

16. 自動車の走行を制御する電子機器の安全性の考え方

－安全性の考え方並びに制御失陥時における運転者の主観評価－

自動車安全研究領域 ※伊藤 紳一郎 長谷川 智紀

1. まえがき

最近の自動車においては、ほとんどすべての装置が電子制御化されているといっても過言ではない。そのうち、自動車の走行を制御する装置、すなわち、走る、曲がる、止まるといった自動車の3大機能を制御する装置においても、以前から使用されてきた電子制御燃料噴射装置、電子制御4輪操舵装置、電子制御アンチロックブレーキ装置等にとどまらず、各種の安全装置、運転支援装置等にまで電子制御が適用されて実用化されてきている。

これらの装置に故障または誤作動が発生して、運転者の予期しない方向に制御された場合、重大な事故が発生する可能性が想定される。そこで、様々な手法を講じて故障等を防止することとなる。この対策には当然コストがかかることから、制御の内容(危険の程度)並びに故障等の影響が顕在化した場合に運転者が修正操作をする時の難易度等によって変わってくるべきである。

本報告では、自動車の走行を制御する電子機器の安全性、信頼性、耐久性等の確保の方法の考え方について概説する。さらに、運転者の修正操作の負担の程度を求めるために、自動車の制御機能が失陥して危険な状態と考えられる車間距離が短くなった場合及び急加速して接近する場合を想定して主観評価を実施

するとともに車間距離等の物理量との関連づけを行った。その結果、両者に相関関係が認められ、運転者の修正操作の負担の程度の代替として適切に選択した物理量を使用して、等級区分を実施することが可能であることがわかったので報告する。

2. 安全性の考え方

2.1. 安全性を確保する方策

自動車の走行を制御する電子機器の安全性を確保する主たる方策としては、①万一故障や誤作動が発生しても危険な状態にならないようにするフェールセーフ設計を始めとする安全設計、②個々の部品や装置全体として故障が発生しにくいようにする品質管理、③故障・劣化等を早めに検知して修理する保守・点検等があげられる。

表1に自動車の走行を制御する電子機器の安全性の確保に関するキーワードをこれら3項目に分類して記載してみた。なお、本節の内容は一般的な電子機器に対する検討から類推したものであって、特定の自動車製作者等の安全性確保策を意図したものではない。

まず、①の安全設計については、一般的に電子機器の設計段階において、FTA、FMEA、SIL等の手法に基づき安全解析を実施し、その危険度に応じた安全設計がなされている。いわゆるフェールセーフと呼ばれて

表1、自動車の走行を制御する電子機器の安全性の確保について

①安全設計

- ・ FTA、FMEA、SIL等に基づく安全解析
- ・ 危険度に応じた安全設計(フェールセーフ等)
- ・ 等級区分法に基づく設計要件の提言

②品質管理(信頼性、耐久性)

- ・ 環境耐久性(温度、湿度、振動、衝撃、薬品等)
- ・ 電磁耐久性(放射雑音、伝導雑音、静電気等)
- ・ 信頼性の向上策
- ・ 信頼性の評価手法
- ・ 品質管理
- ・ 監査

③保守・点検

- ・ 日常点検、法定点検、自動車検査整備等
- ・ リコール制度
- ・ 故障診断装置

④その他

- ・ プログラムバグ(システムの巨大化、複雑化)
プログラム設計開発手法
プログラム評価手法
- ・ 個別対応課題
バッテリーの劣化予測
スイッチ、リレー、センサ、コネクタ、配線等

いるもので、制御の多重化で故障を回避したり、故障していない部分を使用してより低レベルの制御に移行したり、制御回路を切り離すなどの手法が用いられる。

また、後述する安全設計等級区分法に基づく設計要件も組み入れて安全設計がなされるべきと考える。

②の品質管理については、信頼性、耐久性を高めることにより故障を発生しにくくするものである。

一般的には、温湿度、振動等の環境負荷に対する耐久性、電磁雑音に対する耐久性などを高めるとともに、様々な手法による信頼性向上策が適用されている。

これらの信頼性、耐久性は、製造工程における品質管理により維持されている。これに加え、内部監査、外部監査、法令等に基づく監査等の各種監査により裏付けされる。

③の保守・点検については、使用過程で安全性を維持するために実施されるもので、ユーザーによる日常点検、法定点検、車検整備時等において異常が認められれば大事に至る前に修理することにより安全を確保するものである。

また、リコール制度も使用過程における安全を確保する方策の一つとして、ここに分類しておいた。

なお、今後さらに電子制御が複雑化した場合に、使用過程における異常の発見はさらに難しくなることも予想され、故障診断装置によるユーザーへの告知、整備情報の提供などその重要性が高まってくるものと思われる。

これら3項目に分類しにくいものとして④のその他の分類を作った。

そのなかで、最近の自動車の電子制御の複雑化、巨大化したことと関連するののか、プログラムバグによるリコール事例が目につくようになってきた。今後、複雑化、巨大化したシステムのプログラムの設計開発手法及びその評価検証手法の構築が重要と考えられる。

また、電子回路だけでなく電子制御系を構成する要素であるバッテリー、スイッチ、リレー、センサ、コネクタ、配線等についても必要な対策を怠ってはならない。

当研究所においても、この分野の研究の重要性に鑑み、当研究所の使命に応じた電子機器の安全性分野の研究についても実施していく所存である。

2.2. 安全設計等級区分法

過去の研究において、表2に示す安全設計等級区分法を提言した。¹⁾²⁾

表2、安全設計等級区分法

等級	停止の可否	車両挙動、運転操作の程度	安全設計要件
第1級	不可	車両挙動の変化が大きく、修正が困難 運転操作が困難	システム作動停止以外の安全な手段を講じ、故障の影響が出る前に第3級以下の状態に移行させ、ドライバーに警告すること。 システム作動停止等の手段を用い、故障の影響が出る前に第3級以下の状態に移行させ、第3級に移行の場合はドライバーに警告すること。
第2級	可能	車両挙動の変化が中程度で、修正が可能 運転操作は可能だが、負担が大きい	ドライバーが故障であることを認知できることが必要であり、もし認知できない場合は、第4級に移行するか、警告すること。
第3級		車両挙動の変化が小さく、修正が容易 運転操作は可能で、負担が小さいまたは無い	特に設計要件を定めない。
第4級			

まず、安全設計がなされなかったと仮定して、故障による影響が顕在化したとき、故障による影響の程度としての「車両挙動」と「操作性」並びにその電子装置の制御停止の可否により4つの等級に区分することとした。

第4級は、「車両挙動の変化が小さく、修正が容易。運転操作は可能で、負担が小さいまたは無い。」とした。

第3級は、「車両挙動の変化が中程度で、修正が可能。運転操作は可能だが、負担が大きい。」とした。

第1級と第2級は、「車両挙動の変化が大きく、修正が困難。運転操作が困難。」とした。これに該当する故障は非常に危険なものと認識されるもので、そのような状態にならないように十分な安全設計がなされるべきである。ここで、システムの作動を停止できるものについては故障部を制御系から切り離すことにより影響を最小限に抑えられることが多いなど電子制御システムの作動停止の可否により安全設計の内容が大きく異なることから、2つの等級に区分することとした。

また、その等級区分に応じて同表に示すような安全設計要件を定めた。

ここで、各等級区分の決定は、運転者に与える影響の程度から判断するため、最終的には主観評価を実施して決定することとなる。ところが、ある物理量(例えば車間距離など)とその主観評価との間に相関関係が認められるならば、その後は主観評価を実施するまでもなく、その物理量を計測することにより等級区分を実施することが可能となる。なお、複数の危険事象を発現するシステムにおいては、最大の危険事象に対する安全設計を適用すべきと考える。

3. 安全設計等級区分法の検証事例

このことから、上記の安全設計等級区分法が有効な

手法であるか否かは、自動車のある危険事象における主観評価と十分な相関性を持ち、かつ、比較的容易に計測可能な物理量を導出することができるかどうかによって決定づけられるといえる。

過去における研究¹⁾²⁾においては、自動車の3大機能のうちの「止まる」と「曲がる」についてABS装置に関連する制動機能と偏制動を修正するための操舵機能を対象としてその有効性について検証したところである。

今回は、「走る」について、車間距離自動設定装置(いわゆる高速ACC)を念頭に置き、危険事象として、①車間距離が本来設定すべきものよりも短めに設定されるモード(以下、「車間距離短縮モード」という。)と②急加速により先行車に急接近するモード(以下、「急加速モード」という。)を対象として検証実験を実施した。³⁾

3.1. 実験方法

検証実験は、当研究所のテストコースの直線路において実車を使用して2台の自動車を追従走行させて実施した。実験の実施にあたっては、危険を伴うことから、実車に搭載された装置を改造して実験条件を設定することはせず、プロドライバーにより車間距離や加速度の実験条件を設定させ、助手席に乗車させた被験者に主観評価を実施させた。なお、先行車にもプロドライバーを乗車させ、追突の危険性が高い場合には、急加速で逃げるにより追突を防止することとした。

主観評価は、「1、非常に危険」、「3、危険」、「5、普通」、「7、余裕がある」、「9、十分余裕がある」とそれらの中間の評価とし、合計9段階評価とした。ここで、主観評価の6を表2に示す等級区分の3級と4級の切り分け点、4を2級と3級の切り分け点とすることを念頭に主観評価の指標を設定した。

被験者は全部で13名とし、被験者には、双方の車ともプロドライバーが運転しており、追突の危険はないことを予め告知して、複数回の実験を繰り返し実施した。

主観評価と関連付ける物理量としては、車速及び車間距離を計測した。なお、加速度は車速を微分、相対速度は車間距離を微分することにより求めた。

車間距離短縮モードでは、先行車は60km/hの定速走行をさせ、追従車のプロドライバーにより車間距離が5、10、15、20、25、30mの6条件になるように無作為に提示し、所定の車間距離になった時点で助手席の被験者に主観評価させた。

急加速モードでは、先行車は60km/hの定速走行を



図1、走行実験状況

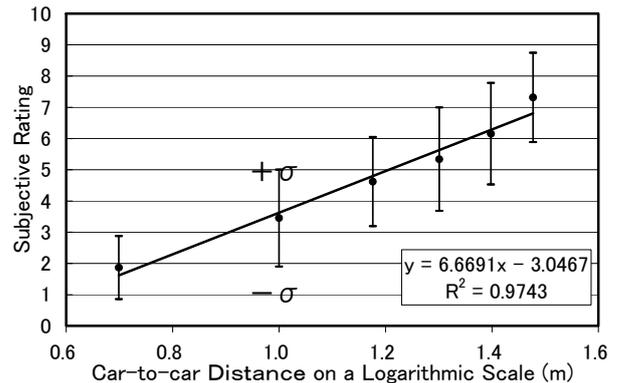


図2、物理量と主観評価の関連づけ
(車間距離短縮モード)

させ、追従車のプロドライバーにより加速度大、中、小の3条件で車間距離が30mの状態から約10mになるまで加速して接近させ、その間に助手席の被験者に主観評価させた。加速度大はフルスロットルでの加速、加速度小は設定速度よりも約5km/h 大きい速度で接近、加速度中はその中間の加速度とした。

テストコースにおける走行実験の様子を図1に示す。

3.2. 実験結果及び考察

・車間距離短縮モード

横軸に設定した車間距離の対数値をとり、縦軸に各車間距離ごとの全主観評価の平均値をとったものを図2に示す。同図には、回帰直線及び相関係数、評価点のばらつきとして平均値±σの値も示す。

この図から、車間距離の対数値と主観評価値との間に顕著な相関性が認められることがわかる。

ここで、回帰直線から各等級の切り分け点の車間距離を求めると、3級と4級の切り分け点は主観評価6のとき22.7m、2級と3級の切り分け点は主観評価4のとき11.4mとなる。

・急加速モード

例えプロドライバーが同じ条件として設定したとしても

実験の度ごとに加速度、車間距離、相対速度等の物理量を同一に設定することは困難であるので、各実験の主観評価ごとに物理量を測定結果から読み取り、両者を対比することとした。

その後、物理量の測定結果が10段階程度に区分されるように切りのいい数値で区分し、各区間内に存在する物理量を平均することによりその区間の物理量とし、各区間に属する主観評価値の平均値及び標準偏差を求めることによりその区間の主観評価結果とした。

その結果、10組程度の物理量と主観評価結果の関連付けデータを取得することができるので、この相関係数が最大になるものが最適な物理量であるとした。

ここで、物理量としては、実際に測定した速度、車間距離、それらの微分により求めた加速度、相対速度の他に、iTTC (相対速度/車間距離、TTC の逆数)⁴⁾、RF (5×相対速度/車間距離+後続車速度/車間距離、Risk Feeling)⁵⁾並びにそれらの対数値等が候補となる。

これらの物理量は時々刻々と変化することから、被験者が主観評価をほぼ終了したと推定される車間距離10mにおける物理量候補と主観評価との相関係数を求めると、車間距離10mにおける iTTC、RFでは、相関係数 r の2乗が0.95以上となり、主観評価と物理量との間に高い相関関係が認められた。これらの物理量と主観評価の関係を図3、4に示す。

ここで、相関係数が最大であったRFについて、回帰直線から各等級の切り分け点に相当する車間距離10mにおける値を求めると、3級と4級の切り分け点は主観評価6のとき3.5(1/s)、2級と3級の切り分け点は主観評価4のとき4.9(1/s)となる。

4. あとがき

自動車の走行を制御する電子機器の安全性の考え方並びに過去において提言した安全設計等級区分法について概説した。

また、自動車の3大機能のうちの「走る」機能が失陥したときに顕在化すると考えられる危険事象として、車間距離短縮モード及び急加速モードについて、安全設計等級区分法が適用可能かどうかについて走行実験により確認した。

その結果、物理量と主観評価との間に相関関係が見られたことから、主観評価の代替として物理量の測定により等級区分を実施することが可能であることがわかった。

今回、等級区分の切り分け点となるであろう物理量を1例として提示したが、今後、予期せぬ危険事象に対する主観評価も含め、更なるデータの蓄積を行うとともに、現在実施されている最適な評価指標についての様々な研究活動の結論と照合することにより、安全設計等級区分法がより意味を持ったものとなると考える。

最後に、本研究の遂行にあたり協力をいただいた関係者の皆様に感謝します。

参考文献

- (1) 岡山ほか：車載電子装置のフェールセーフについての一考察，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 95-98(1998)
- (2) Okayama, et al. : A study on safety design concept of automotive electronic components, JSAE Review 21 (2000)85-90
- (3) 伊藤ほか：車両制御失陥時の物理量と主観評価について (20075882)，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 95-07(2007)
- (4) 森田ほか：追従走行時における高齢ドライバーのブレーキ操作タイミングを決定する要因の解析，日本機械学会，第15回交通・物流部門大会前刷集(2006)
- (5) 近藤ほか：先行車接近時におけるリスク感の定量化に関する研究 (20055673)，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 99-05(2005)

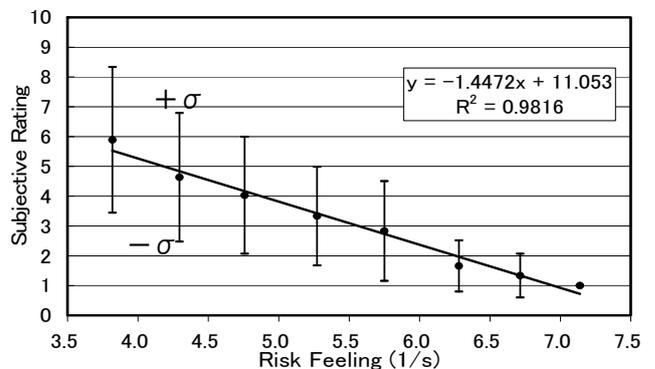


図3、物理量と主観評価の関連づけ (急加速モード、RF)

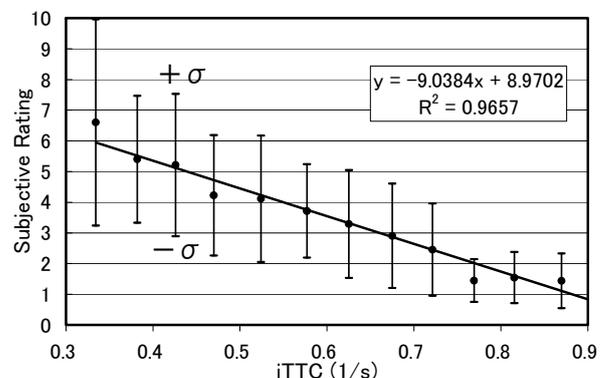


図4、物理量と主観評価の関連づけ (急加速モード、iTTC)