

積雪寒冷地におけるETC2.0を活用した効果的な道路維持管理の検討

—冬期道路維持管理の取組強化策の検討—

建設部 道路維持課 ○前田 優
建設部 道路維持課 谷野 淳
建設部 道路維持課 坂 憲浩

ETC2.0システムは専用の車載器を搭載した車両から走行履歴や挙動履歴等（以下、プローブデータ）を収集する機能を持ち、プローブデータは渋滞情報や交通事故分析等の道路施策に活用されている。北海道では路面凍結・地吹雪・豪雪など、積雪寒冷な気象条件が安全・円滑な道路交通の障害となっている。本稿では積雪寒冷地におけるETC2.0を活用した効果的な道路維持管理の概要と今後の展望について紹介する。

キーワード：ETC2.0、積雪寒冷地、道路維持管理

1. はじめに

ETC2.0は、車に搭載した車載器と道路に設置した路側機の間で大量の通信を行う技術で、車載器には車両の走行履歴や挙動履歴等（プローブデータ）が蓄積され、車両が路側機の下を通過する際にプローブデータが吸い上げられるとともに、路側機から車載器に道路情報を提供する仕組みである。全国のETC2.0車載器の普及台数は令和3年4月時点で約639万台、路側機は高速道路で約1,800箇所、直轄国道で約2,300箇所に設置されている（図-1）。

これにより、道路利用者は経路上の渋滞情報や事故多発箇所の注意喚起といった情報提供を受けることができるほか（図-1）、道路管理者は収集したデータを使って交通安全対策、渋滞対策、物流効率化支援策、災害時の通行可否情報（通れるマップ）の作成による救援活動支援といった活用が全国的に実装・検討されている。



図-1 ETC2.0の仕組み

積雪寒冷地である北海道は路面凍結・地吹雪・豪雪など、地域特有の気象条件が安全・円滑な道路交通の障害となっていることから、北海道開発局ではこれまででもプローブデータを活用することでスリップ挙動の可視化や排雪時期の適正化による冬期道路維持管理の効率化・高度化に向けた検討を進めている。

一方で、近年、全国的に気象の激甚化が進行しており、北海道でも平成30年3月に大雪・暴風雪の影響により道内全域（26路線45区間）で通行止めが発生した（図-2）。



図-2 H30.3 北海道全域で発生した激甚な大雪・暴風雪災害

これらを踏まえて国土交通省では「冬期道路交通確保交通対策検討委員会」から「大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ（令和3年3月改訂）」が提言され、大雪に対する道路交通への障害を減らすための方策として、「情報収集・提供の工夫」「新技術の積極的な活用」等の対策が示された。

本稿ではETC2.0を活用した冬期道路管理のこれまでの検証結果および取組状況を報告するとともに、大雪時の道路交通確保に向け、より効果的・効率的な冬期道路管理を可能とする取組強化策の展望について紹介する。

2. スリップ挙動の可視化による冬期路面管理

(1) 冬期路面管理の現状と課題

北海道ではスリップ事故等を防止するため、凍結防止剤の散布等による冬期路面管理を実施している。散布作業の実施判断や散布量の調整等は、オペレータの経験に頼っている場面が多いことが現状であるが、建設業界の人手不足、高齢化による熟練技術者の減少が深刻な問題となっており、オペレータの熟練度に頼らない客観的なデータに基づいた冬期路面管理手法の確立が必要である。

このような背景から、北海道開発局ではETC2.0を活用した冬期路面管理手法について検討を行ってきた。

(2) ETC2.0によるスリップデータ取得のメカニズム

ETC2.0では、①前後加速度、②左右加速度、③ヨー角速度の3種類が挙動履歴データとして記録される。また、スリップとは、図-3のように摩擦係数の小さい雪・氷で覆われた冬期路面で、タイヤはグリップ性能を失い、車体のコントロールが利かない状態になることをいう。



図-3 スリップ発生状況

近年の車両の多くには、急ブレーキによるタイヤのロックを防止する機能であるアンチロック・ブレーキ・システム（以下、ABS）が装備されている。例えば冬期の凍結路面にてABSが作動する場合、車体には通常の急ブレーキ時（例えば減速度0.25G以上）よりも小さな減速度しか発生せず、表-1に示すETC2.0のデータとして記録される加速度挙動は計測されない。このことから、ETC2.0挙動履歴データからスリップを検出することは難しいとされていた。

表-1 ETC2.0 挙動履歴が記録される閾値

項目	閾値
前後加速度	-0.25G
左右加速度	±0.25G
ヨー角速度	±8.5deg/sec

しかし、ETC2.0挙動履歴は機器を作製するメーカーによって異なっており、加速度計測方法は図-4のように「加速度センサ方式」と「車速パルス方式」の2通りの方法がある。「加速度センサ方式」は、車体の動きから加速

度を抽出するため、前述したようにETC2.0で記録されるような急加速度は計測されないことから、スリップを検出できる可能性は低いと推察される。一方、「車速パルス方式」は、タイヤの回転量の変化から加速度を計測している。そのため、ABSが作動したとしても、スリップ時にタイヤが瞬間的にロックに近い状態となり回転量が急に小さくなる状態が発生すると、タイヤ単体での挙動ではあたかも急減速しているような値が計測されるため、ETC2.0では大きな減速度として記録されることから、この挙動を捉えることで、スリップを検出できる可能性がある」と推察される。



図-4 加速度計測方法

以上の仮説を踏まえ、加速度計測方法の違いによる、スリップ時のETC2.0挙動履歴データを分析することにより、「車速パルス方式」のETC2.0にてスリップを検出するための手法構築を目指した。

(3) スリップ検出手法の構築

a) 実証実験

平成30年度に2度の実証実験を行った。夏期に冬期路面が再現可能な低μ路を有する「(財)日本自動車研究所 城里テストコース」（茨城県）と、「国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 苫小牧寒地試験道路」の実際の冬期路面にて実施した。

実験内容は計測方法の異なる「加速度センサ方式」と「車速パルス方式」の車載器及びナビをそれぞれ設置した実験車両で、冬期路面において、急ブレーキ時、発進時、カーブ走行時のスリップ時に、ETC2.0挙動履歴データが記録されるかの実証実験を行った。

b) 実証実験結果

急ブレーキ時および発進時は、車速パルス方式の車載器及びナビで0.5Gを超える急減速が記録された。なお、加速度センサ方式の車載器及びナビでは、挙動履歴の記録はされなかった。

カーブ走行も同様に車速パルス方式のみ、スリップ挙動が左右加速度やヨー角速度が短い間隔で記録された。これはスリップ発生時に横滑りした車体を立て直すためのハンドル操作が短時間に連続で記録されるためである。つまり、カーブ走行ではスリップをしなくても前後加速度及びヨー角速度が1回のみ記録されてしまうが、スリップの場合は短い間隔で連続的に発生した。

表-2 スリップ検出ロジック

	急ブレーキ (ABS 作動時)	発進時 (タイヤ空転時)	カーブ走行 (横滑り)
検出ロジック	車速パルスタイプのナビ前後加速度 $\leq x$	車速パルスタイプのナビ前後加速度 $\leq x$	閾値を超える左右加速度 ($\pm 0.25G$) or ヨー角速度 ($\pm 0.85\text{deg/s}$) が連続して記録された時の時間差 $\leq t$
閾値	$x = -0.50G$ 以下 (減速度では $0.50G$ 以上)	$x = -0.50G$ 以下 (減速度では $0.50G$ 以上)	$1 \text{ 秒} \leq t < 4 \text{ 秒}$
検出率	69%	57%	64%

c) ETC2.0を活用したスリップ検出ロジック

実証実験結果より構築された、急ブレーキ時、発進時、カーブ走行時にETC2.0で記録される3種類のスリップ挙動検出ロジックおよび閾値を示す (表-2)。

なお、スリップ挙動検出ロジックの詳細については参考文献の既往論文を参考されたい。

d) スリップ検出ロジック・閾値の妥当性検証

スリップ挙動検出ロジックの妥当性を検証するため、スリップとして記録されたデータとETC2.0搭載車の映像の相関を国道沿線に設置したビデオ映像から確認した。

結果、誤検知はなかった。

一方で、路面状況が乾燥の場合でも上記の検出ロジックではスリップとして記録されてしまう可能性がある。そこで路面状況を乾燥路面と凍結や圧雪時の冬期路面に判定する方法を検討した。

結果、「当日の最低気温が -2.5°C 以下」かつ「前日9時から当日9時までの日降雪深が 1cm 以上」の条件の時に冬期路面が形成されていることが分かった (表-3)。

以上から、ETC2.0を用いて、冬期路面におけるスリップ危険箇所の抽出が可能となった。スリップ検出の判定フローを図-5に示す。

表-3 スリップ路面発生条件

- 当日の最低気温が -2.5°C 以下…①
 - 前日9時~9時までの日降雪深が 1cm 以上…②
- ① かつ②の場合、スリップ路面発生条件となる

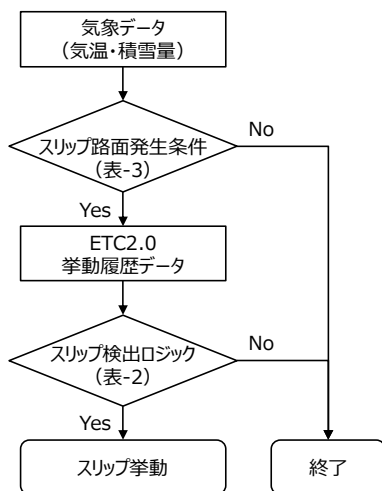


図-5 スリップ検出手法の判定フロー

(4) スリップ検出手法の実践的な活用

本章で述べたETC2.0を活用したスリップ検出を国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 (以下、寒地土木研究所) が開発した凍結防止剤散布作業システム (以下、AIS3: Anti-icer Spreading Support Systemの略) と組み合わせることで、実践的な活用を行うこととした。

a) 寒地土木研究所の取組

冬期路面管理の高度化については、これまで寒地土木研究所が研究を進めており、実際の凍結防止剤散布作業 (指示・判断・操作) を支援するAIS3の設計・構築に取り組んでいる。AIS3はオペレータの熟練度に左右されず、ワンマンでも安全で確実な散布作業を可能とするものであり、具体には図-6に示す3つの支援ツールで事前に設定した散布箇所を自動散布するシステムである。

b) スリップ検出手法の活用内容

寒地土木研究所では令和2年度に国道235号の一部区間で当該支援システムの精度検証を行っており、検証の結果、AIS3の自動散布機能を活用することで安全で確実な散布作業の実現に見通しが立ったことから、令和3年度冬期 (令和4年1月~3月) に凍結防止剤散布車の一部にAIS3を搭載し、実際の冬期路面管理作業におけるAIS3の実践的な検証を行うこととなっている。

散布指示支援ツールは気象予報、カメラ映像、巡回情報といった指標データをもとに散布パターン (散布箇所、散布量、散布幅等) を自動作成することが可能であるが、その指標データの一つにETC2.0を活用したスリップ検出を取り入れるものである (図-6)。

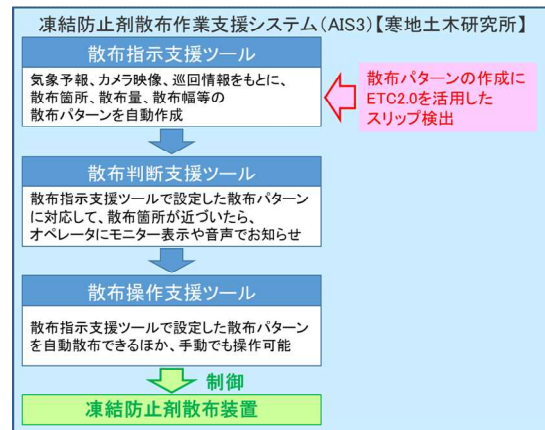


図-6 AIS3 システムへの組み込みイメージ

3. ETC2.0を活用した排雪時期の定量的判断

冬期道路の除排雪は、道路の定時制確保の観点からも極めて重要であり、除排雪作業が遅れると交通障害の発生、物資輸送や緊急搬送の停止など、社会的な影響が大きい。市街地部の除雪は歩車道境界に堆雪するが、降雪が続くと雪山が大きくなり堆雪スペースに収まらなくなる。雪山が車道部分まで達すると交通容量が低下し、交通渋滞が発生することは明らかである。

これを防止するためには、雪山が大きくなる前に排雪を行うことが理想であるが、排雪作業には多額のコストが発生するほか、ダンプトラックや交通誘導員といった人員確保も必要となるため、できるだけ一度に多くの雪を排雪することが効率的なことから、その判断には慎重にならざるを得ない。結果として排雪実施前に交通障害等が発生してしまうケースも少なくない。

本稿では、ETC2.0を活用して、冬期の車道幅と旅行速度の関係を明確にし、交通に影響を与える雪山の大きさの限界値を明らかにすることで、最適な排雪タイミングを機械的に判定することを検討した。

また、3次元点群データと組み合わせることで、排雪時期の判定についての効率化・高度化に向けた検討も行った。

(1) 堆雪の車線浸食幅と速度低下の関係分析

カメラ映像から計測した堆雪が車線部分に侵した幅（以下、浸食幅）とETC2.0から収集した速度の関係性について分析を行った。図-7に堆雪時の道路断面のイメージを示す。

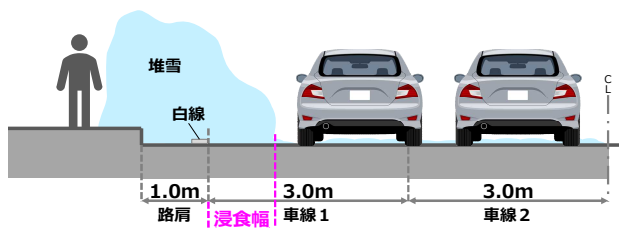


図-7 堆雪時の道路断面イメージ

a) 分析対象

分析対象路線は、国道12号下りKP59.8付近（美唄市）、分析対象期間は、令和3年1月23日～2月24日の約1か月間を対象に分析した。

b) 分析結果

図-8は浸食幅毎の交通量と旅行速度を時間帯別に示したものである。また、図-9は浸食幅と車両の走行状況である。浸食幅が1.6m以上の時、速度低下の傾向がみえる。さらに浸食幅が2.1m以上になると交通量が少ない深夜帯の時間を除き全般的に速度の低下が顕著である。図-9より浸食幅と車両の走行状況を確認すると浸食幅1.6m以上では片側2車線のうち外側車線を走行する車両が内側車

線にやや入り込むような形となり、片側1.5車線の運用となった。浸食幅が2.1m以上になると外側車線は完全に走行できなくなり片側1車線の運用となった。以上から、ETC2.0の速度データから現地の車線減少を確認することが可能と考えられる。

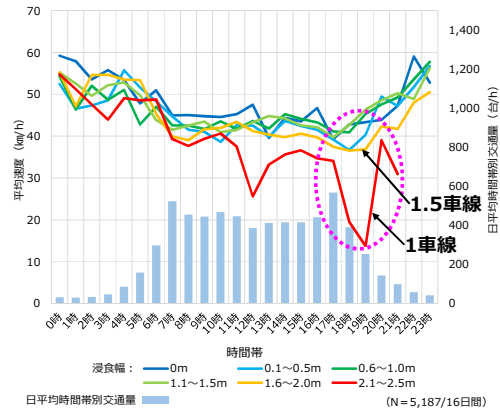


図-8 浸食幅×常観交通量・ETC2.0速度の関係
(国道12号上り（美唄市）)

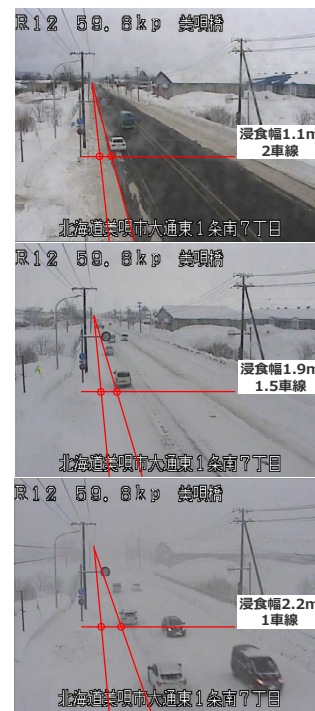


図-9 浸食幅の増加状況（国道12号上り（美唄市））

(2) 今後の検討

本稿では、大幅に速度が低下するような交通に影響を与える浸食幅の限界値をETC2.0を用いて把握する手法の可能性を示した。今後もデータ取得を継続しサンプルを増やすことで路面状況や交通量との相関などデータの精度を高めていく考えである。排雪箇所毎の限界値を把握することで排雪を躊躇なく実施できれば、冬期の交通障害発生抑制につながると考えられる。

また、各地点の浸食幅を常時観測・管理する手法として、道路3次元点群データの活用が有効と考えられる。

MMS (Mobile Mapping System) によって取得したデータはビューワー上で簡単に現場の寸法を計測することが可能であるため、机上で車線への侵食幅を確認することができる(図-10)。

一方で、MMSによるデータ取得の課題としてコストが高いことやデータ処理時間の長さが挙げられる。今後、低スペック型MMSの技術開発がされれば、侵食幅の取得のみならず、道路の異常を道路管理パトロールで検知するなどにも活用可能と考える。

4. ICTを活用した冬期道路管理の取組強化

(1) 大雪時の道路交通確保に向けた取組の強化

令和2年に異例ともいえる短期間の集中的な降雪により、関越自動車道や北陸自動車道で発生した大規模滞留は社会・経済活動に大きな影響を及ぼした(写真-1)。

こうした状況を踏まえ、国土交通省は「冬期道路交通確保対策委員会」を開催し、大雪時の道路交通確保に向けた取り組みの強化についてまとめた(図-11)。

北海道開発局においても、近年の大雪、暴風雪の事象を踏まえ、「人命を最優先に幹線道路上の大規模な車両滞留を徹底的に回避することとし、「道路ネットワーク機能への影響を少なくする」よう冬期災害に備え安全で円滑な道路交通の確保に取組むこととしている。

「短期間の集中的な大雪時の行動変容」や「立ち往生が発生した場合の迅速な対応」の取組を強化するため、北海道開発局ではETC2.0等を始めとするICTを活用した、より効果的・効率的な情報提供・収集の工夫について検

討を開始したところである。

(2) ICTを活用した効率的・効果的な情報提供

現在、国道の通行止め情報は道路情報板のほか、ホームページ、ラジオ放送、メール配信サービス・SNS (Twitter) で提供を行っているが、通行止め区間付近を

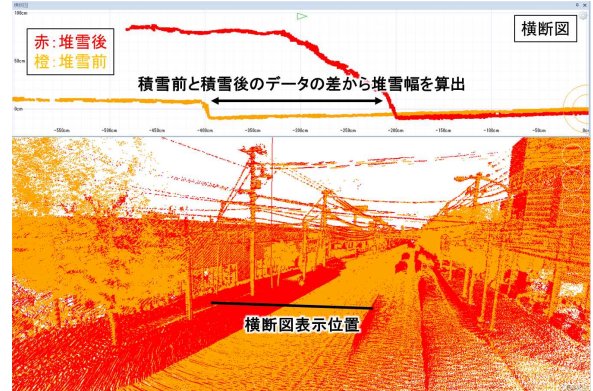


図-10 MMSを活用した雪山の計測イメージ



写真-1 令和2年12月の関越自動車道における大雪に伴う車両滞留
出典：冬期道路交通確保対策検討委員会 配布資料

1. 道路管理者等の取組み (1) ソフト的対応 <ul style="list-style-type: none"> ○タイムライン(段階的な行動計画)の作成 <ul style="list-style-type: none"> ・関係機関と連携し躊躇なく通行止めを実施 ・合同訓練実施 ・気象予測精度向上 ○除雪体制の強化 <ul style="list-style-type: none"> ・地域に応じた体制強化・道路管理者間の相互支援などの構築 ○除雪作業を担う地域建設業の確保 <ul style="list-style-type: none"> ・契約方法の改善 ・予定価格の適正な設定等 ○除雪作業への協力体制の構築 <ul style="list-style-type: none"> ・道路協力団体等地域や民間団体が参加できる仕組み等 ○チェーン等の装着の徹底 <ul style="list-style-type: none"> ・短期間の集中的な大雪の場合は、チェーン規制によらず躊躇なく通行止めを実施 		<ul style="list-style-type: none"> ○短期間の集中的な大雪時の行動変容 <ul style="list-style-type: none"> ・出控え等の要請と社会全体のコンセンサス ・通行止め予測等の繰り返しの呼びかけ、対象の拡大、内容の具体化 ○短期間の集中的な大雪時の計画的・予防的な通行規制・集中除雪の実施 <ul style="list-style-type: none"> ・広範囲での通行止め、高速道路と並行する国道等の同時通行止めと集中除雪による物流等の途絶の回避 ・リスク箇所の事前把握と監視強化 ○立ち往生車両が発生した場合の迅速な対応 <ul style="list-style-type: none"> ・滞留状況を正確に把握するための体制確保 ・躊躇ない通行止めの実効性を高めるためのメルクマール、トリガーをタイムラインに位置づけ ・滞留車両への物資や情報等の適切な提供 ・地方整備局と地方運輸局等を中心とした乗員保護 ○スポット対策、車両待機スペースの確保 <ul style="list-style-type: none"> ・カメラ増設、ロードヒーティング等の融雪設備の整備 ・中央分離帯開口部やリターン路の整備 等
2. 道路利用者や地域住民等の社会全体の取組み <ul style="list-style-type: none"> ○短期間の集中的な大雪時の行動変容(利用抑制・迂回) <ul style="list-style-type: none"> ・通行止めの必要性やジャスト・イン・タイムの限界への理解の促進 ○冬道を走行する際の準備 <ul style="list-style-type: none"> ・チェーン等の装備の備え 		
3. より効率的・効果的な対策に向けて <ul style="list-style-type: none"> ○関係機関の連携の強化 ○情報収集・提供の工夫 ○新技術の積極的な活用 		

図-11 大雪時の道路交通確保に向けた取組の強化

走行中もしくは立ち往生しているドライバーに正確な情報をピンポイントで届けることができれば、より効率的・効率的に情報提供を行うことが可能となる。

a) Twitterの活用

北海道開発局では現在、SNS (Twitter) による情報提供を実施しているが、開発局Twitterのフォロワーがリツイートし、情報提供が活発化すれば、フォローしていない滞留車両まで拡散し効果的な情報提供になると考えられる。情報提供の充実には欠かせないツールであり、今後もフォロワーを増やすことが重要である。

b) ETC2.0の活用

ETC2.0を車載していれば、車両の挙動から立ち往生車両を抽出することは可能であると考えられる。立ち往生車両に対してカーナビ画面へQRコードの画像を送付し、そこからラジオ放送や専用電話番号を案内したり、道路管理者から立ち往生車両の救出状況を文字・音声等で伝えるなど、きめ細かな情報提供方策の実施が可能と考える(図-12)。北海道開発局ではこれらの提供・収集の工夫についての検討を令和3年度から開始したところである。

(3) 道路管理のより効率的・効果的な対策に向けて

北海道開発局ではAI技術を活用してカメラ映像を解析し、走行車両の異常事象を自動検知する試行を行っている(図-13)。建設業界の人手不足、高齢化問題の解決にAIカメラの活用は有効である一方、検知対象がカメラ可視範囲のみであり、北海道開発局が管理する約6,800kmの道路延長すべてをカメラだけで管理することは現時点では難しい。

このため、AIカメラの充実を図っていきながら、ETC2.0を活用した走行車両の異常事象を検知する手法についても今後検討を進めていく必要があると考える。ETC2.0で収集できる走行車両の挙動から異常事象を検知することができれば、より広範囲での道路の異常をすみやかに検知することができ、効果的な維持管理を実現するため、検討を進めて参りたい(図-13)。



図-12 ETC2.0を活用した立ち往生車両への情報提供イメージ

5. おわりに

冬の道路交通を取り巻く環境が変化するなか、ICT等の新技術の積極的な活用を進めるとともに、ETC2.0のような既存システムをより効率的・効果的に活用する方策も組み合わせながら、冬期道路維持管理の高度化を目指していく所存である。

参考文献

- 1)国土交通省ホームページ：ETC2.0
<https://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/etc2/>
- 2)富田・筒井・佐々木：ETC2.0プローブ情報を活用した道路維持管理方法高度化の検討、第61回北海道開発技術研究発表会、2018
- 3)田伏・遠藤・佐々木：スリップは見えるのか？ 第62回北海道開発技術研究発表会、2019
- 4)川嶋・遠藤・熊谷：ビッグデータからスリップを探せ！ 第63回北海道開発技術研究発表会、2020
- 5)瀬尾・船岡・金木：ETC2.0プローブデータを活用したスリップ検出手法の構築、第41回交通工学研究発表会、2021
- 6)プラットフォーム『i-snow』〈第10回〉配布資料
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/splaat000010dmm.html>
- 7)国土交通省ホームページ：冬期道路交通確保対策検討委員会
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanni>

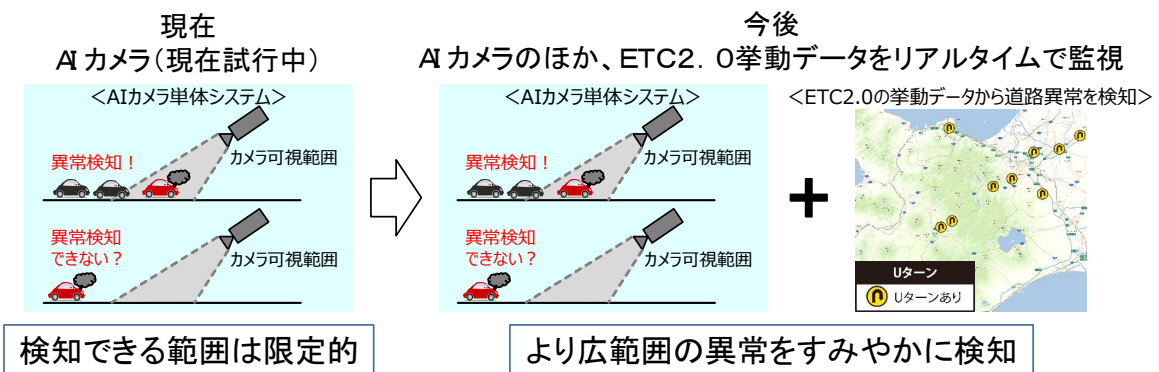


図-13 道路異常事象の検知イメージ