

自動車の安全性について その1

元日産自動車

千葉 晃司 Kouji Chiba

1. はじめに

交通事故死亡者推移¹⁾ をみると1970（昭和45）年の16,765人をピークに、1996（平成8）年に9,943人と1万人を割り、それ以降毎年減少を続け、2020（令和2）年には2,839人となっている（図1）。この現象の理由には、衝突安全の強化、評価結果の情報公開、予防安全装置の開発・採用などがあると思われる。具体的には、衝突安全の強化としては、前面衝突のフルラップ衝突^{*1}は1996年以降、側面衝突は1999年以降、前面衝突のオフセット^{*2}は2000年以降、歩行者保護の頭部保護は2003年以降、脚部は2011年以降、それぞれ安全基準が強化された。また情報公開は2011年から実施されている。

自動車乗員の死亡事故の形態（図2）²⁾ を見ると、前面衝突が54.3%で、側面衝突が

42.9%となり、前面衝突と側面衝突が多いことがわかる。また、状態別交通事故死者数と保護基準との関係を見ると、自動車乗車中が33.2%、歩行中が33.4%となっており、それに対応して前面衝突試験（フルラップ、オフセット）、側面衝突試験、歩行者保護評価試験がある（図3）²⁾。

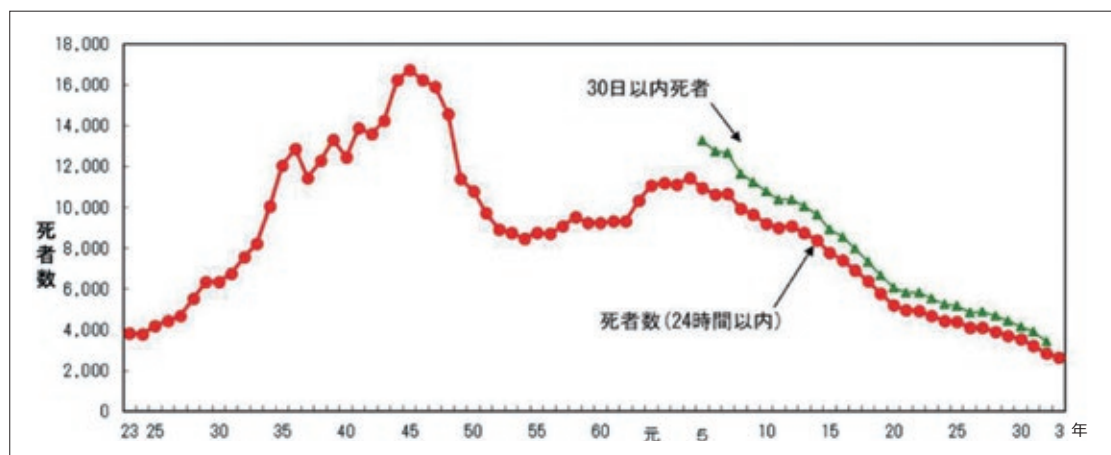
自動車の安全性向上には、二つの方策がある。一つは不幸にしてあった衝突事故に対応した衝突安全性の向上と、もう一つは衝突事故を未然に防ぐ予防安全の向上である。

本稿では衝突安全について解説し、予防安全はその2で解説する。

2. 衝突安全

衝突事故の形態により、前面衝突、側面衝突、後面衝突、歩行者保護などがある。衝突

図1 交通事故死者数の推移（昭和23年～令和3年）



※ 昭和46年以前は沖縄県を含まない

※1
フルラップ衝突
車体前面の全体が他のクルマや障害物などにぶつかること。

※2
オフセット
車体の前側の一部分がぶつかること。

図2 自動車乗員死亡事故の形態の割合

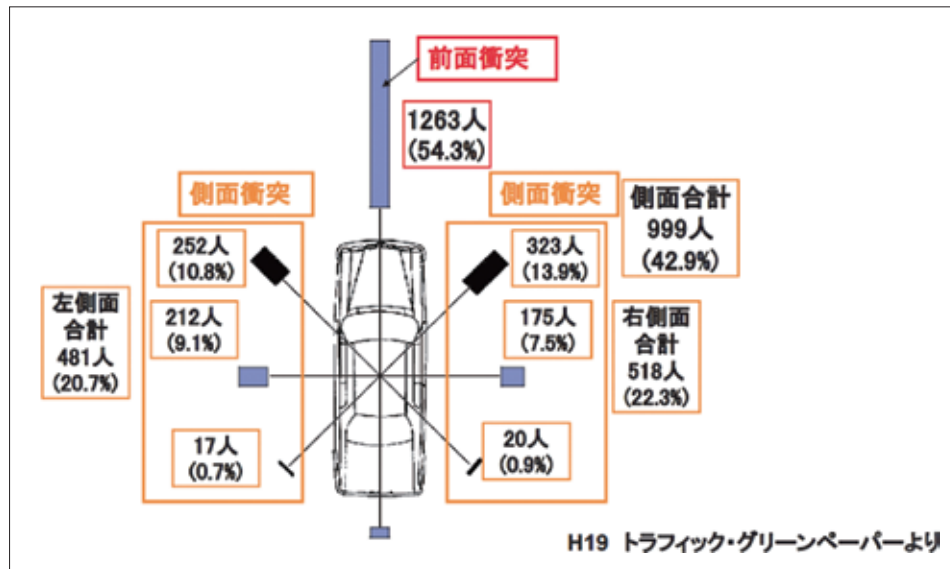
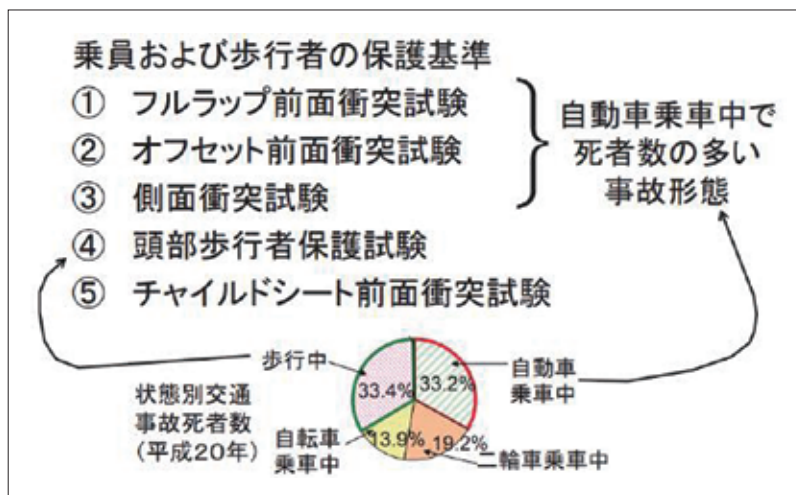


図3 状態別交通事故死者数と保護基準



安全の基本的な考え方は乗員の居る空間を確保するためにキャビンを変形させないで、乗員を保護し、その前後の部位にて衝突エネルギーを吸収させる車体構造にすることである。

2.1 前面衝突 (図4、5)²⁾

前面衝突は相手自動車が生線が逸脱して正面衝突するフルラップ衝突と衝突を避けようとしてずれて衝突するオフセット衝突がある。

基本的な考え方に従って、衝突エネルギー吸収する部位としてエンジンコンパートメントがある。それは、フロント サイド メンバ

(member: 車の強度部材)^{※3}、サブフレーム^{※4}、フードリッジ^{※5}の部材がその役割を演じている。したがって、それらの部材は変形してエネルギーを吸収する。一方、乗員の居るキャビンは変形しないように強固な部材すなわち A ピラー (pillar: 支柱、フロントピラー: フロントガラスの両端に位置する支柱)、B ピラー (センターピラー、運転席または助手席と後部座席の間に位置する支柱)、サイド・ルーフ・レール (ルーフレールとはクルマの屋根の両サイドにあり、ルーフの支えになる部品)、フロントルーフレール、シル (sill: 車のドアの下枠) などで構成されている。

※3 フロントサイドメンバ
車両の前部にあり前後方向に走っていて、エンジンなどを支えている部材。

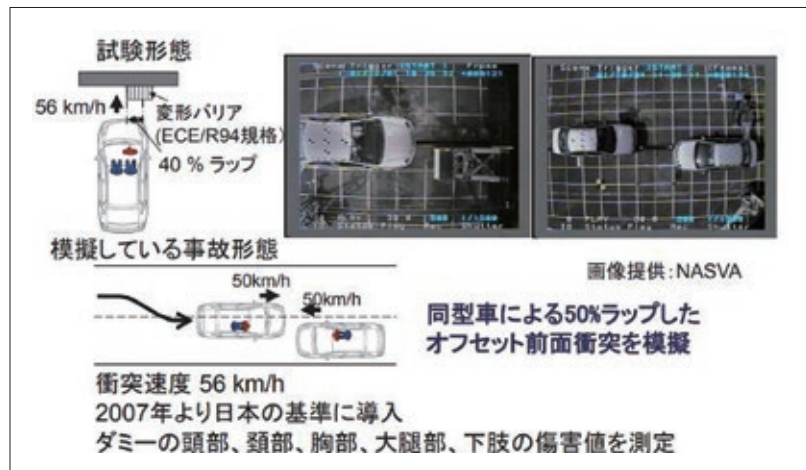
※4 サブフレーム
サスペンションやエンジンなどをボディ下部に固定するときに必要となる車の部分的な骨格。

※5 フードリッジ
エンジンルームおよびタイヤハウスを区切る隔壁のこと。

図4 前面衝突（フルラップ）試験法



図5 前面衝突（オフセット）試験法



前面衝突試験に対応した車体構造としては、衝突エネルギー吸収部位としてあるフロント サイドメンバ（車の強度部材）は蛇腹変形により吸収するので材料としては高強度で高伸びのある材料を適用している。具体的には引張強さが780～980 MPaの鋼板材である。一方変形させないキャビンを構成するAピラー、Bピラー、サイド・ルーフ・レールは1.5 GPaの超高張力鋼（以下引張強度をこのように表記する）やホットスタンプ材1.5 GPaなどを適用している。ホットスタンプ材は鋼板を加熱し、特殊加工して作られた超高張力鋼板で、一般の鋼板と比較して約4～5倍の引張強度を持っており、厚みを薄く

しても通常の鋼板を凌ぐ強度を有するため軽量化にも貢献している。特にAピラーは曲げ強度を必要とする（図6）³⁾。

2.2 側面衝突（図7）²⁾

側面衝突には交差点で信号無視した車両が車両側面に衝突する場合や見通しの悪い側道から出てくる車との衝突などがある。

側面衝突は、対向車がキャビン側面に衝突するので、前面衝突・後面衝突と異なって、衝突エネルギー吸収スペースが少なく、それでいてキャビンを変形させないようにしないといけない。ドアとAピラー、Bピラーで対応しないといけない。ドアには、A・Bピラー

図6 前面衝突対応車体構造

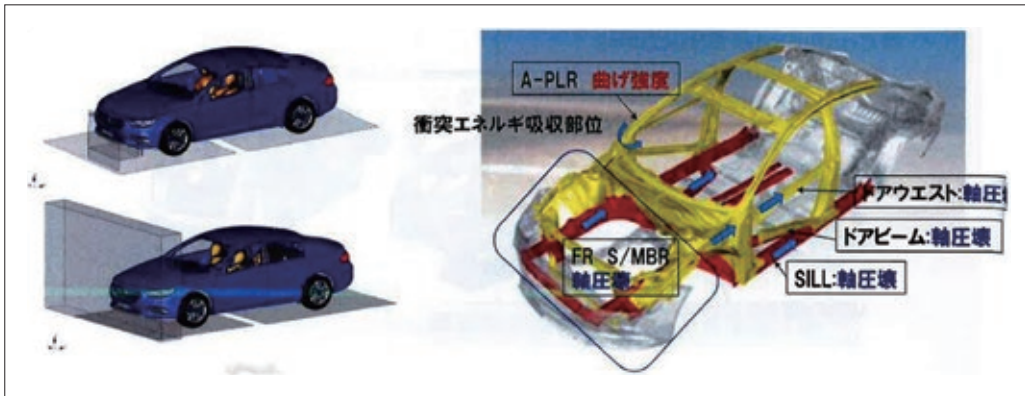


図7 側面衝突試験法



間にわたってドアビーム（ドア内部に装着されるエネルギー吸収補強材）が設置されていて、対向車のキャビンへの進入を最小限にしている。侵入量145 mm で反力10 kN を発現するようにしている。さらにキャビンの変形を最小限にするために、車両側面を構成している部材すなわち、Aピラー、Bピラー、サイド・ルーフ・レール、シルを、さらにフロアにある2nd クロスメンバ、3rd クロスメンバやルーフ中央部のボールーフも軸圧壊方向入力に対して強固にする必要がある。クロスメンバとは、両サイドに設けられたシルと結合した強度部材のことをいう。フロントフロアの中央を横切る形で存在する。役割としては、フロントフロアの強度・剛性を保持すること、シート荷重・側突荷重を受けるといっ

た点などが挙げられる。具体的には、Bピラーには曲げ強度、シルも曲げ強度、サイド・ルーフ・レールも曲げ強度、フロアの2nd/3rd クロスメンバは軸圧壊強度を必要として1.5 GPa 高強度材。曲げ強度は $\sigma_y t^2$ で、軸圧壊は $\sigma_y^{2/3} E^{1/3} t^{5/3}$ であり、耐力の高い材料が特性を向上させる（図8）³⁾。なお、記号の意味は、E:ヤング率、 σ_y :降伏応力、t:部材厚さである。

2.3 後面衝突

後面衝突には高速道路での渋滞停止中に後続の車両に追突されるとか、何らかの原因で道路に停車中に追突される場合などがある。後面衝突は、前面衝突の反対で、トランク部位でエネルギー吸収して、キャビンを変形させないように、エクステンション リヤサイド

図8 側面衝突対応車体構造

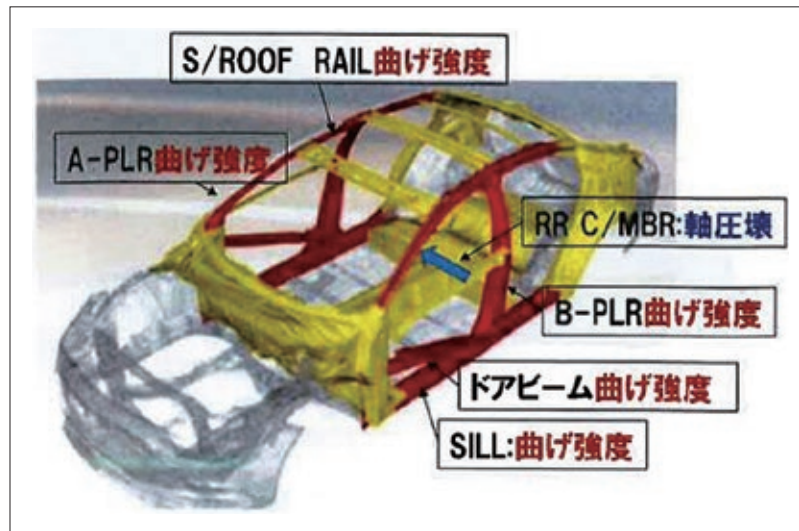


図9 歩行者保護試験法（頭部保護フード試験）



メンバの要求特性は軸圧壊で変形する高強度・高延性材の780 MPaを、リヤサイドメンバは変形させない高強度材の1.5 GPa 材やホットスタンプ材などを使用している。リヤサイドメンバとは、リヤボディの骨格を形成している部材のことで、リヤフロア下部左右両側に設置されている。

2.4 歩行者保護 (図9)²⁾

歩行者保護は横断歩道や道路を渡っている歩行者との衝突現象である。車両前部と歩行者との衝突であり、歩行者は頭部、脚部、下肢部を損傷するのでそれに対応した評価法が

実施されている。頭部はフード、フェンダ、エアボックス、などの干渉で発生する頭部荷重G変化(時間t)のグラフを基に試算したHead Injury Criteria (HIC) 値(ある時間範囲Δtでの積分値で計算した値)で評価される。それに対応した構造としては、フードのインナパネルの形状を工夫している。具体的には、縦波形状、横波形状、全面エンボス形状などがある。またフェンダでは車体取付用ブラケットの形状をエネルギー吸収可能なLやZ形状としている。脚部・下肢部については、骨折の有無を判定する荷重とモーメント値で判定し、バンパレインフォース^{※6}の前

※6
バンパレインフォース
車両前後に固定されている耐衝突部品。

部に EA 材（エネルギー吸収材）を設置して対応、下肢部については、バンパレインフォースの下に足払い用のクロスバーを設置して対応している。

3. まとめ

上記のように交通事故死者数低減のための衝突安全性向上の紹介をしてきた。今後、電動車両や自動運転車両が増加する。そのような中で衝突しない車の登場が期待され、限りなく交通死亡者ゼロを目指してさらなる開発を期待したい。

参考文献

- 1) 政府統計の総合窓口「令和2年中の交通事故死者数について」
- 2) 田中良知：「衝突安全のこれまでとこれから」交通安全環境研究所講演会2010/7/28
- 3) 千葉晃司：金型 [KANAGATA] No179 2020/1, 2020.

ちば●こう

1982年日産入社後、車両研究所で車体の軽量化の研究を担当。2000年先行車両開発部に移ってモーターショーカー、電気自動車や GT-R などの先行車両開発を担当。2006年車体技術開発部で、ハイテン材、アルミ、CFRP の適用技術とマルチマテリアル車体開発担当。2021年退職。新構造材料技術研究組合 (ISMA) では、革新材料・接合技術の自動車部品への適用技術開発を担当。現在、東京理科大学の非常勤講師。

自動車の安全性について その2

元日産自動車

千葉 晃司 Kouji Chiba

1. はじめに

交通事故死亡者推移をみると1970（昭和45）年の16,765人をピークに、それ以降毎年減少を続け、2020（令和2）年には2,839人となっている。この現象の理由には、衝突安全の強化、評価結果の情報公開、予防安全装置の開発・採用などがあると思われる。自動車の安全性向上には、二つの方策がある。一つは不幸にして生じた衝突事故に対応した衝突安全性の向上ともう一つは衝突事故を未然に防ぐ予防安全の向上である。衝突安全については、その1で解説した。本稿では予防安全について解説する。

2. 予防安全システム

予防安全システムは、危険を事前に検知して未然に防ぐシステムである。主なものはペダル踏み間違い衝突を防ぐ、「踏み間違い衝突防止システム」、前方の車両や歩行者との衝突回避をサポートする「緊急ブレーキシステム」、走行中の車両が車線からはみ出さないよう、ドライバーをアシストする「車線逸出防止

支援システム」、安心してコーナーを曲がることのできる「インテリジェント トレースコントロール」、衝突の危険を察して、ハンドルを自動操作して事故を回避する「緊急操舵回避支援システム」、車線変更時の斜め後方の車両との接触回避をアシストする「後側方衝突防止支援システム」、後退時に障害物や車両との衝突回避をアシストする「後退時衝突防止支援システム」などがある。以下に詳細を解説する。

2.1 踏み間違い衝突防止アシスト

ペダルの踏み間違いによる事故防止をアシストする（図1）¹⁾。具体的には、駐車時や低速走行時（15 km/h 以下）、進行方向に壁などの障害物や停止車両がある場合に、ブレーキと間違えてアクセルを踏み込んでしまった

図1 踏み間違い衝突防止アシストシステム

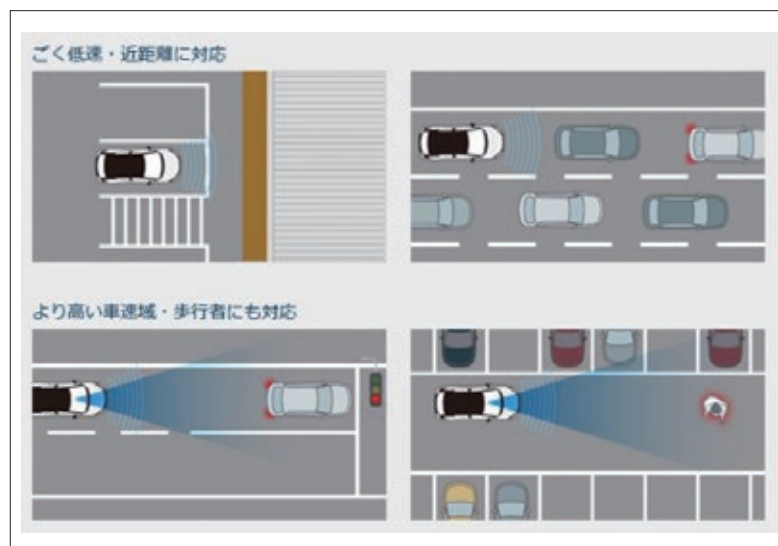
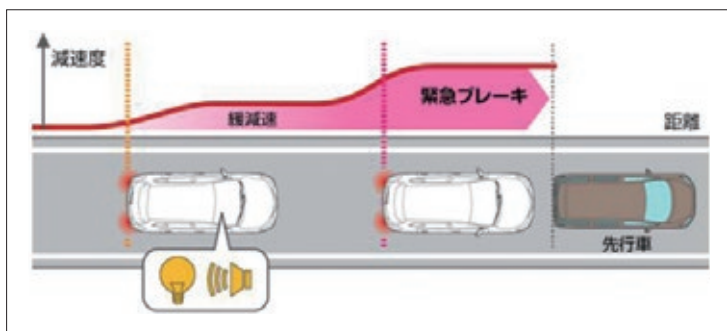


図2 緊急ブレーキシステム



ときや、ブレーキ操作が遅れてしまったときに、システムが自動的に加速を抑制、またブレーキを作動することで、衝突防止をアシストする。壁はもちろん、コンビニなどのガラスも認識し、前進時にも後退時にも対応する。

2.2 緊急ブレーキ (エマージェンシーブレーキ)

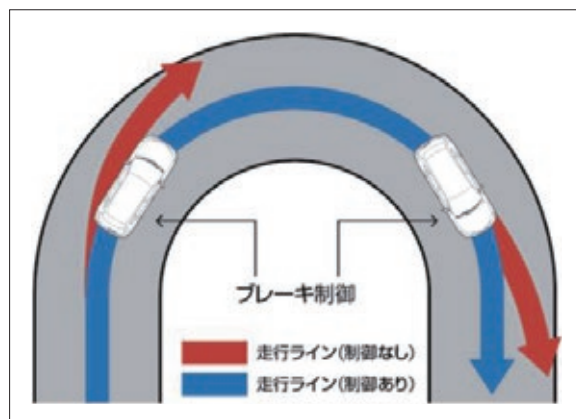
前方の車両や歩行者との衝突回避をサポートする (図2)¹⁾。具体的には、前方の車両や歩行者に衝突する恐れがあるとシステムが判断すると、表示と音による報知とともに自動的に弱いブレーキを作動させ、ドライバーに衝突を回避する操作を促す。万一、ドライバーによる回避操作が行われず、衝突する危険性が高まった場合には、衝突の直前に強いブレーキをシステムが自動的に作動させ、衝突を回避、または衝突時における被害の軽減を支援する。

2.3 トレースコントロールシステム

狙いどおりにカーブを曲がることは、楽しい経験である。一方で、アクセル、ブレーキ、ステアリングホイールの3つをコントロールする必要があるので、難しい場面でもある。トレースコントロールシステムは、楽しく、自信を持ってコーナーを曲がることのできるようにするものである (図3)¹⁾。

具体的には、インテリジェント トレース

図3 トレースコントロールシステム



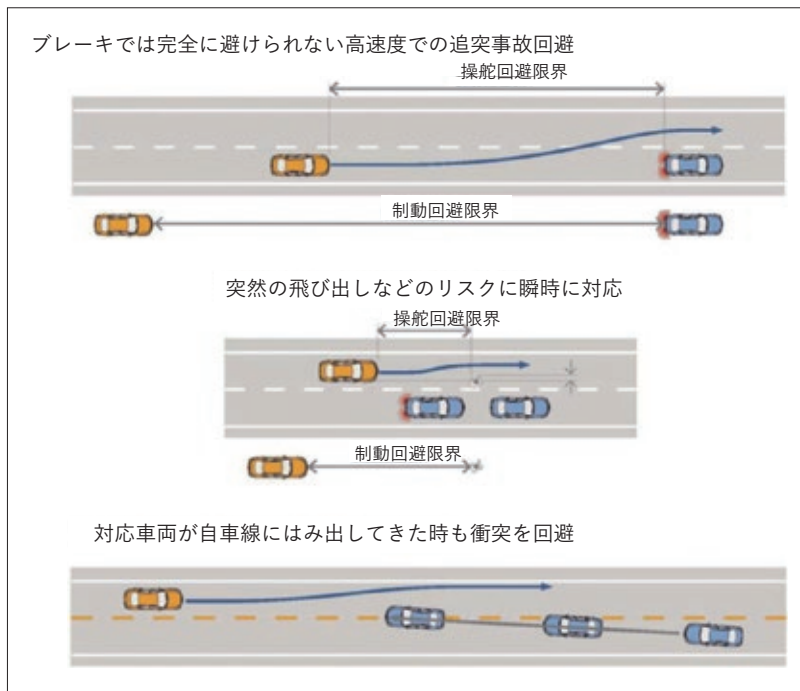
コントロールは、4本のタイヤそれぞれに自動的にブレーキを効かせることで、カーブの途中で加速したときに外側に膨らむのを抑える、グラツと傾くことを回避し、ドライバーは怖い思いをすることなく、自信を持って運転に専念できるようにするものである。

インテリジェント トレースコントロールは、まずカーブに進入する時に働く。誤って高めのスピードでカーブに入ると、クルマは大きく傾く。するとドライバーのみならず、一緒に乗っている人も不安になる。こんな時に、インテリジェント トレースコントロールは活躍する。自動で滑らかにブレーキをかけることで、安定した姿勢を保つ。この仕組みは、カーブの出口でも働く。カーブを曲がっている時には、クルマには遠心力が働く。したがって、理想の走行ラインよりも外側にふくらみがちになってしまう。ふくらみすぎると対向車線にはみ出したり、または道から外れたりしてしまうので非常に危険である。ここでインテリジェント トレースコントロールが作動する。内側の車輪にブレーキをかけ、クルマが外側にふくらまないようにコントロールしてくれる。

2.4 緊急操舵回避支援システム

衝突の危険を察して、ハンドルを自動操作して事故を回避する (図4)¹⁾。具体的には衝突しそうな対象物を見つけると、ECU (Elec-

図4 緊急操舵回避支援システム



tronic Control Unit：車載コンピュータ)はどのように対応すべきかを判断する。時間的に余裕がある場合には警告音とライトによる警告でドライバーの聴覚と視覚に訴える。警告を発した後に衝突を回避するにはドライバーの操作では不十分であると判断すると、緊急ブレーキが作動して衝突回避操作を支援

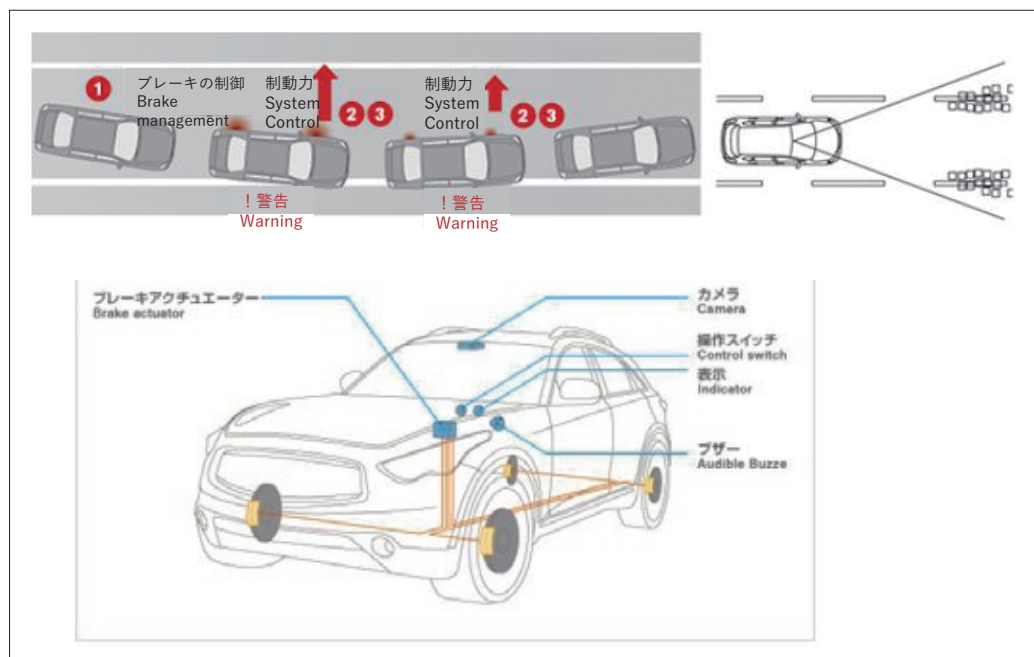
する。けれどもブレーキで衝突が避けられない場合は、ハンドルを切って障害物を避けることも必要となる。

2.5 車線逸脱防止支援システム

走行中の車両が車線からはみ出さないよう、ドライバーをアシストする。すなわち、車両が車線をはみ出す可能性がある場合(図5¹⁾に番号①で示す、以下同様)、警報音とメーター内の表示②で注意喚起する。また、同時に、ブレーキを制御し③、車線のはみ出しを回避するよう、ドライバーをアシストする。具体的には、走行車線の白線(黄線)をカメラで認識し、車両が車線をはみ出す可能性がある場合、警報音とメーター内の表示で注意喚起する。また同時に、ブレーキを制御し、車線のはみ出しを回避するよう、ドライバーをアシストする。

- ① フロントガラス上部のフロントカメラにより、走行車線の白線(黄線)を検知する。
- ② 走行車線の右側もしくは左側の白線(黄線)に近づいたと判断すると、警報音とともにメーター内の表示が点滅する。

図5 車線逸脱防止支援システム



- ③ 同時にブレーキを制御し、車両を車線内に戻すような力を発生させることで、車両が車線内を走行するようドライバーの操作を促す。

2.6 後退時車両検知警報

後退時に後方車両を検知してドライバーに警報で知らせるシステム RCTA (Rear Cross Traffic Alert: 後退時車両検知警報) である (図6)¹⁾。後退時に後方車両との衝突回避をアシストする。具体的には後退時にレーダーセンサーで後方を横切ろうとする車両を検知すると、警報音とともに検知した側のドアミラー鏡面にある表示灯が点滅し、ドライバーに衝突を回避するように注意を促す。

2.7 後退時衝突防止支援システム

後退時に障害物や車両との衝突回避をアシストする (図7)¹⁾。すなわち、後退時に後方

の障害物や、後方を横切ろうとする車両に衝突する恐れがあるとき、警報 (表示と音) でドライバーに注意を促す。その状態でさらに後退しようとした場合には、表示と音に加えてシステムがブレーキを作動させることで、衝突回避をアシストする。

2.8 後側方衝突防止支援システム

車線変更時の斜め後方の車両との接触回避をアシストする (図8)¹⁾。死角になりやすい隣接レーンの後側方を走行する車両を検知すると、ドライバーに表示で知らせ、さらに車線変更を開始した場合には、警報とともに車両をもとの車線内に戻すような力を発生し、隣接レーンの車両との接触を回避するようアシストする。

2.9 システムの信頼性向上の方策

システムの信頼性向上として2重系の高度

図6 後退時車両検知警報

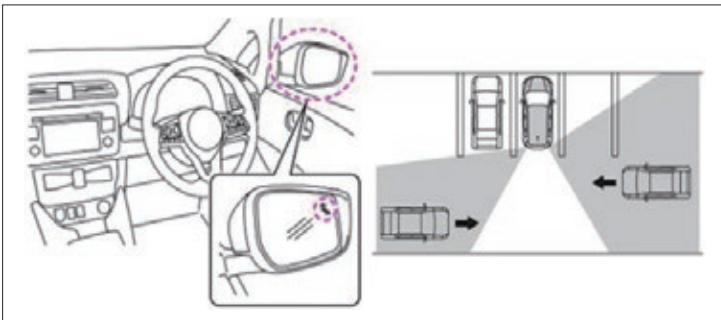


図7 後退時衝突防止支援システム

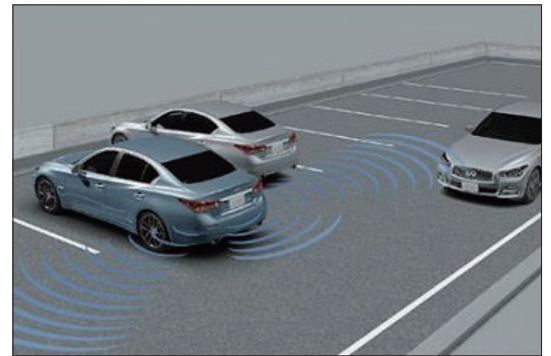
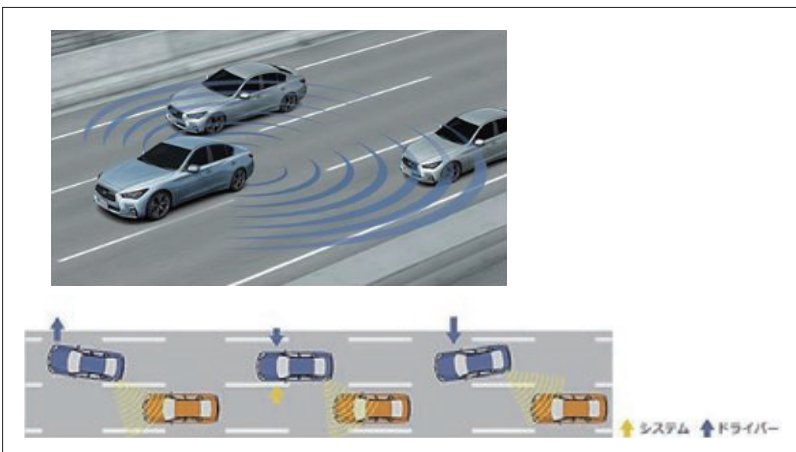


図8 後側方衝突防止支援システム



なバックアップシステムを採用している。例えば、日産のスカイラインで採用されたステアバイワイヤーシステムでは、ECUを介して電気信号でステアリングを作動させる系と電気遮断の時に、シャフトによる作動させる系の2重系のシステムで信頼性向上を図っている（図9）¹⁾。

3. 電気自動車の安全性

衝突安全性において、電気自動車とガソリン車との大きな違いは、前者がバッテリーを搭載していることである。万が一に衝突事故にあって、バッテリーが損傷し、それが火災発生の原因になる可能性もある。以下に電気自動車固有の安全性について述べる。

3.1 衝突安全性

電気自動車は、バッテリーを保護するために、レイアウトでは前面衝突や後面衝突や側面衝

突で影響が一番少ない乗員の床下に配置した²⁾。さらに車体構造では、前・後面衝突時の衝突エネルギー吸収のためのストレートなメンバを配置し、エネルギー吸収部材が少ない側面衝突では、シルにアルミ製の補強部材を設定して反力を向上させ潰れストロークを短くする構造と床下及びバッテリーケース内にクロスメンバを配置する構造を採用している（図10）²⁾。また、衝突時の漏電対策としては、衝突検知システムで高電圧を遮断、さらにバッテリー内のヒューズで高電圧を遮断するようになっている³⁾。漏電規格⁴⁾では、①感電保護性能、②高電圧バッテリー電解液漏れ性能、③高電圧バッテリーの固定状況が規定されている。

3.2 冠水時の安全性

昨今、各地で洪水が多発しているが、電気自動車の冠水時の性能は、日産リーフで300 mm冠水でも走行可能になっている³⁾。

それは、バッテリーフレームが気密性を確保する構造になっているためである。また水没しても車体と高電圧回路は絶縁されているため、車体を触っても感電する心配はない。また水と車両も等電位になっているため、水の中に入っても感電の心配はない。

3.3 バッテリー発火への安全性

電気自動車の火災発生事故は大きく分けて、衝突時と充電時のバッテリーからの発生がある。

衝突時の火災は衝突で

図9 ステアバイワイヤーシステム

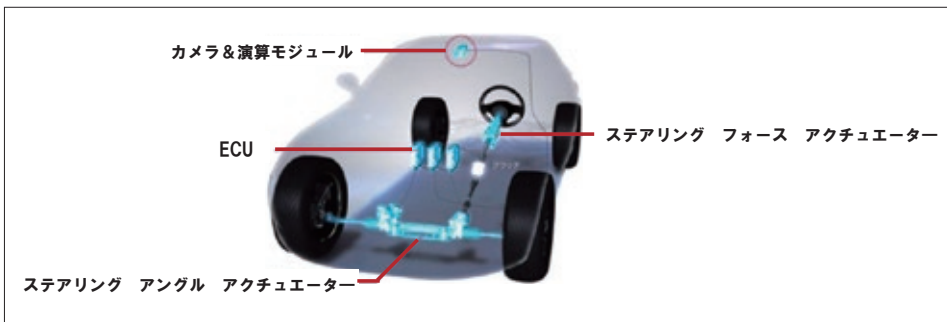
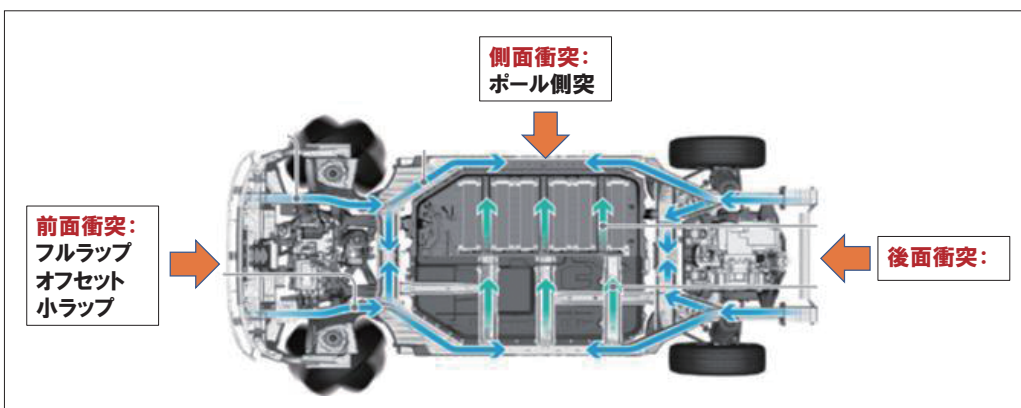


図10 電気自動車のバッテリーレイアウトと車体構造



バッテリーが損傷して発生する。またバッテリーの発火の原因としては、①バッテリー内のコンタミ混入によるもの、②セル・パックにおける溶接部の品質不良がある。①はバッテリー製造時にセル内にコンタミが混入してショートして発熱して発火する(図11)⁵⁾。②は端子溶接、ケース溶接、バスバー溶接時の溶接不良で抵抗値が大きくなり発熱する。また発生するスパッタ粒子のセル内に混入してコンタミとなり①と同じ作用をする。対策として、前者は絶縁抵抗試験機による測定であり、後者は溶接抵抗計の測定である。さらに、それらの原因で電気自動車が火災を起こすと、一旦鎮火しても再度発火する現象が発生する。それは一旦鎮火してもバッテリー内部で反応して高温になり再度発火する為である。その対策として、BMW は水の入ったコンテナでの消火を推奨している⁶⁾。またテスラは約1~3万Lの水で冷却するように指示している⁷⁾。

3.4 接近時の音

電気自動車はガソリン車のように音を発生しないので、人に近づいても気づかないことが予想された。そこで意図的に音を発生させて接近を知らしめるような工夫をしている⁶⁾。

3.5 その他評価

その他の評価として、充電時の落雷試験、悪路走行実験や高圧洗車テストを実施して問

題ないことを確認している³⁾。

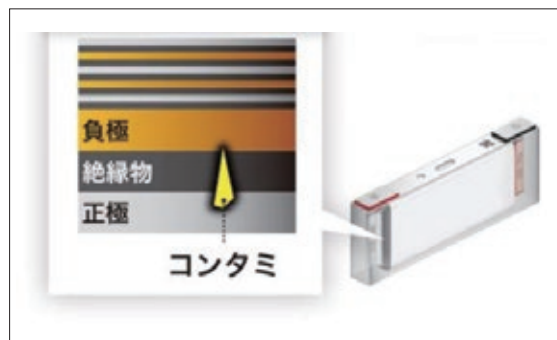
4. まとめ

上記のように交通事故死者数低減のための衝突安全性向上、予防安全システム、電気自動車の安全性について紹介した。今後、電動車両や自動運転車両が増加する。そのような中で、衝突しない車の登場が期待され、限りなく交通死亡者ゼロを目指しさらなる開発を期待したい。

参考文献

- 1) 日産自動車 技術ライブラリー・自動運転・運転支援技術
<https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE> (参照日：2024年1月20日)。
- 2) Honda e 広報資料
https://global.honda.jp/tech/Honda_electric_veichle_EV/ (参照日：2024年1月20日)。
- 3) 日産自動車 リーフ広報資料
<https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/170906-01-j> (参照日：2024年1月20日)。
- 4) NASVA 「電気自動車等の衝突時における感電保護性能試験」
https://www.nasva.go.jp/mamoru/assessment_car/ev_test.html (参照日：2024年1月20日)。
- 5) HIOKI 広報資料
<https://www.hioki.co.jp/jp/products/category/battery/manufacture/> (参照日：2024年1月20日)。
- 6) テスラやBMW「i8」が出火したら消火が大変！普及が進む電気自動車の火災に対応する新消火システムとは | VAGUE (ヴァーグ)
<https://vague.style/post/78302> (参照日：2024年1月20日)。
- 7) テスラ 緊急時対応マニュアル Model3
https://www.tesla.com/sites/default/files/downloads/Model_3_Emergency_Response_Guide_jp.pdf (参照日：2024年1月20日)。

図 11 バッテリー発火原因 (コンタミ)



ちほこら

1982年日産入社後、車両研究所で車体の軽量化の研究を担当。2000年先行車両開発部に移ってモーターショーカー、電気自動車やGT-Rなどの先行車両開発を担当。2006年車体技術開発部で、ハイテン材、アルミ、CFRPの適用技術とマルチマテリアル車体開発担当。2021年退職。新構造材料技術研究組合(ISMA)では、革新材料・接合技術の自動車部品への適用技術開発を担当。現在、東京理科大学の非常勤講師。