

DX時代の新たなソフトウェア工学 (Software Engineering for Business and Society: SE4BS) に向けた枠組みと価値駆動プロセスの提案

鷲崎弘宜^{†1} 萩本順三^{†2} 濱井和夫^{†3} 関満徳^{†4}
井上健^{†5} 谷口真也^{†6} 小林浩^{†7} 平鍋健児^{†8} 羽生田栄一^{†9}

概要 : DX (Digital Transformation) 時代に向けた新たなソフトウェア工学 (Software Engineering for Business and Society: SE4BS) に向けた枠組みと価値駆動プロセスを提案する。具体的には、今日においてソフトウェア「工学」として受け入れられている手法やプラクティスにおいて、顧客価値やビジネス価値に基づいてソフトウェア開発・運用を進める視点の欠落や、産業界において広く受け入れられているアジャイル開発との分断が起きているという問題を提起する。その問題意識のもと、DX時代に必要新たなソフトウェア工学として、ビジネスアジリティを組み入れて新規ビジネスのアイデアから、それを具体化する製品やサービスおよびユーザー体験までを結び付けるソフトウェアシステムの開発・運用に有用なモデル、手法、プラクティスを分類整理し、それらを用いる進め方としてビジネス・社会視点の価値駆動プロセスの一例を提案する。さらに、心的要素である知・情・意による分類を通じて、これからのソフトウェア工学と周辺の捉え方の一つを示す。

キーワード : アジャイル、DX、価値駆動、ビジネスデザイン

Proposal of a Value Driven Software Engineering Process and Scheme in DX Era to Promote Software Engineering for Business and Society (SE4BS)

Hironori Washizaki^{†1} Junzo Hagimoto^{†2} Kazuo Hamai^{†3} Mitsunori Seki^{†4}
Takeshi Inoue^{†5} Shinya Taniguchi^{†6} Hiroshi Kobayashi^{†7} Kenji Hiranabe^{†8}
Eiichi Hanyuda^{†9}

1. はじめに

ソフトウェア工学とは、系統的・規制的・定量的なソフトウェアの開発、運用、保守のアプローチである [1]。ソフトウェア工学知識体系 (Software Engineering Body of Knowledge: SWEBOK) の 2004 年版から 2014 年版への改訂にあたり主に拡充された箇所を図 1 の下線部に示す。拡充された側面として、ビジネスや経済・社会といった外界との接続とプロフェッショナルリズム、モデリングに代表される理論の深化とツールを通じた自動化、重視する品質としてのユーザービリティ等の知識領域強化が図られている。

このように外界との接続を扱う重要性が認識されつつも、ビジネスと社会における価値によって駆動される形でプロジェクトを進める視点が欠落しているという問題や、計画よりも適応を重視するアジャイル開発の現場とソフトウェア工学の間の分断が起きているという問題などについて筆者らは提起した [2]。この問題意識に基づき、筆者らは Software Engineering for Business and Society (SE4BS) と名

付け、DX (Digital Transformation) およびアジャイル時代の新たなソフトウェア工学体系を創出するプロジェクトを開始した [2]。DX とは IoT やクラウド、AI・ビッグデータナリティクス、ソーシャル等のデジタル技術を活用したデジタル化によりビジネスモデルを変革して進めることである。その成功のためには技術のみならず、データやビジネスアジリティ、エコシステム、自律的組織の重要性が叫ばれている [3]。そこで筆者らは、特にビジネスアジリティに着目し、それらを組み入れた形での DX 時代の新たなソフトウェア工学に向けた枠組みと価値駆動プロセスを以下に提案する。

本稿の以降では、2 節において、これからのソフトウェア工学の課題と関連研究を説明する。続いて 3 節においてビジネスと社会のためのソフトウェア工学の枠組みと価値駆動プロセスを提案する。4 節において大学における導入事例を紹介し、最後に 5 節において本稿の内容をまとめるとともに、今後の展望を述べる。

^{†1} 早稲田大学 / 国立情報学研究所 / システム情報 / エクスモーション
Waseda University / NII / SYSTEM INFORMATION / eXmotion
^{†2} 株式会社匠 BusinessPlace Takumi Business Place Corporation
^{†3} NTT T T コムウェア株式会社 / IIBA 日本支部 NTT Comware Corporation / IIBA Japan Chapter
^{†4} グロース・アーキテクチャ&チームズ株式会社 Growth Architectures &

Teams, Inc.
^{†5} ソフトウェアコンサルタント Software Consultant
^{†6} セイコーエプソン株式会社 Seiko Epson Corporation
^{†7} 株式会社システム情報 SYSTEM INFORMATION, CO., LTD.
^{†8} 株式会社永和システムマネジメント ESM, Inc.
^{†9} 株式会社豆蔵 Mamezou Co., Ltd.

要求	保守	モデル・手法	数学基礎
設計	保守ツール	モデリング	エンジニアリング基礎
UI設計 設計ツール	構成管理	モデル種別 モデルの分析	コンピューティング基礎
構築	マネジメント	品質	
構築技法 構築ツール	マネジメントツール	品質ツール	
テスト	プロセス	プロフェッショナル 実践	
テストツール	プロセス査定・改善 プロセスツール	エンジニアリング 経済	

図 1. SWEBOK2014 の知識領域と拡充箇所（下線部）

2. これからのソフトウェア工学の課題と関連研究

ビジネスや社会との接続を深めることにより必然的に、様々な変化に直面し、ソフトウェアの開発・運用・保守において不確実性を扱う必要性を生じる。その扱いにおいて必要となる側面を、これまでのソフトウェア工学との対比として表 1 に示す。これらの側面に基づき、今後重要と考えられる研究課題のいくつかと、その達成に向けた進行中の部分的な取り組みを以下に示す。

表 1. ソフトウェア工学に求められる側面

	これまで	これから
視点	開発者 または ユーザー	開発者+ユーザー+社会
範囲	ソフトウェアシステム、外部接点	ソフトウェアシステム、ビジネス、社会
進め方	計画的、静的、共通、クローズド	適応的、動的、多様、オープン
重視	仕様	価値、データ、スピード
思考法	知(ロジカル) または 情(デザイン)	知(ロジカル)+情(デザイン)+意(コンセプチュアル)
推論	演繹、類推	演繹、類推、帰納、仮説形成

2.1 ユーザー視点やビジネス価値を組み入れたプロセス

開発および運用するソフトウェアシステムが真にユーザー視点およびビジネス価値と接続・連動したものであることを常に保証可能なプロセスが求められる。例えば刻々と変化するユーザー像をデータ駆動で獲得し、ビジネス目標から戦略、ソフトウェア品質、構成、運用までを整合性ある形で接続して扱う仕組みが求められる。その達成に向けた部分的な取り組みとして筆者は、ユーザーの行動ログに対する自然言語処理や機械学習の適用を通じてユーザー像を半自動的に獲得し、目標や戦略、要求獲得へと役立てるデータ駆動ペルソナ [4] の研究を進めている。他にも、

Olsson や Bosch らの Hypothesis Experiment Data-Driven Development (HYPEX) モデル [5] をはじめとして様々な高速かつデータ駆動にユーザー視点を取り入れるプロセスの提案がある。これらの取り組みは特定の活動もしくは価値ベースの考え方全体を扱うものであり、ユーザー視点の取り込みに有用とされるデザイン思考などを組み入れた形でステークホルダー分析から最終的なソフトウェアシステムのリリース・保守に至る具体的・詳細なプロセスとしての整理は限定的である。

また価値の組み入れとしては、価値ベースの考え方を要求工学から設計・開発さらにはマネジメントに至るあらゆるソフトウェア工学上の活動へと組み入れる Value-Based Software Engineering (VBSE) [6] や、価値駆動のプロダクトライン展開を進める考え方 [7] などが提案されている。これらは主として費用やその効果の観点から価値を扱う。対して本稿では、特定の立場における何らかの目的に叶う重要性といったより広い意味での価値を扱う。

2.2 物理世界・IoT を考慮した多様な関心事追跡と自動修正・適応

物理世界・外界との接続において必然的に適応的な仕組みが必要であり、加えて高速あるいは動的な検証と自動修正の仕組みが求められる。特に、しばしば領域を超えた接続や相互作用のある IoT 時代において目標・要求からデバイス上の実装までのあらゆる抽象度において整合した形で関心事を追跡し、変化や進化に応じて静的・動的に自動修正・更新する枠組みの実現が中長期の課題である。例えば筆者は、目標・要求の整合化 [8] や、複雑・多様な関心事の追跡・整合化の仕組み [9]、プログラムからのリバースモデリングを通じた検証や修正の取り組み [10] を進めている。

2.3 AI 高信頼化および AI とのソフトウェア価値共創

ビジネス接続や適応的な枠組みを追求するうえで、ソフトウェアの開発と運用におけるビッグデータの AI (特に機械学習) を中心とした扱いが不可欠である。その高信頼化に向けた JST 未来社会 高信頼機械学習システムプロジェクト [11] などが進められている。

さらに AI の高信頼化の上で、ソフトウェア開発・運用への AI 活用をより一層進めた開発者と AI が協調的に進める共創の実現が期待される。例えば Monperrus らは、プログラム自動修正の未来の姿として、自動修正 Bot を含む様々な AI・Bot と開発者が対話し協調しながらソフトウェア開発を進める様子を描いている [12]。

3. ビジネスと社会のためのソフトウェア工学の枠組みと価値駆動プロセス

筆者らは、上述の課題のうちで特に、ユーザー視点やビジネス価値を組み入れたプロセスは、他の課題の基盤とな

りうる基礎的なものと捉え、DX 推進に必要なスピード・ビジネスアジリティに着目したソフトウェア工学の枠組みと価値駆動プロセスを設計した。設計にあたっては、ビジネスデザインから活動を生み出す匠 Method [13] に着目し、概ねその流れに沿って最初にビジョンとコンセプトを整理し、続いて、それに適合するモデルや手法、プラクティスを体系として分類整理し、最後にそれらを用いる一つの流れをビジネス・社会視点の価値駆動プロセスの例として設計した。以降に各詳細を示す。

3.1 ビジョンとコンセプト

最初に新たなソフトウェア工学のビジョンおよびそれを実現するためのコンセプトを以下に掲げた。

- ビジョン: より良い社会やビジネスをデザインするためにソフトウェア工学の領域を広げる
- コンセプト 1「オープン」: オープンコミュニティによる創造的なワクワクするソフトウェアエンジニアリング体系の確立
- コンセプト 2「トレーサブル」: 社会やビジネスの価値からアーキテクチャまで一貫した説明可能なモデル
- コンセプト 3「未来価値の共創」: 社会・顧客・ステークホルダーの未来価値をソフトウェアのカタチで共創

3.2 体系

続いて、上述のコンセプトへと我々の知る限りにおいて最も適合すると考えられる広く受け入れられたモデル（ここでは特定の表記法に従って形式化された図などのこと）や手法、プラクティスを識別し、体系として分類整理した（図 2）。識別にあたっては最初に筆者らで初期案をあげ、さらには複数回の一般参加型ワークショップ（XP祭り2019、SES2019 各併設実施）において他の様々な案を募って広げ、最終的に再度筆者らが多くの状況下においてコンセプトの具体化にあたり共通に欠かせないと思えるもののみを残した。

分類整理にあたっては、ビジネスのデザインから IT/ソフトウェアのデザインへと至る段階・抽象度の軸と、重視する考え方の軸の二つを用いた。後者については、ビジネスや社会視点の価値に焦点を当ててその新たな創造や提供に至るビジネス・社会視点の価値駆動と、ソフトウェアシステムのアーキテクチャおよびその堅牢性に焦点を当ててその堅実な構築と運用に至るアーキテクチャ視点の価値駆動の二つを採用した。

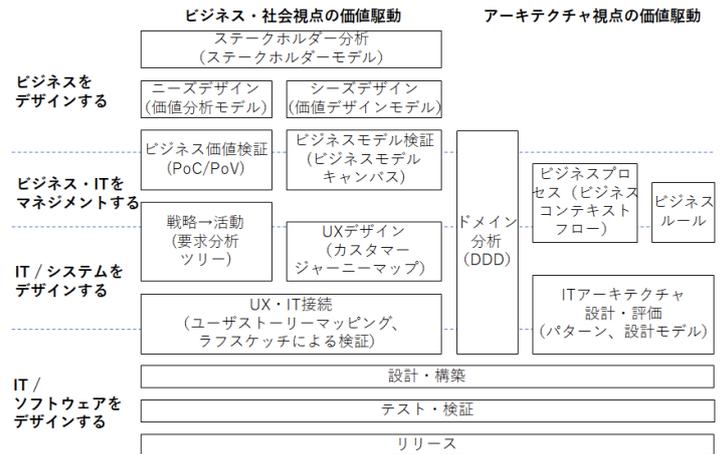


図 2. SE4BS モデル要素などの全体体系

3.3 価値駆動プロセス

続いて、上述の体系における主にビジネス・社会視点の価値駆動プロセスを詳細化した。具体的には、アーキテクチャ駆動よりもビジネス・社会視点の価値駆動により分類されるモデル、手法、プラクティス間の入出力および依存関係を整理し、次の特徴を有する実効性のあるプロセスを設計した（図 3）。

- モデルベース: すべての活動について対象の特定の側面を抽象化して捉えたモデルを入出力の中心に置き、モデル変換の連続を通じた可視化され段階的に検証可能な一貫したプロセス
- トレーサブル: モデルおよびモデルを構成する要素間の繋がりを明示し、ステークホルダー分析からソフトウェアシステムのリリースまでを追跡可能なプロセス

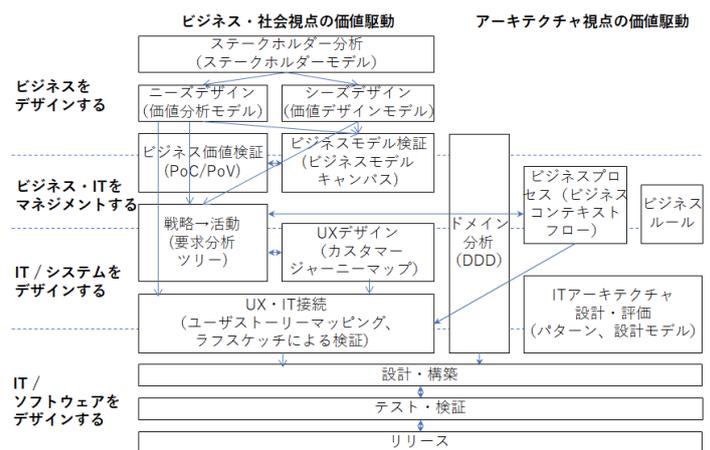


図 3. SE4BS モデル要素間の流れ

- (1) ステークホルダー分析から価値を創造する
ビジネスに関わるステークホルダー（最終顧客を含む）の関係図を描くことからスタートする（図 4）。その後、ステークホルダーモデルを使って、次のモデル

を作りだす。

・価値分析モデル

各ステークホルダーの価値を現在と未来の価値を嬉しいストーリーとして記述する。また、図の下の方にプロジェクト目的を書き出し、それぞれの価値の記述と対応を取るようにすることで、最終的には、プロジェクト目的がステークホルダーの価値で検証された形に仕上げる。

・価値デザインモデル

プロジェクト対象（製品・サービス・チーム）の意思をビジョンと3つのコンセプト等を描く

価値分析モデルはニーズデザイン、価値デザインモデルはシーズデザインを担当している。ニーズデザインは、最終顧客を含むステークホルダーのニーズからプロジェクト目的を生み出しているためニーズ思考である。一方で、シーズデザインは、プロジェクトの目指す方向性を明確に見える化しプロモーション可能にすることで、プロジェクトチームや関係者の意思を明確に内外に伝えるものである。

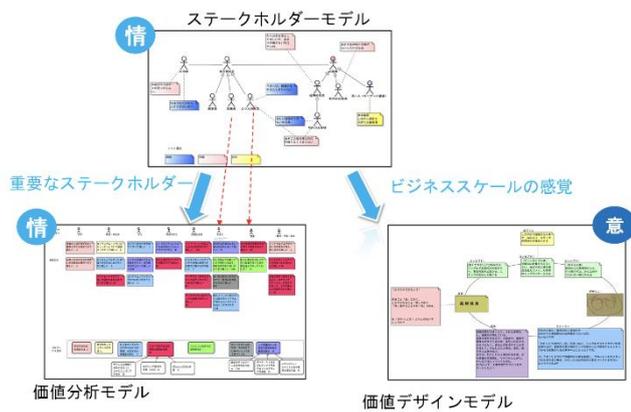


図4. ステークホルダーモデルから生み出される2つの価値モデル

(2) 2つの価値モデルから要求モデルを創りだす（要求分析ツリーの作成）

要求モデルは3つの要素（戦略要求、業務要求、IT要求）で構成され、ツリー構造となっている（図5）。このツリー構造は、目的と手段の連鎖（目的の下位が手段となり、その手段を目的として次の手段を考える）として構成されるものである。つまり左方向に行けば上位目的であり右側に行けば下位の手段となる。

この要求分析ツリーを作成する際には、2つの価値モデルの要素が使われる。例えば、戦略要求の3階層は、価値デザインモデルのビジョン（一階層）、3つのコンセプト（二階層）と、価値分析モデルのプロジェクト目的（三階層）として作成する。また業務要求やIT要求は、価値分析モデルの価値記述の中に書かれている手段を参考にして要求を作り出すようにする。それ以外は、ロジカル思考により上

位要求を分解、詳細化した下位要求を導き出すようにする。

このように、先にデザインした要求モデルを元に要求分析ツリーによって、価値デザインモデルで作成したビジョン、コンセプトと、価値分析モデルで作成したプロジェクト目的の関係性をディスカッションしながら調整していくことが重要となる。これにより、シーズデザインとニーズデザインを融合させた中から戦略要求を生み出すことになり、納得感や腹落ち感のある戦略要求を作り出すことができ、絵に描いた餅的な戦略要求を排除しやすくなる。また、このようにして修正されたモデル要素は、価値モデルにフィードバックされる。

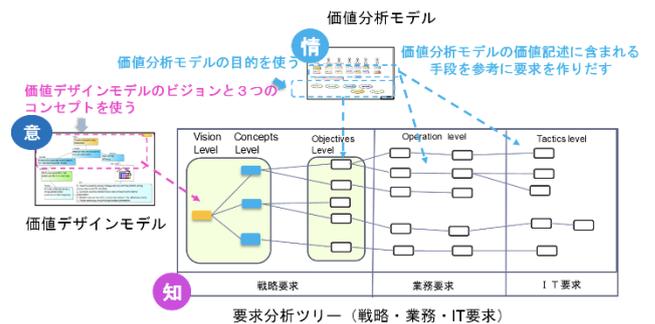


図5. 2つの価値モデルから生み出される要求モデル

(3) 価値と要求を踏まえた主要 To-Be 業務プロセスを創る
業務要求やIT要求については、具体的なビジネスイメージをもう少し具現化するために、ビジネスコンテキストフローを使ってビジネスとしての ToBe の姿をイメージ化する（図6）。これによって新たな要求が生まれることもあり、その場合には価値モデルへフィードバックされる。ビジネスコンテキストフローは一種の業務フローであるが、ステークホルダー間のメッセージの遷移レベルに留めることでビジネスの重要な変更点だけに見える化する。

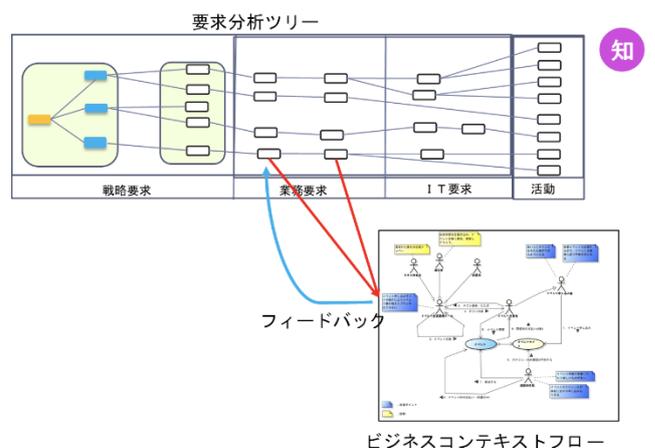


図6. 業務・IT要求の具体的なイメージを業務プロセスで見える化

(4) 要求から活動を生み出す

要求分析ツリーの(戦略・業務・IT)要求を元に、要求を実現するための活動を言語化・表現する(図7)。この活動は非常に具体的で活動可能でなければならない。

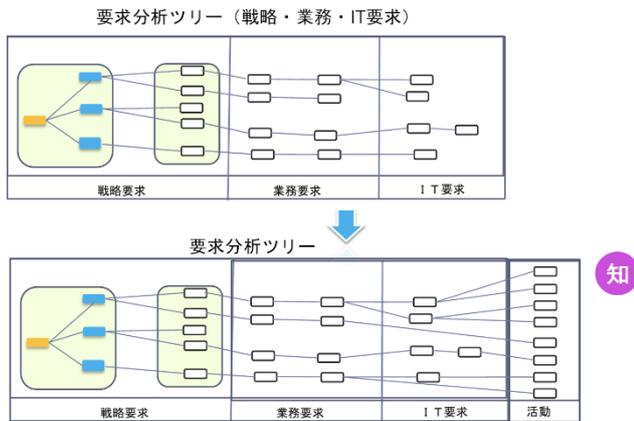


図7. 要求実現のための活動内容を具体化

(5) ビジネス実現可能性の検証 (ビジネスモデルキャンバスの活用可能)

企画したサービスを実現する前に、本当にビジネスとして実現可能かについての検証が必要となる。匠 Method では、プロジェクト対象の現在の価値や未来の価値を全体像として描くために、ビジネスをスタートする時点でのビジネス実現可能性を検証するという観点が欠落している。

そのため、価値モデルをビジネススタート時に必要とされる概念要素を棚卸するようなモデルが必要となる。これをビジネスモデルキャンバスを使うことで実施する。ビジネスモデルキャンバスは、価値分析モデルや価値デザインモデルの要素から導き出すこともでき、またその逆にビジネスモデルキャンバスの要素を使って価値分析モデルや価値デザインモデルを洗練化させることもできる(図8)。

ビジネスモデルキャンバスは、以降のシステムやソフトウェアデザインで用いるのではなく、ビジネスを立ち上げる際の特定期間のスナップショットとしての価値の具現化に対する評価に用いている。

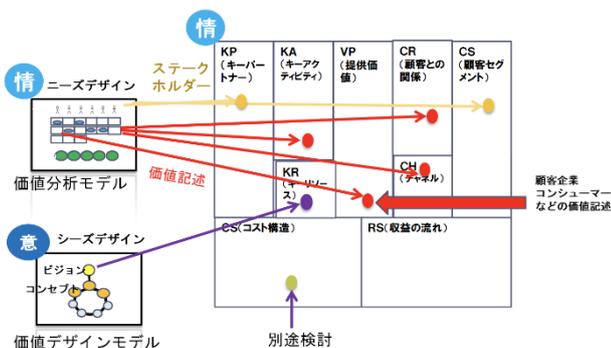


図8. ビジネス実現可能性の検証

(6) 価値モデルと業務 ToBe モデルからユーザーストーリーマッピングの導出

業務 ToBe モデルとしてのビジネスコンテキストフローや価値分析モデルを元に、ビジネス上でどのようにユーザーが IT システムを活用し価値を生み出すのかという未来の姿を、もう少し具体的にイメージ化するためにユーザーストーリーマッピングを活用する。その際に、ユーザーアクションの上に価値分析モデルの価値記述を関係づけることで、ユーザーアクションが担保すべきビジネス価値を明確にすることができる(図9)。

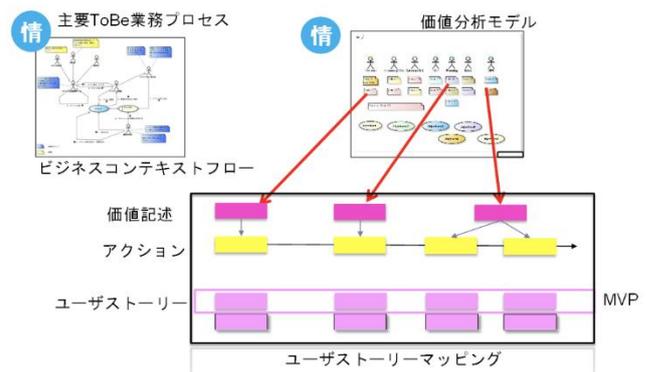


図9. ユーザーストーリーマッピングへの展開

(7) ユーザーストーリー記述からドメインモデル候補の抽出

ユーザーストーリーマッピング中のユーザーストーリーの記述の中には、具体的な業務要素名や IT 上の概念が言葉(名詞)として登場している。それらの概念を元に、ドメインモデルの要素を抽出する。これは図10のように、ユーザーストーリー中のシナリオ中にアンダーライン等(赤色)を入れることで概念を洗い出す準備を行う。

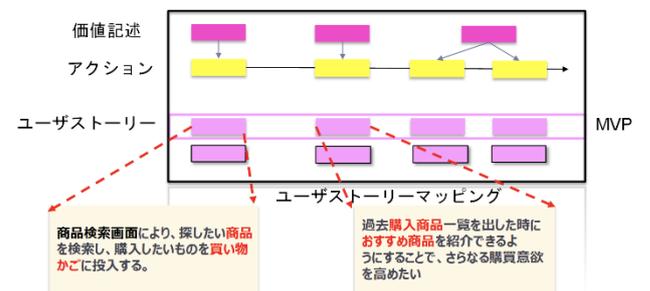


図10. ユーザーストーリーマッピングから重要な概念の導出

(8) ドメインモデルの作成

ユーザーストーリー中に記された重要な概念(名詞)からドメインモデルを作成する(図11)。なお、ユーザーストーリーの前に、これまでのビジネス概念からドメインモデルを作成する流れをとると、既知の問題やドメインに縛ら

れる可能性があり、価値駆動および社会を変革するというDXには適さない（どちらかといえばそれはアーキテクチャ駆動といえる）。

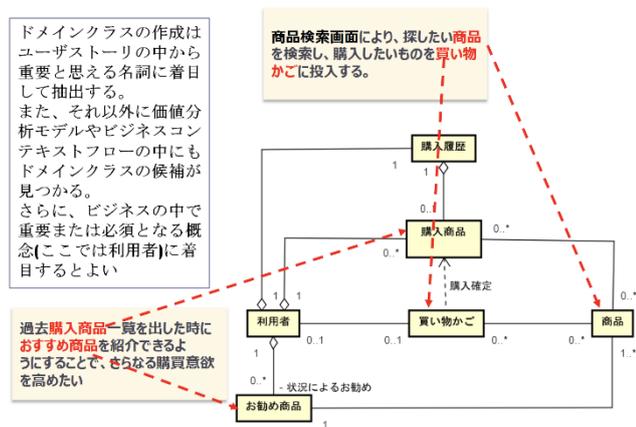


図 11. ドメインモデルの作成

(9) ユーザストーリー記述から画面の抽出

ユーザストーリー中に記された IT 概念(ここでは買い物かご)や、商品検索画面など、ユーザーとのやり取りに使われる画面に関する言葉にアンダーライン(青色)を引き画面イメージと連結させる(図 12)。

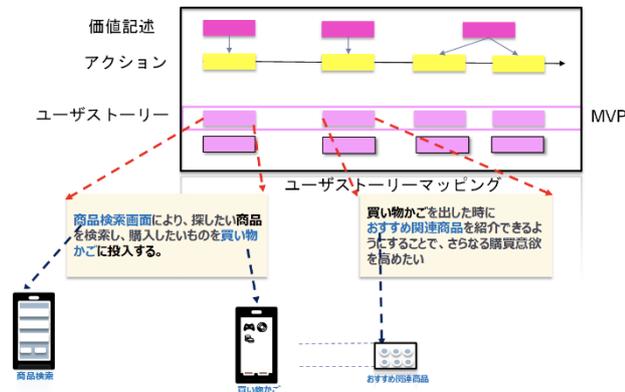


図 12. ユーザストーリーから画面をイメージ

(10) 画面とドメインモデルで簡易ロバストネス図をデザインする

先に抽出した名詞に着目したドメインモデルと、画面を関係づける。これは、どの画面でどのような概念(ドメイン要素)が関係するか確認する図となる(図 13)。簡易ロバストネス図とは、これまでのロバストネス分析(バウンダリー、コントロール、エンティティ)からコントロールを省いたものである。コントロールは近代的な開発においては、実現環境で大きく変化しうるので SE4BS ではこれを省くこととした。

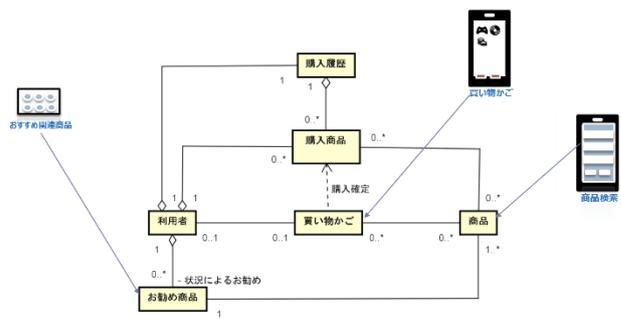


図 13. 画面と概念の関係性の確認(簡易ロバストネス図)

3.4 知・情・意による分類

ここまで挙げたモデルや手法、プラクティスは、人の営みとしてのビジネスや社会を捉えるうえで不可欠な人々の考え方や精神の働き方によって分類できる。具体的には、哲学者 Kant は人の根源的な心的要素として以下の知、情、意の三つを挙げ、そのバランスによって人々は動いていると説いている[14]。

- 知 (Cognitive, Intelligence) : 知覚・知性に基づくロジカルシンキングであり、従来のソフトウェア工学の手法の多くが該当する。
- 情 (Affective, Emotion) : 相手や対象に対する感情・情的な過程であり、デザイン思考などが該当する。これからのソフトウェア工学において融合が期待されるデザイン的アプローチが主に該当する。
- 意 (Conative, Will) : 道徳的評価に基づく意志やコンセプチュアルシンキングであり、ソフトウェアシステム開発・運用においてしばしば見失われがちな概念である。

この三種に基づき、ビジネスアジリティを組み入れた新たなソフトウェア工学 SE4BS において、取り上げた各モデル、手法、プラクティスを分類した結果を、図 14 に示す。内側の円内には、新たなソフトウェア工学 SE4BS において、有効に活用可能なものを著者らが特定し、配置した。外側の円内には、新たなソフトウェア工学 SE4BS において、有効に活用可能な可能性のある周辺のものを著者らが特定し、配置した。

全体的に、三種のすべてが極端な偏りなく得られており、AI や IoT を含めて複雑化および不確実化する中で、必要なビジネスアジリティを実現するための新たなソフトウェア工学 SE4BS として、三つのバランスを保ったプロセスが必要とされていることを示唆していると考えられる。

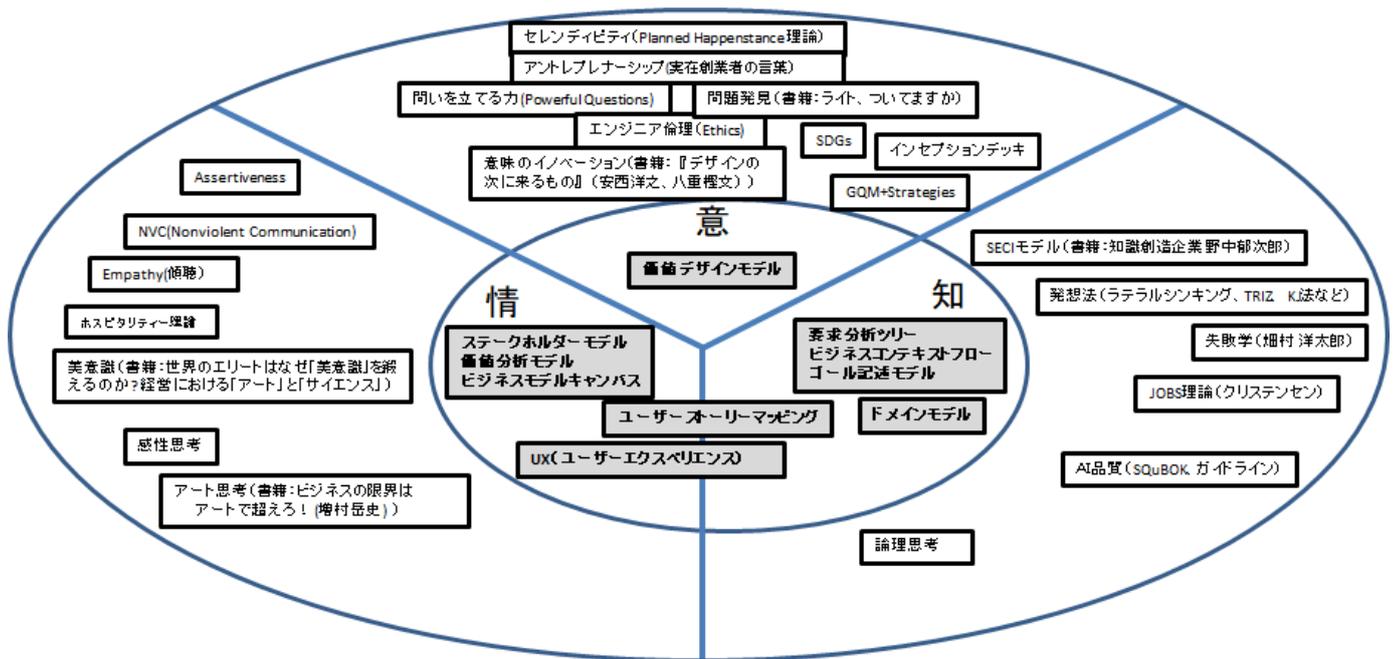


図 14. 知・情・意による分類

4. 利用事例

2019 年度に早稲田大学情報理工学科における演習中心のソフトウェア工学科目において、本稿の価値駆動プロセスを導入した。学生 3 チームにおいて、飲食店推薦といった問題領域を題材として 3.3 節の流れに沿って価値デザインから簡易ロバストネス図の作成までをモデルベースで進めた。各チームの得られた成果において、社会やビジネスの価値からソフトウェアモデルまで追跡可能なことを確認できた。

5. おわりに

本稿では、DX 時代に向けてビジネスアジリティを組み入れた新たなソフトウェア工学 Software Engineering for Business and Society (SE4BS) のビジョンとコンセプトを提示し、その実現に向けた枠組みとして関連するモデル、手法、プラクティスの分類整理を示すとともに、それらを活用した具体的な価値駆動プロセスの一例を提案した。また、心的要素である知・情・意による分類を通じて、これからのソフトウェア工学と周辺の捉え方の一つを示した。

今後の展望として、成果を広く公開しオープンなコミュニティを形成しつつ、2 節で述べたこれからのソフトウェア工学の課題のうちで、本稿では直接に取り扱わなかった物理世界・IoTやAI に対するソフトウェア工学について、本稿の枠組みおよびプロセスを拡張した形での扱いを検討している。また、提案する価値駆動プロセスを、さらなる大学における演習や企業における実開発へと適用し、有用性を検証し改善する予定である。さらに筆者の一部は、SWEBOK Guide の改訂[15] に務めており、本稿で言及した

ようなソフトウェア工学におけるビジネスおよび社会の扱いや価値駆動の重要性について SWEBOK Guide の次版で言及することを検討する予定である。

参考文献

- [1] P. Bourue, R.E. Fairley, “SWEBOK V3.0: Guide to the Software Engineering Body of Knowledge”, IEEE Computer Society, <https://www.computer.org/education/bodies-of-knowledge/software-engineering>
- [2] 日経 xTECH, “DX 時代の新ソフト工学体系を世界へ、スター 4 人が集結”, 2019/04/18 <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00001/01934/>
- [3] J. Bosch, “Towards a Digital Business Operating System, International Conference on Software Technologies,” 12th International Conference on Software Technologies (ICSOT 2017), 2017.
- [4] Y. Watanabe, H. Washizaki, et al., “Retrospective based on data-driven persona significance in B-to-B software development,” ACM/IEEE 40th International Conference on Software Engineering (ICSE 2018), NIER, 2018.
- [5] H. H. Olsson and J. Bosch, “The HYPEX Model: From Opinions to Data-Driven Software Development,” in Continuous Software Engineering, ed. J. Bosch, 2014.
- [6] B. Boehm, “Value-Based Software Engineering,” ACM Software Engineering Notes, Vol. 28, No. 2, 2003.
- [7] S. R. Faulk, et al., “Value-Based Software Engineering (VBSE): A Value-Driven Approach to Product-Line Engineering,” in Software Product Lines, ed. P. Donohoe, 2000.
- [8] Y. Aoki, C. Shimura, H. Washizaki, et al., “Horizontal Relation Identification Method to Handle Misalignment of Goals and Strategies Across Organizational Units,” IEEE Access, Vol. 7, No. 1, 2019.
- [9] R. Tsuchiya, H. Washizaki, et al., “Interactive Recovery of Requirements Traceability Links Using User Feedback and Configuration Management Logs,” 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2015), 2015.

- [10] Y. Maezawa, H. Washizaki, et al., “Automated Verification of Pattern-based Interaction Invariants in Ajax Applications,” 28th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2013), 2013.
- [11] JST 未来社会, 高信頼な機械学習応用システムによる価値創造 (QAML) , <https://qaml.jp/>
- [12] M. Monperrus, et al., Explainable Software Bot Contributions: Case Study of Automated Bug Fixes, BotSE’19
- [13] 萩本順三, “匠 Method: ～新たな価値観でプロジェクトをデザインするために～ Kindle 版”, 匠 BusinessPlace 出版, 2016
- [14] 瀬川昌也, “知・情・意の発達と脳”, BRAIN and NERVE—神経研究の進歩, Vol. 60, No. 9, 2008
- [15] <https://www.computer.org/volunteering/boards-and-committees/professional-educational-activities/software-engineering-committee/swebok-evolution>