F1車体における計測解析技術

Measurement and Analysis Techniques for Formula One Chassis Development

澁 江 秀 明*　鈴 木 朋 和*　浦 木 護*
Hideaki SHIBUE　Tomokazu SUZUKI　Mamoru URAKI
井 田 玲 裕*　坪 内 淳 志*　木 滝 泰 隆*
Akihiro IDA　Atsushi TSUBOUCHI　Yasutaka KITAKI

要　旨

F1における車両運動性能の開発において，車体データの計測と解析は開発の基礎を成すものである．計測と解析によって得られる情報が，車両開発のコンセプト作りからレースマネージメントに至るあらゆる段階に活用されている．本稿では，F1車体における計測システムと各種センサ，他車性能計測技術，これらの情報を運動性能の開発に結び付けるためのデータ解析技術と運動性能指標について説明する．

ABSTRACT

Measurement and analysis of chassis data forms the foundation of Formula One vehicle dynamics development. Information obtained by measurement and analysis is used in every stage, from creation of vehicle development concepts to race management. This paper describes the measurement systems and various sensors in a Formula One chassis, techniques used to measure the performance of other vehicles, and the data analysis techniques and dynamic performance indices used to link the obtained information to vehicle dynamics development.

１．まえがき

F1における車両運動性能の開発が量産車のそれと決定的に異なるのは，技術者が自らハンドルを握ることができない点である．このため，運動性能における課題を把握し，対策の効果を確認するといった作業を正確かつ迅速におこなうために，高いレベルの計測技術や解析技術が要求される．特にタイヤ性能を最大限に引き出すという観点から，車体に多種多様なセンサを搭載し，常時計測している．これらの情報はテレメトリシステムと自動データ解析システムによってほぼリアルタイムで解析され，走行中に次の走行の車両セットアップを決定するのに貢献している．また，解析作業にシミュレーション技術を融合させることによって，さらに詳しい現象の把握や，対策効果の事前予測が可能となる．以下に，F1車体における計測システムと各種センサ，他車性能計測技術，これらの情報を運動性能の開発に結び付けるためのデータ解析技術と運動性能指標について説明する．

＊四輪R&Dセンター

２．計測システム

2.1. 計測システムの概要

サーキットを走行してデータを収集し，これを解析して対策を施すという作業は，F1の車両運動性能の開発における重要なサイクルである．このサイクルを短時間に精度良く繰り返すため，F1車体には高度な計測システムが車体の設計段階から造り込まれている．その意味では，F1車体はそれ自体が一つの計測装置であるともいえる．性能を最優先するレースにおいても60種類のセンサを搭載し，チャンネル数は 100 近くに達する．データ収集がより重視される

テストではさらに多くのセンサが搭載され，チャンネル数は 170 にも及ぶ．また，動画を録画するためのビデオカメラとレコーダが搭載され，用途に応じてドライバ操作，走行ライン，タイヤ温度の赤外線映像，気流の流れなどの映像が計測データと同期して記録される．

Fig. 1 に計測解析システムの概要を示す．センサ信号はまず車載の ECU 内で処理され，データロガーに記録される．また一部の性能評価指標も ECU 内でリアルタイムに計算され，センサデータと共に記録される．これらのデータの一部はリアルタイムテレメトリを通じてピットへ転送され，サーバ上で即時かつ連続処理される（vTagServer：VTS）．この際，性能指標値も同時に算出されるので，エンジニアは車両がピットへ戻る前に解析結果を得られ，次のセットアップ変更を検討できる．このリアルタイムデータはネットワーク配信され，ピット内はもちろん，インターネット接続されたチームファクトリーなどの拠点で多くのメンバが同時に利用できる．

車両がピットへ戻ると，データロガーに記録されたすべてのデータがピットのサーバへダウンロードされる．直ちに，自動データ解析システム（VAP）が起動し，数分の内に詳細な解析データをサーバ上に生成する．このデータは約 2500 の項目，最大 10 kHz のサンプリングレートで車両の状態を記録したものとなり，データの容量は１走行あたり数百 MB から数 GB に達する．サーバには実走データ以外にも，走行に関するほぼすべての情報（各車のラップタイム，セットアップ情報，ドライバコメントと無線の音声，気象および路面コンディション情報，メンバ間の作業指示および連絡の履歴，トラブル情報，シミュレーションの解析結果など）も一元管理される．

データはチームファクトリー（HRF）および四輪 R&D センター栃木（HGT）のサーバにも転送され，各極の技術者は場所と環境の制約無く同じ情報基盤の上でデータを共有しながら開発を進めることができる．

F1 ではレースと実走テストを合わせると，年間 125 日ほどの走行をおこなう（2008 年実績）．一日あたり 200 ラップにおよぶ走行データが記録されることもあり，膨大な計測データの精度と信頼性を高め，これを維持することが求められる．一方，車体は極限までスリム化，軽量化，低重心化されており，利用できる重量やスペースが限られている．また，車体に剛結されたエンジンは 200 G を越える振動を発生させ，排気の熱は1000 ℃近くになる．このため，高精度に加えて，小型軽量化，高耐久化のニーズに対応するため，オリジナルセンサや新計測手法の開発に取り組んでいる．以下にそれらの具体例を紹介する．

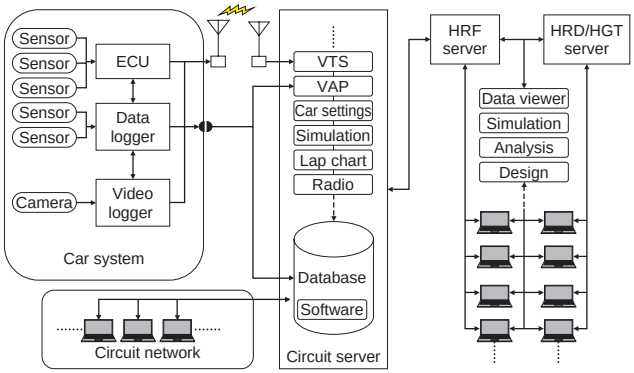

Fig. 1　Measurement and analysis system

2.2. Strain Gauged Wheel（SGW）

高精度かつ省スペース形状で，高い汎用搭載性を満足するF1車両用タイヤ６分力計ホイール（SGW）を開発した．従来の有線式（Fig. 2）に対し，軽量で空力影響の少ない無線方式を採用しており，搭載による空力影響の低減と搭載準備時間の短縮をはかり，限られたテスト走行において有用なタイヤデータを採取することが可能となった（Fig. 3）．

タイヤに発生する力は，ホイールに内蔵された４対のブリッジ回路（４ゲージ法）構成によるひずみセンサ式ロードセルによって計測される．さらにホイールディスク面に，計測値処理ボックス，回転角度演算ボックス，バッテリーボックス，データを車体に設置された行列演算器（MCB）へ無線

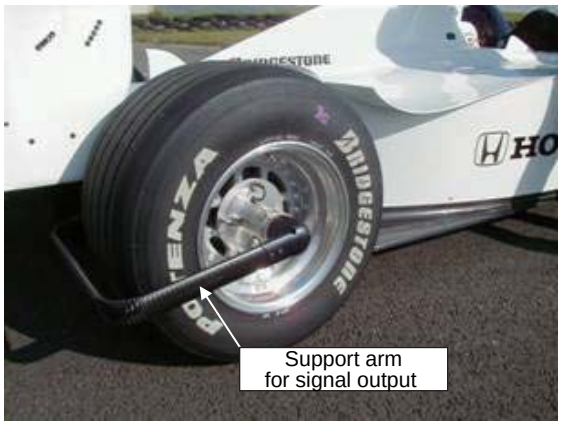

Fig. 2　Conventional SGW

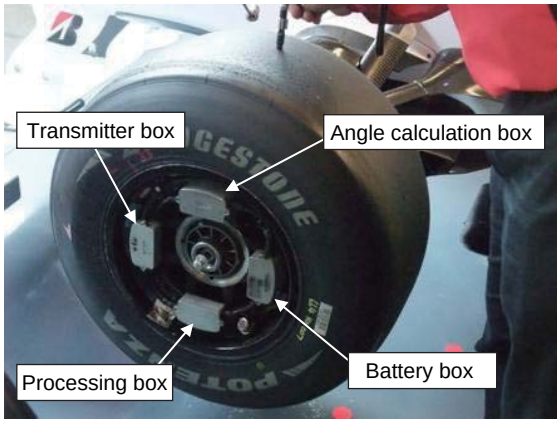

Fig. 3　Wireless SGW

送信するトランスミッタボックスを搭載している．車体側で受信されたデータは，MCB内での行列演算，回転角度補正，温度補正の処理をへてタイヤ6分力となり，車体ロガーへ CAN 送信される．

最高速度 360 km/h，最高温度 120 ℃の使用環境下において，最大荷重 30 kN，曲げモーメント 4000 Nm までの測定が可能であり，F1車両の限界走行状態でのタイヤ力測定をカバーする．特に 700 ℃以上の高温となるブレーキまわりからの熱は，ひずみセンサを含む電子構成部品の温度特性に影響し，計測精度低下の要因となる．そこで，温度補正ロジックとそのキャリブレーション方法を確立することで熱による特性変化の課題を解決している．

2.3. Tyre Bulk Temperature Sensor（TBTS）および Tyre Internal Surface Temperature Sensor（TIST）

F1タイヤは温度，荷重，スリップ量，摩耗量などを精密にコントロールすることでその性能が発揮される．中でもタイヤ内部（構造部）の温度は最も重要なコントロール要素の一つである．従来から走行中のタイヤ表面温度を測定，管理することは一般的であったが，タイヤ内部の温度については停車中のプローブよる測定が中心であった．乗用車やトラックなどのタイヤは，トレッドゴムの一部に穴をあけて測温素子を埋め込むことで走行中の温度を測定できるが，F1タイヤはトレッドゴムの厚さが数ミリと薄い上，高荷重かつ高速で回転するため同様の方法が適用できない．そこで，タイヤ製造時にトレッドゴム内に素子を埋め込むTBTS（Fig. 4）と，タイヤ内側の表面に素子を貼り付ける TIST（Fig. 5）の二つのタイプのセンサを開発した．回転するタイヤからデータを取得するために，コンパクトな多チャンネルテレメトリシステムをあわせて開発し，レーシングスピードでの計測を可能とした．

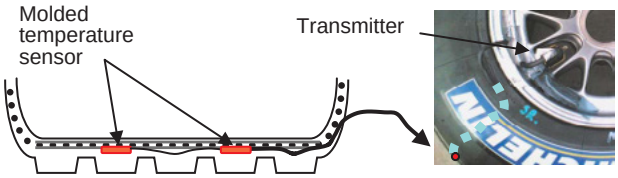

Fig. 4　Tire bulk temperature sensor (TBTS)

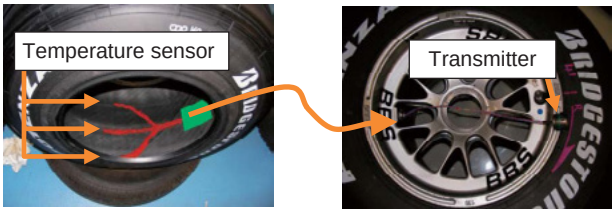

Fig. 5　Tire internal surface temperature sensor (TIST)

2.4. 多点タイヤ温度センサおよび車載サーマルカメラ

F1タイヤの性能を持続的に引き出すためには，タイヤ接地面内の圧力分布を適正にすることも重要である．実走中のタイヤ表面の温度分布を測定すると，圧力分布によるタイヤへの負荷を推測できることから，複数のポイントを同時に計測できる赤外線タイヤ温度センサを開発した（Fig. 6）．まず，グルーブドタイヤ（5本リブ）への対応として多点サーモパイルを用いた5点センサを開発し，さらに分布測定の分解能向上のため8点，16 点センサへと発展させた．

これと並行して車載赤外線カメラによるタイヤ表面温度計測手法を開発した．通常はテレビ放送用のビデオカメラが装着されるロールフープ上に小型赤外線カメラを設置して，4面ミラーを通して4本のタイヤの温度画像を撮影するものである（Fig. 7）．複数のカメラをそれぞれのタイヤに向けて装着する方法もあるが，ミラー方式のメリットは，軽量，コンパクトであることに加えて，4輪が同一のキャリブレーションで撮影されることによるデータ品質の高さにある．撮影された温度画像は，それ自体がタイヤ温度分布を評価する上で有用な情報であるが，独自に開発したソフトウェアで画像解析し，温度分布データに変換することで，さらに多くの情報を引き出すことができる．

2.5. Strain Gauged Suspension（SGS）

実走中のタイヤに発生する力を直接測定するSGWは，運動性能の評価をおこなう実走テストでは有効であるが，重

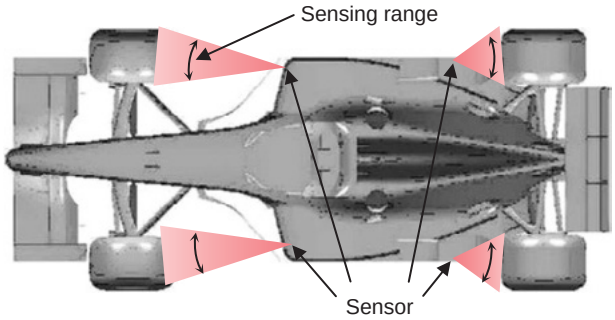

Fig. 6　Multiple tire surface temperature sensor

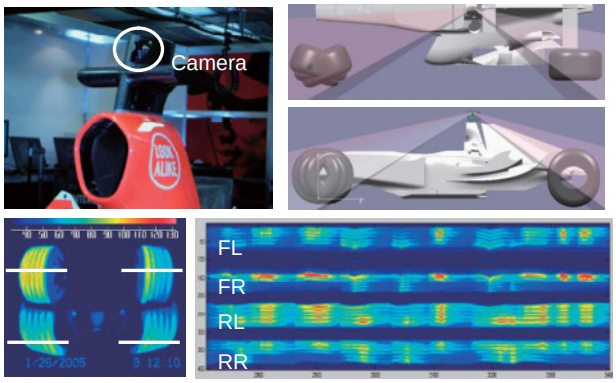

Fig. 7　On-car thermal camera

量の増加やホイールの特殊形状による空力的影響が排除できないことから，使用はテストに限られている．つまり，計測システムのレースへの適用は極力車両運動性能に影響を与えないことが条件になる．そこで，サスペンションアームの荷重からタイヤ６分力を算出することをコンセプトとした SGS の開発を推進した(Fig. 8)．

F1のサスペンションはダブルウィッシュボーン形式であるが，基本的には各アームを１本ずつの直線リンクとみなし，プッシュロッドを含めた各軸力の合力からタイヤ６分力を算出することが可能である．すなわち，タイヤ６分力に対するサスペンションアーム軸力の関係を表す分力行列をあらかじめ FEM や台上テストで求めておき，走行中に測定された軸力にこの分力行列の逆行列を掛けることでタイヤ６分力を求める．実現に向けては，直線リンクではないAアームの扱いやフレクシャージョイントによる曲げ応力，転舵およびサスペンションストロークによる分力行列の変化，温度や振動の影響などに対応する技術が必要である．

2.6. ウィングロードセル

空力開発上の必要から，プッシュロッド荷重によるトータルダウンフォースの推定とは別に，ウィングなどのコンポーネントに発生する力を直接計測するウィングロードセルを開発した．開発の要件として，空力特性に影響を与えない形状であることに加え，頻繁にアップデートされる空力開発に対応するため，ウィングとロードセルが分離できる構造であることが求められる．

フロントウィングについてはピラーの一部をロードセルとする方法を採用した(Fig. 9)．リヤについては，ロードセルをリヤインパクトストラクチャーの内部に組み込み，ブリッジを介してリヤウィングピラーをリヤインパクトストラクチャーで支持する構造とした(Fig. 10)．

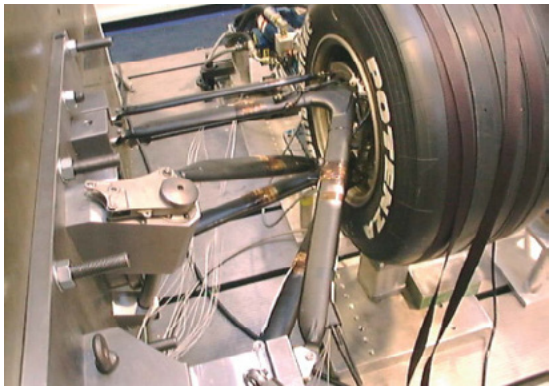

Fig. 8　Strain gauged suspension (SGS)

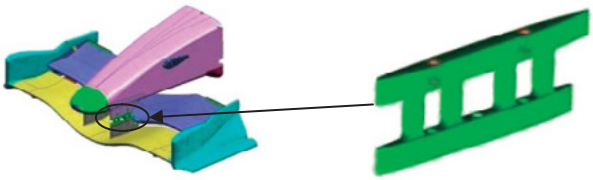

Fig. 9　Front wing load cell

2.7. 台上テストにおける計測技術

F1車体の開発においては，実走テストに加えて，台上テストも多く活用されている．不確定要素の少ない安定した環境下でのテストは，実走では得られない詳細かつ精密な情報の取得を可能にする．特に，実走では計測できないタイヤ接地圧分布のようなデータを台上テストで得ることによって，運動性能のメカニズム理解が深まる．

CPE(Contact Patch Evaluation)システムは，前後力および横力が働いた状態でのタイヤ接地圧分布を台上テストで計測するシステムとして開発された．センサシートは圧縮には強いが，せん断方向に弱いため，保護プレート(板厚 0.1 mm の SUS 材)を被せ，その上に滑り止めのシートを貼って使用する(Fig. 11)．これを DVS (Dynamic Vehicle Simulator)などの台上試験機と組み合わせることで，タイヤを路面に対して適切に接地させるという観点から，サスペンション動特性や車両セットアップの定量的評価をおこなうことができる(Fig. 12)．

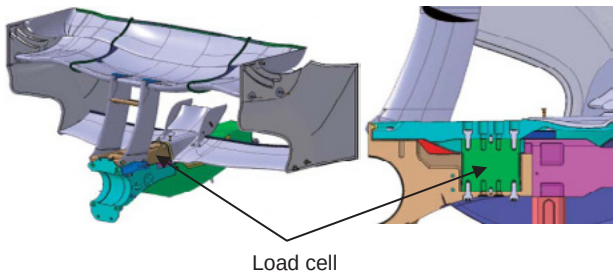

Fig. 10　Rear wing load cell

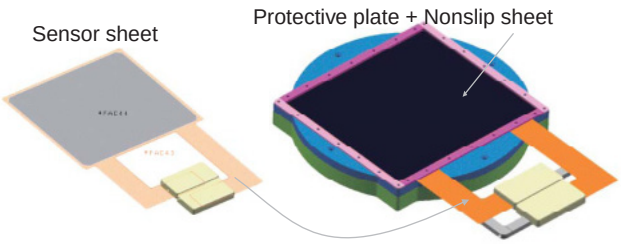

Fig. 11　CPE sensor

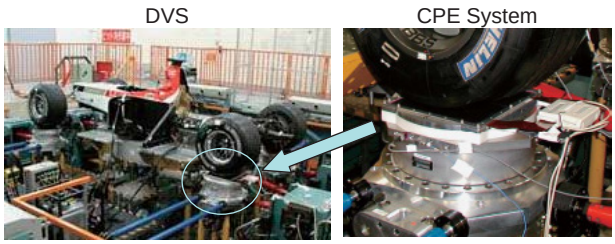

Fig. 12　CPE system on DVS

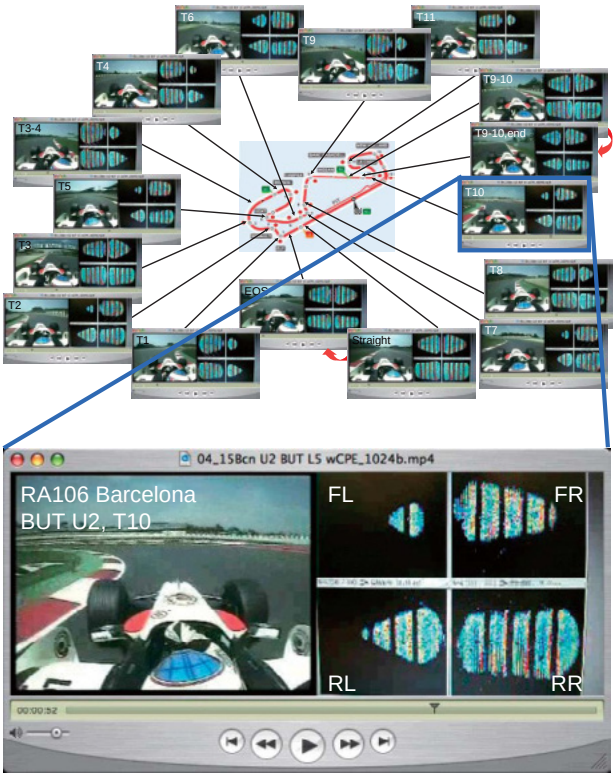

Fig. 13　Circuit simulation with CPE

DVSのサーキットシミュレーション機能を用い，刻々と変化する実走中のタイヤ接地圧分布をシミュレートした解析例を Fig. 13 に示す．

3．他車性能計測解析技術

レースにおいて彼我のラップタイム差の要因を知ることは開発の方向性を決定する上で重要である．すべての技術領域で最高のものを独自で創造するのが理想であるが，実際は限りある時間とリソースを効率的に利用するために，自車の弱点を分析し対策の方針を立てることが必要である．量産車の開発と異なり，他車を手に入れて直接比較分析することはできないため，他車に触れることなく彼我の性能差とその要因を分析する技術(1)を独自に開発した．

3.1. 音響解析

2008年のレギュレーション変更によって最高エンジン回転数に制限(19000 rpm)が加えられたが，それ以前は，他車の回転数を知ることはその最高出力を知る目安として重要であった．レースのテレビ中継では車載カメラの映像と同時に音声も放送されており，エンジン音の周波数から回転数を正確に知ることができる．またテレビ中継のないテスト現場においてはパソコンとマイクとスピードガンで音声の録音と速度の測定を同時におこない，エンジン音からドップラー効果を補正して回転数を算出する．このデータにさらに処理を加えることにより，車速線図，ギヤレシオ等を推定できる(Fig. 14)．

3.2. 赤外線サーモグラフィー

重量配分，重心高，サスペンションジオメトリ，セットアップ，空力特性，ドライビングスタイルなどの違いにより，タイヤへの負荷は車両ごとに異なる．その結果，タイヤ表面の温度分布に差が現れる．コースサイドにサーモグラフィーカメラを設置して走行中の各車のタイヤ表面温度を撮影し，その分布の違いを比較することで，各車の特性差を推測できる(Fig. 15)．

3.3. 画像解析

テレビ放送の映像や，デジタルカメラなどで撮影した画像をもとにさまざまな解析が可能である．コーナリングを撮影した画像からタイヤの対地キャンバ角や車体ロール角を推定できる(Fig. 16)．前述のサーモグラフィーの温度データと併せて解析することで，車体特性，サスペンション特性とタイヤの負荷状態の差がわかる．

サーキット走行をビデオ撮影した複数の車両の走行映像を重ね合せて表示することで，車速，ブレーキングポイン

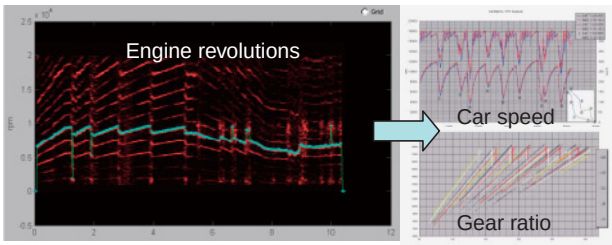

Fig. 14　Acoustic analysis

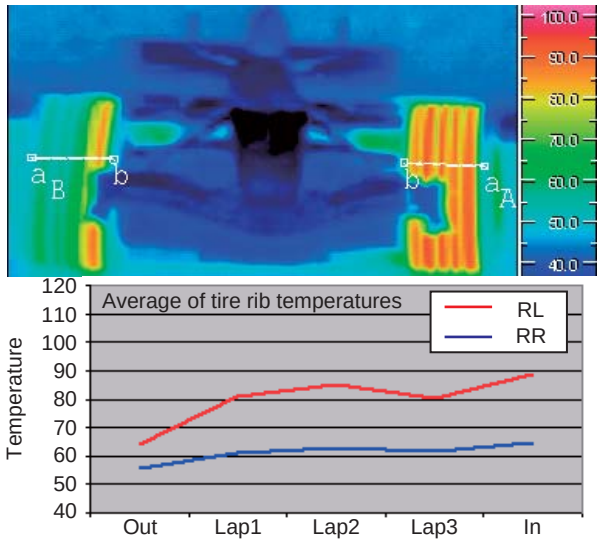

Fig. 15　Infrared thermography

ト，走行ライン，ハンドリング特性などの差を解析できる(Fig. 17)．また画像からその区間における微小なタイム差が算出される．テレビ放送の車載カメラ映像からコース全周にわたるタイム差を算出することも可能である．

3.4. 高速度動画映像解析

通常のビデオよりも高速のシャッタースピードで，フレーム数の多い高速度カメラを使用すると，さまざまな情報が得られる．前後のタイヤの回転角度の差から加速中の駆動輪のスリップ率(トラクションコントロールの性能)を算出することや，タイヤ表面の摩耗状態を観測することが可能である(Fig. 18)．

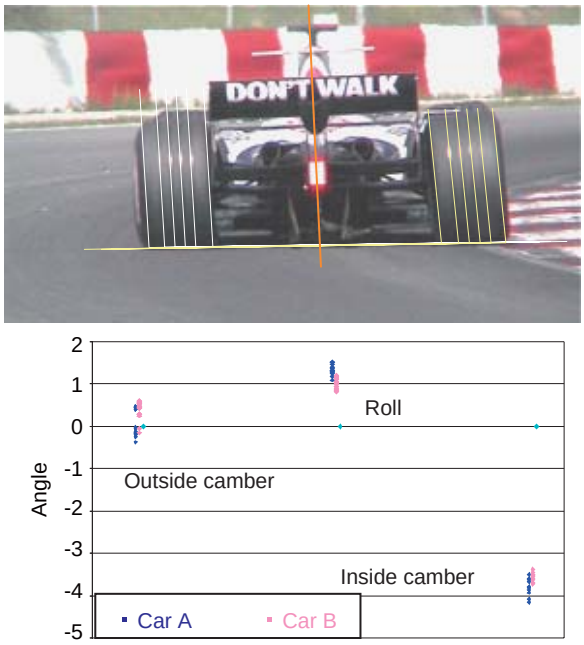

Fig. 16　Image analysis

Fig. 17　Image overlay processing

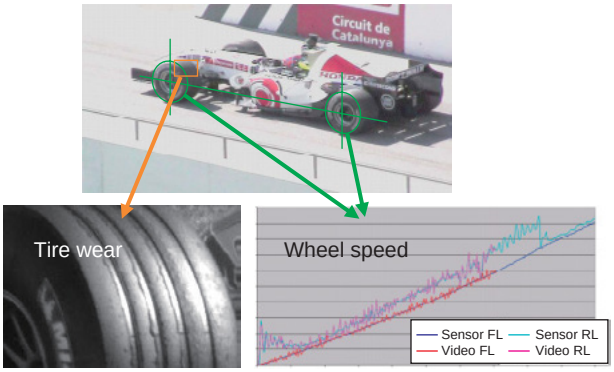

Fig. 18　High speed video analysis

3.5. ３次元モデリング

複数の写真をもとに，空力パーツの形状や，サスペンションジオメトリ等の３次元形状をモデリングする(Fig. 19)．これを CAD 上で比較することで，コンポーネント特性の推定が可能となる．

Fig. 19　Modeling in three dimensions

4．計測データ解析システム

F1の運動性能を解析する上で重要な情報は，走行中の空力特性(ダウンフォースおよびドラッグ)と，タイヤに働く３分力(接地荷重，前後力，横力)である．これらの情報をもとに，空力開発およびタイヤマネージメントの指針，車両セットアップが決定される．しかしながら，直接それらの力を計測するのは困難なため，各種センサデータ，台上試験によるサスペンション特性データ，力学および機構理論を組み合わせた高度な推定をおこなう必要がある．

また，解析上必要な車体性能データの数は 100 を優に超える．迅速な解析を可能にするには，膨大な車体性能データを自動算出するシステムの開発が必須である．そこで，車載センサデータおよびサスペンション特性モデルを用いて主要な運動性能解析を可能とする自動データ解析システムである VAP(Vehicle Analysis Package)，およびこのロジックをテレメトリに対応させてリアルタイム解析を実現するシステムを構築した．

4.1. VAP システムの概要

本節においては主要解析項目であるダウンフォースの計算を例にVAPシステムを紹介する．実走中の空力性能の評価は，これまでダウンフォース計算の制約から直線路一定

車速といったモード走行という限られた条件下でしかおこなえなかった．これに対し，レーシングスピードで走行し，かつ制動，駆動，旋回を含めた全領域での計算を可能とするためには，数十におよぶセンサ値と複雑なモデルを用いる必要がある．Fig. 20にダウンフォースの計算モデルの概要を示す．ダウンフォースは大きく分けて接地荷重と慣性力の二つの計算結果から導かれる．

接地荷重は，主に荷重を分担するプッシュロッド荷重に加えて，ベンドアームによるフレクシャーフォース，サスペンションジオメトリによるジャッキアップフォースから構成される．特にジャッキアップフォースの計算ではサスペンションストロークやタイヤのたわみなども考慮するため，20を超えるセンサ値，サスペンションおよびタイヤ特性モデルの組み合わせで算出される．

慣性力の計算は，制動，駆動や旋回による荷重移動量算出のほか，サーキットコースの上下方向曲率で発生する上下遠心力による接地荷重変化をダウンフォース計算から除去するために必要となる．このため，加速度の計測精度が重要であるとともに，ピッチ角，ロール角や重心高の高精度の計算が必要になる．

計算精度の検証は風洞試験装置や DVS 等の台上試験装置を用いておこなわれる(Fig. 21)．

Fig. 22 に DVS を用いた精度検証結果を示す．実走データを用いてサーキットシミュレーションをおこない，DVS から負荷されるダウンフォースと，VAP の計算結果を比較している．前後とも高い一致を示していることがわかる．

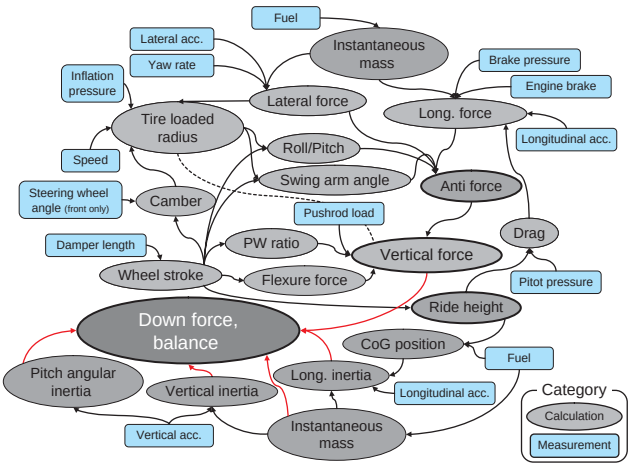

Fig. 20　Overview of down force calculation in VAP

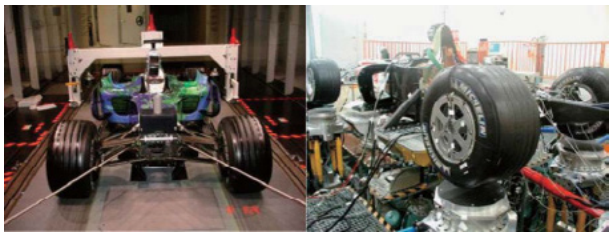

Fig. 21　Correlation test with wind tunnel and DVS

4.2. テレメトリ対応データ解析システムの導入

FIA による 2008 年以降のレギュレーション変更により，MES(McLaren Electronic Systems)製の共通 ECU の導入が義務化された．その ECU の機能の一つにテレメトリデータ解析システム(VTS)がある．

これまでのテレメトリシステムは，車載センサの情報をピットに送信するのが主な機能であったため，走行中の車体に起きる不具合を監視することが主な役割であった．これに対し，運動性能を開発する立場からの強い要望の一つが，「走行時のリアルタイム運動性能解析」であった．現場ではピットに車両が戻ってきてから次の走行に移るまでに，その走行データを解析し，次にどのようなセットアップにするか，どのような走行モードを追加する必要があるか，ということを限られた時間で決定する必要がある．したがって「リアルタイム解析」は運動性能を開発するエンジニアにとってまさに切実な要望であった．

新テレメトリシステムの導入にともない，自動データ解析システムのロジックを SimuLink モデルに移植し，VTS 上で処理することでリアルタイムデータ解析を実現した．さらに VTS はポストプロセスとしても利用可能であり，リアルタイム解析からより詳細の解析へのシームレス環境を実現するため，統合システムの開発が進められている(Fig. 23)．

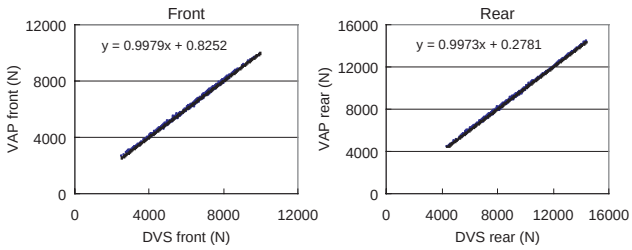

Fig. 22　Correlation test on DVS

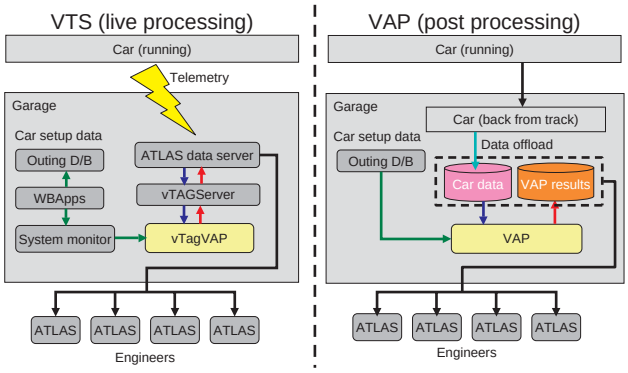

Fig. 23　Overview of live and post processing system

5．車両運動性能の指標化

解析データを車両運動性能として評価し，車両設計やサーキット現場でのセットアップにその結果を活用するためには，性能を表す物理量を抽出し定量的かつシンプルな形で議論できること，すなわち運動性能の指標化が重要である．

運動性能の指標がないと，スピードが要求されるサーキット現場において，複数のセットアップ間での定量的な比較が短時間でおこなえず，ドライバコメントやエンジニアの経験に頼らざるを得なくなる．車両設計においても，運動性能としての目標値やさまざまな設計要素間でのトレードオフを議論する上で，定量的な検討が困難である．

5.1. ブレーキングスタビリティ指標の開発

ブレーキングスタビリティの良い車両は，ブレーキングを遅らせることによって，ラップタイムを短縮できるだけでなく，ブレーキングでのオーバーテイクの可能性を広げる．したがってブレーキングスタビリティは F1 において最も重要な運動性能の一つであるのだが，ドライバの感覚である「ブレーキング中の車両に対するコンフィデンス(信頼性)」として論じられるものの，これを定量的に表現する指標がなかった．そこで運動性能の指標化の一つとして，ブレーキングスタビリティ指標の開発をおこなうこととした．

5.2. ブレーキングスタビリティ指標の候補

ブレーキングスタビリティを表すであろうと考えられる10種類の物理量を指標候補として仮定し，おのおのが指標としてふさわしいかどうかを検証するというアプローチを採った．以下に代表的な指標物理量の候補を示す(Fig. 24)．

(1) 復元ヨーモーメントマージン(MM)

現在の車両状態から仮想的に車体すべり角を増加させていき算出された復元ヨーモーメントの最大値との差分(マージン)によってドライバがコンフィデンスを感じていると仮定する．

(2)復元ヨーモーメント変化率(dM/dβ)

現在の車両状態での復元ヨーモーメントの車体すべり角に対する感度の大きさがコンフィデンスに影響を与えていると仮定する．

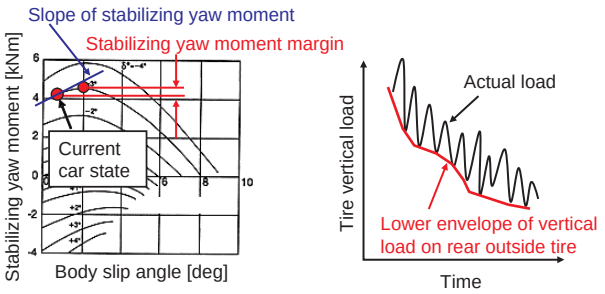

Fig. 24　Candidates for braking stability indices

(3)リヤ外輪接地荷重下限線(Fz)

タイヤのグリップ力は高い周波数の接地荷重変動に追従できず，結果として接地荷重の下限線に相当する力しか発揮できないと仮定する．

5.3. 指標の検証

ブレーキングスタビリティが高い車両ほど，安定して強くブレーキを踏むことができ，その結果「区間タイムが向上するはずである」という前提に立つ．スタビリティが変化すると考えられるセットアップ案別の走行をおこない，ブレーキ区間での各物理量と区間タイムの相関解析の結果から，強相関を示す0.7以上の相関係数を持つ物理量を抽出する．また，ブレーキング区間を直線ブレーキ区間と旋回ブレーキ区間に分け，それぞれの区間で相関解析をおこなった．

両者の関係は非線形である可能性もあるので，スピアマンの順位相関係数というノンパラメトリックな解析手法を使用した．また，算出された相関係数が有意であるかどうかを検定するため，「両者には相関がない」という棄却されるべき帰無仮説をたて，５%水準の仮説検定をおこなう．両者に相関がない場合５%の確率でしか得られない相関係数値を計算し，それを超えた相関係数が算出された場合，帰無仮説を棄却して両者に有意な相関があるとした(Fig. 25)．

5.4. テスト方法と検証結果

ブレーキング中のダウンフォース中心(CoP)の推移を変化させたセットアップ案別を設定した．ベースライン(ブレーキング初期からコーナ頂点に向かって，CoP がフロントへ移動する)と，CoPがリヤへ移動しスタビリティが向上すると推測されるセットアップという内容で，二つのサーキットでこれらの実走テストをおこなった(Fig. 26)．

Fig. 27に直線ブレーキ区間での相関係数の解析結果を示す．全候補の内，安定して相関が高かった MM および Fz の結果のみを図示してある．MM は，サーキット１で解析に適したデータの内，有意な相関性が 80.0%のサンプルで現れ，20.0%が強相関を示している．サーキット２では87.5

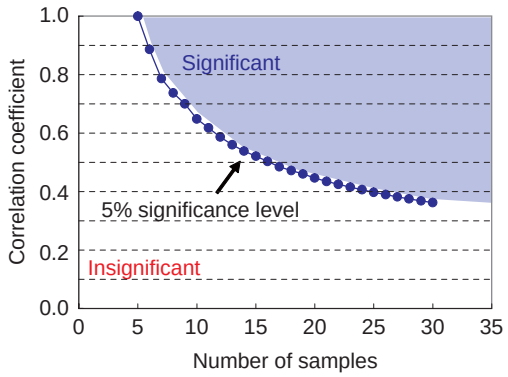

Fig. 25　Significance test for Spearman's rank correlation coefficient

%(強相関は50.0%)となっており，Fzのサーキット1(40.0%，強相関 20.0%)，サーキット2(75%，強相関 25%)の結果を上回っている．直線ブレーキ区間では，MMが指標として適している．

旋回ブレーキ区間では，MMとdM/dβが他の候補と比べて相関性が高かった(Fig. 28)．しかし，直線ブレーキ区間でのMMほどの安定した高相関には至っておらず，MMは有意な相関がサーキット1で 33.3%(強相関は 33.3%)，サーキット2では66.6%(0.00%)，dM/dβはサーキット1で 66.6%(33.3%)，サーキット2では 25.0%(8.33%)にとどまっている．

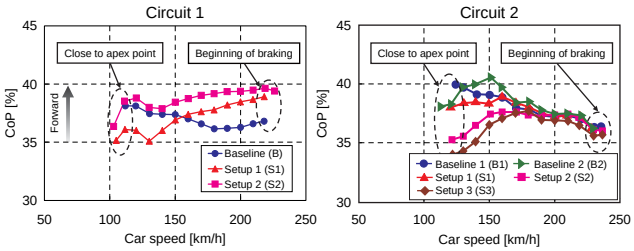

Fig. 26　Setups with different CoP transition in braking

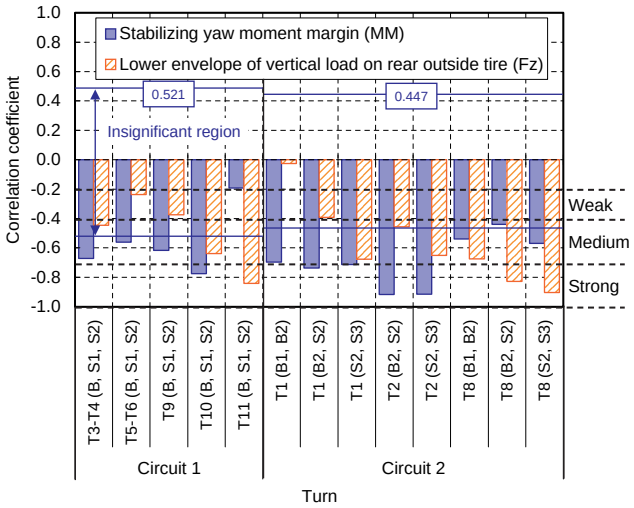

Fig. 27　Correlation analysis in straight braking

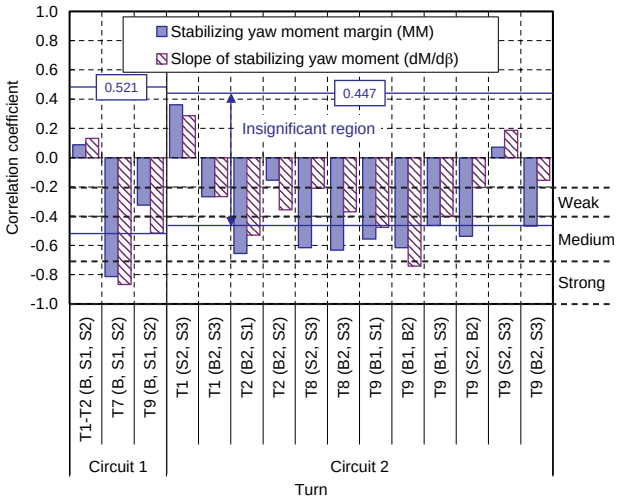

Fig. 28　Correlation analysis in turn-in braking

5.5. 指標化のまとめ

車両設計やセットアップを，エンジニアの経験やドライバの感覚に依存せず科学的かつ定量的に議論するためには，運動性能の指標化が必須である．運動性能には多数の項目があるが，その一つであるブレーキスタビリティについて指標化をおこない，指標となりうる物理量について知見を得ることができた．その他の運動性能項目についても順次指標化をおこなっていくことが必要である．

6．むすび

F1の予選では，時に0.1秒の中に数台がひしめき合うこともある．ラップタイムを100秒とすると，わずか0.1%の性能差を争っているともいえる．速度，加速度，熱，振動といった過酷な環境下においてなお，高い精度の計測，解析が求められるゆえんである．これらの技術がF1にとどまらず，量産車の開発にも積極的に応用されることが期待される．

謝　辞

Strain Gauged Wheelの開発で御協力頂いた株式会社東京測器研究所，ウィングロードセルの開発で御協力頂いた株式会社共和電業，タイヤ温度センサの開発で御協力頂いたTÜV SÜD Automotive GmbH，車両運動性能指標の開発で御協力頂いた株式会社ブリヂストンの各位に深く感謝の意を表します．

参考文献

(1) IEEE-SP国際シンポジウム会報，p.441-444, (6-9/OCT/1998)

■著　者■

澁江秀明

鈴木朋和

浦木　護

井田玲裕

坪内淳志

木滝泰隆