道路維持管理の DX と EBPM にむけた舗装点検・道路巡回の AI 支援技術の構築と導入効果検証

日原　弘貴[1]・浅田　拓海[2]・亀山　修一[3]

[1]学生会員　室蘭工業大学　大学院工学研究科（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）
E-mail: 22041077@muroran-it.ac.jp

[2]正会員　室蘭工業大学 准教授　大学院工学研究科（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）
E-mail: asada@muroran-it.ac.jp

[3]正会員　北海道科学大学 教授　工学部都市環境学科（〒006-8585 北海道札幌市前田 7 条 15 丁目 4-1）
E-mail: kameyama@hus.ac.jp

昨今，道路インフラの長寿命化および予防保全にむけて，DX 導入によるメンテナンスサイクルの構築，EBPM を考慮したアセットマネジメントなどの施策が積極的に進められている．しかしながら，多くの道路では，関連予算や人員の制限により，上記の対応が遅れている現状がある．このような背景から，著者らは，舗装点検や道路巡視の効率化のために，市販カメラと AI を用いた様々な路面評価手法の開発を進めている．本研究では，上記の各手法を簡易型道路測定技術として統合し，既存技術との精度比較および大規模な実証実験を行い，その性能および導入効果について検証した．その結果，本技術は，既存の同型技術と同等以上の性能を有すること，点検費用と延べ作業人員数を 5〜8 割削減できること，多様な道路・交通施策に応用できることを明らかにした．

Key Words: *xROAD, DX, EBPM, pavement inspection, road patrole, deep learning, asset management*

1. はじめに

我が国では，高度経済成長期に建設された道路ストックの老朽化が進行し，修繕や更新の時期を迎えている．特に，管理延長が膨大である舗装においては，路面に損傷が発生することで，社会に多大なる影響が生じる．健全な状態を維持していくためには，アセットマネジメントの導入が必要不可欠である．すなわち，定期的かつ網羅的な舗装点検を行い，そのデータに基づいて LCC の最小化と平準化を図り，同時に，沿道住民や納税者に対する説明責任を果たしていくことが大きな課題となっている．このような重大な課題がある一方で，舗装維持管理費は 20 年前に比べて大幅に減少している．さらに，技術者不足も重なって，各自治体では，極めて厳しい体制の中で維持管理を行っている状況にある[1]．

効果的なアセットマネジメントの実現に向けて，国土交通省は，2016 年に舗装点検要領[2]を策定した．その中では，道路分類や舗装点検などの方法が定められ，分類 B に相当する直轄国道については，点検頻度を 5 年に 1 回程度以上とする「定期点検」を原則化された．また，分類 B のアスファルト舗装においては，ひび割れ率，IRI（International Roughness Index），わだち掘れ量の路面性状指標（以下，舗装 3 指標）に基づいて，管理基準を設定することが明記されている．さらに，これら舗装 3 指標に関する点検方法としては，「目視を基本としつつ，必要に応じて機器を用いることを妨げない」とされている．2021 年度の道路メンテナンス年報によれば，直轄国道では，2017 年から目視を基本とする舗装 3 指標に関する点検（以下，目視点検）が着々と進められ，2021 年度には全延長 59,267km の点検が完了し，現在，二巡目が進められている[3]．また，2022 年 5 月には，道路データプラットフォーム「xROAD」の構築の一環として，全国道路施設点検データベース[4]が公開された．このように，舗装維持管理においては，効果的なアセットマネジメントの実現にむけて，DX（Digital Transformation）や EBPM（Evidence Based Policy Making）が積極的に進められており，道路システムの効率化や高度化に大きく寄与しているところである．

しかしながら，上記のような目視点検では，コストや効率性に課題があり，今後，継続的に点検を進めることが難しいことが指摘されている．そこで，昨今では，機器を用いる方法に期待が高まっている．特に，市販デバイスと AI などの解析技術を組み合わせた低コストで簡易な舗装点検技術に関する研究，開発が活発化している．この状況を受けて，国土交通省は，道路インフラメンテナンスへの新技術の導入を促進することを目的に，点検に活用可能な技術をとりまとめた「点検支援技術性能カタログ（以下，点検技術カタログ）」を策定した [5]．舗装点検においては，2022 年度から公募が始まり，2023 年 3 月時点では，実道試験に合格した 13 技術が登録されている [6]．さらに，2023 年度には，直轄国道の舗装点検において，点検技術カタログに登録されている技術を活用することが原則化されたことから，今後，関連する研究，開発の勢いが一層強くなると予想される．

2023 年 3 月時点の点検技術カタログに記載されている 13 技術のうち，スマートフォンなどの市販機器を活用している技術（以下，簡易型道路測定技術）は 5 つあり，点検費用削減の面から期待されている．しかしながら，これらの多くは，舗装 3 指標すべてに対応しておらず別の技術の導入が必要なこと，精度が低い測定項目があること，民間企業による外製であることなど，導入，運用の面で多くの課題が残っている．また，実務に導入した場合に得られる効果が実証されておらず，道路管理者への有益な情報が整理されていない．加えて，多くの既存技術は，舗装点検や道路巡視の効率化が目的であり，道路・交通施策の高度化に応用，活用した事例は見受けられない．

このような背景から，著者らは，産官学の枠組みの中で，市販のアクションカメラと AI を用いた路面評価手法を開発 [7),8),9),10)]し，さらに，様々な道路・交通施策への応用 [11),12),13),14)]を進めている．現在では，舗装 3 指標を DL（Deep Learning）/ML（Machine Learning）により統合的に測定できる手法が実装済みである．2023 年度には，道路巡視版の点検技術カタログ [15)]の公募も開始したことから，道路区画線評価 [16),17)]やポットホール検知 [18),19)]などの AI 解析手法を構築しているところである．これらの舗装点検および道路巡視に関する測定手法を一つの簡易型道路測定技術として統合し，その性能や導入効果を示すことができれば，多くの道路での活用が進み，舗装維持管理の DX および EBPM のさらなる促進に寄与できる．

そこで，本研究では，著者らがこれまでに構築した路面評価手法を簡易型道路測定技術として統合し，さらに，実践レベルでの性能評価および導入効果の検証を行った．以降の構成は，次の通りである．第 2 章では，路上調査および各種の路面評価手法について，先行研究を引用しながら概説する．第 3 章では，点検技術カタログの実道試験に準じた精度検証および道路管理者の協力による大規模実証実験を行い，本技術の性能と導入効果を評価する．また，本技術を多様な道路・交通施策に応用できるように構築したクラウド型解析アプリについて紹介する．第 4 章では，得られた成果と課題について述べる．



図-1　本技術におけるカメラ設置状況

2. 本技術の概要

(1) 市販カメラと一般車両を用いた路面撮影

本技術では，**図-1** に示すように，市販の小型アクションカメラを一般車両のボンネットに設置する車載カメラ方式を採用しており，簡易かつ安全に路上調査を実施できる．カメラに採用した GoPro HERO 8 は，様々なセンサーが内蔵されており，動画撮影（60fps）と同時に，位置情報（20Hz），上下振動加速度（100Hz），走行速度（20Hz）の計測が可能である．これらのデータは，すべて動画ファイルに収録されるため，解析により，任意の距離間隔で静止画や各種データを抽出できる．

撮影時の走行速度の制限範囲は，30～80km/h であり，アクションカメラの特性から高速走行でも鮮明な画像が得られることを確認している．また，位置情報については，0.3m 程度の誤差であり，20～100m 単位で評価を行う舗装点検においては十分な精度である．

(2) 舗装点検に関する測定手法

a) U-net を用いたひび割れ率測定 [7)]

舗装ひび割れの検知に関する既存技術では，深層学習の代表的なアルゴリズムである CNN（Convolutional Neural Network）や YOLO（You Only Look Once）を用いて，正方形領域毎にひび割れの有無を判別，検出する場合がほとんどである．しかしながら，そのようなアプローチでは，手書きスケッチをベースとする従来手法 [20)]の再現が困難であり，ひび割れ率の測定精度に限界がある．そこで，

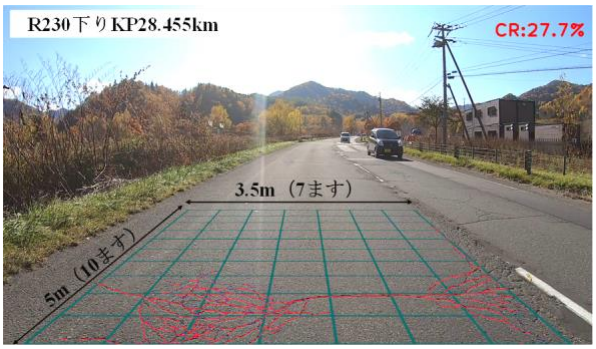


図-2　U-net 法によるひび割れスケッチ結果の例

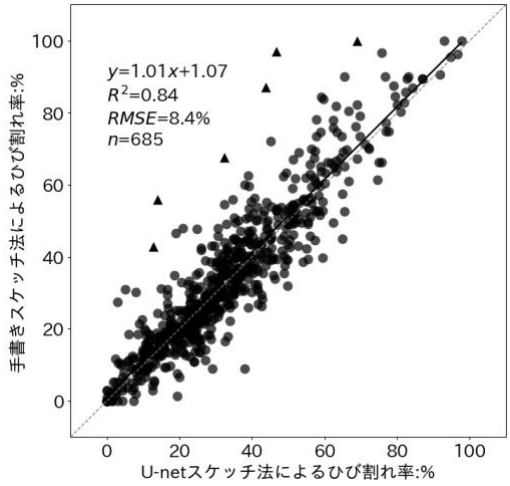


図-3　本手法と従来手法のひび割れ率の関係 [7]

著者らは，先行研究において，セマンティックセグメンテーションの一つである U-net を導入した．U-net は，CNN を拡張した FCN（fully convolution network）の一つであり，医療分野において多く採用されている．この U-net を路面画像に適用することで，ピクセルレベルのひび割れ検出（図-2）が約 0.18 秒/枚できること，算出されるひび割れ率が，従来手法の場合との決定係数が 0.84 となること（図-3）を確認済みである．

b) マルチモーダル AI を用いた IRI 推定 [8]

既存技術では，スマホ等により測定した加速度データから IRI を推定する方法が主流である．しかし，そのような車体挙動だけに頼る方法では推定精度に限界がある．そこで，著者らの先行研究では，車載カメラから得られる路面画像，走行速度，振動加速度の複数種類のデータから IRI を推定する機械学習モデルを構築した．

モデルの学習と検証には，広く実践導入されている路面性状測定車と簡易 IRI 測定装置 STAMPER による IRI データを正解値として用いた．その結果，線形回帰型の機械学習モデルである Elastic Net を用いることで，高い汎化性能が得られることを明らかにした．本手法と従来手法（STAMPER）の IRI プロファイルを図-3 に示す．両者は類似した値を示し，本手法では，IRI が大きい箇所を的確に検出できることがわかる．

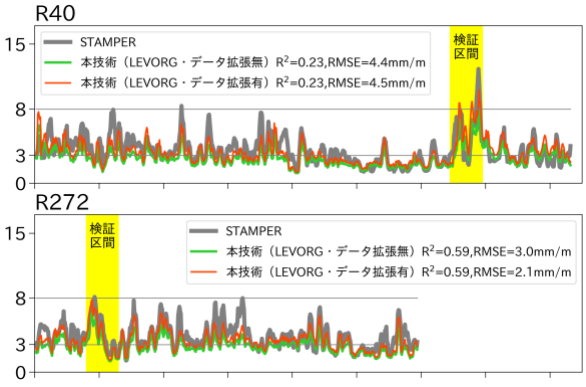


図-4　本手法と従来手法の IRI の比較 [8]



図-5　平滑化処理を用いたわだち掘れ量測定

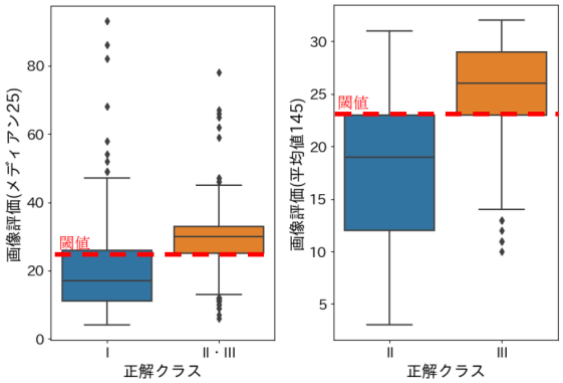


図-6　本手法によるわだち掘れ量と目視判定の比較 [9]

c) 画像平滑化を用いたわだち掘れ量 3 段階評価 [9]

ひび割れ率と同様に，わだち掘れ量も，画像と深層学習による推定が主流である．しかし，改質 II 型 [21]の舗装の普及により，現在では，わだち掘れが大きい路面が極めて少ないため，教師データを揃えることが困難である．そこで，著者らは，基本的な画像処理を用いた評価方法を検討している．

具体的には，図-5 に示すように，まず，路面画像から

分析領域を抽出し，平滑化処理により細かいノイズを除去する．次に，横断方向の明度プロファイルを縦断方向に 1px 毎に描いて明度レンジが最小となる位置を検出し，その時の最小明度レンジでわだち掘れ量を評価する．目視で 3 段階評価を行った 300 枚の画像を用いて，損傷レベルを適切に評価できる平滑化処理について比較した．その結果，**図-6** に示すように，区分 I と II 以上の判別は，サイズ 25px のメディアンフィルタにより算出される最小明度レンジの閾値を 22 とした場合に良好となることがわかった．また，区分 II と III の判別は，サイズ 145px の平均値フィルタによる最小明度レンジの閾値を 23 とした場合に良好となった．したがって，これらの平滑化方法と閾値を用いて，わだち掘れ量を 3 段階で評価する．

(3) 道路巡視に関する測定手法

a) CNN を用いた道路区画線の剥離率推定手法 [17]

著者らは，過去の研究において，市販の一眼レフデジタルカメラを一般車両に設置し，20m 間隔で撮影した画像から区画線の剥離率を測定する手法を開発した [16]．2016 年度には NETIS に登録され，それ以降，道内の一般国道の区画線調査において数多く採用されている [22]．しかし，デバイス設置の手間や測定精度に課題があったことから，AI を用いた手法を構築した．具体的には，CNN によるクラス判別確率の内積を用いて剥離率を推定する．

本手法と従来手法の剥離率の関係を**図-7** に示す．従来手法では，目視によって 2 値化処理を行った画像から剥離率を算出する．決定係数は 0.83 となり，本手法により精度良く剥離率を測定できることが確認できる．

b) 顕著性マップ推定を用いたポットホール評価手法 [19]

昨今，ポットホールが頻発し，交通安全性・快適性の面から社会的な問題になっている．舗装の老朽化と気候変動の影響から，今後は，多くの地域で発生が増えることが予想されている．そのため，高頻度な道路巡視および優先順位に基づいた計画的な補修が求められている．AI を用いた既存技術では，単純な CNN や YOLO により，ポットホールを検知するアプローチがほとんどである．しかし，それでは，降雪や路面湿潤などのノイズの多い融雪期を対象とする場合，複雑かつ範囲の大きいポットホールの検知，さらには優先順位を付けるための損傷度を評価することは難しい．そこで，著者らは，CNN と顕著性マップ推定を用いたポットホール路面の検知および損傷度を評価する手法を構築している．

図-8 に示すように，本手法では，ポットホールが発生している領域を細かく抽出，可視化でき，さらに，その領域の面積と画像特徴量から損傷度を評価できる．測定精度については，現在，正解データを収集し，検証を進めているところである

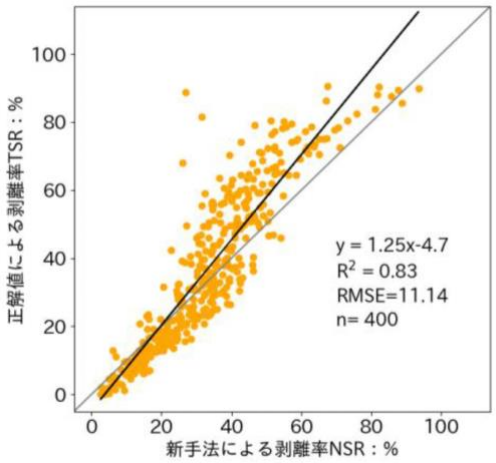


図-7 本手法と従来手法の道路区画線剥離率の比較 [17]

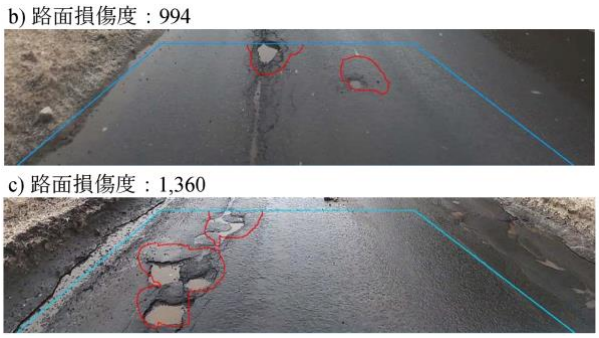


図-8 本手法によるポットホールの抽出と損傷度評価 [19]

表-1 舗装点検基本 3 指標による診断区分

損傷レベル	I	II	III
診断区分	健全	表層機能保持段階	修繕段階
ひび割れ率：%	0～20	20～40	40～
IRI：mm/m	0～3	3～8	8～
わだち掘れ量：mm	0～20	20～40	40～

3. 本技術の性能と応用可能性

(1) 点検技術カタログの実道試験に準じた精度検証

点検支援技術性能カタログ「舗装編」では，現在，本技術と同様に市販デバイスを活用している簡易型道路測定技術が 5 つ登録されている．本研究では，これら既存技術との精度比較により，本技術の妥当性と有効性を明らかにする．測定精度の比較については，点検技術カタログにおける実道試験に準じる方法で精度評価を行った．以下に，精度評価の方法を示す．

点検技術カタログの実道試験では，試験区間を一定の距離間隔でブロック分割し，その正解値と提案技術による推定値のデータから「検出率」と「的中率」を算出している．具体的には，まず，**表-1** に示すように，測定値を I，II，III の 3 段階で区分する．次に，各ブロックの正

解値と推定値を整理し，**図-9** に示すように，両者が一致する「正答ブロック」を抽出する．点検技術カタログでは，目視点検と同等な精度を求めており，正解値に誤差が含まれていることを考慮にした「幅値」を導入 [5]しており，本研究でもこれに準じて，推定値に指定された一定の誤差があっても正答となるように調整した．最後に，上記のデータから検出率と的中率を算出する．検出率区分 X 以上（X+）は，正解値で区分 X 以上となるブロックの内，推定値でも X 以上となった正答ブロックの割合であり，提案技術による見落としの少なさを評価する．的中率 X+は，推定値で区分 X 以上となったブロックの内，正解値でも区分 X 以上となった正答ブロックの割合であり，提案技術による誤検知の少なさを評価する．なお，本技術の検証に用いる正解データは，ひび割れ率は路面性状測定車による撮影画像を用いた手動スケッチによる値（大成ロテックより提供），IRI は STAMPER による測定値（大成ロテックより提供），わだち掘れ量は現場路面での水準測量による測定値（道路管理者より提供）である．

本手法と既存技術の性能を**表-2** に示す．ここでは，公開されている点検技術カタログと同様に，各精度を，A（90～100%），B（80～90%），C（70～80%），D（60～70%），E（0～60%）の 5 段階で記載している．なお，試験の結果，評価が E となった点検項目は，点検技術カタログに記載されない取り決めとなっている．

ひび割れ率については，検出率 II+は最高ランクの A，それ以外は B となった．的中率 II+と III は，既存技術①，②より 1 段階低いが，もっとも重要な指標である検出率 III については，1 あるいは 2 段階高い評価が得られている．本技術では，U-net によるピクセルレベルでの検出となるため，ひび割れの見逃しが少ないことがメリットと言える．

IRI については，検出率 II+と的中率 II+はランク A となり，既存技術と同等以上の精度となった．検出率 III と的中率 III については，既存技術ではどちらかがランク A となるものがあるが，残りが D となるトレードオフが生じている．これに対し，本技術では，どちらもランク B であることから，見落としと誤検知がともに少ない，バランスの良い測定が可能と言える．

わだち掘れ量に関しては，検出率 II+はランク A となったが，的中率 II+は E となった．また，区分 III の正解データが得られていないため，検出率 III と的中率 III の検証は行っていない．既存技術においても，測定対象としていない場合や，全指標がランク E となっており，このような市販デバイスを用いたわだち掘れ量の評価は極めて難しいことがわかる．今後は，ラインレーザー設置による基準線の撮影や，2 時点画像を用いたステレオ深度推定 [10]などを検討し，精度向上を目指す．

推定区分	III	III	I	II	I	II	II	II	III	I	計算
正解区分（値）	III (43)	II (38)	I (19)	III (43)	II (21)	I (7)	II (38)	II (29)	II (34)	III (41)	正答ブロック数 / 対象ブロック数
検出率 II+	正答	正答		正答	正答		正答	正答	正答	見落	7/8→37.5%
検出率 III	正答			正答						見落	2/3→66.7%
的中率 II+	正答	正答		正答		誤検知	正答	正答	正答		6/7→85.7%
的中率 III	正答	正答							正答		3/3→100%

※空欄は評価の非対象ブロック
※下線は幅値考慮の場合の正答ブロック

図-9　幅値を考慮した精度評価方法（ひび割れ率の場合）

表-2　本技術と既存技術の性能比較

ひび割れ率	本技術	技術①	技術②	技術③	技術④	技術⑤
	n=500	n=100	n=100		n=100	n=100
検出率II＋	A	B	A	非対応	E	E
的中率II＋	B	A	A		E	E
検出率III	B	D	C		E	E
的中率III	B	A	A		E	E

IRI	本技術	技術①	技術②	技術③	技術④	技術⑤
	n=250	n=100		n=100	n=100	n=100
検出率II＋	A	C	非対応	A	C	C
的中率II＋	A	D		A	A	A
検出率III	B	D		A	D	D
的中率III	B	D		D	A	A

わだち掘れ量	本技術	技術①	技術②	技術③	技術④	技術⑤
	n=100	n=100	n=100			
検出率II＋	A	E	E	非対応	非対応	非対応
的中率II＋	E	E	E			
検出率III	未検証	E	E			
的中率III	未検証	E	E			

※A：90～100%, B：80～90%, C：70～80%, D：60～70%, E：0～60%
※IRIの評価単位長は，本技術は100m，既存技術は10mである．



図-10　従来の目視点検と本技術による AI 点検の比較 [23]

(2)　大規模実証実験による導入効果の検証

北海道開発局では，約 6,900m（中心線延長）の一般国道を管理しており，舗装点検要領における道路分類 B に位置づけて，5 年に 1 度の頻度での舗装点検（定期点検）を行っている．2017 年度から 2021 年度までの定期点検 1 巡目では，路面性状測定車による「機械点検」および車上・徒歩での「目視点検」が実施されてきた．しかしながら，そのような従来点検では，効率性および点検費用の面から，今後の継続的な実施が難しいことが指摘されている．このような背景から，現在，本技術を「HibiMiru」と称してシステム構築を行い，これを用いた「AI 点検」の本格運用が検討されているところである（**図-10**）．その中で，2022 年度には，HibiMiru の試行と

して大規模な実証実験が実施された[23]．この試行では，全開発建設部の 26 事務所の協力により，合計 1,400km（車線延長）において AI 点検が実施された．さらに，HibiMiru の導入効果や現場の要望や課題を確認するため，全事務所を対象に「点検費用」「延べ作業人員」「個別意見」からなるヒアリング調査が試行期間直後に実施された．本研究においては，上記の調査結果を集計し，分析を行った．点検費用および延べ作業人員については，定期点検 1 巡目における機械点検および目視点検の実績との比較を行った．なお，HibiMiru では，カメラ購入や道路リンクデータ構築に関する初期費用がかかるが，各種処理を行う PC アプリは無償提供であるためランニングコストは極めて小さい．

まず，点検費用については，**図-11** に示すように，AI 点検では 66 万円/100km となり，機械点検に比べて約 8 割，目視点検については約 5 割 の削減となった．今回の試行は初めての導入であるため，上記の初期費用が計上されているが，運用が進めばこれらが不要になることから，点検費用の削減効果はさらに大きくなると考えられる．

次に，延べ作業人員については，**図-12** に示すように，14 人日/100km となり，機械点検，目視点検に比べてそれぞれ約 8 割，約 6 割 の削減となり，大幅な省力化が実現された．この延べ作業人員については，事務所によってばらつきが大きいと考えられるため，その分布を確認した（**図-13**）．膨大な路面画像を用いたひび割れスケッチ・本数判定を行う機械点検では，50 人日/100km 以上となった事務所が 7 割以上を占めた．目視点検では，目視や体感により舗装 3 指標を簡易的に評価することから，上記のような大きな延べ作業人員となった事務所は激減している．AI 点検では，PC アプリによって路面評価や帳票作成の各処理が自動化されるため，さらに効率的となり，20 人日/100km 以下となった割合が大きく，特に，5 人日/100km 以下となった事務所が 2 つあった．ただし，30～70 人日/100km となった事務所が 1 割程度あった．この差は，新しい技術の導入に対する担当者の対応力や修練度によって生じたものと思われる．今後，運用が進んで修練度が上がれば，延べ作業人員は 5 人日/100km 程度に収束するか，さらなる低下も期待できる．

最後に，個別意見については，導入効果および課題に関するコメントが全事務所から合計96件が得られた．導入効果については，全 26 事務所のうち 17 事務所から肯定的なコメントが得られた．これらのコメントを**表-3** に示す．AI 点検全体に関するコメントとしては，調達が容易であること，作業時間短縮により費用縮減につながることなどが挙げられた．市販カメラを用いた路上調査については，簡易であること，効率的であること，路上作業がないため安全性が高いことなどのコメントがあった．PC アプリについては，舗装 3 指標の評価や帳票作成の自

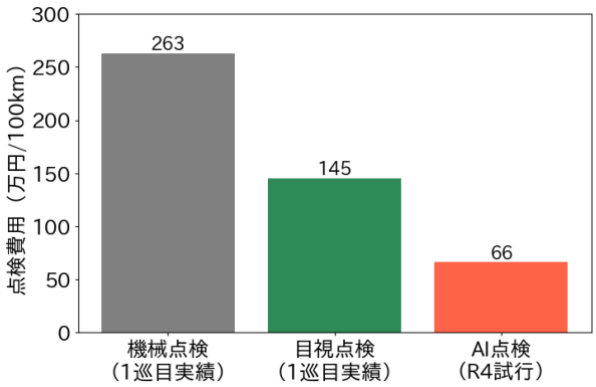


図-11　従来点検と本技術の点検費用の比較

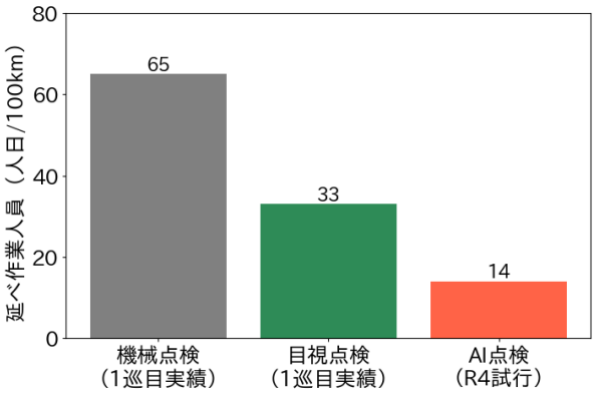


図-12　従来点検と本技術の延べ作業人員の比較

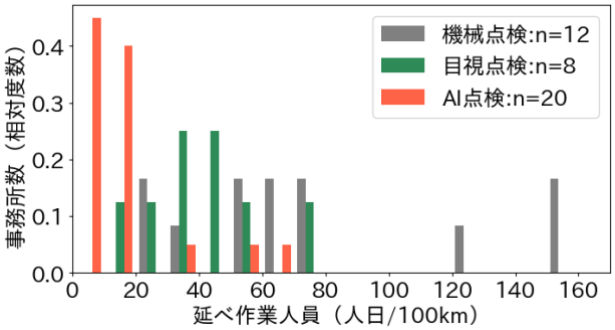


図-13　延べ作業人員の分布

表-3　導入効果に関する全コメント

対象	意見
全体	調達しやすい.
	路面性状測定車の手配が不要となり, 調査が容易.
	従来点検では, 路面性状自動測定車輌の調達に運搬経費が生じることなどから経費が高い.
	作業時間短縮により費用の縮減が可能になる.
調査	現地作業が動画撮影のみとなり, 作業軽減が図られる.
	特殊な機械を必要とせず, 専門知識がなくとも活用できる.
	路上作業が基本的に無いため, 事故リスクが少なく従来技術より安全性が高い.
	徒歩による現地調査から車両にセットしたGoProによる撮影になることで時間短縮, コスト縮減が期待できる.
	機器設備が簡易で扱いやすい.
	撮影方法が容易である.
	軽微な機材による撮影で, 汎用性や作業性が良い.
アプリ	自動解析中は, 他のことができる.
	自動解析による作業時間の短縮, 効率化.
	写真入りの帳票作成が数分で可能で特に作業時間が短縮する部分と思われる.
	AIによる解析・評価機能・帳票の自動出力機能により内業時間の短縮が可能.
	舗装の損傷状況を撮影画像から確認可能.
	作業時間が従来より大幅に削減できる.
	AI評価による作業簡略化で, 作業人員削減.

動化により作業時間の短縮や効率化が得られること，他の業務に時間を充てられること，撮影動画の視聴により路面を状況を目視で確認できることなど，他の既存技術や民間サービスにはない HibiMiru のメリットについても評価された．上記のコメントにもあるように，インフラの点検・診断においては，AI は支援的役割であり，最終的には専門知 [24]や経験に基づく評価が必要である．そのため，HibiMiru では，目視点検 [25]を行うツールを組み込み，評価の確認，修正を可能としている．

以上のことから，本技術を搭載した HibiMiru は，従来点検に比べて，点検費用および延べ作業人員を 5〜8 割削減できることに加えて，現場の要望をおおよそ満たしていることがわかった．

ただし，一方，課題に関する意見も複数得られている．例えば，低スペックの PC だと解析時間が長くなること，トンネル区間では位置情報が得られないため路面評価が難しいこと，動画データが重いこと，などが挙げられている．また，舗装 3 指標のうち，特に，わだち掘れ量については，精度の不足について幾つかの事務所から指摘があった．今後は，さらなる省力化を目指すため，点検実績データを活用して，各モデルの精度向上を目指す．また，上記のような現場意見を反映しながら改善しつつ，多くの一般国道，都道府県道，市町村道を対象に水平展開を進め，我が国の道路維持管理の DX および EBPM の促進に貢献したい．

(3) クラウド型解析アプリ

上記の HibiMiru は，舗装点検と道路巡視の効率化を目的に開発，実用化されている．著者らは，これとは別に，本技術を様々な調査，研究，道路・交通施策に応用できるように，クラウド型解析アプリを構築している．開発環境は，Google Colaboratory（言語は Python）であり，データの入出力は Google Drive 上で行う形式である．

本アプリは，「データ管理」「モデル構築」「道路評価」3 つのセクションで構成される．データ管理セクションでは，車載カメラで撮影した動画データを GoogleDrive 上の指定フォルダに格納する．共有機能を利用して，時間や場所に関係なくデータをアップロードし，クラウド上で操作，解析が可能である．モデル構築セクションでは，AI モデル等の学習やテストを行う．Colab では，GPU を利用できるため，高速なモデル学習が実現できる．なお，アノテーションについては，ローカルで動く別アプリを Streamlit により構築している．道路評価セクションでは，上記で構築したモデルを動画データに適用し，対象路線の道路状況を評価する．評価後の結果はクラウド上のフォルダに保存され，CSV 形式に加えて，HTML や KML 形式のデジタルマップとして出力できる．**図-14** に示すように，上記マップでは，クラウド上にある画像の URL がテキストリンク化されており，任意の地点の評価結果を容易に確認できる．



図-14　本技術を用いた舗装点検結果と可視化の例

著者らは，現在，本アプリを活用して，救急搬送路線の舗装修繕シナリオ分析 [12]，積雪寒冷地のひび割れ損傷特性の分析 [13]，大規模サイクルルートの自転車走行路面の安全性評価 [14]など様々な研究を進めている．このように，本技術は，舗装点検や道路巡視の効率化だけではなく，道路・交通施策の高度化につながる多様な調査，分析，研究に応用可能である．

4. まとめ

本研究では，著者らがこれまでに構築した路面評価手法を簡易型道路測定技術として統合し，さらに，実践レベルでの性能評価および導入効果の検証を行った．得られた成果と課題を以下に示す．

- 本技術では，市販カメラから得られる動画，上下振動加速度，走行速度などのデータに AI や画像処理を適用することで，ひび割れ率，IRI，わだち掘れ量の舗装 3 指標を同時に評価できる．また，道路巡視に関する項目として，道路区画線の剥離やポットホール路面の検知，評価も可能である．
- 点検支援技術性能カタログの実道試験方法に準じて測定精度の評価を行った．その結果，本技術は，既存の同型技術と同等以上の性能を有することを明らかにした．
- 道路管理者の協力の下で，大規模実証実験を実施した．その結果，本技術（HibiMiru）を用いた AI 点検を導入することで，従来の機械点検や目視点検に比較して，点検費用および延べ作業人員が 5〜8 割削減できることを示した．
- クラウド型解析アプリを用いた多様な調査，分析の事例を紹介し，本技術は，舗装点検や道路巡視の効率化だけではなく，多様な道路・交通施策に応用できることを示した．

以上より，本技術を導入することで，舗装点検の低コスト化，省力化が可能であり，今後の道路維持管理の DX および EBPM の促進に大きく貢献できると言える．ただし，測定精度や PC アプリに若干の課題が残る．今後の運用により得られる現場意見や点検実績を活用しながら，改善を進めていく．

謝辞：ひび割れ率および IRI の精度検証のための正解データは，大成ロテック株式会社から提供いただいた．また，本技術を用いたデータ収集は，株式会社ドーコンにご協力いただいた．導入効果に関するヒアリング調査データについては，北海道開発局建設部道路建設課および道路維持課から提供いただいた．ここに記して感謝の意を表する．本研究は，JSPS 科研費 JP22K04360 の助成を受けたものです．

参考文献

1) 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術文科会議術部：市町村における持続的な社会資本メンテナンス体制の確立を目指して，2015.
2) 国土交通省：舗装点検要領，2016.
3) 国土交通省：道路メンテナンス年報（令和 3 年度・2 巡目），2022.
4) 国土交通省：全国道路施設点検データベースの現状と今後，第 7 回道路技術懇談会資料 1，2023.
5) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ（令和 5 年 3 月時点），2023.
6) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ【舗装編（ひび割れ率，わだち掘れ量，IRI）】 掲載技術一覧，2023.
7) 浅田拓海，居駒薫樹，長屋弘司，亀山修一：U-net によるひび割れスケッチを導入した簡易カメラ搭載型舗装点検の精度検証，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.76，No.2， pp.I_123-I_131，2020.
8) 浅田拓海，布広祥平，後藤宏行，城本政一，亀山修一：マルチモーダル AI を用いた簡易カメラ搭載型 IRI 測定技術の開発，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.78，No2，pp.I_191-I_199，2023.
9) 石塚椿，浅田拓海：市販カメラを用いた舗装わだち掘れ評価手法に関する基礎的研究，土木学会北海道支部論文報告集，2022.
10) 石谷達也，浅田拓海：アクションカメラとステレオ深度推定を用いたわだち掘れ評価手法の構築，土木学会北海道支部論文報告集，2023.
11) 浅田拓海，可知宏太，有村幹治：生活道路の舗装修繕トリアージに向けた舗装劣化箇所の面的抽出手法の構築，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.76，No.5，pp.I_85-I_92，2021.
12) 浅田拓海，布広祥平，佐々木博，城本政一，亀山修一：救急車走行と路面性状の統合調査に基づく舗装修繕シナリオ別の救急搬送時間推計，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.77，No.5，pp.I_511-I_519，2022.
13) 長屋弘司，浅田拓海，亀山修一：説明可能な AI を用いた舗装のひび割れ発生原因判別手法の開発，土木学会論文 集 E1（舗装工学），Vol.77，No.1，pp.28-38，2021.
14) 柳澤ひかり，日原弘貴，浅田拓海，小島真実：舗装診断 AI を用いた大規模サイクルルートの路面損傷原因のネットワークレベル分析，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vol.67，2023.
15) 国土交通省：「舗装点検，道路巡視の支援技術」を公募します～点検支援技術性能カタログの充実を図り，新技術の活用を促進～，2023.
16) 浅田拓海，亀山修一：走行車両から撮影した画像を用いた道路区画線診断方法の開発，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.4，pp.I_358-I_368，2012.
17) 京藤将護，浅田拓海：深層学習を用いた道路区画線診断技術の精度検証，土木学会北海道支部論文報告集，2023.
18) 日原弘貴，浅田拓海，後藤宏行，亀山修一：冬期の路面画像と深層学習を用いた ポットホール損傷評価手法の構築：土木学会舗装工学講演会，第 27 回舗装工学講演会概要集，2022.
19) 日原弘貴，浅田拓海，後藤宏行，亀山修一：深層学習と顕著性マップ推定を用いた冬季路面損傷の簡易モニタリング手法：土木学会舗装工学講演会，第 28 回舗装工学講演会概要集，2023.
20) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧第 1 分冊，2007.
21) 前原弘宣，高橋修，大久保美里：ポリマー改質アスファルトを用いた混合物の劣化および疲労特性，土木学会舗装工学論文集第 11 巻，2006.
22) 新技術情報提供システム（NETIS）：走行式道路区画線診断システム，2016 年登録
23) 北海道開発局：積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化および予防保全に関する検討委員会，第 4 回配布資料，2022.
24) 杉崎光一，阿部雅人，山根達郎，全邦釘：インフラメンテナンスにおける専門知の構造，AI・データサイエンス論文集，Vol. 2，No. J2，pp. 8-19，2021.
25) 亀山修一，金森弘晃，井上昌幸，浅田拓海，川端伸一郎：土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol. 71，No. 3 号，pp. I_25- I_30，2015.