

130 機能モデルによる自動車サスペンション のモデル化

岩原, 光男 / MINORIKAWA, Gaku / NAGAMATSU, Akio / 角田,
鎮男 / SUMIDA, Shizuo / 御法川, 学 / KIRIYAMA, Akira / 長
松, 昭男 / IWAHARA, Mitsuo / 桐山, 啓

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Dynamics & Design Conference

(巻 / Volume)

2003

(開始ページ / Start Page)

130-1

(終了ページ / End Page)

130-5

(発行年 / Year)

2003-09-16

130 機能モデルによる自動車サスペンションのモデル化

Modeling of the automobile suspension by the functional model

○桐山 啓 (法政大学大学院) 角田 鎮男 (キャテック)

長松 昭男 (法政大学) 御法川 学 (法政大学)

岩原 光男 (法政大学)

Akira KIRIYAMA, Graduate School of Hosei University, Kajinotyō3-7-2, Koganei-shi, Tokyo

Shizuo SUMIDA, CATEC INC

Akio NAGAMATSU, Hosei University

Gaku MINORIKAWA, Hosei University

Mitsuo IWAHARA, Hosei University

Modeling for an action simulation is performed focusing on the suspension system of a car using the modeling technique called the functional model that had been developed by one of the authors. Simulation analysis of the suspension system of a car was performed in the three dimensional field. It was shown that the method based on the modeling concept of functional model can express the general dynamic characteristic of the automobile suspension.

Key Words: Modeling, CAE, Simulation / Functional Model, Virtual Prototype, Conservation of Energy, Product Development

A1. はじめに

現在、製品開発において開発期間とコスト削減の要求が厳しくなり、直列型の製品開発体制から同時並行型の体制へと移行していくことが求められている。

従来の CAE 技術は製品の形状または構造データが与えられてからモデル化を行うため、概略（上流）から詳細（下流）に進む製品開発の流れに対して逆手順となり、企画段階など開発の上流では熟練技術者の勘と経験に頼る部分が多かった。これらの問題解決のため、製品内部の各部品間を縦横無尽に行き来するエネルギーと部品の内部機能に着目した新しいモデル化手法の概念である機能モデルが提案され、その有効性および実用性についてこれまで検討されてきた。

A2. 機能モデルの概要

機能モデル (Functional Model) は、各々の部品単位の機能やそれらを伝えるエネルギーの流れを従来よりも明確に定義し、モデル化するのが特徴である。その手段として、モデル化の対象となる機械システムに組み込まれている複数の機能要素 (構成部品) を、エネルギー原理に基づくブロック線図として個々に独立させてモデル化し、統合 (組み立て) することにより、モデルを構築する。機能モデルでは、モデル全体が統合された機能要素 (構成部品) の集合体として扱われているために、統合の各進行過程で段階分けできる。そのため、上位モデルは統合的な機能や性能を表現し、下位モデルは構造と対比できる具体的な要素として定義される。モデルの状態量として、機能モデルでは位差量と流動量 (機械系では、速度と力) を定義し、それらをつなぐ特性の組合せでモデル全体が構成される。

A3. 研究目的

本研究では、その概念に基づき自動車のサスペンション系を中心に挙動シミュレーションのためのモデル化を行う。まず、リンク機構のメカニズムと弾性変形する構造物を同時に表すことが可能な柔軟はり (Flexible beam) をモデル化する。次に、サスペンション構造に柔軟はりを用いるこ

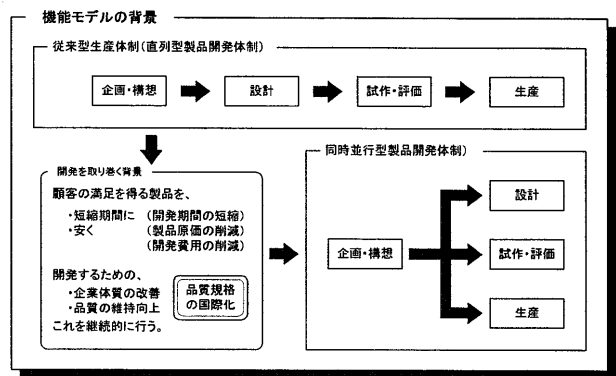


Fig.1 The flow of ideal product development

とにより自動車のサスペンション系をシミュレーション解析し、機能モデルの3次元空間におけるサスペンションの運動を機能モデルによって表現することを試みる。

A4. サスペンション系のモデル化

本研究で想定したサスペンション系は一輪走行の試験機として捉え、タイヤからの路面情報はサスペンション・車体などに伝えられる。特に車体は回転運動と上下運動を同時に行えるようにする。そして、サスペンションや車体などの変形挙動を表現させる柔軟はりモデルや力学的な特性や部品構造、非線形要素などの機構モデルを垂直統合することによりモデルを構築させる。

A5. 結論

機能モデルによる3次元空間内で力学的挙動を表現する柔軟はりモデルの構築とその要素を用いた自動車サスペンションモデルの構築法の具体案を提示することができた。

今後の展望として、パワートレイン系やステアリング系の機能要素をモデル化し、それを包含させることで、柔軟はりモデルを用いた4輪自動車の走行モデルまで発展させたい。

1. はじめに

現在、製品開発において開発期間とコスト削減の要求が厳しくなり、直列型の製品開発体制から同時並行型の体制へと移行していくことが求められている。そのため、コンピュータの普及を背景に企画・構想段階から機能検討ができ、性能を最適化できる製品モデルとそれを用いたコンピュータ上の仮想開発の必要性が高まっている。

従来の CAE 技術は製品の形状または構造データが与えられてからモデル化を行うため、概略(上流)から詳細(下流)に進む製品開発の流れに対して逆手順となり、企画段階など開発の上流では熟練技術者の勘と経験に頼る部分が多かった。

自動車は多数の部品から構成されており、エンジンや変速機など個々のユニットの特性が統合されて機能する。これらの特性は複数の異なる分野にまたがるため、シミュレーションの目的に対応した固有の方法で異なる理論体系を結びつけたモデル化が行われている。しかし、様々な要求・評価項目に対して異なるシミュレーション技術を適応させ、維持管理することは、効率的ではない。

これらの問題解決のため、製品内部の各部品間を縦横無尽に行き来するエネルギーと部品の内部機能に着目した新しいモデル化手法の概念である機能モデルが提案され、その有効性および実用性についてこれまで検討されてきた。

2. 機能モデルの概要

現象解析をもとに発達してきたモデル化手法は、有限要素法や機構解析のように製品の構造・形状をモデル化していくのに対し、機能モデル (Functional Model) は、各々の部品単位の機能やそれらを伝えるエネルギーの流れを従来よりも明確に定義し、モデル化するのが特徴である。

その手段として、モデル化の対象となる機械システムに組み込まれている複数の機能要素 (構成部品) を、エネルギー原理に基づくブロック線図として個々に独立させてモデル化し、それらを統合 (組み立て) することにより、モデルを構築する¹⁾⁻³⁾。

機能モデルにおけるブロック線図は、機械や電気などの分野や物理単位系によらず、統一された表現方法となるのが特徴である。この手法のもう一つの主な特徴として、階層化があげられる。機能モデルでは、モデル全体が統合された機能要素 (構成部品) の集合体として扱われているために、統合の各進行過程で段階分けできる。そのため、上位モデルは統合的な機能や性能を表現し、下位モデルは構造と対比できる具体的な要素として定義される。

モデルの状態量として、機能モデルでは位差量と流動量 (機械系では、速度と力) を定義し、それらをつなぐ特性の組合せでモデル全体が構成される。各モデルの入出力は常にその対の形で扱われる。

簡単な機能要素への適用例として、2 自由度の力学系の機能モデルを示す。まず従来一般的なモデル (Structural Model) を図 2 示す。これを同じ機能を持つ機能モデルは

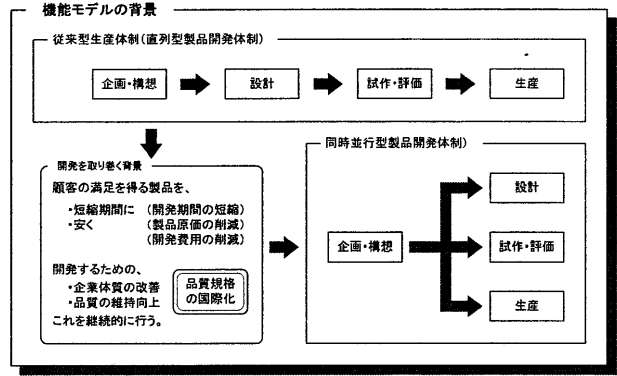


Fig.1 The flow of ideal product development

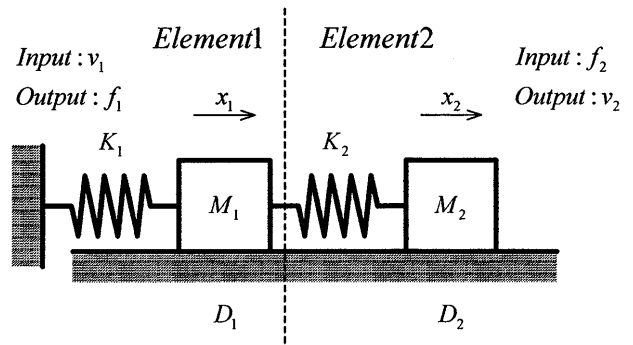


Fig.2 Structural model of two degree of freedom

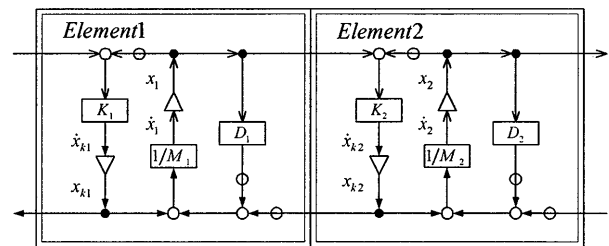


Fig.3 Functional model of two degree of freedom

図 3 になり、これら 2 つの図は同一の数学モデルを有している。

3. 研究目的

本研究では、その概念に基づき自動車のサスペンション系を中心に挙動シミュレーションのためのモデル化を行う。まず、リンク機構のメカニズムと弾性変形する構造物を同時に表すことが可能な柔軟はり (Flexible beam) をモデル化する。次に、サスペンション構造に柔軟はりを用いることにより自動車のサスペンションシステムをシミュレーション解析し、機能モデルの 3 次元空間におけるサスペンションの運動を機能モデルによって表現することを試みる。さらに、非線形性を伴う運動や座標変換をモデル内に組み込むことにより、多次元化された場合の各モデルの処理方法、並びに機能モデルにおける座標変換を用いた状態量の座標間の定義方法を検証する。

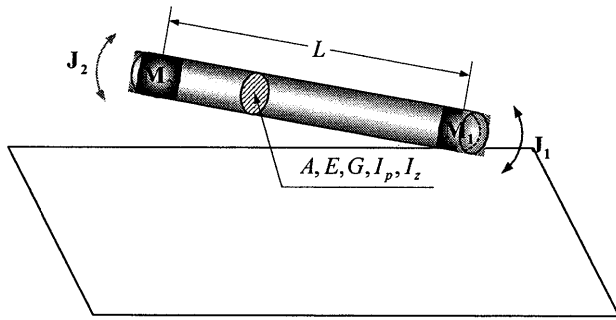


Fig.4 Structure model of the flexible beam

4. 柔軟はりモデル

筆者らはこれまでに、2次元平面内における柔軟はりのモデル化を行った。

ここでは、これを拡張した3次元空間内における柔軟はりのモデル化について説明する。まず図4に、本研究で想定した構造モデルを示す。基本概念は2次元モデルと同一であるが、3次元空間内での力学的挙動を表現するにあたり、柔軟はりの両端に並進系の3自由度と回転系の3自由度と6自由度がそれぞれ存在すると定義する。この柔軟はりモデルが基本要素となり、サスペンションシステムに作用する変形挙動を表現できるようにする。具体的には、両端の並進系・回転系を独立なものと捉え、オイラー角の概念を採用して3次元空間内に定義する。そして、はり構造の複雑な変化を位差蓄積要素と流動蓄積要素ともに局部座標で定義することで、変形挙動の再現に対応できるようにする。

5. サスペンション系のモデル化

本研究で想定するサスペンション系の構造モデルを図5に示す。一輪走行モデルとして捉え、タイヤからの路面情報はサスペンション・車体などに伝えられる。特に車体は回転運動と上下運動を同時に行えるようにする。そして、図6に示したシステムレイアウトの機能要素モデルにサスペンションや車体などの変形挙動を表現させる柔軟はりモデルや力学的な特性や部品構造、非線形要素などの機構モデルを組み込むことにより、モデルを構築する。つまり、システムレイアウトの各要素はそれぞれ独立した詳細モデルを有し、それらが定式化された入出力状態量により図のように接続され一体となり、サスペンション系のモデルとして機能する。

6. 車両系の機能要素モデル

アクスルとタイヤ系は1次元でモデル化し、ブレーキモデルを含む。アクスル系は、ホイールまでの慣性モーメントを含み、動力の伝達機能を有し、ブレーキからの制動力を受ける。ブレーキについては、摩擦ブレーキを想定し、動力を伝達するドライブシャフトに制動エネルギーを荷重として加えるモデルとする。

タイヤは、本来は柔軟体でありその複雑な変形に対して

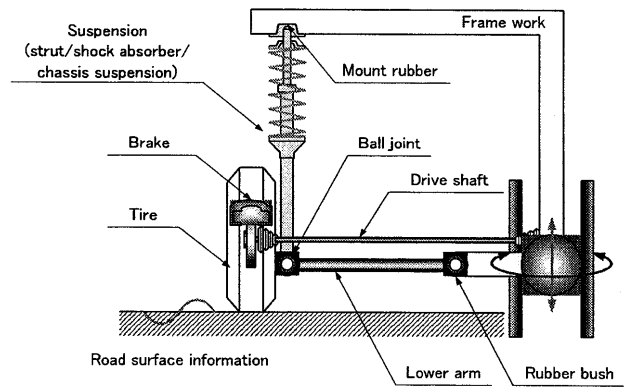


Fig.5 Structure model of the suspension system

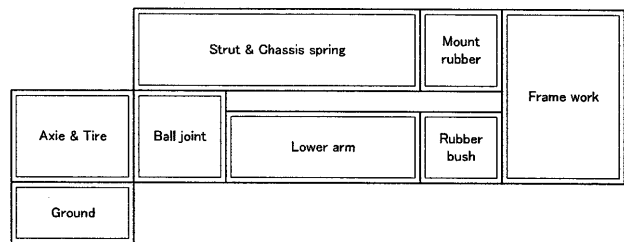


Fig.6 System layout of the suspension system

路面からの反力を複雑な方向と大きさで受けているはずである。しかし、本研究ではタイヤモデルを剛体として捉え、点で受けるモデルとする。さらに、路面の変化に対応する構造的な機能とタイヤトレッドと路面との速度差によって決まるスリップ率とグリップ力の関係をモデルリングすることにより駆動・制動時の挙動変化にも対応させる。

サスペンションは、シャシ・サスペンション（コイルばね）、ストラットで構成されたストラット型サスペンションとする。ショックアブソーバによる減衰力の非線形性は考慮せず、位差伝達要素を用い線形性として扱う。また、両要素とも柔軟はりモデルを用いて表現する。柔軟はりモデルのばね剛性のパラメータをコイルばねの剛性パラメータに変えることで、柔軟はり要素をシャシ・サスペンションとして扱うことができる。非線形要素であるコイルばねの底突き特性に対しては、ガタモデルを用いて表現する。これらによりシャシ・サスペンションの姿勢（傾き）、ストロークによる姿勢変化、車体の変形による姿勢変形などに対応できるようにする。車体との結合に際しては、マウントゴム（位差蓄積要素）で結合し振動を抑制させる。図7にストラット型サスペンションの機能モデルを示す。

車体、ロア・アームのモデル化では、同様に柔軟はりモデルを用いて、変形挙動を再現させる。ロア・アームは車体に確実に支持させるため、三角形のアームを想定し、車体への取り付け部を2箇所とする。その際、車体との結合にラバー・ブッシュを介して結合させる。同様にストラットとの結合にはボール・ジョイントを介して結合させる。実際のラバー・ブッシュやボール・ジョイントは軸方向、軸直角方向、ねじり方向の3方向のばね定数比を適切に設定

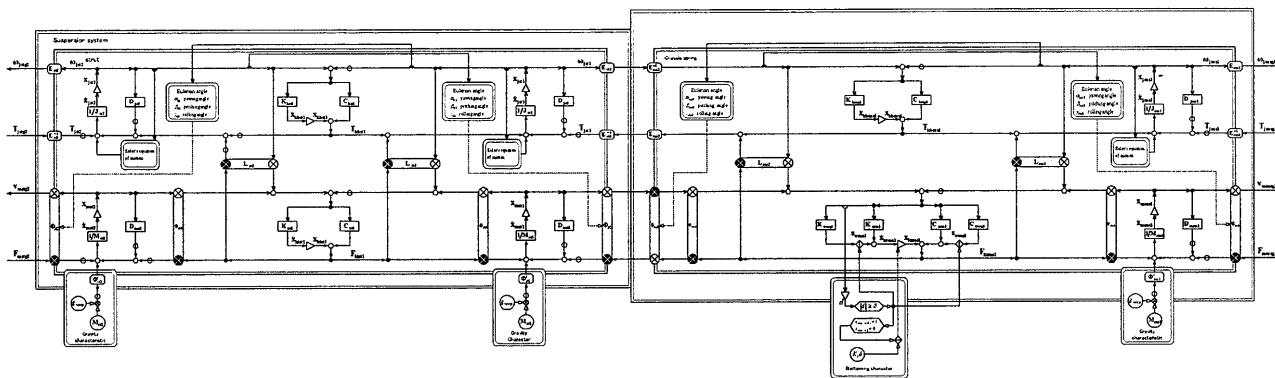


Fig.7 Functional model of the suspension

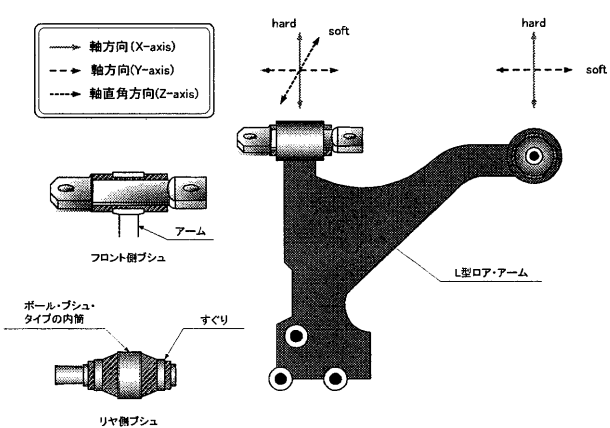


Fig.8 Structure model of the lower arm

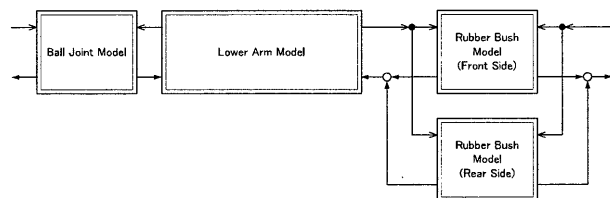


Fig.9 Block diagram of the lower arm

し確実に固定したり振動を緩和させたりする。機能モデルにおいても、各軸方向の位差蓄積要素の剛性のパラメータに変化を持たせることで、表現できる。

本研究で想定するロア・アームの構造モデルと機能モデルのブロック図をそれぞれ図8と9に示す。また、それを包含したサスペンション系全体の機能モデルのブロック図を図10に示す。

7. シミュレーション結果

図11から13には、シミュレーション結果の一部を示す。シミュレーションをする上での前提として、本研究で想定したサスペンション系は一輪走行の試験機として捉えており、シミュレーション結果は機械挙動の傾向を再現できているかを検討する。また、このシミュレーション結果では、ブレーキ関係の結果を示していないが、実際にはモデルとして組み込まれている。

動力源にトルクを入力することにより、アクスル系、タイヤ系を介して車体が旋回運動をする。図11はタイヤへの路面変位の入力値を表しており、図12はそれに対する車体、サスペンション、タイヤの位置の軌跡を表している。タイヤの変位に比べ車体の変位が小さいため、ハードな車

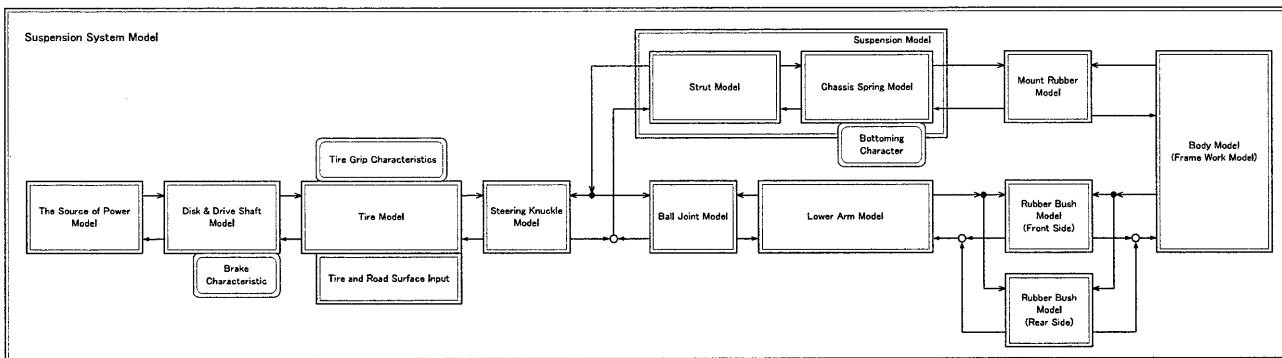


Fig.10 Block diagram of the suspension system

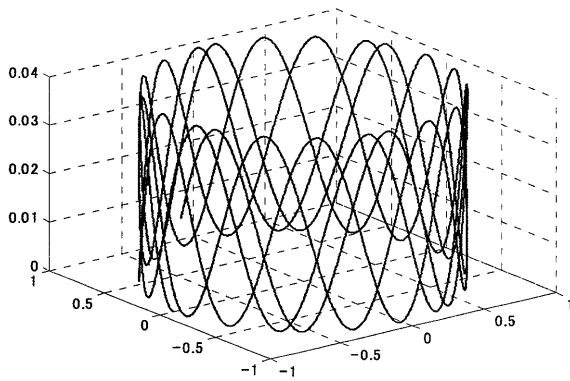


Fig.11 Road surface information

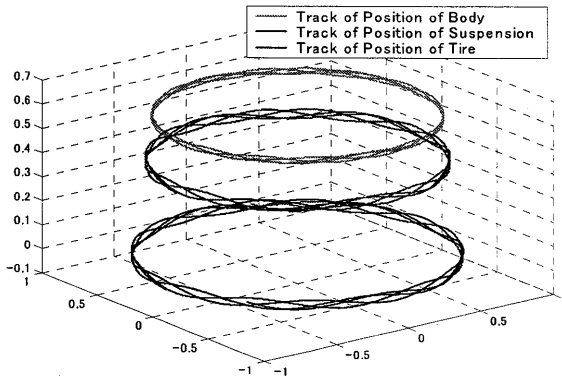


Fig.12 Track of position of vehicles system

両設定と言える。また、タイヤモデルにはグリップ特性の非線形要素を結合させているため、駆動・制動時の挙動変化にも対応できる。この走行条件では、駆動時にはスリップをしているが、徐々にスリップ率が小さい値となり、タイヤは高いグリップ力を保持したまま走行していることが表されている。サスペンションは路面変位よりもストロークの変位が小さいため、車体とともに旋回運動をしながら、路面から受ける衝撃や振動を緩和させている。実際の路面情報に近づけるには、時間ごとに路面変位を変化させることで可能となる。

8. 結論

機能モデルによる3次元空間内で力学的挙動を表現する柔軟はりモデルの構築と、その要素を用いた自動車サスペンションモデルの構築法の具体案を提示することができた。今後の展望として、パワートレイン系やステアリング系の機能要素をモデル化し、それを包含させることで、柔軟はりモデルを用いた4輪自動車の走行モデルまで発展させたい。さらに、サスペンションの諸特性や車両性能を左右する重要な要素の一つであるジオメトリを考慮した走行シミュレーションを検討し、さらに具体的で実機に近いモデル開発の研究に取り組みたい。

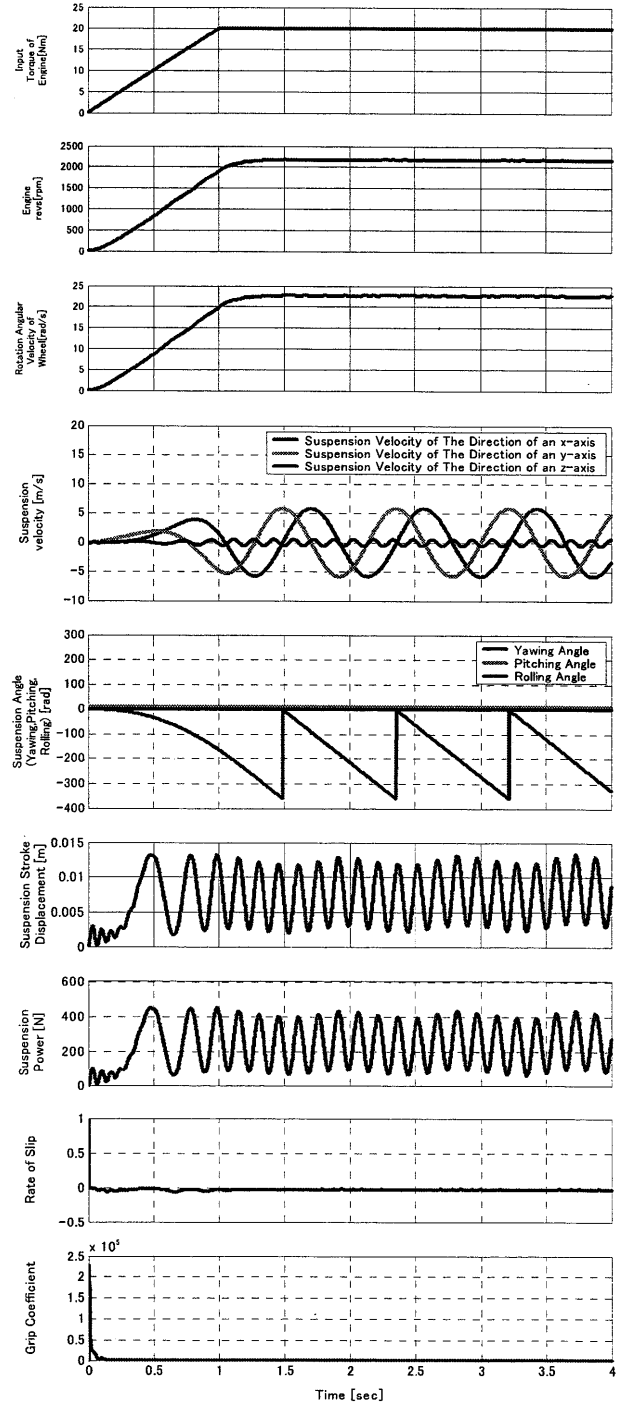


Fig.13 Simulation result

参考文献

- (1) 長松・角田・長松、機論、64-622、C (1998)、1997-2004
- (2) 長松・角田・長松、機論、64-627、C (1998)、4216-4223
- (3) 長松・角田・長松、機論、65-632、C (1999)、1403-1410
- (4) 角田鎮男・機械システムにおける機能設計のためのモデル化手法・東京工業大学 平成十一年度 学位論文
- (5) 河井・長松ほか、自動車技術会春季大会 (2002)、2002-5037
- (6) 坂田・長松ほか、自動車技術会春季大会 (2002)、2002-5044