

ISO 26262 に基づくハザード分析およびリスクアセスメント の二輪車適用時における考察と実交通環境におけるエクスポ ージャ調査

Examination of Hazard Analysis and Risk Assessment and Exposure Research of the Real Traffic
Situation of ISO 26262 for Motorcycles

長谷川 信 *1

金子 貴信 *1

Makoto HASEGAWA

Takanobu KANEKO

Abstract

ISO 26262, an international functional safety standard of electrical and/or electronic systems (E/E systems) for motor vehicles, was published in November 2011 and it is expected that the scope will be extended to motorcycles in the second edition of ISO 26262 to be published in 2018. In order to apply ISO 26262 to motorcycles, proper estimation of Exposure, Controllability, and Severity are key factors to determine Motorcycle Safety Integrity Level (MSIL). It is not easy to estimate the motorcycle Exposure due to less availability of background data compared to motor vehicles. Therefore real traffic situation should be investigated in order to provide rationales for the MSIL determination. In this study, we examined the Hazard Analysis and Risk Assessment (HARA) for motorcycle in accordance with ISO/PAS 19695 and identified motorcycle-specific operational situations. Then we executed a field survey for the acquisition of actual operational situation data and estimated Exposure.

1. はじめに

自動車の電気／電子システムの機能安全国際規格ISO 26262¹⁾は2011年に発行され、乗用車をその対象としているが、2018年に予定されている第2版において二輪車も対象に含まれる見通しである。この改定に先立ち、二輪車への機能安全の適用にあたり必要な要件が公開仕様書ISO/PAS 19695²⁾として2015年12月に発行されており、第2版にもこの内容が織り込まれることが想定される。

本研究の目的は、ISO/PAS 19695に基づき Motorcycle Safety Integrity Level (MSIL) を導出し、機能安全を二輪車に適用する際の課題を検討することである。あわせて、MSIL導出に必要

なエクスポージャの推定についてのその基礎となるデータの種類の種類、測定方法の事例を示すことである。なぜなら、乗用車の Automotive Safety Integrity Level (ASIL) 導出に関する研究発表事例はある程度存在しているが、MSIL導出に関するものはほとんどみられないためである。

ISO/PAS 19695に規定されているMSILを決定する要素にはエクスポージャ (E)、コントローラビリティ (C)、シビアリティ (S) がある。二輪車のコントローラビリティ、シビアリティの推定方法については検討例があるが^{3),4)}、エクスポージャについては推定の根拠となる運用状況のデータが乗用車と比較して少なく、エクスポージャクラスをエキスパートが判断するためには実交通環境のエクスポージャ事例を調査することが有用である。本研究では、ISO/PAS 19695に準拠したハザー

*1 一般財団法人日本自動車研究所 ITS研究部

ド分析およびリスクアセスメント (HARA) を実施し、二輪車特有の運用上の課題を考察した。そして、実地調査により二輪車の実交通環境での走行データを収集し、エクスポージャを推定した。具体的には、Fuel Injection (FI) システム、Throttle-By-Wire (TBW) システム、Anti-Lock Brake System (ABS)、Combined Brake System (CBS) といった二輪車の「走る、止まる」の要素に大きく影響し、また二輪車で一般的になりつつある電気/電子システムについてHARAを実施し、想定される課題を検討した。その結果、TBWシステムの失陥が発生したシチュエーションを検討する場合には、追従走行時のエクスポージャを求めることが必要であり、このエクスポージャは二輪車と乗用車で異なることが想定された。そのため、一般道路を一定速度で、前の乗用車に追従している二輪車の車間時間を調査対象として選択し、交通量の多い道路で合計5台のカメラによって得られた映像データを用いて追従走行時のエクスポージャを分析した。

2. 二輪車用の機能安全規格

自動車の機能安全国際規格ISO 26262は、現在乗用車をその対象としている。次期改定では二輪車もその対象となることが想定されているが、二輪車には乗用車とは異なる領域があり、既存の規格をそのまま適用することは困難があると考えられる。考慮されるべき領域として、ひとつはMSILによって規定される安全方策の手厚さのレベルがあり、他方はHARA実施のためのエクスポージャ、コントローラビリティ、シビアリティクラスの推定方法がある。そのためISO 26262の改定に先立ちISO/PAS 19695が二輪車用の機能安全の仕様書として制定された。

2.1 ハザード分析およびリスクアセスメント

HARAとはE/Eシステム失陥時におこる危険事象を識別および分類し、安全目標とASILまたはMSILを導出するための、ISO 26262およびISO/PAS 19695に規定されている手法である。MSILは個々のアイテムの危険事象に応じたエクスポージャ、コントローラビリティ、シビアリティのクラスを推定し、それを組み合わせることで導出される。エクスポージャは故障と組み合わせ

ると危険な運用状況になる確率、コントローラビリティは特定された危害を当事者が回避する能力、シビアリティは危険な状況における潜在的な人への危害の程度の指標である。これらMSILの3要素であるエクスポージャ、コントローラビリティ、シビアリティはその車両特性や運用状況から乗用車と二輪車では大きく異なると考えられ、そのためISO/PAS 19695では各要素のクラス推定について二輪車独自の参考例をAnnex Aに記載している。

エクスポージャの見積もりにはエキスパートが判断する論拠となるバックデータが有用だが、二輪車の入手可能なデータは乗用車に比べ少なく、乗用車と同じクラスを適用するのは適切でないと考えられる。コントローラビリティについては運動特性の違いや評価試験の実現容易さ、シビアリティについては乗用車で用いられている自動車の傷害度尺度 (AIS) による分類が、それぞれ乗用車のクラス推定の手法をそのまま適用するのは困難であり、前述した独自の方法でクラス分けを行う手法が提案されている。

従い、本研究では実交通環境での走行データを取得することにより、二輪車のエクスポージャクラスの見積もりを試みた。

3. 二輪車の HARA 検討

以下のHARAはISO/PAS 19695 Clause 5およびAnnex Aに従い実施された。実施対象アイテムは二輪車の「走る、止まる」の要素に大きく影響し、また二輪車で一般的になりつつある電気/電子システムであるFIシステム、TBWシステム、ABSシステム、CBSシステムを選定した。以下にその実施結果を記述する。

3.1 FI システムの HARA

3.1.1 FI システムのアイテム定義

FI システムの HARA を実施するに当たり、まずアイテム定義を実施した。これは対象となるアイテムを適切に理解し、その後のフェーズの活動を円滑に実施できるようにするためである。以下にアイテム定義の結果を示す。

1) 対象システム

FI システムおよびエンジンスタートシステム

等の関連システムを対象とする。Fig. 1 を参照のこと。

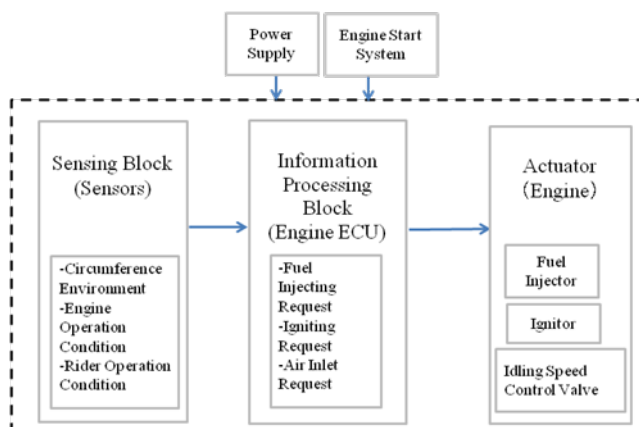


Fig. 1 Functional block diagram of target FI system

2) アイテムの機能

ライダーの操作および車両の状態を検出し、それに応じたエンジントルクを発生するように、各種デバイスを制御する。

3) 搭載車両諸元

搭載される車両の諸元を以下 Table 1 に示す。

Table 1 Fundamental specifications of the vehicle equipped with FI system

Engine Displacement	250 cm ³
Number of Cylinders	Two
Engine Cooling	Water Cooled
Transmission type	Manual
Throttle by Wire	Not Applicable

3. 1. 2 代表的な故障原因、ハザードおよび危険事象の同定

次のステップとして、FI システムで起こりうる代表的な故障原因とハザードを検討した。故障は Fig. 1 に示したいずれの機能ブロックでも発生しうるし、またブロック内の個々の要素でも発生しうるため、その原因は様々である。ハザードは故障の結果おこるアイテムの意図しないふるまいであり、危害の原因となるものであることから、より重要なことは故障の結果アクチュエータ部でどのような出力が発生するのかを検討することであ

ると考えられる。その結果、主要なハザードは以下に大別できる。

- (1) 意図しない駆動力の喪失
- (2) 意図しない追加の駆動力の喪失
- (3) 意図しない駆動力の発生

(1) の場合、起こり得る危険事象として一般道を走行中に駆動力が喪失し、車両が減速し、後続車に追突されるというシナリオが考えられる。

(2) の場合、起こり得る危険事象として一般道で先行車の追い越しを試みている際に追加の駆動力が喪失し、車両が加速せず、反対車線の対向車に衝突するというシナリオが考えられる。

(3) の場合、起こり得る危険事象として一般道を走行中に追加の駆動力が発生、車両が加速し、先行車に追突するというシナリオが考えられる。これら代表的な危険事象とその MSIL 導出について次項で述べる。

3. 1. 3 MSIL 導出

MSIL 決定のためのエクスポージャ、コントローラビリティ、シビアリティを見積もるためには上記ハザードによりどの程度の加速度または減速度が発生するかが重要となる。以下に二輪車メーカも交えて行なった研究結果を示す。

(1) の場合、走行中にエンジン停止にいたった場合に発生する減速度が最大であるが、通常走行で発生するエンジンブレーキと大きな差はなく、運転者は安全に車両を停止、避難させることが可能であり、後続車両は容易に回避可能である (C クラス : C0³⁾).

(2) の場合、運転者は車両が意図通りに加速しないことを容易に認識でき、追い越し操作を中止することが可能である (C クラス : C0).

(3) の場合、TBW なしの車両が発生できる加速度は運転者が容易にブレーキで制御することが可能なレベルである (C クラス : C0³⁾).

以上より、FI システムにおける代表的な HARA の結果は以下 Table 2 の通りとなり、いずれのケースも C0 が推定される。一つでもクラス 0 (ゼロ) があれば MSIL は導出されないことから、エクスポージャ、シビアリティの検討は不要となる。

Table 2 Examples of the FI system HARA

Hazard	item	scenario	Rep. MSIL
1. unintended deceleration	FI system	unintended deceleration by engine stall during urban travelling and collided by following vehicle	No MSIL (QM) (E: N.A., C0, S: N.A.)
2. unintended loss of acceleration	FI system	unintended loss of acceleration during overtaking manoeuvre and colliding to oncoming vehicle	No MSIL (QM) (E: N.A., C0, S: N.A.)
3. unintended acceleration	FI system	unintended acceleration during urban travelling and colliding to preceding vehicle	No MSIL (QM) (E: N.A., C0, S: N.A.)

* note 1: In the case at least one of factors is estimated class 0 (zero), no MSIL is assigned to the corresponding hazardous event.
 * note 2: Above results are representative examples in a variety of examined numerous scenarios.

3.2 ABS/CBS の HARA

3.2.1 ABS/CBS のアイテム定義

ABS および CBS のアイテム定義を以下に示す。

1) 対象システム

ABS システムおよび CBS システムを Fig. 2 に示す。

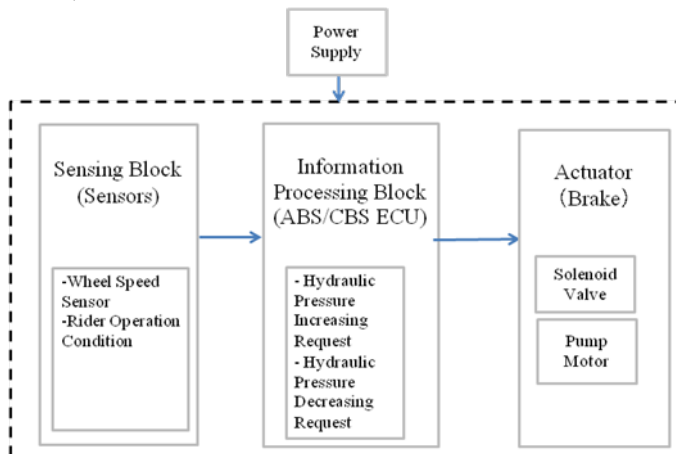


Fig. 2 Functional block diagram of target ABS/CBS system

2) アイテムの機能

運転者の操作および車両の状態を検出し、それに応じたブレーキ圧を発生するように、各種デバイスを制御する。

3.2.2 代表的な故障原因、ハザードおよび危険事象の同定

ABS/CBS で起こり得る代表的な故障原因とハザードを検討した。基本的な考え方は FI システムの検討と同一である。主要なハザードは以下に大別できる。本検討では ABS/CBS が作動している、もしくは ABS/CBS 失陥の影響が大きいシチュエーションを代表例として選定した。

- (1) 意図しない前輪制動力の減少/喪失
- (2) 意図しない後輪制動力の減少/喪失
- (3) 意図しない両輪制動力の減少/喪失
- (4) 意図しない前輪 ABS 機能の喪失
- (5) 意図しない後輪 ABS 機能の喪失
- (6) 意図しない両輪 ABS 機能の喪失
- (7) 意図しない両輪制動力の発生
- (8) 意図しない CBS 機能の喪失

(1) の場合、起こり得る危険事象として一般道を走行中に前輪の制動力が喪失し、車両が減速できず、信号で停止中の先行車に追突するというシナリオが考えられる。

(2) の場合、起こり得る危険事象として高速道を走行中に後輪の制動力が喪失し、車両が減速できず、渋滞で停止中の先行車に追突するというシナリオが考えられる。

(3) の場合、起こり得る危険事象として一般道を走行中に両輪の制動力が喪失し、車両が減速できず、信号で停止中の先行車に追突するというシナリオが考えられる。

(4) の場合、起こり得る危険事象として高速道での急制動の際に前輪の ABS 機能が喪失し、前輪がロックし転倒するというシナリオが考えられる。

(5) の場合、起こり得る危険事象として一般道での急制動の際に後輪の ABS 機能が喪失し、後輪がロックし転倒するというシナリオが考えられる。

(6) の場合、起こり得る危険事象として高速道での急制動の際に両輪の ABS 機能が喪失し、両輪がロックし転倒するというシナリオが考えられる。

(7) の場合、起こり得る危険事象として高速道を走行中に両輪に制動力が発生し、両輪がロック

し転倒するというシナリオが考えられる。

(8) の場合、起こり得る危険事象として一般道を走行中に両輪の CBS 機能が喪失し、車両が減速できず、信号で停止中の先行車に追突するというシナリオが考えられる。

これら代表的な危険事象とその MSIL 導出について次項で述べる。

3.2.3 MSIL 導出

MSIL を導出するためには、(1)、(2)、(3) の場合においてはハザードによりどの程度の制動力が残るのか、(7) の場合においてはどの程度の制動力が発生するのかが重要である。また(4)、(5)、(6)、(8) の場合、これらの運転支援システムが作動するシチュエーションの頻度が重要である。以下に二輪車メーカーも交えて行なった研究結果を示す。

(1) および (2) の場合、前輪または後輪の制動力が完全に喪失することは起こり得るが、もう一方の車輪の制動力は依然として残る。そのためコントローラビリティクラスは高くない。もしくは片方の車輪が発生できる制動力だけでは衝突を回避できないシチュエーションの発生頻度は高くない。そのためエクスポージャクラスは高くない。

(3) の場合、両輪の制動力が完全に喪失することは起こり得るため、重度の傷害を避けることは困難である。

(4) および (6) の場合、前輪または両輪の ABS 機能が完全に喪失することは起こり得る。その場合運転者の操作によっては前輪のロックが発生し、転倒を回避することは困難である。一方で ABS が作動し車輪のロックを回避することが必要となる減速度が要求されるシチュエーションの発生頻度は高くない。そのためエクスポージャクラスは高くない。

(5) の場合、後輪の ABS 機能が完全に喪失することは起こり得る。その場合運転者の操作によっては後輪のロックが発生するが、これは従来型のブレーキと同様であり、転倒を回避することは前輪のロックと比較し容易である。そのためコントローラビリティクラスは高くない。また ABS が作動し車輪のロックを回避することが必要となる減速度が要求されるシチュエーションの発生頻度は高くない。そのためエクスポージャクラスは高

くない。

(7) の場合、両輪に制動力が発生し両輪がロックすることは起こり得るため、コントローラビリティクラスは高い。また高速道を走行する頻度は高く、エクスポージャクラスは高い。

(8) の場合、両輪の CBS 機能が完全に喪失することは起こり得る。その場合運転者の操作によってはブレーキがかからないシチュエーションが発生するが、これは従来型のブレーキと同じくブレーキの機能は残っている。そのためコントローラビリティクラスは高くない。

以上より、ABS/CBS における代表的な HARA の結果は Table 3 の通りである。ハザードとシナリオに応じ様々な MSIL が導出された。

Table 3 Examples of ABS/CBS HARA

Hazard	item	scenario	Rep. MSIL
1. loss of front braking force	ABS	unintended loss of front braking force during urban road travelling and colliding to preceding vehicle stopping at traffic light	QM (E2, C2, S2)
2. loss of rear braking force	ABS	unintended loss of rear braking force during highway travelling and colliding to preceding vehicle stopping with traffic congestion	No MSIL (QM) (E: N.A., C0, S: N.A.)
3. loss of braking force of both wheels	ABS	unintended loss of braking force of both wheels during urban road travelling and colliding to preceding vehicle stopping at traffic light	MSIL D (E4, C3, S3)
4. loss of front ABS function	ABS	unintended front wheel lock with the hard braking during highway travelling and falling down	MSIL A (E1, C3, S3)
5. loss of rear ABS function	ABS	unintended rear wheel lock with the hard braking during urban road travelling and falling down	QM (E1, C1, S2)
6. loss of ABS function of both wheels	ABS	unintended wheel lock of both wheels with the hard braking during highway travelling and falling down	MSIL A (E1, C3, S3)
7. unintended generation of braking force	CBS	unintended wheel lock of both wheels during highway travelling and falling down	MSIL D (E4, C3, S3)
8. loss of CBS function	CBS	unintended reduced deceleration during urban travelling and colliding to preceding vehicle	No MSIL (QM) (E: N.A., C0, S: N.A.)

* note 1: In the case at least one of factors is estimated class 0 (zero), no MSIL is assigned to the corresponding hazardous event.
 * note 2: Above results are representative examples in a variety of examined numerous scenarios.

3.3 TBW システムの HARA

前述の FI システム, ABS/CBS と異なり, TBW システムの HARA については本研究ではまだ結論を出せていない. なぜなら代表的なハザードおよび危険事象の同定の中で, 二輪車特有の課題が発見され, その解決に注力したためである. その内容を次項に示す.

3.3.1 代表的な故障原因, ハザードおよび危険事象の同定

TBW システムで起こりうる代表的なハザードは FI システムと同様に以下に大別できると考えられる.

- (1) 意図しない駆動力の喪失
- (2) 意図しない駆動力の発生

しかしながら, (2) の場合で発生しうる加速度は故障原因の違いから FI システムの故障で発生しうる加速度よりもはるかに大きい. この場合, どのようなシチュエーションで故障が発生すると危害が発生するのか (エクスポージャ), どの程度の加速度が発生するのか (コントローラビリティ, シビアリティ) が重要となる. エクスポージャについて, 危害が発生しやすいシチュエーションとして, 先行車に追従して走行中に, 意図しない加速が発生し先行車に追突するシナリオが考えられる. この場合, 先行車との車間時間 (距離) がどの程度あるかの確率でエクスポージャを決めることができ, その車間時間によりコントローラビリティが変わってくる. 二輪車と乗用車ではその走行環境の違いから, 既存の乗用車の車間時間データはそのままは適用できず, 二輪車独自のエクスポージャが存在することが推定された.

この仮説に基づき, 実交通環境での二輪車の先行車との車間時間についての実地調査を実施した.

4 実走行環境でのエクスポージャ調査

前述の通り, 今回実地調査の対象としたのは, 前を走る乗用車と, それに追従走行をする二輪車の車間時間の取得である. この追従走行について, 今回は以下の定義を用い取得データの有効性を判断した.

4.1 追従走行の定義

追従走行を以下の通り定義した.

- (1) 先行車に対し, 二輪車が前方の車両幅中央 2/4 に位置して進行していること. Fig. 3 参照.
- (2) 計測エリアでの二輪車の車速および先行車との車速差が ± 5 km/h 以内であること.

これは先行車をいつでも回避できるように、端に寄った上で車間時間を意図的に短くして走行しているケース、また追い越し動作中で加速しており、その後車線変更するようなケースを除外するための定義である。つまり、一定速で先行車の後方中心を走っている状況が一般的なシチュエーションであると考え、対象の二輪車を抽出した。

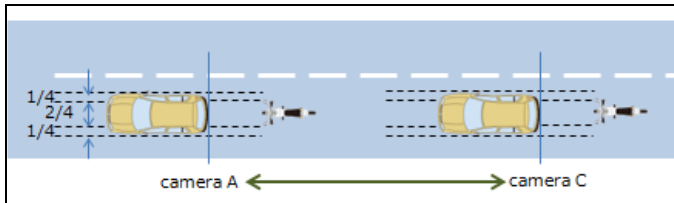


Fig. 3. Image of follow-up running by motorcycle

4.2 計測手順および手法

次に計測手順および手法について説明する。計測は日本で最も交通量の多い道路のひとつ（国道20号東京都初台付近、制限速度：60 km/h）で、平日の8:15 - 18:00の間、計5台のビデオカメラを用いて行なわれた。4台は道路側方に設置し車速および車間時間の計測に用い、1台は進行方向後方に設置し定義1)の確認に使用した。カメラのフレームレートは60 fpsである。Fig. 4および5を参照のこと。

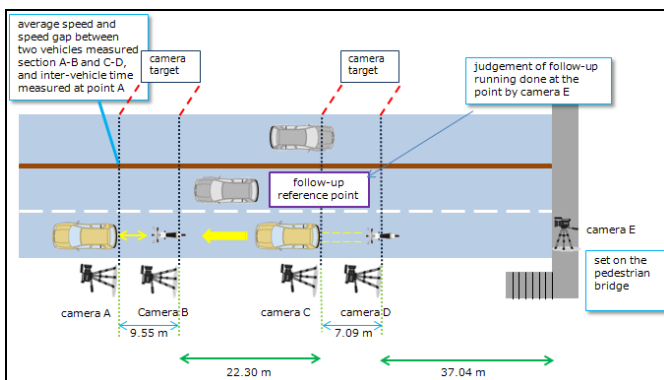


Fig. 4 Image of speed measurement camera allocation

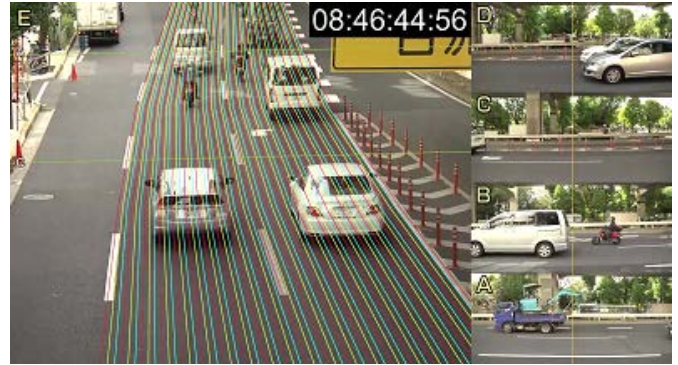


Fig. 5 Example of acquired scene

4.3 計測結果

実環境での二輪車車間時間の計測結果は以下の通りであった。

- (1) 識別された二輪車(総数)：1,620 台
- (2) 追従走行二輪車：104 台
- (3) 車間時間の 90.0%包含値： $0.52 \leq t_{90.0} < 1.63$ s
- (4) 車間時間の 99.0%包含値： $0.37 \leq t_{99.0} < 1.87$ s
- (5) 車間時間の 99.9%包含値： $0.37 \leq t_{99.9} < 1.94$ s
- (6) 平均車間時間: 1.03 s
- (7) 平均車速：49 km/h

二輪車の車間時間と車速の分布を Fig. 6 および 7 に示す。

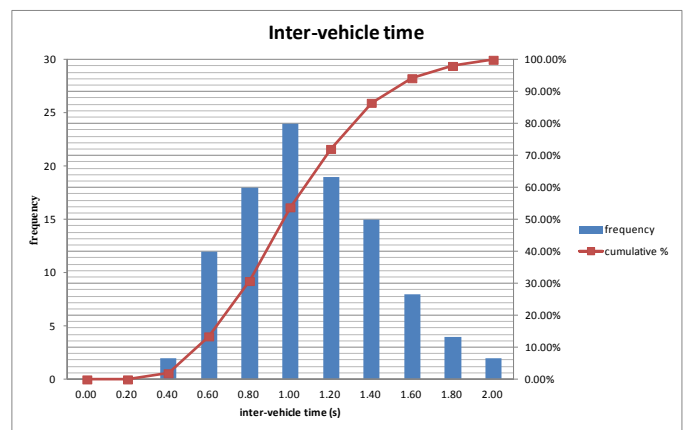


Fig. 6 Distribution and frequency of inter-vehicle time

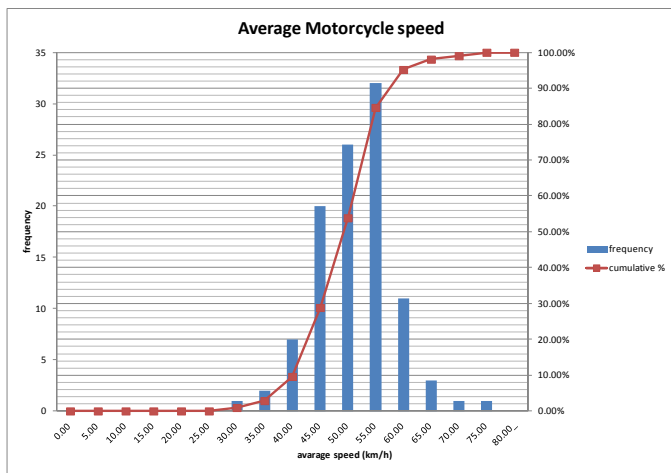


Fig. 7 Distribution and frequency of average motorcycle speed

この結果より，追従走行時の二輪車のエクスポージャは，車間時間をもとに Table 4 および 5 のように推定できる．また，同時に収集した乗用車のエクスポージャもあわせて示す．事前の仮定通り，追従走行時の車間時間は二輪車と乗用車で異なっており，二輪車独自のエクスポージャ推定が必要であることが示唆された．

また，このエクスポージャクラスは追従走行時の車間時間のみをもとに推定されていることに留意が必要である．前述の通り，映像データにより走行が確認できた二輪車は 1,620 台あったが，追従走行していると認められたのはそのうちの 6 % (104 台) に過ぎなかった．これは追従走行のシチュエーションそのものの割合が，総走行時間に対し低いことを示している．これらをふまえ，最終的な追従走行時のエクスポージャは下記テーブルの結果よりも少なくとも，もう 1 クラス低く見積もることも可能と考えられ，この二つの要素をどう組み合わせ最終的なエクスポージャクラスを推定するかが今後の検討課題である．

加えて，発生加速度に応じたコントローラビリティクラス推定が SETC2015 投稿論文³⁾にて示されたが，追従走行のシナリオでは加速度に加え車間時間を加味してクラスを推定することが必要と考えられ，同様に今後の検討課題である．

Table 4 e1 and e2 Exposure table for follow-up running

	speed range	e1	e2
		Not specified	< 1 % of cumulative distribution of inter-vehicle time
Motorcycle (N=104)	1 - 10 km/h (low)	-	-
	10 - 70 km/h (mid)	≥ 1.94 s	< 0.37 s or 1.87 s \leq and < 1.94s
	70 km/h - (high)	-	-
Passenger car (N=200)	1 - 10 km/h (low)	-	-
	10 - 70 km/h (mid)	≥ 3.18 s	< 0.72 s or 3.03 s \leq and < 3.18s
	70 km/h - (high)	-	-

Table 5 e3 and e4 Exposure table for follow-up running

	speed range	e3	e4
		1 % to 10 % of cumulative distribution of inter-vehicle time	>10 % of cumulative distribution of inter-vehicle time
Motorcycle (N=104)	1 - 10 km/h (low)	-	-
	10 - 70 km/h (mid)	0.37 s \leq and < 0.52 s 1.63 s \leq and < 1.87 s	0.52 s \leq and < 1.63s
	70 km/h - (high)	-	-
Passenger car (N=200)	1 - 10 km/h (low)	-	-
	10 - 70 km/h (mid)	0.73 s < and < 0.9 s 2.27 s \leq and < 3.03 s	0.9 s \leq and < 2.27 s
	70 km/h - (high)	-	-

4 まとめ

以下に本研究の要点をまとめる．

1) ISO 26262 は乗用車向けに制定された規格のため，二輪車への適用には調節が必要である．そのための手法として ISO/PAS 19695 が発行されている．

2) ISO/PAS 19695 に基づいた HARA を実施し，研究事例の少ない MSIL 導出例を示した．コントローラビリティおよびシビアリティは提案されている手法があり，FI および ABS/CBS での HARA

が可能であったが、TBW については危険事象次第では、現在の限られた知見およびデータだけでは HARA は完成できず、実交通環境での運用状況を計測し、エクスポージャを推定する必要があることが示唆された。

3) 計測の結果、二輪車と乗用車の車間時間は異なっており、上記仮定が確認された。また追従走行時の車間時間を基にしたエクスポージャ導出の考え方、事例を示した。また、二輪車の追従走行の実施頻度が低いことが示唆された。

4) 本エクスポージャ検討結果を活用した TBW システムについての精緻な HARA の実施、MSIL 導出が次のステップである。また本事例以外のシチュエーションにおける二輪車特有のエクスポージャを特定し、必要な実地調査を行なっていく必要がある。

参考文献

1. ISO 26262:2011 "Road vehicles - Functional safety," Nov. 2011.
2. ISO/PAS 19695:2105 "Motorcycles - Functional safety" Dec. 2015.
3. Kawakoshi, M. et al, "ISO 26262 Controllability Evaluation Technique by Expert Rider," SAE Technical Paper 2015-32-0746, 2015, doi:[10.4271/2015-32-0746](https://doi.org/10.4271/2015-32-0746).
4. Arai, Y. et al, "Research on Method for Classifying Injury Severity Using Motorcycle Accident Data for ISO 26262," SAE Technical Paper 2015-32-0714, 2015, doi:[10.4271/2015-32-0714](https://doi.org/10.4271/2015-32-0714).