

# ビジネス・シミュレーション 第6回

January 20, 2009

松本憲洋 (POSY Corp.)

[matsu@posy.co.jp](mailto:matsu@posy.co.jp)

<http://www.posy.co.jp>

# 第5回目目の復習

# 第5回の復習1／2



1. 第5回テキストの前半部分の“遅れ”に関して、ビジネスにおける障害の一つである振動の原因は何か？

## 振動が発生する必要条件

- (1) バランシング・フィードバック・ループにおいて、時間遅れの構造が存在する。  
バランシング・フィードバック・ループが存在すると、現在の状態を目標値と比べ、その差をなくすように補正活動が起きる。しかし、このフィードバック・ループのいずれかに、時間遅れが存在すると、システムの状態がその目標値に達した後になっても、補正を続けてしまい、システムを過剰に補正し、それが反対側への補正の引き金になる。
- (2) さらに、意思決定者がこれらの遅れを無視したり、それに的確に対応しない。

# 第5回の復習2／2



2. “弱気な商人の縮小均衡からの脱却”に沿って、モデルを実行して以下の内容を確認する。

(1) “弱気の商人”とタイトルに記載されているが、どんな行動が“弱気”だと言うのか？

“弱気な行動”とは、売れ残りを恐れて、当日販売できた量しか、翌日用に発注しない行動。

(2) “縮小均衡”とはどんな現象を指すか？

販売ビジネスを例にする。販売量が変動していて販売が落ち込んだとする。そのとき、落ち込んだ販売量分しか仕入れないと、次の時点で需要が増えたとしても品切れとなり、結局、今回も“落ち込んだ販売量分”しか販売できない。このような経過を辿り、販売量が過去の最低値より落ち込むたびに、仕入れ量も落ち込み、その低い状態で仕入れ量と販売量が低位均衡する状況を“縮小均衡”と言う。

(3) 弱気の商人が縮小均衡から脱却するための方策は何だったか？

需要は変動するので、需要が増加したときに、販売の機会損失を発生させないように、在庫を増やせば、縮小均衡を脱却できる。その場合の適正在庫量は、シミュレーションにより需要の変動量に対する廃棄や値引きなどの販売条件の最適化を探索することにより見出すことができる。(リスク分析)

## サプライチェーンの方式

▼ プッシュ方式

▼ プル方式

▼ 独立方式

# サプライチェーンとは？



## サプライチェーン

構造とプロセスの組み合わせられたもので、組織体はそれにより出力を顧客に引き渡す。

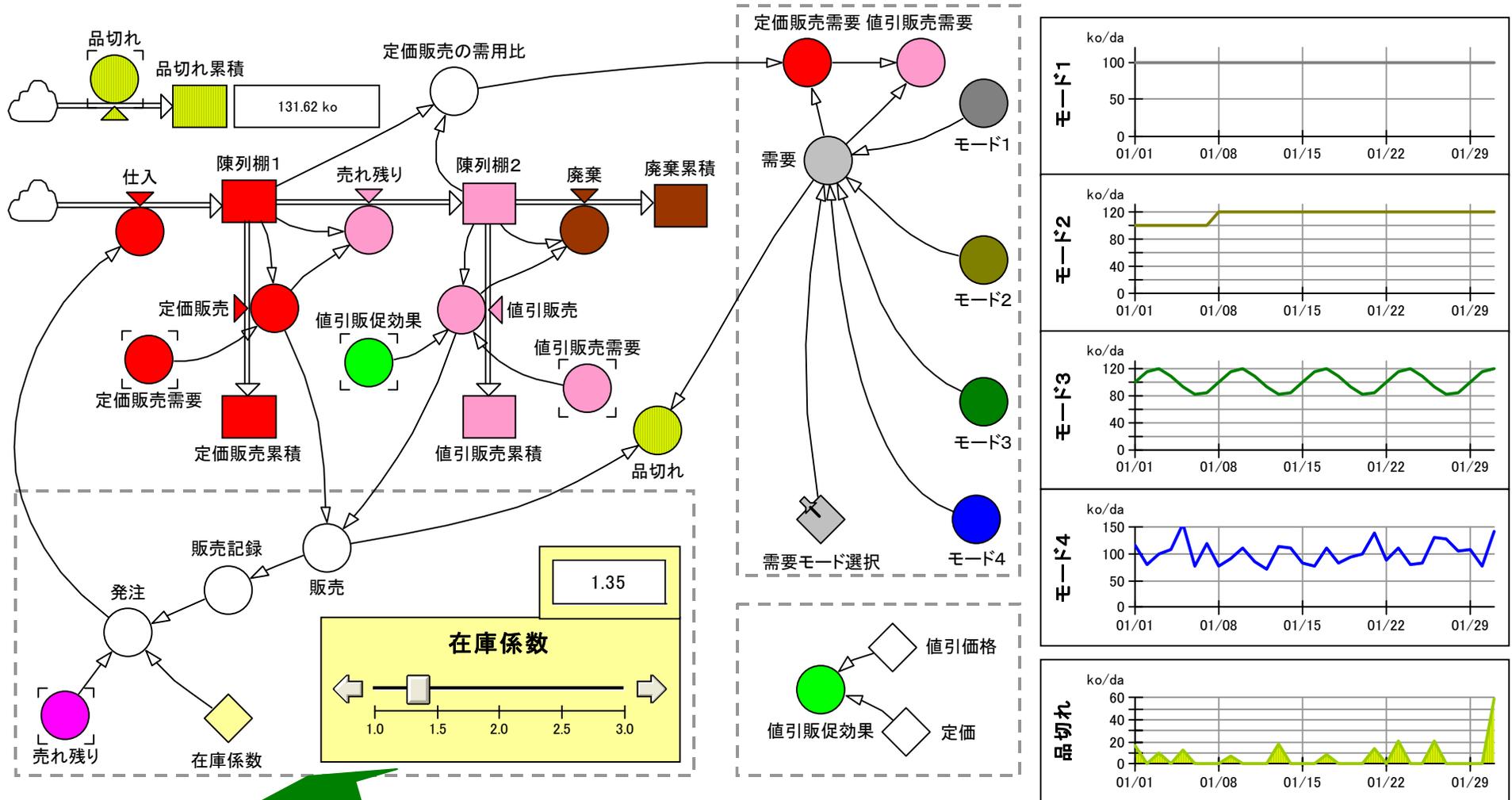
出力としては、物理的な製品に限らず、熟練労働者のような人的資源、あるいは、サービスや設計図のような無形資産など、多様な形態が存在する。

サプライチェーンの狙いは、顧客が必要な物やサービスを、顧客が必要なときに供給すること。

## サプライチェーンの構成

- (1) プロセスへの入力を取得するためのフローとレベルの構造
- (2) 各種のフローを統制する管理方針

# (例) 弱気な商人の縮小均衡からの脱却



**在庫理論(フローを統制するための管理方針)**

# サプライチェーンの流れのコントロール



サプライチェーンの安定的な運営はかなり難しい。

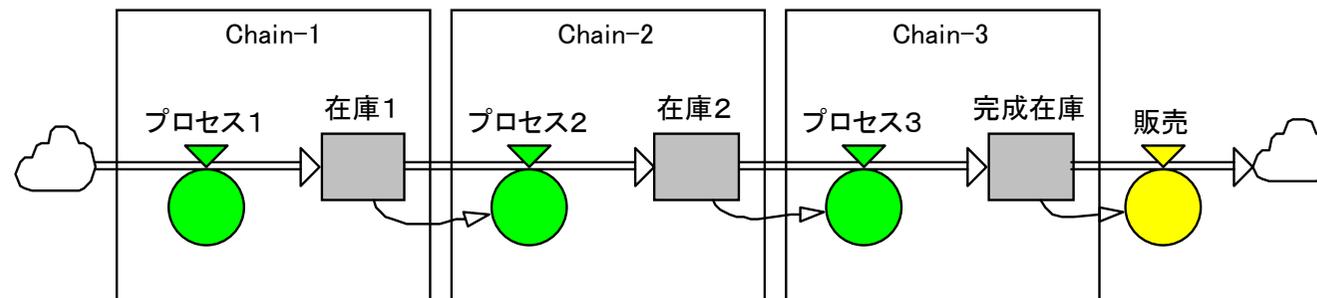
サプライチェーンは谷筋を源流として海にまで注ぐ河川のようなもので、途中での合流あるいは分流、取水堰やダムのような停滞など、さまざまな障害を発生させる可能性がある構造が存在している。

サプライチェーンにおいて、需要にマッチした安定した完成在庫を持つということは、上述の河川の途中にダムがあって、下流の都市の水需要を安定的に保つためには、その上流の水資源構造物に対してどのような対策をとればいいのかという問題と同じである。

今回の講義では時間の都合で、掘り下げた議論はしないが、サプライチェーンの流れのコントロールに関する3種類の方式について簡単に解説する。

ここでは、3段階のプロセスからなるサプライチェーンを考える。

それぞれのプロセスの実行には有意なリードタイムが必要であるとする。



# プッシュ方式

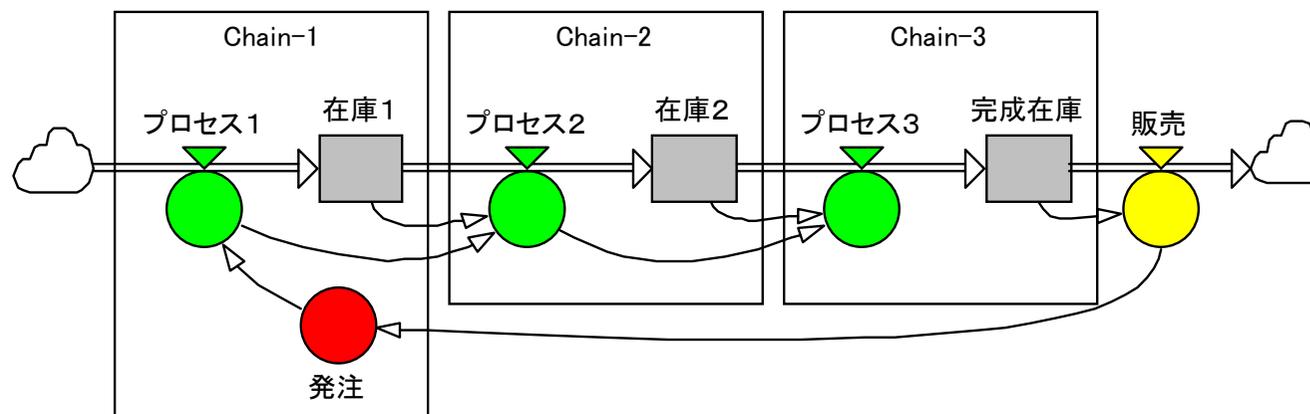


サプライチェーンは、一企業内に限定されるものであっても、企業をまたがるものであっても構わない。

## 1. プッシュ方式

サプライチェーンの最初のプロセス1に供給すべき量を設定し、プロセス1が終わると在庫1を介して、プロセス2に送り込み、順次この流れが下流に伝達されていく。それが完成在庫に到達した時点で、販売されることになるが、当然のことであるが、需要量とは一致せず、品切れや過剰在庫が発生する。

プロセス1への発注はその直前の販売量あるいは販売の平均値、また、在庫初期値としては販売の平均値に安全在庫を加えるなど、対象ビジネスごとにさまざまな設定方法がある。サプライチェーンの途中の送り出し量は在庫量そのもので、特別な制御は加えない。



# プル方式

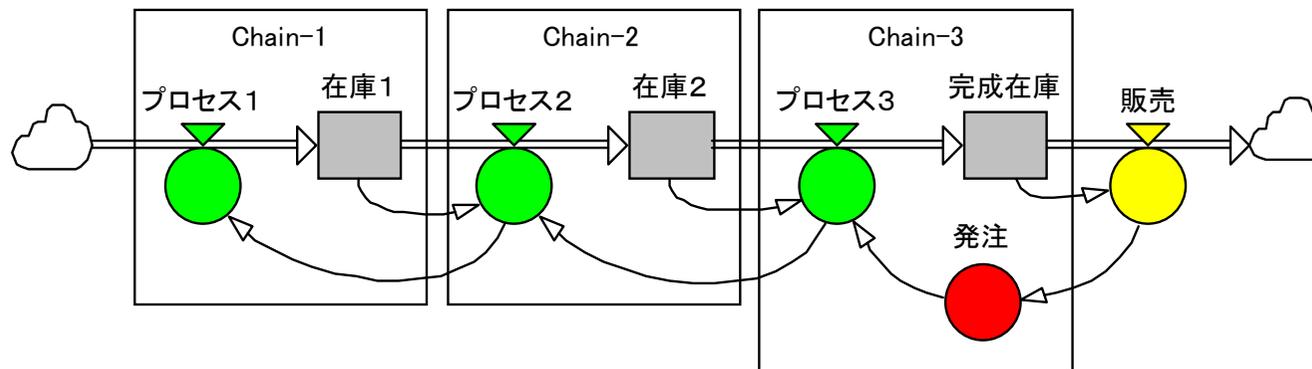


## 2. プル方式

販売が行われると、その量に基づく発注がプロセス3に設定され、プロセス3が供給した量がプロセス2に要求され、プロセス2が供給した量がプロセス1へ要求される。

各在庫には、下流のプロセスからの供給要求に応えられるように、必要な在庫を準備しておく必要がある。そのために、在庫初期値として販売の平均値に安全在庫を加えるなどの対策を講じる。

プロセス3への発注は、その直前の販売量あるいは販売の平均値とするなど、対象ビジネスごとにさまざまな設定方法がある。サプライチェーンの途中の送り出し量は在庫量そのもので、それに特別な制御は加えない。



# プッシュ方式とプル方式の比較



プッシュ方式では、販売量をプロセス1から補充するので、最下流のプロセス3の後の完成在庫に到達するまでに、このサプライチェーンの全てのリードタイム分の遅れが発生する。

それに引き換えプル方式では、販売量を最下流のプロセス3から補充するために、完成在庫に到達するまでに最終下流のプロセス3のリードタイム分の遅れしか発生しない。

その結果、プッシュ方式の完成品在庫の回復は、プル方式に比べて遅れることになる。

プッシュ方式の完成品在庫において、サプライチェーンのリードタイムが長いと、プル方式に比べて変動が大きくなる可能性があり、それが品切れや過剰在庫の原因となる。

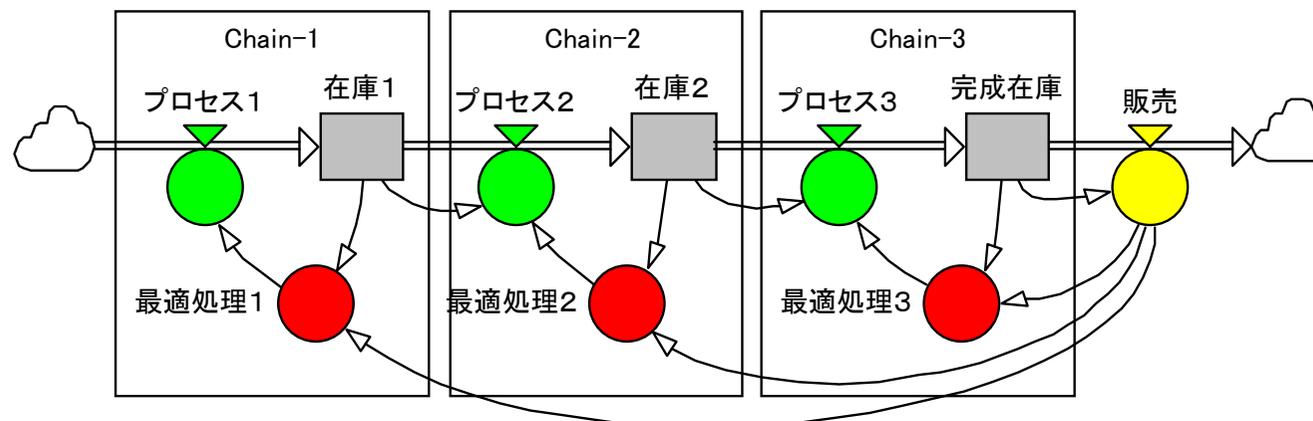
# 独立方式(1/3)



## 3. 独立方式

プッシュとプル方式では、上流あるいは下流のプロセスに発注の設定がなされると、あとのサプライチェーンの中での伝達量は、あるがままの状態の伝達になっている。

独立方式では、それぞれのプロセスごとに、供給すべき最適量の設定を行う。たとえば、活動開始時点で、在庫1とプロセス1における仕掛在庫の和が、販売などから推定される理想在庫よりも少なければ、その少ない分に応じてプロセス1への供給指示を設定する。その他の下流のプロセスについても同じである。サプライチェーンは、企業内の場合から、企業をまたがる企業間の場合まで様々である。企業間のサプライチェーンでは、構成する各企業が自社の利益を追求してそのステップで最適な制御を試みるが、独立方式はこれに相当する。



## 独立方式(2/3)



Chain-1, 2, 3は、それぞれが担当する活動量をどのように管理すべきであろうか？

チェーン内にあるべき量(適正在庫量)

$$=(\text{総リードタイム} + \text{発注間隔}) * (\text{需要速度}) \dots \text{式(1)}$$

ここで、リードタイムの単位は「日」、発注間隔は1日とする。

需要速度は、1日ごとの需要量である。

式(1)は、Chain-1, 2, 3においても成り立つ。各Chainはそれぞれの仕掛および活動後の在庫について、式(1)の量を保つように供給活動を行なう。

Chain-1, 2, 3は、式(1)の理想在庫水準と実態とのギャップをなくすように、供給量を決める。

例えば、Chain-1の供給量は式(2)となる。

Chain-1の供給量

$$=\text{Max}(0, \text{理想在庫} - \text{在庫} - \text{プロセス1の仕掛在庫}) \dots \text{式(2)}$$

需要速度が変動する場合には、変動分による品切れをカバーする“安全在庫”の導入が必要となる。

# 独立方式(3/3)



この場合の安全在庫は、式(3)で求める。

安全在庫

$$= \text{安全在庫係数} * \text{需要速度の標準偏差} * (\text{供給リードタイム} + \text{発注間隔})^{0.5} \dots\dots \text{式(3)}$$

ここで、安全在庫係数は、カバーする変動分により異なり、変動の99%をカバーする場合には、2.33となる。

(95%なら1.64、99.9%なら、3.09となる)

各Chain内のあるべき量(適正在庫量)

$$= (\text{供給リードタイム} + \text{発注間隔}) * \text{需要速度} + \text{安全在庫} \dots\dots \text{式(4)}$$

独立方式は、需要の変動に対する応答性が優れているが、需要平均が大きく変化しないときは、プル方式による結果と大きな差はない。

しかし、需要平均が大きく変化する場合には、プッシュ方式は勿論のことプル方式でも、サプライ・チェーン内の在庫量は、需要の変化にそって変化するサプライ・チェーン内のあるべき在庫量(適正在庫量)とは無関係に横ばい状態で、適正在庫量の変化に追従する様子は見えない。このために在庫の振幅は大きくなり品切れも発生する。

それに対して独立方式では、需要平均の大きな変化にも追従して、チェーン内で確保すべき量の変化に適応して、現状とのギャップを埋める供給体制が確保できている。

# 在庫理論の基礎

## 在庫の機能

## 製造企業が直面する問題構造

製造業の生産計画機能では、需要見通しと供給能力の計画に基づいて、部材の調達や製造工程を策定する。

電子機器メーカーA社は、1985年ごろ構築した「生産システム」を使っている。最近、必要品目の在庫切れや、逆に売れていない品目の在庫過剰が表面化するようになってきた。

A社では、調達、製造、販売の各部門でサプライチェーン(SC)の連鎖があり、各実務部門は運営努力を重ねているが、その努力の結果が隣接する部門への新たな業務上のコンフリクトを発生している。

**調達部門**は、生産に必要な部材を調達する。調達する品目と数量は、販売部門の販売計画(需要予測)を根拠にしている。調達リードタイム(LT)は、30~80日なので、30~80日先の販売計画に基づいている。

光圀光七郎:経営視点で学ぶグローバルSCM時代の在庫理論, コロナ社 (2005)P22

## たとえば、こんな状況を想定してみる(2/4)



一方、最下流の**販売部門**では、需要の変動が激しいために、30～80日先の販売見通しが立てられない。

そのために、前年度や直近の販売実績に基づいて、販売予定量を想定している。その結果、30～80日先とした販売予定量で生産しても、実際の販売時点では、生産した量と販売実績が一致しない。

そこで、調達と販売との間に位置している**製造部門**では、顧客からの注文に合わせて直前の生産計画を変更しようとする。

しかし、**部品メーカー**は、既に指示された生産計画に基づいて生産しているので、急な日程変更に応じて納品できない。

そこで、**製造部門**は、他の生産に引き当てた到着積みの部品から引き当て変更する。その結果、当初の生産計画に沿って納品する予定であった製品の納期に遅れが生じる。

その状況を販売部門に連絡するために納期回答しようとするが、次の部品調達予定や生産計画の組み替えが思うに任せない。

光圀光七郎:経営視点で学ぶグローバルSCM時代の在庫理論, コロナ社 (2005)P22

## たとえば、こんな状況を想定してみる(3/4)



1990年ごろになると、販売部門が欲しい品目は在庫切れになり、売れない品目は在庫になるという繰り返しが目立つようになり、**製造部門**の生産管理者は疲労困憊(こんぱい)の日々となった。

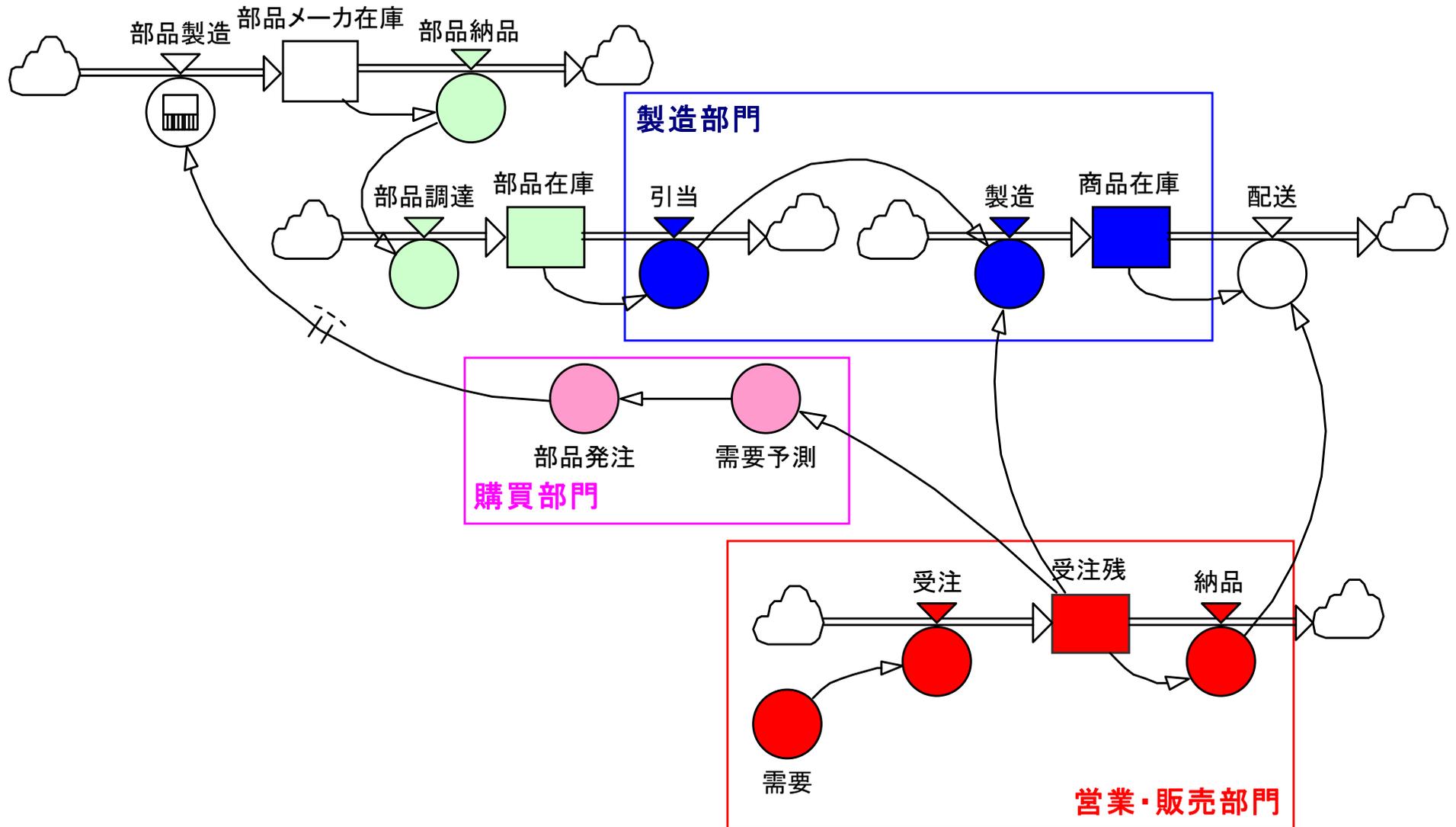
そこで、毎月1回、**製造部門と販売部門**で、生販調整会議を開催して、生産品目、数量、納期を打ち合わせるように改善した。

ところが、1993年ごろになると、顧客からの注文納期は、短い注文の場合には3日、長い注文の場合でも14日とますます短期になり、70～80%の注文が、生販調整会議で審議されないまま、生産と販売の担当者が毎日連絡を取り合っ、生産・出荷するようになった。

月1回の生販調整会議は、業績把握会議として形骸化し、経営幹部以外は誰も有用性を認めなくなった。

光圀光七郎:経営視点で学ぶグローバルSCM時代の在庫理論, コロナ社 (2005)P22

# たとえば、こんな状況を想定してみる(4/4)



# 在庫理論の概要



## 伝統的な在庫理論

在庫とは : 需要側と供給側の各々の効率を求めて、その両側を切り離す (de-coupling) ための緩衝機能を果たす。

## 新しいカップリングポイント(CP)在庫計画理論

在庫とは : 物理現象であり、在庫発生は、需要と供給の時間差と需要量と供給能力の量差により発生する。需要側と供給側とを結びつける適性在庫位置 (カップリング・ポイント) において、単位期間当たりの需要量と供給量とを整合させる在庫計画方式が成り立つ。



受注仕様組立 (CTO)  
Configure to Order...ex. DELL

# 在庫理論の狙いとその誕生経緯



## Operations Research (OR) の活用

OR: 問題発見と解決のための数理的手法

1940年代にイギリスにおいて開発・実用化

1950年以降にアメリカにおいて経営問題の解法に活用開始

## 製造業の生産計画において、

在庫切れを起こさない顧客サービス水準を満たし、・・・在庫量  
少ない費用で生産や輸送活動を効率的に行い、・・・在庫費用等  
収益最大をもたらす・・・利益

## そのため、生産活動と販売活動の各々を効率的にするため、

両者を切り離す在庫管理のあり方と効果的なシステム設計・概念

## 具体的には、

製造ロットサイズや購入量の決定法、

安全在庫量や発注点の設定法、

設定した目標在庫を維持するための生産量の決定法

## コンピュータの実用化によるシステム設計の手法の開発

発注方式(定量発注方式、定期発注方式)

経済発注量(EOQ: Economic Order Quantity)

# 在庫の機能



機能1：需要変動に対応するための在庫

- ▼見越し在庫(季節変動在庫)
- ▼需要変動予防在庫(安全在庫)

機能2：ロットサイズ、計画期間、補充間隔などの  
企業のマネージメント・サイクルで決まる在庫

- ▼ロットサイズ在庫(サイクル在庫)
- ▼納期対応在庫

機能3：現場の加工または移動に対応するための在庫

- ▼輸送在庫(パイプライン在庫の一部)
- ▼工程仕掛在庫(リードタイム在庫 or パイプライン在庫)

機能1：需要変動に対応するための在庫

需要量が増加することに対応するための在庫。

需要時点で現品が存在していなければ役に立たないわけだが、計画時点では、在庫が余剰とも不足とも判断しがたい。

## ▼見越し在庫

季節変動などの需要変動が予測できる場合に、供給能力の不足時に、供給能力を増強するのではなく、供給能力に余裕がある時期に、不足予測分を先行生産することにより在庫を増強する。

あらかじめ増強する在庫量を、「見越し在庫」と呼ぶ。

見越し在庫量

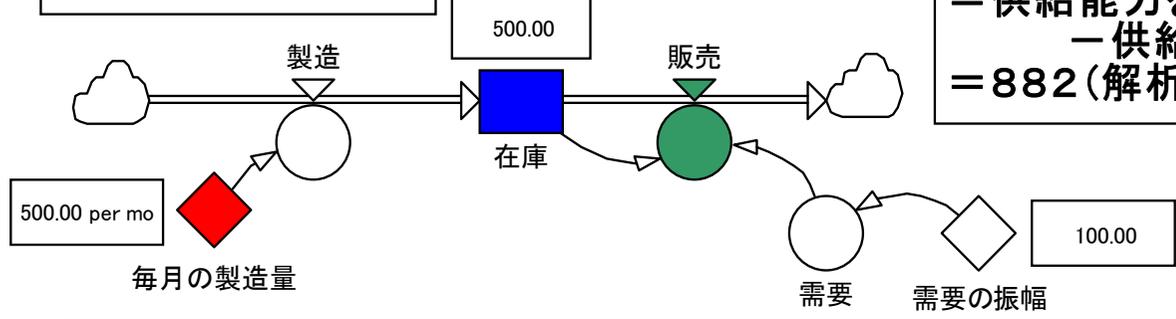
＝供給能力を超過する期間の総需要量

－供給能力を超過する期間の総供給量

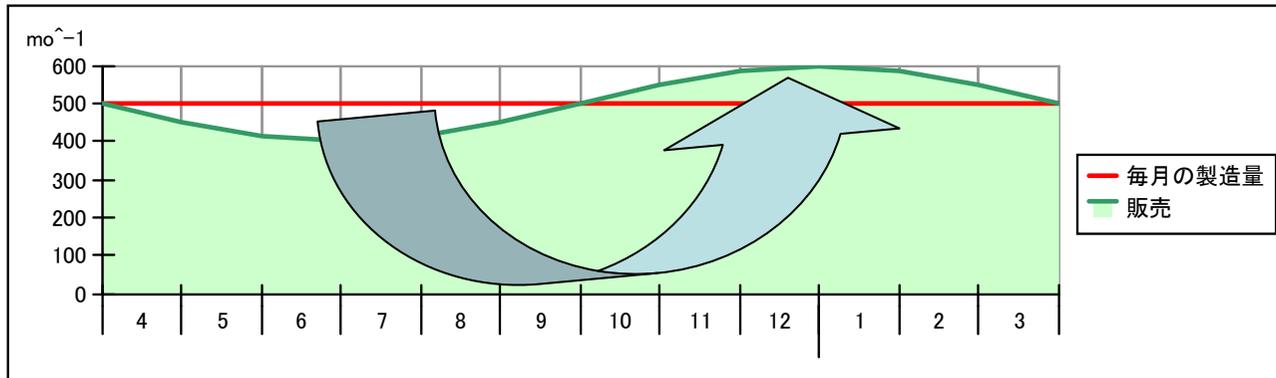
# 見越し在庫の単純な一例



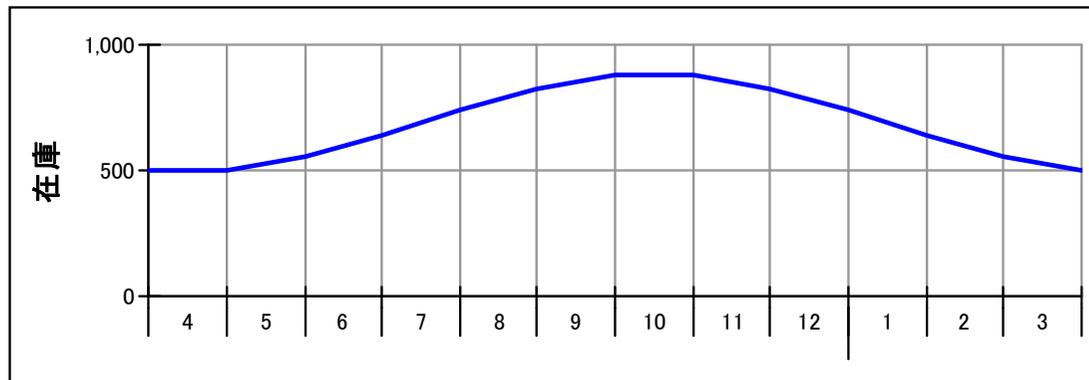
## 見越し在庫



見越し在庫量(max)  
 = 供給能力を超過した期間の総需要量  
 - 供給能力を超過した期間の総供給量  
 = 882(解析解)



- ⏪ リセット
- ▶ 実行
- ⏮ 1ステップずつ実行



在庫—見越し在庫.sip

## 機能2:ロットサイズ、計画期間、補充間隔などの 企業のマネジメントサイクルで決まる在庫

需要側の効率重視により補充間隔が決まると、供給側の効率重視により生産回数とロットサイズが決まる。その結果、在庫量が決まるというように、企業のマネジメント・ルールで決まる在庫である。

### ▼ロットサイズ在庫

- (1) 生産や輸送の効率を高めるためには、生産段取り回数、輸送積み替え、ピッキング回数などは少ないほうが良い。  
そのためにまとまった量で上記に対処し、結果として需要量より供給量が上回ったことによる在庫。
- (2) ある間隔で在庫を補充する場合に、納品リードタイム間の需要量をまとめて保有する必要がある。  
この発注ロットをまとめることによる在庫。サイクル在庫とも呼ぶ。

この在庫により、受発注、出荷、受入、検収、請求、入金などの回数とそれによる事務工数の削減に直接関係し、輸送費や段取損などの低減にも貢献する。

## ▼納期対応在庫

需要納期が、供給リードタイムより短い場合には、受注生産だと受注に失敗する可能性が出てくる。

このために、あらかじめ在庫として保有することが考えられる。この見込在庫を納期対応在庫と言う。

この在庫により、顧客に対して短納期が可能になり、競合企業に対して競争優位に立つことができる。

## 機能3：現場の加工または移動に対応するための在庫

現品の移動や加工に対応するための在庫で、それぞれのリードタイムで在庫量が決まる。

### ▼輸送在庫

パイプライン在庫の一部ともいい、現品の移動中が在庫となる。

一企業内での輸送在庫を横持在庫または積層在庫とも言う。

輸送コスト＝(1回あたりの輸送費)×(輸送回数)だから、輸送量を大きくして輸送回数を少なくすると、輸送コストは削減できる。

しかし、輸送量が需要量より大きいと、それはロットサイズ在庫になってしまう。経済発注量とは、輸送コストの最小化とロットサイズ在庫の最小化を両立させるロットサイズを計算で求めたものである。

ただ、さまざまな非線形性が加わるので、単純化された解析結果の精度は十分ではない可能性が高い。

そこで、Ps StudioのSolver機能を使い目的関数を陽に設定し、モデルのシミュレーションを活用して最適条件を直接求めることを推奨する。

#### 【NOTE】

売上計上基準が、「工場出荷基準」の場合、輸送在庫は需要側の責任となり、「納品基準」の場合、輸送在庫は供給側の責任となる。

## ▼工程仕掛在庫

供給側の生産工程上の仕掛に関する在庫である。

パイプライン在庫あるいはリードタイム在庫とも呼ばれる。

制約理論では、制約工程の前に時間的な余裕や仕掛在庫などのバッファを準備して、制約工程を100%稼働させることで、生産効率の低下を防いでいる。

この在庫は、供給指示が出ていなくても、需要側から補充要求を受けた後の生産計画作成時間、部材調達準備時間、段取時間などの製造工程の前の段階も、製造リードタイムの一部として含まれる。

工程仕掛在庫量とロット生産の場合の製造リードタイムは以下となる。

工程仕掛在庫量 = 製造指示量 \* 製造リードタイム

製造リードタイム = (製造指示量 / 製造ロットサイズ) \* ロットサイズの製造リードタイム  
+ 段取時間

段取時間により、ロットサイズ、ロットサイズあたりの生産リードタイム、仕掛在庫は以下の傾向となる。

段取時間	ロットサイズ	ロットサイズあたりの 生産リードタイム	仕掛在庫数
長	大	長	増加
短	小	短	減少

# 需要変動予防在庫1/10



機能1：需要変動に対応するための在庫

▼需要変動予防在庫(別名：安全在庫)

予測できない需要変動に備える在庫を言う。

需要変動の原因：

①需要それ自体のばらつき

②供給着手時点(発注時点)と販売時点の時間差に伴う需給差

在庫の目的：在庫切れによる販売機会損失を防ぐこと。

需要変動予防在庫量

$$= (\text{安全在庫係数}) \times (\text{供給リードタイム}^{0.5}) \times (\text{単位時間当たりの需要の標準偏差})$$

安全在庫係数：ばらつきがある需要において、総需要件数のある割合以上が含まれる正規分布の範囲を、標準偏差に対する倍率で表す。この値は正規分布統計表から求める。

供給リードタイム：発注から納品までの遅れ時間

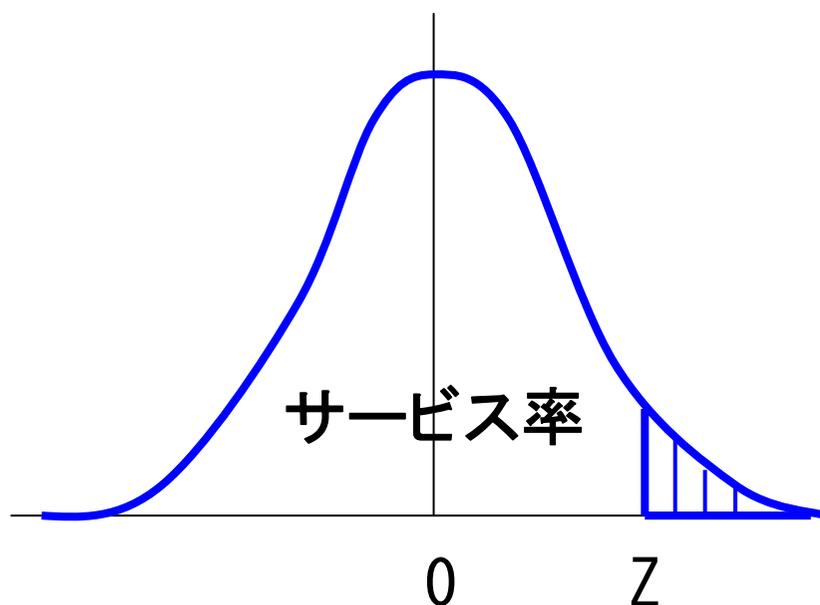
需要の標準偏差：需要発生が恣意的でなく、需要件数がある程度あれば統計解析で求められる。

# 安全在庫係数



正規分布でばらつきが表される需要を考える。総需要件数のある割合(サービス率)以上が含まれる正規分布の範囲( $Z$ )を、標準偏差( $\sigma$ )に対する倍率で表す。この値は正規分布表から求める。

サービス率に対する $Z$ の値がそのサービス条件での安全在庫係数( $k$ )である。



サービス率	Z
0.999	3.09
0.99	2.33
0.98	2.05
0.97	1.88
0.96	1.75
0.95	1.64
0.9	1.28

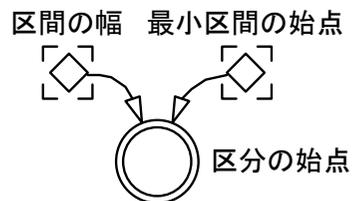
単位時間の安全在庫  
=  $Z$  \* 単位時間の需要の標準偏差( $\sigma$ )

# 安全在庫係数の説明:ヒストグラム

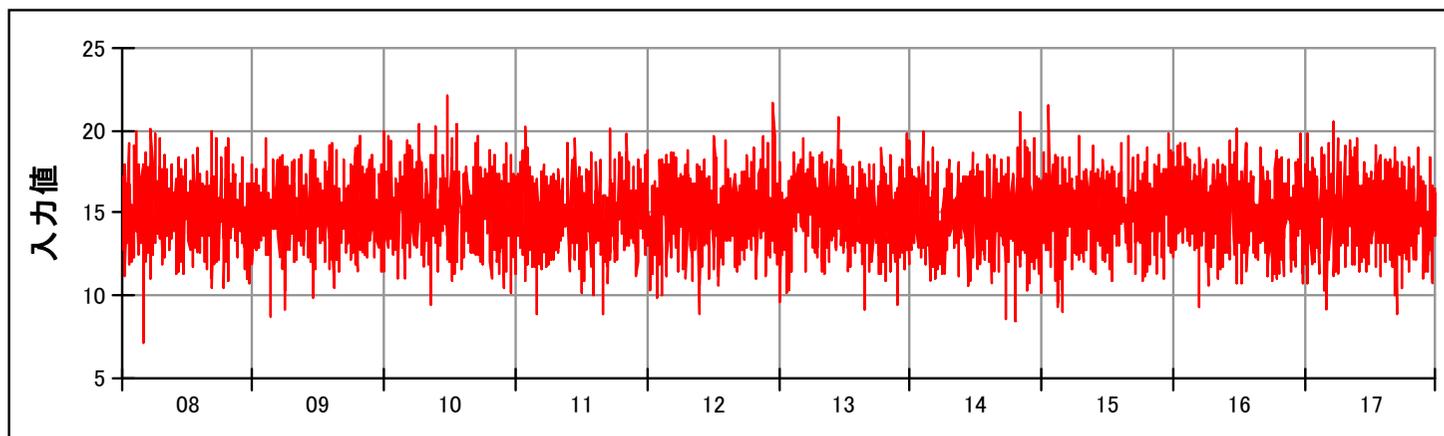
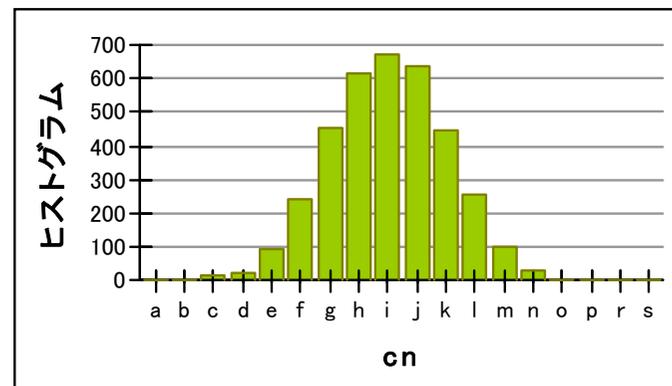
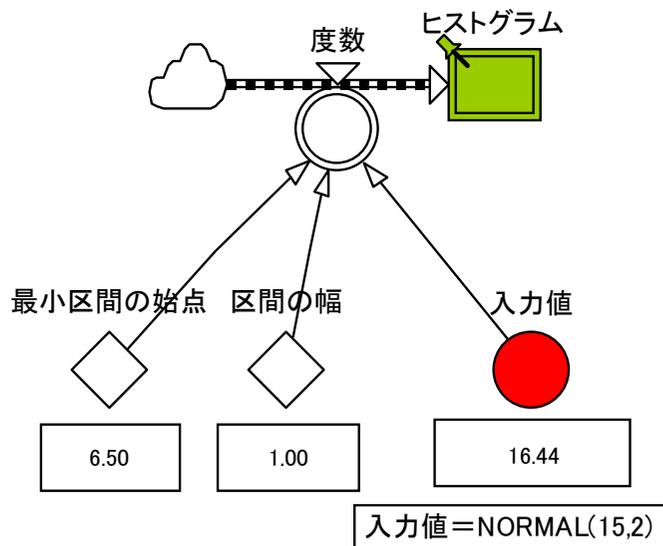


## ヒストグラムの計算と表示

単独のヒストグラム.sip



a	6.50
b	7.50
c	8.50
d	9.50
e	10.50
f	11.50
g	12.50
h	13.50
i	14.50
j	15.50
k	16.50
l	17.50
m	18.50
n	19.50
o	20.50
p	21.50
r	22.50
s	23.50



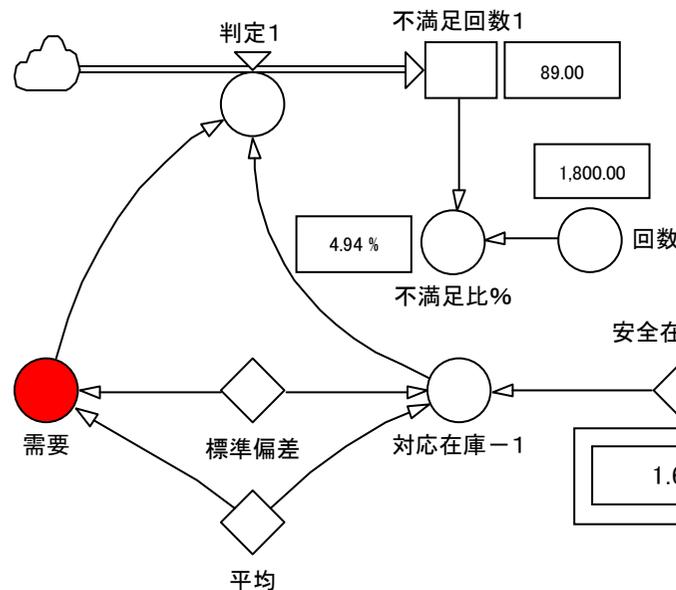
# 安全在庫係数の計算式の検証(計算機実験)



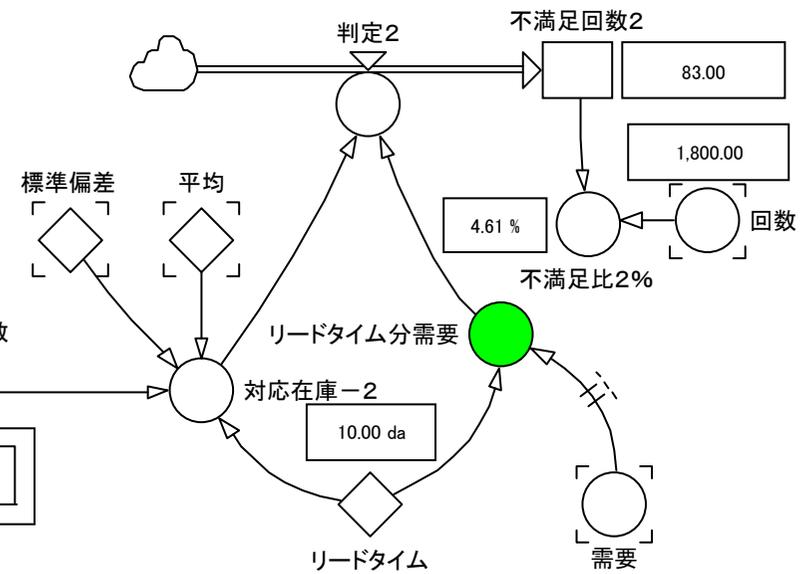
## 安全在庫係数の妥当性

## リードタイム日数分の変動の取り扱い

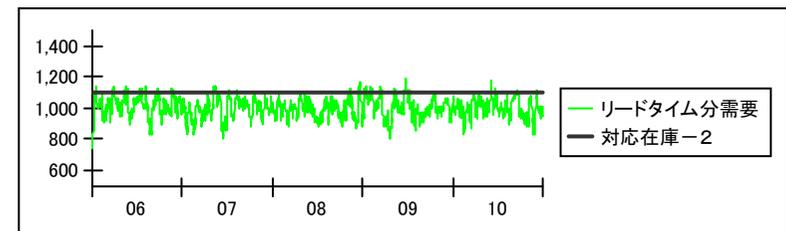
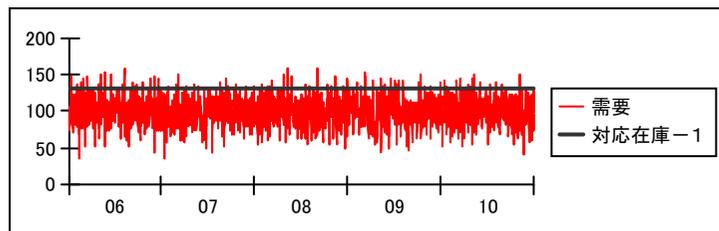
サービス率	Z
0.999	3.09
0.99	2.33
0.98	2.05
0.97	1.88
0.96	1.75
0.95	1.64
0.9	1.28



反応1 平均+安全在庫係数\*標準偏差



反応2 平均\*リードタイム/TIMESTEP+安全在庫係数\*標準偏差\*(リードタイム/TIMESTEP)^0.5



6720-安全在庫係数とリードタイムの影響.sip

【プロジェクト名：需要変動予防在庫】

6722-需要変動予防在庫.sip

## 1. モデルの構成

左側にプロジェクト・ウィンドウを表示すると、この「需要変動在庫」のプロジェクトは、二つのモデルで構成されています。「販売計測値ベース」と「需要計測値ベース」です。

違いは、発注のベースとして、販売実績をとるか需要実績をとるかです。小売店では、需要実績値は計測できませんので、現実的には販売実測値を発注のベースに使わざるを得ないのですが、その場合に発生する問題を確認するために、需要実績値を発注ベースにした場合のモデルも準備しています。

## 2. Delaypp1の注意すべき仕様

パイプライン遅れの関数がDelaypp1です。(この関数の設定の中で、遅れ時間をシミュレーションの刻み時間timestepより短く設定すると、遅れ時間は自動的にtimestepに設定されます)

このモデルでは、供給リードタイムが遅れ時間になりますが、遅れが無い場合、すなわち供給リードタイム=0日を実行するためには、スイッチング回路で切り替えて、「当日夜間配達」を選択します。

## 3. 実行すべき内容

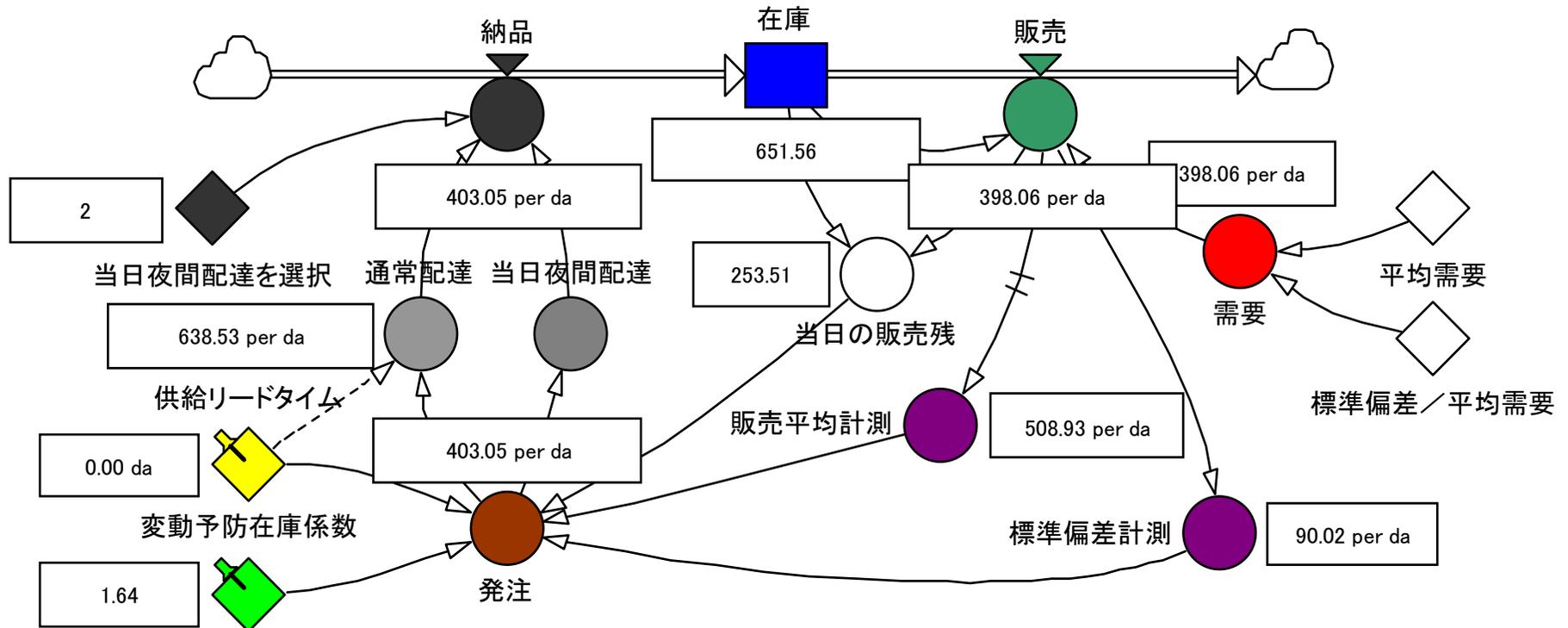
- (1) 販売計測値ベース: 供給リードタイム=0日、  
切り替えスイッチ=当日夜間配達  
販売の変動の95%をまかなうことができる変動予防在庫係数は1.64  
で、デフォルト値としています。  
この値を変更すると、時系列結果と品切れはどのように変化しますか？
- (2) 販売計測値ベース: 変動予防在庫係数は1.64、  
切り替えスイッチ=通常配達  
供給リードタイムを1日から5日まで変更すると、時系列結果と品切れは  
どのように変化しますか？
- (3) 需要計測値ベース: 変動予防在庫係数は1.64、  
切り替えスイッチ=通常配達  
供給リードタイムを1日から5日まで変更すると、時系列結果と品切れは  
どのように変化しますか？  
販売計測値ベースの結果と比較して違いがありますか？  
違いの原因は何でしょうか？

# 需要変動予防在庫4/10



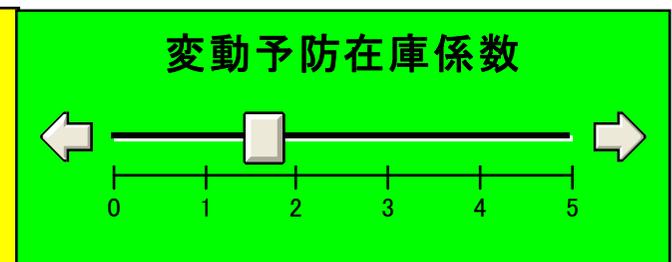
## 需要変動予防在庫

6722-需要変動予防在庫.sip



当日夜間配達を選択

- 通常配達
- 当日夜間配達



# 需要変動予防在庫5/10

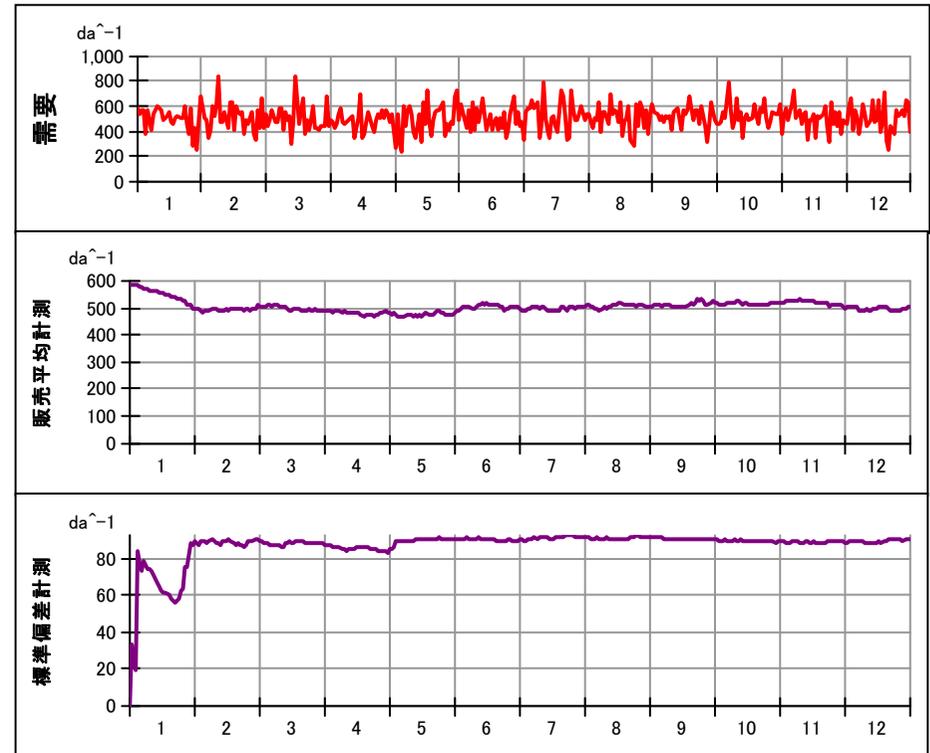
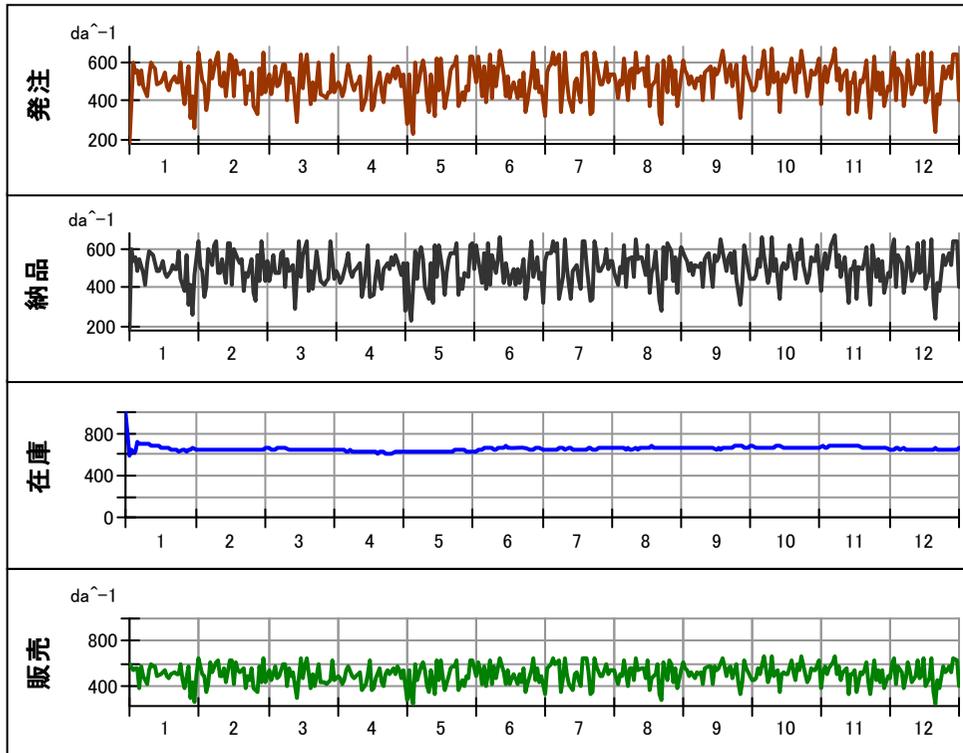
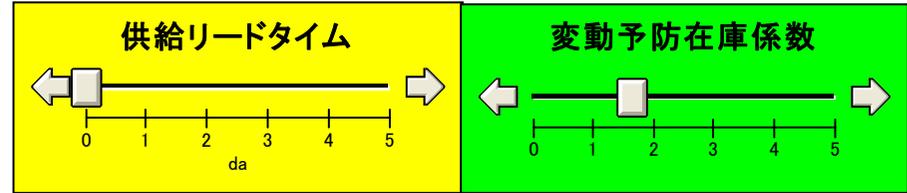


- 販売実績ベース
- 当日夜間配送

## 需要変動予防在庫 時系列結果

当日夜間配送を選択

- 通常配達
- 当日夜間配達



# 需要変動予防在庫6/10

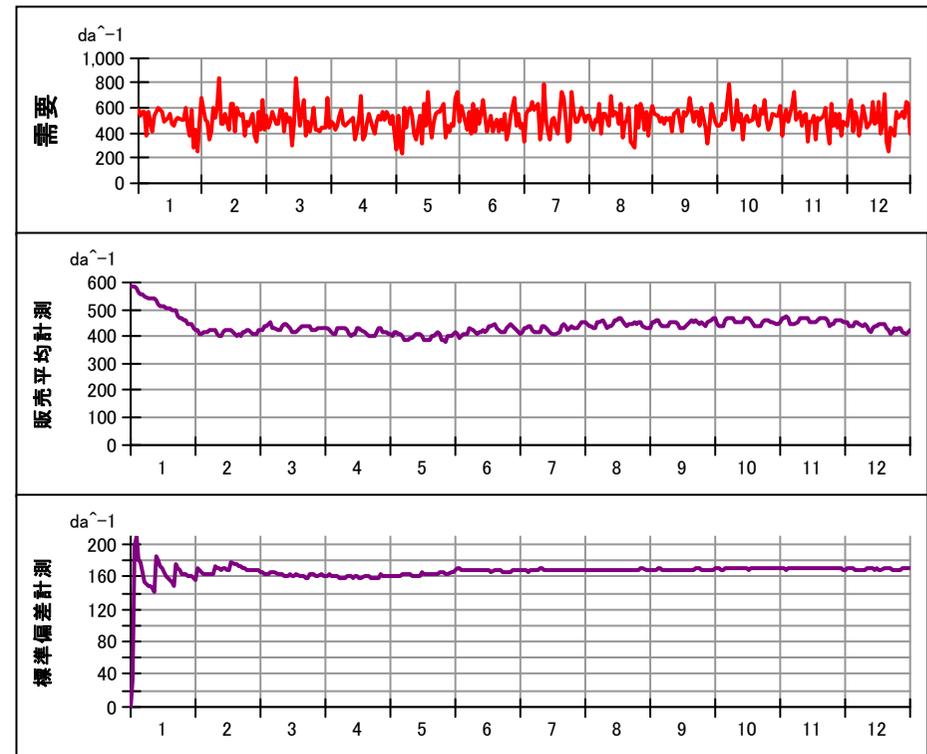
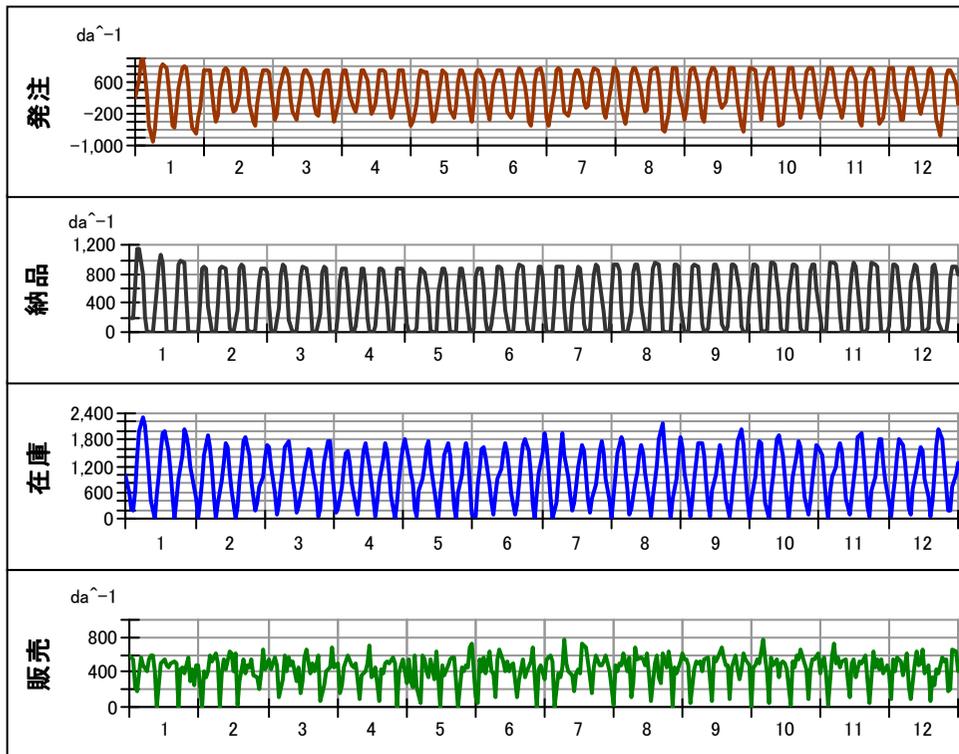
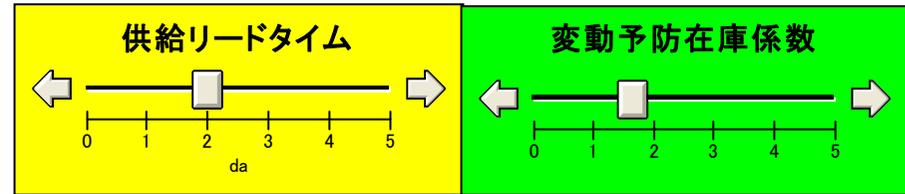


- 販売実績ベース
- 納品リードタイム=2日

## 需要変動予防在庫 時系列結果

当日夜間配達を選択

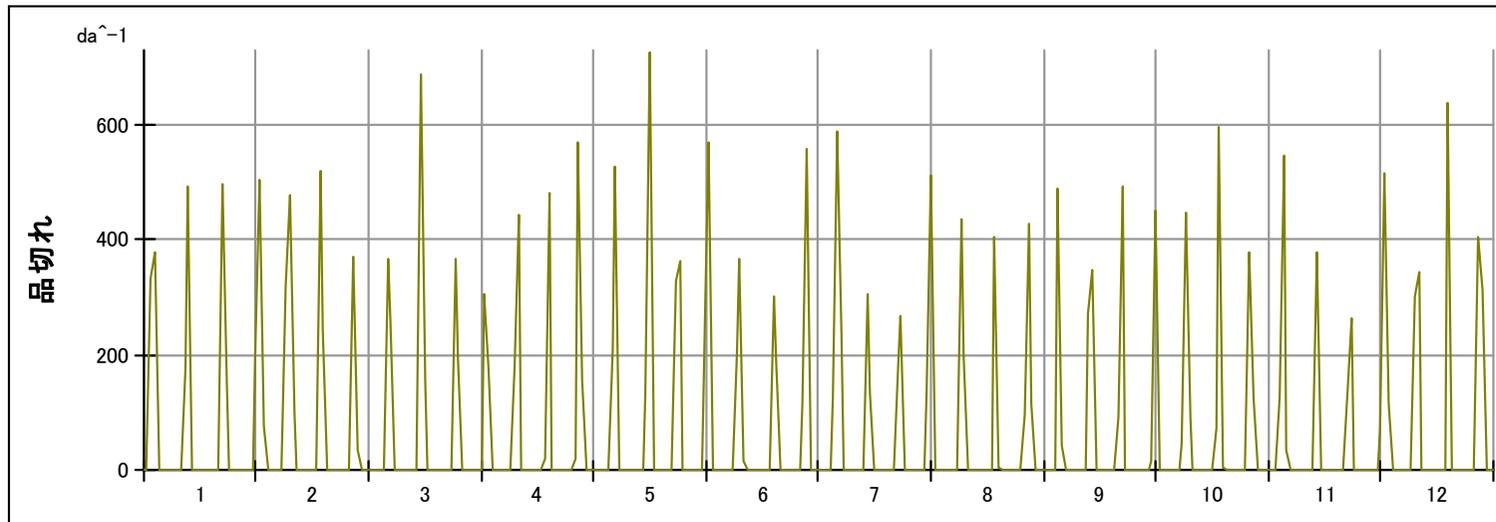
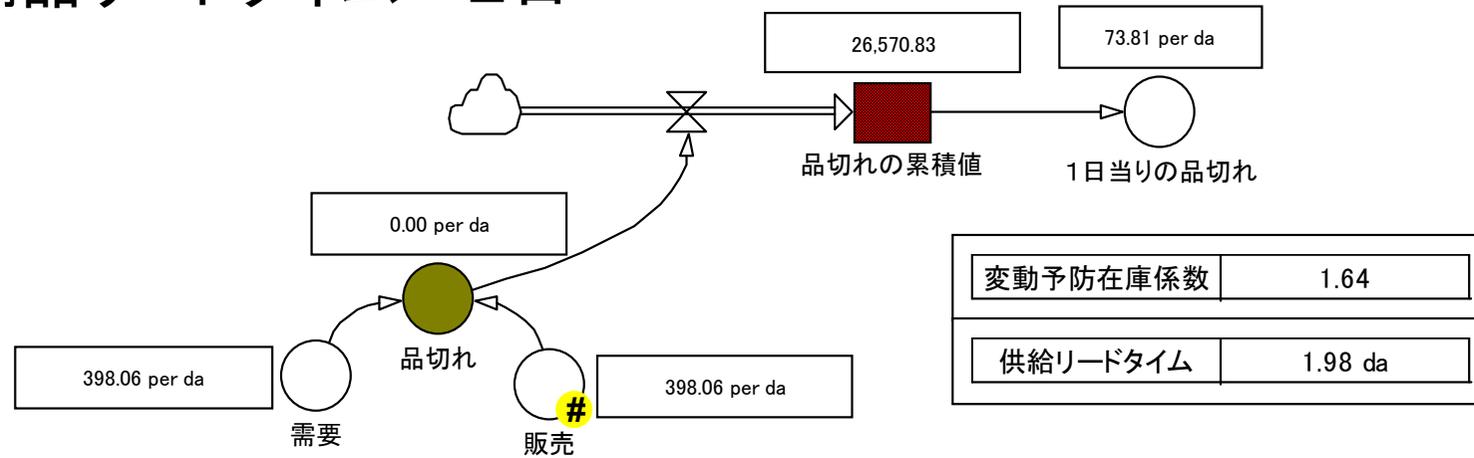
- 通常配達
- 当日夜間配達



# 需要変動予防在庫7/10



- 販売実績ベース
- 納品リードタイム=2日



# 需要変動予防在庫8/10

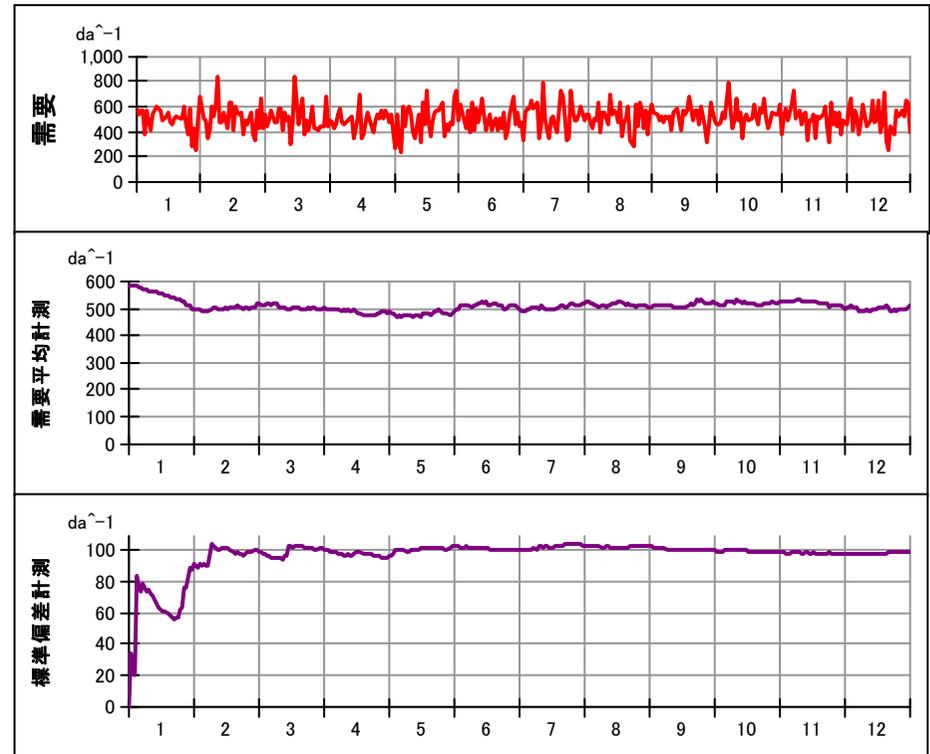
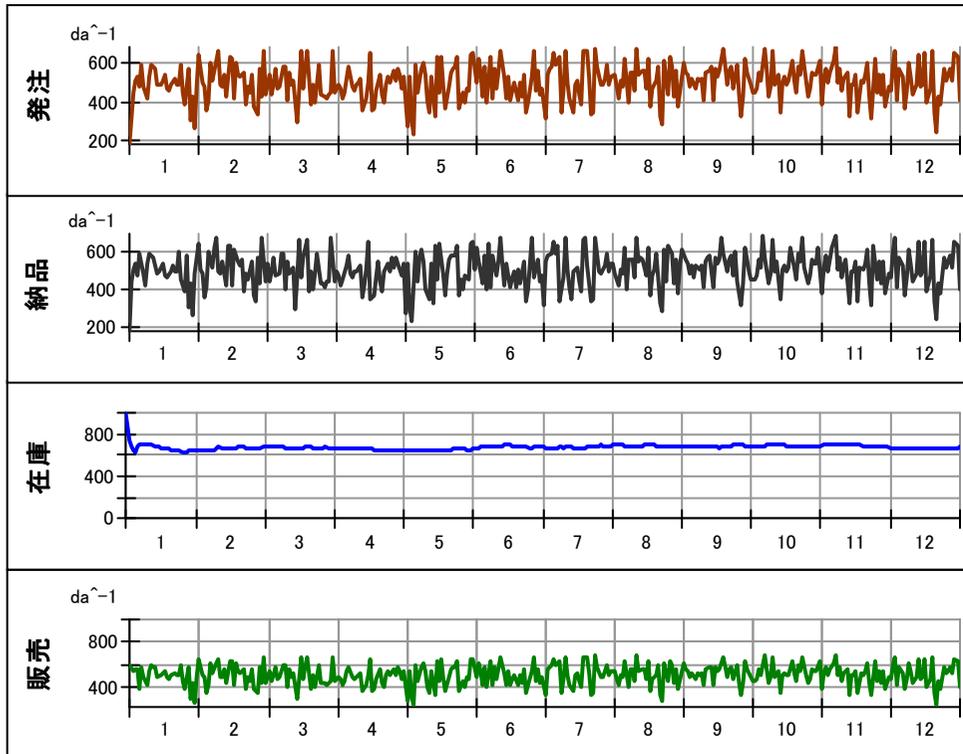
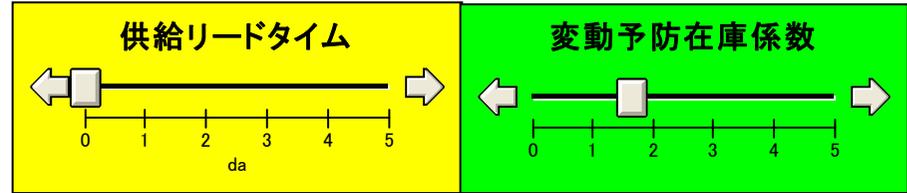


- 需要実績ベース
- 当日夜間配送

## 需要変動予防在庫 時系列結果

当日夜間配送を選択

- 通常配達
- 当日夜間配達



# 需要変動予防在庫9/10

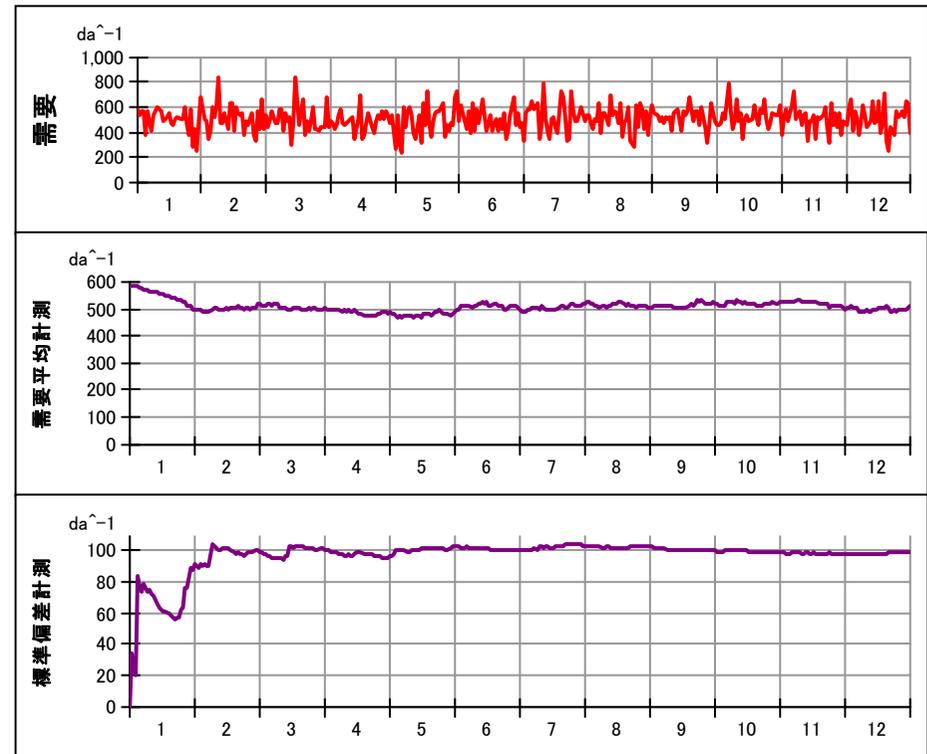
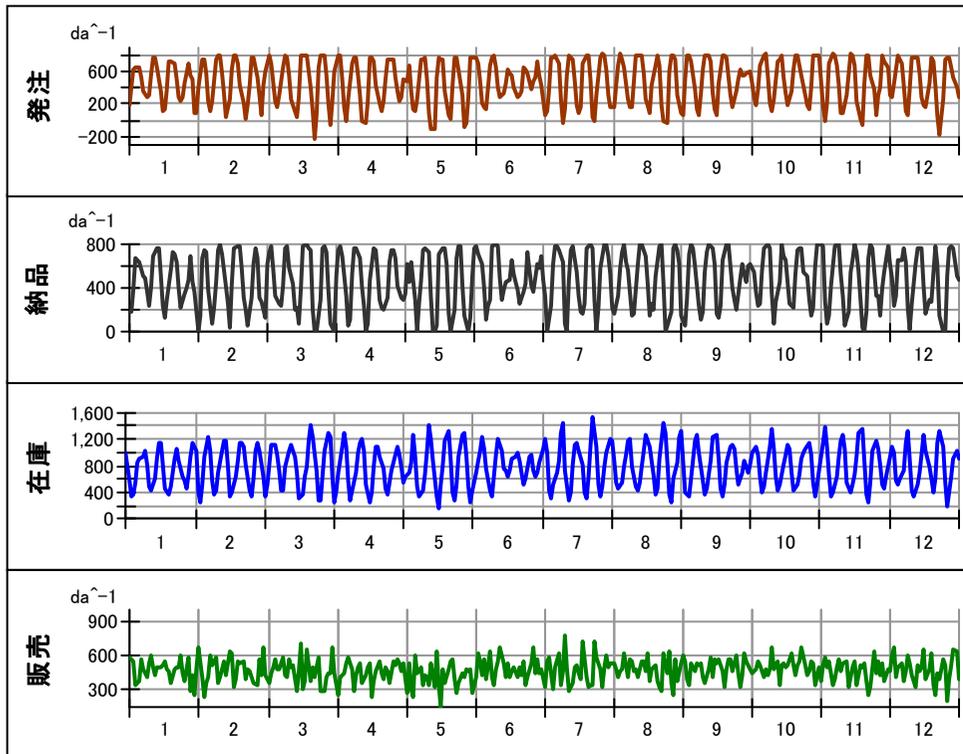
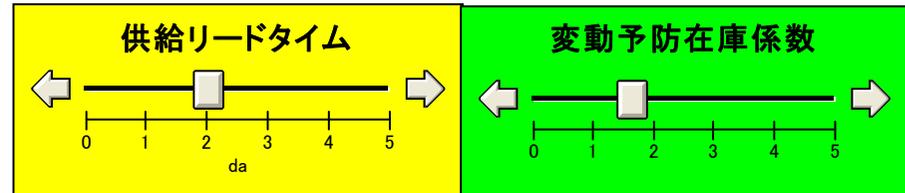


- 需要実績ベース
- 納品リードタイム=2日

## 需要変動予防在庫 時系列結果

当日夜間配達を選択

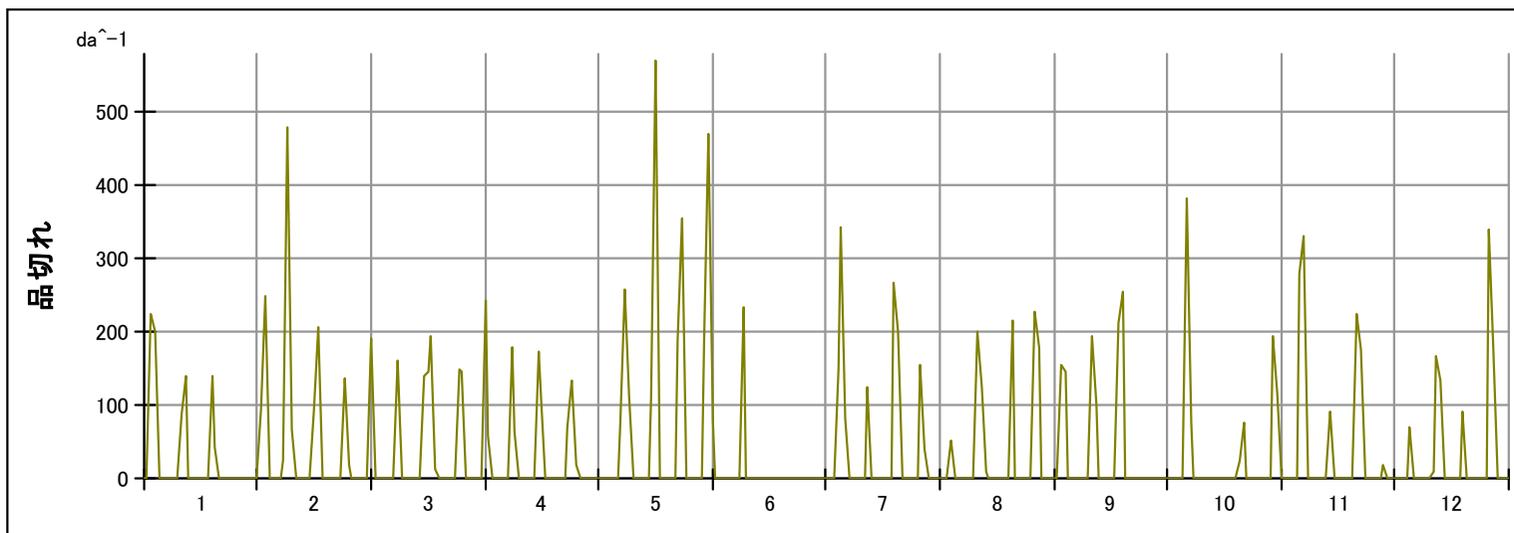
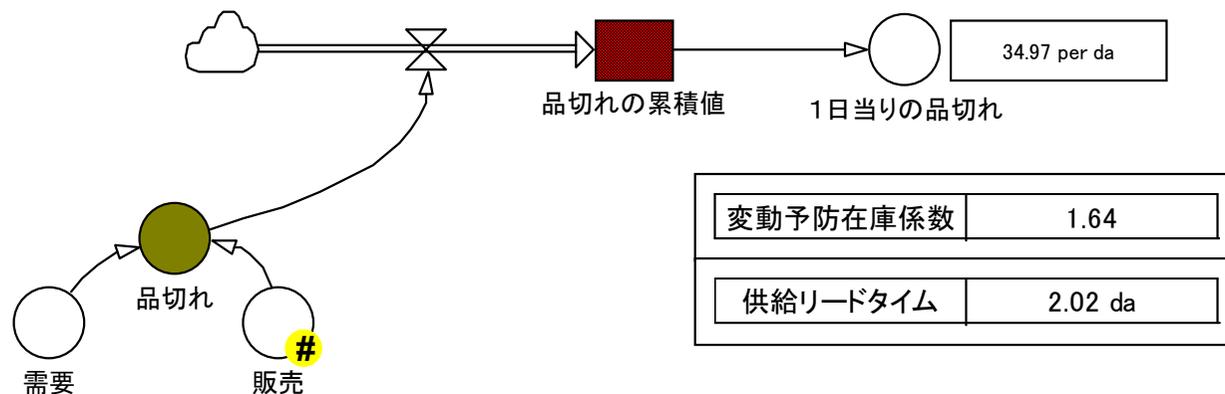
- 通常配達
- 当日夜間配達



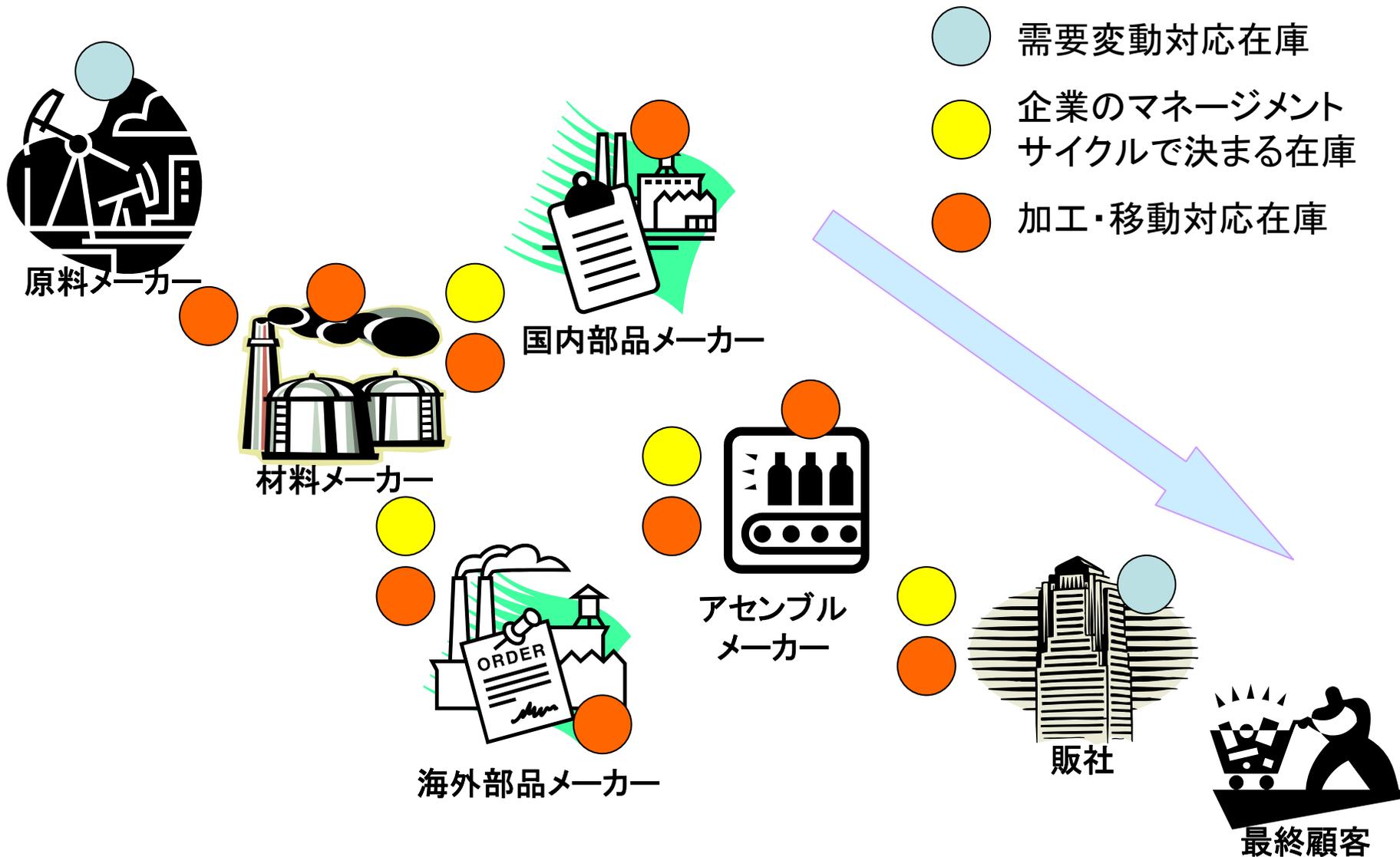
# 需要変動予防在庫10/10



- 需要実績ベース
- 納品リードタイム=2日



# サプライチェーンにおける各種の在庫



# 発注方式

定量発注方式  
定期発注方式

# 定量発注方式(固定需要)



- (1) 毎回一定である発注量(発注ロットサイズ)と安全在庫量を設定する。  
発注量は最短発注期間内の需要量以上であること。  
発注量が少なくなると、発注回数(補充回数)が多くなり、そのための事務費用や輸送費などの発注費用が増加するとともに、在庫切れ率が高くなる。  
逆に、発注量が多くなると、在庫切れ率は低くなり、発注費用も少なくなるが、在庫費用が増加する。
- (2) 入荷時に在庫が安全在庫量以下にならない時点で発注する。  
この発注時点の在庫水準を「発注点」と呼ぶ。
- (3) 発注したものが入荷して販売に供せられる状態になるまでを、ここでは供給リードタイムとする。
- (4) 発注点における必要在庫量(I)は下式となる。

$$I = F + S$$

$$\begin{aligned} F &= \text{サプライチェーン系で発生する在庫量} \\ &= \text{需要速度(平均需要)} \times (\text{供給リードタイム}) \\ &= 50 * 7 = 350 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{安全在庫量} \\ &= \text{安全在庫係数} \times \text{需要標準偏差} \times (\text{供給リードタイム})^{0.5} \\ &= 2.05 * 0 * 7^{0.5} = 0 \quad \text{条件: サービス率=98\%、} \end{aligned}$$

固定需要のため標準偏差はない。

# 定量発注方式(固定需要)



補足説明;

システムダイナミックス(SD)モデルにおけるリードタイムの取り扱い

SDでは、フローレートで表す入荷は、シミュレーションの単位時間(timestep)の終了直前 $\varepsilon$ に、レベルで表す在庫へ流入する。この入荷から在庫までの単位時間はシミュレーション計算上避けられない遅れ時間であるので、リードタイムをパイプライン遅れ関数で取り扱う場合には、この単位時間の遅れをあらかじめ考慮しておく必要がある。

例えばこの定量発注モデルでは、発注点において発注指示して、それが在庫になり販売できる状態になるまでの時間が供給リードタイムであるから、発注指示から入荷までの時間は(供給リードタイム - 単位時間)とし、これに入荷から在庫までの単位時間が加わって、発注指示から在庫までの合計時間が供給リードタイムとなる。

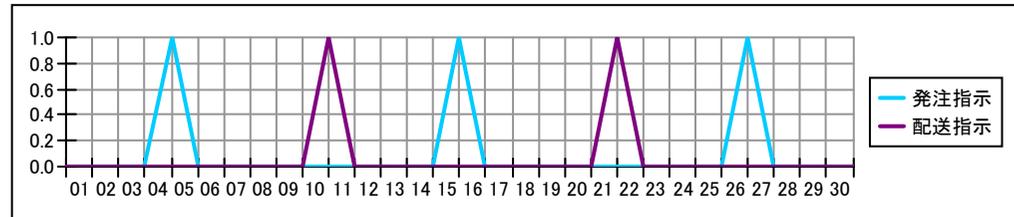
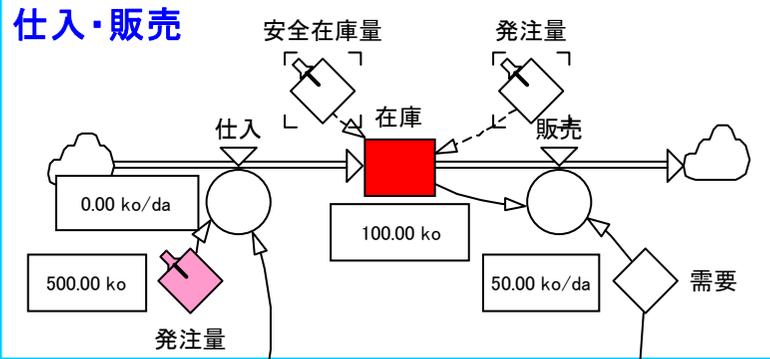
# 定量発注方式(固定需要)



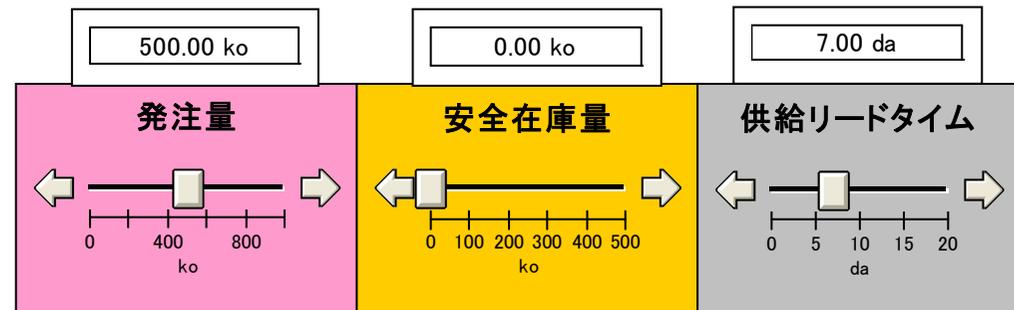
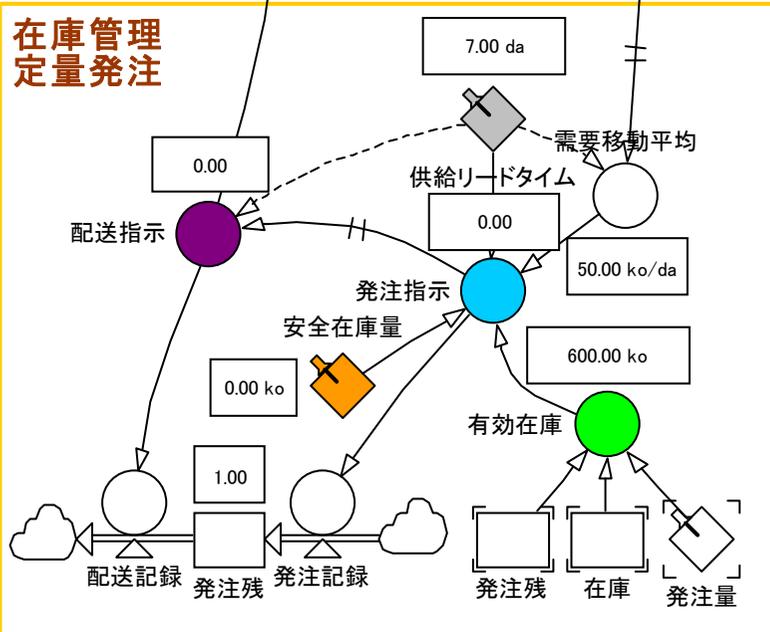
需要速度が一定の場合；  
発注量と供給リードタイムを変化させて挙動を観察する。

定量発注方式(1).sip

## 仕入・販売



## 在庫管理 定量発注



# 定量発注方式(固定需要)



需要速度が一定の場合;  
「有効在庫量」をなぜ使う?

定量発注方式(1).sip

- ▼ 供給リードタイムが結果としての補充間隔より短いと、手持ち在庫量を少なく抑えることができる。
- ▼ 供給リードタイムが結果としての補充間隔より長いと、発注した現品が届く前に再び発注点を割ることになり、継続して発注することになる。
- ▼ 供給リードタイム後に、現品が継続して入荷し在庫が増え続け、それが発注点に到達するまでの時間が長くかかる。  
すなわち発注間隔が不規則になる。
- ▼ それを避けるために、発注済の発注量(発注残量)と手持ち在庫量との和を「有効在庫量」と呼び、有効在庫量が発注点に到達したときに、次の発注をかける。
- ▼ これにより、発注間隔はある程度平準化される。

# 定量発注方式(変動需要)



## 需要速度がランダムな場合

- (1) 毎回一定である発注量(発注ロットサイズ)と安全在庫量を設定する。  
発注量は最短発注期間内の需要量以上であること。  
発注量が少なくなると、発注回数(補充回数)が多くなり、そのための事務費用や輸送費などの発注費用が増加するとともに、在庫切れ率が高くなる。  
逆に、発注量が多くなると、在庫切れ率は低くなり、発注費用も少なくなるが、在庫費用が増加する。
- (2) 入荷時に在庫が安全在庫量以下にならない時点で発注する。  
この発注時点の在庫水準を「発注点」と呼ぶ。
- (3) 発注して供給リードタイム経過後に入荷する。
- (4) 発注点における必要在庫量(I)は下式となる。

$$I = F + S$$

F = サプライチェーン系で発生する在庫量

$$= \text{需要速度(平均需要)} \times (\text{供給リードタイム}) = 50 * 7 = 350$$

S = 安全在庫量

$$= \text{安全在庫係数} \times \text{需要標準偏差} \times (\text{供給リードタイム})^{0.5}$$

$$= 2.05 * 10 * 7^{0.5} = \text{abt. } 62 \quad \text{条件: サービス率} = 98\%$$

標準偏差は平均需要の20%

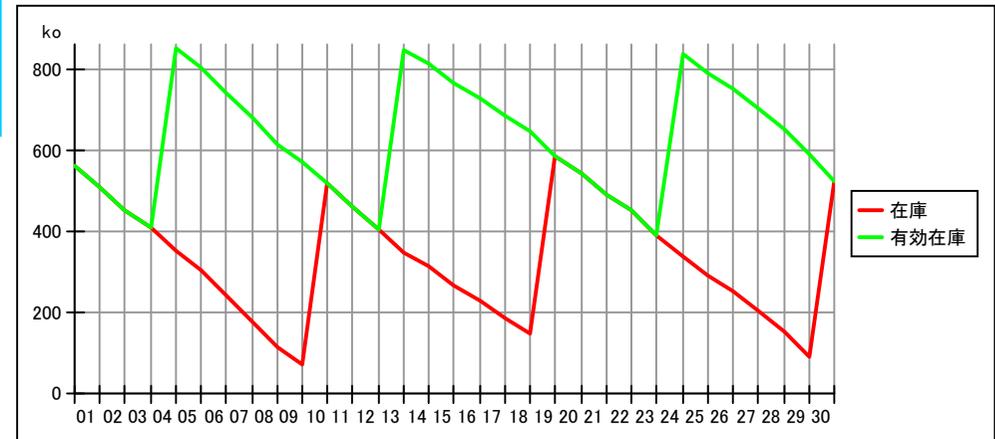
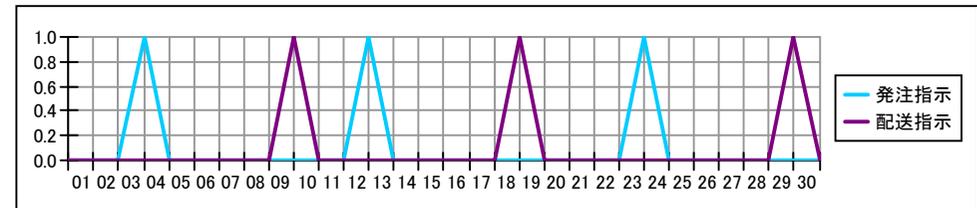
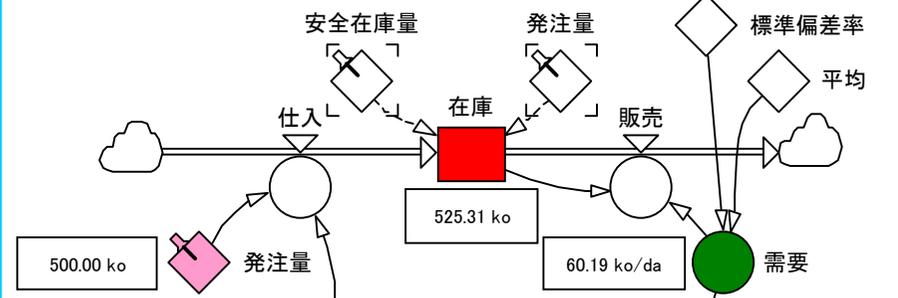
# 定量発注方式(変動需要)



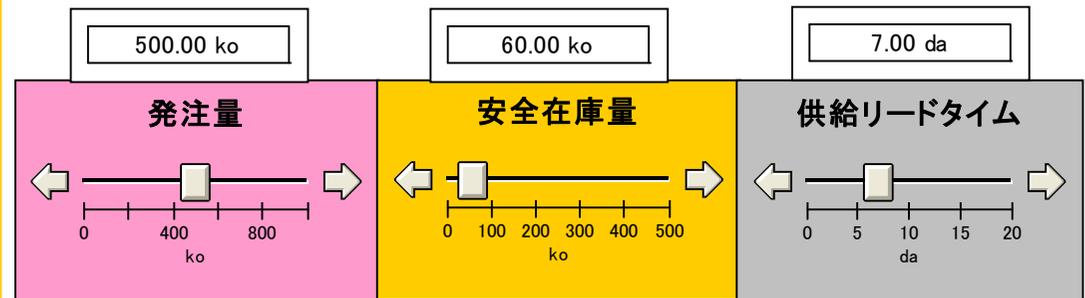
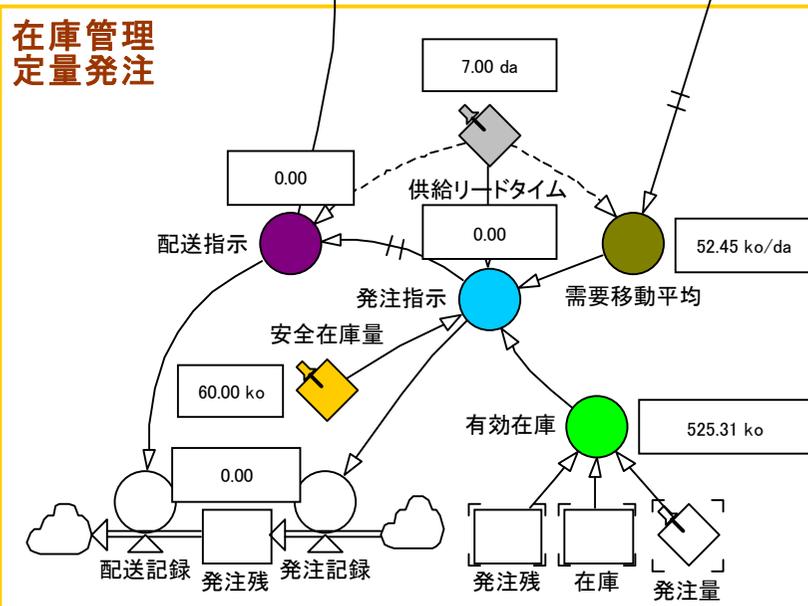
需要速度がランダムな場合；  
発注量と供給リードタイムを変化させて挙動を観察する。

定量発注方式(2).sip

## 仕入・販売



## 在庫管理 定量発注



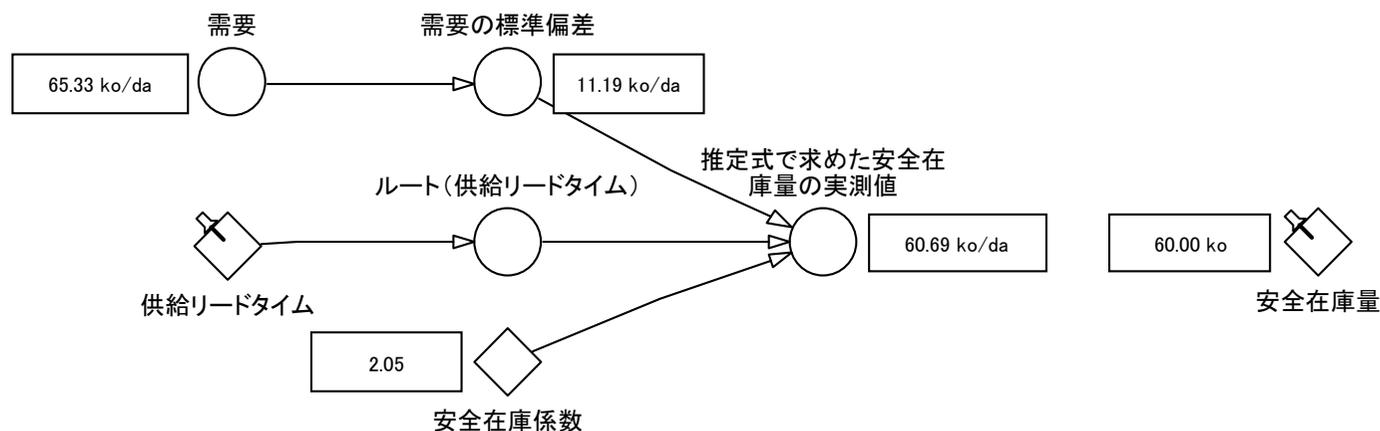
# 定量発注方式(変動需要)



需要速度がランダムな場合；  
安全在庫量の推定は？

定量発注方式(2).sip

このモデルで安全在庫量を60個と決めている根拠の検証



安全在庫量の推定式

安全在庫量 = 安全在庫係数 × 需要の標準偏差 × (供給リードタイム)<sup>0.5</sup>

安全在庫係数 = 2.05

需要がランダムで正規分布とすると、母数の98%を含む範囲は、  
需要の標準偏差の2.05倍である。

需要の標準偏差 = {Σ(各需要量 - 平均需要量)<sup>2</sup> / 需要件数}<sup>0.5</sup>

# 定量発注方式(変動需要)



需要速度がランダムな場合;

定量発注方式(演習).sip

課題;

シミュレーションは、刻み時間1日で、1ヶ月間分を計算する。  
”操作画面”を使って、手動で1日ごとにシミュレーションを進め、定量発注方式に基づいて、品切れを起こさないように、商品を発注する。  
操作を闇雲に試みるのではなく、まず以下の3項目について検討して、操作方針を設定した上で取り掛かる。

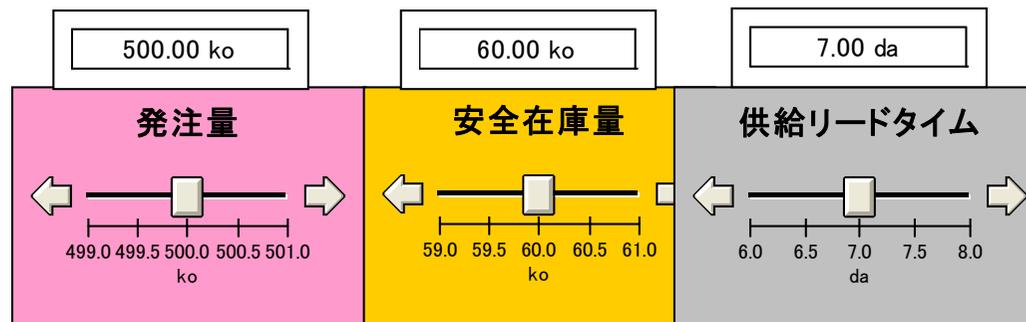
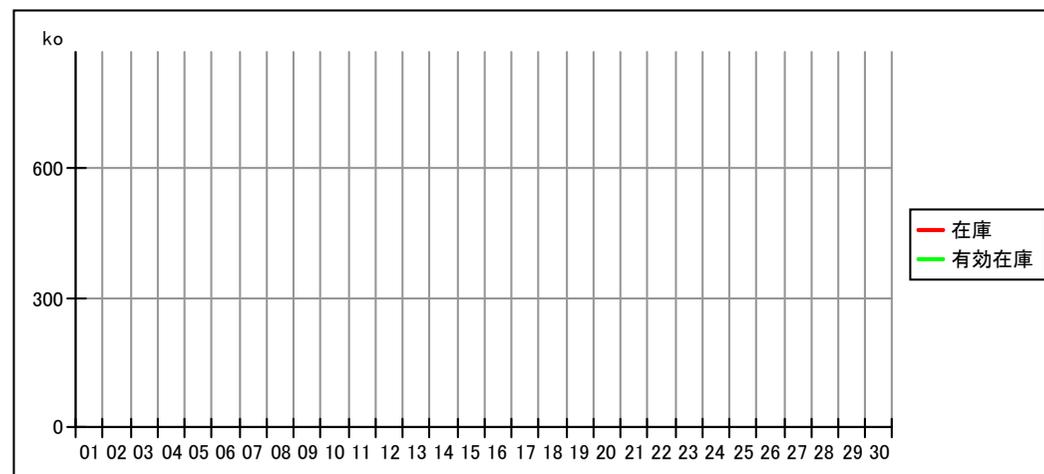
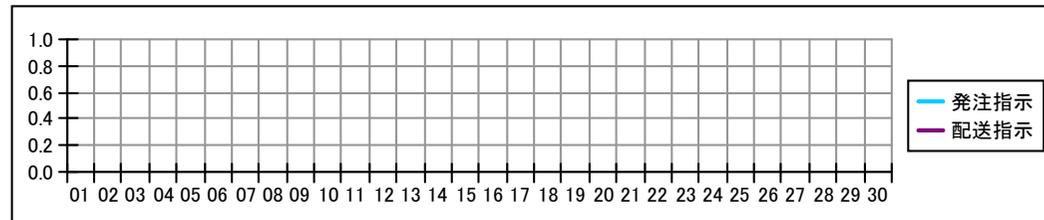
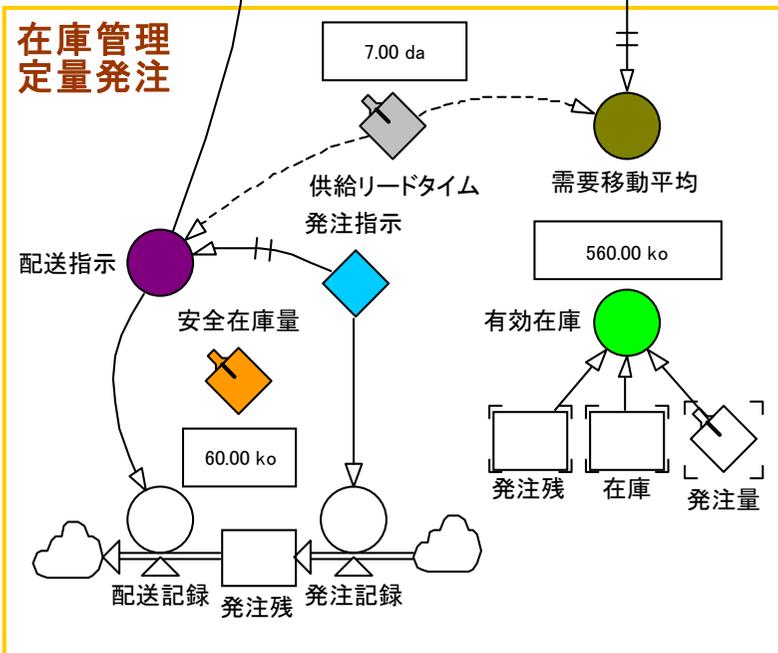
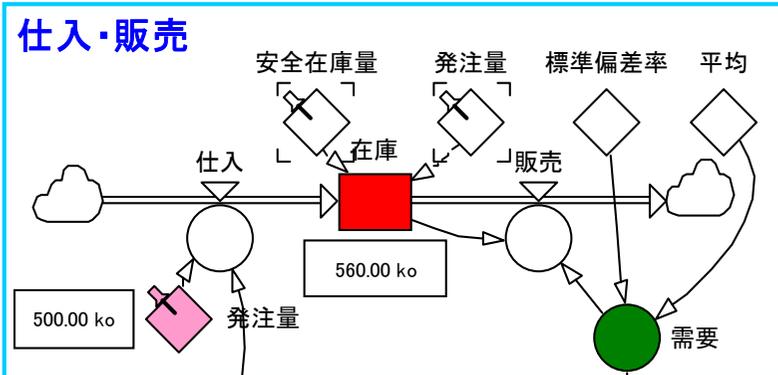
1. 何を監視するか？
2. どんな条件式で発注指示を出すか？  
その判定数値は？
3. 在庫の挙動を想定して図化する。  
手動操作の結果と想定した結果との比較・評価

# 定量発注方式(変動需要)



需要速度が一定な場合;  
手動で在庫管理を実行する

定量発注方式(演習).sip



9120

matsu@posy.co.jp

52

# 定量発注方式(変動需要)



需要速度がランダムな場合;  
在庫管理を実行するための操作画面

定量発注方式(演習).sip

発注指示

供給リードタイム

7.00 da

発注量

500.00 ko

Time	在庫	有効在庫	発注指示	発注指示
2005/01/01	560.00 ko	560.00 ko	0.00	0.00

安全在庫量

60.00 ko

課題;

サービス率を99%として、手動で定量発注のプロセスを実行する。

Time	在庫(ko)	有効在庫(ko)	発注指示	配送指示
01/01	560.00	560.00	0.00	0.00
01/02				
01/03				
01/04				
01/05				
01/06				
01/07				
01/08				
01/09				
01/10				
01/11				
01/12				
01/13				
01/14				
01/15				
01/16				
01/17				

手動定量発注の記録

- 何を監視するか?
- どんな条件式で発注指示を出すか?  
その判定数値は?
- 想定した結果との比較

# 定量発注方式(変動需要)



## 課題のポイント

1. 何を監視するか？

有効在庫

2. どんな条件式で発注指示を出すか？

$$I = F + S$$

F = サプライチェーン系で発生する在庫量

= 需要速度(平均需要) × (供給リードタイム)

$$= 50 * 7 = 350$$

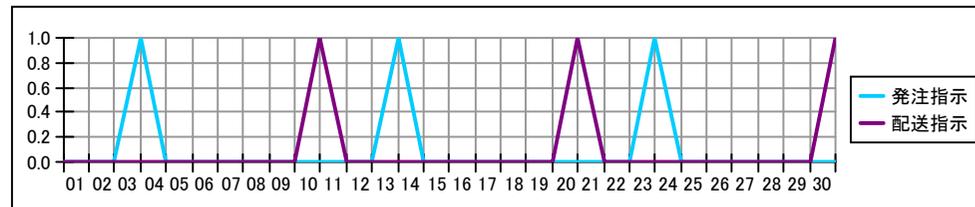
S = 安全在庫量

= 安全在庫係数 × 需要標準偏差 × (供給リードタイム)<sup>0.5</sup>

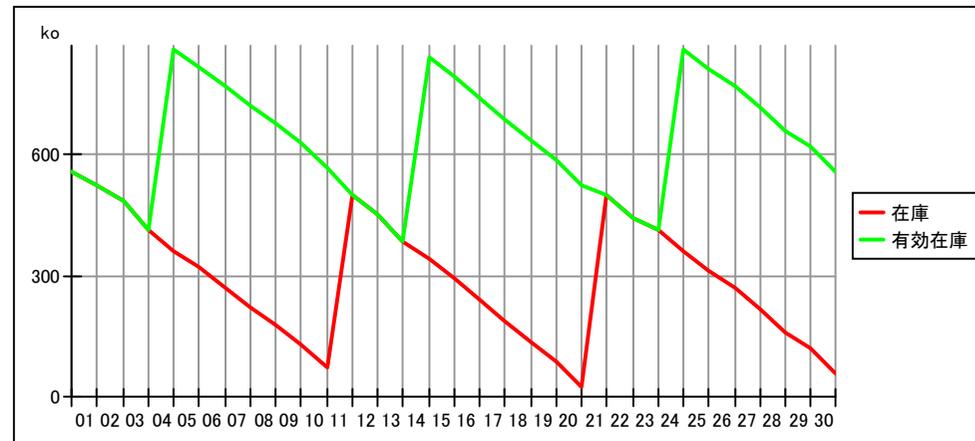
$$= 2.05 * 10 * 7^{0.5} = 55$$

I = 発注点における必要な有効在庫量 = abt. 410

需要速度が  
ランダムな場合の  
手動操作の一例



操作の一例



# 定期発注方式(1/2)



(1) 発注間隔を固定する。

(2) 前回から今回までの需要量を求め、その需要量に安全在庫量を加えた量を発注時の必要在庫量(I)とする。

$$I = F + S$$

$$\begin{aligned} F &= \text{サプライチェーン系で発生する在庫量} \\ &= \text{需要速度(平均需要)} \times (\text{供給リードタイム} + \text{発注間隔}) \\ &= 50 * (3 + 7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{安全在庫量} \\ &= \text{安全在庫係数} \times \text{需要標準偏差} \times (\text{供給リードタイム} + \text{発注間隔})^{0.5} \\ &= 2.05 * 10 * 10^{0.5} = \text{abt. } 65 \end{aligned}$$

条件: サービス率=98%

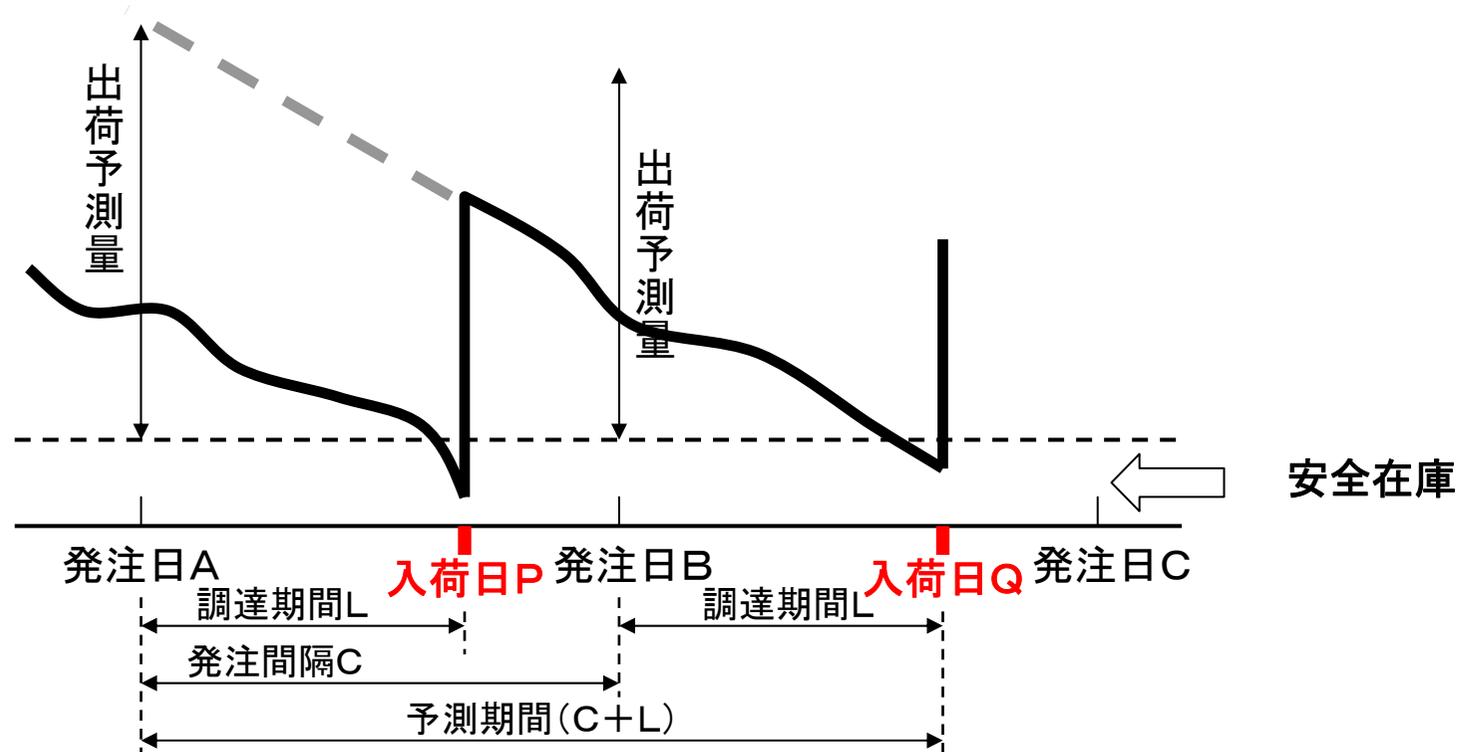
標準偏差は平均需要の20%

発注量は、必要在庫量(I)から、有効在庫(=現在の在庫+発注済未入荷)を差し引いた量である。

(3) 定期発注方式の主なる適用対象

将来の需要予定量の予測精度を高い水準で保つことができる場合  
供給リードタイムが発注間隔より長い場合

# 定期発注方式 (2/2)



発注日Aにおける発注量を考える。

発注日Aから入荷日Pまでは、既存の在庫から出荷する。

入荷日Pから次の入荷日Qまでは、入荷日Pで入荷した在庫によって出荷する。

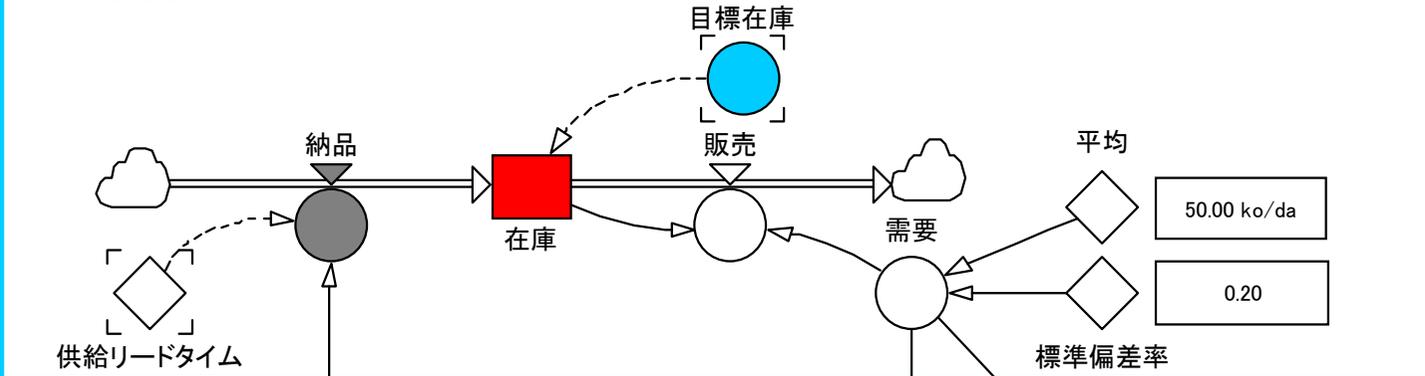
したがって、発注日Aでは、入荷日Qの時点で、在庫が安全在庫以上残っていることを考慮して発注量を決める必要がある。

結論として、定期発注方式における平均出荷量の計算と安全在庫量の計算における算定期間は、発注間隔にリードタイムを加えた(C+L)である。

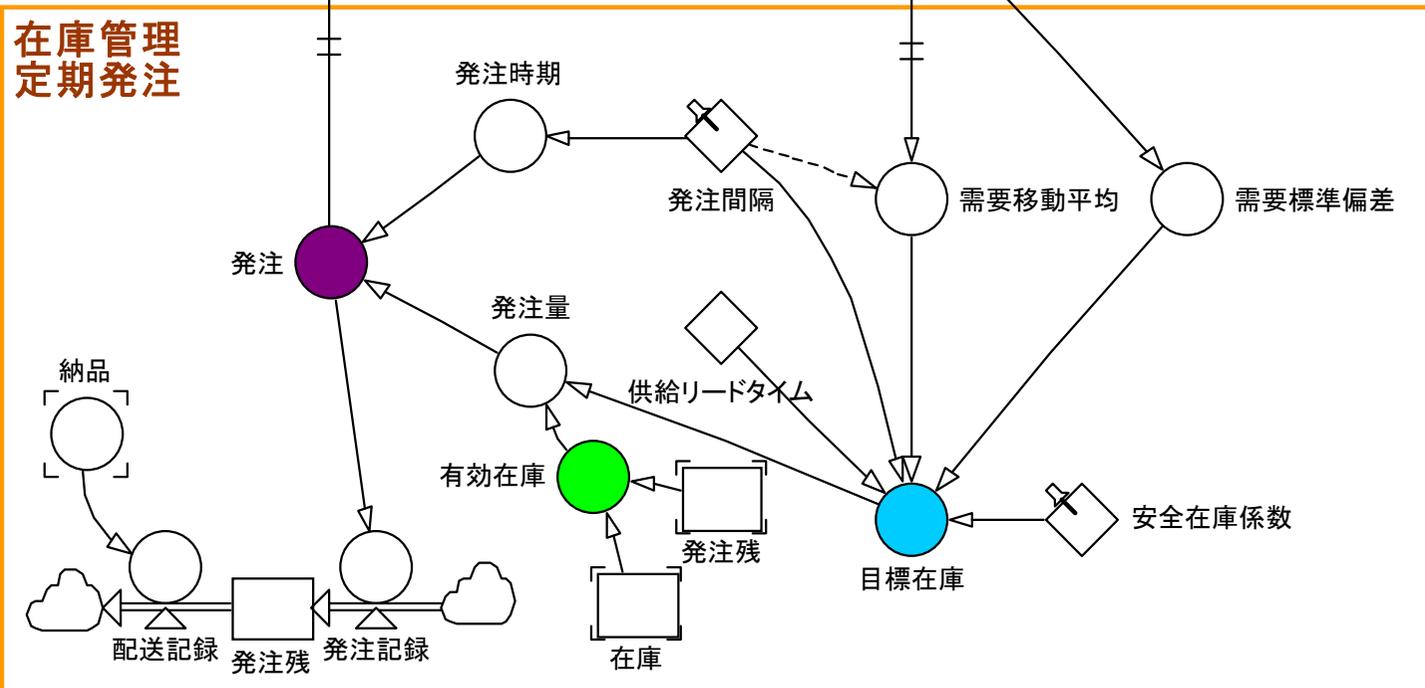
# 定期発注方式



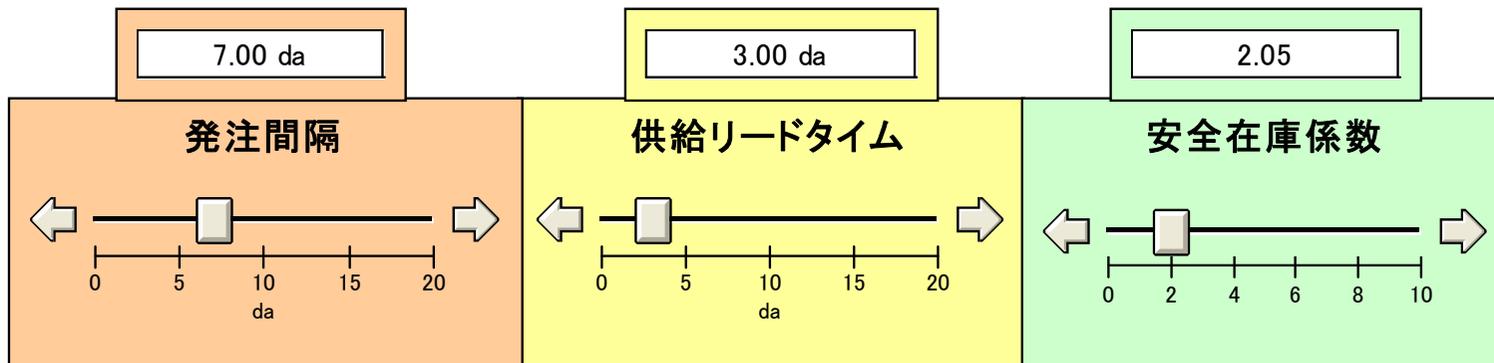
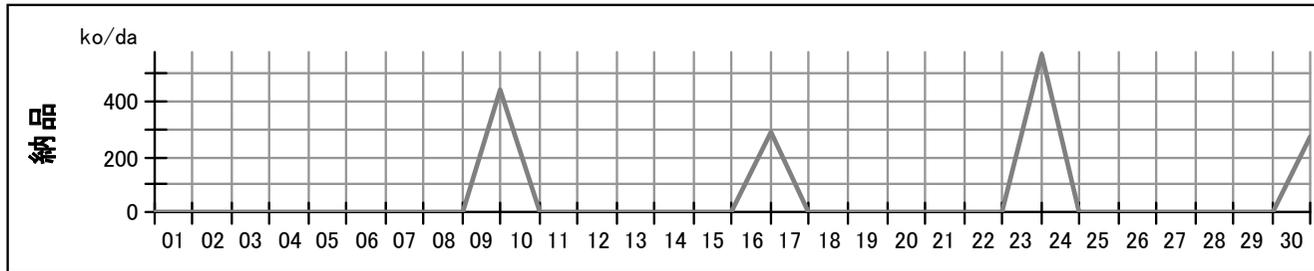
## 仕入販売モデル



## 在庫管理 定期発注



# 定期発注方式



# 定期発注方式



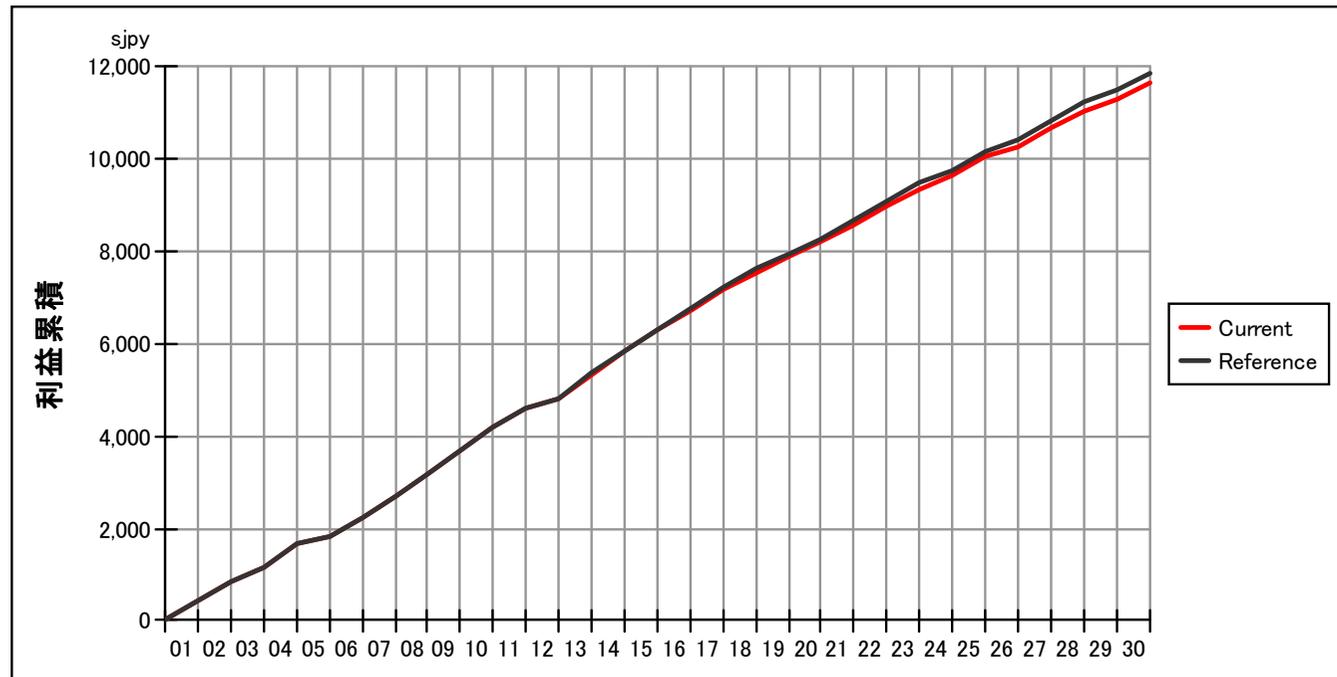
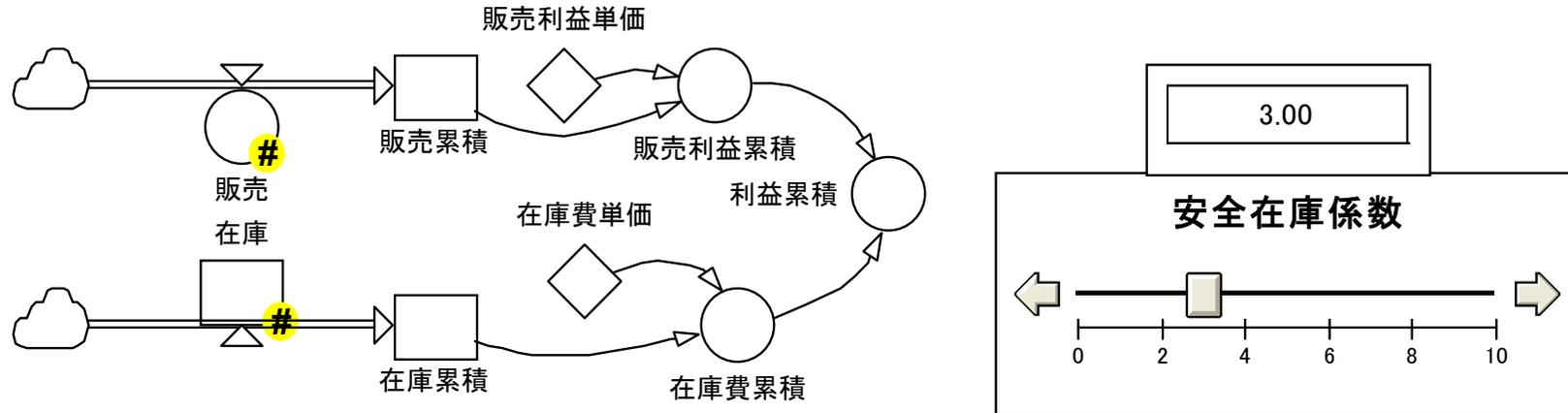
発注方式によらず、発生費用と売上との差である利益が最大となる在庫条件を求めるべきであり、在庫最小とか在庫切れ最小とかの単独の項目の局所的な最適化を図るべきではない。

利益の累積が最大になる条件で、安全在庫係数を求めた例を以下に示す。

Name	Value	Type	Apply
Assumptions			
供給リードタイム		Fixed Value	Start
Fixed Value	3.00 da		
発注間隔		Fixed Value	Start
Fixed Value	7.00 da		
Decisions			
安全在庫係数	2.05		Start
Minimum Value	0.00		
Maximum Value	10.00		
Objectives			
利益累積	11,843.15 sipy	Max	Stop

定期発注方式(最適化).sip

# 定期発注方式



# ビジネス・シミュレーション のまとめ

## ビジネス・シミュレーションの概要

- ビジネス・シミュレーション
  - ▼ 離散事象型シミュレーション
  - ▼ 連続型シミュレーション
  
- システム・ダイナミックスの経営問題への適用
  - ▼ システムズ・シンキング……定性モデル
  - ▼ システム・ダイナミックス……定量モデル  
(傾向分析用 数値分析用)
  
- モデルベースト経営 ⇒ 仮想経営における仮説検証
  - ▼ 社会経済状況の分析
  - ▼ 企業事業戦略の立案
  - ▼ ビジネス・プロセスの設計
  - ▼ ビジネス・オペレーションの支援
  - ▼ ビジネス経過の分析と変更・革新

## サプライチェーンを対象にビジネスモデルの体験的学習

- ビジネス評価のプリンシパル
  - ▼ 業績の正確な計測 目標とのギャップに対する適切な適応量  
遅れのない適応活動
- ビジネスの振動による不安定
  - ▼ バランシング・フィードバック・ループの存在
  - ▼ 遅れ(パイプライン遅れ、物の遅れ、情報の遅れ)の存在
- 縮小均衡の危険
- サプライチェーンの方式
  - ▼ プッシュ方式、プル方式、独立方式
- 在庫理論
  - ▼ 在庫管理、発注方式(定量、定期)

### 本講座の狙い

- × モデルを作る
- ◎ モデルを解読して、シミュレーションによりビジネス機能を確認する

# 参考文献



- 松島克守 ; MOTの経営学, 日経BP社, 2004
- 森田道也 ; サプライチェーンの原理と経営, 新世社, 2004
- 光國光七郎 ; 経営視点で学ぶグローバルSCM時代の在庫理論, コロナ社, 2005
- 松本憲洋 ; POSY社のホームページ <http://www.posy.co.jp>  
“Ps Studio 2005 簡易マニュアル”
- U. S. Department of Energy's ; Introduction to System Dynamics,  
Distance Learning of SDS Home Page  
<http://www.systemdynamics.org>
- J. D. Sterman ; Business Dynamics, Irwin MacGraw-Hill, 2000

# The END

松本 憲洋

**POSY Corp.**

〒102-0092 東京都千代田区隼町2-12-104

藤和半蔵門コープ 1F

Tel.& Fax. 03-3512-5358

Mobile 080-5047-3849

matsu@posy.co.jp

<http://www.posy.co.jp>