

環境共生・省エネ都市の研究

A STUDY OF A MODEL CITY ADAPTING SYMBIOSIS AND ENERGY SAVING SYSTEMS

山本公夫* ・ 斎川路之** ・ 谷口孚幸*** ・ 伊藤武美*** ・ 笠原 勲**** ・ 疋田昌之****
Kimio YAMAMOTO, Michiyuki SAIKAWA, Takayuki TANIGUCHI, Takemi ITO, Isao KASAHARA, Masayuki HIKIDA

ABSTRACT ; In the wake of today's mass urbanization, environmental issues have become a major global concern. The urban use of energy and resources has overloaded the environmental capacity of our city. The energy and resources metabolism of a city should be structured by using untapped energy and other methods so as to minimize it's self-imposed environmental burden. In this report, we define a model city adapting symbiosis and energy saving systems, and try to make rough estimate of the environmental improvement effects in the entire city.

KEYWORDS ; symbiosis, energy saving, untapped energy, model city

1. はじめに

近年、地球環境問題が重視されてきており、その主要原因の一つとして「都市化」のもたらす影響があげられる。すなわち、都市活動というエネルギー・資源の代謝機能が都市の立地する自然に対して過大な負荷を与え、その影響が地球規模に及び地球温暖化や砂漠化、酸性雨、海洋汚染等をもたらしているととらえられる。

また、大都市圏への一極集中は様々な都市問題を引き起こし、国際化や情報化、高齢化等といった社会の潮流に対しても現状での都市では対応できない状況にある。こうした状況のもとで、21世紀社会に持続的成長が可能な新たな都市の理想像の確立が期待されている。

そこでは、生活水準を維持しつつ、新たなアメニティの創造を図ることを前提にして、都市部におけるエネルギー・物質循環構造のあり方に焦点を当て、エネルギー・資源および未利用エネルギーをこれまで以上に効率よく多様に活用し、新しい都市環境・社会システムを構築することは極めて重要であると考えられる。

以上から、本研究ではある程度の規模（都市ユニット）の新都市開発を想定し、21世紀初頭に実現可能な環境共生技術と省エネルギー・省資源技術を効果的に適用した都市環境システムを提案し、在来技術により構築された都市と比較して、環境改善効果を都市スケールで検討することを目的とした。

* ; 財電力中央研究所 経済研究所 Economic Research Center, Central Reserch Institute of
Electric Power Industry

** ; 財電力中央研究所 横須賀研究所 Yokosuka Research Laboratory, Central Reserch Institute of
Electric Power Industry

*** ; 大成建設株式会社 開発本部 Urban and Regional Development Div, TAISEI CORPORATION

**** ; 大成建設株式会社 設計本部 Design Division, TAISEI CORPORATION

2. 環境共生・省エネ都市のコンセプト

2.1 環境と共生する都市の生活イメージ

これまでの都市においては、生産システムの巨大化に対応した生活様式を志向してきた。そこでは、機能の純化、合理化、選別化が行われ、本来一体性を持つべき生活システムである個人、家族、地域社会等がそれぞれ分離され、エネルギー・物質が大量に消費されていた。

今後の都市づくりで、めざすべき生活様式とは、個人・家族・地域社会が本来持っている個性ある「全体性」の回復であり、多様な個体が共存して生きている社会である。これらは「市民生活の豊かさ」の向上とも表現でき、例えば、全ての人々が一生働く機会をもてるような職住近接型のまちづくりであり、自然に包まれた環境の中で心身の健康をとり戻すことである。省エネルギー・省資源についても「がまんの省エネ」を要求することなく、一定の水準を維持した生活・行動の中で結果として省エネルギー・省資源につながる生活である。

2.2 エネルギー・物質循環と導入技術の考え方

エネルギーや水等の資源を浪費する都市の拡大により、都市を支えるエネルギー・物質循環システムも巨大化・国際化してしまった。エネルギーについては、石油、天然ガス等の資源を輸入し、発電し、あるいは直接的に都市で消費し、大気汚染物質や排熱を都市外へ排出してきた。また、水については、従来、河川の上流部で取水し、都市で消費することにより河川水量の減少を招いたが、都市の巨大化により、下流部で水質劣化した水道原水を求める事態におちいつている。さらに、原材料についても都市で消費した後、廃棄物として都市外に搬出・処理・処分され、近年ではその用地確保にも困難を生じている。これらは全て、一過性の消費形態によるためであった。

今後の都市では、廃棄物焼却排熱や都市下水・河川水・海水等の未利用エネルギーを利用することや太陽光発電・省エネ建物等を導入することによりエネルギー消費量を減少させ、また、節水機器や再生水利用、雨水利用により上水消費量を減少させるエネルギー・物質循環型の都市構造が強く求められる。

これは、エネルギーや水等の資源を都市内で完全に自給自足することは難しいが、リサイクルシステム等の拡大により外部への依存と自己の排出負荷を可能な限り下げることができ、という意味で、「都市の自立性」の向上と表現できる。¹⁾ (図-1 参照)

これからののぞましい生活様式を実現し、都市のエネルギー・物質循環構造を再構築するために環境共生技術と省エネルギー・省資源技術を導入する都市を、ここでは「環境共生・省エネ都市」と定義し、研究の対象とする。

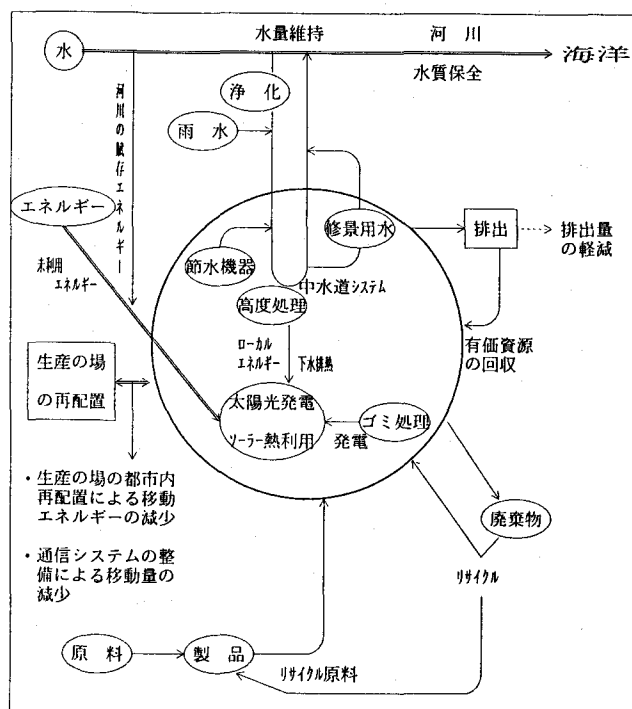


図-1 環境共生・省エネ都市のエネルギー・物質循環構造

3. 計画フレームの設定

3.1 都市フレーム

都市フレームについては、新しい都市開発の都市モデルとして、実際への適用可能性を考慮して、次のよ

うに設定した。

- ・計画面積は 500ha程度とし、事務所、商業等の業務系機能と多様な居住系機能及び公共施設が、ある程度独立して成立可能な都市規模とする。（表－1 参照）
- ・計画居住人口を 5 万人（人口密度100人／ha）、計画従業員人口を 6 万人と設定した。
- ・位置は、大都市から離れているが首都機能の一部移転（展都）をふまえ、大都市との交通アクセス（鉄道、高速道路）は良好で通勤も可能とする。
- ・地形は、大規模造成を必要としない比較的小さな起伏のある林地とし、周辺に利用可能な中規模河川が流れていることを想定する。
- ・周辺は農地、雑木林、既存集落が主体であるが、将来的には、モデル都市と同様な都市に再編成されていくことを想定する。
- ・気候は、冬季の積雪や寒冷は厳しくないが、夏季は蒸し暑いことを想定する。例えば、関東地方の内陸部を想定し、冬季の北西季節風等の地域特性を考慮する。
（年平均気温15℃、降水量1,400mm／年）

表－1 土地利用計画フレーム

区 分	敷地面積 (ha)	割合 (%)	備 考
業 務 系			
オフィス	45	9.0	延床1,800,000㎡
商業施設 (SC、近隣)	3	0.6	延床35,000㎡
会議場、多目的ホール	3	0.6	延床30,000㎡
文化施設	2	0.4	延床10,000㎡
ホテル	3	0.6	600室 延床60,000㎡
市庁舎	1	0.2	延床10,000㎡
病院	3	0.6	300床、延床30,000㎡
小 計	60	12.0	
居 住 系			
戸建住宅	110	22.0	5,000区画、延床550,000㎡
低層集合住宅	35	7.0	5,000戸、延床350,000㎡
中高層集合住宅	40	8.0	10,000戸、延床1,000,000㎡
小 計	185	37.0	
公 共 施 設 系			
道路、鉄道	100	20.0	
小学校・中学校	13	2.6	小学校×6、中学校×2、延床2ha
高校	5	1.0	延床4,000㎡
宗教施設	2	0.4	
公園	30	6.0	地区公園×2、近隣公園×4 児童公園×20、中央公園
緑地	97	19.4	緑道を含む
供給処理施設	8	1.6	清掃工場、下水処理場、変電所等
小 計	263	52.6	
合 計	500	100.0	

3.2 土地利用の考え方（図－2 参照）

- ・オフィス、商業、文化施設、鉄道駅等からなるタウンセンターを充実し、魅力とにぎわいのあるモデル都市の核をつくる。
- ・タウンセンターを川岸に配置し、近接させて供給処理施設を配置する。
- ・モデル都市全体の良好な環境を演出するため、幅50～100mの外周緑地を配置する。
- ・都市の主要な歩行者動線にせせらぎと緑地からなる緑道を配置する。この緑道沿いに、公園や学校等を配置し、環境軸・生活軸として機能させる。
- ・古くから地域に祀られて来た祠、鎮守の森等を保全した土地利用とする。
- ・川面からの涼しい風を夏季に都市内に呼びこむ「風の道」を緑道等により確保する。
- ・東西方向の幹線道路は地下化し、その他の道路の線形はゆるやかな曲線とし、街並みにリズムミカルな変化と豊かさを加える。



図－2 土地利用モデル図

3.3 環境共生・省エネ都市への導入技術の検討

環境共生・省エネ技術としては、多様なものがあるが²⁾、本研究では、モデル都市の都市規模、負荷密度、自然条件等から、導入する環境共生・省エネ技術を選定した。(図-3 参照)

(1)電力・熱関連システム

電気はエクセルギー的に質の高いエネルギーであるため、冷暖房給湯用熱源に高効率なスーパーヒートポンプ(SHP)を用いることにより、電力の有効利用を図り、電力消費量を削減すると共に、ごみ焼却排熱や太陽電池による発電システムを導入する。

熱については、パッシブ手法等の省エネルギー建築技術により、冬は熱を逃がさず夏は夜間通風で躯体蓄冷し、冷暖房負荷を減少させる。その上で未利用エネルギーであるごみ焼却排熱、都市下水・河川水からの温度差を有効に利用するため、地域冷暖房システム(DHC)を導入する。業務系ゾーンでは冷暖房給湯用熱エネルギーを全てDHCより供給する。住宅系ゾーンでは、パッシブ手法により夏期の冷房が不要になるなど冷暖房用熱エネルギー消費量が減少することが推察できるため、DHCからの供給は集合住宅の給湯だけとする。その他の熱エネルギーについても都市内での大気汚染負荷の小さい電気エネルギーにより供給する。

(2)水関連システム

上水消費量を抑えるため、節水効果の大きな業務系ゾーンに下水の高度処理水による中水道システムを導入する。

雨水については、透水性舗装部分からは地下に浸透させ、時間をかけて河川へしみ出させる。あるいは地下の雨水貯留槽に貯留し、後日、樹木への散水等に利用する。

この都市の水は、せせらぎにより人々の目に安らぎを与え、樹木に潤いを与え、また夏の暑い日には水面からの蒸発散効果により都市に涼しさを与える。

(3)ごみ関連システム

モデル都市から発生するごみは分別収集し、再利用可能な紙やアルミ等はリサイクル(資源回収)する。残分のごみを焼却する際の排熱を利用したコ・ジェネレーションシステム(CG)により、電気エネルギーと地域冷暖房用熱エネルギーを回収する。この際、周辺都市からのごみも受け入れることで、周辺都市に貢献するとともにモデル都市のエネルギー自立性を向上させる。

(4)低公害自動車

大気汚染負荷の大きなディーゼルエンジン車をなくすと共に、全自動車の20%程度を電気自動車に代替する。

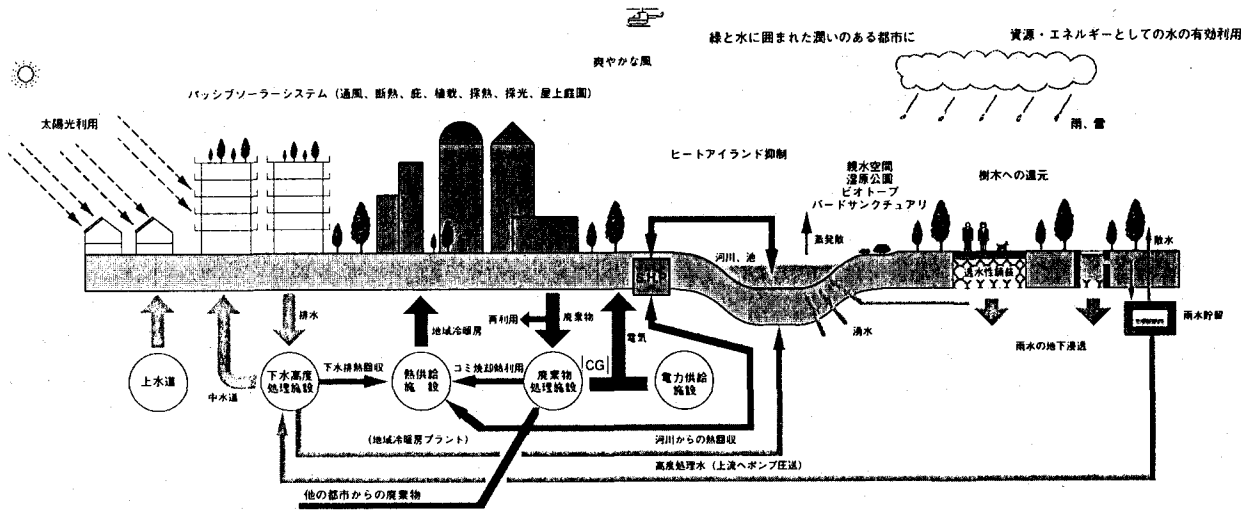


図-3 モデル都市における環境共生・省エネ技術

4. モデル都市におけるエネルギー等消費量の算定

4.1 電力・熱

モデル都市における電力および熱負荷量を建物用途別原単位²⁾により算定し、在来型DHCシステムを適用した場合と環境共生・省エネシステムを適用した場合との比較を行った。

太陽電池については、集合住宅および戸建住宅の建築面積の50%(227,500㎡)に受光パネルを日本の平均的な切妻屋根の傾斜角度である15°とし、南面に設置するものとして算定した。

ごみ焼却熱については、焼却量を周辺2都市からのごみと合わせて300ton/日、単位発熱量を2,500Kcal/kgとして算定した。

都市下水については、発生下水水量56,763㎡/日、利用温度差を暖房時10℃、冷房時5℃とした。

河川水については、暖房時取水量0.4㎡/sec、温度差3℃、冷房時取水量0.5㎡/sec、温度差5℃とした。

未利用エネルギーをより効率よく活用するためCOP6~8のスーパーヒートポンプの導入を想定した。

なお、在来型DHCシステムの熱源は電力を30%、都市ガスを70%とした。

この計算の結果、夏期は環境共生・省エネシステムの適用により、投入電気エネルギーは、1,368Mwh/日から1,117Mwh/日に減少し、また、投入熱エネルギーは1,280Gcal/日から79Gcal/日に減少する。これらの結果、都市排熱量は、3,530Gcal/日から、1,966Gcal/日に減少する。(図-4、5参照) また、年間では、一次エネルギー換算で27%の省エネルギーが可能となる。(表-2参照)

表-2 電力・熱エネルギー消費量の比較(年間)

項 目		(a)環境共生・省エネシステム	(b)在来型DHCシステム
業 務 系	照明・動力	221,000Mwh	221,000Mwh
	冷房	16,000Mwh	9,000Mwh #s 7,162,000㎡
	暖房	15,000Mwh	5,000Mwh #s 3,900,000㎡
	給湯	2,000Mwh	#s 3,369,000㎡
	搬送動力	5,000Mwh	3,000Mwh
	照明・動力	91,000Mwh	91,000Mwh
	冷房	0Mwh	15,000Mwh
	暖房	22,000Mwh	#s 3,455,000㎡
	給湯	集合 10,000Mwh 戸建 14,000Mwh	#s 7,772,000㎡
	厨房	13,000Mwh	#s 1,624,000㎡
合 計	電力	410,000Mwh	344,000Mwh
	熱	0㎡	27,282,000㎡
発 電	ごみ発電	47,000Mwh	0Mwh
	太陽電池	24,000Mwh	0Mwh
最 小	合 計	71,000Mwh	0Mwh
投入エネルギー		339,000Mwh (291,540Gcal) 0㎡ (0Gcal)	344,000Mwh (337,000Gcal) 27,282,000㎡ (300,000Gcal)
一次エネルギー換算		831,000Gcal (73%)	1,143,000Gcal (100%)

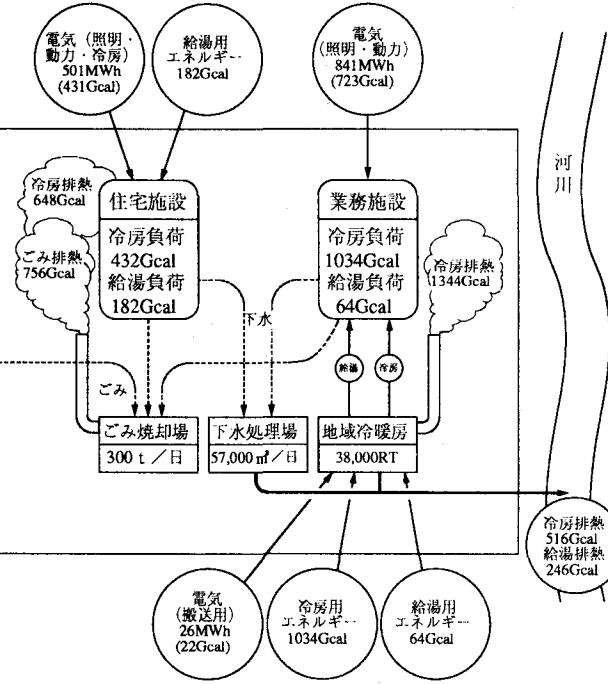


図-4 在来型DHCシステムを適用した場合の1日当りエネルギー収支(夏)

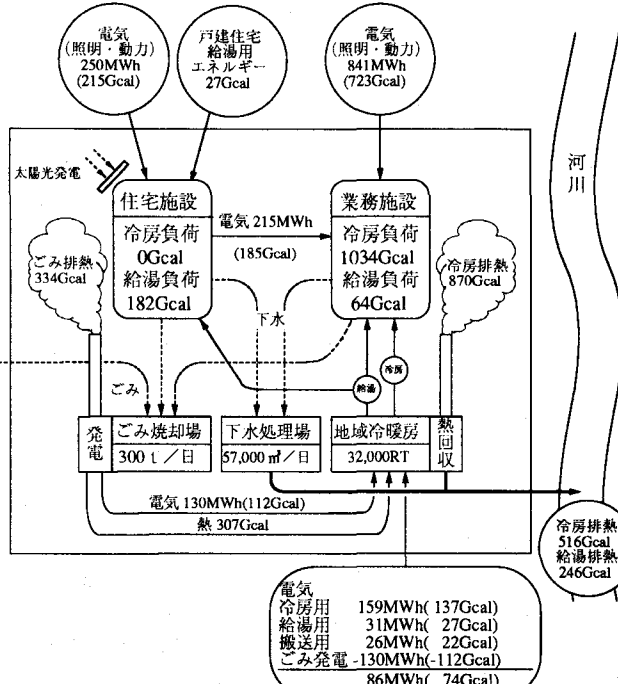


図-5 環境共生・省エネシステムを適用した場合の1日当りエネルギー収支(夏)

4.2 水

中水道システムによる再生水量は、建物用途別給水負荷原単位⁴⁾から求めた給水量のうちトイレなど再生利用可能な割合（再生水代用可能率）⁵⁾ および、中水道システムの導入割合から算定した（表－3 参照）。

中水道システムを導入することにより、再生水量として約18,000㎥/日を供給することになり、上水消費量が約38,000㎥/日に減少し、約33%の節水となる。

その他、下水の高度処理水はせせらぎ等の修景用水としての活用が可能である。

4.3 自動車

モデル都市内の発生集中自動車交通量は、自動車の発生集中交通量原単位⁶⁾と、建物用途別延床面積から、平日約134,000台/日、休日約76,000台/日と算定した。（表－4 参照）

平均走行距離を0.8kmとすると、年間走行距離は約3,340万台km/年となる。自動車交通量のうち、大型車の割合を、一般的な断面交通量調査結果から10%とし、これらの大型車は全てディーゼルエンジン車、残りの中小型車はガソリンエンジン車と仮定した。

電気自動車を20%導入した場合の電力消費量は、実走行テスト結果0.556kwh/台km⁷⁾と走行距離から算定した。年間の電気自動車の電力消費量は、4,632Mwh/年となり、照明・動力等の電力消費量314,000Mwh/年と比べて約1.5%と少ない。

（平日） 14,895kwh/日
（休日） 8,460kwh/日
（年間） 4,632Mwh/年

表－3 モデル都市における再生水量

建物用途	給水量 (㎥/日)	再生水 代替可能率 (%) ⁵⁾	再生水量 (㎥/日)
オフィス等	31,110	50	15,555
商業施設	1,120	38	362
文化施設	240	50	120
ホテル	10,500	22	2,310
市庁舎	160	50	80
病院	675	32	216
住宅等	12,958	—	0
合計	56,763	平均 33	18,643
上水消費量＝56,763－18,643＝38,120㎥/日			

表－4 モデル都市における発生集中自動車交通量

建物用途	発生集中原単位 ⁶⁾ (台/ha・日)	平日 係数	休日 係数	発生集中自動車交通量	
				平日 (台/日)	休日 (台/日)
オフィス等	402	1.0	0.2	73,566	14,713
商業施設	1,160	0.2	1.0	812	4,060
文化施設	377	1.0	1.0	377	377
ホテル	300	1.0	0.7	1,800	1,260
市庁舎	865	1.0	0.2	865	173
病院	342	1.0	0.2	1,026	205
戸建住宅	291	1.0	1.0	16,005	16,005
集合住宅	291	1.0	1.0	39,285	39,285
合計	—	—	—	133,736	76,078

5. モデル都市における環境改善効果の算定

モデル都市に環境共生・省エネシステムを適用することによる電力・熱エネルギー消費量の削減および電気自動車を20%導入することによる環境改善効果を窒素酸化物（NOx）、硫黄酸化物（SOx）、二酸化炭素（CO₂）の排出量により算定した。（表－5 参照）

固定排出源である電力・熱エネルギーシステム関連については、電気自動車用電力を含めて年間燃量使用量を求め、排出原単位から各排出量を算定した。

また、移動排出源である自動車については、東京都実走行モードによる車種別NOx 排出原単位⁸⁾ および10モードCO₂排出実測値⁹⁾ から各排出量を算定した。

NO_x 排出量については、固定発生源では28%、移動発生源では64%を削減することが可能となる。

CO₂ 排出量についても、固定発生源では32%、移動発生源では25%を同様に削減できる。

SO_x 排出量については、ほとんど差が表れない。

以上から、都市活動全体をとらえると冷暖房等の固定発生源もさることながら自動車等の移動発生源からの排出量も大きく、地球環境改善のためには双方の削減が重要になることが把握できた。

表－5 モデル都市における環境改善効果（年間）

項 目			(a)環境共生省エネ都市	(b)在 来 型 都 市
固 定 発 生 源	適 用 シ ス テ ム		環境共生・省エネシステム	従来型DHCシステム
	燃料使用量 (配管からの 熱ロスを含)	ガス(10 ³ m ³)	0	2 7 3 0 0
		電力(MWh)	3 3 9 0 0 0	3 4 4 0 0 0
	NOx排出量 (ton)		7 5 (7 2 %)	1 0 4 (1 0 0 %)
	SOx排出量 (ton)		5 8 (9 8 %)	5 9 (1 0 0 %)
	CO ₂ 排出量 (10 ³ ×ton)		1 3 8 (6 8 %)	2 0 4 (1 0 0 %)
	移 動 発 生 源	走 行 車 両		電気自動車 2 0 % ガソリン車 8 0 %
NOx排出量 (ton)		1 1 (3 6 %)	3 2 (1 0 0 %)	
CO ₂ 排出量 (10 ³ ×ton)		9 (7 5 %)	1 2 (1 0 0 %)	
合 計	NOx排出量 (ton)		8 6 (5 3 %)	1 6 2 (1 0 0 %)
	SOx排出量 (ton)		5 8 (9 8 %)	5 9 (1 0 0 %)
	CO ₂ 排出量 (10 ³ ×ton)		1 4 7 (6 8 %)	2 1 6 (1 0 0 %)

6. おわりに

本研究では、環境共生・省エネ都市の概念を適用したモデル都市を想定し、「都市の自立性」向上による、地球環境への貢献度を概略試算し、効果が大きいことを認識した。今後は、環境共生技術にかかわる「市民生活の豊かさ」についての評価方法や導入コストの検討を試みたい。

なお、本研究は(財)電力中央研究所と大成建設(株)が共同で実施したものであり、研究にたずさわった(財)電力中央研究所 岩坪哲四郎氏、宮内基光氏、田中寛好氏および大成建設(株) 佐川祐一郎氏、西嶋国昭氏、室伏裕一氏、末吉裕紀氏に謝意を表します。

参考文献

- 1)谷口孚幸・中村秀一・伊藤武美(1992)：エコロジカル・アーバン・デザインへのアプローチ方法の検討，環境システム研究vol. 20, P124-129
- 2)谷口孚幸・高山勉・中村秀一・伊藤武美(1990)：アーバン・エコロジー実現のための技術動向，環境情報科学19巻2号, P49-53
- 3)大成建設(1989)：最適地域熱源システム
- 4)日本建築センター(1984)：し尿浄化槽の構造基準・同解説
- 5)日本下水道協会(1987)：下水道ハンドブック
- 6)建設省建築研究所(1988)：建築物の発生集中交通特性に関する一考察
- 7)福岡三郎(1993)：低公害車について，大気汚染学会誌vol. 28 No.1, P17-32
- 8)福岡三郎(1990)：最大の汚染物質排出源－自動車の現状と背景－，公害と対策vol. 26 No.14, P13-18
- 9)金子幹宏 他(1992)：自動車排ガス及び大気中の一酸化炭素の挙動，産業公害vol. 28 No.5, P20-27