



# Modeling Forum 2014

2014年 11月 19日

システムズエンジニアリングと**SysML**  
～システムを**モデル**で考える～

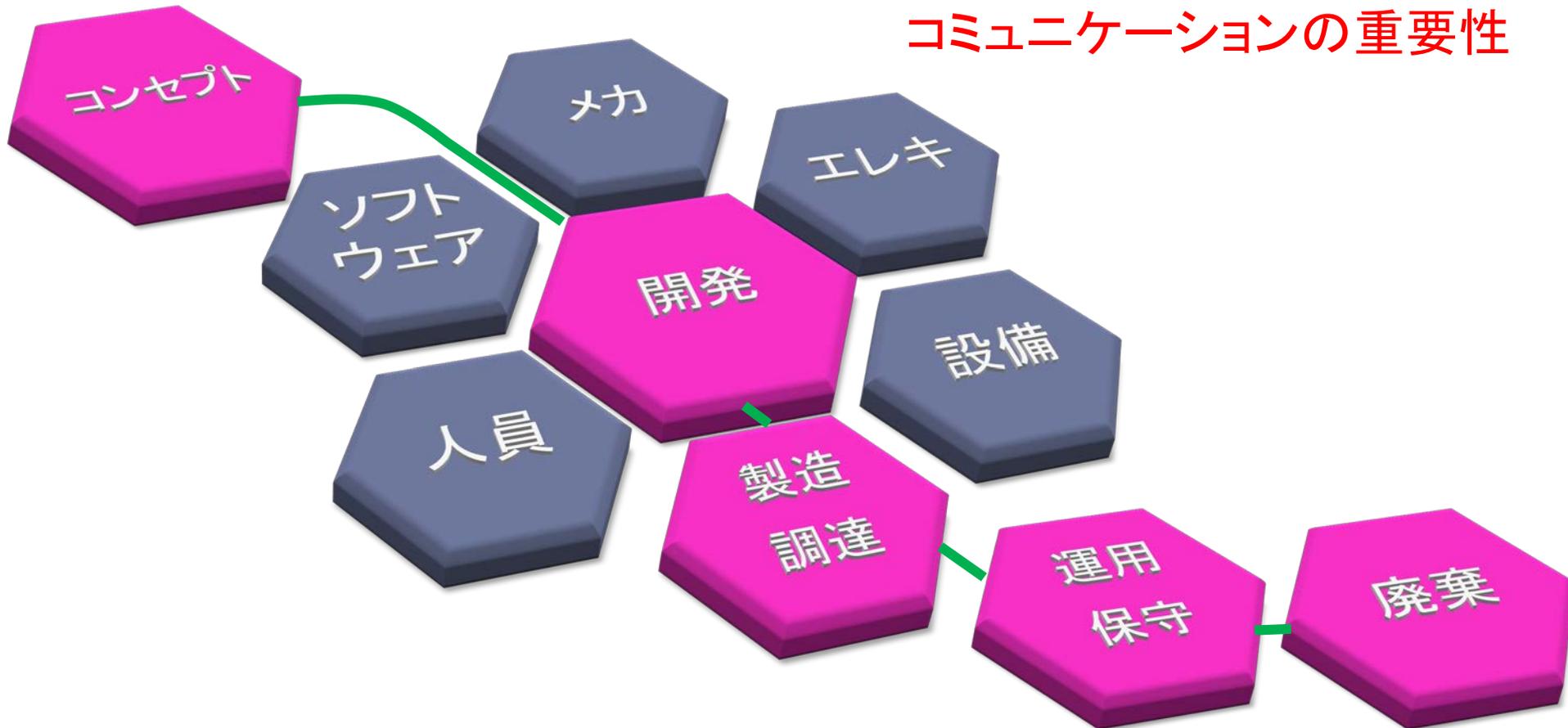
慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
教授 西村 秀和 <http://lab.sdm.keio.ac.jp/nismlab/>

# システムズエンジニアリングとは

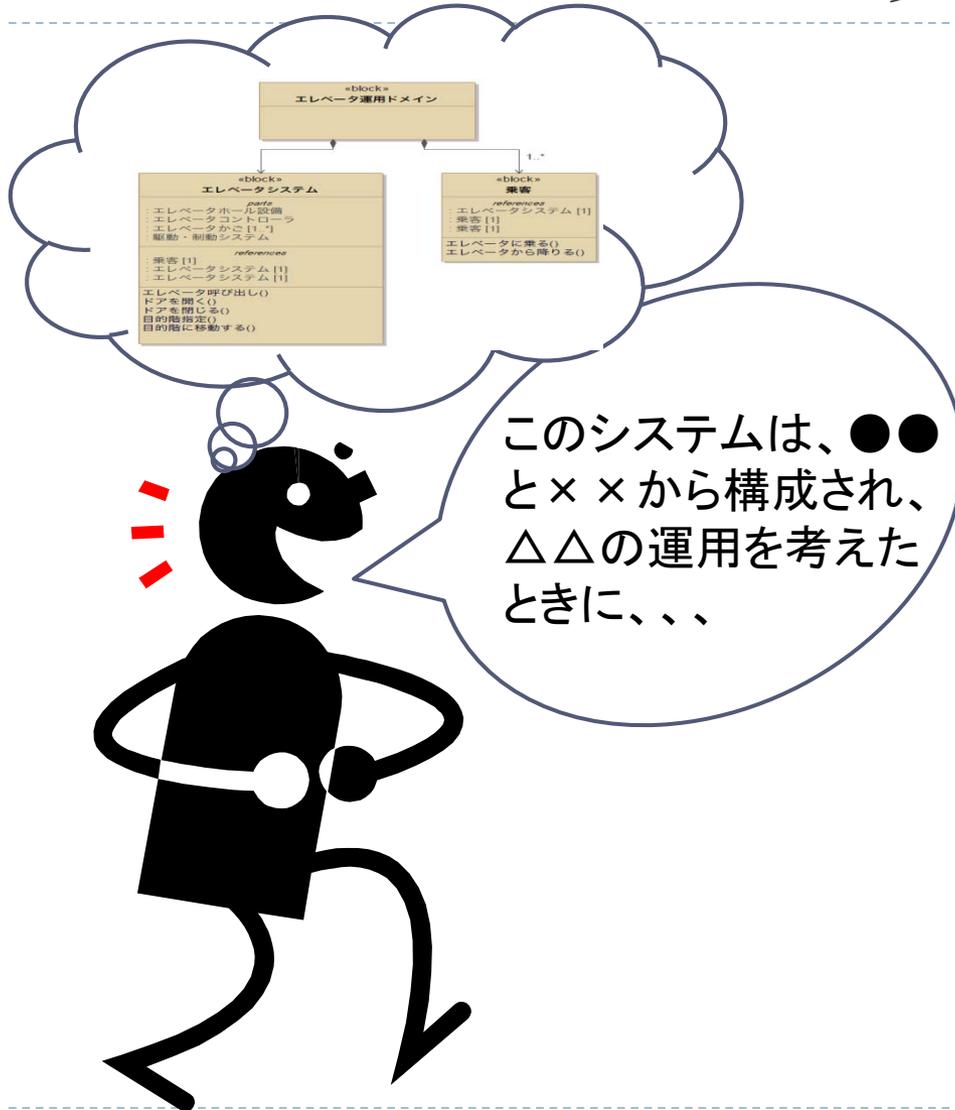
システムを**成功裏に実現**するための**複数の分野**にまたがる  
アプローチおよび手段



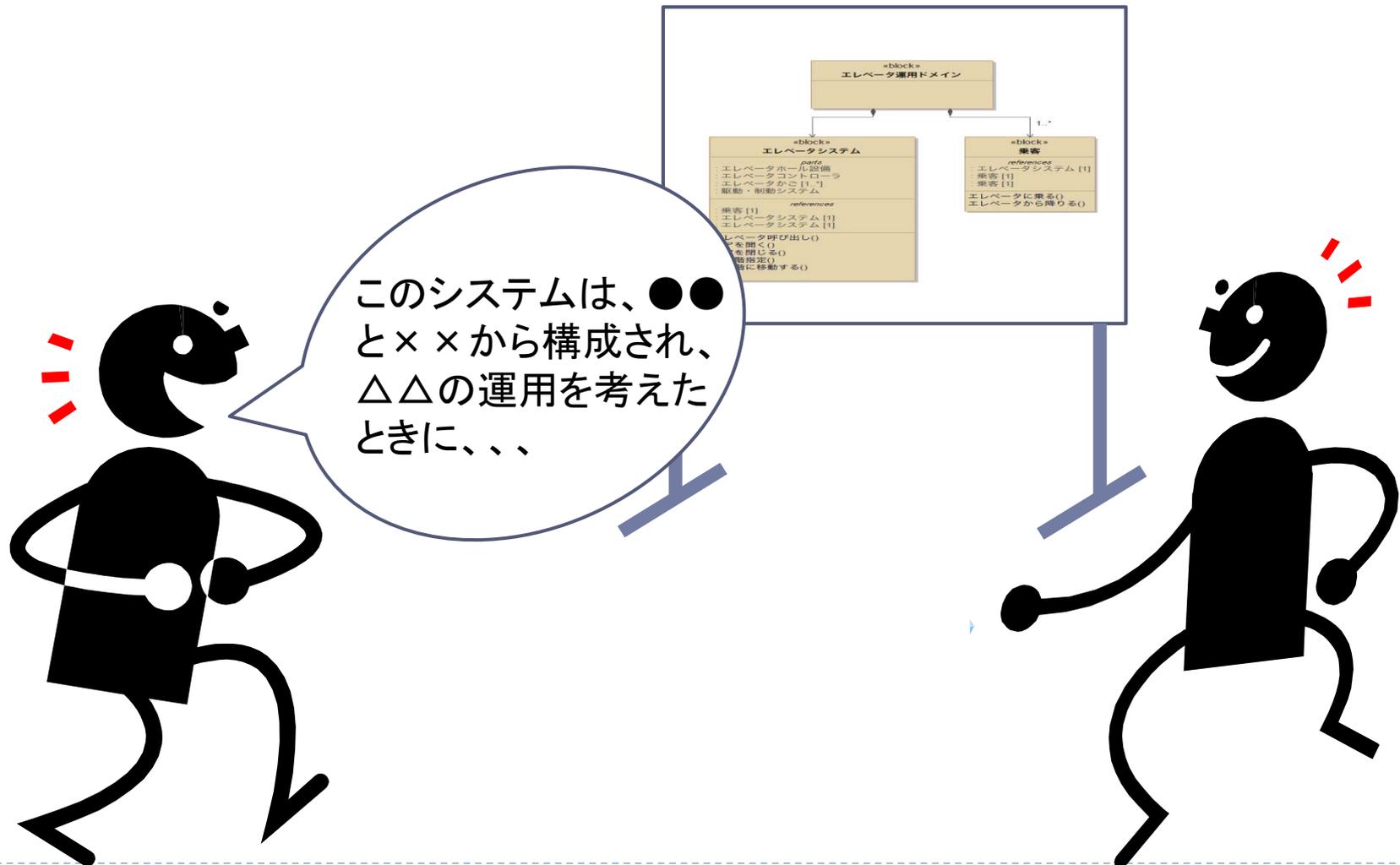
**コミュニケーションの重要性**



# コミュニケーションの失敗

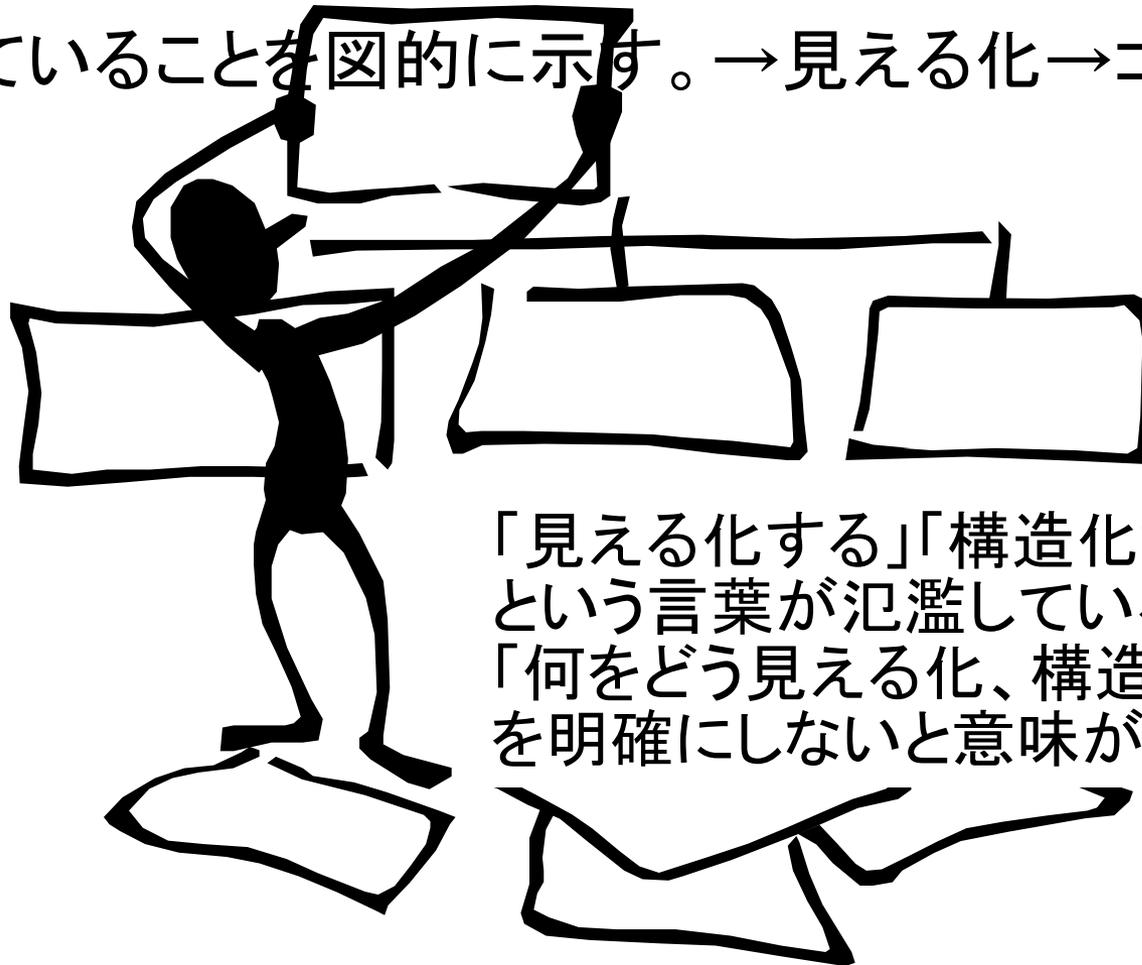


# 図を用いたコミュニケーション



# 頭の中にあるものを外に出してみよう...

- ▶ 自身の考えを図で整理する。→論理的思考
- ▶ 考えていることを図的に示す。→見える化→コミュニケーション



「見える化する」「構造化する」という言葉が氾濫しているが、「何をどう見える化、構造化するのか」を明確にしないと意味がない。

# 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

II

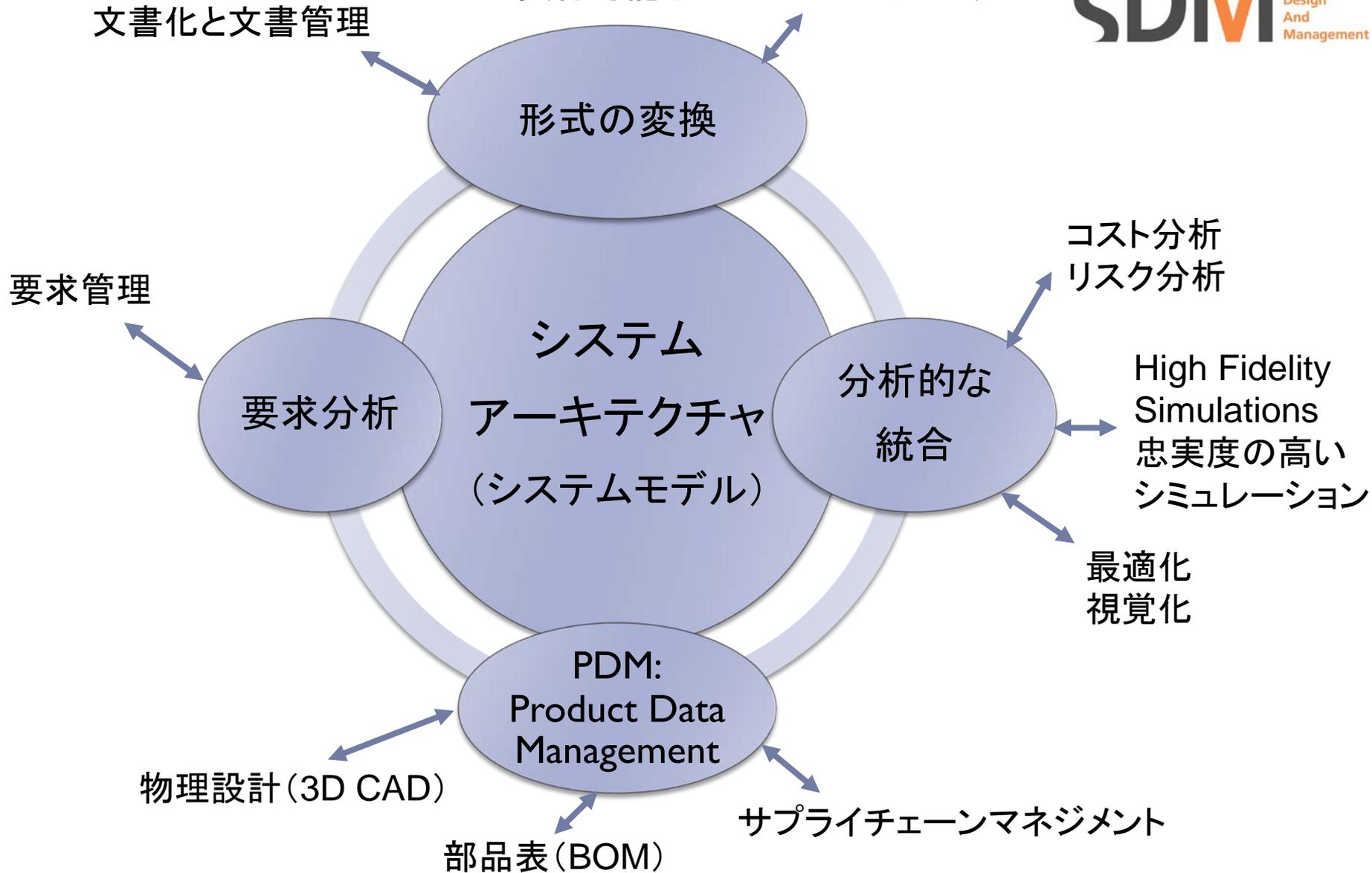
## システムズエンジニアリング

- ▶ INCOSE (International Council on Systems Engineering) MBSE WG
- ▶ システムズエンジニアリングでは、開発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。

# モデルベースシステムズエンジニアリング の最新動向

- ▶ MBSE wiki
  - ▶ <http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=start>
  - ▶ 最新のMBSEアクティビティと応用
- ▶ MBSE Workshop at INCOSE IW 2014
  - ▶ [http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:incose\\_mbse\\_iw\\_2014](http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:incose_mbse_iw_2014)
- ▶ MBSE Workshop at INCOSE IW 2013
  - ▶ [http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:incose\\_mbse\\_iw\\_2013](http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:incose_mbse_iw_2013)
- ▶ Systems Engineering Vision 2025 (June 2014)
  - ▶ [http://www.incose.org/newsevents/announcements/docs/SystemsEngineeringVision\\_2025\\_June2014.pdf](http://www.incose.org/newsevents/announcements/docs/SystemsEngineeringVision_2025_June2014.pdf)
- ▶ MBSE in Healthcare
  - ▶ [http://www.omg.org/news/meetings/tc/ma-14/special-events/MBSE\\_Summit-agenda.htm](http://www.omg.org/news/meetings/tc/ma-14/special-events/MBSE_Summit-agenda.htm)

実行可能なシミュレーションモデル



Christopher Oster, Lockheed Martin Corporationの資料より改変

# モデルの役割

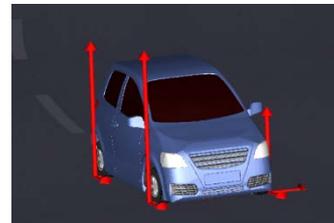
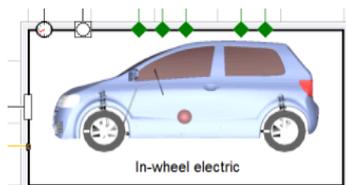
---

- ▶ 「正しい要求」+「正しいインタフェース」  
→ 「正しいコンポーネント」を導く。
  - ▶ 正しい要求 ← 整合 → 要求のモデル
  - ▶ 正しいインタフェース ← 整合 → インタフェースのモデル
  - ▶ 正しいコンポーネント ← 整合 → コンポーネントのモデル
  - ▶ シミュレーションモデルは「要求のモデル」をサポートする。
- 
- ▶ 正しいシステム ← 整合 → シミュレーションモデル  
→ 「仕様」を正しく得ることができる。

Ron Carson, MBSE Implementation Across Diverse Domains at The Boeing Company

# Cyber Physical System

- ▶ 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。
- ▶ Industry 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

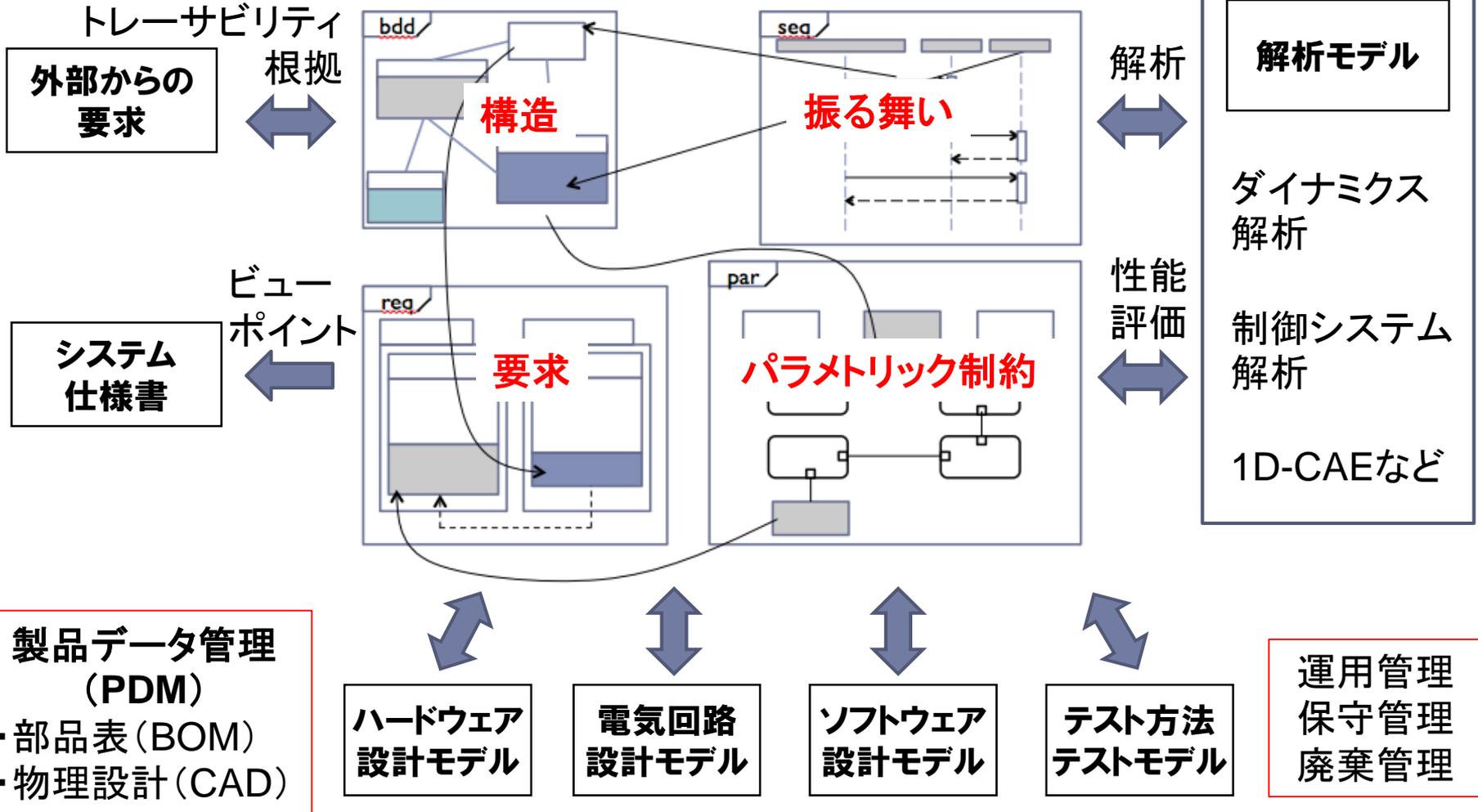
運用  
保守

廃棄

開発

# 全ライフサイクルをサポートするフレームワーク

システムモデル=システムアーキテクチャ



# MBSEの重要ポイント

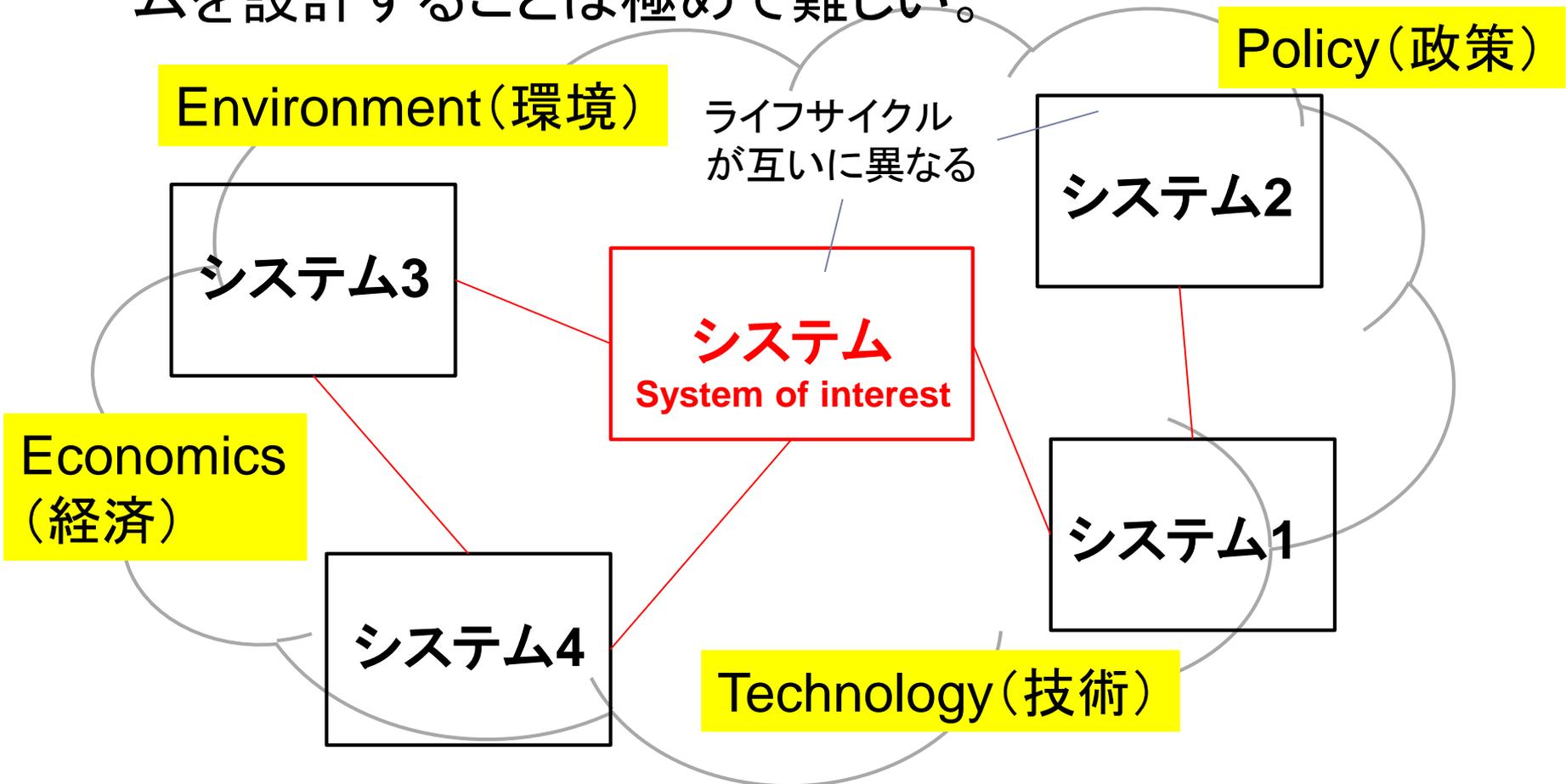
---

## ▶ MBSE = SE

- ▶ 「モデルベースシステムズエンジニアリング」は、「システムズエンジニアリング」である。
- ▶ 企業体、組織へのMBSE導入には、時間を要する。(NASA JPLでも、2009年から7年間程度のロードマップを用意してMBSEの導入を図っている。)
- ▶ System of Systemsの中で、技術的な側面で製品、サービスによって価値をもたらすこと。
- ▶ 従来の文書ベースのSE活動→デジタル化→MBSE主流化
  - ▶ InterCAX: SLIM (Systems Lifecycle Management)
  - ▶ <http://www.intercax.com/products/slim/>

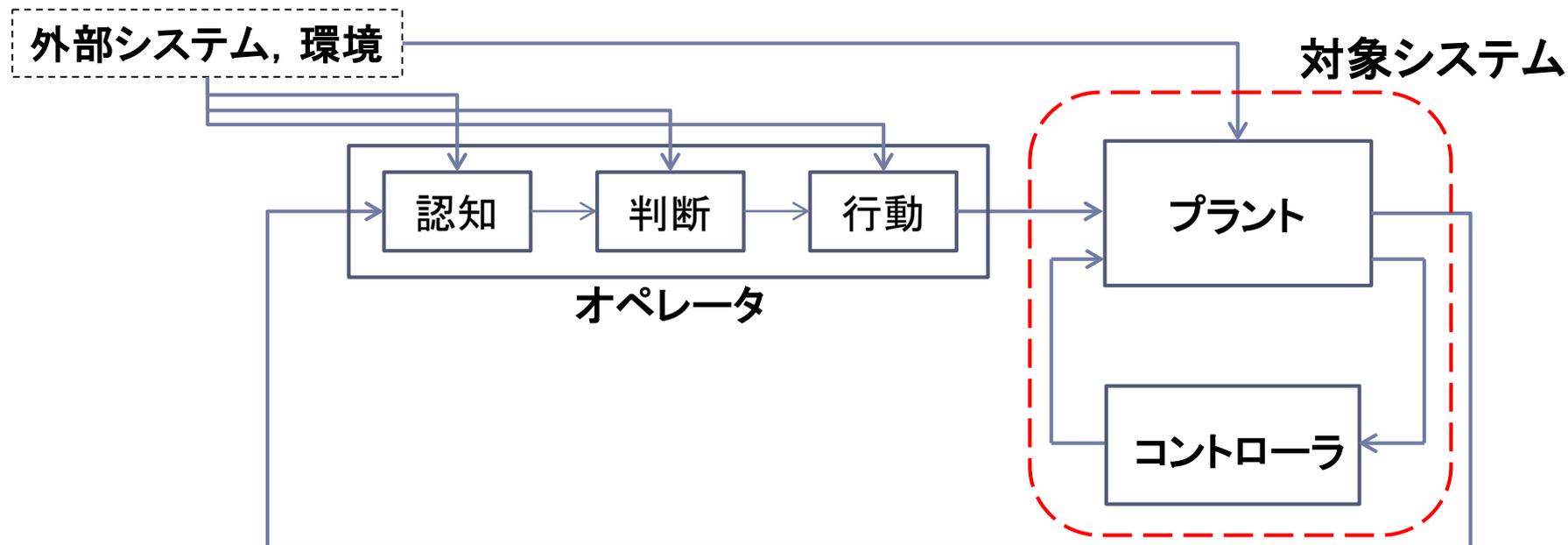
# System of Systems

- ▶ 様々なシステムが複雑に関連する中で、対象とするシステムを設計することは極めて難しい。



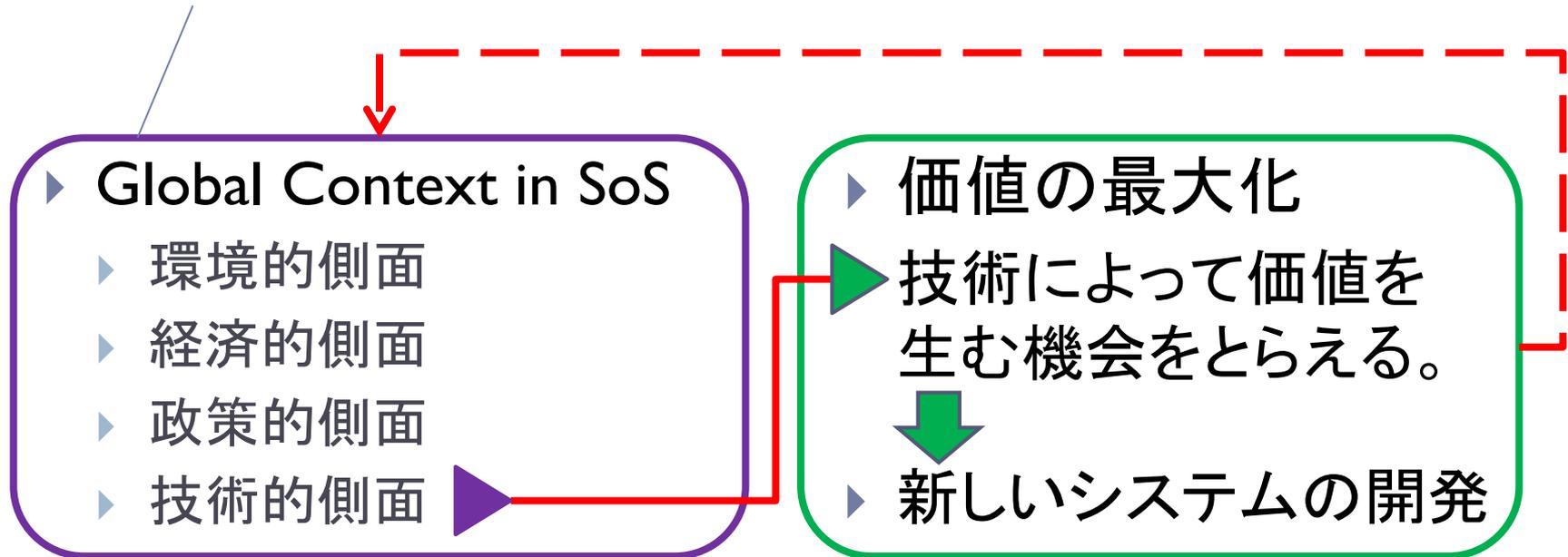
# オペレータが介在するシステムの設計

- ▶ オペレータと対象システムはどのような相互作用を起こすか？
- ▶ オペレータによる操作とコントローラによる制御の間に矛盾が生じないようにシステムを構築する必要がある。
- ▶ **Operator-in-the-loop Designの必要性**



# Value-Driven Systems Engineering 価値駆動型システムズエンジニアリング

System of Systemsの中でグローバルコンテキストを考える。



Benjamin D. Leea, William R. Bindera, Christiaan J.J. Paredisa,  
A Systematic Method for Specifying Effective Value Models,  
Procedia Computer Science 28 (2014) 228 – 236

## グローバルコンテキスト

---

- ▶ 2025年のシステムズエンジニアリングのビジョンは、システムの基礎をなす技術の他、グローバルな環境、人と社会からのニーズ、政策と事業の課題で形作られる。
- ▶ グローバルな傾向に従って発展していく環境は、システムズエンジニアリングを実践する状況を制約するとともに、動作可能にもする。
- ▶ Vision 2025では、進化するシステムの本質とシステムズエンジニアリングが対応しなければならないグローバルなコンテキストを明らかにする。
- ▶ [http://www.incose.org/newsevents/announcements/docs/SystemsEngineeringVision\\_2025\\_June2014.pdf](http://www.incose.org/newsevents/announcements/docs/SystemsEngineeringVision_2025_June2014.pdf)

## 人と社会のニーズは技術的な課題を生じさせる

---

- ▶ 人は、エンジニアリングと技術を通して、世界をより良くするための試みをしてきた。常に進化し続ける社会では、新たな、一層大きな課題が発生している。
- ▶ 人の基本的なニーズを満足する方法を探そうとするとき、その解決策は大規模で複雑なエンジニアリングシステムに導かれることが多い。
- ▶ システムは、社会的に受容可能で、かつ、社会に対して価値を提供するときのみ成功し得る。

## グローバルな傾向によってシステムの環境が形作られる

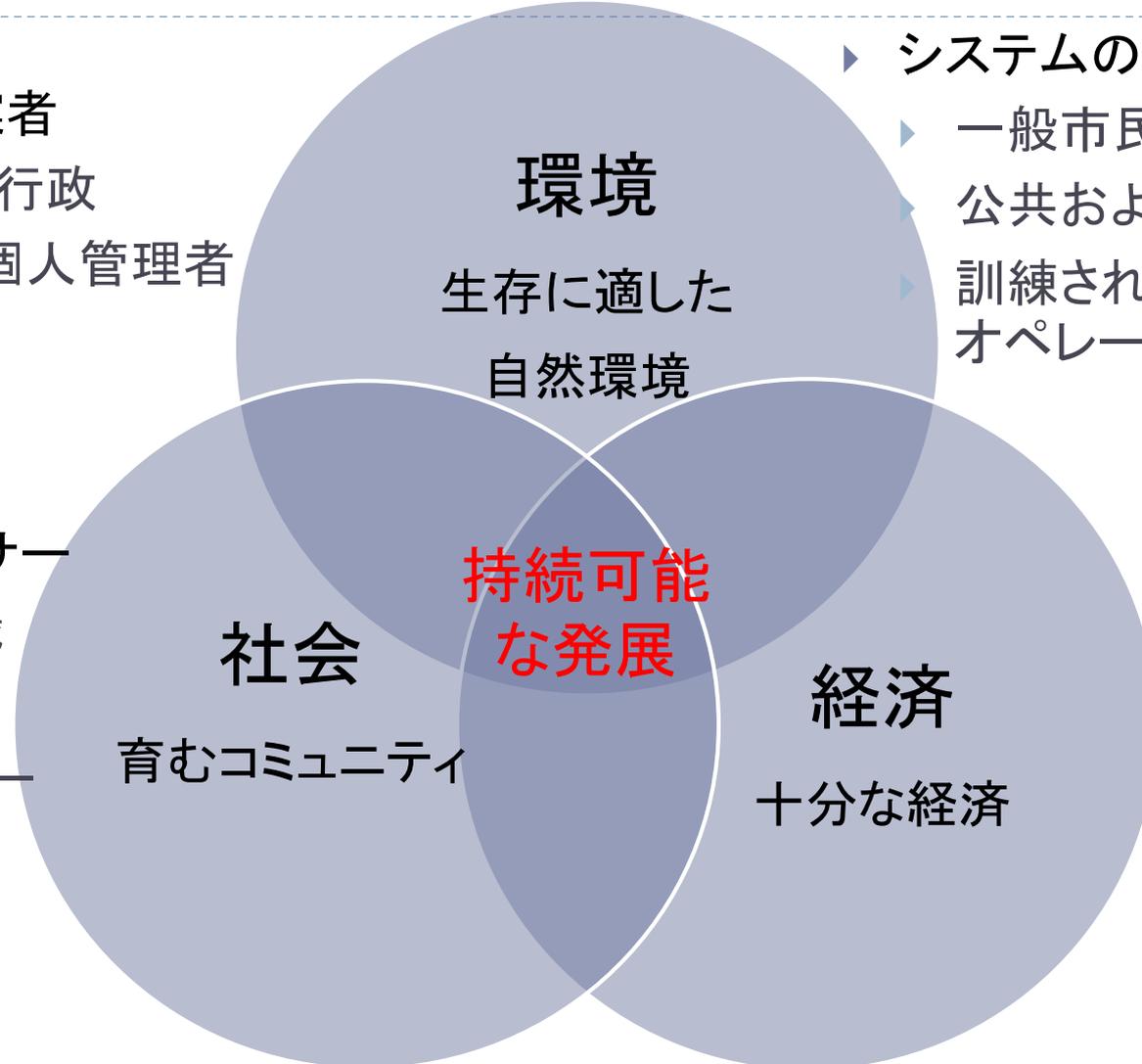
- ▶ 例えば、人口増加と都市化は、移動、健康、最新のインフラなどに、新たな課題を課する。同時に、システム解決策と技術は空気と水の品質に影響を与え得る。これらの相互依存性については、肯定的、否定的な事例が多々ある。グローバルな相互依存性は、これらの変化の影響を増幅することが多い。国際社会は、システムがどのように社会と自然環境に貢献し、生活の質の向上を促すかということに注意を必要としている。
- ▶ グローバルな傾向は、社会経済状態に対する変化と物理的環境における変化を促す。これらのグローバルな変化は、今なお、人のニーズを満足することを意図した技術とシステム開発によってしばしば影響され、そして必要とされるシステムの新たな種類の要求を課する。

# システムは様々なニーズに合致する必要がある

- ▶ 政策立案者
  - ▶ 政治、行政
  - ▶ 公共/個人管理者

- ▶ システムのユーザ
  - ▶ 一般市民
  - ▶ 公共および民間企業
  - ▶ 訓練されたシステムオペレータ

- ▶ システムスポンサー
  - ▶ 資金提供組織
  - ▶ 投資家
  - ▶ 産業界リーダー



# 将来のシステムのために必要なこと

- ▶ 価値を創造するために、さらに成長し、かつ、**多様な領域の社会的ニーズ**に応えることが必要。
- ▶ 利害関係者の要求を満足するために、よりスマートで自立性があり、**持続可能性、資源効率性、ロバスト性**に優れ、**安全**であることが必要。
- ▶ 進化を続け、多様性のある人(=能力を高めることができるツールを利用し、革新し、競争圧力に対応することができる人)によるエンジニアリングが必要。 → **人材育成の必要性**
- ▶ さらなる成長を遂げる技術革新の体系を利用する一方で、**想定外の結果を防ぐ**ことが必要。
- ▶ グローバルな産業や経済、社会の傾向に応じて**調整**することが必要で、これはやがて、システムニーズやシステムへの期待に影響することとなる。

# “システムをモデルで考える”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**

# 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。

# システムズエンジニアリング 「要求」と「アーキテクチャ」

## ▶ 要求の2つの鉄則

- ✓ 機能要求: “どのように要求を実現するか?”の前に  
“それは何か?”, “なぜそれが必要か?”を明確にする。
- ✓ 要求は“**測定可能**”で“**テスト可能**”でなければならない。

## ▶ アーキテクチャの3つのビュー

- 高 ↑  
抽象度  
低 ↓
- ✓ Operational view: システムの使い方、動かし方
  - ✓ Functional view: システムへ要求される機能
  - ✓ Physical view: 機能を実現するハードウェア、ソフトウェア

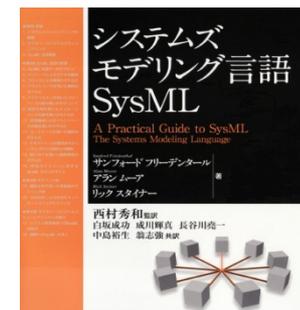
**Architecting**: the **art** and **science** of designing and building systems.

# SysMLで何ができるのか？

- ▶ システムを構成するサブシステムとそれらの相互関係が明らかとなる。＝システムアーキテクチャ
- ▶ 要求のトレーサビリティが確保され、設計変更があった場合にも、その影響を容易に把握できる。
- ▶ SysML(共通言語！)を用いることで、開発者の思考を支援し、ドメインをまたがる協働作業が可能となる。
- ▶ システムレベルでの検討、管理をサポートする。一方で、この実現には組織の硬直化などが弊害となり得る。

参考資料: システムズモデリング言語 SysML (A Practical Guide to SysML翻訳本)

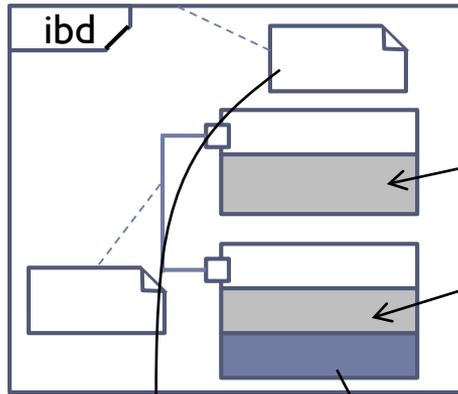
- ▶ 西村 秀和(監訳)
- ▶ 訳者: 白坂成功, 成川輝真, 長谷川堯一, 中島裕生, 翁志強
- ▶ 著者: Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner
- ▶ 出版社: 東京電機大学出版局(2012年5月10日)



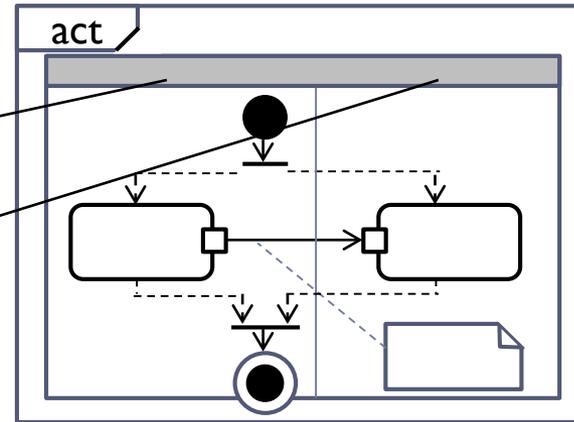
SysMLのダイアグラムは、互いに関連している。

→ 設計変更があった場合にもその影響を容易に把握できる。

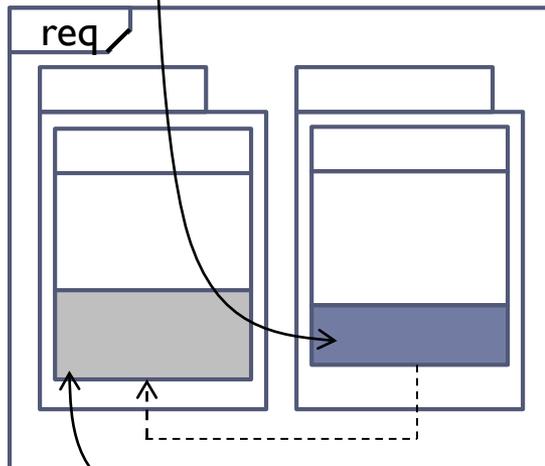
**構造**



**振る舞い**

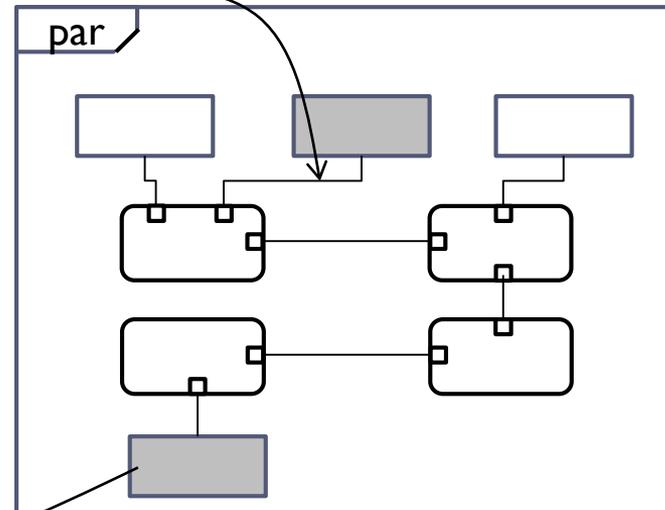


**要求**



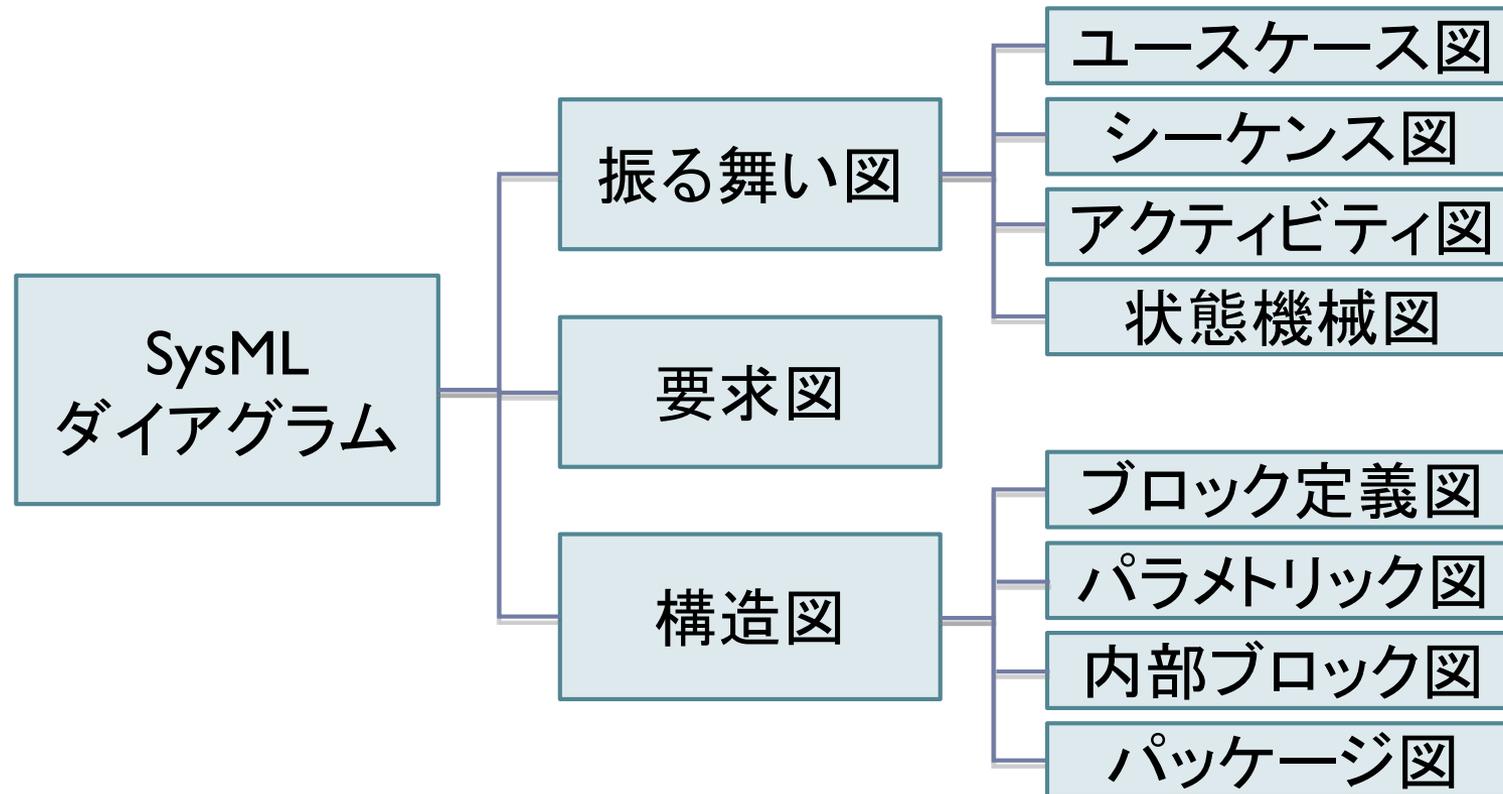
**パラメトリック制約**

- ・数式表現
- ・運動方程式
- ・パラメータによる性能評価など



# SysMLダイアグラムの分類

SysML: Systems Modeling Language



# SysMLによるMBSEのサポート

## システム仕様の決定 ← 以下の活動の反復

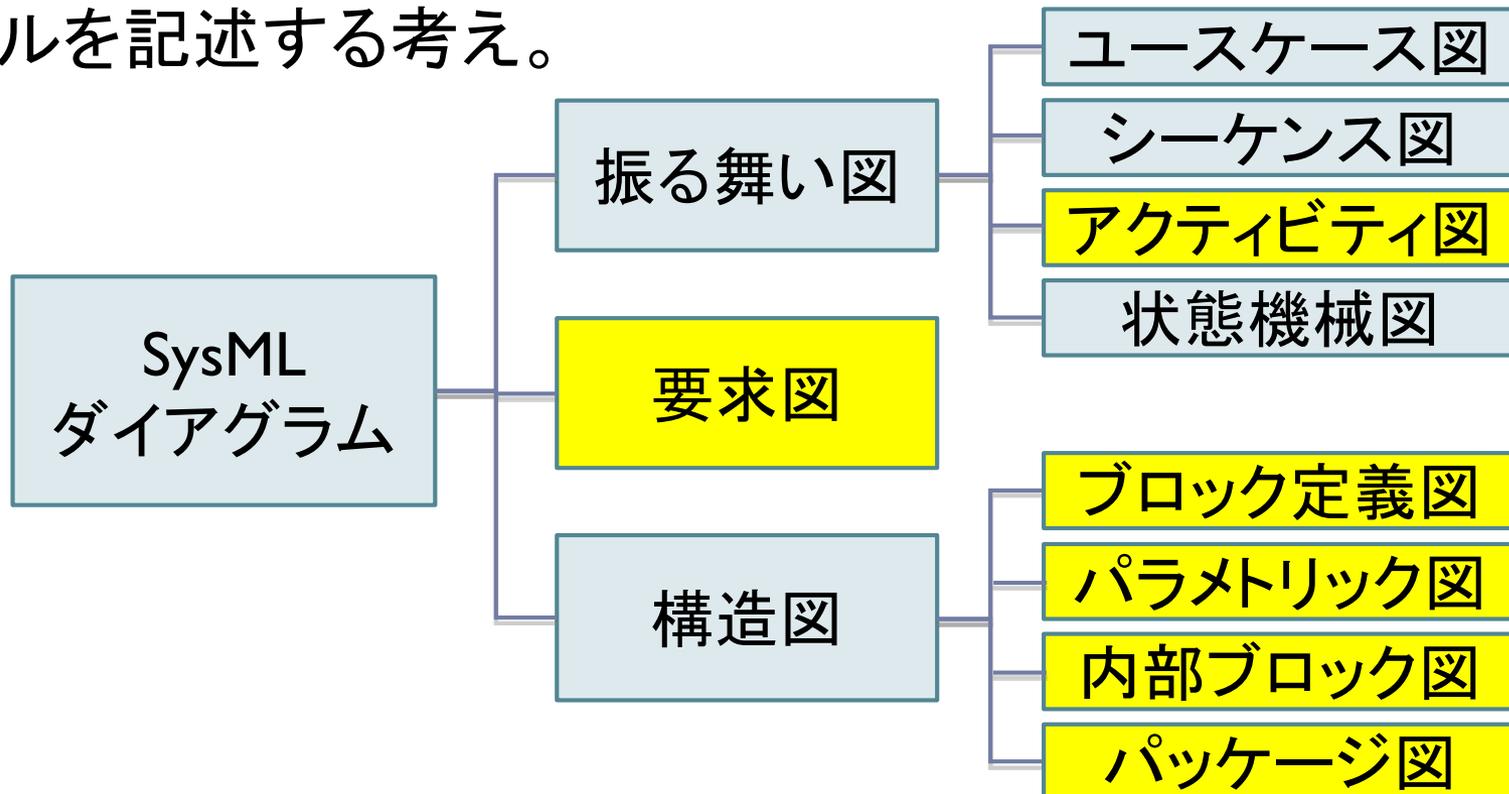
- ▶ ブラックボックスのシステム要求の取得と分析(コンテキストレベル)
  - ▶ 要求管理ツールでの文書ベースでの**要求の獲得**
  - ▶ SysMLモデリングツールへの要求のインポート
  - ▶ システムの**ユースケース**からシステムレベルでの**機能の特定**
  - ▶ ユースケースと要求間の**トレーサビリティ**の獲得
  - ▶ **ユースケースシナリオ**の実現: アクティビティ図, シーケンス図, 状態機械図
  - ▶ システムコンテキスト図の創出
  - ▶ システム検証をサポートするシステムの**テストケースの特定**
- ▶ 要求を満たすシステムアーキテクチャ候補の開発
  - ▶ ブロック定義図を用いた**システムの分解**
  - ▶ アクティビティ図またはシーケンス図を用いたパート間の**相互作用**の定義
  - ▶ 内部ブロック図を用いたパート間の**相互接続**の定義

# SysMLによるMBSEのサポート（続き）

- ▶ 所望のアーキテクチャの評価と選択のためのエンジニアリング解析とトレードオフ分析の実行
  - ▶ 性能, 信頼性, コスト, その他の重要なプロパティの分析をサポートするためのパラメトリック図を用いたシステムプロパティの制約の獲得
  - ▶ システムプロパティの予算を決定するためのエンジニアリング解析の実行（通常, 別のエンジニアリング解析ツールで行われる）
- ▶ コンポーネント要求の規定とシステム要求に対するコンポーネント要求のトレーサビリティの規定
  - ▶ アーキテクチャにおける, 各コンポーネント(ブロック)のための機能要求, インタフェース要求, 性能要求の獲得
  - ▶ システム要求へのコンポーネント要求のトレース
- ▶ システムレベルでのテストケースの実行→システム設計に関する要求の充足の検証

# SysML-Liteとは？

- ▶ SysMLの9つのダイアグラムの内、6つのダイアグラム、パッケージ図、要求図、アクティビティ図、ブロック定義図、内部ブロック図、パラメトリック図を用いてシステムモデルを記述する考え。



# SysMLの活用で見えてくること

---

- ▶ システムをモデルで表現する。
  - ▶ 構造／振る舞い／要求／パラメトリック制約



- ▶ - What – そもそも、何をしなければならないのか？
  - ▶ **革新に導く。**
  - ▶ オペレータや外部システムとの相互作用の明確化
  - ▶ サブシステム間のインタフェース(=担当部署間のコミュニケーションのサポート)
  - ▶ 最適化“**問題**”やトレードオフ“**問題**”の**設定・定義**
  - ▶ アーキテクチャと仕様決定までの要求のトレース

## まとめ

- ▶ MBSE=システムズエンジニアリングを強調した。INCOSEおよびOMGの最新動向に基づき、PLM連携とSystem of Systemsへの取り組み、2025年へ向けたビジョンを中心にご紹介した。
- ▶ ライフサイクルの異なるシステムとつながるシステム (System of Systems (SoS)) を開発・設計し運用することは難しく、システム開発により価値を生むことは難しい。しかし、これこそが今後取り組むべき課題である。(ドイツの推進するIndustry 4.0や米国のIndustrial Internet Consortiumの動きはまさにこれを課題として産業を先導しようとしている。)
- ▶ システムモデルの記述に際しては、  
構造／振る舞い／要求／パラメトリック制約  
の4つの柱で考えることが重要である。ドメインをまたぐ共通言語としてSysMLはこれをサポートしている。

- ▶ 主催 独立行政法人情報処理推進機構（IPA） 技術本部  
ソフトウェア高信頼化センター
- ▶ 開催日時 2014年12月1日（月）10:00～17:30
- ▶ 開催場所 独立行政法人情報処理推進機構（文京区）  
文京グリーンコートセンターオフィス13階 会議室
- ▶ 定員 30名
- ▶ 参加費 2,000円（税込）
- ▶ 募集対象 システムズエンジニアリング、特にMBSEに興味をお持ちの方、導入を考えている方。製品やサービスの開発の上流工程を正しく理解したい方。
- ▶ 配布物 「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」

ご静聴ありがとうございます。