キーワード
EMC, 自動車

山 高 和 人
村 田 公 利
トヨタ自動車(株)

1. まえがき

1960年代にはじまった半導体技術の自動車への応用は、1970年代のマイクロコンピュータの登場以降急速に拡大し、エンターテインメント機能だけでなく、“走る・曲がる・止まる”の自動車の基本性能を制御する分野を含め幅広くエレクトロニクス化が進んできている。

各種制御システムのエレクトロニクス化に伴い、温度・湿度・振動などの一般的な使用環境条件に加え、各種電磁環境に対する信頼性の確保が重要になってきている。

自動車が遭遇する電磁環境は、自動車内部で発生する電磁環境と外部からの電磁環境に大別することができる。

内部の電磁環境としてはガソリンエンジンの点火系ノイズに加え、各種モータ・リレー・スイッチなどの作動時およびスイッチング時に発生する電磁波がある。他方、外部電磁環境としては、静電気・雷などの自然現象、無線機・電話に加え人工的な各種電気設備（例えば、送信設備・高圧送電線・鉄道など）から放射される電磁波に起因するものが含まれる。

また、自動車には火花点火装置をはじめ各種の電子制御システムがあり、外部への電波発生源にもなりうるので不要電磁波を抑えると共に、電子制御システムは各種電磁環境に対し機能・信頼性が確保されなければならない。

本稿では、自動車内外の電磁環境と対応事例、性能確認のための試験規格および試験設備について紹介する。

2. 自動車内部の電磁環境

自動車内部の電磁環境としては、ガソリンエンジンの点火系からのノイズ、各種ソレノイド・リレーコイルなどの誘導性負荷によるノイズ、各種モータ類・ホーン・ランプ類などの接点の火花放電からのノイズ、各種電子制御装置(Electronic Control Unit, 以下 ECU と呼ぶ)に内蔵されたマイクロプロセッサのクロック発振の高調波ノイズなどがある。

これらは、電気配線を通して伝導、放射、電磁誘導、静

電誘導の各結合により電子制御システムに印加されたり自動車外に放射される。

2.1 伝導電磁ノイズ

(1) 電源系に発生する過渡電圧

エンジン始動時の電源電圧変動は、通常 12 V 程度の電源電圧がスタータモータに流れる大電流（通常 200 A、低温時は 400~500 A）により、特に低温時には 5~6 V にまで低下することもある。また、接続コネクタの接触不良などによる ECU への電源瞬断という現象もあり、電源を複数系統とする場合などには十分な配慮が必要となる。

図 1 に基本的な自動車の電源回路を示す。

電源系への過渡的な正極性サージは、オルタネータの負荷急減時・バッテリー端子接触不良・バッテリー端子外れなどにより発生する。その中でオルタネータが大電流をバッテリー・各種電気負荷に供給している時にバッテリー端子外れが生じると、発生電圧・エネルギーともに大きくなる。その例を図 2 に示す。回路遮断直後のアーク放電（数 μs ）があり、ステータコイルの逆起電圧が続き、フィールドコイルの遅れによる正極性サージが発生する。オルタネータの種類、回転数、発電電流などにもよるが、尖頭電圧が 100~200 V 程度、エネルギーが 100~200 ジュール程度、パルス幅は 0.2~0.4 秒程度である。

この正極性サージの対応として ECU の電源入力部にパワーツェナーやバリスタおよび抵抗などにより電圧制限などを行っている。また、オルタネータの整流ダイオードをツェナーダイオードとし発生源で抑制する例もある。

(2) 誘導性負荷による電源系への過渡電圧

ソレノイド、リレーコイルなどの大きなインダクタンス成分をもつものは、スイッチなどの接点遮断により、100

図 1 自動車の電源回路例

Perspective on Noise Problem.

IV. EMC at Vehicles.

By Kazuto Yamataka & Kimitoshi Murata (Toyota Motor Corporation)

図 2 バッテリ端子外れ時の正極性サージ電圧波形の例

図 3 バッテリ端子外れ時正極性サージ電圧の例

V 以上/数 ns～数 ms の過渡的な負または正のサージが発生し、電気配線などのインダクタンスやキャパシタンスの共振により振動波形となり伝導する。例として、エアコンディショナのマグネットクラッチオフ時のマグネットクラッチ電圧波形を図 4 に示す。

オルタネータのフィールドコイル電流による負サージは接点式レギュレータの場合は尖頭電圧約 -90 V 持続時間は 10 ms となるが、近年の IC 式レギュレータの場合は発生せず、イグニッションスイッチ遮断時に発生するサージは誘導性負荷がメインとなる。

発生源での抑制としてリレーのコイルなど誘導性負荷には抵抗やダイオードを並列に挿入する。ECU 側での対応としてエネルギーの大きい負サージに対しては電源入力部に図 5 のようなダイオードを挿入する。これはバッテリーを誤って逆に接続した場合にも有効となる。エネルギーの小さい正負サージに対しては電源フィルターを挿入する。

(3) 接点による高周波ノイズ

自動車にはホーン、ヘッドランプなどに多くのスイッチやリレーが使用されている。これらの接点の開離時やモータ類のブラシと整流子間では火花放電が生じ電気配線上に高周波電磁ノイズが発生する。接点の開離直後の間隙が狭

図 4 誘導性負荷による電源系ノイズの例

図 5 エネルギーの大きい電源サージの対応例

図 6 接点による高周波ノイズの例

い時に放電現象が発生し、開離速度・材質などの特性や電圧・電流などの回路条件に左右される。例として、トランクオープンモータのスイッチオフ時の火花放電・逆起電圧波形を図 6 に示す。発生源での抑制および ECU 側での対応として各種フィルターを挿入する。

2.2 放射電磁ノイズ

(1) 点火系放射ノイズ

ガソリンエンジンの点火系放射ノイズについては、車両を対象にした試験法が IEC (国際電気標準会議) の CISPR (国際無線障害特別委員会, International Special Committee on Radio Interference) Pub.12 として国際的に規定されている。これをもとに欧州で車両の認証項目として規制化され、アメリカ (SAEJ 551), 日本 (JASO D 002) など自主的な規制を実施している。

点火コイルの一次側の断続による二次側に発生した高電圧は、ハイテンションコード I_1 を経てディストリビュータのロータに導かれる。このロータとサイド電極との間に

図7 点火システムの概略

図8 点火コイル二次側の電圧・時間特性

において順番に放電が生じ、ハイテンションコード I_2 を経て、各気筒の点火プラグにて放電が生じ点火に至る。

点火コイル二次側の電圧・時間特性を図8に示す。A点、C点において各々ディストリビュータ、点火プラグの火花放電が発生し、D点以降は火花放電に続くグロー放電の状態である。AB間、CD間の放電を容量放電、D点以降を誘導放電と呼んでいる。この容量放電電流は数ns程度で変化し、ディストリビュータの放電部、ハイテンションコードとエンジンよりなるアンテナより電磁波を放射する。なお、点火プラグ部の放電はエンジン内部であるのに対し、ディストリビュータロータの放電部および容量放電電流が流れるハイテンションコードはエンジン外部にあり、後者の方が電磁波放射に対する寄与は大きくなる。

ノイズ抑制としては、ディストリビュータのロータ電極の材料を選んだり、放電面に高抵抗層や絶縁層を設けたり、点火プラグやハイテンションコードに抵抗を挿入したり、また、エンジンと車体各部にボンディング線の追加や車体とエンジンフード間のダンパゴムを導電性にするなどの例がある。また、ディストリビュータを無くしたシステムもある。これらにより自動車外部への放射ノイズに加え、車両内においては微弱な各種センサ出力を扱っている電子制御システムやオーディオ、テレビなどへの影響も抑制できる。

例として、ロータの違いによる放電波形および CISPR Pub.12 の 10 m 法による車両電界強度の比較を図9に示す。

(2) マイクロプロセッサのクロックノイズ

最近では、電子制御システムの多くの ECU がマイクロ

図9 ディストリビュータロータの違いによる放電電流と放射ノイズ（車両電界強度）

プロセッサを使用している。このため、高周波クロック信号を有し、これは急峻な立ち上がりとしち下がりをするパルス信号であるため、原発振周波数に加え高次の高調波成分を有し、ECU 筐体やこれに連なる電気配線（または、隣接の電気配線への電磁・静電結合を含めた）をアンテナとして車室内外に放射ノイズが発生する。ノイズレベルとしては低いが、車両内では非常に微弱な信号を受信しているオーディオ、テレビなどへの配慮が必要となる。

国際的には統一された規定はないが車両としての試験法として、アメリカに SAE J 1816 があり、欧州では現在法規制化されようとしている。

ノイズレベルを低減するためには、クロック波形の立ち上がり立ち下がりをも鈍らせたり、シールドや入出力端子へのフィルタ挿入、プリント基板のパターンレイアウトによりグランド強化や内部カップリングの低減などを実施している。

また、同一 ECU 内に複数のクロックを有する場合には、ビートが発生することがあり、両者の周波数をずらすことも必要となる。

なお、同様なオンオフ信号によるノイズ源としては、モータ回転、ランプ照明などの PWM (Pulse Width Modulation) 制御、DC-DC コンバータなどがあり、同様な考慮がされている。

(3) その他の放射電磁ノイズ

他の電装部品から発生する放射電磁ノイズとしては前述の伝導ノイズと同じく、接点による高周波ノイズが電気配線を伝導すると同時に電気配線をアンテナとして、または隣接の電気配線への電磁・静電結合により、車室内外に放射される。これらのノイズは、車両内の微弱な各種センサ出力を扱っている電子制御システムやオーディオ、テレビなどへの配慮が必要である。

3. 自動車外部の電磁環境

外部からの自然現象・人工環境からの電磁ノイズの環境の中で、車載電子システムに影響の大きいものとして、静電気および車載の無線機、送信設備について述べる。

3.1 静電気

ECUの組立製造時には、半導体素子の実装機や作業者に帯電した静電気が素子やコネクタ部に放電したり、自動車製造時、点検・整備でも同様なことが考えられる。また、乗員のシートでの摺動により、特に、降車直後には完全な分離帯電となり、温度・湿度・衣服およびシートの素材・フロア素材・靴などで大きく影響を受けるが、±15 kV以上の高い電圧も観測されている。

自動車の試験方法として人体の静電容量および人体の抵抗のモデル及び放電電圧など統一された規格はなかったが、国際的にはISOで整備されつつある。アメリカにはSAE J 1113, J 1595, 日本にはJASO D 001-94に静電気試験法がある。

3.2 車載無線機や自動車電話

車両には、アマチュア無線、自動車電話などの無線機を搭載することが多い。とくに、電話は携帯タイプ、ハンディタイプなど、アナログ、デジタルを含めコンパクトなものが販売され、車両に搭載あるいは持ち込まれるようになり、電子制御システムにとっては従来にも増して厳しい環境になりつつある。

車両のルーフ、トランクリッドなどにアンテナを設置した場合のECUを搭載する車室内各部（トランク内、カウルサイド、インストールパネルなど）の電界強度（移動局として日本での最大出力50 Wの2倍の100 Wにて）は、ボデーの形状やガラス面積などにより異なるが、数V/m～50 V/m程度であるが、ガラス面付近では100 V/m程度を考慮する必要がある。なお、ハンディタイプのパーソナル無線機（900 MHz, 5 W）について電界強度を等方性電界プローブにて測定した例では、20 cm離れた最大値は狭い範囲ではあるが約30 V/mであり、更に近づけば高くなることもあり、局所的には100 V/m程度考慮しなくてはならない場合も予想される。

ECUへの影響としては、ECU搭載位置や無線機の送信電力およびアンテナ取り付け位置、車両ボデーなどにも左右されるがので各種条件での検討が必要となる。

3.3 送信設備

前述の無線機の搭載と同じく送信設備からの電磁波は電子制御システムが採用された時より直面してきた課題である。国内で観測されている電磁界強度の例としてJASO D 001-94の記載データを表1に示す。ただし、これは放送設備の近くで距離や偏波などの測定条件の組み合わせで、便宜的に最大値を記したものと注釈が加えられている。

イミュニティ試験法としては、国際的にはISOで検討され、外来電磁波、車載無線機などを対象として、車両レベル、部品レベルでの規定が整備されつつある。

アメリカにはSAE J 1113, J 1338, J 1448, J 1507などで車両および部品レベルでの試験法があり、日本では部品レベルでのJASO D 001-94がある。また、欧州では現在、法規制化されようとしている。

表 1 放送設備近傍の電磁界強度測定例

帯域周波数	周波数 (MHz)	出力 (kW)	最大電界強度 (V/m)	条件または備考
長波	0.017		35.1	$D=1\text{ m}$ ㉖
中波放送	0.59	100	84.1	$D=0$ ㉖
	0.69	300	10	$D\approx 200\text{ m}$ ㉖
	0.87	500	1259	$D=5\text{ m}$ ㉖
	1.0	1	81.6	$D=7\text{ m}$ ㉖
短波放送	11.96	200	100	$D=0$
	15.31	200	63.1	$D=0$
	15.325	100	31.6	$D=0$
FM 放送	80.0	10	2.3	$D\approx 200\text{ m}$ ㉗
	84.2	0.1	0.684	$D\approx 60\text{ m}$ ㉗
VHF-TV 放送	175.75	0.25	0.224	f_s $D=0$ ㉘
	193.25	1	0.2	f_b ㉘
	217.75	50	5.15	f_b $D=100\text{ mQP}$ ㉘
	211.75	12.5	3.09	f_s $D=100\text{ mQP}$ ㉙
UHF-TV 放送	692～698	0.1	12.4	$D=17\text{ m}$ ㉘

D：送信所アンテナと測定地点間の距離

f_s ：テレビ音波周波数

f_b ：テレビ映像周波数

QP：準尖頭値（他は、平均値検波）

H：水平偏波

V：垂直偏波

4. 自動車の EMC 試験設備

自動車のイミュニティに関しては、自動車メーカーが独自に外部の電磁環境に対する信頼性を確認するために対応してきている。車両レベルのイミュニティ試験のためには、走行状態を模擬するためのシャシーダイナモメータなどを有した大型の電波暗室・付帯設備が必要となり、投資額も大きなものとなってしまふ。

放射ノイズ試験設備、イミュニティ試験設備の例としてトヨタの概略を以下に述べる。

4.1 放射ノイズ試験設備

電波暗室にはCISPR Pub.12およびSAE J 551に対応することと、電波吸収体の特性より、幅25 m、長さ30 m、高さ15 mとしている。これを図10に示す。計測室を含め外壁は、亜鉛引き鋼板によるシールド構造とし、内壁は発泡ウレタンにカーボンブラックを含浸させた長短2種類の四角錐の電波吸収体を取り付け、床面は屋外試験場の地面の電波的特性をシミュレートした特性構造としている。付帯設備としてターンテーブルと広帯域アンテナが電波暗室内に設置され、計測室から操作でき、自動計測およびデータ処理が行えるようにしている。

4.2 イミュニティ試験設備

DCから30 MHzまでの試験用の電波暗室と、20 MHzから18 GHzまでの試験用の電波暗室および強電磁界発生装置、計測室から構成されている。これらを図11, 12に示す。

図 10 放射ノイズ試験用電波暗室

図 11 強電磁界暗室 (DC~30 MHz)

図 12 強電磁界暗室 (20 MHz~18 GHz)

DC から 30 MHz 用の暗室の寸法は、幅 14 m、長さ 20 m、高さ 8 m であり、車両全体に電界を印加する方法としてストリップライン方式とし、均一な垂直電界を実現できるように工夫している。また、高圧送電線下、雷などのシミュレーションも可能とし、シャシーダイナモメータを設置している。

20 MHz から 18 GHz 用の暗室の寸法は、幅 14 m、長さ 24.5 m、高さ 11 m であり、照射用の広帯域アンテナにより、シャシーダイナモメータを備えたターンテーブル上に電界を実現できるようにしている。シャシーダイナモメータは、ツインロータ方式により電界照射時にエンジン制御システム、定速走行装置に加え、滑り易い路面におけるブレーキ制御システムなどの機能確認もできるようにしている。また、人間に代わってロボットで運転操作の一部を実施できるようにしている。

5. あとがき

(1) 自動車外部の電磁環境は、高度情報化、消費者ニーズの多様化に伴い電波利用の設備・機器が変化していくことは明らかであり、また、自動車の快適性、利便性のため新しい機能の電子制御システムやエレクトロニクスの技術進歩により新しい素子や材料を使用した ECU・センサ類が出現してくることが予想される。今後とも自動車の EMC に関する研究・開発を進め、これらに十分対応できる設計（高い信頼性設計だけでなく、フェールセーフ設計を含め）・実験技術の確立が望まれる。

(2) 放射ノイズに関しては国際的には統一された試験法・基準があるが、イミュニティに関しては統一化に向けて検討され、現在整備が進められている状況である。しかし、電磁界の設定方法・機能確認方法・試験の再現性・許容レベルの設定など克服すべき技術的課題も多い。現在、欧州の法規制化が進められていくなかで、自動車および電子制御装置の確認方法の細部が検討され、今後展開されていくものと思われる。

(平成 6 年 12 月 28 日受付)

文 献

- (1) 牧野孝之・山中暎夫：自動車技術会誌，30，5，p. 314 (昭 51)

- (2) 近藤弘志・山中暎夫・山本 新：自動車技術会誌，31，8，p. 695 (昭 52)
(3) 松本 闊・佐藤和郎・近藤弘志：自動車技術会誌，35，11，p. 1248 (昭 56)
(4) 近藤弘志：静電気学会誌，16，1，pp. 29~44 (平 4)
(5) JASO D-001-94 自動車規格「自動車用電子機器の環境試験方法通則」，(株)自動車技術会
(6) JASO D-002-91 自動車規格「自動車から放射する電波雑音の測定方法」，(社)自動車技術会
(7) CISPR Publication 12「Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of vehicles, motor boats, and spark-ignited engine-driven devices」
(8) SAE J551「Performance levels and method of measurement of electro magnetic radiation from vehicles and devices (30-1000MHz)」
(9) SAE J1338「Open field whole-vehicle radiated susceptibility 10kHz-18GHz, electric field」
(10) SAE J1595「Electric discharge test for vehicles」
(11) SAE J1113「Electromagnetic susceptibility measurement procedures for vehicle components (except aircraft)」
(12) SAE J1448「Electromagnetic susceptibility measurements of vehicle components using TEM CELLS」
(13) SAE J1507「Anechoic test facility radiated susceptibility 20MHz-18GHz electromagnetic field」
(14) SAE J1816「Performance levels and methods of measurement of electromagnetic radiation from vehicles and devices narrowband, 10kHz to 1000 MHz」

山 高 和 人

1947 年生。1970 年大阪大学電子工学科卒業。同年トヨタ自動車工業(株)入社。電気・電子システムおよび部品の開発に従事，現在第 1 電子技術部品監査室室長。

村 田 公 利

1952 年生。1975 年静岡大学電気工学科卒業。1977 年同大学院修士課程了，同年トヨタ自動車工業(株)入社。電気・電子システムおよび部品の開発に従事，現在第 1 電子技術部電子実験室スタッフリーダー(課長)。