



『モノ・コトづくり産業での イノベーティブシステムデザイン最前線』

モデルベースシステムズエンジニアリングの最前線
～SysMLで広がるビュー～

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
教授 西村秀和

h.nishimura@sdm.keio.ac.jp

略歴と業績

略歴

1985年3月 慶應義塾大学工学部機械工学科卒業
1987年3月 同大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了
1990年3月 同大学院理工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了 工学博士
1990年4月より千葉大学工学部機械工学科助手 1995年より同助教授
2006年9月～10月 デルフト工科大学訪問研究員
2007年2月～3月 バージニア大学訪問准教授
2007年4月 慶應義塾大学先導研究センター教授 「SDM研究科設立準備」
2008年4月 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教授
2011年4月～2012年3月 日本機械学会 機械力学・制御部門 部門長
2012年2月～2014年1月 計測自動制御学会 総務担当理事



著書

1998年『MATLABによる制御理論の基礎』（共著），『MATLABによる制御系設計』（共著）
2007年『運動と振動の制御の最前線』（共著）
2012年『システムズモデリング言語 SysML』（監訳 A Practical Guide to SysML）

共同研究実績

車両衝突時の乗員保護制御，車両運動統合制御，Adaptive Cruise Control，
タワークレーンのアシスト制御，エンジンベンチ制御，熱設計マネジメント，次世代プレス開発など

本日の内容

- ▶ 1. モデルベースシステムズエンジニアリング
 - ▶ DualVee開発モデル, エンティティV
 - ▶ アーキテクチャの3つの視点とは？
 - ▶ 要求定義と検証, 妥当性確認の位置づけ
- ▶ 2. SysMLによる機能要求分析
 - ▶ SysMLで何ができるのか？
 - ▶ システム表現: 構造 / 振る舞い / 要求 / パラメトリック制約
- ▶ 3. 事例紹介: 民生機器開発における分散協調設計
 - ▶ キャビティモジュールの提案
 - ▶ モジュール間インタフェースの整理
 - ▶ システム境界条件の仮決めと更新
 - ▶ 手戻りのないタスクベースDSM
- ▶ 4. まとめ

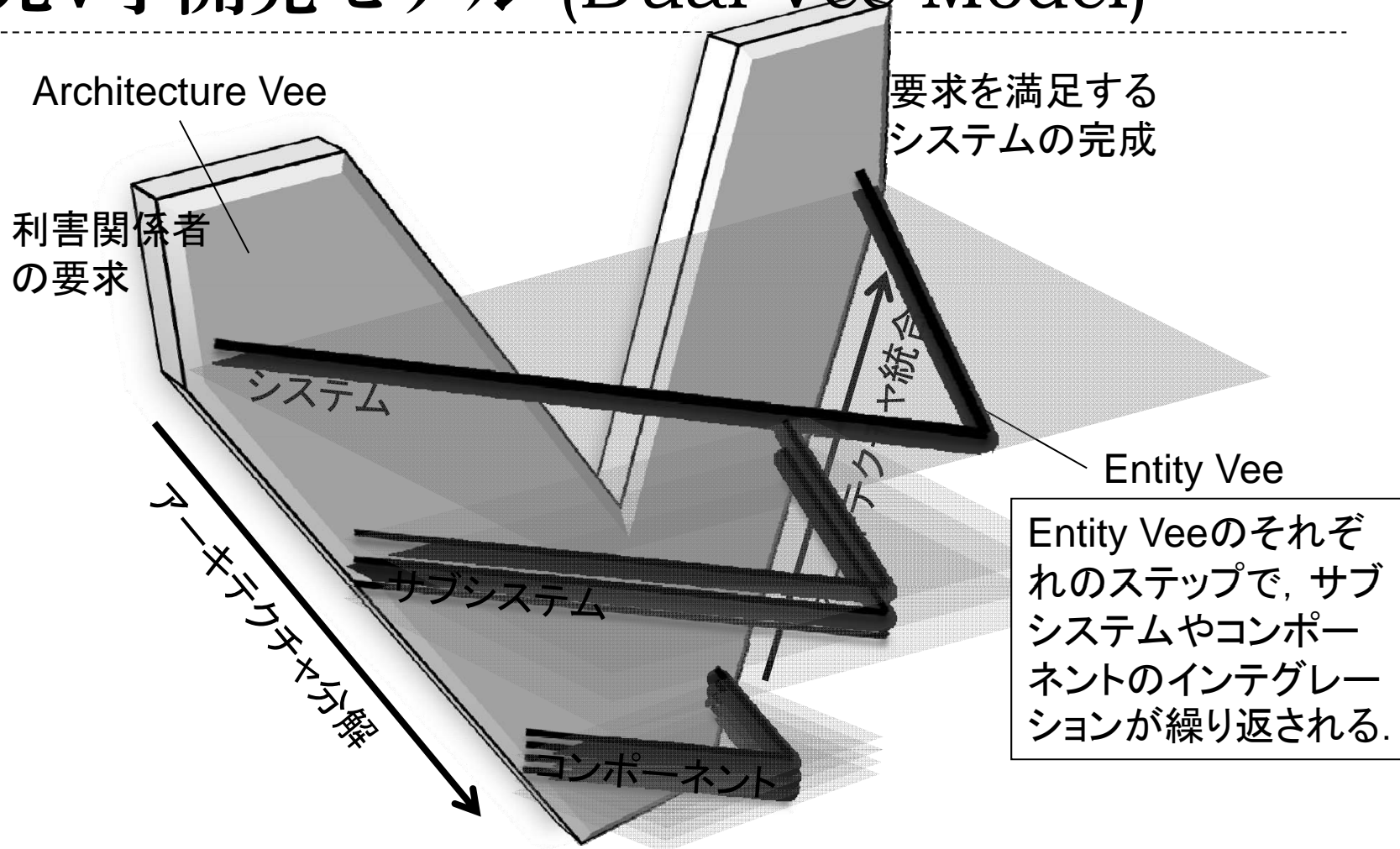
1. モデルベースシステムズエンジニアリング

- ▶ 1-1 Dual Vee(二元V字)開発モデル
- ▶ 1-2 エンティティV
- ▶ 1-3 アーキテクチャの3つの視点とは？
- ▶ 1-4 要求定義と検証・妥当性確認の位置づけ

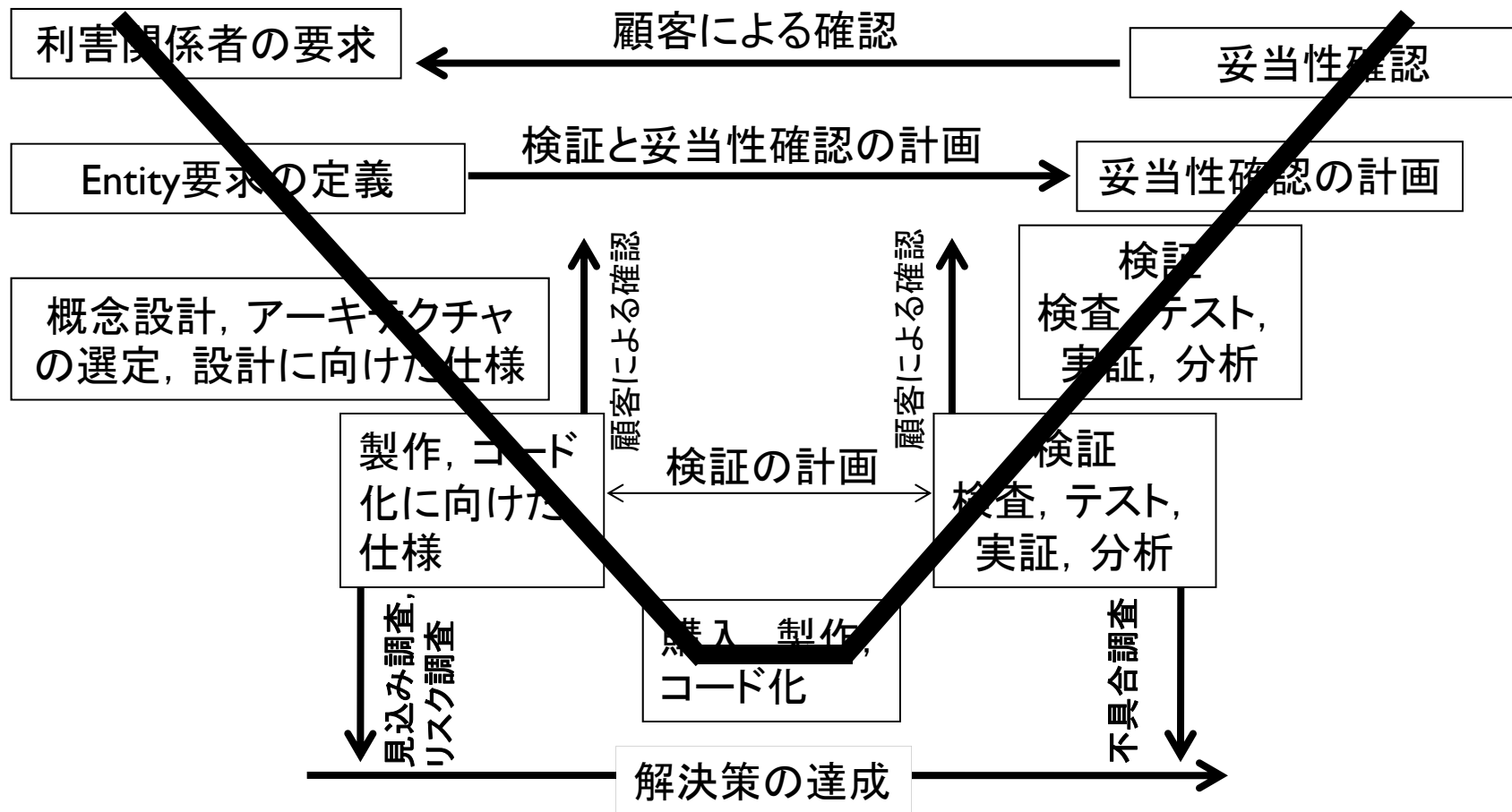
1. モデルベースシステムズエンジニアリング

- ▶ システムズエンジニアリング：
 - ▶ システムを成功裏に実現するための複数の分野にまたがるアプローチおよび手段
 - ▶ INCOSE: International Council on Systems Engineering
- ▶ モデルに基づくシステムズエンジニアリングの必要性
 - ▶ 図的に表現することで容易な理解が可能
 - ▶ システムの協働開発では図的な共通言語が有効
 - ▶ モデルの再利用による開発の効率化, 生産性の向上
- ▶ SysML (Systems Modeling Language)
 - ▶ 複雑なシステムを構造、振る舞い、要求、パラメトリック制約の面から図的に表現することができる。

二元V字開発モデル (Dual Vee Model)



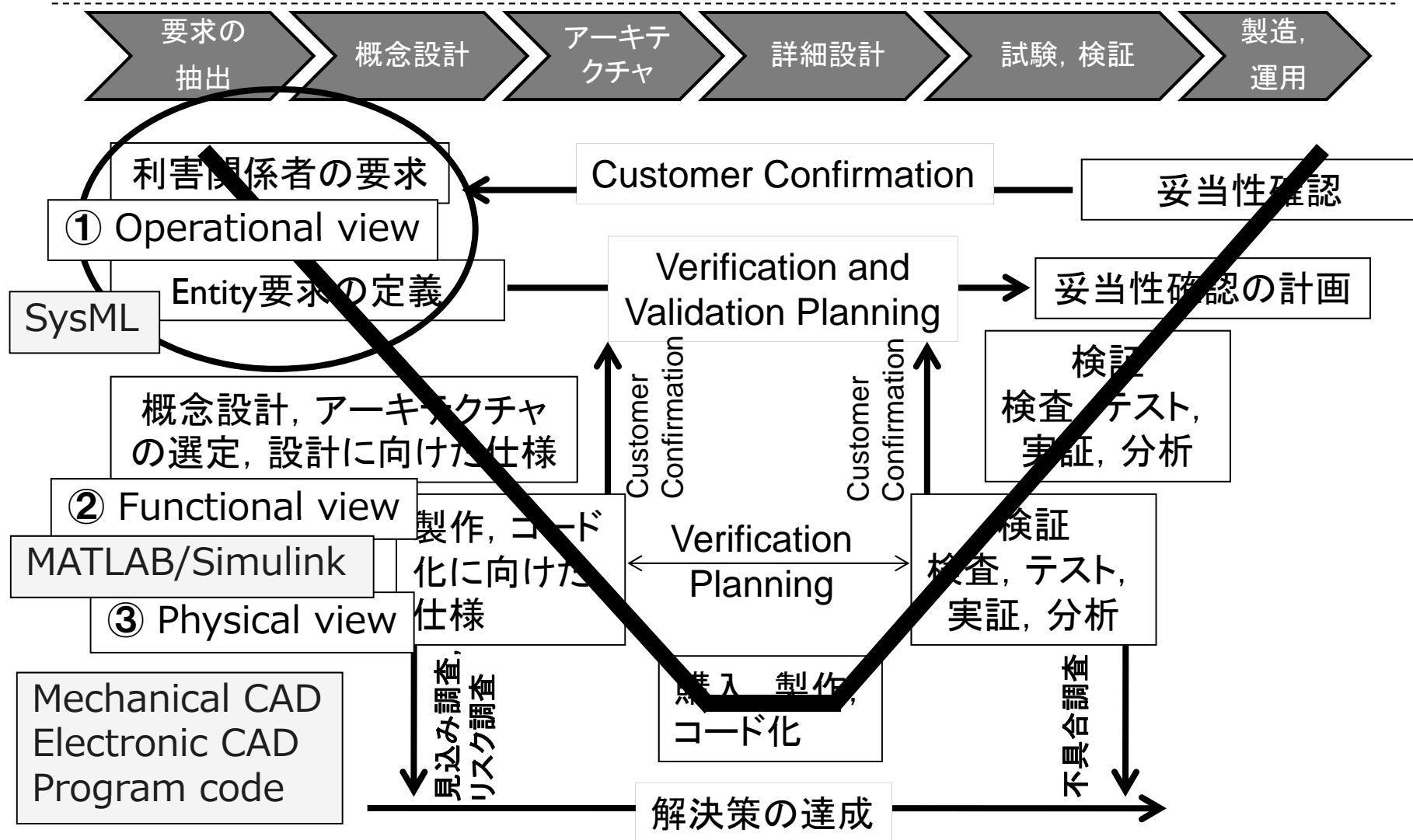
エンティティV (Entity Vee)



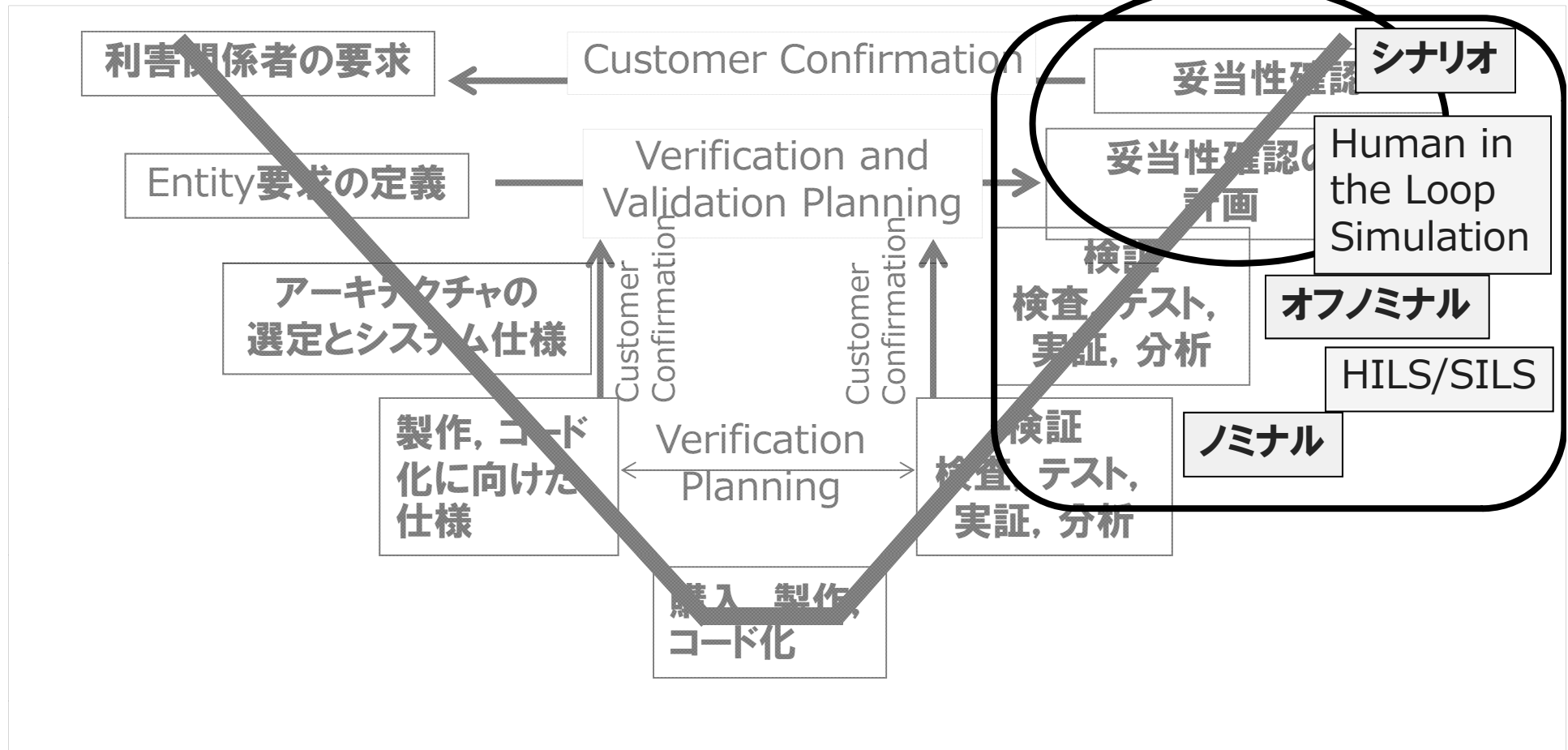
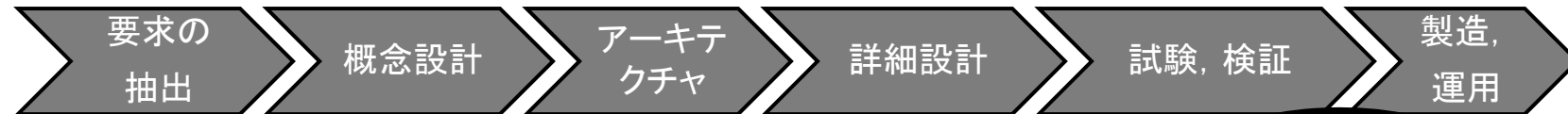
アーキテクチャの3つのビュー

- ▶ Operational view (オペレーション)
 - ▶ 開発するシステムはどのように使用されるのか？ → 要求の明確化
 - ▶ 開発するシステムは他のシステム(外部)とどのような相互作用をするのか？
- ▶ Functional view (機能)
 - ▶ システムは何をしなければならないか？ → 機能要求の明確化
 - ▶ システムができること, サービス, 提供される機能を定義する. 機能間のインタフェース, 相互作用を明確にする.
- ▶ Physical view (物理)
 - ▶ 機能を遂行するためのハードウェアやソフトウェアを定義する.
 - ▶ モジュールやアイテム間のインタフェースを明確にする.
 - ▶ システムアーキテクチャの完成へ向けて, システム要求, サブシステム要求, コンポーネント要求を定める.

エンティティV: 要求定義の位置付け

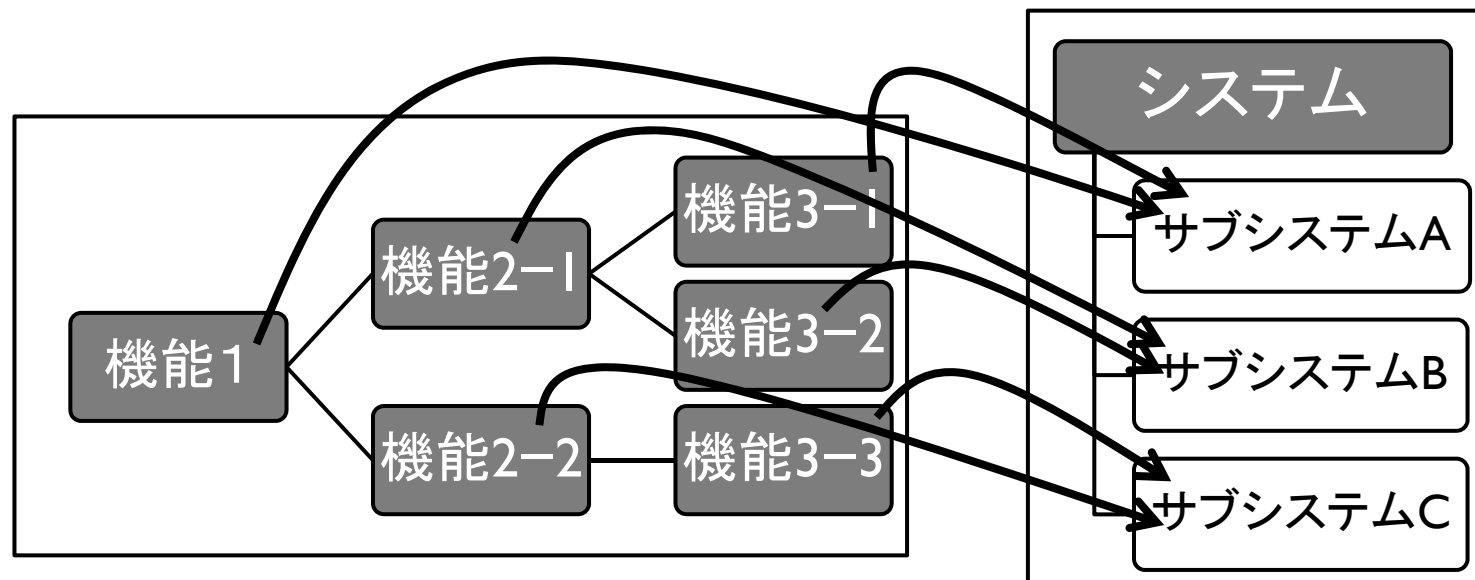


エンティティV： 検証と妥当性確認の位置づけ

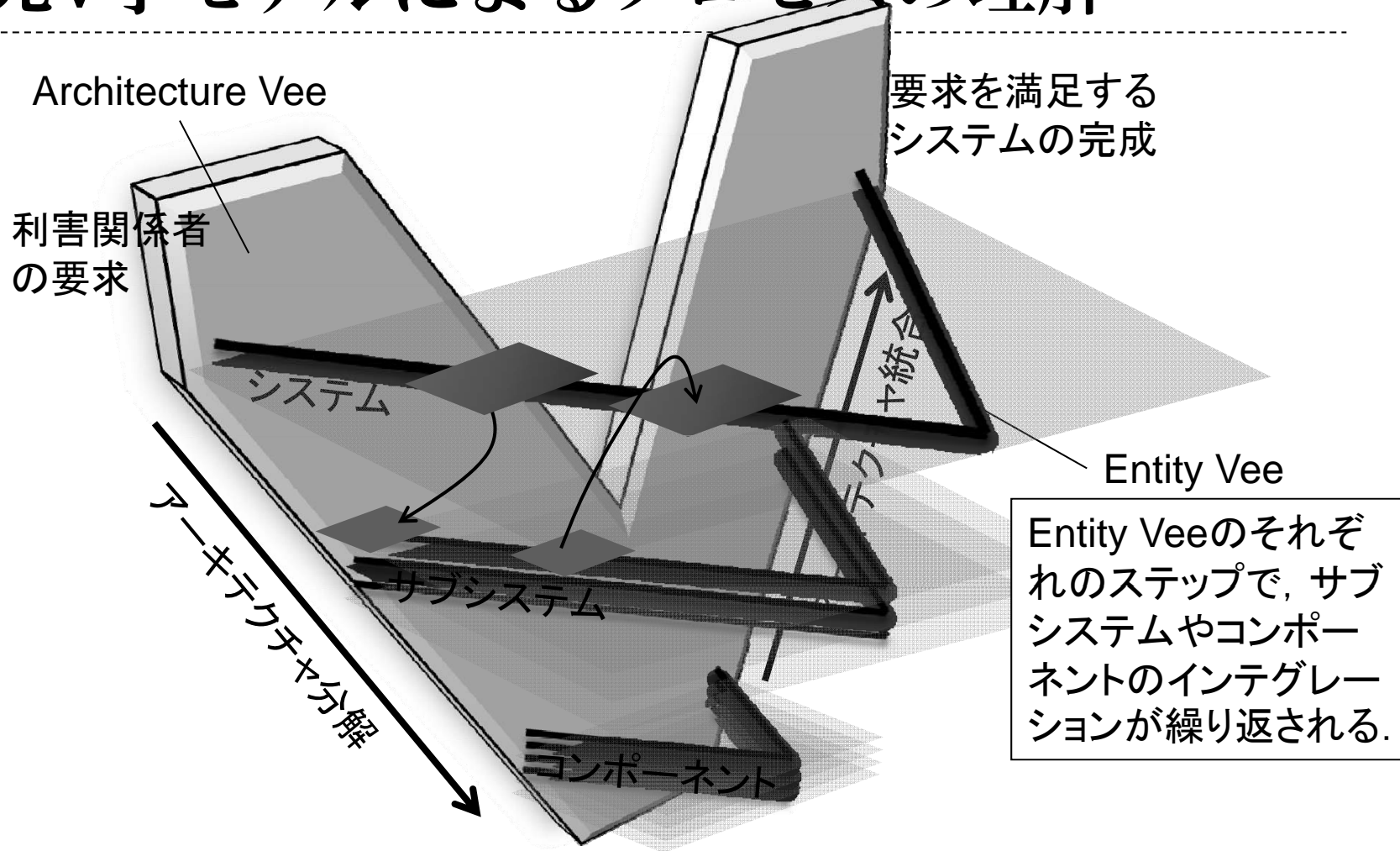


システムの分解の考え方

- ▶ システムへの要求から機能を明確にし、構成するサブシステムやコンポーネントに機能を割り付ける。
- ▶ 構成するサブシステムやコンポーネント間のインターフェースを明確にし、構成要素の仕様を明確にする。

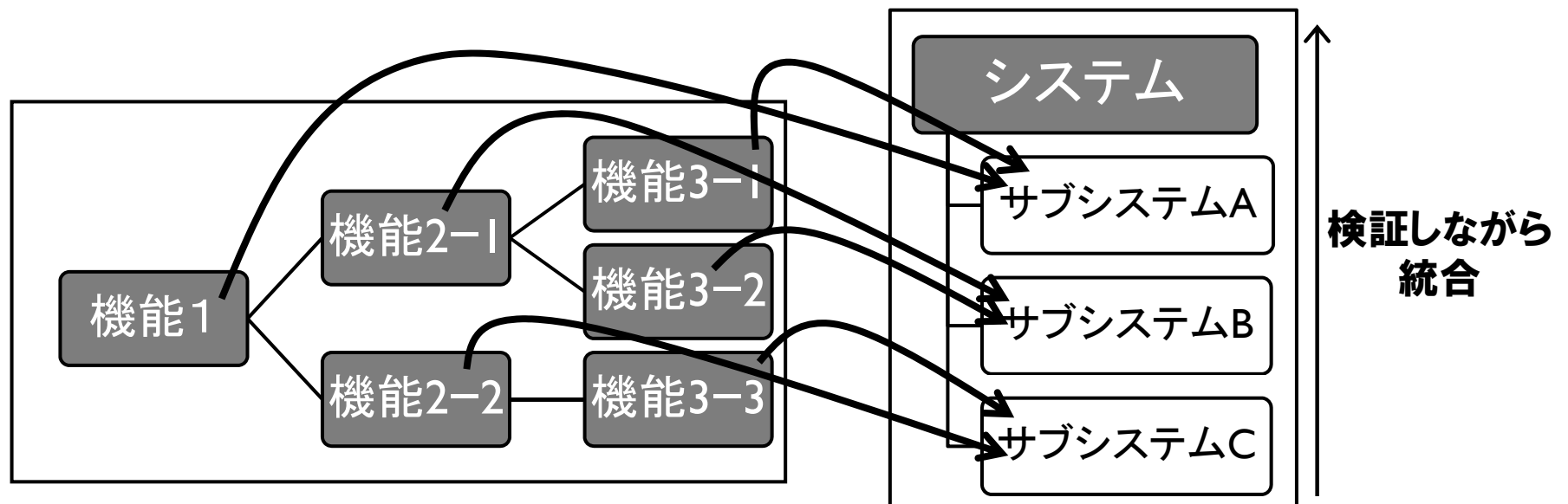


二元V字モデルによるプロセスの理解



検証と統合の考え方

- ▶ 要求・機能を検証、確認するためのテストケースを計画する。
- ▶ 要求・機能が満足されているかをテストケースで検証する。
- ▶ ハードウェア／ソフトウェアに関する個々の検証が済んでから、統合する。



テストケースの計画と管理

- ▶ テストケースの検討
 - ▶ 「要求」は測定可能, テスト可能でなければならない.
↓
 - ▶ ユースケースシナリオから導き出された「要求」を検証
||
 - ▶ ユースケースシナリオのとおり検証することが理想
 - ▶ これには外部システムが必要
- ▶ HILS/SILS等で何をなすべきか？
 - ▶ 開発されたシステムが要求を満たすことを検証
 - ▶ 外部システムの一部あるいはすべてをsimulateする
 - ▶ オペレータが必要 → Human-in-the-loop Simulation

2. SysMLによるシステム表現

- ▶ 2-1 SysMLで何ができるのか？
- ▶ 2-2 構造／振る舞い／要求／パラメトリック制約
- ▶ 2-3 協働作業
- ▶ 2-4 コンカレントエンジニアリング

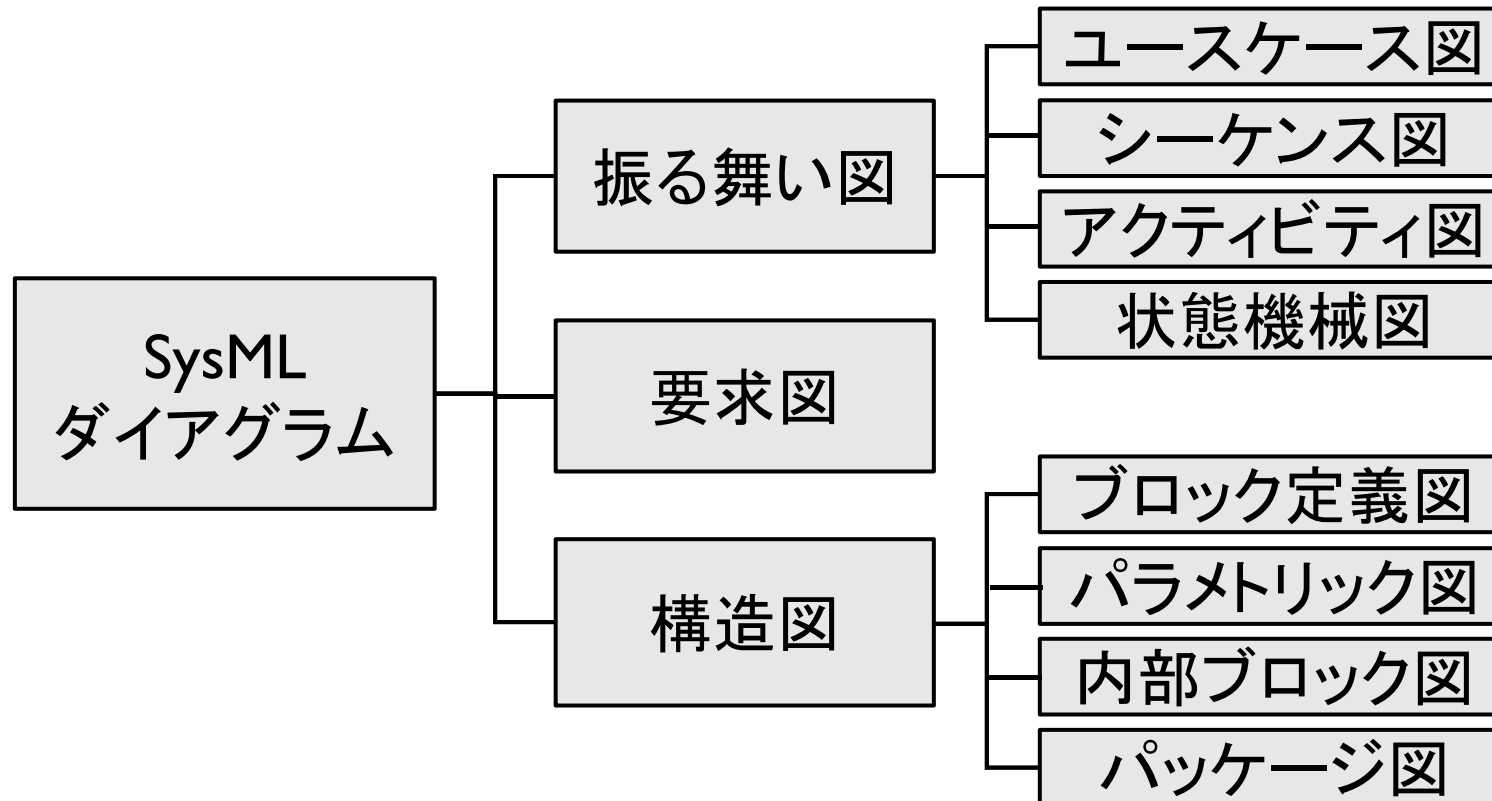
書籍のご紹介(Practical Guide to SysMLの翻訳本)

- ▶ システムズモデリング言語 SysML
- ▶ 西村 秀和(監訳), 白坂成功, 成川輝真, 長谷川堯一, 中島裕生, 翁志强
- ▶ 著者: **Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner**
- ▶ 出版社: 東京電機大学出版局
- ▶ 発売日: 2012年5月10日



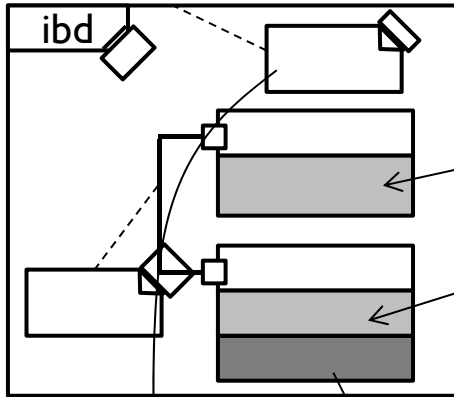
SysMLダイアグラムの分類

SysML: Systems Modeling Language

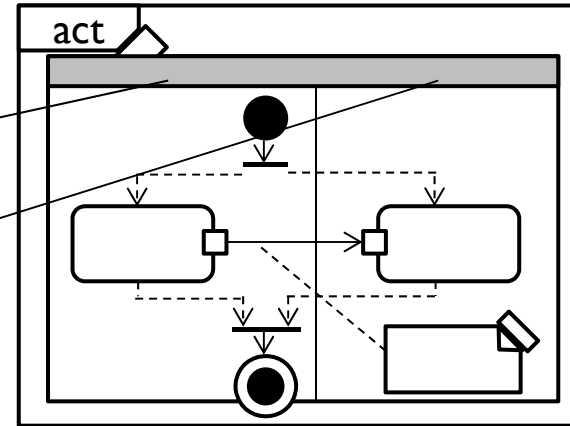


SysMLのダイアグラムは、互いに関連しているので、設計変更があった場合にもその影響を容易に把握できる。

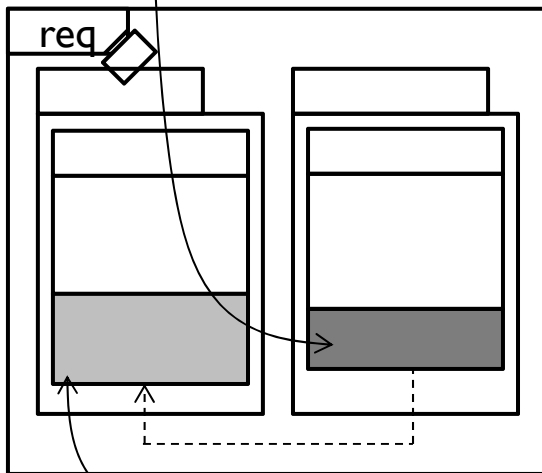
構造



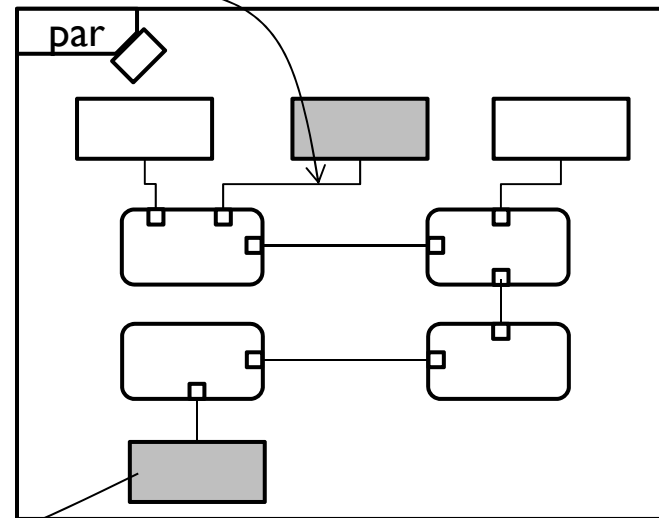
振る舞い



要求

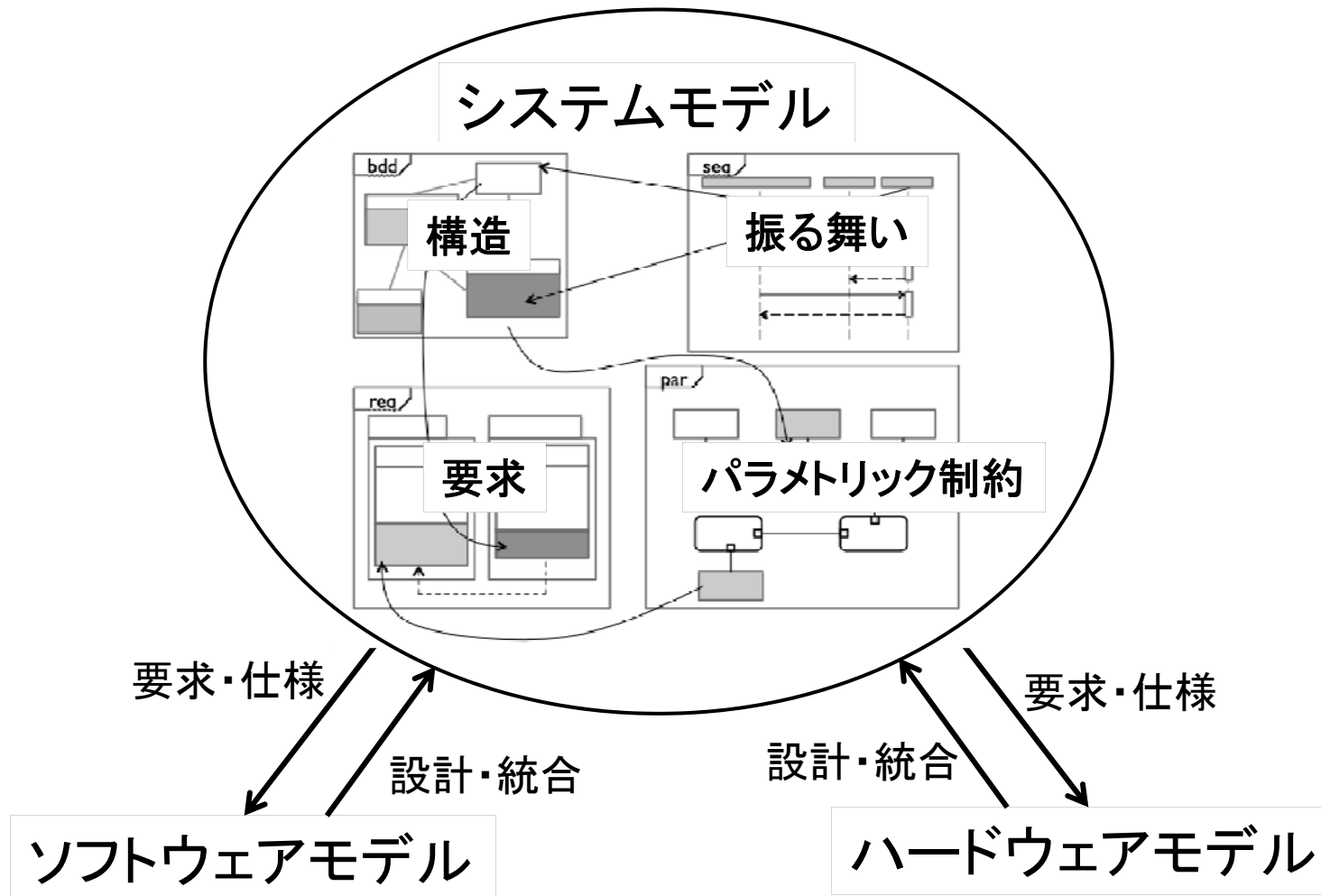


パラメトリック
制約

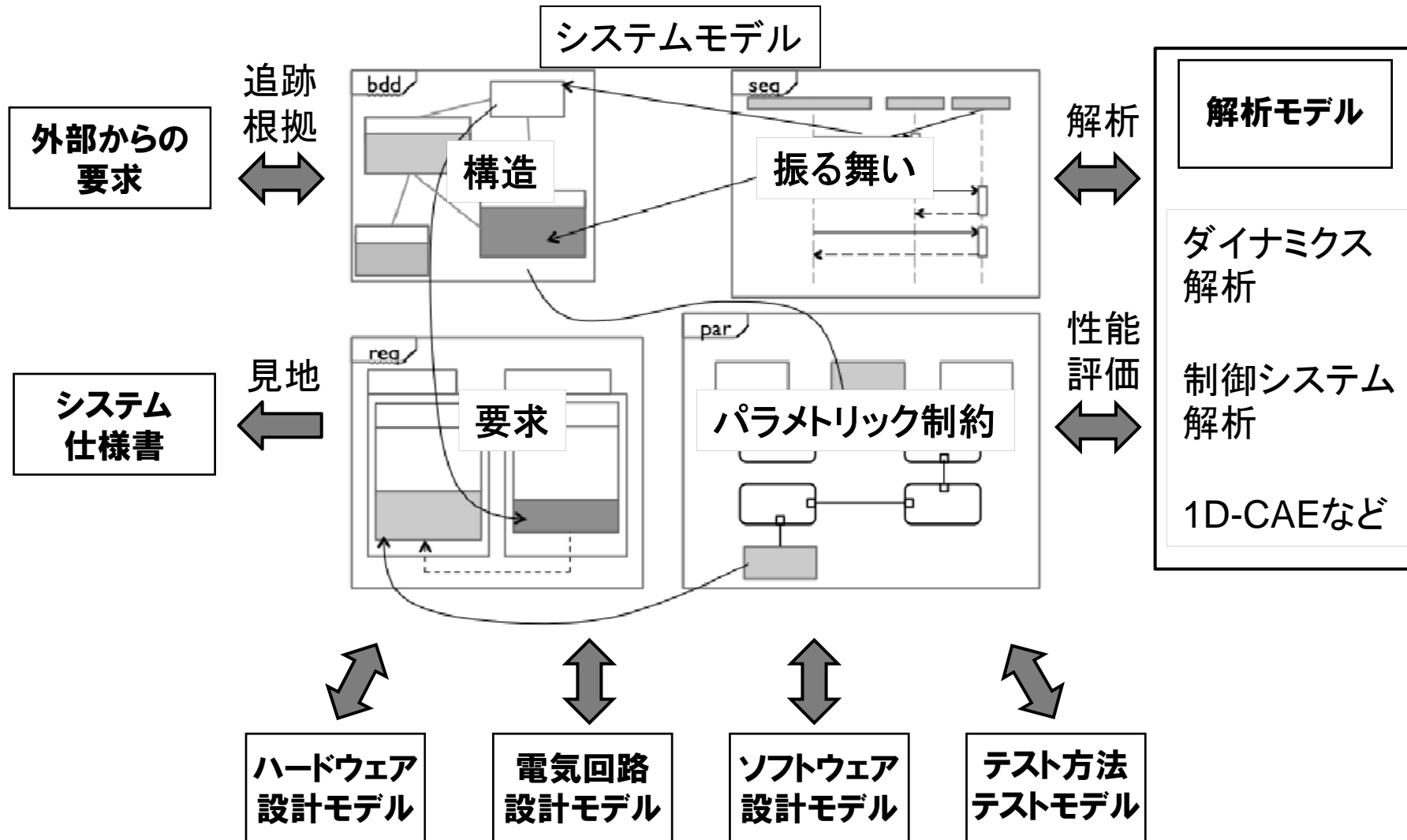


- ・数式表現
- ・運動方程式
- などの制約

SysMLを用いた協働作業



コンカレントデザインを促進するフレームワーク

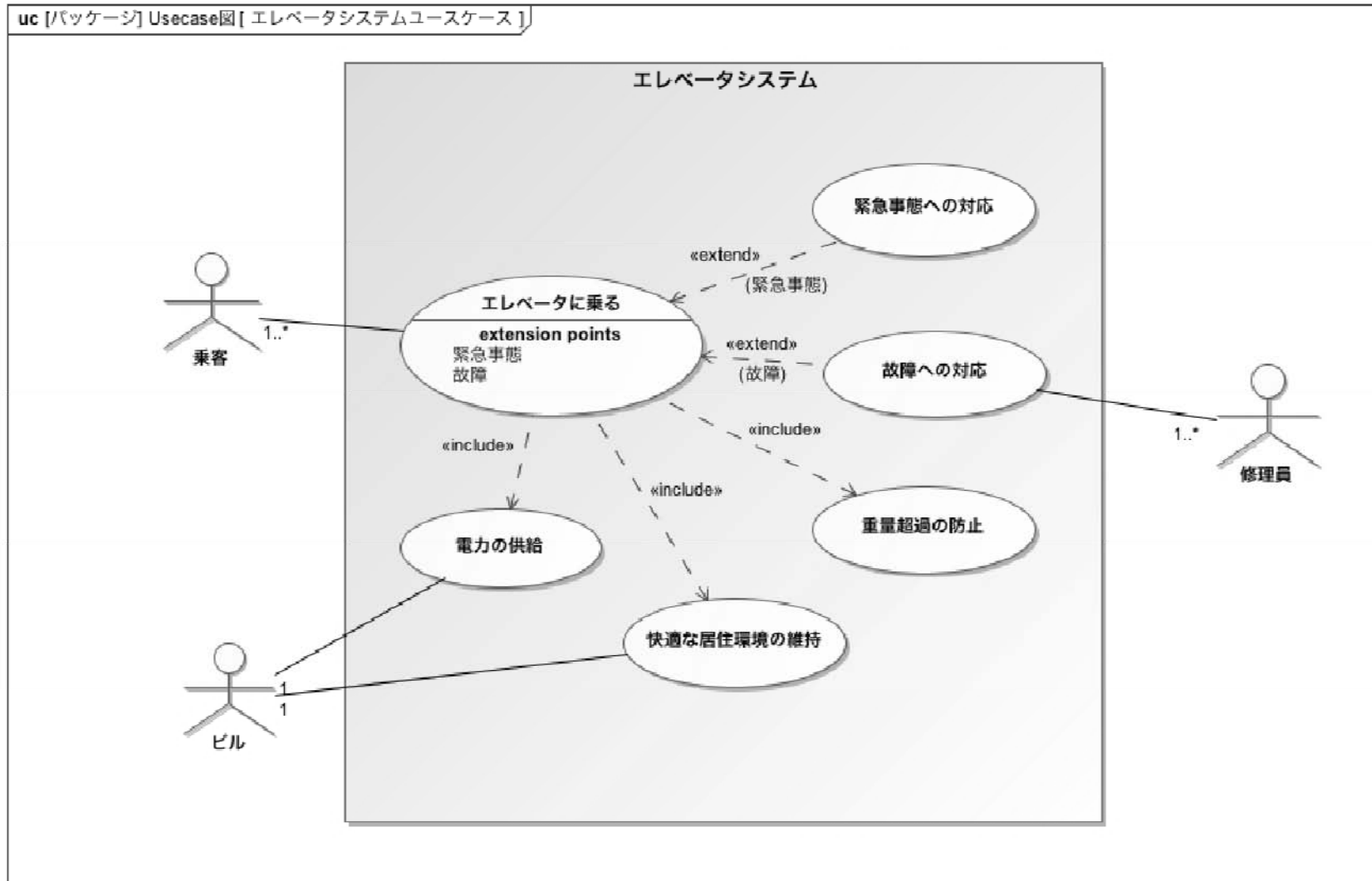


エレベーターに対する要求（例）

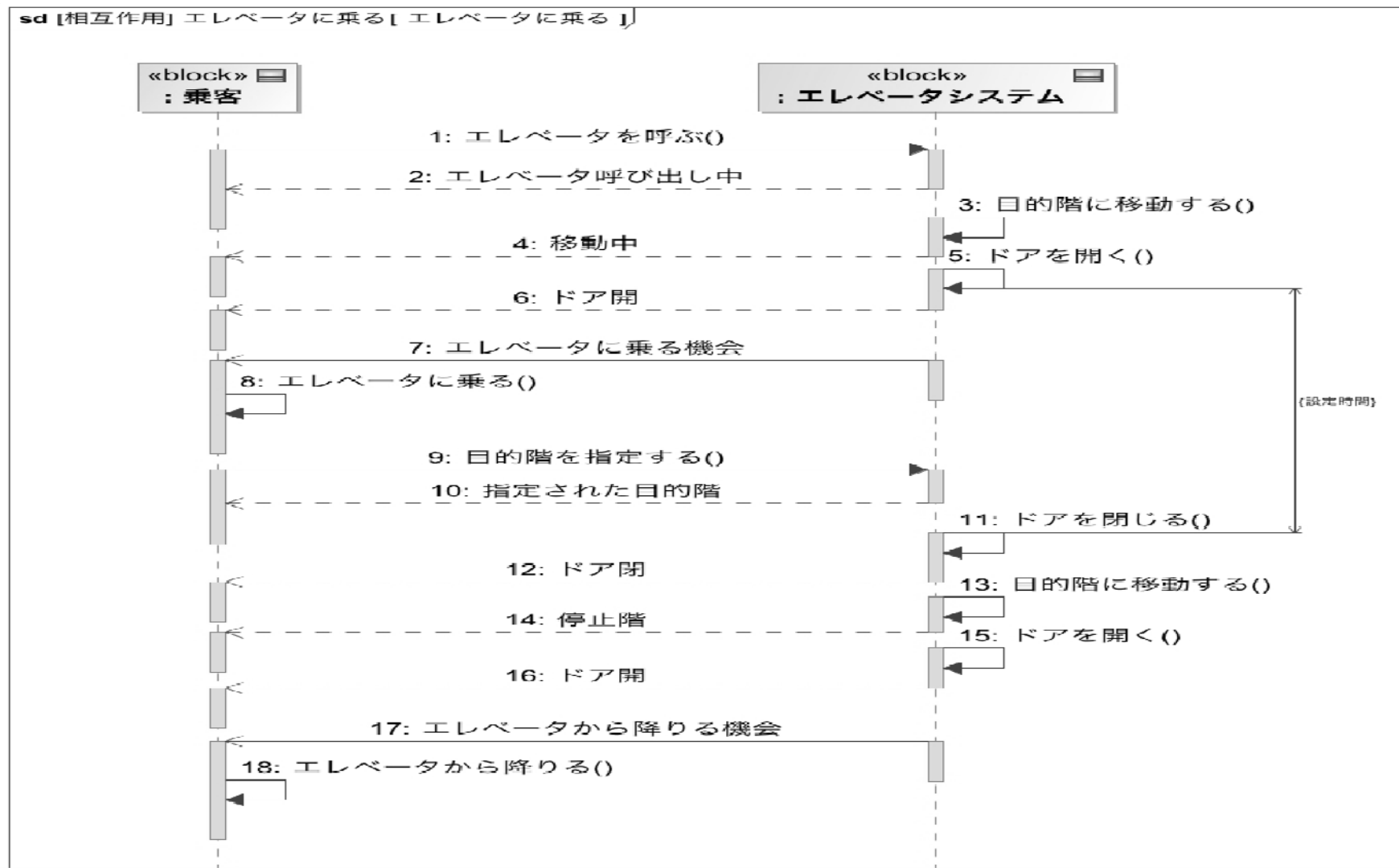
- ▶ エレベーターは、ビルの各階から“コール(呼び)”を受けること。(入力に関する要求)
- ▶ エレベーターは、想定される乗員に対して、エレベーターを呼んでいることを表示すること。(出力に関する要求)
- ▶ エレベーターは、緊急コールに対してビルにある標準電話を利用すること。(外部インタフェースに関する要求)

The Engineering Design of
Systems, - Models and Methods -,
2nd Edition, Dennis M. Buede,
John Wiley & Sons, Inc.

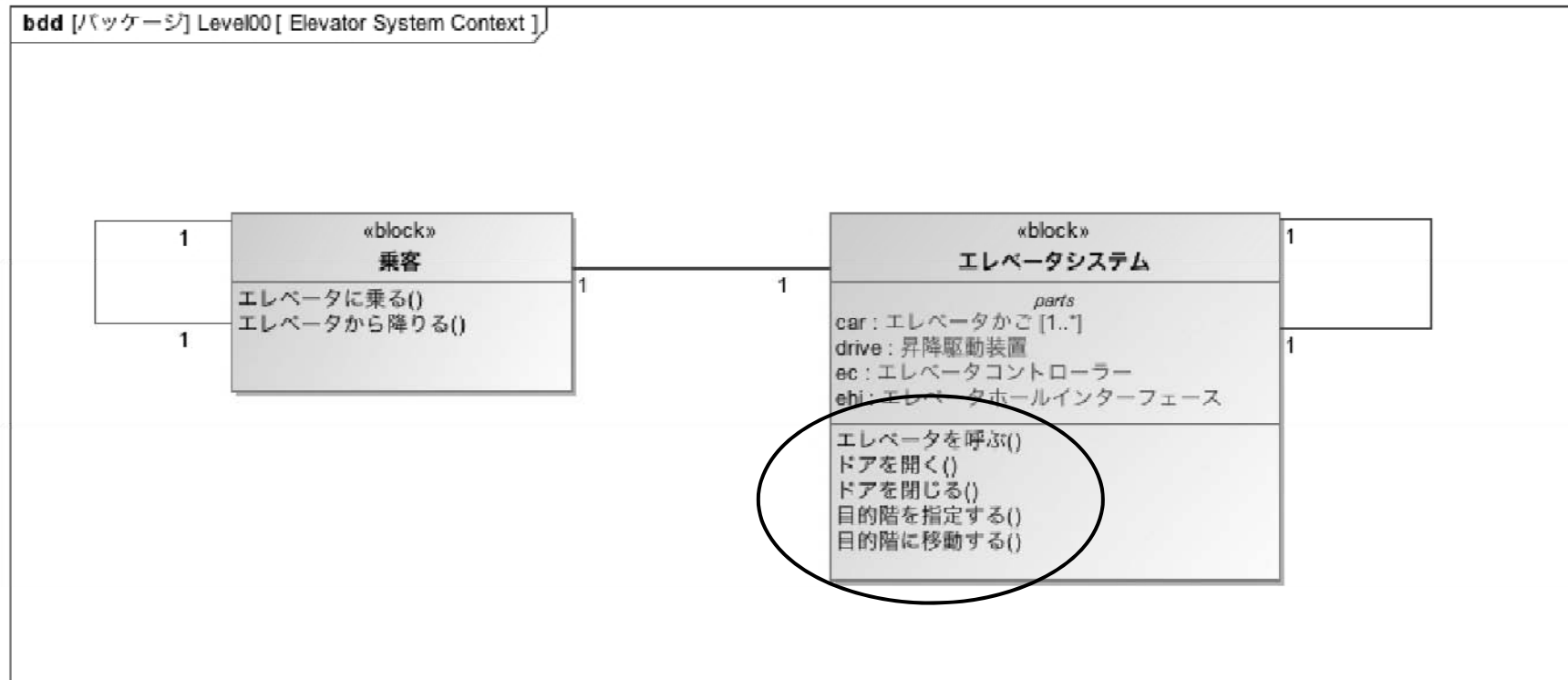
ユースケース図



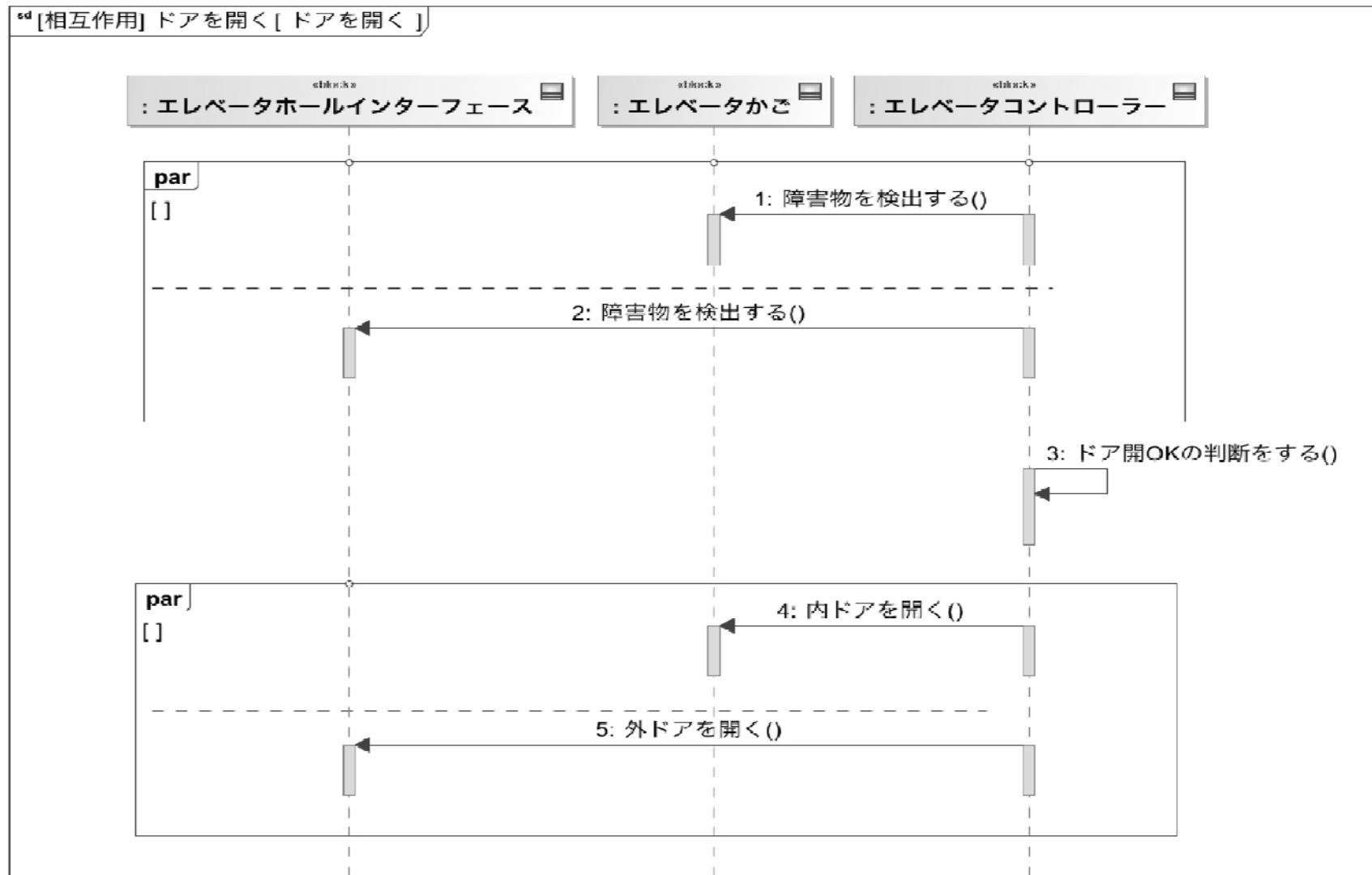
シーケンス図



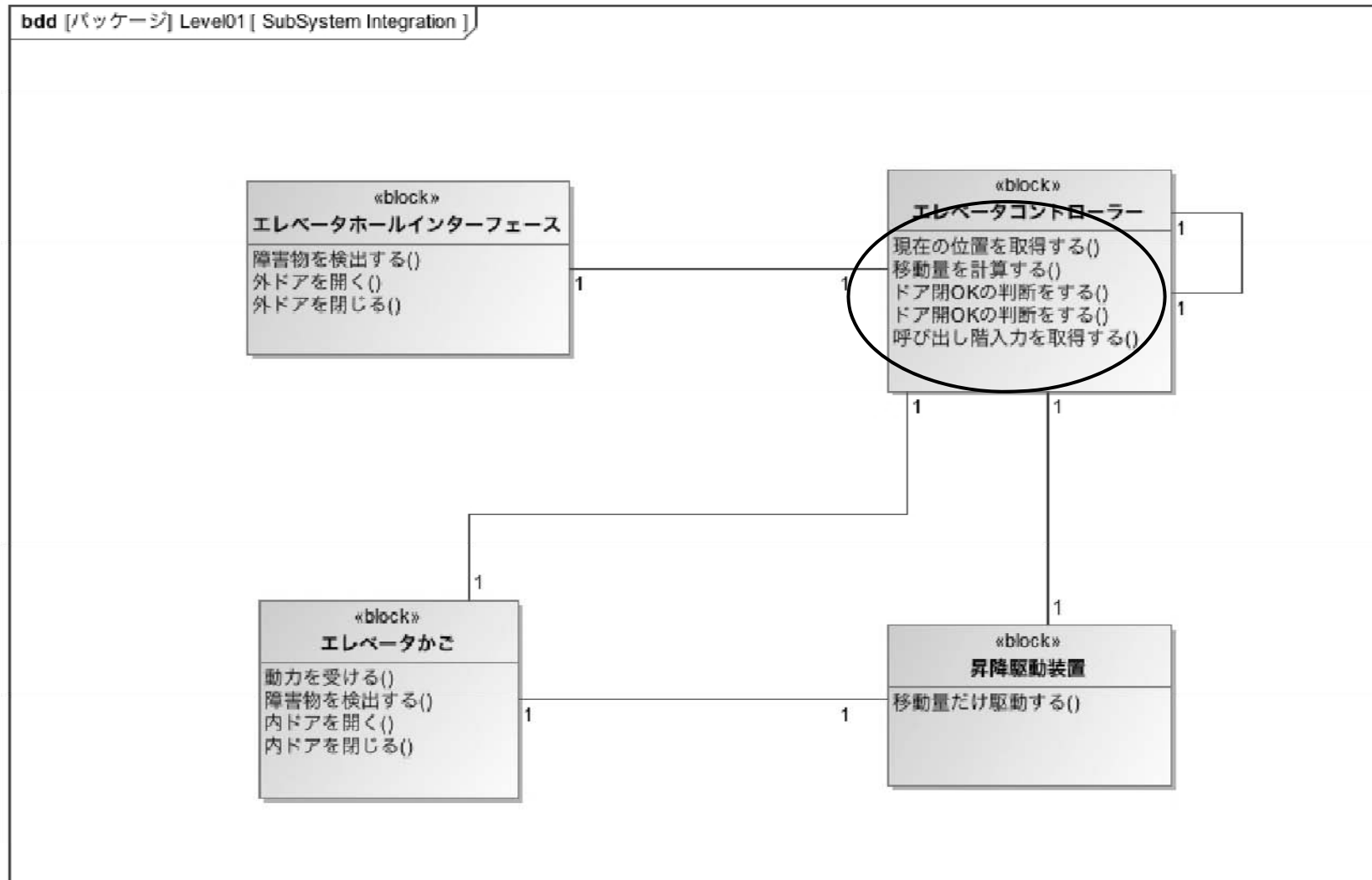
コンテクストレベルでの機能分析



ユースケース分解→シーケンス図



アナリシスレベル01での機能分析



本日の内容

- ▶ 1. モデルベースシステムズエンジニアリング
 - ▶ DualVee開発モデル, エンティティV
 - ▶ アーキテクチャの3つの視点とは?
 - ▶ 要求定義と検証, 妥当性確認の位置づけ
- ▶ 2. SysMLによる機能要求分析
 - ▶ SysMLで何ができるのか?
 - ▶ システム表現: 構造 / 振る舞い / 要求 / パラメトリック制約
- ▶ 3. 事例紹介: 民生機器開発における分散協調設計
 - ▶ キャビティモジュールの提案
 - ▶ モジュール間インタフェースの整理
 - ▶ システム境界条件の仮決めと更新
 - ▶ 手戻りのないタスクベースDSM
- ▶ 4. まとめ

民生機器開発における分散協調設計

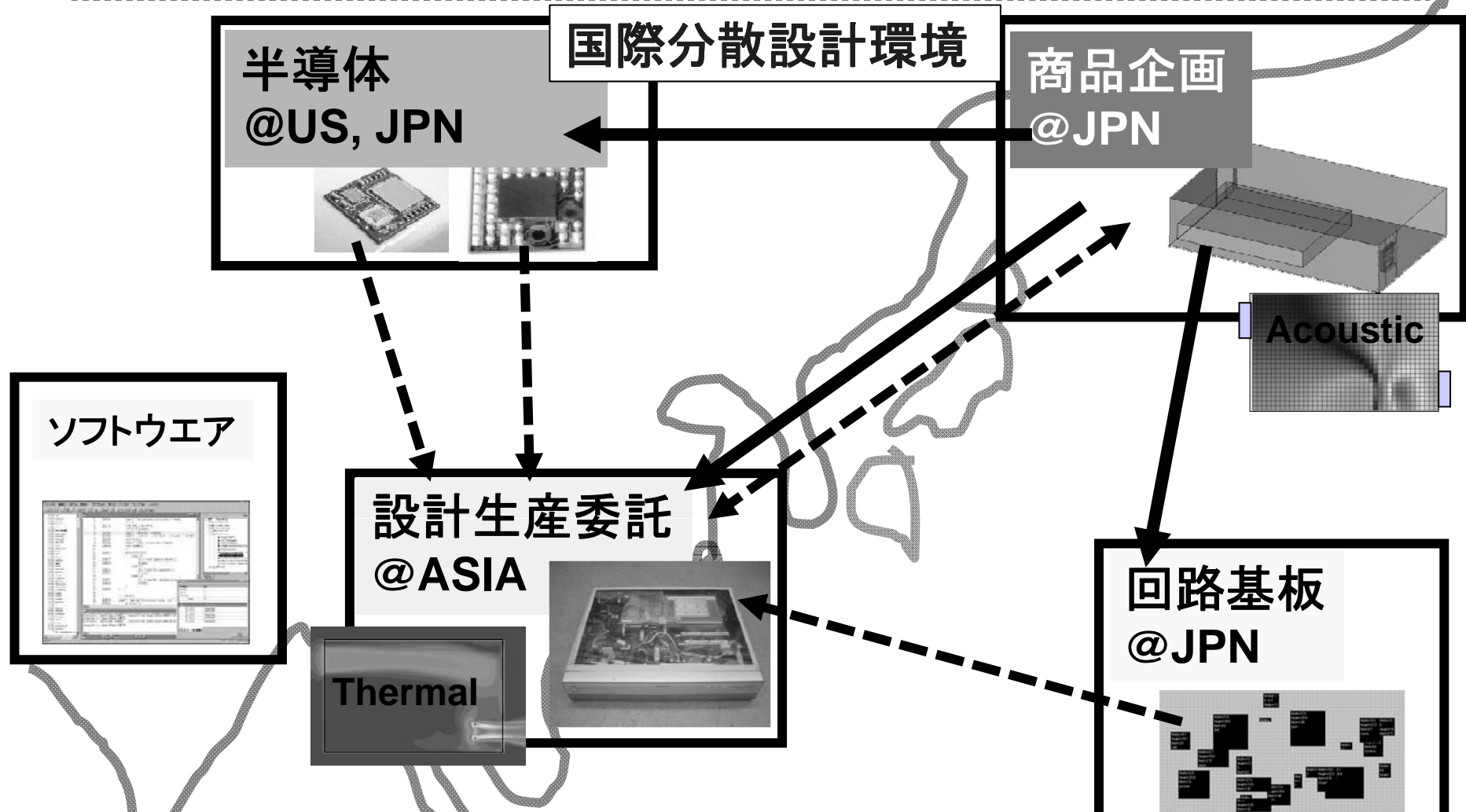
- ▶ コンシューマーエレクトロニクスのシステム開発では、国際的な分業が進んでいる。
- ▶ 開発段階で設計の手戻りが発生し、QCDの確保が困難となるケースがある。



- ▶ 協調設計により、設計の手戻りを防止しながら、かつ品質を確保したい。
- ▶ 各設計サイトでの独立したModule設計の系統化を実現し、Module～Systemトレードオフの枠組みをつくる。

関 研一, 西村 秀和, 朱 紹鵬, Laurent Balmelli, 民生機器開発における機能・構造モデルを用いた分散協調設計 (SysML製品モデルとDSMを利用したモジュール設計プロセスの計画), 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 785, pp.187-200 (2012)

コンシューマーエレクトロニクスの熱設計



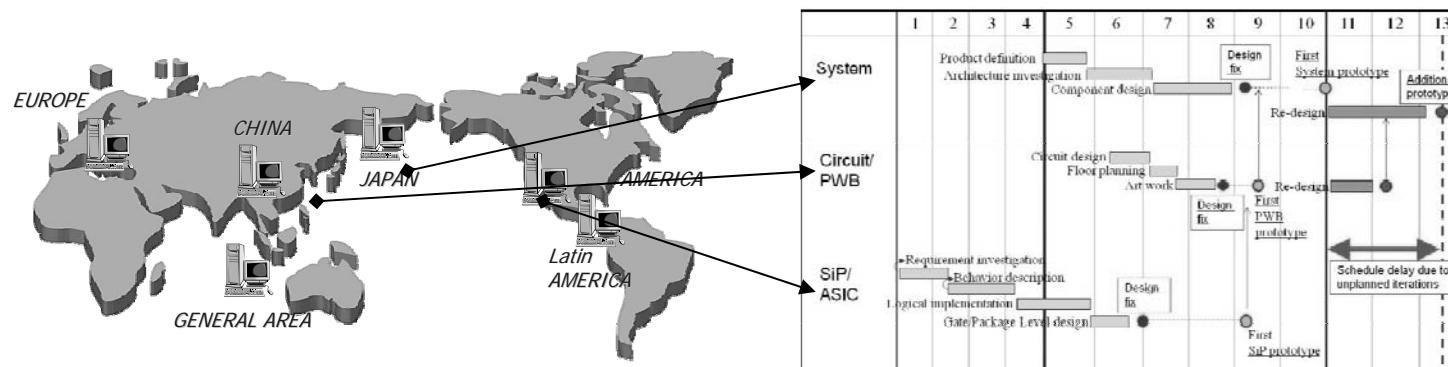
開発, 設計, 製造の適材適所化. グローバルな製品開発.

背景（国際分散設計の課題）

- ▶ モジュール間干渉の調整等で、組織間の「あうん」の呼吸が成り立たない。→ 以前実施していた摺り合せが困難.
- ▶ システムインテグレーションの段階になって顕在化する問題が増え、手戻りの多発、後手にまわる対策によるコスト増大の問題.
- ▶ 性能要求(熱や音, EMI等)に対する目標仕様の分散設計サイトへの受け渡しが難しい. これを3D CADのモデル等で示すのは困難.

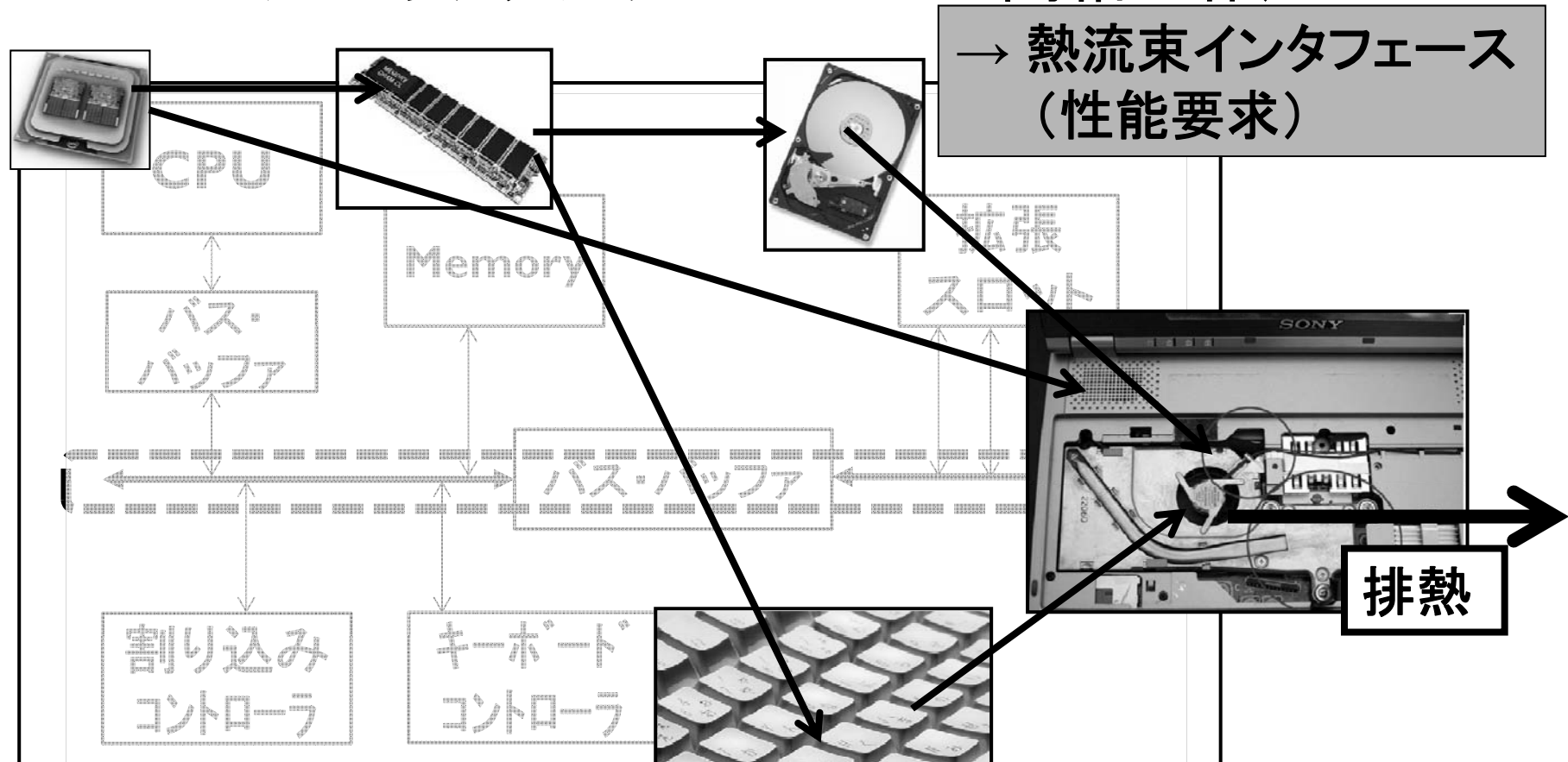
研究の目的

- ▶ 民生機器開発での国際的な分散協調設計で、手戻りを防止し、コストを最適化し、品質の確保を両立させる設計手法を検討する。
- ▶ 空間(キャビティ)の設計マネジメントにより、独立したモジュール設計を実現するため、モジュール～システムトレードオフ検討の仕組みを提案する。
- ▶ DSM や SysMLを活用し、機能・構造モデルに基づく分散協調設計フレームワークを構築する。



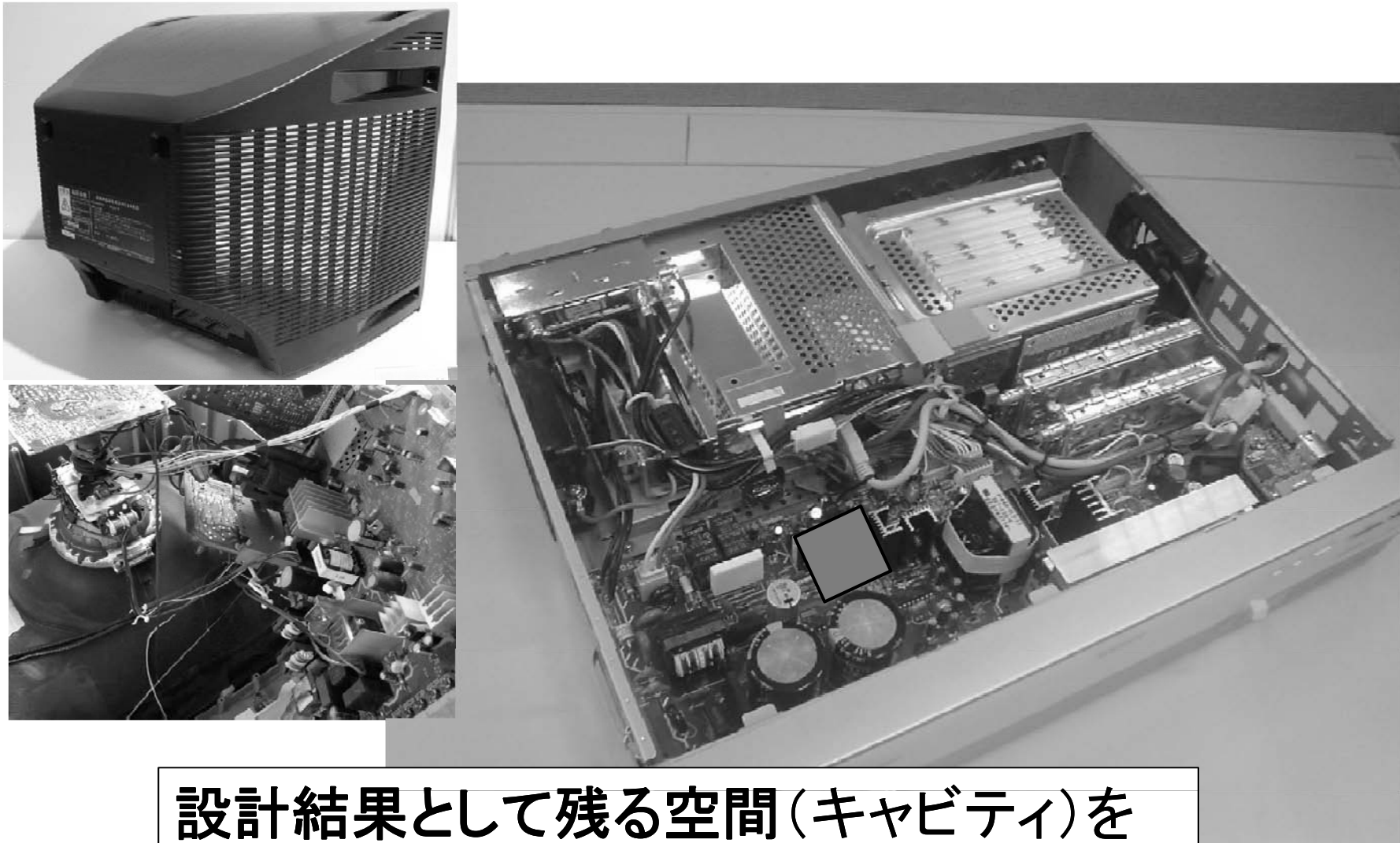
モジュール間インタフェース (信号、熱、EMIなど)

▶ PCバスアーキテクチャ: モジュール間相互作用



熱設計で問題となる「キャビティ」におけるインタフェースも考える必要がある。

空間のデザインの必要性



設計結果として残る空間(キャビティ)を積極的に設計する.

キャビティモジュールの提案



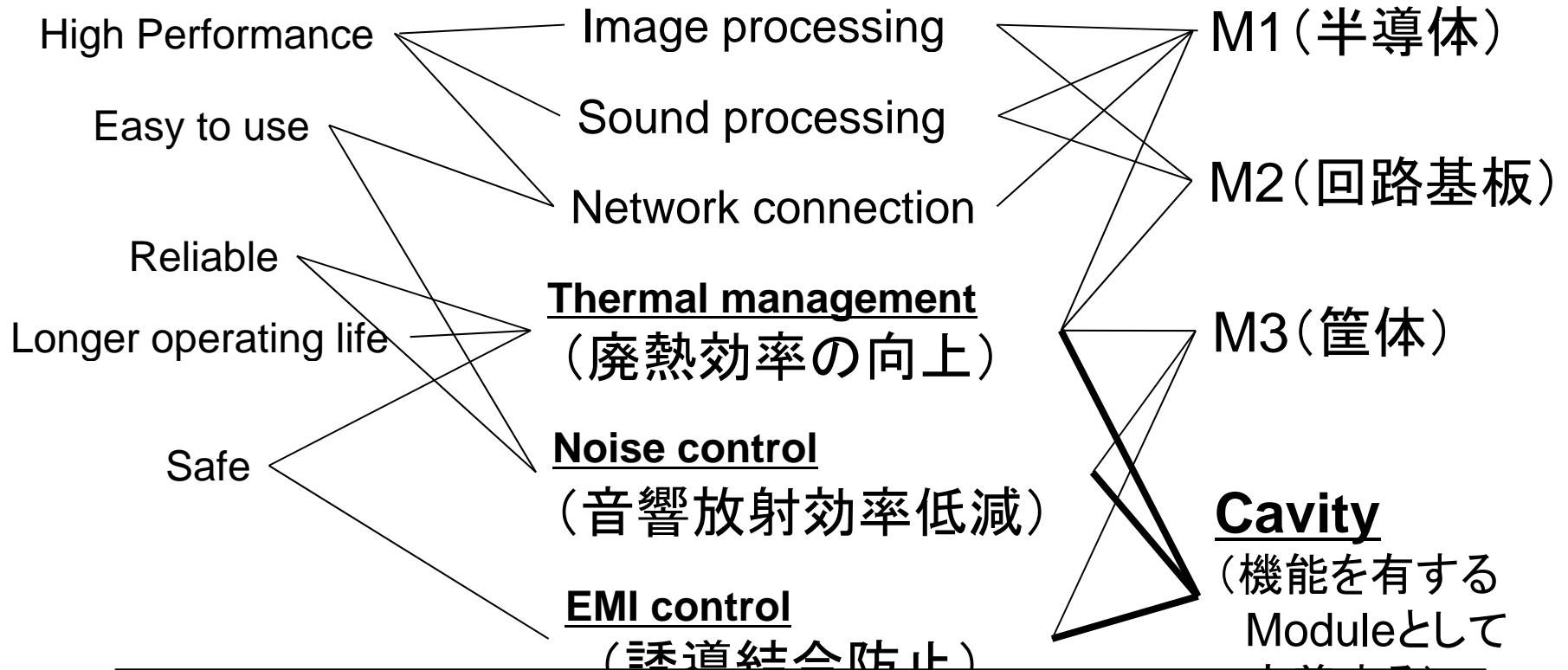
Worth
(価値)



Function
(機能)



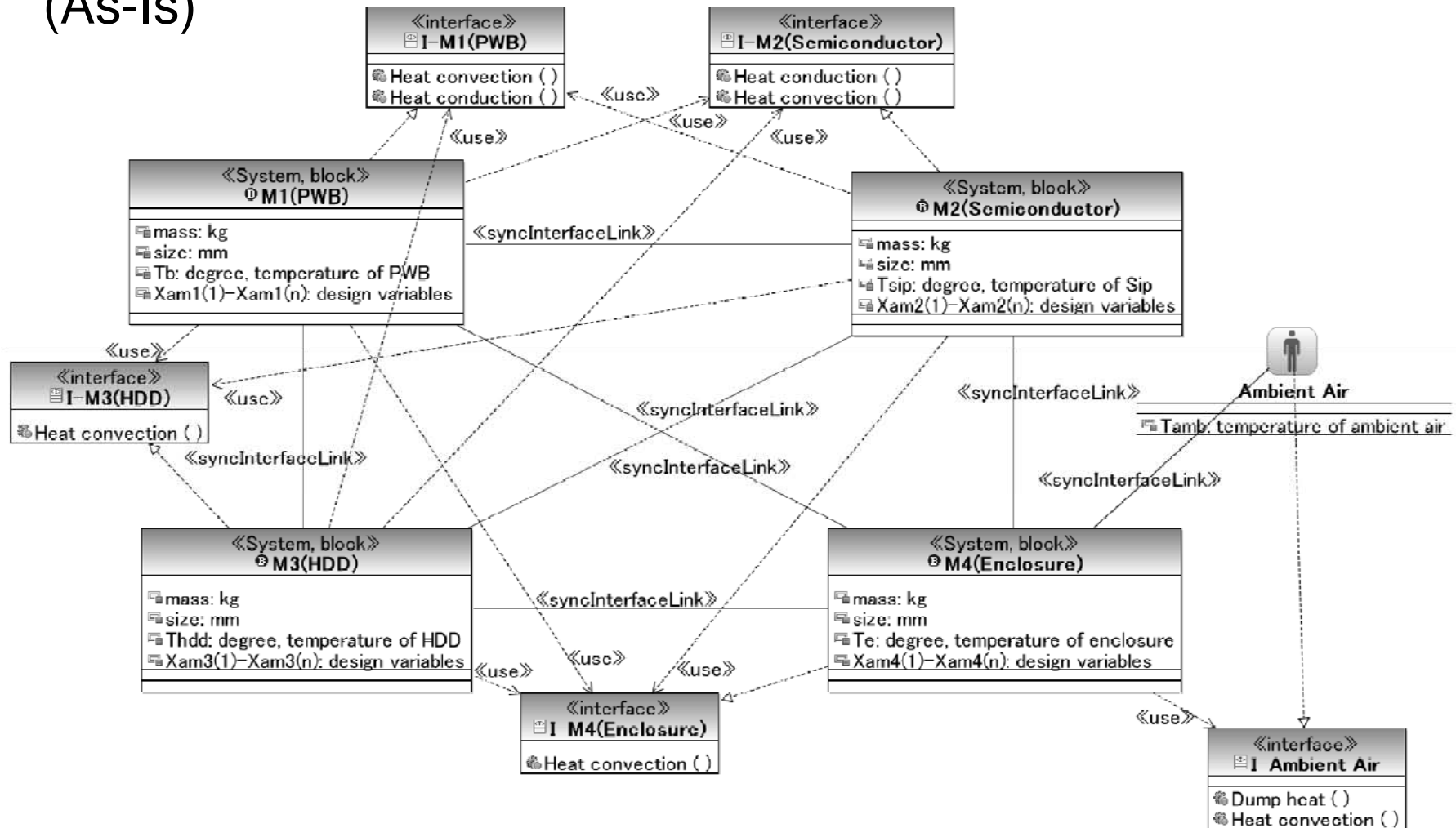
Structure
(構造)



▶ 33 インタフェースとして機能する「キャビティモジュール」を提案

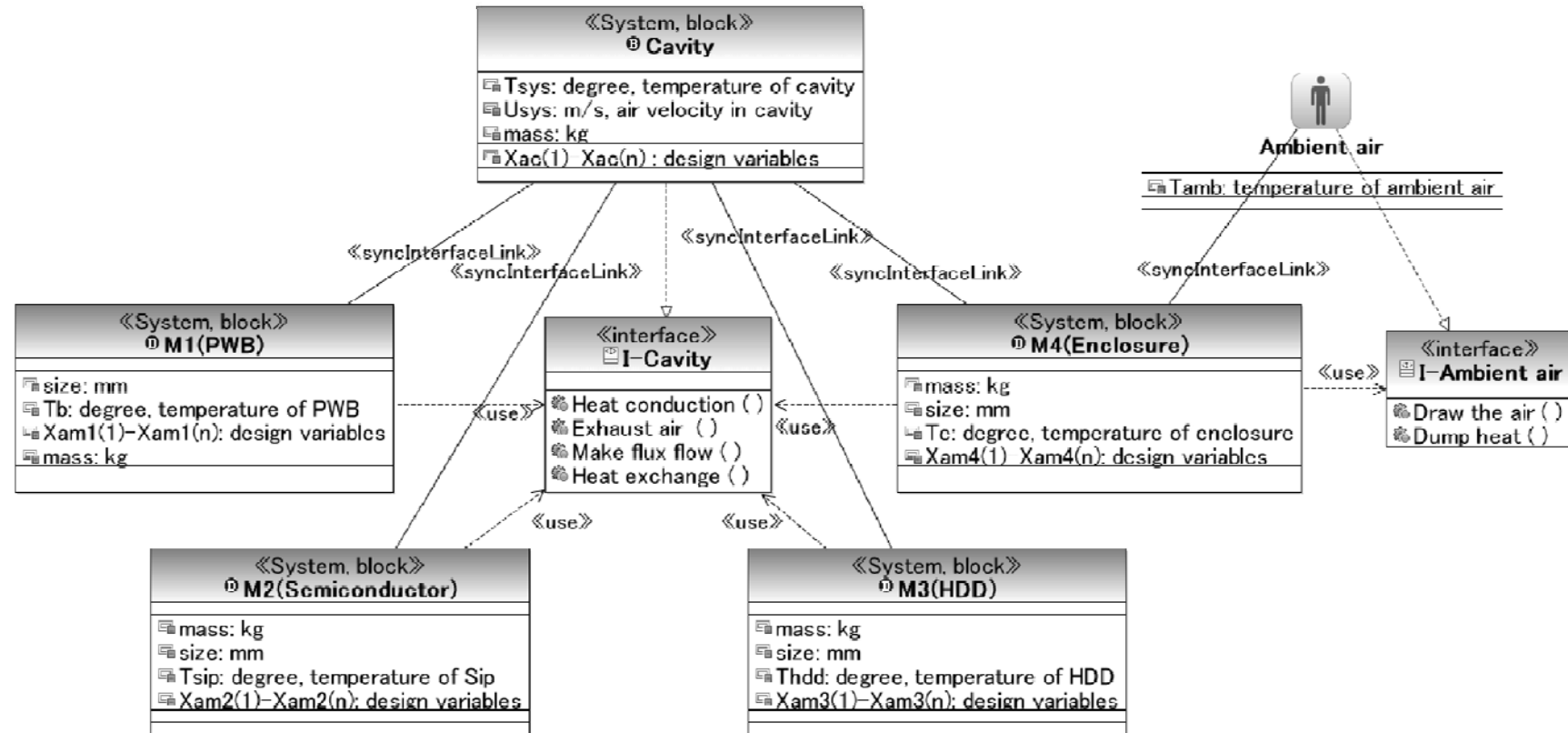
機能アーキテクチャ モジュール間のインタフェース

(As-Is)



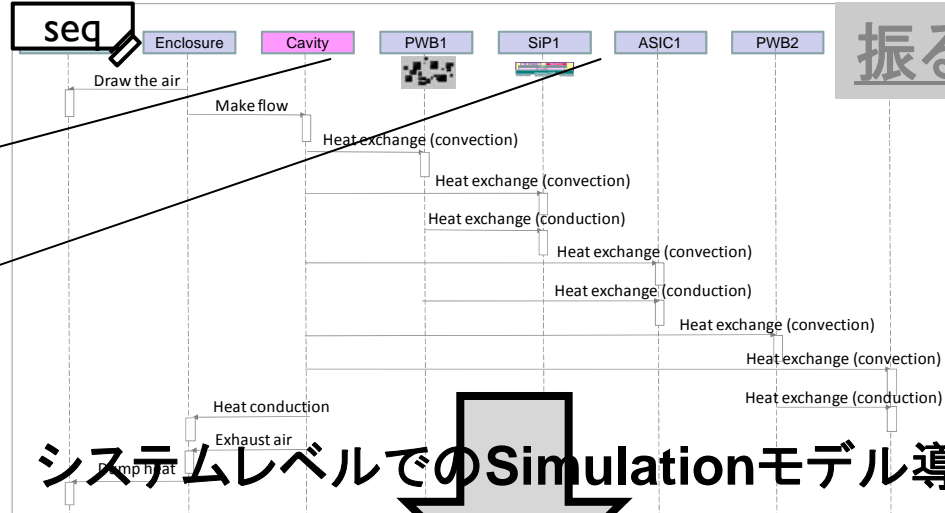
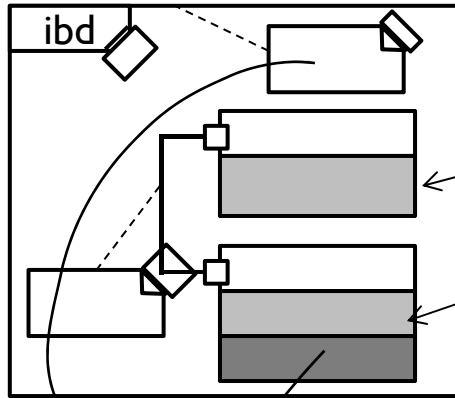
機能アーキテクチャ キャビティを考慮した場合のインタフェース

(To-Be)



SysMLの利用

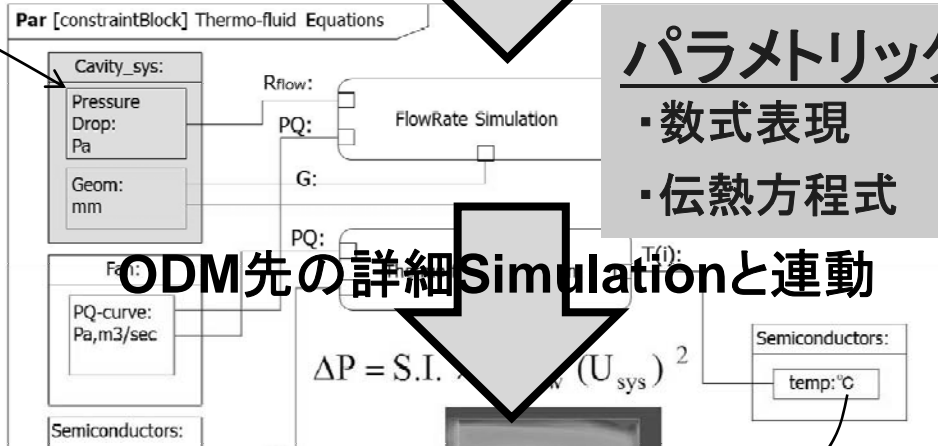
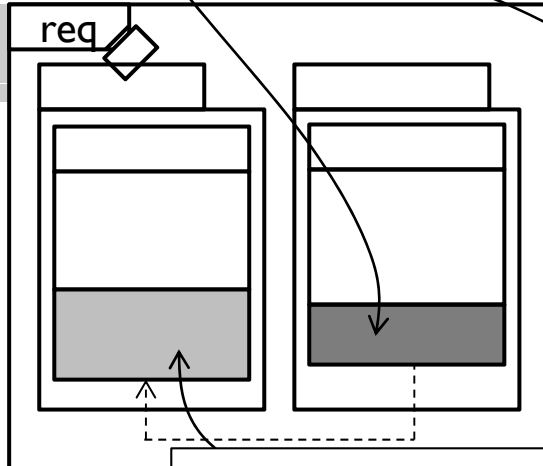
構造



振る舞い

システムレベルでのSimulationモデル導出

要求



パラメトリック制約

- ・数式表現
- ・伝熱方程式

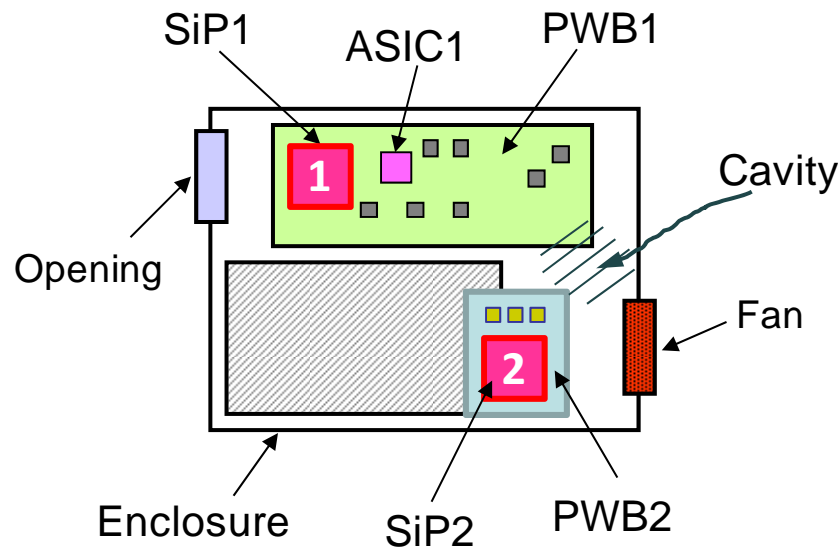
ODM先の詳細Simulationと連動

SysMLによる機能・構造モデルの表記

モジュール間インタフェースの整理

民生機器の熱設計

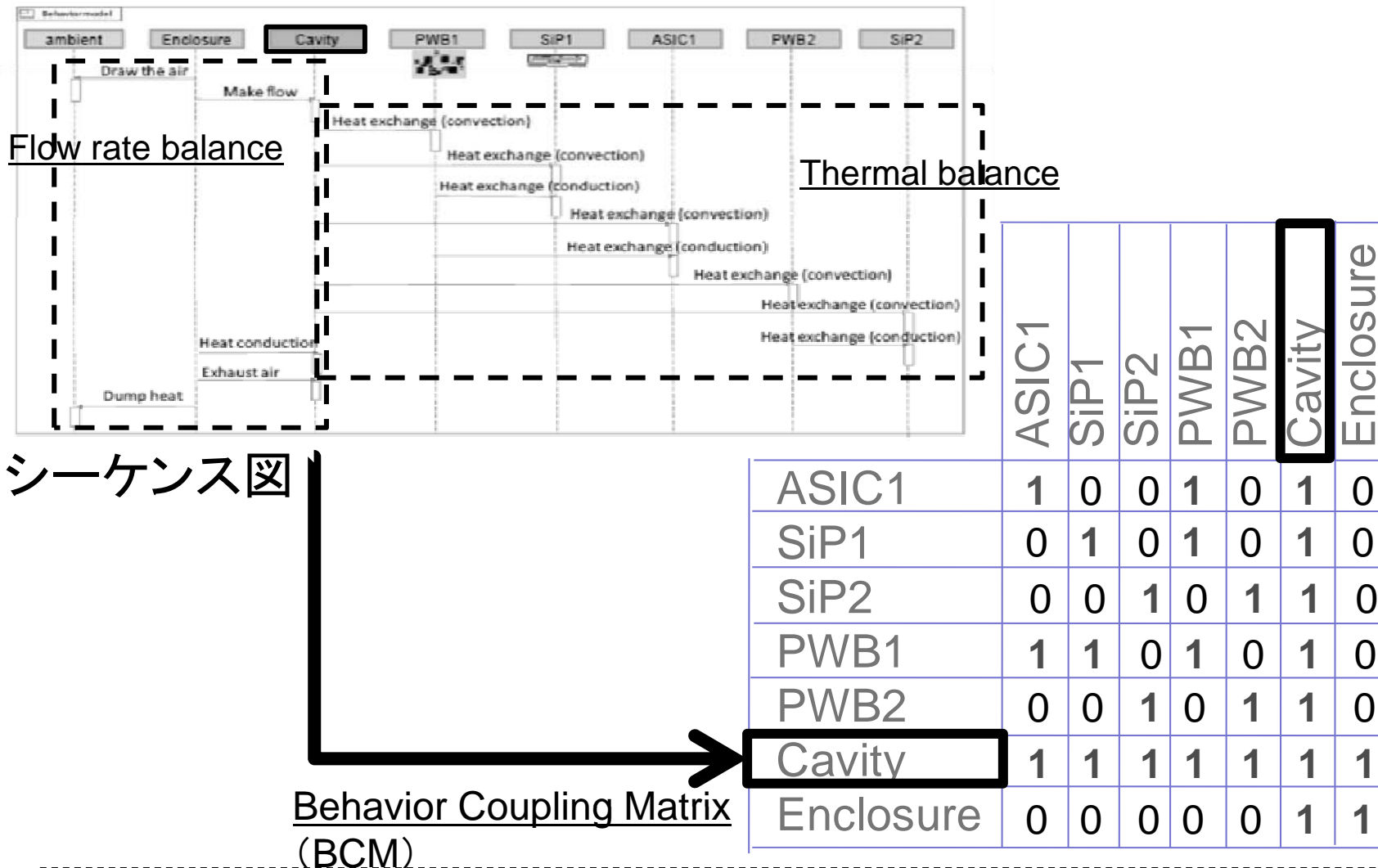
モジュール間インタフェースの整理 Behavior Coupling Matrix (BCM)



	ASIC1	SiP1	SiP2	PWB1	PWB2	Cavity	Enclosure
ASIC1	1	0	0	1	0	1	0
SiP1	0	1	0	1	0	1	0
SiP2	0	0	1	0	1	1	0
PWB1	1	1	0	1	0	1	0
PWB2	0	0	1	0	1	1	0
Cavity	1	1	1	1	1	1	1
Enclosure	0	0	0	0	0	1	1

「場」におけるインタフェースを司るキャビティを、他のモジュールと同様に設計対象とする。

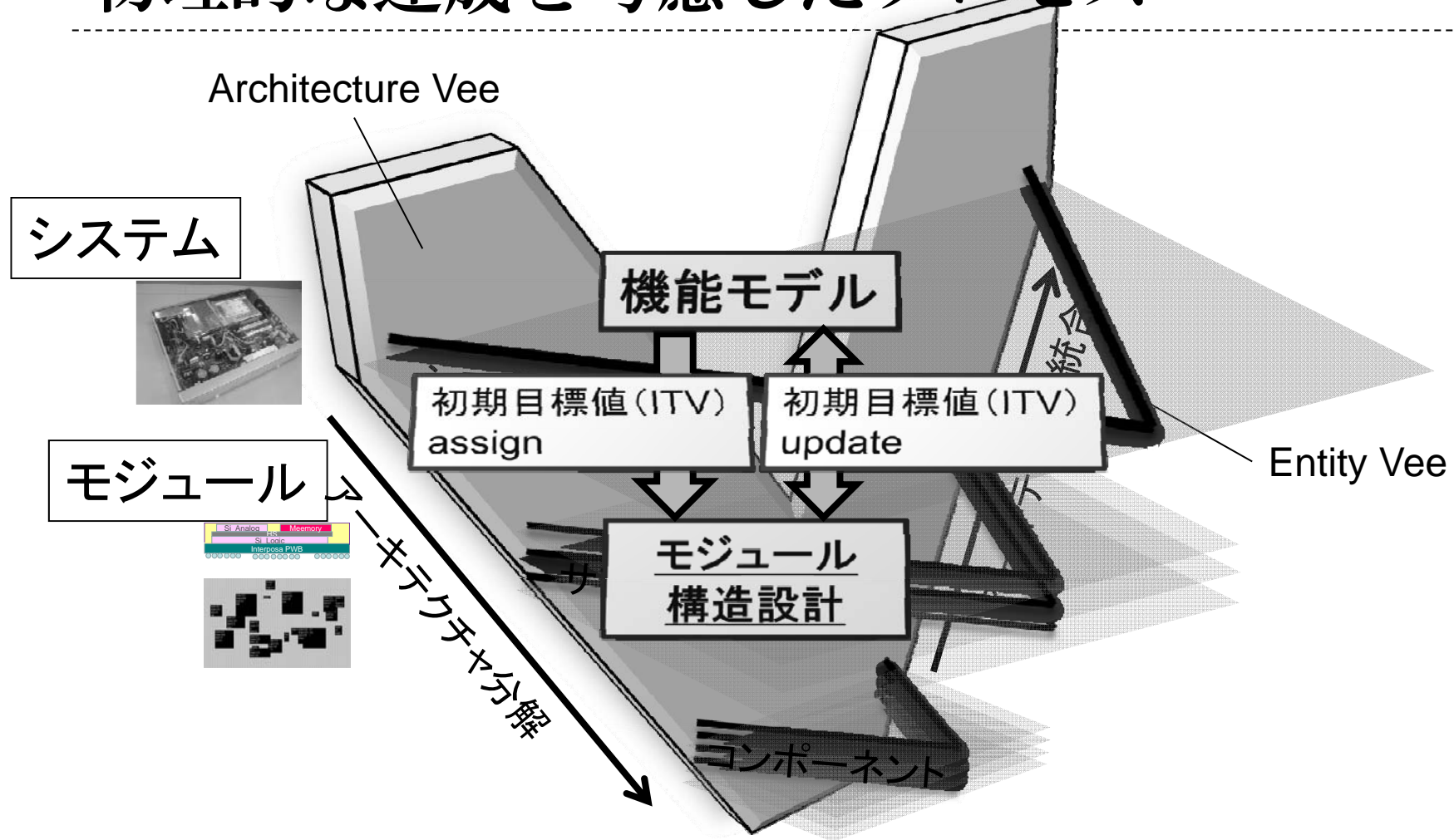
相互作用を表すシーケンス図 → BCM



シーケンス図

Behavior Coupling Matrix (BCM)

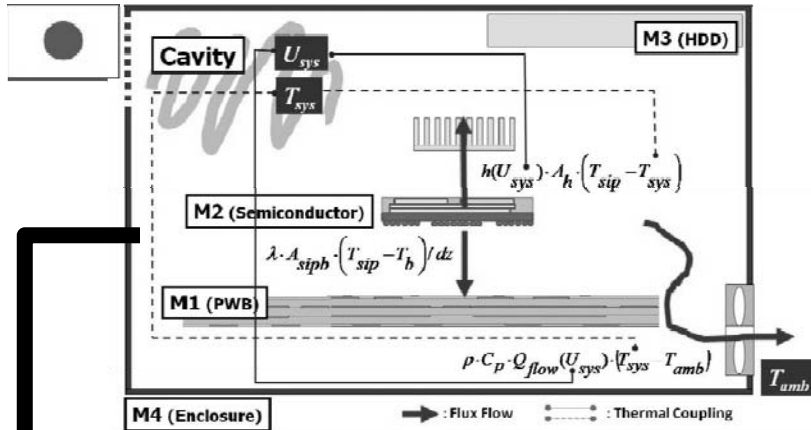
物理的な連成を考慮したプロセス



機能の構造への割り付け

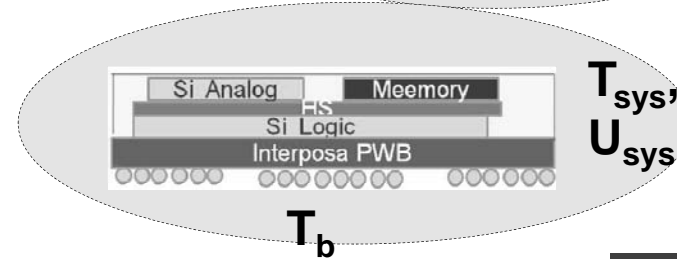
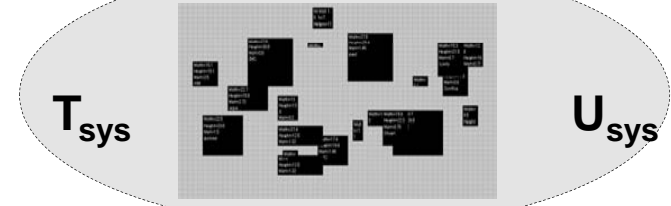
機能

- システム冷却の機能設計 -

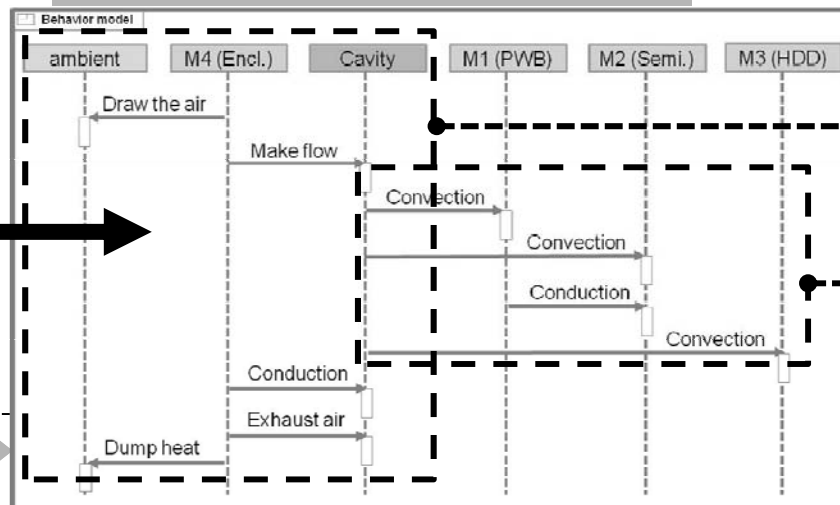


構造

- モジュール詳細設計 -



シーケンス図 (エネルギーフロー)



物理シミュレーション (1D-CAE)

*Flow rate balance:

$$\Delta P = S.I. \times Q_{flow}(U_{sys})^2$$

*Thermal balance:

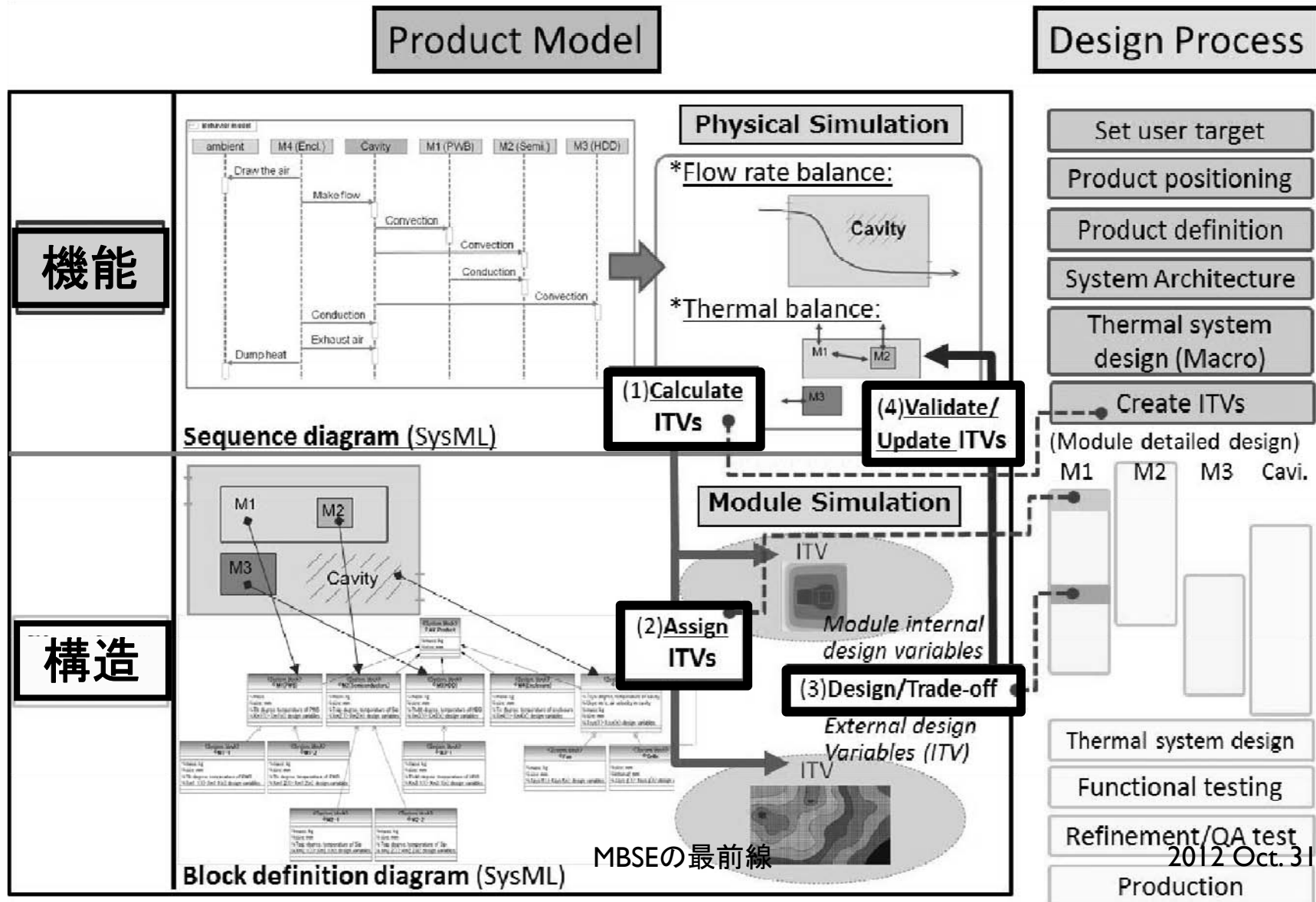
Thermal Interface [W]

Thermal Resistance [K/W]

$$[W] = \begin{bmatrix} I \\ R_{i,j} \end{bmatrix} \cdot [T]$$

外部境界
初期目標値
(ITVs)

「機能・構造モデル」と設計プロセス



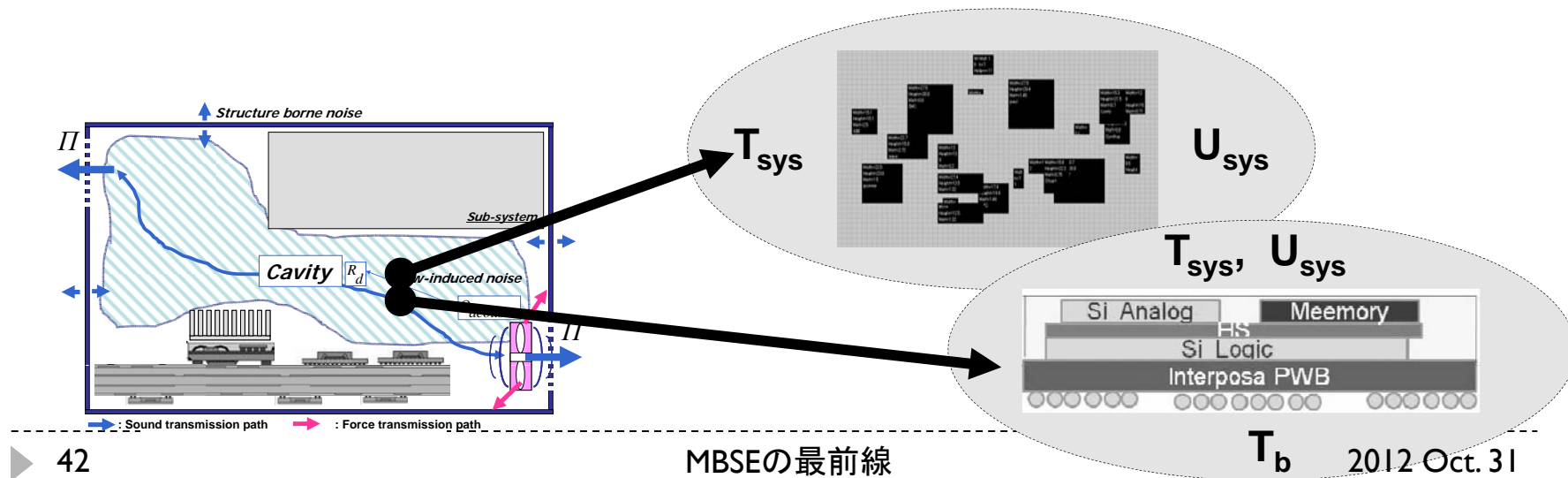
外部境界初期目標値 (Initial Target values, ITVs)

Initial Target values (ITVs)

モジュールのシステム境界条件初期目標値ITVを分散サイトにアサイン、システムを考慮したモジュール設計を促す。

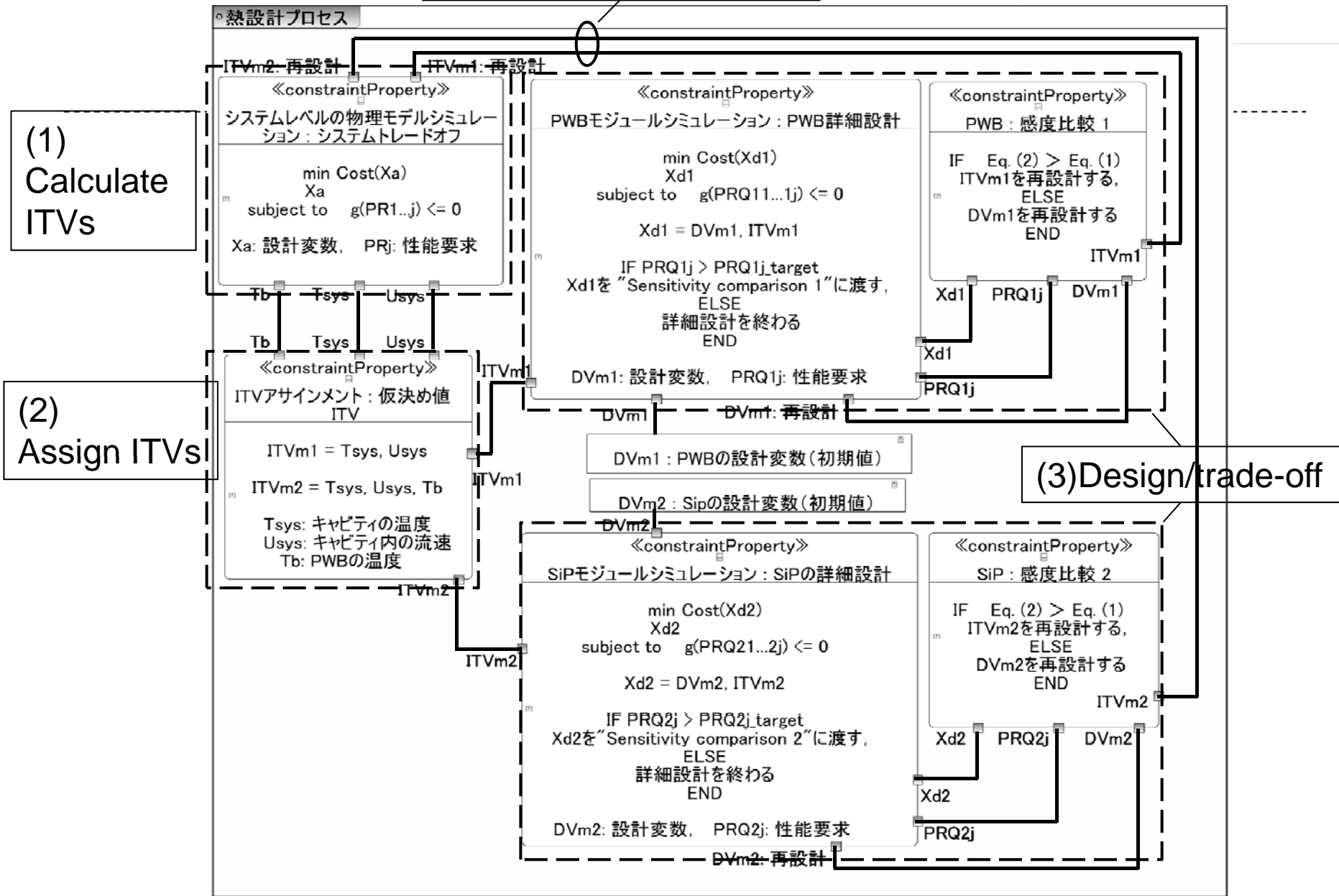
(熱設計の場合: キャビティの流速(U_{sys})や温度(T_{sys}))

各分散サイトでは、ITVをもとに独立した設計が可能となる。同時に、ITVを”キャビティモジュール”の属性として随時設計コントロールすることによって、全体システムとしての最適化が可能となる。

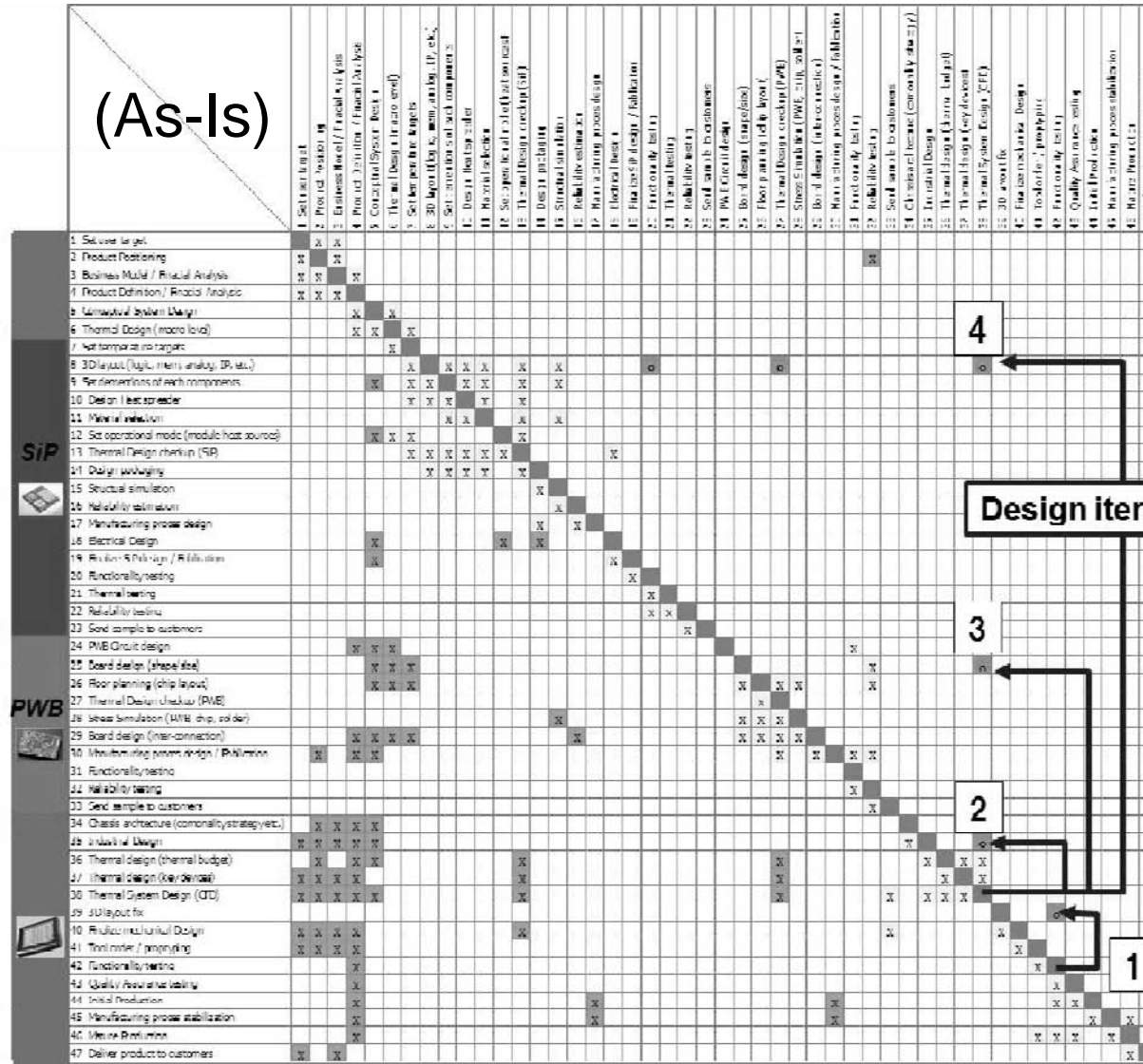


パラメトリック図

(4) Validate/Update ITV_s



意図しない手戻りが発生した場合の対応

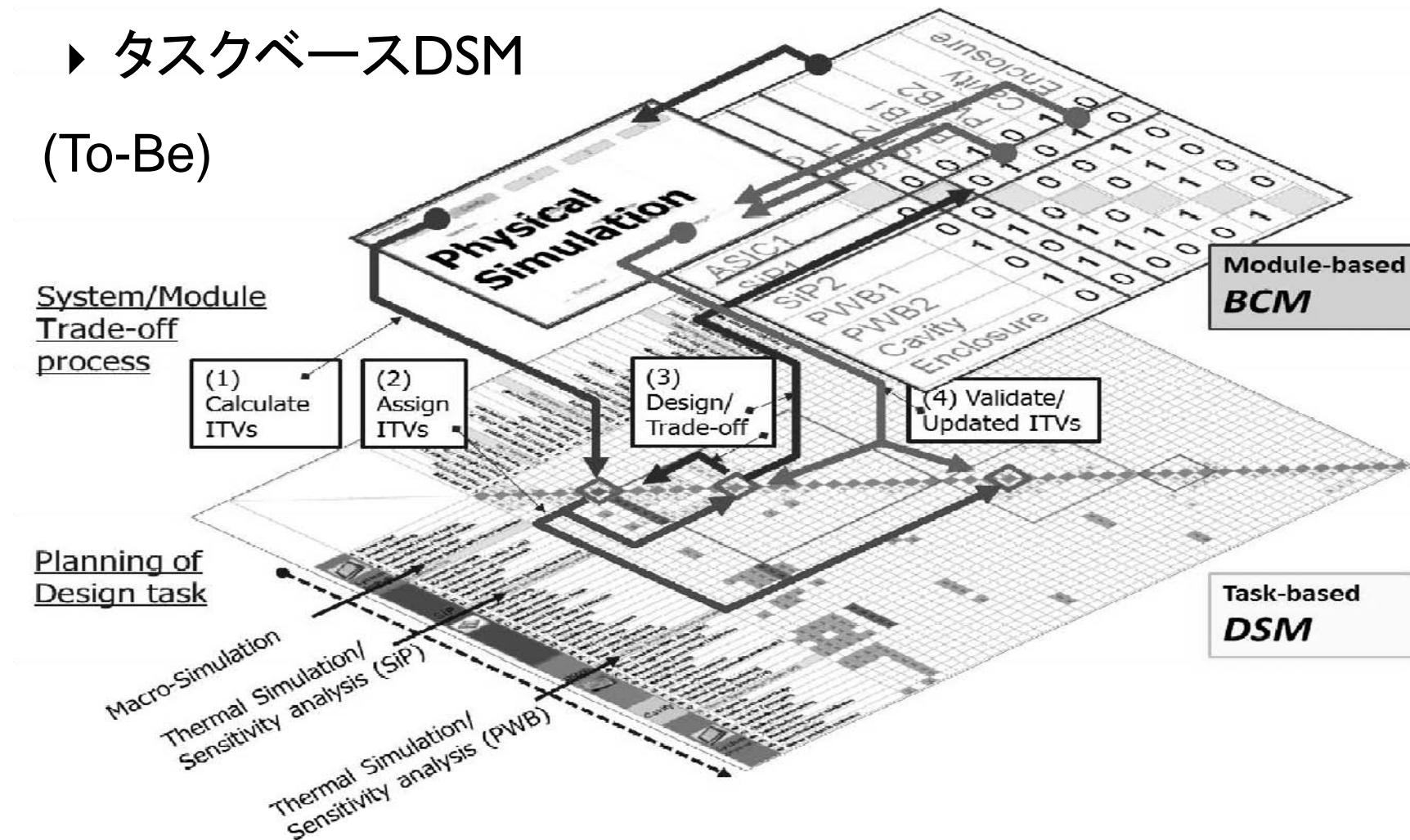


- 4 SiP設計サイトでは、後工程での改善として、PKG内Heat Spreader追加、PKG内部構造レイアウトの微調整の可否を検討開始。
- 3 基板設計レベルでは、フロアプラン変更の可否、基板製造条件見直しによる伝導率改善の検討を開始。
- 2 システムレベルでの機構設計としては、空冷デバイスの強化、SiPへの外部ヒートシンク付加を検討
- 1 機能テストにて、設計目標を上回るSiP内部温度を確認

キャビティモジュールの考慮と インタフェースの整理による手戻りの防止

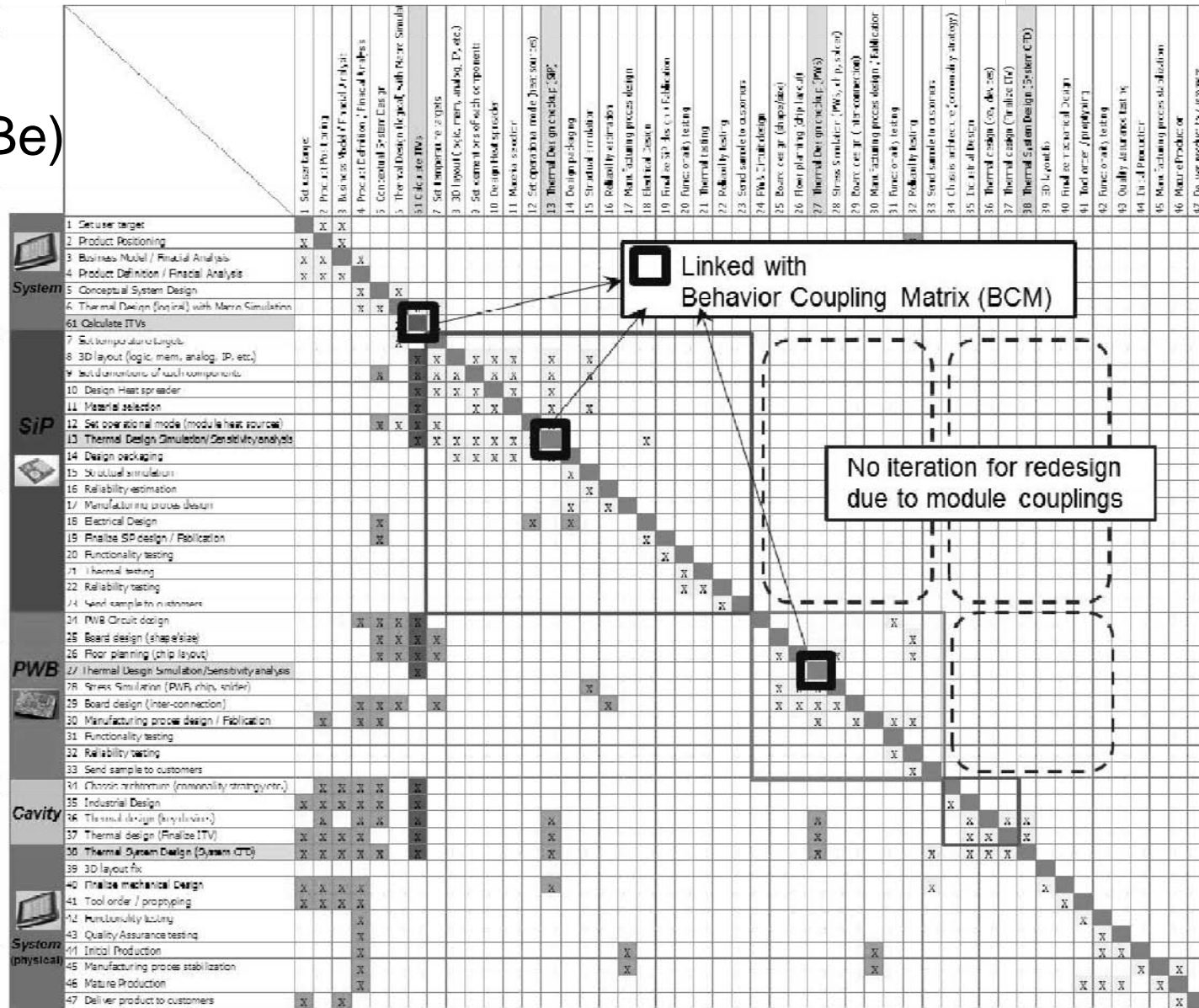
▶ タスクベースDSM

(To-Be)

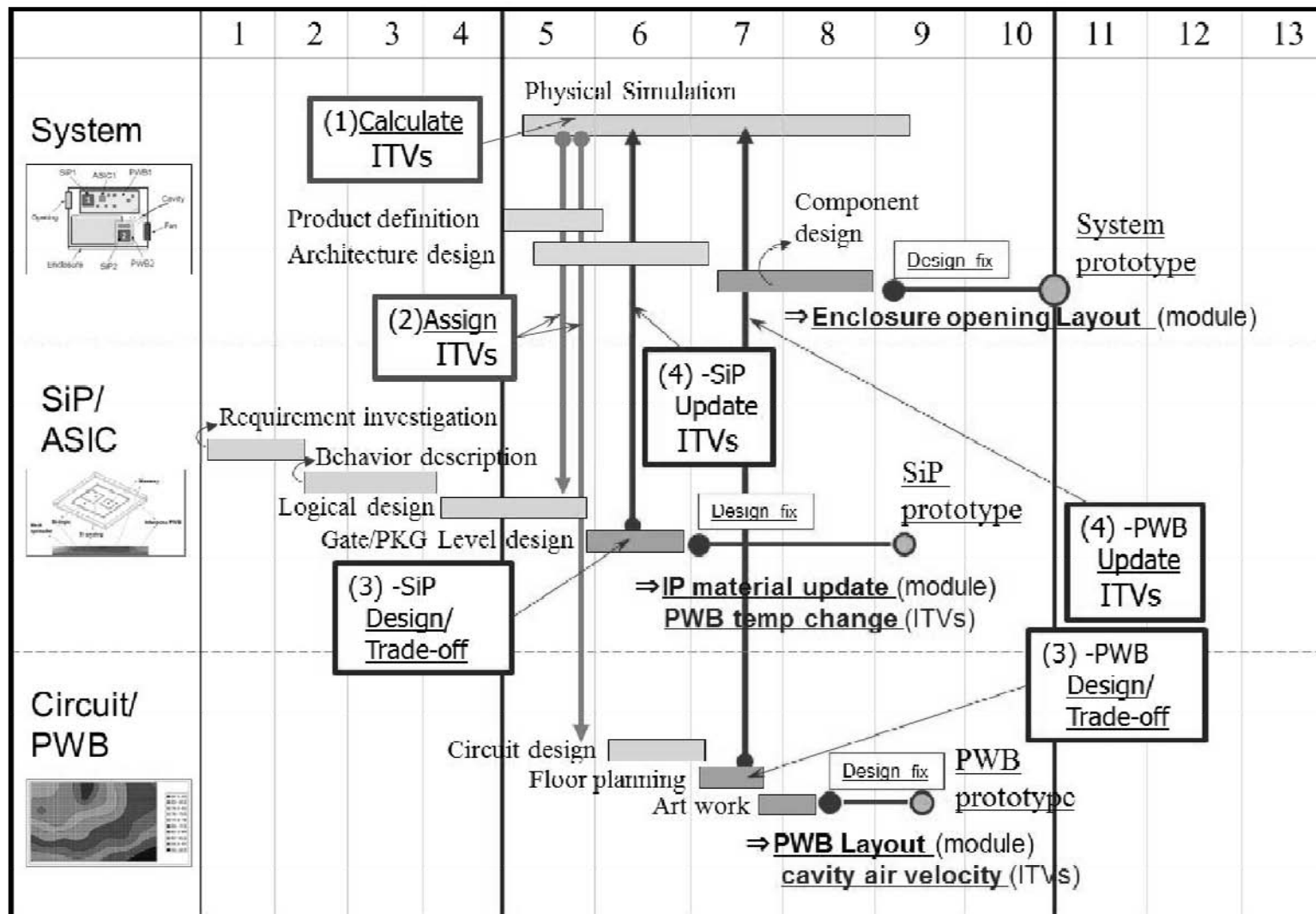


手戻りのないタスクベースDSM

(To-Be)



設計プロジェクトのガントチャート



まとめ

- ▶ システムズエンジニアリングのプロセスをDual Veeモデルで示した。そして、モデルベースシステムズエンジニアリング (MBSE) の一つの表記法として、構造／振る舞い／要求／パラメトリック制約を表すことができるSysMLを紹介した。
- ▶ 民生機器における分散協調設計にMBSEを適用し、モジュール間のインタフェース、相互作用を表すシーケンス図により、モジュール間の振る舞いの連成を明らかにした。特にキャビティをモジュールとして考慮することによる効果を示した。
- ▶ モジュール間連成を考慮し、モジュールの外部境界条件であるITVを初期値として与え、各モジュール設計で内部設計変数と外部境界条件のトレードオフ検討を進め、手戻りのないようシステム全体で最適な設計ができるフレームワークを示した。

参考文献

- ▶ Systems Engineering Handbook Ver.3.2, INCOSE, 2010
- ▶ Visualizing Project Management, Third Edition
 - ▶ Kevin Forsberg, Hal Mooz, Howard Cotterman, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ A Practical Guide to SysML
 - ▶ Sanford Friedenthal, Alan Moore, and Rick Steiner, The Morgan Kauffman OMG Press
- ▶ システムズモデリング言語 SysML (A Practical Guide to SysMLの翻訳本)
 - ▶ 西村 秀和(監訳), 白坂成功, 成川輝真, 長谷川堯一, 中島裕生, 翁志強,
 - ▶ 東京電機大学出版局, 発売日:2012年5月10日
- ▶ The Engineering Design of Systems, - Models and Methods -, 2nd Edition
 - ▶ Dennis M. Buede, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ 西村秀和, モデルベースシステムズエンジニアリングとSysMLへの期待, 設計工学, 日本設計工学会, Vol.46, No.5, pp.241-246, (2011)

参考文献

- ▶ Kenichi Seki, Hidekazu Nishimura, Kosuke Ishii, Laurent Balmelli, Thermal/Acoustic Trade-off Design for Consumer Electronics in A Distributed Design Environment, Proceedings of The 19th Annual International Symposium of INCOSE, (2009), 0723.pdf.
 - ▶ 関研一、西村秀和、大富浩一、国際分散設計環境下での協調設計手法の研究 - 場をモジュールとして取り扱う民生機器放熱静音設計-、日本機械学会設計工学・システム部門Designシンポジウム2010, (2010), dss10-0102.pdf.
 - ▶ Kenichi Seki, Hidekazu Nishimura, Shaopeng Zhu, Laurent Balmelli, A Parametric Design Framework to Support Structural and Functional Modeling of Complex Consumer Electronics Products, International Conference on Engineering Design 2011
 - ▶ Kenichi Seki, Hidekazu Nishimura, A module-based thermal design approach for distributed product development, Research in Engineering Design, DOI: 10.1007/s00163-011-0113-x
 - ▶ 関 研一, 西村 秀和, 朱 紹鵬, Laurent Balmelli, 民生機器開発における機能・構造モデルを用いた分散協調設計 (SysML製品モデルとDSMを利用したモジュール設計プロセスの計画), 日本機械学会論文集C編, Vol. 78, No. 785, pp.187-200 (2012)
-