

CFD解析を用いた建築空間の 設計・計画に関する基礎的研究

パラメトリックスタディによる室内外気流性状の検討

竹内 桜

指導教員 有波 裕貴 助教



研究目的

研究目的

近年、コンピュータシミュレーション技術の進歩により、建築空間を対象に空気や熱、光、音などの挙動を解析・予測して可視化し、定量的な把握が可能になった。

本研究では、CFD ※¹ (RANS※²) 解析により、卒業基礎設計にて定性的に環境要因を考慮して設計した建物が、環境性能として意図したものであるかを検証する。

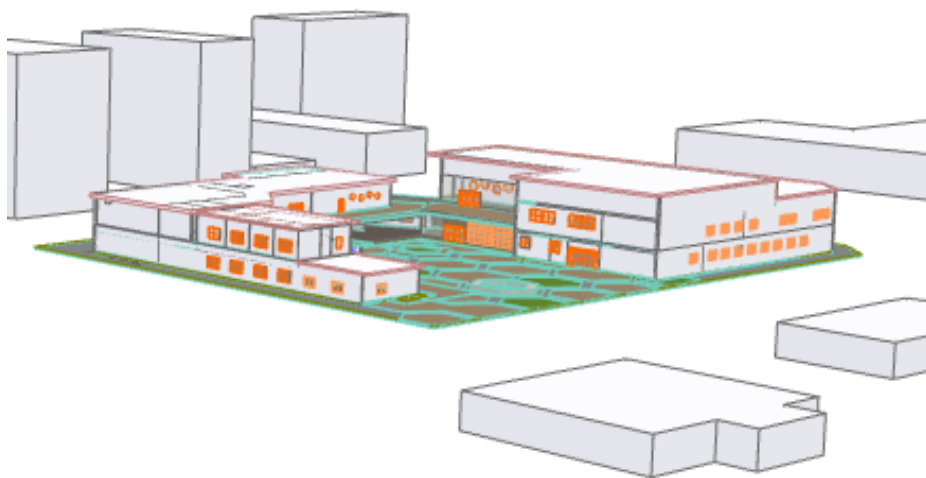
更に、解析結果をもとに設計の改善を行うことで**自然エネルギーを活用したデザインの実現**を目的とする。

※1 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics)

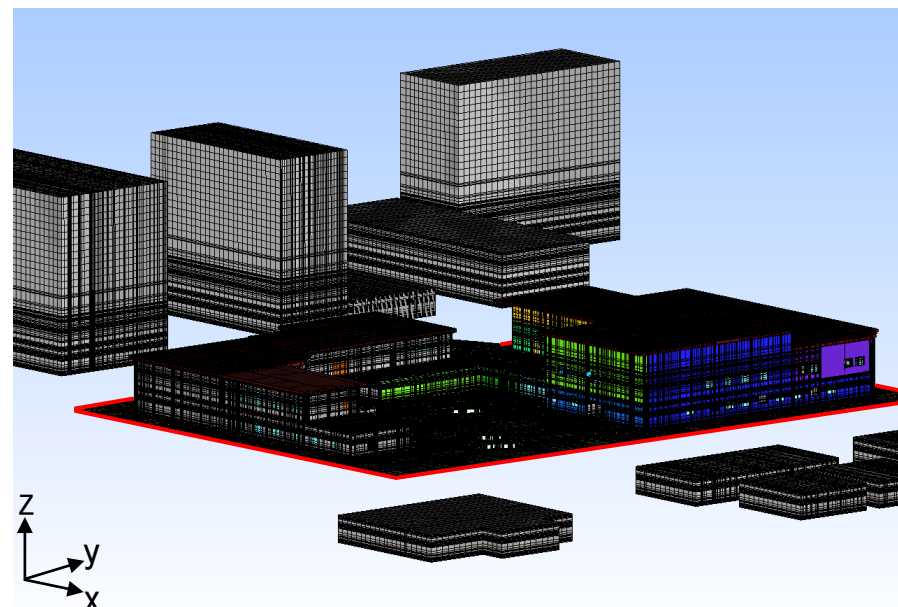
※2 レイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) を用いて解析する手法。

研究概要

RANS解析には汎用数値流体解析ソフト**STREAM v2021**を使用する。
ArchiCAD24によって作成した対象建物モデルをSTREAM v2021にインポートし、室内外気流性状を解析する。



(a) CADモデル(case1-1)



(b) STREAM v2021でメッシュ分割したモデル

表 2 CFD解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル			
解析領域	239.5[m] (x) × 265.6[m] (y) × 25.1[m] (z)			
流入出境界	流入	べき乗則境界	基準風速 [m/s]	5.0 (基準高さ35.1[m])
			べき指数逆数	2.5
	流出	自然流出境界		
壁境界	地表面	ノースリップ		
	上空及び側面	フリースリップ		
風向	夏	南南東		
	冬	北		
樹木モデル ^{文1)}	種類	シラカシ	サザンカ	コブシ
	抵抗係数Cd	0.59	0.50	0.78
	葉面積密度A [m ² /m ³]	5.59	5.34	5.73
	モデル係数C _{p1}	1.95		

文1) 日本建築学会「市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック」

研究概要

解析領域は239.5[m] (x) × 265.6[m] (y) × 25.1[m] (z) とする。

表 2 CFD解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル			
解析領域	239.5[m] (x) × 265.6[m] (y) × 25.1[m] (z)			
流入境界	流入	べき乗則境界	基準風速[m/s]	5.0 (基準高さ35.1[m])
	流出	自然流出境界		
壁境界	地表面	ノースリップ		
	上空及び側面	フリースリップ		
風向	夏	南南東		
	冬	北		
樹木モデル ^{文1)}	種類	シラカシ	サザンカ	コブシ
	抵抗係数Cd	0.59	0.50	0.78
	葉面積密度A [m ² /m ³]	5.59	5.34	5.73
	モデル係数C _{p1}	1.95		

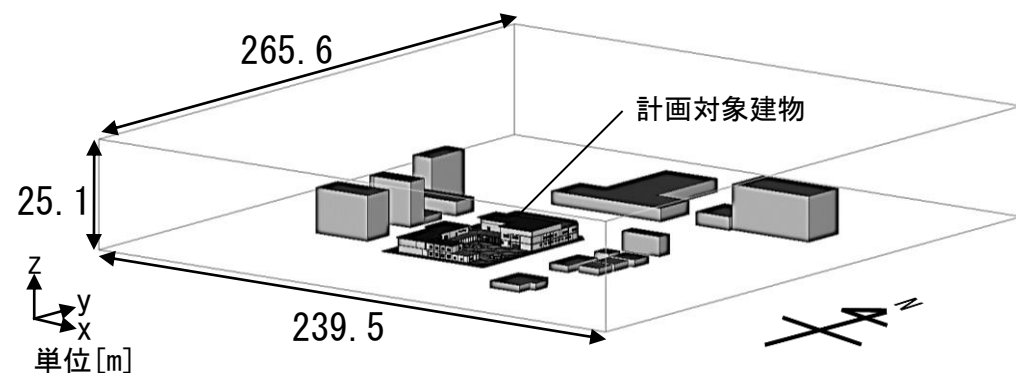


図 1 解析対象モデル

研究概要

解析対象モデル内の任意の地点の風速を基準風速 (5.0 [m/s]) で除した値を風速比として算出する。

表 2 CFD解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル			
解析領域	239.5 [m] (x) × 265.6 [m] (y) × 25.1 [m] (z)			
流入境界	流入	べき乗則境界	基準風速 [m/s]	5.0 (基準高さ 35.1 [m])
	流出	自然流出境界		
壁境界	地表面	ノースリップ		
	上空及び側面	フリースリップ		
風向	夏	南南東		
	冬	北		
樹木モデル ^{文1)}	種類	シラカシ	サザンカ	コブシ
	抵抗係数Cd	0.59	0.50	0.78
	葉面積密度A [m ² /m ³]	5.59	5.34	5.73
	モデル係数C _{p1}	1.95		

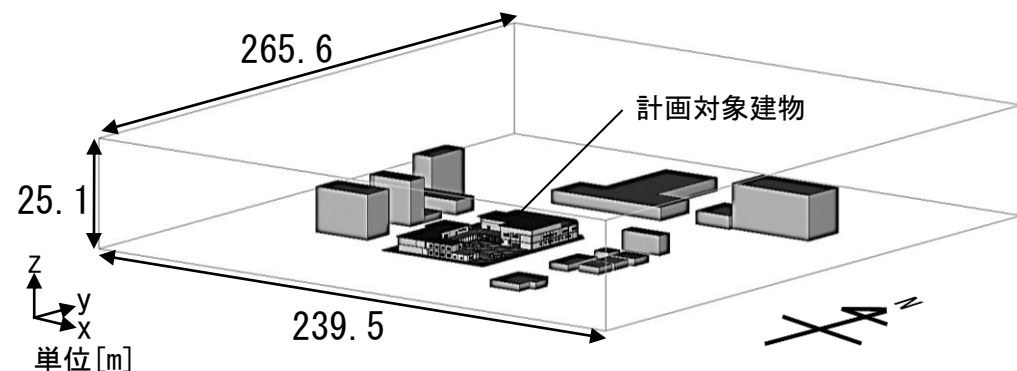
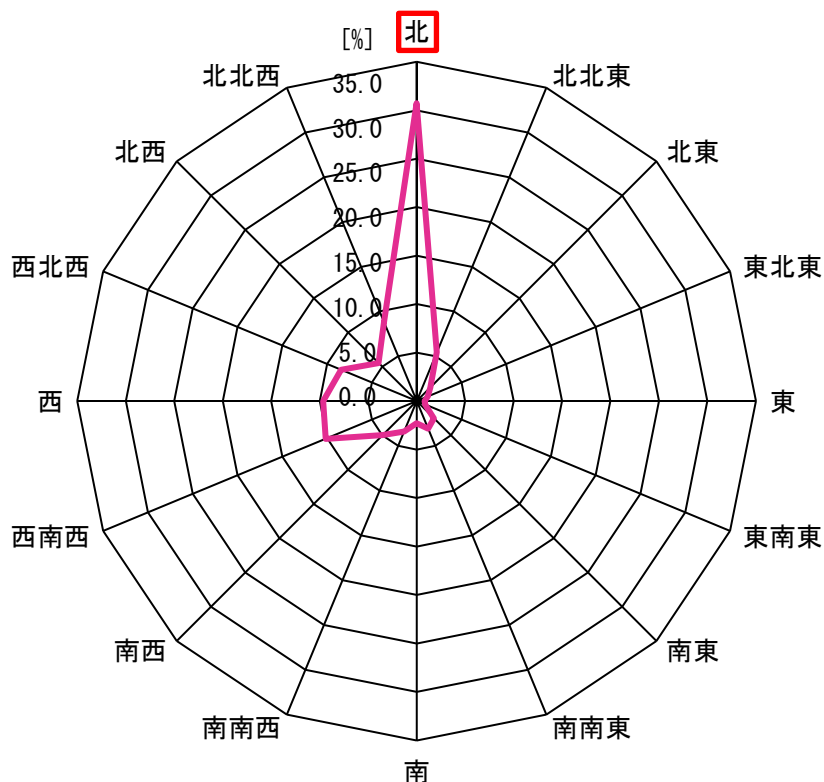


図 1 解析対象モデル

冬季の風向を最頻風向である北に設定する。



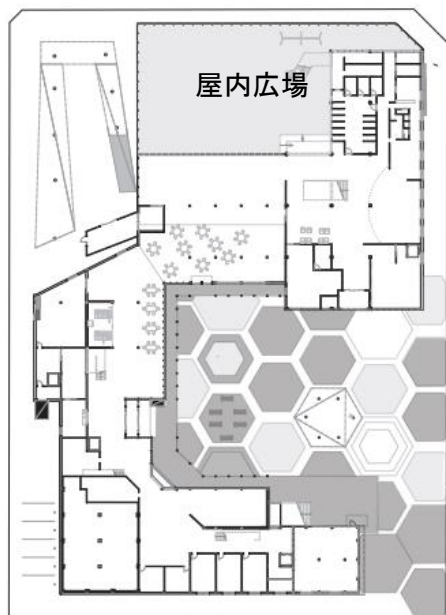
(b) 冬季 (11月～2月)

図 風配図 (北海道苫小牧市)

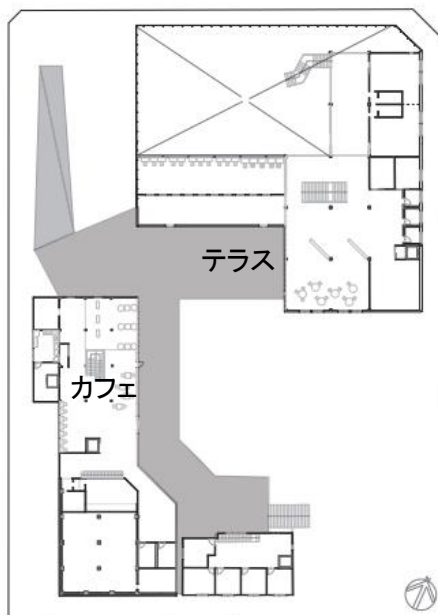
表 2 CFD解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル			
解析領域	239.5[m] (x) × 265.6[m] (y) × 25.1[m] (z)			
流入境界	流入	べき乗則境界	基準風速 [m/s]	5.0 (基準高さ 35.1 [m])
	流出	自然流出境界		
壁境界	地表面	ノースリップ		
	上空及び側面	フリースリップ		
風向	夏	南南東		
	冬	北		
樹木モデル ^{文1)}	種類	シラカシ	サザンカ	コブシ
	抵抗係数Cd	0.59	0.50	0.78
	葉面積密度A [m ² /m ³]	5.59	5.34	5.73
	モデル係数C _{p1}	1.95		

case1、case2の季節はそれぞれ夏季、冬季とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽	
case1	南南東(夏)	case1-1	なし	なし
		case1-2	なし	パターン①
		case1-3	隅角部縮小	
		case1-4	隅角部縮小、柵あり	パターン②
		case1-5	隅角部縮小、柵なし	
		case1-6	隅角部縮小、柵なし	
case2	北(冬)	case2-1	なし	パターン①
		case2-2	隅角部縮小、柵あり	パターン②

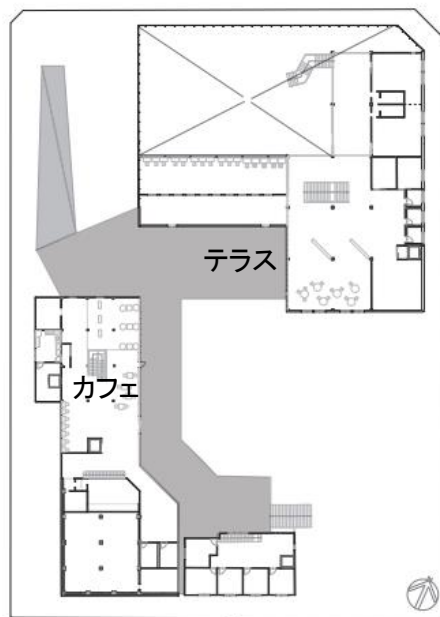
平面図(case1-1)

研究概要

case1-1 と case1-2 は外形を初期状態として、植栽はそれぞれなし、パターン①とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

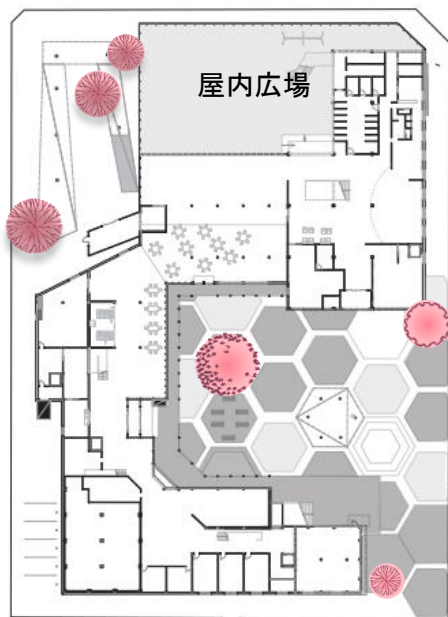
表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		隅角部縮小	パターン①
case1-3		隅角部縮小、柵あり	
case1-4		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-5			
case1-6			
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

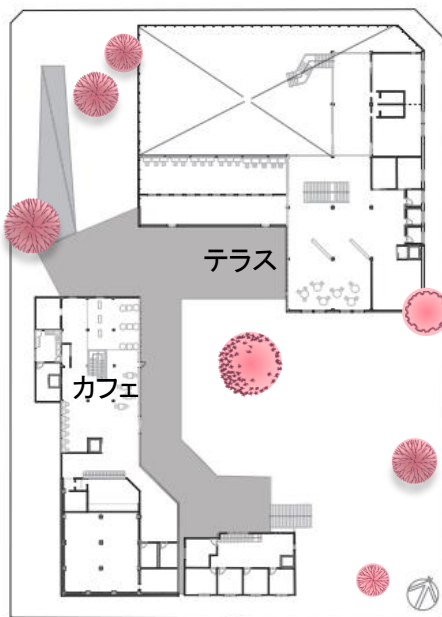
平面図(case1-1)

研究概要

case1-1とcase1-2は外形を初期状態として、植栽はそれぞれなし、パターン①とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

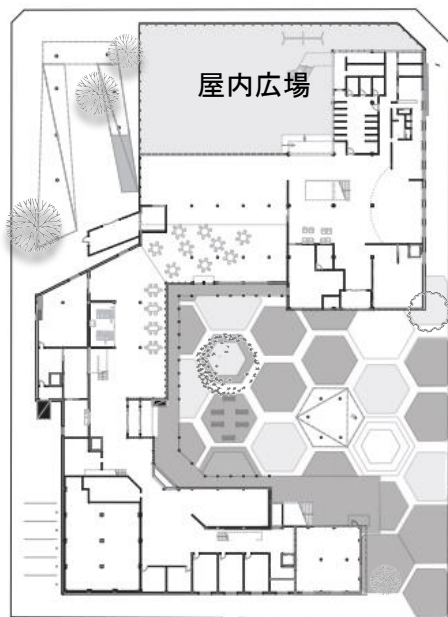
表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽	
case1	南南東(夏)	case1-1	なし	なし
		case1-2	なし	
		case1-3	隅角部縮小	パターン①
		case1-4	隅角部縮小、柵あり	パターン②
		case1-5	隅角部縮小、柵なし	
		case1-6	隅角部縮小、柵なし	
case2	北(冬)	case2-1	なし	パターン①
		case2-2	隅角部縮小、柵あり	パターン②

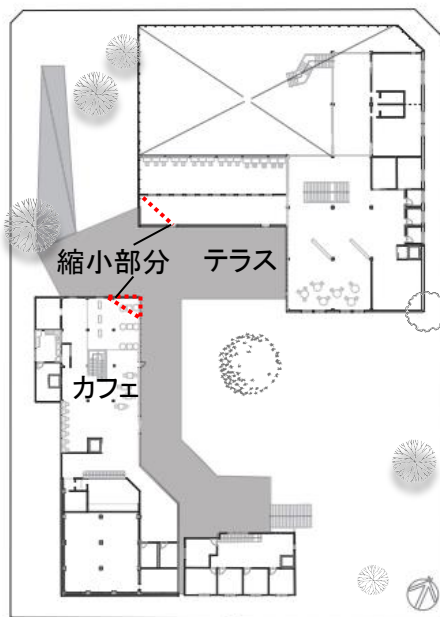
平面図(case1-2、植栽パターン①)

研究概要

case1-3は一部の隅角部を縮小、case1-4ではさらに隅角部を縮小してテラスにガラスの柵(1,500[mm])を設置する。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

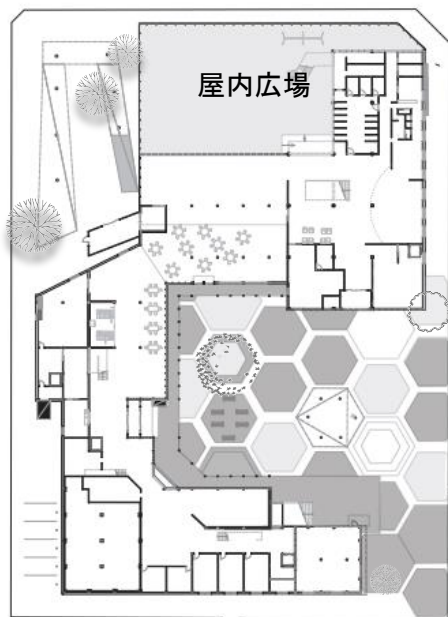
表1 解析case

解析case		風向(季節)	外形の変更	植栽
case1	case1-1	南南東(夏)	なし	なし
	case1-2			
	case1-3		隅角部縮小	パターン①
	case1-4		隅角部縮小、柵あり	パターン②
	case1-5			
	case1-6			
case2	case2-1	北(冬)	なし	パターン①
	case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

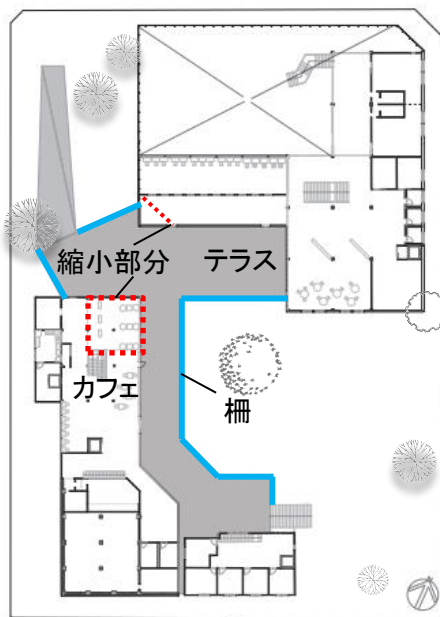
平面図(case1-3、植栽パターン①)

研究概要

case1-3は一部の隅角部を縮小、case1-4ではさらに隅角部を縮小してテラスにガラスの柵(1,500[mm])を設置する。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

表 1 解析case

解析case		風向(季節)	外形の変更	植栽
case1	case1-1	南南東(夏)	なし	なし
	case1-2			なし
	case1-3		隅角部縮小	パターン①
	case1-4		隅角部縮小、柵あり	
	case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
	case1-6		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case2	case2-1	北(冬)	なし	パターン①
	case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

平面図(case1-4、植栽パターン①)

case1-5はcase1-4に**植栽を追加したパターン②**とする。

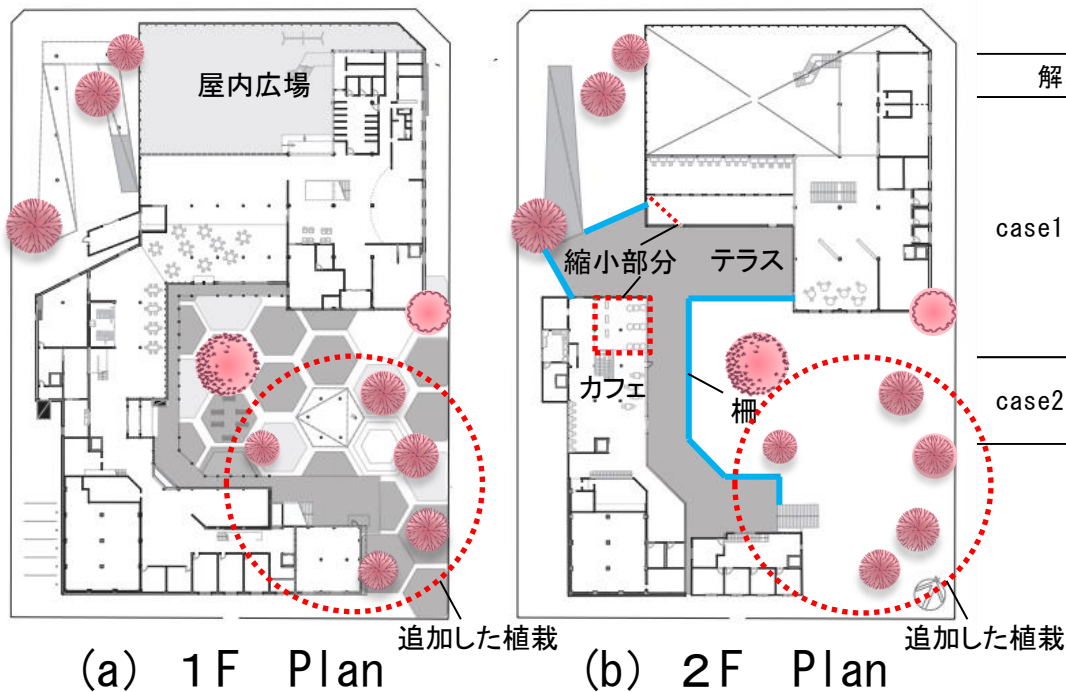


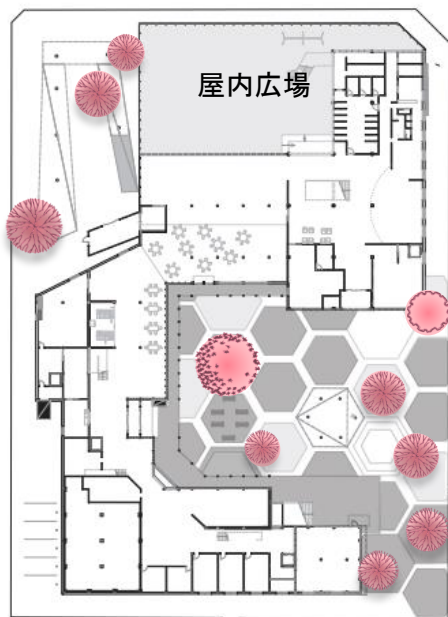
表 1 解析case

解析case		風向(季節)	外形の変更	植栽
case1	case1-1	南南東(夏)	なし	なし
	case1-2			なし
	case1-3		隅角部縮小	パターン①
	case1-4		隅角部縮小、柵あり	パターン②
	case1-5		隅角部縮小、柵あり	
	case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2	case2-1	北(冬)	なし	パターン①
	case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

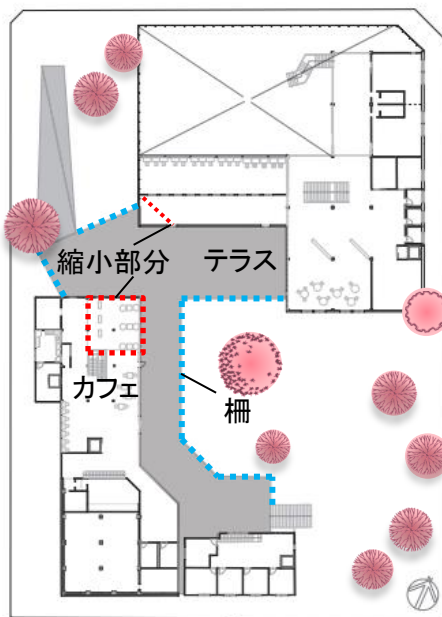
平面図(case1-5、植栽パターン②)

研究概要

case1-6ではcase1-5のガラスの柵をなし(風の通るフェンスと同等のもの)とし、植栽パターン②とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

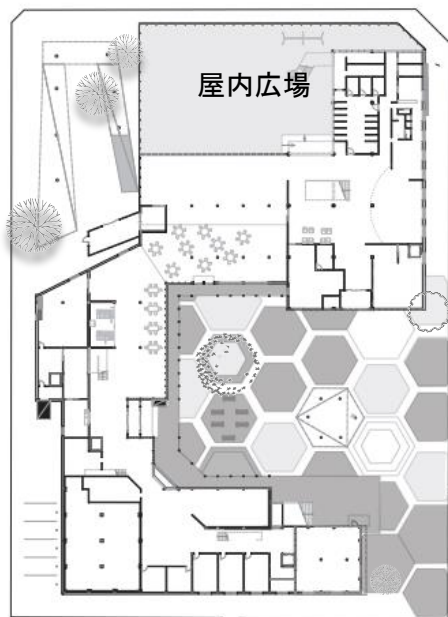
表 1 解析case

解析case		風向(季節)	外形の変更	植栽
case1	case1-1	南南東(夏)	なし	なし
	case1-2		なし	パターン①
	case1-3		隅角部縮小	
	case1-4		隅角部縮小、柵あり	パターン②
	case1-5		隅角部縮小、柵あり	
	case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2	case2-1	北(冬)	なし	パターン①
	case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

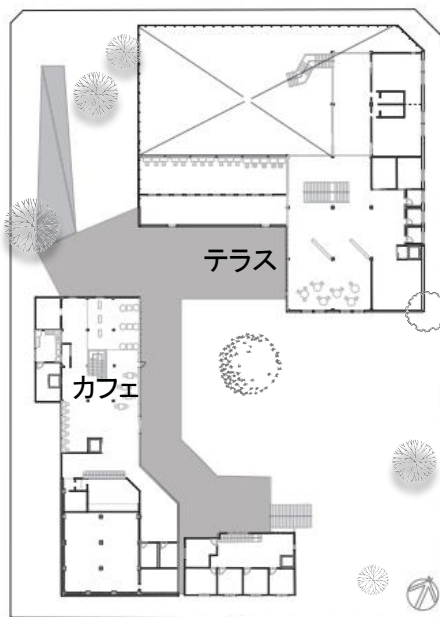
平面図(case1-6、植栽パターン②)

研究概要

case2-1では、**case1-2と同様の外形・植栽**とし、case2-2ではcase1-5と同様の外形・植栽とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

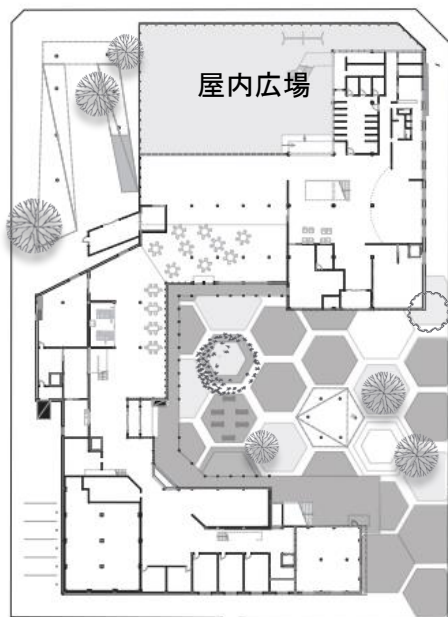
表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽	
case1	南南東(夏)	case1-1	なし	なし
		case1-2	なし	パターン①
		case1-3	隅角部縮小	
		case1-4	隅角部縮小、柵あり	パターン②
		case1-5	隅角部縮小、柵なし	
		case1-6	隅角部縮小、柵なし	
case2	北(冬)	case2-1	なし	パターン①
		case2-2	隅角部縮小、柵あり	パターン②

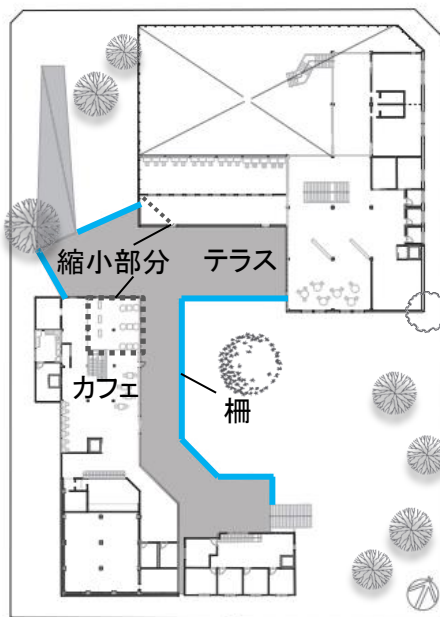
平面図(case2-1、植栽パターン①)

研究概要

case2-1では、case1-2と同様の外形・植栽とし、case2-2ではcase1-5と同様の外形・植栽とする。



(a) 1F Plan



(b) 2F Plan

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽	
case1	南南東(夏)	case1-1	なし	なし
		case1-2	なし	パターン①
		case1-3	隅角部縮小	
		case1-4	隅角部縮小、柵あり	パターン②
		case1-5		
		case1-6	隅角部縮小、柵なし	
case2	北(冬)	case2-1	なし	パターン①
		case2-2	隅角部縮小、柵あり	パターン②

平面図(case2-2、植栽パターン②)

解析結果

解析結果

case1-1において1階から流入した自然風が広場のカーテンウォールに到達して上方へ流れ、3階の開口部から流出するため、屋内広場では概ね設計意図通りの気流性状であることを確認した。



図2 自然換気を意図して設計した建物断面

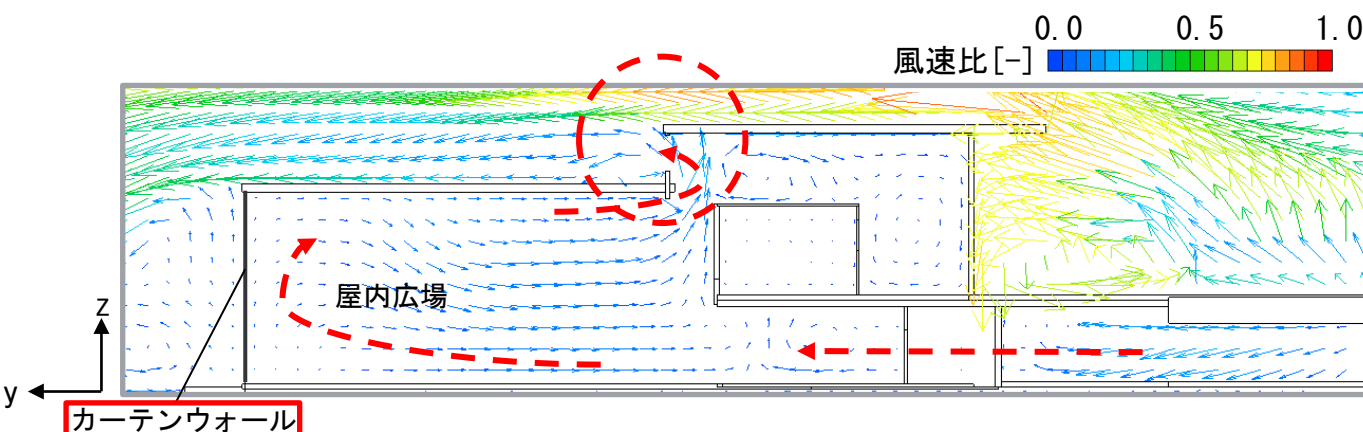


図3 y-z座標断面気流分布(A-A'断面、case1-1)

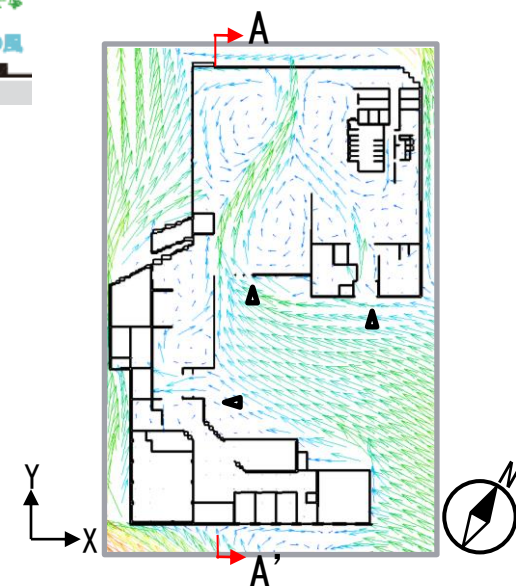


図4 1階平面

解析結果

case1-2において、屋内広場では南側の開口部からの気流が渦を巻くようにして北側へ流れている。

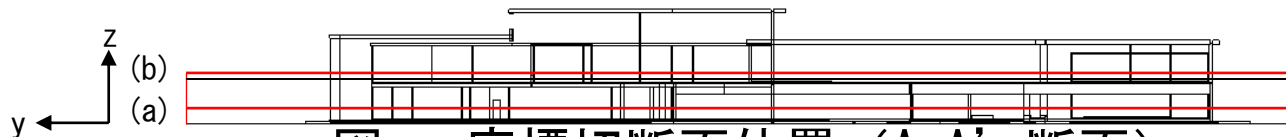



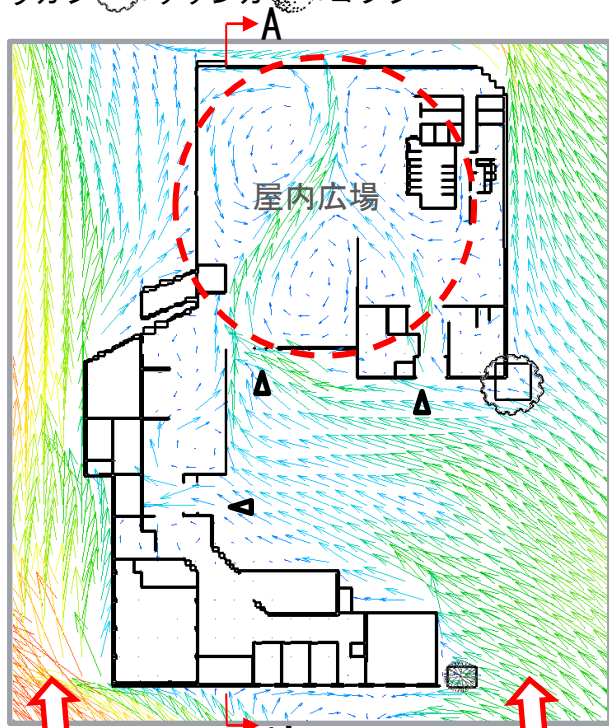
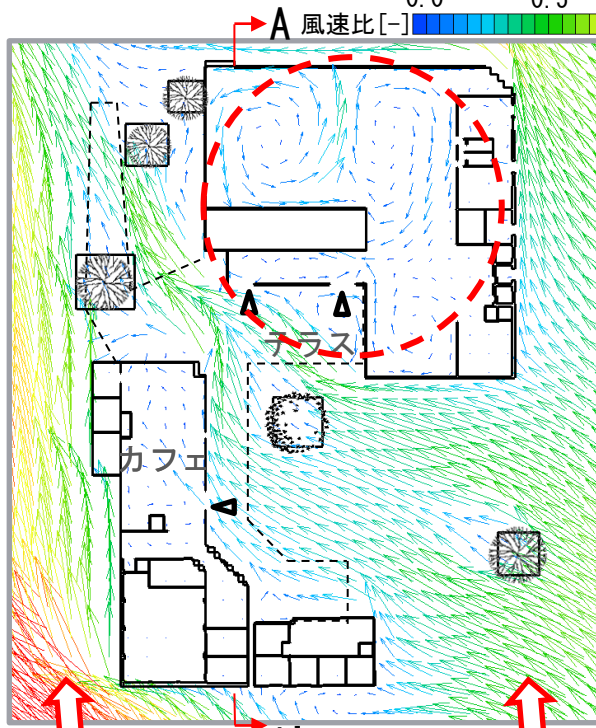


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1		なし	なし
case1-2		なし	
case1-3	南南東(夏)	隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6			
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②



図4 case1-2 水平面気流分布 (z座標切断面)

解析結果

屋内広場での最大風速比は0.44[-]程度である。

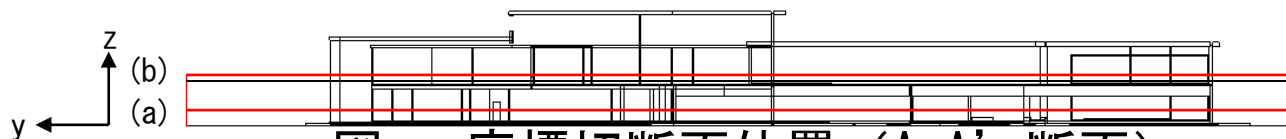



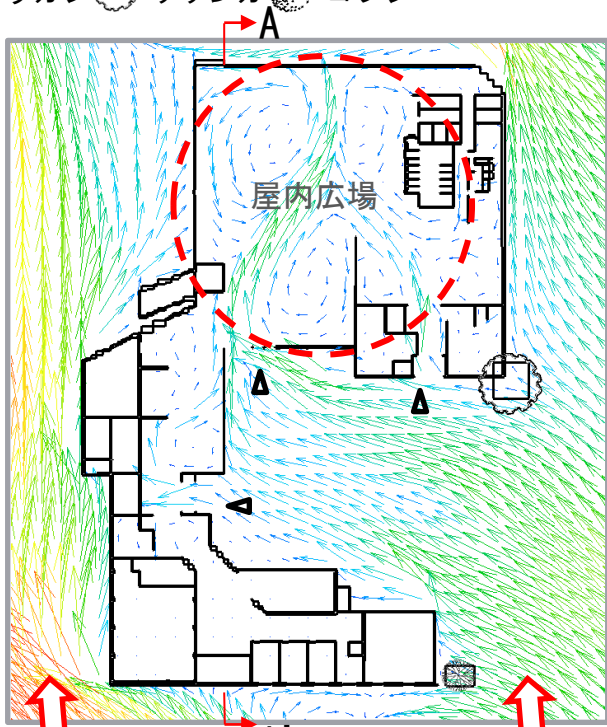


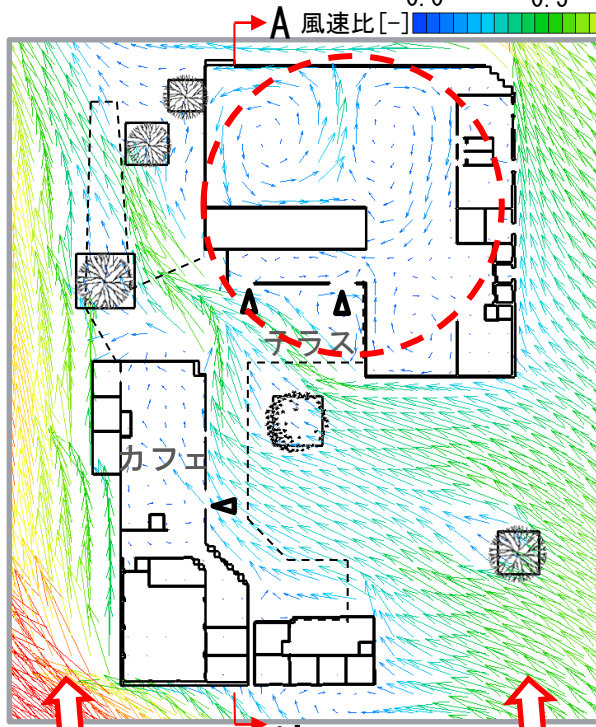
図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ

0.0 0.5 1.0
風速比[-]



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図4 case1-2 水平面気流分布 (z座標切断面)

表1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1		なし	なし
case1-2		なし	
case1-3	南南東(夏)	隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6			
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






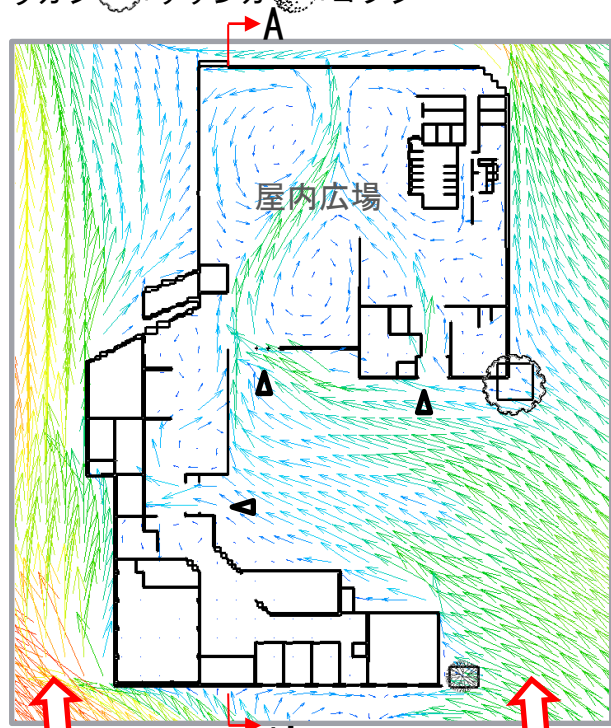
解析結果

屋外では、植栽の配置によりテラスへの集中的な気流が左右に分散されたものの、最大風速比0.64[-]の風が吹き込む。

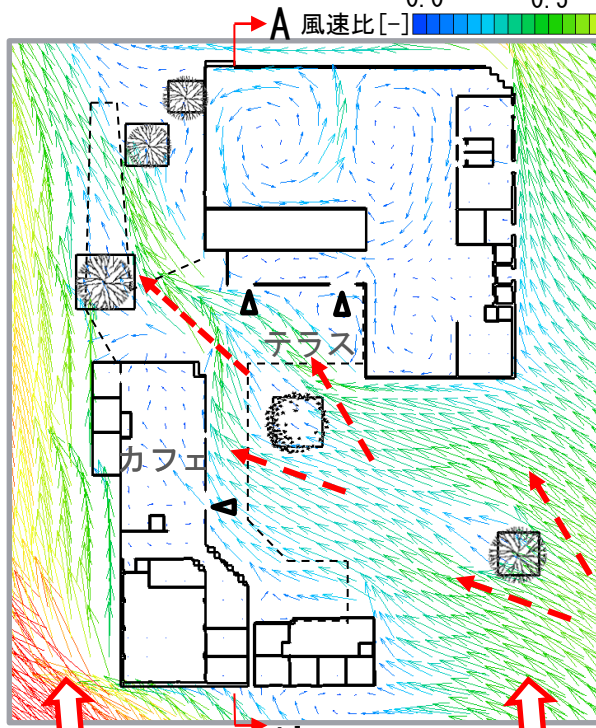


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1		なし	なし
case1-2		なし	
case1-3	南南東(夏)	隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6			
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②




図 4 case1-2 水平面気流分布 (z座標切断面)

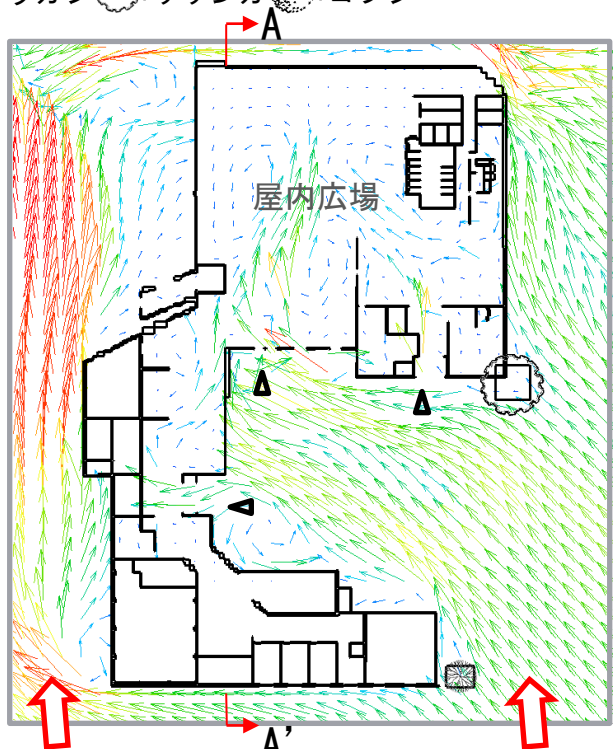
解析結果

case1-4において隅角部を縮小してテラスに柵を設置すると、カフェの壁面と柵の間の最大風速比は1.0[-]となる。

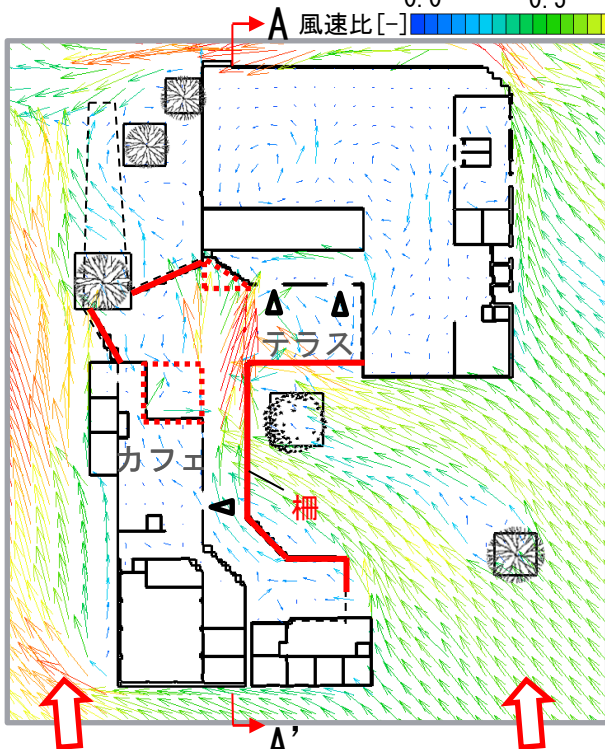


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図 case1-4 水平面気流分布 (z座標切断面)

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	なし
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	パターン①
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






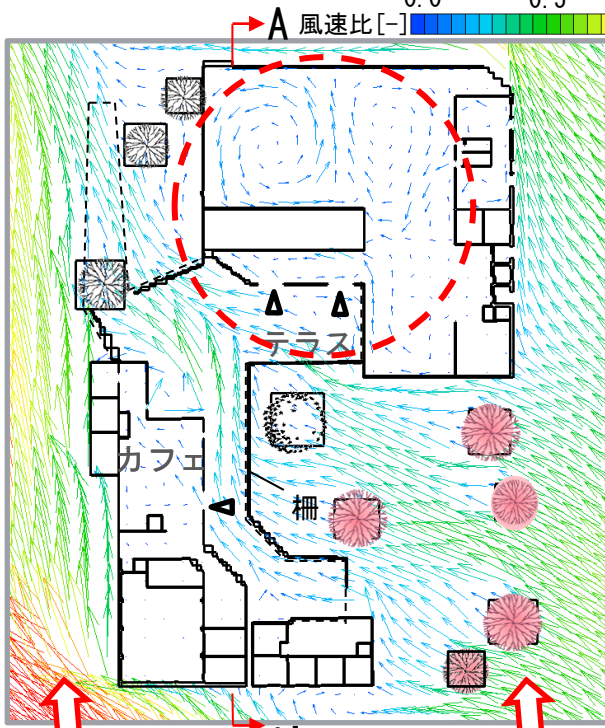
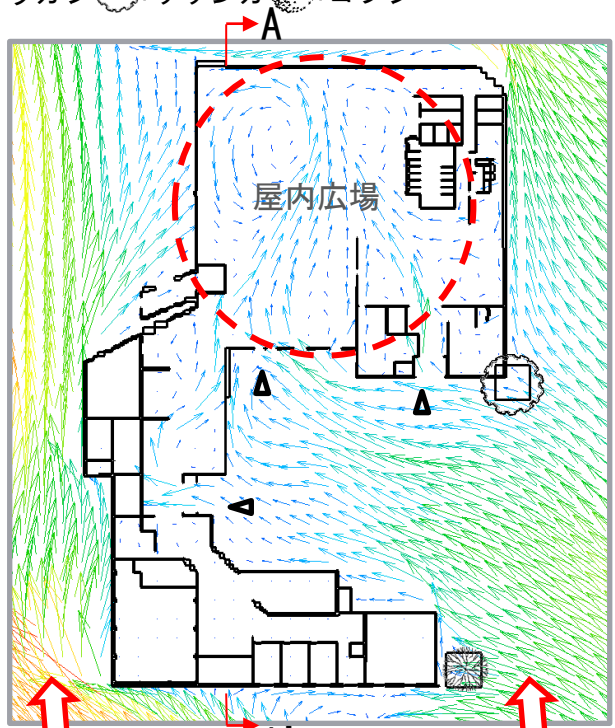
解析結果

case1-4に植栽を追加したcase1-5では、室内の最大風速比は0.24[-]程度となる。



図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]

(b) 2階FLから高さ1.0[m]

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	なし
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	パターン①
case1-5		隅角部縮小、柵あり	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






図 4 case1-5 水平面気流分布 (z座標切断面)

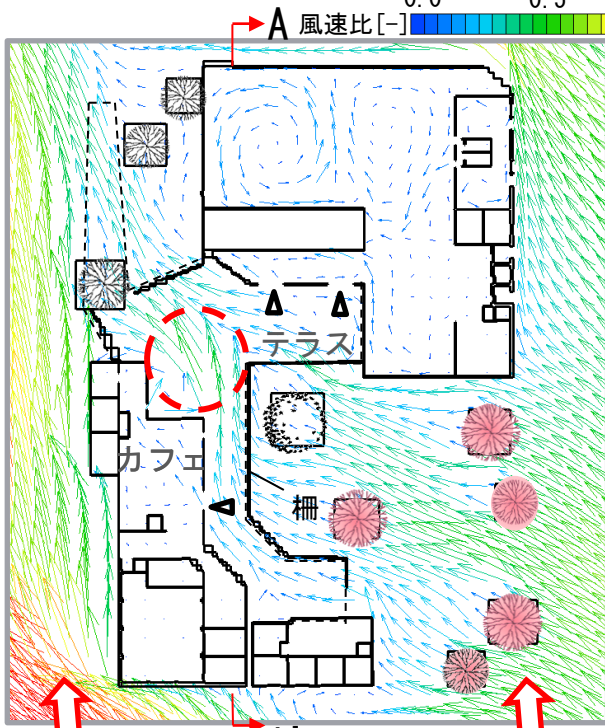
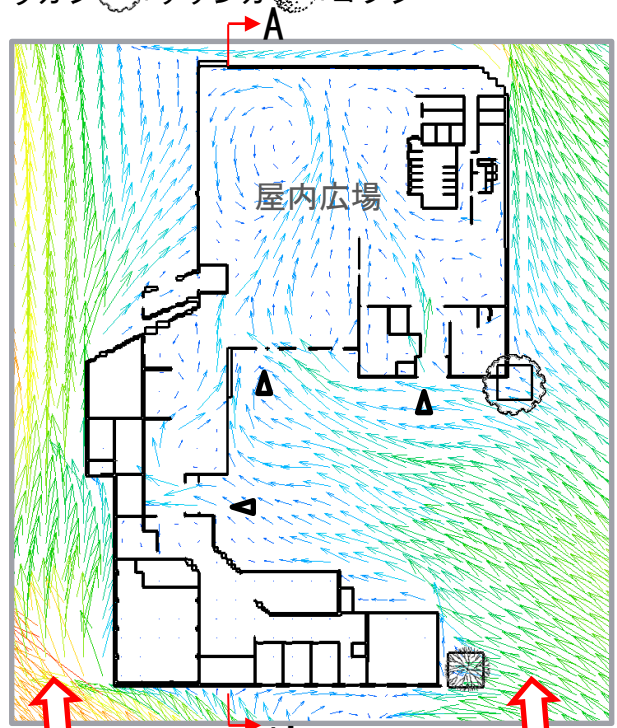
解析結果

屋外において、テラスへの集中的な気流が植栽により緩和され、最大風速比0.42[-]となる。



図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]

(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図4 case1-5 水平面気流分布 (z座標切断面)

表1 解析case




解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6			
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

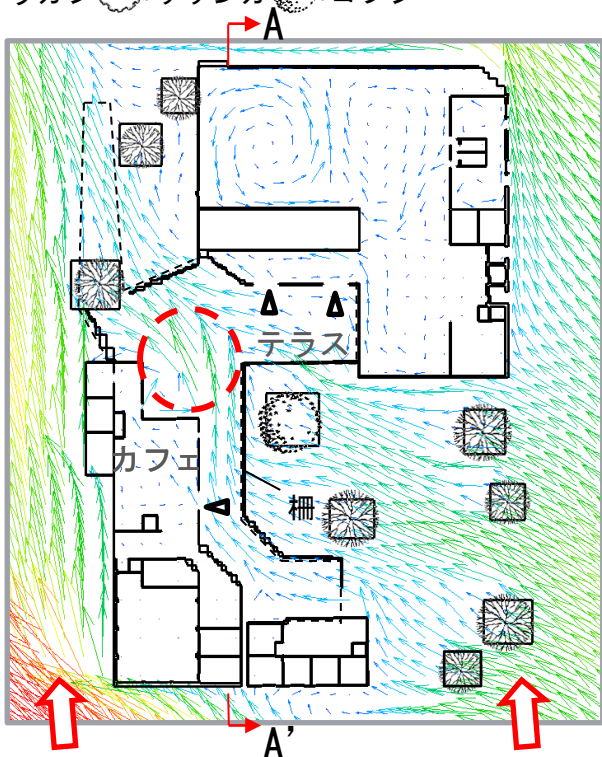
解析結果

柵をなしとしたcase1-6では、テラスの最大風速比0.42[-]の面積がcase1-5より増加した。

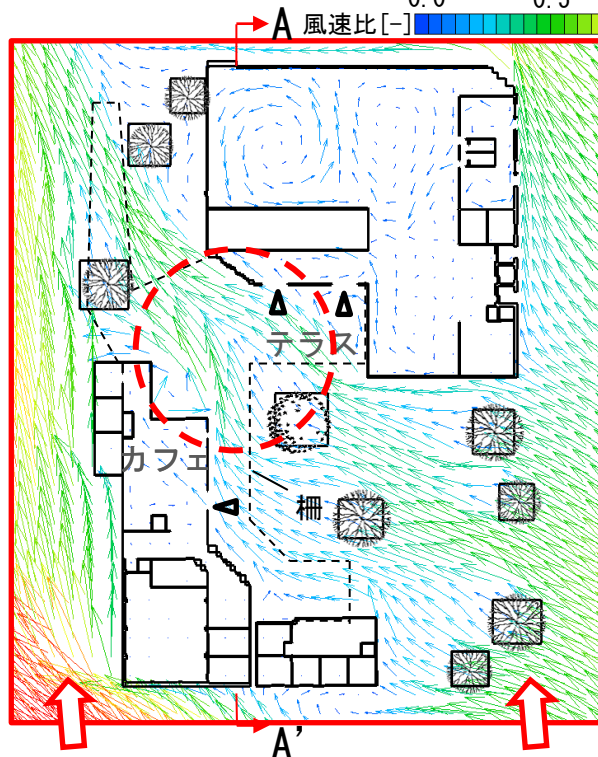


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) case1-5



(b) case1-6

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






図 2階FLから高さ1.0[m]の水平面気流分布 (z座標切断面)

解析結果

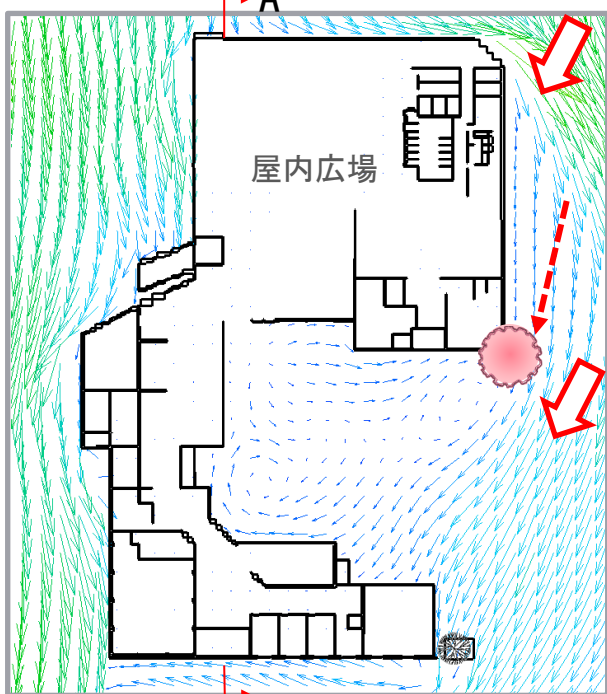
case2-1では、1階FLから高さ1.5[m]において、植栽により屋外広場への気流の流入が防がれている。



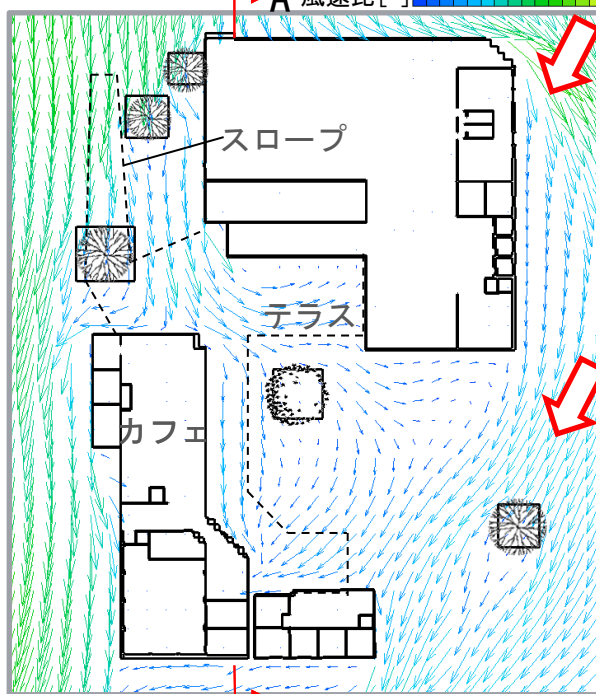
図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ

風速比 [-] 0.0 0.5 1.0



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図 case2-1 水平面気流分布 (z座標切断面)

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






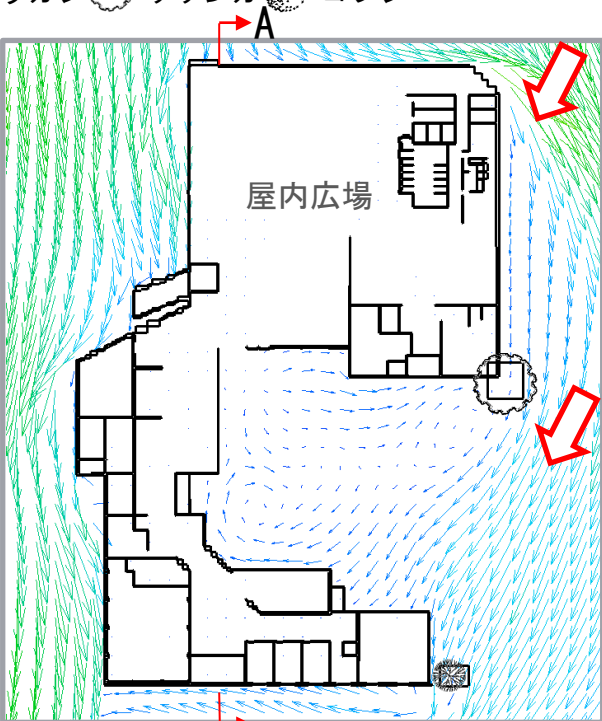
解析結果

2階FLから高さ1.0[m]では、**スロープ側からの風が植栽を通り抜けてテラスへ吹き込む。**

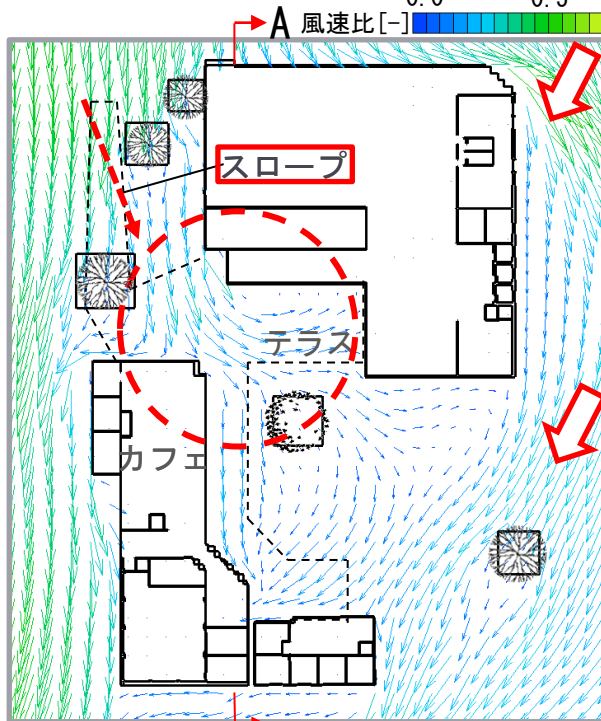


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図 case2-1 水平面気流分布 (z座標切断面)

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②






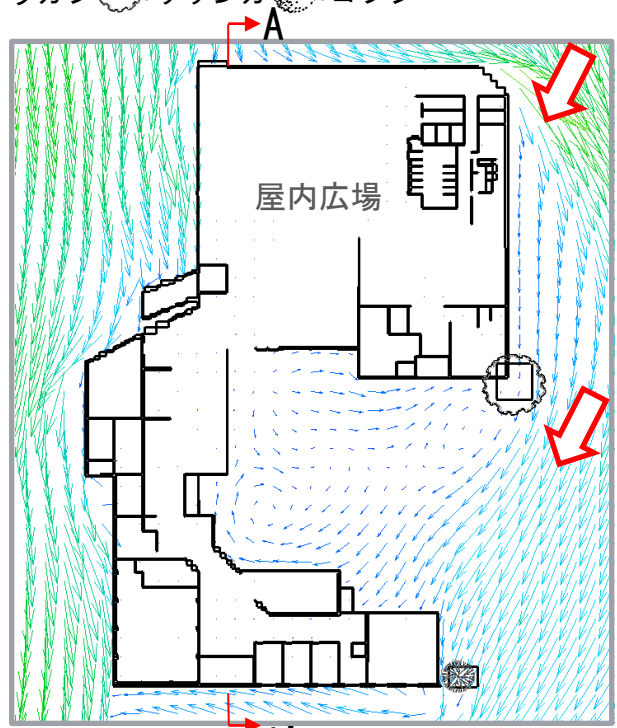
解析結果

冬(11月~2月)の平均気温は $-0.78[^\circ\text{C}]$ (気象庁HPより引用)であり、**最大風速比 $0.38[-]$ の気流が流れる。**

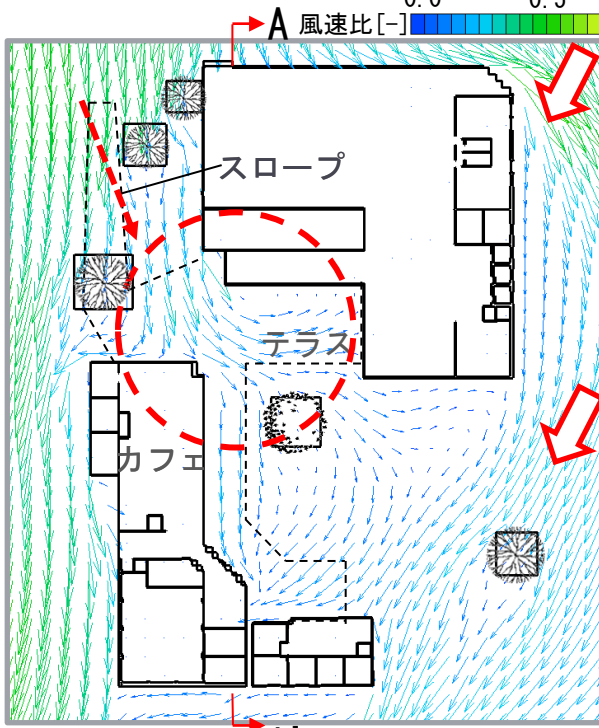


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]



(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図 case2-1 水平面気流分布 (z座標切断面)

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②



解析結果

case2-2ではcase2-1と比較して、1階の屋外空間、2階のテラス空間ともに植栽や柵により気流が緩和された。

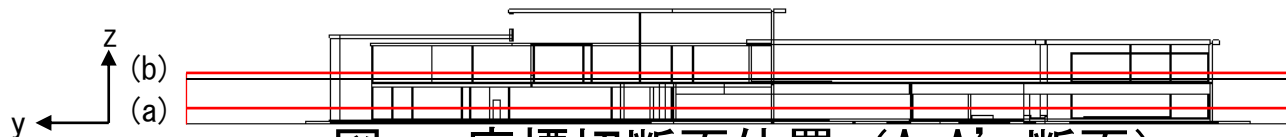



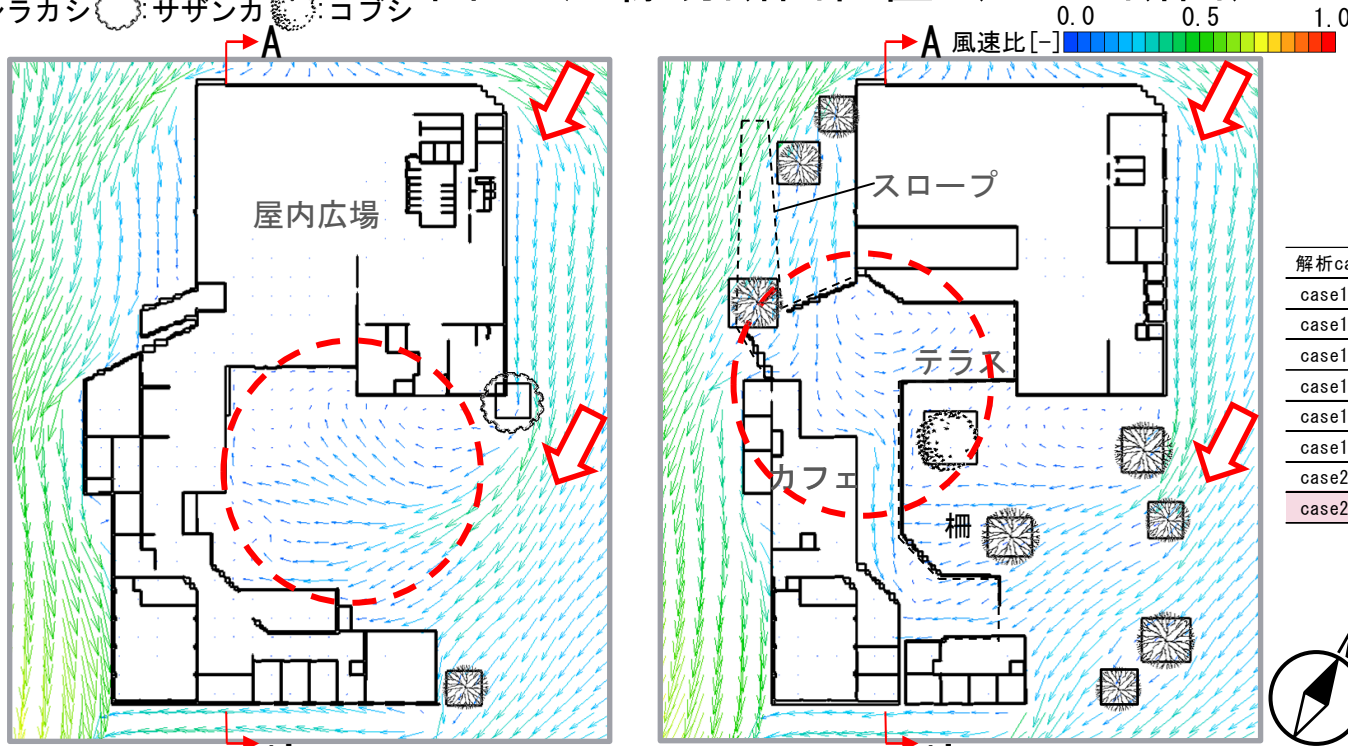


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) 1階FLから高さ1.5[m]

(b) 2階FLから高さ1.0[m]

図 case2-2 水平面気流分布 (z座標切断面)

表 1 解析case




解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	なし
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	なし
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	なし
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②

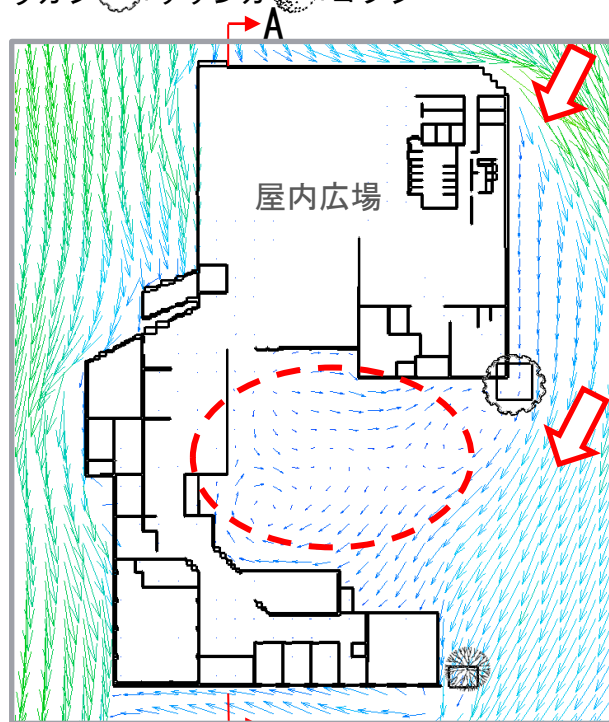
解析結果

1階FLから高さ1.5[m]での屋外空間の最大風速比は**case2-1**、**case2-2**いずれも**0.15[-]**である。

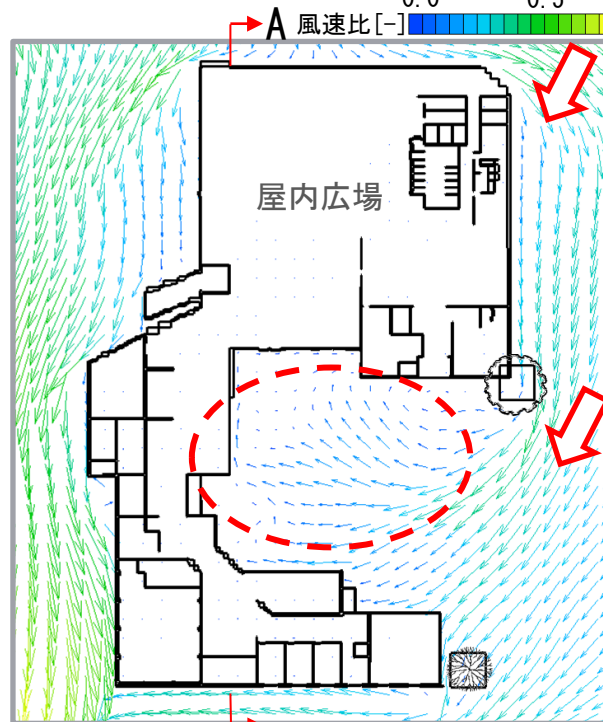


図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ



(a) case2-1



(b) case2-2

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②




図 1階FLから高さ1.5[m]の水平面気流分布

解析結果

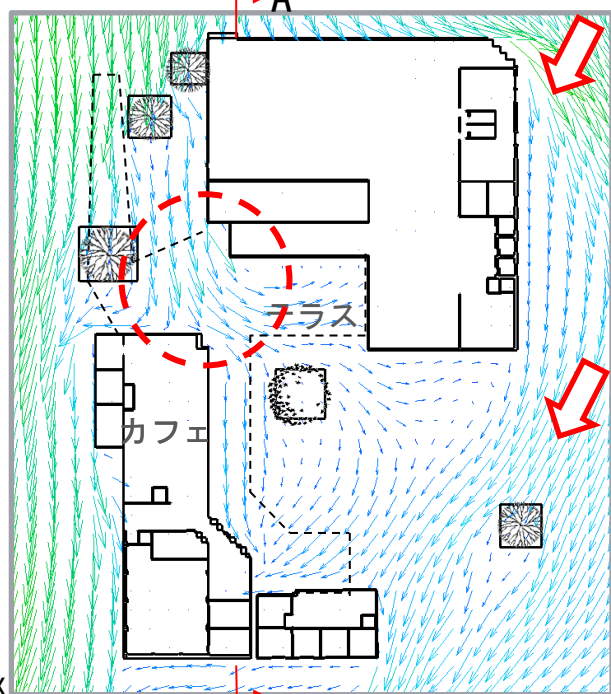
2階FLから高さ1.0[m]での最大風速比はcase2-1は0.5[-]、case2-2は0.15[-]である。



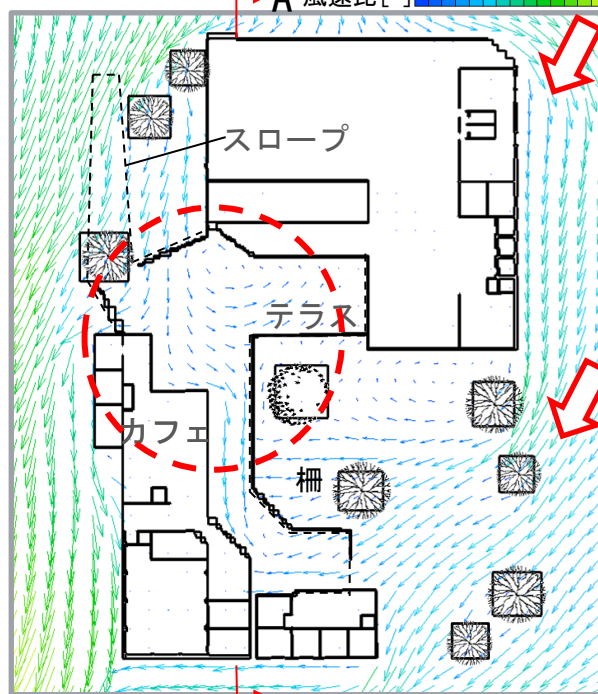
図 z座標切断面位置 (A-A' 断面)

 シラカシ
  サザンカ
  コブシ

風速比[-] 0.0 0.5 1.0

(a) case2-1



(b) case2-2

表 1 解析case

解析case	風向(季節)	外形の変更	植栽
case1-1	南南東(夏)	なし	なし
case1-2		なし	
case1-3		隅角部縮小	パターン①
case1-4		隅角部縮小、柵あり	
case1-5		隅角部縮小、柵なし	パターン②
case1-6		隅角部縮小、柵なし	
case2-1	北(冬)	なし	パターン①
case2-2		隅角部縮小、柵あり	パターン②



図 2階FLから高さ1.0[m]の水平面気流分布

最終的なデザイン



図 修正前のデザイン
(植栽パターン①)



図 修正後のデザイン
(植栽パターン②)

最終的なデザイン(広場から見たテラス)



図 修正前のデザイン



図 修正後のデザイン
(柵の設置、屋根の変更、隅角部縮小)

最終的なデザイン（スロープ側から見たテラス）



図 修正前のデザイン



図 修正後のデザイン

まとめ

- ①建物の隅角部を内側へ縮小したことで剥離流が減少し、風速比の低下がみられた。
- ②植栽の位置を再検討したことで小枝が揺れる程度の軟風※4から顔に風を感じる程度の軽風※4となった。
- ③建築物の設計を行う段階にあたって、開口部の位置や植栽の配置を検討することで、自然通風や屋外の空間をより有効的に活用する提案が可能になると考えられる。

