

第3章 風環境

3-1. 居室の換気

(1) 研究の成果目標

研究の成果目標は、建物周囲の空間における必要換気量の確保に関する性能基準・評価方法の開発とした。すなわち、ある建物の居室内における良好な換気環境を確保するのに必要な屋外の換気環境を、他の建物が阻害しないことを目的とした性能基準等の開発である。

(2) 目標とする性能

居室内の空気が換気されることにより良好な状態が維持されるためには、屋外に清浄な空気が存在することが必要であり、そのためには屋外の空気が上空の新鮮な空気と常に入れ換わっていなければならない。従って、ここで問題とすべき性能は、建物の居室に面した屋外空間の換気性能である。

建築物の群が建ち並ぶ市街地において、この場合の屋外空間とは、建築物と建築物の間にある空間のことを意味する。ここでは、この空間をボイドと呼ぶことにする。このボイド空間の有すべき機能が、「目標とする性能」となる。

検討の結果、ボイド空間に要求される機能は、「建物居室において、開口部を通じた急速換気の機能を確保するのに必要な、外部空間（道路空間または隣棟空間）の換気性能が得られること」と設定した。これは、生活の中で発生する臭いや煙などが居室内に充満した場合において、居室内の空気が速やかに平常のレベルまで換気される必要性を想定したものである。特に、都市ガス等の危険物質を誤って放出してしまった場合、爆発の危険を考え、換気扇のスイッチを入れるわけにはいかないことから、開口部を通じての急速換気が必要となる。

(3) 必要な性能レベル

上記の「目標とする性能」を確保するには、ボイド空間に求める換気性能は、居室の換気性能よりも一段高いレベルで設定することが必要である。一段高いレベルとは、必要換気回数について、居室よりも屋外の方が一桁高いことと設定した。

居室の換気水準は、6回/hと設定した。これは、汚染された室内の空気を、窓を開けて20分以内に外気と入れ替える（一般に、換気回数2回程度で、室内の空気は外気と入れ替わると考えられる）水準を想定したものである⁽¹⁾。従って、屋外のボイド空間に要求される換気性能レベルは、居室よりも一桁高いレベルの60回/hとなる。

なお、後述するように、風の性状（風速・風向）は地域・季節・時間によって常に変動することに鑑み、屋外のボイド空間の換気回数の年間超過確率を指標とすることにした。検討の結果、「建物1階開口部付近の外部空間（地表面から高さ3mまでの部分領域）の換気回数60回/hに対する年間超過確率が85%以上であること」（1週間のうち6日は確保）を目安とすることとした。これは、設定した必要な換気回数が85%の累積頻度で確保できれば、ごくたまにしかない緊急時にも必要な換気が担保されるものと考えたことによる。

(4) シミュレーションによる建物形態と換気回数との関係の定量的分析

① モデル市街地の設定

ボイド空間内における風環境の構成イメージは、図3-1に示すとおり、上空に自由流（市街地のラフネスの影響をあまり受けていない風）があり、これが源となってボイド空間に循環流を誘引する。研究事項は、このボイド内の風の性状の解析である。

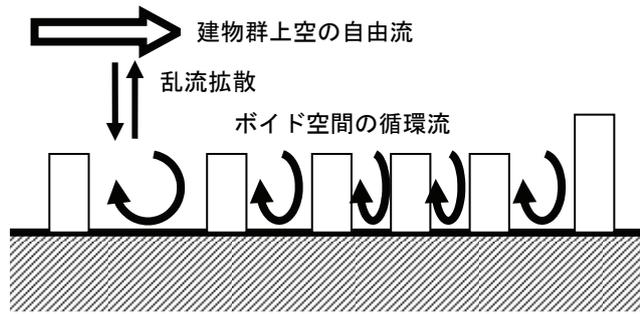
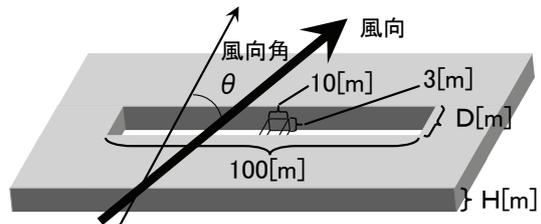


図3-1 ボイド空間における風環境のイメージ

モデル市街地は、建て詰まった密集市街地を想定することとし、図3-2に示すとおり、建物の高さ H を 6m、9m、12m、($D=4\text{m}$ に固定)、隣棟間隔 D を 1m、2m、3m、4m、5m、6m ($H=9\text{m}$ に固定)、ボイド長 100m とした。



② 換気回数の計算方法・条件設定

ボイド空間の換気性能の評価は、流体数値解析ソフト STAR-CD によるシミュレーションにより行った。乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデルを用い、流入風は、高さ 74.5m で風速 1m/s、1/4 乗則速度プロファイルを仮定した。風向角は、 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° を設定し、ボイド長辺中央 10m、幅 $D\text{m}$ 、底面から高さ 3m の領域の 1 時間当たり換気回数を計算した (図3-2)。

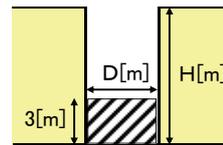
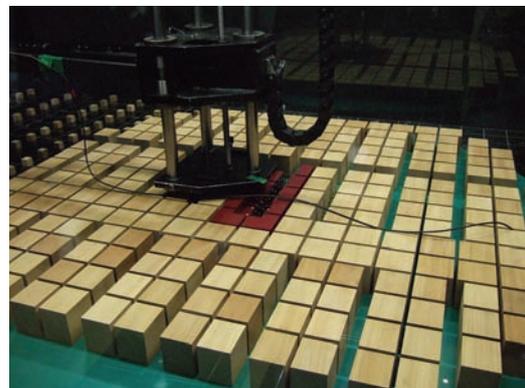


図3-2 モデル市街地の設定

③ 風洞実験によるCFD解析の有効性の確認

コンピュータによる CFD 解析は、風洞実験に比べ、比較的容易かつ安価に多様な建物形状の風環境を予測することが可能であるが、事前に風洞実験結果との比較により、CFD 解析の有効性を検証しておく必要がある。



風洞実験は、東京大学生産技術研究所の幅 2.2m、高さ 1.8m、長さ 16.3m の測定洞を持つ境界層型風洞において、密集市街地を想定した縮尺 1/100 の 4 種類の市街地模型を用いて行った (図3-3上)。 0° 、 22.5° 、 45° 、 90° 、 270° 、 315° の 6 風向について実験を行い、測定項目は平均風速、風圧、トレーサーガスの平均濃度とした。

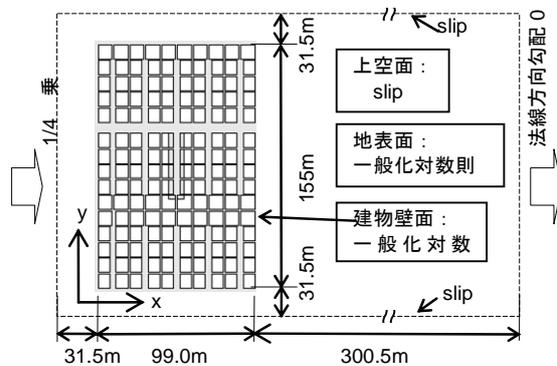


図3-3 風洞実験と CFD 解析の結果の照合に用いたモデル市街地の例

一方、CFD 解析については、前述の STAR-CD において、SIMPLE 法による定常解法を、空間差分スキームへは速度と乱流量に MARS スキームを、および濃度に一次風上スキームを、それぞれ適用し、乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデルを使用して数値計算を実施したところ（図 3-3 下）、風洞実験の結果とよい対応を示した。以上、CFD 解析結果が十分な精度を持つことが確認された。これにより、以降の分析を CFD 解析により実施することの妥当性が確認された。

④ ボイド空間の風向角別の換気回数

①で設定した 8つのモデル市街地について、②の条件の下、風向角別にボイド空間の換気回数を CFD 解析により計算した結果を図 3-4 に示す。換気回数は風向角 90° または 67.5° （ボイド長辺と平行か、やや斜め）で最大となり、 0° （ボイド長辺と直角）で最小となり、風向角がボイド空間の換気性能に大きく影響することが分かった。

⑤ ボイド空間の換気回数の超過確率の計算

④で風向角がボイド空間の換気回数に大きく影響することが分かったが、地域・季節・時間によっても変動する風速・風向の影響を考慮しつつ換気回数を評価するには、ある地域を想定し、その地域における年間の風速・風向の分布データを用いて、建物高さ・隣棟間隔・ボイド方位別にボイド空間における換気回数の年間の超過確率を求めることが有効であると考えられる。

そこで、①で設定したモデル市街地の各パターンについて、④で示した図 3-4 の風向別の換気回数と、東京地区の風配、ワイブル分布係数⁽²⁾を用いて、年間超過確率を計算した。東京地区の風配図は図 3-5 に示す。

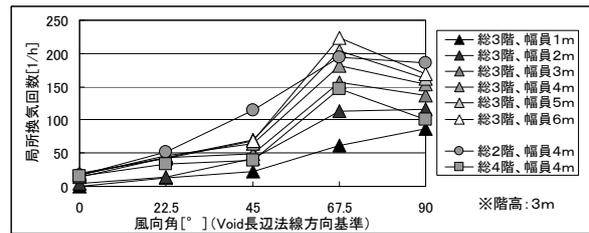


図 3-4 風向角別の換気回数

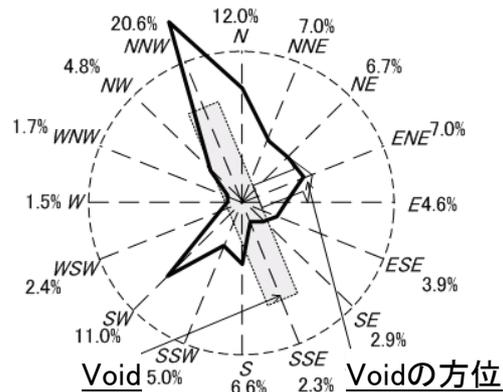


図 3-5 東京地区の風配図

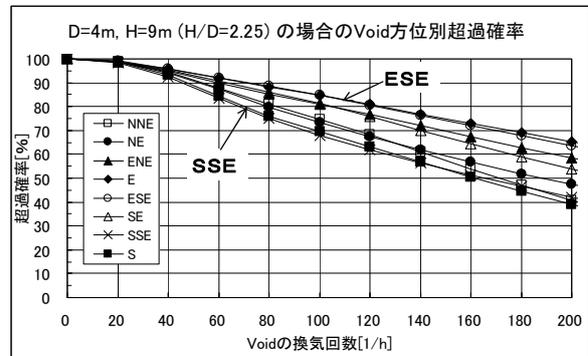


図 3-6 D=4m、H=9m の場合のボイド方位別換気回数の年間超過確率

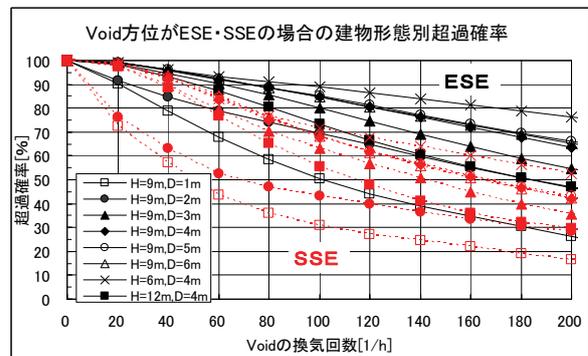


図 3-7 ボイド方位が ESE・SSE の場合の建物形態別換気回数の年間超過確率

計算結果の一例を図3-6、3-7に示す。換気回数の年間超過確率は、ボイドの方位によって異なること、そして同じ方位であっても建物の高さや隣棟間隔に応じて変化することが確かめられた。

図3-8で、ボイド方位がESEの場合を例に、(3)で設定した換気水準の充足状況を検証する。(3)では、ボイド空間の換気回数が60回/hとなる年間超過確率が85%以上(超過確率85%)と設定した。この設定値と図3-8の超過確率との比較を行う。

このケースでは、H=9m、D=1m (H/D=9.0)の場合とH=9m、D=2m (H/D=4.5)の場合以外では、年間超過確率が85%以上となり、必要な性能レベルとした換気水準を充足することが確認できる。

(5) 例示仕様の検討

CFD解析もしくは風洞実験と、年間超過確率計算の組み合わせによる換気回数を算出するシミュレーションは、1-4.のレベルシステムでの検証方法でいえば、高度な検証法である。

そこで、建物形態に関する物理的指標の値により、必要な換気性能が得られているかどうかを確認する例示仕様を検討する。

ボイド空間の換気回数で示された換気性能は建物高さHと隣棟間隔Dの比H/Dと関係がありそうなのが推測されるので、換気回数別に、全ボイド方位最低超過確率とH/Dの関係を見た結果を図3-9に示す。

これによれば、H=9mの場合、H/D=2.0付近で収束する傾向が伺われ、換気回数60回/hの場合、年間超過確率85%に収束する。しかし、Hが異なると、H/Dの値が同じでも年間超過確率が異なる場合が存在する(H/D=3.0の場合)。「換気回数60回/h以上となる年間超過確率85%を満たすため、H/D=2.0以下とする」ことを例示仕様とすることも考えられるが、そのためにはH=9m以外の高さにおいても今後同様の解析・検討が必要である。

(6) 研究成果

定量的な評価方法については、隣棟間(道路を含む)のボイド空間における換気回数を指標とし、判定基準としては60回/hを確保できる年間超過確率が85%以上あることを確認する方法を開発した。しかし、検証方法はCFD解析や風洞実験による高度な方法の有効性は確認できたものの、簡易な検証方法の開発には至らなかった。

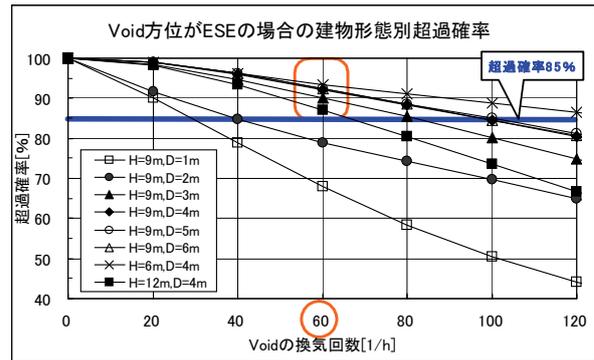


図3-8 ボイド方位がESEの場合の建物形態別換気回数の年間超過確率

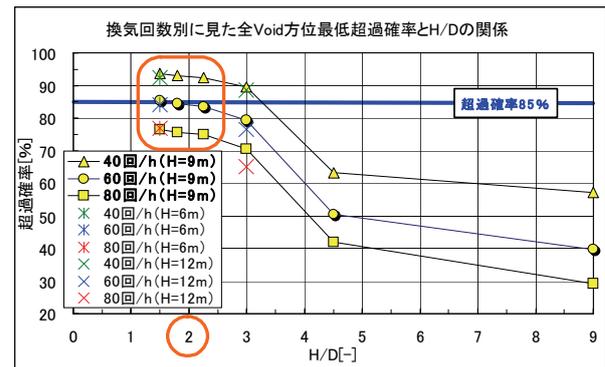


図3-9 換気回数別に見た全ボイド方位最低の年間超過確率とH/Dの関係

現行集団規定との関係では、低層市街地における道路幅員 4 m 確保の有効性が一定程度確認されたが、実用的な例示仕様を提示するには至らなかった。

注

- (1) ここでいう「換気回数」は、その居室の気積に相当する量の新鮮な外気が開口部から入り、新鮮な空気と混合した汚染物質を含む同量の空気が開口部から排出される現象の発生回数と呼んでいる。すなわち、ここでの「換気回数」は、開口部を通じて出入りする空気の量が対象であり、居室の汚染物質を含む空気がそっくり新鮮な外気と入れ替わることを意味してはいない。
- (2) ワイブル分布係数については、参考文献 5) を参照。

参考文献

- 1) 加藤信介 (2007), 「市街地の風通しはどのように計られるか」, 日本風工学会誌, Vol. 32-4 (No. 113), pp. 421~423
- 2) 日本建築学会 (1993), 『都市の風環境評価と計画 —ビル風から適風環境まで—』
- 3) 伊藤一秀・加藤信介・村上周三 (2000), 「平均拡散場解析による Visitation Frequency, Purging Flow Rate の解析—不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, No. 529, pp. 31~37
- 4) 風工学研究所 (2005), 『ビル風の基礎知識』, 鹿島出版会, pp. 110~117
- 5) 風工学研究所 (1989), 『新・ビル風の知識』, 鹿島出版会, pp. 189

3-2. 道路の通風

(1) 研究の成果目標

研究の成果目標は、道路空間における通風の確保に関する性能基準・評価方法の開発とした。すなわち、道路上の歩行者等を想定して、快適な通風環境を確保するのに必要な沿道の建築物の形態に関する性能基準等の開発である。

(2) 目標とする性能

道路空間に適度の通風のある状況とは、上空風が道路空間に設定されたボイドに誘引され、人の高さにおいて適度な風速が得られている状態と考えられる。これは、上空の運動エネルギーがボイド内にどの程度輸送されるか、という空間形態に関する性能である。

検討の結果、道路空間に要求される機能は、人体が感じる快適性が目的であるため、「外部空間（道路空間または隣棟空間）において、夏季、通風の障害により、歩行者の人体の冷却効率の低下による環境障害が生じないこと」とした。

(3) 必要な性能レベル

一般に微風のレベル（気象庁の方法で計測できない値）は、風速1m/s未満とされる。この風速は、気温が高い場合の人体の冷却効率の低下から歩行者が不快と感じやすいレベルともされている。そして、風の性状（風速・風向）が地域・季節・時間によって常に変動すること、また、気温が高い場合に歩行者が風を感じることで不快に至らないことが1週間に1日程度の頻度で生じれば、屋外で自然の風を感じることを効果を忘れないと考えられることから、道路上1.5mの高さにおいて風速1m/s以下となる確率が85%以下となる（1週間に1日は1m/s以上の風が吹く）ことが目安として考えられる。平均スカラー風速 U と単位密度当たりの空間平均運動エネルギー KE （以下、空間平均運動エネルギーと略記）の間には、 $KE = U^2 / 2$ の関係があるので、風速1m/sは、空間平均運動エネルギー $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ に相当することから、道路の通風に必要な性能レベルを、「地表面歩行者レベルの外部空間（地表面から高さ3mまでの部分領域）の風の空間平均運動エネルギーが $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下となる年間の確率が85%以下であること（空間平均運動エネルギー $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ に対する年間超過確率が15%以上であること）」とした。

そして、屋外の風環境については、人間は絶対値を感じのみでなく、常に相対比較も行っている。風の性状（風速・風向）は地域によって大きく変わるため、たとえ全国的な絶対基準が満たされていても、当該地域の中において相対的にあまりに低い環境であることは防止することが必要である。風の利用可能性は、人工の障害物がない場合に比べ、1オーダーすなわち1/10程度は確保されるべきであり、1/100になってしまうと無きに等しいと考えられる。そこで、「風の障害物がないと仮定した場合の評価空間の空間平均運動エネルギーの年間平均値に比べ、実際の評価空間の風の空間平均運動エネルギーが1/100以下になる年間の確率が、15%以下であること（1/100の値に対する年間超過確率が85%以上であること）」を、もう一つの必要な性能レベルとして加えた。

(4) シミュレーションによる建物形態と風速の関心の定量的分析

3-1.(4)の換気性能と同じ条件設定で、ボイド空間の空間平均運動エネルギーをCFD解析により計算し、東京地区のワイブル分布係数と風配を用いて年間超過確率を計算した。

計算結果の一例を図3-10、3-11に示す。換気回数の場合と同様に、運動エネルギーの超過確率は、ボイドの方位によって異なること、そして同じ方位であっても隣棟間隔に応じて変化することが確かめられた。ただし、換気回数の場合と比べて、ボイドの方位による超過確率の変化の幅が大きいことが指摘できる。

次に、(3)で設定した通風性能の水準の充足状況を検証する。充足条件は、①ボイド空間の平均運動エネルギーが、 $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ を超える年間確率（年間超過確率）が15%以上となり、かつ②ボイド空間の平均運動エネルギーが、風の障害物がないと仮定した場合の空間平均運動エネルギーの1/100以下になる年間確率が15%以下と設定する。

まず①について、図3-10のD=4m、H=9mのケースでは、空間平均運動エネルギー $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ に対する年間超過確率が15%以上となるのは、ボイド方位がE、ENE、NE、ESE、SE、SSEの場合で、NNEおよびSでは15%未満である。図3-11で、最も性能の高いボイド方位Eの年間超過確率を隣棟間隔別に見ると、D=1~6mすべてで $0.5\text{m}^2/\text{s}^2$ に対する年間超過確率が15%以上となることが確認できる。一方、最も性能の低いボイド方位Sで年間超過確率15%以上となるのは、D=6mの場合のみであることが確認できる。

次に②について、風の障害物がないと仮定した場合の空間平均運動エネルギーは、計算により $0.835\text{m}^2/\text{s}^2$ と求まるので、その1/100は $0.00835\text{m}^2/\text{s}^2$ となる。ボイド空間の空間平均運動エネルギーが、この $0.00835\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下となる確率を計算した結果を、ボイド方位別・隣棟間隔別に示したものが図3-12である。D=1m、2mでは、ボイド空間の空間平均運動エネルギーは全方位において15%以上の確率で $0.00835\text{m}^2/\text{s}^2$ 以下となり、性能レベルに達しないことが分かる。D=3mでは、NNE、NE、SE、

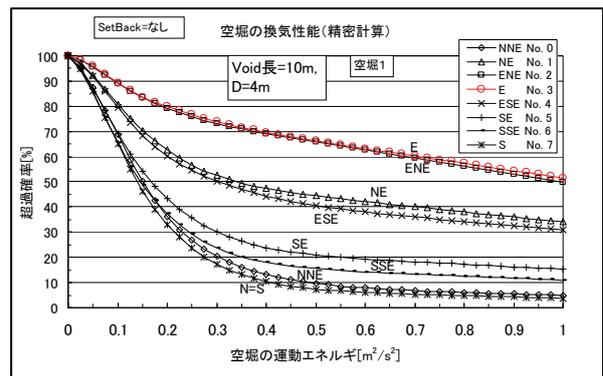


図3-10 D=4m、H=9mの場合のボイド方位別運動エネルギーの超過確率

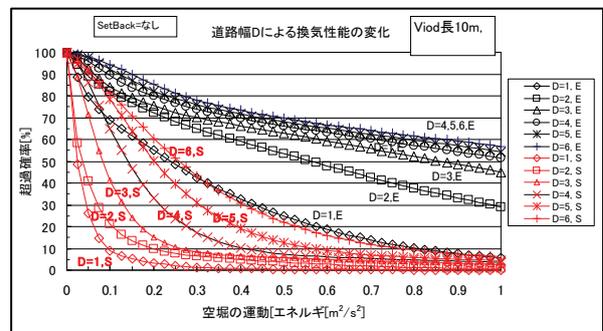


図3-11 ボイド方位がE・Sの場合の隣棟間隔別運動エネルギーの超過確率

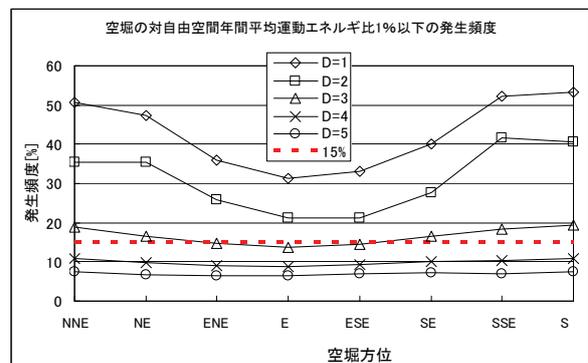


図3-12 ボイド方位別・隣棟間隔別に見た対自由空間年間平均運動エネルギー比1%以下となる確率

SSE、S で確率 15%を超えており、性能レベルに達しないことが分かる。D=4m 以上では、全方位において $0.00835 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 以下となる確率が 15%未満となり、性能レベルに達していることが分かる。

(5) 研究成果

定量的な評価方法については、隣棟間（道路を含む）のボイド空間における空間平均運動エネルギーを指標とし、判定基準としては、① $0.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$ に対する年間超過確率が 15%以上、かつ②風の障害物がないと仮定した場合の空間平均運動エネルギーの 1/100 以下になる年間確率が 15%以下となることを確認する方法を開発した。しかし、検証方法は CFD 解析や風洞実験による高度な方法の有効性は確認できたものの、簡易な検証方法の開発には至らなかった。

参考文献

- 1) 加藤信介 (2007), 「市街地の風通しはどのように計られるか」, 日本風工学会誌, Vol. 32-4 (No. 113), pp. 421~423
- 2) 日本建築学会 (1993), 『都市の風環境評価と計画 —ビル風から適風環境まで—』
- 3) 伊藤一秀・加藤信介・村上周三 (2000), 「平均拡散場解析による Visitation Frequency, Purging Flow Rate の解析—不完全混合室内の居住域換気効率の評価に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, No. 529, pp. 31~37
- 4) 風工学研究所 (2005), 『ビル風の基礎知識』, 鹿島出版会, pp. 110~117
- 5) 風工学研究所 (1989), 『新・ビル風の知識』, 鹿島出版会, pp. 189