

4.2 将来市街地像の評価

今回の検討では、以下の2つに配慮しつつ検討をすすめてきた。

風の流れをできるだけ阻害しないこと

風が通り抜ける地表面や建物被覆の温度上昇を抑え、冷熱資源としての風を保全すること

そのため、評価の視点は「風の流れ」と「建物や道路などの地表面被覆からの熱環境負荷：HIP*」の2つとした。

HIP：ヒートアイランドポテンシャルのこと。周囲への熱的な影響を示す指標で、計算対象の敷地が平坦であると仮定したときに、その面が気温より何度上昇するのに相当するかを表す。HIPが大きいほど、ヒートアイランド現象を引き起こしやすい。

1) 風の流れの評価

(1) 評価対象

現状改善案、部分改善案、全面改善案の3案を対象にCFD(Computational Fluid Dynamics; 計算流体力学)解析を行った。解析対象範囲は図4-18~20に示す東西方向370m、南北方向460m、高さ地上200mの範囲とした。なお、現状改善案では風の流れを変化させるような対策は行っていないことから、現状改善案の解析結果は現状の風の流れに相当すると考えられる。

なお、風の流れの解析は新菱冷熱工業(株)中央研究所の協力を得て行った。

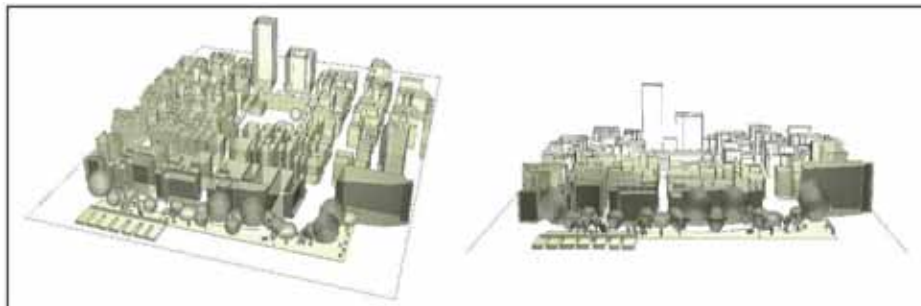


図 4-18 現状改善案

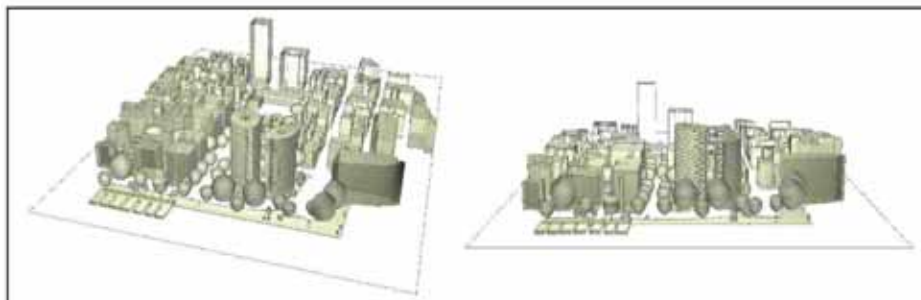


図 4-19 部分改善案

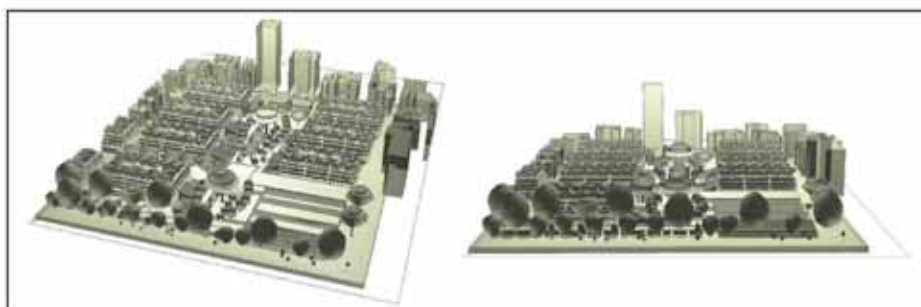


図 4-20 全面改善案

(2) 流入速度分布と解析領域メッシュ

都市キャノピー内の風速は複雑で流入風を厳密に与えることが困難であったため、基準高さの風速を METROS(都内気象観測網)四谷観測所(68.5mH)の2003年8月における南南西の風の平均値(4.6m/s)とし、1/4乗則にて近似した。また、流入乱流量は風洞実験結果¹を用いた。流出条件は自然流出条件とし、解析領域の上面および側面はフリースリップ境界、その他は対数則とした。

建物が隣接する 370m×460m×200m という大きな解析空間に対して十分な解像度を得るため、対象とする街区は1m間隔のメッシュとした。その結果総メッシュ数は1,600万メッシュとなった。

図4-21に流入風速と、メッシュレイアウトを示す。

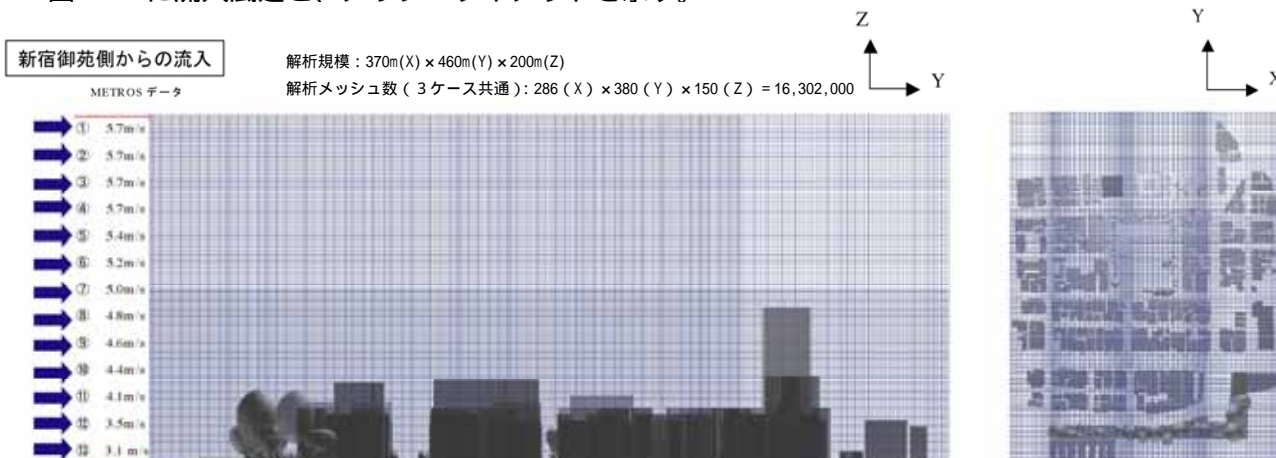


図4-21 流入風速分布図と解析領域メッシュ(立面と平面)

CFDに用いた主な解析コード、諸条件は以下の通り。なお、本報では温度は解析対象外。

(1) 基礎方程式

連続の式、ナビエ・ストークスの運動方程式、エネルギー保存式の3方程式を用いた。基礎方程式を、右に示す。

(2) 乱流モデル

実際の室内気流は乱流であり、乱流に対して基礎方程式をそのまま解くことは不可能であるため、通常乱流モデルが使用される。本報では最も一般的に使用されているk-ε型2方程式モデルの中で、屋外気流に対し比較的高精度が期待できる RNGk-ε モデルを用いた。参考までに標準型 k-ε モデルの方程式を表1に示す。

(3) 離散化

偏微分方程式をコンピュータで解くための計算アルゴリズム及び離散化は、計算の精度、安定性を考慮して、SIMPLECを用いたコントロールボリューム法とした。

(4) 空間差分

コントロールボリューム法における空間差分スキームは、流れを高精度に求めるため、以下の通りとした。

- ・運動方程式移流項：quick スキーム
- ・スカラー輸送方程式移流項：一次風上スキーム
- ・その他：中心差分スキーム

(5) マトリックス解法

千万メッシュ以上の膨大な行列計算を行うため、各方程式のマトリックス解法は高速な反復法を用いた。

- ・風速及び温度方程式：ILUCR 法
- ・圧力方程式：MICCG 法
- ・k及びε方程式：ILUCR 法

(6) ハードウェア・ソフトウェア

- ・ソフトウェア：STREAM Ver. 3.12 (解析部、(株)ソフトウェアクレイドル)
- ・STPost Ver. 5 (可視化部、(株)ソフトウェアクレイドル)
- ・ハードウェア：SX-6/2B (解析部、日本電気(株))
- ・Optiplex GX270 (可視化部、デル(株))

基本方程式及びk-ε型2方程式モデル

①基礎方程式

・連続方程式

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

・Navier-Stokesの運動方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \left[\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i^2} \right] - \delta_{ij} \theta \delta_{\theta}$$

・エネルギー方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu}{Pr} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right)$$

②k-ε型2方程式モデル(順に、連続の式、運動方程式、k方程式、ε方程式、エネルギー方程式)

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \Pi}{\partial x_i} + \nu \left[\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i^2} \right] - \delta_{ij} \theta \delta_{\theta}$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k + G_k - \epsilon$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \epsilon u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \epsilon (C_2 P_k + C_3 G_k - C_2 \epsilon)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \theta u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right)$$

$$\nu = C_D \frac{k^2}{\epsilon}, G_k = \sigma_P \frac{\nu}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \delta_{ij}, P_k = \nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \Pi = \frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k$$

$$\nu = \nu + \nu_t, \nu_0 = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}, \nu_k = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k}, \nu_\epsilon = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon}$$

$$\sigma_0 = 0.9, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, C_D = 0.09, C_2 = 1.44, C_3 = 1.92, C_4 = 0$$

※ RNGk-εモデルはk及びε方程式とntに含まれる定数をフリーに解析で理論的に求めたモデル

[記号]

- ui: xi方向の速度ベクトル [m/s], P: 静止大気圧からの圧力差 [Pa]
- q: 静止大気温度からの温度差 [°C], Pr: Prandtl数 [-]
- xi: 座標ベクトル [m], t: 時間 [s], U_i: xi方向の平均速度成分 [m/s]
- k: 乱流エネルギー [m²/s²], ε: 粘性逸散率 [m²/s³], P: 平均圧力 [Pa]
- Q: 平均温度 [°C], nt: 渦動粘性係数 [m²/s], n: 動粘性係数 [m²/s]
- g: 重力加速度 [m/s²], b: 体膨張率 [1/°C], ρ: 空気密度 [kg/m³]
- PK: kの生産項, Gk: 浮力生産項, dij: Kroneckerのデルタ

図4-22 解析手法

¹持田、村上、近藤、土谷:改良k-εモデルを用いた低層建物モデル壁面風圧力の数値解析、生産研究、48巻2号、13-17、1996.2

(3) 風シミュレーションの結果

CFDによる風シミュレーションの高さ別の結果を図4-23に示す。

地上1.7mでは、現状改善案に比べて、部分改善案の風の通り道の風速が強い範囲が新宿通りを超える地域まで延長されているのがわかる。全面改善案においては、新宿御苑北側に配置した店舗により強い風が遮られている。

地上15~20mの高さでは、部分改善案では新たに設置した建築物周辺の一部では風が強くなる範囲がみられるが、新宿通りより北側では、現状改善案の風の状況とあまり差がない。一方、全面改善案は中央部の緑地を中心に広い範囲で風速2.0m/s程度の風が吹いている。

地上30m以上の高さでは、全面改善案はほぼ全体を風が流れているのに対して、現状改善案、部分改善案では、建築物の影響により風の強い地域と弱い地域が明確化してきている。部分改善案の超高層ビルの風下範囲では、地上50mでも風が弱くなる場所がみられる。

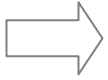
部分改善案で風の通り道を拡幅した場所では、現状改善案では地上30mまでの平均風速が2.1m/sであったのが、部分改善案では2.6m/sに増加した。しかし、高層建物周りで極端に風が強くなったり、逆にその後背地では風の弱い状況が見られる。全面改善案では、全体的に風が吹いている状況が確認できる。

風速の垂直断面(図4-24)からも同様の結果が読み取れ、部分改善案の建築物後背地には風がほとんど無いところが見られ、建築物から距離を置くと高さ方向まで弱風域が拡大している。一方、全面改善案においては、建物高さ程度までは全般的に弱風の範囲となっているが、建物上空は比較的均等に風が流れている。

現状改善案

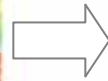


1.7m

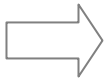
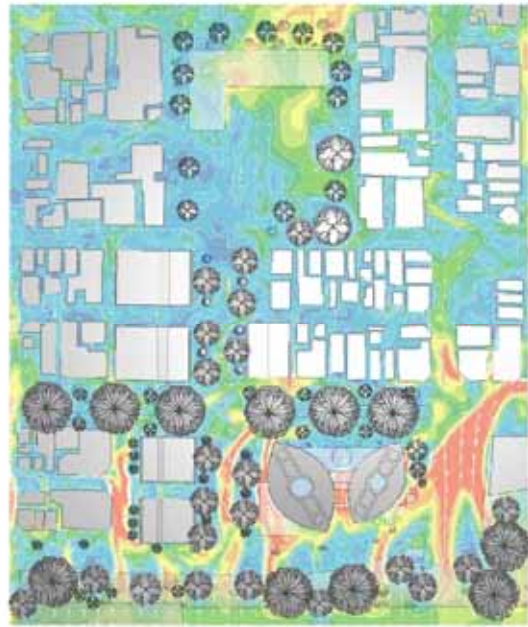


15.0m

部分改善案

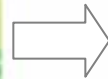
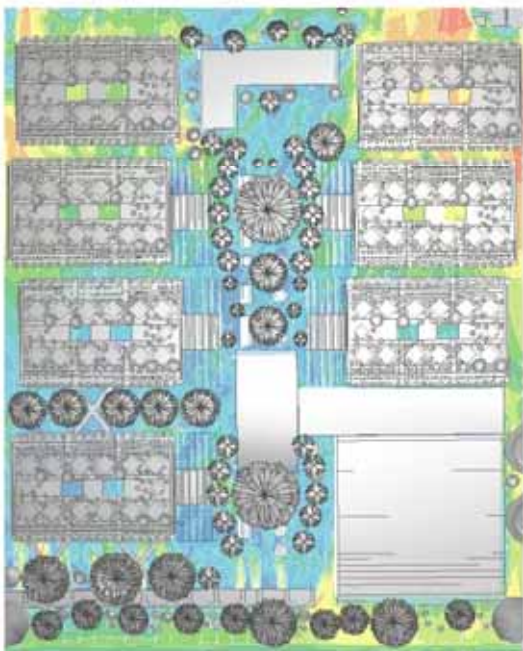


1.7m

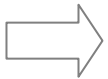
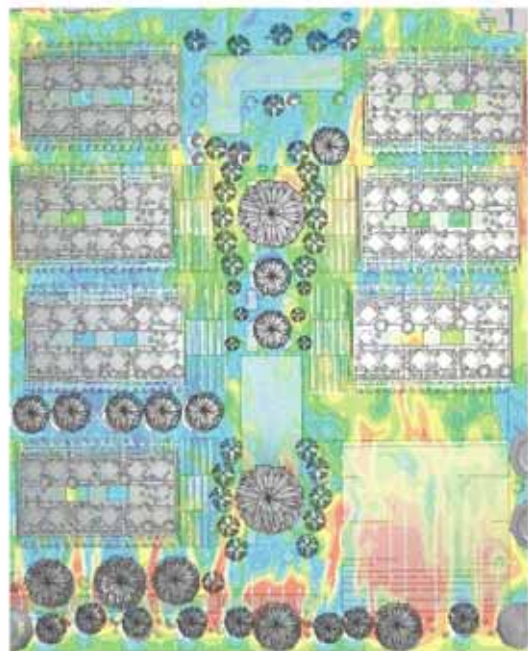


15.0m

全面改善案



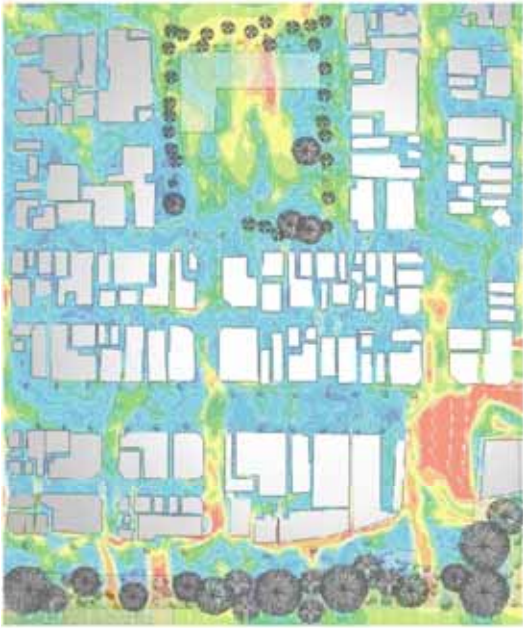
1.7m



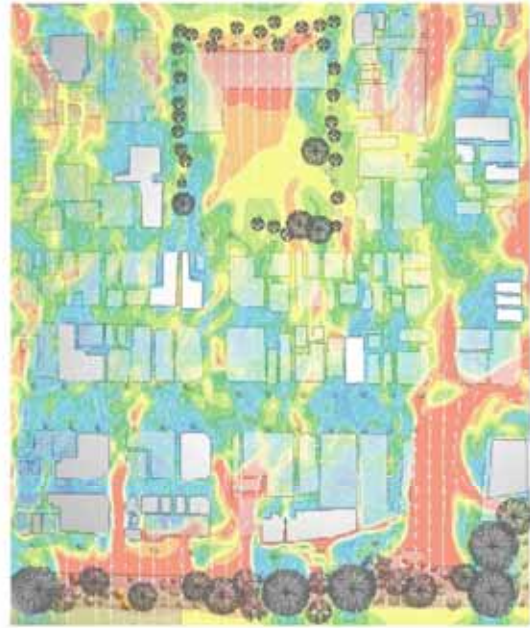
15.0m

図 4 - 23(1) 風の流れの評価結果(水平断面) (GL1.7m、15m)

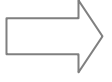
現状改善案



20.0m



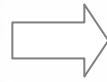
30.0m



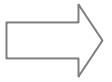
部分改善案



20.0m



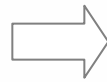
30.0m



全面改善案



20.0m



30.0m

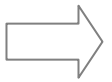
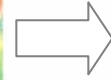


図 4 - 23(2) 風の流れの評価結果 (水平断面) (GL20m、30m)



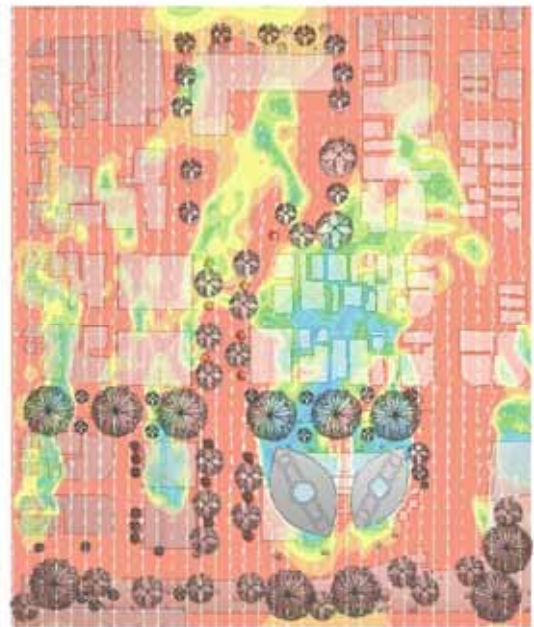
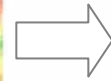
現状改善案



40.0m

50.0m

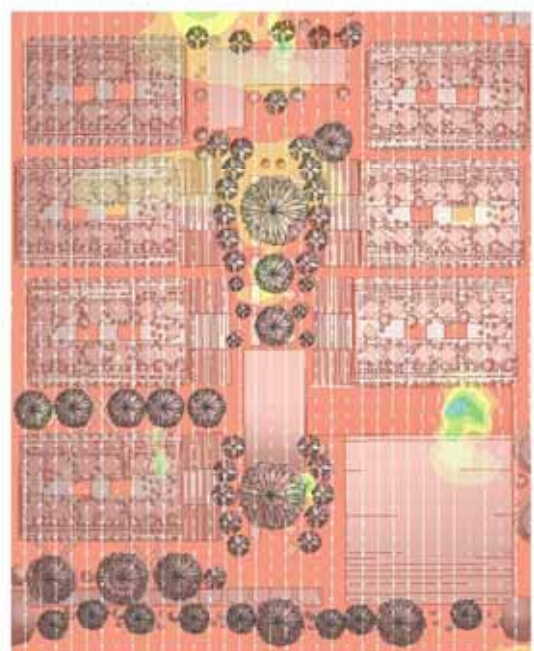
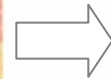
部分改善案



40.0m

50.0m

全面改善案



40.0m

50.0m

図 4 - 23(3) 風の流れの評価結果 (水平断面) (GL40m、50m)



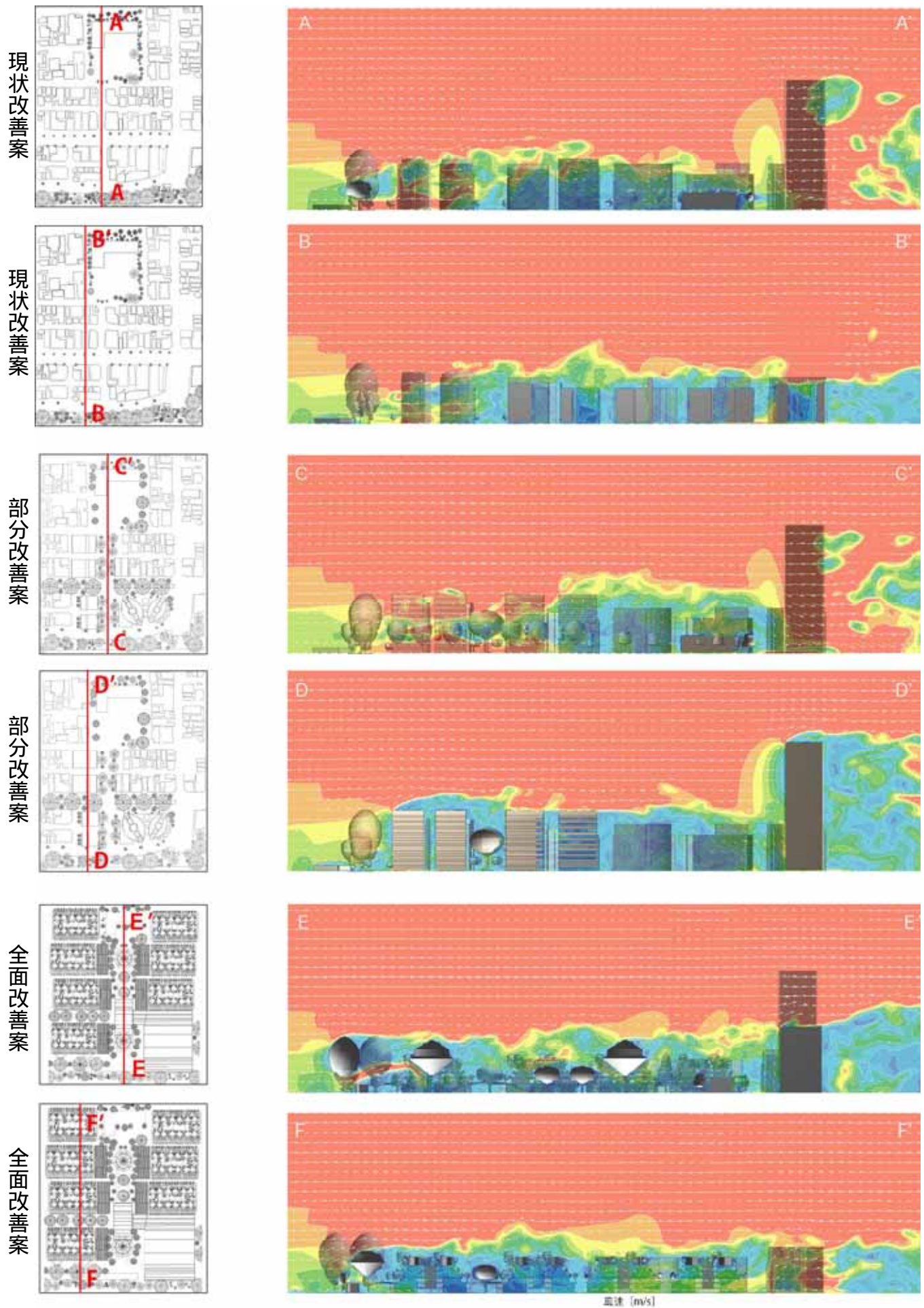
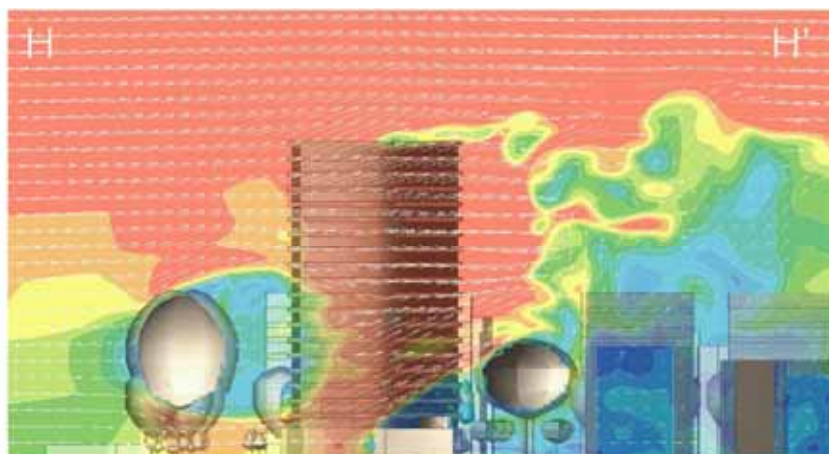
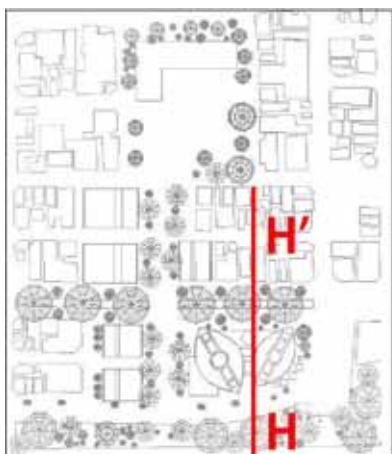
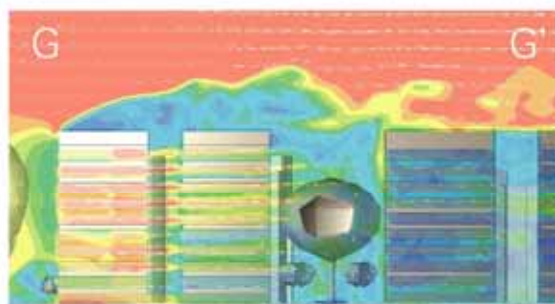
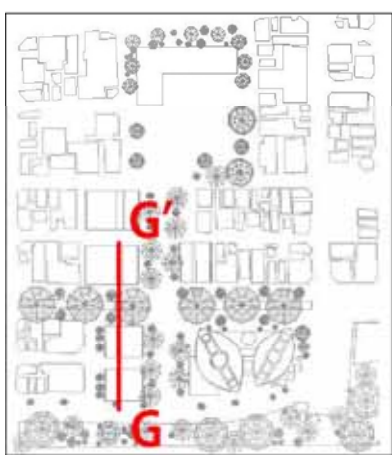


図 4 - 24(1) 風の流れの評価結果 (垂直断面)

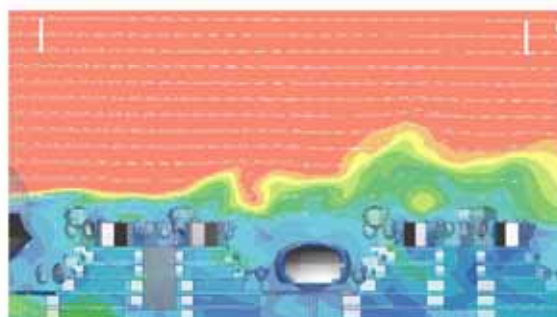
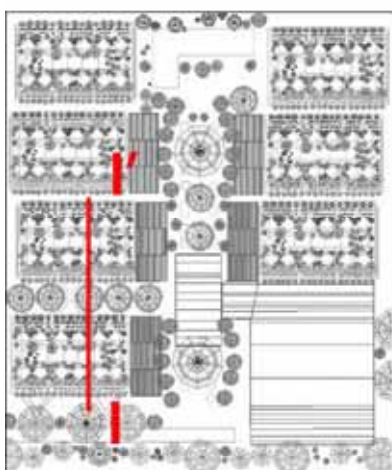
部分改善案



部分改善案



全面改善案



風速 [m/s]



図 4 - 24(2) 風の流れの評価結果 (垂直断面)

(4) 風シミュレーション結果の考察

風による熱環境改善効果として、新宿御苑側の冷気をより遠くへ運ぶという機能について評価を行った。

冷気をより遠くへ運ぶという機能の評価のため、風ベクトルの北向き成分（y成分）のみを取り出して3案の比較を行った。比較断面は、新宿御苑北側道路、新宿通り、花園公園南側、花園小学校南側の4断面とした。また、地上付近の強風は生活環境に悪影響を及ぼす可能性があることから地上10mまでは評価対象から除外し、全面改善案の建物高さを考慮して地上10～30mの高さを評価高さとした。

現状改善案、部分改善案が新宿通りを超えて市街地に入ると急速に風速の北向き成分を弱めるのに対し、全面改善案では御苑からの風を阻害せず、ほぼ一定の状況を保っている。

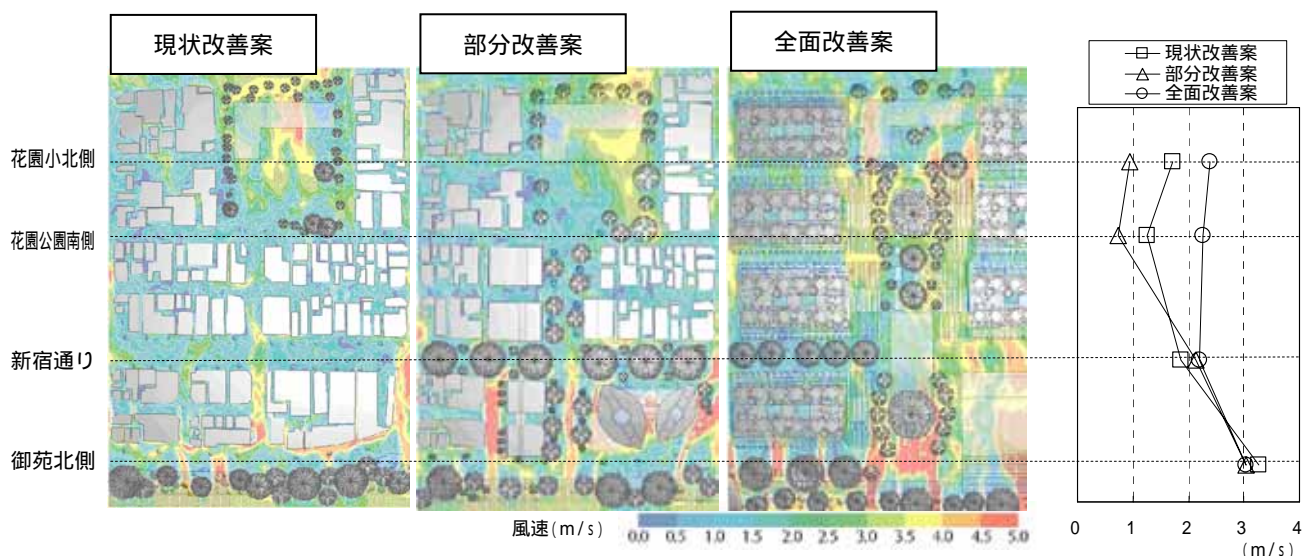


図 4-25 風による冷気運搬機能の評価

また、将来市街地検討範囲の南面から流入した冷気が、北へ行き届かず、東西面から流出する比率を風のベクトル成分をもとに算出した。現状改善案、部分改善案はほぼ同様の状況であり、西側から約10%、東側から約15%、合計で約25%が側面から流出している。全面改善案では西側から約7%、東側から約5%、合計で約12%が側面から流出しており、現状改善案、部分改善案に比べて北側へ冷気を送る能力が大きいと考えられる。

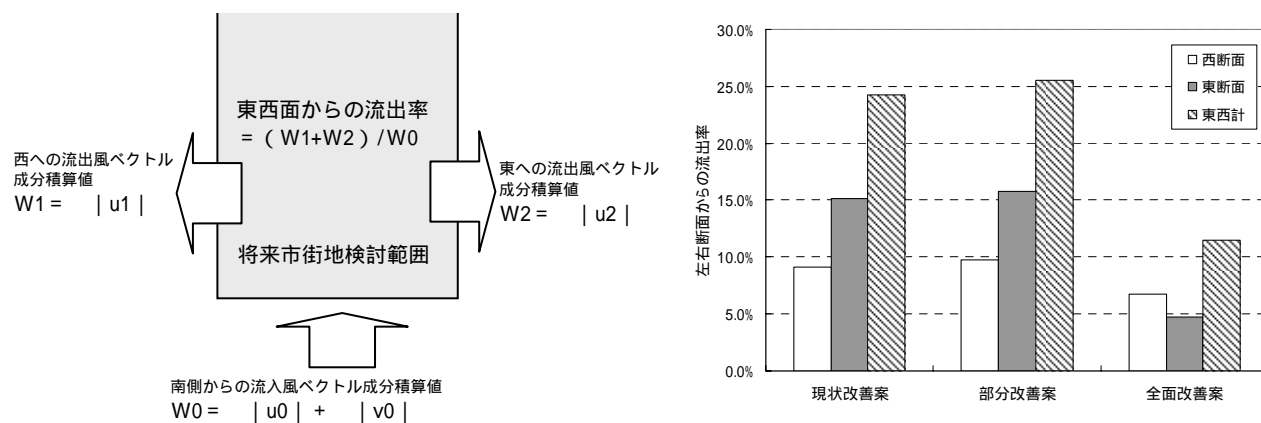


図 4-26 風の東西面からの流出の評価

冷気を遠くまで移送する機能においては、ある程度強い風速の風が定常的に吹いていることが望ましいが、地上付近の屋外生活エリアにおいては、強い風は生活環境の快適性の阻害につながる。そこで、地上1～2m面における風速の頻度分布の整理を行った。

風速累積頻度(図4-28)をみると、現状改善案に比べて、部分改善案、全面改善案の風速が強くなっていることが確認できる。部分改善案と全面改善案は、2.5m/s以下ではほぼ同じ累積出現頻度となっているが、2.5m/sを超える風速では部分改善案の累積頻度が高くなり、4.0m/sを超える風速では全面改善案ではほとんど出現頻度がないが、部分改善案では約13%の頻度となっている。地上付近で4m/sを超えるような風速は、砂ぼこりを立てたり、髪を激しく乱すなど、人の生活に不快な影響を及ぼすことが考えられる。今回の部分改善案のように建築物の高層化により風の通り道を確保する場合には、歩行空間に植栽などの強風防止対策を行うといった快適な風環境の確保に向けた対策をあわせて検討することも必要であると考えられる。

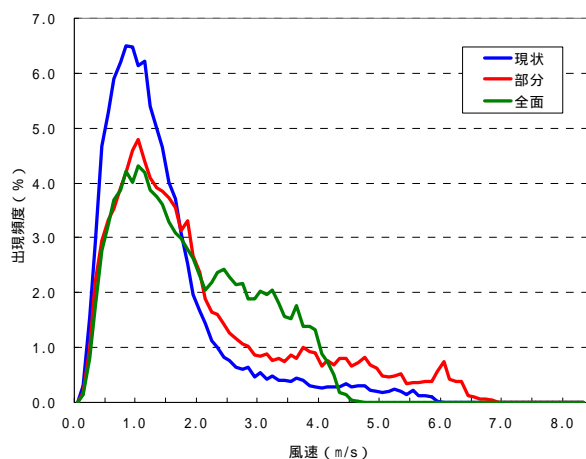


図4-27 風速出現頻度(地上1~2m)

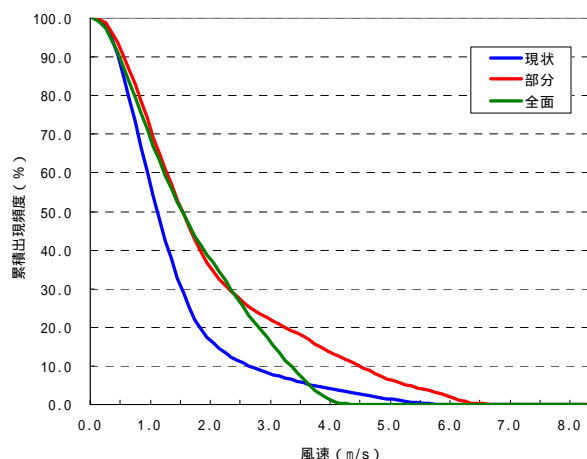


図4-28 風速累積出現頻度(地上1~2m)

表4-1 風の人への影響²

ビューフォート 風力階級	相当風速 (m/s)		人への影響
	開けた平らな地面		
	地上10m	地上1.5m	
1	0.3～ 1.5	0.2～ 1.1	ようやく肌を感じる
2	1.6～ 3.3	1.2～ 2.5	顔面に風を感じる
3	3.4～ 5.4	2.6～ 4.1	髪が乱され、着物がひらひら動く
4	5.5～ 7.9	4.2～ 6.0	砂ぼこりが立ち、髪が激しく乱れる
5	8.0～ 10.7	6.1～ 8.2	身体に風の力を感じる。風を快く感じる限界
6	10.8～ 13.8	8.3～ 10.5	傘の使用が難しくなる。しっかり歩くのが限界
7	13.9～ 17.1	10.6～ 13.0	歩くのに不自由を感じる
8	17.2～ 20.7	13.1～ 15.8	風に向かって歩けない
9	20.8～ 24.4	15.9～ 18.5	瞬間風速によって吹き飛ばされることがある

*ベンワーデン作成

² エクスナレッジ 都市・建築・不動産企画開発マニュアル 2004～2005 P.315