

第1回 定量発注方式（発注点方式）

高桑 宗右エ門, 三輪 冠奈

1. はじめに

本シリーズでは、在庫管理の具体的な場面を取り上げ、PCを用いて、それぞれの状況に合った在庫管理方式を適用するために、在庫管理方式およびモデル化の考え方を具体的に解説する。それにより、在庫管理方式をいっそう理解しやすくするための手段を提示し、併せて、実際の問題へ応用するための参考事例を紹介することを目的とする。

在庫管理方式のモデル化に際しては、初めに Excel を用いて、シミュレーション・モデルを構築する。次に、グラフ上に時々刻々変化する様子を動的に表現するために、構築済みの Excel モデルにアニメーション・モデルを付加するための手順について解説する。本稿では、Excel と併用するシステムとして、Arena シミュレーション・アニメーション・システムを用いてモデル構築を進めることにする¹。

2. 定量発注方式（発注点方式）

定量発注方式 (fixed-order quantity system) ないし発注点方式 (reorder-point system) においては、発注量は一定であるが、需要の変動による在庫量の変化に応じて、発注時期が決まる。この方式では、在庫量を常時把握していて、在庫量が減少し、あらかじめ設定した発注点に達したとき、一定量の発注を行う。発注点および発注量が意思決定事項であるが、典型的には経済的注引量を発注量とすることが多い。また、

たかくわ そうえもん, みわ かな
名古屋大学 大学院経済学研究科
〒464-8601 名古屋市千種区不老町

¹ Microsoft Excel は米国 Microsoft Corporation の登録商標であり、Arena は米国 Rockwell Software Corporation の登録商標である。本稿以降で取り上げるプログラムを実行するには、これら二つのソフトウェアがインストール済みであることが必要である。Arena ソフトウェアは文献[5]の付録に添付されており、インストールに特別の制約はない。

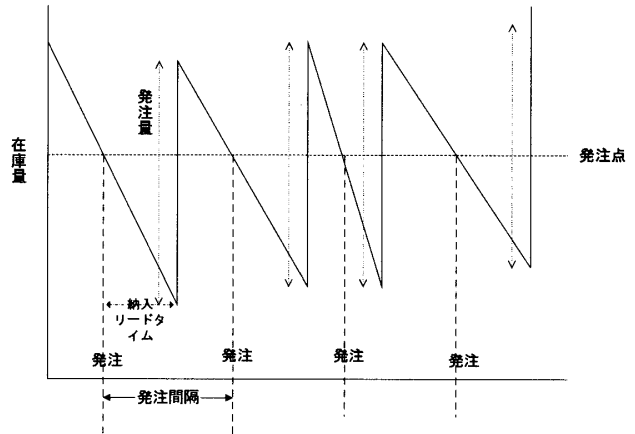


図1 定量発注方式の在庫モデル

1回の納入時に、発注量が一定の重量・容量として取り決められているような場合には、それが発注量となる。

定量発注方式の在庫モデルを図1に示す。次節以降の式の導出や本方式の詳細については、文献[1~4]を参照してほしい。

2.1 記号

本項 (Excel モデル) で用いる記号を次にまとめて示す。

ad : 単位期間当たりの需要量の平均

AII : 平均在庫量

ASQ : 平均品切れ量

C : 発注費 (1回当たり)

D : 年間需要量

d : 需要量 (1期)

ek : 実行期間

EOQ : 経済的注引量

$FOQSDATA$: セルの名称

I : 初期在庫量

i : 年間在庫保管費率

k : 期

L : 納入リードタイム

n : 年間発注回数

OC : 発注回数

P : 製造原価 (1個当たり)

Q : 発注量

SA : 安全在庫量

SC : 品切れ回数

sd : 単位期間当たりの需要量の標準偏差

ss : 発注点

TQ : 発注間隔

U : 年間総変動費用

θ : 需要へのサービス率を表す信頼係数

2.2 計算式

(1) 安全在庫量

安全在庫量は、発注してから納品 (入庫) されるまでの間 (納入リードタイム) に対する需要量のバラツキに、需要へのサービス率を考慮して、次式で与えられる。

$$SA = \theta \times \sqrt{L} \times sd \quad (1)$$

(2) 発注点

発注点は、納入リードタイム期間中の需要量を考慮して設定する。さらに、通常、需要量のバラツキを見込んで、安全在庫量を付加して設定する。

$$ss = ad \times L + SA \quad (2)$$

(3) 発注量

発注量については一定量とするが、品目の供給条件など種々の制約によって決定されることが考えられる。また、経験的に、需要の平均の何倍かを発注量とする場合もある。発注費用と保管費用の和が最小になるように発注量を決定する経済的注文量 (EOQ) は次式で与えられる。

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{P \times i}} \quad (3)$$

今回のモデルでは、発注量を指定する方法と、必要なパラメータを入力することにより、経済的注文量を得る方法のいずれかにより、シミュレーションを実行できるようにした。

2.3 事例

適正な在庫の発注点や発注量を算出するためには、過去の需要データや納入リードタイムなどのパラメータを収集し、統計的に処理する必要がある。実際に、ある1品目に焦点を当て、この在庫管理方式モデルを用いて、発注点などを算出し、シミュレーション・アニメーション・モデルを実行する手順を述べることにする。

原材料コード	原材料名	納入リードタイム(日)	最小注文量(個)
1	****	2	6000

1995年1月実績

製品ID	ケース数(箱)	ケース内個数(個)	1個当たり(kg)	総重量(kg)
2	4298	20	1	85960
3	1771	6	3	31878

原材料コード1が必要な製品

製品ID	原材料コード	単位使用量(kg)
2	1	0.166
3	1	0.224

1ヶ月の需要の期待値

製品ID	原材料コード1の量(kg)
2	14269.36
3	7140.672

総量(kg)	21410.03
--------	----------

図2 原材料に関する情報

ある洗剤メーカーの工場では、いくつかの製品を生産している。その製品を製造するためには、所定の複数の種類の原材料が必要である。いま、ある一つの原材料の調達について、在庫管理問題を考える。原材料コード1が必要な製品は、製品ID2および3である。サプライヤとの取決めにより、原材料の注文リードタイムは2日(期)であり、最小注文量は6000kgと決められている。1995年1月の実績値について、需要に関するデータを収集するための情報の一部を図2に示す。1ヶ月に必要な原材料コード1の総量の期待値は21410kgであった。そして、工場の生産実績より、1日当たりの需要の平均は713.67kg、標準偏差は142.73kgの正規分布に従うものとして、在庫管理シミュレーションを実施する。

3. シミュレーション・モデル

本シリーズでの在庫管理方式のシミュレーション・アニメーション・モデルの手順は次の2ステップで構成される。

- (1) Excelによるシミュレーション実行。
- (2) ArenaによるExcelのシミュレーション結果の読み込みと、在庫推移を表示するアニメーションの実行。

3.1 Excelによるシミュレーション・モデル

(1) データ入力

図3に示した画面において、指定したセルに対応する値を入力すると、瞬時に計算式の入力された理論値のセルにその結果が表示される。

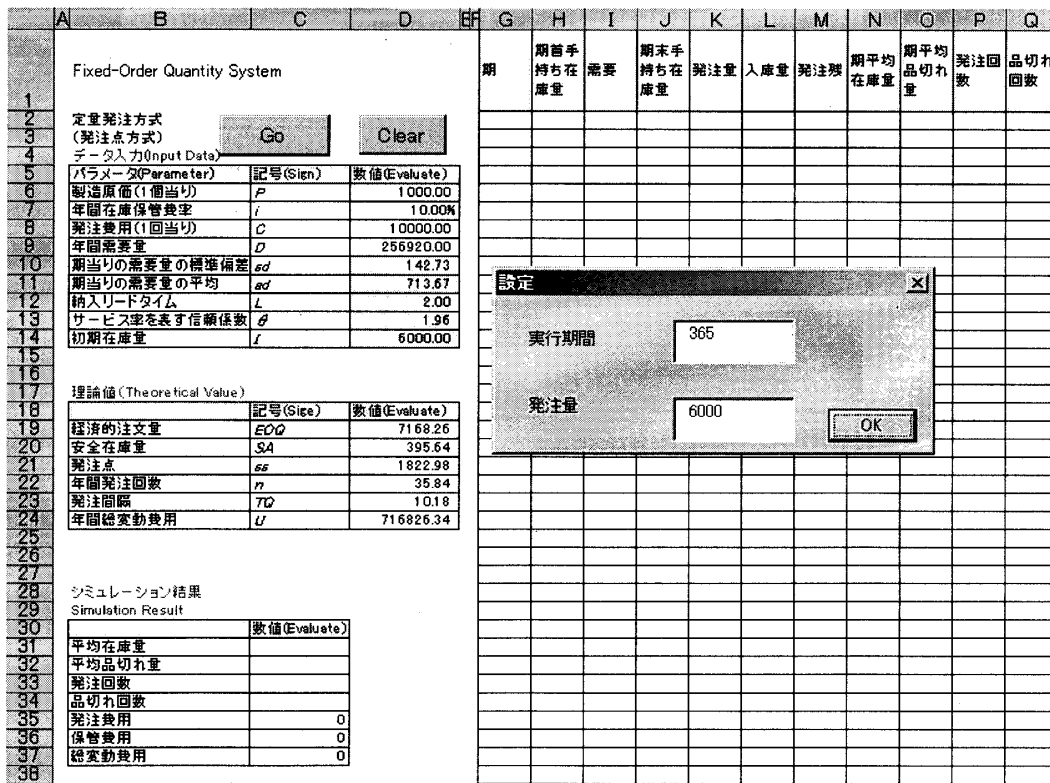


図3 Excelによるシミュレーション設定画面

(2) プログラムの実行

指定した実行期間ならびに発注量によるシミュレーションを開始するために、Go ボタンをクリックすると、ユーザフォームが表示されるので、実行期間と発注量を入力する。発注量については、経済的注文量を発注量とする場合は、得られた数値を入力する。他方、発注量を指定する場合は、その値を入力する。

(3) 結果表示

シミュレーション結果が表示される。ロジックのフローチャートを図4に、VBAプログラムの詳細を図5に示す。

3.2 セルの内容

(1) データ入力の Excel シート

セル (D6 : D14) にデータを入力すると、次に示す計算式により、セル (D19 : D24) に結果が表示される。経済的注文量による定量発注方式の場合には、セル (D6 : D9) の入力が必要であるが、そうでない場合や変動費用の計算を行わない場合は、入力の必要はない。

経済的注文量 (EOQ) : $D19 = \text{SQRT}((2 * D8 * D9) / (D6 * D7))$

安全在庫量 (SA) : $D20 = D13 * \text{SQRT}(D12) * D10$

発注点 (ss) : $D21 = D12 * D11 + D20$

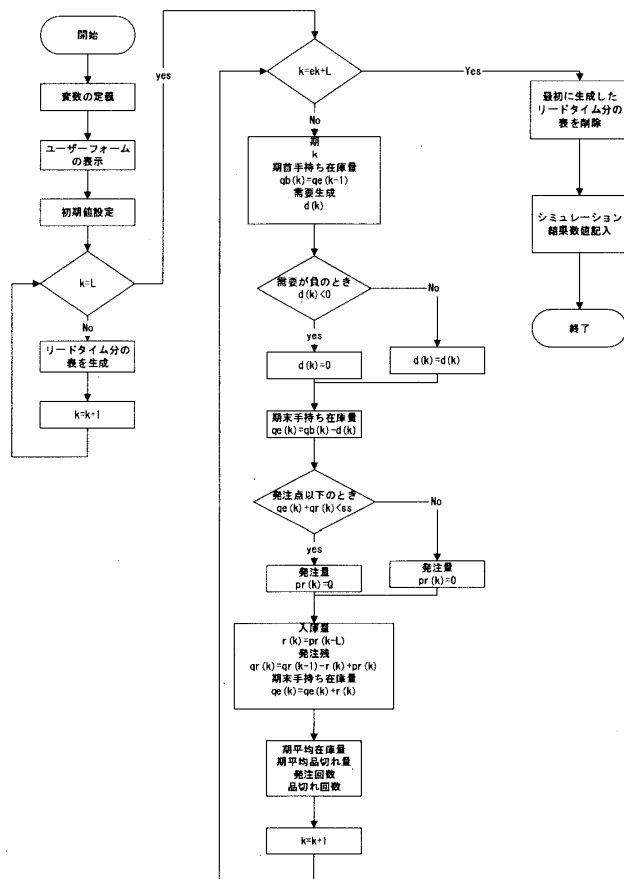


図4 ロジックのフローチャート

```

Private Sub 発注点方式実行_Click()

'変数の定義
Dim ek, Q, k, L, ss, I, d, ad, sd, OC, SC, AII, ASQ As Integer
Dim FOQSDATA As String 'セルを定義する名前
'ユーザーフォームの表示
UserForm_FOQS.Show
ek = UserForm_FOQS.Period.Value '実行期間設定
Q = UserForm_FOQS.FOQS.Value '発注量設定
'初期値設定
OC = 0
SC = 0
AII = 0
ASQ = 0
sd = Cells(10, 4).Value
ad = Cells(11, 4).Value
L = Cells(12, 4).Value
I = Cells(14, 4).Value
ss = Cells(21, 4).Value
'リードタイム分の表生成
k = 2
Do Until k = L + 2
Cells(k, 7).Value = k '期(k)
Cells(k, 8).Value = 0 '期首の手持ち在庫量(qb(k))
Cells(k, 9).Value = 0 '需要量(d(k))
Cells(k, 10).Value = 0 '期末の手持ち在庫量(qe(k))
Cells(k, 11).Value = 0 '発注量(pr(k))
Cells(k, 12).Value = 0 '入庫量(r(k))
Cells(k, 13).Value = 0 '発注残(qr(k))
k = k + 1
Loop
'初期在庫量設定
Cells(L + 1, 10).Value = I
'実行期間終了までの数値計算
k = L + 2
Do Until k = ek + L + 2
Cells(k, 7).Value = k - L - 1 '期(k)
Cells(k, 8).Value = Cells(k - 1, 10).Value '期首の手持ち在庫量(qb(k))
'需要生成
Randomize '乱数発生ルーチンを初期化
d=Application.WorksheetFunction.NormInv(Rnd(),ad,sd)
If Int(d) > 0 Then
Cells(k, 9).Value = Int(d) '需要(d(k)=d(k))
Else
Cells(k, 9).Value = 0 '需要(d(k)=0)
End If
Cells(k, 10).Value = Cells(k, 8).Value - _
Cells(k, 9).Value '期末の手持ち在庫量(qe(k))
'在庫量が発注点以下の場合(qe(k)+qr(k-1)<ss)
If Cells(k, 10).Value + Cells(k - 1, 13).Value < ss Then
Cells(k, 11).Value = Q '発注量(pr(k)=Q)
Else
Cells(k, 11).Value = 0 '発注量(pr(k)=0)
End If
Cells(k, 12).Value = Cells(k - L, 11).Value '期末の入庫量(r(k)=pr(k-L))
Cells(k, 13).Value = Cells(k - 1, 13).Value + _
Cells(k, 11).Value - Cells(k, 12).Value '発注残(qr(k)=qr(k-1)+pr(k)-r(k))
Cells(k, 10).Value = Cells(k, 10).Value + Cells(k, 12).Value '期末の手持ち在庫量に入庫量を加える(qe(k)=qe(k)+r(k))
'期平均在庫量の計算(A1)
If Cells(k, 10).Value > 0 Then
Cells(k, 14).Value = _
((Cells(k, 8).Value + Cells(k, 10).Value) / 2)
Else
If Cells(k, 8).Value > 0 Then
Cells(k, 14).Value = (Cells(k, 8).Value * _
Cells(k, 8).Value) / (2 * Cells(k, 9))
Else
Cells(k, 14).Value = 0
End If
End If
AII = AII + Cells(k, 14).Value
'期平均品切れ量の計算(A2)
If Cells(k, 10).Value > 0 Then
Cells(k, 15).Value = 0
Else
If Cells(k, 8).Value > 0 Then
Cells(k, 15).Value = (Cells(k, 10).Value * _
Cells(k, 10).Value) / (2 * Cells(k, 9))
Else
Cells(k, 15).Value = -((Cells(k, 8).Value + _
Cells(k, 10).Value) / 2)
End If
End If
ASQ = ASQ + Cells(k, 15).Value
'期発注回数の計算(A3)
If Cells(k, 11).Value > 0 Then
Cells(k, 16).Value = 1
OC = OC + 1
Else
Cells(k, 16).Value = 0
End If
'期品切れ回数の計算(A4)
If Cells(k, 10).Value > 0 Then
Cells(k, 17).Value = 0
Else
Cells(k, 17).Value = 1
SC = SC + 1
End If
k = k + 1
Loop
'最初に生成した表の削除
k = 1
Do Until k = L + 1
ActiveSheet.Range("G2:R2").Delete (xlShiftUp)
k = k + 1
Loop
'結果の書き出し
Cells(31, 3).Value = AII / ek '平均在庫量
Cells(32, 3).Value = ASQ / ek '平均品切れ量
Cells(33, 3).Value = OC '発注回数
Cells(34, 3).Value = SC '品切れ回数
'結果のセルへの名前定義
Worksheets("Sheet1").Range(Worksheets("Sheet1"). _
Range("G2"),Worksheets("Sheet1").Range("G2"). _
End(xlToRight).End(xlDown)).Name = "FOQSDATA"
End Sub

```

図5 VBA のプログラムの内容

年間発注回数 (n): $D22=D9/D19$

発注間隔 (TQ): $D23=365/D22$

年間総変動費用 (U): $D24=\text{SQRT}(2*D6*D7*D8*D9)$

(2) シミュレーション結果

シミュレーション結果がプログラムの実行により、セル (C31:C34) に表示される。セル (C35:C37) には、シミュレーション結果から、次の諸費用の値が対応する計算式により得られる。

発注費用: $C35=C33*D8$

保管費用: $C36=D6*D7*C31$

総変動費用: $C37=C35+C36$

モデル実行に必要なパラメータとして、1日当たり需要量の平均および標準偏差、さらに、サービス率 97.5%を表す信頼係数を 1.96、初期在庫量を 6000 と入力すると、発注点として、1822.98 (個) が得られる。Excel によるシミュレーション実行結果を図 6 に示す。図中、例えば、第 6 期 (日) に手持ち在庫が発注点まで減少したので、発注し、2 日後、1 回の発注量である 6000 kg の原材料が到着したことなどのシミュレーション結果が得られた。期平均在庫量、期平均品切れ量、発注回数などの重要な管理指標も右側の欄に示されている。

4. アニメーション・モデル

前節までに示したように、Excel を用いて、シミュレーション実験を行った。在庫状況の推移について計数的に把握することができた。次に、在庫量が増減する様子を時系列的にアニメーション表示することを試みる。ここでは、Arena モデルを追加することにより、Excel モデルで実行されたシミュレーション結果を、直接ダイナミックにプロット表示する方法について述べることにする。

4.1 記号

本項 (Arena モデル) で用いる記号を以下にまとめて示す。なお、節 2.1 で既出の記号については省略する。

$A1$: 期平均在庫量

$A2$: 期平均品切れ量

$A3$: 総発注回数

$A4$: 総品切れ回数

dk : 需要量 (kk 期)

$line$: 0 を表示するためのプロット変数

kk : 期

prk : 発注量

qbk : 期首の手持ち在庫量

Fixed-Order Quantity System				期	期首手持ち在庫量	需要量	期末手持ち在庫量	発注量	入庫量	発注額	期平均在庫量	期平均品切れ量	発注回数	品切れ回数
1				1	6000	532	5468	0	0	0	5734	0	0	0
2	定発注方式 (発注点方式)	Go	Clear	2	5468	613	4855	0	0	0	5162	0	0	0
3	データ入力 (Input Data)			3	4855	787	4068	0	0	0	4462	0	0	0
4	パラメータ (Parameter)	記号 (Sign)	数値 (Evaluate)	4	4068	612	3456	0	0	0	3762	0	0	0
5	製造原価 (1個当り)	P	1000.00	5	3456	937	2519	0	0	0	2988	0	0	0
6	年間在庫保管費率	I	10.00%	6	2519	852	1667	6000	0	6000	2093	0	1	0
7	発注費用 (1回当り)	C	10000.00	7	1667	404	1263	0	0	6000	1465	0	0	0
8	年間需要量	D	256920.00	8	1263	779	6484	0	6000	0	3874	0	0	0
9	期当りの需要量の標準偏差	sd	142.73	9	6484	869	5615	0	0	0	6050	0	0	0
10	期当りの需要量の平均	ad	713.67	10	5615	582	5033	0	0	0	5324	0	0	0
11	納入リードタイム	L	2.00	11	5033	964	4069	0	0	0	4551	0	0	0
12	サービス率を表す信頼係数	θ	1.96	12	4069	806	3263	0	0	0	3666	0	0	0
13	初期在庫量	I	6000.00	13	3263	827	2436	0	0	0	2850	0	0	0
14				14	2436	770	1666	6000	0	6000	2051	0	1	0
15				15	1666	798	858	0	0	6000	1257	0	0	0
16				16	858	662	6206	0	6000	0	3537	0	0	0
17	理論値 (Theoretical Value)			17	6206	667	5539	0	0	0	5873	0	0	0
18	経済的注文量	EOQ	7168.26	18	5539	677	4862	0	0	0	5201	0	0	0
19	安全在庫量	SA	395.64	19	4862	483	4379	0	0	0	4621	0	0	0
20	発注点	ss	1822.98	20	4379	707	3672	0	0	0	4026	0	0	0
21	年間発注回数	n	35.84	21	3672	908	2764	0	0	0	3218	0	0	0
22	発注間隔	TQ	10.18	22	2764	812	1952	0	0	0	2358	0	0	0
23	年間総変動費用	U	716826.34	23	1952	895	1067	6000	0	6000	1510	0	1	0
24				24	1067	608	459	0	0	6000	753	0	0	0
25				25	459	861	5598	0	6000	0	3029	0	0	0
26				26	5598	677	4921	0	0	0	5260	0	0	0
27				27	4921	870	4051	0	0	0	4486	0	0	0
28				28	4051	624	3427	0	0	0	3739	0	0	0
29				29	3427	647	2780	0	0	0	3104	0	0	0
30				30	2780	510	2270	0	0	0	2525	0	0	0
31				31	2270	549	1721	6000	0	6000	1996	0	1	0
32				32	1721	671	1050	0	0	6000	1386	0	0	0
33				33	1050	511	6539	0	6000	0	3795	0	0	0
34				34	6539	543	5996	0	0	0	6268	0	0	0
35				35	5996	674	5322	0	0	0	5659	0	0	0
36				36	5322	639	4683	0	0	0	5003	0	0	0
37				37	4683	695	3988	0	0	0	4336	0	0	0

図 6 Excel によるシミュレーション結果

qek : 期末の手持ち在庫量
 qq : 需要量のプロット変数
 qrk : 発注残
 rk : 入庫量

4.2 モデルの実行手順

以下の手順で、アニメーションを実行する。

- [Step1] エンティティを生成する。1期(日)に1個のエンティティが生成される。
- [Step2] 実行されたExcelファイルを読み込む。
- [Step3] プロットに表示する在庫量(qq)と0を表示するプロット変数(line)を割り付ける。
- [Step4] 発注回数と品切れ回数をカウントする。
- [Step5] エンティティを破棄する。

モデルの詳細を図7にまとめて示す。図中、上側のブロック線図はプログラムのモジュール表示である。

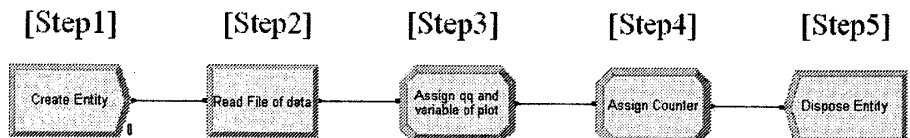
4.3 モジュールの詳細

今回は、前項 [Step2] のファイルの読み込みと、[Step3] のプロット表示について、詳しく説明する。

(1) 外部ファイルからの読み込みと書出し

Arenaでは、ReadWriteモジュールによって、外部ソースからファイルを読み込んだり書き込んだりすることができる。読み込みの場合、Readオプションによって、外部ファイルから情報を読み込んだり、あるいはキーボードから値を入力して、属性や変数に値を割り付ける。外部ファイルの読み込みの設定に必要なReadWriteモジュールとFileデータモジュールを図8に示す。

モデルを作成する前に、読み込まれるデータのファイルを作成することが必要である。入力ファイルには、メモ帳、ワードパット、Excel、Accessなどで作成されたものが用いられる。ここでは、Excelシミュレ



モデルのモジュール入力内容

[Step1] エンティティの生成

Create モジュール

Name	Create Entity
Time Between Arrivals	
Type	Constant
Value	24
Units	Hours

[Step2] データの読み込み

ReadWrite モジュール

Name	Read File of Data
Type	Read from File
Arena File Name	Data File

Assignments	Type	Variable
		kk

Assignments	Type	Variable Name
1	Variable	kk
2	Variable	qbk
3	Variable	dk
4	Variable	qek
5	Variable	prk
6	Variable	rk
7	Variable	qrk
8	Variable	A1
9	Variable	A2
10	Variable	A3
11	Variable	A4

[Step3] 期首在庫量と期末在庫量の割付とプロット変数の設定 (qq=qbk, line=0, qq=qek)

Assign モジュール

Name	Assign qq and variable of plot
Assignments	
Type	Variable
Variable Name	qq
New Value	qbk

Assignments	Type	Variable Name	New Value
1	Variable	qq	qbk
2	Variable	line	0
3	Variable	qq	qek

[Step4] 発注回数、品切れ回数の増加 (OC=OC+A3, SC=SC+A4)

Assign モジュール

Name	Assign Counter
Assignments	
Type	Variable
Variable Name	OC
New Value	OC+A3

Assignments	Type	Variable Name	New Value
1	Variable	OC	OC+A3
2	Variable	SC	SC+A4

[Step5] 終了

Dispose モジュール

Name	Dispose Entity
------	----------------

データモジュールの設定内容

File データモジュール

Name	Data File
Access Type	Microsoft Excel (*.xls)
Operating System File Name	FOQSmodel.xls

Recordsets	
Recordset Name	Recordset 1
Named Range	FOQSDATA

図7 アニメーション・モデルの詳細

ーション・モデルの実行によって作成されたデータのファイル (FOQSmmodel.xls) を読み込む。データが読み込まれるセルには、名前を定義しておく必要がある。このモデルでは、VBA プログラムの実行時に、作成された表のセルに “FOQSDATA” と名前を定義している。

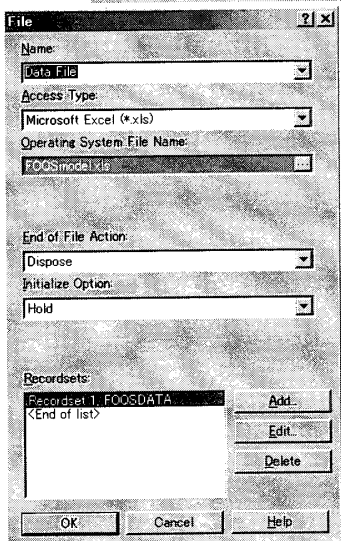
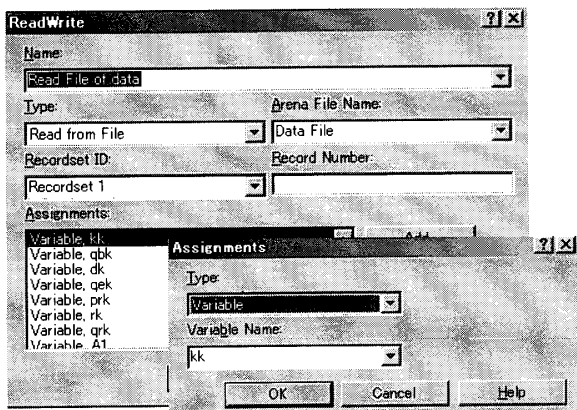


図 8 ReadWrite モジュールと File データモジュール

(2) プロットの設定

プロットの設定は、Animate ツールバーの Plot ボタンを用いて設定する (図 9)。モデルでは、日々変動する手持ち在庫量と 0 の線を表示させる。Expression には、プロット表示したい変数を追加する (qq: 在庫量, line: グラフの 0 を表示するための変数)。Add... をクリックし、Plot Expression ウィンドウを開く。Expression には、プロット変数を入力し、

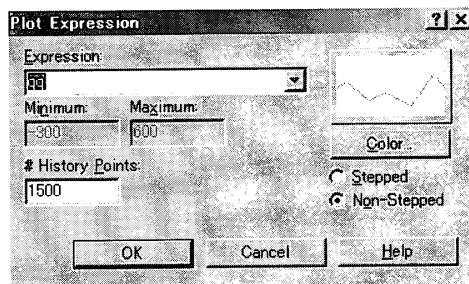
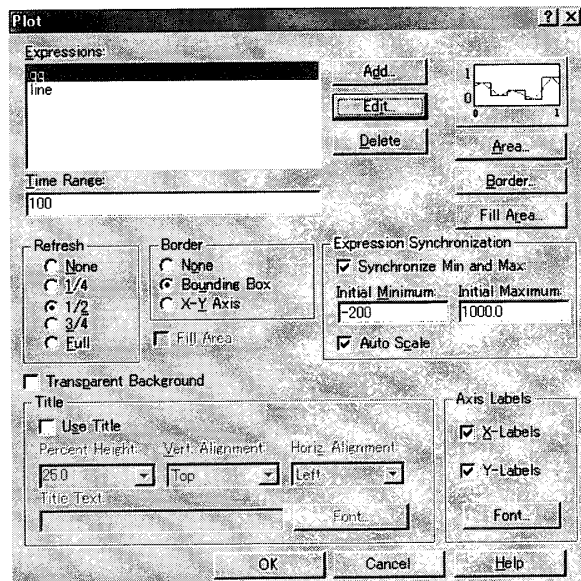


図 9 Plot および Plot Expression のダイアログ

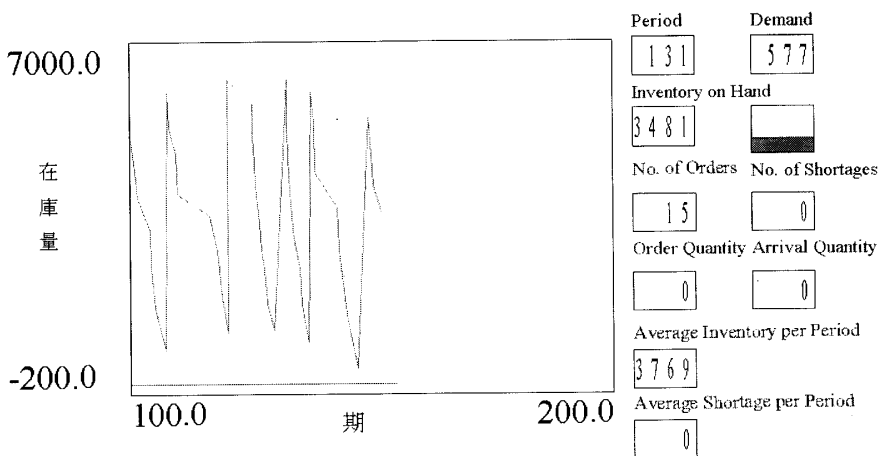


図 10 定量発注方式のシミュレーション・アニメーション・モデルの実行の様子

Minimum, Maximum には, プロット表示される最小値-200と最大値1000を入力する. #History Points には, 表示されるプロット数として1500を入力し, OK をクリックしてウィンドウを閉じる. Time Range には, プロットで表示したい時間帯を設定する. この例では, 時間単位を Day として, 100 を入力する.

4.4 アニメーションの実行

Excel シミュレーション・モデルの実行後に, 節4で述べたモデルを引き続き実行することにより, シミュレーション結果をダイナミックに表示することができる. 実行の様子を図10に示す. 図中, 右側の数字等は在庫量などの管理指標の表示である.

5. おわりに

今回は定量発注方式を取り上げて述べたが, 在庫量の調査が一定間隔で行われる場合には, 定期発注方式となる. 次回はこの方式について検討することにし,

他のアニメーション機能についても, 詳しく述べることにする.

プログラムおよび実行の様子を下記 URL に掲示するので, 本稿に関する内容の詳細については参考ないし照会してほしい.

<http://www.stlab.soec.nagoya-u.ac.jp/>

E-mail: takakuwa@soec.nagoya-u.ac.jp

参考文献

- [1] 春日井博: “総合在庫管理システムの設計”, 日本経営出版会, 1971.
- [2] 水野幸男: “在庫管理入門”, 日科技連, 1974.
- [3] 人見勝人: “新・生産管理工学”, コロナ社, 1997.
- [4] E. Naddor: *Inventory Systems*, John Wiley & Sons, 1966.
- [5] W. D. Kelton, R. P. Sadowski, and D. A. Sadowski: *Simulation with Arena*, 2nd ed., McGraw-Hill, 2001 (高桑宗右エ門監訳: “シミュレーション—Arena を活用した総合的アプローチ” (第2版), コロナ社, 2002).