

都市の集積化による環境負荷の削減に関する検討

THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL LOADS
BY BUILDING HIGHLY DENSE CITY ACCORDING TO URBAN PLANNING

轟巻 峰夫*・沼田 健一郎*・星山 英一*

中田 泰輔*・吉原 哲*

Mineo TSURUMAKI, Kenichiro NUMATA, Eiichi HOSHIYAMA
Yasusuke NAKATA, Satoru YOSHIHARA

ABSTRACT ; The plan to divide between urban area and nature area by building highly dense city according to the urban planning is the one of the strong plans for solution of the problem on symbiosis of human being and nature. This solution also has the effect of reduction of the environmental loads. In this paper, the environmental loads are calculated on 3 urban structure models. The city size and density are different between these models. 3 models are the existing model (EX Model), the horizontal developing model (HD Model) and the ultra-high buildings model (UH Model).

KEY WORDS ; CO₂ Emission , Water Resource, Water Pollution Loads, Solid Waste, Urban Environment

1. はじめに

都市と自然環境との調和は、環境問題が発生して以来解決できない問題として残されており、また、未来においても解決の難しい問題となると考えられる。これは、人間と環境とが調和した状態についての合意の難しさに起因しているものであり、将来的議論のなかで意見の集約を試みる必要があるテーマである。

このような問題解決の一つの考え方として、人間と自然環境とを完全に分離してしまうという方策が想定できる。一方で、このような方策では一般市民が自然とのつながりを失うことで、アメニティの喪失や、自然への理解を失う危険性など必ずしも環境問題全体が望むべき方向に向かうかどうか不明な部分がある。

本研究では、都市構造の高集積化によって期待される環境負荷量の削減について着目して、上下水道及び廃棄物処理分野での概略的な量的把握を行うことにより、今後の都市環境問題への対応の方向性を検討するデータを得ることを目的に行った。

2. 検討の内容

2. 1 検討の基本的考え方

本検討では、都市機能を高度に集積化すること及びその過程で計画的に最新の技術や行政・住民等の取り組み等を取り入れ、その結果として環境負荷削減量の潜在量を検討することとした。したがって、固有の技術の導入については問題点がある場合でも理想的に適用できるものとするなど、ブラックボックスの部分を残して検討を行っている。

2. 2 検討対象とする都市モデル¹⁾

検討対象とした都市モデルとしては、東京都心の区レベルでの広がり想定した首都型モデル(m モデル)と地方県庁所在地を想定した地方型モデル(p モデル)、高密度化の程度として現状での既存市街地モデル(EX モデル)、計画的な拠点を中心に制限された範囲において都市を展開する水平展開モデル(HD モデル)、人工地盤によって完全に人間の生活域を限定して鉛直方向に都市構造を考える超々高層都市モデル(UH モデル)の、都市規模2ケース×都市形態3ケースの計6ケースを想定した。その概要は表-1、2のとおりである。

*八千代エンジニアリング株式会社 Environmental Planning Dept. Yachiyo Engineering CO.,Ltd.

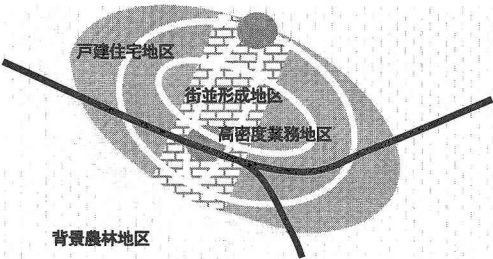
表－１ 対象都市モデルの概要

	行政区域		DID地域		備考
	面積 (km ²)	人口 (千人)	面積 (km ²)	人口 (千人)	
都市型モデル (m モデル)	22.73	317	22.73	317	全域がDID
地方型モデル (p モデル)	237.2	146	15.7	87	

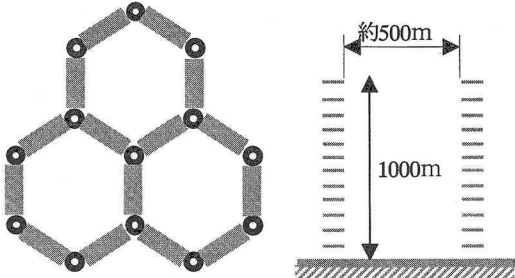
表－２ 都市構造モデルの考え方

区分	都市の構造
EXモデル	既存の都市構造
HDモデル	高度業務地区 人口地盤上の超高層ビル街(住居・事務所・大規模店舗等)
	複合生活地区 都市街区(住居・事務所・小売店舗等)
	住居専用地区 戸建住宅の専用地区
UHモデル	人口地盤上の都市(1階層 77mH, 13階層)

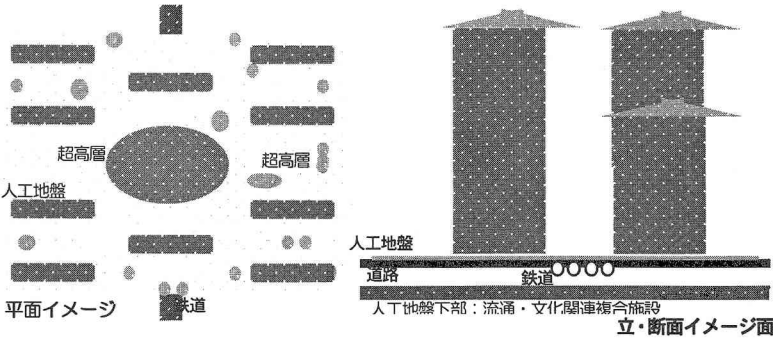
また、設定ケースでの都市構造のイメージは、図－１～４に示すような平面、立体的の構造となっている。



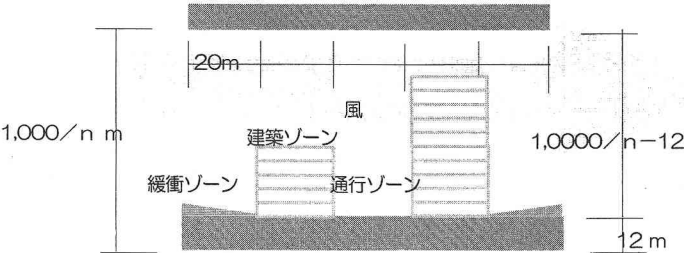
図－１ HDモデルのイメージ
(地方都市 p モデル)



図－２ UHモデルの人工地盤のイメージ



図－３ HDモデルにおける高度集積地のイメージ



図－４ UHモデルにおける人口地盤上都市の１階層の断面イメージ

2. 3 検討方法

1) 対象とする都市施設の分野

対象とする都市施設の分野は次のとおりである。

- (1) 上水道:取水施設, 送水施設, 浄水施設, 排水施設
- (2) 下水道・生活排水処理:集水管渠, ポンプ場, 処理施設(以上, 下水道), 収集車両, 処理施設(以上, し尿処理, 浄化槽)
- (3) 廃棄物処理:一般廃棄物のごみ収集, 中間処理施設(焼却)

2) 都市高密度化に伴う環境負荷削減対策の適用

都市の高密度化とその反面となる緑地等の増加により, 以下の対策が可能となると仮定した。

- (1) 上水道:中水施設の整備
- (2) 下水道:汚泥の嫌気性消化, メタン発電, 厨芥類の汚泥処理過程への受け入れ, 汚泥のコンポスト利用
- (3) 廃棄物処理:分別収集の徹底, ガス化溶融, ごみ発電, 溶融スラッグの有効利用

3) 検討対象の環境負荷の種類及び算定方法

(1) CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は資材, エネルギーの消費量等を計画により概算するとともに, 既存文献^{2)~5)}にもとづき資材消費量, 処理量当りの原単位を作成して, ライフサイクルでの環境負荷量として算定した。

(2) 上水消費量, 排水量, 水質汚濁負荷量(BOD,COD,T-N,T-P), 埋立廃棄物量

検討対象のモデル都市(実在する都市を想定している。)における現状での排出量等のデータにもとづいて収支計算を行い, 直接負荷量を算定した。

3. 検討結果

3. 1 上下水道施設での環境負荷

1) 仮定条件

上水道施設のうち, 取水施設は既存文献でのLCE 検討事例²⁾でのインベントリーデータとCO₂については既存原単位データベース⁶⁾を用いて算定を行い, 取水量で全体の環境負荷から当該地域分を按分した。

浄水施設及び下水道終末処理施設は, 中水道の整備に対応した規模を想定した。CO₂ 排出量は既存検討事例でのライフサイクルでの処理量当りの原単位³⁾を用いた。

中水道施設は, EX モデルは適用なし, HD モデルでは高度集積地区, UH モデルでは全地域での適用とした。処理方式は凝集沈殿+砂ろ過とした。CO₂ 排出量は単位操作毎の既存検討事例でのライフサイクルでの処理量当りの原単位⁴⁾を用いた。

また, 排水処理汚泥(中・下水道)は廃棄物処理施設(HD, UH モデルではガス化溶融施設)に搬入して処理されるものとして, HD, UH モデルでは計上していない。

また, 下水道終末処理施設での汚泥処理過程に嫌気性消化(メタン発酵)を行うこととしたが, HDモデル高度集積地区, UH モデル全域での生ごみをディスポーザー+最初沈殿池での除去により消化タンクに導入してメタン回収するものとした。回収したメタンは燃料電池(又はガスエンジン)による発電を行った後廃熱で消化槽を加温するシステムとした。

2) 予測結果

上下水道施設による環境負荷発生量の予測結果を表-3に示す。

環境負荷としては上水消費, 水質汚濁負荷, 埋立廃棄物の環境負荷の削減は EX→HD→UH と都市の集積が進むにつれて環境負荷が減少している。m モデルでは中水道の普及が上水消費量と排水量の減少を促し,

水質汚濁負荷の減少と上水汚泥による埋立廃棄物量減少に繋がっている。pモデルでは都市周辺部での下水道普及という側面もあり水質汚濁負荷の減少が大きい。ただし、水質汚濁負荷のうちBOD、CODの減少に比してT-N、T-Pの減少が小さい。これは現在のし尿処理施設が生物学的硝化脱窒素＋高度処理の施設なのに対して想定した下水道終末処理施設には窒素、リンの処理能力を想定しなかったことによる。

一方、CO₂の排出量では首都型モデル(mモデル)のUHモデルがHDモデルより排出量が多いという結果となっている。これは上水を上層階まで持ち上げるためのエネルギー消費によるもので、その1点を解消することにより、UHモデルの環境負荷増加は解消できる。

表－3 上下水道施設での環境負荷の算定結果

首都型モデル

・環境への負荷の排出

環境負荷種類	単位	既存市街地モデル (EXmモデル)				水平展開モデル (HDmモデル)				超々高層モデル (UHmモデル)			
		建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計
上水消費量	千m ³ /年	-	34,007	-	34,007	-	25,609	-	25,609	-	8,752	-	8,752
排水量	千m ³ /年	-	34,007	-	34,007	-	25,609	-	25,609	-	8,752	-	8,752
水質汚濁負荷	BOD	-	340	-	340	-	256	-	256	-	187	-	187
	COD	-	510	-	510	-	384	-	384	-	281	-	281
	T-N	-	850	-	850	-	640	-	640	-	469	-	469
	T-P	-	170	-	170	-	128	-	128	-	94	-	94
	計	-	1,760	-	1,760	-	1,098	-	1,098	-	803	-	803
CO ₂ 排出量	上水道	8,029	22,484	623	31,135	6,861	16,952	486	24,299	2,368	23,598	530	26,496
	中水道	-	-	-	0	427	2,413	88	2,927	1,034	5,849	213	7,096
	下水道	3,252	16,556	613	20,420	2,628	12,905	480	16,014	1,799	12,029	174	14,003
	汚泥焼却	-	2,494	-	2,494	-	0	-	0	-	0	-	0
	計	11,281	41,533	1,235	54,049	9,916	32,270	1,054	43,240	5,202	41,475	917	47,595
埋立処分量 (汚泥)	上水道	-	1,457	-	1,457	-	1,098	-	1,098	-	803	-	803
	下水道	-	1,547	-	1,547	-	0	-	0	-	0	-	0
	計	-	3,005	-	3,005	-	1,098	-	1,098	-	803	-	803

・環境負荷の削減

13材料・回収によるCO ₂ 削減	t-CO ₂ /年	-	0	-	0	-	3,009	-	3,009	-	4,919	-	4,919
------------------------------	----------------------	---	---	---	---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------

地方型モデル

・環境への負荷の排出

環境負荷種類	単位	既存市街地モデル (EXpモデル)				水平展開モデル (HDpモデル)				超々高層モデル (UHpモデル)			
		建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計
上水消費量	千m ³ /年	-	14,294	-	14,294	-	12,558	-	12,558	-	18,748	-	18,748
排水量	千m ³ /年	-	14,294	-	14,294	-	12,558	-	12,558	-	18,748	-	18,748
水質汚濁負荷	BOD	-	1,116	-	1,116	-	126	-	126	-	82	-	82
	COD	-	1,092	-	1,092	-	188	-	188	-	122	-	122
	T-N	-	657	-	657	-	314	-	314	-	204	-	204
	T-P	-	390	-	390	-	63	-	63	-	41	-	41
	計	-	2,255	-	2,255	-	598	-	598	-	359	-	359
CO ₂ 排出量	上水道	6,798	8,535	313	15,646	6,722	6,709	274	13,705	379	14,260	299	14,937
	中水道	-	-	-	0	20	116	4	141	411	2,322	85	2,818
	下水道	1,513	10,524	372	12,410	5,596	4,752	320	10,668	741	4,898	174	5,814
	汚泥焼却	-	713	-	713	-	0	-	0	-	0	-	0
	計	8,311	19,773	685	28,769	12,339	11,576	598	24,514	1,530	21,481	558	23,569
埋立処分量 (汚泥)	上水道	-	408	-	408	-	359	-	359	-	233	-	233
	下水道	-	442	-	442	-	0	-	0	-	0	-	0
	計	-	851	-	851	-	359	-	359	-	233	-	233

・環境負荷の削減

13材料・回収によるCO ₂ 削減	t-CO ₂ /年	-	0	-	0	-	748	-	748	-	1,896	-	1,896
------------------------------	----------------------	---	---	---	---	---	-----	---	-----	---	-------	---	-------

3. 2 廃棄物処理施設での環境負荷

1) 仮定条件

廃棄物の収集運搬についてはEXモデルでは車両台数と移動距離を推計し、燃費(5km/t-軽油)から燃料消費量を求めた。HDモデルの高度集積地区とUHモデル全域については独自の収集システムが導入されることを想定して環境負荷の算定の対象からは除外した。

中間処理についてはEXモデルでは現在一般的な焼却施設を想定して、CO₂排出量は既存のLCEの検討事例⁶⁾でのインベントリーデータから算出した処理量当りのCO₂排出量のデータ⁷⁾を用いて排出量を算出した。

ガス化溶融施設についてはインベントリーデータが揃わなかったため、仮定として上記の原単位に20%を増した原単位を用いることとした。

エネルギー回収としては廃熱を利用した発電及び地域熱供給を考慮した。

処理残渣については EX モデルの焼却灰は埋立処分とし、HD、UH モデルでは溶融スラグを建設資材として有効利用した。このため、後者 2 モデルでは可燃ごみによる埋立廃棄物を 0 とした。

また、厨芥類等の生ごみは別途ディスポーザーにより下水道システムへ送ることとした。また、可燃、不燃ごみの再資源化の可能性のあるものについては、HD モデル高度集積地区と UH モデル全域でリサイクル過程へ送られることとして環境負荷の算定からは除外した。

2) 予測結果

廃棄物処理施設による環境負荷の予測結果を表 4 に示す。

埋立廃棄物は、可燃物分の残渣及び不燃物中の再資源化率の上昇により EX モデルから UH モデルの比較で 80% 以上の減少となる。

CO₂ 排出量は、ガス化溶融処理の適用でやや増加するものの、エネルギー回収の効果を加味すると収支的にはマイナス(排出－回収)となり、環境に対して改善効果を持つことになる。

環境負荷の削減とした溶融スラグ(建材として)については、その有効利用という面で問題があるが、廃棄物としては扱わなかった。

表 4 廃棄物処理施設による環境負荷の予測結果

首都型モデル
・環境への負荷の排出

環境負荷 種類	単位	既存市街地モデル				水平展開モデル				超々高層モデル			
		建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計
埋立処分量	1/年	-	56,057	-	56,057	-	27,351	-	27,351	-	9,526	-	9,526
CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	1,929	15,333	114	17,375	2,633	17,909	149	20,681	1,563	13,863	89	15,515
処理	t-CO ₂ /年	-	110,827	-	110,827	-	106,887	-	106,887	-	85,428	-	85,428
廃棄物焼却	t-CO ₂ /年	1,929	126,160	114	128,203	2,633	124,786	149	127,568	1,563	99,291	89	100,943
計	t-CO ₂ /年												
・環境負荷の削減													
エネルギー回収によるCO ₂ 削減	t-CO ₂ /年	-	11,277	-	11,277	-	29,068	-	29,068	-	21,587	-	21,587
溶融スラグ(建設資材)	t/年	-	0	-	0	-	6,093	-	6,093	-	4,870	-	4,870

地方型モデル
・環境への負荷の排出

環境負荷 種類	単位	既存市街地モデル				水平展開モデル				超々高層モデル			
		建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計	建設	運営	廃棄	計
埋立処分量	1/年	-	22,245	-	22,245	-	18,045	-	18,045	-	3,980	-	3,980
CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /年	772	6,156	46	6,974	1,406	7,787	77	9,269	629	5,506	35	6,171
処理	t-CO ₂ /年	-	44,502	-	44,502	-	45,691	-	45,691	-	33,927	-	33,927
廃棄物焼却	t-CO ₂ /年	772	50,658	46	51,476	1,406	53,478	77	54,961	629	39,433	35	40,097
計	t-CO ₂ /年												
・環境負荷の削減													
エネルギー回収によるCO ₂ 削減	t-CO ₂ /年	-	0	-	0	-	11,592	-	11,592	-	8,472	-	8,472
溶融スラグ(建設資材)	t/年	-	0	-	0	-	2,605	-	2,605	-	1,934	-	1,934

3. 3 全体的傾向

上記の予測結果の総括を図 5 に示す。

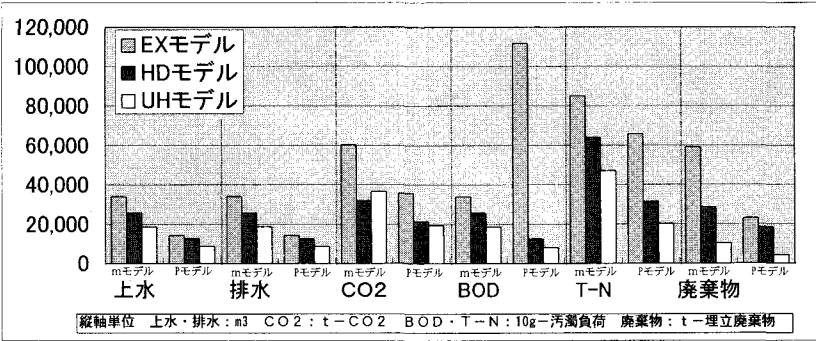


図 5 上下水道・廃棄物処理施設での環境負荷予測結果

環境負荷量の変化の傾向としては首都型モデル(mモデル)のCO₂排出量を除いて都市の集積化が進むことによって環境負荷の削減が進むことが示されている。上水の上層階の持ち上げという問題を解決すれば CO₂ 排出についても他の項目と同様の傾向を示すものと考えられる。

また、地方型モデル(pモデル)でのBODについては効果が大きく示されているが、これは郊外部で下水道が普及していないこととその区域での雑排水未処理人口(し尿収集+単独浄化槽)がHD・UHモデルでは解消されることによるものが大きく、すべてを都市集積化の効果とすることはできない面がある。一方、生活系での窒素の主な排出源はし尿に由来しており、その処理が下水道終末処理では見込まなかったT-Nについては、減少の傾向が少なくなっている。窒素処理については、下水道普及によって窒素処理を標準とするし尿処理施設から窒素処理を標準としない下水道終末処理へと変わることによって現状の標準的処理技術の適用では進歩といえるかどうか問題の部分もある。

4. まとめ

本検討は、超々高層構造物の社会的有用性の研究の一環として行ったものであるが、この過程で以下のようなことが考察でき、将来的な環境との共生を目指す都市構造の考え方として検討に値するものではないかと考えられる。

- (1) 基本的には都市の集約度が増すにつれて環境負荷量は削減されるが、超々高層構造物では、上水を上層階へ搬送するエネルギーの増加が主な要因となり、必ずしも削減効果が期待できない場合がある。ただし、水位差を利用した発電システムなど、本検討で考慮しなかった技術もあり、さらなる環境負荷削減の可能性は残されている。
- (2) 廃棄物処理施設での発電及び熱供給は、ごみの減量化が進むことによって、環境負荷削減ポテンシャルを低下させる可能性がある。
- (3) 緑地等の自然地の増加によってコンポストの需要が期待でき、コンポストの供給先の問題を解決できる可能性があるため、埋立廃棄物の減少には大きく寄与することができると考えられる。
- (4) 上水取水量の減少→上水汚泥の減少、中水道の適用→上水取水量の減少、下水量の減少→汚濁負荷量の減少、汚泥量の減少など、連鎖的な環境負荷量の削減が期待できる。

5. おわりに

本研究は、(社)日本建築学会超々高層特別研究委員会(委員長 船越徹 東京電気大教授)地球環境評価ワーキンググループ(座長 木俣信行 鹿島建設技師長(当時))の調査研究の一環として行ったものです。検討の条件となる都市構造の設定は前述のワーキンググループによる検討の成果を流用しております。

<参考文献>

- 1) (社)日本建築学会超々高層特別研究委員会 超々高層のフィージビリティII 2000.12
- 2) (社)資源協会 家庭生活のライフサイクルエネルギー 1994.8 (株)あんほるめ
- 3) 土木学会地球環境委員会環境パフォーマンス評価研究小委員会・LCA研究小委員会 建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント 2000.10 鹿島出版会
- 4) 靄巻 環境調和性を考慮した排水処理システムの評価手法に関する研究 1998.3(東北大学大学院学位論文)
- 5) 福山等 ライフサイクルエネルギーからみた清掃工場の一考察 都市清掃 vol.49.210 1996.7
- 6) (社)日本建築学会 建物のLCA指針(案) 1998.11
- 7) 科学技術振興事業団, 八千代エンジニアリング株式会社 資源転換装置の環境保全性に関する調査解析 報告書 1999.11