



(URLアドレス <http://www.jsme.or.jp/tld/home/>)

日本機械学会 交通・物流部門ニュースレター No.56

September 28, 2018

写真提供：(国研)宇宙航空研究開発機構 (以下、JAXA)

光ファイバひずみ分布計測システムの飛行実証

各種センサを構造に装備して、作用する荷重、応力、あるいは、損傷を検出することで致命的な構造破壊を防止する構造ヘルスマonitoringの技術が提案されており、航空宇宙機への適用が期待されている。とくに、航空宇宙機の運航中の荷重変化が構造体へ及ぼす影響をモニタリングするために、実時間で構造物の変形を捉えることが求められる。センサや計測デバイスを構造物に多く設置することで、より正確な変形を推定できるが、重量の増加とセンサ配線の複雑さが懸念される。

光ファイバセンサを用いた構造物実時間変形モニタリングは、その多重化性能、簡素な配線、高感度、耐環境性から注目されている。中でも、Fiber Bragg Grating (FBG) はひずみセンサとして広く研究開発が行われている。比較的長いゲージ長をもつFBGに対して、OFDR方式 (Optical Frequency Domain Reflectometry: 光周波数領域リフレクトメトリー) を適用することにより、FBGに沿ったひずみを、空間分解能1mm以下という高い分解能でひずみ分布計測を行う手法が開発されている。

小型・一体化されたOFDR-FBGひずみ分布計測システムが、JAXA所有のジェット飛行実験機「飛翔」に搭載され、2016および2017の2年度にわたって飛行試験 (名称: HOTALW, High performance Optical fiber sensor flight Tests for Airplane Wing) が実施された。2016年度は機内の胴体ストリングに5m長のFBGファイバが配置され、2017年度には主翼下面の主桁沿いに8m長のFBGファイバが配置された。

OFDR-FBGひずみ分布計測システムの機内搭載状況を図1に示す。波長可変光源、光学ユニットを搭載し、計測・解析用PCとともに一筐体化して2ch同時に151Hzでの計測とデータ処理が可能となっている (寸法 W425 × D450 × H220mm/重量19.1kg)。上部のノートPCは計測結果表示用である。

2017年の主翼下面へのセンサ設置状況を図2に示す。左主翼下面の主桁沿いには全長8mの連続計測可能なSM-FBG (SM: Single Mode) が、右主翼下面には温度・ひずみの同時計測を目指すPANDA-FBG (PANDA: Polarization-maintaining AND Absorption reducing) が敷設された。FBGセンサはエポ

キシ接着剤を用いて機体表面に接着した。さらに航空機の機体番号などに使用されるマーキングフィルムを保護フィルムとして施工された。センサおよび保護フィルムは十分に薄いものであり、航空機の飛行特性に影響がないものが使用されている。

飛行試験の結果、飛行時において与圧胴体内および主翼に発生するひずみ分布をリアルタイムで計測することに成功した。また、飛行試験で得られた計測データはバンク飛行など実際の飛行状態とよく対応し、参照用のひずみゲージ測定値ともよく一致するなど、実飛行環境において確実に計測可能であることが実証された。今後、構造設計の検証や将来の構造ヘルスマonitoringへの適用が期待される。



図1 計測機器機内搭載状況



図2 光ファイバセンサとひずみゲージの位置 (2017年実施)

記事・図提供：JAXA

ドライバの脳波情報を活用した運転支援技術

Lucian Gheorghe (日産自動車株)



ドライバの脳波情報を活用することで、手動運転時はさらにドライビングをエキサイティングで楽しいものにする、自動運転時は自動車が自動で行う操作が常に自分にとって違和感のないものにする、ことを実現するために開発された技術が、脳波情報を活用した運転支援技術 Brain-to-Vehicle (以下、B2V) である。

図1に示す実車実験や図2に示すドライビングシミュレータ実験が繰り返し実施された結果、ドライバが次に行う運転操作のタイミングおよびドライバがもつ違和感を把握することが可能となり、これがB2Vの実現の後押しとなった。具体的な内容を以下に記す。

- ・手動運転時、ドライバがステアリングを回す、アクセルペダルを踏むなどの操作をする直前に脳の行動準備電位を検出する。これにより、ドライバが操作を開始する前からシステムが操作を開始することが可能となり、ドライバの反応の遅れを補い、ドライバの思い通りの運転を実現する支援ができる。
- ・自動運転時、脳波からドライバのもつ違和感を検出することで、ドライバに違和感をもたせない自然な制御の自動運転にカスタマイズすることができる。

ドライバが脳波測定装置(図3)を着用することで脳波が計測され、計測された脳波はシステムが解析・判断を行う。解

析・判断には機械学習の技術を応用し、事前にドライバが自動運転に対して違和感をもっている脳波計測データともっていないデータ、ドライバがさまざまな運転操作をする直前の脳波計測データを収集し、これらをノイズ除去やフィルタリング処理した後、教師データとして学習させる。車両搭載時は、脳波測定装置により計測されたデータをノイズ除去、フィルタリング処理を施してシステムに入力し、システムは教師データに基づいて、ドライバの違和感および運転操作の行動準備を判別する。

これにより、ドライバは脳波測定装置を装着するだけで、自動運転時にはシステムに違和感をもたずに安心して乗車することができ、また手動運転時にはドライバの操作意思を操作開始の0.2～0.5秒前にシステムが検知して必要に応じて支援が開始されるようになる。このように、B2Vは、世界で初めて、ドライバの違和感を反映するエラー関連電位およびステアリング操作などの運転操作に関連する行動準備電位のリアルタイム検出を可能とした(図4)。

これらのことから、B2Vは、人とクルマのコミュニケーションだけでなく、社会とクルマとの関わり方にも変化を与えることが期待され、さらには拡張現実(AR)と組み合わせて活用することで、例えばドライバの視線の先にある車内環境を調整してリラックスできる環境の実現といった応用にも適用が期待される。



図1 車両実験



図2 ドライビングシミュレータ実験



図3 脳波測定装置



図4 脳波測定の様子

蛇行動限界速度評価の精度向上に向けた研究

山長雄亮 (公益財団法人鉄道総合技術研究所)



鉄道車両には、ある一定の速度域に達すると激しく台車が振動し、走行安定性上問題となるような、蛇行動と呼ばれる自励振動現象がある。この蛇行動に対する走行安定性評価手法の一つとして、車両試験装置上での蛇行動試験(図1)がある。蛇行動試験では、軌道上の走行を模擬するため、実際のレールと同じ断面形状を有する軌条輪を高速回転して、蛇行動の発生速度(蛇行動限界速度)などを調べる。

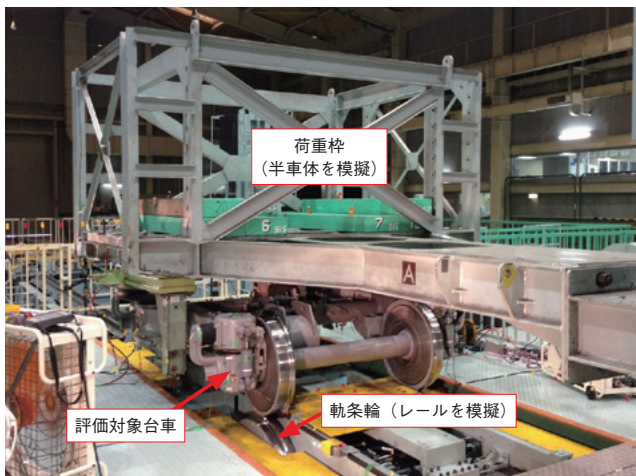


図1 車両試験装置上での蛇行動試験

この蛇行動試験には、軌条輪を単純に回転させるだけの試験(単純回転試験)と、単純回転状態にトリガとしての外乱を与える試験(加振試験)とがあり、それぞれの試験で蛇行動限界速度が異なる場合があることは経験的によく知られている。さらに、外乱の与え方によっても、蛇行動限界速度が異なる場合があり、評価結果にばらつきが生じる原因となりうる。現在、実物台車を用いた実験により、蛇行動限界速度評価の精度向上を目的とした研究を進めているところであり、これまでの得られた知見を紹介する。

蛇行動現象を線形系の発散現象とすれば、理論的には、外乱の有無や大きさに関係なく蛇行動限界速度は一意に定まるはずであるが、実際には、外乱の与え次第で蛇行動限界速度が異なる。そこで非線形性を念頭に、蛇行動発生有無に対する強い初期値依存性がある可能性を予想し、初期値をさまざまに与えて蛇行動試験を実施した。自由振動を促すトリガとして軌条輪を半波加振し、発生する自由振動の初期振幅値をさまざまに変化させ、自由振動のその後の推移(収束するか蛇行動に至るか)に注目した。その結果、自由振動の初期振幅値には、蛇行動と収束とを分ける明確な境界があり、それが連続的に存在することがわかった(図2)。さらに、この境界が、重臨界ホップ分岐と呼ばれる非線形系特有の分岐現象に起因する、不安定なリミットサイクルの大きさと等価であり、自由振動の初期状態がそのリミットサイクルの内外どちらに存在するかによって、蛇行動発生の有無が決定されることがわかった(図3)。

以上の結果を応用すると、例えば、蛇行動発生中の台車に対して、適当な加振によって不安定なリミットサイクルの内側に

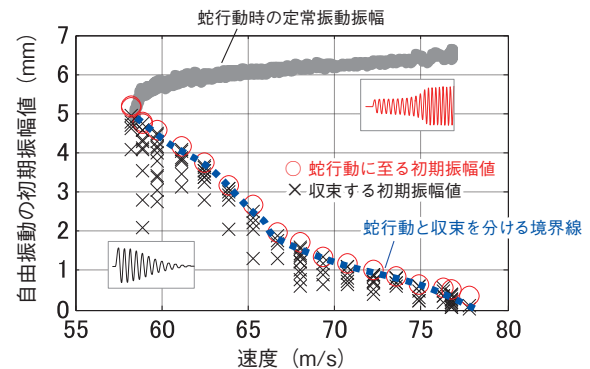


図2 収束と蛇行動を分ける初期振幅の境界

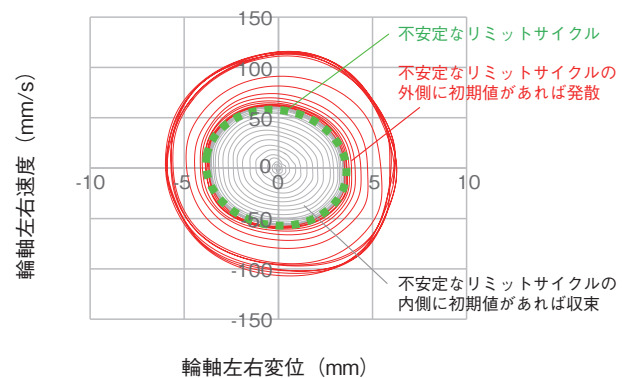


図3 不安定なリミットサイクルと安定性

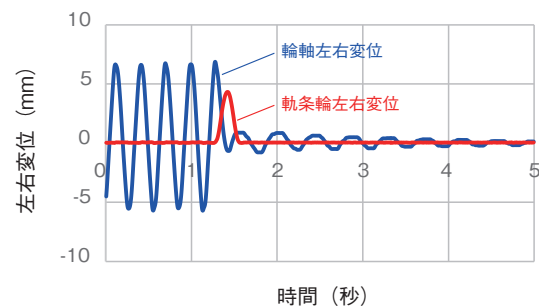


図4 軌条輪加振による蛇行動の収束の様子

状態量に移すことで、蛇行動を収束させられる可能性が考えられることから、蛇行動発生中に軌条輪をさまざまに加振し、検証した。その結果、非常に単純な加振によって、蛇行動を収束させることが可能であることがわかった(図4)。蛇行動発生時には交替的に比較的大きな横圧が発生し、減速させても収束速度までその状態が維持されるため、軌条輪加振によって直ちに収束させることが可能となれば、試験機の負担低減とともに、試験の効率性も向上できるものと考えられる。

今後は、今回得られた実験結果に対して、非線形性を考慮した理論的な検証および解析を進めていく予定である。

乗り上がり脱線を防止する台車の開発

鉄道車両が出口側緩和曲線のような軌道の平面性変位の大きな箇所を走行する際、軌道面のねじれにより進行前軸の外軌側輪重が大きく減少することがある。ここに大きな横圧が加わると、車輪がレールに乗り上がり、脱線に至る危険性がある。このように起こる乗り上がり脱線を防止するためには、輪重減少の抑制と横圧の低減が有効であると考えられる。

この考えをもとに、先行開発した2つの核技術、すなわち輪重減少抑制台車とアシスト操舵システムを組み合わせた在来線用の「脱線しにくい台車」(図1)を開発した。

「脱線しにくい台車」の核技術である輪重減少抑制台車は、特殊な台車枠を用いることで軌道の平面性変位の大きな箇所で生じる輪重減少を抑制可能な台車である。一般的な構造の台車

で採用されている台車枠は、側ばりと横ばりが溶接により剛に接合されている。これに対し、輪重減少抑制台車の台車枠は、2つの側ばりと横ばりが回転機構により接合される構造を採用している(図2)。この回転機構により、左右の側ばりは自由にピッチ方向に回転することが可能となり、軌道の平面性変位への追従性が向上し、輪重減少を抑制する。一方、もう一つの核技術であるアシスト操舵システムは、曲線部での横圧の低減を図る輪軸操舵システムである(図3)。操舵アクチュエータと呼ぶ、台車枠と軸箱の間に取り付けた空気圧で動作するアクチュエータを用い輪軸の操舵動作を行うことにより、輪軸の自己操舵性能を維持しつつ補助的な外力を付与することで、曲線部で生じるアタック角を能動的に小さくし横圧を低減する。「脱線しにくい台車」は、この2つの核技術により、輪重減少の抑制と横圧の低減を同時に実現することで、乗り上がり脱線に対する安全性の向上を図る。

開発にあたり「脱線しにくい台車」の基本性能を確認するため、鉄道試験線において実用速度域での走行試験を実施した。その結果、「脱線しにくい台車」では、一般的な構造の台車に比べ、乗り上がり脱線に対する安全性の指標である脱線係数が、半径160mの急曲線内で約60%改善されており、走行安全性が大幅に向上することを確認した(図4)。また、併せて、一般的な構造の台車に比べ急曲線部でのフランジきり音を最大約9dB低減できること、一般的な構造の台車と同程度の乗り心地、走行安定性を実現できること、などを確認した。

なお、本開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

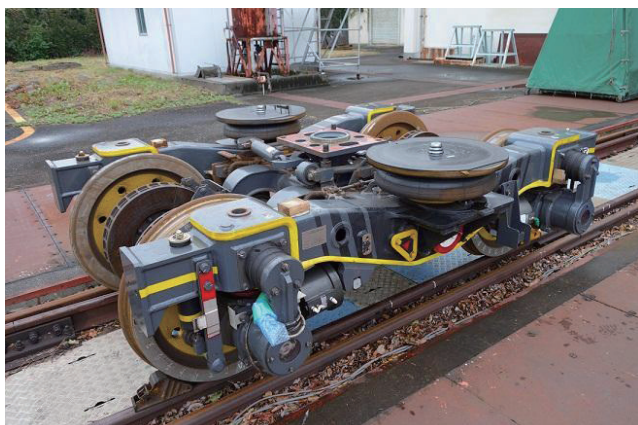


図1 脱線しにくい台車の外観

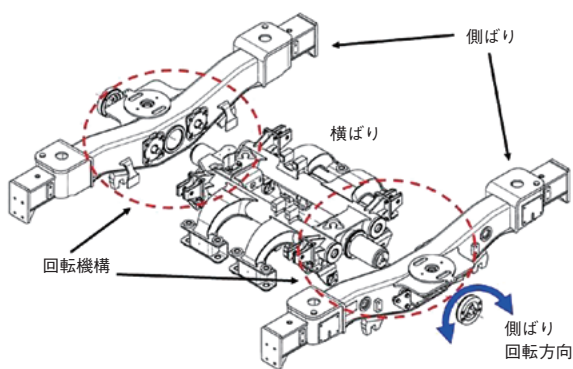


図2 回転機構を有する台車枠

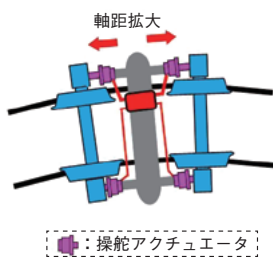


図3 曲線部での輪軸操舵イメージ

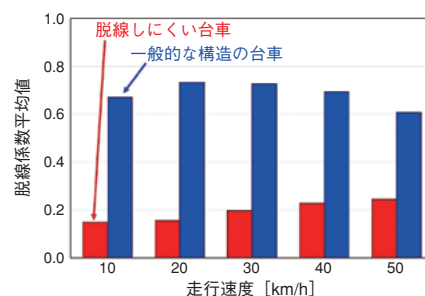


図4 急曲線部での脱線係数の改善効果
曲線半径160m カント107mm

記事・図提供：(公財)鉄道総合技術研究所

編集後記



広報・出版委員会では今年度からニュースレターのフォーマットを改めました。NL56号はその初回となります。トピック数を今までより絞り4つとし、以前よりもトピック1件あたりの内容をボリュームアップ、図や写真などの情報も充実したものとなり、最新の研究をいままでよりも、より詳しい内容で皆様にお届けしてまいります。今回、提供いただいた記事は、実用的な最新技術から近未来的な技術研究のものまで幅広い分野に活用できそうな興味深いものばかりです。これらの技術が将来皆さんの役立つものになるかもしれません。

広報・出版委員会 委員長 井上 諭 (電子航法研究所)

第96期 広報・出版委員会委員

委員長 井上 諭 (電子航法研究所)
幹事 川越 陽一 (海上技術安全研究所)
委員 関根 太郎 (日本大学)
栗谷川幸代 (日本大学)
木村 光男 (西日本旅客鉄道)
世木 智博 (東京地下鉄)
染谷 誠一 (東芝エレベータ)