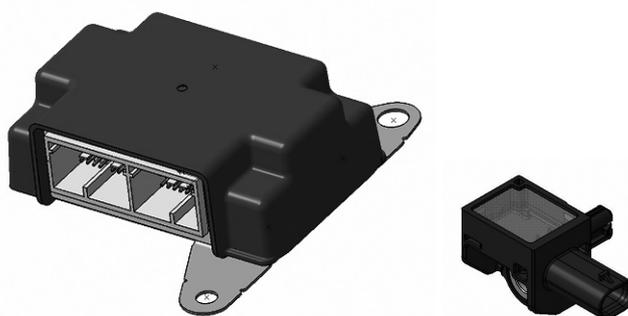


軽自動車向けエアバッグシステムの開発

Development of Airbag System for Kei Cars

高橋 信哉 *Shinya TAKAHASHI*
塩出 亮 *Akira SHIODE*
宮本省吾 *Shogo MIYAMOTO*
黒田修作 *Shusaku KURODA*



要旨

近年の日本国内の市場では、軽自動車の経済性に注目が集まり、衝突安全技術、乗員保護装置の充実が図られている。当社では、普通車用エアバッグECUの量産開発を20年以上に渡りおこなっているが、広い顧客ニーズに応えるため、新たに軽自動車向けプラットフォームの開発をおこなった。

新規顧客への製品提案時にはエアバッグECU単独の提案ではなく、システム全体の提案が必須になることから、車両トータルでの衝突判別技術、サテライトセンサも含めた技術開発が必要となった。

本稿では、上記技術開発の主要点を紹介する。

Abstract

Recently, kei cars have drawn attention in the car market in Japan due to economic efficiency. Thus, the safety technology against collisions and protection equipment for occupants in those cars are increasingly improved. FUJITSU TEN has developed and mass-produced airbag ECUs for ordinary-sized vehicles for more than 20 years. In order to meet the needs of a wider range of customers, this time, we developed a new platform for kei cars.

When making proposals to new customers, we need to propose an airbag system for an entire car, instead of ECUs as its part. Therefore, we had to develop a comprehensive technology including an impact determination technology and satellite sensors for the entire car.

This paper elaborates on some major points of our engineering development for kei cars.

1

はじめに

近年の自動車では、衝突安全技術の向上、シートベルト着用の定着化とともに、エアバッグ、シートベルトプリテンショナがほぼすべての車両に標準装備されている。その効果もあり、国土交通省の調査では、交通事故による死者は平成4年（1992年）より、年々減少方向にある（図1）。

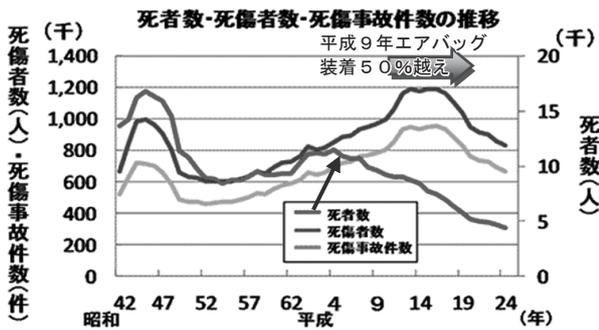


図1 交通事故による死者数、負傷者数の推移（国内）^{※(1)}
Fig.1 Traffic Accident Fatalities/Casualty (Japan)^{※(1)}

また、海外（欧州、米国）では、歩行者保護、側面衝突の衝突安全基準が年々厳しくなり、歩行者検知、側面衝突検知技術などの高機能化が進んでいる。

国内状況に注目すると、軽自動車の販売台数増加が目目される。燃費、経済性の優位性に加えてスマートストップ機能などが追加され、商品性が高まっている。エアバッグも同様で、運転席、助手席のエアバッグは、標準搭載となり、サイドエアバッグの搭載比率が高まっている。

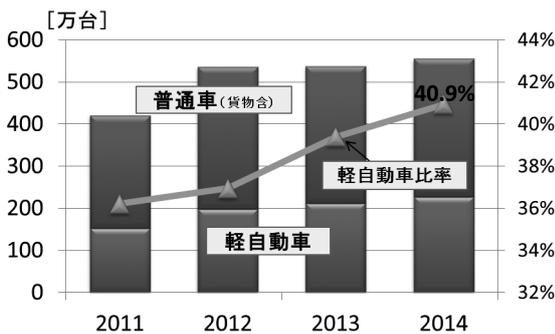


図2 軽自動車の販売台数、割合^{※(2)}
Fig.2 Units and Ratio^{※(2)} of Kei Car Sales

2

エアバッグシステムの概要

エアバッグECUは、運転席および助手席のエアバッグ、シートベルトプリテンショナ、サイドエアバッグ、カーテンシールドエアバッグの制御を行うものである。図3の構成に示すように中央部に配置されたエアバッグECUおよび車両前方に配置されたフロントサテライトセンサ、車両側面に配置されたサイドサテライトセンサにより、前方お

よび側方からの衝撃を検出する。これをエアバッグECU内のマイクロコンピュータで演算し、車両毎に設定された衝突判定値を超える場合は、点火回路をオンする。これにより着火装置に電流を流し、ガス発生剤に着火することで高圧ガスを発生させ、エアバッグを瞬時に膨らませる。

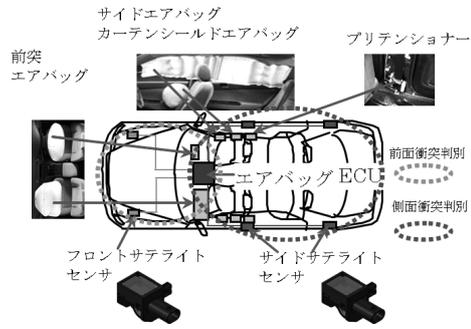


図3 エアバッグシステムの構成例
Fig.3 Example of Airbag System Configuration

3

当社のエアバッグECUの開発経緯

当社は、エアバッグがオプション設定で需要が少なく高価であった1993年から、トヨタ自動車様へエアバッグECU（運転席エアバッグのみの1ch仕様）の納入を開始し、現在では国内、欧州、北米、中国、ASEANの5工場にて年間300万台以上を生産している。

各国の衝突安全基準（法規）へ対応し、エアバッグのch数拡大の開発をおこなってきたが、広い顧客ニーズに応えるため、軽自動車をターゲットに新たなエアバッグシステムを開発した。本開発では新規顧客へのシステムでの提案が求められているため、ECUのみではなく、車両搭載検討、及びサテライトセンサを含めた開発となっている。

4章以降は、この軽自動車向けで取り組んだ技術について紹介する。

	'93	'96	'97	'00	'02	'04	'07	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15
汎用ECU				世代	'00	'04	'06	'09				'13		
				1ch	4ch	6ch	8ch	14ch				20ch		
統合タイプECU								ESC用センサ内蔵				20ch		
軽自動車向け														軽自動車をターゲットに新規PFを開発 10chセンサ

図4 当社エアバッグの開発経緯
Fig.4 History of Airbag Development of FUJITSU TEN

※(1) 国土交通省「1. 交通事故の現状」より
※(2) 一般社団法人 全国軽自動車協会連合会HPより、「軽四輪車新車販売台数の年別・車種別推移」と一般社団法人 日本自動車販売協会連合会HPより、「新車・年別販売台数」のデータより作成

4 開発のねらいと目標設定

普通車に比べ、車両サイズが小さい軽自動車向け（図5）であるため、以下の（1）（2）を開発目標に設定した。

（1）衝突判別技術の確立

乗員位置が普通車より前方にある軽自動車では、衝突からエアバッグ展開迄の時間が短く、早期検出ができるセンサ搭載、判別アルゴリズムの確立が必要とされる。

目標値：衝突判別時間の早期化 $\Delta 25\%$

（2）小型、軽量デバイスの開発

燃費が目される軽自動車向けでは、車両の軽量化、搭載自由度へ貢献するため、サイズ、重量目標を以下と設定する。

重量：ECU $\Delta 50\%$ サテライトセンサ $\Delta 30\%$

サイズ：ECU $\Delta 30\%$ サテライトセンサ $\Delta 40\%$

※目標は、普通車搭載品比較

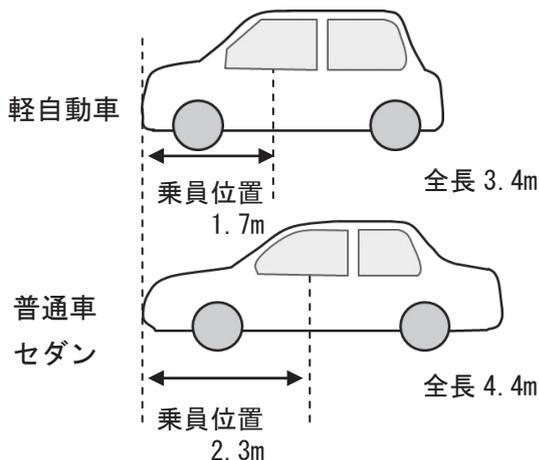


図5 軽自動車と普通車の差異

Fig.5 Difference between Kei Car and ordinary-sized vehicles

5 技術開発内容

5.1 衝突判別技術の確立

（1）軽自動車における早期検出の必要性

軽自動車はボディ構造上、普通車よりエアバッグを早期に展開させる必要がある。

前面衝突を例に説明すると、軽自動車は、車両衝突時の衝撃を吸収するクラッシュゾーンが普通車より短く、キャビンの変形を抑えるフロントサイドメンバー等の骨格部分が一般的に硬く作られている。そのため、衝突時にキャビンが受ける減速度が普通車よりも大きくなり、乗員は慣性力により、ステアリングに向かって速く移動することになる（図6）。

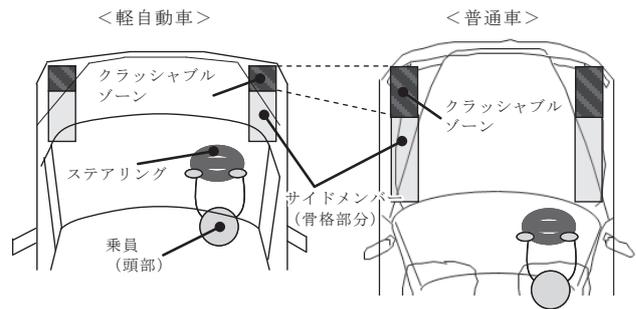


図6 前面衝突に対する軽自動車と普通車の構造比較

Fig.6 Structure Comparison between Kei Car and ordinary-sized vehicles against Frontal impact

（2）前面衝突のセンサ搭載位置検討

衝突判別時間の早期化の第一の手法として、衝突時の衝撃を効果的に検出するようにサテライトセンサ、エアバッグECUの車両搭載最適化を検討した。

前面衝突の場合、フロントサテライトセンサは衝突物の直撃位置に近いラジエーターサポートへの搭載、センサを内蔵するエアバッグECUは衝撃の伝達性能に優れた車両トンネルへの搭載が有利であった。軽自動車向けとして最適検討をおこなったが、結果的に普通車の搭載位置と同等であり、早期化の効果は期待できない。

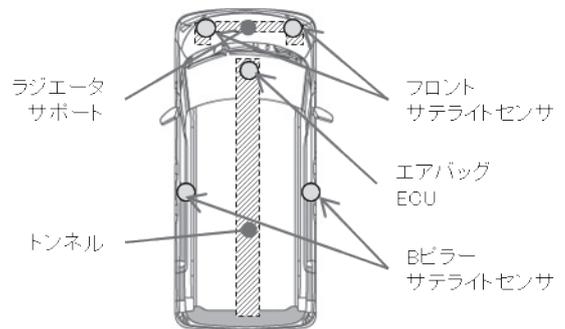


図7 エアバッグECU・サテライトセンサ搭載図

Fig.7 Installation Diagram of Airbag ECU and Satellite Sensors

（3）正面衝突の判別アルゴリズム



図8 正面衝突の形態

Fig.8 Figure of Frontal impact

前述した通り、エアバッグECU、フロントサテライトセンサの搭載位置最適化での早期化達成は困難であった為、検出した衝突波形を如何に効率よく演算・判定し、早期化に繋げるかが重要になってくる。

そこで、軽自動車固有の特徴を捉えることのできる衝突判別アルゴリズムを開発した。

正面衝突では、車両はフロント左右のサイドメンバーで衝撃を受ける為、キャビンでは普通車よりも大きな加速度が発生する。この衝撃波形の周波数成分について解析したところ、普通車よりも50Hz以上の高周波数成分が多く存在することが分かった(図9)。これは、軽自動車の骨格部分が、普通車よりも硬く作られていることが要因と考えられる。

これらの高周波数成分を抽出するように演算すれば、衝撃波形が大きく急峻となり、判定の早期化に繋がる為、エアバッグECUの加速度演算ローパスフィルタの遮断周波数を高く設計した。

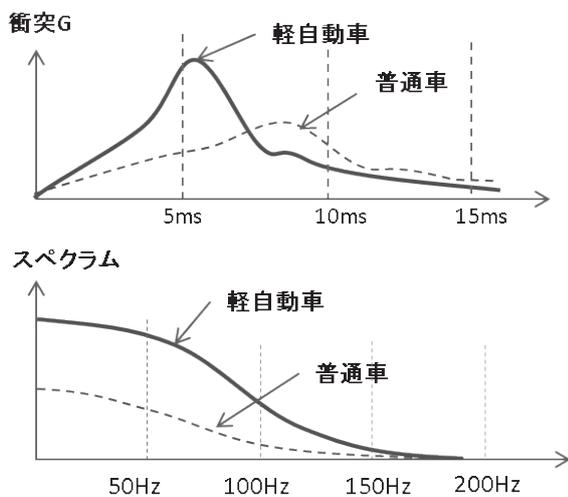


図9 正面衝突時の周波数成分比較 (点火判定迄の時間で比較)
Fig.9 Comparison of Frequency Components at Frontal Impact (Time until Ignition is Determined)

(4) オフセット衝突の判別アルゴリズム

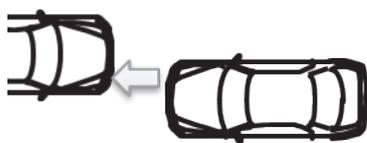


図10 正面衝突の形態
Fig.10 Figure of Overlap Frontal Impact

オフセット衝突では、(3)の正面衝突と異なり、車両は片側のサイドメンバーで衝撃を受ける為、フロント部分はすぐに変形し、キャビンで発生する加速度は小さい。

従来技術ではフロントサテライトセンサの衝撃加速度が大きいとき、エアバッグECUのエアバッグ展開判定閾値の高さを低くすることで、オフセット衝突を判別している。しかしながら、軽自動車では、早期展開の為、閾値の高さを極端に下げなければならず、衝突判別性能の信頼性を確保できる新しいロジックの開発が必要となった。

そこで、オフセット衝突特有の波形の立ち上がりの急峻さに着目した。オフセット衝突は、衝突初期の発生加速度

の変化率が大きくなる特徴がある(図11)。この変化率の大きさを微分ロジック演算により検出する設計とした。

$$\text{微分ロジック} = \text{積分値B} - \text{積分値A}$$

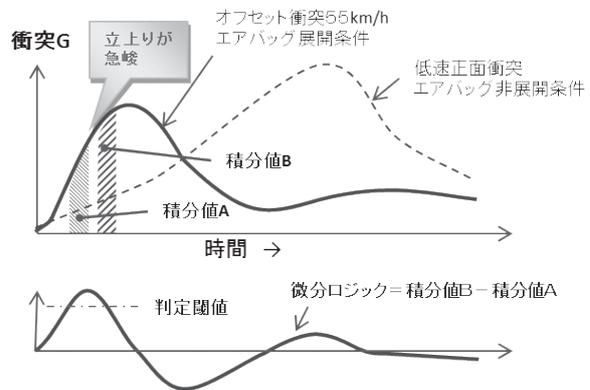


図11 オフセット衝突時の微分ロジック波形
Fig.11 Overlap Frontal impact Waveform Generated Based on Differential Algorithm

以上の車両搭載最適化(2)、衝突判別アルゴリズム(3)(4)の適用により、衝突判別時間を30%早期化することができた。

(5) 側面衝突のセンサ搭載位置検討

一方、側面衝突に対しては、車両搭載の工夫(図12)により、Bピラーサテライトセンサの搭載位置をインナリフォースから、車両外側のアウトリフォースへ変更することで、衝突の直撃位置に近づける事ができ、早期化が可能となった。

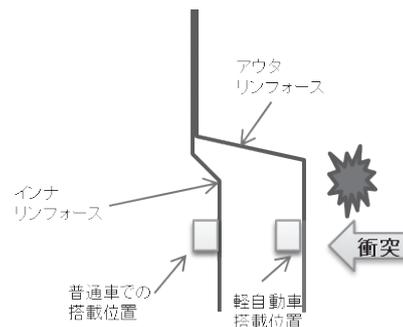


図12 Bピラーサテライトセンサ搭載図
Fig.12 Installation Position of B-Pillar Satellite Sensor

5.2 小型、軽量デバイス技術の確立

軽自動車での搭載自由度向上、軽量化に貢献するため、サテライトセンサ、エアバッグECUについて、以下の技術開発をおこなった。

【サテライトセンサ】

- (1) 1点締結での衝撃伝達性能確保
- (2) 防水性の確保



図13 サテライトセンサ外観
Fig.13 Appearance of Satellite Sensor

【エアバッグECU】

- (1) 筐体の樹脂化と衝撃伝達性能の両立
- (2) スwitching電源の高周波化、ノイズ性能の確保

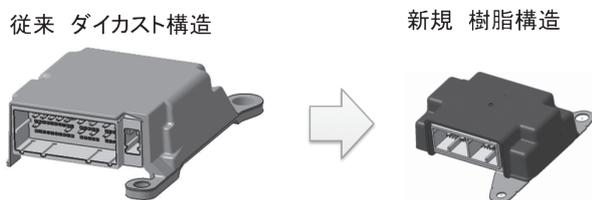


図14 筐体形状比較
Fig.14 Case Shape Comparison

【サテライトセンサ】

- (1) 1点締結での衝撃伝達性能確保

エアバッグ用センサにおいて、筐体は単に車両への取り付けをする役割ではなく、衝突時の衝撃を内蔵するGセンサに伝える（以下、衝撃伝達性能）重要な機能部品である。本センサにおいては、車両への1点のネジ締結で衝撃伝達性能を確保できるかが課題であった。

1点締結では片持ち梁構造になるため、シミュレーションで、構造共振を確認しながら検討を進めた。

特に側突用途では、点火要求が早くECU内Gセンサよりも早急な応答が必要となり、構造共振は、400Hz以上を要件とした。



CAE	実機
1225Hz	1390Hz

図15 解析モデル及び結果
Fig.15 Analyzed Model and Results

また、車両締結部の破壊は致命的となるため、金属カラー（外径φ12mm、長さ10mm）をケースにインサート成形することで破壊強度を確保した。

搭載するGセンサについては、ECUよりも衝突部に近い事から、最大200Gの印加を想定し、選定をおこなった。

- (2) 防水性の確保

サテライトセンサは、E/Gルームにも搭載されるため、防水性も必要とされる。車両の使われ方を考慮し、「高圧洗浄」、「散水」、「耐化学負荷（バッテリー液など）」の条件を試験条件に設定した。

防水構造としては、「ポッティング材による封止」や「ケースとフタを溶着する構造」等があるが、性能（試験条件を満足）、コストから、ポッティング材による封止構造を選定した。

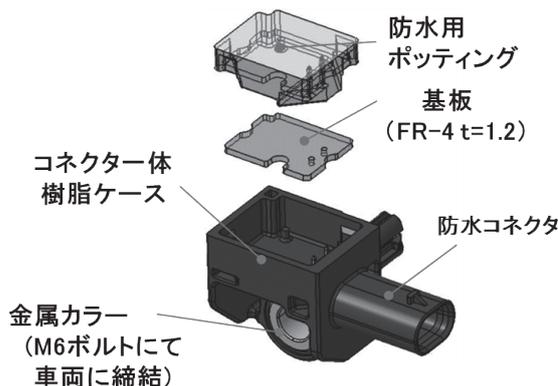


図16 サテライトセンサの構造
Fig.16 Satellite Sensor Configuration

サテライトセンサの開発完了結果を示す（表1）。上述（1）（2）の課題を達成することができた。

表1 サテライトセンサ設計まとめ
Table 1 Satellite Sensor Design Spec

	必要仕様	実設計	
構造共振	400Hz以上	1390Hz	
車両取付部破壊強度	250N以上	1500N以上	
Gセンサ	出力Gレンジ	200G以上	240G
	分解能	0.5G以下	0.5G
	フィルタ	300Hz～500Hz	400Hz
防水性能	散水試験(IPX5) 高圧洗浄試験	試験OK	
耐化学負荷	JASO D14-2 (希硫酸など)	試験OK	

【エアバッグECU】

- (1) 筐体の樹脂化と衝撃伝達性能の両立

衝撃伝達性能確保のため、従来はアルミダイカストを採用してきたが、本開発では軽量化（30%ダウン）を進めるため、樹脂筐体の採用検討を行い、技術確立を行った。

軽量化と衝撃伝達性能を両立させるための技術開発のポイントは以下となる。

- ① 衝撃伝達に関わる構造部は、金属部材を用いて、筐体共振を200Hz 以上確保し、衝突判定に必要な100Hz以下の成分を確実に伝達する。
- ② 搭載するGセンサは、フィルタ200Hz 以上の高周波応答のセンサを選定する。

③筐体共振は、マイコン内のデジタルフィルタで減衰させ、衝突判定への影響を除去する。

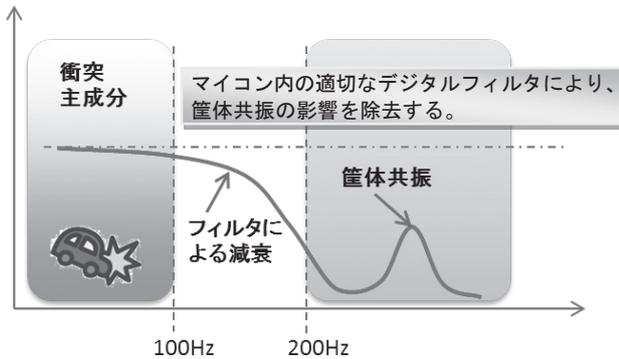


図17 衝突と筐体共振、フィルタの関係

Fig.17 Relationship among Impact, Case Resonance and Filter

開発した形状は、上部ケースを樹脂とし、衝撃伝達は、車両締結部→ブラケット→基板→Gセンサと伝わり、樹脂ケースを介さない構造とした(図18)。

なお、本構造をとることで樹脂の劣化による衝撃伝達特性への影響を無くしている。

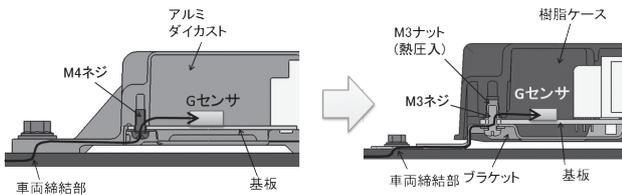


図18 樹脂構造での衝撃伝達

Fig.18 Impact Transmission in Resin Structure

ブラケットは軽量化のために板厚を0.8mmとし、補強①②③(図19)を追加することで、共振200Hz以上を満足できることをシミュレーションを用いて検討した。

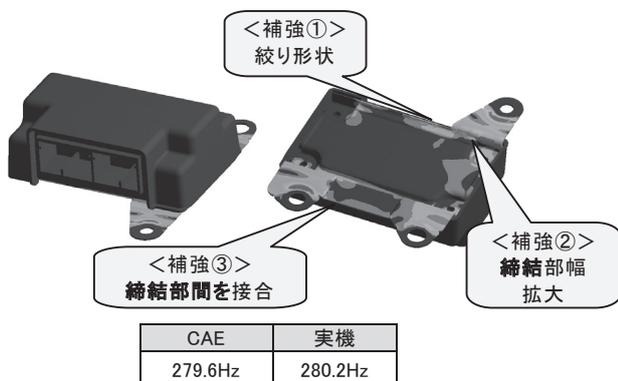


図19 樹脂構造の共振検討結果

Fig.19 Resonance Results of Resin Structure

以上により、樹脂筐体における衝突伝達性能の確保が可能となった。

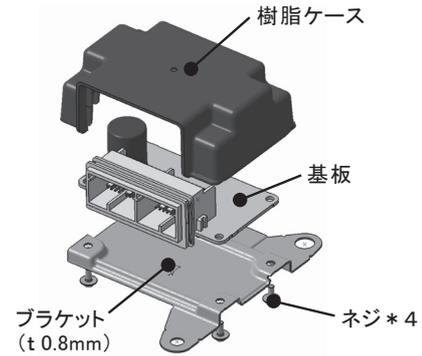


図20 軽自動車向けECU筐体の最終形状

Fig.20 Shape of Completed ECU Case for Kei Cars

(2) スイッチング電源の高周波化、ノイズ性能の確保

電源回路は基板上的実装面積で大きなウェイトを占めているため、電源回路に着目して、小型化を進めた。

代表的な電源構成を図21に示すが、本開発では電源①～④を総て、高周波のスイッチング方式とし、周辺回路部品の小型化を狙った。

スイッチング周波数を20倍にUPしているため、インダクタンス値、容量値は1/20になり、部品サイズの低減が期待される。

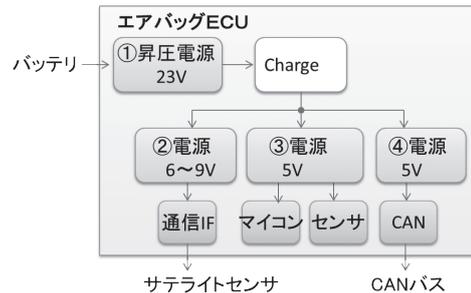


図21 エアバッグECUの代表的な電源構成

Fig.21 Typical Power Supply Configuration of Airbag ECU

表2 電源小型化の手法

Table 2 Approach to Downsized Power Supply

	従来	本開発品
①昇圧	スイッチング方式 23V 100kHz	同電圧 同方式 2MHz 拡散
②電源	スイッチング方式 7V 100kHz	スイッチング方式 7V 2MHz拡散
③電源	シリーズ方式 出力 5V	スイッチング方式 5V 2MHz拡散 ③④を統合
④電源	シリーズ方式 出力 5V	

一方、背反としてECU外部へのノイズ放射が増加し、車載ラジオなどの車載機器への雑音混入が心配される。

車載ラジオへの影響を低減するため、AMラジオ(0.53MHz~1.61MHz)、FMラジオ(76MHz~108MHz)で使用される帯域を外した2MHzをスイッチング周波数に選定した。

また、ノイズ低減のため周波数拡散機能を電源制御部に搭載し、ノイズのピーク値を抑制する設計とした。

放射ノイズの実機評価結果は図22に示すとおり、目標値を満足できた。

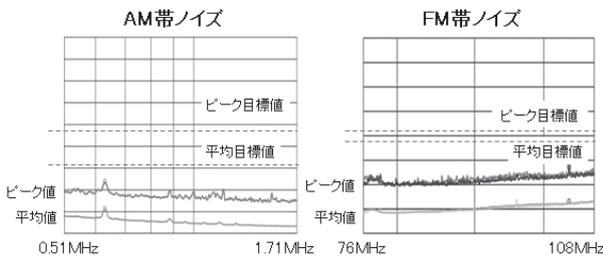


図22 放射ノイズレベル
Fig.22 Noise Emission Level

電源小型化の最終成果は図23となり、69%のサイズダウンが図れた。

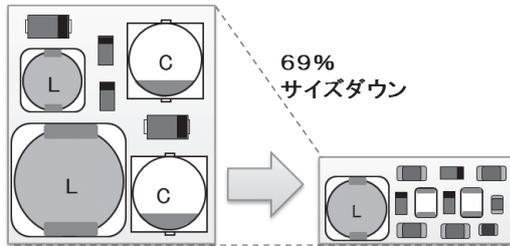


図23 電源小型化によるサイズダウン
Fig.23 Downsizing by Smaller-sized Power Supply ECU

6 開発の成果

表3に開発完了時での実績を示す。目標を総てクリアしており、今回の課題であったエアバッグシステム全体の開発ができたと考える。

表3 開発目標に対しての実績

Table 3 Results to Development Targets

		目標	実績 (2010年比)
衝突判別時間の早期化		25%削減	30%削減
	重量	50%削減	60%削減 122g
ECU	サイズ	30%削減	45%削減 L94*W84*H31.9(mm)
	重量	30%削減	32%削減 18g
センサ	サイズ	40%削減	49%削減 L25*W28*H20.2(mm) (コネクタ除く)

7 今後の技術開発について

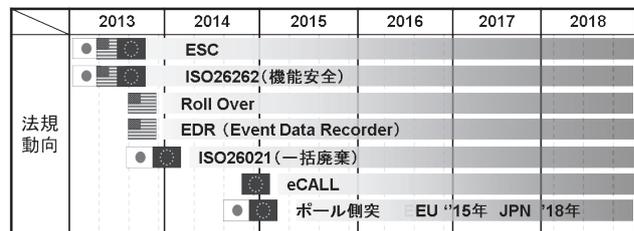


図24 各国の法規動向
Fig.24 Trends of Laws and Regulations of Countries

今後の技術開発について、市場の安全性へのニーズの高まり、法規動向を踏まえ、衝突検知性能の向上、ロールオーバ機能、ESC機能などのより高機能システムの提供をおこなっていく。

8 おわりに

今回の開発にて、軽自動車向けという弊社にとっては、新規市場への提案ができ、衝突安全性能の向上、交通死亡事故の低減に貢献ができました。

最後にこの開発に協力いただいた社内外の関係者の皆様に心より感謝の意を表します。

筆者紹介

高橋 信哉
(たかはし しんや)
AS技術本部
安全システム技術部

塩出 亮
(しおで あきら)
AS技術本部
安全システム技術部

宮本 省吾
(みやもと しょうご)
AS技術本部
安全システム技術部

黒田 修作
(くろだ しゅうさく)
AS技術本部
安全システム技術部