

# “MMSD”を活用した鉄道沿線設備・施設の計測・解析サービス

須合健一\*  
Kenichi Sugo  
柚山武郎\*  
Takeo Yuyama  
森 大輔\*  
Taisuke Mori

Measurement and Analysis Service of Railroad Trackage Facilities using "MMSD"

## 要 旨

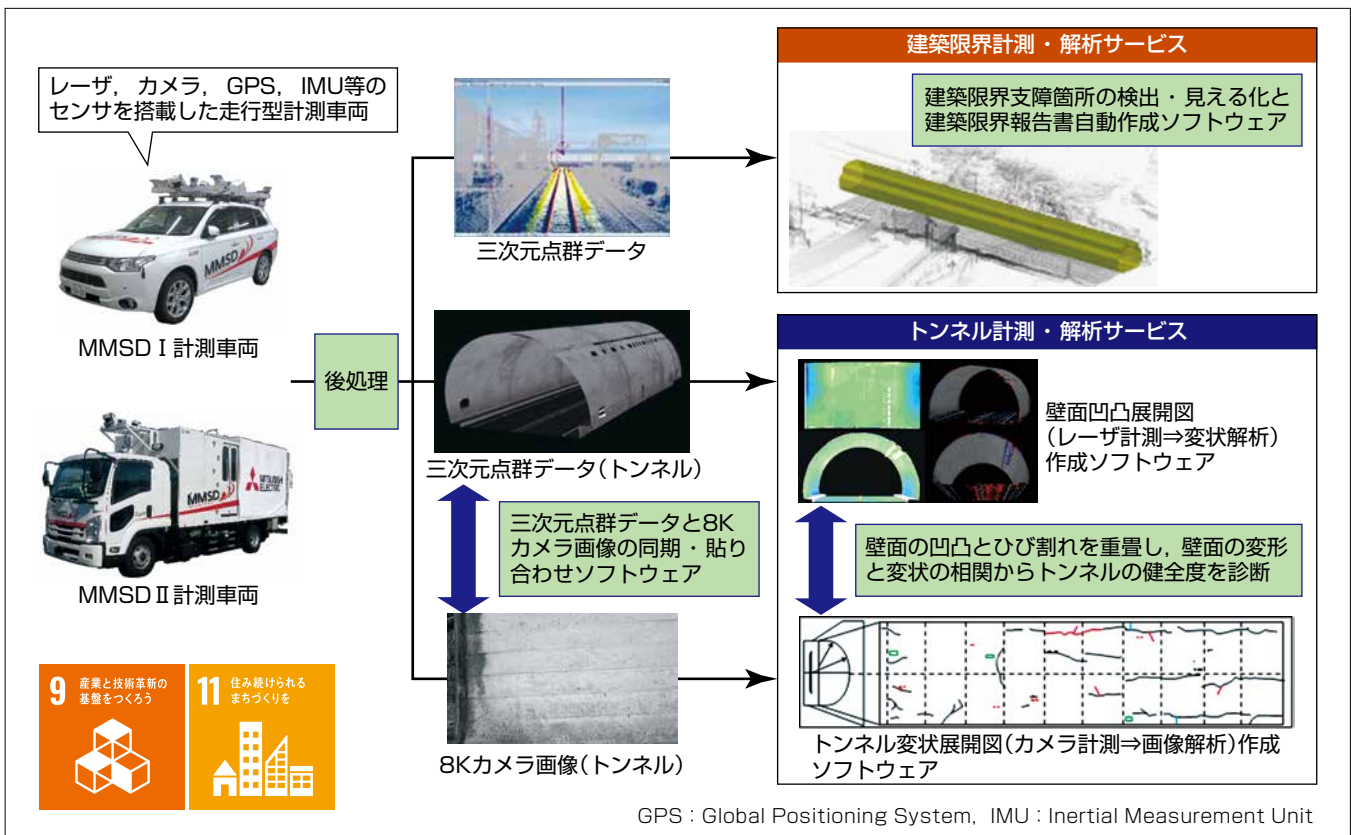
150年にわたって整備が進められてきた日本の鉄道は“建設の時代”から“維持管理の時代”に突入した。

SDGsの目標の一つである“住み続けられるまちづくり”を実現するためにも、鉄道沿線設備・施設の適切な維持管理を通じて鉄道の安全・安心を確保することが重要である。

そのような中、トンネルや橋梁(きょうりょう)等でのコンクリートやモルタルの剥落、建築限界支障、電化柱倒壊等の維持管理に関連する事象が発生している。また、設計耐用年数を超えた構造物も今後増加が見込まれる。これらの背景から、維持管理の必要性・重要性は増大しているが、昨今の少子高齢化等による労働力人口減少に伴う維持管理要員の確保が大きな課題になっており、効率的な維持管理が求められている。

三菱電機では、鉄道を始めとした重要社会インフラの維持管理効率化を支援するため、2010年度から“MMSD (Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis)”の開発に着手した。この開発では、計測車両というハードウェアだけでなく、取得したデータを解析するためのアルゴリズムやソフトウェア等の研究開発も並行して進めてきた。その結果、2015年度にMMSD I 計測車両、2017年度にMMSD II 計測車両による計測・解析サービスを開始し、鉄道分野では、建築限界計測やトンネル検査等の各種計測・解析サービスが活用されている。

今後も様々な機能拡充を図ることでイノベーションを進め、鉄道事業者の維持管理業務の効率化に貢献していく。



## “MMSD”による計測・解析サービス

MMSD計測車両で軌道上を走行することで、正確な位置情報を持った三次元点群データと高精細でゆがみの少ない8Kカメラ画像を取得可能である。取得したデータを解析することで、鉄道沿線設備・施設の維持管理に必要な建築限界報告書やトンネル検査に必要な管理データを作成可能である。

## 1. ま え が き

2012年12月に発生した中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故後、国土交通省が鉄道事業者を対象に調査した結果、2013年4月から2014年8月までの17か月にトンネルや橋梁等で発生した1kg以上のコンクリートやモルタルの剥落事象は63件に及んだ<sup>(1)</sup>。その他、建築限界<sup>(注1)</sup>支障による列車損傷事故や電化柱の倒壊事故等も発生している。このような背景もあり、維持管理の重要性は更に増しているが、その作業は最終電車終了後の限られた時間で行われることが多く、更なる効率化が求められている。

本稿では、これら鉄道での維持管理の課題解決の一助にするために開発したMMSDの概要と特長、及び計測・解析事例について述べる。

(注1) 交通の安全を確保するための道路、軌道、鉄道上で障害になる工作物や構造物の設置が許されない空間範囲のことである。

## 2. MMSDの概要と特長

### 2.1 MMSDの概要

MMSD計測車両は、“高密度・高精度レーザスキャナ”と“8Kラインカメラ”等を搭載し、軌道内を走行することで、正確な位置情報を持った三次元点群データと、高精細な8Kカメラ画像を取得できる。これらのデータを当社が独自に開発したアルゴリズムで構築したソフトウェアで解析することで、鉄道事業者の維持管理に必要な情報を提供する。

鉄道事業者はMMSD計測車両を購入する必要はなく、当社のMMSDによる計測・解析サービスを利用可能である。

MMSD計測車両には現在、主にレーザスキャナによる計測のための乗用車タイプのMMSD I 計測車両と、レーザスキャナに加えて8Kラインカメラを搭載したトラック

表1. MMSD計測車両の仕様

		MMSD I 計測車両	MMSD II 計測車両
用途		形状・位置等の鉄道沿線計測	形状・位置等の鉄道沿線計測 トンネルひび割れ等の変状計測
車両	ベース	乗用車 (OUTLANDER PHEV <sup>(注2)</sup> )	6t車 (軌陸車として改造)
	電源	PHEV AC100V, 1.500W	発電機 AC100V, 12kVA
レーザ計測機能		高密度・高精度レーザスキャナ	
壁面撮像機能	カメラ	-	8Kラインカメラ
	照明	-	レーザ照明
軌道撮像機能	カメラ	-	8Kラインカメラ
	照明	-	レーザ照明
座標取得機能	GPS	多重化	
	IMU	多重化	
	速度・距離	オドメータ、レーザドップラ等多重化	

(注2) OUTLANDERは、三菱自動車工業株式会社の登録商標である。

タイプのMMSD II 計測車両の2種類がある。それぞれの仕様を表1に、軌道走行中の様子を図1、図2に示す。MMSD計測車両の軌道への投入は、MMSD I 計測車両は軌陸車に搭載した後に、MMSD II 計測車両は自身の軌軸装置を利用して、踏切や車両基地等から実施する。計測開始・終了地点付近の入出線可能な踏切や車両基地を利用する運用が可能であるため、限られた線路閉鎖時間を有効に利用した計測が可能である。軌陸車の軌間は、狭軌、標準軌、馬車軌等の様々な軌間に対応可能である。

### 2.2 MMSDの特長

#### 2.2.1 計測車両の特長

MMSD計測車両は、当社が2007年度から測量会社等に販売しているMMS(Mobile Mapping System)計測車両を鉄道計測用に高機能・高性能化したシステムである。

計測車両の特長として、GPS不可視状態で計測走行開始可能、計測前初期化走行不要等、MMS計測車両からの高機能・高性能化を図った。これらは計測車両を構成するGPS、慣性計測装置(IMU)<sup>(注3)</sup>、速度計、レーザスキャナ、カメラ等の各種機器を統合制御する心臓部である“中央処理部”を独自開発することで可能にしている。また、鉄道では計測のし直しを容易には実施できないため、中央処理部やセンサ等次に示す装置等の多重化を図っている。

##### (1) 高密度・高精度レーザスキャナ

100万点/秒のレーザスキャナを2台搭載

##### (2) GPS

3台のGPSアンテナをトライアングル配置し、これらを2式搭載



図1. 軌道走行中のMMSD I 計測車両 (軌陸車に搭載)



図2. 軌道走行中のMMSD II 計測車両

表2. 主な解析ソフトウェア

機能	概要
レール検出	三次元点群データからレール位置をmm精度で検出
建築限界測定	場所ごとに適切な限界枠を適用して三次元点群データから建築限界支障を検出
トンネル展開図自動生成	8Kカメラ画像から変状展開図の基礎になる展開図の自動生成
トンネル変状検出	8Kカメラ画像からひび割れ等各種変状を検出
トンネル変状の変化点検出	前回のトンネル全般検査と今回との変化点を検出
トンネル変状等のCADデータ生成	三次元点群データからのCADデータ生成

### 2.2.2 解析ソフトウェアの特長

当社では、MMSD計測車両で取得したデータを解析するためのソフトウェア、三次元点群データ・8Kカメラ画像の大容量データと解析結果のデータ管理システム等、様々な機能を独自に開発し、ホワイトボックス化している。これによって鉄道事業者が長年の実績と経験から積み上げてきた事業者ごとに異なる計測方法、例えば“建築限界の“はなれ”は、重力方向か、レールに対して直角か”といった微妙に異なる計測方法に容易に対応できる。

開発した主な解析ソフトウェアは表2のとおりで、その他も計画的に拡充している。

(注3) 車両の姿勢情報を検出する装置である。

## 3. MMSDによる計測・解析事例

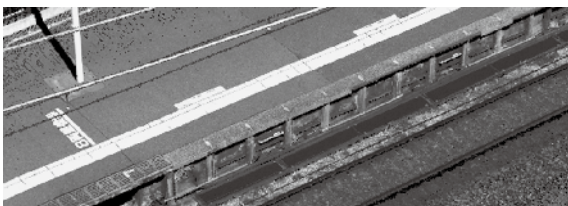
### 3.1 MMSD計測車両で計測できるデータ

#### (1) 三次元点群データ

高密度・高精度レーザスキャナ2台で1秒間に200万点取得するデータであり、その相対精度は3mmである(図3)。また、国土地理院設置の電子基準点での測位データ等と合わせて処理することで、正確な位置情報(緯度、経度、標高)を付与できる。



(a) トンネル部



(b) ホーム部

図3. 三次元点群データ

#### (2) 8Kカメラ画像

点検に必要な0.3mm以上のひび割れを自動検出するために、8Kラインカメラで高精度に撮像する。トンネル壁面用として14台、軌道面用として2台の8Kラインカメラを搭載しており、これらの8Kラインカメラで撮影した高精細画像は、解析ソフトウェアによって自動で貼り合わせることができる(図4)。

### 3.2 建築限界計測

三次元点群データで建築限界計測を高精度に実施可能である。取得した三次元点群データから左右のレール位置を正確に抽出し、そこに建築限界枠を重ねて測定する。

建築限界枠は、箇所ごとに決められた枠を適用する。具体的には、ホーム部建築限界枠、跨線(こせん)橋部建築限界枠をそれぞれの部分に適用し、曲線部ではその曲線半径に基づいて計算した拡大建築限界枠を適用する。

その他、鉄道事業者ごとの要望に沿った解析、例えば“スラックがある場所での左レール又は右レール寄せした判定”も可能である。

結果は建築限界報告書としてまとめる。

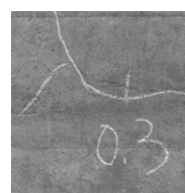
### 3.3 トンネル検査

鉄道のトンネル検査は、2年ごとの通常全般検査と20年ごと(新幹線は10年)の特別全般検査に分類される。通常全般検査は遠方目視を中心とした検査で、特別全般検査は、近接目視と打音を中心とした検査である。

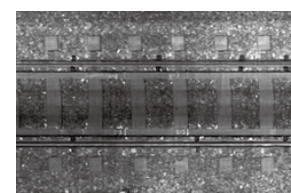
一方、道路トンネルは、中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故を受けて、5年ごとの検査が義務化された。この検査内容は、鉄道トンネルの特別全般検査と同等である。

当社のMMSD II計測車両は、道路トンネル検査ロボットとして国土交通省に認められた装置で、従来の近接目視の代替としての性能を持っている。

14台の8Kラインカメラで撮影した画像を使って、トンネル展開図を作成する際、そのまま貼り合わせると縮尺がまちまちな展開図になる。そこで当社では計測したトンネルの形状を作成し、その形状に合わせて自動で貼り合わせる処理を開発した。これによって抽出したひび割れの長さの確からしさが向上する。先に述べた道路トンネル検査ロボットとして国土交通省がホームページ上で掲載している



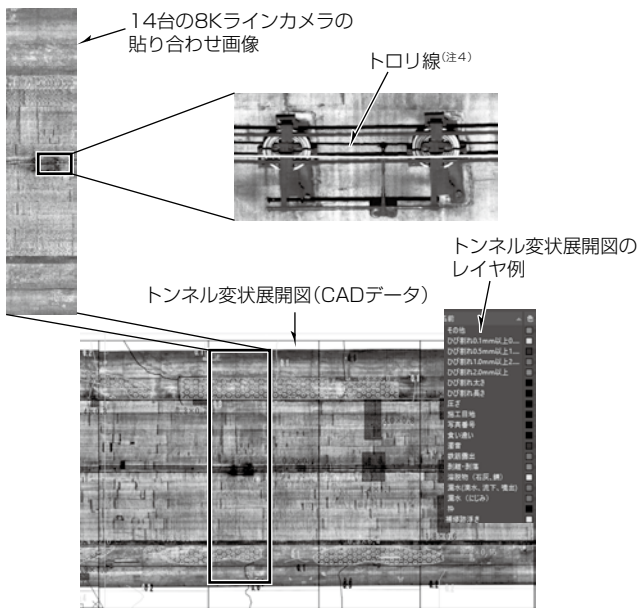
(a) トンネル壁面



(b) 軌道面

図4. 8Kカメラ画像





(注4) パンタグラフを介して鉄道車両へ給電する接触電線のことである。

図5. トンネル変状展開図の作成

点検支援技術性能カタログでもこれが評価されている。

このように作成した貼り合わせ画像であるトンネル展開図から、ひび割れ等の変状を抽出し、さらに点検に必要な打音検査の結果も含めて、トンネル変状展開図を作成する。変状展開図は、従来は紙で管理されていたため、様々な局面での利活用が困難であった。当社は変状展開図をCADデータで納品するため、電子データで共有できることから、必要な人が必要ときに参照することが容易になる(図5)。また、変状展開図はレイヤ構造にしているため、必要な主題図、例えば“ひび割れだけの図面”“漏水だけの図面”が自席で容易に作成可能である。あわせて、“見上げ図”“見下げ図”双方とも作成可能であり、設計用途や維持管理用途に使い分けことが可能である。

### 3.4 特殊信号発光機の見通し確認

踏切で自動車が立ち往生した場合には、踏切に設置してある緊急ボタンを押下することで、特殊信号発光機が点滅し、接近してくる列車の運転士に異常を知らせる。そのため、この特殊信号発光機を、運転士が所定距離から視認できるかの検査が必要になる。

当社では取得した三次元点群データに“運転士視点位置”と“特殊信号発光機位置”を設定し、運転士視点から特殊信号発光機間に視界を遮る樹木等の有無を検出するアルゴリズムを開発した。運転士視点と特殊信号発光機の位置は自由に設定でき、その正確な軌道上の距離算出も可能であるため、現地確認に比べて作業効率化が可能である(図6)。

### 3.5 その他

MMSDは、先に述べた用途以外でも次の用途で活用可

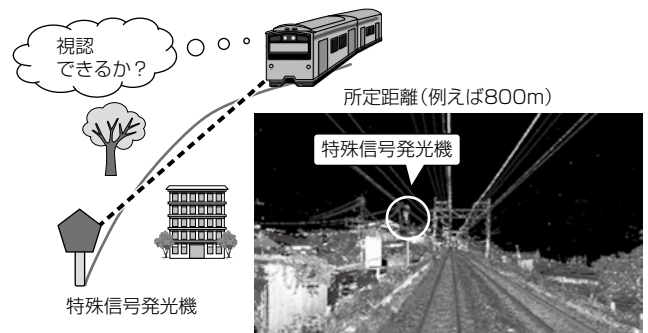


図6. 確認イメージと運転士視点からの特殊信号発光機

能である。

- (1) エアセクション(注5)部や渡り線部のトロリ線計測
- (2) 三次元点群データの三次元CAD化による設備設置設計支援
- (3) 信号機と地上子等の設備間距離計測
- (4) 定位置停止装置用地上子の設置設計や無線式列車制御のための各種沿線設備・施設の計測
- (5) ホーム上屋(注6)部の離れと高さ計測

(注5) トロリ線を電氣的に区分するために設ける箇所のことである。

(注6) 屋根に相当する構造物のことである。

## 4. 今後の展望

現在MMSDⅢ計測車両を製作中である。MMSDⅢ計測車両は、基本的な機能項目はMMSDⅡ計測車両を踏襲するものの、様々なプラットフォームへの搭載を可能にするとともに、更に高機能・高性能化している。

なお、既存のMMSDⅠ・Ⅱ計測車両についても、MMSDⅢ計測車両で開発した新機能を順次搭載していく予定である。あわせて、新たなセンサの搭載、AI(Artificial Intelligence)を含めた新たな解析メニューの追加による拡充を計画的に進めていく。

## 5. むすび

MMSDの概要と特長、及び計測・解析事例について述べた。今後とも人手に依存した維持管理手法からの脱却は加速し続けると考えられる。ロボットやAIに任せられる部分は任せて、人は人らしく人にしかできない部分を担うことで、更なる維持管理の高度化を進めていく必要がある。当社は、これからも鉄道を始めとした重要社会インフラの維持管理効率化を推進し、安全安心に貢献していく。

### 参考文献

- (1) 国土交通省：鉄道構造物における剥落事象について(2014)  
<https://www.mlit.go.jp/common/001055583.pdf>