

総 論

Energy Flow - an Introduction

齋 藤 雄 志*

Takeshi Saito

1. 社会全体のエネルギーフロー

本特集では産業部門および輸送部門に焦点を当てて近年のわが国におけるエネルギーフローの特徴を検討する。総論ではこれらを補うために、わが国のエネルギーフローの全体像や各論で論ずることがなかった民生部門等についても簡単にふれておく。

まず、総合エネルギー統計によれば、平成6年度のわが国のエネルギーフローは図-1のようになっている。このフローを過去のデータと比較するとつぎのようなことがいえる。

(1) 需要面では産業用エネルギー需要の割合が着実に低下している。かつて石油危機以前の1970年には産業部門の割合は65%程度の水準にあったが現在では50%を切っている。このトレンドを見る限りでは、この傾向は現在でも持続しているとみてよい。

(2) 民生用エネルギー需要と運輸(輸送)用のエネルギー需要は常にほぼ同一の構成比(最終需要に占める割合)を保ちながら長期にわたり上昇している。

(3) 電力化率は、一時的停滞、低下はあるものの長期的に着実に増加しており、現在では40%前後に達している。ちなみに、電力化率が一時的に停滞したのは、戦前の1930年代の石炭増産期と昭和30年代の石油需要拡大期である。

(4) 供給面では石油危機後、エネルギー源の多様化が進行しており、平成6年度では原子力が一次エネルギー全体の11%に達している。

つぎに、よりマクロ的な視点からエネルギーフローをとらえてみよう。日本を1つの単位とすれば、わが国のエネルギーの収支構造は、原油、石油製品、石炭、LNG等の輸入エネルギーと石炭、水力など国産エネルギーの生産がインプットであり、バンカーオイルな

ど輸出がアウトプットとなっている。しかし、財貨・サービスの輸入・輸出を通じて間接的なエネルギーの収支があるはずである。つまり、わが国社会全体への正味のエネルギーフローはつぎのような式で与えられる。

わが国全体への正味のエネルギー投入＝

$$\begin{aligned} & \text{エネルギーの直接輸入・国内生産} \\ & + \text{財貨・サービスを通じてのエネルギー間接輸入} \\ & - \text{エネルギーの直接輸出} \\ & - \text{財貨・サービスを通じてのエネルギー間接輸出} \end{aligned}$$

この計算を行うためには、産業連関表を利用して財貨・サービスのエネルギー濃度を推計する必要がある。ここでは1990年187部門産業連関表を用いて計算を行った。部門別エネルギー濃度を部門別の輸出入に乗ずることによって正味の社会全体へのエネルギー投入を計算すると図-2のようになり、正味の投入は石油換算で4.56億tとなる。世帯当たり石油換算10.9tとなる。(世帯数は1990年で4,180万世帯)なお、この数値を先に示した平成6年度に換算すればおおよそ石油換算5.01億t(1世帯当たり石油換算11.3t)程度になる。

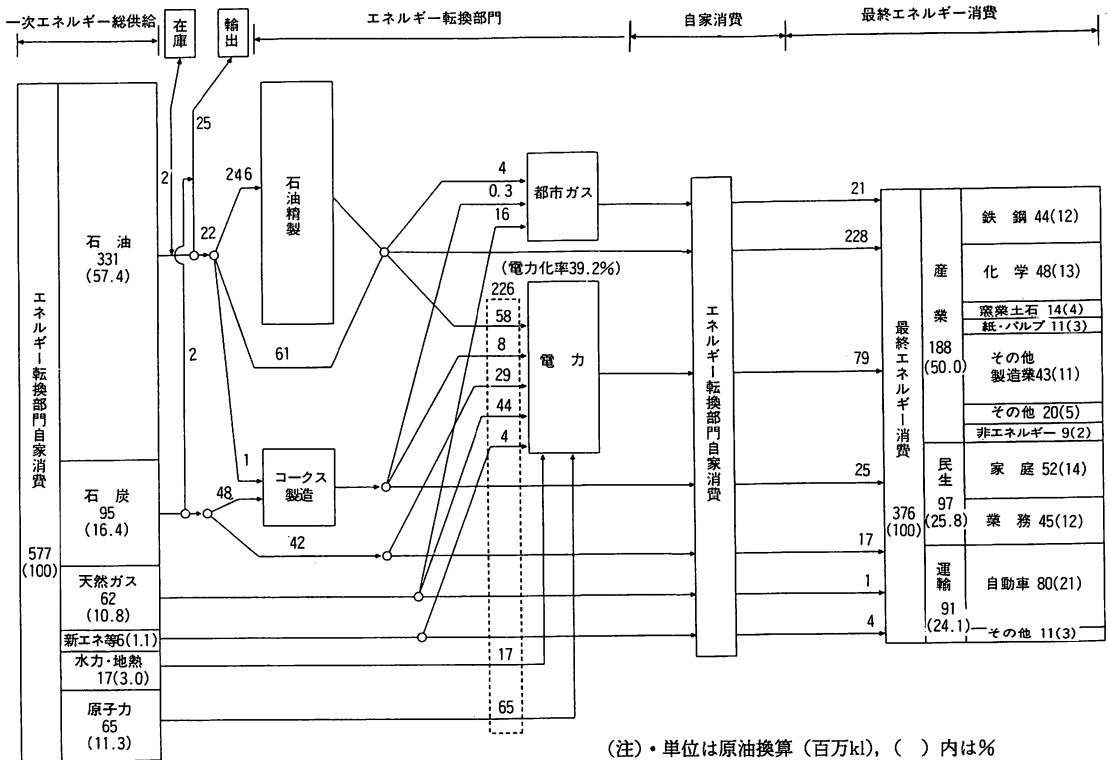
このように投入されたエネルギーフローの最終的行き先(シンク)は輸出と家計と考えることができる。産業で生産され生産物のうち、設備投資にまわされる分も、最終的には(輸出を除けば)家計が購入する財貨・サービスの生産に利用されるからである。では家計のどの部門にどれだけエネルギーが直接間接に投入されるであろうか。平成2年産業連関表を利用してこの推計を行ってみた。手順は次のとおりである。

平成2年の187部門産業連関表によって、財貨・サービスのエネルギー濃度、つまりそれらを1単位(百万円)生産するために必要なエネルギー量を求めた。このエネルギー濃度は、産業間の原材料の投入産出関係から計算されたものと設備投資その他を考慮したものと両方を計算した。

後者の計算は投資マトリクスを使用すれば求めるこ

* 専修大学経営学部教授

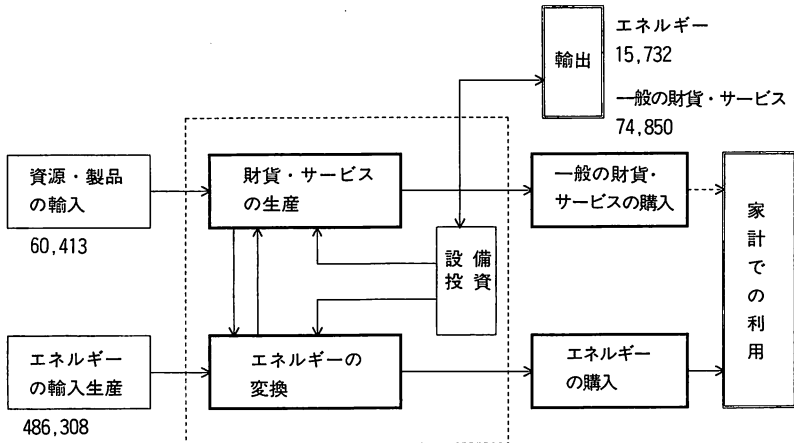
〒214 川崎市多摩区東三田2-1-1



(注)・単位は原油換算（百万kl），（ ）内は%

- ・エネルギー転換部門において、投入分と生成分との差は転換ロスに相当する。
- ・%は四捨五入の関係で、合計が100にならない場合がある。

図-1 我が国のエネルギーフロー（平成6年度）⁵⁾



数値は平成2年の産業関連表を用いて部門別エネルギー濃度を計算し、輸入される財貨・サービスの額に乘ずることによってエネルギー量を計算した。単位は石油換算千t。

図-2 わが国全体のエネルギーフローの収支⁶⁾

表1 エネルギーフローのシンクとしての家計のエネルギー負荷^① 単位 石油換算千t, %

| | 原材料連鎖のみ による計算 (①) | 同構成比 | 投資などを考慮 した計算 (②) | 同構成比 |
|----------|-------------------------|-------|------------------------|-------|
| 食生活/食料品 | 39,009 | 11.5 | 53,337 | 11.7 |
| 住生活/住宅 | 30,900 | 9.1 | 58,241 | 12.8 |
| 住生活/家具等 | 697 | 0.2 | 910 | 0.2 |
| 交通・通信 | 30,548 | 9.0 | 41,743 | 9.2 |
| 機械器具 | 10,959 | 3.2 | 14,880 | 3.3 |
| 各種資材 | 10,887 | 3.2 | 14,319 | 3.1 |
| 衣生活 | 9,424 | 2.8 | 12,368 | 2.7 |
| サービス | 68,603 | 20.2 | 96,530 | 21.2 |
| エネルギー・水道 | 139,050 | 40.9 | 163,804 | 35.9 |
| 合計 | 340,078 | 100.0 | 456,131 | 100.0 |

注1) 住生活/住宅は住宅関係の家計消費支出と住宅投資の合計である。

注2) 本表は1990年187部門産業関連表により計算。

注3) ①原材料連鎖のみを考慮して求めたエネルギー負荷。

②は資本減耗と政府消費などを考慮した求めたエネルギー負荷。

とができる。ここでは、簡単に近似的に計算するために資本減耗をエネルギー的に評価し、産業部門の投資による間接エネルギー投入を評価した。ここでは投資と資本減耗がバランスしているものと仮定している。

この2つの方式によって計算したエネルギー濃度を最終需要の家計消費支出の各項目に乘じ、家計へのエネルギー投入量を求める。ただし、ここでは家計に関係するものとして、投資に計上されている住宅建設分のエネルギー投入量についても家計の1部門として計算を行った。

設備投資を経由したエネルギー投入を考慮した計算による家計のエネルギー負荷の合計は石油換算3.94億tとなり、先のマクロ的に計算した石油換算4.56億t(1世帯当たり石油換算10.9t)には達しない。その理由として政府消費等の存在がある。ここではこの差を部門別エネルギー必要量比例で家計消費支出および住宅投資の各項目に配分し、合計値を4.56億tに一致させた。(近似計算であり精度上は問題がある)

このようにして家計への直接間接のエネルギー投入を計算したものが表1である。

表1の特徴をあげれば、家計におけるエネルギー消費にかかわるエネルギーの投入(間接分も含む)が多いのは当然だが、サービスを通してのエネルギー投入が全体の2割、食生活、住宅を通してのエネルギー投入がそれぞれ1割あることが特徴的である。

2. 経済活動水準とエネルギー消費のリンクージュ

一般的に言えば、経済が成長すればエネルギー需要は増大する。より正確に言えば、経済成長が高い時期にはエネルギー需要の伸びは経済成長を上回り、経済成長の低い時代にはそれは経済成長を下回る傾向が世界的に観測される。しかし、石油危機後、エネルギー需要の伸びは経済成長をかなり下回るようになっていく。このエネルギーと経済のリンクージュはエネルギー需要の対生産額(あるいはGDP)弾力性の計測をとおとしてみるができる。E:各産業のエネルギー需要, X:各産業の実質生産額, Pを実質国内石油価格として、4種類の、産業別弾力性を計測してみる。計測式はつぎのとおりであり、データは1970-1994年の総合エネルギー統計と国民経済計算年報を用いた。

$$A \text{タイプ: } \log(E) = a + b \log(X)$$

$$B \text{タイプ: } \log(E) = a + b \log(X) + c \log(P)$$

$$C \text{タイプ: } \log(E) = a + (1 - \lambda) \log(E - 1) + b \log(X)$$

$$D \text{タイプ: } \log(E) = a + (1 - \lambda) \log(E - 1) + b \log(X) + c \log(P)$$

C, Dタイプではb, cが短期の弾力性, b/λ , c/λ が長期の弾力性と解釈される¹⁾。この計測方法は古くからの方法であり、いろいろな問題点もあるが、計測を行ってみると、表2~表4のようになる。

この計測結果より次のような点がわかる。

(1) Aタイプの計測によれば石油危機後の弾力性は

表2 産業部門別弾力性
Aタイプ (E=f(X)) Bタイプ (E=f(X, P))

| 説明変数 | 弾力性 (t 値) 生産額 | 決定係数 | DW比 | 弾力性 (t 値) | | 決定係数 | DW比 |
|--------|------------------|------|------|-------------|--------------|------|------|
| | | | | 生産額 | エネルギー価格 | | |
| 最終消費計 | 0.40 (10.1) | 0.81 | 0.37 | 0.4 (10.4) | -0.03 (-1.4) | 0.82 | 0.41 |
| 農林水産業 | 2.7 (4.0) | 0.39 | 0.47 | 2.7 (4.1) | △ | 0.38 | 0.49 |
| 鉱業 | △ | | | 0.23 (1.2) | -0.16 (-4.0) | 0.37 | 0.70 |
| 建設業 | 0.95 (11.8) | 0.85 | 0.53 | 0.94 (11.9) | -0.04 (-1.3) | 0.85 | 0.53 |
| 食料品 | 0.16 (3.0) | 0.25 | 0.67 | 0.16 (2.8) | × | | |
| 繊維 | 2.3 (8.2) | 0.73 | 0.72 | 2.5 (8.5) | -0.09 (-1.7) | 0.75 | 0.84 |
| パルプ・紙 | 0.25 (2.8) | 0.22 | 0.36 | 0.27 (3.6) | -0.08 (-3.4) | 0.46 | 0.55 |
| 化学工業 | △ | | | △ | -0.15 (-4.2) | 0.41 | 0.58 |
| 窯業・土石 | × | | | × | | | |
| 一次金属 | × | | | × | | | |
| 金属・機械 | 0.7 (16.3) | 0.92 | 0.32 | 0.71 (23.5) | -0.12 (-5.1) | 0.95 | 0.85 |
| その他製造業 | 0.69 (6.0) | 0.59 | 0.25 | | × | | |

注1) 弾力性の△はt値が1.0以下, ×は符号条件を満たさないものを表す。

注2) 最終消費計の生産額に対応する説明変数は国内生産を用いた。

表3 産業部門別弾力性 Cタイプ (E=f(E(-1), X))

| 説明変数 | 1-λ (t 値) | 短期弾力性 (生産額) | 決定係数 | DW比 (参考) | 長期弾力性 (生産額) |
|--------|--------------|----------------|------|-------------|----------------|
| 最終消費計 | 0.74 (5.5) | 0.09 (1.6) | 0.90 | 1.31 | 0.35 |
| 農林水産業 | 0.86 (13.4) | 0.64 (2.4) | 0.93 | 2.20 | 4.57 |
| 鉱業 | | × | | | |
| 建設業 | 0.63 (3.8) | 0.36 (2.1) | 0.90 | 1.44 | 0.97 |
| 食料品 | 0.63 (4.0) | △ | 0.47 | 2.00 | |
| 繊維 | 0.85 (5.5) | 0.40 (1.0) | 0.89 | 1.55 | 2.67 |
| パルプ・紙 | 0.75 (5.4) | 0.09 (1.2) | 0.63 | 1.27 | 0.36 |
| 化学工業 | 0.91 (7.7) | 0.07 (1.3) | 0.72 | 1.28 | 0.78 |
| 窯業・土石 | 0.82 (6.2) | 0.13 (1.0) | 0.61 | 1.24 | 0.72 |
| 一次金属 | | × | | | |
| 金属・機械 | 0.57 (5.1) | 0.34 (4.0) | 0.97 | 1.87 | 0.79 |
| その他製造業 | 0.69 (11.1) | 0.10 (1.7) | 0.94 | 1.74 | 0.32 |

注1) 弾力性の△はt値が1.0以下, ×は符号条件を満たさないものを表す。

注2) 最終消費計の生産額に対応する説明変数は国内総生産を用いた。

注3) ラグが含まれている場合はDW比ではなくダービンのh統計量を使用するのが正しい。

注4) 1-λは前期需要の係数である。長期の弾力性をλで割った値である。

表4 産業部門別弾力性 Dタイプ (E=f(E(-1), X, P))

| 説明変数 | 1-λ (t 値) | 短期弾力性 (t 値) | | 決定係数 | DW比 (参考) | 長期弾力性 | |
|--------|--------------|-------------|--------------|------|-------------|-------|---------|
| | | 生産額 | エネルギー価格 | | | 生産額 | エネルギー価格 |
| 最終消費計 | 0.74 (7.2) | 0.09 (2.0) | -0.04 (-4.1) | 0.95 | 2.20 | 0.34 | -0.15 |
| 農林水産業 | 0.84 (14.1) | 0.66 (2.7) | -0.04 (-2.1) | 0.94 | 2.30 | 4.10 | -0.25 |
| 鉱業 | | × | | | | | |
| 建設業 | 0.64 (3.8) | 0.34 (2.0) | -0.03 (-1.3) | 0.91 | 1.40 | 0.94 | -0.08 |
| 食料品 | 0.71 (4.3) | △ | -0.03 (-1.5) | 0.50 | 2.38 | | -0.10 |
| 繊維 | 0.85 (6.0) | 0.58 (2.0) | -0.07 (-2.2) | 0.91 | 1.77 | 3.90 | -0.47 |
| パルプ・紙 | 0.64 (6.5) | 0.09 (2.0) | -0.07 (-5.1) | 0.83 | 1.94 | 0.25 | -0.19 |
| 化学工業 | 0.72 (6.7) | △ | -0.09 (-3.6) | 0.82 | 1.72 | | -0.32 |
| 窯業・土石 | | × | | | | | |
| 一次金属 | 0.92 (8.4) | △ | -0.05 (-2.1) | 0.76 | 1.84 | | -0.63 |
| 金属・機械 | 0.40 (2.7) | 0.45 (4.4) | -0.05 (-1.7) | 0.97 | 1.63 | 0.75 | -0.08 |
| その他製造業 | 0.74 (8.9) | △ | △ | 0.94 | 1.98 | | |

注1) 弾力性の△はt値が1.0以下, ×は符号条件を満たさないものを表す。

注2) 最終消費計の生産額に対応する説明変数は国内総生産を用いた。

注3) ラグが含まれている場合はDW比ではなくダービンのh統計量を使用するのが正しい。

注4) 1-λは前期需要の係数である。長期の弾力性は短期の弾力性をλで割った値である。

表5 25年間の原単位の動き

| 産業部門 | 原単位比 1994/1970 | 原単位の動き | | |
|--------|-------------------|--------------|-----------|-----------|
| | | 1970-1982 | 1983-1991 | 1992-1994 |
| 農林水産 | 1.64 | 増加 | 大幅増加 | |
| 鉱業 | 1.21 | 減少 | 上昇 | |
| 建設業 | 0.93 | 変動をするもののほぼ一定 | | |
| 食料品 | 0.63 | 変動しながら減少 | | 一定 |
| 繊維 | 0.79 | 変動しつつ減少 | | 上昇 |
| パルプ・紙 | 0.75 | 大幅減少 | ほぼ一定 | 上昇 |
| 化学工業 | 0.52 | 大幅減少 | ほぼ一定 | |
| 窯業・土石 | 0.76 | 変動 | 減少 | 上昇傾向 |
| 一次金属 | 0.68 | 大幅減少 | ほぼ一定 | |
| 金属・機械 | 0.62 | 大幅減少 | ほぼ一定 | 緩い上昇傾向 |
| その他製造業 | 1.20 | 上昇し減少 | 緩い減少傾向 | 上昇 |
| 最終消費計 | 0.67 | 大幅に減少 | 緩い減少傾向 | 緩い上昇傾向 |

注) エネルギー消費量は総合エネルギー統計, 産業生産額は国民経済計算年報による。

一部を除けば1を下回っている。最終エネルギー消費の弾力性(対GDP)は0.4程度である。最終エネルギー消費の決定係数の値で見るとEとXの関係, つまりエネルギーと経済とリンケージは明らかに存在するが, DWが2.0よりかなり離れていることからわかるようにエネルギー需要は生産額のみによっては説明できない複雑な動きをしている。Bタイプのごとく, 価格項を入れても同様である。産業内で複雑な構成の変化, エネルギー原単位の変化が生じていることを示している。

(2) Bタイプの計測からわかるように多くの産業でエネルギー需要は価格反動的である。建設業, 繊維, 金属・機械のエネルギー需要, 産業用全体エネルギー需要では, 説明力のある他の変数が存在するが(DW比), 生産額, 石油価格の2変数でかなりの部分を説明できる比較的単純な需要関数構造としている。

(3) A, Bタイプの計測のDW比がいずれもかなり0に近いことからわかるように, 正の自己相関をもつ第3の変数が, エネルギー需要を説明する変数として隠れている。

(4) いまこのエネルギー需要と正の自己相関を持つ変数を一期前のエネルギー需要で代表すれば, 表3, 表4からわかるようにDW比はかなり改良されかつ決定係数も大幅に改善される。この計測から見ても短期, 長期の弾力性は1をかなり下回っている。特に最終エネルギー消費計にその傾向が明確に表れている。長期, 短期的にもエネルギー需要は価格反動的であり, 前者ではかなり大きな値を示している。

3. エネルギー原単位の動向

エネルギー消費と経済活動水準との関係をより単純な形で表現するにはエネルギー原単位を計算すればよい。エネルギー原単位の計算結果を要約したものを表5に示す。その主な特徴はつぎのとおりである。

(1) この25年間に経済全体としてはエネルギー原単位に1/3もの低下があった。

(2) しかし, このエネルギー原単位はエネルギー消費量を産業の実質生産額で割ることによって計算したものであり, 物理的量のように単純な形で解釈することはできない。ある意味ではエネルギーコストを生産額で割った値の方がその意味が明確である。

(3) 産業によってエネルギー原単位の動きはさまざまである。全体的には第2次石油危機の直接の影響がなくなる1983年まではエネルギー原単位は大きく減少し, それ以降は変化が少ない。

4. 本特集の構成

本特集では, 産業各分野について, ここ20年における, 電力, ガス, 石油等のエネルギー供給事業, 製鉄, 紙パルプ, セメント, 運輸等の産業におけるエネルギー供給・利用形態の変化について報告がなされている。

(社)日本ガス協会鈴木氏の報告にあるようにコージェネレーションがエネルギー有効利用の重要な切り札として着実に増加しつつあり, 同時に未利用エネルギーや天然ガス自動車等の新しい技術が着目されつつある。

かつてのようにあらゆるエネルギー技術が着目され

る時代は過ぎ去ったが、まだ検討されねばならないエネルギー技術は多数ある。

一方、産業の省エネルギー技術に関しては、三菱マテリアル(株)増永氏の報告にあるように、最近では有効なエネルギー対策が限界に近づいた感がある。また日本エネルギー経済研究所の坂田氏の報告にあるような環境対策や製品構成の変化により電力原単位が上昇している面もある。一般的に言えば、技術的限界に達していると考えてよいが、一方では規制緩和、産業の海外移転など産業全体を巻き込んだ大きな動きが、今後のエネルギーフローに大きな影響を及ぼしていくと考えられる。

石油危機後、特にエネルギー価格が大幅に上昇し、さまざまな省エネルギー対策が講じられた第2次石油危機前後においては、エネルギーフローに関する関心が高かったが、湾岸戦争等による潜在的危機等乗り越切り、エネルギー価格が安定化している現在ではエネルギー問題自体に対する関心が低下しているように思える。しかし、ある程度長期的立場から考えれば、中

国や東南アジアの経済発展によるエネルギー消費の増大、地球環境問題、国際間の貿易競争の激化等によって、エネルギーコストやエネルギー消費の効率的利用にもう一度関心を持たねばならない状況がゆっくりと生まれつつある。

参 考 文 献

- 1) 原子力エネルギー等社会システム基本情報調査, (社)資源協会(平成5-7).
- 2) 科学技術庁資源調査会社会基盤小委員会都市エネルギー評価・解析WG報告書, 平成8年4月.
- 3) 阿波田穂積: 電力需要の短期・長期の弾力性について, 電力経済研究, No. 10, pp.55-62, 1976.
- 4) 齋藤雄志: 都市の資源・環境負荷の分析(2), 専修経営学論集第62号, 1996年3月.
- 5) 資源エネルギー庁編: 総合エネルギー統計, (株)通商産業研究社, 1995
- 6) 平成5~7年度科学研究費助成金「都市における分散エネルギーシステムの浸透に関する研究」および平成7年度専修大学研究助成「都市とライフスタイルの資源環境負荷の評価」の作業による.

協賛行事ごあんない

日本機械学会関西支部第217回講習会

「熱流動問題の基礎と実際」

〔日 時〕平成8年7月18日(木)~19日(金)

〔聴講料〕会員30,000円, 会員外50,000円

〔会 場〕大阪科学技術センター8階中ホール

〔申込先〕日本機械学会関西支部

〔申し込み締切〕平成8年7月16日(火)

大阪市西区靫本町1-8-4

〔定 員〕70名

Tel 06-443-2073 Fax 06-443-6049