

## 15-A-14

# 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>

## 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、ユーザー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ともに、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。特に、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いだ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。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>」に関するユーザーニーズを引き出し、ユーザー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いく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

---

<sup>1</sup> 事例提供:

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 氏

日産自動車株式会社 第一電子技術開発本部 中本 貴之 氏、宮下 真哲 氏

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 ソンギル 氏

<sup>2</sup> 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

んでいる。この電子化を支える ECU (Electronic Control Unit) の数は、1 台あたり 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とりを行うために、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、様々なユーザー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[1][2]を活用し、対象とするシステムを明確にするとともに、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渡すことができないために、他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もつかがわ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[1]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と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、医療産業などでは、MBSE をサポートするために SysML[3][4]が近年注目されているが、日本での導入は欧米に遅れをとっている。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 およ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[5]。

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、ユーザーニーズとしての“ユーザーフレンドリー（操作性の良さ）”や“おもてなし”などの新たな要求にもと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ー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」を求めるユーザーニーズを考慮し、ユーザー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いく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および手段」

「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、ユーザー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。さらに、システムとは何か？というと、同じく INCOSE では、

「システムとは、一つ以上の定められた目的を達成するために編成された相互作用する要素の組み合わせ」

と定義している[1]。

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[2]全般にわたる検討のもと、コミュニケーションを正しくとることで、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 15-A-14-1 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[3][4]。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と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と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、およ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。

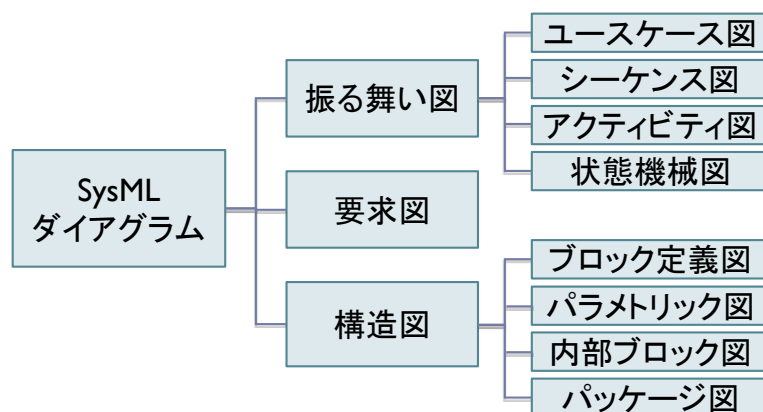


図 15-A-14-1 SysML ダイアグラムの分類

要求図は、テキストベースの要求とそれらに関連する他の要求、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、たとえば  $F = ma$  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 [3][4]。

次に、システムがもつ機能をさらに分析および分解する。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。さらに、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る、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。さらに、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、性能要求などをバランスす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 のアプローチにしたが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 15-A-14-2 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。パワーバックドアシステムは自動車のアクセス・盗難防止システムの中に含まれる。アクセス・盗難防止システムには、パワーバックドアシステムその他、ドライバー用ドアシステム、後部乗客用ドアシステムなどが含まれている。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。

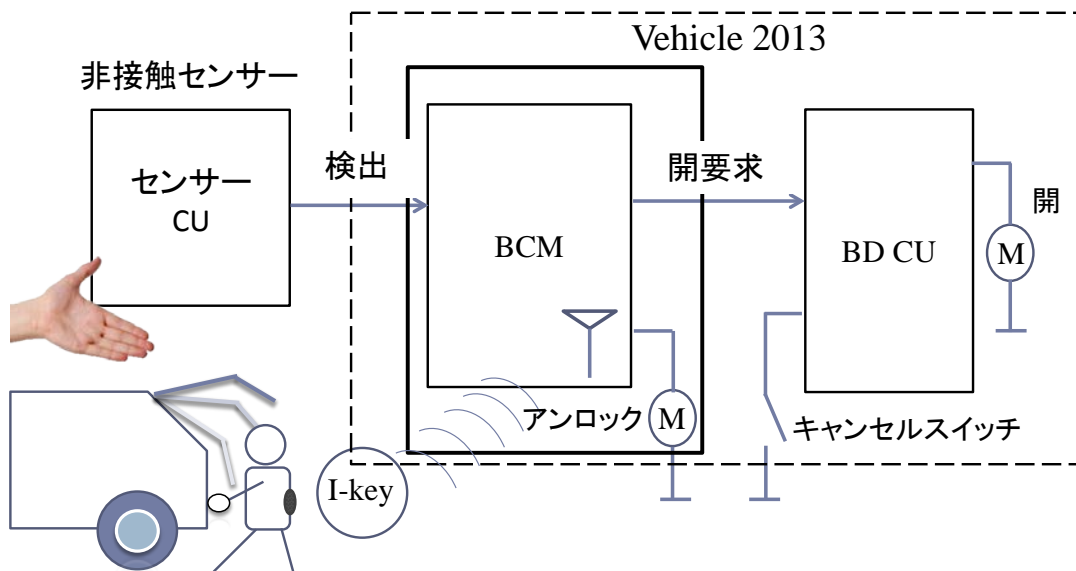


図 15-A-14-2 非接触パワーバックドアシステム（CPBDS）

図 15-A-14-2 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）を携帯するユーザーの手を非接触センサー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）およびセンサー制御ユニット（センサー 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 を携帯するユーザーが手に荷物を持ったまま、バックドアを開けたいとき、ユーザーが手をセンサー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、ユーザー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。さらに、図 15-A-14-3 のような絵を用いた検討から、I-key を携帯するユーザーを自動車「おもてなし」といった機能が求められていることに気付いた。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ーから望まれているものと仮定して展開していく。

#### 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」のユーザー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。ここでは詳細を省略するが、図 15-A-14-3 のような絵を多用し、パワーバックドアシステムが用いられるコンテキストを分析し、ユースケース図を用いるなどして、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 を携帯するユーザーは、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、ユーザーへの「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」のカテゴ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。手を使わずにワン・アクションの自然動作でバックドアを開閉できるという要求から、「ユーザーは、足を使った自然な動作によりワン・アクションでバックドアを開閉できること」、「ユーザーは、たとえ車が施錠されていても、ワン・アクションでバックドアを開閉できること」、「バックドアの操作は I-key を携帯するユーザーにより直感的に認識できなければならないこと」そして、「ユーザーが手や服を汚すことなく、バックドアの開閉をできること」を導いた。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 を携帯するユーザーに対して、自動車が歓迎する意思をユーザーに示すこと」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 15-A-14-3 に示し、そのユースケースを記述したシーケンス図を図 15-A-14-3 に示す。ただし、図 15-A-14-3 や図 15-A-14-4 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ピング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 15-A-14-3 に示すとおり、地点 A にいる I-key を携帯するユーザーが自車に近づくと、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、ユーザーを誘導する。さらに B 地点までユーザーが近づくと、LED を点滅させて、ユーザーをさらに自車に近寄らせる。ユーザーが点滅する LED に足をかざすと、ソナーが足を検出し、バックドアが開くということを示している。図 15-A-14-4 は、この一連の振る舞いを OSBDS とその外部のシステム間の相互作用をシーケンス図で記述している。

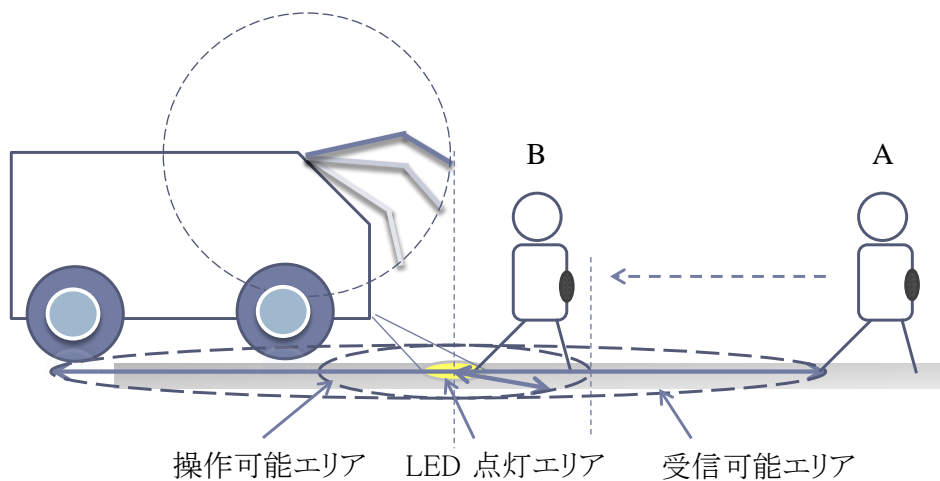


図 15-A-14-3 ユースケースシナリオ “ドアを開く”

図 15-A-14-4 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とりから、OSBDS の機能

- a) 探索モードの判断
- b) LED の点灯／消灯
- c) センサーの On／Off
- d) I-key の受信可能エリア内での移動検出
- e) LED の点滅開始／停止
- f) ユーザーが差し出した足の検出
- g) ユーザーが差し出した足の検出信号の送信

が導出される。

<sup>3</sup> 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。

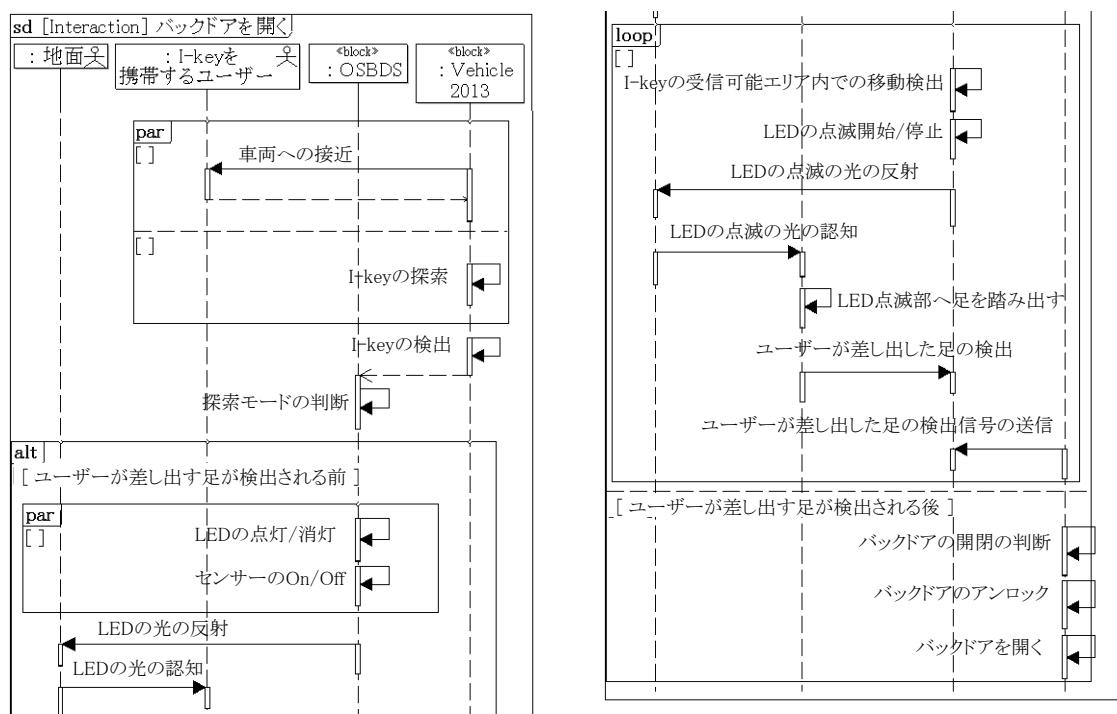


図 15-A-14-4 ユースケース“バックドアを開く”を記述したシーケンス図

なお、これらの一連の検討の中で、「ユーザーは、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が、ユーザー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ない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、非接触センサーの配置に関連する要求となる。

## 5. システム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ー（以下、非接触センサー）、およ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、非接触センサーの候補としては、例えば、赤外線センサー、静電容量センサー、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 15-A-14-5 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ーについては、代替案として 4 つあることを表している。

ここまではまだ、システムをブラックボックスのままで解析しており、その内部は明確に



なっていない。そこでコンテキスト分析から導出された機能を実現するため、システムコンポーネントが内部でどのように相互作用しているかを明らかにして、最終的にシステムの構成要素を決定する必要がある。各コンポーネントに要求される機能を導出するため、図 15-A-14-4 から得られた各機能 a)～g)をシーケンス図で記述する。図 15-A-14-6 は、機能 d)「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。

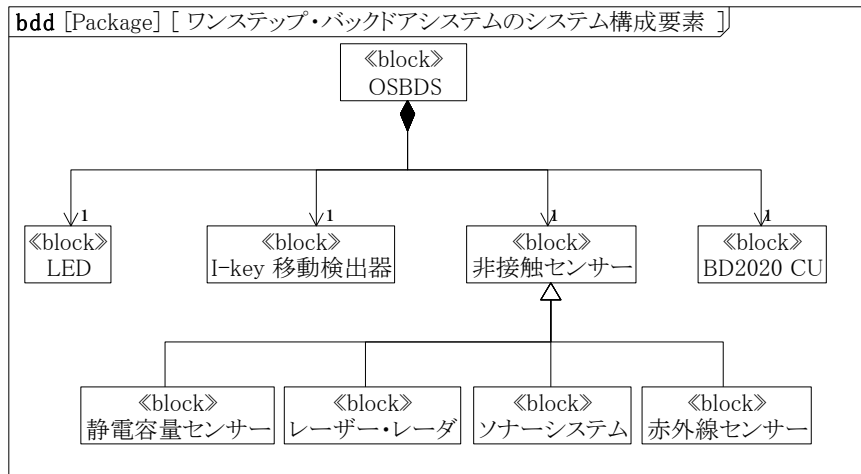


図 15-A-14-5 ワンステップ・バックドアシステムの  
システム構成要素を表すブロック定義図

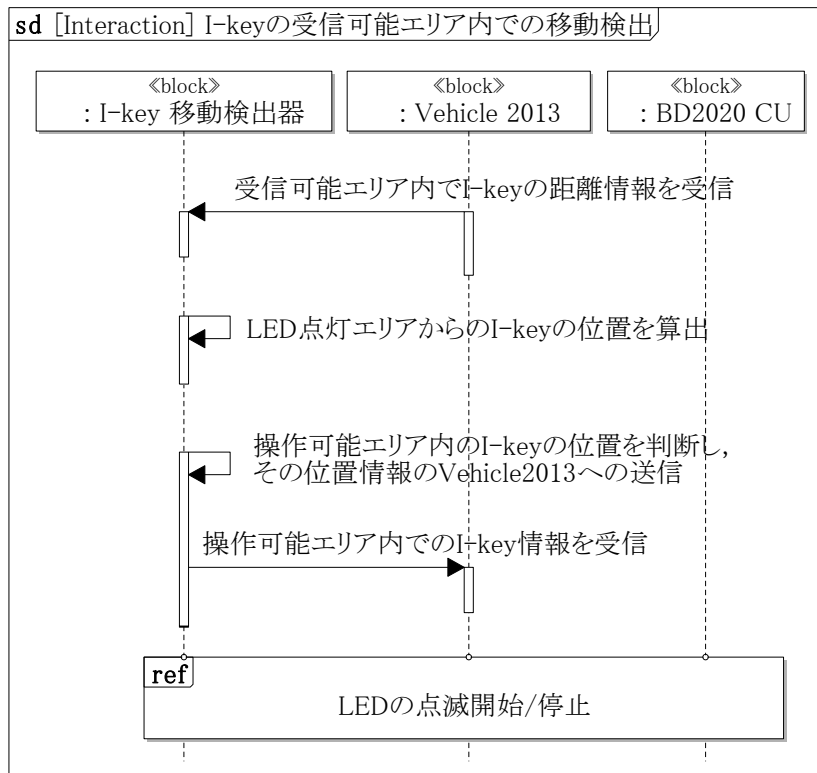


図 15-A-14-6 「I-key の受信可能エリア内での移動検出」を表すシーケンス図

図 15-A-14-6 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次のとおり導出することができる。

d-1) 受信可能エリア内での I-key 距離の受信

d-2) LED 点灯エリアからの I-key 位置の算出

d-3) 操作可能エリア内での I-key 位置の判断と、その位置情報の Vehicle 2013 への送信

同様に「ユーザーが差し出した足の検出」についてもシーケンス図で詳細化した結果を図 15-A-14-7 に示す。ここでは、非接触センサーの候補の中からソナーおよびソナーCU と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 15-A-14-7 より、ソナーシステムの機能を次のとおり導出することができる。

f-1) 超音波の送信

f-2) 反射した超音波の受信

f-3) 受信した超音波の解析

f-4) LED 点灯エリアでの足の存在の判断

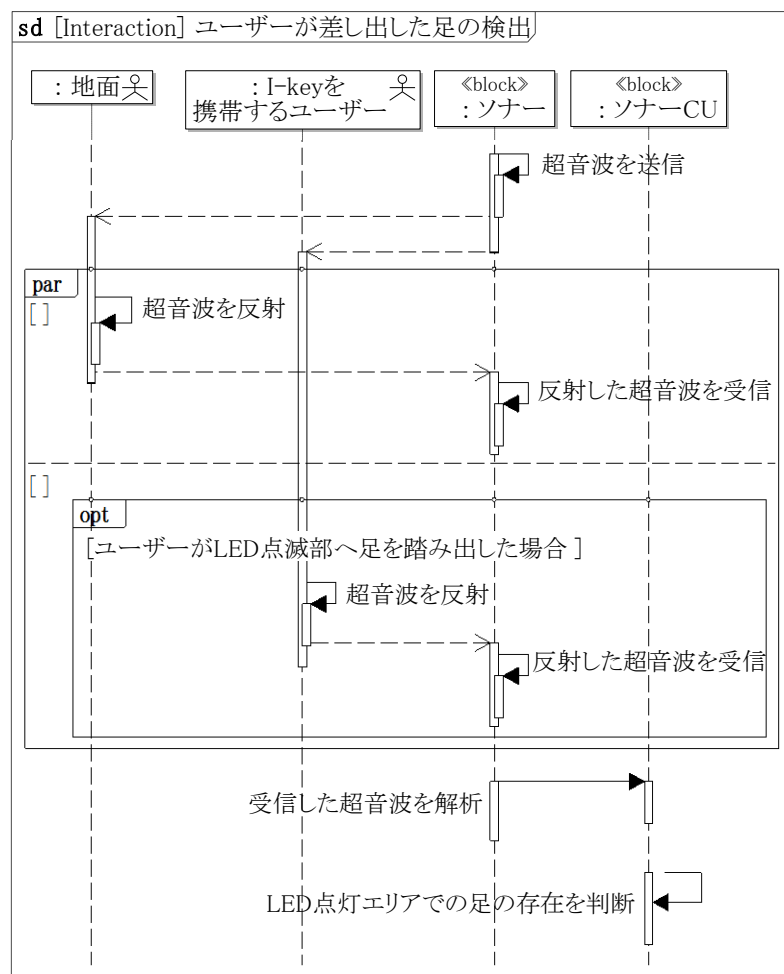


図 15-A-14-7 「ユーザーが差し出した足の検出」を表すシーケンス図

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全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、およ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フェースを図 15-A-14-8 のブロック定義図にまとめることができる[6]。図 15-A-14-8 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わかる。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ることができる。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 15-A-14-8 のブロック定義図では、**Vehicle 2013** はアクターとして定義しているため、BD2020 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 15-A-14-9 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とらえることができる。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 15-A-14-10 に低頻度探索モードと高頻度探索モード間の状態遷移を表すステートマシン図を示す。それぞれの状態にアクションを記述しており、図 15-A-14-9 のアクティビティ図と合わせて特定の機能が働く際のシステムの状態を確認することができる。

図 15-A-14-9 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 を探索し、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も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が 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。このような探索モードの切り替えの機能を、どのコンポーネントへ割り当てると良いかを図 15-A-14-8 のブロック定義図や図 15-A-14-9 のアクティビティ図などをもとに検討した。図 15-A-14-2 に示したとおり、**Vehicle 2013** は I-key を携帯するユーザーを探索する機能をすでにもっており、この機能は I-key による車両の左右ドアの施開錠という基本機能とも共通である。当該追加開発対象の OSBDS はこの I-key 基本機能を装備した車両に対するオプション設定となることを踏まえ、消費電力抑制のための探索モード切り替え機能は **Vehicle 2013** が担うことと決定した。

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り替えコマンドの受信機能を二重に持っていることがわかる。これらの信号と振る舞いは同じタイプであり、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。

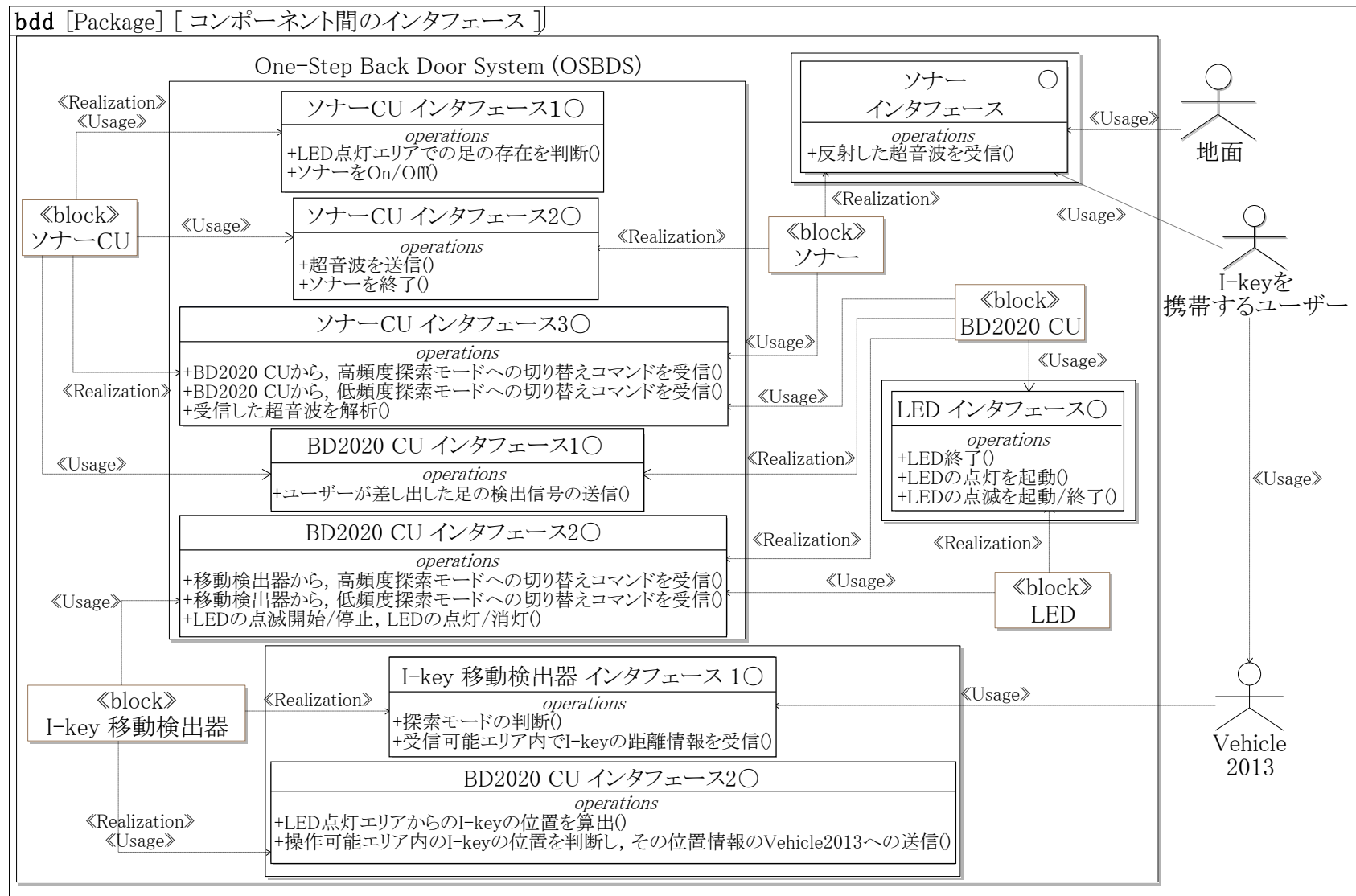


図 15-A-14-8 コンポーネント間のインタフェースを表すブロック定義図

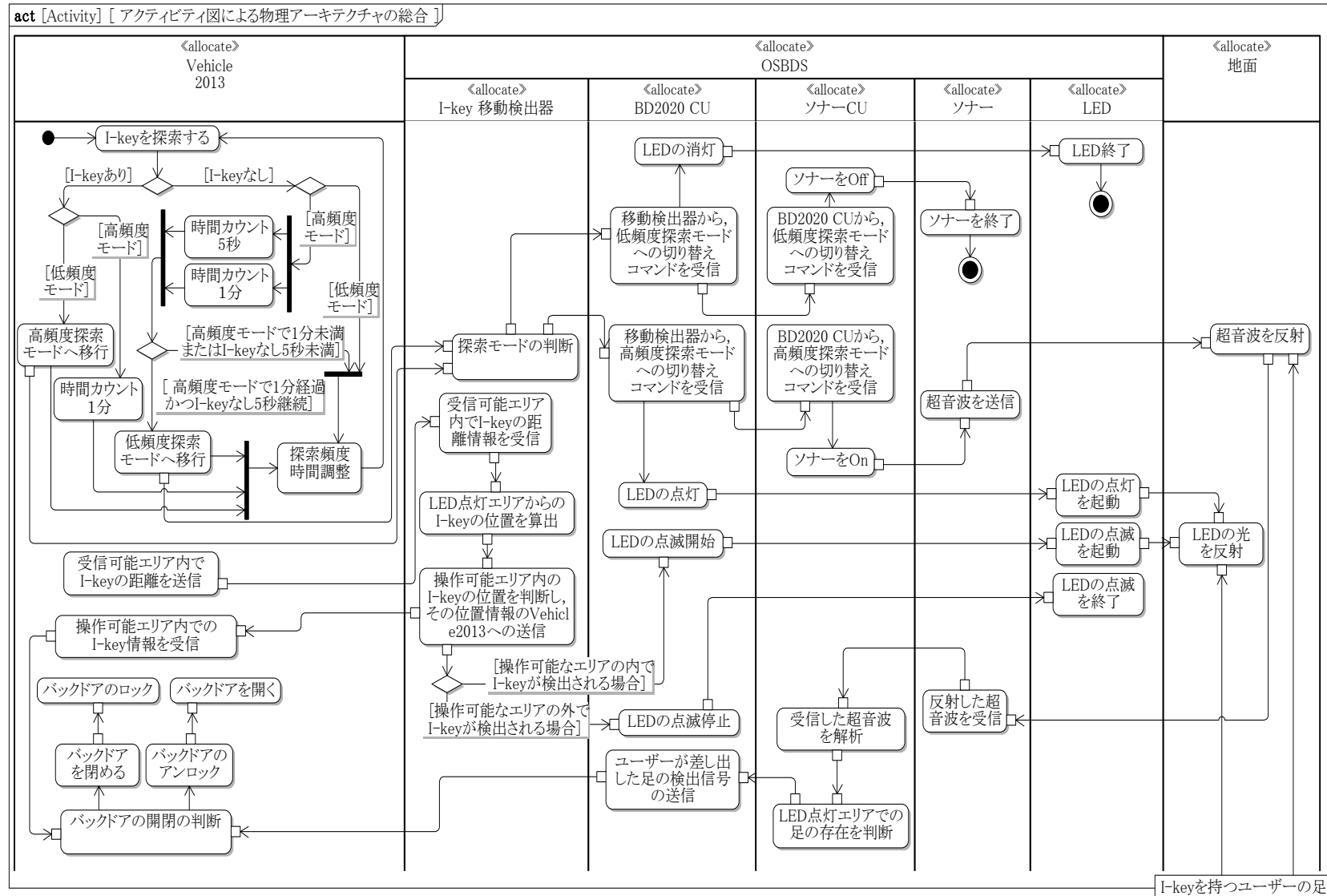


図 15-A-14-9 アクティビティ図による物理アーキテクチャの総合

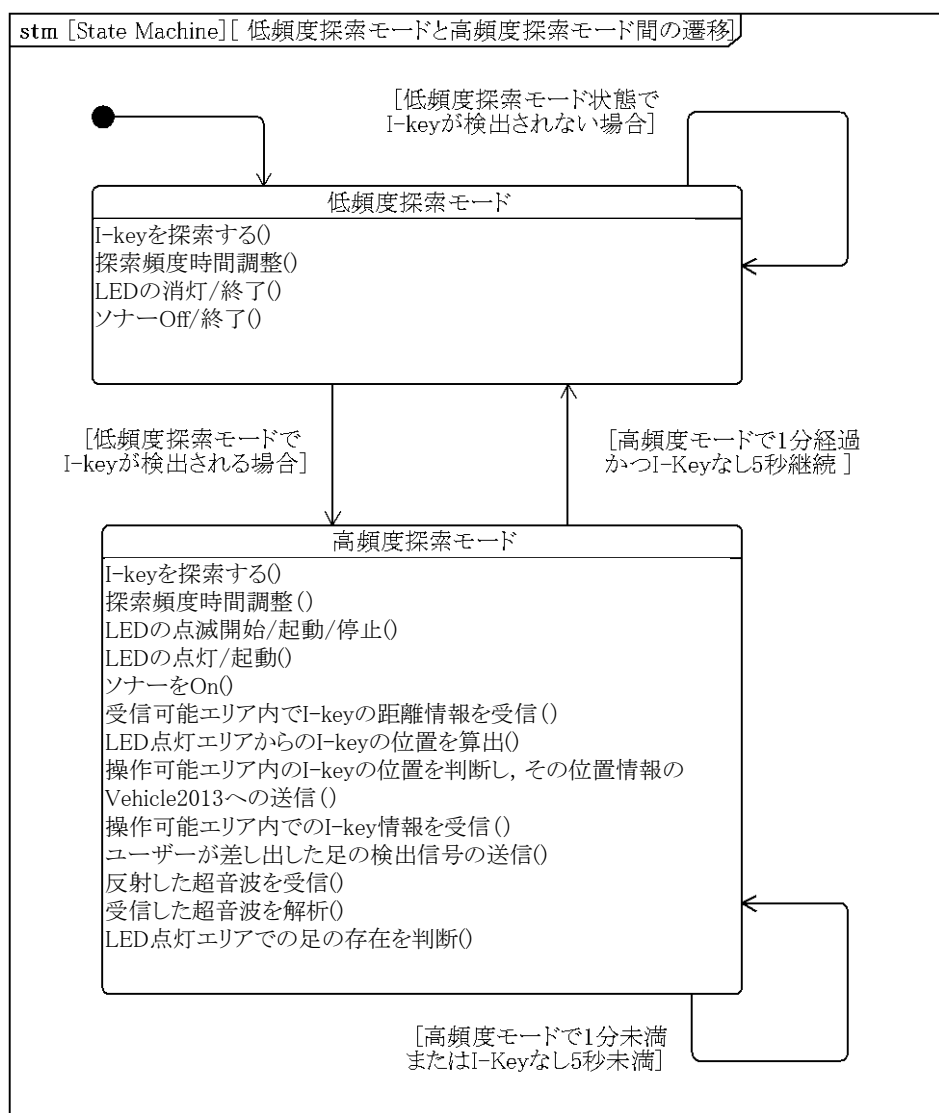


図 15-A-14-10 低頻度探索モードと高頻度探索モード間の遷移を表す状態機械図

## 5.2. 要求とトレーサビリティの詳細化

前述したとおり、各システムコンポーネントの機能は、ユーザーニーズである「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 15-A-14-11 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」等のいく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. パワーバッ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 を携帯するユーザー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ーの足を検出し、

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「センサーは、センサーと地面の間に位置するユーザーの足を検出することができる」が導出される。図 15-A-14-4 で、ユーザーの足を検出するためのセンサーとして、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ーの選定を検討しておく。

「操作」に含まれる「環境」に関する要求の中の「センサーは、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：センサーは、センサーと地面の間のユーザーの足を検出できること。
- 2) 性能要求：センサーは、20 cm 以上離れたユーザーの足を検出できること。

性能要求の「20 cm 以上」は、ユーザーの手や服が汚れないようにするという要求から来ている。センサーは、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、選択肢からはずされる。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 15-A-14-8 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、およ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、構成管理および変更管理を正しく行うことができる。

## PART II 設計事例

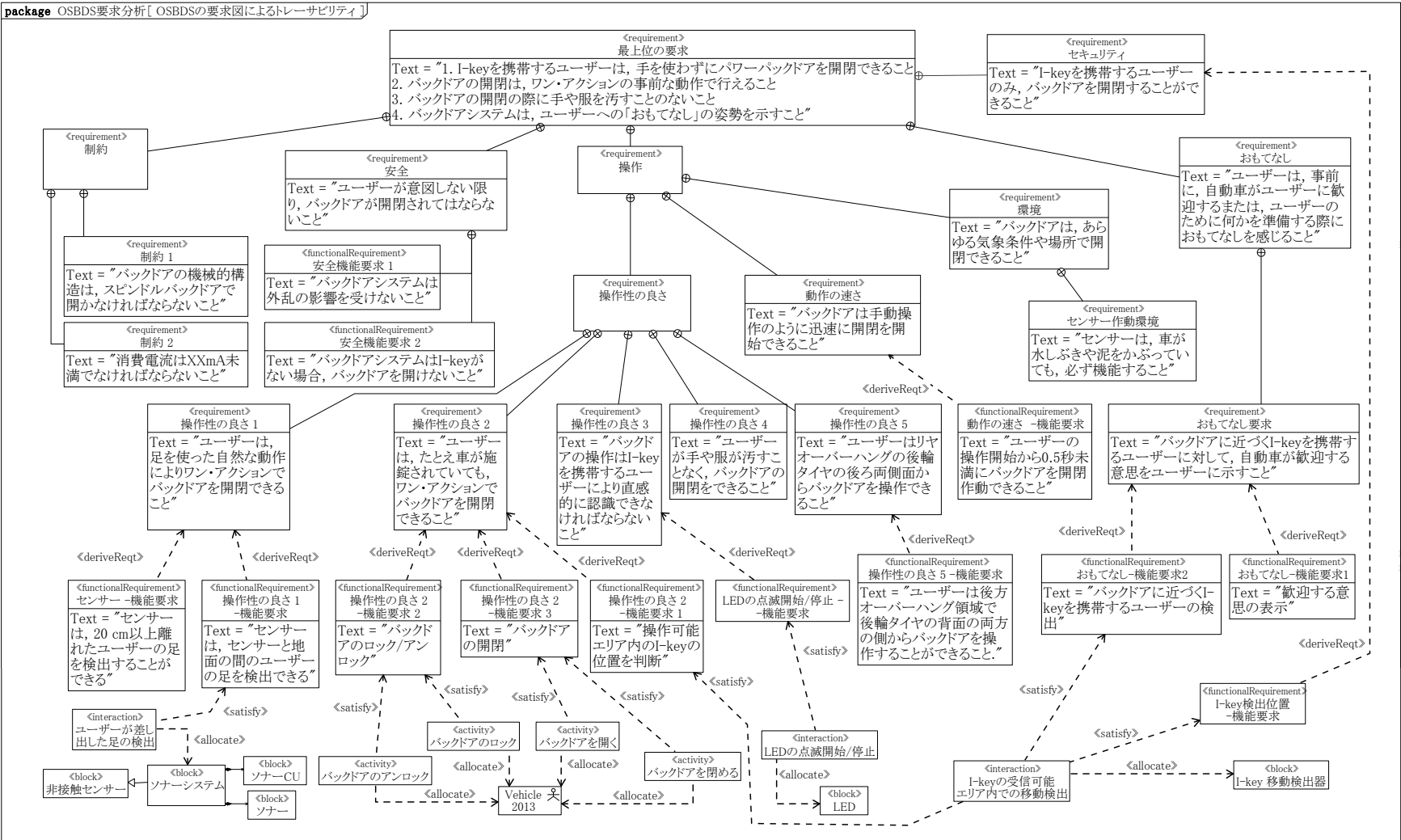


図 15-A-14-11 要求図によるトレーサビリティの確保



## 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、次のとお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

全てのシステムモデルおよび情報は要求図に示されている元来の要求に遡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、要求およびコンポーネント間の関係性を要求図で追いながら検討できる。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 15-A-14-3 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、ユーザーへの「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いだせた。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時に、アンテナ自体もバックドアと一緒に上にあがって行くので、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、すでに示したとおり、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、および BD2013 CU と Sonar 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、見いだ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のかを知ることができるため、有用である。また、技術者が良く活用するステートマシン図や状態遷移表と合わせて検討することによって、コンポ

ーメ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こと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留まり、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、いく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ともに、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。

INCOSE IW(International Workshop) 2014 によれば、NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory、ジェット推進研究所) では 2009 年から 7 年間のロードマップで MBSE の導入を進めているという[7]。3 次元 CAD の導入時にも相当な時間がかかったように、MBSE の導入にも時間がかかるであろう。INCOSE 「Systems Engineering Handbook」[1]や「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」[5]にも掲載されているとおり、全体の予算の 15%程度をシステムズエンジニアリングにかけすることでコストやスケジュールのオーバーランを抑制できると言われており、その意味からも導入を検討することが望ましいと考えられる。

## 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、システムがもつべき機能性を明確にすることができた。さら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と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、合わせて状態機械図、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、いく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る。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他のサブシステムやコンポーネントとどのような関係をも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)

掲載されている会社名・製品名などは、各社の登録商標または商標です。

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（IPA/SEC）