

■ 研究論文 ■

全国における未利用エネルギー利用による省エネ効果の推計

Estimation of Fossil-Energy Saving by Utilizing Unused but Possible Energy Sources in Japan

森 保文*・亀卦川 幸浩****・乙間 末廣**・寺園 淳***

Yasuhumi Mori

Yukihiro Kikegawa

Suehiro Otoma

Atushi Terazono

(原稿受付日1999年7月7日, 受理日2000年2月9日)

Abstract

There is a growing interest in utilization of unused but possible energy sources to reduce the carbon dioxide emission and the fossil-energy consumption. Amounts of the reductions, however, have not been fully estimated yet for the nationwide utilization of such energy sources.

Latent heat energy of river water and treated sewage water, and waste heat energy from incineration plant of municipal solid waste and underground train system were taken into calculation in the paper, where extractable energy, usable energy and effect on the fossil-energy saving were estimated. The extractable energy of river was derived from flow volume and water temperature, considering limitations of environmental and technical aspects. The usable energy was determined by applying to the extractable energy some equipment efficiencies such as heat loss efficiency in heat pipes. Fossil-energy saving was calculated by replacing a popularly used heating system with a system using the new energy sources.

The reduction in the carbon dioxide emission by nationwide use of the new energy sources was also estimated, which was about 10% of the reduction targeted by Japanese government in 1996. More detailed studies in consideration of plant location, land use and Life Cycle Analysis appeared to be valuable and needed to confirm the advantage of the new energy source usage.

1. はじめに

地球温暖化の抑制のためには、いうまでもなく二酸化炭素(CO₂)をはじめとする温室効果ガスの排出量削減が必要である。CO₂排出はエネルギー消費と深く関係しているので、省エネルギー(省エネ)が重要な温暖化対策の一つである。しかしながら日本においてはすでにかなり省エネ対策が進んでおり、さらなる省エネ技術として河川水の熱などの未利用エネルギーの利用が注目されている。

実際に地球温暖化防止対策を実施するに当たっては、未利用エネルギーが省エネにどの程度貢献できるかを明らかにして、他の温暖化対策との優先順位を決定することが必要である。すでに全国規模での未利用エネルギーの存在量については計算が行われている^{1,2)}。

しかし、これら未利用エネルギー存在量は省エネ可能量そのものではない。なぜなら実際に取り出して利用できる未利用エネルギー量は、技術的な限界や環境への影響による制約条件によって制限される。また利用できた未利用エネルギーは、そのまま供給されるわけではない。未利用エネルギー供給設備への中間投入エネルギーに対する供給エネルギーの比を設備効率と定義すると、設備効率は、熱源水温度などに影響される冷・温水発生装置のエネルギー効率(COP)や、配管での熱損失などで決定される。この設備効率によっても未利用エネルギー利用によって供給されるエネルギー量は左右される。また省エネ効果を求めるには、未利用エネルギーを利用しない通常の設備と未利用エネルギーシステムを比較しなければならない。これらの点については地域を限っての検討³⁻⁷⁾がすでに行われているが、全国レベルでの研究は行なわれておらず、未利用エネルギーの存在量の試算があるのみである。このように全国における未利用エネルギー利用の可能性についてはいまだ不明な点が多い。

本研究では制約条件、設備効率および通常のシステ

* 国立環境研究所 社会環境システム部

** " " "

*** " " "

〒305-0053 つくば市小野川16-2

**** (株)富士総合研究所 環境・資源エネルギー研究部

〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3

ムを考慮して全国の未利用エネルギー利用による省エネ効果のポテンシャルを明らかにすることで、より現実的な未利用エネルギー利用の評価を試みた。また実際に利用されている未利用エネルギー量の推定も行なった。

2. 方法

2.1 調査した未利用エネルギー

ここで取り上げた未利用エネルギーは、河川水、下水、ごみ焼却場、地下鉄からもたらされるものであった。河川水と下水については、熱交換によりエネルギーを得るもので、いわゆる温度差エネルギーであった。ごみ焼却場については、一般ごみを燃焼して得られる熱を利用するもので、いわゆる廃熱であった。この廃熱は冷暖房だけでなく発電に使うことも考えた。地下鉄については、電車車両からの発熱、人体発熱、駅構内での照明発熱を対象とした。

2.2 計算手順

図1に未利用エネルギー利用による省エネ効率の計算フローを示した。基本的な考え方は朴による用語の整理⁸⁾に従った。まず河川流量、水温などの基礎データと技術面、環境面の制約条件から利用可能な未利用エネルギー量を求めた。次にプラントのエネルギー効率(COP)や配管での熱損失などを考慮して、未利用エネルギー利用による供給可能なエネルギー量を見積もった。この供給ポテンシャルの計算には、未利用エネルギー以外の中間投入エネルギーが含まれるので、暖房時には供給ポテンシャルが未利用エネルギー利用量より大きくなることもあり得る。さらに、同量のエネルギーを未利用エネルギーを利用しない通常の設備で供給した場合に必要なエネルギーを求め、これとすでに求めた未利用エネルギー利用システムの値を比較して未利用エネルギー利用による省エネ量を明らかにした。

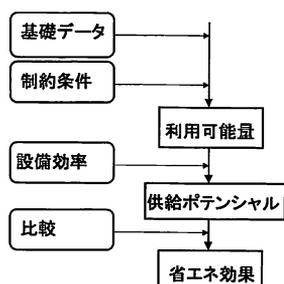


図1 未利用エネルギーのポテンシャル計算フロー

2.3 基礎データ

冷熱供給期間は7-8月、温熱供給期間は11-3月とした。これらの期間は本来、地方によって異なるが、ここでは既存の調査⁹⁾から最短の期間、すなわち冷房については秋田県、暖房については鹿児島県の値を用いた。したがってここでの未利用エネルギーの評価はきつめである。

河川水については全国一級河川を対象とし、下流地点での日平均流量の月別最小値を利用するとした。河川水温度は月別平均値を用いた。値は1995年のものを用いた¹⁰⁾。

下水の流量は月別の晴天日総下水流量¹¹⁾とした。これは雨水を除くためであった。下水処理水温度は処理場別の年平均放流水温¹²⁾に対して横浜市処理場の値¹²⁾から求めた月別係数を乗じて各月の水温を求めた。横浜市処理場の月別係数は札幌市、大阪市、福岡市の値とほぼ等しかったので、これを全国の代表値とした。処理場ごとに計算した値を都道府県別に合算した。

ごみ焼却場については一般ごみの都道府県別の焼却量¹³⁾を用い、ごみの低位発熱量を2000kcal/kgとした。

地下鉄については地下鉄各社の運転用電力消費量から全エネルギーが廃熱に変わると仮定して車両発熱を求めた。人体発熱と駅構内での照明発熱は、札幌地下鉄のエネルギー収支¹⁾より、あわせて車両発熱と等しいとした。

2.4 制約条件

河川と下水の利用温度差は5℃とした。すなわち取り入れた水はその水温を5℃上昇、または下降させられて戻されるとした。現状の熱交換システムの技術レベルから温度差をこのように設定した。

河川水については、生態系への影響を考慮して、河川の全流量の水温に与える影響を1℃以内とした。実際に河川水の熱を利用する際には、その影響をアセスメントすることが必要である¹⁴⁾が、許容される水温変化についての基準は作られていない。したがってここでの制約条件は暫定的なものである。具体的には日平均流量の月別最小値の5分の一を利用することで対応した。利用温度差、すなわち熱源媒体入り口の温度差は5℃であるから、利用水量を河川流量の5分の一以内とすることで、河川水の平均水温に与える変化は最大1℃となると考えた⁸⁾。熱媒体出口では水温の変化は1℃を超えることになるが、局所的な影響についてはここでは無視した。

ごみ焼却場の廃熱については、ボイラーの熱回収効率を0.8とし³⁾、発電に利用する際の発電効率を15%とした。つまり熱供給と発電の両方を行なう際には、ごみ廃熱の15%が電力として、65%が熱として利用されるとした。発電効率は処理能力300 t/day以上の比較的大型の焼却場を想定して設定した。

2.5 設備効率

設備全体としての効率は、個々の冷・温水発生装置の効率だけでなく、冷・温水の送水などにかかるエネルギーや配管での熱損失率によって決まる。未利用エネルギーは、地域冷暖房システムにより利用されるとし、冷・温水の送水などに必要なエネルギーを考慮して、既存の調査¹⁵⁾から冷・温水発生装置のCOPの0.85倍がプラントのCOPとした。プラントから需要家へ冷熱を供給する際の配管での熱損失率は0.0365、温熱の供給時は0.0805とした。これは東京都の年間販売熱量上位5つの地域冷暖房プラント¹⁵⁾における実測値の平均値とした。

温熱供給の熱輸送媒体には蒸気と温水があるが、これらの5プラントは、蒸気を熱輸送媒体に用いていた。年間販売熱量が下位であった温水を用いている他のプラントの熱損失率はこれら5プラントの熱損失率の範囲内にあったので、熱輸送媒体の違いによる熱損失率の差はここでは考慮しなかった。

各プラントにおける配管での熱損失率の値は、冷熱の場合約0.02から0.06、温熱の場合約0.02から0.16とばらついていた。これは配管の長さや太さ、供給水温などの相違によるものと考えられる。例えばこれら5プラントの配管の総延長は片道約1000mから2000m、管径は約300mmから1500mmと様々であった。これらの条件をあらかじめ設定できれば、より正確な未利用エネルギーによるエネルギー供給量の見積もりが可能である。しかし本研究の目的が全国レベルの見積もりであって地域の需要側の詳細な条件を設定することに意味はないので、ここでは現実的な値として上記の値を用いた。

冷・温水発生装置については、河川水と下水では蒸気圧縮式水熱源電動ヒートポンプを用いると仮定し、

熱源水の水温に基づき下田³⁾の手法により、そのCOPを算出した。この手法では熱源媒体の種類(空気/水)、熱源温度およびヒートポンプ容量からヒートポンプのCOPを求めることができる。ごみ焼却場については温水供給には廃熱ボイラで回収した熱を直接利用するとし、冷水供給には蒸気吸収式冷凍機を用いるとしそのCOPを0.70³⁾とした。ただし発電も同時に行なう場合には、ボイラーから得られる温水の水温は冷水発生器を作動させるには低いと仮定し、冷房期には熱利用はないとした。

地下鉄については、利用可能量が河川、下水、ごみ焼却場の未利用エネルギー利用可能量の合計に比べて2%程度であったので、これ以降の検討から除外した。

なおここでは、需要側には冷房時には7°Cの冷水、暖房時には47°Cの温水を供給すると仮定して計算をおこなった。これらの温度は、冷温水を利用する地域冷暖房システムの一般的温度帯に基づいた。

2.6 通常システム

未利用エネルギー利用による省エネ効果を推定するには、比較対照となる通常システムを設定する必要がある。ここでは個別空調を考えて、空気熱源ヒートポンプ(case 1)と冷房時に吸収式冷温水発生機、暖房時にボイラー(case 2を使う2通りのシステムを比較対象として選択した(表1参照)。空気熱源ヒートポンプはエネルギー効率(COP)が高く、最近普及してきている¹⁶⁾ので、現実のシステムのCOPはcase-1とcase-2の間にあると考えられた。空気熱源ヒートポンプのCOPは下田³⁾の手法を用い都道府県別の月別平均気温¹⁷⁾を考慮して求めた。吸収式冷温水発生機とボイラーのCOP(それぞれ1.0と0.85)はNEDOのデータ¹⁸⁾を用いた。

ごみ焼却場における発電は石油火力発電と比較した。したがってごみによる発電量を一次エネルギーに換算したものが省エネ効果とみなされた。

2.7 未利用エネルギー利用量

現在すでいくつかの地域冷暖房において未利用エネルギーが利用されている^{18, 19)}。これらの需要家延べ床面積を業務系地区と住宅系地区に分け、業務系地区

表1 通常システム

| 評価ケース | 基準熱源システム | | システム効率(COP) | | 使用燃料 | 備考 |
|--------|-----------|----------|----------------|-------|------|----------------|
| | 冷房期 | 暖房期 | 冷房期 | 暖房期 | | |
| case-1 | 空冷ヒートポンプ | 空冷ヒートポンプ | 下田(1996)の手法による | | 電気 | 省エネ効果については過小評価 |
| case-2 | 吸収式冷温水発生機 | ボイラー | *1.0 | *0.85 | 都市ガス | 省エネ効果については過大評価 |

※NEDOのデータ¹⁸⁾より

には小規模事務所の年間熱負荷原単位²⁰⁾を、住宅系地区には集合住宅の原単位²¹⁾をかけて年間熱需要を求めた。続いて年間熱需要に対する未利用エネルギー利用による充足率²²⁾をかけて現在利用されている未利用エネルギー利用によるエネルギー供給量を推定した。未利用エネルギー利用による充足率が不明の地域冷暖房地域については充足率を100%とした。ごみ発電については焼却量の49%が発電に利用され²³⁾、発電効率を6%と仮定して現在の発電量を推定した。

3. 結果

図2にcase-1における省エネ効果の高かった上位10都道府県および全国の河川水についての見積もり結果を示した。上位には、当然ながら流量の多い河川の河口が存在する都道府県が集まった。利用可能量、供給ポテンシャル、case-1の省エネ効果およびcase-2の省エネ効果のいずれも、これら上位10都道府県で全国の値の70%以上を占めた。

図3に同様に下水についての見積もり結果を示した。河川水と異なり都市部の都道府県が上位を占めた。下水量が人口、下水道普及率、一人あたりの下水水量によるため、これらの高い地域が選ばれたと考えられた。

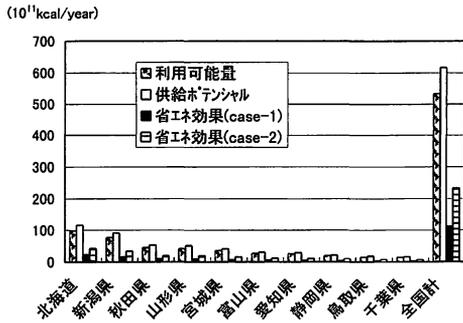


図2 河川水に関する見積もり

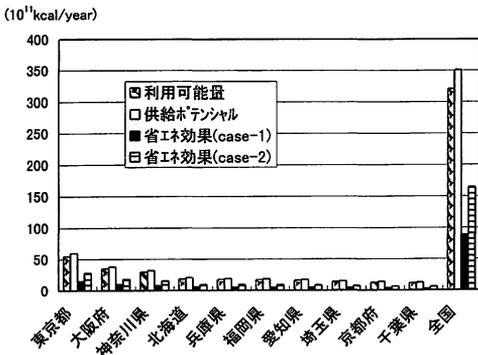


図3 下水処理水に関する見積もり

これら10都道府県で、河川水と同じく、利用可能量、供給ポテンシャル、case-1の省エネ効果およびcase-2の省エネ効果のいずれにおいても、全国の値の70%以上を占めた。

図4に熱供給のみ、図5に熱と電力の両方を供給する場合のごみ焼却場廃熱利用についての結果を示した。利用可能量と供給ポテンシャルにおいては、わずかに熱電併給が熱供給のみより大きかった。熱供給が冷暖房時期に限られるのに対して、発電が通年可能であるために熱電併給が有利になったと考えられる。省エネ効果は熱電併給が熱供給のみに比べ1.5倍以上あった。これは発電所の発電効率が冷暖房設備のCOPに比べ低いため、ごみによる発電代替効果が高く計算された

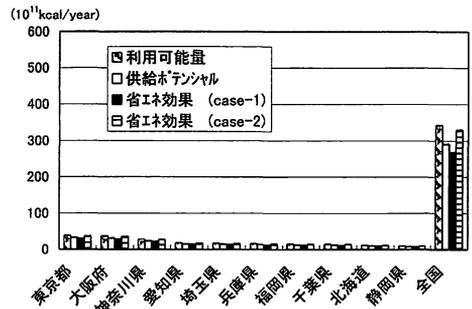


図4 ごみ焼却場（熱供給）に関する見積もり

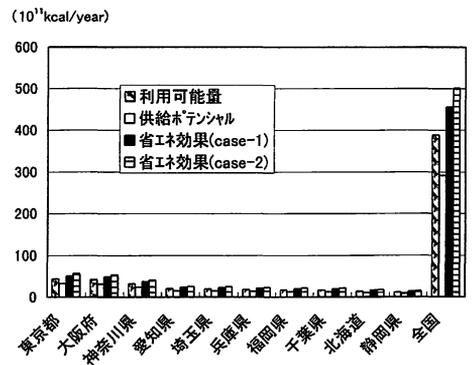


図5 ごみ焼却場（熱電供給）に関する見積もり

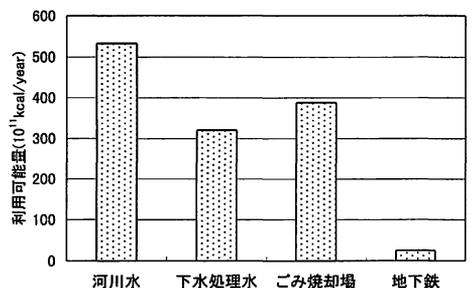


図6 利用可能量の比較

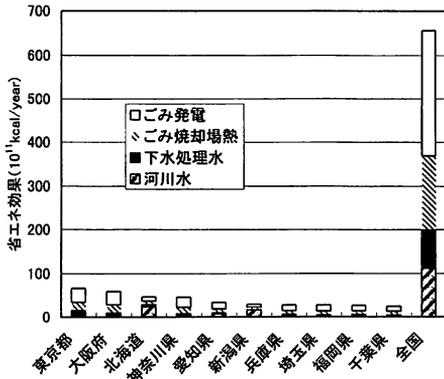


図7 未利用エネルギーによる省エネ効果 (case-1)

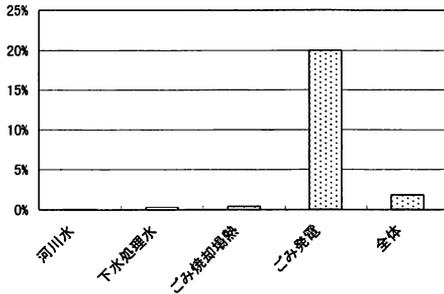


図8 未利用エネルギー利用率

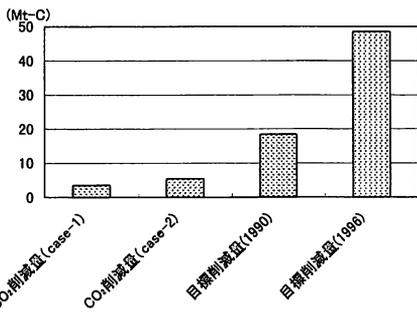


図9 未利用エネルギー利用によるCO₂排出削減量の評価

からである。これ以降はごみ焼却場については熱電併給を採用した。上位10都道府県は、京都府が抜けて静岡県が入った以外は下水の場合と同じであり、都市部の都道府県における省エネ効果が高いことが示された。ごみについては、人口と一人あたりのごみ排出量とともにごみの分別の差、すなわち燃やせるごみの分類が関係すると考えられた。ごみ焼却場については上位10都道府県が、各項目で全国の約60%を占めた。

図6に地下鉄廃熱の利用可能量を他の未利用エネルギーと比較して示した。地下鉄の利用可能量は他に比べて少なく、未利用エネルギー全体の2%に満たなかったため、供給ポテンシャルなど次の段階の計算は行な

わなかった。

図7に、河川、下水およびごみ焼却場を合わせた未利用エネルギー利用による省エネ効果 (case-1) を示した。ごみ焼却場による発電と熱供給を合わせると、全国の省エネ効果の69%を占めた。上位10都道府県には、下水処理水およびごみ焼却場による省エネ効果の高かった東京都、大阪府など都市部が多く入った。北海道は河川、下水およびごみ焼却場のすべてで上位10位に入っていたが、総合では4位に終わった。河川水で2位であった新潟が7位になった。北海道と新潟では河川水が約半分を占めた。これら上位10都道府県で全国の省エネ効果 (case-1) の58%を占めた。

図8に未利用エネルギーの供給ポテンシャルに対する実際の未利用エネルギー利用によるエネルギー供給量の比率を示した。ごみ発電が20%と比較的によく利用されているが、他の未利用エネルギー利用は極めて小さく、未利用エネルギー全体の利用率は2%に満たなかった。未利用エネルギー利用の余地は非常に大きいといえる。

未利用エネルギーによる省エネ効果を、電気、都市ガスなど削減されるエネルギー源にさかのぼって、CO₂排出係数²⁴⁾をかけることで、未利用エネルギー利用によるCO₂排出削減量を推定した。電気については発電用に消費された化石燃料と総発電量²⁵⁾からCO₂排出係数を算出した。結果を図9に示した。1997年12月に京都で開かれた気候変動枠組条約第3回締約国会議において、日本のCO₂排出削減目標は1990年レベルの6%と決められた。1990年以降も日本のCO₂排出量は増加しているため削減すべきCO₂排出量は1996年で約50Mt-Cに達している²⁶⁾。1996年における削減目標に対しては、未利用エネルギー利用によるCO₂排出削減のポテンシャルは10%程度と見積もられた。仮に何らかの方法で1990年レベルにCO₂排出量が減らせたとして、さらに未利用エネルギー利用によってCO₂排出量を削減するとすると、そのポテンシャルは25%程度となった。

4. 考察

未利用エネルギー利用によるCO₂排出削減量は1996年における削減目標に対して10%程度と見積もられた。CO₂排出削減が困難な現状においてこの値は大きな期待を持たせるものである。現状の未利用エネルギーの利用量を概算したところ、供給ポテンシャルに対して、河川水で0.05%、下水で0.3%、ごみ焼却場による熱

供給で0.4%, ごみ発電で20%, 未利用エネルギー全体では2%以下と見積もられた。未利用エネルギー利用の普及の余地は非常に大きいといえる。しかしこの値はポテンシャルであって、実際の省エネ効果はこれより低くなることが予想される。したがって需要側の条件などを考慮した省エネ効果についてのさらに詳しい調査が必要である。特に東京都においては、未利用エネルギー利用による省エネ効果が都道府県の中で一番多かったので、土地利用などの情報を用いてより詳しい解析が望まれる。

河川、下水、ごみ焼却場の省エネ効果は、上位10都道府県で、全国のそれぞれ70%以上、70%以上、約60%を占めた。またこれら3つの未利用エネルギーの合計でも10都道府県で58%を占めた。このことから未利用エネルギーが偏在していることが明らかとなった。未利用エネルギーの利用のためには、未利用エネルギー利用可能量があると同時に、それを利用する需要が存在することが必要である。河川については、全国で省エネ効果の17%を占めるものの、河川周辺に供給ポテンシャルに見合う需要が存在するかさらに調査が必要である。下水とごみ焼却場は都市部で省エネ効果が多く認められたので、需要量の面で問題はないと考えられるが、下水処理場とごみ焼却場はいわゆる迷惑施設であるので、その立地条件、すなわち需要地域との距離が実際の供給量に大きく影響すると予想される。

実際に地球温暖化対策を実施する際には、他の省エネ対策と比較検討することが必要となる。より厳密な比較のためにはシステム全体に対するライフサイクル分析も必要となろう。

5. まとめ

未利用エネルギーについて、河川水量などの基礎データと環境面などの制約条件から利用可能量を、配管での熱損失率などの設備効率を考慮して供給ポテンシャルを、通常のシステムと比較して省エネ効果を求めた。その結果以下のことが明らかになった。

未利用エネルギーは都道府県によって存在量が大きくことなり、偏在していた。下水とごみ焼却場による未利用エネルギーは都市部に多く存在した。

全国の未利用エネルギーによる省エネ効果の内、ごみ焼却場が69%を占めた。

全国の未利用エネルギー利用によるCO₂排出削減量は1996年における削減目標に対して10%程度と見積もられた。未利用エネルギーの効果は大きく、他の対策

と比較するためには、さらに調査が必要と考えられた。下水処理場やごみ焼却場の立地条件や土地利用およびライフサイクル分析などを考慮したより詳しい解析が望まれる。

引用文献

- 1) NEF: 最新未利用エネルギー活用マニュアル (1992)
- 2) NEDO: 未利用エネルギー活用ガイドブック (1998)
- 3) 下田他: 都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究 第1報 大阪市における各熱源の利用可能量と熱需要に関する調査と分析, 空気調和・衛生工学会論文集, No.61 (1996)
- 4) 下田他: 都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究 第2報 未利用熱源水供給ネットワークの省エネルギーポテンシャル, 空気調和・衛生工学会論文集 No.67 (1997)
- 5) 坂本他: 名古屋域における未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果の推計と評価 第1報 エネルギー需要と未利用エネルギー賦存量, 空気調和・衛生工学会論文集 No.5 (1995)
- 6) 坂本他: 名古屋域における未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果の推計と評価 第2報 省エネルギー効果の推計と評価, 空気調和・衛生工学会論文集 No.58 (1995)
- 7) 成田他: 札幌市における低温都市廃熱の利用に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.59 (1995)
- 8) 朴炳植: 未利用エネルギーの種類と特質, 賦存量とその省エネルギー効果, エネルギー・資源, Vol.13, No.2 (1992)
- 9) 省エネルギーハンドブック '93
- 10) 建設省: 流量年表, 1995
- 11) 下水道統計 (行政編)
- 12) 横浜市: 水質試験年報
- 13) 廃棄物年鑑 (1997)
- 14) 建設省: 河川水熱エネルギー利用に係る河川影響検討指針 (案), 建河計発12号, 平成7年2月15日 (1995)
- 15) 日本環境技研: 環境保全型地域暖冷房推進調査報告書 (1992)
- 16) 亀谷他: 空調設備の年代推移と都市熱環境負荷の変化の推移, 空気調和・衛生工学会論文集, No.67, pp.13-21 (1997)
- 17) 理科年表 (1996)
- 18) NEDO: 未利用エネルギーに関するデータ集作成調査 (1997)
- 19) 日本熱供給事業協会: 未利用エネルギー活用地域熱供給 (1997)
- 20) 東京都: 地域暖冷房に関する指導要綱 (1991)
- 21) 空気調和・衛生工学会: CGS設計法に関する研究 (1994)
- 22) 熱供給 (Vol.28, 1997), (Vol.30, 1998) (Vol.32, 1998)
- 23) 石川禎昭: ごみ焼却排熱の有効利用～高効率ごみ発電と廃熱の高度利用～, 理工図書 (1996), 109
- 24) 環境庁: 二酸化炭素排出量調査報告書 (1992)
- 25) 通産省: 電力需給の概要 (1995)
- 26) 環境庁: 環境庁資料 (1999)