

道路空間のDXを実現する先進の車両計測システム「REAL Dimension[®]」

稲見 麻央・前田 近邦・安井 嘉文(株式会社パスコ)

1. はじめに

道路などのインフラ分野においてDX(Digital Transformation)を実現するために、道路空間上の詳細な3次元データを精度良く、かつ効率的に取得する車両計測システム「REAL Dimension[®]」を開発した。REAL Dimensionは道路空間の3次元データを取得するMMS(Mobile Mapping System)と道路舗装の維持管理に必要なデータを取得する路面性状測定車REAL(Road Excellent Automatic Logging System)の技術を統合したシステムである。舗装の維持管理や道路台帳更新、道路附属物管理など、多用途に活用できるデータを一度の走行で取得することで、道路管理の効率化や高度化の実現を目指している。

本稿では、REAL Dimensionに搭載される3Dカメラおよびプロファイルユニットについて、

ひび割れやわだち掘れ等の路面性状の測定項目が適切な精度で取得されているかの性能評価を行う。また、3Dカメラデータによるひび割れ解析の自動化とデータの公共座標表現について報告する。

2. REAL Dimensionの搭載センサ

REAL Dimensionに搭載されているセンサは、主に、路面のひび割れ・わだち掘れを測定する3Dカメラ、平坦性を測定するプロファイルユニット、道路空間全体を把握するための全周囲画像と3次元点群を取得するMMS、道路前方の状況を把握する前方カメラで構成される。表1はREAL Dimensionおよび従来型であるREALに搭載されているセンサの比較表である。次節より、従来機種であるREALと比較しながら各センサの特徴を述べる。

表1 Real DimensionおよびReal(従来型)に搭載されているセンサの比較表

測定項目		REAL Dimension		REAL	
					
路面性状	ひび割れ	センサ	取得データ	センサ	取得データ
		3Dカメラ	路面輝度	ラインセンサカメラ	路面輝度
	わだち掘れ		横断形状	レーザスキャナ	横断形状
	平坦性	プロファイルユニット(1点方式)	縦断凹凸	プロファイルユニット(3点方式)	縦断凹凸
道路空間情報		MMS	自己位置姿勢 3次元点群 全周囲画像	GNSS受信機 距離計	経緯度、高さ 距離
		前方カメラ	道路前方画像	前方カメラ	道路前方画像

2.1 3Dカメラ（ひび割れ・わだち掘れ）

3Dカメラは光切断法の原理（図1）で路面の輝度情報と横断形状を同時に取得可能な装置である。光切断法は路面に投影した線状のレーザ光をカメラで撮像し三角測量により横断形状を算出する手法で、これを走行しながら一定間隔で撮像することで路面の3次元情報が得られる。光切断法の技術は従来からわだち掘れ測定に用いられてきたが、近年、カメラ演算チップの高速化により最大10kHzと高いレートで測定できるようになり、ひび割れも認識可能な解像度が得られるに至った（図2）。REAL Dimension搭載時の設定では、自車位置を中心として4.1mの幅を、横断方向1mm、縦断方向2mmの解像度でデータ取得が可能となる。

また、REALはシステムが必要とする電力が大きく発電機を搭載するために積載能力の大きなマイクロバスを使用した、3Dカメラを採用

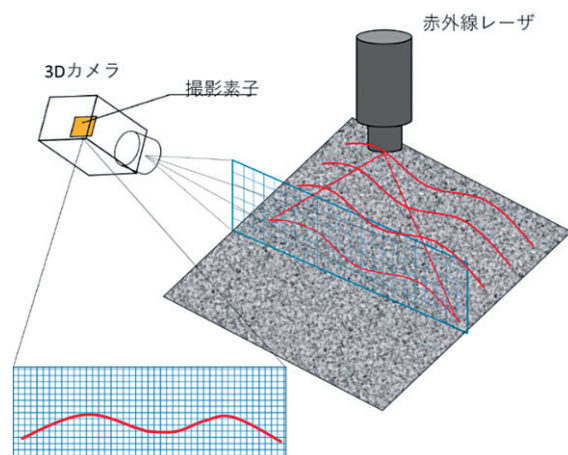


図1 光切断法の原理

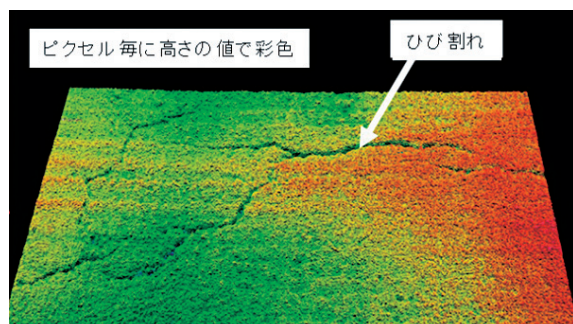


図2 3Dカメラデータ可視化の例

することで省電力化と省スペース化を実現し、自家用車クラスに搭載することで狭い道路の走行も可能となった。

2.2 プロファイルユニット（平たん性）

プロファイルユニットはREALとREAL Dimensionで測定方式が異なる。REALは縦断方向に1.5m間隔で3か所に設置したレーザ変位計の測定値 H_1 、 H_2 、 H_3 から路面の縦断凹凸 $d = (H_1 + H_2) / 2 - H_3$ を測定する3点方式、REAL Dimensionはレーザ変位計で取得した車体-路面間の高さ情報 H と加速度計で取得した鉛直方向の車両挙動による変位量 H_v とを用いることで路面の縦断凹凸 $d = H - H_v$ を測定する1点方式となる。図3に各方式の模式図を示す。いずれの方式も国際的な縦断凹凸の評価指標であるIRI (International Roughness Index)¹⁾の測定精度はクラス2の精度を有している。

REAL Dimensionは1点方式を採用することで従来と同じ精度で装置の小型化を実現している。

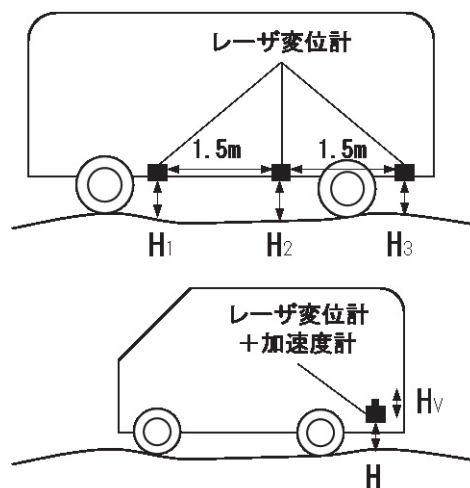


図3 REAL（上）とREAL Dimension（下）の測定方式の違い

2.3 MMS（道路空間全体の把握）

MMSはGNSS受信機、IMU (Inertial Measurement Unit)、走行距離計、レーザスキャナ、カメラを搭載し、道路空間の3次元データを取得するシステムである。REAL Dimensionはこれ

表2 可搬型MMSの性能例

項目	性能
GNSS IMU	使用可能衛星：GPS、GLONASS、 Galileo、Beidou、QZSS 位置精度（オープンスカイ）： 水平 2cmRMS 高さ 1.5cmRMS
レーザ スキャナ	回転レート：50～200Hz スキャンレート：毎秒100万点 測定範囲：最大119m
カメラ	解像度： 全球カメラ2400万画素（1台） 側方カメラ1200万画素（4台）

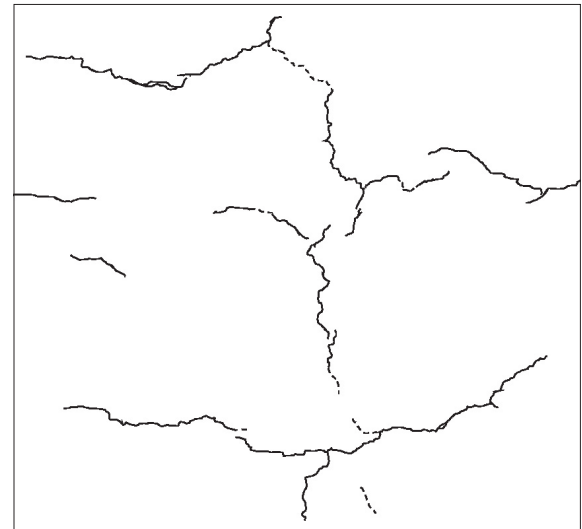
らMMSを構成するセンサが一体となった可搬型MMSを搭載し、制御システムで時刻やセンサイベントログを正確に同期管理することで路面性状測定装置と統合されたシステムとして運用ができる。表2に搭載可能な可搬型MMSの性能例を示す。

また、REAL DimensionはMMSを搭載しない路面性状測定車としても機能する。REAL Dimensionがその性能を十全に発揮するのはMMSと併せた運用であるが、フルスペックの性能が必要ない場面でも柔軟に対応できるような設計にしている。

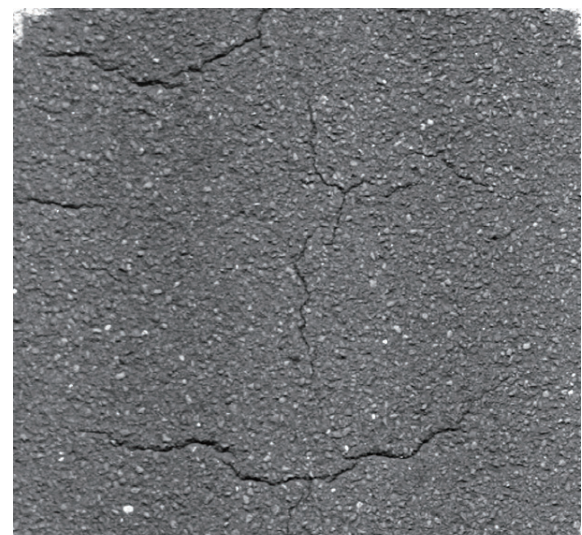
3. 路面性状測定車としての性能評価

REAL Dimensionで測定される路面性状の各種測定値が、適切な精度で取得されていることを確認する。性能評価のためのデータは自社試験サイトで測定した結果を使用した。また、参考としてREALで取得した結果も示す。評価の基準は一般財団法人土木研究センターが実施する路面性状自動測定装置性能確認試験（以下、性能確認試験）の認定基準のうち距離の測定性能を除く3項目を用いる²⁾。

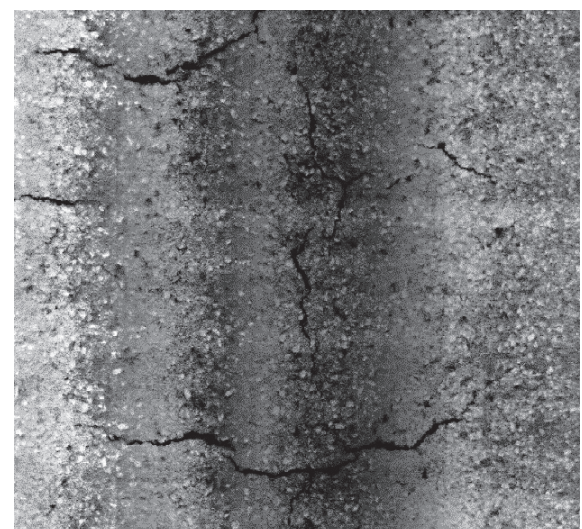
- ひび割れ測定性能：幅1mm以上のひび割れが識別可能な精度であること
- わだち掘れ測定性能：横断プロフィールメータによるわだち掘れ深さの測定値に対し、 $\pm 3\text{mm}$ 以内の精度であること
- 平坦性測定性能：縦断プロフィールメータに



スケッチ図



REAL（輝度画像）



REAL Dimension（高さ画像）

図4 ひび割れの測定結果

よる標準偏差の測定値に対し、 $\pm 30\%$ 以内の精度であること

なお、REAL Dimensionは2021年度の性能確認試験に参加し、認定を受けている。

(ア) ひび割れ測定性能

図4にひび割れのスケッチ図とREAL (輝度画像)、REAL Dimension (高さ画像) の測定結果を示す。スケッチ図は現地で高解像度カメラを用いて撮影した画像から目視判読しスケッチしたもので、1mm以上のひび割れを実線で、1mm

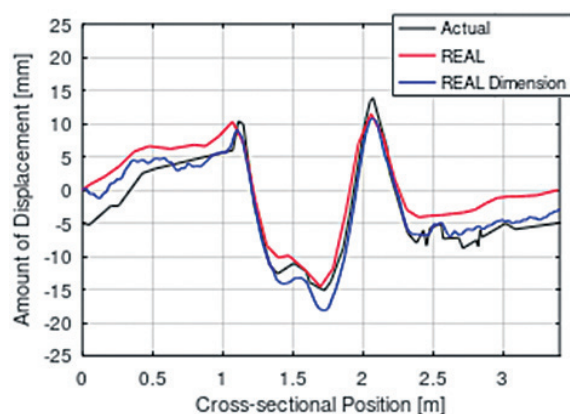


図5 横断形状の測定結果 (箇所A)

未満のひび割れを破線で表現している。

REAL、REAL Dimensionはいずれも1mm以上のひび割れが識別できることが確認できた。

(イ) わだち掘れ測定性能

図5に横断形状の測定結果の一例、表3にA～Eの5箇所のわだち掘れ量について実測値とREAL、REAL Dimensionの測定結果を示す。舗装の種別は密粒舗装 (A～D) と排水性舗装 (E) について測定した。実測値はプロフィルメータを用いて測定している。表3に示すわだち掘れ量は測定された横断形状の最高値と最低値の差から求めるピーク法で算出している。

各測定車の横断形状は実測値と同じトレンドを示していることがわかる (図5)。また、測定したわだち掘れ量はいずれも実測値に対し $\pm 3\text{mm}$ 以内の精度であることが確認できた (表3)。

(ウ) 平坦性測定性能

図6に縦断形状の測定結果の一例、表4に排水性舗装の道路を200mの区間測定した平坦

表3 わだち掘れ量の測定結果

箇所	舗装種別	実測値	REAL		REAL Dimension	
			測定値	実測との差	測定値	実測との差
A	密粒	10.6mm	10.0mm	+0.6mm	9.1mm	-1.5mm
B	密粒	29.0mm	29.3mm	+0.3mm	29.0mm	+0.0mm
C	密粒	17.1mm	17.4mm	+0.3mm	18.3mm	+1.2mm
D	密粒	13.9mm	13.0mm	+0.9mm	14.7mm	+0.8mm
E	排水性	12.0mm	10.1mm	-1.9mm	12.6mm	+0.6mm

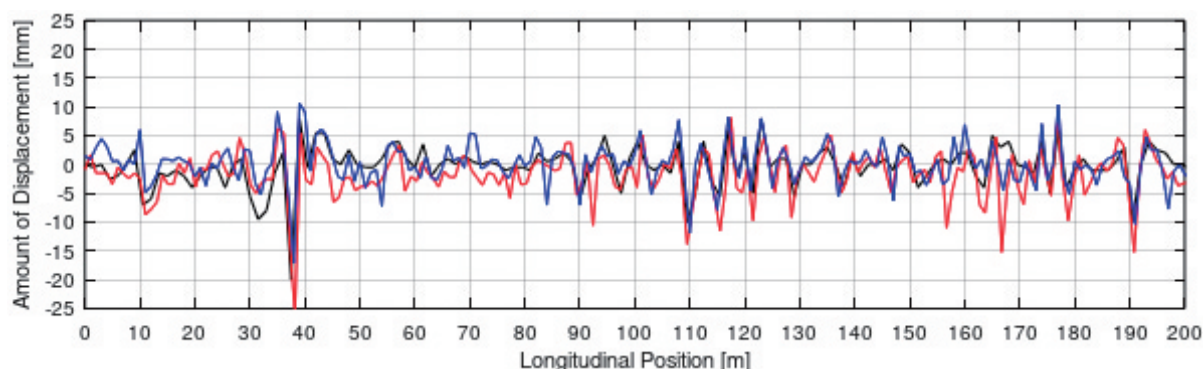


図6 縦断形状の測定結果

表4 平坦性の測定結果（排水性舗装）

区間 [m]	実測値 σ	REAL		REAL Dimension	
		測定値 σ	実測との差	測定値 σ	実測との差
0-100	3.90mm	3.85mm	-0.05mm (-1.2%)	3.83mm	-0.07mm (-1.8%)
100-200	3.40mm	4.02mm	+0.62mm (+18.2%)	4.08mm	+0.68mm (+20%)

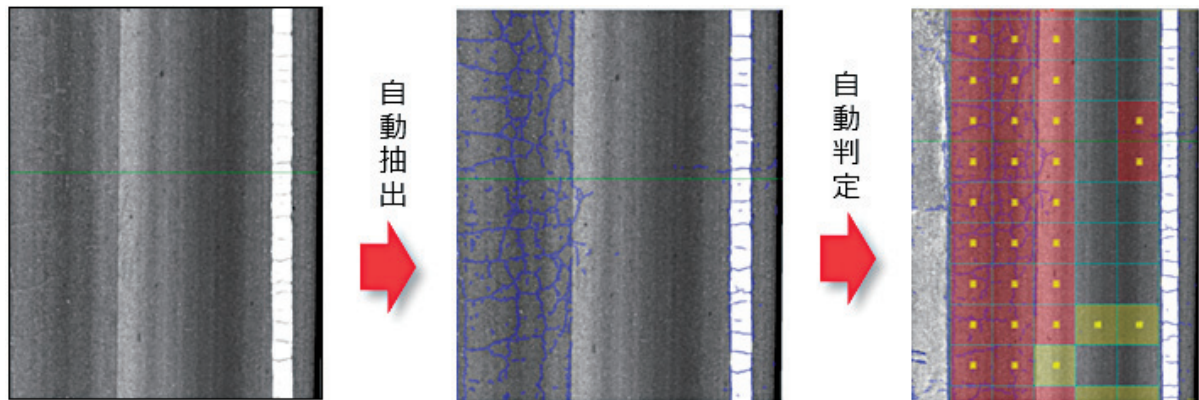


図7 ひびわれ自動解析の流れ

性について、実測値とREAL、REAL Dimensionの測定結果を示す。実測値はプロファイルメータを用いて測定している。

各測定車の縦断形状は実測値と同じトレンドを示していることがわかる。また、縦断形状から100m単位で算出した平坦性（標準偏差 σ ）はいずれも実測値に対し $\pm 30\%$ 以内の精度であることが確認できた。

4. ひび割れ解析の自動化

従来のラインセンサカメラは路面輝度の情報しか取得できないため、路面の汚れや日影があるとひび割れの識別が困難で機械処理による自動化に一定の技術的ハードルが存在したが、3Dカメラは高さ情報を利用し、基準面から一定の深さ以上深くなる形状部分を検出し、縦・横・斜めの連続性をひび割れ形状として自動抽出することが可能となった。抽出したひび割れをメッシュごとに自動判定することで、ひび割れ解析の自動化を実現した（図7）。

ひび割れ解析の自動化で路面性状調査に必要なわだち掘れ、平坦性を含む3項目全ての

解析が自動化され、信頼性の高い結果を早期に提供することが可能となる。

5. 3Dカメラデータの詳細3次元化

3Dカメラは横断形状を走行方向に積層することで、路面の疑似的な3次元情報を得ることができるが、現実の3次元形状を得るには車両挙動の影響を加味する必要がある。REAL Dimensionは3DカメラとMMSが正確に同期して計測されているため、MMSデータから算出した車両の位置姿勢情報を利用することで、公共座標上で3Dカメラデータを表現することが可能となる。

図8にMMS点群と3Dカメラの詳細3次元データの比較を示す。詳細3次元データはMMS点群ではわかりにくい路面表示やひび割れが明瞭に識別できることがわかる。前述したひび割れ抽出データを公共座標系に展開することで、経年的な変化の把握も容易になり、複数年調査による経年変化分析の高度化を図ることができる。

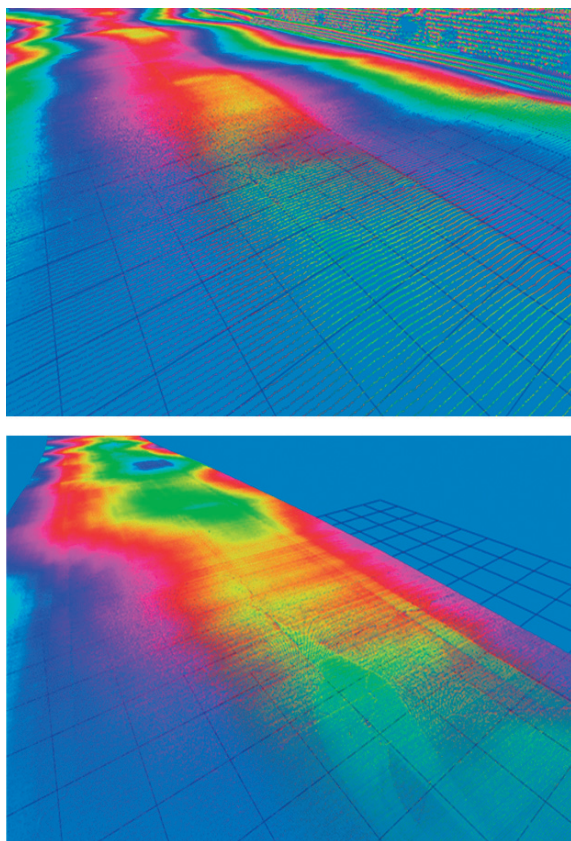


図8 MMS点群（上）と3Dカメラの詳細3次元データ（下）の比較

6. まとめ

REAL Dimensionはこれまで培ってきたMMSと路面性状測定車の計測技術を融合した全く新しいコンセプトの車両計測システムである。本稿では路面性状測定車としての性能を評価するために自社試験サイトでの測定を行い性能

確認試験で定める性能基準を満たしていることを確認した。

また、3Dカメラデータの高さ情報を活用したひび割れ解析の自動化、MMS位置姿勢情報を用いた公共座標上での表現を実現することでデータの信頼性を向上しつつ、利用の高度化を実現した。

REAL Dimensionは株式会社パスコの登録商標です（登録商標第6418835号）。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧, pp [1] 240 - [1] 252, 平成31年3月
- 2) (一財) 土木研究センター 路面性状自動測定装置性能確認試験 (<http://www.pwrc.or.jp/2021romensiken.html>, 参照2021年10月)

執筆者

稲見 麻央 (いなみ まお)

株式会社パスコ

(共著者)

前田 近邦 (まえだ ちかくに)

安井 嘉文 (やすい よしふみ)

株式会社パスコ

