[お知らせ]

「STIC 発注方式」の改訂は Version5.6 をもって終了といたします。以降は、
「在庫流動管理」［基礎編その1］
「在庫流動管理」［基礎編その2］
および、これらの続編、関連文献
に引き継ぎ、在庫管理の理論体系の完成度を高めてまいります。

2020 年　盛夏
佐々木　俊雄

在庫基準から需要基準へ

STIC 発注方式

Based on The Law of **St**reaming **I**nventory's **C**haracteristics

サプライ・チェーン・マネジメントへの展開を見据えて

― 基礎編 ―

Version 5.6

DPM 研究舎
佐々木俊雄

― 目次 ―

第 1 章　背景と概要

1.1　在庫管理はこのままでいいのか

19 世紀後半から 20 世紀初め、大量生産が定着し始めた頃は、市場はおおむね売り手市場であった。製品の多くはすぐに売れ、在庫管理の必要性はあまりない。悩みの種は生産ラインの材料切れ。生産者は自ずと、資材の在庫管理に関心が向かう。そのような状況下で現在の在庫管理の理論や方法が形成され始めたと考えられる。

20 世紀半ばを過ぎるころから、製品やサービスの多様化が目立つようになった。市場は徐々に買手市場に移行する。生産の分業・分社化が進み、規模も拡大し、原材料、部品、半製品そして完成品の在庫量も増加の一途をたどる。生産・物流のあらゆるところで在庫管理の必要性は高まっていった。

スーパーマーケットの出現は販売・流通に革命的進歩をもたらした。それをヒントにかんばん方式が考案され、生産側の在庫管理のレベルも向上していった。IT 技術の進歩は、規模の拡大とともに複雑化し続けるサプライチェーンを支え、今も進化し続けている。

在庫管理とは、簡単に言えば、欠品率の最小化と保有在庫量の最少化とのせめぎ合いである。欠品を少なくしようとすれば在庫は増え、在庫を少なくしようとすれば欠品が増える。保有在庫に目が向き、その適正化を志向し、そこに管理の基準を置くようになるのは自然の流れ。補充発注のタイミングを目前の在庫量を基準とするのもその一例であろう。

在庫管理ではこれまでも、様々な工夫、改良が続けられてきた。そのうちのいくつかを挙げれば、需要予測の精度向上、発注タイミングの工夫、最大在庫量の制限、間欠需要への対応、顧客リードタイム（受注から納入までの時間）がある場合、そして究極の発注方式だとされる適時適量発注（不定期不定量発注）方式などである。

にもかかわらず、今尚、過剰在庫と欠品の問題は解消されたとは言い難い。いくつもの疑問がいまだ漂ったままである。思いつくまま挙げてみよう。

- ✓ 需要（受注量）を正しく捉えていないのではないか
  受注量は受注件数と受注 1 件ごとの受注量（以下、量/件）からなる。例えば、ある商品の月

間の受注件数の平均が 10 件、量/件の平均が 20 個の場合とそれぞれ 20 件、10 個の場合では、受注量の平均は同じでもバラツキの程度は異なる。受注件数は、ある時間間隔で到着する注文を別の時間間隔内に何件の注文があるかを計測するのに対し、量/件は受注案件ごとに受注する数量である。統計的な性質は全く異なる。受注件数と量/件とを識別することなしに受注量を正しく捉えることはできない。現在の在庫理論で、受注件数と量/件とを識別している形跡はない。

- ✓ 不定期不定量発注は、「場当り的発注」だという見解と「理想的」だとという見解が混在するのはなぜか。
- ✓ 不定期不定量発注をきちんと行うためには、膨大な情報収集と計算が必要だとする根拠はどこにあるのか。
- ✓ 定量不定期発注は大雑把で、単価の安い商品に限定されるとする理由はなにか。
- ✓ 適正在庫量を計算式で求めると過大な数字が出てきたり、欠品が頻発したりで当てにならないという意見が多い。なぜか。
- ✓ 定期発注の発注量の決め方で、発注間隔が短くても毎回、需要予測をして発注量を決める必要はあるのか。
- ✓ 間欠需要での需要量を、注文のない日を除いて計算するのはなぜか。

他にも不合理な問題は多々あるに違いない。このような問題に対する専門家、コンサルタント諸氏の説明やコメントも輪をかけて不可解なものが多い。

問題の本質は、端的に言えば、在庫管理理論に欠陥があるためではないのか。原点に立ち戻って考え直す時である。

長きにわたり積み上げられてきた在庫理論への挑戦は、そこに無用な混乱をもたらす愚行なのかもしれない。しかし、今の在庫理論が正しいのだと妄信することの方が、救いようのない愚考なのではないのか。一旦すべてをリセットし、原理原則をたどりながら新たな在庫管理理論の構築を試みることに迷ういとまはない。

1.2　在庫基準から需要基準への転換

新たな在庫管理理論の構築を試みるに当たり、先に挙げた疑問の背後に潜む、中核的な前提条件に言及しないわけにはいかない。それが、現在の在庫理論の形成に大きな影響を及ぼしたのではないか、と考えられるからである。

材料がなければ生産はできない。製品がなければ売ることはできない。多すぎれば資金の無駄となる。在庫管理の狙いは、在庫量そのものを適正に管理することであった。

在庫は先々の需要に対する備えでもある。どれだけの在庫を備え、いつ、いくら補充発注するかを決める上で、需要予測は欠かせない。しかし予測は概ねはずれる。

管理には基準が必要である。不安定な需要予測値は基準とはなりにくい。必然的に、手元の在庫に管理基準の役割を期待することになる。その基準に需要予測を加味し、発注点方式や適正在庫論が形成されてきた。このように、在庫管理の理論や方法論は、眼前にある在庫そのものに注目し、展開されてきたといえるのではないか。

在庫そのものを中心とした考え方を在庫基準と呼ぼう。詳細な分析は割愛するが、現在の在庫管理が抱える幾多の問題をたどっていけば、その多くが在庫基準の前提にたどり着く。

買い手市場に変移して久しい。在庫の本質的な役割は、市場の需要を満たすこと。であるならば、在庫管理とて、いつまでも目の前の在庫を中心に考えているだけでいいのか。在庫に隣接する発注残と需要の関係を俯瞰し、需要に追従する在庫循環を包括する領域まで視野を広げなければならない。在庫循環の枠で需要を捉え、需要に追従する仕組みを構築するためには、在庫基準から需要基準への転換が必要である。これが新たな在庫管理論を構築する上での重要な前提条件である。

1.3　需要と在庫のリンケージ

初めに、在庫管理を構成する主要素とその構造を明らかにしたい。すでに疑問を呈したように、受注量の構成要素を受注件数と量/件に分けなければならない。変動に対して、受注件数と量/件はまったく異なった動きをするのである。両者の識別なくして、在庫の動きに大きな影響を与える需要変動を正しく理解することは困難である。

受注し出荷したときに、その量を補充発注する。需要を基準とする在庫補充のメカニズムは極めて簡単である。しかし、管理の枠組みは広くしなければならない。在庫そのものだけではなく、在庫→出荷→補充発注→納入→入庫の循環を包括的に捉えるのである。循環するインベントリーは具体的には在庫と発注残と発注待ち等で構成される。それを**流動インベントリー**(**St**reaming **I**nventory；以下 **STI**)と呼ぶことにする。

市場（需要）と倉庫（在庫管理機能）とを動的にリンクして、インターフェースとしての役割を担うのが STI だ。在庫をいくら保持し、いつ、いくつ補充発注するか等の指南情報は STI の構造に隠されている。その構造を論理的に記述する数理モデルを導出した。在庫をいくら保持するかは**流動インベントリーの大きさ**(**S**ize of **STI**；**SSTI**)でわかる。

受注頻度が高ければその都度、補充発注することは煩雑で、実用的ではない。一定時間毎にまとめて、あるいは一定量にまとめて補充発注することになる。前者は定期不定量発注であり、後者は定量不定期発注である。

受注件数と量/件を分けて需要量を捉えることにより、新たな発注方法が可能となる。一定の受注件数でまとめて補充発注する方法である。定件発注と呼ぶことにする。一定件数でまとめれば、受注間隔が変動するので、補充発注間隔は定まらない。受注案件ごとの量/件も変動する。従って、定件発注は不定期不定量発注となる。いや、これこそは、適時適量発注と呼んでもいい。

需要基準の在庫管理の特徴は STI の性質に集約される。その性質を **STIC の定理**（The Law of **St**reaming **I**nventory’s **C**haracteristics）と名づけた。STIC の定理は、物理法則が移動や回転に対して対称性があるように、「定量」や「定期」、「定件」という条件が付いてもその原理は崩れない。その定理をベースした **STIC 発注方式**は「定量」「定期」「定件」に共通で、より広い普遍性を持つことになる。

かんばん方式はトヨタ生産方式に特化しているようにみられているが、STIC の定理で捉えなおせば、もっと広く応用できることが分かる。「定量」、「定期」、「定件」の壁がなくなり、接続性が高まることも STIC 発注方式の利点である。生産ラインの工程仕掛を STI として取り込むこともできる。それによって、生産ラインの管理と仕掛・在庫の管理が一体化し、さらには、生産単位ごとの優先順を制御することによって、需要に自動追従する生産管理の仕組みができあがる[1]。

資材倉庫、中間仕掛倉庫、半製品倉庫、生産ライン、完成品倉庫、地域倉庫、小売店、、、等々のサプライチェーンのあらゆるリンクで、STIC 発注方式は共通で汎用性のあるインターフェースとなる。

第 2 章　需要の平均、分散、分布形状と構成要素

検討する在庫管理の基本モデルを図 2-1 に示す。顧客からの注文に応じて在庫から出荷し、調達先に補充発注する。顧客からの需要量を予測し、どの程度の在庫を保持し、どのように補充すれば欠品しないか、次の 3 つの主要事項にまとめてみた。

✧　需要（受注量）；これまでの受注量と将来の需要はどのぐらいあるか。

[1]動的生産管理（Dynamic Production Management ; DPM）における見込み生産

- ✧　在庫　　　　　；どれだけの在庫を保持しておかなければならないか。
- ✧　補充　　　　　；いつ、いくつ、補充発注をしなければならないか。

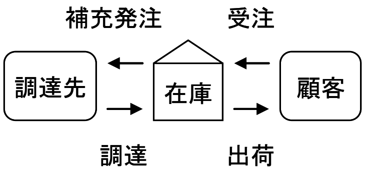


図 2-1　在庫管理基本モデル

この 3 項目は、互いに密接な関係にある。在庫理論たるには、これらの三つ巴的 3 項目間の関係を正しく記述しなければならない。

2.1　需要（受注量）の平均と分散

新たな在庫管理理論を体系づけるパラダイムは需要基準である。需要をできるだけ正確に、体系的に捉えることが重要性となる。需要は一般的に変動し、ばらつく。バラツキのある量は平均と分散（あるいは標準偏差）で捉えると便利であることは周知の通り。しかし、在庫管理理論を体系化するためには、それだけでは不十分で、バラツキの分布形状も考慮しなければならない。平均と分散が同じでも分布形状の違いにより、期待する欠品率や在庫保持量が異なってくるからである。

はじめに、需要を平均と分散で捉える方法を検討し、その後に分布形状の特徴を加味して、在庫管理理論を支えるに足りる普遍性のある数式モデルを導き出したい。

先ず、需要の平均とバラツキについて考えてみる。需要を具体的に捉えたものが受注量 D である。D を構成する要素は次の4つ。

- 受注間隔；Ti
- データ集計時間；T
- 受注１件当たりの受注量（量/件）；Q
- T での受注件数；N　（N=T/Ti　の整数）

基本要素は Ti、T、Q の3つであるが、実際は Ti の代わりに N を使う場合が多く、T、Q、N の3つの要素で D を捉えるのが実用的である。

この3つはどれも変動しうる。D　を実用的なデータとするためには何らかの基準があると便利である。ここでは、T を一定とし検討を進める。この3要素の関係を図　2-2 に示す。Q11、Q12、、、はそれぞれ 1 件の注文の受注量（量/件）を表す。最初の T 間に Q11 と Q12 の注文が来て受注件数

は 2 件（N1）、受注量は D1（D1=Q11+Q12）である。次の T 間には Q21、Q22、Q23 の3件の注文が来て受注量は D2（D2=Q21+Q22+Q23）である。Ti と Q はランダムに変動する。

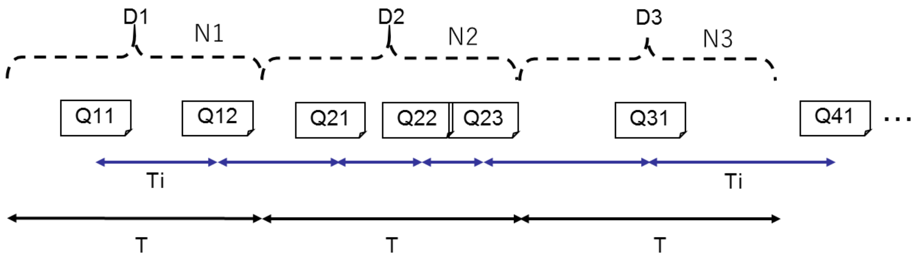


図 2-2　受注する注文の構造

表 2-1 は集計時間 T での受注量 D がその間の受注件数 N と 1 件当りの受注量（量/件）Q で構成されることを示している（受注間隔 Ti は表には表れない）。

集計時間での受注数量	集計時間での受注件数	受注案件ごと受注数量内訳					
D	N	Q1	Q2	Q3	・・・	Qn	・・・
D1	N1	Q11	Q12	Q13	・・・	Q1n	・・・
D2	N2	Q21	Q22	Q23	・・・	Q2n	・・・
D3	N3	Q31	Q32	Q33	・・・	Q3n	・・・
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
Dm	Nm	Qm1	Qm2	Qm3	・・・	Qmn	・・・
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	

表 2-1 集計時間 T での受注量 D の構成要素

先ず、集計時間での受注件数をn、データ数を m とすると、D の平均 $\overline{\mathrm{D}}$ は次のようになる。

$$\mathrm{Dtotal} = \sum \mathrm{Dm} = \mathrm{Qtotal} = \sum\sum \mathrm{Qmn}$$

$$\overline{\mathrm{Q}} = \frac{\mathrm{Qtotal}}{\sum \mathrm{Nm}} = \frac{\sum\sum \mathrm{Qmn}}{\sum \mathrm{Nm}}$$

$$\overline{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{Dtotal}}{\mathrm{m}} = \frac{\sum\sum \mathrm{Qmn}}{\mathrm{m}} = \frac{1}{\mathrm{m}} \cdot \overline{\mathrm{Q}} \cdot \sum \mathrm{Nm} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{N}}$$

次に D の分散 Vd はどうなるかをみてみる。D は Q と N の2つの確率変数の積で求められることから、2つの確率変数の積の分散を分散の公式を使って求めてみる。

X の期待値を　E(X)、X^2　の期待値を　$\mathrm{E}(\mathrm{X}^2)$とすれば、確率変数 X の分散 V(X)は次の式で表される。

$V(X) = E(X^2) - [E(X)]^2$　---式（2-1）
確率変数 X と確率変数 Y との積 X･Y の期待値 E(X･Y)は、共分散をゼロ（X、Y は互いに独立）とすると、以下の式となる。
E(XY)=E(X)E(Y)　---式（2-2）

X･Y の分散 V(XY) は式(2-1)および 式(2-2)を適用して、次のようになる。
$V(XY) = E(X^2)E(Y^2) - [E(X)]^2[E(Y)]^2$　-----式(2-3)
式(2-1)から、
$E(X^2) = V(X) + [E(X)]^2$ および $E(Y^2) = V(Y) + [E(Y)]^2$
となるので、式(2-3)に代入して、
$V(XY) = \{V(X) + [E(X)]^2\}\{V(Y) + [E(Y)]^2\} - [E(X)]^2[E(Y)]^2$
となる。式を展開して、
$V(XY) = V(X)V(Y) + V(X)[E(Y)]^2 + V(Y)[E(X)]^2 + [E(X)]^2[E(Y)]^2 - [E(X)]^2[E(Y)]^2$
整形して、
$V(XY) = [E(Y)]^2V(X) + [E(X)]^2V(Y) + V(X)V(Y)$
となる。

V(XY)は、X の分散成分、Y の分散成分、X･Y の分散成分を合算して求められる。まとめると表 2-2 のようになる。

	Y	Yの分散成分
X	X・Y	$[E(X)]^2 \cdot V(Y)$
Xの分散成分	$[E(Y)]^2 \cdot V(X)$	X・Yの分散成分 $V(X) \cdot V(Y)$

表 2-2 2つの確率変数の積の分散

V(XY)の分散式を応用して、N と Q の積で計算できる D の分散を求めてみる。X を N に、Y を Q に置き換えてみよう。しかし、表 2-1 と表 2-2 を比較すると分かるように、N と Q は、X と Y のように対称ではない。この違いに留意しながら N の分散成分、Q の分散成分、Q･N の分散成分を求めてみる。

＜N の分散成分＞
D は N に N の属性である Q を乗じて得られる。これは X に Y を乗じたのと等価なので、D の分散 V(D)の N の分散成分は次式で表すことができる。
$[E(Q)]^2V(N)$

＜Q の分散成分＞

D は、次式のように、Q を N 回加算して得られる。

D=Q1+Q2+・・・+Qn　　－－－－－式(2-4)

式(2-4)で表される D の分散は、Q の分散成分となり、次式で表すことができる。

V(Q1)+V(Q2)+・・・V(Qn)

ここでは、V(Q1)=V(Q2)=・・・=V(Qn)=V(Q)

であるから、

V(Q11)+V(Q12)+・・・V(Q1n)=V(Q)N1

V(Q21)+V(Q22)+・・・V(Q2n)=V(Q)N2

⋮

V(Qm1)+V(Qm2)+・・・V(Qmn)=V(Q)Nm

まとめるとつぎのようになる。

V(Q)(N1+N2+・・・+Nm)/m=V(Q)E(N)

＜Q・N の分散成分＞

（Q の分散成分）D=Q1+Q2+・・・+Qn　　　N 個の Q を加算する

（N の分散成分） D=QN　　　　　　　　N に N の属性である Q を乗じる

算術計算では両者の値は同じとなるが、Q と N の分散成分間に相互対称な乗算関係がないので、Q・N の分散成分は生じない。

まとめると、V(D)は次のようになる。

$$\mathrm{V(D)} = [\mathrm{E(Q)}]^2\mathrm{V(N)} + \mathrm{E(N)V(Q)}$$

表 2-3 に D の分散成分をまとめた。

データ順	集計時間での受注数量	集計時間での受注件数	受注案件ごと受注数量内訳						
	D	N	Q1	Q2	Q3	・・・	Qn	・・・	Qの分散成分
1	D1	N1	Q11	Q12	Q13	・・・	Q1n	・・・	
2	D2	N2	Q21	Q22	Q23	・・・	Q2n	・・・	
3	D3	N3	Q31	Q32	Q33	・・・	Q3n	・・・	E(N)V(Q)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		
m	Dm	Nm	Qm1	Qm2	Qm3	・・・	Qmn	・・・	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		
		Nの分散成分			$[\mathrm{E(Q)}]^2\mathrm{V(N)}$				QNの分散成分 なし

表 2-3　D の分散成分のまとめ

$E(Q) = \overline{Q}$ 、 $E(N) = \overline{N}$ 、 V(N)=Vn、 V(Q)=Vq と表現を変更して、V(D)=Vd および D の平均$\overline{D}$は次のようになる。

$\overline{D} = \overline{Q} \cdot \overline{N}$ ----式(2-5)

$Vd = \overline{Q}^2 \cdot Vn + \overline{N} \cdot Vq$ ----式(2-6)

また、分布形状が正規分布であれば、安全係数をαとして、D の最大 Dmax は、次の式で表すことができる。

$Dmax = \overline{D} + \alpha \cdot \sqrt{Vd}$ ----式(2-7)

式(2-5)、式(2-6)、式(2-7)が受注量の平均と分散、最大を求める基本式である。

2.2 受注量の標準モデル分布形状

データ集計時間 T での受注件数の平均$\overline{N}$、その分散 Vn、量/件の平均$\overline{Q}$、その分散 Vq から受注量の平均$\overline{D}$とその分散 Vd を求める式を導き出した。この式を用いて、どの程度の在庫を保持し、いつ、いくつ、補充発注するかを決める。しかし、この式をそのような目的で利用するためには、受注量の分布形状が正規分布か、正規分布に近似していることが条件である。

もちろん、個々の分布形状に合う正規分布以外の分布モデルを選択して使うことは可能ではあるが、どの分布モデルが合うのかの判断、選定だけでも難解である。特殊な環境では可能かもしれないが、一般的ではない。

幸いにも、受注量はおおむね正規分布に近似することが経験的に知られている。とは言え、間欠需要や突発的な需要など、正規分布とはならない事例も散見されることを無視するわけにはいかない。

ここで、式(2-5)、式(2-6)、式(2-7)の受注量の基本式で求めた平均と分散を正規分布と仮定して在庫管理に利用した場合、実際の受注量の分布とどの程度のズレが生じるのか等について、事前に理解しておく必要がある。既知の統計理論を援用して検討してみる。

既述のように、受注量の構成要素は T 間の受注件数 N と量/件 Q である。もともと需要は時間の経過とともに受注という形で具体化するので、N を時発生データと呼んでおく。一方 Q は、受注案件ごとに様々な数量となるので、受注案件に属する属性データとみることができる。

時発生データ N と属性データ Q はどのような分布となるのか。一般にランダムに到着する来客数や受注件数 N のような時発性データはポアッソン分布によく合うことが知られている。一方、Q の

ような属性データは様々な分布形状となるが、正規分布することが多い。この知見を是として、つまり、N はポアッソン分布に、Q は正規分布に従うとして、在庫管理の視点からみた受注量 D の分布形状について、統計論的視点をベースに検討を行う。

2.3　エクセル関数を利用して受注件数の分布形状をみる

難解な統計論に深入りするの得策ではない。ここでは、身近にあるエクセルを利用することにする。エクセルで用意されているポアッソン分布と正規分布の関数を利用して、受注量の分布状態がどうなるかを調べてみる。使う関数は次の２つである。

ポアッソン分布関数；POISSON.DIST(イベント数、平均、関数形式)
正規分布関数；NORM.DIST(X、平均、標準偏差、関数形式)

基本的には、受注量 D は下記のように、ポアッソン分布する受注件数 N と正規分布する量/件 Q で表すことができる。例えば、$\overline{\mathrm{N}}$が 3 のとき、N が 0、1、2、3、、の確率は、エクセルの関数を使って、算出すると次のようになる。
N=0 の確率；POISSON.DIST(0,3,FALSE)=0.0498
N=1 の確率；POISSON.DIST(1,3,FALSE)=0.1494
N=2 の確率；POISSON.DIST(2,3,FALSE)=0.2240
N=3 の確率；POISSON.DIST(3,3,FALSE)=0.2240
・・・

次に、Q の分布を計算する。$\overline{\mathrm{Q}}$=5、Cq=0.2 とすると、標準偏差 Sq は、Q の変動係数を Cq とすると、$\mathrm{Sq}=\overline{\mathrm{Q}}\cdot\mathrm{Cq}$となるので、N が１件での D の分布（N=1 では Q=D）は、
D が 1 の確率；0.1494xNORM.DIST(1,5,5x0.2,FALSE)=0.000019989
D が 2 の確率；0.1494xNORM.DIST(2,5,5x0.2,FALSE)= 0.000661946
D が 3 の確率；0.1494xNORM.DIST(3,5,5x0.2,FALSE)= 0.008064156
・・・
となる。N が 2 件での D の分布は、$\overline{\mathrm{D}}=\overline{\mathrm{Q}}\cdot\mathrm{N}$、$\mathrm{Sq}=\overline{\mathrm{Q}}\cdot\mathrm{Cq}\cdot\sqrt{\mathrm{N}}$であるから、
D が 1 の確率；0.2240xNORM.DIST(1,5x2,5x0.2x$\sqrt{2}$,FALSE)= 1.01452E−10
D が 2 の確率；0.2240xNORM.DIST(2,5x2,5x0.2 x$\sqrt{2}$,FALSE)= 7.11233E−09
D が 3 の確率；0..2240xNORM.DIST(3,5x2,5x0.2 x$\sqrt{2}$,FALSE)= 3.02424E−07
・・・
同様にして N が 3、4、5、、、での D の確率を計算する。どこまで N を計算するかは、N の発生確率が実用上十分に小さくなれば、それ以降を省略してもかまわない。最後に
D が 1 の確率＝（N が 1 の確率）＋（N が 2 の確率）＋（N が 3 の確率）＋・・・

D が 2 の確率＝（N が 1 の確率）＋（N が 2 の確率）＋（N が 3 の確率）＋・・・

D が 3 の確率＝（N が 1 の確率）＋（N が 2 の確率）＋（N が 3 の確率）＋・・・

・・・

と集計して、D　の確率分布を求める。このようにして求めた分布を「標準モデル分布」と呼んでおく。

表 2-4 は D の確率分布をエクセルで求める一例である。

量/件の平均$\overline{Q}$	5
Qの変動係数Cq	0.2
受注件数平均$\overline{N}$	3

POISSON.DIST(N,$\overline{N}$, FALSE) x NORMDIST(D,$\overline{Q}\cdot$N, $\overline{Q}\cdot$Cq$\cdot\sqrt{N}$, FALSE)

受注件数N →	0	1	2	3	4	5	6	・		・・	n	合計
受注数量D												
0	0.04978707	2.2206E-07	8.7773E-13	2.6708E-18	6.4647E-24	1.2929E-29	2.1992E-35	0		0	2.9021E-83	0.00%
1		1.9989E-05	1.0145E-10	3.3553E-16	8.467E-22	1.7362E-27	3.0029E-33	0		0	4.156E-81	0.00%
2		0.00066195	7.1123E-09	3.0203E-14	8.6366E-20	1.9089E-25	3.4709E-31	0		0	5.5414E-79	0.07%
3		0.00806416	3.0242E-07	1.9481E-12	6.8609E-18	1.7184E-23	3.3959E-29	0		0	6.8792E-77	0.81%
4		0.03614104	7.7996E-06	9.0034E-11	4.2447E-16	1.2664E-21	2.8125E-27	0		0	7.9513E-75	3.61%
5		0.0595865	0.00012201	2.9815E-09	2.0452E-14	7.6417E-20	1.9717E-25	0		0	8.5569E-73	5.97%
6		0.03614104	0.00115757	7.0746E-08	7.6746E-13	3.7752E-18	1.1701E-23	0		0	8.5738E-71	3.73%
7		0.00806416	0.00666134	1.2028E-06	2.2428E-11	1.527E-16	5.8776E-22	0		0	7.9985E-69	1.47%
8		0.00066195	0.02325036	1.4653E-05	5.1047E-10	5.0566E-15	2.4992E-20	0	0		6.9474E-67	2.39%
9		1.9989E-05	0.04922101	0.00012791	9.0483E-09	1.371E-13	8.9955E-19	0	0		5.6185E-65	4.94%
10		2.2206E-07	0.06320103	0.00080005	1.2491E-07	3.0433E-12	2.7407E-17	0	0		4.2305E-63	6.40%
11		9.075E-10	0.04922101	0.00358558	1.3429E-06	5.5309E-11	7.0684E-16	0	0		2.9658E-61	5.28%
12		1.3644E-12	0.02325036	0.01151428	1.1244E-05	8.2298E-10	1.5431E-14	0	0		1.9359E-59	3.48%
13		7.5461E-16	0.00666134	0.02649408	7.3319E-05	1.0026E-08	2.8516E-13	0	0		1.1765E-57	3.32%
14		1.5354E-19	0.00115757	0.04368135	0.00037234	1E-07	4.4606E-12	0	0		6.6569E-56	4.52%
15		1.1493E-23	0.00012201	0.05160342	0.00147265	8.1662E-07	5.9064E-11	0	0		3.507E-54	5.32%
16		3.1647E-28	7.7996E-06	0.04368135	0.00453609	5.4599E-06	6.6202E-10	0	0		1.7202E-52	4.82%
[illegible]		[illegible]	3.0242E-07	0.02649408	0.01088151	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		7.8561E-51	3.74%

表 2-4　ポアッソン分布する N と正規分布する Q から D の分布を求める表の一例

この表を使って D の分布形状をみてみる。Q を 1、Cq を 0 とすると（0 にするとエラーとなるので 0.001 以下の数値を入れる）、D の分布は N の分布でもある。その一例を図 2-5 に示す。N の平均が 0.5、1、2、、、5 のときの N が 0、1、2、、、10 の発生確率を示している。例えば N の平均が 1 では N がゼロ（注文がない）の発生確率はおおよそ 37%、N が 1（注文が 1 件）の発生確率も同じく約 37%、N が 2 の確率が約 18%、、、となる。N は受注件数なのでプラスの整数値しかとらず、離散型の分布となる。N の平均値は小数値でも構わない。

N の分布の特徴は、

① N がゼロの発生確率がある（注文のないことがある）

② N が小さくなると分布形状は非対称となる

③ N が大きくなる（おおよそ N≧5）と分布形状は対称形となり、正規分布に似てくる

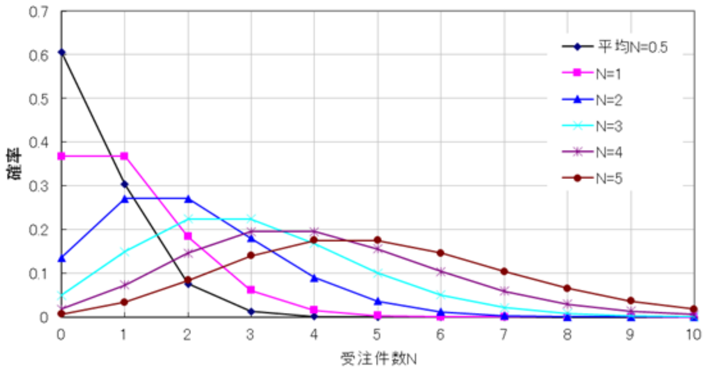


図 2-5 ポアッソン分布に従う受注件数 N の分布例

2.4 需要量の分布はどうなるか

前項で導出した受注量の式を使って安全係数 αを設定し、最大需要量を算出することができるのは受注量 D が正規分布に従う(近似する)ことであったが、受注件数 N の分布をみると N が 3～4 以下では正規分布に近似しているとはいいがたく、既述の受注量算出式は使えないのではないか、という懸念がでてくる。検討事項のひとつとして留保しておく。

次に、Q が 2 以上になると受注量の分布はどうなるか。N の平均が 1 の場合についてみてみる。図 2-6 は Q=1 のときの受注量 D の分布を棒グラフで示したもので、これは図 2-5 の N の平均 1 の分布を棒グラフにしたものと同じである。

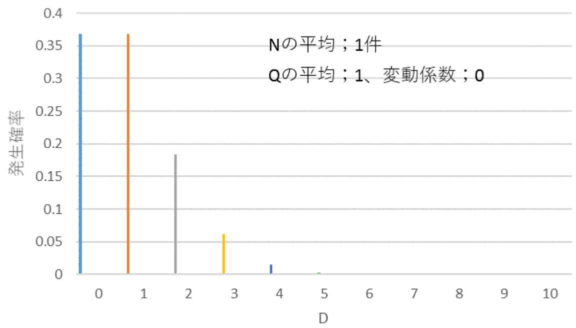


図 2-6　Q=1 の受注量 D の分布

図 2-7 は Q=5 のときの D の分布である。棒の位置が 5、10、15、、の位置になっている。Q=10 であれば棒の位置は 10、20、30、、の位置となる。つまり、棒が Q 倍の位置になる。

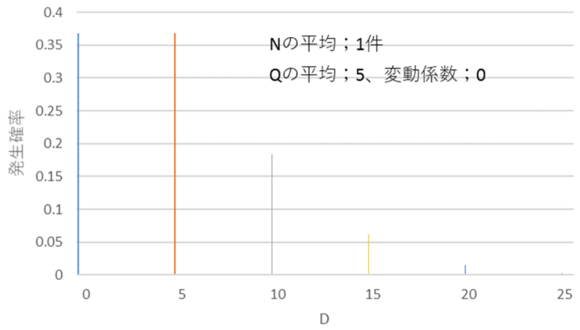


図 2-7　Q=5 のときの需要量 D の分布

図 2-8 は Q の平均が 5 で変動係数 0.2 の正規分布に従うときの D の分布である。図 2-7 では棒状であったものが山形のひろがりが出てくる。橙色の曲線は D のトータルで、エクセルの関数で計算した分布（標準モデル分布）、青色の曲線は式（2-5）、式（2-6）の受注量の基本式で計算した正規分布（近似正規分布）である。両者の分布形状にはかなりの違いがある。

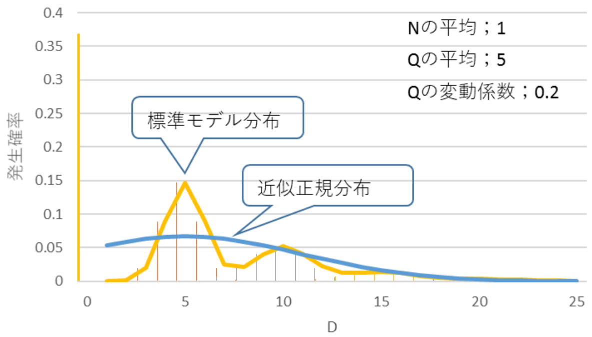


図 2-8　Q=5、その変動係数が 0.2 のときの D の分布（標準モデル分布）と近似正規分布

図 2-9 は N の平均を 3 としたときの D の標準モデル分布と近似正規分布の分布形状である。

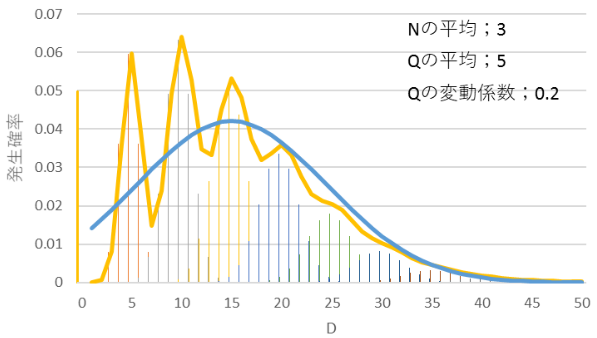


図 2-9　N の平均が 3 のとき

図 2-10 は N の平均を 5 にしたときの D の標準モデル分布と近似正規分布の分布形状である。

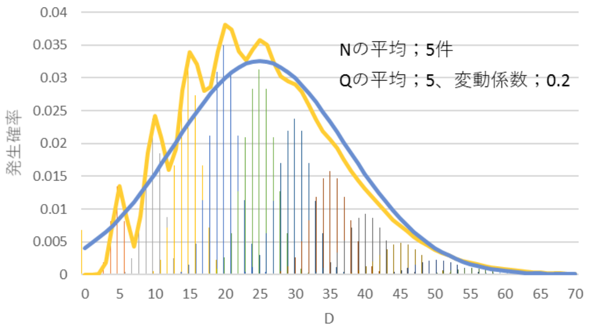


図 2-10 N の平均が 5 のとき

受注量 D の分布形状は受注件数 N が大きくなるに従い正規分布に近似してくるが、量/件 Q およびその変動係数によって分布形状が歪められる。（変動係数が小さい方が歪みは大きくなる傾向にある）

2.5 近似正規分布と標準モデル分布との差；分布のすそ野に注目して

在庫管理の視点から重要なポイントは、欠品率をある値以下にする必要在庫量を知ることである。欠品率は、例えば正規分布の標準偏差（σ）の 2σの位置だとすればその右側（すその側）の面積（確率）が 2σでのそれである（図 2-11 参照）。式で表せば、欠品率=1−累積確率、とも表せる。通常、欠品率は数%以下、標準偏差で言えば、2σ～3σ近辺である。近似正規分布を使うためには、この領域での標準モデル分布とのズレがどの程度あるかを知る必要がある。

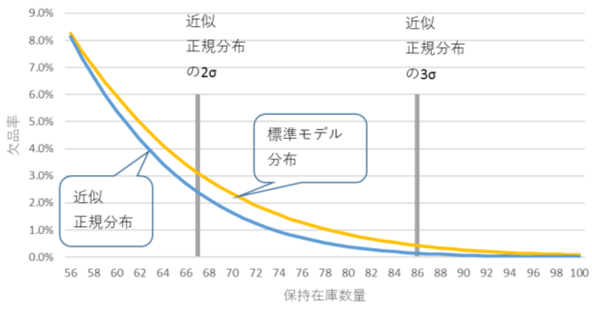


図 2-11 近似正規分布の 2σと 3σの位置と標準モデル分布

そこで、近似正規分布の 2σ～3σのときの欠品率と、標準モデル分布の欠品率を比較して、その差がどの程度かをみてみる。Q=10 でその変動係数を 0、0.1、0.2、0.3 のときの欠品率の差を調べてみた。近似正規分布の2σの位置で比較した場合の一例を図 2-12 に示す。図 2-13 は同じ条件で 3σの位置で比較した例である。

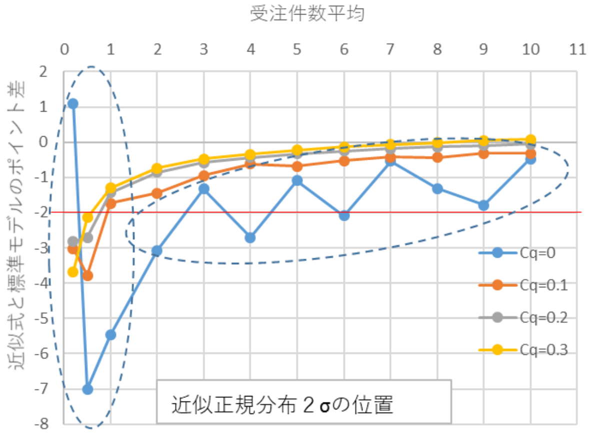


図 2-12　 Q=10、その変動係数 0～0.3 での近似正規分布と標準モデル分布のポイント差

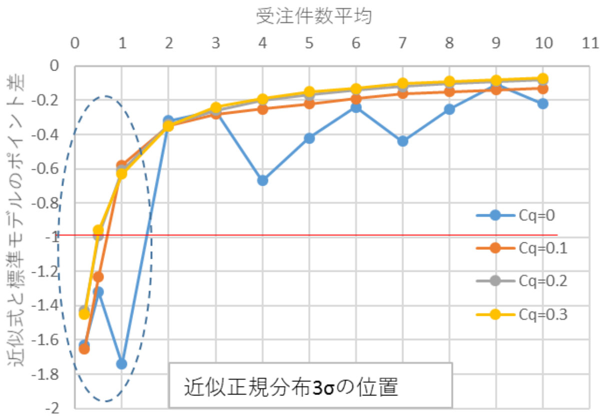


図 2-13　 Q=10、その変動係数 0～0.3 での近似正規分布と標準モデル分布のポイント差

特徴をまとめると、

① 受注件数平均 1 以下で差が大きくなる
② ３σより２σの位置での差が大きい
③ Q の変動係数 Cq=0（Q が一定）のとき、差が大きくまたそのバラツキが大きい
④ 全体的に近似式は小さい値である

このままでも、2～3 ポイントの差を許容できれば N̄ が 2 以上の領域で近似正規分布を使うことはできる。しかし、N̄が 1 以下では差が大きすぎるようである。

2.6 間欠需要の場合の補正方法

標準モデル分布と近似正規分布の差をみると N̄ が 3～4 付近から大きくなってる。これはポアッソン分布で N̄ が 4～5 以上で正規分布に近似する傾向と一致する。つまり、標準モデル分布と近似正規分布の差が大きくなるのは、ポアッソン分布と正規分布の違いに起因し、N̄ が 3～4 以下

である。と同時にそれは N がゼロとなる確率が高くなる領域でもある。

N がゼロとは、データ集計時間に受注がない場合であり、そのような需要パターンを間欠需要という。つまり、ザックリと言えば、間欠需要のとき標準モデル分布と近似正規分布の差が大きくなり、それを縮小するための補正が必要だ、ということである。実用的には受注がゼロの発生確率が 5%以下であれば、間欠需要ではないとみなしても大きな誤差にはならないであろう。

補正項は図 2-12 や図 2-13 と正負が逆のカーブが有効であろう。幾通りかの式が考えられるが、補正値を δとして、次の式を一例として挙げておく。

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \bar{N}^2 - \bar{N} \cdot \sqrt{\bar{N}^2 + 4}\right)$$

N が 0～6 に対する補正値 δは図 2-14 のようなカーブとなる。

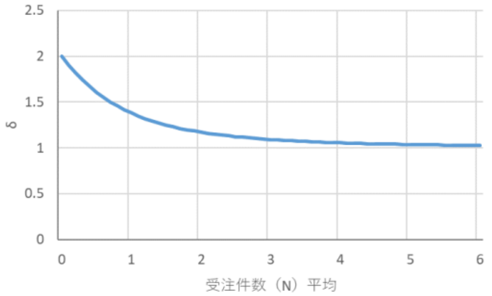


図 2-14　N に対する補正値 δのカーブ

δを基本式（2-7）に次のように加える。

$$\mathrm{Vd} = \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} \cdot \delta + \bar{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Vq}$$

補正を加えた式で算出した近似正規分布と標準モデル分布の差を図 2-14（2σの位置）と図 2-15（3σの位置）に示す。補正は有効であるといえる。

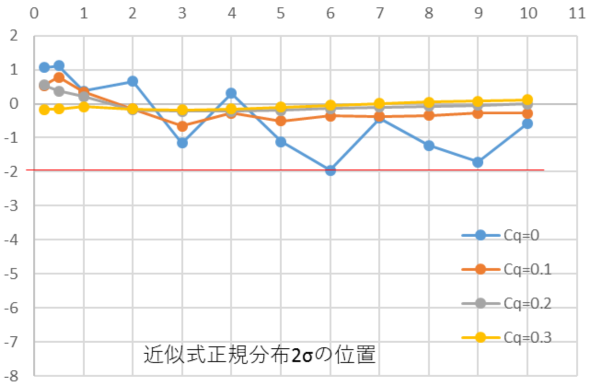


図 2-15　δで補正後の近似正規分布と標準モデル分布の差（2σの位置）

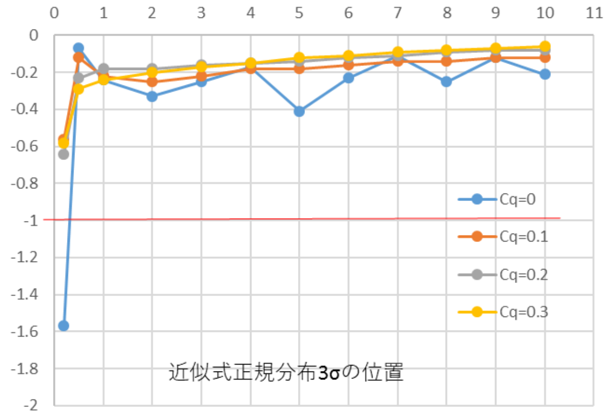


図 2-16　δで補正後の近似正規分布と標準モデル分布の差（3σの位置）

少し気になるところは、Q が一定（Cq=0）のとき、差が暴れることである。標準モデル分布の欠品率は階段状なのに対して近似正規分布のそれはなだらかな曲線であるためである。図 2-17 は Q が 10 一定のとき、N が 1 での標準モデル分布と近似正規分布の欠品率を比較した例である。

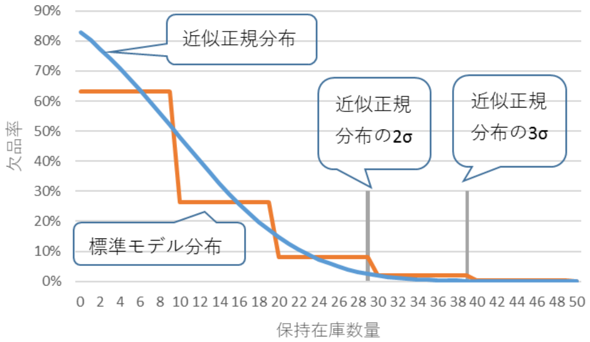


図 2-17　N の平均 1、Q が 10 で一定

補正項 δにより、近似正規分布と標準モデル分布との差は縮小するが、Q　が一定のときは補正項では補正しきれない。Q が一定のときは、受注量 D に対して欠品率は階段状になるので、その値を簡単に算出するエクセル表を作っておくと便利である。

一例を表 2-5 に示す。$\overline{\mathrm{N}}$と Q を入力すると欠品率に対して、受注量の下限と上限が計算される。
計算式は、
欠品率；　$1-\mathrm{POISSON.DIST}(\mathrm{N},\overline{\mathrm{N}},\mathrm{TRUE})$
D の下限；　Q x N
D の上限；　Q x (N+1) −1

量/件	平均受注件数	受注件数	欠品率	受注量D		
Q	$\bar{N}$	N	$1-\mathrm{POISSON}(N,\bar{N},\mathrm{TRUE})$	Q×N	～	Q×(N+1)−1
10	2			下限	～	上限
10	2	0	86.47%	0	～	9
10	2	1	59.40%	10	～	19
10	2	2	32.33%	20	～	29
10	2	3	14.29%	30	～	39
10	2	4	5.27%	40	～	49
10	2	5	1.66%	50	～	59
10	2	6	0.45%	60	～	69
10	2	7	0.11%	70	～	79
10	2	8	0.02%	80	～	89
10	2	9	0.00%	90	～	99
10	2	10	0.00%	100	～	109
10	2	11	0.00%	110	～	119
10	2	12	0.00%	120	～	129
10	2	13	0.00%	130	～	139
10	2	14	0.00%	140	～	149
10	2	15	0.00%	150	～	159
10	2	16	0.00%	160	～	169
10	2	17	0.00%	170	～	179
10	2	18	0.00%	180	～	189
10	2	19	0.00%	190	～	199
10	2	20	0.00%	200	～	209
10	2	21	0.00%	210	～	219
10	2	22	0.00%	220	～	229

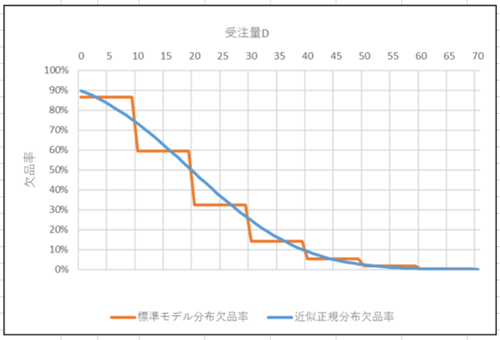


表 2-5　Q が一定のときの受注量 D に対する欠品率の算出表

平均受注件数$\bar{N}$が 2、量/件 Q が 10 で一定のとき、例えば、受注量 D が 40～49 の範囲は、受注件数 N が 4 で、その欠品率は 5.27%となる。在庫保持量側からみれば、流動インベントリー（在庫＋注残＋発注待ち）の大きさ（詳細は後述）が 40～49 であれば、欠品率は 5.27%となる。

2.7 受注件数がポアッソン分布ではない場合

受注件数はポアッソン分布、量/件は正規分布することを前提として需要量の標準モデル分布を検討してきた。図 2-2 で説明したように、データ集計時間 T の間に受注間隔 Ti で到着する注文が受注件数である。受注件数がポアッソン分布するとき、受注間隔は指数分布することがわかっている。指数分布はランダムに到着する注文の時間間隔の分布としても知られている。

ここで考慮しておきたいことは、受注間隔が指数分布ではないとき、受注件数の分布はどうなるか、である。例えば、発注元（顧客）が定期発注していれば、受注間隔にはある規則性が伴い指数分布ではなくなることが考えられる。

指数分布に規則性が加わる例として、待ち行列理論でよく使われるアーラン分布を使って検討してみる。アーラン分布は k 個の指数分布の和の分布である。k=1 のアーラン分布は指数分布である。受注間隔が一様分布する場合についても確認してみたい。図 2-18 に平均 10 の指数分布、アーラン分布、一様分布、正規分布の例を示す。

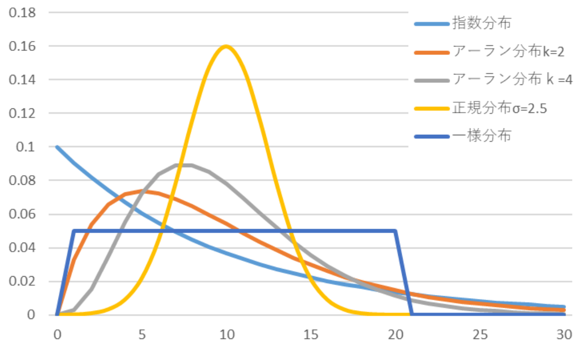


図 2-18　平均 10 の指数分布、アーラン分布、正規分布、一様分布

この中から、指数分布、k=2 のアーラン分布、一様分布を取り上げ、それぞれの受注件数の分布がどうなるか、シミュレーションで確かめた結果の一例を図 2-19 に示す。

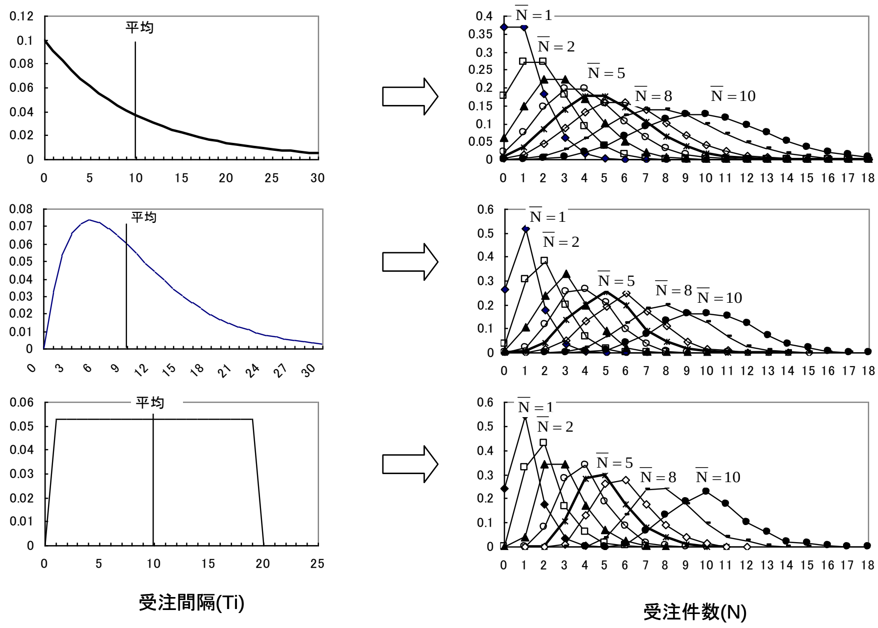


図 2-19　受注間隔 Ti の分布（上から指数分布、アーラン分布、一様分布）と夫々の受注件数 N の分布の一例、縦軸は確率

受注間隔が指数分布しない場合は受注件数の分布はポアッソン分布とはならないが、図 2-19 をみてわかるように、アーラン分布でも一様分布でも、$\bar{N}$が概ね 4～5 以上では正規分布に近似する。正規分布に近似する現象は、多くの場合、母集団がどのような分布であっても、それから無作為に抜き取られたサンプルの平均は、サンプルサイズを大きくしたとき、近似的に正規分布に従う、とする中心極限定理でも説明できる。

受注間隔が指数分布以外のアーラン分布、一様分布のときの受注件数の分布はポアッソン分布より分散が小さくなる。また、受注件数ゼロの確率も小さくなり、間欠性、受注件数の非対称性が緩和される。

近似正規分布と標準モデル分布とのズレを補正しなければならないのは、分布形状が非対称となるためであるが、非対称性が緩和されれば補正の必要もなくなるのではないか。

2.8 まとめ

ここまで、在庫管理論を構築するために、受注量（需要）をより簡単に、できるだけ正確に捉える方法を追求してきた。理論を構築するための礎的な部分でもあるため、普遍性も追求している。

これまでの結果をまとめると表 2-6 のようになる。受注件数のデータ（$\bar{\mathrm{N}}$、Vn）と量/件のデータ（$\bar{\mathrm{Q}}$、Vq）があるとする。先ず、間欠需要かどうかを判断する。間欠需要とは、データ集計時間に受注がない場合があるような需要パターンをいう。受注件数がゼロとなることがなければ間欠需要ではないので補正は必要ない。実用的には受注がゼロの発生確率が 5%以下であれば、間欠需要ではないとみなしても大きな誤差にはならないであろう。

間欠需要であればすべて補正する必要があるかというとそうではない。間欠需要であっても分布の対称性の崩れが小さければ補正する必要はない。その判断の目安として、次式を使う。

$$\frac{\sqrt{\bar{\mathrm{N}}}-\sqrt{\mathrm{Vn}}}{\bar{\mathrm{N}}}$$

値が 0.3 以上であれば補正の必要はないが、0.3 未満であれば補正が必要であると判断する。これは、ポアッソン分布に近ければ補正の必要があるが、そうでなければ補正の必要はないという考えである。

<table>
<tr><td colspan="3">間欠需要（受注件数ゼロの確率＞5%）</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">$\frac{\sqrt{\bar{\mathrm{N}}}-\sqrt{\mathrm{Vn}}}{\bar{\mathrm{N}}} \geq 0.3$</td><td colspan="2">$\frac{\sqrt{\bar{\mathrm{N}}}-\sqrt{\mathrm{Vn}}}{\bar{\mathrm{N}}} < 0.3$</td><td>受注件数ゼロ
の確率≦5%</td></tr>
<tr><td>$Cq \geq 0.05$</td><td>$Cq < 0.05$</td><td></td></tr>
<tr><td>補正なし</td><td>補正追加</td><td>欠品率・受注量計算</td><td>補正なし</td></tr>
</table>

表 2-6　補正追加の判断基準

補正方法は、Q が一定（変動係数 Cq<0.05 のとき一定とみなす）かどうかで2種類ある。一定であれば、欠品率と受注量を計算して階段状に変化する欠品率をみて補正する。Q が変動する（Cq≧0.05）場合は、補正値 δを加算して受注量の分散を計算する。

補正の狙いは欠品率の設定精度を上げるために、近似正規分布のすそ野と標準モデル分布のそれとの差を少なくするものである。従って、補正の範囲は、近似正規分布の 2σ以上の範囲であることに留意頂きたい。

$\mathrm{\bar{D}} = \mathrm{\bar{Q}} \cdot \mathrm{\bar{N}}$　　　　　　----式(2-5)

$\mathrm{Vd} = \mathrm{\bar{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} + \mathrm{\bar{N}} \cdot \mathrm{Vq}$　　----式(2-6)

間欠需要の場合は補正する。

$\mathrm{Vd} = \mathrm{\bar{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} \cdot \delta + \mathrm{\bar{N}} \cdot \mathrm{Vq}$　　----式(2-6δ)

補正値δは下記の式で算出する。

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \bar{N}^2 - \bar{N} \cdot \sqrt{\bar{N}^2 + 4}\right)$$

$\mathrm{Dmax} = \mathrm{\bar{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$　　　----式(2-7)

αは 2 以上を推奨

式(2-6)、式(2-6)、式(2-6δ)、式(2-7)を使って計算したときの標準モデルとのズレは±1 ポイント程度となり、実用上の問題はないものと考えられる。

付記)

式(2-5)および式(2-6)は、在庫補充のメカニズムをベースに導き出した需要の大きさを示す式である。これらの式は在庫管理における需要構造を示しており、在庫管理のしくみを直観的に把握するのに役立つ。

小売店で客の買上点数が必ず 1 個の商品があるとする。その商品の受注量の平均と分散は、式(2-5)、式(2-6)で $\bar{Q} = 1$、$Vq = 0$ と置き、

$\bar{D} = \bar{N}$

$Vd = Vn$

となる。つまり、受注量は受注件数の平均と分散によって決まり、需要構造の中核は受注件数であることを示している。

ランダムな注文の到着間隔は指数分布することが知られている。指数分布で到着する注文をある時間間隔で計測すれば、その件数はポアッソン分布する。ポアッソン分布は電話やインターネットのアクセス数の計算等に広く用いられ、特に珍しいものではない。しかし、在庫管理の分野では、受注件数がポアッソン分布に従うという説明には、あまりお目にかからない。在庫管理論が論理性を欠く要因のひとつではないか。

もちろん、すべての注文が指数分布し、従ってその件数はポアッソン分布する、というものではない。指数分布ほどのバラツキがない場合はアーラン分布や正規分布を用いることができる。その場合、注文件数がどのような分布となるか、数学的証明には至っていないようであるが、注文件数の分布を理解するのには役立つ。

1 件の注文で 1 個の注文ということもあるが、複数個の注文となるのが一般的である。量/件 Q が一定量（バラツキがゼロ）であれば、受注量は基礎となる受注件数の Q 倍となり、その平均は

$\bar{D} = Q \cdot \bar{N}$

となる。分散 Vd は Vn の Q^2 倍となり、

$Vd = Q^2 \cdot Vn$

となる。Q がバラツク場合は、受注量の平均は、

$\bar{D} = \bar{Q} \cdot \bar{N}$

となり、その分散は、Q^2 が $\bar{Q}^2$ となり、Q の分散 Vq の $\bar{N}$倍だけ受注量の分散が増えて、

$Vd = \bar{Q}^2 \cdot Vn + \bar{N} \cdot Vq$

となる。このように理解しておけば、在庫管理における需要構造を感覚的に理解しやすくなるのではないか。

2.9 受注量分散式の変形例

受注量の分散を表す式(2-6)を、利用環境で使いやすいように標準偏差や変動係数で置き換えることができる。受注件数 N の平均$\bar{\mathrm{N}}$、分散 Vn、標準偏差 Sn、変動係数 Cn の間には次の関係がある。

$\mathrm{Vn} = \mathrm{Sn}^2 = \bar{\mathrm{N}}^2 \cdot \mathrm{Cn}^2$

同様に、量/件 Q の平均$\bar{\mathrm{Q}}$、分散 Vq、標準偏差 Sq、変動係数 Cq の間には次の関係がある。

$\mathrm{Vq} = \mathrm{Sq}^2 = \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Cq}^2$

式（2-6）の Vn と Vq を置き換えと、次のようになる。

$\mathrm{Vd} = \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Sn}^2 + \bar{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Sq}^2$

$\mathrm{Vd} = \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \bar{\mathrm{N}}^2 \cdot \mathrm{Cn}^2 + \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \bar{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Cq}^2 = \bar{\mathrm{Q}}^2 \cdot \bar{\mathrm{N}} \cdot (\bar{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Cn}^2 + \mathrm{Cq}^2)$

状況に合わせて、使うことができる。

2.10 受注量は同じでも、、

現行の在庫管理論の脆弱性は、受注件数と量/件を識別しないで受注量を捉えることに起因する、

と言っても過言ではない。両者の識別は、これから展開する新しい在庫理論の構築に重要な意味を持つ。それをご理解いただくためには、全文を通読していただく必要があるが、ここでは両者の識別がどのような違いをもたらすのか、直観的に感じられる事例を紹介する。

集計時間での受注量 D の平均を 60 に固定すると、受注件数 N と量/件 Q の関係は図 2-20 に示すような双曲線となる。

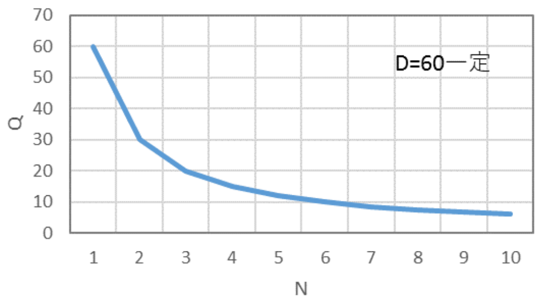


図 2-20
D が 60 一定のときの Q と N

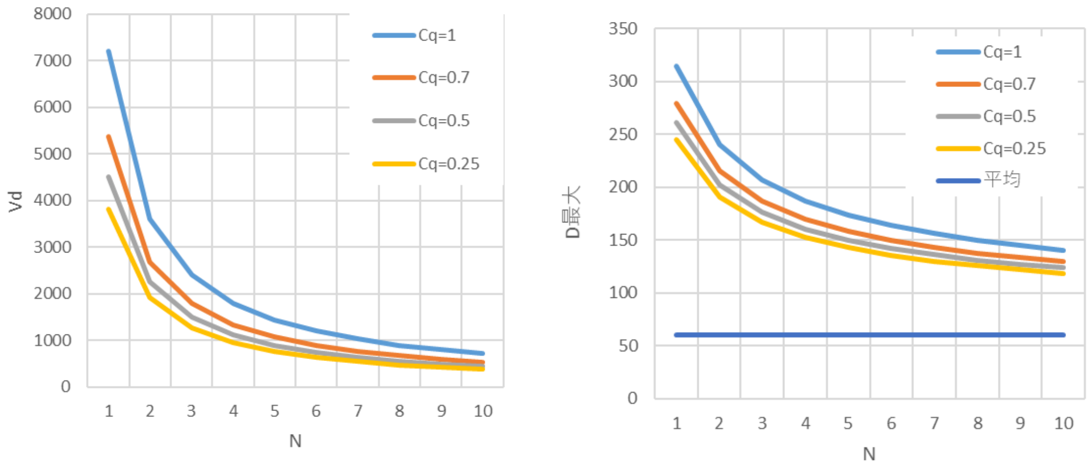


図 2-21　Cq=1、0.7、0.5、0.25 での Vd と N との関係（左）、D 最大と N との関係（右）

図 2-21 の左は、受注間隔が指数分布に従うとして、Cq を 1、0.7、0.5、0.25 のときの N に対する Vd の関係を示す。右は、N に対する D の最大値（3σ）の関係をしめす。

図 2-20、図 2-21 は、D の平均が同じでも N が小さくなると、Q が大きくなり、従って Vd、D の最大値も大きくなる。また、Cq が大きくなると Vd、D の最大値が大きくなる。N と Q を分けないとこのような関係はみえない。

多頻度配送が良いということが、これまでは定性的説明で終わっていたが、上記の例からわかるようにＮとＱを分けて捉えることで、定量的な説明が簡単にできるようになる。

ここでは、Ｎ と Ｑ を分離して捉える利点を簡単な事例で示すだけにしておくが、このことが在庫理論の整合性と汎用性（対称性）を飛躍的に改善していることについては、本ペーパ全体を通読して、ご理解頂ければ幸いである。

第 3 章　在庫管理の基本形

3.1　在庫管理の3主要事項

在庫管理の主要事項を再確認する。

- ✧　需要（受注量）；これまでの受注量と将来の需要はどのぐらいあるか。
- ✧　在庫　　　　　；どれだけの在庫を保持しておかなければならないか。
- ✧　補充　　　　　；いつ、いくつ、補充発注をしなければならないか。

この 3 項目は、互いに密接な関係にあり、個別に取り上げて説明しても的を射ない。時にはどれか一つに重点を置きながらも、同時並行的に取り扱う必要がある。

需要基準の在庫管理においては、需要（受注量）をより正確に捉えることは何にもまして重要である。そのために、事前に（第２章で）受注件数と量/件を別々に識別し、受注量を捉える方法を検討した。

次に、補充発注方法について考えてみよう。需要基準を前提条件とした補充発注とはどのような方法なのか。需要を受注と言い換えれば分かりやすい。

「受注し、出荷した分を直ちに補充発注する」

極めて単純な方法でありながら、最善の方法であることは、自明であろう。需要をトリガーとした即時発注である。「いつ」は「出荷したとき」、「いくつ」は「出荷した量」となる。これが補充発注の基本である。

需要、在庫保持、補充発注の関係をより具体的にみてみる。図 3-1 を参照いただきたい。出荷し

た分を補充発注して、調達先から納品され入庫される。その時間を納入リードタイムとする。発注案件は納入リードタイムの間、発注残（注残）の状態にある。納入リードタイムが補充発注の間隔より長ければ長いほど発注残の件数は多くなる。

欠品を起こさないためには、常に在庫がある状態を維持する必要がある。その条件は、

在庫量≧納入リードタイム間での受注量

となる。納入リードタイム間での受注量はばらつくので、欠品率を考慮して設定した最大受注量以上の在庫が必要である。これが在庫保持量である。

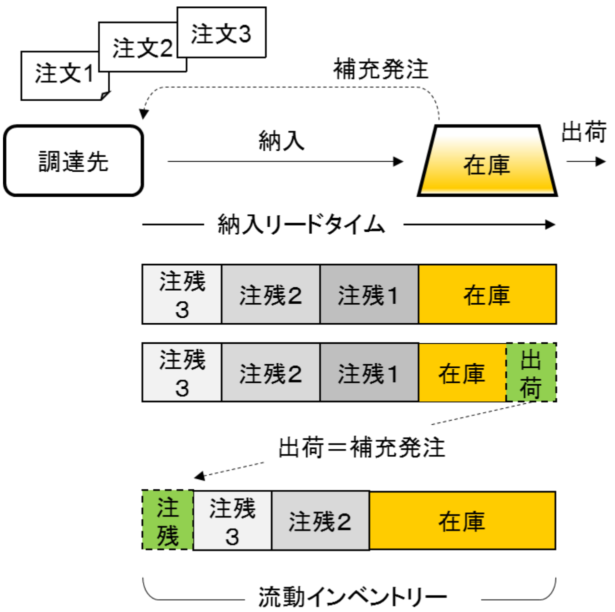


図 3-1　在庫補充の基本メカニズムと流動インベントリー

在庫保持量は最初に用意しておかなければならない在庫である。最初はすべてが在庫であるが、受注ー出荷ー補充発注ー入庫のサイクルが始まれば発注残と在庫の状態となって流動する。

出荷した分、在庫は減る。補充発注すると、在庫が減った分が発注残となって補われるので、在庫と発注残の合計は常に一定となる。この在庫と発注残を包括して**流動インベントリー**（**ST**reaming **I**nventory；**STI**）と呼ぶことにする。

3.2　流動インベントリーとは

在庫と発注残を包括した流動インベントリーSTI は需要、在庫保持、補充発注の基本 3 項目を関

連付ける、在庫管理の要（かなめ）的要素である。その特性について詳細に分析しておく必要がある。

ここまでで知りえた STI の特徴をまとめると次のようになる。

- ◆　発注残と在庫を包括したインベントリー
- ◆　納入リードタイム間の最大受注量
- ◆　常に一定の大きさ

最も重要な関心事は**流動インベントリーの大きさ**（**S**ize of **STI** ; **SSTI**）、つまり納入リードタイム間の最大受注量がどうなるかである。

第2章で受注量について、詳細に分析した。その時、集計時間 T での受注量を求めたが、T に何ら制約があるわけではない。どのような時間を持ってきても式（2-5）、式（2-6）、式（2-7）の受注量の平均と分散、最大を求める基本式は成り立つ。SSTI は納入リードタイム間での最大受注量であるので、集計時間 T を納入リードタイム Tp に変えればよい。その間の受注件数の平均を $\overline{\mathrm{Np}}$、その分散を Vnp として、次のようになる。

$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}}$　　　　　　　　式（3-1）

$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} \cdot \delta + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq}$　　　　式（3-2）

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \bar{N}^2 - \bar{N} \cdot \sqrt{\bar{N}^2 + 4}\right)$$

SSTI は納入リードタイム間の最大受注量であるから、Dmax に等しく、次のようになる。

$\mathrm{SSTI} = \mathrm{Dmax} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$　　　式（3-3）

式（3-1）、式（3-2）、式（3-3）の３つの基本式をベースに、定量不定期発注、定期不定量発注、不定期不定量発注、納入リードタイムの変動、顧客リードタイムなどの条件を付加していくことで、在庫管理の理論的体系を構築する。

3.3 集計時間と納入リードタイムの関係について

集計時間と納入リードタイムの関係について確認しておく。集計時間が T、受注間隔平均が $\overline{\mathrm{Ti}}$ のとき、その間の受注件数の平均 $\overline{\mathrm{N}}$ は既述のように $\overline{\mathrm{N}} = \mathrm{T}/\overline{\mathrm{Ti}}$ となる。納入リードタイムが Tp のとき、その間の受注件数の平均 $\overline{\mathrm{Np}}$ は、同様に、$\overline{\mathrm{Np}} = \mathrm{Tp}/\overline{\mathrm{Ti}}$ となる。従って、

$$\overline{\mathrm{Np}} = \frac{\mathrm{T}}{\overline{\mathrm{Ti}}} \cdot \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{N}}$$

となる。分散はどうなるか。Tp での Np の分散 Vnp と T での N の分散 Vn の関係を調べてみる。前述したように N は時発性で時間経過とともに発生する。また、今後の受注の発生は過去の経過と一切関係がない（これをマルコフ性と呼ぶ）ことにする。この性質があれば、時間軸に沿って発生する T 間の受注件数 N は互いに独立であるといえる。独立である N の分散は時間軸上では分散の加法性が成り立ち、時間に比例することになる。従って、Vnp は次ようになる。

$$\mathrm{Vnp} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \mathrm{Vn}$$

つまり、受注件数 N と集計時間 T には次の関係がある。

「受注件数の平均と分散は時間（集計時間や納入リードタイム）に比例する」

受注量 D についてはどうだろうか。Tp 間の受注量平均を $\overline{\mathrm{Dp}}$ とすると、$\overline{\mathrm{Dp}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}}$ であるから、次のようになる。

$$\overline{\mathrm{Dp}} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{N}} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{D}}$$

Dp の分散を Vdp とすると、

$$\mathrm{Vdp} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \mathrm{Vn} + \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Vq} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot (\overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} + \overline{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Vq})$$

となり、

$$\mathrm{Vdp} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \mathrm{Vd}$$

となる。まとめると、次のようになる。

「受注件数 N も受注量 D も、それらの平均と分散は時間（集計時間 T や納入リードタイム Tp）に比例する」

現実では、受注量は日単位や週単位、月単位で集計されていることが多い。一方、納入リードタイムは物品や納入業者によってまちまちである。必要な納入リードタイム間の受注量は、手持ちのデータを利用して上記の式で簡単に求めることができる。集計時間 T と納入リードタイム Tp の長短関係に制限はない。つまり、T>Tp のときも、T<Tp のときも、母集団に変化がなければ成立する。尚、ここでは説明のため、納入リードタイム間の受注量を Dp、その分散を Vdp と表記した。

3.4 在庫管理の基本形のまとめ

在庫管理の基本は、ランダムに舞い込む注文に応じて在庫から出荷し、その分を補充する事であ

る。補充には納入リードタイムという有限の時間がかかる。欠品をしないようにするためには、納入リードタイムの間に来る注文を賄うための在庫が必要となる。つまり、必要な在庫量は、納入リードタイム間の最大需要となる。これは、資材倉庫、仕掛、完成品倉庫、物流倉庫、小売店などの在庫管理場所、、、そして定量不定期発注、定期不定量発注、不定期不定量発注等の発注方法など、あらゆる在庫管理に共通である。普遍性の高い在庫理論を構築するうえで、この共通部分を在庫の基本形として捉えておくことは、有効であり重要である。

ランダムに到着する注文の時間間隔の平均を$\overline{\mathrm{Ti}}$、納入リードタイムを Tp として、Tp 間の受注件数の平均$\overline{\mathrm{Np}}$は、$\overline{\mathrm{Np}} = \mathrm{Tp}/\overline{\mathrm{Ti}}$　となる。受注１件ごとの数量、量/件の平均を$\overline{\mathrm{Q}}$　として、Tp　間の受注量平均$\overline{\mathrm{D}}$　は次のようになる。

①　$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}}$

Np の分散を Vnp、Q の分散を Vq として、D の分散 Vd は次のようになる。

②　$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} \cdot \delta + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq}$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \bar{N}^2 - \bar{N} \cdot \sqrt{\bar{N}^2 + 4}\right)$$

納入リードタイムの間に到着する受注量の平均と分散が分かれば、欠品率を考慮した安全係数 α を決めて、その間の最大受注量を次式で求めることができる。最大受注量は、在庫、発注残状態にあるインベントリーを包括した流動インベントリーの大きさ SSTI に等しい。

③　$\mathrm{SSTI} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$

先に挙げた在庫管理の3つの主要事項間の関係を図 3-10 にまとめた。この3項目は互いに密接な関係にあり、在庫管理の基本を形成している。これをベースに、定量不定期発注、定期不定量発注、不定期不定量発注、納入リードタイムの変動、顧客リードタイムなどの条件を付加していくことで、実用的な在庫管理の理論的体系を構築してゆく。

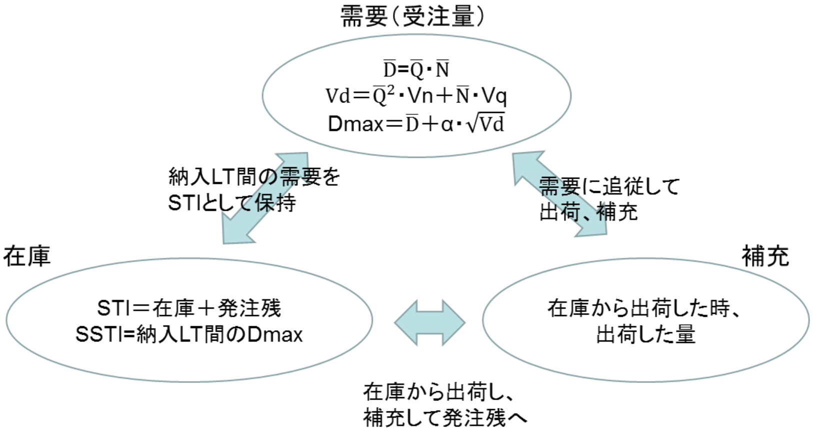


図 3-10　在庫管理の3主要事項間の関連性（納入 LT；納入リードタイム、δ=1 とした）

第 4 章　需要基準の発注方式

需要基準に基づく在庫補充の基本的な構造を解析している。受注したときに出荷した量を補充発注する。補充発注のトリガーは需要である。もうひとつの特徴は、在庫そのものだけではなく、在庫→出荷→補充発注→納入→入庫の循環を捉えていることである。この循環するインベントリーが流動インベントリーSTI である。その特性を **STIC の定理**（The Law of **St**reaming **I**nventory's **C**haracteristics）と呼び、その STIC の定理に基づいた発注方式を **STIC 発注方式**と呼ぶ。

4.1　需要基準の在庫管理の基本；STIC の定理とは

需要基準の在庫管理方法は、納入リードタイム間での受注量の最大を流動インベントリーSTI として保持しておき、受注・出荷したときにその量を補充発注することで、ランダムに到着する注文に応えるという方法である。ここで中心的な役割を果たすのが STI である。言い換えれば、STI の、あるいは STI に関する特性が在庫管理の要となる。

在庫管理理論の中心的存在である STI に関する特性が **STIC の定理**（The Law of **St**reaming **I**nventory's **C**haracteristics）である。現段階ではこの定理の特徴を十分に分析し終えたわけではないが、ここまでで分かったことを中間的にまとめ、次の論理展開につなげてゆく。

- 発注方法は、受注し、出荷した時に出荷した量を補充発注する即時発注を基本とする。
- 在庫から出荷され、補充発注ー発注残ー入庫までのすべての状態にあるインベントリーを包括して**流動インベントリーSTI** とする。

■　必要な流動インベントリーの大きさ

流動インベントリーの大きさ（**SSTI**；**S**ize of **STI**）は納入リードタイム間での最大受注量となる。

■　納入リードタイム間での最大受注量

納入リードタイム間での受注量平均を $\overline{\mathrm{D}}$ 、その分散を Vd、安全係数を αとして、SSTI は次の式で求められる。~~（間欠需要の場合は省略）~~

① $\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}}$

② $\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} \cdot \delta + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq}$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \bar{N}^2 - \bar{N} \cdot \sqrt{\bar{N}^2 + 4}\right)$$

③ $\mathrm{SSTI} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$

ここで、$\overline{\mathrm{Np}}$；納入リードタイム間の受注件数平均、Vnp；Np の分散、$\overline{\mathrm{Q}}$；量/件の平均、Vq；Q の分散

■　最初に準備する初期在庫量は SSTI に等しく、SSTI は在庫が流動しても常に一定となる。

4.2 STIC の定理をベースにした発注方式

STIC の定理では即時発注を条件とした。しかし、1 日に多数の注文が来る場合、1 件ごとに即時発注することは煩雑で現実的ではない。ある程度まとめて補充発注することになる。まとめ方は次の3通りの方法が考えられる。

① 一定量　　；定量不定期発注

② 一定期間 ；定期不定量発注

③ 一定件数 ；定件発注（不定期不定量発注）

受注量がある一定量に達したらその量を発注する方法が定量不定期発注。ある発注サイクルでその間に受注した量を定期的に発注する方法が定期不定量発注。一定の受注件数に達したらその間の受注量を発注する方法が定件発注である。定件発注とは耳慣れないかもしれないが、受注量を受注件数と量/件を分けて捉えることで表面化した方法である。この場合、発注間隔も発注数量も定まらず、不定期不定量発注となる。また、需要が一定であれば、いずれの発注方法も定期定量発注[2]となる。

図 4-1 は基本形に“補充発注のまとめ”を追加した一例を示したものである。納入リードタイムに、“補充発注のまとめ”に要する時間が加わる。それを補充時間とする。

補充時間＝補充発注のまとめ時間＋納入リードタイム

[2] タイミングのズレで多少の限定的ゆらぎはある

前述のように“補充発注のまとめ”方は時間、受注量、受注件数の3通りがある。“補充発注のまとめ”た分が流動インベントリーに入ってくる。それぞれの属性が異なるために、発注方式に及ぼす影響もそれぞれ異なる。これから、従来の方法との比較も交え、3つの STIC 発注方式の特徴を詳細に分析してゆく。

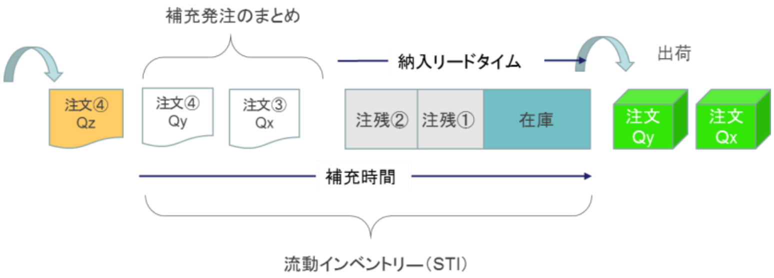


図 4-1　補充発注のまとめ方

第 5 章　定量不定期発注

5.1　定量不定期発注の仕組み

受注量が一定量に達したら、それをまとめて発注する定量不定期発注方式(以下定量発注)について検討する。

定量で“補充発注のまとめ”をすると、流動インベントリーSTI に加わるのは定量発注量 Oc である。一定量なので、変動はなく、それによる分散の増加はない。但し、留意しなければならないことがある。

図 5-1 は横軸に時間を取り、ひとつの棒が注文 1 件を表し、棒の高さが量/件を表す。定量発注量を 40 とした場合、どうなるかを示した一例である。

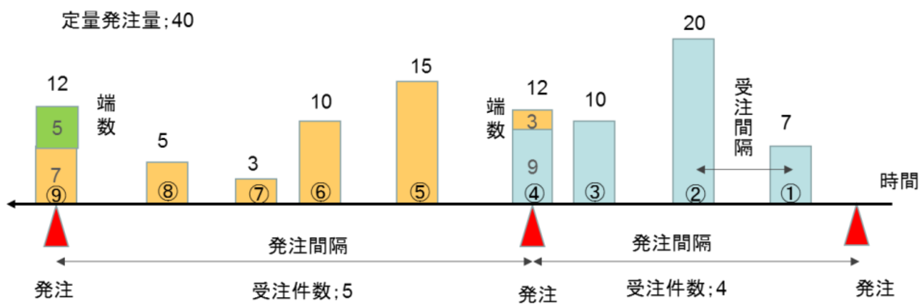


図 5-1　定量発注の一例

右端から1件目が 7 個、2 件目が 20 個、3 件目が 10 個、4 件目が 12 個で累計 43 個となる。定量発注量が 40 個なので、4 件目の注文を受け取り 12 個出荷すると同時に、40 個を補充発注する。このとき 3 個分の補充発注は次回に回される。次回の補充発注は 9 件目の注文が来た時となる。このときも 5 個が端数となり、その後の補充発注に回される。

このように、定量でまとめた場合、ランダムに舞い込む受注量が定量発注量と一致せず、端数が生じることが多い。端数は次回の発注に回され、補充が遅れることになる。また図でもわかるように、補充発注毎の受注件数と発注間隔は一定とはならない。このことが STIC の定理にどのような影響を及ぼすか、検討してみる。

補充発注が次回に回される端数はどうなるか、以下の条件でシミュレーションを行ってみる。
受注間隔平均;$\overline{\mathrm{Ti}} = 10$の指数分布
量/件平均;$\overline{\mathrm{Q}}$=5、変動係数;Cq=0、0.25、0.5、0.71、1(アーラン分布、指数分布)
定量発注量;Oc=20、21、22、23、24

Oc を 20～24 と振ったのは、量/件で割り切れるか、割り切れないかの影響をみるためである。図 5-2 は 20～24 の Oc をまとめ(平均をとる)たときの、Cq に対する端数の分布の一例を示している。Oc によって、データのバラツキは多少あるが、端数の分布は変わらないことも付け加えておく。

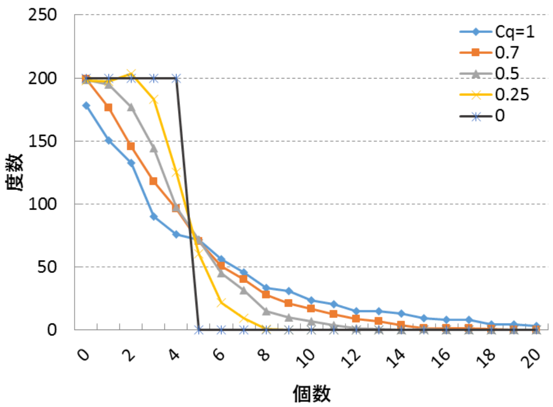


図 5-2 端数の分布

端数の平均を$\overline{\mathrm{Fr}}$、その分散を Vfr とすると、それぞれ次の式で求めることができる。

$$\overline{\mathrm{Fr}} = \frac{1}{2} \cdot (\overline{\mathrm{Q}} - 1) \cdot (\mathrm{Cq}^2 + 1)$$

$$\mathrm{Vfr} = (\overline{\mathrm{Q}} - 1)^2 \cdot \left(\mathrm{Cq}^2 + \frac{1-\mathrm{Cq}}{12}\right)$$

これらの式の導出過程は省略するが、式の近似性をシミュレーションで確認してみる。条件は $\bar{Q}$ を 40、変動係数を 0～1 の範囲で振って、シミュレーション結果と計算式で求めた結果を比較する。図 5-3 は端数の平均の比較結果を示す。シミュレーションと計算結果はよく一致していることがわかる。図 5-4 は分散の比較結果であるが、こちらもよく一致している。

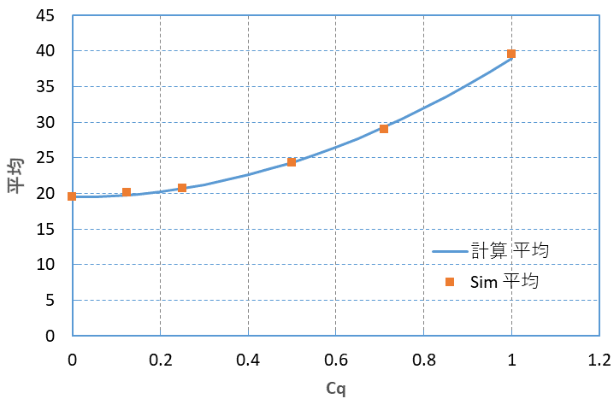


図 5-3 端数の平均の比較

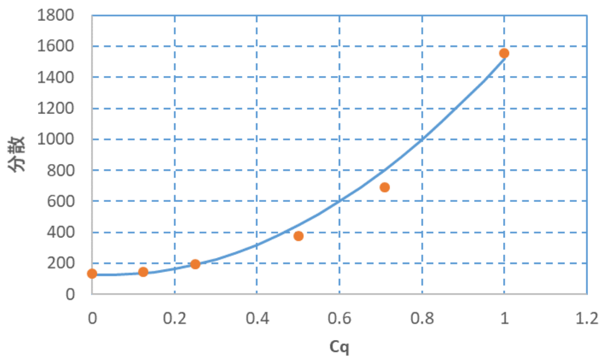
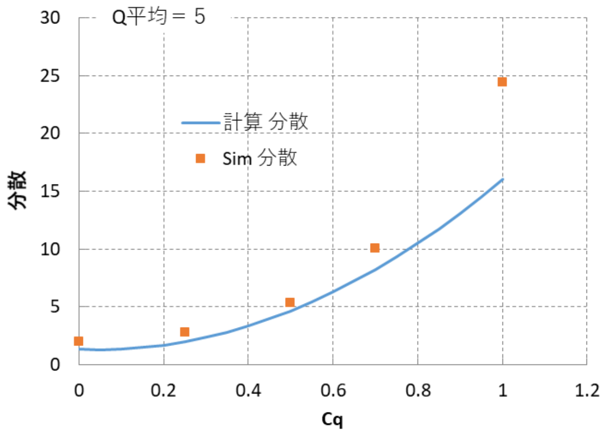


図 5-4 端数の分散の比較

ところが、Q が小さくなると上記の分散式で算出した分散値とシミュレーション結果に乖離が生じる。この乖離は分散値だけでみられ、平均値では乖離はみられない。$\bar{Q} = 5$での比較結果を図 5-5 に示す。

図 5-5 $\overline{\mathrm{Q}}=5$での分散の比較



この乖離は Q が小さくなるに従い急激に大きくなり、無視することはできない。補正するための係数が必要になる。補正係数を γとして、γを求める近似式の一例を以下に示す。

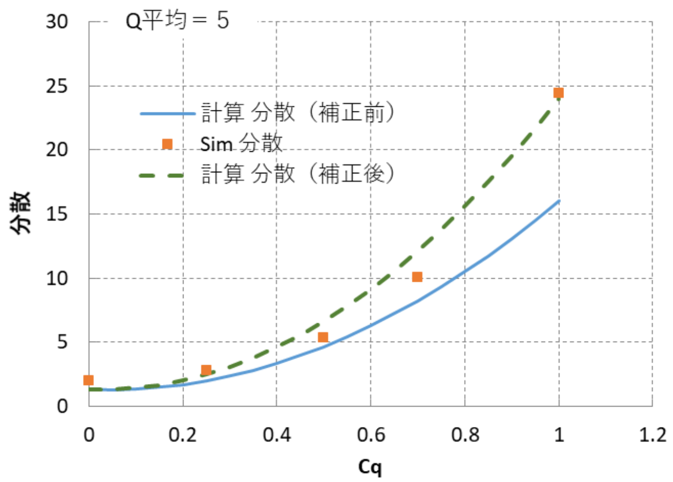
$$\gamma = 7 \cdot \left(\overline{\mathrm{Q}}^2 - \overline{\mathrm{Q}} \cdot \sqrt{\overline{\mathrm{Q}}^2 + 3.7} + 2\right)$$

補正項 γを含んだ分散の式は次のようになる。

$$\mathrm{Vfr} = (\overline{\mathrm{Q}} - 1)^2 \cdot \left(\mathrm{Cq}^2 \cdot \gamma + \frac{1-\mathrm{Cq}}{12}\right)$$

図 5-6 に補正係数 γで補正した結果を示す。

図 5-6 補正後の分散



定量でまとめることで受注件数と発注間隔はばらつき、同時に発注遅れの端数が生じる。これらは、SSTI にどのような影響を及ぼすのかを検討してみる。先ず、定量でまとめることで SSTI にどのような影響があるか。SSTI の単位は個数である。定量でまとめるので、受注件数と発注間隔は変動しても、一定数が加わることになり、いずれの変動も SSTI にゆらぎを与えることにはならない。

発注遅れの端数はどうか。端数の平均 $\overline{\mathrm{Fr}}$ は SSTI の平均に加算され、端数の分散 Vfr も分散の加法性が成り立ち、SSTI の分散に加算されることになる。

まとめると、定量発注の場合の SSTI は次のようになる。

①平均は定量発注量 Oc と端数の平均 $\overline{\mathrm{Fr}}$ が加算される
②分散は Vfr が加算される

定量発注での SSTI は次の式で求められる。濃茶色で示した部分が定量発注で付加される。

$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}} + \mathrm{Oc} + \overline{\mathrm{Fr}}$ 式(5-1)

$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq} + \mathrm{Vfr}$ 式(5-2)

$\mathrm{SSTI} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$ 式(5-3)

$$\overline{\mathrm{Fr}} = \frac{1}{2} \cdot (\overline{\mathrm{Q}} - 1) \cdot (\mathrm{Cq}^2 + 1)$$

$$\mathrm{Vfr} = (\overline{\mathrm{Q}} - 1)^2 \cdot \left(\mathrm{Cq}^2 \cdot \gamma + \frac{1-\mathrm{Cq}}{12}\right)$$

$$\gamma = 7 \cdot \left(\overline{\mathrm{Q}}^2 - \overline{\mathrm{Q}} \cdot \sqrt{\overline{\mathrm{Q}}^2 + 3.7} + 2\right)$$

データ集計時間 T での平均受注件数が$\overline{\mathrm{N}}$、分散が Vn であれば、納入リードタイム Tp での平均受注件数$\overline{\mathrm{Np}}$は、$\overline{\mathrm{Np}} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{N}}$、その分散 Vnp は、$\mathrm{Vnp} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \mathrm{Vn}$となり、式(5-1)、式(5-2)は次のようになる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{N}} + \mathrm{Oc} + \overline{\mathrm{Fr}}$$

$$\mathrm{Vd} = \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}} \cdot (\overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} + \overline{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Vq}) + \mathrm{Vfr}$$

5.2 事例で確認

具体的な数値を使って確認してみたい。事例の条件は次の通り。

納入リードタイム間での受注件数平均;$\overline{\mathrm{N}} = 42$、分散;Vn=42
量/件平均;$\overline{\mathrm{Q}} = 10$ 個、変動係数;Cq=0.25
納入リードタイム;Tp=168 時間(7 日)一定

Oc に対する欠品が起きない最小の SSTI のシミュレーション結果と式(5-1)、(5-2)、(5-3)で求めた値とを比較した一例を図 5-7 に示す。計算では安全係数を 3 とした。シミュレーション時間は

24,000 時間（1,000 日）、データは 1 日単位で収集した。

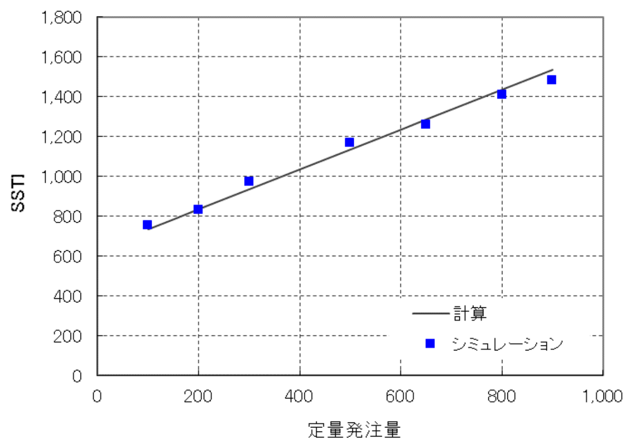


図 5-7　定量発注量と SSTI;計算値とシミュレーション結果

例えば Oc が 300 個のときの SSTI は、計算値は 928 個、シミュレーション結果は 948 個である。STI の推移は図 5-8 のようになり、出庫－補充発注－発注残－入庫のサイクルを通して常に一定であることが確認できる。“補充発注のまとめ”中に発注待ちの状態となるインベントリーが STI に加わる。

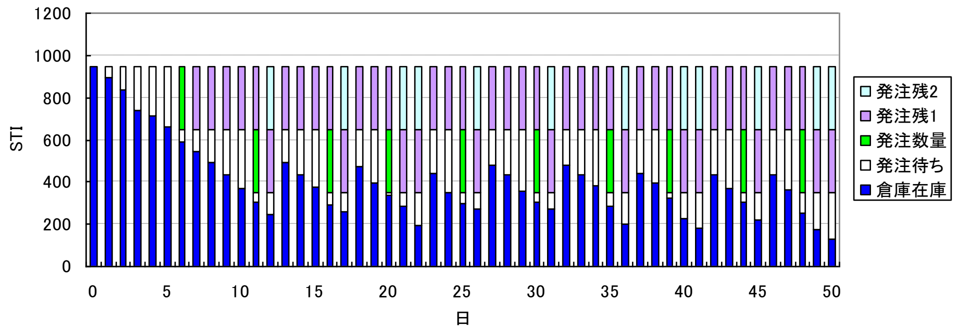


図 5-8　流動インベントリーSTI の推移

SSTI は一定であるが、内容は常に変動している。在庫と発注残（発注待ちも含む）に分けて、それらの分布を図 5-9 に示す。

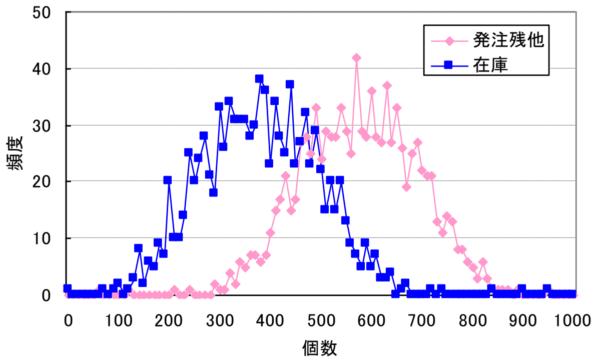


図 5-9
在庫と発注残（発注待ち含む）の分布

5.3　発注点方式との比較

STIC 定量発注の特徴を理解するために、定量発注の代表的な方法として知られている定量発注点方式と比べてみる。定量発注点方式の基本的仕組みを図 5-10 に示す。

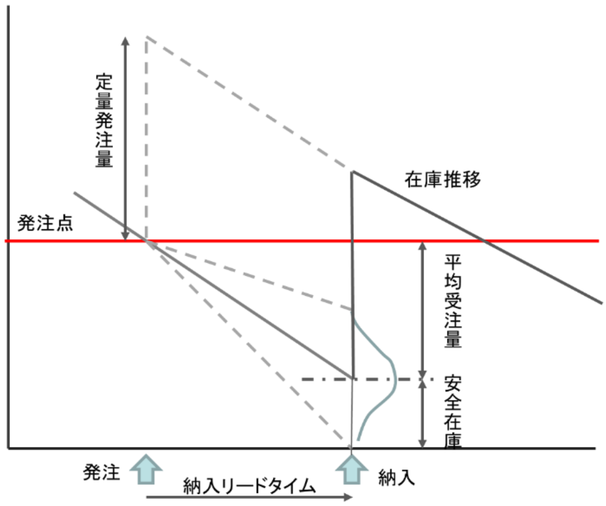


図 5-10
発注点方式の基本的仕組み

在庫（発注残含む）が発注点まで減少した時、予め決めた量を補充発注する。発注点は平均受注量に安全在庫を加えた量で、次の式で求める。（納入 LT；納入リードタイム）

発注点＝納入 LT 間の平均需要＋安全在庫

$$安全在庫＝単位時間需要量の標準偏差\times\alpha\times\sqrt{単位時間に対する納入\ LT\ の比率}$$

α；安全係数

STIC 定量発注と比べるために、もう少し詳しくみてみる。図 5-11 に受注・出荷ごとの在庫の推移を示す。（在庫＋発注残）≦発注点となった④のタイミングであらかじめ決めた定量を補充発注する。⑤～⑧まで発注残の状態となり、⑨で入庫されるが、⑧で再び（在庫＋発注残）≦発注点となる。注文ごとの注文量が常に1であれば、（在庫＋発注残）＝発注点　となるが、一般的には注文ごとの注文量は 7 個だったり、12 個だったり、複数でバラツク。注文ごとにまとめて出荷するのが一般的なので、（在庫＋発注残）の数量は飛び飛びの値となり、⑧のように下回ることが多くなる（赤の円）。前出の発注点を求める式では、発注点を下回った部分は考慮されていない。実質的に発注点を下回った状態で補充発注することになり、発注点が低めに設定されることになる。

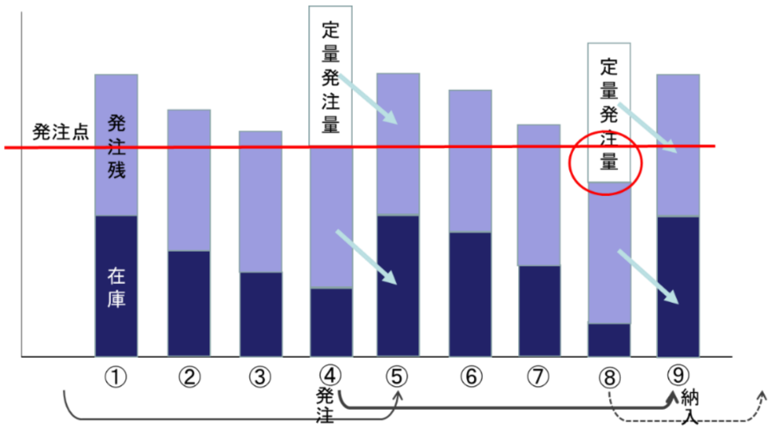


図 5-11
受注・出荷ごとの在庫の推移

発注点を下回った分の影響はどの程度あるのか。それが無視できる程度であれば問題はないが、そうでない場合は、発注点方式の欠陥となりうる。確認してみよう。先ず、“発注点を下回る量”はどうなるか。幸いにも、“発注点を下回る量”は、STIC 定量発注で出てきた「端数」と全く同じメカニズムで説明できる。従って、その量は、端数 Fr を求める式をそのまま使うことができる。再掲すると、

$$\bar{\mathrm{Fr}} = \frac{1}{2}\cdot(\bar{\mathrm{Q}}-1)\cdot(\mathrm{Cq}^2+1)$$

$$\mathrm{Vfr} = (\bar{\mathrm{Q}}-1)^2\cdot\left(\mathrm{Cq}^2\cdot\gamma+\frac{1-\mathrm{Cq}}{12}\right)$$

$$\gamma = 7\cdot\left(\bar{\mathrm{Q}}^2-\bar{\mathrm{Q}}\cdot\sqrt{\bar{\mathrm{Q}}^2+3.7}+2\right)$$

発注点を下回る量 Fr を考慮すると発注点は次のようになる。

$$発注点 = \left(納入\ \mathrm{LT}\ 間の平均需要＋\bar{\mathrm{Fr}}\right) + \alpha\cdot\sqrt{納入\ \mathrm{LT}\ 間の需要の分散＋\mathrm{Vfr}}$$

図 5-11 は Fr を加えた、ある条件での発注点方式の STI の推移の一例である。図 5-12 は、同じ

条件での STIC 定量発注での STI の推移である。（発注点方式では発注待ちの定義がはっきりしていないので”発注待ち”状態のインベントリーは表示していない）

発注点方式は、（在庫＋発注残）≦発注点 のときが発注タイミングであるが、STIC 定量発注では、定量発注量≦前回発注後の累積出荷量 のとき、発注する。

従来の発注点方式に Fr を加えれば、どちらの方法も発注タイミングと発注量は同じになる。異なるのは、STIC 定量発注で必要なのは出荷量の累積だけであるが、発注点方式は現在の在庫量と発注残の量を出荷のたびに確認して、発注点と比較する必要があることである。

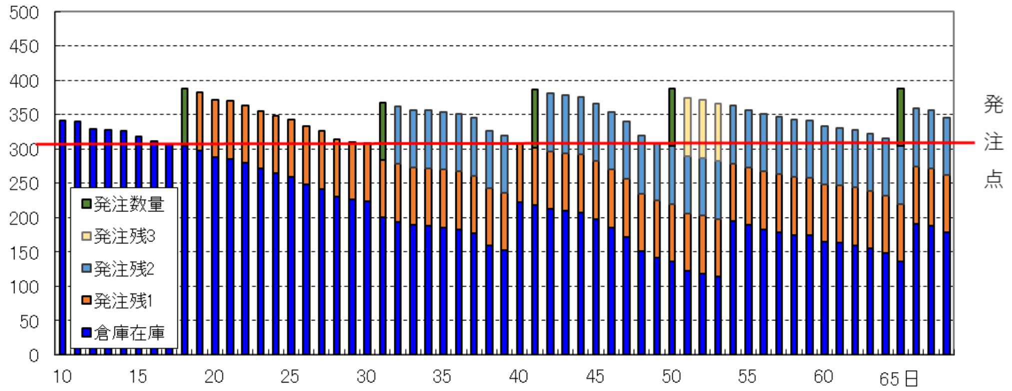


図 5-11 Fr を加えた、従来の定量発注での流動インベントリーの推移

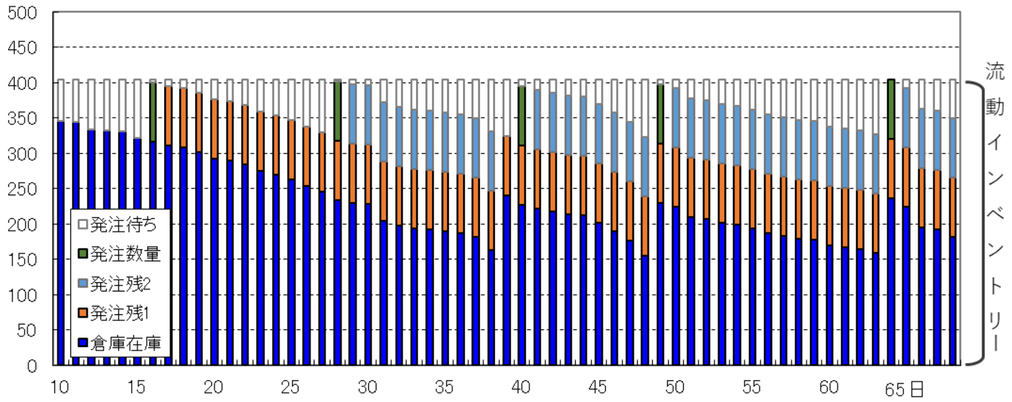


図 5-12 STIC 定量発注の流動インベントリーの推移

従来の発注点方式では考慮されていない Fr の影響がどの程度あるか、調べてみる。Fr の式をみてわかるように、Fr は Q（平均と変動係数）で決まるので、受注件数の影響は受けない。しかし SSTI（発注点方式の場合は“発注点＋定量発注量”）に対する Fr の影響の程度は異なる。Fr を加えた場合と加えない場合との比較をして、その影響の程度をみてみる。受注件数 N、量/件 Q は指数分布するとして近似式で試算した結果を図 5-13、図 5-14 に示す。

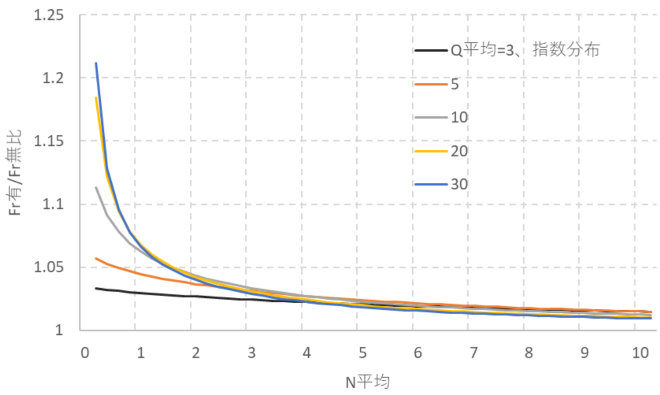


図 5-13
受注件数 N に対する
Fr 有/Fr 無の比

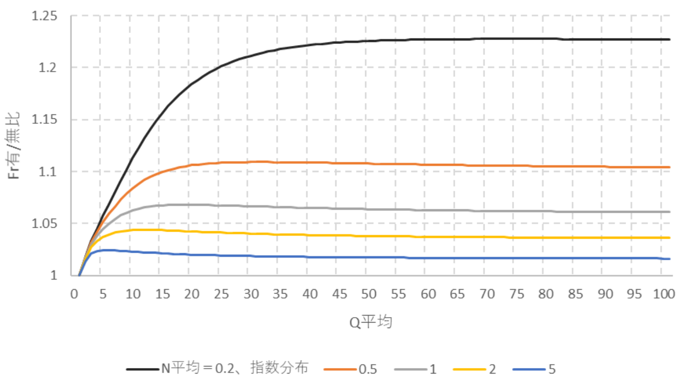


図 5-14 量/件 Q に対する
Fr 有/Fr 無の比

Fr の影響が大きくなるのは受注件数 N が 2～3 以下、特に 1 以下で大きくなる。量/件 Q では 15～30 以上で大きくなる。N が 1 以下とは、たまにしか注文がないという状況であり、そのような状態で Q が大きく、且つ変動するときなど、Fr を考慮するかどうかの違いが大きくなることになる。

標準的な発注点方式の他にもいくつかの発注点方式が提案されている。例えば、
①発注点補充点方式
②定期補充点方式
③定期発注点補充点方式

いずれの方法も、発注点の設定には Fr を考慮していない。また、補充点という上限在庫水準の設定をしたり、時間要素を加えたりするなどの改良が試みられているが、発注点方式が抱える根本問題は残ったままである。

5.4 STIC 定量発注方式のまとめ

従来の発注点方式と比較して STIC 定量発注方式の特徴をまとめてみる。

1、 従来の発注点方式では、発注点を下回る端数の発生を考慮していないため、発注点が低く設定されることが多く、欠品率が想定より高くなる傾向があるのではないか。
2、 STIC 定量発注方式は発注点を設定する必要はない。
3、 STIC 定量発注方式では流動インベントリーが常に一定となり、在庫管理の基準として利用することができる。
4、 発注点方式の発注時期は（在庫量＋発注残）≦発注点。
STIC 定量発注のそれは、定量発注量≦受注量（出荷量）
発注点方式では、出荷があるごとに在庫と発注残の情報が必要であるが、STIC 定量発注は出荷量の累積だけである。

第 6 章　定期不定量発注

6.1　定期不定量発注の仕組み

STIC　定期発注は、予め決めた時間間隔（発注サイクル）ごとに、その間に受注した量を補充発注する。発注サイクルごとに受注する件数も受注量も一定とはならず、変動する。

発注サイクルを Ty とすると、補充時間は納入リードタイム Tp に Ty を加えて求められる。従って、発注サイクルごとに受注する件数の平均を$\overline{\mathrm{Ny}}$ として、受注量の平均 $\overline{\mathrm{D}}$ は次のようになる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \frac{\mathrm{Tp+Ty}}{\mathrm{Ti}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot (\overline{\mathrm{Np}} + \overline{\mathrm{Ny}}) \qquad \text{式(6–1)}$$

次に補充時間での受注量の分散について考えてみる。Ty が加えられることで、Ny の分散 Vny が Vnp に加算され、同時に $\overline{\mathrm{Np}}$ に $\overline{\mathrm{Ny}}$ が加算され、受注量の分散 Vd は次のようになる。

$$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot (\mathrm{Vnp} + \mathrm{Vny}) + (\overline{\mathrm{Np}} + \overline{\mathrm{Ny}}) \cdot \mathrm{Vq} \qquad \text{式(6–2)}$$

SSTI は次のようなる。

$$\mathrm{SSTI} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}} \qquad \text{式(6–3)}$$

データ集計時間 T での平均受注件数が$\overline{\mathrm{N}}$、分散が Vn であれば、納入リードタイムでの平均受注件数$\overline{\mathrm{Np}}$は、$\overline{\mathrm{Np}} = \frac{\mathrm{Tp+Ty}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{N}}$、その分散 Vnp は、$\mathrm{Vnp} = \frac{\mathrm{Tp+Ty}}{\mathrm{T}} \cdot \mathrm{Vn}$となり、式(6–1)、式(6–2)は次のよ

うになる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{Tp} + \mathrm{Ty}}{\mathrm{T}} \cdot \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{N}}$$

$$\mathrm{Vd} = \frac{\mathrm{Tp} + \mathrm{Ty}}{\mathrm{T}} \cdot (\overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vn} + \overline{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{Vq})$$

6.2 事例で確認

下記の条件で検討してみる。

データ集計時間;24 時間で受注件数平均;$\overline{\mathrm{N}} = 6$、分散;Vn=6

量/件平均;$\overline{\mathrm{Q}} = 10$ 個、分散;Vq=6.25

納入リードタイム;Tp=168 時間(7 日)一定

発注サイクル Ty を 3 日(72 時間)として、流動インベントリーの大きさ SSTI を算出してみる。

受注量の平均 $\overline{\mathrm{D}}$ 、その分散 Vd は、

$$\overline{\mathrm{D}} = \frac{168+72}{24} \times 10 \times 6 = 600$$

$$\mathrm{Vd} = \frac{168+72}{24} \times (10^2 \times 6 + 6 \times 6.25) = 6375$$

SSTI は、安全係数を 3 とすれば、

$$\mathrm{SSTI} = 600 + 3 \times \sqrt{6375} \cong 840$$

安全係数を 2.5 とすれば、

$$\mathrm{SSTI} = 600 + 2.5 \times \sqrt{6375} \cong 800$$

シミュレーション結果の一例を図 6-1 に示す。発注量は毎回異なるが、SSTI は一定である。1000 日のシミュレーション時間で欠品を起こさない SSTI は 792 個であった。

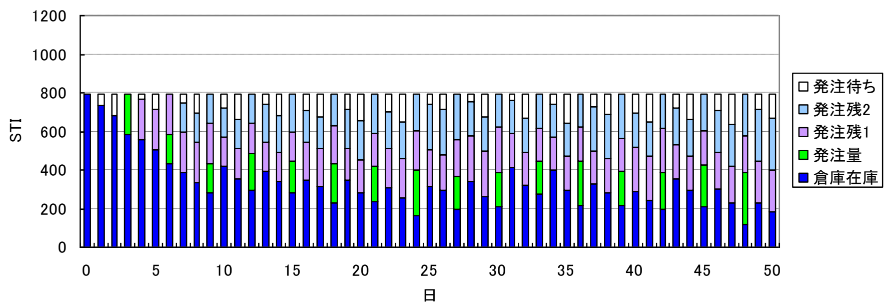


図 6-1　STIC 定期発注の STI の推移

6.3 従来の定期発注方式と STIC 定期発注方式との比較

STIC 定期発注の特徴をみるために、同じ条件で、従来の定期発注と比べてみる。従来の定期発注では、設定した発注サイクルに対して発注量は次の式で計算する。

発注量＝（納入 LT＋発注サイクル）間の需要予測量－発注残－在庫量＋安全在庫

$$安全在庫＝安全係数\times\sqrt{単位時間に対する(納入\ LT＋発注サイクル)の比率}$$

$$\times単位期間需要の標準偏差$$

これをシミュレーションで確認したいのであるが、需要予測のシミュレーションはどうするか。実際の需要予測は様々な方法で行われる。市場情報、営業情報、過去のデータなどをもとに統計理論を用いるのが一般的であるが、駆け引きや関係者の心理状態なども影響する。そのような予測をシミュレーションすることは困難であるが、ここでは、（納入リードタイム＋発注サイクル）間の需要量の分布からランダムに抜き取った値を需要予測量とすることにする。

発注サイクルを 3 日（72 時間）としたときのシミュレーション結果の一例を図 6-2 に示す。シミュレーション時間は 1000 日で欠品が起きない最少在庫を 0 としている。

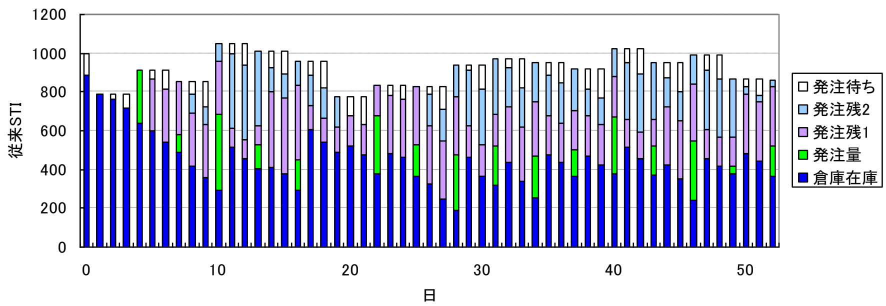


図 6-2 従来の定期発注での STI の推移

1000 日間のシミュレーションで、SSTI と最大在庫は次のようになった。
従来の定期発注; 従来 SSTI 1149 個、最大在庫 750 個

STIC 定期発注のシミュレーション結果は次のようであった。
STIC 定期発注; SSTI 792、最大在庫 545 個

従来 STI は一定せず、でこぼこでしているので、その最大値を従来 SSTI とすると、1149 個、実在庫の最大は 750 個。それに対して STIC 定期発注では、SSTI は 792 個一定、最大実在庫は 545 個である。明らかに STIC 定期発注の方が在庫は少ない。

図 6-3 は発注サイクル（日）に対する従来 SSTI と SSTI を比較したものである。◆ は STIC 定期発注のシミュレーション結果、直線はその計算結果である。■は従来の定期発注のシミュレーション結果であるが、図 6-2 に示すように従来 STI はでこぼこしているので、最大値で示している。

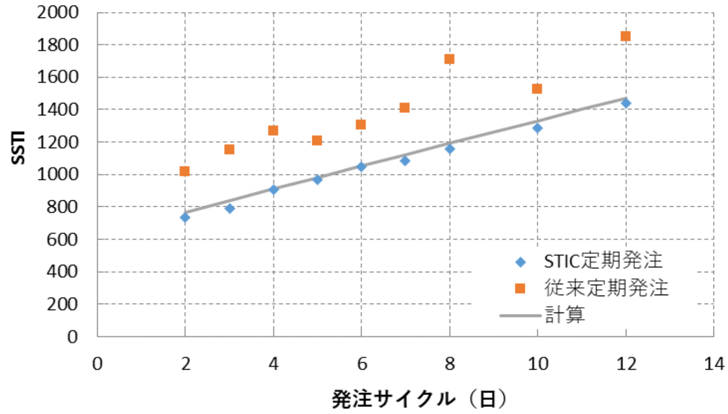


図 6-3　発注サイクル基準でみた従来 SSTI と STIC 定期発注の SSTI

図 6-4 は両者の在庫の推移を示してある。図 6-5 は両者の在庫の分布状態を示してある。

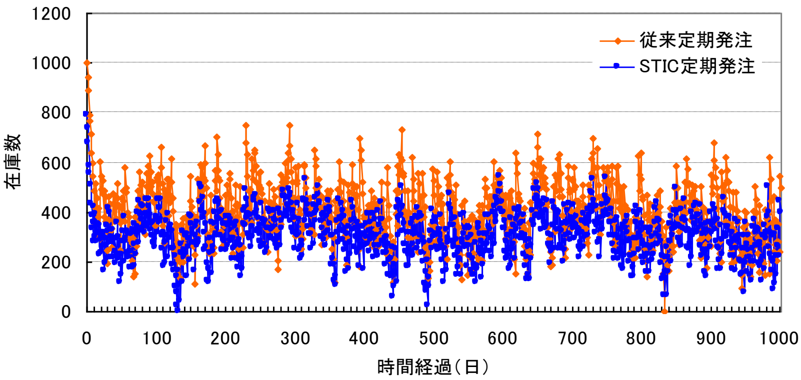


図 6-4　在庫の推移

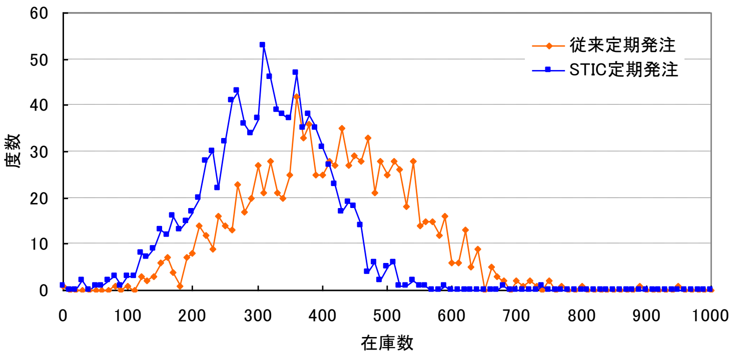


図 6-5　在庫の分布

従来の定期発注と STIC 定期発注を比較してみた。明らかに STIC 定期発注の方が有利であることが分かる。

6.4 STIC 定期発注の特徴

従来の定期発注と STIC 定期発注の違いについてもう少し詳しく分析してみよう。先ず、STIC 定期発注の流動インベントリーの大きさ SSTI は、補充時間での最大受注量であるから、次の式で表すことができる。

SSTI＝補充時間での平均受注量＋安全係数x標準偏差

また、SSTI は流動インベントリーの定義からつぎのようになる。
SSTI＝現在在庫＋現在発注残＋発注量＋発注待ち　　　式(6-4)

発注時には発注待ちはゼロなので、式(6-4)は、
発注量＝SSTIー現在在庫ー現在発注残
となる。SSTI を式(6-4)で置き換えると

発注量＝*補充時間での平均受注量*＋安全係数x標準偏差ー現在在庫ー現在発注残　;式(6-5)
となる。一方、従来の定期発注の場合は、

発注量＝*補充時間での需要予測*＋安全係数x標準偏差ー現在在庫ー現在発注残　;式(6-6)
となる。式(6-5)と式(6-6)を比較すると、STIC 定期発注では、「*補充時間での平均受注量*」であるのに対し、従来の定期発注では、「*補充時間での需要予測*」と異なる。補充時間での需要予測で最も確率の高い値は平均値である。であるならば、従来の定期発注で需要予測の代わりに平均値を用いた場合、どうなるか。同様に、発注サイクルが 3 日(72 時間)であれば、平均値は、

$\bar{D} = \frac{168+72}{24} \times 10 \times 6 = 600$(個)

であるので、需要予測値を常に 600 個としシミュレーションしてみる。発注量は、
発注量＝600＋安全係数x標準偏差ー現在在庫ー現在発注残
となる。シミュレーション結果、従来 SSTI は 792 個一定、最大在庫は 545 個となり、STIC 定期発注と同じ値となった。但し、毎回の発注量は異なるため、STI の構成比率は異なる。シミュレーション結果を図 6-6 に示す。

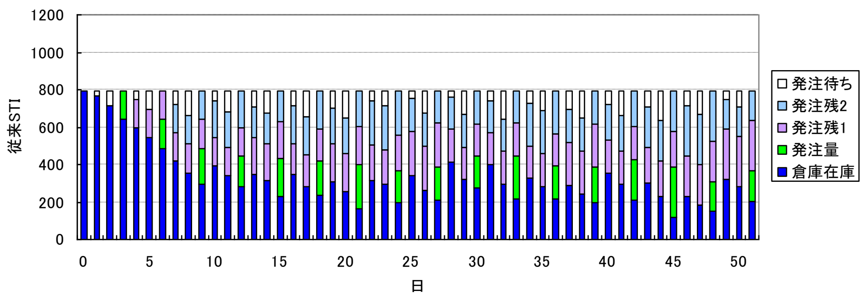


図 6-6　発注サイクル 3 日（72 時間）、需要予測を 600 個一定、従来定期発注

従来の定期発注と STIC 定期発注が、ある条件で、同じ結果になる。ある条件とは、
需要予測値=平均受注量
である。このことから、次のことが言えるのではないか。

① 従来定期発注も STIC 定期発注も、基本的なメカニズムは同じ。
② 従来定期発注は補充時間分の将来の需要予測を考慮して発注量を決めるが、STIC 定期発注は発注サイクル間の受注量を発注する。

①については、STIC 定期発注は、従来と同じで特別なものではないと、解しておこう。②につては、少々熟考する必要があるかもしれない。さらに詳しくみてみよう。

従来の定期発注では、発注量を決めるときに、その都度、需要予測を行う。これは「需要分布が毎回異なる」ことを前提としている、と考えられる。一方、STIC 定期発注では、「需要分布は変わらない」という前提である。

現実をみてみよう。前者の例としては、調達リードタイムが月単位で、需要予測は先々の生産計画で与えられるような、月次生産での資材在庫管理などが思い浮かぶ。一方、日常生活で目にする在庫管理の環境は、多頻度少量配送が主流になっている。受・発注間隔は日単位から時間単位へと、ますます短くなっている。

日単位や時間単位まで短くなった受・発注間隔の間に「需要分布が変わる」とする前提は、現実的ではないのではないか。そんな短時間に「需要分布が変わる」ことを統計学的に確認するのは不可能に近い。とすれば、「需要分布は変わらない」という前提条件の方が合理的で、広く適用できるのではないか。これが STIC 定期発注の考え方である。

もちろん、需要分布は変わる。増えたり、減ったり。バラツキが大きくなったり、小さくなったり。それを無視するわけではない。むしろ、受・発注間隔ではなく、その数十倍、数百倍の時間間隔で監視

すればよい。その時間間隔を「SSTI 固定期間」と呼んでおく。それぐらいの時間間隔で SSTI を見直すの方が実用的だ。それが 1 ヶ月なのか、3 ヶ月なのかはケースバイケースで対応する。

SSTI 固定期間内は「需要分布は変わらない」という前提ではあるが、変わることはある。これに対しては、新しい受注情報を常時監視し、設定した需要分布からはずれているかどうかを統計的に検定する機能を付加する。これは、品質管理の $\bar{x}-R$ 管理図と同類の仕組みである。

STIC 定期発注は、SSTI 固定期間の需要分布を予測し SSTI を設定しているので、その間の需要予測はしなくてもよい。そのことによって発注量の設定メカニズムは、至極簡単になり、また STI が一定になるという利点が出てくる。その特性を利用して、「需要分布は変わらない」とする条件を常時チェックし、需要分布が変化したと判断されれば SSTI を変更する。発注ごとの需要予測の省略によって、発注量設定のメカニズムが簡単になるばかりではなく、予測誤差による SSTI や実在庫の不必要な増加を防いでいることにも留意しておきたい。

6.5　STIC 定期発注方式のまとめ

従来の定期発注方式と比較して STIC 定期発注方式の特徴をまとめてみる。

1、 STIC 定期発注は予測誤差を含まない分、従来方式に比べ流動インベントリーは小さくなる。
2、 STIC 定期発注は発注サイクル間の受注量を集計して発注するのに対して、従来方式は発注毎に需要予測をし、発注残や在庫の状態を確認する必要がある。
3、 STIC 定期発注方式では流動インベントリーが常に一定となり、在庫管理の基準として利用することができる。

第 7 章　定件発注（不定期不定量発注）

7.1 定件発注の仕組み

在庫補充の原理を模索するなかで、受注量を捉えるとき、受注件数と量/件を別々に捉える重要性を指摘した。その結果、定量でもなく、定期でもなく、受注件数を一定とする定件発注という新しい発注方法が出てくる。

予め決めておいた受注件数に達した時に、受注量を集計しその量を補充発注する。すると発注間隔は定まらず、発注量も変動する。だから、従来流の呼び方をすれば不定期不定量発注というこ

とになる。定件発注という言葉は聞いたことがなくても、不定期不定量発注は聞き覚えがあるに違いない。

流動インベントリーの大きさ SSTI は、比較的簡単に導き出せる。定件数を Nc として、平均値は $\overline{\mathrm{Q}}\cdot\mathrm{Nc}$ だけ増える。分散は Nc が一定であるため増加はない。但し Q に関連するバラツキは、 $\mathrm{Nc}\cdot\mathrm{Vq}$ だけ大きくなる。

$$\overline{\mathrm{D}}=\overline{\mathrm{Q}}\cdot(\overline{\mathrm{Np}}+\mathrm{Nc}) \qquad \text{式(7-1)}$$
$$\mathrm{Vd}=\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot\mathrm{Vnp}+(\overline{\mathrm{Np}}+\mathrm{Nc})\cdot\mathrm{Vq} \qquad \text{式(7-2)}$$
$$\mathrm{SSTI}=\overline{\mathrm{D}}+\alpha\cdot\sqrt{\mathrm{Vd}} \qquad \text{式(7-3)}$$

データ集計時間 T での平均受注件数が$\overline{\mathrm{N}}$、分散が Vn であれば、納入リードタイムでの平均受注件数$\overline{\mathrm{Np}}$は、$\overline{\mathrm{Np}}=\frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}}\cdot\overline{\mathrm{N}}$、その分散 Vnp は、$\mathrm{Vnp}=\frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}}\cdot\mathrm{Vn}$となり、式(7-1)、式(7-2)は次のようになる。

$$\overline{\mathrm{D}}=\overline{\mathrm{Q}}\cdot\left(\frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}}\cdot\overline{\mathrm{N}}+\mathrm{Nc}\right)$$

$$\mathrm{Vd}=\frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}}\cdot\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot\mathrm{Vn}+\left(\frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{T}}\cdot\overline{\mathrm{N}}+\mathrm{Nc}\right)\cdot\mathrm{Vq}$$

Nc は T や Tp の影響を受けないことに留意したい。

7.2 巷の不定期不定量発注との比較

前述のように定件発注は不定期不定量発注でもある。巷では、不定期不定量発注に対しては、場当り的だとするものから、理想的な発注方法だとするものまで、様々な認識がある。具体的な方法もいろいろあるようだ。ここでは直近のデータで需要を計算し、それを手持ちの在庫量（発注残を含）と比較し、在庫からの供給可能時間を計算、その時間が納入リードタイムより短ければ発注、長ければ発注しない、という方法で検討してみる。発注量は、単位時間当たりの需要量の何倍か（例えば何日分とか；以降の説明では発注量日数）を予め決めておき、直近のデータで計算した需要に発注量日数を掛けて求める。具体的に、次の条件で検討してみる。

データ集計時間；4 日
平均受注件数；8 件、分散；8
量/件；平均 5 個、変動は変動係数 0.25 の正規分布
発注量日数；4 日
平均受注量/日；直近の 5 日間の平均（移動平均）

納入リードタイム日数；10 日
シミュレーション日数；1,000 日

在庫、発注残、発注待ちを包括したもの（以下、従来 STI）のシミュレーション結果の一例を図 7-1 に示す。でこぼこしているのが分かる。

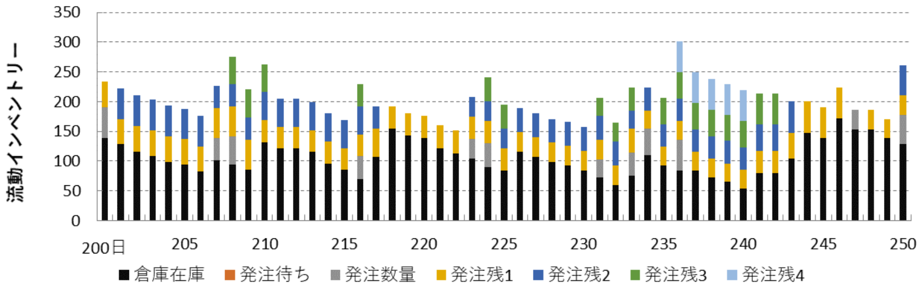


図 7-1　従来の不定期不定量発注での従来 STI の推移

上記と同等となるような条件で、STIC 定件発注でシミュレーションをしてみる。定件数は、4（日）x2（件／日）＝8（件）で、8 件となる。シミュレーション結果の一例を図 7-2 に示す。定件発注においても、STI が一定となる特性は維持されていることが分かる。

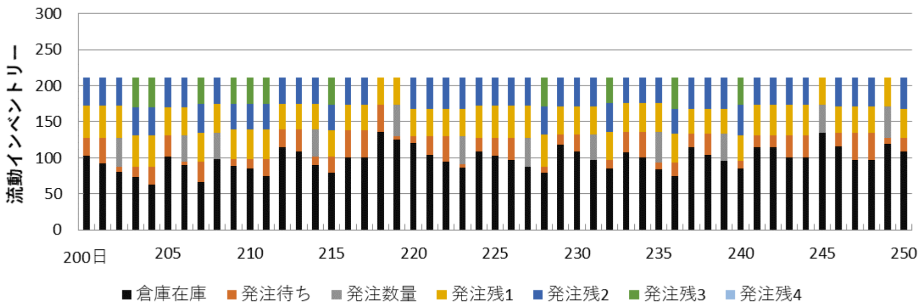


図 7-2　STIC 定件発注での STI の推移

図 7-3 に両者の在庫分布の一例を示す。

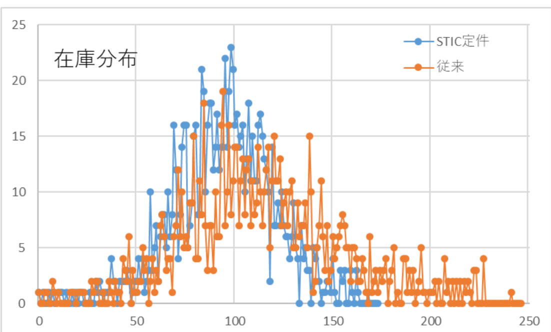


図 7-3　従来と STIC 発注の在庫の分布状態

表 7-1 に数値データを示す。

<table>
<tr><th colspan="2">不定期不定量検討結果</th><th>従来</th><th>STIC定件</th></tr>
<tr><td rowspan="3">流動インベントリー</td><td>最大</td><td>407</td><td>211</td></tr>
<tr><td>平均</td><td>222</td><td>211</td></tr>
<tr><td>最小</td><td>122</td><td>211</td></tr>
<tr><td rowspan="3">在庫量</td><td>最大</td><td>241</td><td>168</td></tr>
<tr><td>平均</td><td>114</td><td>94</td></tr>
<tr><td>最小</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

表 7-1　数値データ

従来の不定期不定量発注と比べ、STIC 定件発注の STI および在庫は少ない。明らかに、従来の不定期不定量発注と比べて、STIC　定件発注が優れていることが判る。ここで、理想的だと喧伝されている従来の不定期不定量発注の STI や在庫が大きくなる理由について考えてみたい。

従来の不定期不定量発注の手順を再確認してみると、次のようになる。

① 直近の 5 日間の平均（移動平均）で　平均受注量/日　を計算する。
② （在庫量＋発注残）÷（平均受注量/日）＝出荷対応日数　を計算する。
③ 出荷対応日数≦納入リードタイム　であれば発注する。そうでなければ発注しない。
④ 発注量は、（平均受注量/日）×4（日）　で求める。
⑤ これを出荷があるたびに行う。

需要分布の母集団は変わらないという前提でみてみる。先ず①の　平均受注量/日　は母集団の標準偏差を σとすれば、$\sigma/\sqrt{5}$のバラツキを持つ。これは、統計論でいう第 1 種の過誤による誤差と考えられる。その誤差が②の出荷対応日数および③の発注日、④の発注量のバラツキを大きくする。このような誤差の伝搬、増幅の結果、流動インベントリーや在庫が大きくなるのではないか。

出荷量（受注量）に対して、どのようなタイミングでいくつ補充発注しているかをもう少し詳しくみてみよう。一例を図 4 に示す。黒は出荷量、水色は出荷対応日数、赤点は補充発注日と発注量を表す。

出荷対日数が 10 日以下になったときに補充発注していることが確認できる。気になるのは、楕円で囲んだ部分。出荷量が減少傾向にあるときに連続して補充発注している。しかも2日目は発注量が増えている。需要追従の狙いとは逆行しているようにみえる。

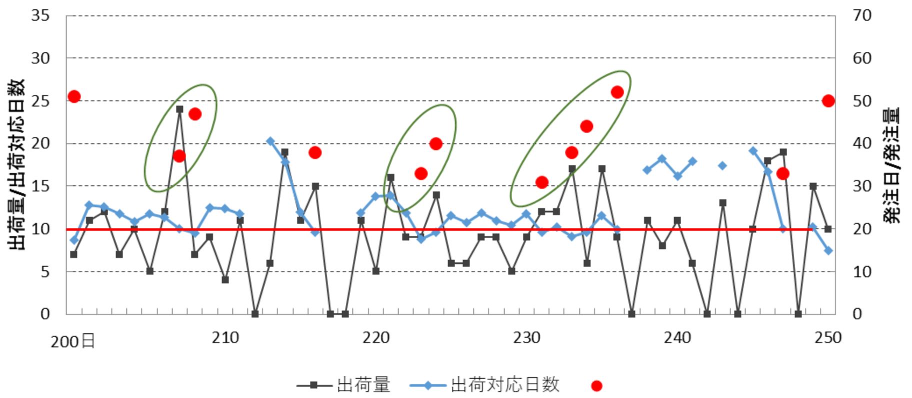


図 7-4　従来方式の出荷量、出荷対応日数、補充発注日と発注量の推移

次に、STIC 定件発注の場合はどうなるかをみてみる。シミュレーション結果を図 7-5 に示す。出荷量は全く同じ。補充発注のタイミングの違いにお気付きだろうか。受注件数を一定（ここでは 8 件）にしているので、発注間隔は一定ではないし、発注量もばらつく。概ね、出荷量が増えてくると補充発注される。ここでは出荷対応日数と発注タイミングとは関係ないが、比較のために載せてある。常に 10 日以上ある。

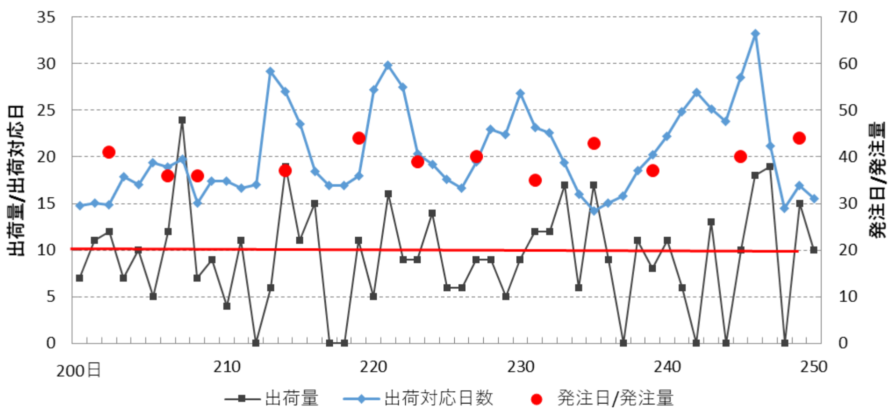


図 7-5　 STIC 定件発注の出荷量、出荷対応日数、補充発注日と発注量の推移

先に、従来の不定期不定量発注の STI が大きくなる理由は第1種の過誤によるバラツキではないか、との疑念を指摘した。それを確かめてみよう。移動平均値の代わりに、固定値を用いてみる。平均出荷量/日は、24（時間）÷12（時間）×5（個）＝10（個/日） なので、常に 10 個/日を使ってみる。補充発注量は 4 日分なので、40 個一定。

固定値でシミュレーションした時の STI の推移を図 7-6 に、数値データを表 7-2 に示す。

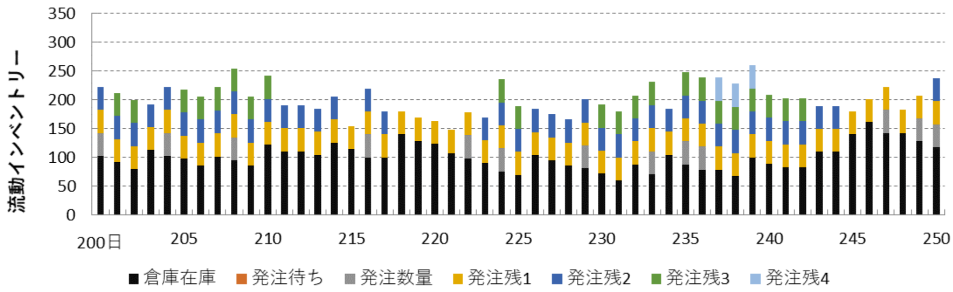


図 7-6 固定値での従来不定期不定量発注の流動インベントリー

不定期不定量検討結果		従来	従来;発注量一定	定件
流動インベントリー	最大	407	333	211
	平均	222	215	211
	最小	122	127	211
在庫量	最大	241	211	168
	平均	114	108	94
	最小	0	0	0

表 7-2

3方式のシミュレーション結果

固定値を使った方が、STI は小さくなり、在庫も少なくなる。第1種の過誤によるゆらぎがなくなったためと考えられる。図 7-7 は固定値を使った従来方式の出荷量、出荷対応日数、補充発注日と発注量の推移である。

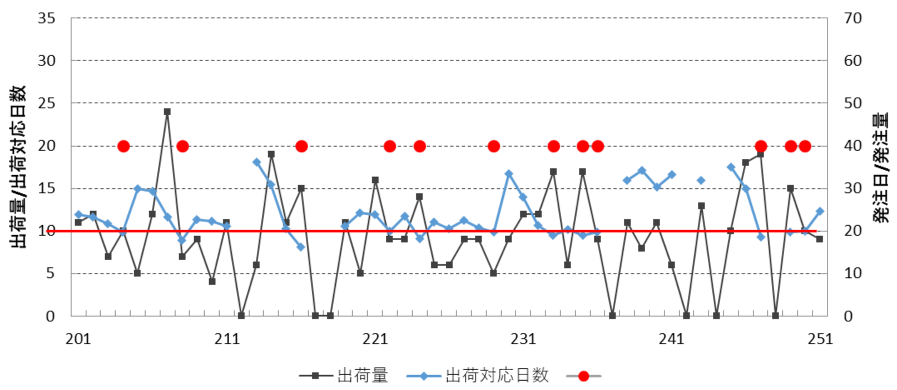


図 7-7 固定値を使った従来方式の出荷量、出荷対応日数、補充発注日と発注量の推移

平均受注量に固定値を使うということは、定量発注と同じことになる。発注点は次の式で求められる。

$$\frac{\text{在庫} + \text{発注残}}{\text{平均受注量固定値}} \leq \text{納入リードタイム}$$

需要変動に追従させて発注間隔も発注量も最適化するとうたう巷の不定期不定量発注。結果は定量発注より劣る。正確に言えば、ここで比較した定量発注は従来の定量発注ではない。発注点を下回る分を加え修正した定量発注である。だから、修正を加えない従来の定量発注と比べれば、巷の不定期不定量発注の方が良いと主張する余地はあるのかもしれない。が、理論不在の戯言の域を出ない。

第 8 章　定量、定期、定件発注を比較する

STIC 発注方式での定量、定期、定件発注のそれぞれについて、従来の方法との比較を交えて検討してきた。いずれの方法においても STIC 発注方式の優位性が顕著である。次に、STIC 発注方式での定量、定期、定件発注それぞれの流動インベントリーの大きさ SSTI を求める近似式を比較して、その特徴をみてみる。近似式を表 8-1 にまとめた。

	$\overline{\mathrm{D}}$	Vd
基本	$\overline{\mathrm{Q}}\cdot\overline{\mathrm{Np}}$	$\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot\mathrm{Vnp}\cdot\delta+\overline{\mathrm{Np}}\cdot\mathrm{Vq}$
定量発注	$\overline{\mathrm{Q}}\cdot\overline{\mathrm{Np}}+\mathrm{Oc}+\overline{\mathrm{Fr}}$	$\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot\mathrm{Vnp}+\overline{\mathrm{Np}}\cdot\mathrm{Vq}+\mathrm{Vfr}$
定期発注	$\overline{\mathrm{Q}}\cdot(\overline{\mathrm{Np}}+\overline{\mathrm{Ny}})$	$\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot(\mathrm{Vnp}+\mathrm{Vny})+(\overline{\mathrm{Np}}+\overline{\mathrm{Ny}})\cdot\mathrm{Vq}$
定件発注	$\overline{\mathrm{Q}}\cdot(\overline{\mathrm{Np}}+\mathrm{Nc})$	$\overline{\mathrm{Q}}^2\cdot\mathrm{Vnp}+(\overline{\mathrm{Np}}+\mathrm{Nc})\cdot\mathrm{Vq}$
SSTI	$\mathrm{SSTI}=\overline{\mathrm{D}}+\alpha\cdot\sqrt{\mathrm{Vd}}$	

表 8-1　定量、定期、定件発注の SSTI 算出近似式

納入リードタイム Tp が一定で、その間の受注件数 Np、量/件 Q が変動するときを基本として、濃茶色で示した部分がそれぞれの発注方法で加算される部分である。定量発注では SSTI の平均が定量発注量 Oc と発注後回し端数の平均 $\overline{\mathrm{Fr}}$ を加算した分だけ大きくなる。また端数の分散 Vfr は SSTI の分散に加算される。定期発注は発注サイクル間の受注件数 Ny が増え、平均および分散を大きくする。定件発注では定件数 Nc 分、平均が大きくなるが件数のバラツキはない（Nc の分散は 0）。但し、量/件 Q のバラツキ Cq の影響を受け、分散はその分大きくなる。

間欠需要のときは補正係数 δで分散を補正することで、近似性を高めることができる。δは次の式で求める。

$$\delta=\frac{1}{2}\cdot\left(4+\overline{\mathrm{Np}}^2-\overline{\mathrm{Np}}\cdot\sqrt{\overline{\mathrm{Np}}^2+4}\right)$$

基本の Vd は次のようになる。

$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} \cdot \delta + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq}$

詳細については、本ペーパの第2章を参照されたい。

変数は Q、Vq、Cq、Np、Vnp、Ty、Ny、Vy、Nc と多数あるので、全領域を詳細に表現することは簡単ではないので、主な特徴を概観してみる。

始めに、

納入リードタイム；Tp=100 一定

受注件数平均；$\overline{\mathrm{Np}} = 10$

量/件平均；$\overline{\mathrm{Q}} = 10$

の条件で、Oc を 40～240 の範囲（同等の Ny、Nc は 4～24）で、Vnp=10、Vq=0　の場合と Vnp=0、Vq=100 の場合の SSTI を比較した結果を図 8-1 と図 8-2 に示す。

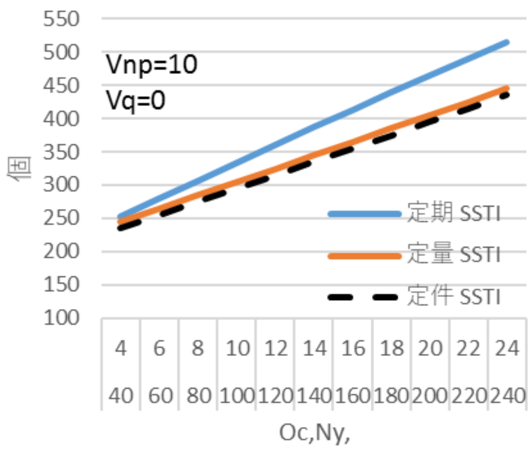


図 8-1

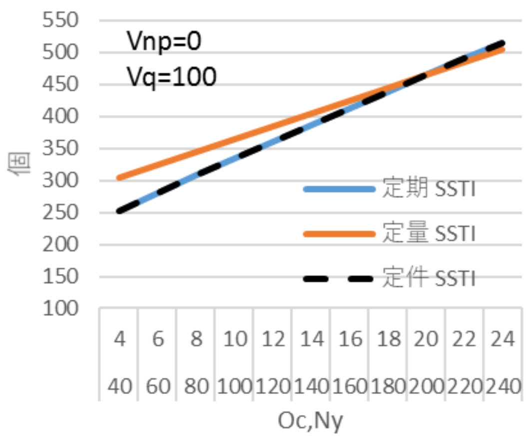


図 8-2

次に、Oc=120（Ny、Nc は 12)に固定して Cq を 0～1 の範囲で振った場合、$\overline{\mathrm{Q}}$ が 10 のときの SSTI を図 8-3、20 のときのそれを図 8-4、30 のときのそれを図 8-5 に示す。

図 8-6 には、発注サイクル Ty を 120 一定とし、受注間隔 Ti を 2～22 の範囲で振ったときの SSTI の変化を示してある。

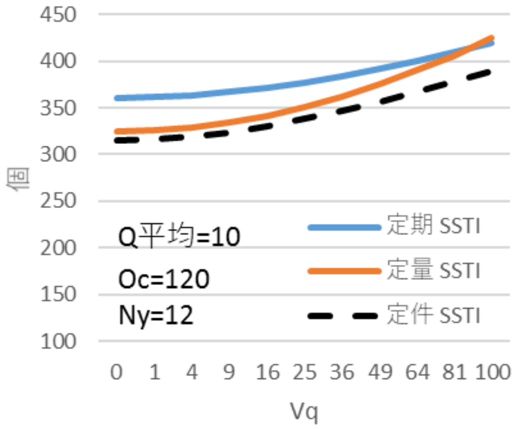


図 8-3

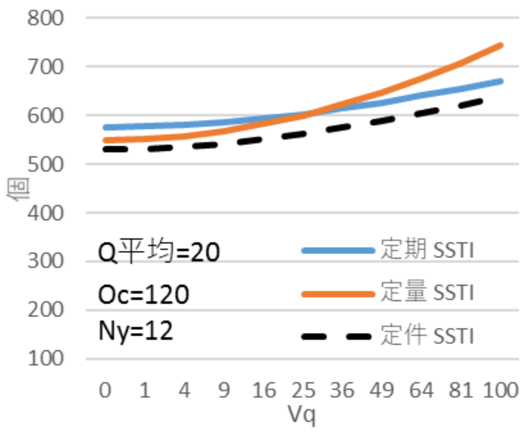


図 8-4

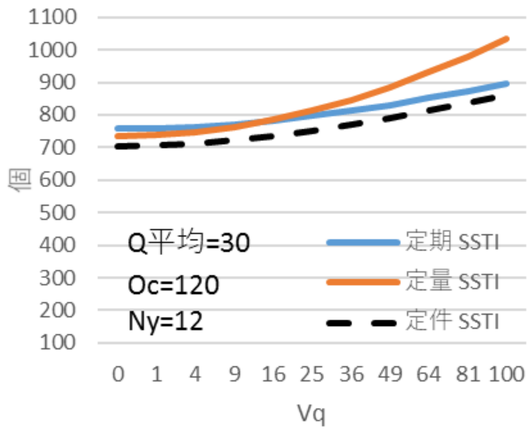


図 8-5

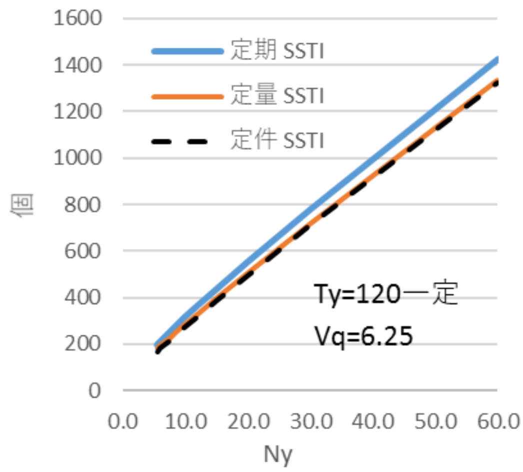


図 8-6

定量、定期、定件の3方式の大まかな特徴をまとめると、次のようになる。

① 定件発注は大部分の条件で流動インベントリーの大きさ SSTI が小さい
② 定量発注と定期発注の条件によって、SSTI の大小が異なる
③ 実用的な範囲で考えれば、定量発注の方が SSTI は小さくなるケースが多い
④ 量/件 Q およびその変動係数 Cq が大きくなると定量発注の SSTI が大きくなる

定件発注がほとんどの条件で SSTI が小さいということは、不定期不定量発注が最良であることを示している。また、定量発注が定期発注より SSTI が小さくなるケースが多いということは、定量発注は大雑把で、低価格品の在庫管理にしか使えないという説を覆すことになる。

SSTI を簡単に試算できいるテーブルを「在庫量試算」(http://www.tocken.com/zaikoshisan.html)

に用意してあるので、参照されたい。

第 9 章　納入リードタイムの変動がある場合

発注してから入庫されるまでの納入リードタイム Tp が変動する場合、流動インベントリーの大きさ SSTI はどのようになるであろうか。Tp は、定量、定期、定件のそれぞれに共通であるので、在庫管理の基本形で検討するのが分かりやすす。受注間隔を Ti、納入リードタイム Tp 間の受注件数を Np、量/件を Q として、受注量 D は次のようになる。（本章では間欠需要時の補正項 δは 1 としている）

$$\mathrm{D} = \mathrm{Q} \cdot \mathrm{Np} = \mathrm{Q} \cdot \frac{\mathrm{Tp}}{\mathrm{Ti}}$$

ここで、Ti と Q のバラツキをゼロとすると、$\mathrm{Q/Ti}$ が定数となる。Tp の分散を Vp として、D の分散 Vd は分散の公式を利用して次のようになる[3]。

$$\mathrm{Vd} = \left(\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{Ti}}\right)^2 \mathrm{Vp}$$

Tp の変動係数 Cp で表せば、$\mathrm{Vp} = \overline{\mathrm{Tp}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2$　であるから、Vd は次のようになる。

$$\mathrm{Vd} = \left(\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{Ti}}\right)^2 \cdot \overline{\mathrm{Tp}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2 = \mathrm{Q}^2 \cdot \left(\frac{\overline{\mathrm{Tp}}}{\mathrm{Ti}}\right)^2 \cdot \mathrm{Cp}^2 = \mathrm{Q}^2 \cdot \overline{\mathrm{Np}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2$$

この式は、Tp が変動する場合に増加する分散を示している。Ti、Q、Tp はそれぞれ独立と考え、分散の加法性を適用して、SSTI を求めることができる。基本形の SSTI の分散 Vd は、Q を$\overline{\mathrm{Q}}$に戻して、次のようになる。

$$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq} + \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \overline{\mathrm{Np}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2$$

STIC 定量、定期、定件発注の納入リードタイム Tp が変動する場合の SSTI は表 9-1 に示すようになる。Tp の変動があっても、いずれもその平均は変わらない。

[3] a を定数、X を変数、V[X]を X の分散とすると $\mathrm{V[aX]} = \mathrm{a}^2 \cdot \mathrm{V[X]}$

	$\overline{D}$	Vd
基本	$\overline{Q}\cdot\overline{Np}$	$Vd=\overline{Q}^2\cdot Vnp+\overline{Np}\cdot Vq+\overline{Q}^2\cdot\overline{Np}^2\cdot Cp^2$
定量発注	$\overline{Q}\cdot\overline{Np}+Oc+\overline{Fr}$	$Vd=\overline{Q}^2\cdot Vnp+\overline{Np}\cdot Vq+Vfr+\overline{Q}^2\cdot\overline{Np}^2\cdot Cp^2$
定期発注	$\overline{Q}\cdot(\overline{Np}+\overline{Ny})$	$Vd=\overline{Q}^2\cdot(Vnp+Vny)+(\overline{Np}+\overline{Ny})\cdot Vq+\overline{Q}^2\cdot\overline{Np}^2\cdot Cp^2$
定件発注	$\overline{Q}\cdot(\overline{Np}+Nc)$	$Vd=\overline{Q}^2\cdot Vnp+(\overline{Np}+Nc)\cdot Vq+\overline{Q}^2\cdot\overline{Np}^2\cdot Cp^2$
SSTI	$SSTI=\overline{D}+\alpha\cdot\sqrt{Vd}$	

表 9-1 納入リードタイム Tp が変動する場合の SSTI

注記） 納入リードタイム Tp の変動が大きくなり、変動幅が大きくなると、後から発注したものが先に入庫されることが起こり得る。現実的には、発注順通りに入庫順されることの方が一般的なので、発注順と入庫順は同一という条件で近似式を求めてある。しかし、そうすると Tp と発注間隔との干渉が起き、近似式の誤差が大きくなることがある。目安として、Tp の変動係数 Cp が 0.3～0.4 以上の領域では、そうなる場合があることに留意されたい。Tp と発注間隔の干渉がどのような影響を及ぼすかは今後の検討課題とする。

第 10 章 顧客リードタイムがある場合

顧客の注文を受けて在庫から直ちに出荷する、いわゆる即納を条件として在庫管理の基本的メカニズムを分析してきた。それに定期や定量、定件の条件を付加し、定期発注や定量発注、定件発注の特性を捉えた。次に顧客リードタイムがある場合、STIC 発注方式はどのようになるのかを検討する。

顧客リードタイムとは本来、顧客側からみて、発注してから納入されるまでの時間であり、輸送時間なども含むが、ここでは、在庫管理側の視点で受注から出荷までの時間を指すことにする。顧客リードタイムは受注側が設定する場合、顧客側の要求がある場合、両者の話し合いで決める場合などがある。

注文を受け、顧客リードタイム後に出荷する場合、在庫補充の発注のタイミングを受注時とするか、出荷時とするか、二通りの方法が考えられる。補充発注のタイミングが早い方が、欠品のリスクが少なくなると考えられているためか、注文を受けたときに補充発注する方法で説明されることが多

い。しかし、出荷した分を補充するという STIC 発注方式をベースにするならば、出荷時に補充発注する方が整合性は取れる。受注時に補充発注する方法を受注基準発注、出荷時に補充発注する方法を出荷基準発注として、両者の特徴を比較し STIC 発注方式の特性を捉えてみたい。

10.1 出荷基準発注

先ず、在庫管理の基本形をベースにして出荷基準発注から検討を進める。図 10-1 を参照願いたい。基本形は、受注と同時に出荷、補充発注が行われる。基本的な動きをみるために変動がないものとしてみてゆく。

顧客リードタイムがある場合は、出荷時刻より顧客リードタイム分前もって受注情報が得られる。事前に出荷予定情報が得られても、その時点で補充発注は行わない。実際に出荷した時に補充発注を行う。出荷した時に補充発注を行うということは、STIC 発注方式の基本形そのままであり、何の変更もない。変化があるのは、受注から出荷まで、受けた注文が出荷されずに受注残として保留されていることである。受注残分は補充発注されていないので、実質的な流動インベントリーSTI とはならず、受注残リストに情報が残るだけである。

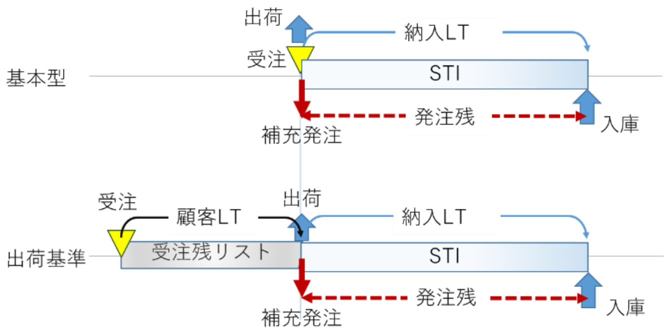


図 10-1　出荷基準発注の概念

受注残リストがあることによって受注状況を早く知ることができるため、次のような利点がでてくる。
① 優先順の調整ができる
② 納期調整ができる
③ 追加発注などの手が打てる
④ 突発的受注などに対し、事前に判断、調整ができる

簡単に言えば、顧客リードタイムがあることによって、在庫管理側に調整、対策などを行う時間的余裕が生じるだけで、STIC 発注方式は何の変更もなく、そのままだということである。

10.2　受注基準発注

図 10-2 は受注時に補充発注し、顧客リードタイム後に出荷する受注基準発注の概念を示している。ケース A は、顧客リードタイム＜納入リードタイム　の場合、ケース B は、
顧客リードタイム＞納入リードタイム　の場合である。

顧客リードタイム間、受注案件は受注残リスト上にある。と同時に、納入リードタイムの間は発注残の状態にある。ケース　A　では顧客リードタイム分前もって補充発注するので、その分初期在庫が減るが、STI は変わらない。ケース B では（[顧客リードタイム]ー[納入リードタイム]）間の分が実在庫となり、STI を大きくする。

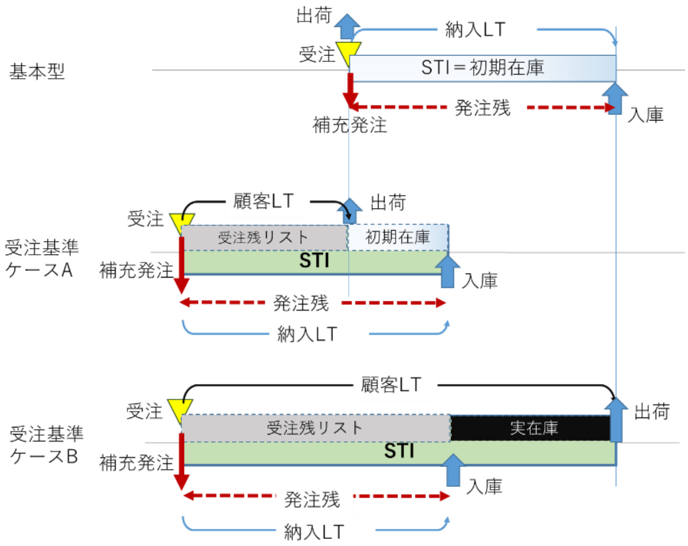


図 10-2　受注基準発注の概念

具体的な数値を使って考えてみたい。図 10-3 は、納入リードタイム 100、受注間隔 10、量/件 1 のとき（いずれも変動はない）の顧客リードタイムに対する発注残、在庫の関係を示す。初期在庫は顧客リードタイムがゼロのときは 10、100 のときはゼロとなるが、発注残は（納入リードタイム÷受注間隔）で決まり、顧客リードタイムに関係なく 10 である。顧客リードタイム＞納入リードタイム　の領域では初期在庫は不要（ゼロ）であるが、実在庫は顧客リードタイムに比例して大きくなる。STI も発注残に実在庫が加わり、顧客リードタイムに比例して大きくなる。

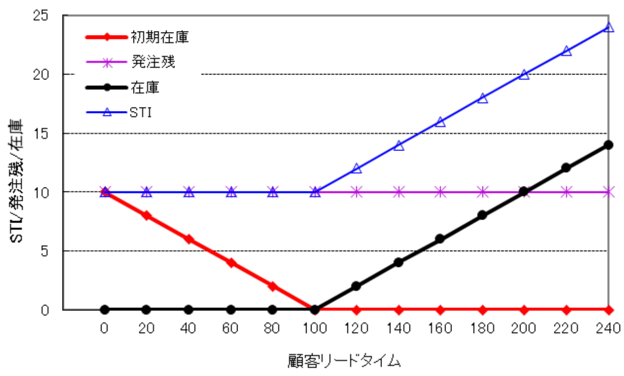


図 10-3　顧客リードタイムに対する STI、発注残、在庫の関係

次に、各要素に下記の変動を与えて、シミュレーションを行ってみる。

納入リードタイム平均;$\overline{\mathrm{Tp}} = 100$、その変動係数;Cp＝0、0.17

受注間隔平均;$\overline{\mathrm{Ti}} = 10$、その変動係数;Ci＝1（指数分布）

（納入リードタイム 100 での平均受注件数;$\overline{\mathrm{Np}} = 10$、その分散 Vnp=10）

量/件の平均;$\overline{\mathrm{Q}} = 1$、その変動係数;Cq=0

顧客リードタイム平均;$\overline{\mathrm{Tu}} = 0$~$200$、その変動係数;Cu=0.25（正規分布）、1（指数分布）

顧客リードタイムに対して初期在庫がどのようになるか、そのシミュレーション結果の一例を図 10-4 に示す。初期在庫は顧客リードタイムに反比例して少なくなることは既述の通りであるが、変動が大きくなるに従って多くなり、顧客リードタイム＞納入リードタイム　の領域でも初期在庫が必要になる。

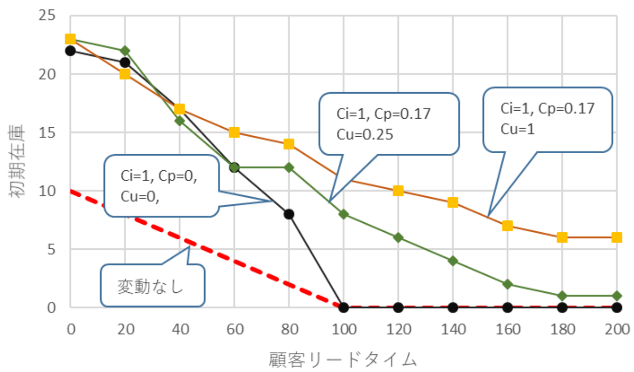


図 10-4　変動があるときの初期在庫の一例

図 10-5 は Ci=1、Cp=0.17、Cu=1、$\overline{\mathrm{Tu}} = 80$での STI の推移の一例である。受注した時に補充発注するため、その分が発注残として加わり、且つ変動するので STI も変動し大きくなる。

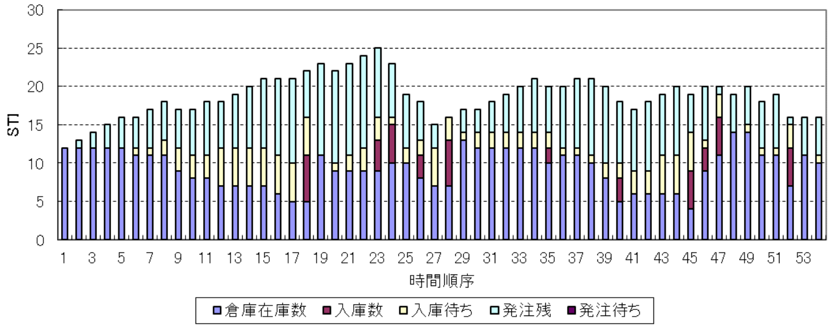


図 10-5　受注基準発注のときの STI の一例

図 10-6 は変動がある場合の顧客リードタイムに対する STI の最大値をシミュレーションで得た結果の一例である。バラツキが大きくなると STI の最大値も大きくなる。留意すべきことは、顧客リードタイムがゼロの時、STI　は一定であるが、バラツキがある場合、STI　もバラツキ、その最大値は STI の一定値（顧客リードタイムが 0 のとき）より大きくなる場合が多いことである。

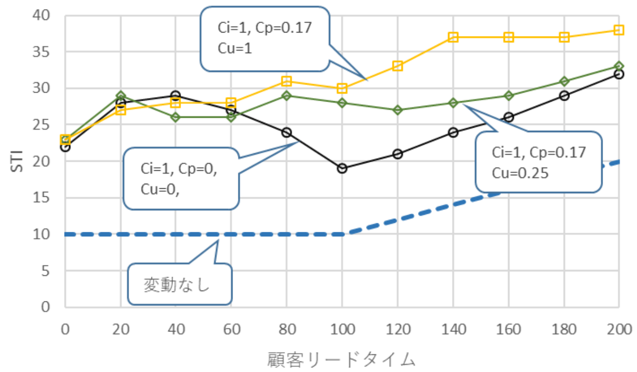


図 10-6　受注基準発注のときの顧客リードタイムに対する STI の関係

受注基準発注の特徴をまとめると次のようになる。

① 必要初期在庫は顧客リードタイムに逆比例して少なくなる
② STI は、発注残が加わるため、大きくなることが多く、また一定とはならない
③ 初期在庫と STI は一致しない
④ 顧客リードタイム＞納入リードタイムでは実在庫が加わり、STI が比例的に大きくなる

10.3　出荷基準発注と受注基準発注の比較

顧客リードタイムがある場合、受注と出荷のタイミングがずれる。補充発注をどちらのタイミングで行うか、その特性を調べてみた。表 10-1 に両者の比較の概要をまとめた。

	出荷基準発注	受注基準発注
STI	常時一定	変動する。出荷基準発注に比べ最大値が大きくなる
初期在庫	顧客LTによって変わらない	顧客LTの長さに反比例して小さくなる
受注残情報	先行情報として使える ① 優先順の調整ができる ② 納期調整ができる ③ 追加発注などの手が打てる ④ 突発的受注など、事前に判断、調整ができる	先行情報として使えない
管理方法	顧客LT有り無しで共通	顧客LTがある製品（SKU）の管理方法は別扱い

表　10-1　出荷基準発注と受注基準発注の比較

受注基準発注の利点は初期在庫が小さくなることであるが、STI は小さくならない。また、STI が一定とならず、変動する。ここでは　STIC　発注方式をベースにした受注基準発注で検討を行った。これまでの在庫管理でも受注基準発注をベースにしていることが多いようであるが、従来の発注方法で受注基準発注を行えば、発注点に関する制約や発注ごとの需要予測の影響があり、かなり複雑な動きになることも留意しておきたい。

一方、出荷基準発注は、STI　が小さく、一定となり、また受注残情報を様々な管理・調整に利用できるなど実用的なメリットは多い。顧客リードタイム有り無しに関係なく STIC 発注方式共通の管理方法をとれることで管理方法が非常に簡単になる。

＜参考＞

初期在庫の大きさ（INI）と流動インベントリーの大きさ（SSTI）求める簡易式

既述のように、受注基準発注の実用的なメリットはあまりないが、その特性がどうなるかをより深く知ることはああながちムダでもないであろう。理解を深める一助になるかもしれないので、初期在庫および流動インベントリーの大きさを求める簡易式を付記しておく。

簡易式は、基本形をベースに顧客リードタイムがあることによって変化する分を導出してある。

①　初期在庫の大きさ（INI）

$$\overline{INI} = \bar{Q} \cdot \frac{\overline{Tp} - \overline{Tu}}{\overline{Ti}}$$

$$Vini = \bar{Q}^2 \cdot \left\{ \frac{\overline{Tp} - \overline{Tu}}{\overline{Ti}} \cdot (Ci^2 + Cq^2) + \left(\frac{\overline{Tp}}{\overline{Ti}} \right)^2 \cdot Cr^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\overline{Tu}}{\overline{Ti}} \cdot \sqrt{Cu} \right\}$$

但し、$\overline{Tp} - \overline{Tu} < 0$　のときは 0 とする。

$$INI = \overline{INI} + \alpha \cdot \sqrt{Vini}$$

　α:安全係数

② Tu による発注残 RO の大きさを求める

　（SSTI を求める前に Tu による変化分を求めておく）

$$\overline{RO} = \bar{Q} \cdot \frac{\overline{Tu}}{\overline{Ti}}$$

$$Vro = \bar{Q}^2 \cdot \left\{ \frac{\overline{Tu}}{\overline{Ti}} \cdot (Ci^2 + Cq^2) \right\}$$

③ 流動インベントリーの大きさ（SSTI）

$$SSTI = INI + \overline{RO} + \alpha \cdot \sqrt{Vro}$$

図 10-7 と図 10-8 に、前述と同条件のシミュレーション結果と簡易式（α=3）で求めた計算値の対比を示す。

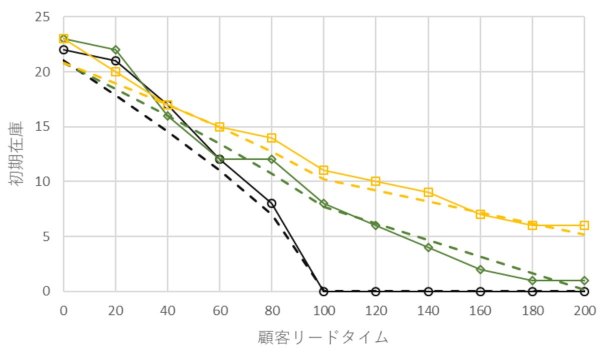


図 10-7　初期在庫のシミュレーション値（実線）と簡易計算値（破線）

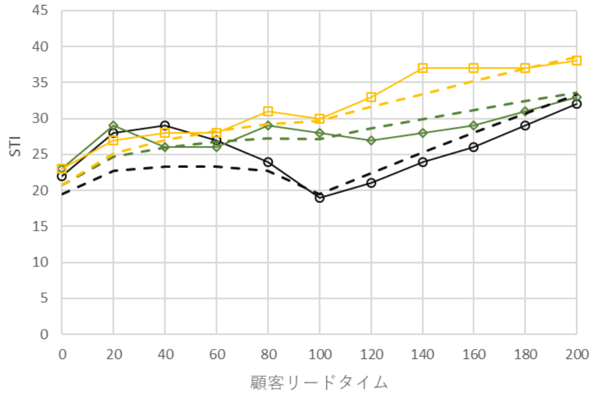


図 10-8　STI のシミュレーション値（実線）と簡易計算値（破線）

第 11 章　実在庫の分布

11.1　シミュレーションでの概要把握

流動インベントリーSTI は在庫、注残、発注待ちを包括したものである。実際に倉庫に現物として存在するのは実在庫である。実際に在庫がどのくらいあるかは在庫管理での関心事のひとつであり、また、倉庫の必要面積を決めるためにも在庫量は知りたいものである。初めに、STI に対して、実在庫の分布がどのようになるのかの概要をシミュレーションで捉えてみる。

＜シミュレーション1＞
条件；
受注到着間隔（Ti）＝10、その変動係数（Ci）＝0.25
受注 1 件の受注数（Q）＝12、その変動係数（Cq）＝0.25
発注方式；定量、定量数（Oc）=96
納入リードタイム；50、250、350、その変動係数 Cp＝０

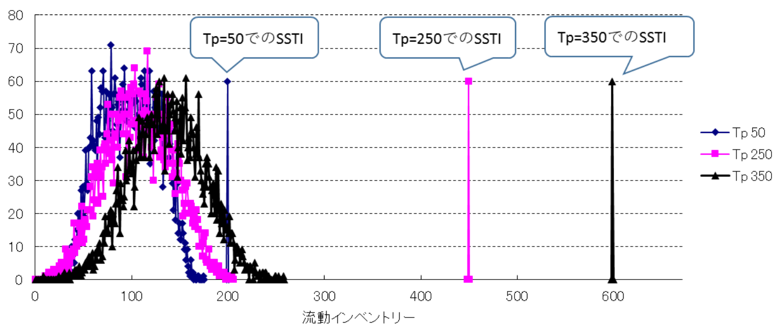


図 11-1　納入リードタイムを振ったときの SSTI と在庫分布

＜シミュレーション2＞

条件；

受注到着間隔（Ti）＝10、その変動係数（Ci）；0.25、0.7、1

受注 1 件の受注数（Q）＝12、その変動係数（Cq）＝0.25

発注方式；定量、定量数（Oc）=96

納入リードタイム＝250、その変動係数 Cp＝0

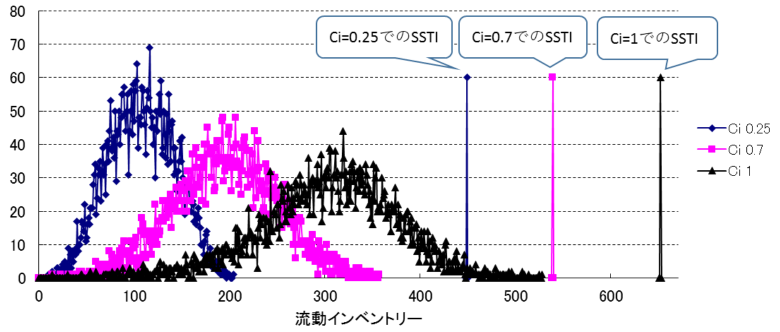


図 11-2　受注間隔の変動係数 Ci を振ったときの SSTI と在庫分布

＜シミュレーション3＞

条件；

受注到着間隔（Ti）＝10、その変動係数（Ci）＝1

受注 1 件の受注数（Q）＝12、その変動係数（Cq）＝0.25

発注方式；定期、発注サイクル（Ty）＝80

納入リードタイム＝250、その変動係数 Cp；0、0.32、0.53

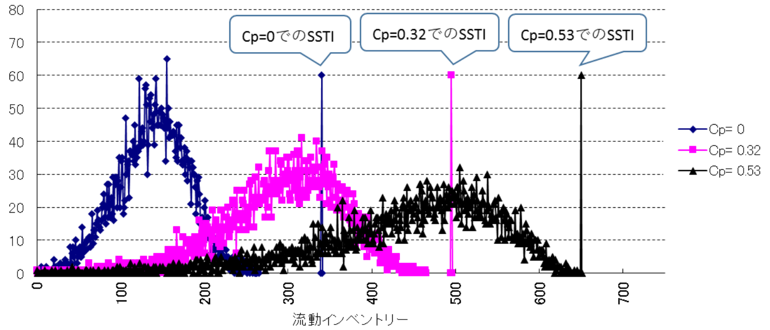


図 11-3　納入リードタイムの変動係数 Cp を振ったときの SSTI と在庫分布

11.2 近似式はどうなるか

実在庫の分布はおおむね正規分布に近い形状である。であれば、平均値と標準偏差の α倍を加算した最大値で捉えることができる。導出過程は省略するが、流動インベントリーのメカニズムとシミュレーションデータの解析を通して、導き出した。近似式とシミュレーション結果はよく一致することを確認している。

サイクル在庫の平均は、定量、定期、定件の発注方法によって異なり次のようになる。

サイクル在庫平均

定量；$\frac{\mathrm{Oc}}{2} + \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp}$

定期；$\overline{\mathrm{Q}} \cdot (\frac{\mathrm{Ny}}{2} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp})$

定件；$\overline{\mathrm{Q}} \cdot (\frac{\mathrm{Nc}}{2} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp})$

在庫の分散は次のようになる。

在庫分散＝$\overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq} + \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \overline{\mathrm{Np}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2$

在庫平均は安全係数を α として、次のようになる。

在庫平均＝サイクル在庫平均＋$\alpha \cdot \sqrt{\text{在庫分散}}$

在庫最大は在庫平均の2倍である。

在庫最大＝2×在庫平均

但し、最大在庫＞SSTI のときは、最大在庫＝SSTI

表 11-1 は実在庫平均と最大を算出する近似式をまとめたものである。

		サイクル在庫平均		
発注方法	定量	$\frac{\mathrm{Oc}}{2} + \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp}$	在庫分散	$\overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq} + \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \overline{\mathrm{Np}}^2 \cdot \mathrm{Cp}^2$
	定期	$\overline{\mathrm{Q}} \cdot (\frac{\mathrm{Ny}}{2} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp})$	在庫平均	サイクル在庫平均＋$\alpha \cdot \sqrt{\text{在庫分散}}$
	定件	$\overline{\mathrm{Q}} \cdot (\frac{\mathrm{Nc}}{2} + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Cp})$	最大在庫	2×在庫平均 （最大在庫＞SSTIのとき最大在庫＝SSTI）

表 11-1 実在庫算出の近似式

11.3 実在庫と流動インベントリーの関係が示す適正在庫論の危うさ

本ペーパの冒頭で、現在の在庫管理論は目前に存在する在庫を基準としているのではないかと指摘した。このようなアプローチを在庫基準と呼んだ。在庫基準の具体例のひとつが、巷でよく耳にする目前に存在する在庫を最適化しようとする適正在庫論だ。

欠品を防ぐためには、実際に手持ちの在庫がなくならないようにしなければならない。同時に在庫はできるだけ少ない方がいい。欠品しない最少の在庫、これが適正在庫であり、適正在庫を保持するためにはどうすればいいか、これが適正在庫論の狙いでもある。

適正在庫論でいう適正在庫とは目前に存在する在庫、つまり、実在庫を指しているのではないか。

だとすれば、適正在庫論には誤解を招く危うさがあることになる。欠品を防ぐためには、実在庫、発注残、発注待ちを包括した流動インベントリーを補充時間の長さにあわせて確保しなければならないのであって、その中の実在庫だけを対象にしたのでは欠品を防ぐことはできないのである。また、本項で示したように、実在庫は入出庫のたびに増減し、定値をとることはない。適正在庫という響きのいい言葉とは裏腹に、実態をつかむのも容易ではないのである。流動インベントリーが常時一定であり、それを管理の基準とする STIC 発注方式と比べれば、適正在庫論の曖昧さがよくわかる。

第 12 章 受注先ごとの需要と受注側の需要分布との関係

一般的に、ひとつの在庫管理単位(以下、在庫管理ユニット)は複数の受注先を持っている。小売店では不特定多数の買い物客であり、B to B では特定されることが一般的だが、納入先は複数であることが多い。受注先ごとに、注文の件数も、量/件もまちまちである。

ここまでは、複数の受注先からくる受注量をまとめて、ひとつの分布として捉えて、検討を進めてきた。不特定多数の顧客であれば、ひとつの分布としてまとめても、統計学的には許容されると思われるが、特定少数の顧客からくる注文の場合はどうか。顧客の受注パターンの変化が受注側に及ぼす影響は相対的に大きくなることが懸念される。

供給地点から消費地に配送する物流の分野では倉庫をどのように配置するか、定番的課題である。その中のひとつの検討項目として、欠品率を最小に維持しつつ全体の在庫量を最少に保つための最適在庫拠点配置の模索も、在庫管理の視点からは興味のある課題である。

需要と供給を管理するサプライ・チェーン・マネジメントで常に付きまとうこのような課題に対応するためにも、受注先ごとの需要と受注側の需要分布との関係をレビューし、整理しておくことは管理のレベルを上げる点から有益である。

12.1　二つの受注先の注文パターンと受注側の受注量分布

受注先が二つあり、それぞれから異なるパターンで受注するとき、受注側の受注量分布はどのようになるのか調べてみる。

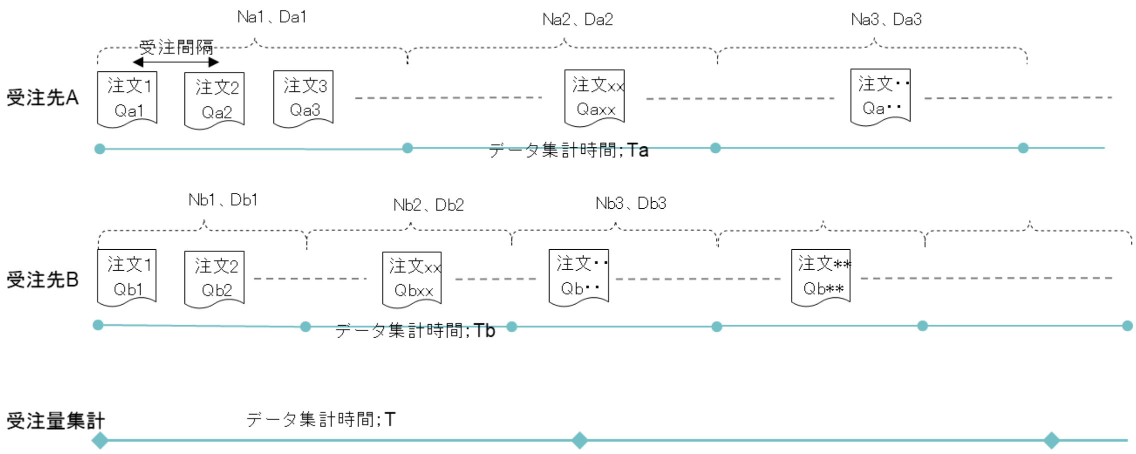


図 12-1　A、B の二つの受注先からくる注文と合計受注量の関係

既述のようにデータ集計時間;T の間に受注する受注量;D は、その間の受注件数;N と受注 1 件ごとの数量（量/件）;Q で決まる。図 12-1 は、受注先 A のデータ集計時間を Ta、受注件数を Na、量/件を Qa、受注量を Da、受注先 B のそれらをそれぞれ Tb、Nb、Qb、Db として、注文が舞い込む時間経過の一例を示したものである。

説明を簡単にするため T の変動はないものとするが、N、Q、D はランダムに変動する確率変数として扱う。それぞれの分布状態は、平均と分散で捉え、N の平均を$\overline{\mathrm{N}}$、その分散を Vn、Q の平均を$\overline{\mathrm{Q}}$、その分散を Vq、D の平均を$\overline{\mathrm{D}}$、その分散を Vd とする。受注先 A および B の受注パターンを決める項目は次のようになる。

A の受注パターン;Ta、$\overline{\mathrm{Na}}$、Vna、$\overline{\mathrm{Qa}}$、Vqa、$\overline{\mathrm{Da}}$、Vda
B の受注パターン;Tb、$\overline{\mathrm{Nb}}$、Vnb、$\overline{\mathrm{Qb}}$、Vqb、$\overline{\mathrm{Db}}$、Vdb

受注側では A および B からの注文を集計時間 T でまとめて集計し、その受注量の平均を$\overline{\mathrm{D}}$、その

分散を Vd とすると、$\overline{\mathrm{D}}$ と Vd はどのようになるか、を検討してみる。

先ず A からの注文を Ta の集計時間で、受注側で捉える受注量の平均を$\overline{\mathrm{Da}}$、その分散を Vda とすると、それぞれ次のように表すことができる。

$\overline{\mathrm{Da}} = \overline{\mathrm{Qa}} \cdot \overline{\mathrm{Na}}$

$\mathrm{Vda} = \overline{\mathrm{Qa}}^2 \cdot \mathrm{Vna} + \overline{\mathrm{Na}} \cdot \mathrm{Vna}$

同様に、B からの注文を Tb の集計時間で、受注側で捉える受注量の平均を$\overline{\mathrm{Db}}$、その分散を Vdb とすると、それぞれ次のように表すことができる。

$\overline{\mathrm{Db}} = \overline{\mathrm{Qb}} \cdot \overline{\mathrm{Nb}}$

$\mathrm{Vdb} = \overline{\mathrm{Qb}}^2 \cdot \mathrm{Vnb} + \overline{\mathrm{Nb}} \cdot \mathrm{Vnb}$

A と B をまとめた$\overline{\mathrm{D}}$ と Vd は次のようになる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Ta}} \cdot \overline{\mathrm{Da}} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tb}} \cdot \overline{\mathrm{Db}}$$

$$\mathrm{Vd} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Ta}} \cdot \mathrm{Vda} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tb}} \cdot \mathrm{Vdb}$$

受注先が A、B、C、、、と 3 か所以上あれば、受注側の$\overline{\mathrm{D}}$ と Vd は次のようになる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Ta}} \cdot \overline{\mathrm{Da}} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tb}} \cdot \overline{\mathrm{Db}} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tc}} \cdot \overline{\mathrm{Dc}} + \cdots$$

$$\mathrm{Vd} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Ta}} \cdot \mathrm{Vda} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tb}} \cdot \mathrm{Vdb} + \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{Tc}} \cdot \mathrm{Vdc} + \cdots$$

12.2 シミュレーションによる確認

具体的な数値を入れて、シミュレーションで確認してみる。表 12-1 の上部にシミュレーション条件を示す。下部は受注量のシミュレーション結果と計算結果である。シミュレーション結果と計算結果はよく一致している。合算受注量の欄で量/件の列が …… となっているのは、量/件の列だけを合算しても合算受注量の計算に使える数値とはならないからである。

	発注先A			発注先B			合算受注数量		
データ集計時間	Ta	100		Tb	100		T	150	
受注件数平均	$\overline{\mathrm{Na}}$	5		$\overline{\mathrm{Nb}}$	10		$\overline{\mathrm{N}}$	22.5	22.5
受注件数分散	Vna	5		Vnb	2.5		Vn	11.28	11.25
量/件__平均	$\overline{\mathrm{Qa}}$	10		$\overline{\mathrm{Qb}}$	20		……	……	……
量/件__分散	Vqa	6.25		Vqb	100		……	……	……
Sim/計算		Sim	計算		Sim	計算		Sim	計算
受注数量	$\overline{\mathrm{Da}}$	**49.7**	**50**	$\overline{\mathrm{Db}}$	**199.4**	**200**	$\overline{\mathrm{D}}$	**374.2**	**375**
受注数量分散	Vda	**527**	**531**	Vdb	**2007**	**2000**	Vd	**3791**	**3797**

表 12-1　受注先 A と B から受注量のシミュレーション結果の一例

図 12-2 に受注先 A と B の受注件数と量/件の分布形状、受注量および合算受注量の分布形状の一例を示す。

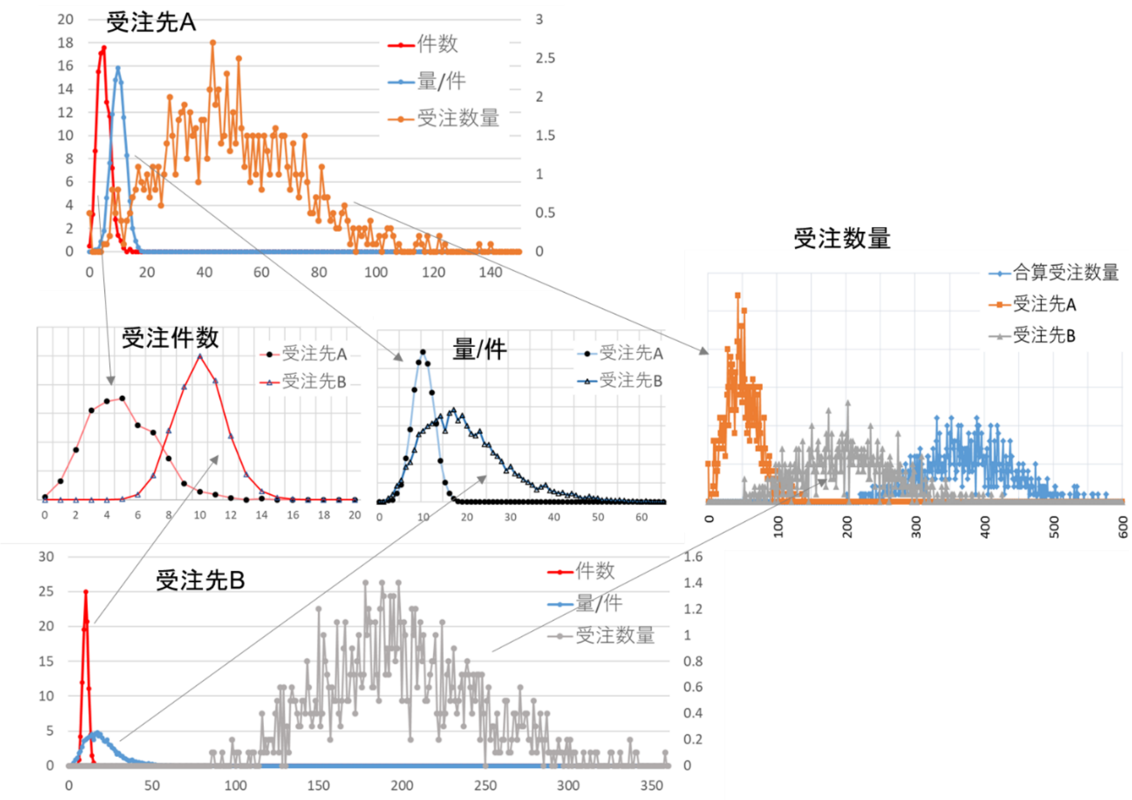


図 12-2　シミュレーション結果の分布形状

小売店のような在庫管理ユニットは不特定多数の客が買い物に来る。このような場合、客数をひとつの母集団とみなすのが現実的である。客ひとりひとりの買い物点数はバラツク。全体の売上数量は客数の分布と買い物点数の分布を積算して求めることができることは既述の通りである。

しかし、B to Bでは、特定少数の顧客との取引が多い。顧客ごとに取引条件が異なる場合もある。ある顧客は定期不定量発注、別の顧客は定量不定期発注、そして行き当たりばったりの発注を行う顧客もあるかもしれない。理不尽な要求を突き付けられても断ることができない関係の中で取引せざるを得ないこともある。このような状況下だからといって在庫管理を放棄するわけにはいかない。

顧客数が少なければ、個々の顧客からの受注変動の影響は大きくなる。本章で明らかにした“受注先ごとの需要と受注側の需要分布との関係”から、顧客ごとの需要変動と必要な流動インベントリーの大きさ（SSTI）との関係が明らかになる。特定小数の顧客を持つ B to B の在庫管理に役立つのではないかと思われる。

12.3 倉庫集約による在庫削減効果

複数の倉庫（在庫管理ユニット）を一カ所に集約すると流動インベントリーの大きさ；SSTI はどのようになるかを検討してみる。今、在庫管理ユニットが No.1、No.2、、No.P と P 箇所にあるのを、ひとつの在庫管理ユニットに集約するとする。簡単にするために各在庫管理ユニットの集計時間、補充時間そして集約後の補充時間はすべて等しいとする。各在庫管理ユニットの受注データは次の通り。

在庫管理ユニット No.1 の受注データ；$\overline{\mathrm{N1}}$、Vn1、$\overline{\mathrm{Q1}}$、Vq1、$\overline{\mathrm{D1}}$、Vd1
在庫管理ユニット No.2 の受注データ；$\overline{\mathrm{N2}}$、Vn2、$\overline{\mathrm{Q2}}$、Vq2、$\overline{\mathrm{D2}}$、Vd2
┆
在庫管理ユニット No.P の受注データ；$\overline{\mathrm{Np}}$、Vnp、$\overline{\mathrm{Qp}}$、Vqp、$\overline{\mathrm{Dp}}$、Vdp

各管理ユニットの SSTI は次のようになる。αは安全係数。
在庫管理ユニット No.1 の SSTI；$\overline{\mathrm{D1}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd1}}$
在庫管理ユニット No.2 の SSTI；$\overline{\mathrm{D2}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd2}}$
┆
在庫管理ユニット No.P の SSTI；$\overline{\mathrm{Dp}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vdp}}$

在庫管理ユニット No.1～No.n の合計 SSTI(p)は次のようになる。
$$\mathrm{SSTI(p)} = \overline{\mathrm{D1}} + \overline{\mathrm{D2}} + \cdots + \overline{\mathrm{D3}} + \alpha \cdot \left(\sqrt{\mathrm{Vd1}} + \sqrt{\mathrm{Vd2}} + \cdots + \sqrt{\mathrm{Vdp}}\right)$$

一カ所に集約した在庫管理ユニットの SSTI(集約)の平均 $\overline{\mathrm{D}}$ と分散 Vd は、

$$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{D1}} + \overline{\mathrm{D2}} + \cdots + \overline{\mathrm{Dn}}$$

$$\mathrm{Vd} = \mathrm{Vd1} + \mathrm{Vd2} + \cdots + \mathrm{Vdn}$$

となるので、SSTI(集約)は次のようになる。

$$\mathrm{SSTI}(集約) = \overline{\mathrm{D1}} + \overline{\mathrm{D2}} + \cdots + \overline{\mathrm{Dp}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd1} + \mathrm{Vd2} + \cdots + \mathrm{Vdp}}$$

俗に安全在庫と呼ばれるバラツキ分を比較すると、複数個所の場合の安全在庫(p)に対する集約した場合の安全在庫(集約)の比は次のようになる。

$$\frac{安全在庫(集約)}{安全在庫(\mathrm{p})} = \frac{\sqrt{\mathrm{Vd1} + \mathrm{Vd2} + \cdots + \mathrm{Vdp}}}{\sqrt{\mathrm{Vd1}} + \sqrt{\mathrm{Vd2}} + \cdots + \sqrt{\mathrm{Vdp}}}$$

バラツキの変動係数；c が同じであれば、$\mathrm{V} = \mathrm{c}^2 \cdot \overline{\mathrm{D}}^2$ であるから、次のように変形できる。

$$\frac{安全在庫(集約)}{安全在庫(\mathrm{p})} = \frac{\sqrt{\overline{\mathrm{D1}}^2 + \overline{\mathrm{D2}}^2 + \cdots + \overline{\mathrm{Dp}}^2}}{\overline{\mathrm{D1}} + \overline{\mathrm{D2}} + \cdots + \overline{\mathrm{Dp}}}$$

例えば、3 か所の在庫管理ユニットの平均受注量をそれぞれ、70、20、10 のとき、

$$\frac{安全在庫(集約)}{安全在庫(\mathrm{p})} = \frac{\sqrt{70^2 + 20^2 + 10^2}}{70 + 20 + 10} \cong 0.735$$

となり、安全在庫は 26.5%ほど小さくなる。

第 13 章　STIC 発注方式の骨格

13.1　STIC の定理　まとめ

在庫管理に関する基本的な構造を分析し、そのメカニズムを調べてきた。納入リードタイムでの受注量の最大を流動インベントリーSTI として保持しておき、受注・出荷した分を補充発注する。ここで中心的な役割を果たすのが STI である。言い換えれば、STI の、あるいは STI に関する特性が在庫管理の要となる。

在庫管理理論の中心的存在である STI に関する特性を **STIC の定理**（The Law of **St**reaming **I**nventory’s **C**haracteristics）としてまとめた。

■　発注時期と発注量を決めるのは受注（需要）に基づく出荷時期・量である。（需要基準の前提

条件）

■ 在庫から出荷され、発注待ち→補充発注→発注残→入庫までのすべての状態にあるインベントリーを包括して流動インベントリー（**STI**；**St**reaming **I**nventory）とする。

■ 必要な流動インベントリーの大きさ
欠品率をある値以下にするための流動インベントリーの大きさ（**SSTI**；**S**ize of **STI**）は納入リードタイムでの最大受注量となる。

■ 納入リードタイム間での最大受注量
納入リードタイム間での平均受注件数；$\overline{\mathrm{Np}}$、その分散；Vnp、量/件の平均；$\overline{\mathrm{Q}}$、その分散 Vq、受注量の平均；$\overline{\mathrm{D}}$、その分散；Vd、安全係数；α、$\overline{\mathrm{Q}} < 5$のときの補正項を$\delta$として、SSTI は次の式で求められる。

$$\overline{\mathrm{D}} = \overline{\mathrm{Q}} \cdot \overline{\mathrm{Np}}$$

$$\mathrm{Vd} = \overline{\mathrm{Q}}^2 \cdot \mathrm{Vnp} \cdot \delta + \overline{\mathrm{Np}} \cdot \mathrm{Vq}$$

尚、δは下記の式で算出する。

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(4 + \overline{\mathrm{Np}}^2 - \overline{\mathrm{Np}} \cdot \sqrt{\overline{\mathrm{Np}}^2 + 4}\right)$$

$$\mathrm{SSTI} = \overline{\mathrm{D}} + \alpha \cdot \sqrt{\mathrm{Vd}}$$

■ 初めて出荷する場合、最初に準備する初期在庫量は SSTI に等しい。

■ SSTI は常に一定である。

■ STI は納入業者ー在庫管理機能ー市場をつなぐインターフェースの役割を担う。

13.2 STIC 発注方式　まとめ

STIC の定理をベースにした発注方式を **STIC 発注方式**と呼ぶことにする。STIC の定理と重複する部分もあるが、従来の発注方法との比較を交え、その骨子をまとめると次のようになる。

◆ 補充発注方法は、受注した量を出荷するごとに、発注することを基本形とする。

◆ 受注頻度が高い場合、受注量（出荷量）を一定量にまとめて補充発注する。これを STIC 定量発注という。

◆ 受注頻度が高い場合、一定期間の受注量（出荷量）をまとめて発注する。これを STIC 定期発注という。

◆ 受注頻度が高い場合、受注件数が一定件数に達したら、その出荷量をまとめて補充発注する。これを定件発注という。

◆ 納入リードタイムが変動する場合、各発注方式、顧客リードタイムがある場合、最小発注単位がある場合の SSTI の算出方法を表 12-1 に示す。基本形に対して、付加条件に合わせて

加算する項を濃茶色で示してある。

	項目	計算式		記号・項目説明
	SSTI	$SSTI=\bar{D}+\alpha\cdot\sqrt{Vd}$		SSTI；流動インベントリーの大きさ
				α；安全係数
	主な条件	$\bar{D}$	Vd	D；補充時間の受注量、Vd；Dの分散
基本形	納入LT一定			LT；リードタイム
	Q変動		$\bar{Q}^2\cdot Vnp\cdot\delta+\overline{Np}\cdot Vq$	Np；納入LT間の受注件数、Vnp；Npの分散
	Np変動	$\bar{Q}\cdot\overline{Np}$		Q；量/件、Vq；Qの分散
	即時発注		$\delta=\frac{1}{2}\cdot\left(4+\overline{Np}^2-\overline{Np}\cdot\sqrt{\overline{Np}^2+4}\right)$	δ；間欠需要の場合（N<5）の補正項
				N≧5のとき δ≅1
付加条件	納入LT変動	–	$+\bar{Q}^2\cdot\overline{Np}^2\cdot Cp^2$	Cp；納入LTの変動係数
	発注方法 定量	$+Oc+\frac{1}{2}\cdot(\bar{Q}-1)\cdot(Cq^2+1)$	$+(\bar{Q}-1)^2\cdot\left(Cq^2\cdot\gamma+\frac{1-Cq}{12}\right)$	Oc；定量発注量、Cq；Qの変動係数
			$\gamma=7\cdot\left(2+\bar{Q}^2-\bar{Q}\cdot\sqrt{\bar{Q}^2+3.7}\right)$	γ；Q≦10での補正項
				Q>10のとき γ≅1
	発注方法 定期	$+\bar{Q}\cdot\overline{Ny}$	$+\bar{Q}^2\cdot Vny+\overline{Ny}\cdot Vq$	Ny；発注サイクル間の受注件数
	発注方法 定件	$+\bar{Q}\cdot Nc$	$+Nc\cdot Vq$	Nc；定件発注件数
	顧客LT有	–	–	受注残リストの追加

表 12-1　STIC 発注方式の SSTI 算出一覧表

- SSTI は SSTI 固定期間ごとに見直す。
- 常時、受注情報を監視し、需要分布が変化したかどうかを検定する仕組みを付加することができる。需要分布が変化したことが検出されれば、SSTI 固定期間内でも SSTI の変更はできる。また、欠品発生確率の上昇検出機能の付加も有効である。
- SSTI 変更後の補充発注
  旧 SSTI と新 SSTI の差を発注時に加減する。差が大きいときは複数発注時に分けてもかまわない。
- SSTI が常に一定であることを利用して、注文単位ごとのインベントリーの相対位置を識別して優先順をコントロールすることができる。この機能を利用して、需要変動に自動追従する在庫管理の仕組みができる。
- STIC 発注方式と生産ラインとを直結して S-Unit（Stock Based Control Unit）が構成され、それを連結して需要変動に追従する動的見込み生産管理の枠組みが出来上がる。
- STIC 定量、STIC 定期、STIC 定件発注は、互換的に使うことができる。在庫管理環境に合わせて選択できる。
- 顧客リードタイムがある場合も、受注残リストを追加するだけで、何の変更もなく STIC 発注方式を利用できる。受注残情報を様々な調整作業に利用できる。内示情報と実注文の乖離による混乱も防ぐことができる。

第 14 章　まとめ－サプライ・チェーンへの展開を見据えて－

在庫管理の狙いは、できるだけ欠品率を低くしつつ、在庫を最少にすることである。いきおい、目の前の在庫の多寡に関心が向く。そのようなマインドで在庫管理の理論や方法が構築されてきた。これを在庫基準と呼んだ。定量発注点方式や適正在庫論の背後にある考え方である。

在庫は「入り」と「出」の時間差の間、存在するものである。であるならば、在庫量を管理するためには「入り」と「出」を同時に、同程度のレベルで監視、管理する必要がある。「出」は市場、顧客が決めること。「入り」は納入業者に依存しなければならない。「入り」は多少コントロールできたとしても、「出」のコントロールは難しい。在庫管理がうまくいかない主な理由である。

一人で 1 個の弁当しか買わない客もいれば、同じ弁当を複数買う客もいる。日常、どこでも目にする光景である。1 日 10 人の客が五月雨式に来て1個ずつ買う場合と、1 人の客が一度に 10 個買う場合とでどちらが欠品を起こしやすいか。多くの人は経験的、直観的に後者が欠品しやすい事を言い当てる。現在の在庫管理論は、このような日常の卑近な事例さえうまく説明できない。需要（受注量）を正しく把握していないからだ。受注件数と量/件とを分けて捉えなければならない。受注件数と量/件は商取引では必須の項目である。データをとる手間が増えるわけではないのだ。

視点を換えなければならない。在庫基準から需要基準へ。需要基準でみれば、在庫そのものだけではなく、在庫－発注待ち－発注残の状態にあるインベントリーすべてが重要な役割を果たしていることが分かる。これが**流動インベントリー**STI だ。STI は納入業者－在庫管理者—市場をつなぐ。“もの”と“情報”が有意に結びつき循環する STI は、市場の需要変動に追従する在庫管理の枢軸を担う要である。

要である STI の特性を **STIC の定理**としてまとめた。変動する需要に追従する在庫管理は、STIC の定理をベースにした **STIC 発注方式**がコアとなっている。

STI という枠を設定しておくことで、出荷した分を補充発注するという極めて単純な発注方法が成立する。出て行った分を補充する。これに勝る方法はあるだろうか？　出荷した分を一定量でまとめれば定量発注、一定の時間サイクルでまとめれば定期発注、一定受注件数でまとめれば定件発注となる。定件発注は発注時間間隔も発注量も定まらない、いわゆる、不定期不定量発注となる。この 3 つの発注方法は、どのような在庫環境でも成り立つ。基本原理が共通だからだ。とは言っても、定量、定期、定件にまつわる違いはある。どれを選択するかは、それぞれの事情、環境条件に合わせればよい。

受注件数と量/件とを分けて捉え、需要（受注量）を正しく把握することでのメリットは大きい。1回の発注量を減らし発注回数を増やす多頻度小口発注。陰では輸送効率の低下を嘆く。受注件数と量/件とを分けて捉えることで、在庫削減効果と輸送効率を定量的に評価できるようになる。環境に合わせた最適頻度発注の設計が容易になる。

毎日、連続して注文がある SKU はそう多くはない。3 日に 1 回、1 週間に 2〜3 回、あるいは月に 3〜4 回程度の注文がある、そんな SKU が圧倒的に多いのではないか。俗に間欠需要などと呼ばれている需要パターンである。需要が受注件数と量/件とで構成されていることを知れば、間欠需要の発生メカニズムの理解も容易である。受注件数は、受注到着間隔とその件数を数える時間間隔（集計時間）との関係で決まる。受注到着間隔がそのままでも集計時間が短くなれば受注件数の平均は少なくなり、バラツキで受注件数がゼロになることもでてくる。受注件数の平均が 4〜5 件より小さくなると、その分布はゼロの壁にぶつかって、ゼロの確率が高くなり、非対称分布となる。この特性にきちんと向き合っておかないと、在庫管理の多くを占める間欠需要を正しく捉えられないのである。つまり、受注件数と量/件を識別して需要を捉えることで、間欠需要も含めて、需要構造をより正確に捉えることができるようになるのである。

「場当り的だ」、いや「理想的だ」と、不定期不定量発注に対する認識の乱れはなぜ起きるか。大量生産の進展に沿い形成された現在の在庫理論が、理論足りえない証である。注文の到着間隔のバラツキを一定件数で置き換えれば、STI に変動要因を与えることなく、注文を処理することができる。需要の時間変動に追従するメカニズムだ、と考えてよい。定件発注は、巷の不定期不定量発注の不毛な議論に終止符を打つことになる。

これまでの在庫管理では定量発注だ、定期発注だと事細かに論じるが、*定量受注*とか*定期受注*という言葉は聞いたことがない。サプライチェーンとは発注側があれば受注側もある、在庫管理ユニットの連鎖である。在庫管理ユニットは受注と補充発注、両方の機能を対に持つ。現在の在庫理論の対称性に対する無関心さは、不正確な受注量把握に由来することは明らかだ。物理現象は対称性があればあるほど、普遍性の高い現象であることは周知の通り。対称性を回復するメリットは大きい。

対称性が回復すると、発注側と受注側の関係にも留意する必要があることに気が付く。客先が定量発注しているのか、定期発注しているのか、はたまた、定件発注しているのか、あるいは、それらが入り乱れているのか。発注方式はひとつの規則であるとみれば、その規則を利用することによって、サプライチェーンの機能を高めることができるのではないか。これまでは、そんな議論も話題に上らなかった。

人口に膾炙するかんばん方式。かんばん方式はトヨタ生産方式の一部だ、という人が多い。平準

化とバラツキの極小化が絶対条件だと、何度も聞いた。かんばん方式がうまくいかないのは平準化ができていないからだ、バラツキが大きいからだ、と。市場の変動の煽りをまともに受ける一般の在庫管理の領域では、かんばん方式が解決策とはなりえない理由はこの辺にある。

かんばん方式は、いたって単純な方法でものを動かす。使った分、かんばんが外れ、供給先に送られる。1 枚のかんばんが何個かは予め決めてある。供給先は戻されたかんばんと一緒に、その数量を送り届ける。かんばん 1 枚が注文 1 件。かんばん 1 枚当たりの数量が量/件。

STIC 発注方式と似ていることにお気づきだろうか。かんばんは STIC 発注方式の STI と同じである。かんばん方式ではかんばん 1 枚当たりの数量は固定されているが、STIC 発注方式ではランダムにバラツク事を許容している。平準化ができていないとかんばん方式は成り立たない、というのはトヨタ生産方式の信奉者、いや、妄信者の主張であって、適正な STI を確保すれば、つまり、適正なかんばん枚数と 1 枚当たりの数量を設定すれば、うまくいく。STIC 発注方式はそれを証明しているのである。

サプライ・チェーンとは、図 13-1 に示すごとく、在庫管理ユニット間をつなぐ物流網である。在庫管理ユニットは工場倉庫や地域倉庫あるいは小売店、ものづくりの現場に目を転じれば資材倉庫や工程内の仕掛管理区域など、様々な形態がある。しかしその構造はどれも“注文（Demand）”と“供給（Supply）”でつながる、いたってシンプルなものである。にもかかわらず在庫管理ユニットの多くは、欠品と過剰在庫の悩みから解放されることはない。サプライ・チェーン・マネジメントの複雑さを嘆くだけである。

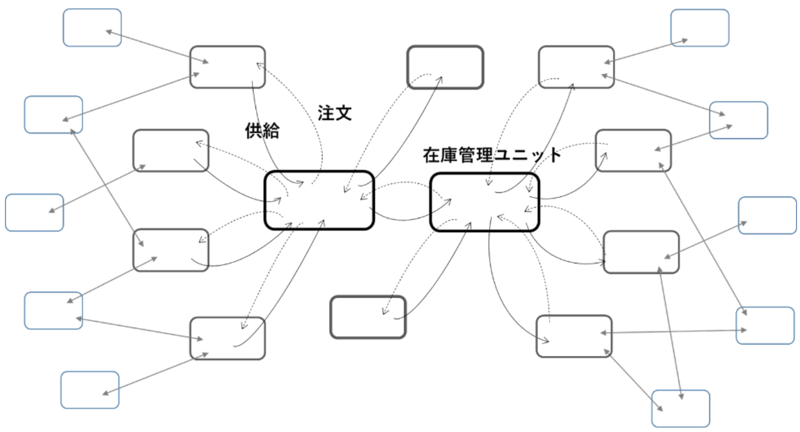


図 13-1
サプライ・チェーンの構造

本来シンプルであるはずの在庫管理ユニット間の接続は、それぞれの立場の利が優先され、結果、様々な接続方法が入り乱れることになる。その繚乱はサプライ・チェーン・マネジメントをいたずらに複雑化する。

サプライ・チェーンを本来のシンプルな形に戻す必要がある。その標準化例を図 13-2 に示す。受注件数 Na と量/件 Qa で受注し Nb と Qb で補充発注する。そして次のユニットは Nb と Qb で受注する。在庫管理ユニットの環境に適した発注方法（定量、定期、定件）を選択し、期待するサービス率を維持する SSTI を設定する。これでサプライ・チェーンのすべての在庫管理ユニットがつながる。サプライ・チェーン・マネジメントがスッキリとわかりやすくなることの効果は大きい。

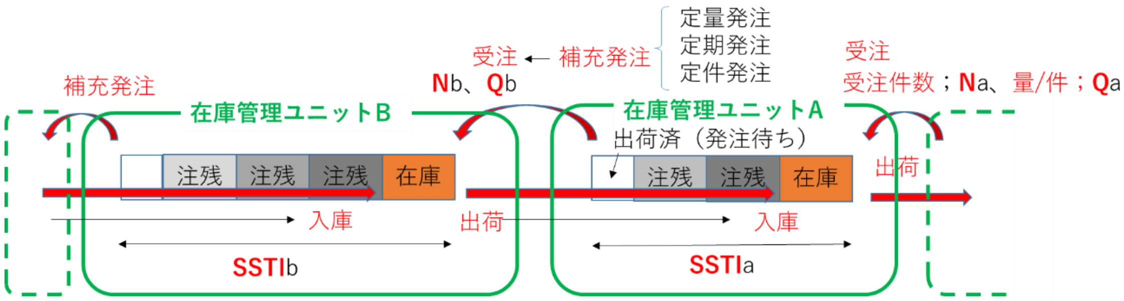


図 13-2　サプライ・チェーンの接続構造の標準化

サプライチェーンの末端（小売店側）は即納が多いが、中間（B to B など）では、顧客リードタイム（発注から納入までの時間）がある場合が多い。出荷時刻よりも前もって注文を受け取るので、その間いろいろな調整ができる。長い方が受注側にとってはありがたい。但し、コンペチタ―もいるのでむやみに長くはできない。顧客によって顧客リードタイムがバラツクこともある。

顧客リードタイムがある場合、注文を受け取った時点で補充発注するのが一般的な常識だ。納入リードタイムの不確実性をカバーするためには、できるだけ早く補充発注した方がいい。巷の在庫管理本はすべて、この常識に則って説明されている。しかし、もともと出荷基準である STIC 発注方式では、注文を受け取ったときではなく、出荷した時に補充発注する。顧客リードタイムがあっても、出荷基準のままでいい。顧客リードタイムがある場合もない場合も、全く変わらないのである。せっかくの事前情報だから、それを利用しない手はない。受注残リストとして集計しておけば、先々の出荷予定表として使える。欠品が起こりそうかも予知できる。出荷日程の調整などもできる。

見込生産では、倉庫の在庫管理は生産ラインに付け足された程度の、付属的存在である。しかし、実際は、きちんとした在庫管理の枠組みの中で生産ラインを動かさないとうまくいかない。生産ラインには生産ライン特有の性質がある。負荷が高くなると生産リードタイムが急激に長くなるのだ。生産能力を有効に利用するためには、急ぎの製品を優先してつくる優先順制御が欠かせない。作業員や機械設備、部品納入、品質、などなど、変動要因は数え切れないほどある。様々な変動を定量的に扱うことができる STIC 発注方式は、このような扱いにくい生産ラインも管理の中に取り込むことができる。生産ラインの機能と STIC 発注方式とを組み合わせて S-Unit（Stock Based Control Unit）ができる。S-Unit を繋ぎ合わせれば動的生産管理（DPM；Dynamic Production

Management）が機能する見込生産の仕組みとなる。

量産工場の多くは生産計画を作り、見込生産をしながら、顧客の注文に応じて出荷をする。即納を条件とした注文もあるが、多くはある程度の時間的猶予、つまり顧客リードタイムがある。生産計画と実際の注文は一致しない。顧客リードタイムは生産リードタイムより短いことが多く、その間に計画と実際の注文の乖離を修正することは容易なことではない。東奔西走し、優先順を調整する。そのことがさらなる混乱を引き起こす。実態と生産計画はますます乖離し、混乱は工場全体に広がる。それだけでは済まない。上流、下流へとサプライチェーンを伝搬し、制御不能な領域へと拡散する。

内示情報に反応して、右往左往する必要はない。出荷予定日が来たら確定注文に応じて出荷し、補充生産すればいい。すぐに変更になる生産計画など、不要である。確度の高い出荷予定（受注残リスト）がそれに代わるのだ。生産ラインがサプライチェーンに、その原理を共有してつながるのである。

在庫管理のメカニズムを物理現象としてより正しく捉えなおすことで、整合性のとれた汎用性の高い在庫管理理論を構築することができた。従来からくすぶり続けている疑問の多くは解消されるに違いない。さらには、数々の実用的なメリットも実感できるはずだ。STIC の定理に基づく STIC 発注方式が在庫管理、さらにはサプライチェーンの普遍的なメカニズムとなり、広く利用されることを願ってやまない。

本ペーパでは、原理的な部分に焦点を当てた。サプライチェーンの様々な環境条件に対する適用技術、応用事例などを追加し、充実させていくことを今後の課題とする。

Revision history

- 2014/11/3　　発行　version1
- 2015/11/15　全体の見直し　version2
- 2016/7/22　　「顧客リードタイムがある場合」の追加　version3
- 2016/9/1　　「顧客リードタイムがある場合」の修正　version4
- 2016/11/3　　「定件発注方式」の追記、全体の加筆、修正、再編集　version5.0
- 2017/1/10　　字句修正・追記　version5.1
- 2017/3/19　　「実在庫分布」の追加　version5.2
- 2017/3/25　　受注量＝（受注件数）x（量/件）の分散式 導出説明修正　version5.3
- 2017/5/30　　間欠需要の場合の補正を追加、他加筆・修正　version5.4
- 2018/1/31　　「定量不定期発注」の発注遅れ端数の式および説明を修正、他加筆・修正 version5.5
- 2018/2/20　　「受注先ごとの需要と受注側の需要分布との関係」を追加　version5.6
- 2020/8/15　　Revision 停止。以降は、「在庫流動管理」[基礎編その1]および[基礎編その2]へ引き継ぐ

出展；DPM 研究舎　http://tocken.com