

スケジューリングシミュレーション

に関する一考察

賀 畠 豊

1. はじめに

本研究の目的は、加工および混合の2工程による生産ラインにおいての、生産の最適順序の決定を、時間の関数として、コンピューターによるシミュレーションの方法によって行なおうとするものである。このことは、スケジューリングの目的と本質的に同じであるといえる。すなわちコストあるいは作業については、ここで取り扱っていない。

また、本論においてのシミュレーション的方法とは、工場における現実のフローを基礎とし、工場内での試行を繰返し、特定の条件を付加していくという方法である。この場合、プログラムの実行には大量の記憶容量と計算時間が要求される訳であり、必ずしも有効とはいいがたい。そこで、本研究においてはモデルを作成し、また、一般性を失なう結果となる訳であるが、いくつかの制限条件を設定し、その解決にあたった。

2. 問題の基本設定

スケジューリング問題の目的は最適順序の決定にある。すなわち、目的関数の選択の組合せにより生産順序の最適解を求めようとするものである。ここでは小日程計画、すなわち、製品加工を、いつ、どの製品について行なうかをシミュレーションの方法で、具体的に生産システムにどの様に組み入れ、決定していくかという問題設定をする。

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

まず、スケジューリング問題を表わすには次の4つの情報が必要である。

- (1) どのようなジョブで、どのようなオペレーションであるかという情報。
- (2) どのような種類のマシンが何台あるかという情報。
- (3) たとえば、このジョブに関してはこのマシンで、何番目であるかという割り付け条件。
- (4) 割り当て方の最適なものはどのようなものであるかという評価関数について、即ち納期に対する時間遅れを最小にしたり、待ち時間を最小にしたりということについての条件はどうであるかという情報。

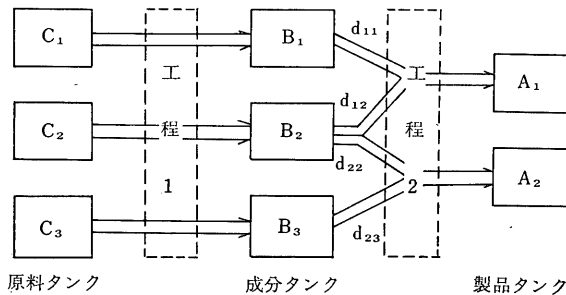
以上の情報はスケジューリング問題を取り扱う上で、絶対に必要なものである。

スケジューリング問題の解決法として、シミュレーションによる方法があるが、この方法は、最も生産現場に近い形をもつことができ、又、現場からのフィードバック機能を持たせやすい。このことは、職長等の単なる“やりくり”の問題と本質的に異なる部分である。すなわち、経験と感にたよるものではなく、アルゴリズムを考え、理論的に正しいものを実行する。

3. モデルの設定

図1において、次のように問題を設定する。

図1 モデルの図解



混合割合; D とし、 $D=d_{ij}$ すると

$$d_{ij} = \begin{Bmatrix} d_{11} & d_{12} & 0 \\ 0 & d_{22} & d_{23} \end{Bmatrix}$$

ここで、 d_{ij} は A_i に含まれる B_j の混合割合であり、

$$d_{11}, d_{12}, d_{22}, d_{23} > 0$$

$$\sum_j d_{ij} = 1$$

となるので、次のことが明らかとなる。

$$B_j = d_{ij} \times A_i$$

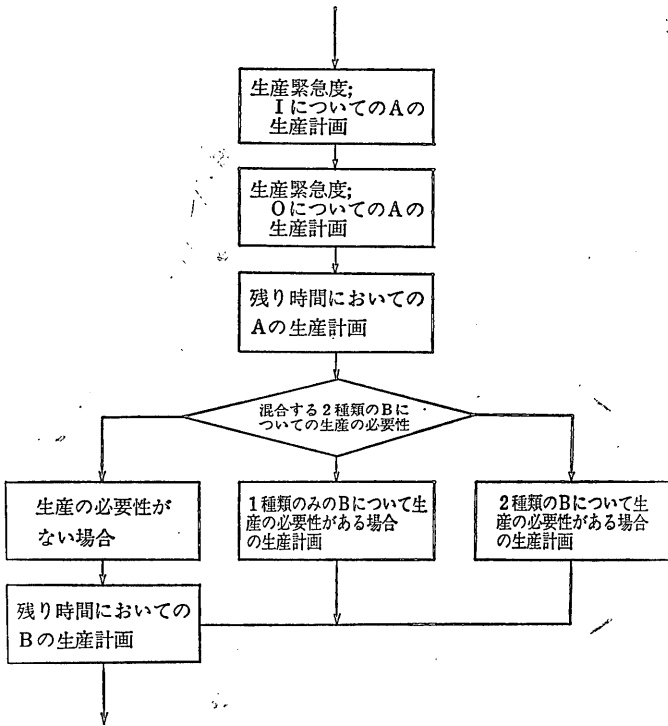
このように、 A_i の出荷予定量が与えられた時、1日(24時間)の小日程計画を行なうものとする。

次に、このモデルについての制限条件を述べる。

- (1) C_i は、工程1で加工されて B_i となる。
 - (2) B_i は、工程2で混合されて A_i になる。
 - (3) 工程1では、同時に2つ以上の品種が加工されることはない。
 - (4) 工程2では、 B_i, B_{i+1} が同時に連続的に混合されて A_i になる。また2つ以上の製品を作るために同時に混合されることはない。
 - (5) タンク容量は、十分に大きいものとする。
 - (6) 生産緊急度については、1は絶対に i の生産が必要であるものとし、0は i の出荷が遅れてもよいものとする。
 - (7) 原料は、充分にあるものとする。
 - (8) 工程の運転切換えに要する時間は、無いものとする。
 - (9) タンク間の配管のたまりは、無いものとする。
 - (10) 初期条件として、 B_1 のタンクおよび B_2 のタンク在槽量が0でないものとする。
 - (11) A の要求量 $\leq A$ の生産速度 $\times 24$ (時間) とする。
- 以上のような制限条件のもとに、化学プラントの加工及び混合工程のスケジュールを作成するものとする。

4. システムの設計

図2 システムフロー



まず、システムに関する入力データとしては、Aの生産速度、Bの生産速度、Bの混合割合、Aの生産緊急度、Aのタンク在槽量、Bのタンク在槽量、Aの要求量が必要であり、その結果としての出力データは、Aの生産順序、Bの生産順序、Aの生産時間、Bの生産時間、Aの生産順序にもとづく生産量、Bの生産順序にもとづく生産量、Aの出荷量、Aの出荷後のタンク残槽量、Bの出荷後のタ

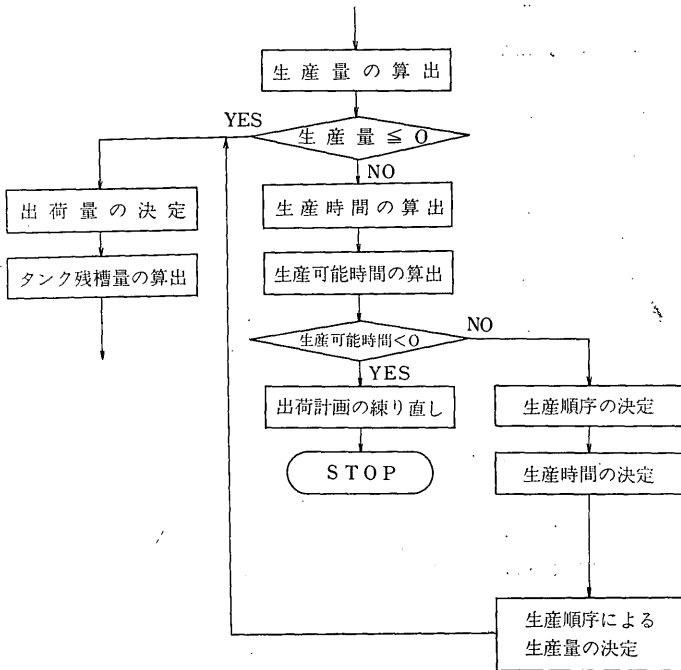
スケジューリングシミュレーションに関する一考察

ンク残槽量である。

次に、システムの流れは図2に示すようなシステムフローとなり、各々の生産計画サブシステムにおいて、次の各項について検討しなければならない。

- (a) 出荷要求の緊急度の判定
- (b) AまたはBの生産要求量の判定
- (c) AまたはBの生産可能時間の判定
- (d) AまたはBの生産順序の決定
- (e) AまたはBの生産時間の決定

図3 アルゴリズム例



- (f) AまたはBの生産量の決定
- (g) 出荷量の決定
- (h) Aの出荷後のタンク残槽量の算出
- (i) Bの生産後のタンク残槽量の算出

次に、システムのアルゴリズムについては、1つ1つのサブシステムにおいて検討をし、全体のフローに組み込んでいかなければならない。本論においては、生産緊急度が1となる場合のAの生産計画サブシステムのアルゴリズムについて、図3に示す。なお、生産量、生産時間、生産可能時間は、次に示す様な式で求めることができる。

$$\text{生産量} = \text{生産要求量} - \text{タンク残槽量}$$

$$\text{生産時間} = \text{生産量} / \text{生産速度}$$

$$\text{生産可能時間} = \text{生産可能時間の残り時間} - \text{生産時間}$$

5. コーディング例

コーディングは、システムフローおよびアルゴリズムにしたがってフローチャートを作成し、作業にはいる訳であるが、ここではコンピューターの使用機種としては、FACOM230-10を使い、JIS規格FORTRAN-10を使用言語とした。

以下は、コーディングの実例であるが、記号等の説明はここでは省く。

PAGE 01

*1010

C SCHEDULING OF INDUSTRIAL SYSTEM

DIMENSION AC(2), BC(3), D(2, 3), AH(2), BH(3), AR(2),
AE(2), AO(2), AH1(2)

DIMENSION BH1(3), APS(3), BP(3), IAS(4), BBH(3), Z(3),
AS(3)

WRITE (20, 8888)

8888 FORMAT (41HTAPE OR KEY INPUT, KEY INPUT=CALL
SWITCH-7)

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```

PAUSE 1121
CALL SWTCH (7, IJ)
GO TO (7777, 6666), IJ
7777 READ (00, 11) (AC(I), AH(I), AR(I), AE(I), I=1, 2)
      READ (00, 22) (BC(I), BH(I), I=1, 3)
      READ (00, 33) ((D (I, J), I=1, 2), J=1, 3)
      GO TO 44
6666 READ (10, 11) (AC(I), AH(I), AR(I), AE(I), I=1, 2)
      11 FORMAT (4F5. 0)
      READ (10, 22) (BC(I), BH(I), I=1, 3)
      22 FORMAT (2F5. 0)
      DO 44 I=1, 2
      DO 44 J=1, 3
      READ (10, 33) D(I, J)
      33 FORMAT (F6. 2)
      44 CONTINUE
      WRITE (50, 1001) (AC(I), I=1, 2)
1001 FORMAT (//, 2F10. 3)
      WRITE (50, 1002) (BC(I), I=1, 3)
1002 FORMAT (/, 3F10. 3)
      WRITE (50, 1002) (D(1, I), I=1, 3)
      WRITE (50, 1002) (D(2, I), I=1, 3)
      WRITE (50, 1001) (AH(I), I=1, 2)
      WRITE (50, 1002) (BH(I), I=1, 3)
      WRITE (50, 1001) (AR(I), I=1, 2)
      I1=AE (1)
      I2=AE (2)
      WRITE (50, 1003) I1, I2
1003 FORMAT (/, 2I10)
      I=1
      L=1
      AT1=24.

```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```
A1=0.  
A2=0.  
DO 110 J=1, 3  
AS(J)=0.  
BBH(J)=BH(J)  
110 CONTINUE  
IF(AE(I)-1,0) 120, 130, 120  
130 AP=AR(I)-AH(I)  
IF(AP-0.) 140, 140, 150  
140 AH(I)=AH(I)-AR(I)  
AO(I)=AR(I)  
AH1(I)=AH(I)  
GO TO 120  
150 T1=AP/AC(I)  
AT1=AT1-T1  
IF (AT1-0.) 160, 170, 170  
160 WRITE (20, 2001)
```

PAGE 02

```
2001 FORMAT (26H°SEISANKEIKAKU NELINAOSHI□)  
GO TO 9999  
170 IAS(L)=I  
AT=T1  
APS(L)=AP  
CALL1 4000  
2002 FORMAT (//, I3, 3X, I3, 2X, 2F8. 3)  
L=L+1  
AH(I)=AH(I)+AP  
GO TO 140  
120 I=I+1  
IF(I-2)110, 110, 180  
180 I=1
```


スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```

190 CONTINUE
    IF(AE (I)-0.) 210, 200, 210
200 AP=AR(I)-AH(I)
    IF (AP-0.) 220, 220, 230
220 AH(I)=AH(I)-AR(I)
    AO(I)=AR(I)
    AH1(I)=AH(I)
    GO TO 210
230 T2=AP/AC(I)
    AT1=AT1-T2
    IAS(L)=I
    IF (AT1-0.) 240, 250, 250
250 AH(I)=AH(I)+AP
    AT=T2
    APS(L)=AP
    CALL1 4000
    L=L+1
    GO TO 220
240 AT1=AT1+T2
    AP=AT1*AC(I)
    AT=AT1
    APS(L)=AP
    AH(I)=AH(I)+AP
    AO(I)=AH(I)
    AH(I)=0.
    AH1(I)=AH(I)
    CALL1 4000
    L=L+1
    GO TO 270
210 I=I+1
    IF(I-2)190, 190, 260
260 I=1
    
```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```
J=2
AHA=AH1(I)-AH1(J)
IF (AHA-0.) 1, 1, 2
1 I=1
  GO TO 3
2 I=2
  GO TO 3
3 IAS(L)=I
```

PAGE 03

```
AT=AT1
AP=AT1*AC(I)
AH1(I)=AH1(I)+AP
APS(L)=AP
CALL1 4000
270 WRITE (50, 2006) (AR(I), I=1, 2)
2006 FORMAT (//, 2F10. 3)
WRITE (50, 2006) (AO(I), I=1, 2)
WRITE (50, 2006) (AH1(I), I=1, 2)
AT1=0.
K=L+1
IAS(K)=0
DO 271 I=1, 3
  BH1 (I)=BH(I)
  Z(I)=0.
271 CONTINUE
L=1
BT1=24.
LL=1
280 CONTINUE
K=IAS(L)
P1=0.
```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```

J=1
N=K+J-1
BR=D (K, N) *APS(L)
BP(N)=BR-BH(N)
IF (BP(N)-0.) 300, 300, 290
300 N=N+1
BR=D (K, N) *APS(L)
BP(N)=BR-BH(N)
IF (BP(N)-0.) 390, 390, 310
290 N=N+1
BR=D(K, N)* APS(L)
BP(N)=BR-BH(N)
IF(BP(N) -0.) 390, 390, 310
310 X1=BH (K)/D (K, K)/AC(K)
J=K+1
I=0
X2=BH (J)/D (K, J)/AC(K)
IF (X1-X2) 340, 340, 330
330 M=K+1
N=K
GO TO 350
340 M=K
N=K+1
350 CONTINUE
IBS=M
T4=BH (N)/D (K, N)/AC(K)
IF (L-1) 801, 801, 803
801 IF (I-0) 802, 802, 803
802 BHH=BH (M)+(BC (M)-D (K, M) *AC (K)) *T4
GO TO 804
803 BH (M)=BH (M)+(BC (M)-D (K, M) *AC (K)) *T4
804 BH (N)=0.

```

PAGE 04

```

P=AC (K) *T4
P1=P1+P
IF (P1-APS (L)) 360, 370, 370
360 BT=T4
BPS=BC (M) *T4
BT1=BT1-T4
IF (BT1-0.) 9998, 9999, 9997
9998 BT1=-BT1
LL=LL+1
GO TO 430
9997 IF (IBS-2) 61, 62, 63
61 Z(1)=Z(1)+BPS
GO TO 1000
62 Z(2)=Z(2)+BPS
GO TO 1000
63 Z(3)=Z(3)+BPS
GO TO 1000
1000 WRITE (50, 2002) LL, IBS, BT, BPS
LL=LL+1
I=I+1
IF (I-2) 361, 371, 371
361 MM=M
NN=N
M=NN
N=MM
GO TO 350
370 Y=APS(L)-(P1-P)
TS=Y/AC(K)
BH (M)=BH(M)-(BC(M)-D (K, M) *AC(K)) *(T4-TS)
BH (N)=D (K, N) *AC (K) *(T4-TS)
BT=TS
    
```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```
BPS=BC(M) *TS
BT1=BT1-TS
IF (BT1-0.) 9998, 9999, 9996
9996 IF (IBS-2) 71, 72, 73
  71 Z(1)=Z(1)+BPS
    GO TO 3001
  72 Z(2)=Z(2)+BPS
    GO TO 3001
  73 Z(3)=Z(3)+PPS
    GO TO 3001
3001 WRITE (50, 2002) LL, IBS, BT, BPS
    LL=LL+1
371 BH1 (M)=BH (M)
    BH1 (N)=BH (N)
    GO TO 410
380 I=K+1
    GO TO 400
390 I=K
    GO TO 400
400 CONTINUE
    T3=BP(I)/BC(I)
    IBS=I
    BT=T3
    BPS=BP (I)
    BT1=BT1-T3
```

PAGE 05

```
IF (BT1-0.) 9998, 9999, 9995
9995 IF (IBS-2) 81, 82, 83
  81 Z(1)=Z(1)+BPS
    GO TO 3002
  82 Z(2)=Z(2)+BPS
```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```

GO TO 3002
83  Z(3)=Z(3)+BPS
GO TO 3002
3002 WRITE (50, 2002) LL, IBS, BT, BPS
BH (I)=BH (I)+BP (I)
LL=LL+1
320 CONTINUE
J=1
N=K+J-1
BH1 (N)=BH (N)-D (K, N) *APS (L)
N=N+1
BH1 (N)=BH (N)-D (K, N) *APS (L)
410 CONTINUE
K=L+1
IF (IAS (K)-0) 420, 430, 420
420 L=L+1
GO TO 280
430 N=3
J=1
B=BH1 (1)
401 IF (J-N) 402, 402, 403
402 IF (B-BH1 (J)) 404, 404, 405
405 B=BH1 (J)
GO TO 404
404 J=J+1
GO TO 401
403 J=1
406 IF (B-BH1 (J)) 407, 408, 407
407 J=J+1
GO TO 406
408 K=J
GO TO 9
    
```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

```

9  BP(K)=BT1 *BC(K)
   BH1 (K)=BH1 (K)+BP (K)
   IBS=K
   BT=BT1
   BPS=BP (K)
   IF (IBS-2) 91, 92, 93
91  Z(1)=Z(1)+BPS
   GO TO 3003
92  Z(2)=Z(2)+BPS
   GO TO 3003
93  Z(3)=Z(3)+BPS
   GO TO 3003
3003 WRITE (50, 2002) LL, IBS, BT, BPS
     BH1 (1)=BBH (1)+Z (1)-A1 *D (1, 1)
     BH1 (2)=BBH (2)+Z (2)-A1 *D (1, 2)-A2 *D (2, 2)
     BH1 (3)=BBH (3)+Z (3)-A2 *D (2, 3)
     WRITE (50, 2031) (BH1 (I), I=1, 3)
2031 FORMAT (//, 3F10. 3)
     BT1=0.
     GO TO 9999

```

PAGE 06

```

9999 STOP
4000 LL=IAS (L)
     IF (LL-1) 4001, 4002, 4001
4001 AS (1)=0.
     GO TO 4003
4002 AS (2)=0.
4003 AS (LL)=APS (L)
     A1=A1+AS (1)
     A2=A2+AS (2)
     WRITE (50, 2002) L, IAS (L), AT, APS(L)

```

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

RETURN1

END

【例 1】

10.000	20.000		
15.000	15.000	25.000	
0.500	0.500	0.000	
0.000	0.250	0.750	
20.000	100.000		
10.000	20.000	30.000	
500.000	200.000		
0	1		
1	2	5.000	100.000
2	1	19.000	190.000
500.000	200.000		
210.000	200.000		
0.000	0.000		
1	3	4.000	100.000
2	2	1.000	15.000
3	1	2.000	30.000
4	2	6.000	90.000
5	1	11.000	165.000
110.000	5.000	55.000	

6. 結果

出力データを、ガントチャートに表わしていく。また、新しい情報が発生したときは、ただちに新しい入力データをインプットし、次の出力データを現場に送る。

たとえば、1日(24時間)のスケジューリングを、前述のモデルにおいて考えると、例1に示されるものは次の様になる。

〔入力データ〕

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

- Aの生産速度

A (1)	10t/h	A (2)	20t/h
-------	-------	-------	-------

- Bの生産速度

B (1)	15t/h	B (2)	15t/h	B (3)	25t/h
-------	-------	-------	-------	-------	-------

- 混合比率

d_{11}	0.5	d_{12}	0.5	d_{13}	0.
d_{21}	0.	d_{22}	0.25	d_{23}	0.75

- Aのタンク残槽量

A (1)	20t	A (2)	100t
-------	-----	-------	------

- Bのタンク残槽量

B (1)	10t	B (2)	20t	B (3)	30t
-------	-----	-------	-----	-------	-----

- A製品出荷要求量

A (1)	500t	A (2)	200t
-------	------	-------	------

- Aの出荷緊急度

A (1)	0	A (2)	1
-------	---	-------	---

〔出力データ〕

- Aの生産計画

順位	製造製品	製造時間	製造量
1	A (2)	5h	100t
2	A (1)	19h	190t

スケジューリングシミュレーションに関する一考察

- A についての出荷要求量

A (1)	500t	A (2)	200t
-------	------	-------	------

- A 製品の出荷量

A (1)	210t	A (2)	200t
-------	------	-------	------

- A タンク 出荷後の残槽量

A (1)	0t	A (2)	0t
-------	----	-------	----

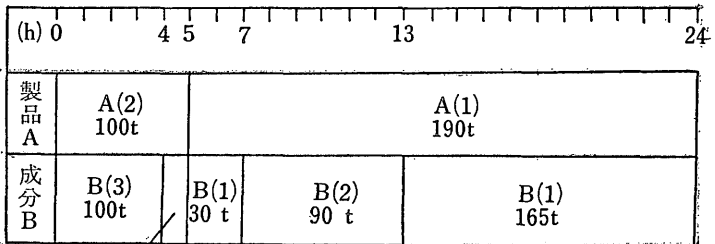
- B の生産計画

順位	製造成分	製造時間	製造量
1	B (3)	4h	100t
2	B (2)	1h	15t
3	B (1)	2h	30t
4	B (2)	6h	90t
5	B (1)	11h	165t

- B タンク 出荷後の残槽量

B (1)	110t	B (2)	5t
-------	------	-------	----

[ガント・チャート]



7. おわりに

現実の連続過程の問題をとらえる場合に留意したいことは、コンピューターの容量そのものも問題であるが、いかに問題を集約した形にするかということである。すなわち、同一または類似的性質を持つイベントを、1つの群としてとらえることによって、可能な限り問題を単純化するということである。この様な意味でのモデルは小日程計画におけるシミュレーションに、その意義を持ってくる。

今後の問題としては、モデルの一般化であり、当然、それにともなってシステム自体の評価も1つの問題となってくる。

参考文献

- スケジューリングの理論 関根智明監訳 日刊工業
インダストリアル・スケジューリング 関根智明訳 竹内書房
生産システム 佐田登志夫編 日刊工業
“スケジューリング制御” 三森定道著 オペレーションズ・リサーチ 1970. 5
“スケジューリング問題の再検討と提案” 古谷竜一・中根甚一郎共著
オペレーションズ・リサーチ 1969. 3