

## ■ 論 説 ■

# エネルギー効率を加味した 資本ストックの再評価

Energy Efficiency and Reevaluation of Capital Stock

佐 和 隆 光\*・森 俊 介\*\*

Takamitsu Sawa Shunsuke Mori



## 1. 事前の生産関数と事後の生産関数

エネルギー問題への関心がたかまるにつれ、資本、労働に加えエネルギーを第三の生産要素にとりこんだ生産関数の推計と、それにもとづく経済分析が盛んとなりつつある。もっとも頻用される関数型はトランスログ型のそれである。この生産関数の特徴としては、推計が容易なことのほか、代替弾力性や価格弾力性が趨勢的に可変なことがあげられる。日米のデータを用いての推計結果によると、資本・労働、労働・エネルギーの間には、それぞれ代替関係が有意に認められるのに対し、資本・エネルギー間には、代替関係が認められる実証例もあれば、補完関係が見出される実証例もある。いずれの関係にせよ、それなりに経済合理的な説明がつくため、資本とエネルギーの代替・補完関係については、理論と実証の双方において、未定のまま放置されている。ところで、資本とエネルギーの代替関係は、事前(ex ante)には、すなわち設備投資をおこなう以前には、かなり強いと考えられる。たとえば、同一量の生産能力を備えるにあたって、省エネルギー的ではあるが高価な資本設備をそなえるか、もしくは、エネルギー多消費的ではあるが安価な資本設備で間に合わせるかの選択は、少なくとも事前(ex ante)には、かなりのふり幅(flexibility)を持つものと予想される。ところが、いったん資本設備を設置してしまうと、その設備のエネルギー原単位(1単位の生産物を生産するのに要するエネルギー投入量)はほとんど固定的である。すなわち、事後(ex post)においては、資本設備とエネルギーの代替可能性の幅は、すこぶる狭いものと思われる。

通常、経済分析においては、資本設備の賦存量を所与のものとみなしての分析のことを短期分析といい、

資本設備のおきかえの可能性をもふくめての分析を長期分析という習わしである。上に述べたことは、経済分析の期間(短期か長期か)ともかかわってくる。すなわち、短期分析においては資本とエネルギーの代替の弾力性はほぼゼロであるのたいして、長期分析におけるそれは、有意にゼロと隔たっている。

生産関数の推計が年次データを用いてなされるとすれば、問題は、1年という期間を短期とみなすべきか長期とみなすべきかである。もしそれを短期とみなすならば、その期間内での代替・補完関係を云々するのは、どだい有意性を欠くことになる。

ところで、いうまでもないことではあるが、新古典派経済学の枠組みの中では、代替関係にある生産要素をどう組み合わせるに生産に供するかは、生産要素の相対価格に応じて決まる。先程、少なくとも事前(ex ante)には、資本とエネルギーは高度の代替性をもつであろうといったが、いかなる設備を設置すべきかの決定をおこなうにあたっては、(当面の問題意識のもとでは)資本の価格(もしくはレンタル・コスト)とエネルギー価格の相対比が問題となってくる。エネルギー価格が相対的に高ければ省エネルギー的設備が選択されるであろうし、逆にそれが低ければエネルギー多消費的設備が選択されるであろう。ここで漠然と相対価格といったけれども、設備投資の意思決定をおこなうにあたっては、たんに投資決定の時点における生産要素の相対価格のみならず、設備が稼働するであろう全期間にわたって、相対価格がどう推移するかがひとしく関わってよう。とはいえ、価格予想の形成にかんするオペレーショナルなモデルを構築するのが難しいこともあって、通常は、当期の相対価格のみを考慮に入れて(その価格体系が将来とも持続すると仮定して)投資の意思決定をおこなう、という近視眼的な(myopic)な企業行動を仮定するのである。かくして、 $t$ 期に投資された資本設備は、エネルギーと資本財の $t$ 期における相対価格のもとで最適とみなされるエネルギ

\* 京都大学経済研究所教授

〒606 京都市左京区吉田本町

\*\* 東京理科大学理工学部経済工学科講師

一利用効率をもつと仮定される。また、いったんすえつけられた設備は、それがスクラップされるまで、そのエネルギー効率は一定不変であると仮定する。

## 2. 資本設備のエネルギー効率

設備の耐用年数は、その種別によってかなりのバラツキがあるとはいえ、大半のものは10年以上の寿命をもつであろう。エネルギーの相対価格は、設備の耐用期間内に、一定値にとどまるとは考えられない。1970年代のように、2度にわたるオイル・ショックに見舞われたのは例外的だとしても、エネルギー価格は時々刻々変動する。したがって、投資されたばかりの設備を別にすれば、大部分の既存設備は、エネルギー効率において最適ではない（非効率的である）。現時点に比してエネルギーが相対的に高価な時に投資された設備は、過度に省エネルギー的であろうし、また、エネルギーが相対的に安価な時に投資された設備は過度にエネルギー多消費的であろう。

各年次の新規設備投資額と初期時点の資本ストックが与えられたとき、各年次の資本ストックは、通常、次のようにして推計される。まず、一定の設備償却率  $d$  を想定し、 $t$  時点で投資された設備は、 $(t+s)$  時点において  $(1+d)^{-s}$  の割合で残存するものと仮定する。すなわち、 $t$  時点の投資価額を  $I_t$  とすれば、 $(t+s)$  時点に残存している設備の価額は  $(1+d)^{-s} I_t$  である。さらに、残存率が100a%未満になれば、その設備はスクラップされるものと仮定すれば、設備の寿命  $T$  は  $(1+d)^{-s} \leq a$  となる最大の  $s$  によって与えられる。以上のような前提のもとに、いわゆる純資本ストックが

$$K_t = \sum_{s=0}^T (1+d)^{-s} I_{t-s}$$

として計算されるのである。

他方、設備はスクラップされるまでは投資された時点と同一の機能を果たしうるのであるから、毎年、設備の価額が徐々に減耗していくという上記のような資本ストックの計算方式は、生産能力の尺度として適切性を欠くといえなくもない。毎年、年齢別の設備除却額  $D_t$  が計測可能であれば

$$K_t = \sum_{s=0}^T (I_{t-s} - D_{t-s})$$

が、生産能力をもっとも忠実に表現する資本ストック

推計値となろう。しかしながら、年齢別の設備除却額にかんする統計は利用不能なため、企業設備や建物の種別に一定の寿命を仮定し、寿命に達するまではもともとの価額がそのまま維持され、寿命に達するや否やその価額は一挙にゼロとなる、という前提のものに推計される資本ストックが、いわゆる粗資本ストックである。純資本ストックは、どちらかといえば imaginary な量であるのに対して、粗資本ストックの方が現存する資本ストックに比較的近いといえる。そのため、通常の生産関数分析においては、粗資本ストックが用いられることの方が多い。

ところで、しかし、上記いずれの資本ストックにせよ、異質な企業設備のすべてを価額表示した上で、単純に集計したものである。いかえれば、設備の“質”の差異は一切考慮に入れられていない。たとえば、同一価額の同種の生産設備でも、エネルギー効率にかんしては多種多様でありうる。もっとわかりやすい例でいうと、価額の等しい自動車でも燃費はまちまちである。生産関数分析において、エネルギーを明示的にとりこまないとするれば、そうした多様性に目をつぶって、過去の投資を単純に積み上げることにより資本ストックを推計しても、あながち見当外れではない。しかし、エネルギーと資本設備の関連に分析を加えようとするなら、資本設備につきまとうエネルギー効率の多様性を看過するわけにはいかない。

さて問題は、資本設備を集計 (aggregate) するにあたり、個々の設備のエネルギー効率の差異をいかにして考慮に入れるかである。  $K_t$  を  $t$  期に存在する資本設備の総価額（純資本ストックであれ粗資本ストックであれ）とする。  $K_t$  は資産項目と年齢を異にする資本設備をなんらかの方式にしたがって集計したものである。エネルギーの相対価格が変動するため、  $K_t$  はエネルギー効率を異にする資本設備の集計であるとみることでもできる。そこで、集計された資本設備  $K_t$  の時点  $t$  におけるエネルギーの資本設備にたいする相対価格  $P_{E,t}^* = P_{E,t} / P_{K,t}$  のもとでのエネルギー効率指数 (index of energy efficiency) を  $\lambda_t$  とあらわす。設備投資のおこなわれた過去の期間  $t-s$  ( $s \leq T$ ) において、  $P_{E,t-s}^*$  が一定不変でありしかも現時点の価格  $P_{E,t}^*$  に等しいときに、  $K_t$  のエネルギー効率指数は1であると基準化しておこう。

さらに、任意の  $s_0$  ( $0 < s_0 \leq T$ ) にたいし

$$P_{E,t-s_0}^* = P_{E,t}^* \quad s \geq s_0$$

$$P_{E,t-s_0}^* < P_{E,t}^* \quad s < s_0$$

投資されたエネルギー多消費的な資本設備は非効率的であるにもかかわらず、通常の資本ストックは賦存設備の価額の単純な総和であるため、こうした“設備の非効率化”を加味していない。そのため、総要素生産性の伸び率は過少評価されるのである。

以上の議論では、単一に集計された資本ストックを問題にしてきた。しかし、エネルギー効率の問題を考えるにあたっては、少なくとも企業設備と建物・構築物に分けた方が望ましい。製造業の消費するエネルギーの大半は企業設備の稼働に伴うものだからである。Berndt and Woodは、企業設備を再評価したものを  $K_{Et}^*$  とし、総資本ストックの再評価額  $K_t^*$  を

$$K_t^* = AK_{Et}^* K_{St}^{1-\alpha}$$

として、建物・構築物のストック  $K_{St}$  と  $K_{Et}^*$  を集計している。このとき、

$$\frac{\partial \ln \lambda_t}{\partial \ln P_{Et}} = -\alpha \sigma$$

となる。  $\alpha$  には、総投資資本ストックの時価評価額に占める企業設備ストックの時価評価額の比率の平均値 0.6 があてられる。

以上述べてきたような資本ストックの再評価は、それに基づく生産関数の推計をおこなうことを目的に、私たちは工業統計表（通産省）、物価指数年報（日本銀行）、国富調査報告（経済企画庁）、国民所得年報（同）、長期経済統計（東洋経済）をもとにデータ・ベースづくりをおこなった。

企業設備の耐用年数は約20年前後と考えられるから、仮に生産関数の推計に用いるデータの期間を1955～1980年としても、企業設備投資とエネルギー価格および資本財価格指数については、1930年頃から以降のデータが必要であろう。また、第2次大戦中およびその後6～7年間にわたってのデータの欠落をどう補うべきかというやっかいな問題もある。これらの点にかんする詳細は省くことにして、私たちのデータ・ベースから計算された若干の興味深い時系列を以下に図示しておこう。

### 5. 設備投資（資本形成）の推計について

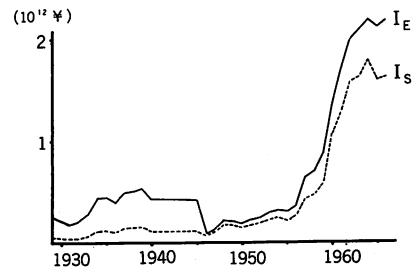
製造業の設備投資額は、戦前期（1940年まで）については、設備・建設ともストック・フロー別に「長期経済統計」により推計されている。戦後（1955年以降）については、工業統計表、国民所得、国富調査のそれぞれが、少しずつ異なる系列を公表している。1941～

54年については、既存の推計値が利用不可能なため、次のようにして推計をおこなった。

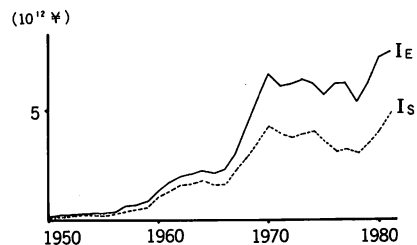
まず戦後の1946年以降については、機械器具生産額、電気機械、輸送機械、計測機械の生産額が工業統計表により与えられている。そこで、設備投資に直結すると考えられる機械器具生産額（電気機械、輸送用機械、計測機械はその内容からみて省いた）と設備資本形成の間の回帰式によって1946～54年の設備資本形成を機械器具生産額から推計することにした。この方法を戦前の期間にも適用すると、推計された設備資本形成の価額は、軍需用機械生産の多かった戦間期に異常に高くなる。この傾向は「長期経済統計」の推計値にも見られる。そこで、1938～40年の期間については、1929～37年の設備資本形成と建設資本形成の間の回帰式を外そうして推計した。1941～45年については、40年の推計値を横ばいに延長して間に合わせた。

以上のようにして推計した機械設備と建築・構築物の資本形成は、図-1と図-2に見るとおりである。1960年代の急速な設備投資の伸びと、73年のオイル・ショック後の伸び悩みが印象的である。

エネルギー価格（Divisia 指数）と資本（のレンタル）価格の相対価格  $P_E^*$  の時系列は、図-3に与えられる。1955年以降オイル・ショックに至るまでは、趨勢的には低落傾向にあるが、その間にも短期的な循環が認められることは注目に値しよう。



1929年～1965年（1975年価格により表示）  
図-1 機械設備（ $I_E$ ）、建築・構築物（ $I_S$ ）資本形成



1950年～1981年（1975年価格により表示）  
図-2 機械設備（ $I_E$ ）、建築・構築物（ $I_S$ ）資本形成

ならば、エネルギー効率指数は1未満とする。また、上記の式において不等号の向きが逆であれば、エネルギー効率指数は1を超えるものとする。すなわち、過去の一時点において、エネルギーの相対価格が現時点のそれ以上であれば、 $K_t$ は過度に効率的である。他方、過去の一時点においてエネルギーの相対価格が現時点のそれ以下であれば、 $K_t$ は過度に非効率的であるということになる。つまり、エネルギー効率指数は1以上であれ1以下であれ、いずれにせよ現在の価格体系のもとでは最適性を欠くのである。

3. エネルギー効率とエネルギー価格

そこで次の問題は、エネルギー効率指数  $\lambda_t$  をいかにして測るかである。t 時点における資本設備の賦存量を  $K_t$  とし、エネルギー効率を考慮に入れてのその評価額を

$$(1) K_t^* = \lambda_t K_t$$

とする。まず、 $\lambda_t$  がエネルギーの相対価格の系列  $P_{E,t-s}^*$  ( $0 \leq s \leq T$ ) の関数であることに異論はあるまい。またそれが  $P_{E,t-s}^*$  ( $0 \leq s \leq T$ ) のゼロ次同次関数であると仮定するのも自然であろう。そこで  $\lambda_t$  を  $P_{E,t-s}^* / P_{E,t}^*$  ( $0 \leq s \leq T$ ) の関数と考える。年齢が  $s$  の ( $t-s$  期に投資された) 資本設備を  $K_{t,t-s}$  とあらわせば、

$$K_t = \sum_{s=0}^T e_{t,t-s}$$

である。他方  $K_t^*$  を  $K_{t,t-s}$  の重みづけ平均

$$K_t^* = \sum_{s=0}^T e_{t,t-s} K_{t,t-s}$$

としてあらわすことにすれば、重み  $e_{t,t-s}$  は  $P_{E,t-s}^* / P_{E,t}^*$  の何らの関数として定式化するのが適当であろう。そこで

$$(2) e_{t,t-s} = (P_{E,t}^* / P_{E,t-s}^*)^\sigma$$

と定式化してみる。

エネルギーと資本の事前 (ex ante) の代替可能性が CES 関数によって表現可能だとしてみる。すなわち、E と K によって“生産”される用役を Q とあらわせば、

$$Q^{-\beta} = aE^{-\beta} + bK^{-\beta}$$

となる。エネルギーの価格を  $P_E$ 、資本のレンタル・コストを  $P_K$  とすれば、コスト・ミニマムのもとで

$$\ln (E/K)_t = \text{const.} - \sigma \ln (P_E/P_K)_t$$

という関係が成り立つ。ここで  $\sigma = 1 / (1 + \beta)$  は E と

K の代替弾力性である。これより  $(P_{E,t}^* / P_{E,t-s}^*)^{-\sigma} = (E/K)_t / (E/K)_{t-s}$  という関係が導かれ、(2) 式の  $\sigma$  を事前の代替弾力性とすれば、 $e_{t,t-s}$  は、t 期の価格体系のもとでの最適な E/K と、(t-s) 期の価格体系のもとでのそれとの比になることがわかる。 $(E/K)_{t-s}$  は資本 1 単位あたりのエネルギー消費量であるから、 $(E/K)_t$  と  $(E/K)_{t-s}$  の比は、エネルギー効率の指標としてそれなりの意味をもつものといえよう。そこで E と K の事前 (ex ante) の代替の弾性値を (2) 式の  $\sigma$  にあてることとする。  $\ln \lambda_t = \ln K_t^* - \ln K_t$  を  $\ln P_{E,t}^*$  で微分することにより

$$\partial \ln \lambda_t / \partial \ln P_{E,t}^* = -\sigma$$

という関係が導かれることに注意しておこう。

かくして得られる資本ストックの再評価額  $K_t$  は、第 1 次オイル・ショック以降、通常の資本ストック  $K_t$  を下回ると予想されるし、また、82 年以降のエネルギー価格の低落傾向が今後も持続するならば、いずれ  $K_t$  は  $K_t$  を上回ることになろう。

4. 総要素生産性とエネルギー効率

こうした資本ストック評価額の違いは、たとえば総要素生産性の計測値にかなりの差異をもたらす。通常、総要素生産性の伸び率は

$$\dot{A}/A = \dot{Q}/Q - S_K \dot{K}/K - S_L \dot{L}/L - S_E \dot{E}/E - S_M \dot{M}/M$$

として評価される。ここで  $S_i$  は第 i 生産要素のコストシェアである。したがって、総要素生産性は、生産の伸び率から要素投入の伸び率の Divisia 指数を差し引いたものにはかならない。(1) 式より

$$\dot{K}^*/K^* = \dot{K}/K + \dot{\lambda}/\lambda$$

となるから K を  $K^*$  でおきかえて定義される総要素生産性を  $A^*$  とすれば

$$\dot{A}^*/A^* = \dot{A}/A - S_K \dot{\lambda}/\lambda$$

となる。したがって、 $A^*$  の方をより適切な生産性指標だとすれば、通常の方式によって計測される生産性の伸び率  $\dot{A}/A$  は、エネルギー価格が上昇した後は  $(\dot{\lambda}/\lambda)$  は負になるから) 実状のそれを過少評価することになる。

アメリカの製造業を対象とする Berndt and Wood の計測結果によると、1970 年代の総要素生産性の伸び率の低下の過半は、通常の方式による資本ストックの計測がエネルギー効率を的確に反映していないことにより説明される、と結論されている。つまり、70 年代に生じたエネルギー価格の上昇の結果、50~60 年代に

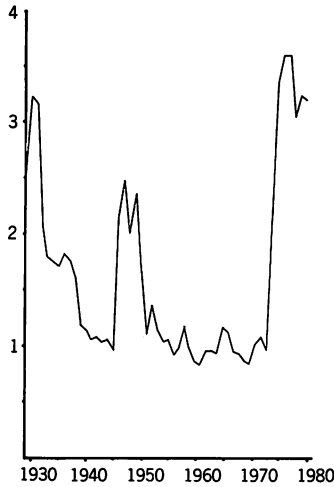


図-3 エネルギーの資本価格に対する相対価格指数

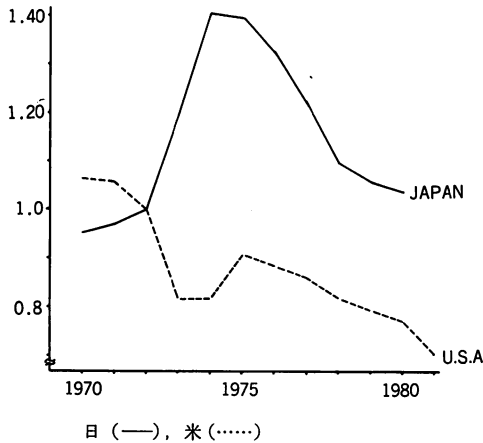


図-4 投入エネルギー量の粗生産額に対する比率 (1972年値を1とする)

図-4はエネルギー投入と生産額の比率(エネルギー原単位)の変動を、日米両国について比較したものである。70年から74年にかけて、日本では原単位が上昇していたのに対し、米国では下降の傾向にあった。74年以降、日本では一貫して下降を続け、米国では、74年から75年にかけて上昇した後、徐々に下降線をたどる。エネルギー価格の上昇に対応しての省エネルギー努力と産業構造の転換によって、原単位の低下がもたらされたのである。

図-5は粗生産額に対する粗投資額の比を、日米両国につき比較したものである。(1972年の値を1に標準化してある)。日本のそれは傾向的に低落気味であるのに対し、米国のそれは、オイル・ショック以降、とくに第二次オイル・ショック以降に急上昇する。

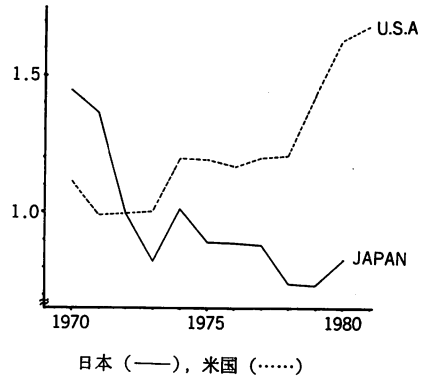


図-5 粗投資額の粗生産額に対する比率

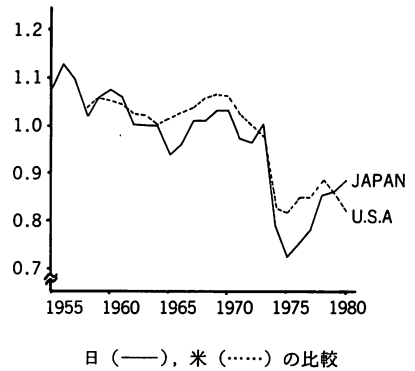


図-6 資本ストック再評価の指数(K\*/K)

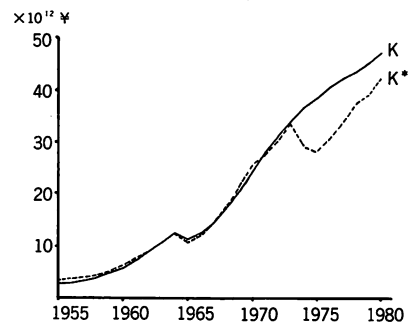


図-7 1975年価格による資本ストック(K)と再評価後の資本ストック(K\*)

図-6は、再評価された資本設備価額(K\*)の物理的に積み上げられた資本設備価額(K)に対する比率、すなわち再評価係数(λ)の日米比較である。図-7には、日本のKとK\*の時系列を与えておいた。73年のオイル・ショックによってもたらされた、資本設備の「経済的減耗」は、予想されるとおり日本においてより深刻であったことが、この図から明白に読みとられる。オイル・ショック以前の10年間に、日本の製造業の設備投資が旺盛であったこと、およびオイル・ショック以降のそれが停滞気味であったことの端的なあらわれ

と見ることができる。なお、 $K^*$ を計算するにあたっては、代替の弾力性にかんしては Berndt and Wood によって推計された米国の値 0.575 をそのまま用いた。

## 6. 結 び

オイル・ショック以来10年余りをへた今、原油価格の急騰によって日本経済が被った被害と、その後の日本経済の適応の次第について、冷静な検証の時期にさしかかったといえるだろう。この小論の中でとりあげたのは、原油価格の高騰がもたらす製造業資本設備の「経済的減耗」を、いかにして測るかという問題である。その計測法としては、Berndt and Woodのそれに習い、米国の製造業にかんする彼等の計測結果と日本の製造業にかんする私たちの計測結果を比較した。

オイル・ショックがマクロ経済に及ぼす影響はすこ

ぶる多面的であり、私たちがこの小論の中で見たのは、その一面にすぎない。また、計測の都合上、いくつかの恣意的な仮定を設けたことも断っておかねばなるまい。とはいえ、こうした一面を垣間見てみることにより、オイル・ショックが日本経済にもたらした影響についての理解は一段と深まるはずである。

## 参 考 文 献

- 1) Berndt, E. R. and Wood, D. O. "Energy Price Changes and the Induced Revaluation of Durable Capital in U. S. Manufacturing", Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy Policy Research, 1983
- 2) 江見康一;「長期経済統計・資本形成」, 東洋経済新報社, 1971年.
- 3) 大川一司;「長期経済統計・資本ストック」, 東洋経済新報社, 1971年.

### シンポジウム案内

## 第 5 回工業技術院筑波総合シンポジウム

### 及び施設公開について

第5回工業技術院筑波総合シンポジウムの第1セッションにおいて、新エネルギー技術研究開発及び、その周辺技術研究開発に従事する研究者等を対象としたシンポジウム（太陽電池、石炭液化、水素エネルギー、耐熱合金など）を行うとともに、筑波エネルギー関連施設の公開を行います。

但し、施設公開場所は共用講堂展示場、電子技術総合研究所（D 6, D 7 別棟）及び地質調査所・標本館（展示）のみと致します。

#### ○シンポジウム

日 時：昭和59年9月20日(木) 10:00～17:00

会 場：筑波研究学園都市

工業技術院筑波研究センター共用講堂

問い合わせ先：(株)日本産業技術振興協会

技術交流部計画課 (TEL 03-591-6271)

#### ○施設公開

日 時：昭和59年9月20日(木) 10:00～17:00

会 場：筑波研究学園都市工業技術院筑波研究センター

問い合わせ先：(株)日本産業技術振興協会内

サンシャイン計画10周年記念事業協議会

TEL (03) 591-6271

または工業技術院筑波管理事務所 企画調整課

TEL (0298) 54-2130