

12. 電気自動車の衝突時の高電圧安全について

－高電圧安全の考え方と技術基準の概要－

自動車安全研究領域 ※伊藤 紳一郎 長谷川 智紀 松島 和男
自動車審査部 村井 光輝 環境研究領域 成澤 和幸

1. まえがき

自動車分野において地球温暖化を防止するために二酸化炭素の排出を削減する究極の対策は、電気自動車あるいは燃料電池自動車の普及を図ることと考えられるが、どちらも大量普及を図るためには、インフラ整備や技術的に解決すべき課題も多いと考えられる。しかしながら、燃料消費率の低い電気式ハイブリッド自動車については、税制優遇措置等の効果もあり、近年では保有台数がコンスタントに増加する傾向が見られる。また、最近の原油価格高騰に伴うガソリン価格の上昇もあり、さらに普及することが予想される。

これらの自動車に共通していえることは、動力源の全部または一部に電気エネルギーを使用していることである。これを効率よく使用するためには、電圧を上げて抵抗損を減少させる必要があるが、客室等のスペースを確保する観点から、高電圧部品が車内に分散配置されることが多い。分散配置された高電圧部品やそれらを相互に接続する電気配線が衝突時に損傷した場合、乗員が感電する可能性がある。

このことから、交通政策審議会においても、「衝突時の高電圧安全について、多方面からの検証を行い、必要な安全基準を策定すべき」と答申されている。¹⁾ これを受けて、国土交通省は、関係者を含めて検討を実施し、昨年11月に技術基準を制定した。²⁾³⁾

当研究所は、主として技術的側面からこの技術基準制定作業に参画することとし、高電圧回路を搭載した自動車の衝突実験等を実施した。

そこで、衝突時の高電圧安全の考え方及び衝突実験の概要について報告するとともに制定された技術基準の概要を紹介する。

2. 衝突時の高電圧安全の考え方

2. 1. 通常時の高電圧安全の考え方

はじめに、衝突時の高電圧安全の基礎となる、通常時の高電圧安全の考え方を記す。

通常時に乗員を感電から保護する方策としては、①直接接触からの保護、②間接接触からの保護、③絶縁抵抗の確保の3つの保護要件を同時に課することとする。

①直接接触からの保護は、活電部を絶縁体で被覆する、バリヤ、エンクロージャで隔離するなどにより、人体が活電部に直接接触することがないようにするものである。

②間接接触からの保護は、何らかの理由で活電部と露出導電部（容易に接触可能な導電性のバリヤ、エンクロージャ）との間の絶縁抵抗が低下した場合においても感電することがないように、露出導電部と電氣的シャシ（車体などの基準電位とみなされるもの）との間を電氣的に接続するものである。

③絶縁抵抗の確保は、活電部と電氣的シャシとの間の絶縁抵抗を定められた値以上に確保することとし、正極、負極とも電氣的シャシに接続しないものである。

これらは、2005年に制定された燃料電池自動車の高電圧安全基準⁴⁾と同等であり、少なくとも1箇所の故障が発生しても乗員が感電することがなく、同時に2箇所以上の故障が発生しても感電することがない場合も含んだ基準となっている。これは、高電圧に感電すると死に至る可能性が極めて大きいことから、余裕を持った要件としているものである。

2. 2. 衝突時の高電圧安全の考え方

衝突時には何らかの損傷等が発生するため、上記3項目の保護要件が同時に確保できない可能性がある。

そこで、衝突後においては、いくつかの故障が発生したとしても、感電に至るまでに最低限あと1つの保護要件が機能していることを要件とする。

具体的には、衝突試験(乗員の保護等のために実施する衝突試験と同等の試験条件)後においても、①直接接触からの保護は必須の要件とする。また、②間接接触からの保護と③絶縁抵抗の確保はどちらか一方が全面的に満足されていれば感電には至らず、部分的な故障であれば、②間接接触からの保護と③絶縁抵抗の確保の両方とも故障しても感電に至らない場合があるので、それらの条件を技術基準に記載することとする。

3. 衝突実験の概要

衝突実験の主な目的は、高電圧回路を搭載した自動車の衝突実験の安全性の検証、技術基準に採用予定の測定方法等の妥当性の検証を実施するとともに、審査の手順に従って実際に衝突実験を実施し、合理的な審査方法について考察することにある。

3. 1. 衝突実験実施時の安全対策

衝突実験の実施にあたり、安全対策として、以下の点を考慮した。

①衝突による絶縁破壊が原因で実験作業者が感電することを防止するため、衝突直後に絶縁抵抗測定器で絶縁抵抗を簡易測定し、絶縁破壊されていないことが確認できるまで、車両周辺を立ち入り禁止とした。

②衝突により駆動用蓄電池の電解液漏れがあったときは、その量を測定することとなっている。電解液が漏れた場合、触れると非常に危険であるので、目視で液漏れが発生していないことを確認できるまで、車両周辺を立ち入り禁止とした。電解液漏れが発生した場合に備えて、実験車の整備マニュアルに従って、強アルカリの電解液を中和するためのホウ酸、それを溶かすための水を入れたバケツ、ゴム手袋を用意した。

結果的には、今回の衝突実験では、絶縁破壊、電解液漏れともに発生しなかった。

3. 2. 衝突実験の実験条件

衝突実験は、新型車の型式指定の審査で現在実施されている4種類の衝突形態、いわゆるフルラップ前面衝突試験、オフセット前面衝突試験、後面衝突試験、側面衝突試験を実施することとした。実験車としては、同一型式の4台の電気式ハイブリッド自動車(作

動電圧約300V)を使用することとした。

衝突実験の条件を表1に、衝突直後の状況を図1～図4に示す。

3. 3. 絶縁抵抗の計測

通常時における絶縁抵抗の測定方法が、衝突後においても適用可能かどうか検証するために、衝突の前後において絶縁抵抗の測定を実施した。

衝突実験は、メインリレーを切り離した状態で実施することとした。メインリレーから見て駆動用蓄電池側の絶縁抵抗測定は、駆動用蓄電池の電圧を利用して測定することとし、メインリレーから見て負荷側の絶縁抵抗は、絶縁抵抗測定器を使用して、外部から直流電圧を印加して測定することとした。

衝突実験に先立って、各実験車に絶縁抵抗測定用の引き出し線を取り付けた。絶縁抵抗測定用引き出し線は、メインリレーの駆動用蓄電池側端子と負荷側端子に接続することとした。

駆動用蓄電池側及び負荷側の絶縁抵抗測定用引き出し線の状況を図5及び図6に示す。各図中の矢印の先端部が正負両極の引き出し点である。また、絶縁抵抗は高電圧の活電部と電氣的シャシとの間で測定することとなっており、電氣的シャシの引き出し線の状況及び測定器の設置状況を図7に示す。同図の丸内が電氣的シャシの引き出し点である。

これら引き出し線は全ての衝突形態について同じとしたが、この先の引き出し方向は衝突の影響の少ない方向としてある。

2007年8月に実施したフルラップ前面衝突実験及び後面衝突実験では、内部抵抗10MΩ以上の電圧計を1台のみ使用して駆動用蓄電池側の正極及び負極と電氣的シャシとの間の電圧を測定した。その結果、時間の経過とともに電圧の測定値が大きく変動することがわかった。このため、電圧計を1台のみ使用す

表1 衝突実験の実験条件

衝突形態	フルラップ 前面衝突	後面衝突	オフセット 前面衝突	側面衝突
実施日	2007年8月9日	2007年8月10日	2007年9月13日	2007年9月14日
適用基準	別添17「衝突時等における燃料漏れ防止の技術基準」の3.1.	別添17「衝突時等における燃料漏れ防止の技術基準」の3.2.	「協定規則94号」の附則3及び附則9	別添24「側面衝突時の乗員保護装置の技術基準」
衝突速度	50km/h	50km/h	56km/h	50km/h
備考		後部荷室に水素タンクを搭載	電気部品の配置を考慮し、左側に衝突	



図1 衝突直後の状況(フルラップ前面衝突)

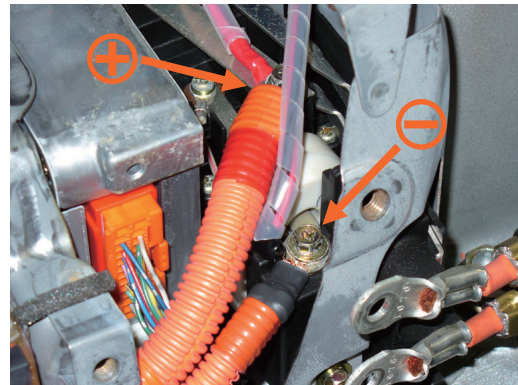


図5 絶縁抵抗測定用引き出し線(駆動用蓄電池側)



図2 衝突直後の状況(後面衝突)

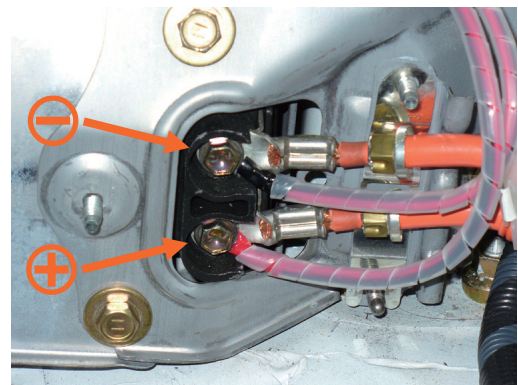


図6 絶縁抵抗測定用引き出し線(負荷側)

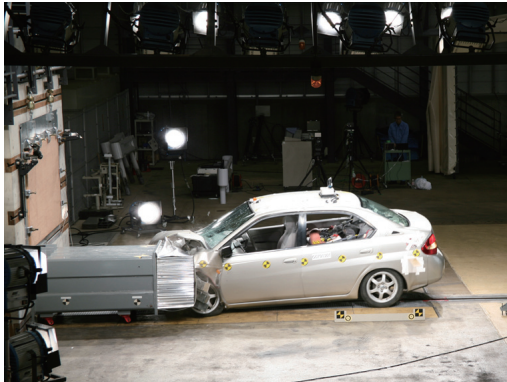


図3 衝突直後の状況(オフセット前面衝突)

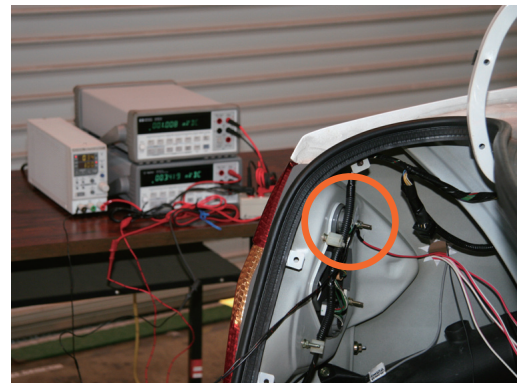


図7 絶縁抵抗測定用引き出し線(電氣的シャシ)及び測定状況



図4 衝突直後の状況(側面衝突)

る場合には、内部の直流電源を利用して測定する方法では絶縁抵抗が測定できないことがわかった。

そこで、絶縁抵抗測定器により測定を実施し、衝突後においても十分な絶縁抵抗が確保されていることを確認した。なお、電圧のかかっている部分の絶縁抵抗を絶縁抵抗測定器で測定する場合、絶縁抵抗測定器の電圧の極性や内部抵抗によって測定値が異なることから、合否判定が微妙な場合には注意を要する。

その後の調査で、非常に高い絶縁抵抗と静電容量とで平衡して保たれていた電圧が、電圧計を接続することにより平衡が崩れ、充放電電流が流れることにより

変動することがわかった。そこで、同年9月の衝突実験においては同じ型式の電圧計を2台用意し、同時に正極及び負極と電氣的シャシとの間の電圧を測定することにより、この問題を回避することができた。

測定結果の例として、側面衝突前の測定結果を図8に、側面衝突後の測定結果を図9に示す。

第一段階の電圧測定においては、衝突前と比較して衝突後では、正極、負極ともに若干の電圧上昇がみられるが、これは衝突直後の安全確認のために絶縁抵抗測定器で絶縁抵抗を測定したときに充電されたものと考えられる。

また、図9の衝突後の第一段階の電圧測定においては若干の電圧変動がみられるが、第二段階の電圧測定では約31kΩの抵抗を負極と電氣的シャシとの間に接続しているので、接続直後を除いて安定した電圧測定値が得られている。

測定された絶縁抵抗は、衝突前が作動電圧1Vあたり約12kΩ、衝突後が作動電圧1Vあたり約11kΩとなり、十分な絶縁抵抗が確保されていることがわかる。

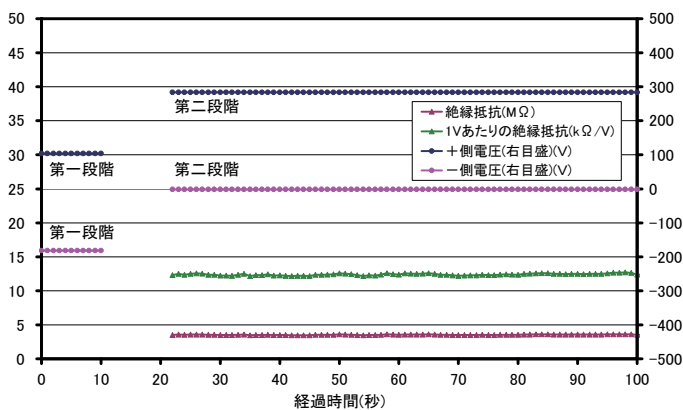


図8 駆動用蓄電池側絶縁抵抗測定結果(側面衝突前)

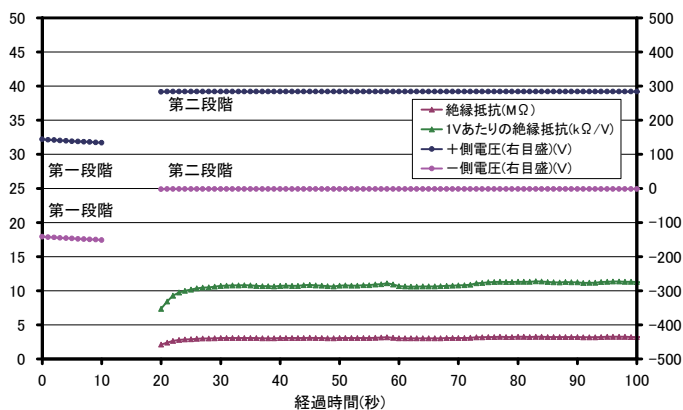


図9 駆動用蓄電池側絶縁抵抗測定結果(側面衝突後)

このように、第一段階での電圧測定値が時間とともに変動していく場合、絶縁抵抗が非常に高いものと考えられる。

なお、負荷側の絶縁抵抗については、絶縁抵抗測定器により問題なく測定できたが、前面衝突試験のように試験車を走行させる場合、電動機により発電された電流により高電圧となることも考えられるので注意が必要である。

3. 4. 加速度の測定

駆動用蓄電池が乗員に物理的損傷を与えることを防止するため、衝突試験時に駆動用蓄電池の取り付け部が破断しないことを確認することとなっている。ただし、大型車や少量生産車については衝突試験を実施できないので、強度計算により代替することとなっている。このときの代替加速度の妥当性を検証するために、車体床面重心位置ではX、Y、Zの3軸方向の加速度を、駆動用蓄電池カバー上面では衝突方向の1軸のみの加速度を計測することとした。

車体床面重心位置での加速度センサの設置状況を図10に、駆動用蓄電池カバー上面での加速度センサの設置状況を図11に示す。これらの加速度センサの設置状況は、4つの衝突形態全てについて同じである。ただし、駆動用蓄電池カバー上面に設置した1軸の加速度センサについては、加速度検出軸を衝突方向に合わせた設置となっている。

前後方向の加速度について最大の加速度が得られたフルラップ前面衝突時の測定結果を表2に、左右方向の加速度について最大の加速度が得られた側面衝突時の測定結果を表3に示す。

前後方向の加速度は、車体床面重心位置において、ピーク加速度で458m/s²、平均加速度(ピーク加速度の10%以上の値が継続する期間の平均値)で204m/s²、駆動用蓄電池カバー上面において、ピーク加速度で360m/s²、平均加速度で207m/s²となっている。駆動用蓄電池の取り付け強度の確認を計算により代替する場合、この実験車では196m/s²の加速度が適用されるのが、前記の平均加速度とほぼ同等の数値となっていることがわかる。

また、左右方向の加速度は、車体床面重心位置において、ピーク加速度で200m/s²、平均加速度で121m/s²、駆動用蓄電池カバー上面において、ピーク加速度で140m/s²、平均加速度で84m/s²となっている。

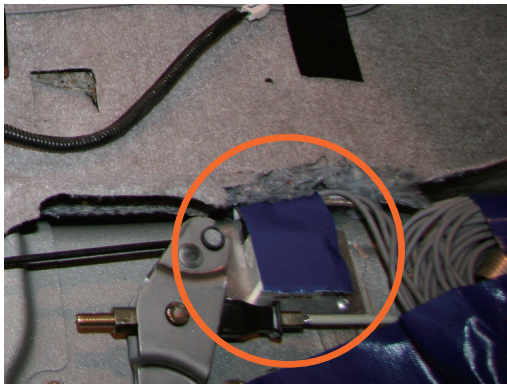


図10 車体床面重心位置に設置した加速度センサ(3軸)

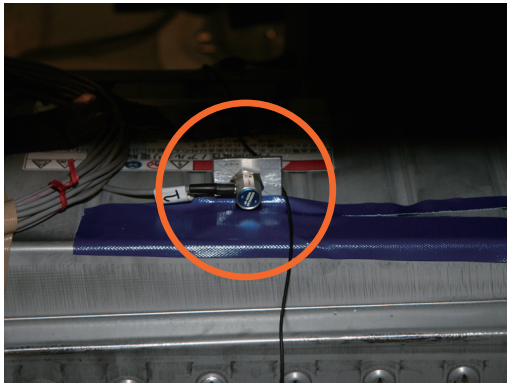


図11 駆動用蓄電池カバー上面に設置した加速度センサ(1軸)

表2 加速度測定結果(フルラップ前面衝突)

項目	車体床面重心(X成分)	蓄電池カバー上面
ピーク加速度(m/s ²)	458	360
ピーク加速度時刻(ms)	49.0	40.8
立ち上がり時刻(ms)	2.7	4.7
立ち下がり時刻(ms)	75.8	80.1
経過時間(ms)	73.1	75.4
平均加速度(m/s ²)	204	207

表3 加速度測定結果(側面衝突)

項目	車体床面重心(Y成分)	蓄電池カバー上面
ピーク加速度(m/s ²)	200	140
ピーク加速度時刻(ms)	39.7	45.3
立ち上がり時刻(ms)	3.0	3.9
立ち下がり時刻(ms)	62.2	90.1
経過時間(ms)	59.2	86.2
平均加速度(m/s ²)	121	84

この実験車の計算による加速度代替値は、78.4m/s²となっているが、駆動用蓄電池カバー上面での平均加速度に近い数値となっていることがわかる。

一般的な計算においては、これらの加速度が継続した場合を想定して計算をすることから、今回の衝突実験においては、加速度代替値の妥当性を示す実験結果が得られたものと考えている。

3. 5. その他の測定

直接接触の保護の確認に関しては、今回の衝突実験では活電部の露出は見られなかった。そこで、衝突後に活電部の露出があった場合を想定して検証した。活電部との接触の有無を電氣的に確認する場合のために、人体の指を模擬した試験用プローブの指部は金属であることと規定されている。活電部が衝突時に損傷を受けた場合、この金属製の指部が活電部と電氣的シャシとに接触して短絡する可能性も想定され、注意が必要である。非金属のプローブを使用して試験を実施する方が望ましいと考えられる。

間接接触の保護の確認に関しては、今回の衝突実験では、衝突の前後ともに露出導電部に相当する部分はなかった。実際の衝突試験に際しては、座席や床のカーペット等を取り外すこともあるが、これによって本来は露出導電部でないものが露出してしまうことが考えられる。これらの取り扱いについて試験実施前に協議し、取り外したものが衝突の衝撃で影響を受けると想定される場合は、取り外さないで衝突試験を実施する必要がある。

衝突実験終了後、実験車を分解し、主として電気回路の損傷状況を検証したところ、活電部が露出するようなバリヤ、エンクロージャの破壊や駆動用蓄電池の突出等の損傷は見られなかった。しかしながら、高電圧配線の何カ所かでは、対策が不十分であった場合に断線や短絡が発生していたと考えられる部分が認められた。このため、衝突後の試験車の取り扱いには十分な注意が必要であることがわかった。

4. 技術基準の概要

これら衝突実験の結果等も反映して策定された技術基準の概要を以下に記す。

4. 1. 通常時の高電圧安全基準の概要(別添 1 1 0)

4. 1. 1. 直接接触の保護

活電部を被覆やバリヤ、エンクロージャ等により保護する。客室内及び荷室内からは保護等級 IPXXD、客室内及び荷室内以外からは保護等級 IPXXB を満たすものであること。バリヤ及びエンクロージャには、感電保護のための警告表示が義務付けられている。

4. 1. 2. 間接接触の保護

導電性のバリヤ、エンクロージャ等の露出導電部は直流電氣的に電氣的シャシに接続する。全ての露出導電部と電氣的シャシとの間の抵抗値は、0.2A以上の

電流を流した状態で0.1Ω未満であること。

4. 1. 3. 絶縁抵抗の確保

活電部と電氣的シャシとの間の絶縁抵抗値は、作動電圧1V当たり100Ω以上であること。

4. 1. 4. 駆動用蓄電池

短絡時に火災を発生する可能性がある場合、過電流保護デバイスを設置すること。

また、充電時等に水素ガスを発生する場合、水素ガスの滞留防止構造が義務付けられている。

4. 1. 5. 機能上の安全

加速装置の操作または制動装置の解除によって走行が可能な状態にあることを運転者に表示する装置を設置することが義務付けられている。

4. 2. 衝突時の高電圧安全基準の概要(別添111)

4. 2. 1. 衝突試験を実施する場合の要件

衝突試験については、表1に示す4つの衝突形態に対応して、同表の適用基準欄に示す試験方法で実施することとなっている。

衝突試験後の要件としては、まず、駆動用蓄電池の電解液が客室内に漏出しないこと、また、試験後1時間以内に総量の7%を超える電解液が車両外部へ漏出しないこととなっている。

また、駆動用蓄電池は、所定の位置に固定されたままであることとなっている。

感電に対する保護要件は、客室内からのみの要件となっているが、直接接触の保護では、保護等級IPXXBを満たすものであることとなっている。

これに加えて、間接接触の保護と絶縁抵抗の確保に関しては、通常時の要件は相当な安全を見込んだ要件となっているが、衝突時においては、何らかの損傷は避けられないことから、感電に至るまでに最低でもあと一つの保護が機能しているという条件を列挙したものである。

4. 2. 2. 衝突試験を実施しない場合の代替要件

高電圧回路は、車両の最前端部から水平距離420mm以内及び車両の最後端部から水平距離300mm以内に設置してはいけないこととなっている。ただし、どちらも、地上面からの高さが800mmを超える場合は除く。

駆動用蓄電池の取り付け強度に関しては、表4に示す方向の加速度により破断しないものと規定されている。

5. あとがき

電気自動車の高電圧安全に関する衝突試験を実施した結果、内部の直流電源を利用して絶縁抵抗を測定する方法では、同じ電圧計を2台使用して同時に測定することにより安定した測定が可能となった。また、衝突試験を実施しない場合の代替加速度要件の妥当性についても確認できた。さらに、実際の試験実施時の安全対策についても注意すべき点が明らかになるなど、多くの成果が得られた。

これらの成果は、今後の試験を実施する上で重要な測定方法や手順に関するものであり、実際の審査においてノウハウとして活用できるものと考えている。

現在、WP29（自動車基準調和世界フォーラム）において、電気安全に関する統一基準の検討が行われているが、この衝突試験の結果を必要に応じて提供していきたいと考えている。

最後に、本実験の実施にあたっては、多数の関係者の皆様にご協力をいただいております、この場を借りて謝意を表します。

参考文献

- (1) 交通事故のない社会を目指した今後の車両安全対策のあり方について、交通政策審議会陸上交通分科会自動車交通部会、2006
- (2) 電気自動車及び電気式ハイブリッド自動車の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添110、2007
- (3) 電気自動車及び電気式ハイブリッド自動車の衝突後の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添111、2007
- (4) 燃料電池自動車の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準、道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添101、2005

表4 駆動用蓄電池取り付け強度の代替加速度要件

自動車の種類	前後方向	自動車の種類	左右方向
乗車定員10人以下の乗用自動車、車両総重量3.5t未満の貨物自動車	±196m/s ²	乗車定員9人以下の乗用自動車、車両総重量3.5t未満の貨物自動車	±78.4m/s ²
乗車定員11人以上かつ車両総重量5t未満の乗用自動車、車両総重量3.5t以上12t未満の貨物自動車	±98m/s ²	乗車定員10人以上の乗用自動車、車両総重量3.5t以上の貨物自動車	±49m/s ²
乗車定員11人以上かつ車両総重量5t以上の乗用自動車、車両総重量12t以上の貨物自動車	±64.7m/s ²		