

## 回路論的視点から見たビジネスモデルに関する研究（１）

### A Study of Business Model from the View Point of the Circuit Theory（１）

平林天人<sup>1</sup> 古内亀治郎<sup>1</sup> 橋詰 匠<sup>1</sup> 天野嘉春<sup>2</sup>

Amato Hirabayashi<sup>1</sup> Kamejiro Furuuchi<sup>1</sup> Takumi Hashizume<sup>1</sup> Yoshiharu Amano<sup>2</sup>

1 古内亀治朗商店

2 早稲田大学 理工学術院総合研究所

1 Furuuchi Kamejiro Shoten Co., Ltd.

2 Waseda Institute of Science and Engineering, Waseda University

#### 要旨

製品の製造から販売に関わるビジネスについて、その形態、機能及び運営面からそれらの特性を回路論的視点から捉え、製造事業と販売事業とが回路論的に双対な関係にあることを示すとともに、ある製品の製造から販売に至る事業全般を代表する回路論的モデルを導出し、システムティックにビジネスの流れを把握できることを示し、さらにはビジネスの情報システム化に向けて新しいモデル化の可能性について提案している。本報では、第 1 報として回路論的モデルの構築と基礎的な試算について抄述する。

#### 1. はじめに

本報では評価の基盤として双対性に着目するが、これは回路論等で取り上げられる特性のひとつで、異種間の類似性を表すアナロジーとは区別して、主として同種間の特性の対比に用いられる。回路論では、評価対象の状態を代表する 2 つの状態量として位差量と流通量とを取り上げる。位差量と流通量の積はパワーを表す。単純な電気回路では、位差量は電圧（電位差）で、流通量は電流となる。電圧と電流の積は電力になる。このような状態量のもとに、電圧源を有する直列回路と電流源を有する並列回路は双対な関係にあるという。双方で、電圧と電流が入れ替わり、また回路構成においてノード（節点）とループ（閉路）とが入れ替わっている。

このような視点のもとに、本報では、商品の開発・製造とその営業・販売に関わるビジネスに対して、回路論的評価手法<sup>[1]~[3]</sup>を導入し、とりわけ双対性を基盤に 2 つのビジネス形態を評価し、ビジネスモデルを提案するとともに、実際のビジネスに適用してモデル化の有効性を明らかにすることを目的とする。

#### 2. ビジネス形態と回路論的モデル

ここで評価対象に取り上げるビジネス形態としては、製品の開発・製造とその営業・販売を業務提携によって連携する 2 社のビジネス業務を考える（機器製造・装置産業等で不可欠なメンテナンス業務は考えない）。一社（A 社）は原料を調達し、工場にてオリジナルブランドの製品を製造し、製造された製品の販売についてはもう一社（B 社）が担当するケースを考える。

ここで、製品を製造する会社（A 社）の業務と販売する会社（B 社）の業務を回路論に基づいて表現してみる。まず、状態量をつぎのように定義する。

流通量：単位時間当たりの生産量／販売量 [ロット/s]・・・並列的加算性

位差量：ロット当たりの資金／価格（売上高） [円/ロット]・・・直列的加算性

流通量×位差量＝単位時間当たりの生産量 [ロット/s] ×ロット当たりの資金 [円/ロット]

＝単位時間当たりの販売量 [ロット/s] ×ロット当たりの価格 [円/ロット]

＝単位時間当たりの総金額 [円/s]

このような状態量の定義のもとづいて、まず静的（定常）状態下で、A 社及び B 社の業務を回路論的モデルによって表すと図 1 のようになる。図 1 (a) は、資金をソース（位差量源）とし、これに各製造工程に関わるロット当たりの資金（ $\propto$ 製品付加価値）を表す位差量を直列的に加算する直列回路を示す。流通量は各工程に共通で、単位時間当たりの生産量を示す。各工程を示すブロックは負荷抵抗を示し、

負荷抵抗が大きいほどその工程に要する資金が大きくなり、単に製品価格のみならず、付加価値にも大きく影響する。すなわち、

$$E_S = \sum (R_{Li}) I_S \quad (1)$$

ここに、 $E_S$ ：製造に要するロット当たりの資金 [円/ロット]， $R_{Li}$ ：負荷抵抗 [ (円/ロット) / (ロット/s) ]， $I_S$ ：単位時間当たりの生産量 [ロット/s]。

一方、図1 (b) は、販売量をソース（流量源）とし、これに各店舗での単位時間当たりの販売量を表す流量を並列的に加算する並列回路を示す。位差量は各店舗共通で、ロット当たりの価格（売上高）を示す。各店舗を示すブロックは負荷抵抗の逆数である負荷コンダクタンスを示し、負荷コンダクタンスが小さい店舗では販売量が少なく、逆に負荷コンダクタンスが大きい店舗では販売量が多くなる。これらの関係を式に示すと、

$$I_P = \sum (G_{Li}) E_P \quad (2)$$

ここに、 $I_P$ ：単位時間当たりの販売量 [ロット/s]， $G_{Li}$ ：負荷コンダクタンス [ (ロット/s) / (円/ロット) ]， $E_P$ ：ロット当たりの価格（売上高） [円/ロット]。

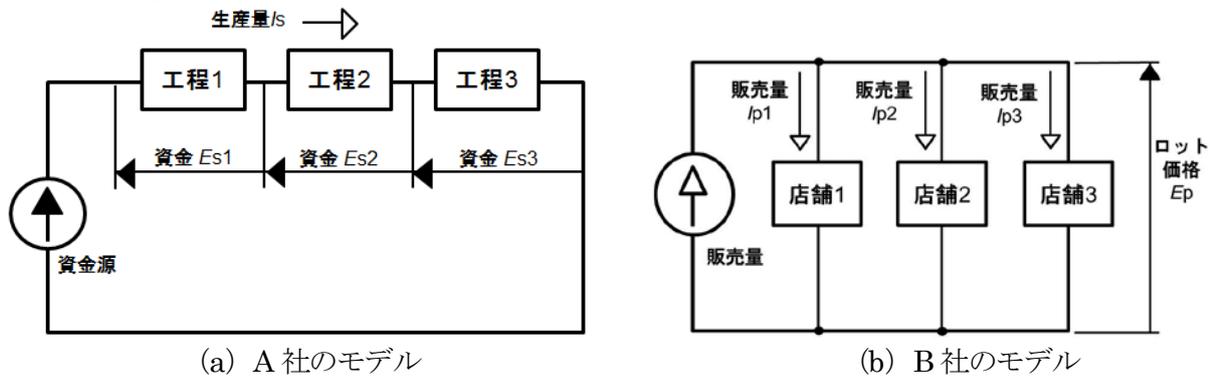


図1. A社及びB社の回路論的モデル

以上では、静的（定常）な状態を扱ってきたが、現実には諸要因が時系列的に変化することから、非定常な状態に拡張すると、式 (1)，式 (2) はそれぞれ周波数領域で次式のようなになる。

$$E_S(j\omega) = \sum (R_{Li} + jX_{Li}) I_S(j\omega) = (R_{SL} + jX_{SL}) I_S(j\omega) = Z_{SL}(j\omega) I_S(j\omega) \quad (3)$$

$$I_P(j\omega) = \sum (G_{Li} + jB_{Li}) E_P(j\omega) = (G_{PL} + jB_{PL}) E_P(j\omega) = Y_{PL}(j\omega) E_P(j\omega) \quad (4)$$

ここに、 $X_{SL}$ ：リアクタンス， $B_{PL}$ ：サセプタンス， $Z_{SL}$ ：インピーダンス， $Y_{PL}$ ：アドミタンス， $\omega$ ：角周波数 [rad/s]。

例えば、式 (3) において、リアクタンス要素が正の場合にはインダクティブリアクタンスになり、負の場合にはキャパシティブリアクタンスになる（図2）。前者の場合は位相進み特性を呈し、後者では位相遅れ特性を呈することになる。

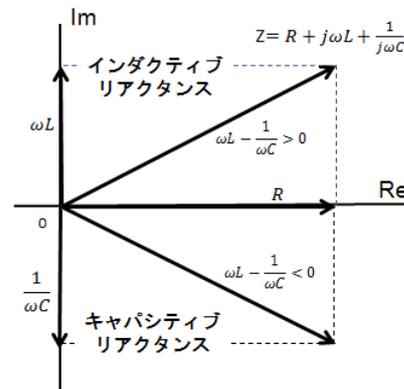


図2 複素平面上的インピーダンス

さらに、実際にはソース側に、直列接続系では内部インピーダンスを、並列接続系では内部アドミタンスを有するため、この点も踏まえて改めて回

路論的モデルを作成すると図 3 のようになる。ここで、内部インピーダンスとは、製造工程自身には含まれない、全社的な管理業務等に必要な、ソース側に含めることが適切なインピーダンス要素である。内部アドミタンスも同様で、店舗側の要素には含まれない、全社的な管理業務に必要な、ソース側に含めることが適切なアドミタンス要素である。なお、図では負荷側の個々の負荷インピーダンス、負荷アドミタンスをそれぞれ統合し、一つの負荷インピーダンス及び負荷アドミタンスとして表している。

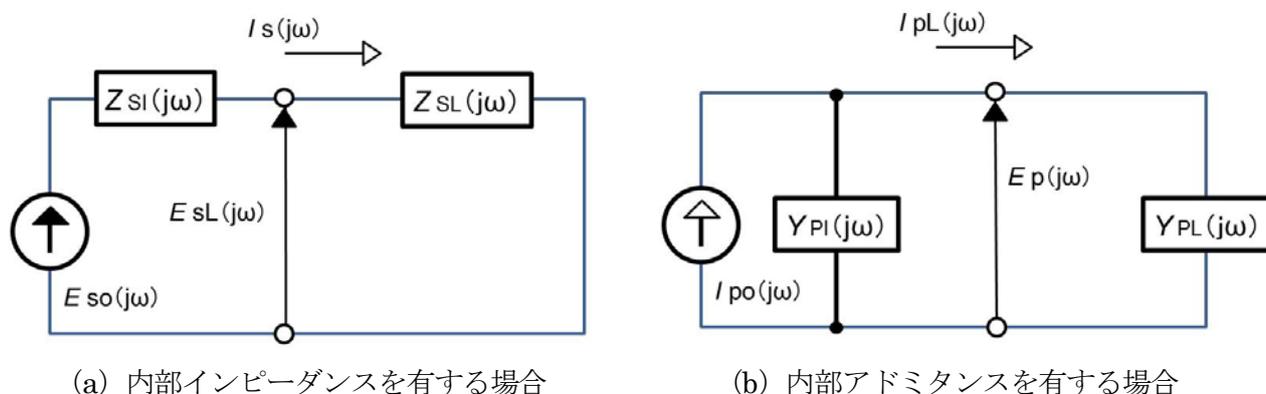


図 3 内部インピーダンス/内部アドミタンスを有するモデル

### 3. 回路論的モデルに基づく考察

#### 3.1. 双対性から見た検討

A 社による製品の製造業務と B 社による製品の販売業務とは双対な関係にあることを示した。双対な関係にあることは相互に似た特性を示すことを意味するが、直列接続系と並列接続系というように、両社は本質的には大きく異なる。直列接続系では、所定の資金源で負荷抵抗に応じた生産量を実現し、製品価値を生むことを示している。また、製造工程の中に一つでも過大な抵抗を呈する工程が含まれていると、この過大な負荷抵抗が負荷全体の支配的要因となり、大きな資金源を持って当たらない限り、目標とする流通量、すなわち生産量を達成できないことを示している。一方、並列接続系では、所定の販売量（源）のもとで負荷アドミタンスに応じたロット当たりの売上高を実現し、営業・販売実績をもたらすことを示している。また、販売店の中に一つでも過大なコンダクタンスを呈する店舗が含まれていると、この過大な負荷コンダクタンスが負荷全体の支配的要因となり、より大きな販売量をもって当たらない限り、目標とする位差量、すなわち売上高を達成できないことを示している。

以上のことを換言すれば、前者は位差量源に依拠する資金主導型で、全工程を通じて負荷抵抗を所期の大きさに抑えた、バランスのとれた製造工程をいかに構築するかが重要となる。後者は流通量源に依拠する販売量主導型で、全店舗を通じて負荷コンダクタンスを所期の大きさに抑えた、バランスのとれた店舗をいかに確保するかが重要となる。このように、製造業務と販売業務の双対性に着目することによって、それぞれの業務遂行に関する特性を平易な形で示すことができる。双対性が成り立てば、基本的には一方について評価し、他方については単に言葉の入れ替えをすればよく、試行の簡便化も図ることができる。

#### 3.2. インピーダンスマッチングの視点からの検討

直列接続系である A 社の製造業務を例に取り、エネルギー・動力システムでよく取り上げられるインピーダンスマッチングについて評価してみる。エネルギー・動力システムにおけるインピーダンスマッチングとは、図 3 (a) において、内部インピーダンス  $Z_{SI}$  を有する位差量源に対して、負荷抵抗  $R_{SL}$  での消費電力（出力）が最大となる負荷インピーダンス  $Z_{SL}$  を定めることである。このとき内部インピーダンス  $Z_{SI}$  と負荷インピーダンス  $Z_{SL}$  とは次式のような共役の関係にある。

$$Z_{SI} = R_{SI} + jX_{SI} \tag{5}$$

$$Z_{SL} = R_{SL} + jX_{SL} = R_{SI} - jX_{SI} \tag{6}$$

$$Z_{SI} + Z_{SL} = R_{SI} + jX_{SI} + R_{SI} - jX_{SI} = 2R_{SI} \tag{7}$$

すなわち、インピーダンスマッチングの状態では回路中のリアクタンス要素は見かけ上存在せず、内部抵抗と同じ大きさの抵抗が負荷に接続された状態と等価になっている。このことをソースと負荷の平衡関係について図示すると図4のようになる。図中の点Aにおいて、負荷での消費動力（出力）、ここでは製造工程から得られる成果物としての単位時間当たりの生産価値 [円/s] が最大になる。すなわち、図中の点Aを操業条件とするように、ソースの状態、すなわち内部インピーダンスに合わせて製造工程を構築することが大きな価値を生む第一歩といえる。負荷抵抗  $R_{SL}$  が  $R_{SL} < R_{SI}$  の場合には、流通量である生産量は増すものの、図に示すように、製造工程から生まれる生産価値は少なく、内部抵抗での消費が多くを占めることになる。一方、 $R_{SL} > R_{SI}$  の場合にも、流通量である生産量は抑えられ、製造工程からの成果物も少なくなる。

なお、以上のことは内部抵抗  $R_{SI}$  と負荷抵抗  $R_{SL}$  の特性を限定した場合の関係であり、実際の業務の中では、状況に応じてそれぞれが変化する余地を含んでいると考えられる。

### 3.3. 共役であることについて

内部インピーダンスと負荷インピーダンスが共役の関係にある場合には、一方がインダクティブリアクタンス要素を有する場合には、他方がキャパシティブリアクタンス要素を有することを意味する。インダクティブリアクタンスは位相進み特性を示し、このことは微分的性質  $d/dt$  によってもたらされる。キャパシティブリアクタンスは位相遅れ特性を示し、積分的性質  $\int dt$  によってもたらされる。微分的性質と積分的性質の物理的な意味は、前者は未来予測評価型であることを、後者は過去積算評価型であることを意味する。したがって、共役な関係にある場合には、回路全体としては、比例要素（内部抵抗と負荷抵抗）に加えて、これからの動向を予測する微分的性質、これまでの実績を評価する積分的性質が同等に含まれることになる（図5）。

例えば、バイオ関係の製造工程の変革は日進月歩で、変化のテンポが速く、インダクティブリアクタンスの傾向が強い。そのような場合には、一方的に時代に流されることのないよう、ソース側にこれまでの実績を評価すべくキャパシティブリアクタンスが求められる。一方、熟成された汎用品を製造する工程は過去の実績を基盤とすることが多く、キャパシティブリアクタンスの傾向が強い。そのような場合には、革新的な手法等の導入にも留意すべく、ソース側にインダクティブリアクタンスが必要となる。

これらのことはいずれも日常業務の中で考えられていることではあるが、このような業務上の特性を回路論というシンプルな科学的事象をもって説明できること、併せて、分野が異なっても符合する点が少なくないことをここに確認することができる。

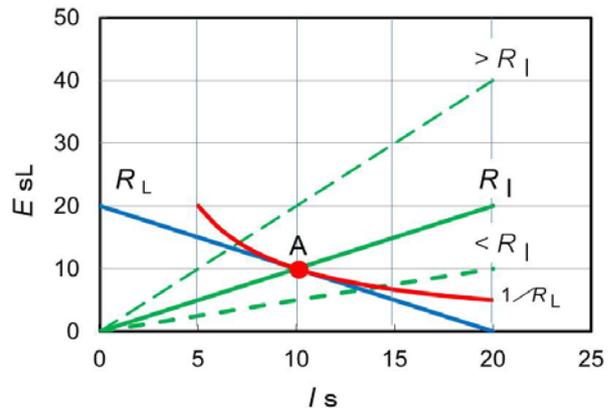


図4 内部抵抗と負荷抵抗

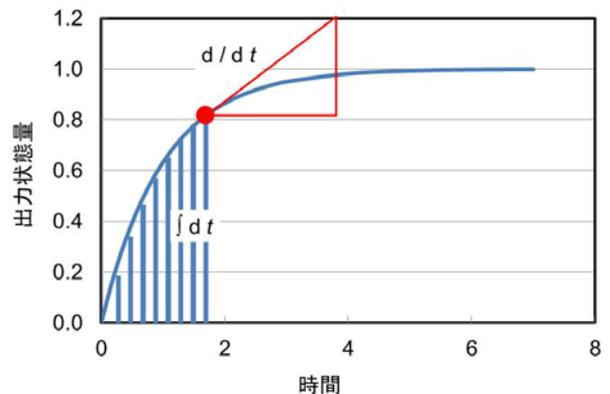


図5 状態量の評価

### 3.4. 製造事業から販売事業への回路論的視点から見た検討

製造事業と販売事業について、第3.1節にて、双対性の側面から評価した。前者は直列接続系で表され、後者は並列接続系で表されるように、その特性が大きく異なる。直列接続系では、回路中で最も大きい負荷抵抗が支配的になり、任意の位差量源のもとで、過大な負荷抵抗に対しては十分な流通量を得ることができない。このことは、一定の資金源のもとで所期の生産量を得られなく、結果として生産成果物も低下することを意味する。一方、並列接続系では、回路中の最も大きい負荷コンダクタンスが支配的となり、任意の流通量源のもとで、過大な負荷コンダクタンスに対して十分な位差量を得ることができない。このことは、一定の販売量（源）のもとで所期の（ロット当たりの）売上を得られなく、結果として営業・販売成果に当たる売上高（利益）が下がることを意味する。状況改善のためには、直列接続系である製造事業においては、突出した大きな負荷抵抗を小さくし、並列接続系である販売事業においては、同様に突出した大きな負荷コンダクタンスを小さくし、バランスのとれた負荷状態にするとともに、内部インピーダンス及び内部アドミタンスに留意して、インピーダンスマッチングを満足するような負荷インピーダンス及び負荷アドミタンスを設定し、その状態を基礎として、得られる価値を最大にするよう事業運営することが望まれる。

製品の製造から販売に至る製品の流れを回路論的モデルによって図示すると図6のようになる。図に示すように、回路左側に製造事業を、右側に販売事業を配している（S-P型）。この両者は直列回路で定まる負荷流通量（生産量）によって並列回路の流通量源である販売量（源）が定まる理想増幅器によって接続されている。この理想増幅器のゲインは1であるが、貯蔵機能も有することが多く、その周波数伝達関数は一時遅れ系として次式のように表現できる。

$$I_{p0}(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T} I_s(j\omega) \quad (9)$$

ここに、 $T$ : 時定数 [s] .

図6において、製品の製造から販売までの全体を見て分かるように、これまでは製造事業と販売事業にのみ着目してきたが、両者を接続する理想増幅器、この要素は物流プロセスに当たるが、異なる特性の2つのプロセスを接続する重要な役割を担っていることが分かる。式(9)では表しえない重要なマッチング機能を担っている。

図7は、表1に示す条件のもとに、各々の事業についてインピーダンスマッチングに基づいて求めた位差量と流通量の平衡点を図示している。表1より損益分岐点を求めると、製造事業では生産量1000

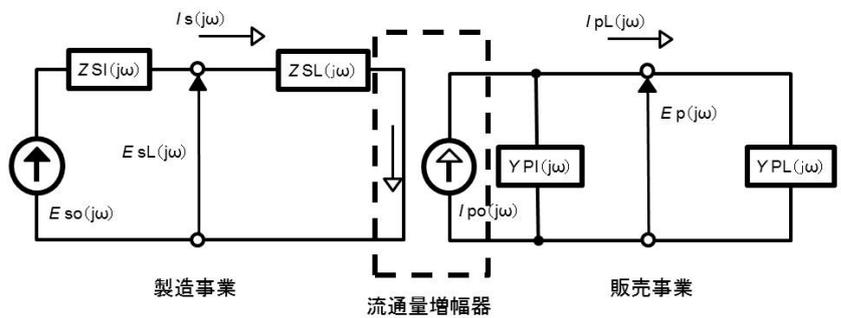


図6 製品の製造から販売までの回路論的モデル

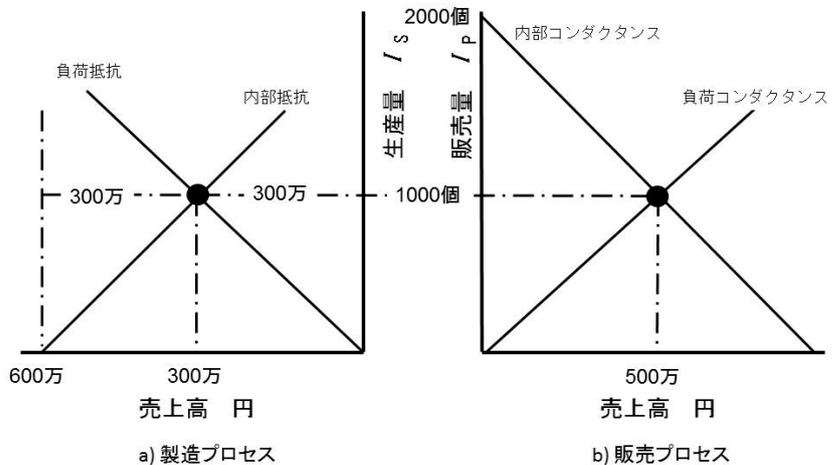


図7 各事業における平衡点

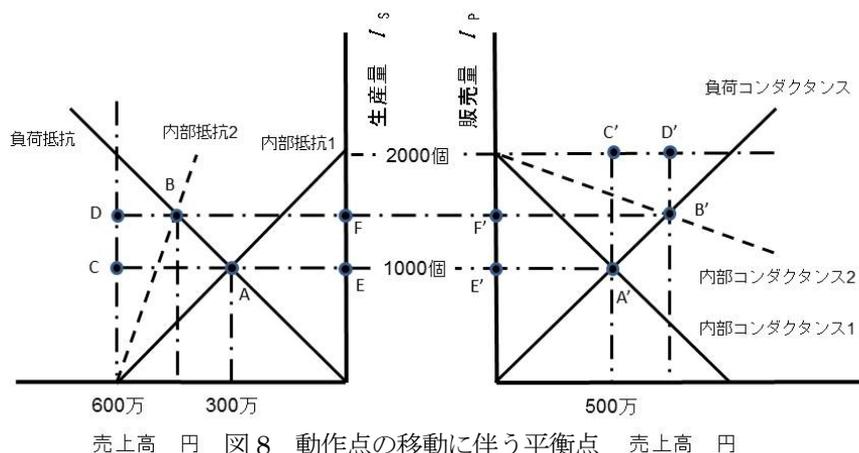
表1 試算条件

項目	製造事業	販売事業
仕入価格 円	1,500	3,000
卸価格 円	3,000	5,000
固定費 円	1,500,000	2,000,000
限界利益率 %	50	40

個, 売上高 (生産価格) 300 万円, 販売事業では販売量 1000 個, 売上高 500 万円を得る. これより各事業についてソースと負荷の平衡状態を図示したものが図7になる. 損益分岐点での試算であることから内部インピーダンス (内部アドミタンス) での消費と負荷での生産 (売上) とが一致して, 利益が生まれる状況にはない.

つぎに, 損益分岐点から利益がもたらされるように平衡点を移動

する場合を考える. 図8に示すように, いずれの場合においても卸価格に変更はないことから, 負荷の特性に変更はない. 内部インピーダンス (内部アドミタンス) の特性が図中の実線から破線のように変わることによって, 平衡点が点Aから点Bに, 一方では点A'から点B'に移り, 製造事業では  $AE=AC$  に代わって  $FB>BD$  となり, 内部消費より生産価値が上回り, 利益が発生する. 販売事業においても, 同様に,  $B'F'>A'E'$  となり, 点B'での売上が点A'の売上を上回ることになる. このように, 回路論的モデルをもとに, 二象限図に両事業の平衡関係を表すことによって, 各々の事業の連携関係ならびに運営状況を容易に示すことができる.



#### 4. まとめ

以上に, ある製品の製造から販売に至る事業について, 事業のメカニズムを回路論的視点に立ってモデル化を行い, モデル化を通してそれぞれの特性を明らかにしてきた. 製造事業はキルヒホッフの電圧側に準ずる直列接続系によって, 販売事業はキルヒホッフの電流則に準ずる並列接続系としてとらえることができ, 両者は双対な関係にあることを示した. 最終的には, これらの双対な回路論的モデルをマッチングプロデューサーとしての理想増幅器をもって接続し, 製品の製造から販売までを一貫して回路論的モデルで示し, 事業全般に及ぶ仕組み, すなわち物流的な流れと損益の発生の流れを明らかにした. また, 製造から販売に至る各事業の損益評価に当たって, インピーダンスマッチングの考え方を導入し, 二象限図に損益バランスを示し, 製造事業と販売事業の連携関係を明らかにするとともに, 事業全体の中で各事業を特徴づける要素の位置づけを明確にした.

本報は, 一連の研究の中の第1報であり, 詳細な検討はもとより, 検討の及ばない点が少なくない. また, このような評価手法を単に製造と販売という狭い範囲に限定することなく, これからの社会システムの情報システム化への展開を含め, 今後の研究の中でより広い視野を持って取り上げていきたい.

おわりに, 本研究に当たり一般社団法人日本クエン酸サイクル研究会会長 五味康昌様, 阪神タイガース社長 南信男様より貴重なご支援, ご助言をいただいた. 特記し感謝の意を表する.

#### 参考文献

- [1] 高橋利衛, “自動制御の数学”, オーム社, 1961.
- [2] 高橋利衛, “基礎工学セミナー”, 現代数学社, 1981.
- [3] 丹澤, 橋詰, 寺島, 町山, “スチームタービンと R11 タービンよりなる直結型バイナリータービンシステムの力学的挙動に関する研究 (第1報, システムの動的特性に関する回路論的モデル)”, 日本機械学会論文集, 60 - 578 (1994) pp.282 - 289.
- [4] Tomizawa, Takeshita, Tsuru, Amano, Akiba, Hashizume, “Modeling of the Main Component of the Bottoming Stage in an Advanced Co-Generation System on the Operational Planning”, JSME Int J Ser B, Jpn Soc Mech Eng, 45 -3 (2002) pp. 446-450.