

Lessons Learned from SE, MBSE tailoring challenges in  
R&D project in Japan  
日本国内におけるMBSEへの取り組みから得られたLessons Learned

2015/11/7

Kanenori (Kane) Ishibashi

# MBSE Motivation Structure

## MBSEのモチベーション

Better productのために  
Better engineeringを実現したい!

- ・トレーサビリティをしっかり確保
- ・変更インパクトを即座に把握
- ・効果的かつ確実な検証
- ・効率的な開発プロセス

そのために enables

## Systems Engineering

システムズエンジニアリングのアプローチを  
効果的、効率的にとりたい (More efficiency and more effective SE)

そのために enables

## Model Based Systems Engineering

モデルベースで行うシステムズエンジニアリングを  
国際的に認められた共通言語で行いたい (With more “common” language)

そのために enables

## SysMLによるMBSE

決してSysMLやMBSEがモチベーションの源泉や目的になってはならない  
SysML and MBSE is NOT your goal.

## 【本資料内で参照している図書】 Referenced Articles

- 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  
<http://www.incose.org/ProductsPublications/sehandbook>
- 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. ISBN: 978-0-128-00202-5  
<http://www.amazon.co.jp/dp/0128002026>
- Long, David and Zane Scott. 2011. ***A Primer for Model-Based Systems Engineering***.  
<online document>  
<http://www.vitechcorp.com/resources/mbse.shtml>

## 【本資料内で参照している国際標準】 Referenced Standards

- **ISO/IEC 15288** : Systems Engineering - System Life Cycle Processes
- **IEEE 1220** : IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process
- **ISO/IEC/IEEE 42010** : System and software engineering - Architectural Description

## 【本資料内容の理解を助ける情報源】 Must see information sources

- **INCOSE SEBoK** (Systems Engineering Body of Knowledge)  
<http://www.sebokwiki.org/>  
Systems Engineeringに関する用語についての解説が豊富。事例なども示されている。  
More vocabulary description and more examples.
- **INCOSE MBSE Wiki**  
<http://www.omgwiki.org/MBSE>  
INCOSEのMBSE Initiativeのウェブサイト。過去のINCOSEでのMBSE関連の発表資料などが全てアップロードされている。  
Many MBSE related presentations from INCOSE events (IS & IW).<sup>4</sup>

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# What is MBSE? MBSEとは？

- あくまでもSystems Engineeringである。
- これをモデルを使って行うということ。
  - It is Systems Engineering!
  - It is Systems Engineering done with Models.
  - **Systems Engineeringの無いMBSEはあり得ない。**
- Systems Engineeringには大きく4つの活動がある。
  - システム設計
  - システムの解析と検証
  - システムのインテグレーション
  - システムズエンジニアリング管理
- No Systems Engineering, No MBSE.
- <Reminder> There are four major activities in Systems Engineering
  - System Design, System Analysis and Verification, System Integration, Control

# 1. システムズエンジニアリングとモデル

## 1. Systems Engineering and Model

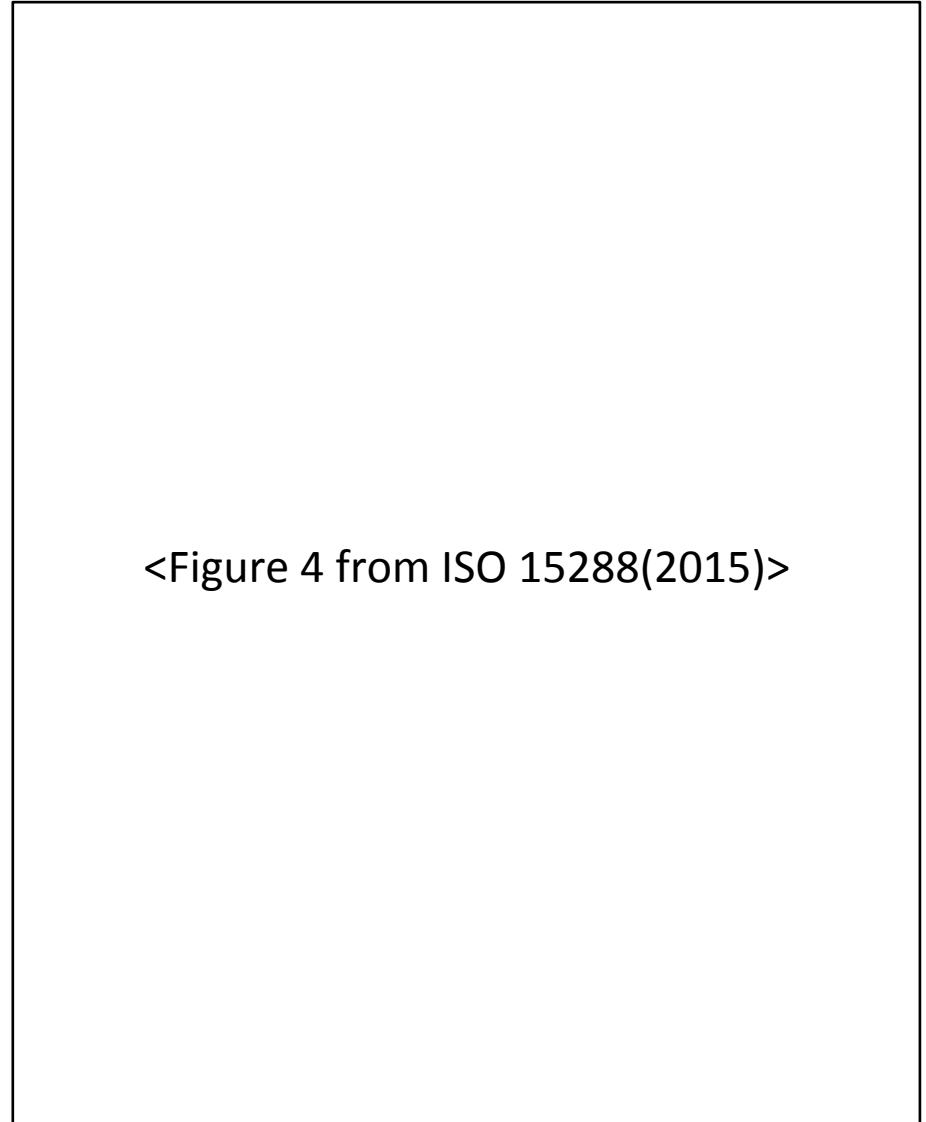
ISO 15288 (2015)によるシステムのライフサイクル全体を対象としたシステムズエンジニアリングの各種プロセス

MBSEとは究極的にはこれらのプロセス全体をModelを作成、活用しながら効果的に、効率的に推進することを指している。

Technical ProcessのみでのModel作成、活用を指すわけではないことに注意。

Every processes can be enhanced with proper model(s).

It is not only the Technical Process.





# 1. システムズエンジニアリングとモデル

## 1. Systems Engineering and Model

ISO 15288における、プロセス、アクティビティ、タスク、ノートの関係性の図

標準の中には  
プロセス  
アクティビティ  
タスク  
が定義されている。

それぞれをよく理解することで、MBSEにおいてモデルを使って「何を成すべきか」を理解することができる。

<Figure D.1 from ISO 15288(2015)>

To understand what model need to do, you need to understand the structure of the standard.

# 1. システムズエンジニアリングとモデル

## 1. Systems Engineering and Model

### IEEE1220による開発におけるシステムズエンジニアリングプロセス

ISO 15288よりも狭い範囲（開発ステージ）でのシステムズエンジニアリングのプロセスを示しているが、MBSEとはこれらのプロセス全体をModelを作成、活用しながら効果的に、効率的に推進することを指している。

図中右側のSystem Analysisのみが目的ではないことに注意。

Every processes can be enhanced with proper model(s).

It is not only the System Analysis.



<Figure 4 from IEEE 1220(2005)>

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# What is model in MBSE? MBSEにおけるモデルとは？

- システムズエンジニアリングは文書ベース (Document-Base) で長年有効に実施されている。つまり、モデルがなくても文書体系によってシステムズエンジニアリングは遂行できる。
- Systems Engineering can be done DOCUMENT BASED!
- 文書体系に替わって、システムズエンジニアリングの様々な活動 (Process, Activity, Task, SEPなど) の実施を支援するために記述されたもの。
- Model is described to support systems engineering activities.
- 対象とするシステムのsystem specifications (スペック), design (設計), analysis (分析), and verification (検証) に関する情報を網羅したモデル。  
(A Practical Guide to SysML)
- The system model includes system specifications, design, analysis, and verification information. (A Practical Guide to SysML)

# What is model in MBSE? MBSEにおけるモデルとは？

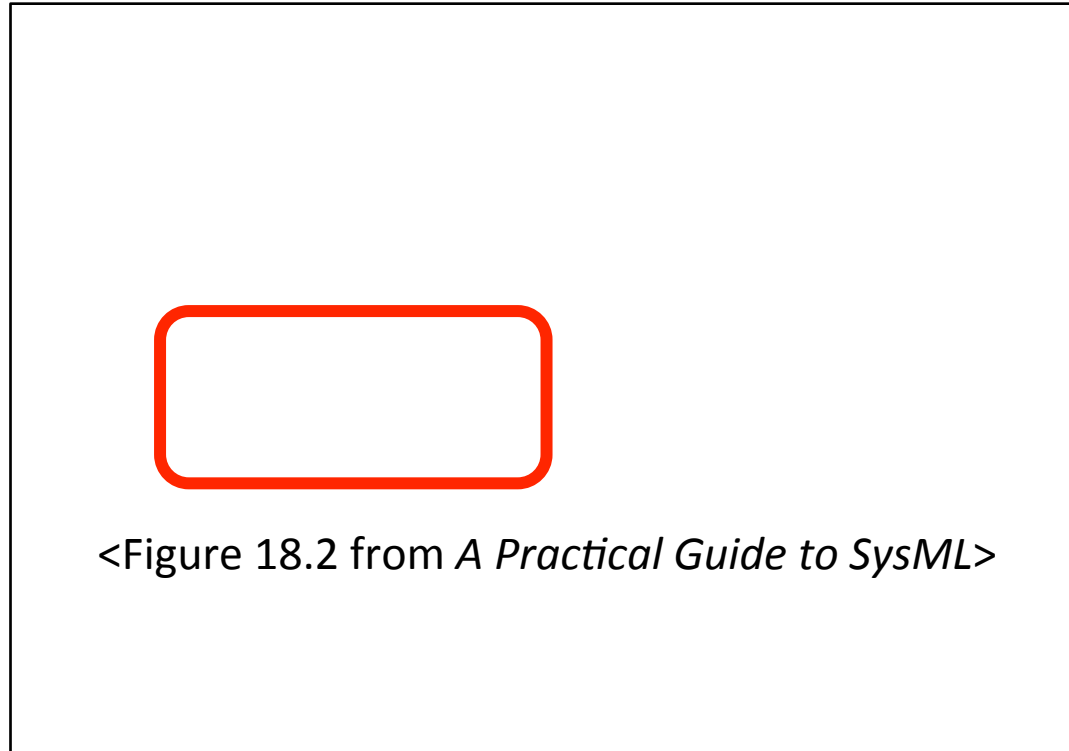
注意点：

- **Descriptive Model**, **Analytical Model**の使い分け  
記述モデル                      分析モデル  
非実行形式モデル      実行形式モデル
- Proper use and mixture of Descriptive Model and Analytical Model is important for effective model in MBSE.

## 2. MBSEにおけるシステムモデル

### 2. System Model in MBSE

In many engineering domain, “model” is often only referring to “Analytical Model” or executable model.



*A Practical Guide to SysML*

「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構築される。

## 2. MBSEにおけるシステムモデル

### 2. System Model in MBSE

Example of Geometric Model is a CAD model.

Example of Logical Model is a SysML model.

<Figure 18.2 from *A Practical Guide to SysML*>



e.g. 非実行形式のシステムモデル、など

Descriptive Modelの一部であるGeometric Modelとは例えばCADの3次元モデルのことを指す。また、Logical Modelとは例えばSysMLによる要求図や構成図などのことを指す。

# MBSEにおけるシステムモデルとは？

- 対象とするシステムのsystem specifications(スペック), design(設計), analysis(分析), and verification(検証)に関する情報を網羅したモデル。(A Practical Guide to SysML)
- “The system model includes system specifications, design, analysis, and verification information” (A Practical Guide to SysML)
- システムモデルとは対象システムを Stakeholder の様々な懸念(concern)に基づいて漏れなく表現した図式である。  
(Cole, B., C. Delp, and K. Donahue. 2010. "Piloting Model Based Engineering Techniques for Spacecraft Concepts in Early Formulation." *California Institute of Technology, Published by INCOSE.* )
- “The proposed value of Model-Based Systems Engineering (MBSE) is the ability to describe the structure and behavior of an integrated system according to the concerns of stakeholders rather than as a collection of subsystems. “

従って、シミュレーションを実行できることだけを目指すモデルでは決してない。System Model in MBSE is not build for simulation purpose only. It is built to understand and describe the system from multiple perspective. システム全体を抜け漏れなく多視点から捉えようとするモデルである。



# MBSEにおけるシステムモデルとは？

## 一般的に記述される内容

- システムの**ライフサイクル**について System Lifecycle
- システムの**コンテキスト**について(システムと外部の関係) System Context
- システムの**ユースケース**について(システムと外部のやり取り) System Use Case
- システムへの**要求**について System Requirement
- システムの**機能と物理のアーキテクチャ**について System Architecture
- システムの**分析**について System Analysis
- システムの**検証**について System Verification
  
- 上記の情報の**トレーサビリティ** Traceability of everything above

# MBSEにおけるシステムモデルとは？

※不慣れな場合まずはここから  
\*If you are not experienced then it may be good to start from these.

## 一般的に記述される内容

- システムの**ライフサイクル**について System Lifecycle
- システムの**コンテキスト**について(システムと外部の関係) System Context
- システムの**ユースケース**について(システムと外部のやり取り) System Use Case
- システムへの**要求**について System Requirement
- システムの**機能と物理のアーキテクチャ**について System Architecture
- システムの**分析**について System Analysis
- システムの**検証**について System Verification
- 上記の情報の**トレーサビリティ** Traceability of everything above

※※不慣れでも当然必須  
\*You must have it regardless of your experience.

とくに、システムを定義し設計する場合に必要な重要な情報

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. **開発におけるシステムモデル**  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?



システムモデル

MBSEにおけるシステムモデルはこの図の様に、様々なエンジニアリング活動と有機的に接続可能となる。

If the System Model was build with proper MBSE approach it is possible to be a information core for many engineering activities.

<Figure 18.1 from *A Practical Guide to SysML*>

### 3. 開発におけるシステムモデル 3. Your engineering process and System Model システムモデルと開発における他のエンジニアリング要素の関係

Systems Model in MBSE will be a core to connect different engineering and engineering management activities. This is supported by PDM or PLM tools.



[http://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:02-2013\\_incose\\_mbse\\_workshop\\_i\\_ve\\_modeled\\_so\\_what\\_s\\_next-oster.pdf](http://www.omgwiki.org/MBSE/lib/exe/fetch.php?media=mbse:02-2013_incose_mbse_workshop_i_ve_modeled_so_what_s_next-oster.pdf)

MBSEにおけるシステムモデルはこの図の様に、実際の開発においてはPDM(product data management)やPLM(product lifecycle management)に支えられながら、各種エンジニアリング、マネジメントに必要な様々な情報やデータのハブとして機能し、開発の進捗と合わせて更新し続ける運用が可能である。

<p5 from Lockheed Martin INCOSE IW 2013>

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. **MBSEにおけるシステムモデルの注意点**  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# 4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点

## 4. Often misunderstood things about System Model in MBSE

### 1. ダイアグラムはモデルではない！

1. A set of Diagrams is NOT a model!

### 2. 要素と要素間の関係

2. Elements and their relationships and dependencies.

### 3. 異なる種類の要素間の関係

3. Relationships and dependencies of different type elements.

### 4. 段階的詳細化

4. Take layered approach not deep dive.

## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:1. ダイアグラムはモデルではない!

*A Primer for Model-Based Systems Engineering* 1. A set of Diagrams is NOT a model!

p34 注意書き: ダイアグラムをいくらたくさん集めても、それはモデルではない

Various graphical and textual views derived from the true systems model are sometimes treated<sup>※</sup> as if they were themselves models. However, these are, at most, viewable projections of the underlying model. That is, they contain some subset of entities, attributes, and relationships presented so that the engineer, reader, or reviewer gains insight into a particular aspect or aspects of the system design. Graphical or textual views, in themselves, are not sufficient to constitute a model. They are, rather, expressions of the model being represented. To be a true model, the system model needs to manage the depth, breadth, and associated boundary conditions of the system. This is not possible with a view or even a set of views. Views are a valuable tool for understanding, analyzing, and communicating the model. Some sets of views even offer a broad understanding of many system aspects. But the views themselves are not a model.

<http://www.vitechcorp.com/resources/mbse.shtml>

<p34 from *A Primer for Model-Based Systems Engineering*>

※ダイアグラムのことを指す

意識:

ダイアグラムや文字で記述されたViewは、あくまでもシステム全体を捉えたシステムモデルがあったとすると、そのモデルをある観点から投影した投影像にすぎない。

そうした投影像であるViewをいくら寄せ集めても、システムモデルそのものの持つ多面的で立体的な情報に伍することはない。

あくまでもダイアグラムはモデルをある目的においてスコープを絞り表現するための手段に過ぎない。



## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:

### 1.ダイアグラムはモデルではない! 2. 要素と要素間の関係

1. A set of Diagrams is NOT a model!

2. Elements and their relationships and dependencies.

- 「システムモデルを作る」とは、
- 本質的には「ダイアグラムを描くこと」ではなく、「システムの要素を特定しモデル化し、その要素が他のシステム内外の要素とどの様に関係しているかを明らかにしながらモデルに反映すること」である。
- この作業を視覚化して実施し易くするためにダイアグラムを活用する。または、モデルの内容を他者にも理解し易くすることもダイアグラムの役割であると言える。
- システムの要素には様々な種類がある。要求、コンテキスト、機能、物理、Flow Item、物理量、単位、変数、等。

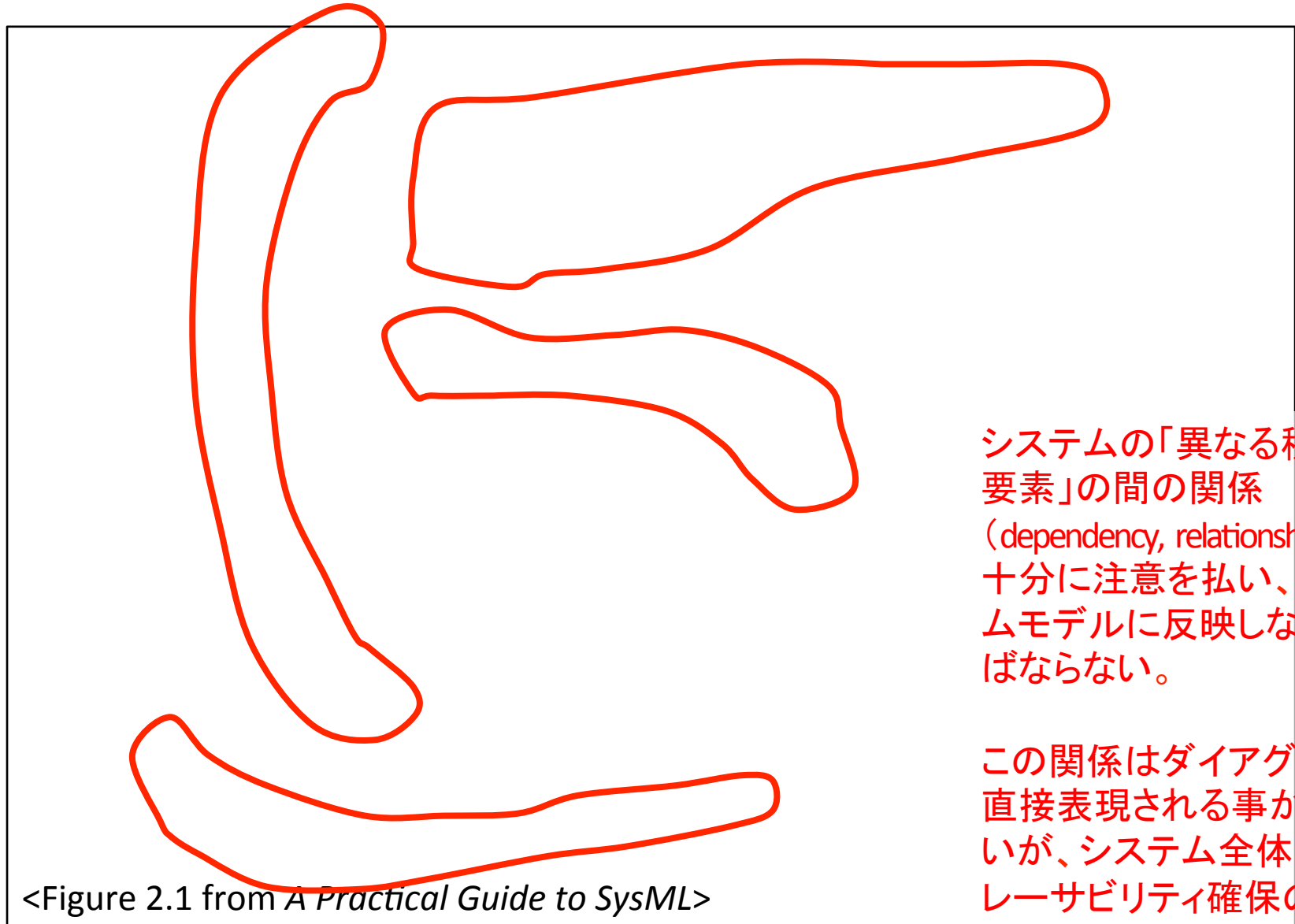
**MBSEにおけるシステムモデルの注意点:3. 異なる種類の要素の関係**  
3. Relationships and dependencies of different type elements.



<Figure 2.1 from *A Practical Guide to SysML*>

## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:3. 異なる種類の要素の関係

### 3. Relationships and dependencies of different type elements.

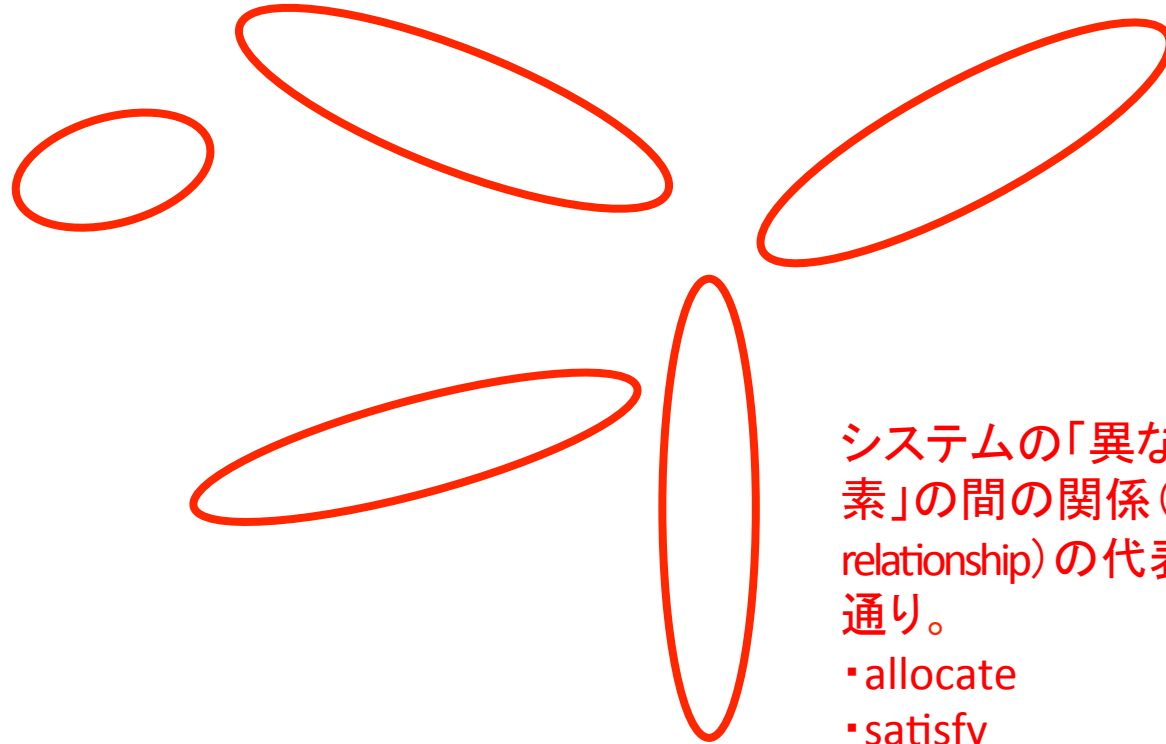


システムの「異なる種類の要素」の関係 (dependency, relationship) に十分に注意を払い、システムモデルに反映しなければならない。

この関係はダイアグラムに直接表現される事が少ないが、システム全体のトレーサビリティ確保のためには極めて重要である。

## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:3. 異なる種類の要素の関係

### 3. Relationships and dependencies of different type elements.



システムの「異なる種類の要素」の間関係 (dependency, relationship) の代表例は以下の通り。

- allocate
- satisfy
- verify
- trace

<Figure 3.3 from *A Practical Guide to SysML*>

## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:4. 段階的詳細化

### 4. Take layered approach not deep dive.

<http://www.vitechcorp.com/resources/mbse.shtml>

ディープ・ダイブ型の古典的システムズエンジニアリング

層状アプローチ型のMBSE

<Figure 24 from *A Primer for Model-Based Systems Engineering*>

要求分析、システム設計、システムの検証と妥当性確認(V&V)などのシステムズエンジニアリングの各プロセス、アクティビティ、タスクひとつ一つを、「すべて詳細まで終わらせてから次」というアプローチを取る事はシステムを俯瞰的に実現していく事に対してマイナス効果であると言える。

## MBSEにおけるシステムモデルの注意点:4. 段階的詳細化

### 4. Take layered approach not deep dive.

## 反復的なアプローチ

<http://www.vitechcorp.com/resources/mbse.shtml>

抽象度 高

抽象度 低

<Figure 24 from *A Primer for Model-Based Systems Engineering*>

全体俯瞰を可能にし、システムを俯瞰的に細部までデザイン、実現していくには、抽象度をしっかりと制御しながら、右図のように各プロセスを何度も反復する中で、段階的に詳細化を進める事が有効である。

システムモデルのパッケージ構成についても、このような考え方に合った構成を考える事が重要である。

# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# 5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？

## 5. Who should create a System Model in MBSE?

- **システム設計者※**  
(※対象の部分ではなく、対象全体を設計する責任を持つ人)
  - もしくは、システム設計者同等の目的意識、全体俯瞰、部分への配慮、ができる人物や組織
  - または、システム設計者とシステムモデリングスキルを持った人物や組織による協創
- 各部分の関係者やエキスパートと密なコミュニケーションをとりながら、**システム設計を進めると同時にシステムモデルを作っていく。**
  - システムモデルを作る事で、より効果的に、効率的にシステムの設計が決まっていく。
- **開発の進捗に合わせて、システムモデルはどんどんと更新、修正されていく。その履歴を残す事も極めて重要。**
  - 開発終了後も、そのシステムのライフサイクルの終わりまで(e.g 廃棄ステージ)の様々なシステムズエンジニアリングプロセスを支援するシステムモデルが理想的。
- 作られたシステムモデルは一元管理の下、多くの開発関係者やその他のステークホルダーと共有され、双方向の情報伝達のハブとなる事が望ましい。
  - システムモデルを読んで理解するリテラシーの向上が必要。



# Table of Contents

1. システムズエンジニアリングとモデル  
1. Systems Engineering and Model
2. MBSEにおけるシステムモデル  
2. System Model in MBSE
3. 開発におけるシステムモデル  
3. Your engineering process and System Model
4. MBSEにおけるシステムモデルの注意点  
4. Often misunderstood things about System Model in MBSE
5. MBSEにおいてシステムモデルを作るのは誰か？  
5. Who should create a System Model in MBSE?
6. MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？  
6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

# 6.MBSEにおいて有効なシステムモデルを作り活用するためには？

## 6. What needs to be done to create and utilize a System Model in MBSE?

- システムズエンジニアリングの考え方の理解
- システムズエンジニアリングの考え方に基づいた、自分の開発対象に合ったやり方の習得とその流れのデザインに関する議論
- 何の目的でシステムモデルを作るのかの十分な議論
- その目的を果たすためにどのようなシステムモデルが必要かの十分な議論
- そのシステムモデルを実現し、開発で活用するために必要な人(スキル、知識)、仕事の仕方、環境などの整備に関する議論

# Works Cited

- Cole, B., C. Delp, and K. Donahue. 2010. "Piloting Model Based Engineering Techniques for Spacecraft Concepts in Early Formulation." *California Institute of Technology, Published by INCOSE*.
- 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.
- *ISO/IEC Standard for Systems Engineering - Application and Management of the Systems Engineering Process* 2007. ISO/IEC 26702 IEEE Std 1220-2005 First Edition 2007-07-15.
- *ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and Software Engineering -- System Life Cycle Processes* 2015. ISO/IEC/IEEE 15288 First Edition 2015-05-15.
- "ISO/IEC/IEEE Systems and Software Engineering -- Architecture Description." *ISO/IEC/IEEE 42010:2011(E) (Revision of ISO/IEC 42010:2007 and IEEE Std 1471-2000)* (2011): 1-46.
- Long, David and Zane Scott. 2011. *A Primer for Model-Based Systems Engineering* Lulu. com.
- Oster, Christopher. 2013. *So I've Modeled... what's Next?*, edited by Lockheed Martin Corporation INCOSE IW.