

3.5 高精度加振制御技術の開発

3.5.1 三次元震動台シミュレーションシステムの整備

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3カ年の年次実施計画
- (e) 平成16年度業務目的

(2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 設計製作
 - 2) 作動確認および調整
 - 3) 検証
 - 4) インストール
- (c) 業務の成果
 - 1) 設計製作
 - 2) 作動確認および調整
 - 3) 検証
 - 4) インストール
- (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14～16年度業務のまとめ

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 三次元震動台シミュレーションシステムの整備

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名	メールアドレス
独立行政法人防災科学技術研究所	主任研究員	梶原浩一	kaji@bosai.go.jp
	研究員	佐藤栄児	eiiji@bosai.go.jp

(c) 業務の目的

Eーディフェンスによる震動実験を安全かつ高精度に行うために、震動台の応答挙動を事前に精度良く把握するための三次元震動台シミュレーションシステムを開発する。システムは、震動台モデル、加振系、応用制御系、基本制御系、試験体モデルにより構成されるものとし、試験体による震動台応答の影響を推定できるものとする。また、科学技術振興調整費による総合研究の研究成果を反映し、そこで検討された制御系と震動台ユーザーが持ち込む制御系の装備が可能なシステムとする。

(d) 5カ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

- ① シミュレーションシステムの全体構想の取り纏めを行う。
- ② 震動台、加振機構系と油圧系、実装を予定する基本制御系のダイナミクスを定式化する。

2) 平成15年度：

- ① 14年度で取り纏めた個々の項目のプログラム化を行う。
- ② 振動台シミュレータ上に積載する試験体の基本的な履歴モデルのプログラム開発を行う。

3) 平成16年度：

- ① 実験者が多様な条件下でシミュレーションが容易に行えるようにマン・マシンインターフェースの整備を行う。
- ② 一連の解析、作図プログラムの製作を行う。

なお、開発する震動台シミュレータは、先に行われた確証試験のシミュレーション等で用いた実績ある手法に基づき構築するが、今後の研究の進歩によっては、更に高精度なシステムへ移行する展開も考えられるので、ここで開発する震動台シミュレータの名称を特に、「震動台基準シミュレータ」とする。

(e) 平成16年度業務目的

- ① 14年度で取り纏めた個々の項目のプログラム化を行う。

- ② 振動台シミュレータ上に積載する試験体の基本的な履歴モデルのプログラム開発を行う。

(2)平成 16 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 16 年度は次の項目を実施した。

- 1) 平成 15 年度に実施した全体設計に基づき定義した震動台基準シミュレータにおける「計算システム本体」, 「震動台モデル」の詳細設計ならびにプログラム製作を行った。
- 2) 製作した「計算システム本体」と「震動台モデル」に対し、プログラムの作動確認を行った。また、操作手順を確認し、必要に応じて画面構成を改訂した。
- 3) 製作したプログラムにおけるシミュレーション結果の妥当性を確認するための検証を行った。
- 4) 対象パソコンにおける導入手順を確認し、本シミュレータの各プログラムのインストールと、その動作に必要なソフトウェアのインストールを行った。

(b) 業務の実施方法

1) 設計製作

震動台基準シミュレータは、平成 15 年度に実施済みの「全体基本設計」に基づき、詳細仕様を設計したうえで、「計算システム本体」および「震動台モデル」のプログラムを製作した。なお、概要図を図 1 に示す。

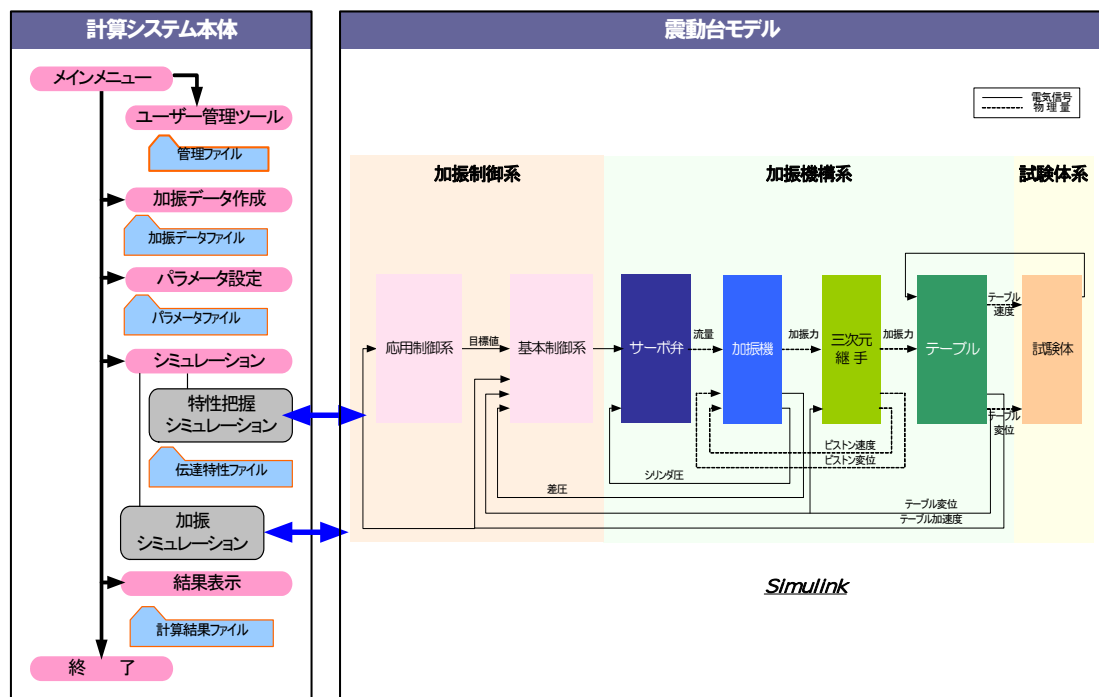


図 1 「震動台基準シミュレータ」概要図

震動台基準シミュレータの設計・製作では、以下の3つの項目について設計・製作する。

- a) 計算システム本体の設計・製作
- b) 震動台モデルの設計・製作
- c) 計算システム本体と震動台モデルの合体

以下に、震動台基準シミュレータにおける設計・製作の具体的な実施方法を記述する。

a) 計算システム本体の設計・製作

主要な操作画面については、平成15年度に製作済みであるが、震動台モデルの設計・製作に着手していない関係上、保留していた機能の設計・製作を行う。

ここでは全体設計の仕様に基づき、主に震動台モデルでの計算結果を表示する機能について設計し、製作を行う。

b) 震動台モデルの設計・製作

テーブル線形モデルおよび試験体モデルについて設計・製作を行い、これを全体の震動台モデルとして組み込む。全体モデルの完成後、計算システム本体とのデータ授受が可能なように、各パラメータ変数ならびに収録系の変数を設定する。

c) 計算システム本体と震動台モデルの合体

各サブプログラムの操作メニューならびにプルダウンメニューで必要な設定条件要素を組み込み、計算システム本体ならびに震動台モデルの各モジュールについてC言語プログラムにコード変換し、ユーザーがGUI画面から直接シミュレーションが実施できるようにする。

2) 作動確認および調整

製作したプログラムに対し、操作上問題が無いかなどの作動確認ならびにその調整を実施する。具体的には、以下の4つの項目について実施する。

- a) 作動確認を目的としたテストデータの作成
- b) プログラムの単体機能テストおよび調整
- c) プログラム全メニューを結合してのテストおよび調整
- d) 評価

操作フローについては、図2に示す。

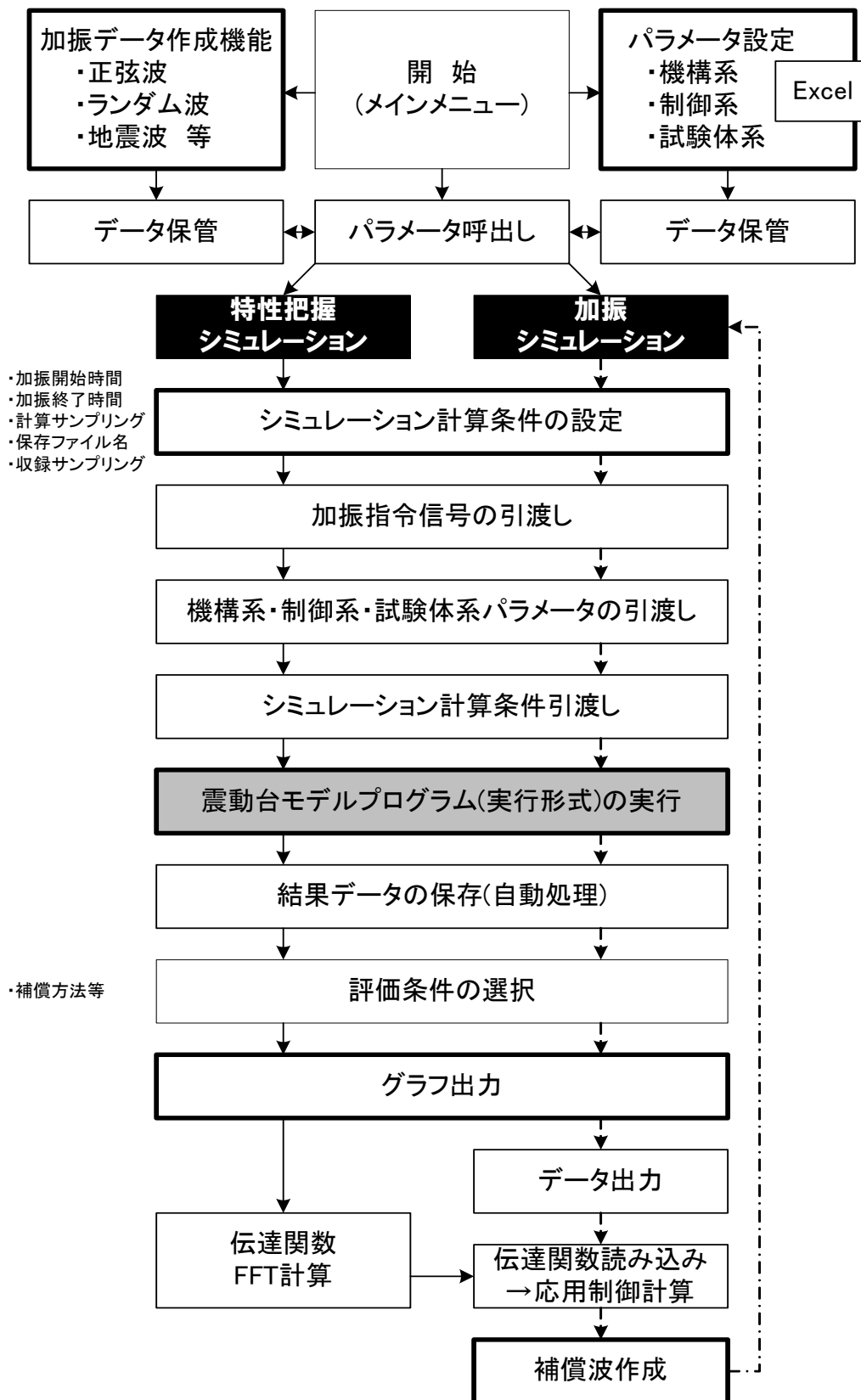


図 2 震動台基準シミュレータの操作フロー

3) 検証

検証は、防災科学技術研究所の「大型三次元震動実験施設技術検討報告書」で用いた震動台模擬モデルでの計算結果を比較対象として選定する。

このモデルは主に MATLAB(Simulink)バージョン 4.2 を用いて構築されており、テーブルは FEM モデルとして製作されたものを用いて、モーダル解析によって求められたモードを組み込んだものである。

今回製作した震動台基準シミュレータは、MATLAB バージョン 4.2 でのモデルと同様に、計算する上で必要となるパラメータの調整を行う。

4) インストール

インストール対象パソコンにおける導入手順を確認し、本シミュレータの各プログラムのインストールと、その動作に必要なとなるソフトウェアのインストールを行い、不具合がないか確認し、不具合が生じた場合には、必要に応じて対処する。

(c) 業務の成果

1) 設計製作

震動台基準シミュレータの設計・製作では、以下の 3 つの項目について設計・製作を実施した。

- a) 計算システム本体の設計・製作（平成 16 年度分）
- b) 震動台モデルの設計・製作
- c) 計算システム本体と震動台モデルの合体

本結果を、以下に記述する。

a) 計算システム本体の設計・製作

震動台モデルの設計・製作のスケジュールの関係で保留していた直接シミュレーションに関係する部分の機能設計および製作を実施した。

全体設計の仕様に基づいて、震動台モデルでの計算結果を表示する機能を含む操作画面と、シミュレーション条件やパラメータ設定を行う画面などを製作した。

全体設計での仕様を図 3 に示す。また、全体画面階層図を図 4 に示す。

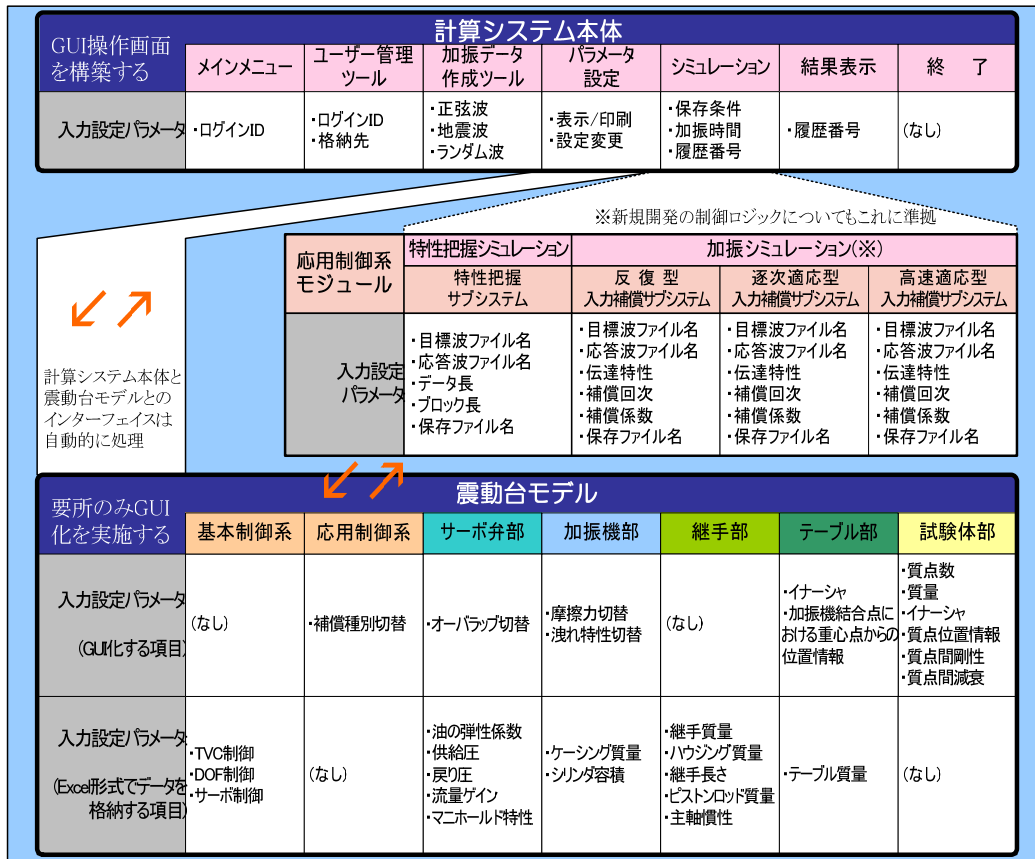


図3 震動台基準シミュレータ詳細仕様

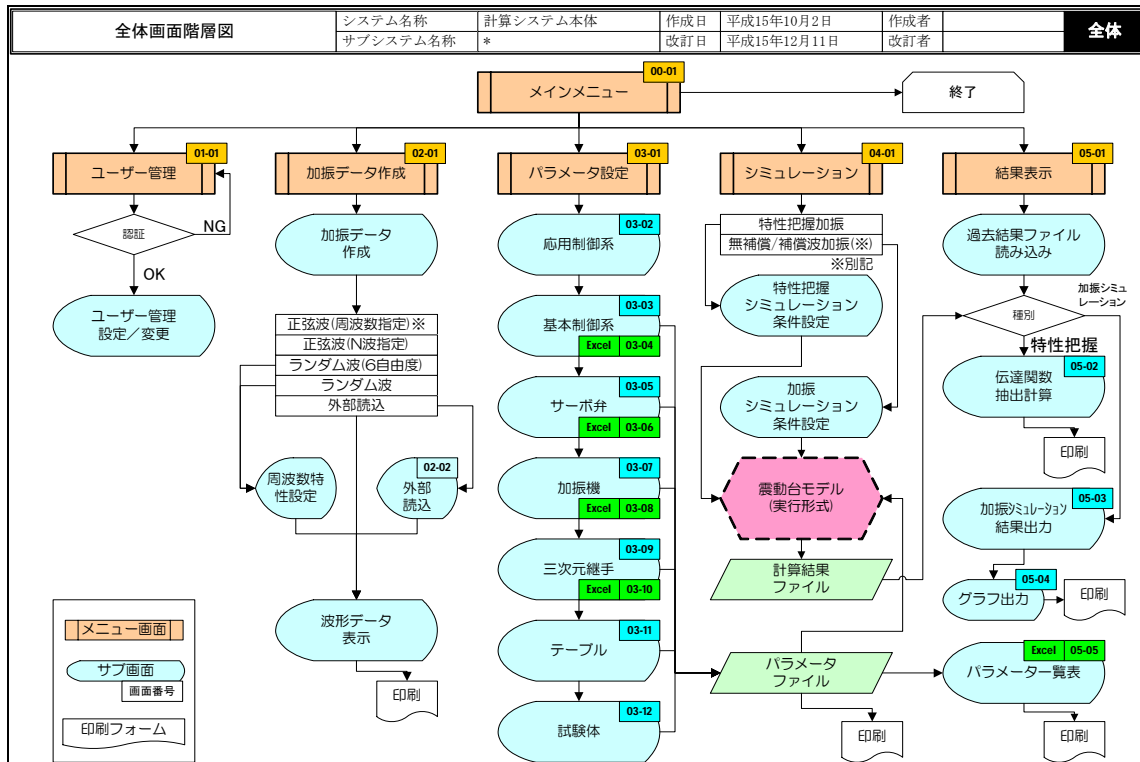


図4 全体構成階層図(平成15年度設計書)

i) 計算結果を表示する機能を含む操作画面の作成

平成 15 年度に作成した機能設計仕様書およびグラフ書式定義書をもとに、主に計算結果を表示する機能を含むユーザー操作画面を製作した。

機能設計書とグラフ書式定義書の一例を図 5 に、結果表示に関する仕様を表 1 に示す。

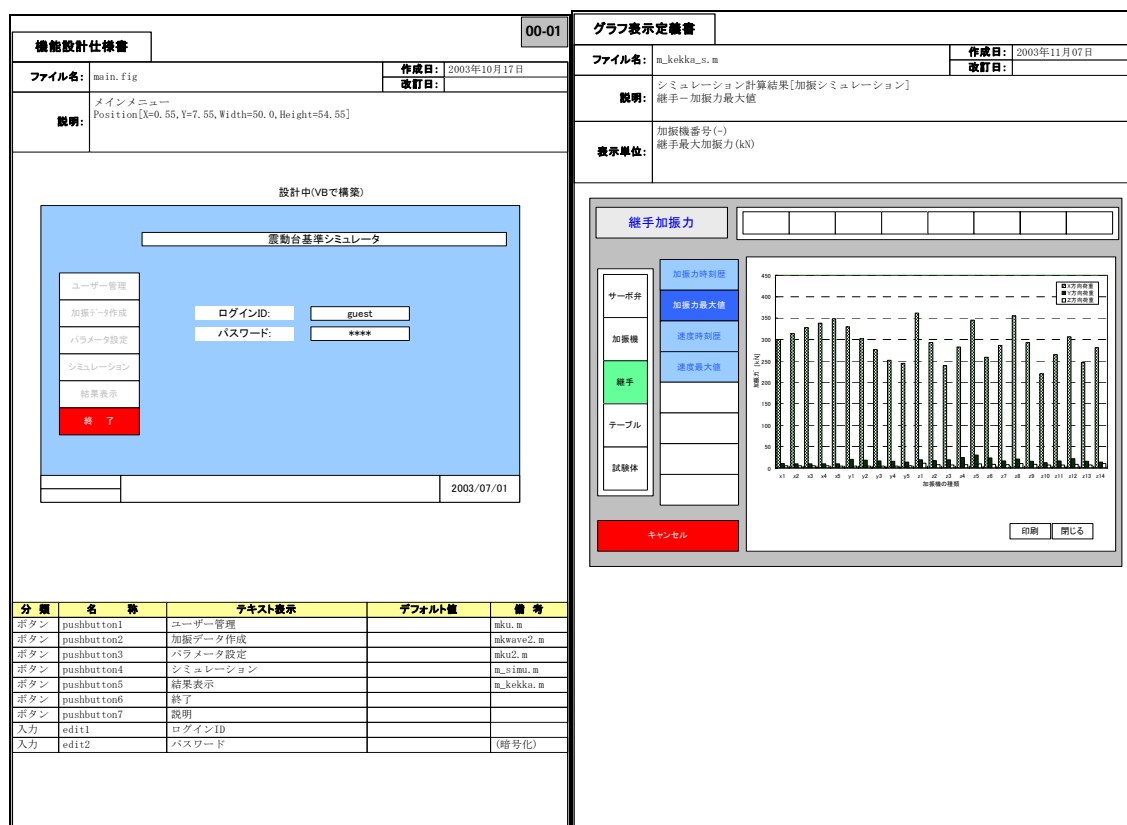


図 5 機能設計仕様書とグラフ書式定義書の一例

表 1 結果表示に関する仕様

結果表示<出力物>			○時刻歴折れ線グラフ/■最大値棒グラフ							○周波数軸折れ線グラフ				
設定手順	メニュー画面にて選択履歴番号を入力してデータを読み込む		加速度	速度	変位	力	差圧	油量	角度(上下加速度)	転倒モーメント	ゲイン	位相	コーレンス	応答スペクトル
特性把握	テーブル	中心点	○	○	○	—	—	—	—	—	○	○	○	—
		(時刻歴)	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	○
入力補償	加振機	(最大値)	—	■	■	■	■	■積算	—	—	—	—	—	—
		質点	○	○	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—
	試験体	層間	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	

なお、メインメニューのみ Visual BASIC を用いて構築するとしていたが、MATLAB を利用しても機能的に変わらないため、MATLAB に統一した。起動画面を図 6 に示す。なお、Visual Studio.net については、シミュレーション時に利用しているため、引き続き必要となる。製作した計算結果表示画面の一部を図 7 に示す。

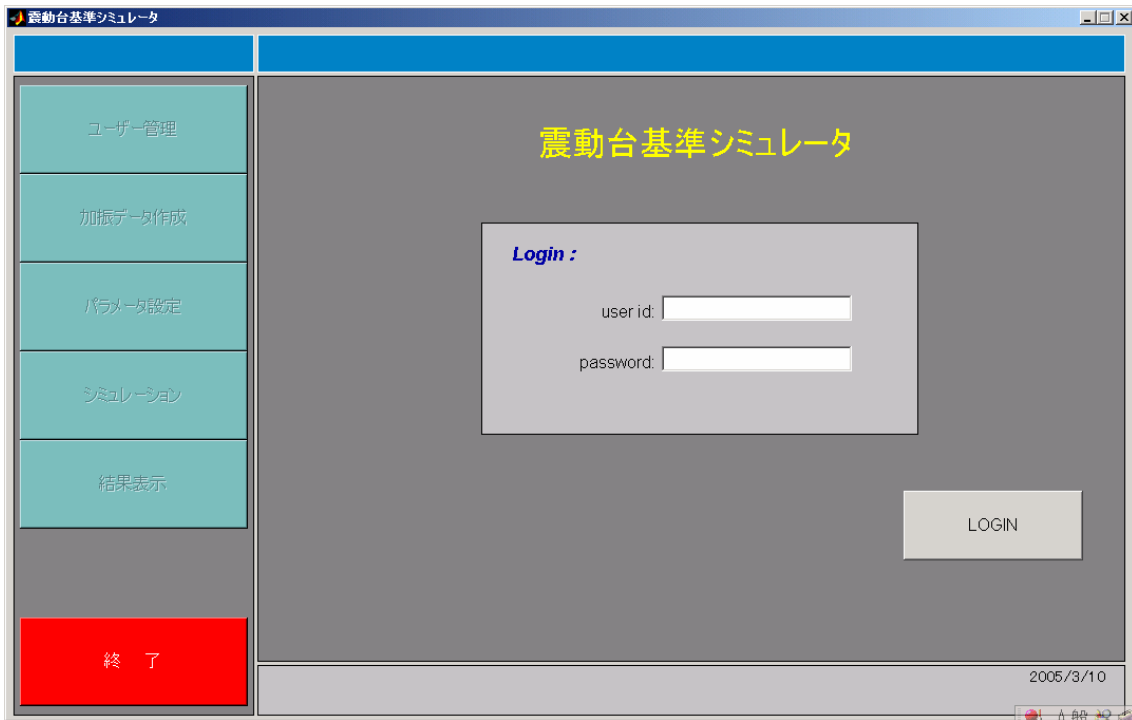


図 6 震動台基準シミュレータ起動画面

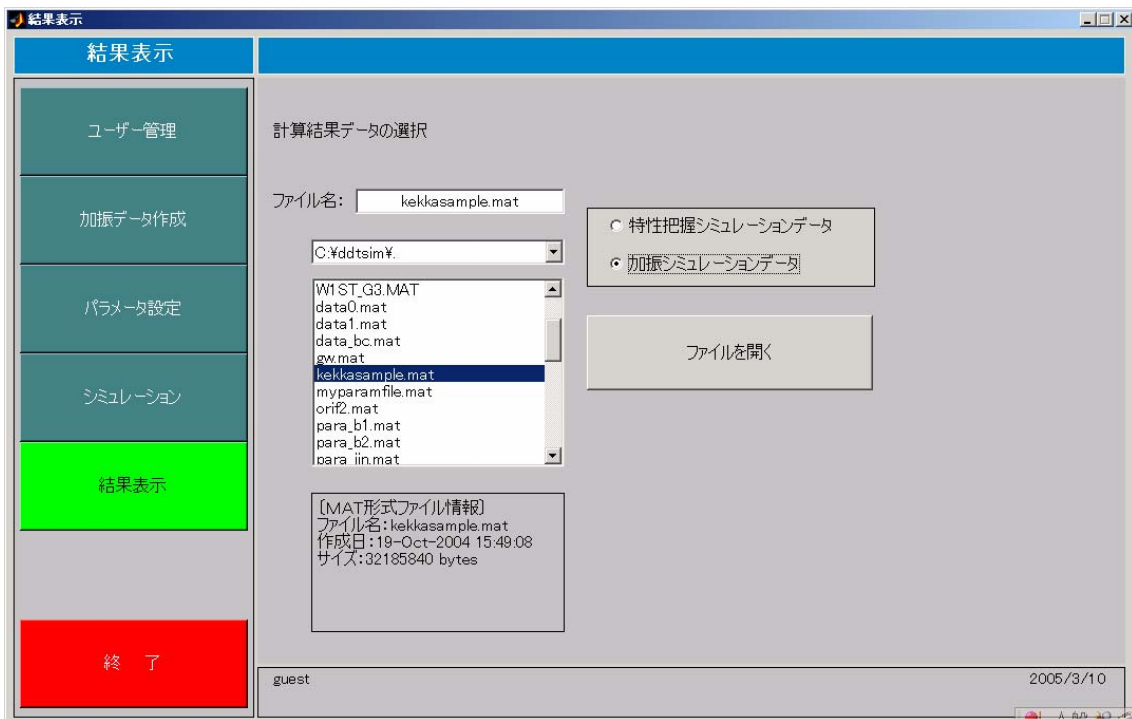


図 7(a) 結果表示－結果表示ファイルの選択

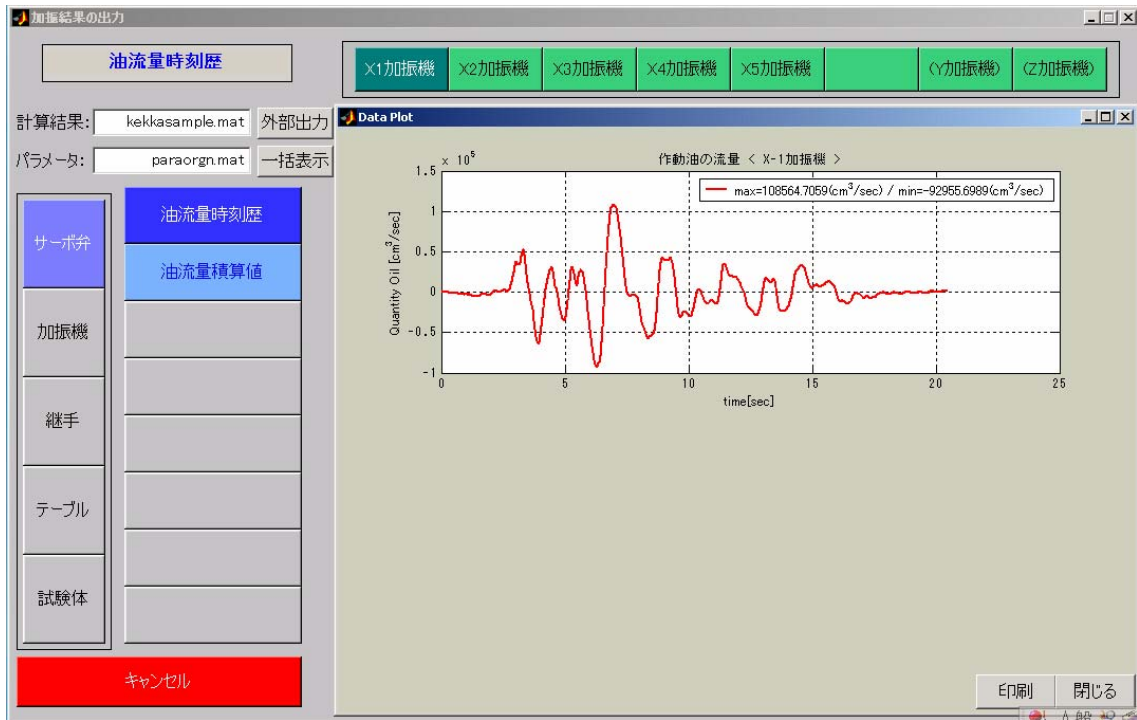


図 7(b) 結果表示－時刻歴データ表示例

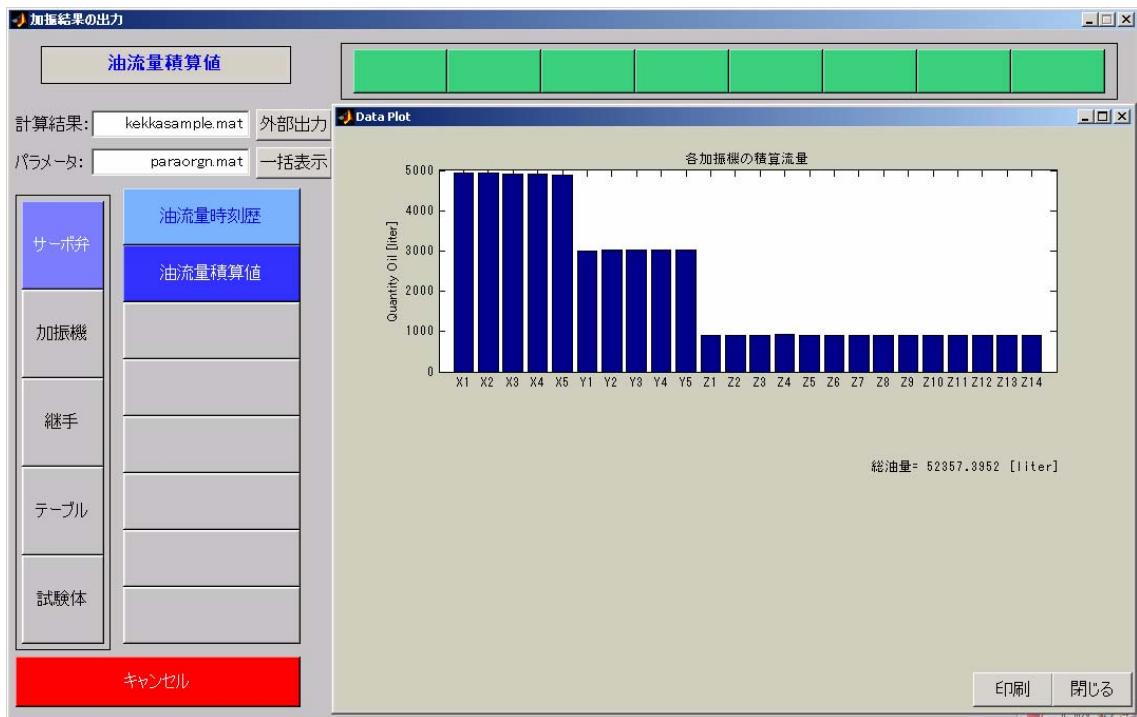


図 7(c) 結果表示－積算データ表示例

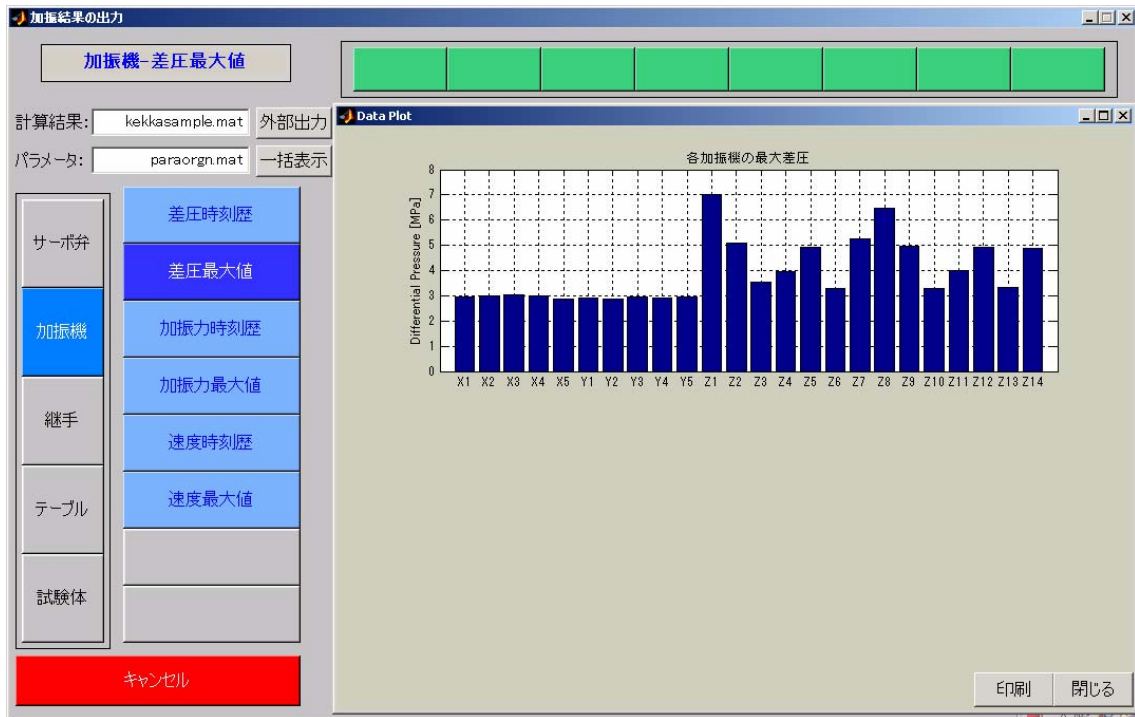


図 7(d) 結果表示－最大値データ表示例



図 7(e) 結果表示－応答スペクトル設定画面

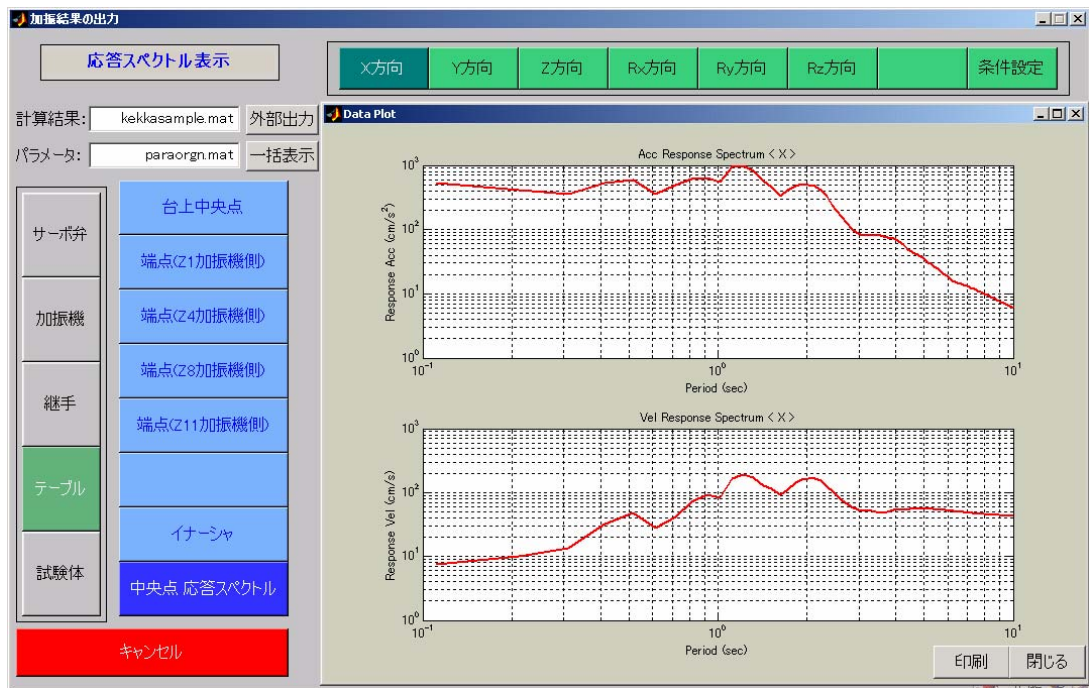


図 7(f) 結果表示－応答スペクトル表示画面

ii) シミュレーション条件設定画面の作成

震動台モデルにおけるシミュレーション条件の設定を行う「シミュレーション条件設定画面」を作成した。これらの条件設定は、「特性把握シミュレーション」または「加振シミュレーション」の操作画面に包括させ、一体化した。製作した設定画面の例を図 8 に示す。



図 8(a) 特性把握シミュレーション実行画面

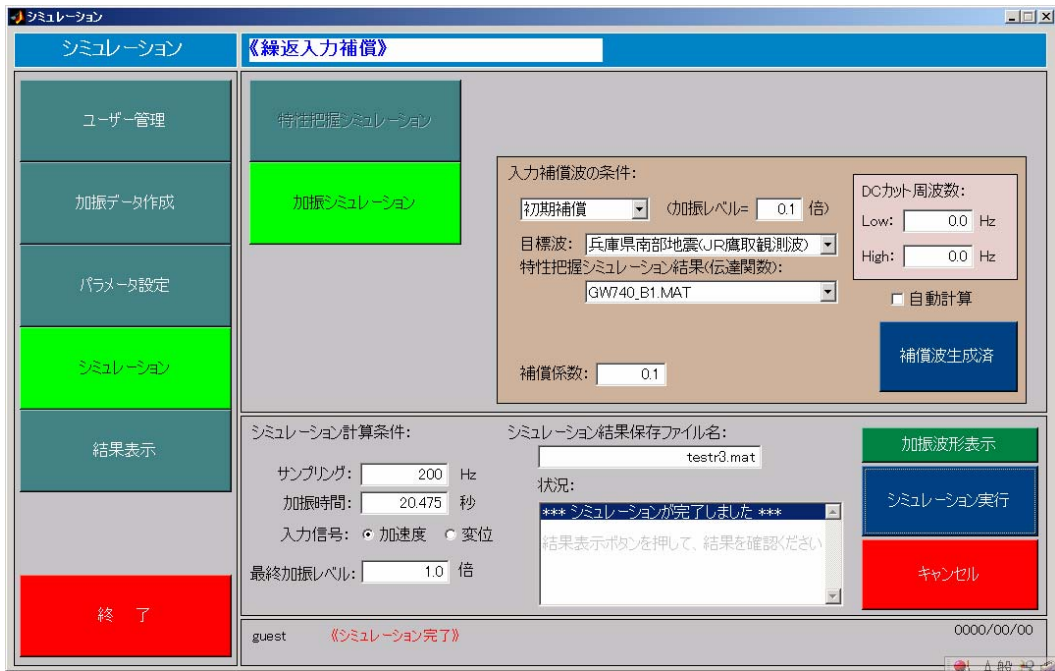


図 8(b) 加振シミュレーション実行画面例(繰返入力補償)

シミュレーション計算条件の設定部分における機能設計の結果、これらは平成 15 年度の機能設計仕様書から該当部分の設計変更を行った。具体的には、ユーザー操作のフローにおいて、「計算終了後にファイル名を指定してテンポラリの計算結果を保存する」という操作手順を、「ファイル名を先に指定してからシミュレーションを実行する」という操作手順に変更し、シミュレーションが終了したあと自動的に結果表示画面に移動するようにした。この設計の見直しにより、テンポラリファイルも不要となり、計算結果の保存ボタンを廃止し、シームレスな操作手順になった。

iii) パラメータ設定画面の作成

震動台モデルに設定するパラメータを表示または設定する画面の作成を行った。ただし、実際にはすでにシミュレーションが可能のようにチューニングしているうえ、物理的座標についても定義済みのため、ユーザーが操作することは稀である。

平成 15 年度の設計変更で定義することとした MATLAB 本体側からの EXCEL の操作制御機能については、あらたな制御ロジックの組み込みを実施し、実現した。

パラメータ設定画面の手順と例を図 9 に示す。

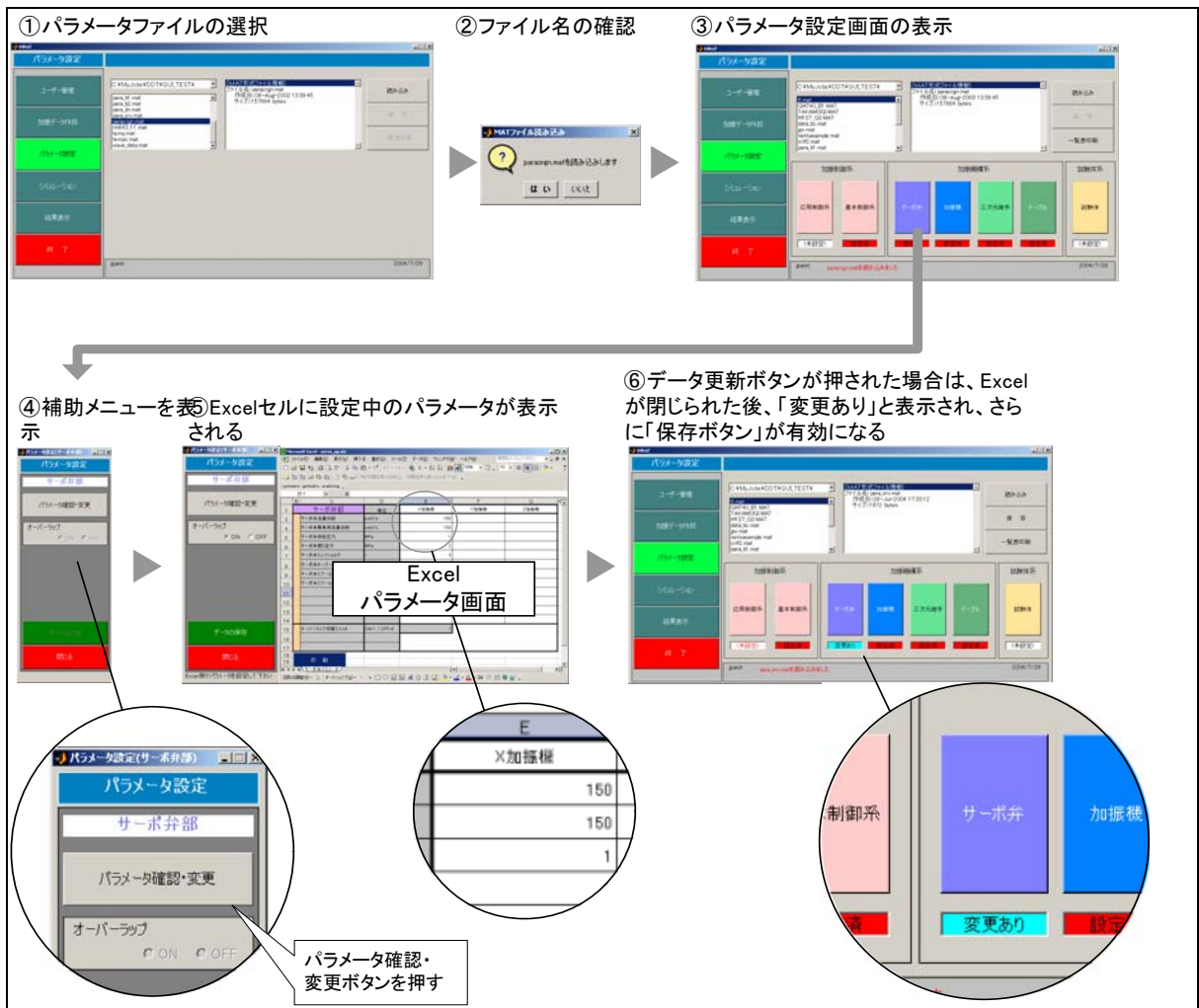


図 9(a) パラメータ設定における基本的な手順

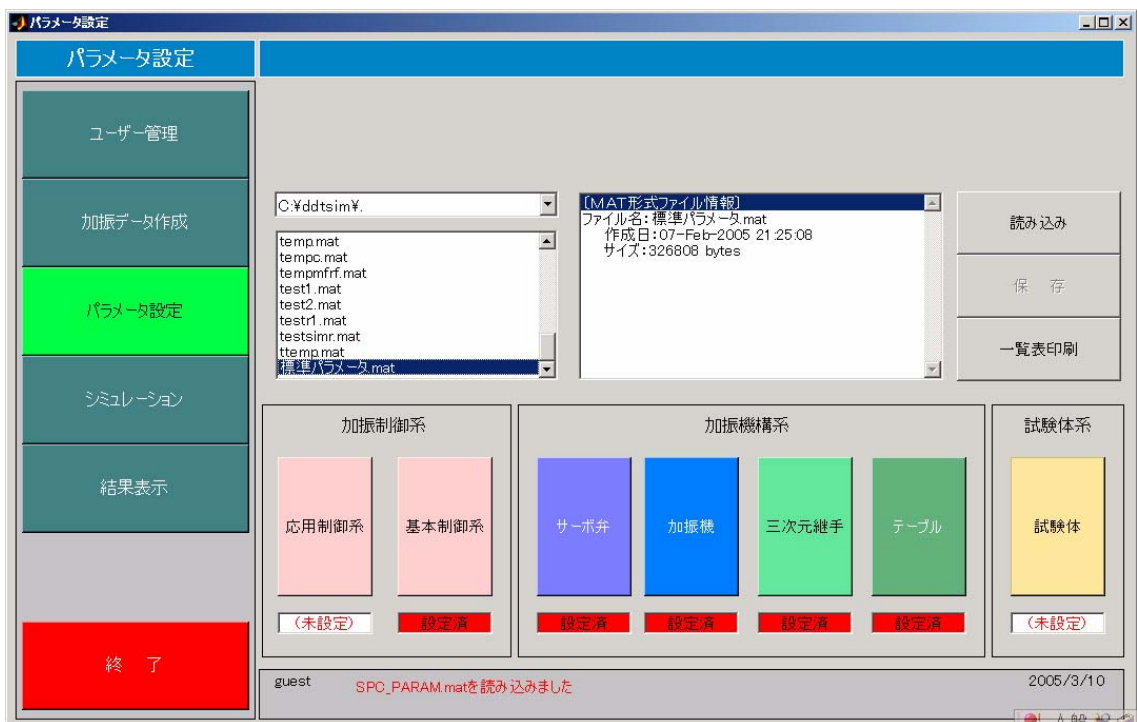


図 9(b) パラメータ設定画面の例(初期画面)

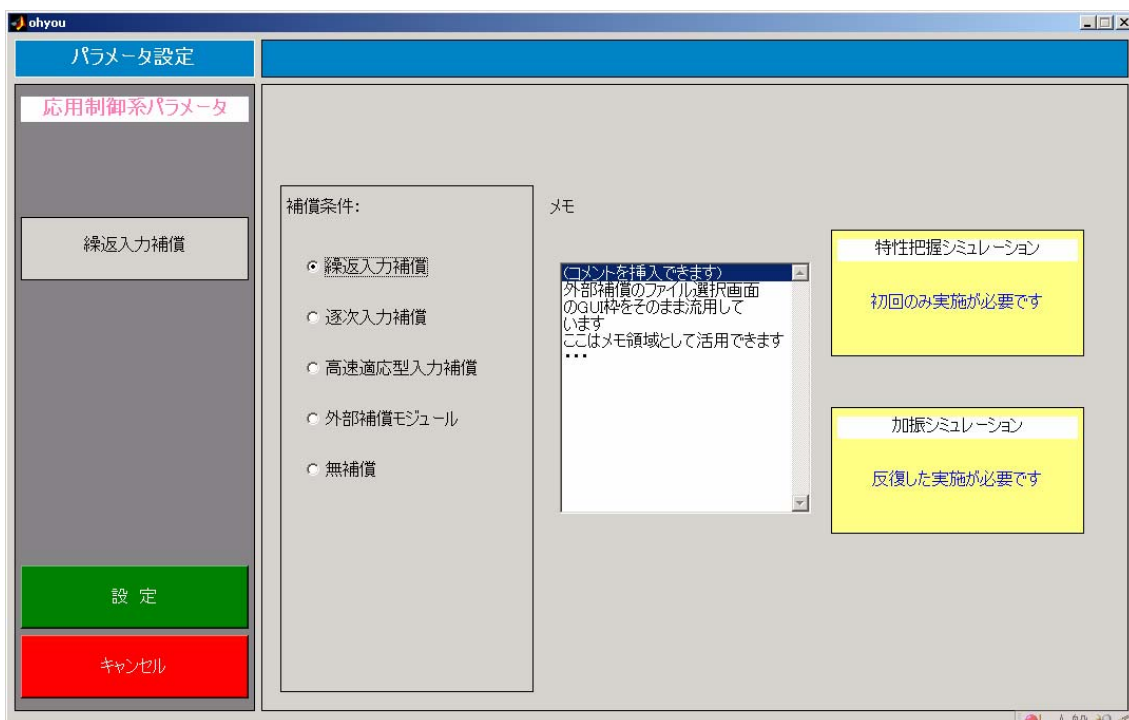


図 9(c) パラメータ設定画面の例(応用制御系)

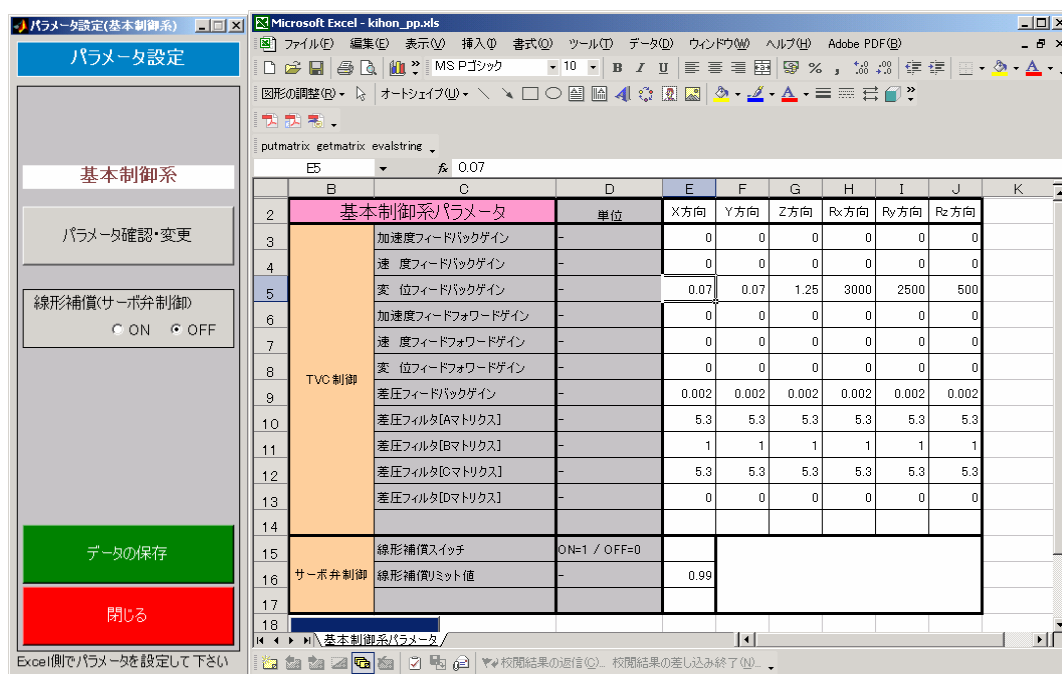


図 9(d) パラメータ設定画面の例(基本制御系)



図 9(e) パラメータ設定画面の例(試験体)

b) 震動台モデルの設計・製作

震動台モデルは、以下の条件をもとに MATLAB(Simulink)6.5 を用いて設計・製作を行い、C 言語化し、コンパイルを実行した。

また、収録系の定義、外部補償の組み合わせについての仕様を確立した。

i) 震動台モデルの条件

(制御系)

- ・ TVC(Three-Variable Control)制御モデル
- ・ DOF(Degree Of Freedom)変換器モデル
- ・ サーボ制御盤モデル

(加振機構系)

- ・ サーボ弁－3 ステージのスプール動特性を伝達関数として近似
- ・ 油圧加振機－X5 本、Y5 本、Z14 本を各軸方向 1 自由度(ただしシール摩擦力は考慮無し)
- ・ 三次元継手－ピストンを剛体としたピンジョイントモデルとして、運動エネルギー、ポテンシャルエネルギー、重力エネルギー、消散エネルギーをもとに三次元の運動方程式で構成
- ・ テーブルおよび試験体－質点要素として定義

ii) 収録系の定義

収録系については、各ワークスペースに変数を設定したが、10 点おきに間引くことによ

ってファイルサイズの縮小化を図った。計算刻み時間を 1×10^{-4} 秒とした場合、10 秒間のシミュレーションで約 30Mbytesとなる。また、指令信号については内部で補間をしている。

制御系モデルについてはパラメータファイルと一体となっているため、シミュレーションの開始時に毎回パラメータを生成するロジックとした。

なお、標準的なシミュレーションに掛かる時間は、計算刻み時間を 1×10^{-4} 秒とした場合、10 秒間のシミュレーションで2分程度とかなり高速な計算が可能となった。

MATLAB のコンパイルについては、MATLAB6.5 に既知の不具合(例えば、収録する変数名が指定できない事象)が存在するため、一部ソースコードを変更して対処した。

データの発散を防ぐため、加振指令信号の先頭部ならびに終了部については、0 データとするのが望ましい。

iii) 外部補償の組み込みに関する仕様

外部補償については、仕様が未定義のため、現時点では震動台モデル内部には組み込みしないこととした。このため、震動台モデルと外部補償の制御プログラムは切り分け、加振指令信号ならびにテーブルまたは試験体応答値を引き渡すこととした。

これにより、外部補償については、事実上無補償加振と同じ仕組みで加振シミュレーションを実行することになる。

c) 計算システム本体と震動台モデルの合体

各サブプログラムの操作メニューならびにプルダウンメニューで必要な設定条件要素を組み込み、計算システム本体ならびに震動台モデルの各モジュールについてC言語プログラムにコード変換した。このとき、シミュレーション計算に必要なサンプリング刻み時間、加振時間、加振指令信号、震動台モデルの内部変数、収録系の保存ファイル名をシミュレーション条件設定のGUI画面から入力し引き渡すことが可能なように、特殊な方法を用いてC言語化を実施した。

具体的には、指令信号については予め加振時間分の0データとした予備加振信号を用意し、領域すなわちアロケーションを確保した上で、本加振時に実際のデータと交換する仕組みを定義した。

震動台モデルの内部変数については、コンパイルしたあとから数値や文字列の交換を行うため、C言語化時に整数・浮動小数点・文字列などといった一般的な配列データ(これらはMATLABではArrayデータと呼ぶ)を、構造体変数として定義した。

コンパイルした実行ファイルを制御するバッチファイルについては、計算システム本体のGUIに組み込んだうえで、さらにこのGUI画面を含んだプログラムをC言語化し、コンパイルしている。

これらの工程を実施することによって、ユーザーは Simulink ブロックを表示することなく、GUI画面から直接シミュレーションが実施可能になった。

2) 作動確認および調整

製作したプログラムに対し、作動確認ならびにその調整を行った。具体的には、震動台基準シミュレータの操作ならびに震動台モデルについて、以下の4つの内容について作動

確認と調整を実施した。

- ・作動確認を目的としたテストデータあるいはパラメータの作成
- ・プログラムの単体機能テストおよび調整
- ・プログラム全メニューを結合してのテストおよび調整
- ・評価

主な結果と調整した内容について、以下に記述する。

a) 震動台基準シミュレータの操作に関する作動確認と調整

操作画面ごとに操作に問題が無いか確認し、必要に応じてその調整を行った。

操作画面	作動確認の内容と結果
メインメニュー	MATLAB の起動コマンドを含む実行形式として作成するため本サブシステムのみ MATLAB ではなく、Visual BASIC で構築することとしていたが、メインメニューでは MATLAB の起動が不要となったため、MATLAB で統一するよう仕様を変更した。 機能上は変更無し。
ユーザー管理	パスワードを入力画面で、入力内容が見えないようにマスク処理できないか検討したが、MATLAB ではそのような機能がないため、マスク処理については見送った。
加振データ作成 (起動画面)	問題なし。
加振データ作成 (正弦波波数指定) (正弦波周波数指定)	正弦波については、波数(N波)指定および周波数指定を設定できるようにした。
加振データ作成 (ランダム波) (ランダム波 6 自由度) (周波数特性表示)	ランダム波については、「ランダム波(6 自由度)」を選択することにより相関性の無い 6 自由度を一度に生成可能とし、周波数特性は、低い順から最大 10 個まで指定できるようにした。
加振データ作成 (外部データ)	外部データは MAT 形式として取り込み、詳細については、取扱説明書等で通知するとしていたが、外部データの取り込みの仕様については、実機の制御装置のデータをそのまま流用できた方が効率的という意見があり 1 2 月に仕様を変更した。 実現可能かどうか検証した結果、対応可能なため、追加モジュールとしてあとから追加することとした。
パラメータ設定 (初期画面)	問題なし。
パラメータ設定 (応用制御系)	問題なし。
パラメータ設定	問題なし。

(基本制御系)	
パラメータ設定 (加振機) (サーボ弁) (三次元継手) (テーブル部)	問題なし。
パラメータ設定 (試験体)	試験体の設定画面が 6 自由度対応になっていなかったため修正した。
シミュレーション (初期画面)	シミュレーションの種別と、計算条件を設定する。 特性把握シミュレーションと加振シミュレーションどちらか選択するかで、表示する内容を切り替えできるようにした。
結果表示 (初期画面)	シミュレーション終了後は、自動的にこの初期画面に移動するようにした。計算結果ファイルには内部情報として「特性把握シミュレーション」あるいは「加振シミュレーション」どちらの結果ファイルか判断するパラメータを持たせ、これによって結果ファイルを読み込むと、自動的に処理フローが切り替わるようにした。
結果表示 (特性把握シミュレーション)	問題なし。
結果表示 (加振シミュレーション)	シミュレーション結果に関するグラフ表示フォームについては、それぞれ確認を実施。画面位置などの調整を行った。 また、打合せにおいてトータル油量の表記を追加するよう意見があり、追加した。
終了	問題なし。

b) 震動台モデルの単体作動確認および調整

テーブル無負荷モデルを標準モデルとして選定し、各軸方向に DC または正弦波加振を実施し、要求値を満たし、かつ安定となるパラメータを選定した。

i) ベクトル変換パラメータの設定

テーブルの加振機取り付け位置ベクトルをもとに、加振機・継手の運動方程式で構成される、いわゆるローカル座標と、テーブル挙動・TVC 制御・指令信号などのグローバル座標の変換マトリクスを組み込んだパラメータファイルなどを作成した。

ii) 積分初期値の調整

指令信号からテーブルの姿勢目標値を生成する際やテーブル挙動応答のフィードバックなどに用いる加速度から速度または変位に変換する積分初期値については、デフォルト値である 0 のまま使用すると、最終的にテーブル応答について DC ドリフトが生じる。その対策として、積分初期値の設定を行った。

iii) TVC(Three Variable Control)制御パラメータの調整

TVC 制御は、テーブルの加速度・速度・変位応答をフィードバック信号として制御するものであり、さらに自由度ごとの平均差圧を計算し、ハイパスフィルターを通して偏差を求め、ノッチフィルターを介して TVC 制御指令として生成している。

この TVC 制御については、差圧フィードバックゲインならびにテーブルの加速度・速度・変位の各フィードバックゲインを調整する必要がある。本検証時には、テーブルは変位フィードバックのみ用いることとし、差圧フィードバックゲインについては経験値をもとに調整を行った。ただし、試験体搭載時には、TVC の変位フィードバックのみでは不安定になる傾向があり、速度フィードバックゲインの調整もあわせて行う。

なお、油柱共振の制御についての経験則から、現状ではノッチフィルター制御は事実上無効にしてチューニングしている。これらのパラメータは搭載する試験体など、加振条件ごとに調整する必要がある。

3) 検証

震動台基準シミュレータの検証は、防災科学技術研究所の「大型三次元震動実験施設技術検討報告書」で用いた振動台模擬モデルでの計算結果を比較対象として選定した。

技術検討報告書で用いられたモデルは主に MATLAB(Simulink)バージョン 4.2 にて構築されており(以下本モデルを「MATLAB4.2 のモデル」と表記する)、テーブルは FEM モデルとして製作されたものを用いて、モーダル解析によって求められたモードを組み込んだものである。

ただし、MATLAB バージョン 4.2 は、Windows-XP など現在主流となっている 32 ビット系の Windows 上では動作しないうえ、特性把握など計算時間が掛かるシミュレーションに対しては、高速計算用の EWS を用意しなければならず、現状環境では、計算自体が実施困難であるため、応用制御系以降は、オンラインでの比較は実施していない。

今回製作した震動台基準シミュレータは、MATLAB4.2 のモデルと同様に、計算する上で必要となるパラメータの調整を行うが、テーブル無負荷条件を基本モデルとしてチューニングしたため、検証についても本モデルを用いて検証を行った。

a) 無補償加振

各軸方向に対して正弦波加振を行い、安定かつ妥当な結果になるかを検証し、必要に応じてパラメータの再調整を実施した。

通常ならば、DC 加振によりベクトルの向きが正しいかどうかを検証するが、MATLAB4.2 のモデルでは、回転方向の DC 加振については、ほとんど振れないため、単純に比較することは困難であり、正弦波による加振を併用し、無負荷モデルにおけるベクトルの確認を実施した。図 10 に並進代表として X 方向加振した場合と、回転代表としてヨーイング加振した場合の結果を示す。

- ・ 正弦波一変位入力-X 方向 10cm 加振

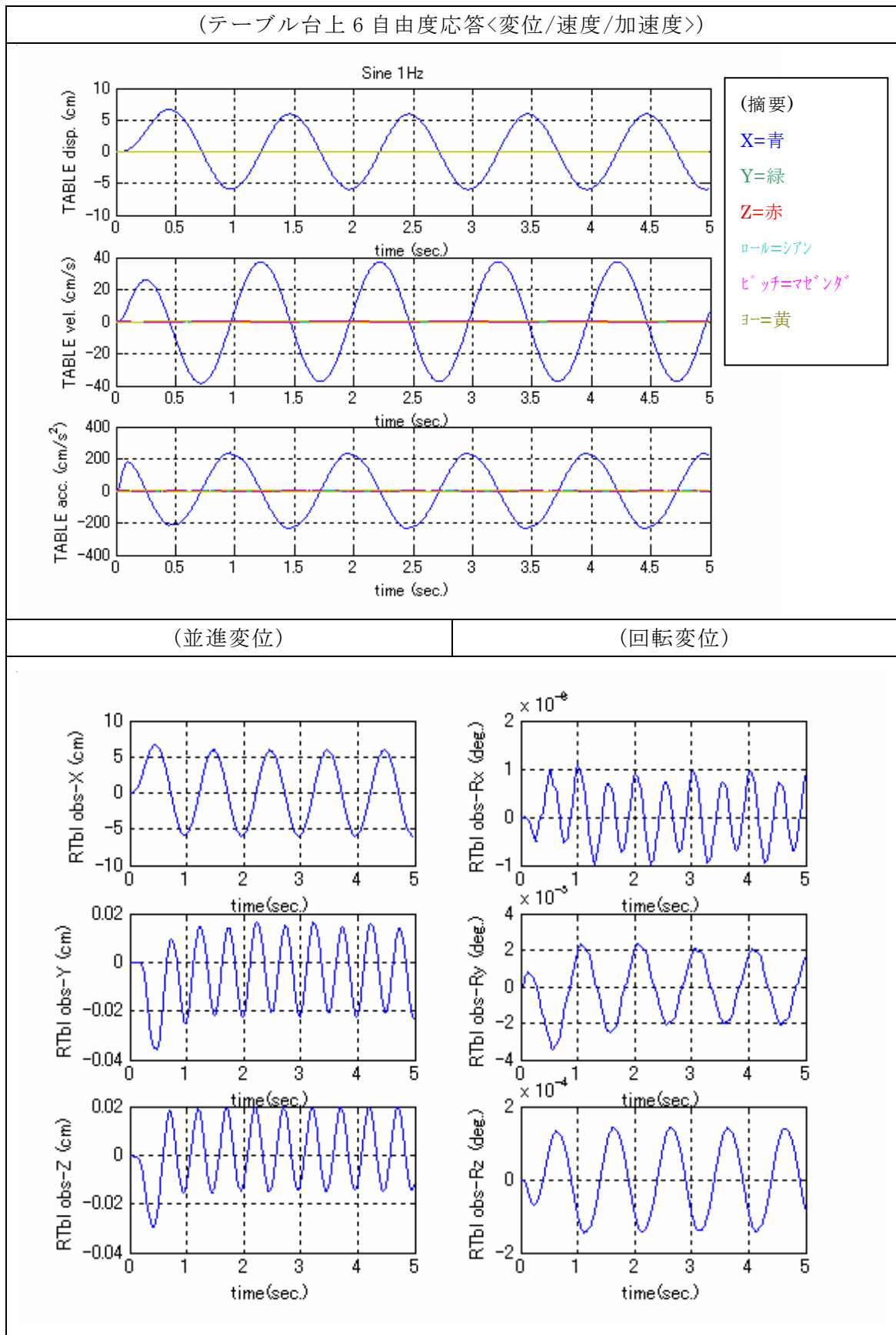
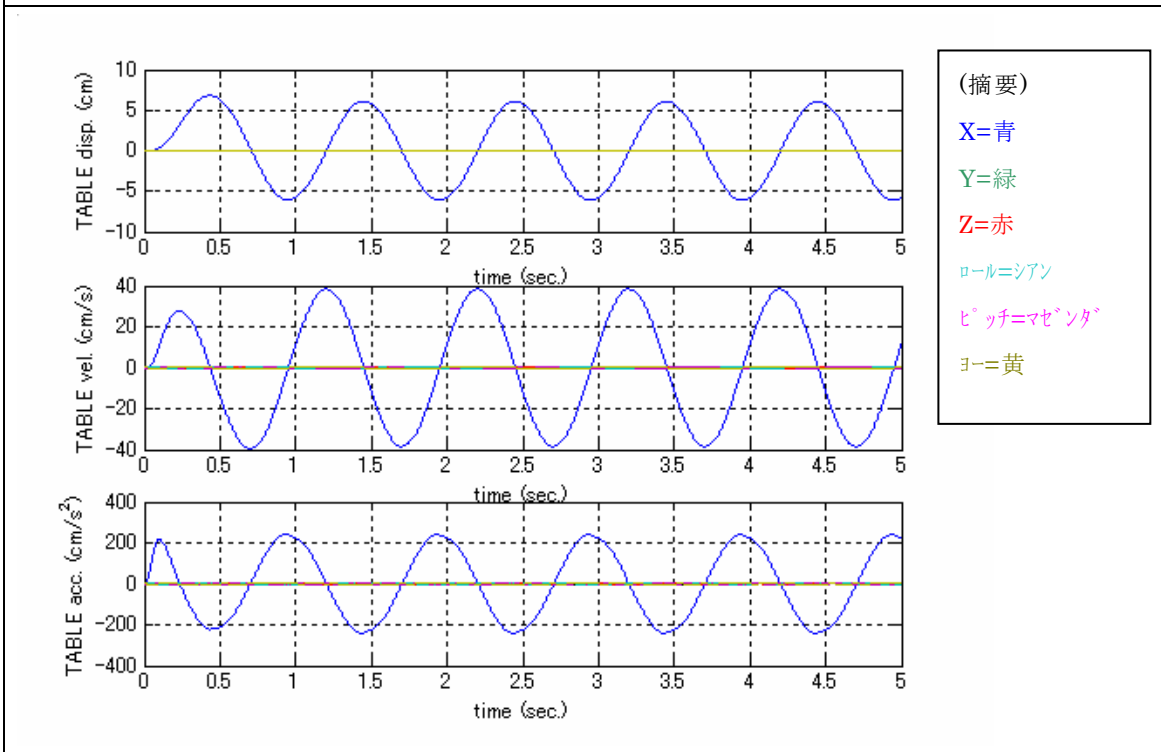


図 10(a) MATLAB4.2 のモデルでの結果例(正弦波 X 方向 10cm 加振)

(テーブル台上 6 自由度応答<変位/速度/加速度>)



(並進変位)

(回転変位)

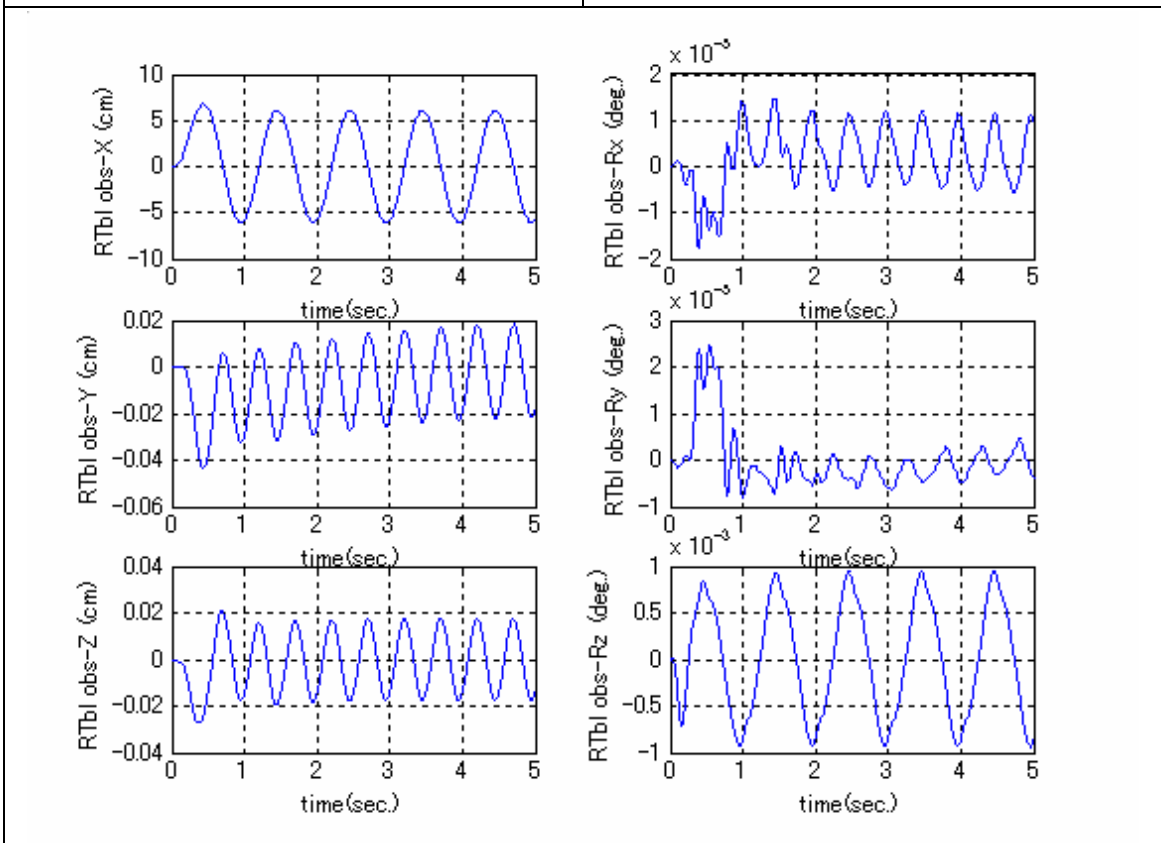


図 10 (b) 震動台基準シミュレータでの結果例(正弦波 X 方向 10cm 加振)

- 正弦波 - 変位入力 - Rz 方向 0.05deg. 加振

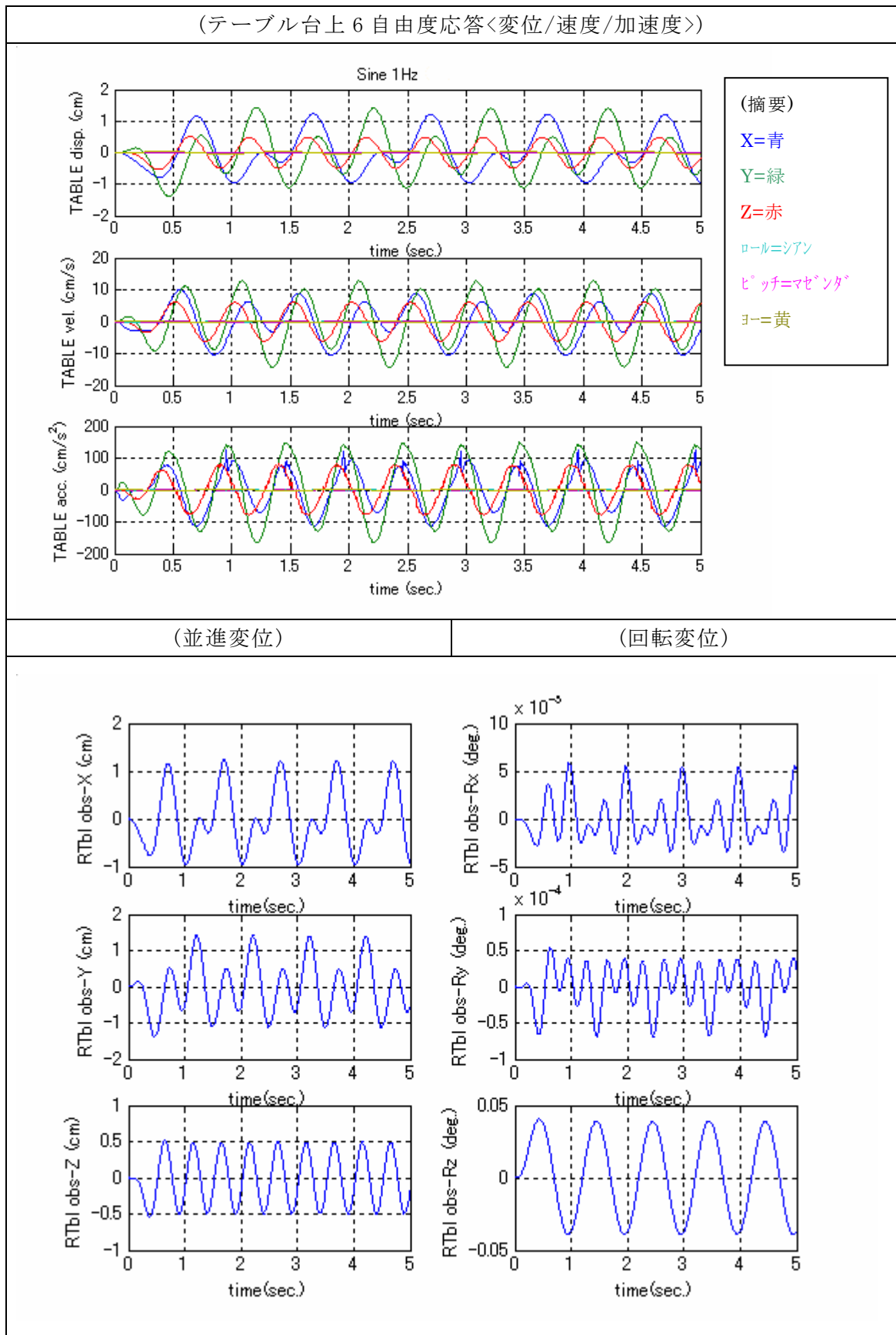
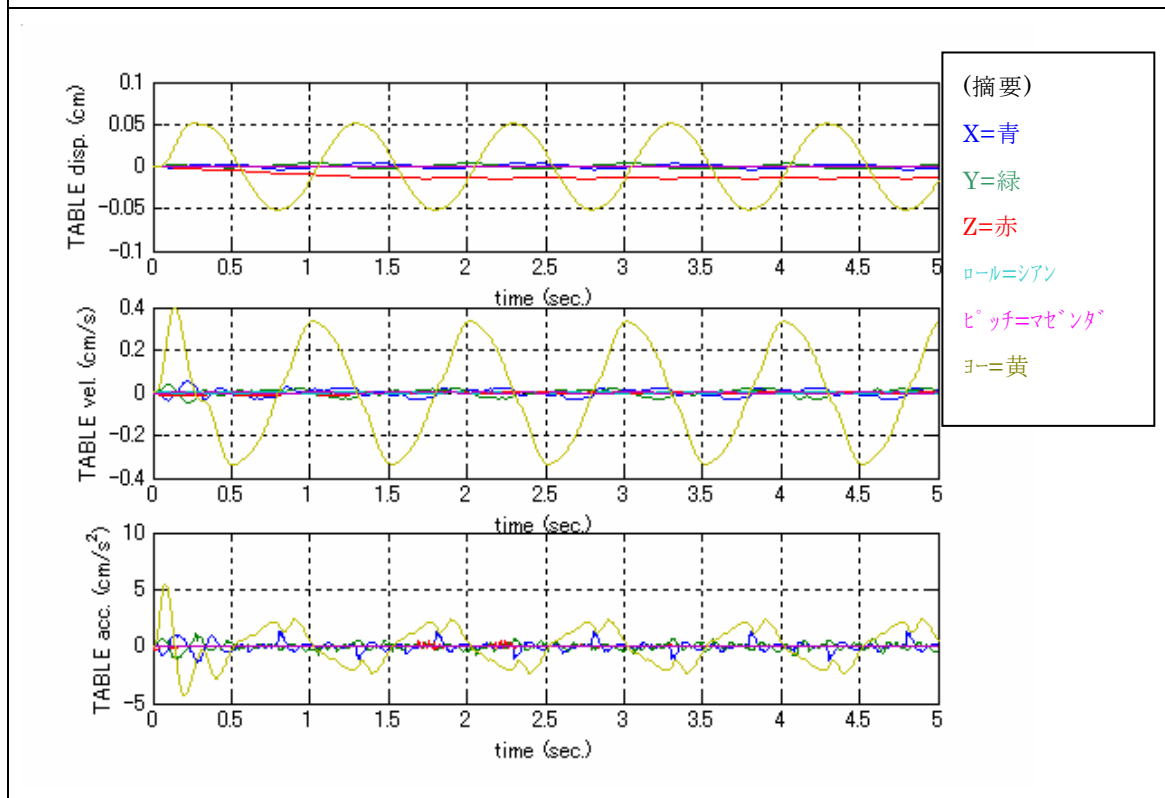


図 10(c) MATLAB4.2 のモデルでの結果例 (正弦波 Z 回転方向 0.05deg. 加振)

(テーブル台上 6 自由度応答<変位/速度/加速度>)



(並進変位)

(回転変位)

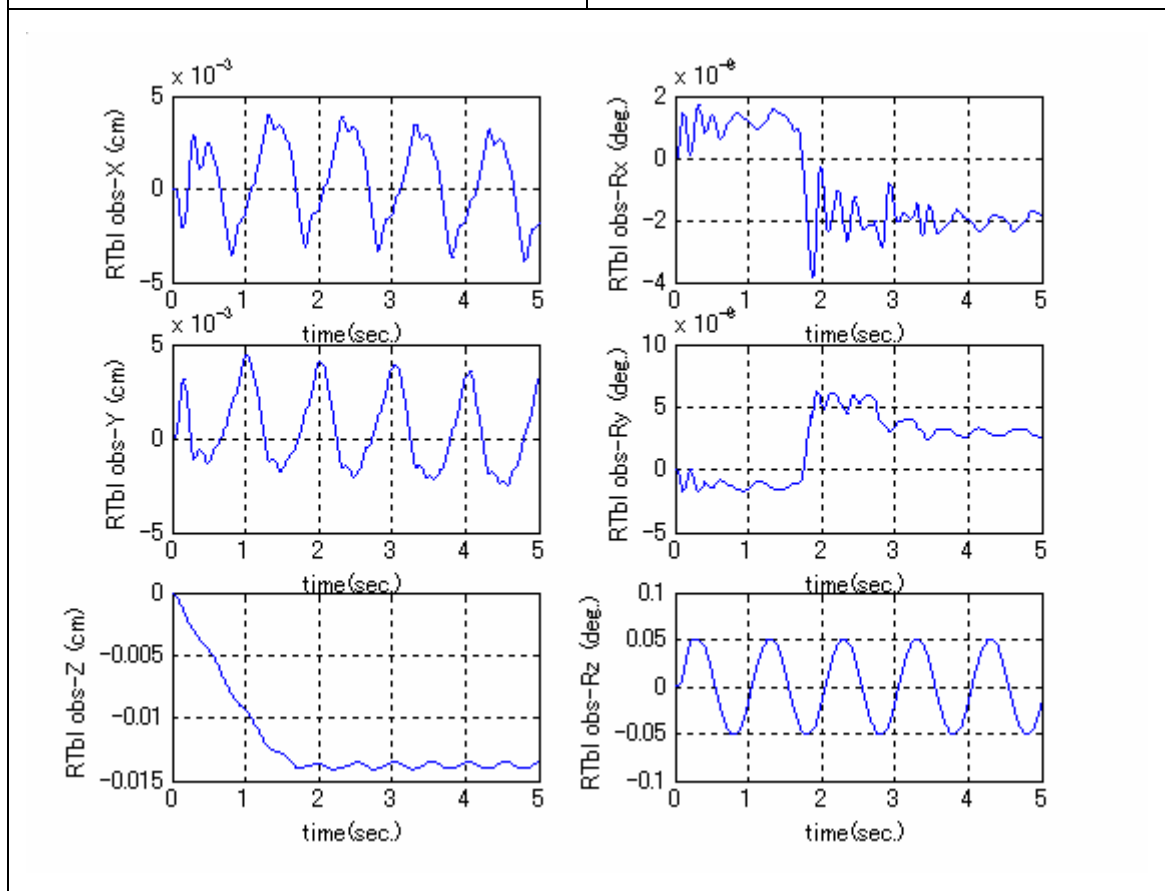


図 10(d) 震動台基準シミュレータでの結果例(正弦波 Z 回転方向 0.05deg. 加振)

b) 特性把握加振

ランダム波(6自由度バーストランダム波[1区間=10.24秒×8波加振])を用いて、特性把握加振シミュレーションを実施した。ランダム波は、MATLAB4.2のモデルで使用していたものと同じものの16波のランダム波のうち、前半81.92秒間を使って加振した。ただし、もともと回転成分のレベルはかなり低いものであったため、今回のモデルではレベルのみ増強して計算を実行した。図11に加速度加振-加速度応答での特性把握結果を示す。なお、本ランダム波は、定義済みファイルとして登録する予定である。

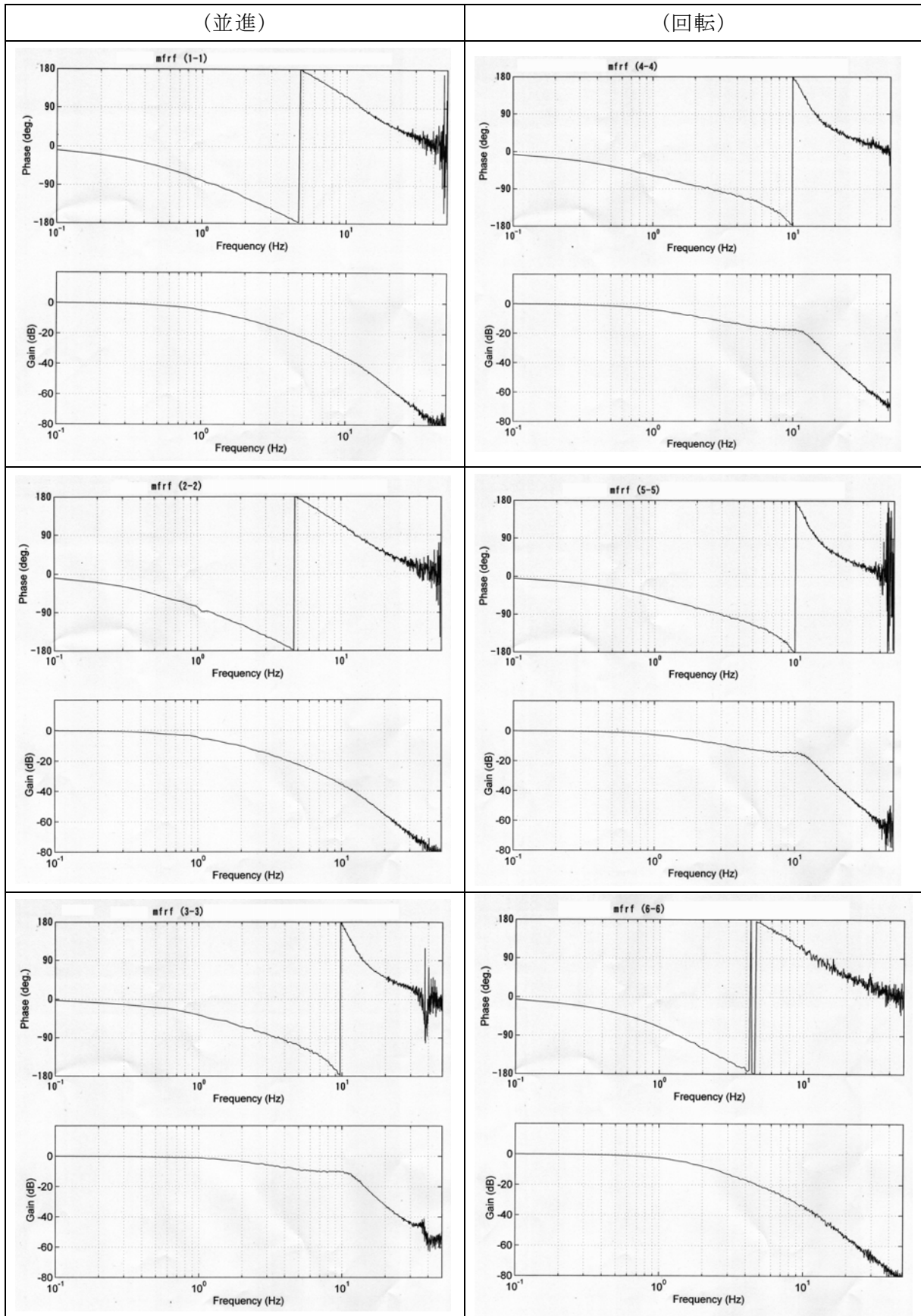


図 11(a) MATLAB4.2 のモデルでの特性把握結果

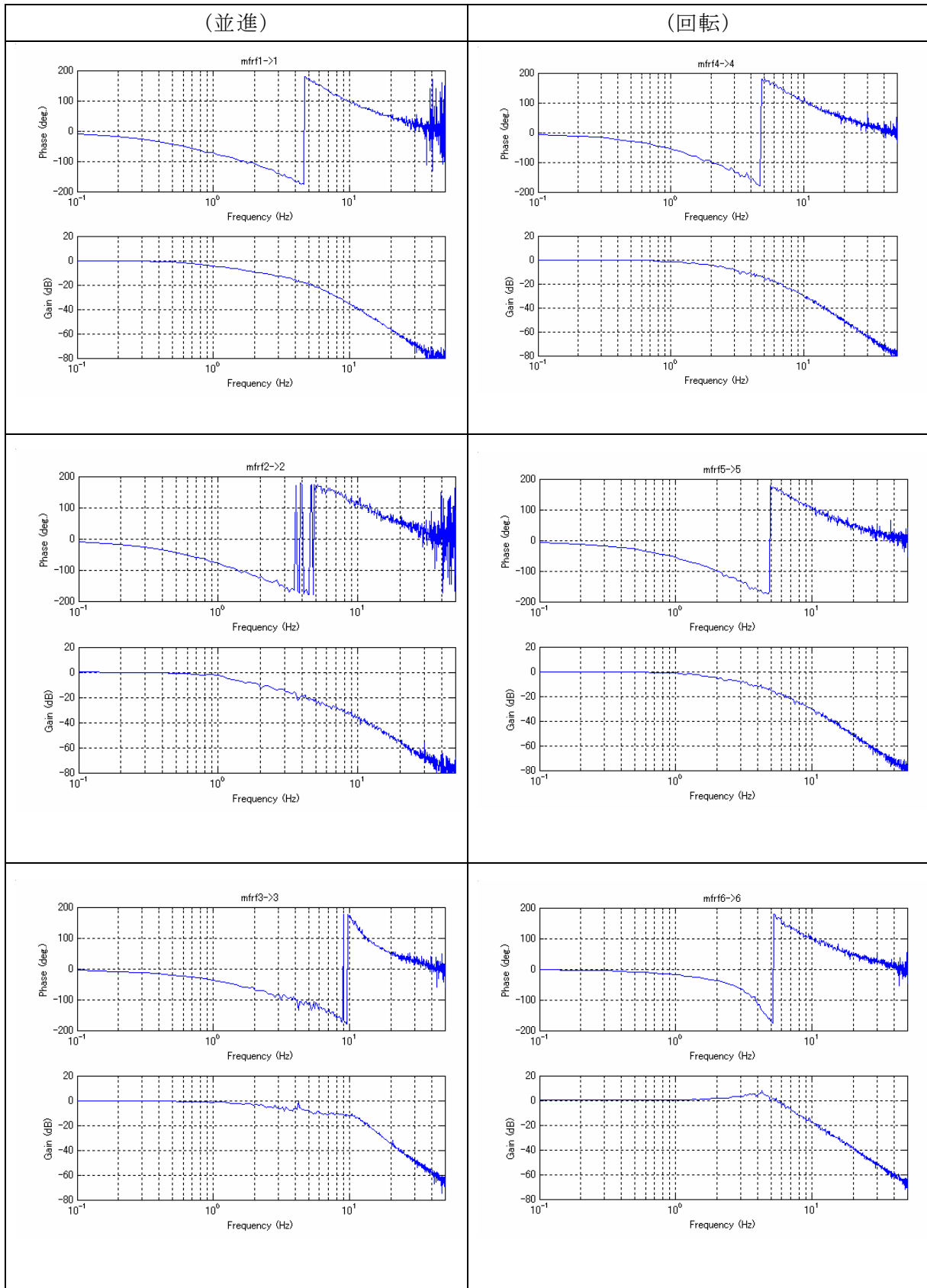


図 11(b) 震動台基準シミュレータでの特性把握結果

c) 入力補償加振

上記、特性把握加振で得られた伝達関数を用いて初期補償波を作成し、入力補償シミュレーションを実施した。これにより、応用制御系が正常に動作することを確認した。図 12 に目標波(JR 鷹取地震波)と初期補償波加振によるテーブル台上の応答結果を示す。

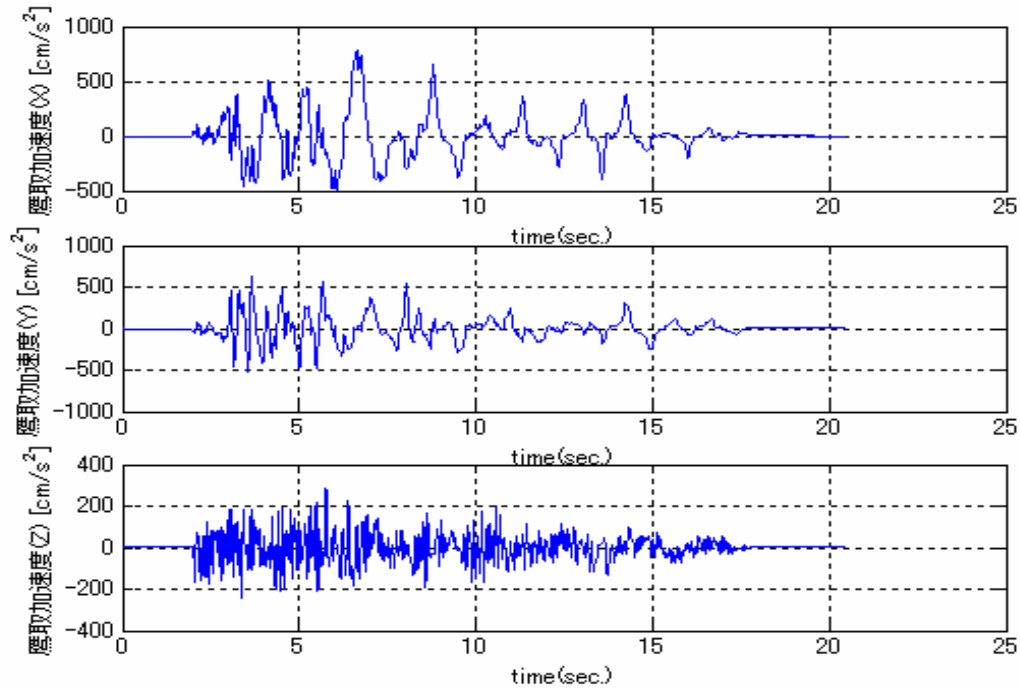


図 12(a) 目標波(JR 鷹取地震波—加速度データ)

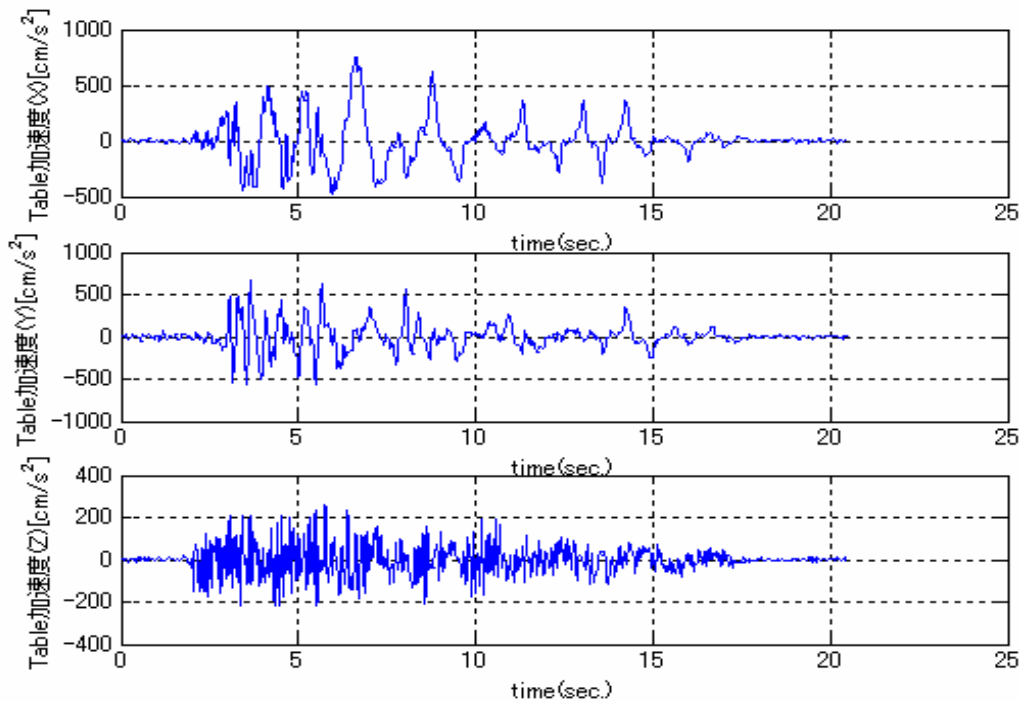


図 12(b) 震動台基準シミュレータでの初期補償波加振結果(加速度応答)

4) インストール

導入対象パソコンおよびソフトウェアの確認を実施したところ、発注時期の関係上、用意したMATLABのバージョンは6.5.1というバージョンであった。本バージョンについては、平成15年度の設計検討において調査した結果、将来バージョンアップが見込まれる製品の1つとして既に挙げており、その時点での適用の可能性としては、製品が公表されていない関係で不明(または不可)としていた。参考のため、平成15年度設計仕様を表2に示す。

表2 バージョンアップが見込まれている製品と本システムでの対応

更新が予定されている製品	現行バージョン	バージョン更新	販売予定	適用の可能性	本システムでの対応
MS-Office 2000/XP	-	2003へ統合	2003年9月頃	△(見込み)	×
Visual Studio .NET	2002	2003	2003年6月末頃	△(見込み)	×
MATLAB	6.5	6.5.1	2003年10月頃	×(不明)	×

また、Visual Studio .net についても、バージョン 2003 を用意したが、全体計画時には同様に1つ前のバージョン 2002 を想定しており、MATLAB とコンパイラの相性から検証確認をせざるを得なくなった。

この結果、内部仕様が異なっており、シミュレーション実行時にエラーが発生した。本対策として、MATLAB 本体内部のソースコードの部分的な書き換え、標準ディレクトリの位置変更、一部の関数の引数内容の変更、すべての収録系変数名の変更など、細かい箇所における修正が必要となった。

ただし、MATLAB6.5 では、Visual Studio .net2003 はメーカー発表では未対応となっていたが、MATLAB6.5.1 では対応済みとされており、本組み合わせにおける相性としての問題はすでにメーカーにより解消されている。

このため、上記以外に問題点が見つからないことを確認したうえで、不具合部分のみを修正して、用意したバージョンで対応することとした。

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 震動台基準シミュレータの基本モジュールが完成した。
- 2) GUI を駆使し、平易な操作かつ高速なシミュレーションが可能となった。
- 3) 計画時よりも1つ新しいバージョンのソフトウェア(MATLAB、Visual Studio)の対応ができた。
- 4) 試験体などの加振条件によっては、パラメータの事前調整が必要となる。
- 5) 今後、トリリニア特性など非線形要素の試験体の組み込みが必要となる。

(e) 引用文献

- 1) 梶井伸一郎、安田千秋、前川明寛、奥田幸人、原田孝幸、小川信行、柴田碧：超大型三次元地震震動台の動的シミュレータの開発、第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集、pp.47-50、2000
- 2) 前川明寛、安田千秋、広江隆治、作野誠：三次元地震振動台の高機能制御、第1回構

造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集、pp. 51-55、
2000

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

発表者	題名	発表先	発表年月日
光田真旅 梶原浩一 佐藤栄児 田川泰敬	振動台・試験体連成系における 加振制御と性能について	日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2004 CD-ROM 論文集	平成 16 年 9 月
光田真旅 梶原浩一 佐藤栄児 田川泰敬	試験体搭載時における振動台 制御と加振性能について	第 47 回自動制御連合講演 会, CD-ROM 予稿集	平成 16 年 11 月
永井栄次 田川敬泰 佐藤栄児 梶原浩一	試験体反力の直接フィードバ ックによる振動台制御性能の 向上	日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2004 CD-ROM 論文集	平成 16 年 9 月
永井栄次 田川敬泰 佐藤栄児 梶原浩一	バーチャル試験体を用いた振 動試験装置における制御実験 手法の提案	第 47 回自動制御連合講演 会, CD-ROM 予稿集	平成 16 年 11 月

(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

名称	機能
震動台基準シミュレータ	震動台の応答挙動を事前に精度良く把握するための 三次元震動台シミュレーションシステム。システム は、震動台モデル、加振系、応用制御系、基本制御系、 試験体モデルにより構成されるものとし、試験体によ る震動台応答の影響を推定できる。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成14～16年度業務のまとめ

平成14年度から16年度における本研究の推進により、E-ディフェンスによる震動実験を精度良く実施することを目的とした、三次元震動台シミュレーションシステムを開発した。システムは、震動台モデル、加振系、応用制御系、基本制御系、試験体モデルにより構成され、試験体の負荷による震動台応答の影響を推定できる。また、外部で検討された制御系を取り込むことが可能である。

本シミュレーションシステムを、今後のE-ディフェンス実験の事前検討に活用する予定である。

