

Title	環境機器の費用分析：バイオ・ブリケット製造機の最適プラント・スケール (岩田暁一教授退任記念号)
Sub Title	Bigger is Better? : Optimal Size of "Bio-briquette" Machine to be Installed (In Honour of Professor Gyoichi Iwata)
Author	吉岡, 完治(Yoshioka, Kanji) 中島, 隆信(Nakajima, Takanobu)
Publisher	
Publication year	1999
Jtitle	三田商学研究 (Mita business review). Vol.42, No.5 (1999. 12) ,p.75-
JaLC DOI	
Abstract	筆者らが行った調査によると,中国遼寧省の工業都市では石炭使用による二酸化硫黄の排出が深刻な環境問題を引き起こしている。排出を削減するには,脱硫装置の導入が望ましいが,生産規模の小さい中小企業などでは,大規模装置の導入は経済的に困難であり,また効率的でもない。このような場合は,バイオマスと消石灰を石炭の粉に混ぜて固めたバイオ・ブリケットを燃料として利用することにより,安価で効率的な脱硫が可能となる。この論文は,こうした状況を背景にバイオブリケットを導入する際に,そのマーケットサイズに応じてどのような規模のバ
Notes	
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-19991200-00686045

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.

環境機器の費用分析*

—— バイオ・ブリケット製造機の最適プラント・スケール ——

吉岡 完治
中島 隆信

<要 約>

筆者らが行った調査によると、中国遼寧省の工業都市では石炭使用による二酸化硫黄の排出が深刻な環境問題を引き起こしている。排出を削減するには、脱硫装置の導入が望ましいが、生産規模の小さい中小企業などでは、大規模装置の導入は経済的に困難であり、また効率的でもない。このような場合は、バイオマスと消石灰を石炭の粉に混ぜて固めたバイオ・ブリケットを燃料として利用することにより、安価で効率的な脱硫が可能となる。この論文は、こうした状況を背景にバイオブリケットを導入する際に、そのマーケットサイズに応じてどのような規模のバイオブリケット製造マシンを導入することが費用の面から効率的かを議論したものである。

<キーワード>

環境, 脱硫, バイオ・ブリケット, 費用最小化

“... The Gain which is made by Manufactures, will be greater, as the Manufacture itself is greater and better,...each Manufacture will be divided into as many parts as possible, whereby the Work of each Artisan will be simple and easie; As for Example. In the making of a Watch, if one Man shall make the Wheels,another the Spring, another shall Engrave the Dial-plate, and another shall make the Cases, then the Watch will be better and cheaper, than if the whole Work be put upon any one Man,...” quoted from Petty,W.,“Another Essay in Political Arithmetics”,1682 In: Hull C.H. ed., in *The Economic Writings of Sir William Petty*,1899.

* 本論文は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業『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』における研究の一部に基づくものである。論文作成にあたっては慶應義塾大学大学院中野諭氏より多くの助力を得た。また、慶應義塾大学産業研究所1998年度シンポジウムでは辻村江太郎、尾崎巖、岩田暁一、黒田昌裕、樋口美雄の諸先生方をはじめ多くの出席者の方からご助言を頂いた。深く感謝したい。

1 はじめに

マチュアーな技術で製品を作る場合、プラントの最適サイズはその製品の平均費用が最小になる点である。しかし、環境汚染防除機器のごくわずかな会社が開発し、また、市場も限られている場合、必ずしも最適プラント・キャパシティは平均費用最小とは限らない。このような場合、ペティやスミスが示した「分業の利便はマーケットのサイズに依存する」という課題が浮上する。我々がここで取り上げるバイオ・ブリケット製造機の最適プラント・キャパシティの課題はまさにその例である。また、ダイオキシン問題でごみ焼却炉をどのようなサイズにすべきかというようなことについても同様のことが言えよう。

日本学術振興会未来開拓プロジェクトの一環として、瀋陽市と成都市にバイオ・ブリケットの製造実験機を設置した。石炭を多く用いる中国にとって一番安上がりな簡易脱硫装置としてバイオ・ブリケットが注目されている。石炭とバイオマスの粉を混ぜてそこに脱硫剤として石灰分を入れ、ブリケットを造る。そのことによって燃焼効率も高まり脱硫もする、なおかつバイオマスを利用することでCO₂削減にも一役買うというものである。もちろん脱硫効果が少ないから、ここ10年余りの過渡的環境対策技術であろう。大都市では都市ガス化や電気の利用が増えることから、このバイオ・ブリケットは将来は小都市や農村部、郷鎮などに利用が広がっていくであろう¹⁾。

さて我々の実験機であるが、そのテストは上々で煤塵もでない、煙も少ない、匂いも無くなると効果が一目瞭然であり、両市の環境保護局の関係者に大変好評であった。それでは早くそのバイオ・ブリケットを流布させようということになるのだが、どうも保護局関係者は平均生産費の小さい大型プラントを望む傾向にある。そうしないと石炭生焚きに比べやはりバイオ・ブリケットは高いものになってしまうからである。この理由は、バイオマスの乾燥、石炭及びバイオマスの粉碎、バイオ・ブリケット製造における圧縮などに熱と電力が必要だからである。これに対し我々は、計画経済の一貫生産をいったん忘れ、バイオ・ブリケット製造機の生産とそれを使ってバイオ・ブリケットを造る工程を分けて考えようと主張している。つまり後者の課題は低温余熱や余剰電力、屑石炭がありあまっている工場で造れば良い。したがって、前者のマシンの製造はまた別に考えたほうが良いだろうという見解をもっている。本論はこの前者のバイオ・ブリケット製造機の生産立ち上げに関して、最適規模とはどのようなものかを明らかにすることである。

1) バイオ・ブリケットに関する技術的考察は金・定方[1]を参照されたい。

2 製造技術者からのヒアリングに基づく一般的帰結

ブリケット製造機はほとんど市場に流布しているわけではなく、注文生産的側面が強く、そのプラント・サイズ(以降、生産キャパシティ)も数多く存在しているわけではない。技術者によればその生産費 C は設計デザインテストのコスト C_D と製造コスト C_P によって成り立つ。また、プラントの生産要素である圧縮ローラーやモーターは少々の要素価格の変化で代替がきくというのではなく、ファクター・リミテーショナルな生産関数を形成しているという。そこで我々は要素価格与件で、次のような費用関数を想定した。

$$C = C_D(q) + C_P(q, n) \quad (1)$$

ただし、

- C : ブリケット・マシンの費用関数
- q : 生産キャパシティ(プラント・サイズ)
- n : 生産台数 ($n \geq 1$)
- C_D : 設計デザインテストのコストで sunk cost 分を計上。機械のサイズ q にのみ依存する。生産台数 n に応じて増加するテストのコスト分は、 C_P に含まれるとする。
- C_P : ブリケット・マシンの製造費用

とする。ここで最適キャパシティを求める便法として生産台数 n を1以上の連続関数とみなしておこう。また、技術者によれば C_D なるサンクコストは生産キャパシティ q にのみ依存し、キャパシティ・サイズが拡大するとともに増加するという。以降 q に関する一次偏微係数を $'$ 、二次偏微係数を $''$ で示す。

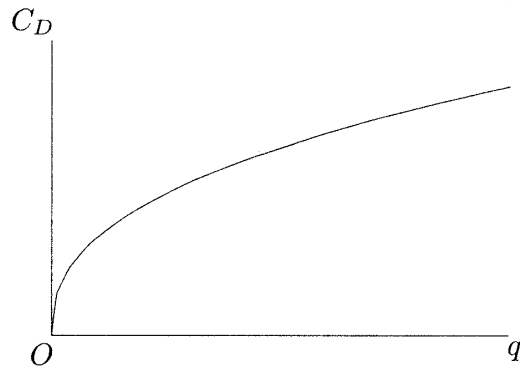
$$C_D > 0, \quad C_D' > 0, \quad C_D'' < 0 \quad (2)$$

この式は図1のように示される。次に製造費用 C_P に関してであるが、1台を作る ($n=1$) 平均費用 $AC(q, 1) = \frac{C_P(q, 1)}{q}$ は最小平均費用という最適値をもつという。つまり製造費 C_P は生産キャパシティと共に増加するが、キャパシティ拡大につれて平均費用は順次低下していく。しかし、キャパシティ拡大につれて圧縮ローラーの径が拡大せざるをえず、設計上の限界や特別注文の外部委託が必要となる。そのため最適値 q^* をもち、それ以降平均費は増加するという。

$$C_P > 0, \quad C_P' > 0$$

$$AC > 0, \quad AC' \Big|_{q < q^*} < 0, \quad AC' \Big|_{q = q^*} = 0, \quad AC' \Big|_{q > q^*} > 0, \quad AC'' > 0 \quad (3)$$

図1 設計デザインコストとキャパシティ



また、技術者によればマシン台数 n 増加による量産効果は一定率であり、プラントのキャパシティ q に依存することがないとはほ言えるということであった。

$$\frac{\partial^2 \ln C_P}{\partial \ln q \partial \ln n} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \ln C_P}{\partial \ln n} = \alpha, \quad 0 < \alpha < 1$$

よって $C_P(q, n) = C_P(q, 1) \times n^\alpha$, $n \geq 1$ と示せることになる。この製造費用関数に関して、 $n = 1$ として q について描いたときの形状が図2であり、 q を一定として n について描いたものが図3である。

このようなことをふまえれば、マシンの費用関数(1)は次のように書き表される。

$$C = C_D(q) + AC(q, 1) \cdot q \cdot n^\alpha \quad (5)$$

この費用関数の性質とマシンの最適キャパシティを知るため、ブリケットの市場規模 M を与件として話を進めよう。そうすれば、マーケット・サイズ

$$\bar{M} = q \cdot n \quad (6)$$

を与件として、(5)を最小にする q が最適な機械のキャパシティということになる。(6)を代入すれば、(5)は次のようになる。

$$C = C_D(q) + \bar{M}^\alpha \cdot AC(q, 1) \cdot q^{1-\alpha} \quad (7)$$

図2, 3に基づいてこの費用 C とキャパシティ q の関係を示せば、図4のようになる。つまり、費用 C は設計費 C_D と製造費 $\bar{M}^\alpha \cdot AC(q, 1) \cdot q^{1-\alpha}$ の和であり、 n 拡大による量産効果が適度に小さい場合には、このイメージ図のように最適生産キャパシティ q^{**} をもち、1台を作る際の平均費用を最小にするキャパシティ q^* より小さくなる(以降この q^{**} を市場規模と量産効果を考慮した最適規模として用い、キャ

図2 1台を作る際の製造費

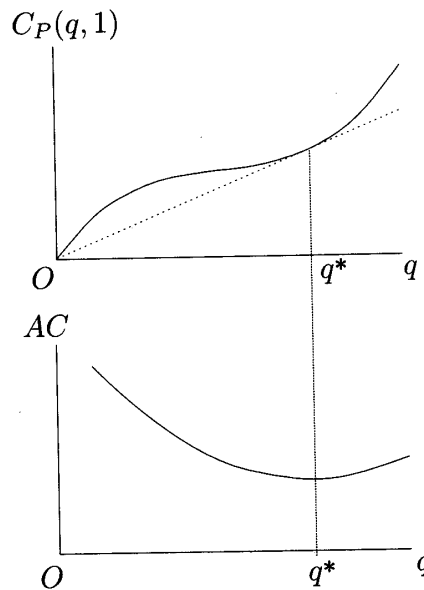
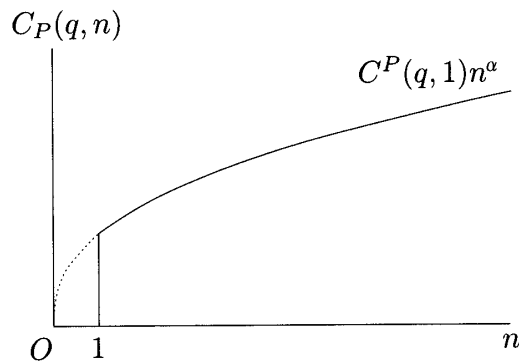


図3 マシン生産費の量産効果



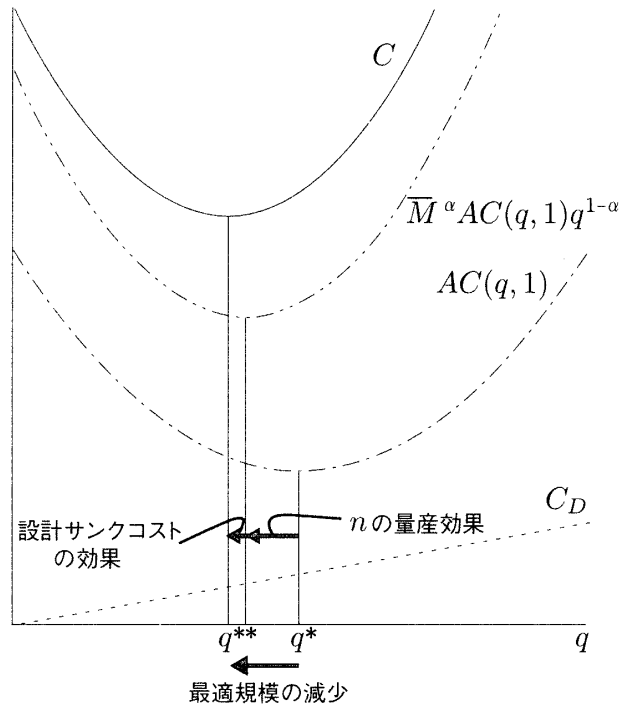
パシテイ q^* と区別する。)その要因は、設計のサックコストと生産台数 n の量産効果によってもたらされる。生産台数 n に関して極度に量産効果がある場合、

$$\begin{aligned} \lim_{\alpha \rightarrow 0} C &= C_D(q) + AC(q, 1) \cdot q \\ &= C_D(q) + C_P(q, 1) \end{aligned}$$

となって、この費用関数は(2)、(3)で $\frac{\partial C_D}{\partial q} > 0$ 、 $\frac{\partial C_P}{\partial q} > 0$ であるから q に関して逓増関数となり、もはや最適キャパシティをもたない。その際は、極力小さい機械を無数に作る事が最適となる。この市場規模を与件とした費用関数(7)の最小値の条件をフォーマルに示せば、次のようになる。

<必要条件>

図4 費用とキャパシティのイメージ図



$$\frac{dC}{dq} = C'_D + \bar{M}^\alpha \{ AC' \cdot q^{1-\alpha} + AC(1-\alpha) \cdot q^{-\alpha} \} = 0 \quad (8)$$

< 十分条件 >

$$\frac{d^2C}{dq^2} = C''_D + \bar{M}^\alpha \{ AC'' \cdot q^{1-\alpha} + 2AC'(1-\alpha) \cdot q^{-\alpha} + AC(-\alpha)(1-\alpha) \cdot q^{-\alpha-1} \} > 0 \quad (9)$$

この2つの条件から次のことが言える。もし、設計デザイン費用がなく ($C_D = 0$)、生産台数 n の量産効果がない ($\alpha = 1$) 場合、

$$\left. \frac{dC}{dq} \right|_{C_D=0, \alpha=1} = \bar{M} \cdot AC' = 0$$

のときが解であり、十分条件

$$\left. \frac{d^2C}{dq^2} \right|_{C_D=0, \alpha=1} = \bar{M}^\alpha AC'' > 0$$

も満たしている。つまり、最適キャパシティ q^{**} は $AC(q, 1)$ を最小ならしめる点 q^* と一致する。こ

の場合、通常の教科書論議と一致する。 $C_D > 0, 1 > \alpha > 0$ で最適 q^{**} が存在する場合、(8), (9)を満たさねばならないが、

$$\left. \frac{dC}{dq} \right|_{q=q^*} = C'_D + \bar{M}^\alpha AC(1-\alpha) \cdot q^{*-\alpha} > 0$$

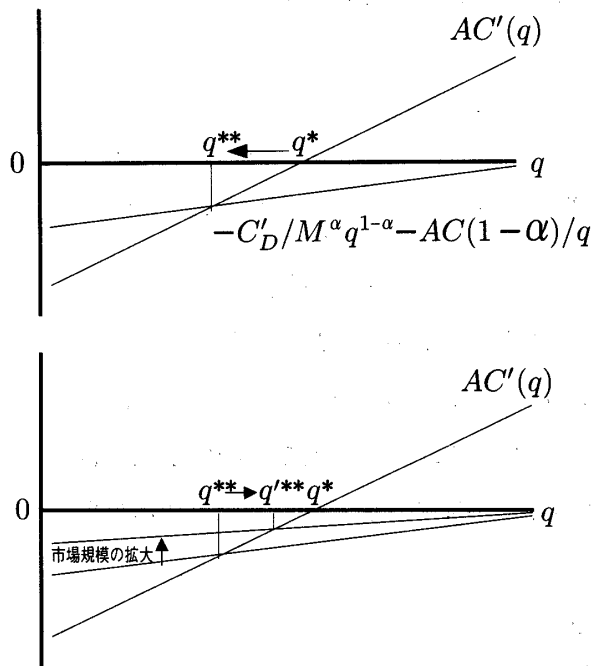
であるから、平均生産費用 $AC(q, 1)$ を最小ならしめる q^* 水準では限界費用が正に転じており、 $q^{**} < q^*$ でなければならないことがわかる。より正確には次のようになる。つまり、必要条件(8)式を満たす q は、次式を満たさねばならない。

$$AC'(q) = \frac{-C'_D}{\bar{M}^\alpha q^{1-\alpha}} - \frac{AC(1-\alpha)}{q} < 0 \tag{10}$$

右辺は明らかに負である。したがって、図5のような最適キャパシティ q^{**} ($q^{**} < q^*$) をえる。つまり、平均生産費用最小のキャパシティ q^* を下回ることになる。なお、最小化十分条件についての正確な吟味については補論を参照されたい。

次に、市場規模 \bar{M} の拡大につれて最適キャパシティ q^{**} がどのように動くのかをみてみよう。(10)式からわかるように、 \bar{M} が拡大すると右辺の値は下がることになる。したがって、図??の下が示すように市場規模 \bar{M} の拡大は最適規模を拡大させ、 q^* に接近する。

図5 市場規模拡大による最適キャパシティの変化



3 実証分析

3.1 最適プラント・キャパシティの推定

我々は前節の帰結に基づき、バイオ・ブリケット製造機の費用関数を以下のように定式化した。また、製造費用についてはトランス・ログ費用関数を用いた。

3.1.1 * <設計デザイン費用>

$$C_D = aq^b \quad (11)$$

ただし、

q : プラント・キャパシティ ($t/hour$)

3.1.2 * <製造費用>

$$\ln C_P = c + d \ln q + \frac{1}{2} e (\ln q)^2 + \alpha \ln n \quad (12)$$

ただし、

n : 製造台数

したがって、(11), (12)式より費用関数は

$$C = C_D + C_P = aq^b + \exp(c + d \ln q + \frac{1}{2} e (\ln q)^2 + \alpha \ln n) \quad (13)$$

のように表される。

設計デザイン費用関数のパラメータは、技術者からのヒアリングにより表1のように測定された。

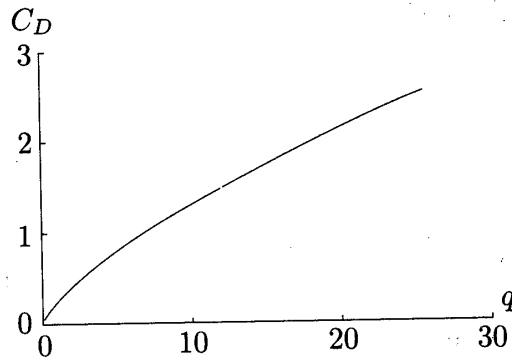
表1 設計デザイン費用関数のパラメータ推定値

a	b
0.26	0.71

このパラメータによる設計デザイン費用関数は図6のようになる(以後、グラフの縦軸には金額指数を、横軸にはプラント・キャパシティ($t/hour$ (括弧内は $t/year$))をとっている。)。また、製造費用関数についてはヒアリングによって得たデータに基づき、以下の式を制約付き最小自乗法を用いて推定した。この制約は $q = 15$ のときが平均費用を最小にする値であり、製造費用のキャパシティに関する弾性値が²⁾1になることを示している。

2) 平均費用 $AC(q, 1) = \frac{C_P(q, 1)}{q}$ 最小化の必要条件は $\frac{C_P(q, 1)}{q} = \frac{dC_P(q, 1)}{dq}$, つまり平均費用=限界費用である。この条件を用いると、 $\frac{d \ln C_P(q, 1)}{d \ln q} = \frac{dC_P(q, 1)/C_P(q, 1)}{dq/q} = 1$ が導かれる。

図6 設計デザインコストとキャパシティ:推定結果



$$\ln C_P(q, 1) = c + d \ln q + \frac{1}{2} e \ln q^2 \quad (14)$$

subject to: $d + \ln 15 \cdot e = 1$

推定結果は、表2に示されている。

表2 製造費用関数のパラメータ推定値 (括弧内はt値)

c	d	e	R ²
-1.62	0.34	0.25	0.99
(-35.56)	(7.42)		

推定された1台あたりの製造費用及び平均費用 ($AC(q, 1)$) は図7で表され、 $AC(q, 1)$ が最小になるのはプラント・キャパシティが15t/hour(105000t/year)のときである。また、製造費用のプラント・キャパシティに関する弾性値 ($\frac{\partial \ln C_P}{\partial \ln q}$) とプラント・キャパシティの関係を示したのが図8である。プラント・キャパシティが15t/hour(105000t/year)のときに弾性値が1になる。

(12)式における α は量産効果を示すものであるが、これはヒアリングに基づき0.6と想定している。

こうして得られた費用関数(13)式を最小化することにより、最適プラント・キャパシティが求められる。その際には、マーケット・サイズ(\bar{M})についての次のような制約が課される。

$$\bar{M} = n \cdot q \quad (15)$$

マーケットサイズが小さい状態、およびそれが拡大したときの最適プラント・キャパシティの変化を追うために、ここでは \bar{M} を6ケース想定した。

以上より必要条件である(8)式を解き、我々は表3のような最適プラント・キャパシティを得た。

図7 1台を作る際の製造費:推定結果

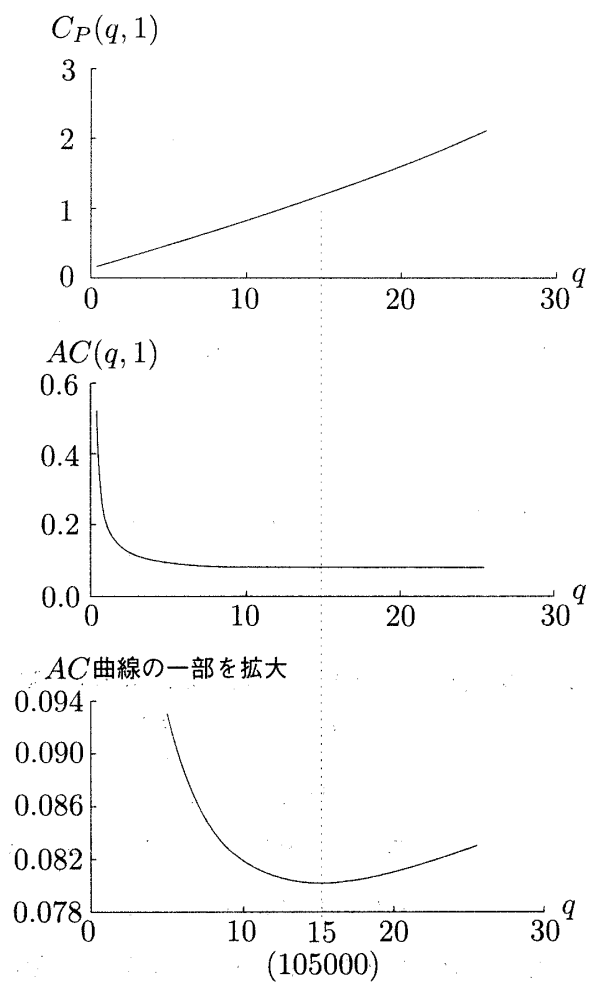


図8 製造費用のキャパシティに関する弾力性

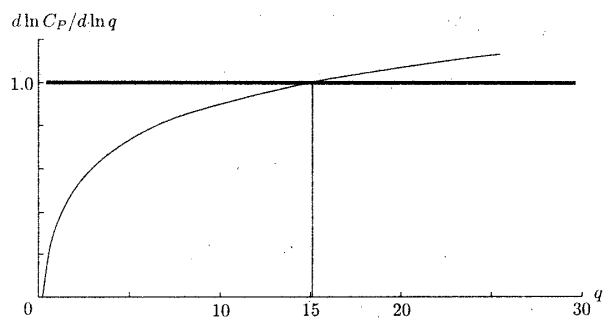


表3 最適プラント・キャパシティおよび製造台数

$M(t/year)$	$q(t/hour(t/year))$	n
10万	1.19(8330)	12
25万	1.53(10710)	23
50万	1.80(12600)	40
100万	2.04(14280)	70
150万	2.18(15260)	98
200万	2.27(15890)	126

3.2 最適プラント・キャパシティに関する図形的考察

本節では、推定された費用関数のグラフを用いて最適プラント・キャパシティについて考察をする。まず図9は、最適プラント・キャパシティが量産効果および設計サunkコストの効果によって小さくなっていく様子を表している(マーケット・サイズが10万 $t/year$ のケース)。最適プラント・キャパシティは、平均費用($AC(q,1)$)最小点である $15t/hour(105000t/year)$ から量産効果によって製造費用($C_P(q,n)$)最小点の $2.94t/hour(20580t/year)$ に、さらに設計サunkコストの効果によって生産費用($C(q,n)$)を最小にする $1.19t/hour(8330t/year)$ に減少していく。

最適プラント・キャパシティが、マーケット・サイズによってどのように変化するかを示したのが図10である。マーケット・サイズが10万 $t/year$ から100万 $t/year$ に拡大すると、最適キャパシティは $1.19t/hour(8330t/year)$ から $2.04t/hour(14280t/year)$ に増加する。

さらに最適プラント・キャパシティの動きを別のグラフで考える。図11はマーケット・サイズ制約曲線と等費用曲線を描いたもので、この交点が最適プラント・キャパシティになる。最適点の軌跡は45度線よりも製造台数軸寄りになっている。したがって、マーケット・サイズが拡大するにつれて最適プラント・キャパシティよりも製造台数の増加率が大きくなっていることがわかる。

4 結論

以上ブリケット・マシンの最適規模についての考察を行ってきた。ブリケット・マシンを市場規模にあわせて作る場合、二つの規模の経済性の効果を考えておく必要がある。一つは機械が大きくなるにつれて、ブリケット単位当たりの平均費用が下がってくるという効果であり、もう一つは機械自体をたくさん作る量産効果である。この結果では、市場規模を与件とすると前者の最適値である時間当たり $15t$ よりはるかに小さい機械をたくさん作れば良いということになった。例えば市場規模が年間10万 t ならば、プラントのキャパシティが時間当たり $1.2t$ 級のマシンを12台作れば良い。また年間100万 t のブリケットを造るには、時間当たり $2t$ クラスの機械を70台作れば良いということであった。ただし分析の単純化のため、我々はあくまで市場規模を与件とした、きわめてス

図9 費用とキャパシティ (M=10万t/year)

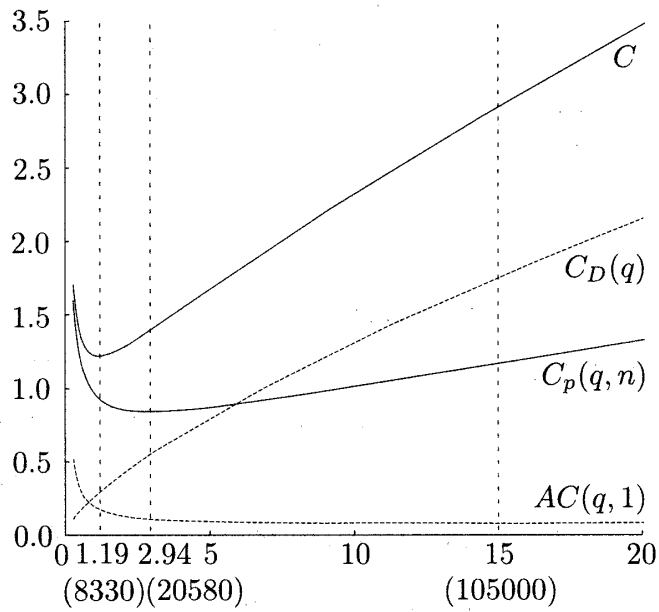


図10 マシンの費用とキャパシティ

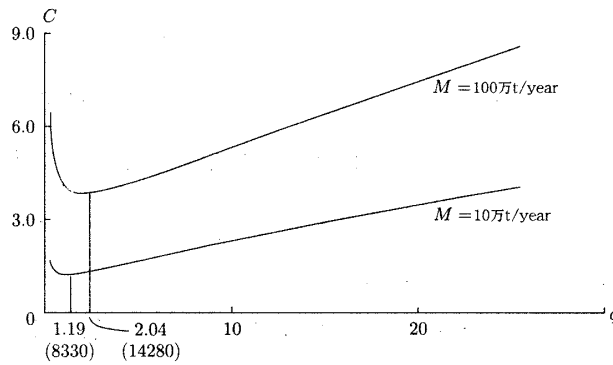
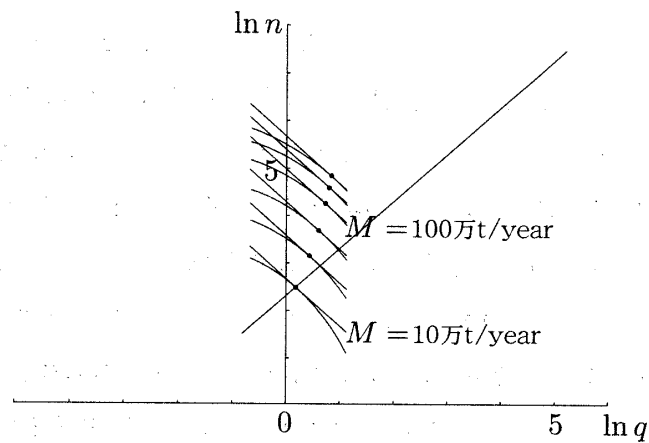


図11 最適プラント・キャパシティの軌跡



タテックなモデルを用いた帰結であったことは疑いない。しかし、中国の今後の経済発展を考えた場合、脱硫はどうかというダイナミックな観点からすれば、さらに小規模の機械をたくさん作るという帰結は否定されるどころか逆にサポートされることになる。ブリケット・マシンはあくまで安上がりな脱硫であり、将来は石炭のガス化や電力化が都市部で進行するだろう。またブリケットそのものは石炭と比べると雨ざらしにできず、流通コストがかさむのでバイオ・ブリケットの需要地の近くで作ることが望ましい。このことを加味すると、ひとたび都市部に導入されたマシンは将来は農村部や地方都市で使えるようなものでなくてはならない。したがって大きなマシンをもし都市部で使えるようにしたならば、将来は取り扱いが不便なものになる。中国のダイナミックな観点からも小型機をたくさん作ることがサポートされると言えよう。もし時間当たり1tとか2t級のものならば、じゅうぶん地方でも利用可能性があるからである。従って、石炭生焚きでSO_x汚染がひどい大都市にブリケット・マシンを導入するには、小型機をたくさん作る方が良いと結論づけられるといえよう。

補論 費用最小化十分条件の吟味

一般ケース

最小化の対象となる費用関数は

$$C(q, n) = C_D(q) + C_P(q, 1)n^\alpha \quad (16)$$

である。これに需要規模制約 $M = qn$ を代入すると、

$$C(q, n) = C_D(q) + M^\alpha \frac{C_P(q, 1)}{q^\alpha} \quad (17)$$

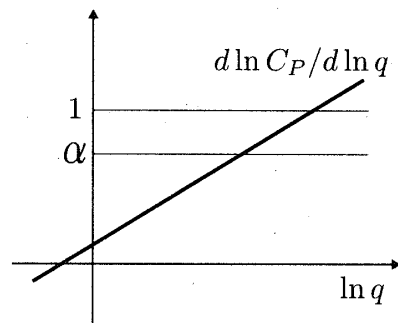
となる。必要条件は、(17)の1回微分イコールゼロであり、

$$C'(q, n) = C'_D(q) + M^\alpha \left(\frac{C'_P(q, 1)q - \alpha C_P(q, 1)}{q^{\alpha+1}} \right) = 0 \quad (18)$$

となる。次に、十分条件は(17)の q に関する2回微分がプラス、

$$C''(q, n) = C''_D(q) + M^\alpha \left(\frac{C''_P(q, 1)q^2 + \alpha(\alpha + 1)C_P(q, 1) - 2\alpha C'_P(q, 1)q}{q^{\alpha+2}} \right) > 0 \quad (19)$$

図12 費用の規模弾力性と最適規模の関係



となる。以下では、必要条件を満たす q の近傍での十分条件について考える。 $C''_D(q^*) > 0$ であるから、必要条件を満たす q^* では、 $C'_P(q^*, 1)q^* < \alpha C_P(q^*, 1)$ が成り立っていなければならない。この関係を利用すると、

$$C'''(q^*, n) > C''_D(q^*) + M^\alpha \left(\frac{C''_P(q^*, 1)q^{*2} + C'_P(q^*, 1)q^*(1 - \alpha)}{q^{*\alpha+2}} \right) \quad (20)$$

を得る。したがって、 q^* の近傍で $C''_D(q^*) > 0$ が成り立てば(限界費用が逓増ならば)、製造コストに関する最小化の十分条件は満たされる。開発コストに関しては、限界費用逓減を仮定しているので、費用全体として十分条件が成り立つかどうかは、開発コストの費用逓減の大きさに依存する。

必要条件を満たす q^* に関して成り立つ不等式、 $C'_P(q^*, 1)q^* < \alpha C_P(q^*, 1)$ について考えよう。この不等式を書き換えると、

$$\frac{C'_P(q^*, 1)q^*}{C_P(q^*, 1)} < \alpha \quad (21)$$

である。ここで左辺は製造コストの規模に関する弾力性である。平均費用がU字型で、平均費用曲線の最小点を限界費用曲線が下から切る形の通常の場合、限界費用と平均費用の比率であるこの弾力性は q に関して増加関数となる(図12参照)。したがって、他の事情一定のもとで α が下がれば、(21)の不等式より q^* の上限が下がる。本論で示されたように、 α がきわめて小さい状況、すなわち生産台数に関する規模の経済性がきわめて大きい状況では、費用を最小化する最適規模 q^* が小さくなり、場合によっては最適規模が存在しないケースにもなりうるということがわかる。

本論の特定化の場合

本論では、開発コストは対数線形、製造コスト関数をトランスログ型に特定化してある。すなわち、

$$\ln C_D(q) = a + b \ln q \tag{22}$$

$$\ln C_P(q, n) = c + d \ln q + \frac{1}{2}e(\ln q)^2 + \alpha \ln n \tag{23}$$

である。図4にある弾力性逓増の条件から $e > 0$ が仮定される。 $C(q, n) = C_D(q) + C_P(q, n)$ であることを考慮し、等コスト曲線 $C(q, n) = C_0$ の限界代替率を計算すると、

$$-\frac{d \ln n}{d \ln q} = \frac{b}{\alpha} \frac{C_D(q)}{C_0 - C_D(q)} + \frac{1}{\alpha}(d + e \ln q) \tag{24}$$

を得る。この限界代替率が q の増加関数であれば、与えられた需要サイズのもとでの費用最小化の十分条件はグローバルに満たされる³⁾。上記右辺を $\phi(q)$ とすれば、

$$\phi' = \frac{b C_D'(C_0 - C_D) + C_D C_D'}{\alpha (C_0 - C_D)^2} + \frac{e}{\alpha q} > 0 \tag{25}$$

となる。よって、本論における費用関数の特定化の場合、費用最小化の必要条件を満たす q と n の解は、十分条件も満たすことがわかる。

参 考 文 献

[1] 金熙濬, 定方正毅(1998)「バイオブリエットによる脱硫・脱硝技術とその反応機構」『KEO DISCUSSION PAPER』No.20(WG3-3), 慶應義塾大学産業研究所・日本学術振興会未来開拓学術推進事業

吉岡完治 [産業研究所教授]

3) この点は、図13の等費用曲線と市場規模制約曲線との関係から容易に理解できる。要は、総費用関数 $C(q, n)$ が quasi-convex であればよいのである。

図13 需要サイズ制約曲線と等費用曲線

