



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	都市・居住環境とエネルギー
Author(s)	落藤, 澄
Description	第4回衛生工学シンポジウム（平成8年11月7日（木）-8日（金） 北海道大学学術交流会館） . 特別講演
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 303-309
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7870
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-S1_p303-309.pdf



特別講演

都市・居住環境とエネルギー

北海道大学教授 落藤 澄

1. はじめに

1.1 エネルギーと環境

近年、酸性雨、オゾン層破壊、温暖化現象などの地球規模の環境破壊が深刻な問題になっている。これらの環境問題に共通して言えることは、いずれの場合も大量に消費するエネルギーと資源が元凶になっていることである。一方、わが国は基本的に極めて脆弱なエネルギー構造をもった国である。エネルギーの海外依存度は1992年において83.6%に達しており、石油の海外依存度は、実に99.6%¹⁾になっている。

これらの地球環境問題とエネルギー資源の枯渇、わが国のエネルギー事情に関わる問題を解決するには、少なくともこれまでと同じく省エネルギーとその関連の技術開発を推し進めて行くことは必要であるが、それに加えて、建物と都市の構造、エネルギー体系、ライフスタイルなど、いわゆる生活と都市の枠組みを根本的に見直す必要に迫られていると言える。

1.2 基本的な方向

ここでは建物に関する省エネルギーとエネルギーの有効利用について広範囲にわたって取り上げて、その基本的な考え方を示すことにする。エネルギーの有効利用は、本質的にはエネルギーを使用する人の意識とライフスタイルにまで遡って論じなければならない問題であるが、それ以後のエネルギーの合理的な利用に関する基本的な方向としては、自然エネルギーや廃熱といった未利用エネルギーを最大限に活用

するとともに、室内の環境の質を落すことなく、目的とする温度レベルに合わせた段階的（カスケード的）活用を図り、熱回収および最適運転を組み合わせた総合的な取り組みが必要である。また、暖冷房、給湯といった熱利用にとどまらず、建物内で使用する電力などの他のエネルギーにも関心をもち、電力と熱を同時に供給するエネルギーの複合的利用あるいは統合的利用にまで対象を広げることが必要である。さらに、個別の建物にとどまらず、建物の集合体としての地域あるいは都市におけるエネルギーの有効利用を図り、新しいエネルギーシステムのフレームづくりをめざすことが基本的に必要になってくると考える。

2. 民生部門の増大

建物の省エネルギーを考える際に重要となる背景には、わが国における民生部門の需要の伸びがある。図-1は石油危機が起った1973年と最近の1992年における一人当たりの年間の消費熱量を比較したものである。産業部門が0.8倍に減っているのに対し、民生と運輸の両部門がおよそ1.6倍に増えていることがわかる。家庭部門の最近の伸びは先進国の中で最も高いといわれている。しかも、生活のアメニティの向上と高齢化社会の進展とともにさらに増大し、欧州先進国並みの水準に近づくことが予想される。したがって、わが国のエネルギーと環境保全の将来にとって、民生部門の省エネルギーが

	民生	運輸	産業	
1973	4560	3930	16000	24400Mcal/人,年 (3.23kw/人)
	1.56倍		0.84倍	
	1.63倍			
1992	6950 (26%) 住宅部門 (53%)	6420 (24%) 業務部門 (47%)	13370 (50%)	26740Mcal/人,年 (3.55kw/人)

平成6年度版総合エネルギー統計から作成

図-1 部門別一人当たりのエネルギー消費量

運輸部門とともに極めて重要であることがわかる。

3. 暮らしの中の省エネルギーと節約

家庭内で消費するエネルギーは住宅の種類、構造、家族構成などによって異なることは言うまでもないが、全国の平均的な1世帯当たりの年間の消費量とその構成を示すと図-2のようになる。約1万Mcal/年、世帯となる。その内訳は給湯が37%、照明・動力・その他が35%、暖房が27%になっている。最近5年間の推移を見ると、暖房・給湯の消費量原単位が殆ど変わらないのに対し、照明・動力などの電力および冷房需要が増加の一途をたどっているのが特徴である。ただし、冷房需要は全体に占めるシェアは小さいが、夏の電力のピーク需要を先鋭化させる要因の一つとなっている。

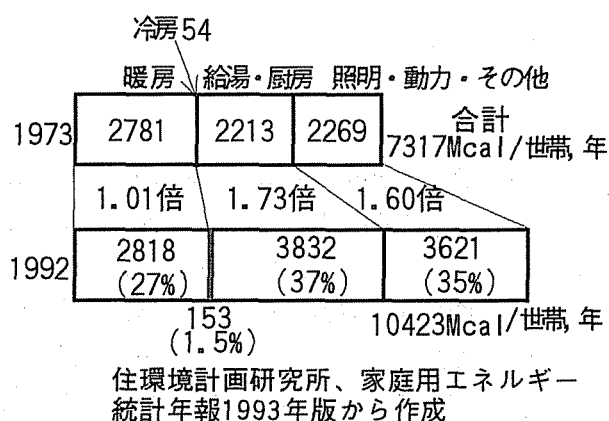


図-2 家庭部門世帯当たり用途別エネルギー消費量

電力消費の内訳は冷蔵庫が最も多く、次いで照明、空調機となっている。最近市販されている家電品の単体の省エネルギーは非常に進み、20年前の消費電力に比べて冷蔵庫が約1/3、空調機とテレビが約1/2にまで減少した⁽²⁾。しかし、保有台数が年々増えているために総量はむしろ増大している。家電製品は簡単に手に入り、便利で快適な状態が得られるので電気をつい無駄遣いする傾向にある。いたずらに台数を増やすことなく、効率のよい機器を用いるとともに、照明、テレビ、空調機などのオンオフをまめに行い、暖房温度を低く設定するなど、日

常の節電に努める必要がある。まずはムダと感じたところから省エネルギーの行動を開始することであり、1億2千万の人口を考えれば、大きな成果を生むことになる。

給湯について言えば、節水に努めると同時に、太陽熱温水器の使用、水と雨水の再利用および熱回収の普及促進に努める必要がある。節電、節水という用語は暗いイメージを連想させるように思われるが、省エネルギー、省資源は本来は使う人の意識の問題であり、「禁欲の豊さ」という言葉があるように心の持ち方しだいでは新しい価値を生み出す可能性をもっていると言える。

4. 建物における省エネルギーの基本

4.1 省エネルギーの基本

建物における省エネルギーの直接の目的は、室内環境を快適で、健康な状態に維持するために使われるエネルギーの量をできるだけ減らすことである。さらに、単体の建物だけでなく、建物が集まった都市およびグローバルな地球環境の立場からも、省エネルギーが達成されていること、すなわち、エネルギーと環境負荷の両面から最少化が図られることが必要である。別な言い方をすれば、エネルギーと環境に関するエントロピーを最少化する努力が省エネルギーの過程であると言える。以下に建物における省エネルギー手法の基本について記す。

- (1) 建物の負荷の軽減：断熱・気密化など
- (2) 室内環境条件の見直し：温湿度条件、空気質など
- (3) 自然エネルギーの活用：太陽、通風、大地など
- (4) エネルギーの有効利用：廃熱利用、熱回収など
- (5) システム性能の向上：システム効率、COPなど
- (6) 最適運転・管理：外気取入、変流量など
- (7) 周囲環境への配慮：緑の確保、環境保全など
- (8) 地域性の尊重：気候、風土、地方性など

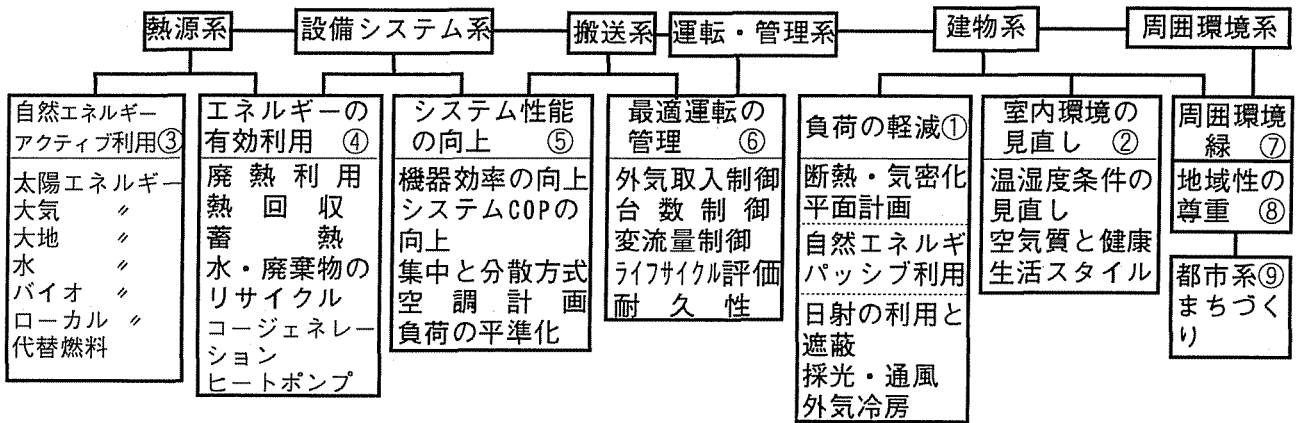


図-3 建物における省エネルギーの基本

(9)都市のエネルギーの有効利用： まちづくりなど

図-3には各項目の具体的な内容を示す。省エネルギー計画は右側から左側に向かって進む。右側の項目①、②、⑦、⑧は「建物・環境系」に属するものであり、省エネルギーの基本的なものである。①の高断熱・高气密化と⑧の地域性の尊重については、節を改めて説明する。また、負荷の軽減にとって、自然エネルギーの利用は非常に重要な役割を担っている。いろいろなか所でいろいろな提案がなされているが、北海道大学の構内においても、「太陽」、「大気」、「大地」の3種類の自然エネルギーをパッシブとアクティブの両面から最大限に活用し、年間サイクルを考慮したエネルギー自立型の実験ハウスを建設中である。しかし、自然エネルギー利用は別な報告で述べられるので省略する。

項目③、④、⑤、⑥は「設備・システム系」に属するものであり、エネルギーの有効利用に最も深く関わっているところである。項目⑨は「都市と建物群」に関係するものであり、まちづくりの中に省エネルギーを取り入れる考え方である。④と⑨のエネルギーの有効利用については、本報の課題でもあるので章を改めて述べることにする。

4.2 高断熱化と高气密化

図-4は住宅の断熱性と気密性のレベルによって年間の暖房負荷がどの程度違ってくるかを比較したものである。最も寒い地域における在来

住宅、新しい省エネルギー基準に基づく省エネルギー住宅および超高断熱・気密化住宅（熱損失係数1.0以下）の3種類について試算した例である。在来住宅に比べて新省エネルギー基準の住宅ではおよそ1/2、超高断熱・気密化住宅では約1/4に減少している⁽³⁾。断熱化と気密化のレベルがエネルギーの消費量に直接結び付いていることがよく分かる。

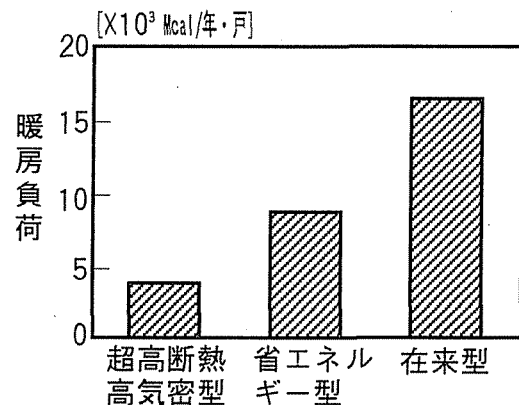


図-4 住宅の年間暖房負荷の計算値 (札幌)

平成5年に改訂された、いわゆる省エネルギー基準において、住宅では「熱損失係数」、「気密性能」および「日射取得係数」の性能基準が定められ、別途設計および施工のためのガイドラインが示された。それによると熱損失係数は戸建ての場合、寒冷地のI地区において1.5以下、東京などのIV地区において3.4以下となっている。熱損失係数とは内外温度差が1℃のときに失われる損失熱量を床面積で割ったものであり、その値が1.5以下とは、平均的な断熱材の厚さがグラスウールで150mmとな

り、北歐並の基準になっている。

4.3 地域性の尊重

私たちの先祖は夏の暑さをしのぎ、冬の寒さにたえるために、それぞれの地方で様々な工夫をこらし、生活の知恵を働かせてきた。夏の暑さをしのぐための通風、すだれ、うちわ、打ち水、夕涼み、ひさし、日除け、重厚な茅葺き屋根、植樹、中庭など、冬の寒さを防ぐための冬囲い、雨戸、日向ぼっこ、こたつ、湯たんぼ、乾布摩擦、早寝早起きの習慣などであり、それぞれの国特有の伝統的なエコロジカルハウスともいえる形態を生み出してきたといえる。寒い地方では閉鎖型の住宅、高温多湿の地方では夏の自然通風を取り入れた解放型住宅が普及していることはよく知られている。

現代の建物は全国的に画一化されて、地方色があまり見られなくなっている。都市に建つインテリジェントビルはその性格上ある程度やむを得ないところもあるが、住宅に関しては地域性を考慮した省エネルギーを考えるべきである。雪国の暖房と温暖地の採暖とでは大きな違いが見られるし、夏においても涼房と冷房との違いがあってもよいはずである。

人々が自然と環境に思いを寄せ、それぞれの地方に存在する身近なエネルギーを活かし、その地方の気候風土と地域生に根差した省エネルギーを工夫し、いわゆる地域独自の生活と価値観を育むことに省エネルギーが深く関わっていると言える。

5. エネルギーの有効利用とその評価法

5.1 建物のエネルギーの有効利用

エネルギーの有効利用とは、広義にはエネルギーを大切に使うこと、すなわち、省エネルギーのことを意味するが、熱工学の立場からは、利用する温度レベルに応じて、高い温度から低い温度まで段階的（カスケード的）に利用することである。暖房と給湯のために必要な温度は60℃程度、冷房のためには100℃程度あれば十分であり、300℃以上が得られる化石燃料を焚くことはぜいたくな使い方である。言っ

れば、田畑に水をまくのに最も質の高い飲料水を用いることと同じであると判断される。

したがって、暖冷房は発電をした後の排熱で賄うことができ、電力と熱を同時に供給するコージェネレーションあるいはごみや糞を焼却した際に発生する廃熱で十分賄うことができる。コージェネレーションによる一次エネルギーの削減率は条件によって異なるが5～20%は得られると言われている。ごみ焼却排熱の場合には50%以上に達する場合もあるであろう。しかし、電力と熱負荷が都合よくバランスするホテルや病院のような建物は別にして、個別の建物にコージェネレーションを適用することは一般には難しい。また、ごみ焼却の排熱利用も無理である。

建物内でのエネルギーの有効利用の例としては、図3に示したとおり、熱回収、排熱回収、未利用エネルギーの活用などが一般的である。換気の顕熱と潜熱回収は広く普及し、最も効果があるとされている。また、最近のインテリジェント建物は冷房負荷が増え、年間を通じて冷熱負荷と温熱負荷が同時に存在している。そのような建物に対しては冷温熱のリサイクル利用が可能であり、事務所ビルの場合でも両者のバランスがよければ一次エネルギー削減率は10%程度の効果が期待できると言われている。熱回収などのエネルギーの有効利用を図るには、回収用の熱交換器、ヒートポンプ、蓄熱槽などの装置を付設するのが普通である。

なお、建物の冷暖房と電力の負荷は季時別の変動が激しく、特に、昼間のピーク電力は国のエネルギー政策上大きな問題になっている。昼夜間の負荷の平準化をねらった深夜電力による蓄熱槽を持つヒートポンプ冷暖房および季節間の平準化に寄与するコージェネレーションもその例である。負荷の平準化は建物内だけの省エネルギーの問題ではなく、社会全体の省エネルギー、環境保全に結び付いた問題でもあるので、総合的な視点と判断が求められる。

5.2 評価の仕方

建物の省エネルギーとエネルギーの有効利用

を総合的に評価する方法としては、単位床面積当たりの1年間に消費する1次エネルギー量と2次エネルギー量があり、原単位法と言う。しかし、建物の機能が複雑高度化し、絶対量で比較することが難しくなっていること、システムの性能の良し悪しを判断できないということから、システム効率（または成績係数）あるいは、その逆数の消費係数が一般に用いられる。システム効率および成績係数とは入力エネルギーに対する有用に使われる出力エネルギーの比率のことである。

新しく制定された省エネルギー法では「エネルギー消費係数」が用いられる。設備システムとしては5つの設備「空気調和」、「機械換気」、「照明」、「給湯」および「昇降機」が指定されている。さらに、建物の外周部の断熱と気密性の程度を決めた「年間熱負荷係数」が与えられている。

$$\text{空調エネルギー消費係数(CEC/AC)} = \frac{\text{年間空調エネルギー消費量[Mcal/年]}}{\text{年間仮想空気調和負荷[Mcal/年]}}$$

$$\text{年間熱負荷係数(PAL)} = \frac{\text{ペリメータ部分の年間熱負荷[Mcal/年]}}{\text{ペリメータ部分の床面積[m}^2\text{]}}$$

ここに、仮想空気調和負荷とは計算の枠組みの中で求めた熱負荷の年間積算値であり、実際の条件とは必ずしも一致するものでない、仮想と呼んでいる。分子のエネルギー消費量も計算値であり、実績値ではない。両者の係数は建設に際し、建築主の判断の基準を与えるものである。事務所、学校、ホテル、病院、店舗の5種類毎に最大値が決められている。例えば、事務所建築ではPAL \leq 80Mcal/m²年、CEC/AC \leq 1.5となっている。上記の2つの基準はあくまでも法的な最低の基準であるとみなすべきである。

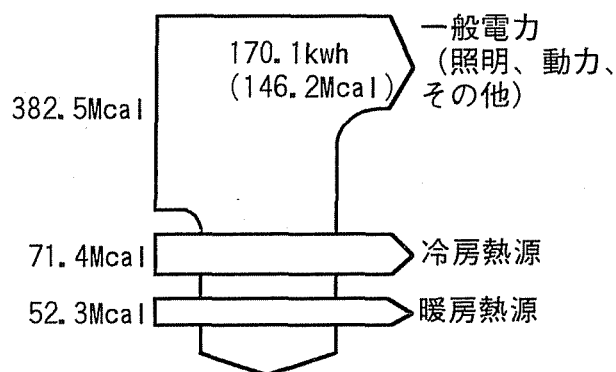
なお、システムの消費係数は一般にシステムが複雑になればなるほど低くなる傾向にあり、実状に合わなくなる恐れがあるので、ライフサイクルエネルギーとコストの面からも、省エネルギー性を検討しなければならない。1次エネルギーの消費原単位を算出して、多角的な評価

を行うことが望ましい。

6. エネルギーフローと総合利用率

6.1 エネルギーフロー

建物内でエネルギーがどのように使われているかを大局的に知るにはエネルギーバランスのフローを求めればよい。その例を図-5に示す。床面積当たりの年間の消費原単位は早稲田大学の尾島俊雄研究室の東京の調査データを用いた⁴⁾。図は左側が燃料基準の1次エネルギー量、右側が消費エネルギー量を表わしている。左側の電力用燃料の1次エネルギー量が非常に大きな比率を占めていることがわかる。発電の損失は2次エネルギーの消費量の合計とほとんど変わらない値になっている。2次側のエネルギー消費量についても、電力利用は熱利用よりも上回っており、建物がいかに電力に依存しているかが伺える。



1次エネルギー 排熱 計 506.2Mcal
消費エネルギー 計 259.2Mcal

$$\text{総合利用率} = \frac{259.2}{506.2} = 0.51$$

図-5 事務所建物のエネルギーの流れの例

電力の消費構成はビルの用途、空調方式、設備システム、運転管理のやり方などによって変わるのは当然であるが、1つの例を挙げれば、照明用、空調用、その他の3部門がそれぞれ1/3になっている⁵⁾。したがって、照明と空調用の動力、特に搬送動力の省エネルギー化が今後の課題であることがわかる⁶⁾

ただし、搬送系の省電力を考えると空気調和方式が集中から分散、分散から個別へと移行する傾向にある。室内の空気の質を清澄に保つ空

気浄化の立場からは、個別方式は必ずしも適しているとは言えず、集中方式との適度な組み合わせが必要になる。このことは高断熱・高気密化住宅についても言えることで、高気密化住宅の空気の質は決して良くはなく⁷⁾、機械換気が行われることが前提条件になる。先に述べた§4の省エネルギー手法の基本の②の室内環境の見直しとあるのは人の健康維持の観点から省エネルギーの行き過ぎへの反省が込められている。

6.2 総合利用率

1次側のエネルギー量の合計に対する2次側のエネルギー消費量の合計の比率を総合利用率あるいは総合使用率と呼ぶことにする。図-5のエネルギーフローから、総合利用率は約0.51となる。このことは1次エネルギーの約半分しかエネルギーが有用に使われていないということになる。ただし、この総合利用率は2次側の電力量(kwh)を熱量に置き換えて単純に加算しただけなので、質的評価を行っていないことから、むしろ古い概念に属するとも言える。しかし、発電所で外部へ捨てるエネルギーなどの損失がいかに大きなものであるかを知るには、わかりやすい指標であり、大局的なエネルギー資源の利用状況を把握するのに適した方法である。電力依存型の建物であればあるほど総合利用率は低い値をとることになる。

7. 都市のエネルギーの有効利用とエネルギーフロー

7.1 都市のエネルギーの有効利用

建物が集まって建物群が形成され、地域と町が構成されるという認識の下に、広域的なエネルギーの有効利用についても考える。ある程度の規模をもったコミュニティあるいは建物群を対象にすれば、発電排熱、都市排熱、温度差エネルギー、未利用エネルギーなどを活用することができる。本来のカスケードによるエネルギーの有効利用が図られ、その効果は大きなものがある⁸⁾。

わが国の都市におけるエネルギーフローの例

を図-6に示す。170万人が住む民生部門が卓越した消費型の都市の例である。左側が1次エネルギー量、右側が2次の消費エネルギー量である。左側から右側に向って、エネルギーが一本の線となって平行に流れており、お互いの有機的なつながりは見られない。総合利用率は約0.51になる⁹⁾。都市規模においても建物の総合利用率にほぼ等しくなっている。

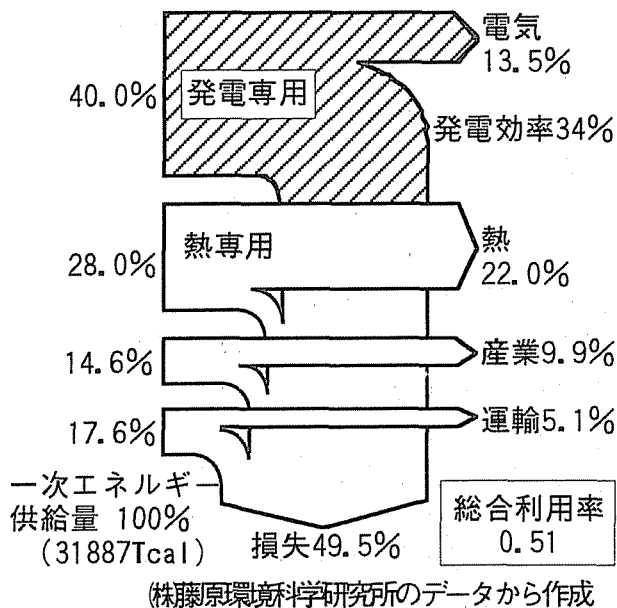


図-6 札幌市のエネルギーフローと総合利用率

図-7はヨーロッパの中都市（約40万人）におけるエネルギーのフローを示したものである¹⁰⁾。電力利用と熱利用とが同時に複合的に使われているために、総合利用率は約0.73であり、高い値となっている。次に、同じヨーロッパの国の例について国全体の地域暖房（普及率約50%）における熱利用のエネルギーバランスに注目すると、所要の需要熱量のうち約半分が化石燃料、残りの半分が排熱などで賄われている¹¹⁾。排熱は主に発電所からの排熱、廃棄物・木くずなどのバイオ燃料の2系統から成り立っている。

7.2 まちづくりの中の新しいエネルギー体系

これまで述べてきたように、省エネルギーとエネルギーの有効利用は個々の建物を対象にして、まず考える必要がある。さらには、複数の建物、地域やまちを対象に考えることによ

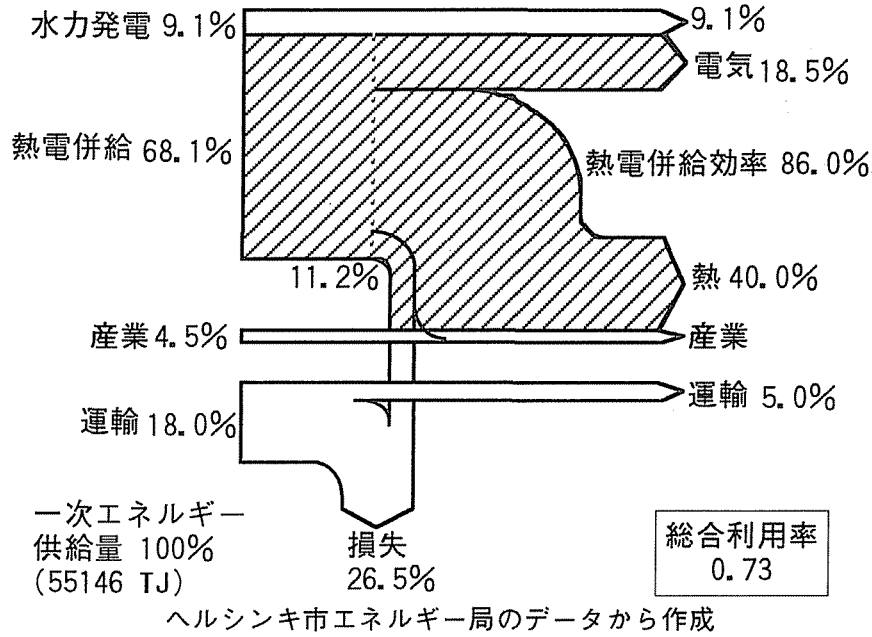


図-7 ヘルシンキ市エネルギーフローと総合利用率

て、より大きな成果が期待できる。電力、ガス、上下水道のネットワークと同じように熱供給のネットワークを代謝系基盤施設の一つであるという位置付けを行い、まちづくりの中に熱エネルギーシステムを組み入れ、未利用エネルギーと都市排熱を有機的に統合し、電力と熱を同時に供給することを前提とするコンパクトで複合的なインフラストラクチャーを構築することが、近い将来必要になってくると思われる。

人と人、建物と建物が協調し合って、地域にふさわしい建物とまちづくりを目指し、資源のリサイクル、エネルギーの有効利用が図れるような新しい社会システムとエネルギー体系を築いていくといった、地域の人々の意識と独自の価値観がライフサイクルの見直しと併せて醸成されることが期待される。

参考文献

- (1) 総合エネルギー統計、平成6年度版、資源エネルギー庁、1994
- (2) 省エネルギー総覧、通産資料調査会、p. 130-134、1994
- (3) 落藤澄編著：現代の空気調整工学、朝倉書店、p. 133-134、1996

- (4) 尾島俊雄研究室：建築の光熱水原単位、早稲田大学出版部、p. 33、1995
- (5) 松本敏雄：事務所ビルにおけるエネルギー消費量の実態（その1）、空気調和・衛生工学、64-1、p. 10、1989
- (6) 碓井英夫他：札幌市における事務所建物のエネルギー消費量調査報告、空気調和・衛生工学会北海道支部第21回学術講演論文集、p. 25、1987
- (7) 横山真太郎、落藤澄、持田徹：室内空気環境の現状と将来展望、空気調和・衛生工学、64-11、p. 915-920、1990
- (8) 落藤澄他：都市エネルギーシステムにおける排熱利用と評価、第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、p. 13-18、1992
- (9) 落藤澄：寒冷地における都市排熱および未利用エネルギーの活用と評価、空気調和・衛生工学、69-10、p. 24、1995
- (10) (9)と同じ
- (11) District Heating Research and Technological Development in Denmark, Danish Energy Agency, 1992