

システムズエンジニアリング、MBSEを実際の 開発現場で実践するためには

イノベーターティブ・デザインLLC

CEO 石橋金徳

石橋 金徳

kane.ishibashi@innovative-design.jp

イノベーター・デザイン LLC

CEO、**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

システムズエンジニアリング, MBSE

イノベーション創出支援関連 文部科学省委託事業 担当

大規模複雑システムの開発 企業共同研究 推進

特任助教

<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

慶應義塾大学 システムズエンジニアリング修士



イノベータータイプ・デザインLLC

innovative DESIGN

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、クライアントのチーム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米No Magic社 MBSE関連製品(ソフトウェア)の日本国内への販売

おしながき

1. システムズエンジニアリング、MBSEとは？
2. システムズエンジニアリング、MBSEの習熟フェーズ
3. それぞれのフェーズで起きること
4. それぞれのフェーズにおける突破口
5. 開発現場での実践
6. まとめ

1. 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リングを様々な種類のモデルを用いながら、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。

1. 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：

「システムの実現を成功させることができる**複数の専門分野にまたがるアプローチおよび手段**」

(INCOSE. 2015. “INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities Ver. 4.0.” John Wiley & Sons.)

システムズエンジニア コ

アーキテクチャをデザインし実現する役割 =

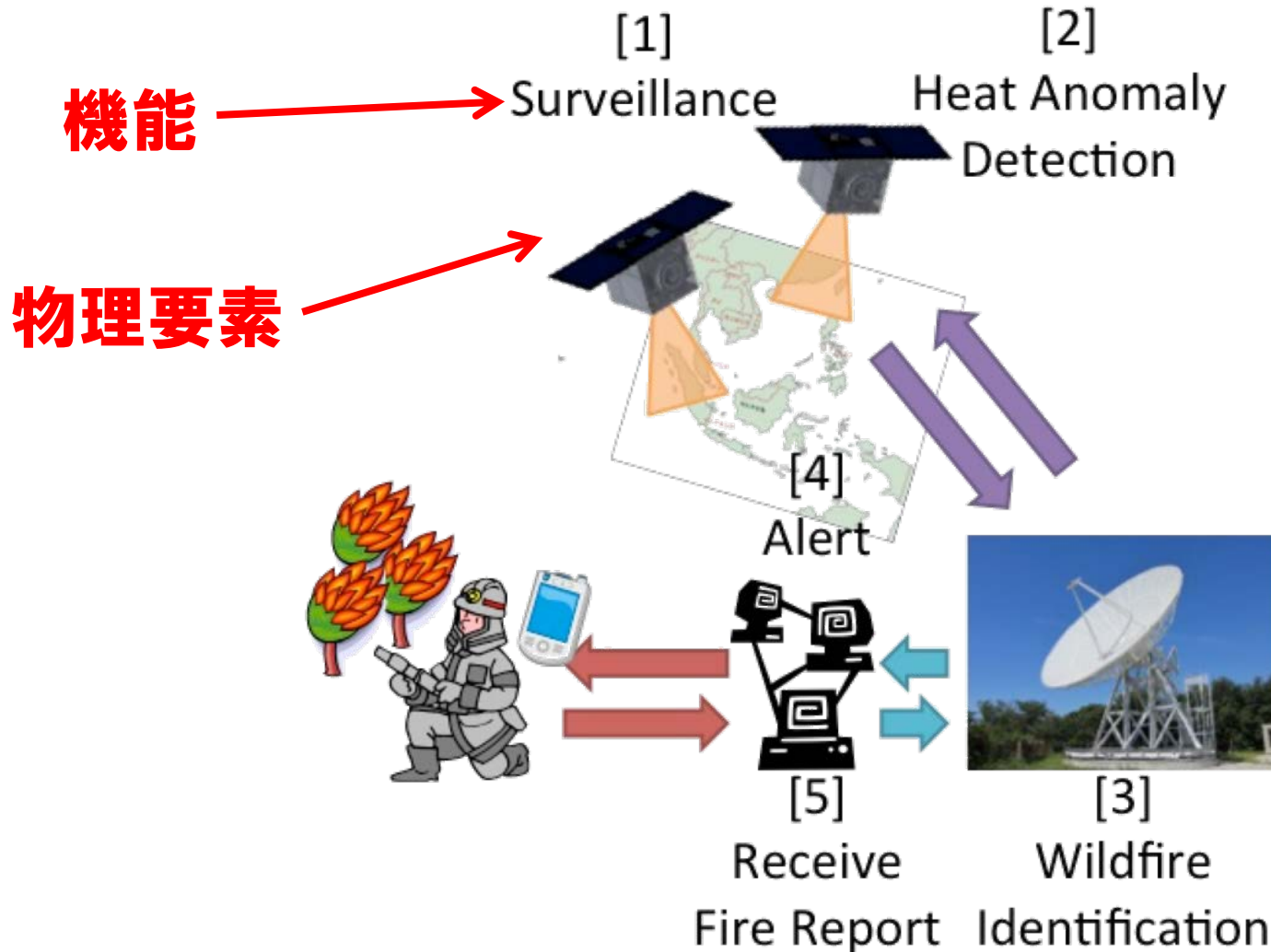
目的に合わせて機能をデザインし、
機能を実現する物理構成をデザインし、
構成要素間の関係性を明らかにする役割

+

アーキテクチャに基づき検証計画を立て、
検証とインテグレーションを指揮・実行する役割

システムズエンジニアリングの一例

UNIFORMシステム全体 概要

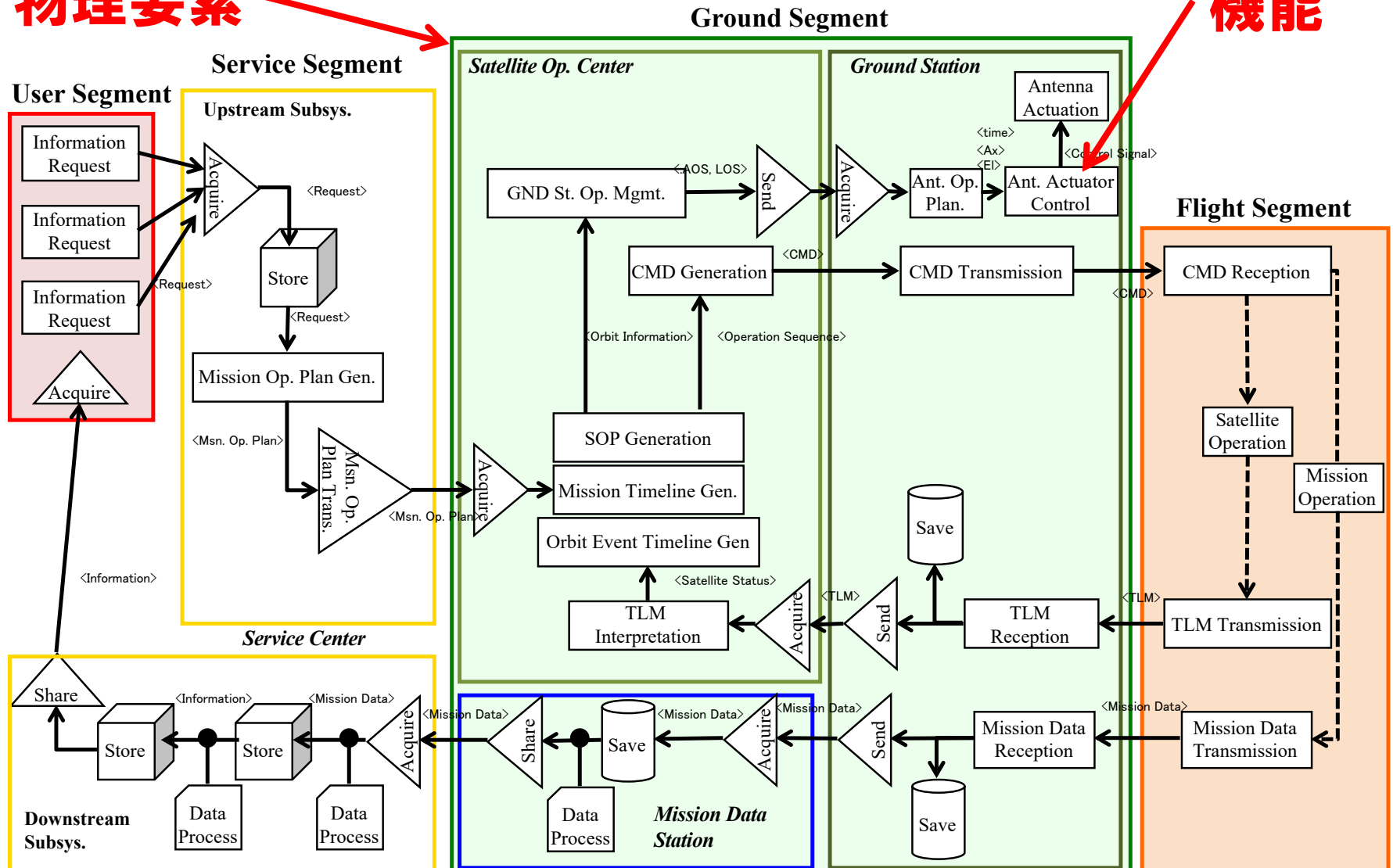


システムズエンジニアリングの一例

5.3 System Design: UNIFORM Overall System

物理要素

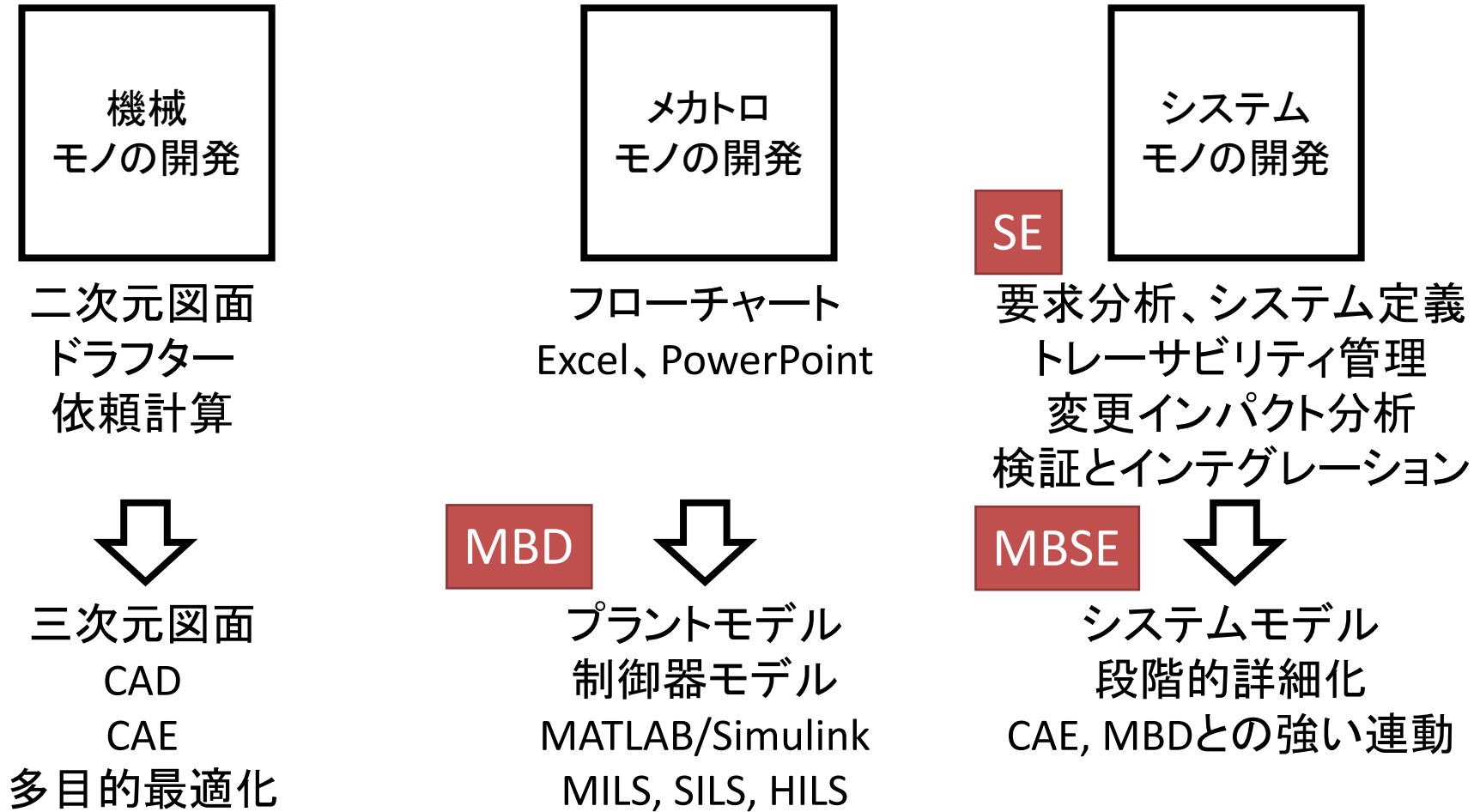
機能



2019/10/17

1. システムズエンジニアリング、MBSEとは？

Model-Basedシステムズエンジニアリング：



システムズエンジニアリングを“モデル”も用いて効果的、効率的に実施する方法

MBSEにおけるモデルとは？

要注意ポイント:

- **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

MBSEにおけるモデルとは？

＜自動車開発におけるモデル種類の例＞

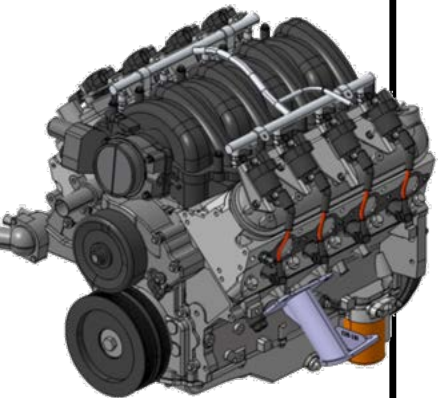
(A Practical Guide to SysML, Friedenthal, Sanford, Alan Moore, and Rick Steiner 2015) 筆者加筆

FIGURE 18.2
A taxonomy of models.

A Practical Guide to SysML, FIGURE 18.2 A taxonomy of models.

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

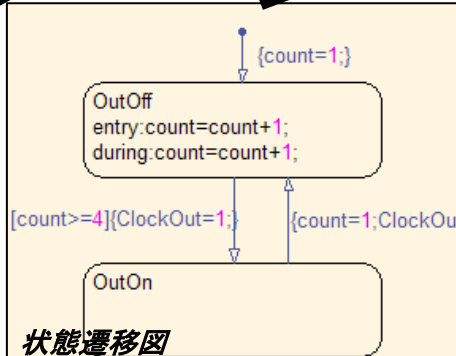


アセンブリCADモデル

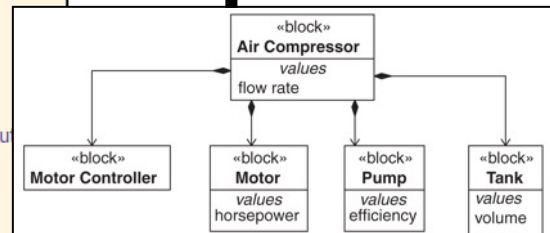


単体CADモデル

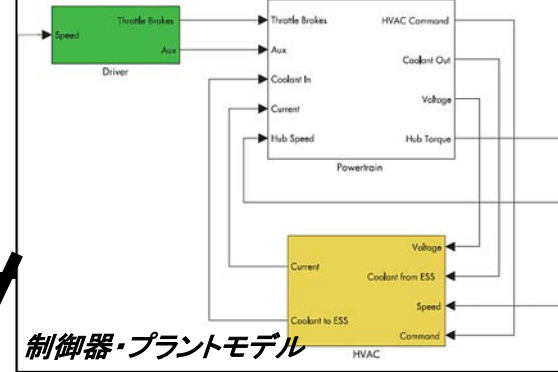
2019/10/17



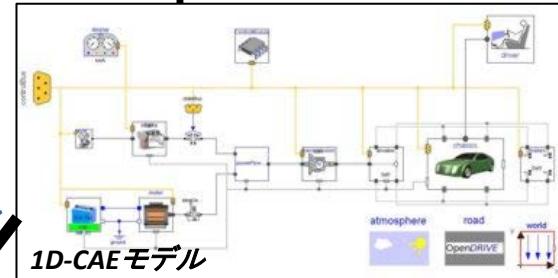
状態遷移図



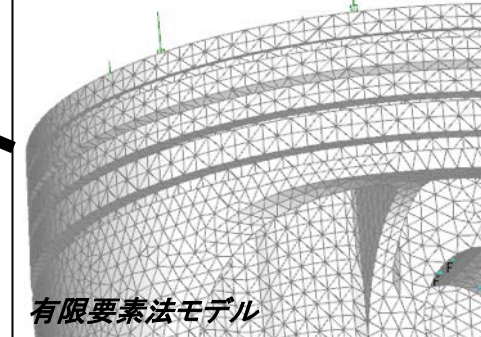
ブロック定義図



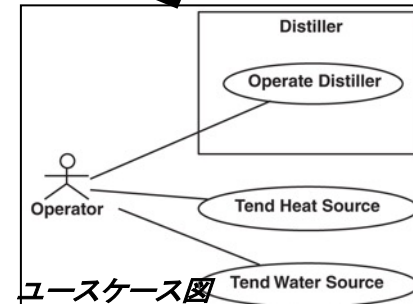
制御器・プラントモデル



1D-CAEモデル



有限要素法モデル



ユースケース図

MBSEにおけるモデルとは？

＜自動車開発におけるモデル種類の例＞

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

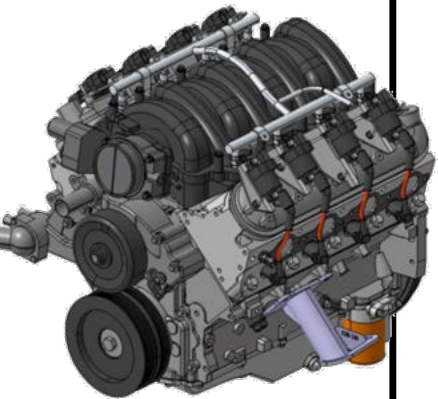
FIGURE 18.2

A taxonomy of models.

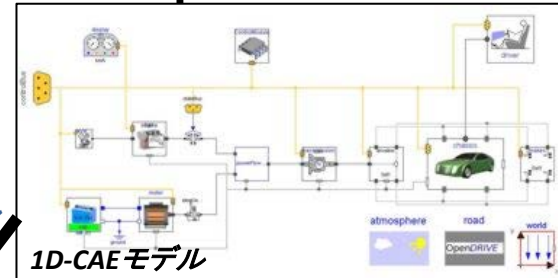
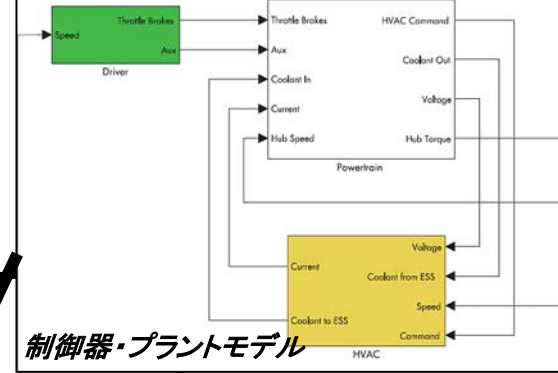
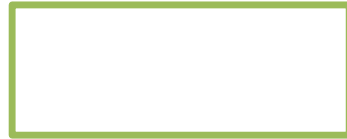
A Practical Guide to SysML, FIGURE 18.2 A taxonomy of models.

記述型モデル
非実行形式モデル

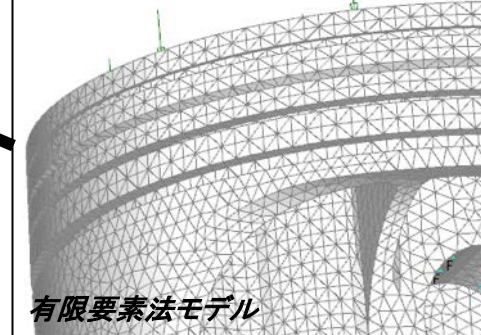
分析型モデル
実行形式モデル



アセンブリCADモデル



1D-CAEモデル

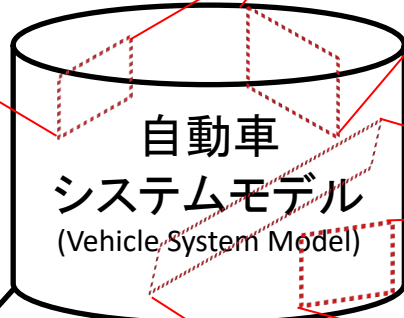


有限要素法モデル

「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)と言われる場合には、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。MBSE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。

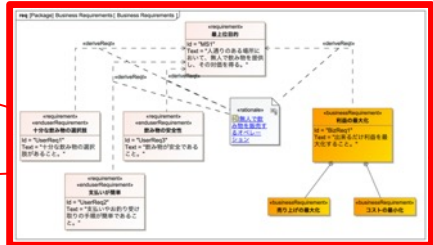
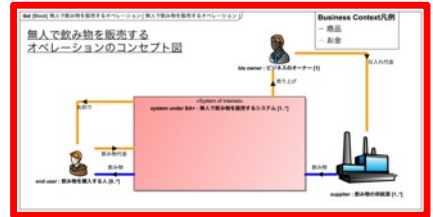
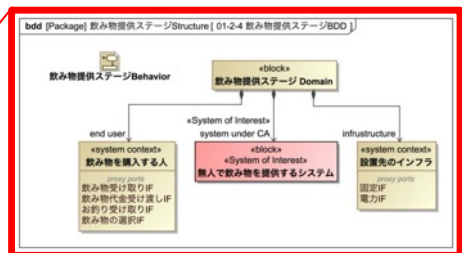
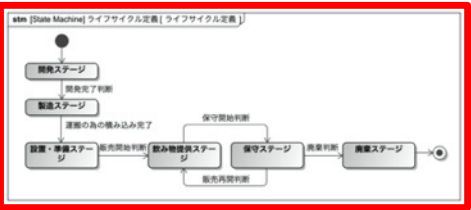
MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

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

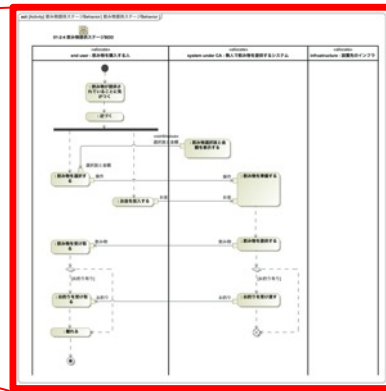


例:

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**

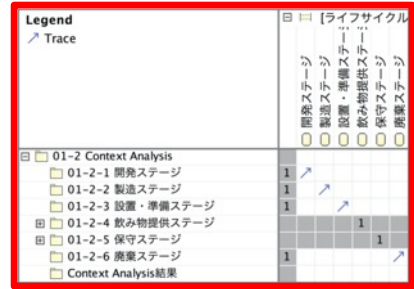


ABC Subsystem	Apple Unit
	Purple Device
	Texas Unit
DEF Subsystem	Peach Unit
	Black Device
	Ohio Unit
GHI Subsystem	Cherry Unit
	Blue Device
	Idaho Unit



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

#	Name	要求タイプ	Text
1	M51 観上位置目的	Requirement (Class)	人通りのある場所において、無人で飲み物を提供し、その対応を得る。
2	利益の最大化	businessRequirement (Number/Denar)	出来るだけ利益を最大化すること。
3	売上げの最大化	businessRequirement (Number/Denar)	
4	コストの最小化	businessRequirement (Number/Denar)	
5	十分な飲み物の選択性	Requirement (Class)	十分な飲み物の選択性があること。
6	支払い/お取り取りの手順が簡単であること。	enduserRequirement (Number/Denar)	
7	飲み物の安全性	Requirement (Class)	飲み物が安全であること。



MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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？

MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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

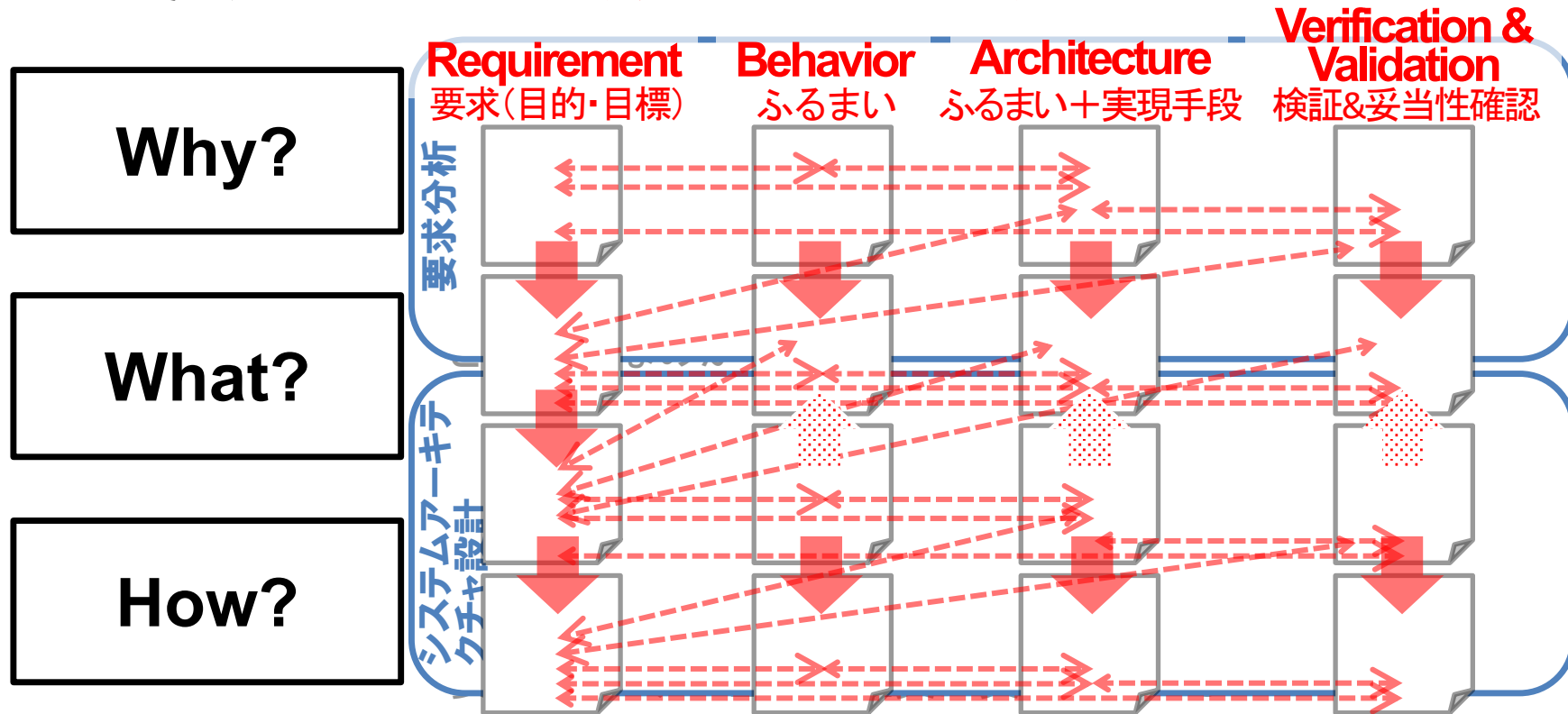
How?

MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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>

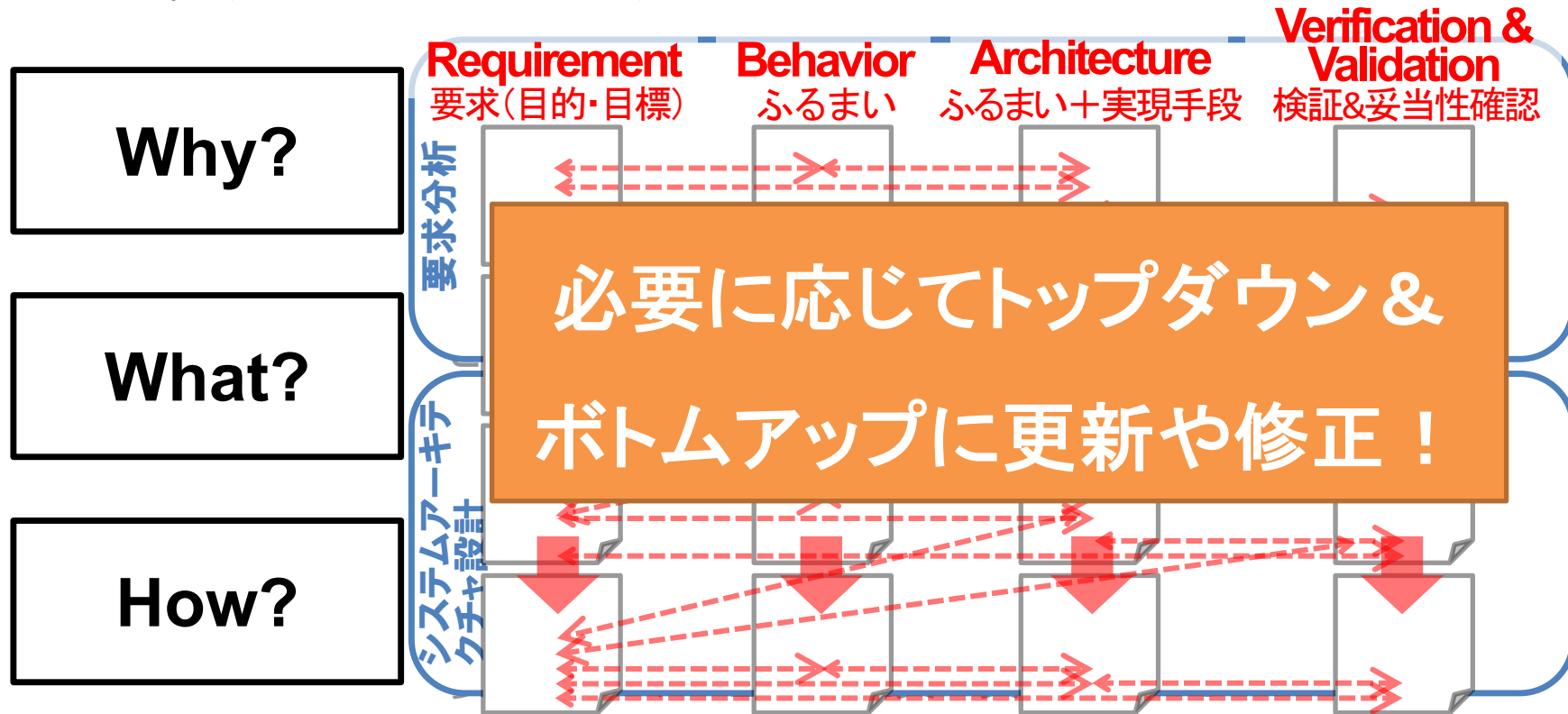


MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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>

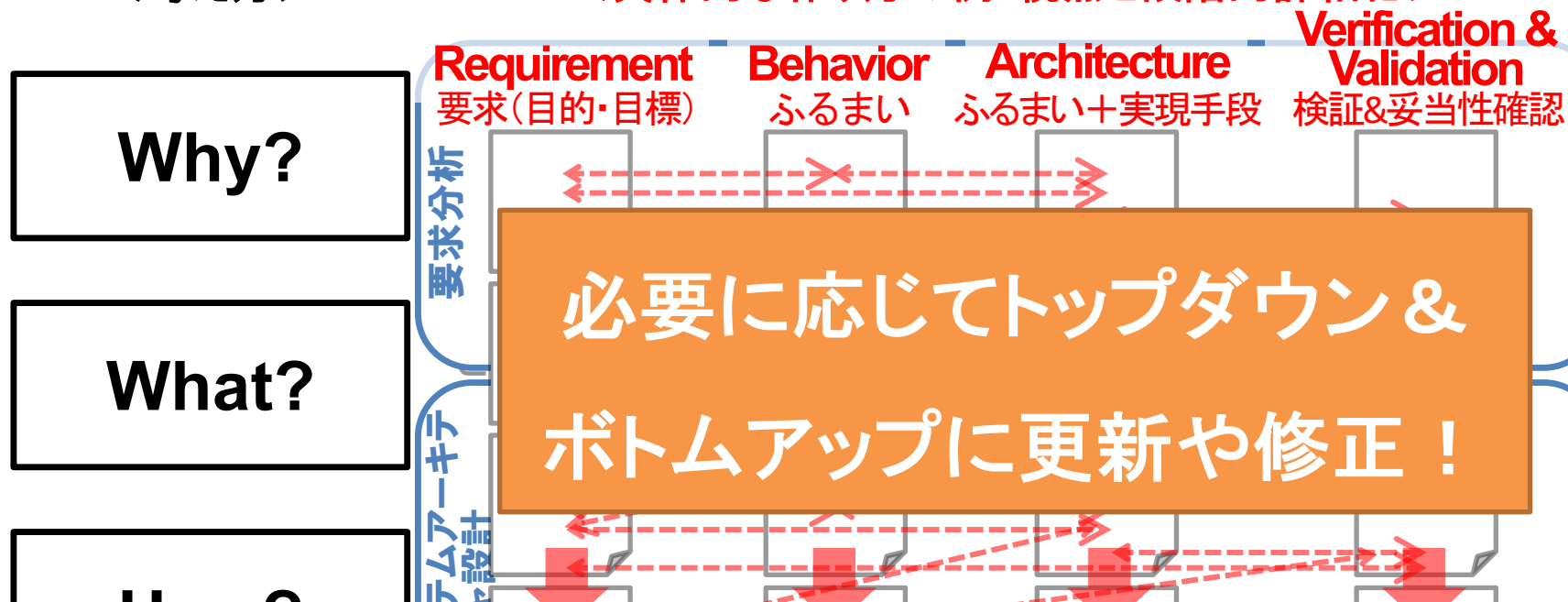


MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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。

MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

MBSEの5つのアジェンダ

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

supported by ↓

↑ support

大規模・複雑なシステムを開発する

Methodology (方法論)

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する方法論

ISO42010, OOSEM(INCOSE), 各社オリジナル, など

supported by ↓

↑ support

大規模・複雑なシステムを開発する

Language (記述言語)

SysML, UPDM, OPM, IDEF0, 各社オリジナル, など

supported by ↓

↑ support

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

supported by ↓

↑ support

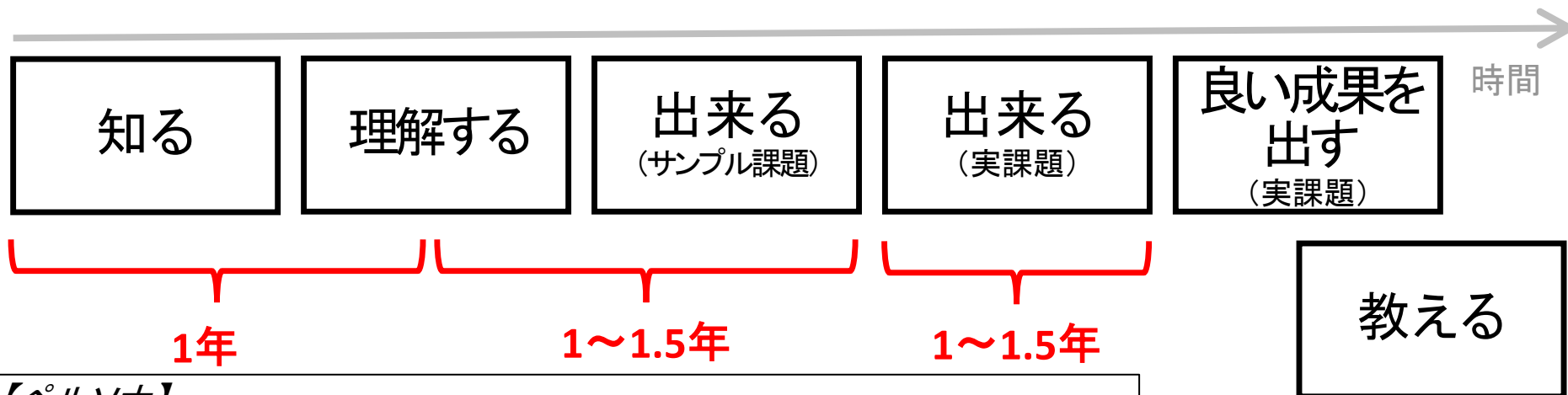
大規模・複雑なシステムを開発する

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

2. システムズエンジニアリング、MBSEの習熟フェーズ

- 日本国内においてもここ数年で自動車業界を中心にシステムズエンジニアリング、MBSEに関連した取り組みが盛んに行われる様になった。しかしながらまだそれらの多くが基礎的な考え方をなぞり、SysMLの試し描きを行う、という”学習フェーズ”に留まっているのが実情である。
- 昨今の対象システムの複雑さ、多分野性ゆえに、実践までに1.5～2.5年を有することもある。



【ペルソナ】

- 自動車OEM 入社10年～15年目
- システム開発の実務経験を有している
- 開発対象システムについての知見を十分に有している
- 開発対象システムに関する複数の専門領域について知見を有している
- 開発業務を主務とし、15～20%工数を割いてSEの習熟を図った

システムズエンジニアリング、MBSEの習熟とは

- そもそもドメイン・エンジニアリング(自分の開発対象物の「開発の勘所」、例えば自動車開発の勘所、など)がよく分かっている。
- システムズエンジニアリングの考え方を理解し、自分の開発対象物に合わせて適切に応用できる。
- 自分の開発対象物の実際の開発推進の様々なシーンがイメージ出来、そのシーンにおいて効果的なシステムモデルの活用を想像し、システムモデルを設計・実装・活用できる。

つまり、システム開発の中で関係者を集めた「全体定例会」「レビュー会」「整合会」などを主催し、各専門の担当者に対して具体的な「検討指示」「注意事項」、個別の「お願い」などを適切に行い、複数の専門性をまたぐトピックや課題に対して技術的なハブとなって開発業務を牽引するチカラを習得することである。

システムズエンジニアリング、MBSEの習熟とは

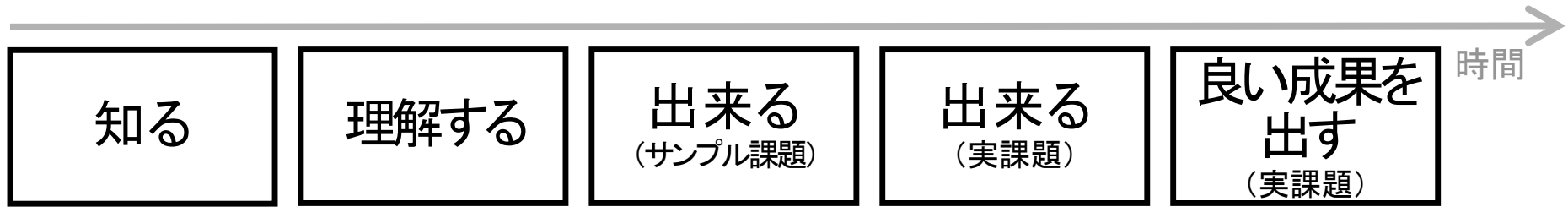
- 現場の実際の仕事につながり、貢献できなければ意味がない。
- システムズエンジニアが「孤高の人」になってしまっては意味がない。

「良いシステムズエンジニア」

- 開発の目指す姿、目的を明確にし、関係者に伝える。
- 全体の方向性や特徴に大きく関わる判断、意思決定を行う。
- サブシステム間、組織間の様々な技術的な調整、調停を担う。
- それぞれのサブシステムや技術領域の狙いや困りごとを十分に理解し実現・解決する高い汎用的技術力。
- 各部署、各担当エンジニアなどから信頼され、頼りにされる言動と姿勢。
- そのために開発序盤では要求分析、アーキテクチャ設計、V&V計画に苦心し、中盤では多くのエキスパート間の調整役、終盤はシステムレベルでのトラブルシューティングの主軸を担う。

システムのエンジニアリング全体を牽引するキーパーソン

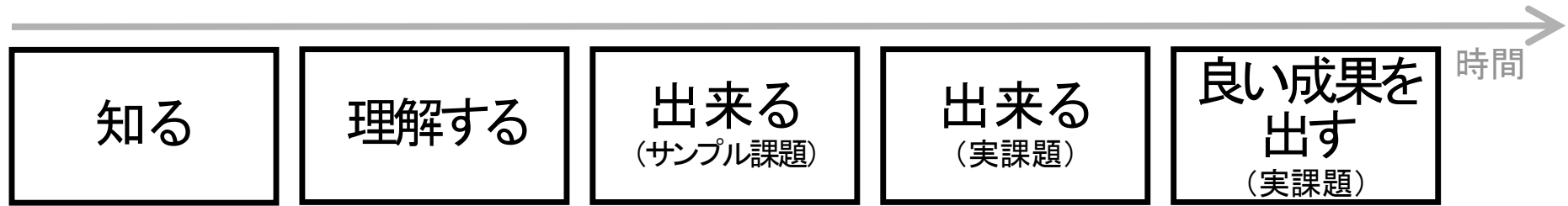
3.それぞれのフェーズで起きること



教える

- システムズエンジニアリングっぽい作業を延々続けてしまう。
- 開発に対してどのような意義があるかピンとこない。
- 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などがひと通りできるが、実際の開発と結び付けられない。
- 対象物の開発の経験や知見がそもそも不足しており、検討が進められない。
- 他部門、関連会社などに対して説得力のある説明や指示が出来ない。
- 成果が出るまで時間がかかる。出た成果に対する貢献が切り出しにくい。
- 自分で出来るのと、誰かに教えるのでは、全く世界が違う。
- 誰に教えるべきか分からない。どこから、どう教えていいか分からない。

4.それぞれのフェーズにおける突破口



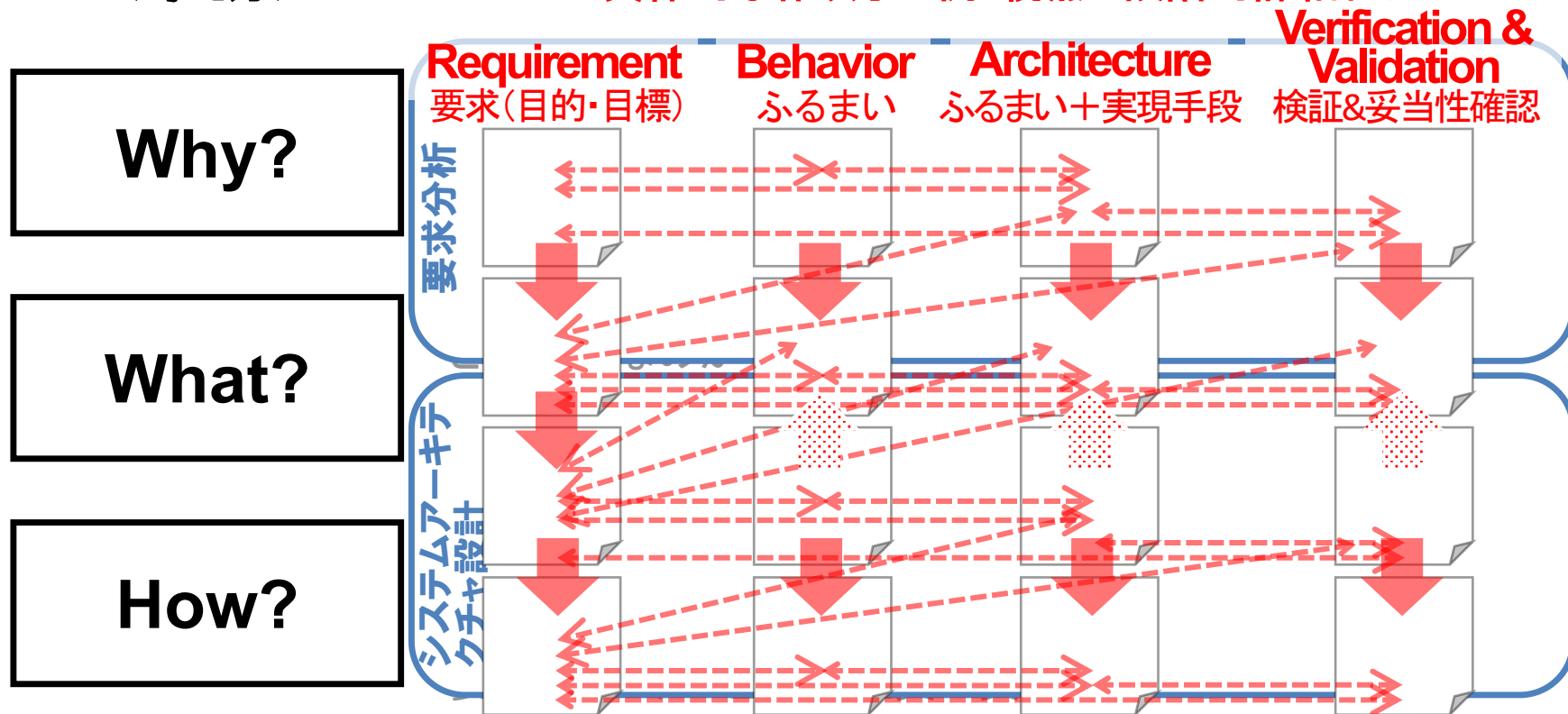
- ▲ システムを俯瞰し、多分野を統合しないと解決できないことがある！ということに気がつくこと。
- ▲ 抽象度の高い検討と、実際のエンジニアリングの粒度での検討を接続することができること。
- ▲ 扱う情報の種類と量が非常に大きくなることに怯えない。視点と抽象度の制御により種類と量を臆さずに扱えるようにすること。
- ▲ 自分のこれまでの専門性を大きく超えた範囲まで“出張って”いくことになるため不安や心配が大きくなるが、高い論理性と汎用的技術力で乗り越えていく自信をつけること。
- ▲ 開発対象物、開発そのものをより良く理解すること。目的は何なのか、一体何を、どのように作り出そうとしているのかという根本的問いに答えようとする姿勢。
- ▲ 良いコトを創り出そう、良いモノを生み出そう、何としても開発を成功させたい、という強い意志。その為に誰よりも真剣にどうしたら良いだろうかと考え工夫する。
- ▲ 教わる側を理解すること。どの様な思考の癖を持っているか、何に引っかかるのか。
- ▲ 教え方のバリエーションを持つこと。言い換え、例え話、社内の事例を増やす。

MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

- 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。

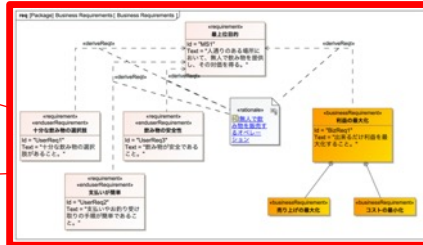
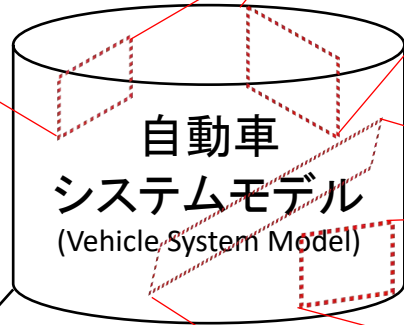
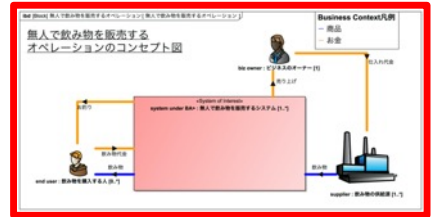
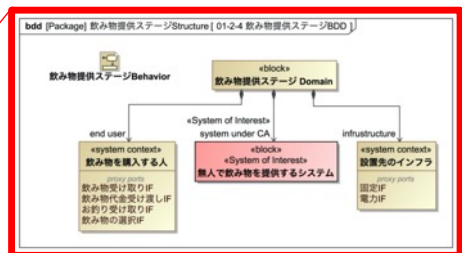
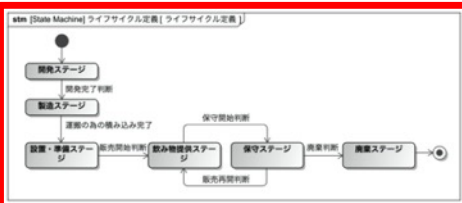
<考え方>

<具体的な作り方の例: 視点と段階的詳細化>

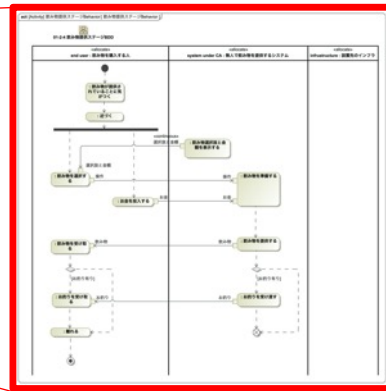


再掲 MBSEにおけるシステムモデルのイメージ

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



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

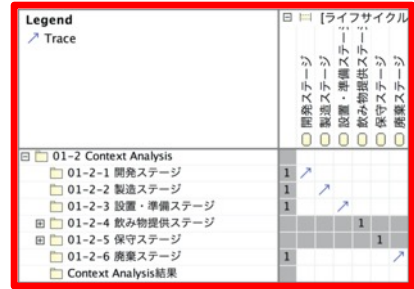


例:

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	M51 観上位置目的	Requirement (Class)	人通りのある場所において、無人で飲み物を提供し、その対応を得る。
2	利益の最大化	businessRequirement (Number/Denar)	出来るだけ利益を最大化すること。
3	売上げの最大化	businessRequirement (Number/Denar)	
4	コストの最小化	businessRequirement (Number/Denar)	
5	十分な飲み物の選択	Requirement (Class)	十分な飲み物の選択があること。
6	支払い/お取り取りの手順が簡単であること。	Requirement (Class)	
7	飲み物の安全性	Requirement (Class)	飲み物が安全であること。



4.それぞれのフェーズにおける突破口



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

supported by ↓

↑ support

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

- 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する方法論

supported by ↓

↑ support

大規模・複雑なシステムを開発する

Language (記述言語)

SysML, UPDM, OPM, IDEFO, 各社オリジナル, など

supported by ↓

↑ support

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

supported by ↓

↑ support

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



教える

抽象度の制御に

越えていく自信

のか、一体何を、

成功させたい、と

引っかかるのか。

事例を増やす。

5.開発現場での実践

- 「システムズエンジニアリング」と明確に名前がついた仕事が存在するわけではない。
- 「システムモデルを作って欲しい」と言われることも無い。
- あるのは、成し遂げたいこと、解かなければならない課題。

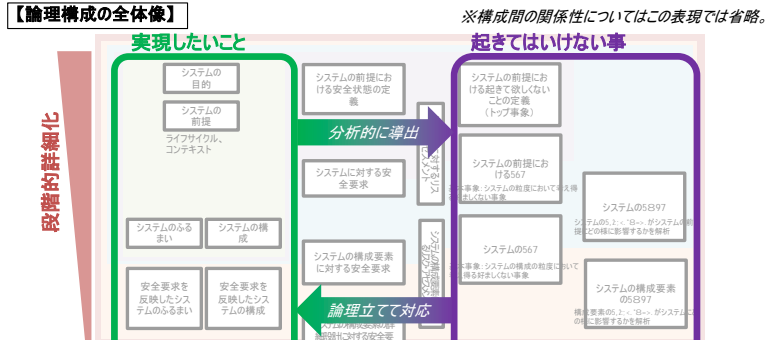
- ライフサイクル、コンテキスト、アーキテクチャ、インタフェース、MOE・MOP、V&V、などのシステムズエンジニアリング用語そのものに意味があるわけではない。

- あくまでも成し遂げたいこと、解かなければならない課題、を達成するための手がかりの一つ。

あなたの開発を成功させるために、全体を俯瞰し、多分野を統合して統率していくエンジニア(=システムズエンジニア)としてあなたは何をどのように工夫するのか、というハナシである。

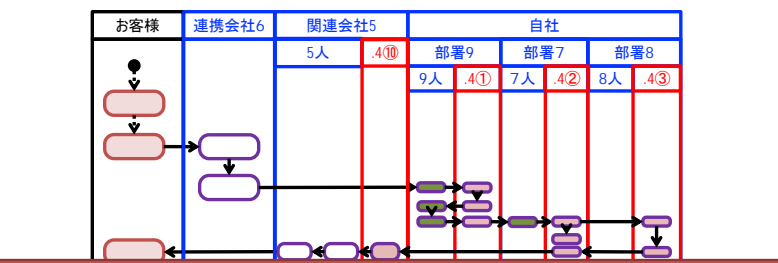
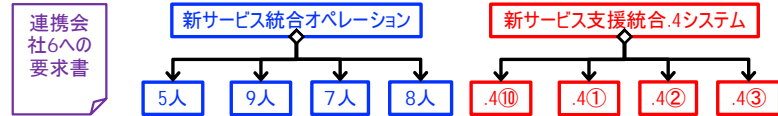
4人の日本の“システムズエンジニア”の実践ストーリー

①!さん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー
 「個別の安全機構がきちんと設計され・動作するというをボトムアップに集めるだけでなく、それらが構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明」



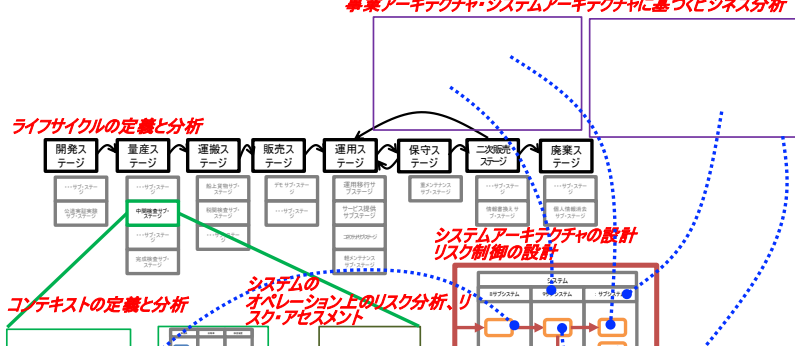
非常に大規模かつ複雑なシステムに対して、実現したいことと起きてはいけないことを構造的に整理し、トップダウンな設計説明、ボトムアップな設計検証を高い整合性と一貫性を持って実施可能にする。

②!さん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



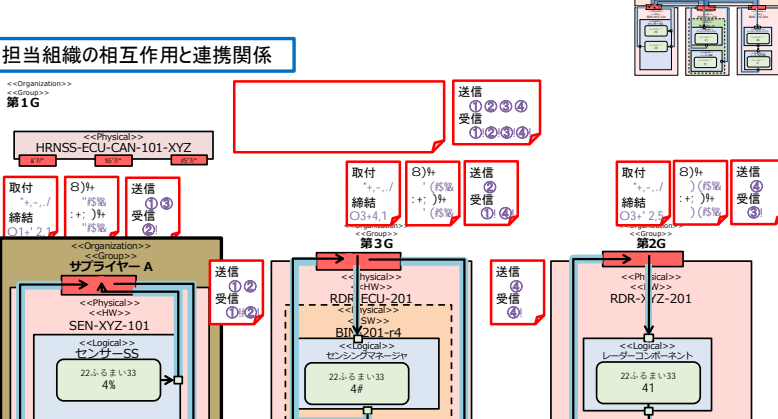
全体として果たしたい目的を見失わず、多くの関係組織、人に対して的確に指示を出し、また効果的に部分間の調整役を果たす。また、サービスの質の早期成熟を図るための戦略的検証を計画する。

③!さん、事業会社、"#/\$責任者、ベテランエンジニア
 事業アーキテクチャ・システムアーキテクチャに基づくビジネス分析



予想される事業環境が激しく変化中でも、敏捷に、ライフサイクル全体を見渡し、それぞれのコンテキスト(外部環境)を把握し、必要な特性・特徴・機能・性能を決定し、また各種リスクの分析と制御を意思決定する。=>、実証実験、テストマーケティングなどを戦略的にデザインし、実行する。

④!さん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア



大規模複雑になるシステムの狙い、設計意図、実現手段、担当組織などを一貫性を持った“図面”として管理し、開発の品質を向上させ、またプロジェクト推進の労力を低減させる。

①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

- ある開発が終盤に差し掛かり、**ISO26262機能安全**で求められる**“エビデンス”**をまとめている。
- 各**機能***や**システム***はそれぞれが開発が進む中で数多の努力と工夫により、様々な安全機構を実装しリスク低減を図っており、その検証も進んでいる。(※自社内定義による)
- しかし、それらを統合した「全体での安全の論証」をうまく組み立てることに大変苦勞をしている。**個別の安全機構がきちんと設計され・動作するということ**をボトムアップに集めるだけでなく、それらが**構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明**を用意し、自信を持って量産、上市したい。
- また、既に動き始めている**“次世代”**の開発に、現開発の知見や工夫を最大限引き継ぎ、効率的にさらなる成熟を図りたい。

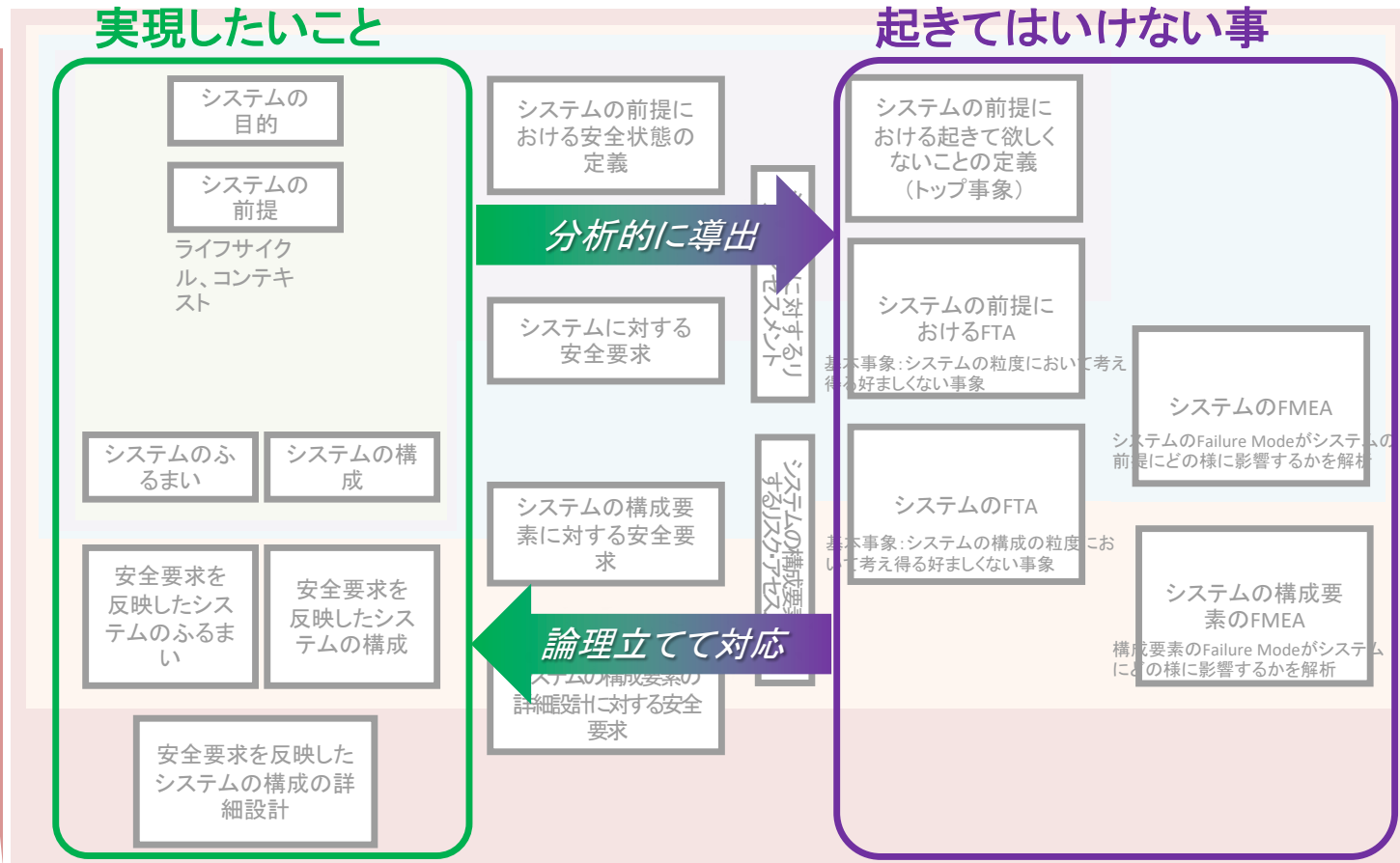
①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

「個別の安全機構がきちんと設計され・動作するということをボトムアップに集めるだけでなく、それらが構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明」

【論理構成の全体像】

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

段階的詳細化

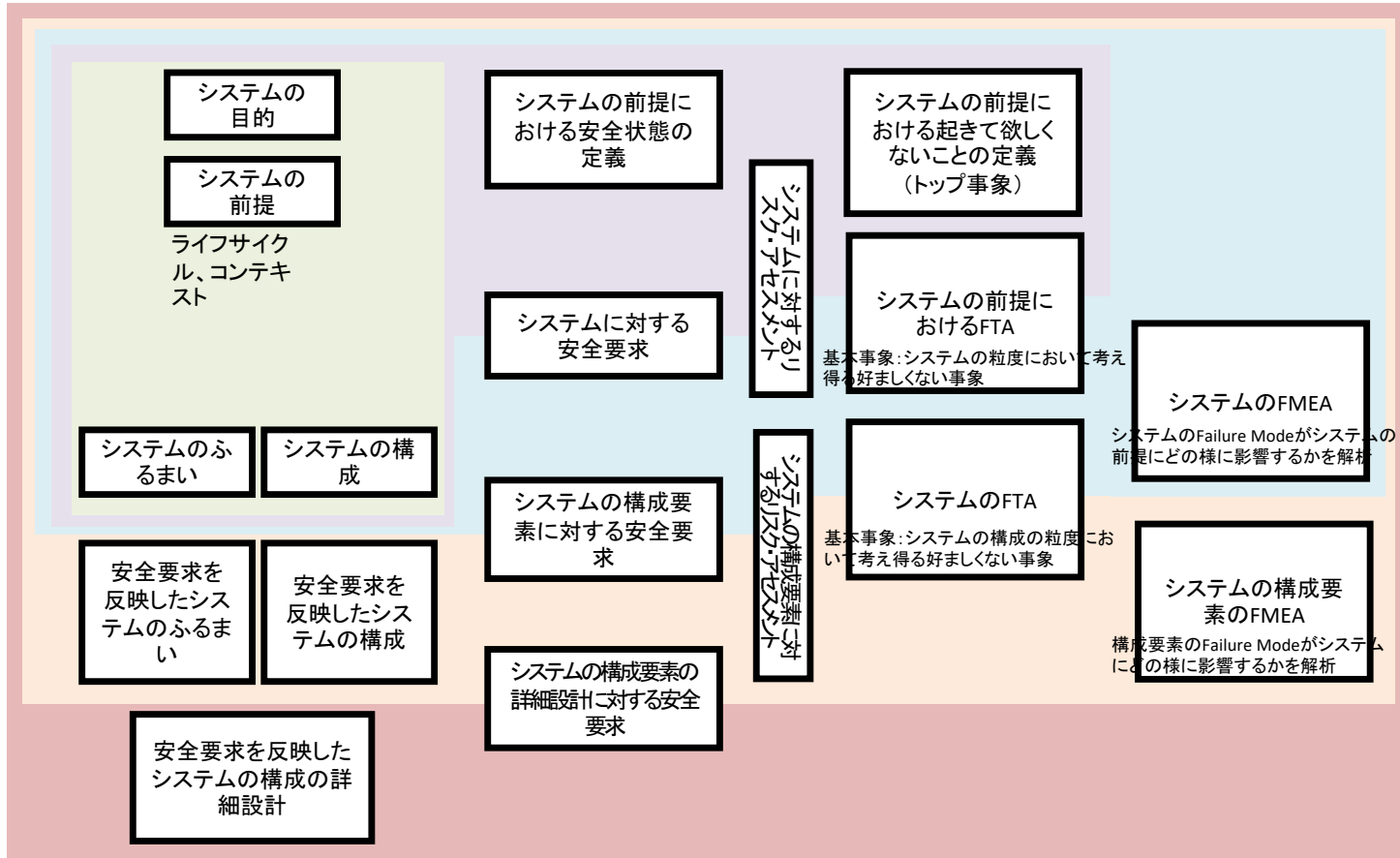


①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

「個別の安全機構がきちんと設計され・動作するということをボトムアップに集めるだけでなく、それらが構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明」

【論理構成の全体像】

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。



①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

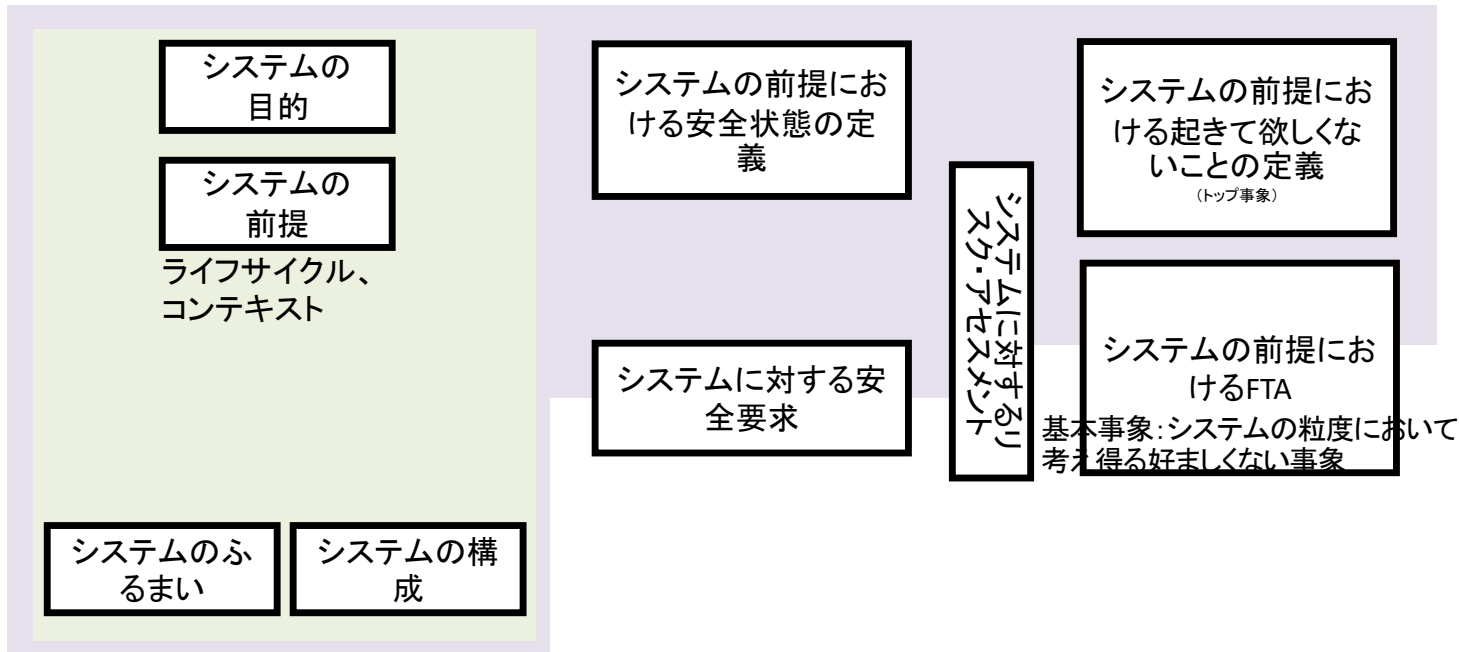
【構造①システムの目的と前提、システムの幹】



①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

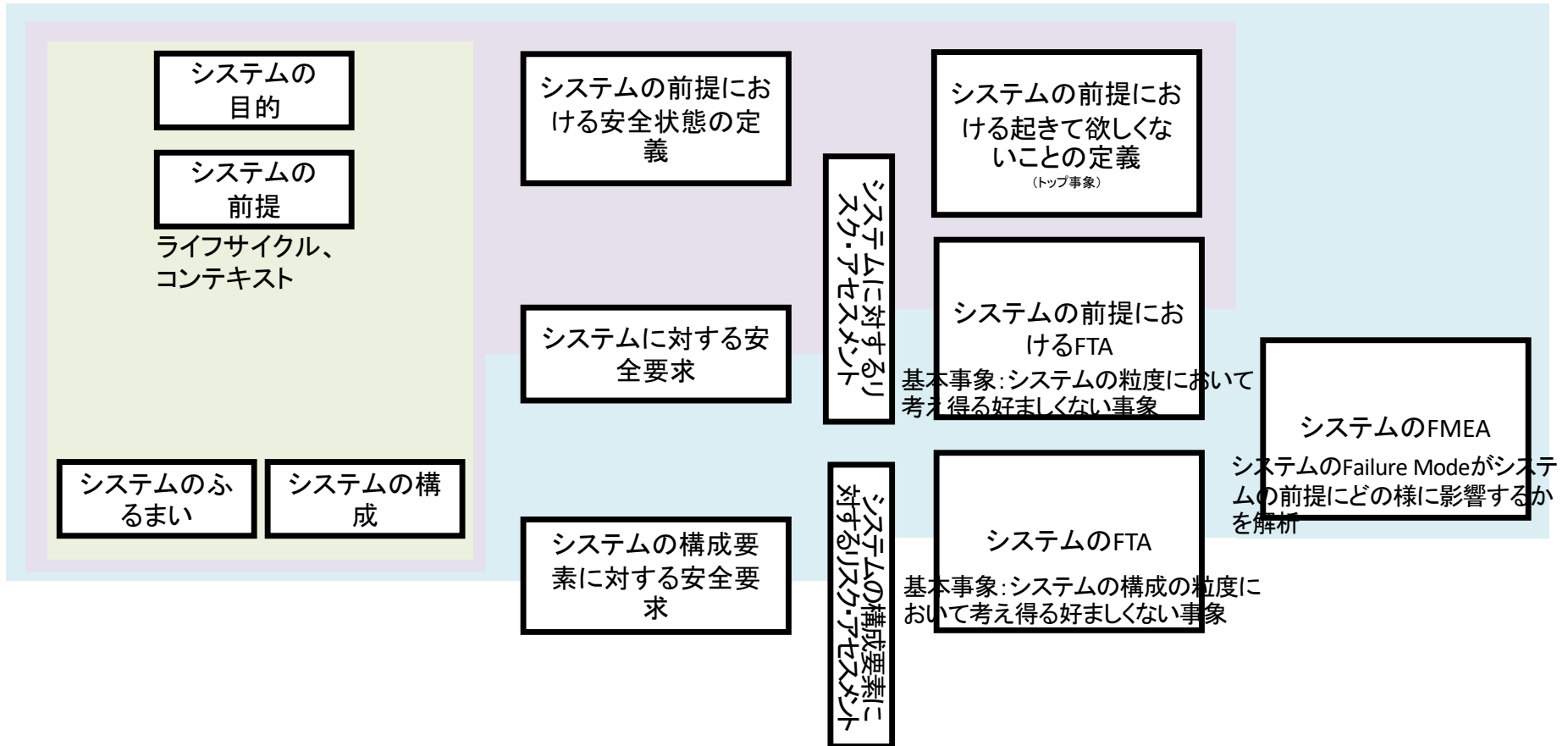
【構造②システムは何を果たし、何を起こしてはいけないか】



①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

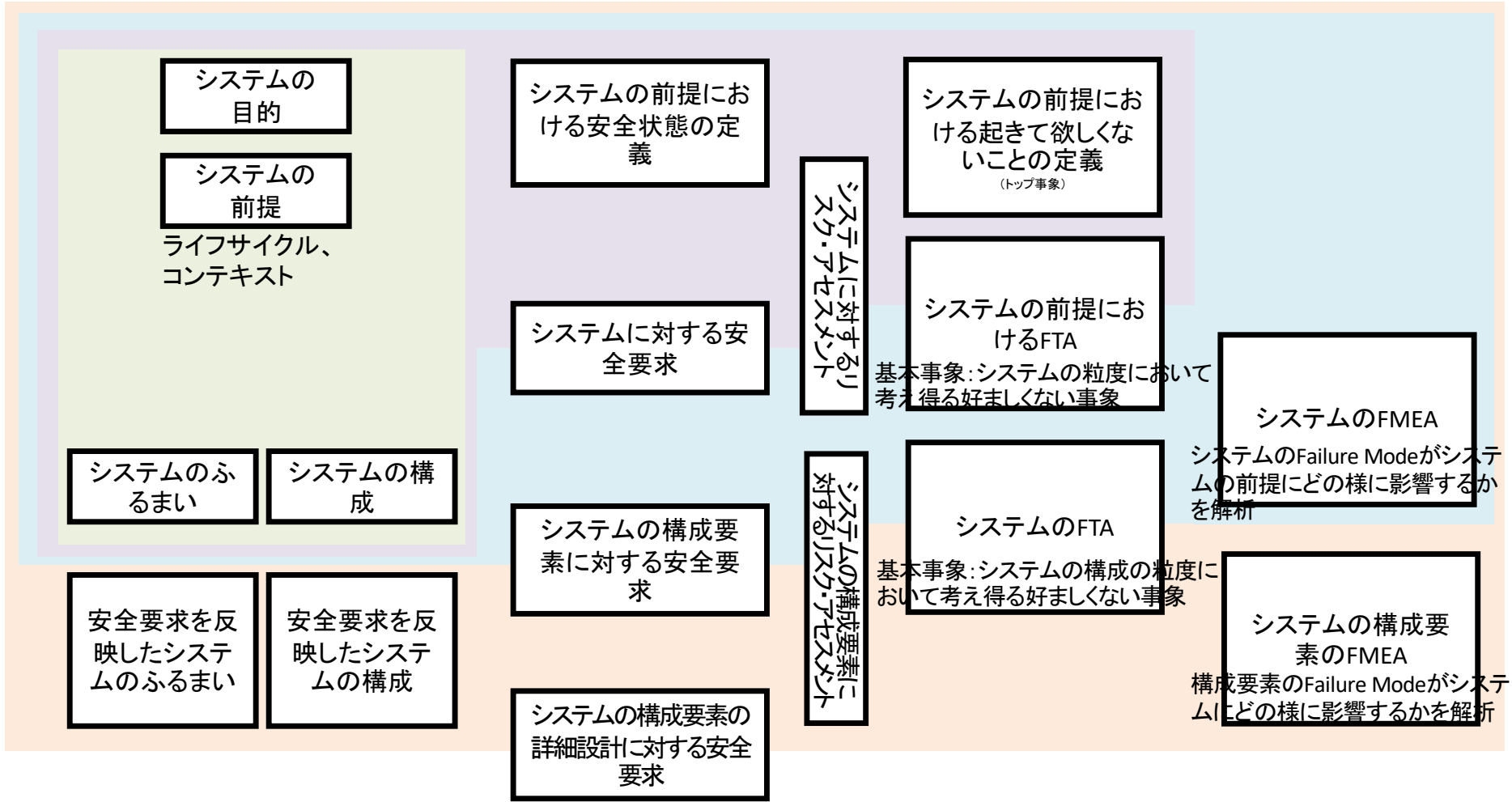
【構造③システムの構成要素には何が求められるか】



①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

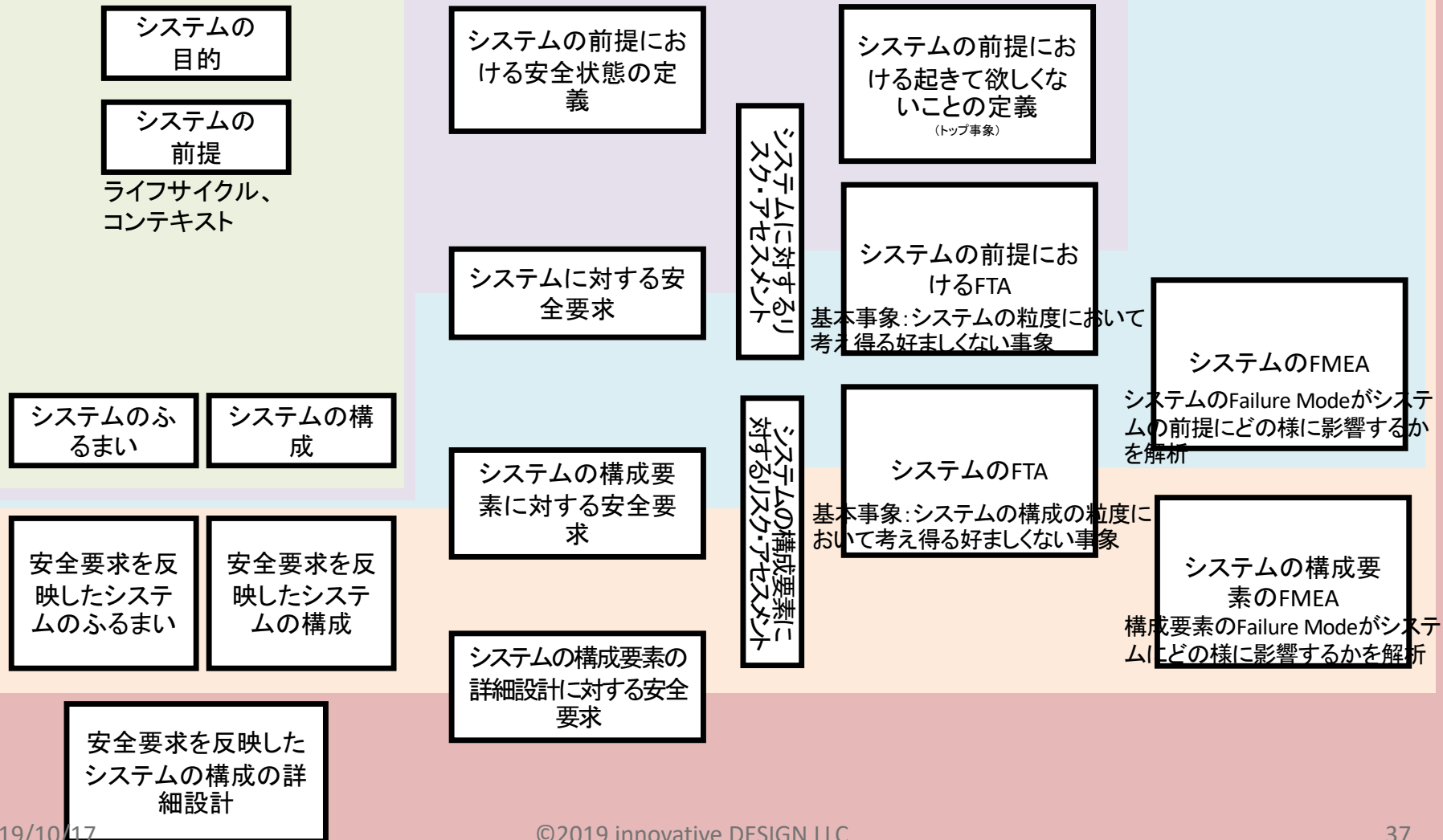
【構造④システムの構成要素をどの様に具体化するか】



①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

【構造⑤システムの構成要素の詳細設計】

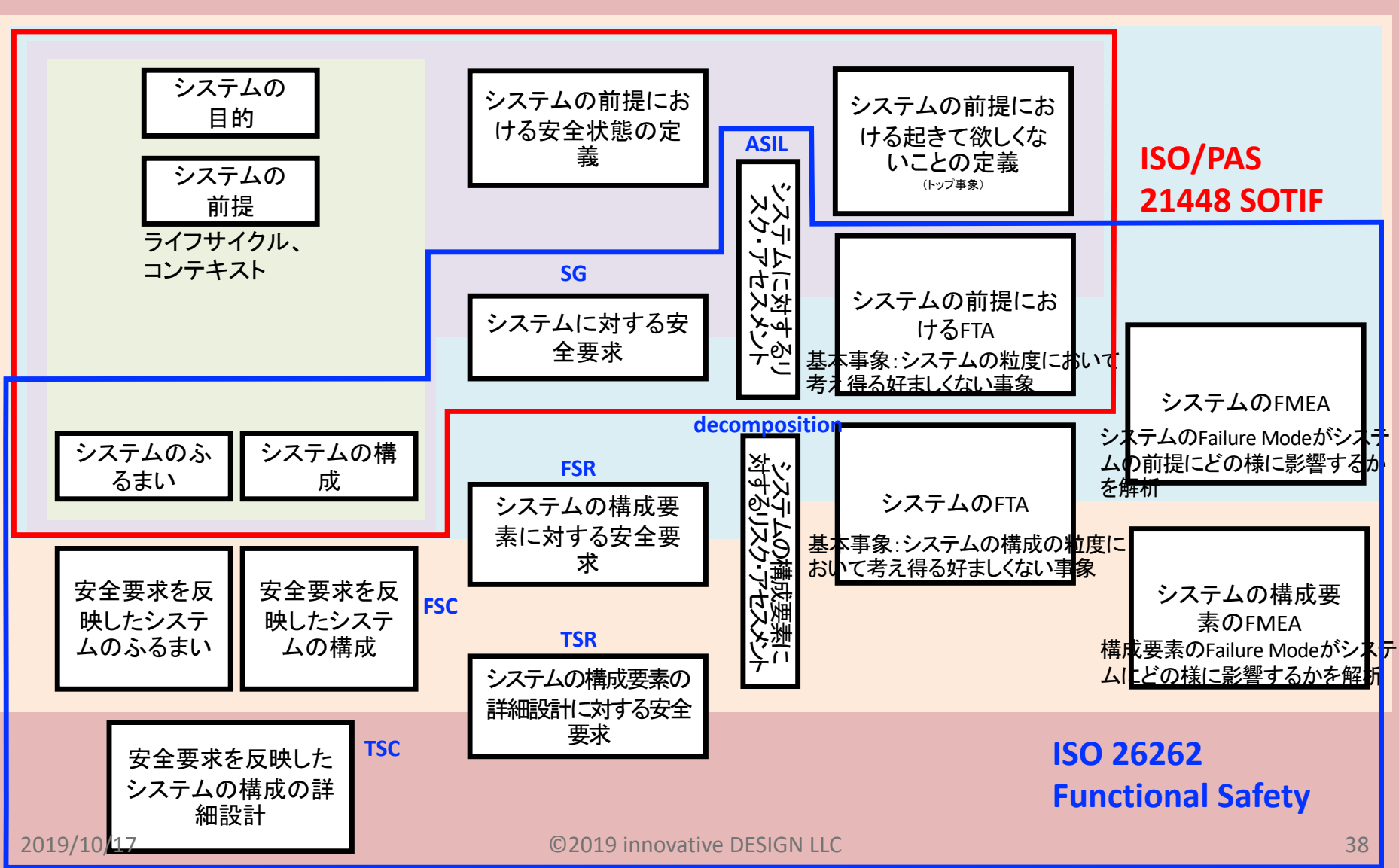


①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

【参考情報: ISO/PAS 21448 および ISO 26262の大まかな対応範囲】

※ただし、いずれもE/E Systemに限った適用であることに注意



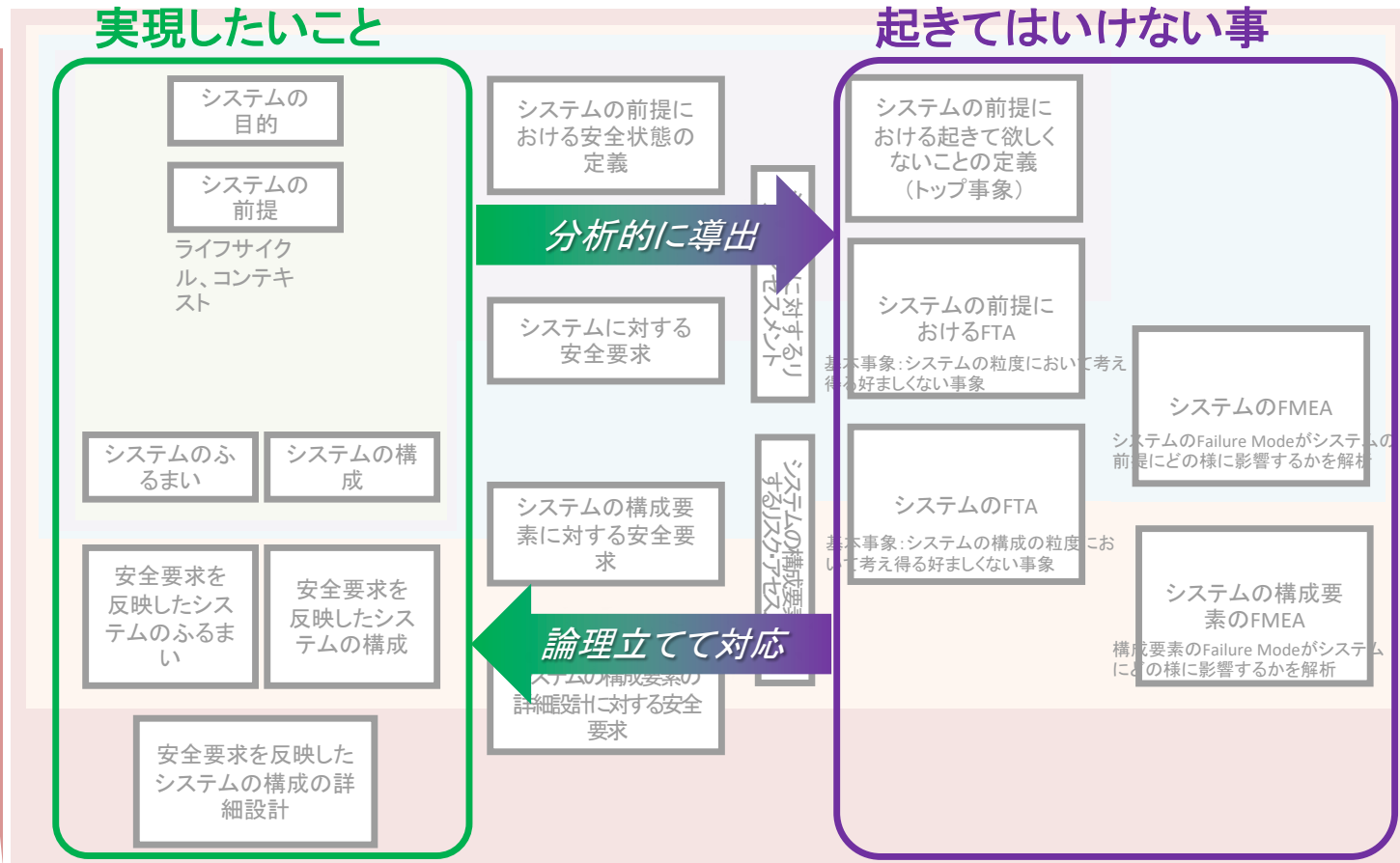
①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

「個別の安全機構がきちんと設計され・動作するということをボトムアップに集めるだけでなく、それらが構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明」

【論理構成の全体像】

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

段階的詳細化



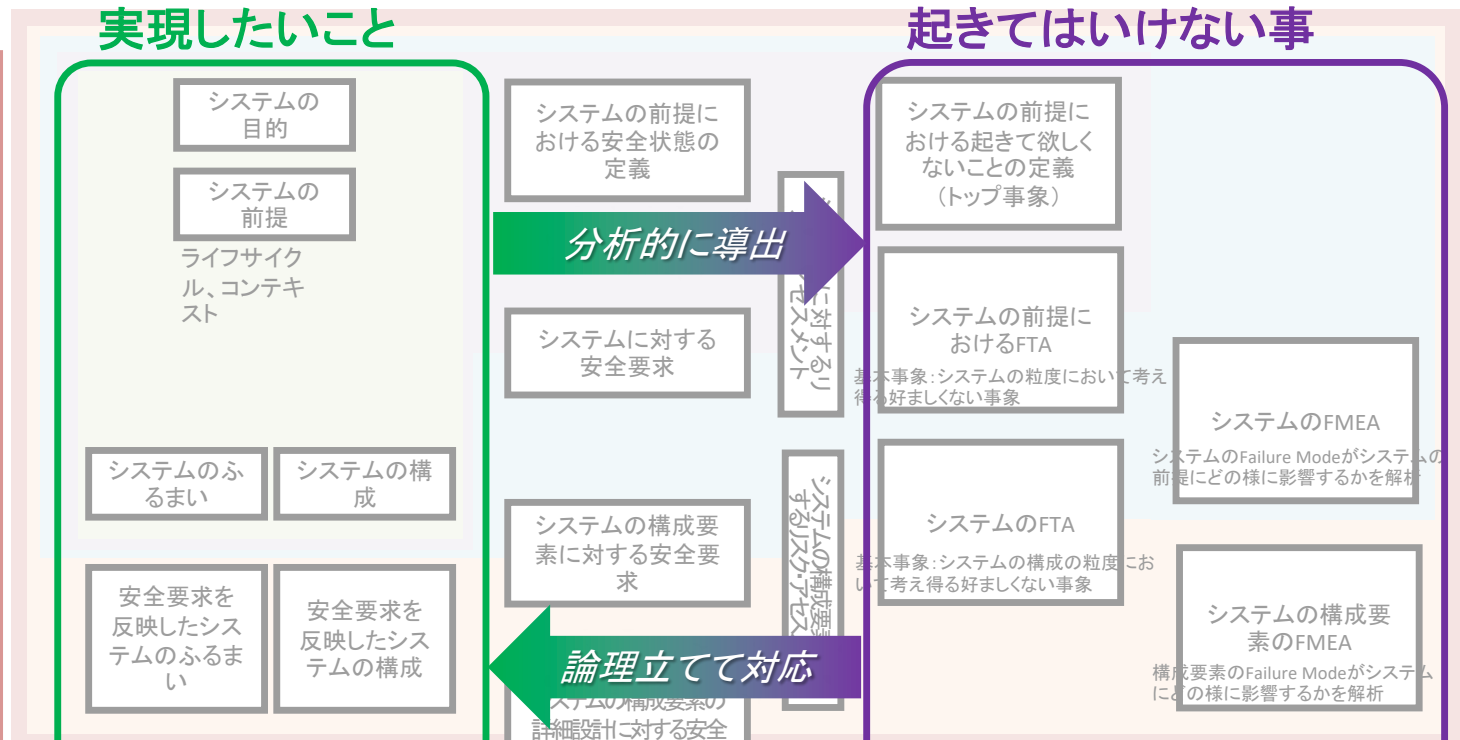
①Nさん、自動車関連、制御の統括部署、開発リーダー

「個別の安全機構がきちんと設計され・動作するということをボトムアップに集めるだけでなく、それらが構造的な集合として合理的に予見されるリスクの十分な制御を実現しているというトップダウンな設計説明」

【論理構成の全体像】

※構成間の関係性についてはこの表現では省略。

段階的詳細化

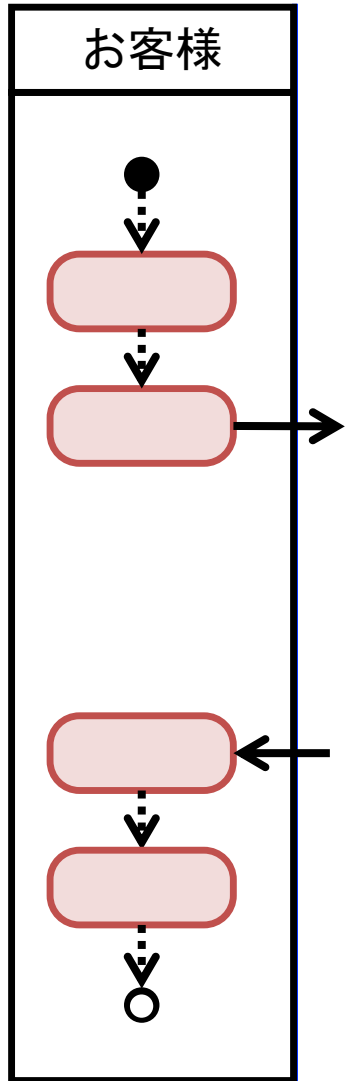


非常に大規模かつ複雑なシステムに対して、実現したいことと起きてはいけないことを構造的に整理し、トップダウンな設計説明、ボトムアップな設計検証を高い整合性と一貫性を持って実

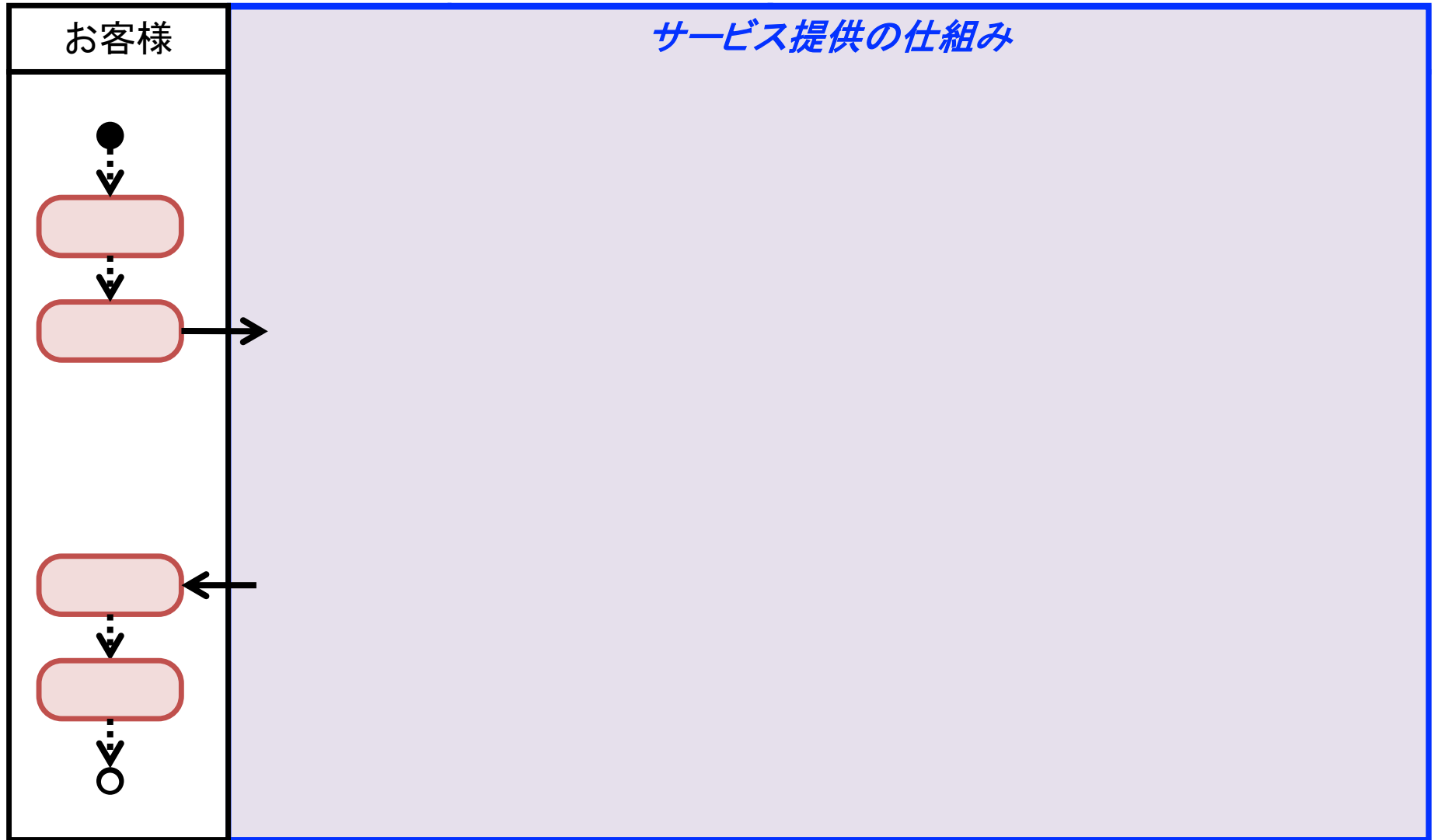
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン

- 既に自社製品を購入して利用している顧客に対して、**新しい価値を提供するサービスの実現を目指し、会社の複数の部署、関連会社、連携会社全体で、オペレーション(コト)とIT(モノ)を統合的にデザインし、最短距離で実装へ向かおう**としている。
- 会社としても非常に力が入っている巨大なプロジェクトであり、社内外の関係者の種類も数も非常に多い。
- 大きな目的は共有されているが、各部署、関係者らの検討や実装準備のベクトルを統合し、**最大効率で総論と各論を整合させながらプロジェクトを推進していくことがプロジェクト・リーダーを含むプロジェクトHQチームの大きなチャレンジ**。
- プロジェクトHQチームが手綱を緩めると、各部分のIT(モノ)の開発がどんどんと先行してしまい、各部署や関連企業のオペレーション(コト)のデザイン、最終的なサービスの質の成熟が遅れてしまうことが懸念される。

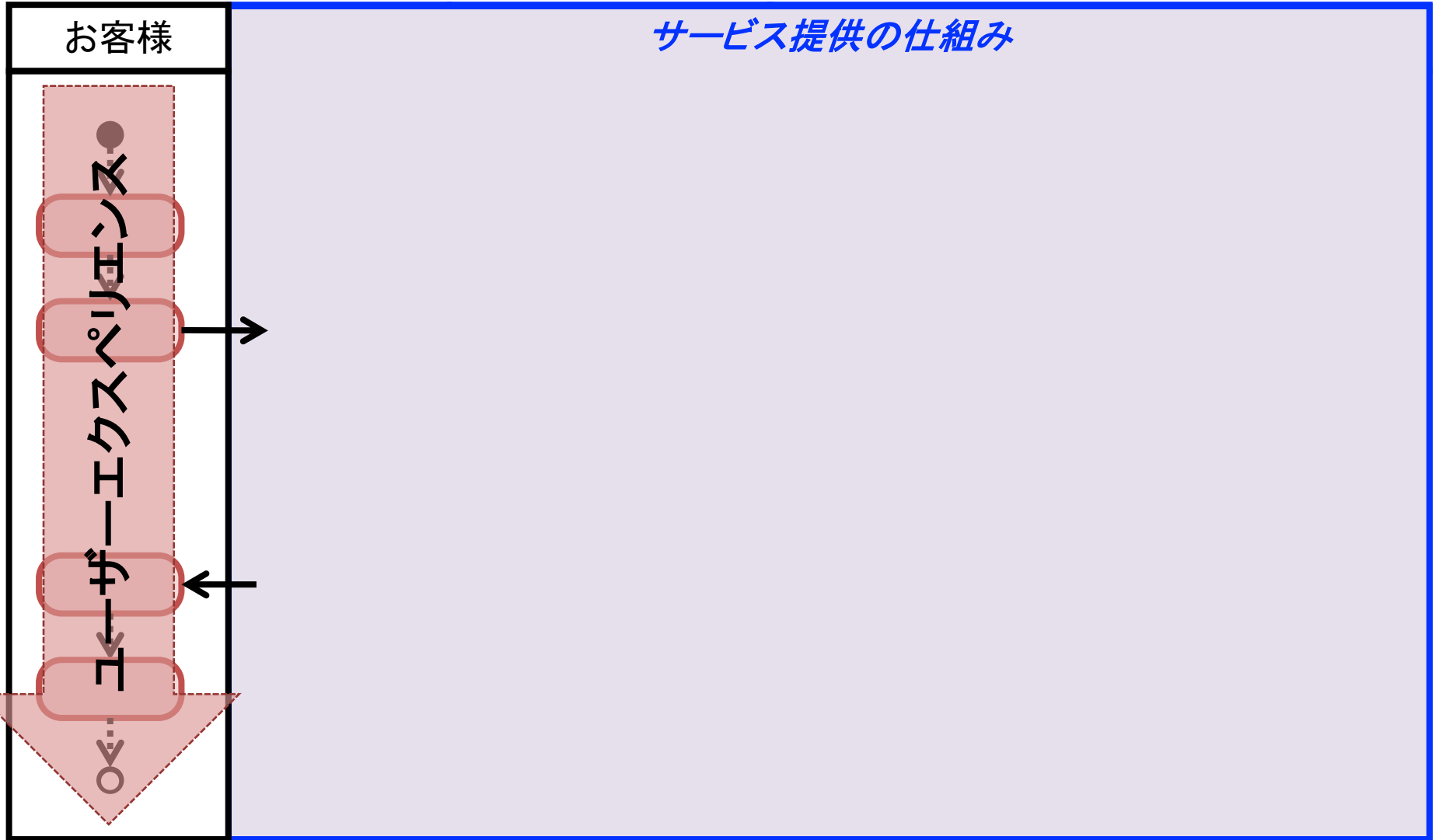
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



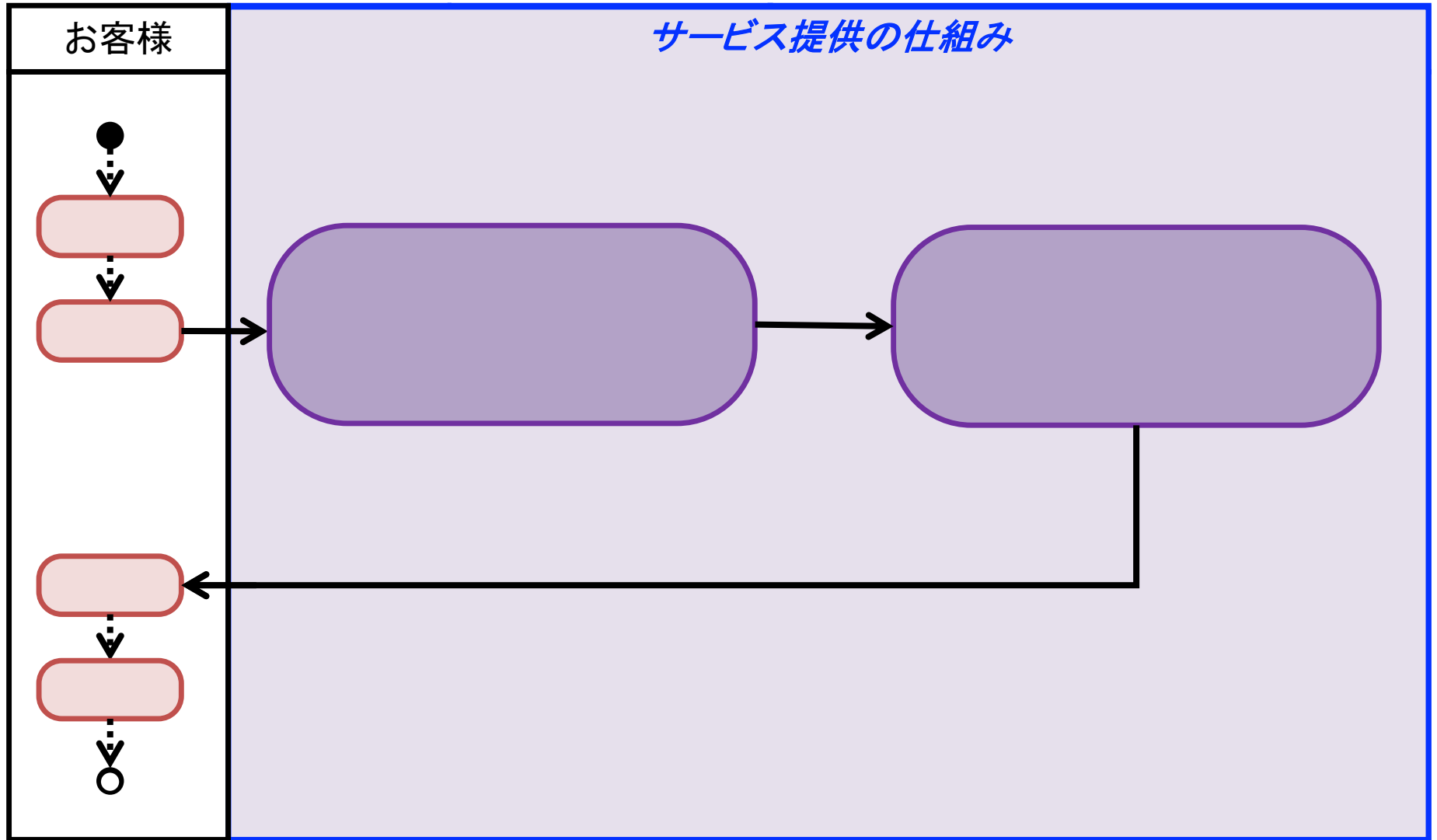
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



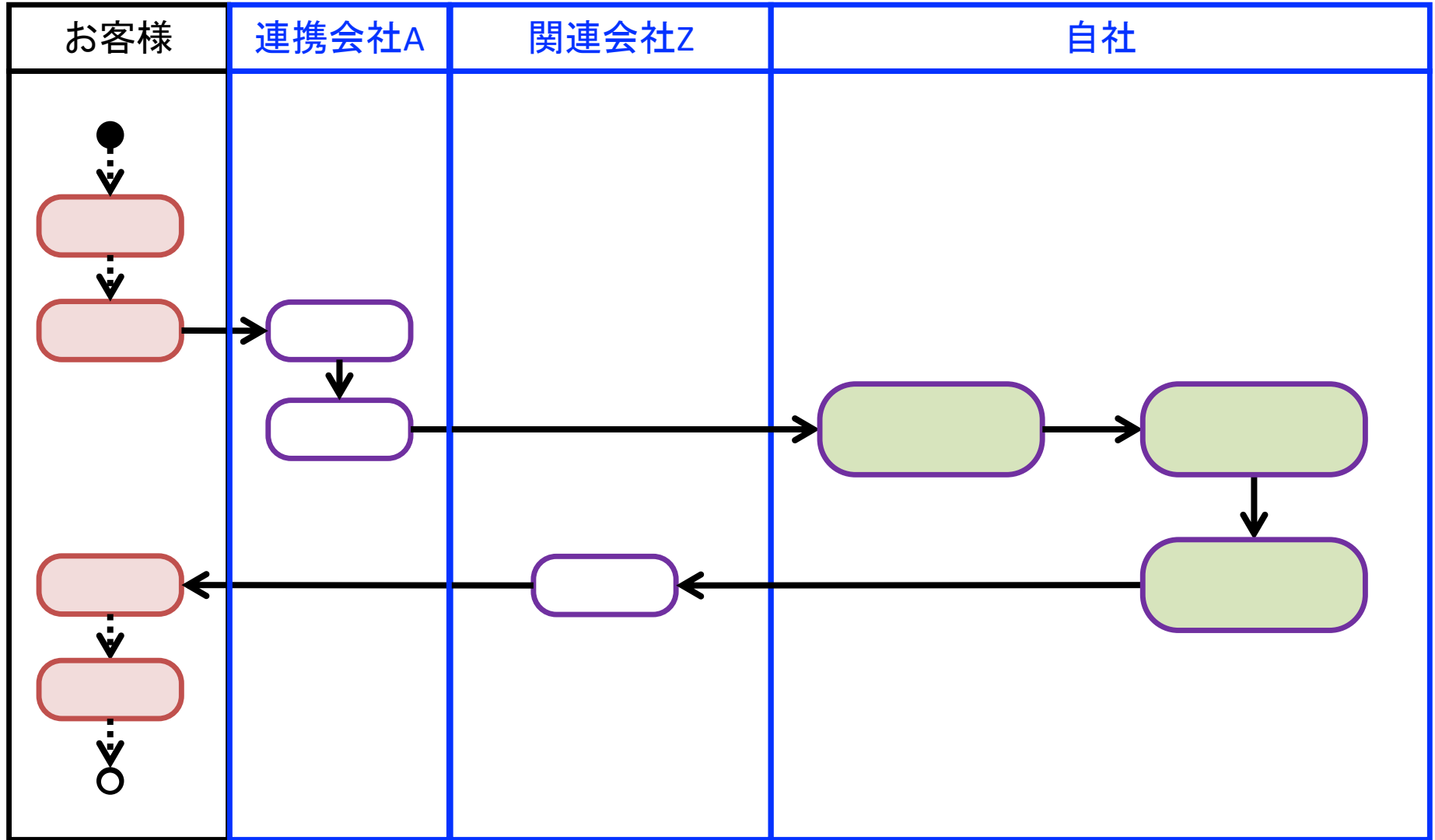
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



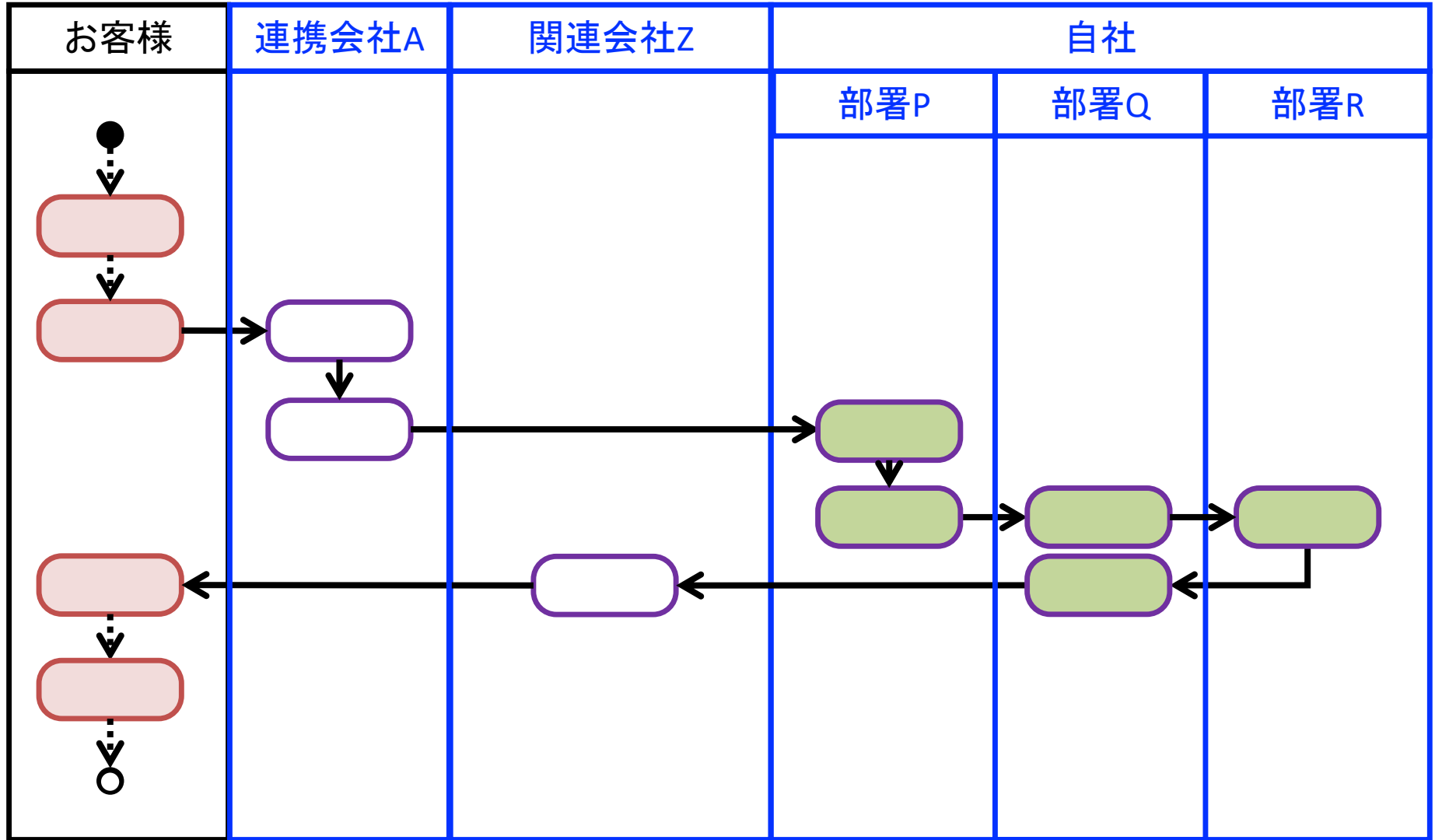
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン

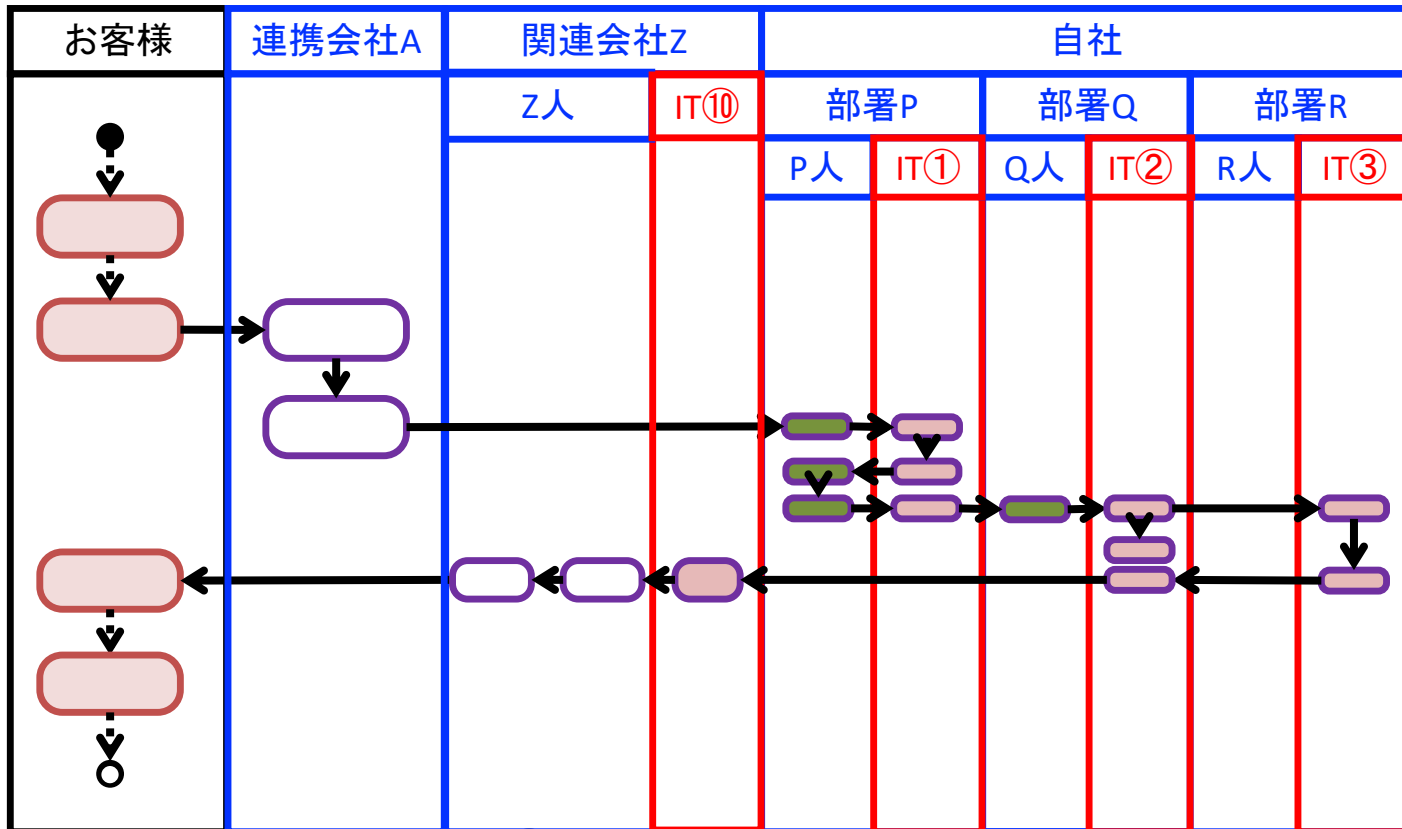
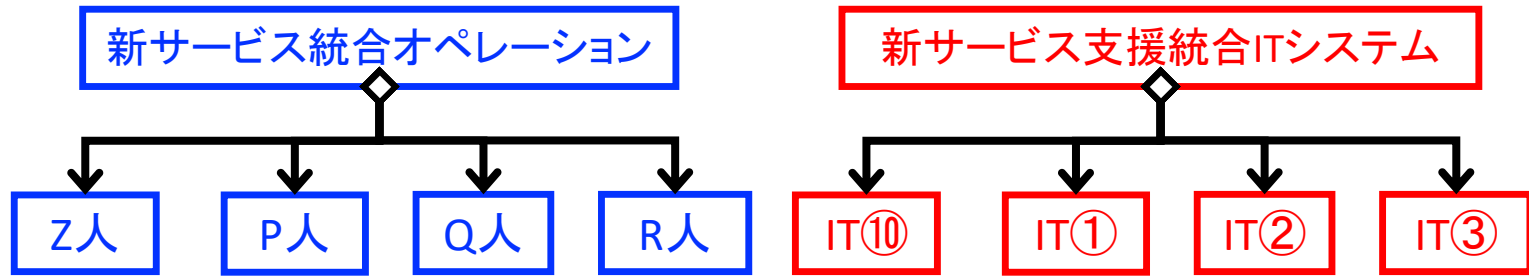


②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン



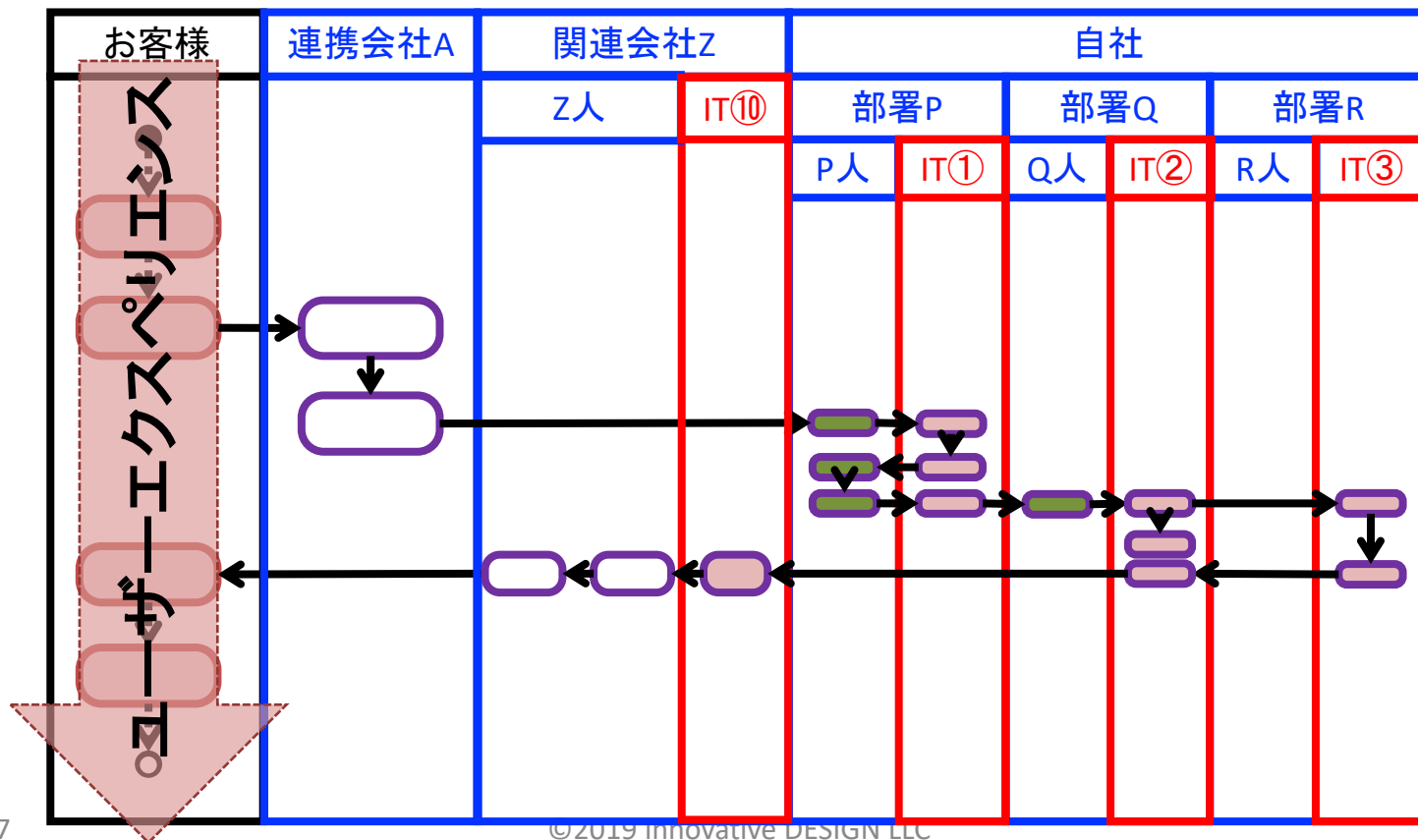
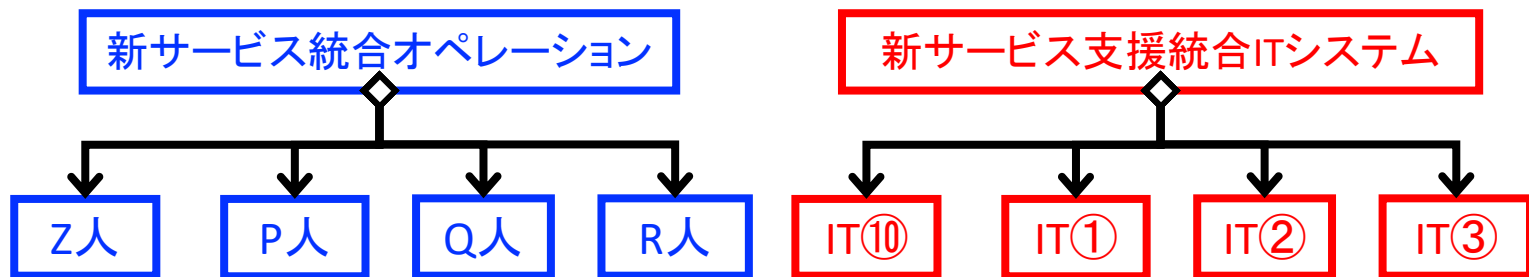
②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン

連携会社Aへの
要求書



②Iさん、事業会社、プロジェクト・リーダー、大ベテラン

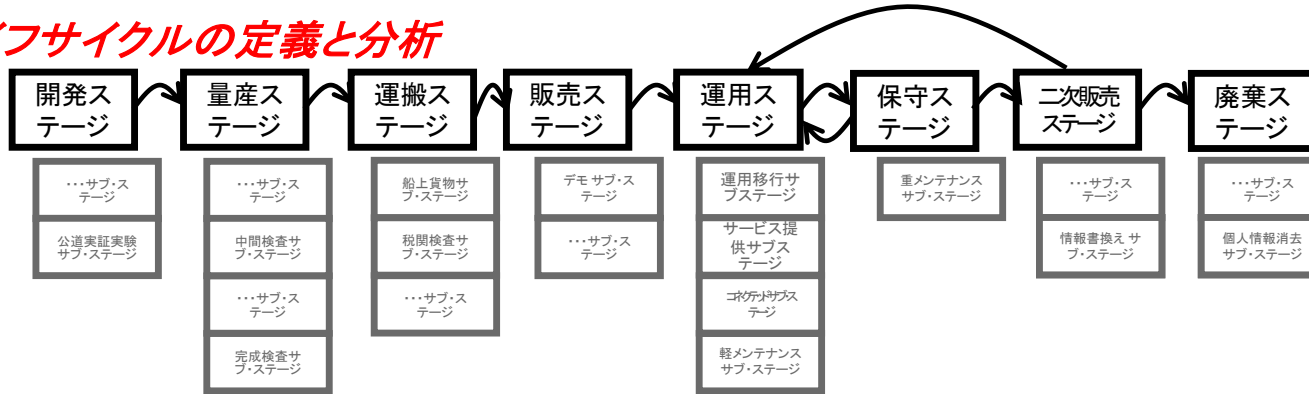
連携会社Aへの
要求書



- ③W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。

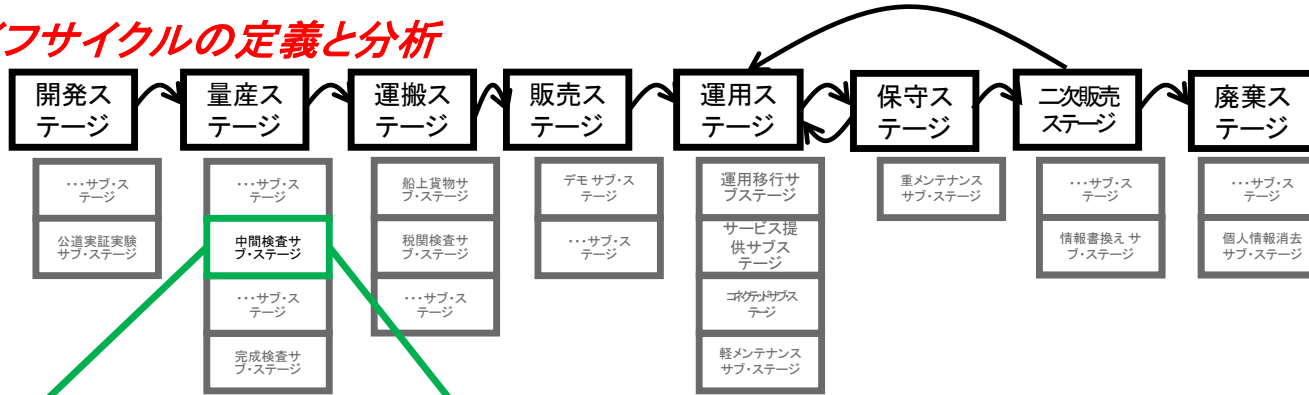
③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

ライフサイクルの定義と分析



③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

ライフサイクルの定義と分析



コンテキストの定義と分析

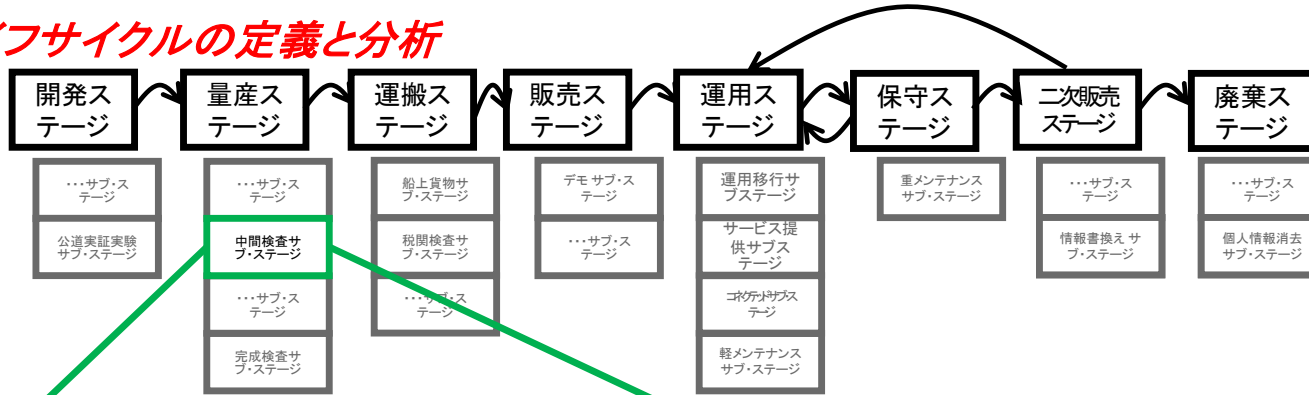


MOE: 当局管理の検査項目について、(システム設計)所定の短い時間の擬似信
 擬似信号によりシステムの検査と補正 号印加により、必要なシステムの検査が
 を検査員(習熟度Mレベル)が、連続で 十分に行うことができる様な機能のモ
 作業を行いながら、台当たりSS±5秒で ジュール化。
 実施出来る。

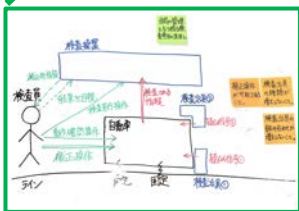
システムの ブラックボックス定義

③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

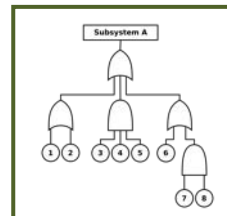
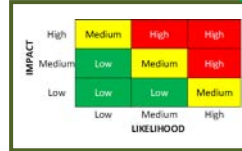
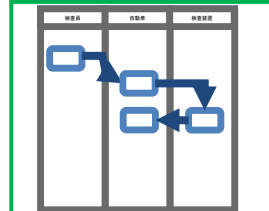
ライフサイクルの定義と分析



コンテキストの定義と分析



システムのオペレーション上のリスク分析、リスク・アセスメント



MOE: 当局管理の検査項目について、(システム設計)所定の短い時間の擬似信
 擬似信号によりシステムの検査と補正 号印加により、必要なシステムの検査が
 を検査員(習熟度Mレベル)が、連続で 十分に行うことができる様な機能のモ
 作業を行いながら、台当たりSS±5秒で ジュール化。

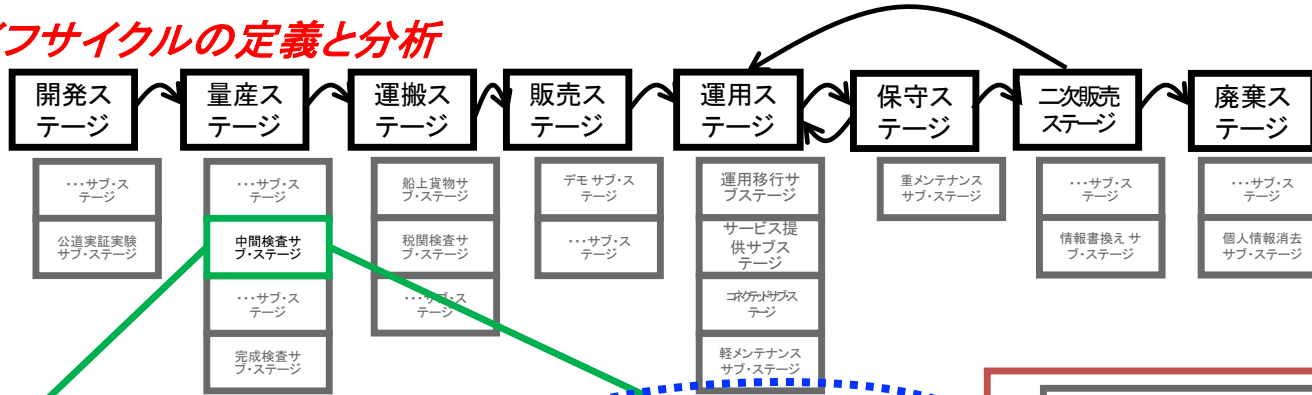
システムのブラックボックス定義

(リスク分析、リスク・アセスメント)検査
 員の育成時コストがかかる。

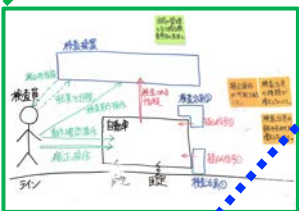
©2019 innovative DESIGN LLC

③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

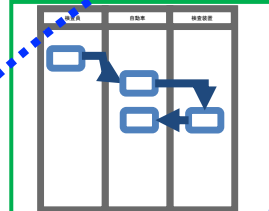
ライフサイクルの定義と分析



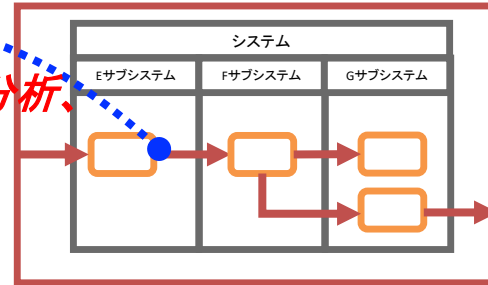
コンテキストの定義と分析



システムのオペレーション上のリスク分析、リスク・アセスメント

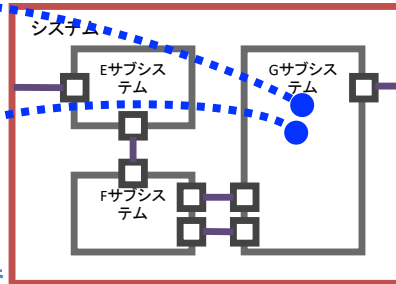
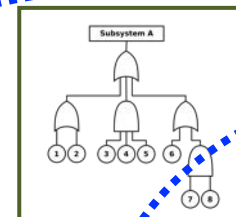


	Low	Medium	High	High
High	Medium	High	High	High
Medium	Low	Medium	High	High
Low	Low	Low	Medium	High
	Low	Medium	High	High
	LIKELIHOOD			



MOE: 当局管理の検査項目について、(システム設計)所定の短い時間の擬似信号によりシステムの検査と補正を検査員(習熟度Mレベル)が、連続で作業を行いながら、台当たりSS±5秒で実施出来る。

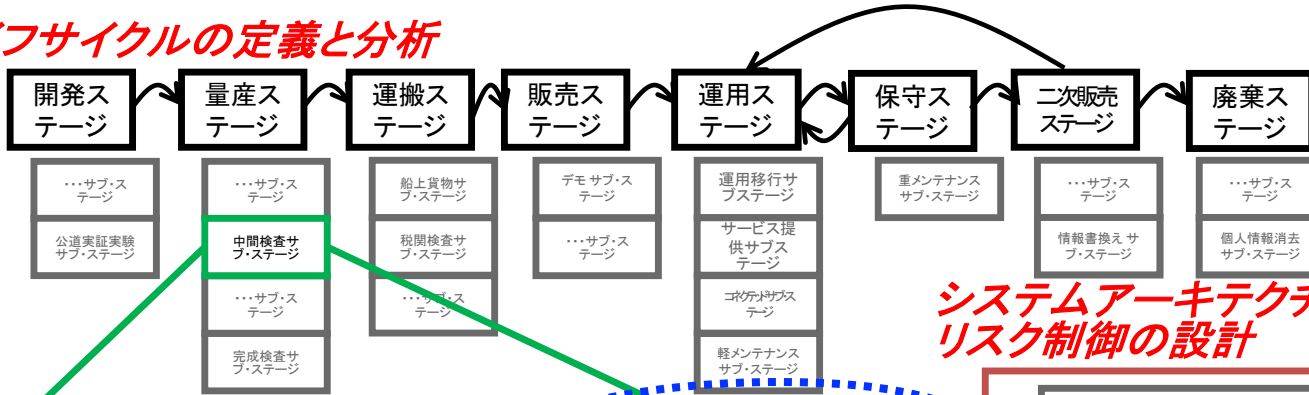
システムのブラックボックス定義



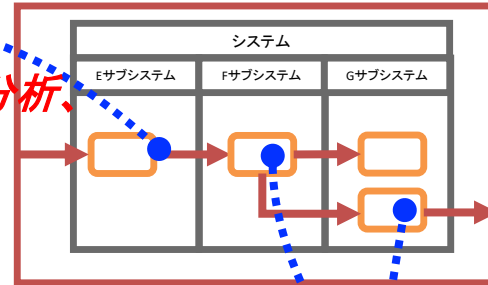
(リスク分析、リスク・アセスメント)検査員の育成時コストがかかる。

③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

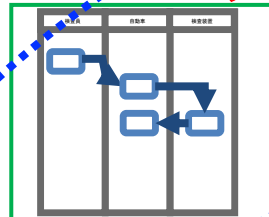
ライフサイクルの定義と分析



システムアーキテクチャの設計 リスク制御の設計

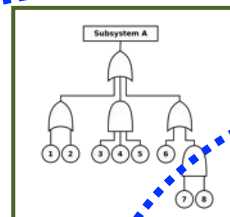


コンテキストの定義と分析



システムの オペレーション上のリスク分析、 リスク・アセスメント

IMPACT	High	Medium	High	High
	Medium	Low	Medium	High
	Low	Low	Low	Medium
	Low	Low	Medium	High
	LIKELIHOOD			



システム特性の分析 とシステムアーキテ クチャ設計への反映

- (生産性分析)
検査員による補正操作が可能であること
検査装置、検査治具の種類が増大しないこと
検査装置、検査治具の組み合わせが増大しないこと
- (セキュリティ分析) 擬似信号、擬似番号印
加方法に関する情報が外部に流出しないこと

システムの ブラックボックス定義

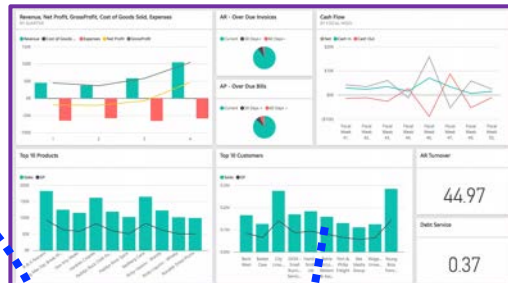
MOE: 当局管理の検査項目について、
擬似信号によりシステムの検査と補正
を検査員(習熟度Mレベル)が、連続で
作業を行いながら、台当たりSS±5秒で
実施出来る。
(システム設計)所定の短い時間の擬似信
号印加により、必要なシステムの検査が
十分に行うことができる様な機能のモ
ジュール化。

(リスク分析、リスク・アセスメント)検査
員の育成時コストがかかる。

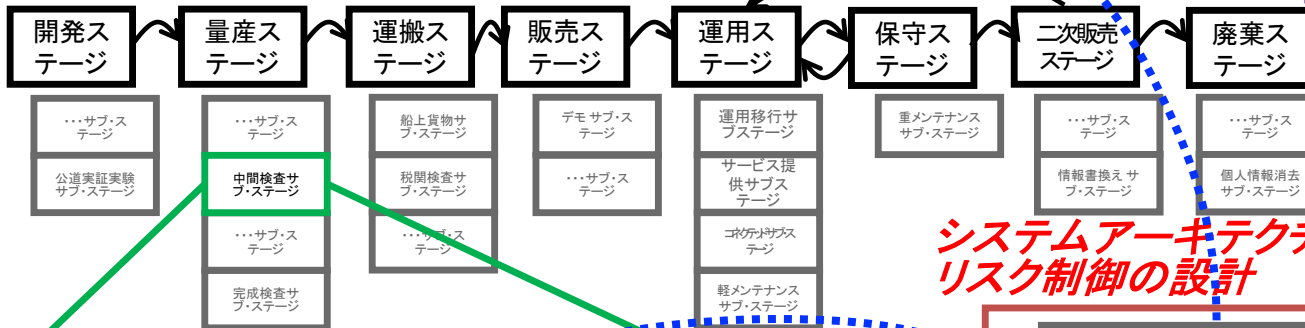
©2019 innovative DESIGN LLC

③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

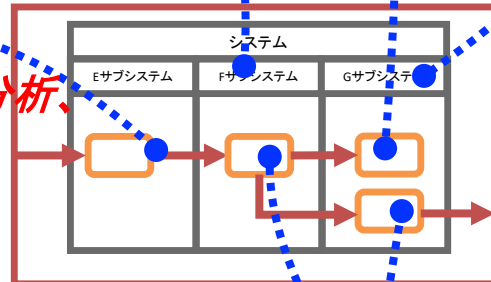
事業アーキテクチャ・システムアーキテクチャに基づくビジネス分析



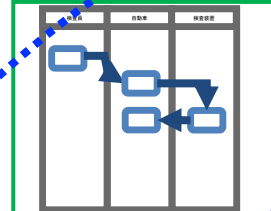
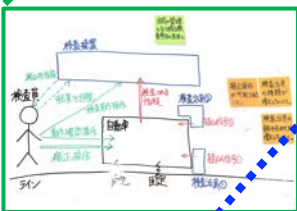
ライフサイクルの定義と分析



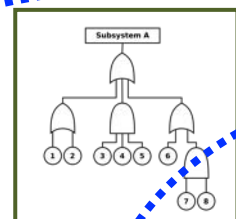
システムアーキテクチャの設計 リスク制御の設計



コンテキストの定義と分析



システムの オペレーション上のリスク分析、 リスク・アセスメント



システム特性の分析 とシステムアーキテ クチャ設計への反映

- (生産性分析) 検査員による補正操作が可能であること
- 検査装置、検査治具の種類が増大しないこと
- 検査装置、検査治具の組み合わせが増大しないこと

(セキュリティ分析) 擬似信号、擬似番号印加方法に関する情報が外部に流出しないこと

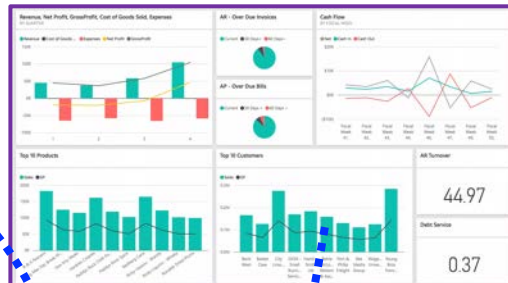
システムの ブラックボックス定義

MOE: 当局管理の検査項目について、(システム設計) 所定の短い時間の擬似信
擬似信号によりシステムの検査と補正
を検査員(習熟度Mレベル)が、連続で
作業を行いながら、台当たりSS±5秒で
実施出来る。号印加により、必要なシステムの検査が
十分に行うことができる様な機能のモ
ジュール化。

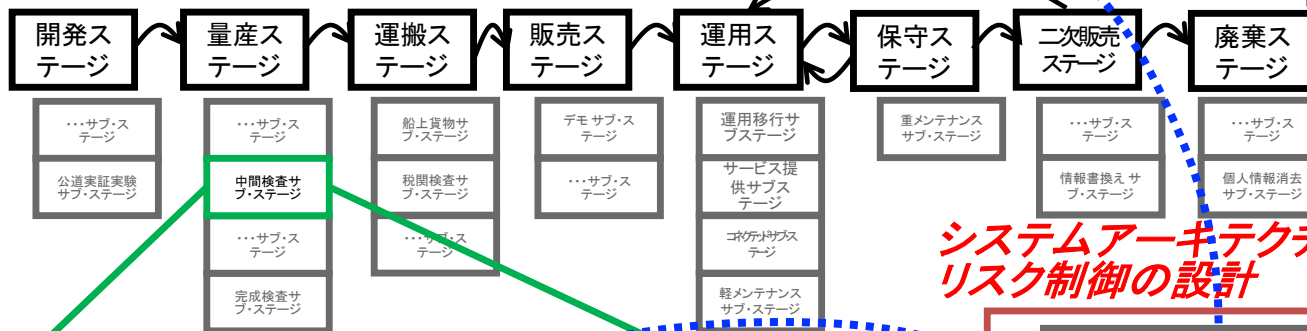
(リスク分析、リスク・アセスメント) 検査
員の育成時コストがかかる。
©2019 innovative DESIGN LLC

③Wさん、事業会社、R&D責任者、ベテランエンジニア

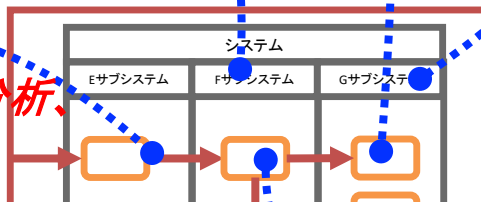
事業アーキテクチャ・システムアーキテクチャに基づくビジネス分析



ライフサイクルの定義と分析



システムアーキテクチャの設計
リスク制御の設計



コンテキストの定義と分析

システムの
オペレーション上のリスク分析、
リスク・アセスメント

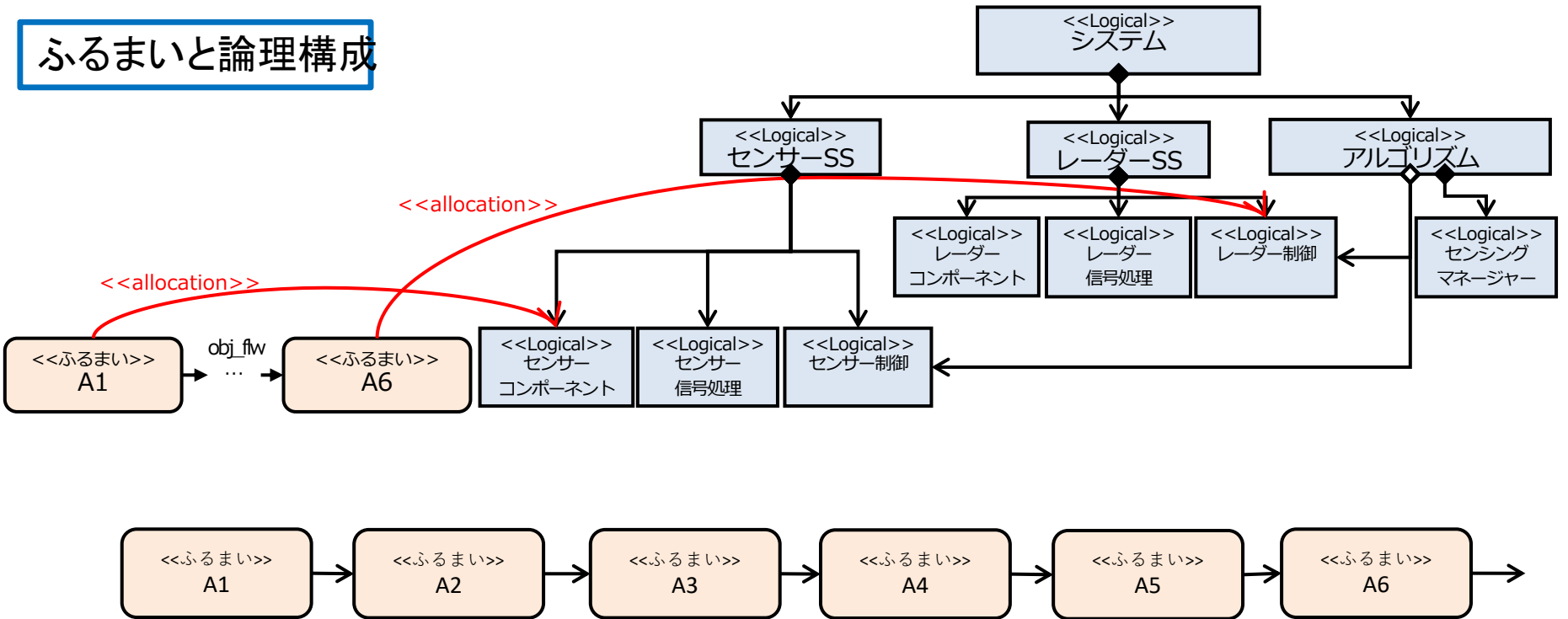
予想される事業環境が激しく変化する中でも、敏捷に、ライフサイクル全体を見渡し、それぞれのコンテキスト(外部環境)を把握し、必要な特性・特徴・機能・性能を決定し、また各種リスクの分析と制御を意思決定する。PoC、実証実験、テストマーケティングなどを戦略的にデザインし、実行する。

④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

- 先進安全技術の目覚ましい進歩により、自動車は以前にも増して急激に新しい機能、新しいコンポーネント、それらの組み合わせバリエーションが増加し続けている。これにより**技術的な複雑さだけでなく、組織的な複雑さ、プロジェクト推進の複雑さも指数関数的に増加している為、開発現場ではより高度な複雑さのマネジメントを行おうとしている。**
- 部品やデバイスと言った“物理”のバリエーションマネジメント努力はこれまで継続的に実施されている。これからはさらに踏み込み、**狙いのふるまい、機能、物理、通信、担当組織、それらの関係性といったシステム全体を俯瞰した複雑さをマネージすることが求められている。**
- 大規模な開発における、部署間の情報共有の難しさ、即時性の欠如、変更影響の見積もりの難しさ、を解消するための考え方と仕組みの実装が待ったなしである。

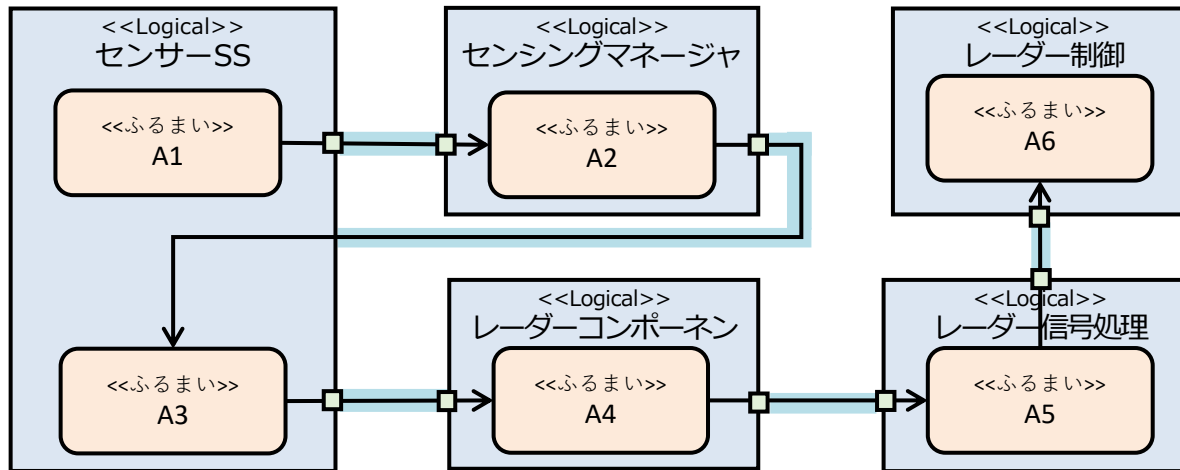
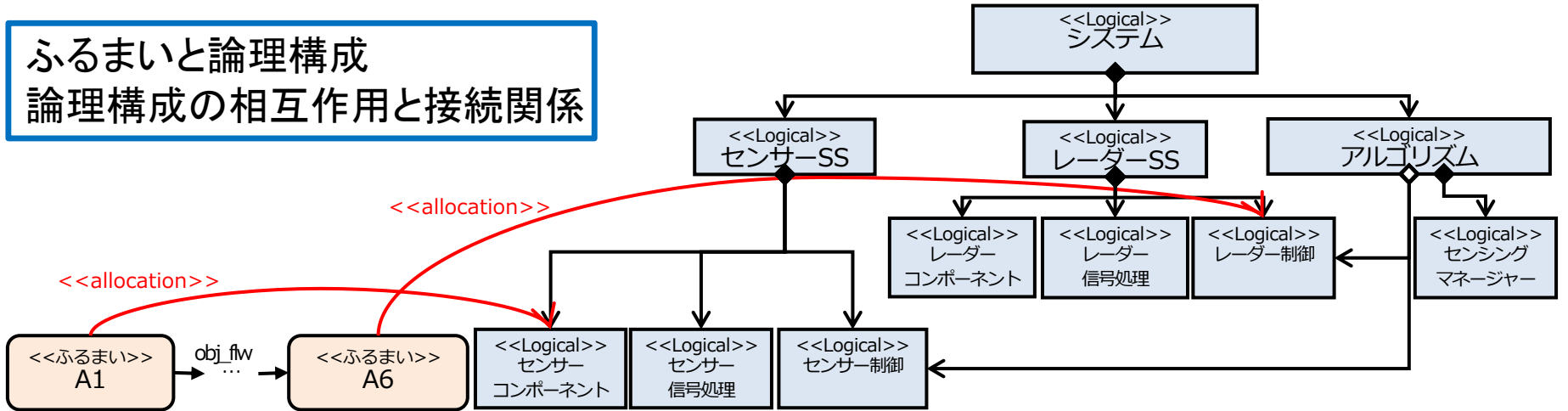
④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

ふるまいと論理構成



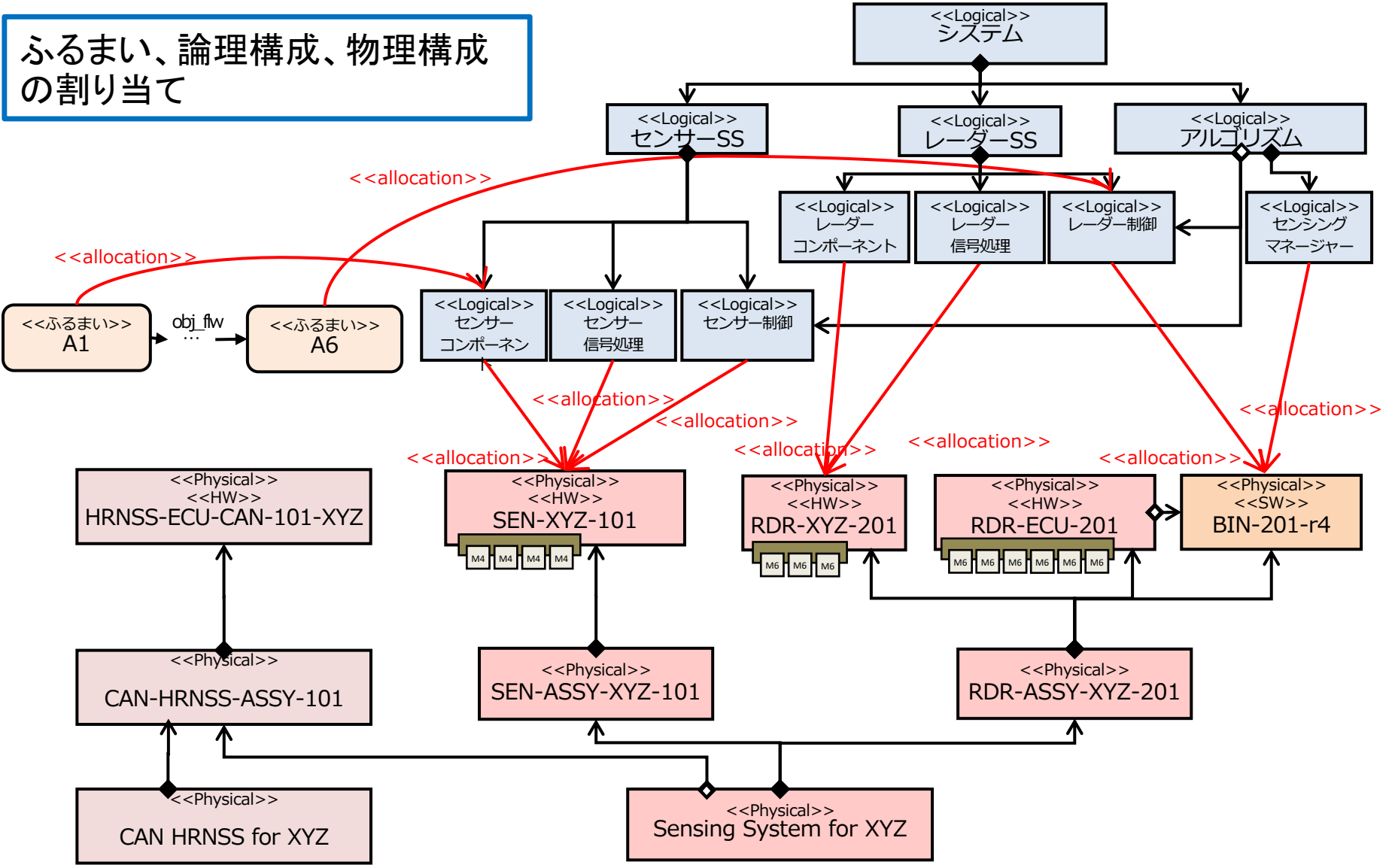
④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

ふるまいと論理構成
論理構成の相互作用と接続関係



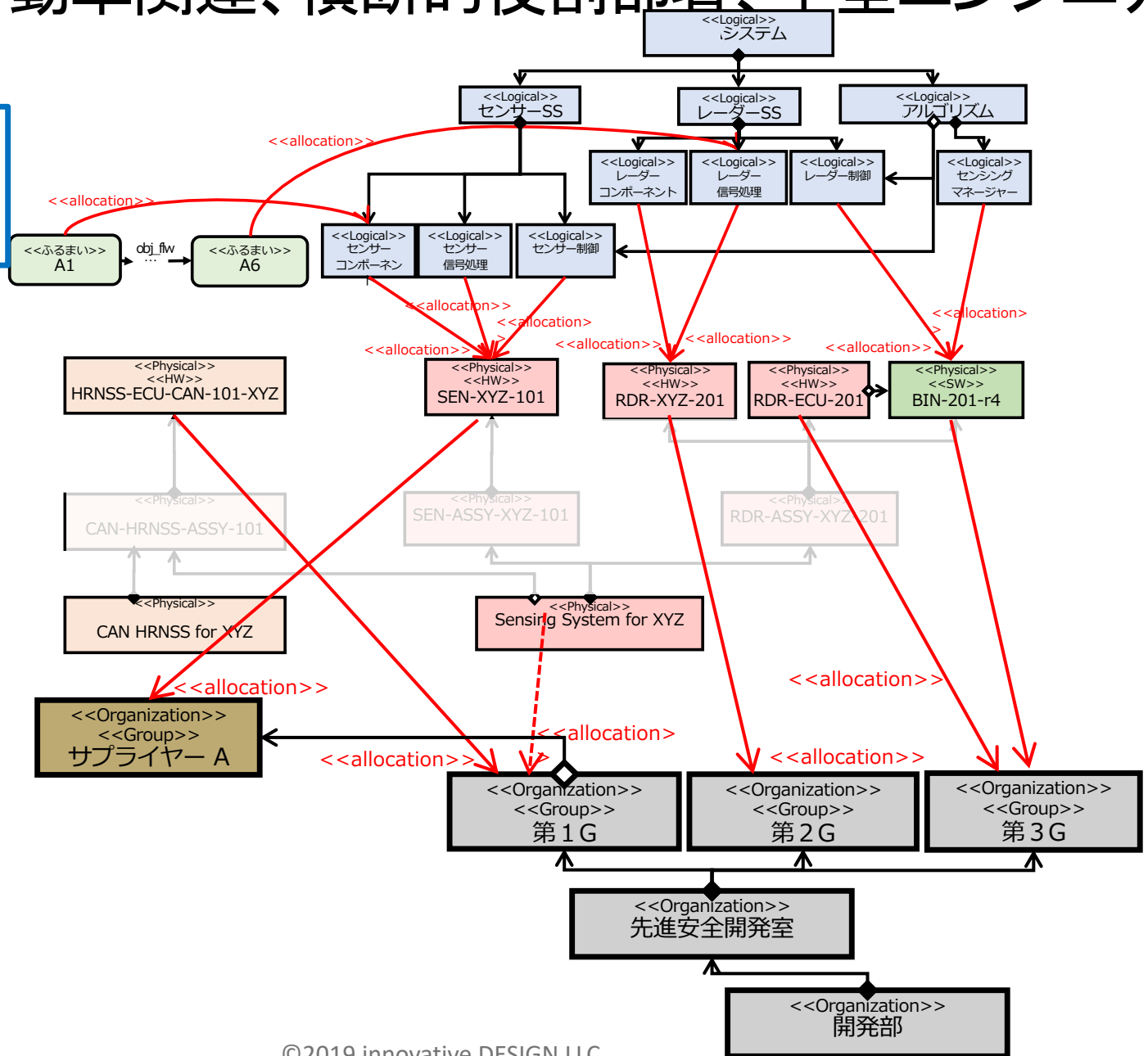
④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

ふるまい、論理構成、物理構成の割り当て

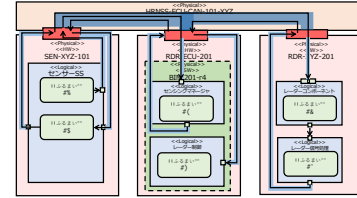


④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

ふるまい、論理構成、物理構成、担当組織の割り当て

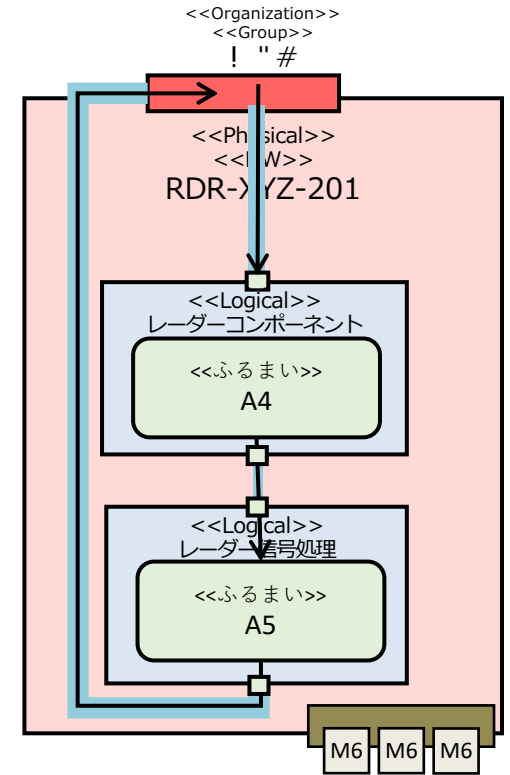
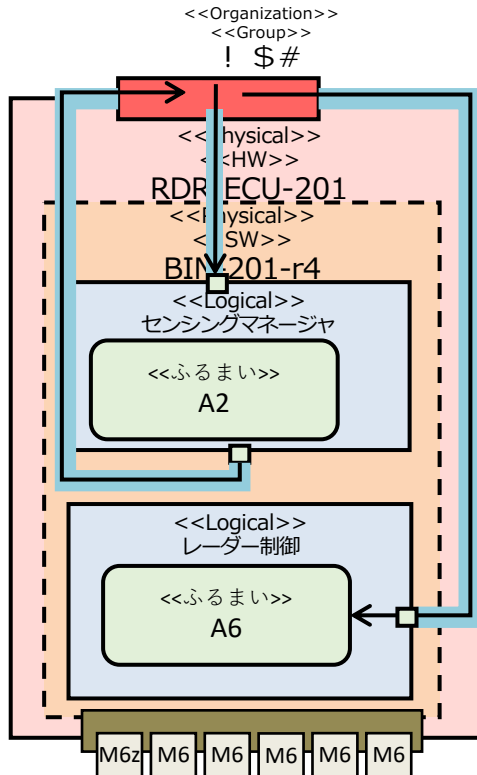
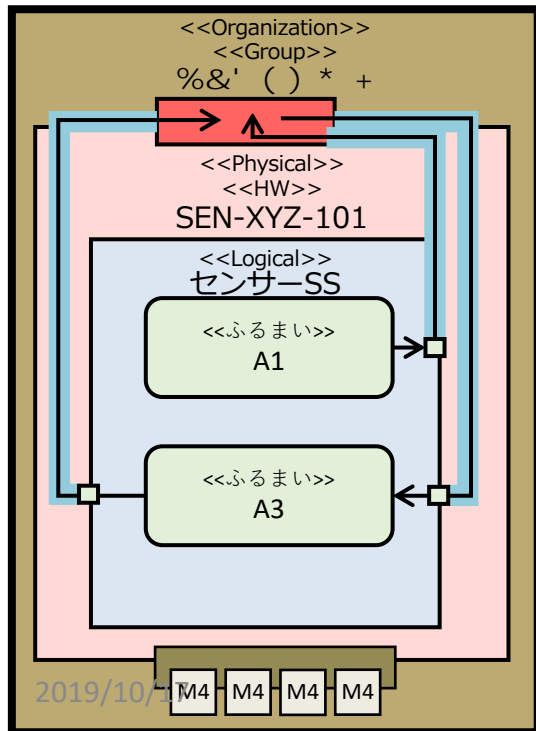
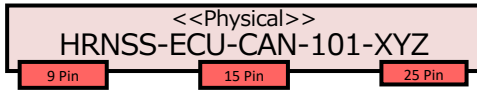


④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

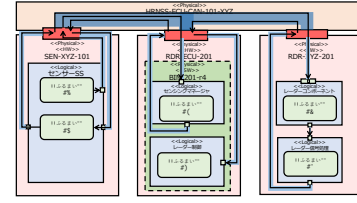


担当組織の相互作用と連携関係

<<Organization>>
 <<Group>>
 !, #

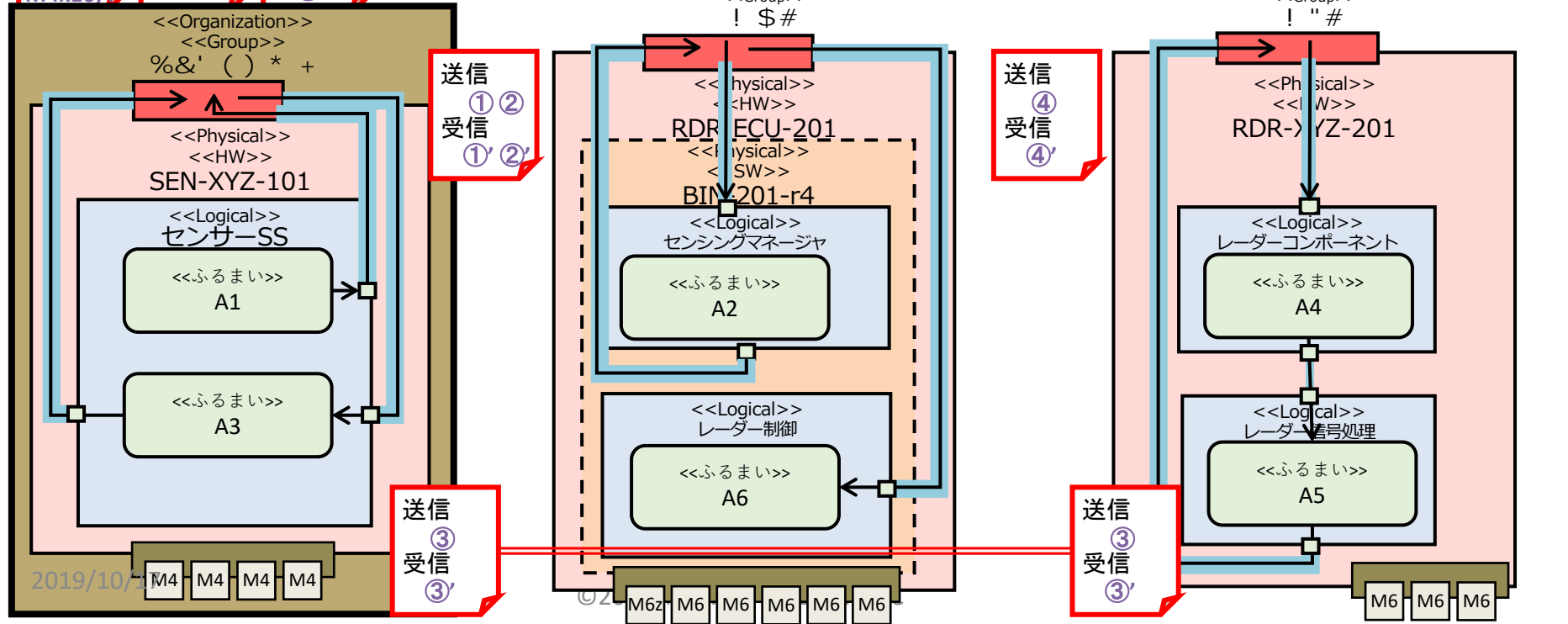
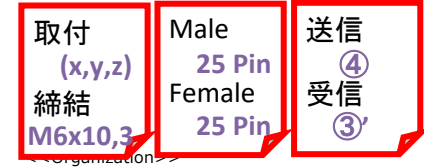
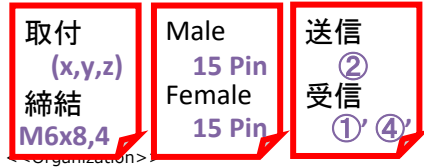
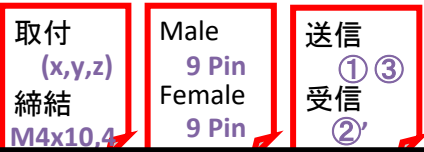
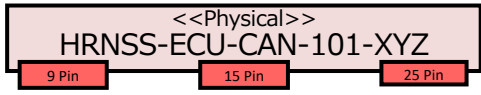


④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア

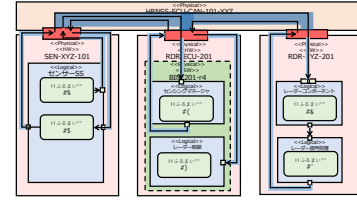


担当組織の相互作用と連携関係

<<Organization>>
<<Group>>
! , #

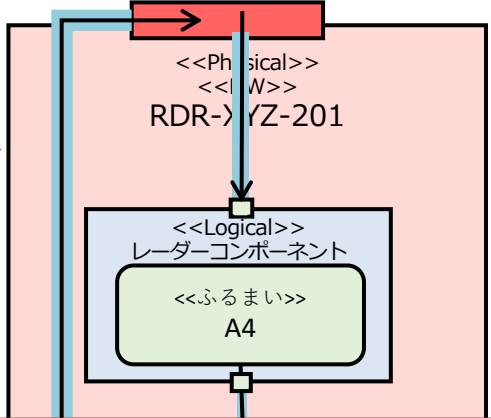
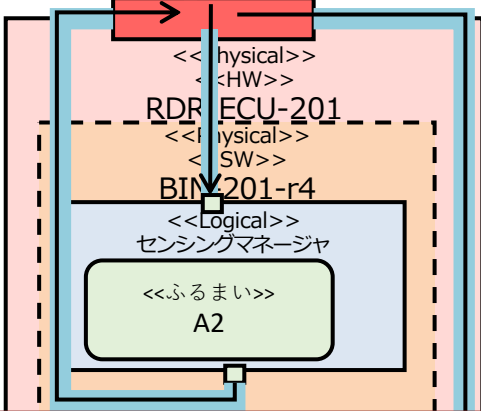
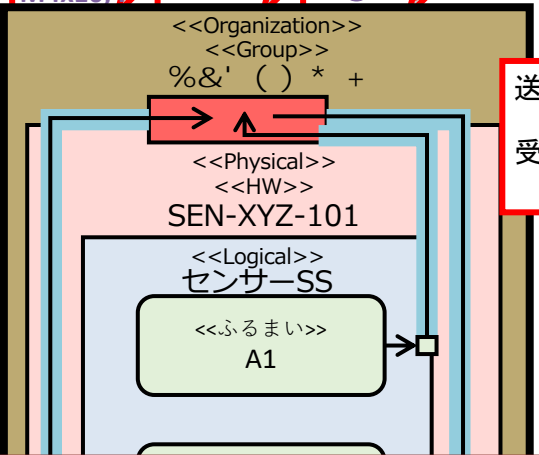
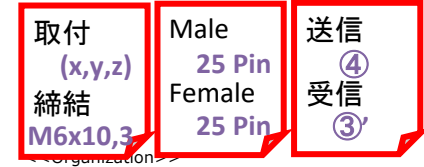
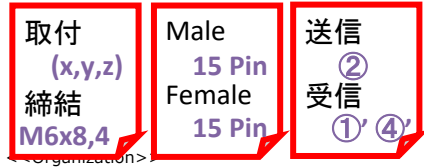
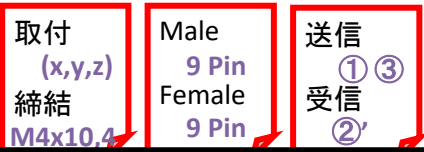
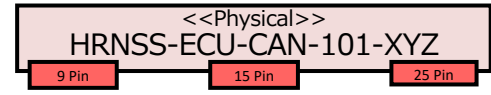


④Sさん、自動車関連、横断的役割部署、中堅エンジニア



担当組織の相互作用と連携関係

<<Organization>>
<<Group>>
! , #



大規模複雑になるシステムの狙い、設計意図、実現手段、担当組織などを一貫性を持った“図面”として管理し、開発の品質を向上させ、またプロジェクト推進の労力を低減させる。

システムズエンジニアリング、MBSEの実践を支えるエコシステム

インテグ
レーター
アラリア
シス

事業会社様、メーカー様

システム視点の
事業デザイン・実行

システム視点の
意思決定者

システムズエンジニア

システムズエンジニア
リングITエンジニア

トメイン
エンジニア
トメイン
エンジニア
トメイン
エンジニア

サプライヤ
サプライヤ
サプライヤ

システムズアプローチ、システムズエン
지니어リング
プロフェッショナル・サービス

システム記述(システムモデリング)
プロフェッショナル・サービス

システム記述実装(SysMLコーディング)
サービス

システムズエンジニアリングを支援する
IT環境(PLM/PDM)構想・実装サービス

高まるニーズと膨らむ期待に応えるために企業の内側、外側に
広がる様々な“プロ”によるエコシステムの実現が求められる

システムズエンジニアリング、MBSEの実践を支えるエコシステム

エコシステムにおける図研様への期待

- システムズエンジニアの視点から、電気/回路/ハーネスの視点までを自由に往き来したい。そこには、ライフサイクルの整理、コンテキストの理解、それらに基づく論理/機能設計、通信設計、実現手段の設計、各種制約の考慮、各種意思決定、などが必然的に含まれる。
- 成し遂げたいこと、から、電氣的な実現方法までを一気通貫に検討し、思考の柔軟な反復を助け、迅速なエンジニアリング意思決定をすることを支援してほしい。
- “製図”ツールではなく、“エンジニアリング支援”ツールであってほしい。

私たちシステムズエンジニアは、自分たち(組織)の過去の知見、電算機のカモフル活用しながら、現有の開発力を最大化させ、システム開発のWhy、What、Howについて自在に検討し意思決定を行い、大規模・複雑なシステムの実現を成功させたいと考えています。是非お力添えを頂きたいです。

6.まとめ

- システムズエンジニアリング、MBSEの取り組みをスタートし、進めるにあたり、本国内の先駆者達の体験や知見を紹介した。
- システムズエンジニアリング、MBSEは開発そのものの話である為、開発対象物、開発組織、与えられたリソース(時間、予算、人員)などによってその実施の様子が大きく異なる。
- 誰かの単純な真似では効果は期待出来ず、究極的には自分たちで見出していくしかない。
- システムズエンジニア、Model-Basedなシステムズエンジニア、というエンジニア(人)が鍵である。
- その道のりをどの様に戦略的にデザインし、実際に進めていくかが肝要である。

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.
- UNIFORMプロジェクトチーム, H23年度文部科学省事業, PDR資料
- 石橋金徳,「日本国内の開発現場におけるシステムズエンジニアリング/MBSEへの取り組みから得られた知見」, 2016 ACE Japan. <https://youtu.be/cxcNltG9Ync>
- 石橋金徳,「“Model-Basedシステムズエンジニアリング(MBSE)”でこんなことになってしまっていないませんか？—実は多くの人が間違えてしまっているMBSEにおけるシステムモデルの考え方と作り方—」, 2017 ACE Japan. <https://youtu.be/xlB4w-YLnUQ>
- 石橋金徳,「システムズエンジニアリング、MBSEを現場で実践するエンジニアに求められること—日本国内の開発現場でシステムズエンジニアを「見つける」「育てる」活動から見てきたこと—」, 2018 ACE Japan. <https://youtu.be/9z3Kd9Kgl-A>
- 石橋金徳,「日本の開発現場におけるシステムズエンジニアリングおよびMBSEの実際 —日本のシステムズエンジニアたちは今何に立ち向かっているのか？—」, 2019 ACE Japan. <https://youtu.be/JWmw-SP5Hbo>