

システムズエンジニアとして、Model-Basedも駆使して 大規模で複雑なシステムの開発に立ち向かう

イノベーティブ・デザインLLC
CEO/Co-Founder 石橋金徳

石橋 金徳

kane.ishibashi@innovative-design.jp

イノベティブ・デザイン LLC

CEO/Co-Founder、**Systems** Engineer

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

特任助教

システムズエンジニアリング, MBSE

大規模複雑システムの開発 企業共同研究 推進

自動車産業におけるモデル利用のあり方に関する研究会(モデル流通) 2014/2015 有識者 (経産省)

第四次産業革命スキル習得講座(自動車分野のモデルベース開発) 2017~2020 審査委員 (経産省)

<経歴>

東京大学 超小型衛星戦略研究センター

超小型**人工衛星**開発

開発プロジェクトマネージャ/システムズエンジニア

株式会社本田技術研究所 二輪R&Dセンター

二輪車エンジン設計

電動パーソナルモビリティ研究開発

米国University of Minnesota, Bachelor of Mechanical Engineering(学士)

慶應義塾大学大学院 システムズエンジニアリング修士



innovative DESIGN

イノベータータイプ・デザインLLC

デザインファームとして、システムズエンジニアリング、Model-Basedシステムズエンジニアリングを応用することで、プロダクト、サービス、システム、企業の戦略、経営など様々な領域における”イノベータータイプにデザインし実現すること”を支援

Design Consulting

- ビジネス戦略策定、大規模開発戦略、システムデザイン、システム開発などの分野で、クライアントとともに課題を解決

Research

- 共同研究、委託研究、などの形態で調査や研究を実施

Education

- クライアントの個人やチームに対してシステムズエンジニアリング、MBSEなどの教育を提供

Reseller

- システムモデリングツールであるNo Magic, Inc.製MBSE関連製品（ソフトウェア）の日本国内への販売

Key Takeaways

P1 システムズエンジニアリング、MBSEとは？

- システムズエンジニアリングとは大規模・複雑なシステムを実現するための体系化された考え方であり、もともと米国の航空宇宙や防衛の開発などにおいて体系化された背景を持つ。
- システムの目的、背景を明確化し、ライフサイクル、コンテキストなどの分析的な理解を進め、システムの機能設計(ふるまい)・物理設計(実現手段)すなわちアーキテクチャの設計を行う。また、システムのV&V(検証と妥当性確認)についても戦略性を持って計画、実施を行う。
- 複数の専門分野を統合的に扱うアプローチである。これを実践するシステムズエンジニアは開発全体を牽引するキーパーソンとなる。
- MBSEとは、このようなシステムズエンジニアが様々な種類のモデルを用いることで電算機の力を最大限に活用しながら、非常に大規模で複雑な対象物に対しても効果的、効率的に実施するための手段である。
- とくに、セマンティック技術を応用したシステム開発の効率化、高度化に注目が集まっている。

P2 なぜシステムズエンジニアか？

- 求められるより**高度な設計説明責任**
 - 機能安全、ISO26262
 - 米国Department of Transportation, NHTSA "Automated Vehicles for Safety" <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- 指数関数的に増加する**設計の複雑さ、検証の難しさ**
 - ADAS、自動運転、自動車のネットワーク化、各種機能部品の電動化
 - ハイパーコネクティビティ、次世代移動通信システム
 - クラウド化、Everything as a Service、XaaS
- 必須になる**高度なシステム分析と判断能力**
 - システム全体を見渡したFTA(演繹的リスク分析)
 - システムのフェールを検知し、システムをフェールから守り、リカバリーする方式を柔軟に検討し設計する
- 求められるエンジニアリングにおける**高い戦略性**
 - 設計、検証の効果的な外出しによる開発工数削減
 - モジュール化、共通アーキテクチャ、インタフェース標準による開発コスト削減
 - ローカル/グローバルの自在な調達、ローカル/グローバルな事業展開
- “モノづくり”の**視野の拡大**
 - IoT
 - Industry 4.0、スマートファクトリー
 - Reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI4.0) <http://www.cam.ac.uk/news/meetings/tc/berlin-15/special-events/m4r-presentations/ado/1618.pdf>
 - Smart Grid Architecture Model (SGAM) Framework http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/smart_group1_reference_architecture.pdf

P3 なぜModel-Basedシステムズエンジニアリングか？

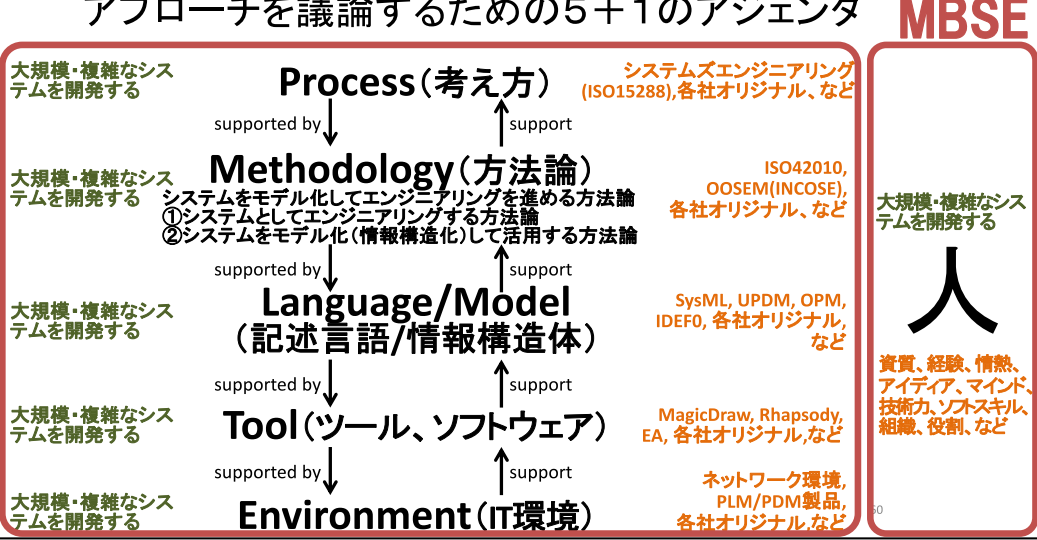
- 複雑さを扱い易くする**段階的詳細化**
 - システムを表現する粒度を複数階層で制御し、俯瞰と詳細が常に同期された状態を実現する
- 開発に関わる**膨大な情報から高度な判断が必要**
 - 数値データだけでなく、目的、制約、意図等も併せて扱う
- 求められる高い**変更分析および変更管理能力**
 - 複数領域にまたがる変更インパクト分析、全体俯瞰的な変更管理
- 自由度の高いパートナーシップや調達への**迅速な対応**
 - 意思決定の伝達、情報のやり取り、などの管理とスピードをバランスする
- 開発環境もこうした変化に合わせて急速に進化中
 - CAE-MBDとの相互連携、PLMの進化、OSLCへの期待の増大

P4 システムズエンジニアがもっとModel-Basedにシステム開発を進めていく

- 開発の目的と対象に対して**オントロジー**※1を定義し、
 - ※1情報工学における用語定義：ある対象物(世界)のモデルを記述する際に必要となる概念の体系
- それを元にシステム記述のための**メタモデル**※2を定義し、
 - ※2情報工学における用語定義：記述言語の基礎となる概念のフレーム・規則・制限・モデル・理論
例えばSysMLであればオリジナルのStereotypeを追加で定義
- メタモデルに従い、実際に**システム記述**※3を行う。
 - ※3例えばSysML(オリジナルStereotypeを含む)を用いて“モデリング”すると言う事
ただし、システムズエンジニアによる質の高いシステム検討(ライフサイクル分析、コンテキスト分析、アーキテクチャ設計、V&V検討など)が行われていることが大前提
- こうする事で、開発の目的と対象に沿った**セマンティック**※4な情報構造体としての**システムモデル**が得られる。
 - ※4【セマンティック技術】情報工学における用語定義：情報の意味を電算機にとって理解できる形で構造化し、電算機に情報収集などの処理を行わせる技術

システムズエンジニアは開発の進捗と場面に合わせて**システム記述**を行い、また**任意の情報を任意の形態**で抽出しながら、各種エンジニアや、各種エンジニアリングツール(e.g. CAE, MILSなど)と連携しながら、システム全体としての意思決定を行い、開発を牽引していく。(当然のことながら、分析型モデルも効果的に活用する。)

P5 システムズエンジニアリングのModel-Basedなアプローチを議論するための5+1のアジェンダ



+ まとめ

システムズエンジニアリング、MBSEとは？

- システムズエンジニアリングとは大規模・複雑なシステムを実現するための体系化された考え方であり、もともと米国の航空宇宙や防衛の開発などにおいて体系化された背景を持つ。
- システムの目的、背景を明確化し、ライフサイクル、コンテキストなどの分析的な理解を進め、システムの機能設計(ふるまい)・物理設計(実現手段)すなわちアーキテクチャの設計を行う。また、システムのV&V(検証と妥当性確認)についても戦略性を持って計画、実施を行う。
- 複数の専門分野を統合的に扱うアプローチである。これを実践するシステムズエンジニアは開発全体を牽引するキーパーソンとなる。
- MBSEとは、このようなシステムズエンジニアが様々な種類のモデルを用いることで電算機の力を最大限に活用しながら、非常に大規模で複雑な対象物に対しても効果的、効率的に実施するための手段である。
- とくに、セマンティック技術を応用したシステム開発の効率化、高度化に注目が集まっている。

なぜシステムズエンジニアか？

- 求められるより**高度な設計説明責任**
 - 機能安全、ISO26262
 - 米国Department of Transportation, NHTSA “Automated Vehicles for Safety”
<https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- 指数関数的に増加する**設計の複雑さ、検証の難しさ**
 - ADAS、自動運転、自動車のネットワーク化、各種機能部品の電動化
 - ハイパーコネクティビティ、次世代移動通信システム
 - クラウド化、Everything as a Service、XaaS
- 必須になる**高度なシステム分析と判断能力**
 - システム全体を見渡したFTA(演繹的リスク分析)
 - システムのフェールを検知し、システムをフェールから守り、リカバリーする方式を柔軟に検討し設計する
- 求められるエンジニアリングにおける**高い戦略性**
 - 設計、検証の効果的な外出しによる開発工数削減
 - モジュール化、共通アーキテクチャ、インタフェース標準による開発コスト削減
 - ローカル/グローバルの自在な調達、ローカル/グローバルな事業展開
- “モノづくり”の**視野の拡大**
 - IoT
 - Industry 4.0、スマートファクトリー
 - Reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI4.0) <http://www.omg.org/news/meetings/tc/berlin-15/special-events/mfg-presentations/adolphs.pdf>
 - Smart Grid Architecture Model (SGAM) Framework http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf

システムの開発？

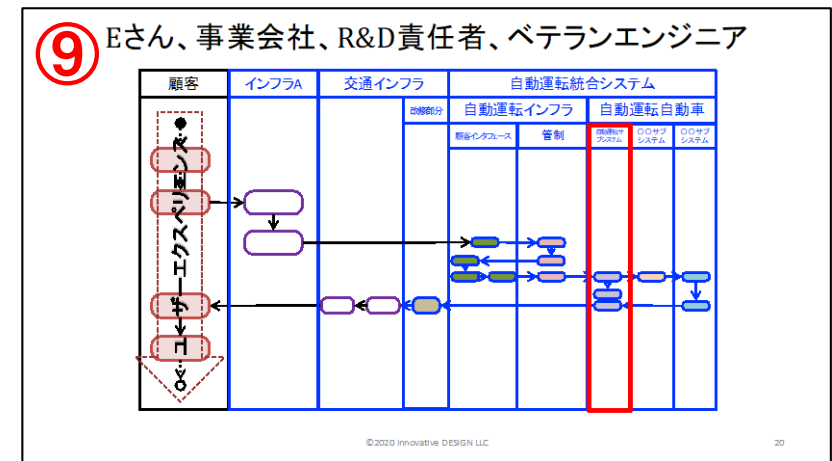
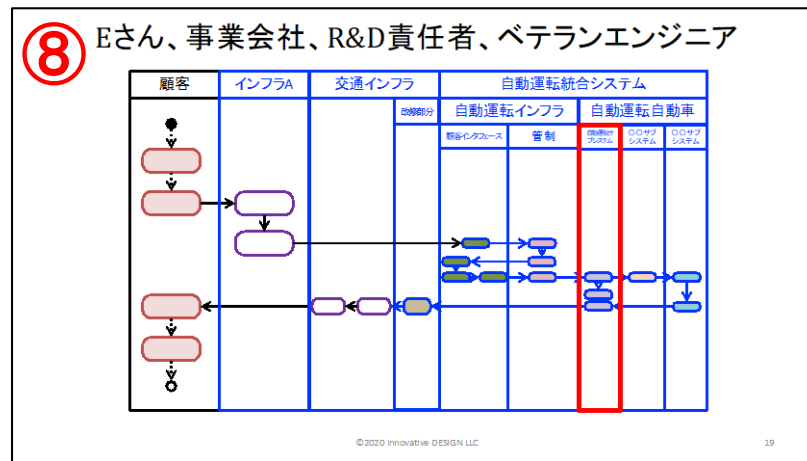
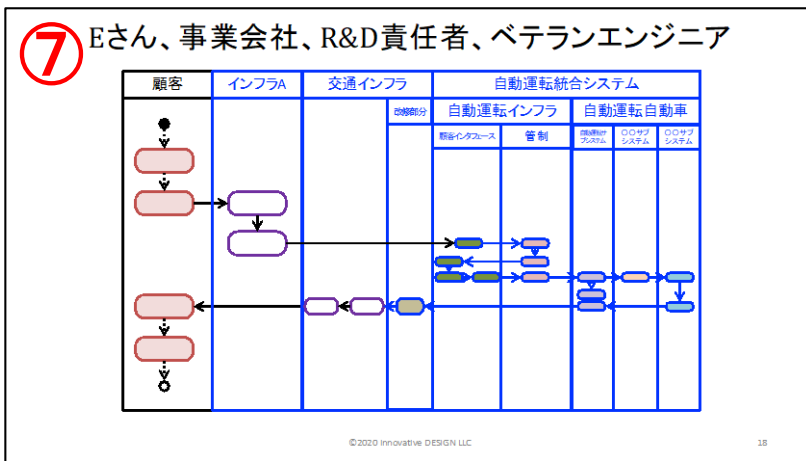
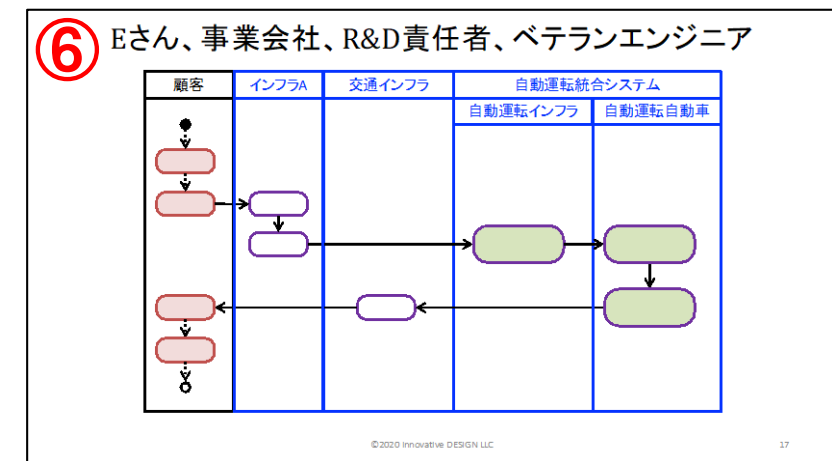
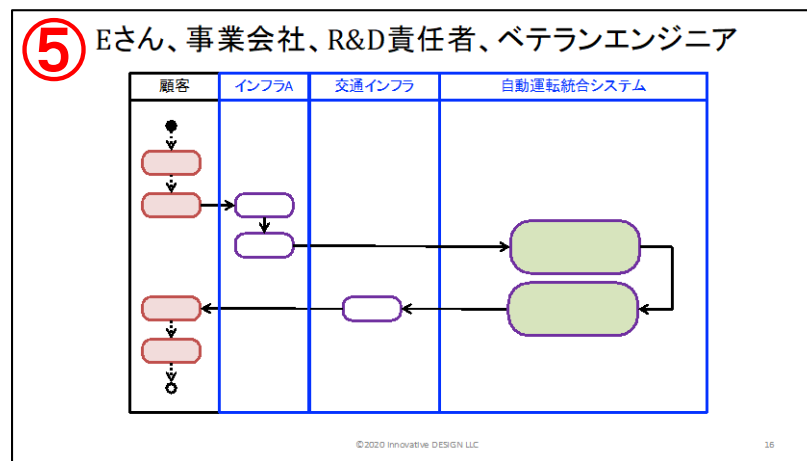
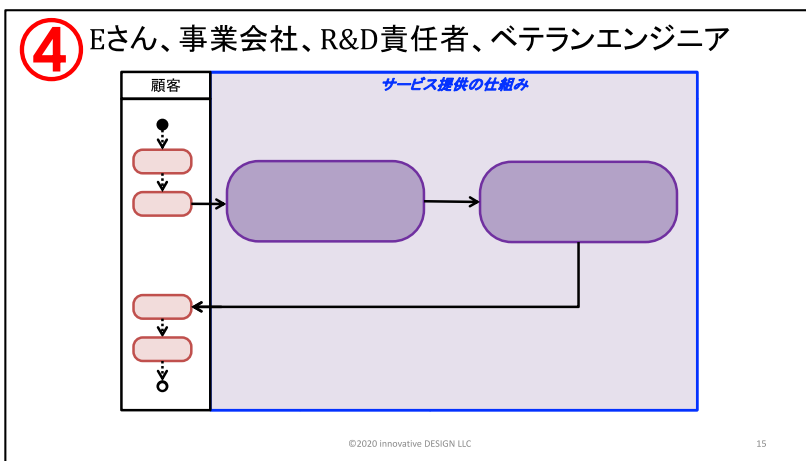
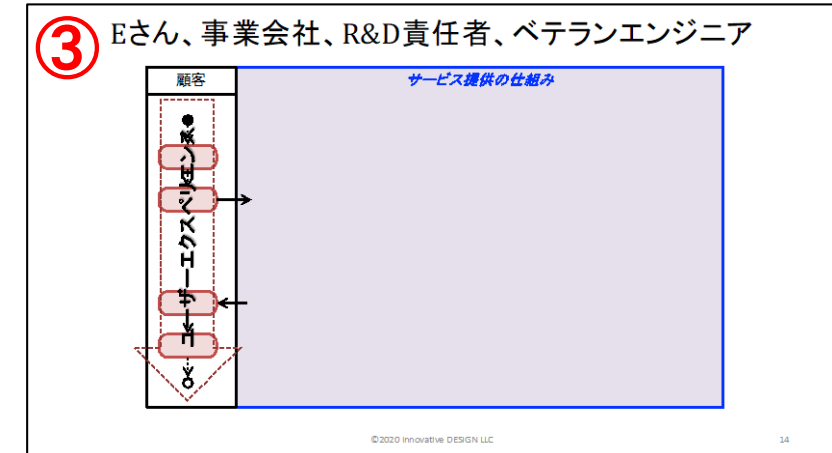
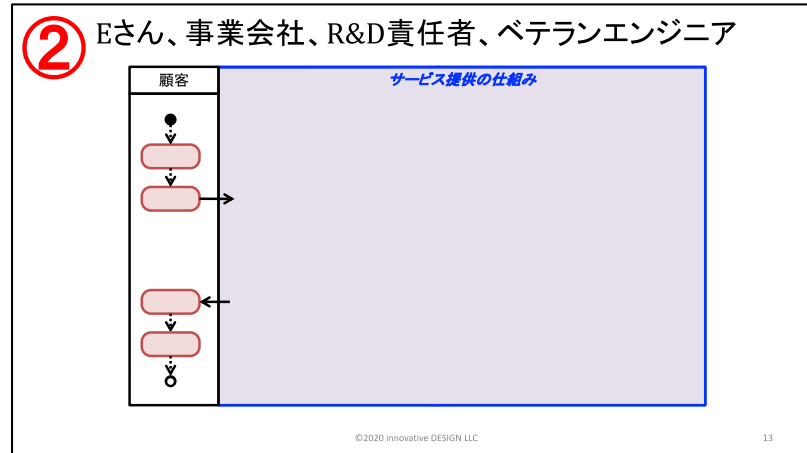
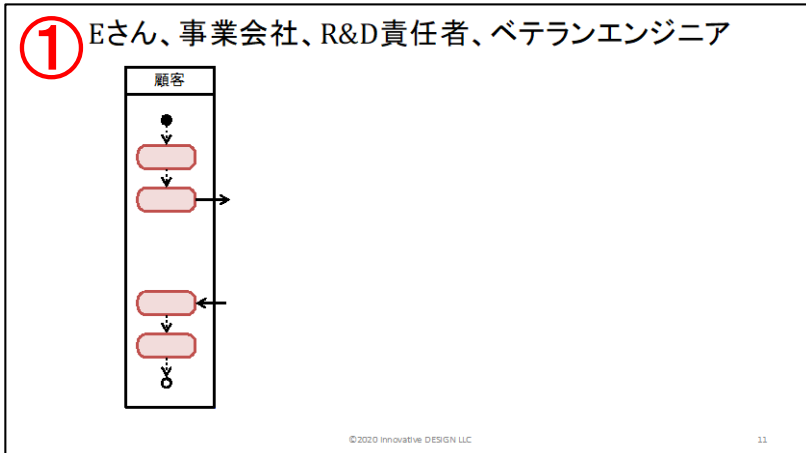
- 機械、電気、制御、通信、人のオペレーション、ユーザーエクスペリエンス、外部要素、の複合体。
- ライフサイクル(=そのシステムの生涯)全体を考慮。
- コンテキスト(=そのシステムの周囲のモノやコト)をしっかりと把握。
- 安全性、ユーザビリティ、相互運用性、メンテナンス性、拡張性、などの“ilities”(システムの性質)の分析と設計反映。
- 最短距離の検証計画、事業を占うPOC、社会を巻き込んだ実証実験、などの綿密な計画と効果的な実施。

- 多くの専門分野、部署、企業が参加した開発推進。
- 未経験領域、知見の少ない事柄が多数ある開発推進。
- そして、日程は超タイト。

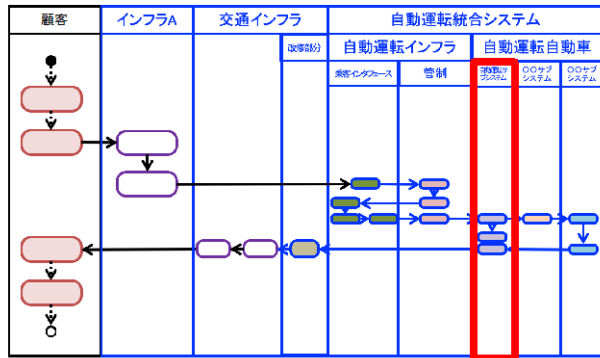
大規模、複雑な システム開発のイメージ

Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

- 新たなプロダクトを開発し、そのプロダクトを用いた新サービスの提供を運行会社とパートナーシップを組んで実施することを構想している。**運行の視点からプロダクトに求められる必要条件を見出し、また、プロダクトの特性や性能限界から運行制約・条件を過不足なく導出して運行会社と握り、特徴ある新サービスを世界に先駆けてスタートさせよう**としている。
- プロダクト開発の技術的なハードルも高いが、運行におけるリスク分析、そのリスクを運行とプロダクトの両面から低減する工夫、運行会社との技術的・事業的インタフェースの整合、ライフサイクルコストの見積もりによる事業性の見通し、など**多岐に渡る高度な技術検討を実施し、総合的に迅速な意思決定を行っていくこと**が求められている。
- また、今後社会ニーズ、規制、競合といった事業環境の変化が非常に大きいことが予想され、敏捷性のある高度な開発、プロジェクト推進が求められる。



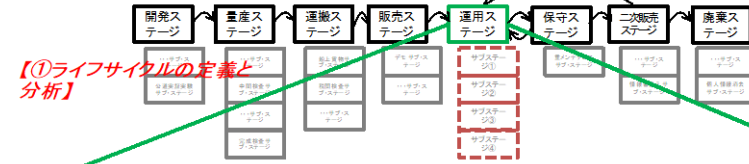
10 Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア



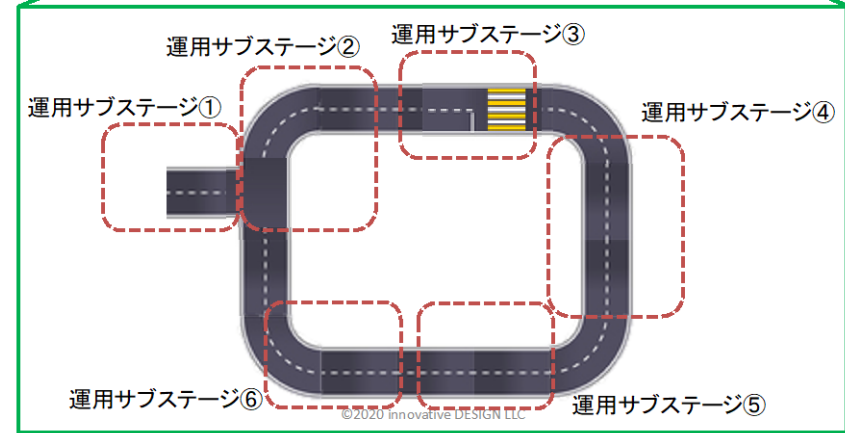
赤枠内のアーキテクチャ(機能配分、性能配分、インターフェース定義、など)に加えて以下のエンジニアリング成果物を生成することが可能。

- 企画部門とR&Dで合意するユーザーエクスペリエンス、オペレーションの全体像
- インフラAとの確認書
- 交通インフラへの要求書
- 自動運転インフラの機能、インターフェースの確認書

11 Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

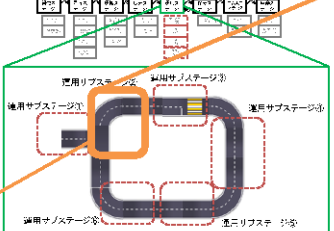


【①ライフサイクルの定義と分析】



12 Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

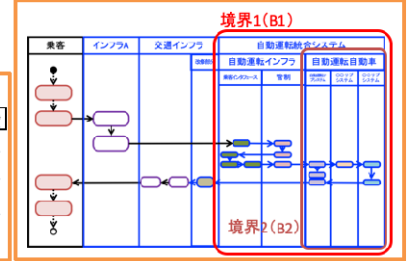
【①ライフサイクルの定義と分析】



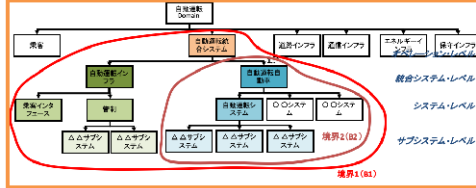
【②システムとコンテキストの鳥瞰図】



【③システムとコンテキストの相互作用の定義と分析】

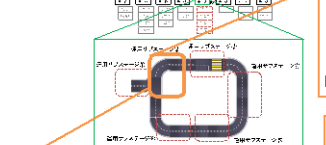


【④システムとコンテキストの定義】



13 Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

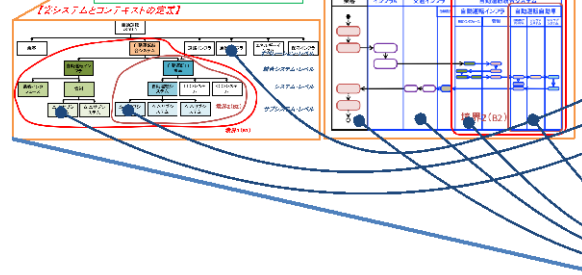
【①ライフサイクルの定義と分析】



【②システムとコンテキストの鳥瞰図】

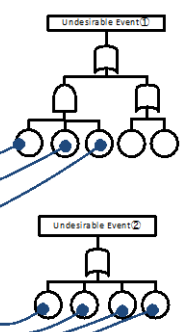


【③システムとコンテキストの相互作用の定義と分析】

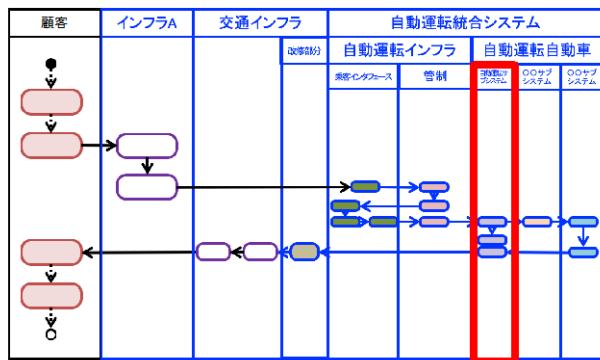


【④Undesirable Event (望ましくない事象)の定義とFTA】

- Undesirable Event①
- Undesirable Event②



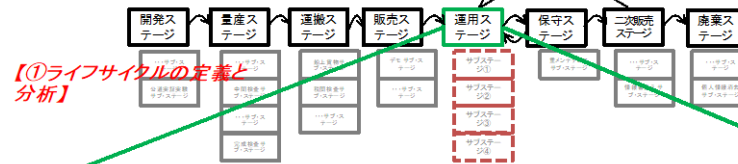
⑩ Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア



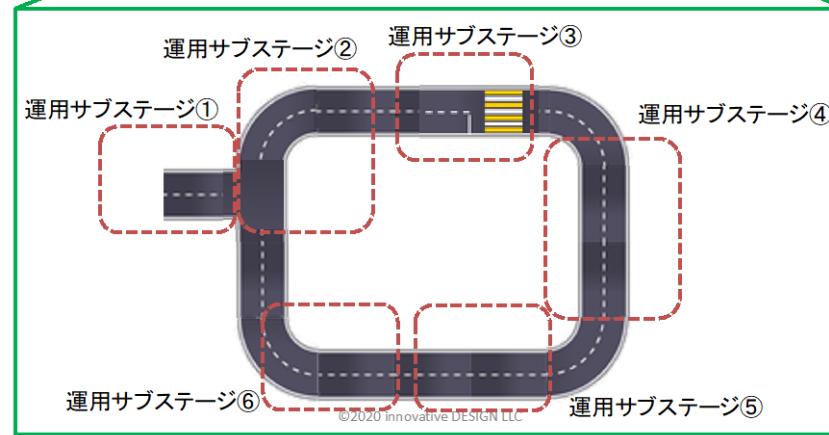
赤枠内のアーキテクチャ(機能配分、性能配分、インターフェース定義、など)に加えて以下のエンジニアリング成果物を生成することが可能。

- 企画部門とR&Dで合意するユーザーエクスペリエンス、オペレーションの全体像
- インフラAとの確認書
- 交通インフラへの要求書
- 自動運転インフラの機能、インターフェースの確認書

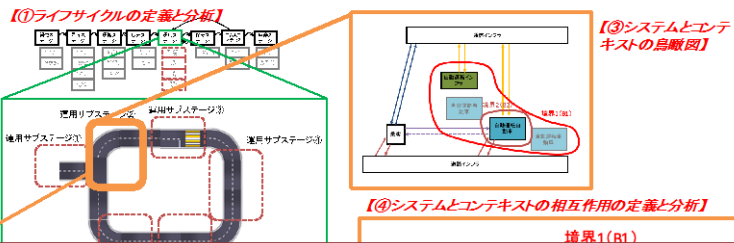
⑪ Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア



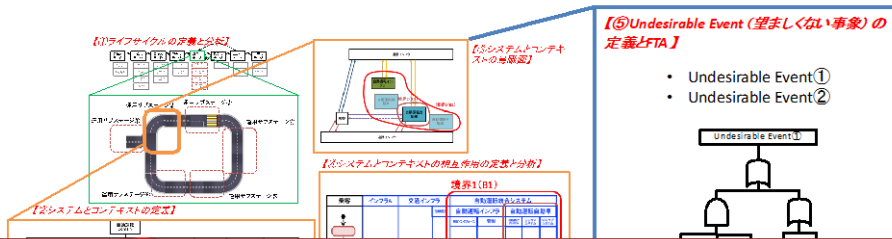
【①ライフサイクルの定義と分析】



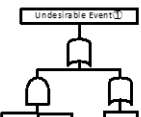
⑫ Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア



⑬ Eさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

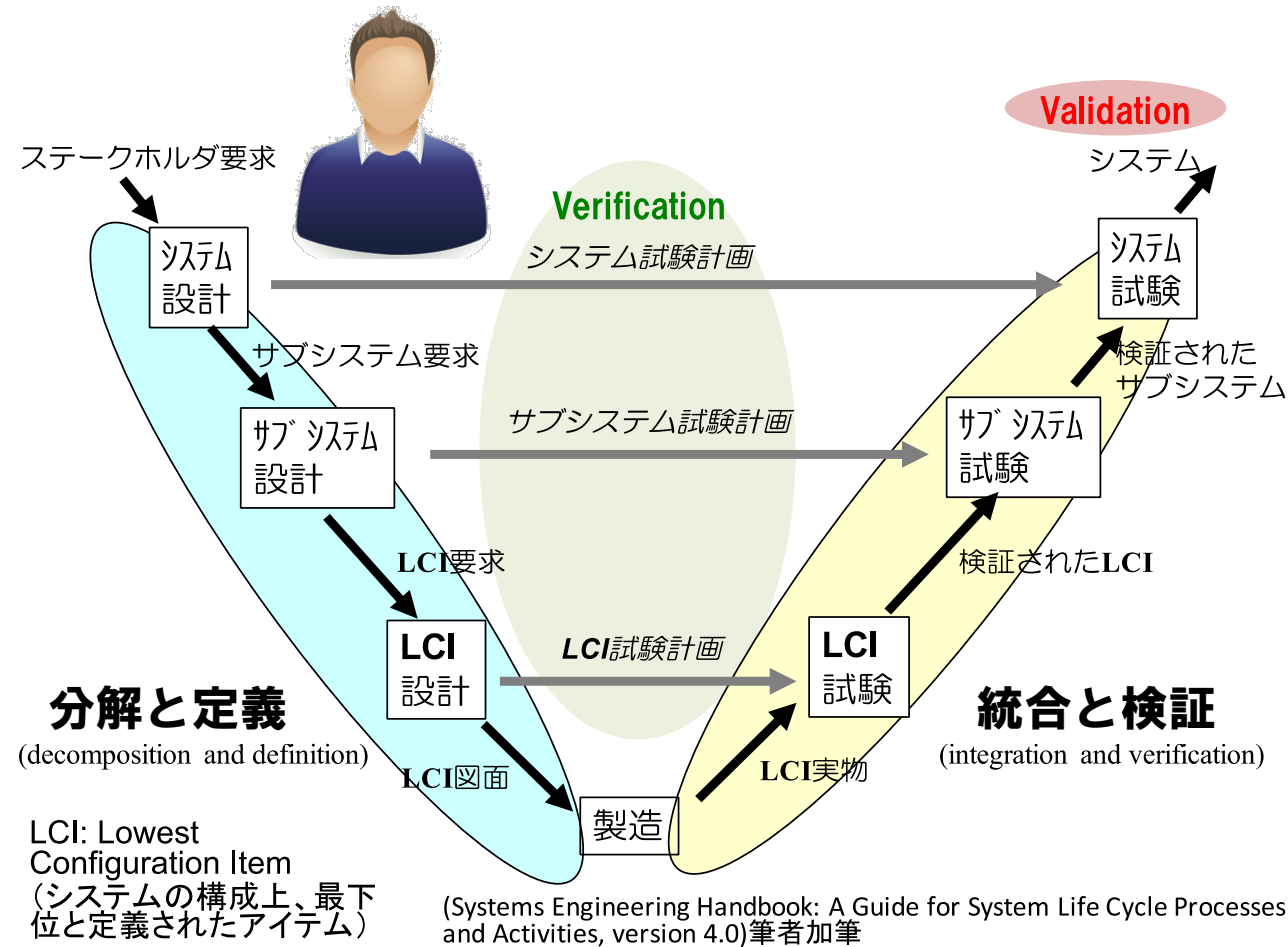


- Undesirable Event①
- Undesirable Event②

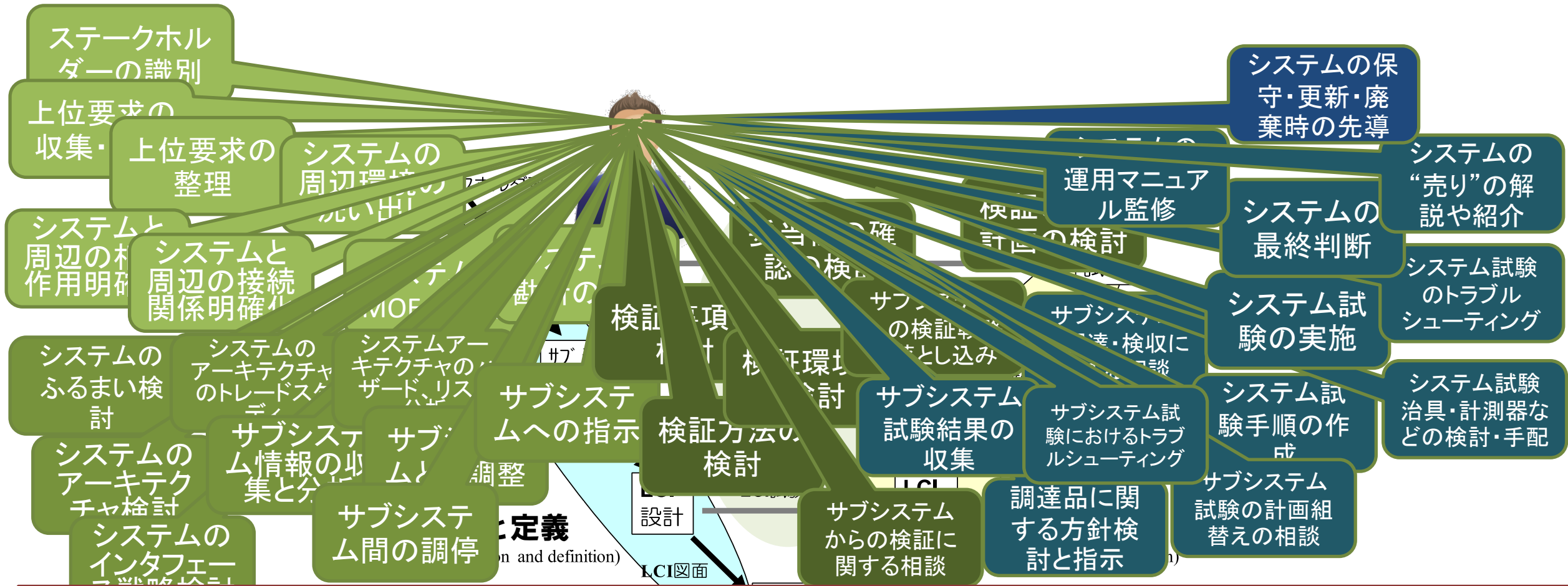


モノだけでなく「コト」や「周囲の関連する事柄」も俯瞰し、全体を検討、デザインする。目的達成のために「成すべきこと」と「起こしてはいけないこと」を同時に検討し、インテグレーションや検証計画・実証実験等に反映することで、大規模な開発プロジェクトにおいてもワークパッケージ全体を掌握し、効果的・効率的に推進をする。

システムズエンジニアのイメージ



システムズエンジニアのイメージ



システムズエンジニアは、システムが何の目的で何を果たすのかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、そのためにシステムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現手段を広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスで手を尽くす、開発のキーパーソンである。

なぜModel-Basedシステムズエンジニアリングか？

- 複雑さを扱い易くする**段階的詳細化**
 - システムを表現する粒度を複数階層で制御し、俯瞰と詳細が常に同期された状態を実現する
- 開発に関わる**膨大な情報から高度な判断が必要**
 - 数値データだけでなく、目的、制約、意図等も併せて扱う
- 求められる高い**変更分析**および**変更管理能力**
 - 複数領域にまたがる変更インパクト分析、全体俯瞰的な変更管理
- 自由度の高いパートナーシップや調達への**迅速な対応**
 - 意思決定の伝達、情報のやり取り、などの管理とスピードをバランスする
- 開発環境もこうした変化に合わせて急速に進化中
 - CAE・MBDとの相互連携、PLMの進化、OSLCへの期待の増大

システムズエンジニアリングにおけるモデル

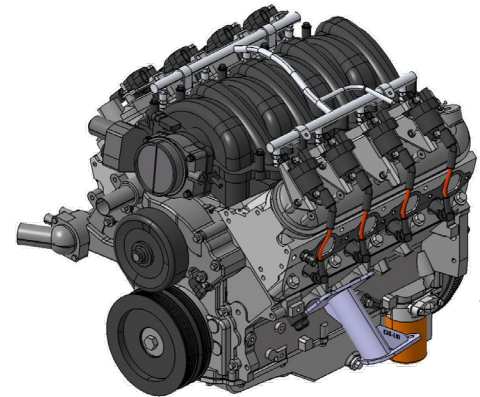
- **Descriptive Model**, **Analytical Model**の識別、使い分け

記述型モデル
非実行形式モデル

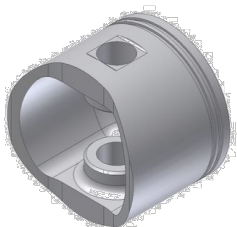
分析型モデル
実行形式モデル

システムズエンジニアリングにおけるモデル

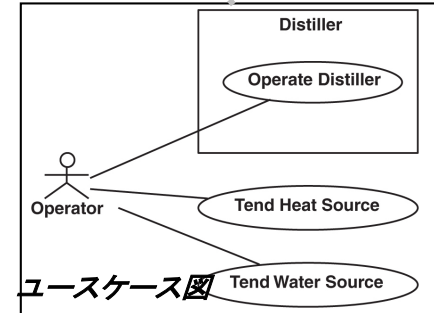
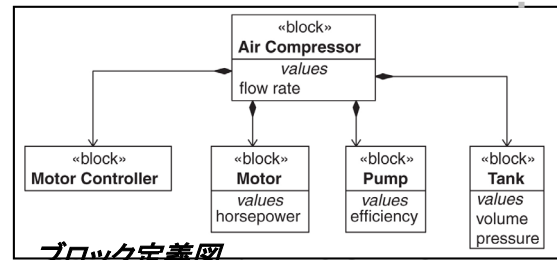
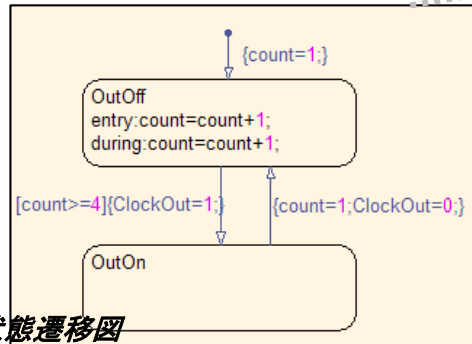
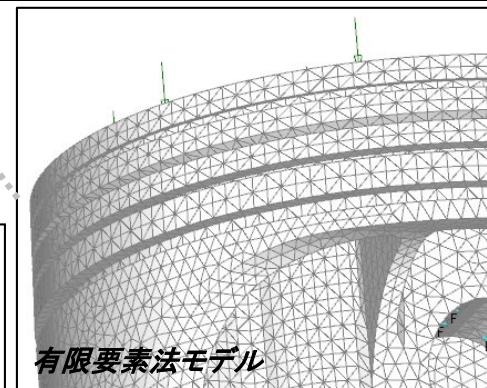
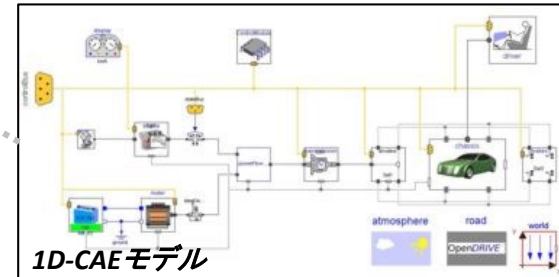
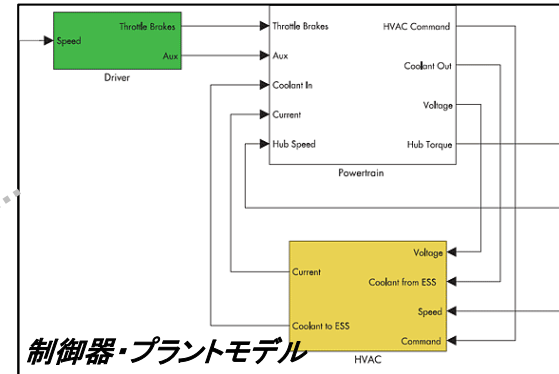
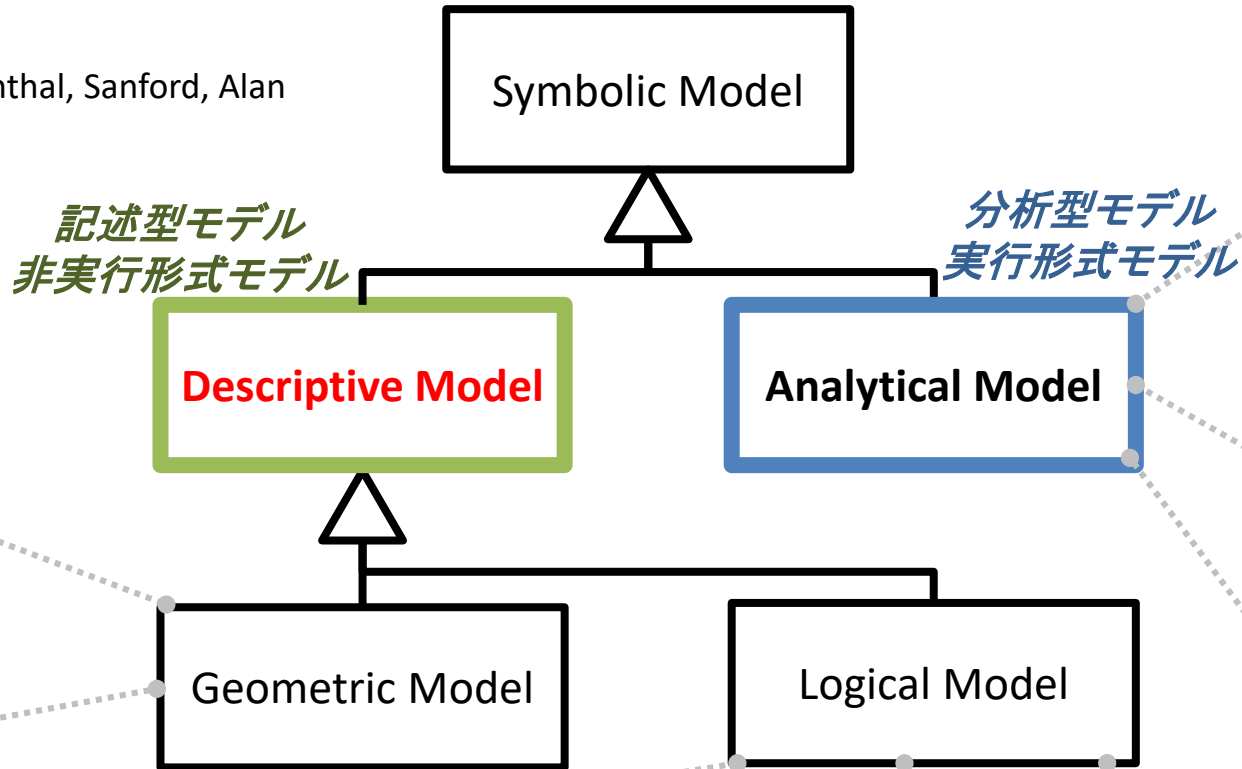
(A Practical Guide to SysML, 3rd Ed, Friedenthal, Sanford, Alan Moore, and Rick Steiner 2015) 筆者加筆



アセンブリCADモデル

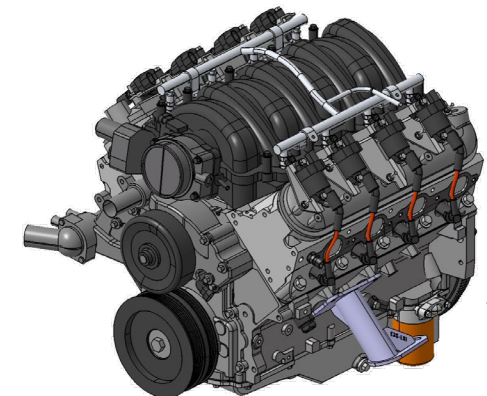


単体CADモデル

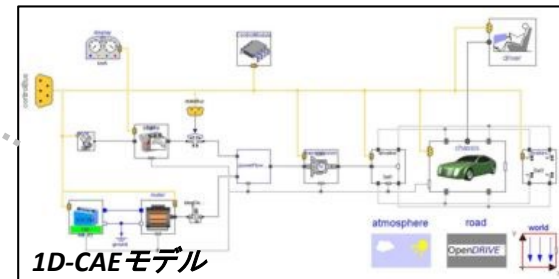
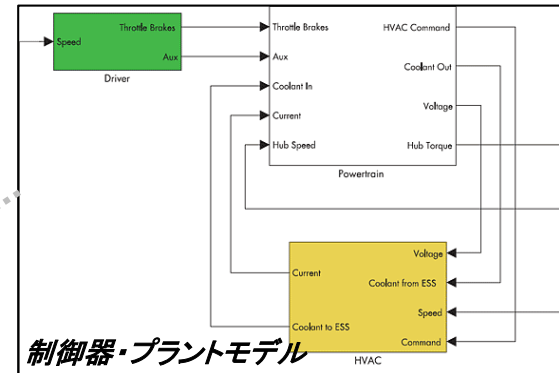
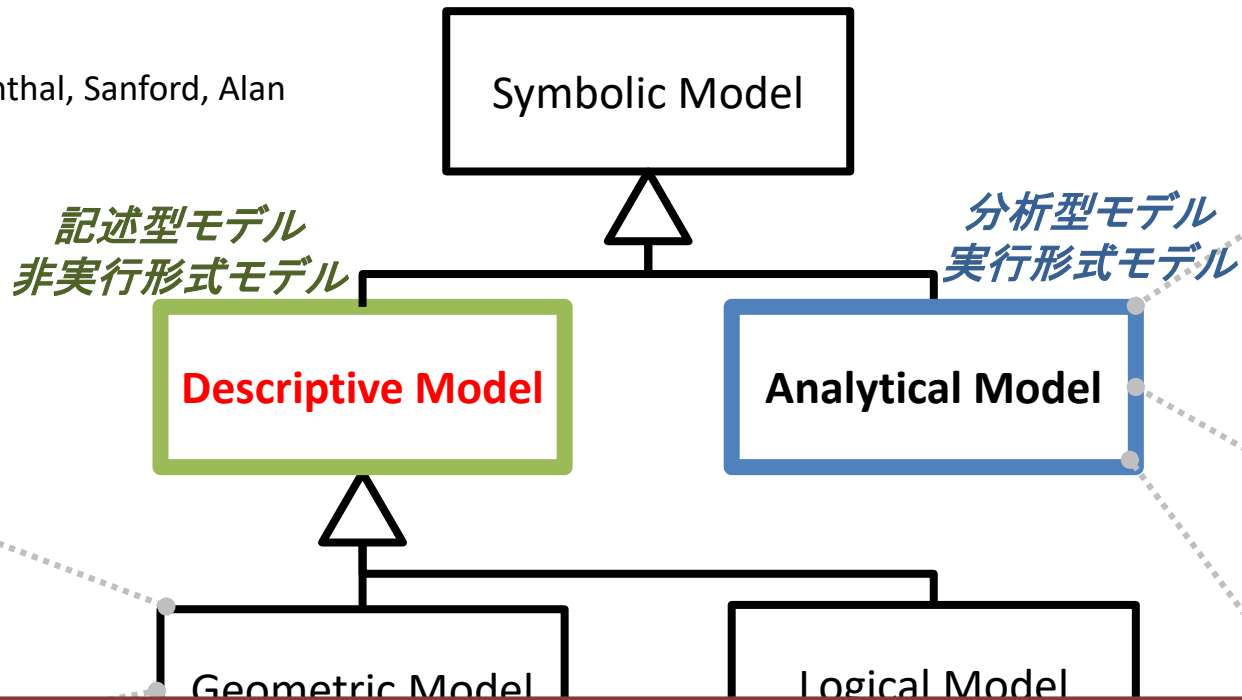


システムズエンジニアリングにおけるモデル

(A Practical Guide to SysML, 3rd Ed, Friedenthal, Sanford, Alan Moore, and Rick Steiner 2015) 筆者加筆



アセンブリCADモデル



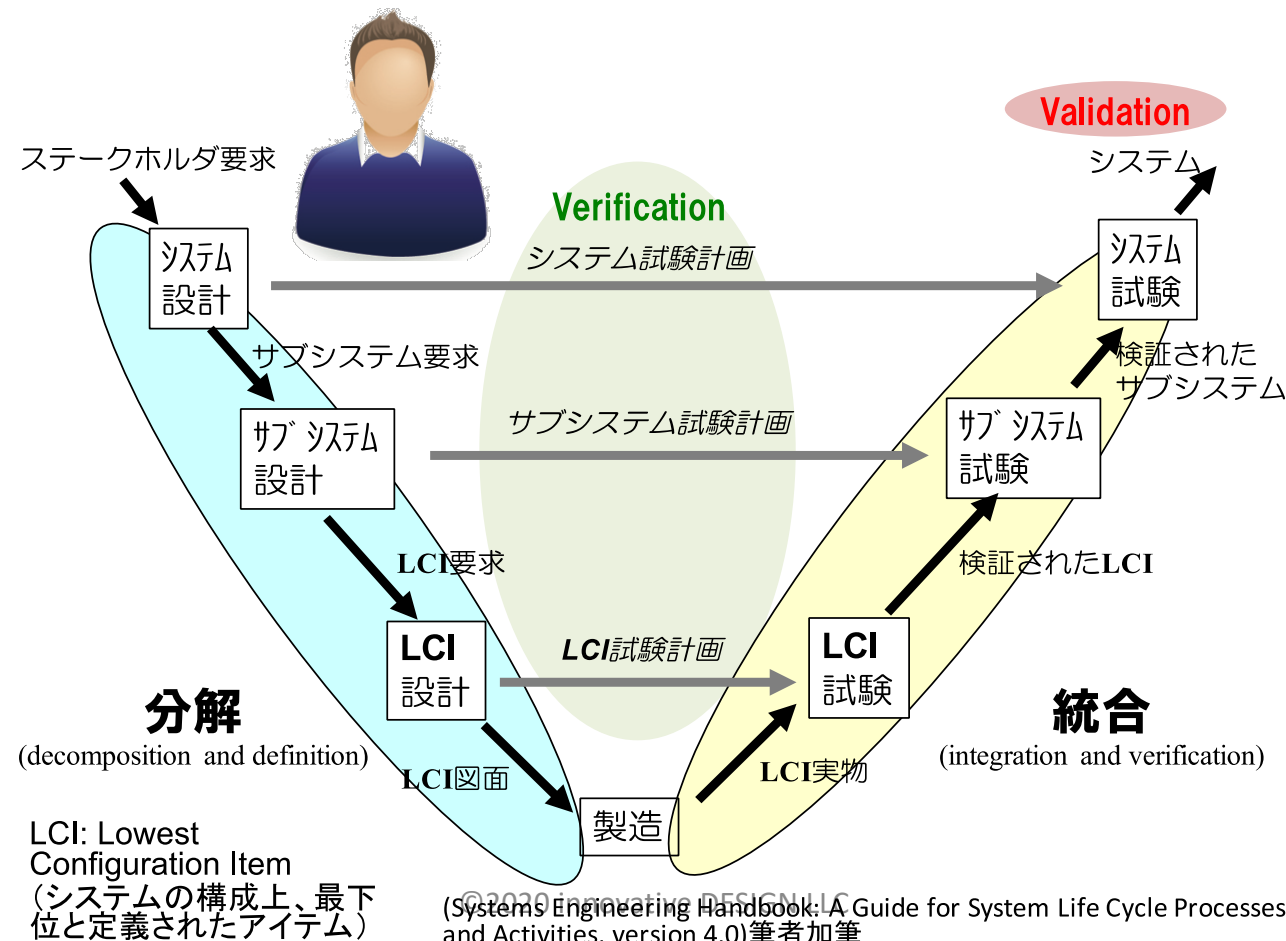
「モデル」には様々な種類がある。一般的に自動車業界などでMBD (モデルベース開発) とされる場合には、Analytical Model (分析型モデル、実行形式モデル) のみに着目している場合がほとんどである。

システムズエンジニアリングにおけるシステムモデルとは、Descriptive Model (記述型モデル、非実行形式モデル) とAnalytical Model (分析型モデル、実行形式モデル) の両方を適切に使い分けて、また組み合わせて構築される。

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

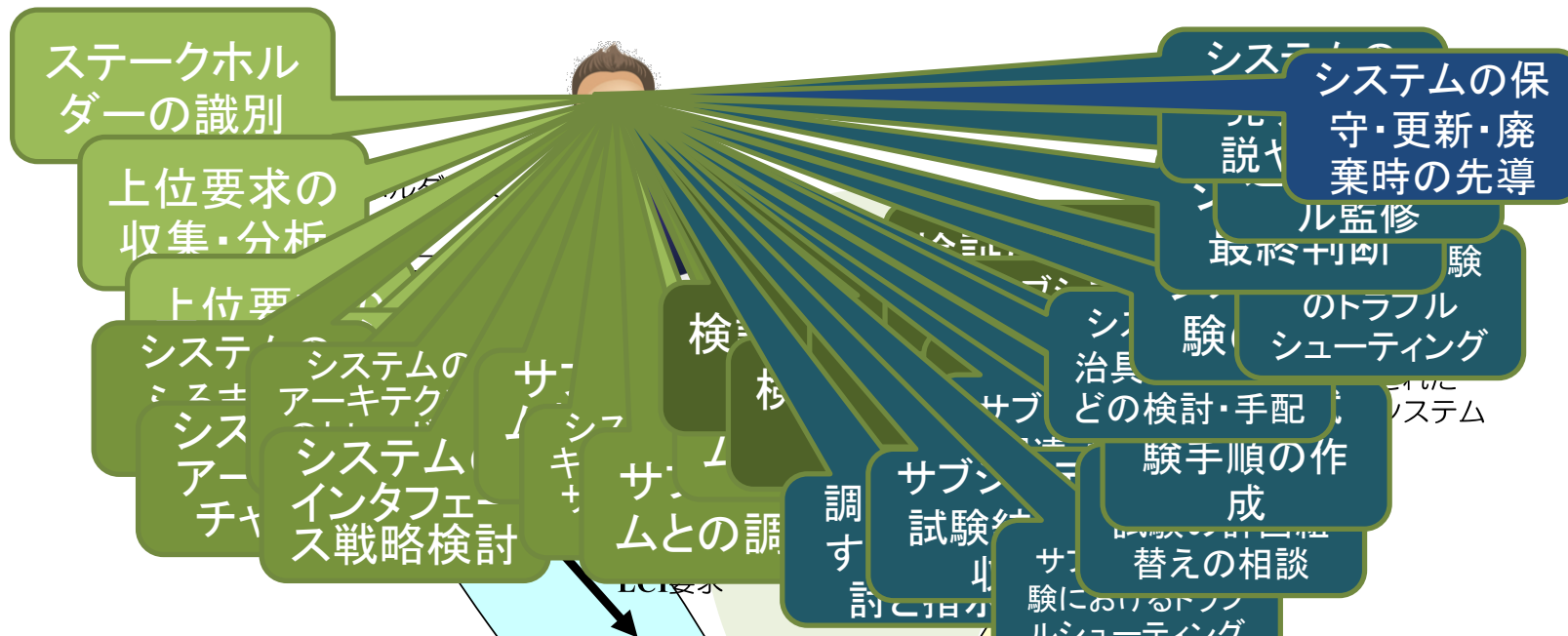
再掲



システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

再掲



システムズエンジニアは、システムが何の目的で何を果たすのかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、そのためにシステムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現手段を広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスで手を尽くす、開発のキーパーソンである。

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

Why?

誰が、システムや他のものを用いることで、何を成し遂げようとしているのか？

その際、何が最も重要な事柄で、何が最も避けるべき事柄なのか？

What?

システムは、何を実現する必要があるのか？それはどの程度なのか？

何がシステムの勘所で、何をシステムとして必ず考慮しなくてはならないのか？

How?

どのようにしてシステムは実現されるのか？その実現方式の特性・特徴は？システムの要素への分担割合は？要素のシステム全体への貢献程度は？要素とシステム全体を確実に実現するには？

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<作り方>

Why?

要求分析 (Requirement Analysis) を記述

- ビジネス、オペレーションなどの上位要求の整理・分析・定義
- システムのライフサイクル分析・定義
- システムのコンテキスト分析・定義
- システムに求められる特性・特徴・機能・性能の定義

What?

システムアーキテクチャ設計 (Architecture Definition) を記述

- システムに求められる特性・特徴・機能・性能の実現方式の設計
- サブシステムの設計とそれらの機能・性能の割り当ての設計
- サブシステム間の相互作用の設計と、接続関係の設計

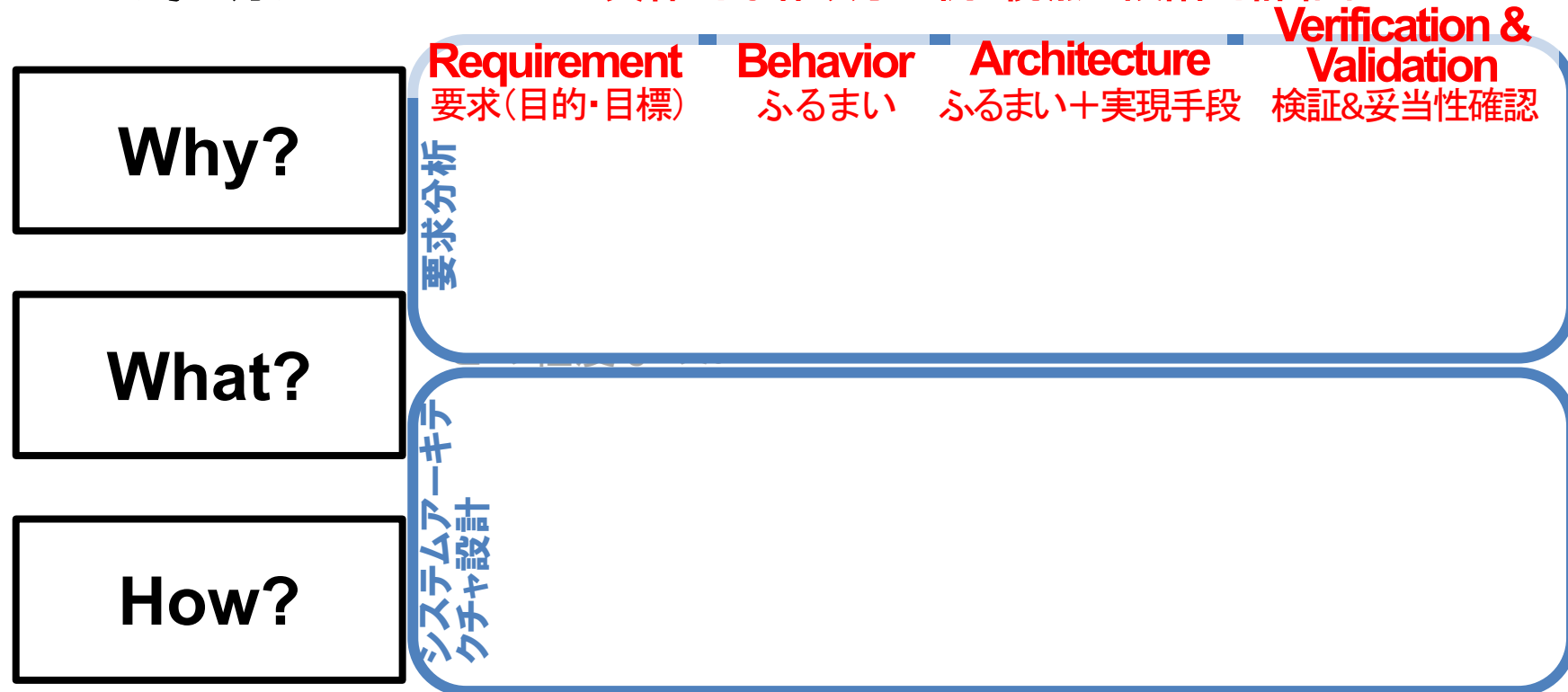
How?

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>

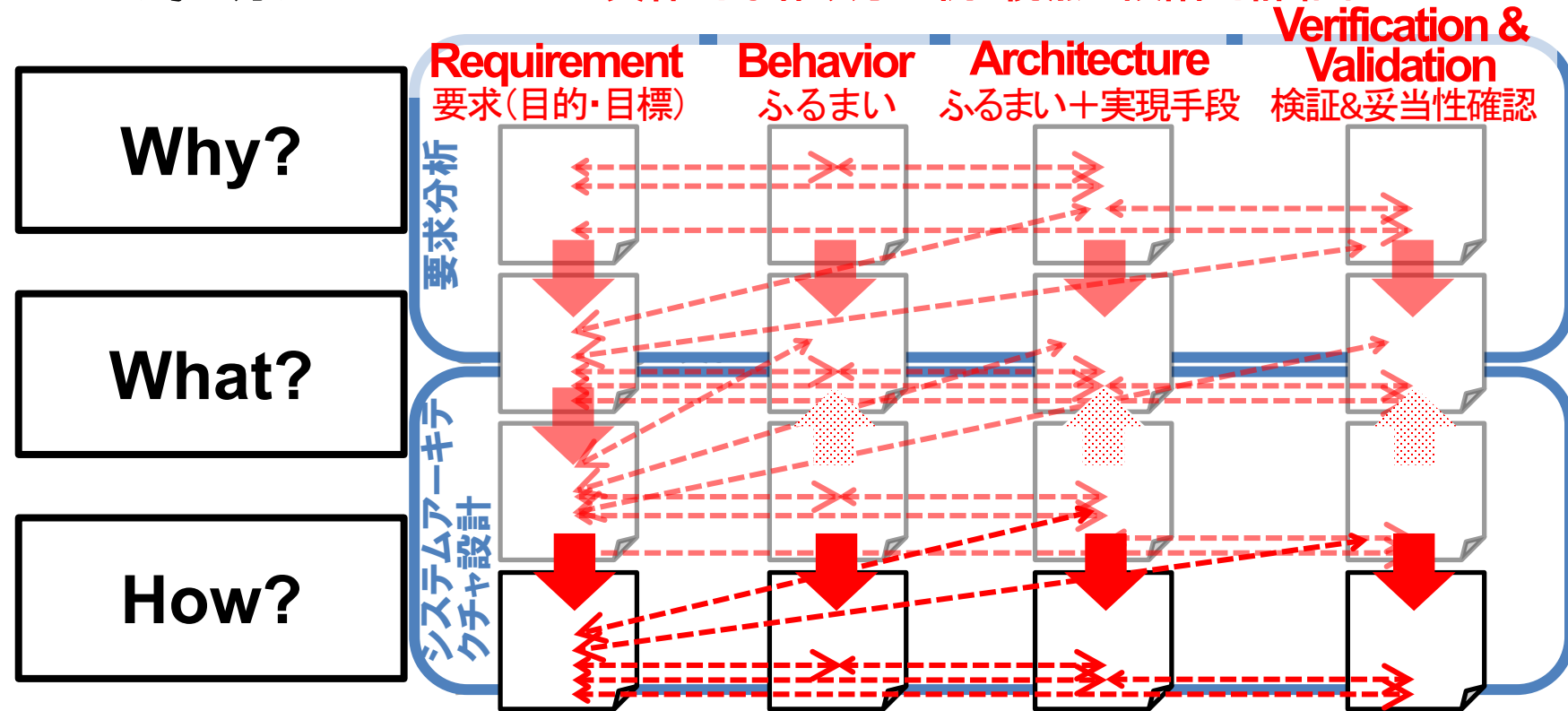


システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>

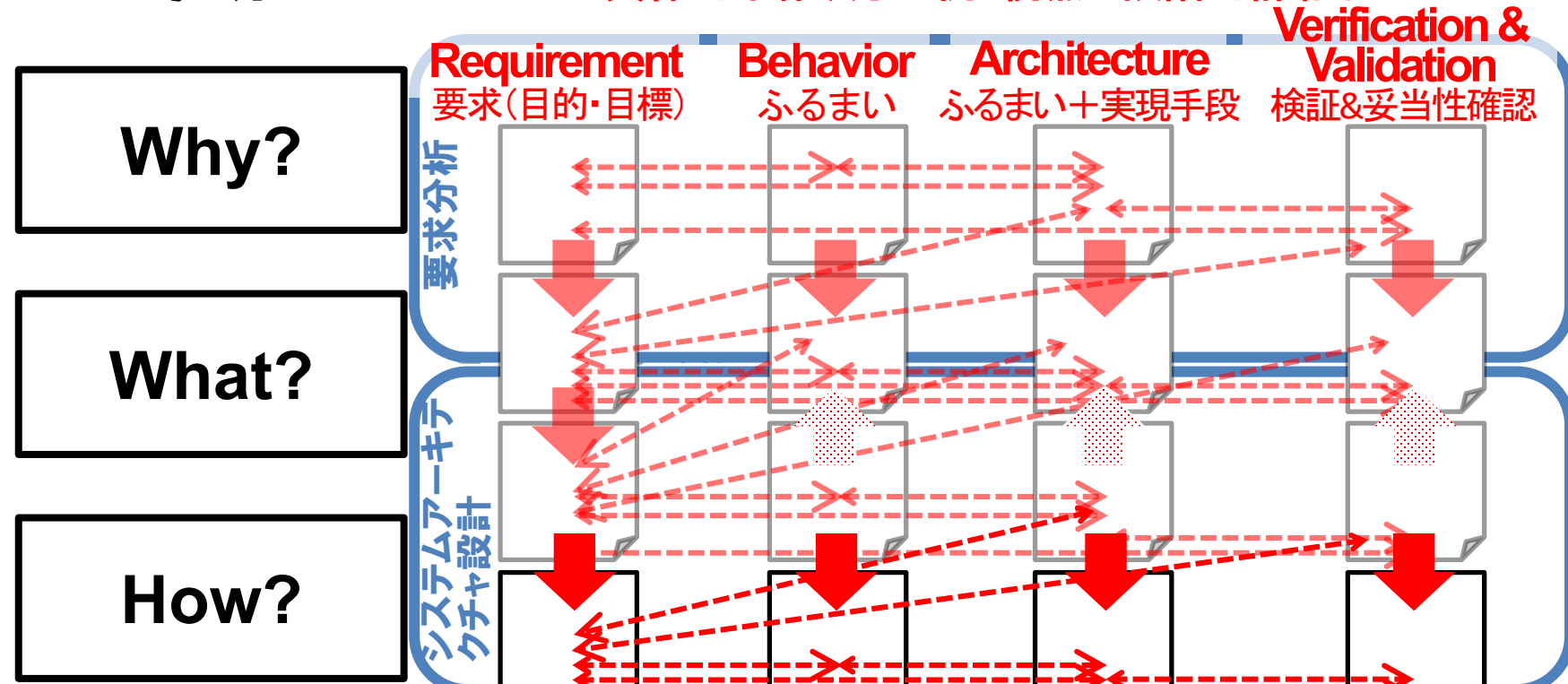


システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

＜考え方＞

＜具体的な作り方の例：視点と段階的詳細化＞



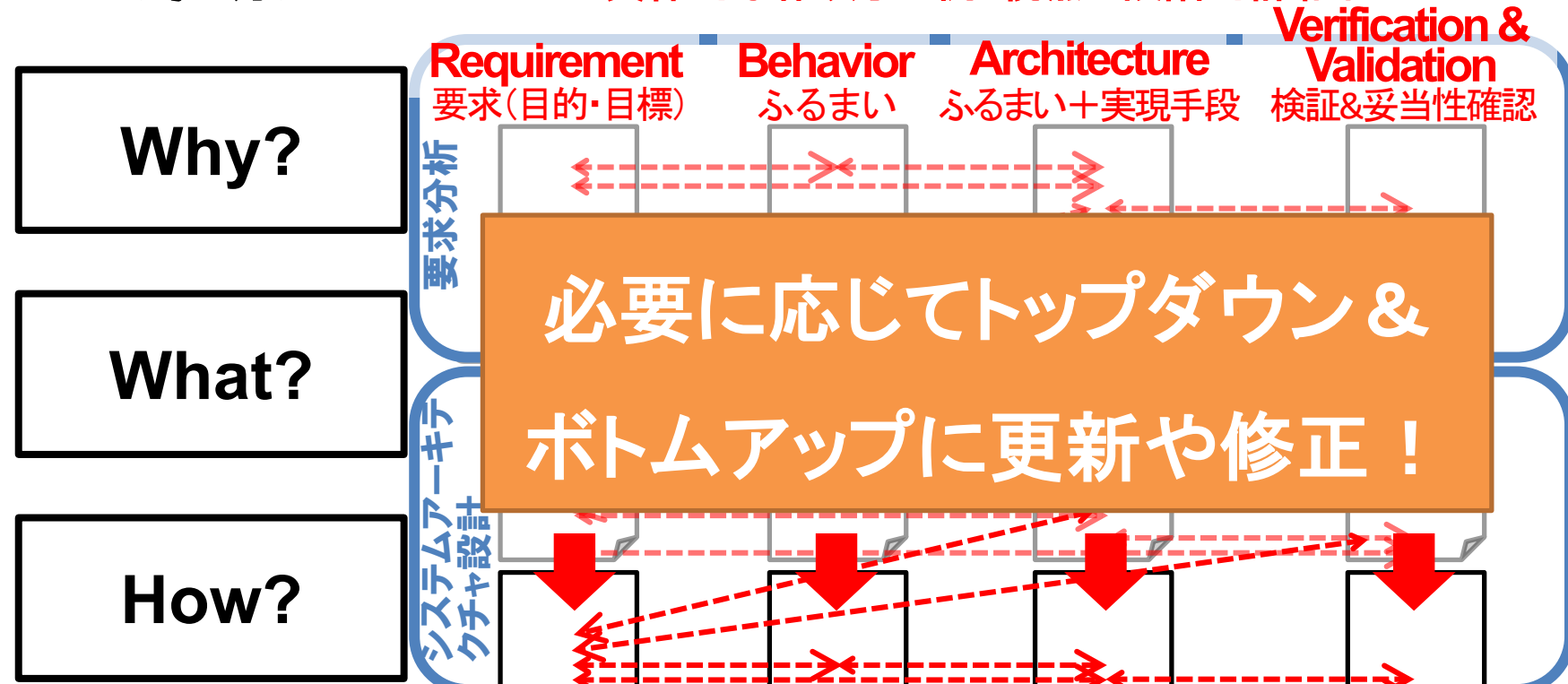
システムズエンジニアがシステムの開発を進めるために必要となるシステムに関する指針・方針、分析結果、意思決定、全体戦略、全体構成などが記述されている。

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>



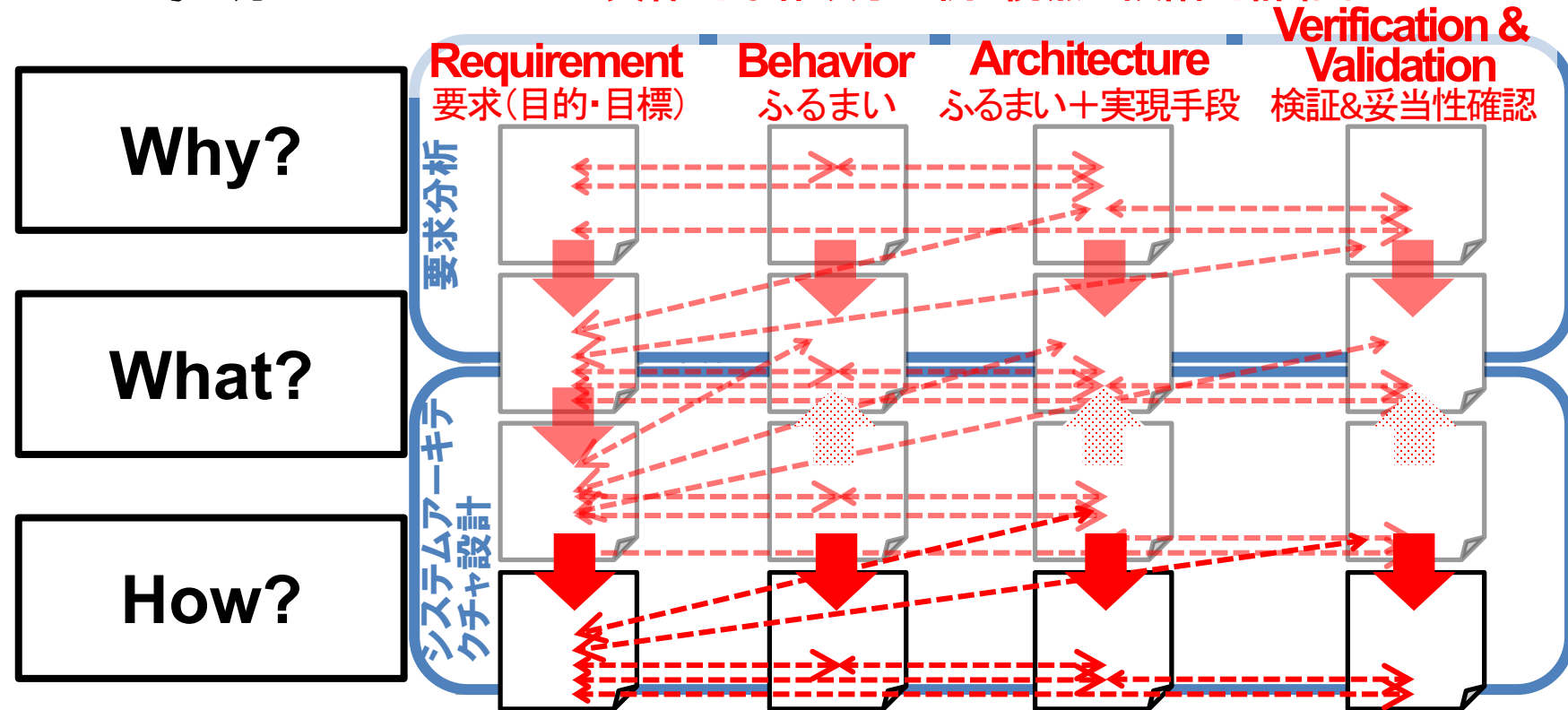
システムズエンジニアがシステムの開発を進めるために必要となるシステムに関する指針・方針、分析結果、意思決定、全体戦略、全体構成などが記述されている。

システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>

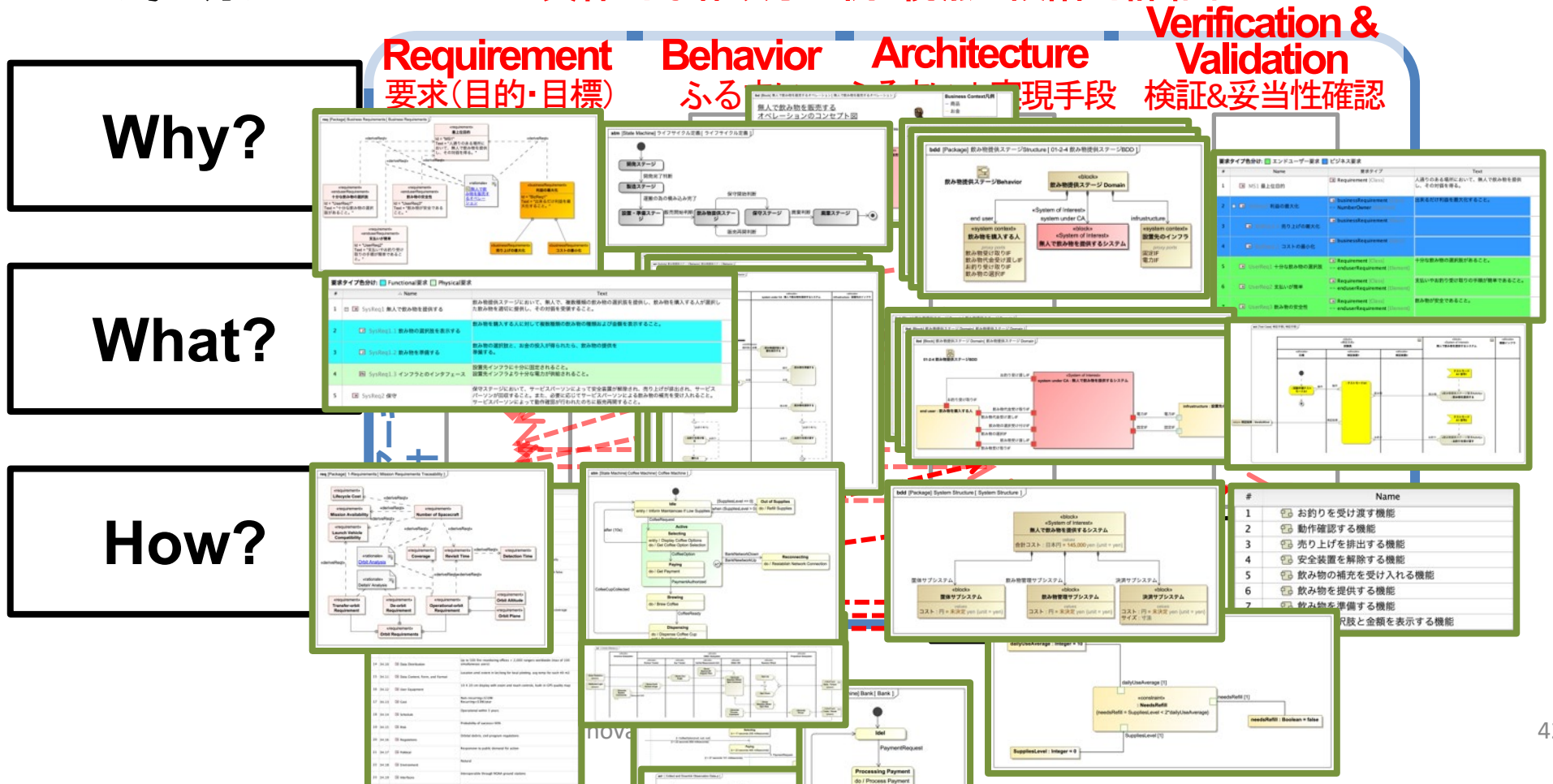


システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>

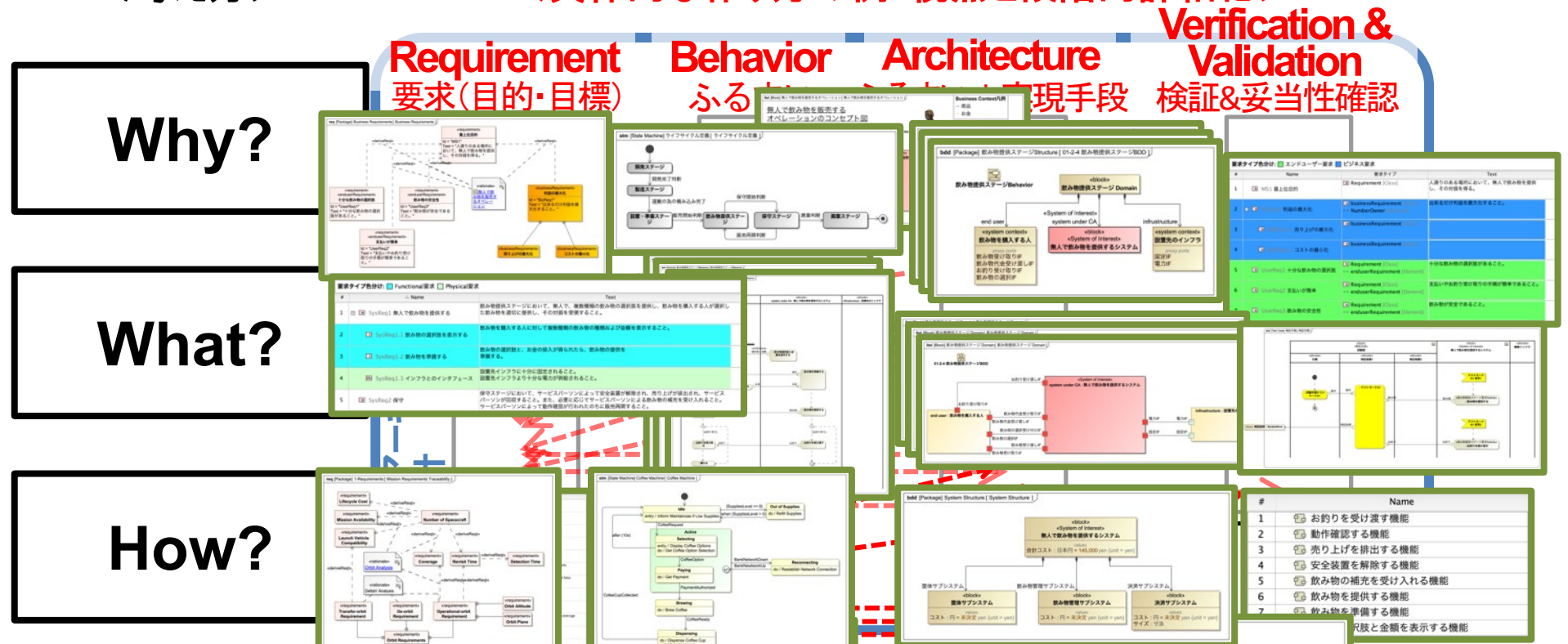


システムズエンジニアの「システムモデル」

システムモデルはシステムズエンジニアが作り、用いるシステムに関する記述であり、システムの全容を表す“図面”であると言える。

<考え方>

<具体的な作り方の例:視点と段階的詳細化>



このイメージはよくあるSysMLの誤解です

システムズエンジニアの「システムモデル」の正しい捉え方

活用用途に合わせて、任意の情報のみを含んだ任意の形態の断面図を抽出することが可能な **情報の構造体**

例:

自動車
システムモデル
(Vehicle System Model)

ABC Subsystem	Texas Unit
DEF Subsystem	Peach Unit
	Black Device
	Ohio Unit
GHI Subsystem	Cherry Unit
	Blue Device
	Idaho Unit

Item	Specs	Supplier	Weight
Engine	Briggs and Stratton 15 hp Model # 28N787	Central Equipment	13.0
Peerless Transaxle	Item # 13-1476.3 forward speed, 1 reverse	Surplus Center	14.6
Hubs	1500 lb Spindle Super Lube		22.4
Tires	4.00/15SL Tru-Trac Front Tire		5.6
Rims	3x15	Bevins Motor Co.	3.4
Tubes	5.00-15/4.00-15	S&S Tire	3.6
Rear wheel	26x12.00-12NHS	From surplus	6.7
3 point Hitch Lift	Cat. 0 electric lift	Koplan (Amazon)	7.5
Seat	Deluxe midback steel	Northern Tool & Equipment	9.0
Steering wheel	Replacement, Massey Ferguson keyed hub	Northern Tool & Equipment	11.5
Pillow Block Bearings	1-1/4 UPC206-20	Bearings.com	11.5

システム記述言語(System Description Language)を用いて、技術分野横断的に、対象全体を俯瞰した各種エンジニアリング情報が関係性を持って一元的に整理された、**情報の構造体**

#	Name	要求タイプ	Text
1	MS1 親上位目的	Requirement (Class)	人通りのある場所において、無人で飲み物を提供し、その対価を得る。
2	飲み物の利益の最大化	businessRequirement (Class) → NumberOwner (Instance)	出来るだけ利益を最大化すること。
3	飲み物の売上げの最大化	businessRequirement (Class)	
4	飲み物のコストの最小化	businessRequirement (Class)	
5	十分な飲み物の選択肢	Requirement (Class) → enduserRequirement (Instance)	十分な飲み物の選択肢があること。
6	支払いが簡単	Requirement (Class) → enduserRequirement (Instance)	支払いが容易な取り扱いは必要であること。
7	飲み物の安全性	Requirement (Class) → enduserRequirement (Instance)	飲み物が安全であること。

Legend

Trace

- 01-2 Context Analysis
 - 01-2-1 開発ステージ
 - 01-2-2 製造ステージ
 - 01-2-3 設置・準備ステージ
 - 01-2-4 飲み物提供ステージ
 - 01-2-5 保守ステージ
 - 01-2-6 廃棄ステージ
- Context Analysis結果

[ライフサイクル]

開発ステージ

製造ステージ

設置・準備ステージ

飲み物提供ステージ

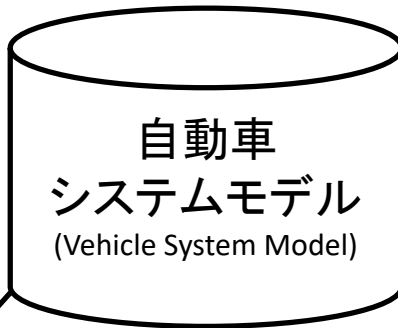
保守ステージ

廃棄ステージ

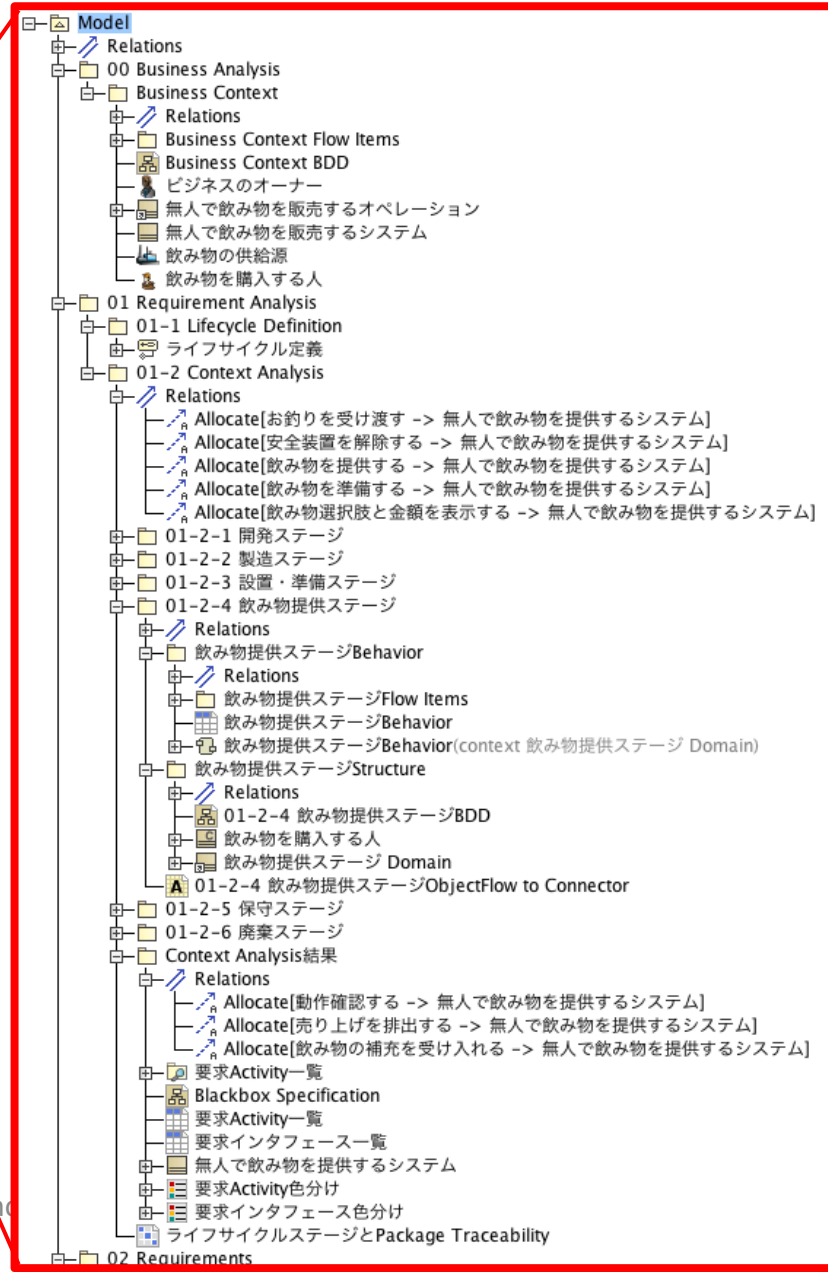
システムズエンジニアの「システムモデル」の正しい捉え方

システムモデルの
実体イメージ
(システム要素のツリー図)

例:



システム記述言語(System Description Language)を用いて、技術分野横断的に、対象全体を俯瞰した各種エンジニアリング情報が関係性を持って一元的に整理された、**情報の構造体**



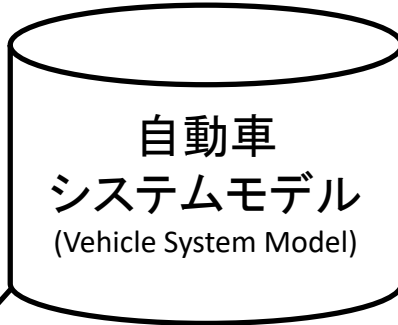
システムズエンジニアの「システムモデル」の正しい捉え方

システムモデルの 実体イメージ

(XML※データ)

※eXtensible Markup Language

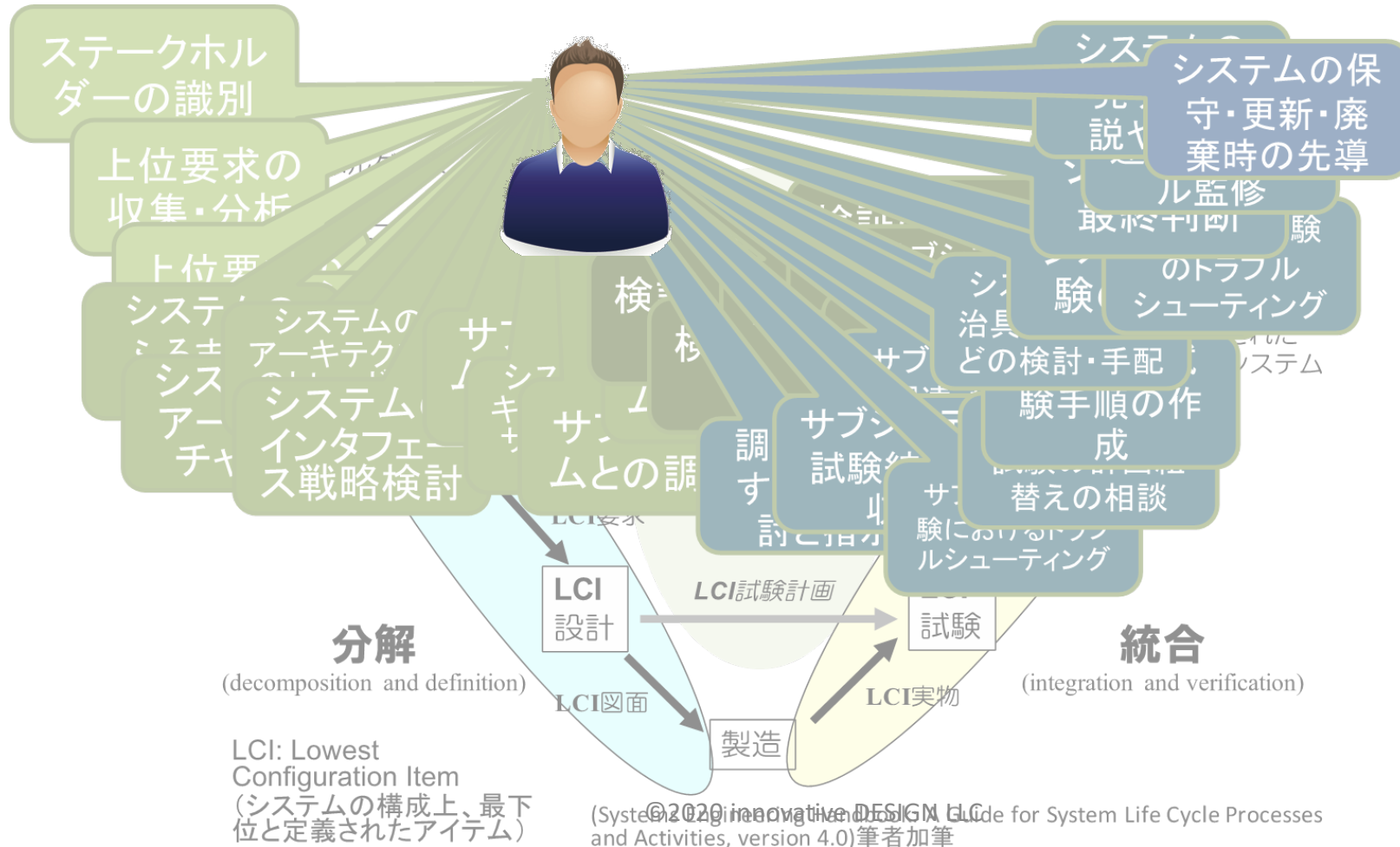
例:



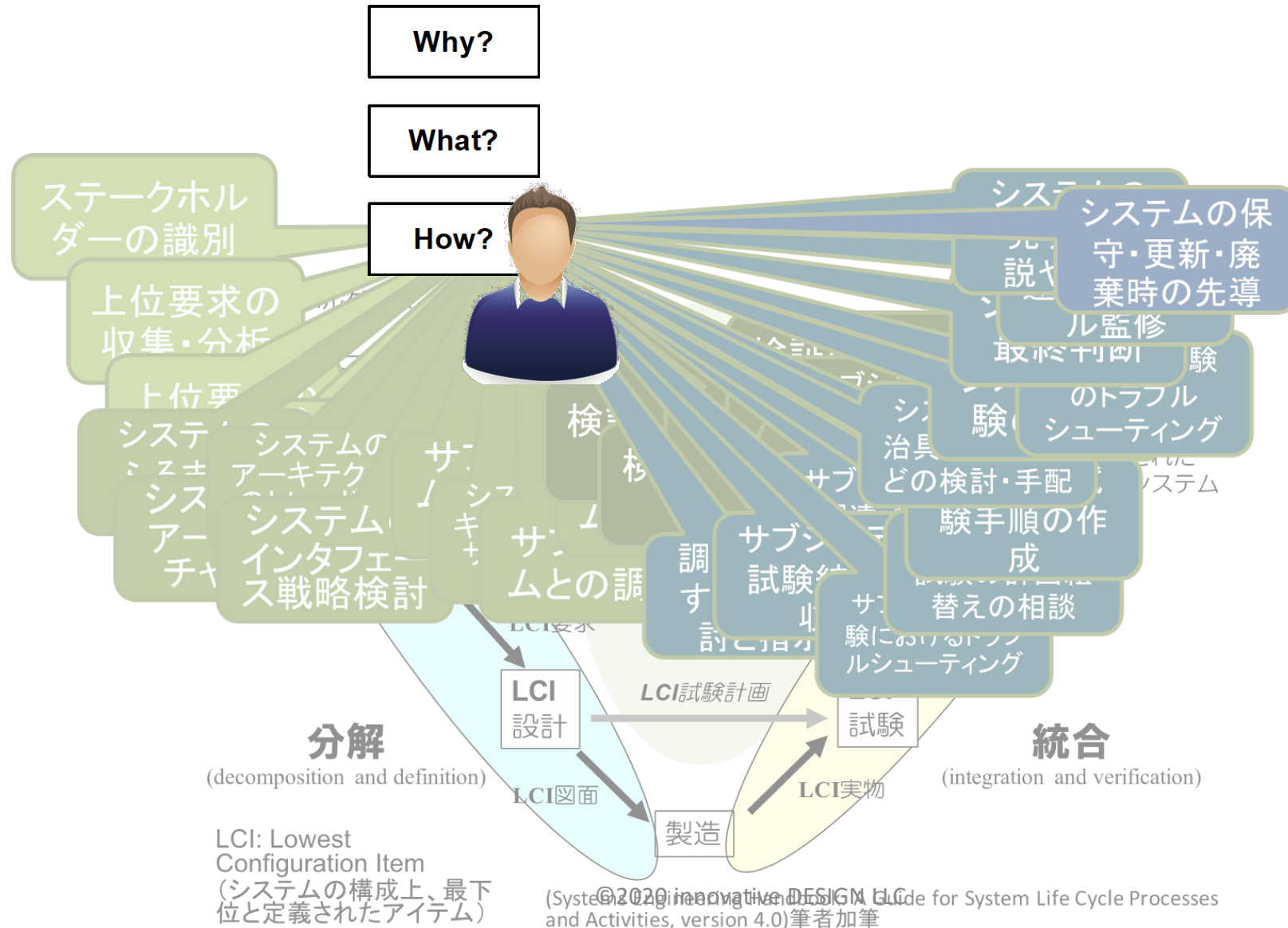
システム記述言語(System Description Language)を用いて、技術分野横断的に、対象全体を俯瞰した各種エンジニアリング情報が関係性を持って一元的に整理された、**情報の構造体**

```
</ownedDiagram>
</modelExtension>
</xmi:Extension>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126221463_621934_20337' name='近づく' />
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126261038_210011_20357' name='離れる' />
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503127092893_806824_20619' name='お釣りを受け取る'>
  <ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503127159674_588185_20692' name='parameter' visibi
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503127159707_119463_20703' name='parameter' visi
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503125147397_960689_20104' name='お金を投入する'>
  <ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503125459305_523610_20131' name='result' visibilit
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503125459314_946234_20132' name='result' visibili
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126309717_273510_20392' name='飲み物選択肢と金額を表示す
  <ownedComment xmi:type='uml:Comment' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503553581205_702627_13987' body='飲み物を買う人を選択可能
  <annotatedElement xmi:idref='_19_0beta_de60338_1503126309717_273510_20392' />
</ownedComment>
<ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126381796_362411_20411' name='result' visibilit
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126381804_732241_20412' name='result' visibili
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126875645_468514_20464' name='お釣りを受け渡す'>
  <ownedComment xmi:type='uml:Comment' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503553327160_190634_13984' body='余剰のお金を飲み物を買
  <annotatedElement xmi:idref='_19_0beta_de60338_1503126875645_468514_20464' />
</ownedComment>
<ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503127026411_848011_20572' name='result' visibilit
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503127026419_764186_20573' name='お釣り' visibili
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126182545_892279_20317' name='飲み物が提供されていること
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124896343_152287_20016' name='飲み物を準備する'>
  <ownedComment xmi:type='uml:Comment' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503553556918_66253_13986' body='飲み物を提供するために'>
  <annotatedElement xmi:idref='_19_0beta_de60338_1503124896343_152287_20016' />
</ownedComment>
<ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124954237_31014_20057' name='parameter' visibilit
<ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503125463543_562797_20141' name='parameter1' visibi
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124954290_628821_20068' name='parameter' visi
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503125463582_841101_20152' name='parameter1' vis
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126145542_897356_20282' name='飲み物を受け取る'>
  <ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126145548_796607_20286' name='parameter' visibi
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126145598_509458_20297' name='parameter' visi
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126122112_782842_20256' name='飲み物を提供する'>
  <ownedComment xmi:type='uml:Comment' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503553347856_605136_13985' body='飲み物を買う人のために'>
  <annotatedElement xmi:idref='_19_0beta_de60338_1503126122112_782842_20256' />
</ownedComment>
<ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126139266_94317_20274' name='result' visibilit
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126139278_753988_20275' name='飲み物' visibili
</ownedBehavior>
<ownedBehavior xmi:type='uml:Activity' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124545497_981898_19997' name='飲み物を選択する'>
  <ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124927193_774719_20047' name='result' visibilit
  <ownedParameter xmi:type='uml:Parameter' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126388143_495518_20421' name='parameter' visibi
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503124927203_294776_20048' name='result' visibili
  <node xmi:type='uml:ActivityParameterNode' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503126388182_65541_20432' name='parameter' visibi
</ownedBehavior>
<nestedClassifier xmi:type='uml:Class' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503575791179_621572_35983' name='システムの相互作用'>
  <ownedRule xmi:type='uml:Constraint' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503575798541_437972_35998' name='お金'>
    <constrainedElement href='http://www.omg.org/spec/UML/20131001/UML.xmi#Element'>
      <xmi:Extension extender='MagicDraw UML 19.0'>
        <referenceExtension referentPath='UML Standard Profile::UML2 Metamodel::Element' referentType='Class' />
      </xmi:Extension>
    </constrainedElement>
  <specification xmi:type='uml:OpaqueExpression' xmi:id='_19_0beta_de60338_1503575798541_806662_35999'>
```

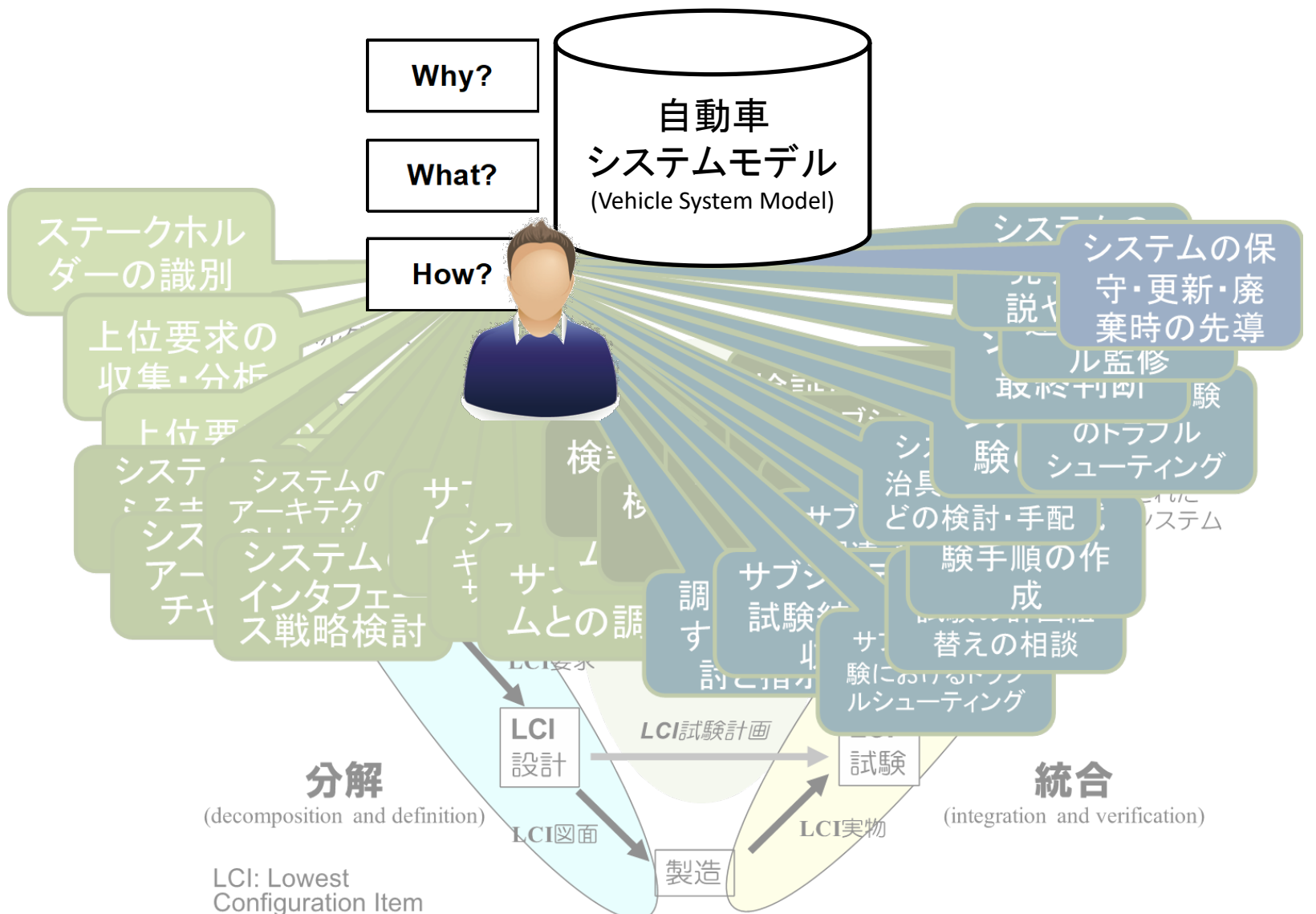

システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



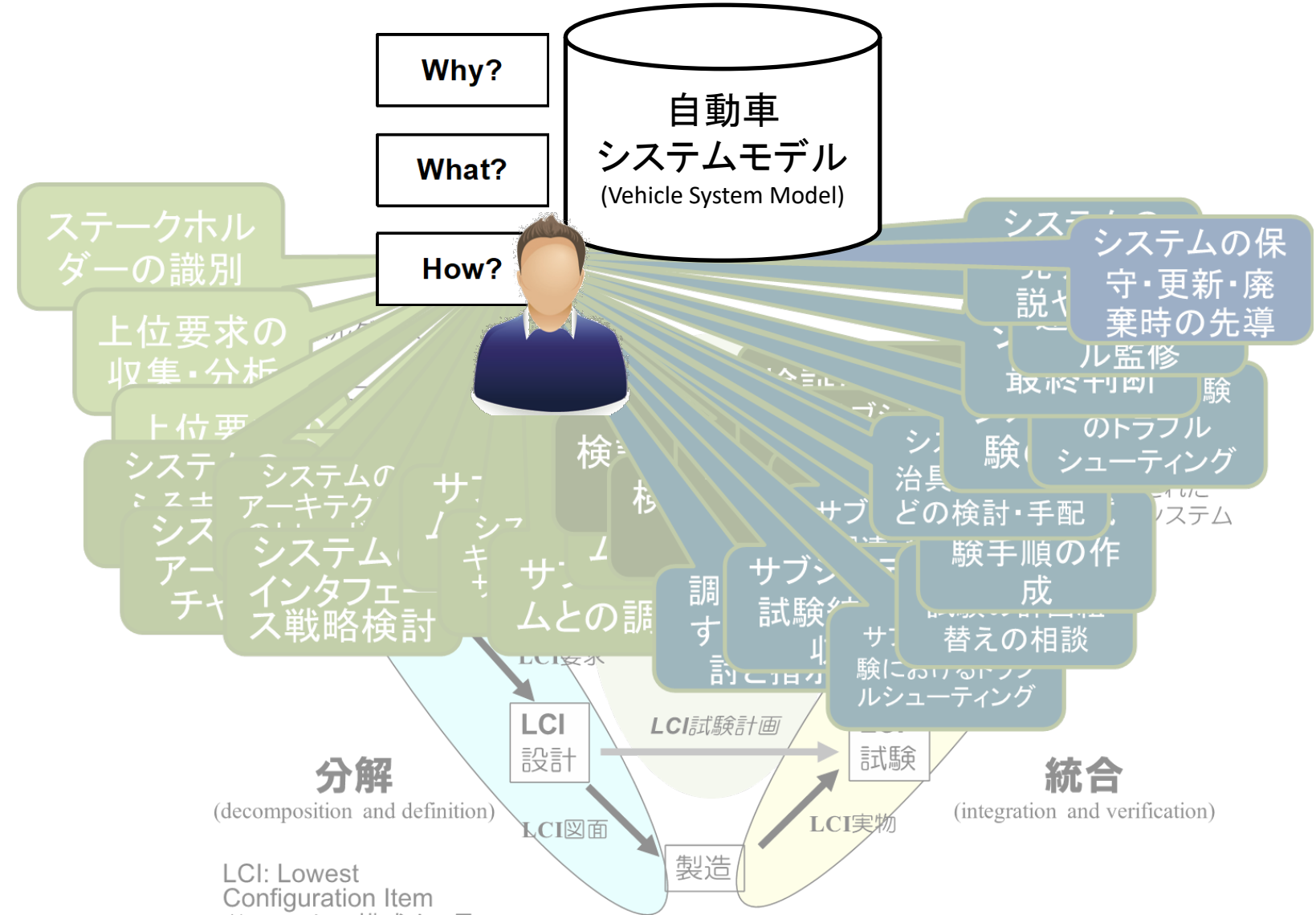
システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



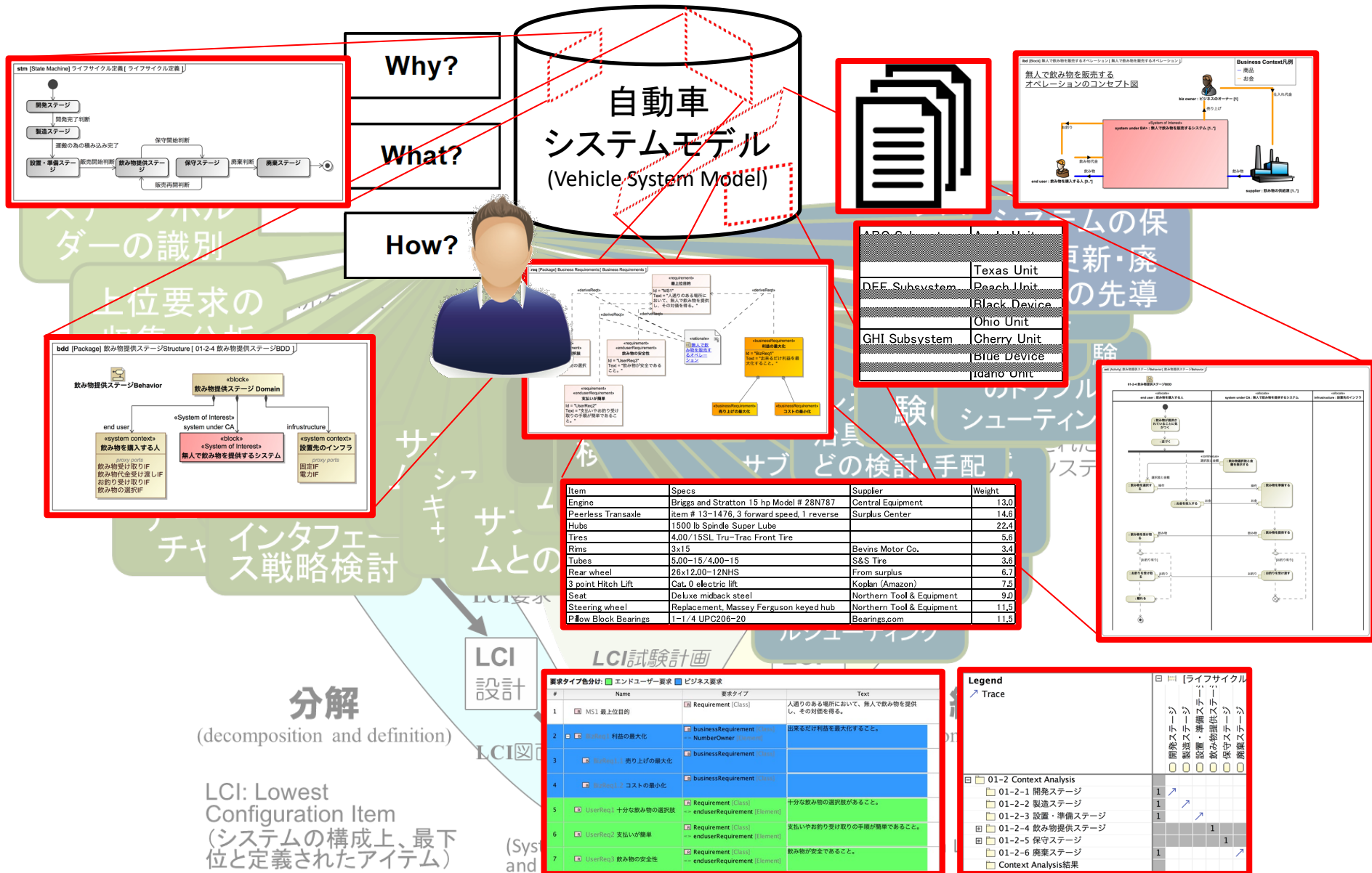
LCI: Lowest Configuration Item
(システムの構成上、最下位と定義されたアイテム)

(System and Activities, version 4.0) 筆者加筆

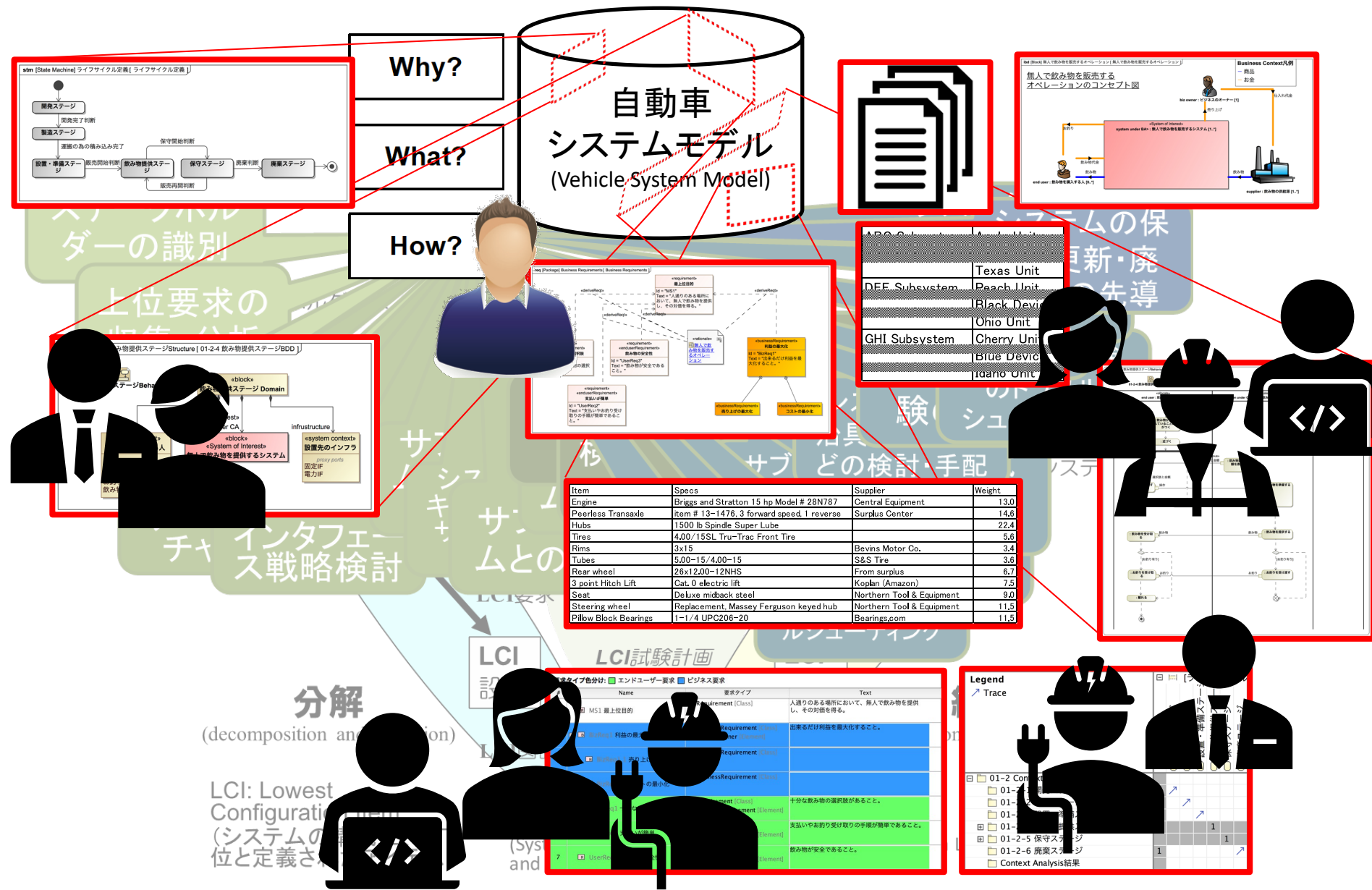
システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



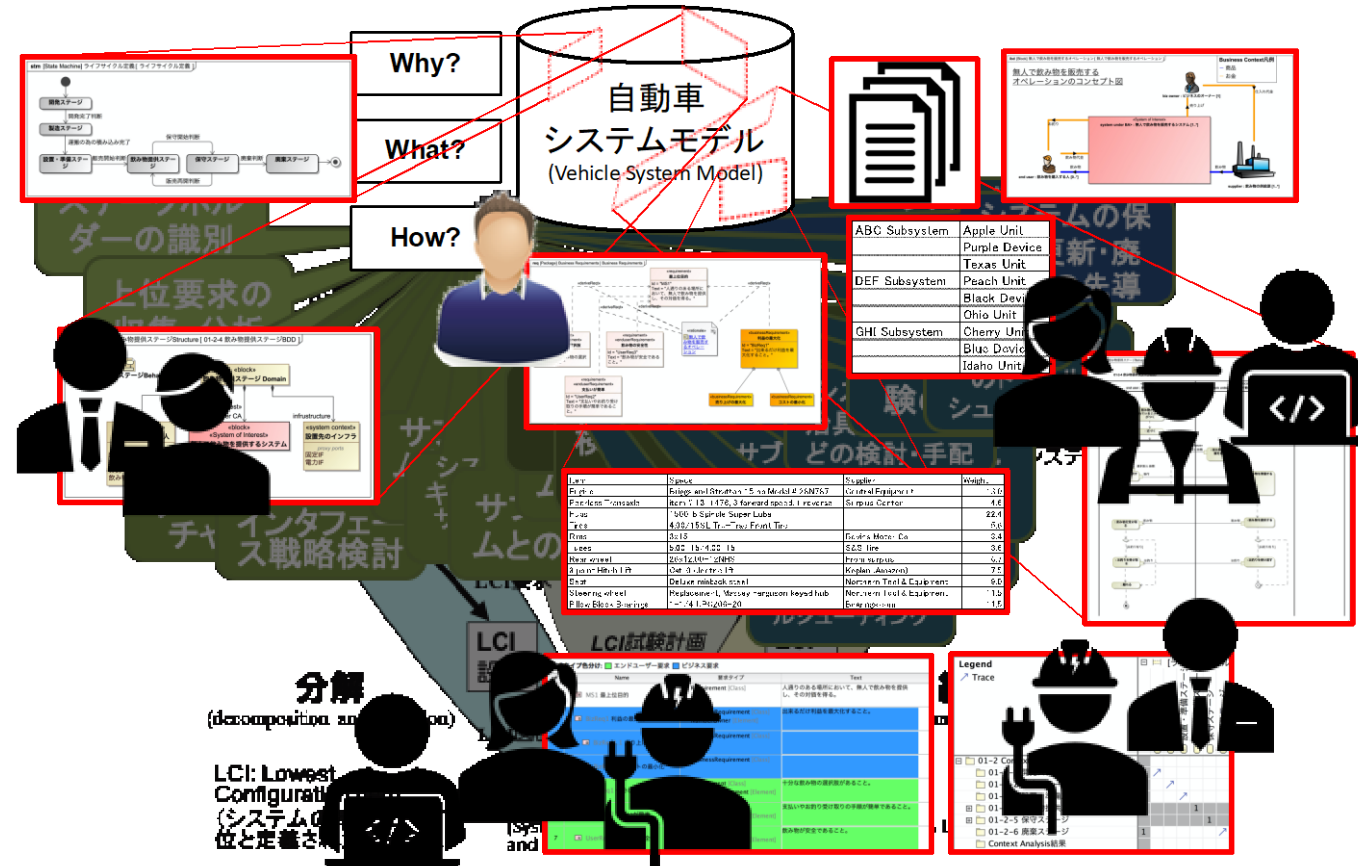
システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく

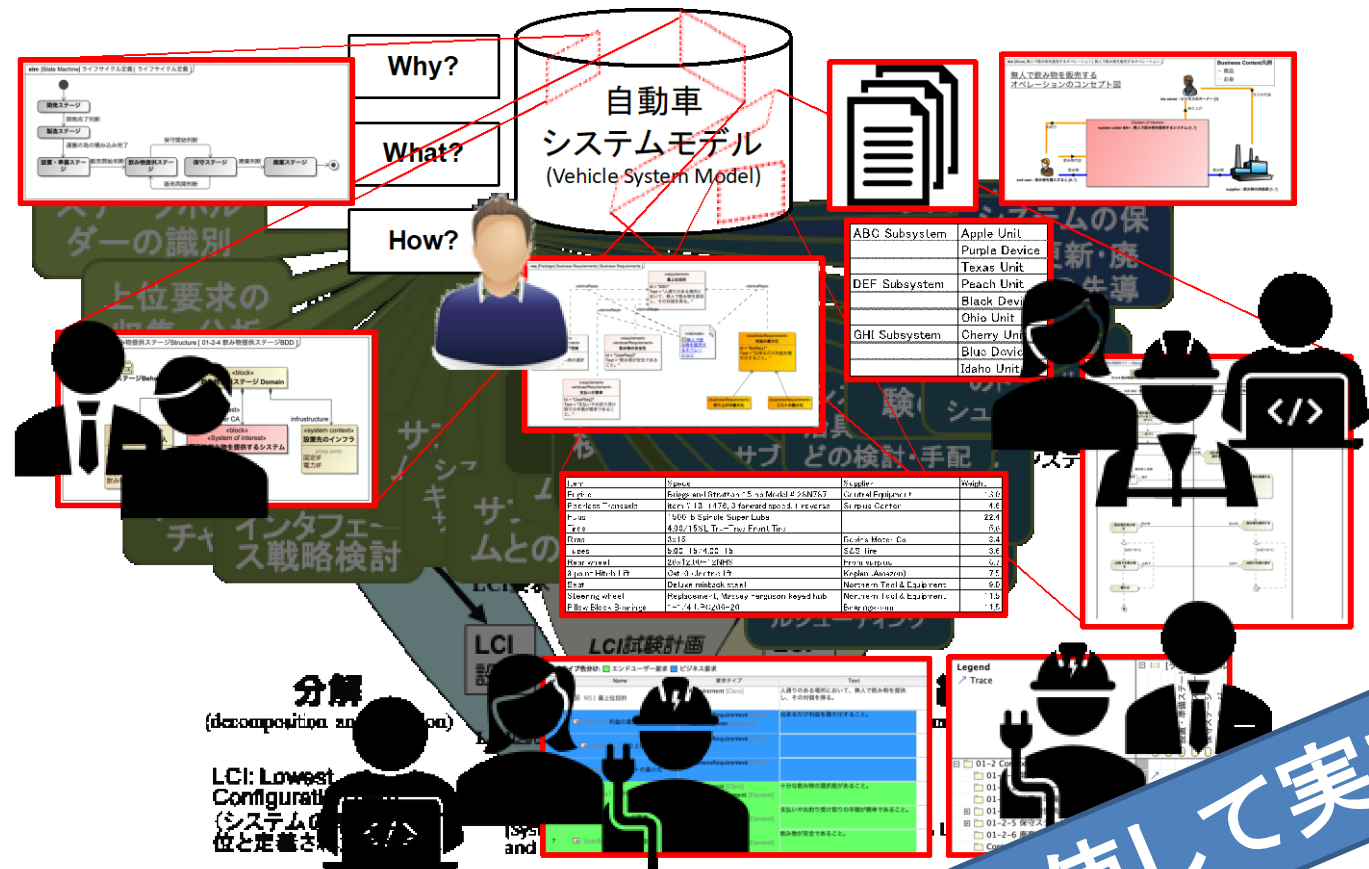


システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムズエンジニアは、システムが何の目的で何を果たすのかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、そのためにシステムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現手段を広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスで手を尽くす、開発のキーパーソンである。

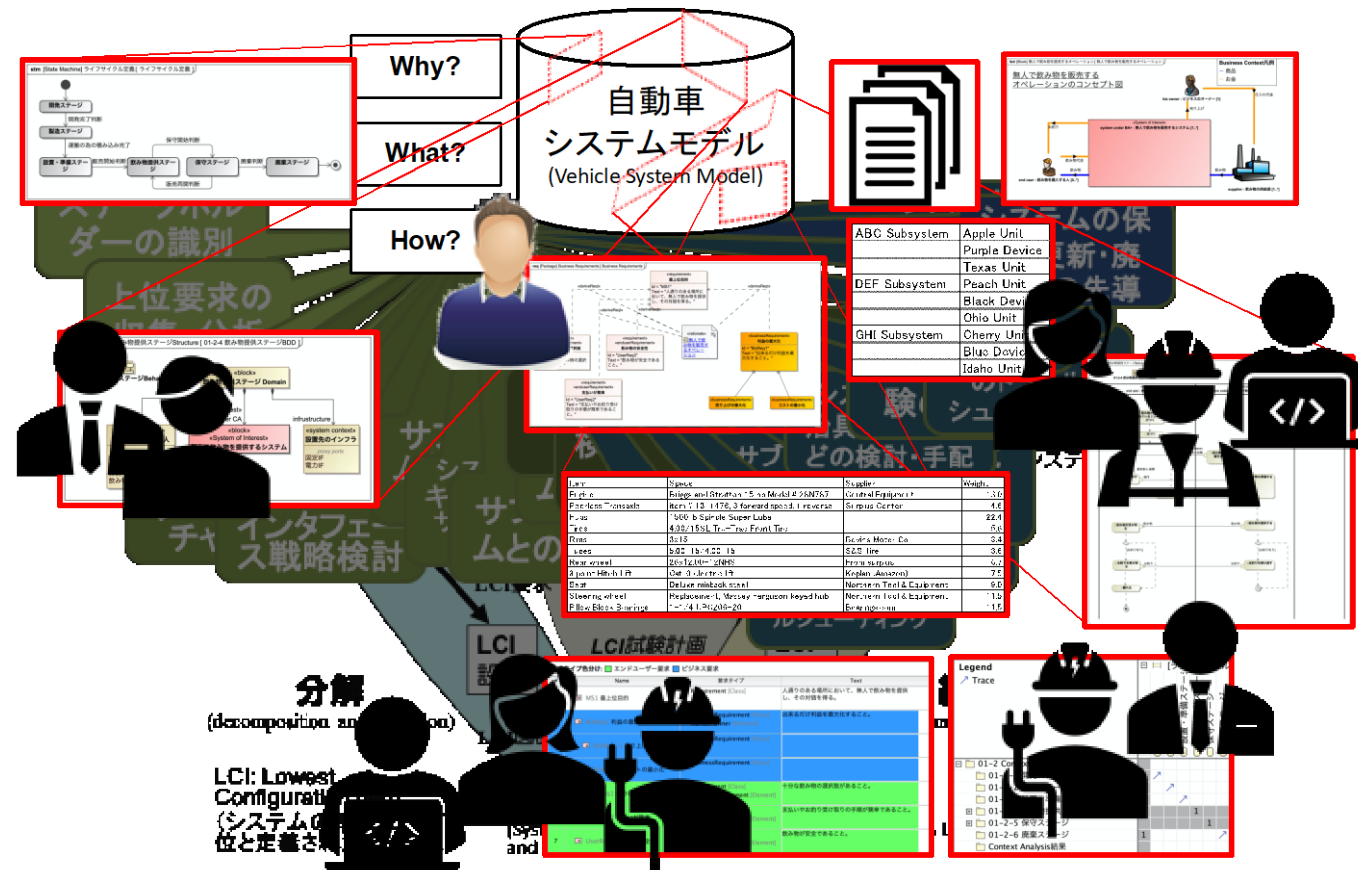
システムズエンジニアがModel-Basedにシステム開発を進めていく



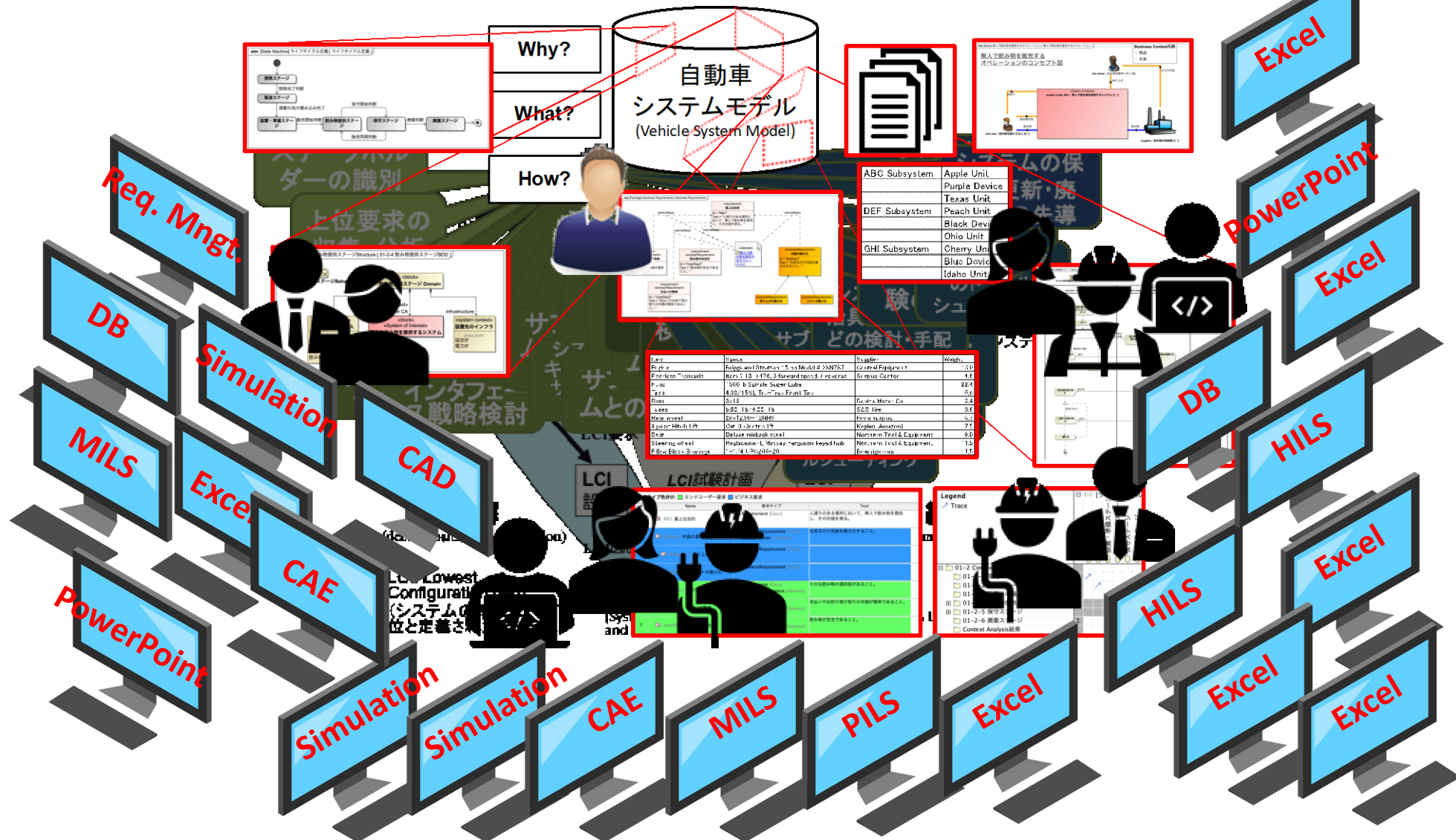
をモデル“も”駆使して実施する

システムズエンジニアは、システムが何の目的で何をどのように実現するかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、システムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現方法を幅広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスを尽くす、開発のキーパーソンである。

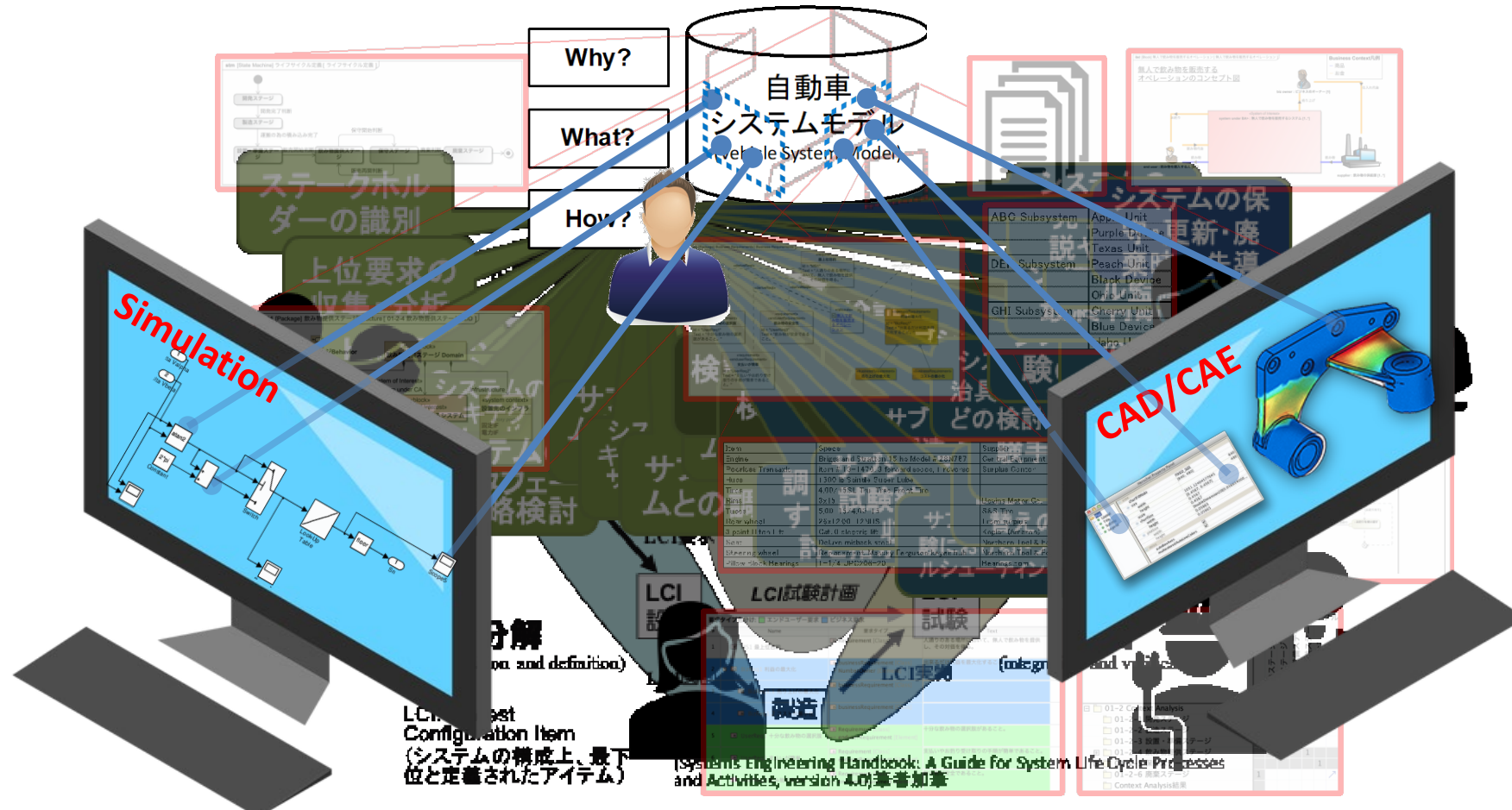
システムズエンジニアがもっとModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムズエンジニアがもっとModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムズエンジニアがもっとModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムモデルから、当該ツールに必要な情報(目標値、条件、変数、数値、個数、品番、材料、など)を、意味の構造を辿って、任意の形態で抽出することが出来る。また、情報の更新をシステムモデルに反映する事も出来る。

システムズエンジニアがもっとModel-Basedにシステム開発を進めていく



システムモデルから、当該ツールに必要な情報(目標値、条件、変数、数値、個数、品番、材料、など)を、意味の構造を辿って、任意の形態で抽出することが出来る。また、情報の更新をシステムモデルに反映する事も出来る。

システムズエンジニアがもっとModel-Basedに システム開発を進めていく

- 開発の目的と対象に対して**オントロジー**※¹を定義し、
※¹情報工学における用語定義：
ある対象物(世界)のモデルを記述する際に必要となる概念の体系
- それを元にシステム記述のための**メタモデル**※²を定義し、
※²情報工学における用語定義：
記述言語の基礎となる概念のフレーム・規則・制限・モデル・理論
例えばSysMLであればオリジナルのStereotypeを追加で定義
- **メタモデルに従い、実際にシステム記述**※³を行う。
※³例えばSysML(オリジナルStereotypeを含む)を用いて“モデリング”するという事
ただし、システムズエンジニアによる質の高いシステム検討(ライフサイクル分析、コンテキスト分析、アーキテクチャ設計、V&V検討など)が行われていることが大前提
- こうする事で、開発の目的と対象に沿った**セマンティック**※⁴な情報構造体としての**システムモデル**が得られる。
※⁴【セマンティック技術】情報工学における用語定義：
情報の意味を電算機にとって理解できる形で構造化し、電算機に情報収集などの処理を行わせる技術

システムズエンジニアは開発の進捗と場面に合わせて**システム記述**を行い、また**任意の情報**を**任意の形態**で抽出しながら、各種エンジニアや、各種エンジニアリングツール(e.g. CAE, MILSなど)と連携しながら、システム全体としての意思決定を行い、開発を牽引していく。
(当然のことながら、分析型モデルも効果的に活用する。)

システムズエンジニアリングのModel-Basedなアプローチを議論するための5+1のアジェンダ

これら全部合わせて
MBSE

大規模・複雑なシステムを開発する

Process (考え方)

システムズエンジニアリング (ISO15288), 各社オリジナル, など



大規模・複雑なシステムを開発する

Methodology (方法論)

ISO42010, OOSEM(INCOSE), 各社オリジナル, など

システムをモデル化してエンジニアリングを進める方法論
①システムとしてエンジニアリングする方法論
②システムをモデル化(情報構造化)して活用する方法論



大規模・複雑なシステムを開発する

Language/Metamodel/Model (記述言語/情報構造体)

SysML, UPDM, OPM, IDEF0, 各社オリジナル, など



大規模・複雑なシステムを開発する

Tool (ツール、ソフトウェア)

MagicDraw, Rhapsody, EA, 各社オリジナル, など

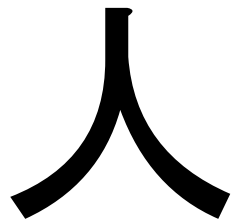


大規模・複雑なシステムを開発する

Environment (IT環境)

ネットワーク環境, PLM/PDM製品, 各社オリジナル, など

大規模・複雑なシステムを開発する



資質、経験、情熱、アイデア、マインド、技術力、ソフトスキル、組織、役割、など

まとめ(1/2)

- システムズエンジニアとは制御屋でもソフト屋でもなく、**システムの開発全体を牽引するエンジニアである**。機械、電気、制御、通信、ヒト、サービスなど全体を俯瞰し、横断的に仕事をする。
- MaaS実現への取り組みなどが一例だが、**コトのデザイン、難易度の高いモノの開発、業界を超えた協業や提携、前例のない調達、ライフサイクルを通じた事業性判断、を牽引するの**がシステムズエンジニアである。
- 自動車の開発など、昨今の大規模で複雑なシステム開発におけるシステムズエンジニアの大きな挑戦の1つは「**設計説明責任を果たすこと**」である。機能安全もその1つである。
- 設計説明責任を果たすためにますます重要になってくるのが**システムの外側・内側および時系列の全体を見渡したリスク分析、リスクアセスメント、リスク制御**である。

まとめ(2/2)

- 前述の様に、昨今のシステム開発においては、システムに関する多種類で大量の情報を生成し、管理し、意思決定することになる。そこでModel-Basedアプローチが選択肢の一つ。
- Model-Basedは「数値演算を活用する」では狭義であり、「電算機のを最大限活用する」と広義に捉えると良い。
- システムズエンジニアリングにおいて電算機のを最大限活用することのホットピックの一つがセマンティック技術の活用である。すなわち電算機に情報の意味を理解させることで高度な情報整理や表示を実現しエンジニアリングの意思決定を手助けさせることである。
- MBSE=SysMLの図を描くこと、という誤解が非常に多く見受けられることは残念である。

システム全体を考えるエンジニアとして、電算機のも最大に活用し、技術領域、専門領域を大きく横断しながら開発を牽引し、合理的なコストで、多くの専門家と共に、人々や社会に価値をもたらすシステムを、責任を持って開発・実現していくのがModel-Basedのシステムズエンジニアである。

そのためのヒト(Competency/Experience/Skills/Organization)、考え方(Process)、方法論(Methodology)、記述言語/情報構造体(Language/Metamodel/Model)、ツール(Tools/Tool Chain)、IT環境(Engineering/Development Environment)などについて、常に目的指向に議論する必要がある。⁶⁴

参考文献

- Friedenthal, Sanford, Alan Moore , and Rick Steiner . 2015. A Practical Guide to SysML : The Systems Modeling Language. MK/OMG Press. Third edition. ed. Waltham, MA: Elsevier/Morgan Kaufmann.

おまけ

システムズエンジニアリングとは何かという理解を促すガイド(1/3)

システムズエンジニアリングを理解する最初のステップとして、「全体俯瞰」、「部分と全体」、「相互作用、相互接続」などの考え方の基礎であるシステムズシンキング(Systems Thinking)について知る必要がある。

- ① システムズエンジニアリングの基礎となる考え方であるシステムズシンキングについての記述([業界団体]INCOSE, Systems Engineering Body of Knowledge)
 - https://www.sebokwiki.org/wiki/Systems_Thinking
 - 上記のウェブサイト内の「What is システムズシンキング」ページ
 - https://www.sebokwiki.org/wiki/What_is_Systems_Thinking%3F
 - 上記ウェブサイト内の「Concepts of システムズシンキング」ページ
 - https://www.sebokwiki.org/wiki/Concepts_of_Systems_Thinking
 - 上記ウェブサイト内の「Principles of システムズシンキング」ページ
 - https://www.sebokwiki.org/wiki/Principles_of_Systems_Thinking
- ② System Thinkingの第一人者ピーター・M・センゲ([大学]MIT, Sloan School, Senior Lecturer)
 - ピーター・M・センゲ、「最強組織の法則」(原題: The Fifth Discipline) 徳間書店、1995/6/1
 - ピーター・M・センゲによるシステムズシンキングの解説動画(約5分)
 - <https://youtu.be/HOPfVVMCwYg>
- ③ アニメーションによるシステムズシンキングのイメージの解説動画(約5分)
 - https://youtu.be/GPW0j2Bo_eY

システムズエンジニアリングとは何かという理解を促すガイド(2/3)

システムズシンキングをエンジニアリングに応用したものが「システムズエンジニアリング」である。

- ④ システムズシンキングがどの様にエンジニアリングに応用され得るかについての記述。([企業]MITRE, Systems Engineering Guide)
 - <https://www.mitre.org/publications/systems-engineering-guide/enterprise-engineering/comprehensive-viewpoint/systems-thinking>
- ⑤ NASAのシステムズエンジニアがどの様にシステムズシンキング能力を開発しているかについての記事。([組織]NASA, APPEL, ASK Magazine, Issue 44, November 2, 2011)
 - <https://appel.nasa.gov/2011/11/02/government-and-academia-study-systems-thinking-development/>

大規模・複雑システムの新規開発を成功可能性を上げるアプローチとしてのシステムズエンジニアリングの定義と要点。

- ⑥ システムズエンジニアリングの国際的な業界団体INCOSEにおける定義([業界団体]INCOSE, International Council on Systems Engineering)
 - <https://www.incose.org/about-systems-engineering>
- ⑦ システムズエンジニアリングによって得られるメリットについて①([大学]Carnegie Mellon University, The Value of Systems Engineering)
 - https://insights.sei.cmu.edu/sei_blog/2013/05/the-value-of-systems-engineering.html
- ⑧ システムズエンジニアリングによって得られるメリットについて②([業界団体]INCOSE, Systems Engineering Body of Knowledge, “Economic Value of Systems Engineering”)
 - https://sebokwiki.org/wiki/Economic_Value_of_Systems_Engineering
- ⑨ システムズエンジニアリングによって得られるメリットについて③([業界団体]INCOSE, Transportation Working Group, SE101 “Why do Systems Engineering?”)
 - https://www.incose.org/docs/default-source/default-document-library/twg-se101-v11-2014-01-20.pdf?sfvrsn=e6c882c6_4
- ⑩ 米国防衛系コンサルティング会社Vitechがまとめたシステムズエンジニアリングの9つの要点([企業]Vitech, 9 Laws of Systems Engineering)
 - ホワイトペーパー: http://www.vitechcorp.com/resources/white_papers/9_Laws_of_Systems_Engineering.pdf
 - 動画(約36分): <https://youtu.be/zm0A-DNy0PA>

システムズエンジニアリングとは何かという理解を促すガイド(3/3)

システムシンキングを応用したエンジニアリングであるシステムズエンジニアリングを“エンタープライズ”(=企業、事業全体)に応用するエンタープライズ・システムズエンジニアリング(Enterprise Systems Engineering)という考え方が提唱されている。

⑪ Enterprise Systems Engineeringの定義([業界団体]INCOSE, Systems Engineering Body of Knowledge, “Enterprise Systems Engineering”)

- https://www.sebokwiki.org/wiki/Enterprise_Systems_Engineering

システムシンキングを実践し、システムズエンジニアリング実施して開発や計画を成功に導くのは「システムズエンジニア」である。システムズエンジニアの役割、責任、資質を理解することで実際のプロジェクトにおけるシステムズエンジニアリングのイメージが得やすくなる。

⑫ プロジェクトに対してどの様な考え方をして、何を果たすのかという一例(Lockheed Martin Space Systems Company, “Systems Engineering: Roles and Responsibilities”)

- https://www.nasa.gov/pdf/580677main_02_Steve_Jolly_Systems_Engineering.pdf

⑬ 「NASAの優秀なシステムズエンジニアが大事にする7つのこと」というビデオ。7つそれぞれについて、NASAの現役システムズエンジニアが登場し語る。(NASA, 7 Habits of Highly Effective (NASA) Systems Engineers)

(※長時間のビデオですが、内容は非常に素晴らしいです)

- ウェブサイト: <https://www.nasa.gov/vpmc/7-habits-of-highly-effective-nasa-systems-engineers>
- ビデオへの直リンク: <https://mediaex-server.larc.nasa.gov/Academy/Play/1d9fd5f9c909436a82815df03c6b735e1d>

⑭ NASAの名物システムズエンジニアGentry Lee氏が語るシステムズエンジニアの姿勢や「魂」についてのビデオ。(NASA JPL, Strategic University Research Partnerships)

(※ビデオの冒頭5分程度は司会者による紹介なので、飛ばしていただいて、Leeさん登場から視聴してもらえればと思います)

(※お勧めは“When the Canvas is Blank”です)

- <https://surp.jpl.nasa.gov/videos/index.cfm?fuseaction=ShowVideo&VNum=4&MainVNum=3>
 - When the Canvas is Blank
 - So You Want to be a Systems Engineer

システムズエンジニアリングとは何かという理解を促す 参考図書

[業界団体]INCOSEが発行しているシステムズエンジニアリングのハンドブック。航空宇宙、防衛、自動車、情報、医療、など様々な業界や分野が参照するハンドブックである為、書かれている内容の抽象度は極めて高いことに留意が必要。同書の冒頭部分にはシステムズエンジニアリングの歴史や背景、狙いなどが書かれている。

- INCOSE. 2015. **Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, version 4.0.** Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, Inc, ISBN: 978-1-118-99940-0

システムズエンジニアリングの教科書的な書籍。著者と当該書籍は[業界団体]INCOSEにおいて2018年Fellows Awardを受賞。航空宇宙、防衛の実際の開発からの事例や知見なども豊富に盛り込まれており非常に示唆深い。また、フルカラーの図解が非常に多い。冒頭部分にはシステムズエンジニアリングの心得や狙いなどが書かれている。

(※非常に重厚な書籍ですが、パラパラとめくり読みするだけでも大変示唆深いので強くお勧めします。)

- Wasson, Charles S. 2015. **System Engineering, Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices. 2nd ed.** New York: John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 978-1-118-44226-5

米国の防衛、航空宇宙関連の政府機関や企業から多くの社会人学生を受け入れ、高い評価を得ているJohns Hopkins大学システムズエンジニアリング修士課程の教科書。開発全般について丁寧に書かれており非常に参考になる。Part I, Ch 1にはシステムズエンジニアの姿勢や考え方も書かれている。

(※あまり図表はありませんが、非常に明快な英語表現で文章が書かれているためとても理解し易いです。)

- Alexander Kossiakoff, Steven M. Biemer, Samuel J. Seymour, David A. Flanigan. 2020. **Systems Engineering Principles and Practice. 3rd ed.** John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 978-1-119-51666-8