

第3章 交通排熱の計算方法

3.1 自動車からの排熱

自動車のエネルギー消費と環境への排熱は概略図3-1のように捉えることができる。消費段階のエネルギー量はエンジンで消費される燃料消費量から、また排出段階では内燃系排熱と駆動系排熱は燃料消費量と一致すると考え、これに空調排熱を加えて算出した。以下にその詳細について述べる。

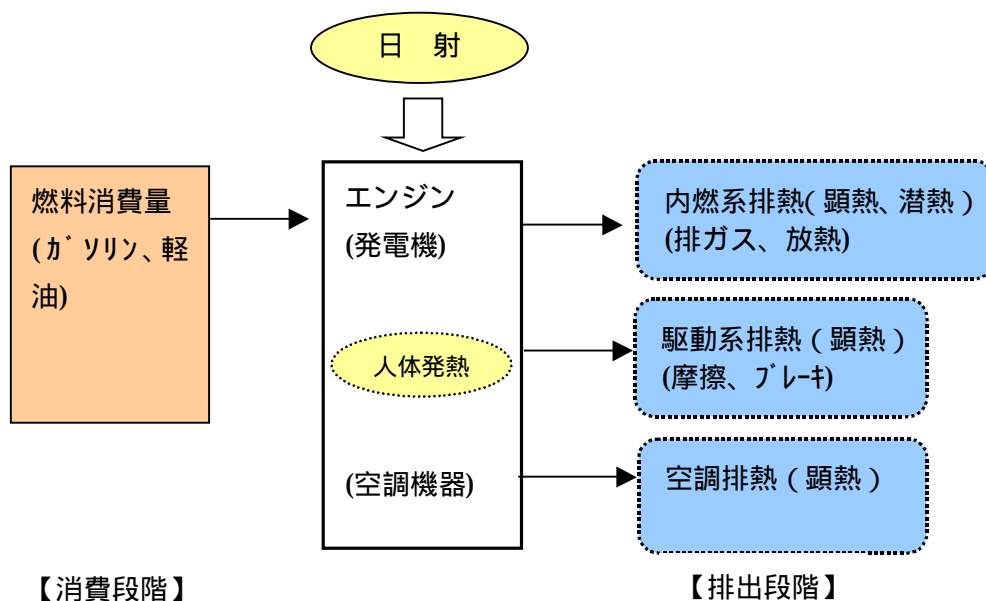


図3-1 自動車排熱の概要

3.1.1 消費段階における把握

1) 計算方法の概要

自動車走行による消費エネルギー量は、図3-2に示すとおり、燃料消費量推定式を基に、車種別・速度別消費エネルギー原単位を作成し、幹線道路・非幹線道路(細街路)別に、車種別の走行量と旅行速度を推定して原単位にかけることにより算定した。

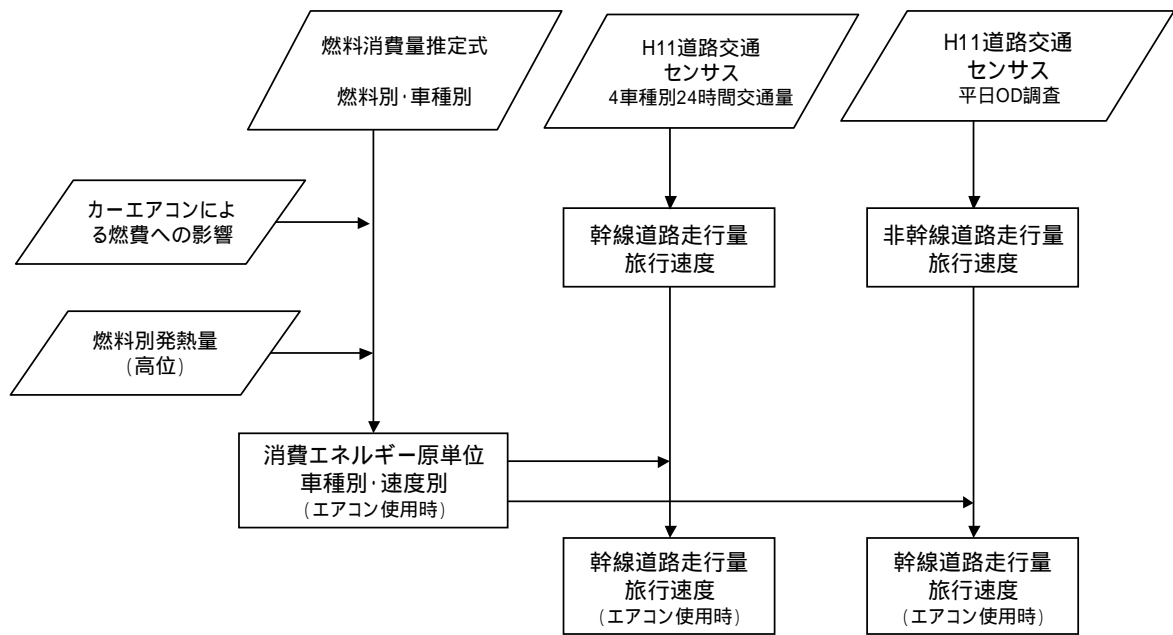


図3 - 2 自動車の消費エネルギー量の計算フロー

2)消費エネルギー原単位の計算

【燃料消費量】

消費エネルギー原単位の算定の基礎となる燃料消費量の推定には、国土技術政策総合研究所が、シャシダイナモ試験等のデータから設定した4車種別の式¹⁾を用いた。もともと試験車両は燃料(ガソリン・ディーゼル)別・重量(軽量・中量・重量)別に区分されているが、車種構成比を設定して、交通センサスの4車種(乗用車・バス・小型貨物・普通貨物)に集約し、速度の関数(消費量 = $a/v + b*v + c*v^2 + d$ v は速度、 $a \sim d$ は定数)として表現されている。

【カーエアコンの影響】

また、夏季のヒートアイランド現象を対象とするため、カーエアコンが燃料消費量に与える影響を考慮する必要がある。実際には外気温・日射・車速・乗員数などさまざまな条件が関与するので、エアコン影響の定量的評価は困難であるが、交通安全環境研究所(2003)資料²⁾によれば、実験室内を25に調整した条件下での台上試験では、都市内走行を想定したモードで18.4%、その他の種々の走行モードでも15~20%の燃費悪化、もともと燃費の悪い渋滞走行モードでは25%以上の悪化を示す結果が得られている。ただし、この実験には日射影響が考慮されていないことに留意する必要がある。また、国民生活センターによる実走行テスト(1999)³⁾では、7~10月の市街地走行の際の燃費悪化率は20~30%台となっている。さらに、都営バスの実績値⁴⁾から、冷房期と想定される7・8月の燃費と、4・10月の燃費を比較すると、前者は

¹⁾ 大城ほか：「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」土木技術資料 vol.41

²⁾ 野田ほか：「実使用条件下の車両・エンジン特性を反映させた台上燃費試験手法に関する研究」H15交通安全環境研究所研究発表会 講演概要

³⁾ 「環境性(低燃費)をうたった乗用車の商品テスト結果」独立行政法人国民生活センター

⁴⁾ 都営バスの実績値 (ヒアリング調査)

約 20%の悪化となっていた。一方、気温依存性を検討した資料はごく少ないが、三菱重工技報（2002）⁵⁾には 40km/h と 100km/h 走行時の際のカーエアコンのコンプレッサ動力の外気温依存性(15～35)を台上試験で調査した結果が記載されている。これらの資料をふまえ、今回は平成 14 年 8 月の東京管区気象台の時刻別平均気温を指標とし、27.5 以上の時間帯(9～20 時)は全車種(燃料)について悪化率 24%、それ以外の時間帯は同 18%と 2 値化して設定した。(燃料消費量としては燃費(km/L)の逆数で効くので、それぞれ 32%、22%の増加となる。)なお、カーエアコンメーカーへのヒアリング調査によれば、自動車走行時の熱負荷の大半は日射によるもので、実際面では可変容量コンプレッサの使用などエアコン自体の効率化に加え、赤外線反射ガラスなどの材質選択やボディと車内との断熱など、日射の熱を車内に取り込まないようにする手法の選択が重要であるとの回答を得た。今後、エアコン影響のより定量的な把握には、このような外的条件もふくめ、詳細に検討していく必要がある。

【アイドリングストップの影響】

一方、環境に配慮して燃料消費を削減する手段のひとつとしてアイドリングストップが奨励されている。省エネルギーセンター資料⁶⁾によれば、乗用車による実走行テストで概ね 10%程度の削減効果が得られている。停車時間比率の大きい都市部の路線バス事業者では、停車・発車時のエンジン自動停止・自動スタートを行うシステムを導入しているケースもある。例えば今回ヒアリングを行った東京都交通局によれば、平成 14 年度の導入率は 63%、アイドリング時間に対する自動停止時間の比は 59%であり、燃料消費削減効果は約 8.5%と推定される。なお、他市での実績をみると 20%近い効果のケースもある一方、ほとんど効果がみられなかった例もある。このように、実績値のばらつきが大きいうえ、導入車両とその走行エリアを特定することも困難であるため、今回は将来の削減方策に包含されるとみなし、現況の設定からは除外した。

【熱量換算】

このようにして求めた車速別・車種(燃料)別の燃料消費量から発熱量への換算は、エネルギー源別標準発熱量⁷⁾を用いた。

表 3 - 1 燃料別発熱量換算係数

燃料	高位発熱量 kcal/L
ガソリン	8,266
軽油	9,126

以上の方法により算定した車種別・速度別の消費エネルギー係数を表 3 - 2 に示した。実際には、次項で述べるとおり、路線別時刻別(非幹線道路は一律)の旅行速度を推定したうえで適用することとなる。なお、表に示した範囲ではいずれの車種についても係数は速度の増加とともに概ね減少しているが、高速域では 60～70km/h 前後で極小値を示した後は増大に転じ、

⁵⁾ 渡辺ほか：「容量制御システムによるカーエアコン省動力化」三菱重工技報 vol.39

⁶⁾ 省エネルギーセンターHP <http://www.eccj.or.jp/transport/01/4.html>
<http://www.eccj.or.jp/idstop/say/03/004.html> など

⁷⁾ エネルギー源別標準発熱量表の改訂について(平成 14 年 2 月 資源エネルギー庁総合政策課)

100km/h 走行時には 30km/h と同程度の値を示す。

表 3 - 2 車種別・速度別消費エネルギー係数

単位:kcal/(km・台)

速度km/h	乗用車		バス		小型貨物		普通貨物	
	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時
10	1,568	1,452	4,276	3,963	1,362	1,262	5,667	5,252
20	1,044	968	3,283	3,042	1,084	1,005	4,769	4,420
30	835	774	2,768	2,566	915	849	4,055	3,759
40	720	666	2,441	2,262	800	742	3,518	3,261
50	652	603	2,242	2,078	726	673	3,159	2,927
60	617	572	2,151	1,994	690	639	2,975	2,757
70	610	566	2,161	2,003	689	638	2,967	2,749

3) 幹線道路の自動車消費エネルギー量の計算

幹線道路のメッシュ別時刻別自動車消費エネルギー量を下図の流れで推計した。

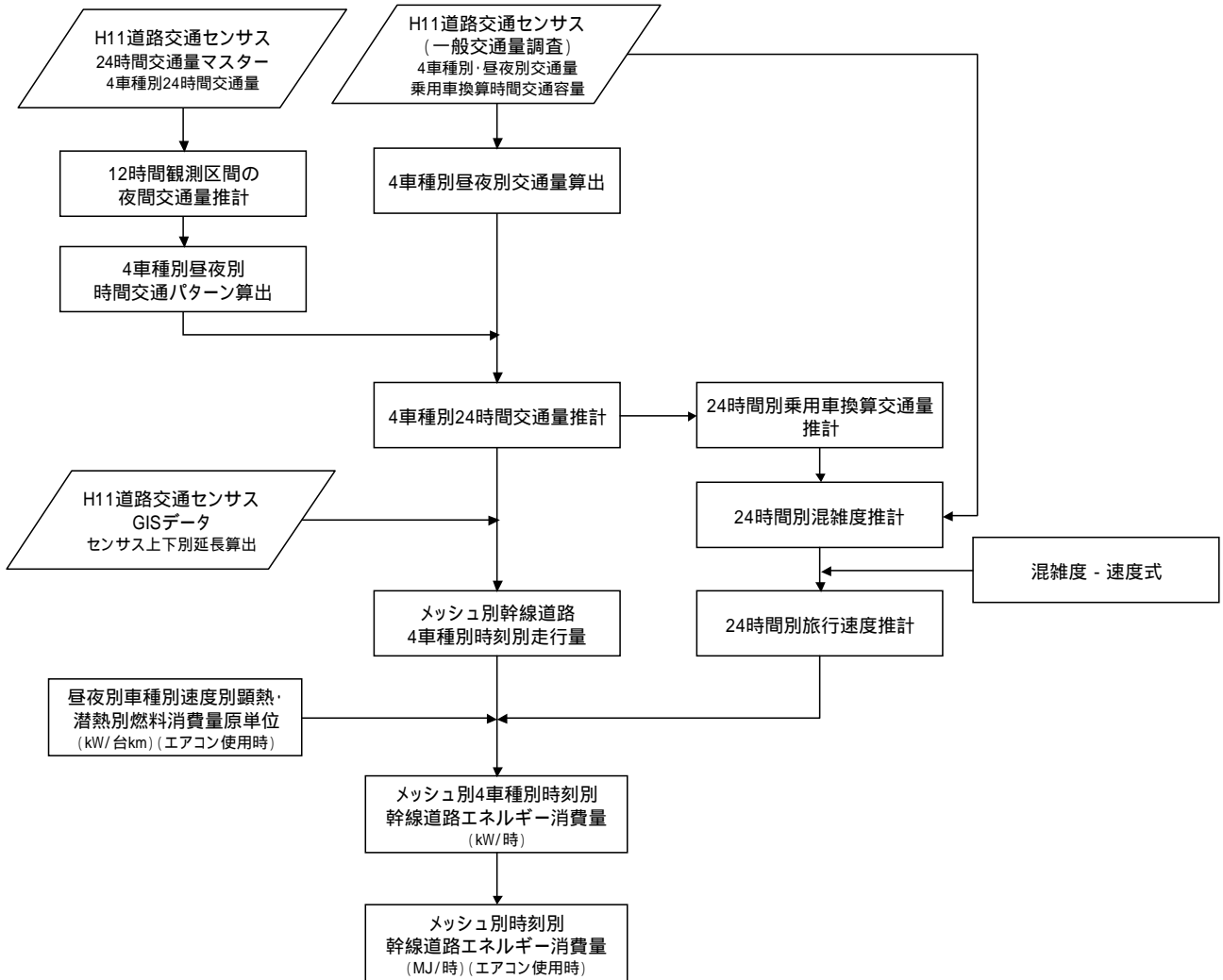


図 3 - 3 幹線道路の時刻別消費エネルギー量推計フロー

(1) 車種別時刻別走行量の推計

まず、平成 11 年道路交通センサス（一般交通量調査）データを用いて、対象範囲内のセンサス道路（647 区間）について平日の 4 車種別時刻別交通量を推計した。

次いで、平成 11 年センサス道路 GIS オブジェクトと 500mメッシュとの重ね合わせにより、メッシュ別センサス区間別上下別延長を算出し、これに上記で求めたセンサス区間別 4 車種別時刻別交通量の 1/2 ずつを上下別の延長に乗じて合算し、メッシュ別センサス区間別 4 車種別時刻別走行量（台キロ）を求めた。

(2) 時刻別旅行速度の設定

適用する旅行速度については、以下の方法により、平成 11 年道路交通センサスの区間ごとに平日の時刻別旅行速度を設定した。

まず、道路交通センサスにおける平日の混雑時（ピーク時）旅行速度を V_{min} とし、非混雑時の旅行速度について道路種別・沿道状況別に下表のような自由旅行速度（ V_0 ）を設定した。

表 3 - 3 自由旅行速度（ V_0 ）(単位：km/h)

道路種別	沿道状況	
	D I D 内	D I D 外
高速自動車国道	80	80
都市高速	60	60
一般国道	35	50
主要地方道	30	45
一般県道	30	45

注) 一般有料道路（自動車専用道路）は高速自動車国道の値とした

つぎに、下式のように時間混雑度を定義し、(1)で算出した平日 4 車種別時刻別交通量から大型車の乗用車換算係数を 2.0 として時刻別乗用車換算交通量を算出し、これを乗用車換算時間容量（平日）で除して、センサス区間別の時間混雑度を求めた。

$$\text{時間混雑度} = \text{時刻別乗用車換算交通量} / \text{乗用車換算時間容量}$$

ここで、 V_{min} 時の時間混雑度を 1.2、自由旅行速度（ V_0 ）時の時間混雑度を 0.5 と仮定して、図 3 - 4 のように混雑度-速度関係式を設定し、上記で求めた時間混雑度よりセンサス区間ごとに時刻別旅行速度を推計した。

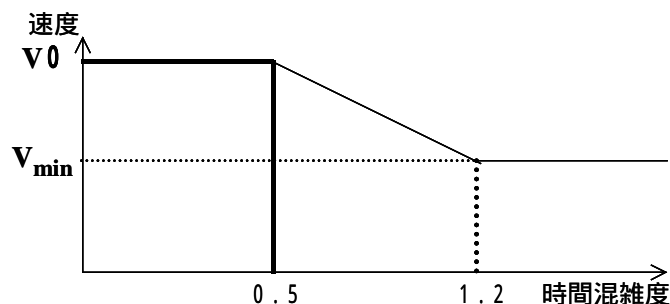


図 3 - 4 時間混雑度に対応した時間帯別旅行速度の設定

(3) メッシュ別消費エネルギー量の推計

(1)、(2)で求めたメッシュ別センサス区間別4車種別時刻別走行量、センサス区間別旅行速度及び3.1.1(2)で設定した燃料消費量原単位(エアコン影響による燃料消費率の悪化を考慮したもの)を用いて、メッシュ別車種別時刻別消費エネルギー量を算出した。

これをメッシュ別に合計し、幹線道路のメッシュ別時刻別消費エネルギー量を算出した。

4) 非幹線道路(細街路)の自動車消費エネルギー量の計算

非幹線道路(細街路)のメッシュ別時刻別自動車消費エネルギー量を下図の流れで推計し

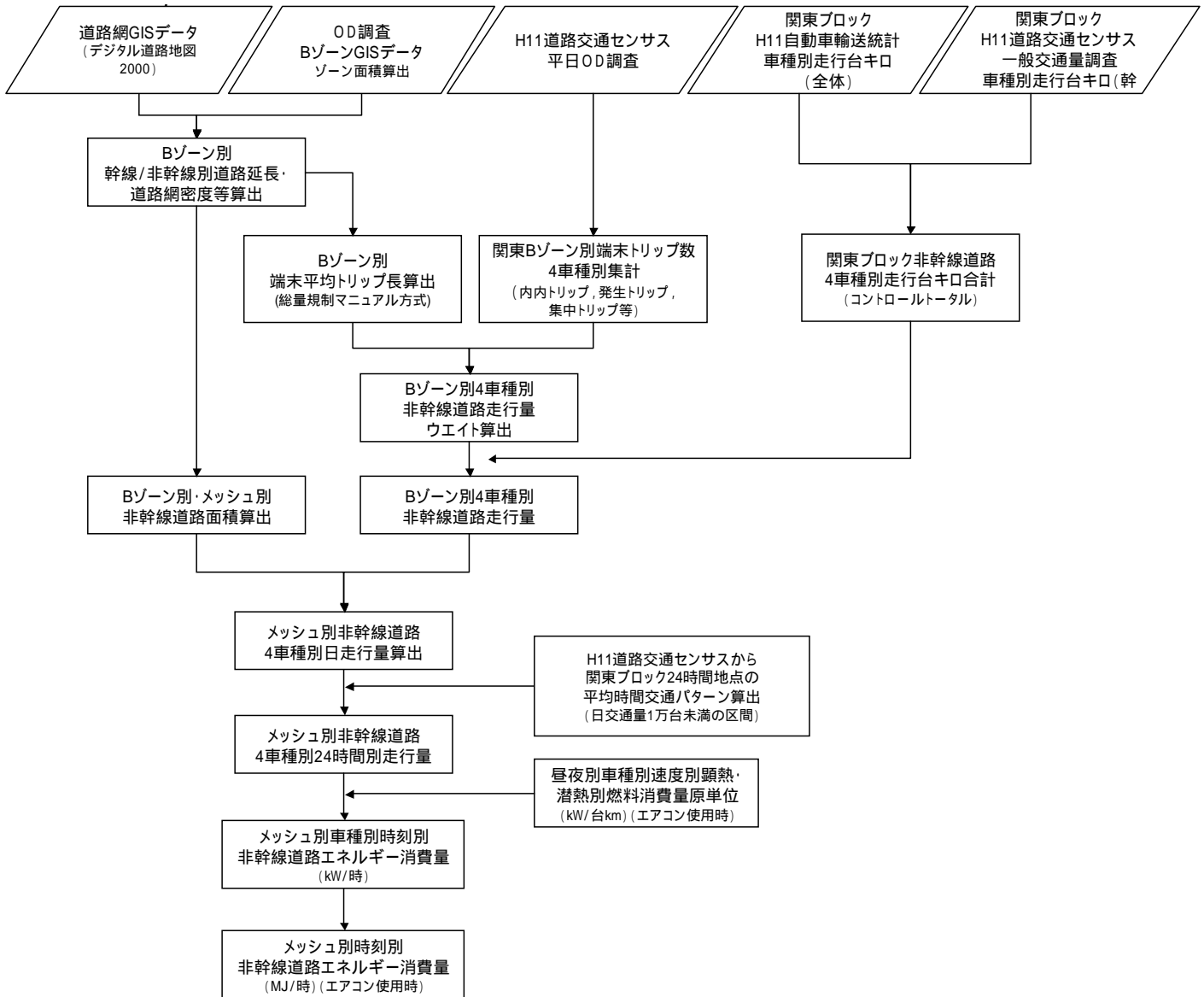


図3-5 非幹線道路の時刻別消費エネルギー量推計フロー

(1) 車種別非幹線道路走行量の推計

まず、平成11年自動車輸送統計より求めた関東ブロックにおける4車種別日走行量(総走行量)と平成11年道路交通センサス(一般交通量調査)より求めた関東ブロックにおける4車種別日走行量(幹線走行量)の差分をとり、関東ブロックにおける非幹線道路の4車

種別日走行量のコントロールトータルとした。

つぎに、道路網 GIS データ（デジタル道路地図）及び OD 調査 B ゾーン GIS データを用いて B ゾーン別の幹線 / 非幹線道路別の延長、道路網密度等を算出した。

ここでは、窒素酸化物総量規制マニュアル⁸⁾における OD データをベースとした走行量推計方法を参照し、端末トリップは非幹線道路を利用すると仮定して、平成 11 年道路交通センサス（平日 OD 調査）を用いて 4 車種別の端末トリップ数を求めた。

そして、道路網密度の違いに応じて、上記マニュアルにおける市街地モデル（幹線道路と非幹線道路は格子状をなすと仮定）と、郊外型モデル（幹線道路上に非幹線道路が等間隔で交差と仮定）の適用を分け、B ゾーンごとに平均トリップ長のウェイトを求めて 4 車種別の日走行量を求め、上記で算出した非幹線道路の 4 車種別日走行量のコントロールトータルによる補正を行い、B ゾーン別の非幹線道路 4 車種別日走行量の推計を行った。

(2) 非幹線道路の平均旅行速度及び時間パターンの設定

非幹線道路の旅行速度については、平成 11 年道路交通センサス（一般交通量調査）の関東臨海ブロックの一般道路・DID におけるピーク時平均旅行速度 18.6km/h を適用した。

一方、非幹線道路の時間変動パターンについては、上記センサスデータを用い、24 時間観測地点のうち日交通量 1 万台未満の区間における 4 車種別平均時間パターン（図 3 - 6）を算出し、適用した。

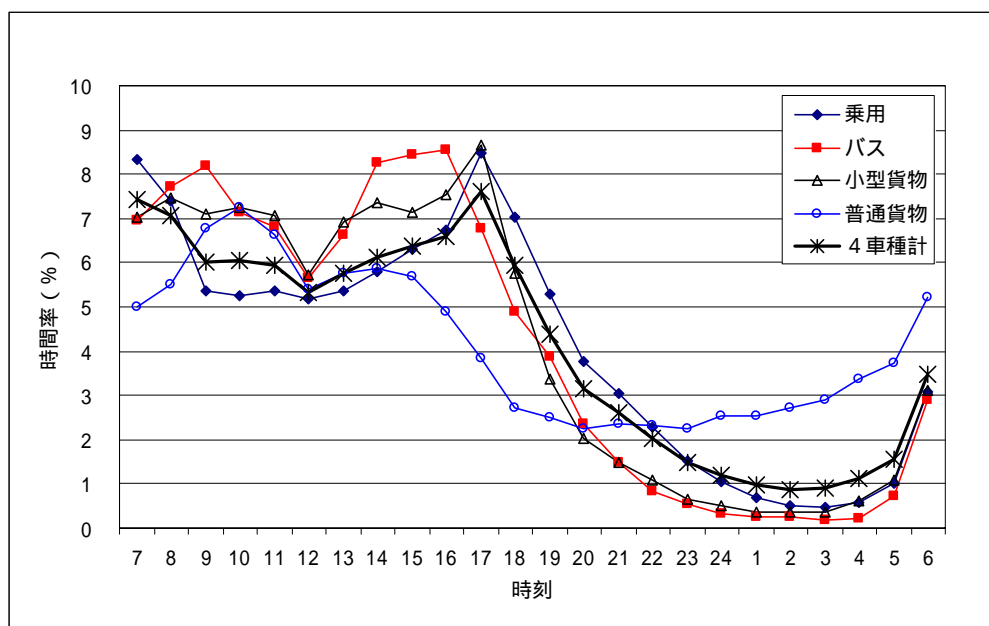


図 3 - 6 非幹線道路に適用した車種別時間パターン

(3) メッシュ別消費エネルギー量の推計

道路網 GIS 及び OD 調査 B ゾーン GIS よりメッシュ別 B ゾーン別非幹線道路延長を算出

⁸⁾ 窒素酸化物総量規制マニュアル [増補改訂版] 環境庁大気保全局大気規制課編、公害研究対策センター、平成 12 年

し、これを配分指標として、(1)で求めた B ゾーン別 4 車種別非幹線道路の日走行量をメッシュに分解し、メッシュ別 4 車種別日走行量を求めた。

これに(2)で設定した 4 車種別平均時間パターンを乗じて、メッシュ別 4 車種別時刻別走行量を求めたうえで、(2)で設定した非幹線道路の平均旅行速度及び昼夜別車種別速度別燃料消費量原単位(エアコン影響による燃料消費率の悪化を考慮したもの)を用いて、非幹線道路のメッシュ別 4 車種別時刻別消費エネルギー量を推計した。

そして、メッシュ別に消費エネルギー量を合計し、非幹線道路のメッシュ別時刻別消費エネルギー量を算出した。

5) 23 区内における自動車からの消費エネルギー量の計算

東京 23 区において、3)と4)で推計した幹線道路及び非幹線道路の車種別時刻別消費エネルギー量を合計し、23 区車種別消費エネルギー量を推計した結果を表 3 - 4 に示す。

表 3 - 4 23 区内における車種別自動車消費エネルギー量(高位発熱基準)(エアコン使用時)
(TJ/day)

	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	全車種計
消費エネルギー量	226.5	8.9	64.9	172.6	472.9

また、23 区内の幹線、非幹線別の自動車消費エネルギー量の時間変動を図 3 - 7 に示す。日中の消費エネルギー量は深夜にくらべて 4 倍程度に達しており、日中は幹線道路における消費エネルギー量が全体の 6 ~ 7 割程度を占めているのに対し、深夜は幹線道路の割合が高くなっている。

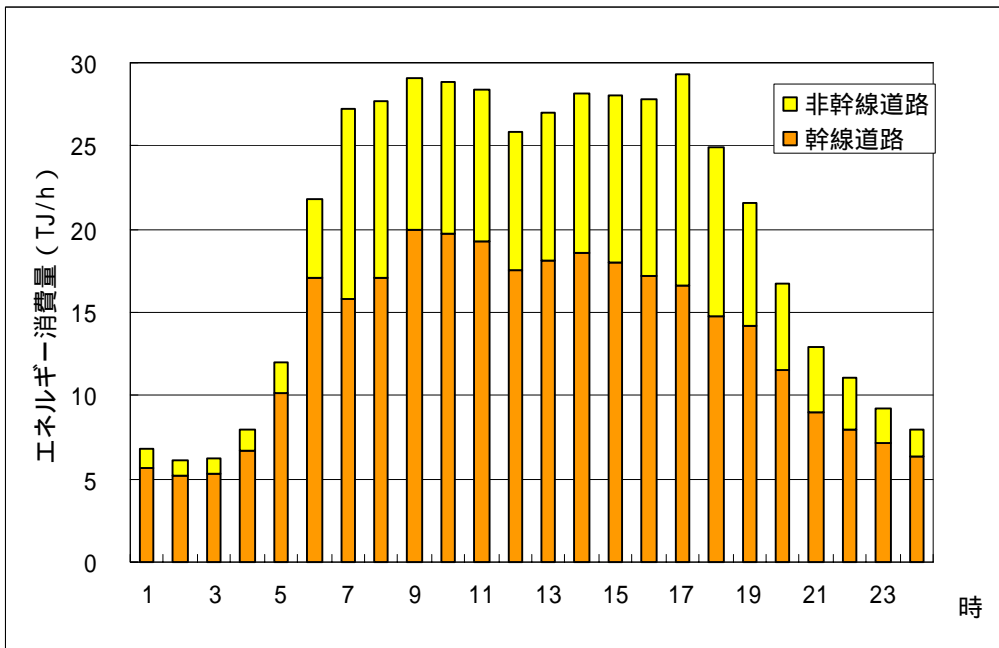


図 3 - 7 23 区内における自動車消費エネルギー量の時間変動

6) エネルギー供給量からの推定との比較

1.4節では供給段階におけるエネルギー量として、都内における燃料販売量から供給エネルギー量の推定値を掲載した。それによると主に自動車燃料として使用されるガソリンおよび軽油の販売量を熱量換算したものは都全域で890TJ/日程度と推定される。このうち23区内への配分を正確に見積もることは困難であるが、仮に都全域と23区内でのガソリンスタンド販売額比で按分すると620TJ/日程度となる。上記、表3-4の値より3割程度多いが、これは販売量が販売業者向け(卸)を含んでいることに加え、販売地域と消費(走行)地域が必ずしも対応していないためと考えられる。

参考までに関東全域について同様の比較を行ったところ、販売量からの供給エネルギー量推定値約3,700TJ/日に対し、消費エネルギー量での推定値は約3,300TJ/日(原単位設定の際、速度は幹線道路30km/h、非幹線道路20km/hと仮定)となる。両者にそれほど大きな違いはないと考えられることから、使用した算定方法は概ね妥当であると判断される。

3.1.2 排出段階における把握

排出段階では、消費段階において計算した消費エネルギー量を顕熱と潜熱に配分し、これにエアコンの空調排熱を顕熱として足し合わせ、23区内の自動車からの環境への排熱を計算した。

1) 計算方法の概要

燃料の高位発熱量と低位発熱量の差が潜熱分に該当すると考え、消費段階の消費エネルギー量を顕熱と潜熱に配分した。また、カーエアコンによる空調排熱(顕熱)は、カーエアコン使用時と非使用時の燃料消費量の差を求め、これにエンジンのエネルギー効率とエアコンのCOPを考慮して算出した。

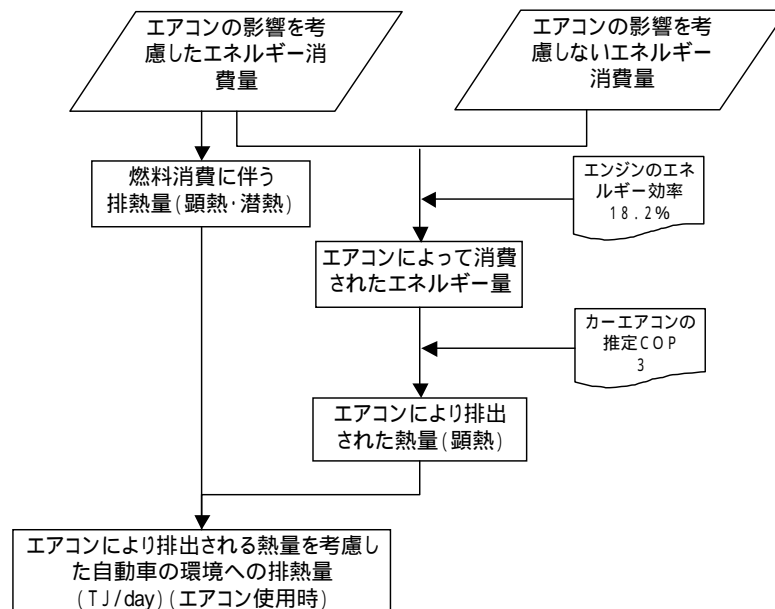


図3-8 排出段階の自動車排熱計算フロー

2) 燃料の消費に伴う消費エネルギー量の顕熱・潜熱への配分

消費段階における消費エネルギー量の計算では、ガソリンおよび軽油の発熱量換算に高位発

熱量を用いた。ただし、これは燃料の蒸発潜熱を含む発熱量であり、顕熱と潜熱に分けて排熱量を把握するためには、自動車消費するエネルギー量のうち低位発熱量（顕熱相当分）を算出する必要がある。

高位発熱基準で求めた消費エネルギー原単位（表3-2）について、ここでは表3-5に示す低位発熱基準の熱量換算係数に基づき、消費エネルギー原単位（低位発熱基準）を求めた（表3-6）。なお、低位発熱量は、日本エネルギー経済研究所(2001)に基づく燃料別の低位/高位の比を、前述の高位発熱量に乗じて求めた。

表3-5 燃料別発熱量換算係数

燃料	低位発熱量 kcal/L	低位 / 高位の比
ガソリン	7894	0.955
軽油	8624	0.945

表3-6 車種別・速度別消費エネルギー係数（低位発熱基準）

単位:kcal/(km・台)

速度km/h	乗用車		バス		小型貨物		普通貨物	
	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時	9-20時	21-8時
10	1,494	1,384	4,041	3,745	1,293	1,198	5,355	4,963
20	995	922	3,102	2,875	1,029	954	4,507	4,177
30	796	738	2,616	2,425	869	806	3,832	3,552
40	686	635	2,307	2,138	760	704	3,325	3,082
50	621	575	2,119	1,964	689	639	2,985	2,766
60	588	545	2,033	1,884	655	607	2,811	2,605
70	581	539	2,042	1,893	654	606	2,804	2,598

この低位発熱基準の原単位を用いて再度計算した幹線、非幹線道路の消費エネルギー量を表3-7に示す。

表3-7 23区内における車種別自動車消費エネルギー量（低位発熱基準：顕熱分）

（エアコン使用時）

（TJ/day）

	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	全車種計
消費エネルギー量	215.8	8.4	61.6	163.1	448.9

表3-4に示した高位発熱基準の消費エネルギー量から、表3-7に示した低位発熱基準の消費エネルギー量を差し引いて、排熱の顕熱量、潜熱量を求めた（表3-8）。

表3-8 23区内における車種別自動車の燃料消費に伴う顕熱・潜熱

（エアコン使用時）

（TJ/day）

	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	全車種計
顕熱	215.8	8.4	61.6	163.1	448.9
潜熱	10.7	0.5	3.3	9.5	23.9
総排熱	226.5	8.9	64.9	172.6	472.9

3) エアコンから排出される空調排熱量の計算

自動車のエアコンから排出される熱量は、エアコンを使用した場合と使用しない場合の消費エネルギー量の差と、自動車のエンジン本体のエネルギー効率、エアコンのCOPから求めた。

$$\text{エアコンの排熱} = \text{エアコン使用に伴う燃料使用量の増加分(熱量)} \\ \times \text{エンジン本体のエネルギー効率} \times \text{エアコンのCOP}$$

エアコン使用に伴う燃料消費量の増加分は、消費段階において求めた自動車消費エネルギー量から、エアコン影響による燃料消費率の悪化を考慮しない燃料消費量原単位をもとに計算した自動車消費エネルギー量を差し引くことにより算出した。表3-9にエアコン使用に伴う燃焼消費量の増加分の熱量を示す。

表3-9 エアコン使用に伴う燃料使用量の増加分

	消費エネルギー量(TJ/day)				
	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	自動車計
エアコン無し	176.5	6.9	50.3	135.1	368.8
エアコン有り	226.5	8.9	64.9	172.6	472.9
エアコンによる消費エネルギー増加分	50.0	2.0	14.6	37.5	104.1
エアコンによる消費エネルギーの増加率	28%	29%	29%	28%	28%

また、エンジンのエネルギー効率については、米エネルギー省の資料⁹⁾から18.2%という数値を得た。平均的な米国の自動車と日本の自動車ではエネルギー効率そのものに違いがあることも考えられるが、今回は他に有用なデータが得られなかったため、これを用いることとした。また、ガソリン/ディーゼルなどのエンジンの違いについても考慮せず、一律に計算を行なった。

カーエアコンのCOPについてはメーカーの資料などから3と仮定して計算した。表3-10に23区内におけるカーエアコンからの排熱量を推定した結果を示す。

表3-10 23区内におけるカーエアコンからの排熱量(顕熱)(TJ/day)

	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	自動車計
カーエアコンからの排熱量(顕熱)	27.3	1.1	8.0	20.5	56.8

3) 23区内における自動車からの環境への排熱量の計算

最後に燃料消費に伴う排熱(表3-8)とエアコンからの排熱(表3-10)を足し合わせて23区における自動車からの環境への排熱量を求めた。23区内を走る自動車の排熱は合計で約530TJ/dayと推計された。結果を表3-11に示す。

⁹⁾ <http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>

表3 - 11 23区内における自動車環境への排熱量（エアコン使用時）（TJ/day）

	乗用	バス	小型貨物	普通貨物	全車種計
顕熱	243.1	9.5	69.6	183.6	505.8
潜熱	10.7	0.5	3.3	9.5	23.9
総排熱	253.7	10.0	72.9	193.1	529.7

また、図3 - 9に日平均自動車排熱（顕熱）分布を示す。

首都高速道路や国道、環7・環8沿いなどで幹線道路からの自動車排熱が高い状況が見られる。他方、都心周辺では非幹線道路からの自動車排熱が面的に排出されている。

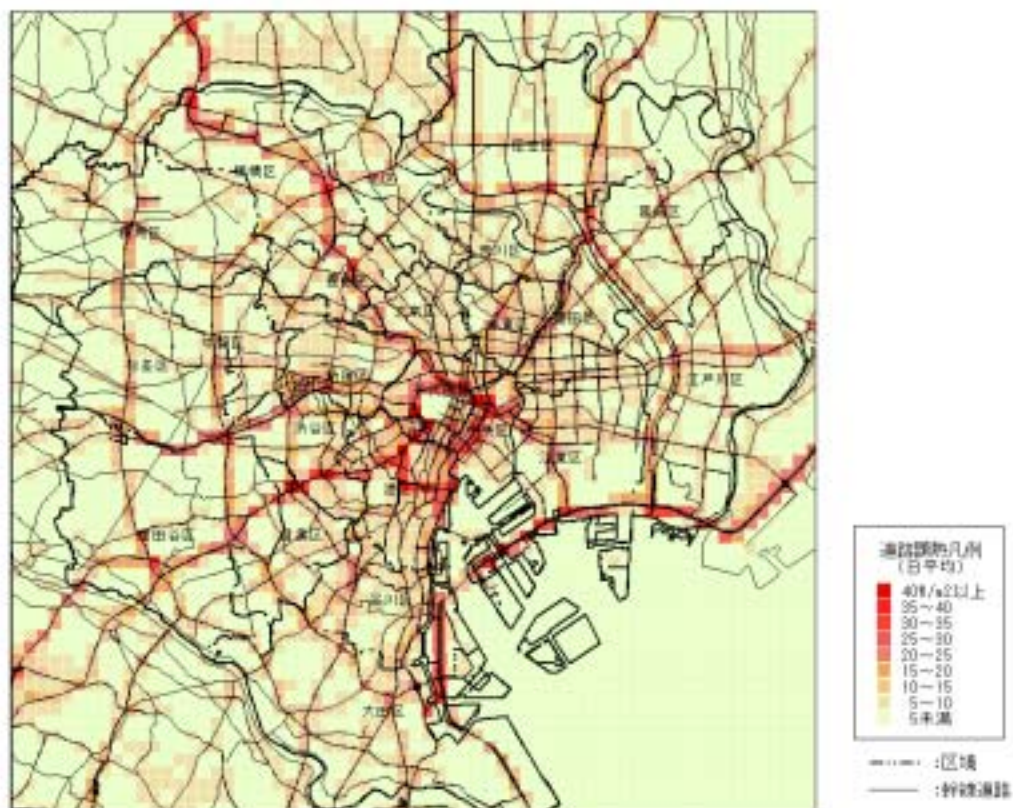


図3 - 9 自動車の環境への排熱量（日平均：顕熱）分布

3.2 鉄道からの排熱

鉄道のエネルギー消費と環境への排熱は概略図3-10のように捉えることができる。消費段階のエネルギー消費による排熱は駆動モーター等車両走行で消費される電力消費量から、また排出段階はこれに空調排熱を加えて算出した。

一方、付帯施設のうち地上の鉄道駅については建物排熱で計算されているためここでは対象外とし、地下鉄駅舎とトンネル内の施設用消費エネルギーを計算の対象とした。また、地下鉄の環境への排熱は、その構造から車両走行による排熱とトンネル内や駅コンコースなどのエネルギー消費による排熱が各駅に設置された空調機器に集約されて大気に排出される仕組みになっている(日射のない建物の環境への排熱と同じと見ることができる)が、計算に必要なデータがそろわないこと、また量的にも大きくないと予想されることから車両走行分についてのみ空調排熱を計算した。

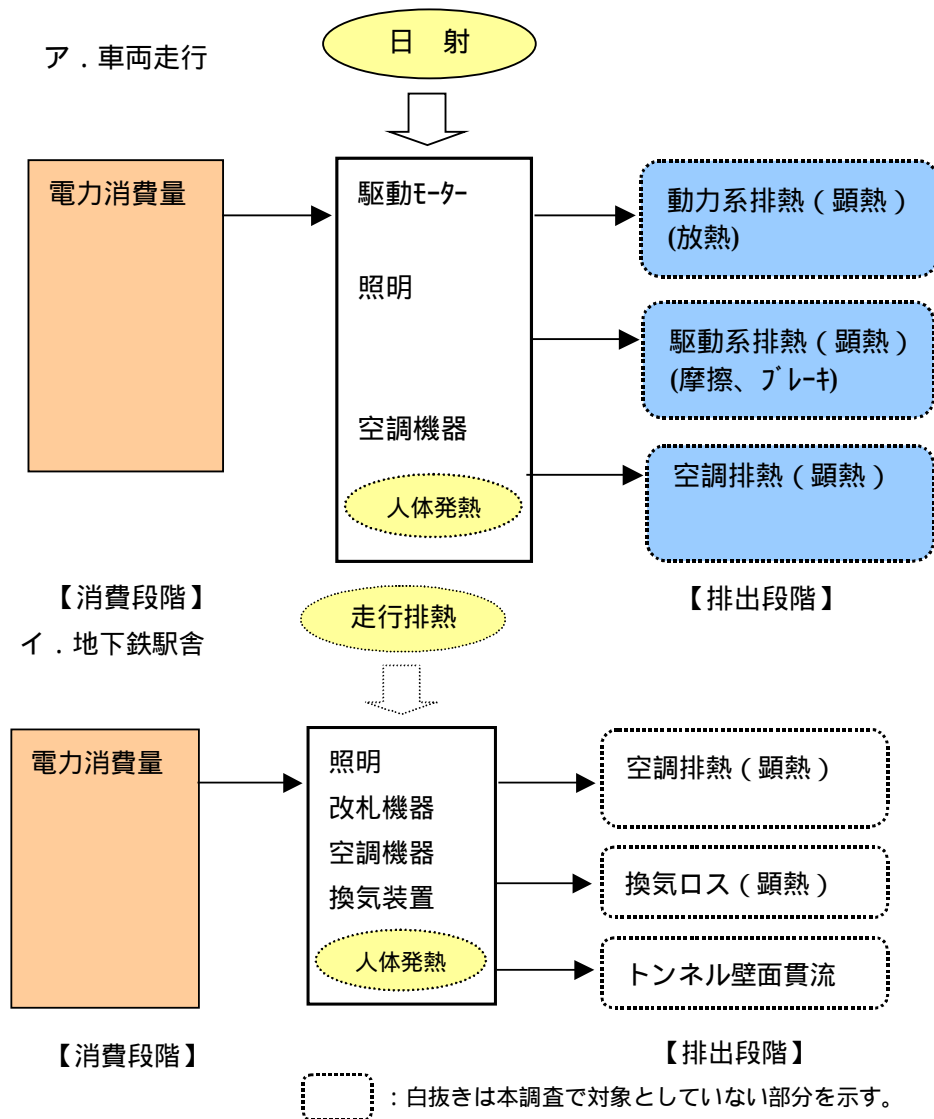


図3-10 鉄道排熱の概要

3.2.1 消費段階における把握

1) 計算方法の概要

鉄道による消費エネルギー量は、図3 - 11 に示すとおり、車両走行と付帯施設（駅）に分け、23 区内を走行する営団地下鉄 8 線、都営地下鉄 4 線、JR 各線および私鉄 15 線（表 3 - 7 参照）を対象に計算した。ただし、付帯施設のうち地上駅は駅ビルなどと一体化しているケースが多く、鉄道付帯施設としての規模よりも、併設する商業施設の有無・多少などの差異のほうが消費エネルギー量の多寡に関連している場合が多いと考えられる（東京都 GIS データにおいても駅ビルは「商業施設」に分類されている）ことから、交通部門の算定対象からは除外することとした。

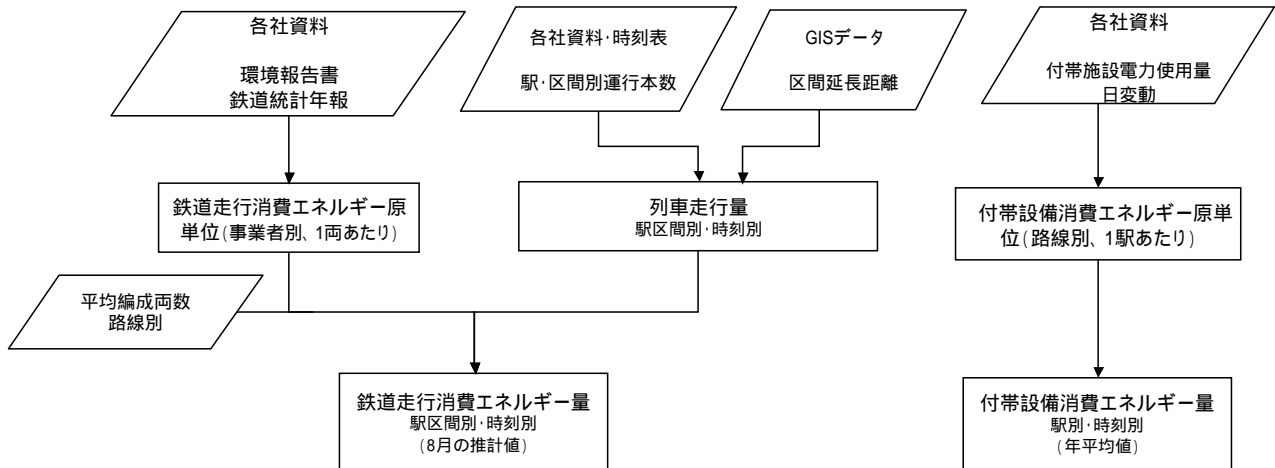


図3 - 11 鉄道排熱の計算フロー

表3 - 12 対象路線

営団地下鉄	銀座線、丸ノ内線、日比谷線、東西線、千代田線、有楽町線、半蔵門線、南北線
都営地下鉄	浅草線、三田線、新宿線、大江戸線、(都電荒川線)
JR	新幹線、山手線、総武線、中央線、京浜東北線、京葉線、埼京線、南武線、東海道線、横須賀線、宇都宮線、高崎線、常磐線
その他私鉄など	東急線、京急線、小田急線、西武線、京王線、京成線、東武線、新京成線、北総公団線、総武流山線、りんかい線、横浜市営地下鉄、埼玉高速鉄道、東京モノレール、ゆりかもめ

2) 車両走行に伴う消費エネルギー原単位の計算

【年平均値の計算】

車両走行に伴う消費エネルギー量の原単位は、まず、列車 1 両が 1km 走行した場合の電力使用量として算定した。営団地下鉄各線、JR 線および私鉄線の一部（東急・京急・小田急）については提供資料または各社ホームページにある環境報告書¹⁰⁾に上記単位による原単位が掲載されているので、それを使用した。また、都営地下鉄については、提供資料にある路線別の年間電車で消費電力を年間車両走行キロで除して設定した。以上の路線については、平成

¹⁰⁾ (営団)「営団地下鉄ハンドブック 2003」(平成 15 年 9 月発行)

(東急) <http://www.tokyu.co.jp/kankyo/pdf/2003w.pdf>

(京急) http://www.keikyu.co.jp/business/e_3a_3.html

(小田急) http://www.odakyu-co.com/env/eco/houkoku/2003/pdf/action/13_14.pdf

14年度の資料に基づいた。原単位の記載がない他の私鉄については、鉄道統計年報（平成12年度）の電車で消費電力と走行キロから都営地下鉄と同様に原単位を算出した。ただし、埼玉高速鉄道とりんかい線は、開業時期の関係で走行キロを使用することが適切でないため、前者は営団南北線、後者はJR線と同じ原単位を適用することとした。なお、地下鉄線以外は路線を区分する資料がないため事業者毎に一律の値となっている。また、これらの1両あたりの原単位に編成両数を乗じて1編成あたりの原単位とし、さらに1kWh = 860kcalで熱量に換算した。編成両数は同一事業者内でも本・支線などの区分により路線別に設定した。なお、実際には同一路線においても列車種別や乗り入れ車両などの関係により編成両数が異なるケースがあるが、各社ホームページや時刻表を参考に、最も一般的な両数を設定している。表3-13に消費エネルギー原単位の計算結果を示す。

【8月の月平均値の推計】

上記の結果はもとになるデータが年間統計値であることからわかるように、年平均に相当する値であって、とくに夏季の冷房等の影響が反映されているわけではない。今回の調査では、月別のデータとしては都営線全路線合計の平成14年度電車で消費電力を入手することができた。これによると都営線全路線の8月の消費エネルギー原単位は、年平均値の6.6%増であることがわかった。実際には各路線の電車で消費電力の月変動には違いがあるものと考えられるが、他に有用なデータが入手できなかったため都営線の月変動パターンを他の全路線に適用し、各路線の8月の消費エネルギー原単位を推計した（表3-14）。

結果を見ると、1両あたりの消費エネルギー原単位は1.64～3.64kWh/kmの範囲にあり、地下鉄各線・JRおよび私鉄の大半は2.2～2.6kWh/kmの範囲にある。また、1編成あたりの消費エネルギー量は8両編成の例で14～20kWh/km（熱量換算で12000～17000kcal/km）程度となっている。

3) 列車走行量の計算

列車走行量は、各社時刻表やホームページに記載の時刻別列車運行本数を基に、区間距離を乗じて算定した。運行本数は、同一路線でも都心と郊外では朝夕のラッシュ時に時間差があり、また、途中駅始発や途中駅止まりの列車もあることから、原則として駅別、方向別の値を使用した。ただし、地下鉄以外については、適宜、代表駅を設定してその駅の列車本数を前後の数駅にも適用した。また、地下鉄も含め、快速列車などの通過駅がある場合にも、時刻表データでは本数を過小に見積もることとなるため、近接する代表駅（全列車が停車する駅）の本数を適用した。

表3-13 鉄道各線の消費エネルギー原単位（走行：年平均値）

事業者名	路線名	電車用電力	車両走行キロ	排熱原単位	想定両数	排熱原単位 (編成)
		kWh/年	Km/年	kWh/km/両	両/編成	kcal/km/編成
営団	銀座			2.23	6	11506.8
	丸ノ内			1.97	6	10165.2
	丸ノ内(支線)			1.97	3	5082.6
	日比谷			1.72	8	11833.6
	東西			1.99	10	17114.0
	千代田			2.43	10	20898.0
	千代田(支線)			2.43	3	6269.4
	有楽町			2.19	10	18834.0
	半蔵門			2.61	10	22446.0
	南北			1.83	6	9442.8
都営	浅草	51,803,116	25,355,846	2.04	8	14056.1
	三田	42,432,929	23,388,137	1.81	6	9361.8
	新宿	60,996,000	29,974,775	2.03	8	14000.2
	大江戸	97,631,700	45,951,943	2.12	8	14617.6
	都電荒川線	5,091,852	1,805,000	2.82	1	2426.0
東急	東横			2.39	8	16443.2
	目黒			2.39	6	12332.4
	田園都市			2.39	10	20554.0
	大井町			2.39	5	10277.0
	池上・多摩川			2.39	3	6166.2
	世田谷			2.39	2	4110.8
京急	本線・空港線			2.34	10	20124.0
	大師線			2.34	4	8049.6
小田急				2.24	10	19264.0
西武	豊島線含む	443,649,737	167,913,000	2.64	6	13612.2
京王	本線	243,156,154	102,905,000	2.36	10	20321.1
	井の頭			2.36	5	10160.6
京成	本線他	212,373,582	81,515,000	2.61	8	17924.7
	金町			2.61	4	8962.3
北総公団		24,053,163	12,761,000	1.88	8	12968.1
東武	伊勢崎	517,321,212	235,920,000	2.19	8	15086.3
	東上			2.19	10	18857.9
	野田			2.19	6	11314.8
	亀戸・大師			2.19	2	3771.6
新京成		62,941,920	18,440,000	3.41	8	23483.8
総武流山		1,731,506	640,000	2.71	3	6980.1
埼玉高速		(7,438,080)	(98,000)	1.83	6	9442.8
りんかい線		(9,506,000)	(1,948,000)	1.97	10	16942.0
横浜市営		60,059,492	26,049,000	2.31	6	11897.1
東京モノレール		38,694,325	18,012,000	2.15	6	11085.0
ゆりかもめ		18,451,240	12,018,000	1.54	6	7922.1
J R	山手・総武中央緩・中央快・京浜東北・京葉・埼京・南武			1.97	10	16942.0
	東海道・横須賀・総武快・宇都宮・高崎・常磐			1.97	15	25413.0
	新幹線			1.97	16	27107.2

表3 - 14 鉄道各線の消費エネルギー原単位（走行：8月の推定値）

事業者名	路線名	排熱原単位(両)	想定両数	排熱原単位 (編成)
		kWh/km/両	両/編成	kcal/km/編成
営団	銀座	2.38	6	12,266
	丸ノ内	2.10	6	10,836
	丸ノ内(支線)	2.10	3	5,418
	日比谷	1.83	8	12,615
	東西	2.12	10	18,244
	千代田	2.59	10	22,277
	千代田(支線)	2.59	3	6,683
	有楽町	2.33	10	20,077
	半蔵門	2.78	10	23,927
	南北	1.95	6	10,066
都営	浅草	2.17	8	14,984
	三田	1.93	6	9,980
	新宿	2.16	8	14,924
	大江戸	2.26	8	15,582
	都電荒川線	3.01	1	2,586
東急	東横	2.55	8	17,528
	目黒	2.55	6	13,146
	田園都市	2.55	10	21,911
	大井町	2.55	5	10,955
	池上・多摩川	2.55	3	6,573
	世田谷	2.55	2	4,382
京急	本線・空港線	2.49	10	21,452
	大師線	2.49	4	8,581
小田急		2.39	10	20,535
西武	豊島線含む	2.81	6	14,511
京王	本線	2.52	10	21,662
	井の頭	2.52	5	10,831
京成	本線他	2.78	8	19,108
	金町	2.78	4	9,554
北総公団		2.00	8	13,824
東武	伊勢崎	2.33	8	16,082
	東上	2.33	10	20,103
	野田	2.33	6	12,062
	亀戸・大師	2.33	2	4,021
新京成		3.64	8	25,034
総武流山		2.89	3	7,441
埼玉高速		1.95	6	10,066
りんかい線		2.10	10	18,060
横浜市営		2.46	6	12,682
東京モノレール		2.29	6	11,817
ゆりかもめ		1.64	6	8,445
J R	山手・総武中央緩・中央 快・京浜東北・京葉・埼 京・南武	2.10	10	18,060
	東海道・横須賀・総武 快・宇都宮・高崎・常磐	2.10	15	27,090
	新幹線	2.10	16	28,896

4)付帯施設(地下鉄駅施設)からの消費エネルギー原単位および時間変動の計算

営団地下鉄および都営地下鉄について、路線別の年間付帯施設電力使用量データ(平成14年度)を駅数で除して1駅あたりの値とし、さらに年間のすべての日で一律と仮定して1日あたりに換算した。なお、電力使用量から熱量への換算は走行の場合と同様である。結果は表3-15に示すとおりであり、概ね古い路線(営団銀座線・丸ノ内線、都営浅草線・三田線など)で小さく、新しい路線(営団半蔵門線・南北線、都営大江戸線など)で大きい傾向がある。また、複数路線が重なる駅では路線毎に算出した排熱量を加算して当該駅の排熱量とした。

また、時間変動については、営団地下鉄から付帯施設に関する想定日変動の値の提供を受けたので、それを営団各路線に一律に適用した。一方、都営地下鉄は、提供された各季節の特定日の路線別実績値から夏季分(平成14年8月22日)を使用した。

表3-15 付帯施設の消費エネルギー原単位(年平均値)

事業者名	路線名	付帯電力	駅数	消費エネルギー原単位
		MWh/年		kcal/日/駅
営団	銀座	34,770	19	4311780.8
	丸ノ内	41,164	25	3463898.2
	丸ノ内(支線)		3	3463898.2
	日比谷	38,438	21	4312678.4
	東西	43,806	23	4487571.2
	千代田	45,005	19	5301958.9
	千代田(支線)		1	5301958.9
	有楽町	68,658	24	6740397.3
	半蔵門	45,591	14	7672849.3
	南北	49,120	19	6091305.0
	都営	浅草	30,384	20
三田		30,762	27	2684420.8
新宿		49,105	21	5509493.2
大江戸		120,069	38	7444787.5

5)排熱位置の設定

地上走行分(地下鉄の地上走行部分を含む)については、自動車(幹線道路)の扱いと同様に、当該走行区間上で一様にエネルギーが消費され排熱されると仮定した。一方、地下走行分については、付帯施設(地下鉄駅舎)における消費エネルギー分と併せて、地下鉄駅位置において排出されると仮定した。これは本節の冒頭で述べたように地下鉄の排熱が各駅の空調排熱に集約されて排出されている実態に従ったものである。実際には、駅間の換気口からの排熱や、地下土壌や地下水へのエネルギー移動もあると考えられるが、夏季冷房時の実

態を想定すると、駅位置からの排熱量が卓越すると考えられた。

6)消費エネルギー量の計算

図3-12に車両走行及び地下鉄駅施設の消費エネルギー量の推計方法の流れを示した。

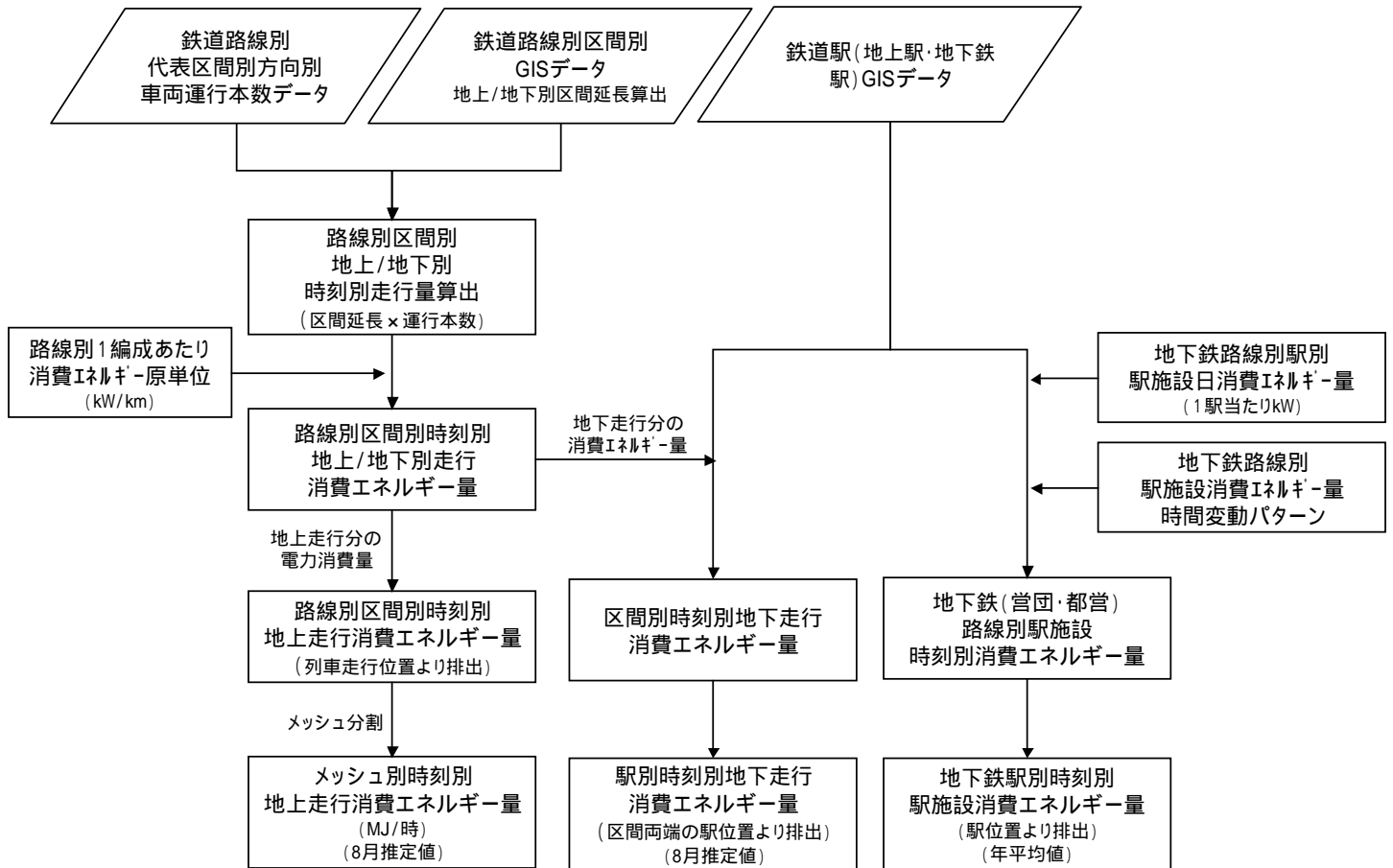


図3-12 車両走行・地下鉄駅舎の消費エネルギー量の推計フロー

(1) 車両走行による消費エネルギー量の推計

まず、鉄道路線別区間別 GIS データを用いて地上/地下別の区間延長を算出し、これに路線別区間別方向別の時刻別車両運行本数を乗じて、路線別区間別時刻別の走行量(走行本数キロ)を地上/地下別に算出した。これに8月の路線別区間別の1編成あたり走行時消費エネルギー原単位(kcal/km/編成)を乗じて、路線別区間別時刻別の消費エネルギー量を地上/地下別に算出した。

このうち、地上走行分については列車走行位置のメッシュに分解して、メッシュ別時刻別地上走行消費エネルギー量を算出した。一方、地下走行分については、各駅の区間毎の電力消費エネルギー量を2等分した値を各駅の両側で加算し、この消費エネルギー量が当該駅のメッシュから排出されると仮定してメッシュに分解した。

図3-13に23区内における地上/地下別の車両走行消費エネルギー量を示す。列車走行本数の変動を反映して朝夕の通勤時間帯にピークをもつ変動パターンを示しており、特に8

時前後の朝のピークが顕著である。

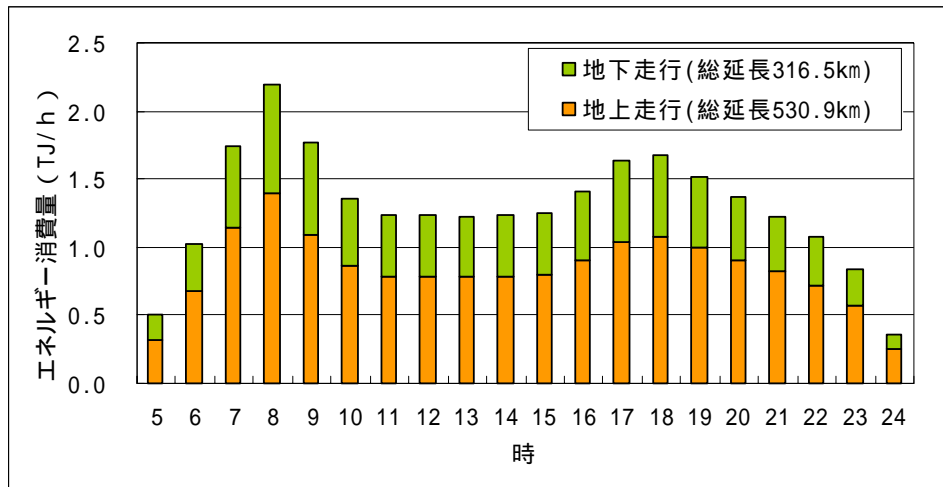


図3 - 13 23区内の時刻別車両走行消費エネルギー量 (8月の推計値) (TJ/h)

(2) 付帯施設 (地下鉄駅舎) による消費エネルギー量の推計

営団地下鉄、都営地下鉄の付帯施設からの消費エネルギー量については、地下鉄路線別の付帯施設日排熱原単位 (kcal/日/駅) 及び地下鉄路線別 (営団については全線共通) 付帯施設電力消費量時間変動パターンを用いて、時刻別消費エネルギー量を算出し、鉄道駅 (地上駅/地下鉄駅) GIS データを用いて駅位置のメッシュに分解することにより、時刻別消費エネルギー量をメッシュ別に求めた。

図3-14に23区内における付帯施設からの時刻別排熱量を示す。車両走行による消費エネルギーよりも値は小さく、変動が少ない。また、地下鉄について見ると、日中の時間帯の車両走行に伴う消費エネルギー (0.4TJ/hr程度) とほぼ同等の排熱が付帯施設からも排出されていることが分かる。

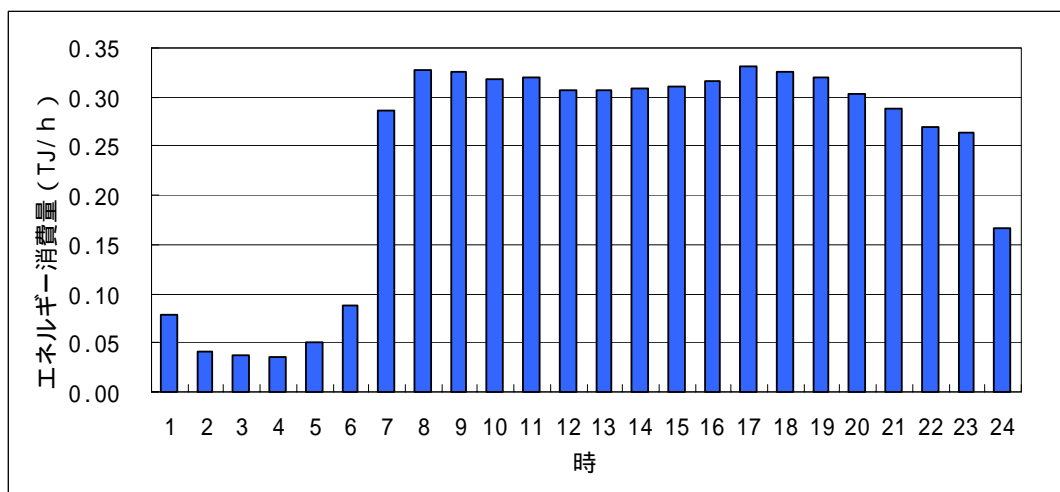


図3 - 14 23区内の時刻別地下鉄付帯施設消費エネルギー量 (年平均値) (TJ/h)

7) 23区内における鉄道からの消費エネルギー量の計算

6) で求めたメッシュ別時刻別の地上走行、地下走行及び地下鉄駅施設の消費エネルギー量を合計し、メッシュ別時刻別鉄道消費エネルギー量を算出した。

23区内の鉄道消費エネルギー量の集計結果を表3-16に示す。付帯施設分も考慮した鉄道による消費エネルギー量は32TJ/dayと推計された。

表3-16 23区内の鉄道消費エネルギー量(TJ/day)

	エネルギー消費量	備考
地上走行	16.7	(8月の推計値)
地下走行	9.1	(8月の推計値)
地下鉄施設	5.7	(年平均値)
合計	31.6	-

3.2.2 排出段階における把握

排出段階の環境への排熱は、消費段階で計算した消費エネルギー量がすべて顕熱で排出されるとし、これにエアコンによる空調排熱を顕熱として加えて算出した。

1) 計算方法の概要

排出段階における鉄道排熱の計算フローを図3-15に示す。

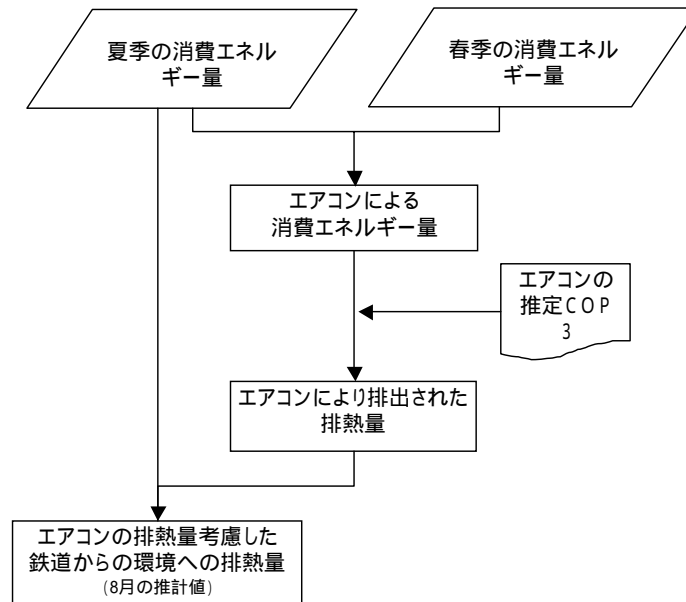


図3-15 排出段階の自動車排熱計算フロー

2) 消費エネルギー量の顕熱・潜熱への配分

地上走行分については、電力を動力源としていることからすべて顕熱とした。地下走行分と地下鉄駅舎等の排熱は、実際には空調設備などを通じて排熱されるため、潜熱としての寄与もあると考えられるが、他の施設(駅ビル・地下街など)との関連により形態はさまざま

で潜熱分を定量的に見積もることが難しいこと、量的にも多くないことから今回の調査ではすべて顕熱とみなした。なお、営団地下鉄へのヒアリングによれば、地下鉄駅における冷房設備に関する情報は下記のとおりであり、今後、これらを基にしたより詳細な設定方法の検討が必要である。

- ・ 駅用の冷凍機はすべてターボ冷凍機。(職員用ビルなどの建物には他方式も混在)
- ・ 駅毎の冷凍機容量は、ホームの広さやコンコースの有無などによって異なっている。単路線のみの駅では 100～500RT (RT: 冷凍トン=3.516kW = 3024kcal/h)
- ・ 単路線駅の例: 神田 100RT、六本木 RT、仲御徒町 300RT、新橋 400RT、三越前 500RT
- ・ 2 路線共用駅の例: 上野 800RT、国会議事堂前 800RT
- ・ 4 駅共用の例: 新宿・新宿 3 丁目・新宿御苑前・四谷 3 丁目 1360RT

3) エアコンからの排熱量の計算

表 3 - 17 に都営線の月別車両走行にかかる電力消費量を示す。これを見ると夏季(7月、8月)の電力消費量は春季(4月、5月)に比べて9%増加している。

表 3 - 17 夏季と春季の消費電力量の違い

	春季		夏季	
	4月	5月	7月	8月
延日営業キロ	3270.0	3379.0	3379.0	3379.0
電車用電力量(kwh)	20,518,968	20,886,483	23,000,207	22,894,718
キロ当たりの電力量(kWh)	6,275	6,181	6,807	6,776
キロ当たりの電力量(季節平均 kWh)	6,228		6,791	
夏季 / 春季 比	1.090			

この増加分をエアコンによる消費エネルギー量と仮定し、エアコンのCOPを3としてエアコンからの排熱量を求めた結果、車両からのエアコン排熱量は 6.4 T J / day と計算された(表 3 - 18)。ただし、ここで用いた月別電力消費量は都営地下鉄線の電車用電力のデータであるため、日射を受けて地上を走行する車両の排熱を過小評価している可能性がある。また、地下鉄の付帯施設についてはデータが得られなかったため、空調排熱の計算は行なわなかった。

表 3 - 18 鉄道からのエアコン排熱量 (T J / day)

	エアコン排熱量
地上走行	4.1
地下走行	2.3
合計	6.4

4) 23 区内における鉄道からの環境への排熱量の計算

車両走行及び地下鉄付帯施設による消費エネルギー量と上記で求めたエアコンによる排熱量を全て顕熱として足し合わせ、鉄道排熱を求めた。その結果、23 区内の鉄道からの環境へ

の排熱量は 38 T J / day と計算された。

表 3 - 19 排出段階における鉄道の環境への排熱量 (TJ / DAY)

	排熱(顕熱)量	備考
地上走行	20.9	(8月の推計値)
地下走行	11.4	(8月の推計値)
地下鉄施設	5.7	(年平均値)
合計	38.0	

また、図 3 - 16 に日平均の鉄道からの環境への排熱(顕熱)分布を示す。地下鉄や JR などの路線の集中する東京駅周辺(上野~新橋付近)などに、相対的に排熱量の大きいメッシュが連続した分布となっている。

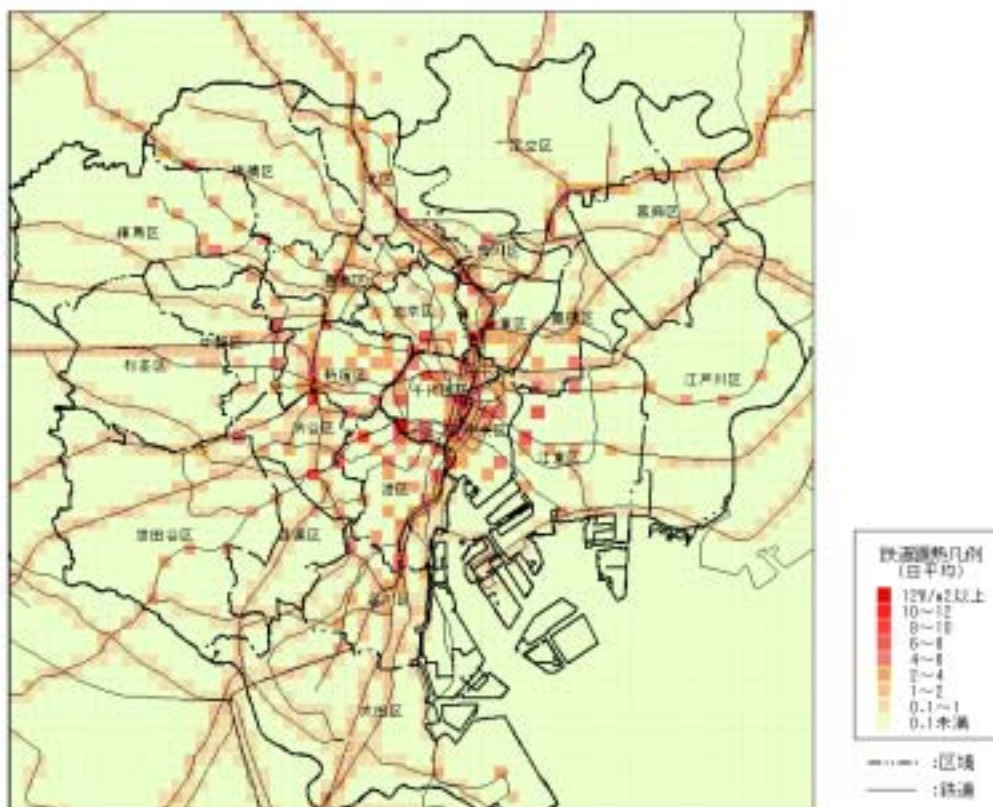


図 3 - 16 鉄道からの環境への排熱量(日平均:顕熱)分布

3.3 船舶からの排熱

船舶は航行時や停泊時のエンジンによるエネルギー消費が排熱に寄与すると考えた。本調査では東京港内の船舶で消費された燃料消費量から排熱量を計算した。

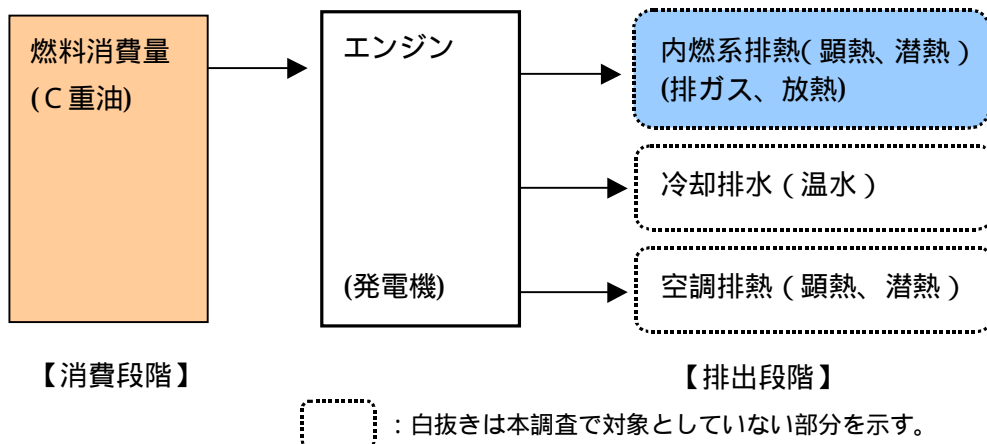
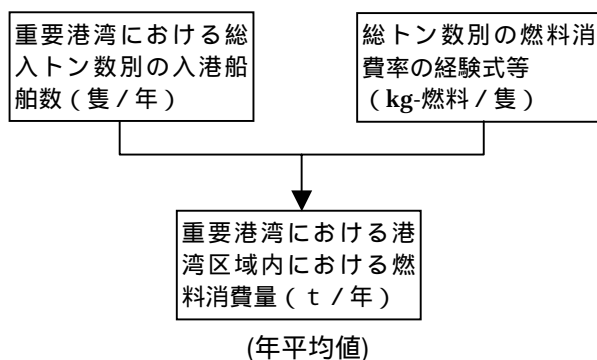


図3 - 17 船舶排熱の概要

3.3.1 消費段階における把握

東京港内で消費された燃料については、環境省で推計している化学物質排出量¹¹⁾の港湾別貨物船・旅客船等の燃料消費量 (kg/年) から東京港の値を用いた。推計方法の概要を図3 - 18 に示す。



出典) 地域別P R T R非点源排出量推計マニュアル(平成13年度排出量版)平成15年7月 環境省環境保健部環境安全課 より抜粋して作成。

図3 - 18 東京港における船舶の燃料消費量の推計フロー

本調査では船舶の消費燃料をC重油として消費エネルギー量を求めた。平成13年度の東京港における船舶の消費エネルギー量は、表3 - 20のように5.8TJ/dayと推計された。

表3 - 20 東京港における船舶の消費エネルギー量 (年平均値)

港湾		燃料消費量：C重油	発熱量	
種別	港湾名	kg/年	TJ/年	TJ/day
特定重要港湾	東京港	47,386,868	2,125	5.8

注) C重油の発熱量は9,962kcal/L(エネルギー経済統計要覧2004(財)省エネルギーセンター)とした。

11) 地域別P R T R非点源排出量推計マニュアル(平成13年度排出量版)(平成15年7月)

3.3.2 排出段階における把握

船舶における日射、空調の寄与は少ないと考え、消費エネルギーが排出段階の環境への排熱量に等しいと考えた。ディーゼルエンジンで消費されたエネルギーは、排ガス、冷却排水、発電機の3分野に分かれ環境に排出されるが、実態データがそろわなかったため、ここではすべて排ガスで排出されるとした。このため、上記で求めた消費エネルギー量に重油の高位/低位発熱量の差から顕熱量・潜熱量を計算した。

表3 - 21 東京湾における船舶からの環境への排熱量（年平均値）

港湾		発熱量：TJ/day	
種別	港湾名	顕熱	潜熱
特定重要港湾	東京港	5.2	0.6

3.4 航空機からの排熱

航空機も船舶と同様にエンジンの燃料消費が排熱につながると考えた。本調査では羽田空港で消費される燃料消費量から排熱量を計算した。

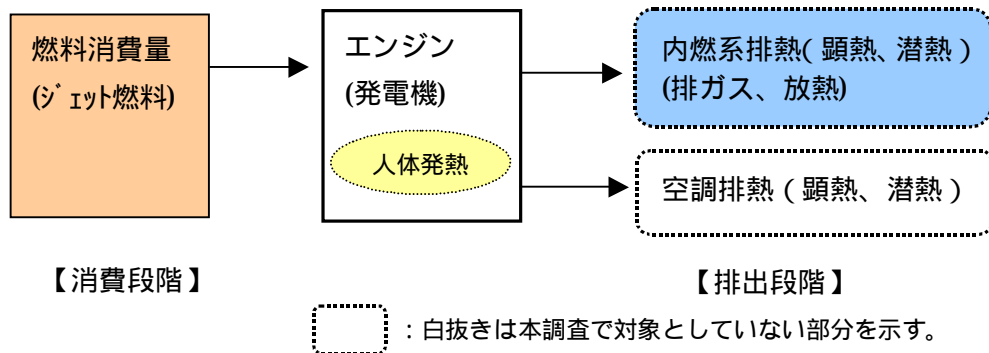
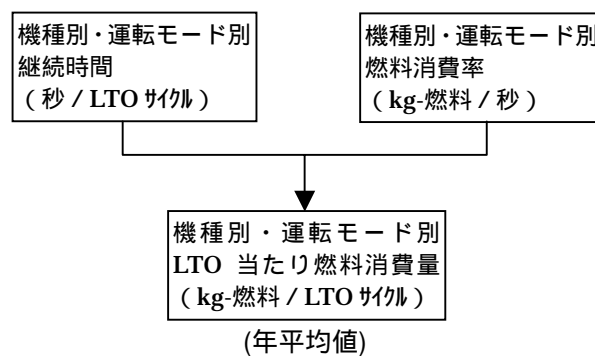


図3 - 19 航空機排熱の概要

3.4.1 消費段階における把握

都市キャノピー内における航空機の排熱として、地上滑走及び駐機中（アイドルモード）と離陸（テイクオフモード）時の燃料消費量を求めた。

羽田空港におけるアイドル、テイクオフ時に消費された燃料については、環境省で推計している化学物質排出量¹¹⁾から羽田空港の値を用いた。推計方法の概要を図3 - 20に示す。



LTOサイクルは、アプローチ、アイドル、テイクオフ、クライムの4つの運転モードで構成されている。

出典) 地域別P R T R非点源排出量推計マニュアル(平成13年度排出量版)平成15年7月 環境省環境保健部環境安全課 より抜粋して作成。

図3 - 20 羽田空港における航空機の燃料消費量の推計フロー

本調査では航空機の燃料をジェット燃料として消費エネルギー量を求めた。平成13年度の羽田空港における航空機のアイドル、テイクオフ時の消費エネルギーによる排熱量は、表3 - 17のように10.6TJ/dayと推計された。なお、着陸（アプローチ）、上昇（クライム）時に消費されるエネルギーは都市キャノピーよりも上空で排出される割合が大きいと考えここでは除外した。

表3 - 22 羽田空港における航空機の消費エネルギー量（年平均値）

空港	運転モード	燃料消費量： ジェット燃料	消費エネルギー量		熱量合計 TJ/day
		kg/年	TJ/年	TJ/day	
東京国際空港	アイドル	52,784,954	2,484	6.8	10.6
	テイクオフ	29,090,161	1,369	3.8	

注) ジェット燃料の発熱量は 8,767kcal/L(エネルギー経済統計要覧 2004 (財)省エネルギーセンター)とした。

【参考】アイドル、テイクオフモード以外の熱量

モード	消費エネルギー量(TJ/day)
アプローチ	6.0
クライム	4.0

3.4.2 排出段階における把握

航空機における日射、空調の寄与は少ないと考え、消費エネルギーが排出段階の環境への排熱量に等しいと考え、上記で求めた消費エネルギー量にジェット燃料の高位/低位発熱量の差から顕熱量・潜熱量を計算した。

表3 - 23 羽田空港における航空機の消費エネルギー量（年平均値）

運転モード	発熱量：TJ/day	
	顕熱	潜熱
アイドル	6.5	0.3
テイクオフ	3.6	0.2
合計	10.1	0.5