

## 特集

## 21世紀のエネルギー像

## 21世紀の民生エネルギー技術

## Domestic Energy Utilization Technology of 21st Century

酒井 寛 二\*  
Kanji Sakai

## 1. 民生用エネルギー消費の動向

## 1.1 最近の推移

エネルギー消費のうち民生部門に属する需要とは、住宅における我々の日常生活で消費する分（家庭用）と、事務所、店舗、病院、学校、ホテル等の業務施設で消費される分（業務用）とから成っている。

日本におけるエネルギーの最終消費は、図-1に示すように、絶対値については“第一次オイルショック”以降、大きな伸びはみられない。しかし、その用途を分類して考察すると、産業用が低下傾向にあるのに対して、民生用が確実に増加している事が読みとれる。この理由としては、産業が重厚長大型から軽薄短小型に転換しつつあること、エネルギー多消費産業の海外転出、生活環境を向上させる余力が出てきたこと等があげられよう。

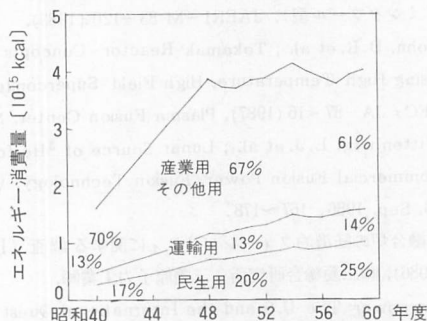


図-1 部門別エネルギー消費の推移  
(出典：省エネルギー便覧昭61年)

## 1.2 民生用エネルギーの将来予測

前述したように、エネルギーの最終需要に占める民生用の比率は、年々上昇しつつあるが、今後どの程度まで上早するのかについては、いくつかの予測がなされている。その共通の根拠とされているのは、欧米諸

\* 榊大林組 設備部長

〒101 東京都千代田区神田司町2-3

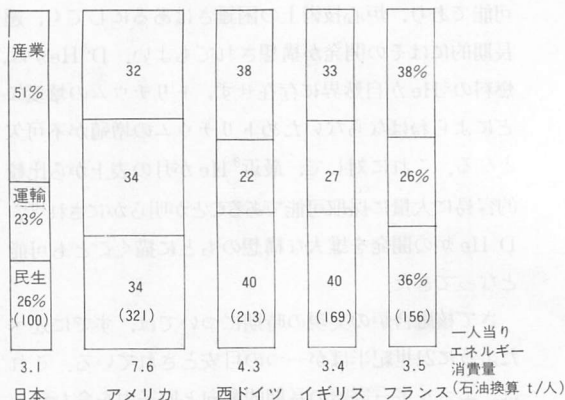


図-2 1984年の諸国における民生用エネルギー消費  
( )内は日本の一人当たり民生用を100とした値  
(出典：省エネルギー便覧昭61)

国における実態との比較である。図-2にその比較を示すが、これから見てもまだまだ比率ならびに絶対量が上昇しておかしくないと判断できよう。

民生用のエネルギー消費は、その国の気候に大きく支配される。すなわち、民生用の用途として、暖房・冷房・給湯が過半を占めるためである。それだけに、より気候条件が厳しい北欧ならびに中欧、カナダ、米国の多くの地域よりは、同一生活水準のもとで必要となるエネルギー量は、やや少なくてすむものと思われる。よって、日本の将来の民生用比率が、これらの諸国と全く同一に達する必然性は感じられ無いが、これらの値が当面の予測値として用いることが出来よう。

## 2. 民生分野内のエネルギー消費動向

## 2.1 家庭用と業務用

民生用エネルギー消費は、家庭用と業務用に大別することができる。各々約1/2を占めている。室田の最近の報文によると、絶対値は、両者とも増加傾向にあるが、その詳細な比率は表1に示すように推移してきている。すなわち、家庭用の比率が着実に増加する一方、業務用の比率がほぼ単調に減少している。

表1 民生用エネルギー需要の構成

(出典: 室田, エネルギー・資源, vol.8no.4)

用途	昭48	51	53	55	58
家庭用	51.1	52.2	54.0	53.5	56.0
業務用	48.9	47.8	46.0	46.5	44.0

〔%〕

この理由としては、業務用施設の冷暖房等の設備水準が、すでにかかなり高いところで安定状態に到達しているのに対して、家庭用設備が不備のまま放置されていたのが、やっと水準向上の動きが表面化して来たことと捉えたい。すなわち、最近建設される事務所ビルでは、冷暖房が完備しているのが常識であるのに対して、住宅では、全室冷房はもちろん、全室暖房でもまだ普及していないが、完備する方向で推移しているのが現状であろう。

## 2.2 家庭用の用途別消費動向

家庭用エネルギー消費を用途別に分類すると、暖房、冷房、給湯、その他と大別できる。この4用途の最近の比率は、室田によると表2のようになる。表中で暖房用が低下傾向にあるが、絶対値ではここ十年間ほぼ一定である。

表2 家庭用エネルギー需要の用途

(出典: 室田, エネルギー・資源, vol.8 no.4)

用途	昭48	51	53	55
暖房	38.1	31.2	31.9	27.4
冷房	0.7	0.6	1.3	0.4
給湯	30.2	36.2	36.4	39.8
その他	31.0	32.0	30.4	32.4

〔%〕

この表を見ると、まづ給湯用の伸びが顕著であるのが解る。この理由としては内湯の普及、入浴回数増加もあろうが、むしろそれ以外の利用が増加していると推定される。すなわち、高温での食器洗い、洗面所での使用、洗濯に使用、さらには毎朝の洗髪での利用習慣等が、次第に広がってきた結果ではないかと考える。今後の増加予測については、浴槽の大型化、複数洗面所への給湯等が考えられる。しかし、今までの様な需要の伸びが、今後も長期的に継続することはないと思われる。

暖房用については、絶対値はここ十年間でほぼ変化していない。しかし現在の住宅の平均的暖房設備は、

住宅内の数室のみ暖房し、台所、洗面所、便所、浴室、廊下等は暖房されていないことが多い。また暖房設備も、室内の一部分の加熱に止まっていることが多い。このように、部屋間あるいは部屋内の温度差が大ききことは、極めて不快であり、また健康上も好ましい事ではない。今後、国民所得がさらに向上すれば、この分野での環境改善が大幅になされると思われる。

しかし、この室内温熱環境の改善は、必ずしもエネルギー消費の増大には直結しない。いやむしろ、直結させない方法で環境改善されるように、行政的施策が講じられるべきであると提言したい。すなわち、住宅の断熱・気密化によって、暖房用熱負荷は大幅に低下させ得るものであり、長期的に見てもこの方が経済的であることが立証されている。この点が、他の用途と大きく異なる特性であり、今後の行政的対応が期待される分野であろう。

冷房需要については、今だ比率は小さく、無視出来る範囲である。しかし、今後予想される居住環境の要求水準向上に伴って、冷房の普及率はさらに向上が予測され、これに応じたエネルギー需要の増大が見込まれる。しかし、冷房が必要不可欠な時間数は、暖房のそれに比較すると圧倒的に少ない。よって、家庭全体の消費量に占める比率は、それほど大きくはならないと思われる。

最後に、家庭用のその他用途であるが、照明、電化製品の駆動、調理、情報設備の電源等に使用されている。この分野は、今後ますます家事の自動機械化、社会の情報化が進むにつれて需要が増大しそうである。しかし、電気冷蔵庫やTVの省エネルギー性は、大幅な改善がなされて来ている。今後は、主として情報系の普及が見込まれるが、これらはエネルギー消費量が比較的少ないのが特長である。よって、今後長期的には、この分野の消費量は漸増することは有っても、消費比率の大幅な向上はあり得ないと思われる。

## 3. 家庭用暖房・給湯における省エネルギー技術

### 3. 一般的手法

前述のように、民生用のエネルギー消費量は、今後も増加する事が予測される。そしてこの傾向を少しでも緩和させるためには、当該分野、特に伸びが著しい家庭用の分野における、省エネルギー技術の開発・適用が特に重要であろう。

家庭用エネルギー消費のうち、2/3を占めるのは暖房・給湯用であり、何れも比較的低温の熱エネルギー

で十分である。それだけに、省エネルギーの機会は多数ありうる。此等の機会を列挙すると、大略下記のように分類出来るであろう。

- (1) 給湯量を減少させる。
- (2) 給湯温度を下げる。
- (3) 暖房負荷を減少させる。
- (4) 給湯・暖房系の熱損失をへらす。
- (5) 給湯・暖房系の熱源に熱回収技術を応用。
- (6) 給湯・暖房系の熱源に自然エネルギーを利用。
- (7) 輻射熱の利用。

上記の(1)~(4)項は、負荷を減少させる対策であるが、使用水量が削減出来るスプレータップ（水や湯がシャワー状に出る蛇口）の使用、皿洗い機のように高温が要求される機器の給湯を系統分離する、建物外表面を断熱・気密化する等によって達成可能である。しかしややもすると、環境の質をかなり低下させて省エネルギーを達成する場合もあるので、適用に当たっては十分な注意が必要であろう。

つぎに(5)~(6)項は、熱源システムにかかわる対策である。これらはシステムが複雑化し、設備費が上昇するので、初期の導入検討時に入念な経済性評価が必要であるが、居住環境を犠牲にすることなく省エネルギーが達成可能であるので、今後の一層の普及が待たれる分野である。

最後の(7)項は、暖房設備の二次側（システムの内、室内側設置部分）に関するものである。輻射熱を適切に暖房用に導入することで、室内を余分に加熱すること無くして快適な状態が作り得る。このことが省エネルギーにもつながるわけである。

以下においては、現在まで比較的取り組みが遅れていると思われる、上記(5)、(6)項について、技術上の諸問題を中心にさらに詳しく述べてゆきたい。

### 3.2 熱回収方式

家庭から排出される熱で、比較的簡単に回収利用が可能なものは、暖房で加温された排気で取入外気を予熱する方式があり、かなり普及している。これは、全熱交換器付きの換気扇が安価に市販されるようになった結果である。これ以外の暖房熱の回収は、家庭ではかなり困難であろう。

一方、家庭での給湯熱の回収利用については、未だ殆ど利用実績が見られない。これは、熱源的には魅力があっても規模が小さ過ぎて、きわめて割高であること、ならびに熱交換器表面の汚染による性能劣化が主たる理由である。

ここで、参考の為に業務用施設における給湯排熱の熱回収の現状を見てみよう。すでに街の風呂屋では、浴槽内の湯は循環ろ過しており、洗い場排水と給湯補給水との間に多管式熱交換器を設置している例が多い。都市のビジネスホテルでは、バスルーム排水等をヒートポンプの熱源とし、給湯補給水の予熱をしている事例が稼働している。この場合、排水中の毛髪や石鹸成分、人体の垢等が熱交換面に付着し、これを定期的に除去する工夫が必要である。

このように、かなりの給湯排水量がまとまれば、熱回収も可能である。そこで、集合住宅については比較的初期に導入の可能性が有ると考えられ、すでに実験的施設が稼働を開始したとも聞いている。また集合住宅と店舗からなる複合用途建物では、店舗部分で発生する冷凍ショーケースからの排熱等を、住宅の給湯熱源に回収利用するシステムが構想されており、今後このような形態での熱回収も増加が予想される。

### 3.3 自然エネルギー利用

家庭用自然エネルギー利用としては、太陽熱温水器が年産約25~40万台と非常に普及しているが、それ以外の利用はあまりなされていない。可能性と言った見地からなら、地熱（必ずしも火山性高温に限定しない）、地下水等も利用可能な場合があるが、残念ながら経済性の点で今一步及ばず、一般的に採用されていないのが実状である。

自然エネルギー源を熱源として用いる場合に、経済的に利用出来ない理由の多くは、前述の熱回収の場合と同様に小型機器が割高であること、小規模では採熱部分の費用が割高であること等があげられよう。よって、今後この分野の熱利用を考えるには、共同利用等である程度規模を大きくしてやらないと、実現が困難であると考ええる。

なお、風力利用、太陽電池、バイオマス等は、極めて特殊な立地条件以外では経済的に成立しうる余地は全く無いのが現状であろう。ただし太陽電池については、量産化によるコストダウンは実現可能視されており、高温・室温超電導体による電力貯蔵システムと組み合わせ、住戸単位独立電源システムが成立する予測もあって、研究段階では注目を浴びているようである。

## 4. 都市部低温熱源利用

### 4.1 都市部で得られる低温熱源

都市部においては、都市活動に伴って多量のエネル

ギーを消費している。そしてこのエネルギーは、結局都市廃熱として、低温で都市部に放出されている。この廃熱量は巨大なものであるが、偏在していたり希薄であるために、今までは建物単位で熱回収して利用する場合はあっても、都市レベルでの回収利用は極めてまれであった。

一方、このような都市から発生する廃熱の他に、自然に賦与されるエネルギーも、廃熱と同等の温度レベルで豊富に存在し、両者を一体として利用することが可能である。そこで、この両者をあわせて低温熱源と呼ぶこととする。

都市廃熱量については、東京23区に関する詳細な調査が為されており、これによると、年間で18,391Tcalにものぼるとしている。この廃熱量は、同じく東京23区内の全集合住宅の暖房・給湯負荷をほぼ賄う程度の大きさである。これらの内訳を図-3に示す。

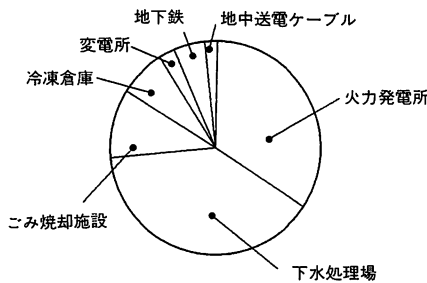


図-3 東京23区の都市廃熱量比率

図において、大きな廃熱源となっている火力発電所、下水処理場、ごみ焼却場、冷凍倉庫の四者は、都市の中に集約偏在している。低温熱源の利用は、後述する理由によって熱源の周辺地域でしか利用出来ない。この為、これら施設の周辺での限定的利用とならざるを得ず、都市部における普遍的熱源とはなりえない。

一方、変電所、地下鉄、地中送電ケーブル等は、都市部に比較的均一に、かつ多数設置されているので、ここからの廃熱利用はかなり普遍性があるといえよう。ただし、廃熱量が不足することは明かである。そこで、前述の自然エネルギーと組合せて利用することが不可欠となると考える。

#### 4.2 低温熱源利用の困難点

低温熱源は都市に多量に存在することは前述した。しかしこの熱源の有効利用は、多くの問題点有って、現在のところ実用例は極めて少ない。

低温熱源を利用する場合、一般的には下記の要素技術を総合する必要がある。

- (1) 熱源からの採熱
- (2) 熱輸送
- (3) 熱の改質(高温化)
- (4) 蓄熱

これら要素技術の内、高温化と蓄熱については、すでに国家レベルの大型研究開発課題として、スーパーヒートポンプ・エネルギー集積技術研究組合が発足しており、成果が着々とあがりつつあるようだ。

一方、採熱と熱輸送については、在来から研究もされてきたテーマであるが、低温熱源利用となると、今までとは違った角度から研究開発する必要があると感じている。

そこで次項では、都市部低温熱源を都市の住宅の暖房・給湯熱源に利用する領域について、採熱と熱輸送の要素技術について、現状の技術水準と問題点、今後の開発課題等をあげてゆきたい。

#### 4.3 熱源からの採熱

都市部低温熱源は、自然賦与熱と都市廃熱に大別できる。

まず自然賦与熱としては、すでに実績のある太陽熱、海水、湖沼や河川水、地下水、深層熱水等があげられる。

太陽熱利用については、すでに多くの経験が為されてきた。たとえば集熱器まわりのコストダウンに限界が有る事等が解っている。もともと太陽熱は、平等に賦与されている反面濃度が希薄であるから、一か所で集約して集熱して、広い対象域に熱供給するには不適な熱源である。

海水は、年間を通じて温度変化が少なく、熱源としての容量に不足はない。よって、必要な時に必要なだけ採熱出来るので、理想的な熱源の一つである。ただ難点としては、利用可能地域が海浜域に限定されること、海水との熱交換機器の耐蝕性に配慮が必要なこと等があげられる。すでにスウェーデンでは、地域暖房の熱源として利用されている実績がある。ただし、日本での実施に当たっては、漁業権の補償や護岸への工事等が著しく制限されており、実施例は実験的段階に留まっている。

湖沼・河川の熱利用は、基本的には海水の場合と同一である。耐蝕性の問題点は少なくなるが、法律上の制約は同様に厳しいが、最近では幾つかのプロジェクトで採用に向けて、目下交渉がなされていると聞いている。

地下水利用は河川水利用と似ているが、自分の敷地

内で解決できるだけに、利用機会は多いと判断出来る。ただし、地盤沈下防止を目的として、地下水汲み上げ規制の法律があり、ほとんどの都市部は井戸のさく井を実質上禁止されている。地下水を汲み上げて熱交換させた後、大気と接触させずに地下に還元する還元井も禁止されているが、今後十分な協議のうえで認可されるように、行政的配慮がほしいところである。

深層熱水とは、地下1,000～2,000m付近に滞留し、地熱で50～70℃程度に加熱された地下水をいう。もし敷地下部にこれが存在しておれば、常時温水が直接得られるだけに、経済的効果は大きい。現にフランスのパリ近郊では、この深層熱水を地域暖房の熱源に利用している。問題点としては、熱水井戸のさく井成功率が100%ではないので、企業化がかなり冒険的な点である。これに対しては、フランスでは国家が保険制度を制定して、さく井に失敗した場合に補償金を支払って普及拡大に努力している。

都市廃熱としては、ごみ焼却、下水、地下鉄等があげられる。このうちごみ焼却熱は、高温の良質なエネルギーであり、すでに場内や近隣の電力・熱需要を満たしている。

下水を熱源に利用する場合、生の下水で利用すると、下水処理場から出る処理水を利用する場合が考えられる。前者の生下水利用の場合は、固形分の混在が大きな問題点であり、実施上のネックと成っているが、下水管は地域内を網の目状に埋設されているので、都市部のどこでも利用可能な熱源として可能性が大きく期待できる。すでにノルウェーのオスロ郊外では、図-4に示すような生下水熱源の地域暖房が稼働中であり、今後の普及が期待される。後者については、前節で記述したように熱量がまとまって大きい、地域的に偏在しているので一般性が乏しい。この方式の実例は、スウェーデンではかなり地域暖房の熱源として利用されており、日本でも試験的施設が運転中である。地下鉄廃熱からの採熱は、多少浮遊粉塵が多い空気との熱

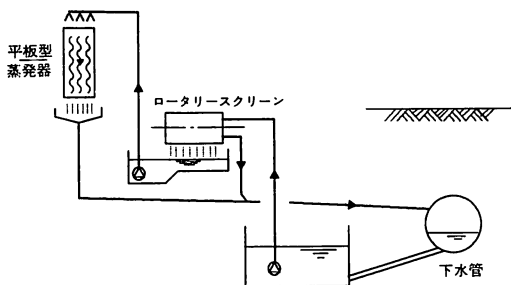


図-4 オスロにおける生下水熱源利用

交換であり、それほど大きな問題はない。変電所や地下送電ケーブルからの採熱も、冷却油や冷却水との熱交換で、実施例も多く問題はほとんどない。

#### 4.4 低温の熱輸送

低温の熱エネルギーを輸送する場合、どうしても利用温度差が大きく取れず、熱媒の顕熱変化だけを利用すると流量が巨大化しがちである。この事は熱輸送管路が大口径となり、設備費を増加させるとともに、搬送動力の増加ともなる。このような二重の障害から、低温熱の長距離輸送は経済的に成り立ち難い場合がほとんどで、この原因から地域的な広がりを持つ低温熱利用は極めてまれであった。

このような低温熱輸送を解決する方向としては、下記の3種が考えられる。

- (1) 熱輸送路として既存水路等を利用し、設備費の低減を計る。
- (2) 熱輸送路の内面処理等で摩擦損失を低減させ、小口径で多量の熱媒を送れるようにする。
- (3) 熱媒として潜熱変化、あるいは化学変化が利用出来る物質を選択し、流量を減少させる。

さて、上述の三者のうち既存水路等の利用であるが、既存の都市内河川(小規模な運河を含む)、常時水が貯まっている雨水排水管路、幹線道路下に建設されている雨水貯留槽(直径10m延長1kmといった規模の施設が建設されている)、市街地再開発における地域内親水空間としての人工水路等が考えられる。このような水路を通じて、各施設が熱を出入しながら連結される形態が考えられるが、これをエネルギーバスと呼びたい。そして、このエネルギーバスに市街地人工水路を利用した概念図を、図-5に示す。このように既存水路を利用することで、熱輸送管路の設備費が節約でき、経済的な低温輸送が可能になる。

管路の摩擦損失低減法については、基礎的研究はかなり古くから実施されてきている。可能性のあるものとしては、管壁に微量のポリマーを注入する方法、管壁を弾力性がある凹凸のある素材で被覆する方法等があげられているが、普遍的技術としては確立していないのが現状である。今後、前述の用途に特化した開発をすることによって、利用可能な技術が生まれることを期待したい。

潜熱変化する熱媒の開発については、現状では蓄熱に使用されているシャーベット状の水を利用する案があるほか、クラスレート利用、潜熱蓄熱材を小径のカプセルに封入して混相流とするアイデア等があげられ

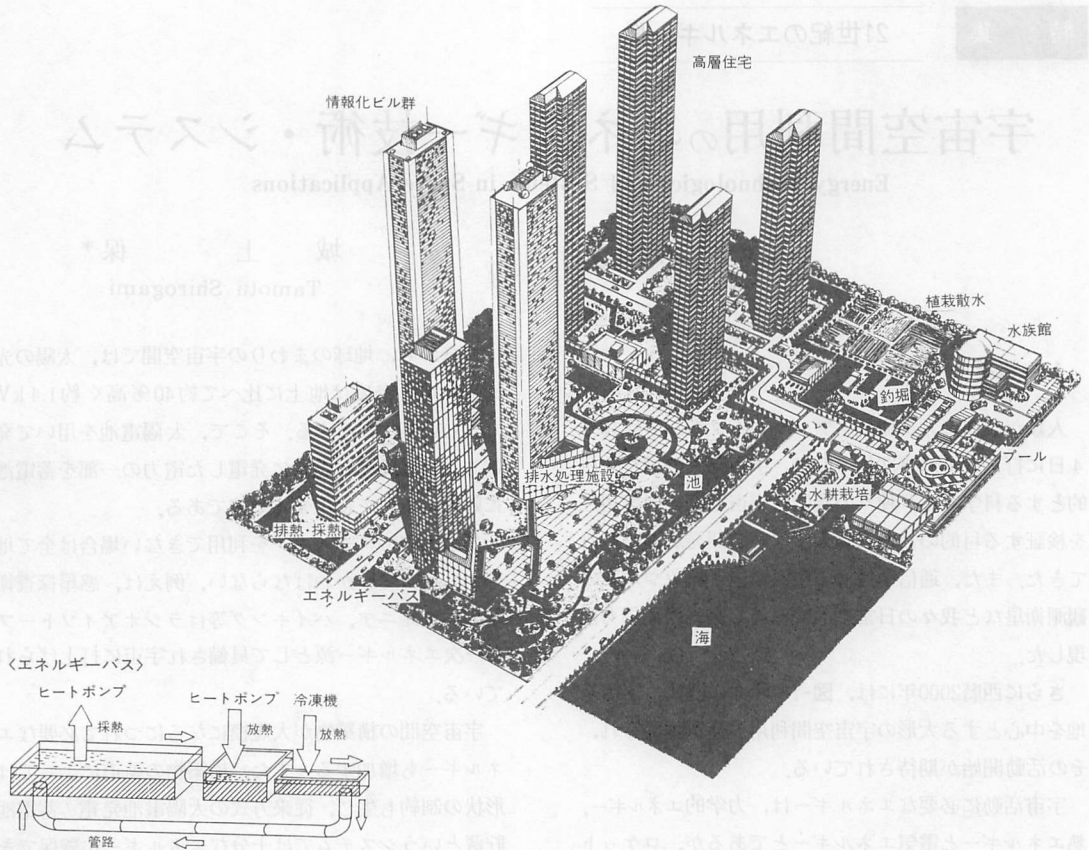


図-5 エネルギーバスの概念図

ている。他に、熱で化学変化する物質を輸送する可能性についても検討が必要であろう。いずれにせよこの分野の研究は、今まで集中的な研究が為されて来ていなかっただけに、今後は公的機関も加えての研究開発が待たれる領域である。

### 5. おわりに

本報では、21世紀の民生エネルギー技術のうち、特に都市部住宅における今後のエネルギー消費量増加の予測と、これに対応する省エネルギー技術について焦点を当てて記述した。

なかでも都市部に多量に存在する低温熱源を、広域的に利用する手法が有効であると予測し、これを実現させるに必要な技術を挙げ、今後研究開発するのが望

まれる分野をいくつか挙げた。

これらの技術の多くは、在来より研究はされて来ているが、一民間企業での実施が限界にきており、今後は研究組合や公立機関との共同研究プロジェクトと位置付けされて、より一層の成果があげられるものと期待している。

### 引用文献

- 1) 資源エネルギー庁; 省エネルギー便覧61年版(1986), 省エネルギーセンター.
- 2) 室田泰弘; 民生用エネルギー需要の特性, エネルギー・資源, 8巻, 4号(1987), 325~334.
- 3) 中山博史; 排熱回収技術の動向一都市における低温廃熱利用, 空気調和・衛生工学, 61巻, 2号(1987), 20.
- 4) K. E. Madsen; Heat Pump for District Heating Experiences, Proc. E2, IIR, 1985-7, 202.