

令和4年度

BIMを活用した建築生産・維持管理プロセス円滑化モデル事業（先導事業者型）

新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化と

AIコスト予測に関する評価・検証

および

BIMモデル×自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法

（進捗管理効率化）に関する評価・検証

検証結果報告書

東洋建設株式会社

目次

1. プロジェクトの情報 3

1.1. プロジェクト の概要..... 3

1.1.1. 建築物の概要 3

1.1.2. プロジェクトにおける事業者（提案者）等の位置づけ..... 4

1.1.3. プロジェクトの概要、特徴（本事業に関連するもの） 4

1.2. 検証対象の概要..... 5

1.2.1. 本事業で 分析・検証する業務ステージとワークフローのパターン 5

1.2.2. 分析・検証の時期 6

1.2.3. プロジェクト全体のスケジュールと分析・検証のスケジュール..... 6

1.2.4. 分析・検証の実施体制、各プロセスでのそれぞれの役割分担..... 7

検証 A)

新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化と AI コスト予測に関する評価・検証

2. 本事業を経て目指すもの、目的 8

3. BIM データの活用・連携に伴う課題の分析等について 10

3.1. 分析する課題..... 10

3.2. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制 11

3.3. 課題分析等の結果（新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化） 16

3.4. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制 20

3.5. 課題分析等の結果（AI コスト予測に関する評価・検証） 24

4. ★BIMの活用による生産性向上、建築物・データの価値向上や様々なサービスの創出等を通じたメリットの検証等について 30

4.1. 定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準 30

4.2. 効果 検証 等 の進め方（検証の前提条件等を含む）、実施方法・体制 30

4.3. 効果 検証 等 の結果..... 32

5. 結果から導き出される、より発展的に BIM を活用するための今後の課題 41

5.1. 事業者として今後さらに検討・解決すべき課題..... 42

5.2. 建築 BIM 推進会議や関係部会・関係団体 等に検討してほしい課題 42

5.3. 今後の ガイドラインの見直しに向けた具体的な提言 42

5.4. ★IPD における発注者と受注者の役割とは 43

検証 B)

BIM モデル×自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法（進捗管理効率化）に関する評価・検証

6. 本事業を経て目指すもの、目的	45
6.2. 目的	46
6.3. 検証テーマ.....	46
7. BIM データの活用・連携に伴う課題の分析等について	47
7.1. 分析する課題.....	47
7.2. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制.....	48
7.3. 課題分析等の結果と分析.....	56
8. BIM の活用による生産性向上、建築物・データの価値向上や様々なサービスの創出等を通じたメリットの検証等について	66
8.1. 定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準.....	66
8.2. 効果検証等の進め方（検証の前提条件等を含む）、実施方法・体制.....	67
8.3. 効果検証等の結果.....	72
9. 結果から導き出される、より発展的に BIM を活用するための今後の課題	82
9.1. 事業者として今後さらに検討・解決すべき課題.....	82
9.2. 建築 BIM 推進会議や関係部会・関係団体等に検討してほしい課題	82
9.3. 今後のガイドラインの見直しに向けた具体的な提言	82

総括

10. まとめ・今後の展望	83
11. BIM 発注者情報要件（EIR）、BIM 実行計画（BEP）の検証結果	83

1. プロジェクトの情報

1.1. プロジェクトの概要

本事業は、主に3つのテーマに分けられる。

- ① 「新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化」
- ② 「AIコスト予測に関する評価・検証」
- ③ 「BIMモデルxと自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法」である。

①②の「コスト管理」を検証A、③の「工事監理」を検証Bとして、2章以降は報告内容をテーマ別に整理して提示する。

本事業には、専門的な知見や技術の取得、検証精度の向上を目的として、以下の通り事業協力者を参画させた。

「新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化」：株式会社日積サーベイ

「AIコスト予測に関する評価・検証」：燈株式会社

「BIMモデルxと自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法」：株式会社センシンロボティクス

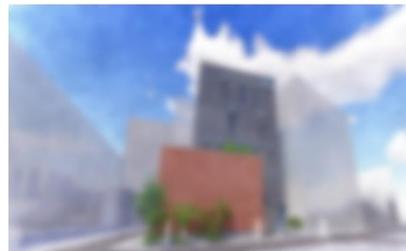
1.1.1. 建築物の概要

検証A) 新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化とAIコスト予測に関する評価・検証

【Project T】

- ・ 用途：専修学校
- ・ 延べ床面積：約760㎡
- ・ 階数：地上5階
- ・ 構造種別：鉄骨造
- ・ 所在地：東京都
- ・ 新築

Project T 完成予想パース



【Project S】

- ・ 用途：店舗兼事務所
- ・ 延べ床面積：約1,000㎡
- ・ 階数：地上2階
- ・ 構造種別：鉄骨造
- ・ 所在地：東京都
- ・ 新築

Project S 企画提案時パース



検証 B) BIM モデル×自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法（進捗管理効率化）に関する評価・検証

【Project J】

- ・ 用途：専門職大学
- ・ 延べ床面積：約 10,000 m²
- ・ 階数：地上 4 階
- ・ 構造種別：鉄骨造
- ・ 所在地：東京都
- ・ 新築

Project J 完成予想パース



1.1.2. プロジェクトにおける事業者（提案者）等の位置づけ

事業者（提案者）の位置づけ：設計者、工事監理者、施工管理者

発注者の位置づけ：建築物所有者

1.1.3. プロジェクトの概要、特徴（本事業に関連するもの）

【Project T】 施工中

- ✓ 1 階に劇場、4～5 階にダンススタジオ（教室）等があり、防音仕様の部屋が複数ある。
- ✓ 劇場は 1～2 階にわたる吹抜空間となっている。

【Project S】 計画中

- ✓ 1 階が店舗、2 階が事務所の構成。
- ✓ カーテンウォールを用いたファサード。

【Project J】 施工中

- ✓ 北棟、南棟の 2 棟あり、2～3 階に渡り廊下が設けられている。
- ✓ 南棟エントランスは吹抜空間があり、検証時は吹抜と階段部に足場が設置された状態。内装工事中。

1.2. 検証対象の概要

1.2.1. 本事業で 分析・検証する業務ステージとワークフローのパターン

本事業で分析、検証する業務ステージは以下の通りである。

検証 A-1) S1 基本計画

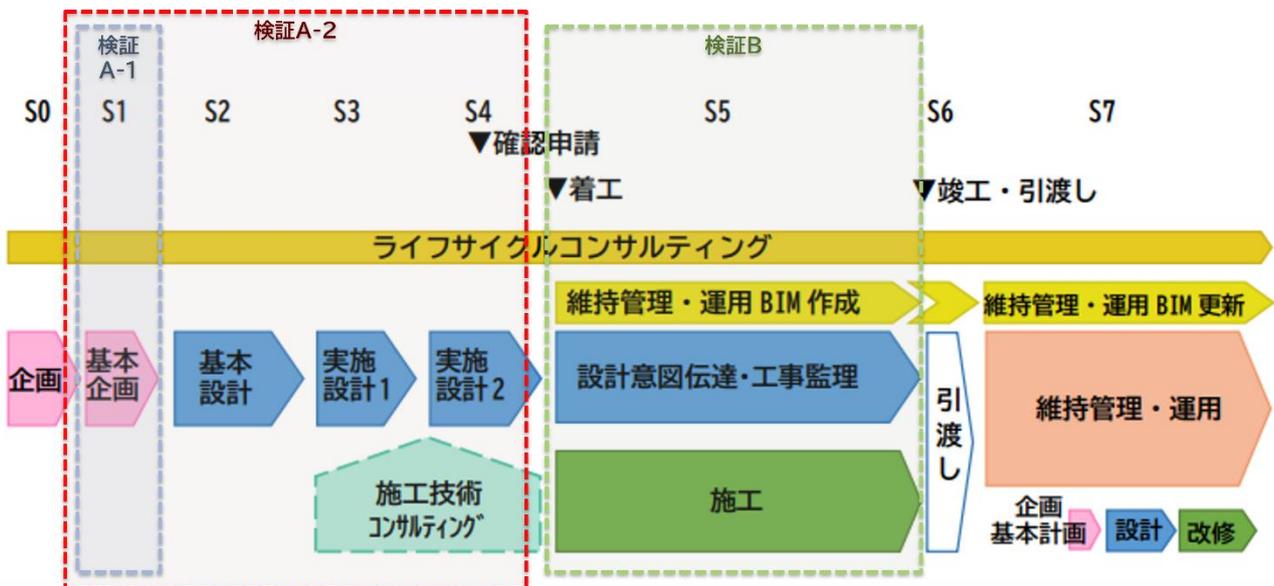
概算時のプランが固まる前のコストシミュレーションを想定。

検証 A-2) S1~S4

企画から工事契約までの間の発注者含む関係者の協議において活用することを想定。

検証 B) S5

施工時の業務効率化と品質の向上を目的とする。



検証 A は、設計段階での検証または概念検証のため、工程をまたいだ BIM モデルの連携は発生しない。

検証 B は、パターン①の設計～施工段階での BIM モデル連携が該当する。



1.2.2. 分析・検証の時期

2022年9月～2023年2月の6か月間とする。

1.2.3. プロジェクト全体のスケジュールと分析・検証のスケジュール

プロジェクトスケジュールは以下の通り。

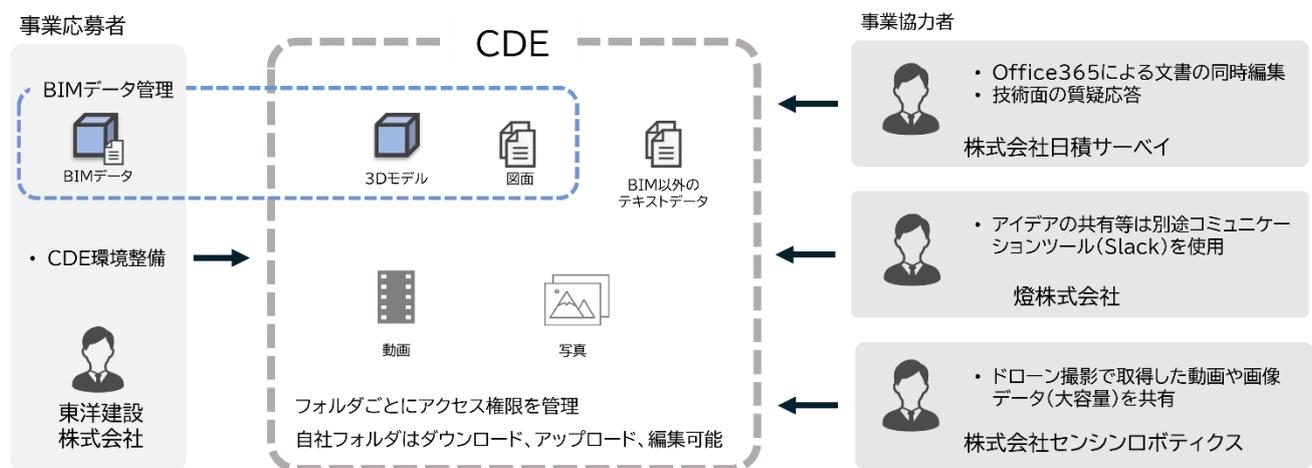
TASK	2022年				2023年	
	9月	10月	11月	12月	1月	2月
検証 A-1						
仕上表、単価表の Excel 整備／改善	●→					
材料名称等のルール検討	●→					
COST-CLIP 連携試験		●→				
概算条件の整理			●→			
Project T BIM 積算連携				●→		
Project T 従来手法概算				●→		
Project S 企画 BIM モデル作成	●→					
Project S BIM 積算連携					●→	
Project S 従来手法概算					●→	
満足度調査（アンケート形式）					●→	
報告書等作成						●→
検証 A-2						
単価予測対象部材の検討	●→					
条件の整理		●→				
使用する学習データの選定		●→				
AI アルゴリズム検証			●→			
検証結果の分析					●→	
満足度調査（アンケート形式）						●→
報告書等作成						●→
検証 B						
検証計画	●→		●→			
BIM ルート検証		●→				
検証実施			●	●		
検証分析			●→		●→	
資料作成						
報告書作成					●→	

1.2.4. 分析・検証の実施体制、各プロセスでのそれぞれの役割分担

参画した事業協力者の役割は以下の通りである。

事業協力者名	事業内容	本事業における役割
株式会社日積サーバイ	建築積算・概算、建築積算システム開発	検証使用システムの技術的支援、従来積算手法検証の実施
燈株式会社	DXソリューション/AI SaaS事業	コスト予測検証のためのAIモデルの評価・検証
株式会社センシンロボティクス	産業用ドローン等を活用した業務ソリューションの提供	ドローンによる現場巡回検証の機材提供及びデータ活用検討支援

また、本事業におけるデータのやり取りは CDE を介して行い、その他コミュニケーションツールとしてメール、Slack を使用した。



2. 本事業を経て目指すもの、目的

2.1. 背景

従来の概算手法では、設計担当者がプランを作成した後、積算担当者が概算する流れが一般的である。しかしながら「プランへの質疑応答などを通し、設計担当者と積算担当者間で、意思疎通や合意形成を図る時間が必要となる」、「設計担当者は金額が出るまで、現状を把握しづらい」「概算は経験によるところが大きく、若手では扱いづらい」「設計変更による再積算は時間も労力もかかる」等の課題がある。

BIM による「新しい設計概算プロセス」の構築により、設計担当者は容易に概算コストをリアルタイムに近い形で把握しながら設計できるため、設計初期段階からコストを踏まえた設計プロセスによって作業の効率化や設計品質の向上につながるとともに、人口減少に伴う担い手不足の解消や労働環境の改善に寄与できる。

また、昨今の鉄骨をはじめとする価格高騰は、プロジェクト遂行の障壁になりかねない。契約前の打合せの段階で、価格の動向を把握出来れば、発注者・受注者双方のメリットにつながる。

2.2. 目的

本検証は、BIM 概算連携による IPD (Integrated Project Delivery) の実現に向けて、課題の設定と分析を行うことを目的とする。

- ✓ BIM モデルを用いて概算することにより、設計担当者がリアルタイムにコストを意識した設計が可能となる。また、設計 BIM の付加価値を高め、BIM の普及につなげたい。
- ✓ BIM で算出したコストをグラフ化 (可視化) し、関係者間で共有することで、プラン検討の円滑化や意思決定の迅速化につなげたい。
- ✓ AI アルゴリズムによる価格予測により、少し先の価格動向を掴み、円滑なプロジェクト遂行につなげたい。

等の目的が挙げられる。

また、IPD の推進は受注者だけでなく、発注者にとっても以下のようなメリットがある。

- ✓ 高品質で満足度の高い建物へ

IPD では、関係者が協力してプロジェクトを進めるため、高品質な建物を建設することができる。初期段階での設計と工程の調整により、品質に関する問題を事前に解決できる。また、関係者が協力してプロジェクトを進めるため、建物のデザインや機能性などに関する発注者のニーズに応えることが出来、発注者の満足度向上につながる。

- ✓ リスク低減

関係者が協力してリスクを共有し、予測される問題を事前に解決することができる。このため、予期せぬ問題が発生する可能性を低減することができる。

✓ タイムリーなプロジェクト完了

関係者が協力してプロジェクトを進めるため、無駄な時間を削減することができる。また、初期段階で設計と工程を調整することで、工期が遅れるリスクを低減することができる。

✓ コスト削減

関係者が協力してプロジェクトを進めるため、無駄なコストを削減することができる。また、初期段階で設計と工程を調整することで、無駄な施工や余剰な材料の使用を防ぐことができる。

以上のことから、「初期段階での設計との調整」「関係者間の協力」が非常に重要であることがわかる。

IPD の実現に向けた本事業の将来的な展望として、以下のような概算ワークフローを想定している。

- ① AI による価格予測。主要部材の価格動向を把握し、関係者間での合意形成に役立てる。
- ② ①を単価表に反映させる。
- ③ BIM 概算でコストを算出。
- ④ ③で作成された明細書をダッシュボード化し、関係者間で共有。コストシミュレーションや傾向分析に活用。合意形成の迅速化や品質向上に役立てる。

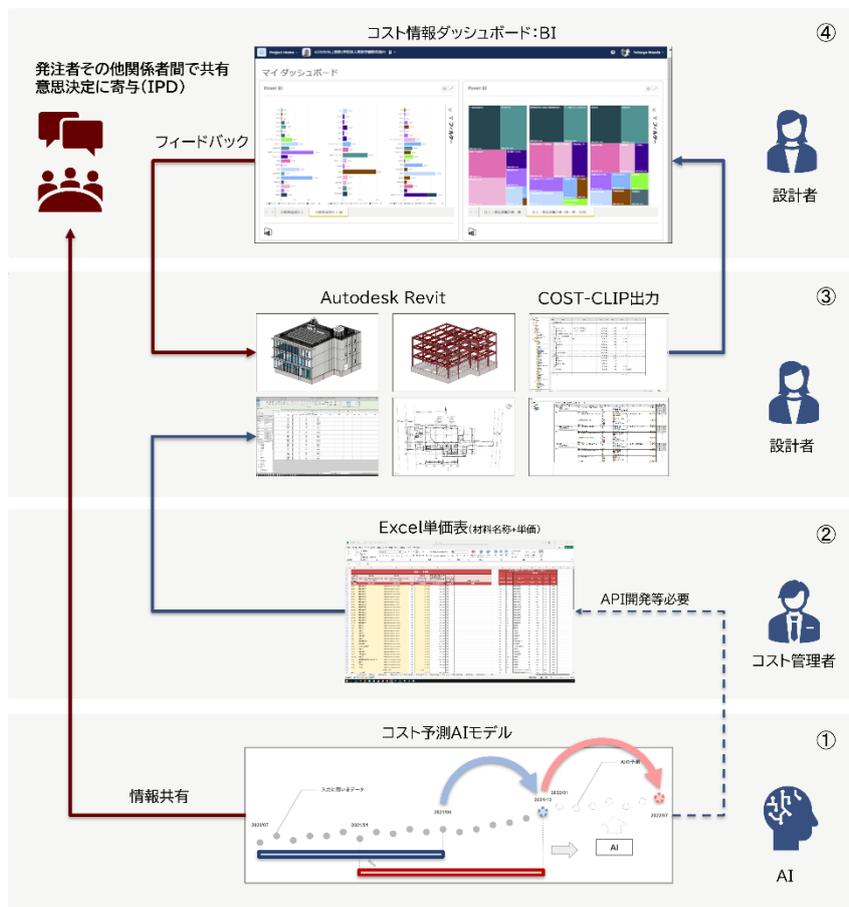


図 2-1 IPD コスト関連データ連携

3. BIM データの活用・連携に伴う課題の分析等について

3.1. 分析する課題

検証 A-1) BIM モデルにおける内部仕上情報および連携する Excel 単価連携の評価・検証

概算コスト算出の迅速化を目的に計画中の建築物を対象とした BIM と Excel による「新しい設計概算プロセス」を試行し、既存プロセスとの比較による効果検証を行う。検証内容は以下の 2 点とする。

① 正確性の検証

従来の概算手法を正とし、BIM 積算連携でどの程度差が発生するかを検証する。

② 工数・時間の比較

BIM 積算連携の「工数削減」について、従来手法と比較し工数・時間を比較検証する。

なお、工数削減効果および発注者を含む関係者へ満足度調査（アンケート形式）については、「4.1.定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準」にて報告する。

従来手法と BIM 積算連携の定義

従来手法：BIM を使用しない、2 次元図面を用いて積算専門ソフトで概算する手法。

BIM 積算連携：BIM モデルと BIM のアドインソフトを用いて概算する手法。

検証 A-2) AI アルゴリズムの検証および PoC およびコスト可視化による評価・検証

AI アルゴリズムによって計画初期段階時点から工事着工時の鉄骨の価格変動を予測する事でコスト変動によるリスクを把握する事が可能かについての概念検証を行う。

概算コストを項目ごとに見える化し CDE 上（またはクラウド）で共有する事によって、VE 提案などの設計検討における有効性や実用性に係る課題分析を行う。

なお、発注者を含む関係者へ満足度調査（アンケート形式）については、「4.1.定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準」にて報告する。

3.2. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制 （新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化）

検証 A-1) 株式会社日積サーベイ協力のもと、以下の手順で検証を進めた。

【前提条件】

- ✓ 使用ソフトは Revit2022、COST-CLIP V1.5、ヘリオス 2022、Excel とする。
※Revit（BIM ソフト）、COST-CLIP（BIM 積算連携に用いるアドインソフト）、ヘリオス（従来手法に用いる積算専門ソフト）
- ✓ 本検証では、単価は同条件としているため、数量算出結果の差異を検証する。

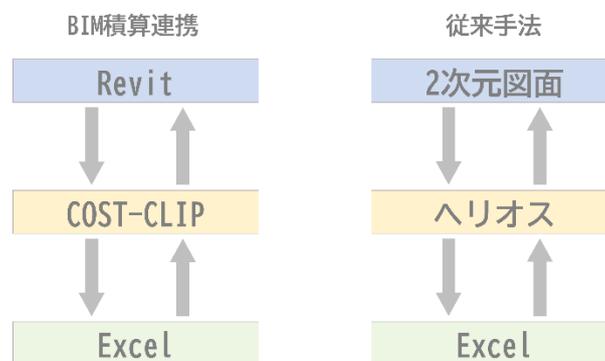


図 3-1 使用ソフト連携図

【検証手順】

- ① Project T を対象に、Excel 単価表と仕上表を作成する。
- ② 概算条件を整理する。
本検証対象部位は、以下の4つとした。
 - ・内装仕上（床 m²/幅木 m/壁 m²/天井 m²）・間仕切壁 m²
 - ・外壁 m² ・建具箇所数
 また、各種単価は刊行物を基に設定した。
- ③ Project T を対象に、従来手法と BIM 手法で概算し、正確性を比較検討する。
- ④ ①～③を踏まえ、Project S を対象に、従来手法と BIM 手法で概算し、精度及び作業工数・時間を比較検討する。

以下、各手順においての詳細を追記する。

① 【単価表・仕上表の雛型準備】

BIM 積算連携のため、COST-CLIP で使用する Excel 形式の仕上表、単価表の雛型を作成した。

仕上表は、図面作成のために使用している Excel 形式の内部仕上表に、摘要欄（積算に必要な項目）を追加する変更を加え、単価表は COST-CLIP の標準サンプルを基に新たに作成した。連携するには単語が完全に一致すること、設計担当者による表現の違い(半角全角、スペース有無等)を無くすることが重要であるため、材料リストを作成し、選択形式とした。

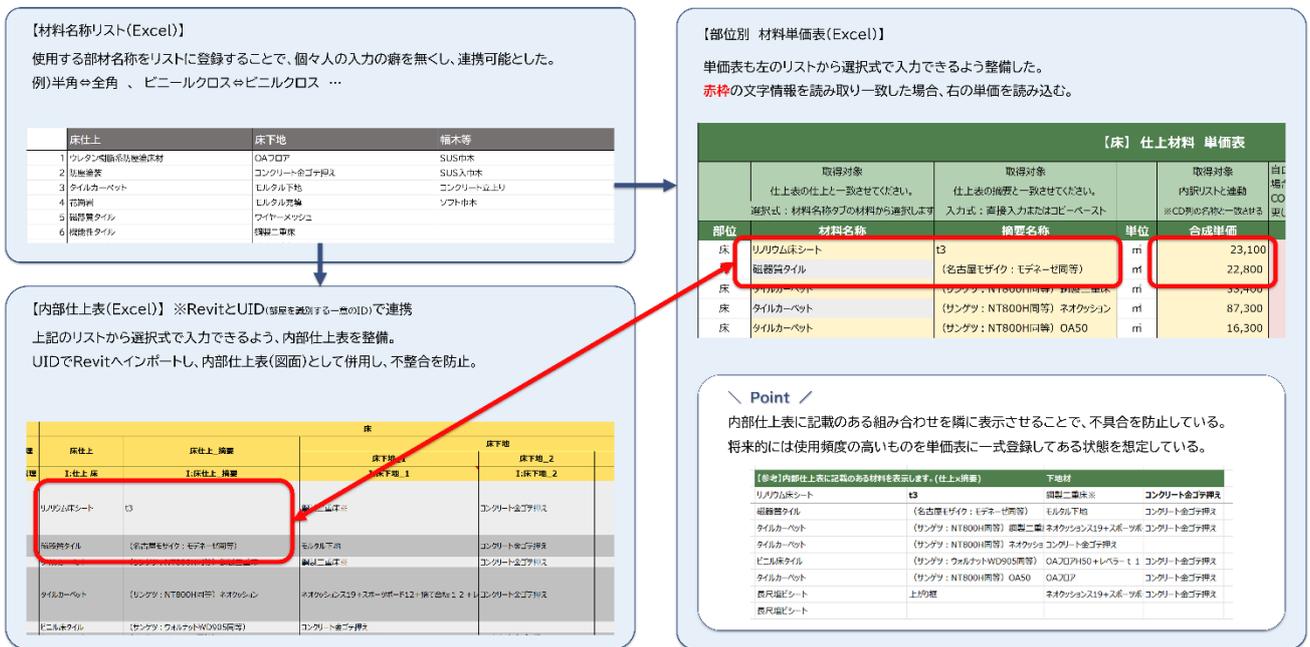


図 3-2 単価表・仕上表イメージ

① 【単価表の価格管理について】

実務での使用においては、設計担当者が各材料単価の管理まで担うのは困難であり、コスト管理担当者が必要である。単価設定は一つのデータベースにまとめ、それぞれのプロジェクトの単価表に紐づいて材料を入力すると単価が自動で表示されるような形式が理想的である。

このことを想定し、合成単価を作成するための内訳表を、単価表と分けて作成した。

しかしながら、担当者を別に設ける場合、例えばデータベースに無い材料を設計担当者が使用したい場合などに登録時間が発生することから、利便性が低下してしまう。このことを考慮し、単価表に設計担当者が自由に価格を設定できるセル(列)を設けた。

基本的に内訳表の単価をベースにしながらも、必要に応じて設計担当者が自ら価格を入力し、迅速にコスト算出ができるよう考慮した。

② 【対象プロジェクトのステージと検証ステージの確認】

Project T : BIM モデルの情報量は S2 の基本設計段階。

Project S : BIM モデルの情報量は S1 の基本企画設計段階。

本検証の概算の詳細度は、どちらも概算時の S1 に合わせて検証することとした。

例) 開口部は考慮しない、天井高さは全てスラブ高さまでとする等

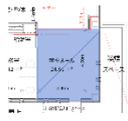
	検証条件					建築工事に占める割合 (参考値)
	イメージ	計上単位	開口部	高さ	単価	
部屋 (床壁天井)		m	考慮しない	※壁仕上 天井高さ 直天は 階高-スラブ厚	従来手法と同一の単価設定とし、数量(m、箇所)でどの程度の差が出るか比較検証する。	内装工事 約12%
壁 (外壁)		m	考慮する	—		既製コンクリート 工事 約8%
壁 (間仕切)		m	考慮しない	スラブまで		軽量鉄骨下地 工事 ボード 工事 約9%
建具		箇所	—	—		金属性 建具 工事 約9%

図 3-3 概算条件

また、どちらの BIM モデルも本検証のために作成したものでなく、通常的设计業務中に作成されたものである。

③ 【従来手法の算出方法について】

従来手法に使用した図面

形式：PDF

内容：一般図、建具表、建具表キープラン、内部仕上表、壁種別図

検証対象部位について、従来手法では、それぞれ以下のように、概算数量算出を行う。

次ページにて、内装仕上の概算数量算出の事例を図示している。

内装仕上：内部仕上表を確認し、各階がどんな室で構成されているかを把握するとともに、

システム（ハリオス）に各室の天井高や、仕上情報を入力する。

各階平面図をもとに、システム（ハリオス）で、各室の面積と、室周長を計測し、

床（室面積）・幅木（室周長）・壁（室周長×天井高）・天井・廻縁の数量を算出。

間仕切壁：壁種別図をもとに、システム（ヘリオス）で、壁符号ごとに、間仕切の長さを計測。

図面で壁符号ごとの壁高さを確認し、間仕切壁の面積を算出。

外壁：外部仕上表や立面図を確認し、外壁の種別ごとに面積を算出。

※物件規模などに応じて、活用するシステムを選定する。

建具：建具表および建具キープランをもとに、建具符号ごとに箇所数を算出。

※物件規模などに応じて、活用するシステムを選定する。

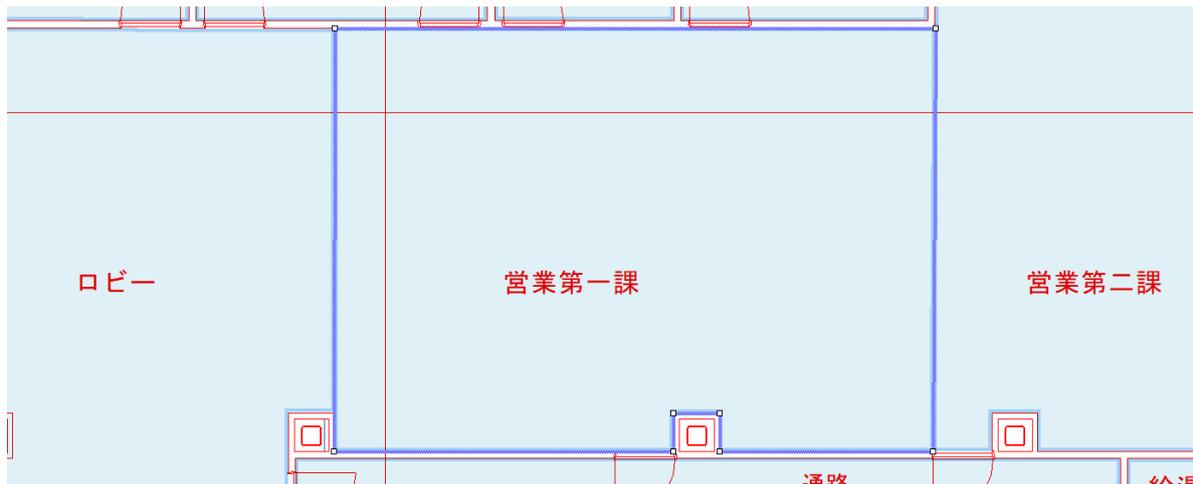


図 3-4 ヘリオスでの部屋面積、周長の計測

図 3-4 は、ヘリオスでの部屋面積、周長の計測の例である。ヘリオスでは、PDF 図面を下図にして、部屋形状をトレースすることで、部屋面積や周長を計測することができる。

The screenshot shows the software interface for room calculation. The top part displays room information for '営業第一課' (Sales Department 1) with room number 1190. Below this is a table of room components with their respective units and quantities. The bottom part shows a summary table of calculated values.

室No	階	仕上表	室名称	サブ名称
1190	2	1190	営業第一課	

部位	ユニットNo	単位	使用数量 (Unit)	ユニット数量	第1層 細目名称	摘要名称
G1. 床	床 タイル+ベット+OA	2.m2	61.46	61.46	タイル+ベットOA+コフ	
G2. 幅木	幅木 ソフト巾木H60	1.m	33.14	19.88	ソフト巾木H60	
G3. 壁	壁 ビニルクロス	2.m2	85.17	51.09	ビニルクロス	
G4. 天井	天井 DR9+GBR9	2.m2	61.46	61.46	DR9GBR9	
G5. 廻縁	他 -	1.m	33.14	33.14		

面積	(A)	61.463	61.46
天井高さ	(H)	2.570	2.57
幅木高さ	(HA)		
フトコロH	(FH)		

図 3-5 ヘリオスでの仕上情報や、天井高さの設定 および 数量算出結果確認 の例

図 3-5 は、ヘリオスでの仕上情報や、天井高さの設定 および 数量算出結果確認の例である。

内部仕上表をもとに、設定（緑枠内）した仕上情報や天井高さに対し、計測した部屋面積や周長を掛け合わせることで、内装仕上数量が算出できる（赤枠内）。

③【BIM 積算連携の算出方法について】

一方、COST-CLIP で概算数量算出するには、Excel 仕上表と BIM モデルを用意し、オプション設定（図 3-6 積算オプション・明細オプション）した後に実行ボタンをクリックするだけである。単価を付与する場合は、Excel 単価表を用意しオプション設定をした後、実行ボタンをクリックする。



図 3-6 COST-CLIP のコマンド。矢印の手順で左から作業を進める。

従来手法と BIM 積算連携のフローイメージは以下の通りである。

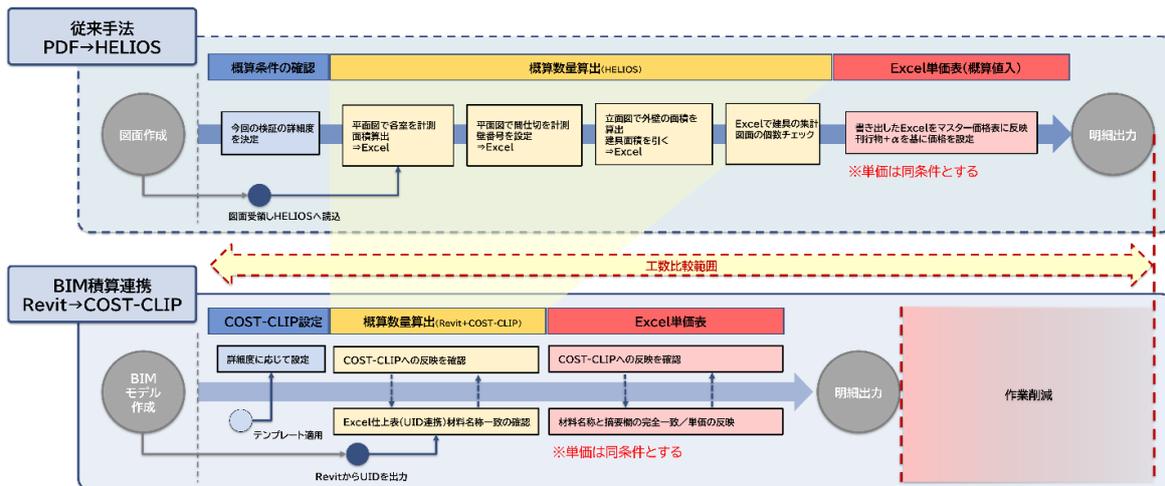


図 3-7 BIM 積算連携のフロー比較図

それぞれの手法を比較した際、「概算条件の整理」や「単価表の準備」の工程はほぼ同条件であり差は小さいが、「数量算出」の工程で BIM の情報を用いることで、大きく削減できると仮定した。

④【Project S における正確性の検証について】

Project T で検証できなかった「カーテンウォールで作図された建具の算出」に着目する。Revit の場合、カーテンウォールは壁カテゴリとして定義されるため、建具（ドア、窓カテゴリ）の算出とどのような違いがあるか検証を行った。

3.3. 課題分析等の結果（新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化）

検証 A-1) BIM モデルにおける内部仕上情報および連携する Excel 単価連携の評価・検証

【正確性の評価】

概算時において十分活用できる精度を確認できた。誤差は生じるものの、許容範囲内であると認識している。以下のような傾向が確認できたことで、補正係数を使用した算出方法も検討できる。

検証結果一覧は以下の通り。

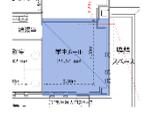
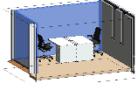
	検証条件		検証結果	
	イメージ	評価	誤差範囲 (総数量比較結果)	考察
部屋 (床壁天井)		○	床・天井 4% 中木・廻り縁 5% 壁 4%	<ul style="list-style-type: none"> 床、天井は、ほぼ近い数量の結果がある中、従来手法より20%程度大きく出た部屋もあった。(仕上材ごとの比較) ⇒従来手法は部屋の内々を取るが、BIMモデルの部屋は躯体芯を捉えるため、外部に面した部屋や防音対策により壁をふかす場合などに誤差が確認された。 一部BIMの方が小さく出たものは、部屋に廊下を含めるか否かの違いによるもの。 ⇒廊下に部屋を設けることで積算可能。部屋境界の捉え方はルール整備が必要。 壁は、部屋の周長に影響する。劇場等の防音仕様の部屋では周長が約1.57倍となり、壁の数量に大きく影響した。
壁 (外壁)		◎	5%	<ul style="list-style-type: none"> 誤差は少なかった。 ⇒外壁は上階まで延ばすのが基本であり、高さ情報が明確なため良い結果となった。
壁 (間仕切)		◎	修正前 5% ↓↓ スラブtoスラブに 修正後 1%	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法より数量が小さい印象。 ⇒モデルの作り込みにより、壁の高さが今回の概算ルールと異なる部分があり、天井止まりからスラブまでの違いで、壁種によって30%程度誤差が出た。(壁種別ごとの比較) ⇒概算のルールに統一することで、5%程度の誤差に納まった。(壁種別ごとの比較)
建具		◎	0%	<ul style="list-style-type: none"> 箇所計上のため誤差はなし。 一部の防音仕様の窓ドアについて、作図のルール整備が必要。 ⇒2重サッシはファミリを分けて作図し、内外壁に配置することで対応可能。 ⇒SD+AW等、種類の異なるものは分けて作図しないと積算不可。 カーテンウォールで作成された建具は、1辺につき1箇所(L型形状の場合はAW1-1,AW1-2と別々に計上される)また、壁カテゴリであるにもかかわらず、建具のパラメーターを使用する必要があった。

図 3-8 検証結果

・「部屋」による概算では、総数量の比較では 5%程度の誤差を確認し、ごく一部の仕上材では 20%程度の誤差を確認、BIM モデルのほうが大きく計上される傾向がみられた。これは、面積の捉え方がそれぞれ異なることが原因である。特に劇場のような防音対策の必要な部屋では、周長が従来手法の約 1.57 倍となり、壁の数量の差異に大きく影響した。

しかし、「部屋」の面積は法規的面積算定に基づいて作図するため、積算時のように内々を取る方法への変更は困難であり、本検証でわかった傾向を、補正係数をかける等の対応により精度の向上を検討、もしくは別の積算用の算定方法の検討が必要と思われる。

また、廊下を部屋に含めるか否か等、設計担当者の判断による事象の差異も確認された。

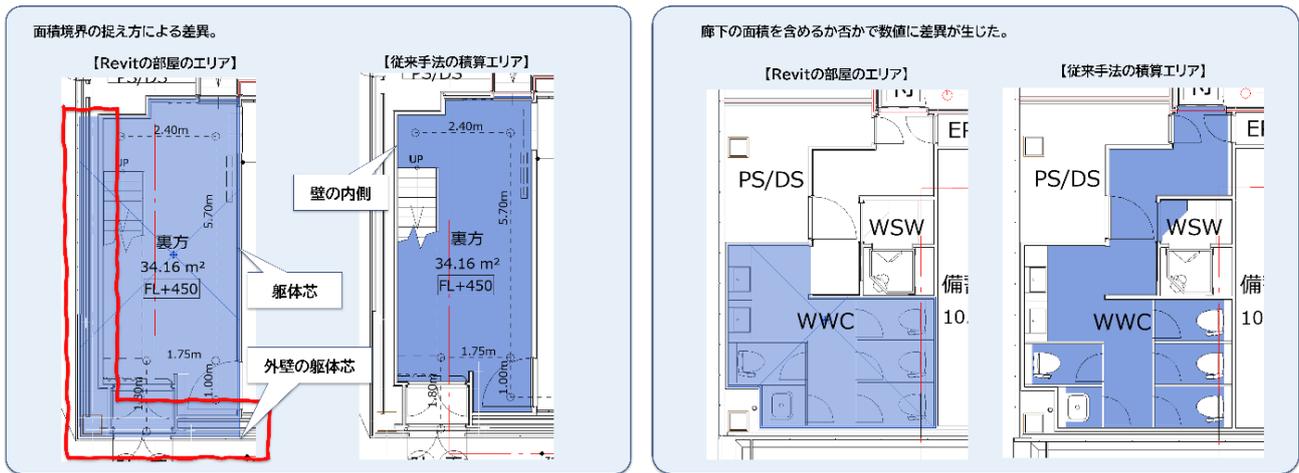


図 3-9 部屋境界の差異

・「壁オブジェクト」では、総数量の比較では 1%程度の誤差を確認し、一部の壁では 10%程度の誤差が確認された。一部、従来手法においてヒューマンエラーによる修正が生じた。「オブジェクト」で計上する場合、「区画の表現」、「開口部の考慮」等、詳細度が上がり複雑化するほど、従来手法よりも精度向上が期待できる。

・壁オブジェクトは、天井高さまでとするかスラブ to スラブとするかで約 30%程度差が出たため、設計概算時する前に、詳細度 (LOD 等) を明確に決め、BIM モデルを作成する必要がある。

例) 全てスラブ to スラブで計上 (段階 1) ⇒ 区画に応じて壁モデルを修正し計上 (段階 2) ⇒ 建具 (開口部) を考慮し計上 (段階 3)

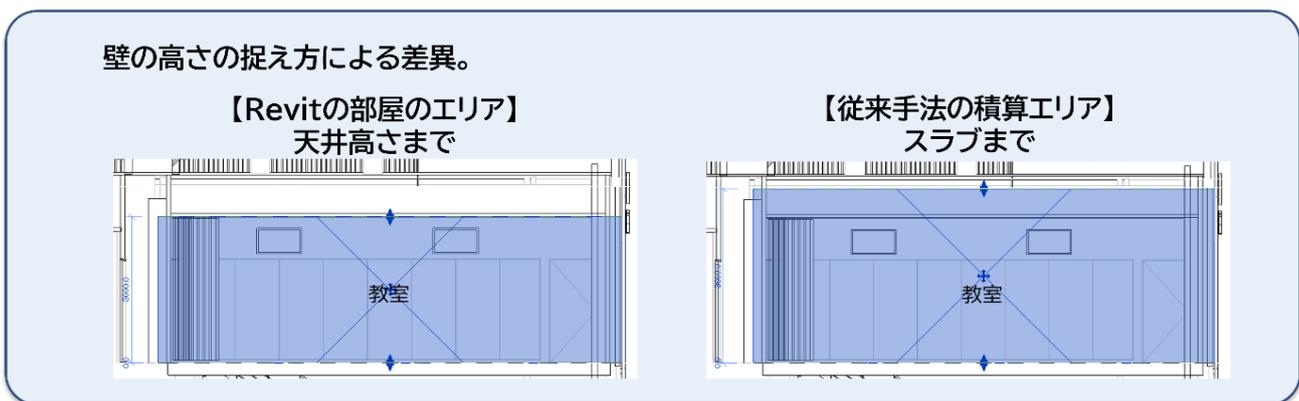
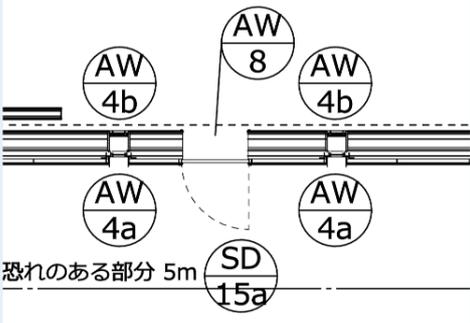


図 3-10 天井高さによる差異

・建具はカ所計上の為、誤差は無かった。作図上の注意点として、防音対策建具のように同位置に建具を2つ設置する場合、モデルを分けて作図する必要がある。

また、Revit の場合は1つの壁に同位置に建具を設置できないため、外壁と内壁で分ける等の対応が必要である。



防音対策の建具について

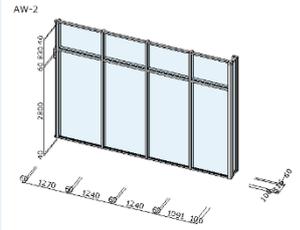
同位置に建具が2つの場合、モデルを分けて作図する必要がある。
一つのモデルで作成していたため、分けて積算することが出来なかった。

図 3-11 建具の作り分け

・建具をカーテンウォール（属性：壁）で作成した場合、L 型のものは2箇所として計上された。そのため、単価は一方に表示させる必要があった。また、「建具名称」において、壁カテゴリにも同様のパラメータを適用する必要があった。

【カーテンウォールの計上方法について】

L型カーテンウォールの例



COST-CLIP明細画面。赤枠の通り2箇所に分けて計上されるため、一方に価格を設定した。

記号	名称	摘要	数量	単位	単価	金額
AW1	アルミFIX連窓	枠見込100 W536×H3770	1.00	ヶ所	3,680,000	3,680,000
AW1	アルミFIX連窓	枠見込100 W7416×H3770	1.00	ヶ所	0	0
AW2	アルミFIX連窓	枠見込100 W529×H3700	1.00	ヶ所	2,610,000	2,610,000
AW2	アルミFIX連窓	枠見込100 W5121×H3770	1.00	ヶ所	0	0
AW3	アルミFIX連窓	枠見込70 W1000×H1500	2.00	ヶ所	5,830,000	11,660,000
AW4	アルミFIX連窓					

図 3-12 カーテンウォールの取り込み方

カーテンウォールは建具か？

壁(属性)を「建具」として計上することで、壁に「建具パラメータ」を設定する必要があった。

企業により異なる場合があるが、従来の2次元図面では、建具表にカーテンウォールを記載し、建具と同様に扱われている。これは、建具と同様に建築基準法や防火規制、断熱性能や耐風圧性能の規定など、様々な法令や規則があるためである。BIM (Revit) では「壁カテゴリ」に属するカーテンウォールの取り扱いについて、引き続き検討していく必要がある。

【その他】

今回、Excel 単価表の不備や、オプション設定の不足により、一部の単価が非連動となったため、修正と実行を繰り返す過程があった。これは従来手法にはない、BIM 手法ならではの内容といえる。また、従来手法との比較により、不具合に気づきやすい状況であった。

実務化するにあたり、従来手法のチェック手法も踏襲しつつ、BIM 手法にも適合する算出結果のチェック体制の構築が課題である。また、精度はモデル作成方法にも起因する為、作成ルールの統一が必要である。

工数削減効果についての検証結果は、「4.1.定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準」に記載する。

3.4. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制 （AI コスト予測に関する評価・検証）

検証 A-2) AI アルゴリズムの PoC については、燈株式会社協力のもと、実施した。

【検証手順】

① 対象部材の選定

過去の鉄骨造の建築工事費を調査分析した結果、建築工事費全体における鉄骨工事費の割合が、約 4 割程度と多くを占めていることがわかった。よって、価格変動による影響の大きい「鉄骨部材（H 型鋼）」を検証対象とした。

② 条件の整理

価格を予測する時期について、有識者へヒアリングを実施。プロジェクトの規模・設計条件等の状況によるが、本検証においては、設計施工契約～鉄骨ロール発注までの期間を、7 か月程度と仮定し、「7 か月後の H 型鋼の単価予測」を条件とした。

想定した設計施工プロジェクトの工事工程

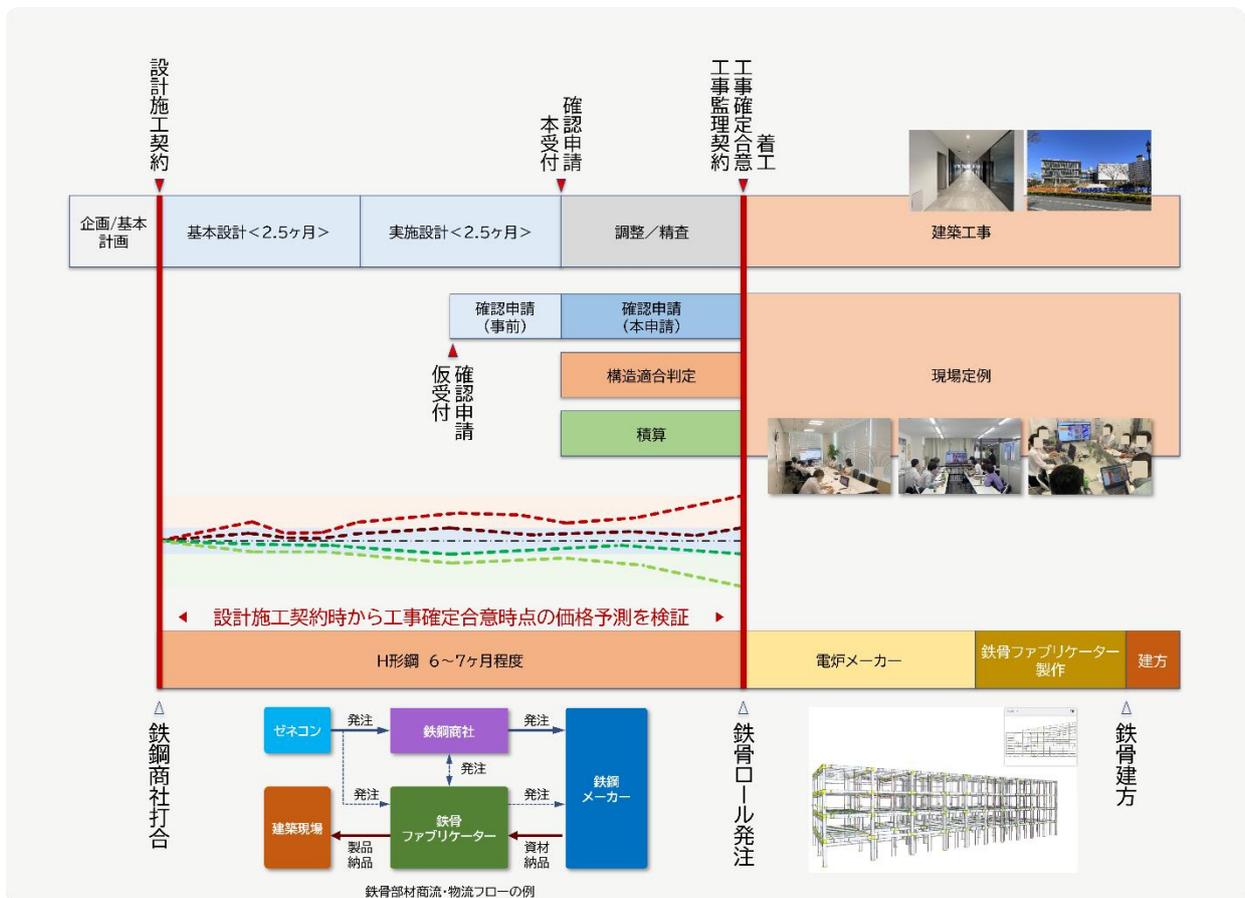


図 3-13

③ 学習データの取得

H 型鋼・鉄スクラップ・経済要因の時系列データを使用した。

- ・ H 型鋼【200×100】の過去単価の時系列データ (1974 年 1 月～) [1]
 - ・ 鉄スクラップ【H2】の過去単価の時系列データ (1974 年 1 月～) [2]
 - ・ 中国の生産者物価指数 (1999 年 1 月～) [3]
 - ・ オーストラリアの生産者物価指数 (1974 年 1 月～) [4]
- ✓ H 型鋼の価格決定メカニズムを考慮し、鉄スクラップの価格を考慮。
 - ✓ 鉄鉱石データの産地としての関連から、中国やオーストラリアの生産者物価指数データも利用。

[1] <https://www.japanmetal.com/memberwel/marketprice/hbeam>

[2] https://www.japanmetal.com/memberwel/marketprice/soba_h2

[3] <https://fred.stlouisfed.org/series/CHNPIEATI01GYM>

[4] <https://fred.stlouisfed.org/series/PIEAMP01AUQ661N>

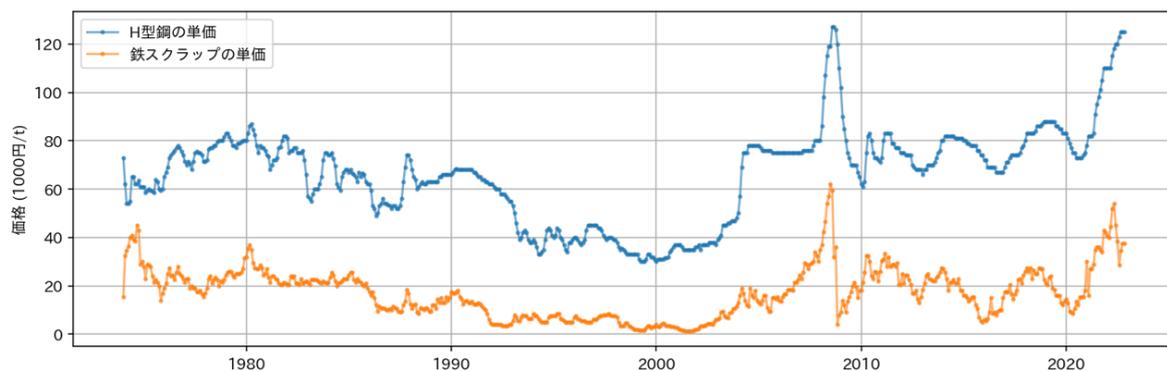


図 3-14 H 型鋼と鉄スクラップの単価推移

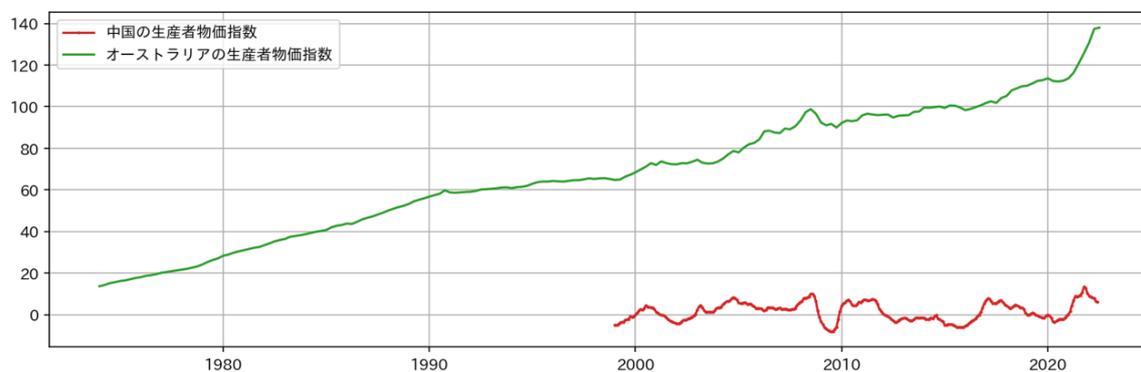
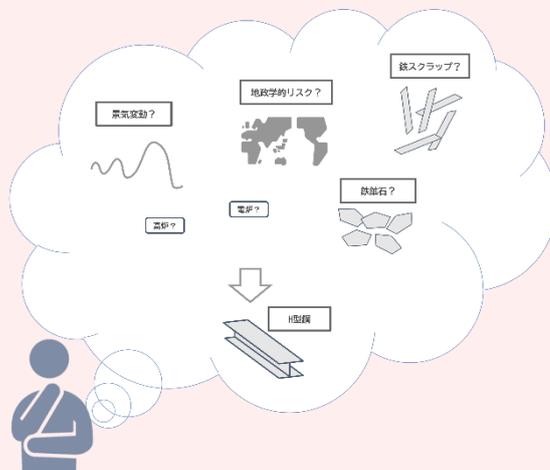


図 3-15 中国とオーストラリアの生産者物価指数の推移

【データ採用の経緯】

AI モデル検証において、学習データは予測に寄与しそうなものから選択する。関係の薄い情報を使用するとかえって精度が落ちてしまうためである。今回は予測元のデータとして以下のような候補を挙げ、データの整備時間と指標の影響のありそうなものを考慮し、4つのデータを採用した。

- H 型鋼単価そのものの過去データ
- 鉄スクラップ価格
- 中国の生産者物価指数
- オーストラリアの生産者物価指数
- (景気先行指数 (CLI)) ※ () は検討中を示す
- (鉄鉱石価格)
- (原料炭価格)



④ AI モデル検証

過去単価データの1年間の動きから7ヶ月後のH型鋼単価を予測した。

予測の入力として次の3パターンを実施。

- ・ H 型鋼単価の過去1年間の時系列データ
- ・ H 型鋼単価と鉄スクラップ単価の過去1年間の時系列データ
- ・ H 型鋼単価と鉄スクラップ単価、中国・オーストラリアの生産者物価指数の過去1年間の時系列データ

- ✓ 契約締結時から鉄骨ロール発注までの期間を想定し7ヶ月後を予測対象と決定。
- ✓ 予測する際に「どの入力予測に寄与していたか？」を計算する機構を持つAIモデルを使用。
- ✓ 予測する際に「どの程度の予測幅が発生し得るか」を計算する機構を持つAIモデルを使用。

現時点が2021/12月としたときに予測を行う場合は次のようなデータの流れとなる。

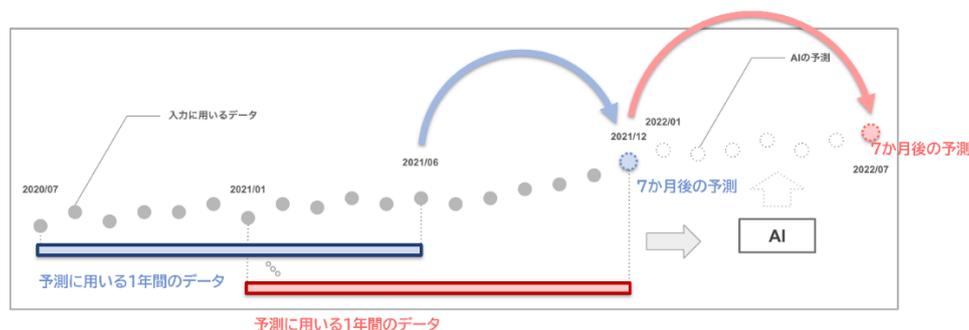


図 3-16 予測イメージ

⑤ 検証結果の分析

作成したAIモデルから見られる精度や傾向を分析する。

コストの可視化についての検証

【前提条件】

使用ソフト：Excel、Power BI、BIM360Docs

【検証内容】

各検証により得られたデータを Power BI を用いてコストの可視化を検証する。

- ✓ 検証 A-1 から作成された概算明細書（Excel 形式）をもとに Power BI を用いてダッシュボード化する。（図 3-17）
- ✓ 検証 A-2 の単価予測を関係者間へ共有する際のダッシュボードを作成する。



図 3-17 データ連携の流れ

3.5. 課題分析等の結果 (AI コスト予測に関する評価・検証)

検証 A-2) AI アルゴリズムの検証および PoC およびコスト可視化による評価・検証

検証結果は以下の通りである。

A) Project T を念頭においた 2021/12 月時点での予測 (2022/07 時点 の価格を予測)として最良で 6%程度の予測誤差が存在。

実際 : 120 (千円/t) に対し、

予測 : 105.8 [12%程度のずれ] (H 型鋼単価のみ)

予測 : 109.9 [9%程度のずれ] (H 型鋼単価 + 鉄スクラップ単価)

予測 : 112.9 [6%程度のずれ] (H 型鋼単価 + 鉄スクラップ単価 + 中国・オーストラリアの生産者物価指数) という予測結果に。

B) H 型鋼 / H 型鋼 + 鉄スクラップ / H 型鋼 + 鉄スクラップ+ 生産者物価指数 の順で精度が高まる。価格決定メカニズムを考慮した方がより精度の高い予測を行うことができると考えられる。



図 3-18 検証結果 A・B

C) 資材価格が安定しているときは資材価格高騰時より予測誤差が小さい。

下図に示す通り、比較的資材価格変動の小さい 2019 年 ~ 2020 年の期間では予測と実測の誤差が資材高騰時よりも低く抑えられていることがわかる。



過去のH型鋼の単価のみを用いたときの7ヶ月後のH型鋼の単価予測。
2018年12月までのデータを用いてAIを学習。上図はすべて予測期間。

図 3-19 検証結果C

D) 前回の資材高騰時データを利用するとより今回の資材高騰時の予測が行いやすい。

リーマンショックに起因する金融危機 (2007~2008) の影響から 2008 年 8 月頃には近年と同じ水準まで資材単価が高騰していた。左図のようにリーマンショック以前 / 以後のデータを学習に使うかに応じて、近年の高騰した資材価格推移の予測可能性が大きく異なることがわかった。このことから、データがより集積されていくこれからの時代により予測が行いやすくなる可能性が示唆される。



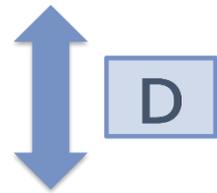
(再掲) H型鋼と鉄スクラップの単価推移。2008年8月頃に資材価格が高騰している。

図 3-20 検証結果D H型鋼と鉄スクラップの資材高騰

前回の資材高騰データを利用せず学習 ×



2007年までのH型鋼の単価と鉄スクラップ単価を学習データとして用いたAIモデルの、近年の資材高騰時の単価予測推移と実際の価格推移。



前回の資材高騰データを用いて学習 ○



2009年までのH型鋼の単価と鉄スクラップ単価を学習データとして用いたAIモデルの、近年の資材高騰時の単価予測推移と実際の価格推移。

予測値の大幅な改善が確認できる。

図 3-21 検証結果D

【AI モデル検証の過程】

初期の AI モデルから、予測のリスクを把握できるように予測幅（下図参照）を追加した。

2021 年以降も実際の価格（図 3-22 青線）は高騰しているのに対し、AI 予測（図 3-22 赤線）は下降する傾向を確認し、以下の 2 つの観点から検証を実施した。

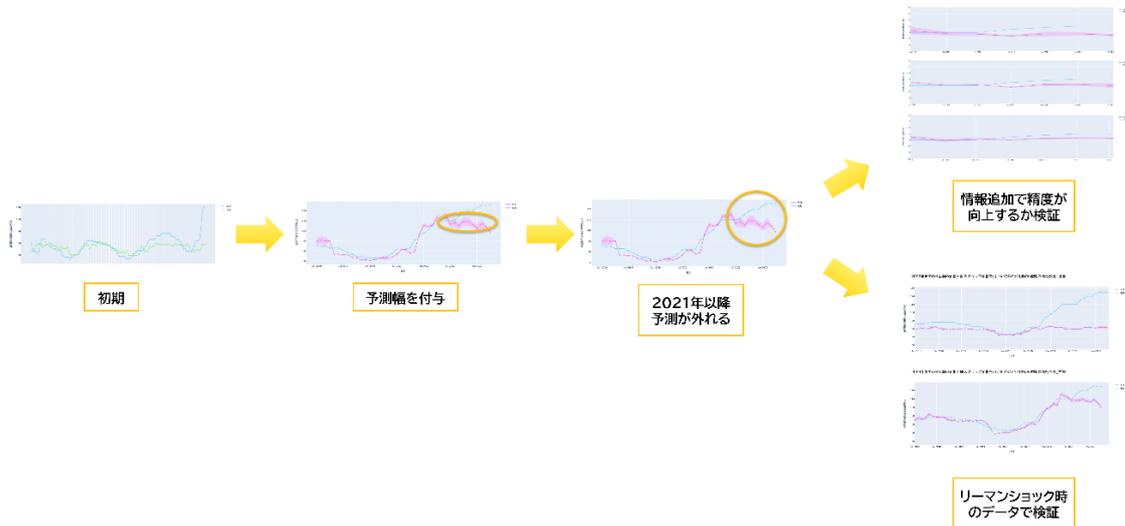


図 3-22 AI モデル検証の過程

【単価予測に使用するデータ量について】

本検証で取得した学習データは過去約 30 年間分である。予測に使用する直近のデータは、約 30 年間分のデータに対し、おおかたの周期性がわかる範囲で 1 年間分を使用することとした。

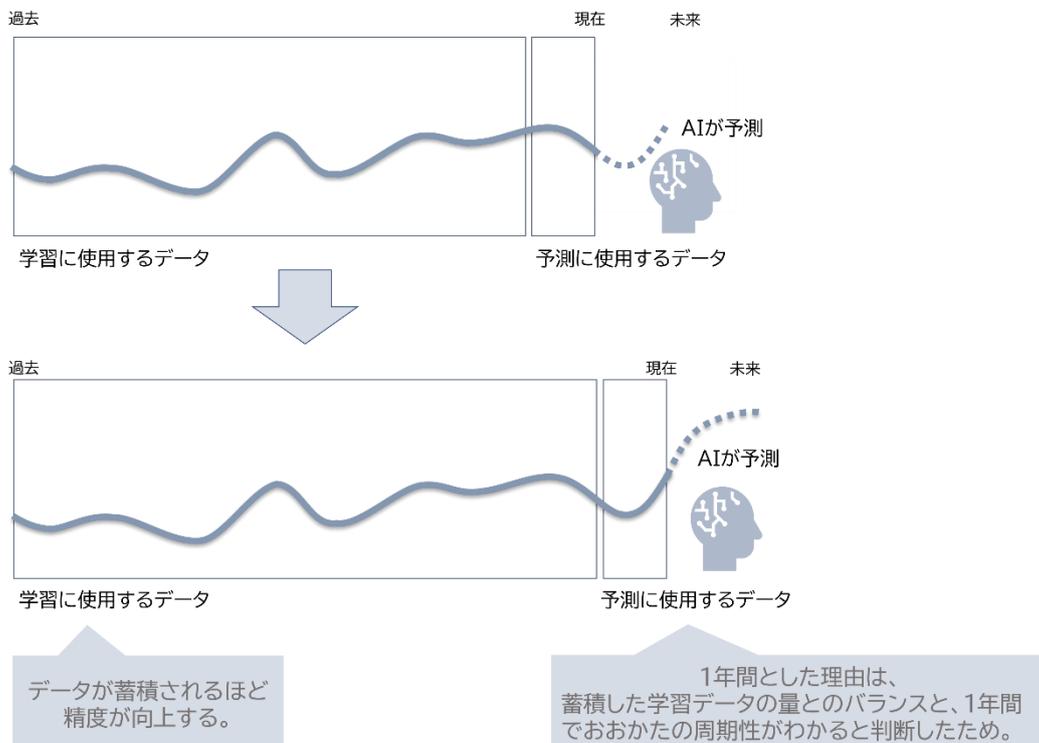


図 3-23 単価予測に使用するデータ量

【コストの可視化】

検証した AI モデルを可視化し関係者へ共有するため、単価予測の結果と関連情報を一目で把握できるダッシュボードを作成した。

予測結果・実測結果・予測根拠に用いたデータ・関連データなどを俯瞰できるダッシュボードを作成することで、資材価格にまつわる契約時の透明性も高めることが可能となった。

例えば Web 上で単価が自動的に更新されるような仕組みを構築できれば、今まで積算や購買の担当者が主に意識していた単価の動向が、発注者を含めた関係者へリアルタイムかつわかりやすく共有される。コスト意識を高めるとともに、価格高騰等によるプロジェクト遂行のリスクを早期に協議することで、発注者にとっても受注者にとってもメリットへとつながる。

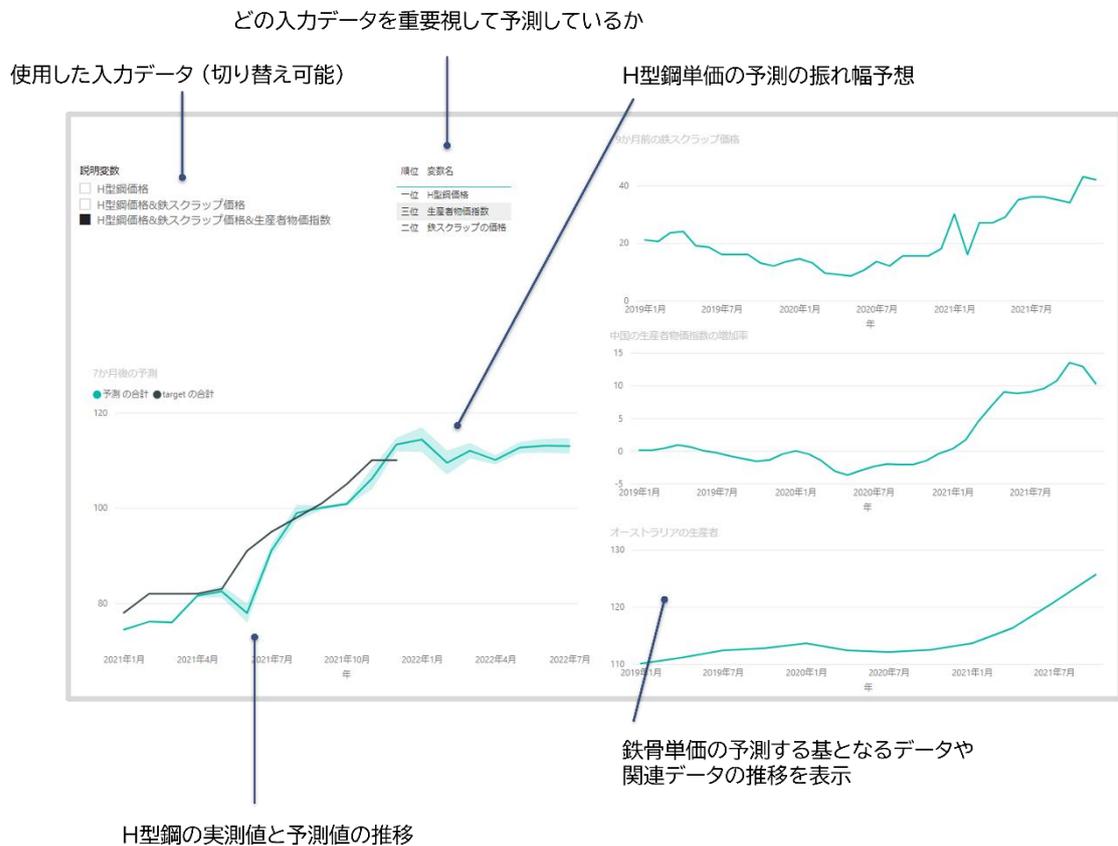


図 3-24 ダッシュボードイメージ

【Excel と Power BI による BIM コストの可視化】

検証 A-1 で作成した、室名称ごとに集計した明細書から、「室毎の㎡当たりのコスト」と「室毎のコストの合計」をグラフ化した。



図 3-25 部屋のコスト可視化

算出した Excel 形式の明細書を Power BI で活用するには、1 列に 1 情報であることが望ましく、1 列に上下 2 段で別の情報が入っている場合はそのままでは活用が難しかった。COST-CLIP では明細書の書式が複数あるが、その他の書式においては 1 列 2 段の書式であったため、活用は今後の取り組み事項としたい。

明細書の他に Excel に書き出せるものに「総括表」がある。これは、COST-CLIP で算出した全てのデータが一覧になっており、この条件に適していた。例として、各仕上材料の面積の合計と金額の合計を比較するグラフを作成した。

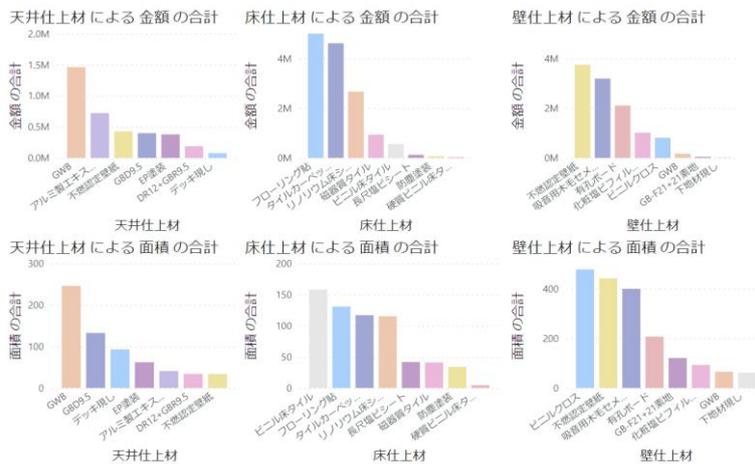


図 3-26 材料ごとのグラフ化

価格や面積などの一部で Excel 計算式が使用されており、Power BI に読み込む際にテキストデータに修正が必要であったが、部材ごとにフィルタをかけることで、各材料のグラフ化が可能となる。

本検証では知りたい情報をいかに明確に表現するかが重要であり、その点の追求が不十分であった。アンケート調査にあった通り、類似用途、規模の案件を比較する等、関係者の要望をより把握したうえでさらなる検証を重ねていきたい。

4. ★BIM の活用による生産性向上、建築物・データの価値向上や様々なサービスの創出等を通じたメリットの検証等について

本検証は IPD(Integrated Project Delivery)の実現が大きなテーマである。IPD(Integrated Project Delivery)は、建築プロジェクトの管理方法の 1 つで、設計者、建築業者、オーナー、およびその他のプロジェクト関係者が、プロジェクトを協力して設計、建設、および管理する方法とされている。この方法では、プロジェクトの成果物の品質、スケジュール、予算、および顧客満足度を最適化することを目的とする。

IPD は、プロジェクトの各ステージでの各関係者の責任とリスクを共有することにより、より協力的な環境を作り出し、情報共有を改善することができる。これにより、チーム全体が同じ目標に向かって協力し、プロジェクトの成果物をより効率的に実現することができる。

例えば、従来積算担当者や購買担当者だけが確認していた情報やデータが、普段発注業務にかかわらない人、発注者を含むプロジェクト関係者にわかりやすく共有できる。このような開かれた状況になれば、関係者間の意思決定を補助することが出来る。また、単価が変動するリスクを共有することは、発注者にとっても受注者にとってもメリットになると考える。

ここでは、全く新しい手法によるコスト算出の効率化と、想定されるメリットが各関係者にとって魅力的に感じるものかを検証した。

4.1. 定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準

検証 A) 目標：コスト算出結果取得までの時間または日数：50%削減

目標：アンケート調査：満足度 70%

4.2. 効果検証等の進め方（検証の前提条件等を含む）、実施方法・体制

検証 A-1) 概算コスト算出までの工数

目標：コスト算出結果取得までの時間または日数：50%削減

- ✓ Project S を対象に、従来手法と BIM 積算連携で明細書作成までにかかる時間を項目ごとに集計し比較する。
- ✓ 従来手法で使用する図面（一般図、内部仕上表、建具表、建具キープラン等）は BIM モデルから作成したものを使用し、単価は同一条件とする。
- ✓ 図渡し以降の工数比較とし、図面の作図作業時間は含まれない。

- ✓ 結果は、本検証の対象物件の形状や規模、検証対象部位、その他条件を前提としたものであり、単価設定は Project T で作成したものを活用しているため、BIM 手法、従来手法に関わらず時間短縮されているものである。

★顧客満足度調査

目標：アンケート調査：満足度 70%

本検証を通じて、BIM による設計概算において以下のようなメリットが想定される。

- ・ 明細書作成の自動化によるヒューマンエラーが減少する。
- ・ 設計しながらコスト管理が可能。
- ・ プラン変更による数量変更に短時間で対応できる。
- ・ 仕上のグレード変更した際の比較が容易。
- ・ 打合せ時に活用することで、迅速な意思決定に寄与する。
- ・ 業務効率化が図れる。

これらがそれぞれの立場において魅力的に感じるものかどうか、アンケート調査を実施した。

【実施方法】

Web 形式のアンケートを作成する。事業内容を説明の上、どの程度関心があるか、どこにメリットを感じるか等を調査する。

【対象者】

発注者・設計者(工事監理者)・積算担当者・営業担当者・他

4.3. 効果 検証 等 の結果

検証 A-1) 概算コスト算出までの工数

目標：コスト算出結果取得までの時間または日数：50%削減

集計の結果、全体で約 51%、削減効果が高いと予想した「概算数量算出」の工程で約 70%削減できたことがわかった。BIM 積算連携では、実行ボタンをクリックするだけであるが、実際は価格が適切に入らない等のエラー対応や仕上表の修正作業が発生する。Excel 仕上表や単価表の調整は人の手で行うものであり、作業工程として含めている。より使いやすい単価表の整備等、検証を積み重ねることで、より削減効果が期待できると考える。

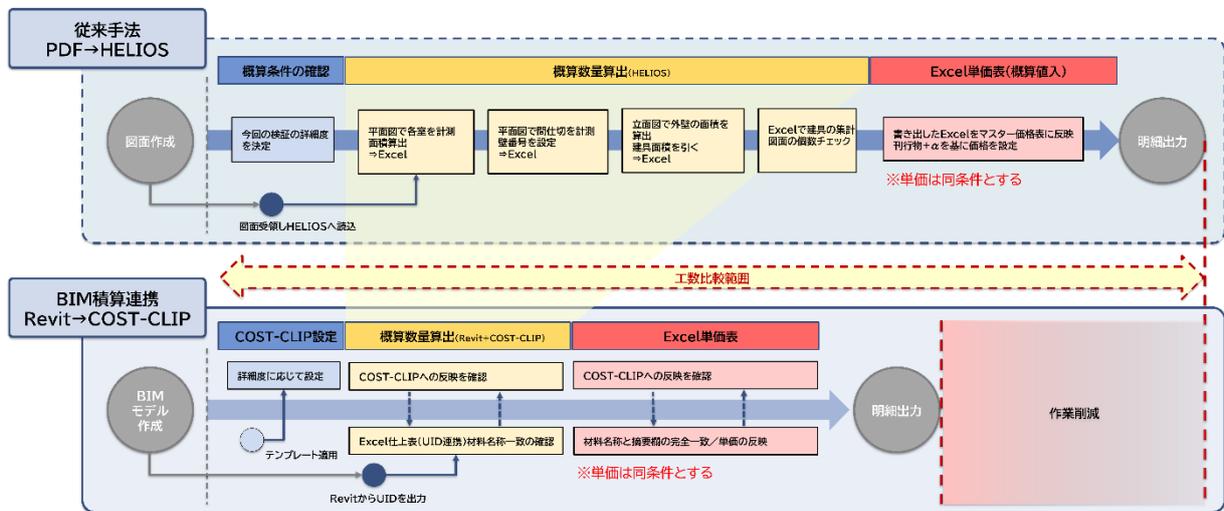


図 4-1 作業工程と工数削減のイメージ(再掲)

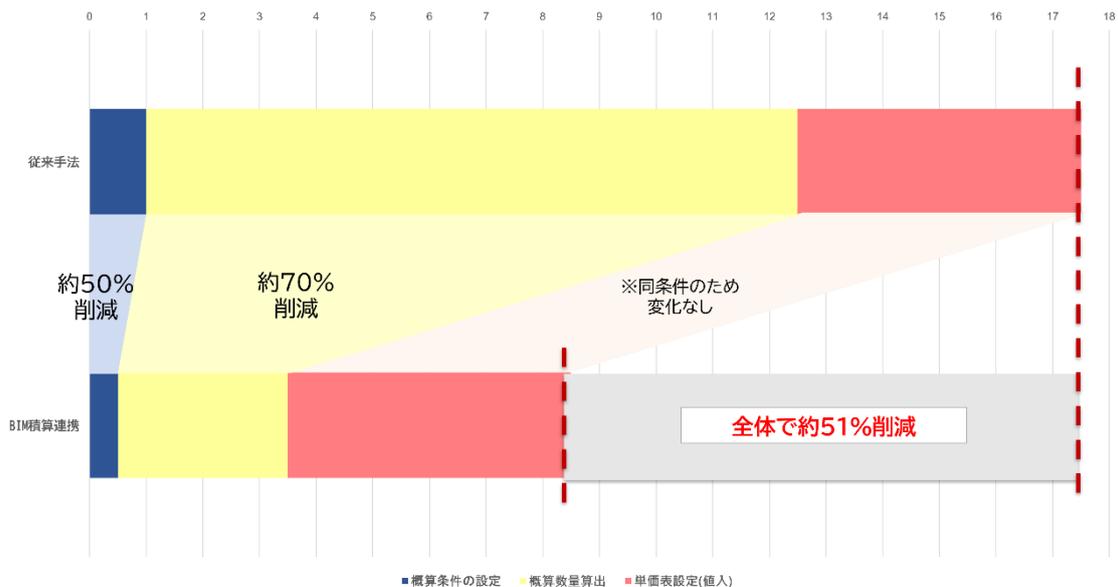


図 4-2 検証結果 作業時間比較

【BIM 積算連携でさらなる効率化を期待】

従来手法と比較し、BIM 積算連携により、概算数量算出の工数を大きく削減できることが明らかとなった。本検証では、S1 段階において、初期プラン（1 回目）の概算を想定しているが、BIM 積算連携による概算は、プラン変更や VE 提案（2 回目以降）で、より一層、工数の削減効果を得られる。従来手法は、2 回目以降も、その度に数量算出し直す必要がある一方で、BIM 積算連携では、担当者の実働が唯一必要な「概算設定」は、1 回目の設定をそのまま活用できるため、「概算数量算出」の時間は、ほとんど必要なくなるためである。

よって、BIM 概算連携により、設計担当者はより自由にプランを検討し、発注者からのコストシミュレーションの要望に迅速に対応でき、より満足度の高い設計プランとなることが期待される。

【従来手法でプラン変更（2 回目以降の概算）すると発生する作業】

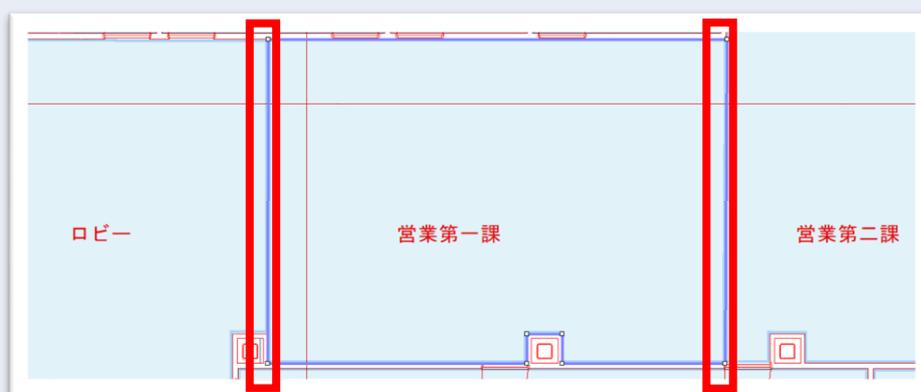


図 4-3 (再掲) ヘリオスでの部屋面積、周長の計測（1回目）

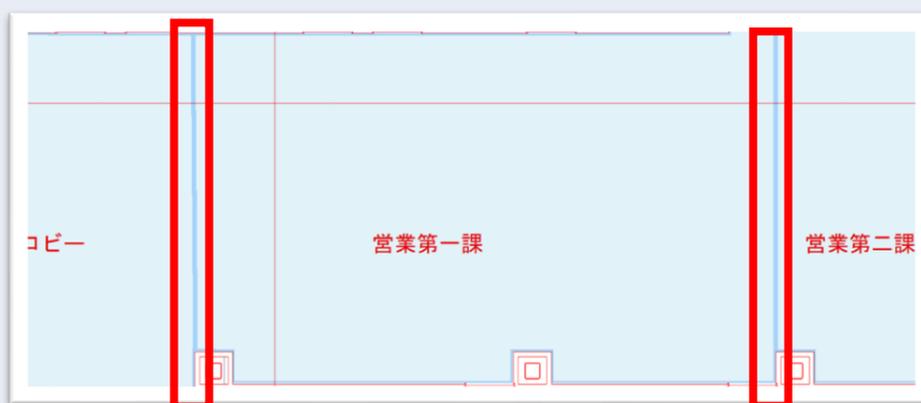


図 4-4 ヘリオスでの部屋面積、周長の計測（2回目）

上図は、変更案のヘリオスでの部屋面積、周長の計測の例である。例えば、営業第一課の部屋を大きくした場合、その隣接する部屋（ロビー、営業第二課）とともに、改めて計測し直す必要がある。また、赤枠内が、軽量鉄骨壁下地などの間仕切壁である場合、間仕切壁の数量も変更する必要がある。

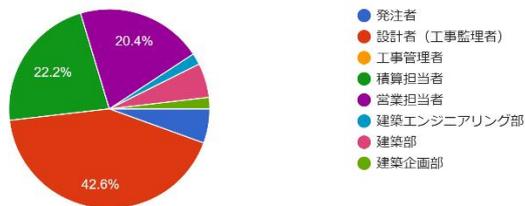
★顧客満足度調査

目標：アンケート調査：満足度 70%

回答者の割合は以下の通りである。

発注者 3 名・設計者（工事監理者） 23 名・積算担当者 12 名・営業担当者 11 名・その他 5 名
合計 54 名

あなたの立場で最も近いものを選択してください。
54 件の回答

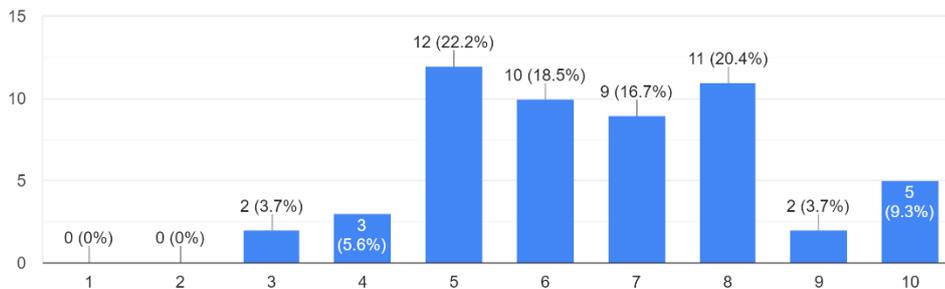


総じて、今事業の取り組みについて魅力的に感じていると回答した人の割合は、検証 A-1 で約 88%と高く、検証 A-2 では AI の価格予測が約 64%、コストのダッシュボード化では約 58%と目標数値をやや下回る結果となった。理由としては、実現すれば魅力的だが信憑性が不明な点や、ダッシュボード化したコストに対しての利便性が十分に伝わらなかったことが挙げられる。

発注者からは肯定的な意見が多く、BIM によるコスト管理について非常に期待していることがわかった。設計変更でのコストの変化、VE・CD によるコストの変化に対応し、予算に合った設計内容への調整がしやすくなり、品質向上に寄与する等の意見があった。

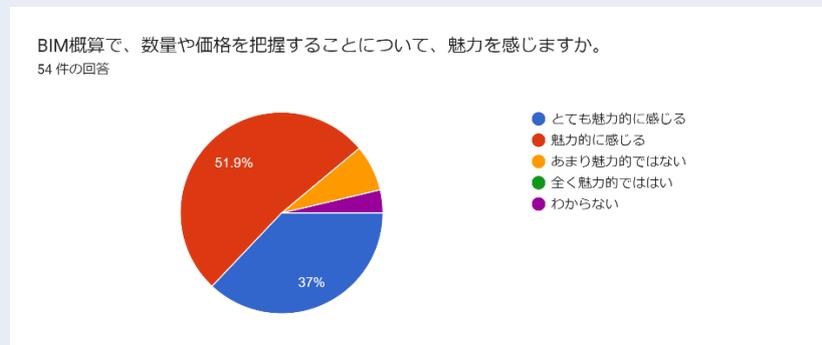
また、今回掲げたコスト管理のワークフローの実現化について、本当に進めたい人（9～10）は約 10%で、5～8 を選択した人が多数を占めた。上記に上げた精度の課題や具体的な活用方法等の発案に取り組むことで、5～8 を選択した人を向上させていきたい。

「AIによる価格予測結果をBIM概算の単価表に反...あなたは同僚や友人にお勧めしたいと思いますか。」
54 件の回答



アンケート結果の詳細は、以下の通りである。

BIM 積算連携において約 88%の人が「とても魅力的に感じる」または「魅力的に感じる」と回答した。



魅力的に感じる理由は、「人員削減、時間短縮となり業務効率化が図れる。」というものが多く、その他には、

発注者「設計変更により形状や材料が変わった場合、それがすぐに数量や価格に反映されるので、建築費の予算オーバーを避けることができる。」

発注者「価格が即座に把握できるのは、判断が早くなる。」

設計者「設計と同時並行でコスト管理ができれば、仕様決定時の判断の助けとなる。」

設計者「事業の実現性を早期に予想できる。工事費の調整に早期に着手できる。」

設計者「大まかな価格が設計時にわかるため、早期に VE を考える材料になる。」

積算担当者「見積りに限らず、他部署の方も金額を把握できるのはメリットだと感じる。」

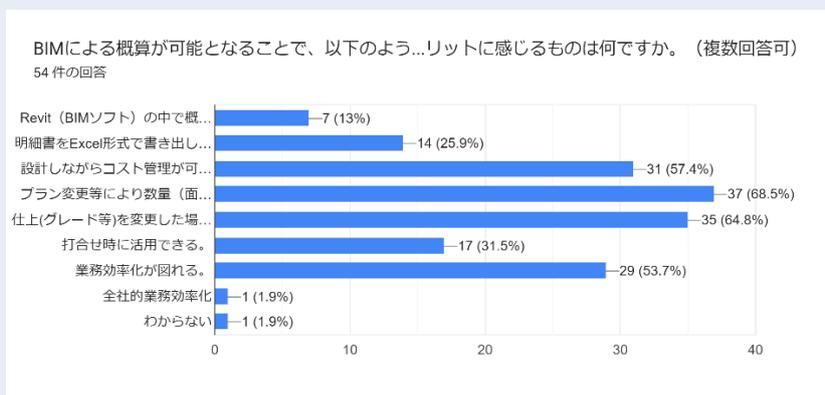
積算担当者「デザインするうえでコスト把握は重要。本当に必要な仕様か目に見えることでコスト意識が働く。」

積算担当者「些細な変更で再度見積もりを取るのは協会の負担も増えるため、実現可能となればプラスに働くと思う。」

営業担当者「顧客のコストに関する要望に、迅速な対応に期待できる。」

その他「BIM データの修正で変更箇所の増減が容易に把握でき、データ修正の前後を画面で確認することで視覚的に把握しやすく、事業主にも説明、理解をしてもらいやすくなる」と考える。」等の意見があった。

BIM 積算連携のメリットについて、魅力を感じる項目は以下の通りとなった。



※上から

- ✓ Revit (BIM ソフト) の中で概算でき、他のソフトを起動する必要がない。
- ✓ 明細書を Excel 形式で書き出し可能なため、ヒューマンエラーが減少する。
- ✓ 設計しながらコスト管理が可能。
- ✓ プラン変更等により数量(面積)が変更された時に短時間でコストの変化を把握できる。
- ✓ 仕上(グレード等)を変更した場合に、短時間でコストの変化を把握できる。
- ✓ 打合せ時に活用できる。
- ✓ 業務効率化が図れる。
- ✓ その他

また、魅力的に感じない、わからないと回答した理由は、

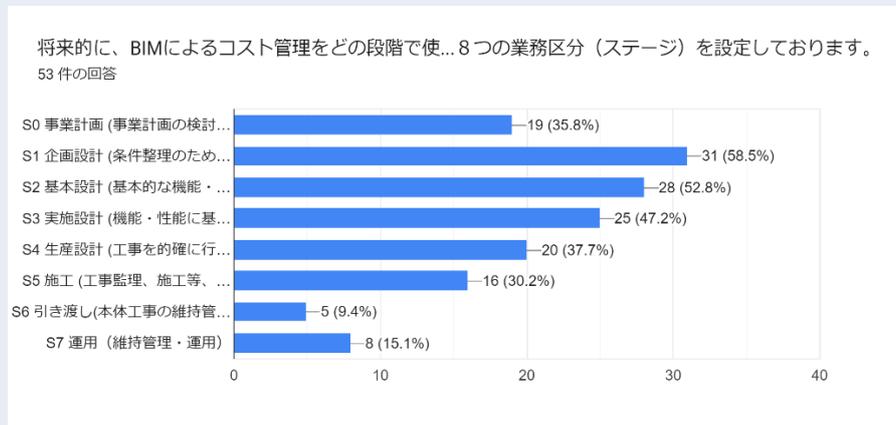
設計者「BIM モデル作成時の正確性が求められるから」

設計者「手間と成果の関係がわからないから」

設計者「建物の費用だけでなく仮設などの建設コストも必要であるから。これだけ把握しても、客先へ提示は出来ない。」

等の意見があった。

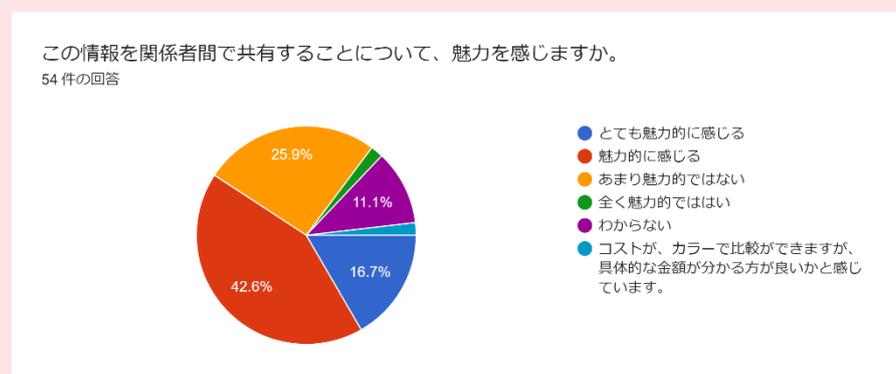
将来的に、BIMによるコスト管理をどの段階で使用したいかの問いに対して、以下の通りとなった。概算設計時に関心が多いことがわかった。また、発注者の意見は、S3～S6の段階で役立てたいとのことだった。実施設計～着工段階でのコストに対する見通しを持ち、外部環境等によるコスト高騰による事業への影響を最小限に抑えたいと推察される。



その他の要望等

- ・ 範囲を設定してその部分の金額をすぐ出せるようにしたい。
- ・ 構造モデル、仕上げモデルの部材符号の統合、材料・仕上げ材データ等の必要なデータを BIM モデルに入力するような組織体制の構築をしてもらいたい。
- ・ 全体数量だけでなく、範囲別の数量が簡単にできるといい。
- ・ 内装下地の数量等の精度が上げられると良い。

コストのダッシュボード化について、約 58%の人が「とても魅力的に感じる」または「魅力的に感じる」と回答した。



魅力的に感じる理由は、「コスト検証に活用できる」との意見の他、

発注者「施主の視点で、建物のどの部分にコストが偏っているのが把握できるので、VE・CD 提案を受ける際の補助資料として活用できそうに思えます。」

設計者「コストについて関係者間での情報共有がしやすい。定例時に協議できる。」

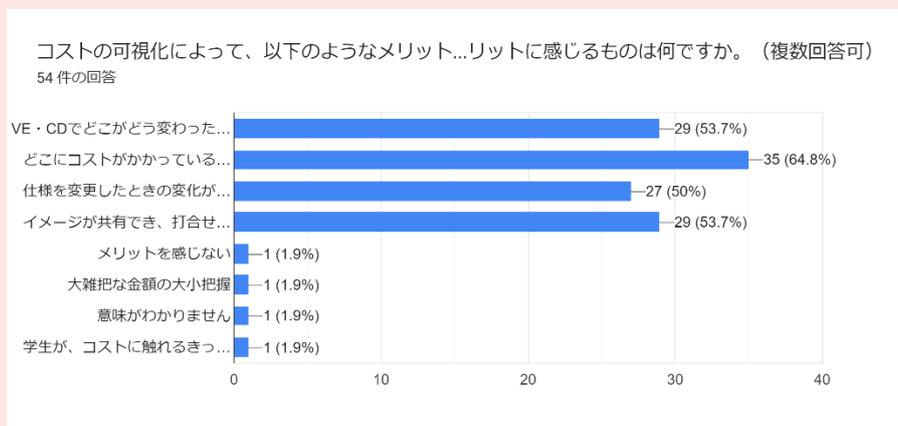
設計者「専門知識がない人に対し、言葉で説明するよりも理解しやすい。」

積算担当者「どこに予算比重があるか直ぐに理解でき、一目で全員が周知できる所がよい。」

積算担当者「コスト意識の向上につながる。」

営業担当者「各工種の比率が分かりやすく説得力があるように見える。建物用途が同様であれば比率は同様になると思われるため、土地購入前の試算算出の参考になると思われる。」

コストの可視化によるメリットについて、魅力を感じる項目は以下の通りとなった。



※上から

- ✓ VE・CD でどこがどう変わったのか把握しやすい。
- ✓ どこにコストがかかっているか等、現状を把握しやすい。
- ✓ 仕様を変更したときの変化がわかりやすい。
- ✓ イメージが共有でき、打合せしやすくなる。
- ✓ その他

また、魅力的に感じない、わからないと回答した理由は、

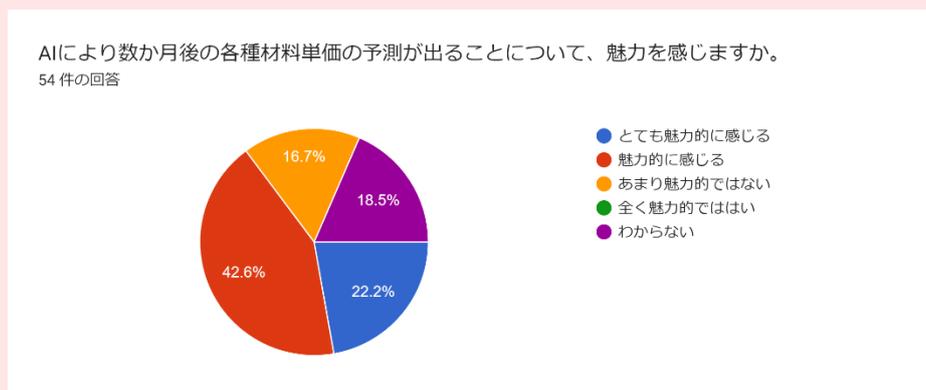
設計者「同規模、同用途の建物に場合分けして比較した際のコストの割合を可視化したのであれば共有する価値があると思う。」

積算担当者「むしろ認識しづらい。」

営業担当者「活用方法を理解していないため判断ができない。」

等の意見があった。

AI による価格予測について、約 64%の人が「とても魅力的に感じる」または「魅力的に感じる」と回答した。



魅力的に感じる理由は、

発注者「設計中の継続的なコスト管理と予算に合った設計内容への調整がしやすくなり、精度の高い概算を算出できると思います。また、着工後は外部環境による大幅な予算オーバーの抑制に寄与すると思います。」

設計者「近年価格変動が大きいため。」

設計者「資材発注時期の目安になる。」

積算担当者「市場動向においては AI だけでは不安があるが、物価上昇があると思われるときは多く予算を確保すべきなので、事業をやるかやらないかの有無や事業をいつからやるかなど非常に役立つと思う。」

営業担当者「先が読めない単価を目安だが把握することができる為、今後の物昇リスクを予見できる。」

その他「魅力を感じているが、コスト予測は極めて多数の要素の影響を受けるため、判断をミスリードするリスクがある。」

等の意見があった。

また、魅力的に感じない、わからないと回答した理由は、「どの程度の正確性があるのか分からない、リスクを感じる」等が最も多く、その他の意見は、

積算担当者「外部的要因で資材単価は大きく変わるので、仮に運用できたとしても、信じ切るのは非常に危険。我々が直に把握するよりも、専門家(協力会社)に聞いて情報収集を行うべき。」

積算担当者「鉄骨の価格、スクラップの価格については国内だけでなく海外の市況状況の影響も受ける為、信憑性について疑問を若干感じます。」

営業担当者「予測が出来る事はとても魅力的ではあるが、あくまでも予測のため、市況の情報がどれだけ反映できるか不明で発注者と話は出来ないと思われる。現状を正確に把握し反映する事が優先と思われる。」

等の意見があった。

5. 結果から導き出される、より発展的に BIM を活用するための今後の課題

検証 A-1) 実用化に向けた課題。

単価の管理について

プロジェクトごとに単価表をコピーして使用するのでは、単価の最新の状態を管理するのが困難になる。しかし、どのプロジェクトにも対応しうる単価表を作成したところで、あるプロジェクトでは不要な膨大な情報に、使い勝手が悪くなる懸念がある。例えば Excel 単価シートをクラウド上で共有するなど、管理を1つにまとめることが理想であるが、詳細な方法については、さらに検証が必要である。

算出結果のチェック体制について

現在は、従来通りの「全体から詳細を見て、不具合に気づく」という、人による経験値によるチェックが必要である。将来的に、自動でチェックできるシステム、例えば AI を活用したシステム開発など、自動でエラーを見つけることで、より効率的な運用が可能となる。

検証 A-2) 精度の向上が期待される。

学習データ品質の向上と単価に影響を及ぼす要因の適切な選択

AI による単価予測には、大量の高品質なデータを必要とする。しかし、建設業界ではデータが分散しており、品質もまちまちであるため、データ収集に課題がある。さらに、使用したデータが不十分である場合は、正確な予測が難しいことがある。本検証でもあったように、過去に例のない価格高騰が起きた場合などである。また、建設市場は変動が激しい業界の1つであり、単価に影響を与える多数の要因が存在する。これらの要因を適切に分析し、必要なデータを選択するには専門知識や経験が必要である。

単価予測の自動更新

本検証で作成したダッシュボードについて、月ごとの予測を更新していくには人の手が必要である。技術的に自動化可能であっても、積算部門やデータ提供元との連携が不可欠であり、今後の課題としている。

5.1. 事業者として今後さらに検討・解決すべき課題

検証 A-1) S1 段階での総合的な概算の検討

今回は、対象部位を限定して検証を実施したが、アンケートのコメントの一つに、「建物の費用だけではなく、仮設などの建設コストも必要である。(以下略)」とあったように、今後は、直接仮設や構造体なども含め、S1 段階での総合的な概算を検討すべきと考えている。

※2023 年 2 月にリリースされた、COST-CLIP の新バージョン (V2.0) では、構造計算数量の取込み対応や、全ての BIM オブジェクトの数量・コスト算出に対応しており、プロジェクトの設計段階に応じて、活用可能なデータを選択して、概算可能となっている。

検証 A-2) 学習データ品質の向上と価格を左右する指数項目のさらなる検討

鉄骨だけでなくコンクリート、ALC などの主要材料に視野を広げていき、建築コスト全体の予測が出来ればより精度の高いプロジェクト推進が出来、発注者および受注者の満足度や利益向上につながる事が想定される。

5.2. 建築 BIM 推進会議や関係部会・関係団体等に検討してほしい課題

検証 A-1) 建築 BIM 推進会議の部会 4

一般的な材料名称の統一や、コード化の早期実現に期待しています。

BIM を活用したプロジェクトでは様々な関係者がデータを共有することになりますが、作成基準は各社ごと異なっております。材料名称の場合も同様で、推奨されるガイドラインのようなものが整備されることで、日本全体の BIM の普及に寄与すると考えています。

5.3. 今後のガイドラインの見直しに向けた具体的な提言

ガイドライン P.44 3-2-1.円滑かつ迅速な協働を実現するために

本検証の満足度調査(アンケート形式)の結果より、コスト管理における発注者の注目度が高かったことを踏まえ、IPD(Integrated Project Delivery)の重要性や、発注者とどの段階で取り組むと良いか等、具体的な基準を明記していただければと思います。

5.4. ★IPD における発注者と受注者の役割とは

IPD の重要なポイントとして、以下のようなものが挙げられる。



1. 目的やビジョンの共有

プロジェクトの目的やビジョンを明確にし、共有する。プロジェクト関係者は、プロジェクトの成功を支援するために、発注者と協力し、一体となってプロジェクト達成に向けて取り組む。

2. チームの組織とコミュニケーション

プロジェクトの進行に必要なメンバーを選定し、チームを組織する。チーム内の役割分担は明確にし、コミュニケーションがスムーズに行われるように努める。

3. プロジェクトの進行管理

プロジェクトの進捗状況を把握し、必要に応じて進行を調整する。また、問題が発生した場合は、プロジェクト関係者で協力して解決策を見出すことが必要である。進捗状況や問題点、改善点などは定期的に報告し、全体の進捗を管理する。

4. プロジェクトの目標と品質の管理

プロジェクトの目標と品質に対する期待を明確にし、設計段階で協働的に取り組む。また、プロジェクトが品質基準を満たしているかどうかを把握し、必要に応じて品質管理の手順を調整することが必要である。プロジェクト関係者は、お互いの知識や技術を活かして、最適な設計を行い、互いの期待を満たすよう努める。また、プロジェクトの成果物を共有し、お互いの進捗状況を確認する。

5. 予算とリスク管理

プロジェクトの予算とリスクを管理し、プロジェクトが予算内で実施され、リスクが最小限に抑えられるようにする。

それぞれの具体的な役割分担は、以下のように想定される。

	発注者	受注者
1. 目的やビジョンの共有	<ul style="list-style-type: none"> ■ 目的やビジョンを設定 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 発注者と協力してプロジェクトのビジョンを明確化
2. チームの組織とコミュニケーション	<ul style="list-style-type: none"> ■ プロジェクト関係者（企業）を選定 ■ プロジェクトに必要な情報を提供 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 発注者と協力して各メンバーの役割分担を明確化 ■ 設計や建設に必要な知識や技術を提供
3. プロジェクトの進行管理	<ul style="list-style-type: none"> ■ スケジュール設定 ■ プロジェクトの決定権を持つ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ スケジュール管理
4. プロジェクトの目標と品質の管理	<ul style="list-style-type: none"> ■ 成果物への承認 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 成果物の提供 ■ プロジェクトに必要なリソースの確保
5. 予算とリスク管理	<ul style="list-style-type: none"> ■ 予算設定 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 予算管理

ただし、IPD では、発注者と受注者が協力して建設プロジェクトを進めるため、役割分担はプロジェクトによって異なる。プロジェクトの状況や目的に合わせて、適切な役割分担を決定する必要がある。

6. 本事業を経て目指すもの、目的

6.1. 背景

建設業における時間外労働時間は他業種と比較して長く、**長時間労働**が問題となっている。

更に2024年4月から『**建設業の時間外労働の上限規制**』が適用される。建設業全体で長時間労働問題解消に向けた取り組みの推進が必要である。また、建設業労働者の高齢化によって10年後には大量離職が見込まれ、**労働人口減少による人手不足問題**への対策も重要である。そのため、「長時間労働」や「人手不足」の問題解決に向けてICT技術を取り入れた業務の単純化・省力化への取り組みが広がってきている。

長時間労働の原因の一つとして「人手不足」による**工事監理現場の複数兼任**や施工管理での現場巡回による進捗確認や安全管理、工事計画等の**業務の渋滞**が大きく関係していると考えている。工事監理者の担当現場が複数ある場合や遠方にある場合、担当現場への移動だけでも負担となる。また、施工管理者においても工事規模が大きいほど現場巡回に費やす時間比率が増加し、日常業務として巡回時間が積み重ねていくと多大な時間を費やしている。

そこで、自律型ドローンを活用する事で工事監理者・施工管理者の現場巡回や進捗管理業務の効率化を図ることが出来、生産性向上が望めるのではないかと考えた。

6.2. 目的

工事監理者による工事監理・進捗確認で自律型ドローンを併用する事で、**工事監理現場の複数兼任や遠方地にある担当現場での移動負担や進捗監理の負担軽減を図る目的**として検証を実施する。担当現場に行かなくても定期的な工事進捗確認や状況確認が出来れば工事監理への柔軟な対応が可能となり、**手戻り工事の防止・品質向上に期待出来る**。また、工事監理者だけでなく**施工管理者や発注者、専門工事会社など工事関連会社と共有する事で、工事関係者全体的な進捗管理を実施する事が出来る**と考えられる。

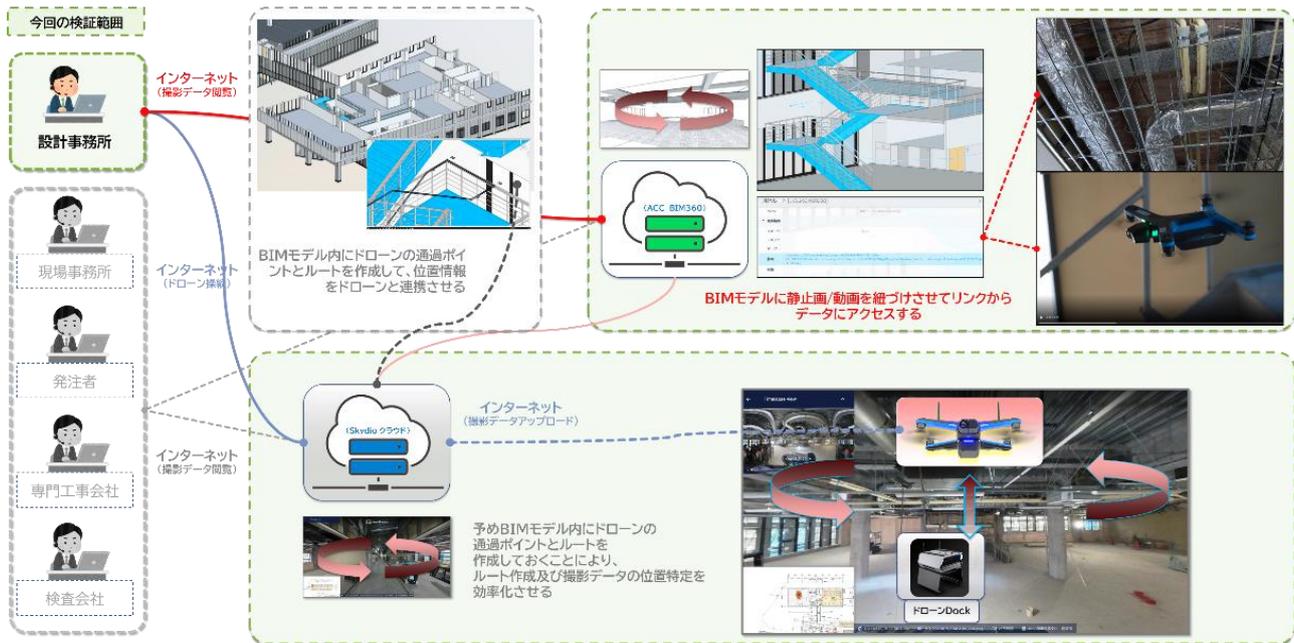


図 6-1 将来的なドローンと BIM を活用した遠隔工事監理業務のプロセスイメージ

6.3. 検証テーマ

テーマ：自律型ドローンと BIM モデルを活用した遠隔工事監理手法に関する評価・検証

施工現場内に飛行ルートを設定し遠隔操作によって自律型ドローンを自動飛行させることで、現場内の状況確認（撮影）を行い、撮影した静止画や動画の解像度、明るさ、飛行ルートの乖離等の撮影精度とドローン飛行における安全性についての有効性・容易さ・信頼性等に係る課題分析を行う。また、撮影した現場状況写真や映像の共有方法や BIM とドローンの連携について可能かを模索する。

7. BIMデータの活用・連携に伴う課題の分析等について

7.1. 分析する課題

検証 B-1) 施工 BIM モデルと自律型ドローンを活用した新しい工事監理手法に関する課題分析

【課題 1】自律型ドローンによる工事進捗写真等確認の有効性に関する課題

自律飛行によってドローンを現場巡回させ、天井を張り終える前の天井裏設備の撮影や現場内の状況を静止画及び動画で記録し、工事監理者や施工管理者、発注者に工事進捗確認記録としての有効性についてアンケート・ヒアリングを実施する。アンケート・ヒアリングで得たデータや意見を分析し、有効性について検証する。

【課題 2】自律型ドローンによる工事進捗写真等の運用の容易性、信頼性等に関する課題

ドローンを遠隔操作で自律飛行させる前に、予め現場内の飛行ルートを設定する必要がある。クラウドを経由してドローンを操作し設定する方法と BIM と連携させて設定する方法（本検証では使用したドローンが座標連携未対応だったため、将来的に BIM と連携する事を想定して検証を実施）があり、ドローン運用の容易性について検証する。また、飛行ルート上にある障害物（仮設照明や天井配線等）の自動回避や仮設足場間等の狭隘部、複数階移動（上下階移動）、複数棟移動（長距離移動）による設定した飛行ルートの再現性についても検証する。

7.2. 課題分析の進め方（検討の前提条件を含む）、実施方法・体制

【検証スケジュール】

【検証体制】

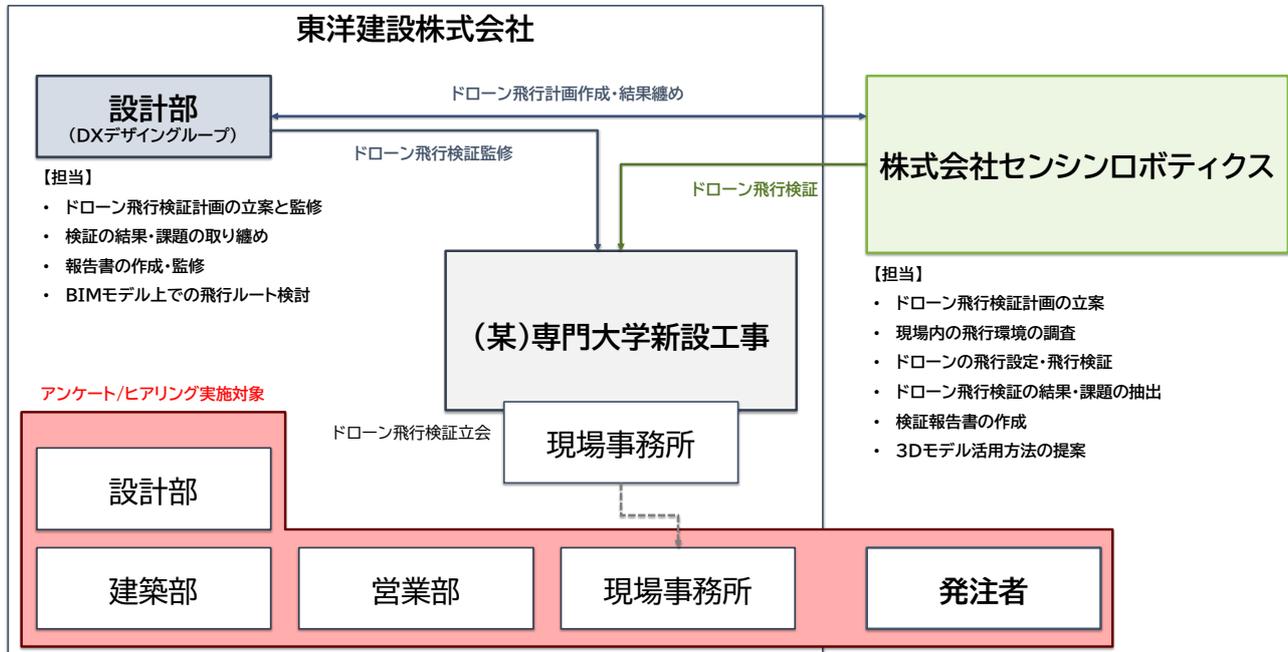


図 7-1 本検証 B プロジェクト体制

【検証で使用した機材】

Skydio+2	
<p>AIによる自律飛行 360° 全方位障害物回避機能 GPSを使用しない飛行制御 耐風性 10m/s 重量 800g（バッテリー搭載後） 飛行時間最大 27分</p>	
Skydio Dock	
<p>屋内の環境に対応した産業水準の箱型ドック 自動充電機能有 必要電力 100V マーカーをドローンが認識することで着陸が可能 充電時間 30分（20-90%充電の場合） 最大 60分（0-100%充電の場合）+バッテリー冷却時間</p>	
Dock Lite	
<p>自動充電機能有 必要電力 100V マーカーをドローンが認識することで着陸が可能</p>	

【前提条件と検証方法】

1) 検証プロジェクトのモデル

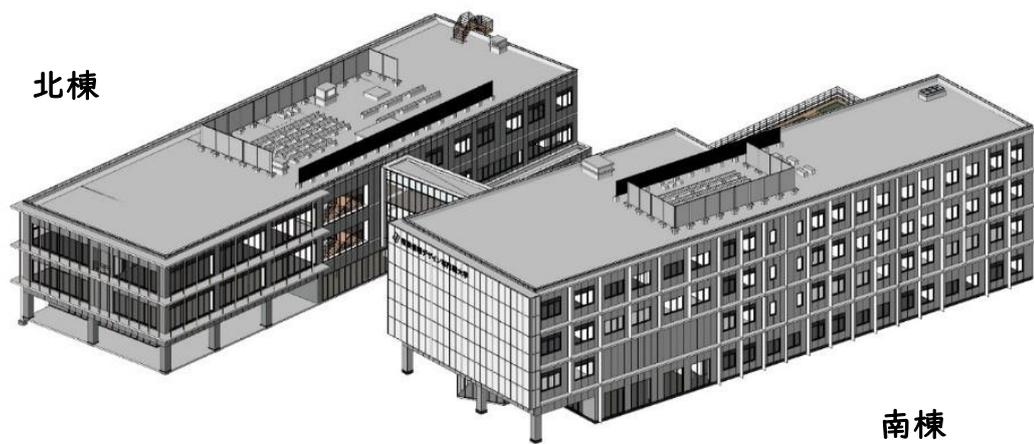
用途：専門職大学（施工中）—設計施工一貫プロジェクト

構造：鉄骨造（一部 RC 造）

階数：北棟—地上 3 階 南棟—地上 4 階

延べ床面積：約 10,000 m²

検証のプロセス：設計施工一貫 BIM



2) 検証条件

本来はBIM上で飛行ルートを作成しドローンと連携させることで自律飛行させる事を前提としていたが、マニュアル操作による飛行ルートの設定によって本検証を実施している（ドローン機体がBIMや座標データの連携未対応だったため）。

将来的な現場内での運用を想定しているため、現場内はドローンの飛行検証のために整理・機材の配置を調整する事はせずに普段の現場状況下での飛行実験を行っている。

3) 飛行・開発・活用 検証項目と方法

ドローンの自律飛行の施工現場実地検証は2回実施し、以下の項目内容を検証した。

飛行検証Ⅰ) 第1回ドローン実験（11月25日実施）

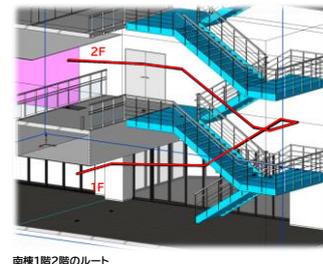
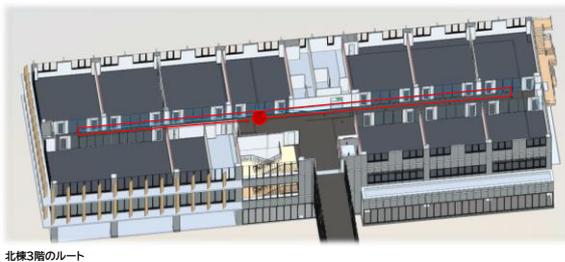
① 検証する項目

- ✓ **現場内照度**による（昼間・夜間）での自律飛行の可否
- ✓ マニュアル操作による飛行ルートと撮影ポイント設定の容易性
- ✓ 障害物に対する**安全性**
- ✓ **狭隘部及び複数階への飛行**可否
- ✓ 自律飛行による**静止画及び動画の品質**

② 検証する飛行ルート

ルート①②（静止画+動画）：北棟3階一通路

ルート③（動画）：南棟1階⇔2階一階段



ルート①②の飛行検証では、**ドローンを飛行させる前提としていない現場状況下**で飛行する事が出来るのかを確認する。今回使用するドローン（Skydio+2）は空間の照度が100lux以上を推奨されており、環境光のみで飛行させることが出来るのか、又、**仮設照明を設置してどの程度の明るさを確保する必要があるのか**を検証する。この明るさの検証では、**昼間（12:00～13:00）**と**夜間（18:00～18:30）**で飛行実験を行う。夜間においては、初めから設置してある仮設照明を移動せずに、点灯させ現場内の明るさを確保する事としている。また、立馬や物置き台、天井からの配線など障害物もそのままの状態とし、障害物回避機能により回避した後設定したルート上へ軌道修正する座標位置の再現性も併せて確認する。

ルート③の飛行検証では、**階段を使った複数階移動**と**仮設足場間の狭隘部**を飛行する事が出来るのかを確認する。ドローン（Skydio+2）には障害物回避距離があり、機体から約90cmと約30cmの範囲設定がある。

今回は最小の 30cm 設定で狭隘部の通過実験を行い、どの程度の間隔までなら通過する事が可能かを検証する。

③ 検証ルート上の現場状況

検証ルート①②の北棟 3 階通路は、天井ボードが施工される前（一部施工済み）の状態です。天井裏設備を確認できる状態であった。間仕切り壁に関しては仕上げクロスを施工する前の状態で、ボードにはクロスの型番と範囲等の記載が見える状態であった。現場内明るさに関しては、昼間の時間帯（12:00～13:00）で最低 70lux-最高 190lux 程度であった。夜間の時間帯（18:00～18:30）で最低照度 20lux-最高照度 170lux 程度であった。夜間においては、設置されている仮設照明で現場内を照らした状態で照度を計測している。また、移動式架台や天井からの配線など障害物がある状況であった。

検証ルート③の南棟 1 階～2 階の階段部分には仮設足場が設置されている状態で、仮設足場の支柱間の幅は最大 1.3m—最小 1.17m 程度だった。



図 7-2 検証ルート上の現場状況（11月25日）

飛行検証Ⅱ）第2回ドローン実験（12月19日実施）

① 検証項目

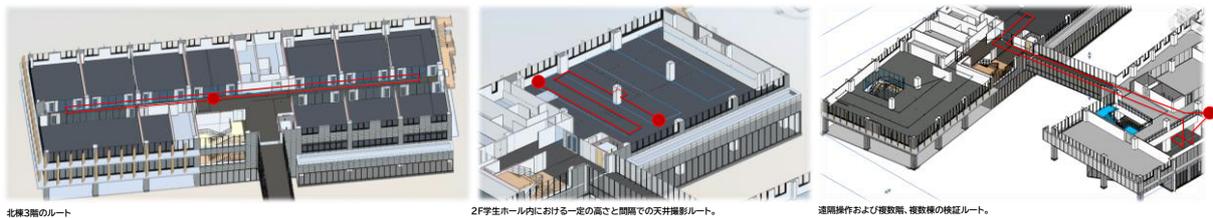
- ✓ 遠隔地（本社⇄現場）からのドローン操作の検証
- ✓ 設定した飛行ルートの再現性
- ✓ 現場内での飛行時間帯の検討
- ✓ 複数階及び複数棟の長距離飛行
- ✓ 3Dマッピングを前提とした撮影とマッピング

② 検証する飛行ルート

ルート④（動画）：北棟3階一通路

ルート⑤（静止画+動画）：北棟2階—学生ホール

ルート⑥（静止画+動画+遠隔操作）：南棟 ⇒ 渡り廊下 ⇒ 北棟



ルート④の飛行検証では、検証Ⅰ（11月25日の第1回ドローン）で実施したルート①について現場状況が大きく変化した場合（例：間仕切り壁を施工：天井ボードを施工・仮設足場が新たに設置された）における、ドローンの飛行ルートの再現性について検証する。ドローン（Skydio+2）は、360°カメラによって周辺を認識し飛行ルート設定時の周辺環境と飛行時の周辺環境を照らし合わせる事で座標位置を修正しながら自律飛行する。そのため、現場状況が変化した場合での設定ルートとの乖離を確認し、安全性や信頼性、利便性について検討する。飛行ルートについてはクラウド上に登録してある検証Ⅰの時に作成したルートを読み込む。また、ドローンのDock（p.48の使用機材を参照）は検証Ⅰと同じ位置に設置して検証を行う。なお、このDockの設置位置は毎回同じ位置に正確に設置する必要はなく、おおむねの位置でもルート再現への影響が出ない機能を有している。

ルート⑤の飛行検証では、3Dモデルに対してドローンが撮影した静止画をマッピングするための適切な撮影方法（撮影間隔・機体との距離・静止画同士のラップ率）について検証する。

ルート⑥の飛行検証では、複数階と複数棟に及び長距離飛行（飛行ルート全長が約100m程度）が設定したルートと乖離が少なく自律飛行する事が可能か検証する。ドローン（Skydio+2）はDockの位置からの相対位置を常に記録し、自律飛行しているため長距離飛行するほど位置の乖離が発生する懸念がある。そのため、複数階・複数棟での垂直・水平移動を連続で飛行させることで、どの程度の乖離があるのかを確認しその乖離が許容内にあるのかを評価する。また、本社と現場間での遠隔操作・状況確認についても検証する。ドローンの操作はクラウドネットワーク上の専用サイトから操作するため、ネットワークが繋がっていればどこからでも操作する事が可能である。検証では、本社から現場のドローン进行操作し、操縦者（監理者・現場作業員等）の確認したい場所へ飛行させて現場状況をリアルタイムに確認する。

③ 検証ルート④の現場状況

検証ルート④の北棟3階通路は、前回の検証時（検証Ⅰ）から天井ボードが全面に施工されており、仕上げ材を張り付けている状況であった。そのため、通路を塞ぐような形で移動式架台が設定されていた。

検証ルート⑤の北棟2階学生ホールは、部屋半分が天井表しで設備が露出している状態である。材料の仮設置場としても利用されており、ボード等の材料が仮置きされていた。

検証ルート⑥の南棟～学生ホールにかけては、渡り廊下に移動式架台が仮置きされている状態で通路は人2人が通れる程度の幅（約1m程度）であった。

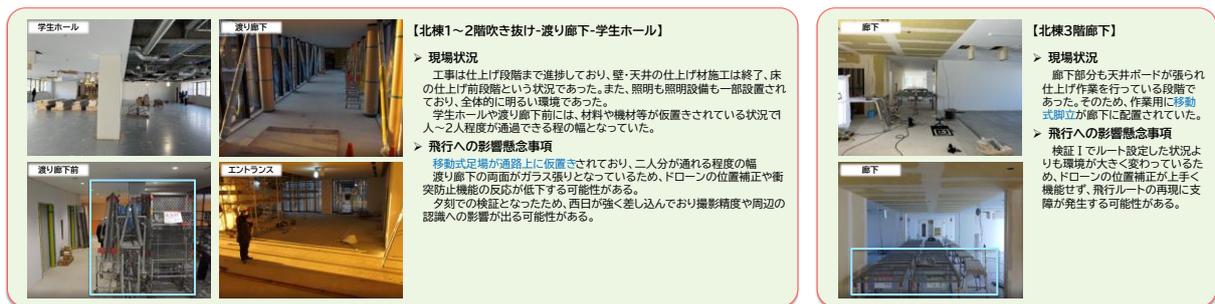


図 7-3 検証ルート上の現場状況（12月19日）

活用Ⅰ）BIMモデル上でドローンの飛行ルートを検証・作成

将来的に BIM とドローンの連携が可能となる事を想定し、BIMモデル上で仮想ルートを作成し座標データを抽出する仕組みを作成する。また、BIMモデル上で飛行ルートを再現する事で、ルート上で通過できない部分や衝突回避作動領域に触れていないか等を検討できるようにする。

Skydio2+はルート作成において Dock の設置位置と通過地点との相対座標を使用している。BIMデータ上でその相対位置を設定・出力することで将来的な BIM 上でのルート作成が可能となることが期待できる。

BIM 上でルートを作成することにより、以下の3点の効果が期待できる。

- ・撮影対象を BIM 上で確認・指定できるため、より精密な飛行ルートの作成が可能
- ・ルート作成のための飛行が省略できるため、作業時間の効率化
- ・バッテリー容量によるルート作成の飛行時間制限がなくなるため、飛行ルートの距離延伸

活用Ⅱ）ドローンで撮影した静止画・動画の共有方法

ドローンによって撮影された静止画・動画を工事関係者と CDE 上で共有する。共有の方法として、利用用途の違いにより以下の方法を考案する。

一定の範囲の巡視用途としては、BIM 内に作成した飛行ルートオブジェクトのプロパティに撮影データを格納することで、どの範囲を撮影したデータか判別が容易となる。

個々の部材や狭い範囲の記録用途としては、BIM の部材データのプロパティに撮影データを格納することで、どの範囲を撮影したデータか判別が容易となる。

また、プロパティにデータを格納する際には撮影日ごとに属性データの項目を作成することで、同一の飛行ルート上で工程の進捗に沿ったデータの閲覧が可能となる。また、データを格納する際には、画像データ自体は CDE 上のストレージに保存し、属性データにはデータ保存先の URL のみを格納することで、BIM データのデータ量の増加を防止することができる。

活用Ⅲ）3D マッピングによる 3D モデルデータの活用

自律型ドローンによって現場状況を撮影した静止画を 3D モデルにマッピングし、記録用として活用できるのかを検証する。3D モデルに対してマッピングが可能であれば、点群測量による 3D モデル化よりもデータ量を小さくできるメリットや記録用としても活用する事が出来ると考えられる。本検証では、3D モデルにマッピングする静止画の最適な撮影方法について検証を実施し有効性と課題について分析する。

7.3. 課題分析等の結果と分析

ドローンの飛行検証での結果と分析

1. 現場内照度による（昼間・夜間）での自律飛行

【結果】

（昼間）

環境光と仮設照明によって現場内は明るく、一部の影となる箇所は 100lux を下回る部分があったが、概ね 100lux 以上あったため、自律飛行によるドローンの運用は可能であった。

（夜間）

機体周辺に照度不足の範囲があったと考えられる要因により、「照度不足」とのエラーが出た為、飛行できない箇所があった。

（対応）

現場に設置されている仮設照明を移動させ、可能な限り均一に照度を確保できるように再配置し検証を継続した。

【分析】

昼間における飛行に関しては照度が推奨値の 100lux 以上を満たしやすいため、運用は可能である。しかし、検証を実施した 2 日間はどちらも快晴であったため天候の関係上照度が十分にあった。曇りや雨等の悪天候により現場内が暗い場合は推奨値の 100lux を満たすことが出来ない可能性があり、その場合は仮設照明で照度を確保する必要がある可能性がある。

悪天候時と条件は異なるが、夜間（仮設照明は点灯した状態）において照度不足あるいは照度差によってエラー表示が出るため、同様の環境下であれば同じ結果となる可能性が高いと考えられる。（→解決方法）



昼間の現場環境



夜間の現場環境(照明移動前)



夜間の現場環境(照明移動後)

【解決方法】

✓ 現場内に設置する仮設照明の配置計画

天井吊り式の仮設照明を定間隔で設置し、照度差（影）が可能な限り出来ないように**最低照度 20lux**を確保する。夜間において運用を想定する場合は、天井裏設備などが写るように最低 75lux 以上を確保するような仮設照明設置計画が必要となってくる。施工進捗状況により仮設照明設置計画を変更していく必要があるため**現場作業員への負担が増加する可能性**がある。なお、仮設照明の

型式は、照度分布を均一化する観点からは従来の点光源のタイプより小型LEDが連続的に内蔵された線光源のタイプの方が望ましいと考えられる。

✓ ドローン機体に小型の照明装置を装着

ドローンが照明装置を内蔵し周囲の照度を向上させることで、照度不足を補うことが可能となる。また、これにより撮影の画質向上も期待できる。他方、現行の Skydio2+は自己位置推定に支障をきたすことから、照明を内蔵させることはできない仕様となっているため、今後の機体性能の向上が必要となる。

2. マニュアル操作による飛行ルート撮影ポイント設定の容易性

【結果】

飛行ルートの設定はマニュアル操作（パソコンのキーボード操作）によりドローンを操縦する必要がある。操作自体は容易ではあるが、ルート設定をスムーズに行うためには一定の慣れが必要である。操作は専用のクラウド上で行い、飛行ルートの通過ポイント登録し、飛行速度や飛行高度を保存していった。

マニュアルでルートを設定している際にネット環境が弱くなり接続が一時的に切断する事があった。ドローンは接続が切断された位置で接続回復するまでホバリングしているため、未接続状態でもある程度の安全性は確保されていた。また、ネット環境が弱いことでクラウド上に飛行ルートをアップロード作業に時間を要する場面もあった。

【分析】

施工中の現場内は通信環境が整えられていなかったためアップロードするのに30分要した場面もあったが（→解決方法）、通信状況が良好な時には数分程度で完了しているため、通信環境を改善すればアップロードやルート読み込みの所要時間に関しては解決する事が可能だと考えられる。

【解決方法】

✓ 現場内の通信環境の整備

Skydio2+の通信環境については、Wi-Fiの回線環境が上り下りとも10Mbps以上が推奨されており、この環境を飛行させる範囲に構築させることでスムーズな飛行とデータ通信が可能となる。

3. 障害物に対する安全性

【結果】

Skydio2+の要害物認識機能（閾値約 30cm の設定）の設定により周囲の障害物（天井配線：太さ直径 7mm 程度や脚立）を認識し回避して飛行する事を確認することが出来た。

【分析】

コードや脚立などの障害物をドローンの画像認識機能により回避する事ができ、迂回して設定した飛行ルートの軌道に戻る事が確認できたため、障害物があっても飛行への影響は軽微である。しかし、障害物が乱雑かつ無数にある場合は、ルートが塞がれて通過できない場合がある。また、針金や紐などの細すぎるものに対してはドローンの障害物認識機能が機能しない場合（→解決方法）もあることから、飛行範囲の障害物除去について配慮する必要がある。



仮設照明を自動回避

障害物の自動回避

コード類の自動回避

【解決方法】

✓ ドローンの画像認識機能の向上

現場内の障害物を可能な限り除去する方法も考えられるが、現場作業員の負担となる。また、操縦者（監理者等）が自分の確認したい位置に認識しにくい障害物がある場合、その都度現場対応しなければならない状態であると、作業効率向上の目的を逸脱してしまう。そのため、ドローンの障害物回避機能や認識機能の向上による安全性の確保が必要となってくる。

4. 狭隘部及び複数階への飛行可否

【結果】

2階から階段を経由して1階に下り、折り返し戻ってくるというルートでも設定したルートから外れることはなく、自律飛行する事が確認する事が出来た。また、階段部分に設置されている仮設足場間（最小幅 1170mm）においても通過する事が出来た。

※現場の事前確認した際には、仮設足場間 900mm を通過する事が出来なかった。

【分析】

階段幅 1800mm（仮設足場間だと約 1500mm 程度）の折返し階段を飛行する事を確認でき、**最小幅 1170mm でも通過する事が可能**であった。建築基準法施行令での規定により多数の建物で階段・踊場幅を 1200mm 以上とする必要があるため、上下階移動では階段部を活用できると考えられる。吹き抜け部がある場合は上下階移動が容易になるが、計画されていない場合や仮設足場で塞がれている場合は活用出来ないため、全ての建物に共通する階段部分が飛行する事が出来る事は運用上においても重要である。

ただし、事前確認時には**仮設足場間 900mm の場合で通過する事が出来ない（→解決方法）**事が確認できたため、ドローンが**通過する部分は最低 1000mm 以上の間隔が必要**であると考えられる。



【解決方法】

- ✓ 階段や吹き抜けを通過しない複数階移動
外壁の開口部を一部ドローン進入用に設置する事で自律型ドローンの複数階移動を可能にする事が出来る。ただし、法律上ドローンが外部を飛行する際には資格を所持し目視で確認している必要があり、**複数階移動する都度監視する必要がある事は非効率的**である。
- ✓ 自律型ドローンが通過可能な幅の考慮
 検証で仮設足場間 1000mm 以上であれば飛行する事が確認できているため、仮設計画を作成する際にドローンが上下階移動する際に通過するための開校を一部設置する考慮が必要になる。

階段を利用した複数階移動に関しては、様々な場面を想定した検証が必要。

5. 自律飛行による静止画及び動画の品質

【結果】

設定したルート上の静止画及び動画を撮影した。画像や映像は 4K 解像度で記録する事が出来る。

（昼間）

天井裏設備や耐火吹付、間仕切り下地ボードに書いてある文字などを確認する事ができた。動画についてもドローンを直進させるだけの動きではなく、平行移動させたりカメラを上向きにしたりと角度を変更する事で全体を見渡すことが出来た。しかし、動画撮影での飛行スピードは問題ないが機体の方向転換でのスピードが速く、映像がぶれてしまう問題もある。

（夜間）

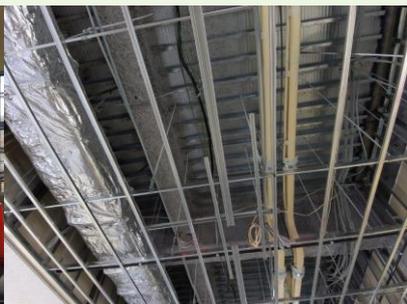
現場内の全体的な状況を確認することは出来たが、天井裏設備など仮設照明の光が届きにくい場所に関しては、見えにくい部分が多くあった。仮設照明が近くにある部分に関しては、天井裏でも確認する事が出来た。

【分析】

撮影時の飛行速度を 1m/秒で設定し飛行させる事でドローンを通しての映像も見やすく撮影する事が出来ていた。



北棟各部屋の巡回



廊下天井裏設備の巡回



現場内全体の巡回

6. 遠隔地（本社⇔現場）からのドローン操作の検証

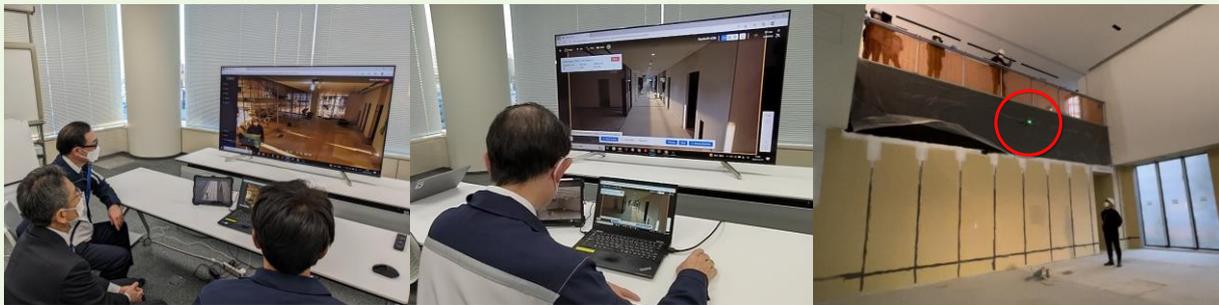
【結果】

本社執務室から遠隔操作し、現場にスタンバイさせてあるドローンを設定したルート通りに飛行させることが出来た（将来的に想定している状況と同じ）。

本社執務室からはドローンの映像をリアルタイムで閲覧することが出来、現場内の状況も確認できている。また、パソコン操作によるマニュアル操縦で、操縦者（工事監理者を想定）が見たいところにドローンを飛行させる事も出来た。

【分析】

本社執務室と現場間でのリアルタイム遠隔操作が出来る事を確認し、操作に関しても簡単に出来る事を確認した。



自律飛行中のドローン映像をリアルタイムモニタリング

遠隔からドローンを直接操作

7. 設定した飛行ルートの再現性

【結果】

検証Ⅰのルート①において設定した飛行ルートを当時と同一の場所に Dock を設置し飛行させたところ、環境の変化が少ない場合においてクラウド上に保存してあるルートで飛行可能であった。しかし、飛行ルート付近に足場が組まれるなど、施工の進捗に合わせた環境の変化が生じた個所において一部飛行が困難となった。

【分析】

ドローンが飛行する際に周辺の様子をルート設定した時の周辺画像と照らし合わせて機体の位置を微調整しながら飛行しているため、環境が大きく変化した場合は位置の調整に誤差が発生してしまうことを確認した。そのため、間仕切り壁を施工する前後や材料の仮置き場など環境が変わった場合は画像認識機能が誤認識する可能性が高く、設定してあるルート（状況が変わる前に設定した）からの乖離が大きくなる可能性がある。（→解決策）

【解決策】

- ✓ 設定した飛行ルートの柔軟な変更

現時点では一度設定した飛行ルートの変更する事が出来ないため、現場状況が大きく変わった場合は、再度飛行ルートを作成し直す必要がある。そのため、一度設定した飛行ルートを基に編集する事が可能であれば、工事状況に応じた柔軟な飛行ルート設定が可能になる。

8. 現場内での飛行時間帯の検討

【結果】

ドローンの飛行検証を 12:00（昼休憩）～16:00（夕方）で実施した。昼休憩の時間帯は現場内の作業員は誰もいない状況であったため、安全に飛行する事が出来た。昼休憩終了後は、現場作業員が作業している中での飛行を実施した。ドローンの飛行音が現場内に響いていたため、作業員の意識もドローンに向けられる場面が多くあった。

9. 複数階及び複数棟の長距離飛行

【結果】

南棟の複数階から渡り廊下を經由し北棟の学生ホールを巡回するルート（約 100m）を自律飛行させた。長距離飛行でも設定したルート通りに飛行する事が確認出来ており、約 100m を 5 分程度で撮影して Dock まで戻ってきた。

※長距離飛行では作業員がいる中での飛行検証であったため、途中ホバリングさせて安全が確保されてから、飛行を再開させる場面もあったため 5 分程度を要した。作業員が誰もいない状態で飛行させた場合は、約半分の 2 分程度で映像を撮影し Dock まで戻ってくる。ただし、静止画も撮影する場合は、撮影場所でホバリングする必要があるため、撮影ポイントが多いほど飛行時間も長くなる。

【分析】

ドローンの運用を想定した場合、作業している作業員に影響の出ない運用方法を実施しなければならない。作業が予定されていないエリアで人の出入りがない様な日においてはその範囲に限って飛行させることは容易ではあるが、作業員が行き来しているエリアでは安全性に課題がある。

100m 程度であれば 3 分～5 分程度で撮影し Dock まで戻ってくるため、100m ルート×5 本と複数ルートで 12:00～13:00 の昼休憩時間などで広範囲のエリアを撮影可能だと考えられる。

10. その他

【結果】

（粉体・埃の飛散）

ドローンが飛行する際の下方風が発生し、ボード屑や砂、埃等が舞い上がった。

（西日による着陸妨害）

ドローンが着陸する際に Dock の表示されているコードをカメラで読み取り着陸場所を正確に判断しているため、西日でコードが照らされている状態だと Dock に着陸せずに、周囲の平場に自動着陸した。

【分析】

（粉体・埃の飛散）

下方風によって舞い上がった粉体が乾ききっていない塗装部分に付着する等の問題が出てくる問題がある。

（西日による着陸妨害）

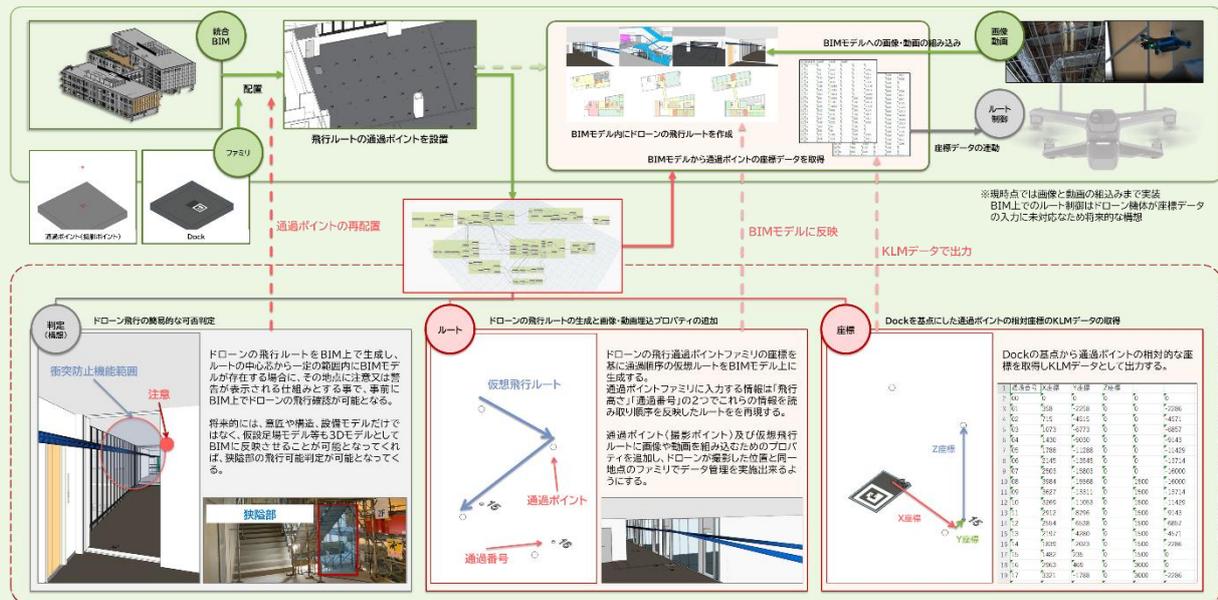
西日によって着陸妨害されることで、Dock の配置場所や遮蔽物設置等の対策が必要になってくる。

BIM とドローンの連携・活用方法

11. BIMモデル上でドローンの飛行ルートを検証・作成するシステムの考案

【BIM との連携】

今回使用したドローンは BIM との連携や座標の取込みに対応できない機体であったため、将来的に連携や取込が出来るようになることを想定して仕組みを作成した。BIM モデル内でドローンの飛行ルートの検証と座標連携させる仕組みを Revit と互換性の高い Dynamo を使用して作成している。



【概要】

BIMモデル上で Dock（飛行基地）通過ポイント（撮影ポイント）と通過順序等を入力し仮想ルートを再現する事で BIM 内での飛行ルート検討を実施出来る仕組みとした。飛行ルートを決定後に各通過ポイントの座標 (X,Y,Z) を KLM データで出力し、将来的にはドローンと連携させる。

【想定している手順】

BIMモデルで検証するために、「Dock」と「通過ポイント（マニュアル操作した際にポイントを設定するポイントと同様）」のファミリーを準備した。今回使用したドローンは、Dock位置から相対的に位置を判断してルートを作成しているため、BIMモデル上でのルート作成でも同じ方法で座標とルートを作成する仕組みとする。

1. BIMモデル上に「Dock」と「通過ポイント」のファミリーを配置して通過順を設定
2. 仮想ルートを作成
3. 仮想ルート上に障害物があるかを判定
4. 通過ポイントの座標を抽出して CSV データで出力
5. 座標データをドローンに取込み

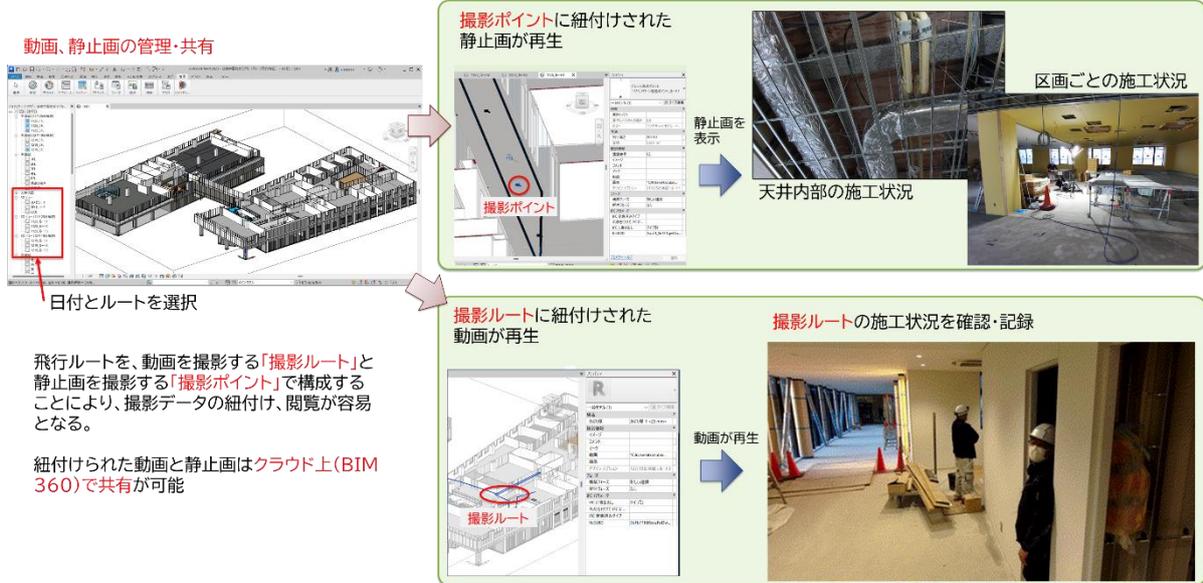
【将来的な展望】

将来的には BIM モデルとドローンの連携によって、飛行ルートを BIM モデル上で作成しドローンに取込むだけでなく、ドローン操作によって作成した飛行ルートと撮影ポイントを BIM モデルに取込む事が可能とする事で、BIM モデル上では設定が難しいルートやポイントの作成とルート管理が容易になる。また、ドローンの撮影位置等を BIM モデルに取込むことが可能となれば、ドローンの位置情報をリアルタイムに BIM 上で表示する事が可能となる可能性もある。もし、BIM 上でドローンの位置と映像をリアルタイムに確認する事が可能になれば、無人状態でもどの位置を飛行しているのか把握しやすく安全管理がしやすくなると考えられる。

12. ドローンで撮影した静止画・動画の共有方法の考案

【BIM（CDE）との連携】

BIMモデル内で撮影ポイント（通過ポイント）や仮想飛行ルートを作成し、ドローンが撮影した映像と紐づけする事でBIMモデルを活用した関係者間の共有を将来的に想定している。映像データを紐づけたBIMモデルはCDE上（BIM360）で共有し撮影したポイントやルートのリンクから対応する映像データにアクセス出来るように作成している。



【想定している手順】

1. ドローンが静止画及び動画を撮影しクラウドにアップロード
2. クラウドにアップロードしたデータがBIMモデルのファミリーと紐づく
3. CDE（BIM360）上にアップロードし、関係者間で共有

【将来的な展望】

将来的にはBIMと連携させる事で自律飛行させたドローンが自動で映像データをアップロードし、BIMモデルと対応した撮影ポイントと飛行ルートに自動で映像が紐づけされる事で、工事監理写真や進捗確認映像の記録管理が容易になり、工事関係者間でのシームレスな記録管理が可能となると考えている。また、BIMモデルに工事進捗状況に応じた映像が保管されれば、維持管理や改修計画時での活用にも展開できると考えている。

8. BIMの活用による生産性向上、建築物・データの価値向上や様々なサービスの創出等を通じたメリットの検証等について

施工中の現場で自律型ドローンを自律飛行させ、飛行制限や撮影精度、通信環境、労働環境への影響等の課題を抽出する検証を実施した。様々な課題が見えてくる中で、工事監理や施工管理の業務の中でどのような効果や課題があるのかをアンケート・ヒアリング調査を実施し分析する。

分析内容を基に今後の自律型ドローンの課題検証や業務フローを見据えた運用方法の検討を実施していく。

8.1. 定量的に検証する効果、目標、効果を測定するための比較基準

検証 B-1) 施工 BIM モデルと自律型ドローンを活用した新しい工事監理手法に関する課題分析	
目標：移動時間を含む作業時間又は日数の削減効果	50%削減
時間外労働の上限規制の適用により 60 時間から 45 時間へ変更になるため、最低でも時間外労働時間を 25%以上削減する必要がある。また、ドローンによる進捗確認によって現場に赴く回数が減った場合や手戻り工事を事前に防ぐ事が出来た場合、現場の定期的な状況写真の撮影等において、今までは対応していた時間が削減される等の想定から更に 25%の削減によって、全体の 50%（ 時間外労働換算で 30 時間の削減 ）を目標とする。	
目標：ドローンによる遠隔進捗監理・管理での満足度の効果	70%
ドローンによる進捗監理・管理によって、定期的な現地確認や現場報告に行く事や・待つ事をしなくても、発注者や工事監理者が現場を確認したい時に状況を確認する事が出来る。また、現場作業員にとっても、定期報告写真の自動化や高所部分の安全な撮影など効果があると考えられる。これらの結果として、手戻り工事の防止や円滑な監理・管理、安全な管理などに寄与すると考えられるため、満足度 70%（ ドローンを活用してみたいか：10 段階 ）を目標とする。	

8.2. 効果 検証 等 の進め方（検証の前提条件等を含む）、実施方法・体制

【検証方法】

1) 調査方法

アンケート調査)

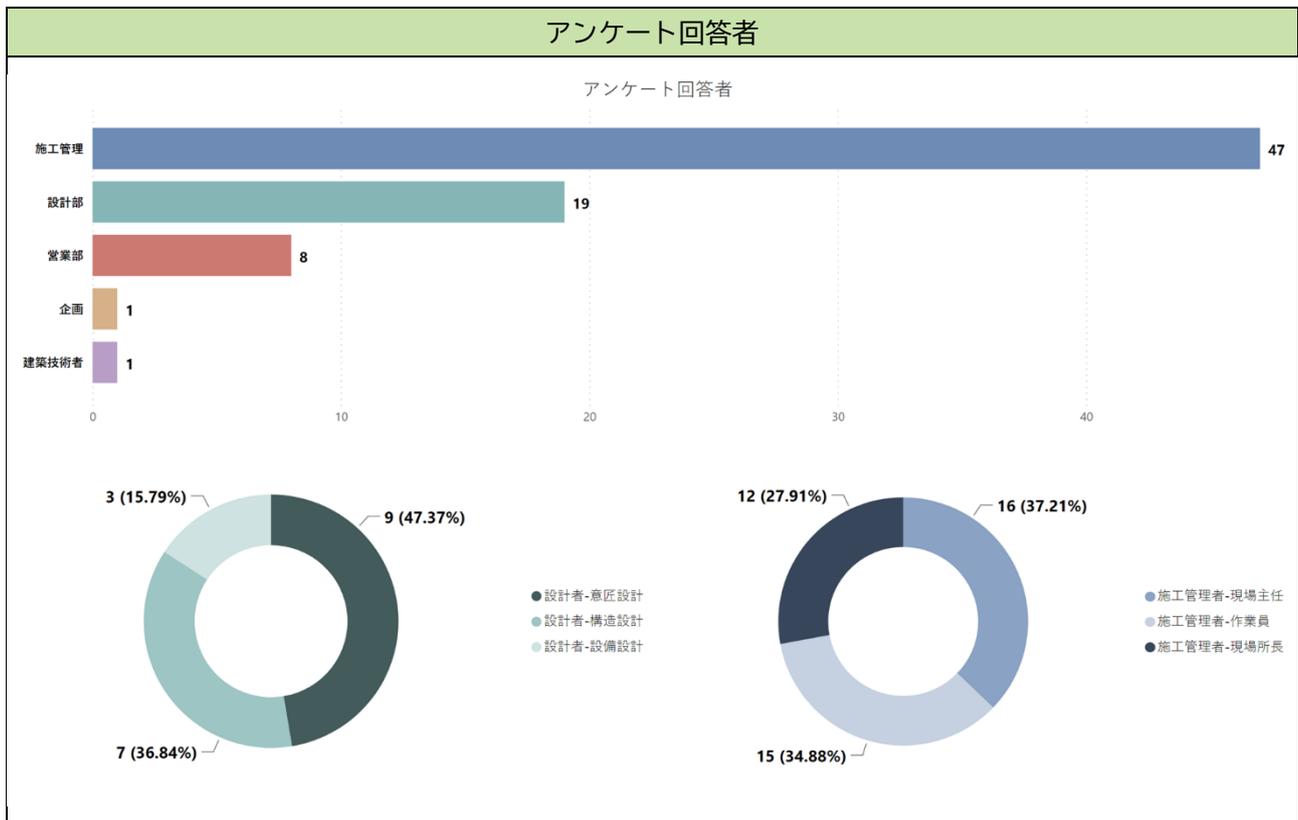
アンケート調査対象者に Goggle フォームでアンケートを送付して回答してもらい分析する。アンケートに回答する前に検証の説明会を実施し、ドローンでのメリットやデメリット等理解した上でアンケートに回答している。

ヒアリング調査)

検証実施対象の現場作業員や本社執務室でドローンの映像をリアルタイムでモニタリングしていた方にヒアリングを実施した。

2) 調査対象

発注者・工事監理者（意匠/構造/設備）・現場作業員（施工管理者）・営業 約 200 人



3) 調査内容

アンケート内容)

工事監理者・施工管理者・発注者に向けたアンケート内容	
設問	選択/回答
(1-1)あなたの立場で最も近いものを選択してください。	<input type="checkbox"/> 発注者
	<input type="checkbox"/> 設計部
	<input type="checkbox"/> 施工管理
	<input type="checkbox"/> 営業
	<input type="checkbox"/> その他
(1-2)上記で記載した中での役割を選択してください。	<input type="checkbox"/> 発注者
	<input type="checkbox"/> 設計者-意匠設計
	<input type="checkbox"/> 設計者-構造設計
	<input type="checkbox"/> 設計者-設備設計
	<input type="checkbox"/> 施工管理者-現場所長
	<input type="checkbox"/> 施工管理者-現場主任
	<input type="checkbox"/> 施工管理者-現場作業員
	<input type="checkbox"/> 営業担当者
<input type="checkbox"/> その他	
発注者の方にお聞きします。	
(2-1)発注者の方にお聞きします。 工事期間中の現場視察は何回ありましたか。	回
(3-1)発注者の方にお聞きします。 現場視察の際、どのような点を確認していますか。（複数回答可）	<input type="checkbox"/> 工事の進捗状況
	<input type="checkbox"/> 傷・汚れ
	<input type="checkbox"/> デザイン
	<input type="checkbox"/> その他
工事監理者の方にお聞きします。	
(2-2.1) 現在担当している主な案件1つについて、工事監理担当現場のある地域を選択してください。 ※複数の工事監理担当案件がある場合は、(2-2.2)に2つ目の回答をしてください。	<input type="checkbox"/> 北海道
	<input type="checkbox"/> 東北地方
	<input type="checkbox"/> 関東地方
	<input type="checkbox"/> 中部地方
	<input type="checkbox"/> 近畿地方
	<input type="checkbox"/> 中国地方
	<input type="checkbox"/> 四国地方
	<input type="checkbox"/> 九州地方
<input type="checkbox"/> 沖縄	
上記(2-2.1)で回答した工事監理担当現場への視察頻度はどのくらいですか。 ※会議のみを除く	<input type="checkbox"/> 毎日
	<input type="checkbox"/> 2～3日に1回

	<input type="checkbox"/> 週に1回 <input type="checkbox"/> 隔週で1回 <input type="checkbox"/> 月に1回 <input type="checkbox"/> 3カ月に1回 <input type="checkbox"/> 半年に1回 <input type="checkbox"/> 1年に1回
(2-2.2) 現在担当している主な案件1つ(2つ目)について、工事監理担当現場のある地域を選択してください。	<input type="checkbox"/> 北海道 <input type="checkbox"/> 東北地方 <input type="checkbox"/> 関東地方 <input type="checkbox"/> 中部地方 <input type="checkbox"/> 近畿地方 <input type="checkbox"/> 中国地方 <input type="checkbox"/> 四国地方 <input type="checkbox"/> 九州地方 <input type="checkbox"/> 沖縄
上記(2-2.2)で回答した工事監理担当現場への視察頻度はどのくらいですか。 ※会議のみを除く	<input type="checkbox"/> 毎日 <input type="checkbox"/> 2~3日に1回 <input type="checkbox"/> 週に1回 <input type="checkbox"/> 隔週で1回 <input type="checkbox"/> 月に1回 <input type="checkbox"/> 3カ月に1回 <input type="checkbox"/> 半年に1回 <input type="checkbox"/> 1年に1回
(3-2)設計者(工事監理者)の方にお聞きします。 視察の際、どのような点を確認していますか。(複数回答可)	<input type="checkbox"/> 傷・汚れ <input type="checkbox"/> 漏水・結露のおそれ <input type="checkbox"/> 浮き <input type="checkbox"/> ひび割れ・破損等 <input type="checkbox"/> 納まり <input type="checkbox"/> デザイン <input type="checkbox"/> 法規の確認
施工管理者の方にお聞きします。	
(2-3)施工管理者の方にお聞きします。 一日あたりどのくらい現場巡回に時間を費やしていますか。※職人対応を除く	<input type="checkbox"/> 30分未満 <input type="checkbox"/> 30~1時間 <input type="checkbox"/> 1時間~2時間 <input type="checkbox"/> 2時間~3時間 <input type="checkbox"/> 3時間~4時間 <input type="checkbox"/> 4時間~5時間

	<input type="checkbox"/> 5時間～6時間
	<input type="checkbox"/> 6時間以上
(2-3)で回答した建物の規模（延べ床面積㎡）	<input type="checkbox"/> ～1000
	<input type="checkbox"/> 1001～2000
	<input type="checkbox"/> 2001～5000
	<input type="checkbox"/> 5001～10000
	<input type="checkbox"/> 10001～20000
	<input type="checkbox"/> 20001～
(3-3)施工管理者の方にお聞きします。 現場巡回中にどのような点を確認していますか。（複数回答可）	<input type="checkbox"/> 工事の進捗状況
	<input type="checkbox"/> 不安全施設の有無
	<input type="checkbox"/> 不安全行動の有無
	<input type="checkbox"/> 傷・汚れ
	<input type="checkbox"/> ひび割れ・破損等
	<input type="checkbox"/> 材料・機材の仮設置場
	<input type="checkbox"/> その他
営業の方にお聞きします。	
(2-4.1) 現在担当している主な案件1つについて、担当現場のある地域を選択してください。 ※複数理担当案件がある場合は、(2-4.5)に2つ目の回答をしてください。	<input type="checkbox"/> 北海道
	<input type="checkbox"/> 東北地方
	<input type="checkbox"/> 関東地方
	<input type="checkbox"/> 中部地方
	<input type="checkbox"/> 近畿地方
	<input type="checkbox"/> 中国地方
	<input type="checkbox"/> 四国地方
	<input type="checkbox"/> 九州地方
	<input type="checkbox"/> 沖縄
上記(2-4.1)で回答した担当現場への視察頻度はどのくらいですか。 ※会議のみを除く	<input type="checkbox"/> 毎日
	<input type="checkbox"/> 2～3日に1回
	<input type="checkbox"/> 週に1回
	<input type="checkbox"/> 隔週で1回
	<input type="checkbox"/> 月に1回
	<input type="checkbox"/> 3カ月に1回
	<input type="checkbox"/> 半年に1回
	<input type="checkbox"/> 1年に1回
(3-4)工事の進捗や状況等をどの様に確認又は把握していますか。	
発注者・工事監理者・施工管理者・営業の方にお聞きします。	
(4-1)自律型ドローンによる現場巡回に魅力を感じますか。	<input type="checkbox"/> とても魅力的に感じる
	<input type="checkbox"/> 魅力的に感じる

	<input type="checkbox"/> あまり魅力的ではない <input type="checkbox"/> 全く魅力的ではない <input type="checkbox"/> わからない
上記でそう感じる理由	
(4-2)あなたが自律型ドローンで撮影（確認）するなら、どこ（場所、部分）を撮影したいですか。（複数回答可）	<input type="checkbox"/> 構造部 <input type="checkbox"/> 床下 <input type="checkbox"/> 壁面 <input type="checkbox"/> 天井配管等 <input type="checkbox"/> 階段や吹き抜け部分 <input type="checkbox"/> 外構 <input type="checkbox"/> 屋外 <input type="checkbox"/> その他
(4-3)自律型ドローンの現場巡回によって、以下のようなメリットを想定しています。あなたにとって、メリットに感じるものは何ですか。（複数回答可）	<input type="checkbox"/> 撮影場所がBIMモデル（または図面）と紐づくため、工事の進捗管理として記録しやすい。 <input type="checkbox"/> 巡回の頻度や時間の短縮につながる。 <input type="checkbox"/> 4Kの鮮明な画像をクラウド（BIM360）で共有するため、現地へ行かなくても状況を確認できる。 <input type="checkbox"/> イメージの共有が容易なため、打合せに活用できる。 <input type="checkbox"/> 安全管理に活用できる。 <input type="checkbox"/> メリットを感じない
(5-1)現地に行かなくてもBIMモデル内で巡回ルートを作成し運用できる仕組みが可能となれば、自律型ドローンを運用した工事進捗管理をやってみたいと感じますか？	1. 全く思わない ~ 10. 非常にそう思う <div style="text-align: right;">/10 段階中</div>
上記でそう感じる理由	
その他、意見	

8.3. 効果 検証 等 の結果

アンケート・ヒアリングからの作業効率に関する分析

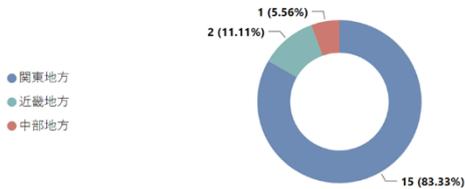
1. 設計者（監理者）の調査結果

※設計部全体に対してアンケート調査を実施しているため、1 案件に対して複数人の担当者がいる場合もある。

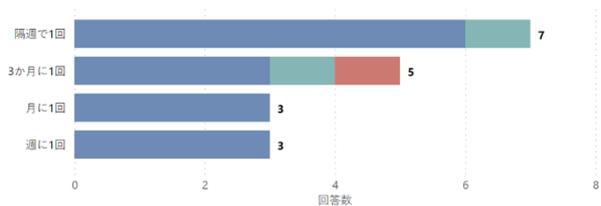
設計部回答割合



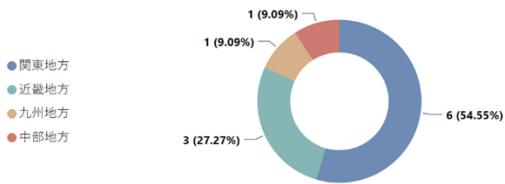
担当している監理案件の所在地（1件目）



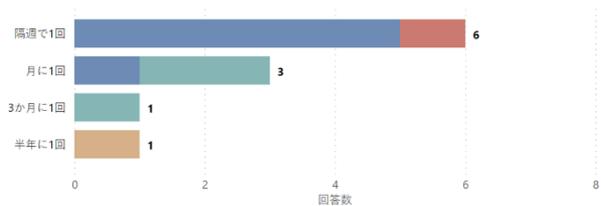
設計・監理担当現場への視察頻度



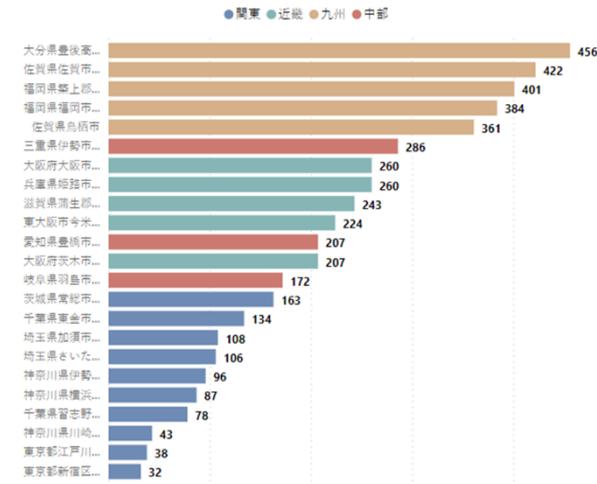
担当している監理案件の所在地（2件目）



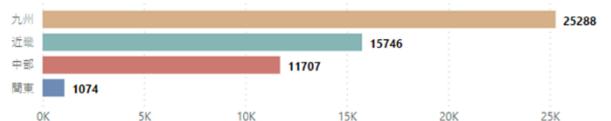
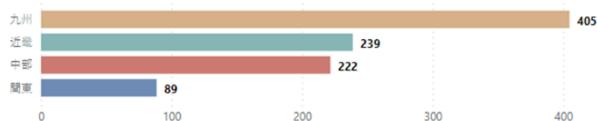
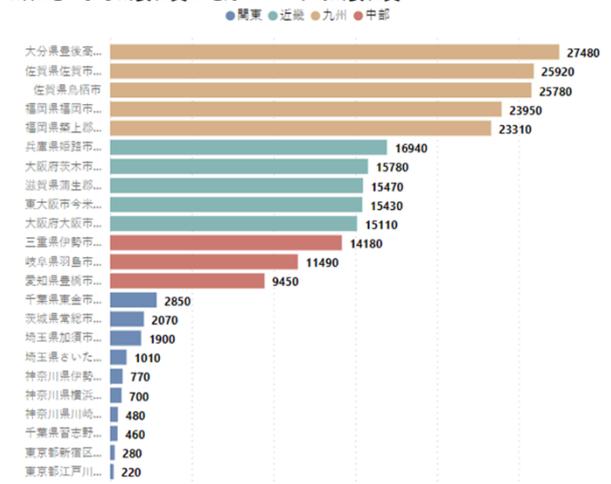
設計・監理担当現場への視察頻度



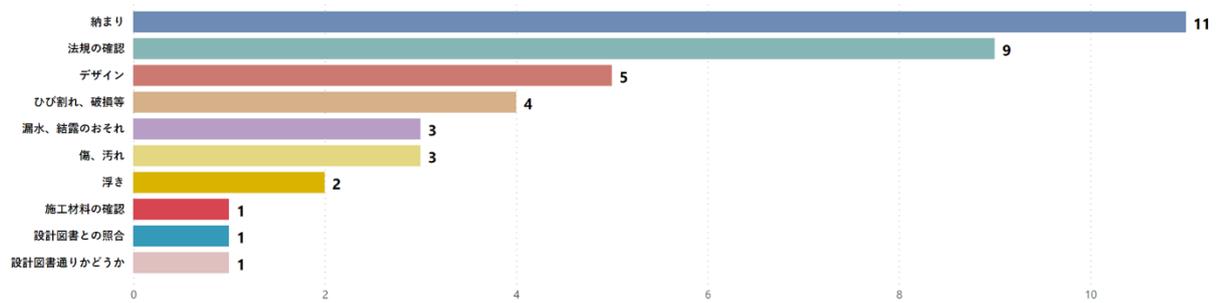
所在地による移動時間と地方ごとの平均移動時間（片道）



所在地による所要経費と地方ごとの平均所要経費



巡回でどのような所を特に確認するか



【アンケート統計】

アンケート調査で回答されたデータでは、担当監理現場が関東に集中している。全体で 29 現場（2 人体制の監理現場も含まれるため重複している場合もある）あり 70%が関東、17%が近畿、13%が中部や九州となっており、設計者の 11 人/19 人中が複数の監理現場を担当している。

移動時間に焦点を当てると関東圏で約 89 分、近畿で約 239 分、中部で約 222 分、九州で約 405 分となり、合計の平均移動時間は約 143 分であった。往復を考慮すると約 4 時間程度費やしている計算となる。

現場への視察頻度を調査すると、「2~3 週間に 1 回」が 17 現場、「月に 1 回」が 5 現場、「週に 1 回」「3 カ月に 1 回」が 3 現場、「半年に 1 回」が 1 現場という回答であった。

【ヒアリング内容】

アンケート調査の一環で、監理現場の現場巡回でドローンを活用する事で作業効率や負担が減るのか、意見を回答してもらった。要約した内容を以下にまとめる。

監理者の意見

現場巡回をドローンに置き換えることは出来ないと思うが、目の行き届く範囲は広がると思う。 例えば、天井高の高い場所や吹き抜け部分など
工事期間が厳しい時には、短い間隔で定期的に現場の全体的な進捗状況が確認できる。
ドローンでどこまで確認できるのかによるが、人員不足の解消に繋がりそう
執務室から遠隔操作で確認したいところを確認できるため、遠方であれば効果がありそう。近くであれば、直接行った方が効率は良さそう

【分析】

アンケートでは工事監理現場が関東に集中しているが、30分で移動できる現場もあれば1時間半以上掛かる現場もある。移動時間が比較的近い現場に関しては工期中に間に現場巡回する回数も多く、九州や中部といった比較的遠くにある現場は現場巡回する回数も工期中に1, 2回と少ない。その背景には新型コロナウイルス流行による影響で、オンライン会議が増えたことで重要な会議や検査以外で現場に行く回数が減少した事や iPad・360°カメラ等のIoT機器の活用によって、より簡単に迅速な情報共有が行えることが可能となった事が挙げられる。

アンケートの統計データとヒアリングから分析すると、自律型ドローンによって全ての工事監理を実施する事は現実的に厳しいが、一部の監理業務や定期的な工事全体の進捗確認には活用する事は可能だと考えられる。また、本検証と調査から作業量削減効果について部分的な効果は得られると考えているが、現時点では大幅な削減効果を得ることは難しい。現場に行った際に、どのような所を特に確認するか調査したところ、「納まり」「法規の確認」が多く、ドローンで確認するには現時点では難しく、直接確認する必要がある。次いで多いのが「デザイン（納まりの見え方等）」「ひび割れ、破損等」「傷、汚れ」であった。これらはドローンのカメラを通して確認する事は可能だと考えられる。

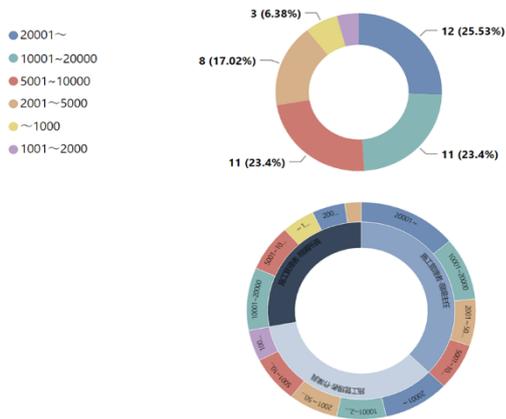
想定される効果としては、近辺という事で現場に行き行って検討や仕上がりの確認に行く事もあるため、これらの行為をドローンで実施した場合は約6時間の移動削減（10%程度）が想定される。また、遠方の現場においてドローンによって定期的な状況確認を実施した場合、現場に行く回数は変わらなくても確認の頻度や回数が増加し、手戻り工事防止への効果が想定される。

2. 現場作業員（施工管理者）の調査結果

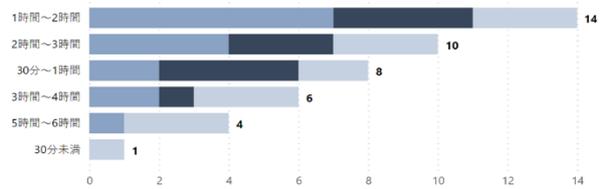
施工管理者回答割合



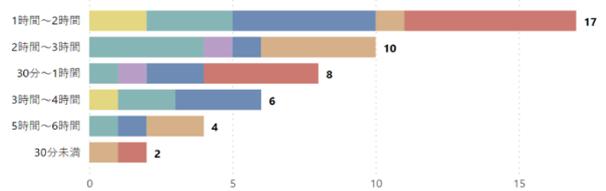
施工現場の規模（延べ床面積：㎡）



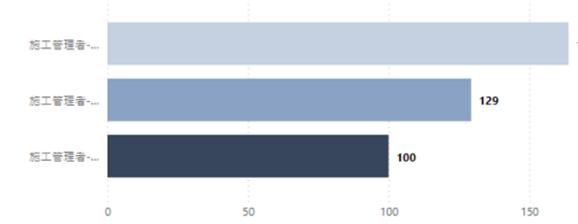
役割ごとの現場巡回時間



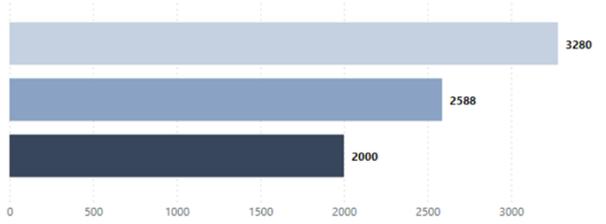
現場巡回ごとの施工現場規模



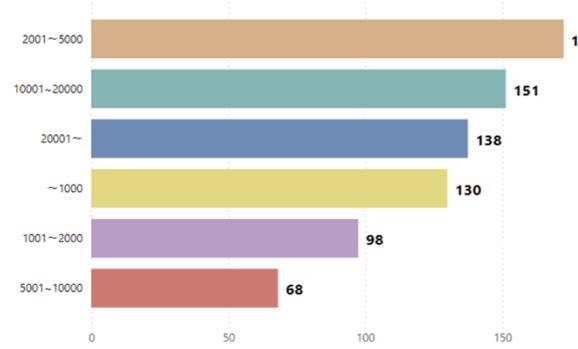
役割ごとの1日平均現場巡回時間



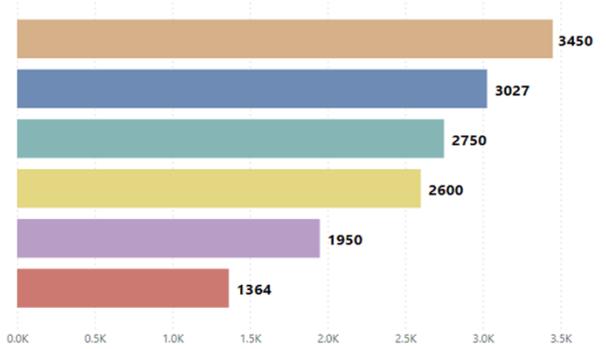
役割ごとの月平均現場巡回時間



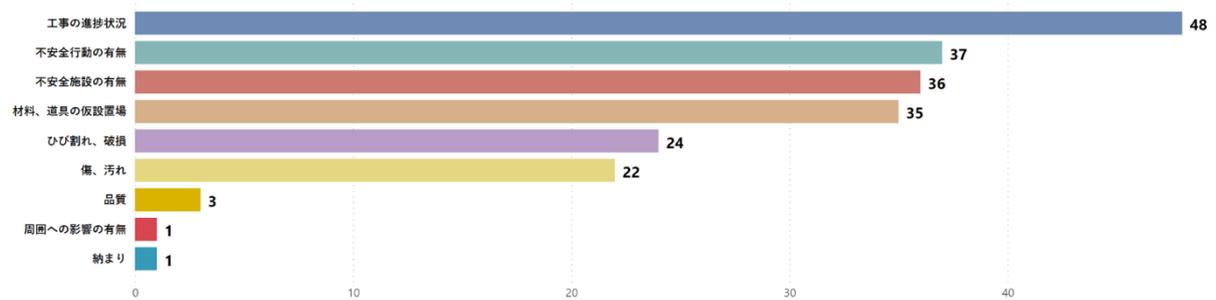
規模ごとの1日平均現場巡回時間



規模ごとの月平均現場巡回時間



巡回でどのような所を特に確認するか



【アンケート統計】

アンケート調査で回答されたデータでは、役職別1日当たりの平均現場巡回時間は「現場作業員で160分」「現場主任で129分」「現場所長で100分」であった。これらを月換算にするとそれぞれ、「約57時間」「約43時間」「約30時間」となる。

また、建物規模ごとの平均現場巡回時間では、2万㎡以上で「138分」、1万～2万㎡で「151分」、2千～5千㎡で「173分」という結果だった。

建物用途としては、「工場」「倉庫」「学校」「事務所」「改修」等がある。

【ヒアリング内容】

アンケート調査の一環で、施工現場の現場巡回でドローンを活用する事で作業効率や負担が減るのか、意見を回答してもらった。要約した内容を以下にまとめる。

施工管理者の意見

現場巡回を無くすことは不可能だと思うが、多少の時間を削減する事は出来そう。例えば、仮設足場を通って行く必要のある高所をドローンが撮影する等。
歩いて現場巡回していると、途中で職人に呼び止められるため、併用すれば目の行き届かない場所にも後から映像を確認して、問題がありそうであれば現地確認するという活用が出来そう。
最終的には人の目で確認する必要があり、ドローンの飛行に関する安全策も講じる必要があるため作業効率の軽減にはならないと感じる。
ドローンで現場を確認している間はカメラを見てる必要があり、現地での確認と違いを感じられない。また、直接確認した寸法を測ったり出来るため、結局は現場に行きそう。
ドローン運用のための準備や対策の準備が大変そう。

【分析】

アンケートの統計データとヒアリングから分析すると、役職・規模ごとの現場巡回時間を調査したところ、現場所長<主任<作業員の順・規模が大きい程、現場巡回に費やす時間が長い。職人対応を除く現場巡回の中で特にどの様な所を見ているのかを確認したところ「工事の進捗状況」「不安全行動・施設の確認」「材料や道具等の仮設置場状態」と多く回答している。また、意見として最終的には人の目で確認する必要があるため削減にはならない、安全対策や準備が大変そうという意見が多くある一方で、足場の悪い所や高所の巡回では時間削減できそう、映像を確認する事で何度も確認しに行くことがなくなりそう、指示や打合せの際の説明が楽になりそうという意見もあった。

工事進捗確認においては人による現場巡回と自律型ドローンによる足場の悪い場所や危険性のある場所の巡回を併用する事で、作業効率向上と危険回避が望めると考えられる。また、安全設備の不備や不安全行動の発見等の常に注意しなければならない安全管理については、自律型ドローンの巡回によって早期発見と不安全行動予防が考えられる。

現時点での自律型ドローンによる現場巡回について、実測したり・触ったり・移動させる必要のある場面では人が実施しなければならないが、見る事で確認できる事項については自律型ドローンでも十分に活用できる事の認知を広げると共に引続き実証検証を実施していく必要もある。

作業効率向上に関する総評

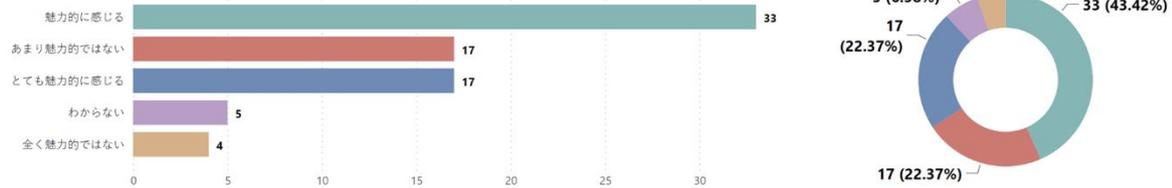
現時点では自律型ドローンで監理・管理業務を行える部分は限定的であると考えられる。そのため、作業時間削減についても限定的な効果は得られると考えている

表面上（大きな傷や汚れ、ひび）における確認や全体的な**工事進捗確認**、**不安全施設・行動の発見等の安全管理**については自律型ドローンによる遠隔確認は可能だと考えられる。**人の目で確認する必要がある事項とドローンで確認することが出来る事項で分業**し、人と自律型ドローンが同時巡回可能となれば作業効率向上への効果も期待できると考えている。ただし、自律飛行するドローンに対する**安全対策**やドローン機体から発生する**下方風**やプロペラ音による**労働環境**への対策が必要となってくる。

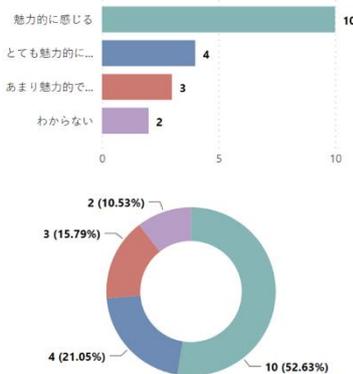
アンケート・ヒアリングからのドローンによる遠隔工事進捗監理・管理に関する分析

3. ドローンを活用した現場巡回について

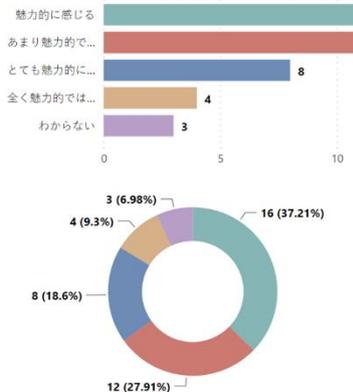
現場巡回でドローンを活用する事に魅力を感じるか



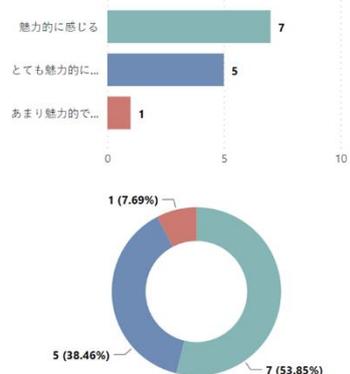
設計者



施工管理者



営業部・その他



【アンケート統計】

アンケート対象者に「ドローンを活用した現場巡回」について調査したところ、「とても魅力・魅力を感じる」と回答したのが65.7%であった。「全く魅力・魅力に感じない」と回答したのが27.6%、「わからない」が6.6%であった。

役割別でみると、工事監理者では約73%が魅力的に感じており、施工管理者も約55%が魅力に感じているが37%は魅力に感じていない。営業担当者を見ると殆どの者が魅力的に感じているということが分かった。

【ヒアリング調査】

アンケート調査の一環で、現場巡回でドローンを活用する事について意見を以下に記す。

監理者の意見

現場巡回を無くすことは無理だと思うが、併用できれば目の行き届く範囲が広がると感じる。

ドローンの運用方法によっては現場に行かなくても現場の状況が定期的に確認できそう。

どこまで細部を確認できるのかが疑問に思う。

人がやっても大した作業量にならないような気がするので、メンテナンスや導入費用を考えると不要な気がする。

設計者や発注者側には併用できればメリットはありそうではあるが、現場の人から見るとドローンが飛行していると作業がやり難そうだと感じる。

施工管理者の意見

現場巡回で高所など見にくい部分の確認に活用出来そう。

撮影した映像を工事監理者・職人との進捗確認や打合せに活用出来そう。

映像を記録できるので、巡回記録や施主への確認用として使用できる

人間の巡視では危険度が高いと思われる場所の巡視に活用できると感じる

現場職員がコントロールしていないものがあるという事が不安に感じる

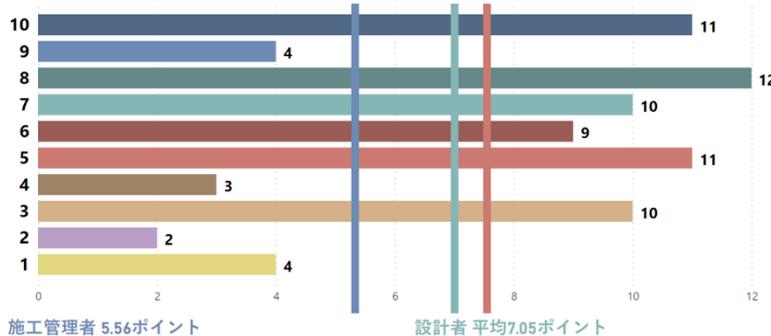
直接現場を巡回する方が得られる情報量が多いと思う。また、細かな確認必要事項の漏れが生じる可能性がある。

ドローンの飛行に関する安全対策等も講じる必要があり、手間に感じる。

ドローンと作業員が接触する災害や電線などと接触するリスクがありそう。

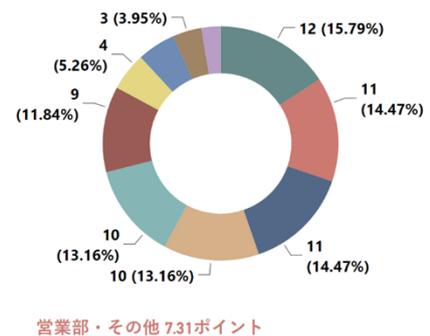
4. ドローンを活用したいか（総合的に評価）

現場巡回でドローンを活用する事に魅力を感じるか

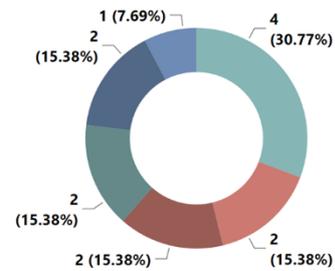
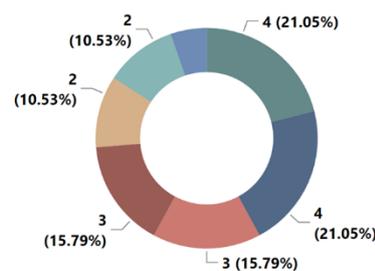
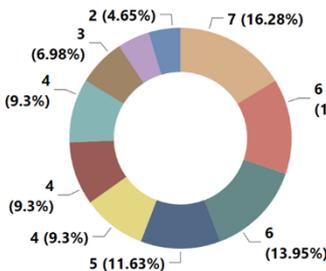


施工管理者 5.56ポイント

設計者 平均7.05ポイント



営業部・その他 7.31ポイント



【アンケート集計】

アンケート対象者に魅力、メリット・デメリット、将来的な技術的工場等を考慮したうえで現場状況の確認や進捗確認等にドローンを活用してみたいかアンケート調査したところ、全体の平均ポイントが62%であった。役職別でみると、**工事監理者が70.5%、施工管理者が55.6%、営業・その他が73.1%**であった。

【ヒアリング調査】

アンケート調査の一環で、現場巡回でドローンを活用する事について意見を以下に記す。

監理者の意見

監理や検査用の記録写真としては利用できるかわからないが、大まかな工事進捗の確認や巡回の補助的な活用においては活用することが出来そう。
倉庫などは全て巡回して確認しようとする時間が掛かり確認しきれない事もあるが、ドローンを併用できれば、その分をカバーできそう。
今の段階では現場での確認が必要であると思うが、技術が向上し性能が上がれば効率化になる可能性がある。
細かい部分（覗き込んだり）までは確認できないかと思う。工事全体の進捗確認には活用出来そう。

施工管理者の意見

人材が不足していく中で、ベテラン技術者が複数の現場をリモートで確認したりする事を可能にすることができ、定期的な助言やサポートが望めそう。
大規模現場での活用や施主や監理者に対する打合せで活用出来そう
現場が広大であればドローンの活用は有効かと思うが、規模が小さければ不要だと思う。
コストに見合う精度で運用できるのかイメージがわからない

営業・その他の意見

施主への進捗記録として活用出来そう
オンライン会意との併用で、現場を映しながら打合せできそう。

【分析】

工事監理においては、ドローンによる進捗監理について魅力に感じると回答する割合が73%と多く、ドローンを活用したいかの評価についても70.5% (7.05pt)であった。特に多い意見は「定期的な現場状況がわかる」「目の行き届かない場所を確認できる」「自分の机で記録を見る事が出来る」という意見が多い。近辺の現場であれば打合せも兼ねて現場巡回した方が効率的であるため魅力・活用への評価は低い。遠方においてはオンライン会議も定着しつつあるため監理現場へ直接行く機会も少なくなり執務室から現場状況を確認出来る事や記録を確認できる事は魅力・活用への評価は高い。また、「どこまで細部を確認できるのかが分からない」という意見も多くあり現時点では分からないという評価も一定数ある事から、自律型ドローンで確認できる詳細部分について更に検証して有効性の認知に努める必要がある。

施工管理においては、魅力に感じていないと回答する割合が37%と多く、ドローンを活用したいかの評価についても55.6% (5.56pt)と低い。現場職員がコントロールしていない機体が現場を巡回している事に対する抵抗感や不安感、自律型ドローンで納まりを確認する事の難しさや確認漏れ、導入コストに対する費用対効果などから魅力・活用への評価が低くなっている。一方で、経験豊富な技術者の不足対策として遠隔によるサポート体制構築やドローン技術が向上し安全性が向上すれば進捗記録や施主や工事監理者との打合せに活用できるという評価もある。メリットを一部感じている一方で、安全や確認見逃しへの不

安、ドローンを運用する事による手間等への抵抗感があることから、自律型ドローンの安全な運用方法や活用目的（安全確認や工事進捗記録）を明確化し、有効性の認知に努める必要がある。

営業担当者においては、自律型ドローンを使って記録した映像を確認できる事に対して多くの方が魅力・活用に高い評価をしている。現場内の様子を見ることが可能で工事の推移を映像で確認できるため、発注者との打合せや確認に活用できるという意見が多い。また、オンライン会議と併用すれば会議中に現場内の協議している場所へ自律飛行させ、映像を見ながらの会議が出来るという意見もあり、実現可能であれば魅力・活用できるという評価であった。

自律型ドローンによる遠隔工事進捗確認と監理・管理業務に関する総評

現時点での検証結果や体制、現場環境では、自律型ドローンは工事全体の進捗確認や記録、内部定点カメラの代替による不安全行動の監視等の限定的な活用であれば有効に運用可能であると考えられる。納まり等の詳細部については、どの程度確認できるかによって活用の幅が広がるため引続き検証する必要がある。人が直接確認する必要がある事項とドローンでも確認できる事項を分類分けの必要性があると考えている。人とドローンそれぞれで確認する事項を明確に分類する事で作業分業が可能となり、自律型ドローンを効率的に活用できると考えている。

ただし、自律型ドローンへの安全対策や計画的な現場内環境の整備、労働環境への影響等課題も多くある。ドローン機体の性能向上によって課題解決可能な内容もあれば、現場内環境の見直しが必要な課題、工事進捗に伴い変更が伴う課題などがあり、これらを解決しなければ工事進捗確認、工事監理・管理業務の中での運用実現は厳しいため、引続き実証検証の必要性が重要である。

9. 結果から導き出される、より発展的に BIM を活用するための今後の課題

9.1. 事業者として今後さらに検討・解決すべき課題

運用ベースでの検討と課題

- ・ 自律型ドローン運用に**適した建物用途**の検討
- ・ 工事進捗に伴う自律型ドローンの**ベース基地の設置位置**に関する課題解決
- ・ 自律型ドローンで撮影した工事進捗映像の具体的な活用方法
- ・ 自律型ドローン運用を前提とした工事計画での作業負担の検討
- ・ 現場運用における**安全性を確保した運用方法**の課題
- ・ 自律型ドローンによって**完全遂行可能な項目**の整理

BIM とドローン等との連携による自律飛行と映像記録

- ・ BIM 上で設定した飛行ルートをドローンと同期
- ・ ドローンで撮影した映像を自動で BIM モデルに同期

ドローン等による遠隔進捗確認への意識改革

9.2. 建築 BIM 推進会議や関係部会・関係団体等に検討してほしい課題

- ・ ドローン等を活用した遠隔臨場検査（部会 3: BIM を活用した建築確認検査の実施検討部会）
- ・ BIM とドローン等とのデータ連携手法（部会 5: BIM の情報共有基盤の整備検討部会）
- ・ ドローン等（施工支援ロボット）の運用技術者の養成・推進（部会 6: 人材育成、活用促進）

9.3. 今後のガイドラインの見直しに向けた具体的な提言

本検証は施工現場で自律型ドローンを自律飛行させる事が可能か又作業負担軽減や満足度（活用したいか）の検証を目的としているため、ガイドライン見直しに向けた提言はありません。

10. まとめ・今後の展望

新しい設計概算手法についての検証は、工数削減効果は期待通りの結果となり、業務効率化の面だけでなく発注者メリットとしても期待の大きさを確認することが出来た。単価の管理等の見えてきた課題を解決するとともに、今後は、直接仮設や構造体なども含め、S1 段階での総合的な概算を検証し実用化を目指す。また、AI コスト予測に関する検証は、AI 単価予測の精度や学習データの充実の課題が見えてきた。これらの課題に向けたさらなる検証と、鉄骨以外の主要材料に視野を広げた検証に引き続き取り組んでいきたい。

本検証で現場の進捗状況や工事監理業務の一部を自律型ドローンによって現場巡回させ工事進捗確認や監理業務の一部を遠隔から実施できる可能性がみえてきた。自律型ドローンへの安全対策や現場労働環境への影響、体制など課題も出てきたため、今後の検証で課題解決と有効な運用方法等を検討し運用実現に向けて取り組んでいく。また、本検証では BIM モデルと今回使用したドローン機体の連携実現には至らなかったため、今後の展望として BIM とドローン等の連携実現を目指し生産性向上に向けた取組みを引続き実施していく。

11. BIM 発注者情報要件（ EIR ） 、 BIM 実行計画（ BEP ） の検証結果

本検証は、事業主体に発注者を含まないため、BIM 実行計画（BEP）のみ作成した。

BIM モデルのステージが工程に合わせて変化するものでなく、データの受け渡しや取決め等はシンプルである。しかし、検証内容が3項目と多く、それぞれのプロジェクトがどのように進捗していくか把握するために、簡略的であるが1つにまとめた BEP を作成した。

検証ごとの色を決め、進捗状況をわかりやすく整理した。反省点としては、それぞれのタスクを誰が行うかについて工程表に明確に表現できるとよかった。