

スマート道路モニタリング[®]の事業化に向けた改良

長谷部 敦 俊

1 はじめに

我が国の道路インフラは広範であり、継続的な維持管理における労働力不足と費用制約が顕在化している。これらに対処するためには人力中心のアナログ管理からシステムによるデジタル管理（DX化）が必要である。そこでカヤバは、コア技術である振動解析の技術を応用して、自治体、もしくは道路維持管理業務事業者のパトロール車両に各種センサと記録用ロガーを搭載し、走行時の車両挙動データから路面性状を診断して業務を効率化するスマート道路モニタリング[®]を開発してきた¹⁾。研究開発用途として製作した初期システム（以下Version1）では、2019年以降の試験運用を通じて、データ収集、転送、診断の3つのサブシステムを構築しサービスの有効性を確認した。本報では、事業化を見据えた改良版システム（以下Version2）における改良点を示し、計測システム、診断システム、および新規開発した診断結果提供用のWEBアプリケーションについて報告する。また、ブランド認知のために様々なプロモーション活動を実施してきたので、その成果もあわせて報告する。

バのストローク量など多様な値の計測が可能であった一方で、センサ台数が多く設置・保守工数が高い、電源取り出しが車両仕様に依存するなど、事業化の観点で改善余地があった。Version2では、路面性状評価指標の診断結果に対する寄与度から必要センサの取捨選択を行い、取得センサを左右前輪ばね下^{注1)}加速度とばね上^{注2)}のIMUセンサ^{注3)}に限定することで、サイズとコストの低減を行った。ばね下加速度センサについては無線化・モジュール化設計と通信・電源の標準化により、保守性と拡張性を向上させた。写真1にロガーの外観を、図1に基板の概要を、表1に仕様を、図2にVersion1とVersion2のロガー比較を示す。



写真1 Version2ロガー外観図

2 計測システム (Version2)

Version1における計測システムは基礎技術を確立するための研究開発用途として制作し、詳細な情報を計測するために、社内で一般的に行われている実車計測時のシステム構成を参考に設計を行った。これに対しVersion2の開発では、ユーザ環境における実運用を想定してセンサの合理化による数量低減や加速度センサの無線化による配線コスト低減、車載ロガーの小型化により、設置容易性とメンテナンス性の向上を図った。

2.1 Version2ロガー

Version1のロガーは、多チャンネルセンサ接続を可能としており、加速度だけでなくショックアブソー

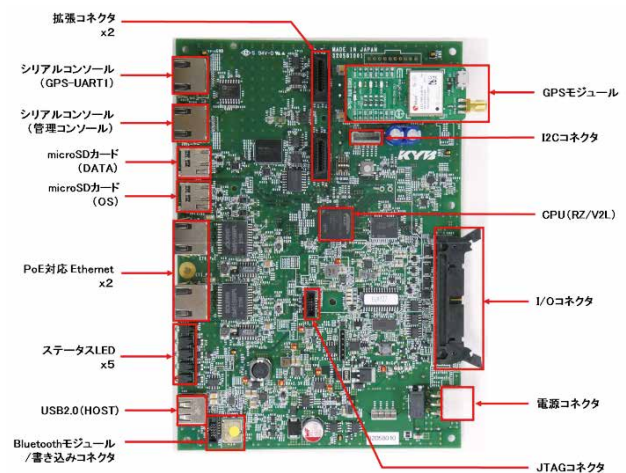


図1 Version2ロガー基板概要図

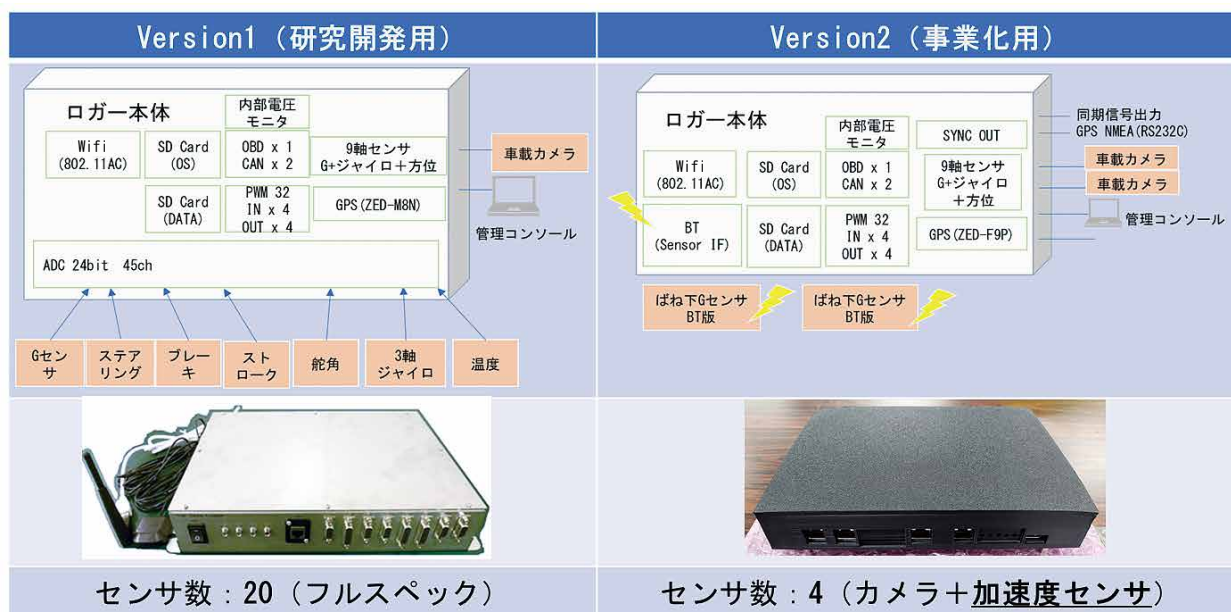


図2 ロガー構成比較図

表1 Version2ロガー基板仕様

項目	仕様項目	仕様
CPU	型名	RZ/V2L
	クロック	1.2GHz (Max)
	メモリ	4GB
I/F	Ethernet	PoE対応×2ch
	USB2.0	Host×1ch
	SD	microSD×2
	GPS	ZED-F 9 P-04B
	ODB2	ELM327
	シリアル	RJ-45×2
LED	Battery	緑×1
	KeyOn	緑×1
	Logging	緑×1
	WiFi Link	緑×1
	ERROR	赤×1
電源	電圧	+12V
	消費電流	0.5A
動作温度		-40℃~85℃
外形サイズ		200mm×140mm t=1.6mm

また、Version2ではVersion1と比較してセンサ数を低減したが、詳細な計測サービスへの応用や社内における実車計測への適用を見据えて事業化用の最小構成に対して拡張可能な構成とし、Version1と同等の機能を維持できるようにした(図3)。

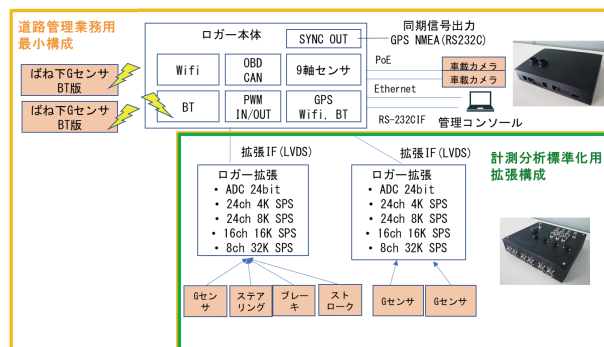


図3 Version2ロガー用差別構成図

- 注1) サスペンションのスプリングやショックアブソーバより下側にある、路面に近い部分
- 注2) サスペンションのスプリングやショックアブソーバより上側にある、車体に近い部分
- 注3) Inertial Measurement Unit: 慣性計測ユニット

2.2 Bluetooth加速度センサ

Version1でのばね下加速度センサは市販のアナログセンサを採用しており、車両ロアアーム部から車室内に設置したロガーまで有線で接続していた。そのため設置時の配線難易度が高く、車両依存性も高いためVersion2においては無線化を行うこととした。しかしながら、Version1の加速度センサと同等の性能を有しつつ、無線接続可能な市販の加速度センサは存在しなかったため、独自で新規開発を行うこととした。写真2に開発したBluetooth加速度センサの外観を表2に仕様を示す。通信方式はBLE (Bluetooth Low Energy) を採用し、基板を樹脂モールドングすることで防水対応を行った。



写真2 Bluetooth加速度センサ外観図

表2 Bluetooth加速度センサ仕様

項目	仕様	
1	入力電圧	DC4.5~8V
2	サンプリング周波数	2k/1k/500/250Hz (SW選択)
3	計測レンジ	±10/20/40G (SW選択)
4	分解能	16bit
5	接続方式	Bluetooth通信
6	使用温度	-40~85℃
7	保護等級	IP67

また、センサの取り付け位置に関しても従来のロアアーム部では取り付けのために専用取付具の設計が必要であり、かつ車両によって取付具の形状変更が必要、またはそもそも取り付けられるスペースがない車両もあるなど課題が多かった。そのため取り付け位置をショックアブソーバ円筒部へと変更し、金属バンドによる固定方法により、車両依存性を低減させた。写真3に新方式の固定方法を示す。



写真3 Bluetooth加速度センサ取付図

2.3 電源BOX

ばね下加速度センサの無線化に伴い、センサとロガーを接続する配線が廃止されたため、新たに車室外にてセンサへの電源供給を確保する必要が生じた。そこで電源BOXを新規開発し、車両仕様差を吸収するため独立モジュール化した。写真4に開発した電源BOXの外観を、表3に仕様を示す。



写真4 電源BOX外観図

表3 電源BOX仕様

項目	仕様	
1	入力電圧	DC6~16V
2	出力電圧	5±0.5V × 2回路
3	出力電流	200mA × 2回路
4	使用温度	-30~120℃
5	保存温度	-40~120℃
6	保護等級	IP67

加速度センサの無線化に伴い、センサとロガーの電源が分離されたため、エンジンON/OFFによる電源の供給開始/停止が連動されないという課題が新たに生じた。加速度センサの暗電流は車のバッテリーから見たら僅かではあるが、取り付けしている車両へのダメージを最小化すべく、エンジンON/OFFに連動した電源供給機能の開発に取り組んだ。この機能は車両のバッテリー電圧がエンジンON/OFF時にオルタネータの影響で変動することに着目し、電圧変動と経過時間に基づいてセンサへの電源供給を制御するものである(図4)。

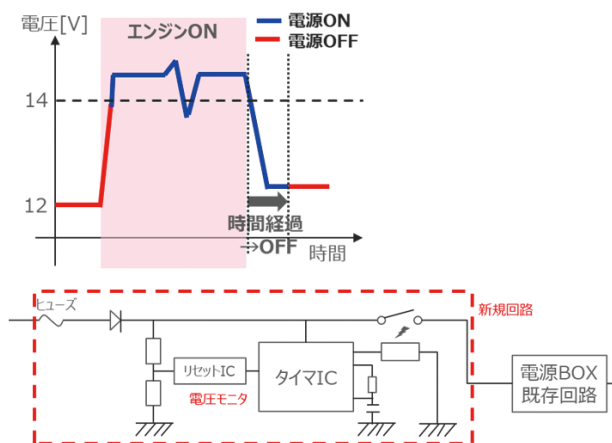


図4 センサ供給電源制御機能の概要図

2.4 外付けIMUセンサ

スマート道路モニタリング®では主にばね上とばね下の振動から路面の性状推定を行う。Version1ではサスペンション上部に取り付けた加速度センサ及びロガー本体に内蔵されたIMUセンサにてばね上振動を計測していた。この方式ではロガー本体を車体に強固に固定する必要がある。Version1を導入した益田市の車両は幸いにもSUV (Sport Utility Vehicle) タイプであり搭載スペースや固定部分に余裕があったため、問題なく固定が可能であった。しかし、追加導入した自治体の車両は軽自動車であることが多く、これらの車両では余剰スペースや締結可能な露出部品に乏しいため、ロガー本体を強固に固定することが困難であることが判明した。Version2では、ばね上振動計測をロガー内蔵のIMUセンサのみに限定したため、IMUセンサのデータが正しく計測できる必要がある。これに対応するためにIMUセンサを外付けにし、ロガー本体とケーブルで接続する方式に設計変更を行った。図5に変更したIMUセンサの概要を示す。このIMUセンサのみを車体に固定することで、ばね上の振動を正確に計測できることに加えて、ロガー本体を強固に固定する必要がなくなったため、設置位置の自由度が高まった。

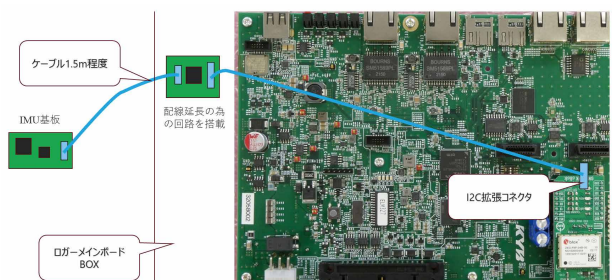


図5 IMUセンサ概要図

3 診断システムの改良

Version1の診断システムは益田市データのみを処理していたため、構築や維持管理の手軽さからオンプレミスサーバ上で動作していた。しかし、実サービスを考えると、ユーザ数の増加に伴う処理負荷の増加やユーザ毎のパラメータ管理、データの管理など柔軟なシステム構築が必要となる。そこでVersion2では検証自治体数を増やし、診断処理のクラウド化によってスケーラビリティを確保するとともに、機能分割によるマイクロサービス化を行うことより、メンテナンス性を向上させた。

3.1 クラウドへの移行

前処理、特徴量抽出、モデル推定、データベース登録からなる診断機能の各ステージをクラウド上のマイクロサービスとして分離し、個別でアップデートが行えるようにした。図6にクラウド診断システムの概要を示す。

プラットフォームにはカヤバのIoTプラットフォームや油状態診断システムで実績のあるAWS (Amazon Web Service) を採用し、診断処理の各ステップの実装にはコンテナ技術であるdockerを用いてステップ毎の環境管理を容易にした。

3.2 路面性状診断処理

路面性状診断処理 (図6の処理実行マシン部) は大きく分けて4つのステップで構成され、それぞれが独立したコンテナとして実行される。

3.2.1 センサ処理

ロガーで計測されるセンサ情報はあらかじめ設定したフォーマットでバイナリデータ (「0」と「1」の2進数で表現されるデジタルデータ) としてファイルに記録され、クラウドストレージへアップロードされる。その後診断処理にかけられるが、データの加工を容易にするため、バイナリデータを一旦テキスト形式のcsvファイルに変換した上で、その後の処理を実施する。テキスト形式に変換されたデータはその後、路面性状評価指標のIRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) を算出するための路面プロファイル (凹凸情報) とわだち掘れ量 (道路の車輪が通る部分が沈み込む深さ) を算出するための特徴量に加工され、結果ファイルとして出力される。

3.2.2 推論処理

このステップではセンサ処理にて算出された路面プロファイルと特徴量を基にIRIとわだち掘れ量の算出を行う。IRIは定義式に対して路面プロファイルを入力として算出を行い、わだち掘れ量は事前に学習した推論モデルを用いて値の推定を行う。

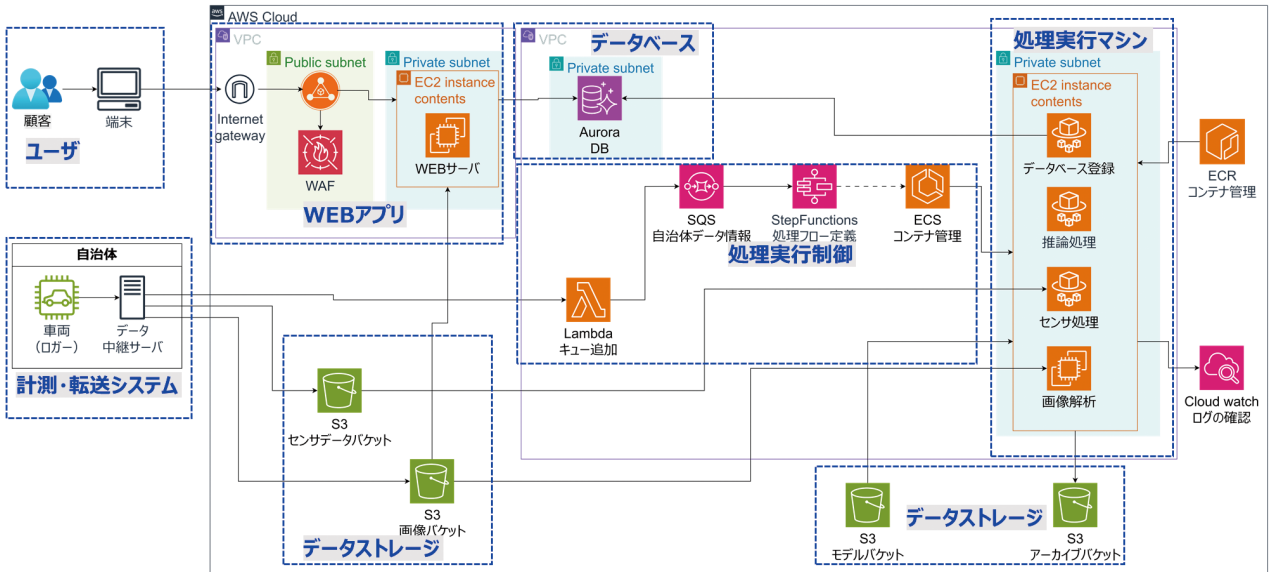


図6 クラウド診断システム概要図

3.2.3 画像解析処理

このステップではロガーに搭載された記録用カメラの画像から路面性状評価指標のひび割れ率（同路面の任意調査区間においてひび割れが占める割合）の算出を行うとともに、道路支障物として植生（樹木・雑草）の繁茂状態判定を行う。ひび割れ率の算出は事前に学習した深層学習モデルを用いてひび割れ部を検出し、鳥瞰変換を行って「舗装調査・試験法便覧」で定義されたメッシュに基づく方法にて算出を行う。植生の繁茂状態については深層学習モデルを用いて植生部と道路部を検出した後に相対位置関係から道路部への植生の侵食を判定するアルゴリズムを新規開発して判定を行っている。

3.2.4 データベース登録処理

このステップでは推論処理結果および画像解析処理結果を統合し、自治体の管理道路台帳と突き合わせた上でクラウド上のデータベースへ登録する処理を実施する。

を用意しており、一つが地図上への表示である。算出された診断結果はGPS座標が紐づいており、あらかじめデータベースに登録した道路管理台帳の路線データと突き合わせ、路線の結果として表示を行う。地図への結果表示例を図7に示す。路線データは管理のため100m毎にメートルポストとして区切り登録しているが、より細かい管理のために変更することも可能である。診断結果の地図表示には使用者のニーズに合わせた地図を制作することができるSaaS（Software as a Service）型地図開発プラットフォーム「Mapbox」を採用した。

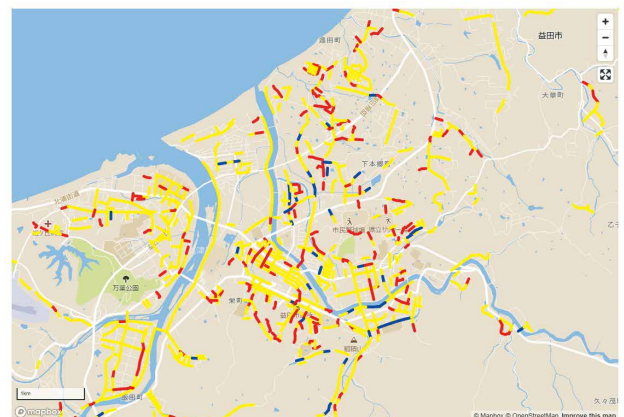


図7 診断結果地図表示例

4 WEBアプリケーションの開発

Version1では診断結果を可視化するために市販の地図ソフトを活用するなどしていたが、表示するデータの範囲や条件を柔軟に変更できないという問題点があった。またユーザが可視化のための地図ソフトを導入している必要があるためユーザビリティの観点でも問題があった。そのためVersion2では、診断結果を提供するためのWEBアプリケーションを開発し、ユーザへ提供することとした。

4.1 診断結果地図表示

路面性状評価指標の診断結果は2通りの表示形式

4.2 詳細結果ポップアップ表示

地図表示機能ではメートルポスト毎のレベル判定結果が三段階の色分け（青：損傷レベル小，黄：損傷レベル中，赤：損傷レベル大）で表示されるのみであるが、各指標の具体的な値や結果に紐づいた画像を確認したい場合には任意のメートルポストをク

リックすることで指標の統計量（最悪値，最良値，平均値，中央値）をポップアップ形式で確認することや結果に紐づいた画像を一覧で確認することができる。図8に詳細結果表示例を示す。

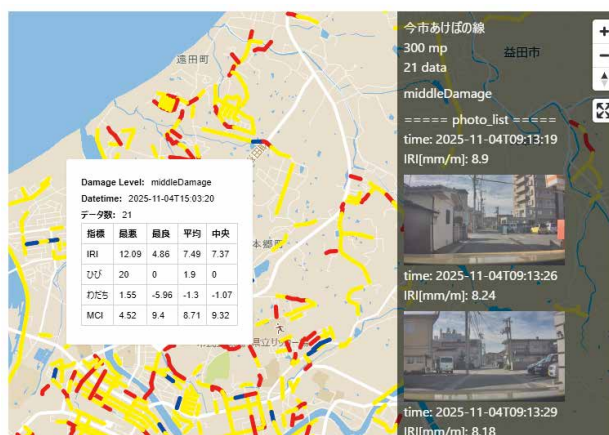


図8 詳細結果ポップアップ表示

4.3 診断結果リスト表示

診断結果のもう一つの表示形式としてリスト形式を用意した。これはメートルポスト単位の結果を表形式で表示し、計測日や診断結果の損傷度に応じて並べ替えができるようになっている。表示内容は地図表示と同じく指標の統計量（最悪値，最良値，平均値，中央値）を確認できるようにした。また結果はcsvに出力することができるので、各種帳票や補修計画策定へ活用を容易にしている。表4にリスト表示結果の例を示す。

表4 診断結果リスト表示例

路線名△	管理番号△	メートルポスト	指標	最悪値△	最良値△	平均値	中央値△	最新計測日△	損傷度(最悪値)
あけぼの有明線	2-260	0	IRI	15.85	3.32	7.52	3.38	2025/10/15	高
あけぼの有明線	2-260	100	IRI	5.92	3.39	4.37	4.0	2025/10/15	中
あけぼの有明線	2-260	200	IRI	5.36	2.84	4.35	4.43	2025/10/15	中
あけぼの有明線	2-260	300	IRI	15.65	7.85	11.93	11.82	2025/10/15	高
あけぼの有明線	2-260	400	IRI	16.08	3.97	12.24	12.96	2025/10/15	高
えびす丘団地線	2-212	0	IRI	15.85	3.31	12.07	12.3	2025/10/31	高
スクモ塚線	2-236	100	IRI	15.85	8.61	10.88	9.59	2025/10/31	高
スクモ塚線	2-236	200	IRI	15.85	8.41	14.24	15.85	2025/10/31	高
万福寺門前線	1-63	0	IRI	15.85	8.41	11.35	9.74	2025/10/30	高
三宅板倉線	1-66	0	IRI	15.85	4.03	7.8	5.49	2025/10/30	高

4.4 道路台帳表示

データベースに登録した道路台帳は自治体が管理する情報をもとに機械的に抽出・登録されるが、抽出の過程で欠損や誤登録が発生する可能性がある。また、道路は不定期に増減するため、情報の更新も必要である。そのため、登録されている路線データを表示する機能を作成し、メンテナンスを可能とした。道路台帳表示例を図9に示す。

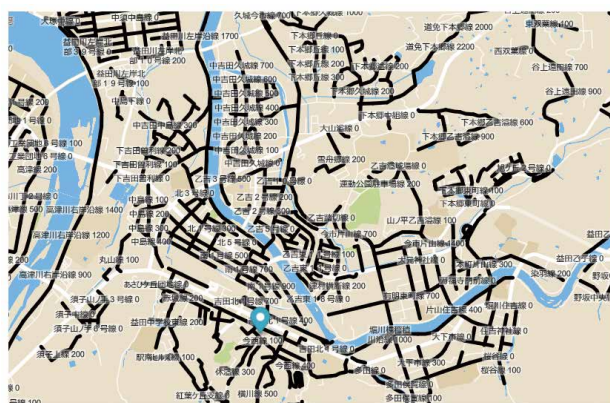


図9 道路台帳表示例

4.5 マップマッチング

診断結果に紐づいているGPSの座標情報は数～数十mの誤差を含む可能性があり、そのままメートルポストとの一致を判定すると、本来紐づくべき路線以外の路線として誤登録されてしまう可能性が大いにある。このためMapboxが提供するマップマッチングAPI (Application Programming Interface) を用い、実際の路線上の座標へと補正を行う。座標のマッチングはオープンソースの道路ネットワークデータであるOpenStreetMap上に登録されている路線データに対して行い、補正後の座標を用いてメートルポストとの一致判定をする。なお、自治体より提供のあった道路台帳データに対しても同様にマップマッチングを行い、道路ネットワークデータ上の座標に補正したうえで登録を行っている。図10にマップマッチングの概念図を示す。



図10 マップマッチングイメージ図

4.6 グリッドロケータ

マップマッチングの導入に伴い、診断結果一点一点に対し、どのメートルポストに属するかを判定する必要があるが、一日分の診断結果は平均で数千点におよび、メートルポストも自治体によっては数万点に上る。このように大量なデータ同士の一致を判定するためには膨大な計算コストがかかるため、効率化のためにグリッドロケータを導入することとした。グリッドロケータは、主にアマチュア無線で使われる位置情報の表記方法で、世界を緯度・経度に

基づいて格子状（グリッド）に分割し，その区画をアルファベットと数字の組み合わせで表す．これにより，簡潔なコードで地理的な位置を示すことができる．具体的には，地球全体を大きな領域に分け，それぞれに2文字のアルファベットを割り当てる．次にその領域を細かく分割し，2桁の数字で表す．これを繰り返すことでより詳細な位置を特定していく．通常6桁で数キロメートル単位の精度を持つが，本システムではこれを10桁に拡張し，数十メートル単位の精度で位置を特定できるようにした．これをメートルポストと合わせてデータベースに登録することにより，高速なメートルポスト検索ができるようになった．グリッドロケータの例として相模工場付近の位置を図11に示す．



図11 相模工場周辺のグリッドロケータ例

5 PR活動

事業化に向け，スマート道路モニタリング®の商標を整備し，ロゴタイプとシンボルを作成し，画面・筐体・配布資料における使用規定を定めた．

5.1 商標登録

スマート道路モニタリング®のブランド認知に当たり統一した呼称・名称の定義を行い，社内外に周知していくため商標登録を行った．これに伴い社外資料・画面・筐体での®表記運用を統一した．登録した商標の一覧を表5に示す．

表5 商標登録一覧

	名称	登録番号
1	スマート道路モニタリング	第6637121号
2	スマ道	第6637122号
3	SUMADO	第6637123号

5.2 ロゴの作成

商標と同じくブランド認知を目的としてロゴタイプとシンボルを作成した．ロゴの作成にあたっては同じ相模原市内に拠点を構える女子美術大学^{注4)}に協力を依頼し，美術専攻の学生にロゴシンボルおよび車両ステッカをデザインしていただいた．図12に作成したロゴデザインを，図13に車両ステッカを示す．ロゴデザインは数キロメートル離れた仲間の呼び声，足音，さらには差し迫った危険（例：捕食者や嵐）による地面の振動を足で捉えられるといわれる象をモチーフにSUMADOの“S”，“U”をそれぞれ鼻と耳に見立て，鼻は道路舗装，鼻先には検出をイメージしたエクスクラメーションマークを採用した．



図12 スマ道ロゴ

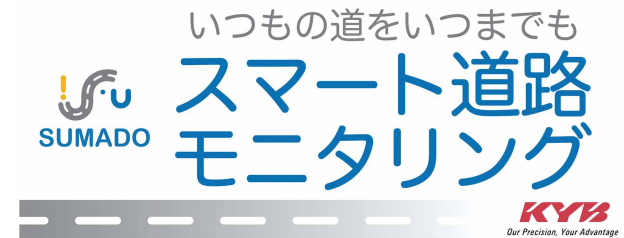


図13 車両ステッカ

作成したステッカは実証実験に協力いただいている自治体，企業の実装車両に貼り付けていただき，スマート道路モニタリング®の認知向上を図っている．

5.3 受賞履歴

対外PRの場として展示会への出展や社外の表彰制度，学会への発表を行ってきた．その中でいくつか表彰を受けたものがあるので，それらについて紹介する．

5.3.1 MCPCアワード

MCPC（モバイルコンピューティング推進コンソーシアム）が主催する「MCPCアワード」は，モバイルコンピューティング技術を活用した優れたソリューションやサービスを表彰する制度のことで，企業や団体が取り組む革新的な事例を広く紹介し，モバイル技術の普及・発展に寄与することを目的と

している。スマート道路モニタリング®は2021年のアワードに応募してAI&ロボット委員会特別賞を受賞することができた。

5.3.2 日本道路会議

日本道路会議は道路の行政、建設、維持管理、都市計画および道路交通に取り組んでいる全国の関係者等が参画して、道路に関する広範な問題について研究成果を発表し、意見を交換する日本最大の会議である。2025年に開催された第36回大会にて、前田道路株式会社^{注5)}が東京都府中市で行っている包括的道路等包括管理事業へのスマート道路モニタリング®適用事例を発表し、優秀賞を受賞することができた。

性を満たす見通しを得た。また積極的なPR活動などにより、ブランド整備も進めることができた。今後は有償サービス展開に向けて、自治体向けの実証実験を継続する中で路面性状評価指標の精度やユーザビリティの向上を図るとともに、道路舗装だけでなく地盤調査や道路周辺構造物の診断など付加価値の向上も推進していき、道路維持管理のトータルサービスとしての確立を目指していく。

最後に、本開発にあたり最初期からご協力いただいた島根県益田市の関係者様、追加の実証実験にご協力いただいた各自治体の関係者様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

注4) 神奈川県相模原市南区麻溝台1900(相模原キャンパス)

注5) 東京都品川区大崎1丁目11番3号

6 おわりに

スマート道路モニタリング®のVersion2は、計測システム、診断システムの各要素を統合的に改良するとともに、WEBアプリケーションの新規開発を完了し、事業化の要件である信頼性、保守性、拡張

参考文献

- 1) 高松, 首藤: スマート道路モニタリングシステムの開発. KYB技報第61号, (2020年10月)

著者



長谷部 敦俊

2009年入社。技術本部基盤技術研究所情報技術研究室。主にスマート道路モニタリング®の研究開発に従事。