

J1020102

## 大学のモノづくりプロジェクトにおける MBD ベースの試行錯誤環境の構築

Sutherland Joshua<sup>\*1</sup>, 大泉 和也<sup>\*2</sup>, 青山 和浩<sup>\*2</sup>

### Making Research Paper (About the Use of the JSME Specification Template File)

Joshua Sutherland<sup>\*1</sup>, Kazuya Oizumi<sup>\*2</sup>, Kazuhiro Aoyama<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> The University of Tokyo, Dept. of Systems Engineering  
Hongo 7-3-1, Bunkyo, Tokyo, 113-8656, Japan

This paper presents a methodology to explore different system architecture of a solar boat, which is developed in a student project. A descriptive system model and a simulation model are bridged to keep track of design exploration. As for Descriptive model, Object Process Methodology was employed, while Modelica is employed as simulation model. As descriptive model incorporates linkages to simulation models that contains multiple alternative design, design exploration is kept track on the model, which enhances transfer of design knowledge within a team and over generations.

**Key Words** : Systems Engineering, Knowledge Management, System Architecture, Design Alternatives,  
Object Process Methodology, Modelica

## 1. 緒 言

著者の所属する大学院では、例年無人ソーラーボートを制作しレースに出場する学生プロジェクトがある。限られた時間とリソースの中での開発であるため多くの困難を伴う (Sutherland, et al. 2015)。過去のプロジェクトの設計情報などから、設計に必要な知識を習得するが、設計情報が体系化して管理されていないため、知識の習得に多くの時間を要してしまう。結果、目標が曖昧なまま設計が始まり、代替案の検討が十分になされていない。こうした状況を改善するための設計情報の管理環境が待望される。

## 2. 研究目的

本論文では学生プロジェクトを支援することを目的としたシステムモデリング手法を提案する。従来の計算モデルが散在する状況では、適切なモデルへのアクセスが難しく、また設計における選択の理由などが暗黙的になっていて、モデル上での管理がなされていない。こうした問題を解決するため、設計情報を一元管理し、それぞれのモデルの存在する理由が明示的に理解可能なシステムモデルを構築する。また、システムモデル上で設計代替案の比較を可能にする。これらを目的にシステムモデルの構築手法とその管理環境を提案する。

## 2. 文献調査

The International Council of Systems Engineering (INCOSE)はトレードスタディを考慮した意思決定マネジメントプロセスを規定している (INCOSE, 2015)。その実例 (Cilli & Parnell, 2014), (Edwards et al., 2015) では上位の目

<sup>\*1</sup> 非会員, 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>\*2</sup> 正員, 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: taro@jsme.or.jp

標を下位の評価尺度に分解し、サブシステムの組み換えが可能なシステムアーキテクチャを採用している。これらの文献に照らしてソーラーボートプロジェクトを見ると、システムモデルとその管理環境に以下の機能が要求されると考えられる。

- 概念設計とシステム設計の関連づいた記述
- システム要求・システムアーキテクチャの記述
- システムモデルの記述とシステムシミュレーションの関係の明示化
- 設計代替案のシステム設計とシミュレーションによる評価結果を管理し比較するための共通基盤

こうしたシステムモデルの管理環境を実現するにはシステム要求やシステムアーキテクチャおよび設計代替案記述可能なモデルおよび物理シミュレーションが可能なモデルが必要となる。これらについては既存のモデリング言語が存在する。

記述的なシステムのモデリング言語としては SysML や Object-Process Methodology (OPM) (Grobshtein, et al., 2007) が挙げられる。SysML はシステムを見る視点によって複数のダイアグラムを使い分ける。一方、OPM はオブジェクトとプロセスによってシステムを記述する一種のダイアグラムのみを有する。SysML は詳細の正確な記述・伝達に優れる。OPM は詳細な記述には限界があるが、システム全体の俯瞰性は高い。本研究ではシステムアーキテクチャの選択といった全体の構成に主眼を置くことから、全体俯瞰性の高い OPM をシステム記述言語として採択することとした。

ソーラーボートの設計代替案の比較を行う上で、それぞれの設計代替案を物理的観点で評価する必要がある。そのためにシミュレーションモデルが必要となる。ソーラーボートは電気・機構・構造・流体など複数の物理領域での検討を必要とするシステムである。従って複合物理領域をシミュレーションする必要がある。従って本研究では Modelica をシミュレーションのモデリング言語として採用した。代替案を考える上でも、コンポーネント単位でシミュレーションモデルを管理できる点は Modelica の利点である。

このように記述的なシステムモデリング言語と、シミュレーションモデルとの連携はこれまでも検討されてきた。SysML と Modelica の連携 (OMG, 2010), SysML と Simulink (Qamar, et al., 2009) や OPM と Simulink (Bolshchikov, et al., 2011) などが存在する。しかし、システムレベルでの設計代替案を検討する上で有利と考えられる OPM と Modelica の連携についてはこれまでに研究がなされていない。

### 3. システム設計と知識管理のための OPM と Modelica の活用

提案するモデルは扱う情報の種類によって OPM と Modelica を使い分ける。表 1 に提案モデルで扱う情報の種類とそれに対応するモデリング言語を示す。

複雑システムを設計する上では、設計を階層化することで複雑さを軽減する。本論文ではソーラーボートのシステムアーキテクチャを表 2 に示すように 4 レベルに分解した。

Table 1 Definitions of the types of models in OPM and Modelica

Model type:	Definition:	OPM	Modelica
Functional Architecture	Process and operand description of the system for modeling.	Y	N
System Architecture	Assignment of objects to processes.	Y	N
Formal Structure	Direct connection of objects.	Y	Y
Connectors	Defines how the object is connected to other objects.	Y	Y
Alternative	A fully specified definition of the item for modeling.	N	Y
Simulation result	Time series object attribute values.	N	Y

Table 2 Definitions and examples of items for modeling from the OPM and Modelica assessment hierarchy

Hierarchy level:	Definition:	Example:
Assessment Scenario (Level 1)	A process which is considered appropriate to use to compare alternative designs with.	Driving forward in good weather.
System of Interest (Level 2)	The System of Interest which enables the Assessment Scenario process to be completed.	SolarBoat.
Subsystem (Level 3)	Subsystems which make up the System of Interest.	Solar to Electrical subsystem.
Subsystem Component (Level 4)	Components which make up the Subsystem.	Electrical to Rotation component (i.e. a motor).

図1は各レベル，情報の種類に対するソーラーボートにシステムモデルを表したものである．図中の矢印に示すように機能に着目して製品システムを分解しながら，最終的に計算可能な Modelica モデルを生成していく．また，OPM 内に代替案を記述し，それぞれについて Modelica モデルを生成し OPM の記述と関連付けて管理する．

Model type:	Functional architecture:	Systems architecture (decomposition of process):	Formal structure (decomposition of structure):	Alternative:	Simulation result:
Language:	OPM			Modelica	
Level 1 [Driving forward]	No				
Level 2 [SolarBoat]					
Level 3 [Electrical to Thrust system]					

Fig. 1 Generating creative alternatives using the assessment hierarchy

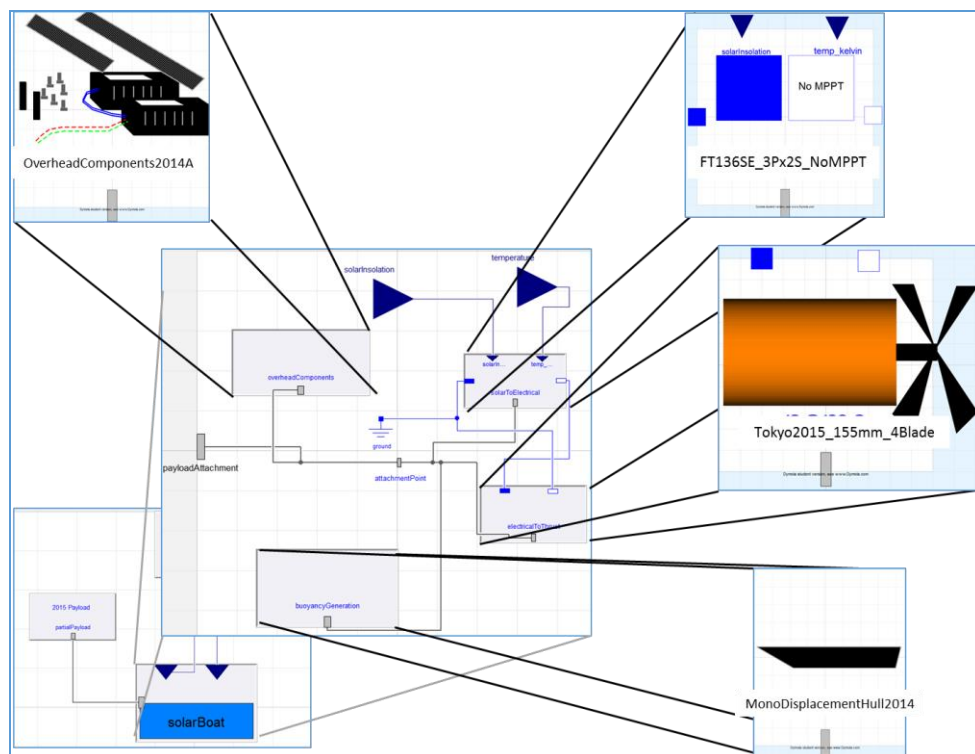


Fig. 2 SolarBoat Formal Structure (Level 2) being populated with subsystems (Level 3)

#### 4. 実行例

上記のソーラーボートのシステムモデルと管理環境を用いた、システムアーキテクチャ選択の実行例を示す。図2はソーラーボートについて作成した Modelica モデルである。図2では第2レベルであるソーラーボートのシステムアーキテクチャを第3レベルのサブコンポーネントの組み合わせによって実現している。サブシステムのモデルを組み替えることでソーラーボートの設計代替案を作成し比較する。

比較には日照条件などの異なる4つの評価シナリオを設定し、各設計代替案を比較した。図3はシミュレーション結果の一例である。図4は5種類の設計代替案を評価尺度の積み上げグラフで比較したものである。このように提案するモデリング手法を用いることで、システムレベルでの設計代替案の比較が容易に可能となり、設計代替案が一元的に管理できることで、設計者間で情報の伝達が容易にできることが確認できた。

#### 5. 結 語

本論文では学生のソーラーボート開発プロジェクトの設計を支援する目的でシステムアーキテクチャ設計と知識マネジメントのためのシステムモデルとその管理環境を提案した。提案手法は以下に挙げる特徴を有する。

- システムの機能や概念設計を OPM により記述し、計算モデルとして記述した Modelica モデルと連携する

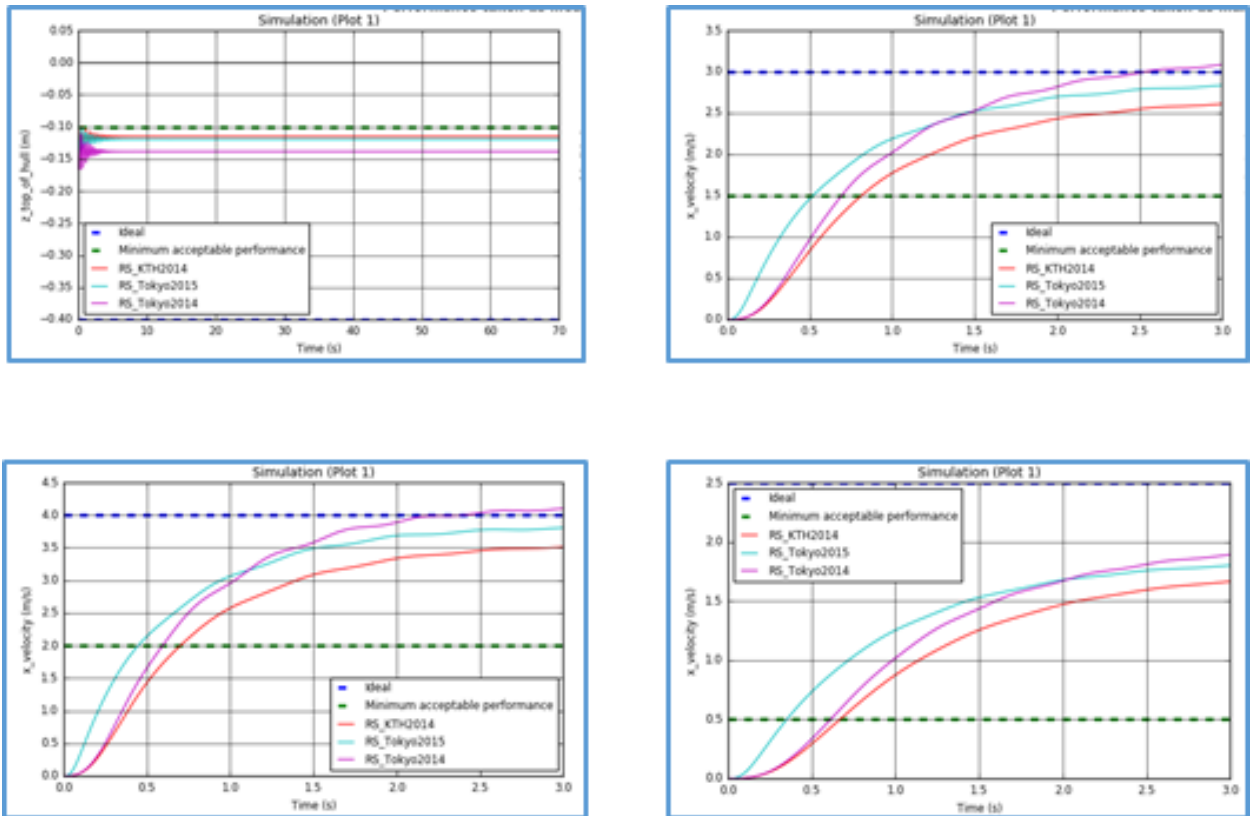


Fig. 3 Simulating five SolarBoats alternatives over 4 different Assessment Scenarios

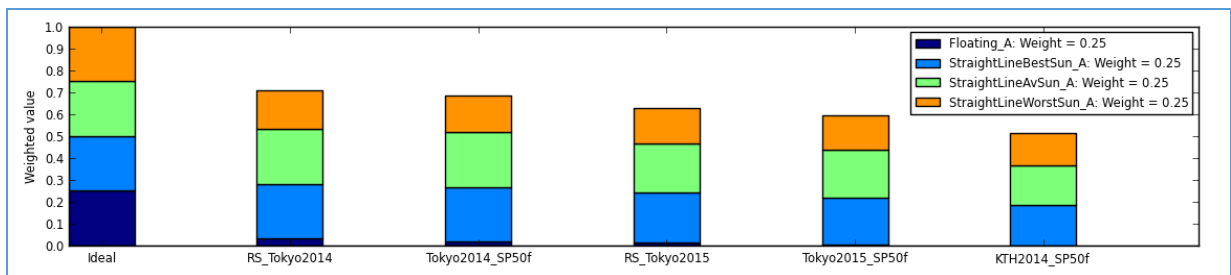


Fig. 4 Results from comparison of past boat designs and the replacement of the solar panel

- 設計知識がモデルに表現されることで、知識の伝達が容易になる

OPM と Modelica を論理的に連携することで、シミュレーションまでを包括して設計の知識や比較・選択を明示的に管理することが可能となった。これにより学生プロジェクトにおいて、過去のプロジェクトから現行のプロジェクトへの知識の伝達が効率化することが期待できる。また、モデルをモディファイすることでシステムアーキテクチャの選択を、シミュレーションを行いながら検討することが容易となったので、システムアーキテクチャの検討を従来より論理的に行いやすくなったと考えられる。

## 文 献

- (1) Cilli, M. V., & Parnell, G. S. (2014). Systems engineering tradeoff study process framework. In 24th INCOSE Int'l Symposium, Las Vegas, NV.
- (2) Edwards, S., Cilli, M. V., Peterson, T., Zabat, M., Lawton, C., & Shelton, L. (2015). Whole Systems Trade Analysis. In 25th INCOSE Int'l Symposium, Seattle. Seattle, WA, USA.
- (3) Grobshtein, Y., Perelman, V., Safra, E., & Dori, D. (2007). Systems modeling languages: OPM versus SysML. In Systems Engineering and Modeling, 2007. ICSEM'07. International Conference on (pp. 102–109). IEEE.
- (4) INCOSE. (2015). Wiley: INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, 4th Edition - INCOSE.
- (5) Scheithauer, D., & Forsberg, K. (2013). V-Model Views. INCOSE International Symposium, 23(1), 502–516.
- (6) Sutherland, J., Kamiyama, H., Aoyama, K., & Oizumi, K. (2015). Systems Engineering and the V-Model: Lessons from an Autonomous Solar Powered Hydrofoil. Presented at the 12th International Marine Design Conference (IMDC), Tokyo Japan.