

# ATV 足まわりレイアウト支援システムの構築

Construction of Support System for Suspension and Steering Layout of ATV

田 村 和 丈\*

Kazuhiro TAMURA

中 村 豊 一\*

Toyokazu NAKAMURA

## 要 旨

ATV(全地形用車両: All-Terrain Vehicle)の足まわりの設計では、ホイールのストロークにより車両の姿勢が変化したときのジオメトリ変化や各ジョイントの揺動角など40項目以上をレイアウトの段階で検証する必要がある。これまでは検証項目によってツールを複数使用する必要があり、効率的な仕様検討ができていなかった。これに対して今回CADに組み込まれた機構解析とレイアウト支援ツールを統合し、CAD上のレイアウトと連動して検証できるシステムを構築した。加えてCADに組み込まれた非線形解析を利用して車両の姿勢が変化した際のゴム部品の変形を計算することで、ゴム部品の変形を考慮したクリアランスの確認を可能としている。これによりATV足まわり設計におけるレイアウトの精度向上と工数削減が実現できた。

## ABSTRACT

When designing All-Terrain Vehicle (ATV) suspension and steering, over 40 different items should be verified in the layout stage, such as the change in geometry when the vehicle attitude changes due to wheel stroke, and the swing angle of each joint. Thus far it has been necessary to use multiple tools depending on the item to be verified, which has hindered the efficient investigation of specifications. Therefore, a system that enables verification in conjunction with the CAD layout was constructed by integrating the layout support tool and the mechanical analysis function built into CAD. In addition, rubber part deformation when the vehicle attitude changes is calculated using the nonlinear analysis built into CAD, enabling verification of the clearance that takes into account rubber part deformation. This enhances the layout accuracy and reduces man-hours when designing ATV suspension and steering.

## 1. まえがき

ATV(全地形用車両: All-Terrain Vehicle)<sup>(1)</sup>の足まわりは部品が複雑に組合わさって揺動するために、ホイールストロークによる車両の姿勢変化時の影響をレイアウト段階で検討するのは困難である。そのためATV設計者は個々の目的に応じて複数のツールを使い車両の姿勢変化の影響を検証し、レイアウトに反映していた。

近年、3D CADの普及が進んできて、機構解析やゴム部品の変形を計算する非線形解析を3D CAD上でおこなえるツールが市場に登場し、設計者自身が扱える検証範囲が広がってきている。

今回、これまでATV設計者が利用していた複数の検証機能を3D CAD上のツールに統合し、さらに発達したCAE技術を検証ツールに組み込み、レイアウト検討の効率化と精度向上を進めたので紹介する。

\*二輪開発センター

## 2. ATVの足まわりレイアウトの特徴

一般にATVの足まわりはFig. 1に示すように乗用車に近い構造<sup>(2)</sup>をしているが、ダートコースでのスポーツ走行や、農牧地で荷物を運搬するなどの用途に合わせて以下のような特徴も持っている。

- (1)乗車定員が1名でトレッド幅が1m程度。
- (2)小型のサスペンションアームで大きなホイールストロークをとるためにFig. 2に示すようにタイヤのキャンバ角、トーイン量などが大きく変化する。また各ボールジョイントやアームのピボットの角度変化も大きい。
- (3)ステアリングにはセンタアーム式を採用し、小さな転だ角で大きなタイヤ切れ角を生じる。
- (4)ホイール径が小さいため、ホイール周辺の空間が狭い。

ATVの開発にはこれらの特徴を考慮してレイアウトを検討する必要がある。

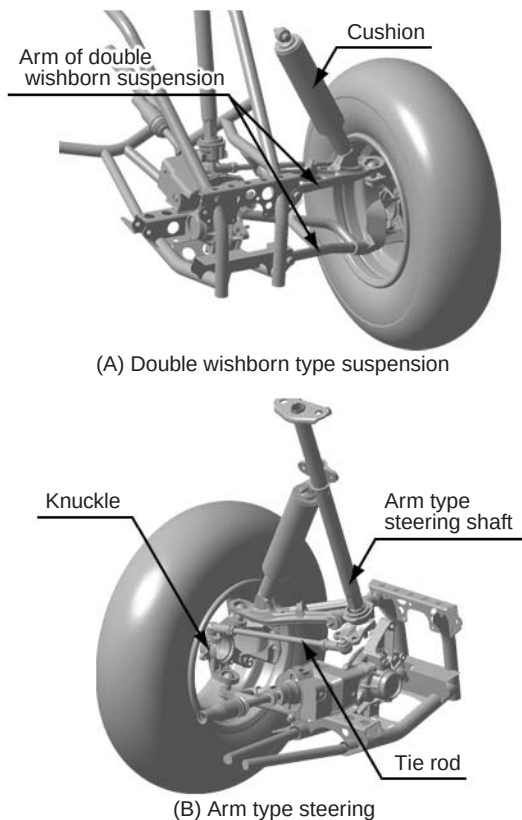


Fig. 1 Structures of assembled ATV suspension and steering

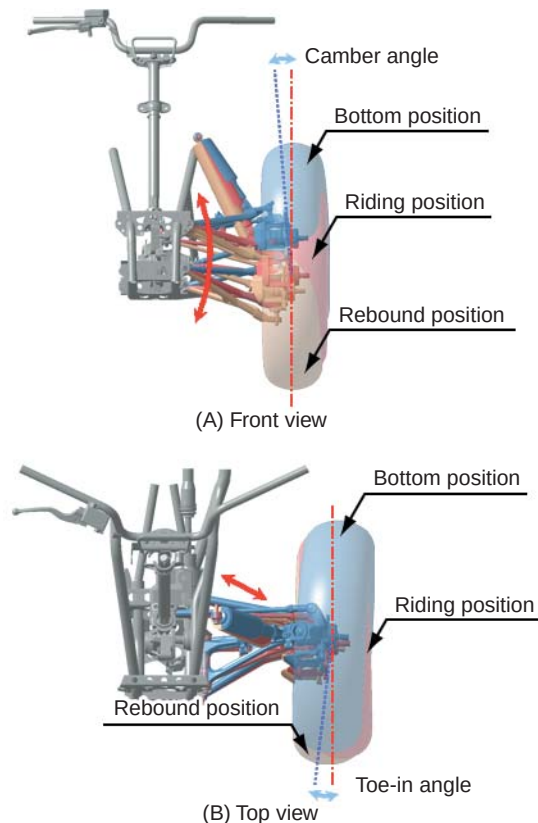


Fig. 2 Wheel stroke characteristics of wheel alignment

### 3. 足まわりレイアウトの課題

ATVの足まわりのレイアウトでは、ホイールがストロークしたときに車両の姿勢が変化した際のジオメトリ変化を抑えること、各ジョイント部の揺動角が使用限界を超えないこと、規定値以上のクリアランスを確保することなど検証項目は40項目以上にもなる。これらをレイアウトの段階で検証する際の課題として以下の項目があった。

- (1) 車両の姿勢変化を計算するツールを複数使い分けて検証する必要があり、効率的な仕様検討ができなかった。
- (2) これまでのツールではホイールストローク時のキャンバ角変化やジョイントの揺動角などがグラフや数値としてのみ出力されていたため、開発者はこれらから三次元の動きを把握することが困難だった。
- (3) 基本レイアウトを決定した後に走行テストを受けて、トーインやクッション長を調節するチューニングをおこなうが、チューニング後のレイアウトで検証項目を再度確認するために、変更したレイアウトを CAD 上に正確に作図し直すことは困難であった。
- (4) 足まわりに配置されるブレーキホースやラバーブーツなどのゴム部品は、車両の姿勢が変化したときに強制的に曲げなどの変形を受けるが、複雑なゴムの変形を検討するためには非線形解析が必要であり専門技術が必要とするために適用が限られていた。

### 4. ATV 足まわりレイアウト支援ツールの構築

3章で述べた課題を解決し、車両の姿勢変化と足まわり周辺のゴム部品の変形を 3D CAD 上で計算し、設計者が複雑な機構の動きを理解し、レイアウトの精度を向上させるツールを新規に構築した。そのツールの概要を Fig. 3 に示す。

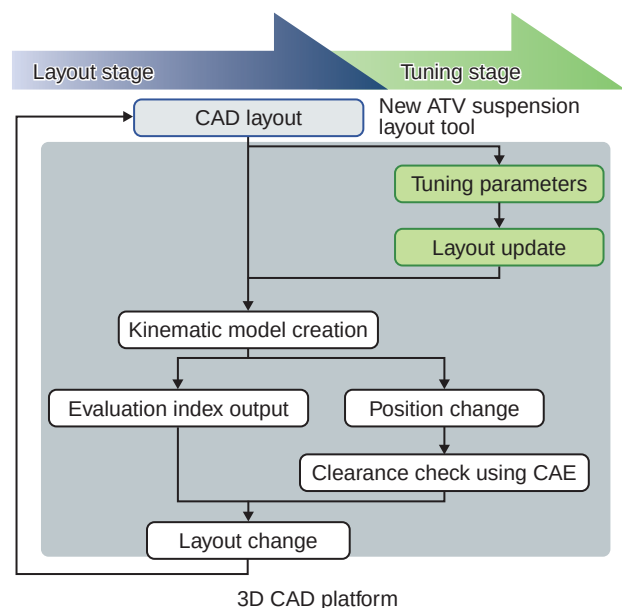


Fig. 3 Outline of new ATV suspension layout tool

#### 4.1. 機構解析モデル

車両の姿勢変化は3D CADに組み込まれた機構解析機能を利用して計算し、ATVのジョイント位置をCAD上で選択するだけでFig. 4のような機構解析モデルを自動作成する機能を構築した。機構解析モデルの雛型をATVのサスペンションやステアリングのタイプ別に用意し、その雛形にレイアウトのジョイント位置を反映することでモデル作成の自動化を実現している。

機構解析モデルは各ジョイント位置にボールジョイントや回転ジョイントなどの並進自由度や回転自由度が限定された動きを定義することで、ホイールストローク量やステアリング転だ量に応じた車両の姿勢が一意に定まるように作成する。本ツールでは以下のように任意のストローク量による車両の姿勢変化を計算する用途と、任意のステアリング量での車両の姿勢変化を計算する用途に応じて、二つの機構解析モデルを使い分けている。

##### ・モデル1

用途: 任意のホイールストローク量での車両の姿勢位置の計算、及びその姿勢でのクッション長の計算。

構成: グラウンド位置からホイールセンタ位置までの鉛直高さを任意の値に拘束するジョイントを定義したモデル [Fig. 5 (A)].

##### ・モデル2

用途: 任意のステアリング転だ量での車両の姿勢位置の計算。

構成: クッションの長さを任意の値に拘束するジョイントとステアリング転だ角度を任意の値に拘束するジョイントを定義したモデル [Fig. 5 (B)].

ホイールがストロークしたときの車両の姿勢変化はモデル1のみを使用している。ステアリング転だ時の姿勢変化はモデル1を用いてホイールセンタの鉛直高さを拘束しながらおこなうと、意図せずにクッション長が変化するので、これを避けるためにモデル1で求めた姿勢でのクッション長をモデル2に適用し、そのクッション長を維持したままステアリング転ださせている。

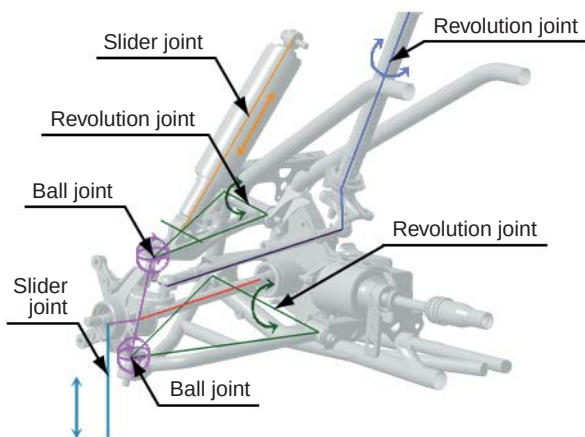
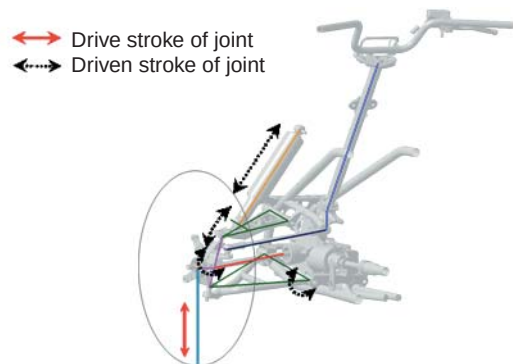
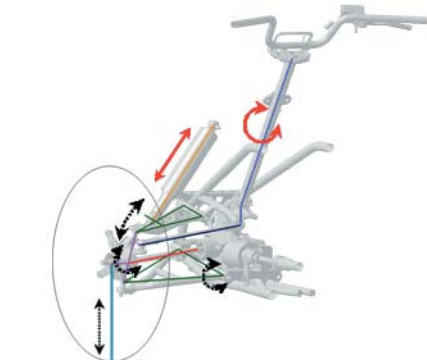


Fig. 4 ATV kinematics model



(A) Wheel stroke control kinematics model



(B) Cushion stroke control kinematics model

Fig. 5 Selection of ATV kinematics models

#### 4.2. ジオメトリ計算

本ツールではホイールがストロークしたときのキャンバ角変化やジョイント部の揺動角などの検証項目を評価できるように、機構解析モデル内で車両の姿勢を変化させたときの各部品の主要な点座標から特性グラフや評価値の形に計算し直して出力するようにした。

ジオメトリの検証項目にはCAD上の単純な角度として算出できない値もあるため、部品の位置座標から評価値に計算し直す下記の処理をCAD外のプログラムでおこなった。

- (1) CAD上のレイアウトに対して前後輪を地面に接地させた車両の姿勢は3°程度前傾しているため、CAD上の座標値から接地面を基準にした座標系に変換してから評価値を計算した。
- (2) キャンバ角やトーイン角の計算はタイヤ外周上の上下端や前後端の座標から角度を計算したのではホイールがストロークしたときにナックル自体がホイール軸周りに回転することを考慮できないため、回転に影響されないホイールセンタ軸上の基準点の座標から計算した。
- (3) 車両の姿勢が変化した際にタイロッド両端のボールジョイントの揺動角に使用限界までの余裕がどれだけあるかを以下の手法で検証している。ここではボールジョイントの揺動する側をシャンク、タイロッドに固定されている側をハウジングと呼び、それぞれの基準

軸を Fig. 6 (A) のように定義する。Fig. 6 (B) のようにシャック軸の揺動する範囲を半径(母線)の長さが1で頂角がボールジョイントの使用限界角度  $\gamma$  である円錐の内側とし、それぞれの車両姿勢位置でのシャック軸が使用限界位置までタイロッドが中心軸まわりに回転するねじれ角  $\delta_{2(Limit)}$  を以下の式(3)で計算した。

$$y = 1 \times \sin \delta_1, z = 1 \times \cos \gamma \quad (1)$$

$$x = \sqrt{\sin^2 \gamma - y^2} = \sqrt{\sin^2 \gamma - \sin^2 \delta_1} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \delta_{2(Limit)} &= \tan^{-1} \left( \frac{x}{z} \right) \\ &= \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{\sin^2 \gamma - \sin^2 \delta_1}}{\cos \gamma} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

**y軸：**タイロッドの軸方向

**z軸：**ボールジョイントのハウジングの基準軸方向

$\gamma$ ：ボールジョイントの揺動する使用限界角度

$\delta_1$ ：各車両姿勢位置でシャック軸がz軸からy軸方向に傾斜した倒れ角

$\delta_2$ ：各車両姿勢位置でシャック軸がz軸からタイロッド中心軸まわり(x軸方向)に回転したねじれ角

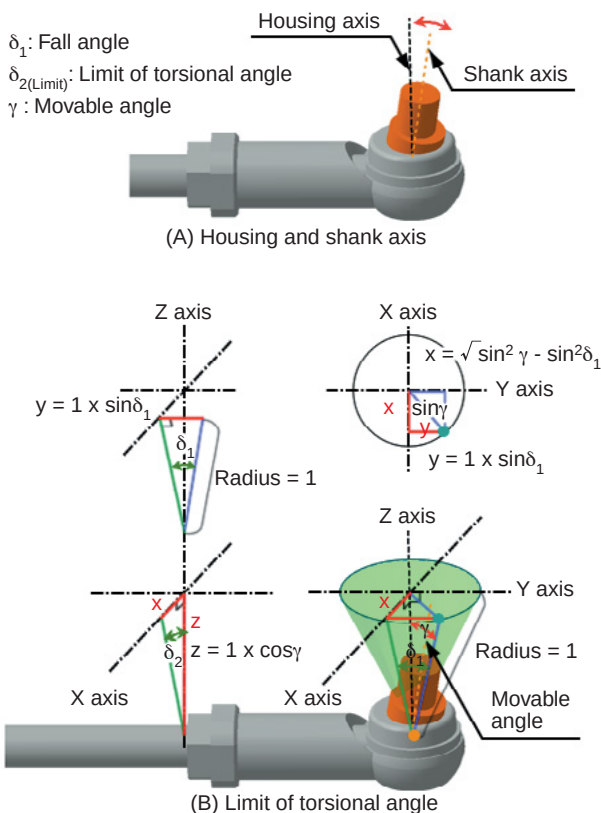


Fig. 6 Ball joint moving angle

(4)前述(3)の片側のシャック軸の揺動角に加えて、タイロッド軸方向から見た時の両端のハウジングがなす相対角が使用限界までの余裕角を限定することになる。この相対角はホイールストロークの全伸びによる車両姿勢で Fig. 7 のようにタイロッドを車体前方にねじって突き当たった位置でロックナットを締め付けた際の角度と決めているため、全伸びによる車両姿勢での両側のボールジョイントの位置からそれぞれねじれ角の限界を求め、この角度を計算した。

また、検証項目の計算結果を出力する際には各ジョイント位置のレイアウト情報と計算結果がツールに登録され、過去のレイアウト情報の蓄積やレイアウトの仕様違いでの特性グラフの重ね合わせに利用される。

#### 4.3. チューニング後のレイアウト検証

走行テスト後のチューニングでは、タイロッドの長さをロックナットの締め付け位置により変更してトーイン量の調整や、クッションを交換してホイールストローク特性の調整をおこなう。タイロッドやクッション以外の部品形状は変わらないが、各部品がジョイントを介して組み合わされているために他の部品のレイアウト位置も変更される。この変更したレイアウトで検証項目を再度確認するために、CAD上にレイアウトを作図し直す必要があったが、三次元的に動く各部品の位置を正確に求めるのは困難であった。そこでチューニングするトーイン量とクッション長を本ツールに数値として入力することで、チューニング後の各部品のレイアウト位置を自動で求める機能を構築した。

チューニングで変更された各部品のレイアウト位置を求めるために、車両の姿勢変化を計算する機構解析モデルにクッションとタイロッドを伸縮させる並進ジョイントを組み入れた。まずクッションに組み入れた並進ジョイントを伸縮させて入力したクッション長の値に変更する。その後、トーイン量が入力した値に一致するようにタイロッドに組み入れた並進ジョイントを少しずつ伸縮させ、その差異が収束するまで伸縮量を変更する処理を繰り返す。この

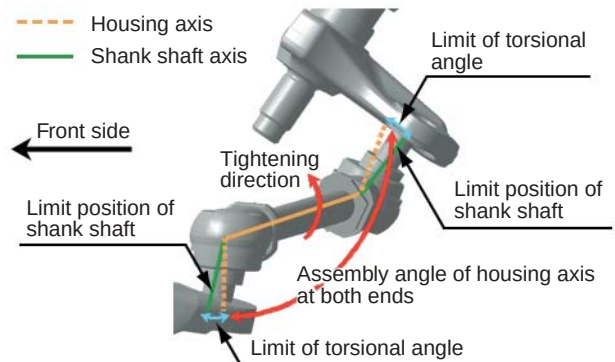


Fig. 7 Assembly angle of housing axis at both ends

機能によりトーイン量とクッション長を変更した際に影響を受ける他の部品のレイアウト位置を早く正確に求められるようになった。

本ツールでは基本のレイアウト位置を元に、変更したトーイン量とクッション長を入力してチューニングした後のレイアウト位置を求める専用画面を用意した。

#### 4.4. ゴム部品の変形時のクリアランス検証

車両の姿勢が変化した際の部品間のクリアランスを評価する際には、足まわり周辺に配置されるブレーキホースやラバーブーツなどのゴム部品が車両の姿勢変化に伴ってどう変形するかを考慮することが必要である。これまでゴム部品の変形の計算は解析専任者がおこなっていたが、CADに組み込まれた非線形解析を利用して計算させる機能を開発し、設計者があらゆる車両姿勢での変形を検証できるようにした。

ブレーキホースの変形については基準車両姿勢でのホースエンド、クランプ位置を定義した後に、機構解析モデルを用いてホイールストロークにより車両の姿勢が変化した際のホースエンド、クランプの位置を計算する。その車両姿勢でのブレーキホースの変形を非線形解析で計算して、結果をCAD形状として出力するようにした(Fig. 8)。この機能によりクリアランスを確保できるクランプ位置の検討など、CAD上でレイアウトの精度を向上させることが可能になった。

ラバーブーツの変形については、組み付けられているジョイントの曲げ角度を車両の姿勢が変化したときに読み取り、非線形解析にこの曲げ角度とブーツの組み付け箇所を条件として与えることで変形した形状を計算し、計算結果から変形後のCAD形状を作成するようにした(Fig. 9)。大きな曲げ角度ではブーツの蛇腹形状が互いに当たって盛り上がっている様子が計算で再現できる。このような複雑な変形も $\pm 3\text{ mm}$ 程度の精度で再現できた。

### 5. 適応効果

車両の姿勢が変化したときの足まわりジオメトリを計算する機能を集約し、チューニング後のレイアウト変更を自動的に計算する機能をツール化したことにより、足まわりレイアウトの仕様検討の工数を1/4に削減できた。

また、これまではグラフや数値のみの結果からレイアウトを検討していたが、本ツールで車両の姿勢変化の様子を3Dで視覚的に確認できるようになり、複雑な機構の動きを検討できるようになった。

さらに、車両の姿勢が変化したときのゴム部品の変形も考慮した部品間のクリアランスを設計者自身が確認できるようになった。

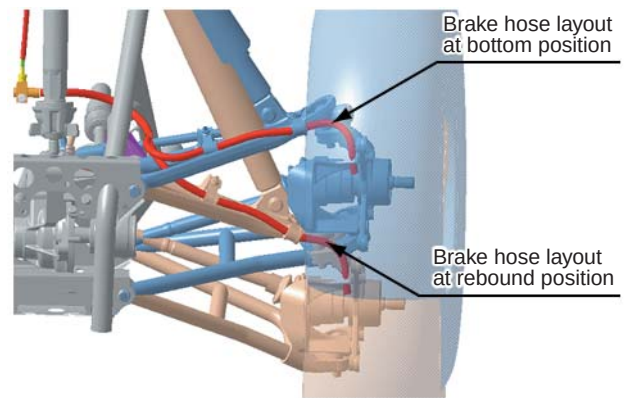


Fig. 8 Clearance with brake hose

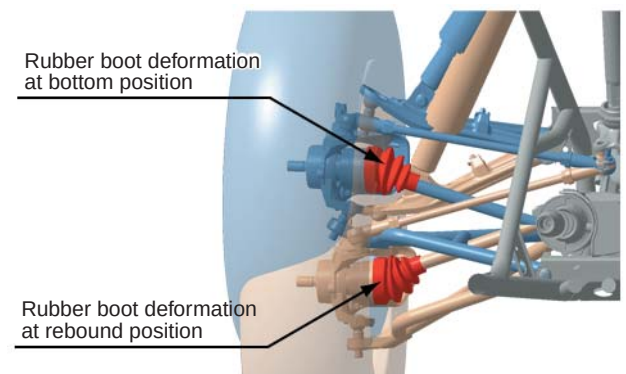


Fig. 9 Clearance with rubber boot

## 6. まとめ

ATV 設計者が足まわりレイアウトの仕様を検討する際の検証項目を評価するツールを構築し、以下の機能を実現した。

- (1) 検証項目を評価する機能を3D CAD上の機構解析を利用したツールに集約し、CAD上のレイアウトと連携した複雑な機構の動きを三次元上で理解でき、レイアウトの仕様検討工数を1/4に削減した。
- (2) 走行テストでチューニングした後のレイアウトを評価するために、変更した各部品のレイアウト位置を、機構解析モデルを用いて早く正確に計算するようにした。
- (3) CADに組み込まれた非線形解析を利用して車両の姿勢が変化したときのブレーキホースやラバーブーツなどのゴム部品の変形を計算し、周辺部品とのクリアランスを確認できるようにした。

## 参考文献

- (1) 堀良昭, 関文三, 鈴木秀明, 中村道郎, 工藤一浩: 実用ATV「RINCON TRX650FA」の紹介, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.59-68

- (2) 小倉潤司, 小野賢二, 織本幸弘, 加賀実康, 笠井康宏,  
加藤和彦, 加藤修一, 児玉貴志, 土井偉, 中之蘭晴彦,  
中屋一正, 浜村紀夫, 早坂義広, 政村辰也, 嶺川一光,  
矢野勝久: 第2章 サスペンション, 自動車技術ハンド  
ブック「設計(シャシ)編」, 自動車技術会, p.7-47(2005)

■著 者■



田村 和 丈



中村 豊 一