

デマンド・プル型製造業を通じた 経営シミュレーションツールの構築

Development of a simulation tool for management in the demand-pull manufacturing industry

紅林 倫太郎 (Kurebayashi, Rintaro)

日本電気株式会社 コアネットワーク事業部

rintaro@mvp.biglobe.ne.jp

Abstract :

This paper shows a system dynamics model of competitive dynamics in the manufacturing industry with demand-pull structure. The model covers production process, learning effect to the improvement of productivity, facility expansion/reduction, pricing, product development, and accounting. A simulation tool for management developed by the model is also introduced in the paper.

キーワード：競争、経営、シミュレーションツール、製造業、デマンド・プル、システムダイナミクス

要旨： 事業を運営する経営者は、様々な場面で会社の将来を左右するような投資判断を要求される。こうした投資判断を誤ると、場合によっては事業運営そのものが破綻しかねない。かといって決断を先送りにすれば、事業の成長機会を逸し、競合他社の行動によっては事業運営が破綻する場合もある。そのため、事業運営においては、様々な状況を考慮しながら、最適なタイミングで最適な判断をすることが必要である。

正確な判断を行なうためには、競争のダイナミクスを十分に理解することが重要である。そこで今回、競争を考慮した上での投資判断を体験できるようなシミュレーションツールを構築した。モデルにはデマンド・プル型の製造業を用い、競合他社の振舞いについてはマイケル・ポーター氏の競争に関する著書などを参考にモデル化した。モデルは、製造プロセス、設備投資、学習効果、価格、製品開発、収益構造から構成されている。またシミュレーションでは参加者が設備投資、価格設定、R&D 投資を決定できるようになっている。

本報告では、構築したモデルの内容とシミュレーションツールについて紹介する。

1. シミュレーションツール構築の目的

事業を取り巻く環境は時々刻々変化する。この環境の変化には経済急速な発展や衰退、戦争、規制緩和など様々な要因がある。例えば、鉄鋼業界では近年中国経済の成長に伴い鉄鋼業者への需要が急増し、また最近では原油価格の上昇により、北米ではガソリンスタンドでの売上が減少している。また、1990年代後半から2000年代前半にかけて北米で起こった通信業界のバブル現象は、インターネットという新しい技術と通

信業界の規制緩和が引き金となり、通信業界に大量の資金が流入して起こった現象であり、通信インフラにおける信号の伝送媒体である光ファイバの製造業などは需要の急速な変化に対応しきれず、バブル崩壊後に大きな損失を出した[1]。

事業戦略を構築する際には、こうした事業環境の変化に応じて適切に対応する必要がある。しかし、実際には事業環境の変化に適切に対応することは容易ではない。その理由は様々であるが、例えば事業環境が変化する前は経験に頼った判断基準に基づいて事業戦略を構築していたところが、その経験に頼れなくなったために事業戦略に必要な判断基準を見失ったり、事業環境が変化したために従来暗黙のうちに共有していた判断基準の常識が失われ、新たな判断基準の共有化に時間を要したりすることなどが挙げられる。

ピーター・センゲ氏は、事業戦略を行なう有効な手法として、コンピュータ上で事業環境および戦略の仮想空間を構築することを提案している[2]。仮想空間を構築して、シミュレーションを実施することにより、ビジョンの共有化が図れると同時に、様々な戦略を仮想空間上で試すことができる。その結果、経営者および戦略立案者は、戦略の様々な候補の中から最適と思われる戦略を、シミュレーション結果をもとに選択することができる。この手法は、事業環境の変化に対応するための手法として非常に有効であると考えられる。

事業環境および戦略の仮想空間を構築する手段として、システムダイナミクスによるモデル化は有効である。それは、システムダイナミクスモデルは、モデルの対象となる現象の背後にある原因・結果の関係を論理的につなげていくことにより構築されるため、個人が持っているメンタルモデルが論理的に明確化

されるだけでなく、戦略を考える上での土台として議論の焦点を定めることが出来るからである。最近では、バランスト・スコア・カード(Balanced Score Card, BSC)で構築した戦略の検証にこうしたモデルを用いる手法が提案されている[3]。

モデルを構築するには、業界構造を理解するだけでなく、事業者間の競争のダイナミクスについての確にモデル化することが重要である。そこで今回、マイケル・ポーター氏の競争に関する著書などを参考に、事業者間の競争を表すシステムダイナミクスモデルを構築した。さらにそのモデルを用いて、競争のダイナミクスを体験的に理解するためのシミュレーションツールを構築した。具体的には、研究開発投資、設備の拡大および縮小、価格設定などが競争環境化で売上や収益にどのような影響を与えるかを体験的に理解できるようなモデルを構築した。以下本稿では、モデルの基本構成、シミュレーションの結果、投資体験ツールの試作結果について報告する。

2. モデルの構成

2.1 競争のダイナミクスモデルの概要

競争のダイナミクスモデルは業界によって千差万別であるため、すべての業界に当てはまるようなモデルの構築は極めて困難である。そこで今回構築したモ

デルでは、受注生産型(デマンド・プル型)の製造業界に限定した。

光ファイバ製造業界などは比較的このような業界に近いと考えられる。そこで、今回デマンド・プル型の競争のダイナミクスモデルを構築するにあたって、光ファイバ製造業のリーダー企業の一つである米コーニング社の Brad Boerson 氏と光ファイバ業界の調査会社 KMI Research の Richard Mack 氏から業界構造のアドバイスや過去のデータを頂き、それらの情報を参考にモデルを構築した。

今回構築したモデルは、製造過程モデル、設備の拡張および縮小過程モデル、製造における学習効果モデル、価格のダイナミクスモデル、製品開発過程モデル、財務・投資モデルの6つのサブモデルから構成されている。図1に、これらのサブモデルを簡略化して記述した、システムダイナミクスモデルの全体像を示す。

このモデルでは、製品開発競争や価格競争など、多くのフィードバックループが複雑に入り組んでいる。フィードバックループには、製品開発競争のように変化がループを周回するのに伴い増長されるループと、価格競争のように価格の変化がループを周回すると減少する方向に働くループの2種類が存在する。これらのループが互いにつながり、それぞれの変化が相互作用するため、モデルに含まれている各事象には非線形

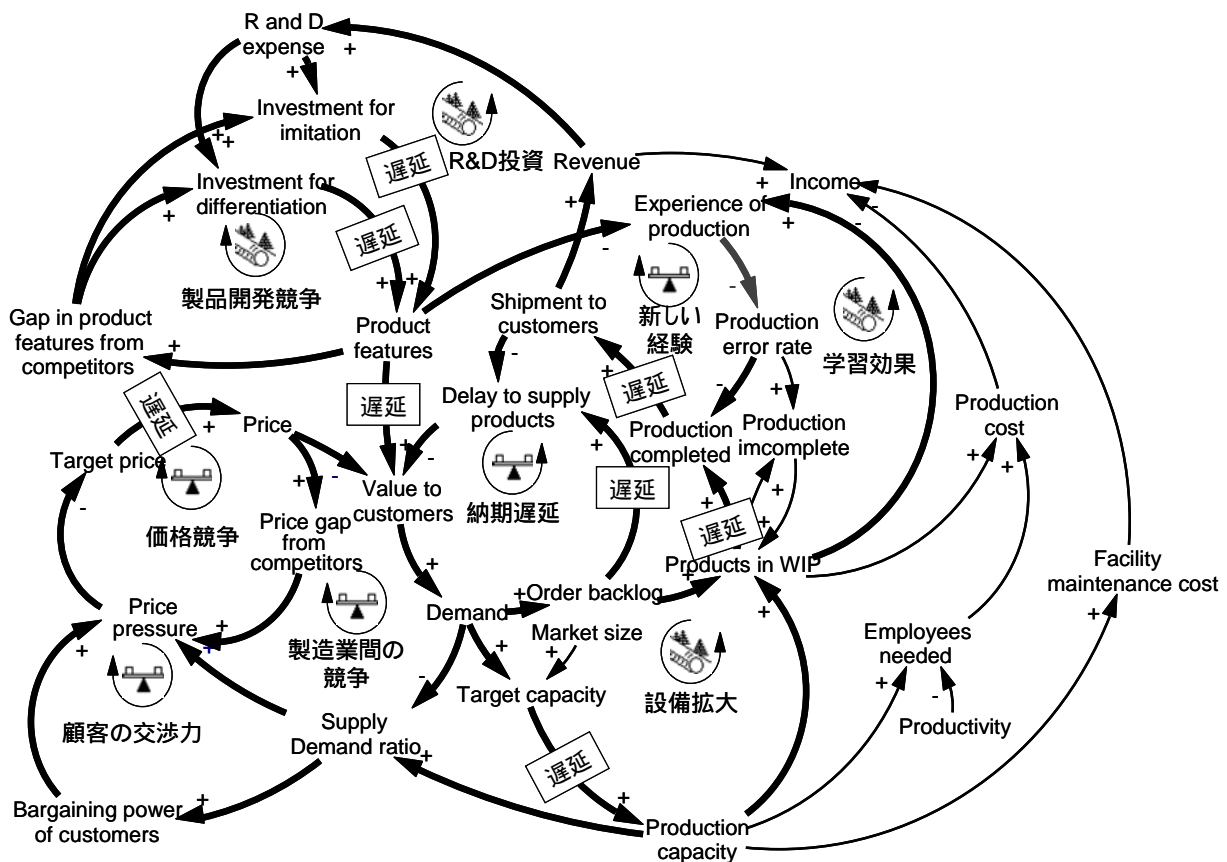


図1 デマンド・プル型製造業における競争のシステムダイナミクスモデル

の現象を含んだ複雑な変化が生じる。また、生産設備が計画されてから実際に設備が構築されるまでには時間遅延が生じるように、今回構築したダイナミクスモデルには様々な時間遅延が含まれている。こうした時間遅延は、事象の変化をさらに複雑にしている。

本章では、まず図 1 に示したデマンド・プル型製造業のダイナミクスモデルで前提とした条件について説明する。次に、その条件で構築したモデルに含まれる 6 つのサブモデル(製造過程モデル、設備の拡張および縮小過程モデル、製造における学習効果モデル、価格のダイナミクスモデル、製品開発過程モデル、財務・投資モデル)について説明する。

2.2 モデルに適用した想定条件

1 章でも触れたように、経営・戦略を構築する上でシステムダイナミクスモデルを適用することの長所として、メンタルモデルを可視化することが可能であることが挙げられる。この長所を生かすためには、重要なダイナミクスを的確に捉え、かつ他者が理解しやすいモデルを構築しなければならない。そこで、モデルとして想定している条件と、モデルの境界、すなわちモデルとして何を外的要因として、何を内的要因とするかを明確にすることが重要となる。本節では、モデルの境界と、モデルを構築する上で想定した条件について説明する。

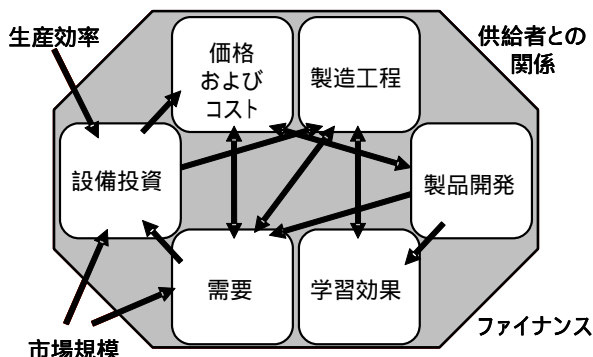


図 2 競争のダイナミクスモデルの相関図

図 2 に、構築した競争のダイナミクスモデルの相関図を示す。この相関図は、図 1 に示した競争のダイナミクスモデルを、サブモデルを用いて表現したものである。

図 2 において、八角形で囲まれた領域が今回構築した競争のダイナミクスモデルの適用範囲である。また矢印は、それぞれのサブモデル同士、或いは領域外として設定した事象とサブモデルとのつながりを表している。

今回構築したダイナミクスモデルの構築目的は、研究開発への投資、設備の拡大、価格設定が製造業者の売上や収益にどのような影響を与えるかを表現するこ

とである。この目的を考慮し、今回構築したモデルでは供給業者との関係、生産効率、市場規模、ファイナンスを外部変数とした。なお、ここで言う供給業者とは、今回対象としている製造業者に材料や部品を供給する業者を指す。現実には、供給業者は製造業者からの注文に応じて材料や部品を製造業者に納入する。製造業者はある程度材料や部品を在庫として残しておいたり、すぐに入手できる材料や部品については製造計画が決まった段階で供給業者に発注したりする。しかし、今回構築したモデルでは、こうした製造業者と供給業者の関係を考慮せず、製造業者は必要な材料や素材をすぐにかつ無制限に入手できるものと仮定し、製造業者と製品の購入者との関係に焦点を絞った。また、生産効率は、生産設備の技術革新などによって上がる。技術革新の起こりやすさは、実際には製造業者の需要や生産設備の供給業者間の競争環境などと関係があるが、一方でそれとは全く関係なく技術革新が起こる場合もある。今回構築した競争のダイナミクスでは、技術革新による生産設備の効率化については、外部要因のみ影響を与えると仮定して、生産効率を外部変数として扱った。

さらに、今回構築したダイナミクスモデルでは、市場規模についても外部変数と仮定した。現実には、市場規模は、買い手、すなわち製造業者が販売する製品の購入者の競争状態や買い手の顧客の需要変化などに影響される。また、製造業者の価格によっても影響を受けるが、今回は市場規模の変化は製造業界から見た場合に外的要因が支配的であると想定した。また、資金調達などのファイナンスの要因についても、競争のダイナミクスモデルには含めず、資金調達は自由に行なうことが出来ると仮定した。

また、競争他社間では価格決定に関して協調行動は取らないことを前提とした。石油産業のように成熟した業界では、新規参入などの脅威にさらされた場合、業界全体で一時的に価格を下げ、参入者が撤退してから再び価格を上昇させるような協調行動を取ることがある。一方成熟企業でなく、競争他社がある程度多く存在する場合には、製造業者各々が業界全体としての利益を考えて協調行動を取るとは難しい。今回構築したモデルでは、成熟した市場ではなく、製造業者間でそれぞれ独自の戦略を持ち、協調行動を取らないような市場を想定した。

製品開発においては、対象とする製造業者間だけの製品開発競争に焦点を当てるため、業界構造を変えるような革新的な技術が現れるような状況は想定しなかった。

また、今回構築したモデルでは、競争業者の数は変わらないという仮定を置いている。すなわち、参入障壁、撤退障壁とも非常に高い業界を想定している。

以下本章では、本節に示した想定条件の下で構築した競争のシステムダイナミクスモデルの内容について具体的に説明する。

2.3 製造過程

今回構築した競争のダイナミクスモデルのサブモデルである製造過程モデルでは、製造業者の受注・生産・出荷の流れを記述している。図 1 に示したダイナミクスモデルの全体像の中では、納期遅延のサイクルに相当する。

製造業者は、買い手から要求される購入量(受注量)に応じて生産を開始する。生産速度は、各製造業者が持っている生産設備や生産に従事する従業員の規模によって決まる。このため、例えば買い手の需要が急激に増加して製造業者が所有している生産設備では対応しきれない場合、生産量は生産設備の規模により制限され、逆に買い手の需要が少ない場合には、生産量は受注量によって決まる。

受注量は、市場規模と製造業者のマーケットシェアの積により決まる。製造業者のマーケットシェアは競争に参加しているすべての製造業者の製品価値を相対化することにより表されている。今回想定した製品価値は、製品機能や品質による価値、価格による価値、納期を守ることによる価値である。これらの製品価値を、買い手が認識する価格という表現にすべて統一し、価格弾力性を用いてそれぞれの製造業者が獲得する相対的な受注量に変換することによって、それぞれの製造業者が獲得するマーケットシェアを算出するという構成になっている。

製造過程モデルには、図 1 にも示されているように製造過程における遅延が含まれている。実際に構築した製造から出荷までの過程を表すモデルを図 3 に示す。製造から出荷までの過程については、ストックとフローを用いて表現した。受注量はまず生産待ちの受注量(Order waiting for production)というストックに蓄積される。蓄積されたストックは製造業者の持つ生産速度に従って、生産中の製品量(Work in process inventory)というストックに移行する。生産では 3 次の遅延が生じるものとし、生産中の製品量のストックは 3 つがフローを通じて直列につながっている(図 3 では生産中の製品量のストックは一つにしか見えないが、実際には 3 つのストックがつながっている)。なお、このように「物」がストックとフローを通じてシフトしていく過程で生じる遅延は、マテリアル遅延[4]と呼ばれている。本モデルでは、生産過程に入った材料・部品が、生産にかかる時間(Manufacturing cycle time)で加工されて製品が完成するという構成になっている。また、生産過程で発生した不良品は、歩留まり率(Production failure rate)として 1 段目の生産中の製品

量を表すストックに戻されるものとした。

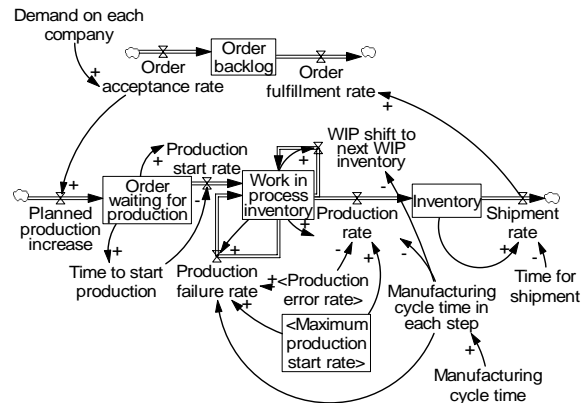


図 3 製造から出荷までの過程を表すダイナミクスモデル

2.4 設備の拡張および縮小過程

設備の拡張および縮小過程モデルは、図 1 で示した競争のダイナミクスモデルの全体像における、設備拡大のサイクルを具体的にモデル化したものである。

生産設備の拡張は時間がかかることが多い。工場の建設などが伴う場合にはなおさらである。設備の拡張および縮小モデルでは、設備拡張にかかるプロセスを 3 次のマテリアル遅延として、ストックとフローを用いて表現した。また、今回構築したモデルでは、その設備の経年過程もストックとフローを用いたマテリアル遅延で表現しており、生産設備を廃棄する場合には古い設備から廃棄するようにモデル化した。また、各世代の設備の生産効率については、生産設備の経年過程に対する Co-flow モデルにより表現した。

生産設備の拡張および縮小量の決定は、目標とする受注量と現在所有する生産設備の容量から決定されるものとしてモデル化した。この決定過程を図 4 に示す。目標とする受注量(Target order rate)は、目標の実現時期(Time horizon for capacity change)、目標とするマーケットシェア(Applied target market share)、目標時期での予測される市場規模によって決定されるものとした。

個々の製造業者が目標とするマーケットシェアは、個々の製造業者における需給関係、すなわち生産設備の保有量と受注量の関係によって変化する。例えば、受注量が急速に増大し、生産設備に対して過剰な状態になる場合には、製造業者にとってシェア拡大は重要な要因ではないが、市場規模が急速に縮小し、受注量が急減すると、製造業者は限られた市場の中から出来るだけ受注量を獲得しようと、シェアの拡大に努める[5]。今回構築したモデルでは、こうした現象について、現在のマーケットシェアと目標とするマーケットシェアの関係を各製造業者における受注量と生産容量の関

係から計算できるように設定した。

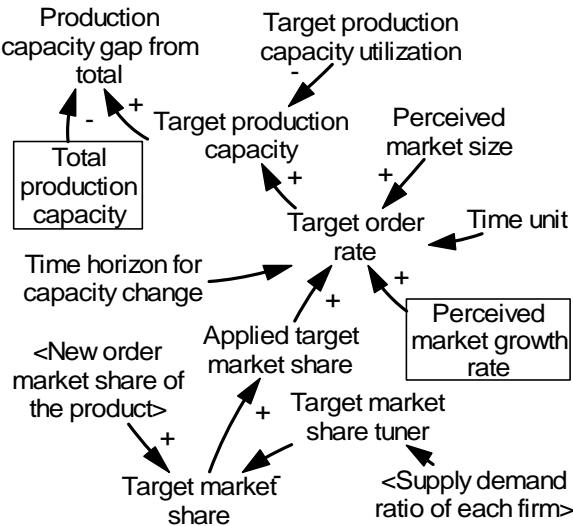


図 4 設備の拡張または縮小の決定プロセス

2.5 製造における学習効果

業界によっては、製品生産の経験が増えるに伴い、製品単位当たりのコストが下がる傾向が見られる[6]。この傾向は、労働者による作業方法の改善や、製品設計の変更による製造効率の改善、工場のレイアウトの改善など様々な要因によって生じる。こうした現象の内、今回は製品生産の経験による効果として歩留まりの減少という形で表した。

製造における学習効果を記述したサブモデルは、図 1 に示した競争のダイナミクスモデルの中で、「学習効果」と「新しい経験」という2つのサイクルを具体的に表したものである。学習効果を表すサブモデルの中で、経験の蓄積と歩留まり率を表した部分を図 5 に示す。図 5 において、経験の蓄積 (Accumulated Experience, AE) は製品の生産量という形でストックとして表されており、製品の買い手への納入レート (Order fulfillment rate) がそのまま経験の増加量 (Experience increase rate) となっている。また、全く生産経験が無い場合の歩留まり率 (Production error rate without experience, PERWE) を外部変数とし、歩留まりが半分になるための生産量 (Experience to reduce error half, EREH) も外部変数とすることで、歩留まり率 (Production error rate, PER) を次式で表した。

$$PER = PERWE \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{AE}{EREH}}$$

一方、製品開発により製品が改良されたり製造方法に変更があったりすると、それまで蓄積した経験が十分に活かされなくなってくる。そのため、蓄積された

経験は製品価値の向上が加速するに伴い急速に減少するようにモデルを構成した。

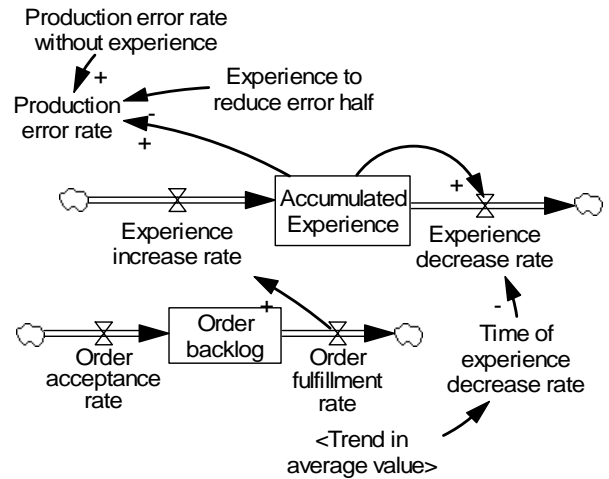


図 5 経験の蓄積と歩留まり率

2.6 価格

製品の価格は、その製品の競合他社製品に対する優位性、期待する収益率、競合他社の価格などを考慮した上で決定される。価格は業界の収益率を決定づける要因であり、競争の影響が直接反映される重要な戦略要素である。

価格のダイナミクスモデルは、図 1 に示した競争のダイナミクスモデルの中で、価格競争、製造業者間の競争、顧客の交渉力の3つのサイクルを具体化したモデルである。

2.1 節で述べたように、価格のダイナミクスモデルを構築する上での想定条件として、石油産業のような成熟した業界を含めないとした。すなわち、価格の設定においては間接的にも協調行動は取らないことを前提としている。

競合企業同士が価格設定において協調行動を取らない場合、需要が供給を上回った場合でも、同じ製品であれば価格は上がる方向には働きにくい。このような現象は、経済学では屈折需要曲線として説明されている。今回構築した価格のダイナミクスモデルでは、このような状況を想定している。

今回構築した価格のダイナミクスモデルを図 6 に示す。製造業者が設定する価格 (Target price) は、目標とする利潤を得るための条件から設定される価格 (Target price by gross margin)、限界費用から設定される最低価格 (Acceptable product price)、製品価値 (product value)、競合他社と顧客からの値下げ圧力 (Price pressures) によって決まるものとした。

競合他社からの値下げ圧力 (Pressure by competitors) は、個々の製造業者の生産容量と受注量の関係によって変わる。例えば製造業者の受注量が生

産容量よりも上回る場合には、競合他社が値下げしてもむやみに追従することはないであろう。一方受注量が少なく、生産容量が受注量を上回る場合、競合他社が値下げすると、受注減に対する恐れから値下げに踏み切る可能性が高い。今回構築した価格のダイナミクスモデルではこうした現象を考慮している。

また、顧客からの値下げ圧力(Bargaining power from customers)は、製造業の業界全体の需給関係(Supply demand ratio)によって変わる。製造業者の供給状態が顧客からの需要を上回ると、製造業者は供給可能量に見合った売上を計上しなければならないという圧力がかかるため、顧客からの値下げを要求された場合、その要求を受け入れざるを得なくなってしまう。図6に示した価格のダイナミクスモデルには、こうした現象に対する記述も含まれている。

製造業者が設定する価格(Target price)は、こうした値下げ圧力が強い場合には、目標とする利潤を下回っても価格を下げる傾向がある。そこで、製造業者が設定する価格(Target price)は、目標とする利潤を得るための条件から設定される価格(Target price by gross margin)と値下げ圧力(Price pressures)により設定される価格のうち安い方を選択することにした。また、この選択した価格が限界費用から設定される最低価格(Acceptable product price)よりも下回る場合には、最低価格の方を選択することとした。また、製品の価値が他社に対して優位性がある場合には、その価値を上乘せして価格を設定できるようになっており、製品価値をどの程度価格に反映させるかは、価値の価格への反映比率(Reflection ratio of price premium)という外部変数で設定できるようにした。

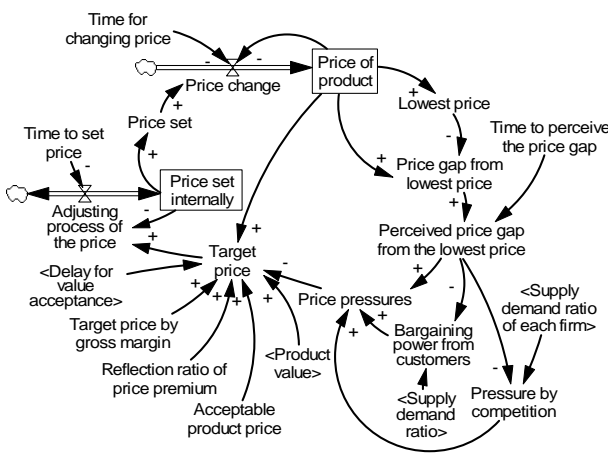


図6 価格のダイナミクスモデル

2.7 製品開発

競争環境に置かれている製造業者は、競争優位を獲得・維持するために新製品の開発に努める。製品にお

ける競争において優位に立っている業者は、競合他社に追いつかれないようにさらなる製品の差異化を進め、一方製品の品質や機能で劣っている企業は、先行する業者に追いつくために、先行する業者の製品を模倣したり、新製品を投入して優位に立とうとしたりする。このような現象を考慮して、図7に示す製品開発のダイナミクスモデルを構築した。

製品価値(Value of the product)は、研究開発投資(R&D expense)によって増大する。実際には、製品価値の増加は研究開発投資量に比例する訳ではなく、従業者の能力、研究環境などによって影響を受ける[7]。本モデルでは、こうした他の要因については、製品の差異化における投資効率(Investment efficiency for differentiation)および製品の模倣における投資効率(Investment efficiency for imitation)という外部変数として記述した。但し、製造業者間での投資効率が同じであると仮定すれば、研究開発投資額が製品価値向上に直接反映されるようになっている。

また本モデルでは、研究開発投資は模倣への投資(Investment for imitation)を優先している。この結果、本モデルでは製品の品質や機能で先行している企業は製品の差異化にのみ研究開発費を割り当て、製品の品質や機能で競合他社に大きく引き離されている企業は、研究開発費の大半を先行業者の製品の模倣に費やすことになる。

製品の差異化と模倣では、一般に模倣の方が早く実現できる。そのため、本モデルでは開発にかかる時間を模倣時間(Time for imitation)と差異化時間(Time for differentiation)に分け、模倣時間を差異化時間より短く設定できるようにした。

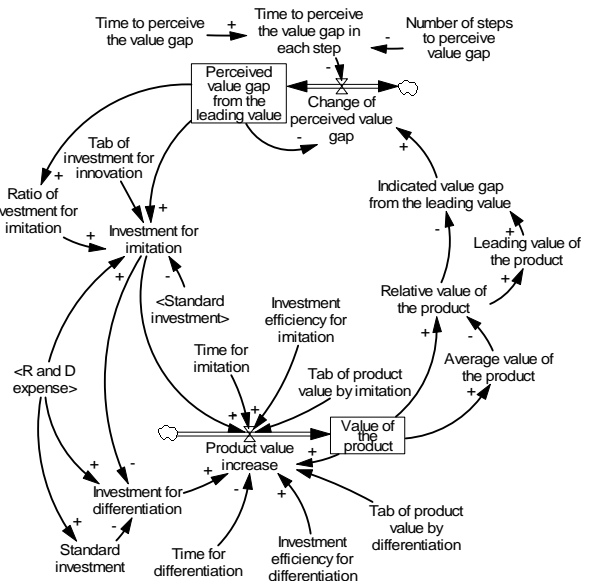


図7 製品開発のダイナミクスモデル

2.8 財務・投資

財務・投資のモデルを図8に示す。このモデルが扱っている主な項目は、売上(revenue)、製造コスト(Cost of goods sold)、研究開発費(R&D expense)であり、営業利益の算出に必要な項目をモデルに組み込んでいる。一方、今回構築した財務・投資モデルには税金や設備の売却益/売却損は含まれていない。

製造コストは、材料費、設備維持費および人件費の総和として表されている。材料費の算出については図8には示されていないが、本モデルでは、材料費は製品の出荷量とその製品単体の材料費の積で表した。この製品単体の材料費については、ある一定期間全く購入履歴の無い場合の材料費に、ある一定期間に購入した量に応じて発生する値引率を掛け合わせることで算出した。値引率は外部変数として設定したので、業界によって適切な値を入力値として決めることができる。

設備維持費(Total maintenance cost)は、生産設備の世代によって異なる。2.4節で説明したように、今回構築したモデルでは、生産設備の経年過程はマテリアル遅延で記述されている。そこで、設備維持費については、生産設備の経年過程モデルとの co-flow モデルを構築することで記述した。

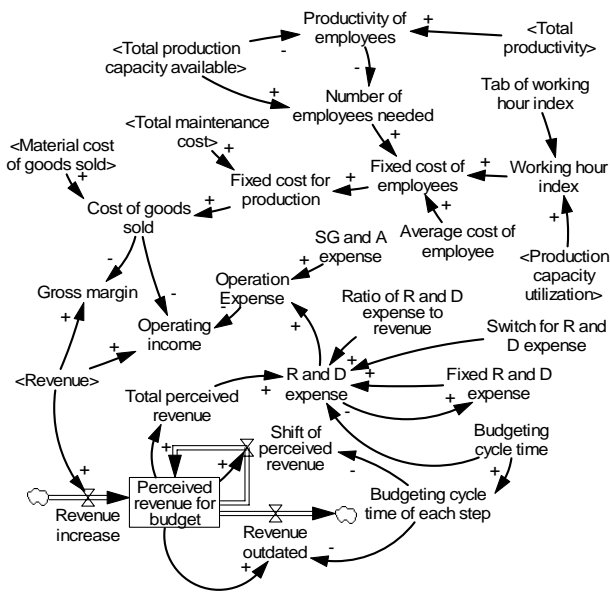


図8 財務・投資モデル

また、人件費については、生産効率と生産容量から必要な従業員数(Number of employees needed)を導出し、それを生産設備の使用率(Production capacity utilization)から導出される従業員一人当たりの勤務時間と掛け合わせることで計算されている。

研究開発費(R&D expense)は、各製造業者の方針によって大きく変わる。例えば、通信機器の製造業者においては、新興企業では売上の大半が研究開発費として使われることがあり、一方大規模な企業では売上の

10%前後を研究開発費に割り当てるケースが多く見られる。また、通信業界のバブル崩壊後では、企業によって研究開発費を継続的に維持する企業と、売上の激減に合わせて研究開発費を減らす企業に分かれる傾向が見られた。こうした現状を考慮し、本モデルでは基本的には売上に対するある一定比率を研究開発費に割り当てることにしたものの、競合他社の研究開発費を元に決定するようなオプションも用意した。

3. シミュレーション

本章では、2章で説明した競争のダイナミクスモデルがどのような振舞いをするかについて、シミュレーション例を通じて紹介する。

3.1 シミュレーションで使用した条件

シミュレーションで使用した条件を表1に示す。表1に示すように、今回行ったシミュレーションでは製造業者5社が15年間に渡って業界で競争すると仮定した。また、買い手は発注してから2年以内にすべての発注品を入手することを期待するという設定にしている。設備拡張にかかる時間については1年半、一方設備縮小にかかる時間は1年と設定した。また製品開発については、製品の差異化には2年、模倣には1年半かかるものとした。

ちなみに、今回販売単位を km としているのは、光ファイバやケーブルなどを売った場合の販売単位にしているため、実際には対象とする製品に適した販売単位を使用すればよい。

表1 シミュレーションで使用した条件

モデル	条件	値
共通	競合する製造業者数	5社
	計算期間	15年
製造過程	顧客が許容できる遅延時間	2年
	製品価値認識までの時間	3ヶ月
	製造にかかる時間	1.2ヶ月
	出荷にかかる時間	1週間
設備の拡張/縮小	設備拡張期間	1.5年
	設備廃棄期間	1年
	設備の使用可能期間	10年
	新設備への置き換え期間	6ヶ月
	市場規模調査の期間単位	1年
学習効果	経験が無い場合の歩留まり率	20%
	歩留まり率半減に必要な生産量	500,000km
価格	初期設定価格	US\$100/km
	価格変更手続きにかかる時間	1.2ヶ月
	価格設定にかかる社内調整時間	2.4ヶ月
	目標とする売上総利益率	60%
	製品の優位性の価格への反映比率	0%
	競合他社との価格差を認識するまでの時間	2.4ヶ月
製品開発	製品の差異化にかかる時間	2年
	製品の模倣にかかる時間	1.5年
	製品の品質・機能差を認識するまでの時間	3ヶ月
財務・投資	研究開発費の対売上比の初期設定	10%
	予算案構築サイクル	3ヶ月

3.2 シミュレーション例

Case 1: 市場規模が一定の割合で変化する場合

まず、図9に示すように、市場規模(Market size)

が全く変わらない場合、一定の割合で成長する場合、一定の割合で縮小する場合についてのダイナミクスを紹介する。この場合の価格の変化を図 10 に示す。図 10 では、市場規模が拡大する場合に価格下落が最も小さい。これは、市場規模の拡大により需要過多の状態となるため、規模が変化しない場合に比べて設備使用率が高くなるためである。一方、市場規模が縮小する場合に価格下落が最も大きくなっているが、5 年目辺りからは市場規模が一定の場合の方が、市場規模が縮小する場合に比べて急速に価格が下落している。これは、市場規模が縮小する方が供給過多になりやすく、その結果価格の下落が激しくなる、という結果とは異なる。

このように直感とは異なる結果となった理由は、図 11 に示す設備使用率(Capacity Utilization)を比較することにより理解することができる。図 11 を見ると、市場規模が小さくなる場合、一時的に設備使用率が下がっている様子が見られる。これは、需要の減少に対応して即時に設備を減らすことが出来ないためである。こうして生産容量と受注量とのギャップが増えると、製造業者はそのギャップを埋めようと設備を廃棄する。このとき、設備を余分に廃棄するため、結果として市場規模が一定の場合に比べて生産設備使用率が高くなっていると考えられる。

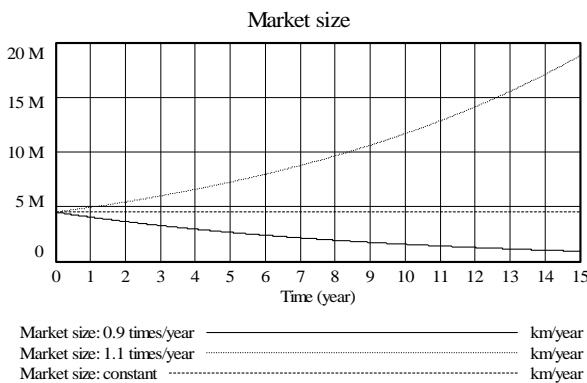


図 9 市場規模の変化 (市場規模が一定割合で変化する場合)

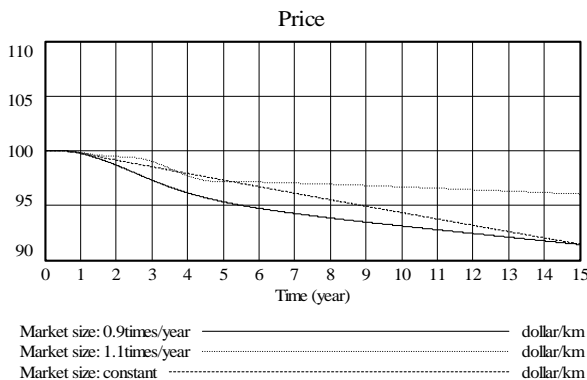


図 10 販売価格の変化 (市場規模が一定割合で変化する場合)

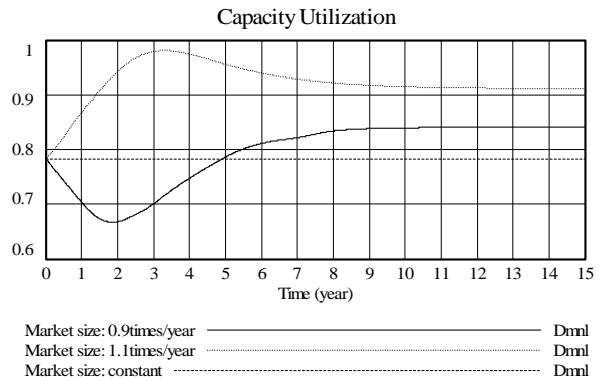


図 11 設備使用率の変化(市場規模が一定割合で変化する場合)

次に、市場規模が一定の割合で拡大する環境下で 1 社だけ初期価格を 1 割下げた場合の振舞いについて、図 12 と図 13 に示す。図 12 より、競合する他の製造業者が、ある一社が提供する低い価格に対抗して値下げする様子が見られる。一方図 13 は、1 社だけ初期価格を 1 割下げた場合の各社営業利益の変化を表している。図 13 では、初期価格を 1 割下げた業者の営業利益が 7 年後辺りから急速に増加している様子が見られる。これは、最初に低価格で商品を提供したときに得た僅かな売上増により研究開発費が競合他社に比べて僅かに増加し(このシミュレーションでは研究開発費を売上の 10%に固定している)、それがきっかけで売上と研究開発費が図 1 に示した”R&D 投資”と書かれた増長型の周回ループを通じて他社よりも増加して行くためである。さらに、売上が上がると規模の経済性により材料費が下がり、営業利益対売上比率も競合他社に比べて上昇するという仕組みになっている。

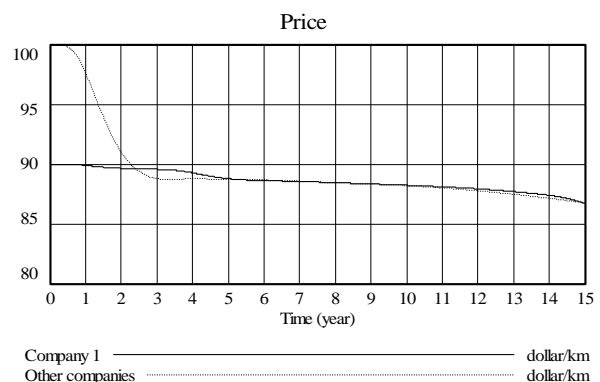


図 12 販売価格の変化 (一社のみ初期価格を下げた場合)

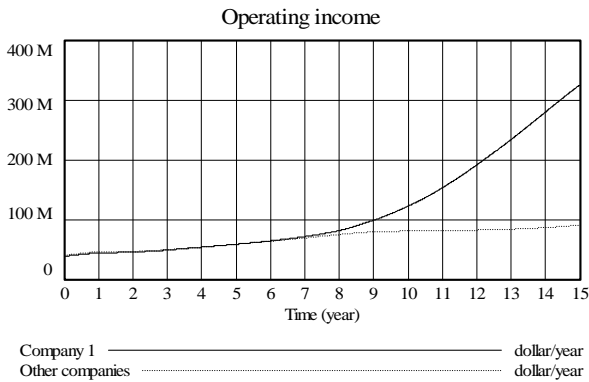


図 13 営業利益の変化(一社のみ初期価格を下げた場合)

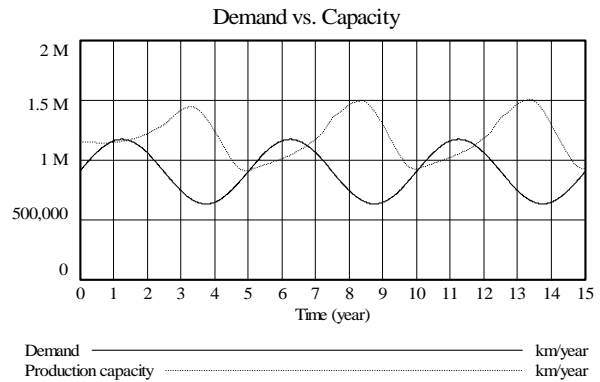


図 16 需要と生産容量の変化(市場規模が周期的に変動する場合)

Case 2: 市場規模が周期的に変動する場合

次に、市場規模が図 14 のように周期的に変動する例について紹介する。この市場規模の変化によって生じる価格の変化および需要と生産量の変化をそれぞれ図 15、図 16 に示す。

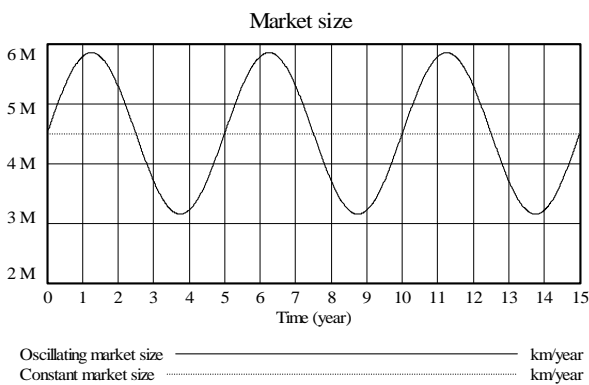


図 14 市場規模の変化(周期的に変動する場合)

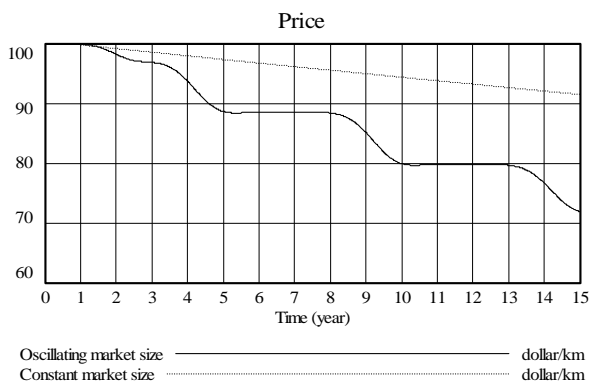


図 15 価格の変化(市場規模が周期的に変動する場合)

価格は、安定期と下落期を繰り返しており、その結果市場規模が一定の場合に比べて価格が大幅に下がってしまっている。このような変化は、図 16 に示した需要と供給の関係から説明できる。図 16 では、需要のピークと供給のピークのタイミングがずれている様子がわかる。これは、生産設備の構築において生じる遅延によるものである。すなわち、生産設備の構築には時間がかかるため、生産容量を増加し終えた頃にはすでに需要のピークが過ぎてしまっているのである。こうして発生する需給関係の変動が、価格の減少のつなげられていると言える。

以上、シミュレーションの実施例を簡単に示したが、実際の現象は遥かに複雑である。事業判断は状況に応じて臨機応変に対処されるものであるし、生産設備の持つ性能の改善や、開発効率の改善による影響なども今回紹介したシミュレーション結果では考慮されていない。しかし、こうした検討については、外部変数への入力を変更するなどにより容易に可能である。重要なことは、こうしたモデルを検討する内容に適した形に変更して、様々な戦略について実験してみることであろう。

4. 経営シミュレーションツール

最後に、以上に説明した競争のダイナミクスモデルに基づいて構築したシミュレーションツールを紹介する。図 17 に本シミュレーションツールの実行例を示す。図 17 にある 8 つのウィンドウのうち、左上のウィンドウで価格、生産容量、研究開発費の対売上比率を決定する。この決定を 4 半期毎に行うように設定し、営業利益の最大化を目指す。図には 7 つのパラメータが表示されているが、実際には売上などその他のパラメータも必要に応じて表示させることができる。

こうしたシミュレーションツールにより、様々な市場規模の変動パターンや、競合他社の行動パターンに対応

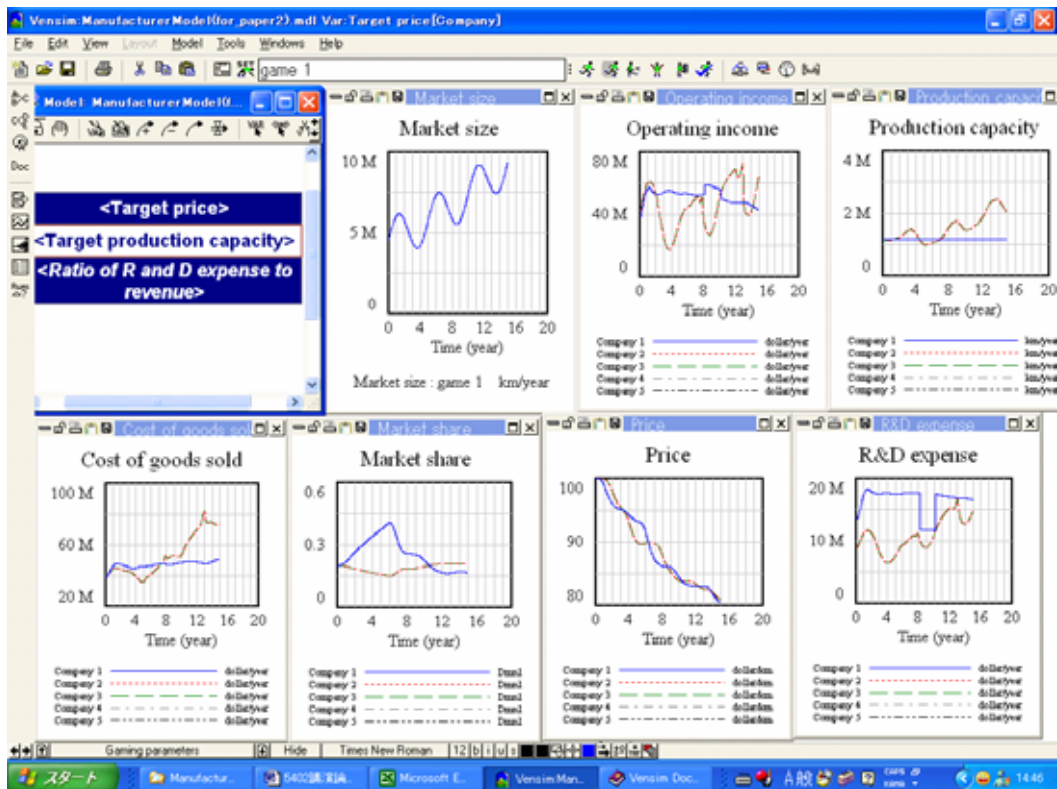


図 17 経営シミュレーションツールの実行イメージ

した経営判断を繰り返し体験し、それぞれの状況に応じて最適な判断ができるように訓練することで、実際には経験したことのない状況にも備えることができると考えている。

5. まとめ

本稿では、デマンド・プル型の製造業における競争に関するシステムダイナクスモデルについて、モデルの構造を説明し、シミュレーション結果の例を紹介した。また、そのモデルを用いた経営シミュレーションツールについて簡単に紹介した。

システムダイナクスモデルは、様々な現象の背後にある構造を明確にする効果があり、曖昧なビジョンを明確にすることができる。また最初に述べたように、システムダイナクスを用いて業界構造をモデル化すると、経験したことがない状況に置かれた場合の対処方法について擬似的に体験できるため、経営に用いる手法として非常に有効であると考えている。その一方、実世界の振舞いは非常に複雑な要素が絡み合って生じているため、これを正しくモデル化することが容易でないことも事実である。今回構築した競争のシステムダイナクスモデルが、こうしたモデル化の一助となれば幸いである。

また、今回構築したシミュレーションツールが、競争を理解し、適切な投資判断を下す上で役立つことを願っている。

今回構築したモデルは、ファイナンスや製造業者とその製造業者に材料・部品を供給する供給業者との関係についてのダイナクスについては考慮されていない。今後はこれらのダイナクスに関するモデル化に取り組み、さらに人材マネジメントなども組み込んで行きたいと考えている。

参考文献

- [1] Rintaro Kurebayashi, "A System Dynamics Model for Analyzing Bubble Effects in the Long Distance Telecom Industry", MIT Master thesis for Management of Technology, June 2004
- [2] Peter M. Senge, "The Fifth Discipline", Chapter 17, Currency Doubleday, 1990
- [3] 松本憲洋, "BSC 戦略経営に適用するビジネス・プロセス・モデル", ビジネスモデル学会, 秋季年次大会, 2004
- [4] John D. Sterman, "Business Dynamics", Chapter 11, Irwin McGraw-Hill pp.409-pp.467, 2000
- [5] M.E.ポーター, "競争の戦略", ダイヤモンド社, pp. 312-313, 1982
- [6] M.E.ポーター, "競争の戦略", ダイヤモンド社, pp. 312-313, 1982
- [7] Gary Hamel and Gary Getz, "Funding Growth in an Age of Austerity", Harvard Business Review, pp.76-84, July-August 2004