建築形態規制に基づく建築物モデルと屋上の太陽光発電ポテンシャルの学習支援ツールの開発

○沈　振江*1　陳　哲源*2
川上　光彦*1　杉原　健一*3

キーワード：建蔽率、容積率、建物高さ、屋上形状、太陽電池モジュール、Unity

１．研究の背景と目的

近年、地球温暖化問題が社会的に注目を集めるとともに、昨年の東日本大震災後、電力不足問題が深刻化になり、日本では、「太陽光発電の導入拡大」に大きな期待が寄せられてきた。都市計画の分野でも、積極的に環境・エネルギー等の動向を視野に入れる傾向が見られ、専門分野の垣根を超えて技術と知識を共有することが欠かせない。たとえば、建築形態規制に基づいて建築の可能空間が存在する。建築可能空間をベースに太陽光発電ポテンシャルを検討するには、環境分野と都市計画分野の知識が必要である。これらの知識を把握するには、複雑な計画規制と絡めるため、視覚化は有効な手段である。既往研究では､建築･都市情報を有効的に伝達するために、情報技術を用いて建築環境の解析(山崎ら、1979)、WEB技術、３次元技術などの新しいIT手段の活用に挑んだ研究が多く見られる(谷本ら、2000；笠原ら、2005)。本稿では、オンラインゲームUnityを用いて、建築形態規制に基づいて建築物モデルを自動的に生成し、屋上の形状によって太陽光発電量のポテンシャルを視覚化することを目的とする。このような技術開発は、将来的に環境、都市と建築関係規制を一つのプラットフォーム上に統合化・可視化することが可能であり、教育だけではなく、都市計画･建築の行政関係業務に活用する価値が大きい。

これまで、建築形態規制シミュレーション（石富ら、2000；Yan etal, 2011)、太陽光発電システムの設置（長谷ら、2010)、またはWeb技術を用いたデザイン教育・計画支援に関する研究（前稔、2007；Radford,2001；金井ら、2010）がみられるが、計画規制と環境対策の内容をゲームに導入した学習支援ツールの開発事例が見られていない。本稿では、既存研究を踏まえて、太陽光発電システムの設置と計画規制との関連性を理解するため､「建築形態規制」と「太陽光発電システム」の２つの分野の知識を取り入れた視覚的かつインタラクティブな計画学習支援ツールの開発を試みる。

２．学習支援ツールの概要と開発方法

本研究では、まず「建築形態規制」と「太陽光発電システム」の２つの分野において、それぞれの関連知識を整理した。

学習のための詳細な項目は、表１に示す。計画規制の内容をわかりやすく説明するため、敷地条件は、規則的な形にしている｡建築基準法に記載されている用途地域、建蔽率、容積率と斜線関連の形態規制を学習の内容としている。これらの形態規制に基づいて、屋上の形を含む建築物モデルを自動的に視覚化した後、屋上における太陽光発電ポテンシャルを検討するには、発電パネルの設置可能数と発電ポテンシャルを視覚化する。

このため、個別の規制項目の学習、すべての規制項目を統合した建築物モデルの自動計算機能、発電ポテンシャルの自動計算機能などが必要である。すなわち、学習支援ツールの主な機能として、まず、個別の規制項目とすべての規制項目を統合した場合、建築形態を理解するため､「建築物モデル自動計算機能」を開発する必要があり、そして、屋上の形状によって「太陽光発電ポテンシャルの自動計算機能」を開発する必要がある。異なる分野の規制を一つのプラットフォーム上に視覚化するには、Unity というゲームエンジンを用いて自動計算機能のツールの開発を行った。建築物モデルと発電量ポテンシャルに関して、同じ考え方で学習支援ツールを開発できるので、作業としては、主に3Dモデルの作成、自動計算機能の開発である。

図１に示すように､スクリプトを用いて､「GUI Handler Script」､「Logical Script」､「Object Handler Script」の三種類のオブジェクトを作成する。その中心となるのは「Logical Script」であり、それぞれの規制内容に基づく建築物モデルの自動生成プロセスをスクリプトで記述する。「GUI Handler Script」はユーザーインターフェースを生成し、主にユーザーがインターフェースで規制のパラメータを調整し、パラメータの値をLogical Scriptに渡す役割を果たしている。また、「Object Handler Script」は、3Dモデルを操作し、Logical Scriptから規制のパラメータを読み込んでスクリーン上で適切に建築物モデルをレンダリングするほか、規制を違反した場合、規制の面と建築物の面との衝突イベント（Collision）を検出し、その情

報を Logical Script に渡す役割も果たしている。それぞれのスクリプトは、機能によって複数のスクリプトファイルに分けて記述され、Unity プロジェクト内のゲームオブジェクトに付けることによって実行される。

上記のように、Unity を用いて「建築物モデル自動計算機能」と「太陽光発電ポテンシャルの自動計算機能」を開発し、異なる分野の規制を関連させて視覚化した。

表１　学習する計画規制と太陽光発電パネルの内容

パネル・ツール	主要な内容
建築物モデル	建築物階数、各階の後退距離、建ぺい率、容積率
敷地条件	敷地間口、敷地奥行、敷地の向き、前面道路の幅
用途地域	住居系の用途地域
建ぺい率	建ぺい率規制値、用途地域に応じる建ぺい率、防火地域緩和、角地緩和
容積率	容積率規制値、用途地域に応じる容積率、前面道路幅員に応じる容積率
絶対的高さ制限	絶対的高さ制限値、高さ制限の3D表示
道路斜線	道路斜線勾配・適用距離、道路斜線の3D表示
隣地斜線	隣地斜線勾配・立上り距離、隣地斜線の3D表示
北側斜線	北側斜線勾配・立上り距離、北側斜線の3D表示
太陽光発電パネル	パネル枚数（X、Y）、パネル位置（X、Y）、傾斜角・方位角、パネルの3D表示
太陽光発電量ポテンシャル	屋上面積、年間発電量、月ごとの発電量、発電量グラフの3D表示
一覧	考察する主要なパラメータ

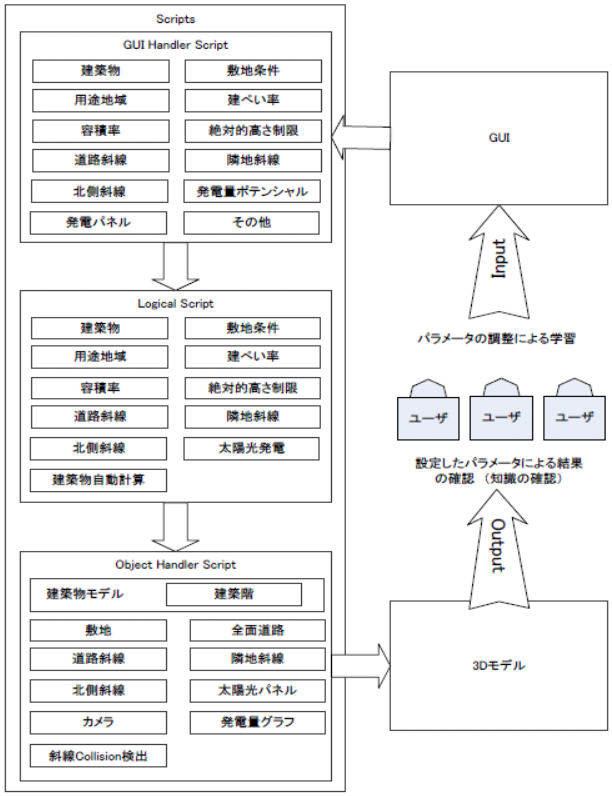


図１　システム構成の概要

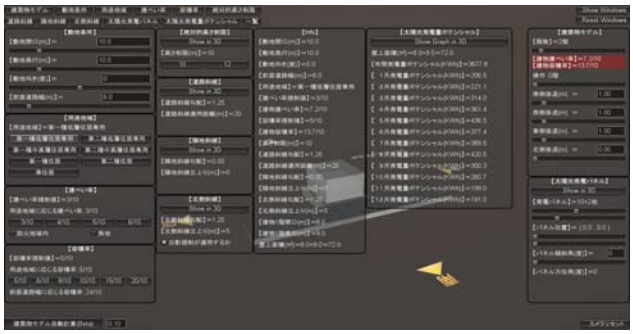


図２　建築物自動生成機能のツール

１）敷地の調整	２）規制に合わせた建築モデル

図３　敷地条件と規制に基づく自動生成した建物の例

３．建築形態規制と建築物モデルの自動生成機能

本稿では、建築形態規制に関して、「用途地域」、「道路」、「建ぺい率」、「容積率」、「絶対的高さ制限」、「道路斜線制限」、「隣地斜線制限」、「北側斜線制限」に関する建築規制を整理し、GUI Handler Script により、学習支援ツールに取り込み、Logical Script と Object Handler Script により、建築物モデルの自動生成機能を構築した。具体的には、仮想敷地を対象に、図２のように建築物モデルの自動生成機能を開発した。ユーザ自身により、図３のように、敷地条件の調整、建築形態規制の設定が行われ、システムの自動計算により、最大な建築可能空間の範囲にある建築物モデルを自動的に提示できる。建築基準法の適用要件に合わせて、敷地に関する仮定条件は主に以下のようになる。

- 敷地は単一前面道路、南側接道とする。
- 敷地向き（太陽方位角）：方位角 135°（南東）から 225 °（南西）。
- 敷地形状：正方形または長方形。
- 前面道路の幅員は４m以上とする。

建築物に関する仮定条件は主に以下のようになる。

- 建築物の壁面は敷地境界線と平行とする。
- 各階の平面形状は正方形または長方形で、高さは等しく、2.6m と設定する。
- 各階の後退距離は、第１階を超えないようにする。
- 外壁の厚さは 20cm とする。
- 屋根形状は陸屋根の形態とする。

図 4～6 は建築物自動生成の機能を示したものである。図４は、用途地域、建蔽率、容積率などの規制内容を反映し、建築物モデルを作成するパラメータである。これらの規制は、GUI Handler Script により、メニュー制の形で提供され、ユーザがメニューを選択した後、Logical Script により建築物モデルのパラメータが自動的に計算され、計算結果が Object Handler Script に渡され、建築物モデルの自動生成が行われる。図 5～6 は、高さ制限と複数の斜線規制（道路斜線、隣地斜線、北側斜線）が適用される場合、建築できる最大な建築物モデルを生成する例である。自動計算ではなく、ユーザが建築物モデルを自分で調整する場合、規制値を超えると、建築物モデルが赤となり、ユーザに警告音を鳴らす機能も開発した。

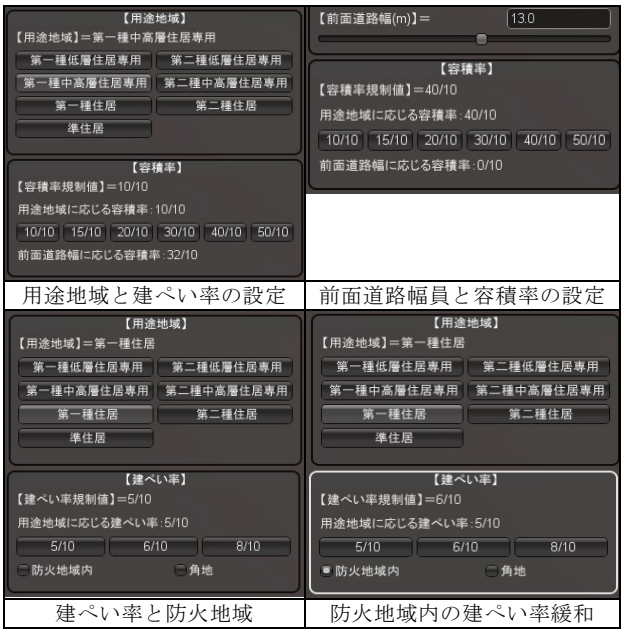


図 4　建蔽率と容積率の学習支援ツール

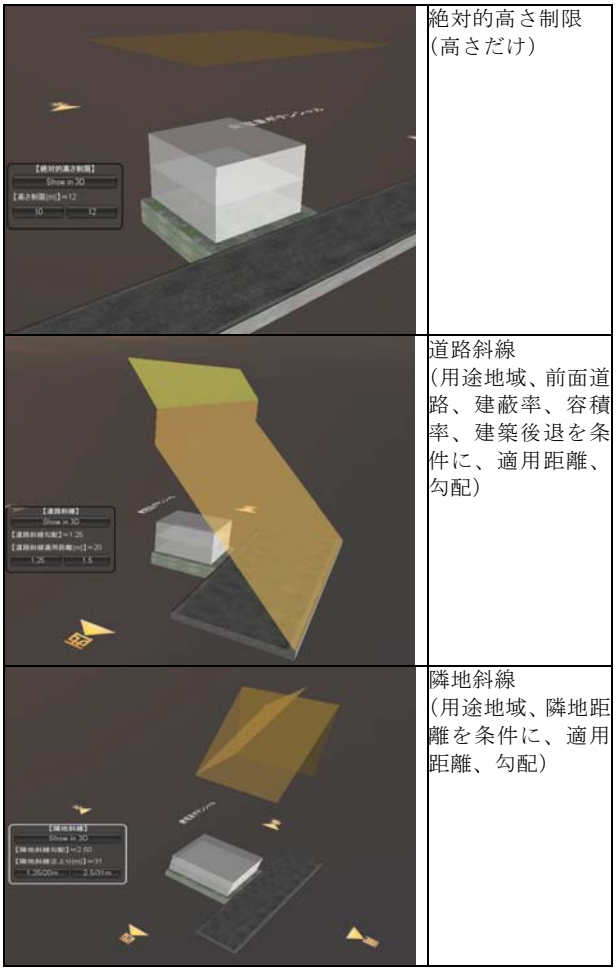


図 5　高さと斜線制限の学習支援ツール

4．屋上の形状による住宅用太陽光発電ポテンシャルの自動計算機能

本節では、上記で自動的に生成した建築物モデルの屋上形状を対象に、「JISC8907 太陽光発電システムの発電

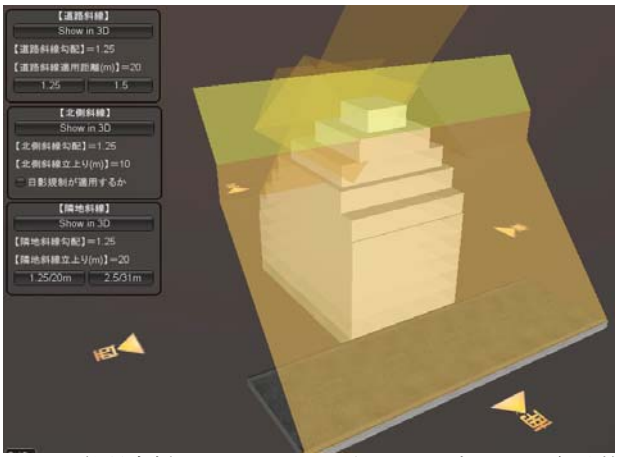


図 6　学習支援ツールを用いて規制の設定による自動的に算出した建築可能空間

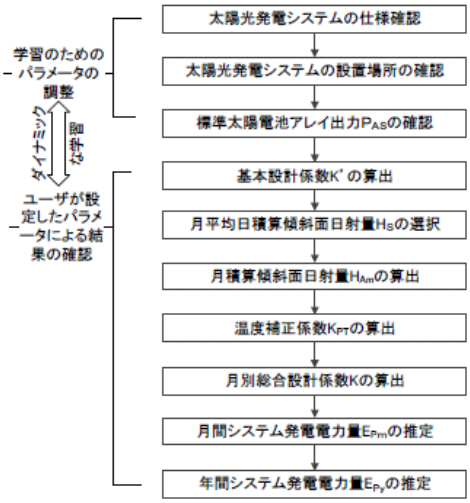


図 7　屋上用太陽光発電ポテンシャルの自動計算

電力量推定方法」に基づいて、太陽光発電システムの発電量ポテンシャルの推定を行う機能を開発する。月間システム発電電力量（EPM）を求めて積算し、年間システム発電電力量（EPy）を推定する。月間システム発電電力量は下の式によって推定する。

EPM = PMS×n×HS×d×(TAV+193.4)×0.76/200

EPM：月間システム発電電力量（kWh・month-1）

PMS：太陽電池モジュール 1 枚あたりの標準試験条件における出力（kW）

n：太陽電池モジュール数量（枚）

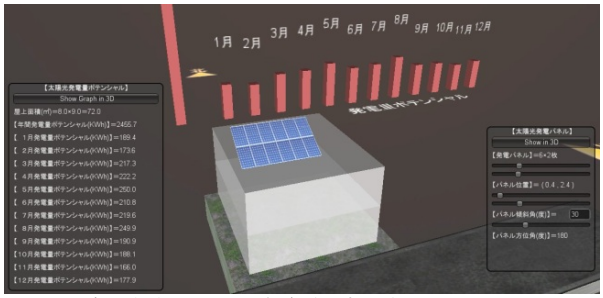
HS：月平均日積算傾斜面日射量（kWh・m-2・d-1）

d：その月の日数

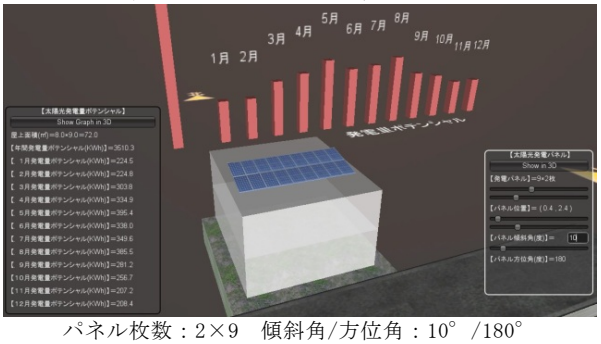
TAV：月平均気温（℃）

学習支援ツールの中で、図 7 に示す太陽光発電システムの仕様確認と設置場所の確認では、ユーザは、GUI Handler Script により、パネルのサイズ、枚数、そして、屋上に置く場所を確定する。そして、図 7 に示す第 3 ステップから、GUI Handler Script により設置パネルの枚数、方位角、傾斜角によって、Logical Script によって月別発

電量ポテンシャルが自動的に算出される。図 8 に示すように、月別発電量ポテンシャルによって Object Handler Script を用いてグラフの変化を表現し、年間発電量の変化の傾向を視覚的に表現する機能を開発した。



パネル枚数：2×6　傾斜角/方位角：30°/180°



パネル枚数：2×9　傾斜角/方位角：10°/180°

図 8　太陽光発電量ポテンシャルの視覚化

5．学習支援ツールの利用に関するアンケート調査

上記のように、建築物モデルに太陽光発電の導入に関する省エネを考慮した計画規制の学習支援ツールを開発した。環境デザイン学科で、都市計画を学ぶ 2 年生 81 名を対象にアンケート調査を行い、ツールの利用可能性を検証した。調査対象は、都市計画の関連規制の講義内容を受講していないので、関連の知識を把握していない。

アンケート調査の実施には、2011 年 11 月 15 日から 1 週間の利用期間を設けた。そして、WEB 上で質問に回答してもらい、69 名からの回答が得られた。アンケートの回答者は、男性 56 人、女性 13 人である。主要な質問項目は「学習支援ツールの使用時間」、「普段ソフトウェアの使用頻度」、「調査前の知識の把握状況」、「ツールの各機能に対する評価」、「操作性・総合的評価・今後の利用意欲」等がある。

図 9 のように、普段のソフトウェアの使用頻度について集計した。今回の参加者は、すべてが学部生であるため、3DMax や SketchUp 等のデザインソフトやバーチャル地球ソフトを利用する経験のある人はそれぞれ 7 割近くいる。一方、参加者の平均年齢は 20.4 歳の若い世代であるため、8.5 割の参加者はコンピューターゲームを使用した経験がある。また、インターネットの普及により、ウェブブラウザを利用してインターネットにアクセスする頻度は高い。

それによって、コンピューターゲームのような操作感覚は若い世代に対して馴染みやすいと考えられる。また、ウェブブラウザ上で利用できる支援ツールを開発することは、ユーザーアクセシビリティの向上につながる。

本調査の参加者のツールの平均利用時間数は、24.1 分である。ツールの利用時間の人数分布は、図 10 に示すように、一番短いのは 5 分で、一番長いのは 2 時間である。

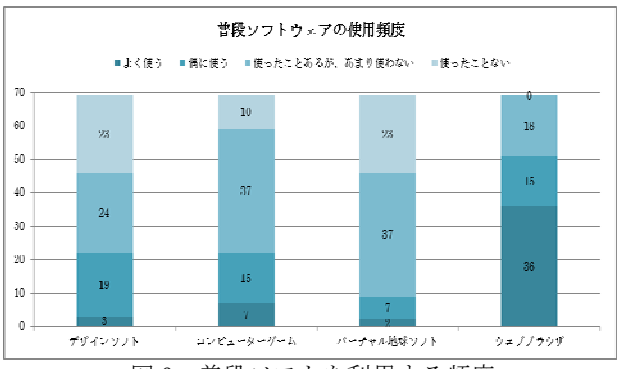


図 9　普段ソフトを利用する頻度

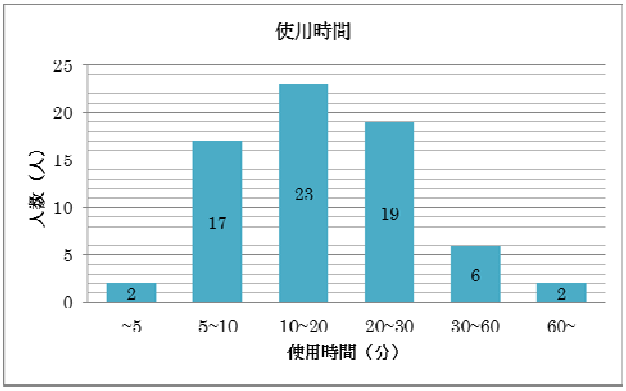


図 10　学習支援ツールの利用時間

図 11 に示すように、本調査を参加する前、参加者の知識の把握状況について集計した。今回の調査では、低学年の学生が中心となるため、関連の知識について「まったく知らない」、「聞いたことある」と回答した学生は大きな比率を占めている。特に把握の度合いが低いのは「絶対的高さ制限」、「道路斜線」、「隣地斜線」、「北側斜線」、「建築物外壁後退」に関する知識である。それらの知識は、専門性が高いので、触れる機会が少ないと考えられる。また、「容積率」、「太陽光発電システムの発電量」に関して、参加者にとってより馴染みが深いと見られる。

図 12 のように、ツールの各機能に対する評価について集計を行った。各機能に対する評価の回答状況は大きく変わっていない。そのなか、「非常に役に立つ」、「役に立つ」のプラス評価に集中している。一方、「あまり役に立たない」、「全く役に立たない」のマイナス評価は 10% 以内である。そのなか、「建築物モデルの自動計算機能」と「発電量ポテンシャル」の評価が相対的に高い。その理由は、この 2 つの機能が視覚的に大きな部分を占めており、利用者にとって印象に残りやすいと推測している。

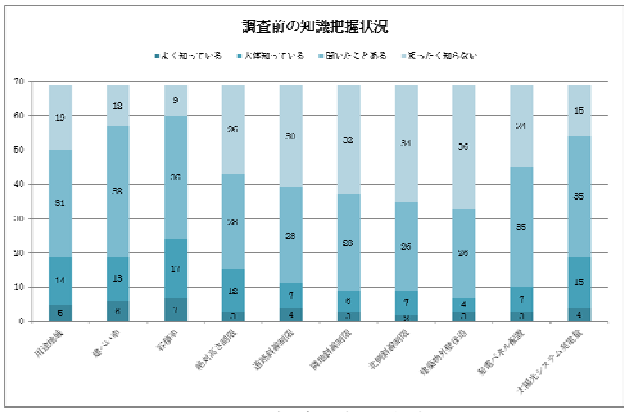


図 11　調査前の知識把握状況

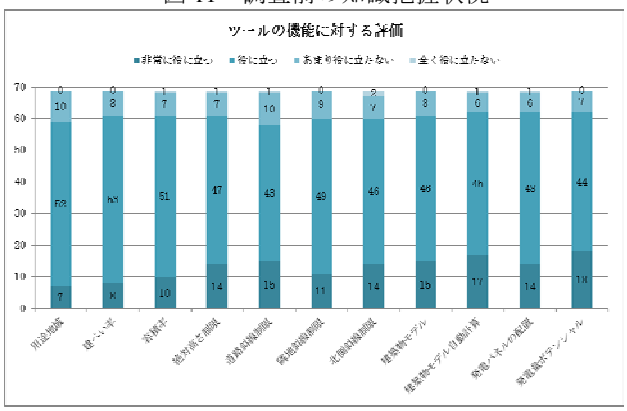


図 12　ツールの機能に対する評価集計

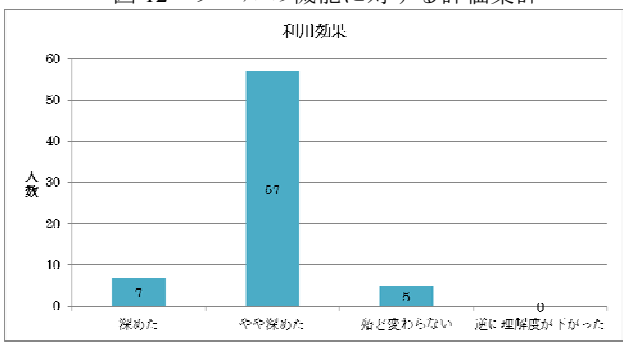


図 13　ツールの利用効果に対する評価集計

また、学習支援ツールを利用した後の利用効果について、図 13 のように示されており、7 人が「深めた」、57 人が「やや深めた」、5 人が「殆ど変わらない」と回答した。ある程度の学習効果があると考えられる。また、「殆ど変わらない」と評価した人の回答では、「ツールの操作性」に関する意見が見られる。

ツールの操作性に関して、「使いやすい」、「やや使いやすい」と回答した人数は 69 人中 65 人を占めており、ほかの 4 人は「やや使いにくい」と回答した。その理由は、「視点・視線の位置調整の操作方法がうまく使いこなせない」、「パラメータが見えにくい」と回答した。

アンケート調査の自由記入として、「視覚的にわかりやすい」、「知識に対する理解を深めた」、「使いやすい操作感」、「ゲームのように楽しめる」というような利点が見られる。一方、「パラメータの設置範囲」、「操作性の改善」、「内容の表現方法」に関して改良意見もあった。

6．結論

本研究では、ゲームエンジン Unity の技術を用いて、仮想の敷地を対象に、「建築形態規制」と「住宅太陽光発電」の２つの分野の知識を取り入れた計画規制の学習支援ツールのプロトタイプを開発し、その利用可能性について検証を行った。その結果、異なる分野の規制を一つのプラットフォーム上に統合することが可能であり、将来的には、都市計画・建築の行政関係業務、住民参加の現場で利用の可能性があると考えられる。

今後の課題として、現実の敷地に対応できる学習支援ツールの開発と利用、そして地区レベルの建築形態と省エネ対策のシミュレーションなどが考えられる。

謝辞　本研究は、日本学術振興会科学研究費基盤 C 課題番号 22560602 の援助の下により行われた。

[参考文献]

1)「建築基準法」　昭和二十五年五月二十四日法律第二百一号　平成二三年六月二四日法律第七四号最新改正
2)住宅用太陽光発電システム施工品質向上委員会、住宅用太陽光発電システム設計・施工指針、平成 19 年 3 月
3)日本工業標準調査会、「JISC8907:2005　太陽光発電システムの発電量推定方法」、平成 17 年
4)石冨達郎、川上光彦、野川浩生、小林史彦、2000、建築利用可能空間に対した建築物モデルとそれを用いた都市計画のコントロール、日本建築学会北陸支部研究報告集　第 43 号、P427 － P430
5)長谷健一郎　垂水弘夫、2010、北陸における太陽光発電の屋根方位・形態・勾配による評価―地域防災環境科学研究所における環境建築研究―　日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、P755 － P756
6) 金井祐樹、小野瀬尚利、下川雄一、2010、3 次元 CAD による構法教材の開発と試験運用による評価―アルミ造と RC 造の住宅を事例として―　日本建築学会・情報システム技術委員会第 33 回情報・システム・利用・技術シンポジウム、P111 － P114
7)前稔文、2007、Web 教材としてのコンテンツ作成とシステム構築　日本建築学会・情報システム技術委員会第 30 回情報・システム・利用・技術シンポジウム、P173 － P176
8) Wei Yan, Charles Culp, Robert Graf,2011,Integrating BIM and Gaming for Real-time Interactive Architectural Visualization, Automation in Construction Vol.20, 446-458
9) Antony Radford, 2000, Games and Learning about Form in Architecture, Automation in Construction, Vol. 9, 379-385
10) 谷本 潤一 、萩島 理、片山 忠久、2000、建築環境工学教育用コンピュータグラフィック ET_AEE の開発、日本建築学会技術報告集、Vol.11、P.165-168
11)笠原信一、山崎均、2005、3 次元コンピュータグラフィック機能を使った建築環境工学教育支援ツール Keity の開発とインターネットを介しての公開、日本建築学会技術報告集、Vol.21、P.217-220
12)山崎 均 ， 笠原 信一,1979,環境情報の図形表示に関する研究 その 4： 解析的計算方法による等日影時間図の作成(環境工学),日本建築学会研究報告. 九州支部. 計画系 (24), 29-32

＊1　金沢大学環境デザイン学系　教授　博士
＊2　YAHOO,Japan　修士
＊3　岐阜経済大学経営管理学部　教授　博士

A Learning Tool for Visualizing Capacity of Solar Panels on the Roof of Building Form Based on Planning Regulations

○Zhenjiang SHEN*1 Zheyuang CHEN*2
Mitsuhiko KAWAKAMI*1 Kenchi SUGIHARA*3

Keywords : Building Coverage, Ratio of Floor Area, Building Height, Roof Shape, Solar Energy and Unity,

An on-line e-learning tool using Unity has been developed for students to study planning regulations and solar architecture. The expansion of possibilities of On-line Game Engine, the 3d visualization of building form automatically generated according to planning regulations is taken into account. The planning regulation in Japan is designed and implemented on each land parcel, which is based on the zone restrictions of land use system. The usable space of a building can be generated according to the zone restrictions implemented in a parcel, which include the planning controls of high altitude, oblique line and so on. Students can choose control items as their preference in order to control the urban physical environment of the district. If there are no visualization tools to represent the urban environment, the contents of the planning regulations are difficult for students to imagine. Consequently, they have to image the building form that is very difficult without good reference context books. To make those regulations understandable, a visualization tool is suggested to automatically generated image of the building form according to the planning regulations. In our system proposal, we use an on-line game system, namely Unity as the 3d visualization tool that integrated GUI handler script, logic script and object handler script on an httpd server for net study. Meanwhile, a function of this tool is developed to study the capacity of solar energy in generated building roof that integrated design guideline of solar architecture. Numbers and sizes of solar panel, orientation, and power capacity in different month within one year are inputted to calculate the capacity of solar energy. While building form is automatically generated based on planning regulations, the roof shape is important of using solar energy.

For investigating the effectiveness of this learning tool, a student experiment was implemented and questionnaire had been conducted. In the course of urban planning in university, eight-five students were invited to use the tool and answer the questionnaire during a period of one week. As results, the learning tool is available for students to study the planning regulations while considering the capacity of solar energy. In this paper, we discuss how to generate the building form and capacity of solar architecture according to the data set of all parameters in planning regulations and design guideline of solar architecture. In the future, we would like to develop an integrated visualization tool for representing a virtual smart city in order to simulate capacity of solar architecture in an entire city.

*1 Professor, School of Environment, Kanazawa University
*2 Yahoo, Japan.
*3 Professor, School of Management, Gifu Keizai University