研究

論文

705. 資源制約型エネルギーから非資源制約型 新エネルギーへの最適転換に関する一考察

鈴木 篤 之*

(1979年 7月19日 受 理)

(1980年 3月13日 再受理)

*Observation on Optimal Transition from Conventional Energy
with Resource Constraints to Advanced Energy with
Virtually Unlimited Resource*

By Atsuyuki SUZUKI

The paper is aimed at making a theoretical analysis on optimal shift from finite energy resources like presently used oil toward advanced energy sources like nuclear and solar. First, the value of conventional energy as a finite resource is derived based on the variational principle. Second, a simplified model on macroeconomy is used to obtain an optimal relationship between energy production and consumption and thereby the optimality on energy price is provided. Third, the meaning of research and development of advanced energy is shown by taking into account resource constraints and technological progress. Finally, an optimal timing of the shift from conventional to advanced energies is determined by making use of the maximum principle. The mathematical model employed there is much simplified but can be used to conclude that in order to make an optimal shift some policy-oriented decision must be made prior to when an economically competitive condition comes and that, even with that decision made, some recession of energy demand is inevitable during the transitional phase.

KEYWORDS: value of energy, finite resource, advanced energy, variational principle, maximum principle, energy price, technological progress, optimal timing, policy-oriented decision, recession, economics, economic policy

I. 序 言

経済成長の制約因子の1つとしてエネルギー資源の有限性が指摘されている。エネルギー資源には、石油、石炭、天然ガスのような化石燃料、U, Th のような核燃料、そのほか太陽熱、地熱のようないわゆる再生資源があるが、世界的に、主として石油に依存している現在、その石油資源の枯渇問題がそれほど遠くない将来やってくるとの警告があまねく認識されている。

石油の需給関係の逼迫することがいつ頃であるかについては、世界の将来におけるエネルギー需給見通し

に関する不確実性、また石油産出国と消費国との間の政治的関係の複雑さなどから多くの意見がある。しかし、現在広く利用されている石油が量的に有限であることが事実である以上、その時期の違いはあっても、いずれ、現在の石油に替わる新エネルギー**に転換せざるを得ないことは確かである。

* 東京大学工学部原子力工学科(Dept. of Nucl. Eng., Univ. of Tokyo)

** 本報では、現在の石油に比べて明らかに非資源制約型と考えられるエネルギー、例えば、石炭の液化・ガス化、太陽熱・地熱、原子力(核分裂・核融合)を総称して“新エネルギー”と呼ぶ。

特に、わが国のように石油資源の乏しい国々にとって、石油価格は世界におけるそれによって支配され、エネルギー源の全面的石油依存は国内経済基盤のぜい弱性をもたらしている。したがって、新エネルギーへの転換に対するインセンティブは、これらの国々においてより高く、その研究開発に一層の努力が払われている。

ところで、この新エネルギー技術の研究開発を考える場合、その努力目標を知っておくことが重要である。なぜならば、それに成功するためには長い年月を要し、また成功するか否かわからないというリスクも伴う。さらに、その努力目標を達成して初めて新エネルギーへの転換が可能となるからである。

このような努力目標はいうまでもなく、石油価格との対比において考えられなければならない。また、同時に、開発すべき新エネルギーの技術的特質にも左右される。本報では、この点に着目して、特に、石油資源の乏しい国々における新エネルギー技術研究開発の努力目標は、どのように理解されるべきであるかについて考えてみたい。

第Ⅱ章では、世界における石油資源の有限資源としての価値はどのように表現できるかについて述べる。そして、今後の石油価格の上昇は、長期的にはこの有限資源としての価値の増大に起因するものとして理解する。ここで長期的とは、新エネルギーへの代替が全面的に可能なほど長期という意味であって、少なくとも何10年というオーダーである*。

次に、第Ⅲ章では、国内経済の簡単な長期的最適経済成長モデルを樹て、その最適経済成長下におけるエネルギーの価値がどのように表現され、また、新エネルギー技術への転換がどのような条件の下で行われるべきであるかを導く。ここで用いられる最適経済成長モデルは、Chang⁽²⁾のより一般的モデルを簡略化したものである。

そして、第Ⅳ章では、第Ⅱ章の結果を第Ⅲ章の結果に適用し、新エネルギーへの転換をもたらす条件が、いかに有限資源としての石油の価値および開発されるべき新エネルギーの技術的特質に依存するかを示す。

さらに、第Ⅴ章では、その新エネルギーの転換が実際にどのようなタイミングの下に行われるかを、1つの例題によって示す。このような資源制約型エネルギーから新エネルギーへの転換という長期戦略問題については、いままで、主として動態的数理計画モデル(例えば、Nordhaus⁽³⁾、Manne と Häfele⁽⁴⁾、Suzuki⁽⁵⁾、Dantzic と Parikh⁽⁶⁾、Cherniavsky⁽⁷⁾)によって取り扱われて

きたが、ここでとり上げる例題は、これらの数理計画モデルにおいて取り扱われている問題を数学的に簡略化したものであり、ここで得られる結果は、これら数理計画モデルによって得られる結果**の1つの構造的性質を明らかにしている。

Ⅱ. 有限資源の価値**

有限資源の経済的価値を論理的に分析する方法として、次のような変分法に基づく方法がある。

いま、ある有限資源(例えば、現在の石油資源)の最大埋蔵量を R 、時間 t における採掘生産量を $Q(t)$ 、その採掘生産の結果もたらされる効用を $v(Q(t))$ とする。このとき、採掘生産量 $Q(t)$ は、採掘の全期間($0 < t < T$)にわたった総効用(現在価値換算)***を最大にするように決められるとする。すなわち、

$$J(Q) = \int_0^T e^{-\rho t} v(Q(t)) dt \rightarrow \text{最大化}$$

$$\text{制約条件: } \int_0^T Q(t) dt = R$$

ただし、 ρ : 割引率

この効用最大化問題は、変分問題:

$$I(Q) = J(Q) - \lambda \left[\int_0^T Q(t) dt - R \right] \rightarrow \text{最大化} \quad (1)$$

ただし、 λ : ラグランジュ乗数

として書くことができる。そして、この変分問題の解は、次のオイラー方程式をみす。

$$e^{-\rho t} v_Q - \lambda = 0 \quad (2)***$$

この(2)式の意味するところは重要である。なぜならば、(1)式の最大値を

$$V(R) = \max I(Q; R),$$

と書くと、ラグランジュ乗数 λ は $\partial V / \partial R$ 、すなわち、

* 計画論としてエネルギー問題を考える場合の短期、中期、長期の違いについては、文献(1)に示されている。

** いくつかの数理計画モデルによって得られる結果の比較対照が文献(8)に体系的にまとめられている。

*** 理論的基盤は、Hotelling⁽⁹⁾、Nordhaus⁽³⁾に与えられている。

*** $t=t$ における効用(利潤)は $t=0$ における同額のそれに比べてどの程度の価値を有するかを示す係数を現在価値換算係数といい、通常割引率 ρ を用いて $e^{-\rho t}$ で表わされる。割引率 ρ は効用(利潤)を受ける主体の価値に対する考え方に依存するが、利子率と密接な関係のあるのが、第Ⅲ章で示される((17)式)。

*** $v_Q \equiv \partial v / \partial Q$ 。本報では、添字として文字を使用した場合には、偏微分を表わすものとする。

最適総効用に対する資源量の限界的価値, いいかえれば, 資源の減耗に伴う最適総効用の損失を与えるからである。つまり, (2)式は, その資源の限界的価値が, 資源の採掘生産に関する限界効用に等しくなければならぬことを意味している。

このことは, 効用を例えば採掘生産に伴う利潤と考えると容易に理解される。いま, 単位採掘量当りの採掘コストを c , 市場価格を p とする。このとき, 採掘生産 $Q(t)$ に伴う利潤は $(p-c)Q(t)$ となる。したがって, (2)式から

$$e^{-\rho t}(p-c)-\lambda=0$$

すなわち,

$$p=c+\lambda e^{\rho t} \quad (3)$$

いいかえれば, 市場価格 p は, 採掘生産コスト c と資源の有限性のゆえに招来する限界的価値 $\lambda e^{\rho t}$ との和に等しい。この限界的価値は, Nordhaus⁽³⁾ によって有限資源の消費に伴うロイヤルティと呼ばれている。(3)式は, ロイヤルティ, したがって価格が時間とともに上昇し, 資源の枯渇化の近づくにつれ需要がゼロに落ち込む程度まで高くなることを意味している。

この考え方は, 現在の石油資源についても適用できる。すなわち, 石油の世界市場における価格は, (3)式によって, その採掘生産に要する費用と, 世界における石油資源の減耗に伴う限界的損失との和に等しいとみなすことができる。そして, 石油の有限資源としての価値は, このうち後者の限界的損失として表現され, それゆえに将来の価格上昇のあるものと考えるのである。

Ⅲ. 経済成長モデル*

以上, 石油資源の価値, ロイヤルティを世界における単なる採掘生産活動の面だけから見たが, 次に, それをある特定の社会単位, 特に国内にそのような石油資源を保有せず, 現在そのエネルギー供給源のすべてを輸入石油に頼っている国々における需要面から考察してみよう。ここで需要面とは, エネルギー需要の経済に果たす役割, あるいは国民総生産に対するエネルギー投入の価値に着目するという意味である。

石油資源の恵れない国々にとって大切なことは, 資源量というより技術水準にその供給力の限界性を有する新エネルギー技術の開発である。いま便宜的に, このような技術によってエネルギーの生産を行うエネルギー部門と, それ以外の部門とに国民経済活動を分け, 次のようなマクロモデルを考える。ここで, エネルギー

部門における労働量は, それ以外の部門におけるそれに比べて無視しうるほど少なく, 同時に, 労働の国民総生産に与える寄与は, 石油であるか新エネルギーであるかというエネルギー源の選択とは無関係に, 一定であるとする。

$$\Phi = \int_0^{\infty} e^{-\pi t} U(C, E) dt \rightarrow \text{最大化} \quad (4)$$

$$\text{制約条件: } G(K_0, E_0; L_0) = I_0 + I + P(X) + C$$

$$(5)$$

$$\dot{K}_0 = I_0, \quad (6)^{**}$$

$$\dot{K} = I, \quad (7)$$

$$X + Y = E_0 + E \quad (8)$$

$$Y = g(K) \quad (9)$$

ただし,

$G(K_0, E_0; L_0)$: 国民総生産

K_0 : 非エネルギー部門における資本設備**

I_0 : 非エネルギー部門における年間設備投資

K : エネルギー部門における(新エネルギー生産のための)資本設備**

I : エネルギー部門における(新エネルギー生産のための)年間設備投資

L_0 : 国民総生産に対する労働投入量

E_0 : 国民総生産に対するエネルギー投入量

E : 非生産的エネルギー消費量

X : 輸入エネルギー(石油)供給量

$P(X)$: 輸入エネルギー購入費

Y : 新エネルギー供給量

$g(K)$: エネルギー部門における生産関数

C : 個人消費支出

$U(C, E)$: 消費者の効用関数**

π : 割引率

(5)式の意味するところは, 通常の経済モデルにおいて仮定されているところと本質的に変らない。左辺は生産, 右辺は消費を表わしている。通常の経済モデ

* ここでの理論的展開は Chang⁽²⁾ に準拠したものである。

** $\dot{K}_0 \equiv dK_0/dt$ 。本報では時間微分をこのように表現する。

** 第Ⅲ章のモデルで用いられている変数のうち K_0 , K 以外の変数はすべて単位時間当たり, 例えば年間の値である。

** ここでの効用関数とは国民全体からみた一種の福祉度(Felicity)を意味し, それは個人消費支出 C とエネルギー最終需要 E との関数であると仮定した。関数形を具体的に定めることは難しいが, ここでの理論的展開では特にそれを必要としない。しかし, 現実的意味から $U_C \geq 0$, $U_E \geq 0$ であると考えられる。

ルの場合、生産関数は資本と労働との関数として表現されることが多いが、ここでは、エネルギー消費に着目しているので、エネルギーとしての投入を別に考え、また労働 L_0 の及ぼす寄与は計画期間中一定であるとした。消費についても、基本的には投資と個人消費とに2分されるが、ここでは、新エネルギー生産への投資および石油輸入のための支出を特に分離して記述した。

(6), (7)式は、資本設備に関する通常の定義式である。(8)式はエネルギーの需給バランス式であり、左辺は供給あるいは生産、右辺は需要あるいは消費を意味する。特に需要は、国民総生産に直接寄与するエネルギー消費 E_0 と、直接寄与しないが国民生活にとっては重要な、例えば民生部門におけるエネルギー消費 E とに分けられている。

(9)式は、新エネルギー技術によるエネルギーの生産関数であり、ここで、それが資本設備だけの関数としてかかっているのは、新エネルギー技術とは完全に資本集約型であり、また設備の老朽化による生産量の低下もないものと仮定されているためである。

(5)~(9)式の制約条件の下における(4)式の効用を最大化する最適条件を最大原理から導いてみよう。いま、状態変数を非エネルギー部門、エネルギー部門それぞれの資本設備 K_0, K とし、政策変数をそれらの設備投資 I_0, I と石油輸入量 X および民生用エネルギー需要量 E とする。このとき、最大原理のいわゆるハミルトン関数 H は次のように書かれる。

$$H = e^{-\pi t} U(C, E) + \phi_0 I_0 + \phi I \quad (10)$$

$$\text{ただし、} \dot{\phi}_0 = -\frac{\partial H}{\partial K_0} = -e^{-\pi t} U_C G_{K_0} \quad (11)$$

$$\dot{\phi} = -\frac{\partial H}{\partial K} = -e^{-\pi t} U_C G_E g'(K) \quad (12)^*$$

そして、(4)式の効用を最大化する必要条件として、次の停留値条件を得る。

$$\frac{\partial H}{\partial I_0} = -e^{-\pi t} U_C + \phi_0 = 0, \quad \text{i.e. } \phi_0 = e^{-\pi t} U_C \quad (13)$$

$$\frac{\partial H}{\partial I} = -e^{-\pi t} U_C + \phi = 0, \quad \text{i.e. } \phi = e^{-\pi t} U_C \quad (14)$$

$$\frac{\partial H}{\partial X} = e^{-\pi t} U_C (G_{E_0} - P'(X)) = 0 \\ \text{i.e. } G_{E_0} = P'(X) \quad (15)$$

$$\frac{\partial H}{\partial E} = e^{-\pi t} (U_E - U_C G_E) = 0 \\ \text{i.e. } U_E = U_C G_E \quad (16)$$

(11), (13)式より

$$\left(-\pi U_C + \frac{dU_C}{dt} \right) = -U_C G_{K_0}$$

$$\text{したがって、} G_{K_0} = \pi - \frac{d}{dt} \ln U_C \quad (17)$$

(13), (14)式より $\phi_0 = \phi$, したがって(11), (12)式より

$$G_{K_0} = G_E g'(K) \quad (18)$$

これら最適条件の意味するところは、次のように要約される。

(1) 生産性と効用からみたエネルギーの価値

生産関数におけるエネルギー消費の限界価値は G_E として表現される。一方、個人消費者の効用からみたそれは U_E/U_C として与えられる。したがって、(16)式の意味するところは、この双方の等しいところ、

$$G_{E_0} = U_E/U_C \quad (19)$$

にエネルギーの国内市場における価格レベルのあるべきであるということである。

(2) 国内エネルギー価格と輸入エネルギー価格

このモデルの前提として、有限資源である旧来エネルギーすなわち石油は、量的に国内には存在せず輸入に頼らざるを得ないことが仮定されている。したがって、このモデルの場合、石油の限界価格 $P'(X)$ は、国内市場によって決められるのではなく、むしろ世界エネルギー市場に支配されていると考えるべきである。(15)式は、この輸入エネルギー限界価格 $P'(X)$ が国内限界価格 G_{E_0} に等しいところに最適条件のあることを意味し、資源小国の場合、国内エネルギー価格がいかに輸入エネルギーのそれに依存するものであるかを示している。

(3) 新エネルギーの旧来エネルギーとの競合性

(17)式において、資本設備の生産性への寄与 G_{K_0} は金利 r に等しいから、(17)式は

$$r = \pi - d(\ln U_C)/dt \quad (17')$$

となり、金利 r の割引率 π に等しいためには、個人消費の限界価値 U_C の不変性が成り立たなければならない。(18)式はこの金利 r と(15)式を使って

$$P'(X) = r/g'(K), \quad (20)$$

と書き直すことができる。左辺は旧来エネルギーの限界価格、右辺は新エネルギーの限界コストを意味しているので、(20)式は、この双方の等しいように、新エネルギーへの投資、旧来エネルギーの輸入

* $g'(K) \equiv dg(K)/dK$ 。本報では、常微分をこのように表現する。

量が選定されるべきことを示している。

Ⅳ. 資源制約と技術進歩

第Ⅲ章において、有限資源である旧来エネルギーと実質的に無限資源である新エネルギーとがあるとき、これらの最適経済成長に対して果たすべき役割について述べた。そして、それはエネルギーの国内市場価格 G_s 、旧来エネルギーの限界価格 $P'(X)$ 、新エネルギーの限界コスト $r/g'(K)$ の間に、(15), (19), (20) 式のような関係式の成り立つべきであることとして要約された。

ところで、旧来エネルギーの限界価格は、その資源としての有限性に着目するとき、それはロイヤリティとして反映されることを第Ⅱ章に示した。すなわち、(3) 式より

$$P'(X) = c + \lambda e^{P' t} \quad (3')$$

したがって、旧来エネルギーと新エネルギーとの競合条件(20)式は

$$c + \lambda e^{P' t} = r/g'(K) \quad (21)$$

と書かれる。

(21) 式の右辺にある $g'(K)$ は、エネルギー部門における資本設備の増加が実際上のエネルギー生産量をどの程度増大しようかという限界生産性を意味し、それは新エネルギーの種類およびその技術の成熟度に依存する。もし、技術が未熟でありまだ十分実用化の段階に至っていない場合には、資本設備の増加はエネルギー生産量の増加をもたらさない。すなわち $g'(K)$ の値はゼロに近く、(21) 式の右辺の値は著しく大きなものとなる。当然、旧来エネルギーの価格、すなわち(21) 式の左辺の値の方が小さく、新エネルギーが未完成の場合には旧来エネルギーに頼らざるを得ないことになる。

しかるに、この旧来エネルギーの価格は、そのロイヤリティのゆえに資源の減耗とともに上昇する。そして、この価格の上昇がエネルギーの生産性から決められる新エネルギーの限界コストに等しくなったとき新エネルギーと旧来エネルギーとの競合条件が成り立つことを(21) 式は物語っている。

いま、例として、 $g(K)$ の具体的表現を

$$g(K) = \varepsilon K^\nu; \quad \varepsilon > 0, \nu \geq 1 \quad (22)$$

と仮定し、主として ν の値によって新エネルギー技術の特性化が可能であるとしよう。すなわち、Fig. 1 に示すように、技術-1と-2を比較した場合、明らかに $\nu_1 < \nu_2$ の成り立つ場合についてである。技術-1としては、例えば太陽熱、技術-2としては、例えば核融合

が考えられるであろう。核融合技術の場合まだ技術として完成していない。たとえ現在、資本設備があっても核融合エネルギーの利用は考えられない。しかし、将来さらに研究が進んで、ある資本設備の蓄積を越えると、非常に高い生産性でエネルギーを供給する可能性がある。他方、太陽熱の場合、経済性を考えなければ、ある意味で技術は完成しているともいえる。すなわち、わずかな資本設備でもエネルギー生産は可能である。

Notes: (1) Assuming energy production function can be given in the form of εK^ν , where K is the capital equipment, the value of ν of Technology-1 (ν_1) is by far less than the value of ν of Technology-2 (ν_2), i.e. $\nu_1 < \nu_2$.
(2) l_0 indicates the average cost of energy production (c_1) at $K=K^*$, and therefore $c_1=c_2$. l_1 and l_2 indicate the marginal costs (k_1) of each technologies at $K=K^*$, and obviously, $c_1=c_2 > k_1 > k_2$.

Fig. 1 Characteristics of advanced energy technologies

このような2種類の新エネルギー技術について、(21) 式は何を意味しているかについて考えてみよう。(21) 式に(22) 式を代入して整理すると、(23) 式を得る。

$$c + \lambda e^{P' t} = rK/\nu Y \quad (23)$$

完全に資本集約型な、しかも設備寿命の無限にあるエネルギー設備の場合、その平均エネルギー生産コストは rK/Y によって与えられる。したがって、(23) 式は、新エネルギーの導入条件を考える場合、旧来エネルギーの価格と新エネルギーの平均生産コストとの静態的比較だけではなく、それに技術進歩効果係数 ν の考慮された限界生産コストとの比較が必要であることを示している。技術-1と-2において、それぞれの平均エネルギー生産コストが等しければ、技術進歩効果のより多く期待できる、すなわち、 ν の大きい技術-2の

導入条件が有利であるべきだからである。この技術進歩係数は、技術の成熟した段階では、いわゆる規模の効果を反映したものとも考えられる。

実際には、技術-1と-2とを比較した場合、平均生産コストは技術-1の方が低く、しかし、技術進歩係数 ν は技術-2の方が大きいということが多い。(21)式の意味するところは、エネルギー技術のもつこの2面性を表わす1つの指標が限界生産コストであるということである。

いま、この新エネルギーの限界生産コストと旧来エネルギーの価格との関係を調べるために Fig. 2 を考えてみよう。技術-1と-2が、現在未熟であることは、それぞれによって生産されるエネルギーの限界コストが旧来エネルギー価格に対して著しく高いこととして記述できる。すなわち、いま仮に、技術-1と-2の限界生産コストがそれぞれ等しいとし、それを θ^0 、また旧来エネルギーの価格を ζ^0 と書くと、

$$\theta^0 \gg \zeta^0$$

が成り立つ。技術-1と-2の限界生産コストがそれぞれ θ^0, ζ^0 に等しい必要資本設備を、 $(K_1^0, K_2^0), (K_1^*, K_2^*)$

- ζ^0 : Present price level of conventional energy
 θ^0 : Present level of marginal cost of advanced energy
 θ^* : Anticipated break-even level between future price of conventional energy which goes up due to royalty increase, and future marginal cost of advanced energy which goes down due to technological progress
 θ^* : Marginal cost level at which supply curves of each technologies intersect
 R&D: Research and development efforts to prove technological feasibilities rather than economical ones

Fig. 2 Technological progress of advanced energy and royalty increase of conventional energy

と書くと、技術-1と-2の特性からいって、

$$K_1^0 < K_2^0, K_1^* > K_2^*$$

が成り立つ。

現在のこの状況から将来を考えると、一方において、旧来エネルギー価格がそのロイヤルティのゆえに上昇し、他方において、技術進歩による新エネルギーの限界生産コストの低減化が期待される。この双方の等しくなる条件、すなわち(21)式をみたすところを Fig. 2 に示したのが $\theta^*(K_1^*, K_2^*)$ である。この等経済性レベルと、技術-1と-2のそれぞれの限界生産コストが等しいレベル θ^* とを比較すると、

$$\theta^* \geq \theta^* \text{ のとき } K_1^* \leq K_2^* \quad (24)$$

$$\theta^* < \theta^* \text{ のとき } K_1^* > K_2^* \quad (25)$$

同一の限界生産コストであるならば、どちらかというより資本設備の小さくてすむ方が選択されやすい。なぜならば、エネルギー資源ばかりでなく、資本資源も有限だからである。したがって、条件(24)であれば技術-1が、条件(25)であれば技術-2が選択されやすい。

前に、技術-1は例えば太陽熱、技術-2は例えば核融合のような技術であると述べた。太陽熱か核融合か、という具体的選択を示すことはここでの目的ではないが、太陽熱、核融合それぞれの限界生産コスト曲線の相対的位置関係が Fig. 1 のように理解されたとすれば、その選択の1つの考え方を示したものである。太陽熱の場合、ある意味でその技術はすでに存在しており、現在でも、資本設備 K_1^0 による限界生産コスト θ^0 は可能である。一方、核融合の場合、その技術は基礎研究ないし開発研究の段階にあり実証されていない。したがって、Fig. 1 の限界生産コスト曲線も具体的に示されたものではなく、技術-1との相対的特性の違いを示しているものにすぎない。実際上の現在の限界生産コストは、無限に大きいものと理解される。

Fig. 2 による、太陽熱開発、核融合開発のもつ意味の解釈は次のようなものである。太陽熱は核融合に比べた場合、明らかに実証された技術である。したがって、核融合に比較して、その限界生産コスト曲線は同定されている。核融合の場合、現在実証化への基礎的開発研究がなされているが、このことは、Fig. 2 において想像上の限界生産コスト曲線を左にシフトさせる(設備費低減化)と同時に、より現実化させる。この開発研究努力は、Fig. 2 の場合、等限界生産コストレベル θ^* の高レベル化をもたらすものとして理解される。このことは、条件(24)に比べて条件(25)の成り立つ機会を増大させ、したがって核融合技術の選択される可能性を増大させる。これが、核融合技術開発を正当

化する1つの論理である。

他方、条件(24)であるか条件(25)であるかは、新エネルギー限界生産コストの旧来エネルギー価格と等しくなるレベル θ^0 にも左右される。この θ^0 の変動を旧来エネルギー価格 p によって考えると、それは、資源の有限性のゆえに招来する限界費用 λ と、新エネルギーへの全面的転換が行われる時期 t とに依存する。旧来エネルギー、すなわち石油が有限であることが虚構であるならば($\lambda=0$)、Fig. 2にあるロイヤルティの増大はないのであるから、なにも新エネルギー技術を開発する必要はない。逆に、その有限性がきわめて差し迫っているのであれば($\lambda \gg 0$)、技術-1への転換を近い将来に行う必要がある。問題は、この両端の中間にあって、技術-1と-2をそれぞれどのように開発して行くべきであるかであるが、核融合技術開発にとって大切なことは、競合技術(技術-1)に対する比較優位性(限界生産コストが θ^1 以下であること)を達成する時期が、旧来エネルギーとの等経済性レベル θ^0 が θ^1 をこえる時期より遅れないこと、というタイミングの問題である。

V. 新エネルギーへの転換

前章において、資源制約型エネルギーから新エネルギーへの転換期において成り立つべき条件について述べた。それではこのような転換はどのようなタイミングの下に行われるべきであろうか。

実際、(21)式の関係式から新エネルギー技術の導入のあるべきことが示されても、その全面的転換には何年かの年月を必要とする(例えば、Fisher と Pryor, Peterka⁽¹¹⁾)。昨日まで石油によって供給されていたエネルギー需要を満足するのに必要な資本設備を一夜の間に準備することはできない。ここでは、このような資本設備の蓄積に要する時間を考慮するとき、旧来エネルギーから新エネルギーへの転換がどのようなタイミングの下で行われるべきかを考察する。

いま、次のような簡単な状況を設定する。すなわち、エネルギー源としては、前章までと同様、旧来エネルギーと新エネルギーとがあり、前者の生産に必要な投入は燃料費のみ(完全燃料集約型)とし、後者の生産に必要な投入は資本のみ(完全資本集約型)とする。そして、これら2種のエネルギー源のいずれか、またはそれらの組合せによって満たされるべきエネルギー需要は、その需要関数によって定義される効用を最大化するように決められるとする*。これを定式化すれば、

$$\Phi = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} (U(D) - \gamma X - I) dt \rightarrow \text{最大化} \quad (26)$$

$$\text{制約条件: } U(D) = p_0 D_0^{-1/\sigma} D^{(1+1/\sigma)} / (1+1/\sigma) \quad (27)$$

$$D = X + Y; \quad 0 \leq X \leq X_{\max} \quad (28)**$$

$$\dot{R} = -X; \quad 0 \leq R \leq R_{\max} \quad (29)**$$

$$\dot{Y} = I/\kappa; \quad 0 \leq I \leq I_{\max} \quad (30)**$$

ただし、

$U(D)$: エネルギー-消費者の総効用

D : エネルギー-需要量

X : 旧来エネルギー-供給量

Y : 新エネルギー-供給量

R : 旧来エネルギー-賦存量***

I : 新エネルギー-生産のための年間設備投資

γ : 単位旧来エネルギー-生産当りの燃料費

κ : 単位新エネルギー-生産当りの資本費

U : エネルギー-需要に対する長期的価格弾力性

p_0 : 現在のエネルギー-価格

D_0 : 現在のエネルギー-需要量

ここで設定された簡単な状況の下で、(26)~(30)式の基本式のもつ意味は明らかである。ただし、(27)式

* エネルギー需要が効用最大化プロセスに従うという考え方は、例えば文献(3)にみられるが、その理論的基礎は Samuelson⁽¹²⁾によるものである。

** $X_{\max}$ は旧来エネルギー-供給量の上限を意味するが、ここでは、この上限値の及ぼす影響については議論しない。

** $R_{\max}$ は旧来エネルギー-賦存量の上限を意味し、ここでは、計画期間中に、必ずこの限界性が顕在化すると理解する。

** $I_{\max}$ は新エネルギー-技術導入速度の上限を意味し、ここでは主として、この制約条件の最適転換に及ぼす影響について議論する。なお、(30)式と(22)式との関係について述べれば、(30)式は(22)式で $\varepsilon=1/\kappa$, $\nu=1$ とおいた場合に相当する。すなわち、どちらかといえば技術-1を対象としている。技術-2のように、ある期間は投資を行なってもエネルギー-生産の期待できない技術に対しては、そのような純粋な研究開発が進んだあとの状況として本章でのモデルを適用することができる。研究開発に要する費用は、実際にエネルギーを生産するために必要な費用に比べて無視しうるが、 κ としてコスト化されていると考える。また、実際には、設備投資された時期とエネルギーの生産される時期とに時間的ずれが生じるが、本モデルで考える計画期間とはそのような遅れの時間に比べて明らかに長いので、そのことによる影響もまた κ としてコスト化されたと考えることができる。

*** 第Ⅶ章のモデルに用いられている変数のうち、 R を除く変数はすべて単位時間当たり、例えば年間の値である。

において、現在のエネルギー価格 p_0 の将来にわたって維持されると仮定した場合の需要量 D_0 は必ずしも現状レベルとは限らないことを断わっておく。ここでそれを現状レベルと仮定したのは単に簡単のためである。

(26)~(30)式によって表現される基本問題は、第Ⅱ章において取り扱われた(4)~(9)式の基本問題の1つの変形であり、第Ⅱ章同様、最大原理によって解くことができる。すなわち、旧来エネルギー賦存量 R および新エネルギー供給量 Y を状態変数とすると、

$$H = e^{-\rho t}(U(D) - \gamma X - I) - \phi_1 X + \phi_2 I / \kappa \quad (31)$$

$$\text{ただし, } \dot{\phi}_1 = -\frac{\partial H}{\partial R} = 0 \quad (32)$$

$$\dot{\phi}_2 = -\frac{\partial H}{\partial Y} = e^{-\rho t} U_D; \\ U_D = p_0 D_0^{-1/\sigma} D^{1/\sigma} \quad (33)$$

(31)式によって定義されるハミルトン関数が最大値をもつためには、旧来エネルギーの供給量 X および新エネルギーへの設備投資 I を政策変数とすると、次の条件をみたさなければならない。

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial X} &= e^{-\rho t}(U_D - \gamma) - \phi_1 &< 0 \text{ のとき } X=0 \\ &= 0 \text{ のとき } X=X^* \\ &> 0 \text{ のとき } X=X_{\max} \end{aligned} \quad (34)^*$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial I} &= -e^{-\rho t} + \phi_2 / \kappa &< 0 \text{ のとき } I=0 \\ &= 0 \text{ のとき } I=I^* \\ &> 0 \text{ のとき } I=I_{\max} \end{aligned} \quad (35)$$

条件(34)において、 $X=X^*$ の成り立つ場合を調べてみると、

$$D = D_0(U_D/p_0)^{\sigma} \quad (36)$$

$$U_D = \gamma + \phi_1 e^{\rho t} \quad (37)$$

が成り立つ必要のあることが容易にわかる。一方、条件(35)において、 $I=I^*$ の成り立つ場合を調べてみると、

$$D = D_0(U_D/p_0)^{\sigma} \quad (38)$$

$$U_D = \kappa \rho \quad (39)$$

が成り立つ必要のあることが容易にわかる。

現在のところ旧来エネルギーに依存しているという事実は、(37)、(39)式において、

$$\gamma + \phi_1 e^{\rho t} \ll \kappa \rho \quad (40)$$

が明らかに成り立つこととして理解できる。なぜならば、(40)式の左辺は旧来エネルギーの価格、右辺は新エネルギーの限界生産コストを意味しているからである。すなわち $\sigma < 0$ であるから**、現在および近い将来

においては、

$$X = X^*, I = 0 \quad (41)$$

が最適政策となる。また、旧来エネルギーの枯渇化が明らかとなった将来にあっては、充分大きなロイヤリティ $\phi_1 e^{\rho t}$ のゆえに、

$$\gamma + \phi_1 e^{\rho t} \gg \kappa \rho \quad (42)$$

が成り立ち、そのような遠い将来では、

$$X = 0, I = I^* \quad (43)$$

が最適政策となる。

問題は、この両者の間をつなぐ過渡状態についてであるが、それに対応する最適政策は次のように合成される(Fig. 3 参照)。まず、条件(34)、(35)から各時点での最適政策は、 $\partial H/\partial X, \partial H/\partial I$ の符号に左右されることに注意しよう。 $\partial H/\partial X, \partial H/\partial I$ の符号を調べていくと、計画期間の初期においては、(37)式が成り立つので $\partial H/\partial X = 0$ 、また、 $I = 0$ の最適政策であることから $\partial H/\partial I < 0$ となる(Fig. 3(d), (e))。ところで、 $\partial H/\partial I$ の時間的変化をみると、その時間微分は、 $\kappa \rho - U_D$ (いまの場合、 $U_D = \gamma + \phi_1 e^{\rho t}$) に比例し(Fig. 3(c))、 $\partial H/\partial I$ は時間とともに増加していくことを知る(Fig. 3(d))。そして、 $\partial H/\partial I$ の符号が負から正に転換する時点を $t=t_1$ とすると、この時点から新エネルギー技術の導入が $I=I_{\max}$ の速度で始められる(Fig. 3(d), (a))。

この時点では、依然として $\partial H/\partial X = 0$ であり(Fig. 3(e))、旧来エネルギーも $X=X^*$ に従って使用される。 $\partial H/\partial I$ の増加はさらに進むが、旧来エネルギー価格 $\gamma + \phi_1 e^{\rho t}$ と新エネルギーの限界生産コスト $\kappa \rho$ とが等しくなる時点 $t=t_2$ 以降減少の傾向を示す(Fig. 3(d))。しかし、 $t=t_2$ 以降のある期間においても、 $\partial H/\partial I$ の符号は正であり、かつ旧来エネルギー資源の枯渇化する時点 $t=t_3$ まで $\partial H/\partial X = 0$ の条件はみたされる(Fig. 3(e))。

資源の枯渇化した以降においては、当然のことながら、 $\partial H/\partial X < 0$ となり $X=0$ が最適政策となる(Fig. 3(e))。一方、 $\partial H/\partial I$ の符号については、(39)式の成り立つ時点 $t=t_3$ まで $\partial H/\partial I > 0$ となり(Fig. 3(d))、 $I=I_{\max}$ による資本設備の増加が続けられる。 $t=t_3$ 以降

* 前にも述べたように、ここでは $X_{\max}$ の解に及ぼす影響は考慮しない。すなわち、 $X^* \leq X_{\max}$ が成り立つものと仮定する。

** エネルギーも通常の財と同じように、価格が上がれば需要は下がる傾向にあるという需要曲線をもっているものとする。したがって、より低廉なエネルギーによってより高いエネルギー需要が期待でき、それが最適政策となる。

Notes for Figs. (a) and (b):

- (1) D_0 : Reference demand projected under the hypothesis that price of energy would be constant with time as $\gamma + \phi_1$
- (2) $X(t)$: Energy supply from oil
- (3) $Y(t)$: Energy supply from advanced energy
- (4) t_1, t_2 and t_3 are the points of time, satisfying the relations:

Phase:	I	II-1	II-2	III	IV
Time:	0	t_1	t_2	t_3	
D:	$X(t)$	$X(t) + Y(t)$	$Y(t)$		
U_D :	increasing as $\gamma + \phi_1 e^{\rho t}$		decreasing to $k\rho$	constant as $k\rho$	

- (5) t_b is the time when oil and advanced energy are economically break-even if the societal constraints on the maximum introduction rate of advanced energy be released.
- (6) There are structurally four sequential phases.
Phase I Oil is used monopolistically.
Phase II Oil and advanced energy are used intersupplementally. For the first period (II-1), the advanced energy will have to be subsidized because $k\rho > \gamma + \phi_1 e^{\rho t}$, and for the latter (II-2), the subsidy is expected to be back as revenue because $k\rho < \gamma + \phi_1 e^{\rho t}$.
Phase III Oil has been exhausted and advanced energy is introduced with the maximum rate.
Phase IV Advanced energy is used at its appropriate rate.

Notes for Figs. (c), (d) and (e):

- (1) An essence for these figures is the mathematical signs of $\partial H/\partial I$ and $\partial H/\partial X$.
- (2) The mathematical sign of $(d/dt)(\partial H/\partial I)$ is determined by the difference between $k\rho$ and U_D which is given in Fig. (b), and this controls the time-dependency of $\partial H/\partial I$.
- (3) The mathematical sign of $\partial H/\partial I$ directly yields the optimal solution for I . If minus, $I=0$; if plus, $I=I_{\max}$; if zero, $I=I^*$, where $I^*=0$ in this particular case ($D_0=\text{const.}$).
- (4) The mathematical sign of $\partial H/\partial X$ does the optimal solution for X . If minus, $X=0$; if plus, $X=X_{\max}$; if zero, $X=X^*$, where $X^*=\xi(t)D_0$ for $0 \leq t \leq t_1$ and $X^*=\xi(t)D_0 - \delta(t)$ for $t_1 \leq t \leq t_2$.

Fig. 3 Synthesis of optimal transition to advanced energy for constant reference demand ($D_0=\text{constant}$)

の段階においては、条件(39)が恒久的に維持されて $I=I^*$ が最適政策となる。ただし、ここでは、期待される最大の需要量 D_0 は時間によらず一定としてあり、また、新エネルギー生産設備の減耗はないものと仮定してあるので、 $I^*=0$ となっている。

以上をまとめると、計画期間 $[0, \infty)$ における最適政策は、次のように与えられる。

第1期: $0 \leq t \leq t_1$, $X=X^*$, $I=0$

第2期: $t_1 \leq t \leq t_2$, $X=X^*$, $I=I_{\max}$

第3期: $t_2 \leq t \leq t_3$, $X=0$, $I=I_{\max}$

第4期: $t_3 \leq t < \infty$, $X=0$, $I=I^*$

この最適政策の意味するところは何であらうか。前に、問題は第1期: 旧エネルギー依存型から、第4期: 新エネルギー時代への過渡状態であると述べた。ここで得られた結果は、この過渡状態において、第2期、第3期という2段階のあることを示している。

第2期は、新エネルギーが最大速度で導入されると同時に、旧来エネルギーが不足分を補うという段階を意味しているが、ここで、次の2点に注意したい。

第1点は、この段階の開始されるのは、第III章に得られたような旧来エネルギー価格と新エネルギー限界生産コストとの等しくなる時期 $t=t_b$ においてではなく、それに先んじた時点 $t=t_1$ においてであるという点である。すなわち、旧来エネルギーから新エネルギーへの最適転換のためには、双方の経済性の競合する時点に先行した導入のタイミングを必要とする。

第2点は、その競合する時点 $t=t_b$ 以降についてである。 $t=t_b$ 以降においては、新エネルギー限界生産コストの方が旧来エネルギーの価格より低く、経済性の静的比較だけからすれば新エネルギーへの転換をすでに完了しているべきであるが、実際に導入速度に上限がある以上、このような理想状態は期待できない。このことは、Fig. 3(b)は示されるように、国内エネルギー価格 U_D が新エネルギーのコスト水準をこえて増加し、したがって Fig. 3(a)に示されるように、エネルギー需要 D はなお減少しつづけることを意味する。

第3期は、旧来エネルギー枯渇後において、なお新エネルギーが最大速度で導入され

る段階であるが、これはエネルギー価格レベルを本来そうであるべき新エネルギーのそれ(κ_D)まで引き下げる期間であり、その価格減少に伴う需要増がある。したがって、この第3期は、第2期の後半[t_0, t_2]の存在する限り避けられない。この第2期後半が新エネルギー導入速度に限界のあることに起因するという立場にたつとき、第3期もまた、この限界に由来するものであり、不可避の段階である。

Ⅶ. 結 言

以上、資源制約下における経済成長とエネルギー技術進歩について、簡単な理論モデルによる考察を試みた。わが国の場合、エネルギー源のほとんどすべてを輸入エネルギーに頼っているため、その輸入エネルギーの将来の資源的限界に備えて新エネルギーを開発しておくことがきわめて重要な課題とされている。本報では、この旧来エネルギーから新エネルギーへの転換がどのような条件の下で行われるべきであるかについて主として考察した。

- (1) 旧来エネルギーはその資源的有限性のゆえにロイヤルティが存在し、そのロイヤルティによって価格が上昇する。そして、この価格上昇は必然的に新エネルギーへの転換をもたらす。
- (2) この転換段階における、旧来エネルギーと新エネルギーとの競合性は、旧来エネルギー価格と新エネルギーの平均生産コストとの静的比較ではなく、新エネルギー技術それぞれの技術的特質による技術進歩効果も加味して判断されるべきであり、その1つの指標が新エネルギーの限界生産コストである。
- (3) この限界生産コストに関し、生産コストは高いがすでに実証されている技術(例えば太陽熱)と、未だ実証されていない技術(例えば核融合)とを比較した場合、実証されていない技術の研究開発努力は、等限界生産コストレベルの高レベル化、したがって、旧来エネルギーとの等経済性レベルを相対的にその等限界生産コストレベル以下とする効果があることとして理解されるが、他方において、資源の減耗が進行すれば、それもまた等経済性レベルの上昇として結果するので、その研究開発期間は慎重に検討される必要がある。
- (4) また、新エネルギーへの転換を考える上で重要なもう一つの側面は、その転換のタイミングである。転換速度は社会構造上無制限ではなく、ある限界がある。この限界に着目して、旧来エネルギー

から新エネルギーへの最適転換を求めると、その過渡段階においては、次の3つのフェーズが段階的に存在する。

- ① 旧来エネルギーと新エネルギーとの等経済性の成り立つ時期に先んじて新エネルギーを導入すべきフェーズ
- ② 等経済性の成り立つ時期以降も部分的に旧来エネルギーに頼らざるを得ないことによってエネルギー価格が新エネルギー以上に上昇するフェーズ
- ③ 脱旧来エネルギー時代において、前段階の高エネルギー価格を安定化させるフェーズ

以上4点が、本報で得られた結果の要約であるが、新エネルギーへの転換の実際上のタイミングに関する第4点の結論によれば、実際問題としてその転換速度に限界のある以上、それは、旧来エネルギーとの競合条件の成立する時期に先んじた新エネルギー導入の決断を必要とし、かつその決断があっても、なおエネルギー需要の過渡期における落ち込みは避けられないようである。このような新エネルギーの先行的導入の決断には、当然のことながらリスクが伴う。特に新エネルギーの場合、このリスクの大きさは私企業の負担能力をこえている場合が多く、国家レベルでの意志決定を必要としよう。

また、過渡期におけるエネルギー需要の落ち込みが国民生活に対して大きな影響を与えるものであるならば、この過渡期において、政府の思慮ある市場介入によってエネルギー価格をコントロールすることは充分意味のあることである。

現在、特に新エネルギーを必要としている国は先進工業国であるが、これらの国々においては、その社会構造上の規模・複雑さやエネルギー需要量の著大なことから、旧来エネルギーから新エネルギーへの転換速度に社会構造上の制限のあることは明らかであろう。著者はこの点から、特に第4点を、ここで得られた結論として強調したい。

本報では、転換速度に対する制限を単に与件として与えられるものとしたが、実際には経済的条件が充分ととのっている時期(フェーズ①)においてはなかなか浸透し難いという面があっても、一旦経済的条件がととのえば(フェーズ②, ③), 加速度的に導入される可能性もある。その場合にはフェーズ①の段階での制約が特に大切な問題となろう。フェーズ①においていかにスムーズな導入を行うかは、いわゆる実用化プログラムの問題である。すなわち研究開発から実用化への橋

渡しの問題であり、研究開発リスクの問題に帰着する。研究開発リスクということは、一口でいえば、研究開発投資によってもたらされる収益が必ずしも保証されていないことと考えられるが、実用化プログラムの問題はそのような不確実性を考慮した意志決定問題として別に充分検討される必要があろう。

— 参 考 文 献 —

- (1) 鈴木篤之, 清瀬量平: 長期エネルギー戦略のシステム分析, 原子力誌, 18(8), 479 (1976).
- (2) CHANG, S.L.: Theory of optimum economic growth and energy policy, *Proc. IEEE*, Vol. 63, No. 3, (1975).
- (3) NORDHAUS, W.D.: The allocation of energy resources, *Brookings Papers on Economic Activity*, 3:1973, (1973).
- (4) HÄFELE, W., MANNE, A.S.: Strategies for the transition from fossil to nuclear fuels, *RR-74-7*, (1974), Int. Inst. for Appl. Systems Analysis.
- (5) SUZUKI, A.: An extension of the Häfele-Manne model for assessing strategies for a transition from fossil fuel to nuclear and solar alternatives, *RR-75-*

- 47, (1975), Int. Inst. Appl. Systems Analysis.
- (6) DANTZIG, G.B., PARIKH, S.C.: On a PILOT linear programming model for assessing physical impact on the economy of a changing energy picture, *Proc. Conf. on Energy: Mathematics & Models*, (1975), SIAM Inst. Mathematics & Soc.,
- (7) CHERNIAVSKY, E.A.: Linear programming and technology assessment, *ibid*.
- (8) Committee on Nuclear and Alternative Energy Systems: Energy modeling for an uncertain future, *Rep. Modeling Resource Group, Nat. Res. Council, Nat. Acad. of Sci.*, (1978).
- (9) HOTELLING, H.: The economics of exhaustible resources, *J. Political Economy*, 39(2), 137 (1931).
- (10) FISHER, J.C., PRY, R.H.: A simple substitution model of technological change, "*Technological Forecasting and Social Change*", Vol. 3, (1971).
- (11) PETERKA, V.: Macrodynamics of technological change; Market penetration by new technologies, *RR-77-22*, (1977), Int. Inst. Appl. Systems Analysis.
- (12) SAMUELSON, R.A.: Spatial price equilibrium and linear programming, *Amer. Economic Rev.*, 42(6), 283 (1952).

☆第2回 核物質管理講演会☆

(1980年 INMM 日本本部 年次大会)

主催 INMM 日本本部

日時 10月20日(月) 9:30~17:00

場所 日本原子力研究所 (第3会議室)

(東京都千代田区内幸町2-2。富国生命ビル14階)

○プログラム○

チェアマン 中島 健太郎 (9:30~10:00)

開会 プログラム・チェアマン 平田実穂

挨拶 会長 川島芳郎

第21回 INMM 年次大会に参加して (動燃) 樋口勝司

チェアマン 原 礼之助 (10:10~12:00)

IAEA の対ユーラトム査察活動 (三菱金属) 萩野谷 徹
Commercial R & D and product (U.S. Arms Control and
development by US companies Disarmament Agency)
in the security field F. Prokoski

チェアマン 夏目晴夫 (14:00~15:30)

遠心法ウラン濃縮施設における保障措置 (動燃) 玉井 浄

再処理施設における保障措置問題 (動燃) 小泉忠義

チェアマン 清瀬量平 (15:30~17:00)

US Government-sponsored R & D in
the area of physical security (U.S. DOE) G. Weisz

INMM 日本本部 会務報告 庶務理事 平田実穂

閉会 副会長 清瀬量平

申込方法 所定の「参加申込書」に所要事項を記入の上,
下記宛送付して下さい(電話申込みも可)

申込期限 10月13日(月)

参加費 会員 1,000円, 非会員 1,500円

申込先 (〒107) 東京都港区赤坂2-3-4(Tel. 03-583-5355)

(財)核物質管理センター INMM 係

INMM への新規加入(8,500円)ならびに現会員の54年度末納分(5,400円)および55年度会費(8,500円)の納入も、当日、会場で受け付けます。

○第16回 熱測定討論会○

主催 日本熱測定学会、共催 本会、ほか

会期 11月12日(水)~14日(金)

会場 東京工業大学 長津田キャンパス総合研究館

(横浜市緑区長津田町4259. Tel. 045-984-1111)

(交通) 地下鉄・半蔵門線、銀座線、千代田線「表参道」または国電山手線「渋谷駅」から新玉川線経由、東急・田園都市線「すずかけ台」下車。渋谷より約50分
新幹線「新横浜」から国鉄横浜線「長津田」経由、東急田園都市線「すずかけ台」下車。新横浜より約30分

研究発表 (84件)

生物(7件)、反応カロリメトリー(10)、固相反応・相平衡(8)、反応熱分析(4)、熱分解(5)、脱水反応・錯体(6)、低温熱容量測定(8)、装置(5)、高分子(14)、高温カロリメトリー(7)、熱物性測定(10)

界面熱力学シンポジウム(10件)、特別講演(4件)

参加費(要旨集) 一般 5,000円、学生 2,500円

事前に「要旨集」をご希望の方は参加費に送料300円を添えて10月31日までに現金書留でお申し込み下さい。

懇親会 11月13日(木)17:40~ 学内食堂で開催

(参加者は会費(3,500円)を添えて10月31日までに)

展示会 11月12~14日 総合研究館2階で開催。

申込先 (〒113) 東京都文京区湯島1-5-31(第1金森ビル内)

日本熱測定学会事務局(Tel. 03-815-3988)