

# 中高層建物の自然換気制御のための建物上空風速のモニタリング手法に関する研究 (その4) 外部風速測定および外部風向判定の精度に関する LES を用いた検討 Wind Velocity Monitoring above Mid- to High-Rise Building for Natural Ventilation Control (Part 4) LES-based Study on Estimation Accuracy for External Wind Velocity and Direction

学生会員 ○明石 大 (大阪大学)  
技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)

正会員 小林 知広 (大阪大学)  
学生会員 佐藤 可奈 (大阪大学)

Hajime AKASHI\*<sup>1</sup>  
Toshio YAMANAKA\*<sup>1</sup>

Tomohiro KOBAYASHI\*<sup>1</sup>  
Kana SATO\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka University

Generally, anemometers are often established on roof top of mid- to high-rise buildings to measure external wind velocity and direction. However, it is not clear whether these data are correctly measured because complex flow fields are formed by separation flow and whether these data are used actually. In addition, there are not guidelines of installation location of anemometers. The final goal of this research is to propose advanced control method of building operation, such as natural ventilation (NV). This paper shows the results CFD analysis of horizontal distribution of wind velocity and accuracy of estimation of external wind direction at measuring points.

## 1. はじめに

本研究では中高層建物の屋上近傍気流の水平断面に着目し、建物屋上部における外部風向・風速計設置想定位置における風向・風速の測定結果と外部風向・風速との差を風洞実験及びCFD解析により評価を行い、適切な風向風速計設置位置の提案を行い、その後自然換気口の高度な制御手法の提案へと繋げることを目的とする。

本報では、Large Eddy Simulation (以下 LES) を用いて前報<sup>1)</sup>で報告した風洞での縮小模型実験(図1)を再現したCFD解析を行った。建物屋上近傍気流の水平断面に着目し、独立した角柱形状の建物を対象に外部風向をパラメータとして各風速モニター点での結果と外部風向・風速との差の評価を行った。また、各測定点に対して各点で示す風向とその確率を簡易的に示すことにより、適切な風向計測位置の検討を行った結果について示す。

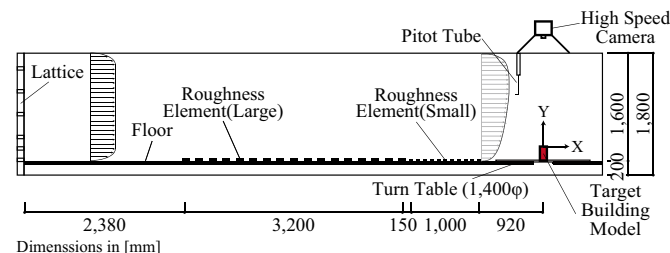


図1 風洞実験概要

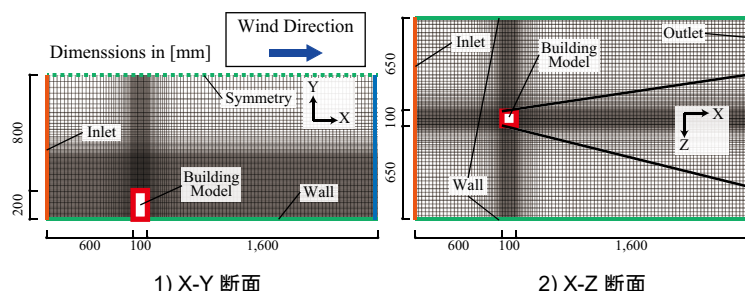


図2 メッシュレイアウト

## 2. CFD 解析概要

前報<sup>1)</sup>で行った風洞実験を概ね再現したCFD解析を行った。図2に解析領域及びメッシュレイアウトを示す。対象模型寸法は、屋上平面が100mm角の正方形で建物高さH=200mmの1:1.2単体建物とし、外部風向は0°, 22.5°, 45°の3条件(図3)で解析を行った。解析領域は主流方向(X)に2,300mm、高さ(Y)方向に1,000mm、奥行き(Z)方向に1,400mmとし、計算格子は建物幅を20分割した。表1に解析概要を示す。屋上近傍気流は剥離の影響により、高い非定常性を有するため解析精度の向上を期待し、乱流モデルにはLESを用いた。SGS渦粘性

表1 LES 解析概要

CFD Code	Fluent 19.2	
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky-Lilly Model : $C_s=0.1$ )	
Algorithm	SIMPLE	
Time Step	0.0005 sec. (2 kHz)	
Pre-conditioning Term	2,000 time steps (1 sec.)	
Total Calculation Time	22,000 time steps (11 sec.)	
Boundary Condition	Inlet	Profile (Experimental Value)
	Outlet	Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law
	Symmetry	Free slip
Total Number of Cells	0°	1,353,980
	22.5°	2,112,672
	45°	1,724,018

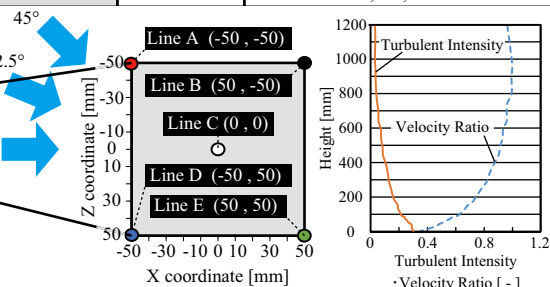


図3 外部風向・モニター点配置

図4 アプローチフロー

モデルには Smagorinsky-Lilly モデルを用い、Smagorinsky 定数は 0.1 とした。標準  $k-\epsilon$  モデルの計算結果を初期条件とし、時間刻みは  $5.0 \times 10^{-4}$  sec. (2.0 kHz) として初期条件から 2,000 time steps (1.0 sec.) の助走計算の後、20,000 time steps (10.0 sec.) の本計算を行った。流入境界条件として、既往の研究<sup>2)</sup>で同じ風洞内環境下において測定されたアプローチフローの風速、乱流エネルギー、乱流散逸率を高さとともに与え、Smimov ら<sup>3)</sup>の手法に基づき瞬時風速を与えた。図 3 に建物屋上平面の座標設定と風向・風速のモニター点の平面位置を示す。屋上中心点を原点とし、検討水平断面は、屋上面から 0.025H (5 mm), 0.05H (10 mm), 0.1H (20 mm), 0.15H (30 mm) の 4 面とした。流入境界条件とした風速比と乱流強度の鉛直分布を図 4 に示す。

### 3. 解析結果

#### 3.1 屋上近傍における外部風速測定

屋上近傍で正しく外部風速を計測できるかを把握するために、Line D を除く 4 ラインの高さ方向 4 断面にて、各高さでモニターした瞬時のスカラー風速をその高さにおけるアプローチフロー風速で無次元化した風速により検討を行った。図 5 に各測定ラインにおける無次元風速の確率密度分布を示す。ここで、無次元風速の分級幅は 0.1 とした。風向  $0^\circ$  では、風上側 (Line A) ではどの測定高さでも無次元風速 1 付近にピークが存在するが、他の 3 ラインでは 0.05H の高さまでは 0.5 以下が最頻値となり、0.15H で 1.0 を超える。これは Line A 以外の屋上から近い位置では剥離域内に属するため風速が低くなり、Line

A は属さないため高さによらず風速が大きいと考えられる。風向  $22.5^\circ$  では気流が最初に建物に接する Line A と B では高さによらないが、他 2 ラインは、 $0^\circ$  条件同様測定高さが低いと低風速域で最頻値が見られる。風向  $45^\circ$  では、検討した 4 ライン全てで高さに依存せず、その測定点も無次元風速 1 付近にピークが見られることから、風向  $45^\circ$  では剥離の影響が比較的小さいと考えられる。

各点における無次元風速の時間平均値を算出した結果を表 2 に示す。誤差が  $\pm 15\%$  以内の結果は網掛けで示す。図 5 で最頻値が 1 付近である場合でも時間平均の結果では 1 を超える測定点がある。また、剥離による縮流で速度が大きくなることから、設置位置が高いほど風速の測定精度が高いとは限らないと言える。3 風向での精

表 2 各測定点における無次元風速平均値

			Monitoring Line			
			Line A (-50,-50)	Line B (50,-50)	Line C (0,0)	Line E (50,50)
External Wind Direction	$0^\circ$	Distance from roof surface				
		0.025H	1.08	0.48	0.38	0.40
		0.05H	1.10	0.51	0.35	0.52
		0.1H	1.22	0.92	0.43	0.83
	$22.5^\circ$	Distance from roof surface				
		0.025H	1.14	1.10	0.28	0.37
		0.05H	1.11	1.17	0.35	0.38
		0.1H	1.08	1.17	0.99	0.63
		0.15H	1.03	1.11	1.17	0.93
	$45^\circ$	Distance from roof surface				
		0.025H	1.18	1.10	1.15	1.21
		0.05H	1.14	1.17	1.16	1.21
		0.1H	1.10	1.14	1.20	1.22
		0.15H	1.04	1.10	1.14	1.16

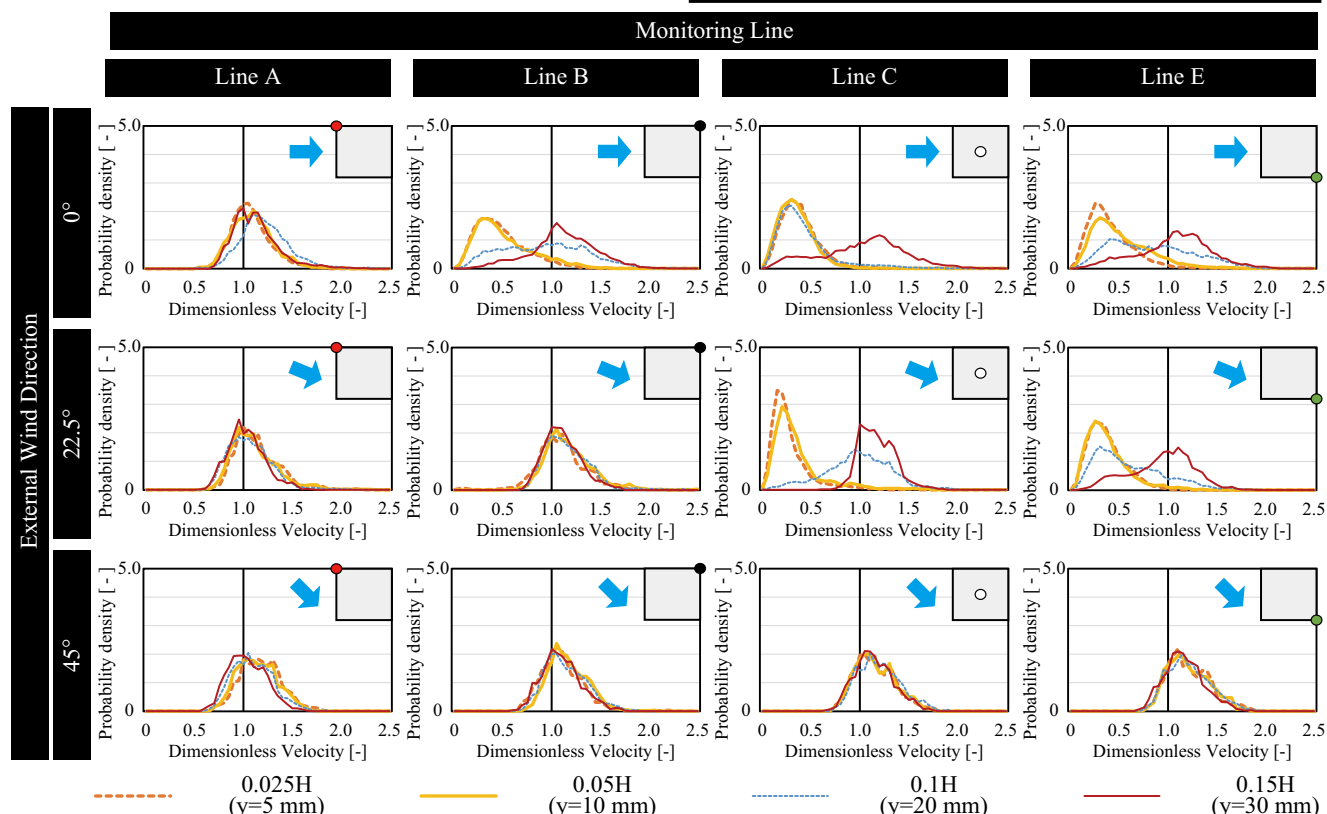


図 5 無次元風速の確率密度分布

度が全て高い測定点が存在する場合、外部風向判定が可能ならば風速の高精度な測定が可能となるが、今回検討を行った測定ラインでは Line A の 0.05H と 0.15H、Line B の 0.15H が 3 風向とも 15% 以内に属している。

### 3.2 外部風向と測定風向の風向差

各モニター点における瞬時の風向が、外部風向とどの程度一致するかを把握するため、各点での風向と外部風向の差の確率密度によって風向の測定精度を評価する。以降に示す確率密度分布は、縦軸が分級幅  $5^\circ$  の確率密度、横軸は外部風向との風向差とする。この風向差は  $-180^\circ$  から  $180^\circ$  の範囲で、モニター点での測定風向が外部風と一致する際は差は  $0^\circ$ 、外部風に対して時計回りの風向を示す際は、正の値を示すものとする。

図 6 に各測定ラインにおける風向差の確率密度分布を示す。風向  $0^\circ$  ではどの測定ラインでも断面が高くなるほどピークは風向差が  $0^\circ$  に集まることがわかる。風速では測定高さによっては剥離により外部風速を過大評価したが、風向は位置が高いほど測定精度が上がるのがわかる。Line A ではよどみ点から放射状に広がる気流の影響により、低い断面では風向差が負の値を示し、断面が高くなるほど  $0^\circ$  に近づくと考えられる。また Line C の低い位置では、 $\pm 180^\circ$  にピークがあり、逆流の影響が見られる。風向  $22.5^\circ$  では、風速同様 Line A と B が高さによらない結果であった。Line C については、低い位置では目立ったピークが見られず様々な風向が存在しているが、0.1H では  $0^\circ$  にピークが見られる点は風向  $0^\circ$  と異

なっている。風向  $45^\circ$  では、どの測定ラインにおいても高さによらず差が  $0^\circ$  の位置に高いピークがある。風速同様剥離による影響が小さく、今回検討したラインでは風向  $45^\circ$  の時は精度の高い測定が可能と思われる。

### 3.3 外部風向判定

実用的な外部風向判定を意図して、前節で示した確率密度分布から外部風向と測定風向との風向差を 16 方位に分類したヒストグラムを図 7 に示す。各平面位置で高さごとに 16 方位に分類して瞬時風速の風向判定を行った。縦軸は確率、横軸は測定点での風向を示す。Z 軸の負の方角を北とし、風向  $0^\circ$  は西風、風向  $45^\circ$  は北西風に対応するよう表した。図 7 の網掛け部は外部風向を示す。図 8 に各測定点での最多風向及びその確率を示す。確率については上段に最多風向、下段括弧内に外部風向を示す確率を記載する。

前節同様、概して高い位置ほど外部風向と一致する確率は高くなる。風向  $0^\circ$  では 0.1H までは全点で外部風向が最多風向と異なるため低い設置位置で個々の測定点から外部風向を判定することは難しいが、Line A と D、Line B と E に対称性が見られるため複数箇所に風向風速計を設置することで正しい風向の推定を行うことができる可能性はある。風向  $22.5^\circ$  では、高さ 0.05H では Line C と E の最多風向が外部風向となったがその確率は高くない。高さ 0.1H で全測定点において最多風向が外部風向を示す結果となった。風向  $45^\circ$  では、どの測定点でも高い精度で外部風向を示すことが分かる。

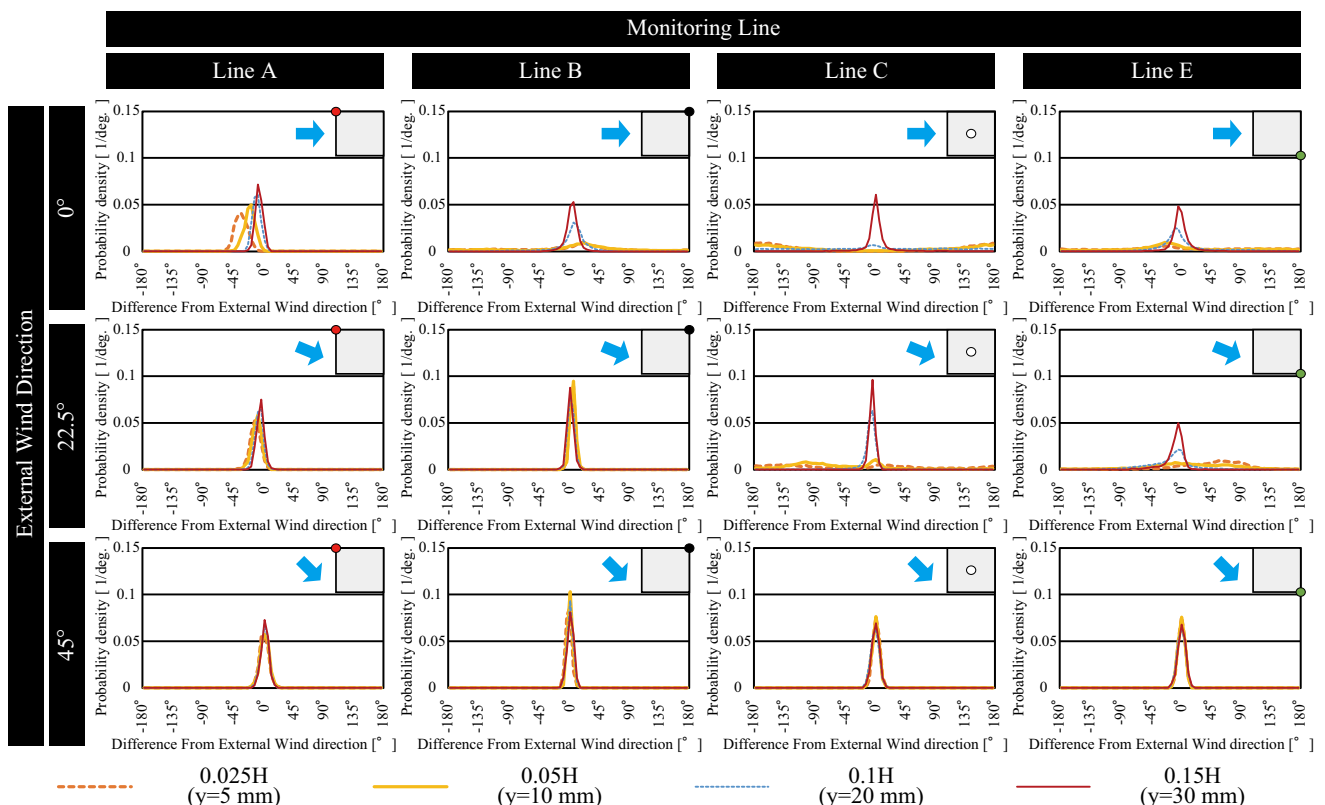


図 6 各モニター点で測定した風向の外部風向からの差の確率密度分布

#### 4. おわりに

本報では、1:1:2 単体建物を対象に LES により建物屋上での風速・風向の測定精度を評価した。風向測定は測定位置が高いほど高精度であり、風速測定は風上側及び中央・風下側の高位置で比較的精度が高いことがわかった。今後は、外部風向・風速の簡易な推測手法を検討した上で、自然換気量に関する検討を行う所存である。

#### 【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費 (若手研究 A, 課題番号 JP16H06110, 研究代表者: 小林知広) の助成を受けた。

#### 【参考文献】

- 1) 佐藤、小林、山中ら：中高層建物の自然換気制御のための建物上空風速のモニタリング手法に関する研究 (その 3) 風速モニター位置による外部風向判定精度に関する PIV を用いた検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2020 年 9 月掲載予定
- 2) 福山、山中ら：高密度街区における建物の通風設計に関する研究 (その 1) 風洞実験による壁面風圧及び建物間風速分布, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-30, 2019.3
- 3) A. Smirnov, S. Shi, I. Celik : Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, *Journal of Fluids Engineering*, Vol.123, Issue 2, pp359-371, 2001.6

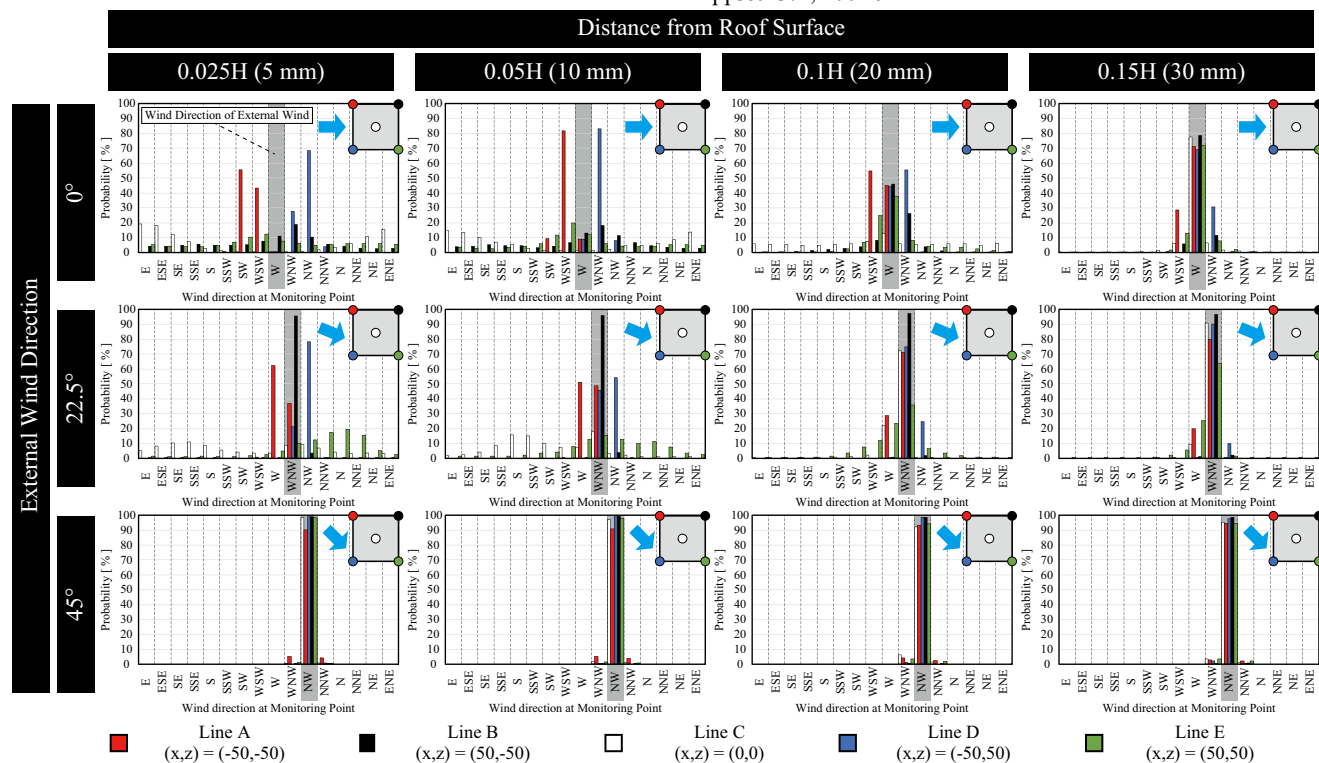


図 7 16 風向に分類した際の各モニター点における風向のヒストグラム

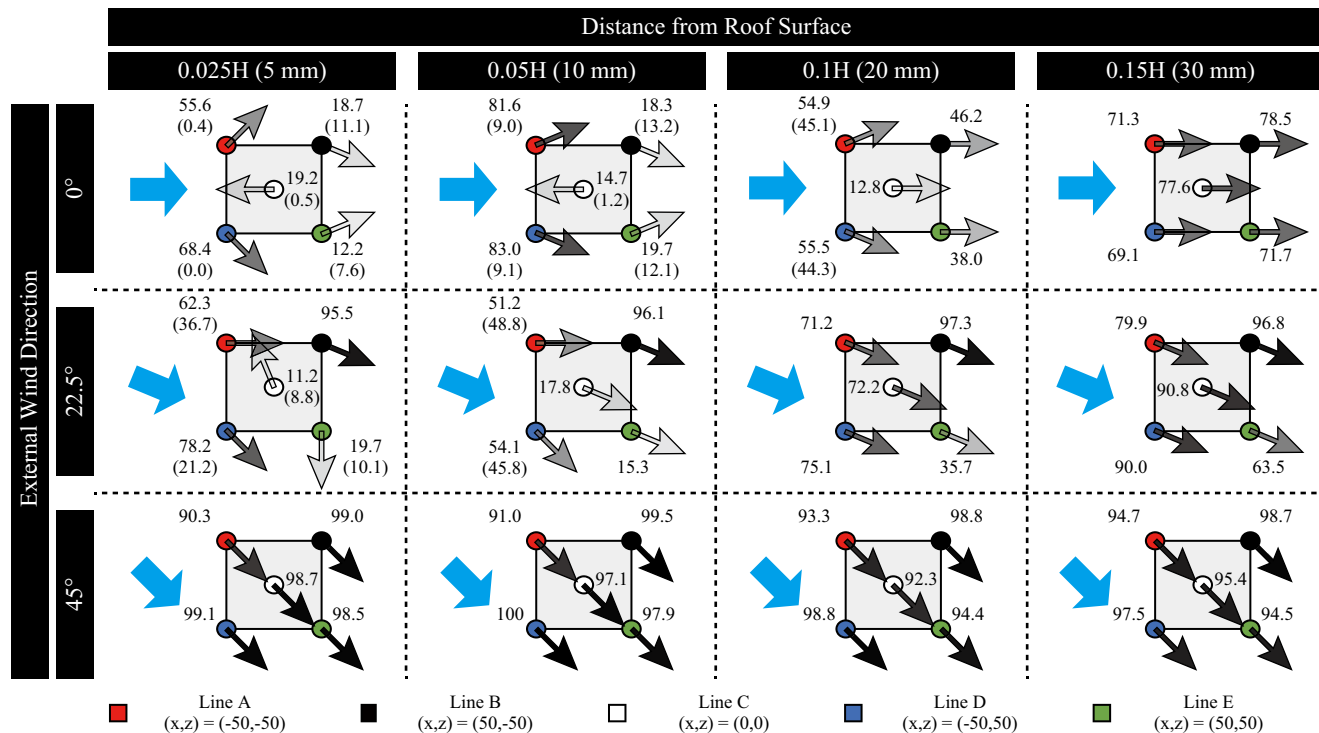


図 8 最多風向・外部風向を計測する確率