

講演 5. 自動運転車に求められる故障診断システムのあり方

自動車研究部 ※後閑 雅人 田中 信壽 安本 まこと

1. はじめに

政府は、中央交通安全対策会議（平成 28 年 3 月）において「第 10 次交通安全基本計画」を策定し、2020 年までに国内における交通死亡者数を 2,500 人以下とし、世界一安全な道路交通を実現することを目標としている。この目標を達成するための手段の一つとして、先進運転支援システム（Advanced Driver Assistance Systems。以下「ADAS」という。）の高度化と自動走行システムの実用化が検討されている。

内閣府が平成 28 年 6 月にまとめた SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の自動走行システムの研究開発計画では、自動走行システムに関して表 1 に示すレベル分けを実施している¹⁾。自動走行システムによって自動走行を行う車両（以下「自動運転車」という。）は、全ての安全に関する機能が常に正常に作動している必要がある。自動走行システムが故障もしくは気象条件等外的要因によってシステムが正常に作動できない状態（これらの状態をまとめて、以下「故障等」という。）に陥った場合、自動走行システムの安全性は低下し、交通事故が発生する可能性がある。よって、自動走行システム自身が故障等を検出する機能が必要になると考えられる。このような背景を踏まえ、本調査は自動走行システムの安全性・信頼性を確保するための車両診断装置（On-Board Diagnostics。以下「OBD」という。）のあり方について検討を行った。

本調査は、まず自動走行システムの基盤となることが予想される ADAS のセンサ構成、仕様及び OBD の現状について調査を行った。次に、スキャンツールを用いて実車による OBD の状況について確認を行った。最後に、調査結果を踏まえ、自動走行システムを想定した OBD のあり方について基礎的な検討を行った。

表 1 自動走行システムのレベル分け

分類	概要	責任関係等
レベル 1 単独型	加速・操舵・制動のいずれかの操作をシステムが行う	ドライバ責任
レベル 2 複合化	加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う	ドライバ責任 ※監視義務及びいつでも安全運転できる態勢
レベル 3 高度化	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバが対応する状態	システム責任 (自動走行モード中) ※特定の交通環境下での自動走行 (自動走行モード) ※監視義務なし (自動走行モード: システム要請前) ※ドライバ操作中はドライバ責任
レベル 4 自動走行	加速・操舵・制動を全てドライバ以外が行い、ドライバが全く関与しない状態	システム責任 ※全ての行程での自動走行

2. ADAS の仕様調査

本調査では、OBD が診断する機能を明らかにするために、まず ADAS の仕様について搭載されているセンサごとに調査を行った。

運転の基本である制動・操舵・加速に大きく関わる自動ブレーキ（Autonomous Emergency Braking system。以下「AEB」という。）、車線維持支援装置（Lane Keeping Assist System。以下「LKAS」という。）及び車間制御機能付定速走行装置（Adaptive Cruise Control。以下「ACC」という。）を取り上げ、調査を実施した。調査は、各自動車メーカーのホームページをもとに、システムの作動範囲をとりまとめることによって行った。以下に、AEB についての調査結果を示す。

図 1 (a) に赤外線レーザーレーダーを搭載した車両の AEB 作動速度範囲、図 1 (b) にミリ波レーダーを搭載した車両の AEB 作動速度範囲を示す。赤外線

レーザーレーダー搭載車は、車速度が約 5~30km/h の範囲で AEB が作動し (図 1 (a))、また、ミリ波レーダー搭載車は、車速度が約 15km/h 以上の範囲で AEB が作動する (図 1 (b)) 仕様になっている。この作動速度範囲の違いを生む主な要因は、センサの物体検知が可能な距離である。ミリ波レーダーの周波数帯域は主に 76GHz 帯であり、100m を越えた距離まで対象物を検知することができる。一方で、赤外線レーザーレーダーは、ミリ波レーダーよりも波長 (760nm 程度) が短いため対象物までの測距分解能は高いものの、測定距離が 10m 程度に限られる。センサの検知可能な距離が長くなるほど、衝突回避や被害軽減を実現するための時間的余裕が増えるため、一般的に AEB の作動速度範囲は広がる。

本調査では、センサ単体と複数のセンサによる AEB について作動速度範囲の比較も行った。一例として図 2 (a) に A 社のシステム、図 2 (b) に B 社のシステムの調査結果を示す。図 2 (a) に示すように、A 社のシステムでは広範囲の物体検知が可能なミリ波レーダーに、近距離の物体検知を得意とする単眼カメラを組み合わせることによって、10km/h 以上の速度で AEB を作動させることを実現している。また、図 2 (b) に示すように、B 社のシステムでは赤外線レーザーレーダー (物体検知可能距離: 6~8m) に、単眼カメラ (物体検知可能距離: 15m 以下) を組み合わせることで、AEB の作動速度範囲の上限を 30km/h から 50km/h に拡張していた。この作動速度範囲はシステムが作動できる可能な範囲を示したものであり、センサが正常に機能していることが前提条件である。そのため、センサの故障や経年劣化等の状態を的確に判断する自己診断機能が重要となる。

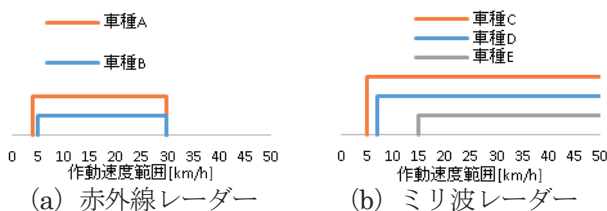


図 1 レーダー搭載車の AEB 作動範囲

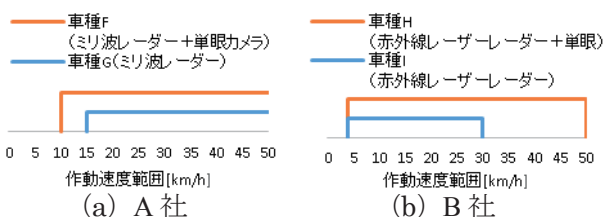


図 2 センサの組み合わせによる AEB 作動範囲

3. ADAS における OBD の現状

3. 1. OBD の概要

OBD は、元々自動車の排出ガス低減装置に関する診断を行うために、開発されたものである。近年では、自動車各部の故障診断にも使用されている。OBD は、一般にエレクトロニックコントロールユニット (Electronic Control Unit) 等の機能を使い、装備の故障や制御状況を読み取ったり、部品交換後の初期設定等を行ったりすることが可能である。OBD では、故障を発見すると故障診断コード (Diagnostic Trouble Code。以下「DTC」という。) をメモリ上に記録する。この DTC は、故障原因の特定と整備方針を決めるものであり、専用のスキャンツールで読み取ることができる。OBD における DTC は 5 桁の英数字で構成され、故障の関連場所やその内容を知ることができる。また、DTC は ADAS にも対応しており、センサの故障等を診断することができる。図 3 に DTC が示す故障内容の概要を示す。

エンジンコントロールユニット (Engine Control Unit) は DTC を記憶すると同時に、その瞬間のエンジン冷却水温やエンジン回転数、負荷の状態などを記憶するようになっている。この記憶するデータをフレームデータといい、OBD には必ずこの機能を有することが求められている。記憶する項目内容はある程度規格化されているが、各社独自に診断を行っている項目もある。現在、ドイツでは既に、OBD スキャンツールを用いた自動車検査が実施されている。

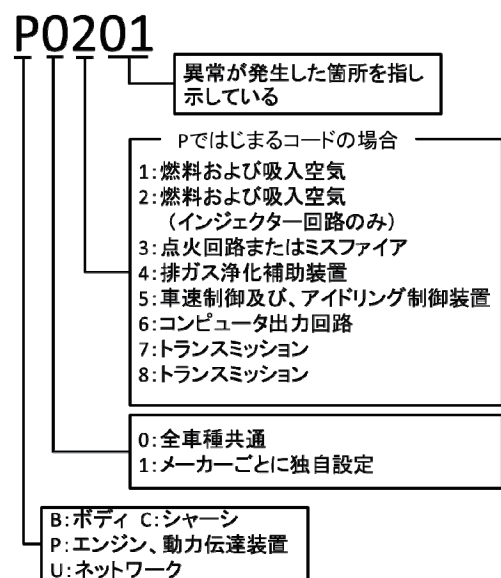


図 3 DTC が示す故障内容

3. 2. 自動車メーカー各社の OBD の現状分析

本調査は、OBD で出力される DTC について、各車両の整備マニュアルに記載されている情報をもとに調査を行った²⁾。今回の調査では、7社 26車種（赤外線レーザーレーダー搭載：8車種、ミリ波レーダー搭載：4車種、赤外線レーザーレーダー+単眼カメラ搭載：4車種、ミリ波レーダー+単眼カメラ搭載：3車種、ステレオカメラ搭載：4車種、単眼カメラ搭載：2車種、赤外線レーザーレーダー+ミリ波レーダー+単眼カメラ搭載：1車種）を対象としている。各自動車メーカーでは、センサが機能を果たせるかどうかを確かめるために「軸ずれ（センサの取り付け角度が一定の範囲内であるか）」、「温度異常（センサ内部の温度が可動範囲内であるか）」、「電圧異常（センサに供給されている電圧が可動範囲内であるか）」の診断項目を重要視していた。そこで、この診断項目ごとに「DTC 出力」と「機能停止」をする車種数の調査を行った。「機能停止」とは、故障ではないがシステムが正常に作動できない状態にあるため、一時的に機能を停止することを示している。その調査結果を図 4 に示す。図 4 (b) 及び (d) に示すように、ミリ波レーダーとステレオカメラ搭載車の全ての車種が、軸ずれの DTC 出力を行っていた。軸ずれの DTC が出力された場合は整備が必ず要求され、部品交換やエーミングの再調整が主な対処方法であった。また、図 4 に示すように、センサに関係なく半数以上の車種が温度異常と電圧異常を診断していた。温度異常では、異常を検知すると仮故障とし、機能を停止する。その後、時間をおいて再起動した際に異常があると、DTC 出力がされ、整備を要求する対応が一般的であった。

調査を実施する過程で、システムを構成する個々の装置により、故障だけでなくシステムが正常な状態であるかどうかの診断を行っていることがわかった。例えば、カメラは逆光に弱く、レーダーは電波の干渉を受けることによって正常に作動できない等が想定される。このような装置の故障ではないが、作動環境によって各装置が故障に準じるような作動不全を起こしているかどうかを診断する機能（以下「自己作動診断機能」という。）を車両は持っており、機能を停止するコード（以下「キャンセルコード等」という。）を出力する場合がある。キャンセルコード等を出力する際に、メーターパネルにも警告が表示されるシステムもある。

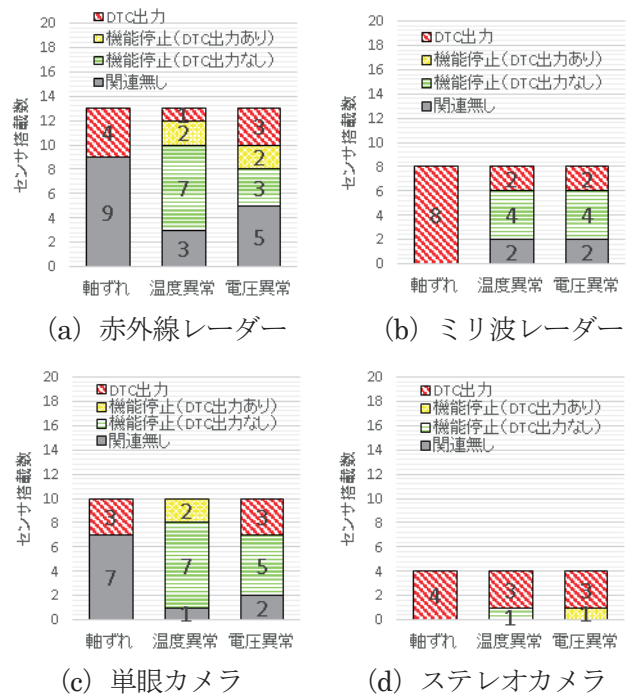


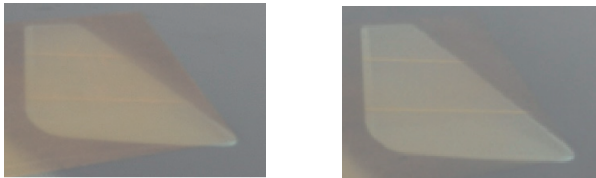
図 4 センサ別 DTC 表示台数の内訳

3. 3. スキャンツールによる DTC の調査

本調査は、3.2 節で調査した自己作動診断機能について実車を用いて調査を行った。調査対象は、ステレオカメラを搭載した車両 1 台とし、スキャンツールを用いて、ステレオカメラの一方が汚れた場合に行われる自己作動診断機能について調査を行った（図 5）。今回の検証では、フロントガラスを汚すことによりステレオカメラの機能不全を想定している。図 6 に車外から撮影したフロントガラスの汚れ具合を示す。この汚れは、JIS (Z 8901) 試験用粉体 1 の 11 種（関東ローム）を使用し、フロントガラスに汚れが均一になるよう塗布した（図 6 (a)）。このようにフロントを汚すとカメラの視界確保が充分に行えず、一時的にシステムの性能を発揮することができない状況に陥ってしまう可能性がある。メーターパネルには「プレセーフ機能が現在制限されています。取扱説明書を参照」という警告が表示され、ドライバーに機能が制限されていることを示していた。この状態にてスキャンツールによる自己作動診断結果を確認したところ、「マルチファンクションステレオカメラの視野は完全に制限されています」という診断が行われていることが確認された。また、この診断項目は、最初に発生した際の総走行距離、最後に発生した際までの発生回数、最後に発生した際の総走行距離、最後に発生したイグニッション数が記録される。



図5 スキャンツールによる自己作動診断の検証



(a) 警告表示あり (b) 警告表示なし

図6 ステレオカメラ（片側）の汚れ具合

その後、本調査では、このカメラの汚れを徐々に除去し、メーターパネルに示した警告「プレセーフ機能が現在制限されています。取扱説明書を参照」が消える状態を調査した。図6(b)に上記メッセージが出力されなくなる汚れ具合を示す。この汚れ具合では、ドライバは汚れが全くない状態と思い込んで運転することが想定される。この汚れによって衝突回避や被害軽減の性能が低下していると、ドライバの思い込みによる交通事故の発生が懸念される。よって、このような状態においても、通常の状態と同等の安全性能が発揮できているかどうか、実際に性能評価が必要であると考えられる。

4. 自動走行システムにおける OBD のあり方

調査の結果、ADASはOBDによる自己診断機能を備えていることを確認した。この自己診断機能は装置の故障を診断するものであり、自動走行システムにおいても必要不可欠な機能であるといえる。しかし現状のOBDの診断手法だけでは、自動走行システムの診断機能の実現は難しいことが予想される。例えば、カメラを用いて車線を認識することによって車線維持支援機能を実現するシステムで、カメラの性能劣化が生じた場合(図6(b)のようにカメラの視界確保は充分でないが、警告が表示されない状態)、このような症状が発生すると車線のエッジ抽出が困難となり車線の認識性能が低下し、かすれた車線境界線など通常時でも車線認識に高い性能が必要とされる状況で、

車線認識が断続的となる可能性がある。その場合、車線維持支援機能として行われる操舵制御も断続的となり、車両の挙動にふらつきが生じることが考えられる。このような状態が、自動走行の安全性にどの程度影響を及ぼすか検証する必要がある。車両の挙動が、ドライバの運転以上にふらつく場合は、このふらつき度合いを定量的に診断、自動走行の可否を検討する必要もあると考えられる。このように自動走行システムの診断機能は、装置個々の作動状態を診断するだけでなく、その機能の性能が車両の挙動として現われるデータ(物理量)を常時計測・記録し、その変化を分析することで機能の性能状態を診断するという新たな概念の自動走行システムの診断機能(以下「自己自動走行診断機能」という。)が必要になると考えられる。

3.3節で調査した自己作動診断機能は装置単位の診断ではあるが、装置が正常に作動していても外的要因の影響によって装置が正常に作動できない状態を診断していることが確認された。この診断は、自動走行システムの診断を行う上で、不可欠な診断項目と考えられ、自己自動走行診断機能を実現する第一歩であるといえる。現状のOBDでもこのような概念がすでに存在しており、この診断機能をさらに発展させ、装置単位ではなく自動走行の機能の診断を目指すことで自己自動走行診断機能の実現は視野に入ってくると考えられる。

5. まとめ

本調査では、自動走行システムの安全性・信頼性を確保するためのOBDのあり方について検討してきた。現状では、OBDはADASに対する診断機能を備えており、この機能は自動走行システムにおいても必要不可欠な機能であるといえる。ただし、自動走行システムで使用するには装置単位の診断のみならず、自動走行の機能単位での診断が必要である。今後は、この機能単位で行う診断方法のシステム要件や診断項目の検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府政策統括官，“戦略的イノベーション創造プログラム”，自動走行研究開発計画，(2016)
- 2) 日本自動車整備振興会連合会，“FAINES：インターネットを活用した整備情報提供システム”