 3 (1961)
 - 7-2) 内山辰丙, 菅原晟介: 均熱炉の設備計画, オペレーションズ・リサーチ (JUSE 出版社) Vol. 6 No. 5 (1962)
 - 7-3) Y. Matsumura, S. Sugawara and T. Asagami: Computer Simulation of the Tobata Iron Ore Port Installation, Preprint for TIMS & ORSJ Joint Int'l Meeting, J 2, Tokyo, Aug. 1963.

(昭和41年11月5日受付)