

第3回講義

都市緑化はヒートアイランドに 有効か？

背景

- ヒートアイランド現象の顕在化
 - 年平均気温の上昇2.4 / 100年
 - 年間熱帯夜日数の増加
 - 東京 1960-69年 15日 1988-97年 25日
 - 福岡 1960-69年 21日 1988-97年 31日
- ヒートアイランドの社会的インパクト
 - 年最高気温1 上昇
 - ➡電力消費年ピーク値 165万kW増加(関東), 電力供給施設の建設コスト3000億円

Which is more significant?

エネルギー消費密度の増加

地表面変化の影響

いわゆる排熱の影響
(交通,空調など人為活動にともなうエネルギー投入は最終的には熱になる)

・高層化によるラフネスの増大 大気拡散を阻害
・自然地被の現象 潜熱置換能の低下

未決着

都市に緑を!

Rather emotional. Are you sure?

首相官邸

都市再生本部

建設省が屋上緑化施設などに優遇税制を適用 平成12年12月14日

【行政】 ●都道に透水性舗装を試験的に導入へ

建設省が税制優待のため、都道の自然的地盤整備を一定の定資産税(約五十%)まで、この

東京都はビルなどを建設する事業者に対し、屋上を緑化すれば容積率の割増しボーナスを与える方針を固めた。都は今年度から、一定規模以上の建物の屋上を緑化する行政指導を始めており、容積率のボーナスで都内の緑を増やす。都市のヒートアイランド化を抑制するのが狙い。早ければ年度内の実現を目指して詳細を詰める。容積率割増しの対象となるのは、奥多摩や松原村など一部を除く都内全域で、都市計画上の用途地域が指定された土地。都市開発関連制度の中で大きな道路に囲まれた土地に建物を建てる「特定街区」を始め、比較的大規模な土地を開発する「総合設計制度」、「高度利用地区」の四制度について、容積率割増しの規定を新設する。

平成12年12月8日

費用対効果が明らかでないのに施策が先走りしている！



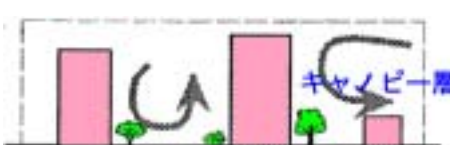
高速道路,新幹線などの行き場を失った公共投資が“都市再生”へ！

700兆円の借金大国なのに、これで本当にいいのか？

改良・建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化の定量的予測評価

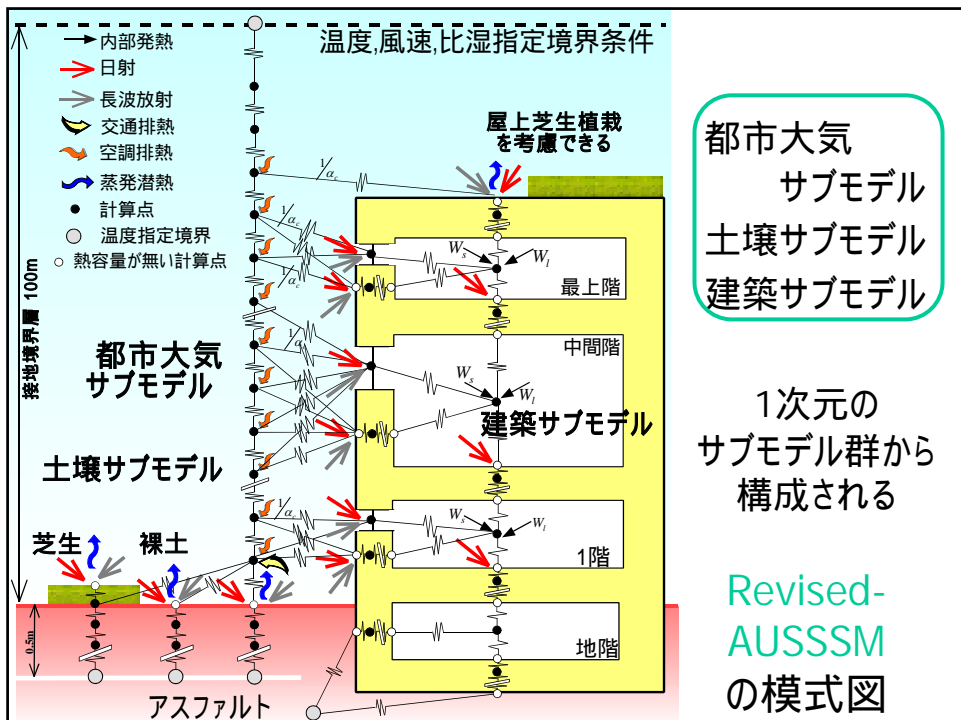
- 目的
 - 都市計画、建築設計、設備設計における都市高温化抑制策の効果を定量的に比較
 - 手法
 - **改良・建築 - 都市 - 土壌連成系モデル Revised-Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model AUSSSM**の構築
 - 都市高温化抑制手法として想定されている因子(自然地被の蒸発、空調システムの性能、建物形状、建物断熱性能、内部発熱量、屋上芝生植栽 etc..)を、漏れなく考慮
 - Revised-AUSSSMを用いた系統的な数値実験 **実験計画法**
- ➡都市キャンピ-空間内の伝熱プロセスの再現に重点を置いたモデル
- ➡多数回数値実験の試行が可能な計算負荷の小さいモデル

都市熱環境におけるスケール

分類	模式図	熱環境形成因子の例
大気境界層		地形, 森林や大規模緑地, 市街地面積, 海面, 湖面, 海陸風, 谷風
接地境界層		建物容積率, 建坪率, 都市内緑地, 人工排熱, アルベド
キャンピ-層		建物・道路の材料, 建物形状・配列, 空調排熱, 交通排熱, 建物周辺気流, 屋上緑化, 建物や街路樹による日影, 打ち水

都市高温化の数値予測に関する既往研究

- メソスケールモデル: 金・村上(2000) etc...
 - M.Y. L2.5, 蒸発効率, アルベド, 粗度長, 人工排熱により土地利用を表現
 - ▶ 大規模な土地利用改変による都市気候変動の評価に好適
 - ▶ 計算負荷大。自然地被の蒸発に大胆な仮定
- 1次元熱収支モデル: 石野 (1995), 谷本(1998) etc..
 - ▶ 気温を粗度高さの1点で代表, M.O.S.を仮定して接地層上端温度と接続
 - ▶ キャンピ-内伝熱メカニズムの精緻化が可能, 計算負荷小
- 1-D or 2-Dの乱流モデル+都市キャンピ-: 近藤(1998), ヴタンカ(1998) etc..
 - ▶ 上記2つのモデルの中間的位置づけ。メソスケールモデルのサブモデルとしても用いられる。



Strategy

- ・サブモデルを構築し，全体を統合．
- ・モデル全体の検証は困難．

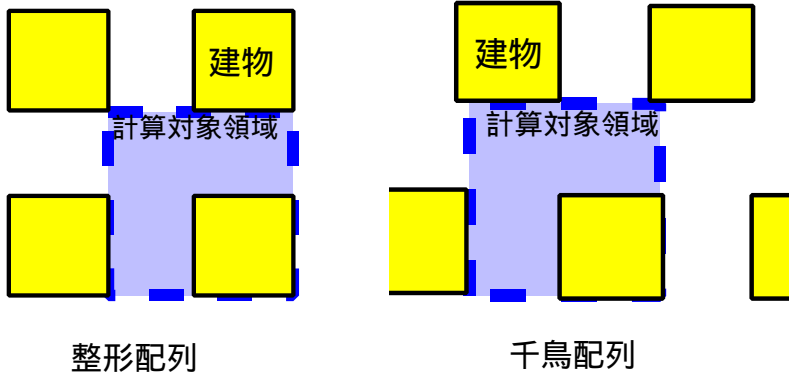


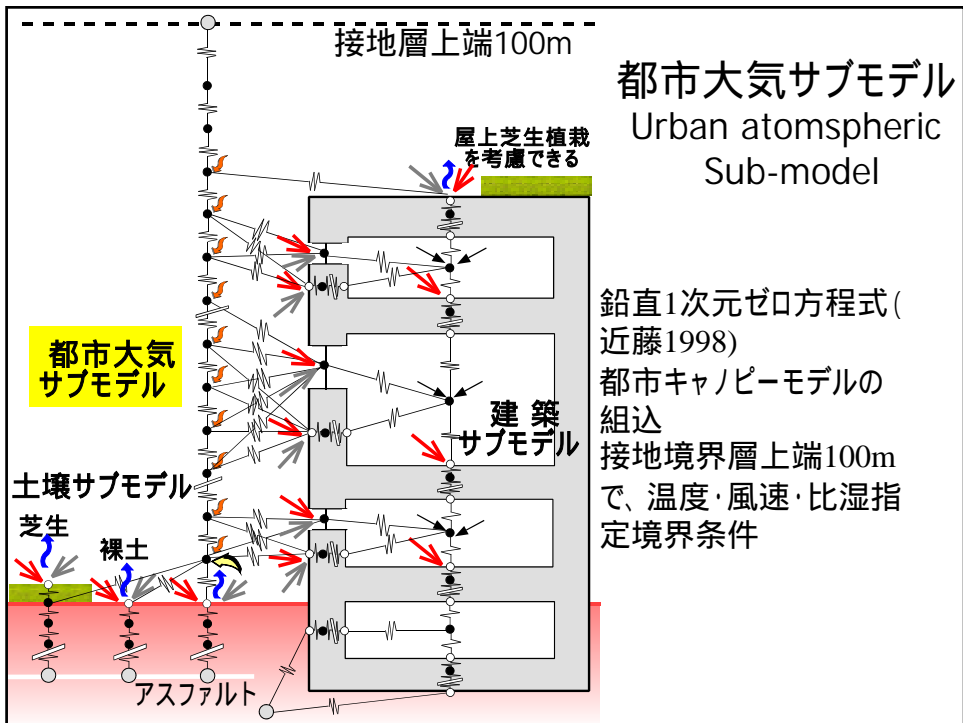
サブモデルごとに検証し，それをアッセンブルする．



想定する街路形状

同一サイズの直方体建物が無限に並ぶ理想的街路を想定





基礎方程式

$$G \frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_h \cdot \frac{\partial G}{\partial z} \right)}{\partial z} + H$$

粗度表面積密度 $a = \frac{B}{(B+W)^2 - B^2}$

$$G \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_m \cdot \frac{\partial Gu}{\partial z} \right)}{\partial z} - G \cdot \frac{1}{2} C_{fi} \cdot a \cdot u^2$$

流体体積密度 $G = 1 - \rho_r$

ラフネスパラメータ

抗力項

$$G \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_v \cdot \frac{\partial Gq}{\partial z} \right)}{\partial z} + W$$

都市キャノピーモデル

少ない計算負荷で複雑形状の市街地における空間平均風速を求めることができる

乱流モデル: Gambo, 1978によるゼロ方程式

$$R_f < R_{fc}; K_m = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \frac{S_M^{3/2}}{\sqrt{C}} (1 - R_f)^{1/2}$$

$$K_h = K_v = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \frac{S_M^{1/2}}{\sqrt{C}} S_H (1 - R_f)^{1/2}$$

$$S_M = \frac{1 - C_2}{C_1^2} \left(\frac{HB}{G} \right) \left(\frac{R_{f1} - R_f}{R_{f2} - R_f} \right) \left(\frac{R_{f3} - R_f}{1 - R_f} \right)$$

$$S_H = \left(\frac{B}{CC_1 C_{1T}} \right) \left(\frac{R_{f1} - R_f}{1 - R_f} \right)$$

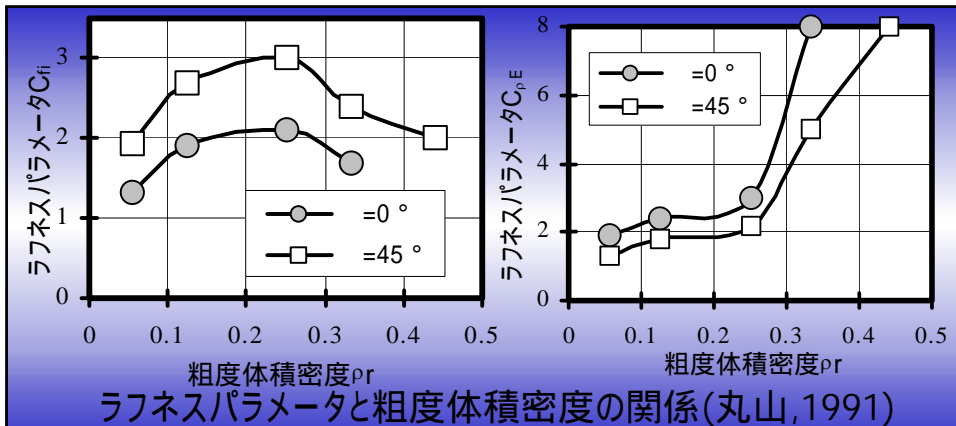
$$R_f \geq R_{fc}; K_m = K_h = K_v = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|$$

乱れの長さスケール
Watanabe&Kondo(1990)

$$z < H_{canopy}; l = 2k^3 \frac{1}{C_{ci} a} \{1 - \exp(-k\eta)\}$$

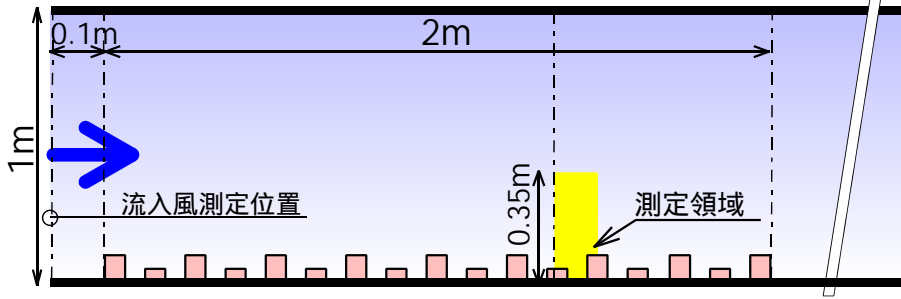
$$\eta = C_{fi} a \frac{1}{2k^3}$$

$$z \geq H_{canopy}; l \propto kz$$



- 丸山1991: 千鳥配列の立方体模型群の床面抗力係数の実験値より同定, **キャノピー上空について**計算値と実験値を比較
- キャノピー層内におけるモデルの再現性**は確認されていない
- ➡ 様々な形状の模型群に対して風洞実験を行い, キャノピーモデルによる計算値との比較を行う

キャノピーモデル検証の流れ



風洞模型実験: スプリットフィルムプローブにより模型周辺気流を3次元メッシュ状に測定(上図)

数値計算: キャノピーモデルを組み込んだ2-Dのk-εモデルで風洞実験を再現(丸山のラフネスパラメータを用いる)

測定領域における空間平均風速プロファイルの計算値を実験値と比較

2-D k-εモデル+キャノピーモデルの基礎式 (平岡1989, ユタンカ2000)

$$G \frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} G U_j U_i = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial G p}{\partial x_i} - \frac{\partial G u_i u_j}{\partial x_j} - G F_{xi} \dots (2)$$

$$G \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} G U_j k = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial}{\partial x_j} G k \right) + G \cdot (S - \varepsilon + F_k) \dots (3)$$

$$G \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} G U_j \varepsilon = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial}{\partial x_j} G \varepsilon \right) + G \cdot \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} S - C_{2\varepsilon} \varepsilon + F_\varepsilon) \dots (4)$$

$$F_{xi} = \frac{1}{2} a_{xi} C_{\beta} |U_i| U_i \dots (8) \quad F_k = U_i F_{xi} \dots (9) \quad F_\varepsilon = C_{\rho\varepsilon} k^{2/3} / L \dots (10)$$

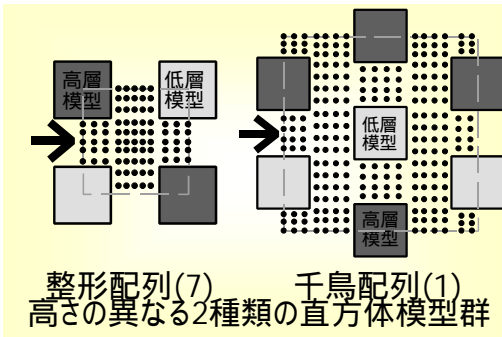
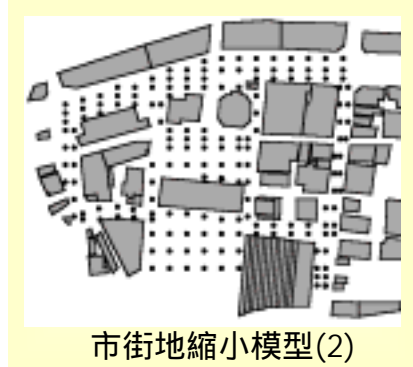
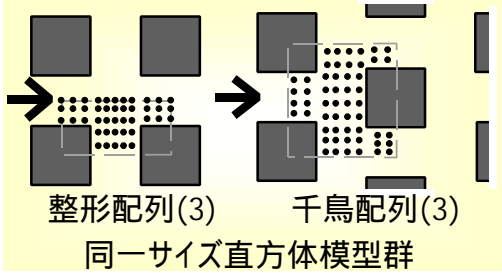
G: 単位体積当たり流体体積

$$a_{xi} = \frac{\left\{ \text{粗度要素の壁面積} / 4 \right\}}{\text{流体体積}}$$

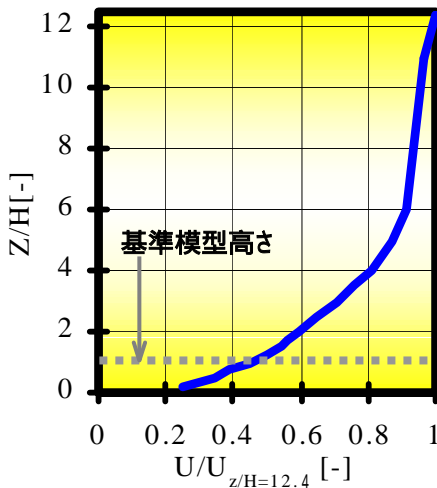
建物の平面配列方法(千鳥配列, 整形配列, etc...) に関係なく定義

模型配列状況 (計14ケース)

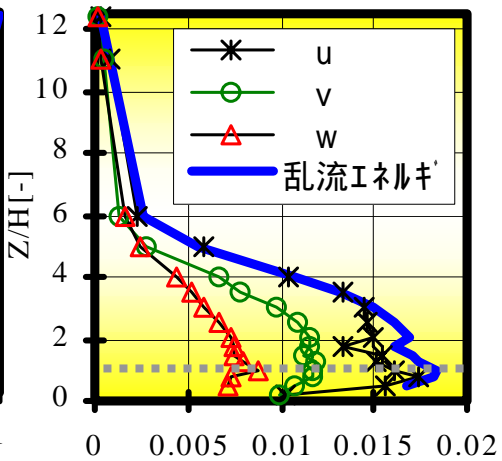
()内は実験を行ったケース数



接近流

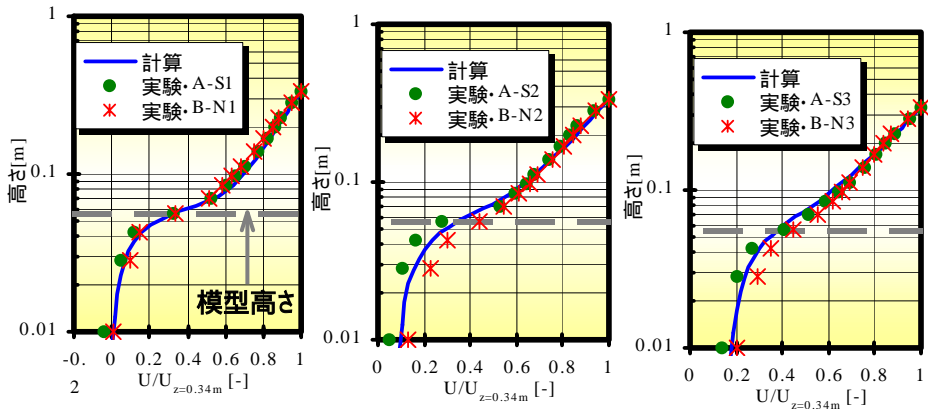


風速の鉛直分布



ルマルストレス, 乱流エネルギー
乱流エネルギーの鉛直分布

同一サイズ直方体の千鳥(S)及び整形(N)配列



$pr=0.391$

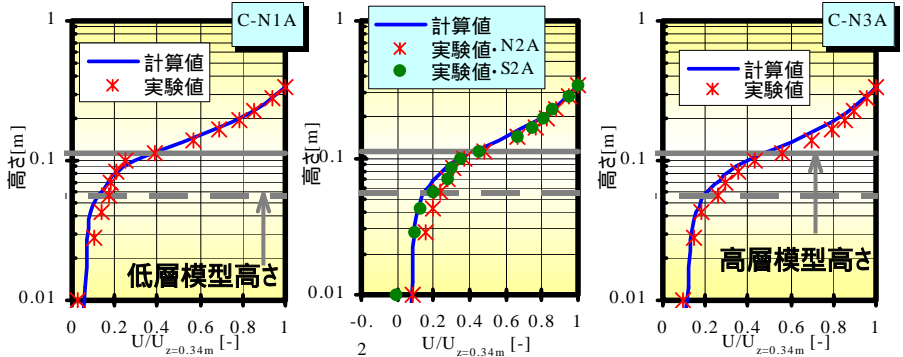
$pr=0.277$

$pr=0.207$

キャノピーモデルによる計算値と風洞実験の比較

pr : 粗度体積密度

高さの異なる2種類の直方体模型群(1H+2H)

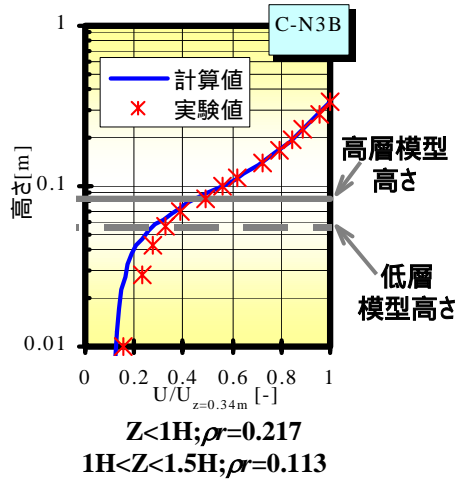
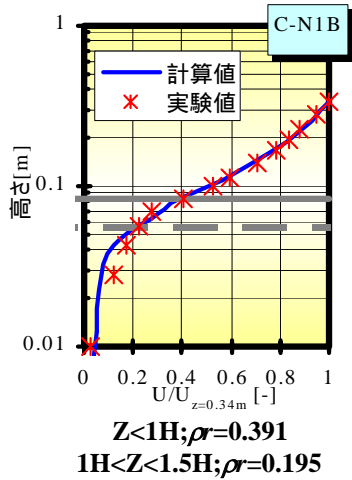


$Z < 1H; pr=0.391$
 $1H < Z < 2H; pr=0.195$

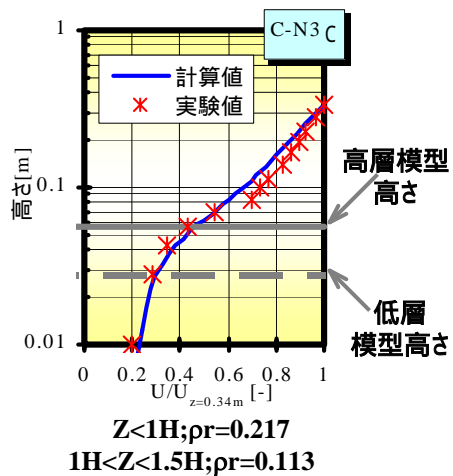
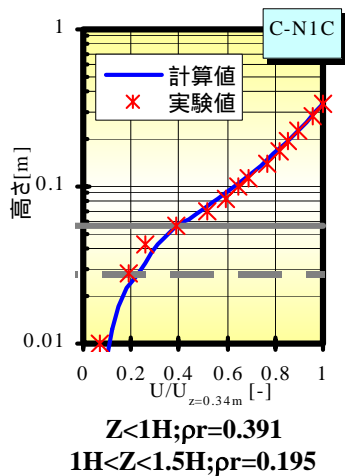
$Z < 1H; pr=0.287$
 $1H < Z < 2H; pr=0.149$

$Z < 1H; pr=0.217$
 $1H < Z < 2H; pr=0.113$

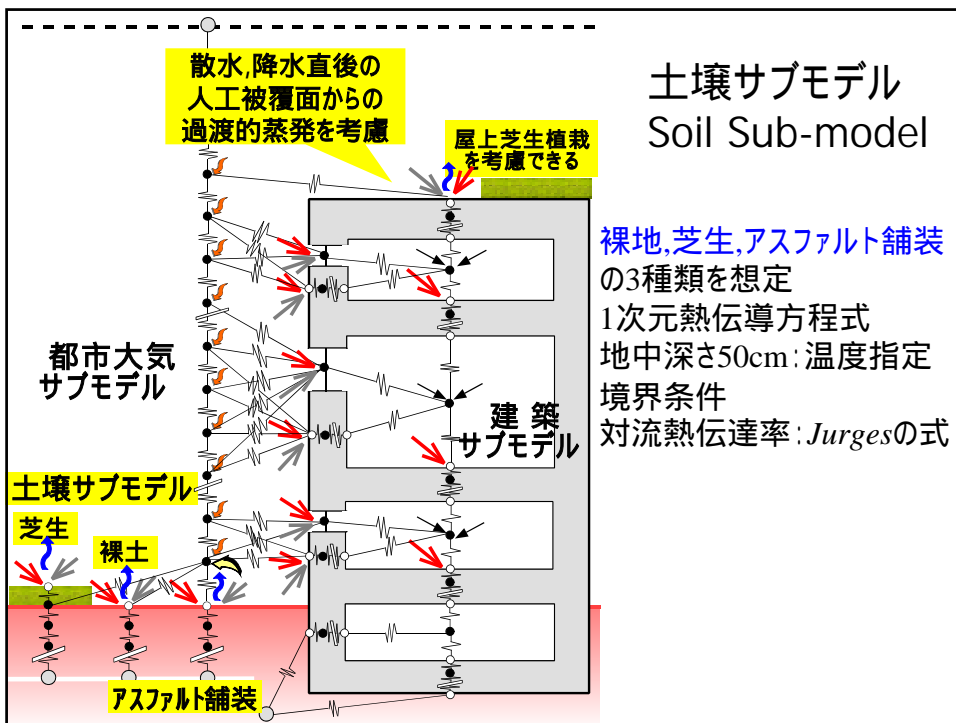
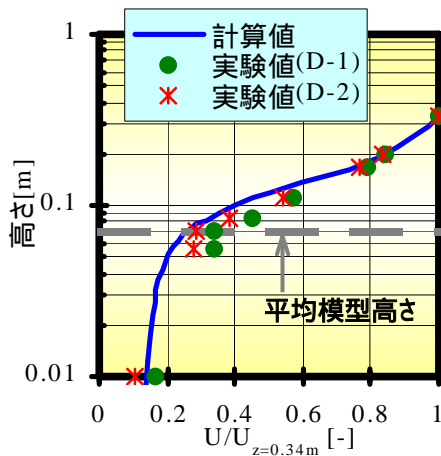
高さの異なる2種類の 直方体模型群(1H+1.5H)



高さの異なる2種類の 直方体模型群(0.5H+1H)



実在市街地模型



既往の土壤蒸発量予測手法

- 熱水分同時移動方程式

- 計算負荷大

- 簡易手法

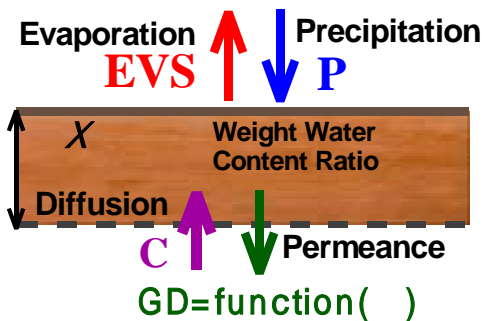
- 蒸発比法 $EV = re \cdot k_x (X_{SAT}(T_s) - X_{air})$

- 法 $EV = \rho C_H u \beta (q_{SAT}(T_s) - q_{air})$

- 蒸発比 re , 蒸発効率 : 飽和面に対する蒸発量の比

- 計算負荷が小さいため、容易に都市気候モデルに蒸発効果を組み込むことが出来る。しかし、本来土壤の湿り具合に応じて変化する re , を固定値で取り扱うため、値の設定には十分に注意を払う必要有り。

土壤蒸発量簡易予測手法: 穴開きシリンダーモデル



- 谷本らによる被土建築のための「穴無しシリンダーモデル」(1997)の改良

- 土壤含水率変動による蒸発効率の変化を考慮

- 土壤パラメータ: 表層土壤厚 ΔX , 重力透水 GD , 蒸発比 re , 水分拡散 C

$$\rho_s \cdot \Delta x \frac{d\phi}{dt} = P - EVS - GD(\phi) + C$$

$$EVS = k_x \cdot re(\phi/\phi_{sat}) \cdot (X_{sat}(T_{surf}) - X_{air})$$

穴開きシリンダーモデルのパラメーター同定

- 人工気候室に土壌試験体を静置し、乾燥過程の蒸発量の測定を行ったが、精度良いデータが得られなかった。
- ➡ 二相系熱水分同時移動方程式(詳細モデル)による数値計算結果を参照データとしてパラメータ同定を行う。
 - ① 詳細モデルによる計算結果から、 $x=10,20,30\text{cm}$ における透水フラックスGD、拡散フラックスC、土壌内含水率分布、蒸発比 r_e の時系列データを得る
 - ② $x=10,20,30\text{cm}$ のそれぞれについて、蒸発比 r_e -正規化含水率 / θ_{\max} 、重力透水GD-含水率、水分拡散C-含水率の関係を整理
 - ③ 土壌パラメータの決定(重力透水GD、蒸発比 r_e 、水分拡散C)

基礎式：近藤の5層モデル(液水輸送)

$$\rho_w \frac{d\theta}{dt} = \frac{-EV_n + Q_{n+1,n} - Q_{n,n-1}}{dz_n}$$

$$Q_{n+1,n} = -\rho_w K_n (d\Psi_n / dz_n + 1)$$

$$K_n = K_{SAT} (\theta_n / \theta_{SAT})^c$$

$$\Psi_n = -4 \times 10^4 \exp(-a\theta_n) - \frac{100}{1 - 100/X_n}$$

$$X_n = \Psi_{SAT} (\theta_n / \theta_{SAT})^{-b}$$

土壌内部の液水、水蒸気輸送を考慮

土壌種類毎(埴壤土、砂、ローム、シルト砂)に、物性値が整理されている

モデル中の土壌物性値

$$a, b, c, K_{SAT}, f_A, f_B, f_C, \theta_{SAT}, \Psi_{SAT}$$

基礎式：近藤の5層モデル（水蒸気輸送）

$$EV_{n,n-1} = EV_n + EV_{n+1,n}$$

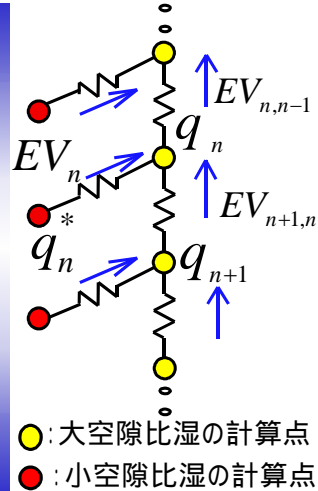
$$EV_n = (\rho D_n / F_n) (q_n^* - q_n)$$

$$EV_{n+1,n} = (\rho D_n / F_{n+1,n}) (q_{n+1} - q_n)$$

$$F_n = f_A \exp(-f_B \theta_n^3) +$$

$$f_C [\cos(\pi/2) (\theta_n / \theta_{SAT})]^{0.5}$$

$$F_{n+1,n} = \frac{1.5 dz_n}{\theta_{SAT} - \theta_n}$$

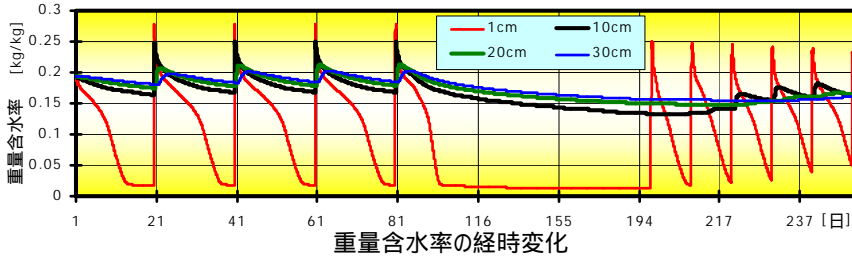


深さ50cmまでを50分割, 近藤による埴壤土と砂の物性値を用いる
 下端境界条件: 重力透水のみ考慮, 拡散無視

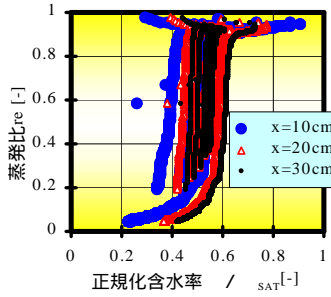
計算条件

Case1	空気温度 40 , 相対湿度 40% 一定 20 日を 1 周期とし, 各周期の初日に 30mm の降水を与え, 4 周期まで計算する。その後, 6 周期の乾燥期間の後に, 20mm の降水を周期の初日と中間日に与え, 2.5 周期計算している。
Case2	福岡市の OM 標準気象データ 10 年間の助走計算後の 11 年目を解析に用いる。

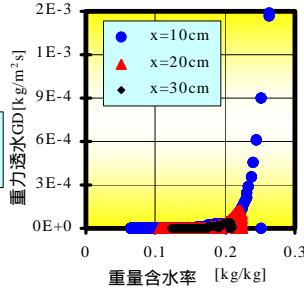
計算結果(case1, 埴壤土)



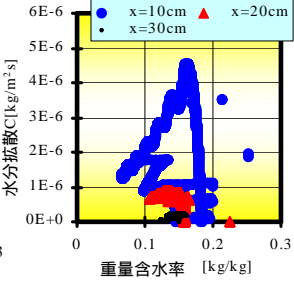
重量含水率の経時変化



蒸発比と正規化含水率の関係

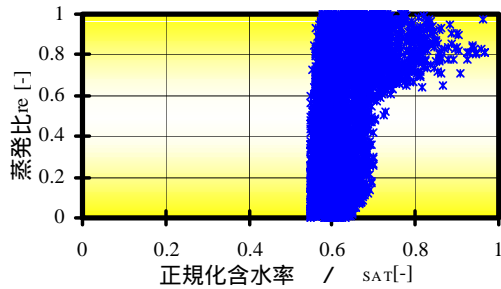


重力透水と含水率の関係

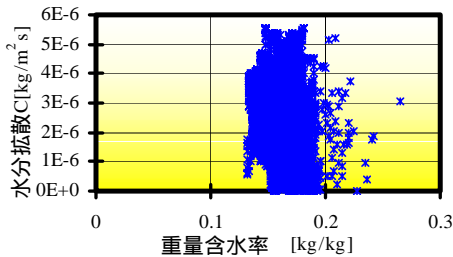


水分拡散と含水率の関係

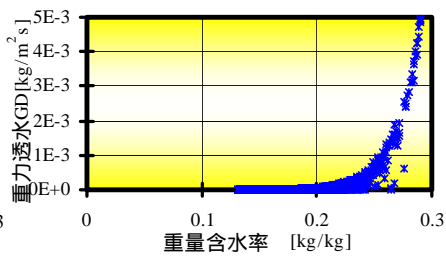
計算結果 (case2, 埴壤土, OM気象データ) $\Delta X=10\text{cm}$



蒸発比と正規化含水率の関係



水分拡散と重量含水率の関係

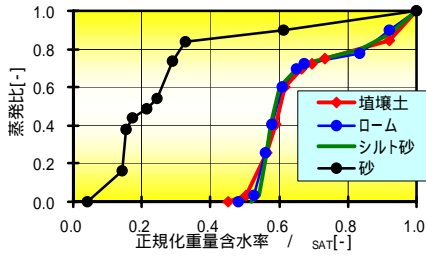


重力透水と重量含水率の関係

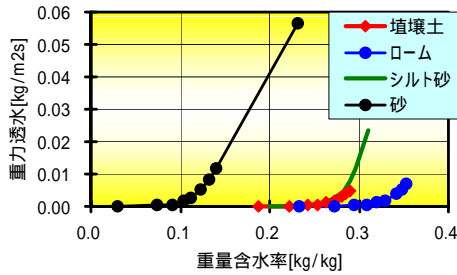
穴開きシリンダーモデル のパラメターの決定

水分拡散C

埴壤土	3.0×10^{-6}
砂	6.0×10^{-6}
ローム	7.5×10^{-6}
シルト砂	2.0×10^{-5}

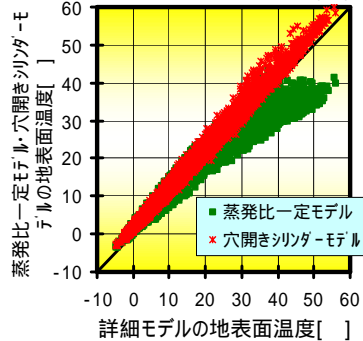
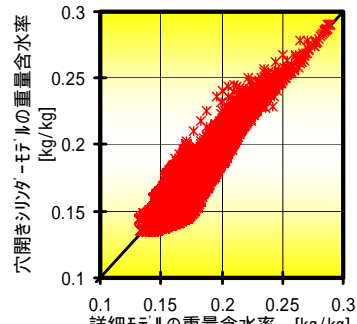
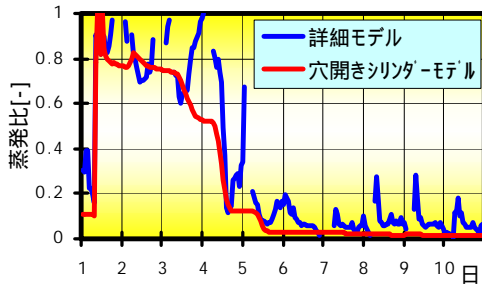


蒸発比-正規化含水率特性

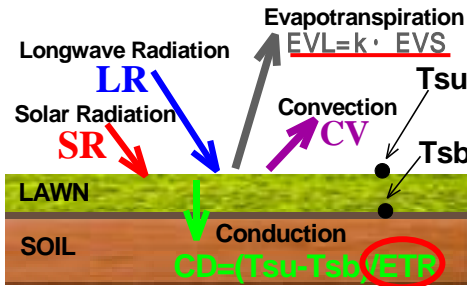


重力透水-重量含水率特性

穴開きシリンダーモデル 及び詳細モデルによる 計算結果の比較

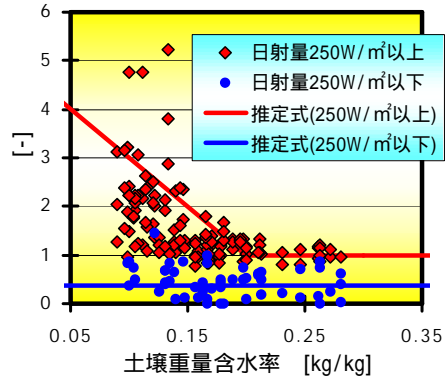


芝生からの蒸発量 簡易予測手法



$$SR + LR + CD + CV + EVL = 0$$

k と等価的熱抵抗 ETR は、
屋外長期実測データに
基づき決定 ($ETR=0.3$)



芝生と土壌の蒸発量の比と
土壌含水率の関係
(香川, 1998)

降水,散水後の人工被覆面からの蒸発量

- 位置づけ
 - ➡ 現在の熱負荷計算や都市気候モデルでは、蒸発は無視するのが一般的
 - ➡ 近年、高保水性レンガ,湿潤舗装システムなど、蒸発冷却効果を付与する試みがある
- 人工被覆面からの蒸発量評価手法 熱水分同時移動方程式
 - 壁体内結露、地下室の湿気性状などの解析に広く用いられる
 - 計算負荷大、都市大気、土壌等との連成計算には不向き
- * 散水,降水後に生じる過渡的蒸発量の評価には、壁体内部の含水率性状の影響は小さいと考えられる。
 - ➡ 熱水分同時移動方程式に対するオルタナティブとしての、簡易モデルを作成

実在の人工被覆面における長期熱収支観測により、
降水後の過渡的蒸発現象の把握を行う。

▶降水後の過渡的蒸発量評価のための簡易モデルの構築

測定対象部位及び測定期間

名称	対象面の材質	測定期間	備考
水平面	コンクリート 鋳仕上げ	98.5～98.11 (6ヶ月)	6階屋上水平スラブ (スラブ勾配 1/50)
水平面	アスファルト 舗装	99.8～ 2000.7 (12ヶ月)	草地に施工された 2m 四方の試 験体
水平面	アスファルト シート防水		2階屋上水平スラブ (スラブ勾配 1/80)
鉛直面	複層吹付 塗材	98.5～98.11 (6ヶ月)	6階建物屋上に面した塔屋の壁 面 2箇所

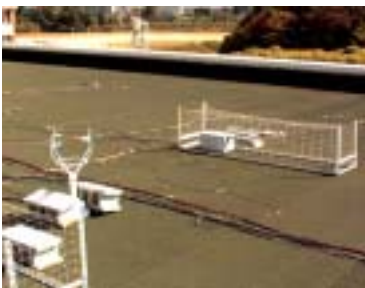
測定対象場所の概観



() コンクリートスラブ面



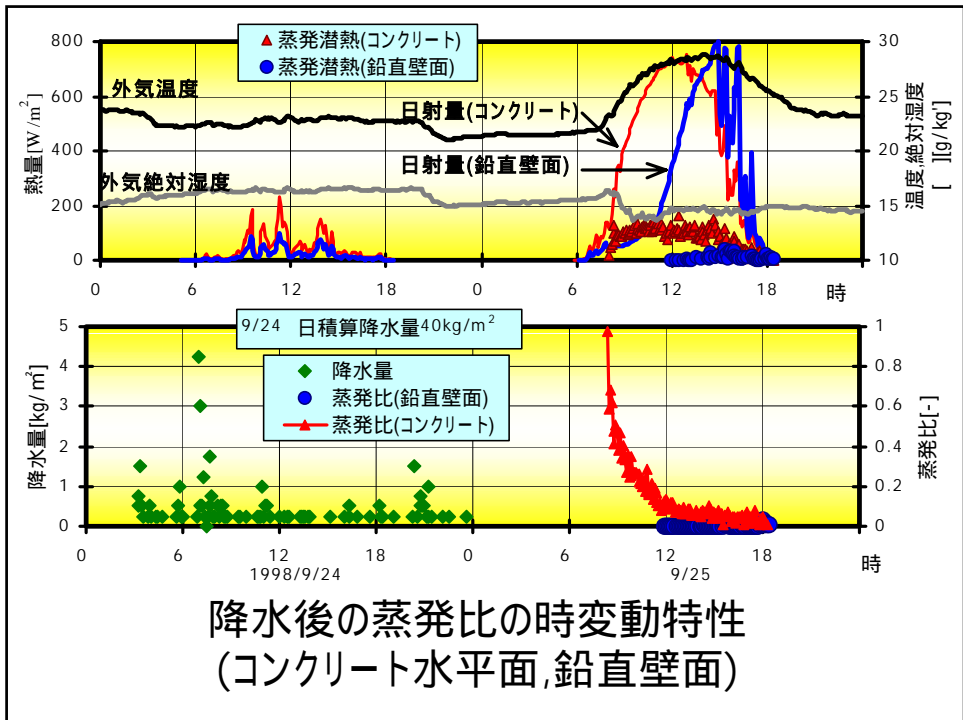
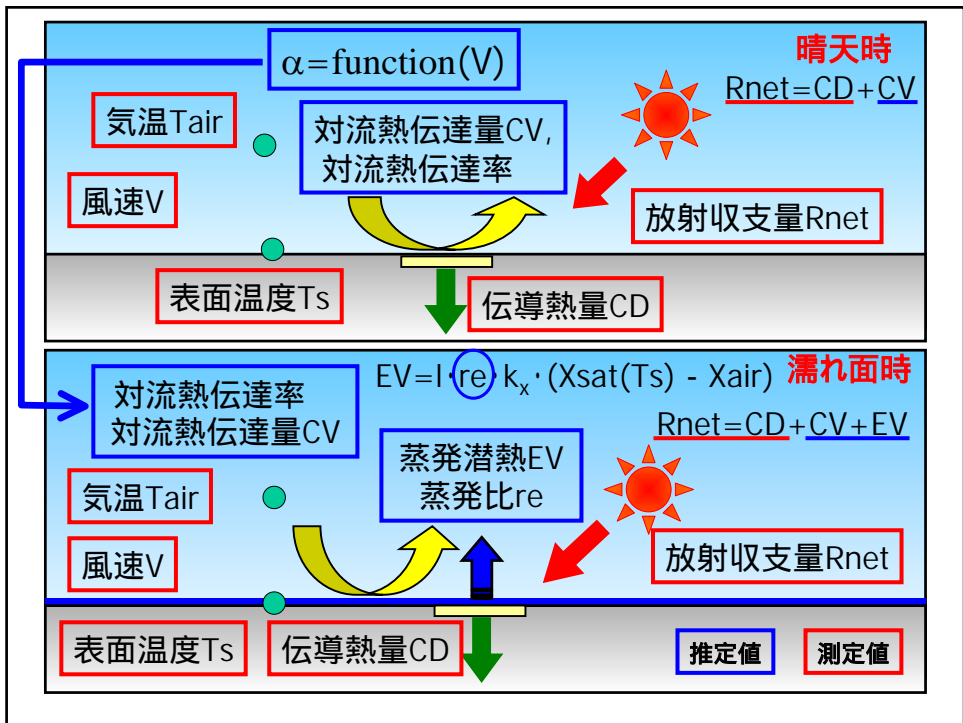
() アスファルト舗装面

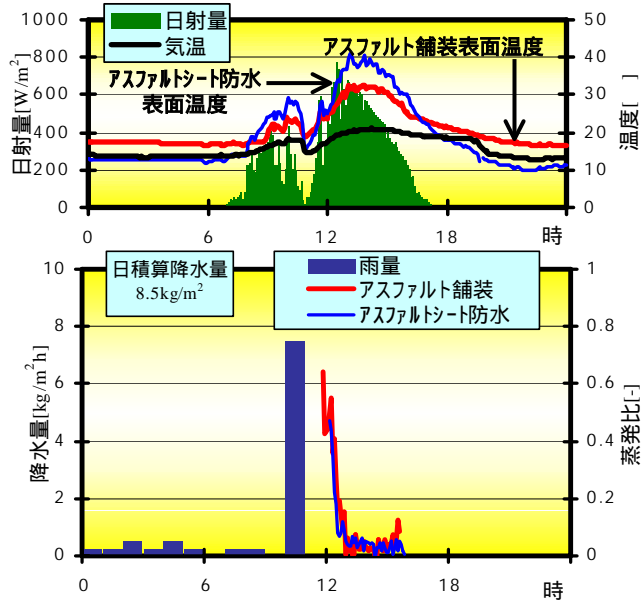


() アスファルトシート防水面



() 鉛直壁面(複層吹付塗材)





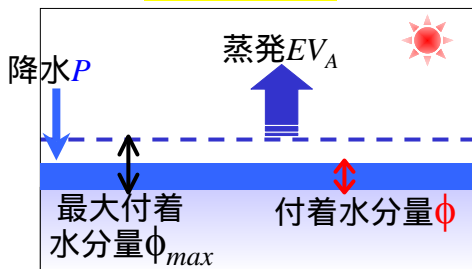
降水後の蒸発比の時変動特性
(アスファルト舗装,アスファルトシート防水)

降水後の人工被覆面からの 過渡的蒸発量予測簡易手法

人工被覆面の表面付近に付着する水分のバルクの収支式

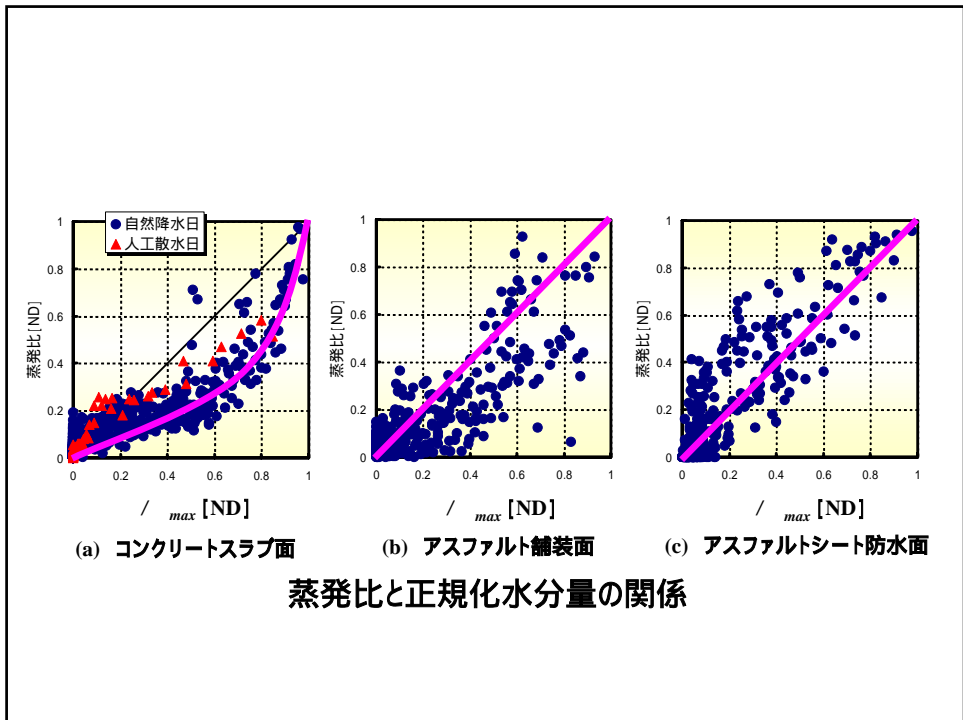
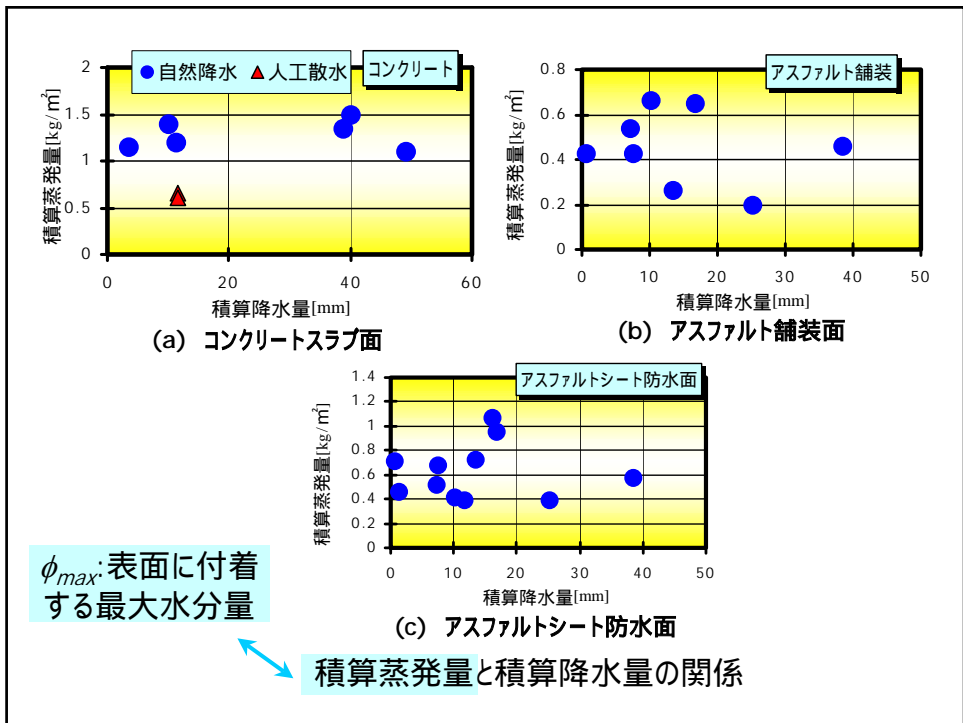
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = P - EV_A \quad \phi \quad \phi_{max}$$

$$EV_A = re(\phi / \phi_{max}) \cdot k_x \cdot (X_{sat}(T_{surf}) - X_{air})$$



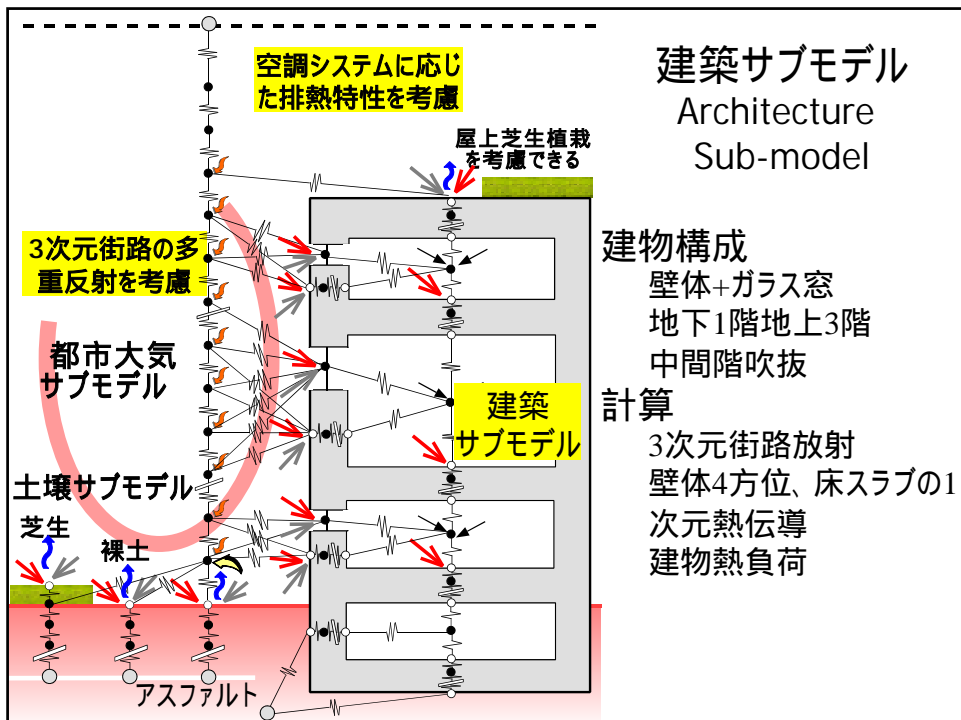
モデル中のパラメーター
 $re = \text{function}(\phi / \phi_{max})$
 ϕ_{max}

実測データに基づき材質別
(コンクリート,アスファルト舗装,ア
スファルトシート防水)に同定



パラメータの同定結果

	max	蒸発比と正規化水分量の関係	
コンクリート スラブ面	1.10	$0.8 < / max 1.0$	$r_e = 2.67 \times (\frac{\phi}{\phi_{max}})^2 - 2.17 \times (\frac{\phi}{\phi_{max}}) + 0.50$
		$0.5 < / max 0.8$	$r_e = 3.00 \times (\frac{\phi}{\phi_{max}})^2 - 2.79 \times (\frac{\phi}{\phi_{max}}) + 0.79$
		$0 < / max 0.5$	$r_e = 0.28 \times (\frac{\phi}{\phi_{max}})$
アスファルト 舗装面	0.30		$r_e = \frac{\phi}{\phi_{max}}$
アスファルト シート防水面	0.45		$r_e = \frac{\phi}{\phi_{max}}$

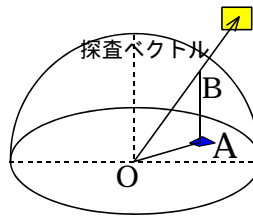


街路間放射の計算方法

- 対面形態係数
 - 道路, 壁面を3×3の格子に分割。
 - 各格子を10×10に分割した細分格子の中心点から5000本の探査ベクトルを射出し対面形態係数を算出, その結果から面積分を行う



単位円5000分割



探査ベクトル

- 直達日射
 - 細分格子中心点で直達日射の有無を判定し, 日向面積率算出
- 多重反射
 - ラジオシティ法にて算出, 直達成分の入射角によるガラスの反射率変化を考慮

建物からの空調排熱量の算出方法

- 建物熱負荷

顕熱 ↙ 対流成分 ↘ 内部発熱

$$H_s = \sum_{4directions} S_j \cdot \alpha_j \cdot (T_{set} - T_{S,j}) + S_f W_s + S_f V_{oa} C_{air} \gamma_{air} (T_{set} - T_o)$$

潜熱

$$H_l = S_f W_l + l_w S_f V_{oa} \gamma_{air} (X_{set} - X_o)$$

↙ 換気負荷
(大気側節点にも
損失分を考慮)

- 屋外への排出熱量(顕熱)

$$Q = rat \cdot (1 + 1/COP) \cdot (H_s + H_l)$$

↙ 空調室外機の顕熱処理比

想定する空調システム

区分	種類	略記号	排出熱量の算出方法
個別空調	空気熱源ヒートポンプ	HPair	$COP=f(\text{気温, 負荷率})$ $Q=(1+1/COP) \cdot Q_{LOAD}$
	ターボ冷凍機	TR	
	ガス焚き吸収式冷凍機	AR	
個別空調 +蓄熱層	空気熱源ヒートポンプ	HST+HPair	負荷率 100%
	ターボ冷凍機	HST+TR	蓄熱ロス 1 割考慮
地域 冷暖房	空気熱源ヒートポンプ	DHC+HPair	配管ロス 1 割考慮
	ターボ冷凍機	DHC+TR	
	ガス焚き吸収式冷凍機	DHC+AR	
	水熱源ヒートポンプ	DHC+HPwater	排熱ゼロ
地域 冷暖房 +蓄熱槽	空気熱源ヒートポンプ	DHC+HST+HPair	蓄熱ロス 1 割
	ターボ冷凍機	DHC+HST+TR	配管ロス 1 割考慮
	水熱源ヒートポンプ	DHC+HST+HPwater	排熱ゼロ

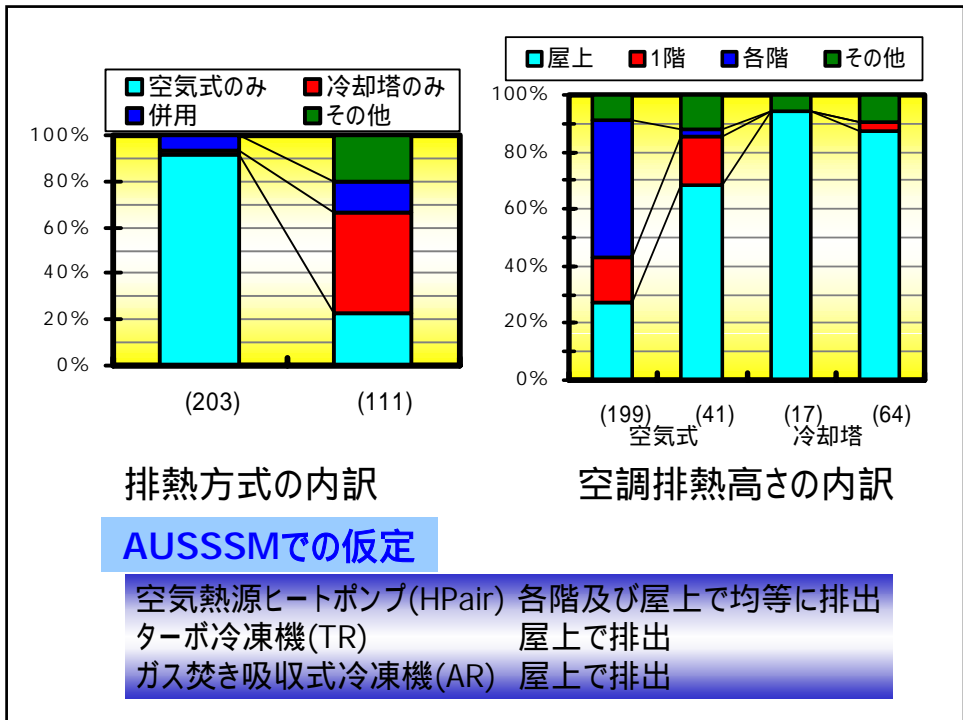
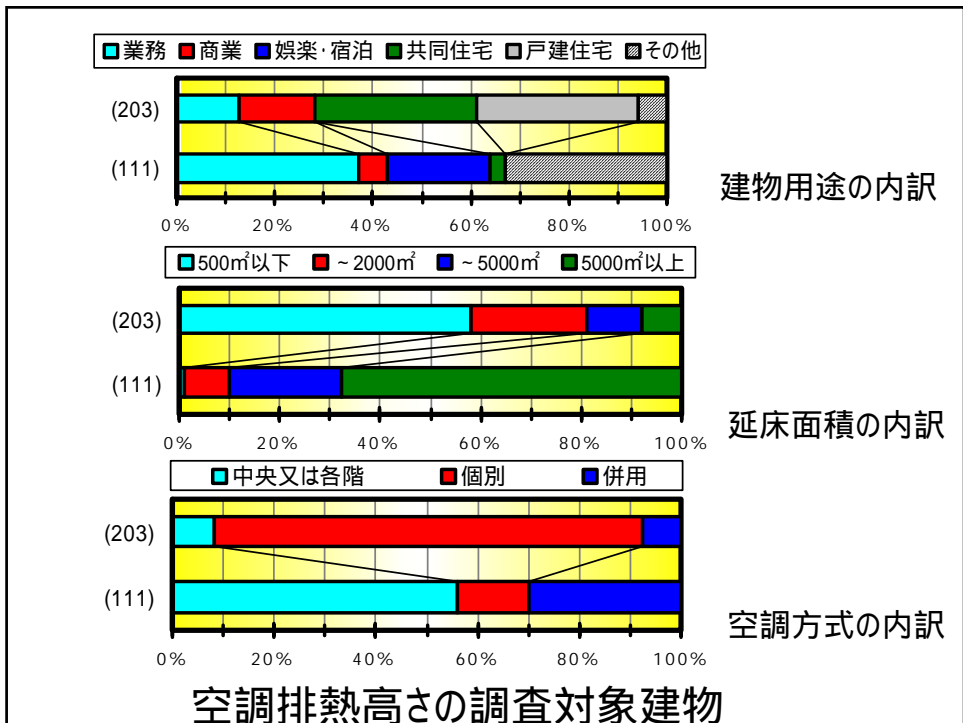
空調室外機の顕熱処理比rat

HPair(100%) TR(12.5%) AR(11.3%)

排熱位置はシステムに応じて、調査結果に基づき決定する

空調排熱高さに関する実態調査

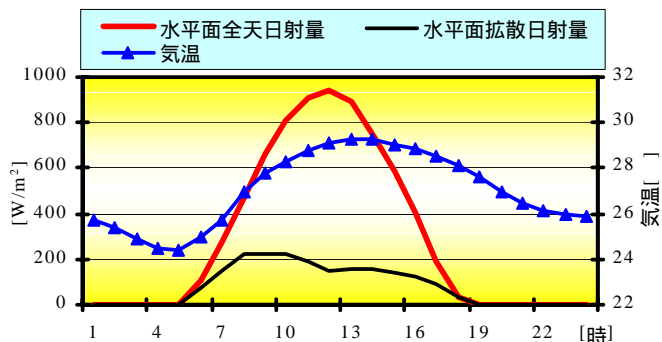
種別	対象とする建物の概要及び件数	調査項目
	福岡市の中心的市街地(商業地域指定)に位置する2つの区画内の建物で立ち入り調査が可能であった建物	建物用途 延床面積
	A 地区:福岡市中央区天神1丁目 (350×230m 四方)に存在する50件中20件 B 地区:福岡市中央区大名1丁目 (370×180m 四方)に存在する187件中183件	空調方式(中央又は各階,個別,併用)
	空気調和・衛生工学会の竣工設備概要データシート(1994-2000年)で、排熱高さが明記されている建物111件	排熱方式(空気式,冷却塔,併用)
	工場やドームなどの空調設備が特殊な建物は除外	排熱位置(屋上,1階,各階,その他)



基本解与条件

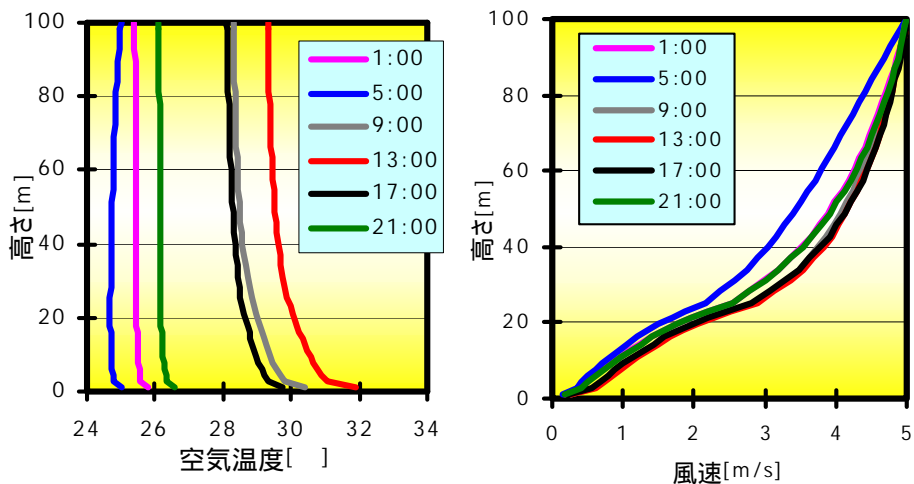
建物形状	建物幅 32m, 道路幅 16.88m, 建物高さ 23.8m, 7 階を想定 グロス容積率 300%
建物配置	千鳥配列
日射吸収率	壁 0.6、舗装道路 0.9、土壌 0.7、芝生 0.75
壁体構成	内断熱、断熱材厚 20mm
窓	窓面積率 35%、透明ガラス 6mm
屋上仕様	被土 10cm+芝生植栽
地被状態	アスファルト:土壌:芝生=1:1:1
交通排熱量	ピーク値 12W/街区 m ² で日変動
室内発熱量	ピーク値 顕熱 56W/床 m ² 潜熱 13W/床 m ² で日変動
空調システム	HPair 30%, TR 31%, AR 39%
空調排熱の 顕熱潜熱処理比 及び放出高さ	HPair 顕熱 100%, 各階と屋上から均等に排出 TR 顕熱 12.5%, 潜熱 87.5%, 屋上から排出 AR 顕熱 11.3%, 潜熱 88.7%, 屋上から排出
空調設定	間欠空調 (8 時 ~ 21 時), 室内温度 26 , 相対湿度 50%

気象条件



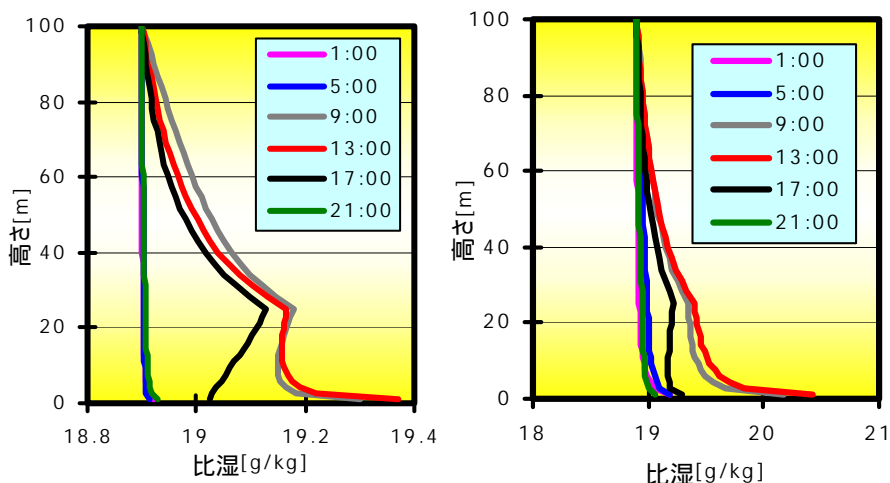
- 接地層上端100m: 温度、風速、比湿指定境界条件
 - 温度: 東京タワー(地上100m)の超過危険率10%適用夏季設計用データ
 - 日射量: 超過危険率10%の夏季設計用日射量(東京)データ
 - 比湿18.9kg/kg、風速5m/s一定
- 1周期7日, 各周期の最終日深夜に20mmの降雨
- 14日間の助走計算後、1周期(15 ~ 21日)の結果を採用

基本解計算結果



空気温度,風速の鉛直分布 (降水翌日)

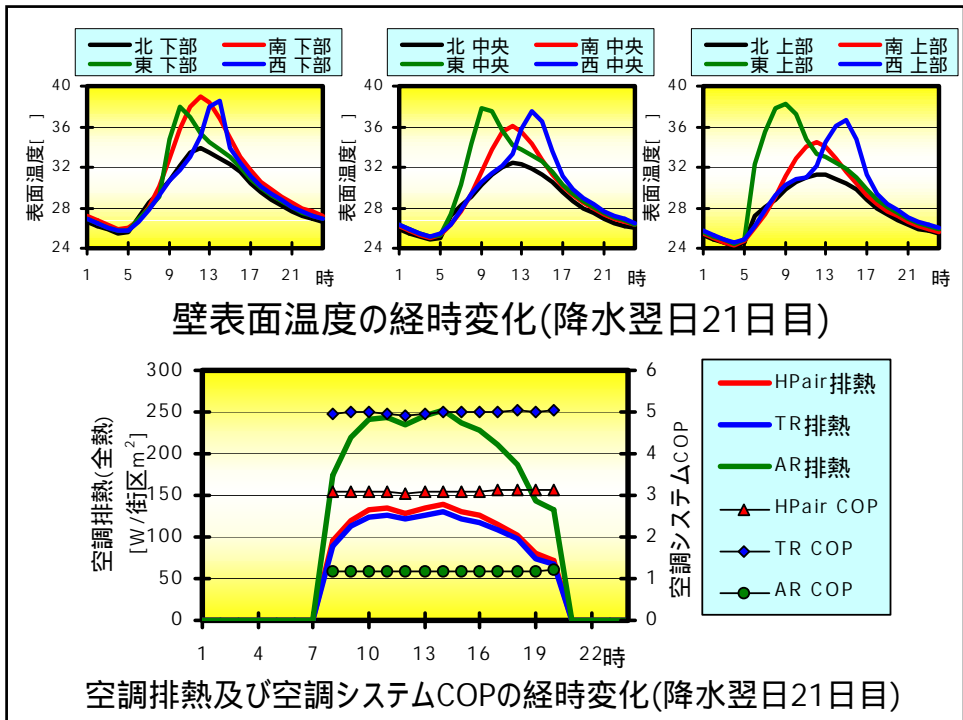
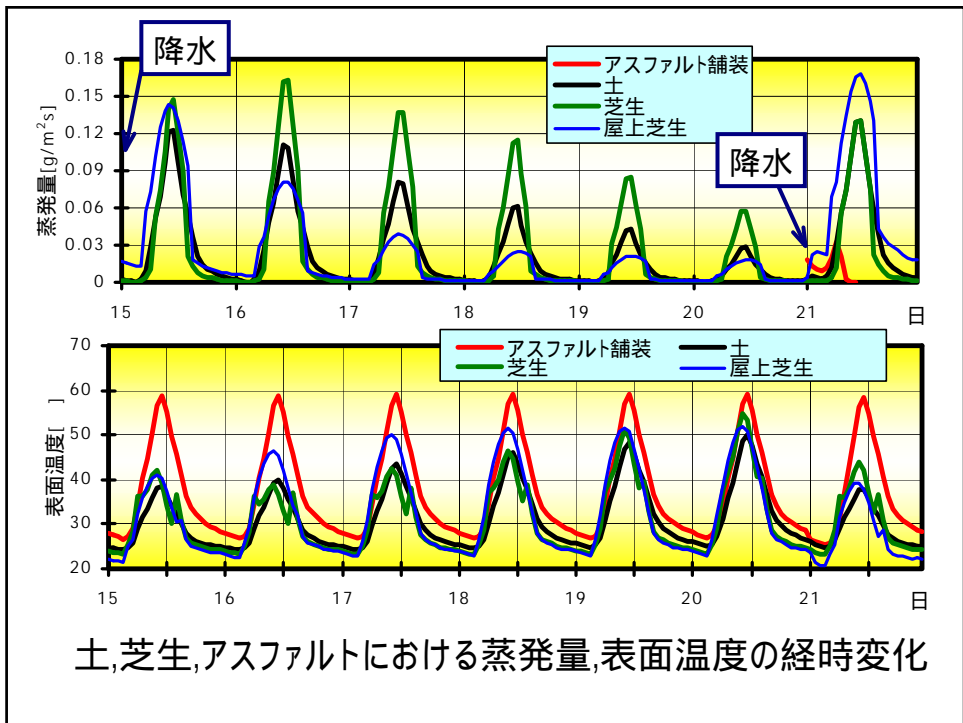
基本解計算結果

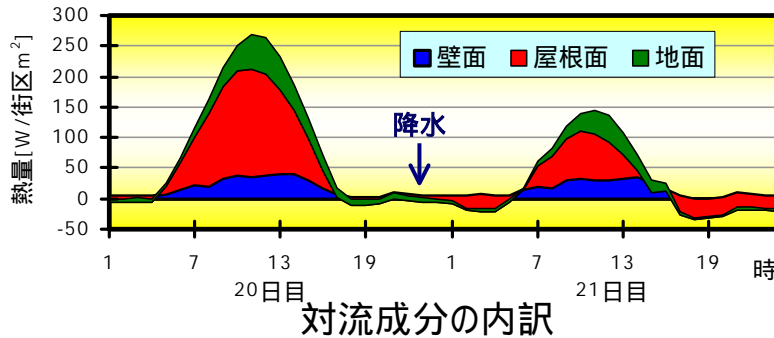
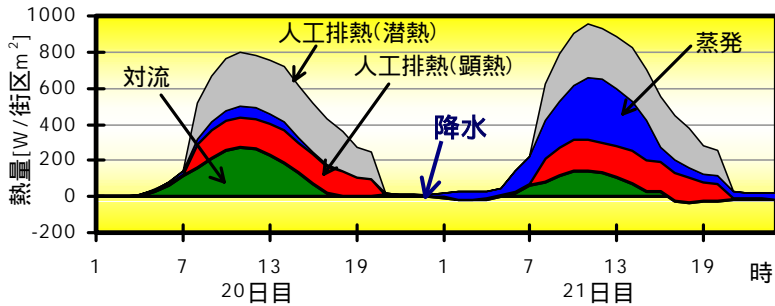


降水前日(20日目)

降水翌日(21日目)

比湿の鉛直分布





Revised-AUSSSMを用いた数値実験

- バリエーションスタディ
- 実験計画法に基づく直交表を用いた数値実験
- 空調システムについてのバリエーションスタディ
- 特性値
 - 気温(高さ1.2m・キャノピー内平均),(日最高・最低・平均)
 - 建物熱負荷(日最高・日平均)
 - 空調屋外排出熱量(顕熱・潜熱・全熱),(日最高・日平均)
 - 接地層上端の顕熱フラックス,潜熱フラックス(日最高)

バリエーションスタディにおける因子及び水準

因子	水準			
	600%	700%	1000%	1300%
容積率	600%	700%	1000%	1300%
グロス容積率	100%	200%	300%	350%
地被状態 アスファルト:土壌:芝生	1:0:0	1:1:1	0:1:0	0:0:1
屋上仕様	スラブ露出 $\rho=0.1$	$\rho=0.3$	$\rho=0.8$	屋上芝生植栽
ガラス面積率	10%	35%	60%	85%
壁面日射反射率	0.8	0.6	0.4	0.2
道路日射反射率	0.6	0.4	0.2	0.1
建物断熱	内断熱 20mm	外断熱 20mm	内断熱 70mm	外断熱 70mm
内部発熱	0.5 倍	現状	1.5 倍	2.5 倍
交通排熱	0.5 倍	現状	1.5 倍	2.5 倍
降水状況	降水翌日	降水前日		
空調方式	間欠	終日		
空調設定温度	26	28		
人工被覆面の蒸発	有り	無し		
建物配列	千鳥	整形		
空調システム	個別熱源 3 種類混在, 個別:HPair, TR,AR, 個別+蓄熱槽:HST+HPair,HST+TR 地冷:DHC+HPair, DHC + HPwater, DHC+TR, DHC+AR 地冷+蓄熱槽: DHC+HST+HPair, DHC+HST+TR			標準ケース 計 12 種

バリエーションスタディ結果(標準ケースとの気温差)

No	標準ケースとの差 [] 計算バリエーション	地上1.2mにおける気温			キャノピー内平均気温		
		日最高	日最低	日平均	日最高	日最低	日平均
2	600% (50.0%)	0.144	0.017	0.077	0.199	0.018	0.096
3	容積率 1000% (30.0%)	-0.194	-0.006	-0.088	-0.287	-0.022	-0.132
4	(グロス建蔽率) 1300% (23.1%)	-0.336	-0.017	-0.157	-0.500	-0.042	-0.235
5	100% (14.3%)	-0.244	-0.178	-0.227	-0.449	-0.077	-0.262
6	グロス容積率 200% (28.6%)	-0.138	-0.065	-0.102	-0.213	-0.037	-0.123
7	(グロス建蔽率) 350% (50.0%)	0.141	0.049	0.103	0.192	0.035	0.111
8	地被状態 1:1:1	-0.908	-0.063	-0.405	-0.313	-0.048	-0.150
9	(舗装面: 0:1:0	-1.263	-0.298	-0.717	-0.430	-0.133	-0.257
10	土壌:芝生) 0:0:1	-1.570	0.050	-0.567	-0.515	-0.025	-0.209
11	スラブ露出 0.1	0.052	0.007	0.027	0.049	0.007	0.026
12	屋上仕様及び スラブ露出 0.8	-0.135	-0.018	-0.071	-0.127	-0.019	-0.069
13	反射率 芝生植栽	-0.097	-0.100	-0.090	-0.088	-0.111	-0.086
14	10%	0.070	0.130	0.117	0.031	0.067	0.059
15	窓面積率 60%	-0.068	-0.148	-0.121	-0.029	-0.072	-0.059
16	85%	-0.133	-0.350	-0.256	-0.057	-0.155	-0.120
17	0.8	-0.026	-0.021	-0.026	-0.043	-0.018	-0.035
18	壁面日射 0.6	-0.013	-0.010	-0.012	-0.020	-0.008	-0.016
19	反射率 0.2	0.008	0.008	0.009	0.016	0.007	0.013

は上位8ケースを示す

は下位8ケースを示す

バリエーションスタディ結果(標準ケースとの気温差)

No	計算バリエーション	標準ケースとの差[]	地上1.2mにおける気温			キャノピー内平均気温		
			日最高	日最低	日平均	日最高	日最低	日平均
20		0.6	-0.790	-0.112	-0.373	-0.224	-0.037	-0.108
21	道路日射	0.4	-0.445	-0.063	-0.211	-0.128	-0.021	-0.062
22	反射率	0.2	-0.141	-0.020	-0.067	-0.041	-0.007	-0.020
23	建物断熱	外断熱 20mm	0.138	-0.187	-0.047	0.082	-0.122	-0.032
24		内断熱 70mm	0.000	0.016	0.009	-0.001	0.010	0.005
25		外断熱 70mm	0.167	-0.221	-0.051	0.099	-0.145	-0.035
26	内部発熱	0.5倍	-0.218	-0.021	-0.139	-0.146	-0.014	-0.093
27		1.5倍	0.207	0.020	0.130	0.138	0.014	0.087
28		2.5倍	0.596	0.060	0.372	0.396	0.041	0.246
29	交通排熱	0.5倍	-0.065	-0.089	-0.082	-0.022	-0.027	-0.027
30		1.5倍	0.065	0.080	0.078	0.022	0.026	0.027
31		2.5倍	0.192	0.221	0.226	0.065	0.075	0.078
32	降水状況	降水前日	0.021	0.228	0.105	0.021	0.095	0.044
33		間欠屋根散水	-0.088	-0.015	-0.047	-0.084	-0.016	-0.046
34	空調方式	終日	-0.030	0.375	0.166	-0.020	0.261	0.118
35	空調設定 温度	24	0.002	-0.028	-0.013	0.003	-0.018	-0.007
36		28	-0.004	0.028	0.012	-0.004	0.018	0.006
37	人工被覆面の蒸発	無し	0.052	0.205	0.114	0.031	0.077	0.051

 は上位8ケースを示す
 は下位8ケースを示す

バリエーションスタディ結果(標準ケースとの気温差)

No	計算バリエーション	標準ケースとの差[]	地上1.2mにおける気温			キャノピー内平均気温		
			日最高	日最低	日平均	日最高	日最低	日平均
38	建物配列	整形配列	-0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000
39	空調システム	HPair	1.187	0.017	0.671	0.742	0.009	0.415
40		TR	-0.622	-0.009	-0.372	-0.402	-0.005	-0.239
41		AR	-0.595	-0.008	-0.355	-0.375	-0.004	-0.223
42		HST+HPair	-0.685	0.888	-0.033	-0.466	0.583	-0.028
43		HST+TR	-0.694	0.034	-0.397	-0.471	0.038	-0.264
44		DHC+HPair	0.969	0.017	0.507	0.876	0.009	0.478
45		DHC+HPwater	-0.695	-0.010	-0.418	-0.471	-0.005	-0.285
46		DHC+TR	-0.440	-0.006	-0.264	-0.270	-0.003	-0.161
47		DHC+AR	-0.343	-0.005	-0.208	-0.193	-0.002	-0.115
48		DHC+HST+HPair	-0.685	0.699	-0.100	-0.466	0.632	-0.005
49	DHC+HST+TR	-0.693	0.124	-0.361	-0.470	0.102	-0.239	

 は上位8ケースを示す
 は下位8ケースを示す

↓ 蓄熱槽有り
 ↓ 水熱源ヒートポンプ: 空調排熱ゼロ

↓ 空気熱源ヒートポンプ: 100%顕熱で排出

バリエーションスタディ計算結果 因子内水準差(気温)

因子内水準差[]	地上1.2mにおける気温			キャノピー内平均気温		
	日最高	日最低	日平均	日最高	日最低	日平均
容積率	0.427	0.037	0.167	0.678	0.034	0.305
グロス容積率	0.319	0.144	0.251	0.618	0.085	0.347
地被状態	1.601	0.396	0.785	0.520	0.143	0.269
屋上仕様及び反射率	0.188	0.109	0.119	0.177	0.121	0.114
窓面積率	0.205	0.587	0.403	0.089	0.237	0.184
壁面日射反射率	0.034	0.029	0.034	0.059	0.025	0.049
道路日射反射率	0.802	0.124	0.388	0.226	0.039	0.111
建物断熱	0.168	0.252	0.064	0.100	0.160	0.042
内部発熱	0.819	0.084	0.517	0.545	0.056	0.343
交通排熱	0.149	0.199	0.186	0.050	0.062	0.062
降水状況	0.107	0.253	0.175	0.107	0.115	0.103
空調方式	0.030	0.388	0.171	0.020	0.267	0.121
空調設定温度	0.006	0.059	0.026	0.008	0.037	0.014
人工被覆面の蒸発	0.052	0.214	0.117	0.031	0.078	0.052
建物配列	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
空調システム	1.894	0.921	1.102	1.353	0.643	0.767

は上位5因子を示す

バリエーションスタディ計算結果 因子内水準差(建物熱負荷)

因子内水準差[W/床m ²]	建物熱負荷	
	日最高	日平均
容積率	8.098	4.070
グロス容積率	5.890	3.084
地被状態	0.693	0.281
屋上仕様及び反射率	5.298	3.089
窓面積率	35.691	14.304
壁面日射反射率	2.654	1.096
道路日射反射率	5.385	2.381
建物断熱	1.743	0.710
内部発熱	164.825	75.898
交通排熱	0.169	0.102
降水状況	4.626	2.054
空調方式	3.769	16.107
空調設定温度	18.031	10.171
人工被覆面の蒸発	0.271	0.140
建物配列	0.011	0.012
空調システム	3.572	1.872

は上位5因子を示す

バリエーションスタディ計算結果 因子内水準差(空調排熱)

因子内水準差 [W/街区m ²]	排出熱量(顕熱)		排出熱量(潜熱)		排出熱量(全熱)	
	日最高	日平均	日最高	日平均	日最高	日平均
容積率	13.181	6.596	25.322	12.570	38.503	19.166
グロス容積率	155.305	71.575	294.608	135.729	449.913	207.304
地被状態	1.203	0.532	2.166	0.933	3.369	1.465
屋上仕様及び反射率	8.484	4.897	16.274	9.317	24.758	14.214
窓面積率	56.255	22.591	106.769	42.936	163.023	65.527
壁面日射反射率	4.147	1.714	7.853	3.254	12.000	4.968
道路日射反射率	8.401	3.713	16.010	7.090	24.411	10.803
建物断熱	2.791	1.134	5.292	2.151	8.083	3.285
内部発熱	260.487	119.939	494.093	227.397	754.580	347.336
交通排熱	0.293	0.176	0.538	0.320	0.831	0.496
降水状況	7.418	3.282	14.225	6.254	21.644	9.537
空調方式	5.954	25.194	11.293	47.693	17.246	72.887
空調設定温度	28.440	15.976	53.945	30.257	82.385	46.233
人工被覆面の蒸発	0.431	0.230	0.823	0.435	1.254	0.665
建物配列	0.017	0.018	0.032	0.034	0.048	0.052
空調システム	540.903	249.867	711.212	328.480	797.184	368.189

は上位5因子を示す

因子内水準差(接地層上端フラックス)

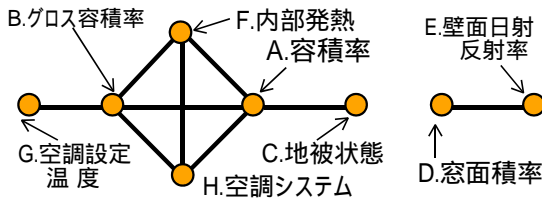
因子内水準差 [W/街区m ²]	顕熱フラックス			潜熱フラックス	
	日最高	日最低	日平均	日最高	日平均
容積率	79.799	6.511	19.576	56.043	13.802
グロス容積率	77.343	13.920	38.313	181.839	102.160
地被状態	123.937	6.936	41.704	135.481	33.057
屋上仕様及び反射率	160.821	18.480	62.369	116.072	49.241
窓面積率	19.969	13.006	24.421	93.364	35.700
壁面日射反射率	31.516	7.818	13.783	8.921	3.136
道路日射反射率	38.242	2.970	14.005	23.840	4.106
建物断熱	37.877	0.663	3.413	3.707	1.353
内部発熱	280.458	6.774	124.664	406.000	195.593
交通排熱	12.656	4.435	7.885	0.172	0.402
降水状況	497.836	36.577	159.311	92.183	44.383
空調方式	8.378	18.279	21.020	16.941	21.381
空調設定温度	7.642	6.307	0.774	34.035	15.783
人工被覆面の蒸発	18.181	10.623	10.856	34.571	19.860
建物配列	0.004	0.092	0.011	0.120	0.030
空調システム	587.847	43.159	251.659	537.981	279.365

は上位5因子を示す

実験計画法に基づく数値実験

因子	L1	L2	L3
容積率	700%	1000%	1300%
グロス容積率	150%	250%	350%
地被状態	アスファルト 100%	アスファルト 50%, 芝生 50%	芝生 100%
窓面積率	35%	60%	85%
壁日射反射率	0.8	0.5	0.2
内部発熱	現状	1.5 倍	2 倍
空調設定温度	24	26	28
空調システム	個別複合 (HPair+TR+AR)	個別複合 + 蓄熱槽	地域冷暖房 (水熱源)

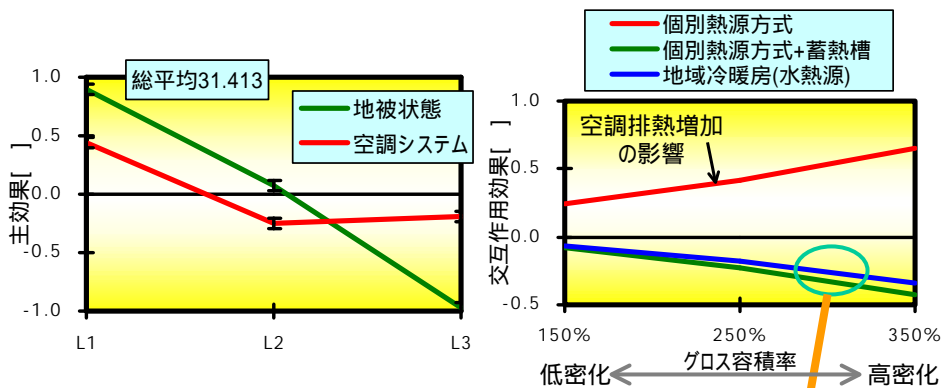
8因子3水準とし、直交表 $L_{81}(3^{20})$ に基づき 81回の計算を行う



福岡市ももち浜の
実在冷プラント
の構成比を用いる

考慮する交互作用

日最高気温(高さ1.2m)の要因効果

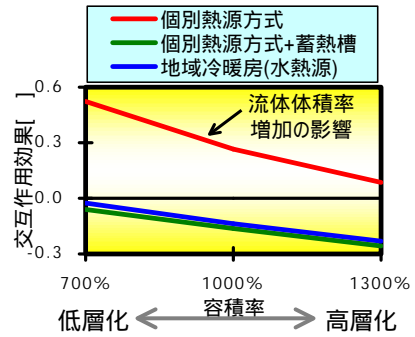
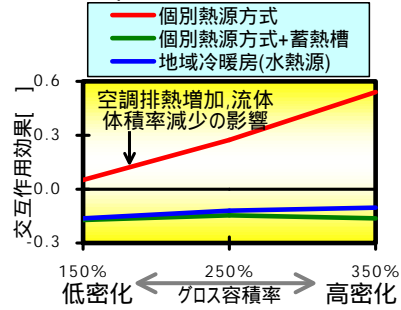
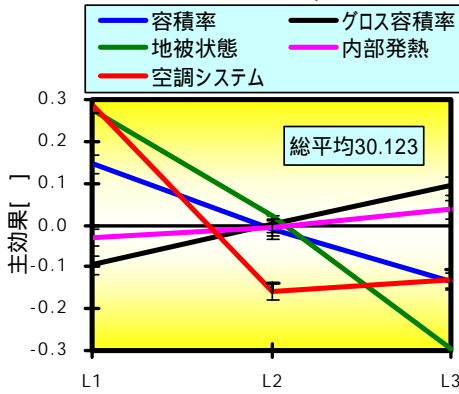


因子	L1	L2	L3
空調システム	個別	個別+蓄熱槽	地域冷暖房
グロス容積率	150%	250%	350%
地被状態	アスファルト	混合	芝生

空調排熱が
昼間殆ど生じない

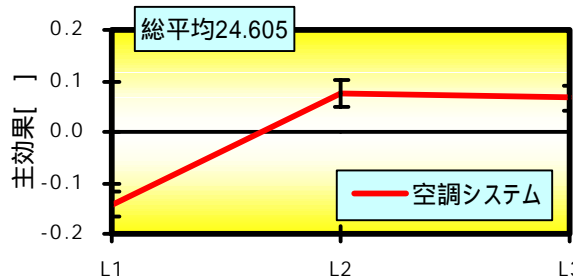
地面の日影割合
増加の影響

日最高気温(キャンピ-内平均)の要因効果



因子	L1	L2	L3
空調システム	個別	個別+蓄熱槽	地域冷暖房
グロス容積率	150%	250%	350%
地被状態	アスファルト	混合	芝生
容積率	700%	1000%	1300%
内部発熱	現状	1.5倍	2倍

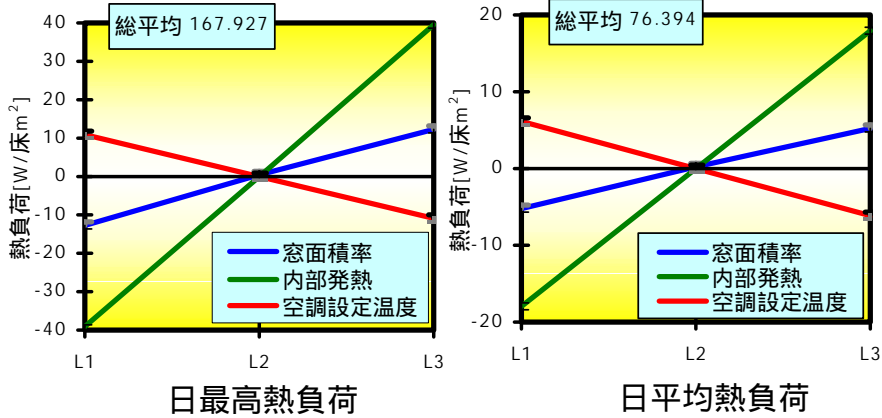
日最低気温(キャンピ-内平均)の要因効果



因子	L1	L2	L3
空調システム	個別	個別+蓄熱槽	地域冷暖房

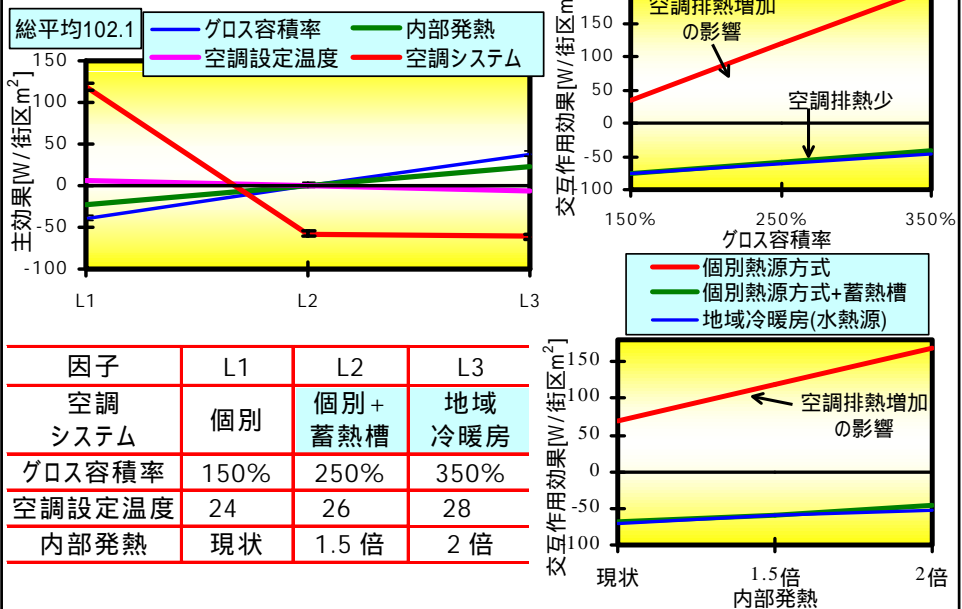
夜間の空調排熱有り

建物熱負荷の要因効果



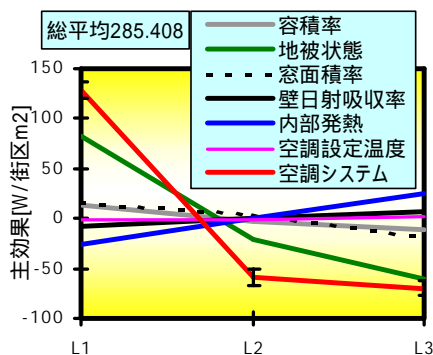
因子	L1	L2	L3
窓面積率	35%	60%	85%
内部発熱	現状	1.5 倍	2 倍
空調設定温度	24	26	28

建物からの日最高 排出熱量(顕熱)の要因効果

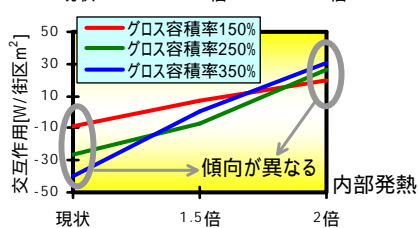
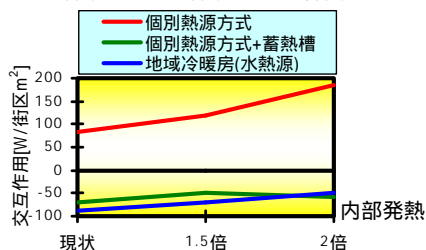
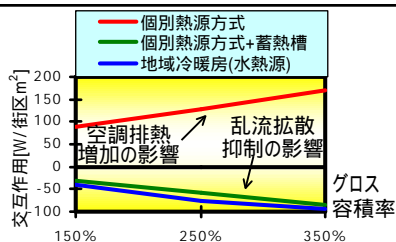


因子	L1	L2	L3
空調システム	個別	個別+蓄熱槽	地域冷暖房
グロス容積率	150%	250%	350%
空調設定温度	24	26	28
内部発熱	現状	1.5 倍	2 倍

接地層上端における 日最高顕熱フラックスの要因効果



因子	L1	L2	L3
空調システム	個別	個別+蓄熱槽	地域冷暖房
地被状態	アスファルト	混合	芝生
容積率	700%	1000%	1300%
内部発熱	現状	1.5倍	2倍
窓面積率	35%	60%	85%
壁日射反射率	0.8	0.5	0.2



空調システムに関するバリエーションスタディ

■ 空調システム 5種類

- 個別熱源方式(HPair,TR,ARの3種類のシステム混合)
- 個別熱源方式+蓄熱槽
- 地域冷暖房DHC(水熱源タイプ)
- " (電気・ガスミックスタイプ)
- " (全電気タイプ)

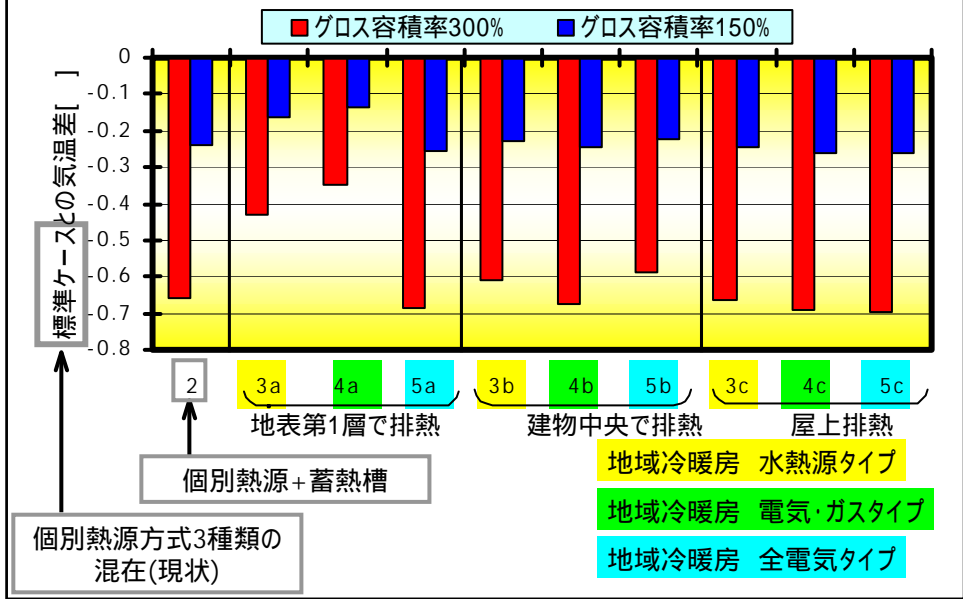
福岡市の実際の
地冷プラント(もち、
川端,天神)の構成比
を用いる

■ 地域冷暖房(DHC)の排熱高さ 3通り

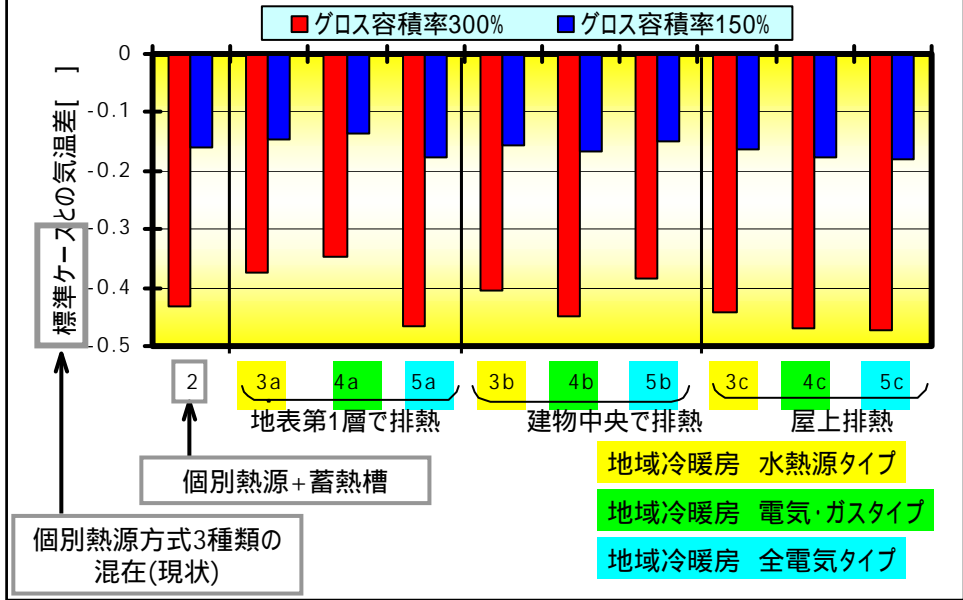
- 地表第1層で排出
- 建物高さの中央で排出
- 屋上で排出

■ グロス容積率 2種類(150%,300%)

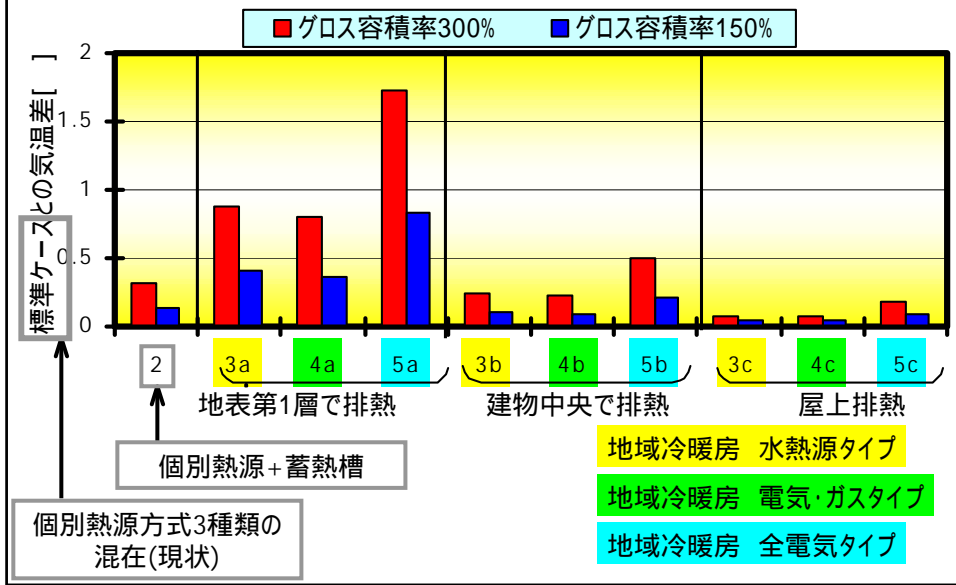
空調システムバリエーションスタディ結果 日最高気温(地上1.2m)



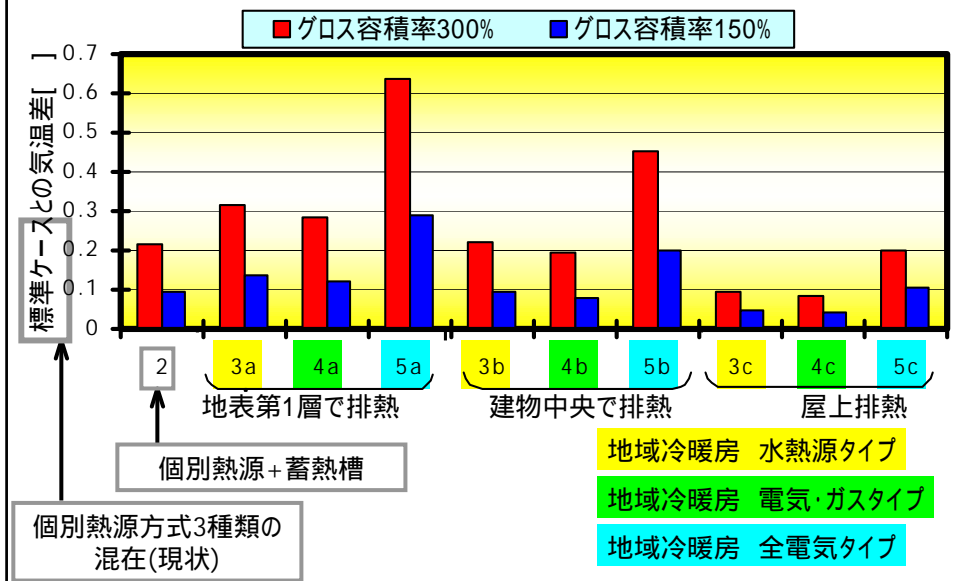
空調システムバリエーションスタディ結果 日最高気温(キャンピー内平均)



空調システムバリエーションスタディ結果 日最低気温(地上1.2m)



空調システムバリエーションスタディ結果 日最低気温(キャンピー内平均)



まとめ

■改良・建築-都市-土壌連成系モデル Revised-AUSSSMの構築

- 都市大気サブモデル
 - ▶ 鉛直1次元ゼロ方程式 + キャノピーモデル
 - ▶ 風洞実験と計算値の比較により風速プロファイルの再現性を確認
- 土壌サブモデル
 - ▶ 土壌及び人工被覆面の蒸発量簡易モデルの構築
 - ▶ 長期実測データに基づく芝生の蒸発量評価
- 建築サブモデル
 - ▶ 3次元街路の放射,壁体熱伝導,熱負荷計算を含む
 - ▶ 空調システムによる排熱特性の違いを考慮

➡キャノピー内伝熱メカニズムの再現,計算負荷抑制に留意

数値実験による都市高温化要因の定量化

■バリエーションスタディ

- 気温
 - ▶ 内部発熱,空調システム,地被状態の因子内水準差大
 - ▶ 特に空調システムの影響は顕著
- 建物熱負荷
 - ▶ 内部発熱,空調設定温度,窓面積率の影響大
- 空調排熱量
 - ▶ グロス容積率,窓面積率,内部発熱,空調設定温度,空調方式,空調システムの影響大
- 接地層上端フラックス
 - ▶ グロス容積率,地被状態,屋上仕様,内部発熱,降水状況,空調システムの影響大

■ 実験計画法理論に基づく数値実験

- ▶ 自然地被率が増加するほど日最高気温は低下
- ▶ 高さ1.2mの日最高気温は自然地被率の影響を特に受けやすい
- ▶ グロス容積率増加(高密化) キャンピ-内平均日最高気温上昇
- ▶ 容積率増加(高層化) キャンピ-内平均日最高気温低下
- ▶ 蓄熱槽有り・地冷(水熱源HPタイプ) 日中の排熱が生じないため、日最高気温は低下
- ▶ 日最高顕熱フラックスは、地被状態、内部発熱、空調システムの要因効果大きい

■ 空調システムに関する数値実験

- ▶ 蓄熱システム,地冷システムの導入 日最高気温は低下
- ▶ 地冷の排熱高さにより、日最低気温の上昇傾向は大きく異なる