

# 都市インフラストラクチャー構築の 資源使用量と環境負荷

## Material Consumption and Carbon Dioxide Emission of Urban Infrastructures

キーワード：都市インフラストラクチャー、資源、素材、エネルギー、CO<sub>2</sub>排出

田頭直人 鈴木勉 内山洋司

### 1. はじめに

地球環境問題への関心の高まりから省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出削減の重要性が叫ばれている。一方、我々の生活を支える都市インフラストラクチャーの整備のために毎年膨大な資源が投入されており、これに伴うエネルギー消費や環境負荷も大きなものとなっている。そこで省資源・省エネルギーや環境調和をめざした都市づくりを実施するために、都市インフラの建設に投入される資源量やそれに伴うCO<sub>2</sub>排出量など、基本事項の把握が必要とされている。

言うまでもなく我々の生活は、大量の資源及びエネルギーを消費し、大量の廃棄物を生み出すことによって支えられている。我が国の物質収支を見ると（富永(1994)）、1991年度における資源投入量は約22.7億トンにも及び、その内約12.8億トン(56.4%)が建築物等のインフラや耐久消費財として国内に蓄積されている。

これまでの建設物の省エネルギー・CO<sub>2</sub>排出削減対策の研究は、主として運用段階が対象とされてきた。各種の都市インフラ建設に関する評価を行っているのは、斉藤(1996)など僅かであり、全体に関する正確な実体は捉えられていない。そこで本報告では、主な都市インフラのうち、電力供給設備、都市ガス供給設備、上水道設備、道路、建築物を対象に、関東地方（インフラ毎に若干対象地域は異なる）において消

費されている資源量を、積み上げ法によって試算する。積み上げ範囲は、データの制約もあって、省資源社会を議論する上で重要と思われる建設段階を考える。また、この結果を用いて都市インフラ種別の資源量・CO<sub>2</sub>排出量の比較を行い、省資源・環境負荷低減のためにとるべき重点的対策を明らかにする。

### 2. 都市インフラストラクチャーの資源使用量

#### 2.1 電力供給設備

電力供給設備に関しては、平成6年3月時点での東京電力供給地域内を対象に計量する（表1）。発電設備は、東京電力発電分に加えて、卸による他社・公営事業からの買電分も含めた。送電設備では、資源協会(1994)を参考に、起終点が発電所である線路及び輸送用であるとみなせる線路を電源線部分、それ以外の線路及び154kV未満の送電線をネットワーク部分とした。変電設備では、電源線部分の送電線に接続しているものを電源線部分としている。また、資源量算出に必要な原単位については、内山他(1991)、資源協会(1994)を参照した。

電力供給設備の総資源量は約7700万トンに及ぶ（図1）。設備別では発電設備の占める割合が約57%と最も大きい。これは水力・原子力発電に多量のコンクリートを使用している

表1 関東地方の電力供給設備の概要 (1994年)

設 備	項 目	設 備 量		人口千人当たり設備量
発電設備 水力(一般+揚水) 火力(汽力のみ) 石炭 石油+LNG 原子力	最大出力	9,683,940 kW		1,405 kW
	"	2,510,000 kW		
	"	30,656,400 kW		
	"	14,762,000 kW		
送電設備 送電線 送電線支持物 開閉所遮断器	回線延長 鉄塔基数 設置台数	電源線部分	ネットワーク部分	0.863 km 1.079 基 0.002 基
		5,458 km	29,944 km	
		7,979 基	36,256 基	
		67 基	25 基	
変電設備 変圧器 遮断器 調相器	バンク数	95バンク	3,794バンク	0.095バンク
	設置台数	462基	33,817基	0.836基
	容量	16,568 MVA	29,309 MVA	1.119 MVA
配電設備 配電本線 配電線(引込線) 配電線支持物 柱上変圧器	回線延長	941,259 km		22.955 km
	口数	22,008,822 口		537 口
	支持物基数	8,303,598 基		203 基
	基数	2,059,544 基		50.227 基
建 物 開閉所建物 変電所建物	箇所数	7箇所	6箇所	0.034 箇所
	"	21箇所	1,361箇所	

ためである。一方、送電設備 12%、変電設備 16%、配電設備 14%と発電以外は送・変・配電がそれぞれ同等のシェアを占める。素材別では鉄、コンクリート以外には、送電線がアルミニウム、配電線は銅の割合が大きい。

2.2 都市ガス供給設備

都市ガス供給設備では、資源協会(1994)を参考に、都市ガス T 社の資源量を算出した。設備は、1990 年度における製造設備として LNG 工場 2、供給設備として高圧・中圧・低圧導管、整圧器(高圧ガバナーステーション 35 基、中圧地区供給 4256 基)、ガスホルダー 85 万 m<sup>3</sup>

である。データは基本的に参考文献の数字を引用しているが、他のインフラと整合性を図るため、碎石の比重など多少の変更を加えている。

総資源量は約 8300 万トンであり、設備別では供給設備の導管部分、特に低圧導管の資源量が約 76%と圧倒的に多い。導管以外で多いのは製造設備であるが、それでも 2%弱にすぎない。素材では碎石が多く約 62%を占め、次がアスファルトコンクリート(アスコン)で約 34%である。これは低圧導管の内訳とほぼ同様であり、碎石が多いのは導管の基礎部分である。

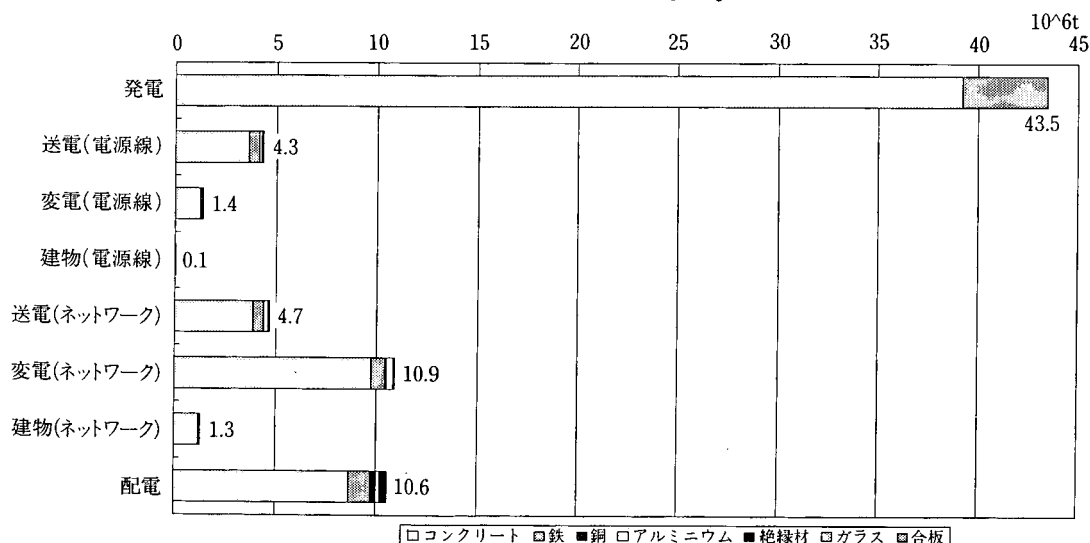
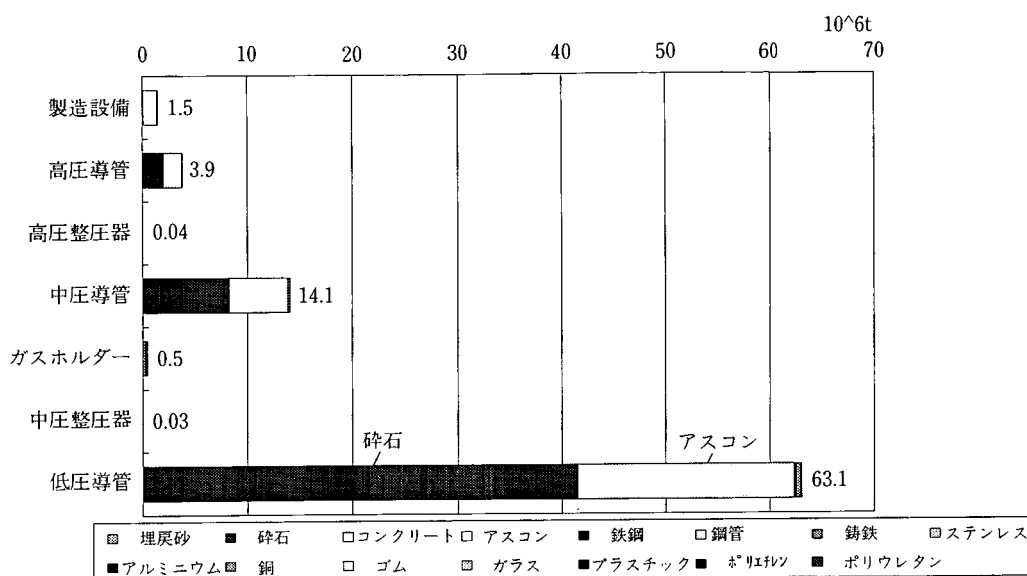


図1 発・送・変・配電別資源量



出典：資源協会(1994)をもとに作成

図2 都市ガス T 社の設備別資源量

### 2.3 上水道設備

上水道設備では、資源協会(1994)を参考に、資源量を算出した。この文献では、Y市のある上水道システムをモデルとしている。考慮した施設は、水源関係、導水、浄水、送水、配水施設であるが、送水、導水、配水部分については、管路部分の延長が地域によって異なると考え、関東地方一都七県（東京、埼玉、神奈川、千葉、茨城、群馬、栃木、山梨）の一人当たりの管路延長(厚生省(1995))を用いて補正を行い、一人当たりの資源量を算出した。

Y市のモデルでは、配水施設が最も多く約41%を占める。その素材はアスコンが約77%と最も多く、配管の鋳鉄約16%がそれに続く。実際の配管は鋼管も使用されているが、文献では

すべて鋳鉄と仮定されており、また砂利・砕石も省略されている。一方、管路部分に長さ補正を行うと、一人当たりの総資源量は約1.9トンであり、施設別の比率では、配水、送水、導水の比率がかなり高まる。特に、配水施設が全体約55%を占めるようになった。その次が水源施設で約19%、浄水約16%である。

### 2.4 道路

道路では、まず道路工事の積算資料（道路工事積算研究会(1993)、標準歩掛(建設物価調査会積算委員会(1994))をもとに、道路の基本構造を形成する路盤工、舗装工、路肩工、歩道工、防護工、緑地帯工、排水工の資源量を求めた。次にこれらのデータをもとに、関東地方一都七県における道路の資源量を、道路種類別（高速自

表2 Y市のモデル上水道システム及び関東地方における管路延長及び一人当たり延長

管種別	Y市モデル (km)	Y市モデル一人当たり (m)	関東地方 (km)	関東地方一人当たり (m)
導水管	32	0.038	2,524	0.067
送水管	7	0.008	2,677	0.071
配水管	1,236	1.474	122,213	3.236
合計	1,275	1.520	127,414	3.374

出典：資源協会 (1994)をもとに作成、関東地方のデータは厚生省(1995)をもとに作成

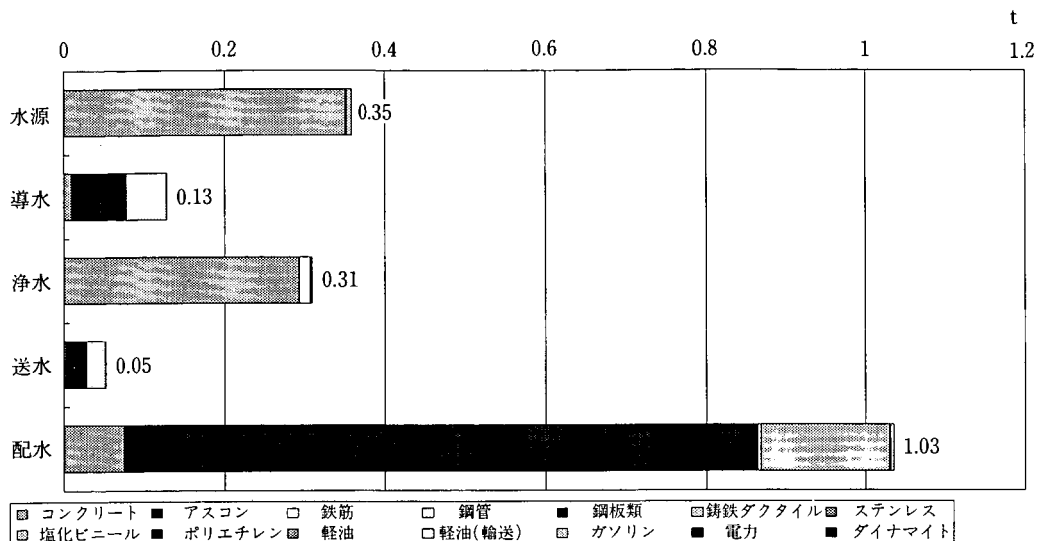


図3 上水道システムの設備別一人当たり資源量

動車国道、一般国道（指定区間）、一般国道（指定区間外）、主要地方道、一般都道府県道、市町村道）に算出した。

関東地方における道路状況(建設省(1994))を見ると（表3）、実延長では市町村道路が圧倒的に長く、また車道部の総面積も最も大きい。

表3 関東地方における道路延長

	実延長 (km)	歩延長 (km)	車道 (km <sup>2</sup> )	舗装種別 (km)				一人当たり実延長 (m)
				コンクリート	アスファルト	簡易	未舗装	
高速道路	881	0	14	17	804	0	0	0.02
国道(指定)	2,166	1,669	22	146	2,021	0	0	0.05
国道(指定外)	4,218	2,377	31	87	3,846	230	55	0.11
主要地方道	7,453	3,757	54	90	5,771	1,212	110	0.19
一般都県道	10,694	3,584	67	185	6,916	3,042	551	0.27
市町村道	225,907	14,483	733	8,447	30,940	110,125	76,396	5.70
合計	251,319	25,870	920	9,031	50,298	114,608	77,112	6.35

出典：建設省(1994)より作成

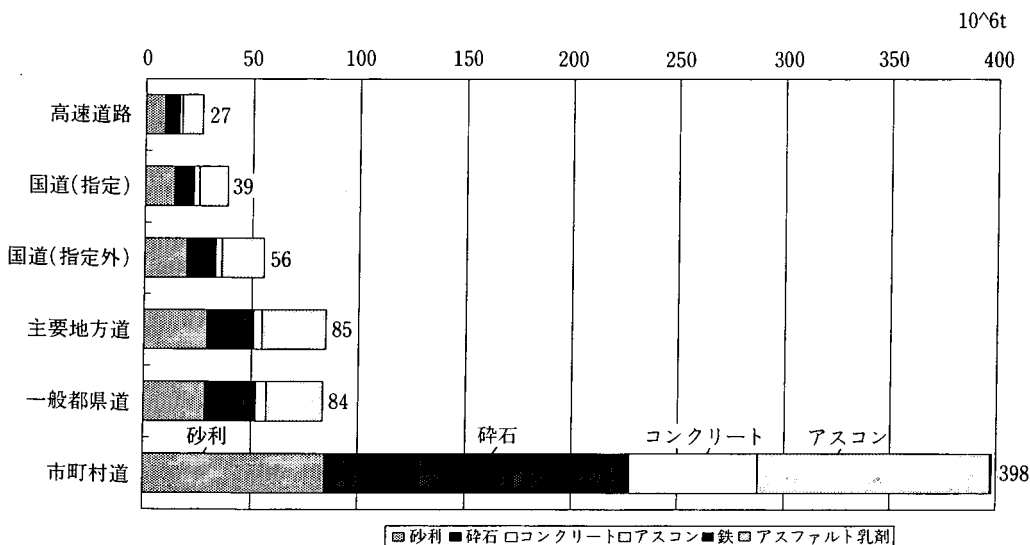


図4 関東地方の道路種別資源量

また、舗装種別では、高規格道路ではアスファルト舗装の比率が最も高いが、市町村道路では簡易舗装が最も長い。

算出における詳細な仮定は紙面の都合上省略するが、例えば舗装工では表3から舗装種別面積を算出し、道路種別に算定している。関東地方の建築物の総資源量は約6億8800万トンである。工事別では路盤部分が最も多く全体の約55%を占め、内訳は砂利と砕石である。次に舗装部で約30%、排水工約10%である。他の工事はこれらに比較して小さく、とくに防護工、緑地工は小さい。道路種別で見ると(図4)、市町村道路が約58%を占め圧倒的に多い。市町村道路は幅員も狭く、歩道も少ないが、距離が長いために全体で見るとかなり大きい。

### 2.5 建築物

建築物では、関東地方一都七県を対象とし、建築物床面積ストックについては独自に推計した。使用したデータは、建築統計年報の1946～1994年の住宅着工統計及び建築物着工統計である。また、老朽化による除却や罹災によって滅失となる床面積は、滅失スケジュールを信頼性理論に基づく故障密度確率関数に従うものと仮定した。

関東地方の建築物床面積は約16億m<sup>2</sup>と推計された(表4)。この内、戸建住宅が最も大きく、共同住宅を併せた住宅系は約62%に上る。構造別では木造が全体の34%を占め、次にS造28%、RC造24%、SRC造14%と続く。

推計された建築物床面積を基に、建築躯体建

表4 関東地方の建築物の用途・構造別ストック推計(1994年)

	木造	SRC造	RC造	S造	CB造	その他	計	比率%
戸建・長屋建住宅	479,368	2,720	21,787	101,223	525	383	606,007	37.87
共同住宅	40,450	87,653	178,478	72,066	540	165	379,350	23.71
事務所	3,308	51,404	28,339	47,113	255	227	130,646	8.16
店舗	2,899	12,591	12,943	26,489	38	89	55,048	3.44
工場及び作業場	1,306	6,814	15,041	91,583	201	225	115,171	7.20
倉庫	2,473	4,519	8,719	46,875	485	234	63,306	3.96
学校の校舎	485	10,665	52,364	9,515	179	151	73,359	4.58
病院・診療所	286	5,094	9,677	2,268	25	22	17,371	1.09
その他	7,929	38,537	57,026	54,755	1,185	594	160,028	10.00
計	538,505	219,998	384,373	451,886	3,433	2,091	1,600,286	100.00
比率%	33.65	13.75	24.02	28.24	0.21	0.13	100.00	

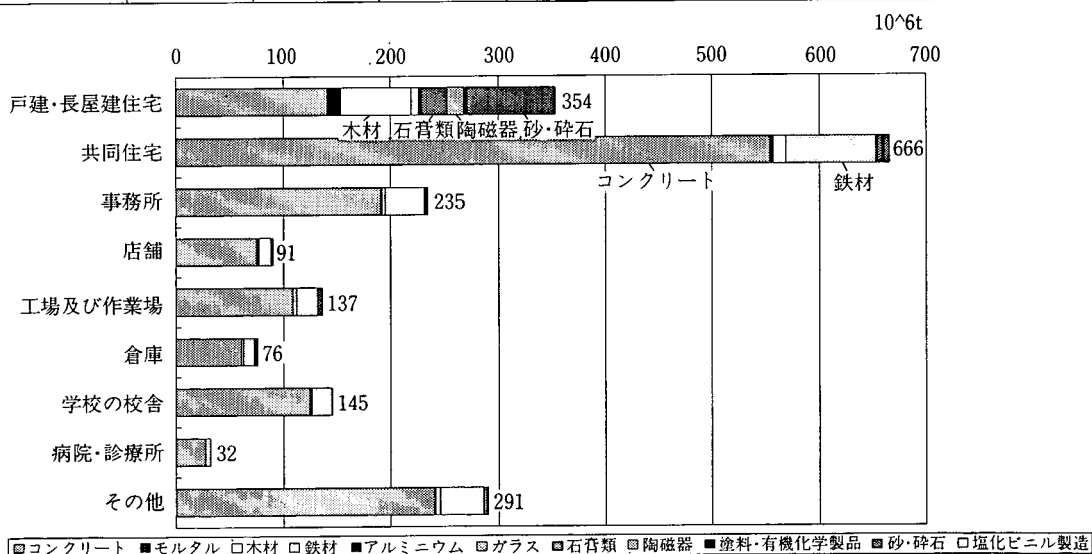


図5 建築物の用途別資源量

設に要する資源量を算定した結果を用途別（図5）に示す。建築資材の原単位は、斉藤(1996)等に倣い、科学技術庁(1979)、資源協会(1994)及び建設工業経営研究会(1994)による。建築物に要する総資源量は20億トン強となり、この内、軽量の本造が大部分を占める戸建住宅は約17%へとシェアを減らし、逆にコンクリート系の多い共同住宅は約33%と最も大きなシェアを占める。同様に軽量のS造の比率の大きい工場、倉庫のシェアは減少し、コンクリート系の割合が高い用途のシェアが増加している。

### 3. 都市インフラストラクチャー種別の資源使用量、CO<sub>2</sub>排出量による比較

ここでそれぞれのインフラ量を一人当たりで換算し、人口一人を維持するためにどのインフラがどの程度の資源量を必要とするかを把握し、省資源・環境負荷低減のポイントを考察する。もっとも、電力、上水道、道路、建築物は、ほぼ都市圏全体に存在するインフラであるが、都市ガスについては都市圏全体に存在するわけではなく、直接比較することはできない。従って都市ガスについては、正確に言えば人口一人を維持するためのインフラ量ではない。

#### 3.1 素材、設備（用途・種類）別の比較

各インフラの一人当たり資源量を見ると（図6）、建築物が圧倒的に多く約51トンにもなっている。都市において人口一人を維持するための建築物にかかる資源量は、他のインフラとは比較にならないほど大きいことを意味している。素材別ではコンクリートが約76%と圧倒的に多く、次が鉄の約11%である。

建築物以外のインフラで最も多いのは、道路で約17トンである。前述したとおり上水道には砂利・砕石が入っていないが、ここでは一人当たり約1.9トンで、アスコンが最も多い。電力設備は重量約1.9トンとなり、コンクリート

表5 各資源のCO<sub>2</sub>排出原単位

資源	単位	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-C/#)	備考
砂利	kg	0.001661	連関表の砂利・採石
砕石	kg	0.001401	
コンクリート	kg	0.03136	連関表の生コン
アスコン	kg	0.009831	連関表の舗装材料
鉄鋼	kg	0.3613	連関表の熱間圧延鋼材
鋼管	kg	0.3712	
鋳鉄管	kg	0.4325	
ステンレス	kg	0.8115	
アルミニウム	kg	1.434	
銅	kg	0.6500	
ゴム	kg	1.096	
ガラス	kg	0.2774	
プラスチック	kg	0.5325	
塩化ビニール	kg	0.4067	
ポリエチレン	kg	0.5125	
ポリウレタン	kg	0.5125	ポリエチレンの値を使用
木材	kg	0.08484	製材と合板の中間値
塗料	kg	0.5189	
絶縁材	kg	0.4067	塩化ビニールの値を使用
ダイナマイト	kg	0.5333	連関表の火薬類

が圧倒的に多く約89%を占める。

次に各インフラについてCO<sub>2</sub>排出量の設備（用途・種類）別の比率を算出したものを図7に示す。CO<sub>2</sub>排出量を求める際に用いた原単位は、本藤他(1996)において産業連関表を用いて求められた素材生産額百万円当たりのCO<sub>2</sub>排出量に価格を乗じて求めたものである。（表5）

総排出量では、建築物が最も多く約3,664 kg-Cである。素材別の図は省略するが、鉄によるCO<sub>2</sub>排出量が最も多い。他のインフラ別では、砂利・砕石等のCO<sub>2</sub>排出原単位の小さい素材の多い道路は相対的に小さくなって約135kg-Cであり、鉄の使用量の多い上水道が約137kg-Cで2番目となっている。また電力設備も鉄、アルミニウムなどの金属及びコンクリートの使用量が多いため、道路より多く約153kg-Cとなっている。

各インフラにおいて設備別にCO<sub>2</sub>排出量を見ると、都市ガス、上水道、道路では共通の特徴がある。都市ガス、上水道では、前述したとおりネットワーク部分のCO<sub>2</sub>排出量が多い。特に末端の低圧配管、あるいは配管施設の占める比

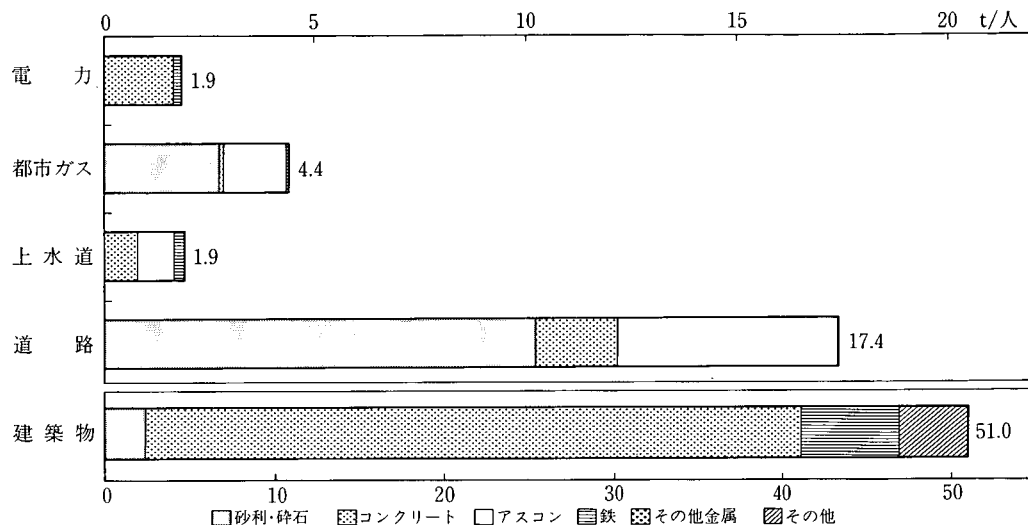


図6 都市インフラストラクチャーの一人当たり資源量

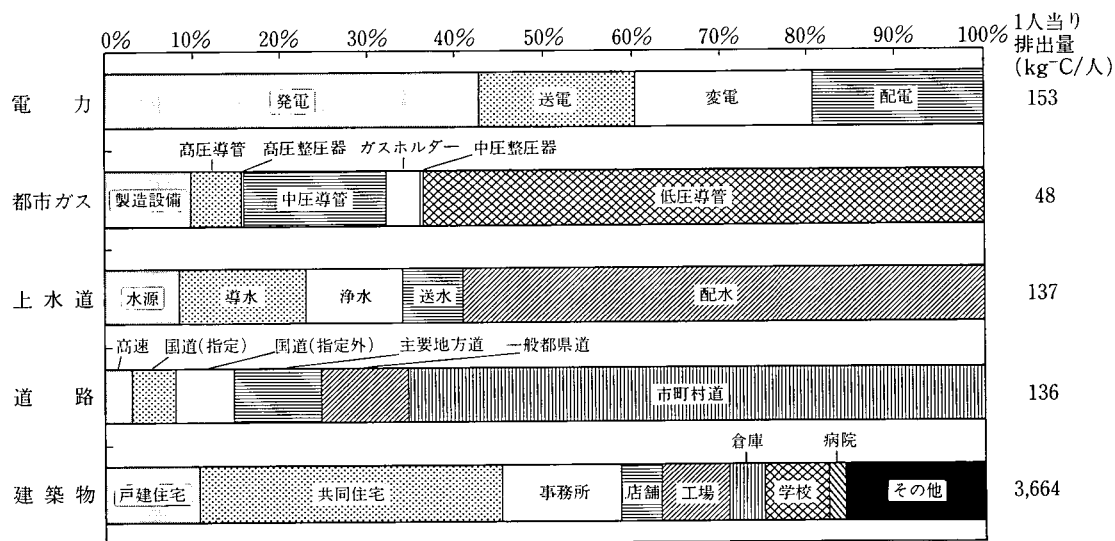


図7 都市インフラストラクチャーのCO<sub>2</sub>排出量の設備別比率

率が高い。一方、道路はそれ自体がネットワークであるが、道路種別を見ると市町村道路の占める割合が60%近くを占める。道路の段階構成、また、自動車の流れを考えると、やはり市町村道路も末端の道路であり、都市ガス、上水道と同様の特徴を持つことがわかる。一方、電力設備は他のインフラとは異なり、発電設備の占める割合が大きく、CO<sub>2</sub>排出量では40%以上を占める。

### 3.2 省資源・環境負荷低減方策

#### (1) 建築物の対策

これまで見てきたように建築物による資源量は非常に多い。特に建築物では、鉄、コンクリートの資源量、CO<sub>2</sub>排出量が非常に多く、設備の入れ替えが可能ないように設計することはもちろんであるが、鉄、コンクリートの消費量の多い躯体においては長寿命化を図るべきである。また、従来から居住環境の向上、防災面

の改善等の面から都市における建築物の共同化が課題となっているが、これを推進することにより建物を個別に建設するよりも床面積あたりの資源量が削減され、省資源・環境負荷低減の観点からも大きな効果が期待できる。

#### (2) 他の都市インフラストラクチャーの対策

他の各インフラ、特に上水道、都市ガス、道路では、ネットワーク部分、特に末端のネットワークにおける資源量が大きい。また電力についてはネットワーク部分の影響はそれほど大きくはないものの、一人当たりのネットワーク延長はここに挙げたインフラの中で最も長い。よってこれらの省資源・環境負荷低減を図るためにはネットワークの延長削減を行うことが重要である。これまでも郊外の低密なスプロール開発を抑制するために、市街化調整区域の設定など都市計画制度からの対応がなされてきたが、様々な問題から十分に機能しているとは言えない。現在、区域設定の見直しが各地で進んでおり、より適切な区域設定が望まれる。また、都市ガス、上水道のネットワーク部分の資材量の削減として、需要の変化がない末端の配管等では、なるべく長寿命化を図り、道路の掘削等を減らすべきである。特に鑄鉄管を用いる場合は、鑄鉄はリサイクルの可能性も小さく（現在2%）、長寿命化が重要となる。

#### 4. おわりに

各都市インフラに関する建設時の資源量を把握した結果、鉄・コンクリートの消費量の多い躯体の長寿命化など建築物における対策が最も重要であり、また、都市ガス・上水道・道路・電力については末端側のネットワークの延長を削減すべく、スプロール化による都市の拡大を抑制する都市計画的な対応を図ることが必要であることが明らかとなった。

都市インフラのストックの膨大さは、同時に

都市インフラストラクチャー構築の資源使用量と環境負荷維持・管理・修繕・更新に要する資材や環境負荷の膨大さをも意味している。ところが、インフラ種別のこれらに関しては、建設の場合のような信頼できるデータはまだ詳細な調査は行われていない。したがって今後、維持・管理・修繕・更新に必要とされる資源・エネルギー等の調査が望まれる。

#### 【参考文献】

- [1] 道路工事積算研究会 (1993), 道路工事の積算, (財) 経済調査会.
- [2] 本藤祐樹・西村一彦・内山洋司 (1996), 「産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量—産業連関表の L C A への適応について—」, 電力中央研究所報告, Y95013.
- [3] 科学技術庁 (1979), 衣・食・住のライフサイクルエネルギー,, 大蔵省印刷局.
- [4] 建設物価調査会積算委員会 (1994), 建設工事標準歩掛, (財) 建設物価調査会.
- [5] 建設工業経営研究会 (1994), 建築工事原価分析情報,, 大成出版社.
- [6] 建設省道路局企画課 (1994), 道路統計年報 — 1994 年版一, 全国道路利用者会議.
- [7] 建設省建設経済局, 建築統計年報 (各年版) .
- [8] 厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課 (1995), 平成 5 年度水道統計—施設・業務編一.
- [9] 斉藤雄志 (1996), 「都市設備ストックの資源必要量」, 第 12 回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集,, 123-128.
- [10] (社) 資源協会 (1994), 家庭生活のライフサイクルエネルギー, あんほるめ.
- [11] 富永潤一 (1994), 「日本のマテリアルバランス (1991 年度) <資源とリサイクル>」, クリーンジャパン, 109, 26-28.
- [12] 内山洋司・山本博巳 (1991), 「発電プラントのエネルギー収支分析」, 電力中央研究所報告, Y90015.

たがしら なおと  
 技術評価グループ  
 すずき つとむ  
 筑波大学社会工学系  
 うちやま ようじ  
 技術評価グループ