

**失敗しないMBSEの考え方：  
システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効  
率化・高度化する**

イノベーティブ・デザインLLC

Founder/CEO 石橋金徳

# 石橋 金徳

kane.ishibashi@innovative-design.jp

## イノベティブ・デザイン LLC

Founder/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

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

システム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

# 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。

# 【ご参考】

## 動画「5分でわかるシステムズアプローチ」

「5分でわかるシステムズアプローチ」シリーズ

POST\_2021.1.27 UPDATE\_2021.1.31

システムズエンジニアリングとは？



<https://innovative-design.jp/repository/short-video/>

Model-Basedシステムズエンジニアリング (MBSE)とは？



なぜ様々な開発においてシステムズエンジニアが求められるのか？



なぜModel-Basedシステムズエンジニアリングが必要とされるのか？



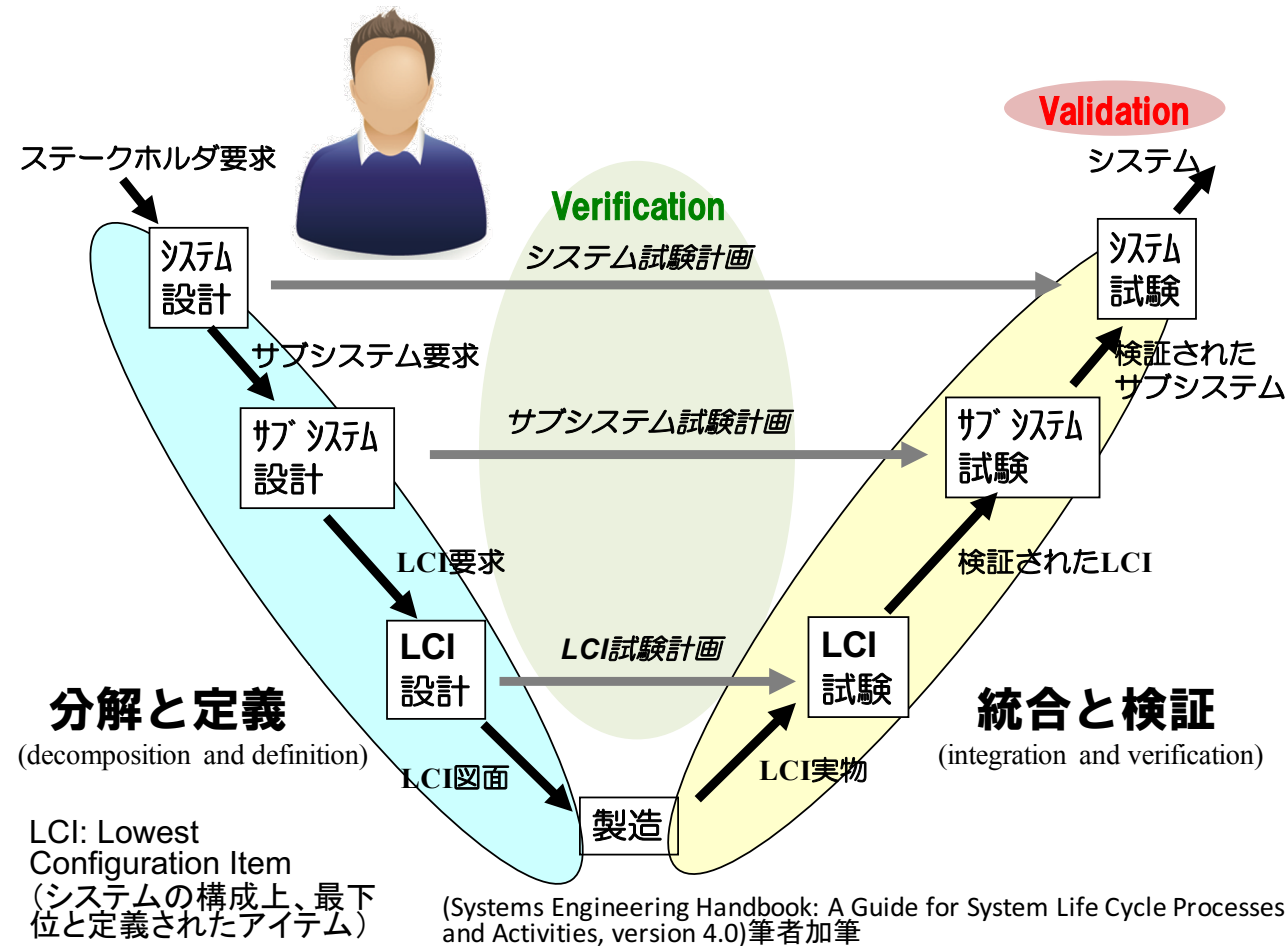
Model-Basedシステムズエンジニアリング (MBSE) に対する誤解



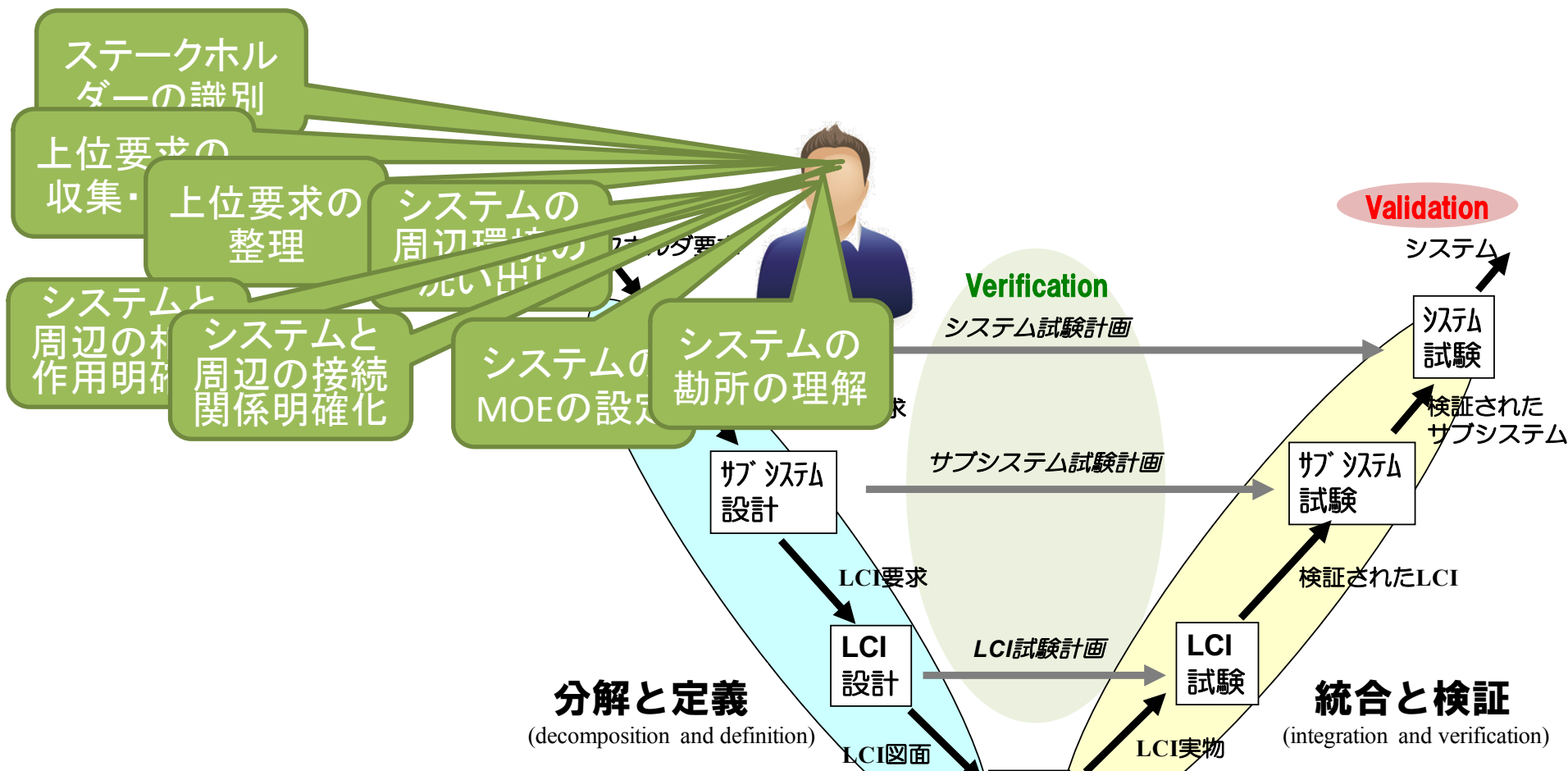
# システムの開発？

- 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、専門家、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。

# システムズエンジニアの仕事のイメージ



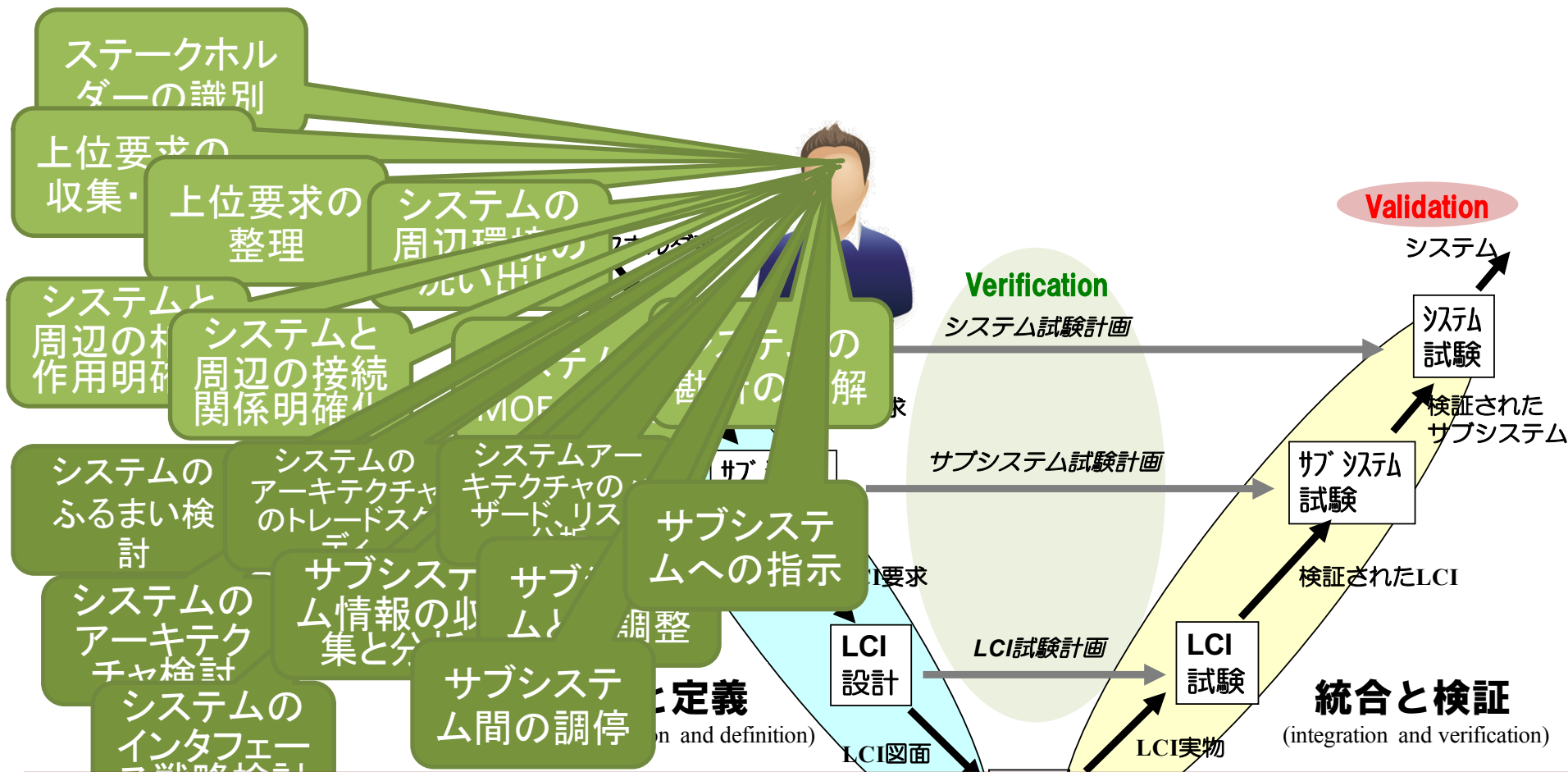
# システムズエンジニアの仕事のイメージ



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。

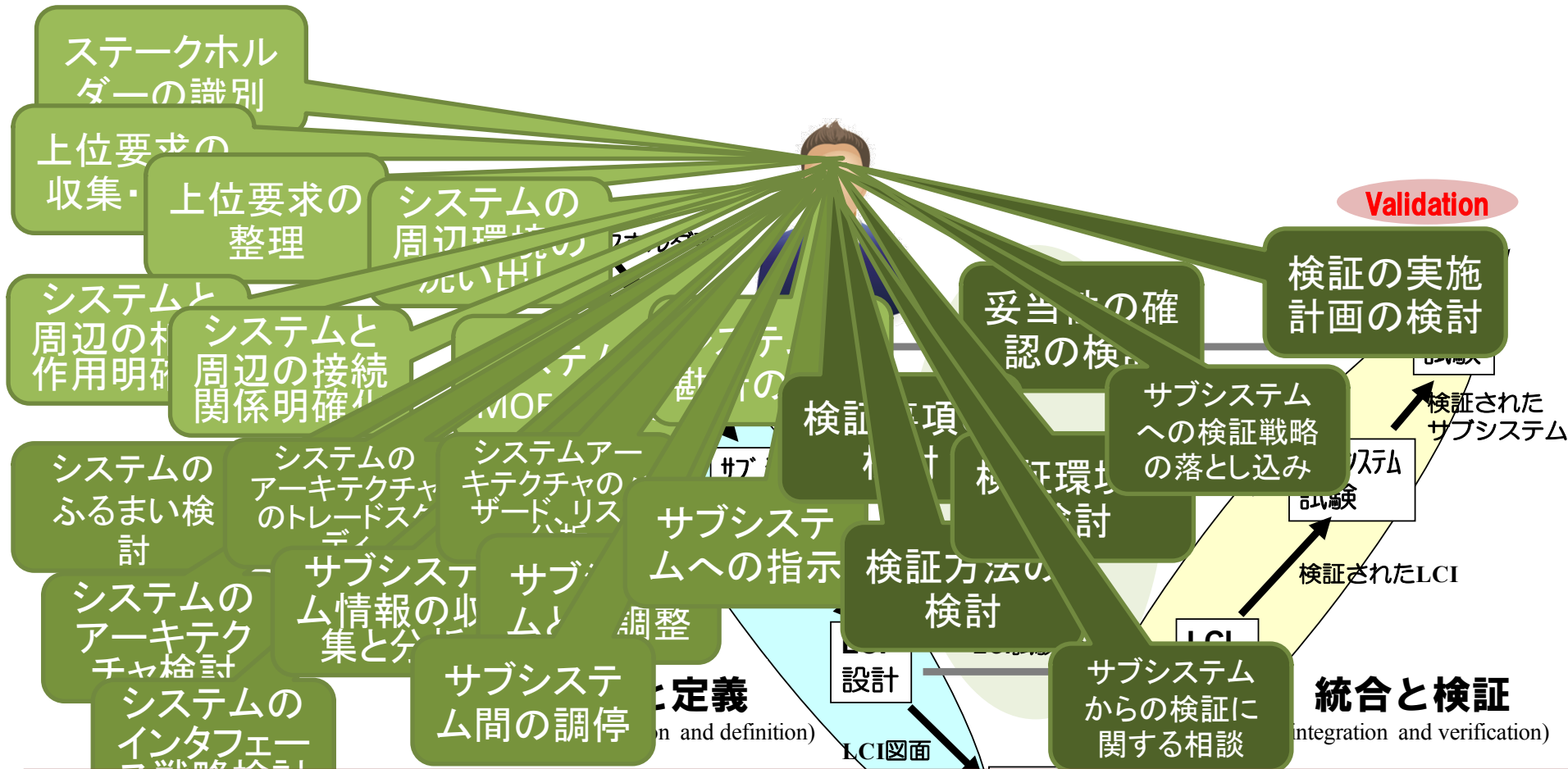


# システムズエンジニアの仕事のイメージ



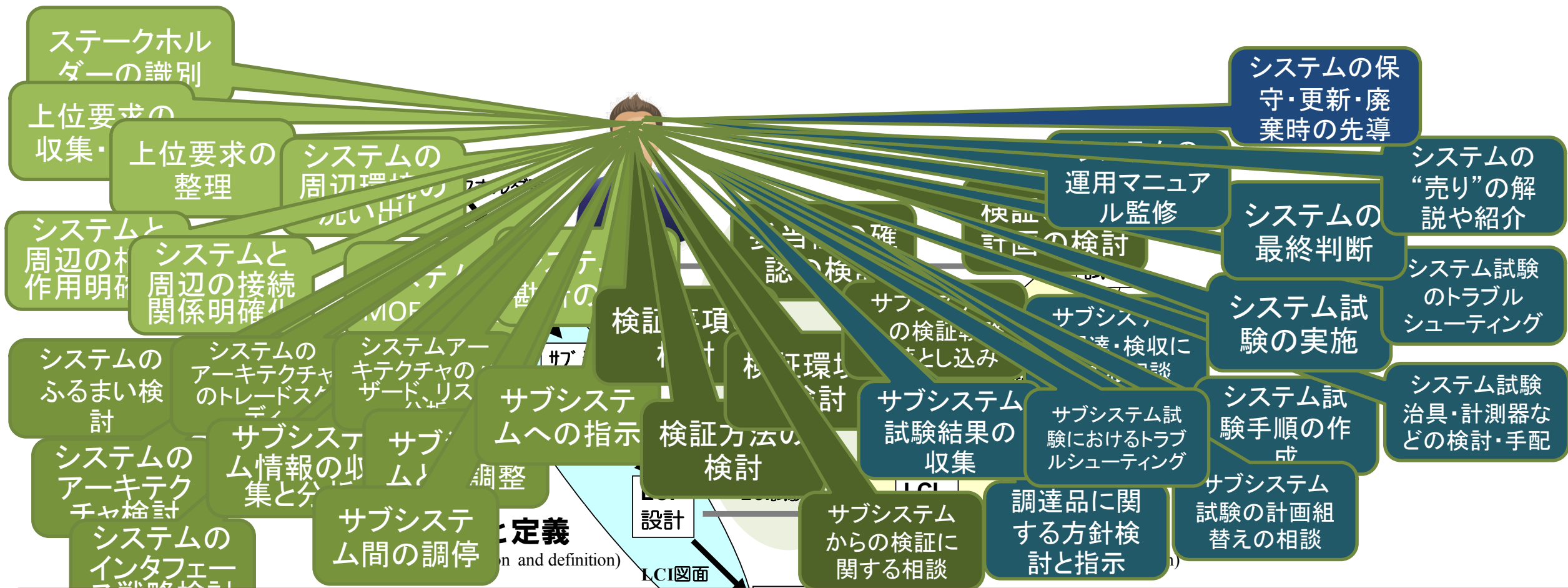
システムズエンジニアは、システムが何の目的で何を果たすのかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、そのためにシステムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現手段を広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスで手を尽くす、開発のキーパーソンである。

# システムズエンジニアの仕事のイメージ



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。

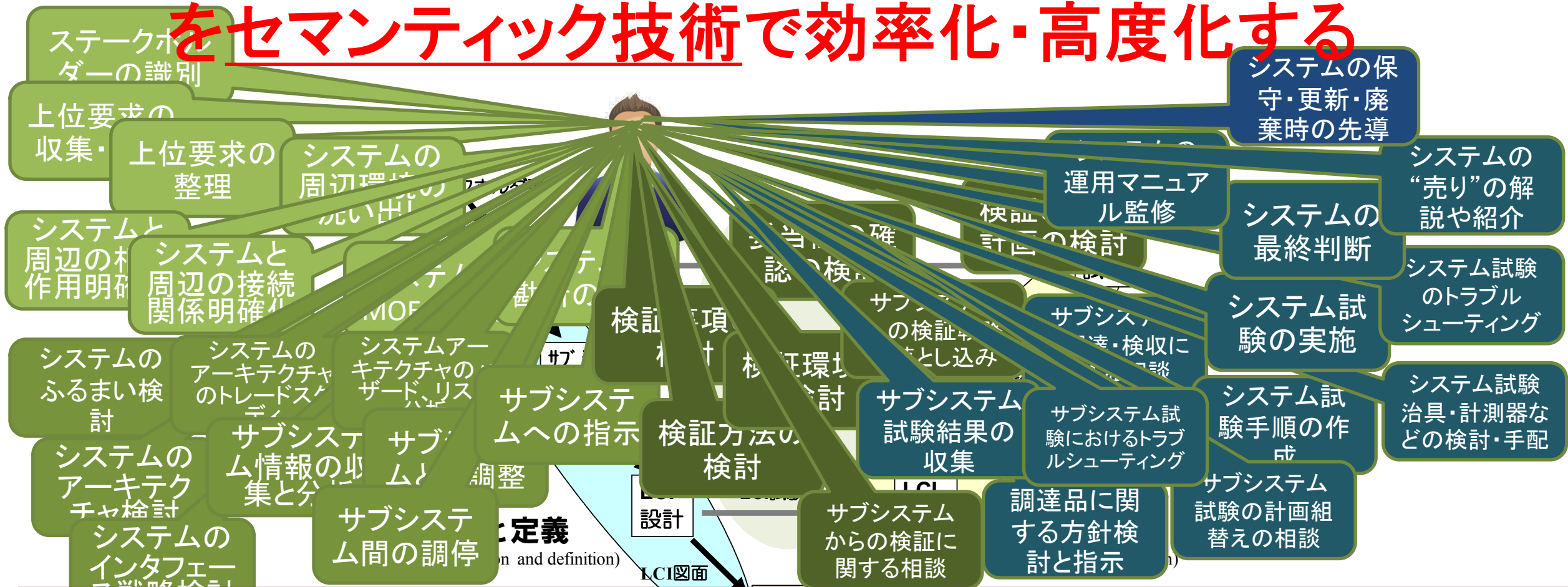
# システムズエンジニアの仕事のイメージ



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。

# システムズエンジニアの仕事のイメージ

## をセマンティック技術で効率化・高度化する



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。

# セマンティック技術

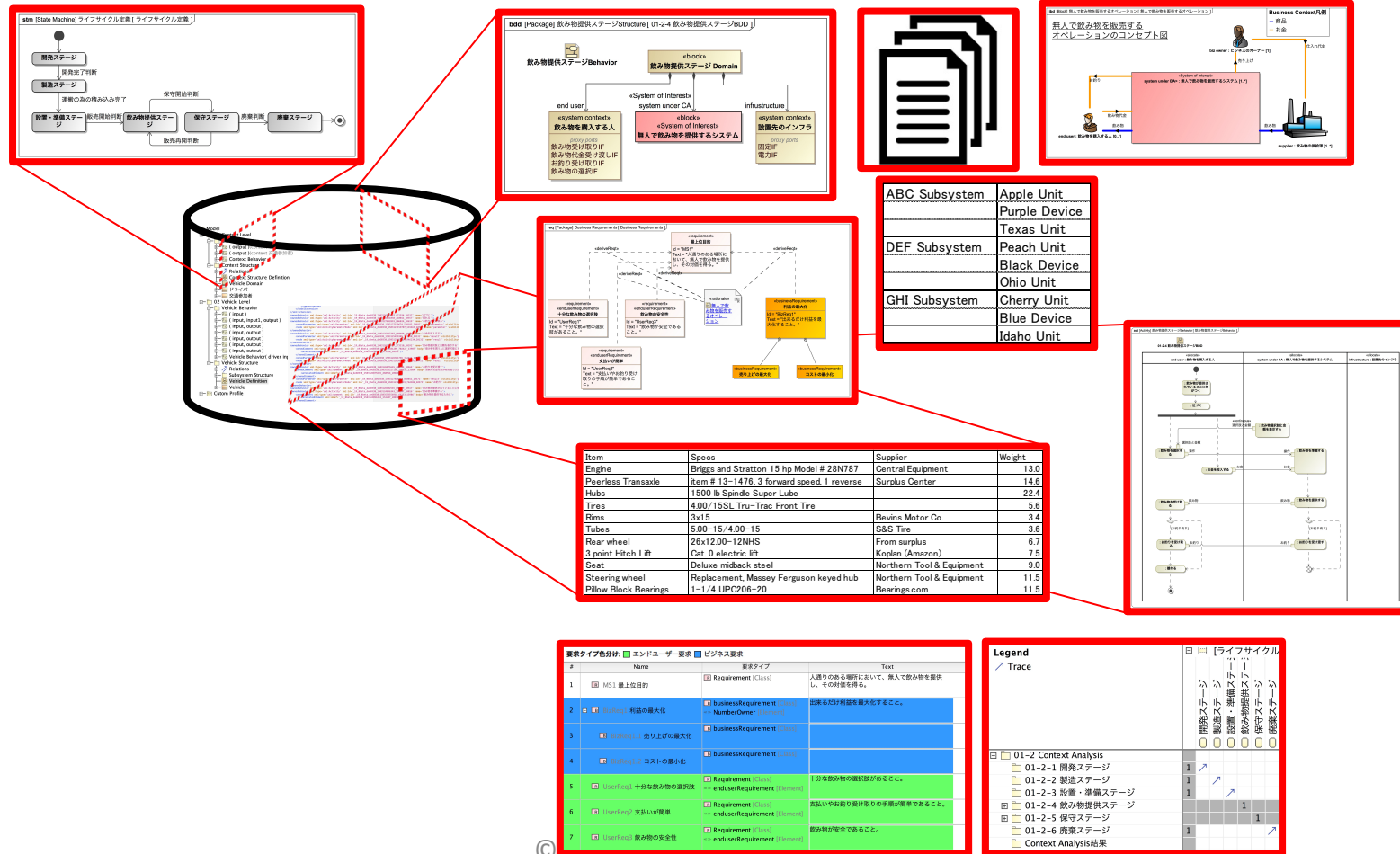
- 情報工学における用語定義:

**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。**

# セマンティック技術

- 情報工学における用語定義:

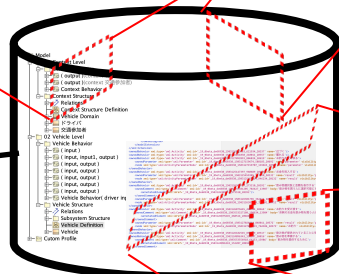
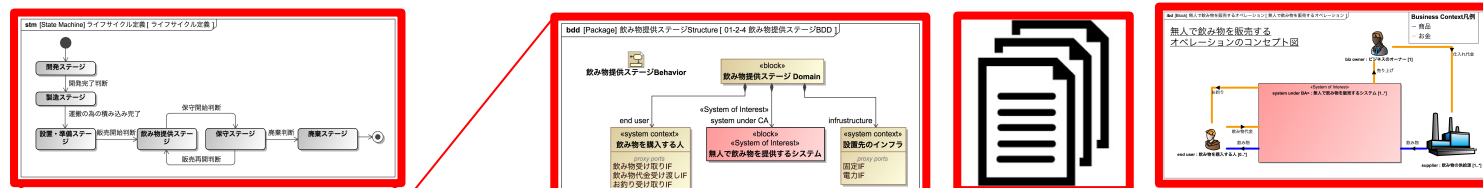
情報の意味を電算機にとって理解できる形で構造化し、電算機に情報収集などの処理を行わせる技術。



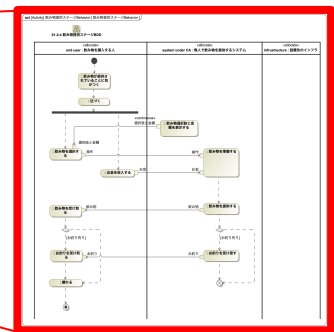
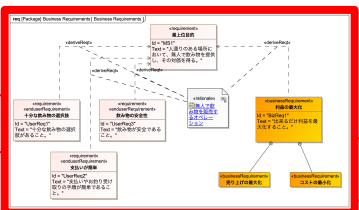
# セマンティック技術

- 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。



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

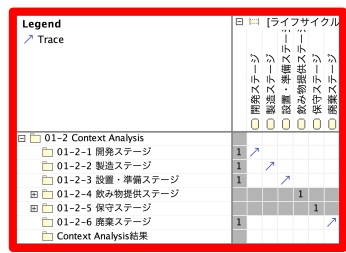


MBSEにおいては...

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

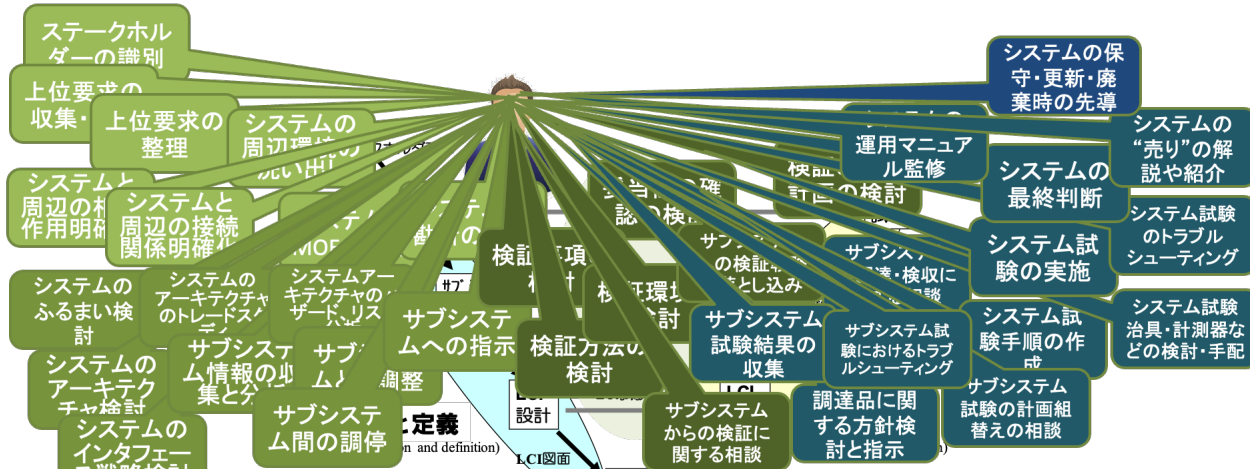
Item	Specs	Supplier	Weight
Engine	Briggs and Stratton 15 hp Model # 28N787	Central Equipment	13.0
Peerless Transaxle	rem # 13-1476, 3 forward speed, 1 reverse	Surplus Center	14.6
Hub	1500 lb Super Super Luber		22.4
Tires	400/15SL Tru-Trac Front Tire		5.6
Rims	3x15	Bevens Motor Co.	3.4
Tubes	500-15/4.00-15	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	Text
1	MS1 最上目的	人通りのある場所において、無人で飲み物を提供し、その対象を得る。
2	利便の最大化	businessRequirement (NumberOwner) 飲用者利用利便を最大化すること。
3	操作性の向上	businessRequirement (MS1) 飲用者利用利便を最大化すること。
4	コストの最小化	businessRequirement (MS1) 飲用者利用利便を最大化すること。
5	十分な飲み物の提供	Requirement (MS1) 十分な飲み物が提供されること。
6	支払いが簡単	Requirement (MS1) 支払いが簡単であること。
7	飲み物の安全性	Requirement (MS1) 飲み物が安全であること。



# つまり...

## システムズエンジニアの仕事



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。

## セマンティック技術

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

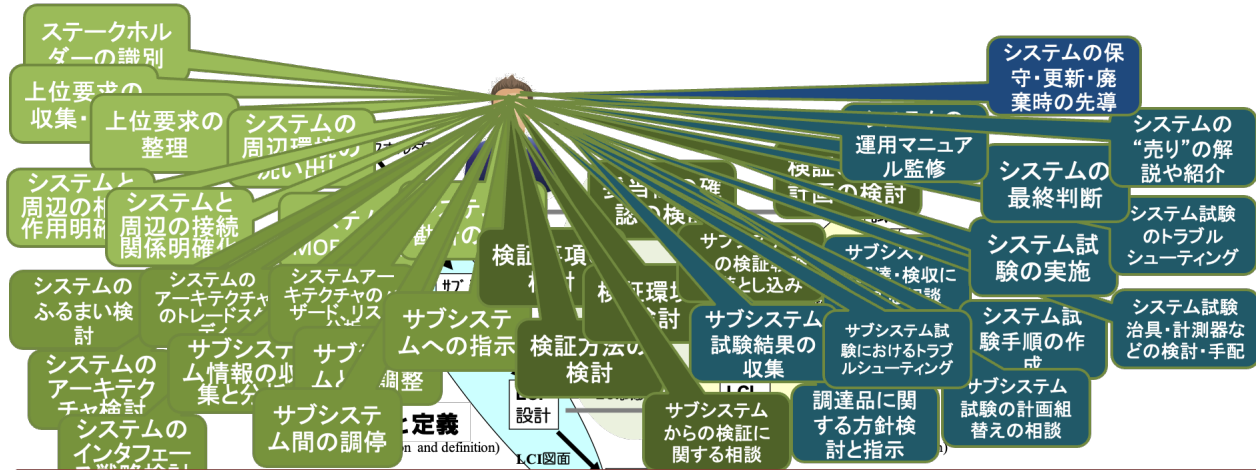


# より効率的なシステムズエンジニアリング より高度なシステムズエンジニアリング



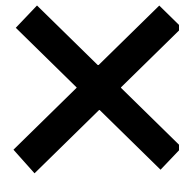
つまり...

## システムズエンジニアの仕事



## セマンティック技術

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



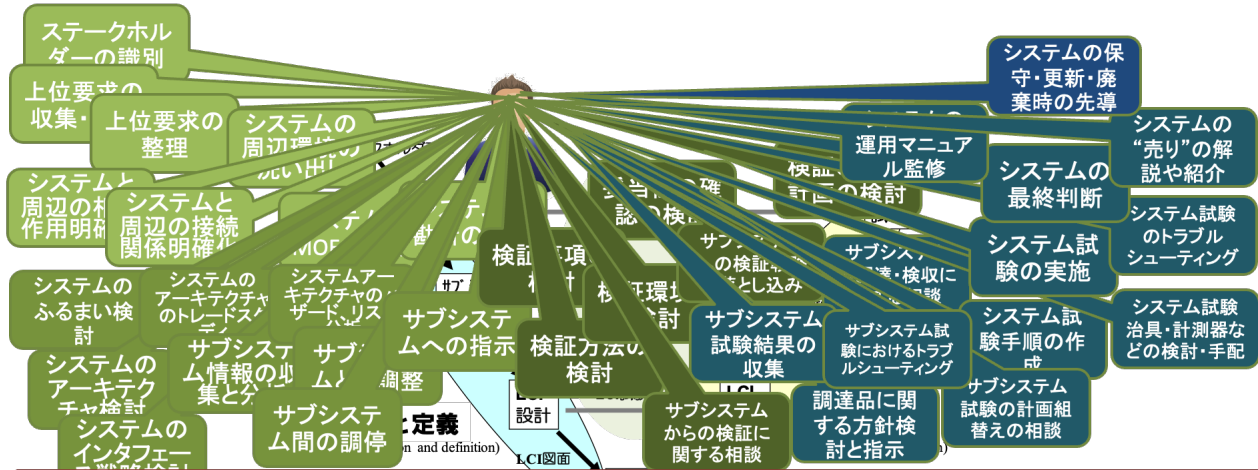
システムズエンジニアは、システムが何の目的で何を果たすのかを明確にし、それがどのような環境や状況下であるのかを丁寧に洗い出し、そのためにシステムに求められる特性・特徴・機能・性能などを明らかにし、その実現手段を広く探索して解を導き、その実現解が確実に実現・実装されるべく考え方とプロセスで手を尽くす、開発のキーパーソンである。

＝ より効率的なシステムズエンジニアリング  
＝ より高度なシステムズエンジニアリング

これが“Model-BasedにSEする”ということである

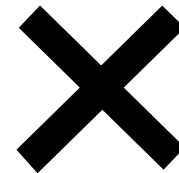
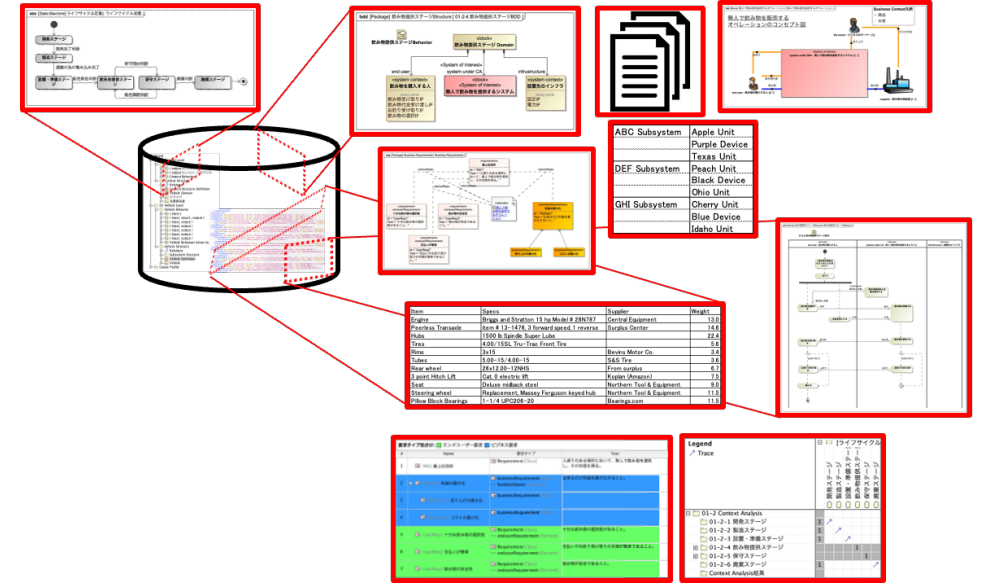
# つまり…

## システムズエンジニアの仕事



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。

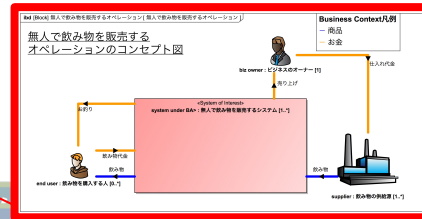
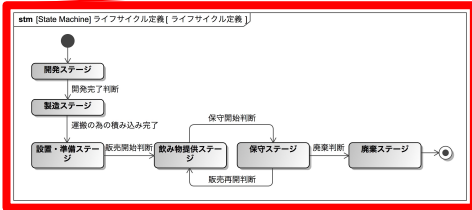
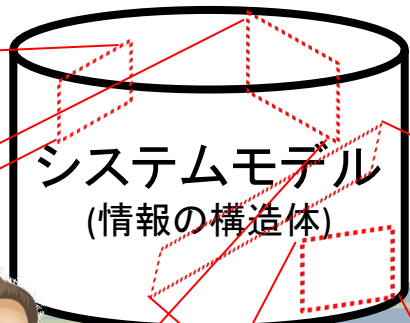
## セマンティック技術



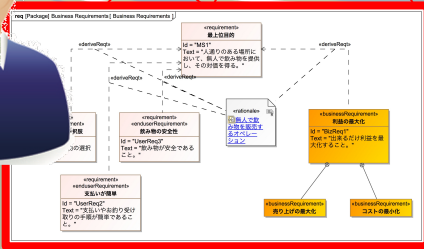
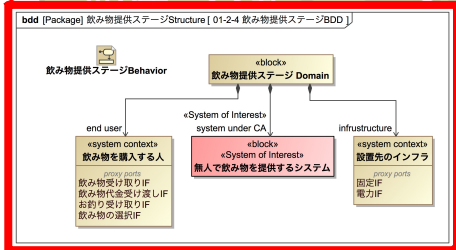
— より効率的なシステムズエンジニアリング  
— より高度なシステムズエンジニアリング

これが“**Model-BasedにSEする**”ということである

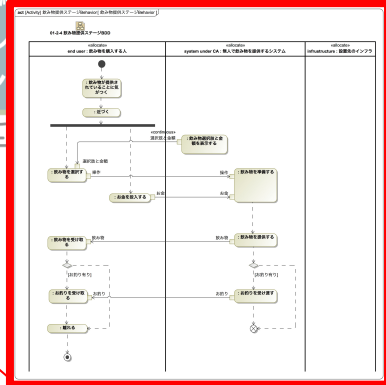
# つまり...



バックホール  
ダーの識別  
上位要求の  
分析



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



インタフェース  
戦略検討

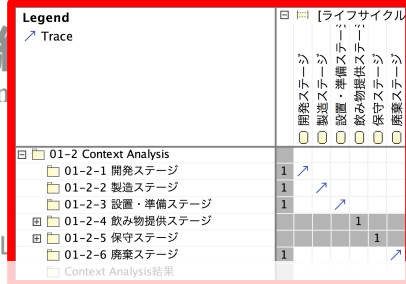
Item	Specs	Supplier	Weight
Engine	Briggs and Stratton 15 hp Model # 28N787	Central Equipment	130.
Peerless Transaxle	Item # 13-1478, 3 forward speed, 1 reverse	Surplus Center	14.8
Hubs	1500 lb Spindle Super Lube	Surplus Center	22.4
Tires	4.00/15SL Tru-Trac Front Tire		5.8
Rims	3x15	Bevins Motor Co.	3.4
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	11.3
Pillow Block Bearings	1-1/4 UPC206-20	Bearings.com	11.3

分解  
(decomposition and definition)

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)

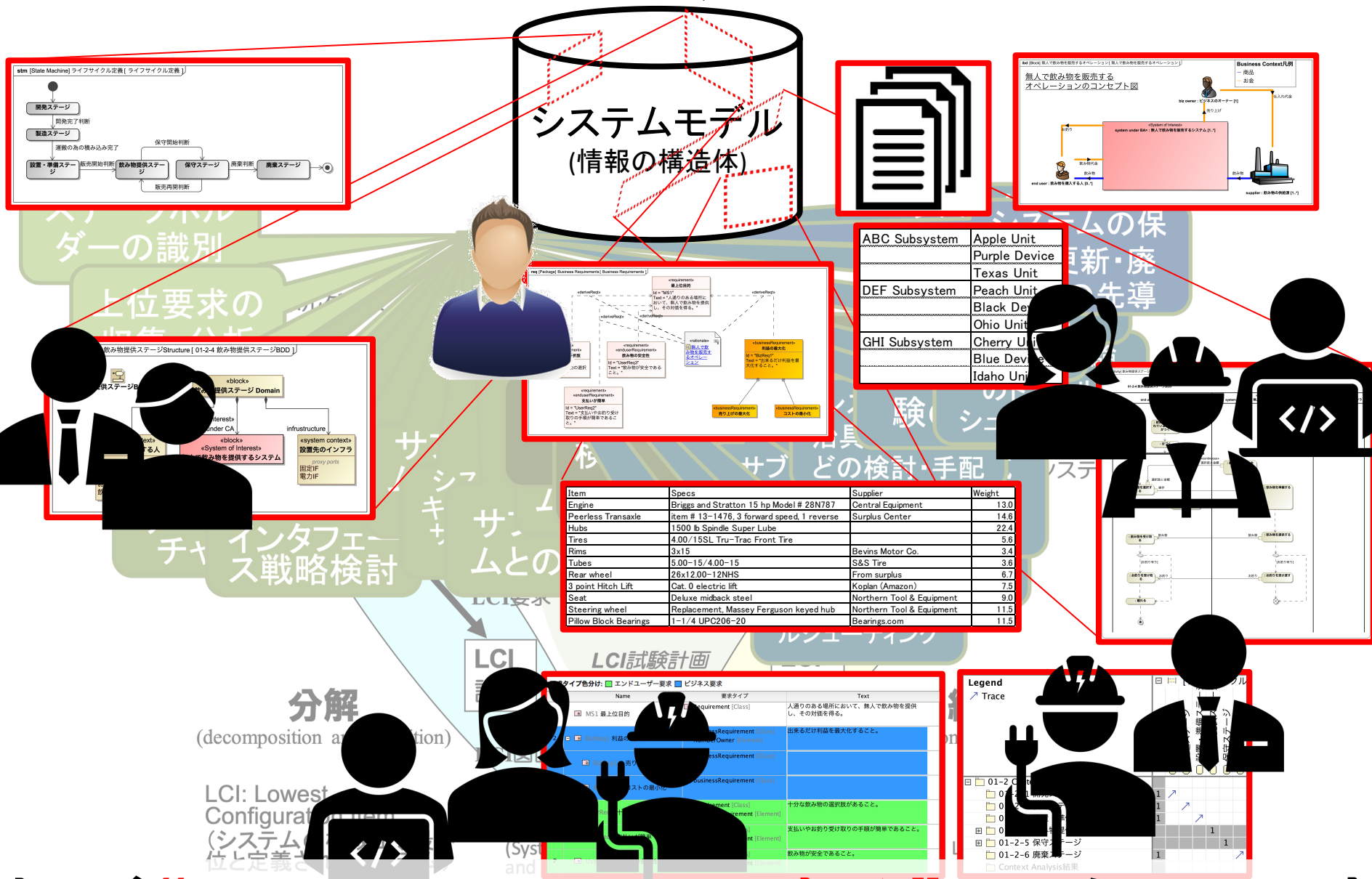
LCI設計

#	Name	要求タイプ	Text
1	MS1 最上位目的	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	利益の最大化	businessRequirement (Class) - NumberOwner (Class)	出来るだけ利益を最大化すること。
3	売上げの最大化	businessRequirement (Class)	
4	コストの最小化	businessRequirement (Class)	
5	十分な飲み物の選択性	Requirement (Class) - enduserRequirement (Class)	十分な飲み物の選択性があること。
6	支払いが簡単	Requirement (Class) - enduserRequirement (Class)	支払いやお釣り受け取りの手順が簡単であること。
		Requirement (Class)	飲み物が安全であること。



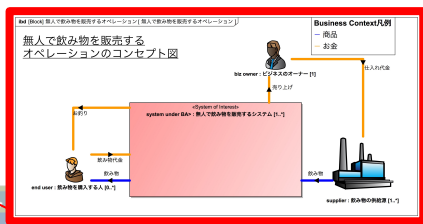
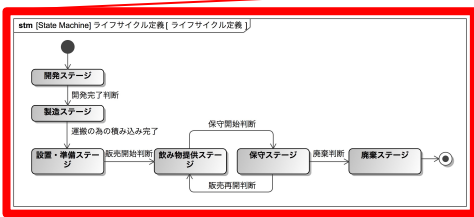
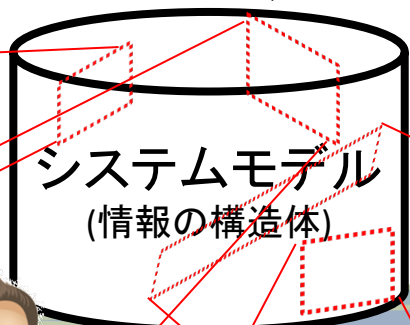
これが“Model-BasedにSEする”ということである

# つまり...



これが“**Model-BasedにSEする**”ということである

# つまり...



Req. Mngt.

DB

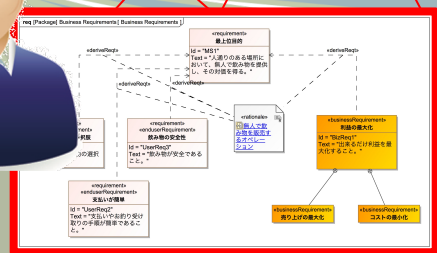
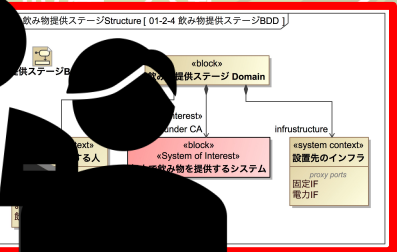
MILS

Simulation

Excel

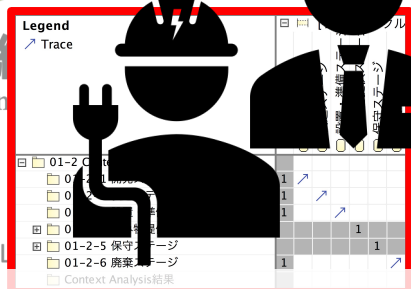
CAE

PowerPoint



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

Item	Specs	Supplier	Weight
Engine	Briggs and Stratton 15 hp Model # 28N787	Central Equipment	130.
Peerless Transaxle	Item # 13-1470, 3 forward speed, 1 reverse	Surplus Center	14.8
Hubs	1500 lb Spindle Super Lube		224.
Tires	4.00/15SL Tru-Trac Front Tire		5.8
Rims	3x15	Bevins Motor Co.	3.4
Tubes	5.00-15/4.00-15	S&S Tire	3.8
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	11.3
Pillow Block Bearings	1-1/4 UPC206-20	Bearings.com	11.3



Excel

PowerPoint

Excel

Excel

HILS

Excel

Excel

Excel

これが“Model-BasedにSEする”ということである

システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

情報を意味を持った

構造にする

*Describe*

システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

意味を辿って、任意の情報を

抽出する

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

意思決定や判断できる様に

表す

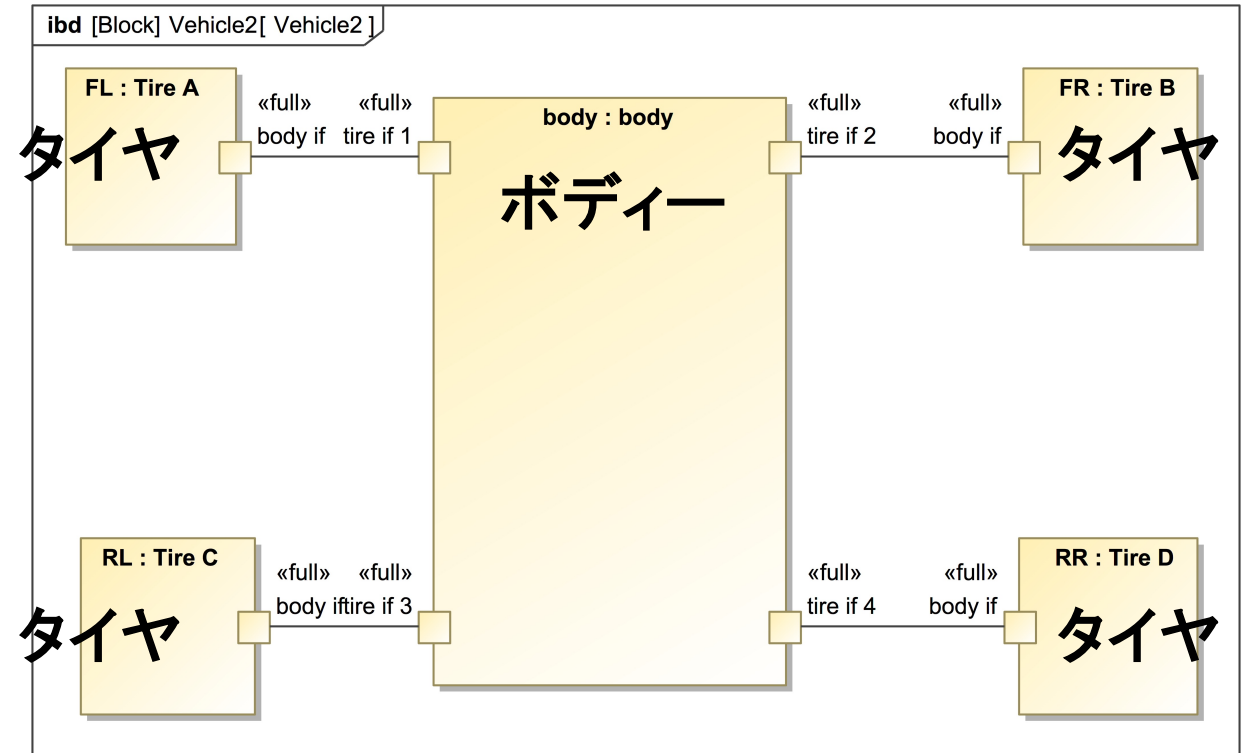
*Represent*

分析、確認、意思伝達なども含む。Human readable(人間が読み取れる)表現だけでなく、Machine readable(解析ツールなどが読み取れる)表現も。

# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

情報を意味を持った  
構造にする  
*Describe*

例えば



システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

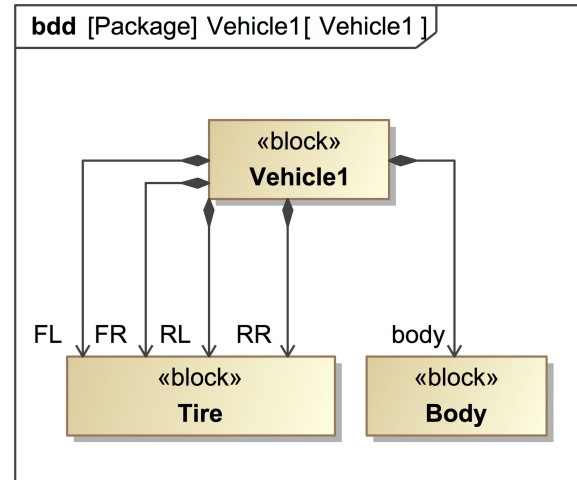
情報を意味を持った

構造にする

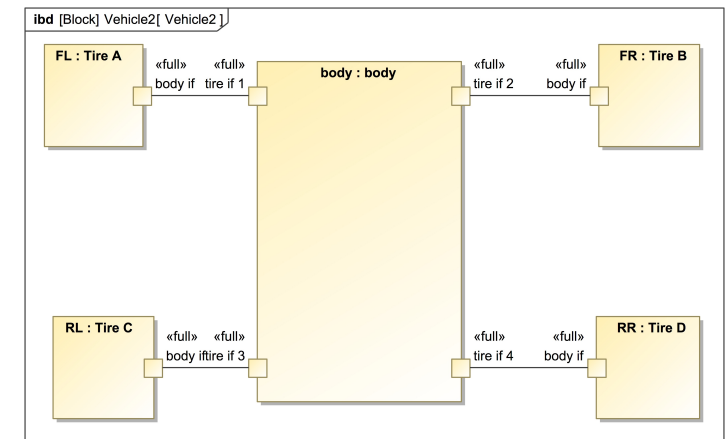
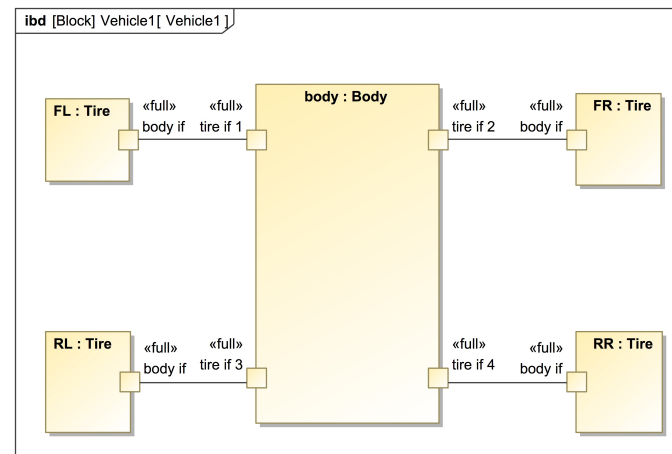
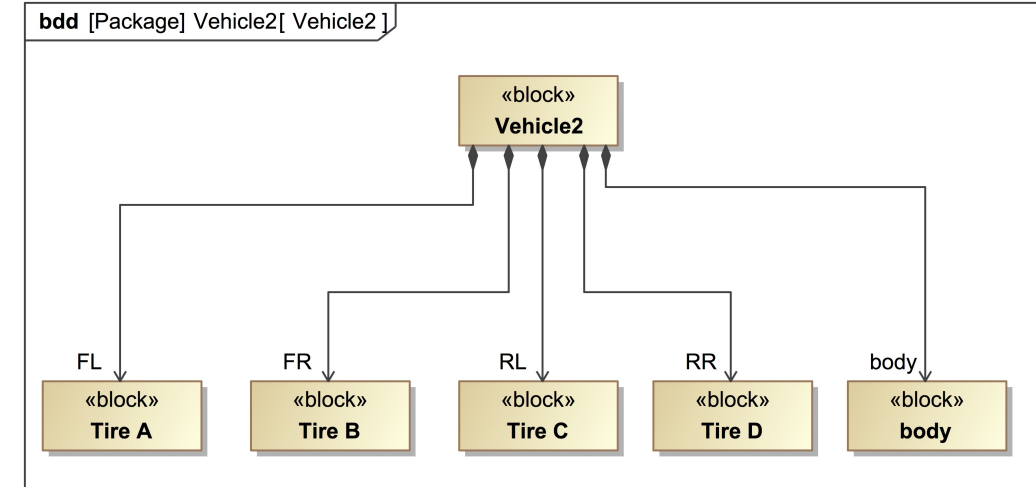
*Describe*

システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

## 情報の構造化案①



## 情報の構造化案②





# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

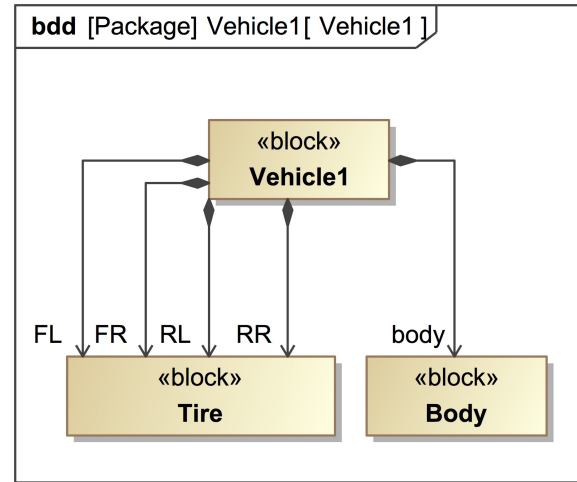
情報を意味を持った

構造にする

*Describe*

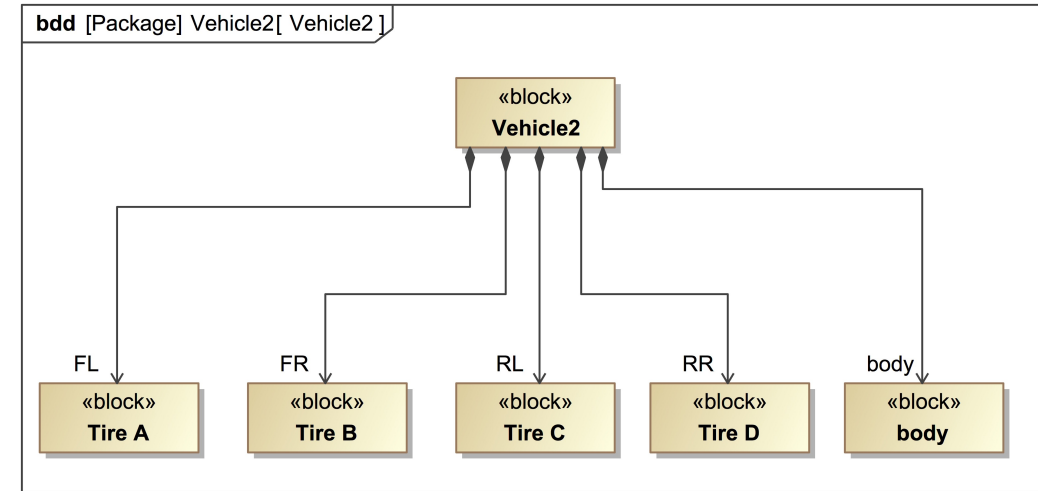
システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

情報の構造化案①



通常の市販車のタイヤ交換をするサービスエンジニアが作ったシステムモデル。  
4つのタイヤは全く同一であり、注意すべきはタイヤの種類。

情報の構造化案②



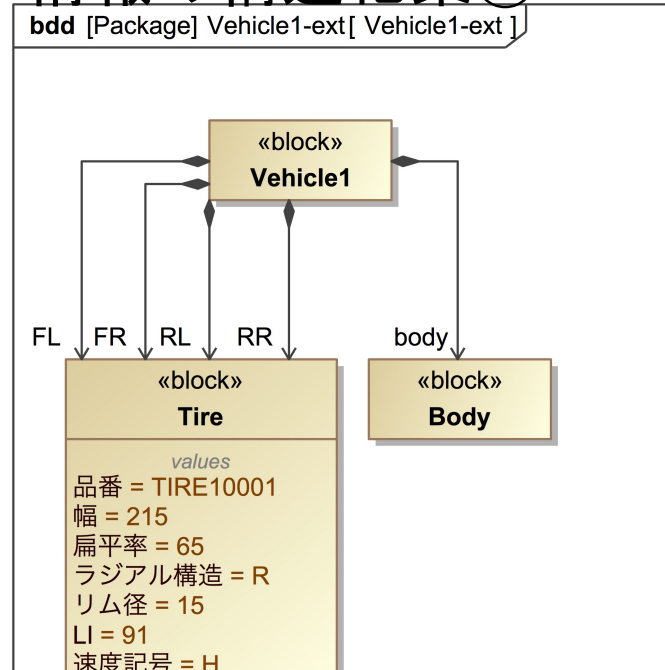
F1車のタイヤ交換をするピットクルーが作ったシステムモデル。  
4つのタイヤは全く別に管理されており、1つずつの特性が重要。

# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

情報を意味を持った  
**構造にする**  
*Describe*

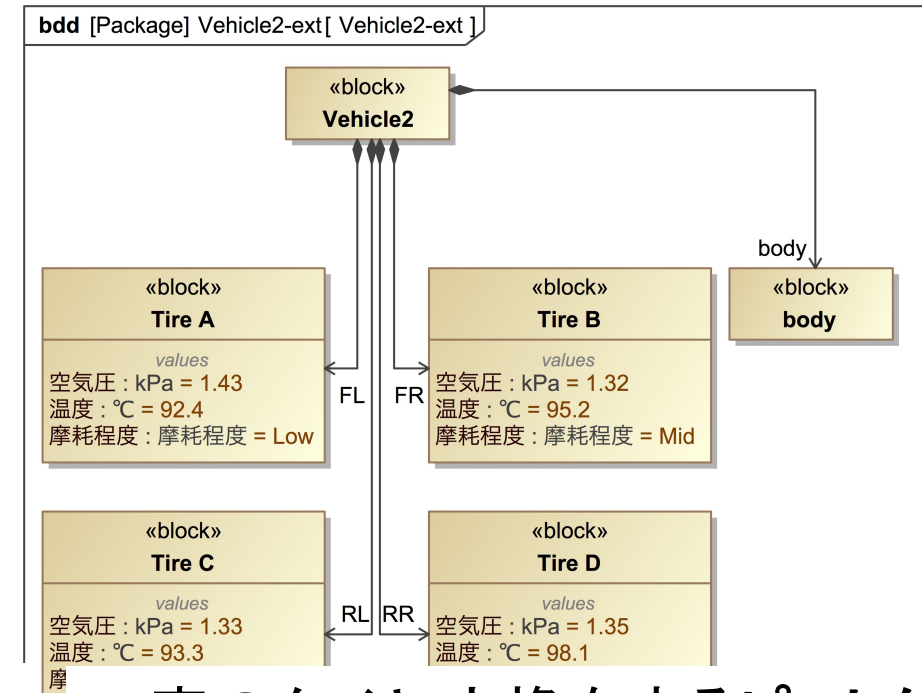
システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

## 情報の構造化案①



通常の市販車のタイヤ交換をするサービスエンジニアが作ったシステムモデル。  
4つのタイヤは全く同一であり、注意すべきはタイヤの種類。

## 情報の構造化案②



F1車のタイヤ交換をするピットクルーが作ったシステムモデル。  
4つのタイヤは全く別に管理されており、1つずつの特性が重要。

システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

意味を辿っ  
て、任意の  
情報を

抽出する

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

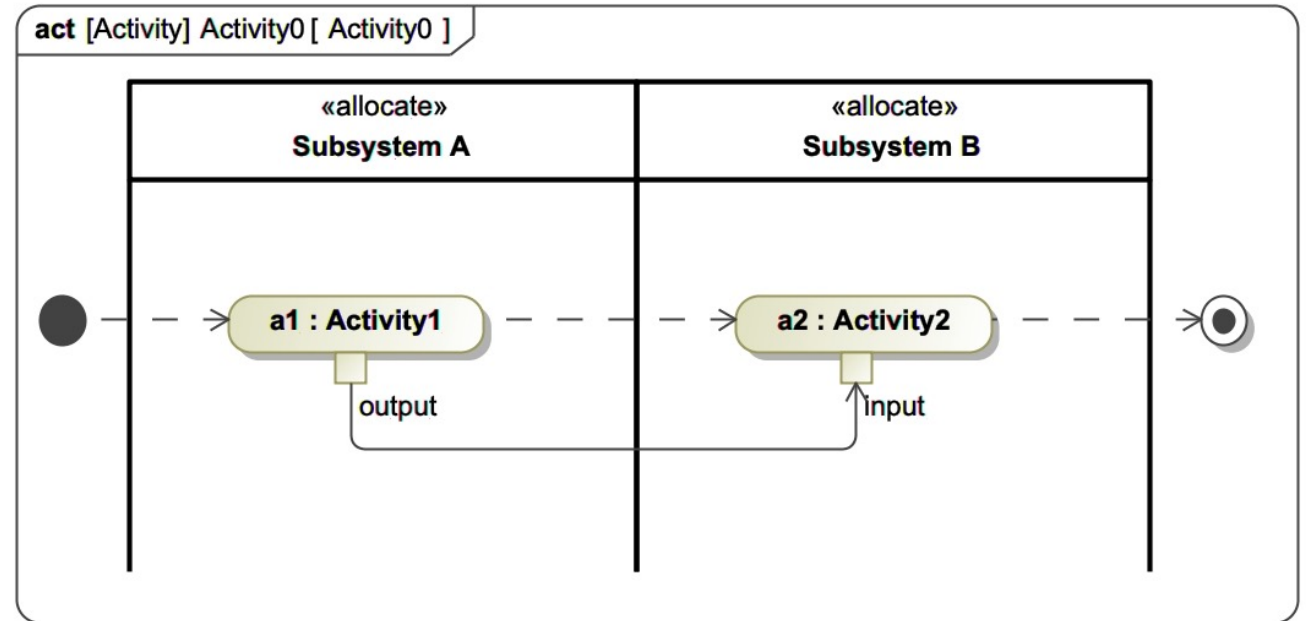
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

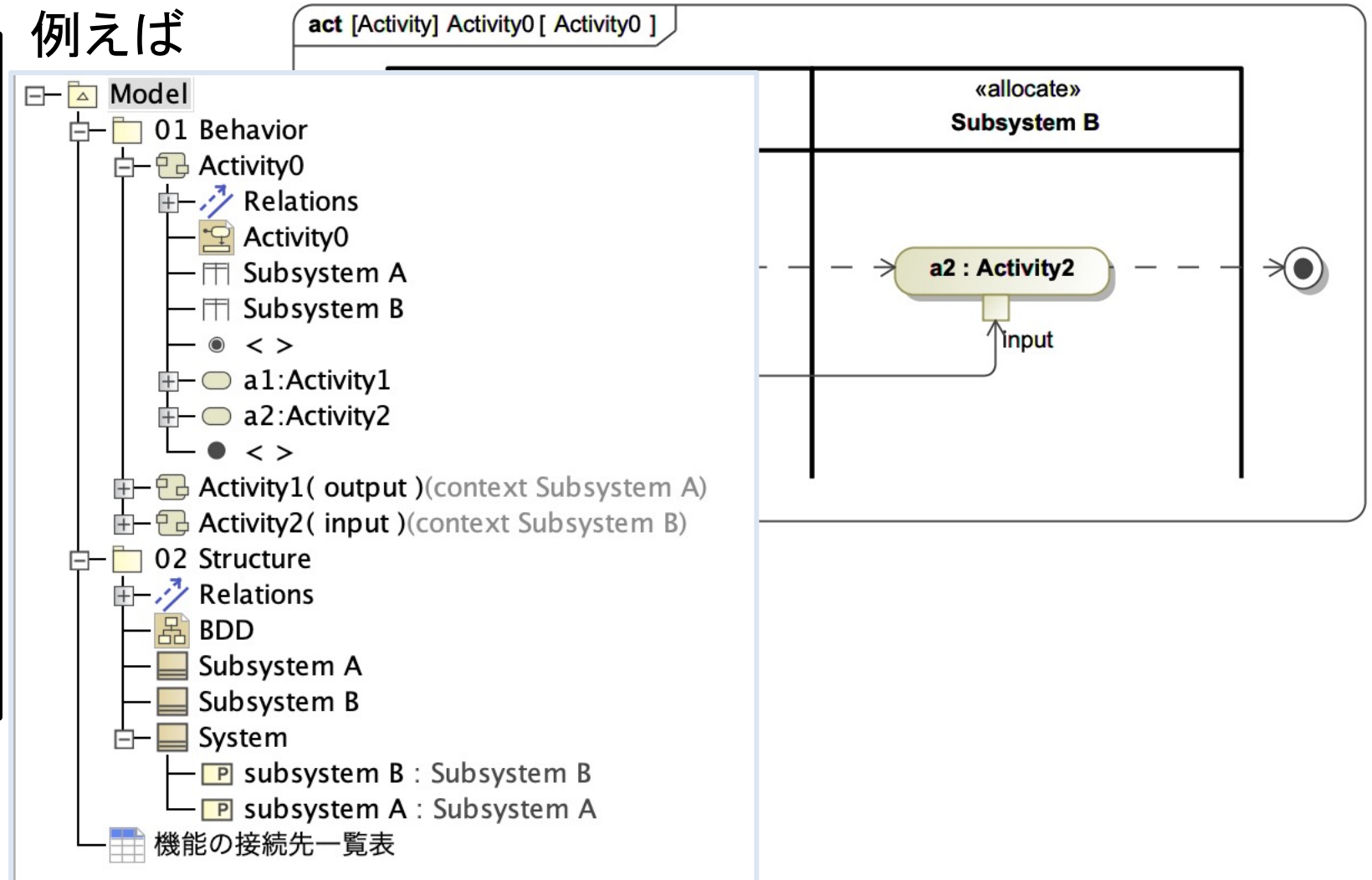
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

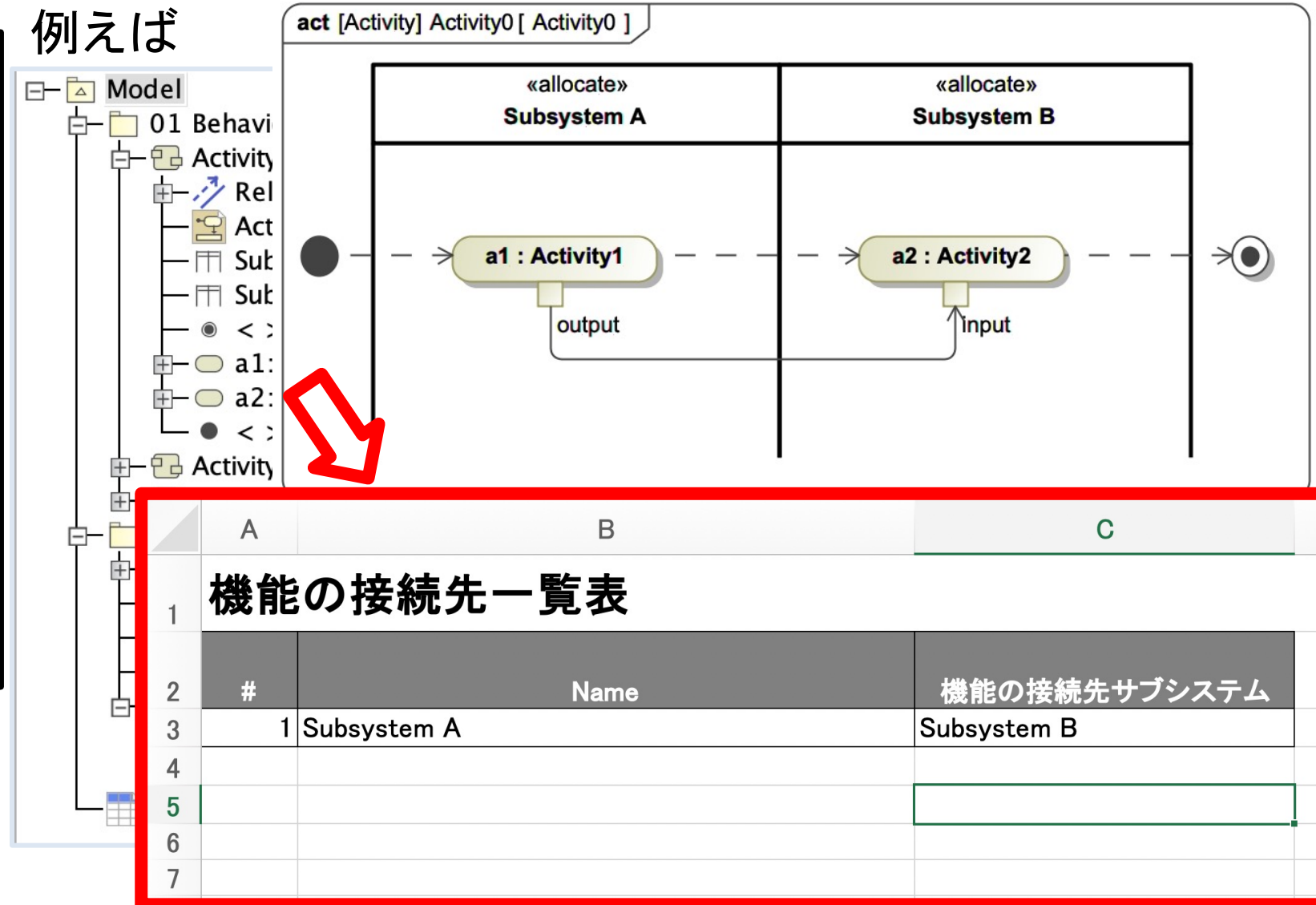
意味を辿って、任意の情報を

抽出する

Query

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

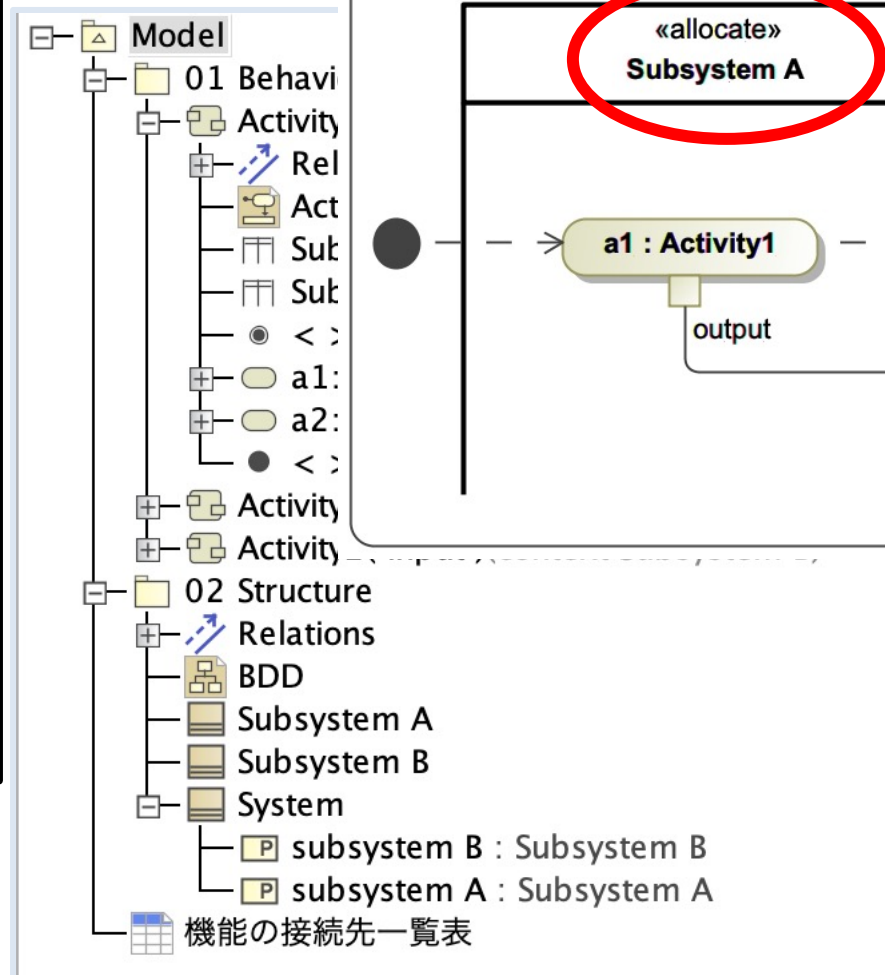
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

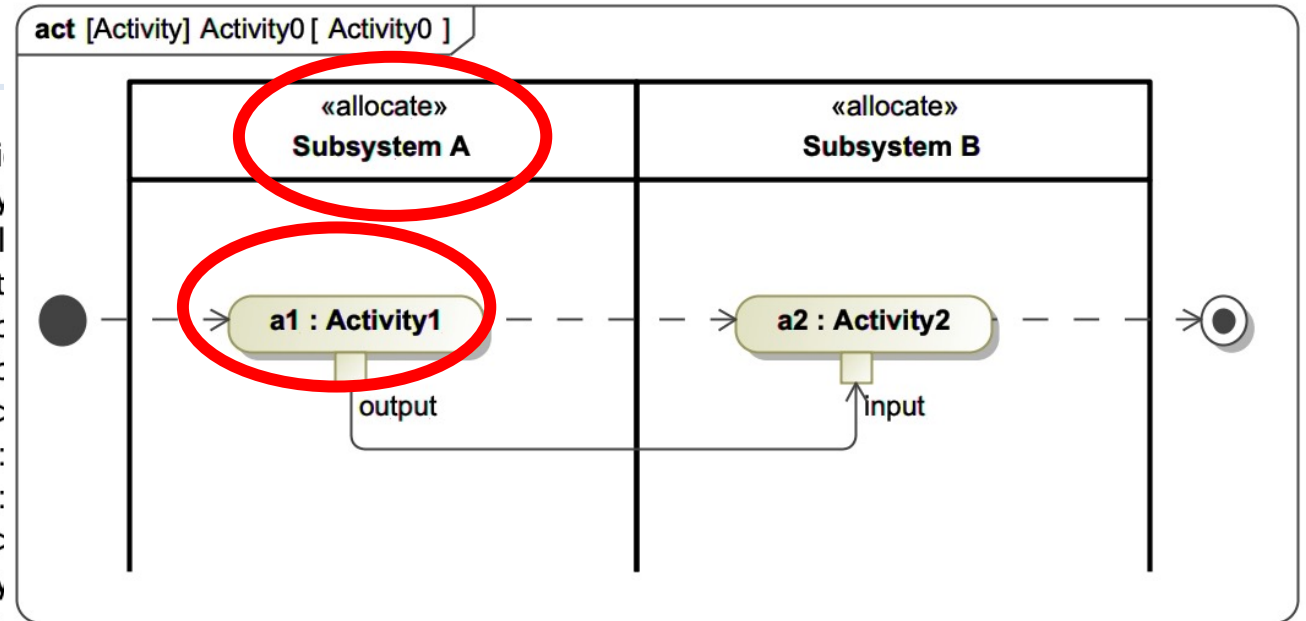
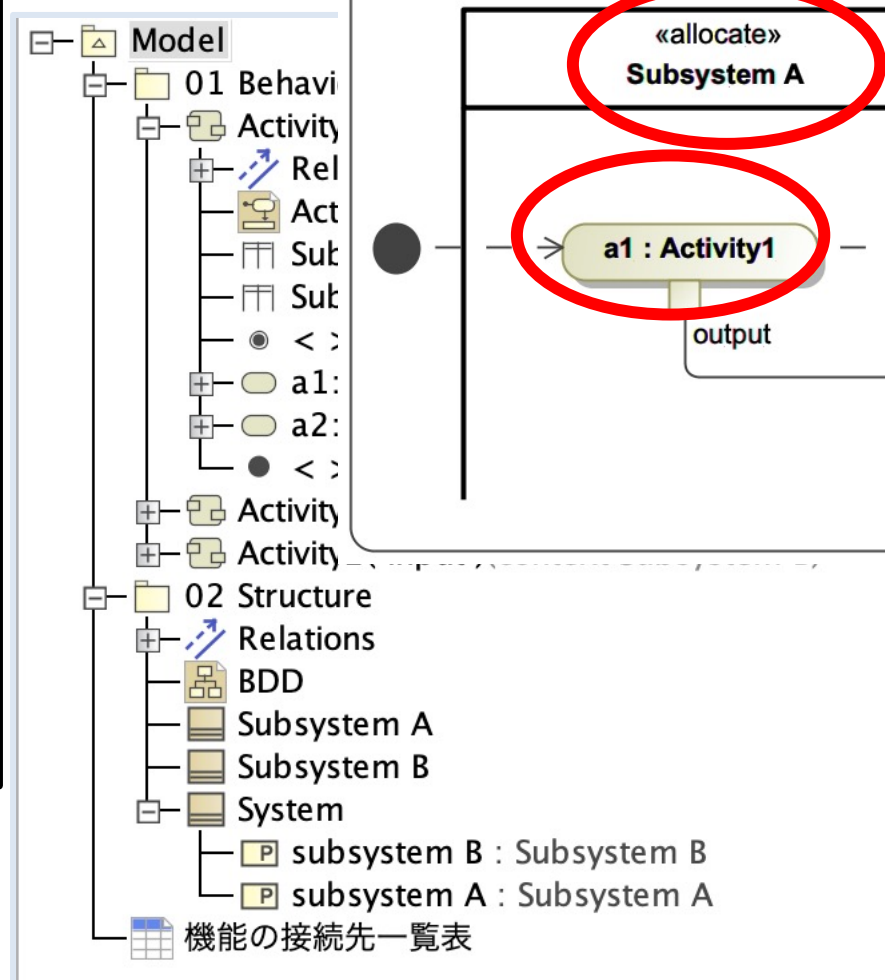
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば





# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

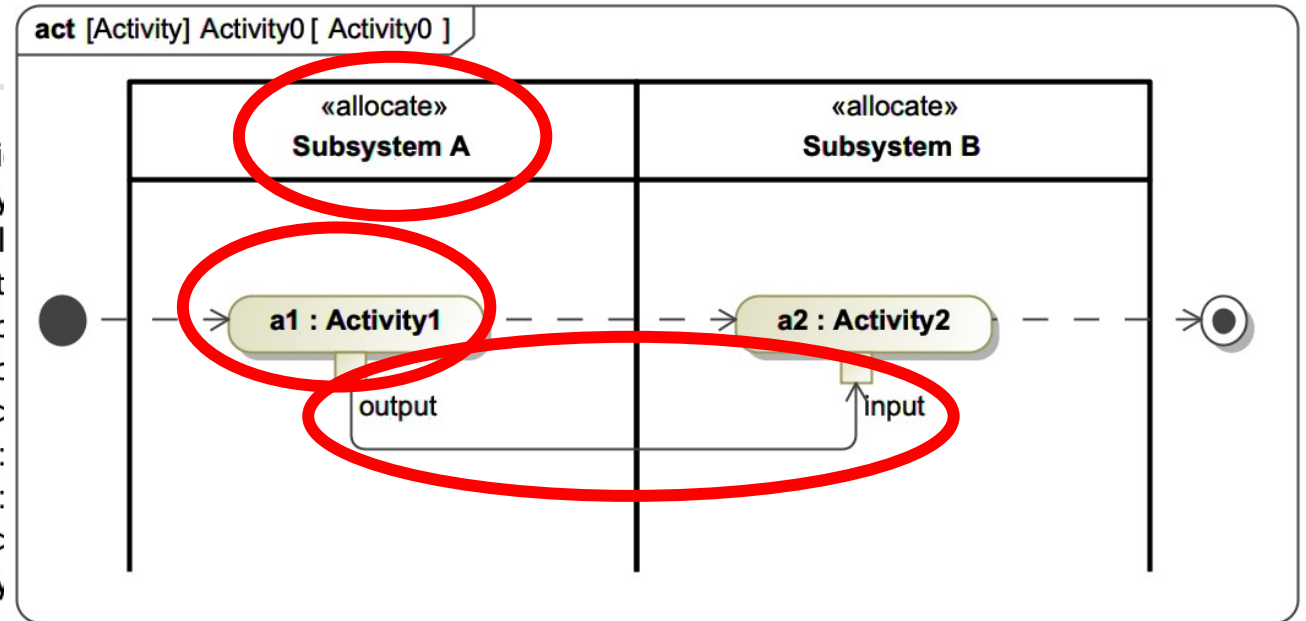
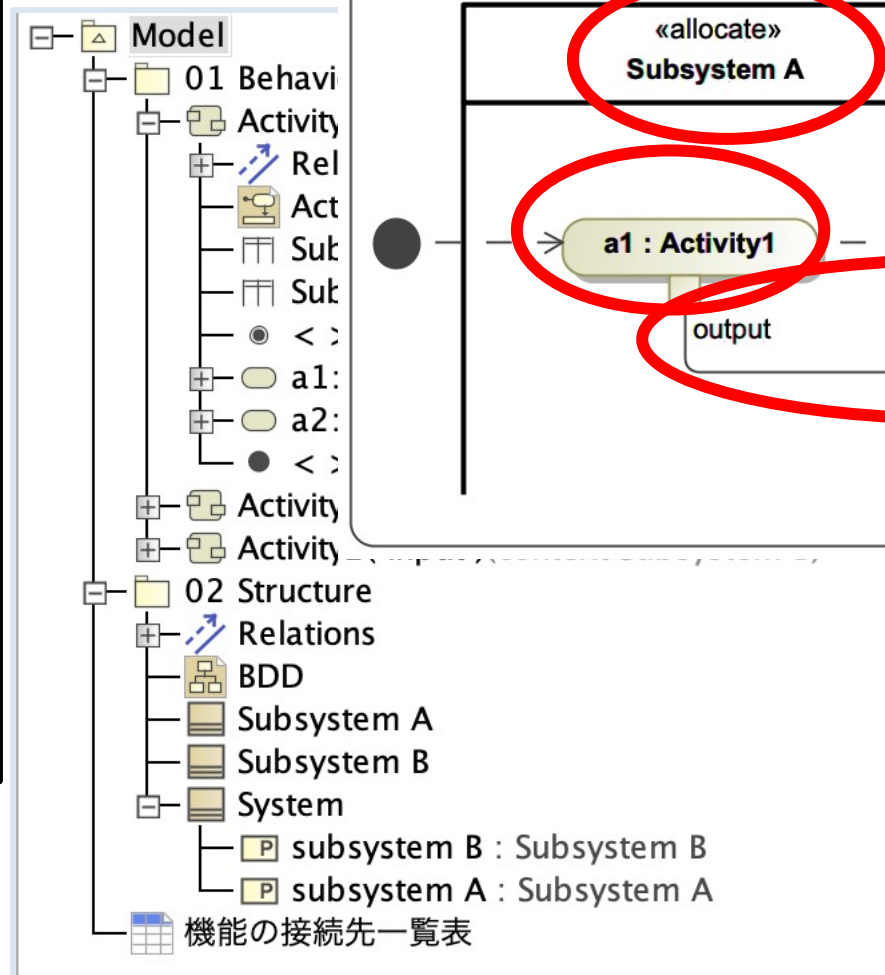
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

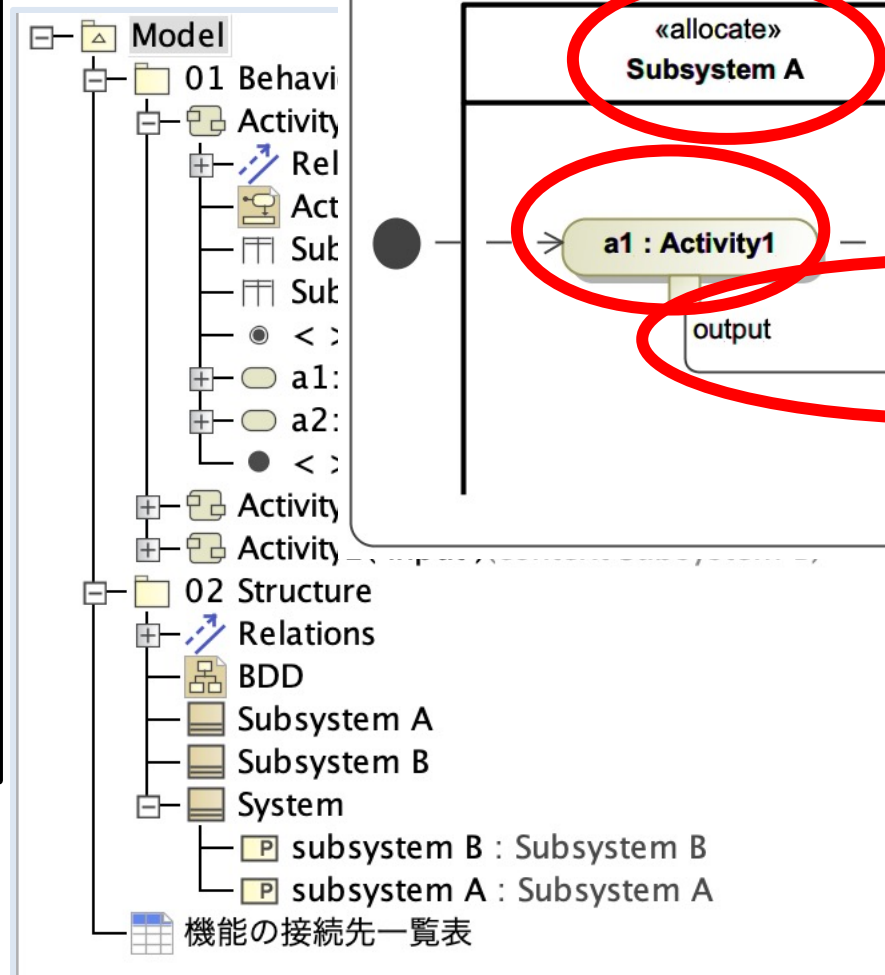
意味を辿って、任意の情報を

**抽出する**

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

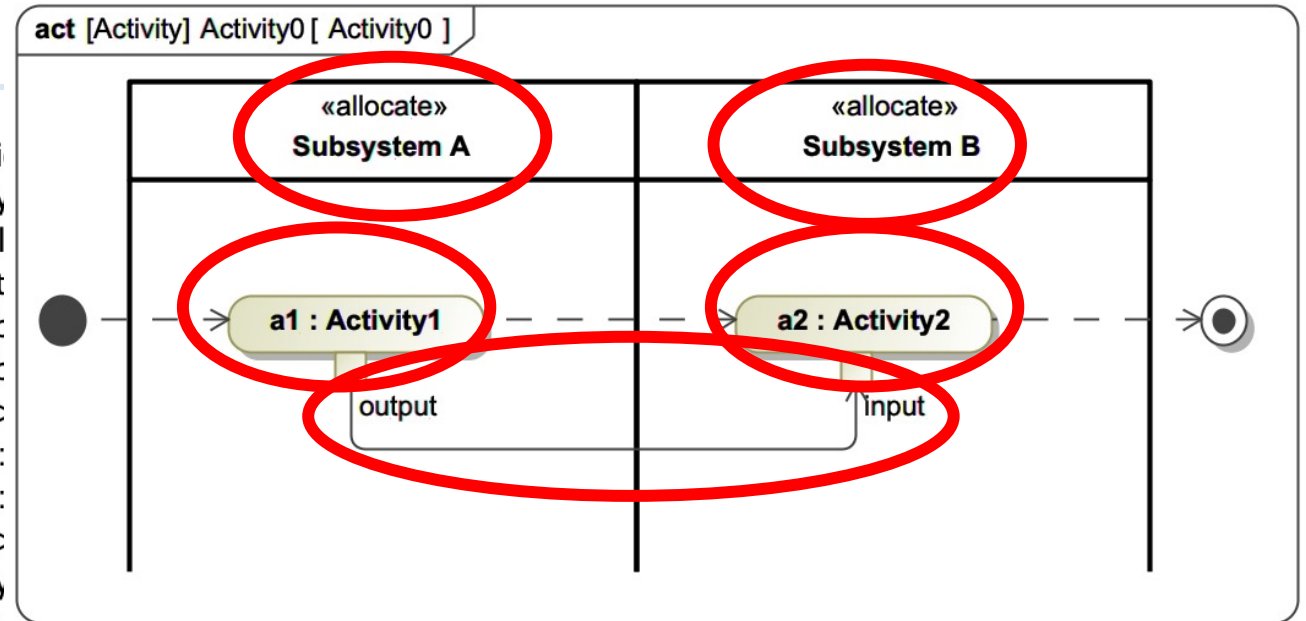
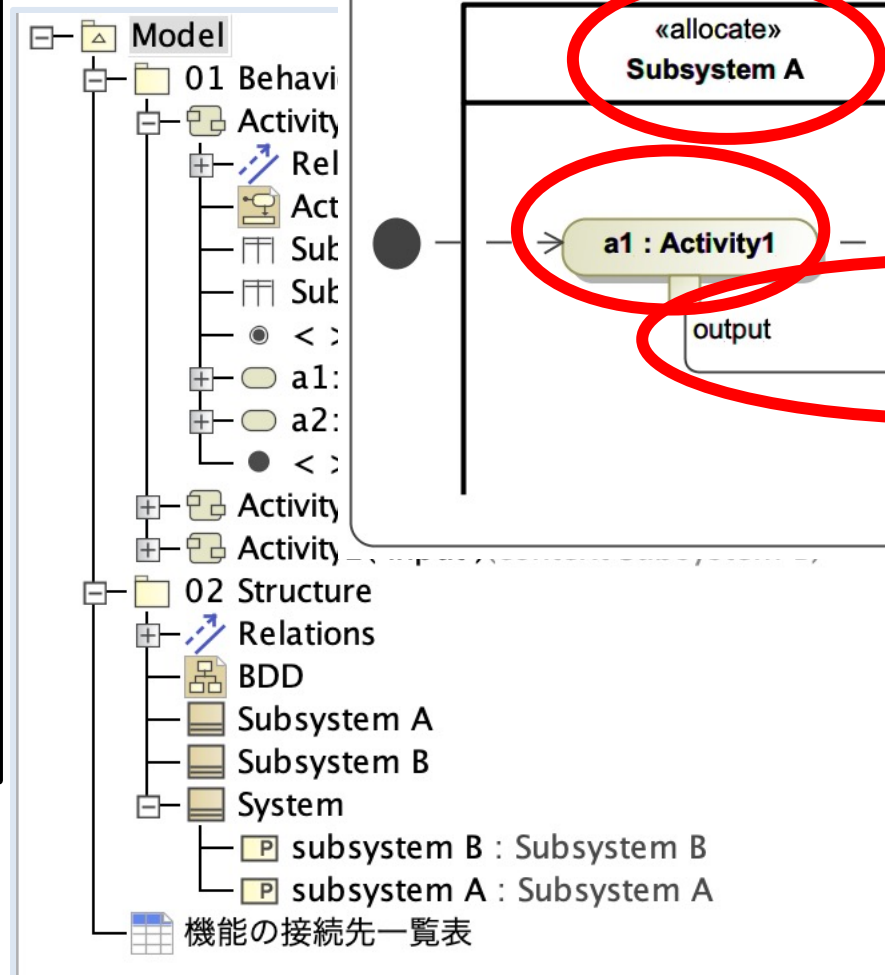
意味を辿って、任意の情報を

抽出する

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

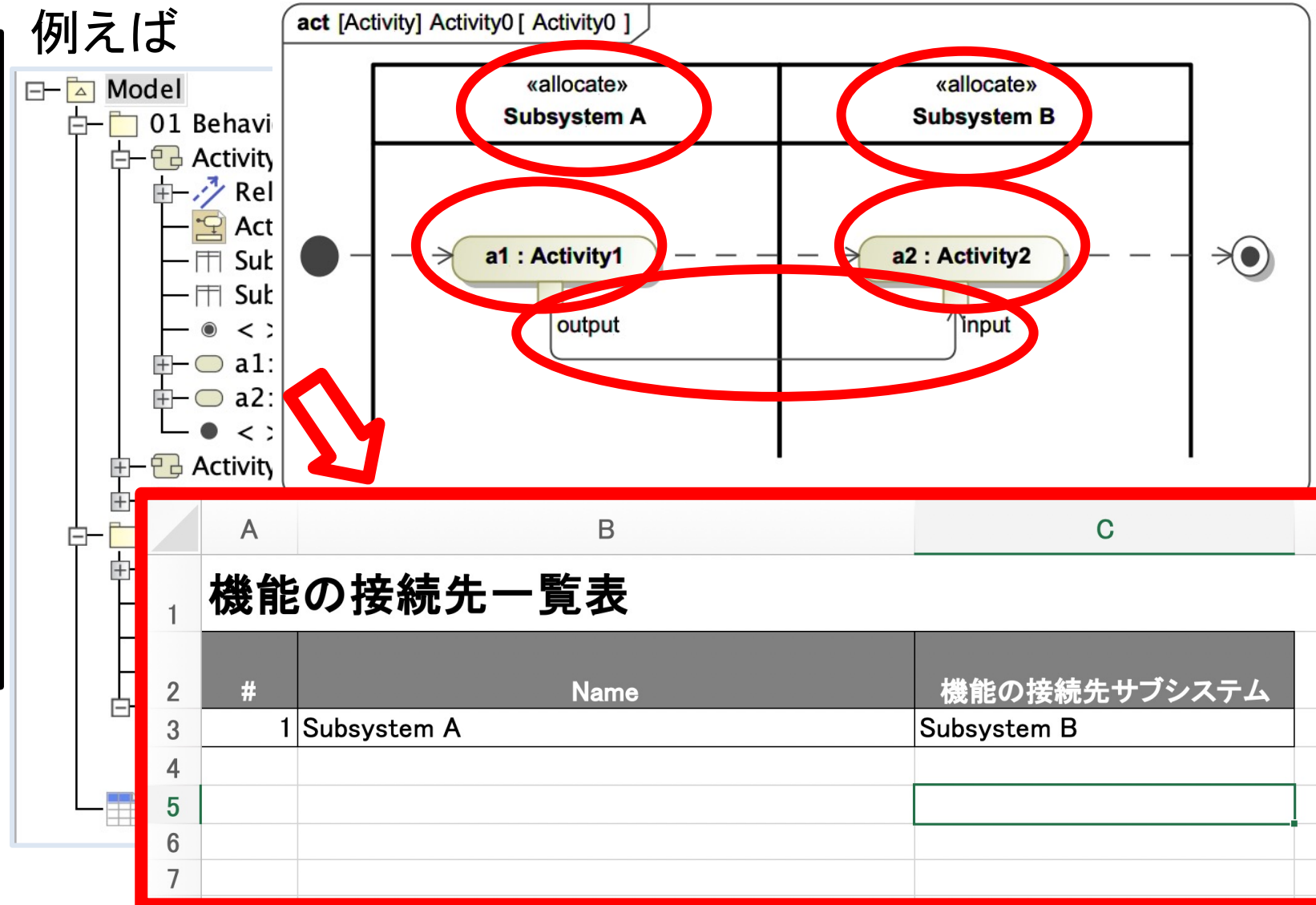
意味を辿って、任意の情報を

抽出する

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

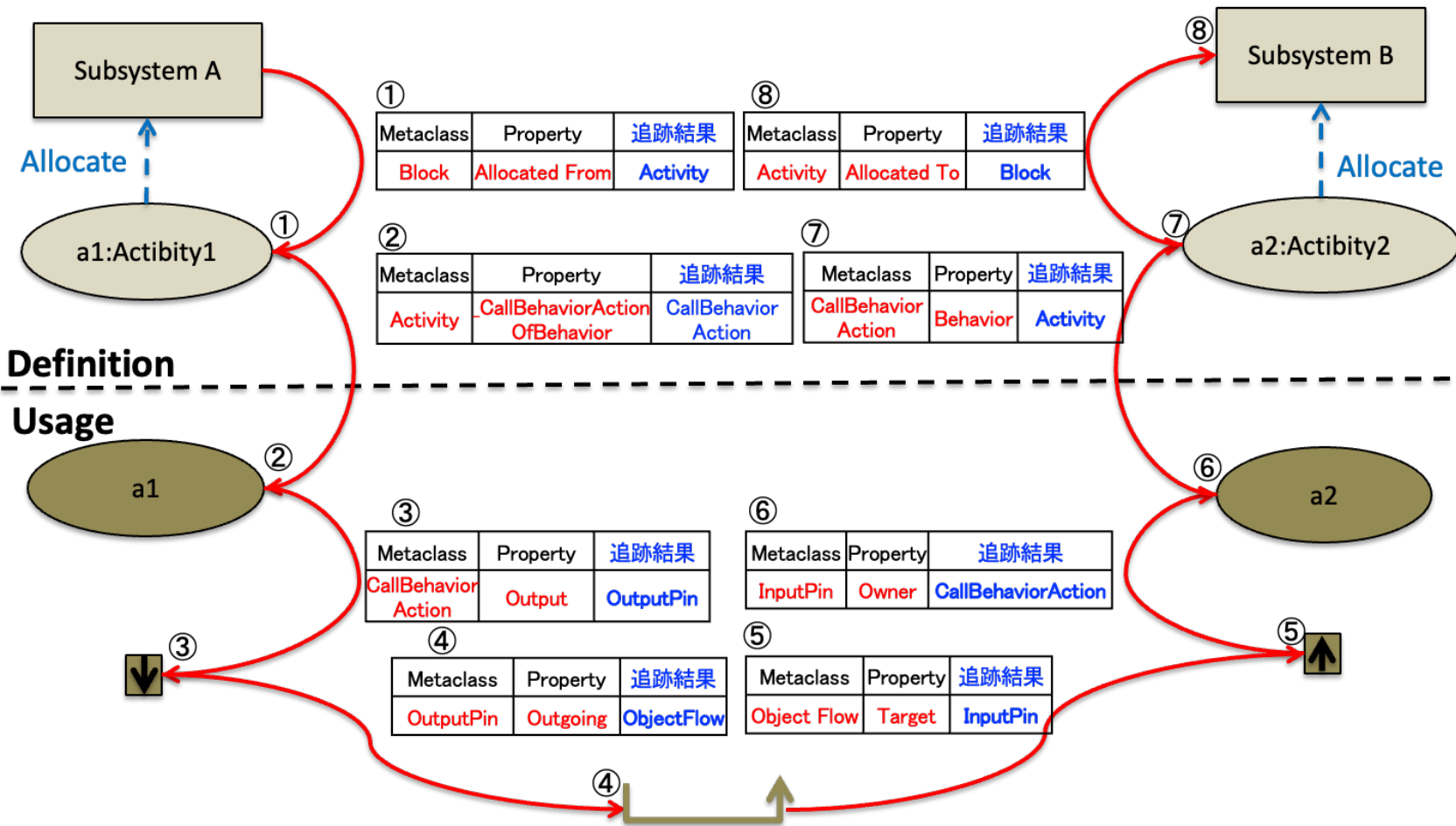
例えば



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

意味を辿って、任意の情報を抽出する  
**抽出する**  
*Query*

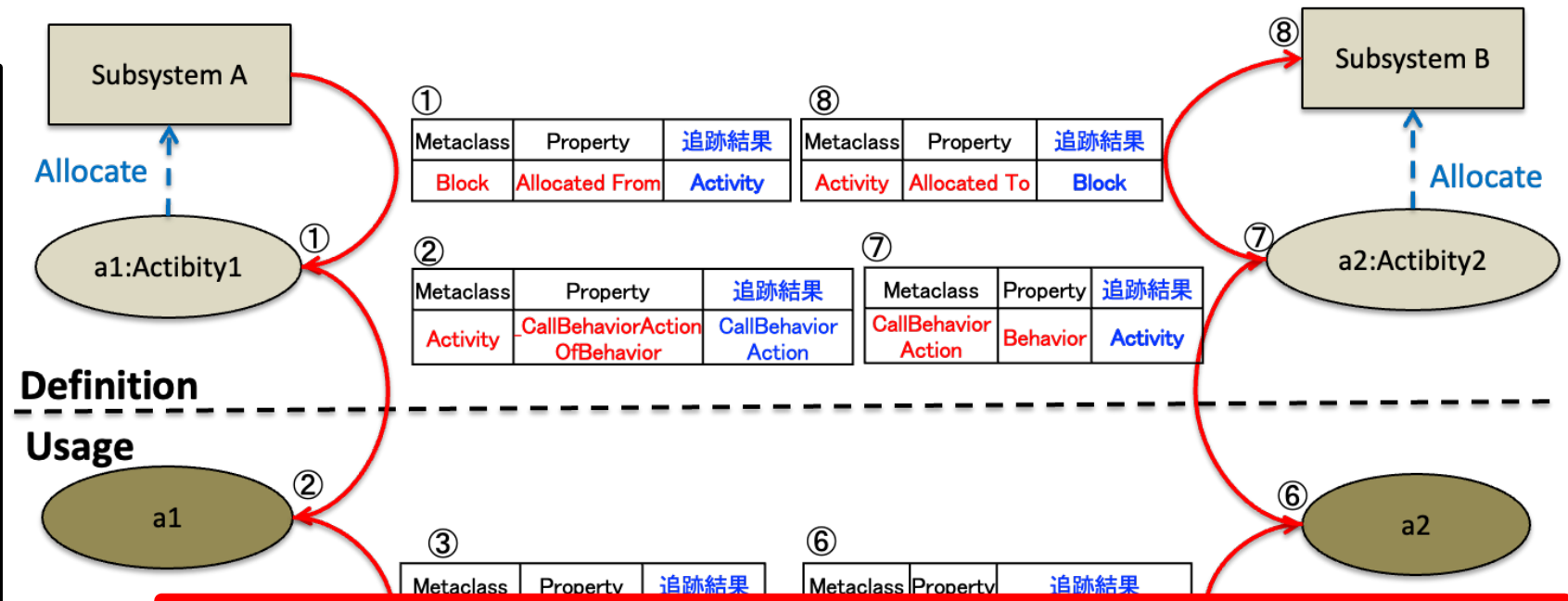
意味の構造を条件に合わせて追跡する。



# システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

意味を辿って、任意の情報を抽出する  
*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

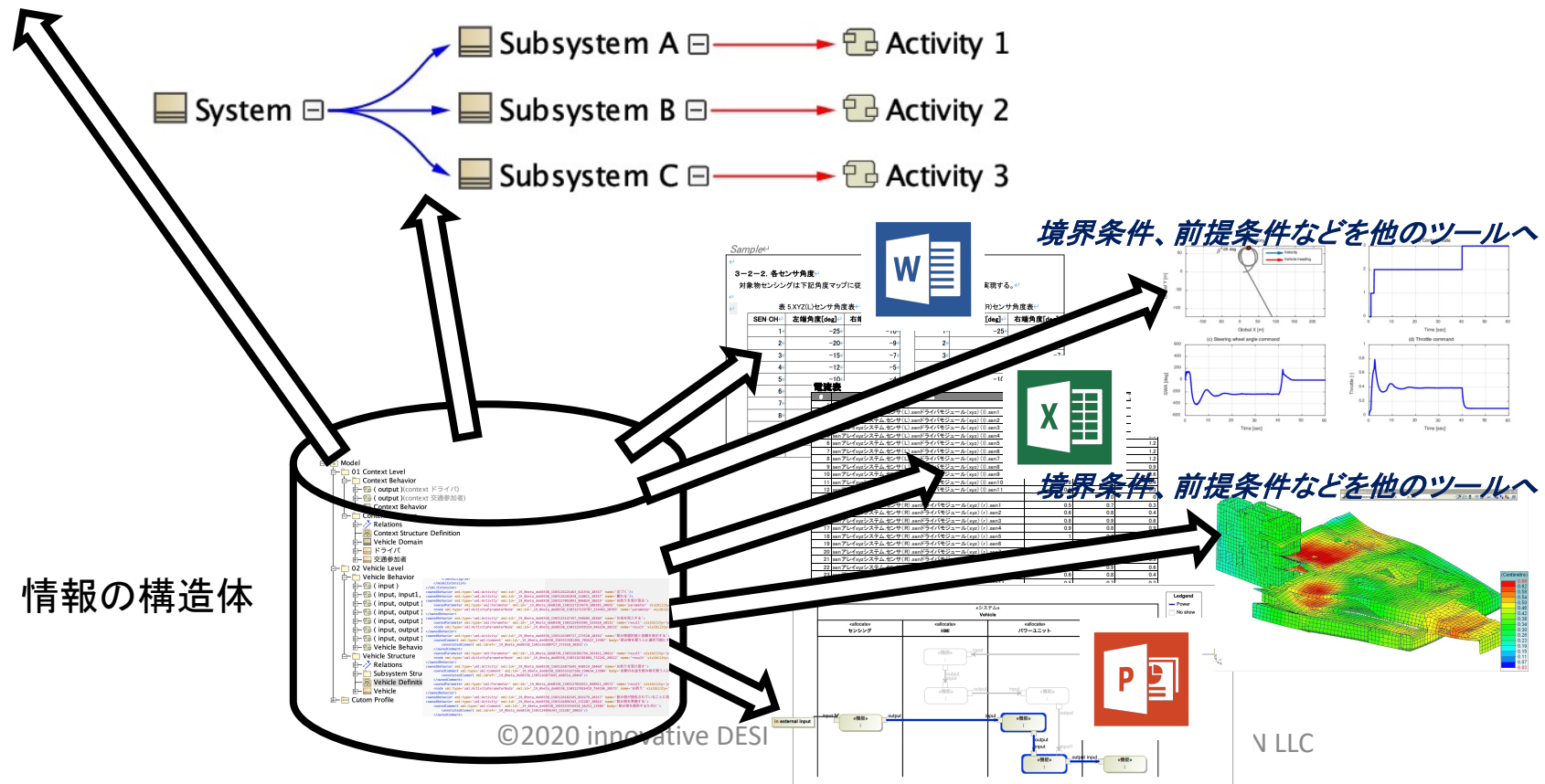


	A	B	C
1	機能の接続先一覧表		
2	#	Name	機能の接続先サブシステム
3	1	Subsystem A	Subsystem B
4			
5			
6			
7			

# システムズエンジニアの仕事にセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

#	出力サブシステム	△ Name	出力元	Object Flow	入力先	機能	入力先サブシステム
1	Subsystem A	Activity 1	output : Air output1 : High Pressure Air output2 : Low Pressure Air	Object Flow[output -> input] Object Flow[output1 -> input1] Object Flow[output2 -> input2]	input : Air input1 : Air input2 : Low Pressure Air	Activity 2(context Sub)	Subsystem B
2	Subsystem B	Activity 2	output	Object Flow[output -> input]	input	Activity 3(context Sub)	Subsystem C
3	Subsystem C	Activity 3					

意思決定  
や判断できる様に  
**表す**  
Represent



分析、確認、意思伝達なども含む。  
Human readable(人間が読み取れる)表現だけでなく、Machine readable(解析ツールなどが読み取れる)表現も。

システムズエンジニアの仕事をセマンティック技術で効率化・高度化する(つまり“MBにSEする”)ために大事なこと

情報を意味を持った

構造にする

*Describe*

システムの内外の情報、システム開発の情報などを指す。

意味を辿って、任意の情報を

抽出する

*Query*

意味の構造を条件に合わせて追跡する。

意思決定や判断できる様に

表す

*Represent*

分析、確認、意思伝達なども含む。Human readable(人間が読み取れる)表現だけでなく、Machine readable(解析ツールなどが読み取れる)表現も。





おまけ

# システムズエンジニアリング、MBSE 要旨(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。

# システムズエンジニアリング、MBSE 要旨(1/2)

- 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。<sup>45</sup>

# 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ために行うべきこと

- 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

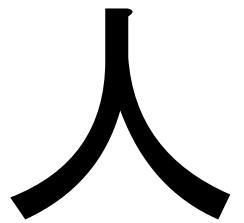


大規模・複雑なシステムを開発する

**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

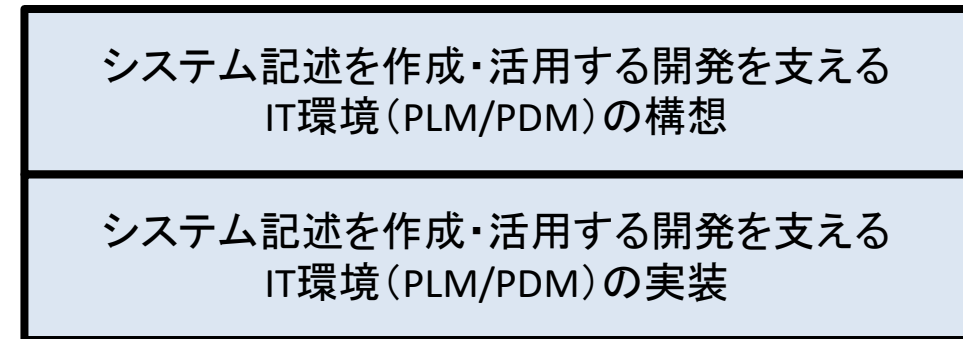
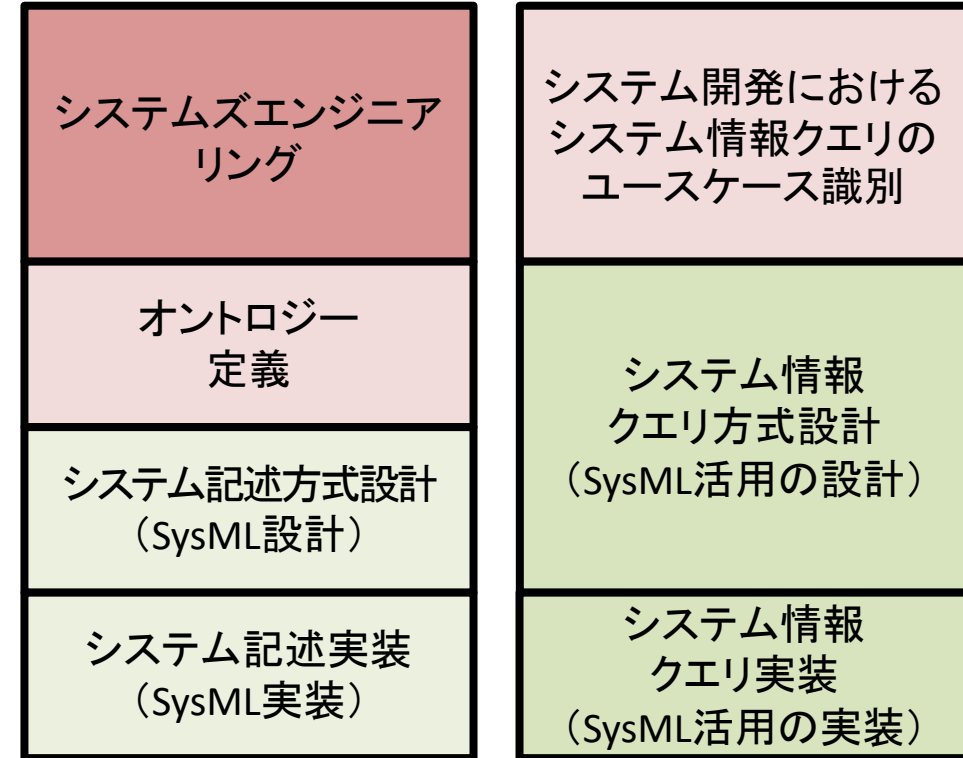
# MBにSEするための「モデルベースCapability」

- イノベティブ・デザインLLCでは「システム記述支援」として、システムズエンジニアリングが適用されている開発において、システム全体及びシステム開発全般に関する前提条件、エンジニアリング経緯や結果、懸念事項、決定事項などを情報の構造体として構築し、システム開発をより効果的に推進するための一元的な情報管理、任意の情報の自由な抽出、の実現を狙いとしたシステムズエンジニアリング支援を行っている。
- システム記述支援においては、右図に示す様に大きく3領域、9種類のシステムズエンジニアリングにおける「モデルベースCapability」を定義しており、これらを統合することでモデルベースにシステムズエンジニアリングを推進することができると考えている。

赤：システムズエンジニアリング領域

緑：情報構造化・セマンティック技術領域

青：IT環境領域



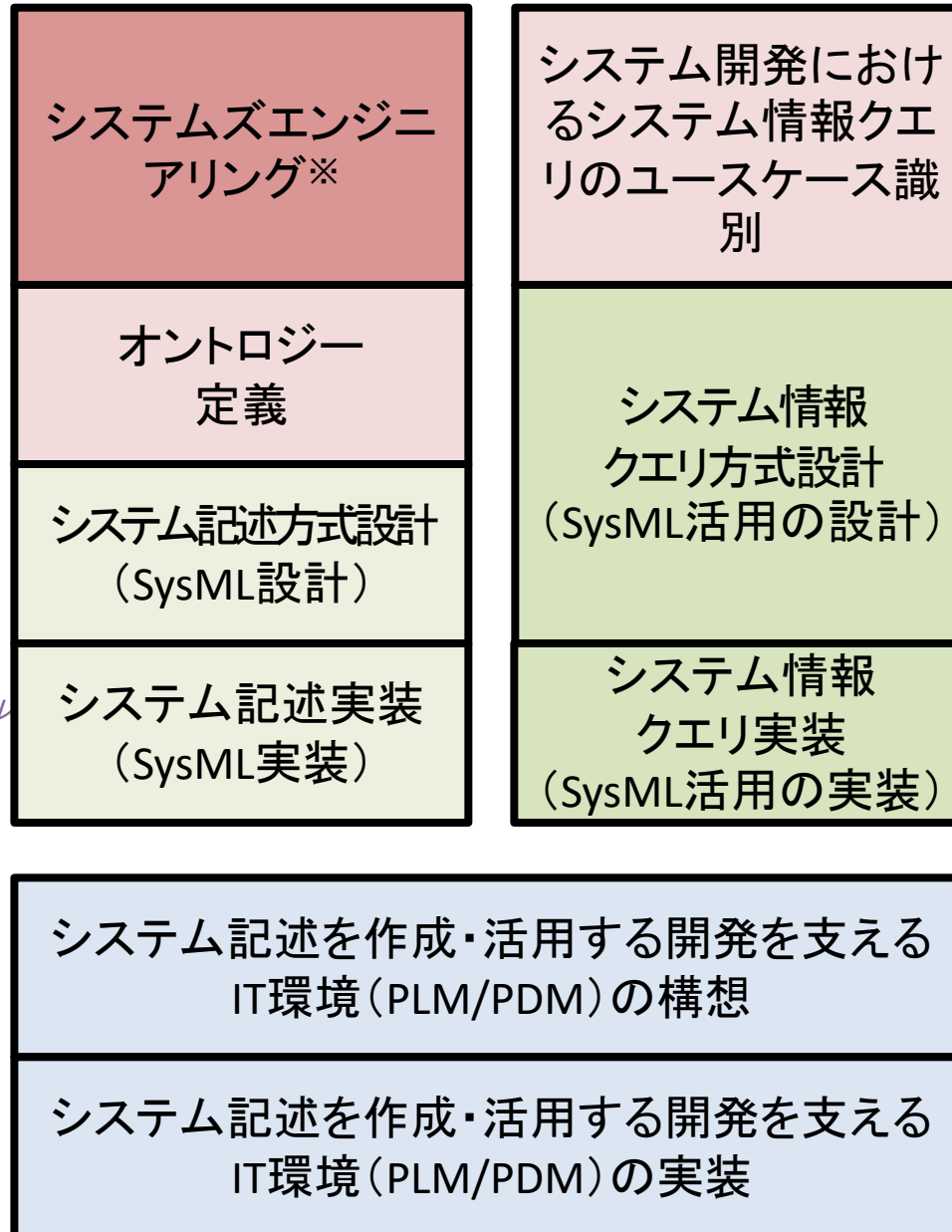
【システム記述支援における支援内容の模式図】

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。

- SysMLメタモデルの知識
- 多彩なSysML表現方法の工夫
- ツールの機能

- SysML設計を犯さない実装ルールルールの自動検証の工夫(OCL: Object Constraint Language)
- 人による実装確認方法の構築



- SysMLメタモデルの知識
- SysMLメタモデルを扱うアルゴリズム
- 情報の多彩な表現方法
- ツールの機能

- Velocity (Velocity Template Language)

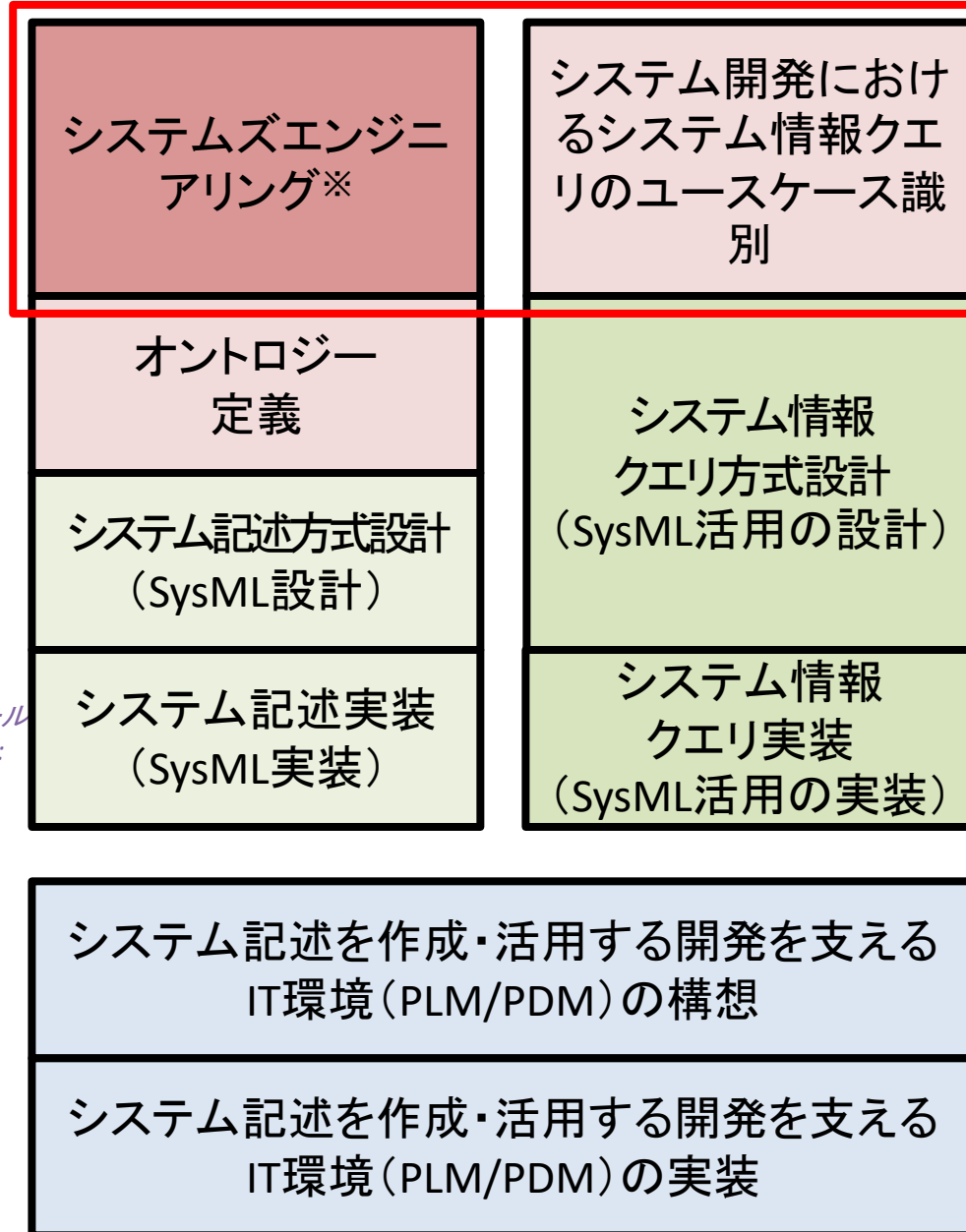


# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。

- SysMLメタモデルの知識
- 多彩なSysML表現方法の工夫
- ツールの機能

- SysML設計を犯さない実装ルールルールの自動検証の工夫(OCL: Object Constraint Language)
- 人による実装確認方法の構築



①システム開発の目的やスコープに合わせて、いつ、何の目的で、どのようなシステム情報が、どのような形態であれば良いかを定義する。開発の進め方、必要なマイルストーンに合わせて検討を行う。

- SysMLメタモデルの知識
- 情報の多彩な表現方法
- ツールの機能

- Velocity (Velocity Template Language)

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

システムズエンジニアリング※

システム開発におけるシステム情報クエリのユースケース識別

①システム開発の目的やスコープに合わせて、いつ、何の目的で、どの様なシステム情報が、どの様な形態であれば良いかを定義する。開発の進め方、必要なマイルストーンに合わせて検討を行う。

開発のフェーズやマイルストーンと、必要となるシステム情報の例

【1】機能インタフェース整合

【2】物理インタフェース Fix出図

【3】各システム部門 【4】……への仕様書提示

目的、スコープ

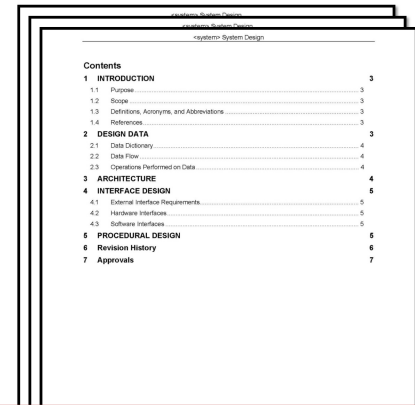
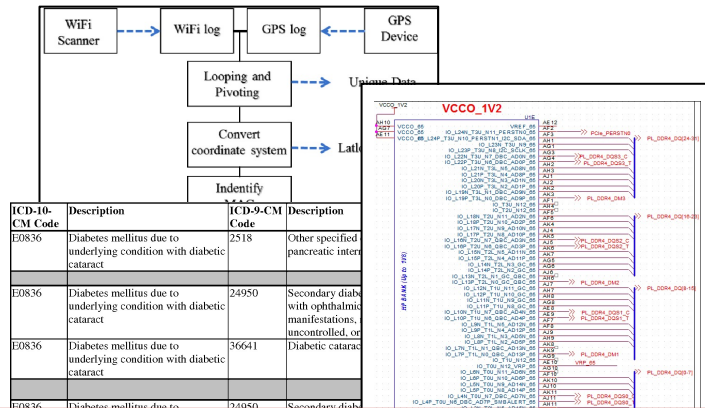
各機能がどの機能とどの様にインタフェースしているかを出手、受手で確認することが目的。

.....

.....

形態

[出] 担当部署	[出] サブシステム	[出] 機能	相互作用	頻度	[受] 機能	[受] サブシステム	[受] 担当部署



開発推進や工数負荷軽減に寄与度が高い事柄に狙いを絞って定義する。

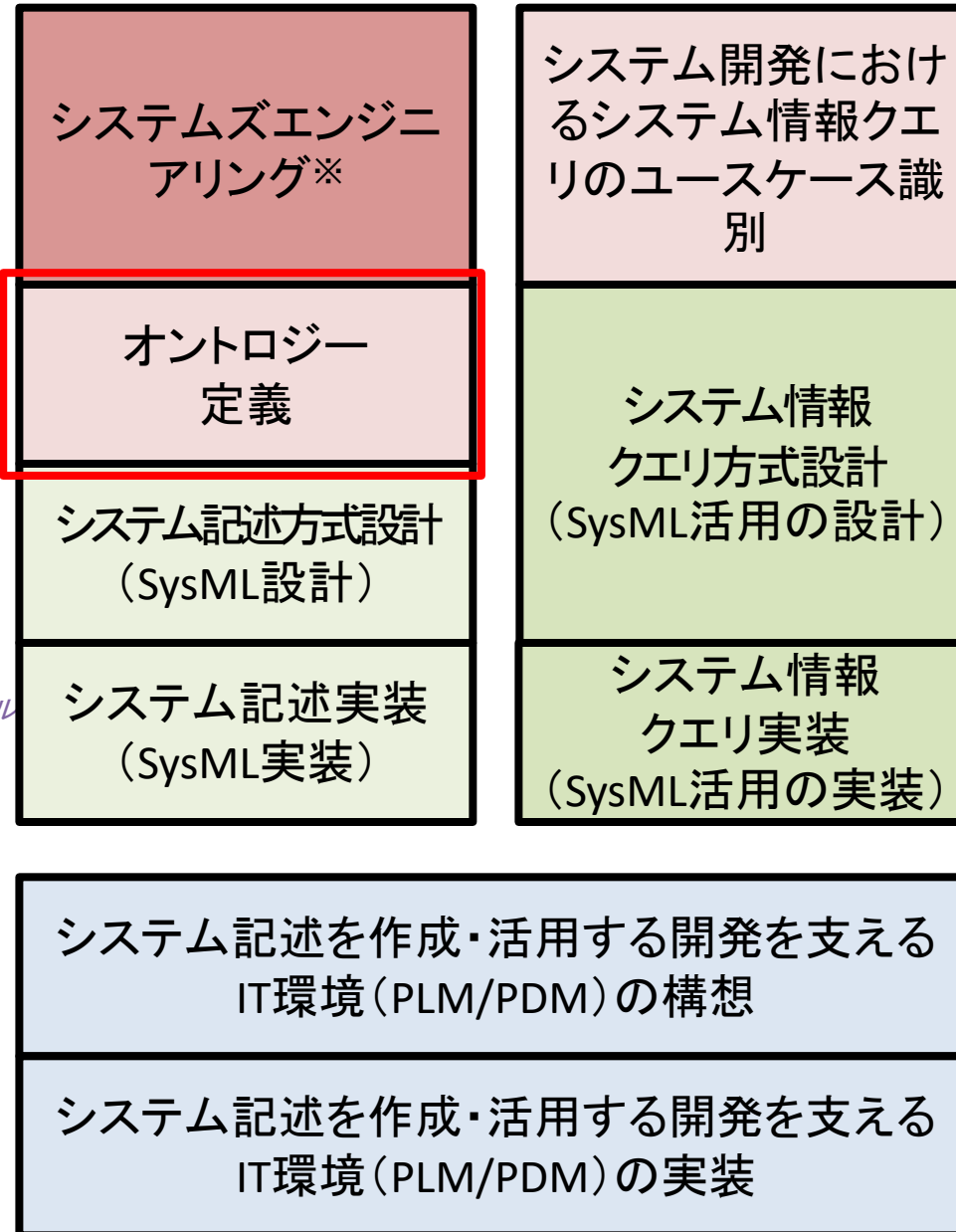
# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。

②システム開発の目的やスコープ、システム情報クエリのユースケースに合わせて、適切なオントロジーを定義する。今後拡張していくことを考慮した検討を行う。

•SysMLメタモデルの知識  
•多岐な表現方法の工夫  
•ツールの機能

•SysML設計を犯さない実装ルール  
ルールの自動検証の工夫(OCL:  
Object Constraint Language)  
•人による実装確認方法の構築



•SysMLメタモデルの知識  
•SysMLメタモデルを扱うアルゴリズム  
•情報の多彩な表現方法  
•ツールの機能

•Velocity (Velocity Template Language)

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

オントロジー  
定義

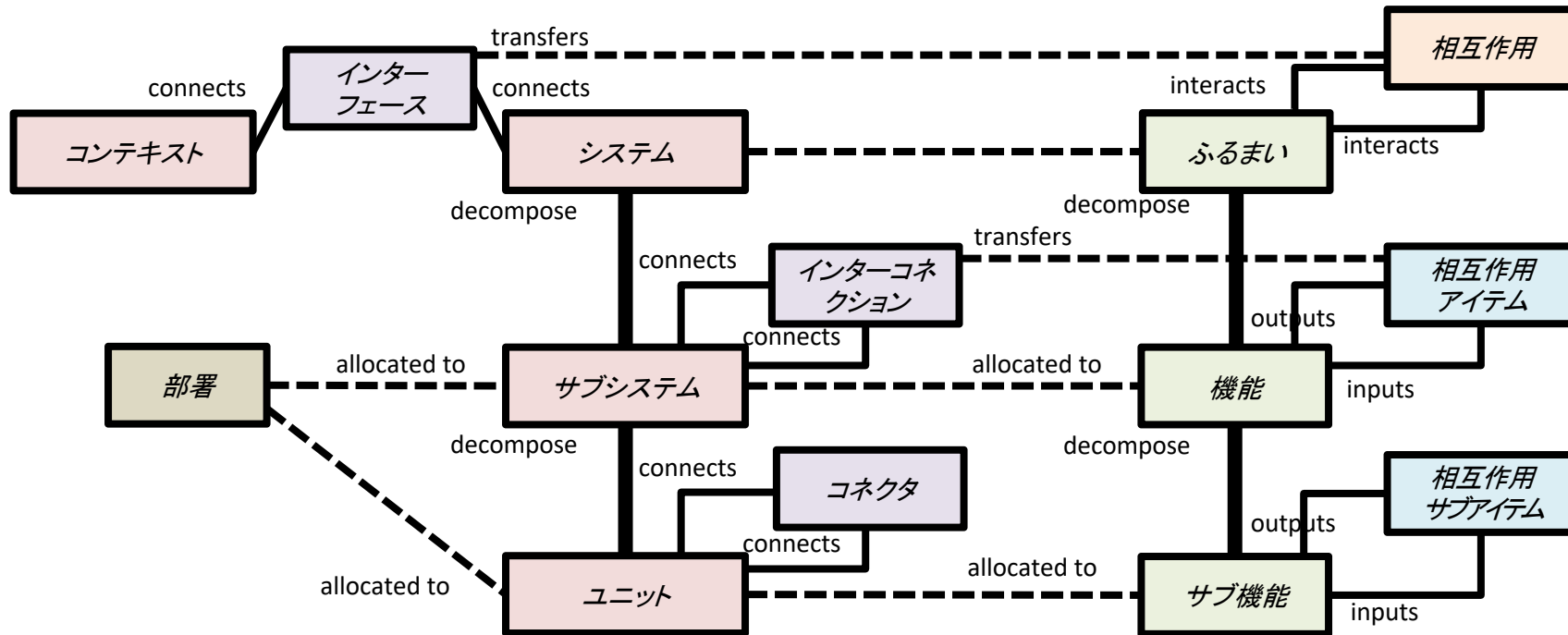
②システム開発の目的やスコープ、システム情報クエリのユースケースに合わせて、適切なオントロジーを定義する。今後拡張していくことを考慮した検討を行う。

## オントロジー定義の例

目的、  
スコープ

システムのインターフェース、インターコネクション、コネクタを明示し、役割の分担を明らかにする。

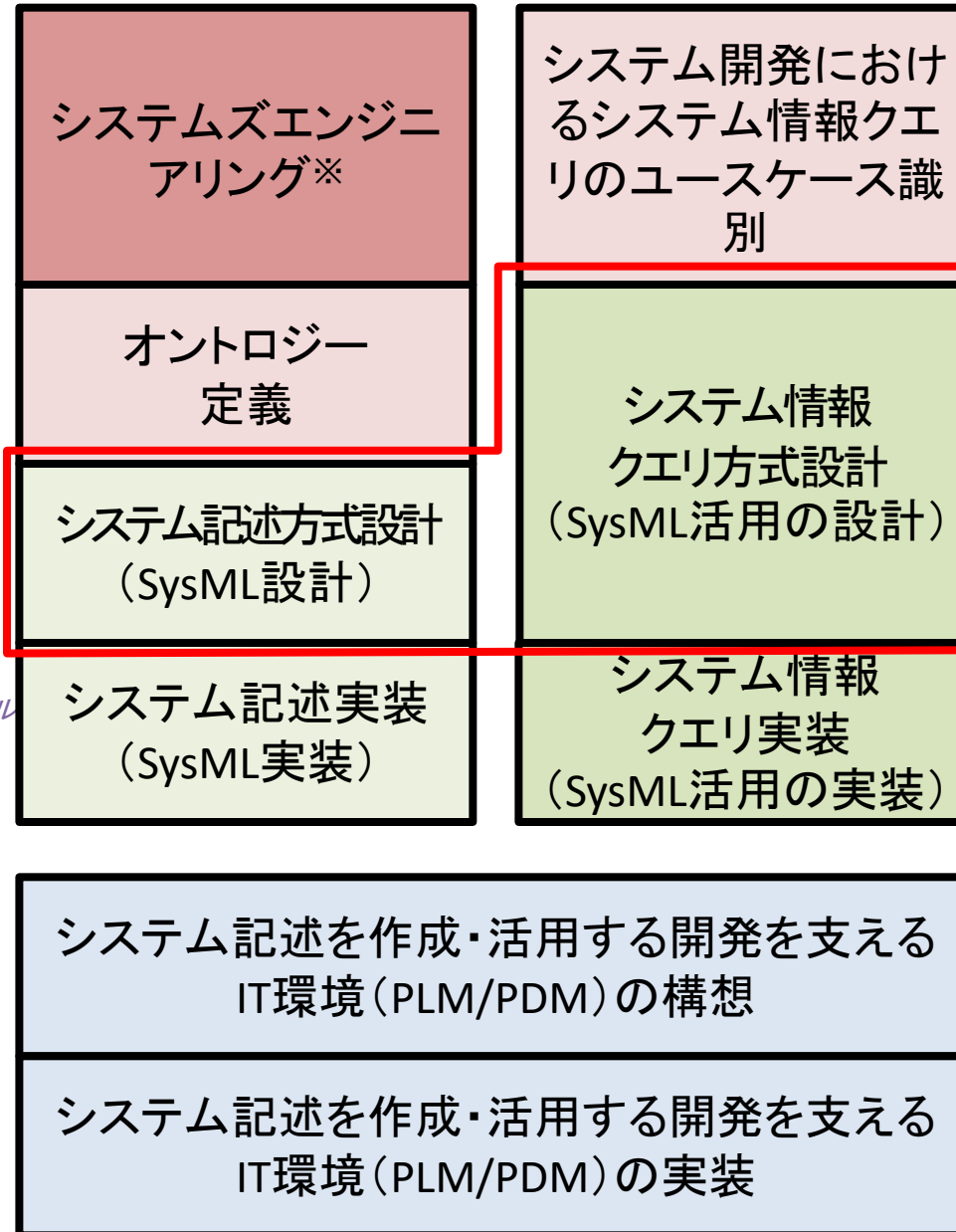
オントロジー



目的とスコープに対して必要十分な範囲で初版を定義する。その後必要に応じて拡張や修正。

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。



- SysMLメタモデルの知識
- 多彩なSysML表現方法の工夫
- ツールの機能

- SysML設計を犯さない実装ルールルールの自動検証の工夫(OCL: Object Constraint Language)
- 人による実装確認方法の構築

- SysMLメタモデルの知識
- SysMLメタモデルを扱うアルゴリズム
- 情報の多彩な表現方法
- ツールの機能

③オントロジーに基づき、システム記述方式の設計(SysML設計)を行う。また、システム情報のクエリを実現することも加味したシステム記述方式設計をする。

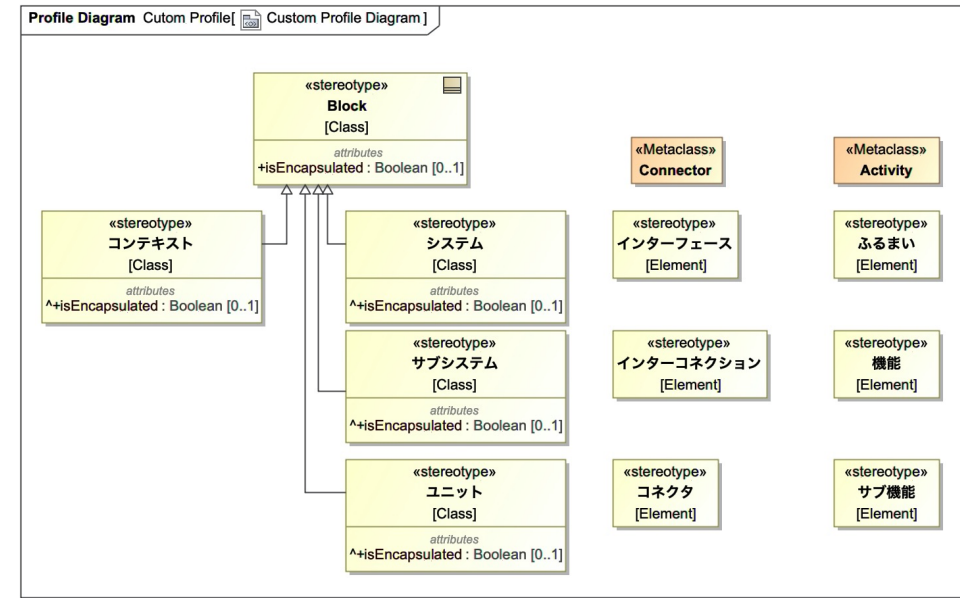
# MBにSEするための「モデルベースCapability」

システム記述方式設計  
(SysML設計)

システム情報  
クエリ方式設計  
(SysML活用の設計)

③オントロジーに基づき、システム記述方式の設計 (SysML設計)を行う。また、システム情報のクエリを実現することも加味したシステム記述方式設計をする。

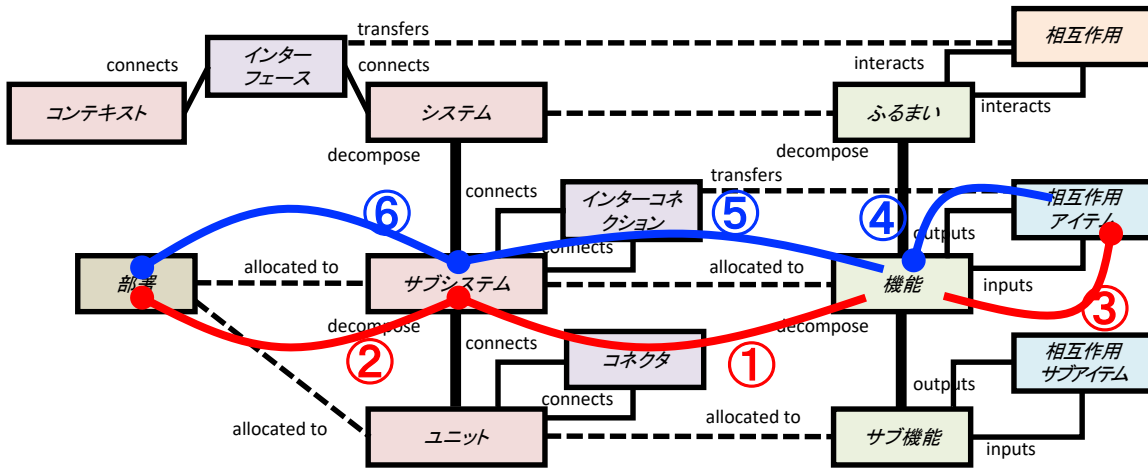
【オントロジーに基づく SysML設計例】



【オントロジーに基づくシステム情報クエリ検討例】

[出]担当部署	[出]サブシステム	[出]機能	相互作用	頻度	[受]機能	[受]サブシステム	[受]担当部署

## システム記述方式設計の例およびシステム情報クエリ検討の例



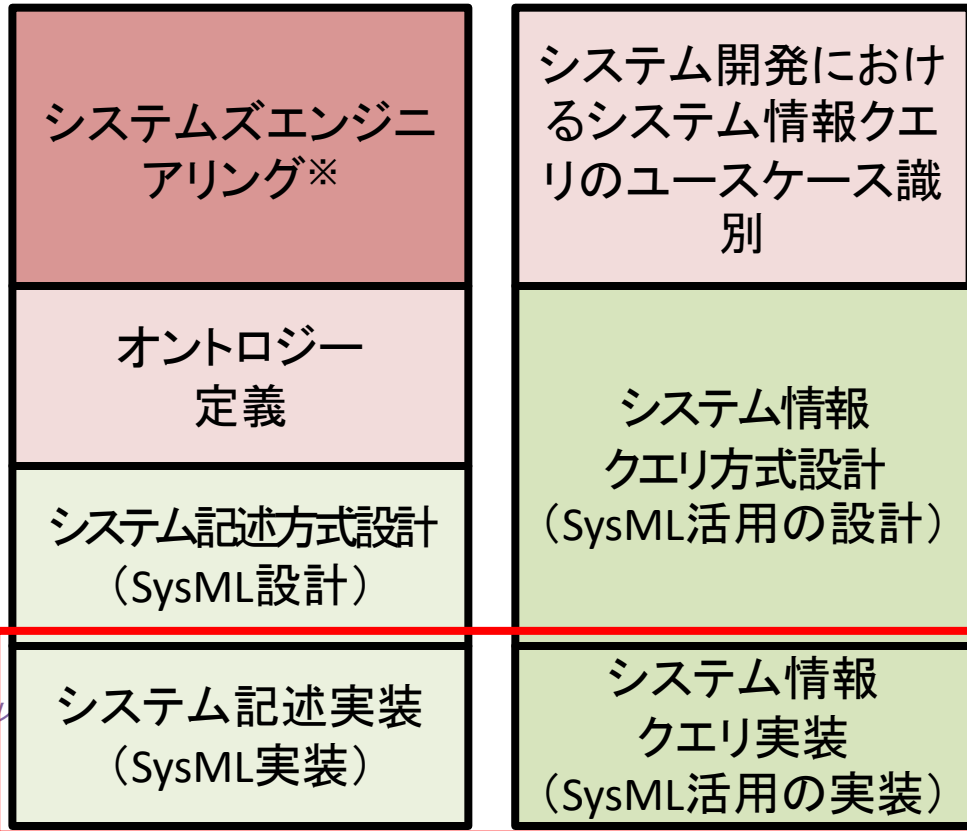
SysMLのメタ構造を十分に活かす形でカスタマイズを行い ツール依存性の少ない設計とする方が好ましい。

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。

- SysMLメタモデルの知識
- 多彩なSysML表現方法の工夫
- ツールの機能

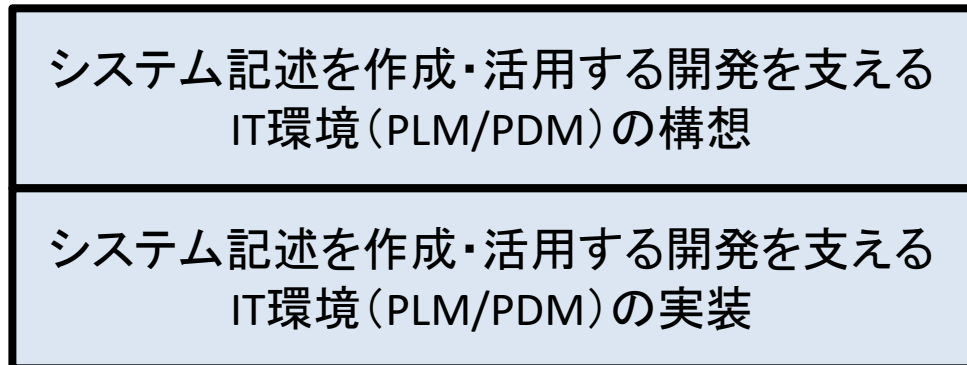
- SysML設計を犯さない実装ルールルールの自動検証の工夫(OCL: Object Constraint Language)
- 人による実装確認方法の構築



- SysMLメタモデルの知識
- SysMLメタモデルを扱うアルゴリズム
- 情報の多彩な表現方法
- ツールの機能

- Velocity (Velocity Template Language)

④システム記述方式設計 (SysML設計)に基づきNo Magic/CATIA社製Cameo Systems Modelerを用いて実際にシステム記述 (SysML記述)、システム情報クエリ実装を行う。



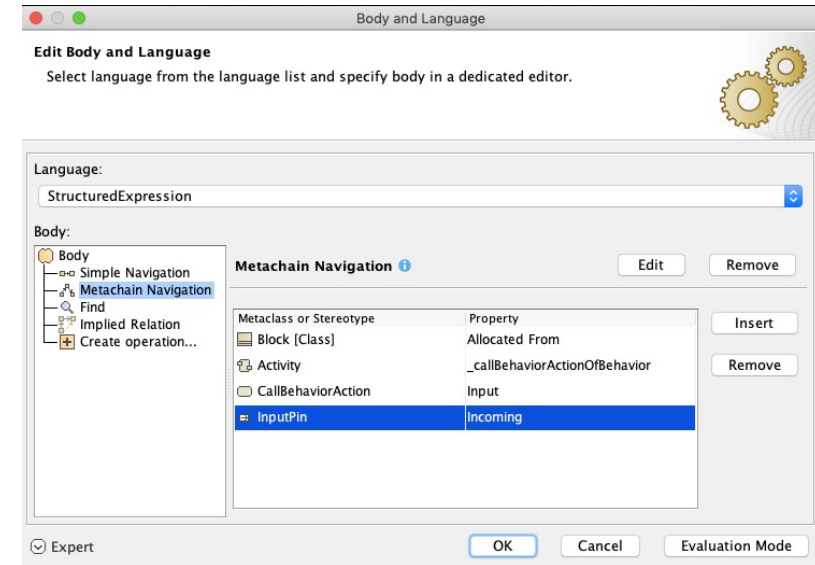
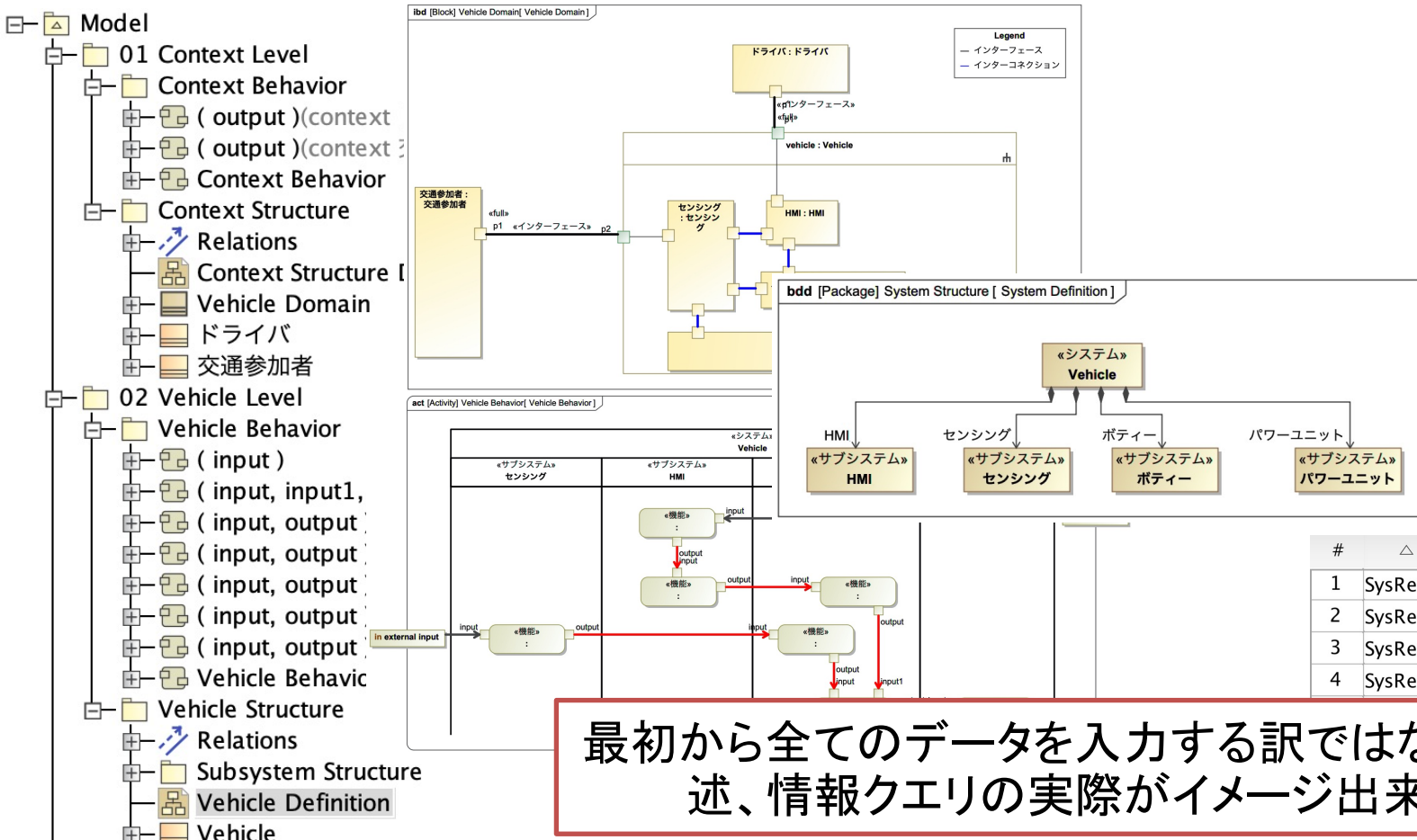
# MBにSEするための「モデルベースCapability」

システム記述実装  
(SysML実装)

システム情報  
クエリ実装  
(SysML活用の実装)

④システム記述方式設計(SysML設計)に基づきNo Magic/CATIA社製Cameo Systems Modelerを用いて実際にシステム記述(SysML記述)、システム情報クエリ実装を行う。

## システム記述方式設計に基づいたSysML記述、システム情報クエリ実装の例

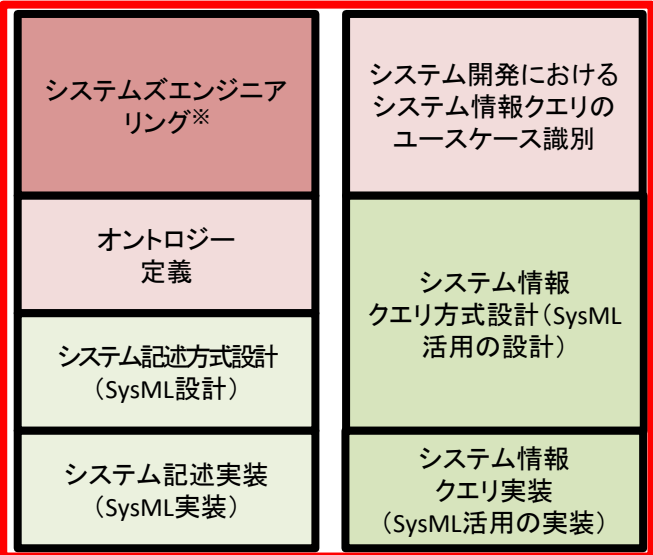


#	△ Id	Name	Traced To	Satisfied By
1	SysReq1	無人で飲み物を提供する	飲み物提供ステージBel	無人で飲み物を提供する
2	SysReq1.1	飲み物の選択肢を表示する	R SysReq1 無人で飲み物	: 飲み物選択肢と金額を:
3	SysReq1.2	飲み物を準備する	R SysReq1 無人で飲み物	: 飲み物を準備する機能
4	SysReq1.3	インフラとのインタフェース	R SysReq1 無人で飲み物	筐体サブシステム

最初から全てのデータを入力する訳ではなく、対象システム開発におけるシステム記述、情報クエリの実績がイメージ出来、恩恵を感じられる初版を作成する。



# MBにSEするための「モデルベースCapability」



⑤開発の中でシステム記述を用いて効果的なシステム情報クエリを行い、開発の意思決定を支援したり、作業負担を軽減したりするイメージを示す。更なる情報クエリのユースケースの導出に繋げる。

## ＜インタビュー整合会資料＞

3-2-2. 各センサ角度

対象物センシングは下記角度マップに従い、センサを部分的に High にすることで実現する。

表 6.XYZ(L)センサ角度表

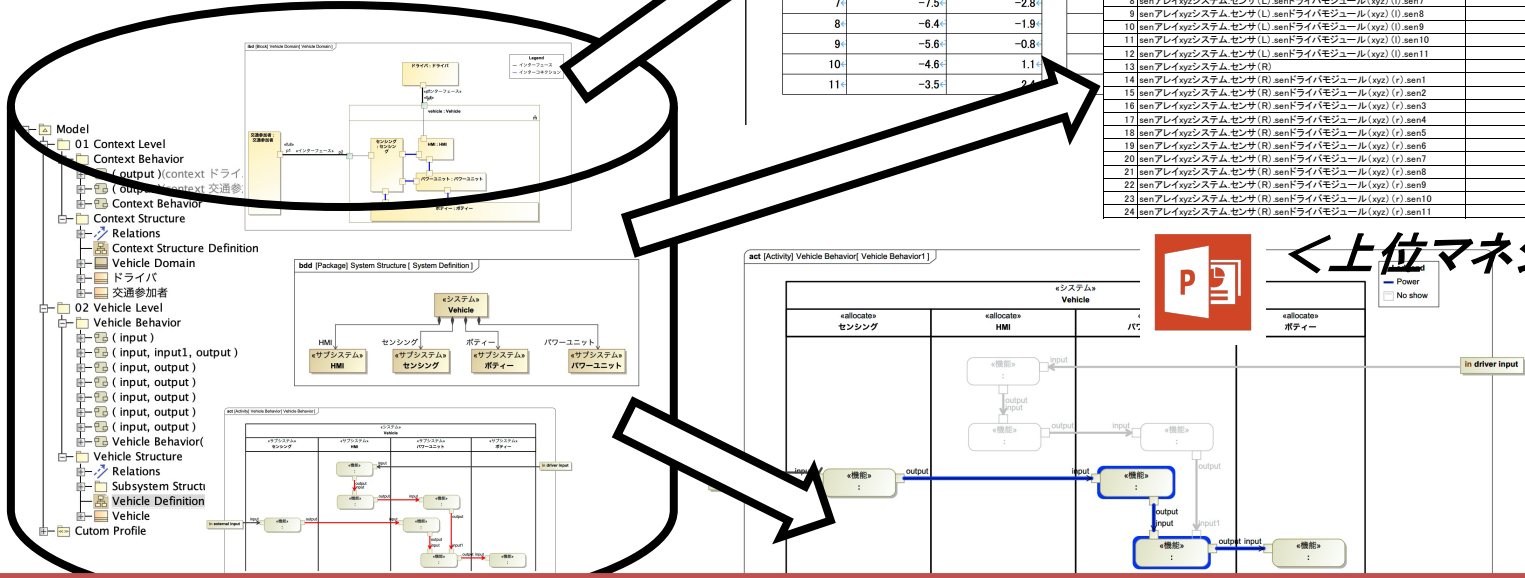
SEN CH	左端角度[deg]	右端角度[deg]
1	-25	-10
2	-20	-9
3	-15	-7
4	-12	-5
5	-10	-4
6	-8.5	-3.5
7	-7.5	-2.8
8	-6.4	-1.9
9	-5.6	-0.8
10	-4.6	1.1
11	-3.5	2.4

## ＜対サプライヤ資料＞

表 6.XYZ(R)センサ角度表

SEN CH	左端角度[deg]	右端角度[deg]
1	0	0
2	0.5	0.7
3	0.6	0.8
4	0.8	0.9
5	0.9	0.9
6	1.1	0.7
7	1.1	0.7
8	0.9	0.8
9	0.8	0.9
10	0.6	0.8
11	0.5	0.7
12	0	0
13	0	0
14	0.5	0.7
15	0.6	0.8
16	0.8	0.9
17	0.9	0.9
18	1.1	0.7
19	1.1	0.6
20	1	0.7
21	0.9	0.8
22	0.8	0.9
23	0.6	0.8
24	0.5	0.7

## サンプルver1 (システム記述)



## ＜上位マネジメント報告資料＞

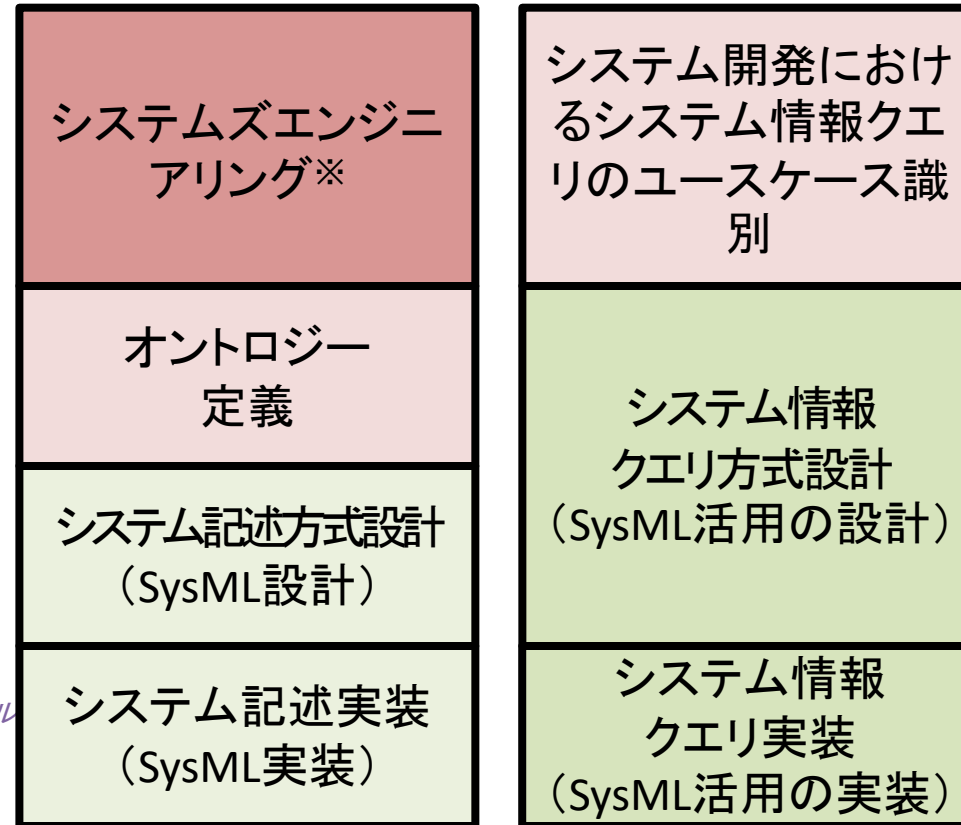
システム記述を作成する意義を共有し、その上で実開発におけるモデルベースの「狙い」を定める議論を促す。

# MBにSEするための「モデルベースCapability」

※取り組み内容によって内容は様々に異なる。

- SysMLメタモデルの知識
- 多彩なSysML表現方法の工夫
- ツールの機能

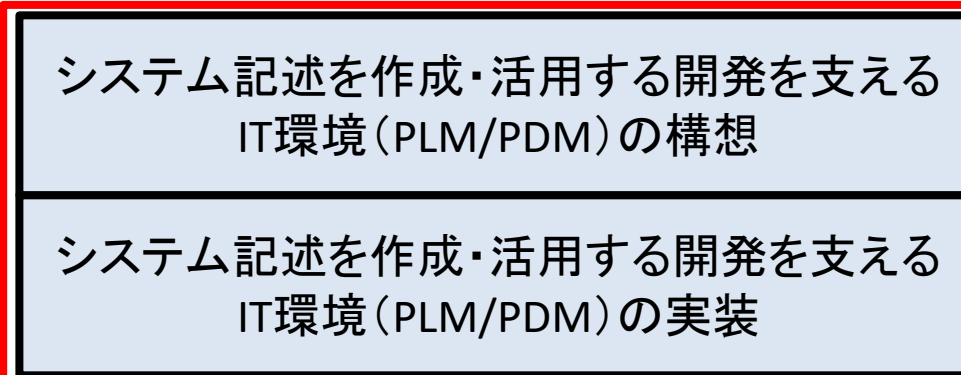
- SysML設計を犯さない実装ルールルールの自動検証の工夫(OCL: Object Constraint Language)
- 人による実装確認方法の構築



- SysMLメタモデルの知識
- SysMLメタモデルを扱うアルゴリズム
- 情報の多彩な表現方法
- ツールの機能

- Velocity (Velocity Template Language)

⑥開発において情報構造化とその活用を支えるツール群、コンフィグレーション管理、ワークフロー管理を実現するIT環境の要求分析と定義を行う。



# MBにSEするための「モデルベースCapability」

システム記述を作成・活用する開発を支える  
IT環境(PLM/PDM)の構想

システム記述を作成・活用する開発を支える  
IT環境(PLM/PDM)の実装

⑥開発において情報構造化とその活用を支えるツール群、  
コンフィグレーション管理、ワークフロー管理を実現するIT  
環境の要求分析と定義を行う。  
ツールの選定やカスタマイズ検討、現状のIT環境との  
ギャップ分析なども含む。

【IT環境イメージ】

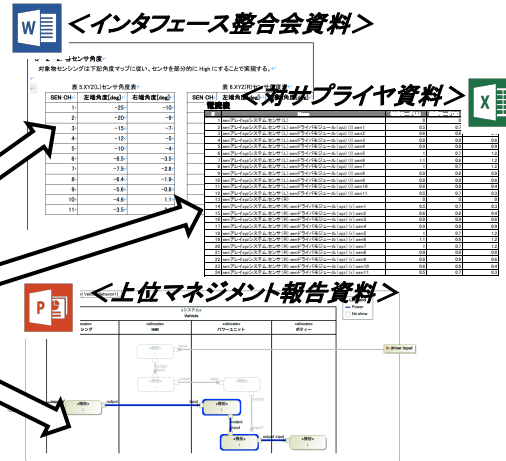
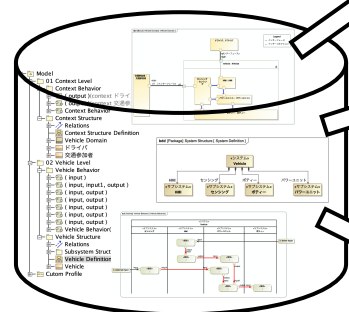
ワークフロー管理

コンフィグレーション管理

他のデータベース、ツールとの連携

フル機能  
ユーザー・  
インター  
フェース

サンプルver1(システム記述)



限定機能  
ユーザー・  
インター  
フェース

段階的な構築についてのロードマップの議論を促す。

# 例) 自動運転開発におけるシステムズエンジニアリングと モデルベースCapabilityの狙い

