

# 環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想

## A New City Model with Environment Symbiosis and Energy Conservation

キーワード:環境共生、省エネルギー、ネットワーク、新都市構想、首都機能移転

山本 公夫

### 1. はじめに

地球環境保全、エネルギー・資源制約の時代のなかで、電気事業は需要家サイドを含めたエネルギー利用システムの革新、地域活性化への貢献が求められている。一方、都市は今後高い伸びが予想される民生用エネルギー消費の大きな部分を占めている。そのため、持続可能なエネルギー・資源利用の社会の実現には、世界的にも膨張が続く都市の在り方の追究が必要である。

当研究所は、平成5年度エネルギー未来技術フォーラムにおいて、都市のエネルギーと環境を視점에数万人規模の業務都市・職住近接都市の構想を提案した。しかしながら、環境共生の姿と省エネルギー技術の適用効果について報告したが、都市全体の構想までは言及していなかった。

そこで本研究では、当研究所が研究実績を有する「地域経済、環境共生、エネルギー・資源、交通、都市防災・安全、情報」などの様々な観点から都市の在り方を検討していく。具体的には、21世紀に向けて実現が望まれている数十万人規模の新都市を題材に、エネルギー・資源の循環型を追求した新しい都市像を提案し、環境共生・省エネ策の導入による効果を定量的に明らかにする。これにより、今後の環境共生や省エネルギーを目指した都市政策・計画に資する。

### 2. 環境共生・省エネ都市の構想

#### (1) 都市機能の構成

モデル都市の設定においては、国の首都機能移転問題での検討結果を踏まえ、段階的な開発に対応できるような、ある程度自立した小都市（以下、「クラスター」と呼ぶ）群が数万 ha の圏域に分散することを前提とした。各クラスターは、職住近接を図り自立しており、特定の機能で性格付けされた側面を併せ持つ。さらに、その機能がモデル都市全体で有機的に連携するよう計画している。

各クラスターの機能を表1に示す。首都機能関連に関しては、まず国会議事堂や最高裁判所、大使館などを有する立法・司法クラスター、省庁を中心とした行政A・Bクラスターを想定した。さらに、それらのクラスターを支援する政府外郭団体や自治体、マスコミ、民間企業などのオフィスからなる業務A・B・Cクラスターを設定した。

また、首都機能関連クラスターを補完するために、ショッピングセンターや劇場からなる商業クラスター、国際交流を目指した交流クラスター、研修施設やスポーツセンターを有する余暇クラスター、大学や研究機関からなる研究学園クラスター、さらに物流の拠点となる流通クラスターと資源リサイクルのための供給・処理クラスターを設置した。

なお、各クラスターの人口構成や開発面積な

表1 クラスターの機能と人口・開発面積

クラスター	都市機能	主要施設	居住人口(人)	開発面積(ha)
立法・司法	国会、裁判所	国会議事堂、最高裁判所、政党本部	47,368	778
行政A	行政	行政庁舎	47,368	467
行政B	行政	行政庁舎	47,368	454
業務A	準首都	政府外郭団体、自治体事務所、ホテル	47,368	489
業務B	随伴民間	マスコミ、情報通信、ホテル	47,368	466
業務C	業務、商業	民間企業、百貨店	52,632	556
商業	商業、文化	ショッピングセンター、劇場、ホール	78,948	773
交流	国際交流	コンベンションセンター、国際会議場	78,948	901
余暇	余暇、研修	研修施設、スポーツ施設	76,316	1,207
研究学園	研究、大学	国・公立大学、研究機関	76,316	886
流通施設	物流	トラックターミナル、倉庫	0	100
供給・処理	供給、処理	コンポスト工場、RDF工場	0	100

どのフレームについては、その機能構成にもとづく都市計画原単位を参考にしながら表1に示すよう設定した。

## (2) クラスターの配置

各クラスター間のアクセスが容易であり、かつ交通の集中が発生しにくい構造となるようクラスターの配置を検討した。その結果、今回提案する環境共生・省エネ都市では、図1に示すダブルリング型構造を採用している。

司法・立法と行政のクラスターは近接させ、報道関係や外郭団体など首都機能と関係の強い業務系クラスターと隣接して配置した。

商業、交流、余暇、研究学園クラスターについては、それぞれ個別の機能を有するものの居住機能が中心となり、首都機能関連クラスターを囲むような形で周辺に配置している。また、交流クラスターは、国際会議の開催など大規模な行事にも対応し得るよう空港からのアクセスに留意している。

なお、物流クラスターは高速道路からアクセスしやすい位置とし、供給・処理クラスターは地形に配慮しながら配置した。

## 3. 環境共生・省エネ策の導入と効果

### 3.1 ヒートアイランド現象

#### (1) ヒートアイランド対策

環境共生で重要な検討項目となるヒートアイランド化は、様々な空間スケールでの現象が重なり合って発生している。そこで、空間スケール毎に対策を検討することが重視される。ここでは、①「クラスターの配置の工夫」と、②「クラスター内の土地利用の工夫と人工排熱量の削減」という二つに着目して、都市のヒートアイランド対策を検討した。

#### ① クラスター配置の工夫

環境共生・省エネ都市では、機能別にクラスターを分散・配置し、その間に緩衝緑地を設ける。これにより、都市全体の気温低減効果を期

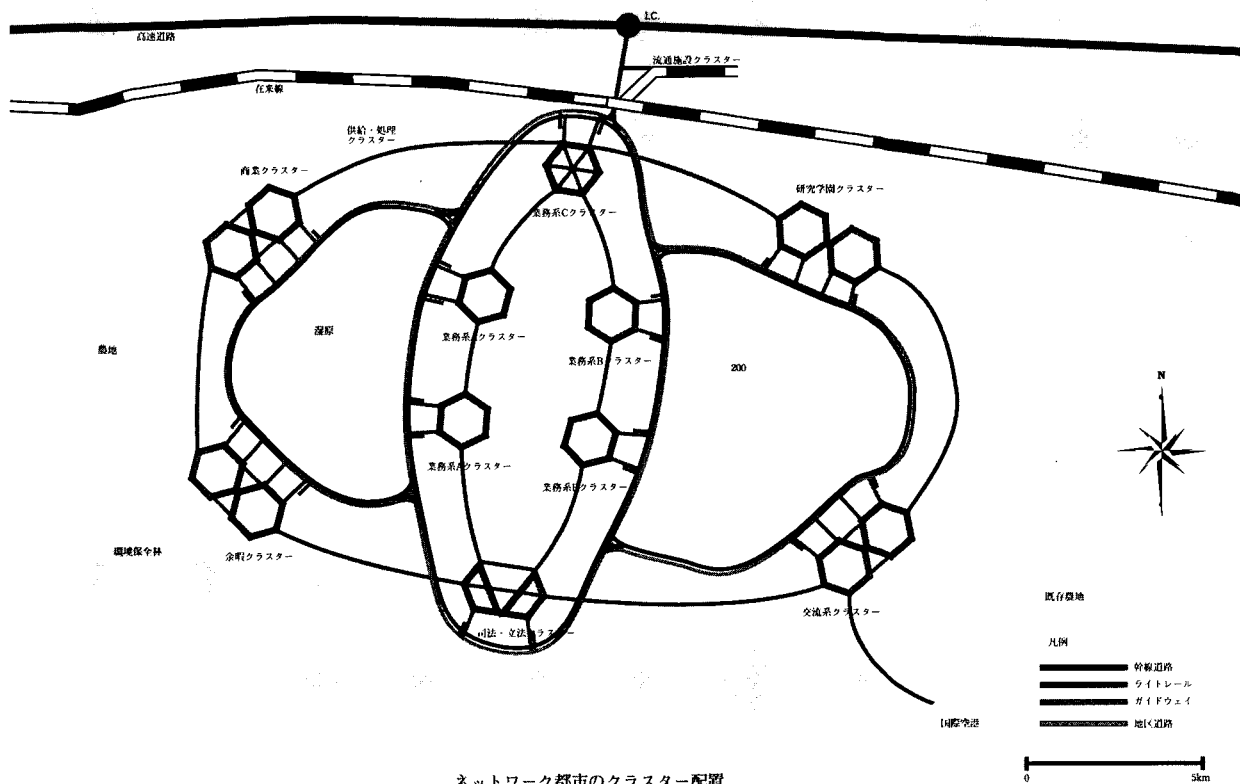


図1 クラスターの配置図

待できる。

また、夏の海岸付近の都市にとって、日中の海風はクーラーのような存在である。これを効果的に活用するようクラスターの配置を工夫し、同様の効果を期待した。

② 土地利用の工夫と人工排熱量の削減

日中に都市内が高温化する原因の一つとして、都市内の建物群が風通しを悪化させ、都市活動が営まれる建物の中に熱が籠りやすくなることが挙げられる。そこで、海風の向きを考慮しつつ、日中の涼しい風を都市クラスター内にうまく誘導させ、気温を低下させるよう、緑地・水辺・建物の配置を工夫する方法が考えられる。

人工排熱量を削減する方法としては、様々な省エネルギー技術を都市内に適用することが有効である。具体的には、交通・輸送手段の改善による運輸エネルギーの削減や、熱電併給システムや情報通信システム等の改善による建物の

省エネルギーが挙げられる。また、こうした直接的な省エネルギー策以外に、屋上緑化や透水性舗装などにより潜熱化を促進して気温を下げ、空調等のエネルギーを削減する方法もある。

(2) ヒートアイランド抑制効果

ヒートアイランド対策の効果を比較検討するために、クラスターを一ヶ所に集めた集中型都市 (case-1)、クラスターを分散させた分散型都市 (case-2)、さらに分散型都市に土地利用の工夫と人工排熱量の削減を図った環境共生・省エネ都市 (case-3) という3つの計算ケースを設定した。各ケースに対して、クラスター内の土地被覆 (建物、道路、森林・緑地の構成率) や人工排熱量 (8月の月平均値) を算定し、真夏日の15時における地上10mでの気温分布と風速分布をシミュレーションした結果が図2である。また、海岸線からの距離を指標として、各ケースにおけるクラスターの平均気温をプロットした

ものが図3である。

この結果から、クラスター配置を分散化することによって、全クラスター平均で約 0.20℃の気温低減効果が見られる。これは値としては大きくないが、これは最初に設定した集中型都市の緑被率を 30%以上にしており、緩衝緑地の効果が相対的に小さくなったためと考えられる。

また、環境共生・省エネ策を導入することによって、全クラスター平均で約 0.15℃の気温低減効果が見られる。その効果は風下側のクラスターほど大きい。これは、クラスター内の気

温低減に加えて、風上側からの効果が風下のクラスターに加算されていくためと推察される。

さらに、各クラスターとも海岸に近いほど気温低減効果は大きく、海風の冷却効果が有効とわかる。また、集中型都市を基準にして評価すると、分散型にした効果と環境・共生省エネ策を導入した効果はほぼ同程度である。つまり、クラスターを分散化させることにより、省エネ策を導入した場合と同程度の気温低減効果を期待できる。

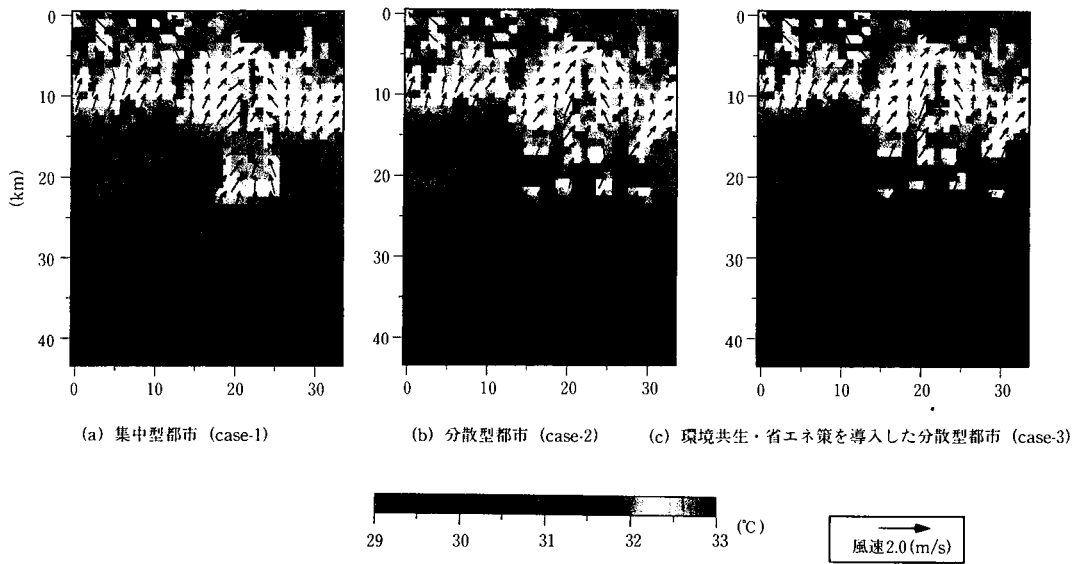


図2 ヒートアイランド現象のシミュレーション結果 (夏日 15時)

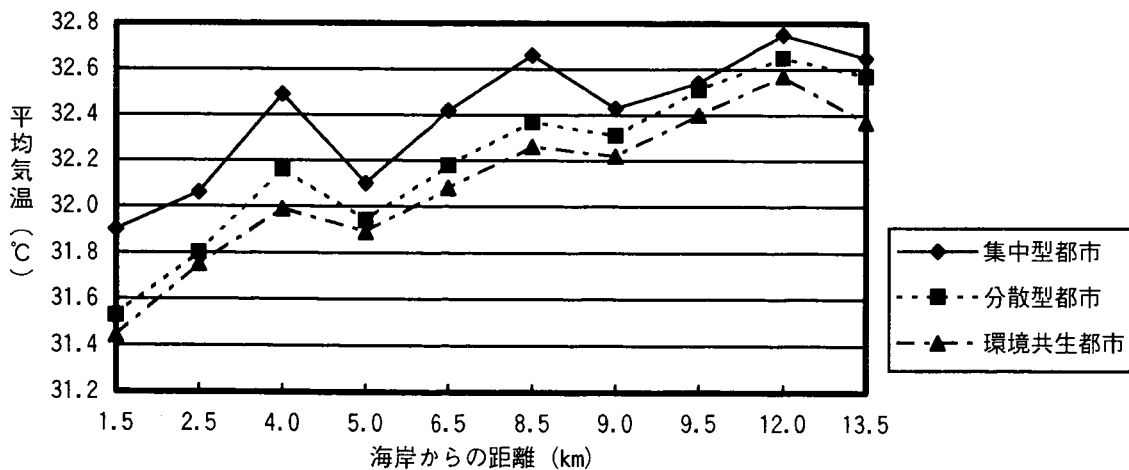


図3 海岸線からの距離と各クラスターの平均気温の関係

### 3.2 エネルギー供給システム

#### (1) エネルギー供給システムの導入

環境共生・省エネ都市へのエネルギー供給については、表 2 に示すようなシステムを提案した。

電力負荷については、各種節電機器の普及を想定し、電力需要の削減を図った。さらに、都市内に高効率コージェネレーション・太陽電池の分散型電源を導入し、発電効率の向上、再生可能エネルギーの積極的な利用を行った。

電力の負荷率向上の面からは、地域熱供給システムへの大規模蓄熱の導入、改良型氷蓄熱型ビルマルチエアコン、住棟単位での集合住宅用および戸建住宅用の貯湯式給湯ヒートポンプなどによるピーク低減・夜間電力の活用を図った。

一方、電力供給については、現行の 20kV 級や

6kV 級を用いた電力供給（クラスター内の変電所数は 1~2 カ所）が考えられるが、環境共生・省エネ都市の省エネルギー性、持続可能性を向上させるために、業務用需要についてはコージェネレーションの活用を、家庭用需要家については太陽光発電の設置し、系統電力と分散型電源を協調運用するものとした。

冷暖房および給湯の熱需要については、パッシブソーラー建築手法を適用して、建物の冷暖房負荷を削減した。さらに、前述の高効率コージェネの廃熱活用、下水処理水・河川水等の未利用エネルギーを有効利用するために、地域熱供給を導入した。また、地域熱供給以外の個別空調機器でも高性能ヒートポンプの導入を行った。

表 2 エネルギー供給システムの概要

<p>(1) 電力需要関連</p>	<p>① 電力需要の削減 ・各種節電機器（冷蔵庫、照明、OA 機器、ヒートポンプ） ② 高効率発電及び再生可能エネルギーの導入 ・MCFC（コージェネレーション） ・太陽光発電 ③ 負荷平準化 ・地域熱供給での大規模蓄熱 ・蓄熱式ヒートポンプ ④ 系統電力と分散電源の協調運転 ・深夜の低負荷時に MCFC を部分負荷運転</p>
<p>(2) 熱需要関連</p>	<p>① 冷暖房負荷の低減 ・パッシブソーラー建築（断熱強化、外気冷房） ② 熱供給システムの高効率化 ・MCFC の排熱利用 ・高性能ヒートポンプ ③ 未利用エネルギーの利用 ・湖水、河川水などのヒートポンプによる利用</p>

#### (2) エネルギー供給システムの効果

##### ① 一次エネルギー消費量での評価

年間一次エネルギー消費量の比較を図 4 に示す。エネルギー消費構造が同じでも、負荷側の省エネルギー技術により省電力・省熱負荷を行うことにより、従来都市の一次エネルギー消費量 8,251Tcal に対して、一次エネルギー消費量は

6,841Tcal と約 17%の省エネルギーを図ることができる。さらに、高効率地域エネルギー供給およびその他の省エネ技術の導入した省エネ都市では、年間一次エネルギー消費量は 5,598Tcal となり、最終的には約 32%の省エネが実現できる。各種省エネ機器および太陽光による省エネ効果は 462Tcal、高効率地域エネルギー供給システム

による省エネ効果は 782Tcal である。高効率分散型電源を含む高効率地域エネルギー供給システムによる省エネ効果大きい。

② 負荷平準化効果

夏代表日についての従来都市と省エネ都市の日間電力カーブの比較を図5に示す。ピーク電力が従来都市の 634MW から 452MW と約3割低

減されている。これは、冷房負荷の低減を図るとともに、冷房機器を効率を向上させ、蓄熱式ヒートポンプや高効率地域エネルギー供給システムを導入したことに起因している。特に、空調機器の省エネルギー化が負荷平準化に相当の寄与する点は注目される。

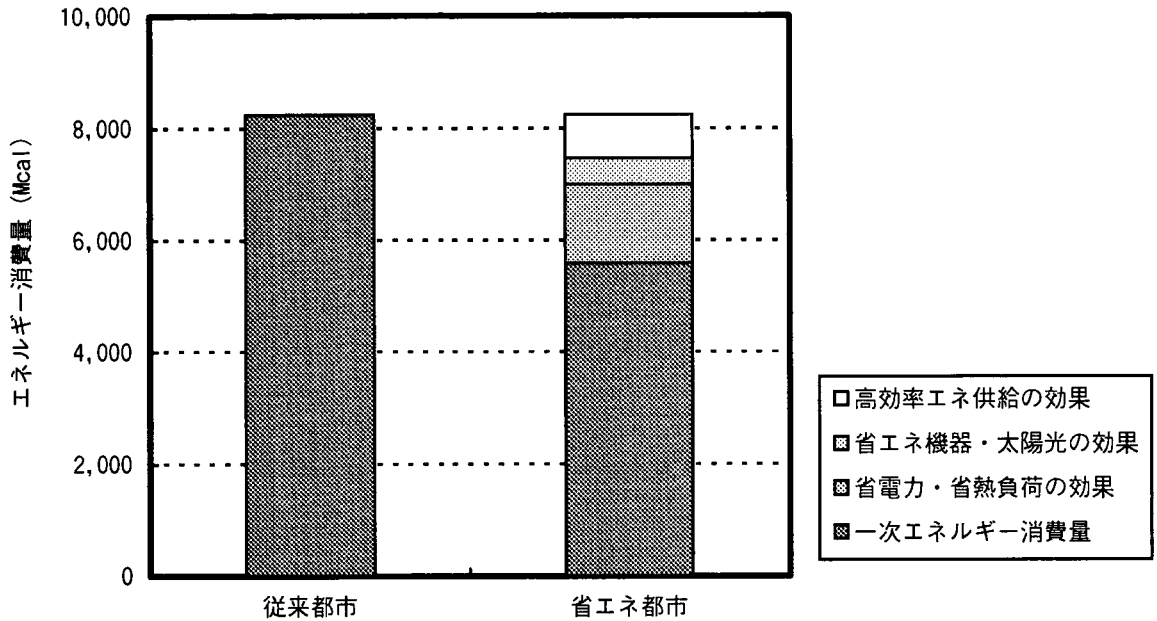


図4 一次エネルギー消費量の削減効果

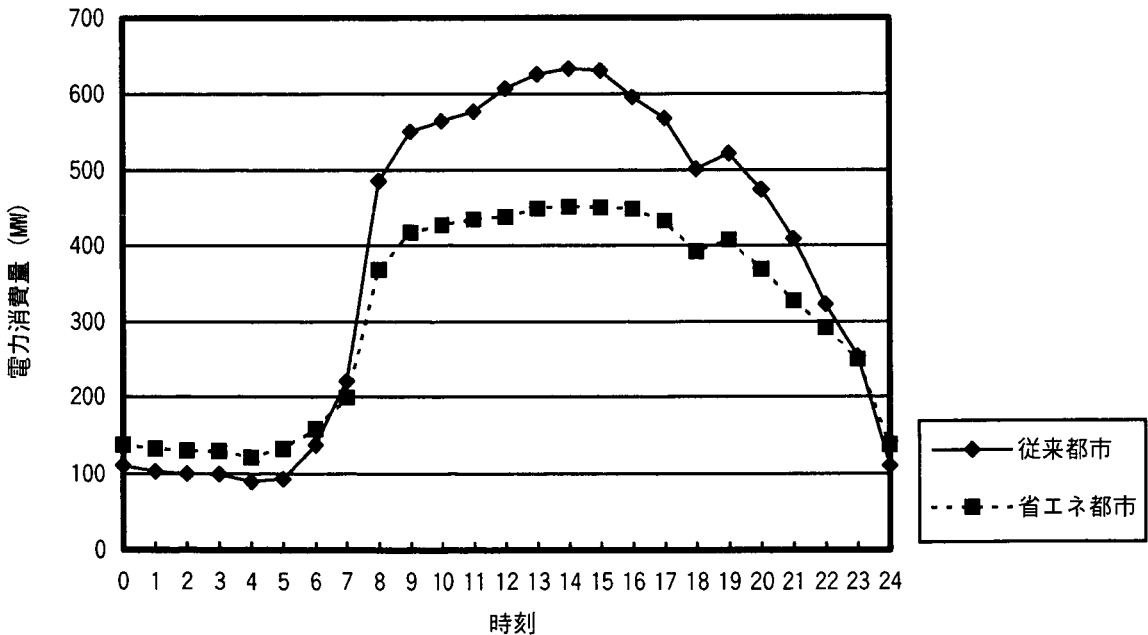


図5 夏季ピーク電力の比較

### 3.3 交通システム

環境共生・省エネ都市では、旅客交通では短距離移動は徒歩・二輪、中長距離移動は公共輸送機関による移動を前提とした交通基盤を整備し、貨物交通（物流）では物流専用の輸送システムを構築した。

#### (1) 旅客交通

クラスター間の移動については、公共輸送機関を基本とする。この輸送システムの利用を促進するよう、駅周りは業務地及び高層集合住宅を選択的に立地させることで高度利用を図り、低層住宅等はクラスター周辺への立地とする。また、各クラスターにおいて都市計画と連携し、駅を中心とした土地利用の誘導は当然のこと、クラスター内のあらゆる場所から最寄り駅までの距離をある一定以内に抑えることとする。

また、クラスター内の移動については、短距離移動では、徒歩・二輪を基本にする。各住区間、及び駅までの動線において歩行者専用道路を設け、また集合住宅団地内においては完全な歩車分離を行う。また、クラスター内でも中距離移動の場合、公共輸送機関を積極的に活用することとする。

このなかで、ライトレールを環境共生・省エネ都市の中心的な都市交通機関として位置づけ、その存在感をアピールすると同時に、利用者特にお年寄りや体の不自由な人も抵抗なく利用できるシステムとする。そのため、地上走行を原則とし、乗降施設には階段を使わず、車両にもステップを設けず、車椅子でも容易に乗降できるようにする。また、ライトレールと自転車の利便性を高めるため、自転車の車内持ち込みができるようにする。

#### (2) 貨物輸送

クラスター間では人と物の輸送の空間的な分離を行う。すなわち、クラスター間に物流専用の輸送システムを構築する。

物流システムを利用する場合には、基本的に

流通センターで共同化して、そこから各クラスターに配送する形をとる。そこで、クラスター間にガイドウェイを設け、デュアルモード車による物流システムを構築する。各クラスターでは、ガイドウェイを降り、そのまま各目的地に向かい配送を行う。これにより、流通センターと発送先あるいは荷受先との間が直行となる。

デュアルモードトラックは、クラスター間ではガイドウェイ上を集電走行し、一般道路上では電気自動車としてバッテリーで走行する。また、商業地域などクラスター内で物流の集中する地域では貨物車優先道路（サービス道路）をクラスター内のその他の地区では一般道路を走行する。

#### (3) 環境負荷の削減、省エネ効果の算定

これまでに提案した交通計画、輸送システムをもとに、環境共生・省エネ都市の交通部門におけるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>排出量、NO<sub>x</sub>排出量を算出した。また、省エネ効果を見るため比較対象となる従来都市では、交通需要は環境共生・省エネ都市に等しいと仮定した。

##### ① 旅客交通

これまでの条件をもとに、環境共生・省エネ型都市と従来都市のエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排出量の算出結果を表3に示す。なお、従来都市の交通手段別比率は全国の平均を用いた。

従来都市に比較して環境共生・省エネ型都市では、エネルギー消費量が約53%、CO<sub>2</sub>排出量が約39%、NO<sub>x</sub>排出量が約25%になる。特にCO<sub>2</sub>排出量、NO<sub>x</sub>排出量の削減率が大きいのは、自動車と比較した場合のライトレールや電気自動車のCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排出原単位が非常に小さいためである。

##### ② 貨物輸送

貨物需要・発生量については、建物用途別の原単位を利用して各クラスター毎に計算した。この環境共生・省エネ都市では製造業に代表さ

表3 交通のエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>、Nox 発生量の比較

	旅客			貨物		
	エネルギー消費量 (Mcal/日)	CO <sub>2</sub> 発生量 (kg-C/日)	Nox 発生量 (g/日)	エネルギー消費量 (Mcal/日)	CO <sub>2</sub> 発生量 (kg-C/日)	Nox 発生量 (g/日)
従来都市	2,563,164	191,273	1,008,177	99,526	12,345	257,759
省エネ都市	1,368,808	74,118	250,815	26,997	1,227	3,131

れる 2 次産業がほとんど存在しないため、需要は小さいものとなっている。基本的に流通施設を経由し、交通手段は物流システムを利用するものとする。また、従来都市の手段別比率は施設種別の比率を用いた。

上記の仮定を基に算出した結果を表3に示す。環境共生・省エネ都市の省エネ効果は、従来都市と比較してエネルギー消費量が約 27%、CO<sub>2</sub> 排出量が約 10%、NO<sub>x</sub> 排出量が約 1.2%となる。貨物においても NO<sub>x</sub> 排出量の削減比率が最も大きい。これはデュアルモードシステムの NO<sub>x</sub> 排出原単位が非常に小さいためである。

#### 4. おわりに

本研究では、人口 60 万人規模の新都市を対象に環境共生と省エネルギーを目指した都市構想を提案し、当研究所が有する環境共生・省エネ策の導入方法とその効果を明らかにした。ただし、これらの結果は新都市開発という比較的制約の少ない条件のもとでの検討であった。

今後は、既存の都市の再開発や活性化に寄与し得るよう提案した環境共生・省エネ策の実用化を図ることが重要な課題である。

なお、本研究成果は当所の研究開発部に設置した「ネットワーク都市研究会（主査：浜松照秀）」によるものである。各専門分野にまたがる研究者の議論を通して環境共生・省エネ都市のあるべき姿について検討を行った。さらに、研究会での検討にあたっては、佐藤工業（株）佐藤総合研究所の木戸口浩之氏、穂山信之氏、金子哲也氏にも多大なご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

#### 【関連報告書】

- [1] ネットワーク都市研究会（1996）、「環境共生・省エネルギーを目指した新都市構想」、電力中央研究所総合報告：Y02

（やまもと きみお  
電力中央研究所 経済社会研究所）