

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ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成14年度業務目的

(2) 平成14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) 三次元拡張個別要素法と連結式家具のモデル化
 - 3) シミュレータの全体像
 - 4) 解析モデルとシミュレーションの例
- (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15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	役職	氏名
東京大学生産技術研究所	助教授	目黒公郎
	大学院生	柳田充康
		榎本美咲

(c) 平成14年度業務の目的

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

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(歯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14年度業務目的

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14年度の成果

当初掲げた平成14年度業務の目的は、(1)の(e)でも説明したように「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。」というものであった。しかし、本研究プロジェクトの趣旨に合う適切な家具や什器メーカーと住宅メーカーの選定が完了しなかったために、メーカーとの共同で実施する予定であった課題を先送りし、本年度は、次年度以降に予定していたシミュレータや室内安全性評価システムの研究を優先して実施した。なお、家具や什器メーカーと住宅メーカーとの協力で実施する部分に関しては、これらの監督行政機関の協力を得ながら来年度以降実施の予定である。

(a) 業務の要約

本研究では、非連続体媒質の動的3次元挙動の解析が可能な数値解析手法である3次元個別要素法(3D-Distinct Element Method, 3D-DEM)に、連続体的な性質を取り込んだ3次元拡張個別要素法(3D-Extended DEM, 3D-EDEM)を用いて地震時の家具の動的挙動をシミュレーションできるシステムを構築した。対象とする部屋の室内のレイアウトや、部屋の存在する建物のタイプや階数、転倒防止装置の有無などを考慮できるシミュレータである。このシミュレータは防災上、以下の点に貢献すると考えられる。

今後、連結金物に替わる有効な転倒防止装置の開発とその普及に役立つ。

一般市民が様々な条件下での地震時の家具の挙動を自分で手軽にシミュレーションできるシステムは、防災教育ツールとして広く利用できるものである。

なお、本研究で用いた3D-EDEMとは、解析対象物の連続体から非連続体にいたるの動的挙動を解析する3次元拡張個別要素法という数値解析手法であり、家具は3次元直方剛体ブロックの集合体として扱った。この成果は、平成15年度の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

従来、完全非連続体を対象とした解析手法であった個別要素法(Distinct Element Method, DEM)に、要素同士の連続性やつながりの効果を表す間隙バネを新しく導入した拡張個別要素法 Extended Distinct Element Method, EDEM)を開発し、これを用いた地震時の家具の動的挙動を数値解析するモデルを構築した。解析において家具は3次元剛体ブロックの集合体としてモデル化した。

本年度は実際の家具や住宅に関するパラメータが未整備なので、過去において実験した木製ブロックのデータを参考として決めた材料特性を用いてシミュレーションを試みた。パラメータの適切な設定は次年度以降の課題として、シミュレーション環境の充実に力点を置いた環境整備に努力した。すなわち、対象とする部屋の室内の家具のレイアウト、その部屋が存在する建物のタイプや階数、転倒防止装置の有無などを比較的簡単に考慮できる環境を実現した。

(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9割近くが圧死や窒息死であった¹⁾。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・間接的に受けたと言われている¹⁾。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、家具の落下や転倒による死傷者の問題は、今後の地震防災を考える上でますます重要になってくると思われる。そこで本研究では、直方剛体要素を用いた三次元拡張個別要素法解析²⁾により、地震時の家具の動的挙動を分析するコンピュータシミュレーションを行う。その中で、新たに要素と要素をつなぐ「間隙ばね」を導入し、連結式家具の挙動についてシミュレーションを試みる。

2) 三次元拡張個別要素法と連結式家具のモデル化

本研究では、家具を三次元直方剛体ブロックの集合体として扱う。ただし、要素間の接触判定を簡便化するために、図1に示すような適当な半径(r)を用いて、頂点を1/8球、辺を1/4円柱と仮定する。

この仮定により、接触のパターンは図2に示すような頂点と頂点、頂点と辺、頂点と面、辺と辺の4つに分類でき、接触力算定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を解決できる。

従来の三次元個別要素法(3D-DEM)では、要素と要素をつなぐ「間隙ばね」が導入されていないため、要素同士の連続性を表すことができなかったが、実際の家具はいくつかのブロックが連結された構造を持ち、普段は連続体と見なせる挙動をする。しかし、強い地震動によって連結装置が壊れるとばらばらな単体として挙動する。すなわち、地震時の家具の挙動を再現するには、連続体から非連続体までの挙動を解析できなければならない。そこで本研究では、連

結装置や転倒防止装置などの効果を，図3に示すように間隙バネ（連結バネ）としてモデル化した3次元拡張個別要素法を用いて地震時の家具の動的挙動のシミュレーションを行う．

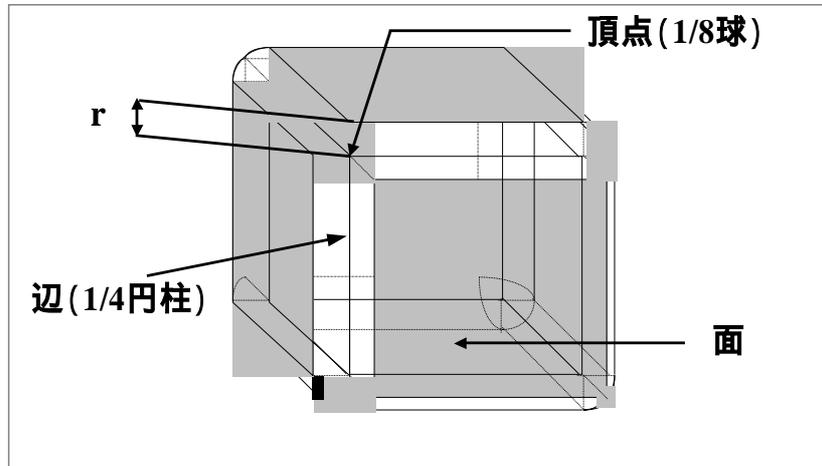


図1 解析に用いる基本要素

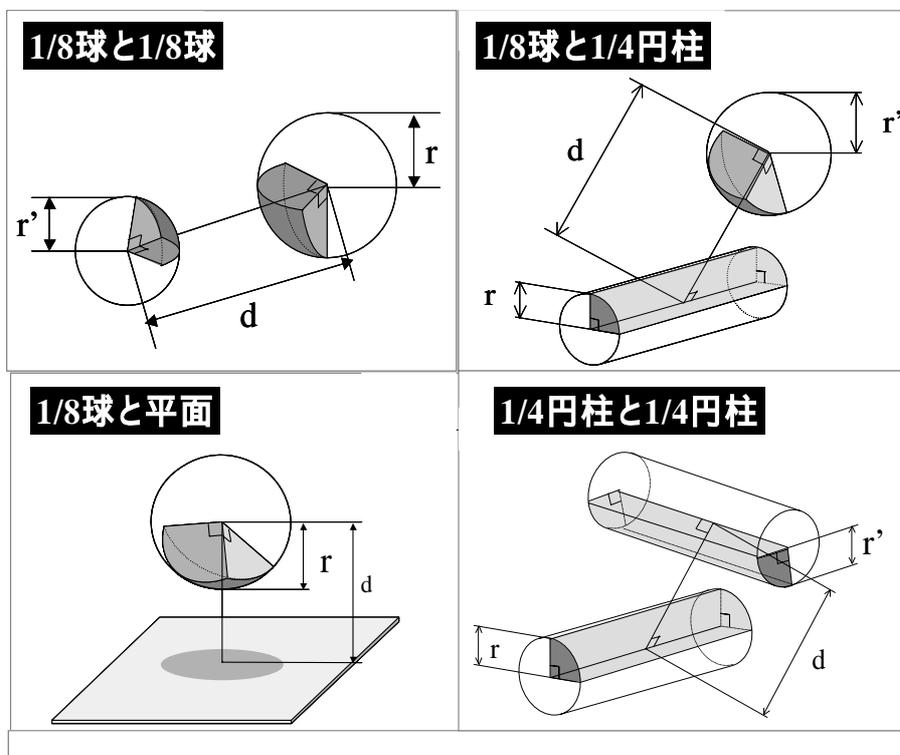


図2 要素の接触パターン

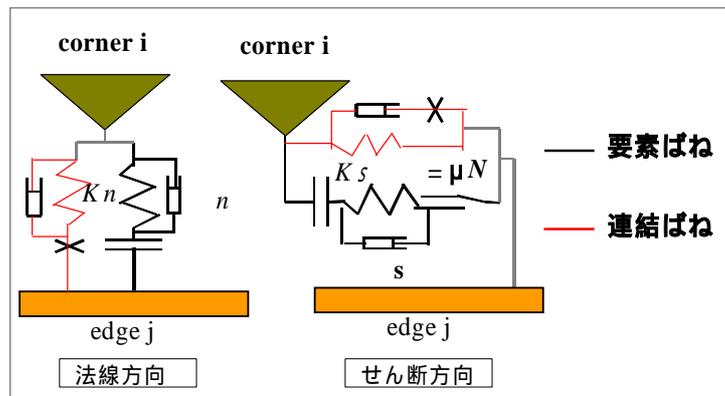


図3 間隙バネ（連結バネ）のモデル化

3) シミュレータの全体像

本研究で開発を進めている地震時の家具の動的挙動のシミュレータの概要を簡単に説明する。図4に示すように、モデルルームの大きさや床の材質の選定、出口の位置を含めた室内のレイアウト、転倒防止装置の有無や種類、入力時震動と建物のタイプや部屋のある階数から決定される床応答（これが部屋の床に入力される）などを決めて、数値解析を行うシステムである。このシステムを用いることで、ユーザーは自分の部屋に非常に近い環境を対象として、地震時の家具の挙動を確認することが可能になる。

4) 解析モデルとシミュレーションの例

ここでは解析の一例として、図5に示すようなモデルルーム（RC5階建の5階）を用いた。解析に用いた緒元は表1に示すとおりである。部屋の床への入力外力としては、建物の応答解析をして得られた図6に示す振動外力を用いた。すなわち、神戸海洋気象台の加速度時刻歴を数値積分して得られるEW, NS, UD方向の変位時刻歴を1階基礎部への入力外力とした5質点の応答解析を行って得たものである。

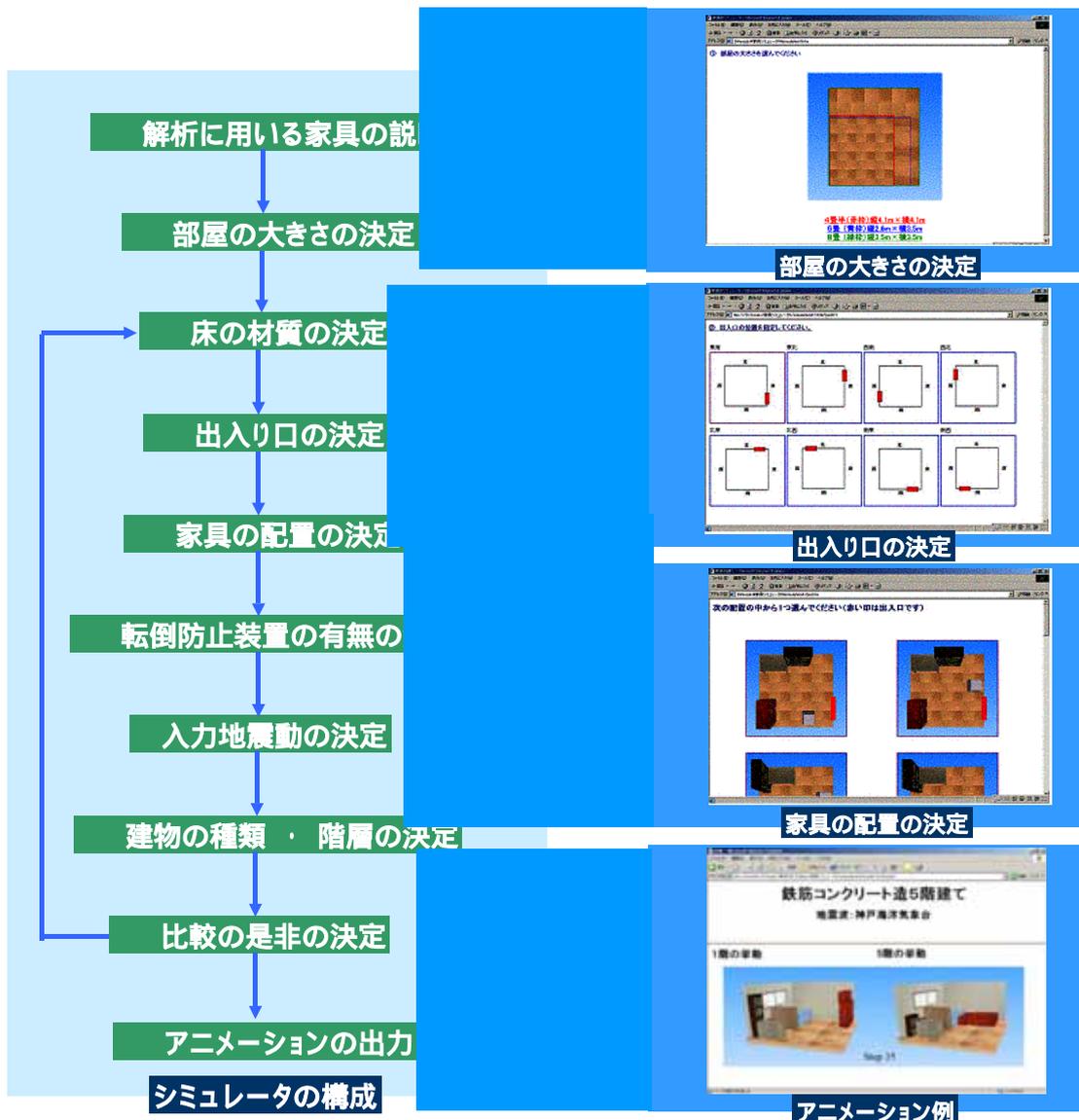
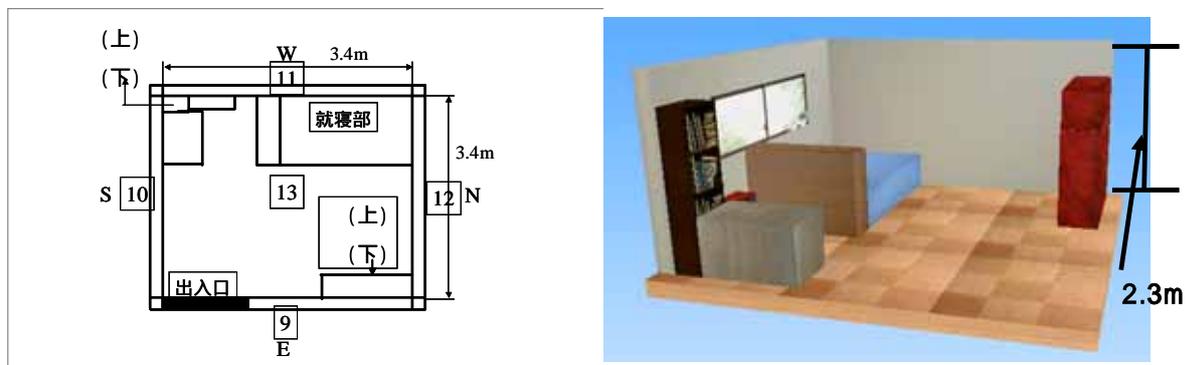


図4 提案するシミュレータの全体像



a) モデルルームの平面図

b) モデルルームの3次元配置

図5 モデルルームの家具のレイアウト

(描画に際しては、室内を見えやすくするために手前と右側の壁を取り払っているが、解析上は他の壁と同様の扱いとなっている。)

表1 モデルの諸元

家具	机	本棚	テーブル	本棚	ベッド	たんす	たんす
プロポーション (cm)	100×60×70	30×50×95	20×70×60	130×35×110	130×200×50	45×140×130	45×140×50
質量 (kg)	50	80	7	280	350	286	110
密度 (10^{-3} kg/cm ³)	0.12	0.56	0.07	0.56	0.27	0.35	0.35
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

モデル	9 11 壁(檜)	10 12 壁	13 床
プロポーション (cm)	20×380×250	380×20×250	420×420×20
密度 (10^{-3} kg/cm ³)	0.49	0.49	0.49
摩擦係数	0.50	0.50	0.50

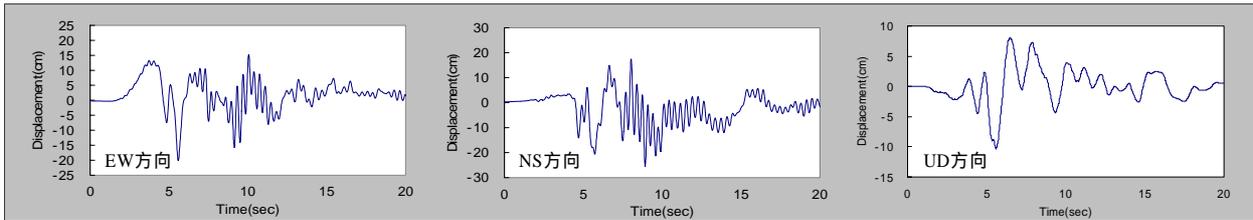


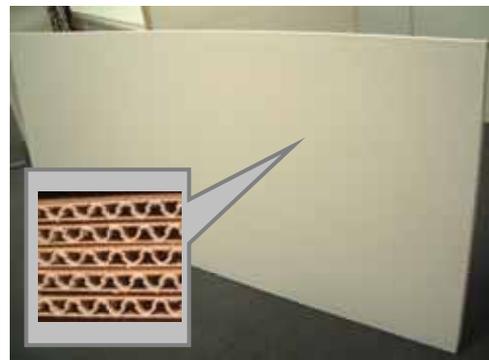
図6 床に入力した振動外力（変位波形）

ここでは、転倒防止装置の効果を確認するシミュレーションを紹介するが、転倒防止装置として用いたものは、図7に示すような連結金具と家具と天井の間に挟み込む間隙材である。この種類を比較した理由は以下のとおりである。

連結金具を用いた転倒防止装置は、住宅の柱、壁の中の間柱（桟＝さん）など限られた場所にしか設置することができないし、壁が弱い場合は衝撃的な力が作用するとネジが引き抜ける場合もある。また、賃貸住宅などでは壁や柱に傷をつけることも難しい。そこで、家具と天井の間に何らかの間隙材を挟み込むことで、家具の移動や転倒を防ぐ方法を考える。この時、天井の強度を考えると、間隙材は適度な剛性（荷重を面で支える）を持ち、軽いものが適している。具体的には、発泡スチロール程度の材料特性を有するものが適している。ただし、発泡スチロールは火災時に有毒ガスを発するので、段ボール紙を重ねた「ハニカムボード」などが適している。



a) L字連結金具



b) 間隙材（ハニカムボード）

図7 解析に用いた転倒防止装置の例



図8 シミュレーションの例

(d) 結論並びに今後の課題

本年度は、非連続体媒質の動的3次元挙動の解析が可能な数値解析手法である3次元個別要素法（3D-DEM）に、連続体的な性質を取り込んだ3次元拡張個別要素法（3D-EDEM）を用いて地震時の家具の動的挙動をシミュレーションできるシステムを構築した。要素間のつながりを表す間隙バネを導入することで、連結式の家具の挙動や転倒防止装置の効果などを考慮することが可能となった。今回構築したシミュレータは、解析対象とする部屋の室内レイアウトや、部屋の存在する建物のタイプや階数、転倒防止装置の有無などを考慮できるものである。一般市民が地震時の家具の挙動を理解するとともに転倒防災策の重要性を認識し、これを推進する環境を整備する上で効果を発揮するもの緒期待される。

一般市民が様々な条件下での地震時の家具の挙動を自分で手軽にシミュレーションできるシステムは、防災教育ツールとして広く利用できると思われるが、今後の課題としては、解析上の面と、シミュレータの面と2種類に分けて以下のような点が挙げられる。

解析上の面からは、連結金具や転倒防止装置の効果を表す間隙バネの装置や材料に応じた適切なモデル化に関する研究、床の応答を適切に設定するための建物応答解析部分の改良、壁量や立地条件を簡単に考慮するための工夫など。シミュレータの面からは、ユーザーフレンドリーなインターフェース環境の整備、WEB上での展開、VR技術を効果的に活用した表現法など。

(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) 目黒公郎・西川大介: 3次元個別要素法による地震時の家具の動的挙動解析, 土木学会第53回年次学術講演会概要集, I-B248, pp496-497, 1998.
- 3) 松本晋太郎・目黒公郎: 3次元拡張個別要素法による地震時の家具の挙動シミュレーション, 土木学会第55回年次学術講演会概要集, I-B401, 2000

(f) 成果の論文発表

1) 口頭発表

著者	題名	発表先	発表年月日
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	第58回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, 第I部門	平成15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

1) ソフトウェア開発

なし

2) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成15年度業務計画案

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。