

〔論 文〕

自動車の動的ホイールアライメント特性の簡易計測法

森 和典*・梶山項羽市*・高西 賢二*

Examination of Simplified Methods for Measuring Dynamic Wheel Alignment Characteristics of Automobile

Kazunori MORI, Kouichi KAJIYAMA, Kenji TAKANISHI

Abstract

Two simple methods of easily measuring the dynamic wheel alignment characteristics that exerted a big influence on maneuverability and stability of the vehicle are examined. The first method installs the disc on the surface of the measured wheel, and is a method of measuring the inclination and the displacement of the disc through vertical motion of the wheel in relation to the body. The second one is the method using a four-wheel alignment tester to measure initial alignment etc. In this report, the experimental results are brought together, and it reports on both merits and demerits of each method and suggests improvements for the future.

Keyword: Automotive Engineering, Suspension, Steering, Geometry, Wheel Alignment Measurement, Maintenance

1. まえがき

トー角やキャンバ角などのホイールアライメントは、サスペンションとステアリングのジオメトリによって、車輪が上下動するのに伴い変化する。換言すれば、車体がロール、ピッチ、バウニングするのに伴いホイール・アライメントが変化する。この特性は動的ホイール・アライメント特性と呼ばれ、自動車の操縦性・安定性に大きな影響を及ぼす^{(1)~(3)}。自動車開発の初期段階から、適切な動的ホイール・アライメント特性に設定するため、サスペンション・ジオメトリや車両運動性能などの計算、足回り装置、車体などの構造および製造方法の検討が十分に施される⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、自動車の製造段階や市場における保守・点検・整備では、この特性が直接計測されることは無い。走行安定性や直進性に影響するという一方で、空車状態の初期ホイール・アライメントとサイドスリップ量が測定されているが、車両の直進走行や車体がロールする旋回走行の性能保証としては本来不十分である。

動的ホイール・アライメントが測定されない理由として、①高価で高精度な測定装置の必要性、マンパワーや測定時間、コストなどを考えた場合、その必要性が少ない。②異常が検出されても、車体や足回り装置類の寸法精度、剛性に関わる内容なので、修正の方法が極めて限定される。これまでは経験的に設計、製造段階における精度保証で十分と考えられている。そのためにホイール・アライメント初期値のみを基準値に合わせられるように、初期トー角はトーイン量として調整可能な構造になっている。なお、一部の車両は初期キャンバ角も調整できるものがある。③設計・製造におけるノウハウ的な要素が強く、製造メーカーは外部に設計値を公開することができない。などが挙げられよう。

動的ホイール・アライメントを測定する装置としては、シャシ静特性試験機があり高精度の測定が可能である。しかし、大型かつ複雑な構成をしており極めて高価な装置である。そのため、自動車メーカーや自動車研究を行っている一部大規模な研究所のみが保有している。簡便な

* 交通機械工学科
平成19年4月19日受理

方法の検討を始めたきっかけは、大学での自動車工学教育において、動的ホイール・アライメントの重要性を実体験の中から学ばせようとしたことに端を発している。しかし、実社会において簡単に測定できれば、間接的ではあるが自動車の走行安全性の確保にも役立つと思われる。

そこで、簡易な手法として、①薄い円板を車輪に取り付けて、円板の変位と傾斜角から計測する方法と、②四輪アライメントテストを用いる方法を検討した。本報では、動的ホイール・アライメントの測定原理、2つの方法による実験結果と考察、および今後に向けた改善項目をまとめたので、その概要を述べる。

2. 車輪に取り付けた円板を用いる方法

車両に装着されたロードホイールの表面に薄肉円板を固定して取り付け、車体を上下させたときに生じるこの円板の変位と傾斜角からトー角およびキャンバ角を計測する。ただし、微小な傾斜角を直接精度良く測定することは難しいため、ここでは、路面側に固定したダイヤルゲージにより円板表面の3点の水平変位を測定して傾斜角を割り出すという簡単な方法を採用する。

2.1 測定原理

円板表面上の任意の3点の位置座標から、円板の傾斜角と変位を導出する式を以下に示す。図1および図2は、式を導出する際に用いる座標系である。 X は路面側に固定した座標系、 X_0 は座標系 X を円板位置まで平行移動した成分、 X_1 は座標系 X を円板位置まで平行移動した座標系を表す。また、円板に固定した座標系を x とする。

図1において、座標系 X_1 は座標系 X を X_0 平行移動させたものだから、次式の関係が成り立つ。

$$X = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = X_0 + X_1 \quad \dots\dots(1)$$

座標系 X_1 を Z_1 軸周りに角度 δ 回転させた座標系を x_1 、 x_1 軸周りに角度 γ 回転させた座標系を x_2 とすると、

$$X_1 = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & -\sin\delta & 0 \\ \sin\delta & \cos\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = A X_1 \quad \dots\dots(2)$$

$$x_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & -\sin\gamma \\ 0 & \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = B X_2 \quad \dots\dots(3)$$

が成り立つ。

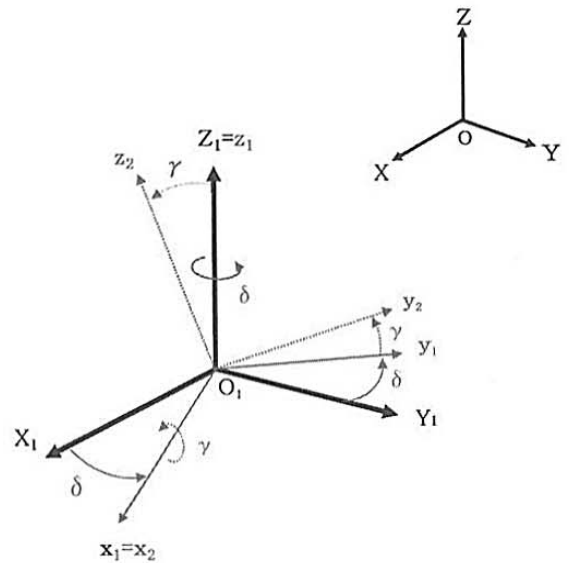


図1 座標系(1)

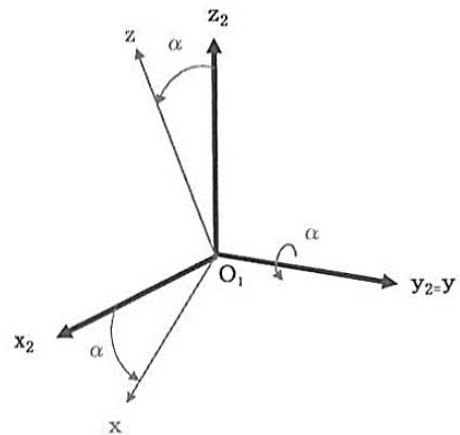


図2 座標系(2)

図2において、座標系 x_2 の y_2 軸周りに角度 α 回転させた座標系を x で表し、円板に固定された座標系とする。次の式が成り立つ。

$$x_2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = C x \quad \dots\dots(4)$$

式(1)に、式(2)~(4)を代入すると、

$$X = X_0 + A B C x \quad \dots\dots(5)$$

を得る。また、式(5)より次の関係を導くことができる。

$$x = C^T B^T A^T (X - X_0) \quad \dots\dots(6)$$

●近似式①

$\alpha \approx 0$ とすると、 δ はトー角、 γ はキャンバ角を意味することになる。

$$\begin{cases} X = x \cos \delta - y \sin \delta \cos \gamma + z \sin \delta \sin \gamma + X_0 \\ Y = x \sin \delta + y \cos \delta \cos \gamma - z \cos \delta \sin \gamma + Y_0 \\ Z = y \sin \gamma + z \cos \gamma + Z_0 \end{cases} \quad \dots\dots(7)$$

さらに、式(7)において、 $\delta, \gamma \ll 1$ とすると、

$$\begin{cases} X = x - y\delta + X_0 \\ Y = x\delta + y - z\gamma + Y_0 \\ Z = y\gamma + z + Z_0 \end{cases} \quad \dots\dots(8)$$

となる。

●近似式②

①と同様の近似をおこない、次式を得る。

$$\begin{cases} x = (X - X_0) \cos \delta + (Y - Y_0) \sin \delta \\ y = -(X - X_0) \sin \delta \cos \gamma + (Y - Y_0) \cos \delta \cos \gamma \\ \quad + (Z - Z_0) \sin \gamma \\ z = (X - X_0) \sin \delta \sin \gamma - (Y - Y_0) \cos \delta \sin \gamma \\ \quad + (Z - Z_0) \cos \gamma \end{cases} \quad \dots\dots(9)$$

$$\begin{cases} x = (X - X_0) + (Y - Y_0) \delta \\ y = -(X - X_0) \delta + (Y - Y_0) + (Z - Z_0) \gamma \\ z = -(Y - Y_0) \gamma + (Z - Z_0) \end{cases} \quad \dots\dots(10)$$

いま、あらかじめ決められた3点の固定座標をそれぞれ X_a, X_b, X_c とし、それに対応する円板固定座標をそれぞれ x_a, x_b, x_c とする。これらがすべて測定可能として、式(8)を用いると、未知数が $\delta, \gamma, X_0, Y_0, Z_0$ の5つで、合計9つの方程式ができる。近似的には、未知数を計算するためには十分の方程式の数になる。

測定および計算の具体例を示す。図3のように、路面に対して固定した半径 R の円上に3つの測定点をおき、3点の固定座標をそれぞれ、 $[R \ Y_a \ 0]^T, [-R \ Y_b \ 0]^T, [0 \ Y_c \ R]^T$ とする。ここで、測定点が円板に接触するように、 Y 座標は変化させることができる。また、円板は薄肉だから、 $y_a = y_b = y_c = 0$ とおく。式(8)を用いた式において、 Y 座標の式に着目すると、次式が得られる。

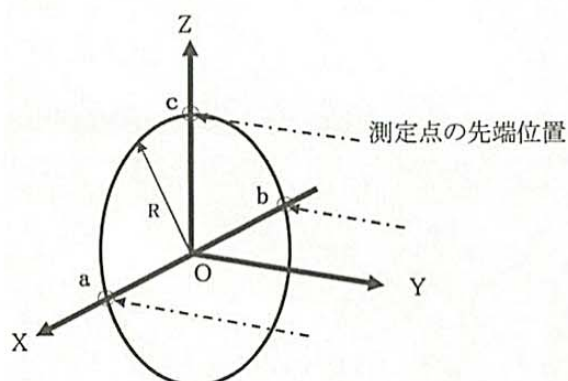


図3 測定点と円板の位置関係

$$\begin{cases} Y_a = x_a \delta - z_a \gamma + Y_0 \\ Y_b = x_b \delta - z_b \gamma + Y_0 \\ Y_c = x_c \delta - z_c \gamma + Y_0 \end{cases} \quad \dots\dots(11)$$

クラメル公式より、

$$\delta = \frac{\begin{vmatrix} Y_a & -z_a & 1 \\ Y_b & -z_b & 1 \\ Y_c & -z_c & 1 \end{vmatrix}}{\Delta}, \quad \gamma = \frac{\begin{vmatrix} x_a & Y_a & 1 \\ x_b & Y_b & 1 \\ x_c & Y_c & 1 \end{vmatrix}}{\Delta},$$

$$Y_0 = \frac{\begin{vmatrix} x_a & -z_a & Y_a \\ x_b & -z_b & Y_b \\ x_c & -z_c & Y_c \end{vmatrix}}{\Delta} \quad \dots\dots(12)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_a & -z_a & 1 \\ x_b & -z_b & 1 \\ x_c & -z_c & 1 \end{vmatrix}$$

以上により、 δ, γ, Y_0 が求められるため、 X_0, Z_0 は容易に計算できる。

なお、トー角 δ の符号は、+ のときトーアウト、- のときトーイン方向を示す。キャンバ角 γ の符号は、+ のときネガティブキャンバ、- のときポジティブキャンバである。

2.2 実験方法

空車状態で、トーイン・ゲージ、キャンバ・キャスト・キングピン・ゲージおよびターニング・ラジラス・ゲージを用いて、初期トー角とキャンバ角を測定する。

次に、動的アライメント変化を測定するため、まず円形状の亚克力板をタイヤ表面に両面テープと接着剤を用いて固定する。この固定した亚克力板上の3点を決めて、車体が上下方向に動いたとき、3点それぞれの車両左右方向の変位をダイヤルゲージを用いて測定する。図4に、本測定方法の概要を示す。

実験には、車両工学研究室所有の日産ローレル(C31)を使用し、前輪右側のサスペンションを測定した。

バンプ側の測定では、ボンネットの中央付近に人または重量物を乗せることで、10mm ずつ車高を下げていき、そのときの3点の変化量を測定した。また、リバウンド

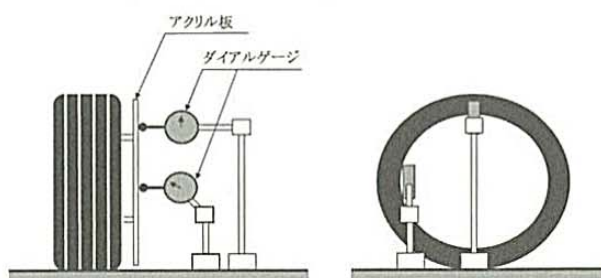


図4 円板を用いた測定方法

側の測定では、ジャッキを用いて車体を10mmずつ上げて、そのときの3点の変化量を測定した。

2.3 実験結果と考察

図5および図6は、それぞれホイールストローク変化によるトー角とキャンバ角の変化を測定した結果を示す。図では、+ がバウンド側、- がリバウンド側ストロークを示す。また、角度の符号は、2.1項の場合とは逆で、+ はトーイン方向、ポジティブキャンバ方向としている。大きなストローク変化をしたときの測定値は、ばらつきが大きくなった。これは、ダイヤルゲージ先端が、円板面との摩擦により滑らかに動かずに、少しずつれた可能性が考えられる。この簡便な方法では測定精度上、実用に供することは難しいが、ロールステアを理解させる教材としては有用と考えられる。

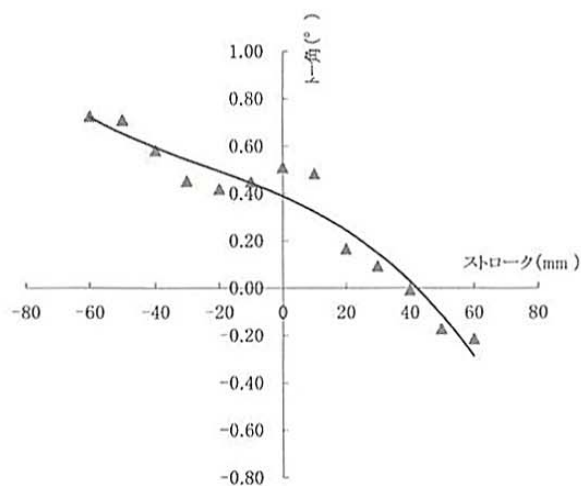


図5 トー角変化

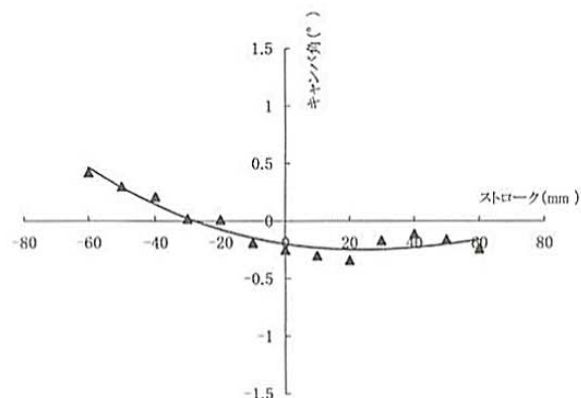


図6 キャンバ角変化

3. 四輪アライメントテストを用いる方法

測定車両に四輪アライメントテストを取り付け、車体を上下させたときのトー角およびキャンバ角を測定する。

3.1 四輪アライメントテストについて

四輪アライメントテストは、自動車の保守・点検整備の場において、トーイン、キャンバ角、キャスタ角、キングピン傾斜角などのサスペンション初期アライメントや、車輪の車体への組み付け精度を同時に一括して計測できる測定機である。図7は実験に用いた四輪アライメントテスト（バイスバース社製 マイクロライン5000）である。特に、トー角の測定では、従来、車輪前後のトレッド差からトーイン量を計測していたが、本機は片輪ごとの計測が可能のために、アライメントの狂いから生じるタイヤの偏磨耗や直進性の不良などの不具合原因の特定などにも活用されている⁽⁶⁾。また、従来サイドスリップ量のための測定であった法定検査において、一部車両には直進状態をサイドスリップでは判断できないものもあるため、四輪アライメントテストの測定値を提示することで、「保安基準適合」とする場合も出てきている⁽⁷⁾。

四輪アライメントテストでは、各車輪に取り付けられたセンサヘッドに内蔵のCCDカメラを用いて測定された前後左右のセンサの位置関係が、無線通信により本体へ送信される。図8はセンサヘッドを車輪に取り付けた状態を示す。また、ターンテーブルにて前輪舵角の測定を行い、キャスタ角、キングピン傾斜角および最大切れ角のデータが本体へ無線通信され、トー角、キャンバ角、セッパックおよびトー角により演算されたスラスト角などがモニタ表示される。ホイールアライメント測定に関する原理は、基本的に前述の2.1の内容とほぼ同じ



図7 四輪アライメントテスト

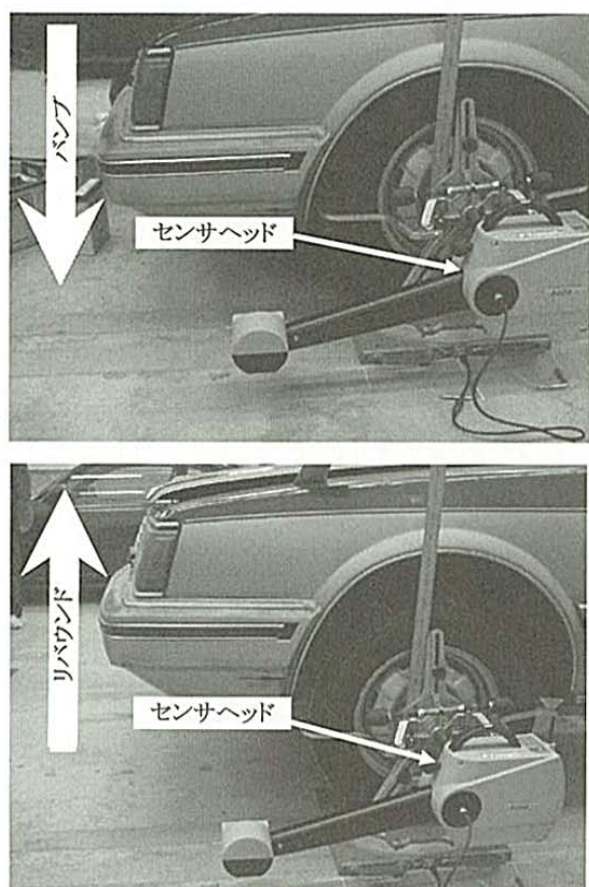


図8 センサヘッド取り付け

である。なお、ホイールアライメントを調整する作業を容易にするために、トー角、キャンバ角に関しては、調整状態をリアルタイムで表示できる機能が設けられている。さらに、後輪用ターンテーブルを取り付けると四輪操舵車両も測定が可能である。

3.2 実験方法

テストの調整時表示機能を利用して測定を行う。したがって、任意の車高に保持しておけば、そのときのトー角、キャンバ角をモニタで見ることが可能である。

実験は、2.2と同様に、車両の前輪右側のサスペンションを測定、パンク側の測定もボンネット中央付近に人または重量物を乗せて、10mm ずつ車高を下げる。ただし、前輪の左右の通信をセンサが行うため、送信を妨げないように注意しながら車高を下げてモニタに表示されるトー角、キャンバ角を読み取る。また、リバウンド側の測定でも、ジャッキを用いて10mm ずつ車高を上げる。

四輪アライメントテストを用いる方法と車輪に取り付けた円板を用いる方法とを比較するために、実験では第2章の実験で用いた車両を使用した。

3.3 実験結果と考察

図9は前輪右側のトー角変化の測定結果を示す。四輪アライメントテストの測定データは、ばらつきが少なく、なめらかな回帰曲線を描くことができる。ロールステア率を計算すると、四輪アライメントテストによる測定結果から、OS側2.2%が得られる。もう一方の方法による測定結果からは、ロールステア率はOS側8.2%となる。設計値が約0%だから、四輪アライメントテストのほうが、より設計値に近い値を示している。以上から、四輪アライメントテストは、測定精度上問題なく、動的ホイール・アライメントを測定できることがわかる。

図10は、キャンバ角変化の測定結果を示す。

4. まとめ

動的ホイール・アライメントを測定する簡便な2つの方法を検討し、次の結果を得た。

- (1) 車輪に取り付けた円板を用いる方法は、測定精度から実用には適していないが、測定方法も簡単であり、測定原理もわかりやすく、動的ホイール・アライメン

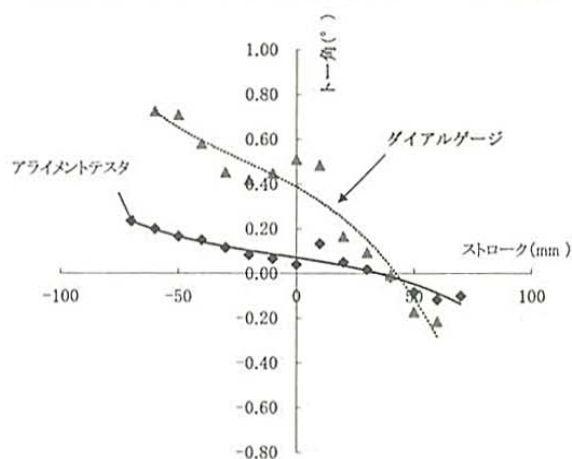


図9 トー角変化

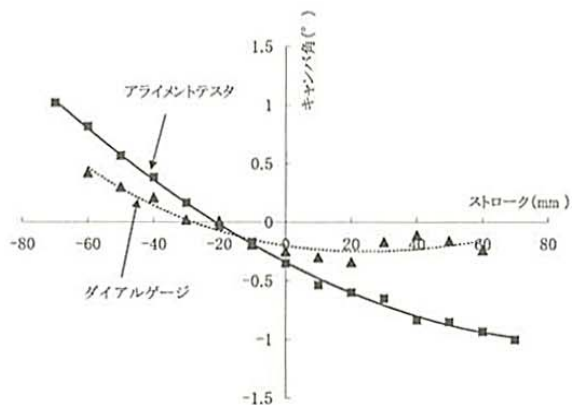


図10 キャンバ角変化

トを理解させる教材としては有用である。

- (2) 四輪アライメントテストは、車体を上下動させる方法を工夫すれば、動的ホイール・アライメントを精度良く測定することが可能である。
- (3) 測定範囲として、実験に用いた車両は簡単な方法によりホイールストロークをバウンド側70mm、リバウンド側70mm 変化させることができた。

文 献

- (1) 森和典・高西賢二，自動車用サスペンションの技術動向，久留米工業大学知能工学研究所報告，No. 6 (1993-6)，51-61.
- (2) 山本真規，ホイールアライメントと操安性，自動車技術，54-11 (2000)，10-15.
- (3) 宇野高明，車両運動性能とシャシーメカニズム，グランプリ出版，(1994).
- (4) 市坂純壮・田中淳夫・川辺喜裕・味村寛，FF 車用新型マルチリンクサスペンションの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，20015171，47-01 (2001-5)，1-4.
- (5) 名定正孝，フロントストラット式サスペンションの部材剛性がコンプライアンス，アライメント変化に及ぼす影響，自動車技術会学術講演会前刷集，20045069，11-04 (2004-5)，9-14.
- (6) Microline 取扱説明書，株式会社バンザイ (2003-5).
- (7) 自動車検査マニュアル，自動車検査業務研究会編，交文社，(1997-8)，274.