高層建物周辺市街地の風環境に関する研究 容積率の地区内移転を行った場合の風環境評価

1 研究目的

1968 年に建設された霞が関ビル(地上 36 階建て、高 さ147[m]) 以降、我が国では建築物の超高層化が進展 し、同時に高層建物周辺の地上付近で生じるビル風によ る風環境の悪化が大きな問題として指摘された。ビル風 は、周辺の建物に比較して高層の建物が建設されること で、地表面付近における強風の発生頻度が増加する現象 である。また、ビル風は、高さ100[m]を超えるような 超高層建築物の周囲にだけ生じるのではなく、立地条件 や気象条件によっては高さ50[m] 程度の中層建物周辺で も生じる可能性がある。ビル風によって歩行が困難となっ たり、持ち物等が飛ばされるといった現象が生じるため、 都市における環境問題の1つとして挙げられる。一方、 総合設計制度*1による容積率の緩和や、特例容積率適用 地区^{※2}の指定による容積率の地区内移転などにより、特 定の地域で、偏在した高密度土地利用が行われている例 も近年多く見られる。これらの地域では、ビル風の発生 構造が複雑になり、高層建物周辺に限らず、より広範囲 で風害が発生する可能性がある。特殊な形で高密度利用 されている地域を対象に風環境を検討することは、都市 の居住環境の悪化を防止する上で重要である。

本研究では、CFD 解析 (RANS^{*3}、LES^{*4})を用いて特 例容積率適用地区に指定されている東京都千代田区丸の 内地区(東京駅周辺)をモデル化し、建物周辺街区の気流 分布の解析を行う。容積率の地区内移転により生じる建物 間の高低差や容積率が移転された建物の相対的位置が地 表面付近の風環境に与える影響を定量的に評価すること を目的とする。また、LES 解析により得られた変動風速 データからガストファクター^{*5}(以下:GF)の算出を行い、 表1 村上らによる風環境評価基準

			程度	対応する空間用途の例			許容する強風のレベルと許容される超過頻度					
							日最大瞬間風速[m/s]					
ランク	強風に	よる影響の						10 15		20		
							日最大平均風速[m/s]					
							10/GF	15/GF		20/GF		
1	最も影	響を受けや	すい	住宅街の商店街			10[%](37日)		0.90[%](3日)		0.08[%](0.3日)	
	用途の場所			野外レストラン								
2	影響を	受けやすい用途		住宅街、公園		22[%](80日)		3.6[%](12日)		0.6[%](2日)		
	比款的	い場所										
3	[元 戦 时	1、取り影音を支けにく い田途の提訴			事務所			%](128日)	7[%](26日)		1.5[%](5日)	
	- <u>.</u>	い 市 近 の 物 印										
4		ランク3の条件を満たさない領域										
表	2	風環境	ŧ評 [.]	価に	に用いる	るワ	1	ブルパ	ラメー	タ	(東	京)
表	2	風環境 ^{南南西}	€評 南	価(: ^西	こ用いる	るワ 西	イ: i	ブルパ	ラメー ^{北西}	夕 北北	(東 ^{此西}	京) 北
表 / 出現#	2 頃度[%]	風環境 南南西 3.285	き評 南 10.	価に 西 129	こ用いる 西南西 0.411	るワ 西 0.1	イ i 64	ブルパ 西北西 0.493	ラメー 北西 4.708	夕 北才 27.	(東 世西 211	京) 北 9.061
表 / 出現参	麦 2 頻度[%] C	風環坊 南南西 3.285 6.915	き評 · 南 10.	価に 西 129 309	こ用いる 西南西 0.411 5.078	るワ 西 0.1 8.0	イ i 64 42	ブルパ 西北西 0.493 6.345	ラメー 北西 4.708 7.797	夕 北は 27. 7.1	(東 11 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	京) 北 9.061 6.961
表/出現	麦 2 頻度[%] C K	風環境 南南西 3.285 6.915 3.712	き評 南 10. 7.3 4.(価に 西 129 309 208	こ用いる 西南西 0.411 5.078 6.108	るワ 西 0.1 8.0 2.4	1 64 42 84	ブルパ 西北西 0.493 6.345 2.608	ラメー 北西 4.708 7.797 3.275	夕 北 27. 7.1	(東 11 211 556 387	京) 北 9.061 6.961 2.882
表/ 現明	表 2 頻度[%] C K	風環坊 南南西 3.285 6.915 3.712 北北東	管評 · 南 10. 7. (4. (価に 西 129 309 208 東	 ご用いる 西南西 0.411 5.078 6.108 東北東 	る ワ 0.1 8.0 2.4 東	1 64 42 84	ブルパ 西北西 0.493 6.345 2.608 東南東	ラメ 北西 4.708 7.797 3.275 南東	タ 北 27. 7.! 4.: 南雨	(東 211 556 387 南東	京) 北 9.061 6.961 2.882 南
	握2 頻度[%] C K 頻度[%]	風環境 南南西 3.285 6.915 3.712 北北東 4.27	告評 南 10. 7.3 4.0 北 5.	価に 西 129 309 008 東 94	 二用いる 西南西 0.411 5.078 6.108 東北東 6.844 	る ワ 0.1 8.0 2.4 東 3.8	1 64 42 84 5	ブルパ 西北西 0.493 6.345 2.608 東南東 3.942	ラメー 北西 4.708 7.797 3.275 南東 1.889	夕 北才 27. 7. 4. 前 0.	(東 211 556 387 南東 876	京) 北 9.061 6.961 2.882 南 16.89
表/現	<mark>援2</mark> 頻度[%] C K 頻度[%] C	風環境 南南西 3.285 6.915 3.712 北北東 4.27 5.948	美評 · 南 10. 7. (4. (北 5. (価に 西 129 309 008 東 94 975	 二用いる 西南西 0.411 5.078 6.108 東北東 6.844 5.891 	る ワ 0.1 8.0 2.4 東 3.8 5.7	イ 64 42 84 56	ブルパ 西北西 0.493 6.345 2.608 東南東 3.942 5.468	北西 4.708 7.797 3.275 南東 1.889 4.983	夕 北 27. 7. 4. 前 同 0.	(東 11 211 556 387 南東 876 673	京) 北 9.061 6.961 2.882 南 16.89 6.312
表/ 現現 1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.	2 頃度[%] C K 頃度[%]	風環境 南南西 3.285 6.915 3.712 北北東 4.27 5.948 4.416	美評 南 10. 7. (4. (北 5. (5. (価に 西 129 309 008 東 94 975 332	 一用いる 西南西 0.411 5.078 6.108 東北東 6.844 5.891 5.296 	る ワ 0.1 8.0 2.4 東 3.8 5.7 6.0	イ 64 42 84 87 56 05	ブルパ 西北西 0.493 6.345 2.608 東南東 3.942 5.468 5.526	北西 4.708 7.797 3.275 南東 1.889 4.983 7.606	夕 北 27. 7. 4. 前 0. 4.	(東 211 556 387 第東 876 673 216	京) 北 9.061 6.961 2.882 南 16.89 6.312 4.421

青木 駿也 指導教員 赤林 伸一 教授

近年提案されている風環境評価の際に用いられる近似式に よって算出した GF との比較・検討を行う。尚、本研究の 風環境評価には村上らによる風環境評価手法^{文1)}を用いる。

村上らによる風環境評価手法^{×1)}

表1に村上らによる風環境評価基準、表2に風環境評価 に用いるワイブルパラメータ(東京)を示す。村上らによ る風環境評価では、各地点の16風向の風速比とGFから 日最大瞬間風速を求める。日最大瞬間風速とワイブルパラ メータから強風の超過頻度を求め、表1に基づいて風環境 を評価する。超過頻度 P_kの算出式を式(1)に示す。

$P_{jk} = 1 - \sum_{i=1}^{16} l$	$D_i\left[1 - exp\left\{-\left(\frac{U_k}{GFR_{ij}C_i}\right)^{k_i}\right\}\right] \dots (1)$
$U_1:10[m/s],$	<i>R_{ij}</i> :点jにおける風向iの時の風速比[-]
U_2 :15[m/s],	<i>Ci</i> :風向iのワイブルパラメータ[m/s]
$U_3:20[m/s],$	^K i ∶風向 iのワイブルパラメータ[-]

風環境評価に用いる GF は各地点の最大瞬間風速と平均 風速から算出するのが原則であるが、実測等を行うのは 現実的でない。そのため、GF に一定値 (1.5 ~ 3.0) を用 いたり、また各種の実測結果から平均風速を用いて GF を算出する近似式^{χ_2 , 3)} が提案されている。本研究で風 環境評価を行う際には、一定値の GF 及び近似式 (2) χ^{2} , (3) χ^{3} を用いて評価する。

 $\begin{pmatrix} GF = 1.64 \times R^{-0.32} (R > 0.1) & \dots (2) \\ GF = 3.43 (R \le 0.1) & \dots (2) \\ \\ GF = 1.85 \times R^{-0.4} (R > 0.2) & \dots (3) \\ \\ GF = 1.85 \times 0.2^{-0.4} (R \le 0.2) & \dots (3) \\ \end{pmatrix} \begin{bmatrix} R : \mathbb{R} \not \cong \mathbb{R} & \mathbb$

3 数値流体解析の概要

3.1 解析対象:図1に特例容積率適用地区のイメージ、 図2に東京都千代田区における風向の頻度分布^{**6×4)}、図 3に解析対象モデルの概要、表3に各建物モデルの大 きさ、表4に解析 case を示す。解析対象は東京都千代 田区丸の内地区^{**7}(商業地域、建蔽率 80[%]、容積率 1,300[%])をモデル化する。建蔽率・容積率を用途地域 の規制上限とした基準モデルを case1、幅 50[m]×奥行 き 25[m]の標準建物モデルの幅に対する建物モデルの高 さを 0.5~3 倍としたモデルを case2~6、0.5~5 倍とし



たモデルを case7 ~ 8^{**8}とする。case2 ~ 8 は容積率の移 転を想定している。解析対象モデル全体のグロス容積率・ 建蔽率は一定とし、建物モデルの隣棟間隔は、xy 方向共 に 15[m] とする。風環境評価に用いる GF は、式 (2)^{文2)} を用いる場合を A、式 (3)^{×3)}を用いる場合を B、一定値 (GF=1.5、2.0、2.5、3.0)を用いる場合を C ~ F とする。 case1 ~ 8 までの建物モデルと GF の算出方法 A ~ F をそ れぞれ組み合わせた計 48case の解析を行う。

3.2 RANS 解析条件: 表 5 に RANS 解析条件を示す。 RANS 解析では平均流のみを対象に各モデル 16 風向の解 析を行う。本研究における CFD 解析には汎用数値流体解 析ソフト STREAM Ver.12 を使用する。乱流モデルは標準 k- ϵ モデルを使用し、等温で解析を行う。壁面境界条件に は壁面対数則を用いる。基準流入プロファイルは市街地 を想定し、U \propto Z^{1/4}(U:流速、Z:高さ)とする。基 準風速は 5.0[m/s](基準高さ 150[m])とする。

3.3 LES 解析条件:表6にLES 解析条件を示す。LES 解 析では微小時間間隔毎の変動値の解析が可能であるが、解 析に月単位の時間を要するため、case1の基準モデルに対 して1風向のみの解析を行う。subgrid scale モデル (SGS モデル)は Dynamic 型 Smagorinsky モデルを使用する。 LES 解析では、ドライバー領域^{*9}を設け、流入変動気流 を作成し、対象とする解析モデルに対して変動気流を流 入させて解析を行う。ドライバー領域による変動気流の 作成には片岡ら^{x_5)}の方法を用いる。解析開始からの経過 時間をtとし、計算開始後t=0~4.0[s]までを流入変動 気流作成のためのプレ解析とする。t=4.0~10.0[s]まで の計 6.0[s] 間を本解析の結果として用いる。壁面境界条 件、基準流入プロファイルは RANS 解析と同様である。 3.4 変動風速データを用いた GF の算出方法:気象庁が 定める GF の算出方法は 10 分間の内 0.25 秒間隔で測定 した値を 3 秒間で平均した瞬時風速の最大値と 10 分間の 平均風速の比により求められる。本研究では、上記の算 出方法を参考に、LES 解析により得られた 2 [ms] 毎の変 動風速データ 15 個を平均した瞬時風速の最大値と 6 秒間 (本解析)の平均風速の比として GF を算出する。GF の 算出式を式 (4) に示す。



4 数值流体解析結果 (RANS)

解析結果の表示断面は、 地表面付近 (z=1.5[m])の 水平断面とする。解析結 www 果は、村上らによる風環 w 境評価と同様に基準高さ vsw する風速比で示す。東京 都千代田区における主風向 は、北北西である(図2)。図2



表 4 解析 case 解析case GF算出方法 解析case GF算出方法 解析case GF算出方法



3.1 主風向における平均風速ベクトル分布: 図4に主風 向における z=1.5[m] の駅舎モデル周辺の平均風速ベクト ル分布を示す。

caselの中層駅舎モデル(東京駅)の隅角部では、剥離 流により高架線路モデル北西側 (x=155~210[m]、y=185 ~ 745[m]) に回り込むような気流場を形成する。また、解 析モデルの風下側 (x=275~325[m]、y=185~745[m]) で複数の渦状の気流場を形成する。

case2では case1 と比較して、高層モデル A を風上側に 配置したことで低層駅舎モデル(東京駅)の北西側(x=50 ~155[m]、y=425~505[m])では、風速比 1.0 程度の速 い気流場を形成する。

case3 では低層駅舎モデル(東京駅)の北側と西側に配 置した高層モデルA近傍で比較的速い気流場を形成する。

case6では低層駅舎モデル(東京駅)の北側と西側 の領域に相対的に高さの異なる建物モデルを複数棟配 置したが、case2と概ね同様の気流場を形成する。

case7では南東側に高層モデルBを配置したこと で、解析モデルの風下側 (x=275~325[m]、y=185~ 745[m]) で風速比 1.0 程度で他の case と比較して速い気 流場を形成する。また、北西側に配置された超高層モデ

745

505

425

930

880

505

425

単位 [m]

50

0-

0 50

155

圖向

0 50

155

(a)

単位 [m] ► x 185 - ルによる影響で低層モデル間でも風速比1.0を超える極 めて速い気流場を形成する。各 case の地表面付近の気 流性状は建物モデルの相対的な高さの差が比較的小さい casel ~ 6 で比較すると概ね変わらないが、相対的な高さ の差が比較的大きい case7 とその他 case を比較すると大 きく異なる。

3.2 主風向における基準モデル (case1) に対する風速増 加率:図5に主風向における基準モデル(casel)に対する

表 5 RANS 解析条件



主風向における基準モデル (case1) に対する風速増加率^{※10} 図 5

風速増加率*10を示す。

case2 では高層モデル A を風上側に配置したことで低層 駅舎モデル(東京駅)の北西側(x=50~155[m]、y=425 ~505[m])や、解析モデルの風下側(x=275~325[m]、 y=185~745[m])で風速が増加する。風上側の建物モデ ルに相対的な高さの差が生じたことから、風速が速くなっ たと考えられる。一方で、低層駅舎モデル(東京駅)の 近傍には風速増加率が1.0以下の領域も多く存在する。

case3 では高層モデルA近傍と解析モデルの風下側
 (x=275~325[m]、y=185~745[mm])で風速が増加する。
 case6 では低層駅舎モデル(東京駅)の北側と西側の領域に相対的に高さの異なる建物モデルを配置したことで、

case7 では南東側に高層モデル B を配置したことで解析 モデル風下側 (x=275 ~ 325[m]、y=50 ~ 880[m])と低層

局所的に風速増加率が3.0を超える領域が存在する。

駅舎モデル(東京駅)の南東側(x=195~210[m]、y=375 ~555[m])で風速増加率は3.0を超える。また、高架線 路モデル北西側の低層モデル後流域(x=50~880[m]、 y=155~210[m])では風上側の超高層モデルの影響で風 速増加率が3.0を超える領域が多く存在する。

case8 では主風向側に 12 棟超高層モデルを配置したこ とで、他の case と比較して、低層駅舎モデル(東京駅) の北西側(x=50~155[m]、y=425~505[m])で風速は大 きく増加する。また、吹き降ろしによる影響で超高層モ デル北西側の一部領域で風速が大きく増加する。

3.3 主風向における GF の分布:図6に主風向における GF 算出結果を示す。caseA では式(2)、caseB では式(3)の近 似式を用いて GF を算出している。低層駅舎モデル(東京 駅)の北西側(x=50~155[m]、y=425~505[m])で GF は、 caseA では 1.5~2.0、caseB では 2.0~2.5 程度と比較的小



さくなる傾向がある。最も北西側の建物モデルの風上側で は局所的に GF が大きくなる領域が存在する。解析モデル の風下側 (x=275~325[m]、y=50~880[m]) で複数の渦 状の気流場が形成された領域では、風速が遅く、GF は大 きくなる傾向がある。建物モデルの隣棟間(x軸方向)に て縮流により速い気流場が生じた領域では GF は caseA で は1.5~2.0、caseBでは2.0~2.5程度と比較的小さくな る傾向がある。用いる近似式によって GF は大きく異なる。 3.4 村上らによる風環境評価結果: 図7、8に村上らによ る風環境評価結果を示す。

図7よりGFの近似式 (caseA と B)の違いで評価結果を 比較すると、建物モデルの隣棟間(x軸方向)の主風向側 で局所的に caseA ではランク3、caseB ではランク4の領 域が存在する。GFの設定値 (caseC と F)の違いで評価結 果を比較すると、解析領域全体で caseC ではランク1領域 が多数を占める一方で、caseFではランク3以上の領域が 多数を占める。GF に一定値を用いる際、設定値によって 風環境評価ランクは大きく異なる。

図8より、建物配置の違いで評価結果を比較すると、 caseA-1の中層駅舎モデル(東京駅)の北西側(x=50~ 155[m]、y=425~505[m])ではランク3の領域がほとん ど見られないが、caseA-2の低層駅舎モデル(東京駅)北 西側 (x=50~155[m]、y=425~505[m]) ではランク3の 領域が大きく増加している。容積率を移転したことによっ て、建物モデルの高さの差が相対的に大きくなり、風環境 評価結果が変化したと考えられる。

caseA-2、A-5 で評価結果を比較すると、解析モデル全 域で風環境はほぼ変化しない。

caseA-6では低層駅舎モデル(東京駅)の北西側に相 対的に高さの異なる建物モデルを配置したが、風環境は caseA-2、A-5と概ね同様である。

80% 60% 40% 20% 0% incaseB-1 caseB-2 caseB-3 caseB-4 caseB-5 caseB-6 caseB-7 caseB-8 (a) caseB 40% 風環境評価ランクの比率 30% 20% 10% 0% caseF-2 caseF-3 caseF-4 caseF-5 caseF-6 caseF-7 caseF-1 (b) caseF 図 9

caseA-7では、南東側に高層モデルBを配置したこと

□ランク1 □ランク2 ■ランク3 ■ランク4

で、解析モデルの最後流域 (x=275~325[m]、y=185~ 745[m]) でランク3の領域が一部存在している。北西側 に超高層モデルを2棟配置したが、その周辺で他の case と比較して大きく風環境が悪化している領域はほとんど 存在しない。

caseA-8 では北西側に 12 棟超高層モデルを配置したこと で、低層駅舎モデル(東京駅)北西側(x=50~155[m]、 y=425~505[m])や建物モデルの隣棟間での風環境の評 価は相対的に悪化する。

全 case 駅舎モデル(東京駅)南東側では周辺の建物モ デルの高さの変化に影響されることなく、どの建物モデル でもランク1の領域がほとんどを占める。また、容積率 の移転がなされた建物モデル周辺で局所的に、風環境が 大きく変化する領域が存在するが、解析対象モデル全体 の風環境として不適切な状況にはならない。

3.5 各 case の風環境評価ランクの比較: 図9、10 に風 環境評価ランクの比率*11を示す。

図9によれば、意図的に風害が起こりやすい建物配置 を想定した case8 で風環境評価が最も悪い。建物配置の違 いで比較すると、建物モデルの相対的な高さの差が比較的 小さい casel ~6 ではランクの比率に差が殆どない。建物 モデルの相対的な高さの差が大きい case7 では他の case と 比較して、ランク2~3の割合が高くなる。超高層モデル を北西側に 12 棟配置した case8 では他の case と比較して ランク4の割合が高くなる。

図 10 より、GF の算出に式 (2) と式 (3) を用いた場合 を比較すると、式(3)を用いた場合で評価ランク3以上 の割合が高い。GFの設定値で比較すると、ランクの比率 に大きなばらつきがある。GF を小さく設定すると、ラン ク1が大きな割合を占める一方で、GFを大きく設定する と、ランク2~4が大きな割合を占める。風環境評価に 用いる GF によって風環境評価は大きく異なる。



5 数值流体解析結果(LES)

930

880

4.1 最大瞬間風速から算出した GF と近似式により算出し た GF との比較: 図 11 に算出方法の違いによる GF の分布、 図 12 に各地点の GF の関係、図 13 に最大瞬間風速から 算出した GF と風速比の関係を示す。

図 11 より、近似式を用いて算出した GF の分布と LES 解析により求めた最大瞬間風速から算出した GF の分布を 比較すると、近似式を用いた方が全体的に GF は大きく算 出される。一方、風速が比較的速くなる中層駅舎モデル(東 京駅)の北西側 (x=50~155[m]、y=425~505[m]) や中 層駅舎モデル(東京駅)の隅角部でGFは比較的小さく、 空間分布は概ね一致する傾向がある。また、LES 解析によ り求めた最大瞬間風速から算出した GF の分布では、建物 モデル壁面近傍で GF が局所的に大きい領域が存在する。

図 12、13 より、式 (2) の近似式から算出した GF は 最大瞬間風速から算出した GF と比較して 0.5~1.5程 度大きな値をとる。このことから近似式から算出した GF を風環境評価に用いる際、過大評価となる可能性が 考えられる。しかし、今回 LES 解析を行った建物モデ ル (casel)のみでの算出結果を対象としているため、今 後もより詳細な検討が必要であると考える。

930

880

GF[−]
□
1.0

930

880

2.0

3.0

3.5.5

6 結論

5.1 村上らによる風環境評価結果

容積率の移転がなされた建物モデル周辺で、風環境が変 化するが、風環境として不適切な状況にはならない。

5.2 各 case の風環境評価ランクの比較

- ①建物モデルの違いで比較すると、casel~6でランク の比率に差が殆どない。
- ② case1~6と比較して、意図的に風害が起こりやすい 建物配置を想定した case7 ではランク 2~3の割合が 高くなり、case8 ではランク4の割合が高くなる。case8 では風環境が大きく悪化する。

5.3 算出方法の違いによる GF の分布の比較

近似式から算出した GF の分布と LES 解析により求め た最大瞬間風速から算出した GF の分布を比較すると、

近似式を用いた方が GF は大きく算出される。

- 注釈 ※1 同 敷地内に公開空地等を設けることで容積率、高さ制限など 総合設計制度とは、 都日転町内2011年の10日にあったである。 特例容積率適用地区とは、指定地区内で未利。 間で移転することができる地区である。 CFD解析でレイノルズ平均モデル (Reynolds) いここでのの。 指定地区内で未利用となっている容積率を複数の建物敷地 * 2 ЖЗ
- 法。 サブグリ ゲリッドスケールモデル(SGS モデル) とは突風率を意味し、最大瞬間風速に対 いたポロロ博運進気象データ(博進在)を CFD 解析
- る平均風速の比で表される 風向の頻度分布の作成に 「け標準気象・
- ₩6 ₩7 (標準年 当該地区は実際に特例容積率適用地区に指定されており、容積率の地区内移転が行われ
- 当該把込はスピN1-10-20-20 cuse? ~ 8 は意図的に風害が起こりやすい建物配置を想定している。 ドライバー領域とは、周期境界条件を用いて流入変動気流を言 風上側に設けた領域である。 風速増加率は、それぞれ cuse? ~ 8 に対する cusel の比で求めら 四週倍理価ランクの比率は、解析対象モデル全域の総算出点数 %8 %9 て流入変動気流を計算するために、建物
- ≫ 10 ≫ 11 5 casel の比で求められる。 *ル全域の総算出点数(計 33,997 点)に対 風環境評価ランクの比率は、解析対象モデ する各ランクの算出点数の比率で示す。
- 参考文献 文1)村 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関す 風の性状と風環境評価に関する研究一 III」日本建 枩川 評価尺度に関する研究:市 - III」日本建築学会論文報 11 上・石庄 街地低層部に: 告集、1983年 美江・宣永ら
- ₹, 1983 年 [: 倉家ら「日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価に用いるガストファク -の提案」 日本風工学会論文集、2014 年 Ⅰ、中村「風環境評価用ガストファクターの提案」 日本風工学会年次研究発表会・ 4 2002年 文2)
- 本郷・中村 文3) 桓概集

