

CADプラグインによる行動シミュレーションの多様な可視化

○佐藤 洋平*¹ 林田 和人*²
渡辺 仁史*³

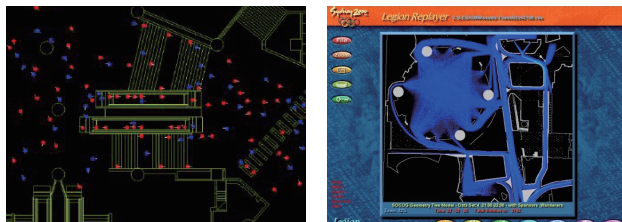
キーワード：行動シミュレーション シミュレーター 可視化 スタディ手法

1. はじめに

建築において、その空間での人間の行動を考慮しながら設計を進めることは不可欠であると言える。現在、その方法としては、『建築設計資料集成』をはじめとした建築資料の参照や、模型や3Dモデルを用いた空間の再現、コンピュータ上での歩行者シミュレーターの利用などが挙げられる。しかし、近年増えつつある複雑な建築空間での人間の行動を考慮するには、既存建築を収録した建築資料の参照や、主観的な考察に基づく模型・3Dモデルの再現だけでは不十分である。この点で、一つ一つの設計案に対し定量的な検証を行うことができる歩行者シミュレーターは、複雑化する建築内での人間の行動を評価するツールとして有効な手段の一つとなる。

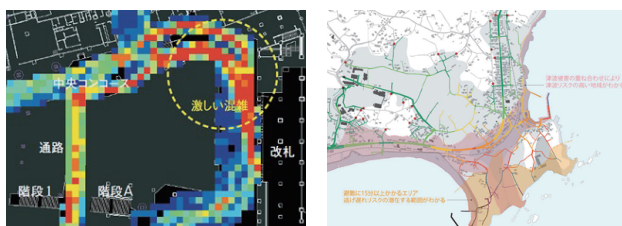
現在普及している歩行者シミュレーターでは、避難計画や動線計画、寸法計画など様々な目的に利用されており、それぞれの目的のために異なる可視化の手法が開発されている(図1)。しかし、これらのシミュレーターの多くは、あらかじめ図面や3Dモデルを作成しそのデータを一度シミュレーター内に取り込む必要があることや、一回のシミュレーションに時間がかかるなどの理由から、その活用は設計の最終段階で建物の性能を検証する場面などに限定されてしまっている。

さらに歩行者シミュレーターに関する研究には峯岸良和らの研究⁴⁾などをはじめ、歩行モデルについて論じられる場合が多い。しかし、近年になり徐々にシミュレーターと設計とを連動させようという動きが強まっている。



1. エージェント移動 (Sim Walker¹⁾)

2. エージェントの移動軌跡 (Legion²⁾)



3. 歩行者密度 (Sim Walker¹⁾)

4. 避難時間地図 (Sim Tread³⁾)

図1 既存シミュレーターの可視化

人の行動と建築環境との研究室に着目した山口ら⁵⁾の研究や、空間を行動の面から定量的に捉えた川崎、水口の研究⁶⁾などがその一例として挙げられる。しかし、設計初期のスタディ段階でのシミュレーターの活用を取り上げた研究は少ない。

本研究では図面作成時に容易に運用できる歩行者シミュレーターを開発し、スタディの段階でどのような可視化手法が設計の指標として有効であるかを検証する。

2. 研究目的

本研究における目的は、CAD上で利用できる歩行者シミュレーターとその可視化システムを作成し、各可視化が建築設計にどのような影響を与えるのかを明らかにすることである。

3. 実験方法

3.1 実験概要

歩行者シミュレーションから4種類の可視化を行い、被験者にはその可視化を基にした空間形状のスタディを行ってもらう。さらに、ヒアリングとアンケート、スタディの過程で作成されたプランへの定量的な分析を行い、各可視化の設計活動への影響やその効果を明らかにする。

被験者：建築学専攻の20代学生(男3人・女2人)

3.2 実験システム

今回は3DCADのRhincerosのプラグインであるGrasshopperを用いて、形状スタディシステム、行動モデル部、そして4つの可視化システム作成した(図2)。

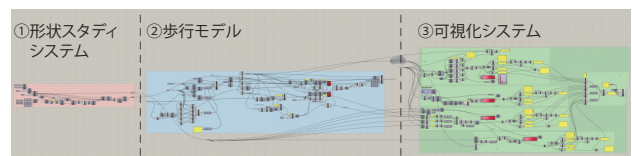


図2 Grasshopperシステム図

①形状のスタディ

9000mm×9000mmの平面に三つの閉曲面壁(以下曲面ユニット)を模した曲線を配置する。曲面ユニットには幅1200mmの開口部が設けられ、その位置は各曲面ユニットに一つ用意されたアトラクターの位置によって決定される。実験を始めるにあたり、アトラクターをランダムに配置したものを実験の初期状態として設定した。シミュレーションを行なう空間を図3に示す。

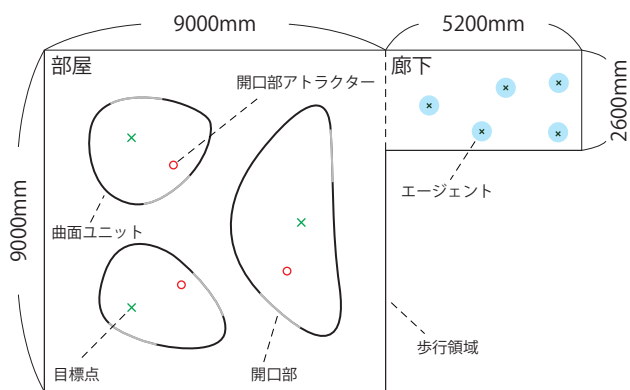


図3 シミュレーション空間

②歩行モデル

作成した行動モデル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である。このモデルについては誌面の都合上詳細には記さないが、各エージェントには曲面ユニット内に配置された目標点が与えられており、各エージェントはエージェント同士の衝突回避と壁との衝突回避をしながら、それぞれの目標点へ移動する。目標点に十分に近づいたエージェントには新しい目標点が割り当てられるため、エージェントは停止することなく移動し続ける。実験開始の際には5人のエージェントが廊下に配置され、シミュレーションの開始とともに各エージェントが部屋内の目標点に向かって移動を始める。

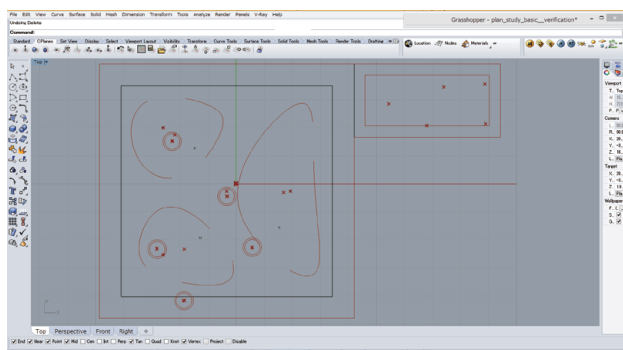


図4 シミュレーション画面

今回作成した歩行モデルは単純なモデルであり、必ずしも現実の人間の歩行を正しく再現したモデルであるとは言えない。さらに、壁のすり抜けやエージェントの数が増加するなどのエラーが見られる場合もあった。エージェントの数が増加した場合には、増加したエージェントがシミュレーション結果に大きな影響を与えたと考え、シミュレーションをやり直すこととした。また、壁のすり抜けに関しては、実験結果への影響が少ないと考え、実験中に壁のすり抜けが発生した場合もシミュレーションを続行することとした。

③可視化システム

可視化を行い、設計活動への影響を検証する部分である。既存の可視化手法を参考とし、本研究で取り扱うのはリ

アルタイム表示、軌跡表示、各セルの通過回数表示（以下セル表示）、曲面ユニット内部とその外部の各エリアごとの総滞在時間（エリア表示）（図5）とした。

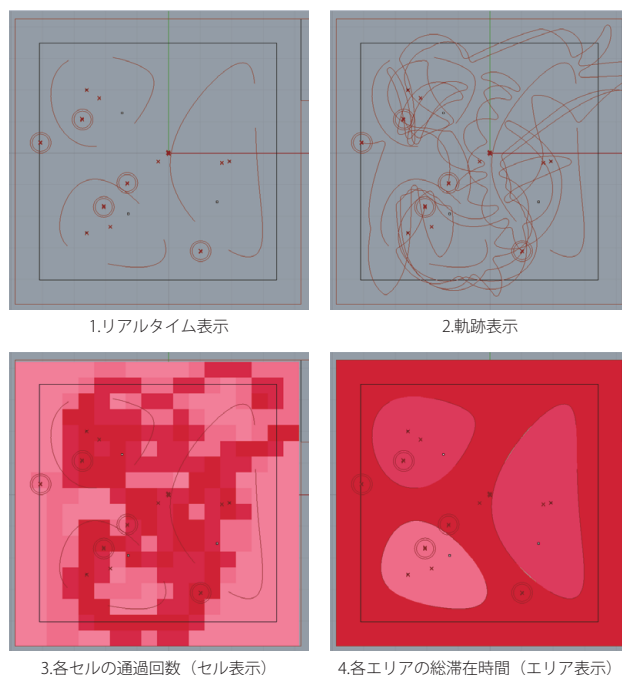


図5 4パターン可視化手法

3.3 実験方法

上記のシステムを利用し、5人の被験者に実験に参加してもらった。被験者には各可視化表示に基づき、すべてのエージェントが出来るだけ多くの場所に訪れることを目標に開口部のスタディを行ってもらった。このシミュレーション開始-可視化表示-開口部のスタディという一連の作業を、一つの可視化に対し4回繰り返し、これを4つの可視化に対し行なった。結果・分析のために、各段階で作成されたプランを保存し、実験中にヒアリング、実験終了後にアンケート調査を行った。

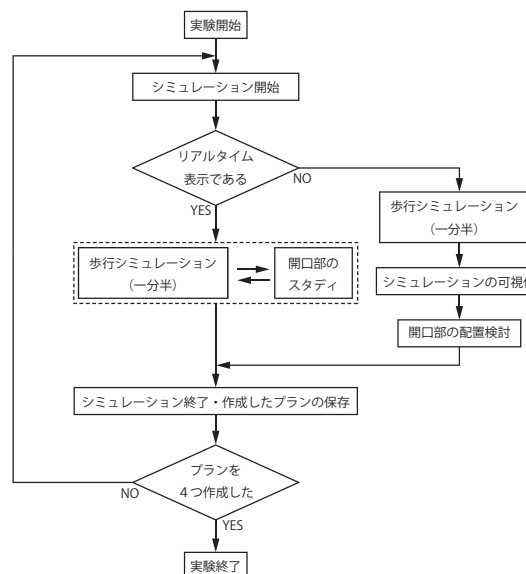


図6 実験フロー

4. 分析手順

4.1 ヒアリング・アンケート調査

各可視化手法についてユーザー側の意見の抽出を行なうため、実験と平行してヒアリングを行い、実験終了後に被験者に対する各可視化方法の印象についての1点から5点の5段階評価によるアンケート調査を行なった。実際に調査で利用したアンケート項目を表1に示す。

表1 アンケート項目

楽しさ	可視化を通じた設計作業の楽しさ、満足度
創発性	設計についての新たなアイデアを想起させる
問題点の抽出	問題のある空間特性を浮かび上がらせる
理解のしやすさ	可視化が示すものへの理解のしやすさ
フィードバック	可視化された情報を形状へと反映しやすい
主体性の確保	設計者の主体性を制限しない
プレゼンテーション	可視化表示をプレゼンテーションに利用したい
イメージの一致	可視化表現がリアルタイム表示で観察したイメージと一致している (リアルタイム表示には無回答)

4.2 平均エージェント密度

「できるだけ多くの場所を訪れる」という実験の際に設定した目標を作成されたプランがどの程度達成しているのかを定量的に検証するための指標を以下のように作成する。まず、作成された各プランに対し歩行シミュレーションを行い、シミュレーション中の時刻1sから1500sまでの各エージェントの座標を記録した(表2)。次に、実験で利用した部屋のプランを5×5のグリッドの25個の領域に分解し、時刻ごとの各領域内に存在するエージェント数(以下、エージェント密度)を座標データから導き、全時間を通じたその領域の平均エージェント密度をエージェント密度の二乗平均平方根から求める(図7)。そして、部屋全体での平均エージェント密度の分布を考え、そのばらつき、つまり標準偏差が小さいほどエージェントが訪れた場所に偏りが少なく、結果として「多くの場所を訪れた」と言うこととした。

表2 記録したエージェント座標の一部(1s~15s)

エージェント	エージェント	エージェント	エージェント	エージェント
1 (5439.541511, 2844.824081, 0.0)	8888.399016, 2129.880517, 0.0	7399.183503, 3447.610151, 0.0	6788.433475, 2071.122897, 0.0	8854.185504, 3551.718577, 0.0
2 (5418.710855, 2849.950286, 0.0)	8864.985126, 2134.886026, 0.0	7399.888646, 3419.462434, 0.0	6778.507214, 2096.848455, 0.0	8842.136594, 3528.699184, 0.0
3 (5397.819265, 2855.031286, 0.0)	8841.248688, 2139.592376, 0.0	7399.991517, 3391.505271, 0.0	6769.882497, 2122.320936, 0.0	8829.570077, 3505.882326, 0.0
4 (5376.871263, 2859.074407, 0.0)	8817.561147, 2143.909579, 0.0	7398.448969, 3385.153163, 0.0	6758.565226, 2147.570969, 0.0	8816.507755, 3483.396401, 0.0
5 (5355.871093, 2864.498159, 0.0)	8793.807589, 2147.638844, 0.0	7398.282291, 3335.020069, 0.0	6748.582247, 2172.429034, 0.0	8802.837487, 3461.208023, 0.0
6 (5334.822737, 2868.872706, 0.0)	8768.986557, 2151.08208, 0.0	7396.497273, 3306.91839, 0.0	6738.881217, 2167.026514, 0.0	8788.88304, 3439.323119, 0.0
7 (5313.729824, 2873.040242, 0.0)	8746.138167, 2154.180446, 0.0	7394.104057, 3278.883864, 0.0	6724.530899, 2221.294746, 0.0	8774.508295, 3417.746835, 0.0
8 (5292.59615, 2876.984818, 0.0)	8722.230107, 2158.87028, 0.0	7391.112157, 3250.868053, 0.0	6711.520096, 2245.215584, 0.0	8759.380907, 3396.463663, 0.0
9 (5271.424893, 2880.742365, 0.0)	8698.287648, 2159.288894, 0.0	7387.531405, 3222.937347, 0.0	6697.838981, 2268.771328, 0.0	8743.982273, 3375.537417, 0.0
10 (5250.218584, 2884.288895, 0.0)	8674.313665, 2161.327552, 0.0	7383.371918, 3195.088652, 0.0	6683.580169, 2291.944789, 0.0	8728.118078, 3354.811271, 0.0
11 (5228.980712, 2887.839499, 0.0)	8650.313652, 2163.031461, 0.0	7378.644057, 3167.331388, 0.0	6668.623585, 2314.718326, 0.0	8711.882474, 3334.607782, 0.0
12 (5207.713738, 2890.800243, 0.0)	8626.292574, 2164.809758, 0.0	7373.358397, 3139.674841, 0.0	6653.082273, 2337.07889, 0.0	8695.209093, 3314.62882, 0.0
13 (5186.420157, 2893.719665, 0.0)	8602.255717, 2166.470486, 0.0	7367.525868, 3112.139963, 0.0	6638.549425, 2359.09098, 0.0	8678.175953, 3294.976986, 0.0
14 (5165.102295, 2896.573782, 0.0)	8578.267016, 2168.221806, 0.0	7361.15883, 3084.700484, 0.0	6620.218565, 2380.492084, 0.0	8660.786488, 3275.830201, 0.0
15 (5143.762322, 2899.186882, 0.0)	8554.15079, 2168.670967, 0.0	7354.282831, 3057.400169, 0.0	6602.914248, 2401.518905, 0.0	8643.003324, 3256.651612, 0.0

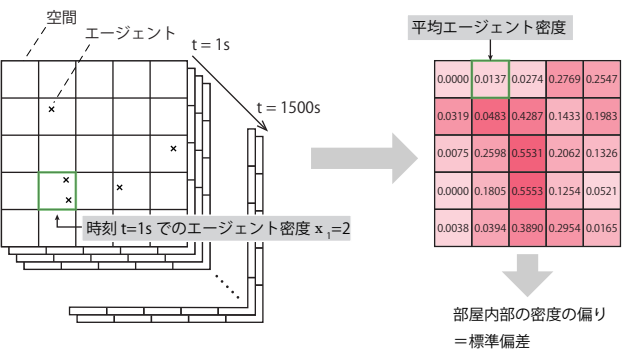


図7 各領域における平均エージェント密度とそのばらつき

5. 結果と分析

5.1 ヒアリング・アンケート結果と分析

被験者へのヒアリング内容から各可視化への印象に関するものを表3にまとめた。

表3 各可視化の印象に関するヒアリング

リアルタイム表示
・5つのエージェントの動きを同時に把握することが難しい。(1-1)
・エージェントが動いているので、どこに動くか予測しながら形状を変えることができる。
軌跡表示
・軌跡を見ながら微妙な調整を行なうことができる。(1-2)
セル表示
・エージェントの通ったシークエンスはわからないが、全体的な傾向として滞留してる箇所がわかりやすい。(1-3)
・軌跡表示と異なり、各セル間のおおまかな違いはかわからず微調整するのは向いていない。
エリア表示
・表示をみても、どの形状を変更すべきなのかわからない。(1-4)
・最終段階での検証用としては良い。

図8は5名の被験者の各アンケート項目の平均点をグラフにまとめたものである。。それぞれ青線はリアルタイム表示、赤線は軌跡表示、緑線はセル表示、紫色はエリア表示での点数を示している。図8よりエリア表示では、一つの項目を除いて全項目において点数が低くなっていることがわかる(2-1)。「フィードバック」の項目では軌跡表示で最も高い点数、エリア表示で最も低い点数となり、「主体性の確保」の項目ではエリア表示で最も高い点数、軌跡表示で最も低い点数となっている(2-2)。さらに「フィードバック」、「主体性の確保」の両項目について他のリアルタイム表示とセル表示の点数を見ると、どちらの点数にも大きな違いがないことがわかる。(2-3)。

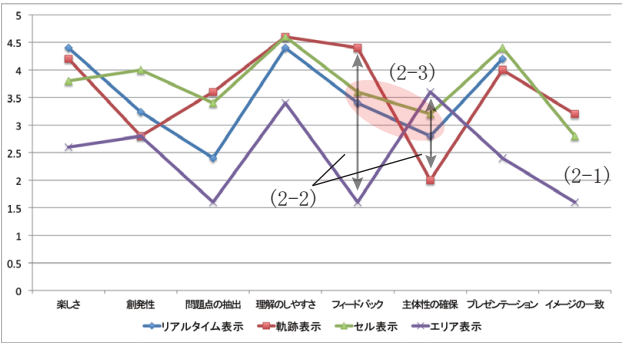


図8 アンケートの各項目における平均点

5.2 平均エージェント密度分布

図9は5人の被験者がリアルタイム表示を利用したステディで作成した各プランに対し、エージェント密度の標準偏差の値を試行回数別に散布図にまとめたものである。図10、11、12も同様にそれぞれ軌跡表示、セル表示、エリア表示について試行回数別に散布図にまとめたものである。図9~12より、全可視化手法について一回目の試行の値のばらつきが大きいことがわかる(3-1)。図9より、

リアルタイム表示では試行回数と値のばらつきとの間に相関性は見られない(3-2)。図10より軌跡表示では値のばらつきが大きい試行と小さい試行が交互に現れている(3-3) 図11よりセル表示では試行回数が増えるごとに値のばらつきが小さくなっている(3-4)。

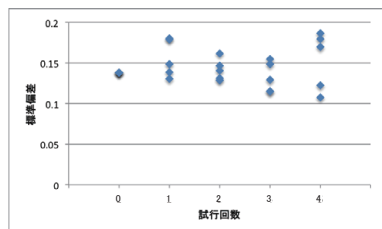


図9 リアルタイム表示でのエージェント密度のばらつき

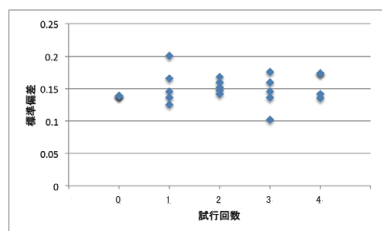


図10 軌跡表示でのエージェント密度のばらつき

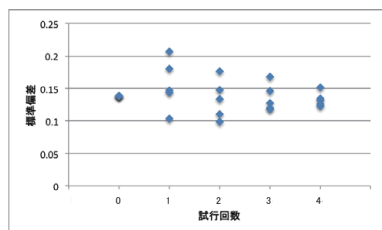


図11 セル表示でのエージェント密度のばらつき

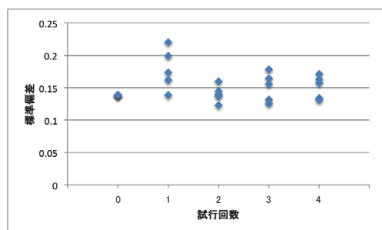


図12 エリア表示でのエージェント密度のばらつき

6. 考察

(1-4) からユーザーにとってエリア表示はフィードバックしづらい可視化手法だと考えることができる。図5.1を見てもフィードバックの点数が低くなっており、ヒアリングのデータと一致する。さらに(2-1)からもエリア表示がユーザーにとって全体的に使いづらい可視化手法であることがわかる。これらから、エリア表示のように空間の属性単位での違いを可視化しても、設計に生かすことのできる具体的な情報をえることが難しいのだと言える。

(2-2) から「フィードバック」と「主体性の確保」の間には一方の点数が高くなれば、他方が低くなるというような逆相関性が存在していると考えられる。

(2-3) からは一方で逆に中間的な点数を取っているの

他方でも同程度の中間的な点数をとっているものと考えられる。これらから、シミュレーションの可視化手法のフィードバック性を高めれば、設計者の主体性を奪ってしまう可能性があると言える。

(3-1) からは、初めての試行では可視化の意味やフィードバックの方法を認識することが難しいことがわかる。よって、正しく可視化の意味を理解し、それを設計へとフィードバックするには何度かシミュレーションを繰り返す必要があると言える。

また各可視化手法については、(3-2) からリアルタイム表示では可視化された情報がうまくフィードバックされていないということが分かる。その原因として(1-1)で述べられているように多くのエージェントの動き同時に把握することが難しいことがあげられる。(3-3) から軌跡表示は短期的に改善させることは可能だが、連続的に改善させるのは不向きであると言える。ここで(1-2)をみると、軌跡表示は微調整によって短期的な改善を行なうのに有効であると言える。(3-4) から実験ではセル表示は試行回数が増えるごとに値のばらつきが少なくなった。(1-3) からセル表示は空間全体の傾向を把握し、それをフィードバックさせることが可能で、連続的な改善を期待することができる。

7. まとめ

本研究によって4つの可視化の特徴について以下のよう

- ・リアルタイム表示は理解がしやすいが、スタディに生かすことは難しいこと
- ・軌跡表示は細かな箇所を改善することに向いていること
- ・セル表示からは全体の傾向を観察できるので、広い範囲に対するスタディに生かすことができること
- ・エリア表示は使いづらいが、設計者の主体性を確保しながら設計を行なうことができること

さらに、可視化のフィードバック性を向上させると、設計者の主体性を損なう恐れがあるため、両者のバランスを考えながら可視化方法を検討する必要があることがわかった。

参考文献

- 1) Monthly Report Digest 2014 08 検索：歩行者/シミュレーション、http://www.kajima.co.jp/news/digest/aug_2014/searching/index-j.html、2014-09-10
- 2) Crowd Risk Analysis and Crowd Safety Training、<http://www.gkstill.com/CV/PhD/Chapter1.html>、2014-09-10
- 3) 避難地形時間地図 逃げ地図 ～震災に備える町づくりを支援する～、http://www.nigechizuproject.com/?page_id=27、2014-09-10
- 4) 峯岸 良和、竹市 尚広、吉田 克之、マルチエージェントモデルによる大規模ホールにおける避難性状的予測-歩行者シミュレーションシステム SimTreadの実務的利用可能性の検証-、日本建築学会技術 報告集 第15巻第29号、2009年
- 5) 山口 容平、下田 吉之、水野 稔、居住者の行動を基準としたオフィスの熱・電力需要シミュレーションモデルの開発、空気調和・衛生工学会論文集、2004年
- 6) 川崎 順二、水口 尚司、群集行動シミュレータを用いた自転車・歩行者空間の定量的評価による設計手法の提案、近畿地方整備局研究発表会 論文集 調査・計画・設計部門、2012年

- *1 早稲田大学大学院創造理工学研究科建築学専攻 修士課程一年
- *2 早稲田大学理工学術院客員准教授・博士(工学)
- *3 早稲田大学理工学術院 教授・工博