景気変動期における総生産在庫による実効生産能力調整

正員 石谷 重樹* 正員 三森 定道**

Control of Effective Productive Capacity with a Level of Total Production Inventory in a Business Fluctuation Period

Shigeki Ishitani*, Member, Sadamichi Mitsumori**, Member

This paper analyzes a relation between level of total production inventory and effective production capacity in a production process, and proposes a method of controlling effective production capacity in a business fluctuations period. They are based on the property: “effective production capacity = capacity of production facilities – total changeover loss”, where changeover loss is a decreasing function of level of total production inventory.

Although the effective production capacity can be controlled by an increase or decrease of production facilities, its cost is too expensive. It must be done only in the case that an increase or decrease in demand is confirmed. Therefore, the effective production capacity must be controlled by the level of total inventory.

In a business recovery or recession period, two kinds of production time have to be controlled. The first the production-time control for the increase or decrease in demand, and the second is that for an increase or decrease in the level of total inventory. Even if an increasing or decreasing rate in demand is constant, the value of the total control time decreases at first and then increases exponentially. This is the reason why inventory control is difficult in a business fluctuations period.

キーワード：景気変動期，総生産在庫量，生産在庫管理，実効生産能力の制御，生産時間調整

Keywords : Business fluctuations period, level of total inventory, production inventory control, control of effective production capacity, production-time control

1. 緒言

本論文では，変種変量生産における総生産在庫量と実効生産能力との関係について論じ，景気変動期における総生産在庫量による実効生産能力の制御方針を提案する。これは景気変動期における在庫調整の困難さを解明する理論的研究である。

生産現場では，景気回復期には生産在庫が増えず生産能力が回復しないと言い，景気後退期には生産能力が減らず在庫が益々増えて困るという。何故このような状況が生じるのだろうか。在庫の増減であれば，単に生産時間の増減を行えば良いはずである。それなのに，何故なのだろうか。

これは従来の在庫理論では説明できない状況である。生産在庫と生産能力との関係についての新たな理論が必要だ

と考える。従来の在庫理論の様に，生産在庫を製品別に捉えるのでは，この問題は解明できない。そのため，「生産在庫機能の製品間代替性」^①と呼ぶ生産在庫の性質に着目する。

生産工程の生産能力を生産設備の増減だけで調整するのは望ましくない。生産設備の増減だけではなく雇用の増減を伴うため，需要の増減が長期的に確定しなければコスト的には成立しないからである。そのため，総生産在庫の増減で生産工程の実効生産能力を調整するのが望ましい。

景気回復期に，また景気後退期に，総生産在庫量の増減で実効生産能力を調整する場合には，二種類の生産時間の調整が必要である。一つは，各時点における需要の増減分のための生産時間の調整であり，他は，その時点以降も，その需要増(減)が続く場合に必要なる，実効生産能力増減のための生産時間調整である。この二つの生産時間の調整が必要なるため，実効生産能力を需要に適合させるのが困難になる。この事情を解明するのが，本論文の目的である。

* 〒602-0946 京都府京都市上京区戒光寺町 494-103
494-103 Kaikouji-cho Kamigyo, Kyoto 602-0946

** (有)ミネルヴァ
〒610-0302 京都府綴喜郡井手町井手北玉水 32-1-309
Minerva Co.
32-1-309 Kita-Tamamizu Ide Tsuduki, Kyoto 610-0302

2. 生産形態の変化

〈2・1〉 多種生産と大量生産の両立 過去には、多品種生産であれば少量生産、大量生産であれば少品種生産と言われ、多種生産と大量生産とは両立しないと考えられていた。多種生産であれば、生産の流れ作業化、更には自動化が不可能だったからである。大量生産は製品のコストダウンには不可欠であるが、加工作業が単純化できなければ大量生産は不可能である。

現在では、大量生産と多種生産は両立する⁽⁵⁾。これを実現したのが、計算制御による生産設備の自動運転と、計算機化された生産管理システムである。これに加えて、製品設計にも工夫が必要である。各部品の種類数を増やさずに、その組み合わせで製品の多種化を図る製品設計である。

〈2・2〉 変種変量生産と生産管理 今後は、変種変量生産である。製品の多種化が生産の計算機化で可能になると、次に市場が求めるのは、絶えざる新製品の開発と需要量の変更への迅速な対応である。

変種変量生産には、新たな生産管理方式が必要である。それは、多種大量生産と変種変量生産では、需要構造は大きく違うからである。前者では、各製品の需要量は定常確率変数であるが、後者では、各製品の需要量は非定常確率変数である。新製品が次々と誕生し、各製品の需要が絶えず変わるのが変種変量生産である。

各製品の生産需要が定常確率変数であれば、それを固定需要量と変動需要量とに分け、生産在庫を管理し、生産スケジュールを作成すればよい。一定需要量から各製品の経済ロット(EOQ)と生産在庫量⁽²⁾を、変動需要量から各製品の安全在庫量⁽³⁾を決定する。しかし、製品別需要量が非定常確率変数⁽⁶⁾であれば、この生産管理方式は使えない。

変種変量生産では製品別需要量は非定常確率変数であるが、総需要量は定常確率変数である。製造業では、生産工程の負荷平準化は不可欠である。負荷が平準化できなければ、高い設備稼働率を維持できず、生産コストは高騰する。したがって、製造業は新製品を開発し続け、総需要量を一定に保とうとする。

変種変量生産では、生産在庫量と生産スケジュールは製品別需要量の相互関係を考慮し決定する⁽⁴⁾。各製品別に生産ロットと在庫量を決定する訳にはいかない。それは生産ラインの生産能力を製品間で動的に取り合う問題である。製品別需要量が定常確率変数であれば、製品別に生産在庫量と生産スケジュールを決定すればよく、それだけで、生産工程の負荷が平準化された。この違いに注目すべきである。

3. 総生産在庫と段取り回数

〈3・1〉 生産在庫機能の製品間代替性 変種変量生産では、一つの生産スケジュール期間内でも各製品の需要量は大きく変動し、その生産ロットサイズは一定ではありえない。したがって、従来のEOQ理論は使えない。生産ロットは生産順序との関係で決定する必要がある。

変種変量生産のための在庫理論とスケジューリング理論を支える基本原理は、次に示す“生産在庫機能の製品間代替性”である⁽¹⁾と考える。これは他の生産形態、例えば、多種大量生産の場合にも成立する性質である。

【生産在庫機能の製品間代替性】

全製品の生産在庫量の和である総生産在庫量が多(少な)ければ、全製品の段取り回数の和は少なく(多く)なる。

これは次の二つの性質を示している。

- (1) 総生産在庫量が一定であれば、ある製品 A の生産在庫量が少なくても、他の製品の生産在庫量が多いため、製品 A の生産に生産工程を優先的に使用でき、したがって総段取り回数は変わらない。
- (2) 総生産在庫量が多く(少なく)なれば、総段取り回数は減少(増加)する。

この性質が一般的に成立することは、論文(1)で報告した。

〈3・2〉 総生産在庫と段取り損失 変種変量生産における総生産在庫量と段取り損失との関係を求めよう。以下の議論のため、幾つかの変数を定義する。但し、段取り損失は、段取り回数に段取り 1 回当たりの所要時間をかけたものである。

スケジュール期間： $[0, T]$

累積需要量ベクトル： $\{D(t)\}_{t \in [0, T]}$

生産在庫量ベクトル： $\{S(t)\}_{t \in [0, T]}$

生産工程能力： m

スケジュール期間 $[0, T]$ における総段取り損失： L_c

累積需要量と生産在庫量を共にベクトルで表現するのは、 n 種の製品に対する累積需要と生産在庫量を示すためである。生産工程能力は、段取り損失をゼロとした場合の生産工程の生産能力である。

累積需要量ベクトル、初期生産在庫量、そして生産工程の能力が与えられた場合、段取り損失を最小化する最適スケジュールの計算法は既に発表した⁽⁴⁾⁽¹⁾。この方法から、段取り損失は次式で表現してよい。

$$L_c = L_c(\{D(t)\}_{t \in [0, T]}, S(0), m) \dots \dots \dots (1)$$

生産在庫機能の製品間代替性を示すため、先の論文では、次の数値実験を行った⁽¹⁾。それは、生産品目数が 3、初期生産在庫量の生産品目間構成比が 1:1:1 と 1:0:0 の二つの場合について、初期総生産在庫量 $s (= \|S(0)\|)$ と段取り損失との関係を求める数値計算である。この二つの計算では、生産工程能力 m は同一で、 $\{D(t)\}_{t \in [0, T]}$ に対しては同じデータ集合を用いている。この数値実験では、乱数を発生させて作成した累積需要量、初期生産在庫量、そして生産工程能力に対して最適スケジュール⁽⁴⁾⁽¹⁾を求め、 s と L_c との関係を得ている。

この数値実験結果(図 3.1)では、初期総生産在庫量 s の各値に対して段取り回数を値の幅で表現している。しかも、その幅は、両図を比較してみると、全ての s に対して、ほとんど変わらない。したがって、段取り回数は s の構成比には無関係と考えてよい。

図 3.1 初期総在庫量と段取り回数

Fig. 3.1 Initial total inventory and number of changeover operations.

図 3.2 初期総在庫量と段取り回数(平均)

Fig. 3.2 Initial total inventory and number of changeover operations(Average number).

段取り回数に幅があるのは、段取り回数が s だけでは無く、細かく言えば、累積需要量ベクトル $\{D(t)\}_{t \in [0, T]}$ と生産工程能力 m の関数でもあるからである。ただし、同一の需要に対しては、初期在庫の構成比には無関係である。したがって、近似的に、段取り損失 L_c は s の関数であると言える。即ち、

$$L_c = L_c(s) \dots \dots \dots (2)$$

但し、 $s = \|S(0)\|$

である。段取り回数の平均値を図 3.2 に示す。これは図 3.1a) と b) の s に対する段取り回数の平均値である。 $\|V\|$ はベクトル V の要素の総和である。

4. 実効生産能力の制御

〈4・1〉 生産工程能力、総生産在庫量と実効生産能力

まず、生産工程能力とは別に実効生産能力なる量を定義する。生産工程能力は段取り損失(時間)をゼロとした場合の生産工程の生産能力である。それに対し、実効生産能力は、想定される段取り損失を差し引いた生産工程能力である。

実効生産能力と“実効生産能力＝一定”曲線の関数式を求めよう。実効生産能力 $F(m, s)$ は、生産能力から段取り損失を引いた値、即ち、

$$F(m, s) = m - L_c(s) \dots \dots \dots (3)$$

である。したがって、“実効生産能力＝一定”曲線は、次式で表現できる。

$$m - L_c(s) = C \dots \dots \dots (4)$$

図 4.1 “実効生産能力＝一定”曲線群

Fig. 4.1 The curved lines that show “effective production capacity is constant”.

ただし、 C は“実効生産能力＝一定”曲線の一定値であり、この曲線群のパラメータである。

次に、式(3)と(4)の性質を調べよう。3.2 の議論から、実効生産能力 $F(m, s)$ は m に対して単調増加関数であるだけでなく、 s に対して単調増加関数である。以上から、式(4)の次の性質も明らかである。 $s \Rightarrow 0$ のとき、 $m \Rightarrow \infty$ であり、 $s \Rightarrow \infty$ のとき、 $m \Rightarrow C$ であって、 $m \Rightarrow 0$ では無いことに注意すべきである。 $s \Rightarrow 0$ であれば、納期を満たす生産は不可能なので、 $m \Rightarrow \infty$ になる。

図 4.1 は“実効生産能力＝一定”曲線群を図示している。各曲線は、その実効生産能力の違いを示している。この図は、初期総生産在庫量と段取り回数との関係(図 3.2)、段取り 1 回当たりの段取り時間、そして式(4)から求めることができる。まず、ある実効生産能力 C を定める。次に、図 3.2 から、ある初期総生産在庫量 s_c に対して段取り回数を求め、それに段取り 1 回あたりの所要時間 τ をかけ、段取り損失 $L_c(s_c)$ を求め、式(4)から生産能力 m_c を求める。この (s_c, m_c) が、実効生産能力 C に対する“実効生産能力＝一定”曲線上の点の座標である。ただし、生産能力は時間で計っている。生産工程が一台であり、稼動時間が 8 時間であれば、この生産能力は 8 である。

〈4・2〉 実効生産能力の操作変数

実効生産能力を増減する方策を、“実効生産能力＝一定”曲線群を用いて説明する。ある生産工程の状態は (m, s) で表現できる。この点を通る“実効生産能力＝一定”曲線が示す実効生産能力が、この状態の実効生産能力である。

実効生産能力の変更とは、この実効生産能力 C の現状点 (m, s) から“実効生産能力 $= C + \Delta C$ ”曲線の特定点に生産工程の状態を変えることである。実効生産能力は ΔC が正なら増加し負なら減少する。しかし、この状態の移動は一義的ではない。実効生産能力が $C + \Delta C$ である点は“実効生産能力 $= C + \Delta C$ ”曲線上の全ての点だからである。

この曲線上のどの点に移動するかによって、三種類の操作変数が存在する。それは、生産工程能力の増減、総生産在庫量の増減、そして、この二つの組み合わせである。

図 4.2 実効生産能力変更の方策

Fig. 4.2 Policies on modification of effective productive capacity.

1) 生産工程能力 m の増減

実現手段：機械の購入と廃棄，機械の再稼動と休止

2) 総生産在庫量 s の増減

実現手段：生産時間の増減

3) (生産工程能力 m ，総生産在庫量 s) の増減実現手段：生産工程能力 m と総生産在庫量 s の増減の組み合わせ

この三種の方策を図 4.2 は図示している。

この三種の方策の何れを採用するかは，景気変動を周期的な変動とみるか，構造的な変化と見るかに依存している。本論文では，第二，即ち総生産在庫量の増減で実効生産能力を制御する方策を採用する。その理由は次節で議論する。

〈4・3〉 実効生産能力の操作変数としての総生産在庫量

景気の構造的な変化には，1) の生産工程能力 m の増減で実効生産能力を制御すべきであり，景気の周期的な変動には，2) の総生産在庫量の増減で対処すべきである。生産工程能力の増減は，機械の購入と廃棄，更には，人員の増減を伴うので，構造的な変化だと判断できるまでは軽々しく行うべきではない。そのため，2) の総生産在庫量の増減による実効生産能力の制御は，景気の変化に対して，まず採用すべき方策である。

景気の変化を周期的変動と見るか，構造的変化と見るかの判断は容易ではない。そのため，構造的変化が確実では無い場合には，3) の(生産工程能力 m ，総生産在庫量 s) の増減策を採用すべきである。構造的変化が確実である需要の増減に対しては，生産工程能力 m の増減で行い，不確実である需要の増減にたいしては，総生産在庫量 s の増減で対処すべきである。

本論文では，総生産在庫量の増減による実効生産能力の増減策について議論する。これは周期的需要の増減のための実効生産能力の増減策である。総生産在庫量の増減は生産時間の増減で実現する。ただし，この方策の実行は予想以上に複雑である。需要の単位時間当たりの増減量が一定であっても，総生産在庫量の増減に必要な生産時間の増減量は一定ではない。この問題が，本論文の主題であり，そ

れを第 5 章で議論する。機械の購入と廃棄を含めた実効生産能力の増減策の 2) と 3) は，次の論文で報告する予定である。

5. 景気変動期に必要な生産時間の増減

景気回復期には「在庫が増えず，生産能力が向上しない」，景気後退期には「在庫がなかなか減らない」と言う発言を良く耳にする。これらは，不況期に生産在庫を削減したため，景気回復期には生産工程の実効生産能力が回復しない現象と，好況期に生産在庫を増やしたため，景気後退期に実行生産能力が高く在庫が減らない現象を示している。これは，共に，在庫が販売の機会損失だけではなく，実効生産能力を増減させるからである。この在庫調整が困難な現象を説明するのが本論文の主題である。

〈5・1〉 二種類の生産時間の追加(削減)

景気回復期(後退期)には，時刻 t から $t + \Delta t$ において総需要量が $D(t)$ から $D(t) + \Delta D_a(t)$ (総需要量 $D(t)$ から $D(t) - \Delta D_a(t)$) に変化し，その後，この総需要量は維持されるとする。時刻 $t + \Delta t$ 以降，需要量が増加(減少)するか否かは，この時点では不明だからである。総需要量は需要量ベクトル $D(t)$ の要素の総和，即ち， $D(t) = \|D(t)\|$ である。

時刻 $t + \Delta t$ における需要増 $\Delta D_a(t)$ (需要減 $\Delta D_a(t)$) に対して，生産工程は次に示す二種類の生産時間の追加(削減)を時刻 $t + \Delta t$ において行う必要がある。これは総需要量 $D(t)$ に対する本来の生産時間に対して追加(削減)する生産時間である。

(1) 需要増加(減少)分のための追加生産時間 γ_a (削減生産時間 γ_d)

需要増加分 $\Delta D_a(t)$ (需要減少分 $\Delta D_a(t)$) の生産量を追加(削減)するために必要な， $t + \Delta t$ の時点での追加生産時間(削減生産時間)である。

(2) 実効生産能力の増加(削減)のための追加生産時間 δ_a (削減生産時間 δ_d)

生産工程は時刻 t では需要量 $D(t)$ を生産する実効生産能力を持っているが，時刻 $t + \Delta t$ 以降では需要量 $D(t) + \Delta D_a(t)$ ($D(t) - \Delta D_a(t)$) を生産する実効生産能力を持つ必要がある。この $\Delta D_a(t)$ だけ生産量を追加($\Delta D_a(t)$ だけ生産量を削減)するために必要な総生産在庫量の追加分を Δs_a (削減分を Δs_d) とする。この実効生産能力を増加(低減)するための追加生産時間(削減生産時間)は，この Δs_a を追加(Δs_d を削減)するための生産時間である。

Δt の決定問題は現実問題としては重要である。 Δt を決めれば，この二種類の追加(削減)生産時間は， $t + \Delta t$ の時点で，即ち，需要増加(削減)が確定した時点で採る必要がある。制御の不安定性を招く予測は可能な限り避けるべきだからである。

〈5・2〉 需要増(減)のための増加(削減)生産時間

時刻 t における実効生産能力を $F(m, s)$ であるとする。時刻 $t + \Delta t$ における需要増 $\Delta D_a(t)$ (需要減 $\Delta D_a(t)$) のための増加生産時間 γ_a (削減生産時間 γ_d) は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_a &= \Delta D_a(t)/F(m, s) \\ \gamma_d &= \Delta D_d(t)/F(m, s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

後述するが、式(5)は t に対して単調減少である。需要がリニアに増加するのであれば、式(5)は、

$$\left. \begin{aligned} \gamma_a &= D_a \Delta t / F(m, s) \\ \gamma_d &= D_d \Delta t / F(m, s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

と書ける。

Δt を時間単位として、横軸に時間、縦軸に需要増のための追加生産時間(削減生産時間)をとり、式(6)のグラフを描いたのが図 5.2(図 5.3)に示す $\gamma_a(\gamma_d)$ である。需要増に対する追加生産時間 γ_a は時間の経過と共に減少するのに対して、需要減に対する削減生産時間は時間の経過と共に増加している。その理由は、次の通りである。需要の増加と減少の割合が一定であるとすれば、 γ_a と γ_d の分子は定数である。それに対して、 s の増加(減少)に対して、分母は増加(減少)である(4.1 参照)ので、 γ_a と γ_d は s の増加(減少)に対して、それぞれ減少(増加)する。

$F(m, s)$ は時刻 t の時点における実効生産能力であるので、時刻 $t + \Delta t$ では、実効生産能力 $F(m, s)$ を $D(t)$ から $D(t) + \Delta D_a(t)(D(t) - \Delta D_d(t))$ に増やす(減らす)必要がある。但し、以下の議論では、需要量は実効生産能力で正規化している。これは、換算係数を記述する煩雑さを避けるためである。

この実効生産能力の増(減)のため、総生産在庫量の増(減)が、したがって生産時間の追加(削減)が必要である。本論文では、実効生産能力の増加(低減)は、生産工程能力の増加(低減)ではなく、総生産在庫量の増加(削減)で行うので、 m は定数である。

〈5・3〉 実効生産能力の増加(低減)のための追加(削減)生産時間 実効生産能力の増加(低減)のための追加生産時間 δ_a (削減生産時間 δ_d)を、“実効生産能力＝一定”曲線群から求める方法を示す。この追加(削減)生産時間は、実効生産能力の増加(低減)に対して必要な総生産在庫の追加分 Δs_a (削減分 Δs_d)を、その時点の実効生産能力で割った値、即ち、

$$\left. \begin{aligned} \delta_a &= \Delta s_a / F(m, s) \\ \delta_d &= \Delta s_d / F(m, s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(7)$$

である。

Δt を時間単位として、横軸に時間、縦軸に実効生産能力の増加(低減)のための追加生産時間(削減生産時間)をとり、式(7)のグラフを描いたのが、図 5.2(図 5.3)に示す $\delta_a(\delta_d)$ である。需要増、すなわち、実効生産能力増のための追加生産時間 δ_a は増加するが、需要減、すなわち実効生産能力減のための削減生産時間 δ_d は減少している。

需要増加分 $\Delta D_a(t)$ (需要減少分 $\Delta D_d(t)$)に伴って必要となる総生産在庫の追加分 Δs_a (削減分 Δs_d)を、図 4.1 の“実効生産能力＝一定”曲線群から求めよう。需要 $D(t)$ を生産し続けるための実効生産能力 $F(m, s)$ は、

$$F(m, s) = D(t) \dots\dots\dots(8)$$

でなければならない。需要 $D(t) + \Delta D_a(t)$ (需要 $D(t) - \Delta D_d(t)$)を生産するには、総生産在庫量を Δs_a 追加(Δs_d 削減)し、実

図 5.1 必要となる総生産在庫の追加分(削減分)の導出

Fig. 5.1 Graphical solution to production time to be added or cut.

効生産能力は、

$$\left. \begin{aligned} F(m, s + \Delta s_a) &= D(t) + \Delta D_a(t) \\ F(m, s - \Delta s_d) &= D(t) - \Delta D_d(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

でなければならない。需要増が時間経過に対してリニアであれば、式(9)は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} F(m, s + \Delta s_a) &= D(t) + D_a \Delta t \\ F(m, s - \Delta s_d) &= D(t) - D_d \Delta t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

式(8)と(9)または(10)が示す二つのグラフと“生産工程能力＝ m ”の直線との交点を求めると、その交点の間の距離が Δs_a または Δs_d である(図 5.1)。この Δs_a または Δs_d と式(7)から実効生産能力の増加(減少)のための追加(削減)生産時間が求まる。

δ_a と δ_d が、時間経過と共に増加と減少することだけでなく、数値計算を行わなくても、“ $F(m, s)$ ＝実効生産能力”曲線(図 4.1 参照)から理解できる。この曲線群は、 s の増加に対して m は減少し、 $s \rightarrow$ 無限大のとき、 m は実効生産能力に収束する。これは、需要の増加量よりも、それに対して必要となる総生産在庫の増加量の方が大きい。したがって、

$$\Delta s / D(t) < \Delta s^* / \{D(t) + \Delta D(t)\} \dots\dots\dots(11)$$

であり、 $\Delta s / F(m, s)$ は需要増に対しては増加関数であり、需要減に対しては減少関数である。但し、 Δs は実効生産能力が $D(t)$ の場合、需要増 $\Delta D(t)$ に対して必要な総生産在庫の増加分であり、 Δs^* は、実効生産能力が $D(t) + \Delta D(t)$ の場合、需要増 $\Delta D(t)$ に対して必要な総生産在庫量の増加分である。

〈5・4〉 総追加(削減)生産時間 需要増(減)と実効生産能力増(減)のための追加生産時間(削減生産時間)の和は、需要増(減)に対応して必要な総追加生産時間 Σ_a (総削減生産時間 Σ_d)であり、それは、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma_a &= \gamma_a + \delta_a = \{ \Delta D_a(t) + \Delta s_a \} / F(m, s) \\ \Sigma_d &= \gamma_d + \delta_d = \{ \Delta D_d(t) + \Delta s_d \} / F(m, s) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

総追加生産時間 Σ_a (総削減生産時間 Σ_d)と需要増との関係、即ち時刻 t との関係は式(12)から理解できる。

Δt の時間単位として、横軸に時間、需要増加(低減)のための総追加生産時間(総削減生産時間)をとり、式(12)のグラフを描いたのが、図 5.2(図 5.3)に示す $\Sigma_a(\Sigma_d)$ である。需要増に対しては、 γ_a は減少し δ_a は増加し、需要減に対しては

図 5.2 景気回復期に必要な追加生産時間の時間推移
Fig. 5.2 Transition of production time to be added in business recovery period.

図 5.3 景気後退期に必要な削減生産時間の時間推移
Fig. 5.3 Transition of production time to be cut down in business recession period.

γ_d は増加し δ_d は減少する。したがって、総追加生産時間 Σ_a も総削減生産時間 Σ_d も、共に下に凸なグラフである。

〈5・5〉 需要回復期と需要後退期における在庫管理

景気回復期と景気後退期のいずれの場合も、必要とする追加生産時間と削減生産時間は、共に、一旦減少し、その後、増加する(図 5.2 と 5.3 参照)。しかも、この増加は、特に需要増の場合、急峻である。この現象が、景気回復と景気後退のスピードが一定の場合でも生じる点が重要である。これが景気変動期に在庫調整を困難にする理由である。

景気回復期における実効生産能力を増加させるために必要な追加生産時間は、景気回復が進むにしたがい益々大きくなる。追加生産時間を幾ら増やしても、即ち総生産在庫量を増やしても、実効生産能力の増加は不可能になる。総生産在庫は生産能力以上の実効生産能力を増やすことは不可能だからである(図 4.1 参照)。

それに対して、景気後退期における実効生産能力を減少させるために必要な削減生産時間は、景気後退が進むにしたがい益々大きくなるが、その割合は、景気回復期ほどではないので、景気後退期の在庫調整は、一見、容易に見える。しかし、実効生産能力を減らすのであるから、景気回復した場合を考え、販売の機会損失を恐れ、総生産在庫の削減を躊躇する。これが生産現場の実態である。

6. 結 言

本論文で明らかにした点は、以下の 4 点である。

- 1) 変種変量生産のための新たな生産在庫理論の必要性
- 2) 変種変量生産の生産在庫理論の基礎原理としての「生産在庫機能の製品間代替性」
- 3) 生産工程の(生産工程能力、総生産在庫)の対と実効生産能力との関係式
- 4) 実効生産能力の操作変数としての生産時間の機能と、需要の増減に対する生産時間の調整量

景気変動期における実効生産能力のための制御変数は、総生産在庫だけではない。生産工程能力もある。また、生産工程能力と総生産在庫量の組み合わせもある。いかなる場合に、いかなる操作変数を用いるかの議論は、今後の研究課題である。

(平成 15 年 7 月 16 日受付, 平成 16 年 2 月 2 日再受付)

文 献

- (1) S. Ishitani and S. Mitsumori : "Instability of Total Production Inventory and Its Stabilization", *IEEE Trans. EIS*, Vol.123, No.3, pp.591-600 (2003-3) (in Japanese)
石谷重樹・三森定道 : 「生産在庫の不安定性と安定化制御」, 電学論 C, 123, 3, pp.591-600 (2003-3)
- (2) D. Erlenkotter : "Ford Whitman Harris and The Economic Order Quantity Model", *Operations Research*, Vol.38, No.6, pp.937-946 (1990-6)
- (3) James A. G. Krupp : "Safety Stock Management", *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter, pp.11-18 (1997)
- (4) S.Mitsumori : "Optimum Production Scheduling in Multi-commodity in Flow Line", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.2, No.4, pp.486-493 (1972)
- (5) S. Mitsumori : "Optimal Schedule Control of Conveyer Line", *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol.14, No.6, pp.663-669 (1968)
- (6) G. F. Newell : *Applications of Queueing Theory*, Chapman and Hall 1971 邦訳 森村英典・森 雅夫 : 「待ち行列論の応用」, p.24, サイエンス社 1973

石 谷 重 樹 (正員) 1985 年 3 月関西大学工学部機械工学科卒業。1987 年 3 月同大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程(前期)修了。1987 年(株)PFU 入社。1989 年積水化学工業(株)入社。現在、同社環境・ライフラインカンパニー勤務。

三 森 定 道 (正員) 1961 年京都大学工学部電気工学科卒。1966 年同大学院博士課程電子工学専攻修了。1966~1994 年日立製作所勤務。1994~2003 年同志社大学工学部教授。2003 年~コンサルティング会社の(有)ミネルヴァ創設・代表取締役。工学博士(京都大学)。1994 年度電気学会電子情報システム部門長。1995 年~同学会情報システム技術委員会委員長。An Associate Editor of the Journal of "The International Council of Systems Engineering". 1989 年科学技術長官賞(研究功績者表彰)。1997 年電気学会業績賞各受賞。