



「つながる工場」研究分科会 企画セッション 2015年3月16日

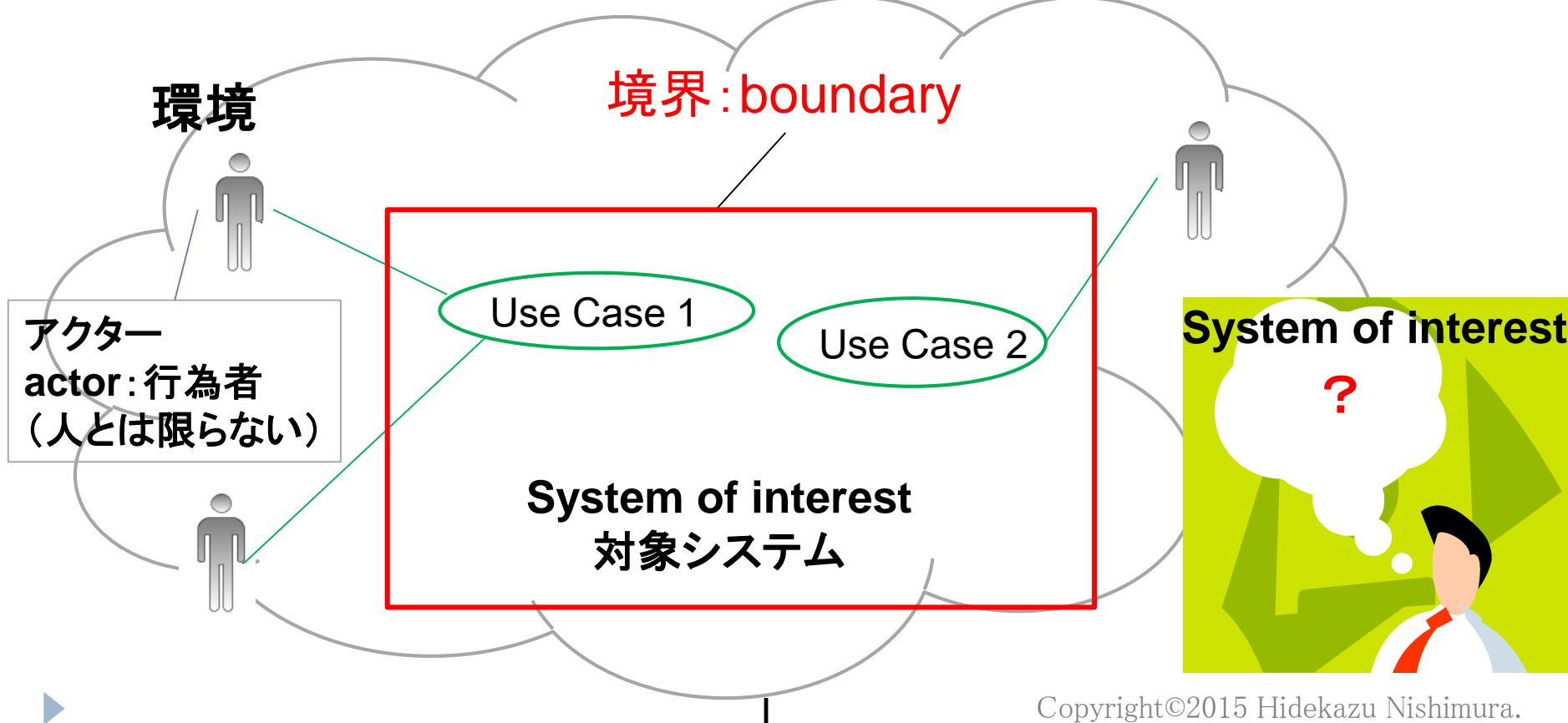
製品のライフサイクル全般にわたる
モデルベースシステムズエンジニアリング

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
教授 西村 秀和 <http://lab.sdm.keio.ac.jp/nismlab/>

システムとは何か？

▶ システム：

相互に関連し全体として機能するコンポーネントの集まり
ハードウェア，ソフトウェア，人，設備など複数のドメインで構成



システムズエンジニアリングとは？

- ▶ システムズエンジニアリングの定義
 - ▶ 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段階で顧客のニーズを明確化し、機能要求を定義し、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。
 - ▶ INCOSE: International Council on Systems Engineering

システムズエンジニアリングとは？

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



コミュニケーションの重要性



ISO 15288

ISO 15288 システムライフサイクルプロセスの構成

▶ 同意プロセス

- ・取得プロセス
- ・供給プロセス

▶ 組織的プロジェクト実行プロセス

- ・ライフサイクルモデルマネジメントプロセス
- ・基盤マネジメントプロセス
- ・ポートフォリオマネジメントプロセス
- ・人的リソースマネジメントプロセス
- ・品質マネジメントプロセス
- ・知識マネジメントプロセス

▶ 技術マネジメントプロセス

- ・プロジェクト計画プロセス
- ・プロジェクト評価・統制プロセス
- ・意思決定マネジメントプロセス
- ・リスクマネジメントプロセス
- ・構成管理プロセス
- ・情報マネジメントプロセス
- ・計測プロセス
- ・品質保証プロセス

▶ 技術プロセス

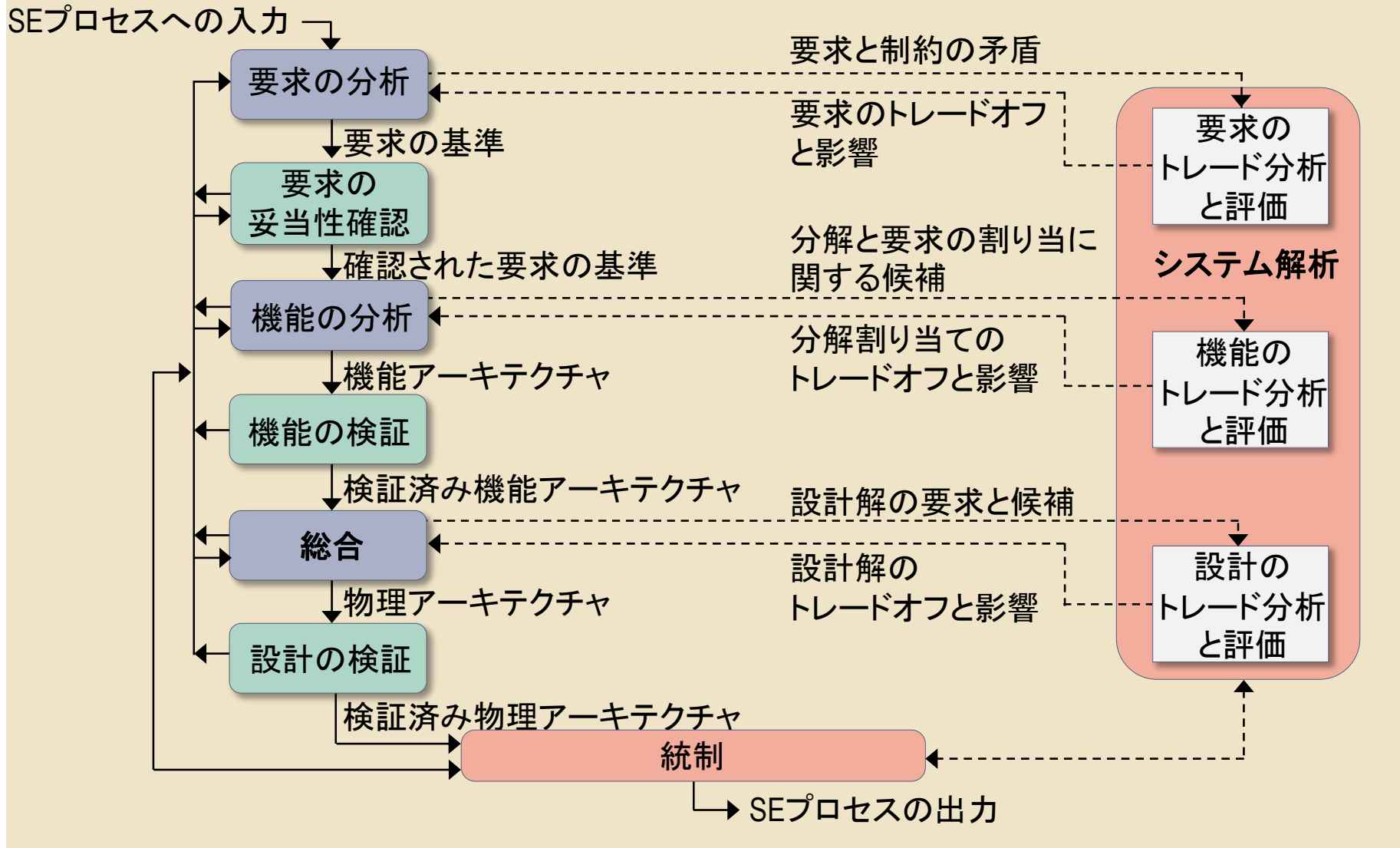
- ・ビジネス解析, ミッション解析プロセス
- ・利害関係者ニーズおよび要求定義プロセス
- ・システム要求定義プロセス
- ・アーキテクチャ定義プロセス
- ・設計定義プロセス
- ・システム解析プロセス
- ・実装プロセス
- ・統合プロセス
- ・検証プロセス
- ・移行プロセス
- ・妥当性確認プロセス
- ・運用プロセス
- ・保守プロセス
- ・廃棄プロセス

システムズエンジニアリングプロセスの概要

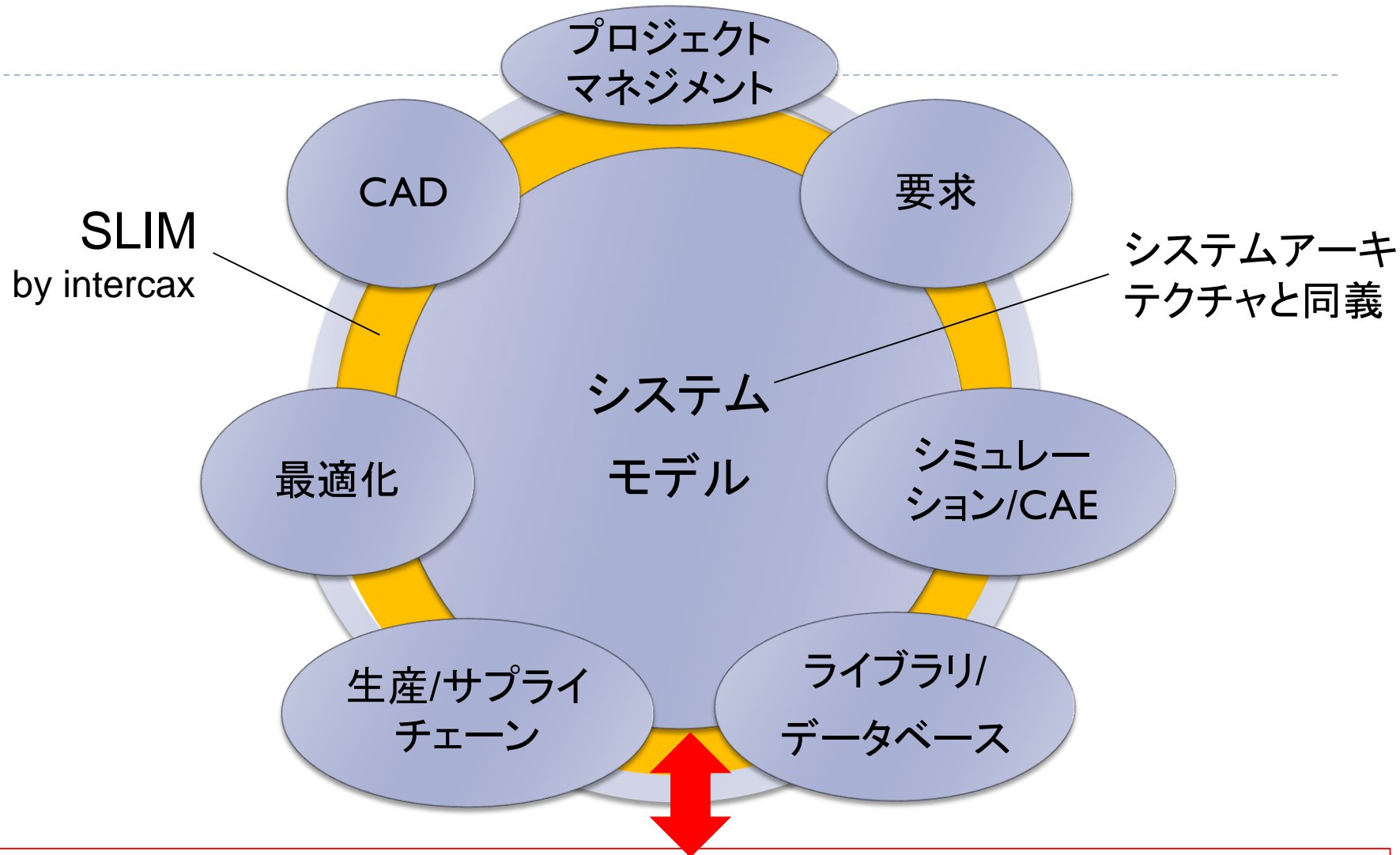
システムズエンジニアリングを構成する4つのアクティビティ

- ▶ 要求分析～システム設計
 - 要求分析、アーキテクチャ設計を実施し、サブシステムへの要求を導出する。
- ▶ インテグレーション(統合)
 - 検証済みのサブシステムを統合する。
- ▶ 評価・解析
 - エンジニアリング解析および検証(verification)・妥当性確認(validation)等を実施する。
- ▶ システムズエンジニアリングマネジメント
 - QCDを満たすように、各種活動の計画・実施・評価を行う。

IEEE 1220 systems engineering process



SLIM (System Lifecycle Management)

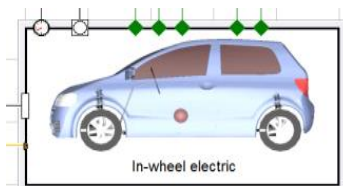


PLM (Product Lifecycle Management), SCM (Supply Chain Management)

INDUSTRIE 4.0に向けて. . .

システムズエンジニアリングとCyber Physical Systemの意味

- ▶ ライフサイクル全般にわたるモデリング
 - ▶ それぞれのステージに応じて適切な**デジタルモデル**を持つ。
 - ▶ デジタルモデルは実システムと**整合し**、**正しい情報**を持つ必要がある。
- ▶ INDUSTRIE 4.0では、サプライチェーン、生産の効率化にデジタルモデルを活用することの重要性を強調。2030年の実現を目指す。



要求抽出

概念設計

アーキテクチャ

詳細設計

試験検証

製造

運用保守

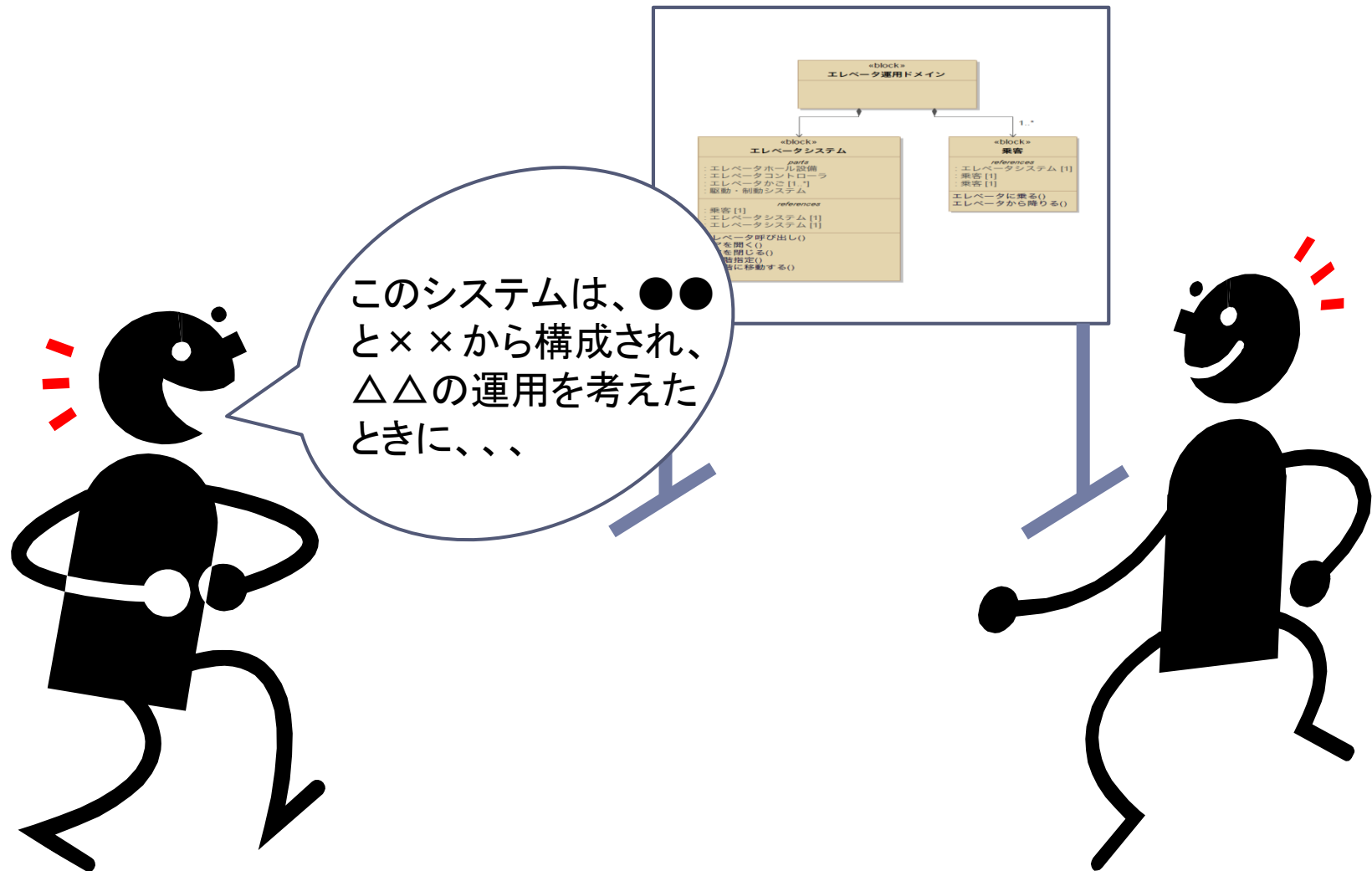
廃棄

開発

コミュニケーションの失敗

このシステムは、●●と××から構成され、△△の運用を考えたときに、...

図を用いたコミュニケーション



“モデルベースでシステムを考える”とは？

▶ モデル*に基づくシステム開発

- ▶ 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。
- ▶ **協働してシステム開発**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。

***注：実行可能ではないモデルを含む。
もちろん、実行可能なモデルも含む。**

モデルに基づくシステムズエンジニアリング

MBSE: Model-Based Systems Engineering

モデルベースシステムズエンジニアリング

|| 基本的なプロセスは同じ

(文書に基づく)システムズエンジニアリング

- ▶ INCOSE (International Council on Systems Engineering) MBSE WG

補足

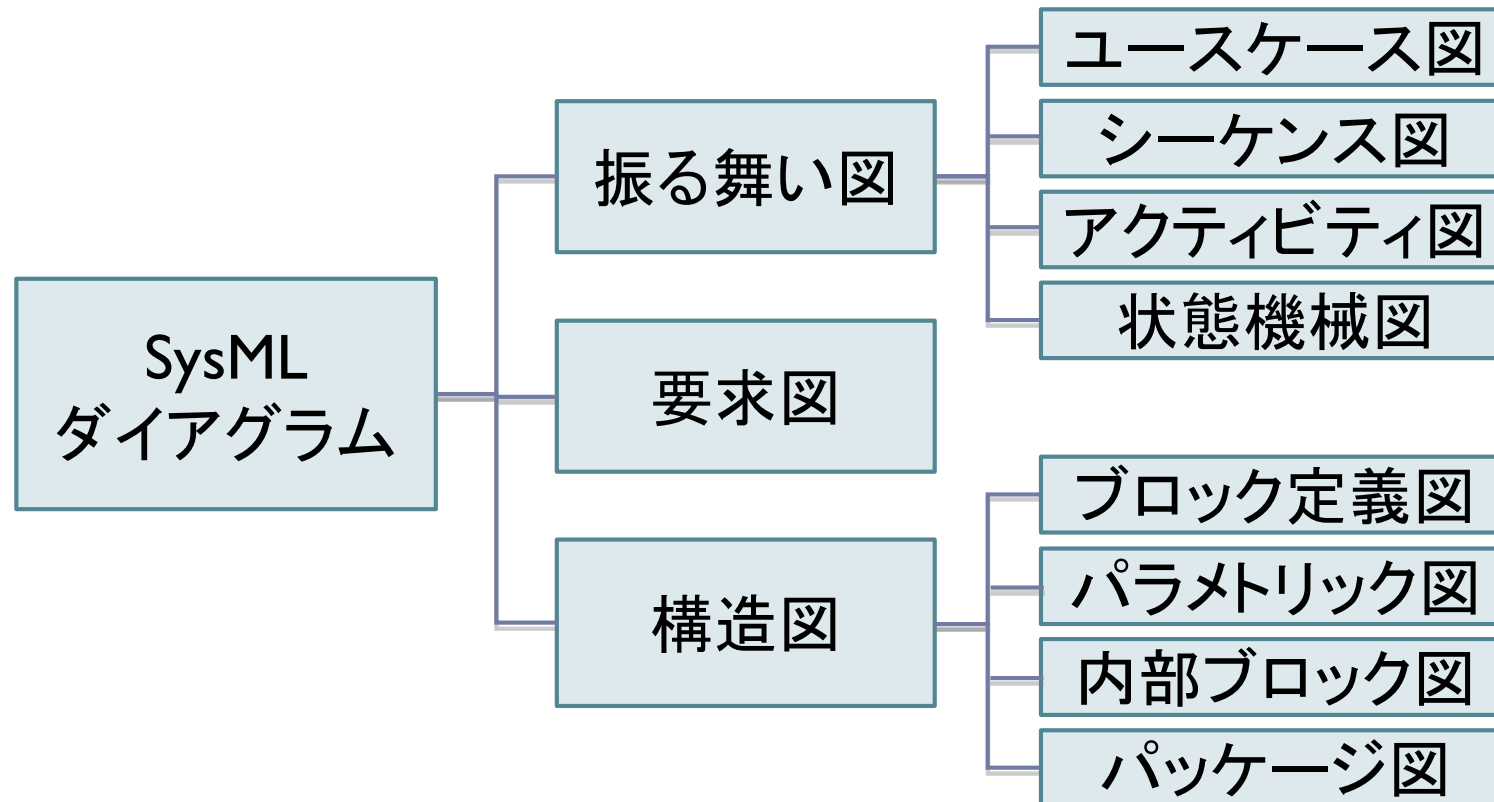
- ▶ IEEE 1220に示されるとおり、システムズエンジニアリングには、システム解析が必要である。そこでは、シミュレーションモデルによる解析が行われる。これをもって、モデルベース開発(MBD: Model-Based Development)と呼ぶことがあるが、MBSEは基本的にはMBDを含むことに注意されたい。

システムモデルの記述

- ▶ **システムモデル表記法: SysML (Systems Modeling Language)**
 - ▶ システムを**構造**, **振る舞い**, **要求**, **パラメトリック制約**の観点で図的に表現することができる。
 - ▶ 図的表現により、**開発者の思考**を支援できる。
 - ▶ 複数のドメインにまたがる開発、分業化された開発環境で、**共通言語**として利用できる。
 - ▶ システム開発プロセスの中で**要求のトレーサビリティ**が確保される。
 - ▶ **構成管理**、**変更管理**が容易になる。—あるサブシステムやコンポーネントの要求の変更や設計の変更が生じた際に、他のサブシステムやコンポーネントにどのような**影響**が及ぶかを判断できる。

SysMLダイアグラムの分類

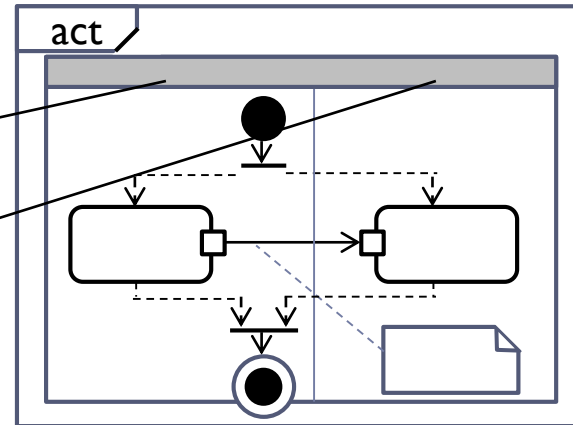
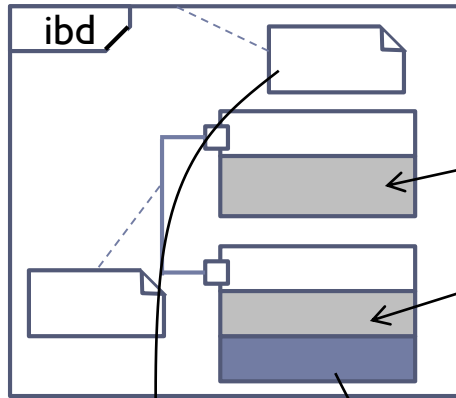
SysML: Systems Modeling Language



システムモデルは互いに関連性を持っている。

→ システム構成に変更があった場合に、その影響を容易に把握できる。

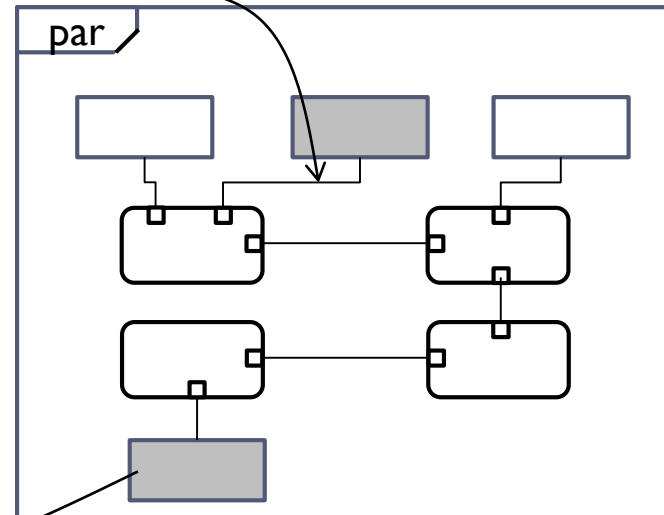
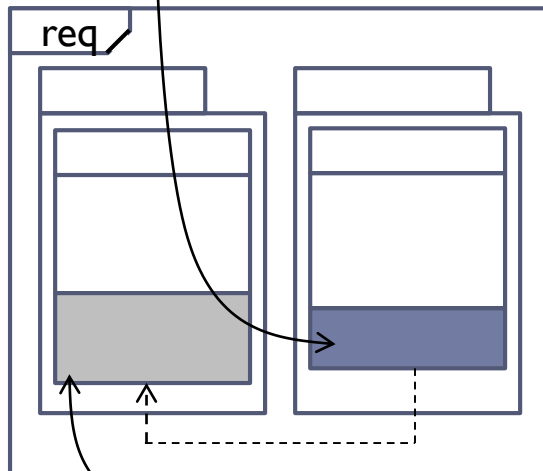
構造



振る舞い

- ・機能
- ・相互作用
- ・アクション
- ・フロー
- ・状態遷移

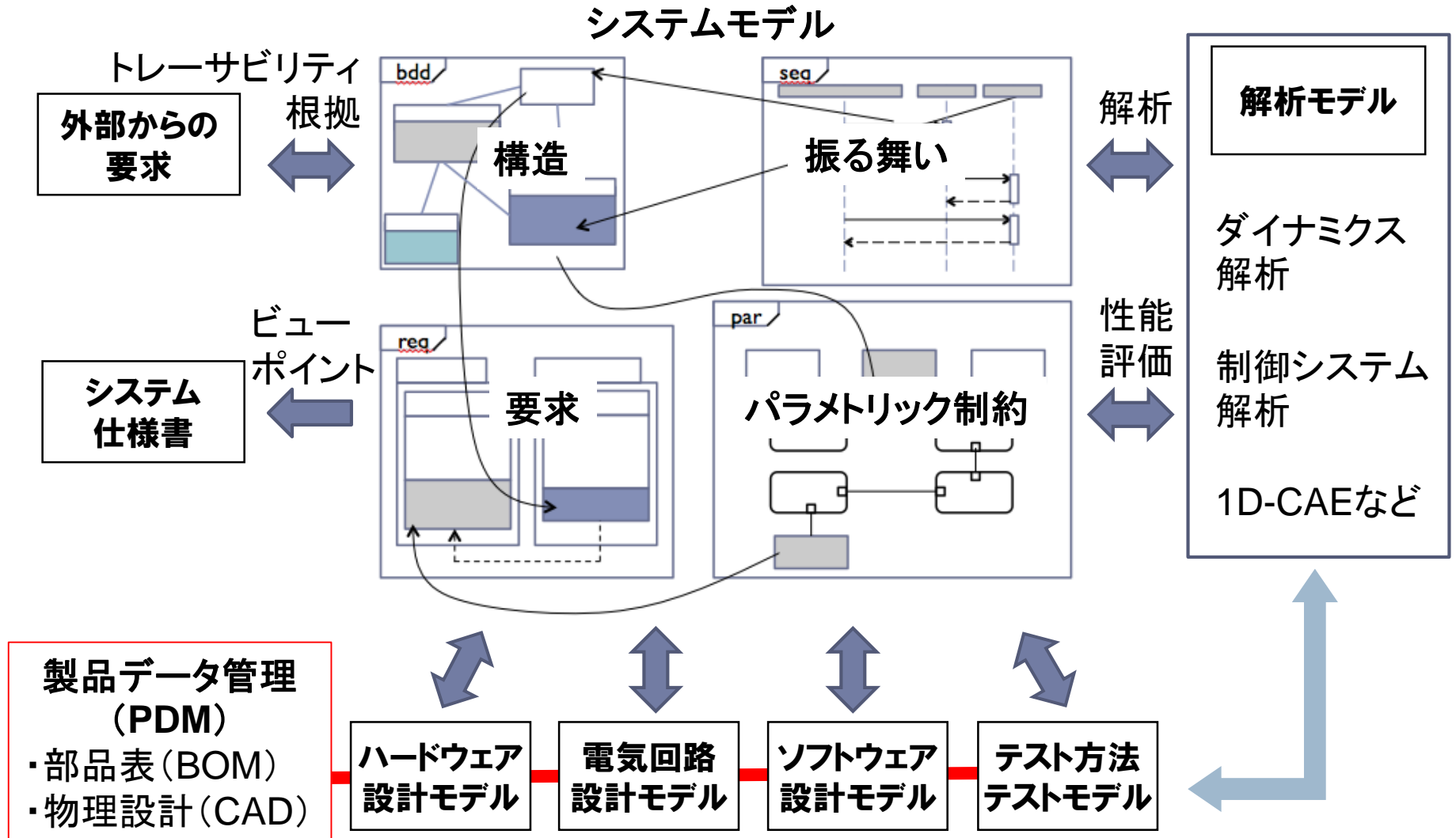
要求



パラメトリック
制約

- ・設計式
 - ・運動方程式
- などでのパラメータ間の制約

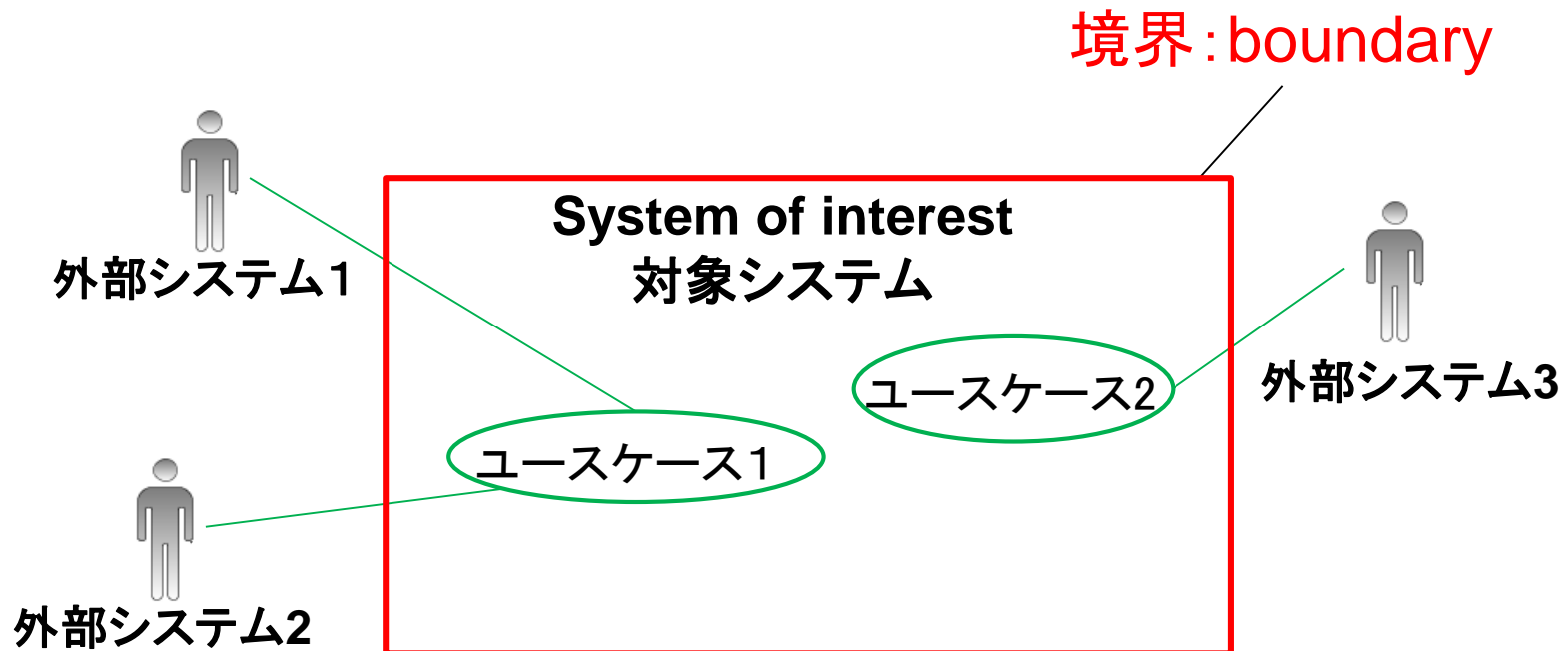
コンカレントデザインを促進するフレームワーク



ユースケース図 システムの使われ方と動作

- ▶ 対象とするシステムはどのように使われ、どのような動作をするのか？
- ▶ 対象システムの境界はどこか？
- ▶ 対象システムの例

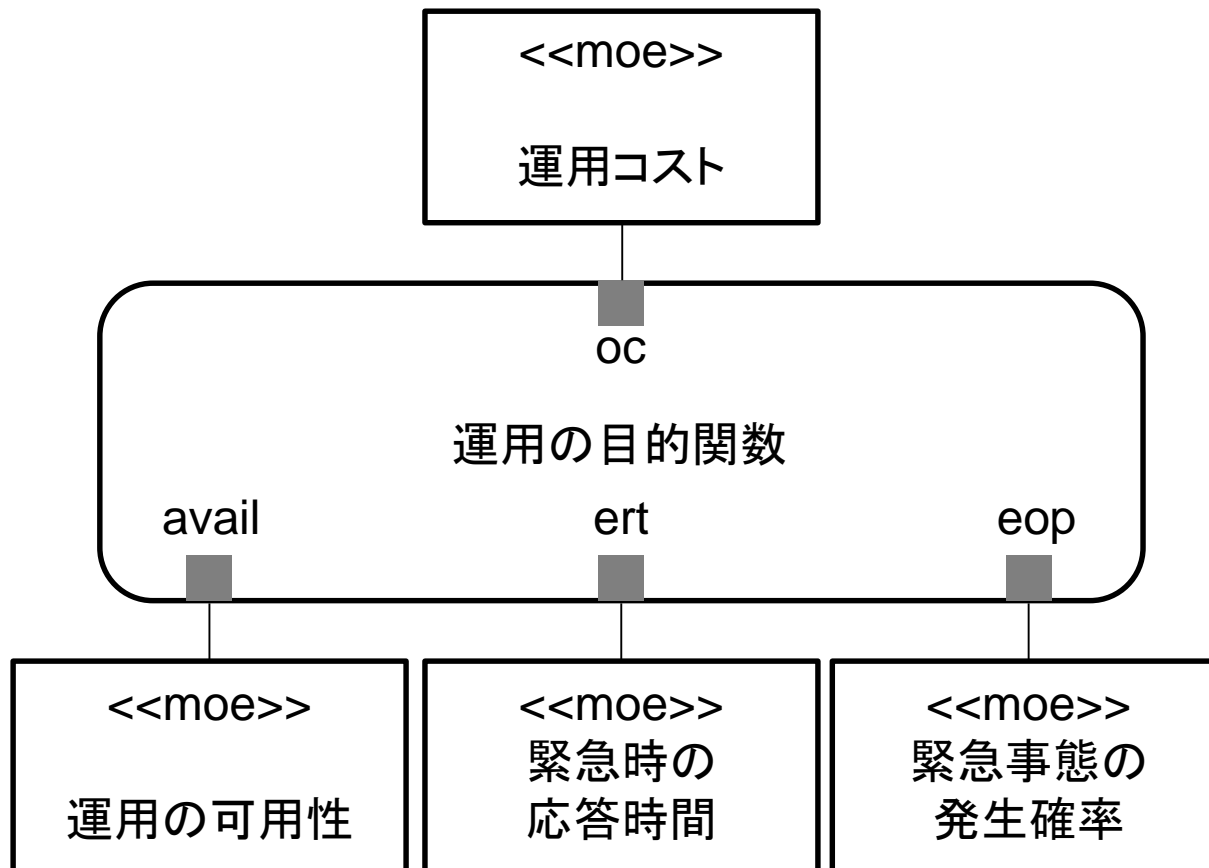
ある製品を製造するためのシステム／ある製品を運用するためのシステム
ある製品を廃棄するためのシステム／ある製品そのもの



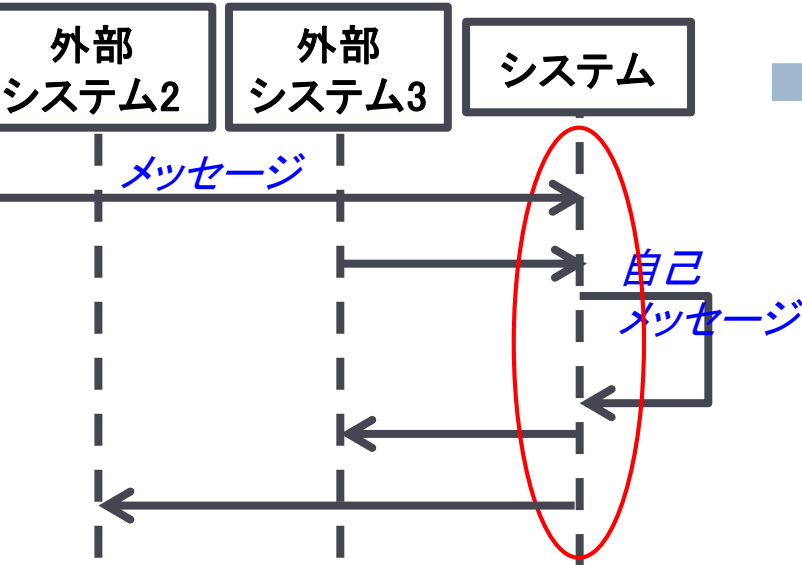
効果指標（MOE）の把握

- ▶ ミッションレベルの性能要求
- ▶ 利害関係者（顧客など）の価値

MOE: Measure of effectiveness



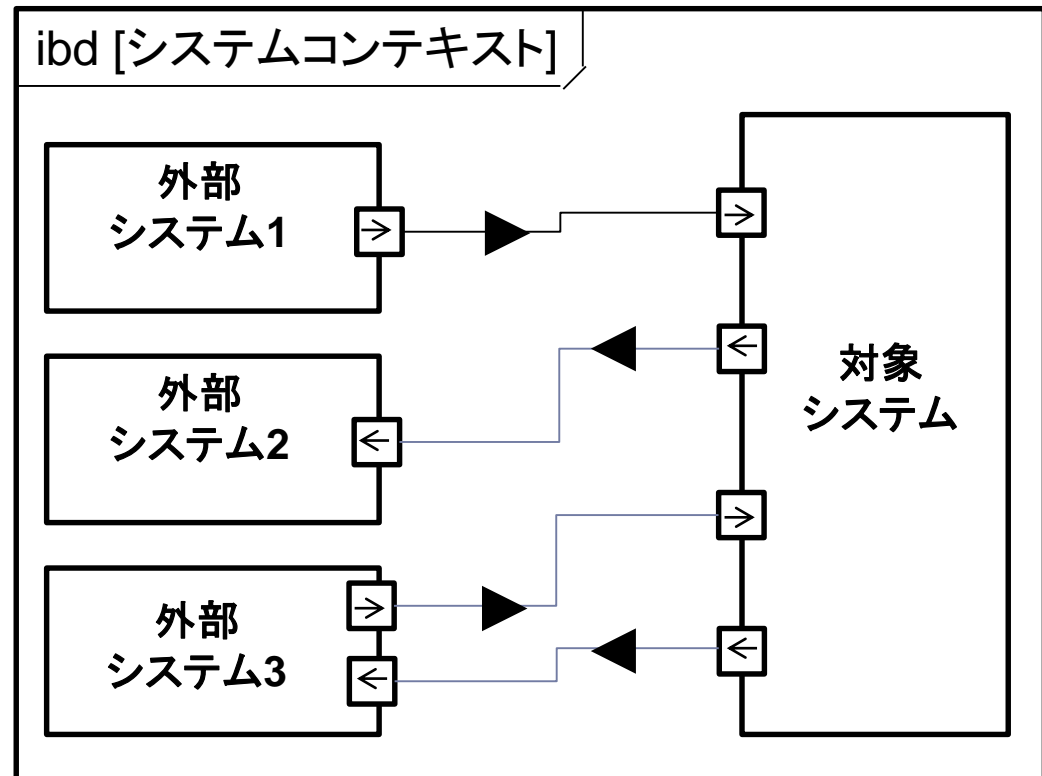
コンテキストレベル：外部との関係性



シーケンス図

振る舞いとしての相互作用の把握

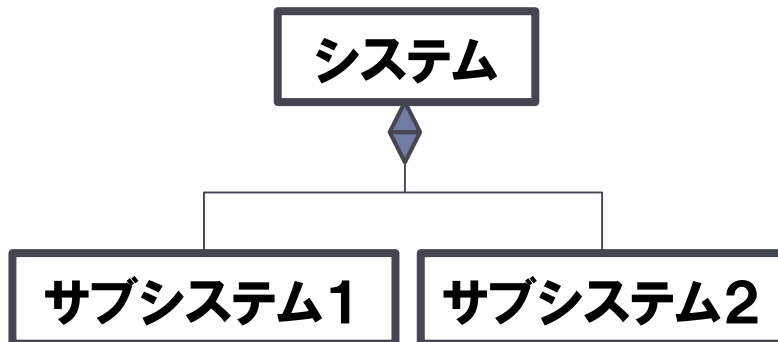
内部ブロック図 → 構造としてのインタフェースの把握



対象システムの分析（機能分析）

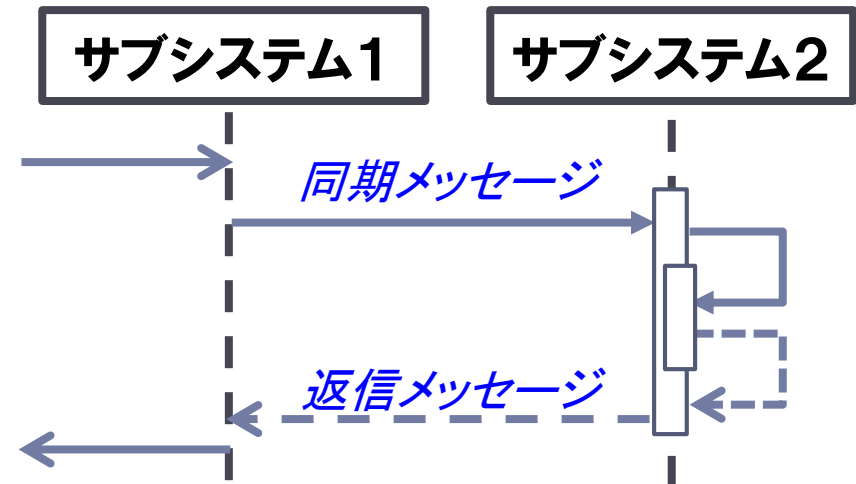
システムの分解を検討する.

ブロック定義図



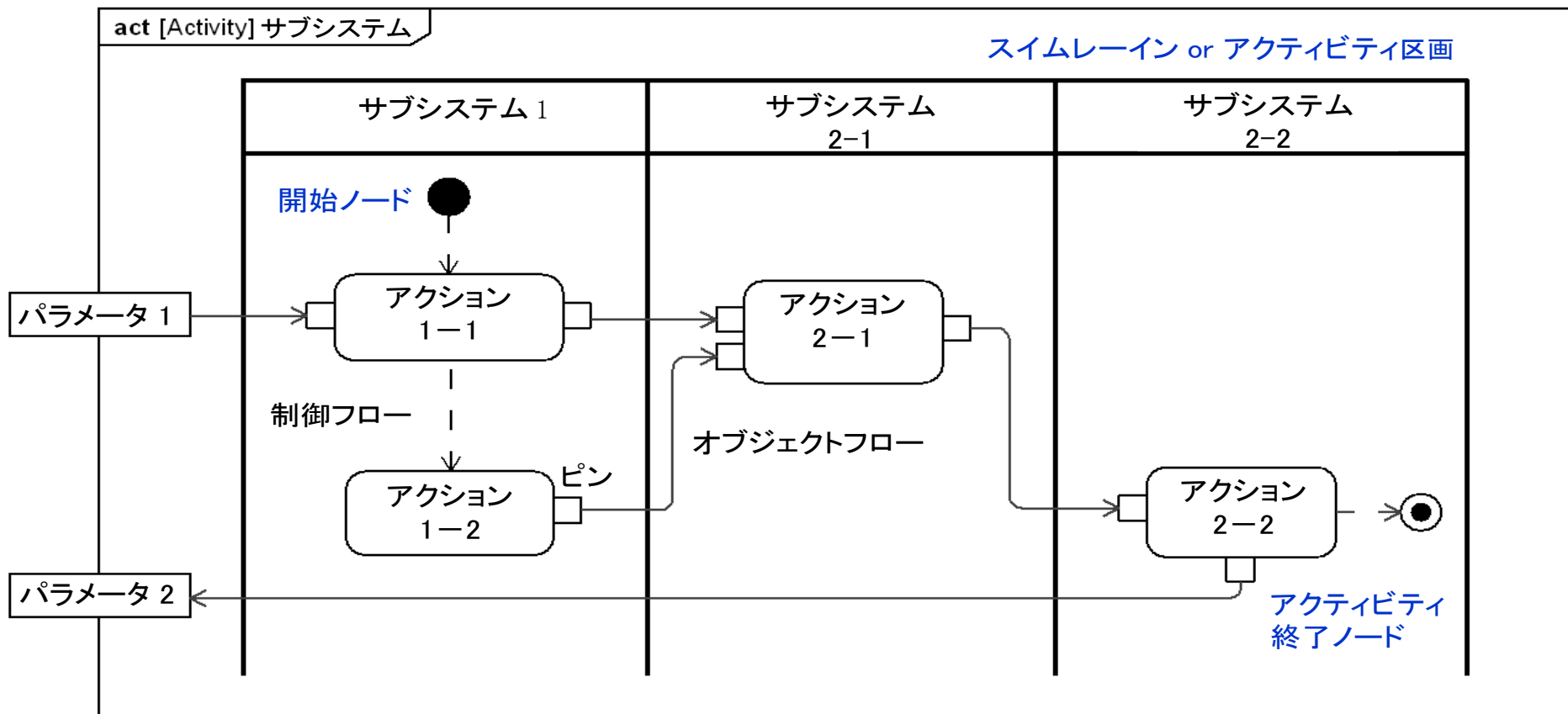
システム内部の振る舞い
(相互作用)を検討する.

シーケンス図

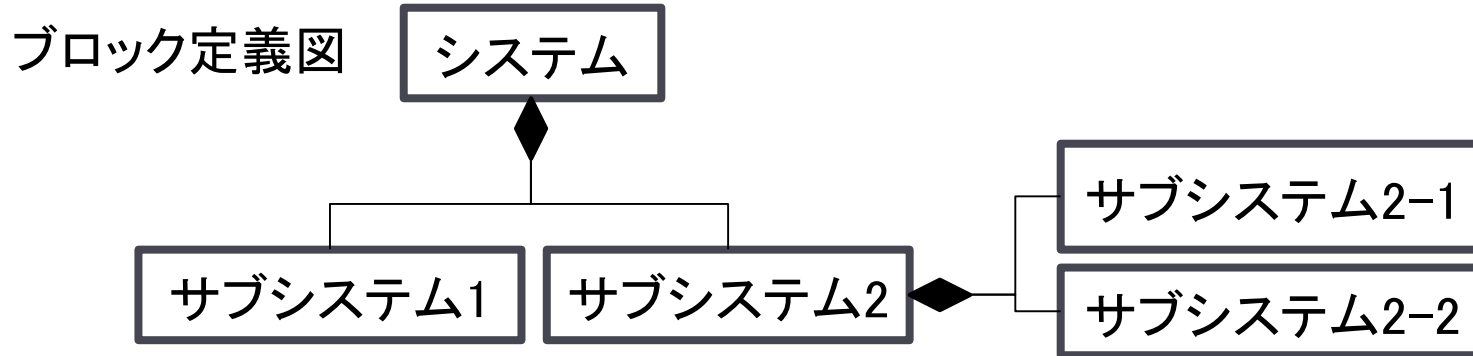


機能のコンポーネントへの割り当て

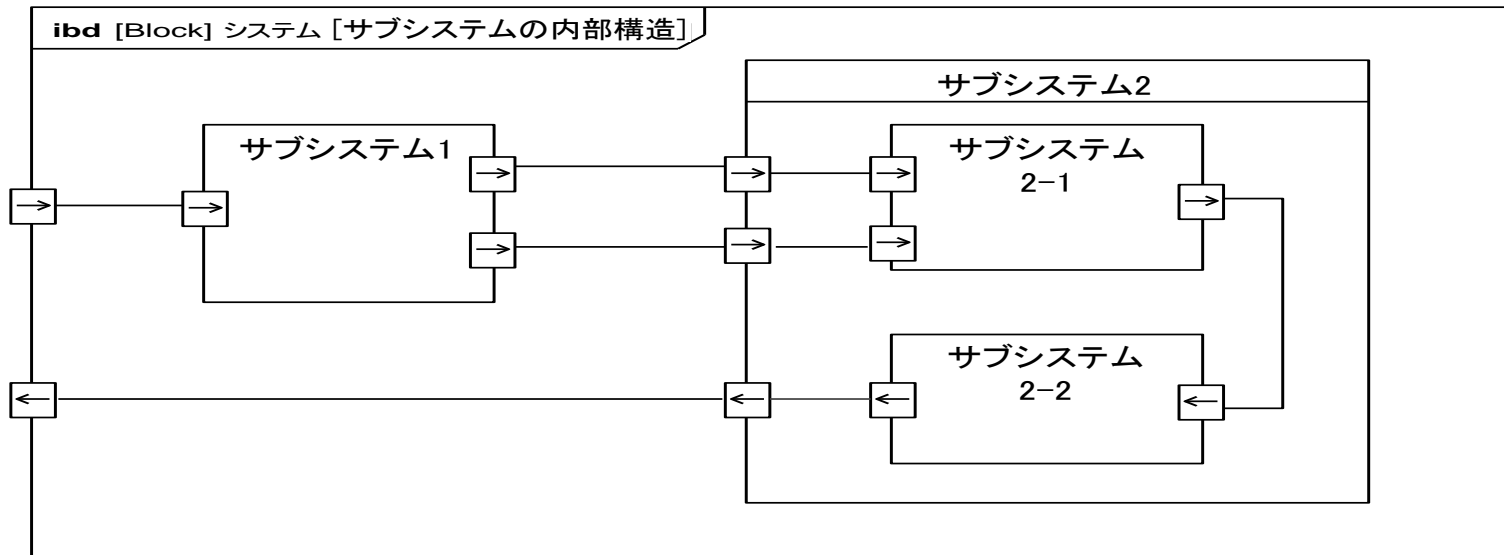
- ▶ アクティビティ図でさらに信号のフローを検討する。
- ▶ コンポーネントとコンポーネント間のインタフェースを明確化する。



システムの構成要素と内部構造

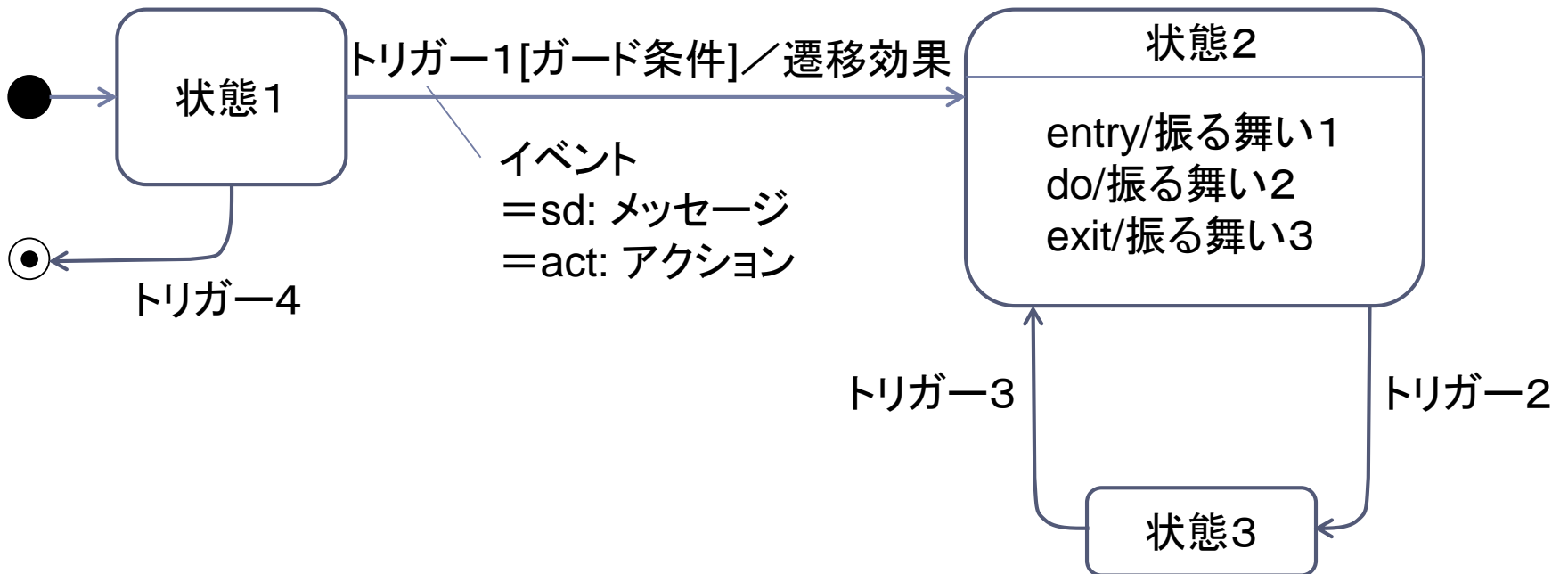


内部ブロック図

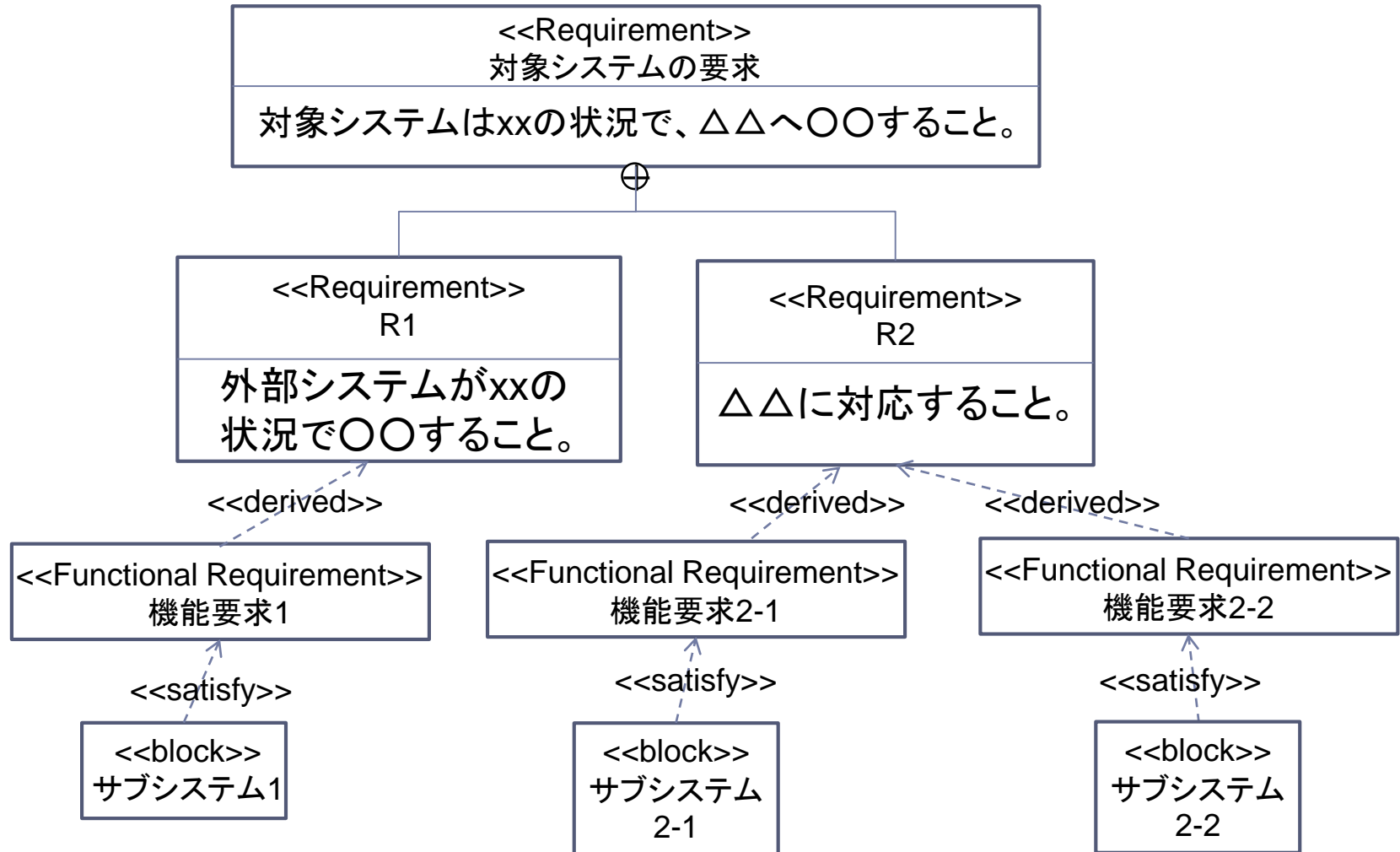


状態機械図（ステートマシン図）

▶ イベントで生じる状態の遷移



要求の詳細化とトレーサビリティの確保



4. まとめ

- ▶ システムズエンジニアリング標準(ISO/IEC 15288), IEEE 1220, INCOSE SE Handbookをもとに, システムズエンジニアリングプロセスの概略の流れを示した.
- ▶ INDUSTRIE 4.0の目指す姿を実現するには, デジタルモデルの構築を今すぐにはじめ, 地道に正しいCyber Physical System構築を目指す必要がある.
- ▶ モデルで考えてシステムズエンジニアリングプロセスを進めるモデルベースシステムズエンジニアリング(MBSE)の重要性と, システムモデルを構造／振る舞い／要求／パラメトリック制約の4つの柱で表現するSysMLを紹介した.

参考文献

- ▶ Systems Engineering Handbook Ver.3.2, INCOSE, 2010
- ▶ Visualizing Project Management, Third Edition
 - ▶ Kevin Forsberg, Hal Mooz, Howard Cotterman, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC 15288, IEEE Std 15288-2008, Second edition, 2008-02-01
- ▶ Adoption of ISO/IEC 15288:2002, Systems Engineering—System Life Cycle Processes
- ▶ INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC 26702, IEEE Std 1220-2005, First edition, 2007-07-15
- ▶ INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/ IEEE 42010, First edition, 2011-12-01
- ▶ Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Forschungsunion and acatech (National Academy of Science and Engineering), April 2013
 - ▶ http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- ▶ システムズモデリング言語 SysML (A Practical Guide to SysMLの翻訳本)
 - ▶ 西村 秀和(監訳), 東京電機大学出版局, 2012