

# 自動車のパワーバックドアシステム 開発のためのモデルベースシステムズ エンジニアリングの適用<sup>※1</sup>

慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科

西村 秀和

日産自動車株式会社

中本 貴之

日産自動車株式会社

宮下 真哲

## 1 はじめに

自動車の電気／電子アーキテクチャ(以下、E/E(Electrical/Electronic)アーキテクチャ)では、ユーザからの要求の多様化に対応するため、追加開発を余儀なくされている。この追加開発にモデルベースシステムズエンジニアリング(以下、MBSE)を適用することによる効果を明確にするため、本編では、アクセス・盗難防止システムの一つであるパワーバックドアシステムの追加開発を事例に取り上げる。MBSEに基づきSysML (Systems Modeling Language)を利用してパワーバックドアシステムのシステムモデルを記述しアーキテクチャを構築するまでのプロセスを示すと共に、部分として考えるのではなく、システムとして考えることによる技術者の気づきや明らかになった点を示す。とくに、SysMLを用いたシステムモデルの記述により、従来の“部品ありき”の設計スタイルでは見出すことのできなかった、組織の枠にとられない“対象とするシステム全体”としての最適化の検討が行えたことは大きなメリットとして認識された。また、従来の開発では、成果物をどのような形でどのように残していくかの判断やその質が個人のスキルに依存していたが、MBSEのプロセスでSysMLを用いることにより、文書として残すべき成果物と、関連するシステムモデルを明確にできることの優位性が評価された。ここでは、既存のパワーバックドアシステムの解析から、「操作性の良さ」と「おもてなし<sup>※2</sup>」に関するユーザニーズを引き出し、ユーザの自然な動作によって操作可能な新しいパワーバックドアシステムを設計する。新しい機能のコンポーネントへの割り当てをSysMLダイアグラム上で検討する中で、新・旧パワーバックドアシステム間での幾つかのコンポーネントの統合を

図った設計を試みている。

## 2 概要

ボディ、シャーシ、パワートレインなどから構成される自動車は、近年電子化が急速に進んでいる。この電子化を支えるECU (Electronic Control Unit)の数は、1台当たり50とも100とも言われている。これらのECU間の様々な情報や信号のやり取りを行うために、複数のECUをネットワークで構成するE/Eアーキテクチャが必要とされている。また、様々なユーザニーズの変化に応じて新たな機能を追加することが求められ、その度にECUの増加を招き、E/Eアーキテクチャはますます複雑化してしまう。こうした機能の追加に伴って実施する追加開発では、意図しない手戻りなど様々な問題を引き起こし、業務上の効率を落とすことにつながる。

既存のE/Eアーキテクチャに対してシステムの追加開発が求められた際には、既存システムのどこを活かし、何を追加し、改良すれば良いのかを明確にする必要がある。このためには、システムズエンジニアリング<sup>[1][2]</sup>を活用し、対象とするシステムを明確にすると共に、追加すべき機能との関係性を明らかにしなければならない。また、追加開発のもととなる要求が、設計上どのように関係しているのかが不明確となっていることも効率の低下を招く。サブシステムやコンポーネントを担当する技術者にとっては、追加開発のもとになるシステム全体を見

### 脚注

※1 ダイアグラム作成協力 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 ユンソングル氏

※2 利用者に対して歓迎する、または何かの準備を事前に行っていることを示すこと

渡すことができないために、ほかのサブシステムやコンポーネントとどのような関係性を持つのかが分からないということが大きな問題となっている。

システムズエンジニアリングでは、関係部署をまたぐ技術者間のコミュニケーションが重要となるが、必ずしも、こうした観点でのアプローチが系統的に行われていない。MBSE<sup>[1]</sup>では、システムモデルを記述することにより、関係部署間でこれを共有し、コミュニケーションを取ることで問題に対処することができる。欧米の航空宇宙産業、自動車産業、メディカル産業などでは、MBSEをサポートするためにSysML<sup>[3][4]</sup>が近年注目されているが、日本での導入は欧米に後れを取っている。もちろん、当然ながら、SysMLをツールとして導入すればそれで業務の効率化が図れるというものではない。MBSE及びそれをサポートするSysMLを導入することによる効果と、その際の課題を明らかにする必要があると考える<sup>[5]</sup>。

本編では、既存のE/Eアーキテクチャの中でアクセス・盗難防止システムの一つであるパワーバックドアシステムに対して、ユーザニーズとしての“ユーザフレンドリー（操作性の良さ）”や“おもてなし”などの新たな要求に基づく機能を追加する際に、MBSEを適用して検討した事例を示す。この事例では、システムモデルを記述するためにSysMLを初めて企業へ導入する際の、技術者の気づきやそこから明らかになった点を示している。具体的には、SysMLを用いてパワーバックドアシステムのアーキテクチャを構築するためのシステムズエンジニアリングプロセスを示す。まず、ボディ制御モジュールと非接触センサから構成される既存のパワーバックドアシステムのE/Eアーキテクチャの解析を行う。そして、「操作性の良さ」と「おもてなし」を求めるユーザニーズを考慮し、ユーザの自然な動作によって操作可能な新しいパワーバックドアシステムを設計する。新しい機能のコンポーネントへの割り当てを行う中で、新旧パワーバックドアシステム間での幾つかのコンポーネントの統合を検討する。

### 3

## システムモデルを活用した システムズエンジニアリングプロセス

システムズエンジニアリングでモデルを用いることのメリットは何か？

システムズエンジニアリングに関する国際協議会 (INCOSE, International Council on Systems Engineering) では、システムズエンジニアリングに関し、

「システムを成功裏に実現するための複数の分野にまたがるアプローチ及び手段」

「システムズエンジニアリングでは、開発ステージの初期の段階で顧客のニーズを明確化し、要求される機能性、システム要求を定義し、関連する問題をすべて考慮しながら設計のための総合とシステムの妥当性確認を進める。」

「システムズエンジニアリングでは、ユーザニーズに合致した品質の製品を供給することを目的とし、ビジネスとすべての顧客の技術的要求を考慮する。」と定義している。

MBSEでは、システムモデルを記述することにより、関係部署間でこれを共有し、システムライフサイクル<sup>[2]</sup>全般にわたる検討のもと、コミュニケーションを正しく取することで、様々な問題に対処できる。モデル化することのメリットをまとめると、次のようになる。

- 仕様書など文書だけではすぐに理解できないことが、図的に表現することで理解が容易になる。
- 複数の分野にまたがり協働してシステムを開発するには、共通言語が必要であり、それをサポートするには図的な言語が有効である。
- モデルを再利用することにより開発の効率化が期待できる。
- モデルを用いて抽象度を上げることにより革新に導く。

そして、MBSEでシステムをモデルで記述する言語としてSysMLがある。図1に示すように、SysMLダイアグラムは振る舞い図、要求図、構造図の3つに分類することができる<sup>[3][4]</sup>。振る舞い図には、ユースケース図、シーケンス図、アクティビティ図、状態機械図があり、構造図にはブロック定義図、パラメトリック図、内部ブロック図、パッケージ図がある。

ユースケース図は、目的を達成するために開発するべきシステムが外部システムの中でどのように用いられているかを機能性として表す。シーケンス図は、内部システムと外部システムの間、あるいはシステム内部のパート間でやり取りされるメッセージの順序を表す。このメッセージのやり取りがブロック間の相互作用を表すことに注意されたい。アクティビティ図は、入力、出力、及び

制御を用いたアクションの順序付けと、アクションによる入出力間の変換によって振る舞いを表す。状態機械図は、イベントによって引き起こされる状態間の遷移に関するエンティティの振る舞いを表す。

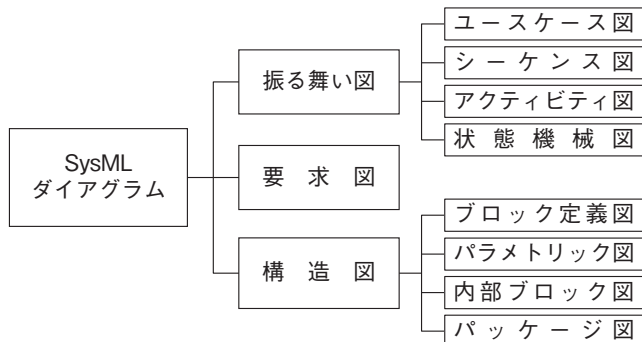


図1 SysMLダイアグラムの分類

要求図は、テキストベースの要求とそれらに関連するほかの要求、設計要素、テストケースとの関係を表し、もとの要求から機能要求、性能要求、制約、要求される品質特性やそれらを実現する構成要素などの間のトレーサビリティをサポートすることができる。

構造図の一つであるブロック定義図は、ブロックと呼ばれる構造的要素間の関係性を明確に記述することができる図で、これによりブロック間のインターフェースが明確となり、機能アーキテクチャ、物理アーキテクチャを表すことができる。パラメトリック図は、ブロックのプロパティに制約を与える方程式、例えば $F=ma$ による属性値に関する制約を表すことができ、エンジニアリング解析をサポートすることができる。内部ブロック図は、ブロックのパート間の相互接続とインターフェースを表す。パッケージ図は、モデル要素を含むパッケージに関してモデルの編成を表すことができる。

これらのSysMLダイアグラムを用いることで、MBSEを円滑に進めることができる。まず、コンテキストレベルでの開発すべきシステムの運用シナリオを明確にするため、対象システムが外部システム(アクター)との関係性の中でどのように用いられるかをユースケース図で記述する。そして、シーケンス図を用いて機能性を表すユースケースを記述することで、対象とするシステムが外部システムに対して持つべき機能を明確にすることができる<sup>[3][4]</sup>。

次に、システムが持つ機能を更に分析及び分解する。ブロック定義図で仮にシステムを分解してサブシステム

(システム構成要素)を定め、このサブシステム間の相互作用をシーケンス図で検討する。これにより、機能分解を行いながら、システム構成要素を検討する。更に、アクティビティ図で機能の分解を進めつつ、システム構成要素への割り当てを明確にしていく。機能のシステム構成要素への割り当てに際しては、性能の割り当ても検討する必要があり、その際には、パラメトリック図をもとにしたシミュレーションなどのシステム解析が必要となる。また、状態機械図により、システムの状態遷移を確認する。このようにして、システムの振る舞いと構造が明確化され、アーキテクチャの候補が明らかになる。更に、システム要求の優先順位をもとに、制約や要求される品質特性、性能要求などのバランスを取るアーキテクチャを候補の中から選定する。

以降では、ここで示したSysMLを用いたMBSEのアプローチに従ってパワーバックドアシステムの開発を行っていく。

## 4 パワーバックドアシステムのコンテキスト分析

### 4.1 現行パワーバックドアシステムの分析

最初に、図2に示す現行のパワーバックドアシステムについて分析を行う。現状の問題点を明らかにし、そこから要求を明確に導くためである。現行パワーバックドアシステムを、以降で議論する新しいパワーバックドアシステムと区別するため、非接触パワーバックドアシステム「Contactless Power Back Door System」(以下、CPBDS)と呼ぶ。

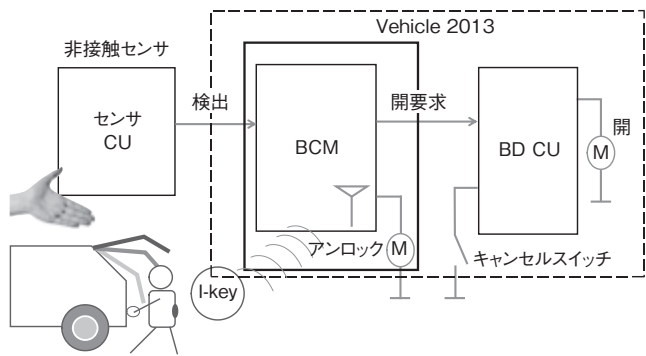


図2 非接触パワーバックドアシステム (CPBDS)

図2に示すように、CPBDSは、認証機能を備えたキーフォブ(以下、I-key)を携帯するユーザの手を非接触セン



サで検出することによってバックドアを開くことができる。CPBDSには、ボディ制御モジュール(BCM)、バックドア制御ユニット(BD CU)及びセンサ制御ユニット(センサCU)が含まれる。点線の長方形で囲んだ「Vehicle 2013」は、BCMとBD CUで構成され、新しいパワーバックドアシステムでは、既存のコンポーネントとして機能することを想定している。CPBDSでは、I-keyを携帯するユーザが手に荷物を持ったまま、バックドアを開けたいとき、ユーザが手をセンサの前に差し出すような操作をしなければバックドアを開くことができない。これは必ずしも容易なことではなく、ユーザにとって操作性の良いものではない。こうした検討から、「操作性の良さ」に関する要求が導かれる。更に、図3のような絵を用いた検討から、I-keyを携帯するユーザを自動車が「おもてなし」といった機能が求められていることに気づいた。本編では、「操作性の良さ」と「おもてなし」の観点で新パワーバックドアシステムがユーザから望まれているものと仮定して展開していく。

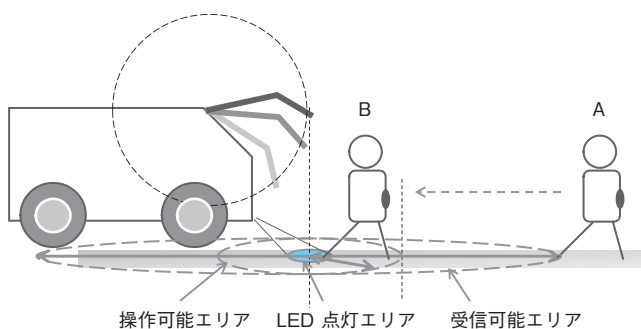


図3 ユースケースシナリオ“ドアを開く”

## 4.2 「ワンステップ・バックドアシステム」の コンテキスト分析

最初に、4.1で述べた「操作性の良さ」と「おもてなし」のユーザニーズに基づく新しいパワーバックドアシステムの要求を整理するため、対象とするシステムの利用場面を様々な観点から検討していく。図3のような絵を多用し、利用場面の想定を行った。その結果、以下の4つの要求を導くことができた。

- ① I-keyを携帯するユーザは、手を使わずにバックドアを開閉できること
- ② バックドアの開閉は、ワン・アクションの自然な動

作で行えること

- ③ バックドアの開閉の際に手や服を汚すことのないこと
- ④ パワーバックドアシステムは、ユーザへの「おもてなし」の姿勢を示すこと

これらの元の要求は「操作性の良さ」と「おもてなし」の 카테고リーに分類することができる。「操作性の良さ」には、上記の①、②、③が含まれる。一方、「おもてなし」は、上記の④が関係し、「バックドアに近づくI-keyを携帯するユーザに対して、自動車が歓迎する意思をユーザに示すこと」を導いた。これらの検討結果から、この新しいパワーバックドアシステムを「ワンステップ・バックドアシステム(One-Step Back Door System)」(以下、OSBDS)と名付けた。

コンテキスト分析では、まず、外部システムとの関係性の中で、OSBDSはどのように用いられるか、あるいはどのように動作するかを考えることになる。そこで、「バックドアを開ける」場合と「バックドアを閉める」場合の両方のユースケースについて考察した。ユースケース「バックドアを開ける」のシナリオ場面を図3に示し、そのユースケースを記述したシーケンス図を図3に示す。ただし、図3や図4を得るために、対象システムの利用を想定した簡易なプロトタイプなどにより反復的な議論を行った。

ユースケースシナリオを記述した図3に示す通り、地点AにいるI-keyを携帯するユーザが自車に近づくとき、システムはI-keyを検出し、LEDを地面に反射させて「おもてなし」の意思を示し、ユーザを誘導する。更にB地点までユーザが近づくとき、LEDを点滅させて、ユーザを更に自車に近寄らせる。ユーザが点滅するLEDに足をかざすと、ソナーが足を検出し、バックドアが開くことを示している。図4は、この一連の振る舞いをOSBDSと外部システム間の相互作用を表すシーケンス図で記述している。図4のシーケンス図に示されるOSBDSの生存線<sup>※3</sup>上にあるメッセージのやり取りから、OSBDSの機能が導出される。

なお、これらの一連の検討の中で、「ユーザは、バックドアの動作領域から退くことなく、バックドアの背面からバックドアを開閉できること」という要求を導いた。これは、バックドア開閉時の安全性に関連することである

脚注

※3 四角で表されるブロックから下方につながる点線を生存線(lifeline)と呼び、そのブロックの生存期間を表す。

が、ユーザが荷物を抱えたままバックドアを開けるための操作をし、バックドアが開く際に後ずさりをしなければならぬようでは操作性が良いとは言えない。「おもて

なし」という観点からもこの新たな要求を導出しており、非接触センサの配置に関連する要求となる。

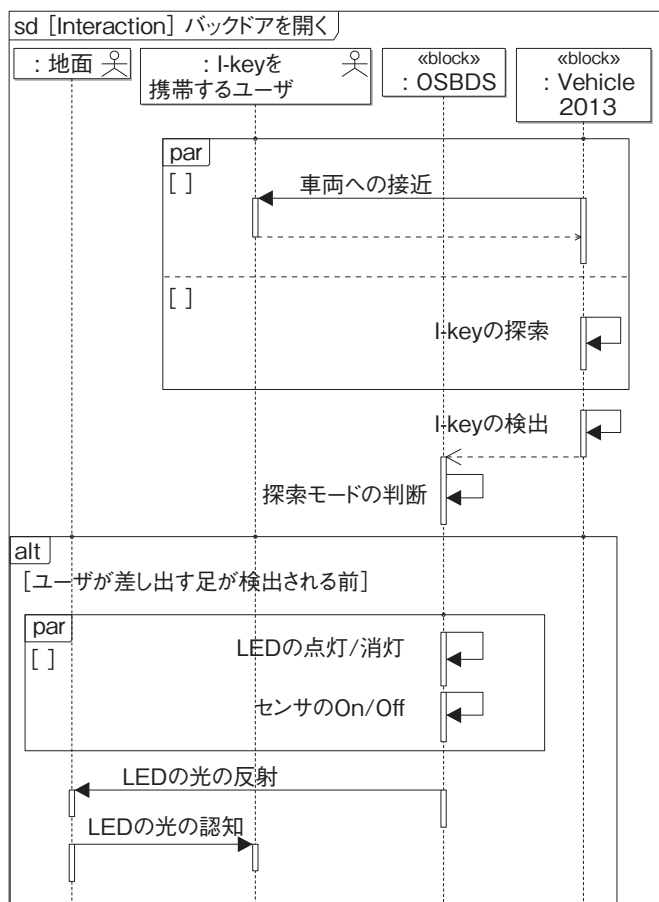
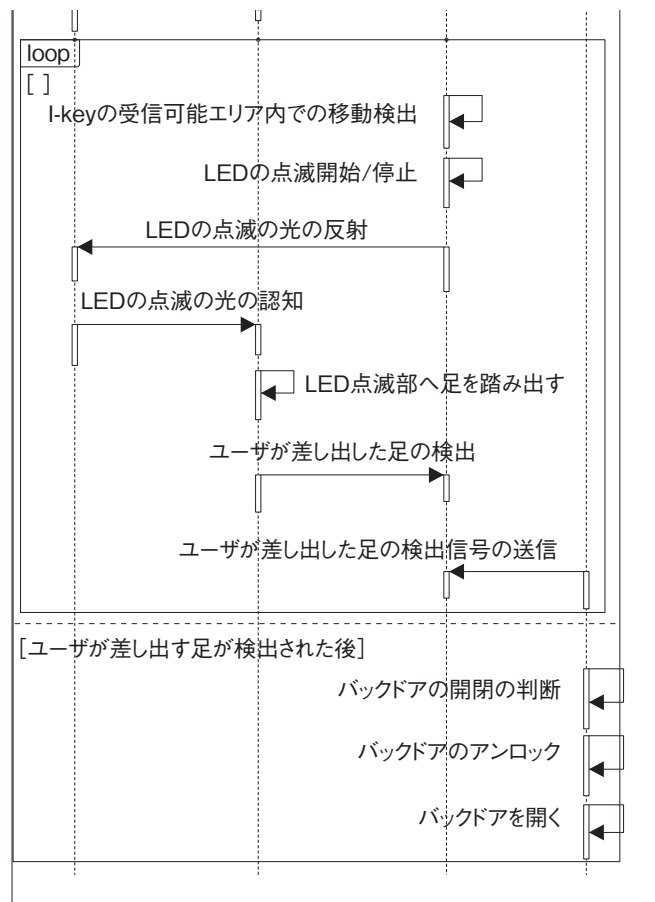


図4 ユースケース“バックドアを開く”を記述したシーケンス図



## 5 システムズモデリングのための機能分析と統合

### 5.1 機能分析と機能のコンポーネントへの割り当て

「4. パワーバックドアシステムのコンテキスト分析」で導出された機能を実現するためにシステムOSBDSを構成するコンポーネントを検討する。まず、OSBDSがLED、I-key移動検出器(以下、移動検出器)、足を検出するための非接触センサ(以下、非接触センサ)、及びバックドア制御ユニット(以下、BD2020 CU)から構成されているものと仮定する。また、非接触センサの候補としては、例えば、赤外線センサ、静電容量センサ、レーザー・レーダ、ソナーシステムなどがあり、これらのどれを採用するか検討する必要がある。図5のブロック定義図には、OSBDSが4つのコンポーネントから構成され、その中の

非接触センサについては、代替案として4つあることを表している。

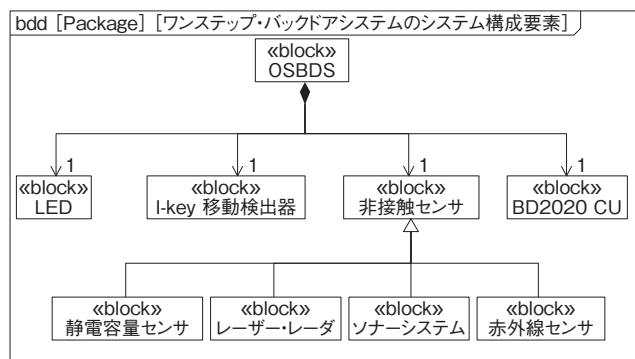


図5 ワンステップ・バックドアシステムのシステム構成要素を表すブロック定義図

各コンポーネントに要求される機能を導出するため、図4から得られた各機能をシーケンス図で記述する。図6は、

「I-keyの受信可能エリア内での移動検出」について記述したシーケンス図である。

図6の「I-keyの受信可能エリア内での移動検出」のシーケンス図より、移動検出器の機能を導出することができる。

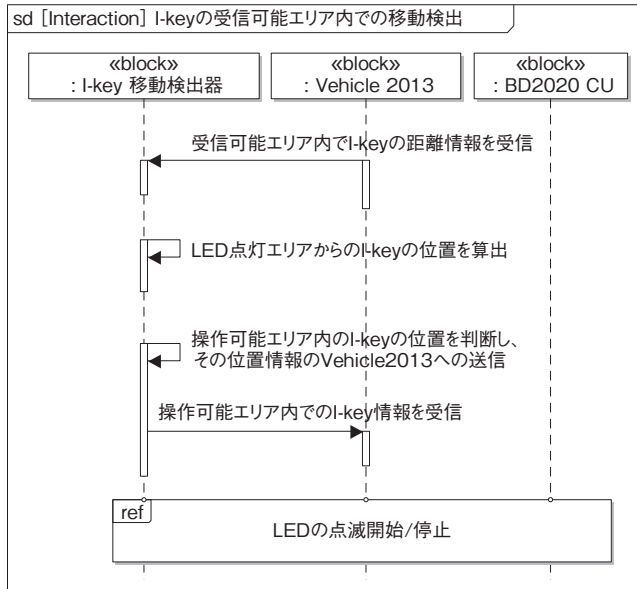


図6 「I-keyの受信可能エリア内での移動検出」を表すシーケンス図

同様に「ユーザーが差し出した足の検出」に関してもシーケンス図で詳細化した結果を図7に示す。ここでは、非接触センサの候補の中からソナー及びソナー CUからなるソナーシステムが選択されたものとして、シーケンス図を記述している。ソナーシステムを選択した理由については、5.2で述べる。図7より、ソナーシステムの機能を導出することができる。

このような機能分析により、各コンポーネントが持つべきすべての機能を明らかにすることができる。また、地面、I-keyを携帯するユーザー、及び既存のバックドアシステムVehicle 2013で定義された外部システムを含めて、コンポーネント間のインターフェースを図8のブロック定義図にまとめることができる<sup>[6]</sup>。図8から「移動検出器」の機能の実現には、「Vehicle 2013」が関連していることが分かる。このことから「移動検出器」と「Vehicle 2013」との統合について検討する余地があると考えられる。なお、BD2020 CUの機能「ユーザーが差し出した足の検出信号の送信」の実現には、送信先であるVehicle 2013が関連するが、「移動検出器」と「Vehicle 2013」の統合にこの機能は影響しないと考えられる。図8のブロック

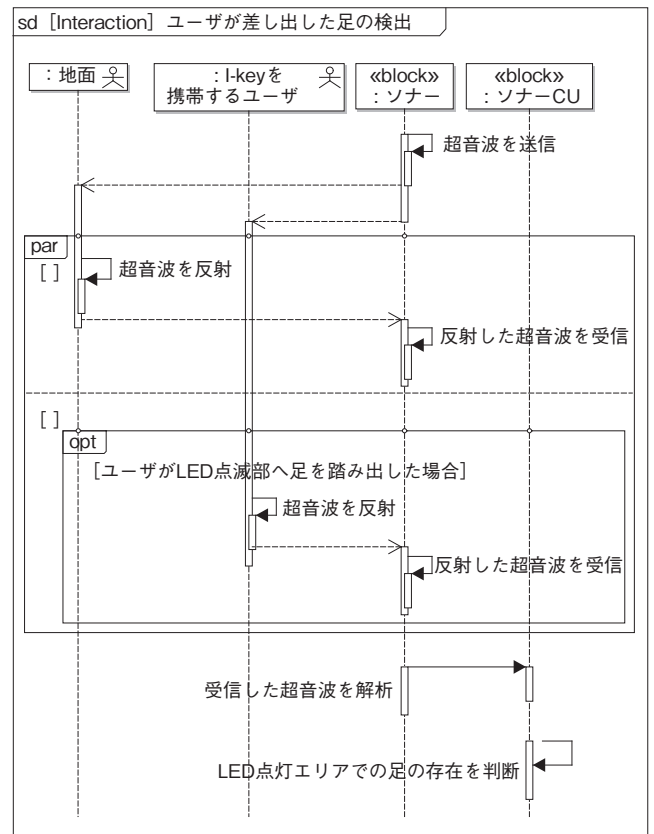


図7 「ユーザーが差し出した足の検出」を表すシーケンス図

定義図では、Vehicle 2013はアクターとして定義しているため、BD2020 CUからの足の検出信号を受信し、バックドアの開閉の判断にこれを利用していることを明記していない。

次に、アクティビティ図により、各コンポーネントの振る舞いを検討しながら確認する。Vehicle 2013の機能も含めて検討した結果として得られたアクティビティ図を図9に示す。これによりOSBDSがどのように機能するかについての全体のビューを捉えることができる。また、これらの検討には、状態機械図(以下、ステートマシン図)を確認しながらの作業が有効となる。技術者の多くは通常の業務の中で状態遷移を検討している場合が多く、ステートマシン図や状態遷移表を活用している。

図9のアクティビティ図には、Vehicle 2013は、低頻度探索モードでI-keyを探査し、I-keyが検知されると高頻度探索モードへ移行させる機能を持つことが示されている。また、タイマーにより高頻度探索モードの状態でも1分が経過し、その後I-keyを5秒間検出できなかった場合には、低頻度探索モードに戻るといった機能を持たせている。これは停車中の消費電力を抑制する要求を実現する機能である。

またBD2020 CUは、Vehicle 2013から低・高頻度探索モードの情報を受けた後、ソナー CUとの間で、両探索モードへの切替えコマンドの受信機能を二重に持っていることが分かる。これらの信号と振る舞いは同じタイプである

り、2つのコンポーネントはいずれも制御ユニットであるため、統合の可能性を見出せる。こうした検討をSysMLダイアグラム上で事前に行うことは、プロトタイプを作成してからの手戻りを防ぐ上で大変効果的である。

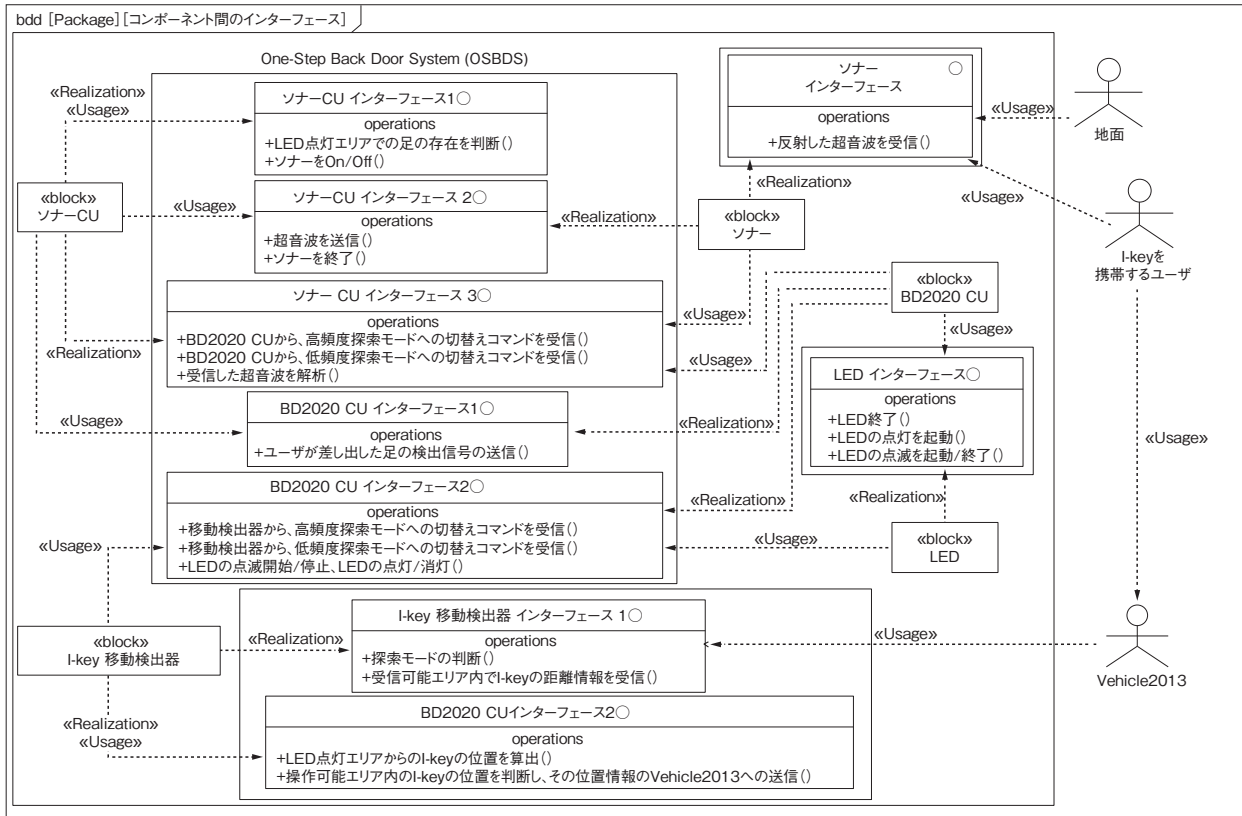


図8 コンポーネント間のインターフェースを表すブロック定義図

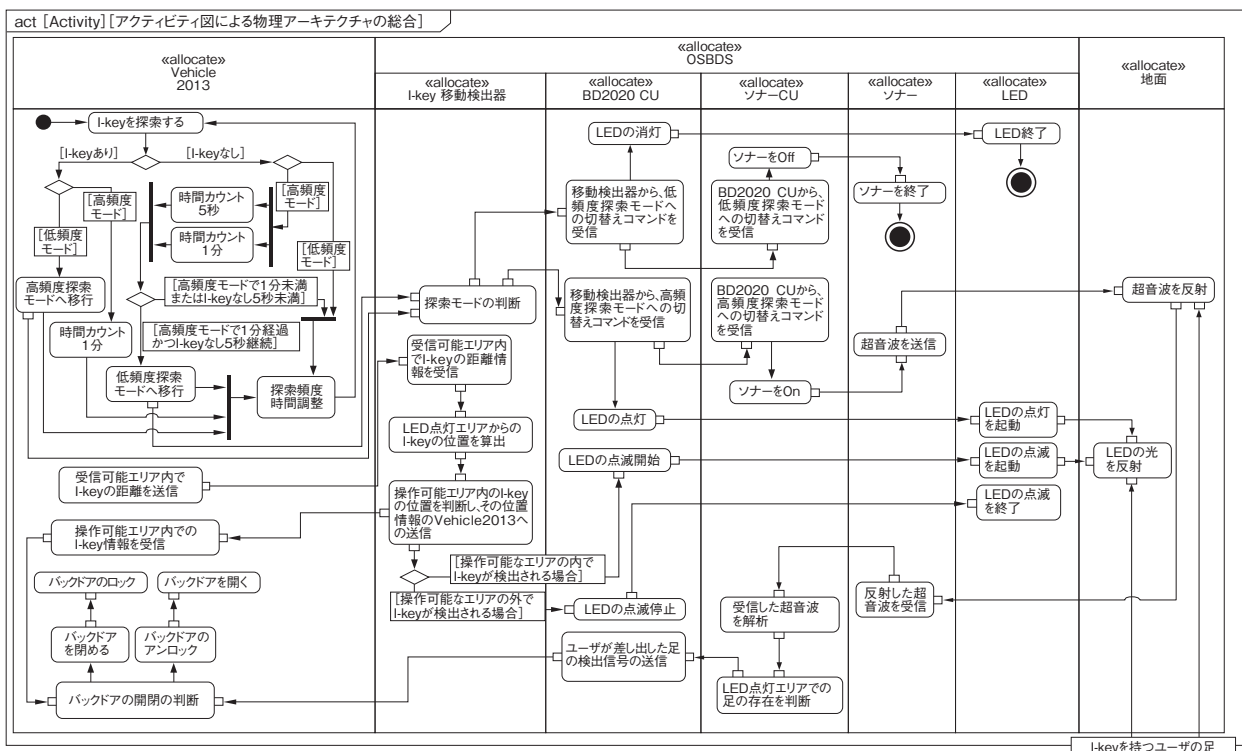


図9 アクティビティ図による物理アーキテクチャの総合



## 5.2 要求とトレーサビリティの詳細化

前述した通り、各システムコンポーネントの機能は、ユーザニーズである「操作性の良さ」と「おもてなし」の要求を満たすために、振る舞い図を用いて明確に導出される。また、機能のコンポーネントへの割り当てについても議論してきた。要求に関するこのような詳細化の関係性は、図10に示される要求図で表すことができる。最上位の要求は、4.2で述べた4つの要求から構成され、これらの要求は、「操作性の良さ」、「おもてなし」などの幾つかの主要な要求に分解される。「操作性の良さ」は、更に5つの要求に分解され、その機能要求は、「4. パワーバツ

クドアシステムのコンテキスト分析」で示した振る舞い図によって導出される。こうした分析を経て、OSBDSでは、I-keyを携帯するユーザが車に近づいてくるとLEDが点滅し、LEDで示されたエリア内に置かれたユーザの足を検出し、パワーバックドアを開くものと決定することができた。こうした分析の中で、機能要求「センサは、センサと地面の間に位置するユーザの足を検出することができる」が導出される。図5で、ユーザの足を検出するためのセンサとして、赤外線型、静電容量型、レーダ型、ソナー型を想定した。次に足の検出をするためのセンサの選定を検討しておく。

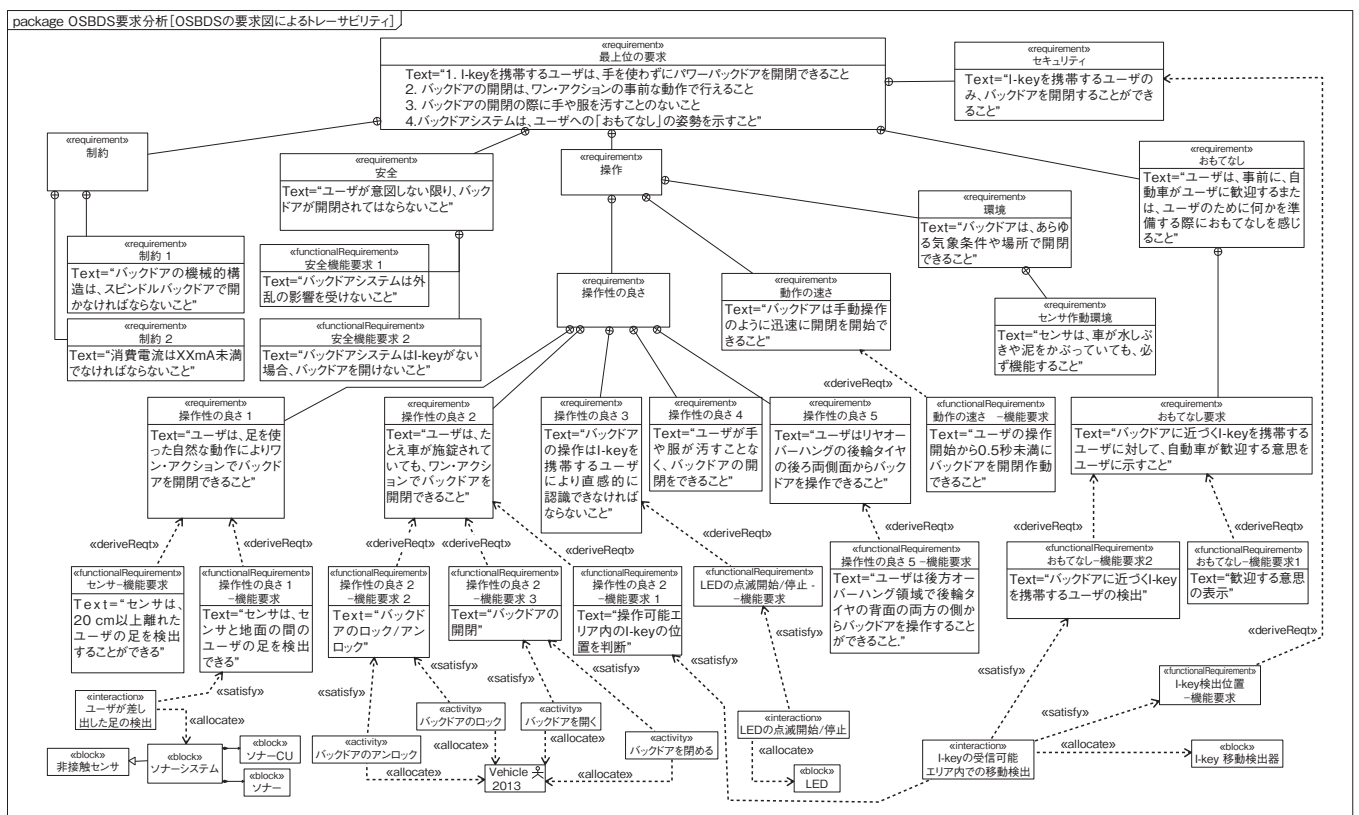


図10 要求図によるトレーサビリティの確保

「操作」に含まれる「環境」に関する要求の中の「センサは、車が水しぶきや泥をかぶっていても、必ず機能する」という要求から、先に導出した1)機能要求に加えて2)性能要求が導出される：

- 1)機能要求：センサは、センサと地面の間のユーザの足を検出できること。
  - 2)性能要求：センサは、20 cm以上離れたユーザの足を検出できること。
- 性能要求の「20 cm以上」は、ユーザの手や服が汚れない

ようにするという要求からきている。センサは、たとえ車が水しぶきや泥で覆われていても機能しなければならないため、「赤外線型」や「レーダ型」は汚れに対して脆弱なため選択肢から除かなければならない。また、「20 cm以上」という性能要求から、静電容量型は、選択肢から外される。このような検討結果から、ソナー型が候補の中から選定される。

上述の議論の結果から、図10に示される要求図を得ることができる。要求図には、元の要求、導出された機能要求、及び機能要求に合致したコンポーネントの間の多



くの関係性が描き出されている。このように要求図には要求のトレーサビリティが明確に示されており、このトレーサビリティによって、構成管理及び変更管理を正しく行うことができる。

## 6 得られた気づきと明確になった点

SysMLを用いたパワーバックドアシステムのアーキテクチャを構築するシステムズエンジニアリングプロセスから、次の通り気づきを得ることができた。

### (1) 要求のトレーサビリティ

すべてのシステムモデル及び情報は要求図に示されている元来の要求にさかのぼることができるため、エンジニアはシステムのすべてのビューを把握することができる。また、要求に関連するシステムモデルはSysMLツールに保存されているため、例えば、ECUを追加して新たな機能を実現する追加開発の際には、要求及びコンポーネント間の関係性を要求図で追いつながら検討できる。要求のトレーサビリティを確保しておくことは非常に重要である。

### (2) コンテキスト分析におけるシーケンス図による効果

コンテキスト分析で、図3のような絵を描き、またシーケンス図を用いた検討を行う中で、LED光の地面からの反射があることに気づくことができ、ユーザへの「おもてなし」あるいはLEDとしての機能が、地面の状態に依存することを見出せた。また、バックドアの開閉の動作をイメージすることにより、I-keyの検出を行うためのアンテナの配置に関する検討の見逃しを防ぐことができた。非常に初歩的な話ではあるが、アンテナをバックドアに配置してしまうと、バックドアが開いたときに、アンテナ自体もバックドアと一緒に上に上がっていくので、そうならないように、車体側にアンテナを配置する必要があるということに気づきを得た。また、バックドアが閉まっているときと、開いているときでは、電波環境が異なるので、I-key位置検出のチューニングをバックドア開閉状態それぞれで実施する必要があるという気づきを得ている。

また、Vehicle 2013が持つべき機能と新たに追加するOSBDSが持つべき機能を明確にすることができた。すな

わち、既に示した通り、移動検出器とVehicle 2013への機能の割り当てやそれらの統合の可能性、及びBD2020 CUとソナー CUの統合の可能性をそれぞれ示唆することができた。SysMLを用いたシステムモデルの記述により、従来の“部品ありき”の設計スタイルでは、見出すことのできなかった組織の枠にとらわれない、対象とするシステム全体としての最適化の検討が行えたことは大きなメリットとして認識された。

### (3) 機能の割り当て

アクティビティ図は、機能がどのようにシステムコンポーネントに割り当てられているかを示すことができ、これはシステムに関与するシステムズエンジニアだけではなく、コンポーネントの設計者にとっても、設計するコンポーネントがシステムの中でどのように機能するかを知ることができるため、有用である。また、技術者がよく活用するステートマシン図や状態遷移表と併せて検討することによって、コンポーネントの機能に漏れがないかを検討することができる。

暗黙知化された振る舞いや機能をアクティビティ図で書き表すことで、機能のコンポーネントへの割り当てやコンポーネント間の統合をシステムとして俯瞰して見るができるようになる。また、このことにより、既存の担当領域や組織の枠にとらわれないシステムとしての最適化の検討が行えるようになった。コンポーネントに依存する形で分割された組織では、機能の割り当てやコンポーネント間の統合を検討する際に、技術者自身の組織内のコンポーネントのみに影響がとどまり、自身が属する組織外のコンポーネントに対して影響が出ないように設計をしがちであるが、そうした思考の枠にとらわれずに全体を俯瞰することで、実プロジェクトにおけるQCDの最適化が図れる可能性がある。こうした検討がシステム開発の早い段階で行えることは、試作やプロトタイプを減らすことができ、意図しない手戻りの減少に大いに効果があるものと期待される。

### (4) システムズエンジニアリングとSysMLの導入

従来の開発では、成果物をどのような形でどのように残していくかの判断やその質が個人のスキルに依存していたが、MBSEのプロセスでSysMLを用いることにより、文書として残すべき成果物と、関連するシステムモデル

を明確にできることの優位性が評価された。ただし、企業における製品の開発をモデルベースに移行させ、システムモデルの記述言語としてSysMLを導入するには、幾つかの乗り越えるべき壁がある。企業での開発業務を行う組織では、システムレベルでエンジニアリング活動を行うための組織がそもそも存在しない場合が多い。システムレベルでエンジニアリング活動を行うために組織を編成すると共に、SysMLを導入するためのコスト、エンジニアをトレーニングするためのコストなどの負担にどのように対処するべきかが大きな課題となる。また、追加開発も含んだエンジニアリングプロセスの中での活用方法を検討しなければならない。

## 7 結論

本編では、SysMLを用いてパワーバックドアシステムのアーキテクチャを構築するシステムズエンジニアリングプロセスを示した。ECUを追加して新機能を実現しようとすることに起因するE/Eアーキテクチャ設計の複雑さの課題を解決するため、MBSEの導入を検討した。パワーバックドアシステムに「操作性の良さ」と「おもてなし」に関する新たな要求を追加する際のモデルベースシステムズエンジニアリングによる設計プロセスを示した。具体的にはユースケース図とシーケンス図を用いて、新しいパワー

バックドアシステムの要求を分析した。コンテキストレベルで、対象とするシステムと外部システムとの関係性を明確に示すことにより、システムが持つべき機能性を明確にすることができた。更に追加開発のもととなる要求と、詳細化されていく機能要求や性能要求とのトレースが取れる形で要求図に明確にすることができた。全体のシステムを構成するそれぞれのコンポーネントに機能を割り当てる際にはアクティビティ図での検討を行い、併せて状態機械図、シーケンス図を用いた。アクティビティ図とブロック定義図を用いてコンポーネント間の相互作用を確認することができ、幾つかのコンポーネントを統合することの可能性が示された。

システム解析、トレードオフ分析をサポートするパラメトリック図を用いたアーキテクチャの選択についてはここでは示さなかったが、システムモデルを記述することで、システムレベルでの議論を経てどのようなシミュレーションを実施する必要があるのかを明確にすることができ、システムモデルにより、技術者は、システム全体を見渡すことができ、担当するサブシステムやコンポーネントがほかのサブシステムやコンポーネントとどのような関係を持つのが明確に把握できる。システム開発の初期段階で、コンポーネントやサブシステムの統合に関連する有用な気づきが与えられることで、意図しない手戻りを減少させる効果は大きい。

## 参考文献

- [1] Systems Engineering Handbook, A Guide for System Life Cycle Process and Activities, Fourth Edition, International Council on Systems Engineering, 2015
- [2] INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/IEEE 15288:2015, First edition, 2015-05-15  
System and software engineering - System life cycle processes
- [3] Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, A Practical Guide to SysML, The System Modeling Language, Third Edition, The MK/OMG Press 2014
- [4] 西村秀和：監訳、システムズモデリング言語SysML、東京電機大学出版局、2012
- [5] モデルベースシステムズエンジニアリング導入の手引き、独立行政法人情報処理推進機構 技術本部 ソフトウェア高信頼化センター、2013
- [6] Laurent Balmelli, An Overview of the Systems Modeling Language for Products and Systems Development, The Journal of Object Technology, Vol. 6, No. 6, pp.149-177, 2007
- [7] Chi Lin, Dave Nichols, The Application of MBSE at JPL Through the Life Cycle, INCOSE IW 2014, [http://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:06-iw14-mbse\\_workshop-application\\_of\\_mbse\\_at\\_jpl\\_through\\_the\\_lifecycle-nichols-lin-final.pdf](http://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:06-iw14-mbse_workshop-application_of_mbse_at_jpl_through_the_lifecycle-nichols-lin-final.pdf)
- [8] 先進的な設計・検証技術の適用事例報告書  
<http://www.ipa.go.jp/sec/reports/20151118.html>