

TOYOTA

Technical Review

トヨタ・テクニカル・レビュー

特集

モビリティを取り巻く課題を解決する
車両データ活用 診断技術

運転診断

車両診断

インフラ診断



2025/11 Vol.71

【まえがき】

トヨタは「電動化」「知能化」「多様化」を軸に、持続可能なモビリティ社会の実現に挑戦しています。TOYOTA Technical Review では、近年、「環境(カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー)」を特集し、技術の進化と社会への貢献を発信してきました。

今回の Vol.71 では、環境の観点から視点を変え、近年急速に進む知能化の取り組みの一環として、車両データを活用した診断技術に焦点を当てました。特集テーマは「モビリティを取り巻く課題を解決する車両データ活用 診断技術」です。トヨタが現在進めている実践的な技術開発や、一部で実証が始まっている取り組みを人・クルマ・交通環境の 3 つの視点から紹介します。

- ・ 車両データからドライバーの運転特性を解析する「事故ゼロ/CN に向けた運転診断技術」
- ・ 走行データを用いてオイル劣化予測などを行う「さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術」
- ・ 路面データの収集によって「道路管理を効率化するインフラ診断技術」

これらの取り組みは、関係会社や協力機関と連携しながら、トヨタの開発者が日々車両データの強みを活かし、社会への貢献を目指して知恵を絞り続けている成果です。社会課題解決に向けた取り組みが着実に進展していることを嬉しく思います。

トヨタの技術発信をつうじて、ともに歩む仲間が増え、車両データを活用する様々な研究開発の取り組みが大きな流れとなって、より良いモビリティ社会の実現に繋がっていくことを願っています。ぜひ最後までお楽しみください。

TOYOTA Technical Review 企画担当



【表紙のデザイン】

今回の表紙は、特集テーマである車両データ活用を視覚的に表現しています。運転診断・車両診断・インフラ診断の各技術を象徴する画像を用い、診断技術のイメージを示しています。また、これらの技術を一つの円で結ぶことで、人・クルマ・交通環境といった要素や、関係会社・協力機関とトヨタの連携によって、モビリティ社会におけるより大きな課題の解決を目指していく私たちの想いを表現しました。

目 次

▷特集「モビリティを取り巻く課題を解決する車両データ活用 診断技術」

第1部 車両データを活用した診断技術 全体概要

亀崎 康之, 飯 潔倫 3

第2部 事故ゼロ/CNに向けた運転診断技術

～KINTO コネクティッドドライバトレーナーによる安全運転支援～

秋間 聰, 遠藤 雅人, 真鍋 周平, 上野 浩司, 西淵 泰斗, 飯 潔倫 5

～レンタカー運転見守りによる安全運転支援～

遠藤 雅人, 原田 慎介, 真鍋 周平, 鴨川 隆宏, 長谷 高明, 飯 潔倫 11

～認知機能低下推定～

小川 義人, 小渕 達也 17

～高齢者講習支援～

橋本 修実, 若菜 明, 中村 和人, 御崎 雅裕 23

第3部 さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術

～メンテナンス部品の劣化状態予測～

深谷 良介, 木村 陽介, 玉野 篤央 28

～軽衝突検知によるレンタカーポイント検支援～

永治 健太郎, 木村 陽介 32

～タイヤ離脱予兆検知～

辻 隆弘, 木村 陽介 37

第4部 道路管理を効率化するインフラ診断技術

～舗装点検支援～

中山 公博, 倉野 隆文, 小渕 達也, 木村 陽介 41

～交通安全対策支援～

佐藤 正俊, 小渕 達也, 木村 陽介 45

～渋滞長推定～

竹内 博貴, 平塚 由志子, 池ノ上 裕介, 加藤 司,
松倉 聖, 笹倉 敏明, 佐藤 正俊 49

▷受賞技術概要

・ HLA溶接を用いた一体差厚曲線TWB構造と量産設備の開発

小松崎 貴也, 新里 映太, 江川 哲司, 内山 博史, 小野田 将大, 鈴木 得功 53

・ 新型8速ATおよび1モータハイブリッドトランスマッキンの開発

宮本 幸一, 宮崎 光史, 永井 一成 56

・ 廉価でコンパクトなオフロード向けスタビライザディスクネクトシステムの開発

今井 朝輝, 金谷 正基, 坂崎 和義, 白山 和明, 乗山 年雄 60

▷2024年度下期～2025年度上期社外発表論文一覧

..... 63

車両データを活用した診断技術 全体概要

亀崎 康之 ^{*1}飯 潔倫 ^{*1}

1. はじめに

持続可能なモビリティ社会の実現のために自動車産業として取り組むべき課題として、交通事故ゼロ社会の実現、カーボンニュートラル(CN)の達成、整備・メンテナンスにおける人手不足の解消、道路インフラの管理・保守の効率化などが挙げられる。これらの課題に対し、トヨタでは従来より、自動運転や先進安全技術の開発、車両およびパワートレインの環境性能向上や電動化に継続的に取り組んできた。

しかし、モビリティ社会はクルマだけでなく、ドライバーや道路インフラ、それ以外も含め多くのステークホルダーによって構成されており、車両性能の向上だけで全ての課題を解決するのは困難である。そこで我々は一つのアプローチとして、コネクティッドカーに搭載された通信車載機(DCM:Data Communication Module)経由で収集される車両データや、CAN(Controller Area Network)やEthernetなどの車載ネットワークから直接取得した車両データを用いて、クルマ/ドライバー/道路インフラの状態を推定するアルゴリズムを開発し、その推定結果を活用したサービスをとおして、社会課題の解決に貢献することを目指している(図1)。

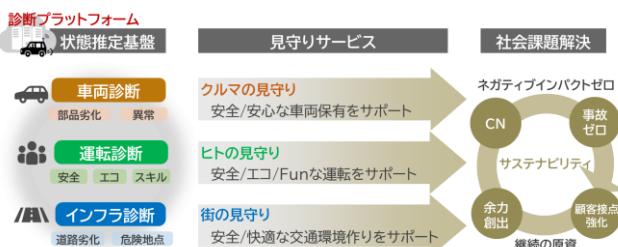


図1 状態推定基盤を活用した社会課題解決

DCM や車載ネットワークから収集する車両データには、以下 3 つの特徴がある。

1 つ目は、車両制御に使用される多種のセンサーデータが取得できる点である。例えば、車両の位置や速度、加速度などの基本的な車両挙動に加え、ハンドルやアクセルペダル等のドライバーの操作量、エンジン水温などの部品状態量など、後付けのデータ収集デバイスでは取得が困難なデータを活用できる。2 つ目は、高い精度のデータが取得できる点である。例えば、後付けのデータ収集デバイスでは、車両速度を GPS 等の位置情報から概算するのが一般的だが、我々が扱う車両データでは車輪速度など直接的なデータを利用できる。また、加速度計(G センサ)も車両重心に近い位置に搭載されており、後付けセンサと比較してもより精度よく、かつ、あらかじめ校正(キャリブレーション)されたデータを扱うことができる。3 つ目は、上述のような多種、かつ、高精度なデータを、全コネクティッドカーから大規模に収集し、ビッグデータとして活用できる点にある。

さらに、データを加工・分析するアルゴリズム開発においても、車両メーカーとして保有している車両・部品・運動性能・車両制御の知見を活かすことで、クルマ/ドライバー/道路インフラの状態を精度よく推定することが可能となる。

2. 課題解決 取り組み事例

我々はこれまでに、自動車の製造/販売に関わる企業に加え、中央省庁/自治体/警察などの官公庁、大学、自動車教習所など、さまざまなステークホルダーのご協力を得ながら、前章で紹介した車両データと状態推定技術を活用し、モビリティ社会の持続可能性に貢献するための課題解決に取り組んできた。

第2部以降では、その具体的な事例について紹介する。

*1 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

第2部『事故ゼロ/CNに向けた運転診断技術』では、安全運転や工コ運転などの運転特性を分析する「運転診断技術」と、それを活用して運転行動の変容を促すことで、事故ゼロおよびカーボンニュートラル(CN)への貢献を目指す取り組みを紹介する。

第3部『さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術』では、部品の劣化状態や、車両の異常兆候を見守る「車両診断技術」と、それを活用した点検・整備現場の効率化や人手不足の解消を目指す取り組みを紹介する。

第4部『道路管理を効率化するインフラ診断技術』では、車両データに位置情報を加えた車両プローブデータを活用して、道路の平たん性やわだち掘れ、事故リスクの高い交差点などを推定する「インフラ診断技術」と、それを活用した道路管理の効率化に関する取り組みを紹介する。

アプローチしている課題はいずれも非常に大きな社会的テーマであり、現時点ではその一部に対する貢献が始まった段階に過ぎない。また、現状ではクルマ/ドライバー/道路インフラ、それぞれに対して独立した取り組みが中心であるが、将来的には、三位一体の状態推定基盤(診断プラットフォーム)として統合し、各要素の相乗効果により、より広範、かつ、大きな課題解決に繋げていくことを目指し、技術開発と仲間作りを継続的に進めていく。

事故ゼロ/CN に向けた運転診断技術 ～KINTO コネクティッドドライブトレーナーによる 安全運転支援～

秋間 聰 ^{*1}上野 浩司 ^{*2}遠藤 雅人 ^{*1}西淵 泰斗 ^{*3}真鍋 周平 ^{*1}飯 潔倫 ^{*1}

要旨

交通事故低減、および、カーボンニュートラルへ貢献するため、ドライバーの安全運転、および、エコ運転スキル向上を目的として「コネクティッドドライブトレーナー」(CDT)を開発した。CDTは運転の癖を視える化する「運転コーチング」と、最適なアップグレードを提案する「アップグレードレコメンド」の二つの機能を提供している。これらのサービスは車載のセンサを活用しており、高精度で、短時間ウインカーや車幅感覚の診断といった自動車メーカーだからできる診断を提供している。

キーワード： 運転診断、行動変容、事故ゼロ、カーボンニュートラル、コネクティッド、バリューチェーン、スマホアプリ

1. KINTO で運転診断に取り組む理由

第1部『車両データを活用した診断技術 全体概要』で紹介した診断プラットフォームの技術を基盤に、「交通事故ゼロ」というトヨタのビジョンを共有するKINTOと共に運転診断サービス、および、技術の開発を本格的にスタートさせた。KINTOは、モビリティプラットフォーマーとして、交通安全に対する強い使命感を持っている。安全運転はお客様に提供するべき重要なサービス要素であるとの方針から、事故低減に積極的である。また、お客様と直接つながるサブスクリプションサービスを提供しているため、ユーザーのリアルな声や交通事故に関する課題をダイレクトに受け取ることができ、効果的なサービス、および、技術の開発をスピーディに進めることができる。図1にKINTOのサブスクリプションサービスのイメージを示したが、サービス内容に自動車保険が含まれているため、事故低減は事業自体にもメリットがある。



図1 KINTO のサービス内容⁽¹⁾

こういったことから安全運転スキル向上のサポートを目的として自身の運転を記録し、良し悪しを診断できるアプリケーションの開発に着手した。ドライバーのスキル向上といった側面からトヨタの目指す「交通事故ゼロ」へ貢献することを目指している。

同様のアプリケーションでエコ運転スキル向上のサポートも提供することで、お客様の低燃費運転をつうじてカーボンニュートラルへ貢献していく。

2. KINTO コネクティッドドライブトレーナーとは

先述の理由から開発したアプリケーションが「コネクティッドドライブトレーナー」(CDT)である。「コネクティッドドライブトレーナー」はKINTOが提供するサービス「KINTO Unlimited」の一部の機能であり、スマートフ

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

^{*2} クルマ開発センター 第2シャシー開発部

^{*3} 株式会社KINTO

オンラインで提供される。KINTO Unlimited は納車後の車をアップグレードする「UPGRADE」と、カーライフをスマートにサポートする「CONNECTED」の二つのサービスに分類される。「コネクティッドドライブトレーナー」は「CONNECTED」のサービスの一つであり、コネクティッド技術でお客様の運転データを視える化し、自分では気付くにくい運転時の癖を知ることで、より安全で燃費のよい運転をお手伝いする機能である⁽²⁾。図 2 にアプリ画面のイメージを示した。コネクティッドドライブトレーナーには大きく二つの機能がある。



図 2 コネクティッドドライブトレーナーの UI⁽²⁾

一つ目が「運転コーチング」である。図 3 に示すような安全運転に関する診断が 7 項目(+エコ運転などに関する診断項目が 6 項目)提供されており、トリップ単位(各運転の開始から終了まで)と月単位で視える化とスコアリングがなされ、ドライバー自身では気付くにくい運転の癖を個別のトリップ、および、月ごとにそれぞれ確認できる。また「トレーニング」という機能も用意している。本機能は安全運転/エコ運転技術の習得を狙い、日々の運転で与えられたタスクを達成することで楽しみながら運転技術を向上させることができる(図 4)。

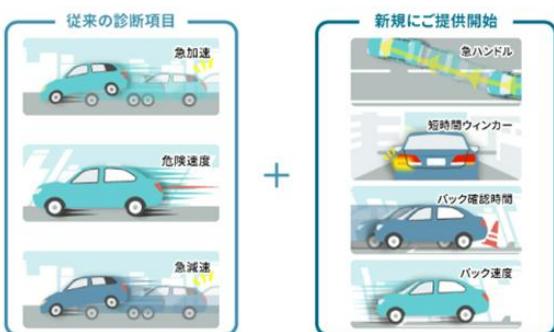


図 3 安全診断の項目一覧⁽³⁾



図 4 トレーニング機能の UI

二つ目が「アップグレードレコメンド」である。KINTO Unlimited のもう一つのサービスである「UPGRADE」は、お客様へ納車後の車両に対してハードウェア/ソフトウェアのアップグレードをすることが可能になっている。本サービスの狙いは、ドライバーの運転データに基づいて各アップグレードアイテムのなかで最適なものをレコメンドすることである。例としては、日常的に駐車時の切り返しが多いドライバーを運転データから特定し、パノラミックビューモニターをオススメするといった形である。このようにドライバーに適切な安全装備をオススメすることで事故低減に貢献する。

簡単なシステム図を図 5 に示した。各診断はコネクティッドカーで収集されている車両データを利用してクラウド上で診断処理を実施している。

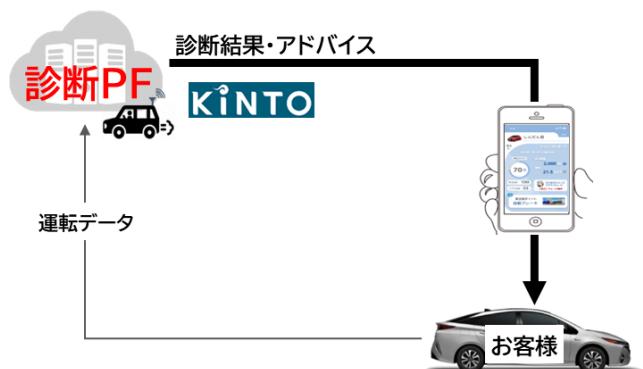


図 5 システム構成のイメージ図

3. トヨタの運転診断技術

こういった運転を診断するソリューションは世の中に既に存在する。それらの多くはスマートフォンや通信型ド

ライブレコーダーといったクルマとは別の機器を用意し、内蔵されている加速度計、および、角加速度計を利用して運転を診断する。私たちの取り組みのそれらとの差別化のポイントは、車両データを直接活用できる点である。これにより加速度や角速度に限らず、アクセルやブレーキペダルの情報、ワインカーやシフトポジションに加えて、PCS(ブリクラッシュセーフティ)などの各種安全装備のデータまで取得して活用することができる。これにより、クルマの挙動を診断するのではなく、お客様の運転を診断することが可能となる。さらに車両データを活用することで、運転前の準備作業が不要というメリットもある。スマートフォンを活用した診断サービスの場合、Bluetoothなどで車両との接続作業を必要とする場合があるが、本サービスではその必要がなく、ただ運転するだけでデータが取得され、診断が行われる。

図 6 に診断のアーキテクチャを示した。運転診断処理は、①Scene Extraction(運転シーン抽出)、②KPI Calculation (KPI 演算)、③Operation Label Make(操作得点作成)の3つのモジュールに分割することができる。こういったモジュール分けはプログラムの移植性、デバッグ性の向上を意図して実施している。これにより、他のお客様向けに運転診断サービスを提供する際にも容易に展開することができる。また、ソフト開発に不慣れな技術者でも、問題発生時に原因を特定しやすいようにしている。

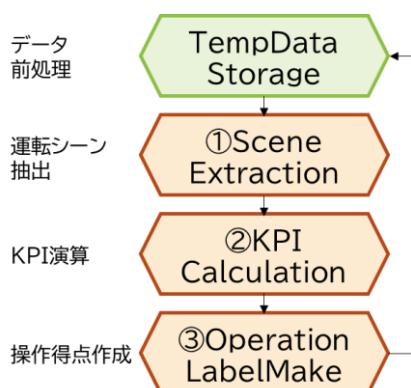


図 6 診断アーキテクチャ

各モジュールの役割は以下の通り。

最初の①Scene Extraction では、特定の運転の場面を抽出することである。「減速」、「ワインカー操作」とい

った運転の場面を切り出して集める。これにより、長い運転のデータのなかの一部のみを処理すればよくなるため、計算の負荷を下げることが可能となる。②KPI Calculation では、抽出されたシーンそれぞれにおいて、運転の良し悪しをあらわすパラメータを計算する。このパラメータを KPI と呼んでおり、「急減速」の診断の KPI を例として示すと”減速度”となる。最後の③Operation Label Make では、この KPI に基づいて運転の良し悪しを判定している。

次にロジックの評価プロセスを図 7 に記載する。ここでは、①相関分析テスト、②検出精度テストについて記載する。これらのテストはドライバーの運転を正しく評価するために必要である。



図 7 診断の評価プロセス

①の相関分析テストについては、安全運転の診断であれば事故の発生頻度との相関が高いこと、エコ運転の診断であれば燃費との相関が高いことが求められる、これらの相関を確認することが目的である。診断の結果を向上させられれば、事故低減/エコにつながることはサービスとして前提である。1,000 台×1 年程度の規模の運転データを用いて診断の検知頻度と事故の発生頻度や燃費との関係性を明らかにする。このように、台数×年数という単位で車両データの分量を定義する考え方を「既経過台数」と呼んでおり、相関分析で活用するデータ量を検討する際に用いている。相関結果の具体例については後述する。

②の検出精度テストについては、それぞれの診断を高い精度で検知できていることの確認を目的としている。この精度として、”適合率”と”再現率”という考え方を採用している。これらは機械学習などの評価でもよく使われているが、運転診断開発のなかでは図 8 に示した考え方を用いて式(1)や式(2)のように定義している。

[件数]	該当操作を している	該当操作を していない
診断で検知	TP	FP
診断で非検知	FN	TN

図 8 検出精度の定義

$$\text{適合率} = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

両方が重要な指標であると考えているが、適合率のほうがより重要と考えている。例えば、急減速をしていないのに“急減速”検知されるとお客様の満足度は下がる。そのため、開発段階で“検知したくない操作”を洗い出すことは重要であるといえる。この適合率を上げていくことは安全/エコに寄与率の高い操作が適切に抽出されると繋がり、本サービスでは適合率 90%以上、再現率 80%以上を目標性能として掲げている。適合率と再現率はトレードオフの関係にある場合が多く、両で 100%を目指すことは困難であること、前述のとおり適合率を重視していること、お客様に素早くサービスを届けること、を踏まえて目標値を設定した。

このように、②検出精度テストの性能を向上させることで①相関分析テストで確認している性能も高まっていくため、①相関分析テスト、②検出精度テストをそれぞれ繰り返して性能を向上させていく。

本稿では例として、OEM ならではの車両データを活用した 2 つの診断に関して、詳細を記載する。

(1) 短時間ワインカー

短時間ワインカー診断のロジック概要を図 9 に示す。本診断は、周囲の車両への意思表示が十分にできていないのに右左折、または、車線変更をしてしまう操作の抽出である。

当初は図 9(A)部の条件ではなく、純粋にワインカーポイント時間のみで評価するロジックであった。しかしながら、以下二つの条件において特に危険性はないが検知されてしまうことが分かつてきた。二つの条件とは、①車線変更/右左折しない場合の誤操作、

②ワインカーキャンセラーによる早期キャンセルである。これらの発生条件を考慮し図 9(A)部の条件を追加することで適合率を向上させることができた。向上後に相関分析テストを実施した結果が図 10 である。走行距離当たりの短時間ワインカーの発生回数が多いほど、事故率が上がっていくことが確認できた。

概要	イベントの開始条件: ウィンカー信号左右どちらか == ON イベントの終了条件: ウィンカー信号 == OFF イベントの確定条件: ウィンカー継続時間 < 2.5[sec]かつ シーン中の平均速度 >= V1[km/h]かつ シーン中の最大ステア角 - 最小ステア角の絶対値 >= A1[deg]](A)
----	---

図 9 短時間ワインカー診断のロジック

図 10 短時間ワインカー診断の結果と事故率の関係⁽³⁾

(2) 車幅感覚(安定走行)

車幅感覚診断のロジック概要を図 11 に示す。KINTO における事故の特徴を調査していくと、車両の左部を擦るような事故が件数として多くを占めることがわかった。この原因をドライバーが車幅感覚を適切に持てていないことだと考えた。本診断は、車幅感覚向上のために、日ごろから自身の走行位置を意識して走行できるよう車線内の中央を走ることをタスクとして与え、そこからのズレ量、および、ブレ幅を計測している。ズレ量およびブレ幅の計測にはレーントレーシングアシストなどの機能のために搭載されたフロントカメラから得られる情報を利用している。

こちらに関しても例えればバス停に停車しているバスを追い越すために車線内右寄りを走行するシーンがある。これはドライバー自身の車幅感覚によるズレではなく、交通環境による外乱といえる。こういったシーンのデータを集め、図 11(A)部の条件を加えることでより適切なシーン抽出を実現した。また社

内資格に基づいてさまざまな運転スキルのドライバーを集めて、ドライバーが意識した場合と意識しない場合でそれぞれズレ量、および、ブレ幅を計測した結果が図 12 である。それぞれの KPI と走行意識の有無、および、運転スキルは比例関係にあり、それらを基準として評価レベルの設定を実施した。

概要	イベントの開始条件:以下の全ての条件がt1秒以上継続している
	<ul style="list-style-type: none"> ・急進動判定で左右加速度がA1[m/sec²]未満かつヨーレートがY1[deg/s]未満 ・車速がV1[km/h]以上 ・ワインカー信号 == OFF ・車線の中心からの距離の単調増加・減少が一定連続していない ・車線を認識できている ・レーダークルーズコントロールが有効でない ・カーブ走行中でない
	イベントの終了条件:上述条件のいずれかの条件が解除されたとき
	イベントの除外条件:以下いずれかの条件が満たされたとき
	<ul style="list-style-type: none"> ① シーン開始から終了までの時間がt1秒未満 ② 車線の中心からの距離が上限または下限になっている ③ オフセット値がt1秒間変化のない区間 ④ 車線変更後t2秒以内の区間 ← (A) ⑤ ②および③の区間の前後t3秒間

図 11 車幅感覚診断のロジック

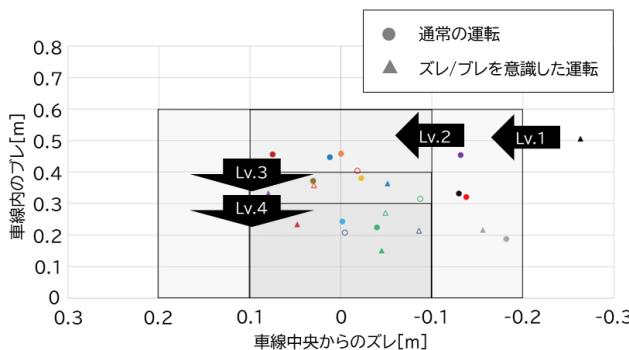


図 12 車幅感覚診断の結果と運転レベルの関係

4. 得られた成果

本サービスは 2023 年 2 月に実証として提供を開始し、2024 年 2 月より正式サービス化した。正式サービス化後もトレーニングの一部診断など、新機能を新たな実証として投入し、進化するサービスとして提供している。実証中に以下の成果を確認したため、正式サービスに移行することができた。

まず、安全運転診断の検知頻度についてアプリ利用者と非利用者を比較したとき、全診断項目平均でアプリ利用者は非利用者より検知頻度が 42% 低いことが確認できた。

アプリ利用者と非利用者で発生した事故 1 件当たりの保険金を比較したものが図 13 である。アプリ利用者のほうが 20% 程度低くなっている。この結果から、アプリ利用者は車両の損傷度が大きい事故を起こしていない

ことが考えられる。また、燃費の差を比較したものが図 14 である。こちらもアプリ利用者のほうが 5% 程度燃費がよい。この結果から、アプリ利用者のほうが燃費のよい運転ができていると考えられる。

以上より、アプリ利用者の安全運転、および、エコ運転に本サービスが一定の貢献を果たしたと考えている。お客様からの評判もよく、本機能を目当てに KINTO Unlimited アプリへ高頻度でアクセスするお客様が多数存在することも確認できた。KINTO、および、トヨタに対するエンゲージメント向上にも貢献できたと考えており、今後も貢献の幅を拡大できるよう開発を継続する。

事故あたりの保険金の金額

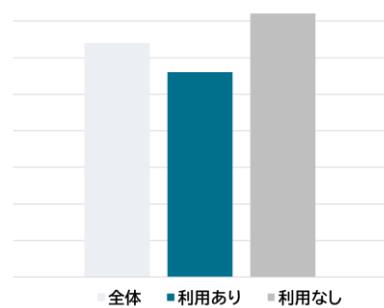


図 13 アプリ利用有無での保険金の差

燃費

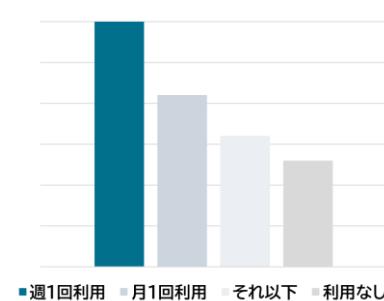


図 14 アプリ利用有無での燃費の差

■参考文献

- (1) 株式会社KINTO、「月額に含まれるサービス」,
https://kinto-jp.com/kinto_one/service/,
 2025/08/22.
- (2) 株式会社KINTO、「進化を続けるKINTO Unlimited」,
<https://kinto-jp.com/unlimited/>,
 2025/08/22.

(3) 株式会社KINTO、「安全でエコな運転をアドバイス

「コネクティッドドライブトレーナー」をご紹介」、

<https://kinto-jp.com/magazine/k20230515-2/>,

2025/08/22.

事故ゼロ/CN に向けた運転診断技術 ～レンタカー運転見守りによる安全運転支援～

遠藤 雅人 ^{*1}鴨川 隆宏 ^{*1}原田 慎介 ^{*1}長谷 高明 ^{*1}真鍋 周平 ^{*1}飯 潔倫 ^{*1}

要旨

トヨタは、2022年からデータを活用し、沖縄の事故削減を目指す「沖縄ゆいまーるプロジェクト」に参画している。そのなかで、レンタカーのお客様向けに運転者の安全意識の向上を促すレンタカー用車載マルチメディア向け運転見守りアプリケーションを開発した。本稿では、当該アプリケーションの主要な機能である「安全運転状態の通知機能」、および、「危険地点の注意喚起機能」の機能の紹介をするとともに、2025年6月からレンタリース沖縄で行ってきた実証実験の結果、および、その考察結果を詳述し、今後の技術開発や機能向上にかかる課題についても言及する。

キーワード： 運転診断、事故削減、レンタカー、ゆいまーるプロジェクト、同乗者効果、マルチメディア、危険地点、TOVA、事故ゼロ、CAN

1. 沖縄ゆいまーるプロジェクト

ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems:先進運転支援システム) 技術の発展などにより、事故件数は全国的に減少傾向にある。一方で、沖縄のような観光地域では、レンタカー運転中の事故の多さが地域の課題となっている⁽¹⁾。そこで、トヨタ・モビリティ基金が中心となり、レンタカー事業に関わる自動車、観光、航空などの各業界と連携して、事故削減を目指す「沖縄ゆいまーるプロジェクト」と後に名づけられた⁽²⁾取り組みが2020年に開始された。2025年4月時点のメンバーは図1に示すとおりである。本プロジェクトでは、「産官学でデータを活用し、車両に搭載するアプリケーションの開発やインフラの改善などの施策によって事故削減や渋滞の解消を進めている。トヨタは、本取り組みに2022年から参画し、コネクティッドサービス「T-Connect」のデータを活用したレンタカーの特性分析を行い、事故が起こる可能性が高いと推定される箇所の抽出などを行っている。



図1 2025年4月時点の沖縄ゆいまーるプロジェクトメンバー

2. 車載マルチメディア向け運転見守りアプリケーション

2.1 開発経緯

沖縄ではクルマによる移動の利便性が高いため、レンタカーは県外や海外からの観光客の主要な移動手段の一つとなっている。一方、観光客は沖縄の交通環境について必ずしも詳しい訳ではなく、都心部からの卒業旅行の学生などそもそも運転に不慣れな方も一定数いると考えられるため、クルマから適切な情報提供を行うことが事故削減の一助になると考えられる。そこで、ゆいまーるプロジェクトでは、当初からプロジェクトに参加して

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

いた矢崎総業が提供した車載タブレット用アプリケーションによりお客様の走行中の速度、急ブレーキなどの情報を基に運転診断を行い、結果をお客様にその場でフィードバックしたり危険地点で注意喚起したりするなどして、運転者の安全意識の向上を促すサービスの実証実験を行ってきた。トヨタはこの取り組みに、沖縄県警察とともに危険地点の抽出で協力していたが、クルマにあらかじめ搭載されているマルチメディアにこの機能を搭載することで、ソフトウェアのアップデートのみでより多くのお客様に提供することができるため、マルチメディア向けの運転見守りアプリケーションの開発を進めてきた。

2.2 システム概要

本アプリケーションは、実証をつうじてアジャイルにお客様の声に基づいた改良を進めるためには、スピーディな日程での開発が必要であったため、オープンな開発環境である「TOVA(トーバ)：Toyota Open Vehicle Architecture(図2)」を活用して開発した。TOVAには車両情報を利用したサービスを開発するソフトウェア開発キットが配布されており、一からアプリケーションを開発する必要はなかったため、開発着手から約半年で沖縄における実証実験を開始することができ、その後のアップデートについても、より短期の日程で開発することができた。

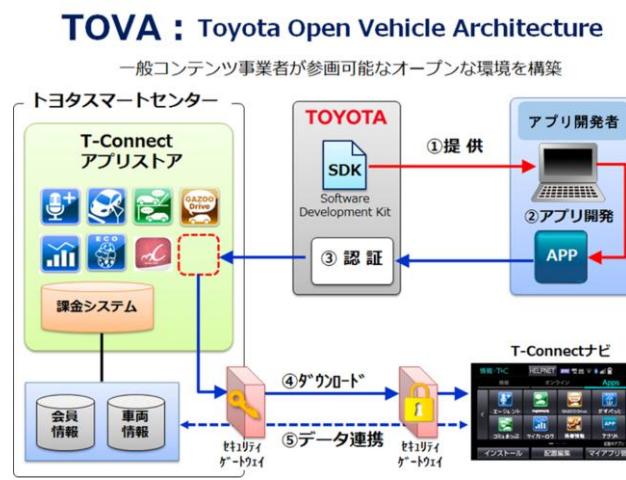


図2 TOVAの概念図

3. 安全運転状態の通知機能

本アプリケーションが提供する主要な機能は「安全運

転状態の通知」「危険地点の注意喚起」の2つであり、本章では「安全運転状態の通知」についての解説を行う。

3.1 機能概要

安全運転状態の通知機能は車両のCAN (Controller Area Network)情報を活用し、車載マルチメディアによってリアルタイムで4種類の安全運転診断(急減速、急発進、急加速、速度超過の診断)を行い、これらの診断結果に応じて車載マルチメディアの画面上のナビカード内に表示されるキャラクター「ゆいまる」の表情が変化するものである。具体的には、図3に示すように安全な運転を続けると「ゆいまる」は喜んだ表情のままであり色も青のままとなる。運転診断の結果によって危険な運転だと判断されると「ゆいまる」の表情が曇っていき、色も信号のように黄→赤と変化する。これにより、運転者は直感的に自分の運転を理解することができ、安全な運転行動ができるような行動変容が促される。また、キャラクターが見守っていると感じていただくことによる「同乗者効果」(運転中に同乗者がいると運転者の運転行動が変容し、事故リスクが低減する効果)も期待できる。さらに、沖縄でのレンタカー利用は家族や友人と一緒にドライブするケース多いため、親しみやすいキャラクターにより、乗員皆で安全運転を目指していただきたいという狙いもある。



図3 安全状態の通知機能の表示態様例(開発中画面)

3.2 危険挙動の判定ロジック

本アプリケーションで使用される危険挙動判定のロジックは前述のとおり、急減速、急発進、急加速、速度超過の4種類であり、これらのロジックは本特集で紹介している診断プラットフォームのロジックを活用している。これらのロジックの概要は図4に記載のとおりである。診

断プラットフォームを活用したビックデータ解析により事故相関分析を行い、事故率が高い運転者と低い運転者を有意に層別することができるしきい値が定められている。

診断種類	利用する情報(取得元)	危険挙動の判定ロジック
1)急減速	加速度(ECU)	1)600ms内に-3.89m/s ² 以下の減速を検知
2)急発進	加速度(ECU)	1)10km/h未満で走行中 2)600ms内に3.3m/s ² 以上の加速を検知
3)急加速	加速度(ECU)	1)10km/h以上で走行中 2)600ms内に3.3m/s ² 以上の加速を検知
4)速度超過	道路種別(ナビ機能) 速度(ECU)	1-1)走行中の道路種別が高速道路 1-2)車速120km/h以上・2分間継続を検知 2-1)走行中の道路種別が一般道路 2-2)車速80km/h以上・2分間継続を検知

図4 診断の種類と、診断に利用する情報・危険挙動の判定ロジック

診断処理の流れは、図5に示されるように大きく4つのステップで行われる。

- 1) 診断に必要なCAN信号をECU(Electronic Control Unit)からTOVA経由で受信
- 2) 診断に必要な道路種別情報をナビ機能からTOVA経由で受信
- 3) アプリケーション内で各診断項目の診断処理を実施
各診断処理においては受信した情報を基に判定ロジックにより危険挙動があるか否かを判定
- 4) 危険挙動があった場合に、その旨を示すキャラクターのナビカード「赤」もしくは「黄」をマルチメディア端末のディスプレイに表示
(一定時間、危険挙動がなかった場合にキャラクターのナビカードは「青」に戻る)

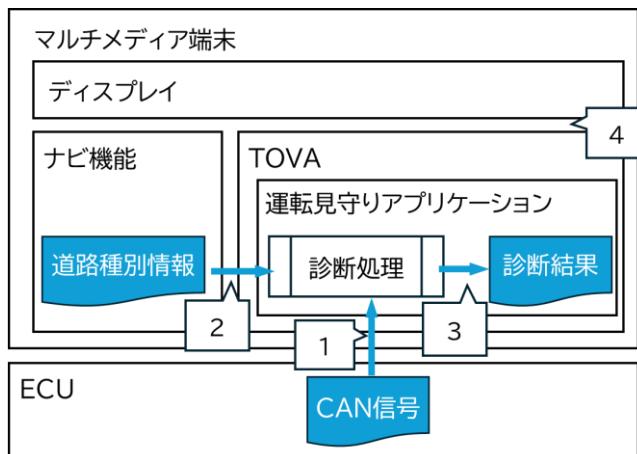


図5 車載マルチメディア向け運転見守りアプリケーションの診断処理の流れ

3.3 車載マルチメディアにおけるUI課題と工夫点

車載タブレット用アプリケーションにおいては、車載マルチメディアとは別体として搭載された専用画面として利用することができたため、運転診断通知ではキャラクターを常に表示させることができた。さらに、危険地点も画面いっぱいにわかりやすく表示することができた。一方、車載マルチメディアの場合、「車に標準搭載されているため搭載車台数を容易に増やすことができる」「視野移動が少ない位置に表示される」といったメリットはあるものの、ナビゲーション機能など本来の機能を損なわずに、運転見守り機能を提供することが大きな課題となつた。そこで、種々の工夫を施することで、ナビゲーション機能と運転見守り機能の両立を目指すこととした。まず、運転診断機能については、キャラクターを表示させるナビカードを定期的に表示させることで同乗者効果を損なわないようにした。ここで、その表示頻度が課題となつたが、「気付きやすさ」「システム作動状態の認識しやすさ」「ナビ情報に対する疎外度合い」を考慮して2分に1回の頻度にした。さらに、試乗した方から走行中に表示されたカードを見逃すことがあるという声を受け、停止時にもキャラクターが表示されるようにした。

次に、危険地点通知機能については、ナビカードの狭い領域に表示すると表示内容がわかりにくくなってしまうという課題があった。そこで、カードのイラストを改善したほか、その交差点で注意すべき点を文字でも表示することにより、小さくてもわかりやすい表示を目指した。さらに、キャラクターのデザインについてもブーバキキ効果(言語音と図形の視覚的印象との連想による効果)を期待して、「青」→「黄」→「赤」になるにつれてとげとげしいキャラクターになっている。

さらに、運転見守りに関するカードの表示はナビゲーション機能の表示と比較して表示の優先順位を低く設定しているため、ナビなどの機能は通常通り使えるように配慮されている。このような工夫により、ナビゲーション機能と運転見守り機能の両立を図った。

3.4 危険操作通知の追加

初期のタブレットによるアプリケーションの実証において、実際ご利用いただいたお客様から、「キャラクターの

色がなぜ変わるのが知りたい」という声に応え、キャラクターの色が変わる行動、すなわち危険操作を行ったときの通知を行う機能を追加した(図6)。この機能により、運転者は自分が苦手な操作を理解することができるようになるため、より効果的に安全な運転へ行動変容することが期待される。危険操作通知は、機能や、先述の4種類の運転診断により危険な操作が検出された場合に、車載マルチメディアの画面上にその旨を通知するイラストのナビカードを表示するものである。



図6 危険操作通知のナビカード

4. 危険地点の注意喚起機能

次に、もう一つの主要機能である「危険地点の注意喚起」について述べる。

危険地点通知は、ゆいまーるプロジェクトにおけるデータ分析により抽出された図7に示す沖縄本島内の要注意13交差点周辺の35地点において、車載マルチメディアの画面上に当該交差点の何に注意すべきかを通知するイラストのナビカードを表示するものである。普段とおらない交差点において、どのような事故が多発しているかを知ることができ、運転者はその点により注意して走行するようになるため、当該交差点における事故の発生率を下げることができるようになった。カードの種類は「追突事故多発(17ヶ所)」「対向車はみだし(1ヶ所)」「合流時接触(2ヶ所)」「右直事故多発(6ヶ所)」「(そのほかの)事故多発(9ヶ所)」の5種類となっている。沖縄県警察の事故データ、および、トヨタのプローブデータを活用し、どの事故類型に注意すべきかの抽出を行うことで、各地点の層別を行った。基本的に交差点ごとに危険地点は4ヶ所になるが、三叉路や道の駅の入り口なども含まれるので、3ヶ所以下になる箇所もある。各地点では、交差点から400m手前、および、200m手前で2度通知を行うことで効果を高める工夫をしている。本機

能についても、タブレットと比較した時に表示領域が小さくなってしまうため、注意すべきことをピクトグラムで明確化するとともに、何に注意すべきか文字でも表示するようにすることで、注意喚起の効果を下げないようにした。

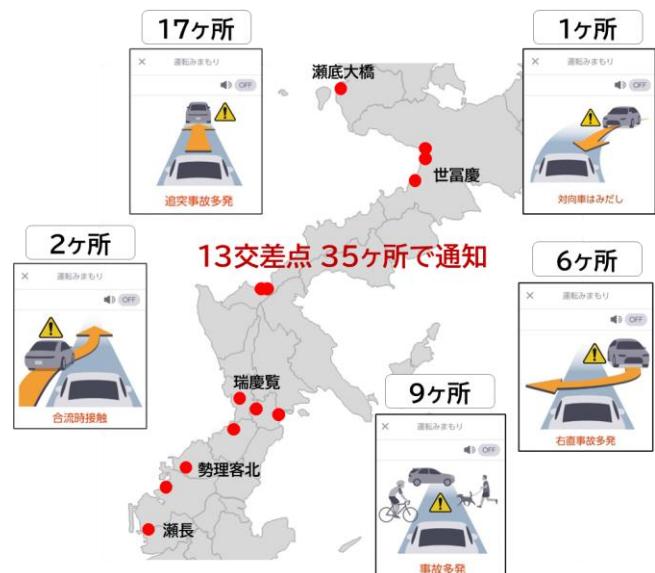


図7 危険地点の注意喚起機能の通知位置とナビカード

5. 沖縄での実証実験結果と今後の展開

5.1 実証結果と考察

● 安全状態の通知機能の実証結果

前章で説明した車載マルチメディア向けアプリケーションの事故削減効果を検証すべく、2024年6月からレンタリース沖縄の車両63台で実証実験を実施中である。図8グラフ①ではそのなかで実証車と非実証車の2024年6月～2025年3月の事故発生頻度等を比較した。事故発生頻度は全貸渡数のなかでの事故発生比率である。今回のアプリケーションは運転中の事故を対象とするため、駐車場での軽微な接触等を除外するために、レンタリース店で修理可能な事故は除外した。その結果、日本人の事故発生率は、実証車は非実証車と比較して55.3%低く、外国人に関しても60%低いことがわかった。これにより、本アプリケーションを車両に搭載することで一定の事故削減効果が見込めることが確認された。また、図8グラフ②の事故発生頻度と相関が高い急ブレーキの発生頻度に関しても、実証車の方が日本人

は26.9%, 外国人は38%低いことがわかった。ここで、日本人と外国人の差であるが、沖縄における非レンタカーも含めた一般的な急ブレーキの発生頻度は約0.8回/100kmであることから、もともと1.7回/100km以上あった外国人の方が伸びしろが大きかったことが原因の一つである。一方、日本人についても0.9回/100km付近に下がっており、一般車両に近づいていることがわかる。

さらに、安全な運転をすると燃費の改善にもつながるといわれているが、図8グラフ③に示すように今回の実証でも事故率の低い実証車の方が、平均燃費が6%高くなった。沖縄は渋滞が多く、那覇市内の平日の朝夕の車の速度は東京23区よりも遅いといわれていることから、発進や減速の機会も多くなるため、

本アプリケーションの効果でスムーズな運転を行うことによる燃費削減量も大きくなっているものと考えられる。

● 危険地点の注意喚起機能

危険地点通知の注意喚起機能については、2025年5月1日から5月31日までの13交差点における急ブレーキの発生頻度を検証した。その結果が図8グラフ④である。発生頻度は全走行距離のうち交差点から200m範囲内の急ブレーキ回数に基づいて算出した。その結果、実証車の急ブレーキ頻度は非実証車に比べて14%減少していることがわかった。よって、危険地点通知についても一定の効果があることが確認された。

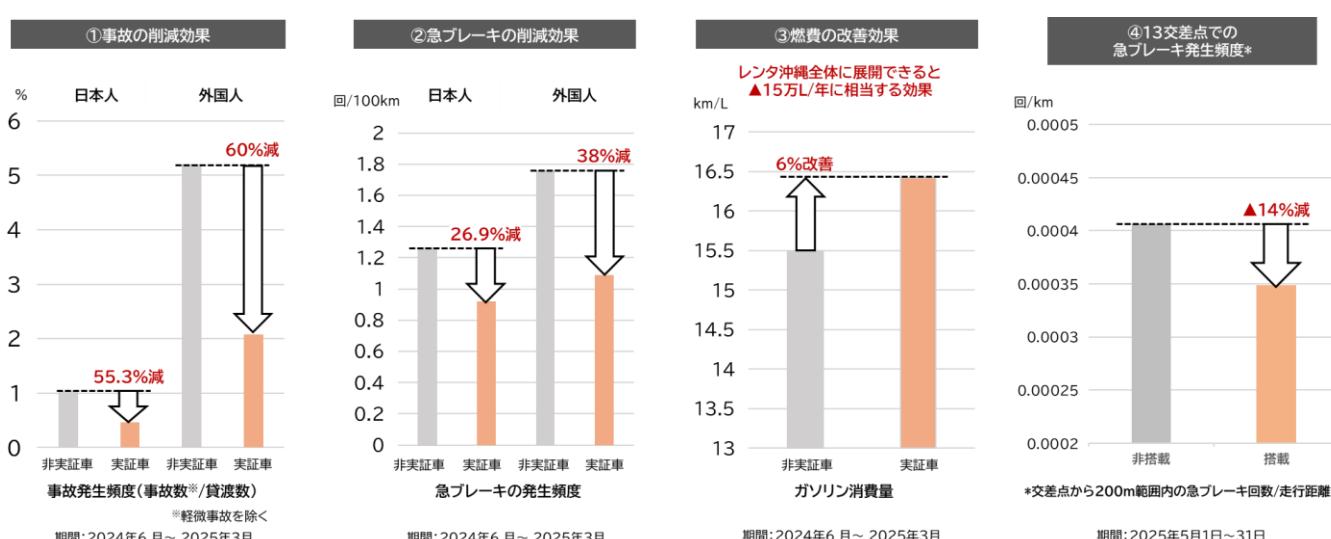


図8 運転見守りアプリケーションの実証結果

5.2 今後の展開

先述のように、車載マルチメディア向けアプリケーションについても一定の効果が確認されたため、今後は沖縄全域に展開し、最終的には全国にこの取り組みの拡大を目指していく。一方で、技術開発面では、実証中に実施したアンケートにおいて、一部ではあるがキャラクターの表示頻度が高く煩わしいという意見も聞かれたため、事故削減効果と煩わしさ最小化を目指してUIの改良やその実証を進めていく。また、それと同時にUIの改良などや地域課題に寄り添う機能アップデートを進めていく。例えば、沖縄では県北部の道路で、希少動物であるヤンバ

ルクイナやケナガネズミの交通事故が多発している。このような実情を鑑み、ネイチャーポジティブ(自然再興)の取り組みに共感し、車載マルチメディア向けアプリケーションからの注意喚起といった施策で協力していく予定である。このような施策についても、診断プラットフォームを活用したデータ解析により効果検証を進めていく。さらに、将来的にはレンタカー向けのみならず、一般のお客様の事故削減にも寄与できるよう、フィードバック内容のパーソナライズや、お客様が飽きずにより安全行動変容いただくためのUI/UXの実現といった課題に取り組んでいく。

■参考文献

- (1) 沖縄県警察 交通白書 ダイジェスト,
https://www.police.pref.okinawa.jp/docs/2025061100023/file_contents/R7_kotsuhakusyo.pdf
- (2) トヨタ・モビリティ基金, 沖縄県警察本部と連携し,
警察の事故データと車両データの融合により事故
の未然防止に取り組む手法を開発 一本取り組みを
含む産官学連携の活動を「沖縄ゆいまーるプロジェ
クト」と命名-,
<https://toyotamobilityfoundation.jp/news/release/0110.html>

事故ゼロ/CN に向けた運転診断技術 ～認知機能低下推定～

小川 義人 ^{*1} 小渕 達也 ^{*1}

要旨

本稿では、運転時の車両データのみからドライバーの認知機能低下を推定する技術の開発を行った。はじめに、研究機関と連携し、認知機能検査結果と車両データを含む MCI(Mild Cognitive Impairment: 軽度認知障害)ラベル付き運転データセットを構築した。次に、運転シーンの車両データを用いた認知機能低下推定手法として、運転シーン抽出、特徴量抽出、運転シーンごとの認知機能低下推定、複数シーン推定値の代表値算出という 4 ステップからなる手法を提案した。最後に、交差検証にて提案手法の精度を検証し、ドライバーの認知機能低下を有意に推定できることを確認した。軽度認知障害の早期発見可能性を向上することで、本稿は高齢ドライバーの Quality Of Life(QOL)維持、交通安全へ寄与するものと考えられる。

キーワード： 軽度認知障害、認知機能、認知機能低下、認知機能低下推定、MCI スクリーニング、車両データ、機械学習モデル、高齢ドライバー、ドライバー状態推定

1. はじめに

近年、MCI(Mild Cognitive Impairment: 軽度認知障害)高齢ドライバーの安全対策が課題となっている。MCI とは健常と認知症の中間状態を指し、認知機能低下はみられるものの、自立した日常生活が維持できている状態と定義されている⁽¹⁾。法令上、認知症有病者には自動車の運転が認められていないが、MCI 高齢者には自動車の運転が認められている。2021 年の高齢者数、MCI 有病率 18.8%⁽²⁾、MCI 高齢者における運転実施割合⁽³⁾を用いて概算すると、国内に約 393 万人の MCI 高齢ドライバーが存在することになる。しかしながら、2018 年に行われた調査では、死亡事故を起こした高齢ドライバーの認知機能低下出現率は全高齢ドライバーのそれよりも大きいことが明らかとなっており、認知機能低下と死亡事故との関連が示唆されている⁽⁴⁾。

2. 軽度認知障害ドライバー対策

軽度認知障害が運転の安全性に影響を与えることか

ら、軽度認知障害ドライバーの安全対策が求められている。最も簡単な対策としては、何らかの条件で運転を制限することが考えられる。しかし、運転を中止した高齢者における要介護発生率は、継続した高齢者と比較して約 8 倍となることが報告されている⁽⁵⁾。要介護発生率の増加は生活範囲の狭小化、活動量の低下によるものとされており、危険であるからといって運転を制限するような対策は高齢者の Quality Of Life(QOL)を損なう可能性がある。

一方で、MCI 状態であれば早期発見と適切な介入によって回復も可能とされている⁽⁶⁾。したがって、対策としては健常状態あるいは MCI 状態であっても、安全な運転が可能である状態のうちから定期的に認知機能低下のスクリーニング検査を受け、認知機能低下が疑われたならば速やかに医療機関を受診、介入へと繋げることが考えられる。そのためには定期的に受けることが可能な、負担の少ないスクリーニング検査手法が必要となる。

2.1 既存の MCI スクリーニング検査

MCI のスクリーニングは重要な課題であるため、さまざまな手法が提案されている。赤坂らは、老研式活動能力指標の特定項目における高齢者本人と家族の評価不

*1 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

一致数, すなわち, 自己の活動能力に対する認識の正しさが MCI の判別に有用であることを示した⁽⁷⁾. 加藤らや Kiyoshige らは, 音声回答タスク, 自発音声, インタビューにおける回答音声から得られる抑揚などの音響的, 韻律的特徴量を用いた MCI スクリーニング手法を提案している⁽⁸⁾⁽⁹⁾. 柴田らは, 画像やエピソードの説明課題における言語的特徴量, 特に回答の量や複雑性を用いたスクリーニング手法を開発した⁽¹⁰⁾. これらの手法はそれぞれ精度の高いスクリーニングを実現しているものの, 意図的なタスク実行が必要である.

意図的なタスク実行を要さない手法としては, Bayat らや Di らの提案した自動車運転活動量を用いるものがある⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾. これらの手法は長期に渡る自動車運転記録からその頻度や傾向を抽出して認知機能低下を推定する. そのため, 特徴量として「年間のトリップ数」「行き先の多様性」「右左折の比率」などが含まれ, 推定対象者の生活スタイルや居住地域の交通環境に影響を受ける可能性がある.

ただし, これらの手法は排他的なものではなく, 異なる特徴量を用いる手法を相補的に組み合わせることで精度の高いスクリーニングが実現できると考えられる.

3. 車両データを用いた認知機能低下推定手法

本稿では, 発進, 停止, 右折, 左折といったミクロな運転シーンにおける車両データを用いた認知機能低下推定手法を提案する. ミクロな運転シーンの車両データを入力とすることで, 生活スタイルや居住地域の影響を受けない推定が可能と考えられる. 図 1 に提案手法の流れを示す. 提案手法は運転シーン抽出, 特徴量抽出, 機械学習モデルによる認知機能低下推定, 複数シーンに対する推定値の代表値算出という 4 ステップで構成される. ここでははじめに提案手法の基盤となる車両データの素性について, 次に提案手法の各ステップについて述べる.

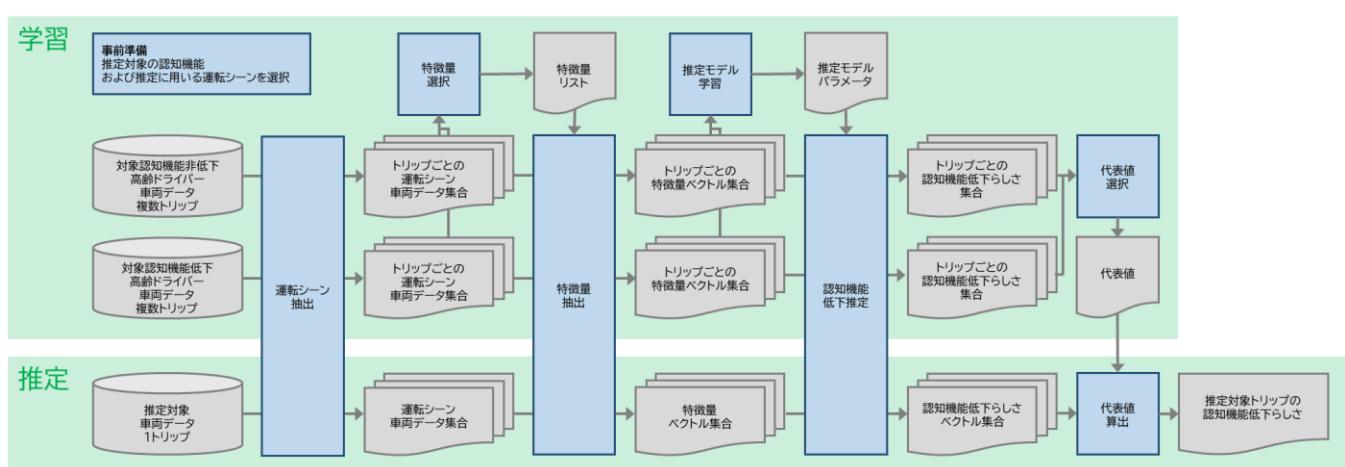


図 1 認知機能低下推定手法の流れ

3.1 MCI ラベル付き運転データセット

認知機能低下推定手法の開発に先立ち, ドライバーの認知機能検査結果が紐づいた運転データセットを構築した. 以降ではこのデータセットを MCI ラベル付き運転データセットと呼ぶ. 図 2 に MCI ラベル付き運転データセットが含む情報を示す. このデータセットは, 公道上に設定された 30 分程度のコース走行時の車両データと車室内外動画, 運転能力評価, 別途実施した認知機能検査の結果からなる. 車両データとしては, 車速や操舵角など

の車両挙動, および, 操作に関する信号を 10[Hz]で CAN(Controller Area Network)よりサンプリングした. 運転能力評価としては, 走行に同乗した教習所教官が高齢者講習に準じた評価を行った. 認知機能検査としては, NCGG-FAT (National Center for Geriatrics and Gerontology-Functional Assessment Tool)を用い, 記憶機能, 注意機能, 遂行機能, 処理速度の 4 認知機能を測定し, 認知機能ごとの検査結果と, 年齢から MCI か否かを判断してラベルを付した. 図 3 に各認知機能の概

要と対応する認知機能検査を示した。サンプル数は若・中年者、健常高齢者、MCI 高齢者合計で 165 名、277 走行であった。本稿ではこれらのうち、車両データとラベルのみを用いた。なお、MCI ラベル付き運転データセットの構築は国立長寿医療研究センターとの共同研究のなかで行われ、構築、および、本稿の内容における使用は国立長寿医療研究センター倫理・利益相反委員会、および、トヨタ自動車株式会社研究倫理審査委員会の承認に基づいて実施された。

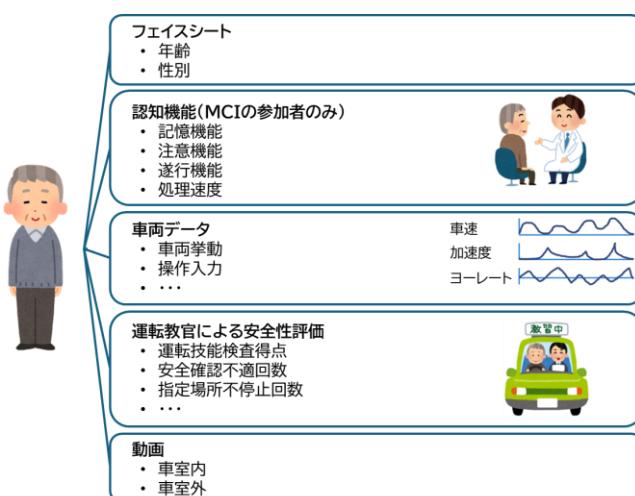


図 2 MCI ラベル付き運転データセットが含む情報

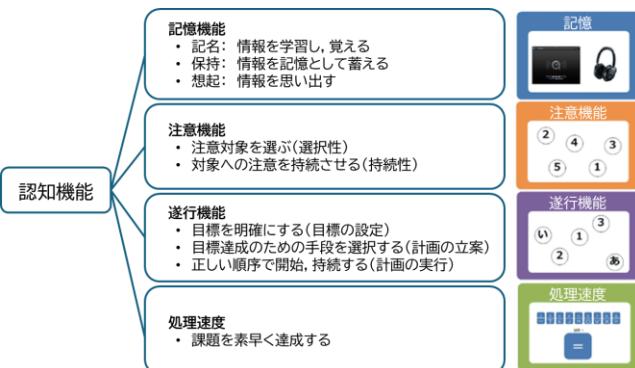


図 3 NCGG-FAT で測定された認知機能と対応する認知機能検査

3.2 運転シーン抽出

運転シーン抽出ステップでは、認知機能低下推定に用いる運転シーンを、連続した時系列データから抽出する。学習時には認知機能が低下していないドライバーの時系列データ集合、低下しているドライバーの時系列データ集合から運転シーンを抽出し、それぞれ非低下ドライバー運転シーン集合、低下ドライバー運転シーン集合を構

築する。推定時には推定対象の時系列データから運転シーンを抽出し、推定対象運転シーン集合を構築する。

本稿では認知機能低下推定に用いる運転シーンを直進発進、直進停止、左折、右折の 4 シーンとした。これらは非定的なシーンであるため認知機能の要求量が大きく、認知機能低下の影響が出現しやすいと考えられる。これらのシーンはシーンごとに定められた単位で分割され、単位ごとに特徴量を算出される。以降ではシーンを分割した単位をフレームと呼ぶ。各シーンの定義と分割単位を表 1 に示す。

表 1 対象とする運転シーン

運転シーン	単位	フレーム単位
直進発進	発進後、累積左右加速度の絶対値が $0.400[m/s^2]$ 未満かつ累積ヨーレートの絶対値が $6.00[^{\circ}]$ 未満であるま $40.0[m]$ 以上進行する挙動の冒頭 $40.0[m]$ 部分	進行 $2.00[m]$
直進停止	ある地点からの累積左右加速度の絶対値が $0.400[m/s^2]$ 未満かつ累積ヨーレートの絶対値が $4.00[^{\circ}]$ 未満であるま $40.0[m]$ 以上進行し、その後停止する挙動の末尾 $40.0[m]$ 部分	進行 $2.00[m]$
左折	2つの直進挙動に挟まれた左旋回角 $84.0[^{\circ}]$ 以上の部分を左折とし、その部分の末尾旋回角 $84.0[^{\circ}]$ に当たる部分	旋回角 $2.10[^{\circ}]$
右折	2つの直進挙動に挟まれた右旋回角 $84.0[^{\circ}]$ 以上の部分を右折とし、その部分の末尾旋回角 $84.0[^{\circ}]$ に当たる部分	旋回角 $2.10[^{\circ}]$

3.3 特徴量抽出

特徴量抽出ステップでは、運転シーンの車両データから認知機能低下推定に用いる特徴量を抽出して特徴量ベクトルとする。学習時にはその準備としていたん全ての特徴量を算出し、非低下ドライバー、低下ドライバー間での有意傾向と多重共線性を考慮した特徴量選択を行う。本稿では、車両データ物理量として表 2 に示す 8 種を用いた。特徴量の算出手順としては、運転シーンを分割した各フレームに対し、フレーム内におけるサンプル数、および、8 物理量の平均、標準偏差、最小値、最大値、最大値と最小値の差、0 から最も離れた値の 6 代表値を算出し特徴量とした。したがって、1 つのフレームから 49 の特徴量が抽出された。これらの特徴量から、学習データにおいて健常ドライバーと認知機能低下ドライバーのデータ間に有意傾向がみられ、ほかの特徴量とのあいだに多重共線性を持たないものを選択して認知機能低下推定に用いる特徴量とした。推定時には特徴量選択は行わず学習時に選択された特徴量を抽出する。

表2 車両データ物理量と取得方法

物理量	取得方法
車速	車両センサー
前後加速度	車両センサー
前後ジャーカー	前後加速度の微分値
左右加速度	車両センサー
左右ジャーカー	左右加速度の微分値
ヨーレート	車速と左右加速度から算出
ヨーレート1次微分値	ヨーレートの微分値
ヨーレート2次微分値	ヨーレート1次微分値の微分値

3.4 機械学習モデルによる推定

認知機能低下推定ステップでは、個々の運転シーンにおいてそのドライバーの認知機能が低下していると思える度合い(以降、認知機能低下らしさ)を推定する。学習時には非低下ドライバー、低下ドライバーの特徴量ベクトル集合を用いて推定モデルを学習する。推定時には、学習済みの推定モデルで推定対象の運転シーンに対して認知機能低下らしさを推定する。本稿では、推定モデルとして多層パーセプトロンを用い、層数、ユニット数などのハイパーパラメータはバイズ最適化に基づいて決定した。

3.5 複数シーンに対する推定値の代表値算出

代表値算出ステップでは、1トリップから抽出された運転シーンに対する認知機能低下らしさ集合から代表値を算出する。認知機能低下推定は運転シーンが出現した道路構造や交通他者の状況によって影響を受け、それが推定におけるノイズとなることがわかっている。そのため、複数の運転シーンに対する認知機能低下らしさから代表値を算出し、複数シーンをまとめた認知機能低下らしさとすることで精度を向上することができる。ただ、その際どのような代表値を用いるべきかは推定モデルの学習結果に依存するため、あらかじめ設定することができない。そのため、学習時、推定モデルの学習後に学習に用いたデータから認知機能低下らしさを推定し、トリップごとの非低下ドライバー、低下ドライバー分類精度を最も大きくする代表値を選択する。推定時には選択された代表値を用いて推定対象トリップの認知機能低下らしさを算出する。本稿では、代表値候補として平均値、標準偏差、中央値、平均値と中央値の差、0%から100%まで

10%ごとの%ile値、0から1まで0.1ごとのしきい値に対してそれを下回る推定値の割合を用いた。

4. 精度検証

本稿では、提案手法の認知機能低下推定精度を検証するため交差検証を実施した。ここでは検証手法と結果について述べ、最後に考察を行う。

4.1 検証手法

交差検証とは、学習データを数グループに分割し、1グループを推定対象、1グループを学習終了判断、残りを学習に用いる手法である。本稿では、学習データを5分割したため、1つの推定対象グループに対し学習終了判断グループ、学習グループの組み合わせが4通り存在し、4つの推定モデルが学習された。本稿では、これらの推定モデルによる推定結果の平均値を最終的な推定結果とした。代表値選択については、単一の代表値を用いるために全てのデータを用いて行うこととした。したがって、検証の手順としては、はじめに交差検証にて全ての学習データに対する推定結果を求め、その後全てのデータを用いて代表値を選択し、選択された代表値を用いてトリップごとの非低下ドライバー、低下ドライバーの分類精度を算出する、となった。分類精度の指標としてはAUC(Area Under the Curve)を用いた。

4.2 結果

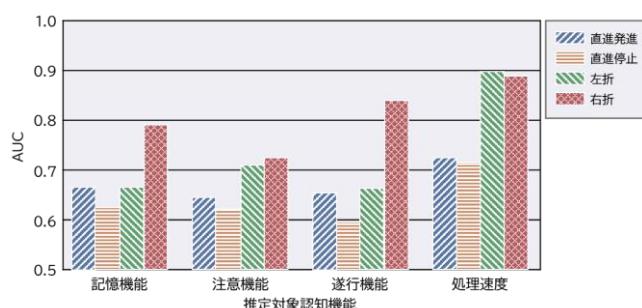
本稿では、4認知機能と4運転シーンに対してそれぞれ交差検証を行い、分類精度を算出した。図4(a)に代表値を用いない運転シーンごとの推定値による分類精度を、図4(b)に最適な代表値を用いたトリップごとの分類精度を示す。

結果として、個々の推定値を用いた分類においても、直進停止挙動を用いた遂行機能低下推定を除いた推定対象認知機能、運転シーンの組み合わせでは有意な分類の目安であるAUC 0.6を超える分類精度となっている。ここから車両データには認知機能非低下ドライバー、低く下ドライバーを示す情報が含まれており、車両データを用いた認知機能低下推定の可能性が示唆された。特に左折挙動、右折挙動を用いた遂行機能、処理速度の低下推

定では AUC 0.8 を上回っており、この組み合わせについては個々の運転シーンの推定値を用いても高精度な推定が可能であると考えられる。

代表値を用いた分類では、全ての推定対象認知機能、運転シーンの組み合わせにおいて、個々の推定値を用いた分類を上回る精度となった。これにより代表値を用いることの有用性が確認できた。また、4 推定対象認知機能全てについて左折挙動、右折挙動のどちらかあるいは両方で AUC 0.8 を上回る分類精度となっており、この 2 運転シーンのみで 4 推定対象認知機能の低下を推定できる可能性が示唆された。

(a) 運転シーンごとの推定値による分類



(b) トリップごとの代表値による分類

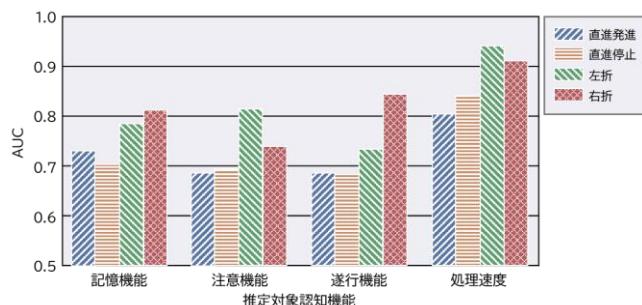


図 4 非低下ドライバー、低下ドライバーの分類精度

4.3 考察

本実験では、個々の推定値を用いた分類、代表値を用いた分類の双方で、左折挙動、右折挙動を用いた分類の精度が大きかった。また、推定対象認知機能別では、処理速度の分類精度が大きかった。これらは、運転シーンが要求する認知機能の質や量を反映していると考えられる。左折、右折シーンにおいては、歩行者、対向車の確認など比較的多くの動作を行う必要があるために要求される認知機能量が多く、認知機能低下が車両データに反

映されやすいものと考えられる。処理速度において分類精度が大きかったことについては、車両の運転が変化していく状況に応じた操作を行い続けるタスクであることから、処理速度の低下は車両データに反映されやすく、推定も容易であるためと考えられる。

5. まとめ

本稿では、認知機能低下を車両データから検出する手法の構築を目的とし、生活スタイルや居住地域の影響を受けずに推定が可能な手法としてミクロな運転シーンにおける車両データを用いた認知機能低下推定手法を提案した。また、提案手法の認知機能低下推定精度を検証するため、MCI ラベル付き運転データセットを用いた交差検証を行った。結果として、4 推定対象認知機能、4 運転シーンに対し、代表値算出なしでもほぼ全ての組み合わせで、代表値算出を用いると全ての組み合わせで AUC 0.6 を上回る精度での分類が可能であり、提案手法による認知機能低下推定の実現可能性が示唆された。

■参考文献

- (1) Petersen, R.C. and Morris, J.C.:Mild cognitive impairment as a clinical entry and treatment target:Arch Neurol, Vol.62, No.7, p.1160-1163 (2005)
- (2) Shimada, H. et al.:Combined Prevalence of Frailty and Mild Cognitive Impairment in a Population of Elderly Japanese People:Journal of the American Medical Directors Association, Vol.14, Issue.7, p.518-524 (2013)
- (3) Shimada, H. et al.:Driving continuity in cognitively impaired older drivers: Geriatrics & Gerontology International, Vol.16, Issue.4, p.508-514 (2016)
- (4) 警察庁交通局:平成29年における交通死亡事故の特徴等について:
<https://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/H29siboubunseki.pdf>,
2025/07/11にアクセス (2018)
- (5) Shimada, H. et al.:Driving and Incidence of Functional Limitation in Older People: A Prospective Population-Based Study:Gerontology, Vol.62, Issue.6, p.636-643 (2016)

- (6) Suzuki, T. et al.:A randomized controlled trial of multicomponent exercise in older adults with mild cognitive impairment:PLOS ONE, Vol.8, No.4, e61483 (2013)
- (7) 赤坂博他:MCI・早期アルツハイマー病の短時間スクリーニング法の検討—老研式活動能力指標の自己評価と家族評価を用いて—:日本老年医学会雑誌, Vol.57, No.2, p.182-194 (2020)
- (8) 加藤昇平他:高齢者音声韻律特徴を用いたHDS-Rスコアとの相関分析 音声を用いた認知症の早期スクリーニングをめざして:人工知能学会論文誌, Vol.26, No.2, p.347-352 (2011)
- (9) Kiyoshige, E. et al.:Developing and testing AI-based voice biomarker models to detect cognitive impairment among community dwelling adults: a cross-sectional study in Japan: The Lancet Regional Health – Western Pacific, Vol.59, 101598, <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2666-6065%2825%2900135-X>, 2025/07/11にアクセス (2025)
- (10) 柴田大作他:対照群付き高齢者コーパスの構築とそれを用いた認知症予備軍スクリーニング技術の開発:人工知能学会論文誌, Vol.34, No.4, p.B-J11_1-9 (2019)
- (11) Bayat, S. et al.:GPS driving: a digital biomarker for preclinical Alzheimer disease:Alz Res Therapy, Vol.13, No.115 (2021)
- (12) Di, X. et al.:Using Naturalistic Driving Data to Predict Mild Cognitive Impairment and Dementia: Preliminary Findings from the Longitudinal Research on Aging Drivers (LongROAD) Study:Geriatrics, Vol.6, No.2, 45 (2021)
- (13) Di, X et al.:Detecting mild cognitive impairment and dementia in older adults using naturalistic driving data and interaction-based classification from influence score:Artificial Intelligence in Medicine, Vol.138, 102510 (2023)

事故ゼロ/CN に向けた運転診断技術 ～高齢者講習支援～

橋本 修実 ^{*1}若菜 明 ^{*1}中村 和人 ^{*2}御崎 雅裕 ^{*2}

要旨

本稿では、高齢者の運転寿命延伸を目指し、自動車教習所で行われている高齢者講習実車指導において、高齢者自らが運転能力を認識し診断結果を確認できるシステムの開発について報告する。開発にあたり、自動車教習所にご協力いただき、診断項目の選定、および、システムの実証試験を実施した。システムでは、車両データを用いたドライバー操作や車両挙動の解析、および、高精度な車両位置測位と教習コース図を用いた走行軌跡から運転診断を行った。受講者には受講後に運転診断レポートを、ご家族にはホームページで講習結果を閲覧可能とすることで受講者自身の心身状態を理解いただき、運転の再教育などの判断に活用いただくことを目的とする。

キーワード： 高齢者講習、運転寿命延伸、運転技能診断、自動車教習所

1. はじめに

日本が抱える超少子超高齢化の社会の課題、および、人生 100 年時代に向け、クルマ会社として高齢者の移動の自由を実現する対策が求められている。車両先進安全技術が進化するなか、自動車事故は年を追うごとに減少してきたが、一方で高齢ドライバーによる事故は一時コロナ禍で減少した年を除くと横ばいで減少しているとはいえない⁽¹⁾(図 1)。自動車教習所(以降、教習所)は、高齢ドライバーの高齢者講習や認知機能検査を実施する場として、「自己の心身状態の理解」と「再教育」の両輪で高齢者の生活に密接に関わっている。全国の指定自動車教習所から組織される一般社団法人全日本指定自動車教習所協会連合会(以降、全指連)の長期ビジョン研究会は、取り組みとして高齢者の QOL(Quality Of Life)向上に重要な「運転寿命を延伸する再教育」という観点で再教育の手法についての調査研究を行った。再教育の手法としてはさまざまなプログラムが開発されているが、高齢者が運転能力を自ら認識できることが求められており、運転技能を定量的に診断するシステムの必要性が高まっ

ている。このような背景からトヨタ自動車は、教習車、および、教習指導員の利便性を考慮した装備の独自開発を行ってきた新明工業株式会社(以降、新明工業)とともに、全指連の多大なる協力のもと、高齢者講習における運転技能を定量的に評価できる診断システムの開発に取り組んだ⁽²⁾。

(件)

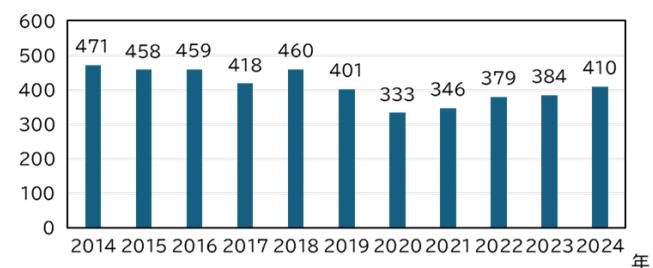


図 1 75 歳以上高齢運転者(一般原付以上運転)による死亡事故件数の推移

2. 運転診断項目の決定

運転診断項目を決定するにあたり、愛知県刈谷自動車学校様、京都府宝池自動車教習所様、兵庫県阪神自動車学院様にご協力いただき、高齢者講習の見学・同乗、指導員への評価法ヒアリングを実施した。これらより高齢者の問題運転を把握し診断項目を決定した。

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

^{*2} クルマ開発センター VC 開発部

診断項目は、「安全な運転」と「スムーズな運転」の二つに大別し、「安全な運転」では、以下のように細別した。

- 一時停止(適正な場所で一時停止しているか)
- 脱輪・大廻り(交差点やコーナーで縁石乗り上げや白線を踏むことなく曲がれているか)
- 境界線はみだし(境界線からはみだすことなく走行できているか)
- ウィンカー操作開始場所(右左折や車線変更時に適正な場所でウィンカー操作しているか)
- 急発進/加速、急停止/減速(急な発進・加速・停止・減速なく運転できているか)

「スムーズな運転」では、如何に加速度の変化を少なく、直線部の加減速やコーナー部の走行ができているかを評価することとした。

3. 運転診断技術の開発

「安全な運転」の診断項目である、一時停止、脱輪・大廻り、境界線はみだし、ウィンカー操作に対しては、正確な教習コース測量データと車両位置データを用いた診断技術を新たに開発した。その一例として、一時停止診断方法について説明する。

一時停止の診断では、一時停止時の車両先端と停止線の平面視上の距離から、停止位置が適正であるかを判断している。車両には位置測定のための GPS アンテナがルーフ中央に装着されており、車両先端と停止線の距離 C は以下のように求めることができる(図 2)。

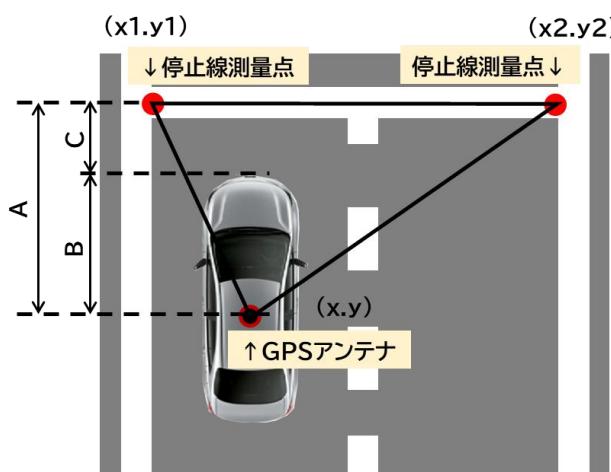


図 2 一時停止位置診断

停止線と GPS アンテナの距離を A とすると、A は式(1)であらわすことができる。また、GPS アンテナと車両先端の距離はあらかじめ測定し、その距離を B とすると、車両先端と停止線の距離 C は式(2)であらわすことができる。

$$A = \frac{(x-x_2)(y_1-y_2)-(x_1-x_2)(y-y_2)}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

(x, y) = GPS アンテナ位置,

(x_n, y_n) = 停止線の測量点位置(始点と終点)

$$C = A - B \quad \dots \dots \dots (2)$$

停止線の幅は 40 cm で測量箇所は線の中央とし、一時停止位置は、停止線手前から 200 cm 以内が推奨されていることから、判定基準を表 1 のように設定した。

表 1 一時停止判定基準

車両先端と停止線の距離(cm)	判定
220 < C	停止線より大きく手前そのため、停止と認識しない
20 ≤ C ≤ 220	停止線の手前の適正な位置で停止
-20 ≤ C ≤ 20	停止線上で停止
C < 20	停止線を越えて停止

車両から取得した車速データから停止(=車速 0 km/h)を認識し、正しく停止線で一時停止できているかを判断するとともに停止時間を計測し、一時停止を診断するアルゴリズムを開発した(図 3)。

通常の GPS における単独測位では数 m~数十 m の誤差が生じるため、車両位置と停止線の距離を測位する精度が不十分であった。そこで RTK (Real-Time Kinematic) と称される相対測定を用いることとした。これは、あらかじめ位置が正確に分かっている基準局と、測定したい場所である移動局(今回は、教習車両)の位置を同時に観測し、そのデータの差分を計算することで誤差を補正して高精度な位置情報を得ることができる位置測定法であり、±2 cm の誤差で計測が可能である。

教習コースの測量は三角測量をはじめさまざまな方法を用いることが可能であるが、今回は GNSS (Global Navigation Satellite System) 測量のひ

一つであるドローン測量を採用した。これは、RTK-GNSSにより正確な位置を把握可能なドローンに搭載したカメラで、上空から地表を撮影、および、計測して3次元データを取得する方法で、広い範囲を短時間・低コスト・安全に測量できるメリットがある。前述の車両位置計測と同様にコース図の誤差は±2cmである。

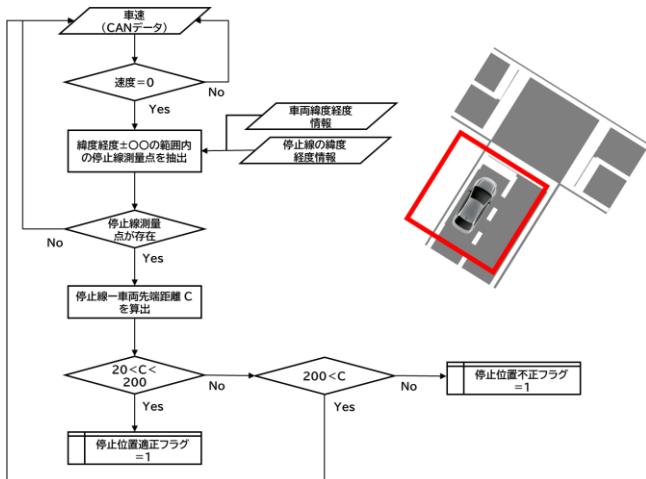


図3 一時停止位置診断ロジック

この2つの既存技術と本プロジェクトで開発した診断アルゴリズムにより、一時停止の運転診断が可能となった。診断は停止位置と停止時間で判定し、正しく一時停止した回数から評価点を決定している。脱輪・大廻り、境界線はみだし、ワインカー操作についても同様に、車両走行軌跡と中央線、外側線との距離、ワインカーの操作場所を評価している。

「スムーズな運転」については、トヨタ自動車の社内運転教育における運転技能診断を行うために考案されたアルゴリズムの一部を適用することとした。高齢者講習の運転においては平均車速が低いこと、前述した「安全な運転」をすることに診断の重きを置かれていることを考慮し、総合判定に対する「スムーズな運転」の重み付けを低く設定することとした。

本システムは、新明工業にてシステム化を行い、サービスの実用化を実施した。このシステムをSatryと命名し商標登録を行った⁽³⁾。Satryのシステム概要図を図4に示す。

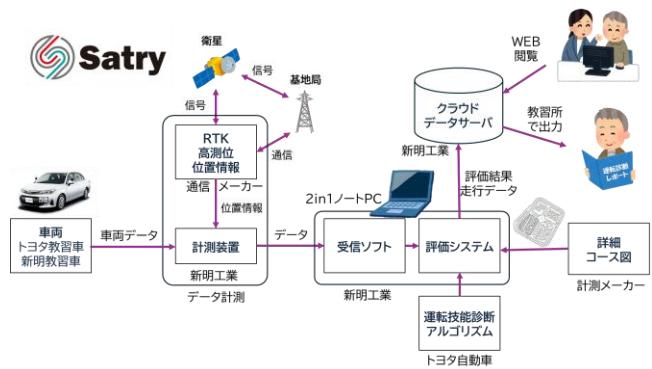


図4 Satryシステムの概要

4. 実証実験

本システム、および、運用の課題の洗い出しを行うために、前述の教習所様にご協力をいただき、実証実験を行った。実証実験は、受講者の受付から講習後の運転診断レポートの受け渡しまでの運用面と、実際のPCを用いたシステムの不具合箇所の検出を目的に実施した。システム検証の詳細は、障害物によるGPSの位置情報取得の不安定さ、各評点に対し指導員に妥当と判断いただけるか、評価の説明は十分にできているかなど、実用に対する課題の検出を行った。

本システムを作動し、教習コースを走行後にタブレット型PCを用いて車両データより診断項目の演算を行い、各項目の評点、総合評点を算出する。この結果はデータサーバーを経由してレポート出力される(図5)。

安全に関わる診断項目のなかでも車両データで診断できない項目がある。信号無視、段差乗り上げ、指導員の指示に従わないなど、指導員が手動で入力し評価する項目である。これらの評価は、現状は「運転評価票」という紙の帳票への手入力となっており、教習所での決められた期限の保管が義務付けられている。

実証実験をとおして指導員の方々の意見を伺った。受講生への説明では、本人の走行履歴がみられるので悪い走行を自覚される方も多いが、一人ひとりへの説明時間の不足や、総合評価のみを確認される方も多く、より丁寧な説明が可能なレポート、または、Web説明が必要であることがわかった。指導員のシステム操作に関しては、一部の操作ミス対策は必要であったが、操作可能であることを確認した。

5. システムの課題と対策

システムの課題に挙げられた項目の一つとして、障害物による GPS 精度の不安定さが挙げられた。教習所では教習車の乗降場所に屋根を設置し、高齢者講習のスタート/ストップ地点に設定しているケースが多い。この場合、車両位置を正しく検出できないことから、講習のスタート位置、ストップ位置の検出精度、および、発進、停止の診断精度が不安定となる。このため、スタート/ストップ位置の場所を屋根のない場所に変更するなど、運用で対策をしていただくこととした。また、講習時間が限られていることから、講習終了後に指導教官から指導コメントを十分に伝えることができないという課題に対しては、わかりやすい診断レポートの配布と、より詳細な診断を振り返られる Web ページでの診断結果の公開を実施した(図 6)。

コース内診断項目の評価条件に関しても、一時停止箇所、段差乗り上げの評価場所などは、教習所によって異なることがわかっている。段差乗り上げの評価は、走行データの「スムーズな運転」へ寄与するため、教習所によって評価値のばらつきが大きくならないよう、評価エリアの除外などで対応が可能であるかを、引き続き確認していく。

また、コース図作成の課題として、これまでドローンによる撮影、計測を行い、緯度経度を含む精密なコース図作成を実施しているが、システム導入を要望される教習所のなかで、教習コース上のドローン飛行が困難なケースが確認された。ドローン撮影に代わる精密なコース図作成の技術開発を視野に入れ、コストバランスを考慮しながら取り組みを進める。

また, 指導員からみた運用に関して, PC によるシステム入力と, 前述した「運転評価票」への記述入力の両方の作業が必要となる. この状況より, システムによる「運転評価票」の代替が指導員より要望されている. 一部の都道府県の公安委員会より, 「運転評価票」の評価項目を網羅していること, 指導員のコメント入力が可能であることを条件に, 本システムが「運転評価票」の代替として可能であると回答が得られた. ほかの都道府県についても今後確認を実施していくが, 同様に代替可能の承認を得られれば, 指導員の皆様の負担軽減に寄与できると考える.

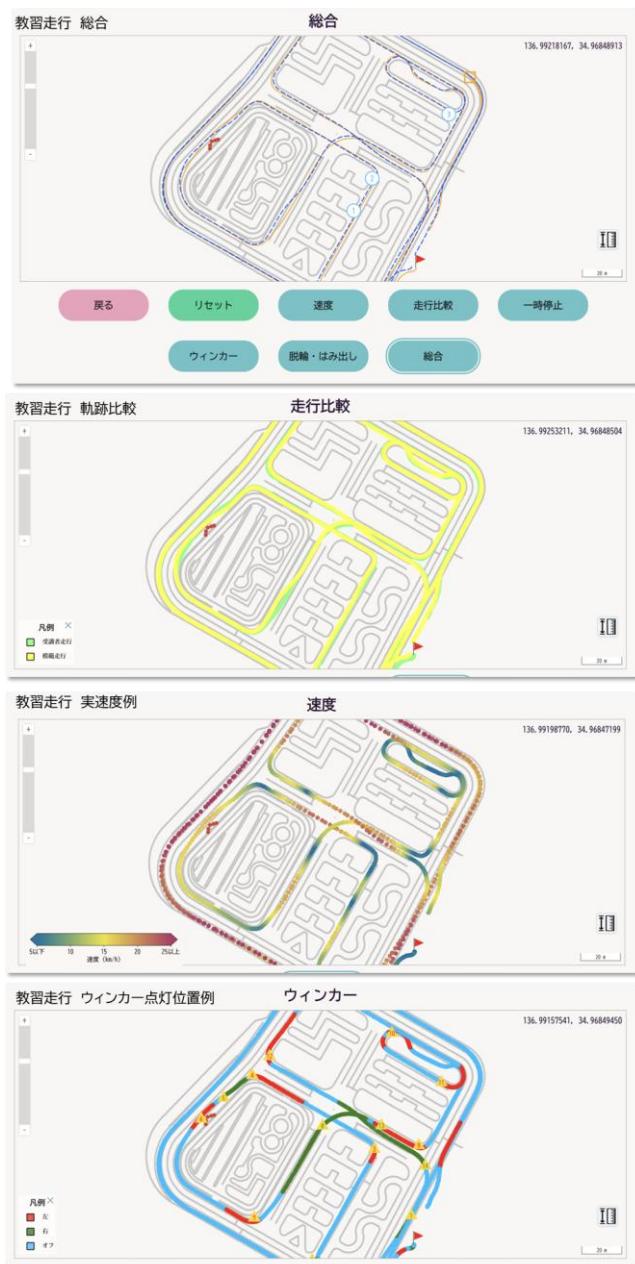


図 6 教習時走行状況 -WEB ページ画面例-

6. 今後の展開

全国の教習所への展開を目標に、導入を要望される教習所が導入条件を満たしているかを確認したうえで導入計画が進められている。現在、車両データを取得できる車種は、トヨタ教習車、新明工業が架装している教習車に限定されているため、これらの車両を保有していることが導入条件に含まれているが、必要な車両データを取得することができ、システムに取り込むことが可能であれば、より多くの車両に適用できることとなる。また、前述の詳細なコース図を簡易で安価に作成可能であること、

高精度測位により教習車の緯度経度が精度よく計測できることも大切な条件となっている。今後は、引き続き技術開発を行い、より多くの教習所に適用できるシステムへと進化させるとともに、本システムにより蓄積される高齢者の運転データを用い、運転寿命延伸に関わる開発のための研究を継続していく。

■参考文献

- (1) 警察庁Webサイト、高齢運転者による死亡事故件数の推移、「令和6年における交通事故の発生状況等について」,
<https://www.npa.go.jp/news/release/2025/20250227jiko-2.html>
2025/2/27.
- (2) 第14次長期ビジョン研究会報告書 一般社団法人全日本指定自動車教習所協会連合会, 2022, pp. 87-119
- (3) 製造業向け情報検索サイト イプロス、高齢者運転診断システム『Satry』,
<https://pr.mono.ipros.com/shinmei/product/detail/2001503131/>
- (4) トヨタ教習車、トヨタ自動車株式会社公式企業サイト,
<https://global.toyota/jp/album/images/20921585/>

さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術 ～メンテナンス部品の劣化状態予測～

深谷 良介 ^{*1}木村 陽介 ^{*1}玉野 篤央 ^{*2}

要旨

自動車を構成する部品のうち、メンテナンスが必要な部品は走行距離や経過期間を目安に交換されている。本稿では、車両の稼働・走行データを活用し、各ユーザの使用状況に応じて部品の劣化状態を予測する技術について、エンジンオイルを例に概要を紹介する。これにより部品交換を最適化し、カーボンニュートラルの推進、および、販売店現場の作業負荷低減に貢献する。本技術は国内KINTO車両へのコネクティッドカーケアとして導入済みで、今後グローバル展開・適用部品拡大を計画している。

キーワード： ビッグデータ、劣化予測、カーボンニュートラル、定期交換部品、使い切り、コネクティッドカー、メンテナンス、部品寿命

1. まえがき

自動車で使用される部品のうち、エンジンオイルに代表される定期交換部品の交換サイクルは、日本国内においては自動車型式指定規則に基づいて点検整備方式に記載している(表1)。部品によっては、車両の使われ方のばらつきを考慮して、通常使用とシビアコンディションの2種類の交換サイクルを設定している。各車両がシビアコンディションに該当するかどうかは、お客様の使われ方をもとに一定の条件(表2)に照らして販売店にて個別判断している。補機バッテリのように定期交換部品ではないものの車両寿命よりも寿命の短い部品は、テスターなどを用いて車両不具合に至る前に予防的に交換するのが一般的である。一方で、エンジンオイルは、レベルゲージの先端に付着するオイルの外観からおおよその劣化具合を推測できなくはないが、外観による判定は図1に示すように困難である。

交換が必要な部品の余寿命を車両の稼働・走行状態を示すデータを用いて予測することで、人によるばらつき要素の排除ができ、最適なメンテナンススケジュールを提案することが可能となる。これにより、部品交換を最適

化することでカーボンニュートラル、エコロジーに貢献するとともに、人手不足で困っている販売店現場の作業負荷低減にも貢献できる。以下エンジンオイル劣化予測を例に概要を紹介する。

表1 点検整備方式(交換時期)
(ハリアー・自家用乗用車の場合)

定期交換部品項目	交換時期		備考
	年ごと交換 単位:年	走行キロ ごと交換 単位:km	
ブレーキホース交換	15	200	
ブレーキフルード交換	2[3]		
ブレーキパキュームポンプの ブレード交換		200	M20A原動機搭載車
トランスミッションフルード 交換(無段自動変速機付車)		「100」	
トランスファオイル交換		「100」	
デファレンシャルオイル交換		「100」	フロント" フレジャルはトランスミッションと一体のため、トランスミッションの項で実施
点火プラグ交換(イリジウム プラグ)		200	
エアクリーナエレメント交換		50[25]	
エンジンオイル交換	1[0.5]	15[7.5]	
オイルフィルタ交換		15[7.5]	
冷却水交換(LLC注入車)	4[7] *4[15]	80[160] *80[200]	*はインバータ

(注) 1.「 」はシビアコンディション交換時期を示す。
2.〔 〕は初回の交換時期を示す。

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

^{*2} パワートレーンカンパニー パワートレーン機能開発部

表2 シビアコンディション時の条件

定期交換部品項目	シビアコンディション時の条件
トランスマッisionフルード交換(自動変速機付車)	「」条件A, C
トランスマッisionフルード交換(無段自動変速機付車)	「」条件A, C
トランスマッフルード交換	「」条件A, C
EVトランスマッフルード交換	「」条件A, C
プロペラシャフトグリース交換	「」条件A, C
デフアレンシャルオイル交換	「」条件A, C
エアクーラーナエレメント交換	「」条件A, C
エンジンオイル交換	「」条件A, C, D, E, F
オイルフィルタ交換	「」条件A, C, D, E, F
電動ファンモータ交換	「」条件F

シビアコンディション時の条件	
A	悪路(凸凹路, 砂利道, 雪道, 未舗装路)
B	走行距離が多い
C	山道, 登降坂路の頻繁な走行
D	短距離走行の繰り返し
E	高地走行が多い(標高2,000m以上の高地)(ディーゼル車のみ)
F	長時間のアイドリング, または, 多頻度の低速走行(ディーゼル車を除く)



図1 新品と5,000km～15,000km走行後のエンジンオイル

2. ガソリンエンジンオイルの劣化予測

“劣化”という現象を理解するためには、まずエンジンオイルの機能を理解する必要がある。以下にエンジンオイルの機能に着目した劣化予測の考え方を解説する。

2.1 エンジンオイルの機能

エンジンオイルは、内燃機関の円滑な作動を支えるためにさまざまな機能を有している。最も基本的な役割は潤滑であり、エンジン内部で高速運動をしているピストン、クランクシャフト、バルブなどの金属部品間に油膜を形成し、直接的な金属同士の接触を防ぐことで異常な摩耗や焼き付きを防止している。エンジンオイルは燃焼や摩擦によって発生する熱を吸収、移送する冷却機能も有し、局所的な過熱を防ぎ、ピストンや軸受などの温度を適正

に保つ。エンジンの運転過程で発生する酸性化合物の中和や、燃焼残渣物の分散により、エンジン内部の清浄性を保つ清浄分散作用も重要である。エンジンオイルは金属表面を被膜で覆うことで腐食や錆の発生を抑制する機能も持っている。エンジン内部は水分や燃焼生成物の影響を受けやすいため、防錆作用は金属部品の保護に不可欠である。最後に、ピストンリングとシリンダー間の隙間を密封することで、圧縮漏れを防ぎエンジンの効率的な燃焼を助ける密封作用も持つ。これらの機能は相互に補完しあい、エンジンの性能維持と長寿命化に寄与している。

エンジンオイルは主に石油から精製されるベースオイルと、表3に示すような複数の添加剤を配合して作られている。添加剤はベースオイルの機能の強化と新たな機能を付与するために加えられている。具体的には、潤滑膜の強化や摩耗防止を目的とした摩耗防止剤、摩擦係数を低減する摩擦調整剤、オイルの酸化を遅延させ寿命を延ばす酸化防止剤、燃焼生成物を分散しエンジン部品への堆積を防止する清浄剤および分散剤、金属表面を保護し錆を防止する防錆剤などがある。粘度指数向上剤は温度変化に対するオイルの粘度変化を抑制し、広い温度範囲でより適正な粘度を維持するために加えられる。現在のエンジンオイルはベースオイルと添加剤を高度に組み合わせることで、エンジン内部の過酷な環境下でも適正な機能をより長期にわたって維持しエンジンを保護している。

表3 添加剤の主な種類

添加剤名	主な機能
無灰分散剤	スス、不溶解分の分散、清浄性(特に低温)
金属系清浄剤	酸中和、清浄性(特に高温)
ジアルキルジチオリン酸亜鉛	酸化防止、摩耗防止、腐食防止
酸化防止剤	酸化防止、デポジット防止
摩擦調整剤	摩擦低減、摩耗防止
防錆剤	錆防止
消泡剤	泡立ち防止

2.2 エンジンオイルの劣化メカニズム

図2に示すように、エンジンオイルの劣化とは、使用条件や運転環境に起因して生じる次の3つの現象に大別される。①粘度などの物理特性の変化、②分散剤や酸化防止剤などの添加剤の消耗による付加機能の低下、③不

溶解分, 燃料, 水, PM, 摩耗金属, 塵埃粒子などの外部物質の蓄積が挙げられる。

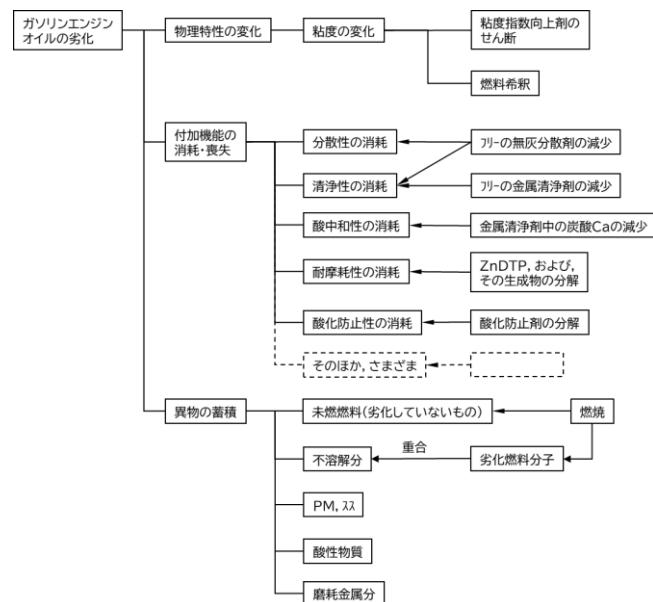


図2 エンジンオイルの劣化

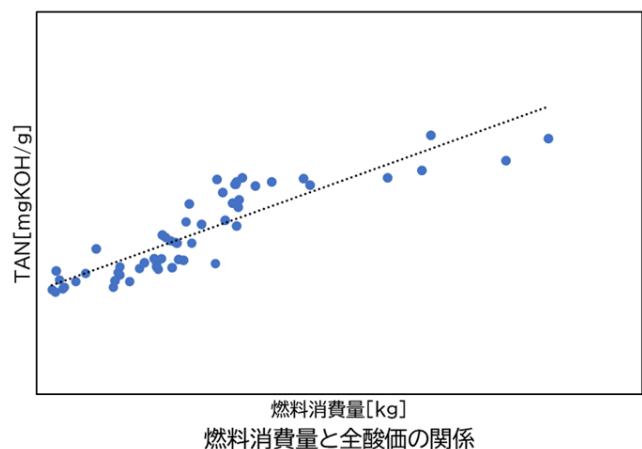
動粘度は粘度指数向上剤のせん断や燃料希釈により低下する一方で、不溶解分の生成および蓄積により増加することもある。このように種々の要因でどちらにも変化し得るため、動粘度でオイルの劣化度合いを予測するのは困難である。

添加剤消耗のメカニズムの一つに、高温環境下での酸化劣化がある。この酸化反応により、カルボン酸、スルホン酸、リン酸などの各種酸性物質が生成される。劣化の進行度合いとしての酸性物質の蓄積量を示す全酸価 (Total Acid Number:TAN)の上昇は一様な変化であり、比較的予測しやすいと考えられる。酸化劣化を促進する最大の要因は燃焼による高熱であり、燃料消費との相関を仮定することができる。

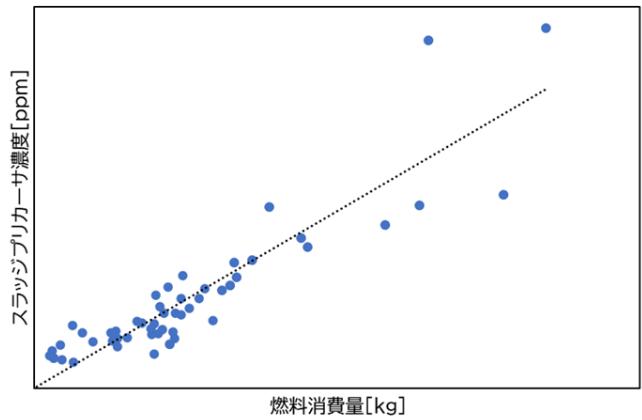
不溶解分が過剰に蓄積することでピストンデポジットやスラッジの堆積を生じることがある。この不溶解分は不完全燃焼によって生成した劣化燃料分子がオイル中に蓄積・重合することで生じる。すなわち、油中に蓄積する劣化燃料分子の量を不溶解分蓄積の代用指標と考えることができる。実験的に油中に蓄積する劣化燃料分子の量は燃料消費量に比例することを確認しており、これも劣化指標として予測しやすいものと考えられる。劣化燃料分子とその重合物を含めて“スラッジプリカーサ”と呼

ぶ。これは最終的にスラッジを生成する原料(前駆体)を指す用語である。スラッジプリカーサは油中で微粒子を形成していると考えられ、また、褐色を呈していることから、これらの光学的特性を利用した独自の測定装置を開発した。この装置によって推定した濃度をスラッジプリカーサ濃度と呼ぶ。

これらエンジンオイルの劣化予測の考え方の確からしさを確認するため、実際の市場からさまざまな使われ方のエンジンオイルサンプルを回収、分析を行った結果を図3に示す。想定どおり劣化指標と燃料消費量のあいだに相関が認められた。



燃料消費量と全酸価の関係



燃料消費量とスラッジプリカーサ濃度の関係

図3 市場回収エンジンオイルサンプル分析結果

これらの関係をもとに、一定の安全率を加味して劣化予測式を導出した。この予測式を活用することで、各ユーザーの使用状況に応じたエンジンオイルの余寿命を推定することができるようになり、ユーザや販売店で最適な交換時期の判断が可能となる。

3. まとめ

開発した劣化予測モデルに車両走行データを組み合わせることで、エンジンオイルの余寿命予測を可能とした。エンジンオイルに加えて補機バッテリについても車両データを活用して劣化予測をすることで、これらの交換時期を最適化するサービスを KINTO Unlimited の一アイテムである“コネクティッドカーケア”に織り込んで国内 KINTO 車両より市場導入を開始した⁽¹⁾(図 4)。

今後、国内の一般保有車や海外市場への展開、対象部品のさらなる拡大を計画している。

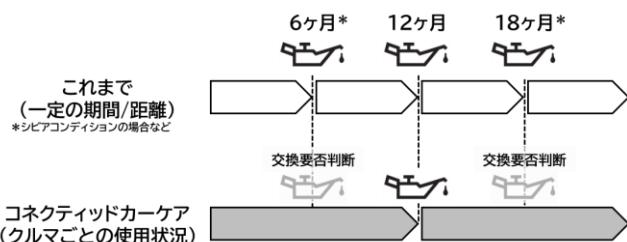


図 4 コネクティッドカーケアによるメンテナンス

■参考文献

- (1) 新サブスクサービス「KINTO Unlimited」を新型プリウスよりご提供開始、トヨタ自動車株式会社、株式会社KINTO,
<https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/38377568.html>

さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術 ～軽衝突検知によるレンタカ一点検支援～

永治 健太朗 ^{*1} 木村 陽介 ^{*1}

要旨

事故による車両損傷に対応する事業者様の負担を軽減するため、コネクティッドカーの走行データを活用した軽衝突検知技術を開発した。運転操作による加速度を LSTM(Long Short Term Memory)モデルで推定し、それを実測加速度から差し引くことにより軽衝突を検知する手法を提案。東京近郊のタクシー約 1,000 台の半年分データで実証し、実損額 20 万円以上の事故を約 9 割検知、加速度方向から損傷部位も推定可能であった。沖縄のレンタカー 850 台での実証では、地域特性による誤検知を後処理で抑制できることを示した。今後は極微細な衝突検知と誤検知抑制の両立に向け技術改良を進める。

キーワード： 軽衝突検知、事故検知、機械学習、LSTM、車両走行データ、加速度センサー、運転操作

1. 背景と目的

事故による車両の損傷が、お客様や事業者様のカーライフへ与える影響は大きい。事故の未然防止とあわせて、車両損傷への対応の負担を最小限に留める努力が求められる。本検討では、中古車査定における修復歴の見逃しに対する注意喚起、販売店様による事故に遭われたお客様への安否確認や入庫促進などの新サービスを創出するために、コネクティッドカーの走行データから軽衝突を検知する技術を開発する。さらに、より軽微な衝突を検知することで、シェアカーやレンタカー事業者様での車両外装などの点検作業による損傷把握を支援するサービスに開発技術を活用する。

2. 方法

2.1 軽衝突検知の課題

開発技術による新サービスを早期に具現化するためには、既販のコネクティッドカーから既に収集されている走行データを活用する。衝突に関連するデータとして、エアバッグの展開信号や、フロア加速度センサーによる加速

度の計測値を挙げることができるが、例えば、中古車査定において問題となる修復歴⁽¹⁾に該当する事故のうち、エアバッグが展開するものは 1 割のみである。加速度を用いることにより、エアバッグが展開しない軽衝突を検知し、車両の損傷方向を推定できる可能性があるものの、アクセル、ブレーキ、操舵などの運転操作や路面の凹凸などによって生じる加速度がノイズとなり誤検知を生じる。

2.2 軽衝突検知ロジック

コネクティッドカーから膨大な走行データが収集されているが、そのほとんどは事故のない平時の走行データである。データのこの特性を利用することにより、通常走行時の車両に生じる加速度を推定する加速度推定モデルを作成する。ある任意の時刻で車両に加速度が生じる要因として、ドライバーによる運転操作と、衝突や路面の凹凸などの車外からの衝撃を考えることができる。コネクティッドカーから収集されるさまざまな計測データのなかで、①車速や加速度など任意の時刻に至るまでの車両運動の履歴、および、②アクセル、ブレーキ、操舵などの運転操作の二つと、それによって生じる加速度の対応関係を学習することにより、主に運転操作によって生じる加速度を推定する。車外からの衝撃による加速度は、①と②からは推定できない、いわば異常値となることを

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

を利用して軽衝突を検知する(図 1).

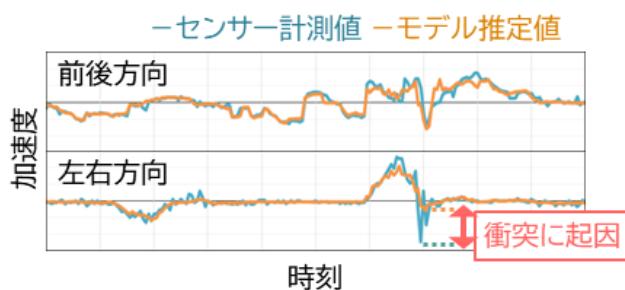


図 1 加速度推定モデルを用いた衝突検知

加速度推定モデルの作成には、ニューラルネットワークの一つであり時系列データの解析における有効性が知られている LSTM(Long Short Term Memory)⁽²⁾を活用する。モデルの学習は、車両運動や運転操作など 16 チャネル×5 秒間(100ms 間隔)の時系列データを入力とし、出力する加速度の推定値と、教師データとする加速度の計測値のあいだの平均二乗誤差が小さくなるよう、LSTM 内部の重みパラメータを調整する。LSTM は 1 層、512 次元とし、過学習が生じないよう、30 ステップの反復学習を行う。学習した加速度推定モデルによる推定値と、計測された加速度を利用して、式(1)～式(3)のように、運転操作による成分を除去した「車外からの衝撃による合成加速度 a_t 」と「加速度の方向 d_t 」を得る。

$$\Delta a_{s,t} = a_{s,t} - f_s(x_t) \quad (s \in \{fb, lr\}) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$a_t = \sqrt{(\Delta a_{fb,t})^2 + (\Delta a_{lr,t})^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$d_t = \tan^{-1}(\Delta a_{fb,t} / \Delta a_{lr,t}) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

X_t は時刻 t における運転操作による加速度を推定するための入力データ、 $a_{s,t}$ は時刻 t における加速度の計測値、 f_s は加速度推定モデル、 fb と lr はそれぞれ、前後、左右方向をあらわす。本検討では、車外からの衝撃による加速度 a_t がしきい値 $5m/s^2$ を超えた場合に衝突したと判定する。 a_t のしきい値は小さいほど軽微な衝突を検知できるが、背反的に誤検知が増大することから、サービスへの活用(第 4 章)のために適切な検知と誤検知のバラン

スとなるよう、次章以降で述べる精度検証の結果をもとに決定する。LSTM を活用したモデル作成には、機械学習ライブラリの一つである TensorFlow⁽³⁾を使用する。

2.3 精度検証

事故の有無が既知であるタクシー事業者様の走行データに対して開発ロジックを試行することにより、検知精度を検証する。対象は、東京近郊を走行するタクシー車両約 1,000 台の半年間の走行データとする。対象期間に生じた事故の情報として、事故が生じた車両、日時、損傷箇所、実損額(修理費)を活用する。また、事故が生じた正確な時刻を調べるために、車載カメラの映像を活用する。なお本実験の計画は、トヨタ自動車株式会社の研究倫理審査委員会の審査を受け承認を得た内容である。

3. 結果

3.1 加速度推定モデルの学習

2 万 km(100 台×1 日)の走行データを学習させることにより、タクシー車両の加速度推定モデルを作成した。学習したモデルを用いて、学習データとは別の 100 台による、加減速や操舵のシーンを含む 2 万 km の走行データに対して推定精度を検証したところ、推定値と計測値の差分の標準偏差は、 $0.14m/s^2$ (前後方向)、 $0.15m/s^2$ (左右方向)であった。例えば、典型的なブレーキ減速度が $3m/s^2$ 程度であることから、運転操作による加速度を精度よく推定できたと考えられる。

3.2 誤検知頻度

事故がないことが既知である、20 万 km(900 台×1 日)の走行データに対して開発ロジックを試行することにより、誤検知の発生頻度を検証した。車外からの衝撃による加速度 a_t の頻度分布を図 2 に示す。 a_t が $5m/s^2$ を超えた場合に衝突が発生したと判定することによる誤検知の頻度は、21 件/20 万 km(=1 件/1 万 km)であった。同じしきい値によって、加速度の計測値のみから衝突の発生を検知する場合、誤検知の頻度は、4,200 件/20 万 km(=200 件/1 万 km)であったことから、開発ロジックを用いることにより、誤検知の頻度を $1/200$ に低減することができると思われる。

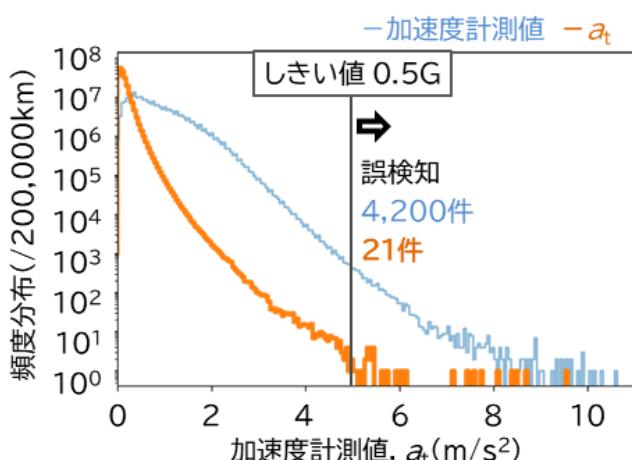


図 2 加速度の計測値(青)と車外からの衝撃による加速度 a_t (オレンジ)の頻度分布(/200,000km)

続いて、車載カメラの映像などを確認することにより、誤検知が生じた原因を検証した。例えば、図 3 に示すように、地下ターミナルへの下り勾配の終端を通過する際の衝撃により誤検知が生じたことを確認した。同様に、全ての誤検知(21 件)に対して原因を検証したところ、半数以上はタイヤを経由した路面からの入力であった(図 4)。路面からの入力の詳細は、地下への下り勾配の終端のほかに、路面の荒れ、道路の継ぎ目、歩道と車道の境界の段差、スピードブレーカーがあった。路面からの入力以外の原因是、急ブレーキによる停止時のショック(車両が停止する瞬間に減速度が急激に 0 付近へ戻る変化を推定できない)、上り急勾配で車両が後退した際のブレーキ減速度(D レンジや N レンジで後退すると車両の進行方向がわからぬいため、ブレーキ減速度の正負を間違える)があった。



図 3 誤検知が生じる直前の車載カメラ映像の例

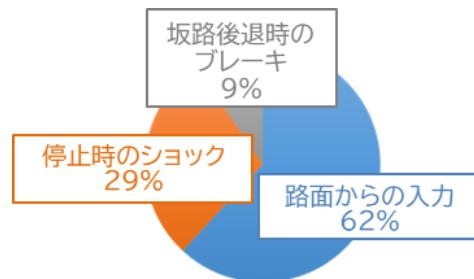


図 4 誤検知の原因の内訳

3.3 検知率

事故が生じたことが既知である走行データに対して開発ロジックを試行することで、衝突を見逃すことなく検知できることを検証した。精度検証の対象期間に生じた事故から、実損額の区分ごとに一定数を無作為に抽出し、検知できた件数 ÷ (検知できた件数 + 見逃した件数)、によって実損額ごとの検知率を算出した。結果を図 5 に示す。各点がそれぞれ一件の事故に対応しており、x 軸は衝突の衝撃による加速度 a_t を示し、y 軸は実損額を示す。各点は、概ね左下から右上へ分布しており、衝突の衝撃の大きさが車両の損傷と大雑把に比例することをあらわすと考えられる。 a_t が 5 m/s²を超えた場合に衝突が発生したと判定することにより、実損額 20 万円以上の事故を約 9 割検知することができた。一方で、実損額 20 万円未満の事故は、約 2 割を検知することができた。また、加速度の計測値のみから衝突を検知する場合、開発ロジックと同じ誤検知頻度(1 件/万 km)となるしきい値 8.5 m/s²を用いると、実損額 20~40 万円の事故の検知率の変化が大きく、5 割へ低下した。このことから、開発ロジックによって、実損額 20~40 万円の事故の検知率を 5 割から 9 割へ向上できると考えられる。

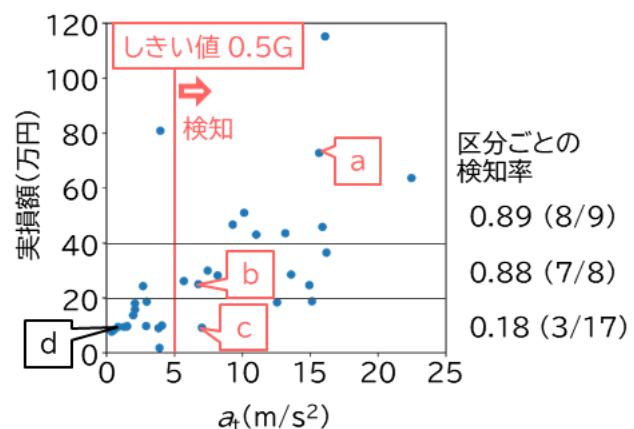


図 5 実損額の区分ごとの検知率

代表的な4例の事故(図5(a)～図5(d))が生じた車両の、衝突直前の車載カメラ映像を図6に示す。図6(a)は、交差点を直進中に左方から直進して来た車両に側突された事例、図6(b)は、交差点を右折する際に、左方から直進して来た車両と接触した事例である。両事例ともに、走行中の車両相互の衝突であることから比較的大きな加速度を生じたため、検知することができた。また、図6(c)は、夜間狭路におけるすれ違いの際に死角のコンクリートブロックへ衝突した事例であり、衝突時の速度は3km/hと低速であるものの、操舵やブレーキによる回避なしに衝突したため比較的大きな加速度が生じ検知することができた。一方で、図6(d)は、夜間狭い交差点を慎重に左折する際に自車の左側面を擦った事例であり、2km/hと低速であることに加え、衝突の侵入角が浅く大きな加速度を生じないことから、検知することができなかつた。したがって、検知が難しく見逃しが生じやすい事故の傾向の一つとして、衝突直前の車速が低く、衝突の侵入角が浅いかすり傷を挙げることができると考えられる。



※本誌への掲載にあたり、視認性向上のため明度を調整した画像

図6 衝突直前の車載カメラ映像の例

3.4 衝突方向の推定

検知率の検証において、検知することができた18件の事故に対して、損傷個所の情報と、開発ロジックにより算出した加速度の方向 d_t を比較することにより、車両の損傷方向を推定可能か検証した。結果を図7に示す。車両の損傷個所は、タクシー事業者様による損傷個所の名称に基づいて、前後×左右の最大4方向を赤部で表示する。矢印は衝突による加速度の方向を示すことから、矢印の180度反対方向を損傷個所と推定することにより、実際の損傷個所と概ね対応することを確認した。

推定損傷個所が実際の損傷個所と異なる方向を示した事例は、図7の中段の右端と右から2番目の2件であった。1件目は、右前部の損傷であるものの、相手車両が自車を追い越す際に引きずるように擦ったことにより、左前方向(ほぼ真左だがわずかに前方向)の力を受けたと考えられる。2件目は、リアバンパーの損傷であるものの、相手車両がバンパー左側面部へ自車の前方から後方へ向かって鋭角に衝突したことにより、右後方向(ほぼ真右だがわずかに後方向)の力を受けたと考えられる。

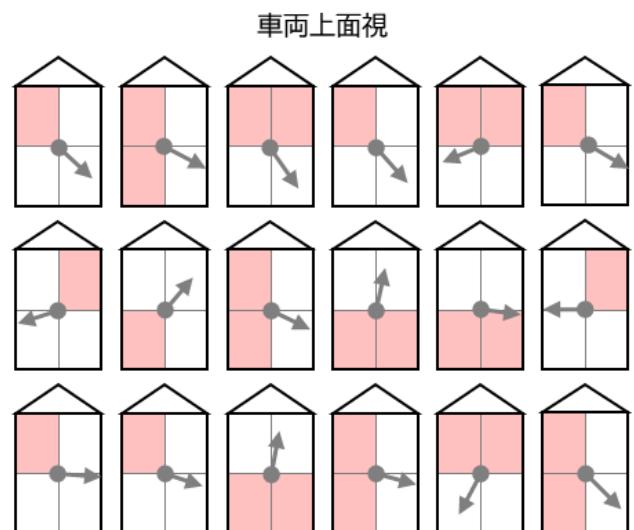


図7 衝突による損傷個所(赤)と開発ロジックにより算出した加速度の方向 d_t (矢印)の比較

4. サービスへの活用

4.1 レンタカー点検支援

レンタカーの営業店舗では、利用客が車両を返却する際に店舗スタッフが損傷の有無を点検する。観光シーズンなどの繁忙期には、受け入れが滞らないよう速やかな点検作業が求められる。店舗スタッフが短時間で正確に点検を行うことができるよう、貸し出し期間中に衝突を検知した要注意車両や確認すべき部位を、事前に店舗へシステム通知することにより支援する。

4.2 技術実証

沖縄のレンタカー事業者様による御協力のもと、衝突検知の精度検証を実施した。コネクティッド機能を搭載するレンタカー850台を対象として、衝突検知のための計算クラウドと、検知結果を保存・確認するためのデータベ

ースからなる実証システムを構築し、レンタカー事業者様が保有する事故報告書を正解データとして、検知結果と比較検証した。なお本実験の計画は、トヨタ自動車株式会社の研究倫理審査委員会の審査を受け承認を得た内容である。

始めに、1ヶ月間(70万km)の走行データに対する検知結果から、誤検知頻度を検証した。誤検知の頻度は145件/70万km(1件/5,000km)と、東京近郊における検証結果(第3.2節)と比較して約2倍多い傾向であった。現地調査などにより道路環境を確認したところ、観光ホテルの敷地内などに設置されたスピードバンプ(図8)を乗り越す際の衝撃で誤検知するケースが過半数であったことから、観光客が多い沖縄の地域特性と考えられる。スピードバンプのような路上の構造物の乗り越しを、以下の①～③の条件で弁別した。①構造物と車輪の接触による4輪各々の車輪速の波形の乱れが、車両のホイールベースに応じた間隔で前輪→後輪の順に生じた場合。②構造物を乗り越す際の加速度の上限(実証で得た経験値)よりも衝突検知した加速度が小さい場合。③路面荒れ指標⁽⁴⁾により判定した凹凸地点で衝突検知した場合。①～③のいずれかに該当する衝突検知を除外する後処理フィルターロジックにより、誤検知の頻度を4件/70万km(1件/20万km)へ抑制した。これにより、地域ごとの路面環境の特性により誤検知が増大する場合でも、後処理フィルターロジックの追加により抑制できる可能性を示した。



図8 観光ホテル敷地内のスピードバンプ

一方、2ヶ月間で43件の事故の発生に対して、システムによる衝突検知は3件であった。システム検知のうち1件は、店舗スタッフによる点検作業で見落とした損傷を発見したことから、システムによる点検支援の効果を示すことができた。しかし、事故に対する検知率は1割未

満(3件/43件)と、タクシー事業者様との検証による「比較的軽度(実損額20万円未満)の事故に対する検知率が2割」(第3.3節)を下回った。原因として、普段とは車両感覚が異なるレンタカーの運転や観光地の混雑した駐車場などの走行による、かすり傷程度の極微細な事故の割合が多いことを挙げることができる。かすり傷程度の事故を検知するには、衝突判定のための加速度 a_t のしきい値を小さく設定することが必要だが(図5)、背反として誤検知の頻度が指数関数的に増大する(図2)。これらより、レンタカーポイント検支援サービスの実現へ向けて、極微細な衝突を検知するとともに、路面入力による誤検知を抑制するための、さらなる技術開発を進めていく。

5. まとめ

コネクティッドカーの軽衝突について、遠隔で検知可能とする基本ロジックを開発した。また、開発ロジックによるレンタカーポイント検支援サービスの実証システムを構築し、ロジックの精度を検証した。

レンタカーポイント検支援サービスを実現するために、かすり傷程度の極微細な衝突を誤検知少なく検知するための、さらなる技術開発を進めていく。

■参考文献

- (1) 日本自動車査定協会,
<http://www.jaai.or.jp/>
- (2) S. Hochreiter and J. Schmidhuber, Long Short-Term Memory, Neural Computation, 9(8), p.1735-1780 (1997)
- (3) TensorFlow,
<https://www.tensorflow.org/>
- (4) 中山ほか、第4部 道路管理を効率化するインフラ診断技術～舗装点検支援～、本誌

さらなる安心/点検効率化につながる車両診断技術 ～タイヤ離脱予兆検知～

辻 隆弘 ^{*1}木村 陽介 ^{*1}

要旨

近年注目が高まっているタイヤホイールの離脱事故に対して、コネクティッドカーから得られる車輪速センサーを活用してその予兆を検知する技術を開発し、効果確認を行なった。約5ヶ月間、約55万台の車両データを解析し、販売店のご協力のもとで実車を確認することにより、ハブナット緩みなどの兆候を検出するなど、開発したアルゴリズムの有効性を確認することができた。一方で、ハブナット緩み以外の異常も多く検出されたことから、さらなる精度向上が求められる。今後、技術の深化と社会実装により、安全な車社会の実現に寄与する。

キーワード： タイヤホイール離脱、タイヤ離脱、ハブナット緩み、ハブボルト、タイヤ交換、増し締め

1. まえがき

近年、タイヤホイール離脱事故が報道で大きく取り上げられている。過去、大型車の事例が注目されている時期もあったが、最近は大型車に加えて、乗用車の事例も多く報道されるようになってきた。タイヤホイール離脱事故の要因として、タイヤ交換を所有者自ら行うDIY作業手順や工具の不備などが考えられる。ホイールの締結は、トルクレンチによる締付トルク管理が一般的であるが、この締付トルクは本来管理されるべきハブボルト軸力の摩擦を介した代替特性にあたる。摩擦はねじ部や締結面の異物や汚れに左右され、作業時にはこういった部位の清掃が欠かせない。また、正しい作業手順に則った場合も、一定距離走行後の増し締めが推奨されている。タイヤ交換作業に対する注意喚起は国土交通省⁽¹⁾や都道府県警察⁽²⁾からも行われているが、タイヤホイール離脱の発生は継続しており、啓発だけでなく、より具体的な防止策が必要であると考える。

図1に北海道における月別タイヤホイール離脱発生件数を示す。初冬から春先にかけて発生件数が多くなる傾向がみられる。特に初冬は急な気候変化により夏用タイヤから冬用タイヤへの交換が集中することが一因と考え

られる。2024年から2025年にかけては報道や啓発による減少傾向はみられるが、依然として月10件程度と高い水準で発生している。

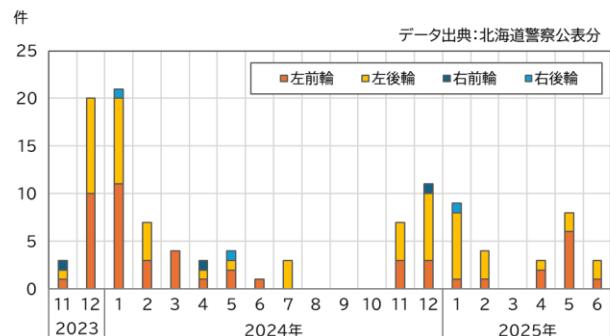


図1 タイヤ離脱発生件数

2. 市場動向

現在、実用化されている防止策の一例として、大型車向け『連結式ナット回転指示インジケーター⁽³⁾』が挙げられる。日常点検が一般的な大型車においては、目視が容易であることは有効な手段であると考えられる。一方、乗用車においても、NIRA Dynamics AB社の『Loose Wheel Indicator⁽⁴⁾』が存在する。一般的にタイヤホイール離脱は、ホイールを締結するハブナット(欧州車の場合は締付用ハブボルト)の緩みを起点に発生することが

*1 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

ら、走行中に何らかの振動や音が発生する可能性が非常に高い。これは、事故に遭遇したドライバーのコメントからも裏付けられる。こうした、通常とは異なる振動や音をドライバーは感知するものの、その発生原因を特定できず、いわゆる正常性バイアスによって、離脱するまで走行を継続してしまうことが考えられる。こうしたドライバーに向けて、車両側から確認や整備を促す告知を発することは、離脱を未然に防止するうえで、非常に有効な手段といえる。

本稿は、日本国内を走行する乗用車のコネクティッドデータを分析して、タイヤホイール離脱の予兆検知機能を搭載していない車両に対しても、検知が可能であるかを技術的に検証した結果について紹介するものである。なお、コネクティッドデータの利用に際しては、弊社プライバシーガバナンスに則り、データ使用許諾をいただいているお客様に限り、ご協力の要請をさせていただいたことを付記する。

3. 技術実証の概要と情報収集プロセス

ここでは、技術実証の概要(表1)について説明する。

表1 技術実証概要

期間	2023年11月～2024年3月(5ヶ月間)		
対象地域	全国(入庫実車調査は、北海道、東北、北陸の一部地域)		
車種 (いずれも一部)	11月～	アルファード ヴェルファイア	約15万台
	翌年2月～	RAV4 ハリアー ノア ヴォクシー	約40万台
計55万台			

期間については、前述の月別発生件数の情報や過去の調査から、離脱発生件数が多く、冬用タイヤ交換前後の時期を含む11月からとした。対象地域については、お客様車両の入庫をともなう実車調査は冬用タイヤ交換率が高い積雪地域に限定し、ヒアリング調査については広く事例を収集する目的で全国とした。車種についても同様に、過去調査結果から発生件数の多かったSUV、ミニバン系のコネクティッドカーから選択し、それぞれガソリン車/ハイブリッド車、前輪駆動/四輪駆動の区別なく調査対象とした。総データ処理量の目標は、走行距離に換

算して10億キロとした。これは10万台の車両が1年間に走行する距離に相当する。また、調査台数に関しては、実証期間途中で増加させたため、5ヶ月間均等とすると約30万台に相当する。

情報収集のプロセスについて図2に記載する。なお、今回の調査においては、1～2日遅れて過去のデータを分析する形となるため、お客様にとって事後の確認となることをご注意いただきたい。



図2 情報収集プロセス

- ① 1日分の走行データを総ざらい処理。判定率の高い車両を機械的に1次選別。さらに時系列データを目視確認のうえ、依頼候補車両を2次選別。既知の類似事象はこの段階で除外。
- ② 候補車両のなかから依頼可能と判断された車両について、販売店にご連絡。
- ③ 販売店からお客様に状況をヒアリング、必要に応じて入庫誘致、お車の確認をさせていただく。
- ④ 確認結果を販売店から弊社にご回答いただく。

1日あたり数十万台規模の膨大なデータ処理を高速化するためApache Sparkを活用した分散処理プログラムを基本とし、バッチ処理により定期起動化することで、サーバの新設や専用システムの構築をすることなく、弊社内で一般的に使われる既存の分析環境下で実施することができた。

4. 異常予兆の特定プロセス

ここでは、タイヤホイール離脱予兆車両の特定プロセスについて説明する。予兆検知に使用するデータは、主にアンチロックブレーキシステム(ABS)用に搭載される4輪の車輪速センサー値と、操作・走行状態を観測する各種状態センサー値である。これらのセンサー値を用いて、以下のプロセスにしたがい検知し、判定率を導出する。なお以下のプロセスは、前述の1次選別にあたる。

- ① 検知許可状態判定: 検知に適した状態か判定(例: 未舗装路や荒れた路面走行時, 車輪スリップ状態などを除外)
- ② 特徴量演算: 4つの車輪速センサー値から各輪の車輪の振動状態をあらわす特徴量を演算.
- ③ 検知予備判定: ②特徴量がしきい値を超える状態, かつ, ①の状態が, 所定の時間, 繼続した場合に検知予備判定状態とする.

- ④ 検知判定: トリップ中の検知予備判定状態の時間的割合が所定のしきい値を超える.
- ⑤ 1次選別: ④検知判定が条件を満たすとともに, 過去所定トリップに対して上昇が確認された車両を特定する.

本プロセスは, 多様な路面(悪路や雪路など)に対応するため, 4つの車輪を相対的に比較する機能を有し, 振動状態の判定に用いるしきい値を, 車両の速度などに応じて可変にすることにより, 誤検知の防止を企図している. また, 将来的な早期発報を想定して, 2次選別時の時系列データ確認時に, 当該トリップ中の一定時間幅における検知判定の時間的比率の推移についても注目し判断材料とした. 図3に緩み検知のメカニズムを模式的に記す.

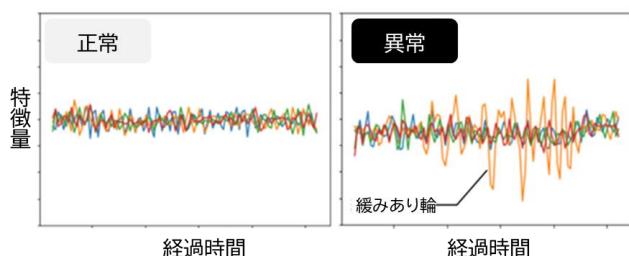


図3 緩み検知概念図

5. 技術実証の結果

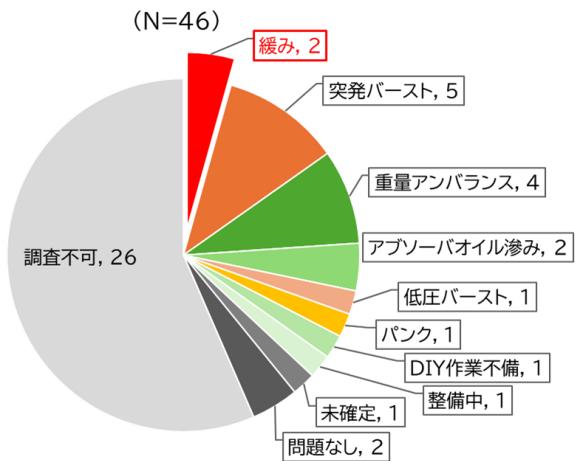
ここでは5ヶ月間におよぶ技術実証の結果(表2)を説明する.

はじめに販売店調査結果について説明する. 今回の調査によって、20台の調査結果を入手することができ、その内訳を図4に示す. 実際にハブナット緩みが発生した事例を2台検知することができた. 一方で、ハブナット緩み以外の事象も数多く抽出されることとなった.

表2 技術実証結果

総走行距離	13.4億km(目標達成)
総トリップ数	約1.4億トリップ → 5ヶ月平均30万台に相当
1次選別トリップ数	約1.3万トリップ(94ppm*)
2次選別トリップ数	約3,000トリップ(21ppm*) → 約2,200台相当
販売店調査回収台数	20台
ハブナット緩み検知台数	3台(データ推定1台を含む)

*百万分率, 100万台中の台数に相当



その他:車輪速センサ異常, タイヤ劣化, ホイール歪など

図4 販売店調査結果

次に、販売店調査結果も踏まえ、さまざまなデータを組み合わせて推定した結果について説明する. ここでは、タイヤホイール離脱が疑われる1台を検知することができた. また、販売店調査結果以外にも、気象情報との突き合わせによりタイヤチェーン装着が疑われる事例や、整備履歴から車輪速センサー異常確定前の断続的な異常、タイヤの劣化、ホイールの歪みなど、さまざまな事象が発生していたことを確認することができた(図5). これらはハブナットの緩みという観点からは誤検知となるが、車両の安心安全な運行という観点からは、何らかの修正・対応をすべき事象であり、今後の機能開発の検討材料となると考える. また、今回、車速の上昇とともに振動レベルも上昇する現象が多く確認された. これらはバランスウェイトで調整可能な重量アンバランスだけでなく、タイヤの不均一性も原因と考えられることから、技術実証終了後も、お客様ならびに販売店の皆様にご協力を仰ぎ、市場調査を継続していることを付記する. この不均一性は摩耗や保管状態による劣化が影響しているものと考えられ、高速走行時の音や振動につながる可能性がある.

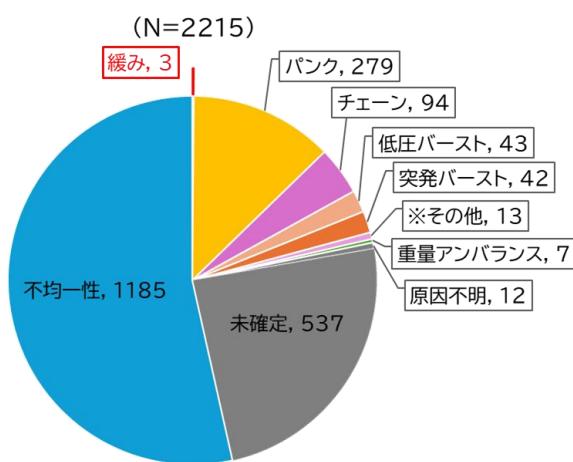


図5 データによる推定結果
(販売店調査結果を含む)

6. まとめ

コネクティッドデータを活用したタイヤホイール離脱予兆車両の特定に向けて、ハブナット緩みを検知する本アルゴリズムは一定の性能を有することを確認することができた。一方で、ハブナット緩み以外の事例も多く検知していることから、改善の余地があることもわかった。今後も技術的知見を深め、安全安心な車社会に貢献すべく、社会実装できるよう検討を進めていく。

■謝辞

本検証においては、データ分析後の実際の車両状態確認のため、日ごろ弊社の製品をご愛用いただいているお客様、ならびに全国のトヨタ販売店の皆様に多大なるご協力賜りました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- (1) 国土交通省Webサイト 自動車点検整備
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha/tenkenseibi/tenken/t2/t2-1/>
- (2) 北海道警察Webサイト 交通事故防止に関する情報 タイヤの脱落事故防止
https://www.police.pref.hokkaido.lg.jp/sub_menu/04_koutuu_2.html
- (3) 自動車工業会JAMAチラシ
<https://www.jama.or.jp/operation/truck-bus/docs/indicator.pdf>

(4) NIRA DYNAMICS社 Loose Wheel

Indicator

<https://www.niradynamics.jp/products/loose-wheel-indicator>

道路管理を効率化するインフラ診断技術 ～舗装点検支援～

中山 公博 ^{*1}倉野 隆文 ^{*1}小渕 達也 ^{*1}木村 陽介 ^{*1}

要旨

本研究では、コネクティッドカーから得られる車両プローブデータを活用し、舗装路面の平たん性やわだち掘れ状態を推定する技術の開発を行った。まず、平たん性の推定では、車輪速度の変動に基づく入力データを分析し、舗装路面状態を定量化する指標を生成した。補修履歴と比較することで、指標値の妥当性を確認し、実際の道路管理者と連携した実証実験により、道路行政でよく使われるMCI(Maintenance Control Index)指標に対し相関係数 $R=0.65$ との有用性を証明した。また、わだち掘れ状態の推定については、車両の横加速度を用いて路面反力を評価し、相関係数 $R=0.75$ を記録する高精度な指標を確立した。これにより、道路点検の効率化と信頼性向上が期待され、技術の社会実装が進められる。

キーワード： コネクティッドカー、車両プローブデータ、道路荒れ、わだち掘れ、舗装路面状態推定、点検支援、自動車センサー、補修優先順位、行政サービス

1. はじめに

自動車産業は急速な技術革新と市場の変化が進んでおり、自動車の提供する付加価値が多様化している。トヨタでは車載通信機を搭載したコネクティッドカーによってお客様の車両プローブデータを取得することが可能になった。この大量のデータを組み合わせることで交通状態や道路状態の把握をする研究も進んでおり、それらを用いて社会課題の解決に向けた取り組みも進めている。社会課題の一つとして、道路などの社会インフラ老朽化に関しては、維持管理コストのさらなる抑制が必要であり、先進技術を活用した効率的な点検・診断手法が望まれている⁽¹⁾。特に舗装路面の維持管理に関しては、国土交通省により定められた舗装点検要領⁽²⁾に基づき、自治体などの道路管理者が舗装点検を実施している。舗装点検は基本的に目視で実施するため労力と時間要する。そのため限られた予算で労力を低減できる効率的な舗装の維持管理が求められている。

2. 舗装路面状態の見える化による道路点検作業効率化

車両プローブデータを用いて舗装路面状態の見える化ができれば、効率的な維持管理が可能になると考えられる。コネクティッドカーから得られる車両プローブデータは、自動車としてあらかじめ搭載されたセンサーから得られるものであり、舗装路面の状態把握を目的とするデータは無い。しかし、既存データを用いて舗装路面の状態を推定する分析技術が開発できれば、専用のセンサーを追加せず、舗装点検作業の効率化という大きな社会課題解決に貢献できる。以上の背景に基づき、車両プローブデータを活用した舗装路面状態を推定する技術の開発を実施し、舗装点検支援サービスとした(図1)。



図1 舗装点検支援サービス

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

3. 荒れ指標

3.1 車両プローブデータを用いた平たん性推定技術の検討

ひび割れなどの舗装路面の凹凸は、その程度に応じた上下方向の変位入力として、タイヤ接地面を介して車両に影響を与える。タイヤ接地面への上下入力を含む信号を同定し、定量化すれば、舗装路面の平たん性を適切に評価することが可能となる。

一方、ばね上制振制御などに必要な車両姿勢推定の手法として車輪速センサーを用いる方法がある。この方法は、車両への入力(ステアリングトルク、制駆動トルク、路面入力)や、これにより励起される車両姿勢変動(ピッチ、バウンス)の影響を受けて車輪速が変動することに着目し(図2)、後者の寄与から実際の車両姿勢を推定する。本検討では、このうち路面入力による変動を抽出することで、舗装路面の平たん性推定に用いることが可能と考え、その方法を考案した。すなわち、運転操作による変化に着目し、これに起因する成分を除去した。また、車両諸元に基づき、車両姿勢変動成分も除去することにより、路面入力による変動成分のみを得ることができた⁽³⁾。



図2 車輪速変化による路面からの影響を抽出する仕組み

上述過程の適用に先立ち、不要なデータを除外する処理も行った。実際の走行では、公道走行以外にも、店舗や駐車場などへの立ち寄りにともなう歩道乗り上げなどが想定される。このようなシーンで発生する入力は、舗装路面の凹凸とは無関係であり、あらかじめ分析対象から除外する必要がある。その方法として、ブレーキやステアリングなどの操作情報を用いることも可能であるが、良品廉価なデータ生成を実現するため使用するデータ種類の削減やロジックの簡易性を考慮し、低速のデータを除外する方法を採用した。上述シーンでは通常、十分に減速するため、車速にしきい値を設定することで概ね対応可

能と推定した。減速が不十分なデータは相対的に発生頻度が低く、後述の平均処理で影響を無視することができる。

続いて、得られた処理済みデータに対して、以下の処理を行った(図3)。舗装路面損傷の発生形態や発生個所はさまざまであるため、4輪全てのデータを用い、その最大値を当該走行地点における、当該トリップにより推定された路面入力値とした。車両の位置同定には、GPSの緯度・経度値を用いた。同様の処理を、膨大なトリップデータに対して行った。このようにして、コネクティッドカーが走行した路線上に、路面入力値が稠密^{ちゅうみつ}に付与された。引き続き、付与された路面入力値を、道路管理者に有用な指標値とするための処理を行った。舗装点検結果に基づき行われる補修作業は、小規模のものでも10m程度の区間に渡って実施するため、同程度の区間長に対して平たん性を示す指標値(以降、荒れ指標)を付与することで補修の優先度評価に活用することができる。そのため、今回は、道路を10mのメッシュに分割し、各区間に含まれる多数のデータの平均値を当該区間の荒れ指標とした。

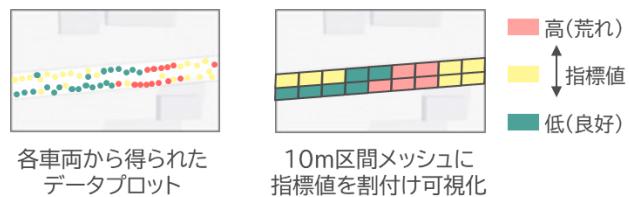


図3 荒れ指標の生成イメージ

3.2 荒れ指標の検証と、行政サービスへの適用性検証

荒れ指標を用いたサービスの社会実装による有用性を確認するため、道路管理者である豊田市役所と連携し、実証実験を行った。その際、荒れ指標を広域で可視化した結果を示した(図4)。日本の道路維持管理は、国土交通省や地方自治体が舗装の劣化状態を定量的に評価するために用いるMCI(Maintenance Control Index)という指標を用いることが多いが、MCIの計測は全域で行えるわけではない。しかし、荒れ指標を広域で可視化した結果、従来のMCIでは測定対象外で目視点検に依存していた生活道路も含めて、荒れ指標を用い

た舗装路面状況の一元把握が可能となった。また、豊田市内にて評価路線を選定、およそ 1km に渡って MCI と荒れ指標の比較を実施し、相関係数 $R=0.65$ で一致することを確認した。ただし、本比較では荒れ指標に反映されていないわだち掘れ量の寄与に関しては、MCI から影響を除外した(図 5)。これに基づき、修繕計画の立案が可能であることや、高頻度の情報提供により、舗装路面状態の経年変化を把握できる点が狙い通り評価され、荒れ指標の実用化が決定した⁽⁴⁾。



図 4 荒れ指標による舗装路面状態視える化の例
(愛知県豊田市市街地)

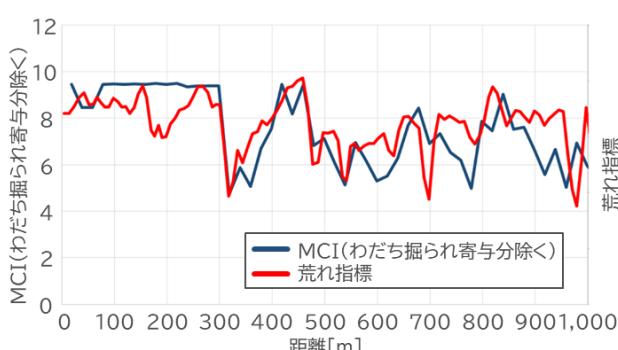


図 5 MCI と荒れ指標の関係

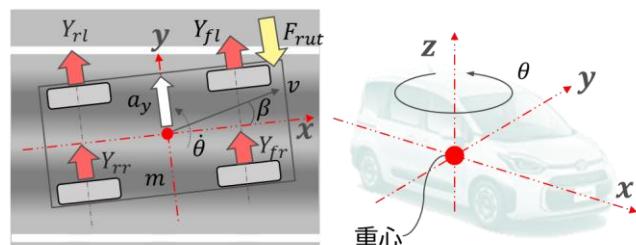
荒れ指標は NETIS(New Technology Information System:新技術情報提供システム)にも掲載されており、また、2025 年 4 月に「一般車両のビッグデータから路面評価(IRI:International Roughness Index/わだち掘れ量)を行う技術」の名称で国内初のビッグデータ活用型技術として国土交通省の点検支援技術性能力タログにも掲載された⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本カタログの審査において、

前述の MCI を構成する指標の一つである IRI(道路平坦性)と本指標値の相関は高く、IRI で規定される舗装路面の荒れ区分において、区分Ⅱ(中度荒れ)は検出率/的中率ともに 90%~100%、区分Ⅲ(荒れ程度が激しいもの)は検出率 90%~100%、的中率 80%~90% という高い成績が得られた。この結果をもって技術審査に合格し、前述のカタログに掲載された。

4. わだち指標

4.1 車両プローブデータを用いたわだち掘れ状態推定技術の検討

舗装路面のわだち掘れは、タイヤ荷重の大きい大型車のトレッド幅に沿いアスファルト混合物の塑性変形により発生することが知られている。トレッド幅が大型車より狭い普通車は、わだちの山部へ乗り降りしながら走行する状態になるため⁽⁷⁾、車両の横加速度が変化すると考えられる。本検討では、この現象に着目した(図 6)。



F_{rut} :わだちによる外力, Y :各輪に掛かる車両の旋回力
 I , $\dot{\theta}$:z軸まわりの慣性モーメント, 回転角速度
 β :車体すべり角
 v :車速, m :質量, a_y :横加速度, θ :車体の回転角

図 6 わだち乗り上げ時の車両挙動

車速 v , 車体すべり角速度 $\dot{\beta}$, 回転角速度 $\dot{\theta}$ とするとき、横加速度 a_y は、以下の式(1)で表現できる。

$$a_y = v(\dot{\beta} + \dot{\theta}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

わだちの山部に乗り上げたとき、車両に路面反力が加わることで横加速度 a_y が変化する。操舵による車体すべり角 $\dot{\beta}$ は車体の回転角 $\dot{\theta}$ に比較して小さく、車体すべり角 $\dot{\beta}$ の微分値に占めるわだちによる角変動成分の比率が高い。そのため、車体すべり角 $\dot{\beta}$ を評価指標とすることが有

効と考えた。車両プローブデータで取得可能な項目は横加速度 a_y 、車速 v 、回転角速度 $\dot{\theta}$ であることから式(2)より $v\dot{\beta}$ を推定し、その変動量をわだち掘れに関する指標(以降、わだち指標)とした。

$$v\dot{\beta} = a_y - v\dot{\theta} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

しかし、 $v\dot{\beta}$ にはわだち掘れ以外に起因する変化も含まれるため除外する必要がある。具体的には、①右左折やカーブ走行時の操舵による変化、②横風による変化、③縁石乗り降りによる変化が考えられる。①②と比較するとわだち掘れに起因する路面反力は短時間入力のため、車両のヨー方向運動に比較的高い周波数成分を含む。②はわだち掘れに比べ大きな値となる。よって、①②は車両の通常走行で発生する DC(Direct Current)に近い成分をフィルタリングした。③は統計的に特異値を省き、わだち掘れ以外の影響を最小限にした。

4.2 わだち指標の検証と、行政サービスへの適用性検証

本検討では、わだち掘れの深さを表すわだち掘れ量と、車両プローブデータによるわだち指標との比較を行った。前述の測定結果は地方自治体などの管理実態にあわせ区間長 100m 単位でわだち掘れ量を算出した。比較した結果を次に示す。

わだち指標と測定車両による測定値を比較した結果(図 7)、相関係数 $R=0.75$ と高い相関が得られた。

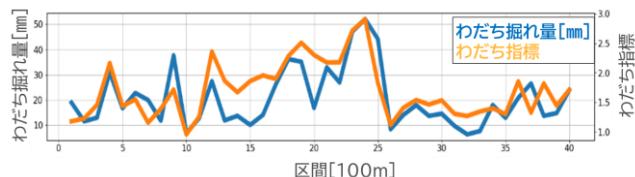


図 7 わだち指標とわだち掘れ量の比較

舗装点検要領では、路面の健全性を 3 段階の診断区分で表現している。前述の結果から回帰直線を求め、わだち指標を 3 段階の診断区分に分けた。わだち指標から求めた診断区分とわだち掘れ量による実際の診断区分を比較すると概ね一致した。

5. まとめ

コネクティッドカーから得られる車両プローブデータを用いて、舗装路面の平たん性やわだち掘れを効率的に推定する技術を開発した。荒れ指標に関しては、車輪速を分析し客観的な指標を生成することで、網羅的な把握が可能となった。また、わだち指標に関しては、横加速度を用いて高精度な指標を確立し、同様に網羅的な把握が可能となった。これにより、舗装路面の維持管理効率化と安全性の向上に寄与することが期待される。

■参考文献

- (1) 国土交通省:社会インフラ維持管理の課題と現状, <http://www.mlit.go.jp/common/001016260.pdf>
- (2) 国土交通省:舗装点検要領, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozan/tenken/yobohozan2810.pdf>
- (3) 小渕 達也、木村 陽介:お客様の車両から収集されるビッグデータを活用した舗装路面状態推定技術の開発、土木計画学会秋季大会、2019。
- (4) トヨタドライブ統計、「ソリューション・道路状態情報」, https://biz.toyota/introduce/drive_statistics
- (5) 新技術情報提供システム NETIS、「コネクティッドカーから取得したタイヤ回転速度データを利用し舗装管理指標(IRI)を提供する技術」, <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubs/search/details?regNo=CB-220032%20>
- (6) 国土交通省:点検支援技術性能能力タログ【舗装編】、「一般車両のビッグデータから路面評価(IRI/わだち掘れ量)を行う技術」, <https://www.mlit.go.jp/road/tech/pdf/catalog-hosou0043.pdf>
- (7) 國枝晋二、阿部頼政:路面の凹凸が運転者の操舵へ与える影響に関する基礎的研究、土木学会舗装工学論文集、第 8巻、2003。

道路管理を効率化するインフラ診断技術 ～交通安全対策支援～

佐藤 正俊 ^{*1}小渕 達也 ^{*1}木村 陽介 ^{*1}

要旨

本稿では、交通事故の削減を目指す道路安全対策における、トヨタのコネクティッドカーから取得した車両プローブデータの活用について報告する。車両プローブデータを統計処理して得られる急ブレーキ発生率、一時停止率、速度超過率といった定量的指標を用いることで、従来の主観的な調査では把握が難しかった危険地点の抽出や対策の優先順位付け、対策立案の支援が可能となる。さらに、安全対策前後のデータの比較をすることで、短期間で客観的な効果検証を行うこともできる。この技術は実証実験などで実際の交通安全施策にも活用され、その効率化に貢献している。

キーワード： コネクティッドカー、車両プローブデータ、交通安全対策、急ブレーキ発生率、一時停止率、
30km/h 超過率、客観的な効果検証、危険の客観的評価

1. はじめに

自動車産業は急速な技術革新と市場の変化が進んでおり、自動車の提供する付加価値が多様化している。トヨタでは車載通信機を搭載したコネクティッドカーによってお客様の車両プローブデータを取得することが可能になった。この大量のデータを組み合わせることで交通状態や道路状態を把握する研究も進んでおり、それらを用いて社会課題の解決に向けた取り組みも進めている。

交通安全も重要な社会課題の1つである。令和6年の日本の交通事故死者数は2,663人であり、過去最悪であった1970年の16,765人の6分の1以下と大幅に減少してきている⁽¹⁾。しかしながら、小学生が通学路で死傷するような痛ましい事故は今なお発生しており、さらなる事故削減のための取り組みが求められている。「交通事故ゼロ」はモビリティ社会が目指す理想の姿であり、その実現のために「人・車・交通環境」の三位一体で安全対策を推進することが重要になる。本稿では、このうちの交通環境にあたる道路安全対策の加速に向けた、最新技術の取り組みについて紹介する。

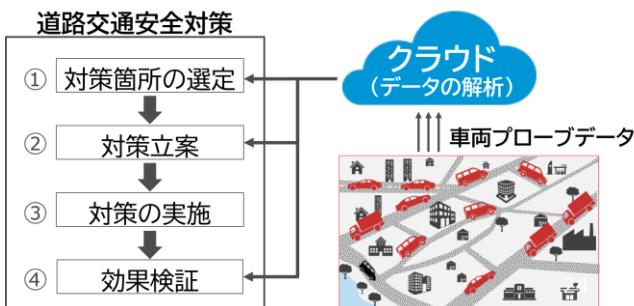
2. 道路安全対策の課題

行政による道路の安全対策は、①対策箇所の選定、②対策立案、③対策の実施、④効果検証の4つのステップで進められる(図1)。対策地点は、事故が多発している場所や死亡事故が発生した場所など、過去の事故データをもとに選ばれることが多い。しかし、事故がまだ起きていない地点への未然対策に関しては、住民や学校からの要望があっても客観的なデータが少なく、どこを優先的に対策すべきか決めるのが難しいという課題がある。また、どんな対策を実施するかの検討段階では、専門家の意見や現地調査が必要なため、多くの時間や費用がかかってしまう。さらに、対策後の効果を検証する際も、十分な事故データを集めるために数年かかったり、住民への聞き取りといった主観的な情報が中心になつたりして、客観的な根拠をすぐに得るのは困難である。

そこで、これらの課題を解決する方法として、トヨタのコネクティッドカーから得られる車両プローブデータの活用を検討する。車両プローブデータを使うことで、走行中の車両の速度や加速度などの情報を広い範囲で網羅的に集めることができる。この客観的なデータを従来の方法に加えることで、事故が起きていない場所も含めた安全対策の優先順位付けや、対策の継続的な改善

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

(PDCA サイクル)をより効率的に進めることができると考える(図 1)。



3. 車両プローブデータによる安全対策の支援

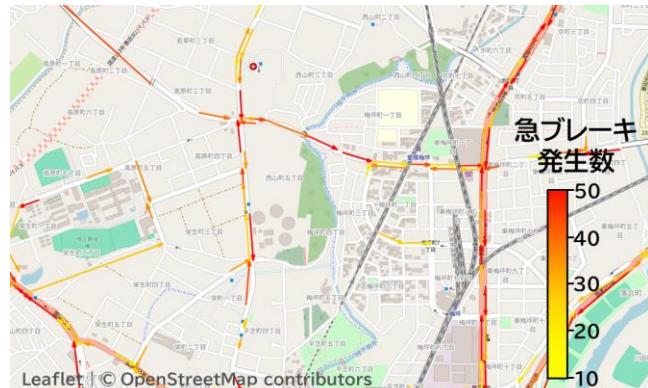
3.1 対策の優先順位付け

対策の優先順位付けにおいては、コネクティッドカーが遭遇したヒヤリハットの情報である急ブレーキの発生地点を利用する。ここで採用しているのは 0.4G 以上の減速度が発生した急ブレーキで、ABS(アンチロック・ブレーキ・システム)が作動するほど極端ではないものの、助手席に置いたカバンが飛び出す程度の強さである。過去に実施した実証実験によっても、こうした急ブレーキ多発地点と実際の事故多発地点が一致することが確認されているため、急ブレーキデータは事故の「前兆」を捉える指標としても信頼性が高い。一方で、この程度の強さの急ブレーキは、習慣的に強いブレーキ操作をするドライバーによるものも含まれるため、そのような車のデータはノイズとして除外し、より客観的な危険度評価を可能としている⁽²⁾。

図 2 では、急ブレーキが多発する道路区間が視覚的に示されており、交通量の多い幹線道路や交差点で急ブレーキ件数が多くなる傾向がみられる。こうした場所は追突事故など多く発生しており、対策地点を検討するための追加情報として活用が可能である。

一方で、交通量の少ない生活道路における危険地点の抽出も重要である。そのため、単純な急ブレーキの件数ではなく、対象の道路区間を走行したコネクティッドカーの走行数で割った「急ブレーキ発生率」を用いた評価も行っている。図 3 に示すこの指標により、幹線道路以外

でも相対的に急ブレーキが多発している箇所を抽出できている。全ての道路で交通量を考慮した客観的な危険の評価ができるとともに、車両プローブデータの大きな強みである。



※Map data from [OpenStreetMap](https://openstreetmap.org)

図 2 急ブレーキ多発地点(月当たりの発生回数)



※Map data from [OpenStreetMap](https://openstreetmap.org)

図 3 急ブレーキの発生率

3.2 対策立案の支援

対策立案の段階でも車両プローブデータを活用して、車両がどのように道路を走行しているかを定量的に評価することで、より合理的な対策方針の決定が可能となる。ここでは、コネクティッドカーの交通量や平均車速の情報だけではなく、制限速度など道路規制に対するドライバーの順守率も新たな評価指標として活用する。日本道路交通情報センター(JARTIC)をとおして警察が公開している道路規制情報⁽³⁾を用いることで、道路ごとの制限速度や一時停止規制を特定し、規制区間における実際の走行データとの比較が可能となる。

図 4 では道路終端に一時停止規制のある区間を抽出し、その区間を通過する車両が 3km/h 以下まで減速し

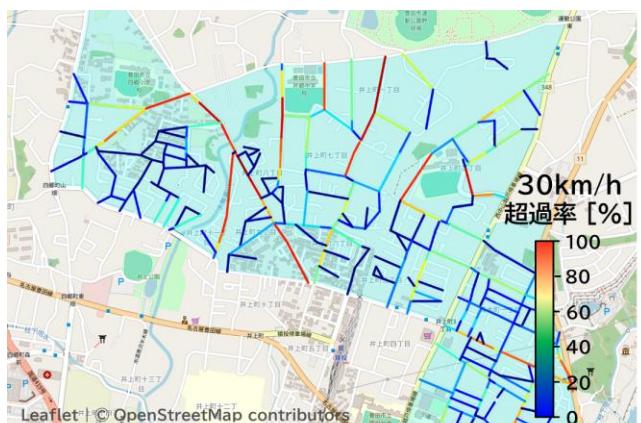
た割合(停止率)を算出している。急ブレーキが多発して、一時停止率も低い地点では、停止線が消えかけているようなケースもあり、停止線の引き直しやカラーリングによる強調といった対策につなげることができる。



※Map data from [OpenStreetMap](https://www.openstreetmap.org)

図4 一時停止線での停止率

さらに、図5ではゾーン30区間(水色ハッチング部)において、30km/hを超えて走行している車両の割合を算出している。速度超過の割合が高い道路がゾーン30の区間を横切っているような道路は、抜け道として利用されている場合が多く、時間帯を指定した通行禁止や、速度が上げられないようにポールを立てて幅員を狭くするなどの対策が有効になる。



※Map data from [OpenStreetMap](https://www.openstreetmap.org)

図5 ゾーン30区間における速度超過率

こうしたデータの活用により、現地の目視調査や主観的な情報だけでは把握しきれなかった道路利用の実態を、定量的かつ客観的に評価して対策立案を支援できる。

3.3 安全対策の効果検証

ここでは愛知県豊田市において、通学路の安全対策の効果検証を車両プローブデータで実施した例を紹介する。該当する横断歩道は、左手側の階段から児童が下りて横断する構造となっているが、擁壁の影響でドライバーからは児童の存在が直前まで見えにくく、豊田市が実施したアンケートでもヒヤリハットが多発している地点であった。そこで、横断歩道自体をカラーペイントで目立たせ、運転者に注意を促す措置を施すとともに、横断歩道手前にも減速ゼブラを設置し減速を促進する対策が講じられた(図6)。



図6 通学路の安全対策地点

対策の有効性を評価するため、対策前後2ヶ月間のデータを用いて定量的な比較を行った。図7に示される急ブレーキ発生率をみると、対策前には1.8%と比較的高かったのに対し、対策後には0.4%となり、78%の削減が確認できた。また、図8はこの道を通過したコネクティッドカーの平均車速の変化である。青の対策前データに対してピンクの対策後データでは、横断歩道の約100m手前から車速が低下しており、20m手前地点では約2.1km/hの低下が観測された。この結果から、運転者が意識的に減速するようになったことが裏付けられる。対策後に再度実施されたアンケートでも、ヒヤリハットが発生していないことがわかっている。

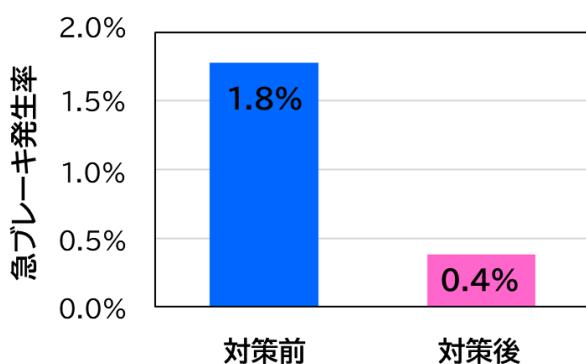


図 7 対策前後の急ブレーキ率の変化

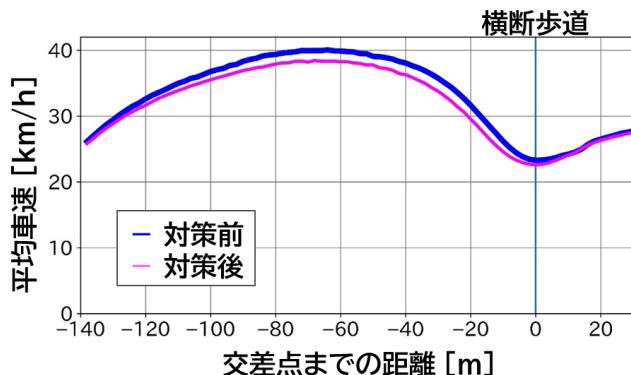


図 8 対策前後の平均車速の変化

このように、車両プローブデータを使えば、事故データの蓄積を待つことなく、対策の効果を短い期間で客観的に検証することができる。さらに、対策後も経年変化を継続的に観測することができる。効果の持続性や追加対策の必要性についても評価できる。

4. まとめ

車両プローブデータを活用し、道路の交通安全対策を支援する技術を開発した。ヒヤリハットの発生を示す急ブレーキデータを用いることで、幹線道路だけでなく生活道路における危険地点も定量的に評価できる。さらに、車両プローブデータを解析することにより、現地調査や主観的判断に頼ることなく、道路利用の実態を客観的かつ定量的に評価し、対策立案を支援することができる。また、対策前後のデータを比較することで、短期間で道路安全対策の効果を定量的に検証できる。この技術は、実証実験などで実際の交通安全対策にも活用されている⁽⁴⁾。

■参考文献

- (1) 内閣府: 交通安全白書 令和7年版
- (2) 佐藤 正俊, 小渕 達也, 木村 陽介, 第66回土木計画学研究発表会・講演集
- (3) 日本道路交通情報センター: JARTIC HP, <https://www.jartic.or.jp>
- (4) トヨタドライブ統計, <https://biz.toyota/introduce/drive statistics>

道路管理を効率化するインフラ診断技術 ～渋滞長推定～

竹内 博貴 ^{*1}平塚 由志子 ^{*1}池ノ上 裕介 ^{*1}加藤 司 ^{*2}松倉 聖 ^{*3}笹倉 敏明 ^{*3}佐藤 正俊 ^{*1}

要旨

コネクティッドカーの車両プローブデータの活用が広がっているなか、トヨタでは車両プローブデータを活用した社会課題解決に取り組んでいる。そのなかから自動車の大きな課題である渋滞対策の取り組みを紹介する。地方自治体が管轄する道路は感知器が設置されていない道路が多く、渋滞対策は目視の現地調査を活用した対策が主である。よって、現地調査の費用と時間の都合上調査期間が限られてしまい、渋滞を正しく把握できない懸念があった。そこで車両プローブデータを用い、地方自治体が渋滞対策の指標とする渋滞長を再現し、現地調査の代替となるデータ作成技術を開発した。本稿ではその技術概要の紹介と愛知県豊田市での渋滞対策への活用事例を紹介する。

キーワード： コネクティッドカー、車両プローブデータ、渋滞、渋滞長、交通流、信号

1. はじめに

自動車産業は急速な技術革新と市場の変化が進んでおり、自動車の提供する付加価値が多様化している。トヨタでは車載通信機を搭載したコネクティッドカーによってお客様の車両プローブデータを取得することが可能になった。この大量のデータを組み合わせることで交通状態や道路状態の把握をする研究も進んでおり、それらを用いて社会課題の解決に向けた取り組みも進めている。そのなかでも交通渋滞は日本各地で発生し、自動車での移動時間の約4割が渋滞などによるロス⁽¹⁾といわれており、CO₂排出量の増加にもつながる大きな社会課題である。よって、トヨタでは車両プローブデータを使った渋滞解消に向けた技術を検討している。本稿では車両プローブデータを用いた渋滞把握の取り組みと愛知県豊田市における活用事例を紹介する。

2. 渋滞把握の課題

主要幹線道路の渋滞対策は、道路上の車両感知器のデータを基に行われる。しかし、車両感知器が設置されている道路は全体の15%に過ぎず⁽²⁾⁽³⁾、地方自治体が管轄する道路の多くでは活用できない。そのため車両感知器がない道路では人手による調査を行い、目視と手作業でデータを測定している。これには多くの費用と時間がかかるうえ、限られた調査期間のデータしか取得できず、渋滞状況を正確に把握できているとは言い難い。一方で、車速データを用いた渋滞評価技術は地図アプリやカーナビのサービスで既に活用されているが、車速による評価では平均車速を基に行われるため、信号停止を含む場合には誤検知が起こりやすいという問題がある⁽⁴⁾。そこで、この問題に対してコネクティッドカーから得られる車両プローブデータを用い、車両感知器のデータや人手による調査を代替する技術を開発した。

^{*1} 先進技術開発カンパニー 先進モビリティシステム開発部

^{*2} 先進技術開発カンパニー モビリティ材料技術部

^{*3} デジタルソフト開発センター 電子性能開発部

3. 車両プローブデータによる渋滞把握技術

3.1 渋滞把握の指標

地方自治体の渋滞対策では、渋滞の程度感を把握するために滞留長と渋滞長という指標を用いることが多い。

滞留長とは、交差点での赤信号停止の車列の最大長である(図1)。これに対して、信号が青に変わっても交差点を通過できずに捌け残ってしまい、2回目の赤信号停止になってしまった車列の長さを渋滞長(図1)と呼ぶ。たとえ滞留長が長くても、信号が青のあいだに全ての車両が通過できれば渋滞とは定義されないため、車両プローブデータで渋滞を把握するためには、渋滞長の推定が必要である。

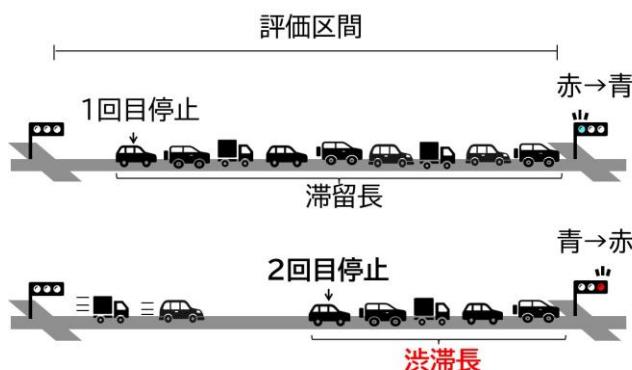


図1 滞留長と渋滞長イメージ

3.2 渋滞長の推定手法

渋滞時の各車両は、信号を1サイクルで交差点を通過できずに捌け残り、交差点手前で複数回停止する。その状況で、2回目に停止した位置を抽出し、信号から最も離れた最後尾車両の停止位置が渋滞長に近いと考えた。しかし、コネクティッドカーの普及率が100%ではないため、トヨタ車の車両プローブデータだけで2回停止した最後尾車両を把握することは難しい。そこで、渋滞長の評価を15分単位で行い、そのあいだの全信号サイクルに対して2回目停止位置をサンプリングし、信号から最も遠い停止位置を選ぶことで確率的に渋滞長を推定する方法を採用した(図2)。また、信号サイクルにともなう大きな移動のみを検知するため、以下2つの条件のいずれかを満たす移動を抽出する。

- 基準距離以上の移動をした場合

- 発進から次の発進までの時間間隔が基準時間以上で、かつ、移動距離が基準距離の半分以上である場合
- 基準距離には1回の青信号で捌ける車列の長さを、基準時間には信号1サイクル分の時間を採用する。以下でこれらの基準値をデータから決定する方法について説明する。

青信号で捌ける車列の長さは、信号1サイクル中に各車両が進んだ距離の分布から算出する。渋滞車列の後方では、前車との車間距離の調整などの小さな移動があるため、図3(a)のヒストグラムには移動距離に明確なピークが現れない。一方、信号に近い位置では図3(b)に示すように明確なピークが現れ、移動距離の基準値を見積もることができる。そこで、信号に最も近い位置で発生した停止間の移動距離分布の最頻値周辺を基準距離として採用する。信号1サイクルの時間も同様の考え方で、信号に最も近い位置で発生した停止・発進の時間間隔から求めた。

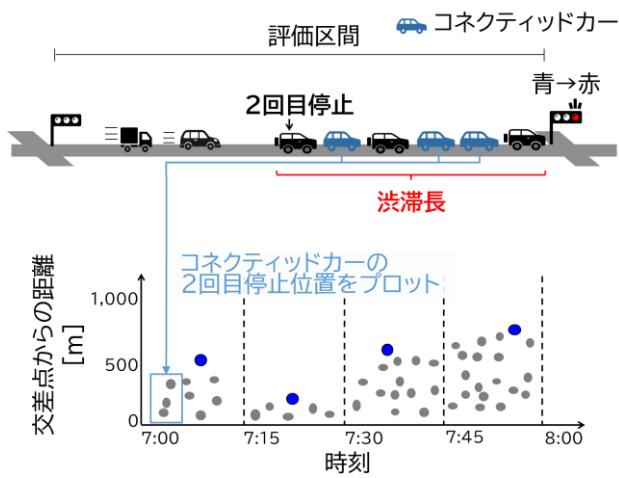


図2 車両プローブデータを用いた渋滞長推定

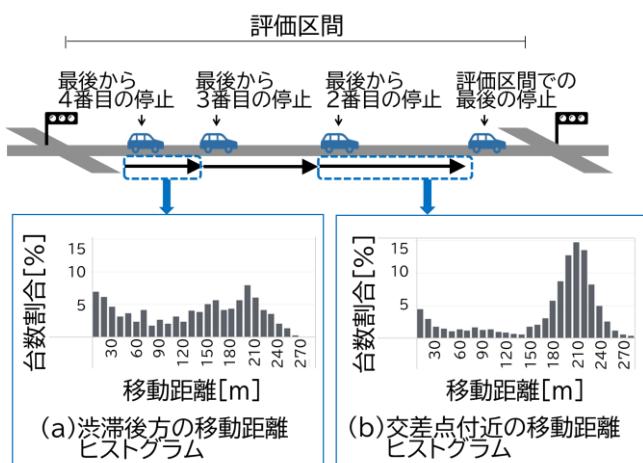


図 3 移動距離ヒストグラム

3.3 渋滞長の推定結果の確認

当技術の検証のため、愛知県豊田市の聖心町 2 丁目南交差点の西側区間を対象に、車両プローブデータによる推定渋滞長と現地調査による実測値を比較した。対象期間は平日各曜日 1 日ずつで、渋滞時間帯(7:00~9:00)と非渋滞時間帯(12:00~14:00)を設定し、車両感知器と同等の精度を得られるかを評価した。東京都内の重要交差点では、停止線から 150m, 300m, 500m の間隔で車両感知器が設置されており⁽⁵⁾、最小間隔は 150m である。このため、精度目標をその半分の 75m とした。図 4 に推定渋滞長と実測値の比較結果を示す。横軸が実測値、縦軸が推定値で、赤の点線は両者が等しい位置をあらわす。誤差(平均二乗誤差)は 53.4m と精度目標を上回っており、感知器相当の精度が確保できた。

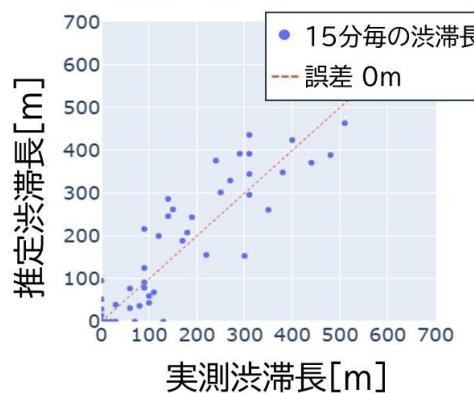


図 4 渋滞長推定値と実測値の比較結果

4. 対策の効果検証への応用と今後の展望

当技術の有用性を確認するため、愛知県豊田市の渋滞多発地点(平戸橋町馬場瀬交差点)で信号サイクル変更の効果検証を行った。当交差点は渋滞対策のため信号サイクル変更を行った地点であり、その変更で渋滞長が短く改善された事実との一致を確認できた(図 5)。

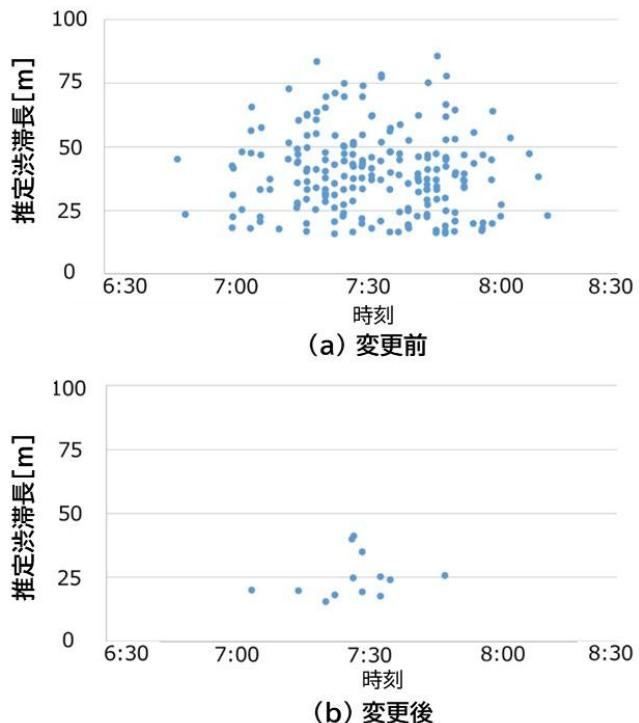


図 5 信号サイクル変更前後の渋滞長推定結果

5. まとめ

車両プローブデータで渋滞長を推定し、地方自治体の渋滞対策での活用の可能性が示唆された。今後地点や活用事例を増やし、検証を継続する。また、車両プローブデータは各車両の位置情報を保持しており、対象地域を通過した各車両の出発地域や到着地域のデータ化(OD データ)が可能である。また時間帯や曜日別の分析も可能なため、当該地域の特性と照らし合わせ、通勤やレジャー目的など、渋滞の要因分析や到着以前の経路分析も可能になる。これらの OD データの情報は、従来の現地調査では取得できなかつたため、組み合わせて活用することで、より的を絞った渋滞対策の推進にも期待ができる。

■参考文献

- (1) 国土交通省, 社会資本整備審議会 道路分科会 第81回基本政策部会 資料3, p.5, 2023
- (2) 国土交通省HP, 令和3年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計結果整理表, 表1区間数整理表,
<https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/>
を加工して作成, 2025
- (3) 国土交通省HP, 道路トップ ご意見ご要望,
https://www.mlit.go.jp/road/soudan/so_udan_10b_01.html, 2025
- (4) 垣田 友希 他, 交通工学論文集, 第6巻, 第2号(特集号B), pp.B_61-B_69, 2020
- (5) 関 達也 他, 交通工学論文集, 第8巻, 第1号,
pp.31-38, 2022

2024 年度 第 40 回素形材産業技術賞 経済産業省製造産業局長賞
 2024 年度 日本機械学会賞(技術)
 第 75 回自動車技術会賞 技術開発賞

HLA 溶接を用いた一体差厚曲線 TWB 構造と 量産設備の開発

小松崎 貴也 ^{*1}

内山 博史 ^{*4}

新里 映太 ^{*2}

小野田 将大 ^{*1}

江川 哲司 ^{*3}

鈴木 得功 ^{*1}

1. まえがき

世界にはさまざまな道が存在し、ラダーフレーム構造の SUV 車が生活基盤を支えてきた(図 1)。そのラダーフレームには「信頼性・耐久性」「悪路走破性」「衝突安全性」「防錆」などの性能を高次元で実現することに加えて、燃費規制対応(CAFE 規制)やカーボンニュートラル実現に向けた軽量化が必須である。ラダーフレームの一般的な構造として本体に補強材(以降 R/F)を重ねる R/F 構造(図 2)があるが、その軽量化手段として直線 TWB 技術(Tailor Welded Blank, 図 3)を用いた差厚構造が知られている。今回、より大幅な軽量化を実現するために、業界に先駆けた量産技術として溶接線を曲線にした曲線 TWB 構造(図 4)を開発した。あらゆる路面入力に耐えうる溶接品質の確保を目標に関係部署間で本音の議論を繰り返し、約 6 年の歳月をかけて量産技術を確立した。



図 1 ラダーフレーム構造の SUV 車

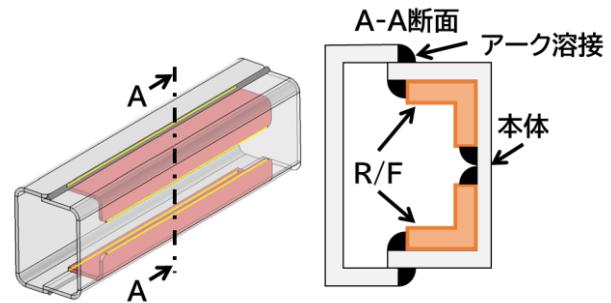


図 2 従来構造(R/F 構造)

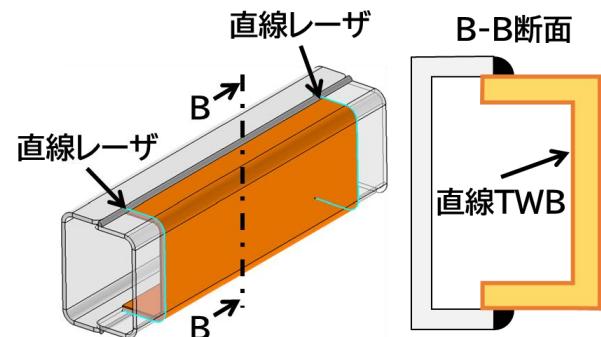


図 3 従来差厚構造(直線 TWB 構造)

*1 Mid-size Vehicle Company MS プラットフォーム開発部

*2 クルマ開発センター 車両技術開発部

*3 クルマ開発センター 製品化製造技術部

*4 生産本部 堤工場車体製造技術部

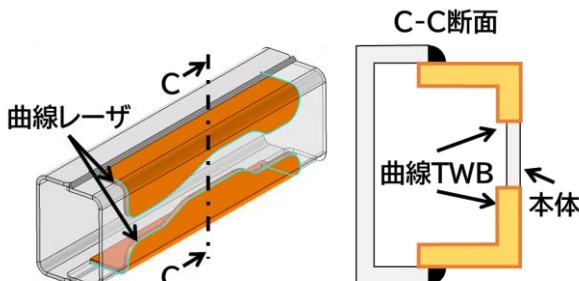


図 4 曲線 TWB 構造

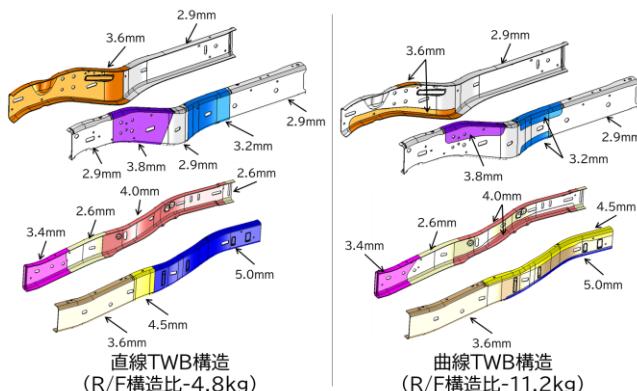


図 6 軽量化効果の比較

2. 技術概要

ある一断面における断面構造の疲労強度を担保するために CAE 解析(図 5)を用いて比較・検討した結果、従来構造では本体と R/F をあわせて総板厚 t 6.5mm 必要だったのに対し、曲線 TWB 構造では板厚 t 3.8mm の鋼板で同等な疲労強度を持ち合わせていることがわかった。断面内側の R/F はアーク溶接で部分的にしか結合していないため、荷重が掛かると相対的に動いてしまうことから効果的に機能していないと考えられる。さまざまな性能要件からフレーム各部位の板厚や材料強度を最適化した結果、直線 TWB 構造では従来構造比-4.8kg、曲線 TWB 構造では従来構造比-11.2kg(図 6)の軽量化ができる、溶接部の曲線化によって軽量化効果を最大限引き出すことが可能となった。

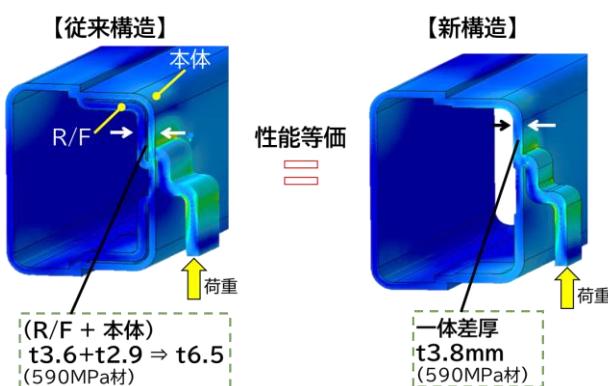


図 5 強度 CAE 解析結果

3. 量産技術

溶接線を曲線化することで「溶接良品条件範囲(ロバスト性)の拡大」と「溶接熱歪みによる隙変化への対応」が大きな課題となった。強度を確保するための良品条件(図 7)としては、薄板側板厚 t に対し $A\%$ 以下の板引け量とした。図 7 の縦軸に板隙、横軸を溶接トーチの狙い位置としたとき、当初検討を始めたレーザ溶接だけでは量産性確保が困難だったため、アーク溶接とレーザ溶接を組み合わせた HLA 溶接(Hybrid Laser-Arc Welding)を新規開発した。溶接時の異なる鋼板の熱膨張差や溶接熱歪みにより板隙が d_1 (溶接前半)から d_2 (溶接後半)に拡大する課題(図 8)に直面したが、アーク溶接を先行させることで広範囲を溶融させ、後行のレーザ溶接もツインスポット化(図 9)などの工夫を重ねて溶接時のキーホールを安定化させることで解決し、その他の量産ばらつきも考慮した溶接良品条件範囲の拡大を実現した。

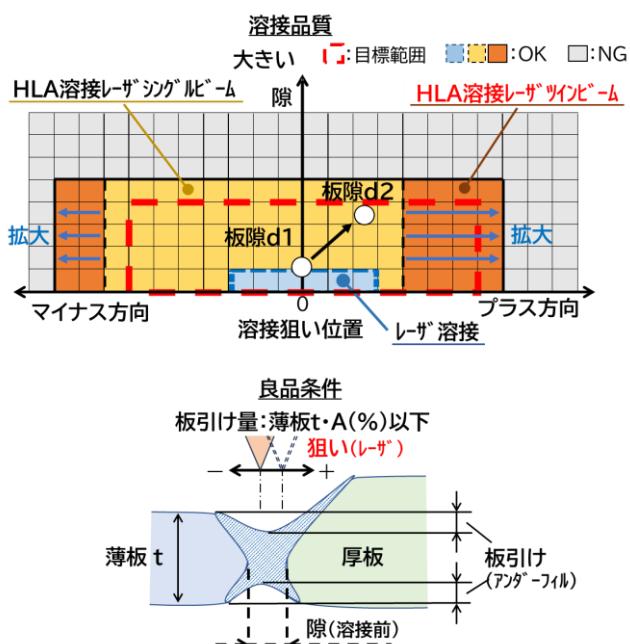


図 7 TWB 溶接の良品条件

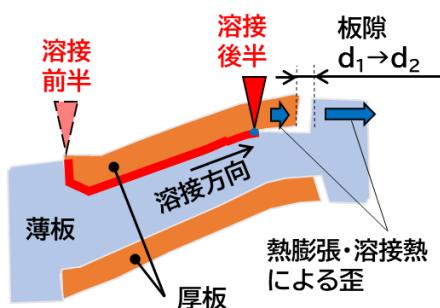


図 8 溶接時の板隙変化

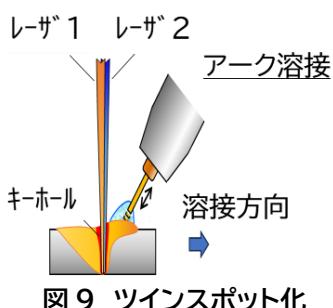


図 9 ツインスポット化

4. まとめ

曲線 TWB 構造と HLA 溶接は信頼性・安全性・軽量化・生産性を高次元で成立させる技術として開発し, ラダーフレームのみならず多くの部品への採用が期待されている。今後もお客様の幸せの量産に繋がる製品の開発や改善に努めていきたい。

第 75 回自動車技術会賞 技術開発賞

新型 8 速 AT および 1 モータハイブリッドトランスミッションの開発

宮本 幸一 ^{*1}宮崎 光史 ^{*1}永井 一成 ^{*1}

1. まえがき

世界各国のエネルギー事情や燃費規制動向を踏まえつつ、カーボンニュートラル実現へ向け、トヨタはマルチパスウェイ戦略を取っているが、世界のトヨタ車でおよそ年間 50 万台の販売規模を占める中型ピックアップトラック・SUV(Sport Utility Vehicle)においても燃費向上は必須の情勢である。加えてこれら車両は、さまざまな道路環境での高い走破性が求められ、走りの性能向上も重要な要件であり、オフロード系車両として、お客様ニーズに応えていくために、従来の 6 速 AT(Automatic Transmission)に代えて新型 8 速 AT を導入した。

さらに、この 8 速 AT にモータ(ジェネレータ)、およびエンジンとモータ間のエンジン切り離しクラッチを備えたパラレル式 1 モータ 8 速ハイブリッドトランスミッションを開発した。エンジンやモータの出力ポテンシャルを最大限に引き出し、優れた燃費性能とトルクフルでレスポンスの良いドライバビリティを備えることができた。これらユニットを、Tacoma、ランドクルーザー 250、4Runner、GX の新型モデルへ導入した。

2. トランスミッション仕様

まずは、HEV(Hybrid Electric Vehicle)用トランスミッションの選定について述べる。今回搭載対象となった車両は、トeing ような積載運転、また、オフロードを主体とした山岳路や砂漠走行のような過酷な使われ方を想定しておく必要があった。そのため、ベースとなる 8 速 AT での高い信頼性を担保しつつ、その高い信頼性を HEV トランスミッションとしても堅持している。加え

て、エンジン切り離しクラッチによる回生を含む MG (Motor Generator) 走行はもちろん、エンジン走行も可能にしており、機械要素と電気要素のそれぞれの特徴を生かしたトランスミッション構成とした。

さらに、国・地域による電動化の進展スピードの違い、また、コンベンショナルなパワートレーンにおいても、ガソリンとディーゼルエンジンといった市場やお客様のニーズにあわせて組み合わせができることも、商品ラインナップ構成上、非常に重要であった。

なお、本ユニットは需要のあるところでつくる方針のもと、良品廉価な車両・ユニットをお客様に提供できるよう、日本と米国の 2 拠点で生産している。

8 速 AT をベースにした 1 モータハイブリッドトランスミッションの構成を図 1 に示す。

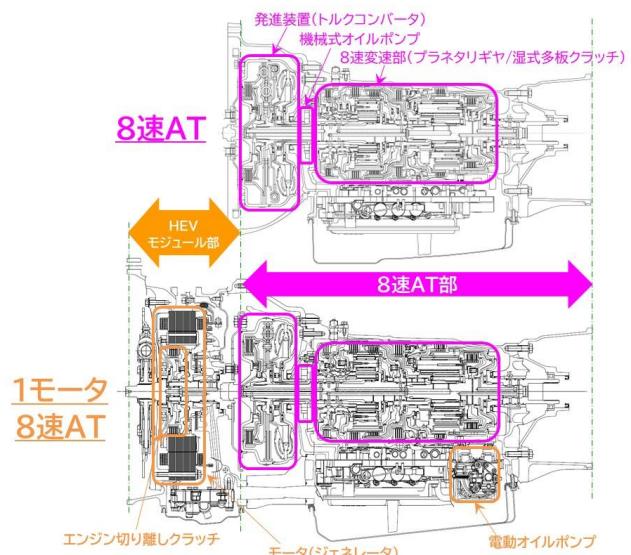


図 1 コンベンショナル 8 速 AT と 1 モータハイブリッドトランスミッションの構成

当該 8 速 AT のスケルトンを図 2 に示す。

^{*1} パワートレーンカンパニー TM 開発部

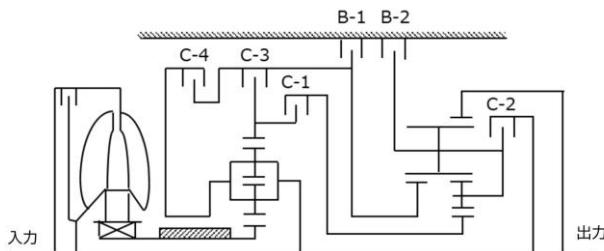


図2 8速ATスケルトン図

これら構成の実現のために、ベースとなる8速AT部は今回適用する中型ピックアップトラック・SUVに設定のエンジンやモータの性能を網羅できるトルク容量と、それら車両への搭載性とを両立すべく、図3に示すトルクコンバータ部の流路径小径化と超偏平化、ギヤトレーン部においてはラビニヨ式プラネタリギヤ構造を採用した。さらに、構成要素の多重構造化や従来6速ATにあったワンウェイクラッチを廃止し6速ATと同一体格で8速化を実現することで、多様なパワーソースとの組み合わせや幅広い車種への搭載性を実現できるようにした。

また、従来の単板構造のロックアップクラッチに代えて多板化し、搭載されるエンジン特性に最適な制振デバイスの選定とあわせてロックアップ使用領域を拡大することで、走行ダイレクト感創出と低損失・低振動を実現した。

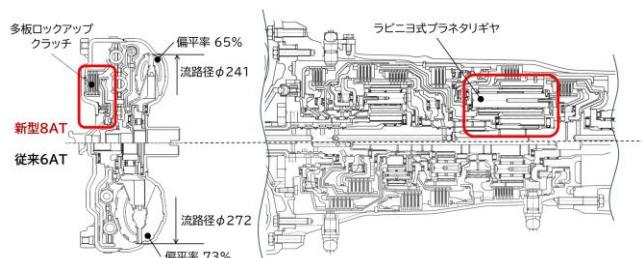


図3 トルクコンバータ(コンベンショナル)および8速ギヤトレーン部構成

次に新型8速ATのギヤリングを従来6速ATとの比較で図4に示す。

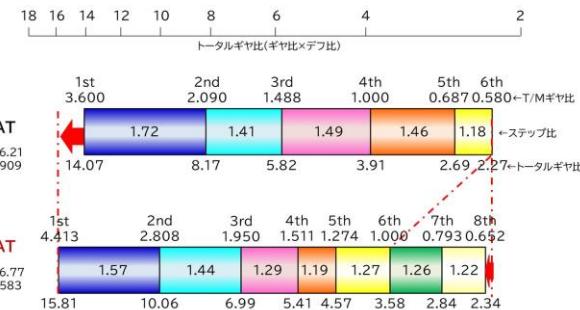


図4 ギヤリング比較

市場使用環境調査に基づくビッグデータ分析から、お客様の走行性能に対する期待やニーズを的確に掴んだうえで車両の駆動力目標を設定し、モデルベース開発ツールを活用して、エンジンやハイブリッドシステムといったそれぞれのパワーソースの出力ポテンシャルを最大限に活かし、かつ、各車速・各変速段での駆動力目標を包括できるようにギヤリングを選定した。

低速段のローギヤ化は、オンロードでの力強く応答のよい発進性能や、オフロードでの低車速コントロール性確保と走破性の向上、中～高速段のクロスレシオ設定は、道路環境や車両積載状態に応じて、市街地から高速道路までドライバーの意のままに加減速を実現できるようになり、ピックアップトラック・SUVに相応しい商品性に貢献できた。

3. 車両性能向上への貢献

3.1 燃費性能向上

燃費性能の向上はパワートレーン全体で実現した。変速段選択の自由度拡大によりエンジン熱効率のよい運転領域の活用を促し、多板ロックアップクラッチ構造の採用と制振デバイスにおける最適な減衰性能設定によりスリップ制御を含むトルクコンバータのロックアップ領域の大幅な拡大、また、高効率オイルポンプや低引き摺り湿式摩擦材といったAT部の低損失化、さらに、電磁ポンプによるストップ＆スタート対応(コンベンショナル)とあわせて、従来モデルに対して、コンベンショナルで8%、1モータハイブリッドにおいてはEV走行やモータによるアシストも奏功し、22%もの燃費向上を図ることができた(図5)。これらは、今回搭載対象となった車両個車で企業別

平均燃費基準目標達成への貢献も網羅している。

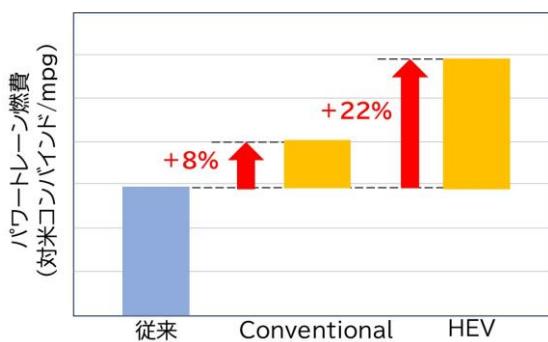
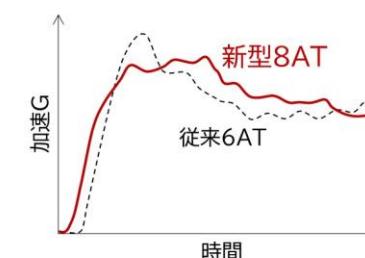


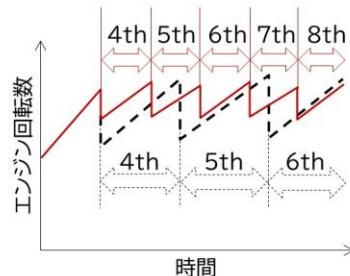
図 5 パワートレーン燃費向上率⁽¹⁾

3.2 ドライバビリティ向上

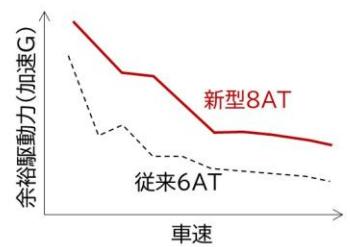
走りの性能向上に関しては、それぞれのパワーソースの出力特性に応じた最適なトルクコンバータ流体性能の選定と、具体的な車両の走行シーンに配慮したギヤリングにより、オンロードからオフロードまでドライバーの意図に応じた車両駆動力を提供できるようになった。また、クロスレシオのギヤリングと大流量リニアソレノイドアクチュエータによる高応答な変速クラッチ油圧の適合により、リズミカルで小気味よいシフトクオリティを担保、さらに、1モータハイブリッドは、走行シーンにあわせた緻密なK0クラッチ(エンジン切り離しクラッチ)切り替えとモータアシストにより、燃費とドライバビリティを高い次元で両立させ、全ての車速域において従来に無い加速性能や巡航性能を得ることが可能となった(図6)。



MGによる応答よい発進加速Gと
高いG感の持続



小気味よい変速と
途切れを抑えた加速感持続



登坂走行やトeing走行時の
応答よい加速や余裕のある巡航性能

図 6 加速感や変速リズム、駆動力の向上

4. まとめ

当該ユニット開発にあたっては、(株)アイシンに多大なご協力をいただき、マルチパスウェイの取り組みに沿って、オフロード系車両のパワートレーン電動化の拡大を目指し、あわせてベースユニットであるトランスミッションも進化させて、画期的な省燃費性能や走行性能を備えたパワートレーンとして、車両の商品力向上に貢献できるようになった。この8速ATと1モータハイブリッドトランスミッションは、将来に向けた主力ユニットの一つとして、市場環境とユーザーニーズの変化にあわせて改良・進化を重ねて、魅力ある車両の商品力向上に貢献し続けていきたい。

■参考文献

- (1) Mu Hu, The New Toyota 2.4L L4 Turbo Engine with 8AT and 1-Motor Hybrid Electric Powertrains for Midsize Pickup Trucks, SAE paper 2024-01-2089, 09 Apr 2024, p.6

第 75 回自動車技術会賞 技術開発賞

廉価でコンパクトなオフロード向け スタビライザディスコネクトシステムの開発

今井 朝輝 ^{*1}金谷 正基 ^{*1}坂崎 和義 ^{*1}白山 和明 ^{*2}衆山 年雄 ^{*2}

1. まえがき

世界では未だ未舗装路も多く、オフロード走行の機会は多数存在する。日本でもキャンプや趣味でのオフロード走行機会が存在する。そのため、オフロード走行に対する走破性と快適性を付与するシステムは付加価値向上として有効な製品である。しかし、そのようなオフロードシステムは価格が高く、スペースを要するシステムが多いため、トヨタ ランドクルーザー"300"シリーズの一部グレードなど高級車への搭載に限られてきた。そのなかで、「The Land Cruiser:質実剛健を追求し、お客様の生活と実用を支え、お客様に信頼されるクルマ」を開発コンセプトにトヨタ ランドクルーザー"250"開発がスタートした。そこで、さらに多くのユーザにオフロードシステムを提供すべく、廉価でコンパクトなオフロードシステム SDM (Stabilizer with Disconnection Mechanism)の開発を行うこととなった。

2. システムの特徴

スタビライザは左右輪をトーションバーで連結しオンロードでの操縦安定性を高めるが、オフロードでは左右輪が連結されていることでサスペンションの伸縮を妨げるためタイヤの接地性が下がる(図 1)。SDM は、スイッチ操作で任意にフロントスタビライザを無効化することで、優れたタイヤの接地性を確保できる。あえてスイッチ操作にこだわることにより、ユーザの意図や嗜好にあわせてスタビライザ状態を切り替え可能とした。なお、スタビライザを無効化した状態で規定車速を超えた場合、オンロードに進入したと判断して自動でスタビライザを有効化し、オンロードでの優れた操縦安定性も確保している。



図 1 各路面におけるスタビライザ状態

3. システムの詳細

3.1 システム構成

スタビライザ状態の切り替え機構をスタビライザバーの同軸に配置することで、小型化と高い搭載自由度を実現している。また、コンソールに設置されたスイッチを押すことでスタビライザ状態を切り替え可能となっている(図 2)。



図 2 システム搭載位置と切り替えスイッチ

3.2 スタビライザの切り替えメカニズム

左右分割されたスタビライザバーの片側(図 3 の桃色箇所)に溝があり、そこにフック(図 3 の青色箇所)が嵌合すると有効化、抜けると無効化。モータ駆動により 2 つ

^{*1} Mid-size Vehicle Company MS プラットフォーム開発部

^{*2} 中央発條株式会社

のばねのつり合い状態が変わることで、カムリング(図3の橙色箇所)が回転しフックの抜き差しを行う。ただし、スタビライザがねじられた状態(旋回時など)では、カムリングとフックの摩擦力でカムリングは回転せず、スタビライザ状態は切り替わらない(図4)。その状態でモータを駆動した際はばね力が蓄えられ、スタビライザのねじれが無くなったときに自動でスタビライザ状態が切り替わる。その結果、旋回時などの急激な車両姿勢変化を防げる。また、スタビライザのねじれ度合いにかかわらずモータ駆動が可能となり制御のスリム化に貢献している。さらに、モータ部はばねとウォームギヤを用いた構造により、スタビライザ状態を無通電で保持可能にしたことで省電力化を実現。

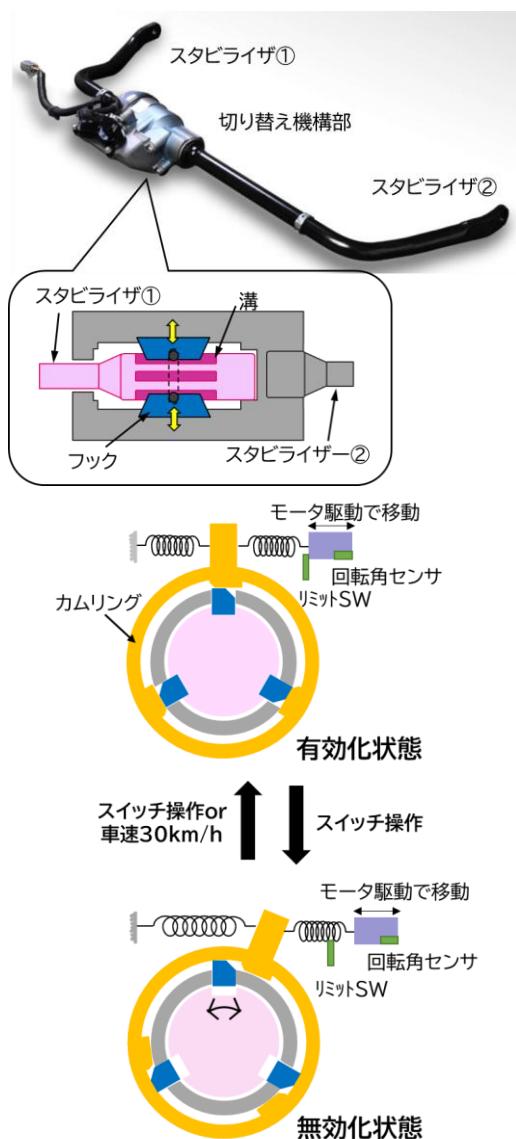


図3 システムの切り替えメカニズム

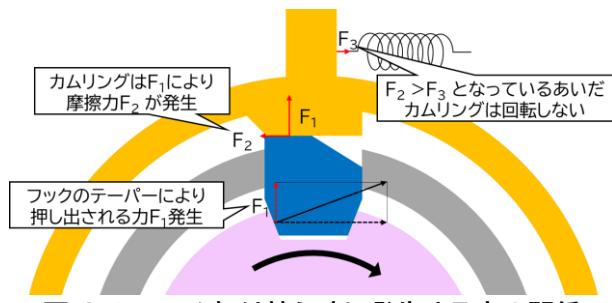


図4 システム切り替え時に発生する力の関係

3.3 切り替えメカニズムの特徴

スタビライザ状態の切り替え機構は、スタビライザバーの軸直方向からフックをくさび状に打ち込む構造とした(図4)。これにより、スタビライザバー軸方向(スラスト方向)に駆動する機構と比較してガタを半減。さらに、スタビライザのばね定数にあわせて、切り替え構造を流用しつつ相似設計が可能であり、小型車向けにも展開可能である。

3.4 システムの効果

悪路走破性の指標となるホイールアーティキュレーション(タイヤの浮きにくさ)を約10%増加させ過酷なオフロードにおける走破性を向上(図5)。また、オフロードで車両の動きが穏やかになり頭や体の揺られ量が低減され、疲れにくい乗り心地を実現(図6)。さらに、スタビライザのフック嵌合部ガタを少なくすることで、微小操舵でもスタビライザ反力が発生し、オンロードでは通常のスタビライザ同等の操縦安定性を実現。



図5 アーティキュレーションの増加量

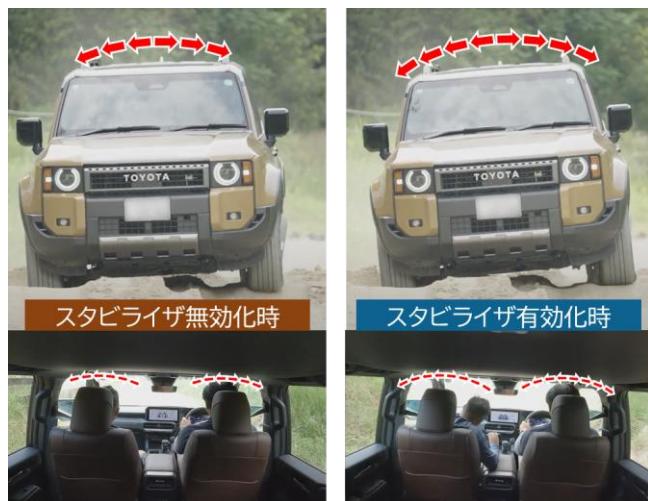


図 6 スタビライザ状態による揺られイメージ

4. まとめ

廉価でコンパクトなオフロードシステム SDM の開発と製品化に成功し、トヨタ ランドクルーザー”250”シリーズのみならず、トヨタ Tacoma、トヨタ 4Runner へ採用された。本技術はスケーラブルな構造としたことで、大型車から小型車まで幅広く適用可能な技術となっている。そのため、さらに多くの世界中あらゆる地域やお客様に提供できるよう良品廉価を突き詰めるとともに、市場の声をフィードバックした制御改良など、さらなるオフロード性能の向上を目指していきたい。

■参考文献

- (1) 森津圭太ほか: TOYOTA LAND CRUISER “250” SERIES. TOYOTA Technical Review. Vol. 70, No. 1, 2024, pp. 34-48

2024年度 下期～2025年度 上期 社外発表論文一覧

掲載誌名	題目	発表者	所属
自動車技術会論文集	粒子法を活用した車室内結露水による部品水かかり解析手法の開発	大島 康裕 西森 久雄 今井 悠介 釜谷 大志	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
	旋回限界での車両挙動を考慮したタイヤ負荷率に基づく前後駆動力配分制御	坂口 康平 竹内 琢磨 勝山 悅生	トヨタ自動車 ↑ ↑
	サーキュラー・エコノミーを目指したマトリクスベースの自動車部品設計手法	國司 大地 弦田 遼平	トヨタ自動車 豊田中央研究所
	車両運動性能設計のためのサスペンション特性モデルの提案	大木 幹志	トヨタ自動車
	通信利用型運転支援システムにおける適切な自転車接近通知条件の検討	原田 あすか 金森 等 横井 康伸 Karatas Nihan 吉原 佑器 田中 貴穂	名古屋大学 ↑ トヨタ自動車 名古屋大学 ↑ ↑
	覚醒水準が低下した自動車ドライバーへの香り成分供給が自律神経活動に及ぼす影響	榎原 清美 田辺 稔 神邊 篤史 上地 孝直 鈴木 桂輔 加藤 和広	香川大学・トヨタ自動車 香川大学 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ トヨタ自動車
	生成AIを用いた車体形状流れに起因する空力騒音予測システムの開発	伊藤 祐太 新谷 浩平 森國 洋平 菅井 友駿 安岡 志朗	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	形状生成AIを使ったサロゲートモデルの精度向上技術の開発	小野寺 啓祥 大塚 紀子 谷口 真潮 木村 成竹	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
	トレッドブロック剛性を用いた加速トルク負荷時のタイヤ／路面騒音の簡便な推定法	跡部 哲士 近藤 隆 齊藤 由典 駒田 匠史	日本ミシランタイヤ トヨタ自動車 日本ミシランタイヤ トヨタ自動車
	先進安全技術の進化と事故低減効果解析(第2報)	長谷川 俊 鈴木 順也 松崎 泰也	トヨタ自動車 東京海上日動火災保険 ↑
	市街地走行中に遭遇した場合の人間ドライバーの回避行動に関する実験的考察(第2報)	児島 亨 真鍋 裕輝 北田 幸一 森崎 憲治 福田 聖太朗 島 忠史 池田 幸洋	自動車技術総合機構 交通安全環境研究所 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ トヨタ自動車
	製造・性能制約を考慮可能なフードマスチックシーラー自動配置技術の開発	大塚 紀子 小野寺 啓祥 谷口 真潮 木村 成竹	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑
	Isogeometric解析を用いたマルチステップによる形状最適化手法の提案	星野 瑞希 有本 慎一 川原 康照 古橋 輝一 野口 恭兵 横山 優太 杉山 裕文 岡澤 重信	山梨大学 トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	Average Weight based Fine-Tuningを活用した熱境界サロゲートモデルの効率的な改良手法の開発	下川 智史 上村 充範 川口 則雄 高橋 政克 餅原 隆浩	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	適応サンプリングに基づく差分進化を用いたオフロード車両の多性能両立設計	河村 拓昌 津田 和希 菅井 友駿 新谷 浩平 西川 幸治	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	力覚インタラクションによるドライバーの運転負担低減手法の提案	菅本 周作 井上 聰 濱口 剛 西郷 慎太朗 半田 聰	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

掲載誌名	題目	発表者	所属
自動車技術会論文集	自動車のサーキュラーエコノミー指標の提案 ー持続可能な社会に貢献するクルマの評価手法ー	岩田 隆道 上田 貴康 増田 仁郎 田原 聖隆 松本 光崇 原 昌司 小林 哲郎 山田 大介 高尾 尚史 石田 栄治 小笠原 満 永井 隆之	豊田中央研究所 トヨタ自動車 ↑ 産業技術総合研究所 ↑ 豊田中央研究所 ↑ ↑ ↑ ↑ トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑
	頭部動作による運転評価システムと高齢ドライバへの行動変容効果の検討	吉原 佑器 田辺 弘子 Karatas Nihan 金森 等 原田 あすか 小島 基資 真鍋 周平 田中 貴紘	名古屋大学未来社会創造機構 北海道大学大学院文学研究院 名古屋大学未来社会創造機構 ↑ ↑ トヨタ自動車 ↑ 名古屋大学未来社会創造機構
	モデル予測制御による遠隔型自動運転システムの安定性向上	坂岡 恵美 井上 豪 須田 理央	トヨタ自動車 ↑ ↑
	細線熱電対によるエンジン筒内ガス温度計測	長谷川 亮 鈴木 健了 田中 大介	トヨタ自動車 SOKEN ↑
	CFDを用いたワイパー作動時のウォッシャ液流れ予測手法	中村 竣 伊藤 祐太 山田 悟 水谷 有沙 安岡 志朗 Pichon Gabriel	トヨタ自動車 ↑ ダッソー・システムズ トヨタ自動車 ↑ ダッソー・システムズ
	複数の破壊形態を考慮した点接合部の疲労強度予測手法 -Flow Drilling Screw(FDS)の疲労強度予測手法-	河村 拓昌 新里 映太 後藤 韶 浦川 和士 宅野 聰悟 磯野 志之	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	側面衝突事故時の車両の回転挙動を考慮したΔV算出方法の検討	棚瀬 昇 勝間田 静江 吉田 朋巳 安藤 貴裕 長岡 靖	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	熱弾性温度変動を用いたC-SMCの疲労損傷度評価	赤井 淳嗣 濱田 幸宏 佐藤 康元 三国 敦	京都教育大学 トヨタ自動車 豊田中央研究所 トヨタ自動車
	高密度実装電子部品の製造品質を担保するためのロバスト設計の検討と考察	西森 久雄 武藤 潤 古川 智之 折中 ミユ 柴田 靖文	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

掲載誌名	題目	発表者	所属
SAE Technical Paper	Battery Thermal Management System for PHEV by using Air Conditioning Heater System	Yu Hoshino	Toyota Motor Corporation
	Numerical Investigation of Gas Diffusion Layer Properties in PEMFC	Yuki Ota Toshiyuki Dobashi Kumiko Nomura Takuya Hattori Ryosuke Maekawa	Toyota Motor Corporation ↑ ↑ ↑ ↑ ↑
	Influence of Methanol-to-Gasoline Fuel Formulation on Knock Propensity and Flame Speed	James MacDonald Dario Lopez Pintor Naoyoshi Matsubara Koji Kitano Ryota Yamada	Sandia National Laboratories ↑ Toyota Motor Corporation ↑ ↑
	Effects of Lower Carbon Intensity Fuels on Performance and Greenhouse Gas Emissions Intensity Reduction for Conventional and Next Generation Powertrains Part II	David Vuilleumier Brian Morlan Satoshi Ohta Paul Loeper Robert Lorenz Keishi Takada Kenji Sugata Naoyoshi Matsubara Daishi Takahashi	Chevron Corporation ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ Toyota Motor Corporation ↑ ↑ ↑ ↑
	Effects of Lower Carbon Intensity Fuels on Performance and Greenhouse Gas Emissions Intensity Reduction for Conventional and Next Generation Powertrains Part I: Engine Test Results and WtW CO2 Emissions Estimation	Keishi Takada Kenji Sugata Naoyoshi Matsubara Daishi Takahashi David Vuilleumier Brian Morlan Robert Lorenz Satoshi Ohta	Toyota Motor Corporation ↑ ↑ ↑ ↑ Chevron Corporation ↑ ↑ ↑ ↑
	The Development of JASO GLV-2: Next Generation Specification for Ultra-High Viscosity Index Gasoline Engine Oils	Kazuo Yamamori Satoshi Hirano Satoru Yoshida Noriyuki Matsui	Toyota Motor Corporation ↑ ENEOS Corporation ↑
	Improved Three-Way Catalyst with Ignition Layer for Reducing Cold Emissions	Takahiro Nishio Nobuyuki Takagi Takumi Tojo Naoto Fujita Mizuho Mori Yosuke Toda	Toyota Motor Corporation ↑ ↑ CATALER CORPORATION ↑ ↑
日本機械学会論文集	機械学習を用いた空気抵抗を低減する自動車形状および流れ場の導出手法の開発	谷口 真潮 新谷 浩平 菅井 友駿 森國 洋平 伊藤 祐太 山下 裕矢 安岡 志朗	トヨタ自動車 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

Back Number Index



Vol.64(2018年5月)
特集:TNGA パワートレーン



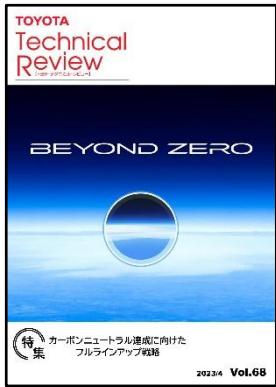
Vol.65(2019年8月)
特集:将来の電池技術
～燃料電池と蓄電池～



Vol.66(2021年2月)
特集:多様化する価値とクルマ創り
～新型 MIRAI と GR ヤリス～



Vol.67(2022年2月)
特集:「スポーツを通じた平和で差別
のない社会づくり」そして「モ
ビリティを通じた持続可能な
社会づくり」へ



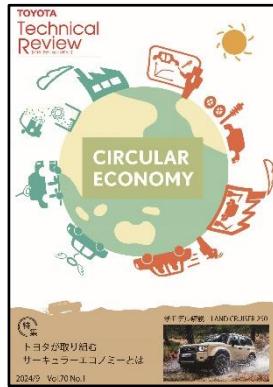
Vol.68(2023年4月)
特集:カーボンニュートラル達成に
向けたフルラインアップ戦略



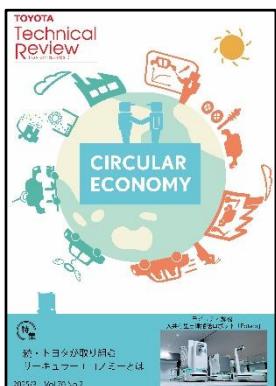
Vol.69-1(2023年9月)
特集:続・カーボンニュートラル達成に
向けたフルラインアップ戦略



Vol.69-2(2024年3月)
特集:カーボンニュートラル達成に
向けたマルチパスウェイ



Vol.70-1(2024年9月)
特集:トヨタが取り組むサーキュラ
ーエコノミーとは



Vol.70-2(2025年3月)
特集:続・トヨタが取り組むサーキュ
ーエコノミーとは

TOYOTA Technical Review Vol.71

© 2025 TOYOTA MOTOR CORPORATION

(禁 無 断 転 載)

発 行 所 トヨタ自動車株式会社

先進技術統括部

〒471-8571 愛知県豊田市トヨタ町1番地

(0565)28-2121(代表)

発 行 人 安田 直矢

企 画 森 みどり, 久保 舞由加, 斎藤 泉

編 集 株式会社トヨタエンタプライズ

(事 務 局) トヨタ事業所 技術地区業務サポート室 加藤 慎吾

発 行 2025年11月25日