

Title	鉄鋼業のプロセスモデルの開発：環太平洋地域一般均衡モデルの鉄鋼部門サブモデル
Sub Title	
Author	新保, 一成(Shinpo, Kazushige) 平形, 尚久(Hirakata, Naohisa)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2000
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-84
JaLC DOI	
Abstract	<p>1 はじめに日本の鉄鋼業における、エネルギー需要を工程別に分析することによって、正確に把握することを目的としている。工程別に分析をすることによって、技術、設備が導入された際のエネルギー需要に与える影響をより正確にとらえることができる。これによって、日本の技術を海外に移転した際の効果を考える際に有益な情報を得ることができる。また、更に、ある技術、設備のもとでのエネルギー需要だけでなく、このような技術、設備がなぜ導入されていったのを説明していきたい。工程別に分析することのメリットは、鉄鋼業においては、工程ごとの設備、技術に基づいて、エネルギー、原材料、その他の投入とその工程の産出があるためである。つまり、鉄鋼業では、鉄鋼業における最終製品を作るための設備、技術がまとまって1つしかないというイメージではなく、工程ごとの技術、設備が寄り集まって一つの産業を形成しているのである。それに伴って、エネルギー効率等を変化させる技術の導入も鉄鋼業を一つの技術と捉え、その技術を変化させると言うよりも、ある工程に導入され、その工程におけるエネルギー効率を変化させた結果として全体の熱効率も変化することになる。分析の方法として、ベストな方法は、すべての工場一つ一つにおいて、このように工程別の分析ができれば、技術、設備の導入による効果をより正確に把握することができる。そして、各工場の集計として全体を考えることができ、より精密な分析が行える。しかし、これはデータ上の制約のため、工程ごとに分析することは可能だが、これをパネルデータとして、全ての一つ一つの工場としての情報は得られない。そのため工程ごとのデータは一つ一つの工場の情報、ここでは主に投入量や生産量を集計したもとでの分析を行う。もう一つの方法として、一つの工場において、データを直接使用せず、工学的に既に得られている実験結果等をパラメータに用いてモデルを作成し、分析する工学的生産関数から分析する方法も考えられるが、このような方法であると、各工場において、ある時期においては採用している技術、設備が異なっているため、日本の鉄鋼業全体を分析し、経済モデルに結びつけることが難しい。そのため、工程別で各工場の集計したデータを用いて、それもとにモデルを作成し、分析することにした。このとき、工学的な情報もサイドインフォメーションとしてできる限りモデルの特定化の材料として活かすことによって、最低限必要なエネルギー量などの境界をモデルに取り込むことができる。この分析では、個々の主体の技術的特性を活かしながら集計したエネルギー需要などを求める手段として、生産技術に関するパラメータの分布を仮定して集計する方法を試みている。また、この分析の特徴は、日本の鉄鋼業全体のエネルギー需要、エネルギー効率をとらえられることである。日本の鉄鋼業の最終製品とエネルギーの関係が分かれば、エネルギー効率も計算できるし、日本の鉄鋼業全体のエネルギー、原材料の需要の構造が分かれば、その技術、設備が導入されることによって鉄鋼業全体、ひいては日本全体の経済にどのようなインパクトを与えるかを知ることができる。つまり、エネルギーや原材料に関する技術、設備に関する情報と経済のモデルをリンクでき、日本全体の経済を記述する経済モデルと対応させることも可能になるのである。このように、生産の技術をとらえることは、アジア等の環境問題を分析する際にも有用な分析となりうる。つまり、中国等のアジアの発展途上国でのシュミレーションにおいて、技術を移転させたとき、どの変数を変化させ、どの工程でどれくらい熱効率が変化し、それによって中国の鉄鋼業の熱効率がどのように変化するかを知ることができる。現在のところは、その技術設備の導入を与えたもとでのエネルギー効率しか導くとはできない。しかし、将来的には価格その他の環境に応じて、投資関数などと結びつけて、どのような技術を、いつ導入するのかを説明できるモデルが理想である。また、モデルにおいては、今回は簡単なモデルを作成するに留まった。鉄鋼業の一つの特徴として、排ガスなどのエネルギーを自家発電や生産工程に燃料として利用することがあげられるが、そのような循環するシステムのモデル作成は今後の課題とする。高炉ガス、コークス炉ガスなどは、いくつかの生産工程や、自家発電などにとって非常に重要なエネルギーである。しかし、鉄鋼業では、これは高炉ガスならば、銑鉄の生産量と他の要因によって、また、コークス炉ガスに関しては、コークスの生産量によって、それぞれのガスの発生量が決定され、基本的に、石炭や重油のように需要する分だけ購入し、消費することができない。このような制約や自家発電に関する行動を考えて、モデルを今後作成する必</p>

	要がある。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000084-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

鉄鋼業のプロセスモデルの開発

環太平洋地域一般均衡モデルの鉄鋼部門サブモデル

新 保 一 成
平 形 尚 久

No.G-84

学振未来 WG5-8

鉄鋼業のプロセスモデルの開発

環太平洋地域地域一般均衡モデルの鉄鋼部門サブモデル

新保一成 (慶應義塾大学商学部) 平形尚久 (慶應義塾大学大学院)

平成 12 年 2 月 15 日

1 はじめに

日本の鉄鋼業における、エネルギー需要を工程別に分析することによって、正確に把握することを目的にしている。工程別に分析をすることによって、技術、設備が導入された際のエネルギー需要に与える影響をより正確にとらえることができる。これによって、日本の技術を海外に移転した際の効果を考える際に有益な情報を得ることができる。また、更に、ある技術、設備のもとでのエネルギー需要だけでなく、このような技術、設備がなぜ導入されていったのを説明していきたい。

工程別に分析することのメリットは、鉄鋼業においては、工程ごとの設備、技術に基づいて、エネルギー、原材料、その他の投入とその工程の産出があるためである。つまり、鉄鋼業では、鉄鋼業における最終製品を作るための設備、技術がまとまって1つしかないというイメージではなく、工程ごとの技術、設備が寄り集まって一つの産業を形成しているのである。それに伴って、エネルギー効率等を変化させる技術の導入も鉄鋼業を一つの技術と捉え、その技術を変化させると言うよりも、ある工程に導入され、その工程におけるエネルギー効率を変化させた結果として全体の熱効率も変化することになる。

分析の方法として、ベストな方法は、すべての工場一つ一つにおいて、このように工程別の分析ができれば、技術、設備の導入による効果をより正確に把握することができる。そして、各工場の集計として全体を考慮することができ、より精密な分析が行える。しかし、これはデータ上の制約のため、工程ごとに分析することは可能だが、これをパネルデータとして、全ての一つ一つの工場としての情報は得られない。そのため工程ごとのデータは一つ一つの工場の情報、ここでは主に投入量や生産量を集計したもとでの分析を行う。もう一つの方法として、一つの工場において、データを直接使用せず、工学的に既に得られている実験結果等をパラメータに用いてモデルを作成し、分析する工学的生産関数から分析する方法¹も考えられるが、このような方法であると、各工場において、ある時期においては採用している技術、設備が異なっているため、日本の鉄鋼業全体を分析し、経済モデルに結びつけることが難しい。そのため、工程別で各工場の集計したデータを用いて、それもとにモデルを作成し、分析することにした。このとき、工学的な情報もサイドインフォメーションとしてできる限りモデルの特定化の材料として活かすことによって、最低限必要なエネルギー量などの境界をモデルに取り込むことができる。この分析では、個々の主体の技術的特性を活かしながら集計したエネルギー需要などを求める手段として、生産技術に関するパラメータの分布を仮定して集計する方法を試みている²。

また、この分析の特徴は、日本の鉄鋼業全体のエネルギー需要、エネルギー効率をとらえられることである。日本の鉄鋼業の最終製品とエネルギーの関係が分かれば、エネルギー効率も計算できるし、日本の鉄鋼業全体のエネルギー、原材料の需要の構造が分かれば、その技術、設備が導入されることによって鉄鋼

¹工学的生産関数の特徴については Chenery[1] を参照

²主体の技術パラメータの分布を仮定して、集計したところの生産関数などを求めた分析は Houthakker[4], Johansen[2] を参照。理論的な応用例としては、Hochman and Zilberman[3] を参照

業全体、ひいては日本全体の経済にどのようなインパクトを与えるかを知ることができる。つまり、エネルギーや原材料に関する技術、設備に関する情報と経済のモデルをリンクでき、日本全体の経済を記述する経済モデルと対応させることも可能になるのである。このように、生産の技術をとらえることは、アジア等の環境問題を分析する際にも有用な分析となりうる。つまり、中国等のアジアの発展途上国でのシュミレーションにおいて、技術を移転させたとき、どの変数を変化させ、どの工程でどれくらい熱効率が変化し、それによって中国の鉄鋼業の熱効率がどのように変化するかを知ることができる。

現在のところは、その技術、設備の導入を与えたもとのエネルギー効率しか導くとはできない。しかし、将来的には価格その他の環境に応じて、投資関数などと結びつけて、どのような技術を、いつ導入するのかを説明できるモデルが理想である。

また、モデルにおいては、今回は簡単なモデルを作成するに留まった。鉄鋼業の一つの特徴として、排ガスなどのエネルギーを自家発電や生産工程に燃料として利用することがあげられるが、そのような循環するシステムのモデル作成は今後の課題とする。高炉ガス、コークス炉ガスなどは、いくつかの生産工程や、自家発電などにとって非常に重要なエネルギーである。しかし、鉄鋼業では、これは高炉ガスならば、鉄の生産量と他の要因によって、また、コークス炉ガスに関しては、コークスの生産量によって、それぞれのガスの発生量が決定され、基本的に、石炭や重油のように需要する分だけ購入し、消費することができない。このような制約や自家発電に関する行動を考えて、モデルを今後作成する必要がある。

2 データ

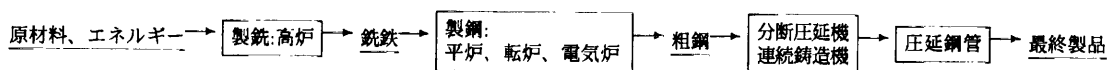
データは、鉄鋼統計年報、鉄鋼統計月報を使用した。そして、データとの関連から、分析範囲は1966年から1997年までを分析した。ただし、この分析期間は、各年における鉄鋼統計の作り方はことなっているため、工程によって分析期間が異なっている。

また、鉄鋼統計における調査の範囲は、「鉄鉄、フェロアロイ、粗鋼、鋼半製品、鍛鋼、鋳鋼、熱間圧延鋼材、冷間仕上鋼材、めっき鋼材、冷間ロール成型形鋼、鋼管、鉄鋼加工製品、鋳鉄管を生産する全ての事業所および普通鋼・特殊鋼鋼材を取り扱う主要な販売業者である。」とあるため、日本の鉄鋼業全てをカバーしているといっていだろう。

ただし、一部の設備に関するデータは、鉄鋼年鑑の記事から作成したものもある。

3 鉄鋼業の生産プロセスの概観

鉄鋼業の生産プロセスは、主に製鉄工程、製鋼工程、圧延表面処理工程に分かれる。生産のフローを大まかに示すと次のようになる。



それぞれの工程の役割は、簡単に説明すると次の通りである

1. 製鉄工程においては、鉄鉱石、焼結鉱などの酸化鉄を、石炭コークスを使用して還元し、鉄鉄を製造する。コークス、焼結鉱は、それぞれコークス炉、焼結炉で製造される。コークス炉では、原料炭をもとに石炭コークスを製造する。また、焼結炉では、石灰石、鉄鉱石、コークス等を使用し、焼結鉱を製造する。製鉄工程を考える際にはこのようなプロセスも考える必要がある。また、高炉、コークス炉では、副産物として高炉ガス、コークス炉ガスが排出され、自家発電や他の工程で利用され、この流れをとらえることも重要である。

2. 製鋼工程は粗鋼を作る工程である。粗鋼の作り方には主に三つの方法がある。平炉、転炉、電気炉である。ただし、現在では平炉は使用されていない。そして、それぞれの炉で作られた粗鋼は連続鋳造機、分断圧延機を通してビレット、ブルーム、スラブが作られる。
3. 製鋼工程で作られたビレット、ブルーム、スラブは圧延表面処理工程において最終製品に加工され、さまざまな産業に出荷される。

4 データからの技術的特性の設定

4.1 銑鉄工程

製鉄工程は、主にコークス炉、焼結炉、高炉の三つに分かれる。まず、データからコークスを生産するために必要とする原料炭の投入係数は固定とする(図(1))。焼結炉に関しては、単純化のため石炭コークス、石灰石、電力、鉄鉱石の投入は固定投入とする。高炉では、メインのエネルギー投入を、微粉炭(石炭)、重油、石炭コークスとする。これら三つのエネルギーの技術的關係は、高炉においては通常必要に応じて、コークス比を低下させるために重油、あるいは微粉炭を吹き込む。ここで、コークスのみでの銑鉄の生産は可能であるが、微粉炭、重油のみでの生産はできないと考える。また、通常、微粉炭と重油の両方を補助燃料としては同時に使用しない。この三つのエネルギーの投入比率は図(5)に示してある。そして、この三つのエネルギーの投入比率は価格によって決定する。

4.2 製鋼工程

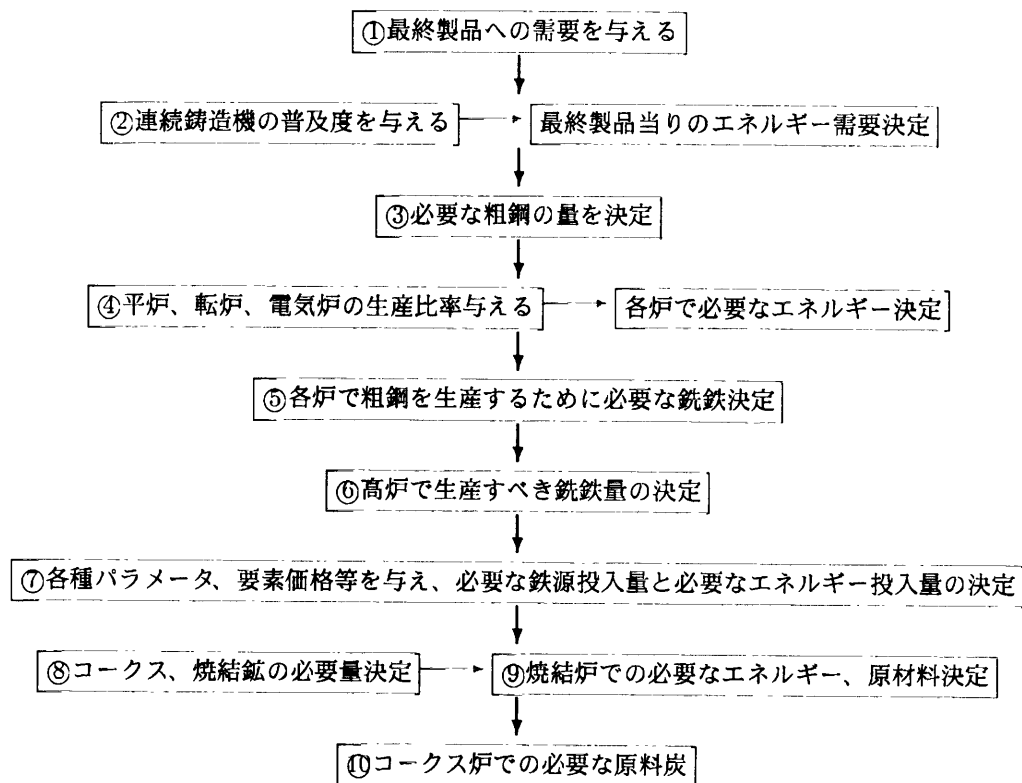
製鋼工程は、平炉、転炉、電気炉である。平炉、転炉、電気炉の各炉において鉄源投入は一定とする(図(10)、図(11)、図(12))。また、その鉄源の投入シェアは必要に応じてパラメータとして与える。平炉は銑鉄、鉄屑の比率をかなりフレキシブルに変化させることが可能で、それによってエネルギー需要が変化する。転炉は、主に鉄源として銑鉄が投入され、エネルギーは酸素以外はほとんど使用しない。電気炉は、主な鉄源は鉄屑であり、酸素の投入量を増加させることによって、電力投入量を減少させることができる(図(13))。

4.3 鋼管圧延

この最終工程では、連続鋳造の普及率によって、熱効率が大幅に改善したことが分かる(図(14))。しかし、電力の投入係数はほぼ一定で、重油、高炉ガス、コークス炉ガスの投入比率は変化がない(図(16))。また、連続鋳造が普及するにつれて最終製品1単位生産するための必要な粗鋼量は減少する。

5 分析の流れ

以上のようなデータから技術的特性を設定し、ここからモデルの説明を行う。モデルの大まかな流れは次のフローチャートの通りである。



- ①生産すべき最終製品の重量が与えられる。
- ②連続鋳造機の普及度によって処理する際のエネルギー効率が変化するため、普及度を与えることによって、表面圧延処理工程におけるエネルギー需要が決定する。
- ③最終製品に対する必要な粗鋼量が決定する。
- ④平炉、転炉、電気炉の生産比率を与えることによって、各炉で与えられた粗鋼量を生産するためのエネルギーが決定する。ここで各炉には、それぞれ各種のパラメータを与えなくてはならない。
- ⑤各炉で生産すべき粗鋼が決まることにより、必要な銑鉄の合計量が決定する。
- ⑥高炉で生産すべき銑鉄の量が決定。
- ⑦各種のパラメータを与えることによって、石炭コークス、石炭、重油等のエネルギー、焼結鉱、鉄鉱石、ペレット等の原材料の需要量が決まる。
- ⑧コークス、焼結鉱の必要量が決定
- ⑨焼結炉における焼結鉱の需要が決定し、焼結炉でのエネルギー、原材料需要量が決定。
- ⑩焼結炉、高炉等におけるコークス需要の合計を満足するようにコークス炉でコークスを製造する。それに伴い、原料炭、その他の投入要素が決定する。

6 モデル

モデルでは、最終生産物に1単位の需要を与えたときの鉄鋼業におけるエネルギー原材料の需要量を導出できるようにする。ここまで行ってきたデータからの分析に基づき、観測された事実を踏まえつつ、モデルを構築してゆくことにする。つまり、このモデルは工学的に実験された結果に基づき、それを利用して生産関数の導出を行う工学的生産関数とは、観測に基づいてモデルを構築する、という点において異なっている。

6.1 鋼管圧延表面処理工程

ここで、最終製品への需要 Y_f が与えられたとすると、その最終製品 Y_f とそれに使われる粗鋼 X_{st} との関係は、

$$X_{st} = a_{st}Y_f \quad (1)$$

ただし、

$$a = a(\theta); a'(\theta) < 0 \quad (2)$$

θ : 連続鋳造機の普及率

ここで連続鋳造機の普及率 θ を与えることによって、この工程におけるエネルギー需要が次のように求まる。ちなみに、添字の st は $steel$ の略である。

まず電力に関しては、連続鋳造機の普及率に関係なく固定投入であると仮定したから

$$E_{elec.f} = a_{elec}Y_f \quad (3)$$

となる。また、その他のエネルギー投入、高炉ガス、コークス炉ガス、重油をそれぞれ $E_{bfg.f}$; $E_{cog.f}$; $E_{hoil.f}$ として

$$E_{bch.f} = E_{bfg.f} + E_{cog.f} + E_{hoil.f} \quad (4)$$

と定義する。そうすると、これら三つのエネルギー投入量 $E_{bch.f}$ と最終製品 Y_f の関係は連続鋳造機の普及率 θ に依存するため、次のように書ける。

$$E_{bch} = a_{bch.f}Y_f \quad (5)$$

$$a_{bch.f} = a_{bch.f}(\theta) \quad (6)$$

ここで

$$a'_{bch.f}(\theta) < 0$$

である。さらに、 E_{bfg} ; E_{cog} ; E_{hoil} それぞれの需要を決めるにあたって、それぞれのエネルギーのカロリー換算した消費シェアは安定していたため、シェアは固定であるとする、

$$E_{bfg.f} = \alpha_{bfg}E_{bch.f} \quad (7)$$

$$E_{cog.f} = \alpha_{cog}E_{bch.f} \quad (8)$$

$$E_{hoil.f} = \alpha_{hoil}E_{bch.f} \quad (9)$$

ここで、当然次の関係が成り立つ。

$$\alpha_{bfg} + \alpha_{cog} + \alpha_{hoil} = 1 \quad (10)$$

6.2 粗鋼の生産工程

粗鋼の生産方法には、大まかに分類して、三つの生産方式がある。平炉、転炉、電気炉である。モデルにおいては、先の式(1)の粗鋼必要量を満たすように、粗鋼をそれぞれの炉において生産しなければならない。ここでは、それぞれの炉の生産シェアは与えるものとして考える。つまり、次のように処理する。

$$X_{st} = X_{st.ohf} + X_{st.bos} + X_{st.eaf} \quad (11)$$

ここで、変数の定義は次の通りである。

$$\begin{aligned} X_{st.ohf} &: \text{平炉 (open hearth furnace) における粗鋼生産量} \\ X_{st.bos} &: \text{転炉 (basic oxygen steelmaking) における粗鋼生産量} \\ X_{st.eaf} &: \text{電気炉 (electric arc furnace) における粗鋼生産} \end{aligned}$$

ここでは、それぞれの炉での必要な生産量を与える。

6.2.1 平炉

ここでは平炉に対する粗鋼の需要 $X_{st.ohs}$ が与えられたときの、必要な原材料、エネルギー消費量を示す。

原材料投入 平炉において、投入される原材料は主に鉄源としての鉄くずと銑鉄である。その需要量を求める。鉄源投入の合計として次のように書ける。

$$M_{ohf} = M_{scrap.ohf} + X_{pig.ohf} \quad (12)$$

ここで、変数の定義のとしては次の通りである。

$$\begin{aligned} M_{ohf} &: \text{平炉における鉄源投入量} \\ M_{scrap.ohf} &: \text{平炉における鉄くず投入量} \\ X_{pig.ohf} &: \text{平炉における銑鉄 (pigiron) 投入量} \end{aligned}$$

ここで、平炉における鉄源は固定投入であるから、

$$M_{ohf} = a_{M.ohf} X_{st.ohf} \quad (13)$$

である。そして、次に鉄くずと銑鉄の投入比率を求める。この比率は、こちらで与える。また、平炉においては鉄くずは100%まで配合できるため、次のように書ける。

$$X_{pig.ohf} = \beta M_{ohf} \quad (14)$$

$$0 \leq \beta \leq 1$$

これで、銑鉄投入量 $X_{pig.ohf}$ が決定し、鉄くず投入量 $M_{scrap.ohf}$ も決定する。

エネルギー エネルギー投入量は、銑鉄と鉄くずの配合比率によって決定する。ここでの主なエネルギー投入は、重油、電力、酸素であり、それぞれ $E_{hoil.ohf}$, $E_{elec.ohf}$, $E_{ox.ohf}$ である。それぞれは銑鉄と鉄くずの配合比率によって決まるため、次のように書ける。

$$E_{hoil.ohf} = a_{hoil.ohf}(\beta) X_{st.ohf} \quad (15)$$

$$E_{elec.ohf} = a_{elec.ohf}(\beta) X_{st.ohf} \quad (16)$$

$$E_{ox.ohf} = a_{ox.ohf}(\beta) X_{st.ohf} \quad (17)$$

ここで、

$$a'_{hoil.ohf}(\beta) < 0$$

$$a'_{elec.ohf}(\beta) < 0$$

$$a'_{ox.ohf}(\beta) > 0$$

とする。重油と電力に関しては、銑鉄の配合比率が上昇すると、その投入係数は減少する。一方、酸素は銑鉄の配合比率が上昇すると投入係数は増加する。

6.2.2 転炉

転炉は、主に鉄源として銑鉄を使用する。溶銑を使っているため、その熱で反応を促進させるため、酸素以外のエネルギーをほとんど必要としない。

原材料 転炉における鉄源は、銑鉄と鉄くずである。配合割合は鉄くずは約 30%までしか配合できない。また、鉄源は固定投入である。そのため、次のように書ける。

$$M_{bos} = X_{pig.bos} + M_{scrap.bos} \quad (18)$$

$$M_{bos} = a_{M.bos} X_{st.bos} \quad (19)$$

また、くず鉄の配合比率を

$$\gamma = \frac{M_{scrap.bos}}{M_{bos}}$$

と書ける。この γ は鉄くずの配合比率であるため、この γ のおおよその上限値は 0.3 位である。よって、この上限の範囲内で γ を決めてやれば、転炉における粗鋼生産量 $X_{st.bos}$ ものとでの銑鉄と鉄くずの需要量が決まる。

エネルギー 転炉におけるエネルギーは、酸素だけであるとする。酸素の投入量に関しても単純化のため、固定投入とする。そのため、

$$E_{ox.bof} = a_{ox.bof} X_{st.bos} \quad (20)$$

となる。しかし、実際は、酸素の投入量は鉄くずの配合具合、作る粗鋼の種類等の操業条件によって変化するがここでは単純化のため一定とした。

6.2.3 電気炉

電気炉における主な鉄源は鉄くずであり、エネルギーは電力である。ここでは次のように考えることにする。

原材料 電気炉における、鉄くずは固定投入であるとする。しかし、実際はこの投入係数は操業条件などによって変化し、銑鉄を多く投入する場合もあるけれども、単純化のため一定と仮定して、定式化を行う。よって、電気炉における鉄くず投入量 $M_{scrap.eaf}$ は次のように決定する。

$$M_{scrap.eaf} = a_{scrap.eaf} X_{st.eaf} \quad (21)$$

今後、銑鉄の投入量が多くなるような操業が行われるようであれば、銑鉄も投入できるようにモデルを変更しなければならない。

エネルギー 電気炉におけるエネルギー投入係数は、使用している電気炉に応じて変化することが技術的に分かっている。そして、現状分析でも示したように、電力の投入係数は変化していて、一定ではない。その一つの理由としては、その投入係数は、1機当りの電気炉の規模が大きくなると小さくなるのである。つまり、炉が大型化したのは、大型炉のほとんどが、UHP 炉であったからである。UHP 理論によって、大型でかつ超大電流を使用するアーク炉の建設が多くなったのである。

電力の投入係数が、もう一つの原因としてあげられることは、補助燃料の使用である。酸素製鋼の技術によって、電力の投入係数は減少した。

$$E_{elec.eaf} = a_{elec.eaf} X_{st.elec} \quad (22)$$

$$a_{elec.eaf} = a_{elec.eaf}(\delta, \psi) \quad (23)$$

ここで、 δ, ψ はそれぞれ、UHP 操業の普及度、酸素製鋼の普及度とすれば

$$\frac{\partial a_{elec.eaf}}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial a_{elec.eaf}}{\partial \psi} < 0 \quad (24)$$

となる。現状分析のところでも述べたように、この電力の投入係数の変化と電気炉の規模の関係に関しては今後更なる分析が必要である。

6.3 高炉

先の粗鋼の生産工程から、必要な銑鉄の量が決まった。その量 X_{pig} は次のような値で、これで必要な粗鋼が生産できる銑鉄の量である。

$$X_{pig} = X_{pig.ohf} + X_{pig.bos} \quad (25)$$

このように、平炉での必要な銑鉄の量 $X_{pig.ohf}$ と、転炉での必要な銑鉄の量 $X_{pig.bos}$ の合計が、高炉で生産すべき銑鉄の量である。

この銑鉄に対する需要 X_{pig} が与えられたときの原材料とエネルギーの投入量と副産物の発生量を求めてみる。

6.3.1 原材料

高炉で使用する原材料は、焼結鉱 $M_{s.pig}$ 、ペレット $M_{p.pig}$ 、鉄鉱石 $M_{ore.pig}$ である。この三つの合計である鉄源の投入量と、銑鉄生産量の関係は固定であるとする。つまり、

$$M_{pig} = M_{s.pig} + M_{p.pig} + M_{ore.pig} \quad (26)$$

$$M_{pig} = a_{M.pig} X_{pig} \quad (27)$$

ここで、各鉄源のシェアを

$$\eta_s = \frac{M_{s.pig}}{M_{pig}}, \eta_p = \frac{M_{p.pig}}{M_{pig}}, \eta_{ore} = \frac{M_{ore.pig}}{M_{pig}}$$

とすると、このそれぞれのシェア $\eta_s, \eta_p, \eta_{ore}$ を与えることによって、銑鉄生産量 X_{pig} に対する焼結鉱、ペレット、鉄鉱石の需要量が決まる。

6.3.2 エネルギー

高炉で銑鉄を作る主なエネルギーは石炭コークス、石炭、重油であり、その他の主なエネルギーは高炉ガス、コークス炉ガス、電力である。ここでは、まず、石炭コークス、石炭、重油についての分析を行ったあと、その他のエネルギーの需要を分析する。

コークス、重油、石炭の投入 高炉におけるコークス、重油、石炭の投入についてのモデルを説明する。ここでは、モデルは未完成であるため、途中まで述べることにする。

高炉におけるこの三つのエネルギー投入は、前述の通りコークスのみで生産を行うか、コークスに加え重油を吹き込んで生産を行うか、コークスに加え微粉炭を吹き込むかに分類することができる。ここで、一つ一つの高炉は補助燃料として重油と微粉炭の両方を使用することはあまり考えられない。また、どのようなエネルギー投入の形態で生産を行うかは、同じ要素価格が与えられたもとでも、異なっている。

このような現状を踏まえてモデル化を行ってみる。ここでは、一つ一つの高炉が各々異なった技術パラメータを持っていて、それが分布していると考えるのである。つまり、分布の形状(パラメータ)によって、ある一つの要素相対価格が与えられたときの、データとして観察される集計された各エネルギーの投入係数が決定される。ここでは、吹き込むか、吹き込まないかは離散的な選択を行っており、ある高炉においては吹き込みを選択した場合には、その高炉の最大吹き込みを実現すると仮定する。

このモデルに似たモデルとしては、Houthakker[4],Johansen[2] が、各主体が固定投入係数の生産関数(完全補完の生産関数)を持つとき、その生産技術をあらわすパラメータが分布していることを仮定し、集計された生産関数についての議論を展開している。一方、このモデルでは、基本的に完全代替的な生産関数を持ち、そのため、要素価格に応じて各主体が、要素間の代替を行う。そのとき生産関数のパラメータが分布していると仮定したときに、集計した際の要素需要はどのように特定化することができるかを示している(モデルのグラフによる直観的説明は、図(18)、図(17))。また、このような構造をもつモデルとしては、Petri[8]の貿易理論におけるモデルがあげられる。このPetriのモデルでは、扱っている対象は異なるものの、モデルの構造は非常ににており、本モデル作成の際の参考となった。

6.3.3 モデルの設定

まず、単純化のために、とりあえず微粉炭吹き込みは考えず、

- 重油を吹き込んで、それにコークスを加えて銑鉄の生産を行う
- 重油吹き込みを行わず、コークスのみを使用して生産する

このような二つの選択肢しかないとの仮定のもとでのモデルを考えてみることにする。微粉炭吹き込みを考慮にいられたモデルは後で述べることにする。その他の前提として、

- ある高炉が重油吹き込みを選択したときには、その高炉の最大吹き込みで生産を行う。
- 各高炉で生産される生産物は同質的である。
- どのようなエネルギー相対価格が与えられても、各高炉の生産量の全体の生産に占めるシェアは変化がない。つまり、技術パラメータの密度関数の形状は変化がない。

ここでは、一つ一つの高炉が異なる技術を持ち、そのため、各高炉においては完全代替に極めて近い技術を持ちながら、集計したデータでは不完全代替のように観測されることを説明する。

記号の説明

- 生産要素 x_1, x_2
- 生産要素価格 p_1, p_2
- 全生産量 Y
- 各個体の生産関数 $y = \frac{1}{a}x_1 + \frac{1}{b}x_2$
- x_1 の最低必要量 a
- a, b の結合密度関数 $f(a, b)$
- x_1 の需要合計 X_1
- x_2 の需要合計 X_2

ここで、生産関数のパラメータである a, b が個体ごとに異なっており、それが分布していると考え。つまり、これは、高炉の特性が異なっているものと考えるのである。

ここで、各主体が重油吹き込みするかしないかは次のように決定する。この概念図は図 (17) に示す。次のような条件を満たす個体は x_1 のみを使用して生産する。つまり、吹き込みは行わない。このときは図 (17) では、点 $(a, 0)$ で生産を行う。分布におけるこのような個体が属している範囲を A とする。

$$-\frac{p_1}{p_2} > -\frac{b}{a} \quad (28)$$

一方、次のような条件を満たしていれば x_2 のみを使用して生産する。このときは図 (17) では、点 $(\underline{a}, b - \frac{b}{\underline{a}}a)$ で生産を行う。分布におけるこのような個体が属している範囲を B とする。

$$-\frac{p_1}{p_2} < -\frac{b}{a} \quad (29)$$

ここで、 x_1 の生産 1 単位当たりの最低必要量を θ としているため、 A, B の範囲は $\frac{1}{a} \geq \underline{a}$ の範囲に制約を受けることになる。

6.3.4 集計されたエネルギー需要量

ここで、全生産量当たりの x_1 のみを使用している個体の x_1 の需要量は次のようになる。ここでは、モデルが未完成のため、重油を吹き込みか、あるいはコークスのみで生産を行うかの二つの選択肢のみのモデルである。したがって、微粉炭吹き込みの技術が実用化されていないもとのモデルである。

$$\frac{X_1^A}{Y} = \int_A \int a f(a, b) da db \quad (30)$$

一方、 B の範囲で生産を行っている個体では次のようになる。まず、 X_1 に関しては、

$$\frac{X_1^B}{Y} = \theta \int_B \int f(a, b) da db \quad (31)$$

X_2 に関しては、

$$\frac{X_2^B}{Y} = \int_B \int \left(b - \frac{a}{b}\underline{a} \right) f(a, b) da db \quad (32)$$

つまり、観測される投入係数は次のようになる。

$$\frac{X_1}{Y} = \frac{X_1^A}{Y} + \frac{X_1^B}{Y} \quad (33)$$

$$\frac{X_2}{Y} = \frac{X_2^B}{Y} \quad (34)$$

ここで、推定すべき方程式は次のようになる。

$$\frac{X_1}{Y} = \int_A \int a f(a, b) da db + \underline{a} \int_B \int f(a, b) da db \quad (35)$$

$$\frac{X_2}{Y} = \int_B \int \left(b - \frac{a}{b} \underline{a} \right) f(a, b) da db \quad (36)$$

さらに、高炉では、鉄源における焼結鉱、ペレットの投入比率をあげると、熱効率が良くなるため、そのようなことを考慮にいれると、次ようになる。まず、

$$\alpha = \alpha \left(\frac{M_s + M_p}{M} \right) \quad (37)$$

とすると、

$$\frac{X_1}{Y} = \alpha \int_A \int a f(a, b) da db + \theta \int_B \int f(a, b) da db \quad (38)$$

$$\frac{X_2}{Y} = \alpha \int_B \int \left(b - \frac{a}{b} \underline{a} \right) f(a, b) da db \quad (39)$$

となる。ここで、焼結鉱の投入シェアは、焼結炉の設備の設置状況の関数であり、最終的には投資によって決定する。さらに、積分領域を具体的にあらわすと次のようになる。

$$A = \left\{ (a, b) \underline{a} \leq a \leq \frac{b}{p}, \underline{ap} \leq b \leq \bar{b} \right\} \quad (40)$$

$$B = \left\{ (a, b) \underline{a} \leq a \leq \bar{a}, \underline{ap} \leq b \leq ap \right\} \quad (41)$$

ここで \bar{a}, \bar{b} は積分を行う際に、便宜的に採用したもので、この値は積分を計算する際に便宜的に与えて計算するためのものである。そのため、モデルとは直接関係のない変数である。この \bar{a}, \bar{b} は計算する際に、結果に影響がないように、つまり、 \bar{a}, \bar{b} における分布の密度が 0 に十分近くなるように大きな値を与えてやれば良いのである。

ここでのモデルの概念図を図 (18) に示す。

その他のエネルギー投入 その他のエネルギー投入とは、ここでは電力、高炉ガス、コークス炉ガスのことである。電力に関してはほぼ固定投入とみなしていいだろう。

$$E_{elec, pig} = a_{elec, pig} X_{pig} \quad (42)$$

高炉ガス、コークス炉ガスについては、かなり変動しているが、その原因は特定化できない。そのため、高炉ガス、コークス炉ガスの投入係数は与えるものとする。

$$E_{bf, pig} = a_{bf, pig} X_{pig} \quad (43)$$

$$E_{cog, pig} = a_{cog, pig} X_{pig} \quad (44)$$

ここで、この 2 つの投入係数は固定として扱えないため、与えるものとする。

副産物の発生 高炉からは、排ガスとして高炉ガスが発生する。高炉ガスは、各生産工程に利用されるほか、特に自家発電、熱供給を行うためにボイラで多く利用される。先に述べたように、銑鉄生産あたりの高炉ガス発生量は、銑鉄生産当りの使用燃料が大きくなればなるほど、多くなるため次のように定式化する。

$$X_{bfg} = a_{bfg, pig} X_{pig} \quad (45)$$

$$a_{pig, pig} = a_{bfg, pig}(a_{pig}); a'_{bfg, pig}(a_{pig}) > 0 \quad (46)$$

炉頂圧発電 炉頂圧発電は、係数については、現状分析おいてみたように、炉頂圧発電設備の普及にしたがって、銑鉄当りの発電量が増加しているため、発電係数は炉頂圧発電の普及度の増加関数とする。そのため、次のように定式化する。ここで、 μ は炉頂圧発電の普及度である。

$$E_{elec, TRT} = a_{TRT} X_{pig} \quad (47)$$

$$a_{TRT} = a_{TRT}(\mu); a'_{TRT}(\mu) > 0 \quad (48)$$

6.4 焼結炉

この工程では、高炉で需要された焼結鉱 $M_{s, pig}$ を生産するための投入を求める。

6.4.1 原材料

この工程で考える原材料は鉄鉱石、石灰石 (limestone) である。ここでは両方とも固定投入とする。よって、次のように定式化する。

$$M_{orc, s} = a_{orc, s} X_{s, pig} \quad (49)$$

$$M_{l, s} = a_{l, s} X_{s, pig} \quad (50)$$

6.4.2 エネルギー

焼結炉で扱うエネルギーは、コークス、高炉ガス、コークス炉ガス、電力である。

コークスは年を経るごとに減少している。この原因は不明であるが、そこそこ安定しているため、単純化のため固定投入とする。そのため、次のように定式化する。

$$E_{coke, s} = a_{coke, s} X_{pig, s} \quad (51)$$

高炉ガスは、減少してきているが、その原因が分からないため、固定投入とはせず、投入係数を与えることにする。

$$E_{bfg, s} = a_{bfg, s} X_{pig, s} \quad (52)$$

コークス炉は減少している。原因は現状分析で述べたような設備の導入が考えられる。そのため、投入係数はその設備の普及度の減少関数とする。よって次のように定式化する。

$$E_{cog, s} = a_{cog, s} X_{pig, s} \quad (53)$$

$$a_{cog, s} = a_{cog, s}(\phi); a'_{cog, s}(\phi) < 0 \quad (54)$$

電力は固定投入とする。そのため、次のように定式化する。

$$E_{elec, s} = a_{elec, s} X_{pig, s} \quad (55)$$

6.5 コークス炉

このコークス炉で生産すべきコークスは、高炉と焼結炉で必要とされたコークスの量、つまり

$$E_{cokc} = E_{cokc.pig} + E_{cokc.s}$$

である。

石炭コークスを作るための原料炭の投入は固定投入とする。

$$E_{coal.cokc} = a_{coal.cokc} E_{cokc} \quad (56)$$

高炉ガスも固定投入とする。

$$E_{bfg.cokc} = a_{bfg.cokc} E_{cokc} \quad (57)$$

コークス炉ガス投入は、CDQなどのコークス炉が開発され投入係数が下がったと考えられる。そのため、次のように定式化する。

$$E_{cog.cokc} = a_{cog.cokc} E_{cokc} \quad (58)$$

$$a_{cog.cokc} = a_{cog.cokc}(\xi); a'_{cog.cokc}(\xi) < 0 \quad (59)$$

排ガスとしてのコークス炉ガスの発生は、データの分析から固定であるとする。そのため次のようになる。

$$E_{cog} = a_{cog} E_{cokc} \quad (60)$$

7 エネルギーごとの需要量

ここでは、1990年における数値を比較してみる。

7.1 石炭コークス

石炭コークスの需要量は、このモデルでは、高炉と焼結炉で使用されると考えている。その他の部門での消費はほとんどない。

工程	推定値	鉄鋼統計	産業連関表
高炉	34877302	35753606	35891288
焼結炉	4913167	4555537	?
その他	0	1027892	3359871
合計	39790469	41337035	39251159

7.2 石炭

石炭の需要は、高炉の微粉炭吹き込みによって使用される。コークス製造用に使用される以外の石炭の需要としては、高炉の他に焼結炉、フェロアロイ用、発電ボイラがある。このような部門の推計も行う必要がある。

工程	推定値	鉄鋼統計	産業連関表
高炉	4893431	4724448	2747761
その他	0	2119935	291115
合計	4893431	6844383	3038876

7.3 電力

電力は現在のところ、焼結炉、電気炉、圧延鋼管における需要量のみを特定化している。このような工程の他に需要量が多い工程は、高炉、フェロアロイ、転炉、その他の鉄鋼部門である。

工程	推定値	鉄鋼統計	産業連関表
焼結炉	3701431	3322936	3060000?(銑鉄の値)
電気炉	16857404	15717875	10937000
圧延鋼管	19844100	19336584	18411000
その他	0	31433025	13776000
合計	40402935	69810420	46184000

7.4 重油

重油の推定は現在、1990年のデータでは圧延鋼管のみである。以下の表からも分かるように、現状では半分以上が説明できていない。

工程	推定値	鉄鋼統計	産業連関表
圧延鋼管	1002002	1055053	1171155
その他	0	1349648	668051
合計	1002002	2404701	1839206

7.5 鉄鉱石

鉄鉱石はおもに、高炉と焼結炉でしか使用されていない。そのため、高炉と焼結炉での消費の推定で十分であると考えられる。

工程	推定値	鉄鋼統計	産業連関表
焼結炉	19109219	19586887	
高炉	82378518	82357831	125755804
その他	0	2093165	0
合計	101487737	105790087	125755804

8 鉄鋼業の二酸化炭素排出量について

ここでは、鉄鋼業の二酸化炭素排出量について述べる。ただし、鉄鋼業における二酸化炭素排出量を算出するには注意が必要である。それは、高炉ガス等の排ガスの取扱である。ここでは、排ガスが回収され、リサイクルされたものをどのように評価するかである。ここでは、次のような2パターンの計算を行った。

- 回収された排ガスをその工程におけるマイナスの投入として計算する。
- 回収されたものを考慮しないで計算した場合。

ただし、ここではコークス製造工程は除いて計算する。以下の表で算出結果を示す。
排ガスの回収分をマイナス投入した場合 100kgC

	焼結炉	ペレット	高炉	フェロアロイ	転炉	電気炉
1981	44614019	541062.8	157355857	9204499	1162350	1775235
1982	41573039	619716.0	151827685	9241218	1174357	1812115
1983	38060052	782208.4	137177340	7313995	1280537	1972229
1984	42478567	795684.1	147742161	8320121	1914584	2280157
1985	41443563	848147.1	149096515	8372079	1972091	2528055
1986	37829333	736140.6	136005509	7236278	1951179	2621504
1987	37592225	813749.5	133730956	6447725	2332748	2687431
1988	43591660	842895.9	140736309	7480275	2275551	2801932
1989	45738707	780308.2	138459890	7917349	2574553	3022288
1990	45507580	720365.5	135851777	7304035	2690345	3125367
1991	46234172	736883.9	134235713	7621141	2367277	3159655
1992	41223653	734644.4	121821546	6780599	2627694	3154492
1993	39911778	862184.2	121046126	6187396	4146915	3023519
1994	41379129	911207.3	115585152	5854284	4150277	2853807
1995	41399276	922199.1	118385345	7678688	4685523	2507470
1996	41209714	958528.8	116339847	7387752	5579547	2793808
	鍛鋼	鋳鋼	圧延鋼管	発電ボイラ	その他鉄鋼	その他
1981	1688227	692487.2	38026192	66887065	4299826	11936997
1982	1605176	703571.3	34653104	86873053	4407264	12235846
1983	1495274	606997.0	32036836	84566978	4333993	12157051
1984	1569376	604965.9	34587985	91148978	4323058	9365488
1985	1523187	542117.3	32841491	92775656	4754590	6445018
1986	1240534	462589.5	29647694	86464053	4529722	5229155
1987	1188499	431710.7	29804980	88625351	4306454	5496713
1988	1283778	476074.7	32562879	93578496	5757280	6495290
1989	1384557	481273.3	33172005	98170955	5848666	6824958
1990	1547183	512451.2	33699937	101053346	6188711	4904079
1991	1534816	456623.3	33734696	99399722	5973981	3712693
1992	1430801	404078.6	31295214	94619321	7013238	3700303
1993	1365556	389601.8	31983356	99605862	5842293	3522746
1994	1461995	413208.2	31531741	100754710	6235837	3756014
1995	1469414	471308.1	32190200	99774283	6716393	3818543
1996	1418730	453225.2	31182487	104003843	6838243	3535302

排ガスの回収分をマイナス投入しない場合 100kgC

	焼結炉	ペレット	高炉	フェロアロイ	転炉	電気炉
1981	44614019	541062.8	425323125	9204499	1162350	1775235
1982	41573039	619716.0	417086927	9241218	1174357	1812115
1983	38060052	782208.4	396631586	7313995	1280537	1972229
1984	42478567	795684.1	432406580	8320121	1914584	2280157
1985	41443563	848147.1	437488509	8372079	1972091	2528055
1986	37829333	736140.6	408415056	7236278	1951179	2621504
1987	37592225	813749.5	401900843	6447725	2332748	2687431
1988	43591660	842895.9	431584474	7480275	2275551	2801932
1989	45738707	780308.2	434984519	7917349	2574553	3022288
1990	45507580	720365.5	431352831	7304035	2690345	3125367
1991	46234172	736883.9	429708082	7621141	2367277	3159655
1992	41223653	734644.4	399971363	6780599	2627694	3154492
1993	39911778	862184.2	402353779	6187396	4146915	3023519
1994	41379129	911207.3	400067760	5854284	4150277	2853807
1995	41399276	922199.1	407634580	7678688	4685523	2507470
1996	41209714	958528.8	408630796	7387752	5579547	2793808
	鍛鋼	鋳鋼	圧延鋼管	発電ボイラ	その他鉄鋼	その他
1981	1688227	692487.2	38026192	66887065	4299826	11936997
1982	1605176	703571.3	34653104	86873053	4407264	12235846
1983	1495274	606997.0	32036836	84566978	4333993	12157051
1984	1569376	604965.9	34587985	91148978	4323058	9365488
1985	1523187	542117.3	32841491	92775656	4754590	6445018
1986	1240534	462589.5	29647694	86464053	4529722	5229155
1987	1188499	431710.7	29804980	88625351	4306454	5496713
1988	1283778	476074.7	32562879	93578496	5757280	6495290
1989	1384557	481273.3	33172005	98170955	5848666	6824958
1990	1547183	512451.2	33699937	101053346	6188711	4904079
1991	1534816	456623.3	33734696	99399722	5973981	3712693
1992	1430801	404078.6	31295214	94619321	7013238	3700303
1993	1365556	389601.8	31983356	99605862	5842293	3522746
1994	1461995	413208.2	31531741	100754710	6235837	3756014
1995	1469414	471308.1	32190200	99774283	6716393	3818543
1996	1418730	453225.2	31182487	104003843	6838243	3535302

排ガスの回収分をマイナス投入した場合:シェア%

	焼結炉	ペレット	高炉	フェロアロイ	転炉	電気炉
1981	13.1922	0.1600	46.5297	2.7217	0.3437	0.5249
1982	11.9902	0.1787	43.7889	2.6653	0.3387	0.5226
1983	11.8278	0.2431	42.6303	2.2730	0.3979	0.6129
1984	12.3080	0.2305	42.8075	2.4107	0.5547	0.6607
1985	12.0777	0.2472	43.4503	2.4398	0.5747	0.7367
1986	12.0493	0.2345	43.3202	2.3049	0.6215	0.8350
1987	11.9927	0.2596	42.6630	2.0570	0.7442	0.8573
1988	12.9014	0.2495	41.6525	2.2139	0.6735	0.8293
1989	13.2816	0.2266	40.2061	2.2990	0.7476	0.8776
1990	13.2634	0.2100	39.5948	2.1288	0.7841	0.9109
1991	13.6317	0.2173	39.5780	2.2470	0.6980	0.9316
1992	13.0950	0.2334	38.6974	2.1539	0.8347	1.0020
1993	12.5553	0.2712	38.0783	1.9464	1.3045	0.9511
1994	13.1409	0.2894	36.7068	1.8592	1.3180	0.9063
1995	12.9365	0.2882	36.9933	2.3995	1.4641	0.7835
1996	12.8099	0.2980	36.1640	2.2965	1.7344	0.8684
	鍛鋼	鋳鋼	圧延鋼管	発電ボイラ	その他鉄鋼	その他
1981	0.4992	0.2048	11.2442	19.7783	1.2714	3.5297
1982	0.4630	0.2029	9.9944	25.0552	1.2711	3.5290
1983	0.4647	0.1886	9.9560	26.2807	1.3469	3.7780
1984	0.4547	0.1753	10.0217	26.4100	1.2526	2.7136
1985	0.4439	0.1580	9.5708	27.0371	1.3856	1.8782
1986	0.3951	0.1473	9.4433	27.5404	1.4428	1.6656
1987	0.3792	0.1377	9.5084	28.2734	1.3739	1.7536
1988	0.3799	0.1409	9.6373	27.6956	1.7039	1.9224
1989	0.4020	0.1398	9.6325	28.5070	1.6983	1.9818
1990	0.4509	0.1494	9.8220	29.4526	1.8037	1.4293
1991	0.4525	0.1346	9.9463	29.3070	1.7614	1.0946
1992	0.4545	0.1284	9.9411	30.0564	2.2278	1.1754
1993	0.4296	0.1226	10.0612	31.3337	1.8379	1.1082
1994	0.4643	0.1312	10.0137	31.9971	1.9803	1.1928
1995	0.4592	0.1473	10.0589	31.1776	2.0988	1.1932
1996	0.4410	0.1409	9.6930	32.3293	2.1257	1.0989

排ガスの回収分をマイナス投入しない場合:シェア%

	焼結炉	ペレット	高炉	フェロアロイ	転炉	電気炉
1981	7.3602	0.0893	70.1678	1.5185	0.1918	0.2929
1982	6.7931	0.1013	68.1531	1.5100	0.1919	0.2961
1983	6.5481	0.1346	68.2391	1.2583	0.2203	0.3393
1984	6.7448	0.1263	68.6582	1.3211	0.3040	0.3620
1985	6.5624	0.1343	69.2739	1.3257	0.3123	0.4003
1986	6.4515	0.1255	69.6522	1.2341	0.3328	0.4471
1987	6.4633	0.1399	69.0992	1.1086	0.4011	0.4621
1988	6.9333	0.1341	68.6438	1.1897	0.3619	0.4456
1989	7.1366	0.1218	67.8709	1.2353	0.4017	0.4716
1990	7.1261	0.1128	67.5460	1.1437	0.4213	0.4894
1991	7.2851	0.1161	67.7090	1.2009	0.3730	0.4979
1992	6.9522	0.1239	67.4539	1.1435	0.4432	0.5320
1993	6.6609	0.1439	67.1491	1.0326	0.6921	0.5046
1994	6.9038	0.1520	66.7480	0.9767	0.6924	0.4761
1995	6.7949	0.1514	66.9056	1.2603	0.7690	0.4116
1996	6.7118	0.1561	66.5531	1.2032	0.9087	0.4550
	鍛鋼	鋳鋼	圧延鋼管	発電ボイラ	その他鉄鋼	その他
1981	0.2785	0.1142	6.2734	11.0347	0.7094	1.9693
1982	0.2623	0.1150	5.6624	14.1953	0.7202	1.9994
1983	0.2573	0.1044	5.5118	14.5495	0.7456	2.0916
1984	0.2492	0.0961	5.4919	14.4728	0.6864	1.4871
1985	0.2412	0.0858	5.2003	14.6905	0.7529	1.0205
1986	0.2116	0.0789	5.0562	14.7458	0.7725	0.8918
1987	0.2043	0.0742	5.1244	15.2375	0.7404	0.9451
1988	0.2042	0.0757	5.1791	14.8837	0.9157	1.0331
1989	0.2160	0.0751	5.1758	15.3177	0.9126	1.0649
1990	0.2423	0.0802	5.2771	15.8240	0.9691	0.7679
1991	0.2418	0.0720	5.3156	15.6624	0.9413	0.5850
1992	0.2413	0.0681	5.2778	15.9572	1.1828	0.6240
1993	0.2279	0.0650	5.3377	16.6233	0.9750	0.5879
1994	0.2439	0.0689	5.2608	16.8101	1.0404	0.6267
1995	0.2412	0.0774	5.2834	16.3761	1.1024	0.6267
1996	0.2311	0.0738	5.0786	16.9390	1.1137	0.5758

9 産業連関表と鉄鋼統計

ここでは、産業連関表と鉄鋼統計のデータの比較を行う。

9.1 電力消費量について

産業連関表の電力消費の数値と、鉄鋼統計の数値の差が大きい。特に電気炉の数値の開きが大きくなっている。このような大きな差の原因はわからない。1995年産業連関表は自家発電消費は転炉の消費量と電気炉の消費量が逆になっている。しかし、このように修正を加えると、電気炉の電力消費量が1990年の半分くらいになってしまい、生産量がそんなに変化が無い場合、電力の投入係数が半分くらいになってしまう。これは、明らかに産業連関表の数値がおかしい。

1990年産業連関表	事業用電力	鉄鋼統計	電力消費量
合計	46184000	合計	74458255
銑鉄	3060000	焼結銑用	3322936
銑鉄2	0	ペレット	237922
フェロアロイ	2696000	高炉	4661102
フェロアロイ2		その他の炉	30764
転炉	3476000	銑鉄部門合計	8252724
電気炉	10937000	フェロアロイ	3827866
熱間圧延工程	10563000	転炉	3212381
鋼管	1583000	電気炉	15717875
冷間仕上鋼材	6265000	鍛鋼用	580901
めっき鋼材	1392000	鋳鋼用	576107
鋳鍛鋼	862000	圧延鋼管	19336584
鋳鉄管	398000	発電ボイラ	1247450
鋳鉄品及び鍛工品	4161000	その他の鉄鋼部門	13058532
鉄鋼シャースリット	351000	コークス製造部門	933311
その他の鉄鋼製品	440000	その他の部門	3714524

下の表では、産業連関表における転炉と電気炉の自家発電電力の消費量は、逆にするべきであるらしいが、このような修正作業を行っても、産業連関表の数値はかなりおかしい。

1995年産業連関表	事業用電力消費量	自家発電消費量	鉄鋼統計	電力消費量	自家発電量
合計	24988000	21414000	合計	68867877	21621521
銑鉄	3018000	3963000	焼結銑用	3210300	
銑鉄2			ペレット	242932	
フェロアロイ	874000	1489000	高炉	4700043	
フェロアロイ2			その他の炉	19953	
転炉	568000	1728000	銑鉄部門合計	8173228	
電気炉	3847000	6169000	フェロアロイ	2972370	
	転炉と電気炉の自家発電消費は数値は逆				
熱間圧延工程	3612000	4486000	転炉	3447415	
鋼管	517000	345000	電気炉	15616903	
冷間仕上鋼材	5403000	1535000	鍛鋼用	556707	
めっき鋼材	1465000	932000	鋳鋼用	466152	
鋳鍛鋼	401000	670000	鋳鍛鋼		
鋳鉄管	321000	6000	圧延鋼管	19192084	
鋳鉄品及び鍛工品	4141000	90000	発電ボイラ	1302232	
鋳鉄品及び鍛工品			その他の鉄鋼部門	12743299	
鉄鋼シャースリット	552000	1000	コークス製造部門	1033245	
その他の鉄鋼製品	269000		その他の部門	3364242	

1990年産業連関表物量表、1995年産業連関表物量表から、事業用電力消費、自家発電電力消費については次のような二つの可能性が考えられる。

- 1990年産業連関表物量表には自家発電電力消費量は含まれておらず、1995年産業連関表物量表で、本来ならば事業用電力消費量となるべきものを、事業用電力消費量と自家発電電力消費量に分割してしまっている。つまり、1995年表の数値が間違っている。このように考えると、鉄鋼業の電力消費合計の数値は、鉄鋼統計と近くなる可能性がある。
- 1990年産業連関表物量表における事業用電力消費のなかに自家発電電力消費量が含まれており、1995年産業連関表物量表は正しい方法で作成してある。この場合は、鉄鋼業の電力消費合計の数値は、鉄鋼統計とはこれまで示したように大きくずれる。

9.2 石炭コークス

1990年の産業連関表では、銑鉄部門の石炭コークス消費に焼結鉱製造用のコークスが含まれていない。その不足しているコークス消費量は鉄鋼業のほかの部門で消費されたことになっている。しかし、1995年産業連関表では修正されている。つまり、1990年の産業連関表の銑鉄部門の石炭コークス消費の数値は間違っており、修正する必要がある。

1990年産業連関表	コークス	鉄鋼統計	コークス
合計	39251159	合計	41337035
銑鉄	34757847	焼結鉱用	4555537
銑鉄2	1133441	ペレット	22525
フェロアロイ	677903	高炉	35753606
フェロアロイ2	22529	その他の炉	29246
転炉	186350	銑鉄部門合計	40360914
電気炉	228200	フェロアロイ	493331
熱間圧延工程	60194	転炉	146915
鋼管	87	電気炉	185735
冷間仕上鋼材	174	鍛鋼用	0
めっき鋼材	213698	鋳鋼用	190
鋳鍛鋼	60264	圧延鋼管	8
鋳鉄管	1696000	発電ボイラ	0
鋳鉄品及び鍛工品	175124	その他の鉄鋼部門	88096
鉄鋼シャースリット	0	コークス製造部門	26025
その他の鉄鋼製品	39348	その他の部門	37821

下の表のように、1995年の産業連関表では、この間違いは修正されている。

1995年産業連関表	コークス	鉄鋼統計	コークス
合計	38641334	合計	35925433
銑鉄	33167799	焼結鉱用	3958181
銑鉄2	68105	ペレット	42343
フェロアロイ	647604	高炉	30882129
フェロアロイ2	1375	その他の炉	8465
転炉	184469	銑鉄部門合計	34891118
電気炉	232644	フェロアロイ	397257
熱間圧延工程	32654	転炉	198942
鋼管	0	電気炉	142600
冷間仕上鋼材	72	鍛鋼用	0
めっき鋼材	0	鋳鋼用	46
鋳鍛鋼	378844	圧延鋼管	46
鋳鉄管	168606	発電ボイラ	0
鋳鉄品及び鍛工品	3299297	その他の鉄鋼部門	192030
鋳鉄品及び鍛工品	454907	コークス製造部門	71768
鉄鋼シャースリット	0	その他の部門	31626
その他の鉄鋼製品	4958		

参考文献

- [1] Chenery, H.B. Studies in the Structure of the American Economy. Wassily Leontief and others. *Process and Production Functions From Engineering Data*. (New York, Oxford University Press, 1953)
- [2] Johansen, Leif. Production Functions: An Integration of Micro and Macro, Short Run and Long Run Aspects. (Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1972)
- [3] Hochman, Eithan and Zilberman, David "Examination of Environmental Policies Using Production and Pollution Microparameter Distributions," *Econometrica*, 46(1978), 739-760
- [4] Houthakker, H.S. "The Pareto Distribution of the Cobb-Douglas Production Function in Activity Analysis," *Review of Economic Studies*, 23(1955-1956), 27-31
- [5] 岩田暁一著 『計量経済学』 (有斐閣、1982年)
- [6] 日本鉄鋼協会編 『製鉄製鋼法』 (地人書館、1985年)
- [7] 日本鉄鋼協会編 『鉄鋼便覧 II 製鉄製鋼編 第3版』 (丸善、1979年)
- [8] Petri, P.A. "A Ricardian Model of Market Sharing," *Journal of International Economics*, 10(1980), 201-211
- [9] Russel, C.S. and Vaughan, W.J. Steel Production: Process, Products and Residuals. (Baltimore, Published for Resource for the Future by Johns Hopkins University Press, 1976)

10 図表

10.1 コークス炉

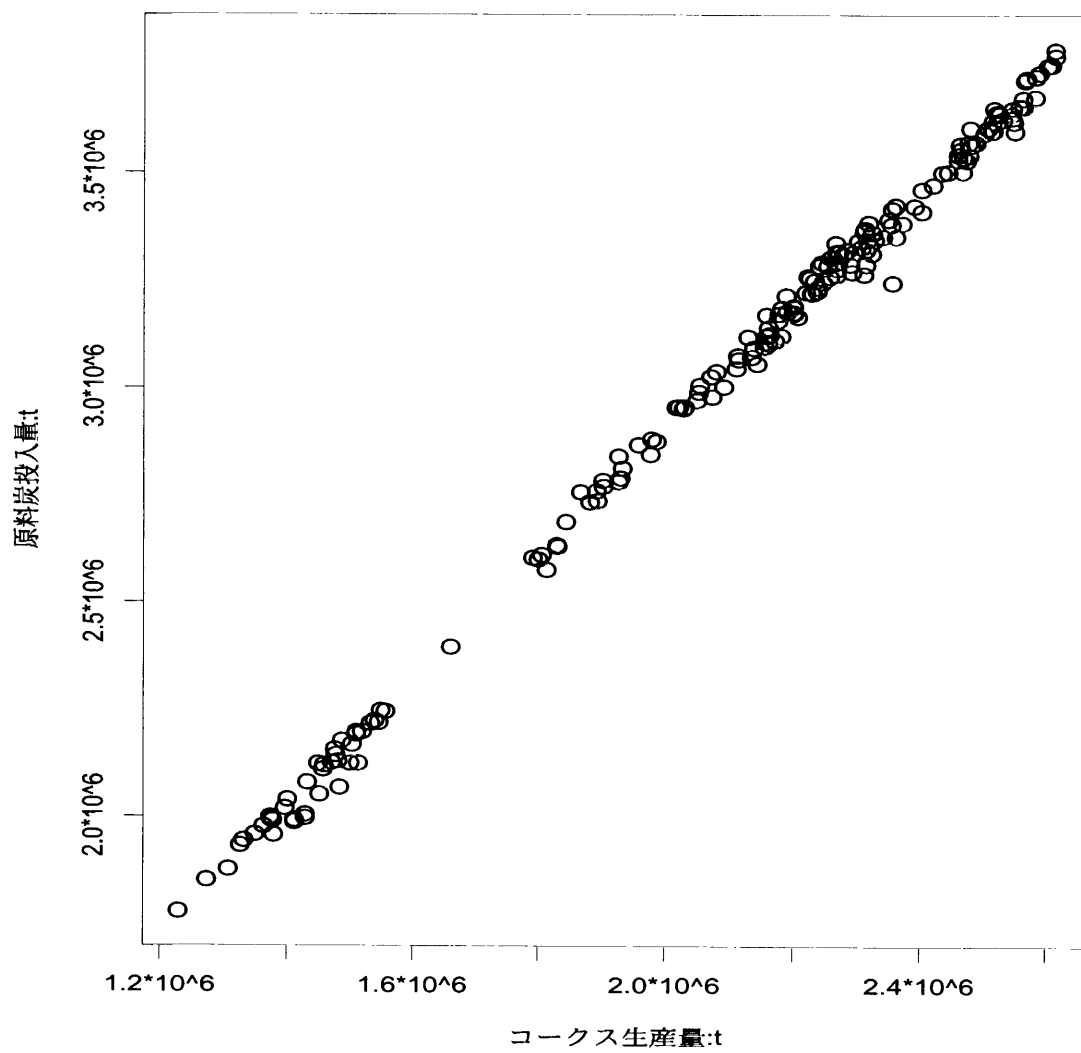


図 1: コークス生産量と原料炭投入の関係 (1981~1997)

10.2 焼結炉

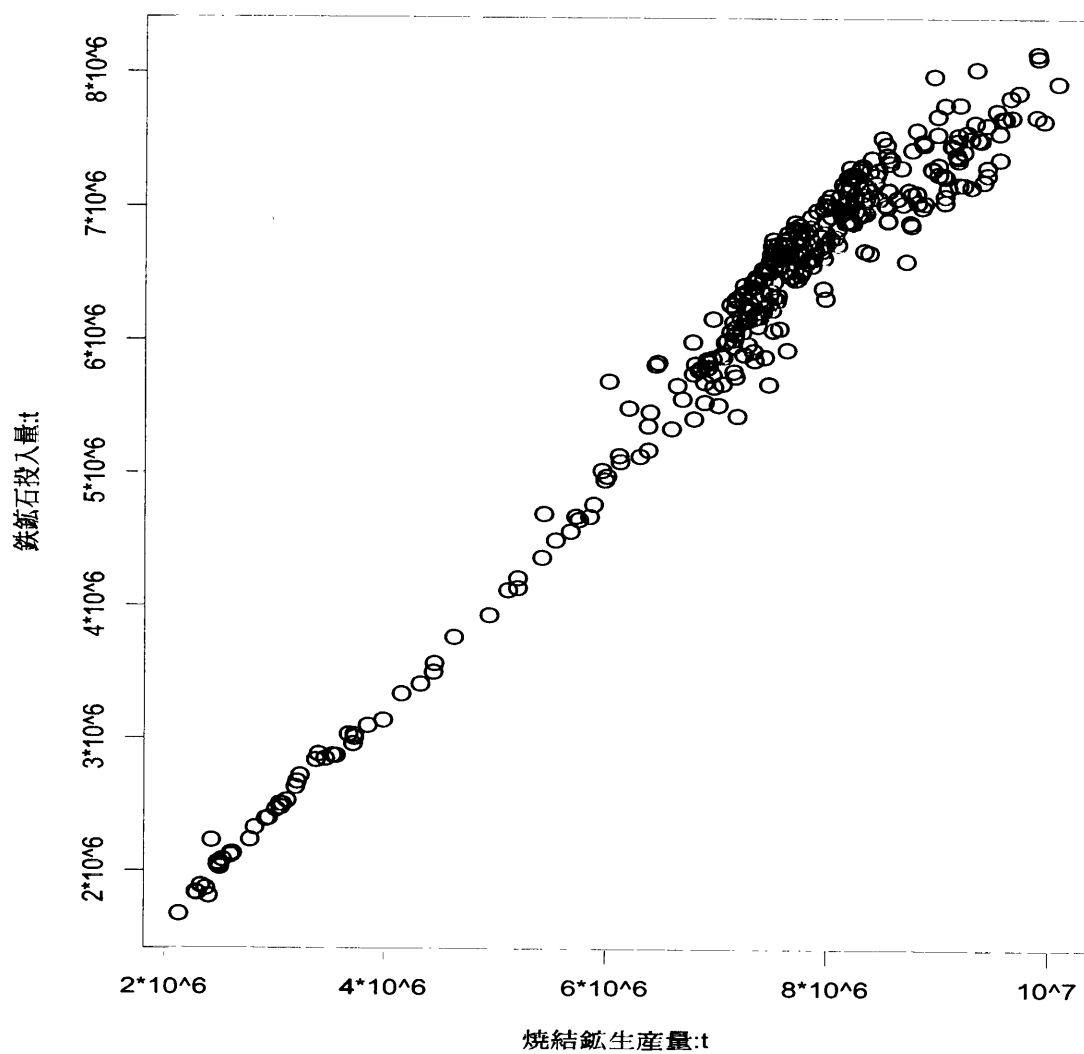


図 2: 焼結鋼生産量と鉄鉱石投入量の関係 (1966~1997)

10.3 高炉

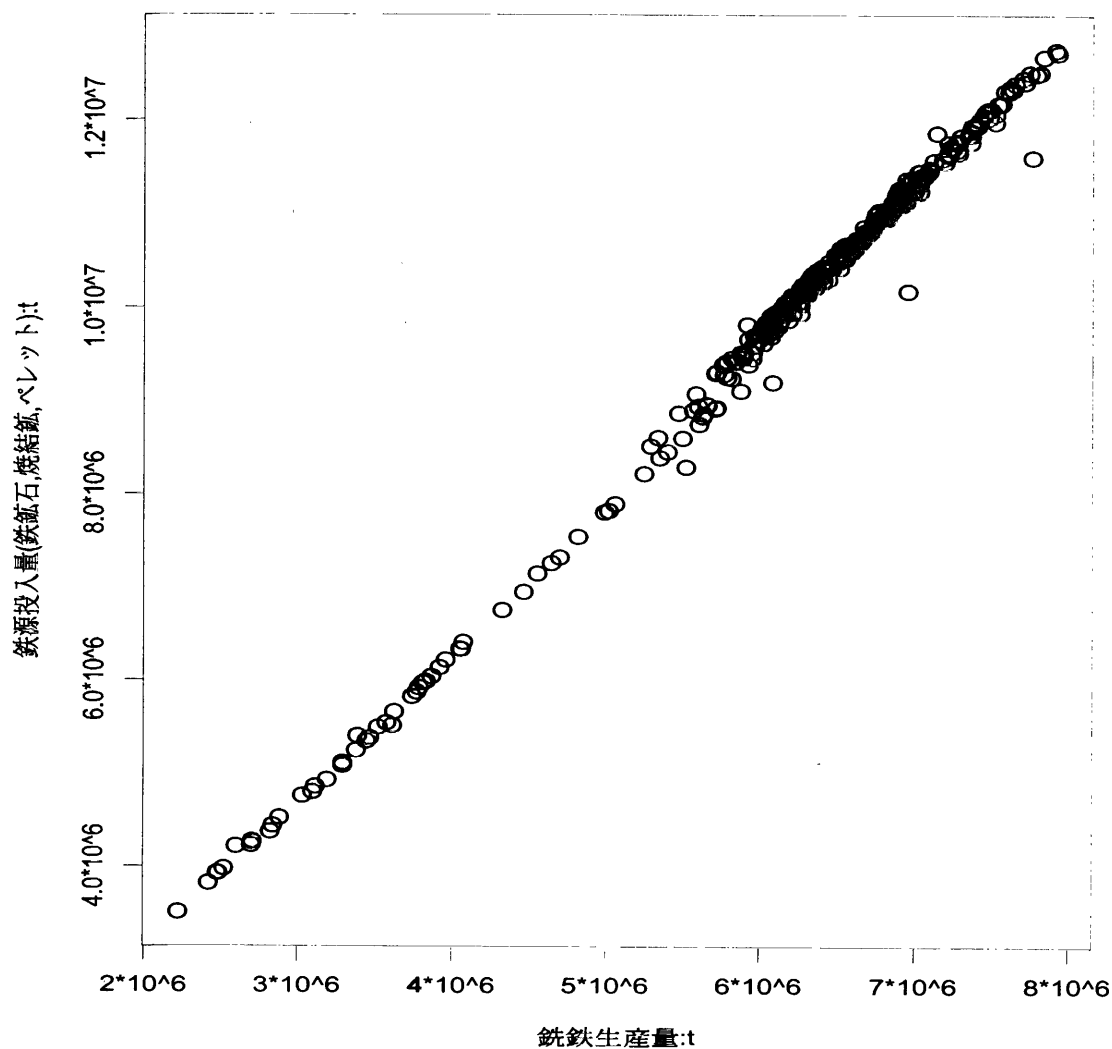


図 3: 鉄鉄生産量と鉄源投入量の関係

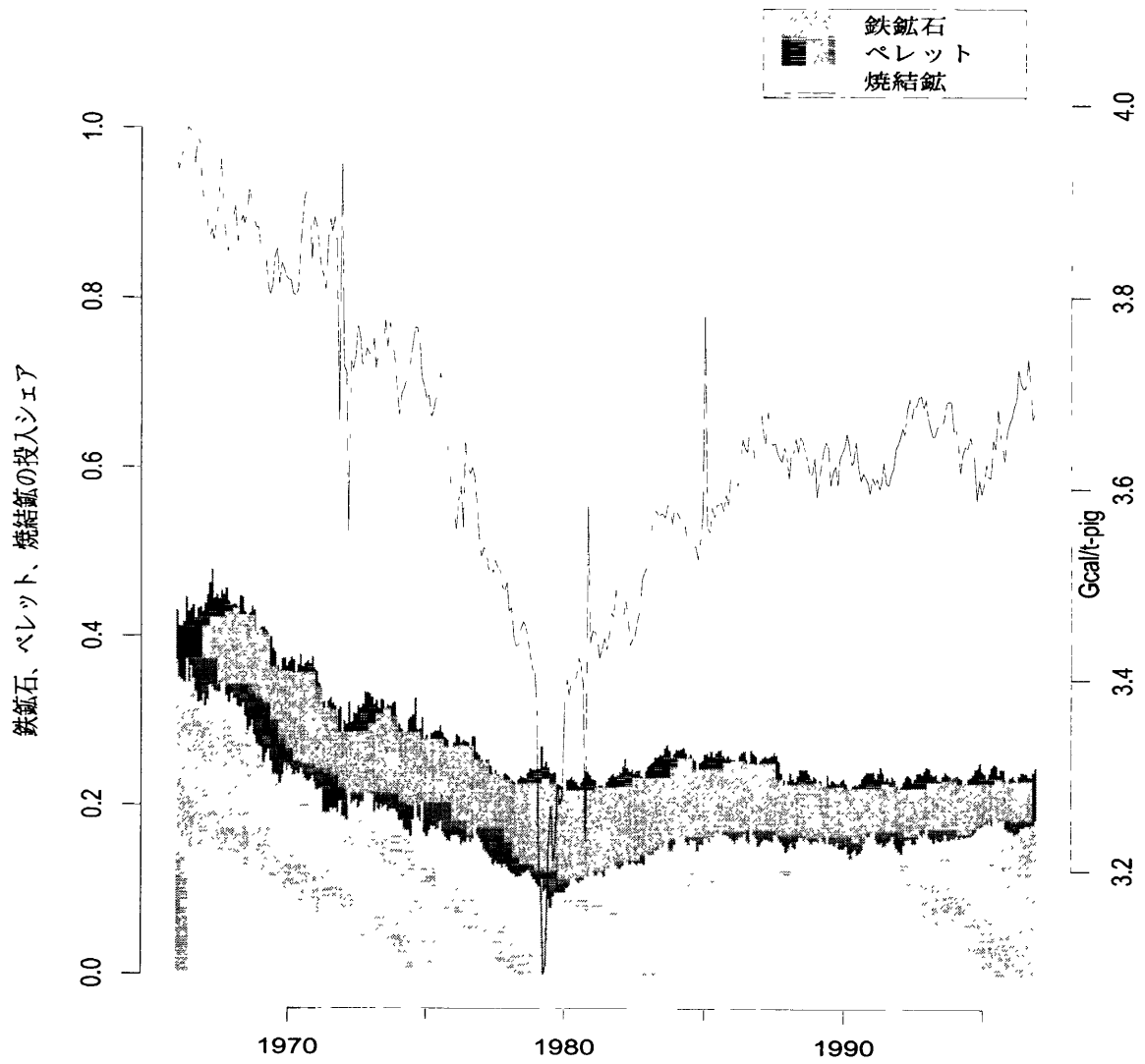


図 4: 鉄鋼生産における鉄鉱石、ペレット、焼結鉱の投入シェアと燃料比の関係 (1966~1997)(燃料に関しては、コークス、石炭、重油のみで計算)

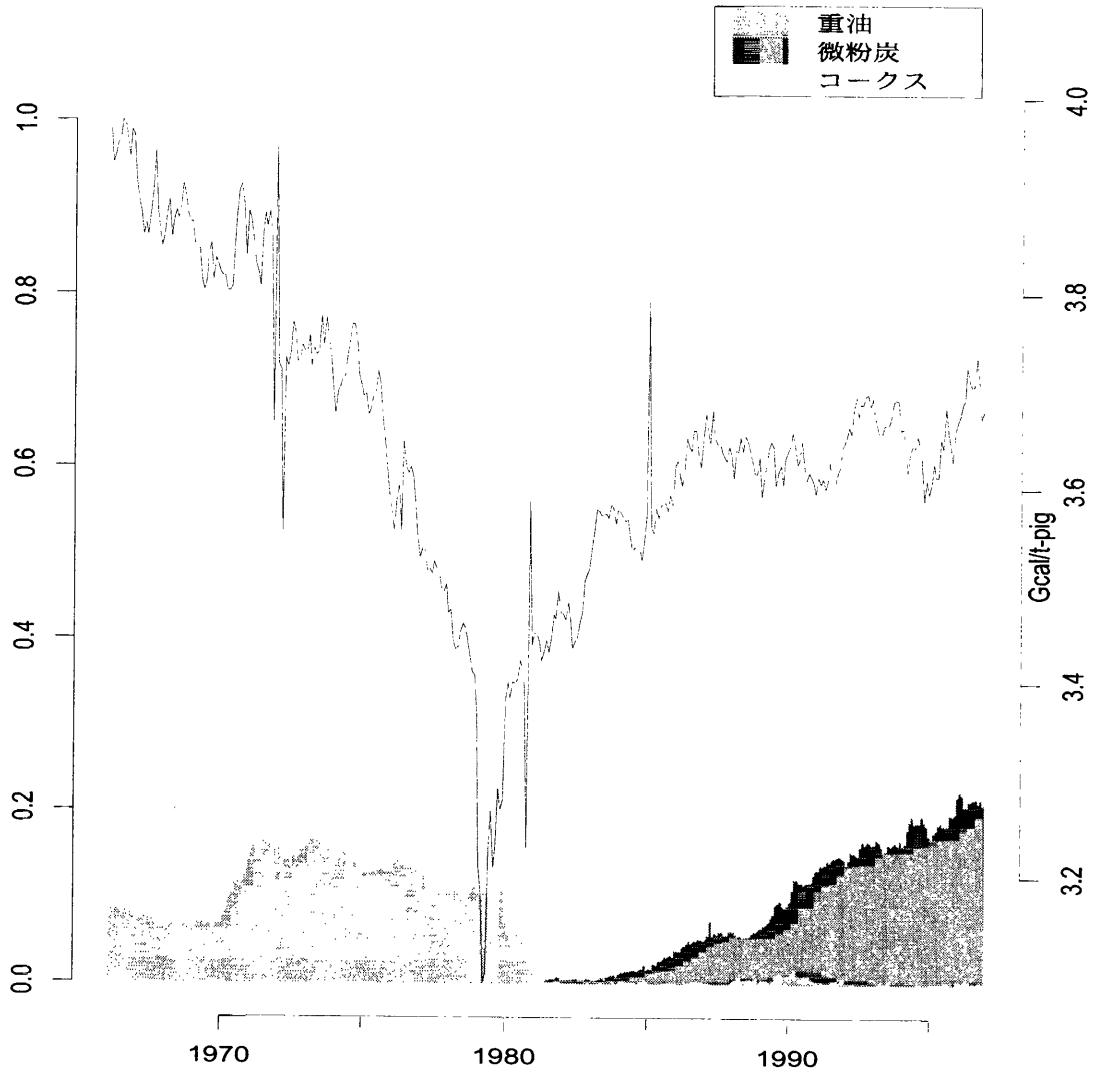


図 5: 重油、微粉炭、コークスの投入シェア

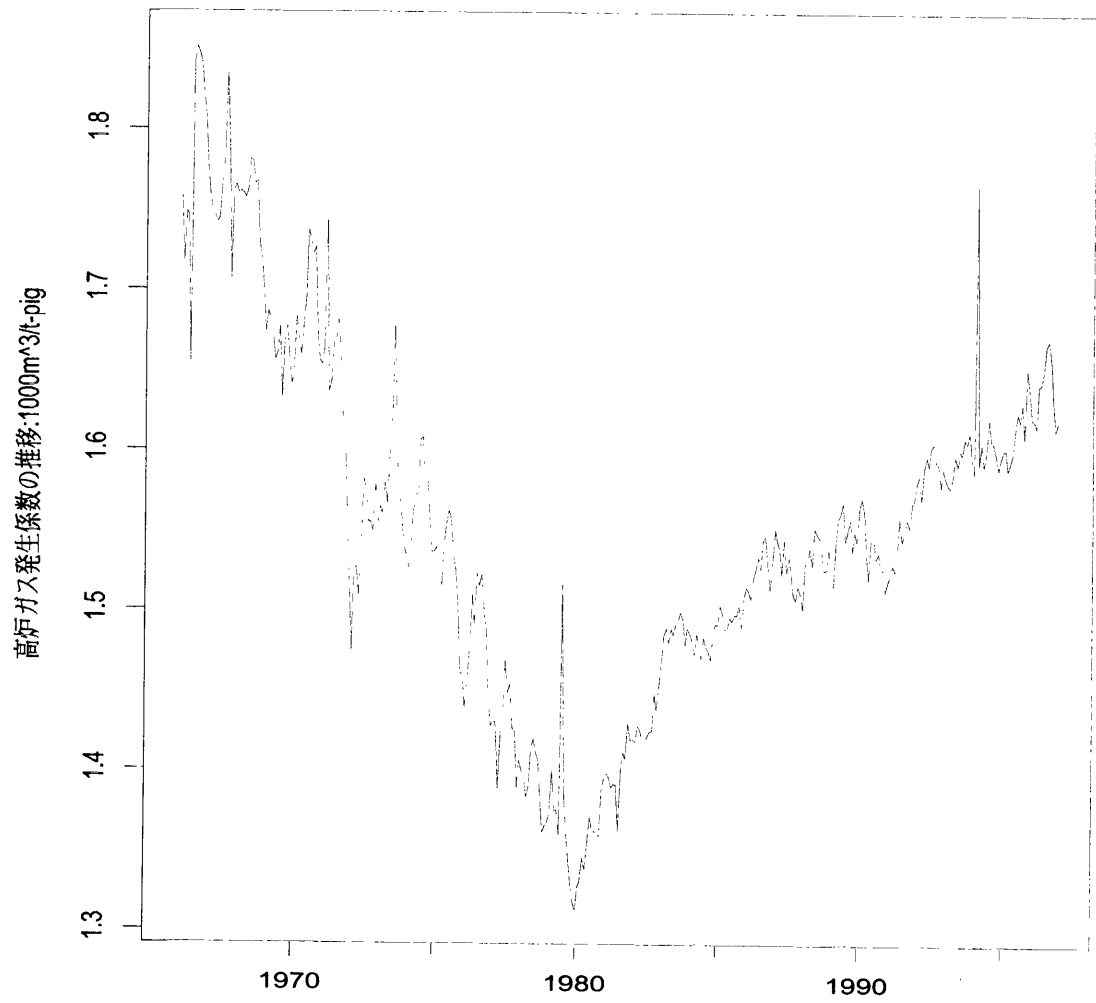


図 6: 高炉ガス発生係数の推移

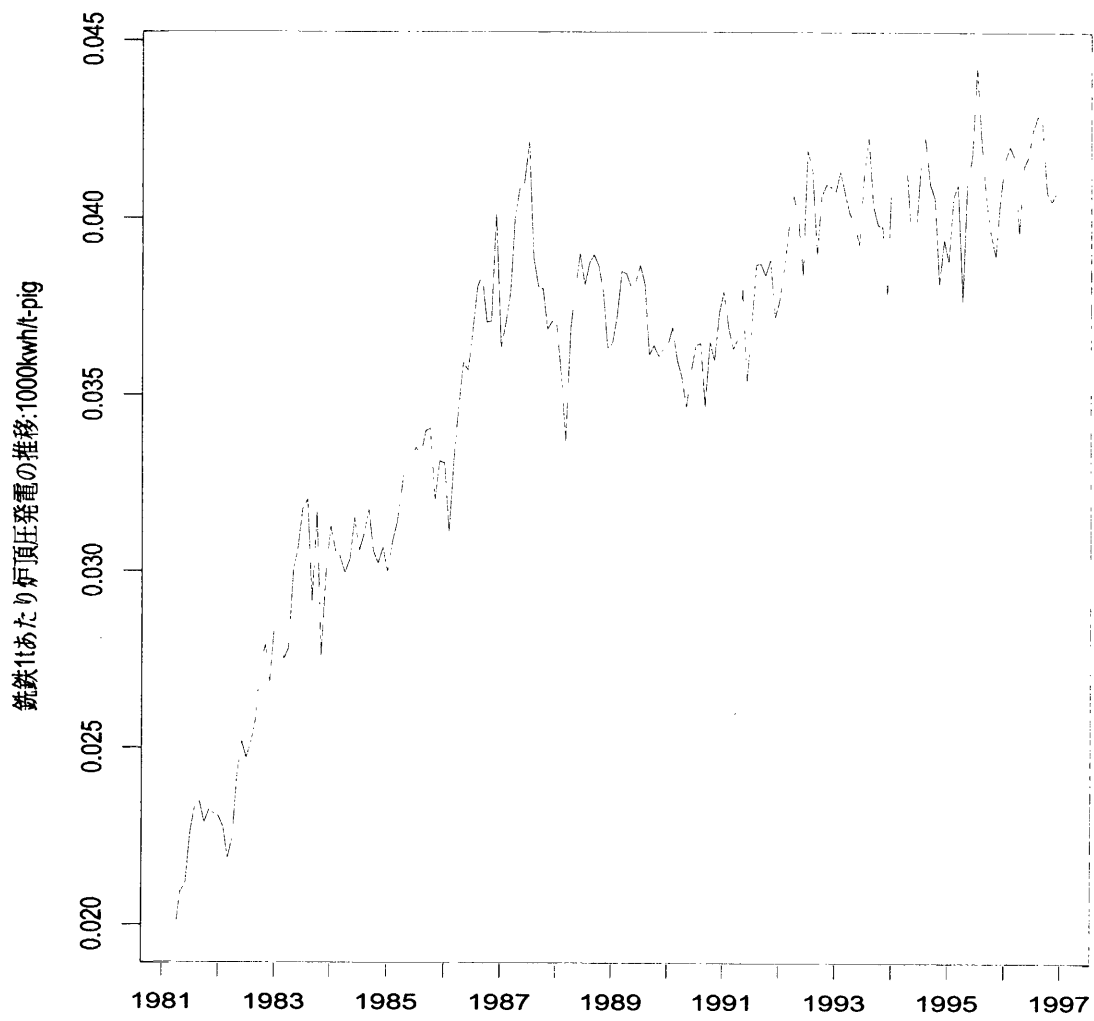


図 7: 炉頂圧発電係数の推移

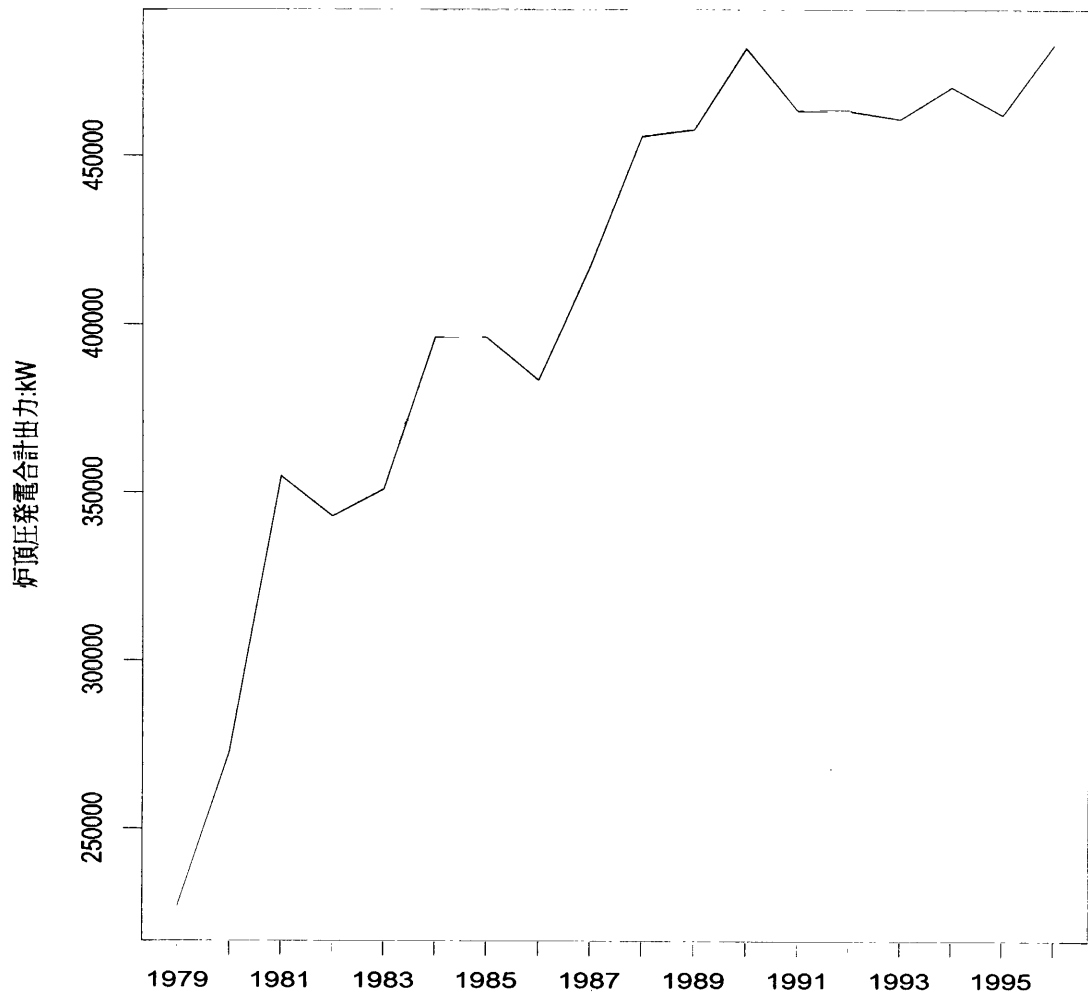


図 8: 炉頂圧発電設備の設置状況の推移 (合計出力:kW)

10.4 製鋼工程

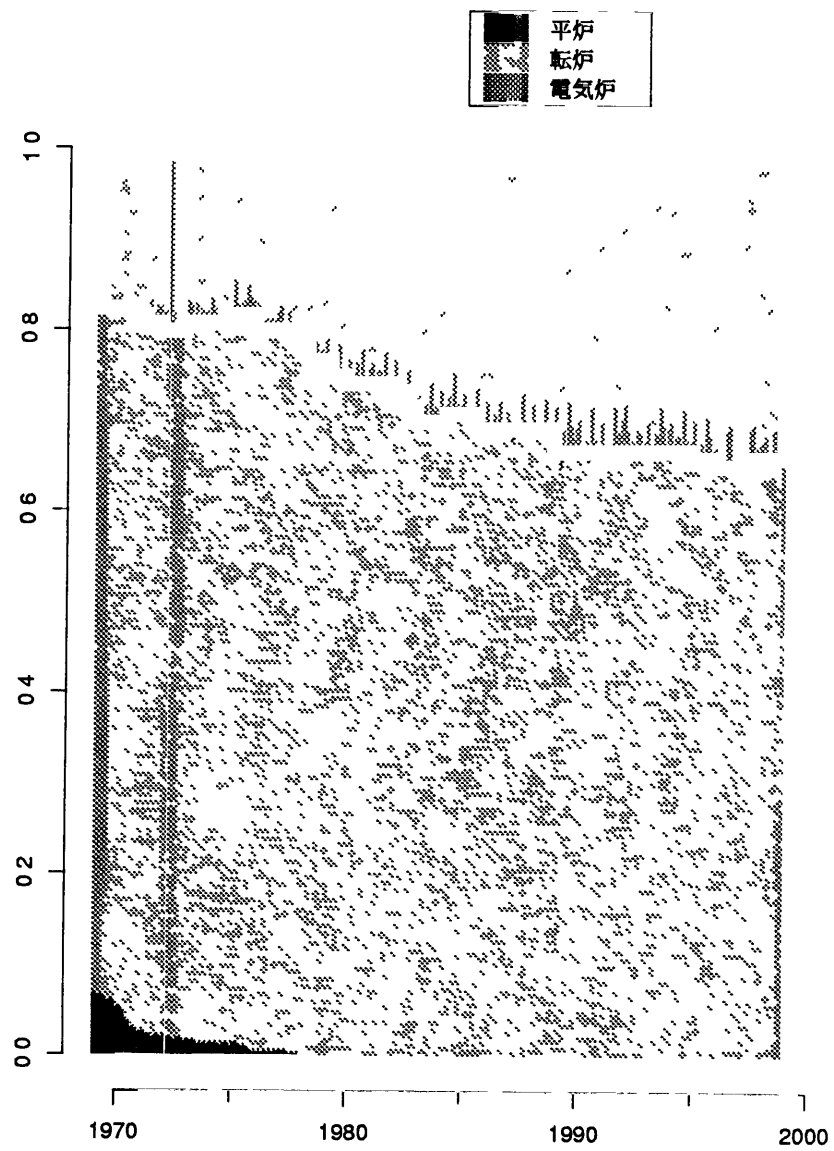


図 9 粗鋼の炉別生産比率

10.4.1 平炉

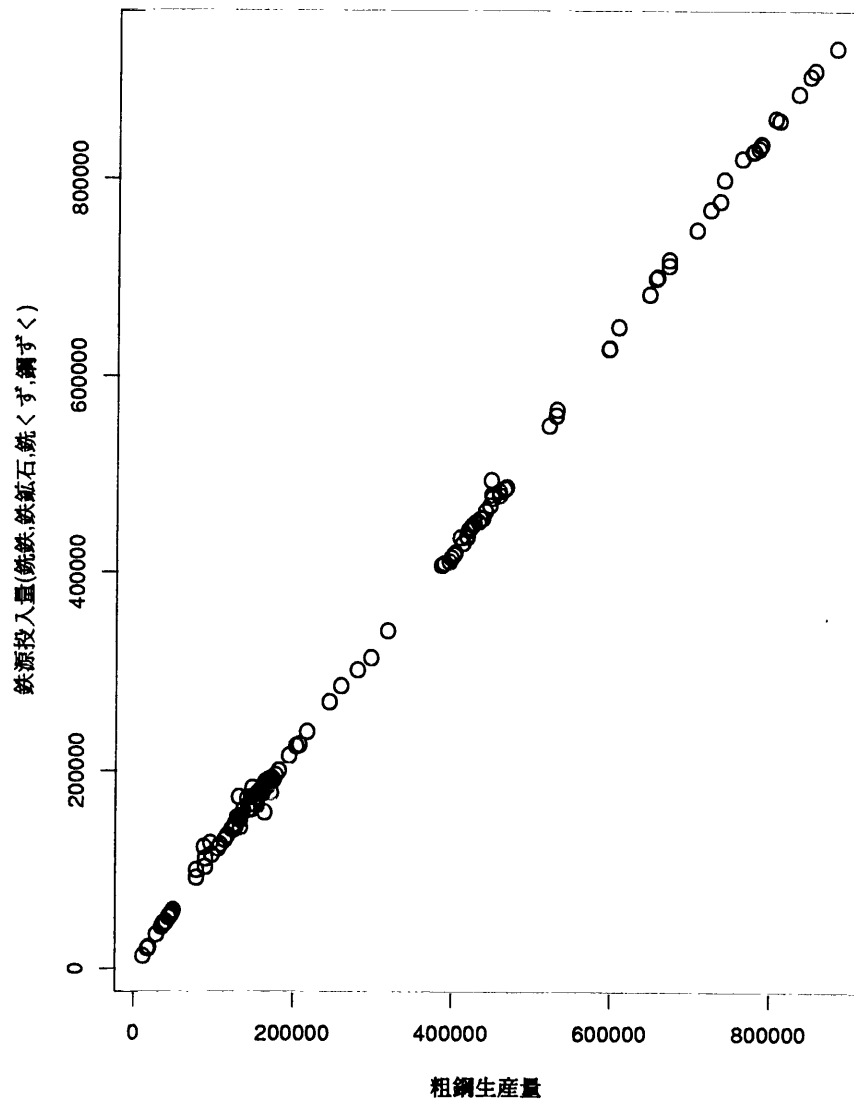


図 10: 平炉における鉄源と生産量の関係

10.4.2 転炉

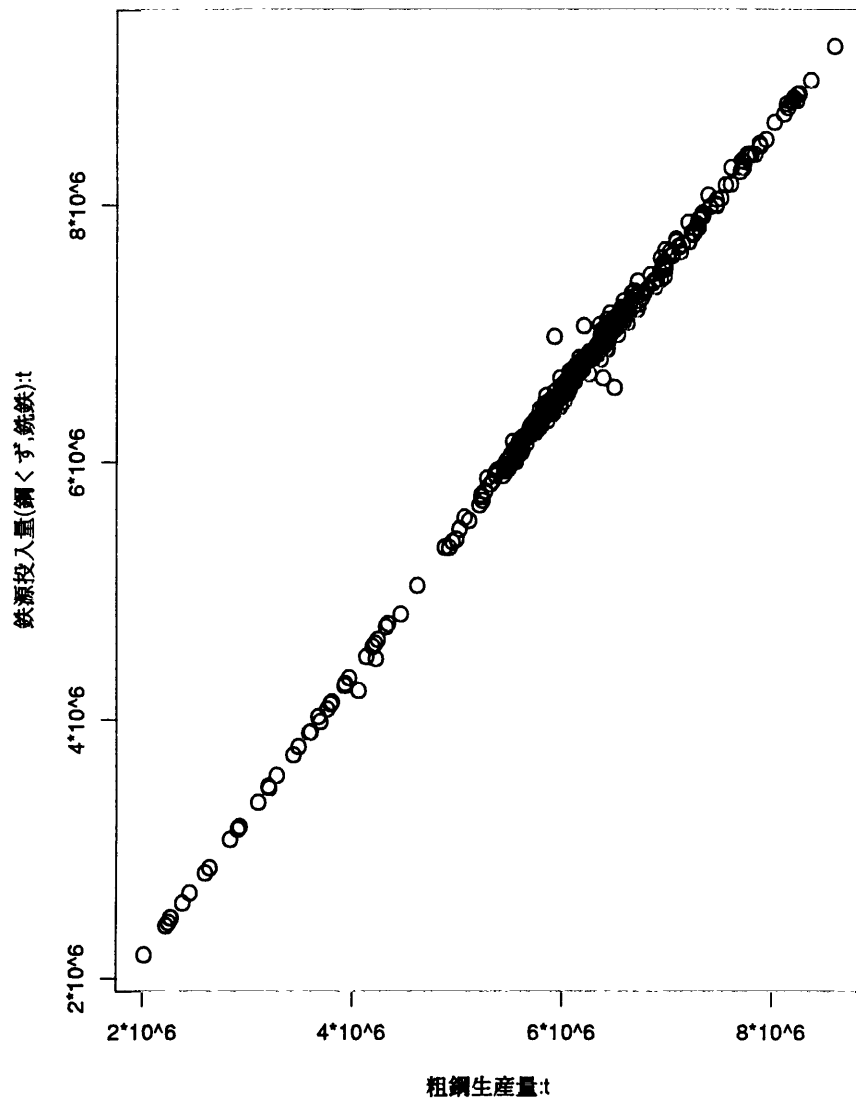


図 11: 転炉の粗鋼生産における鉄源投入 (鋼くず+銑鉄) の関係

10.4.3 電気炉

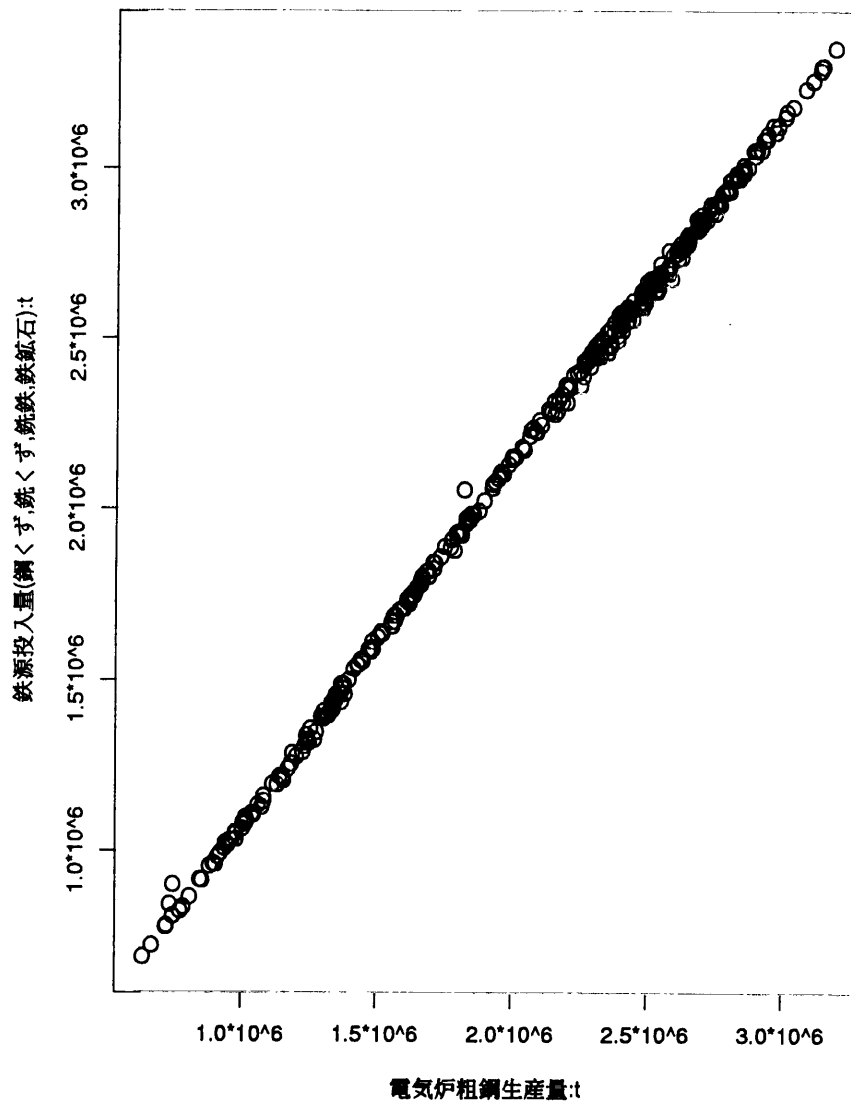


図 12: 電気炉における鉄源の投入係数

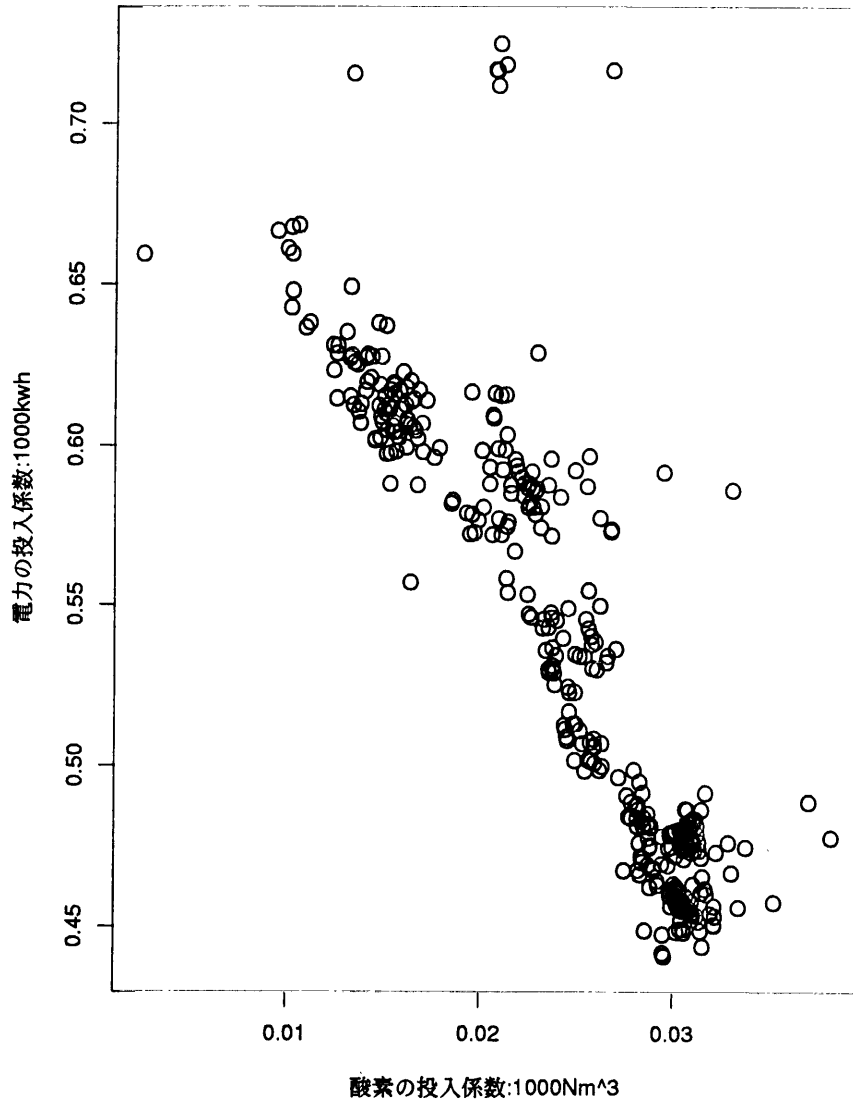


図 13: 電気炉における酸素の投入係数と電力の投入係数の相関

10.5 最終工程

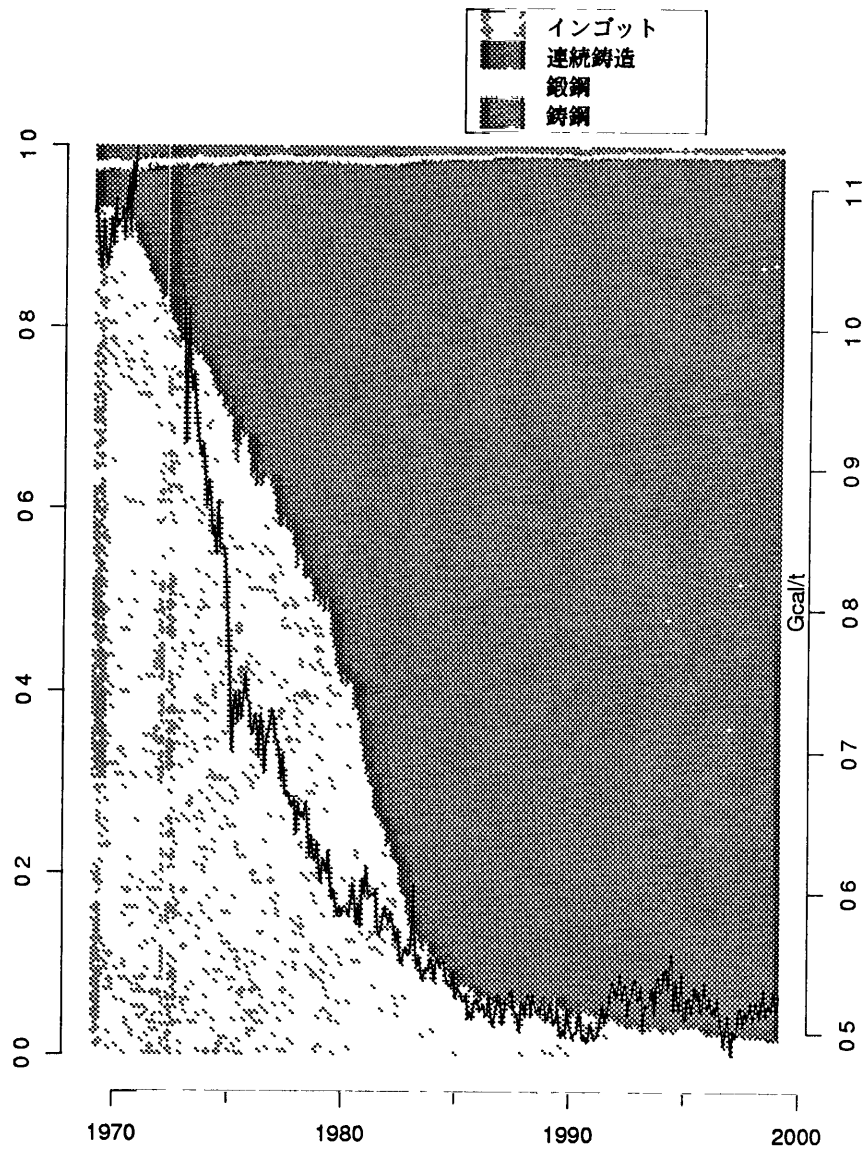


図 14 連続鋳造の普及と熱効率

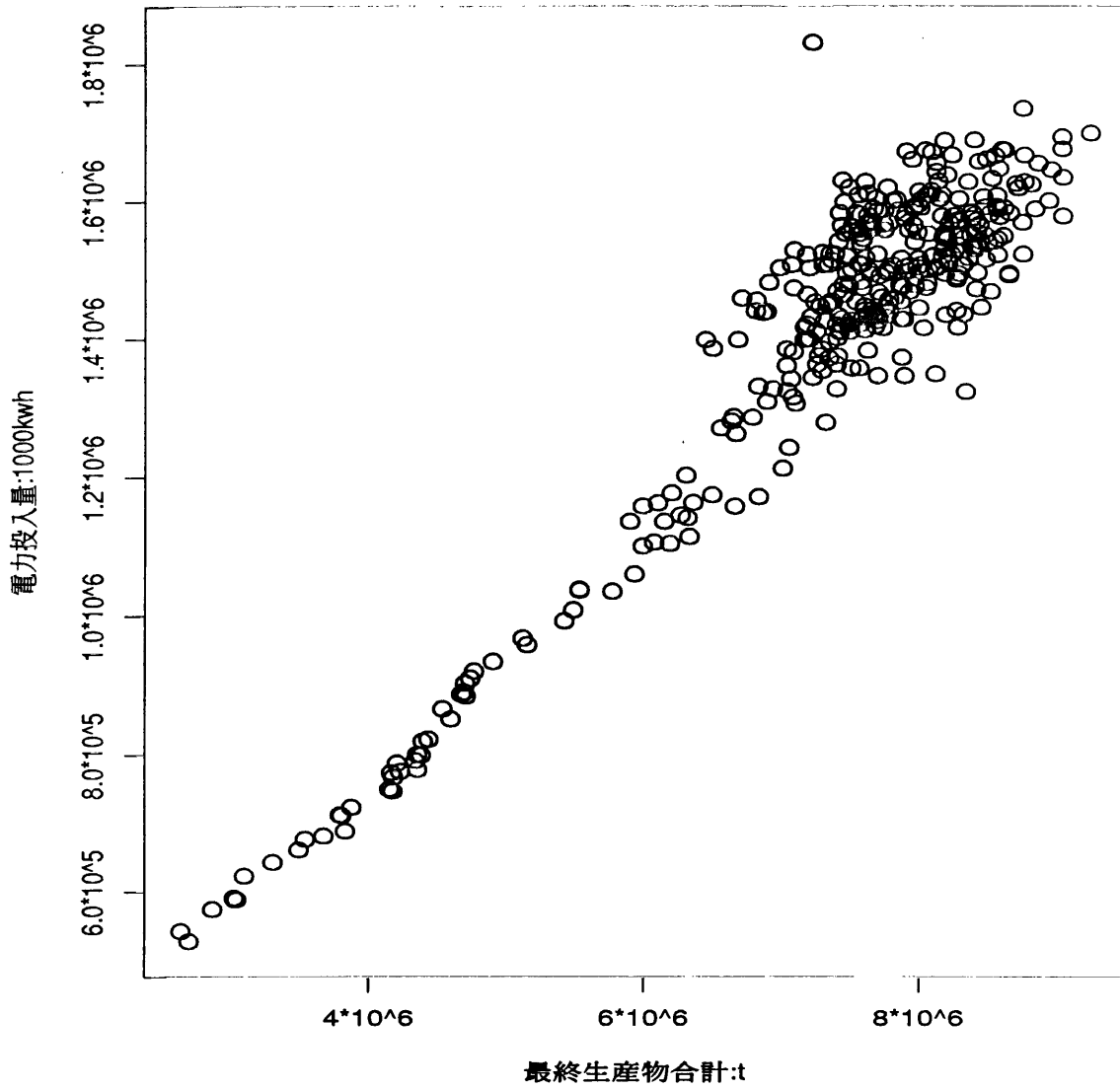


図 15: 最終生産物と電力投入の関係

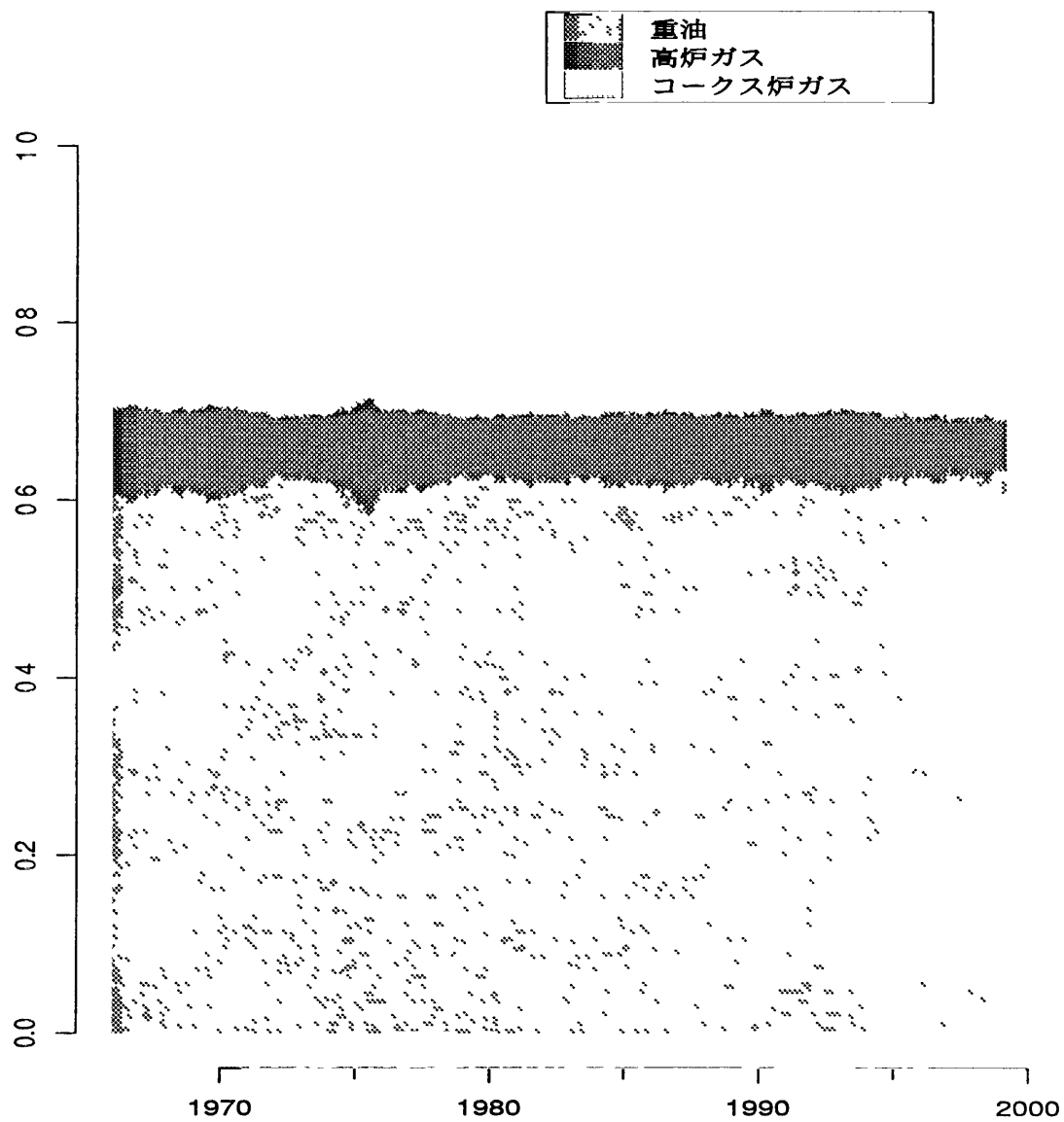


図 16 最終工程における重油、高炉ガス、コークス炉ガスの投入シェア

10.6 モデルの概念図

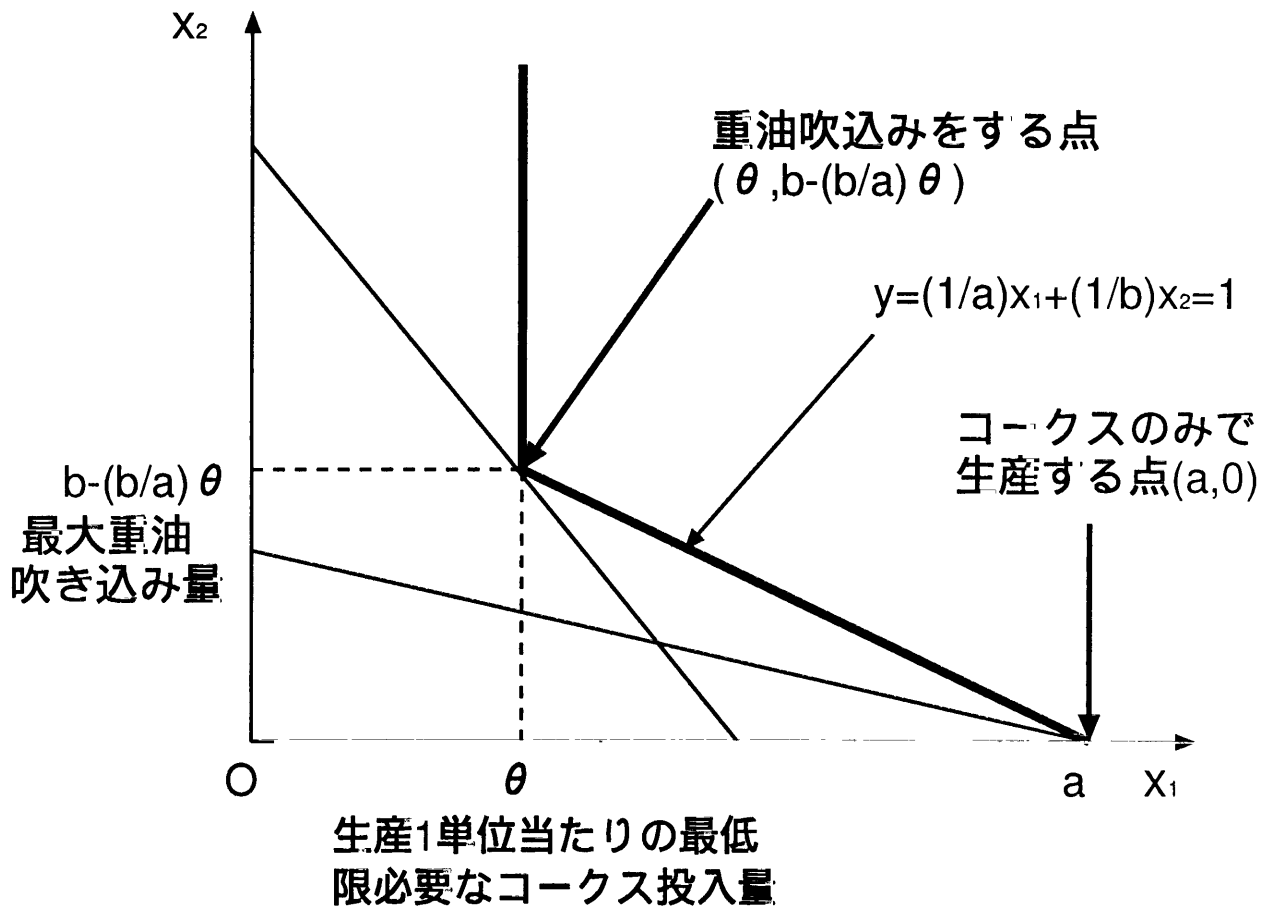


図 17: 概念図 1

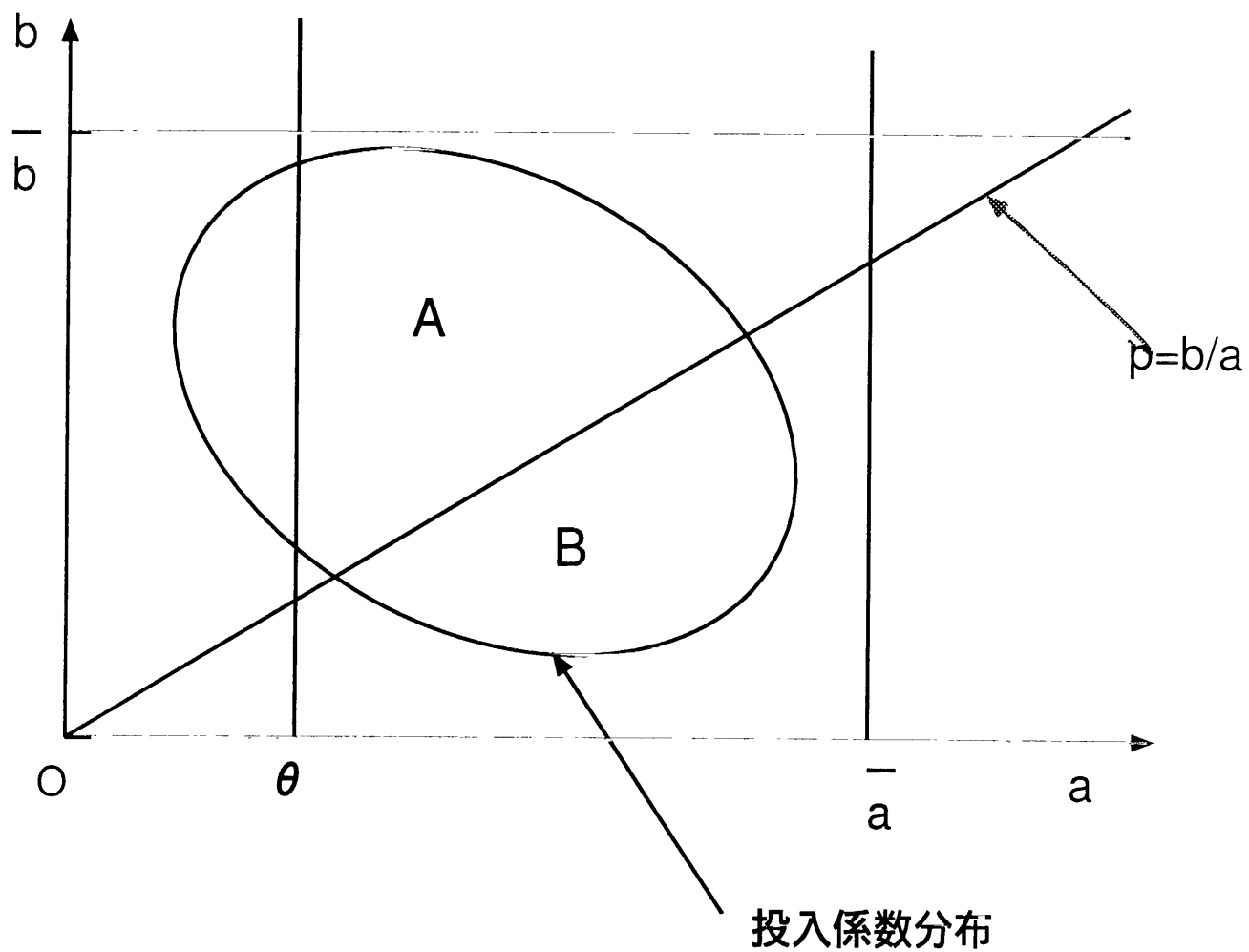


图 18: 概念图 2