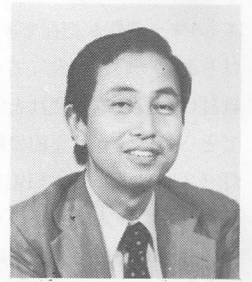


都市におけるエネルギー

消費の最適化問題



鈴木 胖*
Yutaka Suzuki

1. まえがき

わが国における人口の都市への集中はこれまで総人口の増加率のおよそ3倍近くの速さで進行してきた。この傾向は幾分鈍化するとはいうものの依然として続くものと予想されている。第3次全国総合開発計画では、都市化度を表わす人口集中地区人口の定住人口に占める割合が、昭和50年の57%から昭和60年には65%、昭和75年には72%に高まるものと予想している。とくにわが国の2大都市圏である東京圏（埼玉、千葉、東京、神奈川）と大阪圏（京都、大阪、兵庫）では、上記の割合は昭和75年には95%近くにまで高まるものと予想している。

このような都市化の進行は、産業構造の高度化による産業の都市への集中、したがって雇用機会の増大と都市的な生活様式および居住環境を求める人口の増加が基本となってひき起こされたものである。いうまでもなく都市における社会経済活動を維持してゆくにはエネルギーが不可欠であり、都市への産業と人口の集積はエネルギーの高密な消費を生じさせた。

問題は過去にエネルギーが豊富にしかも安く供給されたため、エネルギーの供給、消費にかかわるシステムがエネルギー浪費的に出来上ってしまっていることにある。そして現在のシステムはすでにきわめて巨大であり、それを利用する上での社会的な慣習や制度が複雑にからみ合っているため、このシステムをエネルギー節約的なものに改めてゆくには長い時間（リード・タイム）が必要である。都市におけるエネルギー消費の最適化の問題は、それゆえ現状の正しい認識の上から立て、長期にわたり総合的に解決をはかるべき問題である。そ

して都市という場を対象とすることは、人口都市化の傾向から見て、目からわが国における社会経済活動の大部分を対象としていることになる。

2. エネルギー消費実態の把握

都市における社会経済活動は産業と生活に大別して考えることができる。生活には家庭で営まれる部分と、外食や外でのレジャーに代表されるように家庭外の部分とがある。後者は飲食業やレジャー産業によってサービスが提供されている。産業で広く共通に用いられている分類法は1次、2次、3次産業という分け方である。飲食やレジャー産業は第3次産業に属する。

一方従来のエネルギー消費に関する統計では、社会経済活動を産業、民生、輸送部門に大別し、さらに必要に応じて民生部門を業務と家庭に分けている。ごく大ざっぱな言い方をすると産業部門のエネルギー消費は工場、業務のそれはビルや独立店舗、家庭のそれは住宅におけるエネルギー消費である。

この分類にはかなりあいまいさがある。重要な2つの点を指摘しておこう。まず製造業と工場の区別である。製造業の多くは製造の現場である工場とそれを管理する中枢部門を分離し、後者を都心のオフィスに置いている。それは都心の方が管理中枢機能を発揮するのに必須の人や情報との接触の機会がずっと大きいからである。この管理中枢部門のエネルギー消費は業務に分類される。もう1つは住宅と店舗を併用した建物の存在である。1階は店舗、2階は住宅というのがよくある形態である。この種の建物におけるエネルギー消費は便宜的にしばしば家庭部門に分類される。

さて最終のエネルギー消費形態はエネルギー源別にとらえると、石油、電気、ガス、石炭でほとんどすべてがつくされる。これらのエネルギー源別に上記の部門にお

* 大阪大学工学部電気工学科教授

けるエネルギー消費を見れば部門別、エネルギー源別のエネルギー消費が把握できる。しかし実際にはここでもやはりあいまいさが入ってくる。例えば電気電力消費の統計は一般に電力会社と顧客との契約関係にもとずいてとられている。契約の種類（関西電力の例）には電灯（3kw未満）、大口電灯（3kw以上20kw未満）、業務用（500kw未満）、小口（50kw未満と50kw以上の2種がある）、産業用（500kw以上）、その他がある。電灯は家庭、大口電灯は業務と一応考えられるが、一般家庭で大口電灯の契約をしているケースも少なくない。50kw未満の小口には業務と工場の両方が含まれている。都市ガスの消費は家庭用、業務用、公共用、工業用に分けて統計がとられている。

電力、都市ガスはそれぞれ配電線、パイプラインを介して供給が行われているので、上のような定義上のあいまいさはあるものの、地域を適当に区分すれば、地域ごとの消費実態を部門別におさえてゆくことが可能である。しかし石油になると事情は全く別である。わが国は石油の99.8%を輸入に依存しているので(1977年実績)、日本全体で石油をどれだけ消費しているかは正確に把握できる。しかし石油が精油所で精製された後、製品が（一部製品輸入もある）どこにどれだけ運ばれ、どのように使われたかを末端まで追跡することはほとんど不可能である。石油はタンカー、鉄道タ

ンク車、ローリーなどで自由に運ぶことができ、小売業者ではさらにそれをカンやボンベ、ポリタンクにつめかえて、小口で販売することができる。家庭で使う灯油は、燃料小売業者、ガソリンスタンド、協同組合あるいは米穀商からでさえ購入することができる。それゆえ家庭用灯油消費は、アンケート調査の結果や平均的なストーブの保有台数と使用時間などを参考に、まったく類推によって算出しているのが現状である。同様のことが一般の石油製品についても言え、消費実態の把握にはばう大な調査努力とそれに需要家の協力が必要である。

大阪市や大阪府のように高密度な社会経済活動による大気汚染問題をかかえている地域では、主として環境汚染制御のデータとするため大口需要家の燃料消費実態調査がかなり詳細に実施されている。たとえば大阪府の場合には市区町村別、産業別（約30業種）、燃料種別（14種）、設備別（ボイラ、加熱炉など15種）に3年毎に調査が実施されており、この調査で工場、ビルの燃料消費の約90%がカバーされていると想定されている。

表1は少し古いが以上のような背景の下に大阪市のエネルギー消費を調査した結果である。現在資源エネルギー庁のローカル・エネルギー調査の一貫として大阪府全域についてより詳細な調査を実施しており、55年度

表1 昭和47年度大阪市エネルギー需要

()内の数値は一次エネルギー熱換算(単位:10⁹ Kcal)

エネルギー部門 種別	家庭	業務・商業 サービス	工業	運輸	公共、 その他	合計	備 考
電力 (10 ⁹ KWH)	1,580 (3,871)	3,502 (8,580)	5,360 (13,132)	596 (1,460)	601 (1,472)	11,639 (28,515)	出典 電気事業統計より用途分類に変更 熱換算 2,450 Kcal/KWH
都市ガス (10 ⁶ m ³)	578 (2,601)	292 (1,314)	147 (661)		52 (234)	1,069 (4,810)	出典 ガス事業統計より用途分類に変更 熱換算 4,500 Kcal/m ³
重油 (10 ⁴ kℓ)		11.0 (1,089)	153.0 (15,147)			164 (16,236)	出典 '73クリーンエアプランより 熱換算 9,900 Kcal/ℓ
灯油 (10 ⁴ kℓ)	22.5 (2,002)	9.6 (854)	15.2 (1,352)			47.3 (4,208)	出典 エネルギー需給システム部会推計 熱換算 8,900 Kcal/ℓ
ガソリン (10 ⁴ kℓ)				81.6 (6,773)		81.6 (6,773)	出典 大阪府BIGPLANにもとづき推計 熱換算 8,280 Kcal/ℓ
軽油 (10 ⁴ kℓ)				47.7 (4,364)		47.7 (4,364)	出典 大阪府BIGPLANにもとづき推計 熱換算 9,150 Kcal/ℓ
石炭 (10 ⁴ t)			5.2 (400)			5.2 (400)	出典 '73クリーンエアプランより 熱換算 7,700 Kcal/kg
コークス (10 ⁴ t)			74.2 (4,563)			74.2 (4,563)	出典 '73クリーンエアプランより 熱換算 6,150 Kcal/kg
LPG (10 ⁴ kℓ)				14.9 (1,346)		14.9 (1,346)	出典 大阪府BIGPLANにもとづき推計 熱換算 9,000 Kcal/kℓ
合計	(8,474)	(11,837)	(35,255)	(13,943)	(1,706)	(71,215)	

(出所) 大阪科学技術センター 大都市におけるエネルギーの需要・供給の現状と将来展望 昭和49年

末には結果がまとまる予定である。これについては機会を改めて紹介したい。

3. 第1次石油危機後の変化

現在の社会がエネルギー浪費的にでき上ってしまったのはそれなりの理由がある。基本的にはエネルギー価格が安かったために、物をつくる、あるいは物を使用するのに際して、エネルギー節約というよりもエネルギーを自由気儘に使うという方が選択されたからである。もちろんエネルギーを大量に消費する基礎財産業（鉄鋼、非金属、窯業、土石、化学、など）では、エネルギー・コストの製品・コストに占める割合が比較的高いので、製品のコストを下げ、競争で優位に立つため、エネルギー節約的生産プロセスがこれまでも採用されてきた。またエネルギー産業でもエネルギー消費効率の向上は最も重要な目標であった。一方では汚染防除設備の設置、電力業ではさらに立地の遠隔化による送電ロスの増大などエネルギー消費を増大させる要因も新たに加わった。しかし一般にはエネルギーの節約よりも製品の初期価格の低減、利便性や快適性の追求に主な関心が向けられていた。大型の乗用車を1人だけ乗って走らせる、片方で冷却しながら他方で霜取りのために加熱をする冷蔵庫などはその典型的な例である。

しかし第一次エネルギー危機（1973年）で約4倍、1978年末のイラン政変で約3倍というように石油価格が高騰し、しかも供給不安定がつかまとう今日、エネルギー事情は一変した。エネルギー価格の高騰はとくにエネルギー多消費産業におけるエネルギー節約に大きなインセンティブをもたらした。たとえば鉄鋼、アルミ、セメント、石油化学のエネルギー原単位（単位出荷額あたりのエネルギー消費量）および石油使用原単位はこの5

年間の間に表2に示すように大きく低下した。またいくつかの最終消費財においても性能の評価尺度の1つとしてエネルギー消費効率に加えられ、効率の改善をめぐって激しい競争が展開されている。自動車や家電製品はその例である。

わが国の全体のエネルギー消費は第1次エネルギー危機以来どのように変化したかを部門別に見てみよう。図-1がそれである。昭和48年度以降総エネルギー消費はほとんど横這いである。これにはエネルギー多消費産業におけるエネルギー消費が一割以上も減少したことが大きく寄与している。運輸部門、民生部門の消費は、石油危機があったにもかかわらず、減ることはなく依然として増加基調にある。エネルギー多消費産業を除いた産業部門でもエネルギー消費は昭和49年に1度落ちこんだだけで後は増加している。これはエネルギー危機後わが国の産業構造がエネルギー寡消費の方向にシフトしつつあることを反映したものである。産業部門は民間企業を中心であり、そこでは製品コストの低減による利潤追求が至上目標であるからエネルギーの節約も比較的達成され易い。民生部門の消費増大の基本要因は建物対面積の増加とそこでの冷暖房需要の増加である。そしてこの基調は産業の第3次産業化、核家族化による人口増加を上回る世帯増、さらに住環境の改善など多くの増加要因があるので今後も続くものと予想される。輸送部門のエネルギー消費の増加要因を知るには、より詳細な統計を見ることが必要である。ここでは結論だけを述べると、エネルギー消費の増加は、旅客輸送については輸送距離の増加とモータリゼーションの進行が原因であり、貨物輸送についてはむしろ輸送効率の低下が原因である。

表2 エネルギー消費の低減

主要業種	エネルギー原単位低減状況 (53年/48年)	省エネルギー対策の概要	石油使用原単位 53年度/48年度
鉄鋼 (高炉9社)	92.0 %	高炉燃料比の低減、高炉炉頂圧回収発電、コークス乾式消火、廃熱回収、連続鑄造、直接圧延等	71
アルミニウム	94.3	廃熱回収、燃焼管理強化、電極の改良、保温強化等	84
石油化学 (エチレン部門)	87.7	廃熱回収、操業条件の改善等	93
セメント	89.3	N S P 転換、原料ミルの改善等	86

(出所) 総合エネルギー対策推進閣僚会議資料 昭和54年

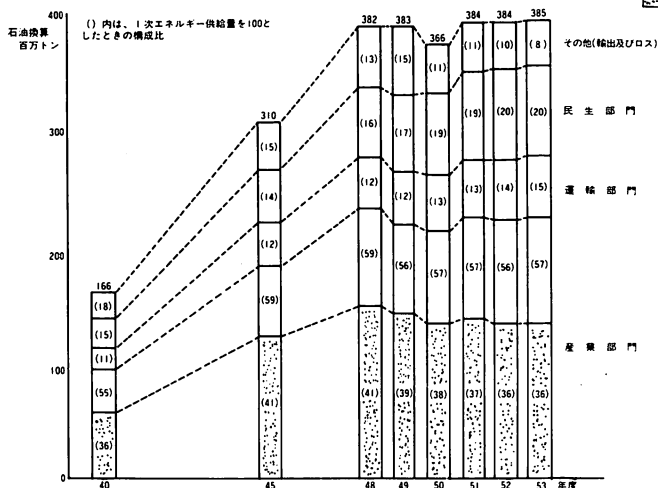


図-1 我が国のエネルギー消費の推移

4. 都市におけるエネルギー消費最適化の方向

都市の特徴は人、物そして情報が、高密度に集積して産業活動や生活を営むというところにある。人口が100万を越えるような大都市では、都心に高層ビルが林立し、そこに業務・商業機能が高密度に集積している。この地区は Central Business District(略して CBD)と呼ばれている。夜間には人口は極端に減少し、常住人口はほとんど零である。都心のその回りは inner city と呼ばれており、業務・商業機能の都心からの拡散が見られるとともに、住宅が密集し常住人口密度もかなり高い。工業を中心に発達した都市では工場群がここに立地している。さらにその外側はいわゆる郊外であり住宅団地や工場団地、1部に田舎が広がっている。

もちろん現在の都市の形態は地形や歴史的発展過程の影響を強く受けているので、詳細に見ればきわめて多様でどれ1つとして同じ都市はない。しかし概観すればおおむね上の様なことがいえるのである。図-2は大阪府下の常住人口を1㎤標準メッシュ(欧米では grid という言葉が使われている。)単位で見たもので中央の人口密度が稀薄なところが大阪市の CBD その回りの人口密度の高いところが inner city そして主に鉄道の路線沿いに郊外住宅地が形成されている。

都市におけるエネルギー消費最適化の問題を考えるために、都市の活動部門をこれまでより少し詳しく図-3のように分類しよう。工場やエネルギー施設はエネルギー

産業部門のうち点を付けた部分はエネルギー多消費業種によるエネルギー消費を示す。ここで、エネルギー多消費業種とは、生産額当たりのエネルギー消費原単位が、製造業の平均以上となっている5業種(鉄鋼、非鉄金属、窯業・土石、化学、紙パルプ)をいう。

- (出所)
- ・総合エネルギー統計
 - ・エネルギーマトリックス
 - ・エネルギー統計年報
 - ・電気事業便覧
 - ・ガス事業便覧
- より作成
(一部推計を含む)

の大量消費者であり、エネルギー消費の結果は最終的に廃熱として大気や水中に捨てられている。発電所では発電のために投入されたエネルギーの60%が廃熱として捨てられている。オフィス、店舗、学校、住宅ではエネルギーの大部分が冷暖房と給湯のために費されている。浄水場、下水処理場もエネルギーの大量消費者である。また大部分のごみ処理施設ではごみを燃焼させ、発生した熱を大気中に捨てている。輸送部門では鉄道、バスなどの公共輸送機関と自動車とが競争している。door to door の輸送機能をもつ自動車の競争力は都市でも強く他の輸送機関を圧倒している。この自動車は都市における大気汚染の元区である。

都市におけるエネルギー消費の最適化は、図-3に示す各部門でエネルギー消費の合理化を進めるとともに、各部門を独立ではなく互いに補い合い、統合化することによって達成される。部門ごとのエネルギー消費の合理化については本誌でもシリーズでとりあげられているので割愛しここでは総合化の問題を考えよう。

家庭では通常暖房に石油あるいはガスを、冷房に電気を使っている。ビルもおおむね同じであるが最近では冷房にガスを使用するケースも多くなっている。冷暖房システムでは最終的に適度の暖気と換気をつくるのが目的であるから、原理的には100℃前後の熱源があればよく、現在のように高品質のエネルギーに全面的に依存することは明らかに不合理である。空調そして給湯需要に対しては太陽熱や各種廃熱の利用をもっと積極的に考えるべきである。住宅の屋根に太陽熱コレク

タを設置することにより暖房ならびに給湯需要の相当部分がまかなえる。廃熱の利用を経済的に実現するためには一定の条件が満たされなければならない、すなわちまとまった廃熱源があること、高密度な熱需要があること、そして両者の距離がある程度接近していることである。

まとまった廃熱源としてはまず第1に発電所が挙げられる。高密度な熱需要はCBDやinner city、そして工場地帯に存在するのであろう。従来発電所はとかく大規模遠隔立地の傾向があった。しかし発電所におけるロスを転じて有効利用するためには高密度な熱需要の存在する地区の近くに適当な規模の発電所をつくり、発電と同時に熱供給を行うというシステムを構築する

ことが必要である。欧州では暖房需要が大きいこともあってこの熱併給電方式と組合わせた地域暖房システムがすでに広く採用されている。わが国では冷房需要が相当あることが特徴である。

この熱併給発電方式—地域冷暖房システムの採用はこれまで個別の部門ごとのエネルギー消費の合理化から部門の壁を越えた合理化に進むことを意味する。もちろん既存の建物の集積、現行の部門別エネルギー、システムに密着した制度の存在、それに需要家のマインドの保守性があるので実現は容易でない。しかし都市環境の改善のために市街地再開発事業が実施されるケースも増加しており、このような機会をとらえて新しいシステムの導入をはかるべきである。

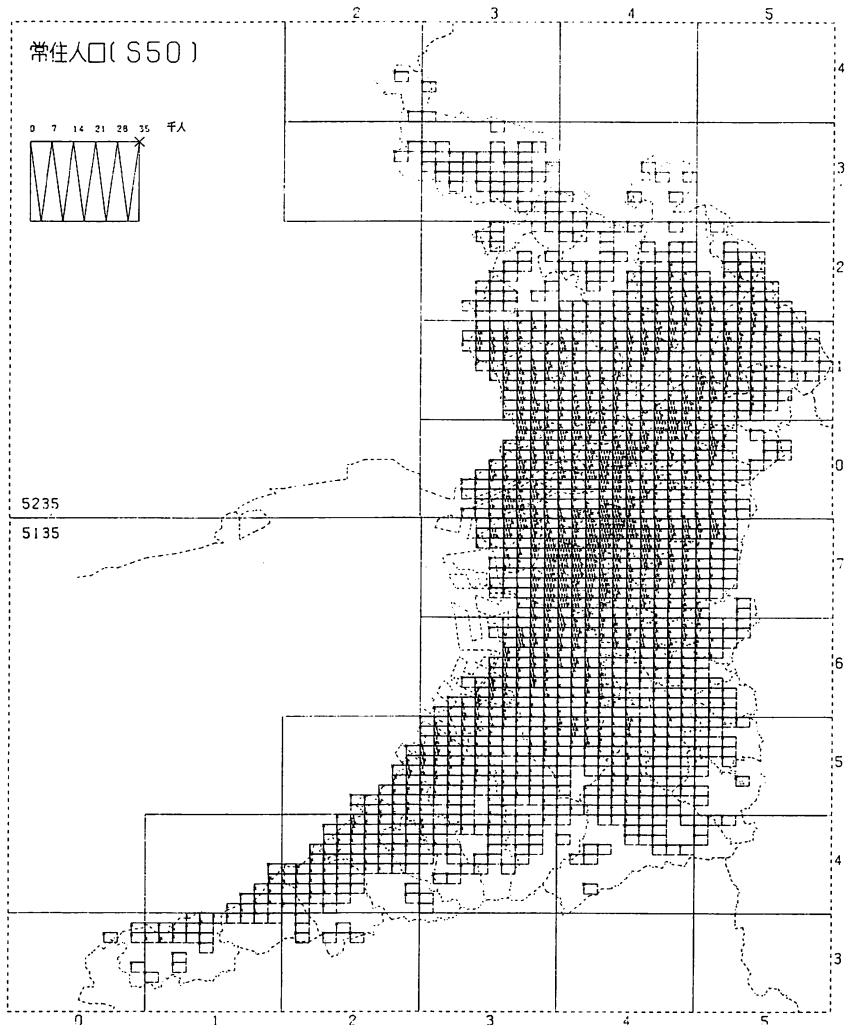


図2 大阪府常住人口

(出所) 関西情報センター 小地域情報を用いた都市のエネルギー消費構造決定システムの開発 昭和55年

都市におけるエネルギー消費の最適化はさらに大きな循環の中で考えることができる。さきに述べたように基礎財の生産には大量のエネルギーを必要とする。紙や金属のリサイクルを行えば新しい基礎財の生産はそれだけ少なくてすみ、エネルギー消費が相当削減できる。水についても工業用水だけでなく民生用水についても循

環使用を考えれば広域利水は不要になるか少なくとも減らすことができる。

これからの都市では図-4に示すように現在のオープン、ループ、システムを改めてクローズド、システムの方向を旨すべきである。

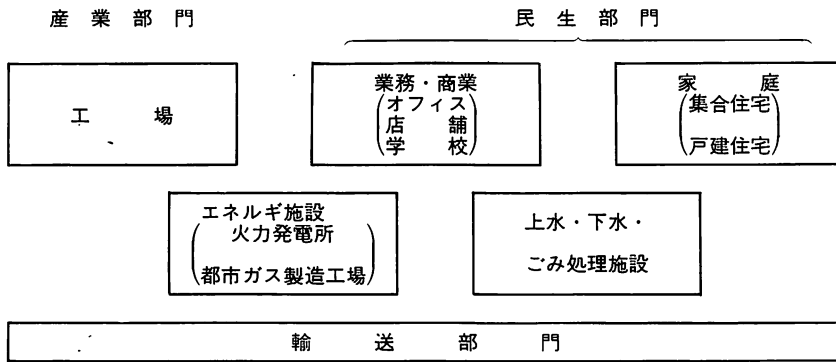


図3 都市におけるエネルギー消費部門

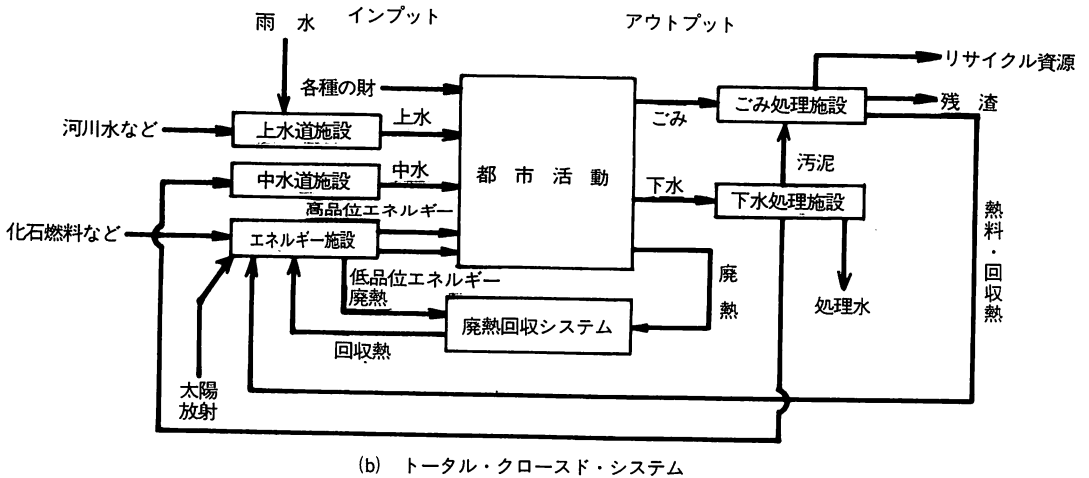
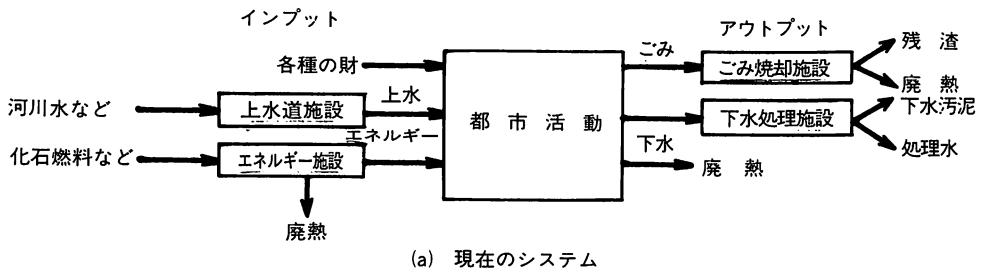


図4 供給・処理システムのあり方

このシステムの詳細については下記の報告書を参照されたい。
大阪科学技術センター 「ニュータウンにおける新しいエネルギーシステムをめざして」
昭和55年