

「光ファイバセンシングによる次世代道路・交通管理技術の開発」

事業者：鹿島建設株式会社(関西支店)

<研究内容について>

淀川左岸線(2期)建設中区間の海老江工区開削トンネル工事区間において、アスファルト舗装道路の内部に光ファイバを敷設し、万博開催期間中に走行するシャトルバスの走行荷重をひずみや振動で検知・計測することで、道路管理及び交通管理に資する道路モニタリング技術の実証を目指し、以下の2項目の可視化を試行します。

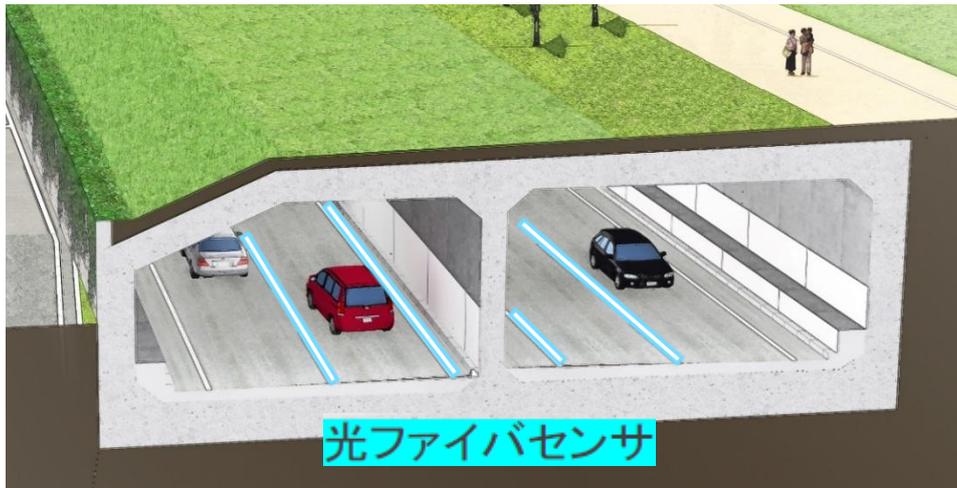
本研究の効果は、「新しい道路インフラの具現化」にあり、万博暫定利用期間において、「未来社会の実験場」として、次世代の道路モニタリング技術を実証し、近い未来の社会において道路インフラが果たすべき役割と求められる機能について議論するきっかけになることが最大の効果と考えています。

【持続可能な道路管理】舗装の保安全管理の合理化

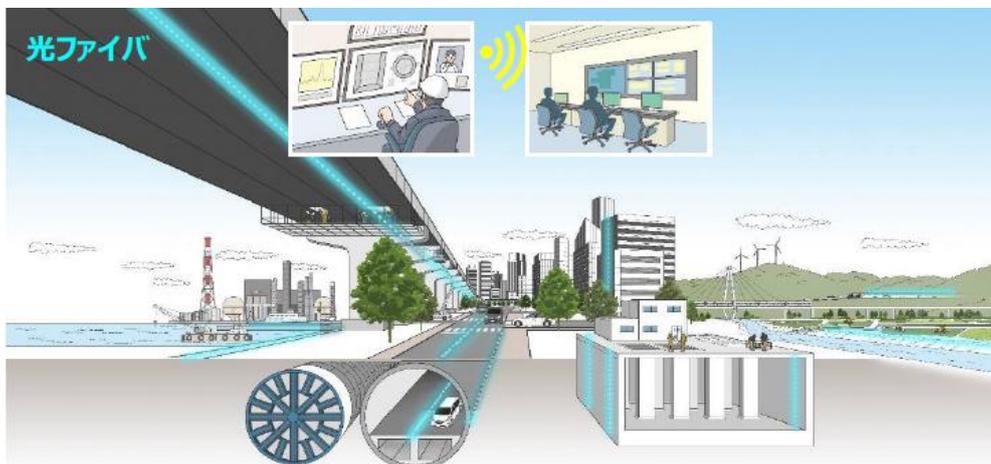
→ **舗装状態をひずみ・温度・振動データから可視化**

【持続可能な交通管理】交通流動の可視化による安心安全な道路の実現

→ **車両の交通流動状況をリアルタイムに可視化**



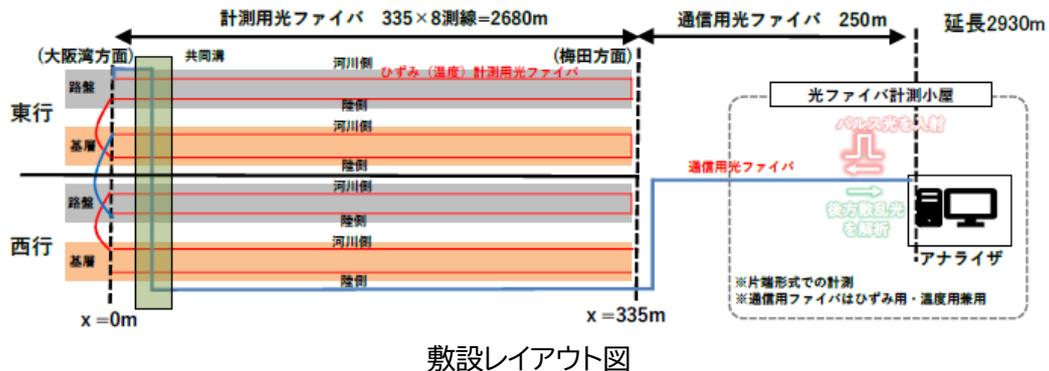
光ファイバセンシングを用いた道路モニタリングイメージ



道路を中心とした神経通う安心安全な社会インフラ

<実験装置とその配置について>

光ファイバは以下の図に示すように、東西両側(上下線)の2本の区画線(白線)直下の路盤と基層に設置します。事業敷地内に設けた計測室の計測器(アナライザ)まで有線で接続する必要があるため、通信用光ファイバも配線します。



<光ファイバの敷設作業について>

光ファイバの敷設作業について、作業の工程を写真とともにご紹介いたします(基層部への敷設作業)。

① 基層部切断作業



舗装された道路上の光ファイバを敷設する箇所(区画線にあたる)を、カッターを使用して切断し溝を作ります。海老江工区開削トンネル内の東行き・西行き道路それぞれ1車線の区画線下に光ファイバが敷設されます。

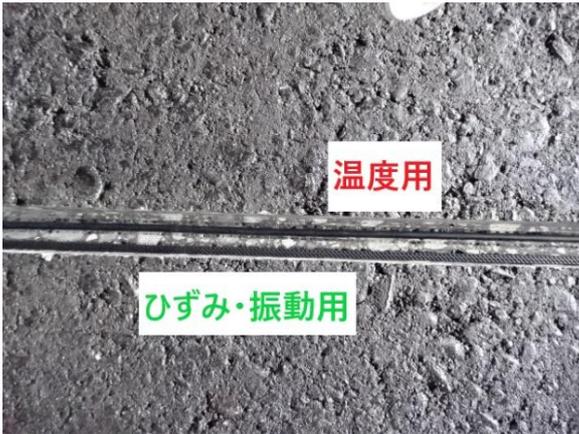
※光ファイバはものすごく細い！！



写真で確認できる黒い部分は光ファイバそのものではなく、損傷を防ぐために周りを保護しているカバーのようなもの。

光ファイバそのものはすごく細いもので、髪の毛の毛くらいの細さしかありません！

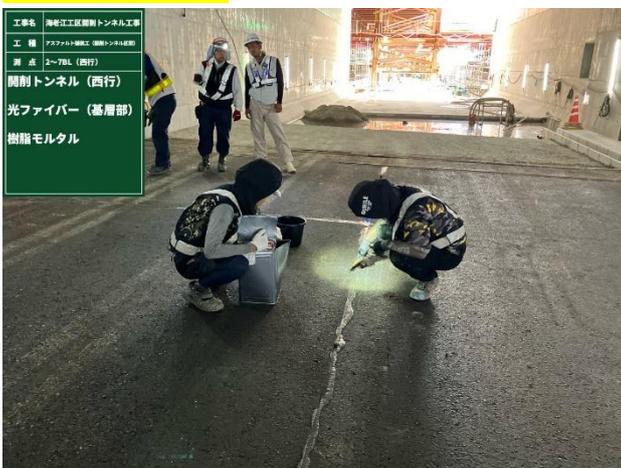
②光ファイバ敷設作業



温度を計測する光ファイバとひずみ・振動を計測する2種類の光ファイバがあり、2本のケーブルが横並びになるように敷設します。

メインはこの基層部に敷設している光ファイバで計測を行います。万が一ケーブルの断線等が発生し計測が不可能となった場合に備えて、サブとしてより深い位置にある路盤部にも2種類の光ファイバを基層部と同じように敷設し、引き続き計測が行うことができるような対策を施しています。

③切断部の充填



光ファイバの敷設・配線が完了した後は、溝を埋めるために樹脂モルタルを注入し、充填します。

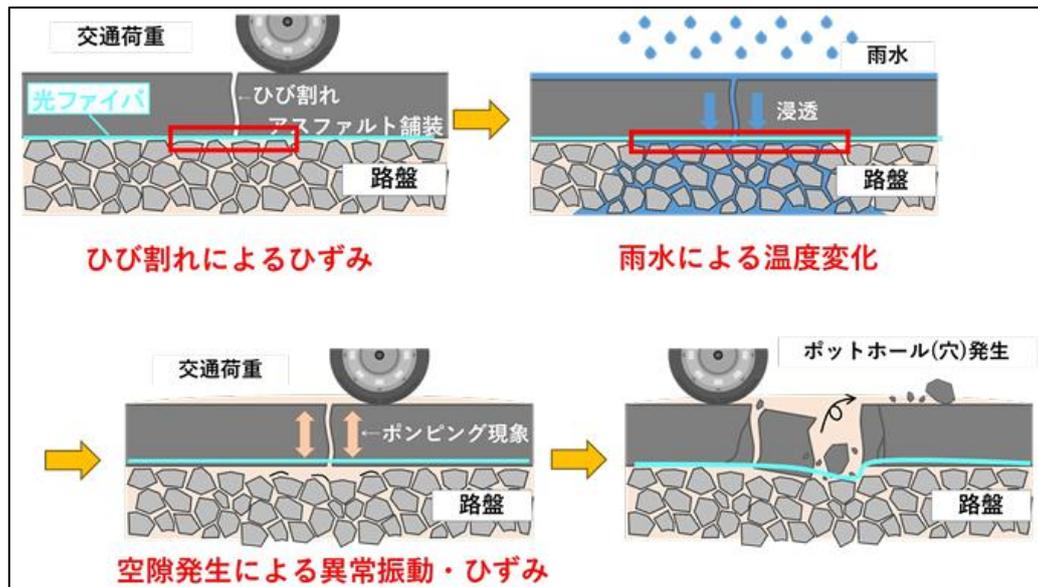
写真を見ると、道路上に線状に色が変わっているところが確認できますが、その真下に光ファイバが敷設されており、この真上には区画線(白線)が引かれます。

<検証結果について>

①【持続可能な道路管理】舗装の保安全管理の合理化

舗装の状態監視は道路管理者の定期的なパトロールによる目視確認やカメラ監視などが主な方法であるため、情報の正確性やリアルタイム性に欠けます。特に、交通を阻害するような異常は、発生後の認知となるため、予防保全的な行動を取ることができないのが現状です。そこで、高精度にひずみと温度を計測できるレイリ一散乱光を使用した光ファイバ計測を用いた舗装の状態(異常検知)技術の開発を進めています。

以下に舗装異常の一例としてポットホールの発生メカニズムと光ファイバで得られる物性値を示します。



ポットホールの発生メカニズムと光ファイバによる事前検知イメージ

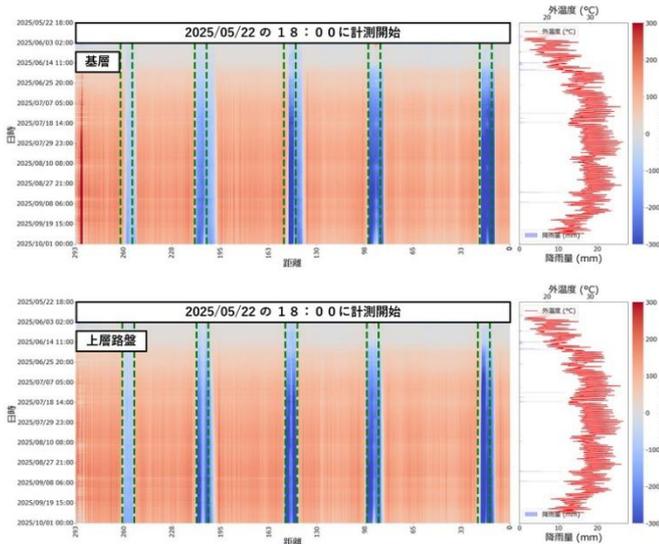
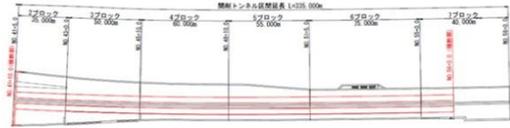
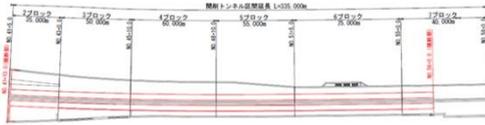
交通荷重によるたわみ、温度変化や紫外線によって舗装にひび割れが発生します。そのひび割れ部から雨水が路盤に浸透し、そこに交通荷重が加わることで、浸透した雨水とともに路盤の細粒分が吹き出します(ポンピング現象)。ポンピング現象が繰り返し発生し、舗装の損傷が徐々に進行することでポットホールが発生します。段階的に、雨水の浸透による温度変化、ひび割れ発生後のひずみや空隙発生後の異常振動値など、健全な状態とは異なる値を取得することで異常発生前に検知できると考えています。

海老江工区では開削トンネル区間の西側・東側において、ひずみと温度の連続計測を開始し、以下に示すように異常値を認識できるよう可視化ツールを開発、運用しています。データは1時間ごとに計測し、計測分解能5cmで分布計測を実施しており、ひずみ・温度の急変が発生した際はアラームを発報されるシステムとなっています。

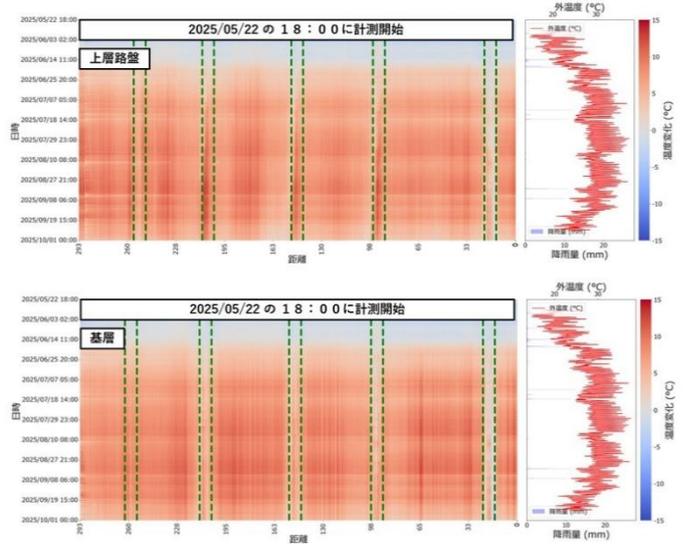
なお、異常値の閾値として前回計測結果から最新計測結果でひずみが $\pm 50\mu$ 、温度が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の変化を採用しました。今後、長期的にデータの取得を行い、基層と路盤での値の比較や異常値取得時には地中データといった既存技術や目視確認を組み合わせることで、光ファイバ計測による適用性を検証していきます。

万博開催中時点(2025/10/1)ではひずみ、温度に異常値は発生しておらず舗装の健全性が保たれていると考えています。

また、ひずみの結果より外気温があがると目地部(下記「ひずみの可視化例」の緑点線ハッチング部)では圧縮ひずみが、その他の部分では引張りひずみが進展していくことがわかりました。これは外気温により、躯体全体で線膨張が発生し、その分を目地部で吸収していると考えられます。



ひずみの可視化例(西行・中央車線側)

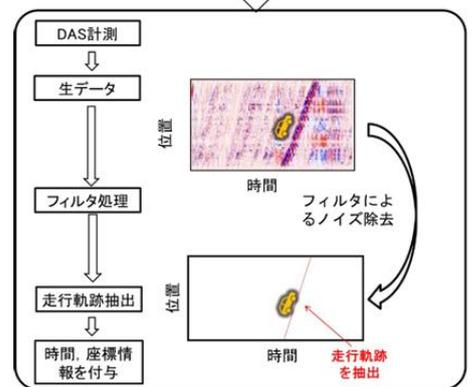


温度の可視化例(西行・中央車線側)

②【持続可能な交通管理】交通流動の可視化による安心安全な道路の実現

現状、道路の交通状況の監視はトラフィックカウンターと呼ばれる埋め込み型のセンサやカメラによるものが主な方法であり、トラフィックカウンターは点での計測であること、またカメラで道路全体を網羅することは予算的に不可能です。そこで、光ファイバの計測方式である振動分布計測(Distributed Acoustic Sensing: DAS)を用いた交通情報の可視化システムの開発を行っています。道路に沿って光ファイバを設置することで、道路上の車両走行に応じて生じる振動が舗装を通じて光ファイバに伝播します。DASによって得られる結果から、振動源の移動の様子が捉えられ、結果として道路上の走行車両を追跡できます。右に可視化フローを示します。DAS計測器から得られた振動分布データから必要な箇所を抽出し、対象とした振動源以外のノイズ成分を除去するため必要なフィルタ処理などを経て振動源位置を算出します。

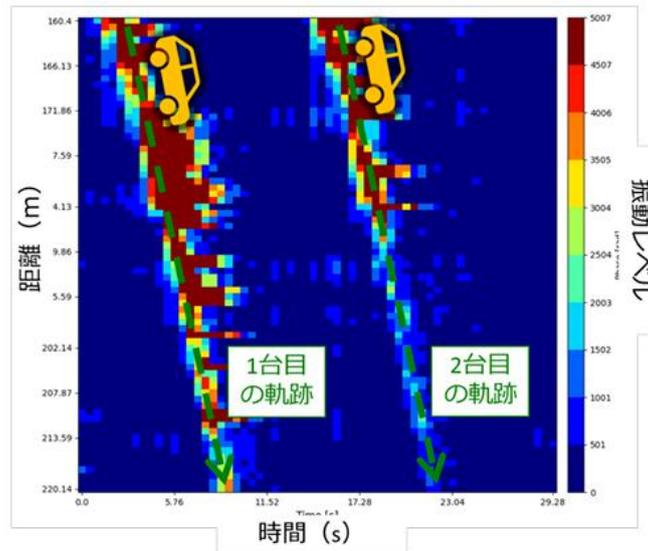
本研究では得られた振動から車両を検知するためのアルゴリズムの構築を行いました。



可視化フロー

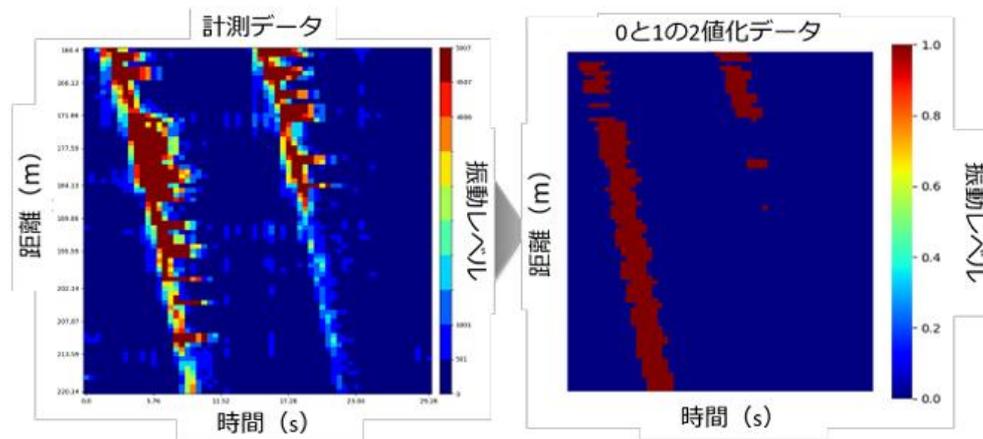
アルゴリズムの構築方法を、西側に車両2台(大型バス:車重 16t)が通過した際を例に、以下に説明します。

(1) 車両走行時の振動データを取得



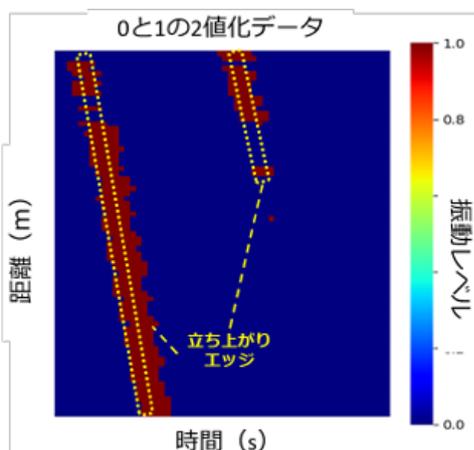
振動データ

(2) 振動データを中央値未満と以上でデータを2値化



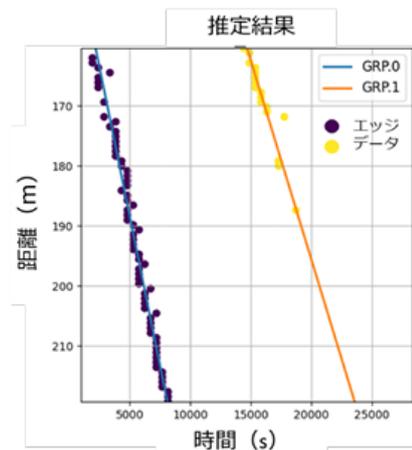
振動データの2値化

(3) 2値化データの時間方向の立ち上がりエッジ (グラフ上の傾き)を算出



立ち上がりエッジ(グラフ上の傾き)の算出

(4) エッジデータにクラスタリングを行い、各車両の軌跡を判別



立ち上がりエッジ(グラフ上の傾き)の算出

このアルゴリズムにより、振動データから車両検知が可能であることを確認し、地図上へのリアルタイム可視化を実現しました。現在、複数の車両を同時に、かつ、実際の車両走行から約 10 秒後に地図上に可視化できることを確認しています。



地図上への可視化例

③ まとめと今後

(まとめ)

・【持続可能な道路管理】舗装の保安全管理の合理化については光ファイバによる舗装内のひずみ、温度の連続計測を開始し、全線にわたり安定的に計測できていることを確認しています。このことから、舗装監視の手法として、光ファイバを用いる手法が適用性を有しているとも言えることも確認しました。

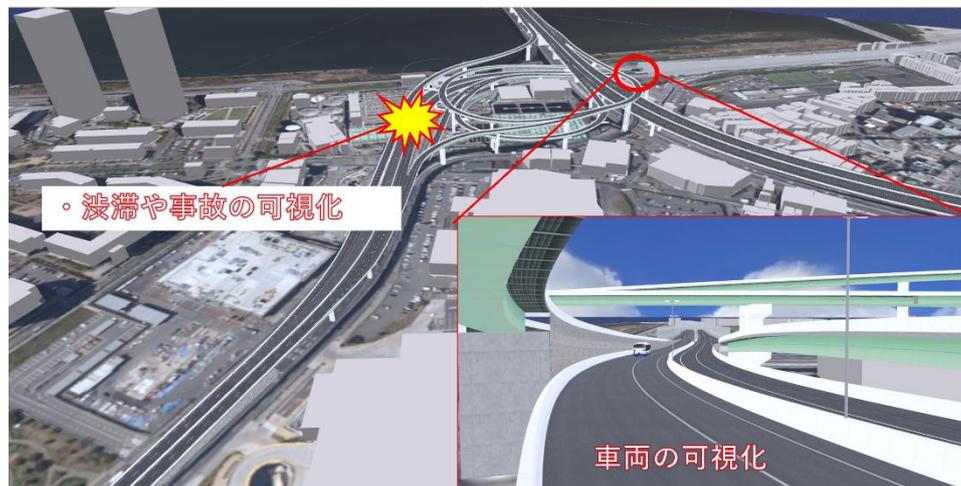
さらに、異常値を認識できるように可視化ツールを開発し、運用を開始しました。なお、万博開催中時点(2025/10/1)ではひずみ、温度に異常値は発生しておらず舗装の健全性が保たれていると考えられます。

・【持続可能な交通管理】交通流動の可視化による安全安心な道路の実現については車両走行に伴う振動データのフィルタリング方法を構築し、走行車両のリアルタイム可視化を実現しました。

(今後)

・【持続可能な道路管理】舗装の保安全管理の合理化については今後、長期的にデータの取得を行い、基層と路盤での値の比較や異常値取得時には地中レーダといった既存技術や目視確認を組み合わせることで、光ファイバのデータの正確性を検討していきます。

・【持続可能な交通管理】交通流動の可視化による安全安心な道路の実現については更なる高度化を目標に、走行している車両だけでなく、渋滞や事故といった各種交通状況の可視化を実施していきます。これらの交通状況を模擬した走行実験を行い、振動データの蓄積と交通状況の判定アルゴリズムの構築を行っていきます。また、複雑な走行(追越、あおり運転など)の可視化可否についても併せて検証を進めていく所存です。



可視化システムの高度化イメージ