

⑱ 先進緊急ブレーキシステム (AEBS) のための模擬前方車両の妥当性に関する研究

—実車両とソフトターゲットの電波反射特性の測定について—

自動車安全研究領域 ※廣瀬 敏也、松村 英樹、児島 亨、波多野 忠

1. はじめに

近年では、高速道路等における追突事故が頻繁に発生し社会的な問題となっている。そのため、追突事故の回避・被害低減を目的とした衝突被害軽減ブレーキシステム・衝突回避ブレーキシステムに関する Advanced Emergency Braking System (AEBS) の国際基準化が進められている。本研究は、AEBS 性能評価試験に用いる前方を走行する車両を模擬した障害物の特性について検討することを目的としている。AEBS 性能評価試験に使用する模擬障害物は、車両が衝突しても安全性が確保でき、車両に搭載されているセンサから見たときに実際の乗用車と同等の特性を有していることが求められる。そこで、本研究では、AEBS 障害物検知センサとして使用されることが多いミリ波レーダを対象とし、乗用車と模擬障害物のレーダ反射強度を AEBS の国際基準に規定されている試験方法に従って計測し、比較検討を行った。

2. AEBS の性能要件

AEBS の性能確認試験は、警報の作動タイミング、緊急自動ブレーキの作動タイミング及び速度低減量を確認する。警報の提示手法は、聴覚・視覚・Haptic (警報のための自動ブレーキ等) の3種類とし、緊急自動ブレーキの作動指示のタイミングをもとに緊急自動ブレーキが作動する前に警報を提示することとなっている。

まず、第1次警報は聴覚または Haptic とし、減速度 4m/s^2 以上の緊急自動ブレーキの作動を指示する時点から 1.4 秒以上前に提示しなければならない。第2次警報は3種類の提示手法のうちの2種類とし、減速度 4m/s^2 以上の緊急自動ブレーキの作動を指示する時点から 0.8 秒以上前に提示しなければならない。また、警報の手段として自動ブレーキを用いる場合の速度低減量は 15km/h 以下または全速度低減量の 30%以

下に限られている。

緊急自動ブレーキの作動は、ドライバーへの過信を防止するために緊急時のみに限定し、衝突予測時間 (TTC) が 3.0 秒より前に作動することを禁止している。

8 トンを超える大型貨物自動車及び 5 トンを超えるバスにおける AEBS の速度低減量に関する要件は、欧州で 2013 年 11 月から適用予定のステップ 1 では、前方車両が移動している場合が 50km/h 、前方車両が停止している場合が 10km/h となっている。また、欧州で 2016 年 11 月から適用予定のステップ 2 では、前方車両が移動している場合が 70km/h 、前方車両が停止している場合が 20km/h となっている。なお、8 トン以下の貨物自動車及び 5 トン以下のバスに関しては、国際会議にて継続審議となっている。

3. 模擬障害物の種類

本研究では、車載用として使用されることの多い FMCW 方式のミリ波レーダ (中心周波数 76.5GHz) を使用して、1 種類の車両及び 2 種類の模擬障害物から反射される電波の受信電力を測定し、それらの反射特性について検討する。使用する車両は、AEBS 試験法において標準的な車両として定義されている M1AA サルーン相当の実車両とし、模擬障害物は、衝突被害軽減ブレーキシステムの技術基準及び ISO にて規定されているコーナーリフレクタ並びにカメラ方式のセンサに対応させるために開発されている車両の形状を模擬した風船型模擬障害物とした。

3. 1. M1AA サルーン相当車両

実験は、M1AA サルーン相当の車両として図 1 に示す車両を使用して実施した。本車両は、日本国内における 2010 年度の販売実績数が第 1 位であった車種のものである。

3. 2. コーナーリフレクタ

図 2(a)にコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を示す。これは、日本の衝突被害軽減ブレーキシステムの技術基準に規定されているコーナーリフレクタを 2 個使用しており、1つのコーナーリフレクタの寸法は電波反射部である正三角錐内面の 1 辺が 10cm であり、コーナーリフレクタ単体での有効反射断面積 (RCS) はレーダの中心周波数 76.5GHz において 14.35dBsm である。なお、それぞれのリフレクタが地上面より 700mm 及び 900mm の高さとなるように設置した。



図 1 M1AA サルーン相当車両



(a) コーナーリフレクタ (b) 風船型模擬障害物
図 2 模擬障害物

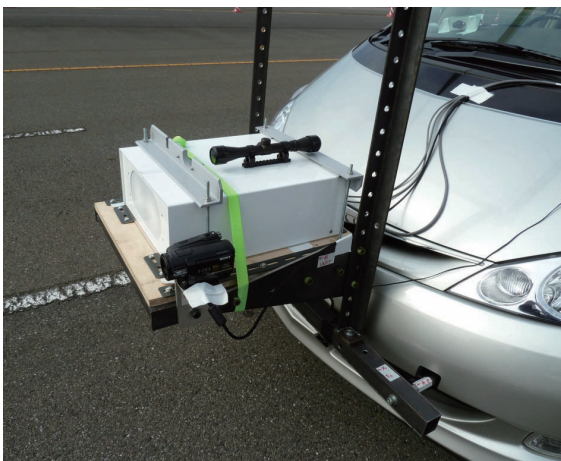


図 3 ミリ波レーダ搭載状況

3. 3. 風船型模擬障害物

図 2(b)に風船型模擬障害物を示す。風船型模擬障害物は、HELLY HANSEN 社製 NAF-Bil GA (2,709mm×1,520mm×780mm) であり、金属テープ等の電波反射材は貼付していない。

4. ミリ波レーダ

実験に使用したミリ波レーダは、ベガ・テクノロジー社製 FMCW-12/77/300/10/D.1 であり、検知方式は FMCW、出力は 10mW 以下、中心周波数は 76.5 GHz、アンテナ偏波面は垂直偏波、アンテナ利得は 35dB、ビーム角は 2.5° である。

ミリ波レーダを試験車両に搭載した状況を図 3 に示す。

5. 実験条件

M1AA サルーン相当車及び模擬障害物は、静止状態及び 30km/h での移動状態とし、試験車両 (ミリ波レーダ搭載車) の速度を 80km/h とした。

6. 実験結果及び考察

図 4 及び図 5 に M1AA サルーン相当車からの受信電力の測定結果を、図 6 及び図 7 にコーナーリフレクタによる模擬障害物からの受信電力の測定結果を、図 8 及び図 9 に風船型模擬障害物からの受信電力の測定結果を示す。また、これら受信電力の最大値と最小値を表 1 に示す。

表 1 より M1AA サルーン相当車とコーナーリフレクタによる模擬障害物の受信電力の最大値と最小値はほぼ同様であった。しかし、電波反射体を貼付していない風船型模擬障害物からの受信電力は、M1AA サルーン相当車及びコーナーリフレクタによる模擬障害物と比較して小さいことがわかる。これは、風船型模擬障害物が電波を反射しにくい素材でできていることによるものであり、M1AA サルーン相当車と同

表 1 受信電力の最大値と最小値

模擬障害物	静止	移動 (30km/h)
	受信電力[dBm]	受信電力[dBm]
M1AA サルーン	約-45~-80	約-40~-80
コーナーリフレクタ	約-45~-80	約-45~-80
風船型	約-55~-80	約-55~-80

等の電波反射特性を有するように電波反射体等を貼付する必要があるといえる。

次に、受信電力のばらつき（細かい変動）に着目して図4と図5並びに図6と図7を比較すると、M1AAサルーン相当車、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物ともに、静止している場合よりも移動している場合の方が受信電力のばらつきが大きいことがわかる。これは、M1AAサルーン相当車やコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物が走行に伴って振動することで電波が反射する部位や反射面の方向が不規則に変化し、電波の反射方向がばらつき、受信アンテナに到達するレーダ受信電力の値も不規則に変動するためと考えられる。

また、M1AAサルーン相当車を静止させた図4とコーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を静止させた図6を比較すると、M1AAサルーン相当車の受信電力の方が測定回数ごとに明らかにばらついていることがわかる。これは、ミリ波レーダを搭載した試験車両が80km/hの一定速度で走行する条件では、試

験車両が走行に伴ってわずかに振動することによりレーダの照射方向が変動したためと考えられる。さらに、M1AAサルーン相当車のレーダ反射面である車両後面が複雑な形状をしており、レーダの入射位置の変動や入射方向の変化に伴い、反射方向及び反射電力が大きく変動したため、M1AAサルーン相当車が静止しているにもかかわらず、受信電力の測定結果の再現性がよくない結果になったと考えられる。一方、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物を静止させた状態では、受信電力の推移は安定しており、5回の測定によるばらつきは小さい。これは、コーナーリフレクタが、入射角が多少変動しても電波が入射した方向に反射する再帰反射特性を有するためと考えられる。

また、図8及び図9を見ると、今回使用した風船型模擬障害物を使用したときの受信電力は非常に小さく、測定系のノイズレベルに近い値となっている。これは、今回使用した風船型模擬障害物の材質がミリ波帯の電波を反射しにくいものであったためと考えら

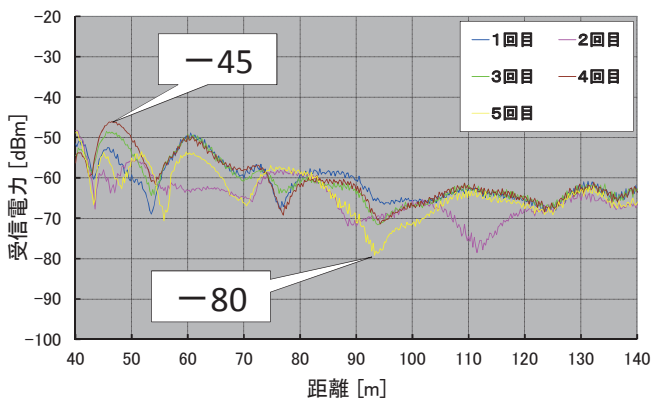


図4 M1AAサルーン相当車の測定結果（静止）

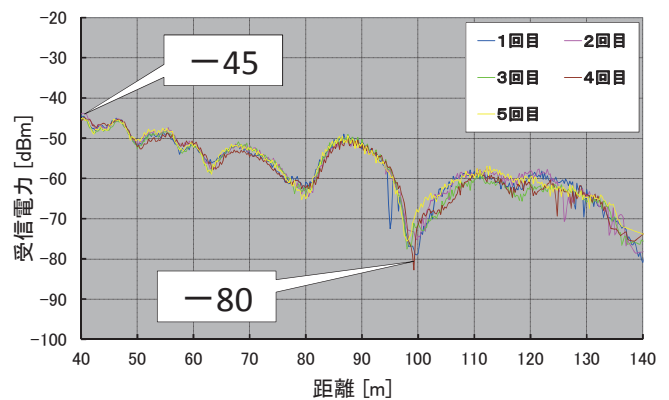


図6 コーナーリフレクタによる模擬障害物の測定結果（静止）

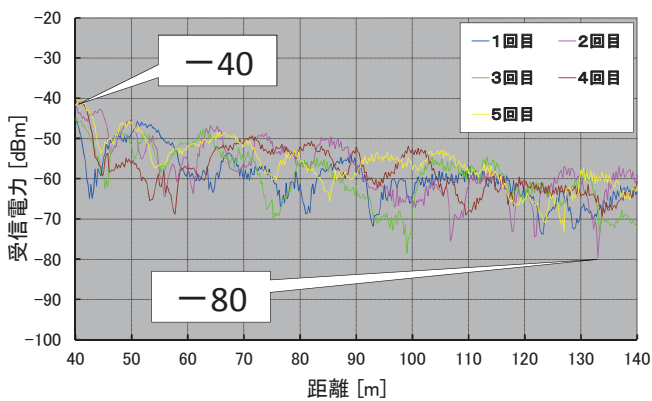


図5 M1AAサルーン相当車の測定結果（移動）

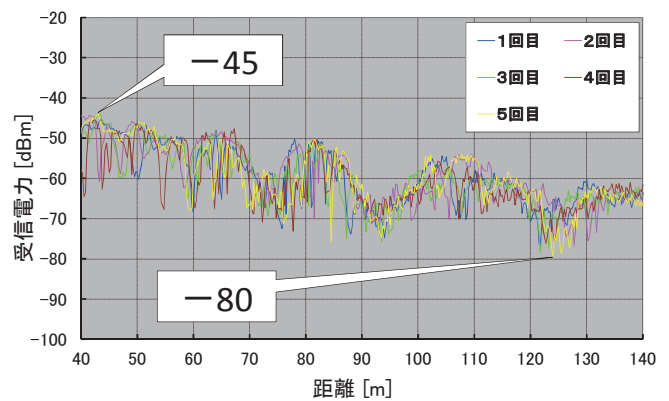


図7 コーナーリフレクタによる模擬障害物の測定結果（移動）

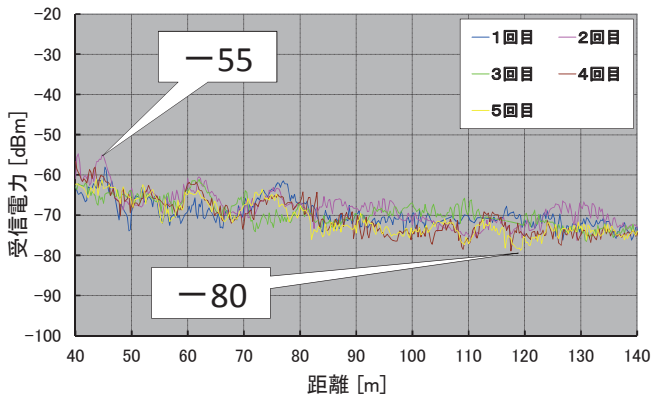


図8 風船型模擬障害物の測定結果（静止）

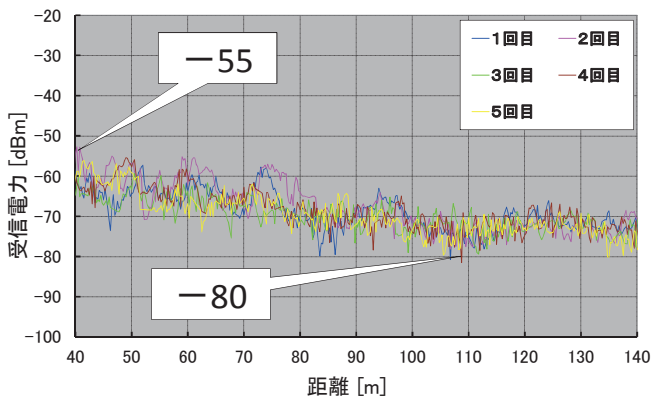


図9 風船型模擬障害物の測定結果（移動）

れる。AEBSの試験時に使用する模擬障害物としては、試験車両との衝突を考慮したときに、柔軟性を持った軽量の材料を使用することが望ましく、ミリ波帯の電波を反射しにくい材質の場合には、金属箔や金網を貼付することにより、MIAAサルーン相当車と同等の反射特性を持たせる必要があると考えられる。

さらに、実際に路上を走行している車両のレーダ反射面は、今回使用したMIAAサルーン相当車と同様に一様ではなく、複雑な形状をもつ場合が多いと考えられる。このため、AEBS（ミリ波レーダ）を搭載した車両の走行による振動やレーダ照射角度の変化に伴い、車両後面の反射部位は不規則に変動し、受信電力の変動の原因となることを認識しておく必要がある。

7. あとがき

先進緊急ブレーキシステム（AEBS）の障害物検知センサとして使用されることが多いミリ波レーダについて、MIAAサルーン相当車、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物及び風船型模擬障害物を対象としてレーダ反射強度をAEBSの国際基準に規定されている試験方法に従って計測し、比較検討を行った。

その結果、コーナーリフレクタにより構成した模擬障害物では、試験実施時の受信電力データの再現性はいいもののMIAAサルーン相当車のミリ波帯における電波の反射特性を十分に反映しているとは言えないというデータが得られた。また、今回使用した風船型模擬障害物はミリ波帯の電波を反射しにくい材料で構成されているものと考えられ、ミリ波レーダの模擬障害物としては不十分な特性であったが、カメラを使用した車両検知システムでは有効に作動すると考えられること、ミリ波帯の電波を反射する材料を貼付することにより特性を改善できる可能性があると考えられる。

受信電力の測定という観点からは、今回使用した2種類の模擬障害物にはそれぞれ一長一短があるが、ミリ波レーダによる障害物検知能力については、その測定原理から受信電力に比例するものではなく、今回の受信電力測定から得られる近似的なレーダ開口断面積特性による評価のみならず、電波の路面による反射特性、カメラを使用した車両検知システムに対応できるか等その他の要因も含めて検討を実施する必要があると考える。

なお、昨今欧米を中心に、車体形状をより詳細に模擬しており、かつ、ミリ波の電波反射特性がMIAAサルーン相当となるような標準ターゲットの作成が急ピッチで行われており、今後はこの動向に注目する必要がある。