

What is an effective measure for fire evacuation?

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-08-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 青山, 広輝, 須川, 栞, 渡辺, 知規 メールアドレス: 所属:
URL	https://mu.repo.nii.ac.jp/records/1085

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには

何をすればよいのか？

— 建物火災の場合 —

What is an effective measure for fire evacuation ?

青山 広輝¹, 須川 栞¹, 渡辺 知規²
Koki Aoyama, Shiori Sugawa, Tomonori Watanabe

概要

本研究では、建物火災時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすために実効性のある対策として、リーダーの養成を提案する。建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより数理的に解析をした。これにより、避難行動を効果のあるものにするための要因と手だて、実効性のある避難を実現するためのリーダーの要件とリーダーがもたらす効果を明らかにした。主たる結果として、リーダーの要件は非常にわずかであり、それにもかかわらずそのようなリーダーを居住者の中に適切に配置しておくことが、建物火災時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすために有効であることが明らかとなった。

1 諸言

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？現在行われている代表的な取り組みとして、平常時の避難訓練や防災意識向上に向けた啓蒙活動などがある。これらは大変重要ではある一方で、犠牲者がなくなるという現実を目前にすると、効果には限界があることも認めざるを得ない[1,2]。その要因のひとつとしては、たとえば、現実の災害時には、迅速な避難の重要性を認識しているにもかかわらず、緊急事態下にあっても、「自分が被害にあうはずはない」と緊急事態ではないと主観的に判断してしまうなどの心理的なバイアスが生じ、これが適切な避難行動を妨げる要因になることが指摘されている[3-6]。それゆえ、このような心理的要因が避難行動に及ぼす影響についての研究がこれまでなされてきている[3-6]。

¹ 武蔵野大学工学部数理工学科

² 武蔵野大学数理工学センター員/武蔵野大学工学部数理工学科教授

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

では、これらを踏まえ、より現実的な問いとして、避難行動に影響を及ぼす心理的要因が避難者に存在することを認めたいうえで、効果的な避難を実現するにはどのような対策をとればよいのだろうか？本研究では、この問いに対し「リーダーの養成」を提案する。ここでリーダーとは、災害時に適切な避難行動を先導する役割を担ったものとする。リーダーは、同じ建物内の居住者たちなど当該コミュニティのなかから選出され、事前に遂行すべき避難行動についての教育を受け、災害時にはその教育内容を確実に実行するものとする。本来は、コミュニティの構成員全員が事前に避難方法等についての教育を受け、災害時には全員が適切な避難行動がとれるように徹底することが望ましい。しかし、これは、上記の心理的バイアスなどもあり、実現性は薄いと考えられる。それゆえ、コミュニティのなかから確実に任務を遂行してくれる数名を選出して教育をすることが現実的であると推察される。

では、このようなリーダーにはどのような教育を行えば、効果的な避難が実現されるのであろうか？災害時に適切な避難行動を先導する役割とはいえ、緊急時にリーダーを危険にさらすような行動を強要したり、過度の負担を強いたりするようなことは非現実的である。また、リーダーの人数や配置はどのようにすればよいのであろうか？そこで、本研究では、建物火災時に、まず、避難行動を効果のあるものにするための要因と手だてについて明らかにしたうえで、避難時間を短縮し、犠牲者を減らすために、リーダーがとるべき行動など、リーダーの要件とリーダーがもたらす効果について明らかにすることを目的とする。そのために、建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより解析をした。

2 数値解析

2.1 解析方法

本研究での数値解析における方法等は建物火災における先行研究[5-7]に依拠し、特に、数値解析遂行上の具体的な条件設定等は先行研究[6]に多くをおっている。（下記，2.2.1での建物の条件と2.4でのリーダーの条件を除いては比較のために先行研究[6]と同一条件とし、予備的に、先行研究[6]での結果と比較をすることにより本研究でのシミュレーション結果の妥当性を確認した。）マルチエージェントシミュレーションには、*artisoc 4.0 standard*（（株）構造計画研究所）を用いた（詳細については先行研究[5, 6]およびこれらの参考文献等に譲る）。なお、数値解析における空間と時間は離散的なものとし、空間は一辺が0.75mの正方格子の格子点上を対象とし、時間は1ステップが1.5sに対応するものとした。

2.2 解析条件

2.2.1 対象とした建物と居住者

本研究にて対象とする建物は、先行研究[5, 6]を参考にして、地上4階建ての共同住宅とした。（先行研究[6]では特定の学生宿舎を模しているため、建物は鉤の手に曲がった廊下を有する構造となっているが、本研究では汎用性をもたせるために、下記図1でも

示すとおり、廊下は一直線とし、その廊下の両側に居室等が並ぶ構造とした。なお、この変更が結果に本質的な影響を及ぼさないことを先行研究[6]の結果と比較することにより予備的に確認をした。)各階には、階段と共有スペース、ならびに、ひとつが 3.75m × 1.50m の広さの一人用の居室が幅 2.25m の廊下を挟んで並んで配置され、建物出口は 1 階に二箇所あるものとした。各階の平面図を図 1 に示す。居住者は、各階に 30 人ずつ、合計 120 人とした。居住者は、通常 1 ステップに 1.50m 移動できるものとした。

2.2.2 火災発生と煙の拡散

火災発生と煙の拡散についての条件も上述のとおり先行研究[6]に従った。すなわち、火災は、第ゼロステップ目に発生するものとし、発生場所は、1 階左側上(図 1 中の赤三角印)とした。火は 1 ステップあたり、10%の確率で周囲に燃え広がるとした。火からは煙が発生し、煙は 1 ステップあたり 0.75m の速さで周囲に拡散するものとする。煙には、白煙と黒煙の二種類があるものとし、まず白煙が出火場所から発生し、発生後 30 ステップ経過した白煙から順次黒煙に変化するものとした。居住者は、火および黒煙の中を通過することはできず、火と黒煙および壁に囲まれることによって避難不能者になるものとした。

2.2.3 避難行動に影響を及ぼす心理的要因に基づく居住者の振舞い

火災発生後、居住者は、避難行動に影響を及ぼす心理的要因に基づいて、通常避難、正常性、同調性、および、愛他性の 4 種類のいずれかの振舞いをするものとする。

通常避難の振舞いは、火災発生時に、1 階の建物出口を目指して避難行動をとるものとする。当初は自らがいる位置からもっとも近い建物出口を目標とするが、行く手をはばむ火や黒煙を感知した場合、別の建物出口に目標を変更する。なお、火や黒煙の感知については、先行研究[6]にならい、組み込み関数の変数「視野」を用い、先行研究[6]と同一条件として、火は視野 1、黒煙は視野 2 で感知するものとした。

正常性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動しても、避難行動を起こさず居室に居残る。正常性は、自らの近くに白煙もしくは愛他性の存在を感知することによって、避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いに変化する。なお、視野については、先行研究[6]と同一条件として、白煙は視野 10、愛他性の存在は視野 7 で感知するものとした。

同調性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動すると、居室からはすみやかに出るが廊下にて居残る。同調性は、自らの近くに白煙、通常避難、および、愛他性の存在を感知することによって、避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いに変化する。なお、視野については、先行研究[6]と同一条件として、白煙は視野 10、通常避難の存在は視野 2、および、愛他性の存在は視野 7 で感知するものとした。

愛他性の振舞いは、火災発生と同時に非常ベルが鳴動すると、すみやかに避難行動を開始し、通常避難と同様の振舞いを行う。これに加えて、愛他性は、周囲に火災発生を大声で知らせながら(視野 7 で周囲に存在を知らせながら)避難を行う。

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

なお，数値解析では，通常避難，正常性，同調性，および，愛他性の4種類は，あらかじめ定めた正常性確率，同調性確率，および，愛他性確率によって，居住者の中から割り当てるものとした．

2.2.4 避難過程

建物では，第ゼロステップ目に，火災が発生し，同時に非常ベルが鳴動する．このとき，あらかじめ定められた正常性確率によって，居住者の中から正常性が割り当てられる．つぎに，居住者の中から正常性とならなかったものは廊下に出るが，第4ステップ目に，あらかじめ定められた同調性確率と愛他性確率によって，同調性，愛他性および通常避難が割り当てられ，それぞれの振舞いを開始する．数値解析では，居住者の全員に対して，1階の出口に到達したか，もしくは，避難不能者になったかのいずれかが判明した時点で1回のシミュレーションを終えるものとした．

2.3 リーダーを配置しない場合の避難行動の解析

シミュレーションでは，正常性確率，同調性確率，愛他性確率のそれぞれを固定したひとつの組みをひとつの条件とし，各確率を変えたいくつかの組み合わせに対して，シミュレーションが終了したときの終了ステップ数と避難不能者数を測定した．特に断りが無い限り，シミュレーションは，ひとつの条件下で100回行い，その平均を計算することにより，平均終了ステップ数と平均避難不能者数を算出した．

まず，基本的特性として，火災発生時の居住者の振舞いごとの特徴を明らかにするために，正常性確率，同調性確率，愛他性確率のいずれかひとつのみを100%とし，残りを0%とした場合について解析を行った．つぎに，正常性確率を10%，および，30%とした場合のそれぞれについて，同調性確率と愛他性確率を変化させてシミュレーションを行った．

2.4 リーダーを配置した場合の避難行動の解析

リーダーは，居住場所と火災発生時の居住階における避難経路，および，この二つの条件を除いて他は愛他性と同様に振舞うことが事前教育によって定められているものとする．したがって，リーダーは，愛他性と同じ視野7で周囲に存在を知らしめるものとする．リーダーの具体的な配置と避難経路としては，本論文では，図2に示す通り，タイプ1，タイプ2，および，タイプ3の三種類を設定し，タイプはすべての階で同じとした．各タイプの特徴としては，まず，タイプ1では，ひとつの階にリーダーを4人配置し，リーダーが手分けをして，同一階のすべての居室前を避難時に通過する．つぎに，タイプ2では，ひとつの階にリーダーを2人配置し，リーダーが避難する際に同一階で前を通過しない居室が一部存在する．最後に，タイプ3では，ひとつの階にリーダーを2人配置し，リーダーが避難する際に同一階ですべての居室前を通過する．ただし，各リーダーの避難経路はタイプ3の場合のほうがタイプ1の場合より長くなる．このように上記のとおりリーダーは避難時において居住階での避難経路が指定されている以外は，愛他性と同様の避難行動をとるものとする．

リーダーを配置した場合の避難行動の解析としては、タイプ 1~3 の三種類のタイプについて、正常性確率を 10%、および、30%とした場合のそれぞれについて、同調性確率と愛他性確率を変化させてシミュレーションを行った。

3 結果と考察

3.1 避難行動を効果のあるものにするための要因と手だて

本節では、次節以降にてリーダーの要件と効果を明らかにすることに先立って、もともとリーダーが存在しない状況を考え、この状況下で、本来、本研究での避難において避難行動を効果のあるものにするための要因は何か、そして、効果的な避難行動を実現するための手だてを明らかにする。

基本的特性として、火災発生時の居住者の振舞いごとの特徴を明らかにするために、正常性確率、同調性確率、愛他性確率のいずれかひとつのみを 100%とし、残りを 0%とした場合についての平均終了ステップ数と平均避難不能者数を表 1 に示す。表から、平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに、愛他性、同調性、正常性の順に大きくなることがわかる。愛他性は、同調性と正常性に比べて、非常ベル鳴動後にただちに避難を開始するという特徴がある。一方、同調性は非常ベル鳴動後に廊下には出るものの、周囲に避難を促すものがない場合には、その場に居残ることとなる。また、正常性は非常ベル鳴動後もその性質上居室内に居残る。このような同調性と正常性のそれぞれによる「居残り」は、本解析条件の場合、煙の感知をきっかけとして、避難へと遷移することになる。正常性は同調性と比べて、廊下ではなく居室に居残っていたために、煙の感知の遅れや移動距離の多さなどから平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに多い結果となる。

以上のことから、本研究における避難の要点として次の二つのことがわかる。第一に、避難を効果のあるものにするためには初動が大変重要であるということである。特に、愛他性の結果が示しているとおおり、避難者全員が非常ベル鳴動後にただちに避難を開始することが避難時間の短縮と避難不能者数の減少につながるということがわかる。

第二に、「居残り」には、正常性によってもたらされるものに加え、同調性が集まることによってもたらされるものの二種類があり、この「居残り」が避難開始時刻を遅らせ、避難に要する時間を大きくし、避難を困難なものにする可能性を高めているということである。したがって、避難を効果のあるものにするための支配要因は二種類の「居残り」であり、「居残り」をいかに減らすか、そして、「居残り」をいかにすみやかに避難へと導くか、が重要であることがわかる。

これらのことから、効果的な避難行動としては、初動として、非常ベル鳴動後にただちに避難を開始することに加え、「居残り」に対して早期避難を促すことが大切であることがわかる。

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

3.2 リーダーの要件

前節では、本研究での避難においては、早期避難を促すことが大切であることが明らかとなった。これを踏まえ、本節では、リーダーに求められる要件、すなわち、リーダーの養成において何を教育し、建物火災時にどのようにリーダーに振舞ってもらえばよいのかを明らかにする。

正常性確率を 10%、および、30%とした場合のそれぞれについて、同調性確率と愛他性確率を変化させてシミュレーションを行った時の平均終了ステップ数と平均避難不能者数の結果について、リーダー無しの場合を図 3 と図 4 に、リーダー有りの場合で、タイプ 1 を図 5 と図 6、タイプ 2 を図 7 と図 8、タイプ 3 を図 9 と図 10 に示す。

まず、リーダー無しの結果（図 3 と図 4）とリーダー有りの結果（図 5 から図 10）を比較すると、タイプ 1~3 のいずれにおいても、居住者の振舞いの違いにかかわらず、平均終了ステップ数と平均避難不能者数が大幅に低くなっていることがわかる。このことから、リーダーは、平均終了ステップ数と平均避難不能者数を減らすことに効果があるということがわかる。さらに、他の居住者に対する働きかけは、本解析では、周囲に火災発生を大声で知らせながら避難を行うという愛他性と同程度のものしかリーダーには設定していないため、特段の働きかけをリーダーに要求しなくても、言い換えると、リーダーは避難する姿を知らしめるだけで効果的な避難を促すことが可能であることがわかる。

つぎに、タイプ 2 とタイプ 1 および 3 とを比較すると、タイプ 2 は、居住者の振舞いの違いにかかわらず、各確率を固定した同一条件のもとでは平均終了ステップ数と平均避難不能者数が他の二つのものに比べて大きくなっていることがわかる。タイプ 2 の特徴は、他のものと比べて、同じ建物内でリーダーが立ち寄らない箇所があるということであった。したがって、これらのことから、平均終了ステップ数と平均避難不能者数を減らすためには、リーダーは、居住者全員に避難を促す必要があることがわかる。

最後に、タイプ 1 とタイプ 3 とを比較すると、タイプ 1 は、居住者の振舞いの違いにかかわらず、平均終了ステップ数と平均避難不能者数がタイプ 3 と比べて小さくなっていることがわかる。タイプ 1 の特徴は、タイプ 3 と比べてリーダーの数が多く、各リーダーが避難に要する移動距離も短い。これは、タイプ 3 と比べてタイプ 1 のほうが非常ベル鳴動後に短時間で居住者全員に避難を促すことができるということを意味する。さらに、前節の結果として、早期避難を促すことが大切であることが明らかとなった。したがって、これらのことから、リーダーの配置場所と人数は、早期避難を促進できるように各リーダーが避難に要する移動距離を短くするように適切に決めればよいことがわかる。

以上をまとめると、リーダーの要件として、リーダーは手分けをして同じ階の居住者全員にリーダーが避難する姿を知らしめるだけでよいということがわかる。また特に注目すべきは、リーダーの要件は非常にわずかであるということである。これはリーダーにとって過度な負担ともならず確実に任務を遂行可能なものにするために重要であり、また、リーダーを養成する上においても教育内容が簡明であることは望ましいことであると考えられる。

3.3 リーダーの効果

前節では、本研究での避難において、早期避難を促し効果のある避難を実現するためのリーダーがなすべき振舞いについて明らかにした。本節では、このリーダーの振舞いにより、実際にどのような効果が得られるのかを明らかにする。そのために、前節に引きつづき、リーダー無しの結果（図3と図4）とリーダー有りの結果（図5から図10）を詳細に比較することで、リーダーがもたらす効果を具体的に明らかにする。

まず、同調性確率に対する平均終了ステップ数と平均避難不能者数の全体的な傾向に着目する。リーダー無しの結果（図3と図4）とリーダー有りの結果（図5から図10）を比較すると、同調性確率のみならず、正常性確率、および、愛他性確率がいずれの場合においても、各確率を固定した同一条件のもとでは平均終了ステップ数と平均避難不能者数は、リーダー無しの場合よりリーダー有りの場合のほうが減少することがわかる。これは、リーダーが存在することによって、居住者の振舞いの違いにかかわらず、平均終了ステップ数と平均避難不能者数が確実に減少することを意味している。したがって、リーダーを置くことは、どのような心理的要因に基づく振舞いをする居住者がいたとしても確実に効果を発揮できる堅牢性に優れた対策であることがわかる。

実際に、たとえば、正常性確率 30%、同調性確率 40%、愛他性確率 20%としたときのリーダー無しの場合とリーダー有りの場合の結果を比較すると、平均終了ステップ数では、リーダー無しの場合が 104.5 ステップである一方で、リーダー有りの場合はタイプ 1 において 26.9 ステップとなり、リーダー無しの場合よりリーダー有りの場合のほうが約 0.26 倍、すなわち約 1/4 倍にまで小さくなっており、リーダーが存在することによって迅速な避難が実現されていることがわかる。また、平均避難不能者数においては、リーダー無しの場合が 11.1 人である一方で、リーダー有りの場合はゼロ人となり、リーダー無しの場合よりリーダー有りの場合のほうが平均避難不能者数を減少させることにおいても顕著な効果があることがわかる。

つぎに、正常性確率の違いに着目をする。リーダー無しの場合、正常性確率 30%の結果（図4）と正常性確率 10%の結果（図3）を比較すると、同調性確率と愛他性確率のそれぞれを同じにした条件のもとでは、正常性確率 30%の場合のほうが正常性確率 10%の場合に比べて、平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに大きくなっている。これは、上述のとおり、正常性は「居残り」を生じさせるため、効果的な避難の阻害要因のひとつになっていることに起因する。一方、これに対して、リーダー有りの場合では、正常性確率 30%の結果と正常性確率 10%の結果を比較すると、いずれのタイプにおいても、同調性確率と愛他性確率のそれぞれを同じにした条件のもとでは、平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに正常性確率が違うにもかかわらず概してリーダー無しの場合ほどの差はなく同程度の結果となった。このことは、リーダーは、正常性として振舞う居住者の数によらずに「居残り」を減らし、平均終了ステップ数と平均避難不能者数のそれぞれを同水準にまで下げる働きがあると考えられる。またこのことは、平均終了ステップ数と平均避難不能者数が下がる大きさから考えると、平均終了ステップ数と平均避難不能者数はいずれも正常性確率 30%の場合のほうが正常性確率 10%の場

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）
合に比べて大きく下がることを意味し，正常性確率が高いほどリーダーの存在が効果的に働いていることがわかる．よって，リーダーは，正常性に避難を促して「居残り」を減らすことに有効であり，特に，正常性確率が高くなるほどリーダーの有効性が顕著になることがわかる．

最後に，愛他性確率の違いに着目をする．正常性確率と同調性確率を一定にした時には，リーダー無しの場合（図3と図4）では，平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに，愛他性確率の違いによって異なる値となる．すなわち，愛他性確率の違いによって平均終了ステップ数と平均避難不能者数の値には幅があることがわかる．この幅の大きさについて，リーダー無しの場合とリーダー有りの場合とを比較すると，タイプ2（図7と図8）の場合では，リーダー無しの場合に比べて幅の大きさにあまり違いがみられなかったのに対し，タイプ1（図5と図6）とタイプ3（図9と図10）の場合では，愛他性確率の違いによる幅はほぼ無く，平均終了ステップ数と平均避難不能者数が愛他性確率に依らないことがわかる．上述のとおり，効果的な避難を阻害する要因である二種類の「居残り」のいずれに対しても，早期避難を促すことが必要となるが，リーダーがいない場合，その役割の一端を愛他性が担うことになっていた．タイプ2では，リーダーの避難経路に起因してリーダーは一部の「居残り」に避難を促すことができず，この「居残り」の避難は愛他性の存在に大きく依存することになる．それゆえに，リーダーが存在するタイプ2の場合であっても，リーダーがいない場合と同様に，正常性確率と同調性確率を一定にした時の平均終了ステップ数と平均避難不能者数はともに，愛他性確率に依存して異なる値になったと考えられる．一方，タイプ1とタイプ3の場合では，平均終了ステップ数と平均避難不能者数が愛他性確率に依存しないということは，避難時に自然発生的な愛他性の存在に依存しなくても，リーダーが存在することで二種類のいずれの「居残り」に対しても避難を促し，早期の避難が実現できるということを意味していると考えられる．

以上をまとめると，リーダーを居住者の中に適切に配置しておくことは，どのような心理的要因に基づく振舞いをする居住者に対しても建物火災時に早期避難を促し確実に効果のある避難を実現する堅牢性に優れた対策であり，避難時間を短縮し犠牲者をなくすために有効であることが明らかとなった．

4 結言

本研究では，建物火災時に避難行動に影響を及ぼす心理的要因を考慮に入れた避難者の行動をマルチエージェントシミュレーションにより解析をし，考察を行った．以下に得られた主な結果を示す．

- (1) 避難行動を効果のあるものにするための支配的要因と手だてを明らかにした．すなわち，避難においては，初動が大変重要であり，いかに早期避難を促すのかということが大切であることを数理的解析によって明らかにした．

- (2) 実効性のある避難を実現するためのリーダーの要件を明らかにした。すなわち、リーダーは手分けをして同じ階の居住者全員にリーダーが避難する姿を知らしめるだけでよく、リーダーの要件は非常にわずかである。
- (3) リーダーがもたらす効果を明らかにした。すなわち、リーダーを居住者の中に適切に配置しておくことは、どのような心理的要因に基づく振舞いをする居住者に対しても建物火災時に早期避難を促し確実に効果のある避難を実現する堅牢性に優れた対策である。したがって、リーダーを適切に配置することは、避難時間を短縮し犠牲者をなくすために有効である。

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？現在行われている平常時の避難訓練や防災意識向上に向けた啓蒙活動などは重要ではある。しかし、これらには限界がある。それゆえ、本研究では、上記の結果を踏まえて、早期避難を促し、実効性のある避難を実現するために

「あらかじめリーダーを養成し適切に配置すること」

を結論としてあらためて提案する。いいかえると、リーダーの要件は非常にわずかであるにもかかわらず、数名のリーダーを各階にあらかじめ配置し、火災時に本研究で示した適切な行動をとるように教育をしておくことが、避難時間を短縮し犠牲者をなくすために有効であるということである。

本研究の結果は、建物火災時の限定されたものではあるが、リーダー養成の提案やいくつかの結果は、今後、様々な災害に対して実効性のある対策を講じていくうえで非常に重要なことを示唆しているものと考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K06951 の助成を受けたものである。感謝の意を表す。

参考文献

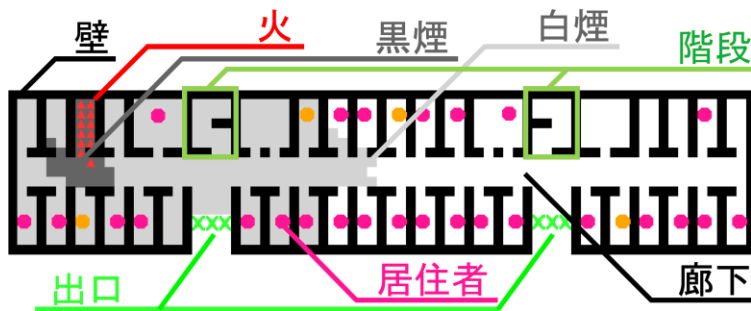
- [1] 気象庁，“災害時地震・津波速報 平成 23 年(2011 年) 東北地方太平洋沖地震”，災害時自然現象報告書，第 1 号，(2011)，pp.1-224.
- [2] weathernews，“東日本大震災 津波調査（調査結果）”，pp.1-12.
- [3] 近田洋輔，原山美知子，“被災者の心理に基づく津波避難シミュレーション”，情報処理学会研究報告—情報システムと社会環境研究報告，(2013)，pp.1-8.
- [4] 皆川勝，中村遼太，高橋翔天，“極低頻度の災害に対する避難行動の社会心理学的な考察”，土木学会論文集 F6(安全問題)，Vol.71，No.2，(2015)，pp.I_191-I_198.
- [5] 土方孝将，香川涼亮，成田洋平，諫山圭司，東小菌郁真，谷中峻輔，“心理的要因に着目した建物火災避難動的評価—筑波大学学生宿舎を対象に—”，地域安全学会概要集，No.36，(2015)，pp.157-160.

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

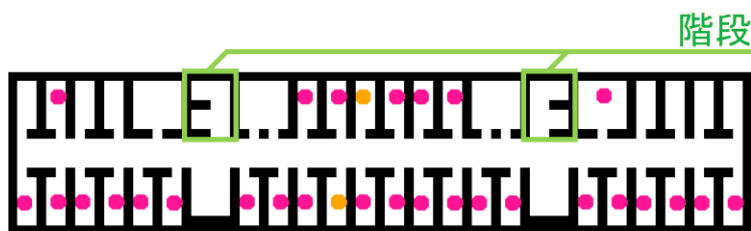
[6] 諫早圭司，久保大輝，佐藤優希，柴田智香子，東小菌郁真，谷中峻輔，香川涼亮，成田洋平，土方孝将，“建物火災時の避難行動に心理的要因が与える影響－正常性バイアス，集団同調性，愛他的行動に着目して－”，MAS コミュニティ，MAS カンファレンス 2015 第 15 回 MAS コンペティション．特に，本研究でのシミュレーション遂行にあたっては，2019 年 2 月 9 日現在，

http://mas.kke.co.jp/event/mas_competition15/modelfile/5.zip 内にあるファイル：“建物火災時の避難行動に心理的要因が与える影響_論文.pdf” の内容にもとづき，ソースコード：“モデル_第 15 回 MAS コンペ_筑波大学戦略的思考 artisoc 班 2_正常性 10.model” を参考にした．

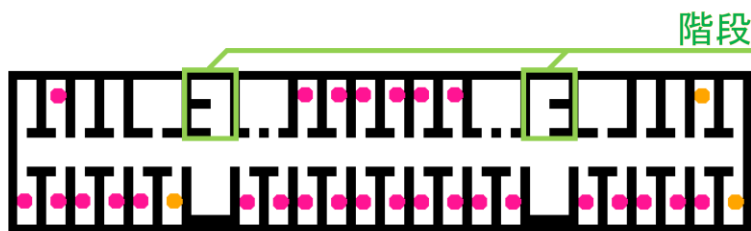
[7] 神忠久，“生死を分ける避難の知恵－その 1 火災避難時の基礎知識－”，日本照明工業会照明工業会報 No8，(2014)，pp.65-69.



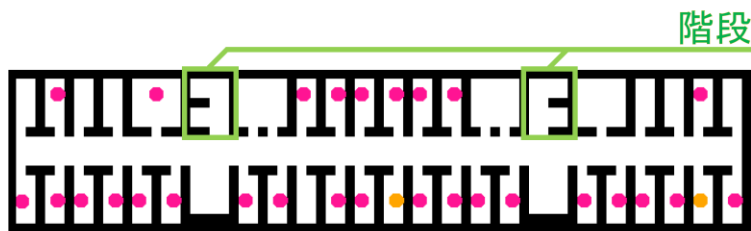
(a) 1階



(b) 2階



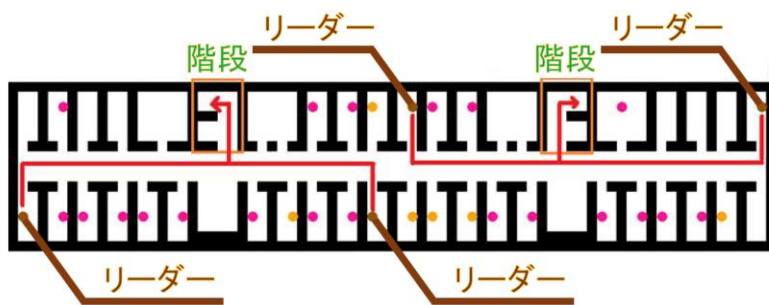
(c) 3階



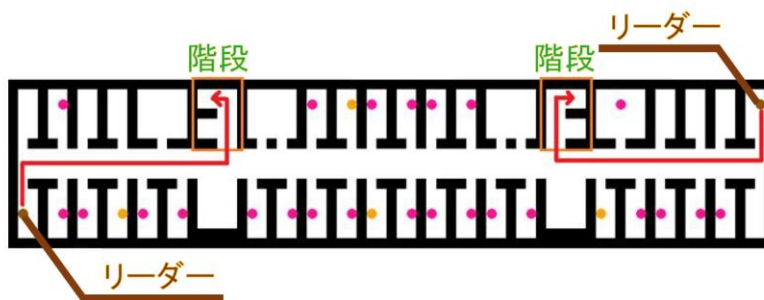
(d) 4階

図1 建物平面図と居住者の初期配置ならびに火災発生場所

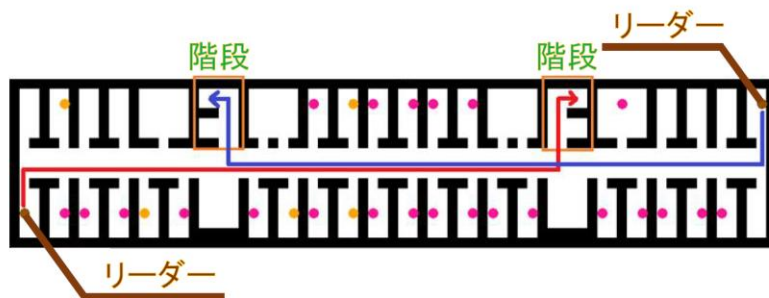
災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）



(a) タイプ1



(b) タイプ2



(c) タイプ3

図2 リーダーの配置と居住階のみで事前に指定されたリーダーの避難経路

表1 火災発生時の居住者の振り舞いごとの平均終了ステップ数と平均避難不能者数. 正常性 100% : (正常性確率, 同調性確率, 愛他性確率) = (100%, 0%, 0%), 同調性 100% : (正常性確率, 同調性確率, 愛他性確率) = (0%, 100%, 0%), 愛他性 100% : (正常性確率, 同調性確率, 愛他性確率) = (0%, 0%, 100%).

	平均終了ステップ数[ステップ]	平均避難不能者数[人]
正常性 100%	104.0	32.1
同調性 100%	98.1	21.6
愛他性 100%	27.0	0.0

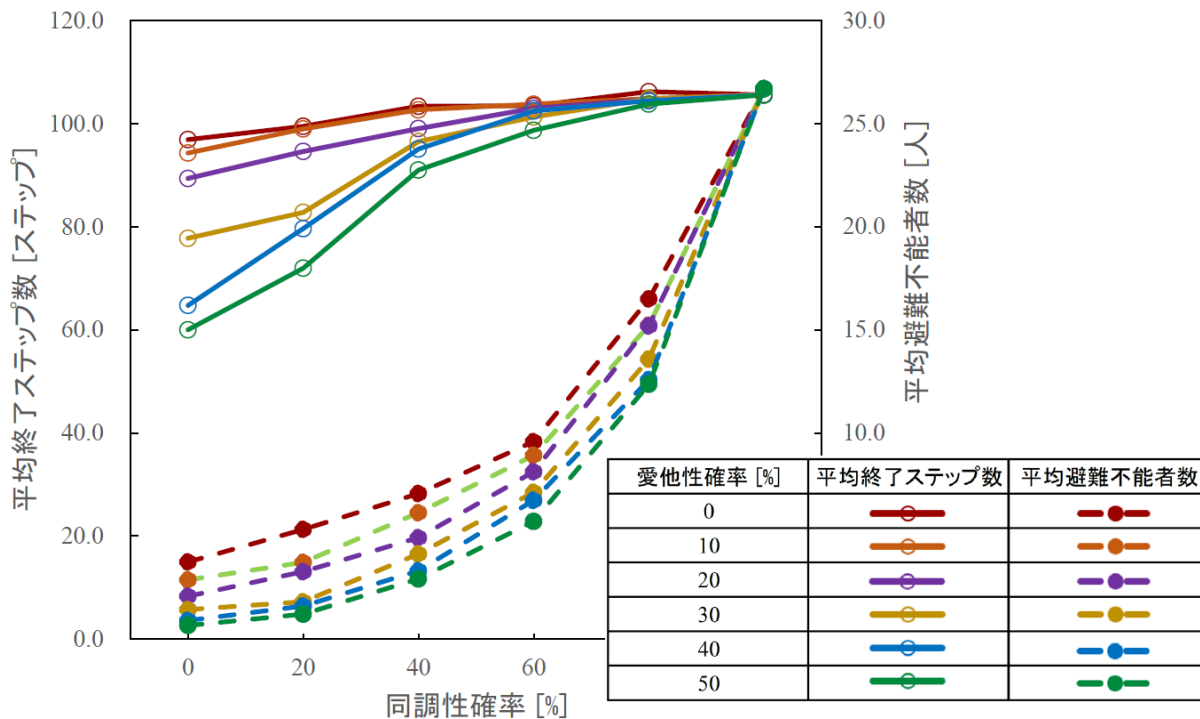


図3 リーダー無しで正常性確率 10%の場合

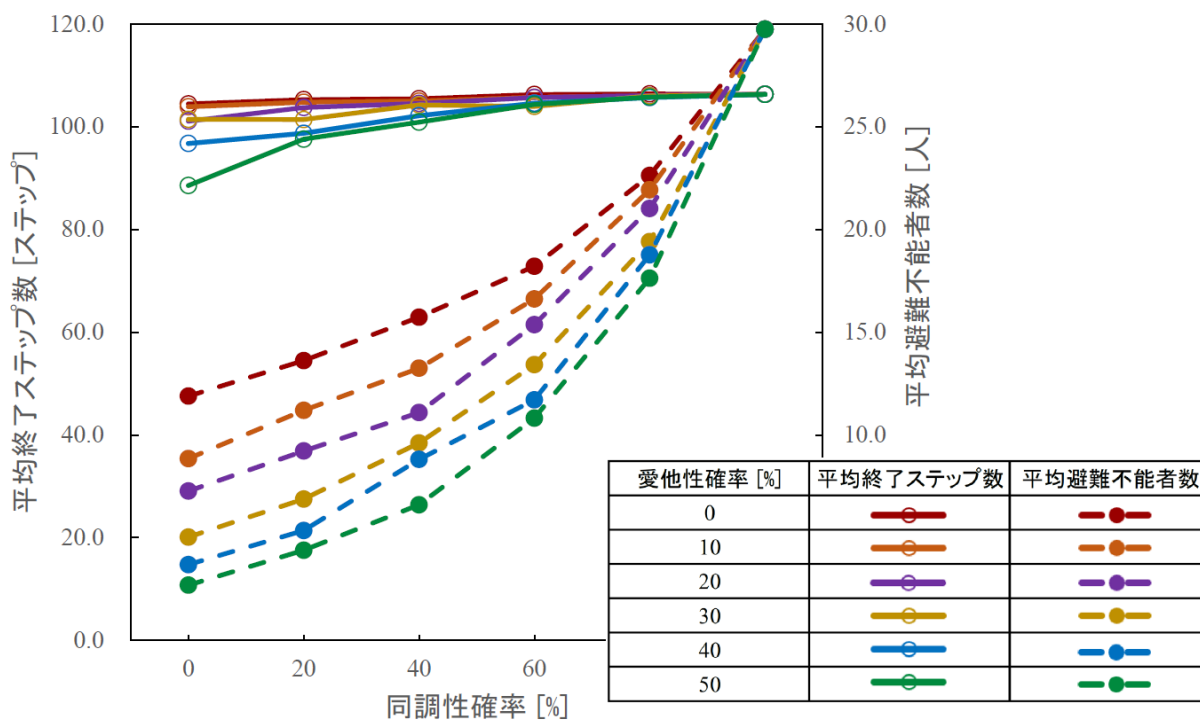


図4 リーダー無しで正常性確率 30%の場合

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

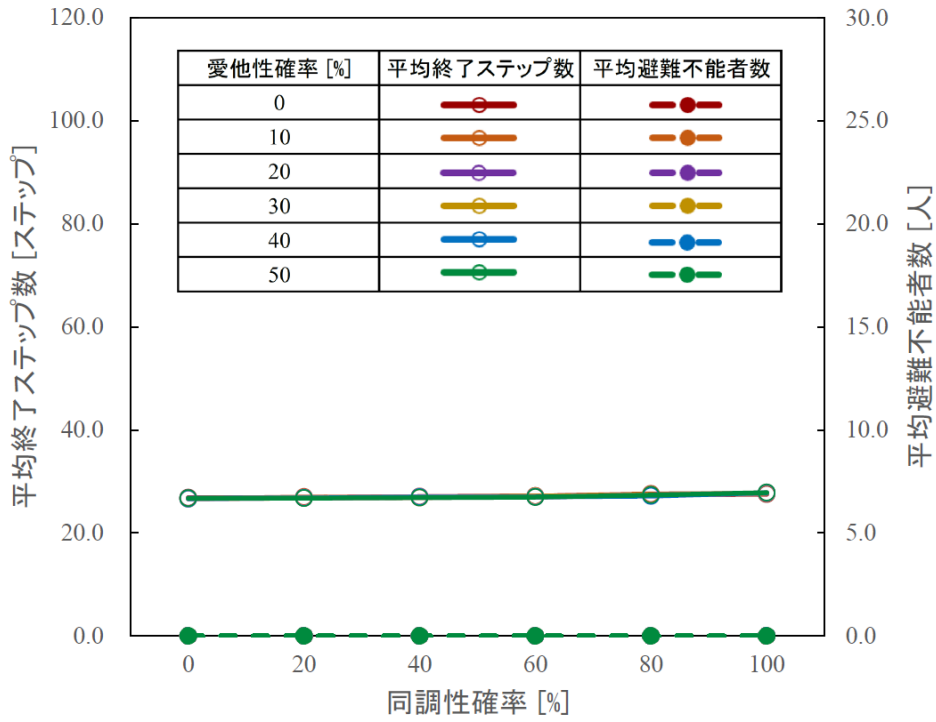


図5 リーダー有り（タイプ1）で正常性確率 10%の場合

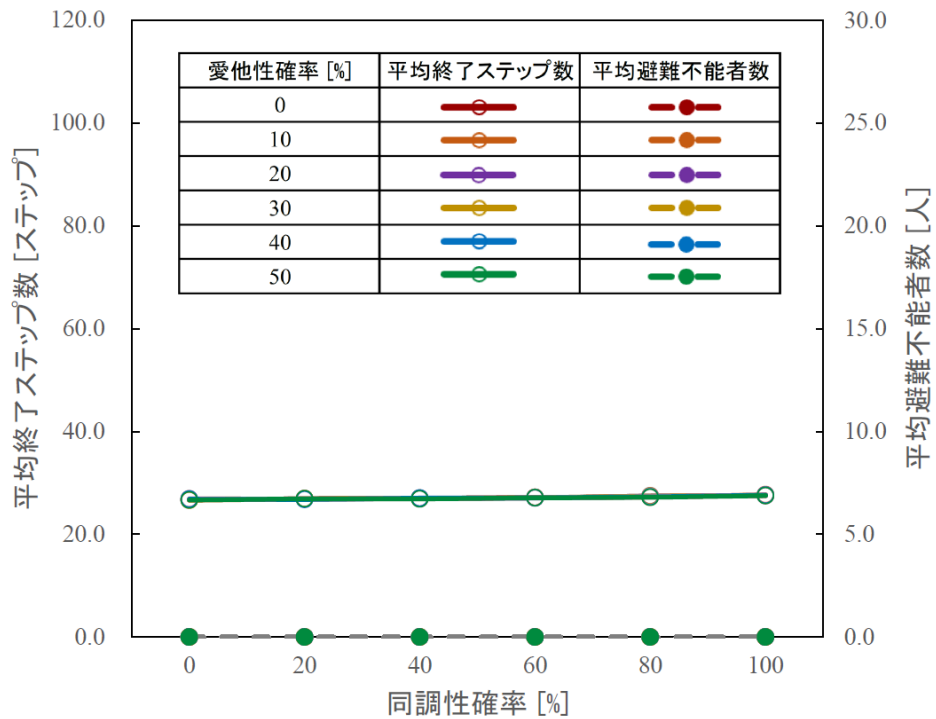


図6 リーダー有り（タイプ1）で正常性確率 30%の場合

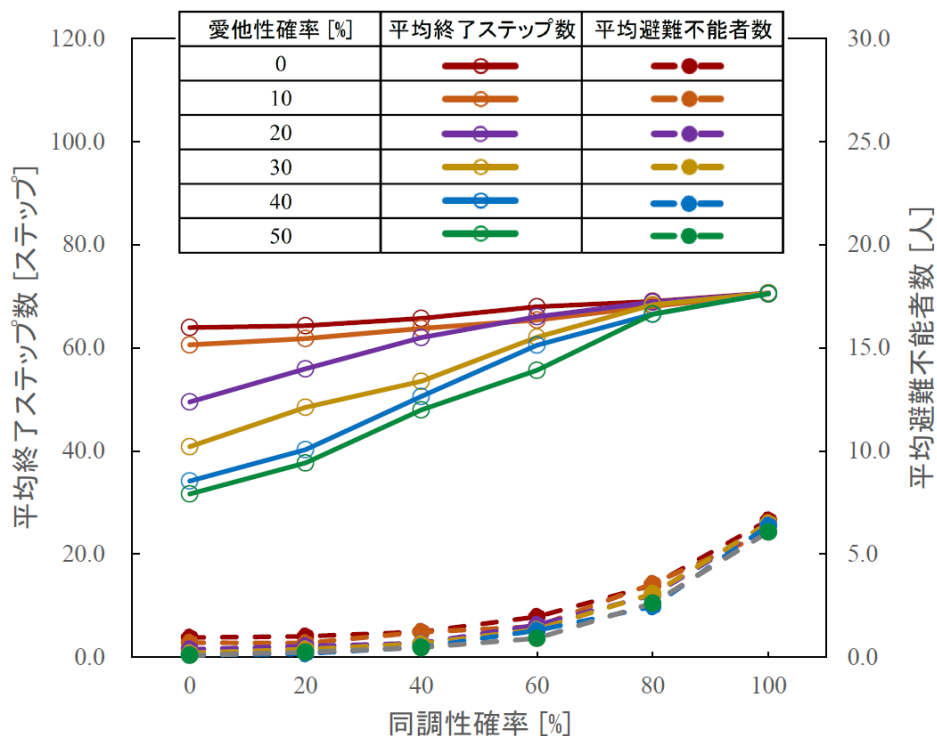


図7 リーダー有り (タイプ2) で正常性確率 10%の場合

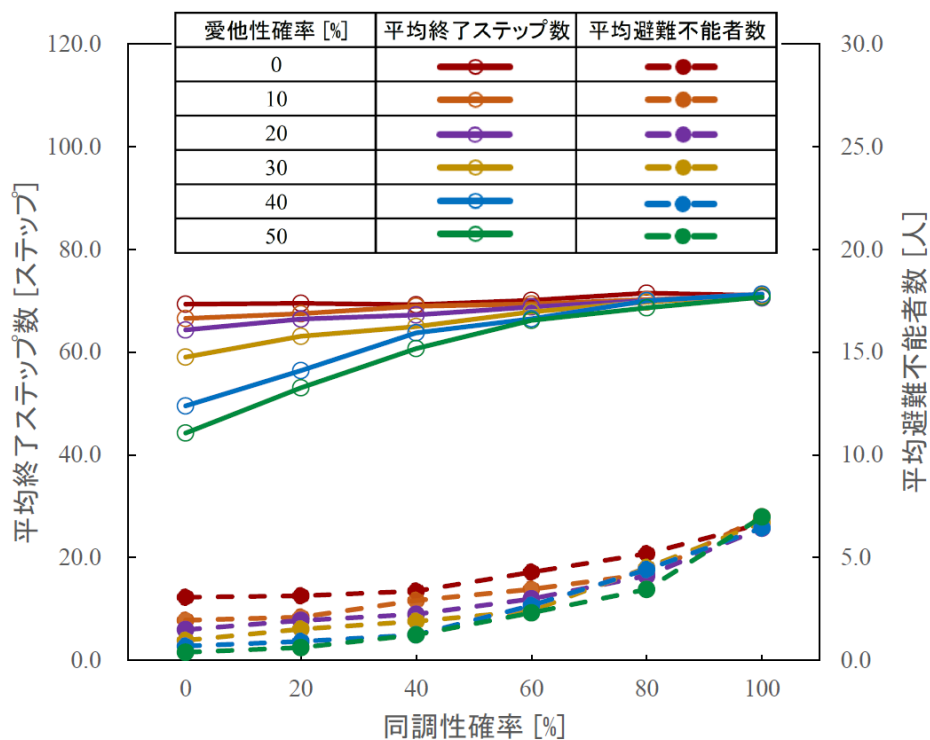


図8 リーダー有り (タイプ2) で正常性確率 30%の場合

災害時に避難時間を短縮し犠牲者をなくすためには何をすればよいのか？（青山，須川，渡辺）

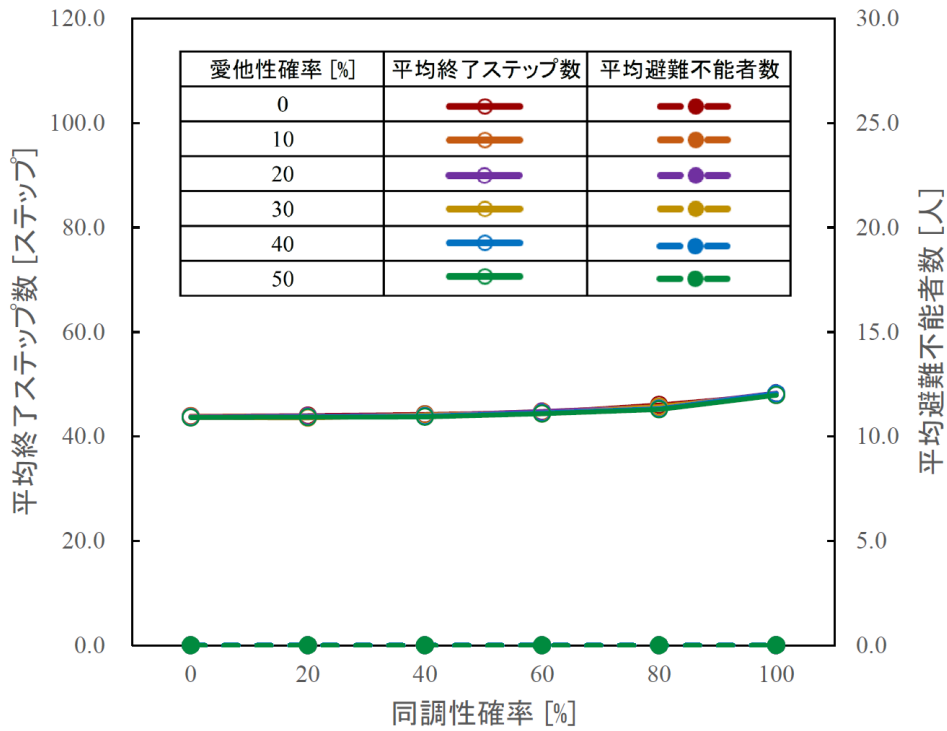


図9 リーダー有り（タイプ3）で正常性確率 10%の場合

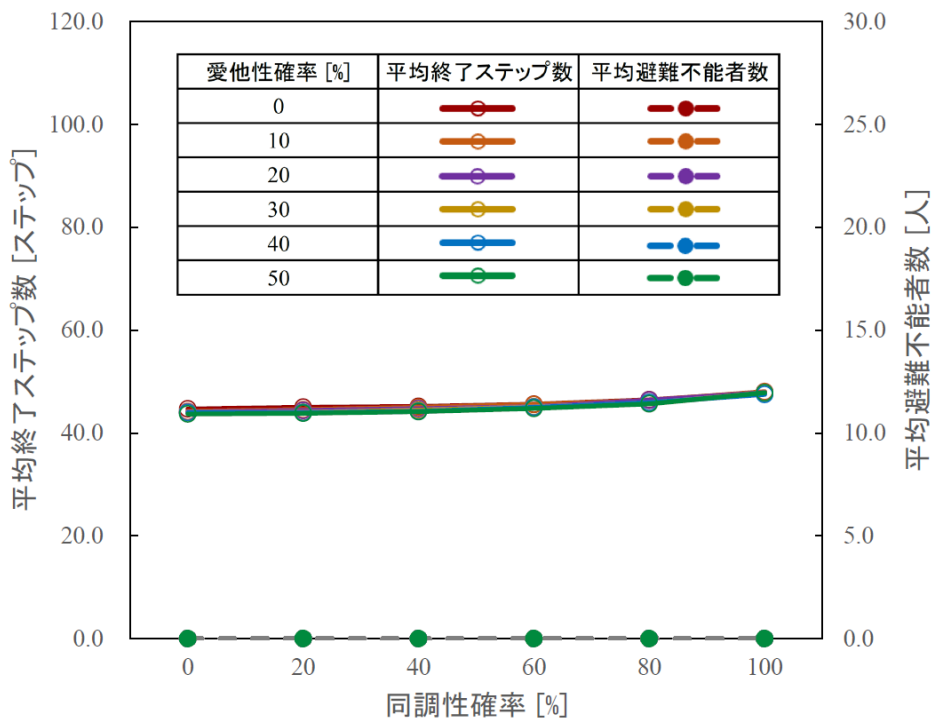


図10 リーダー有り（タイプ3）で正常性確率 30%の場合

(原稿提出: 2018 年 12 月 13 日; 修正稿提出: 2019 年 2 月 9 日)