

24 GHz帯高分解能マルチモードレーダを用いた 車載予防安全システムの開発

Development of Automotive Active Safety System Using 24GHz-band High Resolution Multi-Mode Radar

青柳 靖^{*1}
Yasushi Aoyagi

森井啓介^{*1}
Keisuke Morii

石田祥之^{*1}
Yoshiyuki Ishida

川手隆司^{*1}
Takashi Kawate

吉川 徹^{*1}
Toru Yoshikawa

清水信行^{*1}
Nobuyuki Shimizu

久保洋輔^{*1}
Yosuke Kubo

Antal Kovats^{*2}

概要 近年、センサデバイスを搭載し、周辺物体を検知することで、車両の事故を未然に防ぐ先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver Assistance System)の普及が始まっている。本稿では、当社が開発した24 GHz帯で、各種のアプリケーションに自動切り替え可能な、高分解能マルチモードレーダを用いて、車載システムとして統合動作した開発事例の紹介を行う。

1. はじめに

ADASに適用するセンサ要件としては、衝突の危険を事前に察知するため相対速度検知機能や、雨や霧、夜間等の視界不良時への対応機能が求められる。

表1に各種センサの機能比較を示す。

レーダ(電波)を用いることで、法規制への対応が重要であるが、24 GHz帯は、日米欧をはじめとする世界各国での法整備が完了しており、調整が進行中であるミリ波帯(76 GHz帯、79 GHz帯)と比べ、利用しやすく市場適応性が高い。さらに、レーダのアプリケーションも複数考えられるため、用途に応じて動作状態を切り替えるマルチモード動作も重要である。

表1 センサの機能比較
The functional comparison of the sensors.

| 方式 | レーダ | レーザ | 超音波 | カメラ |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 相対速度直接検出 | ○ | × | × | × |
| 耐天候性(霧、雨) | ○ | × | △ | × |
| 夜間(暗闇)対応 | ○ | ○ | ○ | △ |

○: 適している、△: 利用可能、×: 利用不可能

表2に欧州を中心に進められている、予防安全技術の義務化の流れ¹⁾を示す。今後、さらに、一般車両への拡大、歩行者保護適用も検討されている。

表2 予防安全システム義務化の流れ
The trend in making preventive safety systems compulsory.

| | | |
|----|----------|--|
| 欧州 | 2013年11月 | 新型大型車へのAEB(Autonomous Emergency Braking)装着が義務化 |
| | 2014年 | EuroNCAP(European New Car Assessment Programme)にて乗用車でもAEBが評価対象(5つ星の対象項目) |
| | 2015年 | AEB 大型車継続生産車に適用 |
| 日本 | 2014年11月 | 新型大型トラック・バスに衝突被害軽減ブレーキの装着義務化 |
| | 2014年 | JNCAP(Japan New Car Assessment Program)にてAEBを評価基準に加えることを検討予定。 |
| | 2017年11月 | AEB 大型車継続生産車に適用 |

これらは主に前方長距離を対象としたセンシングである。車両、センサメーカーが集まるIWPCなど国際会議などでは、近距離における全周囲監視の重要性が活発に議論されており、事故低減の効果により、保険料率割引、あるいは上記アセスメントにおける評価基準として用いられる可能性もある。

本稿では、先ず全周囲監視を対象としたアプリケーションの紹介を行い、さらに、開発した24 GHz帯高分解能マルチモードレーダを用いて各種アプリケーションに対応可能な車載システムとして統合動作を確認した開発事例を紹介する。

*1 研究開発本部 自動車電装技術研究所

*2 Furukawa Electric Institute of Technology Ltd.

2. 24 GHz帯高分解能マルチモードレーダ

本章では、検討に用いるマルチモードレーダ(B0サンプル)の概要を紹介する。従来方式の狭帯域レーダ(図1(a))と比べて、これまで培ったUWBレーダ²⁾技術を基礎として開発した信号処理、回路技術により、高密度の物体を分離し、それぞれの物体の角度、距離を確実に検知することが可能となっている(図1(b),(c))。

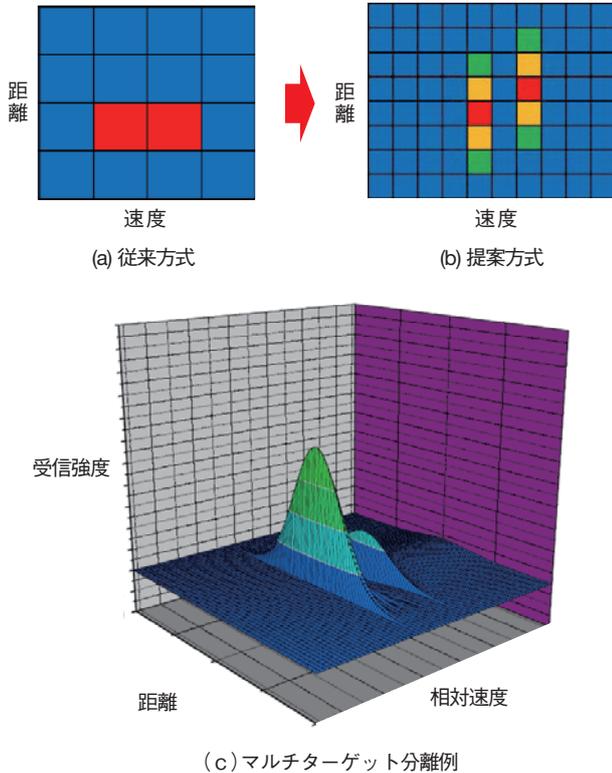


図1 高分解能の実現イメージ
The realization image of high resolution.

表3に24 GHz帯高分解能マルチモードレーダの主要緒元を示す。インタフェースはCAN(Control Area Network)を用いており、車両のボディCANに接続することで得られる車両情報(車速、ウィンカON/OFF、ギア)を利用して、レーダが動作モードを自律的に選択する。また、各動作モードに応じてドライバーに対する危険を判断、および報知する。

図2に動作モード自律変更例を示す。

表3 24 GHz帯高分解能マルチモードレーダ主要緒元
Specifications of the 24 GHz band high resolution multi-mode radar.

| 仕様 | 値 | 単位 |
|-----------|---|-----|
| 変調方式 | パルス | - |
| 周波数帯域 | 24.05 ~ 24.25 | GHz |
| 最小探知距離 | 0 | m |
| 最大探知距離 | 72 | m |
| 水平角度範囲 | 120 | deg |
| 最小対象ターゲット | 歩行者 | |
| 外観 | 100 × 100 × 30  | mm |

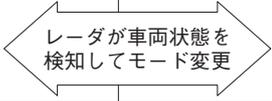
| | | | | |
|---|-------|----|-------|----|
| 車両状態 情報 | ギア状態 | 後退 | 前進 | |
| | 車速 | 低速 | | 高速 |
| アプリケーション | R-CTA | | LCDAS | |
|  | | | | |

図2 動作モード自律変更例
Examples of the autonomous operational modes change.

3. レーダを用いた予防安全システム

レーダ単体で構成される予防安全システムは、検知した物体と衝突が予測される場合にドライバーにHMI(Human Machine Interface)を通して警告を報知することができる。どのような危険に対して警告するかに応じて、アプリケーション名が規定されている。

図3に各種周辺監視アプリケーション、及び各アプリケーションとビーム配置例を提示する³⁾。各ビームには1アプリケーションのみ記載されているが、左右、あるいは前後に同一機能のビーム配置を想定している。

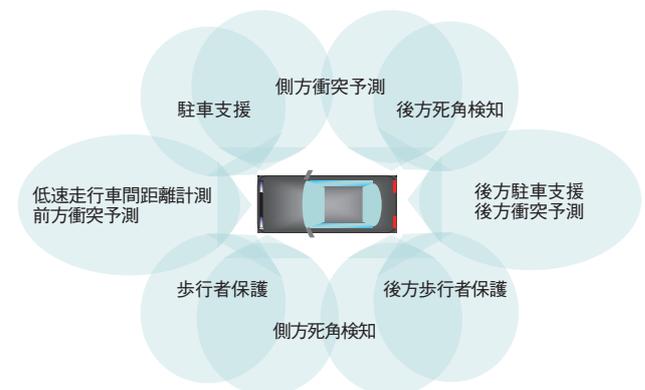


図3 レーダを用いた車両周辺監視アプリケーションの例
Examples of the various perimeter monitoring applications using the radar.

3.1 後側方アプリケーション (LCDAS : Lane Change Decision Aid System) ⁴⁾

LCDASは斜め後方の他車両の存在を検知してドライバーに注意喚起する、安全な車線変更を支援する機能として、2005年から徐々に、欧米市場中心に高級車・上級車のオプション装備として設定が広がっており、下記の3タイプがある。

- ・LCDAS Type-I: 自車周辺の死角(左右の隣接車線と後方3m程度の範囲)に入る他車を検知するBlind Spot Detection
- ・LCDAS Type-II: 死角に加えて隣接車線を急速接近する他車を検知するClosing Vehicle Warning
- ・LCDAS Type-III: Type-IIIはType-IとType-IIを合体させたもの。

ドライバーへの注意喚起としては、単に警告灯を点灯するだけのシステムと、危険な状況で車線変更をしようとした場合にはハンドルにトルクをかけるなど、より強い警告を行うシステムがある。

また、R-CTA (Rear - Cross Traffic Alert) ⁵⁾は、駐車場から後進で出庫する際、ブラインドスポットに存在する車両、もしくは歩行者を検出し、人身事故などの重大な事故を未然に防ぐアプリケーションで、LCDASなどと同じセンサを用いることが多い。衝突などの危険を判断すると、音、及びLEDでドライバーへ警告告知や、自動ブレーキ制御などを行う。

図4にR-CTA動作イメージを示す。

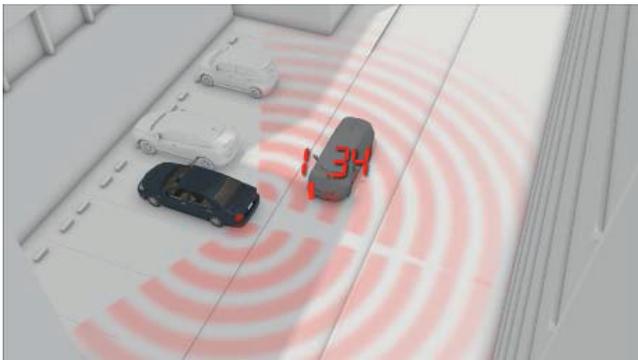


図4 R-CTA動作イメージ
Image of R-CTA performance.

3.2 前側方アプリケーション (F-CTA : Front-Cross Traffic Alert)

図5にF-CTA動作イメージを示す。

F-CTAは、見通しの悪い交差点などでの出会いがしらの事故を防ぐため、前方左右の車両、及び、歩行者を検出するアプリケーションである。R-CTA同様、衝突の危険を判断すると、ドライバーへの警告告知や、自動ブレーキ制御などを行うが、R-CTAと比べ、対象車両の速度が速いため、衝突までの時間を考慮すると、より長い検出距離が求められる。

このほか、360°の監視を想定したアプリケーション開発などの予防安全技術開発が活発に行われている。

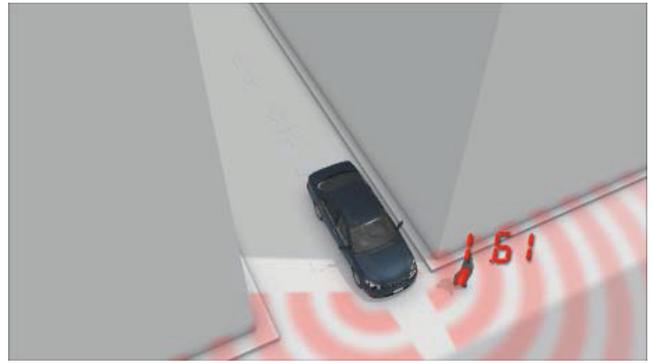


図5 F-CTA動作イメージ
Image of F-CTA performance.

4. 車両実装システム

4.1 計測データの記録システム

予防安全システムは、レーダ単体で構成可能であるが、開発段階においては計測妥当性を確認するため、リアルタイムでターゲットの検知結果を表示、記録することに加え、参照用センサ検知結果を同期して記録、表示する必要がある。参照用センサとしては、LIDAR (LIght Detection And Ranging; レーザスキャナ。距離・方位検知情報)、カメラ(評価場面を確認)を用いた。図6に計測データフローを示す。検知結果や判定結果はリアルタイムでPC画面に表示され、同時にデータが記録される。

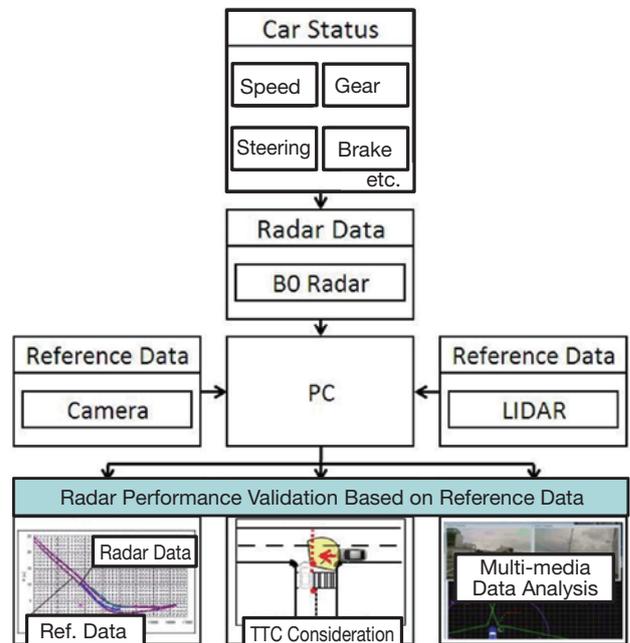


図6 計測データフロー
The measuring data flow.

アプリケーション評価においては、動作モードを固定し、各モードを評価することができるほか、図2に示したように車両情報を取得して、モード遷移の妥当性を評価することも可能となっている。

4.2 車両への実装

図7にレーダ，計測システムの車両への実装の概略を示す。走行試験等に対応するため，計測システムを評価用車両に搭載した。レーダは車両四隅バンパ内部に搭載され，車両情報をボディCANより取得する。計測時にデータ量が多い場合は車両側にレーダ情報などが流れ込まないように別途ゲートウェイを設

ける場合がある。

また，警告報知手段としてはレーダから送信された警告状態を示すパケットをPC画面上に表示させるか，専用のECU (Electronic Control Unit) に受信させ，ダッシュボード上に設置されたHMI (Human Machine Interface) に内蔵されたLED点灯，ブザー鳴動を制御する方法とした。

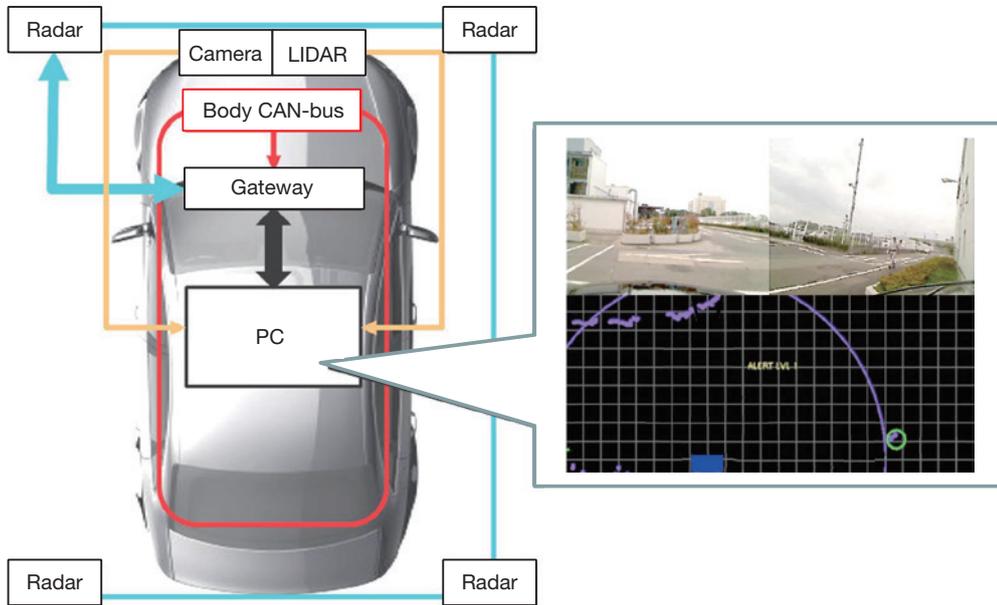
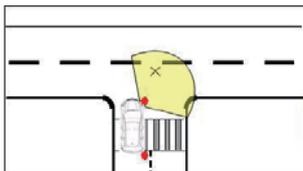


図7 レーダ，計測システムの車両への実装
Mounting the radar and measuring systems on the vehicles.

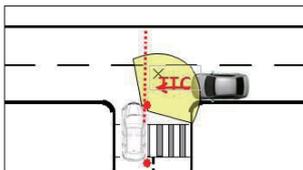
4.3 警告報知動作例

本車載システムの動作例をF-CTAを用いて示す。

①車両情報をもとに適切なアプリケーションを起動する。



②車両に近づく車に対してTTC (Time To Cross line) 計算などを行い，所定のTTC値よりも小さい，と判断された場合，警告報知パケットを発出する。



③PCまたは，HMI-ECUなどの上位システムが警告報知パケットを受信してドライバに警告を与える。



なお，③については，レーダが直接LEDを点灯させることで報知することも可能である。

5. 実車評価

5.1 評価内容

前章までの成果をもとに，レーダを搭載した評価車両を用いて，歩行者が車両に接近した際に，警告が報知されることを確認した。

本評価では，車両前方に対する警告アプリケーションとしてF-CTAの動作を確認する。本警告は，車両前方側方から人や車両が接近したときに所定の判定ラインを横切るまでの時間(TTC)が，設定された時間以下になったときに警告を報知するものである。TTC値が小さいということは，歩行者が車両に衝突するまでの時間が短いことであり，危険度が高いことを示す。

また、本警告は、TTCに対する設定時間を危険度に応じて任意に設定することができる。本評価では、警告報知設定時間を、

- ・危険度：低(レベル1) = 6秒
 - ・危険度：中(レベル2) = 4秒
 - ・危険度：高(レベル3) = 2秒
- と設定した。

LIDAR検知データ、カメラ画像データの検知結果を真値とし、レーダの測定値を比較することで、レーダ測定結果の妥当性を検証する。

5.2 評価結果

図8～10は、レーダが捉えた歩行者の移動軌跡を連続表示したものである。各図の上段は、車両から見たカメラ映像であり、右から人が歩いてくる。各図の下段は、レーダの検知物、および警告レベルを示した図である。青色の■(四角)形が評価車両位置であり、緑色の○印がリアルタイムにとらえたレーダ検知情報である。LIDAR測定系で検知した歩行者は、図中青紫点で示されている。レーダは移動物体のみをとらえる設定となっており、評価車両が停車しているため、歩行者のみが検知されている。

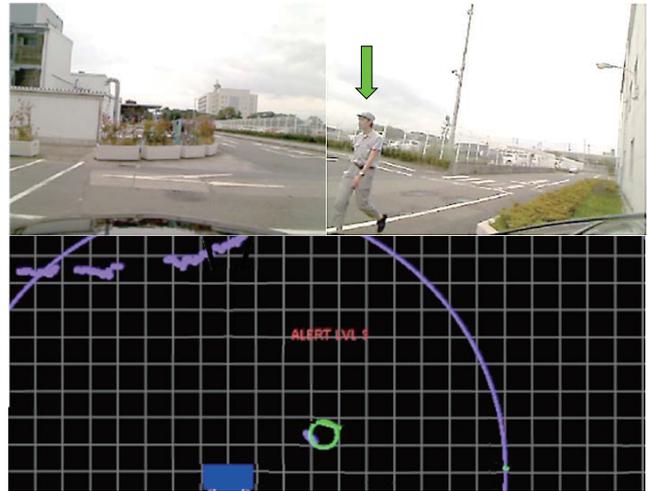


図10 警告レベル3の歩行者検知
The detection of a pedestrian in the alarm level 3.

評価結果から、レーダによる歩行者検知と、真値を比較して、位置が同じであることが確認できる。

図11に、検知した歩行者位置と警告レベルを示す。時間の経過と共に歩行者が車両に接近し、LIDAR測定系と比較して、ほぼ誤差なく検知できていることが確認できる。

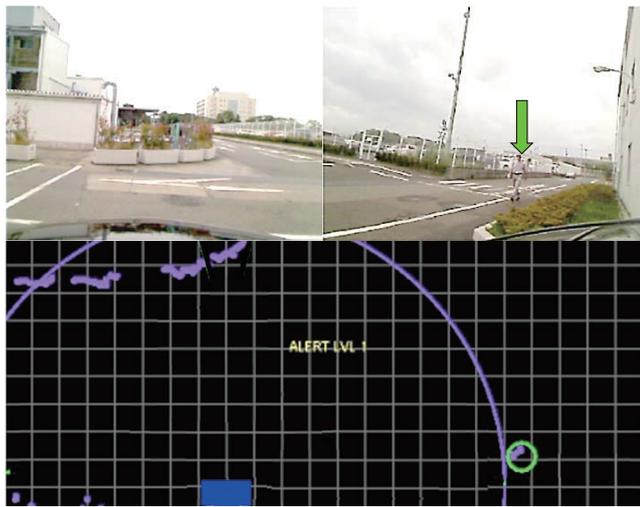


図8 警告レベル1の歩行者検知
The detection of a pedestrian in the alarm level 1.

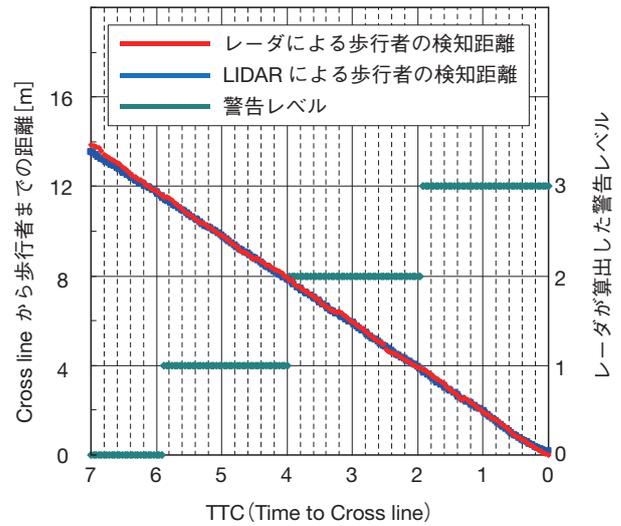


図11 歩行者検知位置と警告レベル
The detected position of a pedestrian and the alarm level.

また、車両までの距離が0となるTTC = 0[秒]から遡って、6秒、4秒、2秒の時点で、警告レベルがレベル1から3へと遷移している。設定した警告報知時間とおりに警告が報知されることが本評価で確認できた。

6. おわりに

本稿では、全周囲監視を対象としたアプリケーションの紹介を行い、さらに、当社が開発した24 GHz帯高分解能マルチモードレーダを用いて各種アプリケーションに対応可能な車載シス

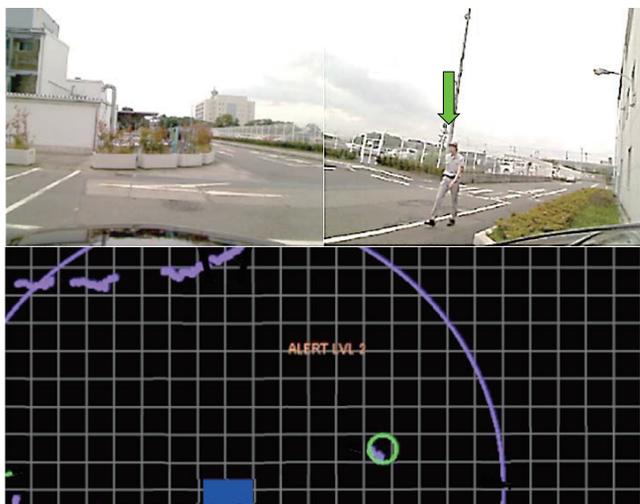


図9 警告レベル2の歩行者検知
The detection of a pedestrian in the alarm level 2.

テムを構築した例を紹介した。さらに、開発したレーダを用いて、危険度に応じた警告レベルを報知することができ、また求めたTTCの精度も真値と比較して大きなずれがないことが確認できた。車両が走行状態であっても定量的な評価が可能なシステムを構築することで、屋外一般道、高速道路における実走行評価においても、警告のタイミング、及び、検知・未検知の評価が可能となった。

今後もアプリケーションの確実性を向上するとともに、適用範囲を拡大していく。

参考文献

- 1) 国土交通省自動車アセスメント評価検討会資料,
http://www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/ast/ast_m_meet.htm
- 2) 高橋慶：“26 GHz帯車載UWB (Ultra Wide-Band) レーダの開発”, 電工時報, 125号 (2010).
- 3) ISO 17387, “Intelligent transport systems -Lane change decision aid systems (LCDAS)-Performance requirements and test procedures”, (2008).
- 4) 自動車技術会, <http://guide.jsae.or.jp/topics/49678/>
- 5) Blind Spot Information System (BLIS) with Cross-Traffic Alert (2012), <http://corpotate.ford.com/doc/BLIS.pdf>