

スウェーデンの高速道路における ITS および交通安全対策等に関する海外調査

公益財団法人高速道路調査会では、令和元年6月9日～6月15日にかけて第63回海外道路調査団を派遣した。ここでは、スウェーデンの高速道路における ITS および交通安全対策、工事安全対策に関する調査結果を報告する。〔関連記事 p.55～〕。



写真一 可変速度制御による交通制御
(E4号 スtockホルム Solna 付近)



写真二 道路混雑課金徴収設備
(E20号 スtockホルム Hjorthagen 付近)



写真三 古タイヤを使用した衝突緩衝装置



写真四 アルミ製ボックスを使用した衝突緩衝装置



写真五 幅の広い中央分離帯（一部区間）
(E6号 ヨーテポリ近郊 Bua Veddige 付近)



写真六 2+1（ツープラスワン）道路状況
(国道158号 ヨーテポリ近郊 Kullavik 付近)



写真七 走行中給電システムを搭載した試験車両
(ストックホルム近郊 Arlanda 地区)



写真八 自動運転バス公道走行実験状況
(ヨーテポリ近郊 リンドホルメンサイエンスパーク)

スウェーデンの高速道路におけるITSおよび交通安全対策，工事安全対策に関する海外調査

第63回海外道路調査団

1. 海外道路調査団について

海外道路調査団は、海外の高速道路に関する最新事例や日本とは異なる取組みを調査・情報収集する機会を広く提供することを目的に、公益財団法人高速道路調査会が講習等事業の一環として一般公募により調査団を結成し派遣している。

今回は第63回、28名の参加（参加者名簿をP.61に記載）であった。なお、2000年以降に派遣した調査団は、計38回、延べ766名に上る。

2. 第63回調査団概要

本調査団は、スウェーデンの高速道路におけるITSおよび交通安全対策，工事安全対策等に関する最新の取組みを調査するため、6月9日(日)から6月15日(土)までの5泊7日の行程で、ストックホルム市およびヨーテボリ市でスウェーデン交通庁 Swedish Transport Administration（以下「STA」という。）、ストックホルム市役所、リンドホルメンサイエンスパークを訪問した。

STAでは、ストックホルム環状道路建設プロジェクトおよび工事安全対策，走行中給電システム“Electric roads”，交通安全対策“Vision Zero”について調査を行った。ストックホルム市役所では混雑税について、リンドホルメンサイエンスパークでは自動運転車やMaaS（Mobility as a Service）等について調査を行った。

3. 調査結果概要

(1)スウェーデン交通庁（STA）

1) 概要

職員は約8,000人（2017年）で約150種の専門家で構成されている。道路と鉄道の建設・管理運営を担当し、交通施設の近代化や地域交通の諸課題（環境等含む）に対応し、最適な交通システムを構築・運営することを責務としている。

スウェーデン国内の道路と鉄道の延長を表一に示す。

表一 スウェーデンの道路・鉄道延長（2017年）

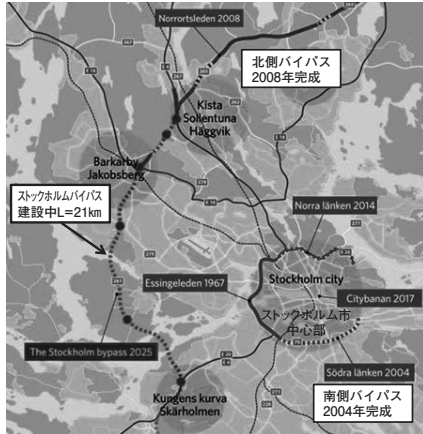
種別	延長 (km)	備考
鉄道	14,158	STA
国道	98,400	STA
地方道路	42,200	STA
民間道路	75,700	—

主な大規模プロジェクトとして、ストックホルム郊外でバイパス（環状道路）が建設中である。

2) スtockホルムバイパスプロジェクト

ストックホルム都市圏（約3,500km²：埼玉県の面積に近い）の人口は、2019年現在、約200万人であるが、2030年には約250万人まで増える予想である。市中心部の環境改善と渋滞解消を目的としてストックホルム市の西側に南北に縦断する全長21kmのストックホルムバイパス（環状道路）が2025年開通を目標に整備が進められている（図一1）。住環境への影響を減らすため、18kmがトンネルとなっている。設計

速度は 80-100 km/h で上下各 3 車線， 6 JCT で既設道路と接続する。2035 年の推計交通量は 14 万台 / 日である。建設期間は約 10 年， 事業費は約 36 億ユーロ (2018 年価格， 約 4,300 億円) である。6 カ所のずり出し用トンネル (うち 3 カ所は港と直結) を建設し， 約 2,200 万トンの発生土を船舶等により搬出している。



図一 1 ストックホルムバイパス建設区間

(2) ITS 技術 (可変速度制御による交通制御)

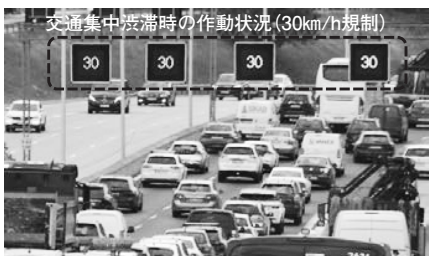
可変速度制御は， 渋滞時の追突事故防止や環境対策 (NOx, PM 等の低減) を目的に， ボトルネック箇所より上流部で制限速度をコントロールすることで， ストップアンドゴーを減らし， 区間全体の走行速度の安定化を図る取組みである。日交通量 18 万台 / 日以上以上の区間で交通量に応じて STA が制御している (写真一 1)。

このほか， 全国の車両メーカーからコネクテッドカーの種々の動的データ (ワイパーやハンドリング等の運転挙動等) や位置情報データ会社等から所要時間情報をクラウド上に収集し， 交通管制に関する標準化について関係機関と調整している。

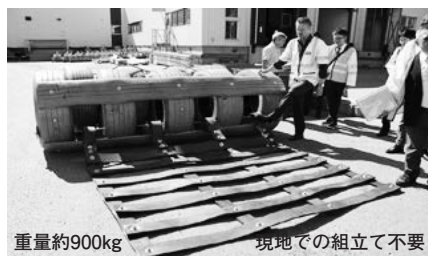
(3) 工事安全対策

1) 路上作業従事者への能力認定

かつては， STA が標準的な交通規制図を記載した



写真一 1 可変速度制御による交通制御事例



写真一 2 古タイヤを使用した衝突緩衝装置



写真一 3 アルミ製ボックスを使用した衝突緩衝装置

ハンドブックを作成し， これを基に工業者に交通規制の許可をしていたが， 現在では工業者が総合責任を負うという EU の考え方に基づき， STA では路上作業従事者の各作業に対する能力認定や現場での抜き打ち検査に重点を置いている。能力認定のための教育は STA が認めた民間事業者が表一 2 に示す 3 段階に分けて実施し， 能力認定は STA が行う。年間約 5 千名に認定し， 4 年ごとに更新が必要となっている (2018 年までは 5 年ごと)。抜き打ち検査は特別調査班を編成し， 年間約 750 件の是正指導を行っている。

表一 2 路上作業従事者の能力認定教育

段階	内容	教育日数
1	1.1 ショベル作業	1 日
	1.2 車両を使用する作業	1 日
	1.3 旗振り作業	1 日
2	2.1 高所作業車等危険認定車両の使用	1 日
	2.2 規制標識の責任者	2 日
	2.3 衝突緩衝装置設置従事者	1 日
3	現場監督者	2~5 日

※ 飛び級で認定を受けることも可能

2) 衝突緩衝装置の開発

スウェーデンでは 30 ~ 40 件 / 年の工事規制内追突事故が発生しており， 800 個の米国製緩衝装置を導入したほか， 自国開発として古タイヤを活用した衝突緩衝装置 (写真一 2) やアルミ製ボックスで衝撃吸収する衝突緩衝装置 (写真一 3) を導入している。これらの装置には， 性能要件として 2 t 車を 100 km/h で衝突させ， 運転手が生存していること， 60 m 以内で停止することを求めている。なお， 規制速度 70 km/h 以上， 交通量が 2,000 台 / 日以上以上の区間で設置が義務付けられている。

(4) 走行中給電システム (“Electric roads”)

1) 走行中給電実験の背景

スウェーデンでは， 2017 年の気候法可決で， 2030 年に国内輸送機関の CO₂ 排出量を 2010 年比 70% 減少し， 2045 年までに CO₂ 排出量をゼロとすることが



写真一4 一般道に設置された走行中給電設備（現在は実験を終了し、残置されている）



写真一5 実験場での走行中給電試験



写真一6 走行中給電システム

目標とされた。スウェーデン国内のCO₂排出量の第1位は火力発電（40%）、第2位が運輸部門（20%）となっており、運輸部門の2/3は小型乗用車、1/3を貨物車が占める。

電気自動車が広く普及するためには、充電スタンドの整備と低価格のバッテリーが必要となる。充電スタンドは都市部には密に設置されているが、郊外では不十分な状況である。長距離走行が可能な車両搭載用バッテリーは大型で価格が高い。走行中給電が可能となれば、バッテリーの小型化により低価格化が期待できる。走行中給電設備を国内約5,000kmに整備することにより、CO₂排出量の50%削減が見込まれる。2012年から一般道に敷設した2km区間で実験を行った後、現在は専用の実験場で実用化に向けた試験を行っている（写真一4、5）。

2) 走行中給電システム

走行中給電システムは道路に敷設された給電用軌条（幅15mm）と電気自動車下部の集電用コネクタを接続して給電するものである。約45km間隔で給電することを計画している。給電用軌条への接続は自動で行われ、軌条から外れた場合は集電用コネクタが自動で格納される。軌条への送電（直流800V、200KW）は50m間隔で路肩に埋設されたケーブルにより行っている。集電用コネクタは路上障害物接触時には回転する仕組みとなっている（写真一6）。

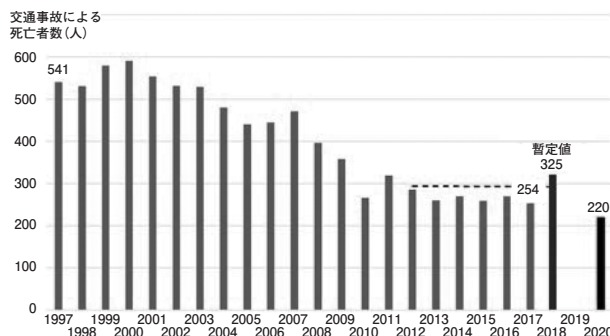
(5)交通安全対策“Vision Zero”

1) Vision Zeroの基本的な考え方

Vision Zeroとは、「誰も交通事故で死亡や重傷を負ったりするべきでない」という倫理的な考え方に基づき、「人は間違いを起こすものであり、事故を起こしても死亡・重傷事故に至らせないようにすること」を目的として、1997年にスタートした計画である。

図一2は、1997年から2018年までの交通事故による死亡者数で

ある。1997年に死者数が541人であったが、徐々に減少して250～300人位で推移してきた。さらに、スウェーデン政府は、2020年に交通事故による死者数を220人にすることを目標としている。



図一2 Vision Zero後の交通事故による死者数

なお、日本の一般道も含めた全国の交通事故による死者数（30日以内死者）と比較すると、自動車走行1億台キロ当たりの死者数は日本（2017年）の0.60に対し、スウェーデン（2016年）は0.33となっている（表一3）。

表一3 日本とスウェーデンの交通事故発生状況比較

事項	スウェーデン	日本	調査年
人身事故件数	14,849	472,165	2017
死者数（30日以内死者）	254	4,431	
負傷者数	18,663	580,113	スウェーデン2016 日本2017
人口（千人）	9,851	126,706	
道路延長（km）	140,880	1,223,887	
自動車走行台キロ（億台キロ）	819	7,399	
自動車走行1億台キロ当たり死者数（人）	0.33	0.60	

出典：交通事故総合分析センター「交通事故の国際比較（2017年）」掲載データを基にEHRF作成

2) 高速道路の構造の変遷について

スウェーデンで最も古い高速道路は、日本よりも10年早く1953年にマルメ〜ルンド間の自動車専用道路として開通した。当初の道路には防護柵が設置されていなかったが、1970〜90年代になると中央分離帯が4〜13mと広くなり防護柵が設置されるようになった(写真一7, 8)。現在の幅員構成は表一4のとおりである。



写真一7 開通当時の道路状況



写真一8 幅の広い中央分離帯 (E6)

表一4 現在の道路幅員構成

項目	幅員等	備考
路肩	2.0 m	
車線幅員	3.5 m	
内側路肩	0.5 m	トンネル: 1.0 m
中央分離帯	2.5 m	
制限速度	110 km/h または 120 km/h	

なお、スウェーデンは1967年9月3日に左側通行から右側通行に変更になった。近隣のノルウェー、デンマーク、フィンランドが右側通行であることが主な変更理由である。

3) 防護柵設置基準

スウェーデンの防護柵設置基準は欧州規格EU1317-2に準じている。表一5に日本の防護柵設置基準との

表一5 防護柵設置基準の比較

国	防護柵レベル	評価項目 衝撃度 (KJ)	衝突条件		
			車両重量 (ton)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
EU	N2	82	1.5	110	20
	H2	287	13	70	20
	H4a	572	30	65	20
	H4b	725	38	65	20
日本	B	58	25	30	15
	A	131	25	45	15
	SB	273	25	65	15
	SA	414	25	80	15
	SS	646	25	100	15

対比を示す。

4) ラウンドアバウト

スウェーデンでは1990年代初めからインターチェンジ等道路の平面交差部において、ラウンドアバウトが設けられている。

ラウンドアバウトでは、車両の誤進入防止対策として、進入禁止標識や路面標示により対策を行っているほか、フラッシュライトにより誤進入車に注意喚起するケースもある。ラウンドアバウトの形状は、円形から車両の誤進入対策として有効なウォータードロップ(水滴)型への改良等も加えられている(写真一9)。



写真一9 ウォータードロップ型ラウンドアバウト

5) スピードカメラによる速度監視

2003年から主に郊外区間でスピードカメラを使用した速度監視を進めている(写真一10)。現在、4,500kmの道路に1,800台のカメラを設置しており、警察が約30万件/年処理している。設置後は死亡事故が20%程度減少した。2020年迄には6,500kmの道路に拡大する計画である。



写真一10 スピードカメラ設置状況

6) 「2+1 (ツープラスワン) 道路」

「2+1道路」は、Vision Zeroの一環としてスウェーデンで生まれた道路構造である。上下線合計3車線で整備され、一定間隔で2車線と1車線が入れ替わり、中央分離帯にワイヤロープが設置されている。対向車線飛び出し事故の減少に繋がっている(写真一11)。



写真—11 「2+1 道路」 状況

7) 事故調査体制

Vision Zero の開始に伴い 1997 年より交通死亡事故詳細調査を開始した。詳細調査では、警察から事故調書を手し 2～3 日以内に現地調査を行うほか、事故車を回収し、タイヤ製造年、シートベルト使用有無、速度計、ブレーキランプ点灯有無なども調査している。分析には医療系の専門家、ソーシャルワーカーも含めた体制を構築している。

(6) ストックホルム市混雑税

1) 道路混雑課金制度の導入経緯

ストックホルム市における混雑課金は、環境改善を背景として検討され、2004 年 6 月に国会において混雑課金に関する法律が可決された。2006 年 1 月～7 月までの約 7 カ月間にわたる社会実験を経て、2007 年 8 月から恒久運用が開始された。

2) 制度の概要

混雑課金は、平日の 6:30～18:30 において、時間帯に応じ課金額が変動するよう設定されている(表—6)。

表—6 時間帯別課金額

時間帯	課金額 (スウェーデンクローナ: SEK)	
	～2016 年まで	2016 年以降
6:30～6:59	10	15
7:00～7:29	15	25
7:30～8:29	20	35
8:30～8:59	15	25
9:00～9:29	10	15
9:30～14:59	10	11
15:00～15:29	10	15
15:30～15:59	15	25
16:00～17:29	20	35
17:30～17:59	15	25
18:00～18:29	10	15
18:30～翌6:29	0	0

・日最大課金は 3 回まで (最大 105SEK/日)
 ・車種別の課金区分はされていない
 大型車、観光バス: 普通車と同額
 市営バス: 無税 夜間、土休日は無税
 ※ 1 SEK = 約 11.15 円 (2019 年 9 月現在)

混雑課金は、国税として位置付けられ、バイパス整備等、ストックホルム市のインフラ整備に充てられており、2018 年の混雑課金による歳入は年間約 16 億スウェーデンクローナ (SEK)、年間利用台数約 9,200 万台 (課金日数 222 日) に上る。なお、2016 年に課金額が増額され、歳入の拡大分は地下鉄建設にも充当されている。

当初は日本の ETC システムと同様の DSRC (狭域通信) システム (5.9GHz) により 100% 通過車両を把握する予定で路側機を設置したが、車載器設置が法的に義務付けられておらず、赤外線カメラによる自動ナンバー読み取り方式を採用している (写真—12)。徴収は約 20 カ所のチェックポイントに約 200 台のカメラを設置し、STA、交通管理庁 (Swedish Transport Agency)、国税庁 (Swedish Tax Agency) が役割を分担して行っている。

ストックホルムは多くの群島からなる地理的条件から、同程度のコドン面積であるロンドン (約 2,000 台のカメラ使用) と比較して徴収設備が少ない。導入当初からの主な変更点を表—7 に示す。

表—7 混雑課金導入当初からの主な変更点

導入当初からのシステムの変化
DSRC 路側機の廃止
環境車 (エタノール車等) の無税措置廃止
バイパスへ課金開始
コドンライン・チェックポイントの増設
法人車両 (社用車) 課金の取扱い変更 (経費として計上することが認められなくなった)
2020 年にさらなる課金額引き上げを計画

3) 導入効果

① 交通需要の変化

2006 年に混雑課金制度が導入されて以降 (社会実験期間を含む)、ストックホルム中心部への流入交通量が導入前の 2005 年と比較して約 20% 減少した。導入後もストックホルム市の人口が増加し、経済成長が進んでいるにも関わらず、2015 年まで流入交通量は安定した状態で推移している。

② 渋滞の緩和と環境面の改善

混雑課金制度の導入前の 2005 年 4 月と導入後の 2006 年 4 月の渋滞損失時間を主要な地点で比較すると、導入後は 30～50% 減となったほか、所要時間のばらつきも小さくなったことにより、所要時間信頼性 (定時性) が向上した。また、環境面の効果として、ストックホルム中心部の CO₂ 削減効果は 10～14%、郊外部では 2～3% であったと推定している。



写真一12 徴収箇所の設備

4) 課金システムの維持管理

国税の徴収設備であるため、徴収漏れや故障しないことが求められる。自動ナンバー読取り装置で認識できない車両（5%程度）に対しては、職員がカメラ画像を読み取って徴収している。故障に対しては、交換部品の常備、発電機やバッテリーによる駆動が可能なものとしているほか、週に1回の目視点検、月に1回のバッテリー、ファンなどの検査、年に2回のカメラクリーニングを実施している。

(7) リンドホルメンサイエンスパーク

1) 概要

リンドホルメンサイエンスパーク (Lindholmen Science Park) はスウェーデン西部地域のヨーテボリ市の工業団地内にある。ヨーテボリ市は約半世紀前まで造船業の中心地であったが、他国との競争により造船業は衰退してしまった。2000年前後からの再開発により、テレマティクス、新たなモビリティ、物流、IT等を活用した研究やこれらに関連する工業団地が作られた。スウェーデン自動車業界の中心地となり、その関係企業が集積し、現在約34,000人が従事している。造船業が盛んであった時期に比べて雇用は約3倍に増加した。

2) MaaS (Mobility as a Service)

MaaS (Mobility as a Service) は、日本においては国土交通省が、「スマホアプリにより、地域住民や旅行者一人一人のトリップ単位での移動ニーズに対応して、複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせて検索・予約・決済等を一括で行うサービス」と定義している。スウェーデンでも同様に、「サービスとしての複合モビリティを提供する社

会づくりプロジェクト」と定義しており、リンドホルメンサイエンスパークにおいては、自動運転やシェアリング等を通じて次世代の持続的なモビリティのための協同プロジェクトを構築している。このプロジェクトは約4年前に17社で立ち上げたものであり、政府および民間から12年間資金協力を得て進めている。現在ではSTA等の政府機関、大学等の研究機関、自動車メーカー、ハードウェアおよびソフトウェアサプライヤー、鉄道等交通サービス提供事業者、保険・銀行業界など115企業が参入している。

3) KOMPIS

KOMPIS (Combined mobility as a service up-scaling in Sweden) とは、スウェーデン語で「仲間」を意味する言葉であり、環境への負荷を減らすために自動運転、公共交通機関、種々のシェアリングサービスなどを統合し、効率的なエネルギーの利用を促進することを標準化する取り組みで、2025年までにスウェーデン在住者の半数以上が利用し、25%は定期的に利用することを目標としている。

4) LIMA

LIMA (Lindholmen Integrated Mobility Arena) は、リンドホルメンサイエンスパークにある375社の従業員約15,000人のうち、1,000人を対象にしたMaaSに関する試験プロジェクトである(試験期間2018~2020年)。通勤時は1人乗りの自家用車が多く、交通渋滞の発生や、空き駐車場を探すのが困難な状況となっており、渋滞削減やCO₂排出量削減を目的として、公共交通機関、ライドシェア、シェアバイクの利用促進や、自動運転シャトルバスの駐車場と各企業間での運行に取り組んでいる。なお、自動運転シャトルバスの運行や公共交通機関を含めたTDM施策は、カメラ画像を基にした人、車両の動きをAIで解析のうえ管制室で対応している。総額58百万SEK(約6.5億円)の資金はスウェーデン政府イノベーション当局(Vinnova)、参加企業が出資している。

5) 自動運転バス公道走行試験

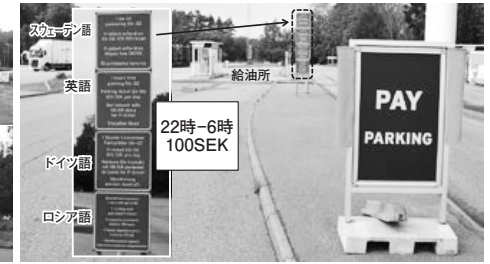
自動運転の規制に関する法案が2019年7月に可決される見通しで、この中には自動運転車内の人によって遠隔操作することも可能となる規定が含まれている。自動運転車は救急等の緊急車両接近の認識が困難であり、「Drive Sweden Innovation Cloud」を通して、管制センターから気象(荒天時)状況も含めて自動運転車両を操作することを検討している。



写真一13 公道走行実験中の自動運転バス



写真一14 駐車時間別の駐車マス (E6 Sandsjöbacka)



写真一15 Pay Parking (E6 Himle)

なお、リンドホルメンサイエンスパークでは、付近の公道も含めた約1km間で自動運転バスの走行実験を行っている(写真一13)。

(8) 休憩施設調査

1) 調査概要

ヨーテボリからE6号(E20号)で約80km間にある下記3カ所の休憩施設について現地調査を行った。

- ・E6 Sandsjöbacka (ガソリンスタンド(GS)付き)
- ・E6 ölmevallasjön (トイレのみ)
- ・E6 Himle (夜間有料マス, GS, レストラン付き)

2) 日本の休憩施設との違い

① 駐車可能時間別の駐車マス

小型自動車, 大型自動車に区分されたマス配置となっているうえ, 駐車可能時間ごとに区切られた駐車マス配置となっている(写真一14)。また, Himle 休憩施設では, 夜間大型車マスは有料(Pay Parking)となり, 売店でチケットを購入する仕組みとなっている。各駐車マスにはセンサ類はなく, 自己申告制である(写真一15)。

② トイレ施設等

調査した3カ所のうち, 日本のPA規模の2カ所(Sandsjöbacka, ölmevallasjön)は男女兼用(写真一16), 日本のSA規模のHimleはレストラン棟内に男女別(写真一17)のトイレとなっている。どの休憩施設においても日本の同規模の休憩施設よりも便器数が少ない。なお, 多言語表示やピクトサインが多用されている。

おわりに

環境を意識した混雑課金, 走行中給電, MaaSへの取り組みや致命的事故に至らしめない考え方に基づいた交通安全対策 Vision Zero, 工事安全対策の一端を調査することができた。



写真一16 E6 ölmevallasjön 休憩施設トイレ



写真一17 E6 Himle 休憩施設トイレ

日本とは事情が異なる面はあるが, ロードプライシングなど課金のあり方, 工事規制および安全教育, 環境への配慮, 新たなモビリティを組み入れた交通施策について, 将来の高速道路事業を考えるうえで参考になる部分が多かったように感じる。

< 第63回海外道路調査団 参加者一覧 >

班	氏名	所属機関名
団長	中島 嘉彦	(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟
A班	西野 浩	ハイウェイ・トル・システム(株)
	増子 勝敏	(株)ネクスコ・エンジニアリング東北
	白川 宏	中日本ロード・メンテナンス中部(株)
	松澤 和人	(株)ネクスコ東日本エンジニアリング
	東出 秀樹	西日本高速道路ファシリティーズ(株)
	氏本 敦	東京湾横断道路(株)
	春名 晃宏	中日本高速道路(株)
	嶋野 俊介	(株)ネクスコ・メンテナンス東北
	泉 晃博	(株)ネクスコ・メンテナンス新潟
	藤田 直人	東日本高速道路(株)
	藺田 努	西日本高速道路メンテナンス関西(株)
	金清 翔平	西日本高速道路(株)
	二宮 洋平	(株)ネクスコ・メンテナンス関東
B班	佐々木 靖生	中日本ハイウェイ・パトロール東京(株)
	山本 貴久	中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)
	西部 泰考	(株)ネクスコ東日本エンジニアリング
	中畑 剛	(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟
	園井 鉄也	日本テック(株)
	浦郷 貴臣	中日本高速道路(株)
	日野 淳	(株)ネクスコ・エンジニアリング東北
	高砂 圭司	西日本高速道路エンジニアリング中国(株)
	川北 達也	西日本高速道路ファシリティーズ(株)
	山口 穰	(株)ネクスコ・メンテナンス新潟
	柳池 省悟	セフテック(株)
	小川 達矢	(株)ネクスコ・メンテナンス関東
	竹澤 健太	(株)ネクスコ・メンテナンス東北
有賀 しほり	東日本高速道路(株)	
事務局	松下 剛	(公財)高速道路調査会
	皆川 聡一	現 中日本高速道路(株)