

エネルギーシステムの変化が街区大気の NOx濃度場にもたらす影響

富塚 孝之¹・亀卦川 幸浩²

¹非会員 理修 みずほ情報総研(株) 科学技術部 (〒101-8443 東京都千代田区神田錦町2-3)
E-mail: takayuki.tomizuka@gene.mizuho-ir.co.jp

²非会員 工博 明星大学 理工学部環境システム学科 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)
E-mail: kikegawa@es.meisei-u.ac.jp

都市の大気環境に大きな影響をもたらす人工排熱や大気汚染物質の排出構造(量や排出場所およびその時間変化)は、自動車走行や建築空調などのエネルギーシステムのあり方により左右されるものである。このような都市のエネルギーシステムについては今後、様々なシステム構成の変化が预期される。本研究では、エネルギーシステムがもたらす都市の大気環境への影響のうち、特にNOx濃度場への影響を明らかにすることを目的とし、数値シミュレーションによる検討を実施した。NOx排出源として建築系のエネルギーシステムに着目し、解析には気象モデルと大気拡散モデルを適用した。数値シミュレーションにもとづくNOx濃度予測手法としての妥当性を評価・検証しつつ、冬季における各種エネルギーシステムの導入がもたらす都市大気中のNOx濃度への影響解析を試みた。その結果、現況に対し10~20%程度の濃度変動をもたらすものと予測された。

Key Words : *urban thermal environment, air conditioning system, energy system, NOx, numerical simulation, computational fluid dynamics(α -flow)*

1. イントロダクション

都市ガスを燃料とする小規模コージェネシステム等の分散型電源や都市ガス空調システムは、普及時において都市内での人工排熱や大気汚染物質の排出増をもたらすことが懸念される。本研究においては、都市ガスを燃料とする以上のエネルギーシステムがもたらす都市環境への影響のうち、特に大気中のNOx濃度場への影響に着目し、蓄熱を含む電気式空調システムを都市域に導入した場合と比較・検討を実施した。検討に際しては、気象モデルおよび大気拡散モデルを用い、数値シミュレーションにもとづくNOx濃度予測手法としての妥当性を評価・検証しつつ、都市ガス利用エネルギーシステムの導入がもたらす都市大気中NOx濃度場への影響を電気式空調システムによる影響と定量的に対比させる方法を採用した。

2. 都市エネルギーシステム導入動向調査と導入シナリオ作成

解析対象とする民生用建物の電気・ガスエネルギー利用システムについて、建築設備等に係わる各種の統計データより将来的に想定される都市ガス空調システムおよび都市ガスコージェネレーションシステムの導入シェアの増減範囲を推定した。具体的には空調システムでは近畿以西の業務系建物における空調方式の現況構成を建築設備情報年鑑(ELPAC2000)¹⁾を用いて分析し、さらには過去の調査年次における構成も分析することで、空調の採用方式におけるトレンドを業種別に明らかにし、そのトレンドも加味しシナリオにおける空調方式別のシェアを設定した。

都市コージェネレーションシステムにおいては経済産業省の新エネ導入見通し(表-1)を参考とし、都市ガスコージェネレーションシステム(以降CGSと称す)の潜在導入割合(上限シェア)を想定した。

新エネ導入見通しにおいて、現行対策維持ケースにおけるトレンドを外挿すると、30年後の中長期的導入量見通しは、1999年比の約5倍となる。この見通しに基づき、本調査では大阪府業務部門におけるCGS導入量が調査対象年次(1999年)の5倍まで増加する普及シナリオを想定することとした。

上述した都市ガス空調熱源および都市ガスCGSの普及ケースに加え、本研究では大阪府内の全業務系建物が電気式空調システムを採用するケースを追加し、現況熱源構成のケースとあわせ、計4つのNOx排出量シナリオを評価対象とすることとした。表-2に以上の検討のもとに作成したシナリオを示す。

表-1 燃料電池を含む天然ガスコージェネの導入見通し

エネルギー分野	1999年度実績	2010年度見通し/目標		2010/1999
		現行政策維持ケース	目標ケース	
天然ガスコージェネ	152万kW	344万kW	464万kW	約3倍

(出所：資源エネルギー庁ホームページ)

表-2 評価対象とした建築の熱源・電源構成シナリオ

ケース名	設定内容
CASE-0	【現況ケース】 ・前年度調査において作成した現況ケースのNOx排出インベントリーデータに基づき、街区域のNOx排出量を設定。
CASE-1	【全電気空調ケース】 ・業務系建築の全空調熱源が、都市ガス利用機器に置換されることを想定。 ・集中式空調の全建物に吸収式冷水機を導入され、個別式空調の全建物にGHPが導入されたと想定。 ・集中式/個別式の採用比率(現況値)を建築設備性能年鑑(ELPAC200)に基づき、近畿以西の建築を対象に業種別に分析し、吸収式冷水機とGHPのシェアを設定。 ＜都市ガス空調熱源のシェア設定＞ ・事務所：吸収式冷水機→60%、GHP→40% ・商業施設：吸収式冷水機→80%、GHP→20% ・学校：吸収式冷水機→90%、GHP→10% ・宿泊施設：吸収式冷水機→90%、GHP→10% ・病院：吸収式冷水機→90%、GHP→10% ・その他：吸収式冷水機→90%、GHP→10%
CASE-2	【全電気空調ケース】 ・業務系建築の全空調熱源が、電気式に置換されることを想定。 (即ち、業務系建物からの空調熱源のNOx排出がゼロになることを想定。)
CASE-3	【コージェネ普及ケース】 ・業務系建築へのコージェネ導入量が、現況の5倍まで増加するコージェネ普及ケースを想定。 ・大阪府業務部門における現況導入量(1999年時点)が5倍まで増加した場合のシェアを業種別に設定。 ＜普及ケースにおけるコージェネ導入割合の設定＞ ・事務所：導入割合=10% ・商業施設：導入割合=10% ・学校施設：導入割合=0% ・宿泊施設：導入割合=30% ・病院：導入割合=100% ・その他：導入割合=70%

3. 都市街区における大気拡散モデルの検証

本研究において着目する建築起源のNOx排出は、ストリートキャニオン内での非定常の拡散過程を経て、建物近傍の地上部等に形成される風の淀み域での高濃度化等、短時間かつ局所的な汚染現象に対し影響を及ぼす事が予想される。このような局所的汚染現象の予測を考慮し、シミュレーションにミクロスケール大気拡散モデルを採用した。

(1) 検討に用いた数値モデル

(a) 気流予測モデル

街区内の気流予測モデルとしては、 $k-\varepsilon$ 型乱流モデルが実装された3次元の数値流体力学モデル(CFDモデル)である $\alpha\text{-flow}^2$ を採用した。流れ場は等温非圧縮を仮定し気流計算を実行した。

(b) 大気拡散モデル

CFDモデル上で予測された街区内の各大気格子にお

ける平均風速と乱流統計量に基づき、NOxを対象に大気中での拡散計算を行い、各格子におけるNOx濃度を予測すべく、大気拡散数値モデルを導入した。拡散モデルとしては、ラグランジュ型ランダムウォークモデルを採用した。

(c) CFDと大気拡散計算の連成手法

気流計算と拡散計算の連成手法としては、CFDモデルにより各時刻における街区内の気流場を予測し、その予測結果を与条件とし、街区内の各排出源から放出されたNOx粒子が平均流により流れ、乱流構造に基づき拡散していく過程を拡散モデル側でシミュレートした。

(2) シミュレーション対象領域および対象期間

シミュレーションの対象領域は、大阪市内においていかなる風向条件下においても風上側に近接する一般環境測定局が存在する地域として、西区堀江小局の周辺街区を選定した。

対象期間はNOxインベントリーデータの作成年次である1999年度の大阪府大気汚染測定データを対象に、下図のフローに従いNOxの高濃度汚染日を抽出し、2000年1月24日の一日間をシミュレーション対象期間として選定した。

(3) シミュレーション条件

計算領域は500m四方の堀江小街区を中心に東西南北に500m幅の助走計算領域を設け、全体では1.5km四方の計算領域を設定した(図-1)。街区内の建築構造物については、数値地図データに基づきその3次元形状を座標化し、堀江小周辺で密となる不等間隔の計算格子を生成した(図-2、図-3)。

境界条件となる風速条件は大阪タワー立体局の実測風速を計算領域の上空風速と見なし、対数則等の接地境界層理論に基づき、時刻別の流入風速プロファイルを推定した。またNOx濃度については、計算対象領域(堀江小街区)の風上側に存在する近隣一般局でのNOxの濃度実測値を調査・検討し、モデル検証では解析領域内における街区からのNOx排出のみを考慮し、境界からのNOxの流入はゼロとした。

(4) モデルの検証結果

(a) 街区の気流シミュレーション結果

各計算時刻においてシミュレートされた結果のうち、堀江小校舎の上空にてシミュレートされた風向・風速と一般環境測定局での実測を比較した結果を図-4に示す。比較図よりモデルは堀江小一般局での風向・風速をほぼ再現できている事が確認できた。

(b) 街区内NOx 拡散シミュレーション結果

拡散モデルでは大阪府域の NOx インベントリーデータより、堀江小街区が含まれる 3 次地域メッシュ内の NOx 排出量データを抽出し、拡散シミュレーションで用いる街区域での NOx 排出源（排出源の格子座標および時間あたり放出量）の設定をおこなった。

堀江小とその周辺一般局（計 9 局）での測定濃度を平均することでバックグラウンド濃度を算出し、その濃度を域内排出のみを考慮した濃度計算値に加算し、実測濃度と比較した。堀江小一般局での実測の NOx 濃度とモデルによる予測濃度との比較を行った結果を図-5 に示す。その結果、バックグラウンド濃度も加味した場合のモデルによる予測濃度は実測濃度とさほど乖離せず、その時間変化も含めモデルは堀江小測定局における濃度をほぼ再現可能であることが確認できた。

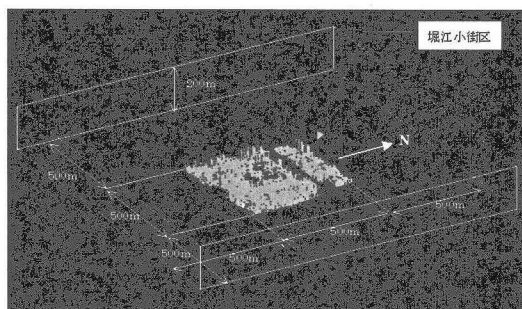


図-1 気流シミュレーションにおける計算領域の設定

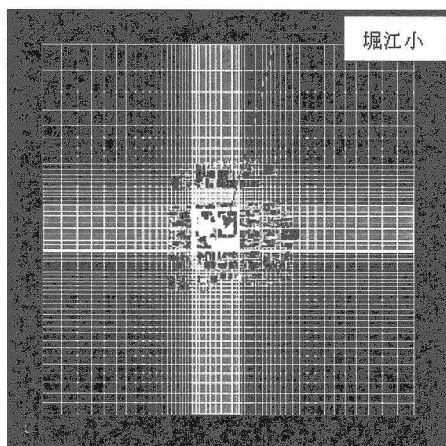


図-2 気流シミュレーションにおける計算格子（水平断面）

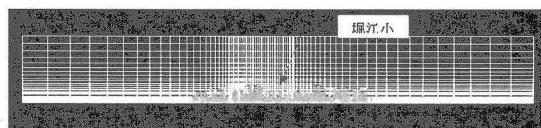


図-3 気流シミュレーションにおける計算格子（鉛直断面）

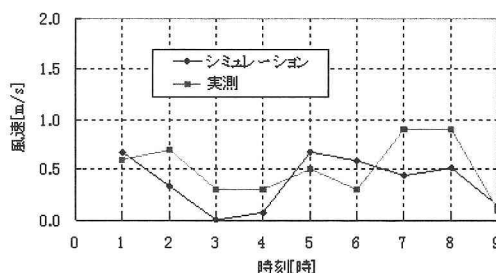


図-4 実測風速とシミュレーション結果の比較

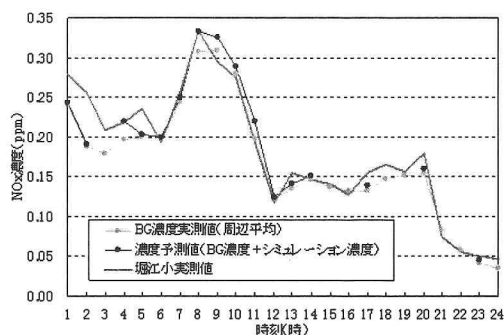


図-5 実測濃度とシミュレーション結果の時系列比較
(堀江小街区；2000 年 1 月 24 日)

4. 将来シナリオ下の汚染物質濃度評価

前章で検証された街区スケール大気拡散モデルを用いて、第 2 章で作成した NOx 排出量の将来シナリオに基づく NOx 拡散シミュレーションを実施し、都市ガス空調システムの普及等、民生用エネルギーシステムの変化に伴う NOx 排出量の増減が街区スケールの NOx 濃度環境に及ぼす影響について検討した。

評価対象領域としては顕著な NOx 排出の増減が予想される業務系建築の集積街区として、大阪市中央区の事務所街区（図-6）を選定した。また、シミュレーション対象期間としては、モデルの検証数値実験と同様、2000 年 1 月 24 日（月）の高濃度汚染日を選定した。

(1) シミュレーション条件

計算領域は前章と同様に約 500m の助走区間領域を東西南北の四方に設け、対象となる約 500m 四方の街区をその中心領域に設置した。図-7 には街区部分の計算格子および構造物形状を示す。風速境界条件および NOx 濃度条件についても、前章のモデル検証シミュレーションと同様の手法により設定した。

(2) シナリオ別のNOx 排出量条件

第2章で作成した業務系建築物におけるエネルギーシステム構成の各シナリオを中央区街区領域へ適用し、領域内におけるNOx 排出源の設定を行った。

各シナリオ下でのNOx 排出量の推定は、堀江小街区領域の場合と同様、3次メッシュ別の排出インベントリーを各シナリオにあわせ改訂したのちに、その結果を床面積や道路面積比にもとづき街区領域へ按分する方法に依った。

以上の方法に基づき推定された各シナリオ下での街区区内NOx 排出量を図-8～図-11に示す。

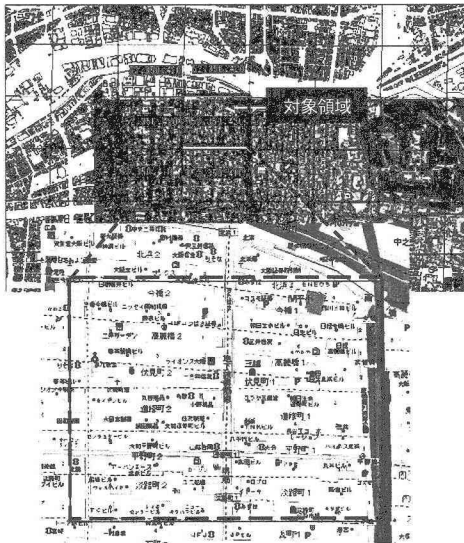


図-6 シナリオ評価の対象領域（中央区北浜周辺街区）

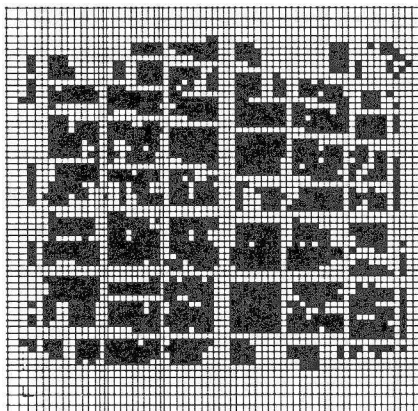


図-7 計算格子および建築構造物の形状

(3) 各シナリオ下でのNOx 拡散シミュレーション

上記の条件設定の下に実施したシミュレーション結果を記す。

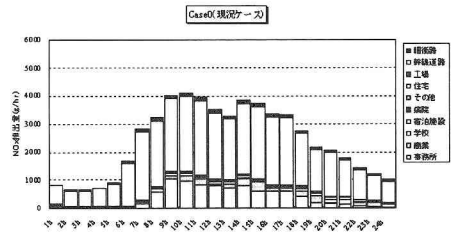


図-8 シナリオ想定下における排出源別NOx 排出量 (CASE-0)

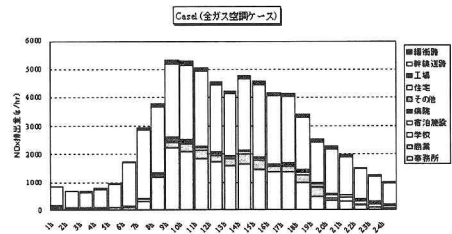


図-9 シナリオ想定下における排出源別NOx 排出量 (CASE-1)

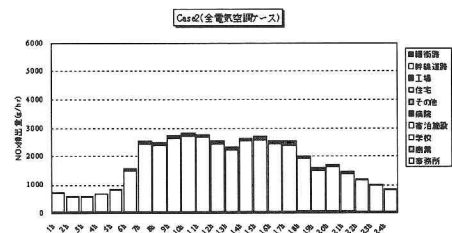


図-10 シナリオ想定下における排出源別NOx 排出量 (CASE-2)

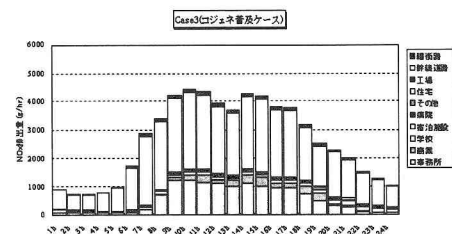


図-11 シナリオ想定下における排出源別NOx 排出量 (CASE-3)

計算の対象とした時刻は、2000年1月24日において大阪市中心部のNOx 濃度がピークに達した午前9時、午後の西風条件下で濃度が低下した16時、並びに夜間に入り北風条件下で更に濃度が低下した24時の3時刻とした。

図-12～図-15に各シナリオ条件下でシミュレートされた高度1.5mと50m(建物上層)における午前9時の

NO_x 濃度分布（域内排出の影響のみを考慮したインパクト濃度分布）を示す。

各シナリオケースにおけるインパクト濃度は、街区上空（高度 50m）、地上部（高度 1.5m）共に、CASE0（現況ケース）とほぼ似通った分布パターンとなったが、濃度の絶対値はシナリオ間での建築物からの NO_x 排出量の増減に応じて変動しており、CASE0（現況ケース）に比し建物排出量が最も増加する CASE1（全都市ガス空調ケース）では、日中の時間帯（9 時・16 時）に街区地上部においても通風性の低い細街路域を中心に濃度上昇が認められた。一方、CASE0 と比べ街区内部での NO_x 排出量が最も減少する CASE2（全電気空調ケース）においては、地上部でのインパクト濃度も減少する結果となり、この他、NO_x 排出量が微増に止まる CASE3（コジェネ普及ケース）においては、インパクト濃度は、その排出量に見合った影響度合いが予測された。

シミュレーション結果にもとづき、キャノピー空間全体（地表から建物上層までの街区空間全体）での平均濃度を算出した（図-16）。シナリオ間での平均濃度差が最大となる午前 9 時においては、CASE1（全ガス空調ケース）で約 40ppb の濃度増が予測される一方、CASE2（全電気空調ケース）では反対に約 40ppb の濃度減少（CASE0 に対する増減量）がシミュレートされた。

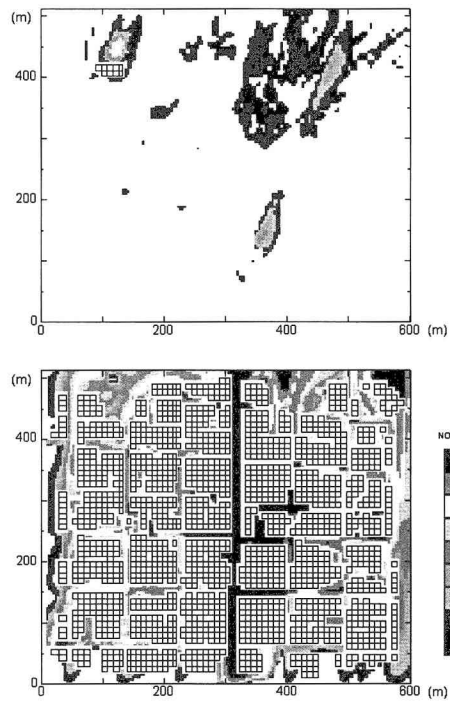


図-13 2000 年 1 月 24 日 9 時の NO_x 濃度の分布；CASE1
（上段：高度 50m での分布，下段：高度 1.5m での分布）

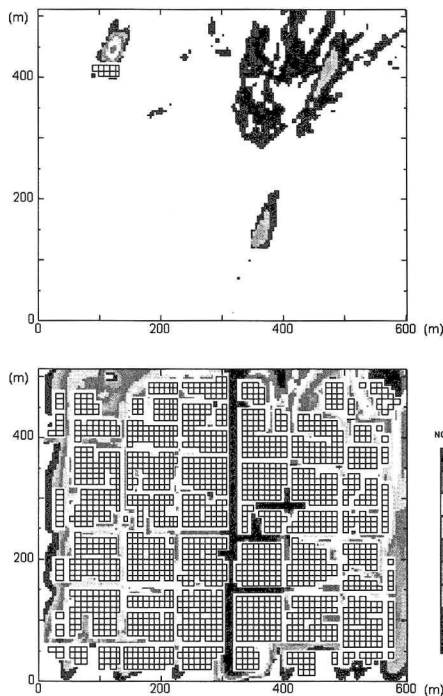


図-12 2000 年 1 月 24 日 9 時の NO_x 濃度の分布；CASE0
（上段：高度 50m での分布，下段：高度 1.5m での分布）

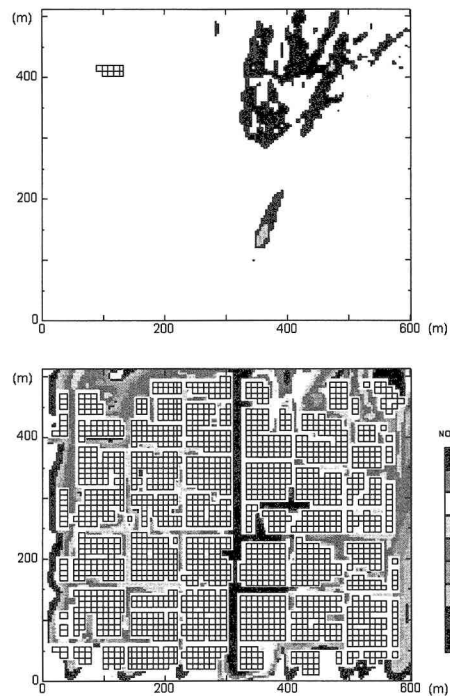


図-14 2000 年 1 月 24 日 9 時の NO_x 濃度の分布；CASE2
（上段：高度 50m での分布，下段：高度 1.5m での分布）

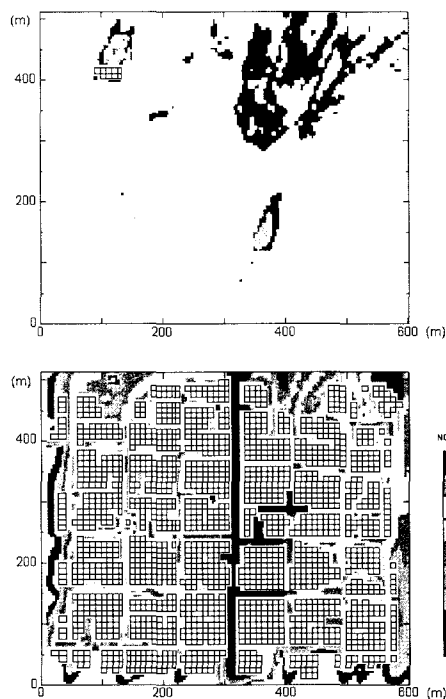


図-15 2000年1月24日9時のNOx濃度の分布; CASE3
(上段: 高度50mでの分布, 下段: 高度1.5mでの分布)

シナリオを中央区街区域のみならず近隣地域にも適用し、別途パフモデルで評価した結果、バックグラウンド濃度は午前9時において、CASE1(全ガス空調ケース)にて70ppb増加し、CASE2(全電気空調ケース)では70ppb減少することが予測された。これらより街区キャノピー空間の平均の環境濃度でみて、少なくとも50ppb前後の濃度変化が起き得るものと推察できる。計算対象日の同時刻(午前9時)において、中央区周辺におけるNOxの環境濃度が平均で310ppbであったことを考慮すれば、シナリオの導入に伴い街区内のNOx濃度は10~20%程度変化する事が予測されたことになる。

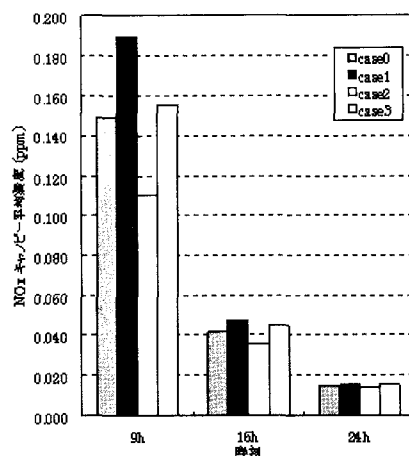


図-16 シナリオケースにおけるキャノピー空間平均濃度

5. まとめ

検証されたモデルを、想定したエネルギーシステムの構成変化に関するシナリオ下において最も顕著なNOx排出の増減が予想される大阪市中央区の事務所建築の集積街区へ適用し、各シナリオ下でのNOx排出量の増減が街区大気中のNOx濃度場に及ぼす影響をシミュレートした。その結果、シナリオ間でのエネルギーシステムの構成の変化は、街区大気中のNOx濃度に対し、冬季NOx汚染のピーク時に弱風条件下にて10~20%程度の濃度変動をもたらすものと予測された。

参考文献

- 1) 社団法人建設設備技術者協会: ELPAC2000
- 2) 富士総合研究所(現: みずほ情報総研)編: 汎用流体解析システム—FUJ-RIC/α-FLOW—, 丸善株式会社, 1993

Impacts of Various Urban Energy Systems on NOx Concentration in the Urban Canopy

Takayuki TOMIZUKA and Yukihiro KIKEGAWA

This study numerically quantifies the NOx concentration released from air conditioning systems in typical office buildings in Osaka city in winter. The diffusion of NOx analyzed by CFD model and we made a comparative study of the NOx concentration due to various air condition system in urban area. All of the calculations indicated high concentration in the morning. We found that among the scenarios the amplitude of the NOx concentration ranges from 10 to 20% in comparison with that predicted in the current status.