マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現

－歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築－

REPRESENTATION OF CROWD IN MULTI-AGENT MODEL

－ Development of pedestrian simulation system SimTread －

木村 謙^{*1}, 佐野友紀^{*2}, 林田和人^{*3}, 竹市尚広^{*4}峯岸良和^{*5}, 吉田克之^{*6}, 渡辺仁史^{*7}*Takeshi KIMURA, Tomonori SANO, Kazuto HAYASHIDA, Naohiro TAKEICHI,
Yoshikazu MINEGISHI, Yoshiyuki YOSHIDA and Hitoshi WATANABE*

SimTread has been developed as a pedestrian simulation system with straightforward pedestrian and space model, which is highly operable by the users. The pedestrian model is a multi agent system in which the individual pedestrian is modeled as agents, and the space model is based on real coordinates, on the contrary of network and mesh models, that enable to represent plans directly into models.

The characteristics of crowd represented in this system had been evaluated through test cases by measuring the flow rate that is a major index for evaluating crowd.

Major results are as follows

1. In a simple plan that are comparable to network models, SimTread showed reasonable behaviours of crowds, which in terms of operability, can be concluded as highly desirable performance.
2. In a case where a bottleneck accumulates enough pedestrians so that consecutive exits will be virtually closed, SimTread showed accurately the propagation of crowd, which led to qualitative analysis of the crowd.

Keywords: pedestrian, simulation, multi agents, crowd, flow rate

歩行者、シミュレーション、マルチエージェント、群集、流動係数

1. はじめに

近年、建築構造、建築環境などさまざまな分野でコンピュータシミュレーションにより複雑な状況を予測し、評価を行う手法が用いられている。これに対して建築基準法の性能規定化により、建築防災の分野でも仕様規定以外の方法で計画する事が可能になっている。消防法においても、東京消防庁においてポテンシャルシミュレーションを用いた方法による検証が求められるなど¹⁾、新しい歩行者・群集シミュレーションに注目する動きがある。諸外国では、米国、英国での歩行者シミュレーションの開発が進んでおり、台湾においても防災性能評価の場で盛んに適用されているなど、日本より遥かに盛んに実務に用いられている現状がある。避難の評価に加えて、不特定多数が利用する施設などの日常動線の計画や規模計画を検討する事にも有効な手段となる。

例えば群集の流れをアニメーションなど視覚的に表現することができる。このような表現を用いることで、建築主や設計者にも分か

りやすい安全評価を行うことが可能になる。通路の曲がり角などは群集流に少なからず影響を与えるが、この点を評価出来るシミュレーションシステムは現状では用いられていない。

このように平面計画や配置計画上の細かい配慮など、一般ユーザーには理解しにくい質の高い建築・安全設計を建築主が理解し、導入することに寄与するものと考えられる。

一方、歩行者シミュレーションの中でも群集流の再現は結果の妥当性を検証しにくいといった問題もある。このため開発者はモデルのメカニズムを明示しその妥当性を検証することが、シミュレーションの運用において非常に重要である。

そのために、設計者などシミュレーション利用者にも理解しやすいモデルが求められている。空間と歩行者のモデルとを分離し、空間の幾何形状をさほど抽象化することなくそのまま扱えること、また、全体の振る舞いととらえることが難しい群集を個々の歩行者の集合としてとらえるマルチエージェントモデルが理解を助けると考

*1 エーアンドエー(株)

*2 早稲田大学人間科学学術院 准教授・博士(工学)

*3 早稲田大学理工学術院 各員准教授・博士(工学)

*4 (株)竹中工務店 博士(環境学)

*5 (株)竹中工務店

*6 (株)竹中工務店 工博

*7 早稲田大学理工学術院 教授・工博

A&A Co., Ltd.

Assoc. Prof., Faculty of Human Sciences, Waseda Univ., Dr. Eng.

Visiting Assoc. Prof., Faculty of Science and Eng., Waseda Univ., Dr. Eng.

Takenaka Corporation, Dr. Env.

Takenaka Corporation

Takenaka Corporation, Dr. Eng.

Prof., Faculty of Science and Eng., Waseda Univ., Dr. Eng.

えられる²⁾。

このような実座標系のマルチエージェントモデルでは、ネットワークモデルでは難しい、出口の先から人があふれて流れなくなるといった流れの質的变化が再現できる可能性がある。

本報では筆者等がこれまで研究を続けてきた^{3)~9)}歩行者シミュレーションシステム SimTread において、そのメカニズムを明示すること、および、ネットワークモデルと比較した群集の再現性を、群集流の基本指標である流動係数の変化を分析することで検証することを目的とする。

2. 既往研究

避難行動時の空間を評価するものとして、避難行動をシミュレートする様々なシステムが研究され開発されてきた^{10)~18)}。先に述べた、設計者や建築主の理解を助けるためには、空間を実座標系で(設計案などを忠実に)再現することが妥当である。しかし、これまでの研究の多くにおいて、処理速度の短縮や開発の容易さのため、空間をネットワークやメッシュで表現する空間モデルが採用されてきた¹⁰⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁶⁾。ネットワークで表現する場合、抽象化の度合いが高いことと、ネックをあらかじめ規定してやらなければならないという問題もある。一方メッシュモデルの場合には、歩行者の移動表現はメッシュの大きさに依存するため、実際の歩行者のスムーズな動きを再現するものではない。その点、実座標を用いれば、よりスムーズな歩行者の移動が再現可能となり、避難時に通過する際重要なネックとなりえる扉や廊下の詳細な寸法の評価も行うこともできる。また、目的とする行動を再現するため、各研究それぞれにおいて行動特性研究の蓄積をもとに行動モデルが作成されている。しかし、空間構造や歩行行動のモデル化が直接的でなく、例えば、複雑なネットワーク構造を記述する必要があるもの¹²⁾、場合によってはひとつの空間を分節する必要があるもの¹⁵⁾¹⁷⁾、歩行者の特性を別の物理モデルに置き換えるものなど¹⁸⁾、単純には理解しづらいものが多い。これらモデル利用上の問題に対して、より現実の歩行者の行動に即した、分かりやすいモデルの構築が必要とされている。

3. SimTread の概要⁹⁾

今回対象とするシステム SimTread では、歩行者をエージェントとしたマルチエージェントモデルを採用し、行動ルールの定義は個々のエージェントごとに行い、群集としての振る舞いは、エージェントの動作の結果として現れるものである。

3. 1. モデル構造

SimTread を構成するオブジェクトは、次の通りである。

歩行者：空間内での位置、方向、最高歩行速度

空間：障害物(壁体や什器など歩行者が進入できない領域)の設定

目的地：各歩行者が目指す地点(領域)

計算条件としては、歩行者、空間、目的地をそれぞれ設定する。

図1はCAD上に構築されている本システムで、単純な例を入力している様子である。

・室ごとの扉選択

室からの退出の際に、歩行者は最短経路上にある扉ではなく、自分から最も近い扉を選択することが考えられる。

図1 歩行者・障害物・目的地

図2 シミュレーション計算フロー

最短経路モデルである本モデルにおいて、近くの扉の選択を実現するために、目的地(この場合は扉)のグループ化を行い、グループ化された目的地を目指す場合は、グループの中から一番近いものを選択することとした。

このことにより、例えば一つの室の扉を全てグループ化したとすると、その室から退出する歩行者は一番近い扉を目指すこととなる。

3. 2. シミュレーション過程

・ Δt ごとの計算

全歩行者が一定時間間隔($\Delta t = 200$ ミリ秒)ごとに、「仮移動位置の計算①」「衝突回避(仮移動位置の再計算②)」「仮移動位置へ移動(移動位置の確定)③」のステップで取り得る位置を逐次計算し、すべての歩行者が目的地に到達するまで計算を繰り返す(図2)。

・距離格子点

最短経路上での目的地の方向を計算するために、空間内に一定間隔(本報における試行では100 mm^{注1)})で距離格子点を配置してい

現在の方向 $v = (x, y)$

目的地の方向 $v' = (x', y')$ $x' = (q - p) / 2$ $y' = (s - r) / 2$

図3 仮移動位置計算フロー

る。この格子点には、目的地までの最短経路の距離を記録している。

・仮移動位置の計算

図2①の仮移動位置の計算は、図3に示すように、まず、歩行者の中心位置から最も近い格子点を検索し、その近傍の格子点のポテンシャル値（目的地までの距離）からポテンシャルの勾配を算出し、目的地の方向を決定する^{注2)}。

そして、この移動方向と、与えられた歩行速度に応じた移動距離から、移動位置を決定する。

・衝突回避

図2④の衝突するかどうかの判定は、全ての歩行者を仮移動位置へ移動した状態で、歩行者ごとに定義されている衝突判定領域内（図4）に、他の歩行者や障害物が存在するかどうかで判断することとしている（図5「1回目」参照）。衝突がある歩行者については仮移動位置を再計算する。

・衝突判定領域

衝突判定領域は、図4に示すとおり、速度に応じて二段階に変化する。本モデルでは、衝突判定領域の寸法設定が流動係数や密度など群集流の性状に大きく関与する。

本報の検討では、文献19)に示される計算方法（指針法）や避難安全検証法²⁰⁾の両検証法で、標準的な条件下にて想定する歩行能力と等価となるように、衝突判定領域を試行錯誤的に調整している^{注3)}。

具体的には、最大歩行速度を 1.0m/s（ Δt あたりの最大移動距離 200mm）としたうえで、単純な開口部（図6）において流動係数が概ね 1.5 人/ms となるように衝突判定領域を調整している（図4）。

・仮移動位置の再計算^{注5)}

図2②の移動位置の再計算（衝突回避）は、図7に示すとおり、回転範囲（90°）内で、一定角度（ $\Delta\theta = 12^\circ$ ）ずつ角度を増やして位置を変え、それでも適切な位置が確保できない場合に、移動距離を一定割合（30%）減らす（減速）ことを繰り返して適切な位置への移動を試みる。

最終的に、すべての試みが失敗した（試行回数に達しても適切な位置へ移動ができなかった）場合には、移動距離 0 となり、その歩行者は Δt の間移動しないことになる。

この衝突回避の例を示したものが図5で、Bが Δt 後の位置(B')で衝突がない場合に、Aの Δt 後の位置(A')を試行する様子である。

図4 衝突判定領域^{注4)}

図5 衝突回避

図6 パラメーター検討の開口部モデル

1回目の試行ではA'の衝突判定領域にB'が存在するため、2回目の試行では、A'を進行方向に対して一定角度回転した位置に置く。2回目の場合はA'の衝突判定領域にB'が存在しないため、これでA'の位置を確定する。

仮移動位置再計算を行ったあと、再度仮移動位置へ全歩行者を移動し、再び衝突するかどうか判定を行う。

各 Δt あたりに仮移動位置の再計算と移動を制限回数（25回）まで繰り返す。

衝突判定領域の右面（中心線より右側）と他の歩行者が重なる場合、右側で衝突が起きたと判定。同様に、左側、両側の衝突も判定する。

目的地の方向	θ_0
移動方向	γ'
左回避方向	γ'_r $\theta + \Delta\theta$ (右側の衝突を回避する)
右回避方向	γ'_l $\theta - \Delta\theta$ (左側の衝突を回避する)
回避角度	$\Delta\theta = 12^\circ$ 回転範囲 $\theta_0 \pm 90^\circ$
移動距離	l

図 7 仮移動位置再計算（衝突回避計算）フロー

なお、一人の歩行者の位置を確定してから別の歩行者の位置を検討するのではなく、すべての歩行者について衝突がなくなるまでは仮の移動として収束計算を行っているため、計算結果はどの歩行者を先に計算するか順序に依存しない。

3. 3. シミュレーションの出力結果

シミュレーションの結果の出力は次の二つである。

- ・動画：平面上を歩行者が移動の様子と、設定された地点における、 Δt ごとの通過人数（流動係数）の移り変わりを示すグラフ（図 8）
- ・ログ：テキストファイルとして Δt ごとの歩行者の位置、向き、移動距離が出力される。このログを元に、以下のような定量的分析が可能である。

4. 開口の流動係数の動的変化の再現

ここで、本モデルの妥当性の検証のため、仮想の空間での開口部の流動係数の変化を検証する。

開口から単位時間あたりに流出する人数は、開口前への歩行者の集結状況や、開口流出先の歩行者の存在の影響により、時間ごとに变化するものと考えられる。

4. 1. 検討ケース

ここでは、図 9 に示す居室、廊下からなるプランを想定する。この室内において火災が発生し、在室者は炎や煙からいち早く遠ざかるべく、現在地より最も近い居室出口から廊下に出て、廊下に接続した階段室に避難するという状況を考える。ただしここでは議論を簡略化する意味で、階段室自体は再現せず、単純に廊下からの出口として再現し、また炎、煙の影響自体は考慮せず、避難に使用でき

図 8 動画による出力例

ない出口はないものとする。

比較として、室出口が開口 2 の 1 箇所しかない場合を Case1 とし、同出口が、開口 1~3 の 3 箇所ある場合を Case2 とする。

4. 2. 計算結果と考察

[Case1]

図 10 に、Case1 の代表的な時間における歩行性状を示す。避難開始から 6 秒後程度に全在室者が開口 2 前に集結し、廊下へ徐々に流出していく様子が確認できる。また、廊下の出口である開口 4 の前は、各時間を通じて、滞留が発生しないことがわかる。図 11 は、開口 2 および開口 4 における流動係数の時間変化である。開口 2 にお

いては、在室者が開口2前に集結し終えた6秒程度より後の時間では、流動係数は、大小の振動および時間経過ごとに微減の傾向も見えるものの、概ね一定であることが確認できる。一方、開口4においては、避難者が開口に到達し始める10秒後から流出が開始し、その後、流動係数は、大小の振動はあるものの、ほぼ一定で推移する。

本Caseを、開口幅とその流動係数により歩行性状をモデル化する、いわゆるネットワークモデル的に考える。開口2と開口4は同幅であるから、両開口において流動係数が等しいとすれば、滞留者は、より上流である開口2のみに生じ、開口4での流出は、開口2での流出時間より、開口間の歩行時間分遅れたかたちで生じると考えられるから、本シミュレーション結果は、ネットワークモデルとして考えた場合とほぼ同じような結果となっていることがわかる。

[Case2]

図12に、Case2の代表的な時間における歩行性状を示す。在室者は居室に対してほぼ均等に配置されており、また、開口3箇所は、室の端部および中央に配されていることから、概ね在室者の半分が、中央の開口2を目指し、残りの1/4ずつが、開口1および開口3を目指すようになる。

Case1と同様に、避難開始からしばらく時間が経過すると、各開口前に滞留が生じるが、その後この滞留は、開口1、開口2、開口3の順番で解消した。各開口とも幅1.0mで同幅であり、また開口2より開口3を通過する人数が少ないにもかかわらず、開口3の滞留解消が最も遅くなるのは、廊下出口である開口4前に滞留が生じることにより、この直近に位置する開口3からの流出が妨げられるためである。

図13に各開口における流動係数の時間変化を示す。避難開始後から8秒後までは、開口1～3ともに流動係数が1.5人/msに近づくように右肩上がりに増加している。これは避難開始後には開口近辺に避難者が少なく、開口付近に人が集結する速さよりも、開口から人が流出する速さのほうが大きく、開口における実質的な流動係数が、開口へ避難者が集まる速さにより規定されているためと考えられる。

在室者人数:91人
このとき、室の人口密度は約0.7人/m²であるから、文献1)を参考にすると、教室を想定しているのに相当する。

Case1 教室の出口が開口2のみの場合

Case2 教室の出口が開口1～3の3箇所ある場合

図9 居室・廊下プランの概要

図11 Case1における流動係数の時間変化

図10 Case1の時間変化

開口 1 において、避難開始 8 秒から 13 秒程度の間は、流動係数が概ね 1.5 人/ms であり、その後は右肩下がり減少している。開口前に十分な滞留者がいる間は、その開口での流動係数が取り得る最大値を示すが、滞留者がいる程度より少なくなると、待機状態から開口に進入するようになる人数が、その開口で流動係数が最大となるとき的人数より少なくなり、つまり、まばらにしか人が通過しなくなり、実質的な流動係数が低下するものと考えられる。

開口 2 においても避難開始後 8 秒から 13 秒程度の間は、流動係数が概ね 1.5 人/ms であるが、その後の 21 秒までの間の流動係数が 1.0 人/ms に低下している。この原因は避難開始後 13 秒とは、開口 1 を流出した歩行者が、開口 2 の流出先付近に到達し始める時間であるから、この歩行者の存在により開口流出が妨げられたためと考えられる。また、避難開始 21 秒以降は一旦流動係数が 1.5 人/ms を目指して回復するが、これは、開口 1 からの流出者が開口 2 の前方を通

過し終え、開口 2 からの流出が妨げられなくなったためであると考えられる。

開口 3 においても避難開始後 13 秒ころから流動係数が低下し、その後は平均で 0.15 人/ms となり、ほとんど避難者が流出できない状態になる。これは廊下出口が廊下からの流出のネックとなっており、廊下出口（開口 4）前に滞留が生じ、開口 3 からの流出を妨げるためである。開口 3 から流出が完了するのは避難開始後 62 秒であるが、廊下から全員が流出完了したのが 67 秒であることから、開口 3 からは、廊下出口前の滞留者がほとんどいなくなった後によりよく流出が完了できたことになる。

開口 4 では、避難開始後 15 秒まではおよそ右肩上がりに流動係数が増加し、その後は概ね一定値となる。これは、この開口がネックになり、滞留者がいる間は流出が定常的になっていたことを示している。

図 12 Case2 の時間変化

図 13 Case2 における流動係数の時間変化

以上の検討より、本システムにより開口における流出と滞留の時間ごとの変化が予測でき、また、ネットワークモデルでは考慮が困難な、開口先の歩行者の存在が流動係数に影響を及ぼす効果を再現できることが確認できる。

5. まとめ

本研究で構築した歩行者シミュレーションシステム **SimTread** の特徴は次の通りである。

- ・ 歩行者をエージェントとしたマルチエージェントモデル
- ・ 歩行者が衝突を回避する過程を忠実に計算
- ・ 実座標系の空間モデル

本システムによって、室から廊下への退出という典型的な群集流の状況を再現し、流動係数の時間ごとの変化を確認した結果、以下の性状が確認された。

- ① 開口の室内側に十分な人数が滞留している場合には、流動係数がほぼ一定となるが、滞留人数が少なかったり、開口への集結速度が遅い場合には、流動係数が前者の場合より小さくなる。つまり、開口前の集結状況によって、開口における流動係数が変化する。
- ② 廊下内の開口流出先部分に歩行者がいる場合には、その歩行者の存在により、開口流出者の歩行が妨げられるため、その開口における流動係数が小さくなる。また、廊下の出口に滞留が生じ、この滞留が室の開口流出先部分を塞ぐようになると、この開口からの流出は、開口流出部分の滞留の解消具合に支配されるようになる。
- ③ 前2項のような流動係数の低減が生じないような状況では、ネットワークモデルによって予測した場合と同様の群集流が再現される。

上の①はネットワークモデルでは再現されがたいもので、程度の議論の余地があるが、現実の群集流でも予想される現象であり、**SimTread** ではこれが再現されたといえる。また、②はネットワークモデルでも再現できないことはないが、平面形状に忠実な再現については難しい場合が多い。③は当然のことであるが、流動係数の低減が生じないような平面の場合には、マルチエージェントモデルもネットワークモデルも同様の結果を得られることが確認されたことである。

以上のように、モデルの明快さに主眼を置いて構築したマルチエージェントモデルによる歩行者シミュレーションシステム **SimTread** が、群集流の再現性において実用性があることが明らかとなった。

今後は、現在行っている各種の歩行者実験の結果を基に、衝突判定領域の寸法を最適化し、現実の歩行性状を再現できるパラメータセットの定義が課題である。

参考文献

- 1) 東京消防庁：優良防火対象物認定表示制度のご案内、<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-yobouka/yuryobouka/data/yuryohoyoji.pdf> (2008年10月参照)
- 2) 渡辺 俊, 高柳 英明, 木村 謙, 佐野 友紀, 林田 和人, 川口 和英, 池田 浩敬, 位寄 和久, 渡辺 仁史: 人間行動シミュレーション研究の体系化に関する研究, 日本建築学会第 26 回情報・システム・利用・技術シンポジウム梗概集, pp.145-148, 2003.12
- 3) 峯岸 良和, 吉田 克之, 竹市 尚広, 佐野 友紀, 林田 和人, 木村 謙, 渡辺 仁

史: 歩行者シミュレーションシステム **SimTread** の基本性能 開口の流出先における歩行性状を考慮した流動係数の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.961-962, 2007.8

- 4) 菊池 徹, 遠田 敦, 林田 和人, 渡辺 仁史: 避難シミュレーションによる大学キャンパス内の教室配当の検討 歩行者シミュレーションシステム **SimTread** を用いて, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.963-964, 2007.8
- 5) 角方 謙一, 渡辺 仁史: 群衆流動シミュレーションによる大規模商店舗の誘導計画立案に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.1113-1114, 2006.9
- 6) 金山 健一, 田中 壮作, 渡辺 仁史: 大規模商店舗における群衆流動シミュレーションによる誘導計画支援に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2006.3
- 7) 金山 健一, 木村 謙, 佐野 友紀, 竹市 尚広, 吉田 克之, 大宮 喜文, 渡辺 仁史: 階段室における群衆合流の実験および歩行者シミュレーションシステム **SimWalk** の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.907-908, 2005.9
- 8) 齊藤 裕介, 木村 謙, 佐野 友紀, 竹市 尚広, 吉田 克之, 渡辺 仁史: マルチエージェントモデルによる滞留状況と流動係数の検討 歩行者シミュレーションシステム **SimWalk** その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.847-848, 2004.8
- 9) 木村 謙, 関根 宏, 佐野 友紀, 竹市 尚広, 吉田 克之, 渡辺 仁史: 歩行者シミュレーション **SimWalk**, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.915-916, 2003.9
- 10) 安福 健祐, 阿部 浩和, 山内 一見, 吉田 勝行: メッシュモデルによる避難シミュレーションシステムの開発と地下空間浸水時の避難に対する適用性, 日本建築学会計画系論文集, 589, pp.123-128, 2005.3
- 11) 瀧本 浩一: 個別要素法を用いたシミュレーションによる避難時の車椅子使用者と他の避難者との影響に関する一考察, 日本建築学会環境系論文集, 566, pp.9-15, 2003.4
- 12) 織田 瑞夫, 瀧澤 重志, 河村 廣, 谷 明勲: エージェントモデルによる連続的空間における人間行動シミュレータの構築及び建築計画への応用, 日本建築学会計画系論文集, 558, pp.315-322, 2002.8
- 13) 木村 謙, 小松 喜一郎, 林田 和人, 渡辺 仁史: 高齢者の行動特性を反映した 3 次元避難誘導シミュレーター: 避難弱者を考慮した 3 次元避難誘導シミュレーター(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.569-570, 1999.9
- 14) 小松 喜一郎, 木村 謙, 林田 和人, 渡辺 仁史: 大規模複合施設の低層部共用空間を対象とした避難誘導検討のケーススタディ: 避難弱者を考慮した 3 次元避難誘導シミュレーター(その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.571-572, 1999.9
- 15) 海老原 学, 掛川 秀史: 避難シミュレーションに基づく高齢者施設の避難安全性の確保に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, 521, pp.1-8, 1999.7
- 16) 高瀬 大樹, 円満 隆平, 佐野 友紀, 渡辺 仁史: 歩行者動線シミュレーションシステムの開発, 日本建築学会技術報告集, pp.263-267, 1996.12
- 17) 海老原 学, 掛川 秀史: オブジェクト指向に基づく避難・介助行動シミュレーションモデル, 日本建築学会計画系論文集, 467, pp.1-12, 1995.1
- 18) 岡崎 甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究: その 1 磁気モデルの応用による歩行モデル, 日本建築学会論文報告集, pp.111-119, 1979.9
- 19) 建設省住宅局建築指導課ほか監修、日本建築センター編：新・建築防災計画指針―建築物の防火・避難計画の解説書, 1995
- 20) 国土交通省住宅局建築指導課他編集: 2001 年版避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, 2001

注

- 注1) 格子間隔は Δt や歩行速度を元に、計算速度やメモリ使用量を考慮し、設計検討に十分な精度を確保するように設定した。
- 注2) この方法は、ポテンシャル値の低いひとつの格子点を指す単純な方法と比べて、移動方向が格子点のある方向に限定されないという利点がある。
- 注3) 本システムでは、各種パラメータ値は変更可能であり、より現実に対応した値を設定することができるが、本報ではネットワークモデルの比較対象としてここに示した両検証法と条件がそろえるように設定した。
- 注4) 本図は文献 3 図 3 を訂正したものである。
- 注5) 回転範囲、一定角度、一定割合、仮移動位置の再計算の制限回数値は、パラメータを変更しながら、シミュレーション試行を繰り返し、個別の人モデルの挙動を確認することで、適切な値を決定している。

(2008年3月6日原稿受理, 2008年11月5日採用決定)