

都市人工熱源の熱環境負荷原単位について

Heat Exhaust Load by Energy Consumption in Urban Areas

守田 優 *

Masaru MORITA

ABSTRACT; This paper studied the energy consumption in urban areas in terms of urban thermal environment. First we showed a method to calculate energy consumption for various urban activities; household, office building, hospitals, hotels, factories, traffic and so on. Then we determined the values of yearly energy consumptions per the unit activities through investigating statistics regarding energy consumption load and checked the values of the loads in Tokyo by comparing the total value of energy consumption calculated using the loads with that of supplied energy. Second we showed the difference between the energy consumption and the heat exhaust on thermal environment and defined the heat exhaust load through analysing energy consumption processes. After calculating the heat exhaust loads, we showed some examples of those.

Key words; heat exhaust, energy consumption, urban thermal environment

1. はじめに

都市の温暖化において、土地の被覆状態の変化とともに、都市活動にともなう人工熱の排出が一つの要因としてあげられる。著者は、東京を含む都市域において、人工熱排出量の地域分布及び時間変動を熱排出原単位を基礎に計算し、その結果についてすでに報告した^{1)・2)}。しかし、熱排出原単位の設定にはまだ検討すべき余地が多くあり、人工熱排出量の正確な把握のためにも、多数の資料によるチェックが必要である。また、人工熱排出に関しては、熱源において消費されたエネルギーがどのようにして大気環境に入っていくか、そして、それがどのように温暖化に影響を与えているかという問題があり、これについても、まだ十分な分析がなされているとはいいがたい³⁾。従来、人工熱排出量は、エネルギー消費量を熱量換算して求めてきた。多様な規模で多様な用途で用いられているエネルギー消費について既存の統計資料からいかに信頼できる値を得るか、さらにそれを熱環境への負荷という観点からいかに現実的なかたちで解釈するか、これらのことが都市における人工熱の排出を明らかにしていくうえでの課題と考える。

本研究では、まず人工熱排出量とエネルギー消費原単位との関係について述べ、エネルギー消費原単位のなかでも基本となる年エネルギー消費原単位について既存の調査も含めて具体的な数値を示した。また、エネルギーが消費され、それが熱環境への負荷となるプロセスについて分析し、エネルギー消費原単位とは区別される人工熱の熱環境負荷原単位についてその考え方と量的な考察を行った。

2. エネルギー消費原単位について

都市の熱環境において対象となる人工熱源は表－１のように整理することができる。人工熱排出量の地域分布や時間変動を推定するためには、原単位に基礎指標を乗じてエネルギー消費量を計算する。そのため、人工熱排出の構造を定量的に明らかにするためには、表－１の分類に従って各項の原単位が分かっているなければならない。しかし、現実には極めて限られた資料をもとに推計、推算が行われているのが実情である。そこで、人工熱排出量の計算を信頼性の高いものにするためには、資料が比較的そろい、実際値とのチェックができるデータを基礎に順次細かな推算へと進むのが妥当であろう。その意味

において、年エネルギー消費原単位は、多くの推計例があり、エネルギー供給実績量の側からのクロスチェックも可能であることから、まず基本とすべき原単位である。もし、行政区域の総量として人工排熱量を求めるのであれば、電力や石油の販売実績から熱量換算して計算すればよい。もちろんここには、交通部門のように販売場所と消費場所が一致しないという問題もあるが、対象区域を都県単位に広くとれば９割程度は区域内において消費されるという調査結果もある¹⁾。ただ総量ではなく、人工排熱の地域分布や時間変動を計算する際には原単位が必要になる。

人工熱の排出が熱環境に与える影響を検討する場合、エネルギー消費の時間変動を計算しなければならない。もし、この年エネルギー消費原単位を用いてエネルギー消費量の月変動や時間変動を求める場合は、エネルギー消費に関わる統計資料を考慮し、この年平均の原単位をもとに、月別変動係数、時間係数を用いて、月別さらに時間別変動を求める手順をとれば、計算値の信頼性を検討する場合にも合理的であると言える¹⁾。なお、原単位の基礎指標を決めるに当たっては、基礎指標に関する信頼できる資料があること、また基礎指標とエネルギー消費量との相関性が高いことが考慮されるべきであろう。ここで、エネルギー消費量の計算において基礎となる年エネルギー消費原単位について述べる。

3. 年エネルギー消費原単位

年間のエネルギー消費量は、統計資料も多く、また研究例も多い。また、エネルギーの供給量についても年間のデータはよく整理されている。このため、人工熱発生源別に原単位を設定した場合、全体の実績供給量との比較により、間接的ではあるが原単位のクロスチェックが可能であり、大きな誤差を防ぐことができる。ここで、人工熱発生源ごとに、年間エネルギー消費原単位について述べる。本論文で対象とする原単位は原則として、1993年を基準とする。

3. 1 民生部門エネルギー消費原単位

民生部門は、家庭用と業務用のエネルギー消費からなる。

(1) 家庭用エネルギー消費原単位

家庭用の原単位は、エネルギー消費原単位で最も統計資料がそろっている。原単位は、アンケート形式で家計調査から光熱費を調べ、エネルギー種別の単価と世帯別の年間エネルギー消費量から原単位を求めたものがほとんどで、図－１に既存の調査結果を都市別に示した。

この図から、地域別に見ると、まず札幌の消費原単位が大きいこれは暖房用の消費量が多いためである。資料２は戸建住宅と集合住宅の違いを見るために示したものである。ここで、集合住宅については、分譲・賃貸・都心・郊外のデータをまとめて平均した。都市にもよるが、２割から３割の違いが見られる。また資料３は東京都の調査結果であるが、単身世帯と２人以上の世帯の原単位を比較している。ここには、２倍以

表- 1 人工熱発生源とその分類

排出源		エネルギー種別		用途別
民生部門	家庭用 業務用	電力		給湯
				冷房
運輸部門	自動車 鉄道	石油	ガソリン 灯油 軽油 重油	暖房
				動力
産業部門	鉱工業 発電	ガス	都市ガス LPガス	照明
				その他
公共部門	上下水道 清掃工場			
その他	人体			

上の開きが見られる。家計調査をもとに推計される原単位であるが、ほとんどの調査で、単身世帯は対象から外れる場合が多く、東京都のように単身世帯が比較的多いケースでは、原単位設定において注意が必要である。図-1には、資料1と資料3の全国平均値も示した。1400～1500W/yr世帯である。

家庭用の原単位の場合、家計調査をもとにしていることから、ほとんどの調査が基礎指標として世帯数をとっている。世帯数以外に延床面積を基礎指標とする原単位もある。図-2に延床面積当たりの原単位を示した。資料1によるものは、世帯当たりの原単位と「平成5年住宅統計表」の延床面積のデータから計算したものである。戸建住宅と集合住宅では、床面積当たりの原単位は予想される通り前者が大きいが、資料が異なっているのので量的な判断はできない。概して、家庭用の場合、基礎指標として世帯数をとる方が、データも得やすく、原単位の調査例も多い。

(2) 業務用エネルギー消費原単位

業務用のエネルギー消費原単位についての調査例は家庭の消費量に比べると少ない。その理由として、業務用建物の種類が多く、また、エネルギー使用状況が多様であり、アンケート調査も家庭用に比べて難しいことが考えられる。図-3には、比較的データがよく整理されている4種類の資料から建物別の原単位を示したものである。一般建物は、そのエネルギー消費量から病院・ホテルなどの多消費型、文教施設など小消費型、そしてオフィスビル・商業施設などその中間のタイプに分けられる。基礎指標としては、どの調査においても延床面積が用いられている。なお、資料6の原単位については、電力の換算において2250kcal/kwhを用いていたため、アウトプットベースの860 kcal/kwhで補正した。資料8は事務所のみ昭和58, 59年の調査である。

また資料4と資料4*は、調査主体が同じだが、資料4*は対象が東京都で平成元年の調査である。尾島⁴⁾

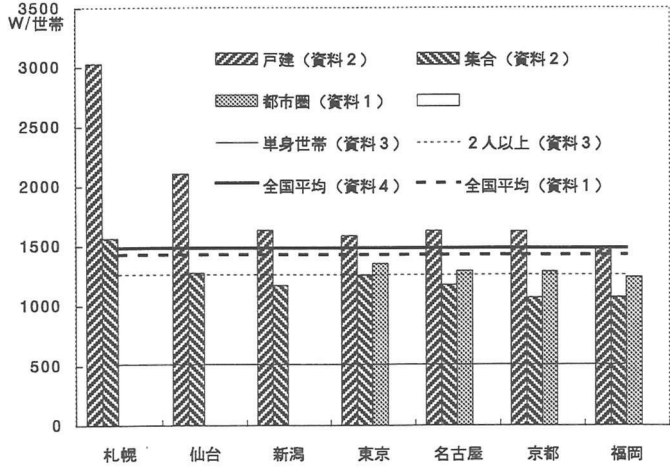


図-1 家庭用エネルギー消費原単位（世帯当たり）

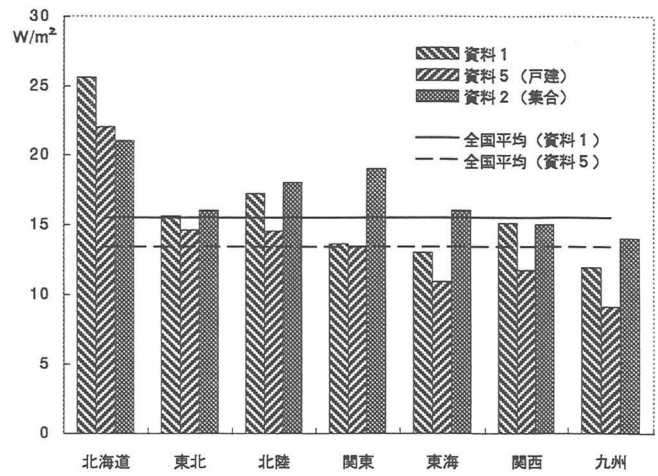


図-2 家庭用エネルギー消費原単位（床面積当たり）

資料1：家庭用エネルギー統計年報（1994年版）住環境計画研究所
 資料2：住宅における用途別エネルギー消費量の推計，澤地孝男他，日本建築学会大会学術講演梗概集（1994年）
 資料3：（財）日本エネルギー経済研究所による東京都を対象とした調査より
 資料4：エネルギー・経済統計要覧（1996年版）（財）日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター編
 資料5：住宅用エネルギー消費量実態調査その3，太田昭夫他，日本建築学会大会学術講演梗概集（1993年）
 資料6：建築物エネルギー消費量調査報告書（平成5年版），日本ビルエネルギー総合管理協会
 資料7：新潟市におけるエネルギー需要構造に関する調査研究 その2）真保聡裕他 日本建築学会大会学術講演梗概集（1994年）
 資料8：事務所ビルにおけるエネルギー消費量の実態（その1），松本敏男 空気調和・衛生工学，第64巻第1号（1990）
 資料9：都市におけるエネルギー代謝，尾島俊雄，「都市環境入門」（東海大学出版会）所収（1977）

は、1960年代から20年余りにわたり、建築物のエネルギー消費について全国的な調査を行いその結果を整理している⁴⁾。そこで業務用の原単位についても詳細に述べているが、建物別の年エネルギー消費原単位については資料9と大きな差はないので、図-3には資料9のデータをのせた。この資料9は、オイルショックの1973年前後の原単位である。業務用の原単位の経年変化²⁾では、病院・ホテルなどの多消費型でオイルショック後、大きく減少し、娯楽施設で増加し、他の建物では同程度であり、資料9の数値は状況を反映している。表-2は図-3をもとに設定した業務用のエネルギー消費原単位である。

3. 2 交通運輸部門エネルギー消費原単位

交通運輸は、自動車と鉄道からなり、これらについてのエネルギー消費原単位は、走行燃費や人キロ、トンキロによる原単位についても、統計資料は比較的整っている⁵⁾ また、ヒヤリングによる推計ではあるが、地域毎の自動車も走行距離や輸送実績のデータも、例えば、「自動車輸送統計年報」（運輸省）などにみることができる。

(1) 自動車

原単位に対応する基礎指標として走行距離、人キロ・トンキロの2種類があるが、前者の場合、基礎指標に対応する原単位、すなわち走行キロ当たり燃費が実績値と比較が容易であり、また走行距離に関する統計データも得やすいことから、これらを考慮し、走行距離を基礎指標とする原単位が有用であると考え。文献5)を参照して、表-3に走行距離を基礎指標とする原単位を示した。

さて、この自動車のエネルギー消費原単位に基礎指標を乗じてエネルギー消費量を求め、その結果をエネルギー供給実績と比較し、原単位の検討を行った。表-3の原単位に乗じる基礎指標は、東京都建設局の自動車交通実態調査⁶⁾と上記の「自動車輸送統計年報」の数値を用いた。対象年は1985年、1989年である。エネルギー供給実績として、1989年のガソリン及び軽油の都内での販売量を熱量換算したものを用いた。この比較のうち、後者の基礎指標を用いたものを表-5にガソリンと軽油の消費量として示した。前者の計算では、後者による計算結果よりガソリンが3割、軽油が1割程度少なかった。原単位法による消費量とガソリン・軽油の供給量は厳密には一致するものではないが、大きな誤差のチェックには有用である。軽油の場合、用途が自動車のみではないこともあり比較は難しいが、どちらの走行距離データによる計算でも供給実績の半分程度である。走行距離のデータ自体が推計値であることを考慮すると、満足すべきレベルと考える。

(2) 鉄道

鉄道については、旅客と貨物のうち、旅客輸送のみを考える。鉄道に関するエネルギー消費原単位についても、自動車の場合と同様、基礎指標として走行距離と人キロがあるが、統計資料がよく整理されている前者が適している。鉄道の場合、全国規模の消費原単位が上記の統計資料⁵⁾に、JR関係で102.8 kcal/人キ

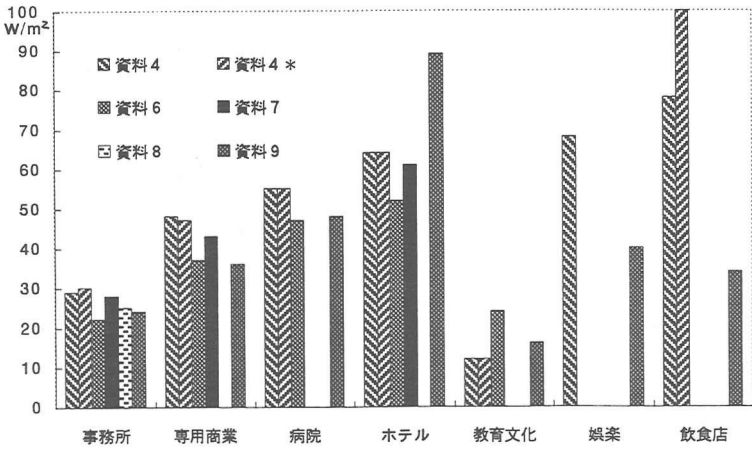


図-3 業務用エネルギー消費原単位

表-2 業務用エネルギー消費原単位 (設定値 : W/m^2)

事務所	専用商業	病院	ホテル	教育文化	娯楽	飲食店
25	40	55	60	15	50	90

表-3 自動車の走行距離原単位 (kcal/km)

旅客					貨物					
営業用		自家用			営業用			自家用		
バス	乗用車	バス	乗用車	軽自動車	普通車	小型車	軽自動車	普通車	小型車	軽自動車
2900	1050	1500	900	650	2500	1200	740	2100	990	720

口、民鉄で 98.5 kcal/ 人キロ（いずれも2250kcal/kwhの換算値を用いている。860 kcal/kwhの換算値を用いて kwhで表すと、JR : 0.045 kwh/人キロ、民鉄 : 0.043 kwh/人キロとなる）と示されているが、特に都市域では旅客の混雑度が高いことを考慮すると、原単位がこれらの数値より低めの値になることが予想される。そこで図-4に全国9地域の運輸局別の消費原単位、東京都内私鉄、都内地下鉄の消費原単位を示した。9地域の原単位は「鉄道統計年報」（運輸省鉄道局）をもとに旅客用を貨物用から分離して推算した。また、私鉄は同資料から、地下鉄は「運輸統計年報」（帝都高速度交通営団）からの数値である。

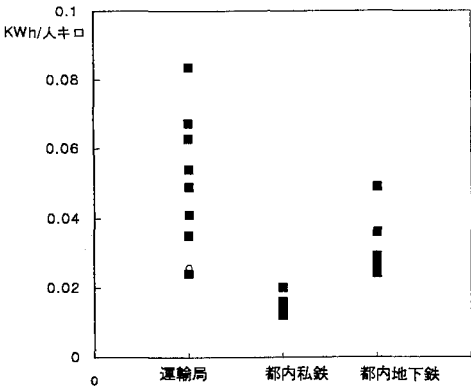


図-4 鉄道エネルギー消費原単位（人キロ当たり）

まず、9地域の原単位について見ると、0.02~0.08kwh/人キロであり、運輸局によって差があるが、平均値で 0.045 kwh/人キロ、最も小さい値は、関東運輸局の 0.025kwh/人キロである。また、私鉄は、0.015kwh/ 人キロと全国平均より小さい。地下鉄は、0.02~0.04 kwh/ 人キロの値である。

3. 3 産業部門エネルギー消費原単位

産業部門のエネルギーは製造業によるエネルギー消費であり、基本的には、日本標準産業分類F製造業の産業中分類を用いて23業種に分類し、業種ごとに原単位を設定する。基礎指標としては、敷地面積、従業員数、生産出荷額の3種類がある。エネルギー消費量との相関では、これらの指標では大差ないが、敷地面積がわずかに相関がよいという報告⁷⁾もある。ただ、敷地面積の場合、同じ業種で同じエネルギー消費量であっても、都市域と非都市域で敷地面積の規模が異なることが考えられ、また例えば東京都に多い従業員数29人以下の工場の敷地面積のデータが不十分であるなど考慮すると、従業員数あるいは生産出荷額が基礎指標として適している。尾島⁸⁾は従業員数当たりの原単位を示しており、著者らも同じ基礎指標でエネルギー消費量の計算を行った^{1) 2)}。ただ、製造業においてエネルギーと同じ位置づけにある水道使用量については一般に生産出荷額当たりの原単位が採用されることが多く、これについては今後の検討が必要である。

表-4には、製造業の原単位について3例を示した。上段は尾島による原単位であるが、これらの数値は1974年前後のものであり、1989年（平成元年）の東京都のデータで著者の算出した中段の数値は4業種を除き、上段のそれより低い値になっている。また、下段には製造出荷額当たりの原単位（東京都）も示した。これらの原単位の算出に

において、エネルギー消費量については「石油等消費構造統計表（商鉱業）」（通商産業省）、基礎指標については「東京の工業」（東京都）をもとに算出した。ここで、

表-4 製造業のエネルギー消費源単位（上段,中段：Gcal/人,下段：Gcal/百万円）

食品	繊維	衣服	木材	家具	パルプ紙	出版印刷	化学	石油石炭
117.62	71.02	58.06	3.2	3.51	21.56	33.39	152.48	737.02
60	70.78	8.13	28.09	13.43	219.45	12.71	63.84	60.8
3.03	5.04	0.67	0.87	0.49	8.54	0.42	2.05	0.96

ゴム	窯業土石	鉄鋼	非鉄金属	金属	一般機械	電気機械	輸送機械	精密機械
116.23	362.92	223.52	38.91	85.73	20.31	39.77	53.62	5.23
51.31	184.4	351.68	36.61	25.53	13.42	11.54	7.29	9.49
2.82	9.07	7.8	1.31	1.54	0.57	0.32	0.9	0.4

「石油等消費構造統計表（商鉱業）」は調査対象が、従業員数30人以上の工場であるため、算出した原単位も30人以上の場合のそれとして扱わなければならない。

3. 4 その他のエネルギー消費量について

人工熱源としては、以上の3部門の他に、供給処理施設と人体からの発熱がある。まず前者は、上水道施設、下水道施設、清掃工場からなるが、これらの熱源は、都市域において点的に散在し、上述の3部門のように面的に分布していない。そのため、エネルギー消費量の計算において、原単位法には適さず、むしろ積

み上げ法によって各施設の消費量を合計していく方法が現実的である。上下水道については、浄水場、下水処理場、ポンプ所の受電量の実績値、清掃工場については発熱量の実績値から熱排出量が計算できる。

また、人体からの発熱については、原単位を120kcal/人・時間とし、昼間・夜間人口が基礎指標である。

4. エネルギー供給実績との比較による原単位の検討

都市域における人工排熱を計算するためには、熱源ごとにエネルギー消費量を求める。ここで、

3. において設定し

た原単位をチェックするため、東京都を対象に、原単位に基礎指標を乗じる原単位法とエネルギー実績供給量を熱量換算する方法とでエネルギー消費量を計算し、両者を比較した。交通部門については、すでに両者の比較を行っており、結果も述べた。全体の計算結果を表－5に示した。

表－5では、例えば家庭用は電気・ガス・灯油というように、用途別に消費する燃料を分配し、原単位法で計算したエネルギー消費量をそれらの燃料が消費されたものと見なして数値を示している。表の右端が各用途の合計、下から2段目が原単位法による各エネルギー種別の消費量である。ガソリンと軽油についてはすでに交通部門の自動車のところで述べた。電気・ガス・灯油・重油については、原単位法による値が供給実績より15%程度小さい。全体の合計でも、ほぼ同程度の違いである。交通部門の検討がどうしても不確定さが残るが、オーダーのレベルの誤差は防げたと言える。

5. 都市におけるエネルギーの流れと熱環境負荷原単位

エネルギー消費量について原単位とそれをもとにした人工排熱量について述べてきたが、この排熱量はエネルギー消費量の熱量換算値である。人工排熱に関して、これまでエネルギー消費量を人工熱排出量とみなしてその環境に与える負荷が計算されてきた。エネルギー保存則に立つかぎり、投入されたエネルギーが位置エネルギーや化学エネルギーに形を変えるようなケースを除けば、このエネルギー消費量＝人工熱排出量という仮定も誤りではない。しかし、一ノ瀬ら³⁾が正当に指摘しているように、エネルギーが消費され、それが大気へインパクトを与えるプロセスは、時間遅れなども含めてさらに検討すべき課題である。

ここで、本研究では、エネルギー消費量を熱量換算したものを人工熱排出量とする立場から、さらに都市における様々な形態におけるエネルギーの流れとその管理という大きな枠組みのなかで人工熱排出の問題を扱う。この立場で、エネルギー消費が熱環境に与える負荷、すなわち熱環境負荷を考える場合、消費したエネルギーの変化していく経路を区別して扱う必要がある。そして、原単位も熱環境負荷原単位としてそれぞれの経路に応じて定義しなおすべきであろう。

そこで、消費したエネルギーが変化していく経路を分析するにあたり、本研究では、エネルギー管理の分野において用いられている<熱勘定>の方法^{9) 10)}を適用する。この熱勘定の分析結果の一例¹⁰⁾を図－5に示す。これは給湯や暖房で用いられるボイラーの熱勘定の例であるが、他の人工熱発生源においても同様の考え方により熱勘定が可能である。ただ、図－5の例は工場などの燃料管理などに用いられる詳細な分析であり、都市熱環境における分析では、当面、図－6に示した4成分で十分と考える。4成分とは、①有効仕事、②系外へ水などの物質とともに持ち去られる分、③放射・伝導・摩擦などによる損失、④排気ガスなどによる直接排熱などに分かれる。これら各成分は、異なったタイムラグがあるものの、いずれも最終的には熱となって大気中に排出される。

表-5 エネルギー供給実績との比較による原単位の検討 (Gcal/年)

用途	電気	ガス	灯油	重油	ガソリン	軽油	合計
家庭用	48,048,700						48,048,700
業務用	60,482,150						60,482,150
交通（自動車）					39,239,480	10,125,600	49,365,080
交通（鉄道）	7,752,300						7,752,300
産業用		25,492,767					25,492,767
上下水道	939,848						939,848
合計（原単位法）		142,715,765			39,239,480	10,125,600	192,080,845
供給実績		164,842,562			30,956,772	23,780,657	219,579,991

以上の考え方にもとづき、3. で求めた年エネルギー消費原単位を図-6の4成分に再構成し、人工熱の熱環境負荷原単位として表-6に示した。算定に当たっては、まず、家庭用、業務用は、給湯、暖冷房、照明、動力その他へのエネルギー消費の比率を求め、エネルギー消費原単位をそれらの比率によって分配し、用途別の原単位を算出した（資料1および資料4の全国平均値を用いた）。次に、これらの用途ごとに図-6に示した4成分の比率を仮定し、それに用途別原単位を乗じて、4成分別の原単位を算出した。4成分に分けるにあたっては、想定されるエネルギー変換システムの効率を参考に設定した。ここで、照明については、有効仕事を可視光線、残りを赤外放射による放射損失と熱損失としている。冷

房については、有効仕事を90%としているが、屋外に排出される熱をどう評価するかが問題になる。ここでは、屋外への持ち去り熱量として扱ったが、この冷房の評価は今後の課題である。業務用については、事務所、病院、ホテルなど建物の種類によって各用途の比

率が異なるが、本論文では業務用としてまとめて扱うことにした。交通部門及び産業部門については、4成分の割合のみ表-6に示した。まず、交通部門のうち、自動車については内燃機関の熱勘定¹¹⁾のデータを用い、アイドリングも考慮して、有効仕事が25%、排気ガスによる直接排熱が30%、残りは冷却損失・機械損失、不完全燃焼その他の燃料損失を合わせて35%とした。鉄道の場合、有効仕事80%、力率も考慮した機械損失を20%と仮定した。製造業は、業種によってエネルギー消費の実態が異なっており、業種ごとに熱勘定のデータを収集して算定すべきであるが、ここでは大まかに、有効仕事60%、持ち去り熱量10%、伝熱損失10%、直接排出20%とした。

表-6 人工熱の熱環境負荷原単位の計算例

用途	家庭用 (W/世帯)				業務用 (W/m ²)				交通部門 (%)		産業部門 (%)	
	暖房	冷房	給湯	照明動力	暖房	冷房	給湯	動力他	自動車	鉄道		
エネルギー消費原単位	392	34	505	496	10	3	9	16				
有効仕事	274	31	404	298	7	2.7	7.2	9.6	25	80		60
持ち去り熱量		31*	323*			2.7*	5.8*					10
伝導・摩擦・放射損失	118	3	101	135	3	0.3	1.8	4.4	45	20		10
直接排熱	274*		81*	63	7*		1.4*	2.0	30			20

以上のように、エネルギー消費をさらに熱環境負荷という観点から再構成を試みたが、有効仕事について付け加える。図-6の有効仕事は目的に対してエネルギーが有効に消費されたということであり、それが熱環境にどのように負荷となるかは別の問題である。給湯の場合、かなりの部分は水による持ち去り熱量になり、自動車の有効仕事も空気や地面との摩擦とバランスする。そして、最終的には、熱環境負荷原単位は、持ち去り熱量、伝導・摩擦損失・放射損失、直接排熱の3成分に分けられることになる。表-6において、*を付けた数値は、有効仕事がさらに配分された数値である。有効仕事については、その内容に立ち入った

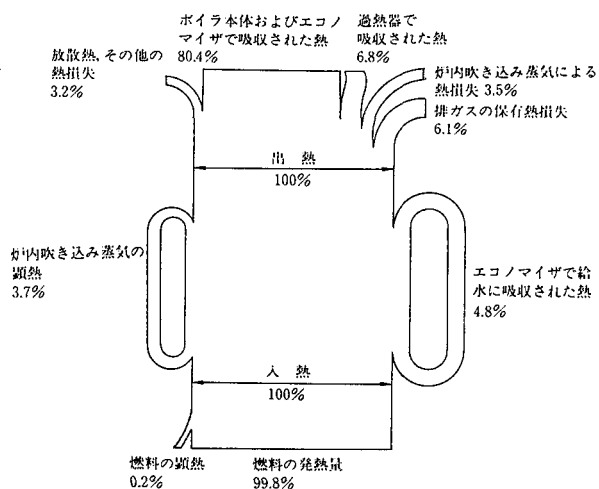


図-5 熱勘定の一例（ボイラー，文献10）による）

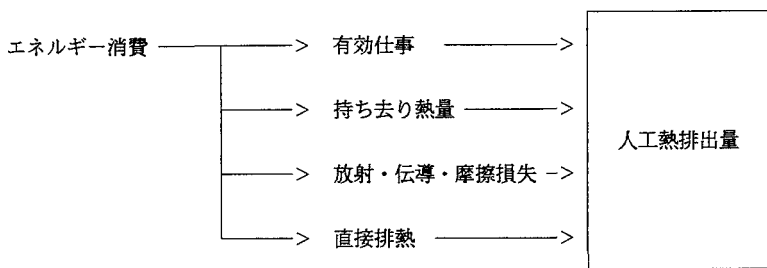


図-6 エネルギー消費と熱環境への負荷

詳細な分析が必要になるが、これらについては、データの集積も含めて今後の課題としたい。

6. まとめ

人工熱排出量は、都市の地表面被覆の変化とともに都市熱環境悪化の大きな要因の一つであり、その影響を評価するうえで、都市活動によって発生する排出熱の原単位の適正な把握は必要である。本論文では、原単位のなかでも基本となる年エネルギー消費原単位を、民生部門の家庭用・業務用、交通部門、さらに産業部門について既存の資料をもとに妥当と思われる値を設定した。また、その数値の信頼性を、間接的ではあるが、東京都全体の実績供給量と比較してチェックした。

本論文では、さらにエネルギー消費が熱環境に与える影響を与えるプロセスを考慮し、エネルギー消費原単位から熱環境負荷原単位を区別した。そして、すでに設定したエネルギー消費原単位をもとに熱環境負荷原単位について粗い仮定ではあるが、具体的な計算例を示した。

今後の課題として、まず、都市のエネルギー消費の個々のプロセスについて熱勘定のデータを調べ、より詳細な分析を行うとともに、熱環境負荷原単位の都市気象モデルへの適用の方法についても明らかにすることが重要である。

なお、本研究では、資料の収集および計算において、大西 真君と吉井雅幸君（いずれも当時芝浦工業大学土木工学科4年生）の助力を得た。ここに謝意を表する次第である。

最後に、本研究は、文部省科学研究費、総合研究（A）「都市熱環境に配慮したインフラストラクチャ整備に関する総合的研究」の一部として実施したことを付記する。

参考文献

- 1) 守田 優 他：東京の人工熱排出構造とその時間変動について，環境システム研究，Vol. 20, 1992.
- 2) 守田 優：都市の人工熱排出構造について，環境システム研究，Vol. 21, 1993.
- 3) 一ノ瀬俊昭，花木啓祐他：細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析，環境工学研究論文集，第31巻, 1994.
- 4) 尾島俊雄：建築の光熱水費，丸善，1984.
- 5) 運輸省運輸政策局情報管理部：運輸関係エネルギー要覧（平成8年版）
- 6) 東京都建設局道路建設部：東京都の自動車交通の実態－昭和60年度起終点調査より－，昭和62年.
- 7) 尾島俊雄 他：都市の熱消費，排出構造に関する研究，日本建築学会論文報告集，no. 236, 1975.
- 8) 資料9と同じ.
- 9) 設楽正雄：エネルギー管理者のためのエネルギー概論，オーム社，1978.
- 10) 山崎正和：熱計算入門Ⅲ－燃焼計算－，（財）省エネルギーセンター，pp99, 1992.
- 11) 古濱庄一：内燃機関，森北出版，pp49. 1982.