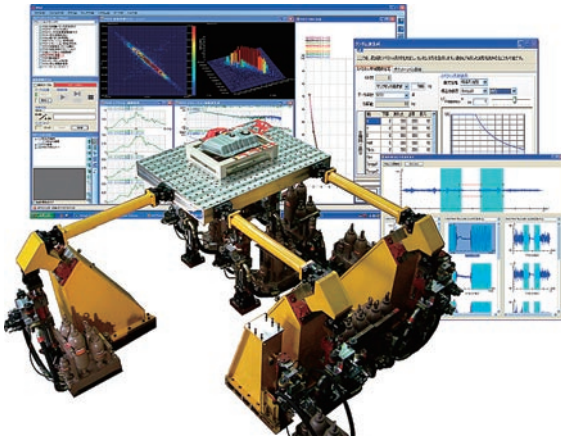


特集論文

自動車コンポーネント耐久試験用
高精度実走行再現システムの開発Development of Precise Simulation System
for Durability Testing of Vehicle Components

上原 龍児*¹
Ryuji Uehara

西村 信一郎*²
Shinichirou Nishimura

峯 巧*¹
Takumi Mine

梶井 紳一郎*³
Shinichirou Kajii

山本 典史*⁴
Norifumi Yamamoto

河野 通嘉*⁴
Michiyo Kono

燃料タンクやラジエータ、エンジンマウントなどの自動車コンポーネントの耐久性は、悪路テストコース走行時の挙動を試験機台上で模擬することで評価・検証される。本システムでは、実走行時に生じる変位や加速度、応力などの挙動を忠実に再現することに加え、試験中の状態を監視・解析する機能や効率の良い試験運用を実現できる機能が求められる。これら要求を満足すべく、制御ソフトウェアと多軸シミュレーションテーブルを新規開発し、自動車コンポーネントの耐久試験用として最適なシステムを構築した。

1. はじめに

当社は数多くの地震振動台の納入実績を有しており、この振動制御技術は自動車コンポーネント用の耐久試験装置についても応用することが可能である。

しかしながら、従来の地震振動台にない制御系の機能を備えておくことが必要となる。例えば、自動車コンポーネントの複数箇所での実走行時の挙動を精度良く再現するための制御技術や、試験中の試験体の応答監視・解析をリアルタイムに行う機能などが要求されており、この度、上述した機能を有する制御解析ソフトウェア（WAT：Waveform simulation & Analysis Tool）を開発した。

また、機械装置として多軸シミュレーションテーブルを開発した。本装置は6自由度（上下、左右、前後、ロール、ピッチ、ヨー）入力が再現可能な機構を比較的狭いスペースでも設置可能で、かつ耐久強度試験機として高い信頼性が確保できる。

試験装置全体のシステム構成を図1に示す。本システムは主に、①多軸シミュレーションテーブル、②駆動源としての油圧源ユニット及び油圧制御パネル、③サーボ制御を行うサーボコントローラ、④試験体の応答を計測する計測システム、及び、⑤駆動指令の生成及び応答解析などを行う“WAT”から成る。

2. 制御・解析ソフトウェア“WAT”の概要

“WAT”は、多軸シミュレーションテーブルを制御

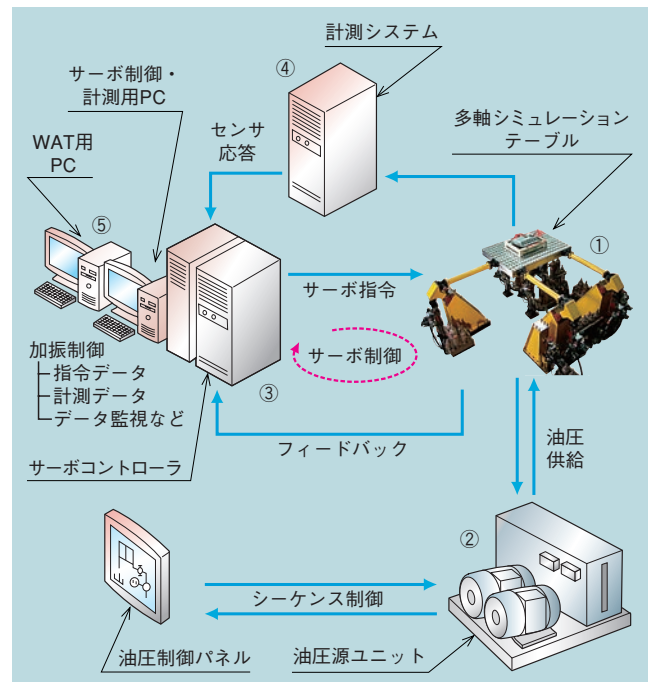


図1 システム構成図

することで、テーブルに搭載された試験体上の任意の箇所における実走行時の挙動を高精度に再現することの可能な試験装置制御ソフトウェアである。

“WAT”の主要な構成・特徴を示す。

(1) 画面構成

“WAT”の実行画面の一例を図2に示す。実行中の画面は、①試験フロー、②実行中の処理、③演算・解析結果表示から成り、試験進行状況と各種結果を

*¹ 下関造船所機械部電気・制御グループ

*² 下関造船所機械部システム設計グループ

*³ 技術本部高砂研究所振動・騒音研究室主席 工博

*⁴ 三菱自動車工業(株)技術開発センター安全実験部



図2 WAT 実行画面

容易に把握できる構成である。

(2) 実走行挙動の再現

“WAT”は、多軸シミュレーションテーブルへの駆動指令（入力）に対する制御目標箇所の応答（出力）を計測し、駆動指令に対する応答の相関関係から最適な駆動指令補償値を自動生成する、“多点入力補償”機能を持つ⁽¹⁾⁽²⁾。

本機能は、テーブル中心位置のみを制御対象とする従来の入力補償と比べて以下の点で優れている。

- ① 試験体上の任意箇所における応答を多チャンネル同時に再現可能。
- ② 応力やテーブル傾斜角など、任意の物理量を再現可能。

テーブル上での波形再現を行う際には、ランダム波による試加振により入出力の伝達特性を計算し、その逆特性をあらかじめ入力に掛けておくことで最適な指令を計算する。ここで、逆特性は、出力の誤差が最小となるように計算する。実際には計算した指令で加振しても誤差が出るが、これを更に補正するように、指令計算・加振を繰り返す処理（“イタレー

ション”と呼ぶ)を実施することで指令を最適化し、再現性を高めることができる。

(3) 耐久試験

“WAT”は、(2)項で補償生成された最適な駆動波形に基づき、試験体のテーブル上での耐久試験を行う機能を有する。

すなわち、複数の波形を任意の順序及び繰り返し回数を指定して連続運転することができ、これにより、発進（加速）、悪路走行、停止（減速）など、実走行を想定した走行ケースを再現することが可能となる。

また“WAT”は、耐久試験中に刻々と変化する計測箇所の応答を常時監視する機能を有し、設定値を超える応答を示す場合には自動停止することができるため、安全かつ試験時間ロスを最小限に抑えた試験を行うことができる。

(4) 評価・解析機能

“WAT”は、計測箇所の応答や再現精度を様々な手法で評価・解析する機能を有する。レインフロー法や、レベルクロス法による応答レベルの頻度解析機能⁽³⁾⁽⁴⁾、S-Nマイナー則に基づく寿命解析機能、また、波形再現性の評価機能、周波数・相関解析機能などがその代表的なものである。

(5) 自動化の支援

“WAT”は、オペレータの操作作業の軽減化を目的として、実施の試験フローをテンプレート化して呼び出す機能を有する。また、画面での設定パラメータの一括保存／読込操作により、変更の必要ない設定箇所は自動実行することが可能である（図3）。

各種試験をサポートするこれらの諸機能を充実することによって、従来の制御ソフトウェアに比べて短時間で効率良く試験を実施することが可能となる。

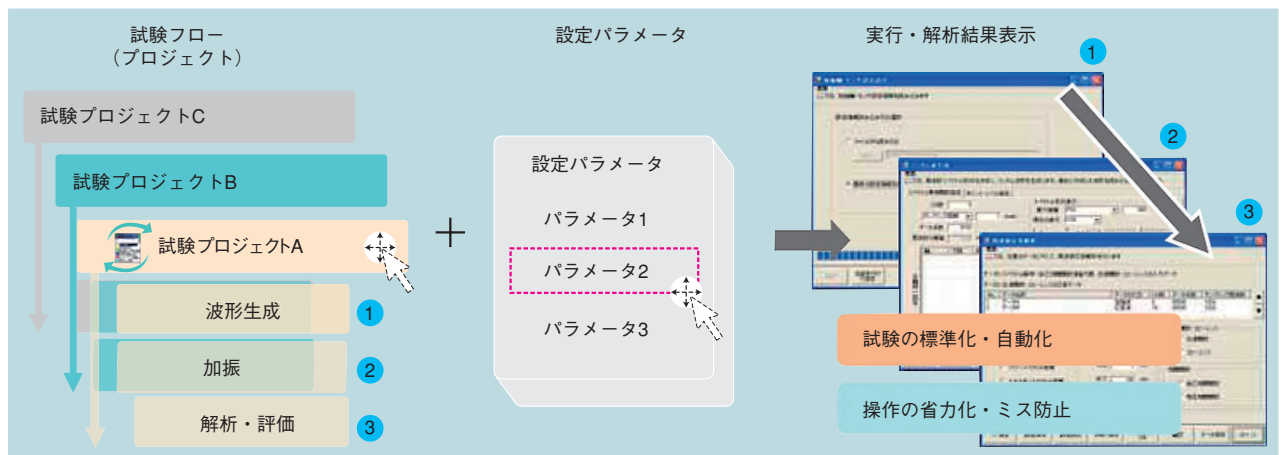


図3 WATによる試験自動化・省力化

3. 多軸シミュレーションテーブルの概要

自動車のコンポーネントを試験対象として開発した多軸シミュレーションテーブルの主仕様を表1に示す。

6機の油圧加振機を制御することによって加振テーブルの6自由度の運動を再現することが可能である。図4に示すように加振機は設置基礎面に対しすべて縦置きであり、水平加振軸はリンク機構により上下方向の力を水平方向に変換する構成とし、各軸には必要な加振力に応じ、上下、左右、前後方向にそれぞれ、3機、2機、1機の加振機を配置している。加振機をすべて上下加振方向に設置することで強度が必要な設置基礎は底面部のみでよく、ピットを設けて、加振機をフロアレベルより下方に収納すれば、テーブルへの試験体取付時の作業性を向上できる。

試験体を搭載するテーブルは厚板のアルミ合金の削り出しで製作しており、軽量化・高剛性化を図っている。また、テーブル上面は試験体取付け時の利便性を考慮し、100mmピッチで格子状にタップ穴(M16)を配置した。

加振機及びリンク機構の関節部となる三次元継手には無給油式球面軸受を採用し、摺動部の隙間調整機構を設けてバックラッシュが極めて小さくなるよう設計している。

なお、本装置には、表1に示す油圧源が必要となる。油圧源を除く装置全体の必要設置寸法は、約5.5m×4.5mであり、コンパクト化した設計としている。

4. 試験体の応答再現精度の確認試験

ここでは、“WAT”と多軸シミュレーションテーブル

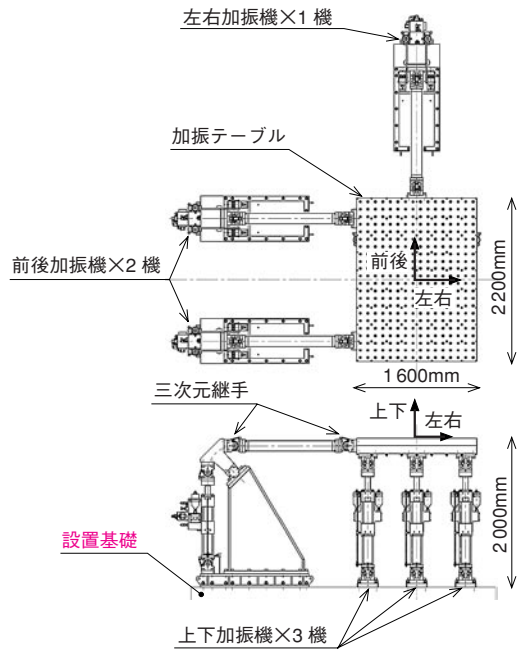


図4 多軸シミュレーションテーブル外形図

で構成した装置による実走行波再現試験の結果を示す。

試験体には、図5に示す実車燃料タンクを用いた。タンクには、左右、前後方向にそれぞれ2つ、上下方向に4つ、計8個の加速度センサを取り付け、燃料を想定した液体を60%まで入れた状態で試験を行った。台上での再現に当たっては、実車走行時の各センサ計測データから計算した上下、左右、前後、ロール、ピッチ、ヨー軸の計6データを目標波として試験を実施した。

“WAT”を使って、多点入力補償イタレーションを実施した結果を図6及び表2に示す。

これらの結果より、全制御ポイントにおいて、ピーク比99.2～100.7%，RMSエラー（誤差RMS／目標波RMS）2.5～4.4%と良好な結果を得た。レイン

表1 多軸シミュレーションテーブル仕様

項目	仕様
自由度	並進3軸 上下、左右、前後
	回転3軸 ロール、ピッチ、ヨー
性能 ^{注1}	上下方向 変位±125mm 速度2m/s 加速度10G (=10×9.8m/s ²)
	左右方向 変位±75mm 速度1.6m/s 加速度7G (=7×9.8m/s ²)
	前後方向 変位±75mm 速度1.2m/s 加速度5G (=5×9.8m/s ²)
加振テーブル	加振周波数 DC(0)～50Hz
	サイズ 1600mm×2200mm
	材質 アルミ合金 上面タップ M16, 格子状100mmピッチ
油圧源	油圧力 21MPa
	吐出流量 600l/min

注1：質量600kgの試験体搭載時の性能を示す。

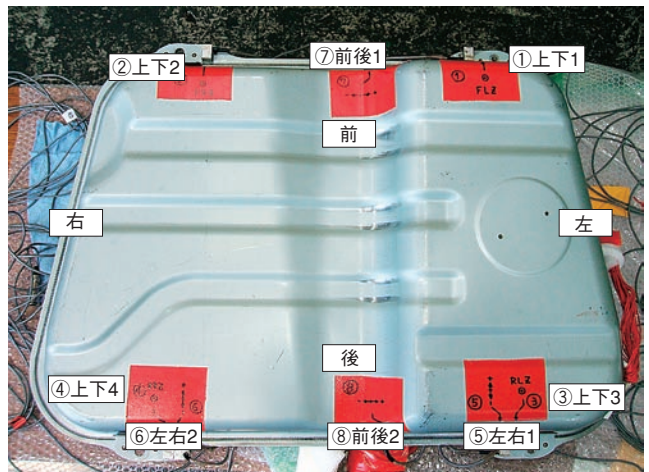


図5 試験体（燃料タンク）背面

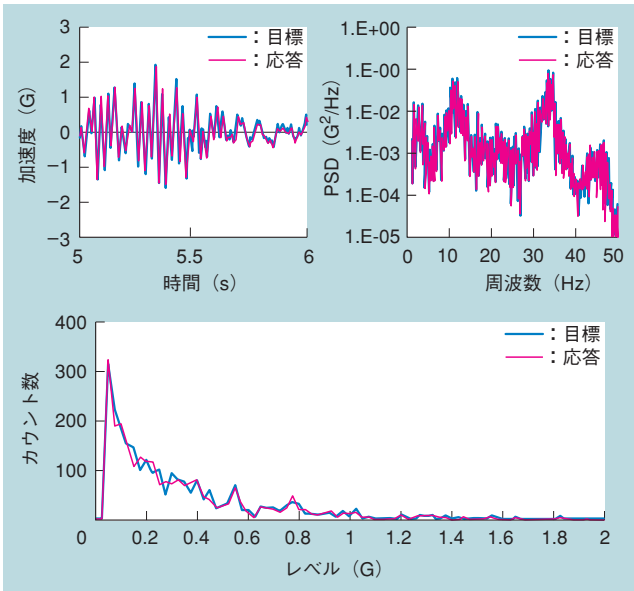


図6 イタレーション結果（左右方向）
 (a) 時暦データ, (b) PSD, (c) レインフロー頻度分布

フロー頻度分布結果も良く一致しており、台上耐久試験を実施できる精度を十分満足したといえる。

5. ま と め

自動車のコンポーネントを対象とした実走行挙動シミュレーションを行うことを目的とした制御解析ソフトウェア“WAT”及び多軸シミュレーションテーブルを開発し、実走行波の再現試験を行ったところ、良好な再現精度を得ることができた。また、本稿では掲載しなかったが、多軸シミュレーションテーブルには、自動車のシャフトにトルクを加えるためのトルク入力装置や、発進・停止時の低周波加速度を再現するための傾斜テーブルを追設し、様々な試験に対応することができる。

自動車及び自動車関連機器は、性能を検証するため

表2 波形再現精度

	制御帯域 (Hz)		再現精度 (%)	
	最小	最大	最大ピーク比	RMSエラー
上下	1	50	100.30	4.4
左右	1	50	100.30	3.5
前後	1	50	99.20	3.1
ロール	1	50	100.00	3.1
ピッチ	1	50	100.70	2.5
ヨー	1	50	100.70	4.0

のコスト面から、今後、シミュレーション及び台上試験が増加していくものと思われる。

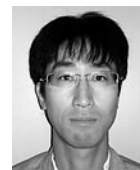
ここで紹介した“WAT”及び多軸シミュレーションテーブルを更に発展させ、多様化、複雑化する試験のニーズにいち早く応えることができる製品を開発していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 片山徹, システム同定入門, 朝倉書店 (1994)
- (2) 塩谷実, 多変量解析概論, 朝倉書店 (1990)
- (3) Designation: E1049-85, Standard Practiceies for Cycle Counting in Fatigue Analysis (1990)
- (4) 城野政弘ほか, 疲労き裂, 大阪大学出版会 (2005)



上原龍児



西村信一郎



峯巧



梶井紳一郎



山本典史



河野通嘉