

屋外熱環境の実務設計支援システムの開発とその適用

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A TECHNICAL DESIGN SUPPORT SYSTEM FOR OPTIMIZING OUTDOOR THERMAL ENVIRONMENTS

神山健二 —*1 佐々木亮治 —*2
河野俊樹 —*1 足永靖信 —*3
成田健一 —*4 植松 康 —*5

Kenji KAMIYAMA —*1 Ryoji SASAKI —*2
Toshiki KOHNO —*1 Yasunobu ASHIE —*3
Ken-ichi NARITA —*4 Yasushi UEMATSU —*5

キーワード:

屋外熱環境, 快適性, 評価, 実務設計支援システム

Keywords:

Outdoor thermal environment, Thermal comfort, Evaluation, Technical design support system

This report presents the outline of a building design support system that evaluates the outdoor thermal environment. Using this system, designers can easily evaluate the thermal comfort of pedestrians in the vicinity of the buildings of concern, considering various meteorological factors, such as wind speed and relative humidity. One feature of this system is that it has a database of airflow around buildings in which the results of CFD analysis for various conditions are stored. Therefore, the designers can save time to be used for evaluating the thermal comfort of pedestrians because they don't need the results of wind tunnel experiment or CFD analysis.

1. はじめに

都市部においては地表面の舗装化、コンクリート造建物の増加によりヒートアイランド現象が発生し、社会問題となっている¹⁾。一方、建築スケールでは住棟間の風通し等屋外の温熱快適性の低下が危惧されている²⁾。室内については空調負荷計算などの十分な配慮のもとに実務設計を行うことで良好な熱環境が得られている。それに比べて、屋外環境については熱的配慮がほとんど実施されないままに建物が計画されている。従って快適性向上のために土地被覆の緑化や建物周辺の植栽を有効に取り入れた都市計画や建築計画が求められている。

屋外熱環境の予測手法としては、例えば森川³⁾や吉田⁴⁾の研究があり、建物周辺から市街地スケールまでの熱環境予測シミュレーションが可能となってきた。しかし、予測精度が飛躍的に向上してきている反面、計算負荷も大きく、数日間でケーススタディを行わなくてはならない実務設計に反映させるには困難な状態にある。また、実務設計への適用を考慮した予測システムとしては三坂⁵⁾による試みが見られるものの設計者自らが屋外熱環境を検討できるまでには至っていない。そこで、筆者らは、設計者自らが屋外熱環境の観点から建築計画を迅速かつ簡易に評価することが重要であると考え、建物の形状・配置・植栽等による温熱快適性を予測することができる屋外熱環境の実務設計支援システム（以下システムと称する）のプロトタイプを構築した。本報告ではシステムの概要と適用事例を示す。

2. システム開発の目的と特徴

2.1 目的

本システムは、集合住宅の物件への適用を主として、建物周辺の温熱快適

性の評価と熱的に最適な住棟の配置計画の検討を目的とする。具体的には建物エントランスなど居住者の動線が集まる所、小公園など人が集まる場所について熱的に快適な空間を提供するための配置検討ツールとして用いる。また、敷地外については事業実施による日影、風害などの環境対策ツールとしての利用が考えられる。

2.2 システムの特徴

屋外熱環境を改善する手法として緑陰による日影効果の利用とともに、建物や樹木配置の工夫による風の制御が有効と考えられる。風速分布の予測に利用される CFD 解析は専門的知識が必要で解析時間も多くなる。そこで主たる建築計画について事前に CFD 解析を行い気流解析結果のデータベース（以下、DB）化を行うことで業務時間の短縮と実務設計者への負担軽減を図った。

本システムは「温度」、「湿度」、「風速」、「日影」を総合的に考慮した快適性の評価を行うとともに、DB機能を持たせることで熱的に条件の良い建物配置計画を検索することができる。なお、DBにあてはまらない建物の形状・配置については、別途 CFD 解析を行わなくてはならないが、所定の書式で DB に追加することで次回以降に対応可能となる。

3. 開発システムの要素技術の検討

3.1 集合住宅設計図書への調査

過去5年間における約60件の集合住宅設計図書（敷地1,000㎡以上）を入手し、敷地や建物の形状、寸法、容積率等の現状を調査した。その結果、用途地域の約60%が住居地域であること、敷地形状の約70%が四角形状であること、建物平面のアスペクト比は3前後、敷地のアスペクト比は2前後が

*1 飛鳥建設(株)技術研究所
(〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472)

*2 西松建設(株)技術研究所

*3 独立行政法人建築研究所 工博

*4 日本工業大学建築学科 教授・工博

*5 東北大学大学院工学研究科 教授・工博

*1 Research Engineer, Technical Research Institute, Tobishima Corporation

*2 Research Engineer, Technical Research Institute, Nishimatsu Construction

*3 Building Research Institute, Dr. Eng.

*4 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

*5 Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.

多いことが判明した(図1)。また、実務設計者へのヒアリング調査を実施したところ、建物の棟間距離やL型配置建物の交差角度の変化による周辺環境への影響を簡便に把握したいという要望が多かった。

以上の検討を基に、システムのインターフェースとなる建物形状のモデル化を行った。建物1棟の基本形状はアスペクト比3(幅45m、奥行き15m)の長方形と正方形(一辺30m)の2種類とし、容積率は100~400%の5段階とした。複数建物の配置形態については図2に示す直列型とL型とし、それぞれ棟間距離や建物方位、交差角度を可変とする。表1はタワー型も含めて本システムで取扱う建物形状・配置毎の諸元を一覧したものである。

3.2 建物形状・配置の評価におけるCFD解析の適用

DBの作成にあたり、CFD解析の妥当性を検証するため風洞実験との比較検討を行った。建物条件としては高さ45m、幅45m、奥行き15m(3:3:1)の建物で棟間距離27mの直列型を想定した。流入気流のベキ指数は $\alpha=0.25$ を用いた(註1)。地表面付近(高さ1.5m)のスカラー風速分布に関する結果の例を図3に示す。建物側面の剥離流域を見ると、スカラー風速の最大ピーク位置は風洞実験で $y/b=2.2$ 付近であるのに対してCFD解析では $y/b=2.5$ 付近になっている。また建物の後流域では、建物近傍の風速の低下がCFD解析で大きくなる傾向が見られる。風洞実験とCFD解析の風速値の平均誤差は約14%であり、今回用いた標準k-εモデルの性格上の問題点を伺わせるが、おおまかな分布は再現していることから実務設計での使用は差し支えないと考えられる。

3.3 快適性評価手法

本システムでは、屋外空間の快適性評価手法として、首都圏内の集合住宅団地で実施された住民へのアンケート調査から得られた快適感の申告値とその時の気象条件との関係から導いた独自の評価式を用いている(註7)。快適性に影響する要因として評価式に組み込む変数は、対象地点に応じて気象データから得られた気温 t および湿度 ϕ と、DBから得られた風速 v の3変数とし、

日向・日影のそれぞれについて評価式を作成した(註2)。なお対象空間のスケールにおいて気温と湿度は局所性が小さいと考えられるために評価対象範囲内で均一の値を用い、局所性が大きいと考えられる風速に関してのみCFD解析による風速分布解析結果を適用した。快適性を示す快適度は、その気象条件のときに何%の人が快適と感じるかを表す指標で(1)式により計算される。

$$\text{快適度}(\%)=100(a_v \cdot v + a_t \cdot t + a_h \cdot \phi + C) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 a_v, a_t, a_h は係数、 C は定数であり、これらの値は表2に示すように、夏季と冬季、日向と日影の区別によりそれぞれ異なる値を持つ。

4. 開発システムの概要

4.1 屋外環境評価

実務設計者は設計の初期段階に本システムを用いることで、従来検討を行ってきた環境評価と日影評価に加えて、屋外での快適性についても、その傾向を簡便に把握することが可能となる。屋外環境評価の流れを図4に示す。

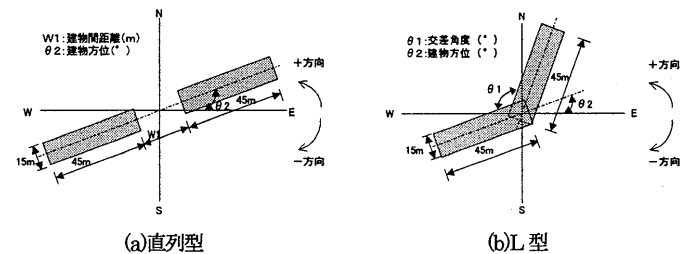


図2 建物の配置形態

表1 建物の形状・配置と諸元

配置形態	直列型	L型	タワー型
基本形状	長方形		正方形
建物間情報	建物間距離 W1 0, 3, 6, 9, 18, 27, 36, 45 (m)	交差角度 θ 1 90, 105, 120, 135, 150, 165 (°)	単体建物
建物方位 (θ 2) 11.25° 単位	0~45°	±0~45° ±135~180°	0~45°
建物高さ (m)	15, 20, 30, 40 (m)	15, 20, 30, 40 (m)	60, 100 (m)

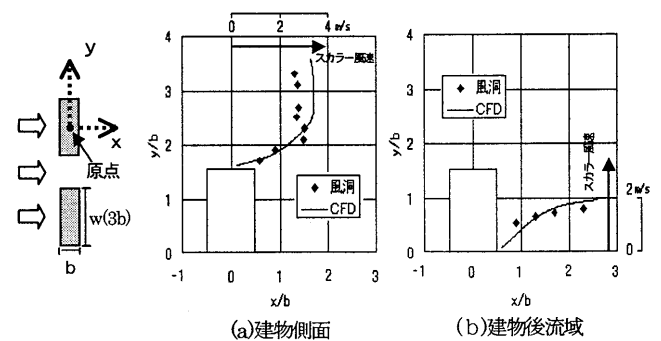


図3 風速分布に関する風洞実験とCFD解析の比較

表2 快適性評価式の係数および定数

		a_v	a_t	a_h	C
夏季	日向	-2.9	6.0	0.34	-145.2
	日影	-4.3	7.7	1.03	-245.7
冬季	日向	17.1	-1.8	-0.08	25.6
	日影	8.3	-1.2	0.02	49.2

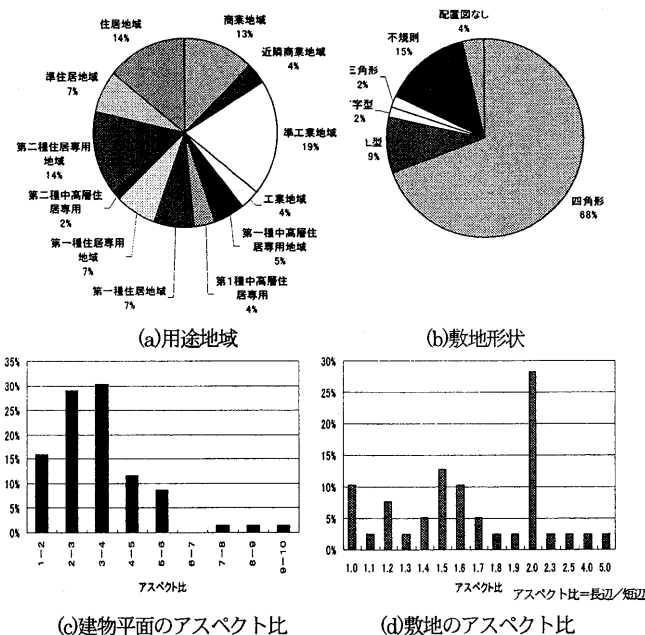


図1 集合住宅設計図書調査結果(物件数による割合を表示)

本システムでは、検索条件1と検索条件2を設定することで計算が実行される。検索条件1は、評価を行う物件の立地条件である地域、季節、時刻の項目である。対象地域として首都圏内で気象観測点のある10都市、対象季節として夏季と冬季、対象時刻として日中の10時から16時と設定している。これを基にシステム内の気象データを検索し、対象地域の気温・湿度、卓越風向、太陽位置・高度を読み込む。検索条件2は、設計者が変更・検討できる建物形状に関する項目である。図5は条件選択画面であり左上が検索条件1、左中が検索条件2であり、下部に該当する気流解析データファイルが検索・表示される。ここで表示されたデータファイルを選択し次に進むと検索条件に即して日影および快適度の計算が行われる。解析結果は、快適度コンターの他に、屋外環境の一般的評価に用いられる風速コンターおよび日影コンターも表示できる。

以上の操作は対話形式の入力で作業が迅速に行えるため、建物高さや地域、時刻を変更した場合等の屋外環境の比較を容易に行うことが可能である。

4.2 快適度による最適配置検索

設計条件に未決定の項目があり配置計画に自由度のある場合に、快適性を重視して配置計画を検討するため、本システムでは「最適配置検索」の機能を有している。例えば、容積率は決まっている2棟間の最適な棟間距離を求めるような場合が考えられる。

検索条件2の項目の選択時に、決定していない事項を空白指定のまま検索を行うと関連する気流解析データファイルが画面下に表示される。快適度の平均値が高い順に画面上に表示されるので、その中から検討すべき建物形状や配置を取捨選択する。図6に表示画面を例示する。図6中の快適度とは解析領域全体の平均値であるが、任意の領域を設定し、その領域内の快適度を示すこともできる。

5. 開発システムの適用例

5.1 対象建物の概要

実際の物件への本システムの適用を試みた。対象物件は東京都江東区に建設中の超高層マンションであり、対象建物の配置図と立面図を図7に示す。対象建物の高さは約100mである。対象建物の東側には駐車場が計画されており、対象建物を囲むように北、西、南側には樹木が配置されている。建物エントランスは対象建物の北側にあり、対象敷地西側の道路より動線が結ばれている。

5.2 解析方法

本システムのDBの中で、高さ100mのタワー型が本建物を表現できると考えた。平面形状に若干の相違があるが、設計初期では様々な建築計画のパターンを想定する必要があり、周辺建物などについてはある程度の簡略化はやむを得ない。もちろん詳細を知りたければ周辺建物を含めて新たにCFD解析を実施しDBに書き加えてもよい。使用する気象データは最も近隣の気象観測点となる大手町とし、評価時間は10時～16時の日中の時間帯とする。

5.3 解析結果

図8に風速コンター図を示す。夏季は南からの風が卓越するために、風上側隅角部で風速が高く、建物前面と後面において風速が低いことが分かる。

図9は日影図である。夏季は太陽高度が高いため高層棟の日影の影響範囲は比較的狭い。

夏季の快適度コンター図に建物略図を加えて図10(a)に示す。日影が快適度

に与える影響は大きいとその影響範囲は建物周辺のみに限られている。それに対して風が快適度に与える影響は広範囲に及んでいることが分かる。また、この時期は建物エントランスへの動線と駐車場付近で快適度が高いことが分かる。

冬季の快適度の結果を図10(b)に示す。冬季には主風向が北北西となり風速分布が図8とは大きく異なる。また太陽高度が低くなることから、日影の影響範囲が夏季と比べて大きくなる。建物エントランスでは快適度が高いが、

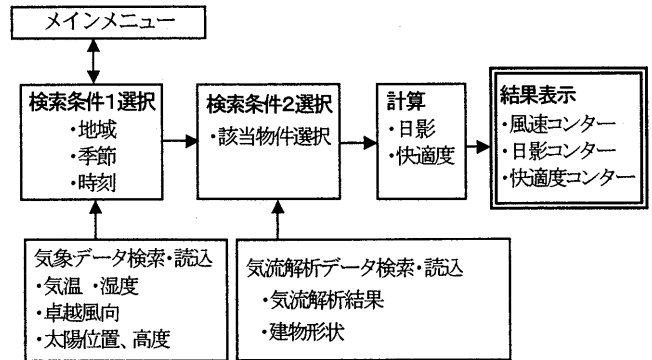


図4 屋外環境評価の流れ

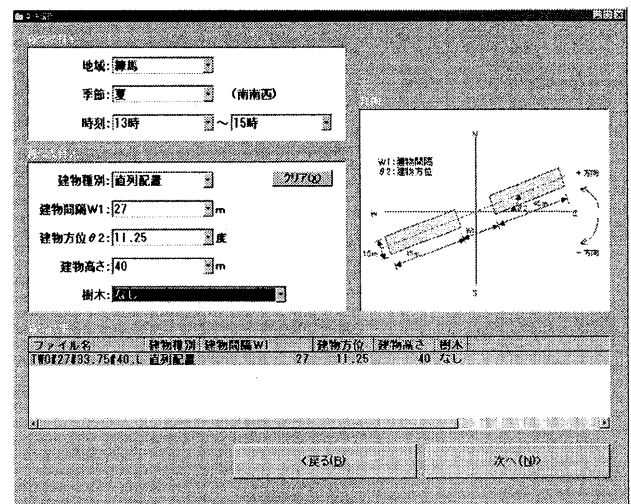


図5 条件選択画面

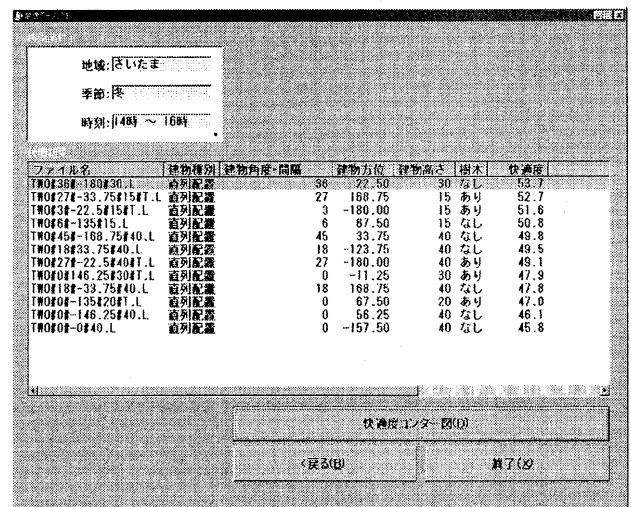


図6 快適度順位表示画面

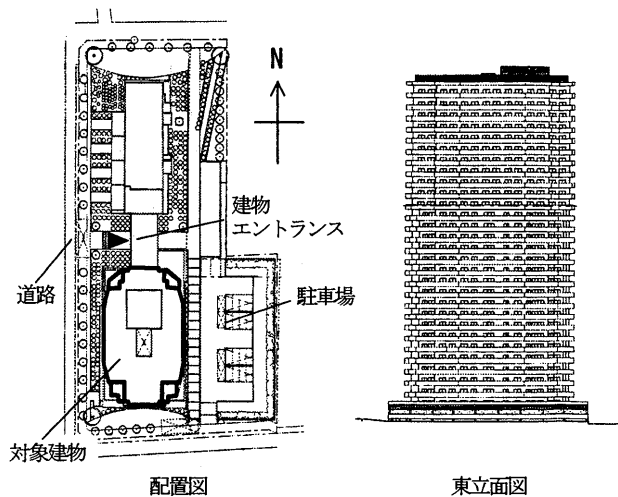


図7 解析対象建物概要

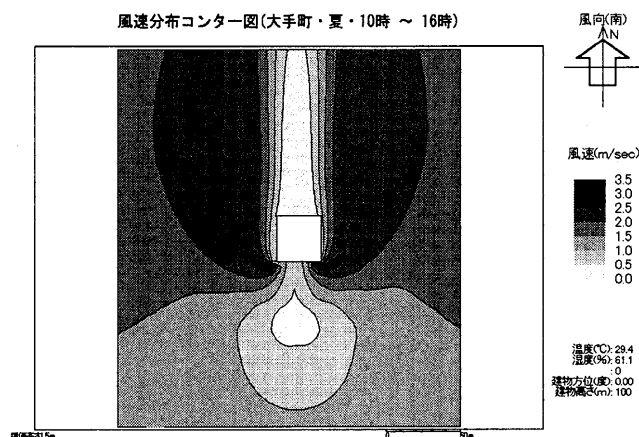


図8 風速コンター画面

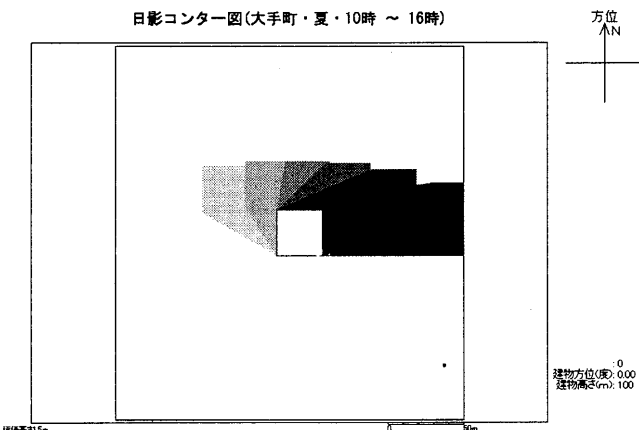


図9 日影コンター画面

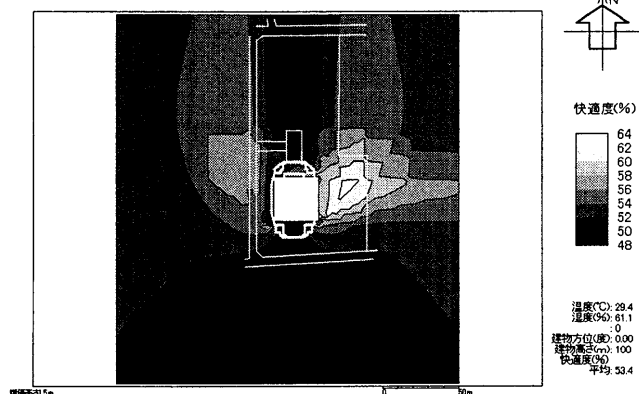
駐車場でかなり低くなる。

年間を通しては、駐車場では夏季の快適性は高く冬季に低いに対し、建物エントランス付近では夏季も冬季も高い快適性を示している。建物エントランスの快適度が高いことは計画上重要であり、本システムを用いた検討から、本計画における建物エントランスの位置は適切であることがわかる。

6. おわりに

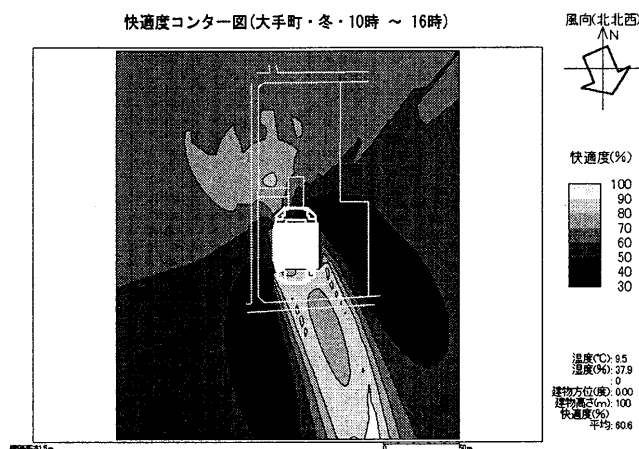
本報では開発した屋外熱環境設計支援システムの概要および適用例を示した。今後は DB、気象データを蓄積するとともに実務設計上有用となるようにシステムの改良を順次行っていく予定である。

快適度コンター図(大手町・夏・10時～16時)



(a) 夏季

快適度コンター図(大手町・冬・10時～16時)



(b) 冬季

図10 快適度コンター画面(白抜きは建物形状および配置図を示す)

備考: 本研究は独立行政法人建築研究所が企画した「屋外通風を考慮した熱環境設計研究会(平成12～13年度)」の研究成果をとりまとめたものである。研究会のメンバーは次の通りである。足永靖信(独立行政法人建築研究所)、成田健一(日本工業大学)、植松康(東北大学)、滝川浩一(飛鳥建設:当時)、河野俊樹(飛鳥建設)、神山健二(飛鳥建設)、戸松征夫(西松建設)、佐々木亮治(西松建設)

(注1) 計算条件: 乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデル、境界条件は地表面及び建物表面は対数則、側方はフリースリップ、風下は自由流入、流入境界条件は平均風速鉛直分布を $1/4$ 乗則とし、 k は乱れの強さの鉛直分布式を参考に、 ϵ は局所平衡を仮定して与えた。

(注2) 体感的には、これらの要素以外に長波放射を考慮しなければならない。しかし、形態係数や表面温度の計算は負荷がわかり、簡易計算を目的とした本システムへの適合が難しいことから、本システムでは日向・日陰の区別のみで代表させている。長波放射の影響については、別途実験を進めており、今後その成果を組み込むことも検討している。

【参考文献】

- 1) 環境庁大気生活環境学(当時): ヒートアイランド対策の推進のために(パンフレット), 2000.12
- 2) 足永靖信 他7名: CFDによる川風の熱空気環境改善効果の解析—その2建物配置変更による川風の制御—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 2002, pp.881~882
- 3) 森川泰成 他3名: 市街地における温熱環境の予測・評価手法の検討—Rapid Prototype技術の適用—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 1997, pp.869~870
- 4) 吉田伸治 他5名: 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析, 日本建築学会計画系論文集第529号, 2000, pp.77~84
- 5) 三坂育成 他4名: 環境共生設計のための屋外熱環境予測システムの開発, 日本建築学会技術報告集第13号, 2001, pp.151~154
- 6) 佐々木亮治, 植松康: 体感に基づいた屋外空間環境評価—東京都武蔵野市での夏季アンケート調査—日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 2001, pp.919-920
- 7) 佐々木亮治, 植松康: 体感に基づいた屋外空間環境評価手法とその建築計画への応用—東北地方と関東地方の比較—, 2002年北方都市会議 IN おおもり「冬の都市フォーラム」, 2002, pp.371-376
- 8) (社)日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 1993, pp.267

[2002年10月18日原稿受理 2003年2月25日採用決定]