

避難安全検証法（ルートB2）の居室避難の簡易検証手法

徳 納 雄 介 山 口 純 一

Evacuation Confirmation for Room Evacuation in Route B2

Yusuke Tokuno Jun-ichi Yamaguchi

Abstract

As the demand for deregulation in building planning has increased, several issues have been addressed by implementing an evacuation safety confirmation approach. While the conventional verification method is mainly used for buildings, such as warehouses or factories, introducing a new verification method (Route B2) in 2021 has expanded its applicability to offices and stores. Furthermore, there is a growing need for smaller windowless rooms, requiring creative solutions. In line with the 2023 revision of the standards for windowless rooms, certain measures will be relaxed if evacuation safety can be ensured using Route B2. In this study, we propose a methodology that streamlines the utilization of Route B2 and provides a comprehensive overview of the practical verification process.

概 要

近年、避難安全検証法が拡充されたことに伴い避難安全検証法を適用し、避難関係規定を緩和する計画が増加している。この避難安全検証法は主に倉庫や工場の用途にこれまで多く適用されてきたが、2021年5月に新設された検証方法（ルートB2）により、事務所や物販店舗等の用途への適用が拡大している。また、近年のオフィスビル等では、小区画化して無窓居室とするニーズが高まっているが、2023年4月の無窓居室に関する基準の改正により、ルートB2を用いて避難安全性能を確認できた場合、法適合のための対策の一部が緩和される。本研究では、ルートB2を利用しやすくするため、図面から読み取れる情報のみで居室避難検証の成否を判定できる簡易検証手法を提案する。また、小規模居室の実態調査結果を用いた本簡易検証手法の実務適応性に関する検証内容について報告する。今後は、BIMと連携させることで居室避難安全検証の自動判定化等を行う。

1. はじめに

建築基準法は、建築火災時における在館者の避難安全性の確保を目的として、排煙設備の設置、内装の制限や直通階段に至るまでの歩行距離等を規定している。一方、2000年の建築基準法改正により、これらの一部の規定は避難安全検証法を用いることで緩和が可能となった。

避難安全検証とは、火災時に建築物の在館者が火災により発生する煙やガス等に曝されず安全に避難できることを、告示に定められた前提条件や計算式に従い検証する手法である。避難安全検証法は判定方法に応じて2種類定められており、1つは避難に要する時間（以降、避難完了時間）が、煙やガス等が避難上支障のある高さ（ $=FL+1.8m$ ）まで降下する時間（以降、煙降下時間）以下であることを確かめる方法（以降、ルートB1）^{例えは1)}である。検証成立のためには大きな蓄煙容積を必要とするため、主に倉庫や工場に多く適用されている。もう1つは2021年5月に新設されたもので、避難が完了するまでの間、火災により生じた煙又はガスの高さ（以降、煙層高さ）が避難上支障のある高さ以上であることを確かめる方法（以降、ルートB2）^{例えは2)}である。後者の方法では、蓄煙容積の小さな空間にも適用が可能となり、用途は事務所、物販店舗、宿泊施設等に広がった。

また、近年のオフィスビル等では、空間を間仕切りし

小区画化して利用するシェアオフィスや診療所のニーズが高まっている。この時、一部に窓等の開口部を有しない居室（以降、無窓居室）が計画される可能性が高い。無窓居室は、廊下状の空間に面して計画されることが多く、逃げ遅れの可能性が高まることから、従来の建築基準法では、当該居室を区画する主要構造部を耐火構造または不燃構造とすること、直通階段に至るまでの歩行距離を30m以内とすることが求められていた。これに対して、2023年4月に無窓居室に関する基準が改正され³⁾、Fig.1の対策に加え、ルートB2に準じた計算方法により避難安全性を確認した場合には、無窓居室に関わる上記規定が緩和されることとなった³⁾。以上の背景より、今後ルートB2を用いるニーズは高まると考えられる。

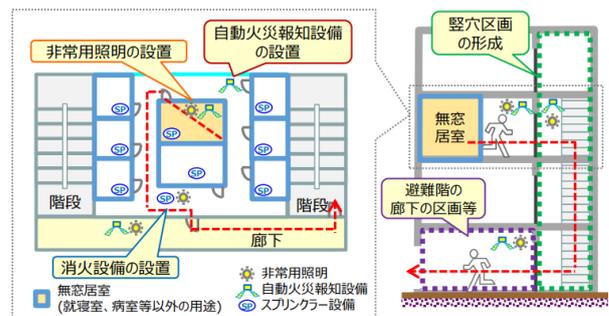


Fig. 1 無窓居室に必要な対策
Necessary Measures for a Windowless Room

ここで、ルートB2の計算法は、予測精度が向上し、計画の自由度が向上した半面、計算に必要な入力条件（床面積、天井高さ、歩行距離、出口幅等）が増え、また計算手順が複雑になった。加えて、居室の大きさ等に関わらず計算にほとんど影響しない条件の入力も求められ、入力を間違える、入力を確認するための時間を要する、入力条件と検証結果の関係が分かりにくい、などの課題がある。また、設計者が利用する際は、在室者数が一定値を超えたら出口を2か所設置する、歩行距離をある値以下とするなど、計画上の目安があると非常に便利である。

そこで、本研究では、ルートB2の居室避難検証²⁾が成立する条件（歩行距離、出口幅、壁周長、在室者数等の図面から読み取ることができる情報）を明示することを可能とする簡易検証手法を提案する。この簡易検証手法を開発することで、設計者自身で計画の判定ができること、それによる検証時間の短縮や検証成立の目安がわかる等のメリットがある。また、本簡易検証手法の実務適応性を確認するため、実在する小規模居室の実態を調査し、それに本簡易検証手法を適応させた場合の満足度（以後、充足率）について報告する。

2. ルートB1とルートB2の違い

Table 1は、ルートB1¹⁾およびルートB2²⁾における判定条件、避難完了時間、設計火源、煙性状の計算方法を整理したものである。

2.1 判定条件

Table 1に示す様に、ルートB1の判定条件は、在室者の避難完了時間が、煙降下時間以下となることである。一方、ルートB2は、避難完了時の煙層高さが①避難に支障のない温度または高さ(≧FL+1.8m)であること、②避難完了時間が燃焼抑制時間以下であることの2つの判定を満足する必要がある。

Table 2は、①の煙層の温度判定の詳細を示したものである。ここで、煙層の温度は、避難完了時の煙層の温度であり、高温時または低温時で判定基準が定められている。低温時の判定基準は、式(1)に示す煙層暴露評価⁴⁾に基づくものであり、煙層上昇温度 ΔT の二乗積算値が基準値以下の場合に避難上支障がないと判定される。なお、式(1)の時間の単位は秒であるが、Table 2では分に換算している。また、煙層の温度による判定は、本来であればその時の煙層高さにも影響するが、ルートB2では簡単のため、煙層高さの計算を行わずに判定することとしている。

$$\int (\Delta T)^2 dt \leq 1.0 \times 10^4 \quad (1)$$

2.2 避難完了時間

Table 1に示すように、ルートB1とルートB2の避難完了時間は避難開始時間と避難行動時間を足して算出される。その際、ルートB1の避難行動時間は、歩行時間と出口通過時間の和として算出する。一方、ルートB2では、出口

付近で滞留が発生した状況を想定した上で、滞留時歩行時間または出口滞留時間のうちの最大値を採用する。なお、ルートB1の歩行時間を求める際の歩行速度 v は自由歩行時の値であるが、ルートB2の滞留時歩行時間を求める際の歩行速度 v_{crowd} はその半分に設定されている。

2.3 設計火源

設計火源の発熱速度 Q_f の概要図⁵⁾をFig. 2に示す。実際の火災では、第一着火物はゴミ箱、段ボールや小型家電等であり、室の用途や内装材の種類に依存しない。また、第一着火物の燃焼が一定程度まで成長すると周囲の可燃物や内装材に燃え広がるのが知られている。それに対し、ルートB1の設計火源の発熱速度は、火災初期から一定の定常火源としている。これは、煙降下時間を予測するためには、発熱速度（煙発生量）を一定と扱うことが必要なためである。一方、ルートB2の設計火源の発熱速度は、避難完了時の煙層の状態を予測するため定常火源ではなく、実態に即した成長火源となっている。

Table 1 ルートB1とルートB2の違い
Difference Between Route B1 and Route B2

項目	ルートB1	ルートB2
判定条件	避難完了時間 ≦煙降下時間	①避難完了時の ・煙層の温度判定 ・煙層高さ≧1.8m ②避難完了時間 ≦燃焼抑制時間
避難完了時間	避難開始時間+避難行動時間	
避難行動時間	歩行時間+出口通過時間	max(滞留時歩行時間, 出口滞留時間)
設計火源	定常火源	成長火源
煙性状の計算	火災初期から煙発生量及び煙層温度一定	火災初期の煙発生量、温度は低く、時間経過で増加

Table 2 煙層の温度判定
Judgment by Smoke Layer Temperature

当該居室の煙層上昇温度 ΔT		判定
高温時	$\Delta T > 180^\circ\text{C}$	NG
低温時	$\Delta T \leq \sqrt{\frac{500}{3t_{pass(room)}}}^\circ\text{C}$	OK

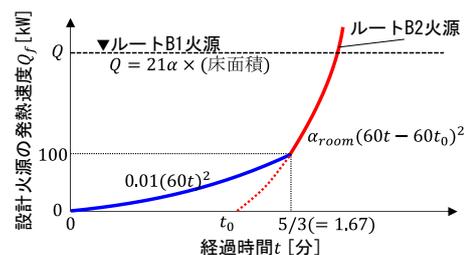


Fig. 2 設計火源の概要図⁵⁾
Overview Diagram of Fire Source

ルートB2の設計火源の発熱速度 Q_f は式(2)により与えられる²⁾。着火から5/3分(1.67分)間は緩やかに増加し、その後積載可燃物や内装材に燃え広がることから、火災成長率 α_{room} は室用途および内装材に依存する。

$$Q_f = \begin{cases} 0.01(60t)^2 & (0 \leq t \leq 5/3) \\ \alpha_{room}(60t - 60t_0)^2 & (5/3 < t) \end{cases} \quad (2)$$

$$t_0 = \frac{100 - (\frac{100}{\alpha_{room}})^{1/2}}{60} \quad (3)$$

$$\alpha_{room} = \max(1.51 \times 10^{-4}q_l, 0.0125) \times k_m \quad (4)$$

ここで、 t は火災発生からの経過時間[分]、 α_{room} は火災成長率[kW/s²]、 t_0 は補正時間[分]、 q_l は可燃物密度[MJ/m²]、 k_m は内装燃焼係数[-]である。

2.4 煙性状の計算

Table 1に示す様に、煙性状の計算に関してルートB1は、定常火源を想定しているため、特に火災初期において、実際の火災時より多い煙発生量となる。ルートB2は、火源の発熱速度の増加に伴い煙発生量は増加し、煙層温度は上昇する。そのため、ルートB2の方が、火災の実態に即した煙性状を予測する計算法となっている。

3. 簡易検証手法の特長

ルートB2による検証は、検証精度が高く無窓居室の避難検証に用いることができることが可能なため、本検討では、ルートB2に基づく簡易検証手法を構築する。本簡易検証手法の特長を下記に示す。なお、ルートB2に基づく本簡易検証手法の詳細は、4章以降に記載する。

(1) 設計者自らで確認が可能 本簡易検証手法は、歩行距離や出口幅など図面から読み取ることができている情報のみで構成されているため、専門家に頼ることなく、設計者自身で避難安全性を確認できる。

(2) ルートB2に準拠 ルートB2に基づき居室避難検証が成立する条件を整理した。その条件に従い計画された居室は、ルートB2の居室避難検証が成立する。

(3) 時間の短縮 検証資料の準備、入力作業、入力が正しいことの確認、検証が不成立となった場合の対策の検討に関わる時間が短縮される。

なお、設計者だけでなく、プロジェクト関係者（推進側/規制側）ならば容易にバックチェックなどに使用できるため、プロジェクトの円滑な進行に貢献できる。

4. 限界歩行距離および必要出口幅⁶⁾

ここでは、本手法を構築する上で重要となる歩行距離 l_{room} の上限値となる限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ 、出口幅 B_{room} の下限値となる必要出口幅 $B_{room(cirt)}$ の算出方法を説明する。

当該居室(火災室)において、煙層下端が避難上支障のある高さ(=FL+1.8m)まで降下する時間または煙層温度が

避難上支障ある温度に達する時間を許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ とする。この時、当該居室の避難完了時間 $t_{escape(room)}$ は式(5)を満足する必要がある。

$$t_{escape(room)} \leq t_{escape(crit)} \quad (5)$$

ルートB2²⁾の避難完了時間 $t_{escape(room)}$ は式(6)により与えられる。ここで、 $t_{start(room)}$ は避難開始時間[分]、 $t_{pass(room)}$ は出口通過時間[分]である。

$$t_{escape(room)} = t_{start(room)} + t_{pass(room)} \quad (6)$$

また、避難経路において滞留が発生しないことを条件とした場合、出口通過時間 $t_{pass(room)}$ は式(7)により与えられる。ここで、 l_{room} は歩行距離[m]、 v_{crowd} は滞留時歩行速度[m/分]、 P_{room} は在室者数[人]、 B_{room} は出口幅[m]である。

$$t_{pass(room)} = \max\left(\frac{l_{room}}{v_{crowd}}, \frac{P_{room}}{90B_{room}}\right) \quad (7)$$

式(6)および式(7)を式(5)に代入し、歩行距離 l_{room} と出口幅 B_{room} のそれぞれについて整理すると、式(8)および式(9)を得る。

$$l_{room} \leq v_{crowd}(t_{escape(crit)} - t_{start(room)}) \quad (8)$$

$$B_{room} \geq \frac{P_{room}}{90(t_{escape(crit)} - t_{start(room)})} \quad (9)$$

以上より、当該居室において式(8)および式(9)を満足するよう歩行距離 l_{room} と出口幅 B_{room} を計画すれば、式(5)を満足すると言える。なお、以降において、式(8)の右辺を限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ 、式(9)の右辺を必要出口幅 $B_{room(cirt)}$ と定義する。

5. 許容避難完了時間の感度分析

煙層高さに基づき許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を算出する場合の概要図をFig. 3に示す。煙層高さは時間の経過と共に降下する。ルートB2は避難完了時間 $t_{escape(room)}$ における煙層高さ Z_{room} を算出し、それが避難上支障のある高さ(=1.8m)以上であることを確かめることを目的とした計算法であるが、この計算法を用いて許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を算出するためには、煙層高さ Z_{room} が避難上支障のある高さ(=FL+1.8m)となる時間を求めることが必要である。また、煙層上昇温度 ΔT に基づき許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を算出する場合も同様である。

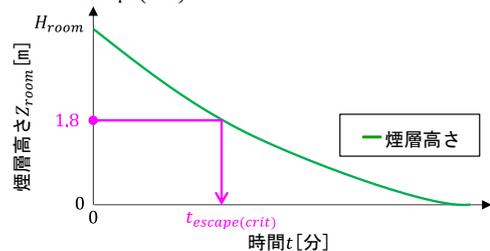


Fig. 3 煙層高さに基づく許容避難完了時間の概要図
Overview Diagram of Permissible Evacuation Completion Time based on Smoke Layer Height

5.1 許容避難完了時間の算出

ルートB2に基づき煙層高さ Z_{room} または煙層上昇温度 ΔT を計算するためには多くのパラメータと計算過程を必要とするが、実務的な簡易検証手法を構築するため、本検討では煙層上昇温度 ΔT のみを対象として許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を算出する。

Table 2の低温時の煙層の温度判定条件を式(10)として再掲する。

$$\Delta T \leq \sqrt{\frac{500}{3t_{pass(room)}}} \quad (10)$$

ルートB2の避難完了時の煙層上昇温度 ΔT は式(11)より算出される²⁾。

$$\Delta T = \frac{Q_f}{0.37Q_f^{1/3} + 0.015A_w(room)} \quad (11)$$

$$A_w(room) = A_{room} + L_{wall(room)}(H_{room} - 1.8) \quad (12)$$

ここで、 Q_f は避難完了時の発熱速度[kW]、 $A_w(room)$ は避難完了時に煙層が接する壁および天井部分の表面積[m²]、 A_{room} は床面積[m²]、 $L_{wall(room)}$ は壁周長[m]、 H_{room} は天井高さ[m]である。

式(10)に従い避難安全性を判定するためには、避難完了時の煙層上昇温度 ΔT 、出口通過時間 $t_{pass(room)}$ の計算が必要である。また、避難完了時の煙層上昇温度 ΔT を計算するためには、避難完了時間 $t_{escape(room)}$ および避難完了時の発熱速度 Q_f が必要である。加えて、避難完了時間 $t_{escape(room)}$ を計算するためには、避難開始時間 $t_{start(room)}$ および出口通過時間 $t_{pass(room)}$ が必要である。これらの関係を考慮した場合の許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の算出フローをFig. 4に示す。

(1) 避難開始時間 $t_{start(room)}$ の算出 ルートB2の避難開始時間 $t_{start(room)}$ は式(13)^{*1}で求める。ここで、Fig. 5に示すように、当該居室を親室として、順に親室への出口を有する居室を子室、子室への出口を有する居室を孫室と定義する⁷⁾。ルートB2では、当該居室が孫室を有する場合、式(13)に3分を加算する。

$$t_{start(room)} = 0.005L_{wall(room)}^{6/5} \quad (13)$$

ここで、 $L_{wall(room)}$ は壁周長[m]である。

(2) 出口通過時間 $t_{pass(room)}$ の設定 出口通過時間 $t_{pass(room)}$ は、その上限値を知ることが目的のため、試行錯誤により定める。ルートB2では出口通過時間 $t_{pass(room)}$ が1.5分を超える場合、隣接居室の影響を考慮した計算が必要となる（4.5分が加算される）ため、最大値を1.5分とし、刻み時間を0.01分と設定する。

(3) 避難完了時間 $t_{escape(room)}$ の算出 避難完了時間 $t_{escape(room)}$ は式(6)を用いて算出する。

(4) 避難完了時の発熱速度 Q_f の算出 避難完了時の発熱速度 Q_f は式(2)を用いて算出する。

(5) 避難完了時の煙層上昇温度 ΔT の算出 避難

完了時の煙層上昇温度 ΔT は式(11)を用いて算出する。

(6) 温度判定 式(10)を満足しているか確認する。満足していない場合、(2)の出口通過時間 $t_{pass(room)}$ を0.01分減じて再計算する。

(7) 許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の決定 式(10)を満たす最大の避難完了時間 $t_{escape(room)}$ を許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ とする。

5.2 感度分析

許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は用途、床面積、壁周長、可燃物密度および内装の種類等の条件に応じて算定される。本検討では、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に対して感度の低いパラメータを除外し、できるだけ簡単にすることを目的として、パラメータの感度分析を行う。

5.2.1 前提条件 許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の算出における前提条件を以下に示す。

- (1) 孫室の制限 当該居室は孫室を有さない居室に限る。
- (2) 滞留の制限 避難経路において滞留が発生しないこととする。
- (3) 排煙の扱い 煙層温度の計算に影響しないため排煙は見込まない。

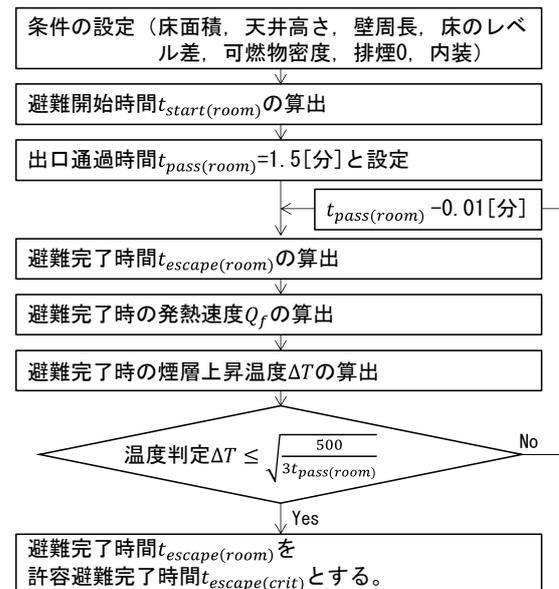


Fig. 4 許容避難完了時間算出のフロー
Flow Chart of the Allowable Evacuation Time's Calculation

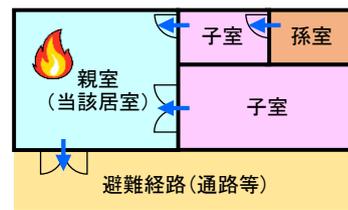


Fig. 5 各室の概要図
Overview Diagram of Each Room

*1: 告示では内装への燃え移りを考慮する場合の式も示しているが、本研究では安全側の検証となるよう式(13)とした。

(4) 居室の室形状 煙層が接する面積 $A_w(room)$ が小さいほど煙層温度は高くなり検証上安全側の評価となるため、煙層が接する面積 $A_w(room)$ の計算において、同じ面積であれば壁周長が最小となる正方形($L_{wall(room)} = 4\sqrt{A_{room}}$)とする。

(5) 床レベル差 居室内に階段がないこととする。

5.2.2 計算条件 当該居室の条件をTable 3に示す。煙層上昇温度 ΔT や許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に影響を与える床面積、壁周長、天井高さ、内装および可燃物密度を変数とする。感度分析の変数は床面積とその他の1項目とし、それ以外の項目は下線部の値で固定した。なお、在室者数や歩行速度は、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に直接影響しないためここでの設定はしない。また、可燃物密度は、実務的な値を用いて、会議室の160MJ/m²と倉庫の2000MJ/m²とした。

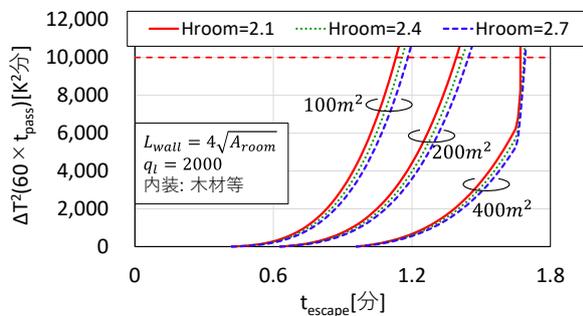
5.2.3 分析結果 変数ごとの分析結果をFig. 6~Fig. 8に示す。(a)には床面積を100, 200, 400m²とした場合の煙層暴露評価の算出結果を示す。許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の判定基準は式(10)に従うが、計算過程が分かりにくいいため、式(10)と同義の式(1)を指標とした。この時、縦軸の値が煙層暴露評価基準値の10,000に到達した時間が許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ となる。また、(b)には床面積毎の許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の算出結果を示す。

Fig. 6は天井高さ H_{room} を変数としたものである。(a)よ

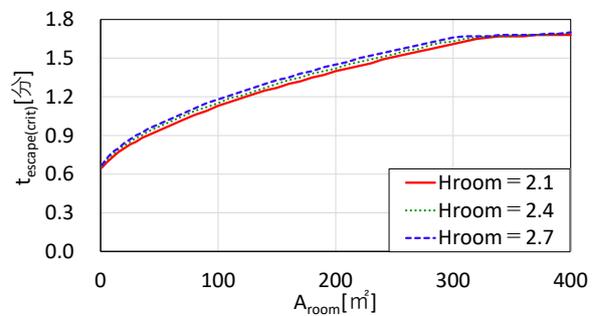
り、天井高さが低いほど煙層暴露評価基準に到達する時間が短くなる。式(11)に示すように、上昇温度 ΔT は発熱速度 Q_f と煙層が接する面積 $A_w(room)$ により与えられるが、天井が低くなると $A_w(room)$ が小さくなり、温度が高くなる。また、煙層上昇温度 ΔT が高くなると式(10)を満足するためには出口通過時間 $t_{pass(room)}$ を短くする必要があるが、結果的に許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ が短くなる。ただし、天井高さを2.1mから2.7mに上げたとしても許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に与える影響は0.06分程度であり、感度は低い。(b)では、床面積が大きくなるほど許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ も長くなるが、床面積が300m²程度で上限値が1.68分となっている。これは、本報では示していないがルートB2に従い計算すると、可燃物密度を2000MJ/m²、内装を木材等にした場合の燃焼抑制時間 $t_m(room)$ は1.68分となり、Table 1で記載した通り、許容

Table 3 居室の条件設定
Setting Room Condition

居室の条件	設定値
床面積 A_{room} [m ²]	1~400
壁周長 $L_{wall(room)}$ [m]	$\gamma\sqrt{A_{room}}$ ($\gamma=4,5,6$)
天井高さ H_{room} [m]	2.1, 2.4, 2.7
床レベル差 h_{room} [m]	0
可燃物密度 q_l [MJ/m ²]	160, <u>2000</u>
有効排煙量 V_e [m ³ /分/m ²]	0
内装仕上げ[-]	準不燃材料, 木材等

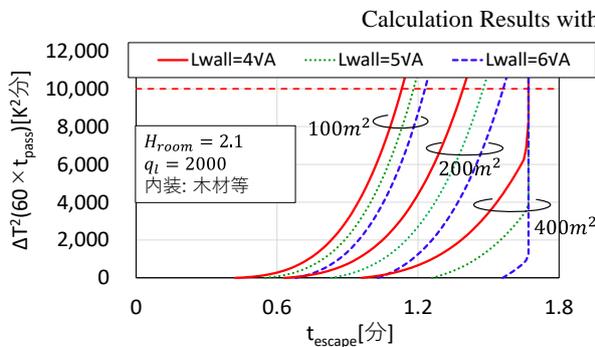


(a)煙層暴露評価の算出結果

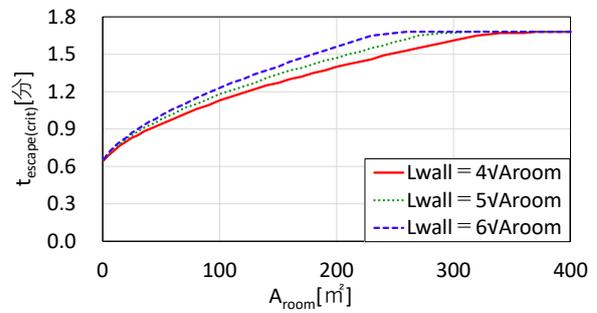


(b)許容避難完了時間の算出結果

Fig. 6 天井高さを変数とした算出結果



(a)煙層暴露評価の算出結果



(b)許容避難完了時間の算出結果

Fig. 7 壁周長を変数とした算出結果

Calculation Results with Wall Perimeter as a Variable

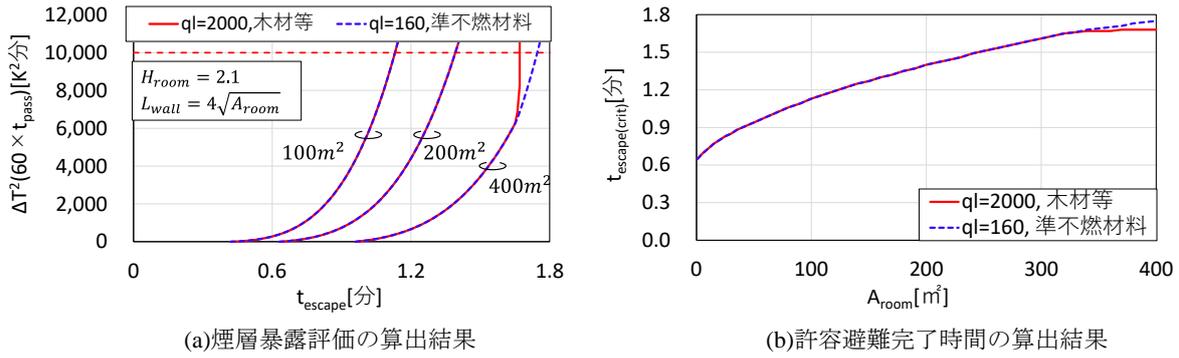


Fig. 8 可燃物密度と内装を変数とした算出結果
Calculation Results with Combustible Density and Interior as a Variable

避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は燃焼抑制時間 $t_m(room)$ を超えることができないためである。Fig. 7は壁周長 $L_{wall(room)}$ を変数としたものである。(a)より、壁周長 $L_{wall(room)}$ が短いほど許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は短くなり、その感度は高いことが分かる。(b)では、 $L_{wall(room)} = 6\sqrt{A_{room}}$ の場合には床面積が250m²程度で許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の上限値1.68分に到達している。

Fig. 8は可燃物密度 q_l および内装仕上げ（以後、内装仕上げ等）を変数としたものである。床面積が300m²以下の範囲では、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は内装仕上げ等に影響しないことが分かる。内装仕上げ等に影響する避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の分岐点は1.67分であるが、これはFig. 2に示す設計火源に依存しており、1.67分以下（5/3分以下）の設計火源は積載可燃物密度や内装仕上げの影響を受けないためである。

6. 簡易検証手法

ここでは、まず、3~5章の検討内容に基づき、簡易検証手法に関わる前提条件を再整理する。その後、限界歩行距離 $l_{room(crit)}$ および必要出口幅 $B_{room(crit)}$ の実務的な算出方法を提案する。さらに、壁周長や出口幅を定めることで判定時の計算を不要とする方法を示す。最後にこれらをまとめ、本簡易検証手法を構築する。

6.1 前提条件の再整理

5章の検討を踏まえ、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の算出時の前提条件に加え、明らかに検証不成立となる条件を簡易検証手法の前提条件に含める。また、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に対して影響のない条件は前提条件から除外する。前提条件を再整理した結果をTable 4、概要図をFig. 9に示す。

(1) 孫室 式(13) に従い避難開始時間 $t_{start(room)}$ を計算するための条件として、当該居室は孫室を有さないことを前提とする（孫室の定義は5.1節参照）。

(2) 床面積 A_{room} Fig. 7(b)によると、計画可能な床面積は、壁周長が $4\sqrt{A_{room}}$ の場合には300m²程度であるが、 $6\sqrt{A_{room}}$ になると250 m²程度となる。本簡易検証

手法は親室に加え、子室がある場合には子室も含めて避難安全性を確かめることから、親室の許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は子室が計画されることも見越して幾分余裕を持って設定した方が実用的である。そこで、床面積の上限を200m²に設定する。

(3) 天井高さ H_{room} Fig. 6によると、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ に対する天井高さの感度は低いことから、天井高さは居室の最低天井高さである2.1m以上とする。

(4) 床レベル差 h_{room} 床レベル差 h_{room} は、避難行動（歩行時間）と煙性状（煙層上昇温度）に関する。避難行動に関して、ルートB2によると、階段とその他の部分とで歩行速度の設定が異なることから、本簡易検証手法は居室内に階段がないことを前提とする。

Table 4 再整理した前提条件
Arrangement of Prerequisites

項目	記号	条件
(1) 孫室	-	孫室なし
(2) 床面積	A_{room}	200m ² 以下
(3) 天井高さ	H_{room}	2.1m以上
(4) 床レベル差	h_{room}	0
(5) 避難経路の廊下幅	$D_{co(room)}$	1.2m以上
(6) 避難経路の出口幅	$B_d(room)$	0.8m以上
(7) 階段幅, 階段踊り場幅	$D_{st(room)}$, $D_{landing(room)}$	1.2m以上

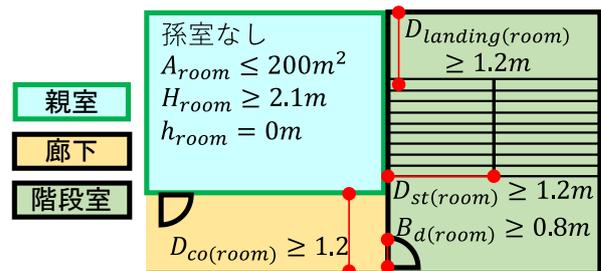


Fig. 9 前提条件の概要図
Overview Diagram of Prerequisites

(5) 避難経路の廊下幅 $D_{co(room)}$ 式(7)に従い出口通過時間 $t_{pass(room)}$ を計算するための条件の一つとして、避難経路の廊下幅 $D_{co(room)}$ が1.2m以上であることを前提とする。

(6) 避難経路の出口幅 $B_d(room)$ 同様に、避難経路の出口幅 $B_d(room)$ が0.8m以上であることを前提とする。

(7) 階段幅 $D_{st(room)}$ および階段踊り場 $D_{landing(room)}$ 同様に、直通階段の階段幅 $D_{st(room)}$ および階段踊り場 $D_{landing(room)}$ が1.2m以上であることを前提とする。

6.2 限界歩行距離および必要出口幅の算出方法等

本簡易検証手法を実行するためには、前提条件の確認に加え、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ 、限界歩行距離 $l_{room(crit)}$ および必要出口幅 $B_{room(crit)}$ の算出が必要である。また、式(7)に従い出口通過時間 $t_{pass(room)}$ を計算するための条件として避難経路で滞留が発生しないことまたは避難経路で滞留が発生しても居室避難に影響しないことの確認が必要である。

(1) 前提条件の確認 当該居室が、Table 4の全ての条件を満たしていることを確認する。

(2) 許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の算出 当該居室の許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を算定するためには、Fig. 4 に示す手順を踏むことが必要であるが、この計算は実務的と言えない。そこで、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ の実務的な計算法を提案する。計算条件は、Table 4に従うこととし、それに記載されていないものはTable 5に示す通り安全側に設定した。なお、Fig. 7に示した通り、避難完了時の煙層上昇温度 ΔT （式(12)参照）および避難開始時間 $t_{start(room)}$ （式(13)参照）の計算において壁周長 $L_{wall(room)} = 4.0\sqrt{A_{room}}$ とした場合に、許容避難完了時間は最も安全側に計算される。Table 4及びTable 5の条件に従い、Fig. 4 の手順で許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ を再計算した結果をFig. 10に示す。Fig. 10より、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ は床面積 A_{room} のみに依存することから、それを包含する式(14)を算定式とする。

$$t_{escape(crit)} = 0.32A_{room}^{0.27} \quad (14)$$

(3) 歩行距離 l_{room} の確認 当該居室の歩行距離 l_{room} が式(8)の右辺に示す限界歩行距離 $l_{room(crit)}$ 以下であることを確認する。

(4) 出口幅 B_{room} の確認 当該居室の出口幅 B_{room} が式(9)の右辺に示す必要出口幅 $B_{room(crit)}$ 以上であることを確認する。

(5) 避難経路の滞留の確認 先に示したように、式(7)に従い出口通過時間 $t_{pass(room)}$ を計算するための条件として、①避難経路で滞留が発生しないこと、または②避難経路で滞留が発生しても居室避難に影響しないことの確認が必要である。

Table 4に示す避難経路の条件 ((5)~(7)) を前提とする場合には、当該居室の出口幅が0.8m以下であれば①の条件を満足する。また、当該居室の出口幅が0.8mを超えたとしても、当該居室の必要出口幅 $B_{room(crit)}$ が0.8m以下

であれば、②の条件を満足することから、後者を条件として加える。

$$B_{room(crit)} \leq 0.8 \quad (15)$$

式(15)を満足しない場合には、避難経路で滞留が発生するため、式(16)に従い、当該居室の在室者数が避難経路の滞留可能人数以下であることを確認する²⁾。避難経路が複数ある場合はそれぞれの総和とする。

$$P_{room} \leq \sum \frac{k_{co}A_{co}}{a_n} \quad (16)$$

ここで、 P_{room} は在室者数[人]、 k_{co} は有効滞留面積率[-]、 A_{co} は滞留可能面積[m²]、 a_n は必要滞留面積[m²/人]である。さらに、有効滞留面積率 k_{co} を安全側に0.5、同様に必要滞留面積 a_n も安全側に0.3と設定し、滞留可能面積 A_{co} について整理すると式(17)を得る。

$$A_{co} \geq 0.6P_{room} \quad (17)$$

6.3 計算を必要としない簡易検証手法

6.2節に従う場合、各居室の条件に応じその都度、許容避難完了時間 $t_{escape(crit)}$ 、限界歩行距離 $l_{room(crit)}$ および必要出口幅 $B_{room(crit)}$ の計算が必要となる。しかし、Table 6に示す様に、壁周長 $L_{wall(room)}$ 、滞留時歩行速度 v_{crowd} および出口幅 B_{room} に条件を加えた場合には、その計算を省略できる。

(1) 子室 当該居室は子室を有さないことを前提とする（子室の定義は5.1節参照）。

(2) 壁周長 $L_{wall(room)}$ 実態調査（詳細は7章に記載）

Table 5 許容避難完了時間に関わる条件設定
Conditions of Allowable Evacuation Completion Time

居室の条件	設定値
壁周長 $L_{wall(room)}$ [m]	$4\sqrt{A_{room}}$
可燃物密度 q_l [MJ/m ²]	2000
有効排煙量 V_e [m ³ /分/m ²]	0
内装仕上げ[-]	木材等

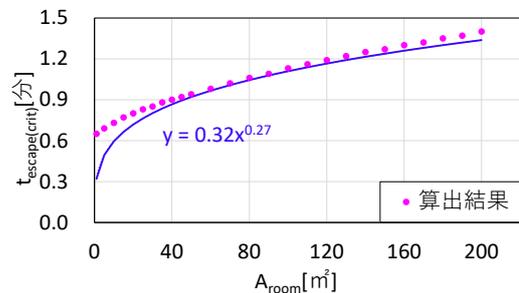


Fig. 10 許容避難完了時間の算出結果
Calculation Result of Allowable Evacuation Completion Time

に基づき壁周長 $L_{wall(room)}$ を $5.0\sqrt{A_{room}}$ 以下とする。

(3) 滞留時歩行速度 v_{crowd} 滞留時歩行速度 v_{crowd} を30m/分（物販店舗等）または39m/分（事務所等）の何れかとする。

(4) 出口幅 B_{room} 当該居室の出口幅 B_{room} を0.7m以上とする。

このように、壁周長 $L_{wall(room)}$ 、滞留時歩行速度 v_{crowd} および出口幅 B_{room} の条件を定めた場合の限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ の算出結果をFig. 11(a)に、在室者数の上限値 $P_{room(cirt)}$ を算出した結果をFig. 11 (b)示す。

Fig. 11(a)の限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ は、床面積 A_{room} 毎に式(14)に従い許容避難完了時間 $t_{escape(cirt)}$ を算出し、式(13)の壁周長 $L_{wall(room)}$ に $5.0\sqrt{A_{room}}$ を代入して避難開始時間 $t_{start(room)}$ を計算した後、滞留時歩行速度 v_{crowd} （30m/分 or 39m/分）に応じ、式(8)の右辺で定義される限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ を算出したものである。なお、子室を有さない親室の歩行距離 l_{room} は $L_{wall(room)}/2$ を超えることはないので、 $l_{room(cirt)} \geq L_{wall(room)}/2$ の場合には無条件で $l_{room} \leq l_{room(cirt)}$ を満足する。従って、滞留時歩行速度 v_{crowd} が30m/分の場合は歩行距離 l_{room} を15m以下（ただし、床面積35㎡以下は確認不要）、39m/分の場合は19m以下（ただし、床面積55㎡以下は確認不要）とすれば式(8)の条件を満たすと言える。

Fig. 11(b)は、本検討では当該居室の出口幅 B_{room} を0.7m以上と設定したため、必要出口幅 $B_{room(cirt)}$ の代わりにの在室者数の上限値 $P_{room(cirt)}$ を算出した結果を示したものである。在室者数の上限値 $P_{room(cirt)}$ は、式(9)の出口幅 B_{room} に0.7mを代入し、在室者数 P_{room} について整理した式(18)の右辺と定義する。

$$P_{room} \leq 63(t_{escape(cirt)} - t_{start(room)}) \quad (18)$$

在室者数 P_{room} は、床面積 A_{room} に在室者密度の最大値の0.7人/㎡（飲食店）²⁾を乗じた人数以上にはならないため、 $P_{room(cirt)} \geq 0.7A_{room}$ の場合には無条件で $P_{room} \leq P_{room(cirt)}$ を満足する。以上より、当該居室の出口幅 B_{room} を0.7m以上とした上で、在室者数 P_{room} が32人以下（ただし、床面積45㎡以下は確認不要）とすれば式(18)の条件を満たすと言える。

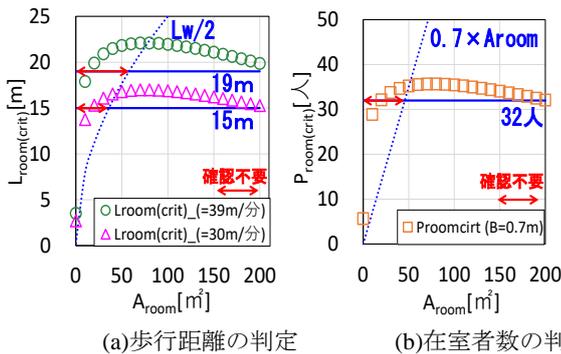


Fig. 11 計算を必要としない条件の算出結果
Calculation Results for Conditions that Do not Require Calculation

6.4 簡易検証フロー

以降では、6.3節で示した簡易検証手法を簡易チェック(1)、6.2節で示した簡易検証手法を簡易チェック(2)とし、本簡易検証手法に基づく設計フローをFig. 12に示す。

Table 6 居室の条件設定
Setting Room Condition

居室の条件	設定値
床面積 $A_{wall(room)}$ [㎡]	1~200
壁周長 $L_{wall(room)}$ [m]	$5\sqrt{A_{room}}$
滞留時歩行速度 v_{crowd} [m/分]	30, 39
出口幅 B_{room} [m]	0.7

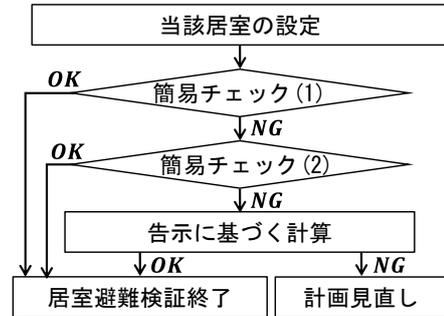


Fig. 12 簡易検証フロー
Flow Chart of Simple Verification Method

Table 7 簡易チェック(1)の確認項目
Confirmation Matters of Simple Check(1)

項目	記号	条件	<input checked="" type="checkbox"/>
前提条件	—	Table 4の確認	<input type="checkbox"/>
子室	—	子室なし	<input type="checkbox"/>
歩行距離	l_{room}	30m/分の場合: 15m以下*2 39m/分の場合: 19m以下*3	<input type="checkbox"/>
出口幅	B_{room} *1	0.7m以上	<input type="checkbox"/>
在室者数	P_{room}	32人以下*4	<input type="checkbox"/>
壁周長	$L_{wall(room)}$	$5.0\sqrt{A_{room}}$ 以下	<input type="checkbox"/>

*1: 出口を複数有する場合は、その内の最小値を設定する。
*2: 床面積が35㎡以下の場合には、歩行距離は確認不要。
*3: 床面積が55㎡以下の場合には、歩行距離は確認不要。
*4: 床面積45㎡以下の場合には在室者は確認不要

Table 8 簡易チェック(2)の確認事項
Confirmation Matters of Simple Check(2)

項目	記号	条件	<input checked="" type="checkbox"/>
前提条件	—	Table 4の確認	<input type="checkbox"/>
歩行距離	l_{room}	限界歩行距離 $l_{room(cirt)}$ 以下*1	<input type="checkbox"/>
出口幅	B_{room}	必要出口幅 $B_{room(cirt)}$ 以上*2	<input type="checkbox"/>
滞留可能面積	A_{co}	$B_{room(cirt)} \leq 0.8$: 確認不要 $B_{room(cirt)} > 0.8$: $0.6P_{room}$ 以上	<input type="checkbox"/>

*1: 式(8)に基づき確認する。 v_{crowd} は文献2)、 $t_{start(room)}$ は式(13)、 $t_{escape(cirt)}$ は式(14)に従う。
*2: 式(9)に基づき確認する。在室者数 P_{room} 算出時の在室者密度は文献2)、 $t_{start(room)}$ は式(13)、 $t_{escape(cirt)}$ は式(14)に従う。

また、6.3節の内容を反映した簡易チェック(1)のチェックシートをTable 7、6.2節の内容を反映した簡易チェック(2)のチェックシートをTable 8に示す。

7. 実態調査に基づく実務適応性の確認

実在する200m²以下の居室の実態調査を行い、その調査結果を基に本簡易検証手法の適用可能な用途等の条件を検討する。

7.1 実在する小規模居室の実態調査

調査した居室の用途は、物販店舗、会議室、飲食店舗、事務室、集合住宅、宿泊施設の6用途（計253室）とし、調査項目は床面積（200 m²以下）、壁周長、歩行距離、出口数とした。Fig. 13(a)に歩行距離、Fig. 13(b)に壁周長を床面積の平方根で除した値 ($L_{wall(room)}/\sqrt{A_{room}}$) の調査結果を示す。

Fig. 13(a)によると、歩行距離は床面積が大きい程歩行距離も伸びる傾向があり、歩行距離は概ね20m以下であることが分かる。

Fig. 13(b)によると、壁周長は概ね $4.0 \sim 5.0\sqrt{A_{room}}$ であることが分かる。 $5.0\sqrt{A_{room}}$ を超えている用途は室形状が複雑な物販店舗や、縦横比の大きい宿泊施設であった。

7.2 簡易チェック(1)の検証結果

実態調査を行った253室について、簡易チェック(1)の各項目（Table 7参照）を確認した。なお、Table 7の前提条件と出口幅は満足しているものとした。Table 7のそれ以外の項目について、項目毎に満たした室数（以後、OK室数）とその割合（充足率）を整理した結果をTable 9に

示す。Table 9より、歩行距離判定の充足率は全ての用途において0.86以上となった。在室者数判定の充足率は、在室者密度が高い物販店舗および飲食店舗において低い結果となった。壁周長判定の充足率は、室形状が複雑な宿泊施設で低かった。全項目で高い充足率を示したのは、会議室(0.98)、事務室(0.86)、集合住宅(0.96)であった。

7.3 簡易チェック(2)の検証結果

簡易チェック(1)の確認でNGとなった居室（75室）について、簡易チェック(2)の各項目（Table 8参照）を確認した。なお、Table 8の前提条件と滞留可能面積は満足しているものとした。また、出口幅は出口数に0.8mを乗じて算出した。歩行距離 l_{room} および出口幅 B_{room} の条件を満たした室数とその割合をTable 10に示す。

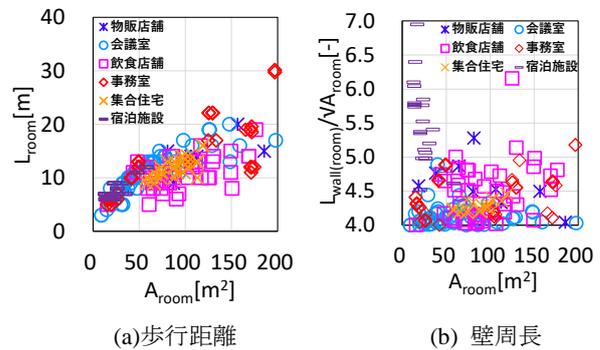


Fig. 13 実態調査の結果
Results of Allowable Fact-finding Investigation

Table 9 簡易チェック(1)の検証結果
Results of Simple Check (1)'s Verification

用途	調査室数	歩行距離判定		在室者数判定		壁周長判定		全項目	
		OK室数	(充足率)	OK室数	(充足率)	OK室数	(充足率)	OK室数	(充足率)
物販店舗	10	9	(0.90)	3	(0.30)	9	(0.90)	3	(0.30)
会議室	62	61	(0.98)	62	(1.0)	62	(1.0)	61	(0.98)
飲食店舗	42	40	(0.95)	4	(0.10)	39	(0.93)	4	(0.10)
事務室	63	54	(0.86)	63	(1.0)	61	(0.97)	54	(0.86)
集合住宅	52	50	(0.96)	52	(1.0)	52	(1.0)	50	(0.96)
宿泊施設	24	24	(1.0)	24	(1.0)	6	(0.25)	6	(0.25)

Table 10 簡易チェック(2)の検証結果
Results of Simple Check (2)'s Verification

用途	調査室数 (簡易チェック(1)で NGとなったもの)	式(8)判定		式(9)判定		全項目	
		OK室数	(充足率)	OK室数	(充足率)	OK室数	(充足率)
物販店舗	7	6	(0.85)	5	(0.71)	4	(0.57)
会議室	1	1	(1.0)	1	(1.0)	1	(1.0)
飲食店舗	38	37	(0.97)	35	(0.92)	35	(0.92)
事務室	9	7	(0.77)	9	(1.0)	7	(0.77)
集合住宅	2	2	(1.0)	2	(1.0)	2	(1.0)
宿泊施設	18	18	(1.0)	18	(1.0)	18	(1.0)

Table 10より、簡易チェック(2)の充足率は物販店舗以外の室用途では、0.77以上の充足率が確認できた。簡易チェック(1)を満たした居室を含めて総じて見ると、一番低い充足率の物販店舗では $0.7=(3+4)/10$ であるが、物販店舗以外の充足率は概ね0.9以上となり、本簡易検証手法の適応性が高いことが分かる。

8. まとめ

本研究では、歩行距離や出口幅など図面から読み取ることができる情報のみでルートB2の居室避難検証の成否を判定することが可能な簡易検証手法を提案した。また、本簡易検証手法の実務適応性を確認するため、実在する小規模居室の実態を調査し、その結果に基づき本簡易検証手法の適応性を確認した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 実務的な居室条件を仮定し、若干の繰り返し計算を伴うが、簡略化した許容避難完了時間の検証方法の提案を行い、各居室条件による影響を把握した。
- 2) 避難安全検証上安全側の評価となる居室条件を想定することで、当該居室の床面積から許容避難完了時間の算出を可能とした。
- 3) 上記の簡易検証方法による試算結果を踏まえて、2つの実務的な簡易検証方法を提案した。
 - ①図面情報のみを用いてチェックシートにより判断する方法(簡易チェック(1))
 - ②上記①に加えて若干の計算を行い判断する方法(簡易チェック(2))

今後の課題と展望を以下にまとめる。

- a)建築確認申請において、本手法を用い居室避難検証（ルートB2）に係る計算書等を省略するためには、行政庁の建築主事又は民間企業の指定確認検査機関による確認が必要である。
- b)本報では、温度判定のみを用い許容避難完了時間を

算出したが、煙層下端高さ判定も考慮することができれば、床面積の上限値（現状200㎡）の見直し、天井高さに対する感度の向上が見込まれる。

- c)BIMと連携することで、自動判定を可能とする。
- d)本研究に関する簡易計算シート等を作成し設計者へ普及することで、当社の避難安全検証能力の向上を図る。
- e)本簡易検証手法の考えに基づき、階避難²⁾および全館避難⁸⁾の簡易検証手法を提案する。

参考文献

- 1) 国土交通省: 階からの避難に要する時間に基づく階避難安全検証法に関する算出方法等を定める件, 2020年国土交通省告示第510号, 2020.4
- 2) 国土交通省: 火災により生じた煙又はガスの高さに基づく階避難安全検証法に関する算出方法等を定める件, 2021年国土交通省告示第475号, 2021.5
- 3) 国土交通省: 建築基準法施行令の一部を改正する政令, 2023年政令第34号, 2023.4
- 4) 日本建築センター: 避難安全性能評価業務方法書, p.4, 2021.6
- 5) 山口純一, 他: 新しい避難安全検証手法の開発 その7 設計火源, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 293-294, 2020.9
- 6) 池島由華, 他: 店舗の歩行距離及び出口幅に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, pp. 443-451, 2012.6
- 7) 山口純一: 「あらかじめの検討」に基づく避難安全検証の店舗等への適用, 大林組技術研究所報, No.81, 2017
- 8) 国土交通省: 火災により生じた煙又はガスの高さに基づく全館避難安全検証法に関する算出方法等を定める件, 2021年国土交通省告示第476号, 2021.