

# 仮想空間上で設計が完結する時代のマネジメント手法

早稲田大学理工学術院創造理工学部建築学科 講師（専任） 石田 航星

## ① すべての設計行為が仮想空間上で完結する時代

多くのアンケートで示されているように、我が国においても、建築プロジェクトにおいてBIMソフトウェアを利用する事例が増加している。また、意匠設計、構造設計、環境設計など建築設計に関わる各分野で3次元設計を一貫して行う「フルBIM」などの適用事例も紹介されるようになってきている。現状では3次元モデルを活用した設計と2次元図面の併用や、図面を紙に印刷して、数量を拾うなど、3次元モデルによる設計と、2次元図面と紙による伝統的な設計手法が並立しているが、設計や積算、施工計画に関わる多くの作業が仮想空間上で完結する未来も、そう遠くない時期に実現される可能性がある。

このような仮想空間上で設計行為を行う新しい手法の登場と呼応するように、ECI方式やIPD (Integrated Project Delivery) などのように、設計者と施工者などが協業しながら設計案をまとめていく手法が導入され始めている。更にはBIMソフトウェアを利用しながら設計者と施工者が協業するVDC (Virtual Design and Construction) なども提案されており、複雑化した建築物の設計の品質を、関係者間での共同作業により向上させる試みが行われている。

ところで、コンピュータ内の仮想空間上で多くの設計や製作行為が完結する産業として、ソフトウェア産業が既に存在している。建築設計が仮想空間上で設計行為のすべてを実施した場合、これはコンピュータを介して多くの設計・開発行為が実施されるソフトウェアの開発の手法に、外見上

は類似する状態になると言える。

そこで、本稿においては、ソフトウェア開発におけるプロジェクト・マネジメント手法に焦点を当て、建築プロジェクトにおいても参考になり得る点について考察を行う。

## ② ウォーターフォール・モデルとアジャイル開発

情報産業における開発のマネジメント手法としてよく対比される二つの手法として「ウォーターフォール・モデル」と「アジャイル開発」がある。

ソフトウェア開発におけるプロジェクト・マネジメント手法として、古くから存在する「ウォーターフォール・モデル」は、図1に示すようにソフトウェアの開発工程を「要件定義」「設計」「実装」「検証」「運用」などの段階に分け、前工程の終了後に後工程を実施するという流れでプロジェクトを進行する手法である。1970年にWinston W. Royceにより示されたモデル<sup>1)</sup>を基に命名された手法<sup>注1)</sup>である。

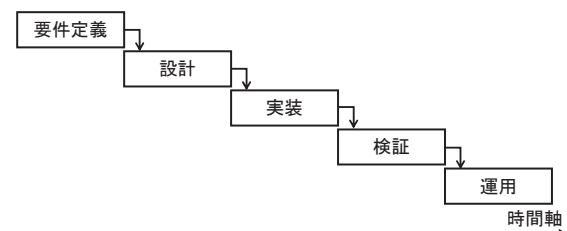


図1 ウォーターフォール・モデルの概念図

注1 ただし、元の論文<sup>1)</sup>では、図1のような一方的なモデルだけでなく、各工程間でフィードバックのあるモデルや、テスト時に発生した問題をフィードバックする必要性なども示されており、前工程から後工程への一方的な流れを一度実行しただけではうまくいかないと言及されている。本稿では後工程から前工程に戻らない（つまり論文の意図とは異なる意味の）マネジメント手法の意味で「ウォーターフォール・モデル」を用いている。

このウォーターフォール・モデルは、現在でも利用されている開発手法である。発注者の要求を整理し、要件定義を明確化することが重要となる手法である。ただ、システムを発注する側は、自分たちが必要としているシステムがどのようなものなのかを事前に明快にし、言語化することが難しいため、曖昧な部分が残る可能性がある。また、開発進捗によりシステムの全容が明らかになると、発注者が多くの「変更要求」を指摘する可能性が高いが、前の工程が完了した後に、後の工程を実施することを前提としているため、変更に対して柔軟に対応することが難しい。更に、ソフトウェア開発が複雑で大型プロジェクト化した場合、プロジェクト全体にかかる期間が長期化する可能性が高く、仮に要件定義を適切に行えたとしても、社会状況の変化のスピードが速いため、リリース時には陳腐化してしまう場合も考えられる。

このようなウォーターフォール・モデルにおけるソフトウェア開発における諸問題は建築プロジェクトにも共通する問題である。

一方、「アジャイル開発」では、1～4週間程度の期間で優先順位の高い機能を有する動作するソフトウェアの開発を行う「イテレーション(Iteration)」が一般的であり、分析、設計、実装、テストなどの各工程の専門家が同一のチームとして参画し、異なる分野の専門家が一緒に開発や問題点の解決に従事する手法である。各イテレーション終了時には動作するソフトウェアが作成され、発注者やユーザーが意見を述べやすい環境を整えながら、イテレーションを文字どおり繰り返すことにより、ソフトウェアを発注者が望んだものに成長させていく手法である。変更を前提とした手法であり、よいソフトウェアを作成するために、発注者も一緒になって開発行為に参画する手法になっている。

2001年に公表された「アジャイルソフトウェア開発宣言<sup>注2)</sup>」では、四つの価値観と12の原則が示さ

注2 2001年に発表されたアジャイルソフトウェア開発宣言<sup>2)</sup>において、開発における関係者間の対話を重視し、動作するソフトウェアを早期に実現し、顧客との協調や、計画の変更への柔軟な対応を目指すことが述べられている。

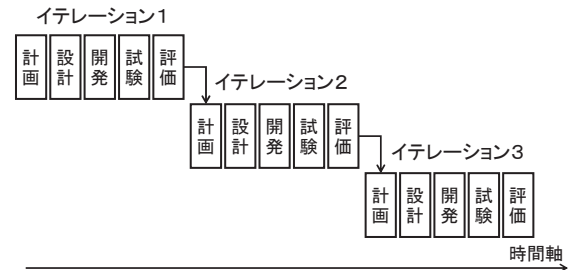


図2 アジャイル開発<sup>3) 4)</sup>の概念図

れているが、この価値観と原則を共有する手法は複数存在している。アジャイル開発の手法として「スパイラル」「XP」「FDD」「リーン・カンバン」「スクラム」など、様々な手法が考案されている。

### ③ アジャイル開発における「スクラム」

アジャイル開発手法の中で最も普及した手法である「スクラム」は、Jeff Sutherland氏やKen Schwaber氏により提唱されたが、この手法は、竹内弘高氏と野中郁次郎氏が日本と米国における新製品の開発プロセスを分析して得られた知見を公表した論文<sup>5)</sup>内で示されている手法を基に考案された手法である。そのため、ソフトウェア開発だけでなく日本の建築産業においても、参考になる手法である。

なお、この論文において「スクラム」型の特徴として下記の六つ<sup>注3)</sup>が挙げられている。

- ①不安定な状態を保つ
- ②プロジェクトチームは自ら組織化する
- ③開発フェーズを重複させる
- ④マルチ学習
- ⑤柔らかなマネジメント
- ⑥学びを組織で共有する

この中でも特に②に示された「自己組織化」は建築プロジェクトにおいても重要な項目である。竹内氏と野中氏の論文では、富士ゼロックスのFX-3500の開発において、計画、設計、製造、販売、流通、評価の各専門部門の関係者を一つの大部屋(One large room)に集め、設計された例が示され

注3 スクラム手法を提唱した論文の共著者である野中氏が執筆した著書<sup>3)</sup>に記載のある訳語をそのまま掲載している。

ている。これにより、会話が生まれ情報が共有され、個々人が開発チームにとって、最善な行動は何か考えるようになった例が紹介されている。

建築物が複雑化し、一つの建築物の施工に参加する工種が数十種類になり、設計会社、ゼネコン、専門工事会社、建材メーカーへ設計に関わる専門業務が高度に分業化された一方で、建築物に関わる専門知識をすべて理解できる技術者や企業が存在しない以上、建築プロジェクトにおいても、竹内氏と野中氏の論文で述べられている手法や、これを発展させた「スクラム」でのマネジメント手法は、非常に参考になる手法であると筆者は考える。

「スクラム」の概念と役割分担は「スクラム・ガイド」<sup>6)</sup>に記載されている。日本語版も公開されているため、詳細についてはスクラム・ガイドに譲るが、特徴的な点としてスクラムでは「プロダクト・オーナー」「開発チーム」「スクラム・マスター」という三つの役割で分担されたスクラムチームを構成単位としている点がある。プロダクト・オーナーは、開発チームが実施する作業により生産される価値を最大化するために製品に必要な機能を定義し、開発項目の優先順位を設定する。開発チームは開発の実行部隊で、様々な専門家で構成される。スクラム・マスターはスクラムチームの活動を円滑にするために、プロダクト・オーナーや開発チームの支援やチームが抱える問題の解決を行う役割を担う。そのため、中央管理型のリーダーシップではなく、サーバント・リーダー (Servant-Leader) としての役割を求められ、メンバーからの相談やコーチングだけでなく、チームが抱える問題の解決のために外部と交渉を行う役割を担う。

このスクラムの実践手順と建築プロジェクトを比較した際に、建築分野において、特に示唆を含む点として、以下の項目があると考えられる。

#### (1) 変更を前提とした手法である

アジャイル開発に含まれる多くのマネジメント手法では、変更が起こる前提で、変化への対応を包含する手法として考案されている。

#### (2) 発注者の参加を必要とする手法である

多くの発注行為では、発注者は「お任せ」という丸投げに陥り易いが、アジャイル開発では発注側と受注側の協業が必要である。イテレーション (スクラムでは「スプリント」と呼ぶ) 毎に発注者は動作するソフトウェアを通じて開発状況を理解できる上に、必ずしも専門家ではない発注者と受注者のコミュニケーションを円滑化する工夫が多く取り入れられている。

#### (3) 開発チームの支援者としてスクラム・マスターを用意している

チームのマネジメントを行う上で必要な「開発の方向性を示す」とことと「チームが円滑に活動するために必要な環境を整える」とこと、この二つの異なるリーダーシップを「プロダクト・オーナー」と「スクラム・マスター」で分担している。

#### (4) 仕様変更の機会を明確にしている

スプリント完了後に動作するソフトウェアを使って発注者からレビューを受ける。この際の変更の要求は積極的に受け入れることで、発注者からの変更の時期を明確にしている。特に開発行為が進行しているスプリント内では変更を受け入れないようにしているため、開発チームが開発行為に集中しやすい環境が整っている。

#### (5) 契約手法について知見を有している

請負契約は、請負人が仕事の完成を約束し、発注者が仕事の完成に対して報酬を支払う契約である。そのため、発注者と設計者の共同作業を通じて、設計案をまとめる手法において、通常の請負契約では実施できない可能性が高い。ソフトウェア開発においても、我が国では「請負契約」が一般的だが、地方自治体<sup>注4)</sup>の情報システムの発注において、アジャイル開発が導入された例がある。契約方式など参考<sup>注5)</sup>になる点が多い。

注4 例えば、山形県庁のシステム開発において導入された例がある<sup>9)</sup>。

注5 イテレーション完了時に動作するソフトウェアが出来上がるため、イテレーション毎に個別の契約とする方法などが紹介<sup>4)</sup>されている。

なお、前述の点以外に、開発項目の規模見積りを素早く実施するための「プランニング・ポーカー」やリスク・マネジメントの手法が含まれるなど建築プロジェクトにおいて参考になりそうな項目が多数含まれている。

#### 4 建築プロジェクトへの置き換えとソフトウェア開発と建築プロジェクトの相違点

前章までに示したアジャイル開発の概念や価値観を建築プロジェクトにおける設計に導入した場合、図3のような手順になると考えられる。

建築プロジェクトにおいては、意匠設計、構造設計、環境設計、施工計画等の様々な技術者が設計案の作成に従事するが、これら関係者が一体になって、設計初期段階から共同で参画することになる。また、カーテンウォール・メーカーや鉄骨ファブリケーター、昇降機メーカーなど、設計的行為を含む建築部材の製造に関わる業者の技術者も設計に参加することが望ましいと考えられる。

BIMソフトウェアを用いた3次元での設計では、設計変更に伴う修正等の手戻りは多大な労力が必要となる。意匠設計者が設計した設計案を踏まえて、構造・環境設計者が設計を行い、その後、施工技術者が参加して詳細設計を実施し、専門工事会社（サブコン）や建材メーカーが更に詳細な設計図や加工図を作成する従来の手順では、上流の工程で修正を必要とする場合、修正作業が下流

の工程にも波及し、変更作業の手間が増えてしまう。また、上流工程の齟齬を下流の工程で修正することが困難なため、下流工程における設計者が取れる選択肢も大幅に制限されてしまう。そこで、建築物に必要な機能と性能や、建築物の具体的な形状や部材の位置、仕様などを決める専門家を建築プロジェクトの初期段階から集め、優先的に決定すべき情報から徐々に設計の詳細度を上昇させていく手法の方が、3次元での設計に適していると考えられる。また、従来の2次元図面とは異なり、3次元モデルがあれば、ある程度発注者はこれから出来上がっていく建築物を想像し易いため、建築物に求める要望を明確化し易いと考えられる。建築物の機能に対する要求を示す機会を定めることで、それ以外の時期では設計チームは設計に集中できる。

なお、建築プロジェクトの初期段階から設計に必要な専門家を集めるため、発注者は調達行為の初期で建築物に必要なコストを概算し、これに基づく価格による入札で受注者を決める手法ではなく、建築プロジェクト全体で使えるコストの上限を定め、設計に参画する専門家との協業により、建築物に必要な機能とコストのバランスを取りながら、目標とするコストに近づけていくというような調達方式の方が適しており、従来の入札・調達方式の大幅な見直しが必要となる。

前述のように、建築物と同様に請負契約により調達されることが多い情報システムにおいて、公

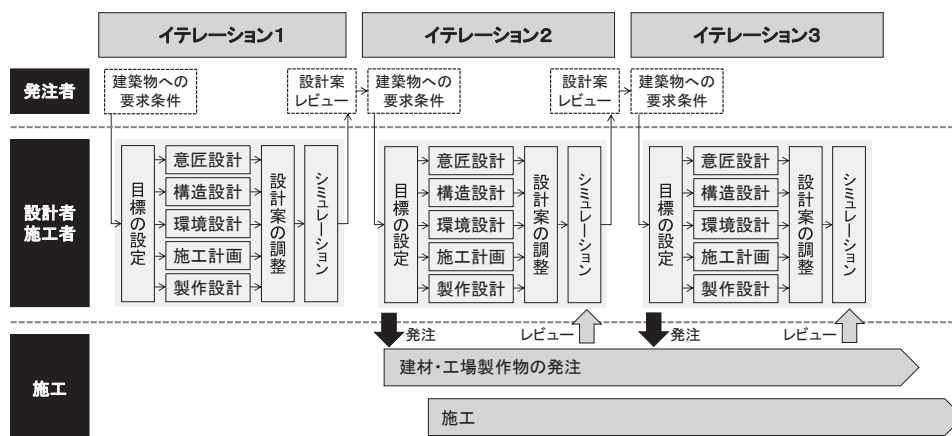


図3 建築プロジェクトへの適用の例

の発注者がアジャイル開発に含まれる手法で調達した事例は既に存在しており、契約方法については、かなり参考になると考えられる。また、IPDやECIなど従来、設計に参画してこなかった施工技術者を建築プロジェクトの初期段階から参画させる方式が既に導入されている。アジャイル開発に含まれる各手法は、これら方式を更に押し進めた手法であると筆者は考えている。

一方で、ソフトウェア開発においては、設計を行った後、実装を行い、実際に動作するソフトウェアを作成し、テストを行うことができる。建築プロジェクトでは、設計を行い、各種シミュレーションを実施して、設計案の検討を行うことや、異なる設計者が作成した3次元モデルを同一の空間で重ね合わせて、設計の不整合を修正する干渉チェックが、「テスト」に近い手法である。ただ、建築物そのものの評価は施工後に建築物が完成してみないと分からない部分が多い。特に実際に使用できる建築物は建築プロジェクトの終盤にならないと登場しないため、ソフトウェア開発と同じレベルの「テスト」はプロジェクト終盤まで実施できない。

また、複雑化した建築物を設計するためには、各分野の専門技術者の共同作業が重要になることは明らかであるが、設計者や施工者、納品メーカーを価格による入札や相見積りを経て選定する手法は共同作業における大きな障害になる。特にアジャイルな設計手法を導入する場合には、建築プロジェクトの初期段階に、高度な専門知識を有する関係者を集めることが重要であるため、サブコンや建材・機器メーカーを早期に選定することが必要になる。建築部材や工事の受注を期待させて、無償で見積りや設計を行う商習慣は、共同作業の大きな妨げになるため、アジャイル開発を参考とした手法を導入する場合には、参加するすべての専門家に適切な設計料を支払う必要がある。

## ⑤ 仮想空間における設計案の検証手法

前章までの考えを実現するためには、発注者に

設計の成果物（ここではBIMデータや3次元モデル）を閲覧してもらい、発注者が建築物に求める要求を言語化することが重要となる。また、ソフトウェア開発の「テスト」のように設計案の整合性と品質、性能を確認するために、干渉チェックや構造・環境のシミュレーション技術に加え、工事手順を仮想空間でシミュレーションする手法が必要になると考える。本章では、「発注者が3次元モデルを通じた会議に簡単に参画できる手法」と「想定している工事手順が実現可能であるかシミュレーションする手法」について、筆者の研究を通じて言及したい。

建築物の設計は、ソフトウェア開発とは異なり、設計完了時点で実物の建築物は存在しないため、発注者に設計案のレビューをしてもらうためには、工夫が必要になると思われる。また、設計案が実際に施工できるかは、現状では工事してみないと分からない部分が存在する。これら問題を解決する重要な技術としてVR技術に着目している。

発注者だけでなく、施工者側にも3次元CADやBIMソフトウェアを日常的に利用しない関係者が多く存在する。ただ、3次元モデルを作成するソフトウェアを操作するためには、ある程度の訓練が必要になるため、建築プロジェクトに関わる多くの参加者と意見を交換するためには、現在のマウスやキーボードに頼らない、現実の建築物を閲覧する際と同様の操作性のあるソフトウェアが必要となる。そこで我々はモーション・コントローラに着目し、モーション・コントローラとVR技術を用いて3次元モデルを操作する方法について研究を実施している。以下に示す図4はモーション・コントローラの一つであるLeap Motionを用いて、仮想空間上の3次元モデルを「持つ」状況を示した図である。

Leap Motionにより上部にある手の動作をリアルタイムで記録し、VR空間上に手の骨格モデルが連動するようになっている。このVR空間では物理エンジンが搭載されているため、物体同士の当たり判定や重力判定が適用されている。そのた

め、手で<sup>すく</sup>扱う動作をすると、仮想空間上の手の上に立方体を載せることが可能になる。

このLeap Motionを用いて、図5に示すようにVR空間に設計中の3次元モデルを用意して、現実の建築物に触れるように仮想空間上の手で3次元モデルに触れることで、必要な情報を取得する技術が実現されれば、発注者を含む関係者間の3次元モデルを介したコミュニケーションが円滑化されると考えている。3次元設計が本格的に導入される時代において、ICT技術に関する専門知識を有しない関係者を議論に参加させるためのBIMにおけるユニバーサル・デザインが重要性を増すと考える。

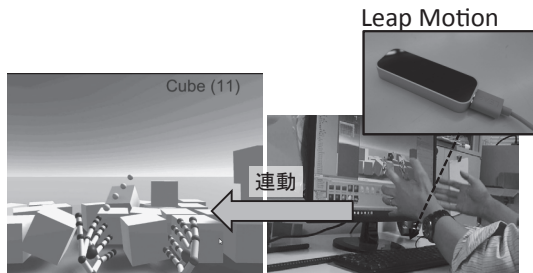


図4 モーション・コントローラによる操作例

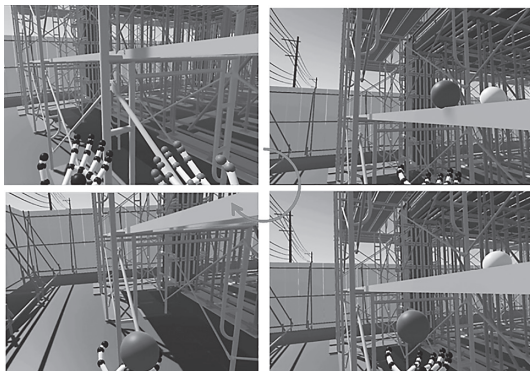


図5 仮想空間上の手で3Dモデルに触れる例

また、異なる設計者によるモデル同士の干渉チェックや、3次元モデルを用いて建築の構造や建築環境をシミュレーションし、設計の質を検証する技術が多く開発されている。同様に、施工計画そのものをシミュレーションする技術についても様々な研究が実施されている。我々も仮想空間で作業者を再現し、工事手順の妥当性や作業への負荷をシミュレーションする手法について研究<sup>7)</sup> 8) を実施している。仮想空間において工事

を再現するためには物理現象や人そのものを再現する必要があるが、我々はゲーム開発環境のUnityを用いている。図6に作業シミュレーションのシステムの構成の概念図を示す。これにより作成した内装間仕切壁の作業シミュレーションのソフトウェアの実施例を図7に示す。これは仮想空間上でスタッドやランナーを持って移動し、設置箇所に設置する行為を再現し、VR空間上で現実を模倣した作業を行うことで、作業時間や作業の妥当性をシミュレーションするソフトウェアである。なお、このソフトウェアにより、図8に示すように作業者の移動経路や作業時間を記録し、評価することが可能となると考えている。

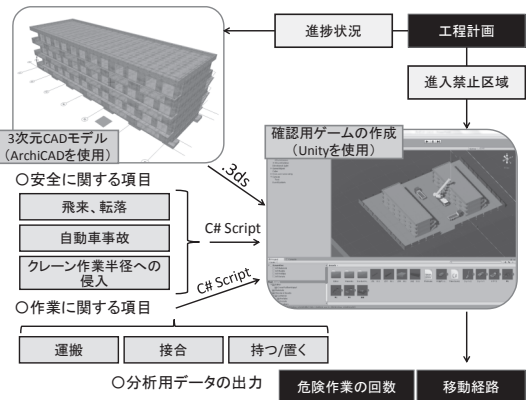


図6 作業シミュレーションのシステムの構成<sup>7)</sup>

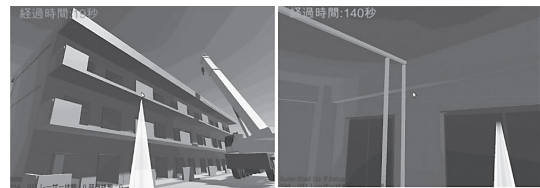


図7 内装間仕切壁の作業シミュレーションの実施例

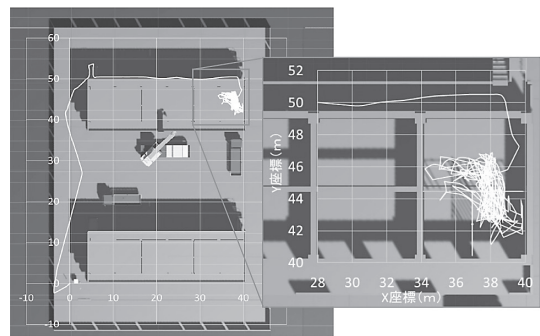


図8 作業シミュレーションにより記録した作業者の移動経路例<sup>7)</sup>

## ⑥ おわりに

建築プロジェクトにおいて「設計」という工程は非常に重要な部分であるが、この設計を行う方法が「紙を中心とした2次元図面」から「コンピュータ内の仮想空間における3次元設計」に変更すると、建築プロジェクトに最適なマネジメント手法もまた変化するものと考えられる。2次元図面における設計手法は、精緻に考えられた製図記号や設計上の規則を含むことにより、高度に訓練された専門家間でのコミュニケーションにおいて、寸法や仕様など専門家間での情報のやり取りを円滑化する優れた手法であったと考えられる。ただ、建築に関する専門知識を有しないことが多い発注者や施設の利用者にとっては、相互理解への障害になる可能性が高い。

また年々、建築物に用いる技術が高度化し、建築物そのものが複雑化したため、2次元図面と文書によるやり取りだけでは、多くの誤解を生む可能性が高まっている。このような状況下でBIMを中心とした設計手法の変化は、建築産業の進歩のための必要な技術であるが、マネジメント手法を現代に合ったものに変更することも必要となる。その際に、本稿で触れた情報産業だけでなく、造船産業のCIM (Computer Integrated Manufacturing) の導入における生産プロセスの変更など、他産業におけるプロジェクト・マネジメント手法には、建築分野におけるプロジェクト・マネジメント手法を一足飛びに進化させるための重要な知見が蓄積されており、多くの示唆に富むと言える。

(参考文献)

- 1) Winston W. Royce: Managing the Development of Large Software Systems, *Proceedings of IEEE WESCON*, 1970.8, pp.1-9
- 2) 「アジャイルソフトウェア開発宣言」 <http://agilemanifesto.org/iso/ja/manifesto.html>, 2018.8.20閲覧
- 3) 平鍋健児、野中郁次郎 『アジャイル開発とスクラム—顧客・技術・経営をつなぐ協調的ソフトウェア開発マネジメント』 翔泳社 2013.1
- 4) 鈴木安而 『図解でわかるアジャイル・プロジェクトマネジメント』 エスシーシー 2016.6
- 5) Hirotaka Takeuchi, Ikujiro Nonaka : The New New Product Development Game, *Harvard Business Review*, 1986.1
- 6) Ken Schwaber and Jeff Sutherland : SCRUM GUIDES, <https://www.scrumguides.org/download.html>, 2017.11 (2018.8.20閲覧)
- 7) 石田航星 「VR技術を用いた工事作業の再現と安全評価に関する研究」 『第33回建築生産シンポジウム論文集』 pp.245-250, 日本建築学会 2017.7
- 8) 石田航星 「建築工事における安全教育のためのゲームソフトウェアの開発」 『大会学術講演梗概集』 F-1分冊, pp.345-346, 日本建築学会 2017.9
- 9) 日経×TECH 「幸せを呼ぶアジャイル開発 [第4回] SOAはアジャイルと相性が良い」 <https://tech.nikkeibp.co.jp/it/article/COLUMN/20120100/346081/?ST=system>, 2018.8.20閲覧 (山形県庁での事例)