

S&OP から見た伝統的管理会計の陥穽

太田 裕文^a

片岡 洋人^b

<要 旨>

本論文では、①生産販売在庫計画（PSI）をもとに、厳格に損益を積み上げるプロセスである販売業務計画策定（S&OP）の本質が、PSIを所与とした利益最大化問題に帰着すること、および②加工時間短縮とリードタイム短縮の経済効果が、制約条件のPSIを緩和し、潜在価格を実現化する利益であると解釈できることを示す。この原理は、個別企業のみならずサプライチェーンの全体最適を導く新たなコストマネジメントの構築へ向けた重要な視座を提供する。

<キーワード>

IoT, PSI, S&OP, サプライチェーン, 利益最大化問題, リードタイム, 待ち行列, 稼働率, 潜在価格, 制約条件

The Pitfall of Traditional Management Accounting in the Context of S&OP

Hirofumi Ota, Hiroto Kataoka

Abstract

This paper proposes the following two hypotheses. (1) The essence of Sales & Operations Planning (S&OP), which is the process of strictly projecting profits and losses based on Production-Sales-Inventory plan (PSI), is to maximize profit maximization utilizing PSI as a constraint. (2) Additionally, relaxation of PSI constraints such a shortening processing and lead times can produce shadow price benefits. These two hypotheses provide unexplored perspectives towards optimizing overall supply chain cost management.

Keywords

IoT, PSI, S&OP, supply chain, profit maximization problem, lead time, queue theory, congestion, shadow price, constraints

2020年7月14日受付

Submitted: July 14, 2020

2020年9月25日受理

Accepted: September 25, 2020

a 株式会社ニコン人事・総務本部横浜製作所勤務。SSFJ（ストラテジックSCMフォーラム日本）会員。米国公認会計士Certificate取得。主な業績：『戦略的SCM—新しい日本型グローバルサプライチェーンマネジメントに向けて—』日科技連（共著）。

b 明治大学専門職大学院会計専門職研究科教授。博士（商学）（一橋大学）。日本原価計算研究学会常任理事。主な業績：『ABCの基礎的構造と意思決定』『管理会計学』12(1), 『製品原価計算論』（森山書店, 日本会計研究学会太田・黒澤賞, 日本原価計算研究学会賞）など。

1 はじめに

近年、情報技術の発展により、IoT (Internet of Things) を駆使したリアルタイムのビッグデータが入手可能になってきた。ドイツにおけるインダストリー 4.0 の提唱を端緒に、産業分野における IIoT (Industrial Internet of Things) や中国の「中国製造 2025」が掲げられ、日本でも経済産業省から「Connected Industries」が発表される等¹、各国で新たな製造業の在り方が模索されている。本論文では、このようなパラダイムシフトを「IoT・第4次産業革命」と呼ぶ。

藤原 (2017) によれば、「IoT・第4次産業革命」の本質は「IT の進化を利用して、多階層のプラットフォームサービス産業が台頭し、産業構造が新しいタイプの水平分業体制へ急速に転換していく」ことであるとされる。このことは、言語や文化の障壁を超えたグローバルなサプライチェーンの標準化を目指すものであると解釈することができ、日本企業にとっては大きな変革の機会であるといえる。その一方で、この変革の潮流に乗り遅れ機を逸することは、独自のサプライチェーングループを形成することはおろか、標準を満たさない規格外の製造業として海外のサプライチェーンからも排除され、日本の製造業に致命的な打撃を与える脅威にもなり得る。

それでは、この新たな「IoT・第4次産業革命」を迎えて、管理会計／原価計算はどのように変革していくべきであろうか。現代のような「IoT・第4次産業革命」のステージでは、より一層、生産計画とコントロールの改善、プロセスの最適化、サプライチェーンの再構築、品質向上、サービス提供の迅速化、そして顧客満足度の向上などへの役立ちが求められるようになる。とくに、サプライチェーン参加者の個別最適化行動は、いわゆる鞭効果や (Forrester 1961; Hopp and Spearman 2001; Lee et al., 1997a, 1997b)²、ダブル・マージナリゼーションの問題を生じさせ (Spengler 1950)³、結果としてサプライチェーンで本来獲得しうる全体の利益を大きく棄損してしまう。このような問題を解消するために、製品のモジュール化、ロジスティクス上の在庫集約、流通加工、デカップリングポイントの決定⁴、リードタイムの短縮等の施策が、サプライチェーンマネジメント (Supply Chain Management: SCM) 研究の分野において培われてきた。これらの SCM における施策は重要な利益源泉であり、サプライチェーンに参加している個別企業やサプライチェーン全体の利益にどのように影響を及ぼすかをよりの確に明示しうる管理会計／原価計算がこれまで以上に求められる。「IoT・第4次産業革命」の下、グローバルで熾烈なサプライチェーン

1 経済産業省 (2017) は「Connected Industries」の取り組みの方向性として、次の重点取組分野を掲げている。すなわち、自動走行・モビリティサービス、ものづくり・ロボティクス、バイオ・素材、プラント・インフラ保安、およびスマートライフの5つである。

2 鞭効果 (Bullwhip effect) とは、サプライチェーン下流 (需要側) から源流 (供給側) に向かって需要情報が連鎖的に伝えられるうちに需要変動幅が増幅されてしまい、源流側の企業への発注数量が実需とは乖離して大きく乱高下する現象をいう (Hopp and Spearman 2001, 613-616)。

3 消費者のニーズが大きいにも関わらず、小売業者が自らの利益を最大化する購入ロットサイズでの補充を行った場合、売上機会を喪失し、本来獲得すべきサプライチェーン全体の利益を棄損することになる。これをダブル・マージナリゼーション問題という。サプライチェーン全体で利益に見合ったリスクを取ることで改善される。

4 デカップリングポイントとは、見込生産と受注生産の分岐点で、在庫をどのタイミングで持つかを示したものである。適正なポイントを選ぶことにより、在庫リスクを軽減することができる。

ン間の競争において優位性を構築するためには、伝統的な管理会計の枠を超え⁵、IoT・ビッグデータに裏打ちされた、SCMの原理に符合した新たなコストマネジメントが必要とされている。

以上を受けて、本論文では、生産販売在庫計画（PSI: Production Sales Inventory）から厳格に損益を積み上げるプロセスである販売業務計画策定（S&OP: Sales & Operations Planning）の本質が、PSIを所与とした利益最大化問題に帰着すると解釈することにより、新たなコストマネジメントの可能性を示したい。

そのために、次節においてS&OPの概要を説明する。第3節では簡単なスプレッドシートを用いた改善効果をシミュレーションし、損益および稼働率の変化を確認する。第4節において、一般的に好ましいとされる稼働率の増大がリードタイムを増大させ、在庫リスクおよび機会損失を生み、利益を棄損することを考察する。最終節において、加工時間短縮が稼働率を軽減し、リードタイム短縮、そして制約条件の緩和につながり、潜在価格を実現し、そして損益を改善するとの新たな解釈を示すとともに、新たなコストマネジメントの在り方について述べる。

2 販売業務策定のプロセス：S&OP

2.1. S&OPの概要

S&OPとは、事業計画との整合性を確保しつつ、事業全体の財務予算、供給側の生産計画、および需要側の販売計画を統合・同期化するプロセスである（Bowersox et al., 2007; 秋川, 2014）。一般に、需要関連部門（マーケティング部門、営業部門）と供給関連部門（製造部門、購買部門）との間には機能の相違に基づくコンフリクトが存在するが、S&OPは、供給側の生産計画と需要側の販売計画との整合性を追求する（Bowersox et al., 2007, 263）。秋川（2014）によると、「S&OPは数量によるコントロールだけでなく、計画量に変換された財務数値でコントロールを行うため、企業予算に組み込まれることが前提となり、強力なコントロール力を有する。こうしたコントロール力がコンフリクトの解消に機能するものと思われる」と指摘されている⁶。つまり、S&OPを通じて、コンフリクトが解消され、事業計画、制約のないマーケティング計画、および資源計画が統合され同期化される（Bowersox et al., 2007, 263-264）。近年では、S&OPは、製造業において製・販各部門の協力のもと、機会損失と在庫リスクをコントロールするSCMの手法として、世界的に多くの企業に導入されている。

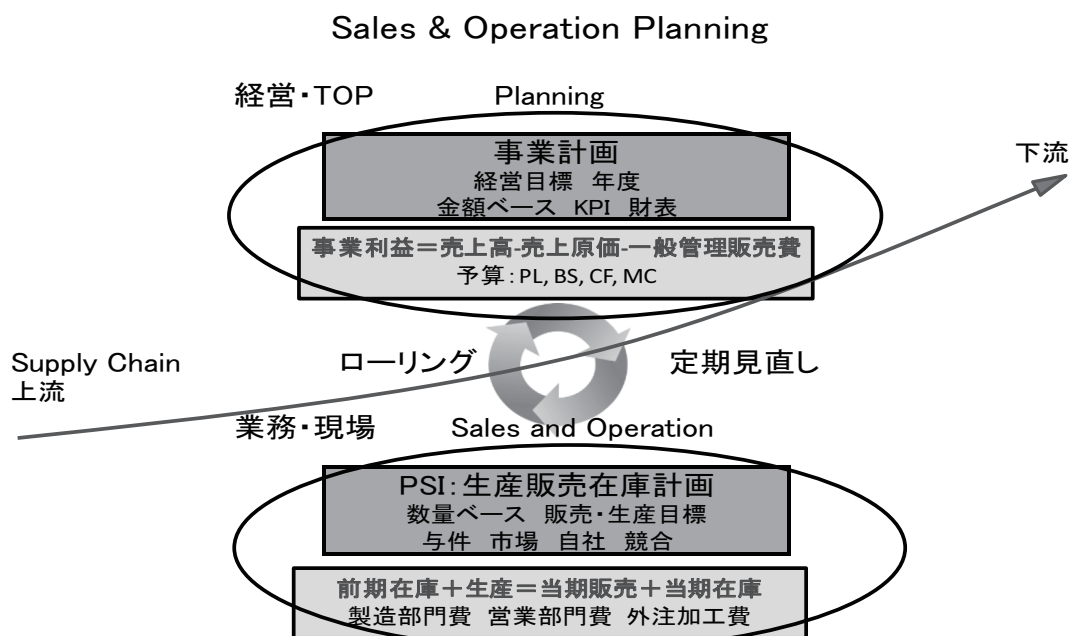
S&OPの重要な特徴は、(1)SCMと結びついた生産・販売・在庫の関係に基づいて、バリューチェーン内の諸活動における業務計画が、組織の能力を前提に、統合的な事業計画に整合的にまとめられていくことにあるが、くわえて(2)通常は定期的にローリングされて更新されることにも注目してよい。図表1では、生産・販売・在庫の関係を月次や四半期毎にローリング（見直し）しながら、

5 伝統的な管理会計論によると、商品や材料の最適発注量を計算するためには経済的発注量モデル（EOQモデル：Economic-Order-Quantity decision model）が用いられてきた（Datar and Rajan 2018, 800-807）。また、サプライヤー選択の意思決定に際しては、低コストのサプライヤーを知るためにABCモデルの利用が提唱されている（Kaplan and Cooper 1998, 203-209）。いずれのモデルも、個別企業における最適化行動が志向されている。そのほかにも、部分的には、組織間管理会計や原価企画などSCMに貢献する管理会計研究の蓄積は存在する。

6 秋川（2014）は、S&OPを「潜在的な需給コンフリクトに関する事前調整プロセス」とも表現している。

現場のコスト情報と市場の販売価格情報を財務情報にまとめ上げ、経営陣の目標と整合・同期させながら予算達成を目指し、事業を運営していくプロセスが示されている。

図表1 S&OP の概略



(出所：筆者作成)

S&OPの事業計画を財務計画（予算）へ変換するプロセスや、事業計画と部署別計画と連動する点については、一般的な企業予算制度との間に大きな違いはない。例えば、筆者の一人が勤務する株式会社ニコンでは、1962年に事業部制を、1975年には事業部内部資本金制度を導入しており、1981年には生産販売在庫計画と部門費等の情報をもとに原価計算制度に基づいた予算を作り上げていく、きわめて体系的で優美な「予算制度」が確立されていた（田中 1996）。一方、S&OPは欧米のSCMの発展の中から1988年にOliver Wightにより提唱され、2000年代に入り米国において本格的に導入されたものである（Ling and Goddard 1988; 圓川編著 2015）。その背景には、予算編成および実行管理プロセスがシステム化されたことにより、サプライチェーン全体の視点から短サイクルのローリングで各部門の資源制約の現実を反映しうる予算管理システムが形成されたことがある。すなわち、日本企業で実践されてきたような「予算制度」が、月次・週次のような短サイクルでローリングしながら、現実のオペレーションの制約を予算目標に的確にフィードバックし、サプライチェーンと連動したPSIと財務目標を厳格に整合させうる点に特長を見出せると考えられる。

2.2. PSIと予算編成プロセス

実際のPSIから財務数値を組み上げる予算編成プロセスを概観してみよう。このプロセスは、田

中(1996)が提示したニコンにおけるクォーター予算制度のコンセプトに基づいており、S&OPの積み上げにおいても同等のプロセスを経ることになる。

(1) 販売予測立案

営業部門が立案した数量・金額ベースでの販売予測が提示される。例えば、四半期を経過するごとに向こう一年間分の販売予測が立案される。その販売予測に基づき、販売施策に要する費用が見積もられ、向こう一年間分の営業部門費予算案が策定される。

(2) 生産販売在庫計画(PSI)の立案

販売予測をもとに、製造部門の負荷を考慮した四半期ごとの生産計画が立案される。S&OP立案において、最も重要なプロセスとなり、各事業ユニット長の承認が必要とされる。理想的には、各四半期末に適正在庫を常に維持しうる生産計画となるが、一般的にはその実現は難しく、生産計画は一定期間固定され、タイムラグののちに生産に反映され、適正在庫化が目指される計画となる。例えば、生産に3か月のリードタイムが必要となる場合、当月、翌月、翌々月の生産については、手配のままとなり、4か月目の生産に反映されることとなる。このため、この期間中には、在庫は適正な値とならず、過剰在庫や機会損失のリスクを高めることとなる。この問題については第4節、第5節にて考察する。

(3) 予定損益計算書立案および予定製造原価明細書作成

PSI等式(前期末在庫量+当期生産量=当期販売量+当期末在庫量)を前提に、販売価格、直接材料費、直接加工時間、外注加工単価、製造部門費、営業部門費、設備投資計画等に関するデータを集計し、売上原価および期末棚卸資産を算定し、予定製造原価明細書を策定する。これに基づき、売上高、売上原価、営業部門費から予定損益計算書が計算される。ここで予定製造原価明細書の策定は、製造部門における原価の予定発生額と予定損益計算書との整合を確認する重要な作業となる⁷。

(4) 予定バランスシートおよび予定キャッシュフローの算定

予定バランスシートにおいて、まず期末の売掛金を販売計画および販売回収条件から、買掛金を生産・購買計画および外注・材料費支払い条件から、棚卸資産を予定製造原価明細書から算出する。さらに期首の資本金、剰余金に当期利益を加算して、期末純資産を求めると、貸借のバッファから、借入金もしくは当座資産(現金)を計算することができる。

これらの情報から、売上高、売上原価率、一般管理販売費、営業利益率、ROA、棚卸回転期間等の重要な財務目標が定められ、KPIとしてコントロールされていく。この関係は、ロジカルに数式的に計算が可能であり、前提が与えられれば、PSIに対して財務目標をまとめ上げることができる。この予算案は、ユニット長に対し予算統括部門が説明し承認され正式に決定される。

2.3. S&OP および PSI のモデル式

2.2において提示した予算編成プロセスにおけるS&OPおよびPSIの関係に基づいて、次節以降

⁷ 過去データ払出単価とPSIより売上原価を算出し、「期首棚卸金額+当期製造投入金額-売上原価=期末棚卸金額」の関係を検証し、予算の整合性を検証する。

にシミュレーションを行うためには、資本等式、損益計算書等式、および PSI 等式をモデル化しておく必要がある。

まず、第 t 期末における資産額を $A_{(t)}$ 、負債額を $L_{(t)}$ 、純資産額を $N_{(t)}$ とし、第 t 期における収益額（売上高）を $R_{(t)}$ 、費用額を $E_{(t)}$ とする形で記号法を定める。この記号法に従うと、資本等式および損益計算書等式において、第 $t+1$ 期における利益 $\pi_{(t+1)}$ は、第 $t+1$ 期末貸借対照表による資本等式 ($N_{(t+1)}=A_{(t+1)} - L_{(t+1)}$) と第 t 期末貸借対照表による資本等式 ($N_{(t)}=A_{(t)} - L_{(t)}$) との差分から計算でき、かつ、第 $t+1$ 期における損益計算書等式 ($\pi_{(t+1)}=R_{(t+1)} - E_{(t+1)}$) から計算できる。したがって、次式のようなモデル式を構築できる。

$$\pi_{(t+1)} = N_{(t+1)} - N_{(t)} = (A_{(t+1)} - L_{(t+1)}) - (A_{(t)} - L_{(t)}) = R_{(t+1)} - E_{(t+1)} \quad (1)$$

また、貸借対照表と損益計算書との間には完全な連動性が確保されなければならない。とくに、PSI 等式の構成要素である第 t 期末在庫量を $Z_{(t)}$ 、第 t 期生産量を $S_{(t)}$ 、第 t 期販売量を $H_{(t)}$ とすると、第 t 期の PSI 等式は次式のように表すことができる。

$$PSI_{(t)} = Z_{(t-1)} + S_{(t)} - H_{(t)} - Z_{(t)} = 0 \quad (2)$$

したがって、次節以降では、PSI 等式である (2) 式の条件を満たした上で、(1) 式最左辺の利益額 $\pi_{(t+1)}$ の最大化を図るために、PSI に関連する諸変数の変動が、利益額 $\pi_{(t+1)}$ に及ぼす影響をシミュレーションによって確認することとする。

3 経営改善のスプレッドシートによるシミュレーション

3.1. シミュレーションの概要

前節における (1) 式および (2) 式で提示した S&OP のロジックに倣った簡単なスプレッドシートを作成し、売上高拡大、歩留まり改善、工程改善、製造現場の合理化がどのように財務数値に影響していくかシミュレーションを試みたい。

想定する工場では単一種類の製品 A のみを製造していることとし、各期の PSI については、販売量 $H_{(t)}$ は每期 10% 近い増加を見込むと同時に、各期末在庫量 $Z_{(t)}$ は翌四半期販売を確保する計画とする。

テーブル 1

生産販売在庫

数量ベース

期	製品コード	製品名	前在庫	生産	販売	当在庫
1	AAA00000	A	3,000	11,000	11,000	3,000
2	AAA00000	A	3,000	12,250	12,000	3,250
3	AAA00000	A	3,250	13,250	13,000	3,500
4	AAA00000	A	3,500	14,000	14,000	3,500

次に、製品情報としては、販売単価 500 千円、単位あたり直接材料費を 80 千円、単位あたり外注加工費を 250 千円とする。経営改善による与件の変化として、各期の生産量 $S_{(t)}$ にしたがって消

費される資源量の影響度を表すために、Option1においては、歩留まりを90%、Option2では歩留まりを100%、Option3では歩留まり100%かつ単位あたり加工時間の2時間を20%削減することとする。

テーブル2

製品情報

千円

Option	製品コード	製品名	販売単価	外注単価	直接材料費	標準作業時間	歩留まり
Option 1	AAA00000	A	500	250	80	2.0	0.9
Option 2	AAA00000	A	500	250	80	2.0	1
Option 3	AAA00000	A	500	250	80	1.6	1

営業部門および製造部門で生じる労務費・経費はテーブル3の通りとし、シミュレーションを簡略化するため、すべて固定費とする。

テーブル3

製造部門費

千円

勘定科目	生産管理部	設計技術部	製造部	製造原価部門計
労務費 計	123,200	184,800	246,400	554,400
経費 計	10,000	20,000	30,000	60,000
部門費 計	133,200	204,800	276,400	614,400

営業部門費

千円

勘定科目	経営企画部	営業部	サービス部	販売管理部門 計
労務費 計	123,200	313,600	86,240	523,040
経費 計	150,000	522,500	10,000	682,500
部門費 計	273,200	836,100	96,240	1,205,540

くわえて、生産キャパシティの余剰度合い（製造能力がどの程度繁忙か）を表す指標として、直接作業者の総労働時間を分母とし、生産数をもとに算出された労働時間を分子とした稼働率を評価する。例えば、製品単位あたり2時間の直接作業時間を要する製品を12,000個、1日当たり8時間の労働を20名で、年間240日の稼働であれば、稼働率は、次のとおり62.5%と計算する。

テーブル4

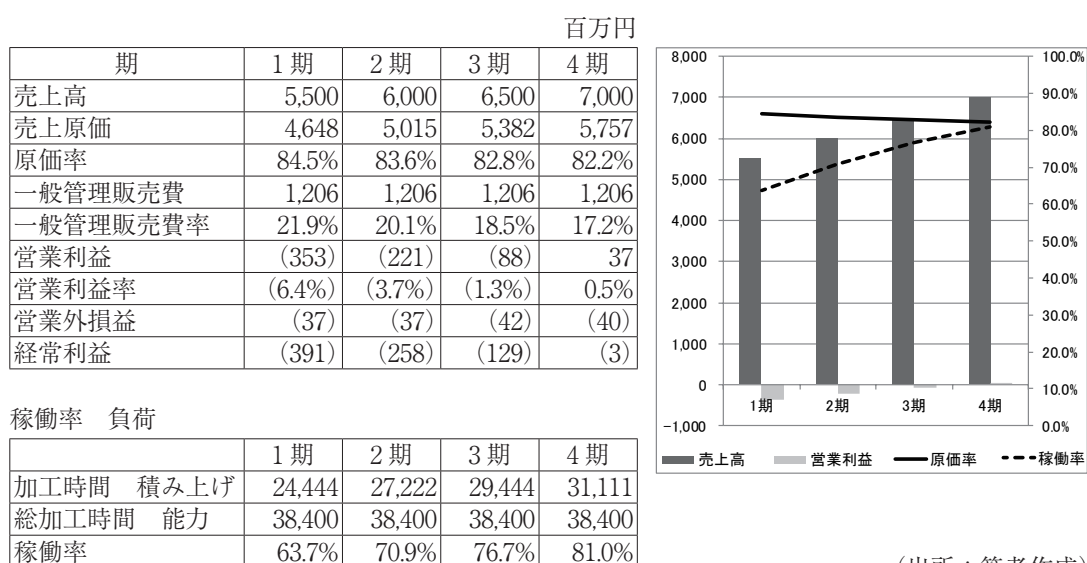
加工時間積み上げ	加工時間×生産数量	2時間/個×12,000個	24,000
製造能力	製造部門人数×8時間/日×稼働日数240日	20人×8時間/日人×240日	38,400
稼働率	加工時間積み上げ/製造能力	24,000/38,400	62.5%

3.2. シミュレーションの結果と考察

(1) Option1：ベース

まず、Option1では、経営改善前の歩留まり90%を前提とする場合の損益を計算してみたい。この場合には投入した原材料、外注加工費の10%は仕損費として原価に反映されることとなる。図表2によると、売上高は55億円から70億円までの拡大を見込むが、売上原価率は80%を超え、4期を除き営業利益を確保できない。稼働率についても、いずれの期でも70%から80%となっており、生産現場はひっ迫した状態となっている。

図表2 Option1における損益計算と稼働率



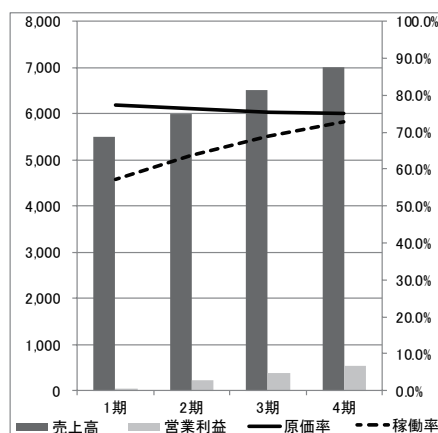
(2) Option2：歩留まりの改善

Option2では、歩留まりが90%から100%へ改善されることにより、原材料・外注加工費の消費量が約11%節減されると、原価率が約8ポイント節減される。さらに、製造現場の負荷についても、同様の比率で軽減され、製造ラインに余裕が生まれる。このことから、歩留まりの改善は原価率を改善し、損益改善に直接結びつく(図表3)。

図表3 Option2における損益計算と稼働率

百万円

期	1期	2期	3期	4期
売上高	5,500	6,000	6,500	7,000
売上原価	4,244	4,575	4,905	5,244
原価率	77.2%	76.3%	75.5%	74.9%
一般管理販売費	1,206	1,206	1,206	1,206
一般管理販売費率	21.9%	20.1%	18.5%	17.2%
営業利益	50	219	389	550
営業利益率	0.9%	3.7%	6.0%	7.9%
営業外損益	(27)	(16)	(8)	6
経常利益	23	203	381	557



稼働率 負荷

	1期	2期	3期	4期
加工時間 積み上げ	22,000	24,500	26,500	28,000
総加工時間 能力	38,400	38,400	38,400	38,400
稼働率	57.3%	63.8%	69.0%	72.9%

(出所：筆者作成)

(3) Option3：製造工数の削減

次に、歩留まり100%に加えて20%の加工時間節減を達成した場合を想定する。これは直行率の改善や各工程の習熟から期待されるものであるが、この場合には、Option2からの損益の改善は全く見られない(図表4)。加工時間の節減は、単純に製造工程の余剰時間(手待時間)を増やすこととなり、ただちに固定的資源の消費量や購入量が削減されるわけではないからである。一方、Option3の稼働率については、Option2における稼働率の80%程度に抑えることができおり、この点には注目してよい。ところが、稼働率の低下は過大な余剰生産能力として判断される可能性があるため、稼働率をある程度の水準で抑えておくことはしばしば適切に評価されない。その結果、せっかく捻出した余剰生産能力の利用度を高めるべく、稼働率の向上が叫ばれることとなる。しかしながら、後述の通り、稼働率を高めることには大きな潜在的課題がある。

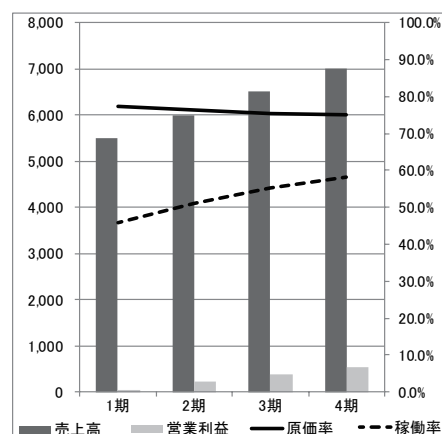
図表4 Option3における損益計算と稼働率

百万円

期	1期	2期	3期	4期
売上高	5,500	6,000	6,500	7,000
売上原価	4,244	4,575	4,905	5,244
原価率	77.2%	76.3%	75.5%	74.9%
一般管理販売費	1,206	1,206	1,206	1,206
一般管理販売費率	21.9%	20.1%	18.5%	17.2%
営業利益	50	219	389	550
営業利益率	0.9%	3.7%	6.0%	7.9%
営業外損益	(27)	(16)	(8)	6
経常利益	23	203	381	557

稼働率 負荷

	1期	2期	3期	4期
加工時間 積み上げ	17,600	19,600	21,200	22,400
総加工時間 能力	38,400	38,400	38,400	38,400
稼働率	45.8%	51.0%	55.2%	58.3%

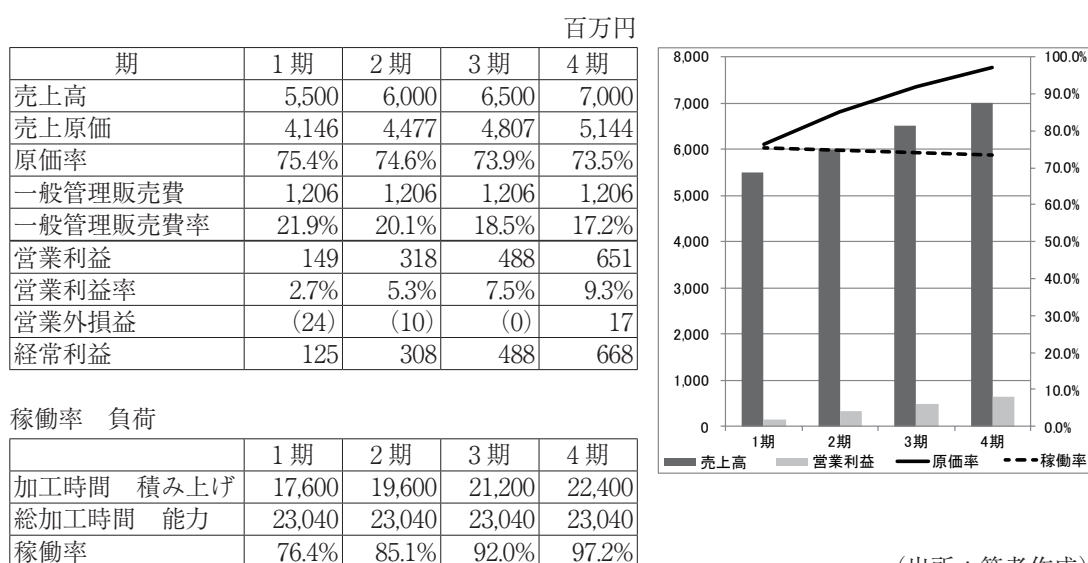


(出所：筆者作成)

(4) Option4：製造人員の削減

ここで、Option3では稼働率が60%に満たないことに対する施策として、Option4では、稼働率の改善を目標に、(SCM上の裏付けなく)製造部門の人員を40%削減する。製造現場が20名から12名へ削減され、固定費の発生額は抑制され、第1期には売上高が55億円でも2.7%の営業利益率を確保でき、第4期には売上高70億で9.3%の営業利益率を目指す計画となる(図表5)。稼働率は第4期においては97.2%となり、フル操業に近い高稼働と認識され、高効率な製造企業とし、財務分析的には大きな経営改革を達成するものと期待されることとなる。

図表5 Option4における損益計算と稼働率



(出所：筆者作成)

Option1～Option4のシミュレーションは伝統的な管理会計システムに基づきながら、経営改善を進めていく典型例を示すものである。売上高を成長させ、歩留まりを改善し、製造工程の改善を進め、競合の中で対抗するために製造部門を合理化し、高い稼働率を実現し、製造原価上での低コストでの生産が促進される。製造現場の稼働率向上を目指して支出額を抑制すれば、ROICやROEといった指標を重視した経営においても合理的な改革として評価される。

しかしながら、この損益計画を現実のオペレーションの中で実行していく場合には、大きな課題に直面することになる。S&OPでは毎月この損益計画を達成するべく、販売予測と実績を調整しながらPSIを月次でローリングし、適正在庫を維持する生産体制の実現が試みられる⁸。ところが、高い稼働率においては製造現場がひっ迫し、生産リードタイムが大幅に伸び、必要とされる製品在

8 適正在庫は、実務的には製品ごとにABC管理レベルを設定し、各目標在庫月数を定め、翌月の販売予測から在庫数量を定める場合が多い。

庫が確保できない事態となる。きわめて日常的なこの現象は、伝統的な管理会計／原価計算、そして制度会計のロジックには反映されておらず、思い描いていた目標が画餅に帰すこととなる。この製造現場の混雑度がどのように損益を棄損していくか、次節において提示する。

4 稼働率とリードタイム、損益の関係

4.1. 待ち行列

混雑したレジは精算に必要な時間を長引かせ、昼時のレストランは注文から配膳までにより多くの時間を必要とする。混雑が進むにつれサービスに時間を要することは日常的に経験することである。この混雑と時間の関係は、待ち行列の理論としてさまざまな分野で応用されている。前節におけるシミュレーションでは、混雑度を稼働率で表現している。そこで、稼働率と生産リードタイムの関係待ち行列の理論に基づいて定式化する。

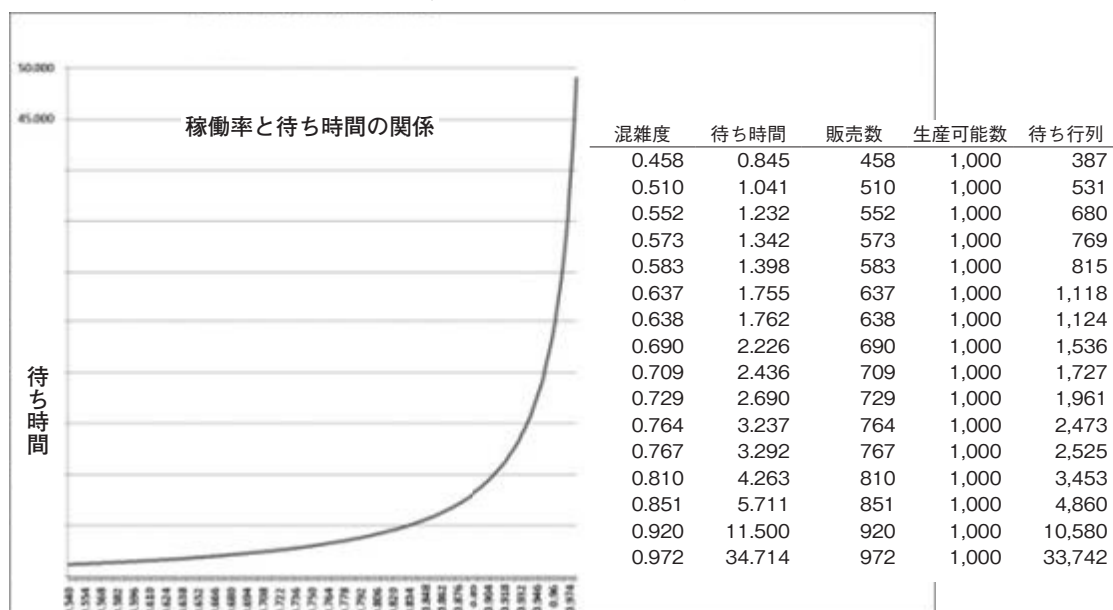
最も単純なケースでは、稼働率（混雑度）を ρ 、単位時間当たり製品に対する需要速度（販売数量）を λ 、単位時間当たり加工処理速度（加工可能数量）を μ とすると、稼働率 ρ は次式のように表すことができる。

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (0 \leq \rho \leq 1) \quad (3)$$

このとき、タクトタイム（＝稼働可能時間／生産計画上の需要量）を T_a とすると、製品に対する需要速度 λ は、 $\lambda = 1/T_a$ で表すことができる。同時に、加工可能時間を T_e とすると、製品の加工処理速度 μ は、 $\mu = 1/T_e$ で表すことができる。また、待ち行列の理論によれば、生産リードタイム CT （受注してから実際に製品提供を完了するまでの平均所要時間）は $CT = T_e / (1 - \rho) = 1 / (\mu - \lambda)$ と計算され、さらに仕掛品量 Z_0 は $Z_0 = \rho / (1 - \rho)$ と計算されることが証明されている（Hopp and Spearman 2001; 宮川 1974）⁹。例えば、まったく混雑がない状態（ $\rho = 0$ ）では、加工待ち時間はゼロ（ $CT - T_e = 0$ ）になり、受注と同時に加工が開始され、加工時間 T_e 経過後に出荷されることとなる。その一方で、稼働率が 100% に近づくと（ $\rho \rightarrow 1$ ）、リードタイムが急激に長くなり、受注後工程に入る前に長時間の加工待ちの状態となる。加工待ち時間（ $CT - T_e$ ）の値が急上昇するためである。その場合の加工待ち時間（ $CT - T_e$ ）の値に、製品に対する需要速度 λ を乗じたものが待ち行列、すなわち受注残として計算される（ $(CT - T_e) \times \lambda = \rho^2 / (1 - \rho)$ ）。前節のシミュレーションにおける第 4 期の稼働率は Option3 では 58.3%、Option4 では 97.2% となっており、単純計算では Option1 に対する Option4 のリードタイムの長さは約 25 倍、受注残も約 25 倍にまで上昇してしまうこととなる（図表 6）。

9 Little (1992) の法則によると、仕掛品量はスループット率とサイクルタイムとの積によって計算される（ $Z_0 = \lambda \times CT$ ）ことが数学的に証明されている。

図表6 待ち行列と稼働率



(出所：筆者作成)

稼働率・混雑度 (ρ)

もちろん、実際の工程のリードタイムは様々な影響を受ける。ある製品を提供するにも、サプライチェーン全体から見れば非常に多くの工程の作業を経て製造され、各工程加工時間にもばらつきが存在し、材料の取り扱いによってもリードタイムが影響されることになる。現実の状況に、このような単純な計算をそのまま当てはめることは難しい。しかしながら、所与の能力に比較し過大な生産を強いることが、企業全体のサービス提供、製品供給に要するリードタイムを増大させると考えることは、経験と照らし合わせても納得がいくものである。

4.2. リードタイムが損益に与える影響

それでは、このリードタイムの増大がどのようなプロセスを経て、損益に影響を与えるのであろうか。消費財のPSIに関する月次ローリングによる実務経験によると、リードタイムの増大によって棚卸資産残高は不安定化し、すなわち製品在庫にばらつきが生じる。このことが、販売の機会損失と消費期限の逸失による廃棄損失、さらには過大在庫を保有する金利負担増となり、損益に棄損をもたらすものと推察される。とくにライフサイクルの短いアパレル、陳腐化が著しい電子機器や生鮮食料品など、消費期限が短く在庫価値が脆弱な事業においてはリードタイムの短縮は重要な施策とされる。

この関係を確認するために、PSIの月次ローリングをシミュレーションし、リードタイムの長さ機会損失、廃棄および金利コストの発生および損益へどのように影響するかを評価してみたい。

シミュレーションの前提として、任意の第 t 期の需要量 D_{t0} については、乱数を発生させて1,000個を中心に0～2,000個まででばらつくように設定した。また、目標在庫は平均需要量2か月分の

2,000 個とし、毎月生産調達を行うが、生産の反映はリードタイムの経過後とする。販売価格 500 千円、購入価格 330 千円、製品在庫金利は 4% とし、商品は消費期限の 4 か月経過後には廃棄する。リードタイムが各々 1 月、3 月、5 月、7 月、9 月の場合で毎月ローリングを 1,200 か月間（100 年分）実施し、平均 1 年間の損益を算出する。シミュレーションに当たってはスプレッドシートを用いたが、その計算ロジックと計算条件は、(1) 式および (2) 式に加え、次の通りに設定した。

- ・販売量 $H_{(t)}$: 需要量 $D_{(t)}$ と、手許在庫 + 生産量 $(Z_{(t-1)} + S_{(t)})$ との小さな方の値

$$\therefore H_{(t)} = \text{Min} (\text{需要量 } D_{(t)} : \text{RND} * 2,000, Z_{(t-1)} + S_{(t)})$$
- ・需要量 $D_{(t)} : \text{RND} * 2,000$
- ・リードタイムを LT とした場合の第 $t+LT$ 期の生産量 $S_{(t+LT)}$:

$$S_{(t+LT)} =$$

If $H_{(t)} + H_{(t+1)} + \dots + H_{(t+LT)} - S_{(t)} - S_{(t+1)} - \dots - S_{(t+LT)} - Z_{(t-1)} + Z_{(t)} > 0$

Then $H_{(t)} + H_{(t+1)} + \dots + H_{(t+LT)} - S_{(t)} - S_{(t+1)} - \dots - S_{(t+LT)} - Z_{(t-1)} + Z_{(t)}$

Else 0
- ・第 t 期末在庫量 $Z_{(t)}^*$: 適正在庫 2,000（平均販売 2 か月分）を目標とする
- ・ $S_{(t)}$ は、在庫 $Z_{(t)} = 2,000$ を守るべく決定されるが、リードタイム（ LT ）を経過したのちに (2) 式の PSI 等式に反映される
- ・機会損失数量 = 需要量 $D_{(t)} - \text{Min} (\text{需要量 } D_{(t)} : \text{RND} * 2,000, Z_{(t-1)} + S_{(t)})$
- ・機会損失金額 = 機会損失数量 $\times$ 販売価格
- ・廃棄数量 =

If $Z_{(t)} - (S_{(t-K)} + \dots + S_{(t-2)} + S_{(t-1)}) > 0$

Then $Z_{(t)} - (S_{(t-K)} + \dots + S_{(t-2)} + S_{(t-1)})$

Else 0 : 消費期限を K ヶ月とした場合

 - ・ 廃棄金額 = 廃棄数量 $\times$ 単位あたり製造コスト
 - ・ 在庫金利 = $Z_{(t)} \times 0.04/12$ 金利 4% を月次に引き直した

このシミュレーションの結果は、図表 7 および図表 8 の通りに整理することができる。

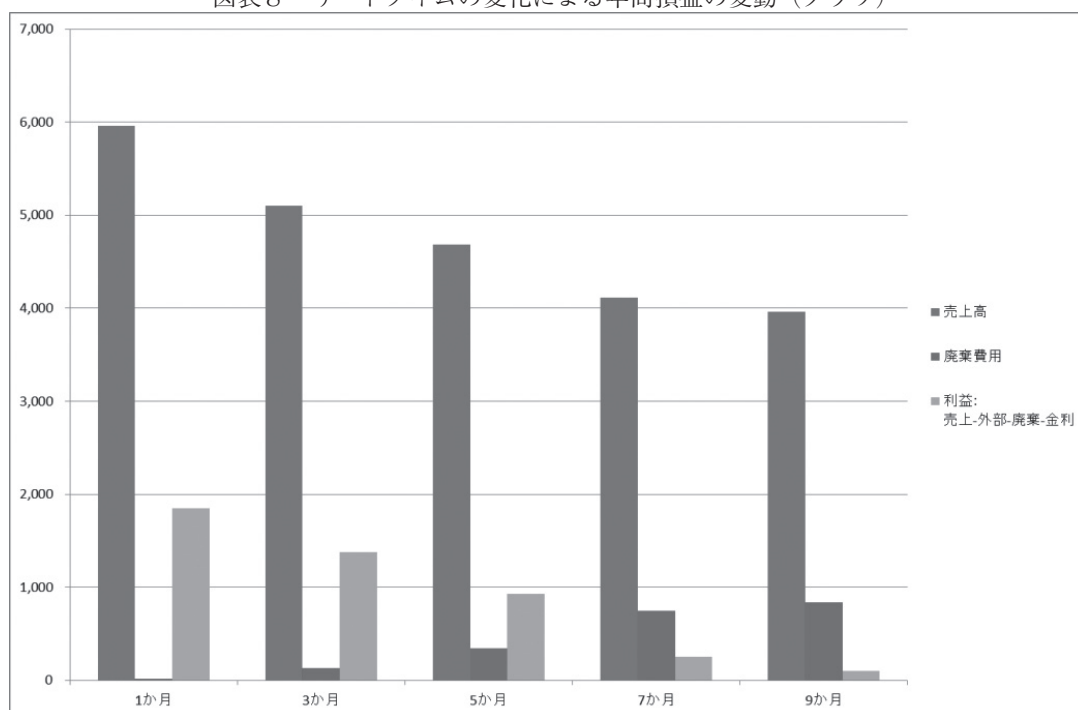
図表7 リードタイムの変化による年間損益の変動（シミュレーション結果）

百万円

リードタイム	売上高	外部購入費	外部購入費 / 売上高	廃棄費用	在庫金利	利益： 売上-外部- 廃棄-金利	機会損失
1 か月	5,957	3,931	66.0%	15	159	1,851	0
3 か月	5,100	3,366	66.0%	129	229	1,377	882
5 か月	4,680	3,089	66.0%	345	315	931	1,569
7 か月	4,111	2,713	66.0%	748	393	257	1,787
9 か月	3,961	2,614	66.0%	842	405	100	1,873

(出所：筆者作成)

図表8 リードタイムの変化による年間損益の変動（グラフ）



(出所：筆者作成)

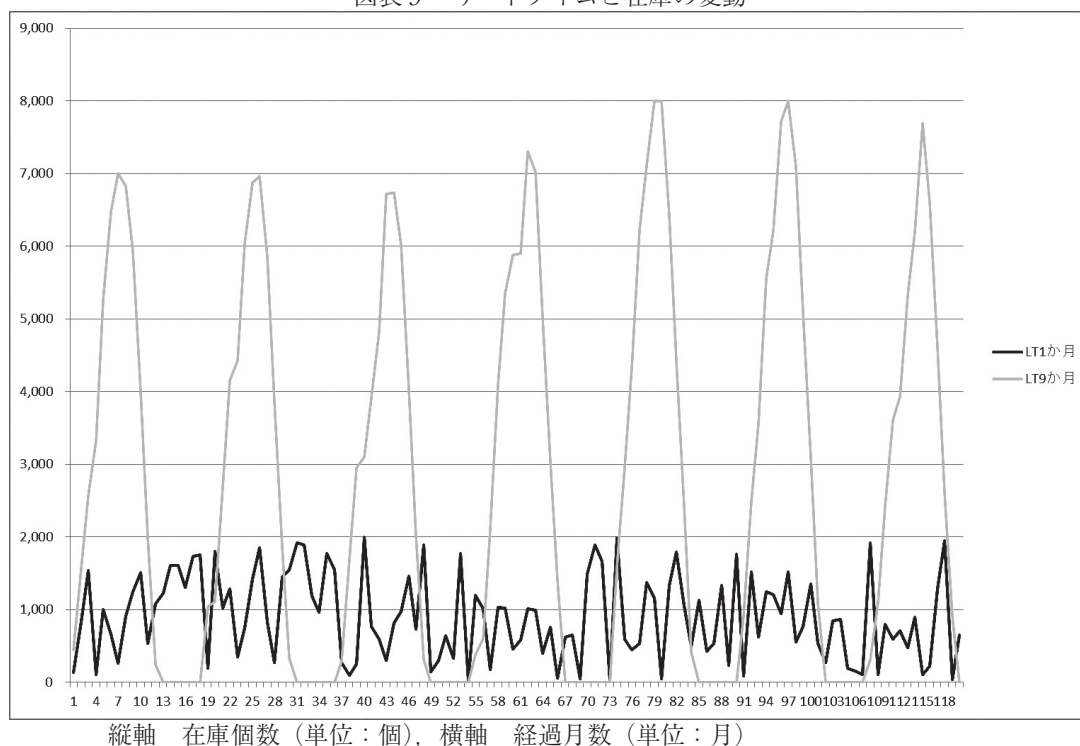
単純なシミュレーションの結果ではあるが、リードタイムの増大にともない、売上高は減少し、廃棄金額、機会損失、在庫金利が増加すること、その結果、利益（＝売上－外部購入－廃棄費用－在庫金利）が減少していくことを明確に示している¹⁰。また、対売上高外部購入費による直接費率は当然のことではあるが66%で一定であり、リードタイムは直接費率には影響を与えない。

リードタイムの増大とともに利益が棄損していく理由は、在庫残高とリードタイムの関係を示した図表9のグラフから、直観的に理解することができる。リードタイムが1 か月の場合と9 か月の

10 制度会計上、在庫金利（商品金利）を損益計算に算入することはできないが、これを管理会計目的の損益計算には算入し、後から制度会計目的用に調整することは可能である（片岡 2018）。

場合を比較すると、山の高さ、幅ともに大きくなり在庫が乱高下することが示されている。このことは、本来の目標在庫2,000であるべき在庫高から乖離することになることから、販売機会の逸失と、消費期限を経過した商品の廃棄を誘引することを意味する。極限の姿は、販売の動向には無反応で、大量の外部購入と廃棄計上を繰り返し、販売機会損失と在庫金利を抱えた末期的なビジネス構造を示す。

図表9 リードタイムと在庫の変動



縦軸 在庫個数 (単位: 個), 横軸 経過月数 (単位: 月)

消費期限が4か月で、リードタイムが1か月と9か月の場合の比較 (120 か月)

(出所: 筆者作成)

図表7～9のシミュレーション結果の通り、リードタイムと損益の関係は、実務経験とも符合し、機会損失と廃棄（在庫リスク）の観点から説明できる。このことは、伝統的な管理会計システムや制度会計では測定していなかった経路で利益の棄損が発生することを意味し、その陥穽を示すものであるといえよう。

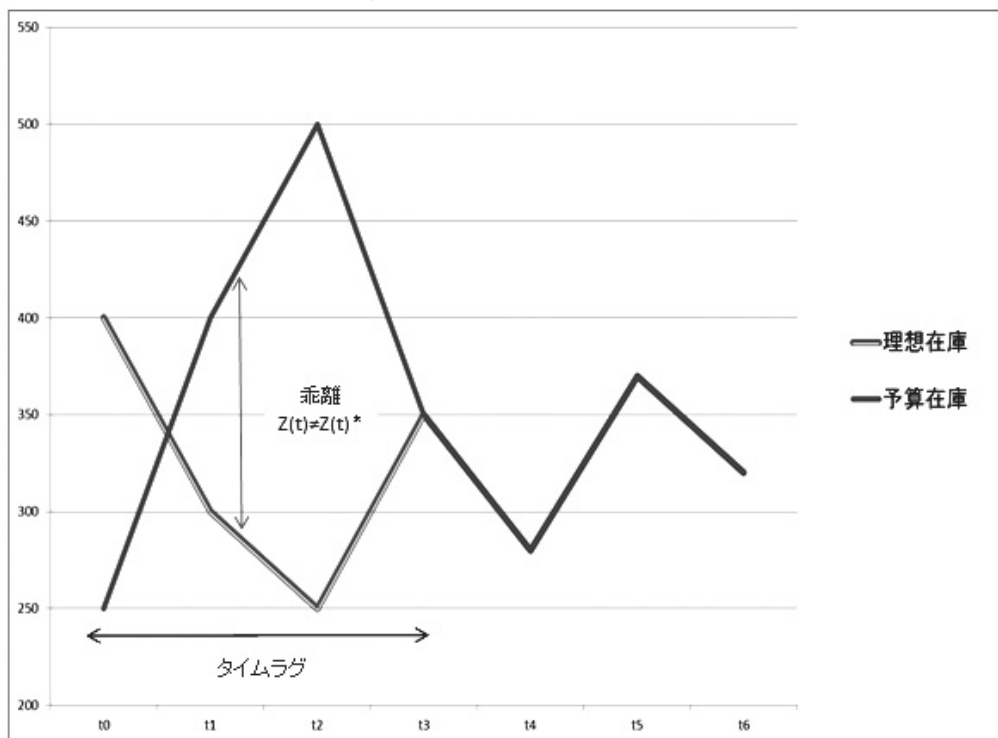
5 S&OPの本質と新たな管理会計

S&OPにおいては、前述の通り、企業はマーケットやサプライチェーンの情報から需要を予測し、販売の最大化と適正在庫を達成するべく、手持ちの生産能力を勘案しながら生産予定を立案し、

PSI を策定する。

すなわち、(2) 式の通りに計画策定し、理想的には、期末の予算在庫量 $Z_{(t)}$ がサプライチェーン全体からみた理想在庫数量 $Z^*_{(t)}$ になるように目指すことになる ($Z_{(t)} = Z^*_{(t)}$)。しかしながら、現実の生産が販売数量に対して即時に呼応できないことから、図表 10 のように、期末の予算在庫量は理想在庫数量とは一致せず ($Z_{(t)} \neq Z^*_{(t)}$)、現実の生産能力を忠実に再現すると、リードタイムを経過したのちに期末在庫量と理想在庫数量とが等しくなる ($Z_{(t+LT)} = Z^*_{(t+LT)}$)。したがって、第 t 期から第 $(t + LT - 1)$ 期までの間には、予算在庫量は、理想在庫数量 Z^* とは乖離することから、販売の機会損失と在庫評価減廃棄に見舞われ、最大利益は実現できず利益は棄損されることになる。この棄損を回避するべく LT を短縮していくと、第 t 期から第 $(t + LT - 1)$ 期までの間の理想在庫と妥協した予算在庫との間の乖離が徐々に解消され利益が改善していき¹¹、最終的には $LT = 0$ を実現できたときに利益は最大化する。

図表 10 予算在庫と理想在庫



(出所：筆者作成)

以上、本論文における議論を整理すると、S&OP における損益計画の策定は、PSI を制約要因とした最大化問題に帰着すると理解することができる。この理解に基づけば、先のリードタイムの短

11 この点は、フィードフォワード型予算管理のコンセプトとも共通する (上総 2017)。

縮による利益は、PSIにおける予算在庫と理想在庫との乖離を解消することによって生じる潜在価格の実現に他ならない。

この視点は、利益管理について全く新たな視座を与えることとなる。例えば、伝統的な管理会計システムにおいては、Option3にあるように、加工工数の削減によって生じる利益を認識し「見える化」することができなかった。しかしながら、加工工数の削減こそが、生産能力 μ を高め、製造現場での混雑度 $\rho = \lambda / \mu$ の軽減に寄与し、リードタイムの短縮を生み、PSIの条件緩和となり、利益をもたらすものであると理解することができる。

さらには、製品のモジュール化、ロジスティクス上の在庫集約、流通加工、デカップリングポイントなど、SCMにて実践される改善施策についても、サプライチェーン全体にわたる供給能力の柔軟性を高める施策であるとの観点に立てば、PSIにおける予算在庫と理想在庫との乖離を解消することにつなげることで、利益への寄与を評価できることとなる。IoTの技術は、サプライチェーンにおける加工対象物の流れをデジタルツインとして見える化することにより、調達能力の柔軟性を高め、膨大な潜在価格を実現する可能性を秘めている。これが「IoT・第4次産業革命」の決して看過することのできない最も重要な点であると思料する。

冒頭に述べたように、「IoT・第4次産業革命」においては、グローバルに複雑なサプライチェーンが形成される。PSIはその全体にわたる制約条件として存在し、利益最大化問題に帰着するものとして解釈することは、全体最適を導く新たなコストマネジメントをデザインするうえで、欠かすことのできない重要な視座となる。企業内において発生するコスト分析の枠を超え、この新たな視座に立ったコストマネジメントを確立した企業こそが、グローバルで熾烈な競争の中で優位な地位を築くことができるといえるだろう。

<謝辞>

筆者の一人である太田が参画するIVI (Industrial Value Chain Initiative) は、日本版 Industry4.0を模索し実現するためのフォーラムであり、その研究部会である「IoTとコストマネジメント研究会」において日本原価計算研究学会の先生を招き、新たなコストマネジメントの在り方について検討を続けている。本論文はその検討会での報告に基づくものである。アカデミズムから遠い無名な庸人にこの機会を与えていただいた日本原価計算研究学会の尾畑裕教授（一橋大学）をはじめ、諸先生に深く謝意を表させていただきたい。本論文が、新たな会計の研究に何等かの示唆を提供できることになれば、望外の喜びである（太田）。

本論文は、科学研究費【基盤研究（C）課題番号19K01998】の助成を受けて進められた研究成果の一部である（片岡）。

参考文献

秋川卓也. 2014. 「S&OPの実現要因—カルビーの事例考察から—」『流通研究』17(1): 1-21.

圓川隆夫編著. 2015. 『戦略的SCM—新しい日本型グローバルサプライチェーンマネジメントに向けて—』日科技連.

- 上總康行. 2017. 『管理会計論 第2版』新世社.
- 片岡洋人. 2018. 「資本コストの製品原価性—その意義と算入方法—」『會計』194(5): 45-59.
- 経済産業省. 2017. 「Connected Industries」東京イニシアティブ2017」(平成29年10月2日)
(<https://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171002012/20171002012-1.pdf> 閲覧日: 2020年5月12日).
- 田中則好. 1996. 「(株)ニコンの予算管理制度」『原価計算研究』20(1): 20-29.
- 藤原直明. 2017. 「IoTと第4次産業革命～海外企業の動向と日本企業への示唆～」Nomura Research Institute ナレッジ・インサイトセミナー資料(2017年5月)」https://www.nri.com/-/media/Corporate/jp/Files/PDF/knowledge/seminar/service/iis/170531_01_1.pdf?la=ja-JP&hash=1DCE8E8E3B68C6E2A282B82862BBB88AE4EAC79E (閲覧日: 2020年5月12日).
- Bowersox, D.J., D.J. Closs, and M.B. Cooper. 2007. *Supply Chain Logistics Management*, 2nd ed., NY: McGraw-Hill/Irwin.
- Datar, S.M. and M.V. Rajan. 2018. *Horngren's Cost Accounting: A Managerial Emphasis*, 16th ed., NY: Pearson.
- Forrester, J. 1961. *Industrial Dynamics*, NY: MIT Press and Wiley.
- Hopp, W.J. and M.L. Spearman. 2001. *Factory Physics: Foundation of Manufacturing Management* 2nd ed., NY: Irwin McGraw-Hill.
- Kaplan, R.S. and R. Cooper. 1998. *Cost & Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*, MA: Harvard Business School Press.
- Lee, H.L., V. Padmanabhan, and S. Whang. 1997a. The Bullwhip Effect in Supply Chains, *Sloan Management Review*, 38(3): 93-102.
- Lee, H.L., V. Padmanabhan, and S. Whang. 1997b. Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect, *Management Science*, 43(4): 546-558.
- Ling, R.C. and W.E. Goddard. 1988. *Orchestrating Success: Improve Control of the Business with Sales & Operations Planning*, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Little, J.D.C. 1992. Tautologies, Models and Theories: Can We Find "Laws" of Manufacturing?, *IIE Transactions*, 24(3): 7-13.
- Spengler, J.J. 1950. Vertical Integration and Antitrust Policy, *Journal of Political Economy*, 58(4): 347-352.