

# 車室内モニタリングのロバスト性評価

Robustness Evaluation Using Simulation Tool for In-Vehicle Monitoring System

## 要旨

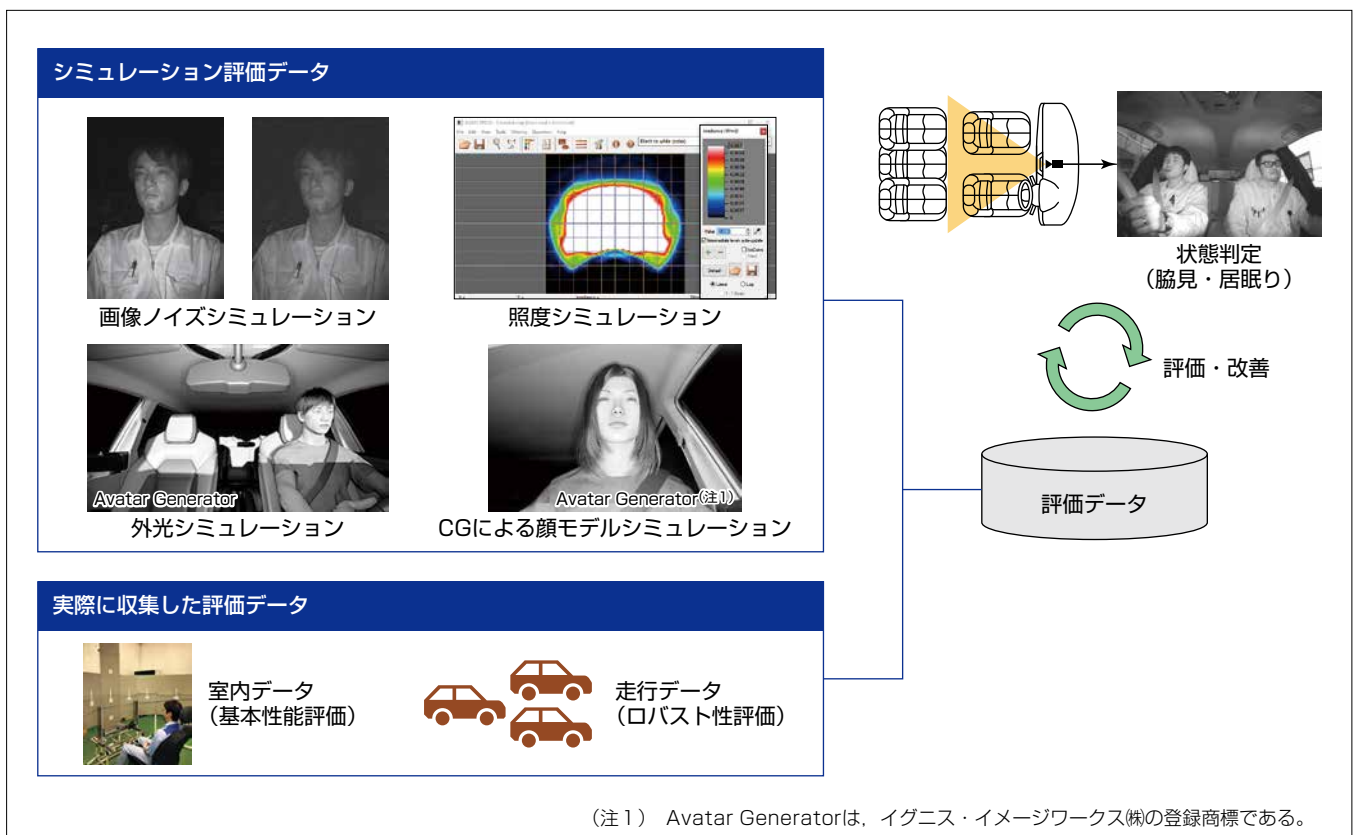
車内に設置したカメラを利用して乗員の状態を把握する車室内モニタリングシステム(IMS)は、先進運転支援システム(ADAS)の一つとして急速に普及しており、安全運転支援の重要な機能になっている。欧州連合は、自動車の安全性に関するアセスメントとして、EuroNCAP(The European New Car Assessment Programme)を規定し、2024年までに全車両への乗員モニタリング機能の搭載を促進している。

IMSでは、利用目的や車両のインテリアレイアウトなどの制限によって、カメラの設置位置や角度、撮影範囲が異なる。また、多種多様な環境・ユーザーに対するロバスト

性が確保できなければ、商品性を欠くことになる。これらの多岐にわたる変動要因に対して、安定した乗員の状態判定を行うために、三菱電機ではシミュレーションツールを利用した評価方法を実施している。

評価方法は、カメラ設置位置や、各種センサが高温状態になることで生じるノイズなどカメラ画像に与える要因の評価と、撮影対象とする乗員の変動要因(目の大きさやマスク有無など)に関する評価の大きく二つに分類できる。

今後は、シミュレーションツールを活用できるシーンを増やしていくとともに、IMS機能のロバスト性改善を進める。



## IMSで利用する評価データ例

IMSで、乗員の状態判定を行う性能が担保できているかの確認に利用する評価データの例である。IMSでは、顔向き角度や、開眼度、視線角度の検出精度を評価する基本性能評価と、走行時での乗員の状態判定精度を評価するロバスト性評価を行う。これらの評価に加えて、シミュレーションツールを用いた評価によって、IMSのロバスト性向上が可能になる。

## 1. ま え が き

ADASの急速な普及に伴い、車内に設置したカメラを利用して乗員の状態を把握するIMSは重要な機能になっている。IMSは、近赤外線LEDと近赤外線カメラで撮影された乗員の顔画像から、顔向き角度や、開眼度、視線角度といったセンシング情報を検知し、これらの情報から脇見や居眠りなど乗員の状態判定を行う<sup>(1)</sup>。

カメラで撮影される車室内は、昼間、夜間での照度レベルの変動幅が大きく、車両の向きによって外光の影響も刻々と変化するので、対応すべき被写体の条件変化が激しい。また多種多様なユーザーが利用するため、これらの変動に対応しても安定した性能を発揮する必要がある。このためには、性能に影響を与える要因を評価し、抽出された課題の対策を事前に行うことが望ましい。

本稿では、シミュレーションツールを利用し、カメラ画像の変動をシミュレーションした評価と、撮影対象になる乗員の変動をシミュレーションした評価によって、IMSのロバスト性改善を効率的に行う方法について述べる。

## 2. IMSのシステム構成と性能に与える要因

### 2.1 システム構成

IMSは、カメラモジュール(近赤外線カメラ、近赤外線LED)と、ECU(Electric Control Unit)で構成される。撮影対象とする範囲を近赤外線LEDで照射し、撮影された乗員のカメラ画像をECUで画像解析することで、乗員の状態判定を行う(図1)。

### 2.2 乗員の状態判定性能に与える要因

IMSでは、利用目的や車両レイアウトなどの制限によって、

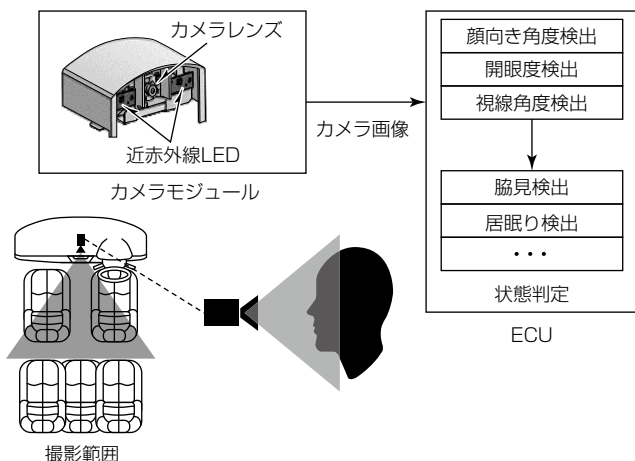


図1. システム構成

カメラの設置位置や角度、撮影範囲が異なる。また、多種多様な環境・ユーザーに対するロバスト性が確保できなければ、商品性を欠くことになる。これらの多岐にわたる変動要因に対して、安定した乗員の状態判定を行うために、当社で実施しているシミュレーションツールを利用した効率的なロバスト性評価方法について述べる。シミュレーション評価に当たって、乗員の状態判定性能に与える影響を、カメラレイアウトや、ノイズなどによるカメラ画像に与える要因と、撮影対象とする乗員の変動要因(顔やマスク有無など)の大きく二つに分類し、3章以降で述べる。

## 3. カメラ画像への影響要因とシミュレーション評価

車載環境でカメラを使用する際、画像に影響を及ぼす要因は多岐にわたる。次に分類ごとに要因を述べる。

### 3.1 カメラ画像での性能低下要因

#### (1) 照明条件(時間帯、天候、対向車、LED照明強度)

車載カメラは、車両の移動によって頻繁に撮影条件が変動し、昼間/夜間で車内の照度変化が激しい。特に夜間は道路照明や対向車のヘッドライト等の強力な照明器具から入射する光の影響を受けて、一般的なカメラと比較し、急激な照度変化にさらされる傾向がある。これらの照度変化は、カメラ画像の白飛びや、乗員の顔に車両構造物の影などのコントラスト変化を生じさせる。

#### (2) レンズ種別(画角、F値、歪(ひず)み)

車載カメラは、利用目的や車両レイアウトによって、必要な撮影範囲(画角)が異なる。カメラの画角はレンズの焦点距離とセンササイズの組合せで決まり、焦点距離の値が小さいほど撮影画像の画角は広がる。またF値はレンズの明るさを示し、値が小さいほど撮影画像が明るく、カメラとしての感度が高くなる。F値は焦点距離/レンズ口径の値に比例するため、画角を広くするために焦点距離の値が小さいレンズを使う場合には、同じ口径のレンズであってもカメラの感度は高くなる。一方で同一センサに広い画角のレンズを組み合わせた場合、画素ごとに割り当てる被写体画角が大きくなり、撮影画像の解像度は低下する。このようにレンズの特性は様々なトレードオフから成り立っており、製品の用途、目標性能に合わせて適切な組合せを選択することが重要になる。またレンズに起因する画質劣化要因として光学歪みが挙げられる。これは画像周辺部で曲がって撮影される現象である。

#### (3) デザイン(カバー有無など)

デザイン上の必要性から、装置自体が目立たないようにカバーを設けるケースもある。こういった場合、カバー越しに撮影することによる撮影画像のコントラスト低下、解

像度低下が発生し、検知処理精度に影響する可能性もあるので、十分な事前検討が必要である。

#### (4) 温度条件、経年劣化

(1)(2)(3)以外ではセンサ温度の影響や経年劣化による影響が挙げられる。センサ温度は一般に高温になるほど撮影画像に重畳されるノイズが増加する。経年劣化の影響には様々なものが考えられ、欠陥画素と呼ばれる被写体の明暗に反応しない画素の増加、高温環境に長時間さらされることによる表面部材の透過率低下のためセンサ感度の低下などが発生する。

### 3.2 照度シミュレーション評価

3.1節の(1)(2)で述べたとおり、車室内の照度変化は大きいので、IMSでは、太陽光に含まれる比率が低い波長の近赤外線LEDを用いることで、外光の変動を抑えて、安定した画像が得られるような対策を行っている。近赤外線LEDは、判定対象とする乗員のカメラ画像を適切な明るさで鮮明に撮影するために重要な役割を担っており、その配置や照射方向は対象とする撮影範囲で異なる。撮影対象とする乗員の撮影され得る範囲はあらかじめ定められており、シミュレーションツールを利用することで、この範囲内での被写体の照度分布を設計段階から予測可能になり、効率的な開発を行うことができる。図2に照度シミュレーションの画面例を示す。シート位置やユーザーの体格に基づいて定められた乗員の撮り得る範囲に対して、適切な照度条件を満たしているかの確認を行う。最後に、設計されたカメラモジュールで撮影したカメラ画像が、期待する照度条件で撮影されているかの検証を実施する。このシミュレーションは、被写体を一部遮蔽するような車両構造物が存在する場合など複雑な条件下で非常に有効である。

### 3.3 カメラ画像シミュレーション評価

3.1節で挙げた様々な影響要因を踏まえて、撮影画像シミュレーションツールを開発した。適用先の車種やデザインコンセプトによって要求仕様が変化するIMSでは、製品ごとに細かく構成部材の変更が発生する可能性がある。IMSで性能評価が必要な機能は多岐にわたり、変更のたび

に評価用画像を全て撮影し直すことは開発工数の増大につながる。これに対して、少数のサンプル画像を用いて部材変更に伴う画質への影響を予測し、既存の評価画像をベースに影響をシミュレートした画像を生成して性能評価に用いることができれば、効率的に性能を担保することが可能になる。

シミュレーションツールでは、考え得る全ての影響要因に対して影響を予測できることが理想であるが、今回は車種やデザインコンセプトによって影響を受ける3.1節(2)(3)(4)に着目し、次の三つの調整項目を策定した。

- ①ゲイン
- ②ノイズレベル
- ③解像度低下

このうちゲインとノイズレベルはセンサとレンズの組合せ、及びカメラ前面カバーによるカメラ全体での感度変化による影響を再現するための調整項目である。また解像度低下は主にカメラ前面カバーによる撮影画像のぼやけを再現するための調整項目である。

処理例を図3及び図4に示す。図3は元になるサンプル画像である。(a)が部材変更前のシステムで撮影した画像、(b)が部材変更後のシステムで撮影した画像である。図4はサンプル画像の特性の変化に基づいて、図3(a)の画像からシミュレーションツールを用いて生成した画像である。ノイズレベルやコントラストなど、図3(b)と同等の特性を再現できていることが分かる。

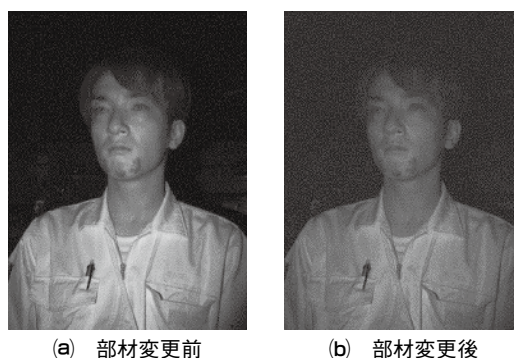


図3. サンプル画像例

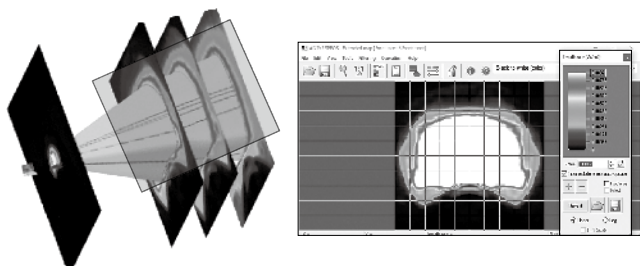


図2. 照度シミュレーションの画面例

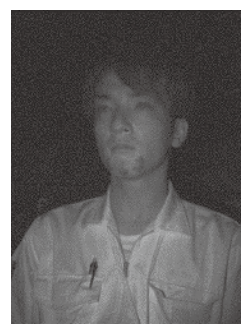


図4. 撮影画像シミュレーション適用例



## 4. 乗員の変動に対するシミュレーション評価

この章では、当社で実施している乗員の変動に対するロボバスト性検証の中から、特に“環境ロボバスト性”“個人差ロボバスト性”で利用しているCG(Computer Graphics)を活用したシミュレーション評価について述べる。

### 4.1 環境ロボバスト性シミュレーション評価

環境ロボバスト性の評価は主に、人工的な光や太陽光などの光環境の評価を指す。3.1節(1)で述べたように、車室内の照度変化は、乗員のカメラ画像で、影などのコントラスト変化を生じさせる。これらの影響に対する評価を行うには、朝日や日没、雪面反射などの様々なケースを実際に走行し、収集したデータを用いて、性能低下の有無を確認し、対策改善を行うプロセスを踏む必要があり、多大な時間を要する。また、運転者の体格や座席位置の調整によって陰影の生じる位置は異なるため、網羅的な評価をデータ収集で行うには限界がある。

シミュレーションツールでは、光源設定によって、車室内環境での照明変動環境のカメラ画像を生成できる。図5に実際に撮影した太陽光の影響で顔に生じたコントラストの例を示し、図6にCGによるシミュレーションツールで生成したコントラスト例を示す。シミュレーションツールで実際のコントラストと同様に車両の構造による影響を再現できていることが確認できる。このように、様々な光源位置で任意のコントラストを再現でき、ロボバスト性評価を効率良く実施することが可能になる。また、シミュレーション評価では再現性が確保されるため、一つの機能に課題が見つかった場合、同一のコントラストを発生させた状



図5. 実際に撮影した太陽光のコントラスト例



図6. CGで作成した光のコントラスト例

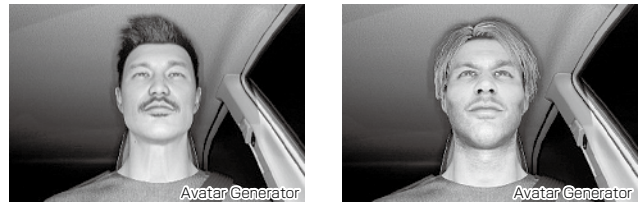


図7. CGで作成した顔(目が細い/鼻が高い)の例

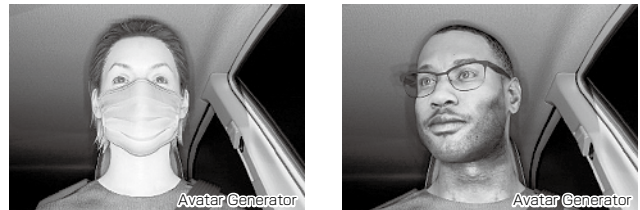


図8. CGで作成したアクセサリ(マスク/メガネ)例

態で乗員の行動を変更させ、IMSの提供する全ての機能が同一環境下で正しく動作するかの検証を行うことができ、ロボバスト性の確認に有効に活用できる。

### 4.2 個人差ロボバスト性シミュレーション

個人差ロボバスト性は、人ごと及び同一人物内の変化に対してIMSが担保すべきロボバスト性である。個人内での化粧の有無やひげの有無などによって、結果が大きく異なれば商品性を欠く。当社では、国内外でのデータ収集及び個人変動を再現したデータ収集を行っているが、十分とはいえない。両目間の距離や、目の大きさ、鼻の高さなど統計データ上、両端に位置する顔をCGで生成し、性能評価を行うことで、ロボバスト性の向上を行うことが可能になる(図7)。同時に、メガネやマスクといった装飾品に関するロボバスト性に関しても検証が可能であり、CGシミュレーションはロボバスト性の向上に有効に利用できる(図8)。

## 5. むすび

IMSのロボバスト性向上に対して、カメラ画像に影響を与えるノイズ要因や、撮影対象になる乗員の変動要因に関するデータシミュレーションの利用について述べた。ただし、シミュレーション評価の利用は、実際に収集したデータによる評価結果と、シミュレーションツールで生成した画像での評価結果が同じ傾向を示すことが前提条件になる。

今後は、IMSの機能のロボバスト性改善を進めるとともに、性能限界の見極めを行うために、シミュレーション評価が適用できるシーンを増やしていく予定である。

### 参考文献

- (1) 熊谷太郎：車室内モニタリングシステム，三菱電機技報，93，No.5，296～299（2019）