

平成 22 年度モデルベース開発技術部会活動報告書

独立行政法人情報処理推進機構
技術本部 ソフトウェア・エンジニアリング・センター
統合系システム・ソフトウェア信頼性基盤整備推進委員会

モデルベース開発技術部会

2011 年 9 月

目次

1.	はじめに	4
1.1.	活動の背景と目的	4
1.2.	活動の範囲	6
1.3.	実施内容	6
1.3.1.	WG の設置(機能、目的).....	6
1.3.2.	部会・WG の開催(スケジュール).....	8
1.3.3.	関連調査の実施	11
2.	新たなモデリング技術について	18
2.1.	ユーザモデリングとは	19
2.1.1.	ユーザモデルに対するイメージ	19
2.1.2.	ユーザプロフィールとユーザモデル	20
2.1.3.	Persona（ペルソナ）と HCD（人間中心設計）	21
2.1.4.	人間を中心とした豊かな生活を目指して	22
2.1.5.	アクティブデジタルヒューマン開発プロジェクト	25
2.2.	興味を持たれているユーザモデルの種類	26
2.3.	想定利用形態	26
2.4.	ユーザモデルの分類に関する考え方	28
2.5.	ユーザモデルを利用した開発プロセスの例	29
2.6.	ユーザモデリング技術に関する課題	29
2.6.1.	ユーザモデル作成に必要な情報収集の課題と必要な施策	29
2.6.2.	ユーザモデル作成に関する課題と必要な施策	30
2.6.3.	ユーザモデル開発に関するその他の意見と課題	32
2.6.4.	ユーザモデル普及に関する課題	33
3.	モデリング技術の応用について	35
3.1.	統合システムについて	37
3.2.	統合システムにおける潜在的課題	42
3.3.	統合システムの課題解決に向けて	45
3.3.1.	信頼性向上に向けて	45
3.3.2.	その他課題解決への道筋について	50
3.4.	モデリング技術応用のためのツールの状況	51
3.5.	信頼性評価への適用に向けた課題と施策について	54
3.6.	本章の補足	57
4.	モデリング技術者の育成について	62
4.1.	モデルベース開発技術者育成の課題	62
4.2.	モデルベース開発技術とは	63
4.2.1.	「技術」と「スキル」	63

4.2.2.	「モデリング」と「モデル」	64
4.3.	モデルベース開発技術検討概要	64
4.3.1.	モデルベース開発実態アンケート	64
4.3.2.	モデルベース開発技術	66
4.4.	モデルベース開発技術者スキル標準	67
4.5.	スキル標準の展開・活用における課題と必要となる施策	68

1. はじめに

1.1. 活動の背景と目的

(独)情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター（以下、IPA/SEC と略す）は、2009 年度より、情報システムが組込み製品を含む様々なデバイス等と有機的に連携する一体的システム（統合システム）に変化しつつある状況を踏まえ、「高信頼開発手法」及び利用者品質に着目した設計品質の向上技法の検討を開始している。IPA/SEC では、統合システムにおけるディペンダビリティ確立の困難性とソフトウェアエンジニアリング上の課題を次のように捉えている。

- ① 利用者層・利用形態の拡大と変化
 - ・ 設計者の想定と異なる利用ケースの増加により、システムの想定範囲外利用による利用者側からみた品質の低下(社会システムの速い変化への低追随性など)
 - ・ 技術の進歩により、既存技術標準外の技術の利用増加による製品品質低下
- ② ライフサイクルの異なる異種システムが複合的に連携
 - ・ 想定外の障害の発生とその伝播による複合障害の発生
 - ・ 異なる品質特性を持つ異種システムの連携による障害発生
 - ・ バージョンの異なる同一システムの存在による相互運用上の障害発生
- ③ 不具合影響伝播の速さと社会的影響の拡大
 - ・ 重要インフラの障害がおよぼす社会的影響の増大
 - ・ システムの構成要素の変更により発生する障害に対する責任の所在が不明瞭

これら課題を解決するため、IPA/SEC は、「統合系システム・ソフトウェア信頼性基盤整備推進委員会」を設置し活動を推進している。

他方、経済産業省の平成 21 年度に設置した 3 つの委員会：「組込み産業イノベーション協議会設立に関する委員会」、「統合システム設計環境に関する検討委員会」、「メカ制御モデル生成ツール委員会」ではそれぞれ次に示す提言を行った。これらの提言では共通してモデリング技術やモデルベース開発¹技術およびそれを活用する技術者育成の重要性が強調されている。

■ 「組込み産業イノベーション協議会設立に関する委員会」における課題の検討

- 組込みソフトウェア開発力強化推進小委員会
 - 提言 1：組込みソフトウェア開発では差分開発・派生開発が主流であり、そのためのソフトウェア工学、システム工学の調査・研究が必要
 - 提言 2：モデルベース開発は上流シフトへの中心技術であり、設計品質の向上にも寄与
 - 提言 3：上流シフトを実現するためには日本の開発スタイルに合ったツールが必要

¹ソフトウェアで実装したい機能をモデルで整理したり、シミュレーションによってソフトウェアの動作を実機で評価する前に確認したりすることで、設計者の考えを整理し、設計を改善するための取り組み。

- 高度開発技術者育成・強化小委員会
 - 提言 1： 高度技術者候補を見つける仕組みとして、場の提供が重要
 - 提言 2： 高度技術者候補を高度技術者に育成するための教育プログラムが必要
 - 提言 3： 教育プログラムに関しては情報処理推進機構が推進母体として適切
- 第三者検証
- 「統合システム設計環境に関する検討委員会」における課題の検討
 - [提言 1] 要求抽出・要求獲得を確実にを行うためのモデリング技術の整備
 - [提言 2] ツールやベンダに依存しない記述言語の整備とその標準化
 - [提言 3] 技術者の育成（異分野について考え、相手を理解する能力を持った技術者等）
 - [提言 4] 統合システム開発のための設計ガイドラインの整備
 - [提言 5] 日本発の設計スタイルの確立
- 「メカ制御モデル生成ツール委員会」における課題の検討
 - [提言 1] 制御開発とメカ設計が協調しなければならないという意識改革
 - [提言 2] メカ及び制御の両方がわかる技術者の育成
 - [提言 3] ツールチェーン、またはツールチェーンのためのインタフェースの標準化
 - [提言 4] 上流工程におけるプラントモデル、メカ制御モデルによる検証技術の確立
 - [提言 5] プラントモデル、メカ制御モデル等によるモデルベース開発の確立
 - [提言 6] プラントモデルを提供する企業ツール開発ベンダ等荒田な産業構造の創出

我が国の産業において「システムおよびソフトウェア開発力強化および信頼性向上」のポイントは上流工程の取組み強化と言われており、特にモデルベース開発技術が有力な適用手段のひとつと考えられている。しかしながら我が国におけるモデルベース開発の取組みは、十分とは言えず、モデルベース開発の取り組みをさらに喚起する必要がある。

上記の状況を踏まえ課題解決のための有力な技術として、次の観点でモデリング技術、モデルベース開発技術に注目することとした。

- ① 「装置と装置を使う人」という観点
 - ・ 「装置」は、「装置を使う人」と一体化した概念でとらえる。
 - ・ **人をモデリングする技術**に注目する。
 - ・ すでに業界団体・民間団体それぞれによるアプローチがあるが、それら全体を俯瞰した装置の開発技術の実現が求められる。
- ② 「装置と装置がつながり始めた」という観点
 - ・ 異なった分野の装置同士がつながり始めており、異分野、業界の枠を超えた連携によるシステム構築のための開発技術に注目する。

- ・ つながり始めることで、システムとして想定を超えた挙動を見せる可能性もあり、場合によっては、非常に危険な状況が発生する可能性があるため、システムとしての高い信頼性・安全性の確保に向けては従来にない新たな方法論が求められる。
- ・ 異分野、業界の枠を超えた連携が必要でありかつ全体像をシステムとしてとらえる¹必要がある。

③ 「それらを活用できる技術者」という観点

- ・ モデリング技術、モデルベース開発技術の普及を阻害する一番の要因は、それらを実践し活用できる技術者が不足していることである。
- ・ モデルベース開発技術による上流工程での開発力強化に向けた人材育成のためには、**モデルベース開発に関わる技術を体系的に整理する**必要があり、それに従ったモデルベース開発技術者育成に向けたスキル基準を構築する必要がある。

IPA/SEC「統合系システム・ソフトウェア信頼性基盤整備推進委員会」では産業界でモデルベースを活用した取り組みを推進していくために、「モデルベース開発技術部会」を設置し、モデルベース開発技術における未開拓な技術領域の確立、応用領域の拡大、人材の確保に資する活動を、関連する業界団体・民間団体とも連携して実施した。本報告書は本部会の平成 22 年度活動成果および関連調査結果をとりまとめたものである。

1.2. 活動の範囲

モデルベース開発技術部会では下記 3 項目を重要検討事項と捉え活動を実施した。

- ・ 「モデルベース開発技術」において未開拓な技術領域の確立
ユーザ（人間系）のモデル化技術と利活用技術
- ・ 「モデルベース開発技術」の応用領域の拡大
統合システムの潜在リスク低減方策としてのモデリング
⇒ 潜在リスクの例示と全体システムのモデリングを活用した評価・検証
- ・ 「モデルベース開発技術」を扱える人材の確保
モデルベース開発技術者のスキル体系化

1.3. 実施内容

1.3.1. WGの設置(機能、目的)

モデルベース開発技術部会は、「モデルベース開発技術者スキル検討 WG」「モデリング技術応用 WG」「ユーザーモデリング技術 WG」の 3 つのワーキンググループ(WG)を設立し、それぞれの活動分野においてより専門的な検討を行った。

¹ 一般にシステムズアプローチと呼ばれる。

以下に各 WG の活動目的を記す。

①ユーザモデリング技術 WG

- ・ユーザ（人間系）のモデル化技術と活用技術を確立

②モデリング技術応用 WG

- ・システムの統合による潜在リスク発生の警鐘
- ・開発プロセス上流工程においてモデリング技術を活用した統合システムのリスク低減方策の策定

③モデルベース開発技術者スキル検討 WG

- ・モデルベース開発技術に関する高いスキルをもった技術者の育成

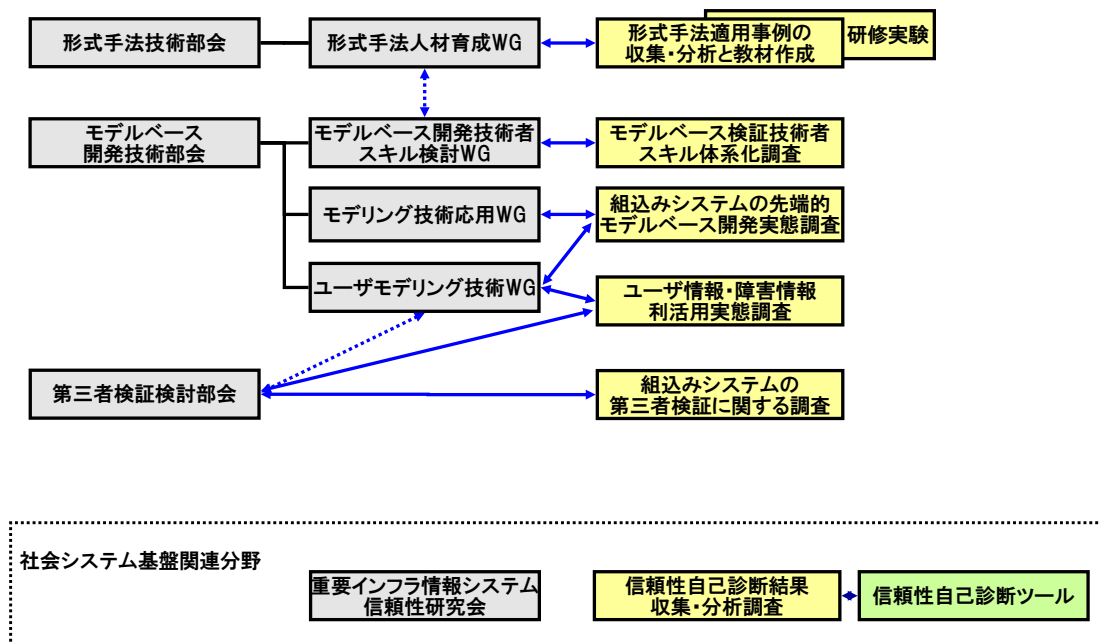


図 1-1 平成 22 年度統合系プロジェクトの部会活動・調査活動・ツール開発

1.3.2. 部会・WGの開催(スケジュール)

モデルベース開発技術部会を2010年10月に開催し、各WG活動に関する説明を行った。各WGは、2010年11月から2011年2月に月1回ペースで4回開催した。WGの活動終了後の2011年3月に部会を開催し、年度の活動報告と次年度の活動報告を行った。各部会・WGの開催時期、議題は下記のとおりである。

表 1-1 モデルベース開発技術部会

	委員会開催実施時期	議題
第1回	2010年10月29日	モデルベース開発技術部会の開催と各WGについての説明 ①IPA/SECの活動と統合系プロジェクトの概要 ②各WGの説明 (1) モデリング技術応用WG (2) ユーザモデリング技術WG (3) モデルベース開発技術者スキル検討WG
第2回	2011年3月9日	モデルベース開発技術部会の今年度活動結果報告 ①モデルベース開発技術者スキル検討WG報告 ②モデルベース開発の実態報告 ③ユーザモデリング技術WG報告 ④モデリング技術応用WG報告

表 1-2 モデルベース開発技術者スキル検討WG

	委員会開催実施時期	議題
第1回	2010年11月16日	モデルベース開発の現状把握とスキル体系化に向けた方向性の検討 ①WG活動計画の説明と委員自己紹介 ②WGで参考とするIPA/SECの成果物紹介 ③モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査 調査概要紹介 ④「調査項目に関する議論
第2回	2010年12月16日	モデルベース開発の現状把握と「モデリング」の定義 ①モデルベース開発実態アンケートの実施 ②モデルベース開発実態アンケート 結果共有 ③「モデリング」の定義に関する議論
第3回	2011年1月18日	「モデリング」と「モデルベース開発技術」の定義 ①SMA モデルベース設計検証技術部会の活動紹介 ②「モデリング」の定義（暫定） ③モデルベース開発技術の定義例紹介 ④モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査
第4回	2011年2月15日	スキル体系（案）の議論 ①モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査 ②調査結果報告 ③モデルベース開発技術者 スキル体系案の議論

表 1-3 ユーザモデリング技術 WG

	委員会開催実施時期	議題
第 1 回	2010 年 11 月 26 日	ユーザモデルの定義と利用シーン ①事例紹介 1:「ユーザビリティ評価とユーザモデリングの課題」 ②事例紹介 2:「ユーザ属性情報の分類のしくみ」 ③議論 1:「ユーザモデルの定義」 ④議論 2:「ユーザモデルの利活用シーン」 ⑤議論 3:「利活用シーンごとのモデル・要求精度」
第 2 回	2010 年 12 月 10 日	ユーザモデルのためのモデリング技術 ①調査中間報告 「組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査」 ②事例発表 1:「ペルソナのモデルベース開発への応用」 ③事例発表 2:「ユーザモデルを活用したシステム開発事例」 ④議論 1:「ユーザモデルの分類」 ⑤議論 2:「ユーザ情報の収集とモデリング技術」 ⑥議論 3:「ユーザモデル開発プロセス」
第 3 回	2011 年 1 月 26 日	ユーザモデルを活用した開発プロセス ①事例発表 「ユーザモデリング事例・沖縄プロジェクト」 ②関連調査の紹介 「ユーザ情報・障害情報の利活用実態調査」 「モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査」 ③議論 1:「ユーザモデルを活用した開発プロセス」 ④議論 2:「ユーザモデル開発技術者のスキル」 ⑤議論 3:「ユーザモデリング支援ツール」
第 4 回	2011 年 2 月 23 日	本年度活動のまとめと来年度の活動方針 ①事例 1:「データマイニング」 ②事例 2:「ユーザ視点フロー」 ③調査最終報告 「組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査」 「ユーザ情報・障害情報の利活用実態調査」 ④議論 1:「ユーザモデリング技術 WG 報告書」 ⑤議論 2:「次年度以降の活動について」

表 1-4 モデリング技術応用 WG

	委員会開催実施時期	議題
第 1 回	2010 年 11 月 26 日	統合システム化による潜在リスク存在の警鐘と低減方策 ①モデリング技術応用 WG 活動計画案説明 ②委員の自己紹介に代えて（アンケート回答説明） ③まとめ
第 2 回	2010 年 12 月 16 日	統合システム化により潜在リスク存在の警鐘と低減方策（続き） ①第 1 回アンケート回答の続き ②第 2 回アンケート回答に関する議論 ③講演「ツール活用の課題」
第 3 回	2011 年 1 月 13 日	ツールに関する提案・討議および追加検討について ①講演 1:「HLMD/HLMT」 ②講演 2:「統合検証のためのツールチェーンの現状と課題」 ③講演 3:「組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査」 ④前回までの追加検討事項に関する討議
第 4 回	2011 年 2 月 17 日	今年度の提言のまとめ ①初参加委員の自己紹介に代えて ②今年度の提言に関する討議 ③今後の予定について

1.3.3. 関連調査の実施

モデルベース開発技術部会に関連した調査として、「ユーザ情報・障害情報の利活用実態調査」「組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査」「モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査」の3点を実施した。

(1) ユーザ情報・障害情報の利活用実態調査

調査目的:

組込みシステムや情報システムは国民の生活基盤として不可欠になっている。それに伴い、システムが高度化・複雑化し、利用者とシステムのギャップが拡大し、「利用者が高度化・複雑化し、システムを理解できない」、「利用者がシステムを適切に利用できない」、「利用者の利用状況を十分に配慮した開発が開発者にとって難しい」等、利用者にとっての安全・安心・快適なシステムの提供が困難になってきている。

さらに、システムの不具合や不適切な利用を起因とする障害が、開発者や利用者の予想を超えて、国民生活や経済活動に広範囲且つ甚大な影響を与えるケースが増えている。このような状況において、従来の製品品質に加えて「利用品質」の確保が重要となっている。

上記の背景を踏まえ、本調査は、国内及び海外におけるユーザ情報及び障害情報の取扱い及び利活用状況、ユーザ情報及び障害情報に係る技術標準・国際標準、法令等を調査・分析し、ユーザ情報及び障害情報の利活用の促進による安全・安心な国民生活基盤を構築すること、および我が国システム産業の国際競争力を維持・強化することを目的とする。

調査結果:

- ① 162社のWebサイトを中心とした公開情報による調査から、事業ドメインの違う13社を選択し、インタビュー調査を実施し、ユーザ情報及び障害情報で収集する情報項目、情報源と収集から利用までの組織と役割、収集頻度と項目、集計報告・提供の方法と頻度、分析・評価の手法や頻度、利活用の評価状況などが把握できた。また、安全・安心を含めた製品の利用品質向上に対する、我が国各産業のユーザ情報・障害情報の利活用の状況も把握できた。
- ② 「海外におけるユーザ情報及び障害情報の取扱い及び利活用状況に関する調査」では、Webサイトには、ユーザ情報及び障害情報の取扱い及び利活用状況に関する情報が掲載されていないことがわかった。インタビュー調査については、訴訟への配慮などから対応していただけなかったため、国内法人で対応いただけた企業を①に含めて整理した。
- ③ 「ユーザ情報及び障害情報に係る技術標準・国際標準、法令等に関する調査」では、「製品品質・利用品質に係る技術標準・国際標準等」に関しては8件の標準を「ユーザ情報の収集」「ユーザ情報の分析」「開発時のシステム設計」「開発時のシステム検証」「運用設計」「運用」の6カテゴリで分類・整理した。「ユーザ情報・障害情報の分類・分析等に係る技術標準・国際標準等」に関しては15件を整理した。また、障害情報収集データベース12件については障害情報の分類法を整

理した。さらに、不具合、事故、業務の報告等が義務付けられている法律や規則、指針など 11 件を整理した。

■ 製品安全等に関する基本方針があるか

「民生用通信端末機器」「情報通信サービス」分野は共に基本方針を持っている。これは両者が一体となってサービス事業を構成しているため。「医薬品」、「水道・ガス・電気」分野は人命に直結するためと考えられる。

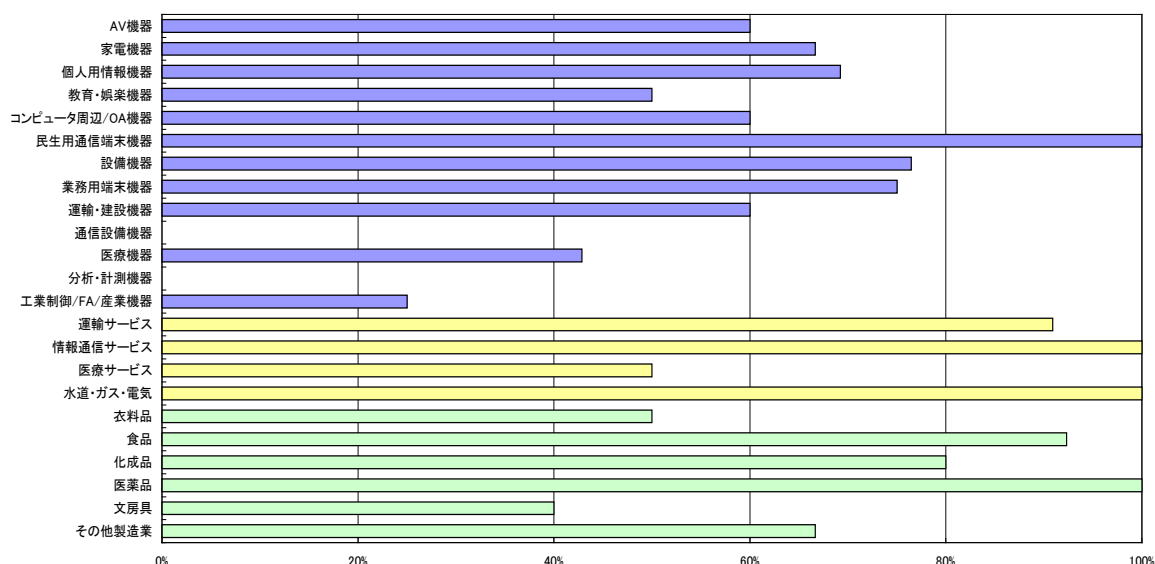


図 1-2 製品安全等に関する基本方針がある割合

■ 基本方針に基づく具体的取組み内容があるか

基本方針を持つ「情報通信サービス」であるが、「具体的な取組み」については機器メーカーに任せていると考えられる。

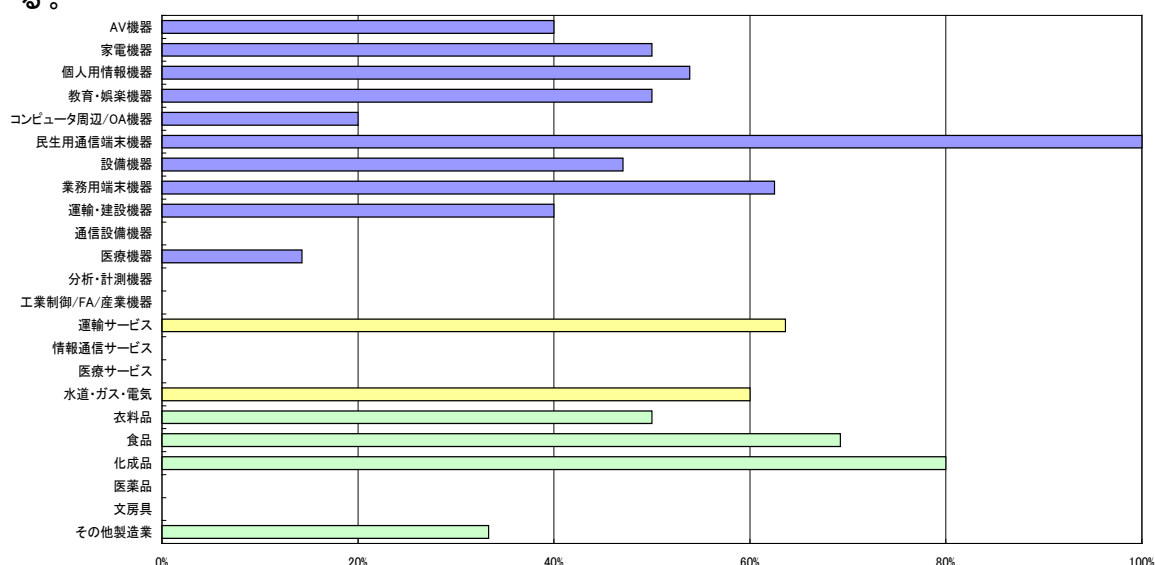


図 1-3 基本方針に基づく具体的取組み内容がある割合

■ 収集したユーザ情報を分析し社内に展開する仕組みがあるか

製造業の中で耐久消費財を製造している企業はユーザ情報を社内展開する仕組みを持つが、日用品等非耐久消費財を製造している「食品」、「文房具」分野の企業では少ない。

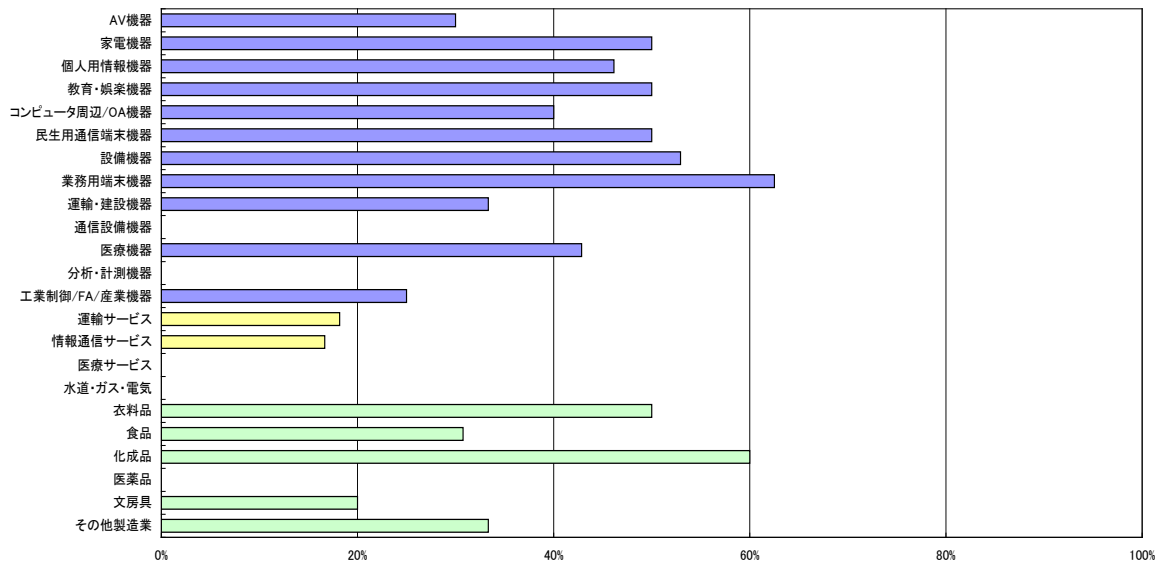
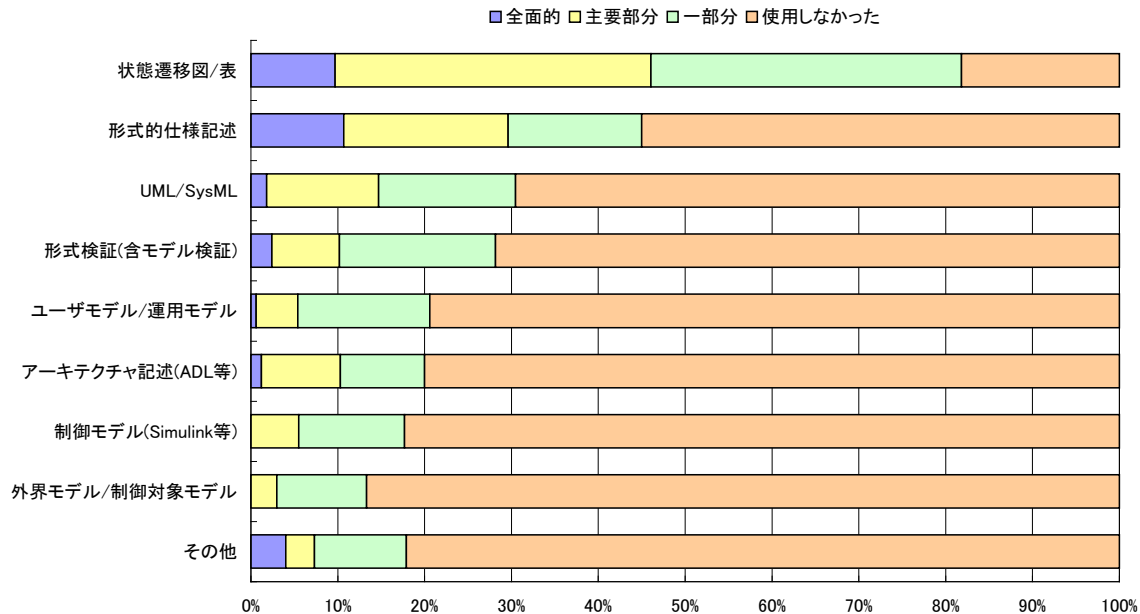


図 1-4 収集したユーザ情報を分析し社内に展開する仕組みがある割合

(2) 組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査

調査目的:

組込みシステムの開発力強化のためには、開発の上流工程における取組み強化が求められており、特にモデルベース開発(モデルベース設計・モデルベース検証等)が開発力強化に有効であるとの指摘がある。しかしながら、2010年版組込みソフトウェア産業実態調査によれば、我が国の組込みシステム開発においては、古典的なモデルベース手法である状態遷移図／表については8割程度のプロジェクトで利用されているのに対して、UML、制御モデルや外界モデル(プラントモデル)等の先端的モデルベース手法については、その適用は1～3割程度にとどまっている。



2010 年版 組込みソフトウェア産業実態調査:プロジェクト責任者向け調査

図 1-5 プロジェクトで利用した手法・技法

上記の背景を踏まえ、本調査は、我が国の企業での組込みシステム開発におけるモデルベース開発への取り組み、モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーン、設計支援ツール、検証支援ツール等のモデルベース開発ツール、モデルベース開発に利用できるユーザ(人間系)モデリングに関する手法・技術、ソースコード資産のモデルベース開発への転用に関する技術、等を調査・分析し、組込みシステム開発におけるモデルベース開発を促進し、我が国の組込みシステム産業の開発力強化に資することを目的とする。

調査結果:

- ① 「国内企業におけるモデルベース開発(設計、検証等)の実態調査」では、モデルベース開発を行う目的と理由、工程ごとのモデルベースの適用状況、モデルベース適用時の課題と解決方法、モデルベースを扱える技術者の人数・比率・スキルレベル等について、公開情報に基づく事前調査と国内企業 12 社を対象にヒアリング調査を実施した。その結果として、多くの企業が「コスト削減」「開発期間の短縮」「品質の確保」を目的としてモデルベース開発に取り組んでおり、「開発期間の短縮」の効果は表れているが、「コスト削減」には必ずしもつながっていないこと、また、モデルベース開発では若い技術者が多く、製品ノウハウ等がベテランに比べて不足しており、両方を併せ持った技術者がいないという課題が明らかとなった。さらに、企業が求めている教育内容が、大学など高等教育機関で行われている教育内容と乖離していることも判明した。
- ② 「モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーンに関する実態調査」では、モデルベース開発に係るアウトソーシングの実態、国内外への発注の実態、技術者研修の実態等について、国内企業 12 社を対象にヒアリング調査を実施した。その結果として、モデルベース開発自体の取り組みを開始して間もないために、アウトソーシングについてはまだ実施に至っていないとい

た企業も少なくないこと、および既に実施している企業であっても、アウトソーシング先は自社のグループ子会社やサプライヤである場合がほとんどであることがわかった。また、技術者研修の一環として、社内講師による各種研修を実施しているものの、非常に多忙な立場にある 30 歳代の若手に依頼せざるを得ず、リソース確保が重要な課題となっていることも明らかになった。

- ③ 「モデルベース開発ツール(設計支援ツール、検証支援ツール)に関する実態調査」では、ツールの機能・価格・ライセンスの提供の実態、ツールインテグレーションの実態、ツール提供に伴う教育・カスタマイゼーション・受託開発等のサービスの実態等について、国内企業 12 社を対象にヒアリング調査を実施した。その結果として、ツールベンダではツールインテグレーションに際して異なるモデルの接続が技術的に困難であること、ツールを導入しているユーザ企業では、ツールのライセンス数確保・維持の面でのコスト負担が大きいことが課題となっていることが明らかになった。
- ④ 「モデルベース開発に利用できるユーザ(人間系)モデリングに関する手法・技術調査」では、ユーザモデルの種類と分類法、ユーザモデル(モデル化プロセス、モデルの構造、モデルパラメータの定義)、ユーザモデルパラメータを決めるためのユーザ情報の取得方法、ユーザモデルの評価技術、ユーザモデルの利活用(利用工程とその目的)等について、公開情報に基づく事前調査と国内企業 13 社を対象にヒアリング調査を実施した。その結果として、ユーザモデリングの定義自体が各社により異なり、ユーザモデルの種類と分類法についても産業界でも確立していないこと、ユーザ情報の取得方法やモデルの評価技術についても方法論が確立されていないことが明らかになった。
- ⑤ 「ソースコード資産のモデルベース資産化に関する技術等の調査」では、ソースコードのリバースエンジニアリング技術、ソースコードに含まれない要件等の抽出・再構築技術、モデルベース資産の検証技術、ソースコードからモデルベースへの資産化プロセス、資産化支援ツール等既存のソースコード資産のモデルベース開発への転用について、公開情報に基づく事前調査と国内企業 13 社を対象にヒアリング調査を実施した。その結果として、リバースエンジニアリングの各種ツールが提供されるようになってきているものの、機能・性能が十分でないケースが少なくないこと、資産化プロセスや資産化支援ツールの利用については各企業で試行錯誤の段階であり、実案件への適用が一部開始された状況であることが明らかになった。

(3) 関連調査報告：モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査

調査目的：

組込みシステムの開発力強化のためには、開発の上流工程における取組み強化が求められており、特にモデルベース開発(モデルベース設計・モデルベース検証等)が開発力強化に有効であるとの指摘がある。しかしながら、2010年版組込みソフトウェア産業実態調査によれば、我が国の組込みシステム開発においては、古典的なモデルベース手法である状態遷移図／表については8割程度のプロジェクトで利用されているのに対して、UML、制御モデルや外界モデル(プラントモデル)等の先端的モデルベース手法については、その適用は1～3割程度にとどまっている。

モデルベース手法への適用にあたっては、組込みシステム技術者がモデルベース設計技術やモデルベース検証技術を扱うスキルを修得することが必要であるが、従来のソースコードベースの設計・検証技術と基盤となる知識体系も異なるためスキルの修得を困難としており、このことがモデルベース手法の適用を難しくしている要因の一つとなっている。

本調査は、企業におけるモデルベース設計検証技術者スキルに対する要件、教育研修機関におけるモデルベース設計検証技術者スキルに対する要件、モデルベース設計検証に係る技術・標準・法令等を調査・分析し、我が国の組込みソフトウェア開発を担うモデルベース設計検証技術者スキルの体系化を行い、組込みシステム開発におけるモデルベース開発を担うモデルベース設計検証技術者を育成することにより、我が国の組込みシステム産業の開発力強化に資することを目的とする。

調査結果：

- ① 国内企業10社に対し、モデルベース開発の実態に関するインタビュー調査を実施した。分析結果から国内企業におけるモデルベース設計検証技術者スキル要件として、モデルベース設計検証技術者の増員計画・方針、技術者に係る職種定義及びキャリアパス、技術者の育成に係る課題及び解決策、関連する社内規定、スキル基準に対する要求事項が明らかになった。
- ② 国内40機関、海外22機関に対し、モデルベース開発の教育実態に関する文献調査を実施し、その中から国内7機関、海外5機関を選定し、インタビュー調査を実施した。分析結果から国内外の教育研修機関におけるモデルベース設計検証技術者スキルに対する要件として、モデルベース設計検証技術に係るカリキュラム・シラバス、教育研修実績(開催回数、履修人数、履修効果)、スキル基準に対する要求事項が明らかになった。
- ③ 国内外のモデルベース設計検証に係る技術・標準・法令等について、公開情報にもとづく文献調査を実施し、結果を整理した。モデルベース設計検証技術に係るツールとして24ツール、表記法として8表記法、プロセスとして4プロセス、資格として3資格がそれぞれ分類・整理されている。
- ④ モデルベース開発技術者のスキル体系として、モデリングプロセスを「抽象化する」「分解・分析できる」「再構築できる」「表現できる」「検証できる」の5つの工程でモデル化し、整理した。スキル基準案として、第3階層で24項目(開発技術20、管理技術4)、第4階層で45項目(開発技術41、管理技術4)のスキル項目が提案されている。

2. 新たなモデリング技術について

～ユーザモデリング技術の確立に向けて～

「制御モデル」と「プラントモデル」だけでは解決できないユーザに深く関連する問題を解決すべく、新たにユーザのモデル化技術の確立に向けた調査、研究を行うために、本年度「ユーザモデリング技術WG」を設置し、活動を開始した。

ユーザモデリング技術WGは最初の3年間で基本的な技術の確立を目指している。1年目の本年は、「ユーザモデルの定義とモデリング技術の明確化」、2年目は、「ユーザモデル開発技術(モデリング技術)要件」、3年目は「ユーザモデル応用技術要件」を調査・研究することとする。

ユーザモデリング技術WGの中期計画

- 1年目：ユーザモデルの定義とモデリング技術の明確化
 - ユーザモデルの定義と利用シーン
 - ユーザモデルのためのモデリング技術
 - ユーザモデルを活用した開発プロセス
- 2年目：ユーザモデル開発技術(モデリング技術)要件
 - ユーザモデルの開発プロセス
 - ユーザモデル開発技術者のスキル
 - ユーザモデル開発支援ツール
- 3年目：ユーザモデル応用技術要件
 - ユーザモデルを活用したシステム開発プロセス
 - ユーザモデルを活用したシステム検証技術
 - ユーザモデル活用技術者のスキル

本年度は、「ユーザモデルの定義とモデリング技術の明確化」のためにWGを4回開催し、「ユーザモデルの定義と利用シーン」「ユーザモデルのためのモデリング技術」「ユーザモデルを活用する開発プロセス」についての討議を重ねた。(表 1-3 を参照)

これらの議論をもとに報告をまとめる。

2.1. ユーザモデリングとは

これまでもシステム開発において、ユーザのニーズを考慮した開発が行われてきた。しかし、製品の多機能化に伴ってユーザの振舞いが多様化し、システム設計における状態遷移が極端に増加してきている。また、製品やサービスの高度化とともに、ユーザが継続的に変化している。さらに、製品のグローバル展開に伴い、振舞いやニーズを十分に把握できていない海外のユーザへの対応が必要になってきている。

これらの環境の変化により、「開発者が想定しているユーザ」と「実際のユーザ」に乖離が生じている。このままでは、日本が誇る高い利用品質の維持ができず、利用者の安全確保にも問題が生じる可能性がある。そこで高い利用品質の製品やサービスを維持向上していく技術として「ユーザモデル」について検討することとした。

2.1.1. ユーザモデルに対するイメージ

「ユーザモデル」という同じ言葉を使っている、その言葉が持つイメージは、ユーザモデリング技術WGの委員それぞれで違いがある。そのため、WG内の議論に加え、委員に対してユーザモデルに関するアンケート調査を実施し、各委員のイメージを確認した。

「ユーザモデル」に関するイメージには大きく「静的」と「動的」の2種類がある。静的なイメージは、データを収集し、データマイニング¹やデータクレンジング²、分析によりユーザを分類し、利用する手法である。これまで「Persona(ペルソナ)³」や「HCD(人間中心設計)⁴」などで行われてきた。「動的なイメージ」は、「静的なイメージ」をもとに特定の環境におけるユーザの動作を「振舞いモデル」として表現するものである。また、「静的イメージ」「動的イメージ」それぞれの意味も同一ではなく、委員ごとに違っている。

ユーザモデルに対するイメージ

■ 静的なイメージ

- ユーザの特徴に沿って分類したタイプを表現したもの
- 人間を社会システムの中の一つの要素として考え、その特徴を抽出したものが人間のモデル

■ 動的なイメージ

- 人間と等価な動きをするもの
- 人間の行動を抽象化して、一般原理に落とし、発生した事象に対して反応が起こるようにしたもの
- 起きると思わないことが起きた場合のユーザの振る舞いや対応を表現できる行動モデル

■ ユーザモデルに関するイメージは多様

¹蓄積されたデータを解析し相関関係やパターンなどを明らかにする技術。

²目的の処理に使用できるようデータの内容を整理する技術。

³製品やサービスの企画、仕様を検討する際に想定する典型的な利用者像のこと。

⁴Human Centered Design:システム等の開発を供給側の都合だけでなく使用者である人間の立場や視点を重視する取組み。

2.1.2. ユーザプロフィールとユーザモデル

「静的イメージ」のユーザモデル化手法であるペルソナなどでは、これまでユーザデータをもとにユーザを分類し、製品への機能要求から見たユーザの特徴や傾向を取りだして抽象化し、ユーザの典型(プロトタイプ)を表現してきた。「静的イメージ」は文書や図式で記述しており、人間にとって分かりやすい表現方法をとっている。この手法は新製品を企画する段階で対象顧客を明確にするためや、設計検証の段階で新製品が対象顧客を満足させることの確認に利用されている。

「動的イメージ」のユーザモデル化手法である振舞いモデルのモデル化手法では、ユーザプロフィールをもとに、特定の環境におけるユーザの振舞いを分析して、抽象化し、数式で表現する手法である。振舞いモデルの目的は、制御モデルやプラントモデルとともに、コンピュータにユーザの役割をさせて、ユーザ視点で利用品質を検証することにある。

本報告においては、ユーザプロフィールとユーザモデルの二つを区別するために「静的イメージ」のモデル化手法を「ユーザプロファイリング」と呼び、「静的イメージ」のモデルを「ユーザプロフィール」と呼ぶ。

振舞いモデルなどのような「動的イメージ」で、モデルベース開発において、制御モデルやプラントモデルとともに動作可能なモデルを「ユーザモデル」と呼ぶ。

以下に、ユーザプロフィールとユーザモデルの双方の違いを、WG での議論とアンケートをもとに例示している。

ユーザプロフィールとユーザモデル

■ 静的なイメージ⇒ユーザプロフィール

- ユーザ全体の傾向の表現
- ユーザの興味・関心を表現
- ユーザの対象問題に関する知識・理解度を表現
- 一般的なユーザーの特性の表現 (ex.ペルソナの表現)

■ 動的なイメージ⇒ユーザモデル

- ユーザ個人と等価な行動をシミュレート
- 人間工学に基づいた行動のシミュレート (ex.危険回避行動等)
- 予想外の行動のシミュレート
- 製品テストで簡単に使用可能なユーザの代理
- 不具合の少ない製品に仕上げるために使うユーザの代理
- 上流工程で作成し、利用品質検証に使うユーザの代理

(ユーザプロフィール/ユーザモデルの考え方は今後の議論)

2.1.3. Persona(ペルソナ)とHCD(人間中心設計)

ユーザプロフィール技術としてはペルソナなどの手法がある。ペルソナは、製品のターゲットユーザの年齢や職業だけではなく、その生活習慣や生活環境、趣味、嗜好、感じ方などをまとめ、顔写真や名前を与え、製品企画担当者や製品開発技術者がユーザをイメージしやすくし、イメージを共有するための技術である。

新製品デジタルカメラのペルソナ



亀沢 真美 (43歳)

都内の中堅建材メーカーの総務部勤務。独身。スポーツクラブと英会話のレッスンに通い、趣味は旅行。賃貸マンションで一人暮らし。

「生活の記録として写真を大切にしていきたいですね」

亀沢真美さんは、携帯電話やPCなどデジタル機器を活用していますが、失敗しないように、**もっと操作がシンプルになるといいと思っています。**

亀沢さんは、自分の趣味や生活に鮮度を入れるために消費にも積極的。ファッションにも小物にもこだわりがあります。

そんな亀沢さんは、携帯とは別にデジタルカメラを常に持ち歩いています。そして、仕事中には、ミーティングでホワイトボードに書かれた内容を写真に写して記録にしたり、友人と外食するときにはお料理の写真、家ではペットの写真などを撮っています。

デジタルカメラを使っていて気になるのは、目尻のシワがくっきり見えること。シワを自動的に消してくれるカメラが欲しいと思っています。

それから、旅行先で撮影した写真は、あとでどこで撮ったのかわかる仕組みがあるといいと思っています。地図と連携されるようになっていると、旅行の話の楽しさも倍増しそう。

感情面でのゴール: 思い描いたとおりの写真が撮れるという自信をもちたい

行動面でのゴール: 写真をとるぞ、と構えることなくスッと写真を撮りたい

長期的なゴール: デジタル機器を上手に利用することで、充実感や壮快感を得たい

図 2-1 ペルソナの例

ユーザプロファイリングの際には下表のような情報が必要となる。

表 2-1 ユーザプロフィールに必要な情報の例

個人的属性		
性別	年齢	世代
身体的特質	認知手段	地理的環境
精神的特質	個人的嗜好性	ライフスタイル
最終学歴	社会的地位	政治的姿勢
知識	スキル	
通信手段	学習手段	言語
環境・状況		
経済的状況	情緒的状況	緊急性
教育的背景	民族的背景	
価値体系		
宗教的価値観	文化的価値観	歴史的価値観

HCD は、ユーザプロフィールをもとにユーザが使いやすい製品を設計するための手法の一つであり、心理的要件や物理的要件、環境要件など追加して製品を設計するための条件を静的なモデルとして提示する。HCD では、次の図に示すように「実施計画の立案」を起点として、「利用状況の把握と明示」「ユーザ要求の抽出」「解決策の作成」「要求に対する解決策の評価」を繰り返し、ユーザに適した商品を開発する。

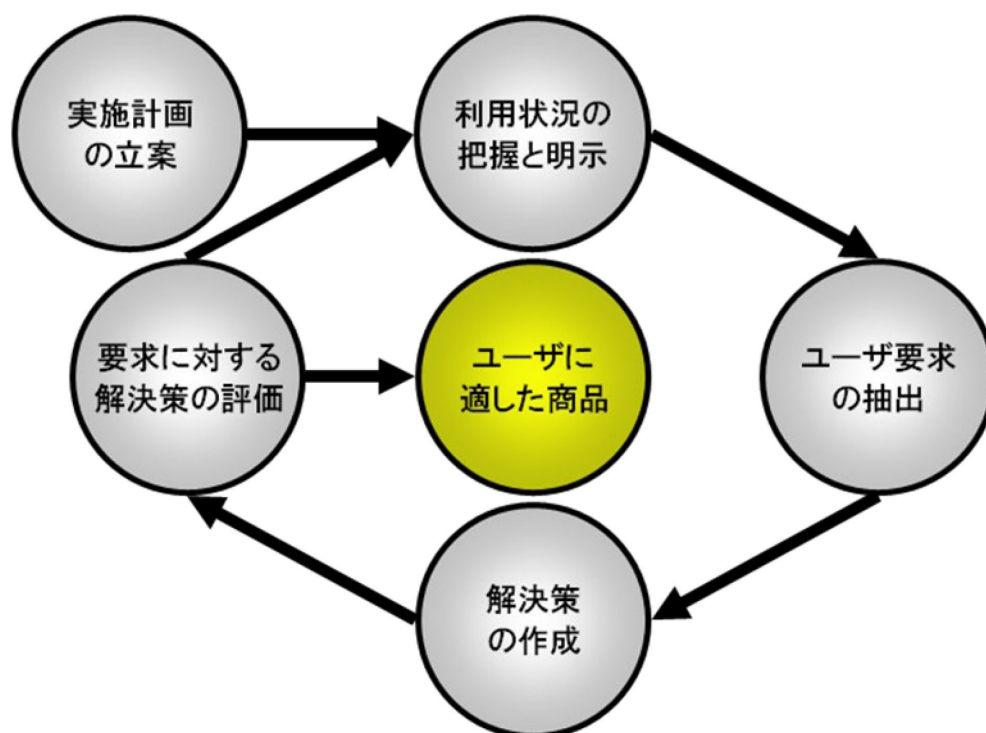


図 2-2 HCD による製品開発サイクル

2.1.4. 人間を中心とした豊かな生活を目指して

経済産業省は、「技術戦略マップ2010」において「人間生活技術戦略」に関して、長期的な社会環境の変化を踏まえ、将来の目指すべき社会像を提示している。

(参照 : http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010/a7_1.pdf)

(1) 安全な生活の実現

- ・生活環境、労働環境など様々な場面において、子どもから高齢者まで安全に生活することができる社会

(2) 健康な生活の実現

- ・子どもが健やかに成長・発達し、高齢者も健康で自立した暮らしができる社会

(3) 快適な生活の実現

- ・ストレスが軽減された快適な環境において、感性・五感で楽しめ、生きがいを持ち、満足して暮らすことができる社会

(4) みんなに優しい生活の実現

- ・年齢・性別・心身の状態等に関係なく、誰もが安心して快適に暮らすことができる社会

また、これらの将来の社会像を実現するために、必要と考えられる環境や社会の在り方を以下のように詳細化している。

(1) 安全な生活の実現

- ・子どもが安全・健やかに成長できる環境の実現
- ・安全にロボットと共存する日常生活の実現
- ・安全かつ自由に移動できる社会の実現

(2) 健康な生活の実現

- ・子どもが健やかに成長する社会の実現
- ・日常生活を通じて自分の身体を知り健康になる社会の実現

(3) 快適な生活の実現

- ・生きがいを持ち楽しく生活できる社会の実現
- ・心身ともに快適に生活できる社会の実現

(4) みんなに優しい生活の実現

- ・誰もが使いやすい製品を享受できる社会の実現
- ・誰もが無理なく健康に生活できる社会の実現
- ・誰もが自由に社会参加できる社会の実現

そして、「人間生活技術分野の技術マップ」では、将来の社会像の実現のために必要と考える27の重要技術重要技術を以下のように提示している。

- (1) 運転者の状態を検知し事故を未然防止
- (2) 人の行動予測が容易なロボット
- (3) 日常生活でのアレルギー防止
- (4) モビリティの多様化に伴う安全性向上
- (5) 育児のしやすい環境の構築
- (6) セキュリティタウンの構築
- (7) 子どもの事故情報収集・分析及び未然防止策への活用
- (8) 事故につながる子どもの行動察知
- (9) 健康的な身体機能・容姿の実現
- (10) 生活しながら、身体機能・認知力を維持・回復
- (11) 生活リズムの健康的な調整
- (12) 子どもの体格・機能・認知力を健やかに発達
- (13) 高齢者の日常生活見守り
- (14) ストレス・疲労を解消する環境の創出
- (15) 好み・行動パターンに応じた快適環境の創出
- (16) パーソナルフィッティング
- (17) 在宅作業での集中力向上
- (18) 残存機能を活かした日常生活支援

- (19) 次世代VR技術（3次元投影、擬似触覚など）
- (20) 作業に必要な身体機能の代替
- (21) アクティブデジタルヒューマンを活用した設計・評価
- (22) 人の生活を支援するロボット
- (23) 歩くように自由に使える新たなモビリティ
- (24) 乗れば元気になるモビリティ
- (25) 暮らしのユニバーサルデザイン
- (26) VRを活用したユニバーサルコミュニケーション
- (27) 生活支援機器（福祉機器）の充実

この「人間生活技術戦略」の中には「ユーザモデル」という言葉が含まれているわけではない。しかし、「人間生活技術戦略」で示している「安全な生活の実現」「健康な生活の実現」「快適な生活の実現」「みんなに優しい生活の実現」のための27の重要技術は、「人間」つまり「ユーザ」を中心におき、ユーザを理解し、ユーザに適した製品やシステムの提供を前提とした、「ユーザ」を理解するための技術戦略となっている。

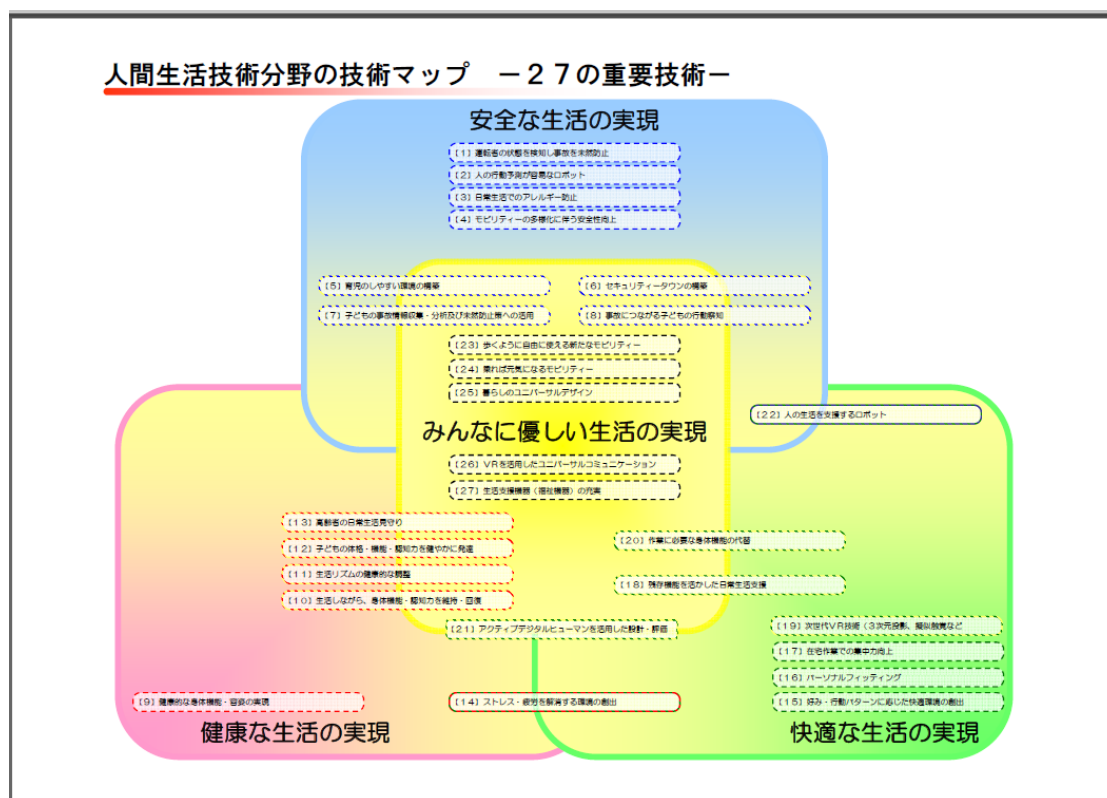


図 2-3 人間生活技術分野の技術マップ ― 27の重要技術―

2.1.5. アクティブデジタルヒューマン開発プロジェクト

「人間生活技術戦略2007」ではアクティブデジタルヒューマン開発プロジェクトを開始した。「デジタルヒューマン」とは「身体性に基づいて環境の中で行動する生活者のモデル」であり、生理解剖・運動機械機能を「身体」という軸に取り、心理認知と運動機械機能によって起きる「行動」と、それらと環境によって構成される「生活」の3つの軸の人間機能のモデル化と定義されている。

その中で、以下の計測や評価技術開発の必要性が提示されている。

- (1) 日常生活での動作や姿勢に応じた疲労の計測・評価技術
- (2) 日常生活での筋力・視力・聴力などの総合的な計測・評価技術
- (3) 日常生活での体の表面や複雑な動きの計測技術
- (4) 運転時の動作や姿勢に応じた疲労の計測・評価技術
- (5) 運転時の筋力・視力・聴力などの総合的な計測・評価技術
- (6) 運転時の体の表面や複雑な動きの計測技術

(参照：http://www.meti.go.jp/press/20070711004/02_RoadMap2007_Visual.pdf)

しかし、「ユーザモデル」は振舞いのモデルであり、「個人的属性」「環境・状況」「価値体系」と行動特性の関係性も重要で、最終的にはシミュレーションによる検証も検討課題の一つである。そのため、「身体」を中心とした「デジタルヒューマン」では不十分である。

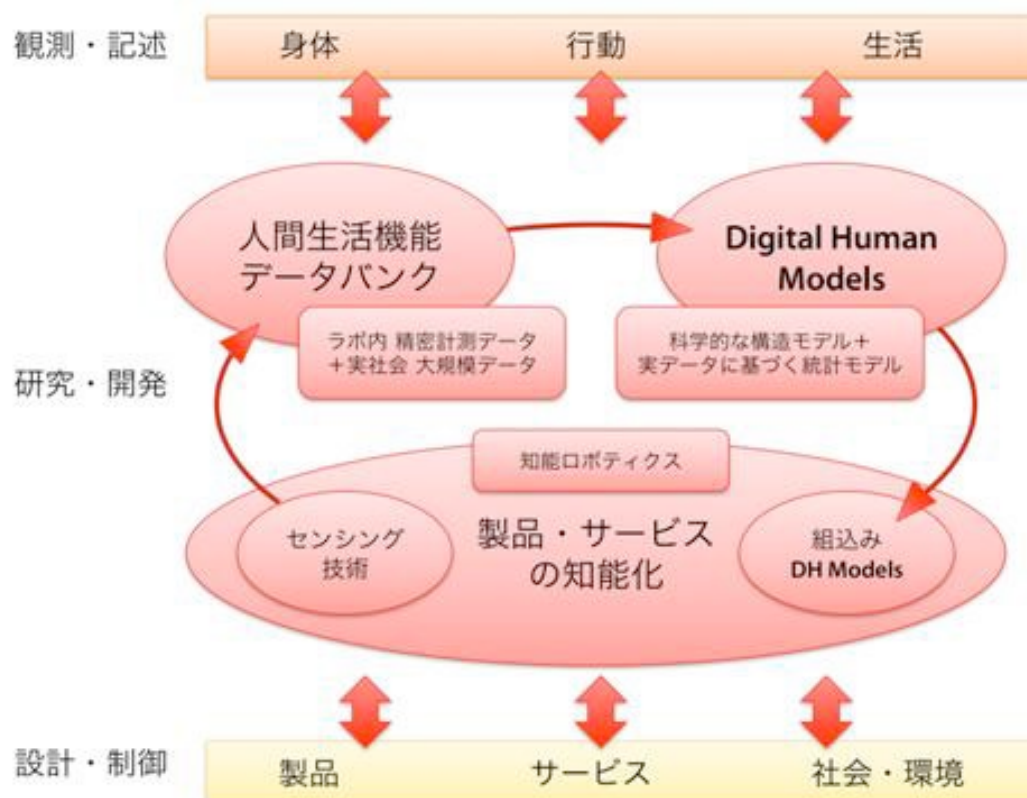


図 2-4 デジタルヒューマンの研究方法論 (<http://www.dh.aist.go.jp/jp/dhrc/>)

2.2. 興味を持たれているユーザモデルの種類

各委員が興味を持っているユーザモデルは多様であり、興味の対象は「販売・プロモーション」「システム開発」「品質保証」に大別できる。

- (1) 販売やマーケティングなどの業務では、売上向上のためのユーザモデルに興味をもっている。
 - ・消費者行動予測の高精度化を実現できるユーザモデル
- (2) システム開発・検査の業務では、2 種類のユーザモデルに興味を持っている。第1はシステムに組み込み、システムの一部として機能するユーザモデルである。
 - ・ユーザの意図を推定するためのユーザモデル
 - 第2は企画・開発時にターゲットユーザに適した仕様を作るためのユーザモデルと、仕様を満足していることを確認するための検証に使うためのユーザモデルである。
 - ・安全安心な企画・開発のためのユーザモデル（不具合ゼロ化）
 - ・利用品質判定高精度化のためのユーザモデル（満足度向上）
 - ・好みを数値化し、検証に使えるユーザモデル
- (3) 品質保証では、故意にエラー状態を引き起こして適切な対応が可能か否かを確認するためのユーザモデルに興味を持っている。
 - ・認知、判断、操作のサイクルを具現化して、それぞれのエラーを起こすユーザモデル
 - ・特異点のユーザの行動を検証するためのユーザモデル

2.3. 想定利用形態

想定利用形態に関しても委員の業務に関係しており、「販売・プロモーション」「システム開発」「品質保証」において、さまざま利用形態が期待されている。

- (1) 販売やマーケティングなどの業務では、売上向上に向け、販売形態や宣伝方式のためにユーザモデルを利用することを想定している。
 - ・場所、時間、季節などに応じた販売形式、宣伝方式の検討
- (2) システム開発の業務では、機器に組み込む機能の一部としてユーザモデルを利用することと、企画、仕様、設計、検査の工程におけるシミュレーションに利用することを想定している。
 - ・商品企画における一般的なユーザ特性の検討
 - ・仕様・設計検討、閾値などの検討
 - ・好みを数値化した検討・検査・検証
 - ・ユースケースのシミュレーションによる検討
 - ・テストケースの抽出と実ユーザの代理としての検証
 - ・機器にユーザモデルを組み込むことにより、よりユーザにとって使いやすいシステムを提供
 - ・センシングによる状態把握を活用し各ユーザモデルと連携させることによる使用性の向上
- (3) 品質保証の業務では、人間の代理としてユーザモデルを利用することを想定している。
 - ・人間工学に基づいた危険回避行動の検証
 - ・予想外の行動による検証

売上向上のためのユーザモデルに関しては、これまで、ペルソナなどのユーザプロファイリング手法とその結果をもとにした HCD による製品やサービスへの展開に類似している。

システム開発におけるユーザモデルはシステム開発プロセスにおいてユーザを理解し、適正なシステムを開発するための利用形態と、システムに組み込む利用形態が考えられている。

現在でもシステム開発者はユーザを意識しようとしているが、システム開発者がユーザのすべての振る舞いを理解することは難しい。また、企画段階でターゲットユーザを決めたとしても、企画段階に意図したユーザの振る舞いをシステム開発者が理解し、実現することは難しい。そこで、「ユーザモデル」を利用することで、システム開発者がユーザを理解する助けとなることが期待されている。そして、ユーザモデルを使うことによって、利用上の課題を事前に認識したり、制御の適正性を判断したりすることで、品質保証に関する確認の助けとなることも期待されている。

また、「ユーザの行動モデルがわかれば、ソフトウェアが人間を正しい判断に導くことが可能」となる。ユーザモデルをシステムに組み込む利用形態が実現できれば、ユーザの好みや期待を理解し、ユーザの操作の意図を推定することで、システムがユーザに最適な制御ができるようにユーザの操作をアシストすることも可能となる。

システム開発でのユーザモデルの可能性

■ ユーザモデルにより開発者がユーザを容易に理解可能

- ユーザモデルを利用すると、製品の制御の適正性を判断可能
 - 設計者の「正常の範囲」とユーザの「感じ方」のずれを修正可能
- 利用上の課題をユーザ、環境、製品としてモデル化できると、利用上の課題を事前に認識可能

■ 行動モデルがわかれば、ソフトウェアが人間を正しい判断に導くことが可能

- ユーザモデルを利用すると、ユーザの期待に沿った予測制御型装置の開発も期待可能

■ システム開発におけるユーザモデルに対する期待も多様

2.4. ユーザモデルの分類に関する考え方

委員ごとに興味のあるユーザモデルが異なる。そこで、本 WG において合意を得るべき課題はユーザモデルの分類方法と、対象とするユーザモデルの種類である。ユーザモデルの分類方法の例として委員から、ユーザモデルをシステム開発のプロセスを軸に分類する方法やモデリング手法を軸に捉えた分類方法が提示された。

ユーザモデルの議論の最初の課題

■ 本WGでユーザモデルを議論する前に、議論するユーザモデルの分類方法と種類を一致させることが必要

■ ユーザモデルの分類方法の例

- システム開発を中心に捉えた分類
 - 商品企画、要求、設計、検証、商品テスト
 - モデリング手段から捉えた分類
 - 制御工学的、バイオメカ的、人間工学・認知工学的
-

システム開発のプロセスを軸に「商品企画」「開発(要求定義から検証工程)」「品質保証」の 3 ステージに分けて分類し、有用なユーザモデルを検討すると以下ようになる。

システム開発において必要とされるユーザモデルは、開発プロセスの各段階によって異なる。「商品企画」では企画担当が製品に必要な特徴や品質を検討し、機能要求や非機能要求などの要求定義を決定する。その際に以下のユーザモデルが有用である。

- ・ 商品企画や売れる商品を検討するためのユーザモデル
- ・ 商品企画のための要求定義（機能/非機能）を抽出するユーザモデル

次に開発する際に以下のユーザモデルが有用である。

- ・ 要件定義を検討するためのユーザモデル
- ・ テストケースを作るためのユーザモデル
- ・ 検証のための実行可能なユーザモデル

さらに、「品質保証」の確認をする際には、以下のユーザモデルが有用である。

- ・ 品質保証のための基準としての実行可能なユーザモデル
- ・ グローバル対応の際の問題点抽出のための実行可能なユーザモデル

2.5. ユーザモデルを利用した開発プロセスの例

「システム開発のためのユーザモデルの分類」において列挙されたユーザモデルを、開発プロセスに組み込むと以下のような流れが考えられる。

ユーザモデルを使った開発プロセスの例

-
- | | |
|--|---|
| 1. 対象製品・対象ユーザ決定 <ul style="list-style-type: none">● データ収集対象と項目の選定 2. ユーザデータ収集 <ul style="list-style-type: none">● アンケートとインタビューによる利用実態の把握● 既存データの収集<ul style="list-style-type: none">□ 人間工学的データなど□ ログデータ 3. ユーザプロファイリング <ul style="list-style-type: none">● データ分析<ul style="list-style-type: none">□ 期待値の分布によるユーザの分類□ イレギュラー行動の抽出● ユーザの理解/判断/行動予測<ul style="list-style-type: none">□ ユースケース/シナリオの作成● ユーザプロファイルの肉付け 4. プロファイルの妥当性検証 <ul style="list-style-type: none">● 合致する実ユーザでの検証<ul style="list-style-type: none">□ 実験・インタビュー | 5. ユーザモデリング <ul style="list-style-type: none">● ユースケース/シナリオの分析● 行動の数式化 6. モデルの妥当性検証 <ul style="list-style-type: none">● 実ユーザとの同一性の検証 7. 要求仕様作成 <ul style="list-style-type: none">● 機能要求/非機能要求の抽出<ul style="list-style-type: none">□ 容認可能な品質レンジ設定□ 具体的な対応ガイドラインの策定● モデルによる定量的な判定<ul style="list-style-type: none">□ 基本パターンでシミュレーション□ 組合せパターンでのシミュレーション 8. 製品開発 <ul style="list-style-type: none">● テストケース作成/テスト実施 9. 品質保証 <ul style="list-style-type: none">● ふるまいの再現● 不特定多数データによる確認 |
|--|---|
-

汎用のユーザモデルは存在しないため、最初に対象製品や対象システムと、対象ユーザの決定からはじまる。データ収集を行い、ユーザプロファイリングとそのユーザプロファイル妥当性確認を行い、ユーザモデリングとユーザモデルの妥当性検証を行う。そして、完成したプロファイルとモデルを使って、要求仕様の作成、製品開発と品質保証を行う。

2.6. ユーザモデリング技術に関する課題

これまで静的なユーザプロファイルの調査・研究は行われてきたが、動的なユーザモデルは端緒に就いたばかりで、一部の企業や大学おいて行われているに過ぎない。そのため、ユーザモデル作成のプロセスの整備や、各プロセスで使用するツール、ツールチェーンに関しても、手法が確立されているわけではない。

そのため、「2.5 ユーザモデルを使った開発プロセスの例」に示したすべての工程において課題が山積している。

2.6.1. ユーザモデル作成に必要な情報収集の課題と必要な施策

ユーザモデルを利用した開発においては、ユーザモデル作成の段階から課題がある。ユーザモデル作成には「ユーザデータ収集」「ユーザプロファイリング」「プロファイルの妥当性検証」「ユーザモデリング」「モデルの妥当性検証」などの工程がある。

ユーザモデル作成の最初の段階である「ユーザデータ収集」においては、「デバイス側の情報」「事故情報」「高度化したクレーム情報」の利用も有用である。しかし、残念ながら、これらの利用に関しては課題や制約がある。

ユーザモデル作成に必要な情報収集の課題

- ユーザモデル作成に必要な情報に関する考え方
 - デバイス側の情報はユーザモデルや行動モデルの作成が可能
 - 事故情報からはユーザモデルや行動モデルの作成が可能
 - 現在のクレーム情報からはユーザモデルや行動モデルの作成は不可能
 - データ収集の体制の整備に関する課題
 - コールセンターやサポートセンターの情報収集力の高度化
 - クレーム情報はユーザモデルではなく、不具合情報データベースの要素。
 - 現在のクレーム情報だけでは人間の行動が反映されていないので、ユーザモデル作成のための情報量が乏しい。
 - インタビューの情報が信頼性があり、深堀ができる。
 - WEBアンケート収集の高度化
 - 日本におけるユーザ情報の収集や共有化・二次使用の課題
 - 米国では故障検出条件における情報の記録が義務づけられ、活用可能
 - 日本ではデバイス側の情報は各社固有財産。公の場で使うことは困難
 - 個人情報が含まれる場合、開示範囲に関して明確な規定がなく、二次使用に後ろ向き
-

ユーザデータの収集はユーザモデリングにとって非常に重要な作業である。しかし、利用品質の向上に有用と考えられる情報の一つであるデバイス側に保存されているデータは各社固有の財産として扱われ、開示に関しては消極的である。また、個人情報などの扱いなどもあり、データの共有や二次利用に関しては制約がある。

日本における安全・安心な製品開発の向上を考えると、企業単位の情報収集力では限界があり、安全・安心な製品開発のための情報に関しては、戦略的なデータ収集や共有、二次使用に関する検討、データベース開発の検討などが必要と考えられる。

2.6.2. ユーザモデル作成に関する課題と必要な施策

ユーザモデル作成の前段として、データの確保ができる条件が整ったら、ユーザ情報として整備する必要がある。その最初の課題として、「モデル基本データ(構成要素)の分野毎の項目と共通項目に関する定義」がある。分野ごとの項目や共通項目を定義する際に、共有化と二次使用を前提とした選定が重要となる。ユーザ情報の整備に関しては心理学的アプローチ、脳科学的アプローチなどとの連携も有用であり、最終的には、人間工学の標準化された知識の数値化が必要となる。

ユーザモデリングの手法にも課題がある。ユーザのモデル化はモデルベース開発にとっても新しい考え方であり、「モデルベース開発における記述手法の整備」「ユーザタイプの識別手法の整備」「ユーザモデルの更新手法の整備」が必要となる。ツールに関しても未整備であり、ツールチェーンを意識したツールの整備が必要である。

また、モデルベース開発における人材育成もなかなか進んでいない状況だが、ユーザプロフィールやユーザモデルに関してはそれ以上に人材育成が必要となる。

ユーザモデル作成の課題

■ ユーザ情報の整備

- モデル基本データ(構成要素)の分野毎の項目と共通項目に関する定義
- 心理学的アプローチ、脳科学的アプローチなどとの連携も有用
- 人間工学の標準化された知識の数値化が必要
- 海外のデータ収集が必要

■ 手法の整備

- モデルベース開発における記述手法の整備
- ユーザタイプの識別手法の整備
- ユーザモデルの更新手法の整備

■ ツールの整備

- ツールの整備
 - データ収集・分析ツール/データマイニング・クレンジングツール/プロファイリングツール/モデリングツール/モデルシミュレータ/モデルベース検査・検証ツール
- ツールチェーンの整備

■ 人材育成

- エンジニアリング教育への利用品質向上講座の導入
 - ユーザビリティエンジニアリングの職種確立と人材育成
-

さらに、グローバルマーケットに対応する製品開発のためには、それぞれのマーケット特有の機能や非機能に関する要求を満足させる製品を開発する必要がある。そのためには、グローバルマーケットのそれぞれの地域のユーザを理解する必要があり、「Made in Market」への移行が必然と考えられ、強力な流れとなっている。これは、現在コア技術を日本に留めようとしている企業でも同様であり、グローバル化の拡大とともにコア技術の海外移転も検討せざるをえない状況となっている。

しかし、製品開発がモデルベースに移行していく中で、製品利用者をモデル化し、モデルベース開発に組み込むことができれば、日本国内において、グローバルマーケット対応の製品開発が可能となり、ユーザモデリング自体がコア技術の一つとなり得ると考えることもできる。

参考：「人間特性データ」データベース

経済産業省は平成12年度から3期に分けて、「人間特性データ」の収集とデータベース化を推進してきた。現在収集されている人間特性データとしては肉体的なデータが多いが、今後、ユーザモデルのデータベースを構築する際にその仕組みを利用できる期待がある。

人間特性データの活用に関する政策の流れと方針

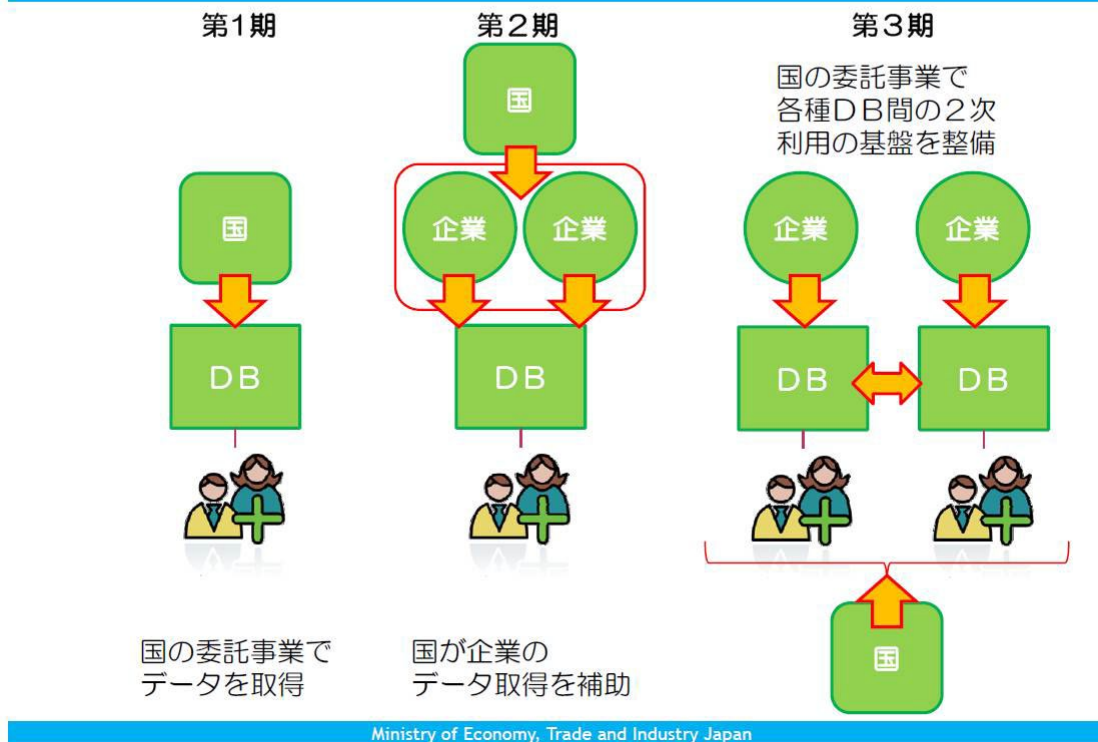


図 2-5 人間特性データの活用に関する政策の流れと方針

(参照: http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/human-design/file/kenko_hirose.pdf)

2.6.3. ユーザモデル開発に関するその他の意見と課題

その他の意見として、委員の中には「ユーザの振舞いモデルに関する手法論は比較的容易」という意見がある。また、「無限の状態を持つ人間のモデリングが困難」という意見もある。今後、検討していく際に重要な意見である。

また、モデルベース開発を推進する上での課題として「企業内のモデルベース開発の体制の整備」といったモデルベース開発全般にかかわる意見があった。

「企業内のモデルベース開発の体制の整備」に関しては、企業の企画部署、開発部署、品質管理部署など各部署間の連携と、開発プロセスへのユーザモデリングの受け入れ態勢の必要性が述べられた。

また、IPA に対し、モデルベース全体に関する意見としては、「人間にとっての分かりやすさ、可読性を定義し、モデルベース開発における可読性の良いモデルベース開発記述作法ガイドラインを検討し、可読性の良いモデルを作成できるツールを開発してほしい」との意見があった。

ユーザモデル開発に関するその他の意見

■ 技術的な意見

- ユーザの振舞いモデルに関する手法論は比較的容易
- 無限の状態を持つ人間のモデリングが困難
 - 好みや経過や慣れ（時間的概念）を評価するユーザのモデリングが困難
 - 外的な要因でユーザの環境が変わるのでモデリングが困難
 - 単純にパラメータだけで振れるユーザモデルの開発は困難
 - 特異点ユーザのふるまいの定義が困難

企業内のモデルベース開発の体制の整備に関する意見

- 企業の部署間連携（企画部署、開発部署、品質管理部署）が必要
- 開発プロセスへのユーザモデリングの受け入れ態勢が必要

■ モデルベース全体に関する意見

- 「人間にとっての分かりやすさ（可読性）」の定義
 - 可読性の良いモデルのための「モデル記述作法」ガイドラインの検討
 - 可読性の良いモデルを作成できるツールの開発
-

2.6.4. ユーザモデル普及に関する課題

ユーザモデルの普及に関しても「ユーザモデル作成のサポート体制の構築」「ユーザモデル作成のサポート体制の構築」「プロモーション方法」などに関して様々な意見があった。

ユーザモデリングを普及させるためにはまず、ユーザモデルの作成が容易である必要がある。そのためには「ユーザモデリング技術の研究・開発の推進」が必要であり、ユーザモデリング技術の標準化が必要であり、ユーザモデルを活用する開発プロセスの産学連携による技術研究や、人間工学における標準との連携の必要性に関する意見があった。

現在は各段階のツールもツールチェーンも整備されておらず、一企業だけで実現するためにはハードルは極めて高いといえる。そこで、ユーザモデリング用ツールの開発・提供を含め、公的支援の必要性に関する意見もあった。

また、ユーザモデルの作成には、「ユーザモデル作成のサポート体制の構築」に関する施策が必要である。たとえば、「共有ユーザデータ・データベース」や「共有ユーザモデル・データベース」の必要性に関する意見があった。

そして、「ユーザモデル」をビジネスとしてとらえると、「ユーザモデル」の作成だけではなく、流通が重要になる。そこで、「ユーザモデルの流通機構の整備」に関する施策の必要性を述べる意見もあった。

さらに、プロモーション活動としては、事例紹介や、学会誌での開設、また、ロゴマークなどでのブランド化が必要とも考えられている。現在、ユーザプロファイリングに関しては、サービスから Web サイト開発や製品開発まで、各種業界で認知されはじめている。しかし、ユーザモデリングは新しい技術であり、新たに普及させるための施策の検討が必要との意見があった。

ユーザモデル普及の課題と意見

■ ユーザモデリング技術の研究・開発の推進

- ユーザモデリング技術の標準化
- ユーザモデルを活用する開発プロセスの研究
- ユーザモデリング用ツールの開発・提供
- 「人間工学における標準」との連携が必要
- 産学連携による技術研究と公的支援

■ ユーザモデル作成のサポート体制の構築

- ユーザモデル共有データベースの構築
 - 収集主体（データ収集・データメンテナンス機関）の検討
 - 収集方法（利用状況データ収集の社会的認知）の検討
 - 共有財産として標準的でカスタマイズ可能なユーザーモデルの提供
- ユーザモデルの流通機構の整備

■ プロモーション方法に関するその他の意見

- ユーザモデルの利用価値のアピールするための実践事例・成功事例
 - ロゴマークによるブランディング
 - 学会誌などでの解説
-

3. モデリング技術の応用について

～統合システムの信頼性評価に向けて～

モデリング技術応用 WG は、システム同士をつなぐことで発生する（つまり systems of systems で発生する）様々なリスクを低減するための方策としてモデリング技術を検討し、信頼性の高い systems of systems を提案し、安全・安心な社会の形成に寄与することを目的として活動を開始した。

本 WG は、昨年度経済産業省が実施した「メカ制御モデル生成ツール開発調査」、「統合システム設計環境に関する調査」¹の結果（以降、本章では「経産省調査報告書」と略す）を参考としつつ、IPA/SEC のモデルベース開発技術部会のひとつの WG として新たな委員会を組織し、活動を行った。図 3-1、図 3-2 に「経産省調査報告書」で提案されたロードマップを示す。

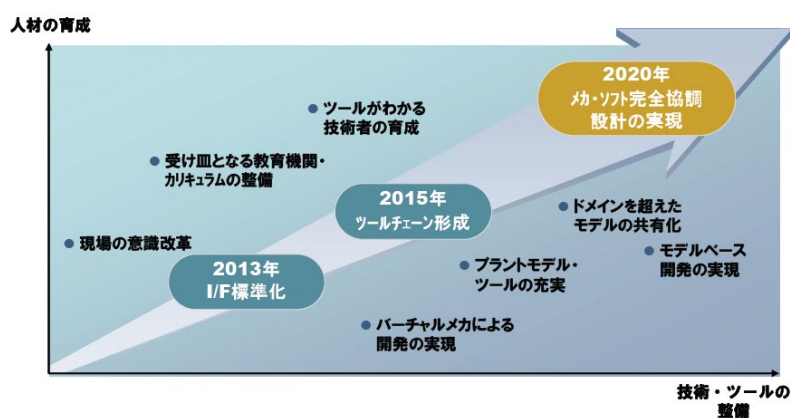


図 3-1 メカ制御モデル生成ツールのロードマップ



図 3-2 統合システム設計環境のロードマップ

¹平成21年度産業技術研究開発委託費（産学連携ソフトウェア工学実践事業（ソフトウェア工学の実践強化に関する調査研究））事業報告書

以下、モデリング技術応用 WG において検討した内容を、議論の順に沿って次のとおり説明する。

- ・ 統合システムについて
- ・ 統合システムの潜在的課題
- ・ 統合システムの課題解決に向けて
- ・ モデリング技術応用のためのツールの状況
- ・ 信頼性評価への適用に関する課題と必要と考える施策

最後に以上の WG の成果について、いくつかの観点から補足を行う。

3.1. 統合システムについて

(1) 統合システムの概観

統合システムの概観は、「経産省調査報告書」にまとめられている。それを説明する。

現在もしくは近い将来、統合システムの構成要素は、図 3-3 に示すとおり身近に数多く登場する。鉄道事業等でみられる IC カードを中心としたシステムでは、IC カードで改札を通過しつつ、電子マネーとして運賃が決済でき、同じカードで別の交通機関に乗車できるだけでなく、様々なお店で買い物もできてしまう等、次々にサービスが追加されている。また電車の運行管理も列車の駅ホームへの入退場を制御し安全を管理する駅システムと列車の運行等を管理する線区中央システムが協調している。日頃利用する電車だけでも様々なシステムがつながっている。一方、家庭および地域内で様々な電力供給（蓄電池を含む）を効率的に管理し、提供するスマートハウスやスマートコミュニティも多くのデバイスや HEMS や CEMS といった情報システムとインターネットやクラウド環境を活用して有機的に結合することで、安全・安定した生活環境の構築の一助となっている。

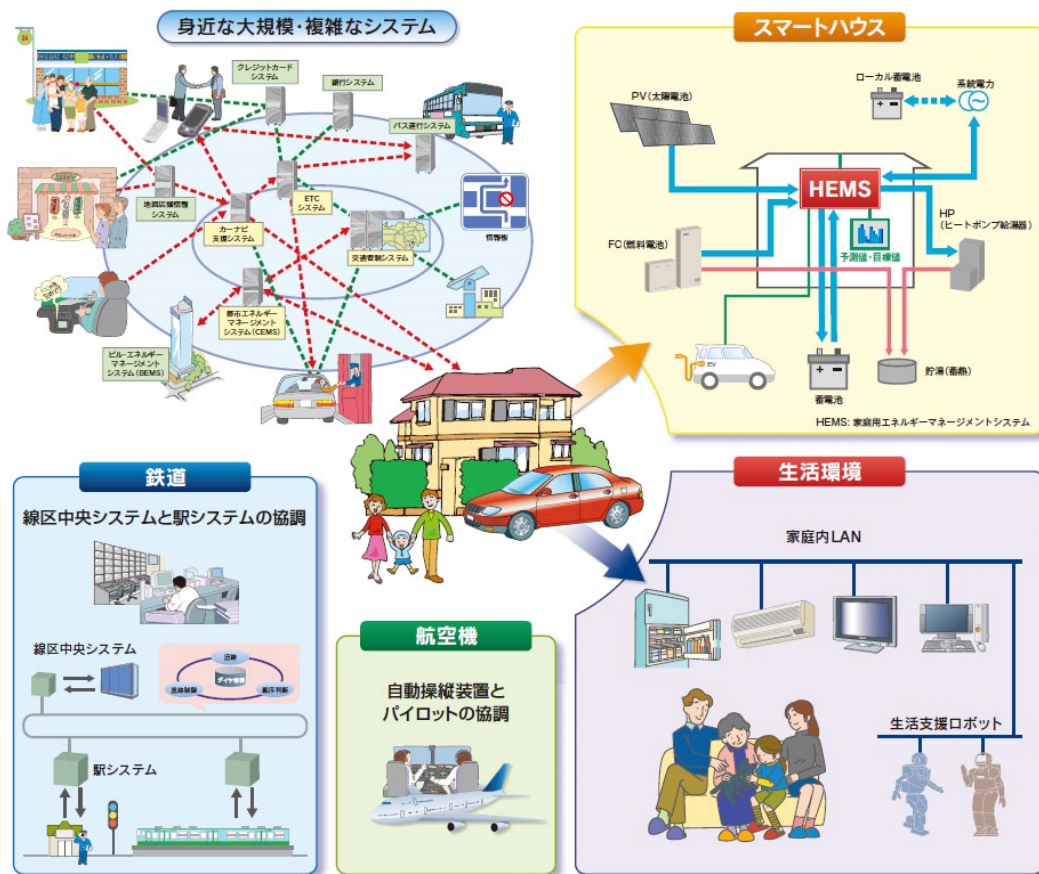


図 3-3 身近な統合システム

このような情報システムと組込みシステム等、異種のシステムで構成されているインフラシステム、特に社会システムは大規模でかつ多くは統合システムとなっている。このような統合システム全体の

信頼性を確保することは、安全・安心社会を形成するために非常に重要な事項となっている。統合システムの障害と考えられる事例は、例えば次のとおり（新聞記事より）。

- 2007 年： 「航空機予約システム故障」
 - 130 便が欠航、影響は 4 万人以上、キャンセル等で損失は 4.5 億円
 - 空港端末とホストコンピュータをつなぐルータ管理プログラムの設定ミスによるメモリ故障が発端で全システムに波及
- 2007 年： 「自動改札機起動せず」
 - 8 都県 660 駅の 4300 台の改札機、約 250 万人に影響
 - 中央コンピュータからのデータを IC カードに書き込むプログラムにミス

開発という観点で整理すると、統合システムは 2 つのシステムに分けられる。次のとおりである。

- 単一型システム
 - 全体システムとして最初から開発
 - 例 銀行勘定系オンラインシステム
 - ・ 構成要素
 - － 情報システム： 勘定系システム、顧客・営業店舗管理システム等
 - － 組込みシステム： ATM、ネットワークルータ、帳票印刷装置等
- 統合型システム
 - すでに稼働しているシステムを組み上げるにより大規模システムを形成
 - 例 交通管制システムとナビゲーションシステム
 - ・ 交通管制システム側の目的
 - － 実車両の位置情報や速度情報により、道路交通状況のより正確な把握が可能
 - ・ ナビゲーションシステム側の目的
 - － 交通管制システムの渋滞情報から道路の渋滞状況を考慮した経路案内が可能

「経産省調査報告書」では、統合システム開発の現状と課題が、次のように分析されている。

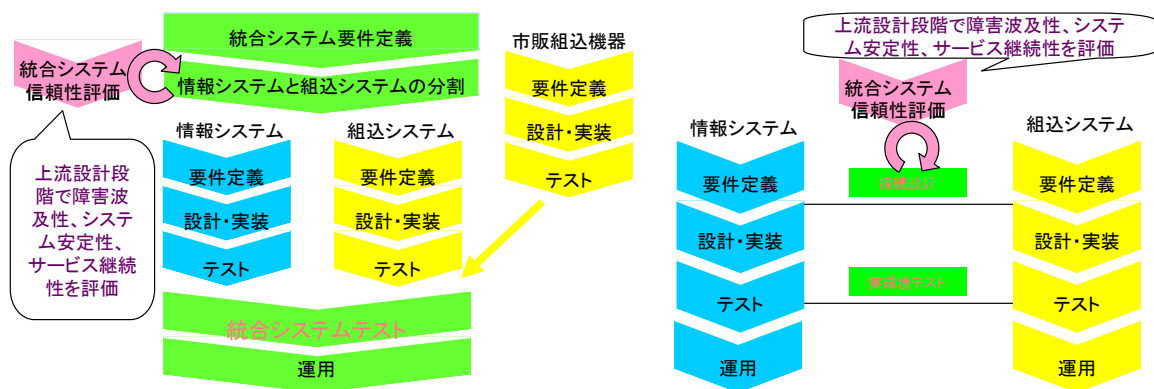
- 統合システム開発の現状
 - 統合システムの上流設計段階で、構成要素となる情報システムと組込システムのサブシステムに分割し、サブシステムごとに独立に開発
 - 情報システムと組込システムでは開発者が異なる
 - ⇒ 例 情報システム： SI ベンダ、組込システム： 装置メーカー
 - 構成要素の信頼性評価が実施されていても、全体システムとしての信頼性評価が不充分
 - 情報システムと組込システムの統合は「組合せ型」に相当
- 統合システムの課題（潜在リスク）
 - 組込システムの障害が情報システムに想定外の影響を与える危険性
 - 情報システムの障害が組込システムに想定外の影響を与える危険性

- ⇒ 障害波及性、システム安定性、サービス継続性の面で潜在リスクが残存
- 統合システムの課題解決のために
 - 統合システムの上流設計段階で統合システム全体としての信頼性評価を実施
 - ⇒ 障害波及性評価、システム安定性評価、サービス継続性評価など
 - 上記のための上流設計段階の信頼性評価環境を整備し、情報システムと組込システムの「摺合せ型」の統合を実現

以上の内容から統合システムの信頼性評価の方向性を図 3-4 のよう示している。

■統合システムの上流設計段階で、障害波及性、システム安定性、サービス継続性に関する信頼性評価を実施することにより残存リスクを低減

- 情報システムと組込システムの共通モデルによる全体システムの信頼性評価
- サブシステムごとのモデルと接続情報から統合システム全体モデルを構築
- 単一型統合システム、結合型統合システムの双方に適用可能
- サブシステムである情報システム、組込システムの信頼性向上にも適用可能



障害波及性、システム安定性、サービス継続性の面で統合システム全体としての潜在リスクを低減

本説明ではサブシステムとして情報システムと組込システムをそれぞれ1つずつ記述していますが、複数の情報システムや複数の組込システムで構成される場合もあります。

図 3-4 統合システムの信頼性を確保

(2) 平成 22 年度モデリング技術応用 WG において検討対象とする統合システムの範囲

今年度はもう一歩踏み込んだ議論を行うため、統合システムの範囲を設定し検討を進めた。統合システムは統合制御、大規模、複雑など複数のキーワードが絡み合うため、イメージを共有するために次の範囲を定めた。

① 社会インフラ

「社会システム」を支えている基幹システムである。

例

- 鉄道の運行管理システム、PRC (Programmed Railway Control) 連動システム
- 商品取引市場の勘定システム

特徴として、次のことが挙げられた。

- 最近の傾向として金融機関の決済システムとつながることが増えてきている。
- 構成要素となるサブシステムが、自律的に変化してしまうことがあり、かつ共通部分がある。構成要素の自律的变化に対応するため、場合によっては、システムのアーキテクチャや他の構成要素の設計を進化させなくてはいけなくなる場合がある。
- 社会インフラには多数のコンピュータやコントローラが絡みあってつながっているパイプがあり、物理的に全体像を把握するのが困難な場合がある。

② クラウド環境等の新しいインターネット活用を前提したシステム

スマートエナジー系システム、ネットワーク家電、さらにビジネスシステム等が次の例として挙げられた。

例

- スマートエナジー系システム、スマートエナジーマネジメントシステムと白物家電がつながったシステム
- 家、ビルなどのフィールドデバイスと監視システムの結合、デバイスマネジメントシステムとセンターをつないだシステム
- インターネットを介して接続している組込み（スマートエンベデッドデバイス等）システム
- スマートフォンとクラウドを一体化したビジネスシステム

③ 自動車関連システム

ITS¹やナビゲーションシステムがあるが、一方でエンジン制御も様々なシステムを統合して制御する必要があり、課題解決の対象とも考えられる。次の例が挙げられた。

例

- ITS
- エンジン制御システム

¹ Intelligent Transport Systems

サブシステムが集まって全体を構成、多様な利用環境、輸出国やオプションで仕様のバリエーションが膨大、かつデバイスの世代を超えた開発管理が必要、メンテナンスへの配慮も必要である。

- ハイブリッド自動車（エンジンとエレキの統合システムである）
- 遠隔故障診断システム
- ナビゲーションシステム

④ 小さい統合システム

統合システムは大規模・複雑システムを想定しているが、家電システムのような小さなシステムも統合システムとしてとらえることができる。家電製品等、ユーザによるモード切り替え操作やインターネット経由の操作に対応するデジタルシステムと、操作対象デバイスにあたるアナログシステムをブリッジする明確な方法・基準がわかっていない。デジタルシステムとアナログシステムをブリッジしてつなぐシステムも統合システムの対象とすることとした。

例

- ネット接続を含む利用者インタフェース等の処理を担う離散システムとデバイス駆動を担う連続システムをつないだシステム

その他統合システムをイメージする例を次のとおり列举する。

- 次世代の生産管理システム
- ロボット、医療介護、遠隔監視をキーワードとするシステム
- 構成要素間で類似しているが安全性が異なるシステムをつないで新たなサービスを作るシステム、サービスを進化させることができるシステム
- 社会インフラとして、長期的に整備することが重要となっているシステム
- 自動車の統合制御システム（制御側が複数存在する）、大規模システム、複雑システムはそれぞれ少しずつ異なるり、自動車の統合制御システムは今回の対象外

最後に統合システムの特徴として次のことが補足された。

- ステークホルダによって見え方が異なる。
- 構成要素や全体システム自身が自律的に変化するような統合システムについて、その管理方法は難しいが、重要である。
- 構成要素間で「空間を分ける」、「時間を分ける」、「他の構成要素に影響を与えない」等は統合システムを考えるときに重要
- ロボットが社会インフラにいかにかうまくつながるか、移動型ロボットが家型ロボットとどうつながるのか、それらが決裁システムとどうつながるのか、スマート XX にどうつながっていくのかなど多くの悩ましい問題を抱えている

3.2. 統合システムにおける潜在的課題

複数のシステムをつないで新しいサービスを提供する統合システムを構成することは、もはや止めることができない流れである。統合システムの構成要素となるシステムを提供する側は、想定していない相手とつながれる可能性があり、非常に危険な状況と言える。本節では、システムがつながることと発生する事象を潜在的課題として次のとおり明確化した。

統合システムは、前年度までの調査等により次の基本的特徴があることがわかっている。

- ・ 異種システムが複数接続すること。また同一システムでもバージョンが異なるシステム同士が接続する可能性がある。
- ・ 新しく接続するシステムが増えて成長する、逆にすでに接続しているシステムが切り離される、また接続しているシステムが変化する可能性がそれぞれある。
- ・ これらの状況が発生することにより予測がつかない状況となる可能性があり、その状況への対応が求められる。

これらの状況下で全体システムとして信頼性を確保することが、安全・安心をもたらすための一因となる。以下、洗い出した課題をテーマ別に整理した。

① 設計に関する問題

- ・ システム規模が大きくなることによる状態数の爆発、複雑化がある。
- ・ 全体の最適化が難しい。最適であることの確認をとることが難しい
- ・ 構成要素となるシステム間で安全保証上の限界値設定に食い違いがあることが想定でき、問題を引き起こす可能性がある。
- ・ 情報システムと制御システムの統合ではそれぞれの処理能力の考え方の違いが問題となる可能性がある。リアルタイムの定義の曖昧さがあり制御システムならターンアラウンドタイム、ハードリアルタイム、通信時間の最悪長、それに対して情報システムはスループット、平均がよければよいということがある。。
- ・ 最悪値保証として、システムの保護協調がある。システム全体の目的、危険回避の観点から個々のシステムの仕様、振る舞いを考慮する必要がある。
- ・ メカとソフトウェアなど周期、時定数が違うものを統合してしまった場合への対処方法が必要である。

② 検証に関する問題

- ・ 構成要素間がつながることにより異なる制御結果が得られる可能性がある。テストケースを変える必要がでてくる。
- ・ つながる相手となる構成要素となるシステムを事前に予測できないことにより、検証なしで構成要素となるシステムを世の中に提供してしまうことになる。

- ・同様に構成要素となるシステムの使い方が予め予測できないため、それをオープンにした場合に、機器単体として作っていくべきなのか、どこまで保証しておけば良いのかがわからない。
- ・システム間連携として当初から予定された変化システム自体が独自に進化している部分があり、予測しながら検証するには限界がある。
- ・システム規模が大きくなることによって、構成要素を組み合わせたシステムの状態数の爆発、複雑化することにより検証が困難になる。

③ 想定外の利用に関する問題

- ・利用者により、想定していない利用、想定していない環境における利用が発生した場合、その対応方法を考える必要性がある。
- ・単純に端末を介して利用する利用者を想定していた情報システムを、インターネットなど他のコンピュータシステムと接続して多くの利用者に利用を開放した場合問題が生ずる場合がある。情報システムが人ではなくコンピュータにつながったことを意識しないと事故・事象にぶつかることがある。

④ 離散システムと連続システムのブリッジ問題

離散システムと連続システムをブリッジすることに関していくつか問題が発生する。

- ・離散システム、特に情報システム側の開発において、そのつながる先となる連続システムが物理モデルを表現しかつそれが近似であることを意識しないと、問題が生ずる。
- ・両者の切り分けに関する方法論が存在しない。容易に切り分けられる場合もあるが、最適な分離方法の選択に課題がある。
- ・両者にブリッジを架けた際の挙動の伝搬に関して、注意点が存在するのだが、見落とされることが多いことに問題がある。
- ・離散システムと連続システムを漠然とつなぎ両者ともプログラムとして実装してしまった後では、障害等問題が発生した場合の切り分けが困難な場合が発生する。
- ・例えば自動操縦と操縦士の操作と競合する状況の発生時に事故・事象の発生を抑制するための、連続系と離散系の切り分けおよびつなぎ手法はどうあるべきかが課題である。
- ・離散システム、特に情報システムの構築側は、連続システム、つまり近似した物理モデルの意味・挙動を理解していないことが多く、非常に危険な状況を引き起こす可能性がある。

⑤ (開発チーム内の) コミュニケーションに関する問題

- ・異業種間でコミュニケーションミスが発生、同じ言葉で違う意味となる場合もある。
- ・お互いにつながる先のドメイン知識が不足することにより、コミュニケーション不足が発生する。その状況を解決するための手立てがない、わからない状況である。
- ・情報システムと組込みシステム、開発チーム/管理者の行動様式やメンタリティの差が非常にある。
- ・事業分野が違ふことで、様々な価値観をもった人たちによる開発になる。
- ・システム目線で全体を俯瞰できる人材が少ない。

⑥ 故障に関する問題

故障とはここでは正常な状態でないことを意味する。故障問題とはシステムの構成要素の故障自身の把握を中心とした課題のことである。システムに故障が発生した際、何が本当に故障しているのかがわからないことある。

- ・ 構成要素自身が自分のステータスを信用できるのか、他の構成要素のステータスを信用できるのかが課題である。（自動車の故障診断（OBD）の信用性の問題に帰着される。）
- ・ 統合システムにおいて、OBD の仕組みを活用できないが課題である。
- ・ 生物学的な解決策を導入できないのかどうか課題である。
- ・ 社会的なコンセンサスによる解決方法が課題である。
- ・ ドメイン知識を使って判断するという事に帰着できないかが課題である。

⑦ 既存資産の再実装問題

- ・ 統合システムの構成要素のベースとして活用可能性がある既存資産を再実装すべきかどうか問題、作り直しをしないといけないのだが、検証結果の蓄積を考えると再検証を要する作り直しが困難な実態がある。

本項について次の補足コメントがあった。

- ・ 検証ができない状況での利用が想定される製品を市場に出してよいのかどうか課題である。
- ・ 信頼性を担保することに目が行き過ぎると、企業にとって負担感が増加してしまう。
- ・ 社会インフラには統合するべきことが多くあるが、検証のコストが厳しく、代えたいが代えられないことがある。
- ・ DOS 攻撃など遮断しないとサーバが次々に倒れていくことがあるが、一方で遮断してアクセスできなくなって困る場合への対策が必要である。
- ・ 自動車分野では、イタレーティブな開発により統合制御の信頼性を確保している。
- ・ システムをつなぐことで利便性を向上した代わりにシステム全体の把握が困難になりつつある。特に障害発生時に、利用者にその障害の対策が全体最適であることを説明することが困難である。

3.3. 統合システムの課題解決に向けて

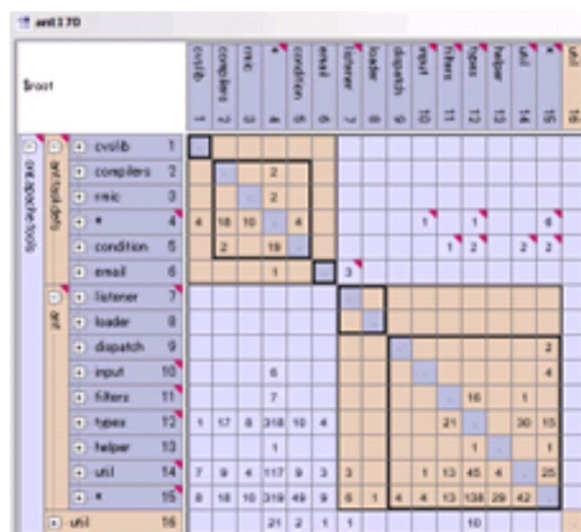
以上の統合システムの課題に関して、具体的な解決策は今後検討することになるが、解決に至る道筋を示すことが重要と考える。基本的にはモデリング技術を活用することによる解決への道筋を示すことになるが、それ以外の内容も示す。

3.3.1. 信頼性向上に向けて

信頼性向上を目指し、信頼性評価に資する事項をまとめた。

① ロバスト化

- ・ 制御システムに習い、インフラシステムに冗長性をもたせることは重要である。信頼性評価がロバスト性の確保に役立つ可能性がある。
- ・ 統合システムのロバスト性診断（アーキテクチャ分析）が考えられる。
 - － 組込みソフトでは Lattix などでは DSM（Dependency Structure Matrix、図 3-5）による構造の可視化が可能、同様の手法が、統合システムのインタフェース部分だけでも適用を検討



出典： <http://www.techmatrix.co.jp/quality/lattix/index.html>

図 3-5 DSM の例

- ・ ソフト部品の業界を超えた標準化（ネジ等と同じ位置づけ）と部品ベースの開発も考えられる。
- ##### ② 状態遷移モデル活用による検証パスを削減
- ・ 昨年度、IPA /SEC において状態遷移モデル（図 3-6）を活用した信頼性評価モデルの記述実験を次のとおり実施した。
 - － 各構成要素に「故障モードを状態とした状態遷移」を設定し、それを外部への振舞として表現
 - － 物理モデルなど遷移確率が設定できるものは、確率モデルとして表現

- 情報システムなどは遷移確率が設定できないものは確定モデルとして表現
- 全体のつながりは実際の通信経路で表現
- 確率モデルはその故障率から導出、確定モデルは障害連鎖の可能性可否で検証

単純に状態遷移モデルで検証すると組合せ爆発をする可能性があり、複数の構成要素の振舞いをひとつでモデルとして近似し、構成要素を形式的に削減することで、組合せ爆発を削減する。

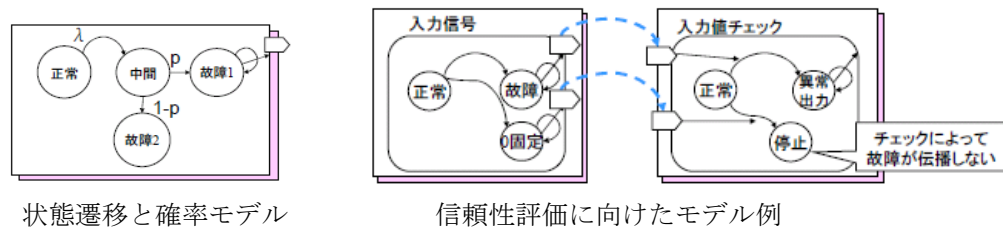


図 3-6 状態遷移モデルの例¹

- ・ システムが変化・成長するとモデルも変化・成長することに留意する。
- ③ 自律分散による信頼性確保（自律と疎結合はほぼ同意義としてとらえられる）
- ・ 自律分散システムは大規模システムの信頼性確保するためには、重要な手法である。
 - ・ しかし自律分散の仕組みの導入による複雑さの増加は、信頼性を低下させる要因になる可能性があることに留意する必要がある。
 - ⇒ 自律分散でも個々の構成要素の信頼度が低過ぎると信頼性確保は困難となる。
- ④ 構成要素の信頼性向上による信頼性の確保
- ・ 自動車産業を参考にとすると、統合システムの構成要素を信頼性向上させることで、自律分散における Gateway 機能など複雑化の要因を削減しつつ、システムの性能向上へ寄与する。
 - ⇒ 構成要素の信頼性の話に帰着される。
- ⑤ 疎結合化（可視性の向上による信頼性の確保）
- ・ 疎結合でかつ動的モデルによる見える化することが重要である。
 - 次の留意事項がある。
 - 離散系と連続系のつながりは疎結合とは限らない
 - エンタプライズ系では SOA の活用が疎結合化に相当
 - ⇒ SOA に関しては、方法論、統合システム全体のモデリングの手段の確保に課題
 - ・ エンタプライズ系では、本節で列挙する課題のいくつかはユーザとの契約問題で解決可能である。

¹ 出展：日高，高田，中條：車載制御システムのアーキテクチャ記述と確率エラーモデルに基づく耐故障性評価手法，第 5 回システム検証の科学技術シンポジウム (SSV 2008)。

⑥ 連続系と離散系のブリッジ

- ・モデル化しシミュレーションで確認、将来展望としての近似手法を適用する。
- ・暫定的な解決案として離散系を連続系に近似、もしくは連続系を離散系で近似で解決ということも考えられる。

【参考】MATLAB/Simulink と Stateflow をハイブリッドシステムの機能で結合できる可能性

- ⇒ Stateflow の使い勝手に課題
- ⇒ ツールチェーン、ツール連携が必要
- ⇒ 自動車分野以外（異なるドメイン）への対応可能性

⑦ SysML で設計した構成要素を SysML でシステムとして可視化

- ・構成要素同士をつなぐことをどうモデル化するかに言及が必要なことに留意する。¹

本事項に関するコメントを次に列挙する。

- ・検証について
 - ハードウェアのように全件検証を要求される場合があるが、現実的には困難なことが多い。何らかの工夫をして「全件検証」をする必要がないようにする必要がある。
 - テストケースが多過ぎる場合、何がつながるかわからない場合などがある。例えばエンタプライズ系ではユーザとの契約で対応できる可能性ある。
 - ⇒ 組込システムや統合システムで社会的コンセンサスが得られるかは課題である。
- ・検証・評価の方向性について
 - 各機能の検証・評価ではなく、統合システムの検証・評価方法を確立する。
 - 複雑さの増加に備え、複雑さを緩和できる環境を確立する。
 - 統合システムの複雑さに耐えうる開発プロセスを形成する。
 - モデルベース開発により、シミュレーション、製品の挙動・振る舞いを予測しながら、その結果に基づいたフィードバックを実現する等、開発手順を確立する。
 - シミュレーション、シミュレーション以前の静的な構造、モデル駆動開発、FMEA（説明）等への対応、静的解析、動的解析その両面に対応する。
- ・振舞いモデルについて
 - 現状のままでは統合システム全体に関するリスクの解消ができないならば、他から振舞いを与えられることへの対策、自分の振舞いが他に影響することを考えた分析がなされた対策を、それぞれ講じることを考える。

¹ OMGでは離散システムで構成要素の離散システムをSysML、連続システムをModelicaを使って記述することが行われている。http://www.omgwiki.org/OMGSysML/doku.php?id=sysml-modelica:sysml_and_modelica_integration

- ・ ロバスト化について（補足）
 - システムをつなぐことに対してパラメータ等の設定ができ、事前・事後の不変条件等を考慮した結合インタフェースが実現する。
- ・ 自律分散について（補足）
 - ゲートウェイにファイアウォールやサーキットブレーカの機能を入れ、切り離した後に自律的に稼動し続ける（図 3-7 のゲートウェイ（図 3-7 では GW と略している）で切り離すことができる。また連続系と分散系のお互いの障害波及性を防ぐ意味も持つ。）もしくは安全な状態を保って停止する。
 - 拡張ばかりではなく、縮退する場合もあることを考慮する。

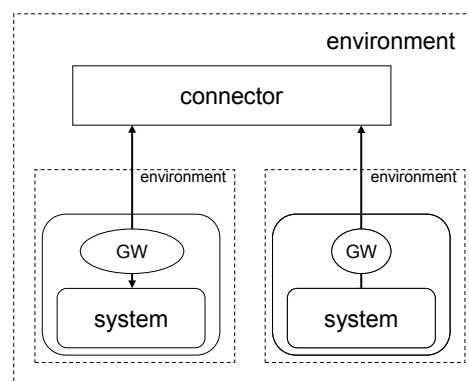


図 3-7 自律分散を意識したシステム構成図の例

- ・ 開発プロセス、開発手法について
 - 開発プロセスには、各モデルベース開発、詳細モデル化、それらを使った HILS、SILS、形式検証などを考慮してはどうか。
 - SPLE（ソフトウェアプロダクトラインエンジニアリング）も信頼性を向上させるのに良い場合がある。
 - 形式手法も有効な可能性がある。
 - あらかじめ解が分かっている問題、問題が出尽くす前のバージョンを形式検証することは重要である。出尽くしたバグが再現させることができるかを確認、確認ができれば、解が未知なものに試行してみる。
- ・ その他
 - 検証に過度に頼り過ぎないことも重要である。
 - シミュレーションには抜けが出ることに留意する。
 - 開発チームのコミュニケーション問題解決については次のとおり。

- 開発チームのソーシャル・ネットワーク・モデリング¹の活用も考えられる。
 - ◇ 異なる複数ドメインが絡む統合システムにおいて、ミスコミュニケーション発生リスクなどを分析するためのモデリングである。コミュニケーション不足を未然に防止する。コミュニケーション経路と密度を計測する必要あり。テキストマイニングも追加することで効果を高められる可能性あり。
- 構成要素について「空間と時間を分ける」、「他に影響を与えない」などがつながることについて考慮に値するが、その按配が非常に重要である。見極めてマネジメントするツールが必要である。
- シミュレーションによって安心してしまわないこと。シミュレーションの限界について理解する必要がある。
- エンタプライズ系ではシミュレーションがうまくいかなかった歴史があるが、再度トライすべきである。ただし、ハードウェア評価を伴う情報システムでは、FMEA について悩ましいところがあり、暫定的にはブラックボックスとして扱っている。

¹ 例えば、日経 ITPRO: 隠れた関係性を浮き彫りにするソーシャルネットワーク分析
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20101130/354707/>

3.3.2. その他課題解決への道筋について

その他、次の課題解決への道筋についての意見もあったことを記す。

① 非ウォーターフォール型開発技術の活用

- ・ 統合システムにおいても、いわゆる摺合せ的な信頼性確保のためにはアジャイル、スクラム、XPなどの非ウォーターフォール型開発技術の活用も有効な可能性がある。

② ASAM ODS¹によるモデルとデータによる可視化

- ・ 方式による標準化だけでなく ASAM ODS のようなデータ側の標準化の活用も信頼性向上のために有効な手段である。

③ 制約条件付きの設計環境の導入

- ・ 解決方法の代わりに、開発そのものを制約条件付開発環境の下で実施することによる信頼性向上が考えられる。

④ 発想支援による解決について

- ・ 技術的な解決のみならず、人間の英知の活用、「ここが危ない」という発想を支援することによる解決も考慮すべきである。
- ・ ボトルネック検出等は実際有効であり、ボトルネック検出をエンジニアリング的な方法を適用することも考えられる。

⑤ その他

- ・ フェールセーフ的なことが必要かもしれないが、各分野でそれぞれ考え方がありまとめることが難しい。各分野の考え方を共有化するために、モデリング技術を活用する。
- ・ 擦り合せのための「のりシロ」が必要である。「のりシロ」的な新しい機能の登場を期待する。

¹ ASAM:Association for Standardization of Automation and Measuring Systems
ODS:Open Data Service

3.4. モデリング技術応用のためのツールの状況

モデリングを活用した開発を実施するためにはツールが必要となる。特に統合システムが対象の場合、ツールチェーンの実現が重要となる。ここでは以下についてモデルベース開発のためのツールの状況について説明する。

- ・ プラントモデリング開発環境 MLMD/HLMT
研究開発中のツール環境である。プラントモデリング開発環境ではあるが、システム全体を指した事例であり、その報告である。
- ・ 統合検証のためのツールチェーンの現状と課題
ツールチェーンを試行してみた結果についての報告である。
- ・ モデルベース開発の実態
モデルベース開発について有識者ヒアリングから得られた結果についての報告である。

(1) プラントモデリング開発環境 HLMD/HLMT について

High Level Modeling Development (HLMD) / High Level Modeling Tool (HLMT) として、物理モデルおよび実験モデルに従ったプラントモデリングの開発手法およびツール活用のために必要と考える事項についての本 WG における議論を以下にまとめる。ここでは次のように用語を定義する。

- ・ プラントモデル：制御対象の振る舞いを表す簡易表現
(ここでは、微差分方程式、あるいは、背景に微差分方程式がある表現を示す。)
- ・ 物理モデル：考慮した保存則を満たすモデル
- ・ 実験モデル：調整パラメータを持つモデル

HLMD/HLMT のための望ましいモデリング環境は次のとおりである。

- ・ 物理モデリング（＋最適化と物理法則ライブラリ）
- ・ 実験モデリング（＋最適化）
- ・ 物理・実験モデル統合
- ・ システムモデリング環境（モデル要素アセンブル＋実験データによる補正）
- ・ モデル簡易化
- ・ モデル/データ/プロセス/要求・制約管理

その上で解決すべき課題は次のとおりである。

- ・ 物理モデリング環境
詳細度を追求すれば、際限のない試行錯誤の繰り返しに陥る。←どのモデルでも自然現象の全ては表しきれない。したがって、次の機能が必要となる。
 - － 素早くモデル要素の式を導出する手法とツール（HLMD/HLMT として提案←ボンドグラフの自然な拡張。微分代数方程式ソルバと数式処理の組み合わせで可能となった）
- ・ 物理・実験モデル統合

システマチックな統合法

- 物理モデリングの離散事象系との統合
ロジック分岐とは問題の性質が異なる。物理モデリングとしての離散事象を定義する必要性
- モデル簡易化
有効な情報を抽出して表現する理論、手法とツール
- 実験モデル
関数近似理論に基づく実験式（ボルテラ級数など）に物理構造を加える理論、手法、ツール

(2) 統合検証のためのツールチェーンの現状と課題

統合検証のためのツールチェーンの現状と課題について本 WG の議論を次のとおりまとめた。

シミュレータを利用した早期からの統合検証が求められており、日本メーカの競争力をツールから支えるために、製品開発における統合検証のニーズを把握する必要がある。そこで統合検証に必要なツール連携技術について俯瞰し、あるべき姿としてまとめるために考察が行った結果が次のとおりである。

- ツール連携を議論する際の観点を洗い出し、特に **How** について調査し（ツール連携技術の紹介）、次に、ツール連携の課題を洗い出すために、自ら試行してみた（パワーウィンドウの機構モデルと振る舞いモデルの統合検証を行った）ところ、次の4つの課題に気づいた。
 - 検証内容に関すること
何を検証すべきか、工学的に導き出す手法が必要
 - ツールの利用品質に関すること
ドメインを超えてモデルやパラメータを結びつけるときに、ツールをまたぐ設定が煩雑になりがち
 - 時間同期に関すること
プラントモデルとソフトウェアモデルの間で、誤差を最小化／蓄積しない仕組みが必要
 - ツール間インタフェースの標準化に関すること
特定のベンダやツールのバージョンに依存するインタフェースではユーザ、ベンダ共に不利益となるので標準化が必要
- 統合検証のニーズ、連携技術を調査し、国プロで標準仕様を定義していくべき

(3) モデルベース開発の実態

組込みシステムの先端的モデルベース開発の実態をヒアリング調査した。その結果のうち

- 国内企業におけるモデルベース開発（設計、検証等）の実態
- モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーンに関する実態
- モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーンに関する実態

について、関連事項に絞りまとめる。

(a) 国内企業におけるモデルベース開発（設計、検証等）の実態

- 工程ごとのモデルベースの適用状況

- 各社取組み状況により多種多様
- 要件定義、設計、製造、検証のうち、単一工程に適用している企業もあれば、2～3 工程に適用している先進的企業もある
- 利用ツールとしては、MATLAB/Simulink/Stateflow, Rational Rhapsody, ZIPC 等の名前を挙げる企業が多い
- 上記ツール間のインテグレーションを目的として、自社製ツールを開発した企業もある
- モデルベース適用時の課題と解決方法
 - モデルベース開発向けの教育コストの高さ
 - 若い技術者が多く、製品ノウハウ等が（モデリング技術のない）ベテランに比べ不足している
 - ツールにおけるバージョン間の互換性
- 国への要望
 - モデルの分類、各社が利用できるライブラリの整備
 - 低コストでの教育の場の提供（製品ノウハウの蓄積）
- (b) モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーンに関する実態
 - モデルベース開発に係るアウトソーシングの実態
 - 取り組みを開始して間もない企業が多く、社内において知識・経験を蓄積しつつある段階である
 - アウトソーシングを実施していない企業が多数を占める
 - 実施している企業であっても、アウトソーシング先はグループ子会社やサプライヤである場合が大多数である
 - 形態としては外注や技術者派遣がほとんどである
 - 国内外への発注の実態
 - アウトソーシングの場合は、工数ベースによる請負契約によるものが多い
 - グループ子会社やサプライヤが相手となるため、モデルの隠蔽化はほとんど実施されていない
- (c) モデルベース開発に関わる産業構造及びサプライチェーンに関する実態
 - モデルベース開発に係るアウトソーシングの実態
 - 取り組みを開始して間もない企業が多く、社内において知識・経験を蓄積しつつある段階である
 - アウトソーシングを実施していない企業が多数を占める
 - 実施している企業であっても、アウトソーシング先はグループ子会社やサプライヤである場合が大多数である
 - 形態としては外注や技術者派遣がほとんどである
 - 国内外への発注の実態
 - アウトソーシングの場合は、工数ベースによる請負契約によるものが多い
 - グループ子会社やサプライヤが相手となるため、モデルの隠蔽化はほとんど実施されていない

3.5. 信頼性評価への適用に向けた課題と施策について

今年度のまとめとして、統合システムが抱える課題解決を目指し、次の3点について説明する。

- ・ 提言としてのまとめ
検討結果として当WGによる提言を示す。
- ・ 施策としてのまとめ
提言を受け、必要と考える施策について説明する。
- ・ 各種観点に基づくまとめ
さらに得られた結果を、複数の観点で整理する。

(1) 提言

今回の検討結果全体を提言としてまとめる。

全体の問題提起として、次の3点の事項を提言とする。

■ 大規模・複雑系における課題への対策

- エンタプライズ系¹、組込み系に加え、両者が有機的に結合した系の登場
- 大規模系・複雑系（異種結合系）は、もはや動的システムとして全体像を把握することが困難である。
 - ⇒ プロセスモデル、要求モデル、振る舞いモデル（微分・差分方程式）などのモデルという概念を導入し、全体システムを把握できるようにすべきである。
 - ⇒ 特に社会インフラは、現在のうちに「検証」する機運も高めて対策を早急に確立しないと、極めて危険な状態になる可能性がある。

■ デジタル・アナログ問題への対策

- 離散系（デジタル、制御側等）と連続系（アナログ、制御対象側）が混在する系ではその間をブリッジする方法論がなく、障害が発生時に原因がわからない。
- この問題を避けていると、これからの家電製品のような小さな統合系でも重大な問題となる可能性がある。
 - ⇒ 障害を避けるためにモデリングを活用するべきである。
- 離散系、特に情報系の設計において、連続系が物理モデルを近似表現であり、物理モデルを駆動することになることを認識していることが必要である。

■ 統合システムの信頼性評価手法の必要性

- ⇒ 統合システムがもつ潜在的なリスクを考慮していないシステムの構築は、「個々で発生した障害がシステム全体に何をもたらすのかわからない」という危険性をもつ。

¹ 提言としてまとめるにおいて、「システム」という用語よりも「系」という用語の方が適切な箇所があり、本章ではシステムと系を混在して利用する。

- ⇒ 統合システムの信頼性を確保し、個々の障害の影響がシステム全体に波及しないような、低減するための手段が必須である。
- ⇒ 設計時にシミュレーションを実施し、信頼性の確保に努める。
- ⇒ シミュレーションするためにはシステムをモデリングする必要があり、静的な構造だけではなく、特に構成要素の動的モデル（振舞いモデル）が重要である。
- ⇒ シミュレーションは、還元論的な見方で留まってはならず、全体論的な見方が必要である。

以上の問題提起に基づき、その他の提言を以下にまとめる。

① 信頼性向上に向けて

- ・ 社会インフラへの対策の必要性
 - 社会インフラのような大規模統合システムは、障害発生時に影響が大きい可能性があるので、高い信頼性が求められているため、その対策が求められている。
 - ⇒ 社会インフラでは信頼性評価のためのモデリングの方法を確立すべきである。
 - ⇒ 障害の強いシステム化技術として、疎結合化、自律分散化はひとつの方法として重要である。
- ・ 消費者に向けた対策の必要性
 - 消費者から提供側への様々な要求が高まっている。
 - ⇒ 安全安心を企業競争力として如何に確立していくかが重要である。
- ・ 想定外・想定内の扱い
 - 環境が変化する、もしくは異常が起こるといった状況においても、安全・安心を確保しなければならない。
 - ⇒ 設計段階でのシミュレーションもしくは解析が必要であり、そのためにモデルが必要である。
 - ⇒ 徐々に実機に近づくことになるが、それでもシミュレーションを使って V&V を行う必要がある。
 - ⇒ 困難な課題であるが、想定外だけでなく、想定内とは何かを明確化することも求められる。少なくともできる範囲は明確にする必要がある。
- ・ 「人間による課題解決」支援の必要性
 - 「ソフトウェア中心のシステムは人が理解し難い」との指摘がされてきた。
 - ⇒ モデリングという観点で全体をわかり易くする説明する努力をすべきである。
- ・ 設計指針整備の必要性
 - 以上のことを指針としてとらえるべきである。
 - ⇒ 危機への啓発を実施すべきであり、開発者だけでは課題解決は困難である。
 - ⇒ モデリングを統合システム開発に活かすためには、ツールチェーンをベースとしたフレームワークを決める必要がある。

② 統合システムのモデリングによる課題解決

- モデルを活用した統合システム開発ツールの実現への対策の必要性
 - 信頼性の高い統合システムの開発には、モデルの共用も含めた、ツールチェーンをベースとしたフレームワークが求められる。
- モデル化の推進の必要性
 - 信頼性評価のためにもモデル化の推進をするべきである。
 - ⇒ モデルによる解決を目指すためにも、人材を養成しないといけない。
 - ⇒ モデルライブラリの整備をする。
 - ⇒ しかしモデルとそれに類する情報だけによりシステムが同定できることもあり、ある程度隠蔽されることが考えられる。監査制度のような機密性を一部担保した形での共通のフレームワークが必要である。
 - ⇒ 実際には「ツール導入・維持コストの問題」、「スキルを付けさせるためのコスト問題」という2つの障壁がある状況である。
- コミュニケーションツールとしてのモデルの必要性
 - 開発者間で異分野の人が連携をしないと仕事ができない。
 - ⇒ 共通の言語としてのモデルという概念がある。
 - ⇒ モデルの文化、モデルというのは連携ツールであり、モデルはコミュニケーションのツールである。
- 専門家ではない人達とのコミュニケーションの必要性
 - 統合システムでは特に専門家ではない人達とのコミュニケーションをとる必要がある。
 - ⇒ 専門家の人以外でも理解してもらうモデリングは重要である。
- 信頼性の課題について人間やコミュニティでの解決の必要性
 - モデルを使う方はプロフェッショナルではない。
 - ⇒ この方たちへの啓発・教育も重要である。
- 人間と機械の協調に向けた課題解決の必要性
 - 人間と機械が協調した世界は日本型のシステムかもしれない。
 - ⇒ 環境整備はメリットがあれば、人を巻き込んで複合システムとしてよい方向にいく可能性がある。
- 図面のモデル化の必要性
 - 電子図面をモデルという電子図面に置き換えていく必要がある。
 - ⇒ モデルを使って、次の世代に伝えるべきことを明らかにしておくのは重要な問題である。

(2) 施策としてのまとめ

提言を受け、今後の施策案として次の 3 点を列挙する。この 3 点が有機的に結びついて統合システムの信頼性を向上させ、安全・安心に貢献するものである。

■ 技術的観点からの設計指針の整備

- ・ 大規模システム・複雑システムに対して、モデリングを活用して様々なステークホルダの理解を促進する。そのため統合システムに関するモデリング技術を整備する。
- ・ モデリング技術を共有するためのモデルライブラリのあり方を整備する。
- ・ 統合システムのリスクを低減するため、設計時に統合システムの信頼性評価のためのモデリング技術とそのシミュレーション評価技術を整備する。
- ・ デジタル・アナログ問題の対応方法に関する一定の設計・評価指針を整備する。

■ ツールチェーン環境の整備

- ・ モデリング技術を開発プロセスに載せるため、ツールチェーンのあり方を整備する。
- ・ 統合システムの信頼性評価を支援するツールのあり方を整備する。

■ 標準化

- ・ 設計指針、ツールチェーン整備に伴い、それらに対する標準化を行い、安全・安心技術として定着を目指す。

3.6. 本章の補足

WG では取り上げてこなかったが、重要と思われる補足事項について、いくつかの観点を設定し説明する。

(1) 情報システム側から見たモデリングとアーキテクチャについて

統合システムを考える場合、直接的に物理的な振る舞いを起こす組込みシステムに重点を置きがちであるが、一方で制御側における特徴である情報システムの観点も必要であり、本報告の補足としてモデリングとアーキテクチャのあり方についてまとめる。なお、アーキテクチャは建築を始め様々な意味をもつが、ここでは IEEE1471 で定義されているシステムおよびソフトウェアアーキテクチャを指す。

社会インフラとして大規模もしくは複雑化した統合システムの発展と信頼性向上による安全・安心社会の形成を目指した場合、情報システム側の観点で整理すると次のとおり。

- ・ 無線技術や通信インフラの発達、ネットサービスの多様化により、デバイスとつながり始めている。鉄道や航空管制など交通運行制御やライフライン制御等の制御系以外に決裁システム等の情報システムも連動するコンピュータを中心とした新しい社会インフラの実現が進んでいる。情報システムとデバイス（連続系）をつなぐ業務が増えつつある。

- ・ ネットサービスなど情報システムも複雑に階層的に絡み合ってサービスを提供しており、全体システムは人間が把握できない規模の構成要素となっている可能性もでてきている。
- ・ 組込みシステムは、情報システムの端末機という位置付けではなく、階層関係があるにせよそれぞれ統合システムの構成要素のひとつとしてとらえていかないと表現はできないシステムが発生する。
- ・ 情報システムの想像を超えた性能向上により、連続系以上のレスポンスで離散系として処理する能力があるシステムが登場している。
- ・ 統合システムは、構成要素が自律的に変化する想定があるが、構成要素の耐用年数があり、そこに落とし穴があり、ボトルネックがある。統合システムとしての指針が必要である。
- ・ 統合システム全体としてのリスク評価を行う必要があるが、デバイスに関してブラックボックスになる場合がある。
- ・ 大規模システムでは、デバイスが混在したシステムの状況を作りにくく、検証が課題となる。本当の意味での統合システム、広域のシステム、グローバルなシステムの検証環境に乏しい。その意味でシミュレーションの見直しも必要である。
- ・ それなりの規模の情報システムとデバイス（連続系）をつなぐ場合、構成要素間に障害波及を防ぎ、また自律化可能とするためにゲートウェイを設けたシステム、つまり自律分散方式の活用が考えられる。一方でゲートウェイを設けずに構成要素の信頼性を非常に高くすることで、システムの信頼性を高くするという考えもある

以上の内容も加味して、モデリングとアーキテクチャについてまとめると次のとおり。

- ・ 情報システムは、静的構造と動的振る舞いでアーキテクチャに関する要求が定義される。IEEE1471 によれば静的構造としては個々の構成要素とその間のリンクおよび環境で表現される。
- ・ 組み込みシステムも離散系、連続系に限らず、各構成要素に対して動的振る舞いを定義してモデリングを適用できる。
- ・ 統合システムにおいては、構成要素およびシステム全体について品質特性の評価のために構成要素および全体システムについてモデリングを活用する。情報システムにも Operation Mode¹という概念もあり、障害の状況に対応した可用性に関する状態遷移モデルへのモデリングも可能である。
- ・ 統合システムでは障害波及と自律化を考慮した場合、自律分散を明に意識するため、ゲートウェイは重要な装置である。一方で、小規模システム等、構成要素の信頼性を高めるシステムもある。
- ・ 環境には利用者も含まれるが、統合システムでは個々の構成要素に利用者がいることも想定できるため、環境も階層的に考える方が良い。
- ・ 併せて統合システムのアーキテクチャは図 3-8 のように表現可能である。

¹ Joe Zou and Christopher J. Pavlovski: "Modeling Architectural Non Functional Requirements: From Use Case to Control Case", IEEE International Conference on e-Business Engineering, 2006.(ICEBE '06.)

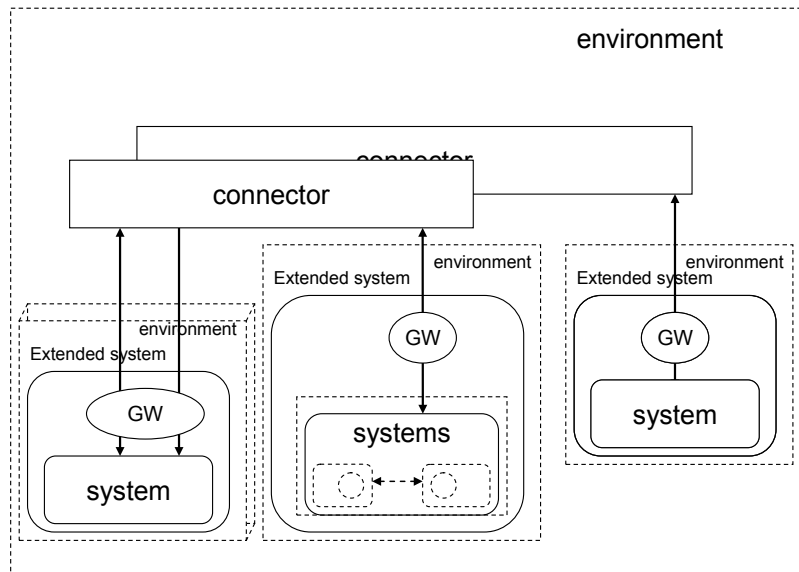


図 3-8 全体システムの表記例

モデリングにおいては、各構成要素に動的振る舞いの特徴づけをすることになる。例えば、故障伝播によるリスク評価を想定してみると、図 3-9 のとおり個々の構成要素に故障モードを設定し、全体に離散系モデリングを施し、例えば組込みシステム側を確率モデル、情報システムを確定モデルとしてモデル化が可能であることがわかる。

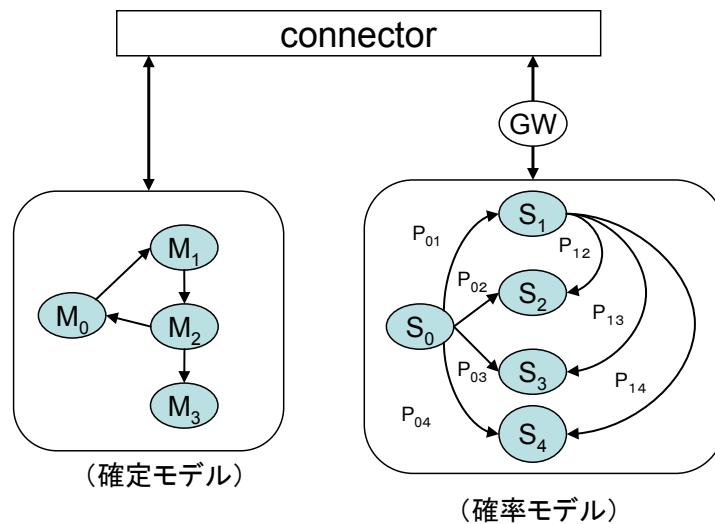


図 3-9 故障モードをベースとしたモデル例

(2) 統合システムモデリングを活用した開発における指針のフレームワークについて
前項までに説明した検討結果、特に提言のとおり、統合システムの開発にはモデリングを活用することが求められる。そのため、設計・開発のための指針があることが望ましく、また昨年度の経済産業省の「統合システム設計環境に関する調査」においても設計指針の策定が求められている。ここで

は提言に基づき、モデリングを前提とした統合システム設計・開発指針のフレームワークについてここでは案として次のことを指針に含めることを求める。

- ・ 統合システムの構成の表記について
- ・ モデリングの実施について
- ・ 信頼性評価の実施について
- ・ ツール環境の整備について
- ・ その他の事項について

以下各項目について、指針に求められる事項をコメントとして掲載する。現実には対応することがすぐには困難な項目もあるかもしれないが、ここでは注釈として本報告書に掲載する。

① システム構成の表記について

- ・ モデリング適用の前提として全体システムの構成と説明の表現を求める必要がある。例えば、図 3-8 のように IEEE1471 に基づいて「構成要素、構成要素間の接続関係、環境」で表現するなど、標準を活用した基準を設けることが求められる。
- ・ 構成要素には、動的振る舞いが設定できることが求められる。
- ・ 疎結合・自律分散は統合システムとして重要な要素としてとらえたい。そのため明にゲートウェイを介した結合も表現できることが求められる。

② モデリングの実施について

- ・ 統合システム全体を可視化し、いろいろなステークホルダ間でコミュニケーションできるモデリングが求められる。
- ・ 連続系、離散系など様々な物理モデリング、論理モデリングなどに限定することはしない。ただし、デジタル・アナログ問題に対しては、どちらかに寄せて近似することも想定可能とすることが求められる。
- ・ システム構成の表記と合わせて設計の電子図面化が求められる。
- ・ モデリングを活用した開発は、ツール活用を想定できることが求められる。
- ・ 利用者レベルへの説明に活用できることも目指すことが求められる。
- ・ シミュレーションによる評価のためのモデリングが求められる。

③ 信頼性評価の実施について

- ・ 構成要素に対してモデリングを適用してシステムとしての信頼性（可用性）に関する評価の設計時の実施が求められる。
- ・ 特に構成要素の追加・削除・交換時の評価を重要視することが求められる。同一製品でありながら異なるバージョンと一緒に統合システムを構成するケースなどについてのモデリングについては特に注意することが求められる。
- ・ 故障している構成要素を判断する方法への言及についての指針が求められる。
- ・ 想定内・想定外の定義が求められる。

④ ツール環境の整備について

- ・ ツールチェーンをベースとした開発ツール環境のフレームワークの提示が求められる。

- ・ モデルライブラリについて、モデル共有の可否と独立検証対応などへの言及が求められる。

⑤ その他の事項について

- ・ 構成要素の耐久性への対応方策が求められる。
- ・ 検証が難しい場合などへの対応方法（契約などで対応するなど）が求められる。

将来的には、人間系は環境で表現されることも多いが、ユーザモデリング手法がある程度確立した後は、その内容の反映することによる拡張が求められる。また統合システムモデリングが可能な人材の整備、特にシステムの見地で全体を設計でき、説明できる人材が求められていることから、人材に関する事項も指針に含めるよう拡張することが求められる。

4. モデリング技術者の育成について

～モデルベース開発技術者スキルの体系化に向けて～

モデリング技術はソフトウェアの高品質化や信頼性確保などを目的に、組込み系からエンタプライズ系に至るまで個々の領域や統合的領域での活用が進みつつある。従って、技術的特性などが確定されているわけではなく、各種ツールも発展途上にあるため、技術的に不確定な領域でもある。しかし、モデリング技術を応用することへの関心は高く、モデリング技術者の育成が喫緊の課題となっている。

モデリング技術者を育成するには、モデリング技術に関する知識体系とその知識体系を活用するスキルを明らかにする必要がある。本モデルベース開発技術者スキルWGにおいては、活動の基本方針と達成目標を次のように定めて取り組んだ。

基本方針：

ETSS を用いて、目的に応じてモデリング技術を記述できるフレームワークの策定、必要とするモデリング技術を使いこなすスキルの評価文言のフレームワークを作成する。

達成目標：

- (1) モデリング技術の構造を明確にする。
- (2) モデリング技術の構造から各技術を導き出すためのフレームワークを求める。
- (3) 技術に対応するスキル評価を導き出すための評価文言の構造を求める。
- (4) 実際に使われているモデリングのプロセスを吸収できることを確認する。

これらの項目を達成することで、今後はモデルベース開発技術者のキャリア、教育カリキュラムの策定の段階に移ることとなる。

4.1. モデルベース開発技術者育成の課題

国内の組込みソフトウェア開発を取巻く状況は、製品の機能の高度化、高品質化、サービスの要求そして大規模・複雑化が加速する一方で、国際的な経済状況の変化を受けて開発技術そのものが大きな変換期を迎えている。従来の実装・テストを中心とするいわゆる開発工程の下流に対しては、国内のコストの高い技術者を使うのではなく、海外のコストの低い技術者を活用することによって開発コストを抑制することを目的とする傾向が強くなりつつある。

この大規模・複雑なシステムの企画段階を含む開発工程において、設計妥当性の検証や成果物の検証の実施に対し、従来の開発手法やテスト技法では品質保証や検証の網羅性についての達成度が限界に達していると言われている。このような状況を打開し得る開発技術のひとつとしてモデルベース開発技術がある。この技術に先進的に取り組んできた企業等では既に実開発に利用されている。

モデルベース開発技術はソフトウェア工学の領域でここ数年に新たに提唱・開発されたものではなく、その考え方のベースは数十年前に遡る程の歴史があるという見方もある。期待効果が高いモデルベース開発技術ではあるが、その開発現場への普及状況は技術者のスキルアップも含めて必ずしも高くはなっていない。2010年版組込みソフトウェア産業実態調査によれば、我が国の組込みシステム開発においては、古典的なモデルベース手法である状態遷移図／表については8割

程度のプロジェクトで利用されているのに対して、UML、制御モデルや外界モデル（プラントモデル）等の先端的モデルベース手法については、その適用は 1～3 割程度にとどまっている（図 4-1：プロジェクトで利用した手法・技法）。

モデルベース開発技術者スキル検討 WG では、各企業においてモデルベース開発に従事する技術者を育成しようとしたとき、そこにどのような課題があるかを分析整理し、さらに課題解決のための方策について検討した結果を今年度成果として本報告書にてまとめている。

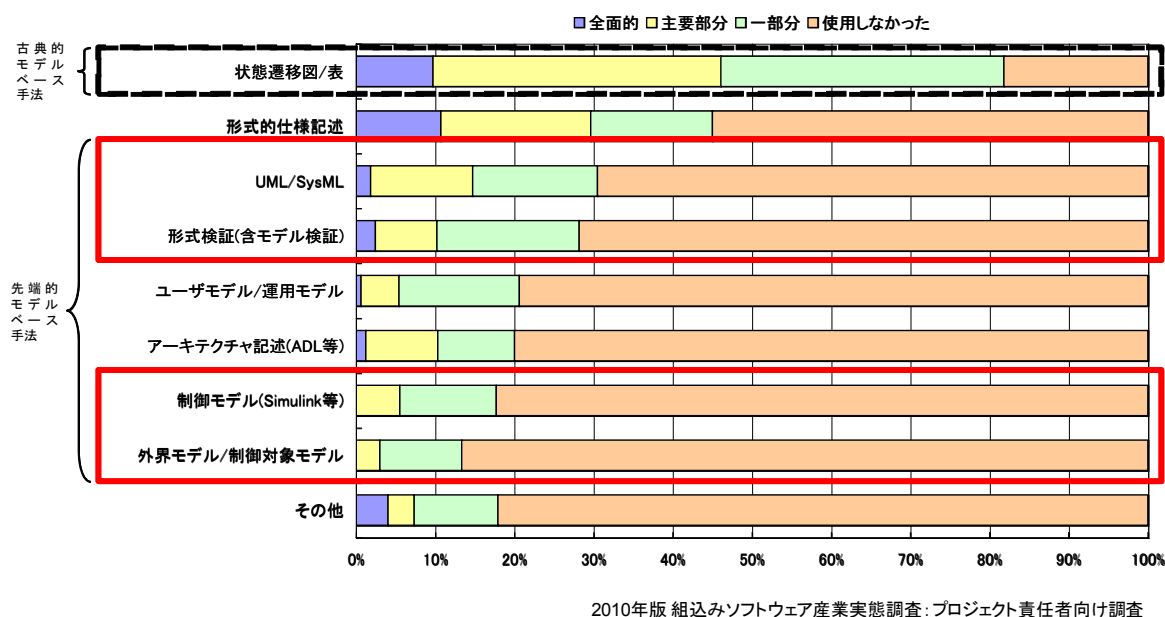


図 4-1 プロジェクトで利用した手法・技法

4.2. モデルベース開発技術とは

モデルベース開発技術者が取り扱う「モデルベース開発技術」については、現在様々な定義・解釈があり、統一的な見解や用語定義が存在していない。モデルベース開発技術者スキル検討 WG では、モデルベース開発技術者のスキルを検討する上で最低限必要となる下記用語を定義する等、検討委員間に限ってモデルベース開発に関する認識を共通化した。この検討委員会で共通認識できた定義を下記に示すが、これはあくまでも仮定義であり、今後の活動を通じ随時より良い定義を得るべく見直しを行っていくことを前提としている。

4.2.1. 「技術」と「スキル」

組込みスキル標準（ETSS）の定義にもとづき、下記定義を用いた。

➤ 「技術」

経済原則（コスト条件など）を満足するように手順化・体系化された再現可能な工程（プロセス）

➤ 「スキル」

要求に対する結果を導く技術全体あるいは技術の一部（サブ工程）を活用する個人の作業遂行能力

4.2.2. 「モデリング」と「モデル」

対象とするシステムのモデリング（明らかな時は単にモデリング）とは、定義したいシステムの特徴を抽象化（一般化）し、その抽象化した特性をあらかじめ機能が定義されている有限個の要素の間の関係として記述する工程（プロセス）のことである。

この工程によって得られた結果を対象システムのモデル*という。

*正しさが証明されていること

検討の過程で図 4-2 のモデルベース開発技術者のスキルのイメージが関連調査報告「モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査」より提案された。WG においても上述のモデリングとモデルの定義を含め、相互検討を行った結果、モデルベース開発技術者のスキルを考える上では、モデリングの結果として得られたモデルは、検証により正しさが証明されている必要がある、との合意に達し、「正しさが証明されていること」を脚注に追加することとした。

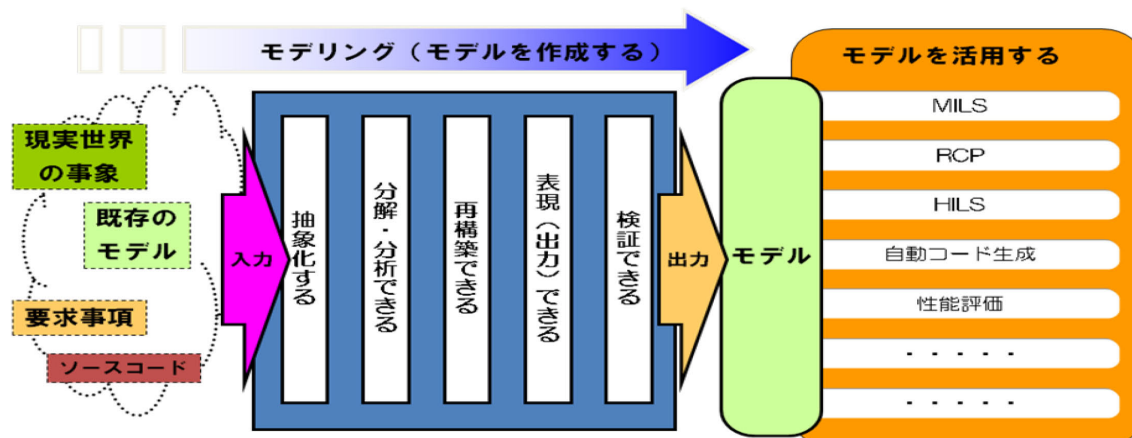


図 4-2 モデルベース開発技術者のスキルのイメージ

4.3. モデルベース開発技術検討概要

4.3.1. モデルベース開発実態アンケート

上述のとおりモデルベース開発技術者が取り扱う「モデルベース開発技術」については、様々な定義・解釈が混在する。モデルベース開発技術者スキル検討 WG ではモデルベース開発技術者のスキルを検討する前に、まずはモデリングに取り組んでいるか等の前提となるフィルタをかけることなく、各企業でのモデルベース開発の実態を客観的に把握することを目的とし、委員所属企業に対する実態アンケートを実施した。なおアンケート内容は関連調査「モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査」で活用した調査票のアンケート項目を活用した。項目の概略は下記のとおり。

【モデルベース開発実態アンケート項目】

- 1.プロフィール
 - 1-1 対象業務
 - 1-2 モデルベース開発技術の導入時期
- 2.モデルベース開発技術の導入状況
 - 2-1 現在のモデルベース開発技術導入の適用領域について
 - 2-2 モデルベース開発技術導入・活用の効果と課題
 - 2-3 モデルベース開発技術に関する標準化の程度
 - 2-4 モデルベース開発技術に不向きな領域（適用が難しい領域）
 - 2-5 モデルベース開発技術者の育成について
 - 2-6 活用しているモデルベース開発技術について
 - 2-7 今後のモデルベース開発技術導入の適用領域について
- 3.モデルベース開発技術の導入予定（※未導入の場合）
 - 3-1 モデルベース開発技術導入を行う理由や背景
 - 3-2 今後のモデルベース開発技術導入の適用領域について

アンケートは委員所属企業 9 社からの回答を得ることができ（うちモデルベース開発の導入企業は 6 社）、アンケート結果からモデルベース開発の実態として以下の傾向が確認できた。

- モデルベース開発技術導入は、企業の一部組織での導入が主となっている
- モデルベース開発技術の適用となる製品レイヤは、システム、ハードウェア（メカ・エレ）からソフトウェア（アプリケーション）までが中心、基本ソフトへの適用は少ない
- モデルベース開発技術の開発プロセスへの適用は、システム適合性確認を除くすべての開発プロセスにおいて適用されている
- モデルベース開発技術導入の背景・理由は、製品品質の確保が主であり、導入効果も出ている
- モデルベース開発技術導入における課題は、人材確保と人材育成、導入コストの高さ、既存の開発方法とのしがらみ解消
- モデルベース開発技術に関する組織での標準化（用語・開発プロセス）、またモデルベース開発技術者としての職種・キャリアパス等の制度化は、これからである
- モデルベース開発技術者に不足する知識・スキル領域は、「モデルベース開発の方式」「開発ツール」「物理・化学・数学」
- 人材育成上の課題は、指導者がいないこと
- 活用中の主なモデルベース開発技術は、表記法として UML/SysML、状態遷移表、開発ツールとして IBM 社 Rational Rhapsody や The MathWorks 社 Simulink 等、多種に及ぶ
- モデルベース開発技術者は今後、増員・体制強化の方向にある

上記傾向から、モデルベース開発の実態として下記のような実態が明らかとなった。

モデルベース開発技術導入企業の多くは、製品品質の確保を主な目的として導入を行っており、その点においては導入効果も確認されている。しかし、その技術を扱える人材が不足していることから企業・組織は増員・体制強化の方向にあるが、人材育成面で大きな課題を抱えている。特に直面する課題としては、育成を担う指導者が少ない点、またツールが高価である点についてもモデルベース開発技術者の人材育成を妨げている一要因となっている。指導者をどう増やすかについては、モデルベース開発技術者スキル検討WGの活動成果に対する大きなヒントとなりうる。

モデルベース開発技術の製品開発（業務）への適用面においては、システム適合性確認を除くすべての開発プロセスでの適用が確認されており、その中で活用されている技術（ツールや表記法など）も開発対象や適用プロセスにより様々である。但し、いずれの場合においてもツール活用が前提となるようである。

なお上記実態は、関連調査結果「組込みシステムの先端的モデルベース開発実態調査」「モデルベース設計検証技術者スキル体系化調査」から得られた調査結果とほぼ同等の結果が得られている。

4.3.2. モデルベース開発技術

上述のモデルベース開発技術実態アンケートの結果を受け、モデルベース開発技術の製品開発への適用においては対象となる活用プロセス、技術に違いがあることが確認できた。したがって、そのモデルベース開発で活用される技術を明らかにするために、企業でのモデルベース開発事例の共有を行った。事例としては2社より開発事例の紹介を受けた。両事例共にプロセスの定義方法や各プロセスの中で使用されるモデル表記法（UMLや状態遷移図）やモデルベース開発ツール等の活用技術に違いは見られるものの、各プロセスの中でスパイラルを回しながら成果物を作り込む点においては共通点が見い出せた。

これら2社の事例および上述のモデルベース開発技術者のスキルのイメージを参考として、モデルベース開発技術者のスキルを整理したものが、下記の表4-1モデルベース開発技術者スキル（案）であり、第1階層～第2階層部分がモデルベース開発技術（項目）に相当する。

表 4-1 モデルベース開発技術者スキル基準(案)

第1階層	第2階層	スキル評価のための文言
1	モデリング(モデルの作成)	モデリングの目的確認とビューの設定
	1	モデリングの目的確認とモデリングのためのビューを設定できる。
	2	モデリングの活用プロセスの設計
	3	モデリングをスパイラルなどの設計プロセスに展開できる。
	4	ビューに基づくモデリング対象の抽象化の考え方
2	5	ビューに基づいて、モデリング対象から不要な性質を削除して、抽象化することができる。
	要素の抽出の考え方	抽象化されたモデリング対象がもつ機能や関係といった要素を抽出することができる。
	モデルの記述体系	抽出した要素を用いて、モデリング対象をモデルとして再構築し、モデルの記述体系を用いて文書化できる。
	1	検証プロセス設計技術
	2	検証プロセス設計技術
	2	得られたモデルがモデリングの要求を満たしていることを検証するプロセスを設計することができる
	2	作成したモデルの正しさを検証ツール等を活用して示すことができる。不整合がある場合は、再モデリングができるようにその内容を文書化できる。

4.4. モデルベース開発技術者スキル標準

モデルベース開発技術者スキル検討 WG におけるモデルベース開発技術者スキル標準の目的は当該技術者を適切に育成できるようにすることである。そのために、モデリングという技術を定義する必要がある、その定義の方針を個別の企業における開発対象の違いや使用される手法・ツールの違いなどに左右されない上位概念として位置づけることとした。さらに、この上位概念からのインスタンスとして具体的な技術に落とせる仕組みを示し、さらに参照例を用意することにある。この考え方は組込みスキル標準 ETSS を踏襲したものであり、新しい技術、ツール等が後から産み出されてもその追記等の影響範囲が限定的であるように考慮したものである。内容的にはモデルベース開発に必要な技術として必須かつ共通的なものは標準内に記述し、インスタンスに記述されるそれぞれの共通項目下にあるのが適当か判断しその下位階層に展開することにより企業等で使用するスキル標準がモデルベース開発技術者スキル検討 WG の提示するモデルベース開発技術者スキル標準と整合性を保てるよう考慮する。

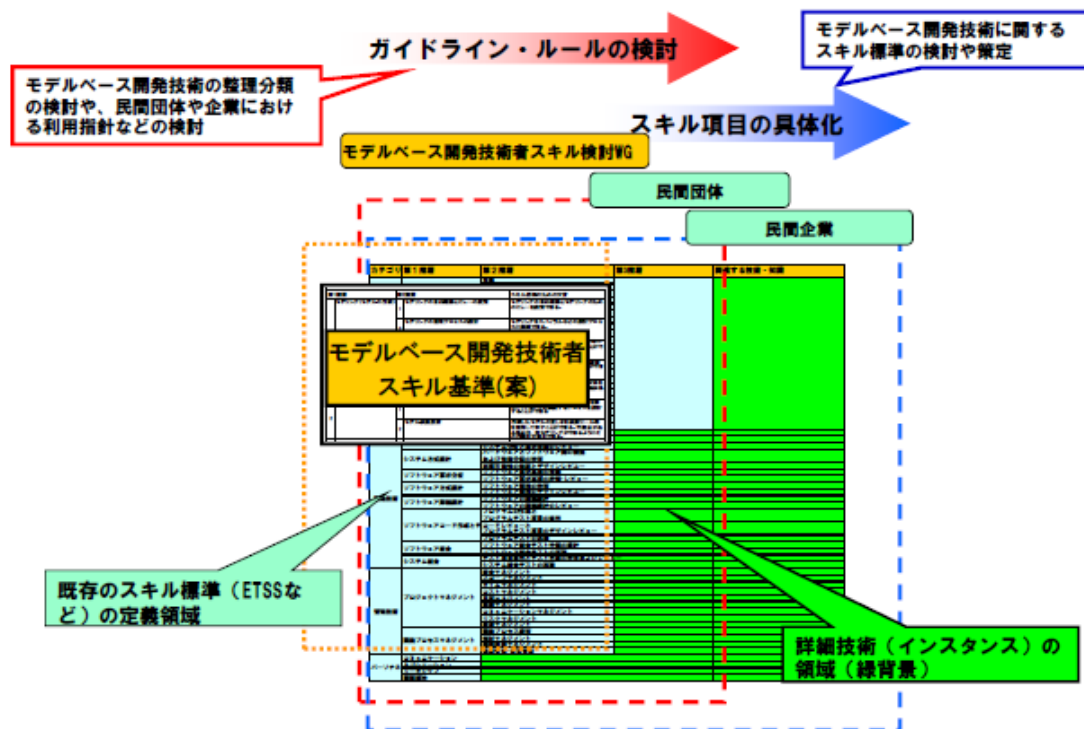


図 4-3 スキル標準活用のイメージ

但しスキル標準の利活用においては、上記スキル基準のブラッシュアップと併せ、モデルベース開発技術の整理分類に関する検討や利活用の指針検討が不可欠となり、今後の検討活動を通しての課題となりうる。

4.5. スキル標準の展開・活用における課題と必要となる施策

「4.4. モデルベース開発技術者スキル標準」の項で述べたようにモデルベース開発技術者スキル検討WG が提示するモデルベース開発技術者スキル標準はそのまま使用できるものではなく必要なインスタンスを企業等でスキル診断ができるまでに詳細化する必要がある。繰り返しとなるがこれはモデルベース開発に必要な技術として必須かつ共通的なものは標準内に記述しつつ新しい技術、ツール等が産み出されてもその追記等の影響範囲が限定的な範囲に止まるようにしているためである。モデルベース開発技術の本質とは何かを明確に発信し、個別・特定の手法・ツール等の利用がモデルベース開発そのものであるとか必須であるとかという偏った議論を惹起しない意も含んでいる。

標準としての提示の考え方・範囲については上記の通りであるが、実際に企業等でスキル診断まで実施するためには ETSS と同様に企業等で必要となる技術をスキルレベルの判定ができるまで詳細化することが必要となりスキル標準策定についての一定の理解と具体化する労力を要する。このような活動はコストと効果の兼ね合いの中実施できることになるが、総じて中小企業等を中心にその省力化の要求も強い。

スキル標準を策定することは単に保有技術者のスキルの可視化と育成という人材育成施策のみならず自分たちの技術を見直すことによる新製品開発や受注向上というような分野の改善効果も期待されるためできれば自前で実施することが望ましいが状況が許さない場合も少なからずあるのが現実である。

スキル標準を導入するためにはそのための知識、スキル、役割を持つ人材をあてることが必要となる。これもまた体力に余力の少ない企業にとっては重大な課題となりうる。

モデルベース開発技術者スキル標準に特化した問題ではなくスキル標準の策定・導入には以上のような課題があるのも事実である。

このような課題を解決するための取り組みとして、いくつかの業界団体等では自分たちの事業ドメイン向けスキル標準を策定してきている。その目的は策定・導入のハードルを下げ業界としてのスキル向上とスキルの流通の円滑化である。

モデルベース開発技術者スキル標準もこのような取り組みが必要である。

参考文献（例）

[ETSS] Embedded Technical Skill Standards