

電力供給のエネルギーフロー

An Energy Flow of the Electricity Supply Industry in Japan

浅野 浩 志*

Hiroshi Asano

1. 電力供給システムの概要

エネルギーの探鉱・開発・生産・加工・流通というエネルギーシステムの中で、電力という二次エネルギーを提供しているのが電力供給産業である。したがって、電力供給産業は、一次エネルギーの開発と最終エネルギー消費段階を除くプロセスを担っている。我が国の場合、基本的に電力会社（一般電気事業者）は、発電・送電・配電の垂直統合された産業形態をとっている。図-1に電力システムの概念図を示す。発電部門では燃料となる原油、重油、天然ガス、石炭、原子力、水力といった一次エネルギーを投入して、電力を発生する。その際、汽力発電の場合、熱効率（カルノーサイクル効率を越えない）は約40%程度であり、所内動力（自家消費）、環境汚染物質除去に用いられたエネルギー以外に約60%近くが転換ロスとして排熱になる。発電された電力を需要家に届けるために送配電網と呼ばれる流通設備を用いる。この輸送過程で約5～6%の送配電損失が生じている。最後に需要家サイトで負荷として電力を消費し、何等かの効用（冷房などエネルギーサービス）を得る。実際には需要家は面的に広がっているため、流通設備はネットワークの形態をとる。他のエネルギー（ただし、都市ガスは電力に近い）と異なり多くのエネルギーソース（発電設備）を巨大な電力系統というプールを形成しているため、利用者サイドから原料や生産プロセスに直接関心を喚起しない¹⁾。すなわち、製品の差別化が難しいのが電力の商品としての特徴である。しかし、米国の電力会社では、最近グリーン・プライシングと呼ばれる再生可能エネルギーによる発電を促進するために、需要家が自主的にプレミアムを払い、環境適合性の高い電源を補助する電気料金制度が検討されている。

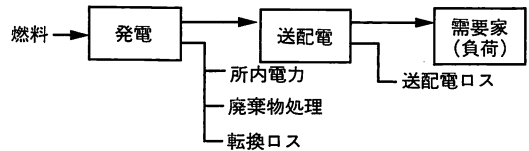


図-1 電力システムの概念図

2. 電力部門のエネルギーフロー

通常、我が国のエネルギーフローは、総合エネルギー統計（資源エネルギー庁²⁾をベースにしている。図-2に電力部門（電気事業者と自家発）のエネルギーフローの変遷を示す。比較しやすいように、全ての年度で同一の投入熱量換算（2250kcal/kWh）を行っている。総合エネルギー統計では発電段階の転換ロス（発電ロス、統計上はエネルギー部門自家消費に分類される所内動力分と排熱を含む）と流通段階のロス（送配電ロス）に分けて掲載される。最新の統計によれば、1994年度の電気事業者のエネルギー部門自家消費は、437億kWhで、発電電力量の5.2%、一方、送配電ロスは、423億kWhで、発電電力量の5.0%となっている。図-2のロスはこの二つのロスを合計したものである。数量的には重要ではないが、新エネルギーには、太陽エネルギー、黒液、ごみ発電、薪炭等を含む。

我が国の「総合エネルギー統計」では、電力を熱量換算する際、一次エネルギー（水力・原子力）の場合、2250kcal/kWhの投入熱量とし、二次エネルギーの段階では発生熱量（860kcal/kWh）で計上する。したがって、水力および原子力の発電シェアが大きくなるほど、見かけの転換ロスが大きくなることに注意する。国際エネルギー機関（IEA）のエネルギーバランス表では、1991年から投入熱量を1kWh当たり水力で860kcal、原子力2600kcal、地熱8600kcalとしているため、国際的に比較するときに注意する必要がある。

* 財団法人電力中央研究所 経済社会研究所主査研究員

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

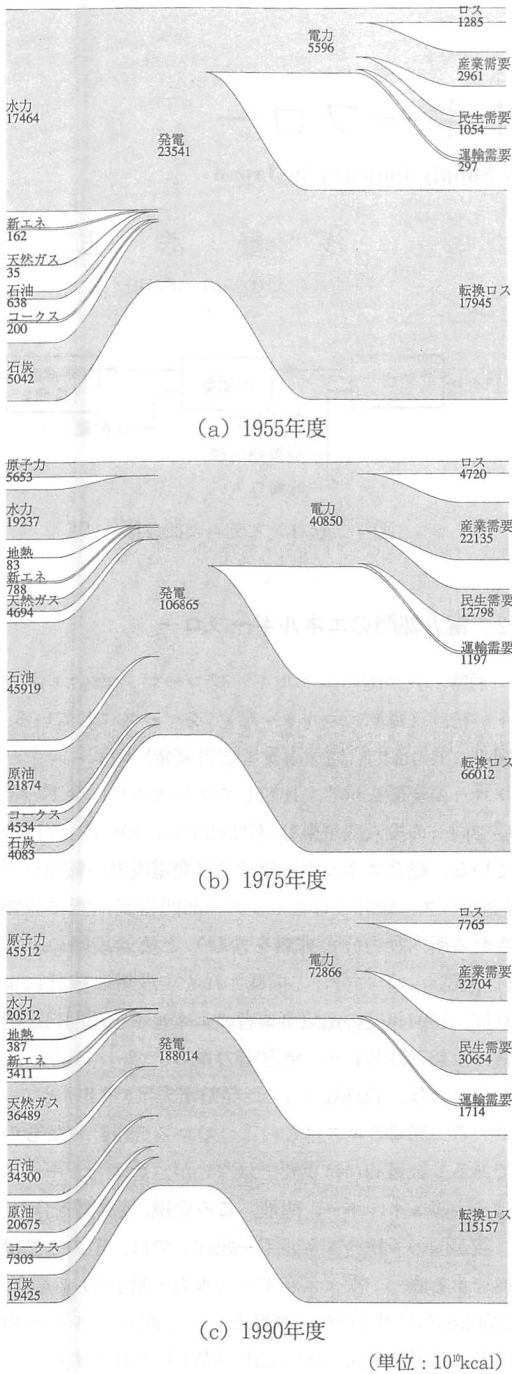


図-2 電力部門のエネルギーフローの変遷

図-2から以下のことが読み取れる。

・35年間に電源構成が大きく移り変わっている。1955年度は水力中心、1975年度は石油火力全盛の時代、1990年度は、原子力、火力等でベストミックスを達成している。この傾向は図-3でよりわかりやすく示され

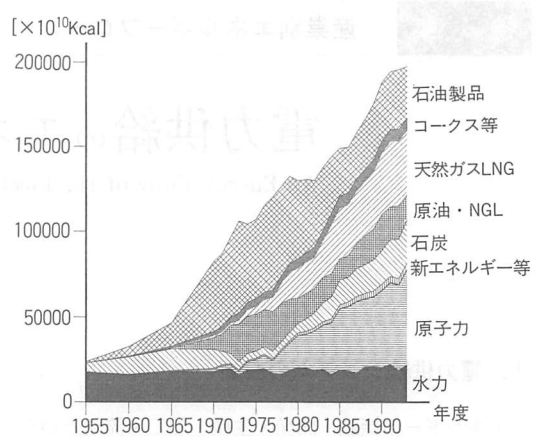


図-3 発電電力量の内訳 (1955~1990年度)

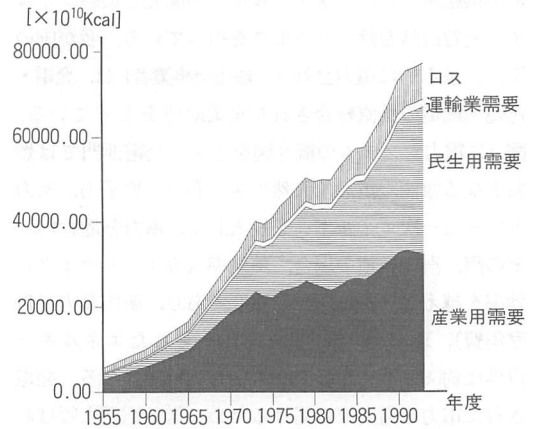


図-4 需要分野別消費電力量の推移 (1955~1990年度)

る。(地熱はシェアが小さいため図には表示されない)

・この間民生用(家庭用および業務用)需要が着実に伸び、1955年度には産業用の1/3に過ぎなかったものが1990年度にはほぼ同一水準にまで達した。図-4に需要分野別消費電力量の推移を示す。

・電力全体の発電熱効率(発電端、図中の電力を発電で除した比率)は、1955年度の23.8%から1990年度の38.8%まで大幅に改善している。先に述べたように火力以外の熱効率は38.1%で一定としているため、この向上分はもっぱら火力発電の効率改善による。

・図中でロスと表示されている総合損失率には、発電所内電力量と送配電損失が含まれる。1955年度の21.5%から1990年度の10.7%まで損失率は半減した。

3. 増大する電力化率

日本を始め、世界的に電力利用技術の進歩に伴い、

総エネルギー需要に占める電力総需要の割合（電力化率）が年々高まっている。1979年度から1993年度までの15年間をみると、エネルギーの総需要量は年平均1.4%の伸びであるのに対し、電力総需要の伸びは2.7%増加している。1994年の電力化率は39.2%（一次エネルギーベース）であり、情報化社会は電力化率を着実に高めることが予想されている。

また、電動ヒートポンプのようにエンドユース（末端利用）で効率化する技術が使えるため、最終的なエネルギー効率も、他のエネルギー源と比べて必ずしも低くない。また、家庭用ヒートポンプは、冷暖房用にかなりの割合で普及している。我が国では、民生部門の電力化が注目されるが、欧米では、環境対策や生産性向上を目的とした産業部門の電力利用技術を積極的に普及促進している。

電力化率と国のエネルギー総合効率の関係について検証してみる。電力化率は最終エネルギー消費に占める電力消費とする。ここで総合効率を最終エネルギー消費計と一次エネルギー国内供給計の比として定義すると、1955年度からの64%から1975年度の73%まで向上し、その後1990年度まで、ほぼ70%前後で変化している（図-5）。1975年度から電力化が進展するほど総合効率も下がっているように見えるが、これは石油危機以降の脱石油政策の結果であり、原子力の比率が高まっているためである。ちなみに、発電用の原子力と水力を非化石エネルギーの代表（地熱、新エネルギーはシェアが無視できるほど小さい）として一次エネルギー供給から除いて、化石エネルギー投入に対する最終エネルギー消費の効率でみると、1975年度の77.4%から1994年度の80.4%までむしろ改善している。これから、化石エネルギー消費による地球環境問題を考慮するならば、単なる熱量ベースではなく、化石燃料と非化石エネルギーの質を区別して、エネルギー効率を

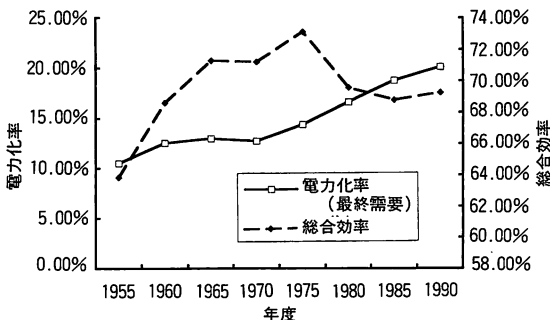


図-5 電力化率と総合効率

論じるべきである。

4. 電力損失の要因

不可避の電力化の傾向の中で、電力部門のエネルギー損失を最小化することが求められる。既に述べたように、電力部門のエネルギー転換と流通では二段階のエネルギー損失がある。

4.1 向上する発電効率

図-6に汽力発電所の熱効率の推移を示す^{3) 4)}。最高熱効率(発電端)は、1950年代から着実に向上している。特に1980年代以降、ガスタービンと蒸気タービンとのコンバインドサイクル技術が進歩し、ガスタービンの高温化による効率向上は著しく、1994年には47.2%を達成した。将来は1500℃級ガスタービンにより50%を超える効率を目指している¹⁾。このように、技術進歩があるにもかかわらず、電気事業による実績値では、39%前後で足踏みしている。この主な原因として次の二つが挙げられる。

- 1) 原子力導入による新設火力設備の減少
- 2) ベース電源からミドル・ピーク電源の性格が強まるに従って部分負荷運転が多くなった。

年々の変動があるのは、気象要因により需要と水力発電の発電量が変動することや、原子力発電所の設備利用率が変化することによる。長期的には、実績の熱効率も緩やかに上昇していくと考えられる。

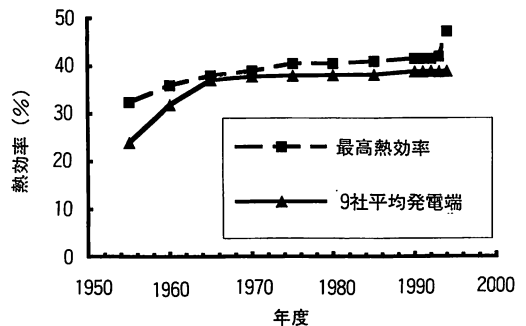


図-6 汽力発電所熱効率

熱機関の最大効率は、カルノーサイクルの効率で制約される。これに対して、燃料電池は電気化学反応により発電する。熔融炭酸塩型や固体電解質型など高温型燃料電池は、排ガスによる蒸気タービン発電を組み合わせることにより、55%以上の発電効率が期待されている。

4.2 遅減する送配電ロス率

増大するエネルギー需要に対応して、いかに大容量

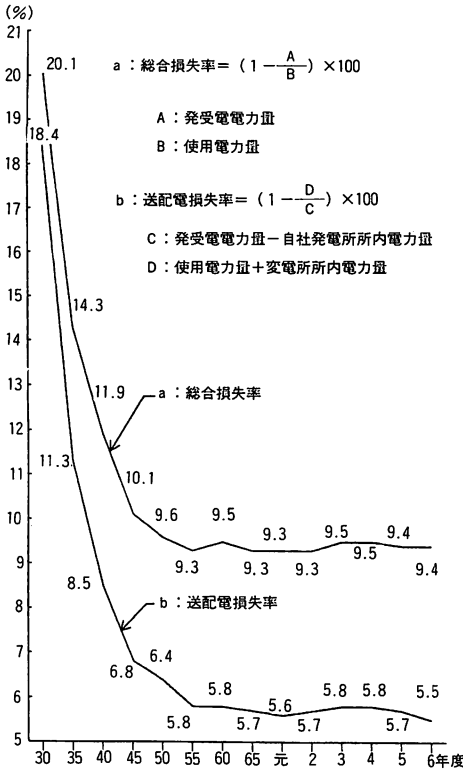


図-7 電力損失率の低下（9社平均）

表1 送配電設備（km，9電力合計）

年度	送電線		配電線	
	架空線	地中線	架空線	地中線
1965	54354	5090	592862	5793
1970	60134	6943	625459	9416
1975	65852	8032	832127	14358
1980	69899	10143	919340	19841
1985	73445	11513	987182	25208
1990	75272	13538	1063836	37397
1994	77581	15426	1123837	47797

ムでは、500kVの超高圧送電線により、100kmオーダの長距離輸送が高密度・大容量で行われている。将来は、超伝導ケーブルによりさらに低損失（理論的には抵抗損失がなくなる）の電力輸送が可能になる。

図-7に送配電損失率と総合損失率の推移を示す³⁾。送配電損失率は次式で定義される。

$$\text{送電損失率} = 100 \times \frac{\text{送電端電力量} - (\text{使用電力量} + \text{変電所内電力量})}{\text{送電端電力量}} (\%)$$

ここで、送電端電力量 = 発電電力量 - 自社発電所内電力量

送配電損失率は、1955年から1980年まで急激に改善されている。表1は、9電力合計の送配電設備を示している。この間の需要電力量は、5.1倍に増えているが、送配電設備の大部分を占める架空線の延長は送電線で1.4倍、配電線で1.8倍になっているに過ぎない。これは、送配電設備のいずれも電圧階級を漸次上昇させてきた努力により損失を低下させてきたことを意味する（図-8）。配電線の3kVから6kVへの昇圧は、1960年から1970年代にかけて行われ、その後需要密度の高い地域では22kVシステムを採用している。

送配電損失率のもう一つの特徴は、需要密度の違いによる地域特性が大きく現れる点である。表2は各社別の送配電損失率を示す。需要密度の低い地域で送配電損失率が大きいのはやむをえない。

総合損失率の内、送配電損失率以外の部分は、所内動力分である。所内動力比率は、発電所のボイラ、タービン、排煙処理設備等の負荷により決まる。一般に所内比率は、ユニット出力が大きいほど、負荷率が高いほど小さくなり、送電端効率は上昇する。

5. 広域化する電力フロー

電気のフローは、流通段階で面的な広がりをもつのが特徴である。各電力会社が所有する電力系統はかな

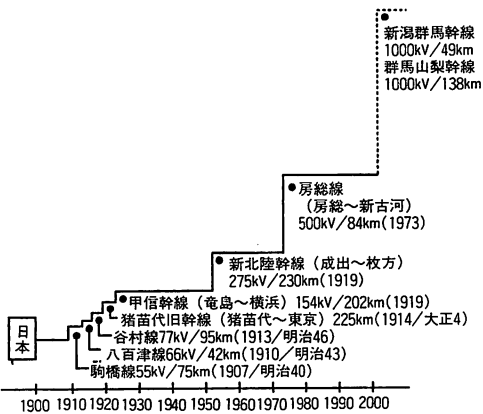


図-8 送電電圧の変遷

のエネルギーを低損失で輸送するかがエネルギー輸送手段の選択に際して重要な基準となる。最終需要の半分を占める熱エネルギーを直接長距離輸送することは熱損失が大きく、得策ではない。そのため、建築物内あるいは地域冷暖房などの比較的短距離の熱輸送に限られる。基本的に規模の経済が働きやすい電力システ

表2 各社別送配電損失率(%, 1994年度)

北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	9社計
7.3	6.4	5.5	4.8	4.9	5.1	6	7.5	5.7	5.5

りの程度独立して、運転しているが、隣接する電力系統とも緩やかに連系し、電力の安定供給と経済性向上に寄与している。地域間の需給の不均衡や電源立地難を背景に広域電源開発および広域融通等の電気事業の広域運営は重要性を増している。現在、北海道を除く50Hz系各社と600Hz系各社間は直接超高压系統で連系し、50/60Hz間は2箇所の周波数変換所を通して連系している。北海道と本州間は直流連系されている。

図-9に近年の融通量の推移を示す⁵⁾。これから各社間の広域運営がより一層強化されていることがわかる。交流連系系統では、ある社で一時的な供給力の過不足が生じると、系統容量に従って電力が自律的に流れ、需給均衡をとる。このような需給調整融通が全国融通の殆どを占める。石油危機以降、運転費削減のため盛

んに行われていた経済融通は、1986年の原油価格下落により各社間の発電単価差が縮小したため、大幅に減少した。一方、2社間融通は、全国融通より計画的な性格が強く、広域開発した特定電源を対象にした融通(特定融通電力)が最も多い。平成6年度以降、受電会社の電源開発が進んだため、全国融通は減少した。

これまでの、連系系統の利用者は電気事業者に限られていた。電気事業法の改正により卸託送制度が導入され、電気事業者は連系系統の余力をなるべく拡大することが求められている。図-10は今後10年間程度の卸託送可能量を示す⁵⁾。至近年度は、電気事業間の電力融通量が多いため、余力が少ないが、中国第2幹線の完成後は大規模な託送が可能になる。

6. 拡大する需要の季節間・昼夜間格差

電力負荷の大きな特徴は、季節的・時間的変動が大きいことである。図-11に季節別日負荷曲線を示す。中間季である5月の負荷と夏季、冬季それぞれの負荷との差が冷房負荷、暖房負荷に相当する。このように大きな需要の季節および時間変動(とりわけ夏季ピーク)が設備の効率的な運用および建設の障害になっていることが明らかである。これが我が国のデマンドサイド・マネジメント(DSM)促進の最大の動機となっている。需要サイドの負荷平準化対策としては、需給

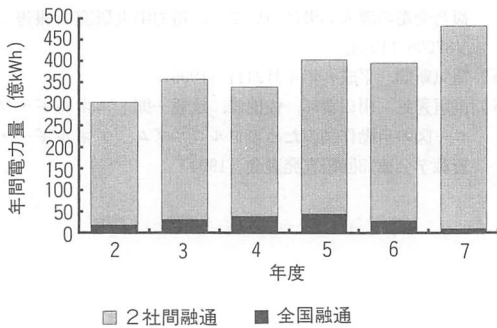


図-9 電力融通量(9電力合計)

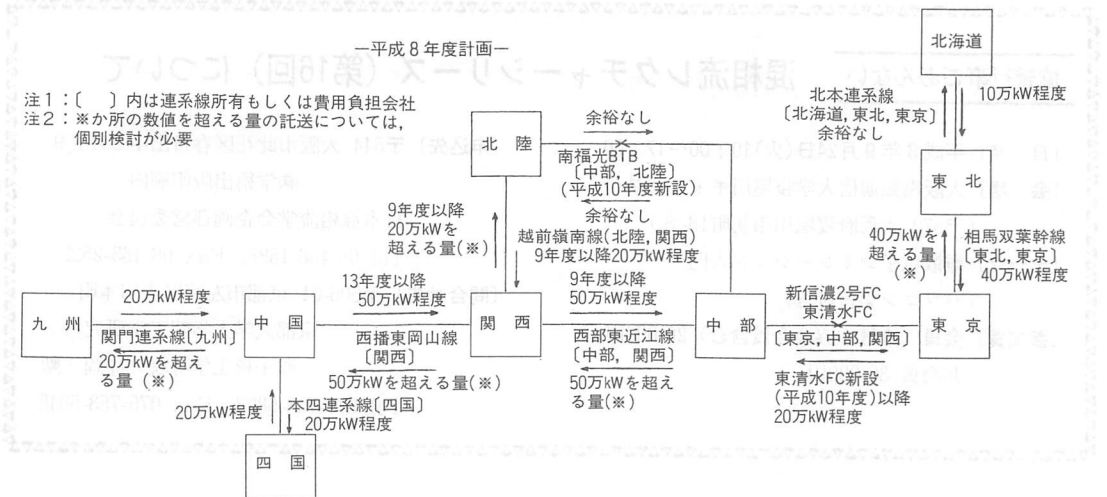


図-10 会社間連系線の卸託送可能量(今後10年間程度の見通し)

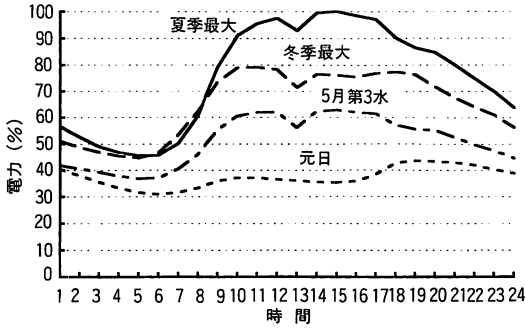


図-11 日負荷パターン（1994年度，9社計，最大電力で正規化）

調整契約や季節別時間帯別料金制度の普及と，負荷移行を容易にする蓄熱式ヒートポンプなど機器の開発と普及を進めている。

我が国の電気事業は，固定費が高く可変費の安い原子力と，固定費が安く可変費の高い石油火力など経済性や負荷追従性などが異なる発電設備を組み合わせて，最適な電源構成を築いてきた。DSMが大規模に導入されれば，時間帯別に運転される電源の組合せがベース電源中心になるため，電力のエネルギー・フローも影響を受ける。

7. 結語

電気エネルギーの変換・利用の高効率化の変遷を概観した。エネルギーフロー改善の課題を指摘すると，地域熱供給部門など，他の供給事業との境界に効率化のポテンシャルがある。

現在電力供給システムは，経済的な効率性を高めるための競争導入が始まったばかりである。電気料金への低減を目指す努力の中で技術的なエネルギー効率の向上が同時に達成されるような技術開発が望まれる。

謝辞

エネルギーフロー図の作成にあたっては，大阪大学工学部辻研究室のご協力を得た⁵⁾。

文献

- 1) 茅陽一監修；エネルギー技術の新パラダイム（1995）
- 2) 資源エネルギー庁；「総合エネルギー統計」，平成7年度版
- 3) 電気事業連合会；電気事業関連データ集（1995）
- 4) 永田豊，内山洋司；火力発電所のシステム熱効率分析—複合発電の導入効果について—，電力中央研究所報告：Y87006（1988）
- 5) 電気新聞，平成8年4月24日（1996）
- 6) 高垣秀晃，川口泰邦，佐伯修，辻毅一郎；エネルギーフロー図の自動作図のためのアルゴリズム，エネルギー・資源学会第13回研究発表会（1994）

協賛行事ごあんない

混相流レクチャーシリーズ（第16回）について

〔日 時〕平成8年9月24日(火)10:00~17:00

〔会 場〕大阪電気通信大学寝屋川キャンパス
(〒572 大阪府寝屋川市初町18-8)

〔テーマ〕離散粒子シミュレーション入門
(パソコン実習付き)

〔参加費〕会員(協賛学協会会員含む)20,000円
非会員 30,000円

〔申込先〕〒544 大阪市此花区春日出中2-14-9

(株)学術出版印刷内

日本混相流学会企画運営委員会

Tel 06-466-1588, Fax 06-463-2522

〔問合せ先〕〒606-01 京都市左京区吉田本町

京都大学大学院工学研究科

原子核工学専攻 片岡 勲

Tel 075-753-5823, Fax 075-753-5845