

仮想建築システム 「Virtual WallCell」 のユーザ対話方式

佐藤 ひとみ (電子情報システム工学専攻)

A User Interactive Method for the Virtual WallCell

Hitomi Sato (Advanced Engineering Faculty of Electronic Information Systems)

Abstract

The WallCell method is a novel construction method developed by Mr. Akihiko MIshima, a local resident of Matsue-city. In WallCell users can easily build a house or furniture for themselves by fitting wooden blocks, called "Tsumic", together. In order to spread the WallCell method widely, we have developed Virtual WallCell system, in which users can experience the WallCell method in 3D virtual space. This paper describes the user interaction method we have developed for Virtual WallCell.

We have prepared two coordinating windows on the screen: the construction window and the simulation window. The former shows the layout of Tsumic's along with the type of each Tsumic. In the latter window, the simulation of WallCell method is interactively performed, in which user can manipulate 3D virtual Tsumics.

Keywords : WallCell, Java3D, interactive method

1. はじめに

WallCell工法とは、松江市在住の三島昌彦氏によって発明された建築工法である¹⁾²⁾。木製のブロック(図1)を積み上げることにより、素人でも簡単にセルフビルドの家を建てたり、パーティションを作成できたりする。

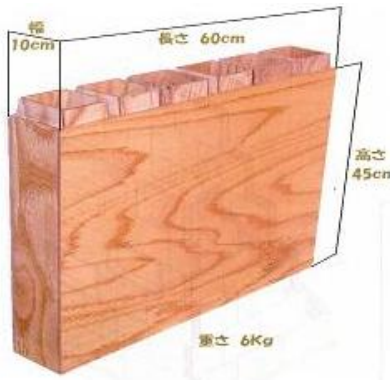


図1 WallCellのブロック「つみっく」

WallCell工法は、学会やシンポジウムなどでの発表により、徐々に認知されつつあるが、まだ一般的に良く知られている建築工法ではない。

また、セルフビルドを行う際には、施主自身が設計図を自分で作成できるとよい。ところが、専門知識のない者にとって、家や、パーティションなどの設計図を作成するという事は難しい問題である。そこで、Wall Cell工法をより多くのユーザが理解でき、また実際に家を建築するときの手助けになるような支援ツ

ールの整備が課題となっている。

本校では2004年度から、3次元仮想空間でこの工法を体験できるシステムであるVirtual WallCellの設計、製作を行っている。

WallCell工法に対する理解を深めるとともに、実用的な設計書、見積書などが作成できるようなものを最終目標としている。

2004年度は、見積もりと施工時間の自動計算を行い、設計した家を3D空間内で表示する機能について提案、実装が行われた³⁾。

本研究では、WallCell工法のバーチャル体験を行う機能の提案と、実装を行った。まず、最小限のブロック積み上げ機能に限定したユーザ対話方式機能を有するプロトタイプを作成し、課題抽出を行った。それに基づいて新たな制約を設けたユーザ対話方式を提案し、実装、評価を行った。

2. 仮想建築システム Virtual WallCell

Virtual WallCellは1章で述べた課題の解決を目的としたシステムであり、その設計目標を以下のように設定した。

- ・ インターネットを用いて誰もが楽しみながらWallCell工法について理解できる
- ・ 実用的な設計書、見積書などが自動で作成される
- ・ 誰にでも使い易いGUIの提供とOSに依存しにくいシステム

Virtual WallCell のもつべき機能は、設計図を作成する部分、積算をする部分、シミュレーションを行う部分などに大別できる。これを図2に示す。

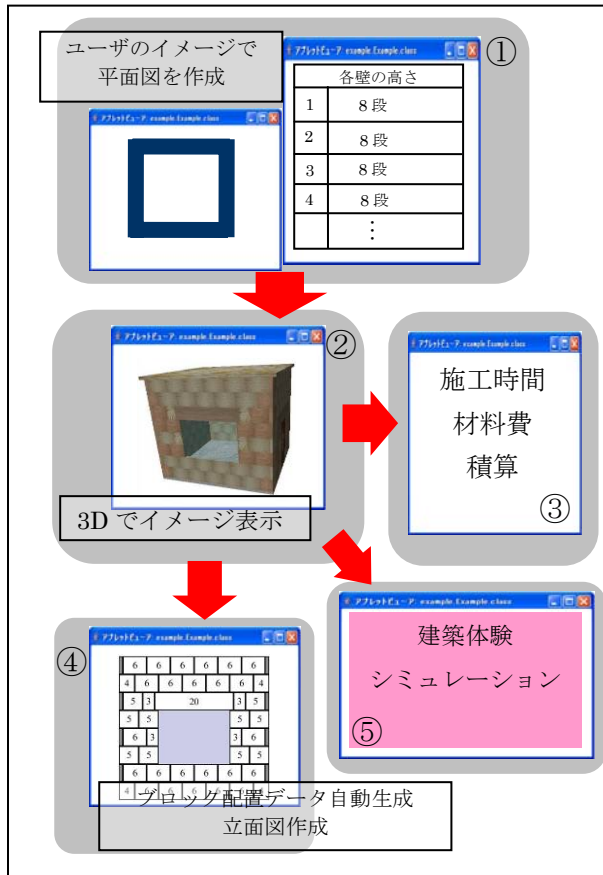


図2 Virtual WallCell の機能イメージ

Virtual WallCell は、図面を作成した経験のないユーザでも、容易に図面作成が出来る様なインタフェースの提供を目標の一つとしている。

図2の①の部分のように、まずユーザは好みの形にベースラインを描いてゆく。ブロックなどの特性から制約があるが、ユーザの描いたものに一番近似されたベースラインが自動で生成される。次に、各壁の高さを指定する。このデータと、ベースラインデータをシステムに与えると、図2の②のように3D表示が行われる。ユーザは3D表示を参照しながら、①の手順に戻ってデザインの再考ができる。また、3D画面で開口部を指定すると、そこに最適な大きさの開口部を作成できる。

開口部などを指定した後で、ユーザからの要求があると、システムは壁の面積、開口部の位置などから、最適なブロックの組み合わせを自動で計算する。③、④ではそのブロックの配置データを用いる。③では、施工時間や、材料費などを自動で算出する。この部分の基礎的な機能の実装は、1章で述べたとおり、2004

年度の卒業研究で行われた。

④では、設計されたブロック配置データを用いて各壁単位の立面図を作成する。立面図は、実際に施工を行う際に実用的な図面となる。

また、実際に施工する前の予行演習というかたちで、建築のシミュレーションが行える機能を持つ(図2⑤)。これは、自分が設計した図面や、興味のある図面などを用いて、施工シミュレーションが行えるものである。

本研究では、ユーザに WallCell 工法を用いた建築に興味を持っていただくことを主目標とし、図2の⑤に当たる、建築体験シミュレーションの機能を作成する事とした。対話的に WallCell 工法による建築をバーチャル体験できる機能に焦点を絞り、設計・実装を行った。

3. プロトタイプ版の実装

上記機能の実現のために、まずプロトタイプ版の作成を行い、その評価を通して必要機能の見極めを行うというアプローチをとった。

3.1. 画面構成と操作方法の概要

プロトタイプ版では、画面上のオブジェクトをクリック、ドラッグすることによって3D画面上で操作し、WallCell 工法による建築の擬似的な体験を行えるようにした。画面の構成としては図3のような、3D表示部分、GUI部分で構成される。

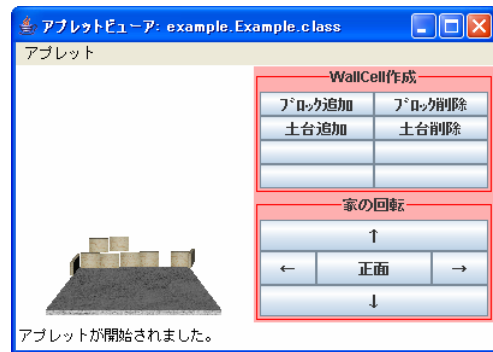


図3 画面構成

GUI部分のボタンを押すことによってオブジェクトの追加を行い、任意の場所に配置できる。また不要なオブジェクトが出た場合を考え、削除も可能である。

オブジェクトはその場で回転、前後、左右の移動を可能とする。回転はマウスの右ボタンをクリックしながらドラッグすることで可能となる。前後の移動はマウスの中央のボタンをクリックしながらドラッグすると可能となり、左右の移動はマウスの右ボタンをクリックしながらドラッグすると可能である。

また、視点移動の機能も有する。キーボードの矢印キーを押すと視点を変更できる。「↑」キーで視点が接近し、「↓」キーで遠ざかる。「→」キーで視点が左に移動し、「←」キーで右に移動する。

また、「家の回転」の機能を設け、各ボタンをクリックすることで、原点を中心に家を回転させることができる。「正面」ボタンを押すと、起動時に設定されたデフォルトの視点位置に復帰する。

3.2. プロトタイプ版の評価と問題

このシステムの設計では部品の回転、移動が柔軟すぎるといえる問題がある。それは Java3D のピッキング機能をそのまま用いているからである。そのため、現実ではありえないような角度、場所への部品の配置を可能にしていた。よって、ユーザの操作において、部品移動の微調整が煩雑になっていた。また、WallCell 工法では独特なブロックの重ねあわせ方をすることで建築物の強度を増しているが、これはプロトタイプ版では実現されていない。

そこで、これらの問題を解決するために必要なユーザ対話方式を、新たに提案することとした。

4. 制約を設けたユーザ対話方式の提案

実際に私たちが家を建てる場合はその家の設計図を用いる。よって、本システムにおいても、設計図を見ながら家を建てる様子を体験できると良い。

そこで、あらかじめ設計されたブロック配置データを用いて、その情報を元に部品の配置に制約を設け、建築体験を行えるようなユーザインタフェースを提供することとした。このような要求をもとに、4.1 節から述べるユーザ対話方式を提案した。

4.1. 画面構成

GUI の画面構成として、設計図を表示する画面と、実際に組み立てを行う画面の 2 つを提供する。GUI 構成を図 3 に示す。設計図表示画面(図 4 (a))において、設計図を表示する。また、建築体験画面(図 4 (b))では、組み立ての疑似体験を行う。

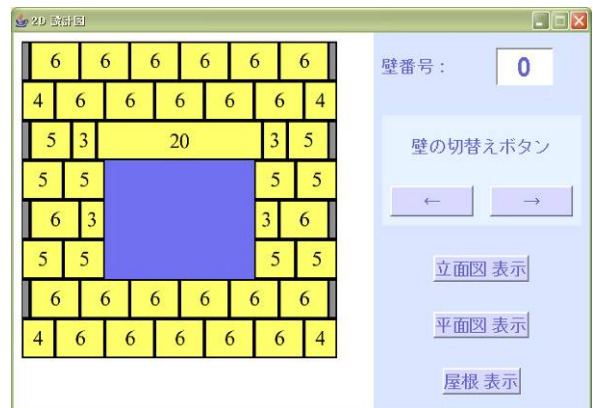
起動時の設計図表示画面は、平面図が表示される。システムを開始してからは、「平面図表示」ボタンを押すことで表示される。また、「屋根表示」ボタンを押すと屋根の設計図が表示される。これらのボタンが押され、該当する図面が表示されている間は、「壁の切り替え」ボタンが無効に設定される。有効にするには以下に述べる「立面図表示」ボタンを押す。

「立面図表示」ボタンは、立面図を表示したい場合に操作する。立面図はある方向の壁単位で表示される。

表示する壁の切り替えは、「壁の切り替え」ボタンで行う。

また、壁に番号を付与しておき、壁の切り替えに応じて GUI 操作卓上部の「壁番号」ラベルに番号を表示する。これにより、現在表示されている壁がどの壁なのか分かる。

これらの機能によって、壁 1 面あたりに、どのような大きさのブロックがいくつ使用されているか、また、どのように配置されているかを確認することができる。



(a) 設計図表示画面



(b) 建築体験画面

図 4 画面構成

(b)建築体験画面では、3D で家を表示する。ユーザは表示されているブロックを自由に移動し、建築体験を行うことができる。また、「視点の移動」ボタンによって家を見る方向を変えることができる。組み立てた家に近づいたり、離れたりにするにはキーボードを用いる。キーボード機能は 3 章のプロトタイプ版と同じものである。これらで変更した視点は、「初期位置」ボタンで、起動時の位置に戻ることができる。

また、「すべて整列」ボタンは、ユーザがブロック

などを操作し、乱雑にいろいろな位置に置いてしまったときに、それらを置かれるべき位置に復帰させる時に用いる。

4.2. 画面間の連携

設計図を元に組み立てる、という様子を再現するため、設計図表示画面と建築体験画面の連携を図る。機能として、設計図表示画面上的ブロックなどのオブジェクトをクリックすると、建築体験画面にそれに対応した3Dオブジェクトが追加されるようにした。ユーザーはその3Dオブジェクトをマウスで操作し、設計図表示画面の設計図を参照しながら所定の位置に配置してゆくことで建築体験を行う。削除する際も設計図画面上的該当するオブジェクトをクリックする。

また、建築体験画面に表示された3Dオブジェクトに対応している設計図画面のオブジェクトは、表示色を黄色に変化させる(図5)。これによって、現在のオブジェクトが建築体験画面に表示されているのが、設計図画面でも分かり易くなる。



図5 画面間の連携

また、建築体験画面上でユーザーに操作されている3Dオブジェクトがあるとき、それに連携している設計図画面のオブジェクトは強調して表示される(図6)。これにより、操作中の3Dオブジェクトがどこに配置されるべきか、視覚的に分かりやすくなる。

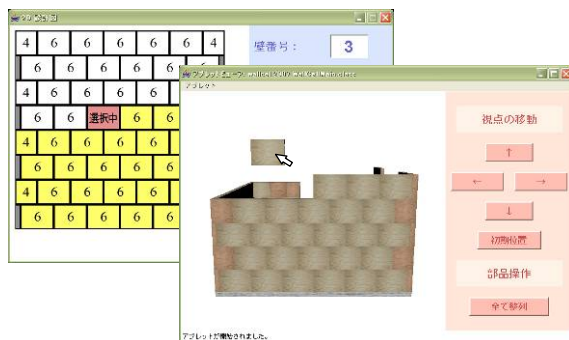


図6 選択部品の強調

4.3. ガイド機能

ユーザーの操作だけで建築体験画面上的3Dオブジェクトを操作すると、配置したい位置が分かっても、正確な位置合わせや微調整を行うことは難しい。そこで、「ガイド機能」を設けた。これは、ユーザーのドラッグが終了し、マウスが指から離された時に、配置されるべき定位置との距離を比較し、システムが判断をして正確な位置に配置してくれるというものである。

4.4. 配置制約

非現実的なオブジェクトの配置には制約をつけ、ユーザーがそれを行えないようにした。

実際の WallCell 工法では、ブロックの組み方に法則があるため、配置する順序を守らなければならない。また、WallCell 工法を用いた建築を行う場合は、安全性を高めるために、壁1面だけを高く積み上げるようなことはしない。

そこで、本システムにおいても、同様な制約を設けることとし、ブロックを組む場合は、下層のブロック群が組み終わった後で、上層部のブロックを組むことを許可してゆくように設計した。全面の壁の下層ブロックがすべて組みあがっていないと、上層のブロックは追加することが出来ないようになっている。

これらの制約により、建築体験画面で、ブロックなどの3Dオブジェクトが宙に浮いたまま定位置に配置されないようになっている。

また、ユーザーの操作に誤りがあった場合に、操作の訂正を促すエラーメッセージを表示するようにした。例えば、ベースになっている土台のパーツが追加されていないまま、ユーザーがブロックを追加しようとすると、図7のようなエラーメッセージが表示されるようになっている。

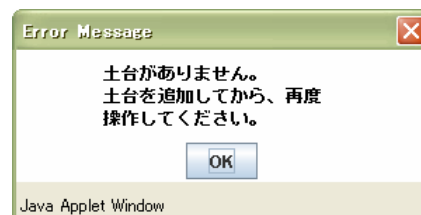


図7 エラーメッセージの一例

5. アルゴリズムの概要

前章でも述べたとおり、設計済みのブロック配置データを用いることで、ブロックなどの設計部品にあらかじめ位置情報を持たせる。これを用いて、様々な制約を行う。

起動時の初期化処理の流れを説明する。まず、プロ

ックの配置データを読み込む。本システムでは、そのデータを Data.java クラスに持たせた。データは cells[wall][rung][number] という 3 次元配列に格納されている。

変数 wall は壁番号を、rung は下から何段目かを、number は左から何番目かを示す。具体例を図 8 に示す。これは、壁番号が 0 であった場合のデータである。

この配列の構成をオブジェクトの管理に用いる事で、3つのデータを同定すれば該当オブジェクトを同定できるようにした。そのため、ユーザ側からシステムへの介入が容易に実現できる。

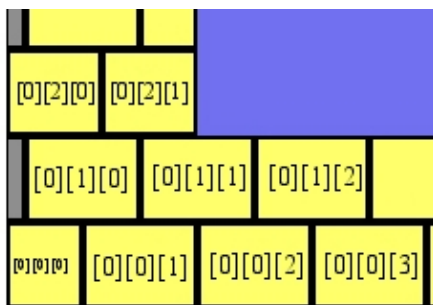


図 8 配列によるオブジェクトの管理

ブロックの配置データを読み込むと、各オブジェクトに唯一の位置情報が定まる。これから設計図画面に表示する図面を作成する。同時に、建築体験画面でシミュレーションを行うためのデータとして、ブロック等の 3D オブジェクトを準備する。また、ガイド機能で利用するために、個々のオブジェクトの重心座標を求める。

5.1. オブジェクトの情報管理

建築体験画面と設計図表示画面の連携を図るため、ブロックの状態などを管理する仕組みが必要になる。本システムでは、先にも述べた三次元配列データを用いてこれを行っている。表 1 にデータと内容を示す。

表 1 情報管理に用いるデータ

型名	データ名	用途・概要
String	cells	初期化処理
byte	cellsByte	設計図画面の描画処理
Switch	sw	建築画面上の 3D オブジェクトに対する表示・非表示切り替え
MyTG	cellsTG	座標管理・重心情報管理

まず、Cells という String 型 3 次元配列について説明する。これは初期化時に図面を作成したり、サイズや属性を決めてオブジェクトを生成したり、重心座標の同定をしたりする際に用いる。このデータの内容は、

システムが起動された後も、変更される事はない。

また、設計図表示画面のオブジェクトの色は、建築体験画面中の 3D オブジェクトの表示、非表示を示すため、動的に変更される。これを管理するデータ群は byte 型配列の CellsByte という 3 次元配列である。このデータは、設計図表示画面でブロックや窓などのオブジェクトがクリックされると変更される。このデータによって、設計図表示画面の各ブロックの表示色は管理されている。

また、建築体験画面において、3D オブジェクトの表示、非表示を切り替えるために Switch クラスの配列 sw を用いている。Switch クラスは、下層に接続された 3D オブジェクトの有効無効を動的に切り替えることができるクラスである。CellsByte が変更されると同時に、sw の変更を行うことで、建築体験画面の 3D オブジェクトと、設計図表示画面のオブジェクトの連携を図っている。

また、座標管理を行うには、MyTG クラス型の cellsTG 配列を用いる。3D オブジェクトを CellsTG の下層に接続する事で、重心座標を管理したり、4.3 節で述べたガイド機能を実現したりする。ガイド機能の詳しい処理については、後述の 5.4 節で述べる。

5.2. ブロックを同定する機能

設計図表示画面では、キャンバスに図形を描画することで、ブロックの並びを表示している。しかし、キャンバスはイメージを描画する事は出来るが、そのままではそこに描かれたものを同定する事が出来ない。

そこで、設計図表示画面上をマウスでクリックすることによって起動する MyMouseListener クラスを作成し、クリックした座標とオブジェクトのサイズからオブジェクトを同定する機能を作成した。変数とキャンバスの対応を図 9 に示す。

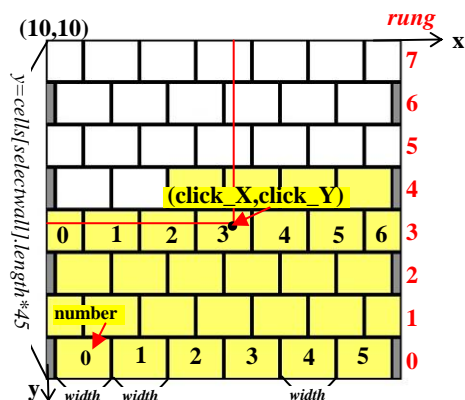


図 9 変数とキャンバス座標の対応

まず、キャンバスに現在表示されているものが、立

面図であるかどうかを調べる。屋根や平面図であった場合とクリック時の処理を分けるためである。立面図であった場合はクリックされた座標を取得する。

表示されている立面図の壁番号(変数 `selectwall`)はあらかじめわかっているため、まずは段数(変数 `rung`)をクリックされた y 座標 `click_Y` から同定する。計算式を式(1.1)(1.2)に示す。

$$y = \text{cells}[\text{selectwall}].\text{length} * 45 \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

$$\text{rung} = (y - (\text{click_Y} - 10)) / 45 \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

式(1.1)中の `cells[selectwall].length` では、表示されている壁の番号を用いて設計データから段数取得している。設計図表示画面では、ブロック 1 段 45px で表示されているので、そこから壁の高さが何 px かを得て y に格納している。式(1.2)では、 y と `click_Y` との差を取り、45px との商を計算する。変数 `rung` には、整数を格納する `int` 型を使用することで値の切捨てが行われる。これにより、クリックされたオブジェクトの段数を得る事が出来る。

また、左からの個数(変数 `number`)をクリックされた x 座標 `click_X` から同定する。壁と段数がわかっているので、そのデータを用いて、`cells[selectwall][rung]` の一列のブロックの配置データをチェックしてゆく。まず、`cells[selectwall][rung].length` を用いて、ブロックの個数を得る。次に `cells` 配列の要素からブロックの幅データを取得する。左端から幅のサイズだけ検査し、その中に `click_X` の値が含まれていなければ、調査する要素のラベルをインクリメントし、同様の処理を繰り返す。含まれていれば、そのラベルを `number` として返す。これによって、何番目のブロックがクリックされたのかを取得する事が出来る。

5.3. 配置制約機能の処理

4.4 節でも述べたとおり、ユーザが非現実的な操作を行えないように、ブロックの追加や削除操作に対して、配置制約を設けている。ここでは、ブロックの追加処理の際に行う制約を例にとって、処理の流れを説明する。フローチャートを図 10 に示す。

ユーザが設計図表示画面の白色ブロックをクリックすると、設計図表示画面で下層ブロックが追加されているかどうかを検査する。このチェックは、壁 4 面全てで行う。ここで、下層ブロックが追加されていない場合は、上層のブロックを建築体験画面に追加しても正しく配置できないため、エラーメッセージを表示し、ユーザに操作手順を見直すように伝える。(図 11(a))

次に、建築体験画面で、下層ブロックが正しい位置に整列されているかを確認する。整列されていない場合

ば、上層ブロックを追加しても正しく配置できないため、エラーメッセージを出す。(図 11(b))

両条件を満足したもののみ、建築体験画面に 3D オブジェクトを表示させる。

またこの他に、窓やドアの追加、削除については、ドアや窓が配置される壁が完成しているかどうかをチェックし、完成していれば追加、削除が可能であるようにした。

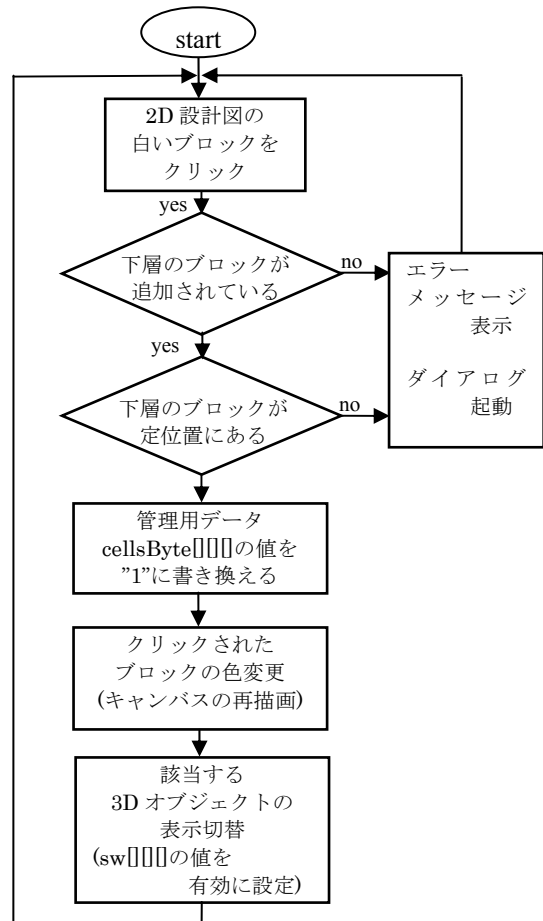
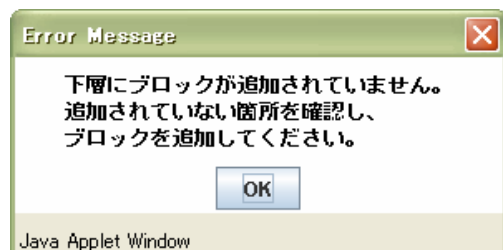
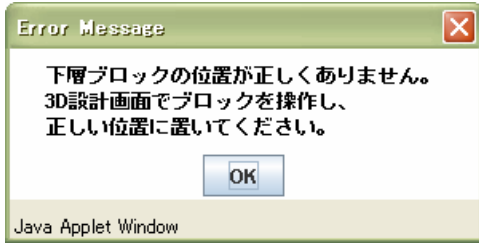


図 10 配置制約の処理フロー



(a) 下層ブロックが追加されていない場合



(b) 下層ブロックの位置が正しくない場合

図 11 操作の見直しを促すメッセージ

5.4. ガイド機能の処理

次にガイド機能のアルゴリズムについて述べる。フローチャートを図 12 に示す。建築体験画面に 3D オブジェクトが表示されている間、そのオブジェクトのドラッグが終了し、マウスから指が離される度に、そのブロックが置かれるべき位置(定位置)と現在位置を比較する。比較結果が n 以下となったときに現在位置に定位置を代入する。このようにして、煩雑な位置あわせの軽減を図る。今回は n の値を 20cm とした。比較を行う式を式(2)に示す。

$$n \leq \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2} \dots\dots\dots(2)$$

(x_0, y_0, z_0) : 定位置の座標 (x, y, z) : 現在の座標

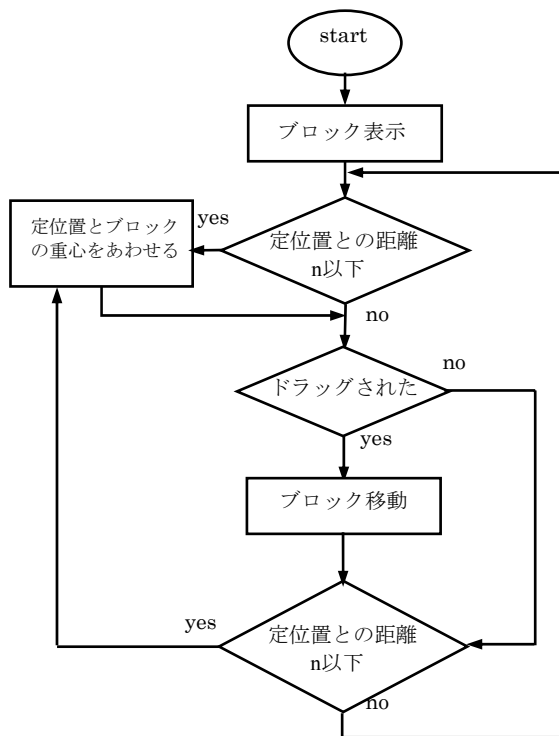


図 12 ガイド機能の処理フロー

6. 今後の課題

今回実装した機能は、Virtual WallCell システムの一部である。2004 年度の研究も含めると、基礎的な機能が実装出来ているのは、積算などの費用計算部分と、今回開発したシミュレーション部分である(2 章の図 2 では③, ⑤にあたる)。

現段階では、ブロックの配置データがすでに存在する状態からのシミュレーションや費用計算を行っているため、汎用性が低い。この問題の解決のためには、多様な設計データが読み込めるとよい。

従って、現在実装している機能の前段階である、ブロック配置データそのものを生成する機能が重要になる。

平面のベースデザインから、必要な壁の枚数を提示し、壁の高さを決め、ブロックの最適な組み合わせを計算し、システムが自動で立面図、平面図作成に必要なデータを生成できるようにすることが必要である。

7. まとめ

新しい建築工法である WallCell 工法を題材として、仮想的な建築体験を行えるシステムである Virtual WallCell の提案から一部実装までを行った。

まず、プロトタイプ版の提案、実装を行った。次に、実装した機能の問題点抽出を行い、改善策である制約を設けたユーザ対話方式を提案した。具体的には、設計済みの家データを用いた「制約を設けたユーザ対話方式」とし、画面構成の再考と画面間の連携の提案、「ガイド機能」と「配置の制約」の提案および実装までを行った。

今回実装した機能はシステム全体からいえばごく一部分である。今後は未実装部分の設計・開発を行うと共に、WallCell 開発者の三島氏と連携して、Virtual WallCell システムの一般公開の方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 株式会社つみつく <http://www.tsumic.com/>
- 2) 特許：特願 2003-053466(2003).
- 3) 著者：藤井諭・井上貴裕・大塚正康・福岡久雄・渡部徹・三島昌彦 表題：「インターネットを用いたバーチャル建築システムの開発」論文集名：情報処理学会 DICO2005 シンポジウム論文集, pp.801-804, July, 2005