

### 3.1.3 室内の安全性向上の実現に関する研究

#### 3.1.3.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

##### 目 次

###### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成15年度業務目的

###### (2) 平成15年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) はじめに
  - 2) 3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)
  - 3) 家具(クローゼット)の動的挙動解析
  - 4) 挙動比較シミュレーションシステムの構築
  - 5) Webを利用した動的シミュレータの構築
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

###### (3) 平成16年度業務計画案

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学生産技術研究所 東京大学大学院 工学系研 究科	助教授 大学院生	目黒公郎 柳田充康	Meguro@iis.u-tokyo.ac.jp yanagida@risk-mg.iis.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

家具や什器の転倒防止対策の実情調査、これが徹底されていない理由の調査を行うとともに、家具や什器メーカーと住宅メーカー等と協力のもと、特別な・室内安全性を確保するための技術開発技術がなくても(素人でも)対処できる簡易な家具を固定するシステム(試案)を提案する。家具や什器の地震時の動的挙動解析ツールの開発を開始する。

(d) 5カ年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成14年度:

家具や什器の転倒防止対策の実情調査、これが徹底されていない理由の調査を行うとともに、家具や什器メーカーと住宅メーカー等と協力のもと、特別な技術がなくても(素人でも)対処できる簡易な家具を固定するシステム(試案)を提案する。

2) 平成15年度:

特に専門的な知識のない一般の人々を対象として、地震時の室内の安全性を自己評価できるシミュレータや評価システムの開発を開始する。また、これらの基本データとなる家具や什器の転倒防止対策の実情調査も引き続き実施し、これが徹底されていない理由を調査する。前年度同様、簡易な家具を固定するシステムの検討も継続する。

3) 平成16年度:

これまでに検討を進めてきた簡易な家具を固定するシステムに関する検証実験(開発したシミュレータによる数値実験を含む)を行う。このとき新築の建物、耐震補強済み建物、既存不適格建物の差も考慮する。これらの研究成果に基づいて、対策法の適用マニュアル(試作)を整備する。

4) 平成17年度:

試作した適用マニュアルに対する、家具・什器メーカーや住宅メーカーの意見調査を行い、その分析結果を反映した技術の検証を行う。

5) 平成18年度:

開発技術についての最終的な適用マニュアルを整備する。

(e) 平成 15 年度業務目的

特に専門的な知識のない一般の人々を対象として、地震時の室内の安全性を自己評価できるシミュレータや評価システムの開発を継続する。いくつかの室内の家具の配置パターンに対するシミュレーションを行い、様々な部屋・家具の配置状況について安全性を分析できるシミュレーターを開発する。また、これらの基本データとなる家具や什器の転倒防止対策の実情調査も引き続き実施し、これが徹底されていない理由を調査する。前年度同様、簡易な家具を固定するシステムの検討も継続した。

(2) 平成 15 年度の成果

(a) 業務の要約

連続体から非連続体に至るまでの動的破壊挙動の解析が可能な数値解析法である 3 次元拡張個別要素法 (3D-Extended Distinct Element Method, 3D-EDEM) を用いて、家具の詳細な動的挙動を解析できるシステムを構築した。具体的には部屋のレイアウトや転倒防止措置の有無など、条件の違いによる家具の挙動が比較可能なシステムを構築した。このシステムは、地震時の家具の挙動が条件の違いによって大きく変化することを示すことで、市民への防災教育ツールとして活用できるものである。次に Web 環境を利用した動的挙動シミュレータの構築を開始した。このシミュレータの利用者は、自分の部屋の状況や地震に関する情報を Web 上で入力することにより、異なる地震発生時の自分の部屋内の家具の挙動を閲覧できることになる。利用者の部屋で地震時において家具がどのように挙動するかを示すことで、防災意識を高め、家具を固定するなどの具体的な防災対策行動を促進し、室内被害の軽減につながるものである。

なお、本研究の成果は、平成 16 年度土木学会の年次大会にて発表予定である。

(b) 業務の実施方法

昨年度、要素同士の連続性やつながりの効果を表す間隙バネを導入した 3 次元拡張個別要素法 (3D-EDEM) を開発したが、今年度は、間隙バネを互いの要素のどこにでも設けることができるモデルに改良した。このモデルを用いることで、家具をひもなどで斜めに吊るような転倒防止措置の効果など、よりリアルな家具の挙動シミュレーションが可能となった。

(c) 業務の成果

1) はじめに

兵庫県南部地震による直後の死者・行方不明者は 5,500 人を超え、その約 9 割が圧死や窒息死であった<sup>1)</sup>。また、その約 1 割が家具類の転倒や高所からの落下による影響を、直接的・間接的に受けたと言われている<sup>1)</sup>。建物の耐震化の進展や地震の規模別発生頻度を考えると、家具の動的挙動を原因とする人的被害の問題は、ますます重要となってくる。

既往の研究<sup>2)</sup>では、3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)を利用し、モデルルームにおける家具挙動の動的シミュレータを開発したが、本研究では、より詳細な動的挙動解析と条件の違いによる挙動の比較が可能なシステム、さらにはWeb環境を利用した動的挙動シミュレータの構築を行う。本シミュレータは、利用者が自分の部屋の状況や地震に関する情報をWeb上で入力することにより、異なる地震発生時の自分の部屋内の家具の挙動を閲覧できるものである。

## 2) 3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)

本研究では、家具の動的挙動の解析には3次元拡張個別要素法を用いる。家具は、3次元直方剛体要素の集合体として扱う。要素間の接触判定を簡便化するために、頂点を1/8球、辺を1/4円柱と仮定し、接触パターンは頂点と頂点、頂点と辺、頂点と面、辺と辺の4つに分類できる(図1)。これにより、接触判定の簡便化に加え、接触力算定(方向と大きさ)の簡便化と鋭い角を有した理想直方体を用いた場合に生じる頂点のひっかかりなどの問題が解決できる。また、本研究では要素と要素をつなぐ「間隙ばね」を互いの要素のどこにでも設けることができるモデルとした。このモデルを用いることで、家具をひもなどで斜めに吊るような転倒防止措置の効果をはじめとして、よりリアルな家具の挙動シミュレーションが可能になった。

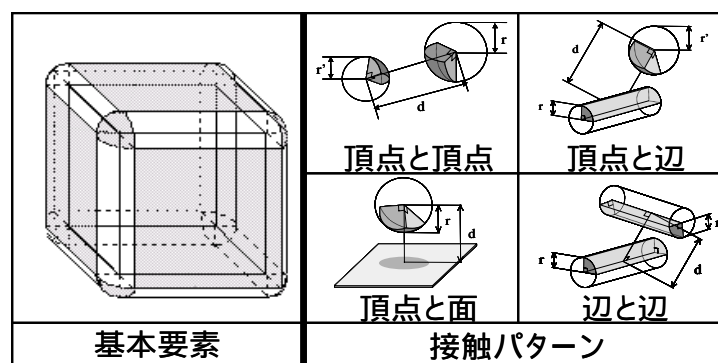


図1 解析の基本要素と接触パターン

## 3) 家具(クローゼット)の動的挙動解析

提案モデルの妥当性を確認するために、まず図2に示すクローゼットの動的挙動解析を行った。クローゼットの各部位の要素ばねのばね定数は、波動伝播速度を基準として求めた<sup>3)</sup>。また、天板や側板など各要素が接着している部分には、頂点と面などに間隙ばねを設置することでモデル化を行った。既に説明したように3D-EDEMでは、適当な破壊基準を持つ間隙ばねを利用することで連続体から非連続体までの挙動を追うことができる。図3に示す変位入力波を、床のX、Y方向に入力した。図4にシミュレーション結果を示す。

## 4) 挙動比較シミュレーションシステムの構築

地震時の家具の挙動の違いを、地形や地盤の効果、建物のタイプや部屋の階数、家具の配置、転倒防止装置の有無、などの条件から比較できるシステムを構築した。床への入力地震動は、対象とする建物を多質点系でモデル化して時刻暦応答解析を行い、各

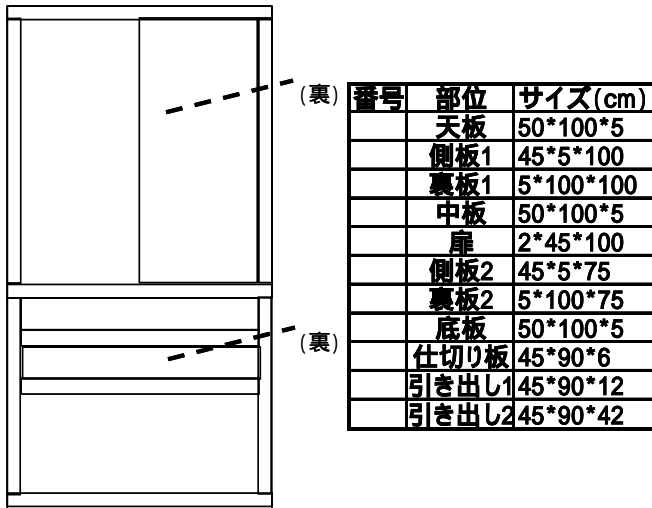


図2 クローゼットの要素

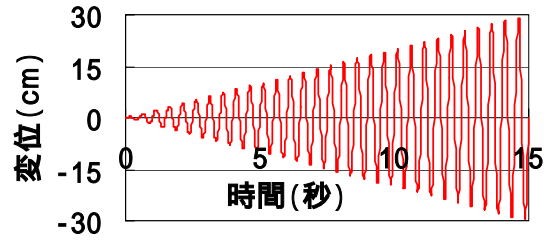


図3 変位入力波

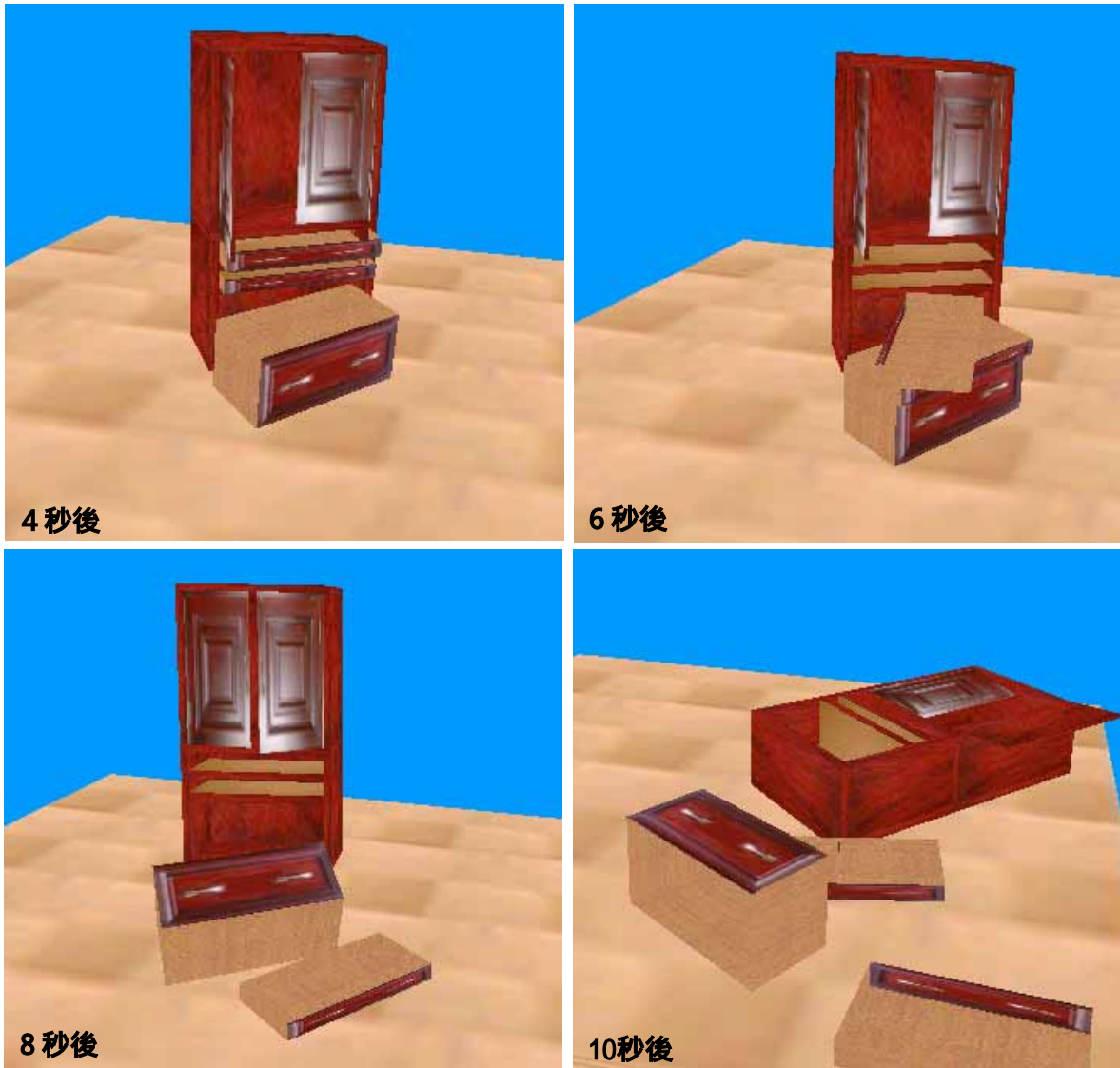


図4 シミュレーション結果

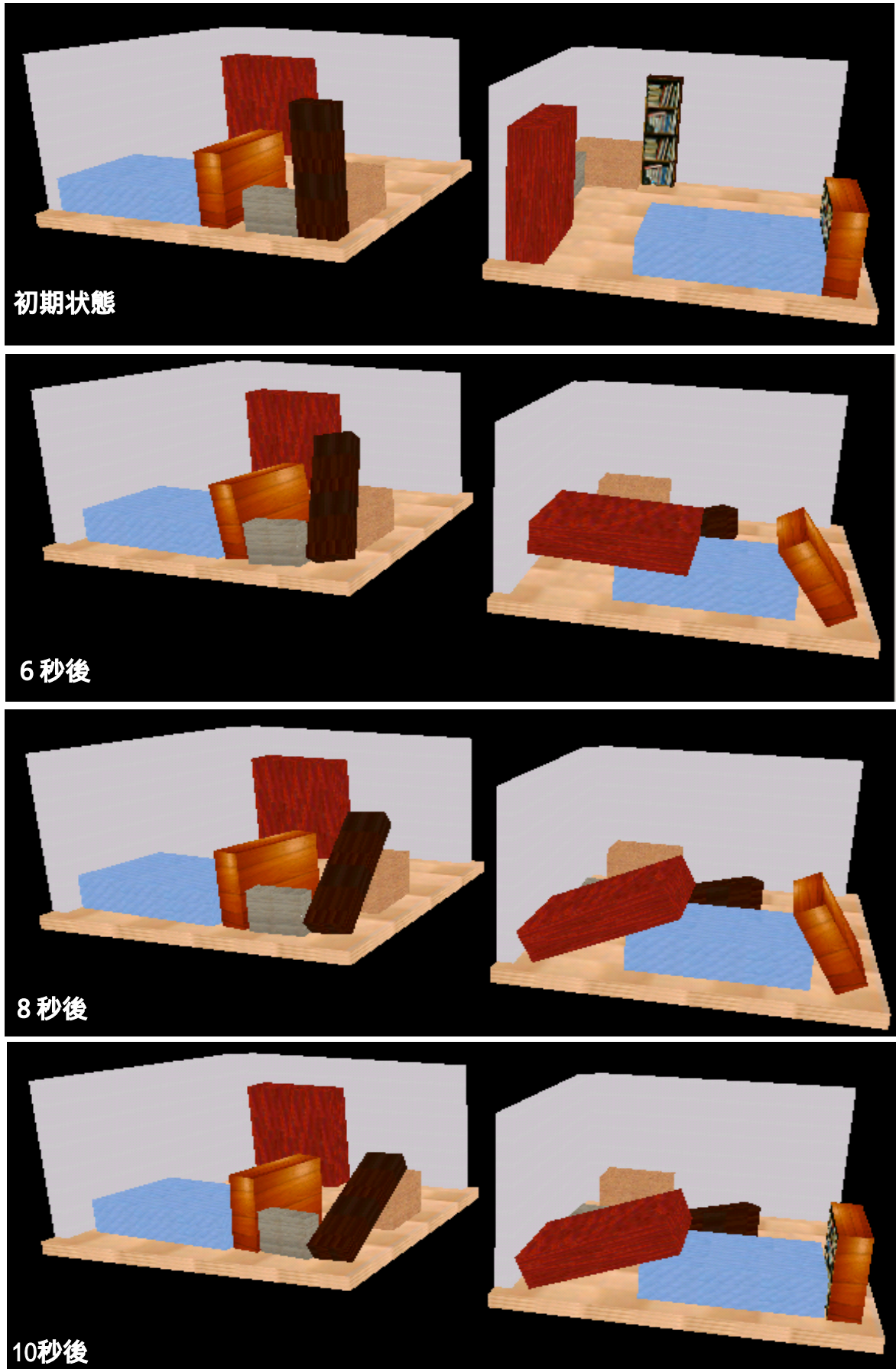


図5 レイアウトによる挙動の違い

質点の応答を対応する各階の床の地震応答として用いる。地形や地盤による効果がある場合は、その特性に応じて入力加速度を増減させる。建物の壁量の影響は、応答解析においてはね剛性を変化させることで表現する。シミュレーション結果の1例として、部屋のレイアウトの違いによる比較を図5に示す。地震時の家具の挙動がレイアウトによって大きく変化することが分かる。

### 5) Web を利用した動的シミュレータの構築

本シミュレータの概要を図6に示す。利用者は、Web上で、地盤条件、木造・RC造などの建物種別、建築年代などを選定した上で家具のレイアウトを設定(図7)し、これらのデータをサーバーに送信する。サーバーは送信されたデータをもとに、床への入力地震動を求め、家具の動的挙動解析を行う。シミュレーションが終了次第、その結果がWeb上にアップロードされ、利用者はこれを閲覧できる。

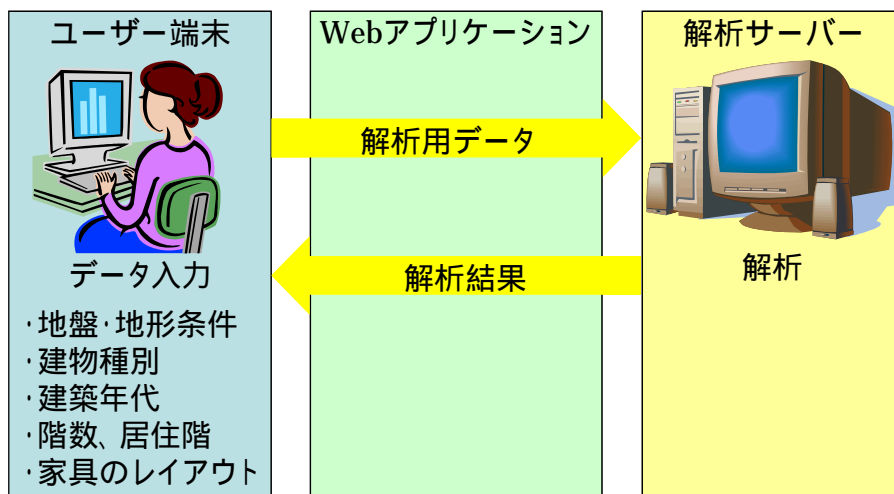


図6 シミュレータの概要

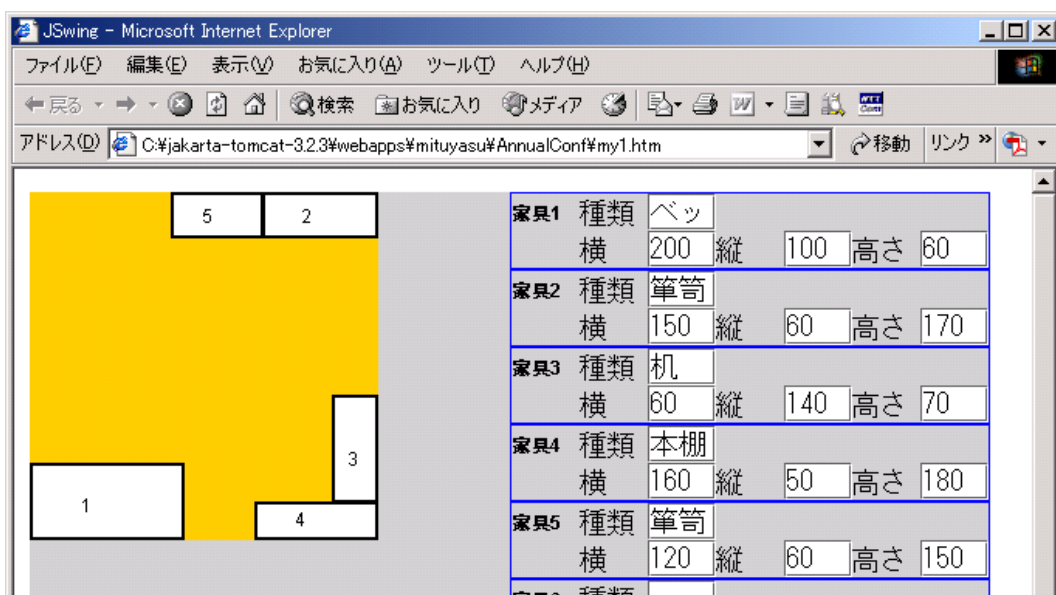


図7 家具配置ユーザーインターフェイス

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度は、3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)を用いて、条件の違いによる家具挙動の比較シミュレーションシステムとWebを利用した家具の動的挙動シミュレータの構築を行った。前者は、地震時の家具の挙動が地形効果や壁量の違いなどによって大きく変化することを示すことで、市民への防災教育ツールとして活用できるものである。後者は、利用者が自分自身の部屋で地震時に家具がどのように挙動するのかを具体的に見ることで、防災意識が高まり、家具を固定したりレイアウトを変えるなどの具体的な防災対策行動を促進し、地震時の室内被害の軽減につながるものと期待される。

今後は本シミュレータの利用者からの評価をもとに、インターフェースなどを充実させていくことが課題である。

(e) 引用文献

- 1) 日本建築学会建築委員会，兵庫県南部地震調査研究部会，建築内部空間における被害WG：阪神淡路大震災住宅内部被害調査報告書，1996.9.
- 2) 榎本美咲，目黒公郎：3次元拡張個別要素法を用いた地震時の家具の動的シミュレータの開発，土木学会第58回年次学術講演会概要集，2003.9.
- 3) 目黒公郎：個別要素法による動的破壊解析に関する研究，東京大学博士論文，1991.3.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
柳田充康・目黒公郎	Webを利用した地震時の家具の動的挙動シミュレータの構築	第59回年次学術講演会講演概要集，土木学会，第1部門	平成16年9月（投稿中）

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし



### (3) 平成16年度業務計画案

前年度に引き続き、特に専門的な知識のない一般の人々を対象とした、地震時の室内の安全性を自己評価できるシミュレータの開発を行う。開発したシミュレーションモデルを用いて、家具や什器の転倒防止対策の効果に関する定量的評価も行う。評価に際しては、新築の建物、耐震補強済み建物、既存不適格建物など、様々な建物内における室内の什器等の挙動の違いも考慮する。これらの研究成果に基づいて、対策法の適用マニュアル(試作)を整備する。