

令和4年度(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モデルと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 | Page:4~12 |
| 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 | Page:13~19 |
| 検証B-1 | 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 | Page:20~40 |

第8回先導型BIMモデル事業WG

令和5年1月31日

東洋建設株式会社

技術指導および委託業務企業



検証A-1



検証A-2



検証B-1

全体プロジェクト概要

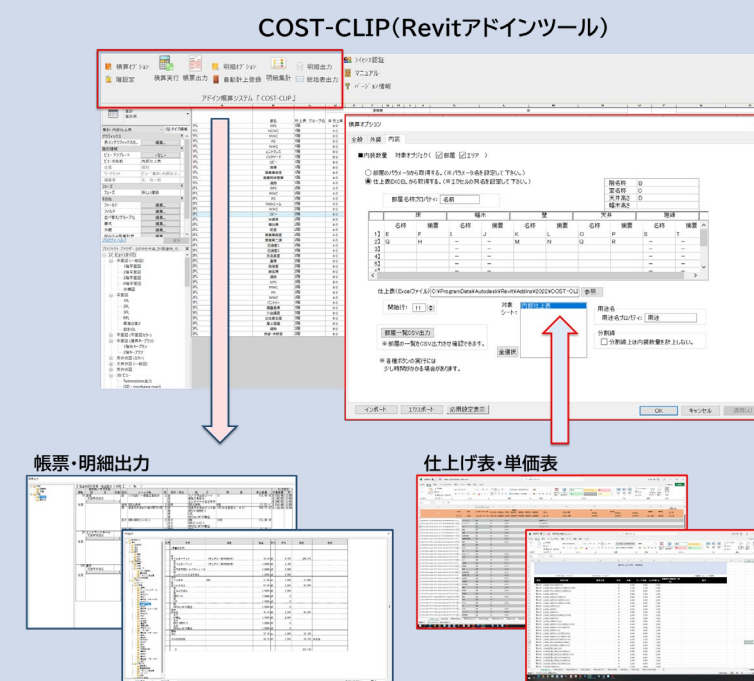
新しい設計概算手法によるコスト算出の迅速化とAIコスト予測に関する評価・検証

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】

- ・RevitとCOST-CLIPの互換性検証
- ・内部仕上げ属性情報入力のルール確立
- ・仕上表、単価表の確立と整備(BIM連携用)
- ・算出結果の正確性の検討
- ・有効性、効率性の効果検証



BIMモデルと自律型ドローンを活用した遠隔工事監理手法に関する評価・検証

検証B-1 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

BIMモデル上でドローンの飛行ルートを設定し遠隔操作によって自律飛行させることで、遠隔確認と撮影記録を行う。撮影した静止画や動画の解像度や明るさ、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。

【検証内容】

- ・施工現場における安全性の検証
- ・現場状況の自律飛行撮影検証
- ・撮影した静止画・動画の精度分析
- ・BIMモデルとの連携検証



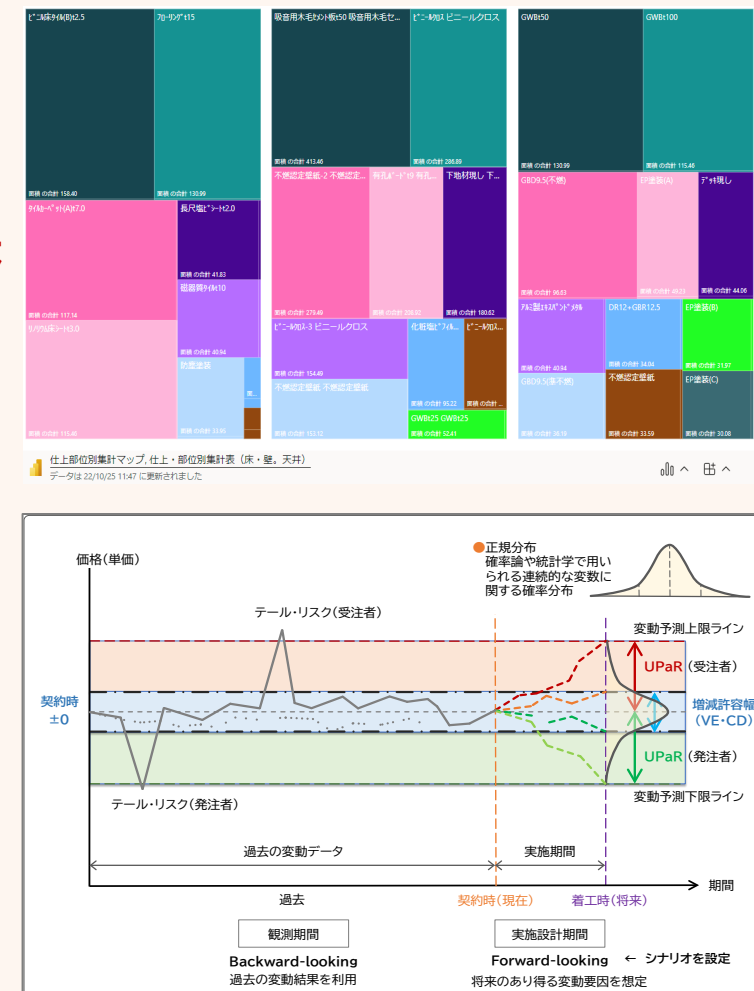
検証A-2 AIアルゴリズムの検証およびPoCおよびコスト可視化による評価・検証

概算コストを項目ごとに見える化しCDE上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。

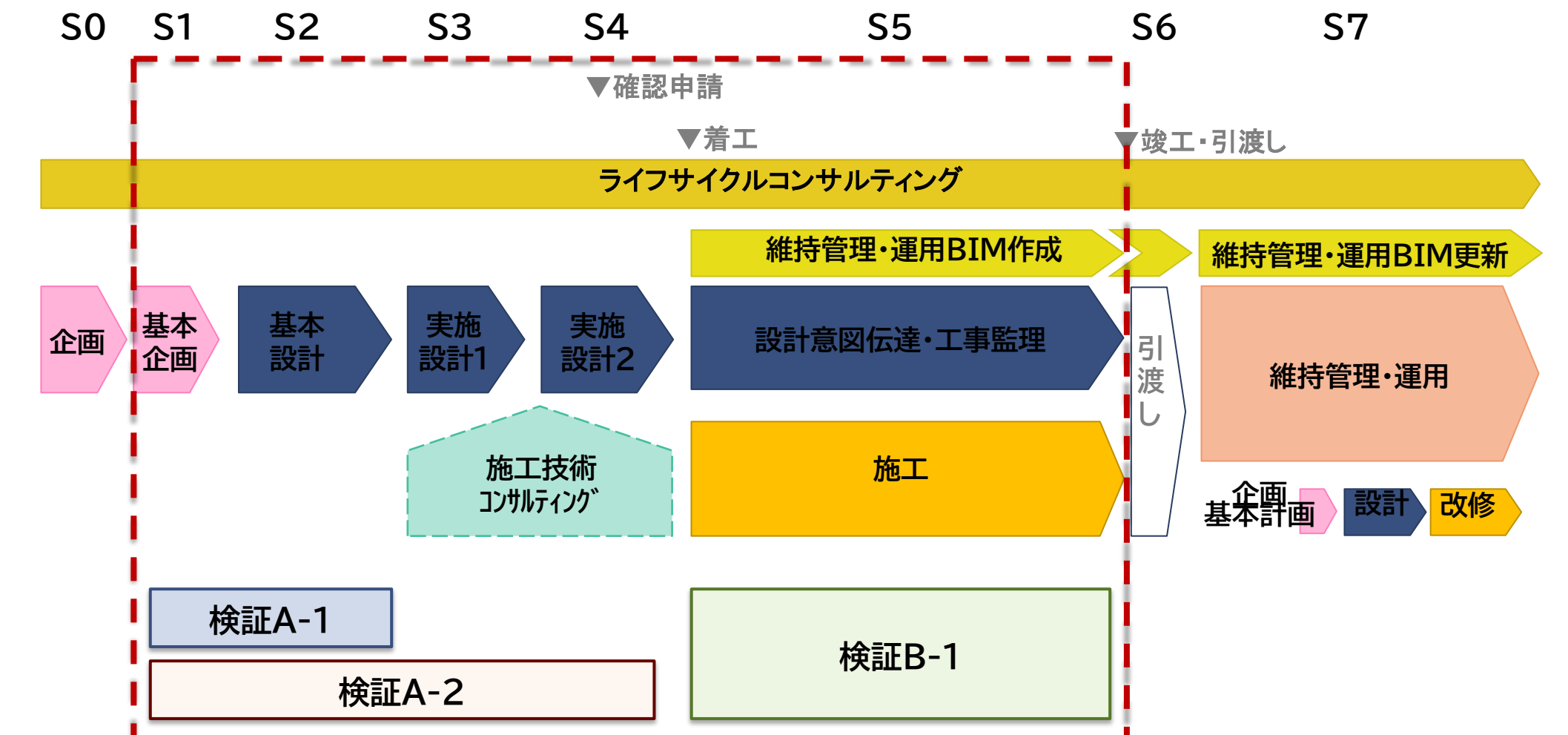
AIアルゴリズムによって計画初期段階時点から工事着工時の鉄骨の価格変動を予測する事でコスト変動によるリスクを把握する事が可能かについての概念検証を行う。

【検証内容】

- ・概算コストのBI開発
- ・コスト見える化による有効性と実用性の分析
- ・鉄骨部材コストを予測する情報収集と分析
- ・変動リスクの予測の実現性の分析



プロジェクト業務ステージ S1~S5



全体プロジェクト概要

検証A-1

【想定効果】

- 設計概算コストをBIMモデルとExcel単価シートのシンプルな仕組みで算出することで工数削減による作業の省力化
- コストを見据えた設計提案の向上
- 設計者のBIMによる設計プロセスへの普及

【定量的な目標】

コスト算出結果取得までの工数又は時間の削減効果

50%削減

設計変更によるコスト変動の見える化による顧客満足度の効果

70%

検証A-2

【想定効果】

- 部屋別・部位別のコスト情報を容易に把握する事ができ、コストバランスの調整に活用できる。
- 計画初期段階から工事着工時を見据えたコスト変動リスクを把握することが出来、協議・検討、積算/購買担当者の単価判断時のツールとして有効

コスト予測AIの開発と情報収集元の精査

検証B-1

【想定効果】

- 現地に行かなくても工事監理者が現場状況や進捗確認を実施することによる、移動に係る時間や経費の削減
- 作業員による巡回撮影の作業軽減
- BIMとの紐づけによる監理

【定量的な目標】

移動時間を含む作業時間又は日数の削減効果

50%削減

ドローンによる遠隔工事進捗監理・管理での顧客満足度の効果

70%

【対象プロジェクト】

Project T 完成予想パース



用途:学校(専修学校)【施工中】
 構造:鉄骨造
 規模:地上5階
 延べ面積:約760㎡
 検証のプロセス:設計施工一貫BIM

Project S 企画提案時パース



用途:店舗+事務所【計画中】
 構造:鉄骨造
 規模:地上2階
 延べ面積:約1,000㎡
 検証のプロセス:設計施工一貫BIM

【対象プロジェクト】

Project J 完成予想パース



用途:専門職大学【施工中】
 構造:鉄骨造(一部RC造)
 規模:地上4階
 延べ面積:約10,000㎡
 検証のプロセス:設計施工一貫BIM

令和4年度(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

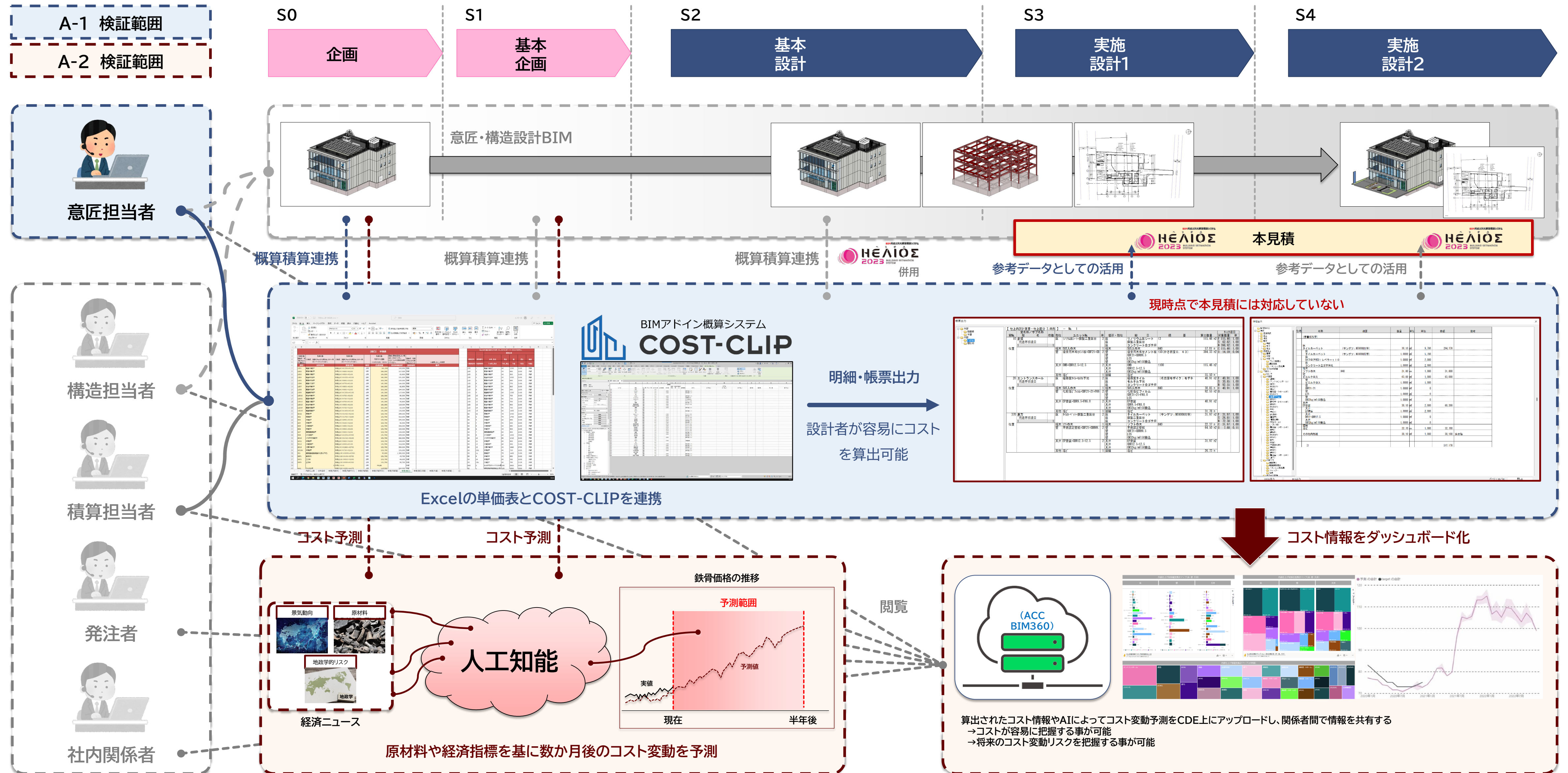
および

BIMモデルと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 | Page:4~12 |
| 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 | Page:13~19 |
| 検証B-1 | 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 | Page:20~40 |

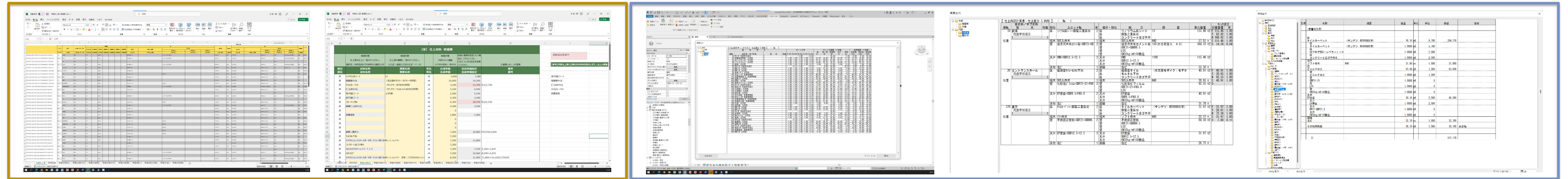
検証A BIMでの概算コスト算出における将来的な設計プロセスイメージ

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



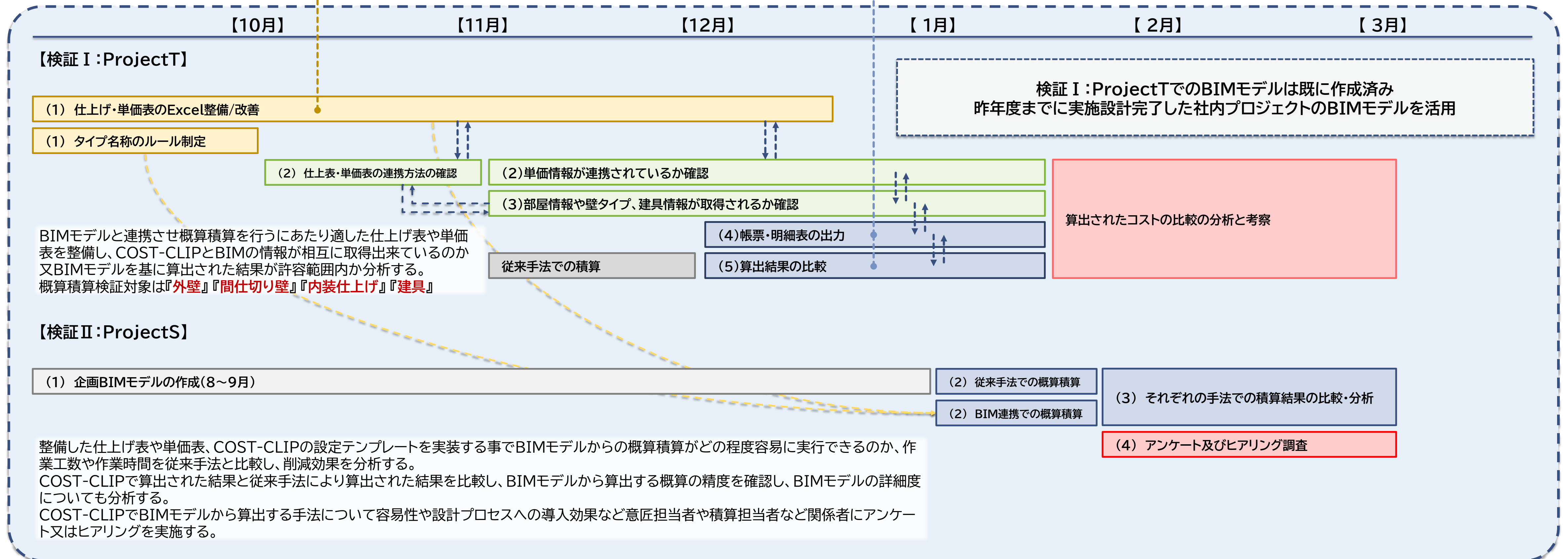
検証A-1 検証について

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



仕上げ表/単価表の整備

部屋情報・壁・建具情報の取得情報/帳票/明細表





BIMアドイン概算システム COST-CLIP



株式会社日積サーベイ
Nisseki Survey

「概算数量・概算コスト」を簡単に算出できることを目指して開発されたコストマネジメントシステム

- ① 設計初期段階のBIMモデルの活用の幅を広げる
 - ② BIMモデルによって概算の効率化を図る
 - ③ コストを意識したBIM設計を推進
- 以上のニーズに対応するBIMアドイン概算システム

【COST-CLIP利用対象】

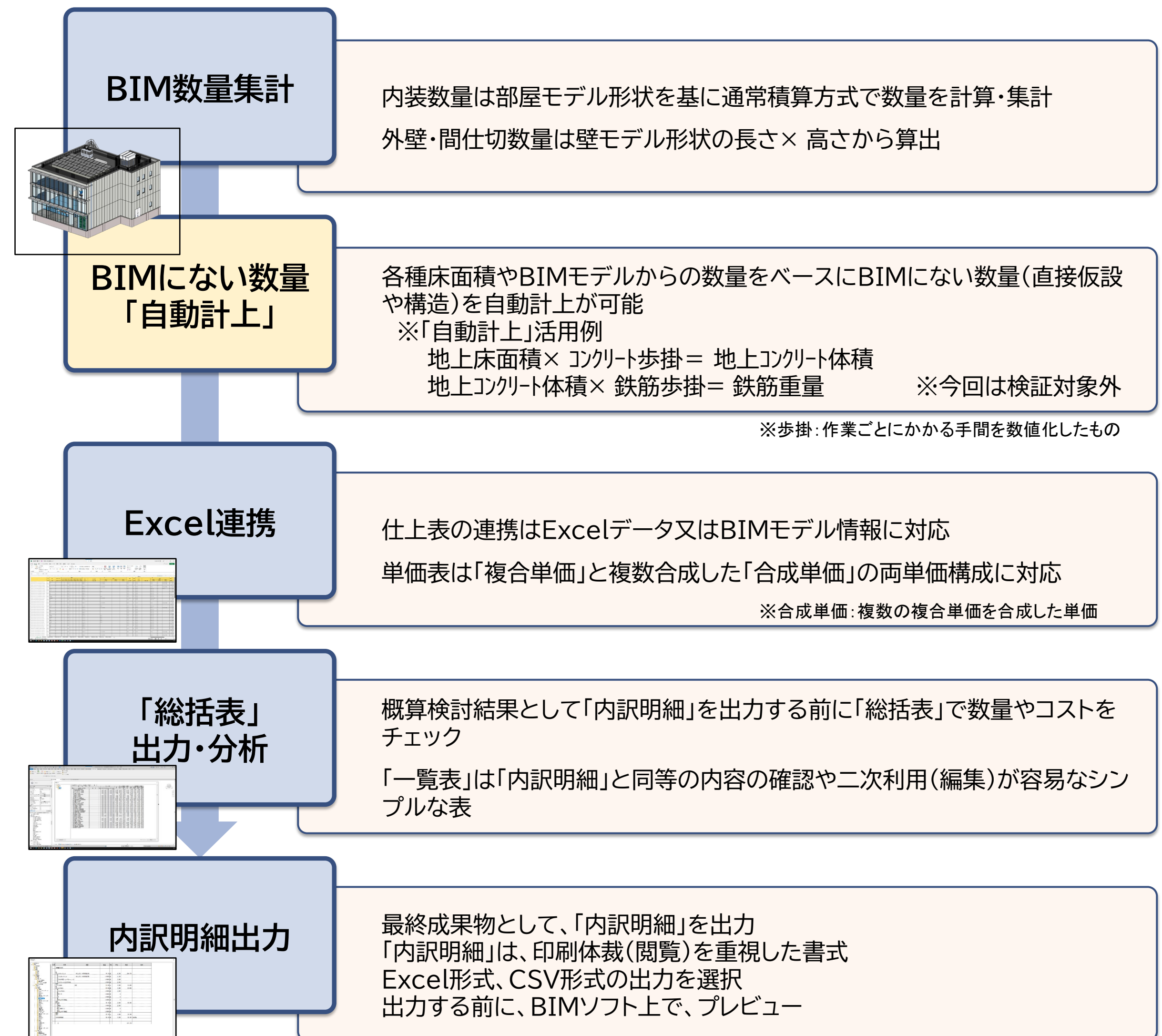
| | |
|--------------|---|
| 対象BIMソフト | Revit(Autodesk) Archicad(Graphisoft) |
| 対象設計フェーズ | 企画段階-基本計画-基本設計 |
| 対象となる建物 | RC造 / S造 / SRC造 |
| 概算対象 | 建築工事費全般 (V1.5では外構工事・設備工事は除く ※今後対応予定) |
| 最低限必要なBIMモデル | 各階に部屋が配置されているBIMモデル |

【COST-CLIP標準装備】

- ・ 数量算出 (積み上げ+自動計上)
- ・ 仕様情報 / コストデータ連携 (Excel連携)
- ・ 算出結果出力 (BIM上プレビュー+Excel出力)

BIM上にモデリングされたオブジェクトが持つ属性情報・形状情報を利用し、数量の集計・コストデータとの紐づけを行い、各種帳票の出力・コスト情報を含んだ総括表の出力・最終的なアウトプットとして部分別内訳書の出力を可能とし、BIM化されたモデルの概算建物コストの算出を行うBIMアドインシステム。

【COST-CLIP利用フロー】



検証A-1 従来手法とBIM積算連携の概算積算作業工程

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



【COST-CLIPの明細ウィンドウ】

| 記号 | 名称 | 摘要 | 数量 | 単位 | 単価 | 金額 | 備考 |
|------|---------|--------------------|------|----|---------|-----------|----|
| | アルミ製建具 | | | | | | |
| AW1 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4475 | 1.00 | ヶ所 | 111,000 | 111,000 | |
| AW2a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H3308 | 1.00 | ヶ所 | 168,000 | 168,000 | |
| AW2b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H2343 | 9.00 | ヶ所 | 103,000 | 927,000 | |
| AW3 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 1.00 | ヶ所 | 202,000 | 202,000 | |
| AW4a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 6.00 | ヶ所 | 251,800 | 1,510,800 | |
| AW4b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 6.00 | ヶ所 | 269,500 | 1,617,000 | |
| AW5a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 195,000 | 195,000 | |
| AW5b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 228,000 | 228,000 | |
| AW7 | アルミFIX窓 | 枠見込150 W4620×H1800 | 1.00 | ヶ所 | 433,000 | 433,000 | |
| 計 | | | | | | 5,391,800 | |

【Excelに書き出した明細のイメージ】

| 記号 | 名称 | 摘要 | 数量 | 単位 | 単価 | 金額 | 備考 |
|------|---------|--------------------|------|----|---------|-----------|----|
| AW1 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4475 | 1.00 | ヶ所 | 111,000 | 111,000 | |
| AW2a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H3308 | 1.00 | ヶ所 | 168,000 | 168,000 | |
| AW2b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H2343 | 9.00 | ヶ所 | 103,000 | 927,000 | |
| AW3 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 1.00 | ヶ所 | 202,000 | 202,000 | |
| AW4a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 6.00 | ヶ所 | 251,800 | 1,510,800 | |
| AW4b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 6.00 | ヶ所 | 269,500 | 1,617,000 | |
| AW5a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 195,000 | 195,000 | |
| AW5b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 228,000 | 228,000 | |
| AW7 | アルミFIX窓 | 枠見込150 W4620×H1800 | 1.00 | ヶ所 | 433,000 | 433,000 | |
| 計 | | | | | | 5,391,800 | |

【Excelに書き出した総括表のイメージ】

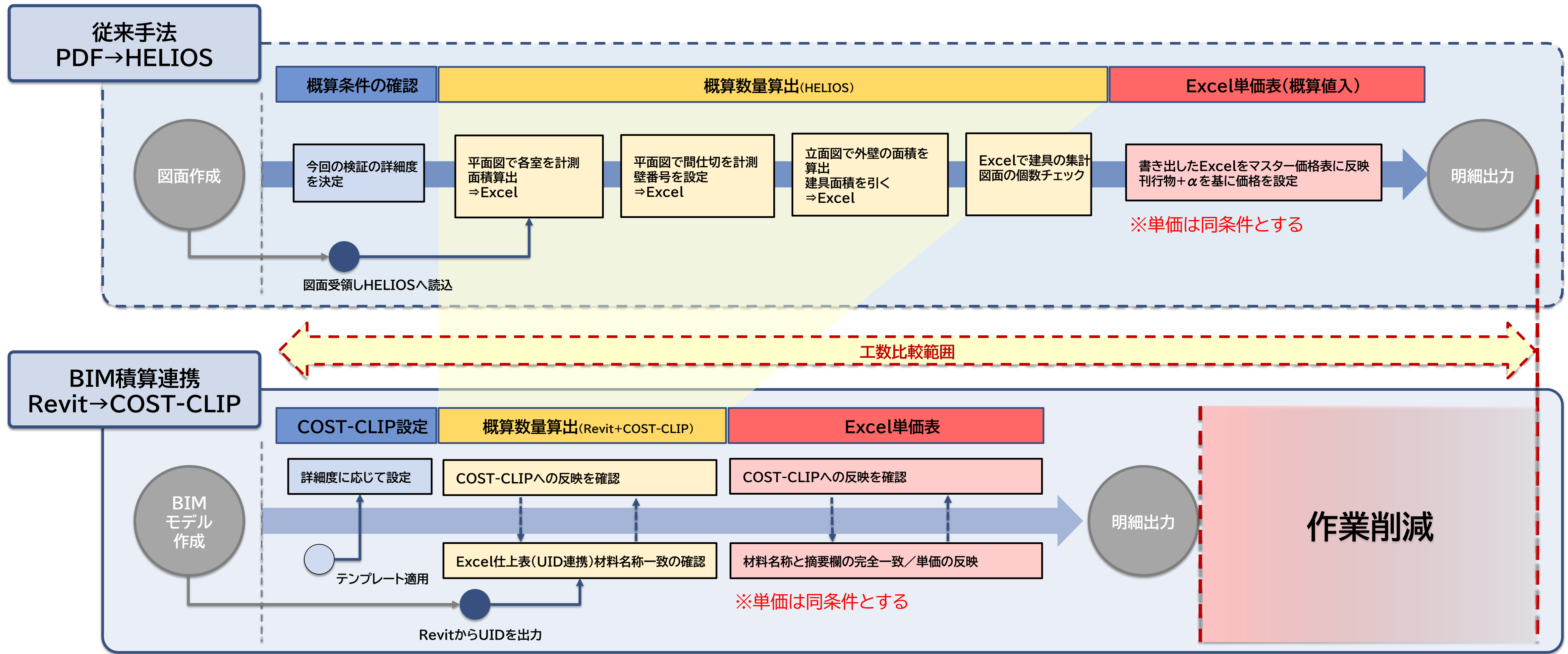
※結果の確認作業に活用できる

| 部位 | 代表数量 | 数量分析 | コスト分析 |
|--------|-----------------------|-------------------------|--------|
| 建築面積 | 643.31 m ² | 0.00 m ² | 0.00 |
| 延床面積 | 643.31 m ² | 0.00 m ² | 0.00 |
| 地下床面積 | 0.00 m ² | 0.00 m ² | 0.00 |
| 建物延長 | 1.00 m | 418.15 m | 0.05 m |
| 地上階数 | 0 階 | 2,927.05 m ² | 7.00 |
| 地下階数 | 0 階 | 0.00 m ² | 0.00 |
| 地下平均高さ | 1.05 m | 0.00 m ² | 0.00 |
| 地上平均高さ | 3.98 m | 2,927.05 m ² | 7.00 |
| 地下平均高さ | 0.00 m | 0.00 m ² | 0.00 |

| 記号 | 名称 | 摘要 | 数量 | 単位 | 単価 | 金額 |
|------|---------|--------------------|------|----|---------|-----------|
| AW1 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4475 | 1.00 | ヶ所 | 111,000 | 111,000 |
| AW2a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H3308 | 1.00 | ヶ所 | 168,000 | 168,000 |
| AW2b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H2343 | 9.00 | ヶ所 | 103,000 | 927,000 |
| AW3 | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 1.00 | ヶ所 | 202,000 | 202,000 |
| AW4a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4008 | 6.00 | ヶ所 | 251,800 | 1,510,800 |
| AW4b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 6.00 | ヶ所 | 269,500 | 1,617,000 |
| AW5a | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 195,000 | 195,000 |
| AW5b | アルミFIX窓 | 枠見込200 W250×H4523 | 1.00 | ヶ所 | 228,000 | 228,000 |
| AW7 | アルミFIX窓 | 枠見込150 W4620×H1800 | 1.00 | ヶ所 | 433,000 | 433,000 |
| 計 | | | | | | 5,391,800 |

検証A-1 従来手法とBIM積算連携の概算積算作業工程

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



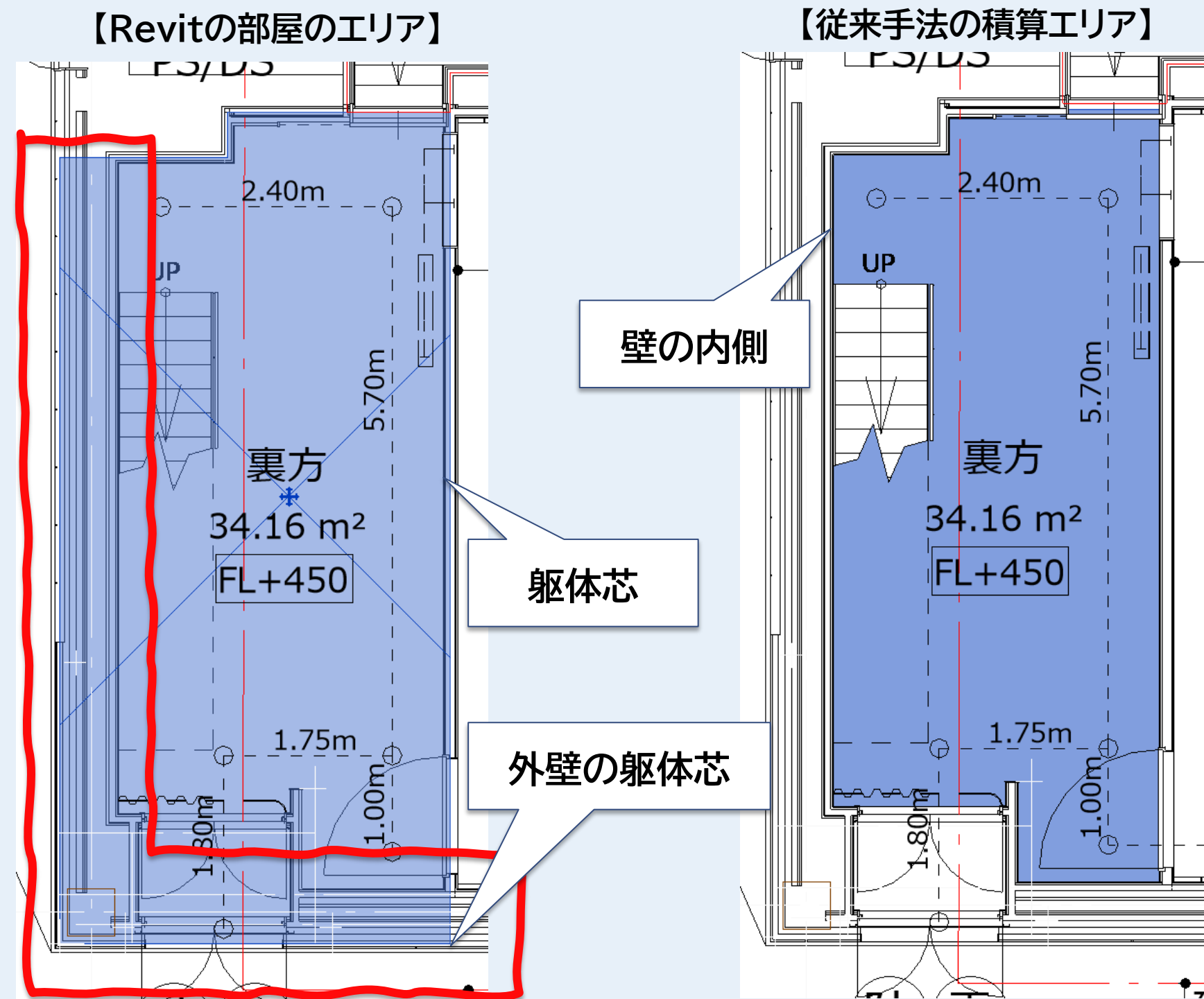
検証A-1 従来手法とBIM積算連携の概算積算作業工程

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

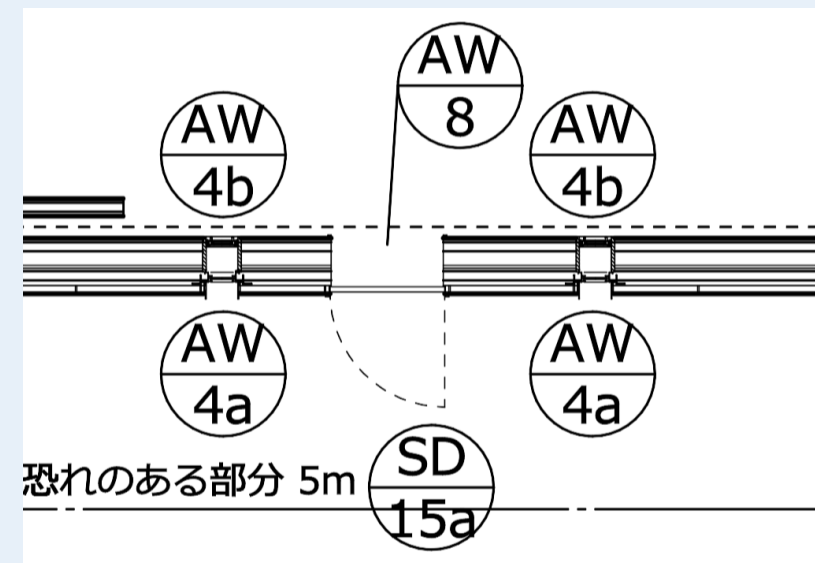
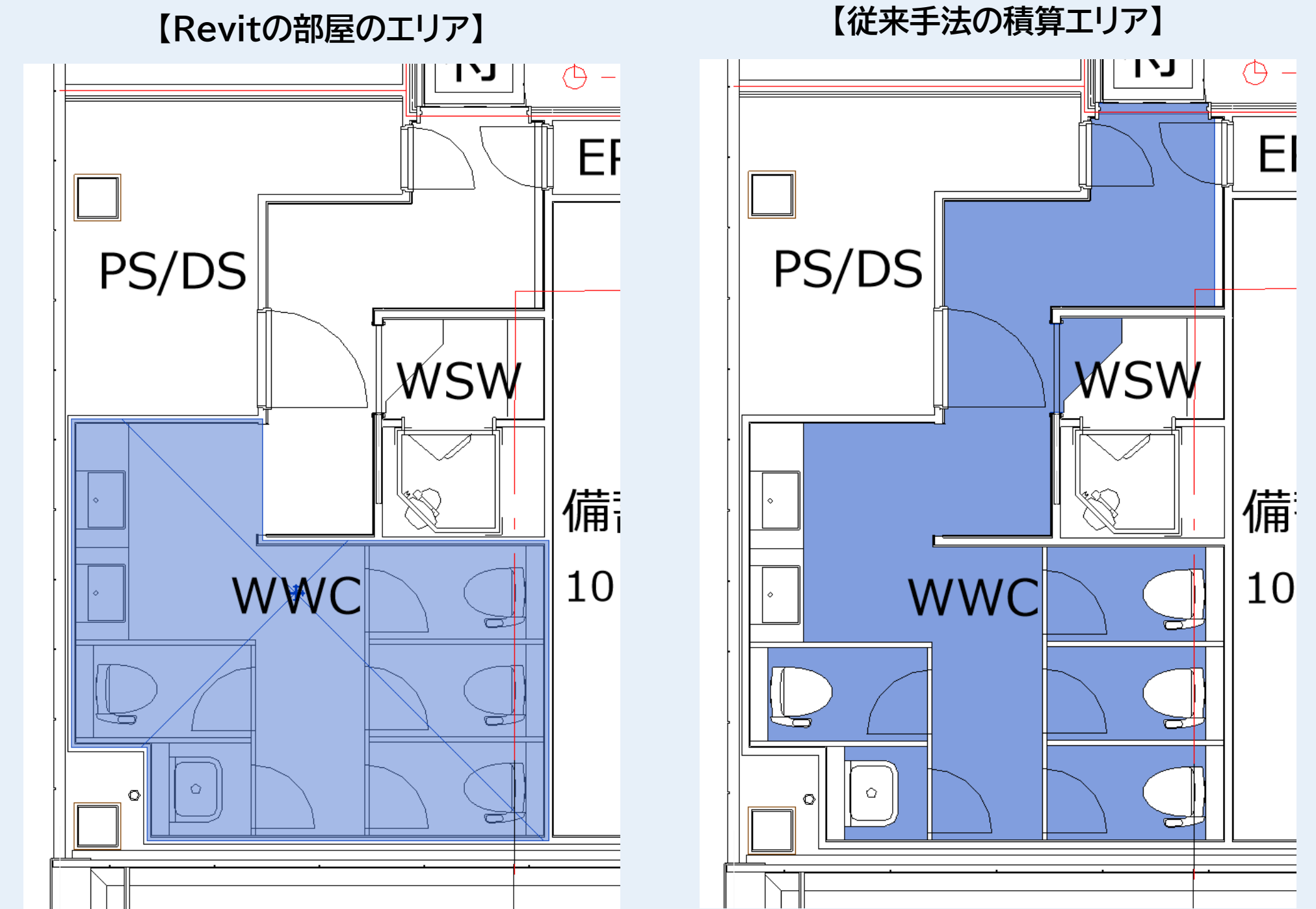
【検証I:ProjectT】

| | 検証条件 | | | | | | 検証結果 | | |
|----------|------|----------------|-------|------------------------------------|---|--------------------------|------|---|---|
| | イメージ | 計上単位 | 開口部 | 高さ | 単価 | 建築工事に占める割合(参考値) | 評価 | 誤差範囲 | 考察(次ページ参照) |
| 部屋(床壁天井) | | m ² | 考慮しない | ※壁仕上 天井高さ 直天は 階高-スラブ厚 | | 内装工事 約12% | ○ | 床・天井 (巾木・廻り縁) 5~20%程度 壁 1~40%程度 | <ul style="list-style-type: none"> 床、天井は従来手法より5~20%程度増える傾向有。 ⇒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。 一部小さい値のものは、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。 大きな誤差について原因を検証中。 |
| 壁(外壁) | | m ² | 考慮する | — | 従来手法と同一の単価設定とし、数量(m ² 、箇所)でどの程度の差が出るか比較検証する。 | 既製コンクリート工事 約8% | ◎ | 0~10%程度 | <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) | | m ² | 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% | ◎ | 0~30%程度 ↓↓ 0~10%程度 | <ul style="list-style-type: none"> 従来手法より小さい印象。 ⇒天井止まりかスラブまでかの違いで30%程度誤差が出る。 ⇒統一することで、10%程度の誤差に納まった。 |
| 建具 | | 箇所 | — | — | | 金属性建具工事 約9% | ◎ | 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ーを分けて作図し、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。 |

面積境界の捉え方による差異。



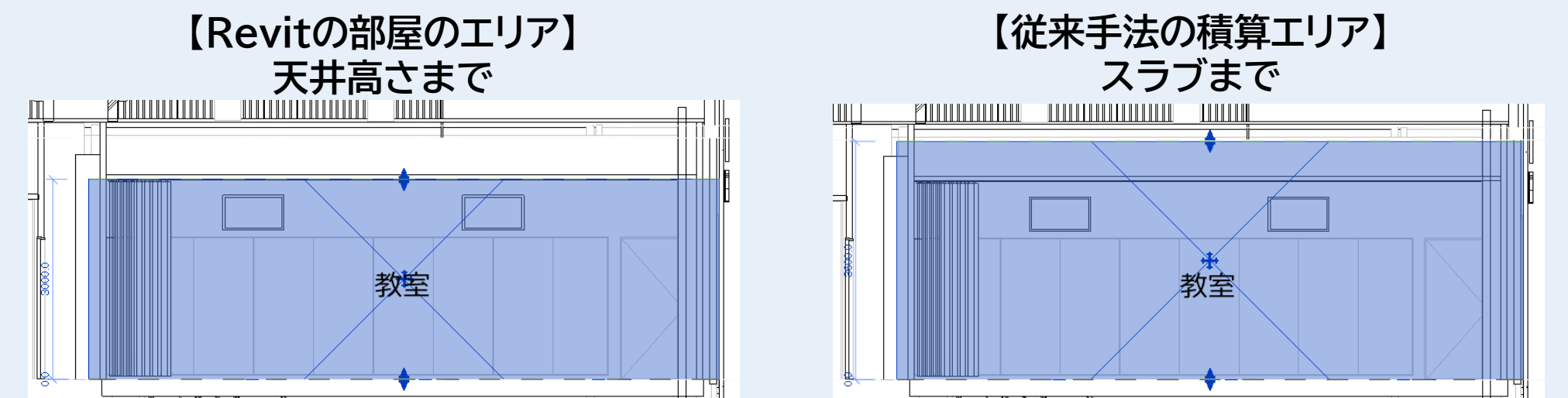
廊下の面積を含めるか否かで数値に差異が生じた。



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。

壁の高さの捉え方による差異。



検証A-1 仕上げ表/単価表の整備

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

【材料名称リスト(Excel)】

使用する部材名称をリストに登録することで、個々人の入力の癖を無くし、連携可能とした。
例)半角⇄全角、ビニールクロス⇄ビニルクロス...

| | 床仕上 | 床下地 | 幅木等 |
|---|--------------|-------------|-----------|
| 1 | ウレタン樹脂系防塵塗床材 | OAフロア | SUS巾木 |
| 2 | 防塵塗装 | コンクリート金ゴテ押え | SUS入巾木 |
| 3 | タイルカーペット | モルタル下地 | コンクリート立上り |
| 4 | 花崗岩 | モルタル充填 | ソフト巾木 |
| 5 | 磁器質タイル | ワイヤーメッシュ | |
| 6 | 機能性タイル | 鋼製二重床 | |

【部位別 材料単価表(Excel)】

単価表も左のリストから選択式で入力できるよう整備した。
赤枠の文字情報を読み取り一致した場合、右の単価を読み込む。

| 【床】仕上材料 単価表 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 取得対象 | 取得対象 | 取得対象 | 取得対象 | 取得対象 |
| 仕上表の仕上と一致させてください。 選択式：材料名称タブの材料から選択します | 仕上表の摘要と一致させてください。 入力式：直接入力またはコピーペースト | 仕上表の摘要と一致させてください。 入力式：直接入力またはコピーペースト | 仕上表の摘要と一致させてください。 入力式：直接入力またはコピーペースト | 仕上表の摘要と一致させてください。 入力式：直接入力またはコピーペースト |
| 部位 | 材料名称 | 摘要名称 | 単位 | 合成単価 |
| 床 | リリウム床シート | t3 | m ² | 23,100 |
| 床 | 磁器質タイル | (名古屋モザイク：モデネーゼ同等) | m ² | 22,800 |
| 床 | タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) 鋼製二重床 | m ² | 55,400 |
| 床 | タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) ネオクッション | m ² | 87,300 |
| 床 | タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) OA50 | m ² | 16,300 |

【内部仕上表(Excel)】 ※RevitとUID(部屋を識別する一意のID)で連携

上記のリストから選択式で入力できるよう、内部仕上表を整備。
UIDでRevitへインポートし、内部仕上表(図面)として併用し、不整合を防止。

| 理 | 床 | | | |
|---|----------|-------------------------|------------------------------|-------------|
| | 床仕上 | 床仕上_摘要 | 床下地_1 | 床下地_2 |
| 理 | I:仕上_床 | I:床仕上_摘要 | I:床下地_1 | I:床下地_2 |
| | リリウム床シート | t3 | 鋼製二重床※ | コンクリート金ゴテ押え |
| | 磁器質タイル | (名古屋モザイク：モデネーゼ同等) | モルタル下地 | コンクリート金ゴテ押え |
| | タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) 鋼製二重床 | 鋼製二重床※ | コンクリート金ゴテ押え |
| | タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) ネオクッション | ネオクッション19+スポーツボード12+捨て合板12+レ | コンクリート金ゴテ押え |
| | ピニル床タイル | (サンゲツ：ウォルナットWD905同等) | コンクリート金ゴテ押え | |

Point

内部仕上表に記載のある組み合わせを隣に表示させることで、不具合を防止している。
将来的には使用頻度の高いものを単価表に一式登録してある状態を想定している。

| 【参考】内部仕上表に記載のある材料を表示します。(仕上x摘要) | | 下地材 | |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------|
| リリウム床シート | t3 | 鋼製二重床※ | コンクリート金ゴテ押え |
| 磁器質タイル | (名古屋モザイク：モデネーゼ同等) | モルタル下地 | コンクリート金ゴテ押え |
| タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) 鋼製二重床 | ネオクッション19+スポーツボ | コンクリート金ゴテ押え |
| タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) ネオクッション | コンクリート金ゴテ押え | |
| ピニル床タイル | (サンゲツ：ウォルナットWD905同等) | OAフロアH50+レバラー t 1 | コンクリート金ゴテ押え |
| タイルカーペット | (サンゲツ：NT800H同等) OA50 | OAフロア | コンクリート金ゴテ押え |
| 長尺塩ビシート | 上がり框 | ネオクッション19+スポーツボ | コンクリート金ゴテ押え |
| 長尺塩ビシート | | | |

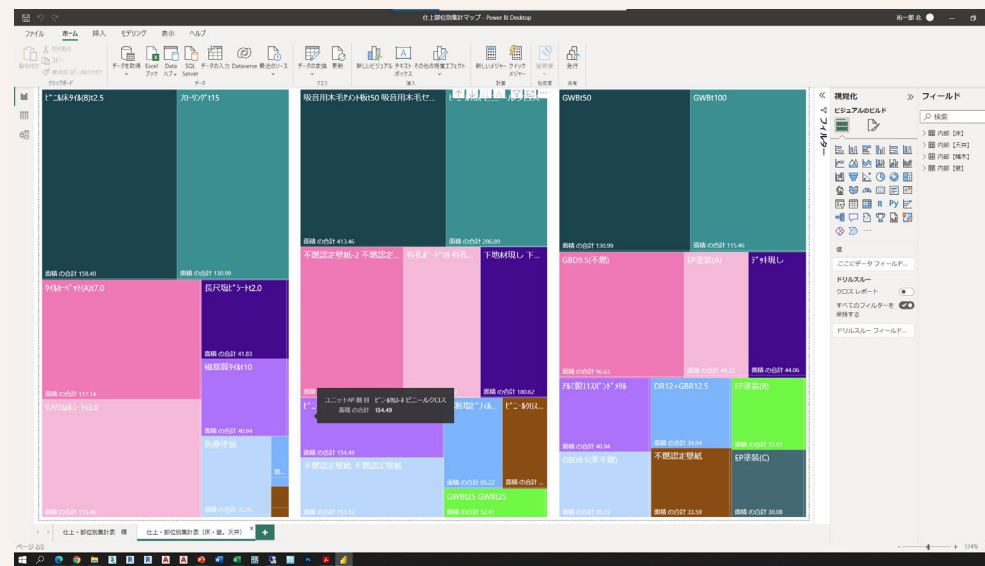
検証A-2 コスト情報のダッシュボード化

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

算出したコスト情報



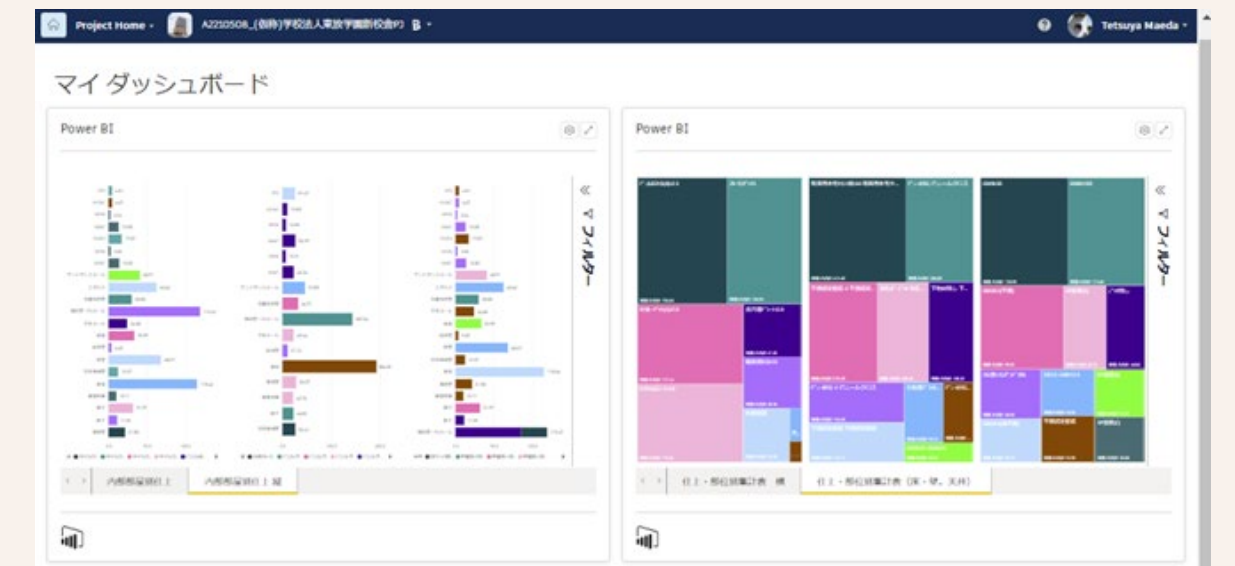
取込み



Power BIでコストダッシュボードを作成

Power BI

アップロード

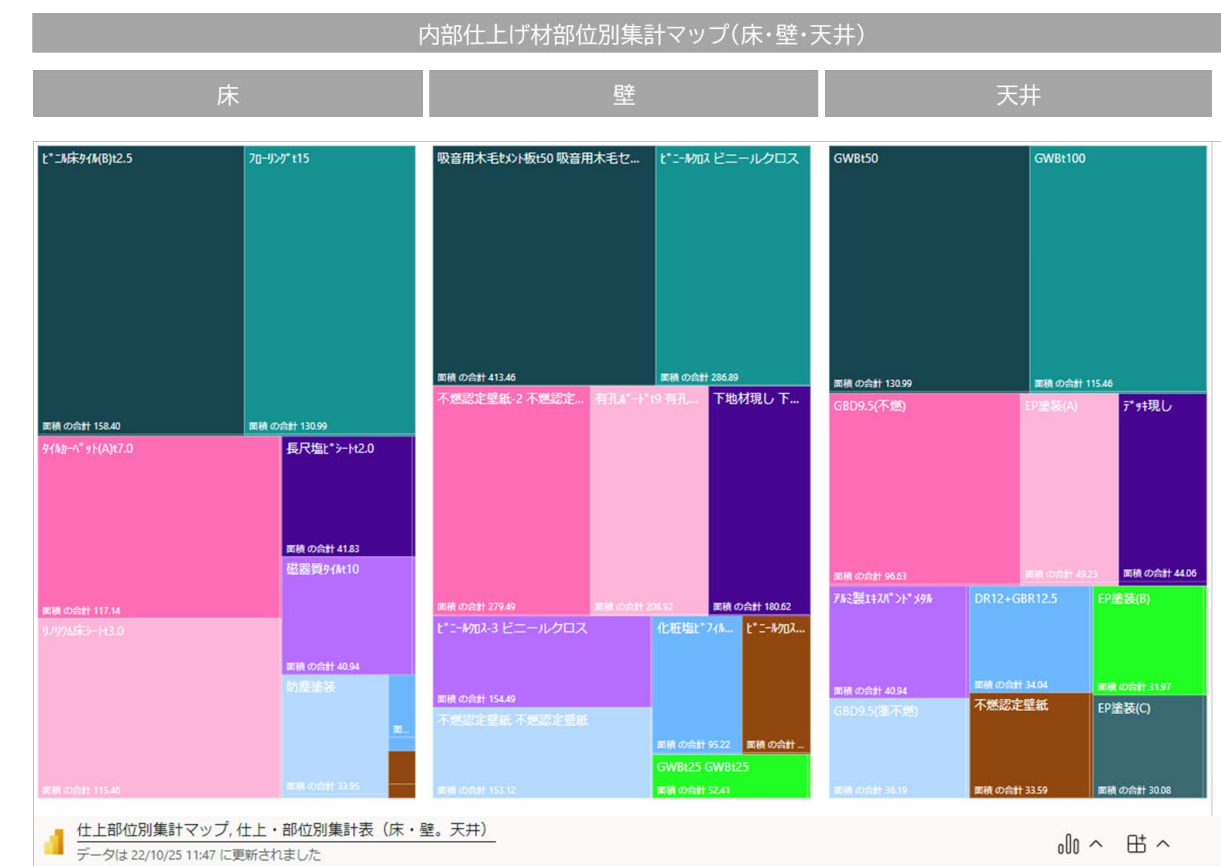
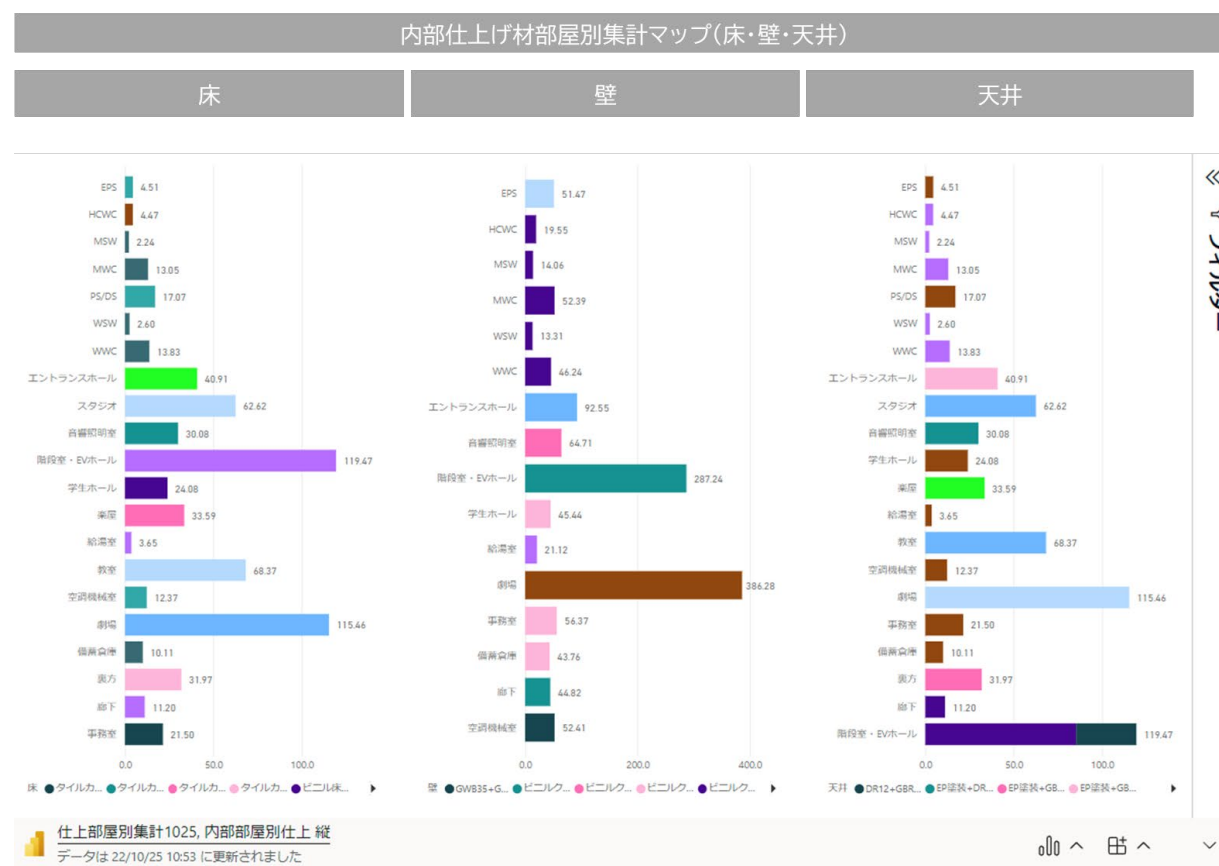


CDE(BIM360)と連携



【コストのダッシュボード化】

COST-CLIPから概算コストをExcel形式で出力したデータをPower BIで取込み、CDE上で表示、共有するためのダッシュボードを作成する。PowerBIによってコスト情報をツリーマップや棒グラフ等の形式で比較しやすいグラフを作成した。現時点で作成してあるダッシュボードについては、仮のコスト情報を入力し作成しており今後COST-CLIPから算出した情報に更新していく。



【ダッシュボード化効果】

社内におけるコスト関連の打合せでは、表形式での資料を多く用いられており、「どの部位に」又は「どの部材が」多くコストが掛かっているのか資料を読み込まないと分からない状態である。コスト情報をツリーマップや棒グラフ等によって視覚的に比較しやすくすることでコストの内訳が簡単に確認する事が可能となった。

表形式

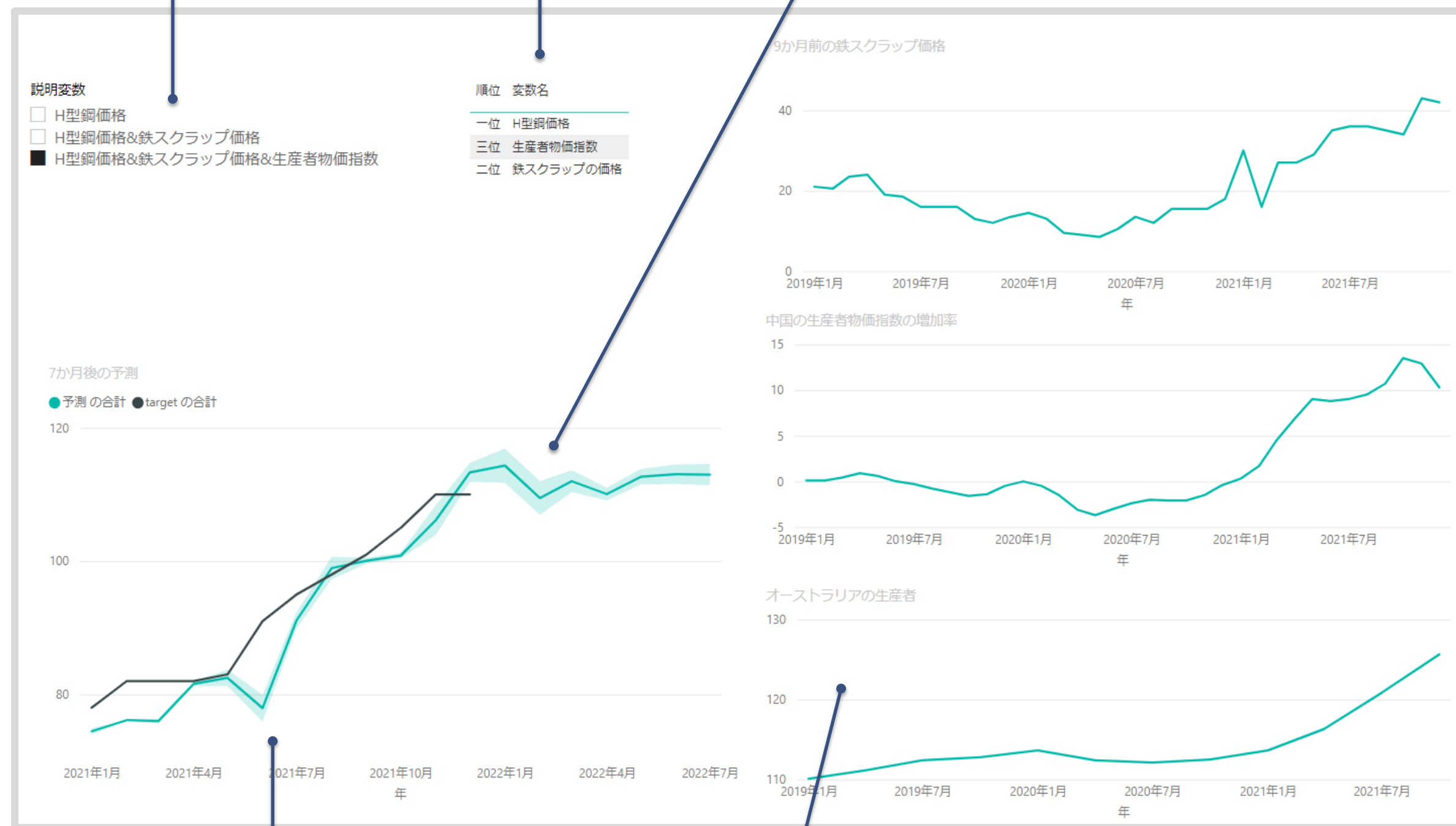
| 階層 | 項目 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 | 計算式 | 計算結果 |
|----|----------------|----------------|--------|--------|----------|--------|----------|
| 1階 | 床 | 坪 | 111.46 | 27 | 3,009.42 | 床 | 3,009.42 |
| | 壁 | m | 115.46 | 1.00 | 115.46 | 壁 | 115.46 |
| | 天井 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 天井 | 108.59 |
| | 仕上 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 仕上 | 108.59 |
| | 床 | 坪 | 111.46 | 27 | 3,009.42 | 床 | 3,009.42 |
| | 壁 | m | 115.46 | 1.00 | 115.46 | 壁 | 115.46 |
| | 天井 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 天井 | 108.59 |
| | 仕上 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 仕上 | 108.59 |
| | 床 | 坪 | 111.46 | 27 | 3,009.42 | 床 | 3,009.42 |
| | 壁 | m | 115.46 | 1.00 | 115.46 | 壁 | 115.46 |
| 天井 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 天井 | 108.59 | |
| 仕上 | m ² | 115.46 | 0.94 | 108.59 | 仕上 | 108.59 | |

PowerBI ダッシュボードによる予測情報の可視化

どの入力データを重要視して予測しているか

使用した入力データ (切り替え可能)

H型鋼単価の予測の振れ幅予想



予測モデル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。
 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
 ことが可能に。

H型鋼の実測値と予測値の推移

鉄骨単価の予測する基となるデータや
 関連データの推移を表示

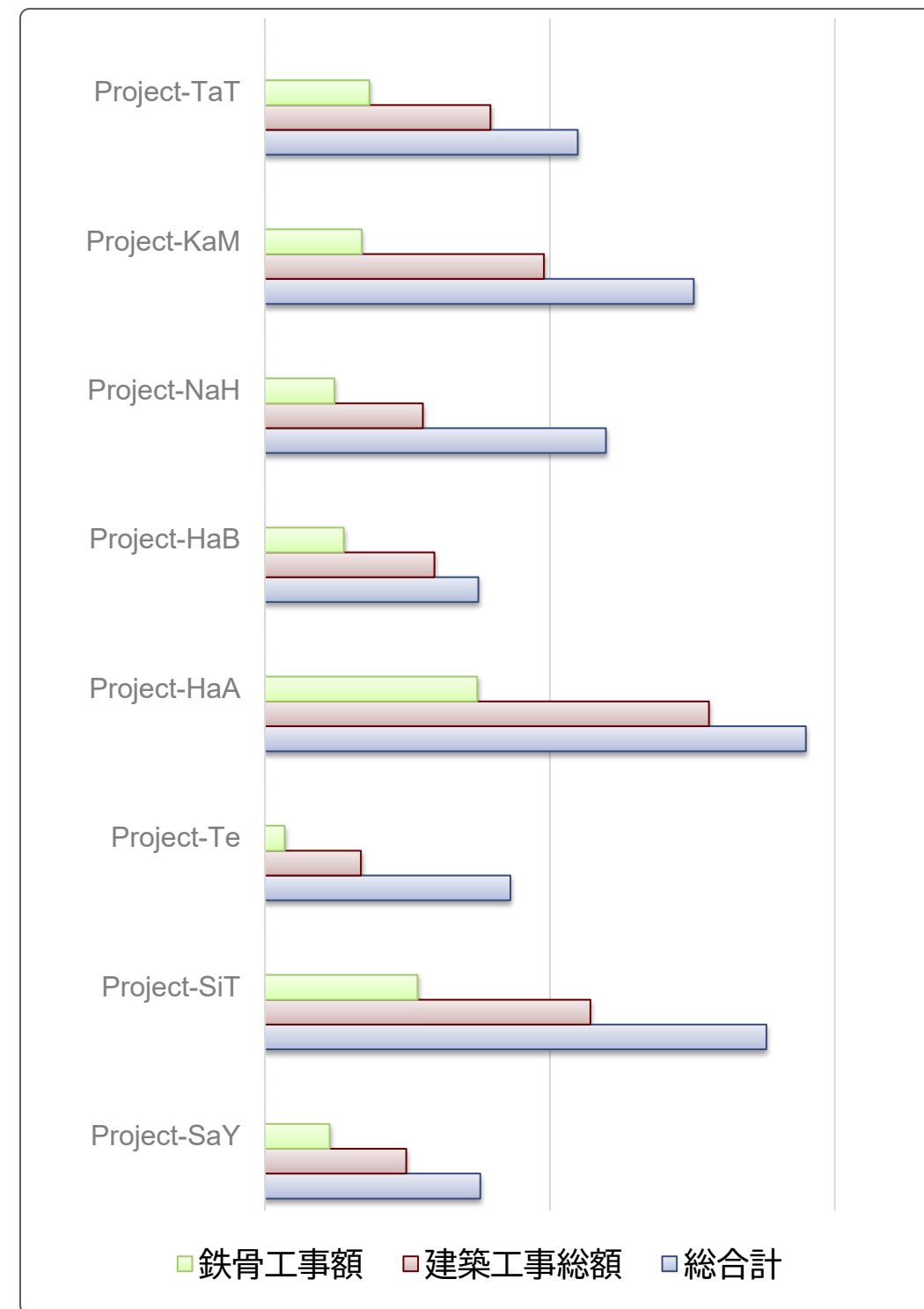
◇ 検証単価の絞り込み

- ・建築工事費に占める単価構成を調査
- ・工事費に占める鉄骨コストの比率が高い(調査母数:直近8件の場合)
- ・総工事費に占める鉄骨工事:30~35%
- ・建築工事(躯体工事+仕上げ工事)に占める鉄骨工事:40~45%

◇ AIアルゴリズムの検証とPoC(概念検証)

- ・鉄骨関連工事単価の過去(観測期間)情報の収集
- ・価格予測変動要因を解析
- ・ダッシュボードによる可視化

物流倉庫直近8件の調査結果

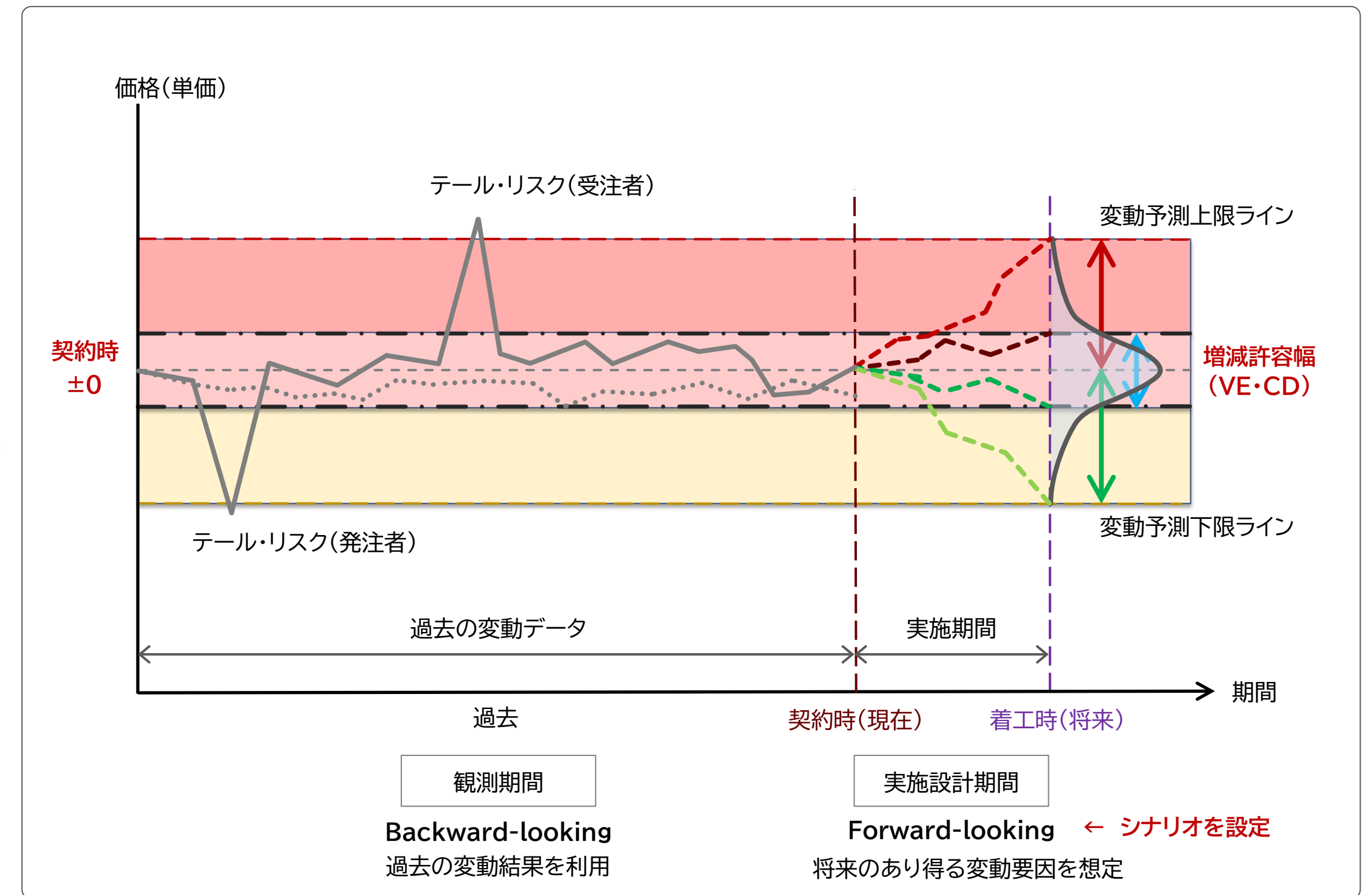


建築工事額に占める鉄骨部材の工事費割合

建築コスト構成の見える化

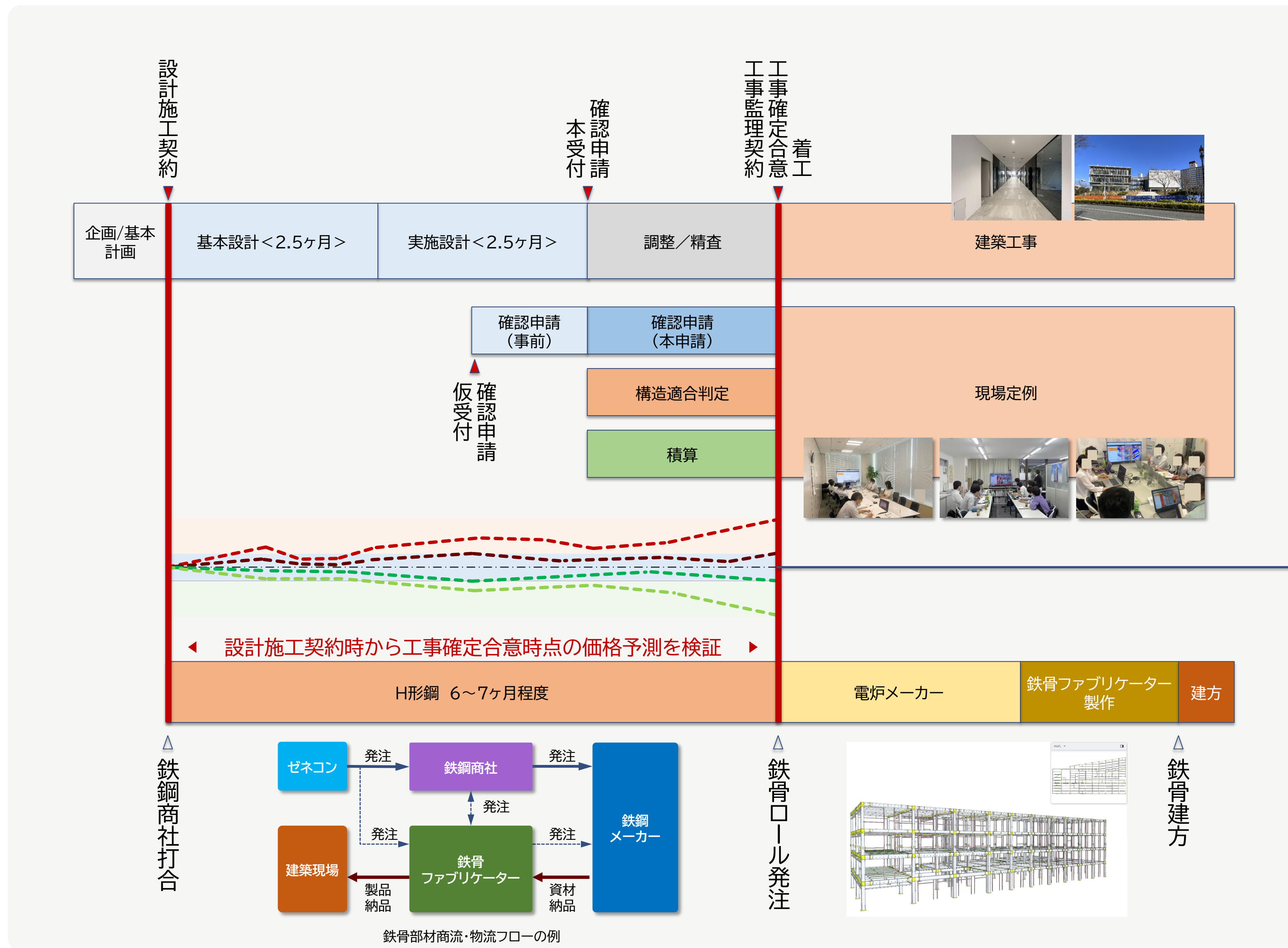


建築工事内訳率ダッシュボード

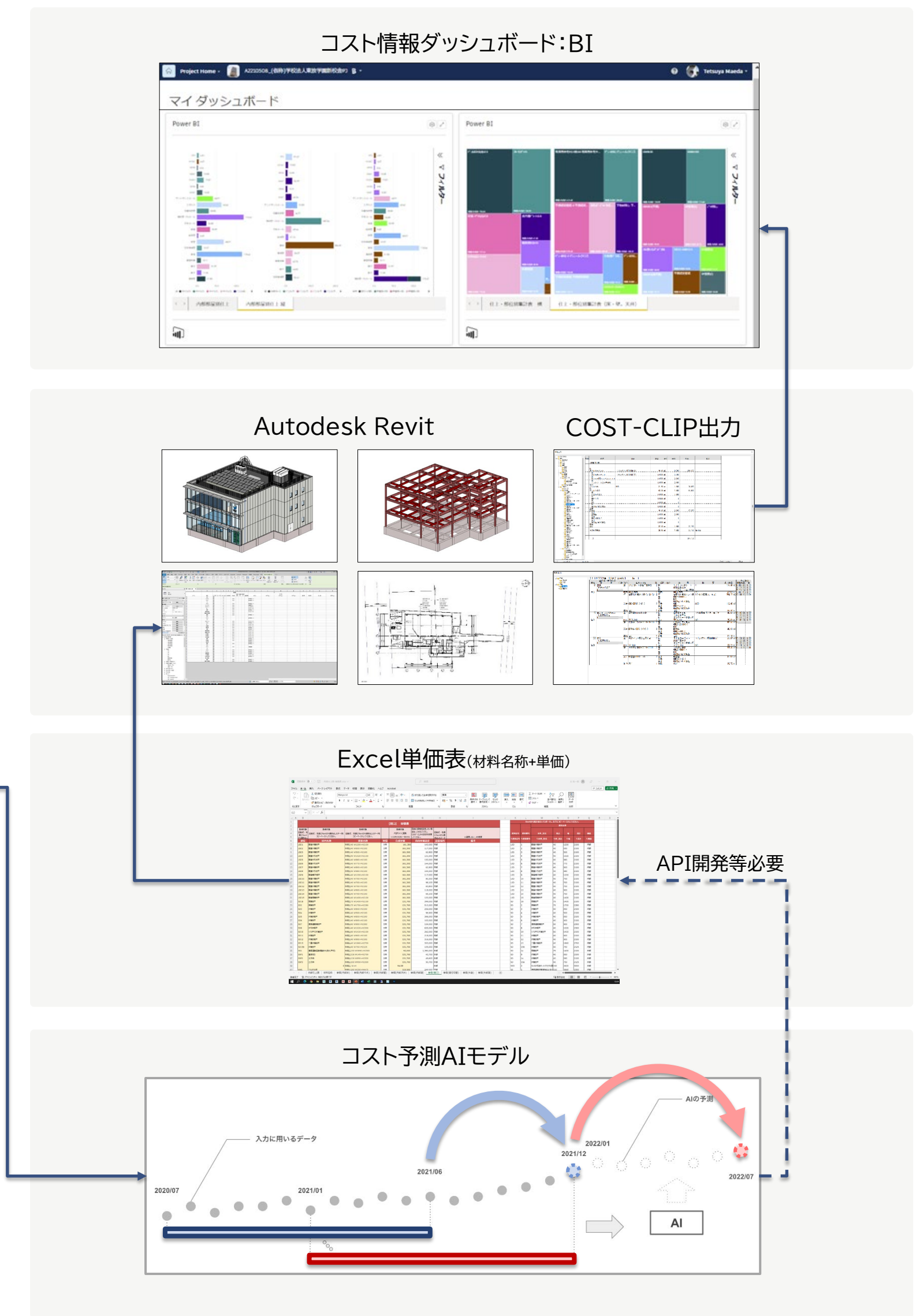


単価変動イメージと予測イメージ

想定した設計施工プロジェクトの工事工程



コスト関連データの連携

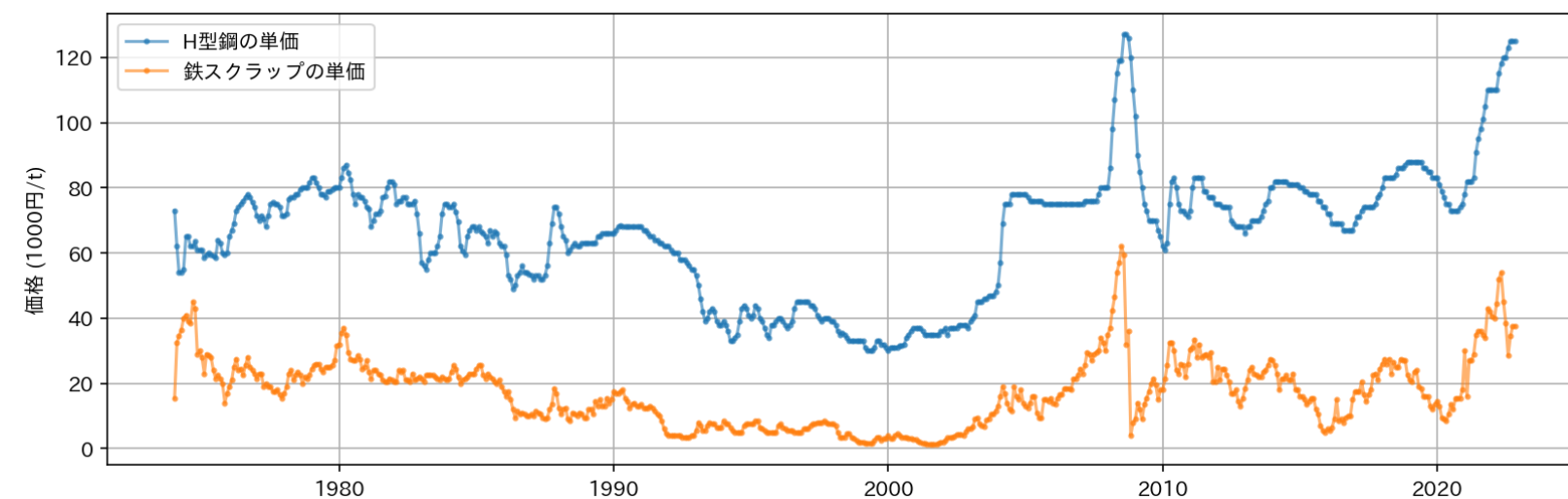


使用したデータ

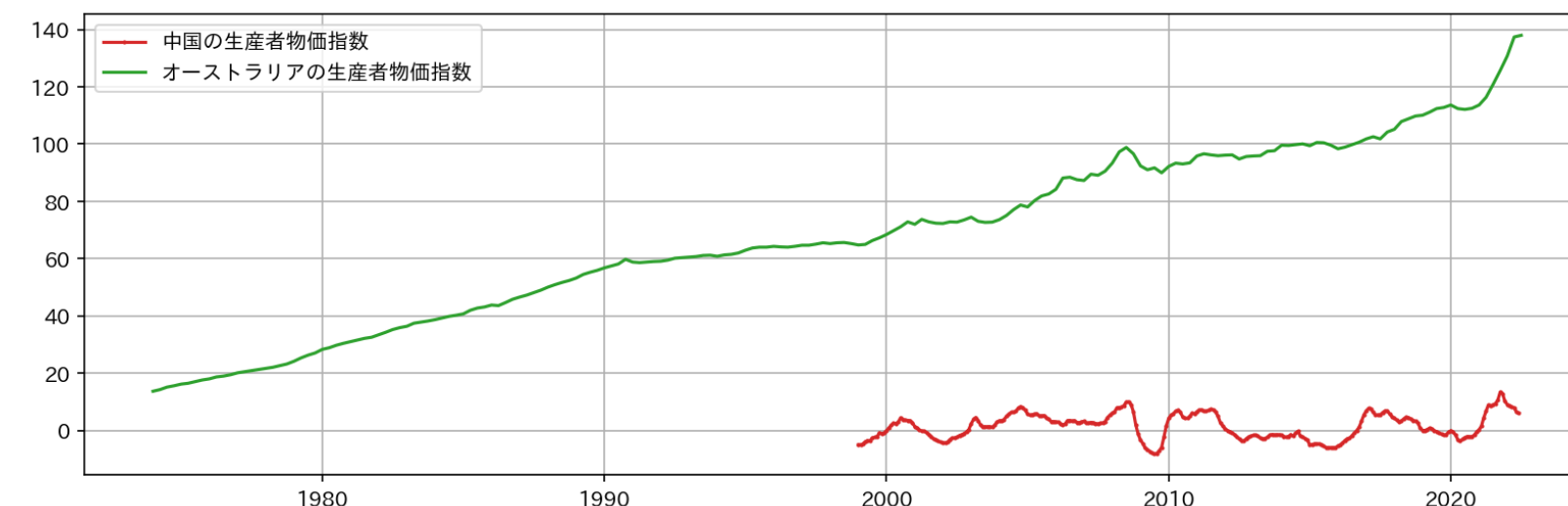
H型鋼・原材料・経済要因の時系列データを使用

- ・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、原材料である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。



H型鋼と鉄スクラップの単価推移。



中国とオーストラリアの生産者物価指数の推移。

- [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>

作成したAIモデルの概要

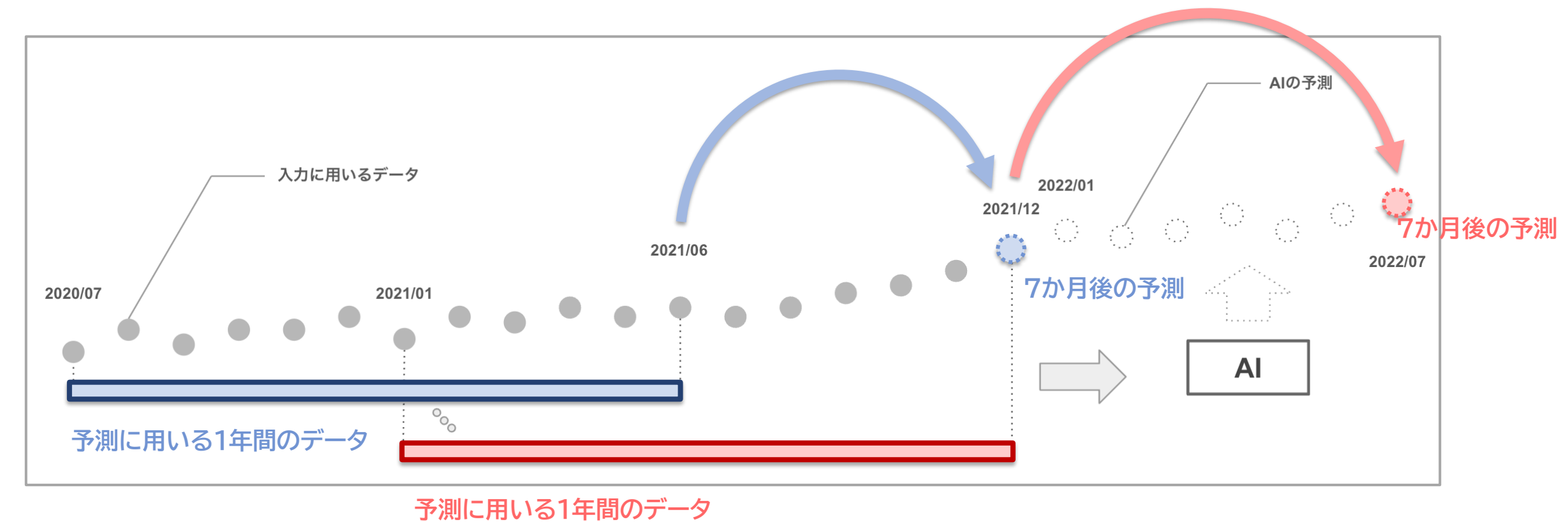
過去単価データの1年間の動きから7ヶ月後のH型鋼単価を予測

- ・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平均的な時間差を考慮し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。

予測のイメージ:

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。



予測結果検証概要 - 1



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。

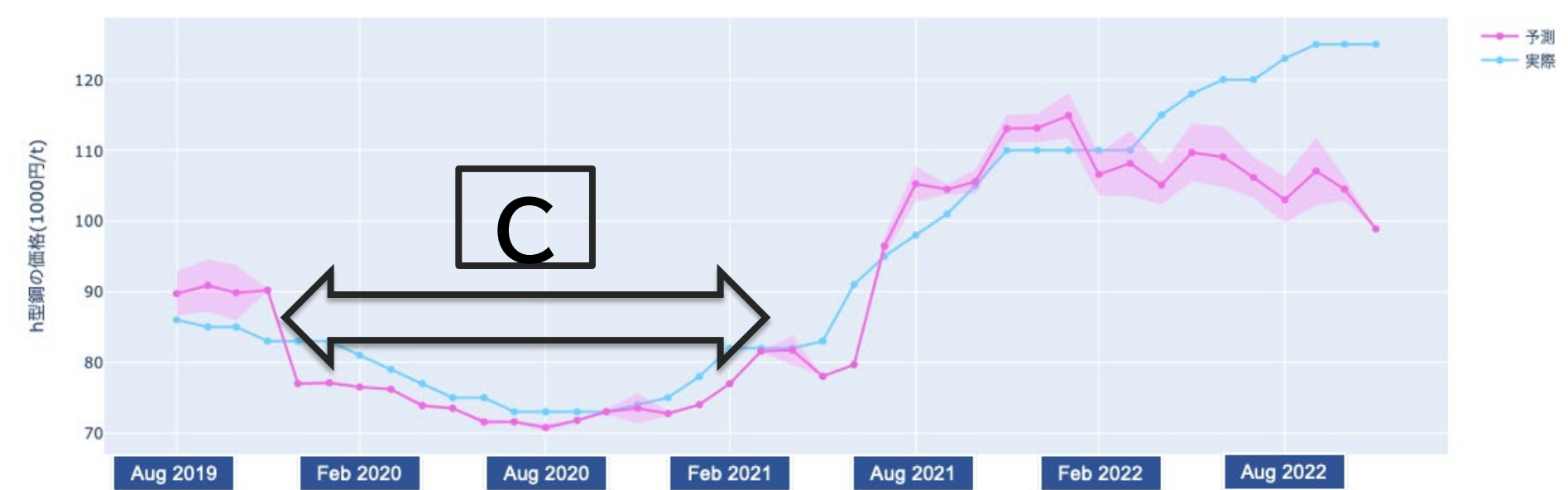
価格決定メカニズムを考慮した方がより精度の高い予測を

行うことができると考えられる。

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。

左図に示す通り、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。



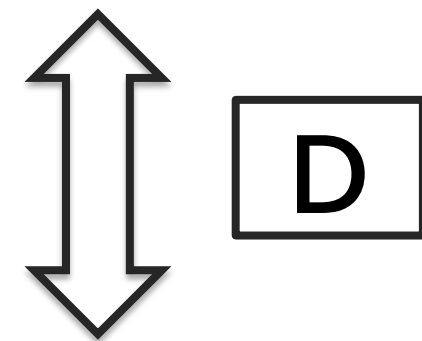
過去のH型鋼の単価のみを用いたときの7ヶ月後のH型鋼の単価予測。
2018年12月までのデータを用いてAIを学習。上図はすべて予測期間。

予測結果検証概要 - 2

×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。

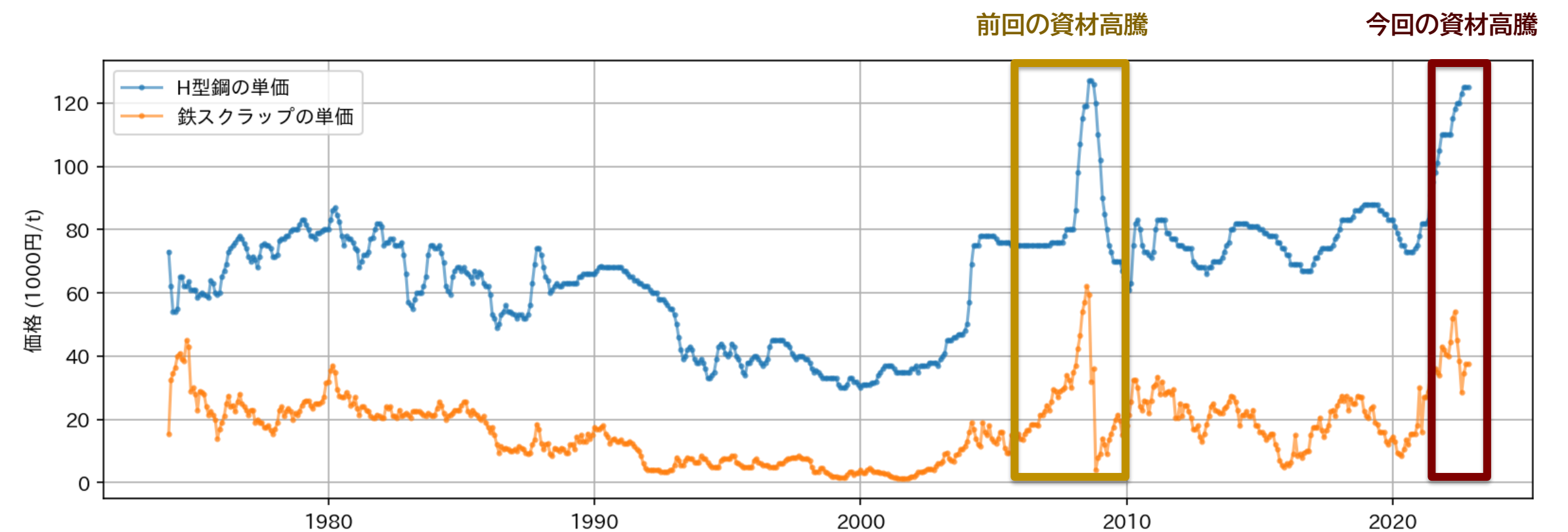


○前回の資材高騰データを用いて学習



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。

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。

令和4年度(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

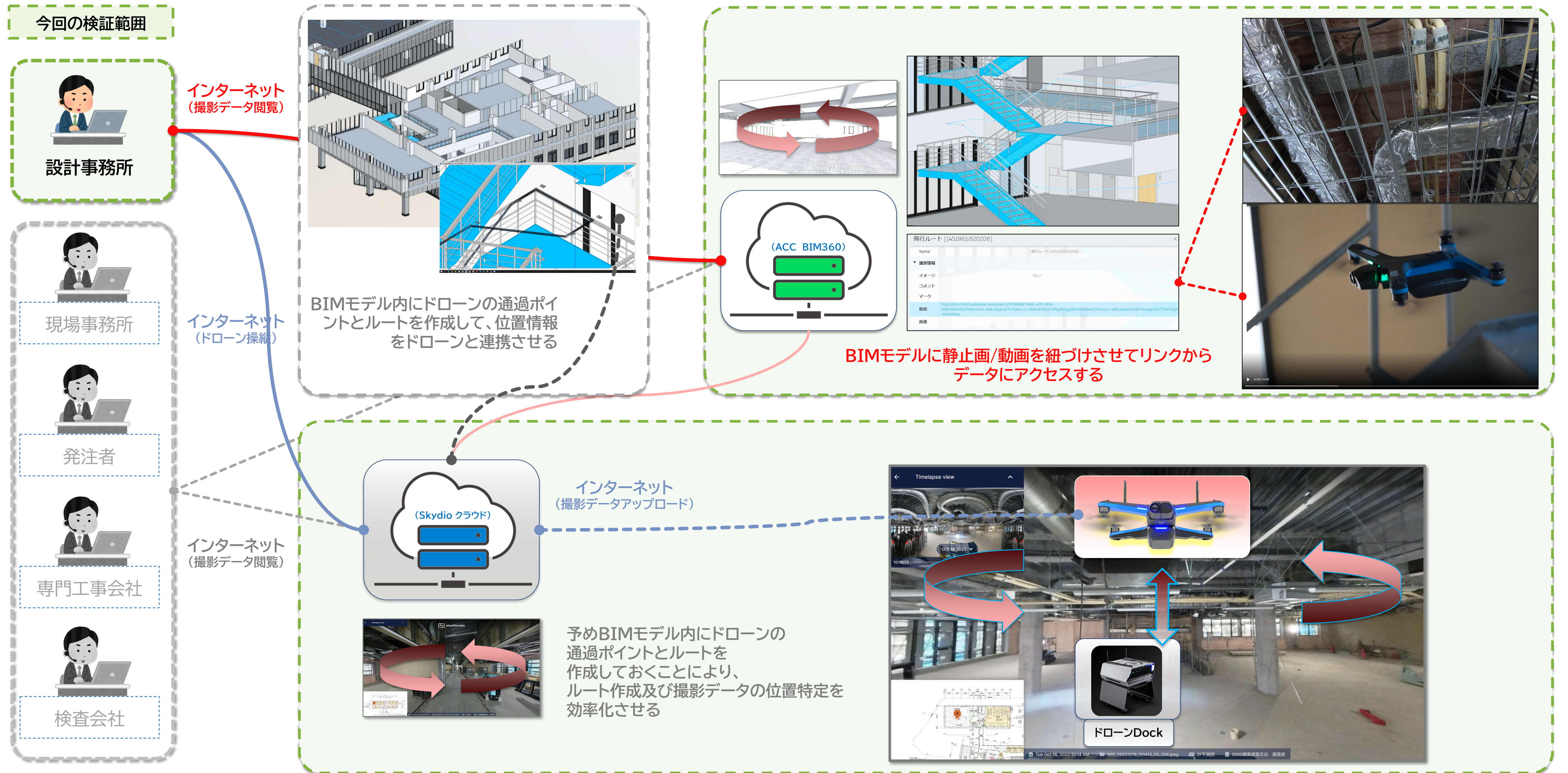
および

BIMモデルと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 | Page:4~12 |
| 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 | Page:3~19 |
| 検証B-1 | 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 | Page:20~40 |

検証B-1 自律型ドローンとBIMモデルを活用した遠隔工事監理業務プロセスイメージ

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



検証B-1 検証について

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



【第1回検証:11月25日】

- (1) 現場内の障害物/明るさの確認
- (2) ドローンDockの設置位置確認

マニュアルによるルート設定
 (3)12:00~12:15
 (4)12:30~12:45
 (5)14:00~14:30

- (3) 自律飛行による静止画撮影 12:15~12:30
- (4) 自律飛行による動画撮影 12:45~13:00
- (5) 自律飛行による静止画/動画撮影 14:30~15:00

(6) 自律飛行による動画撮影 18:00~18:30

照度や障害物、狭隘部といった現場環境の中でもドローンが自律飛行可能かを検証し、静止画及び動画によるデータ収集を行う。収集したデータは関係者で画質精度の確認や3Dモデルへのマッピング検証を実施し、工事進捗監理での活用効果について分析する。

撮影データのSkydioクラウドアップロード

ドローンの自律飛行による静止画及び動画の撮影

【第2回検証:12月19日】

- (1) 現場内の障害物/明るさの確認
- (2) ドローンDockの設置位置確認

マニュアルによるルート設定
 (3)12:00~12:30
 (4)13:20~14:00
 (5)14:00~14:30

- (3) 自律飛行による静止画撮影 12:30~13:00
- (4) 自律飛行による動画撮影 12:45~13:00
- (5) 自律飛行による静止画/動画撮影 14:30~15:00

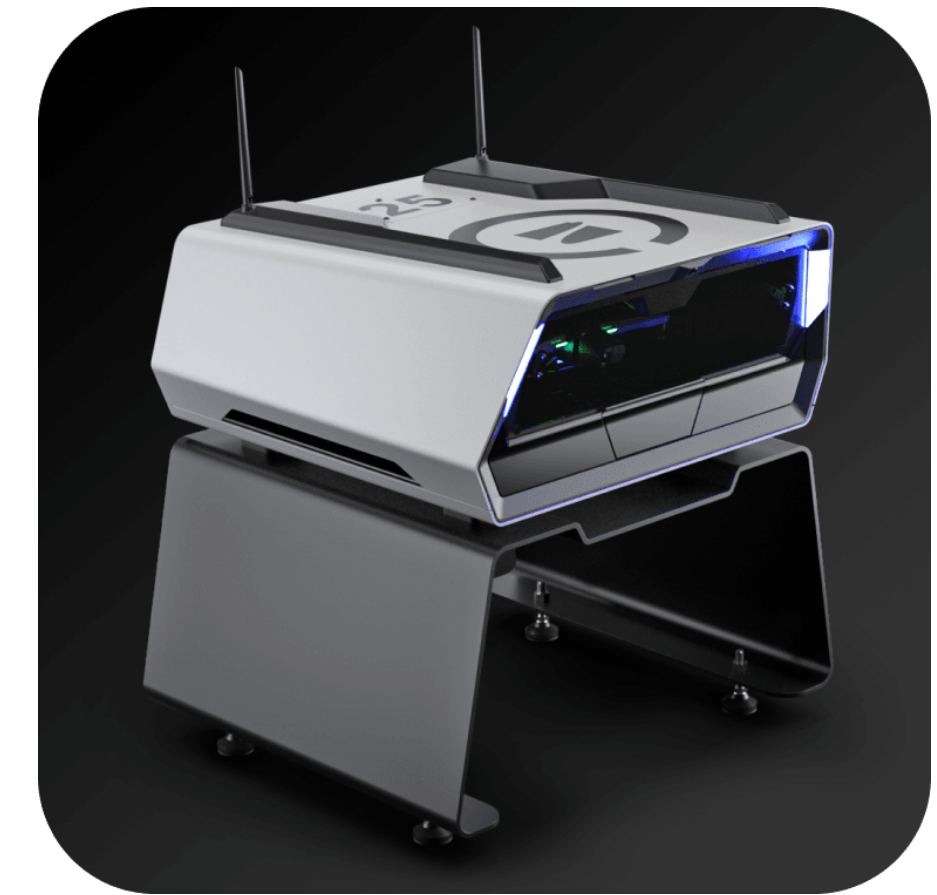
撮影データのSkydioクラウドアップロード

- 3Dモデルへの静止画3Dマッピング
- CDE(BIM360)にアップロード
- 撮影データの品質確認

遠隔地からの操作 本社 → 現場

3Dマッピング: 3Dマッピング:BIMモデルから書き出した3D形状のモデルにドローンで撮影した静止画を張り付けマッピングしていく

第1回検証での課題点を踏まえた検証を実施する。
 3Dマッピング(p.41参照)に適した撮影間隔や撮影対象までの距離、ドローンの自律飛行可能範囲等の検証を行う。
 また、東洋建設本社から現場のドローンに対して遠隔操作し飛行検証を実施する。



▼Skydio2

1. GPSを使わない飛行制御が可能
2. 9つの画像認識機能により360°障害物を回避
3. 飛行制御、調査、状況把握のための自律飛行を実行
4. 飛行に必要な光量は100lx以上
※100lx以下でも状況(環境)により運用可能
5. 耐風性11m/s

▼Dock Lite(プロトタイプ)

1. 自動充電機能有
2. 必要電力100V
3. マーカーをドローンが認識することでピンポイントでの着陸が可能

▼Skydio Dock

1. 屋内外の環境に対応した産業水準の箱型ドック
2. 自動充電機能有
3. マーカーをドローンが認識することでピンポイントでの着陸が可能
4. 温度制御機能付き
5. 塵埃の限定的な侵入と噴流水から保護される

機材の搬入・セットアップ

ルート作成

巡回飛行+撮影

データ確認

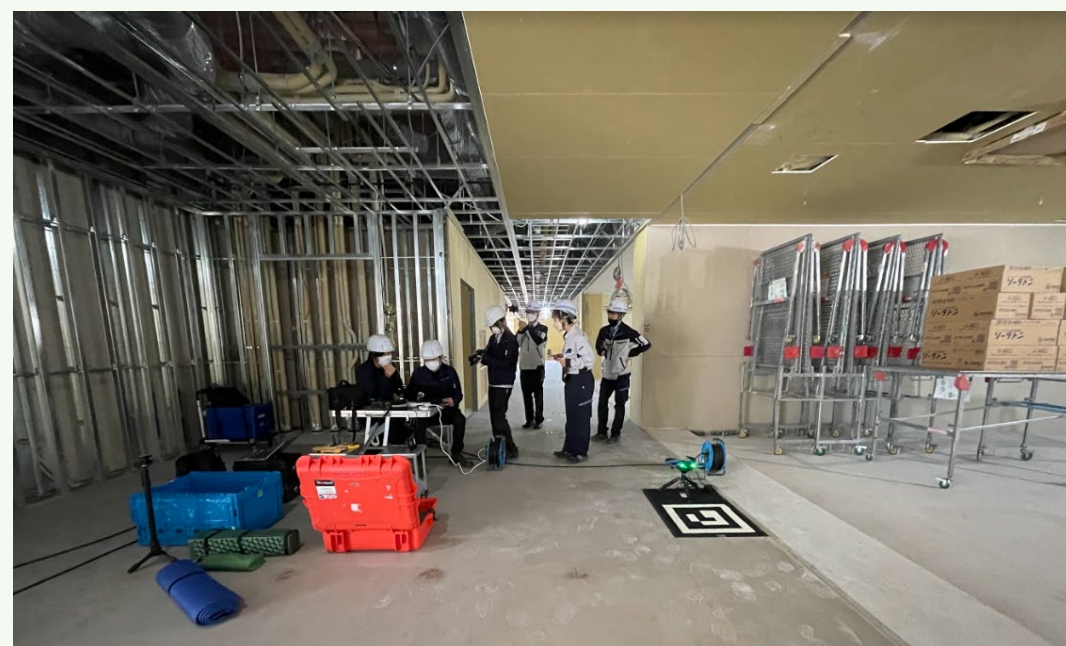
1時間

2時間

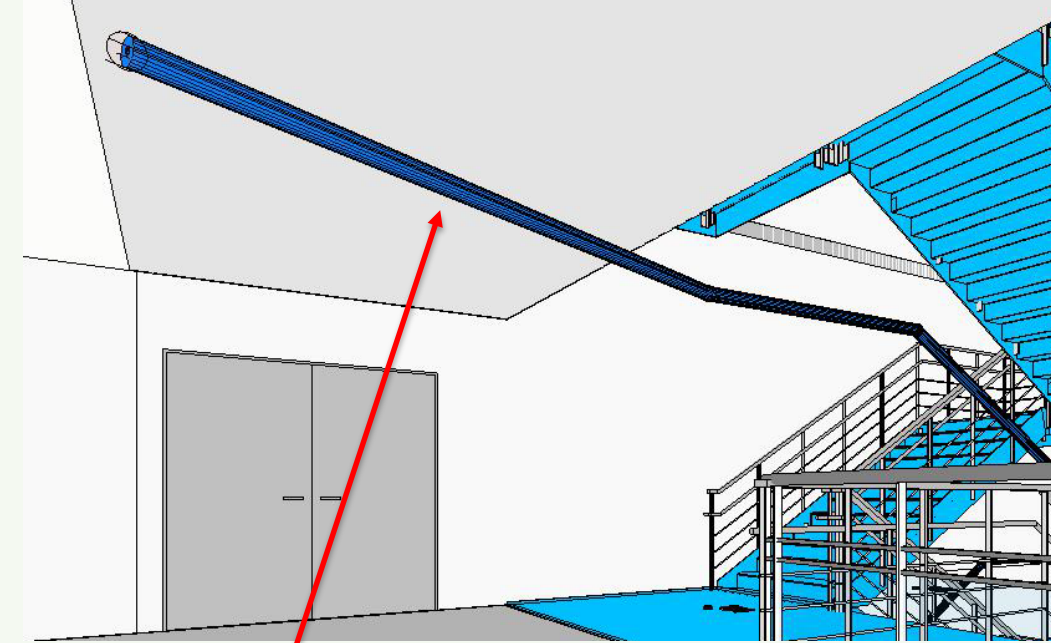
1.5時間

0.5時間

1. 設備空間(照度、風速、現場の安全性)の確認
2. ドローン、Dock、Wi-Fi、電源コード類などの機材を搬入
3. ドローンやDockのセットアップ
4. ルータ、Wi-Fiを設置し、通信環境の確認
5. 電源環境を確保し、バッテリーの確認
6. 事前テスト飛行を実施

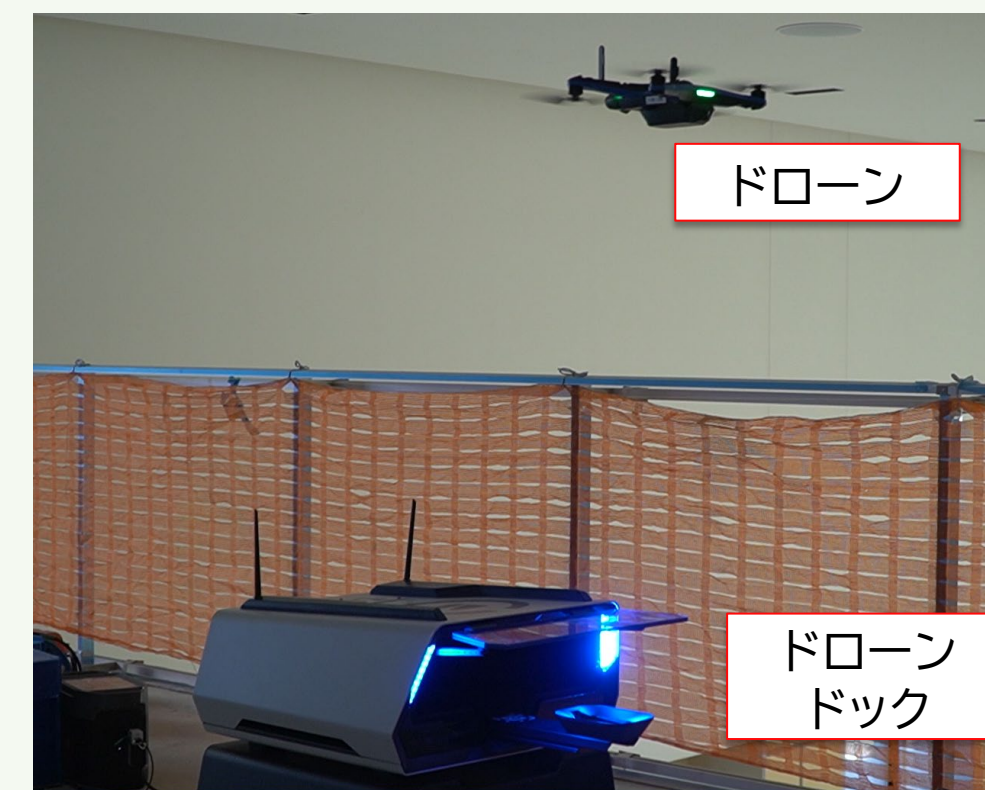
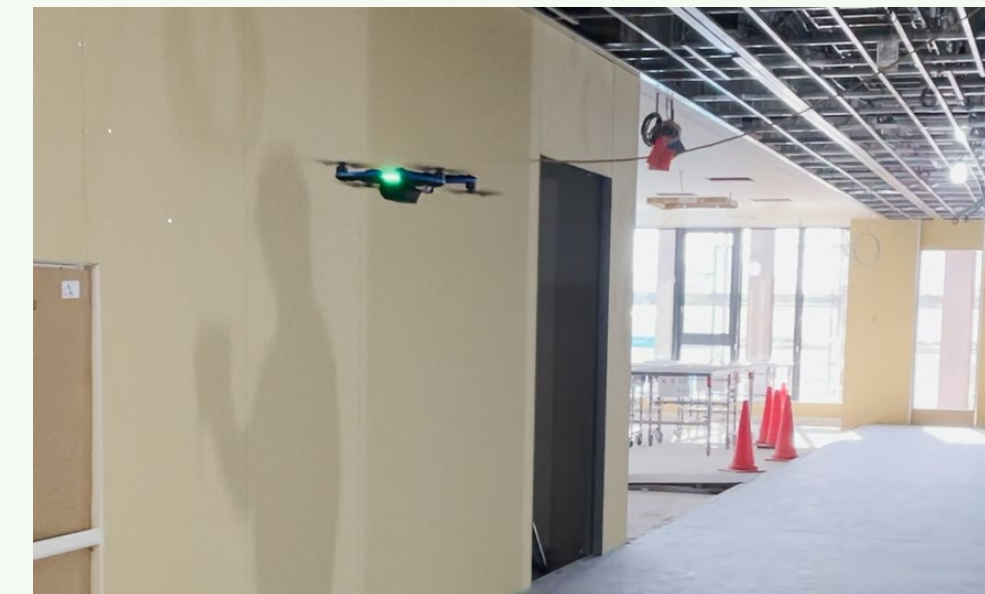


マニュアル飛行により、実際に飛行させてルートを作成
※1ルート40分×3ルート



BIM上でルート検討・作成

作成したルートに沿って、自律飛行および撮影
※1ルート30分(飛行10分+充電20分)×3ルート



ドローン

ドローン
ドック

撮影したデータの確認と画角等の調整
※1ルート10分×3ルート



全景



天井面

検証B-1 検証I:現場状況(2022.11.25)



【南棟1~2階階段】

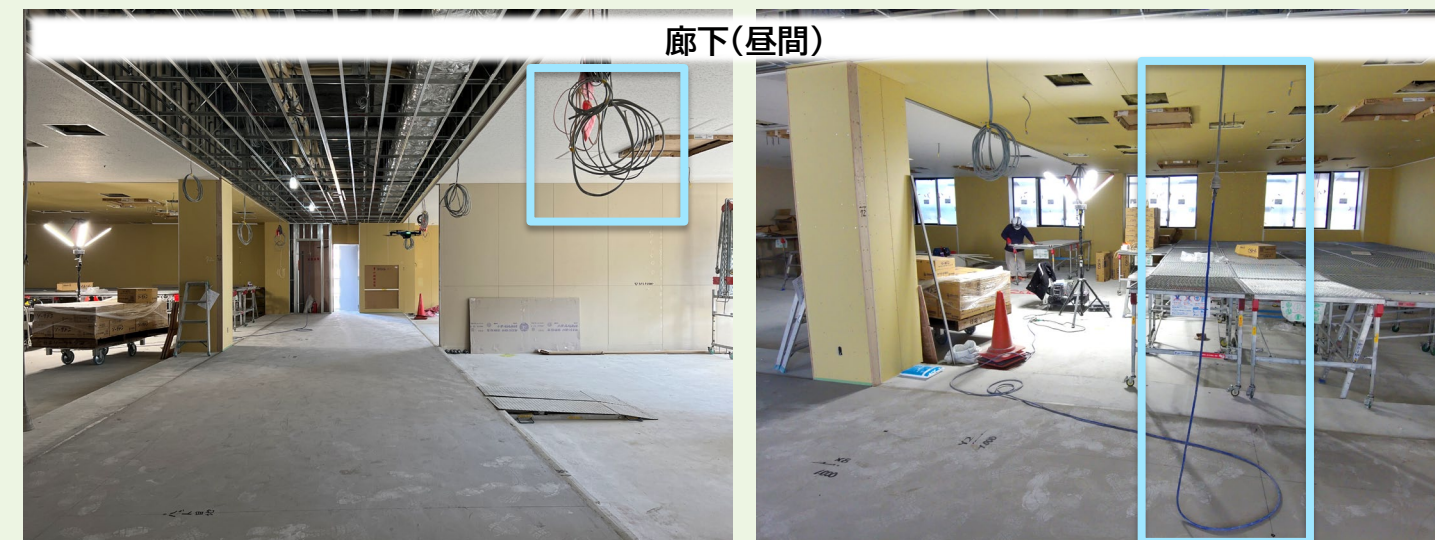
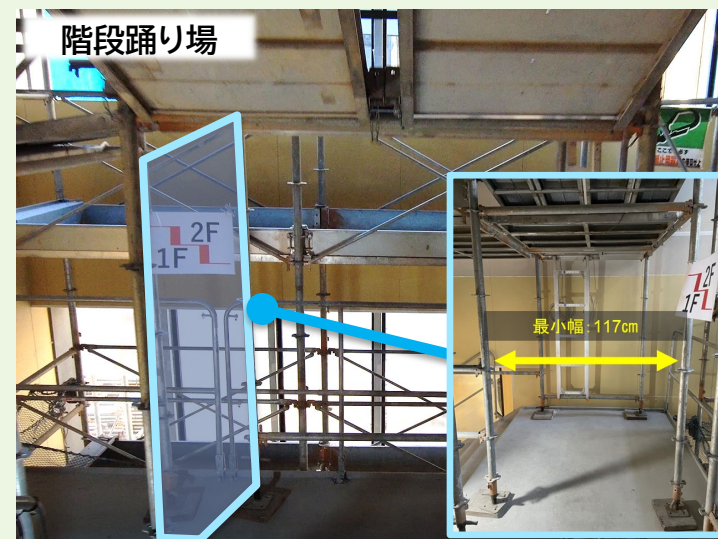
➤ 現場状況

階段には仮設足場が設置されており、開口が高さ2000mm、幅1350mm程度となっている。最も幅が狭い部分で1170mmとなっている。

➤ 飛行への影響懸念事項

事前確認では、幅が800mm程度のルートでは通過できない事を確認し、1170mm幅はドローンの衝突防止機能が作動しながらの飛行となる可能性がある。

検証時刻が15:30頃と西日が強く差し込んでいたため、撮影した静止画や動画の見やすさ、ドローンの周辺空間認識への影響が懸念される。



【北棟3階廊下】

➤ 現場状況

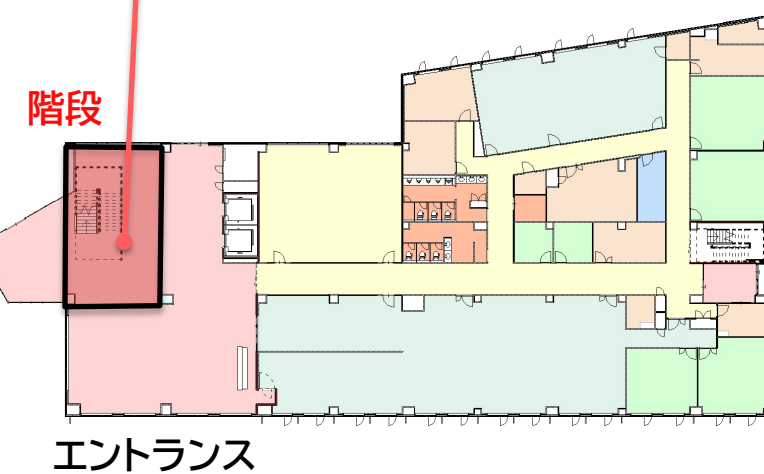
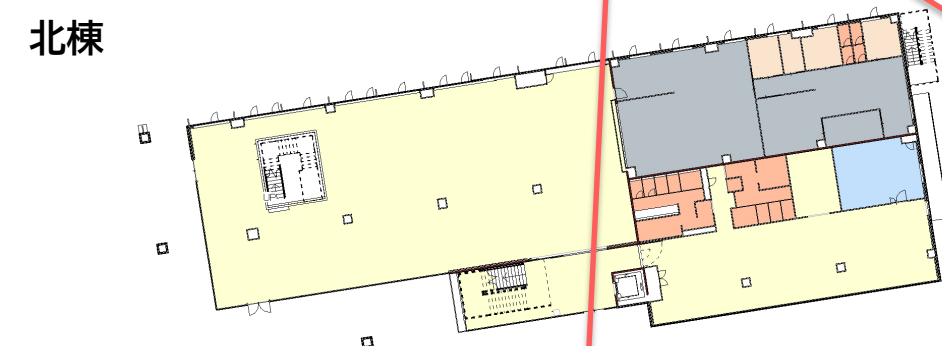
間仕切り壁はボード張りが終了、居室部分の天井はボード張りされ廊下部分は天井裏設備が露出状態となっている。

3階廊下は当日も作業している状態であり、所々には天井から配線が垂れ下がっていたり、仮設照明や足場が設置されている状態であった。

➤ 飛行への影響懸念事項

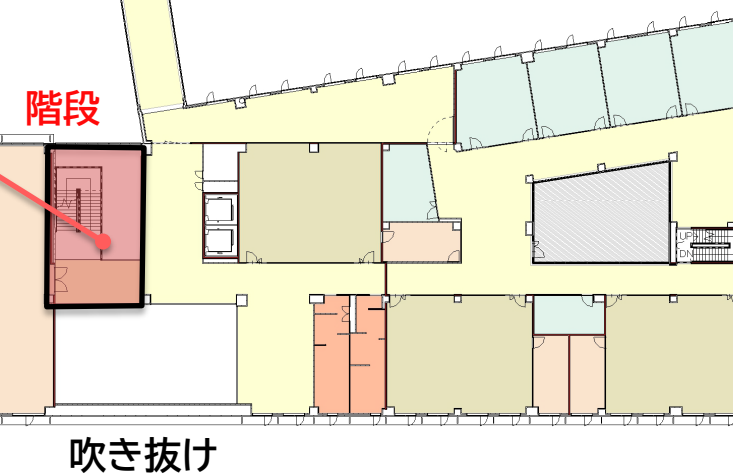
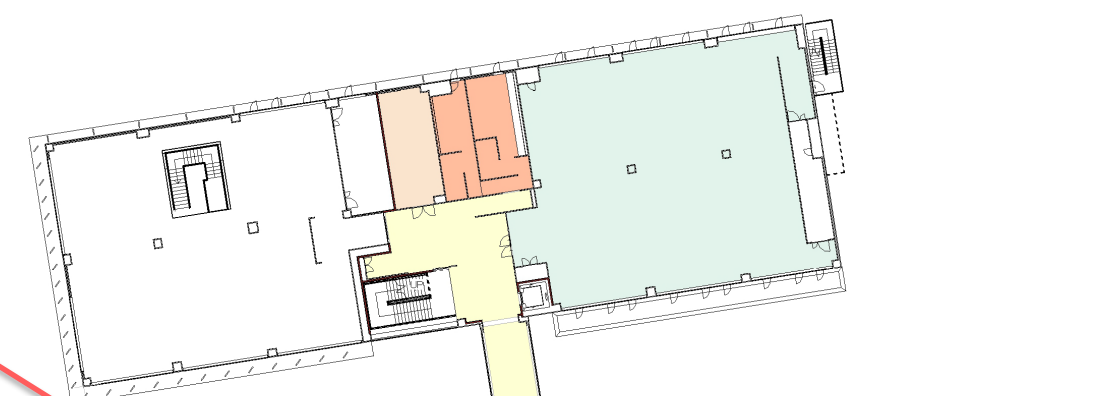
配線が所々に垂れ下がっており、太いコード(配線)や細いコード等があった。太いコードについては衝突防止機能が作動する事は確認済みであるが、細いコードについては認識されない可能性がある。

夜間においては、仮設照明が設置されており廊下空間は全体的に十分に明るい環境であったが、仮設照明の照明が届きにくい場所もある。明暗の差が大きい箇所について、ドローンの画像認識による飛行が中断される可能性がある。



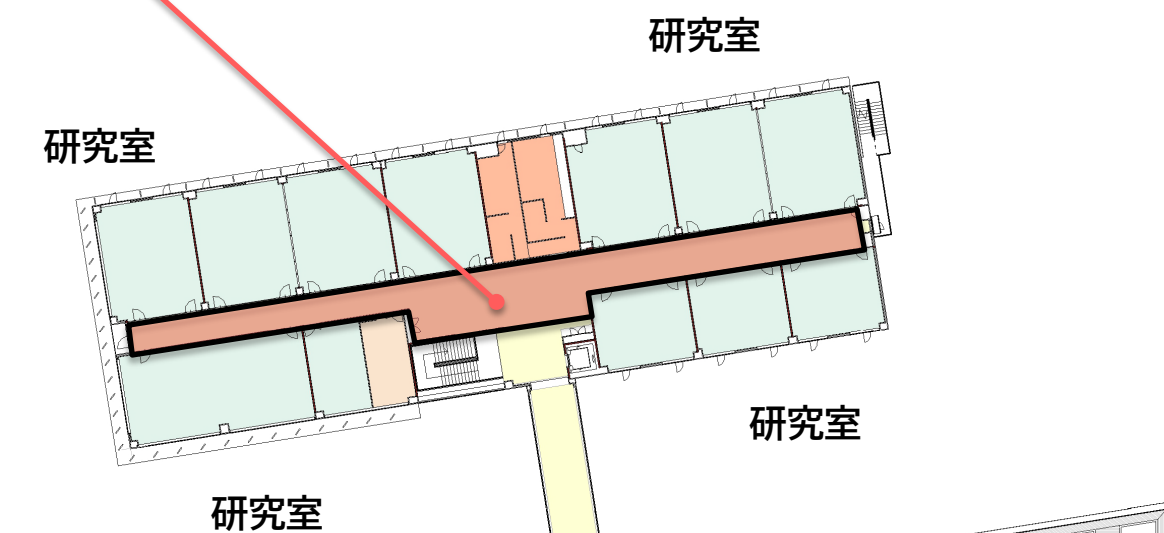
南棟

1階



吹き抜け

2階

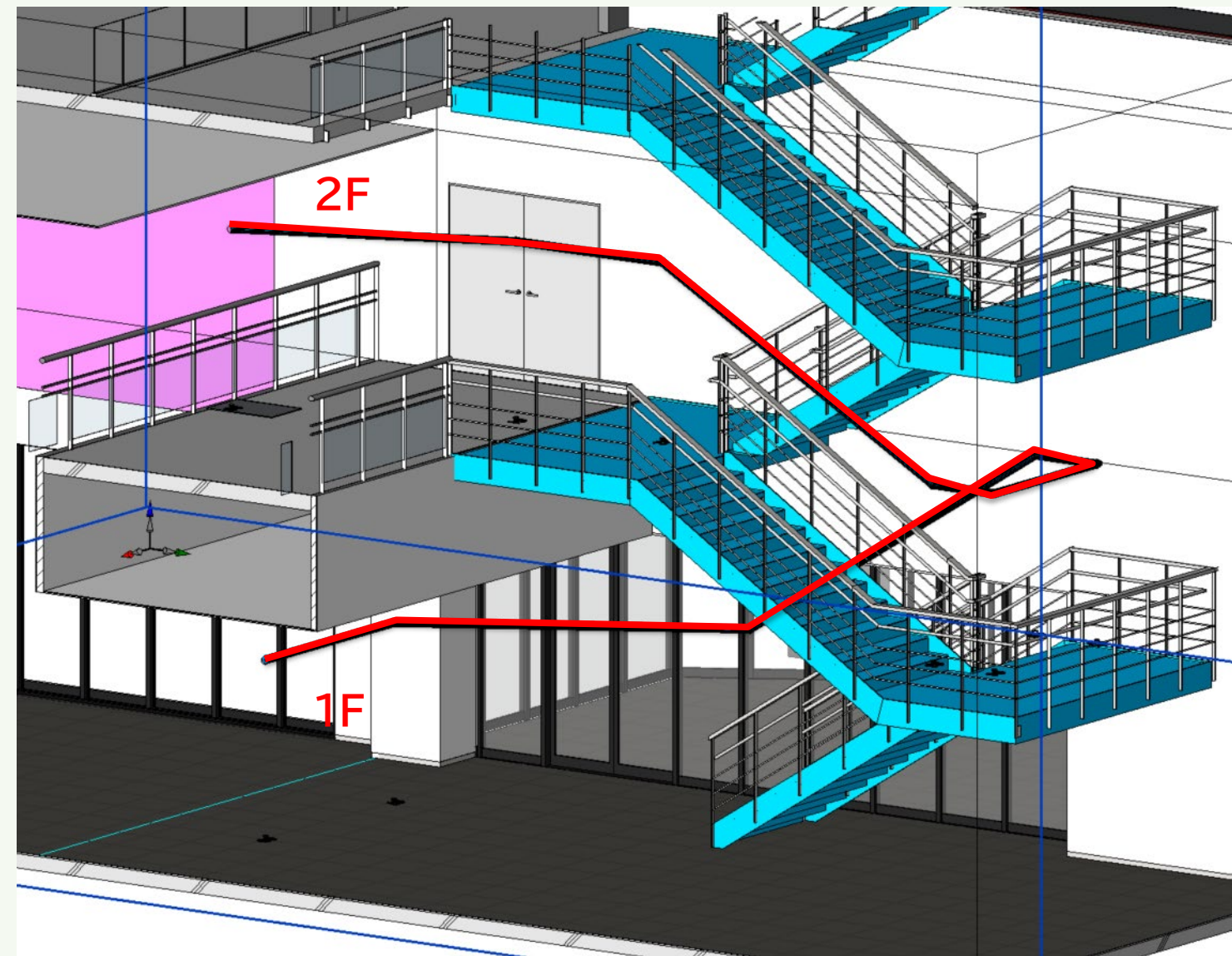


3階

飛行検証時のドローン飛行ルート



北棟3階のルート



南棟1階2階のルート

飛行検証時の現場状況





学生ホール



渡り廊下



渡り廊下前



エントランス

【北棟1～2階吹き抜け-渡り廊下-学生ホール】

➤ 現場状況

工事は仕上げ段階まで進捗しており、壁・天井の仕上げ材施工は終了、床の仕上げ前段階という状況であった。また、照明も照明設備も一部設置されており、全体的に明るい環境であった。

学生ホールや渡り廊下前には、材料や機材等が仮置きされている状況で1人～2人程度が通過できる程の幅となっていた。

➤ 飛行への影響懸念事項

移動式足場が通路に仮置きされており、二人分が通れる程度の幅

渡り廊下の両面がガラス張りとなっているため、ドローンの位置補正や衝突防止機能の反応が低下する可能性がある。

夕刻での検証となったため、西日が強く差し込んでおり撮影精度や周辺の認識への影響が出る可能性がある。



廊下

【北棟3階廊下】

➤ 現場状況

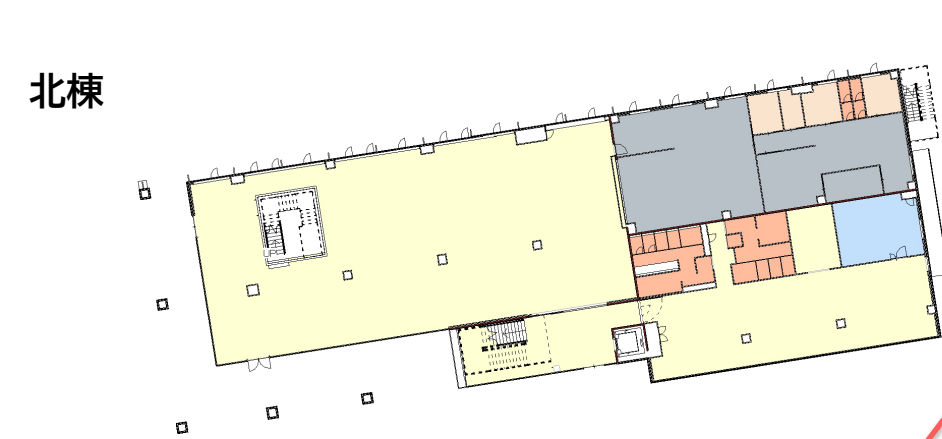
廊下部分も天井ボードが張られ仕上げ作業を行っている段階であった。そのため、作業用に移動式脚立が廊下に配置されていた。

➤ 飛行への影響懸念事項

検証Iでルート設定した状況よりも環境が大きく変わっているため、ドローンの位置補正が上手く機能せず、飛行ルートの再現に支障が発生する可能性がある。



廊下



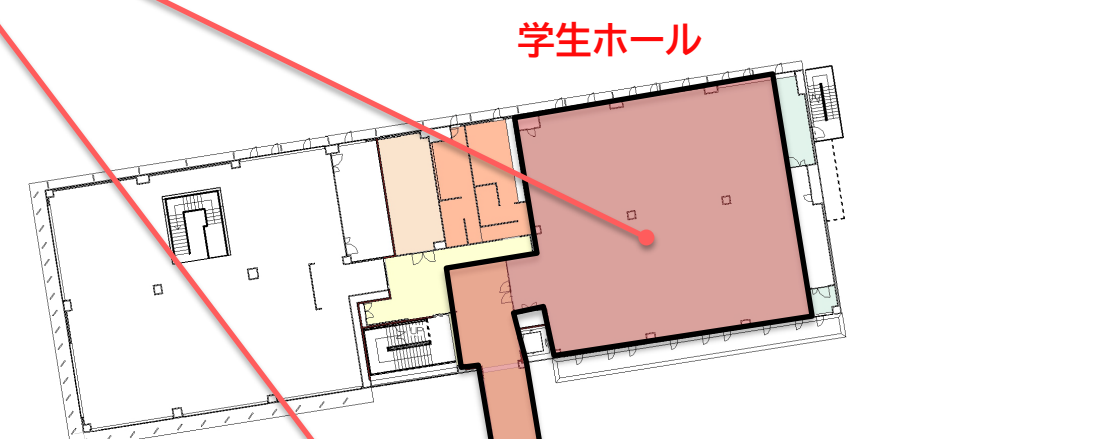
北棟



エントランス

南棟

1階

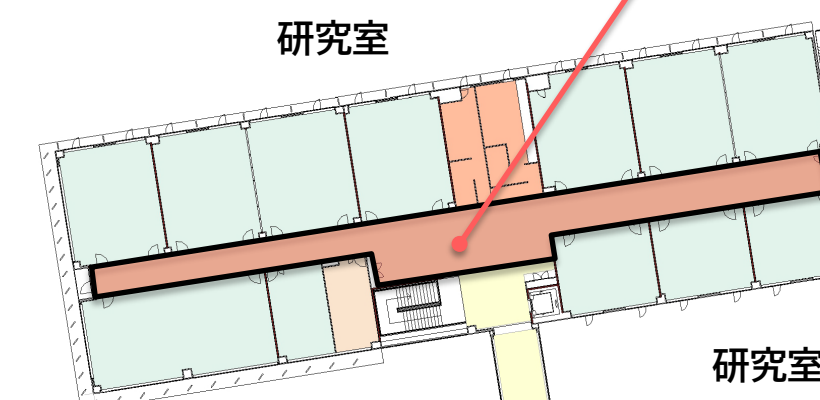


学生ホール

渡り廊下

吹き抜け

2階



研究室

研究室

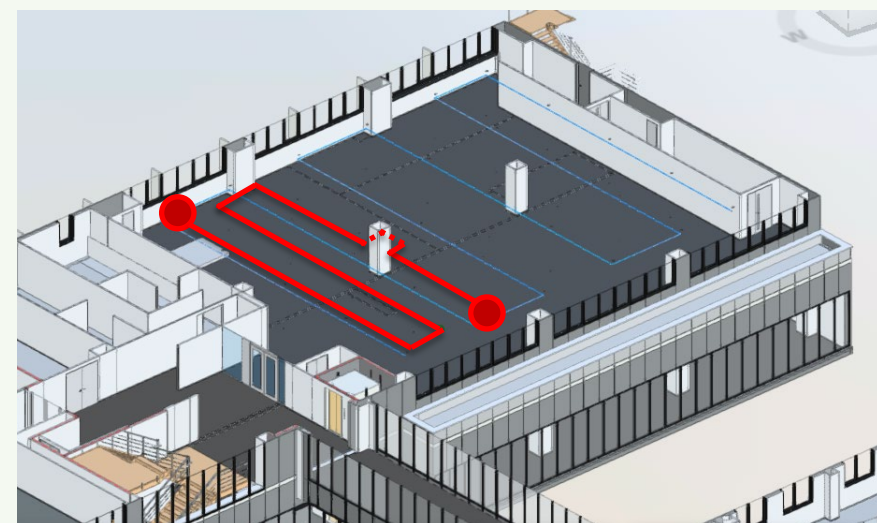
研究室

3階

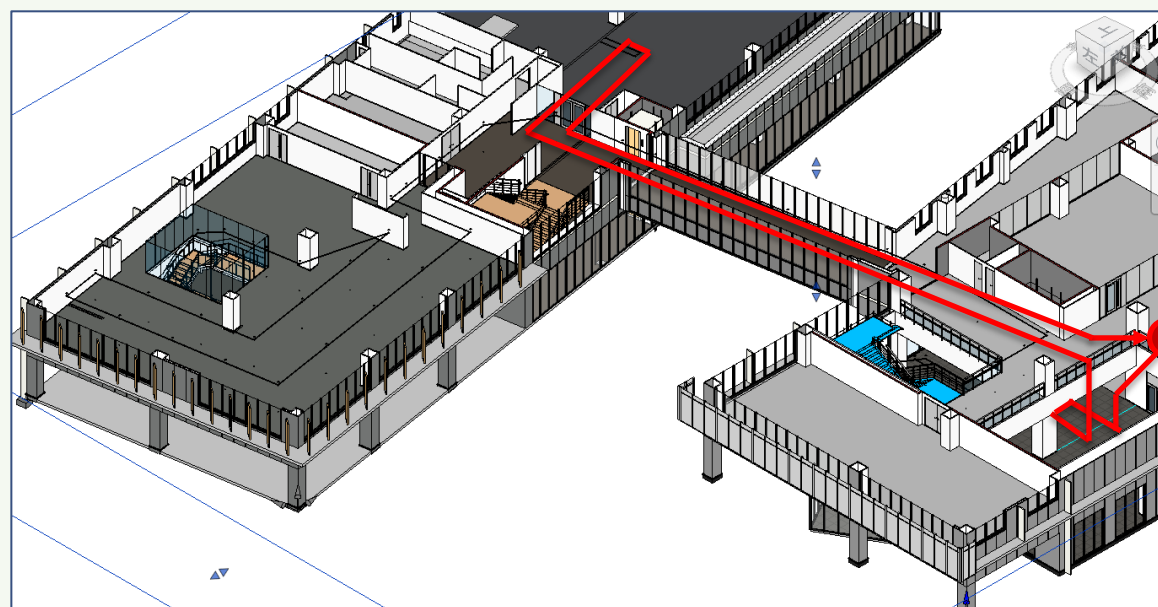
飛行検証時のドローン飛行ルート



北棟3階のルート

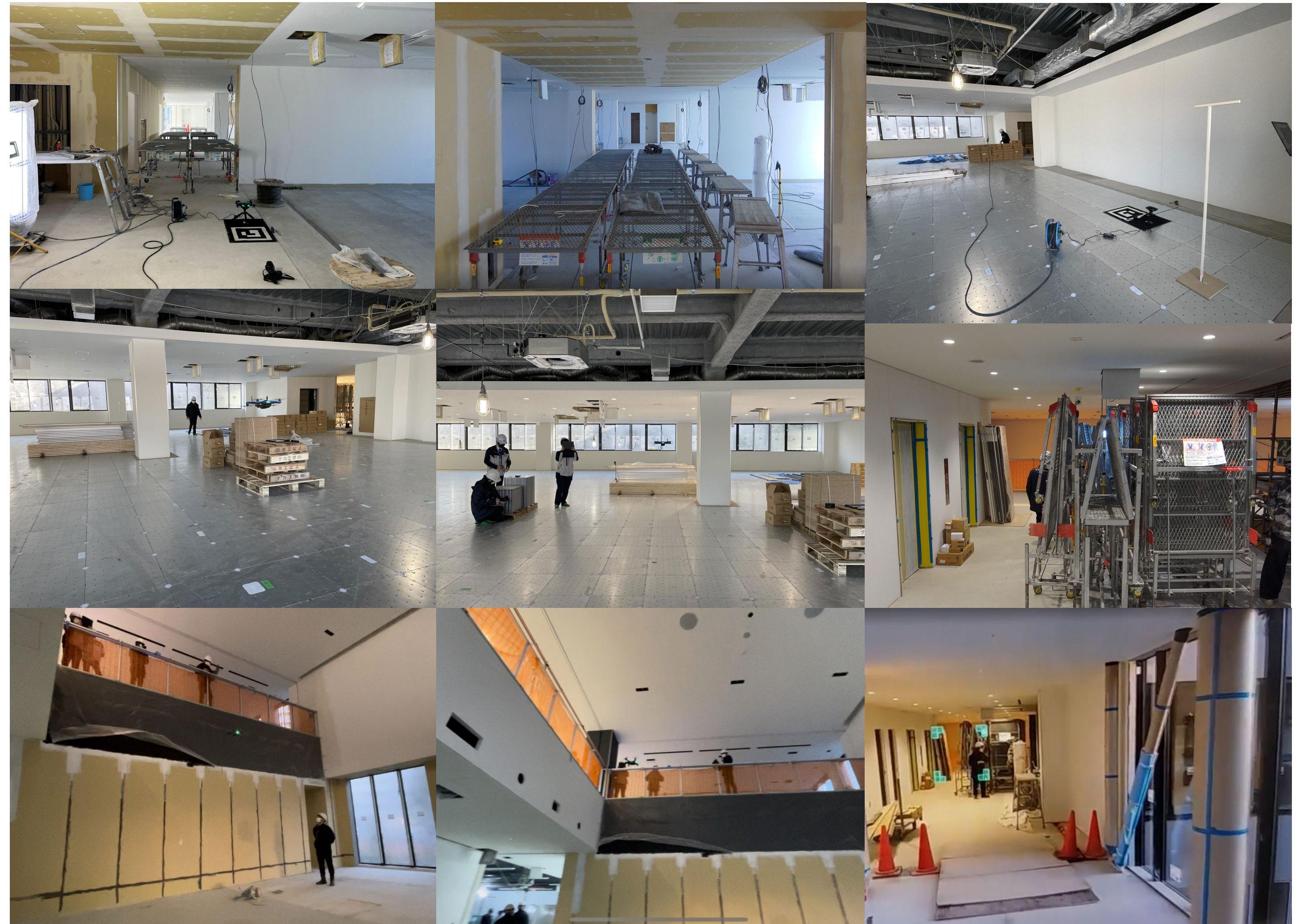


2F学生ホール内における一定の高さと間隔での天井撮影ルート。





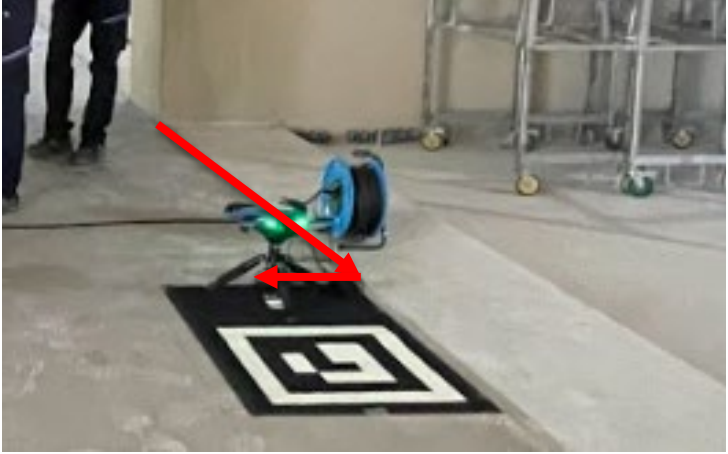

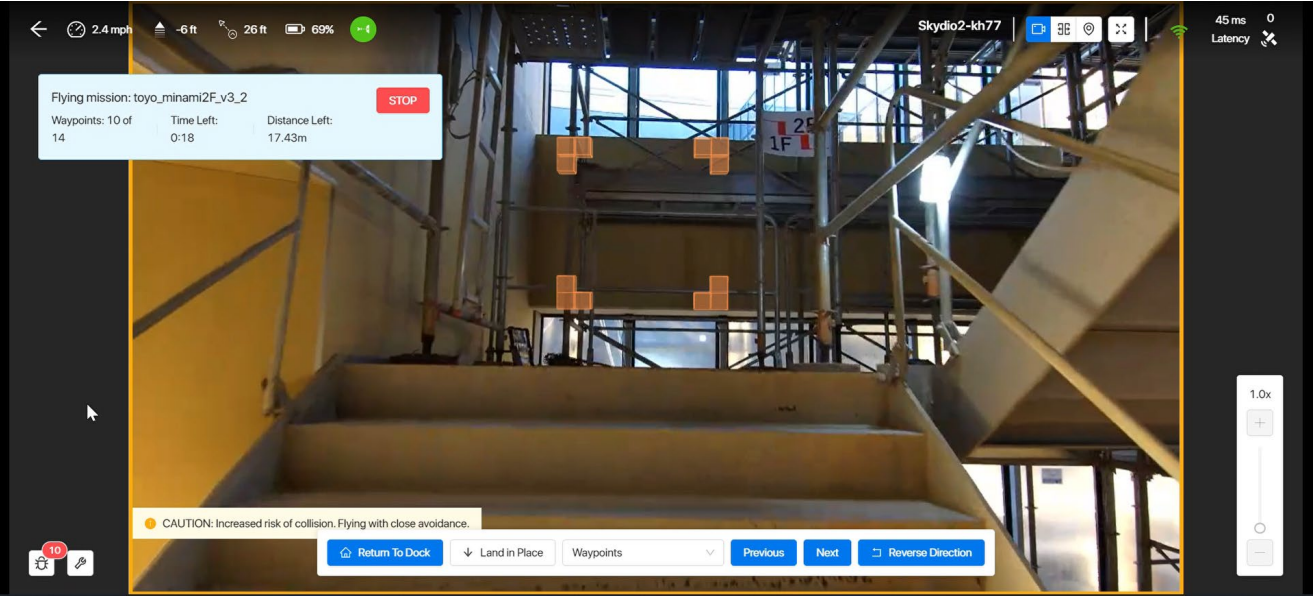
遠隔操作および複数階、複数棟の検証ルート。
2Fから1Fへ降りて、周回して2Fへ戻り、渡り廊下を通過して、別棟へ移動し、開始位置に戻る

飛行検証時の現場状況



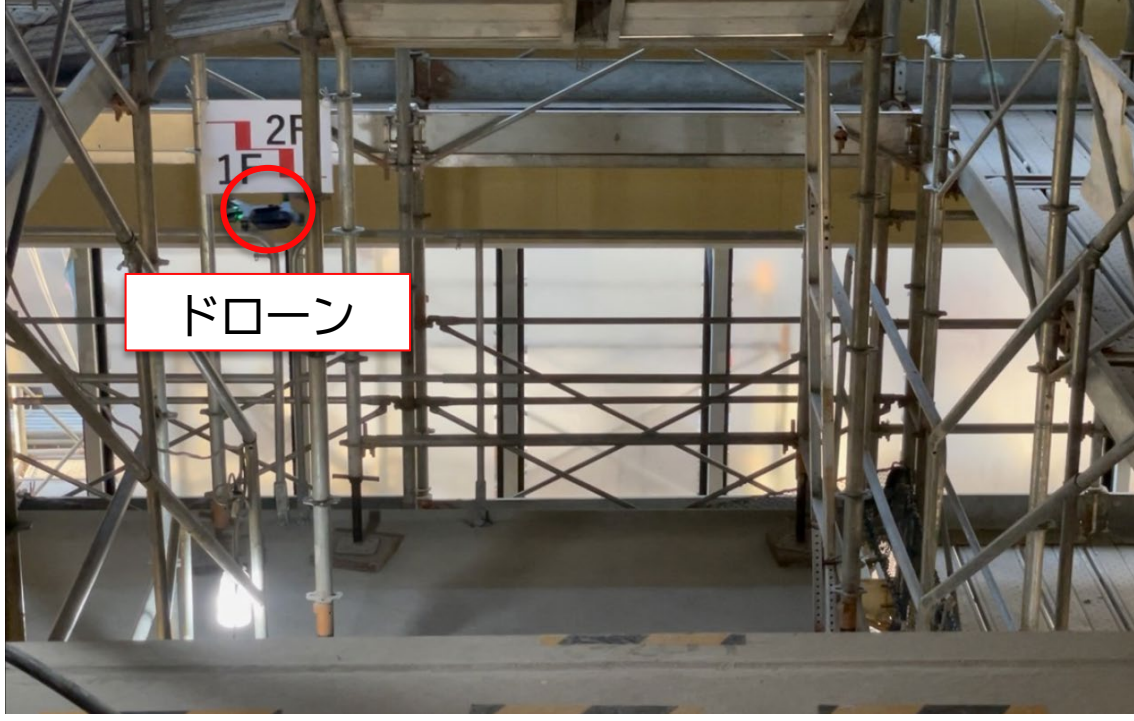
検証B-1 ドローン飛行検証実施内容(検証 I)

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

| 項目 | 内容 | 検証実施結果 | 参考画像 |
|--|--|---|---|
| <p>1. 施工中の現場内(空間)の照度及び障害物の確認</p> | <p>現場内の明るさ(照度)や屋内の気流(風)の確認と計測を実施。</p> | <p>昼間:照度、風(ほぼ無風)ともに運用可能な状態であった。 夜間:照度不足あるいは照度差と思われる要因により、機体カメラによる『照度不足』のエラーが出た為、飛行できない箇所があった。照明を追加し飛行が可能となった。 エラーが出た周辺の照度:約20lx程度</p> |  |
| <p>2. ドローンDockの設置位置確認</p>  | <p>設置場所の検討や電源の確保。</p> | <p>Dockの設置を柱を基準に距離を計測して設置した。 ※正確な位置を計測するために柱を基準にしている電源は施工用の仮設電源から確保した。</p>  |  |
| <p>3. マニュアル操作による飛行ルートと撮影ポイントの設定</p> | <p>マニュアル飛行でクラウドアプリ上でルート設定/ネットワーク確認。 マニュアル飛行でテスト運転を実施。 撮影のためのドローンに搭載されている撮影用カメラの角度等を確認。</p> | <p>マニュアル飛行で作成したルート、設定した飛行速度、飛行高度が無事クラウド上に保存されていること、保存した設定通りに自律飛行できることを確認した。 各ポイントで設定したカメラの画角、飛行速度、飛行高度において撮影した画像や動画がクラウド上に保存できることを確認した。</p> |  |

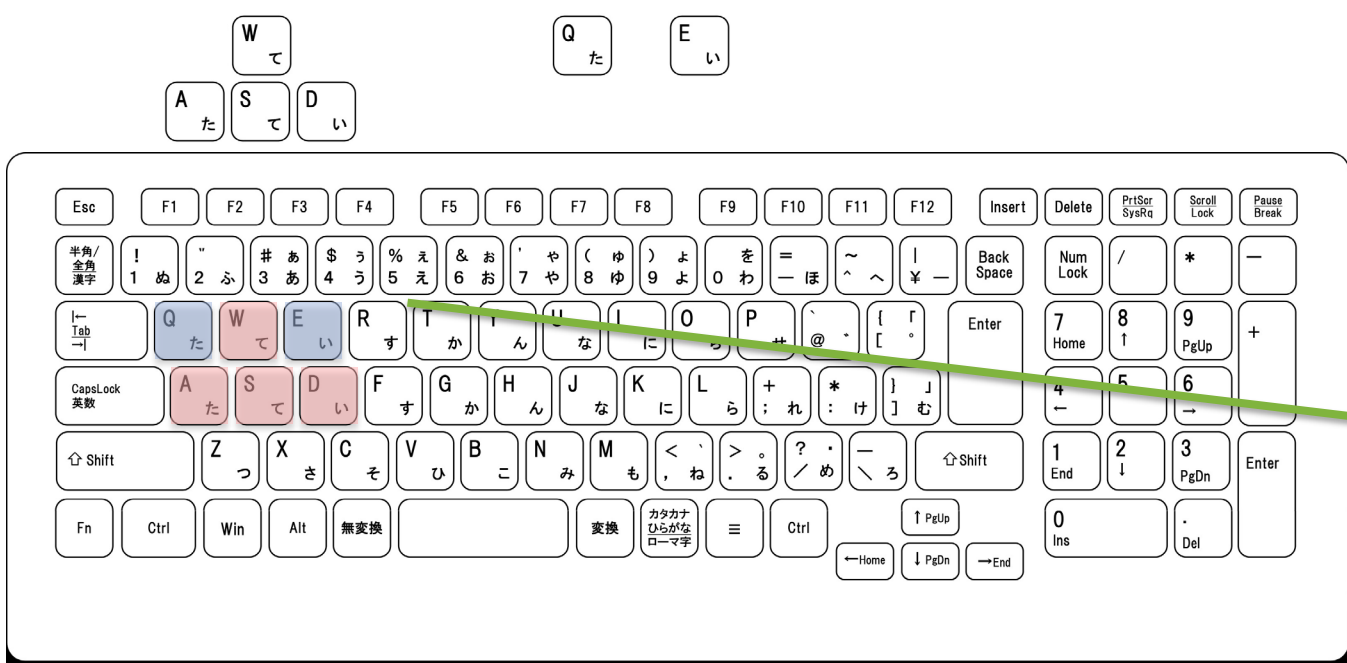
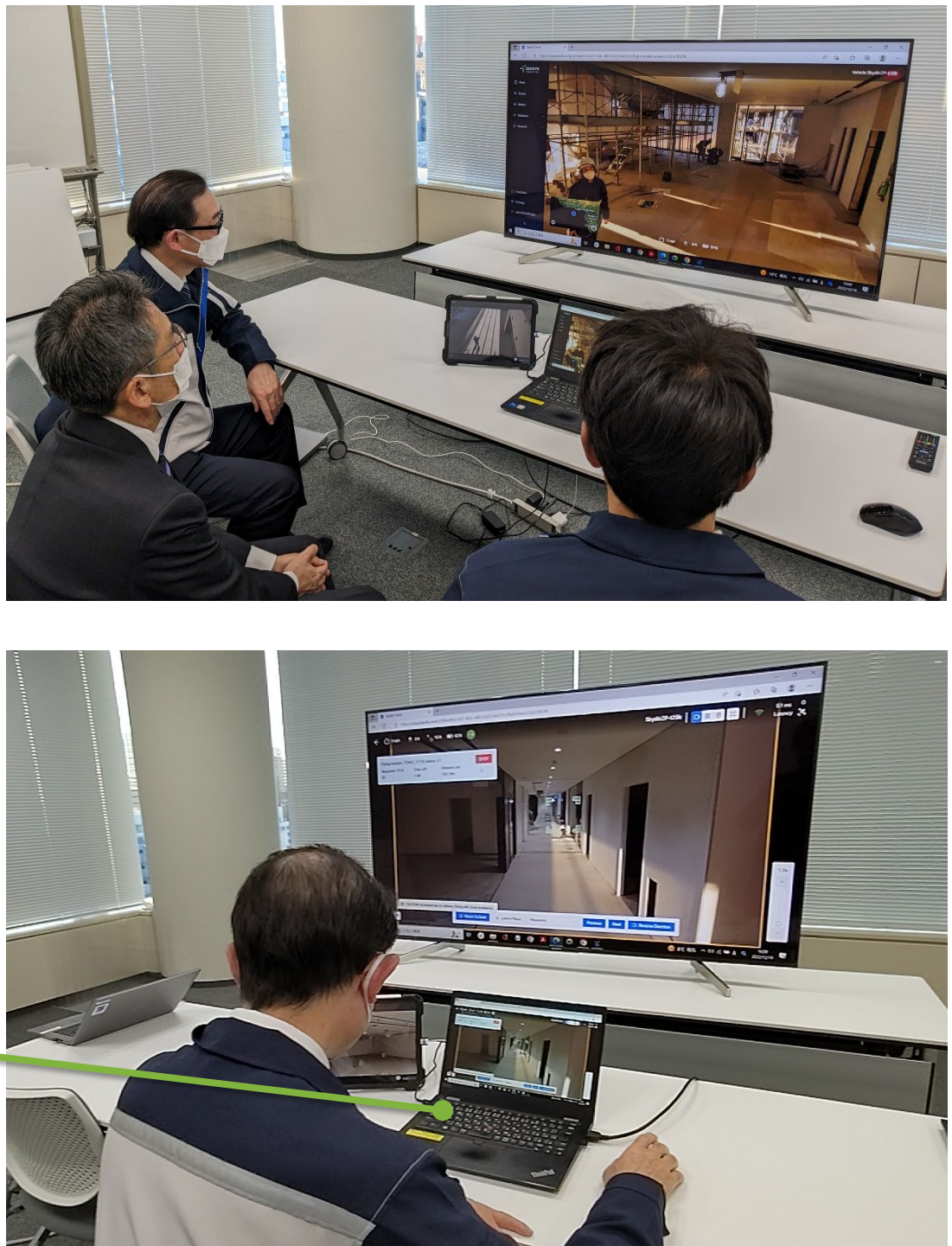
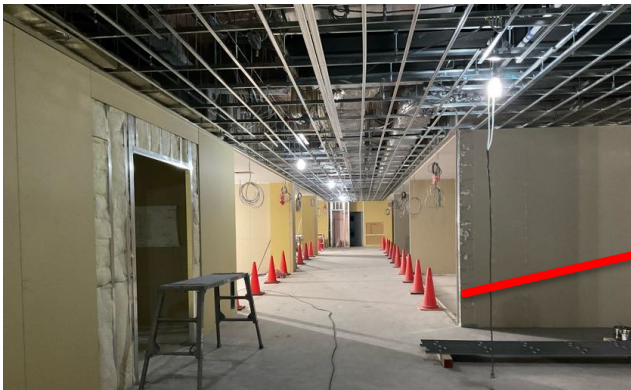

検証B-1 ドローン飛行検証実施内容(検証 I)

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

| 項目 | 内容 | 検証実施結果 | 参考画像 |
|----------------------|--|---|---|
| 4. 障害物自動回避の安全性の確認 | 脚立や天井から吊り下がっているコード類を認識し、回避行動が機能するかを確認。 | Skydioの画像認識機能(閾値約30cmの設定)により周囲の脚立やコード類などの 障害物認識し回避して飛行した ことを確認した。 |  |
| 5. 狭隘部及び複数階への飛行検証 | 自律飛行機能によって狭隘部分が飛行できるかの確認。 | 南棟の2階から1階部分の階段(最小幅117cm) において、マニュアルで作成したルートの問題なく自律飛行したことを確認した。 |  |
| 6. 自律飛行による静止画及び動画の撮影 | ドローンで撮影した静止画及び動画を確認。 | マニュアル操作で設定したルートや条件において自律飛行および撮影された静止画および動画をその場で確認し、 工事の進捗確認に必要なデータ(画角、画質)が取得できている ことを確認した。 |  |
| 7. 静止画及び動画の品質確認 | 記録写真として使用できるか、解像度及び撮影速さ等の検討をする。 | 工事監理、施工管理において必要とする品質である ことを確認した。 |  |

検証B-1 ドローン飛行検証実施内容(検証II)

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

| 項目 | 内容 | 検証実施結果 | 参考画像 |
|-----------------------------------|---|---|---|
| <p>1. 遠隔地(現場-本社間)からのドローン操作の検証</p> | <p>遠隔からの操縦の可否検証および精度検証。</p> | <p>本社執務室から遠隔操作(マニュアルによる操作)によって自由にドローンを飛行させる事が可能であることを確認した。</p> <p>本社執務室から遠隔操作(自律飛行開始操作)によって現場にスタンバイさせた機体は設定したルート通りに飛行開始し、目的地まで飛行した後に開始位置まで戻りDockに格納したことを確認した。</p> <div style="text-align: center;"> <p>前後左右操作 上下操作</p>  </div> |  |
| <p>2. ドローン飛行ルートの再現性の確認</p> | <p>異なる現場の環境状態(3週間経過した日程および現場の状況が異なる同じ場所)において、クラウド上に保存されたルート情報、各種条件をもとに自律飛行できるか確認。</p> | <p>同一場所から飛行させることにより、検証Iで作成しクラウドに保存したルートで飛行可能なことを確認した。</p> <p>しかし、飛行ルート付近に足場が組まれるなど、施工の進捗による現場状態の変化が生じた空間において一部飛行が困難となることを確認した。</p>  |  |

検証B-1 ドローン飛行検証実施内容(検証II)

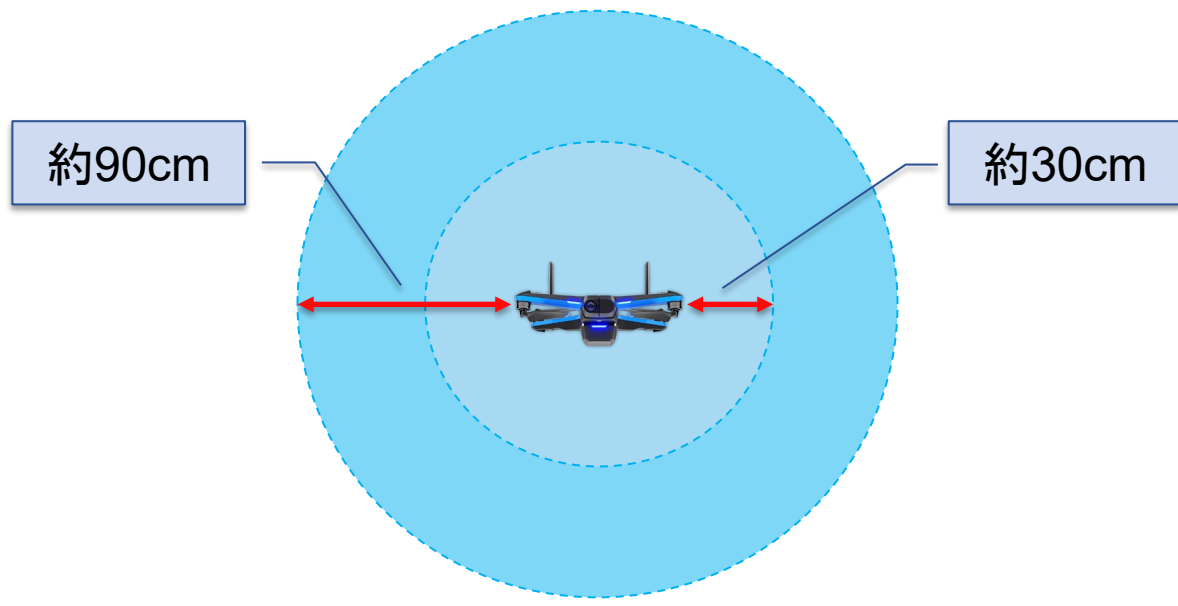
自律型ドローンとBIMモデルを活用した遠隔工事監理手法に関する評価・検証

| 項目 | 内容 | 検証実施結果 | 参考画像 |
|--------------------------------|---|---|------|
| <p>3. 3Dマッピングを前提とした撮影方法の検証</p> | <p>3Dマッピングに適切な静止画を撮影するための角度、ラップ率、高さを検証。 撮影のラップ率10%(静止画の重なる割合:間隔1m程度)、および飛行高さを一定(1.5m)に設定し、天井の静止画を撮影。 3Dモデルにおいて撮影対象物への自動表示を検証。</p> | <p>BIMモデルから作成した3Dモデルの撮影対象位置に画像を自動で紐付けて表示できることを確認した。 表示方法として、画像の重なり幅や角度等、見やすい画像を撮影する工夫が今後必要であることを確認した。</p> | |
| <p>4. 自律飛行適用時間帯の検証</p> | <p>作業員や現場への影響、危険性などの観点含め、自律飛行に適した時間帯を検証</p> | <p>ドローンとの接触による人や資材の損傷は発生しなかった。 ドローンから発生する下方風により床上の粉体やほこりが飛散し、ドローンや仕上げへ悪影響を生じる可能性があることを確認した。 ドローンの機体および飛行音に作業員が気づくことにより、作業員の注意がドローンに向けられることを確認した。 以上のことから、建設現場での飛行は支障ないが、作業員との離隔方法は必要であることを確認した。一例として、作業員のいない時間帯に飛行させるなど時間離隔をすることで作業員、現場への影響を減らすことが考えられる。</p> | |
| <p>5. 複数階及び複数棟間の自律飛行の検証</p> | <p>飛行可能距離、飛行可能時間、バッテリー、性能を含む飛行性能を検証</p> | <p>南棟の複数階(1階、2階)及び2階の渡り廊下から北棟を巡視するルート(約100m)を飛行し、設定したルートどおり自律飛行することを確認した。 飛行時間は約6分、バッテリー消費は約1/4であった。</p> | |

検証B-1 ドローン飛行検証分析

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

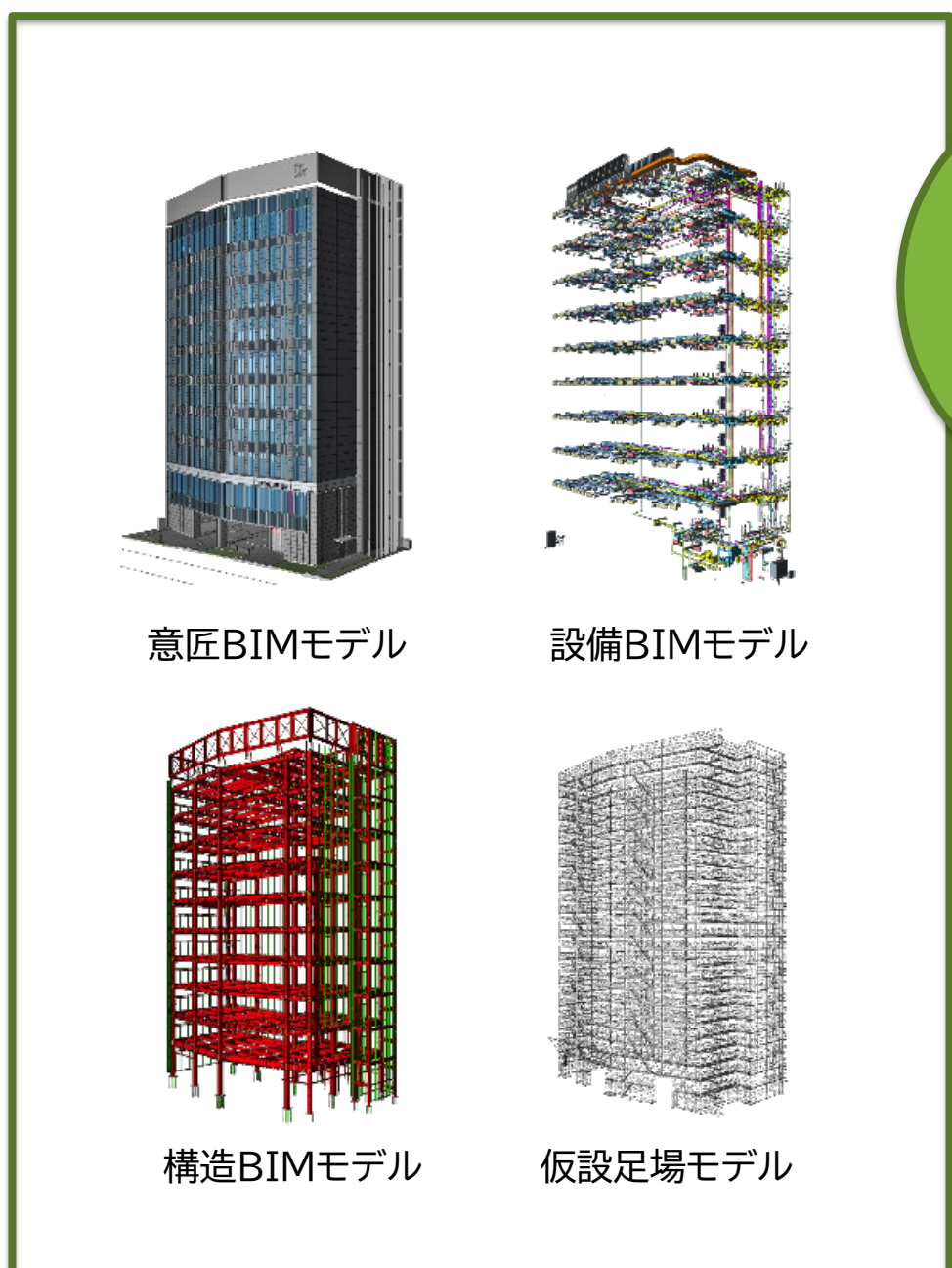
| 検証 | 項目 | 内容 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|--|-------------------------|------|-------------------------|--|------|----|-------|--|-------------------|-------------------------|--|-------------------|--|--|--|
| ドローン飛行 | 空間 | 作業時間内での飛行は、作業員の作業へ影響を与える(驚く、注意散漫の原因となる)ため、 作業前、昼休み、終業後など時間離隔をする必要がある。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 照度 | 昼間:照度、風ともに問題ない。 夜間:照度不足あるいは照度差と思われる要因により、機体カメラによる『照度不足』のエラーが出る為、 照明環境を改善が必要である。 (実際に計測した照度:17lx。場所によっては、7lx、15lx) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 障害物 | Skydioの画像認識機能により周囲の脚立やコード類などの障害物認識し回避して飛行できるため、 障害物があっても飛行に影響はない。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 撮影データ(静止画、動画) | 見やすさ | 静止画、動画ともに 4K 。リアルタイム映像およびクラウド上の映像はともに 720p~1080p を使用するため、 施工管理、工事監理において必要とする品質を担保できる。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 高さ | 3Dマッピングや施工管理、工事監理において必要とする品質を保つためには、 一定の高さを維持して撮影することが好ましい。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 間隔(ラップ率) | BIMデータへの3Dマッピングや将来的にデジタルツインを想定したAR、VRでの利用を想定した場合、 画角と撮影距離から設定する間隔(ラップ率)を確保する必要がある。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 角度 | 3Dマッピングにおいては、画像の歪みやズレが発生するため、 正対での撮影が好ましい。 工事監理用写真(進捗確認、施工状況の確認)においては、奥の状態が確認しやすいため 斜めからの撮影が好ましい。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 現場運用 | 狭隘部 | 障害物検知機能(閾値30cmの設定)により、 最小幅17cmの階段部を通過できることを確認した。 ただし、 より狭い空間の状況によっては、飛行困難な場所も発生すると思われる。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 遠隔操作 | クラウド上で運用できたため、 距離による影響がないことを確認した。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 複数階 | 飛行可能な 階段部があれば、複数階移動は可能である。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 通信環境 | 壁の密集部など 建物の構造上通信環境の改善を必要とする部分がある。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 巡視ルート・スケジュール管理 | <p>検証では100m分を飛行しバッテリー消費は1/4程度(25分程度)であったことを踏まえると、1回の巡視は300~400m程度可能であると推定される。 本施設の巡視ルートの総延長を500mと仮定すると、2ルートに分けて設定することで施設全体の巡視が可能となる。 1日の施工のスケジュールに以下の巡視スケジュールを組み合わせることで、ドローンによる無人巡視が可能となる。</p> <p>【前提条件】 ドローン1機、Dock1機、Wi-Fi環境構築、仮設照明の設置(照度差が発生する場合のみ)、電源の確保、現場作業時間外。</p> <p>【巡視スケジュールの例(2ルートの場合)】</p> <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>朝礼</td> <td></td> <td>昼休み</td> <td></td> <td>作業終了</td> <td>夜間</td> </tr> <tr> <td colspan="2" rowspan="2">データ活用</td> <td>10分 ルート① 巡視</td> <td>60分 充電・データ アップロード</td> <td></td> <td>10分 ルート② 巡視</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>60分 充電・データ アップロード</td> </tr> </table> | 朝礼 | | 昼休み | | 作業終了 | 夜間 | データ活用 | | 10分 ルート① 巡視 | 60分 充電・データ アップロード | | 10分 ルート② 巡視 | | | |
| 朝礼 | | 昼休み | | 作業終了 | 夜間 | | | | | | | | | | | | |
| データ活用 | | 10分 ルート① 巡視 | 60分 充電・データ アップロード | | 10分 ルート② 巡視 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 60分 充電・データ アップロード | | | | | | | | | | | | |

| 問題 | 原因 | 解決方法 |
|--------------------------------|---|---|
| 照度が低い環境(夜間等)において、飛行できない場合が発生する | ドローンが安全に飛行するために必要な照度が不足したため照度検知機能が働き、飛行ができない。 | 仮設照明を設置することで、実測値として飛行可能となる20lx程度を確保。※メーカー推奨:100lx |
| ドローンの飛行による、作業員への影響(驚き、注意散漫) | 施工作业集中時や資材運搬時の通路での目線の高さで飛行するドローンとの遭遇により驚きや注意散漫の原因となり、作業の妨げとなる。 | 作業前、昼休み、終業後など時間離隔をすることで、作業員への影響を回避。 |
| BIMモデルへの3Dマッピング時の画像のズレ、重なり、歪み | 斜めからの撮影、不規則なラップ率や高さでの撮影により、BIMのデータおよび画像のExifデータを利用した3Dマッピングの際に、画像の歪みや3Dマッピングの際のズレが発生する。 | 撮影のラップ率10%(約1m)、および一定の高さに設定し、進路を直線上に維持、高度1.5mを維持し、天井に対して撮影することで、画像の歪みやズレ、重なりを回避。 |
| 通過できない階段および通路がある | 足場の設置間隔が飛行可能な幅になかったことにより、ドローンの通過に必要な空間が確保できなかった。 | <p>約1m以上の間隔が確保可能なルートを選定が必要。 ※障害物回避距離30cm設定時 ※Skydioの安全距離については下記参照</p> <p>機体の端部からの安全距離(約30cm,約90cm)を設定可能</p>  |
| 飛行検証のために別途Wi-Fi環境を構築必要があった | 施工現場全域にわたりWi-Fi環境がないため。 | 施工現場のドローンを運用する範囲にWi-Fi環境を構築。 |
| 工程が進むと、既存のルートが使用できない | 施工によって現場の状況(仮設足場、間仕切り等)が変化するため。 | 環境変化に合わせて新しいルートの作成 |



BIMをベースとしたデータ管理システム

| 測量番号 | X座標 | Y座標 | Z座標 | ... |
|------|-----|-----|------|-----|
| 1 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 2 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 3 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 4 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 5 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 6 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 7 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 8 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 9 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 10 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 11 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 12 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 13 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 14 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 15 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 16 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 17 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 18 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 19 | 700 | 500 | 1000 | ... |
| 20 | 700 | 500 | 1000 | ... |



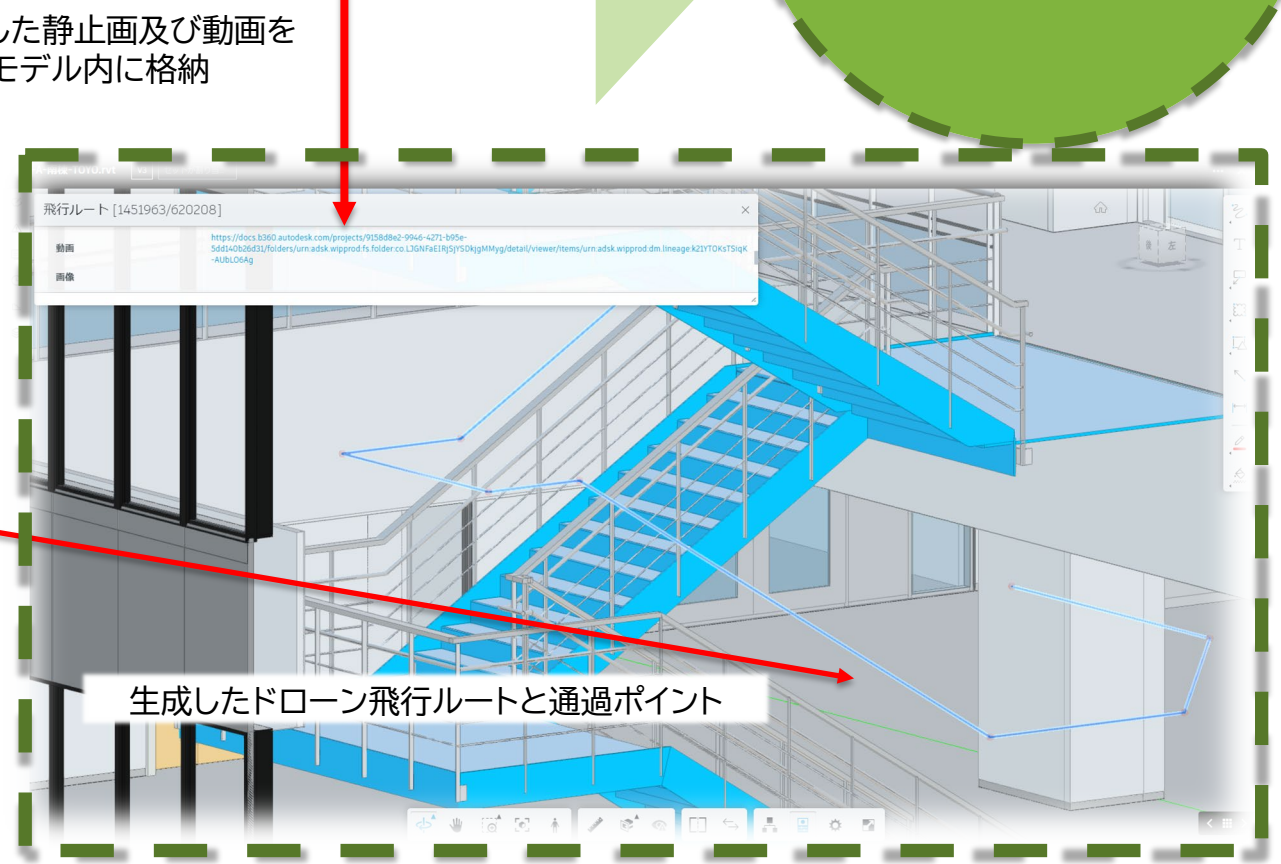
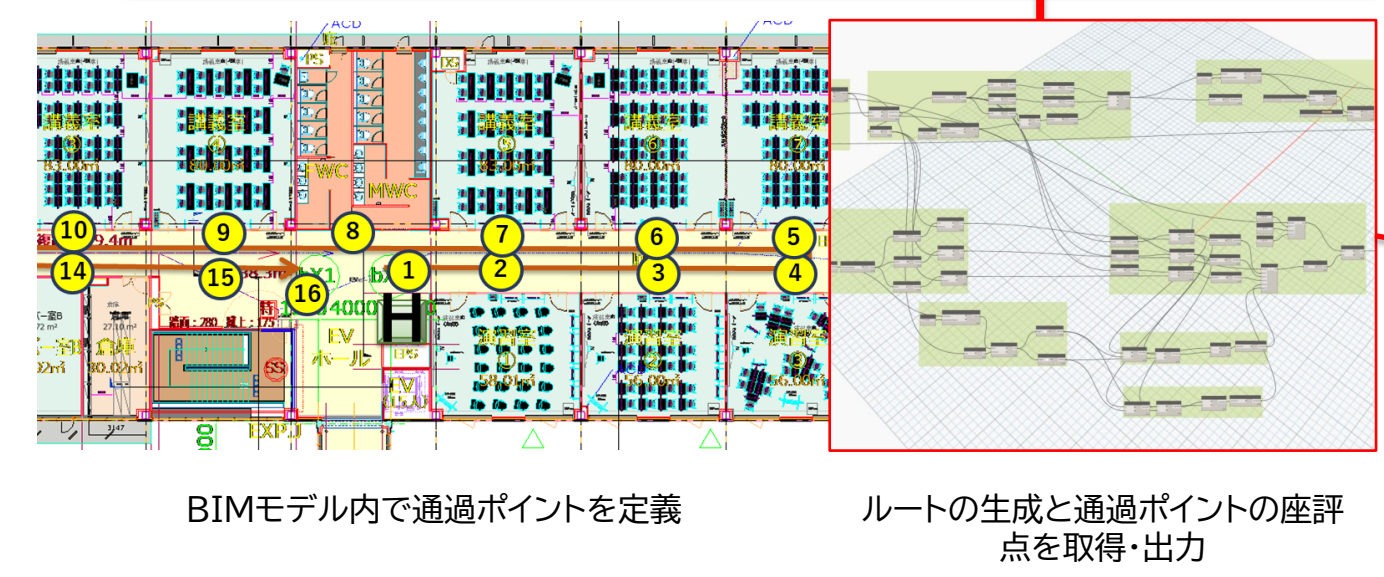
統合 BIM

飛行ルート確認

画像 動画 3Dモデル

ハイスパック BIM

飛行ルート検出・作成 (Revit内)



▼施工管理、工事監理1
動画をを使った巡視(施工時)
《現状実現可能範囲》

- 取得したデータにより、現場の監督職員、本社の社員および顧客がクラウド上で確認できる

《将来的な発展》

- 画像解析によって、職人の不安全な動作、足場の不具合、資材の荷崩れ、その他の危険要因などの自動判別と早期発見

▼施工管理、工事監理2
静止画を使った施工記録
《現状実現可能範囲》

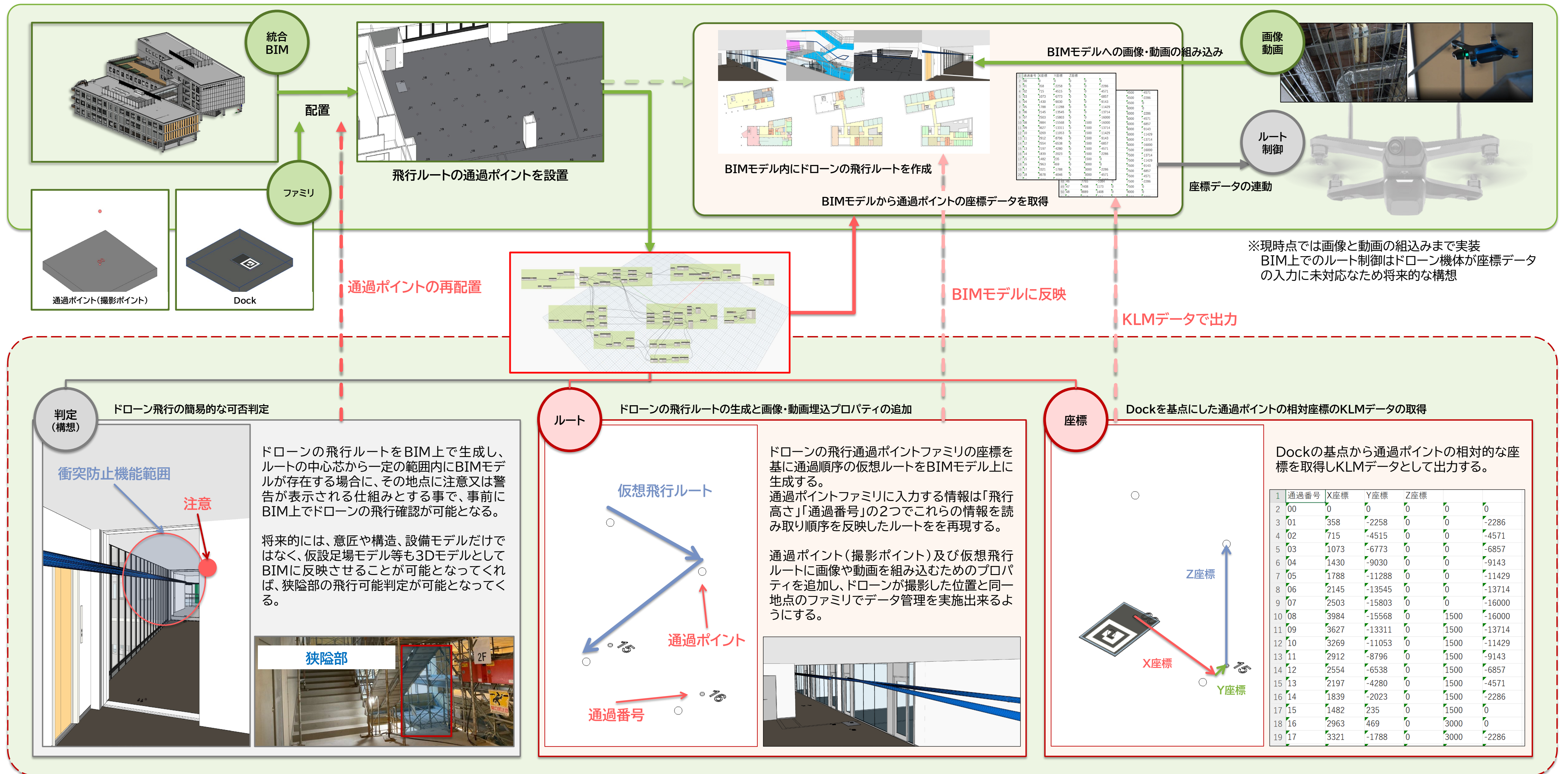
- 施工の各段階の記録写真の撮影
- ウォークスルーで遠隔臨場が可能(現場に行かずして、現場確認が可能)

《将来的な発展》

- 検査項目を撮影し、AIにより、適を確認
- 遠隔で検査及び記録が可能
- 検査記録はBIMデータの該当部位に紐づけて記録される

検証B-1 ドローンとBIMの連携:BIM上でのドローン飛行ルート of 将来的な確認手法

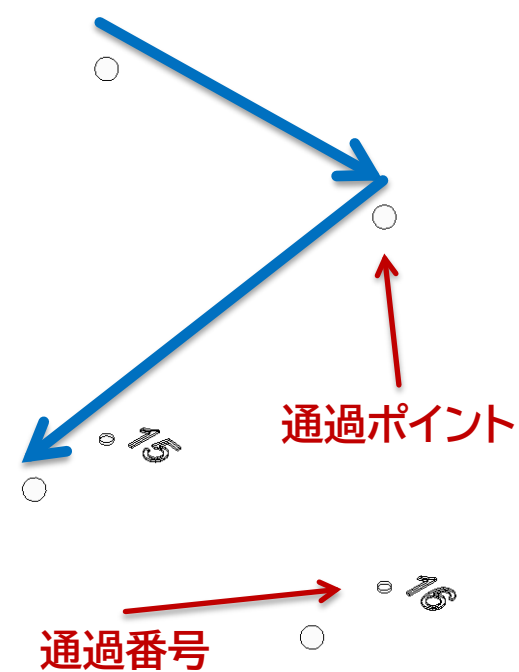
自律型ドローンとBIMモデルを活用した遠隔工事監理手法に関する評価・検証



BIM上での飛行ルートの読み込み及び撮影データの活用手法

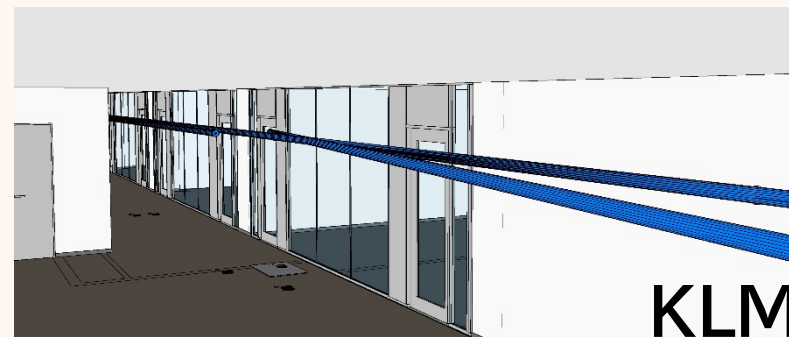
ルート

仮想飛行ルート



ドローンの飛行通過ポイントファミリの座標を基に通過順序の仮想ルートをBIMモデル上に生成する。
通過ポイントファミリに入力する情報は「飛行高さ」「通過番号」の2つでこれらの情報を読み取り順序を反映したルートを再現する。

通過ポイント(撮影ポイント)及び仮想飛行ルートに画像や動画を組み込むためのプロパティを追加し、ドローンが撮影した位置と同一地点のファミリでデータ管理を実施出来るようにする。



KLMデータ

※Dockを基点とした座標データ

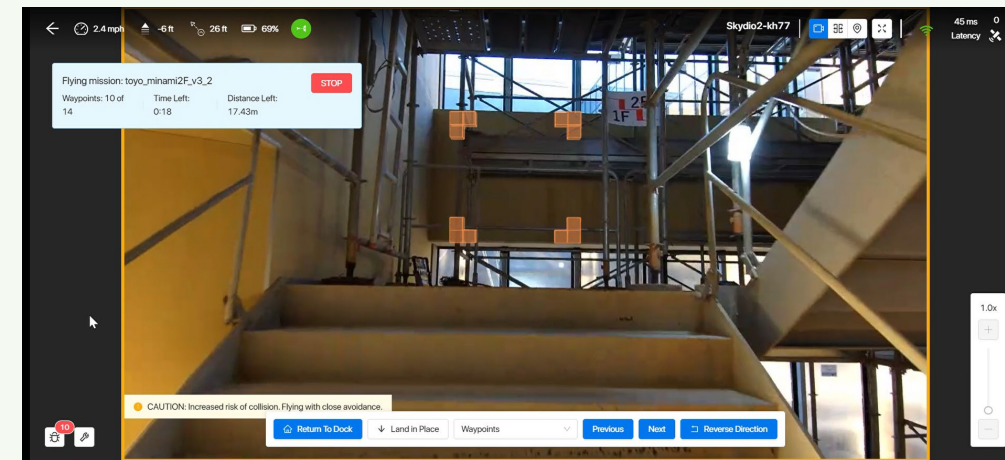
KLMデータの読み込みを検討したところ、API連携が必要であることを確認



読み込み

Skydioクラウドがどのようにルート情報を作成し、保有しているのか記載
手動ルート作成(マニュアルルートレコーディング)で作成される主要データ

- Dockを基点とした通過地点の座標
- 飛行速度
- ジンバル(カメラ)の方向、仰角
- その他動作(静止画・動画撮影、ホバリング等)



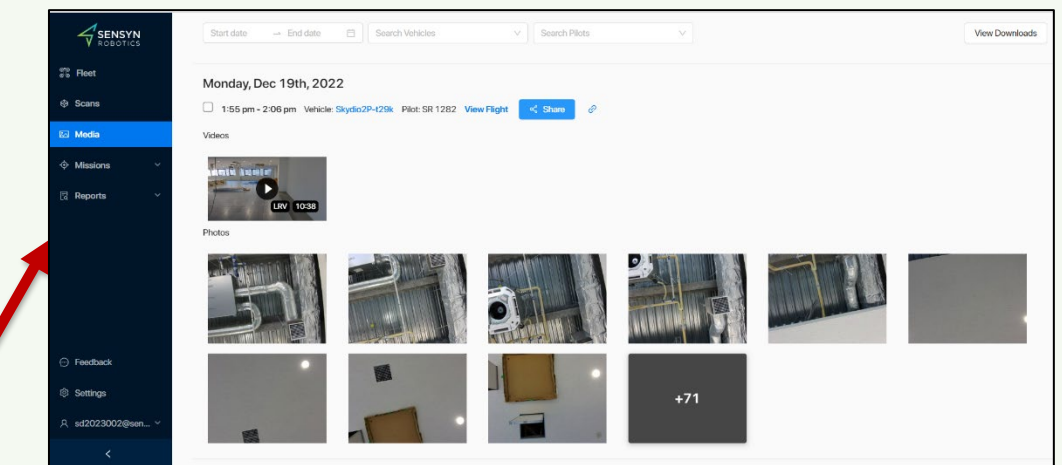
飛行ルートデータ

| Name | Date Last Edited | Schedules | VPS Map | Actions |
|---------------------|---------------------|--------------|---------|---------|
| senlyn-0110_0100 | 01/10/2023 01:00 PM | Available | | Run Now |
| senlyn-0110_1252 | 01/10/2023 12:52 PM | Available | | Run Now |
| senlyn-0110_1039 | 01/10/2023 10:39 AM | Available | | Run Now |
| senlyn-0110_1130 | 12/28/2022 02:27 PM | Available | | Run Now |
| senlyn-1228V2 | 12/26/2022 11:30 AM | Available | | Run Now |
| senlyn-1227 | 12/26/2022 11:00 AM | Available | | Run Now |
| TOPOL-1218_3ndoc-v1 | 12/19/2022 03:59 PM | Not Required | | Run Now |
| TOPOL-1218_3rdoc-v1 | 12/19/2022 01:43 PM | Not Required | | Run Now |
| TOPOL-1218_3rdoc-v1 | 12/19/2022 12:47 PM | Not Required | | Run Now |

Skydioクラウド上では、作成された各ルートの飛行諸元を記録・管理している。

飛行撮影

ルートを自律飛行させ画像を撮影



データの読み出し
BIMへの紐付け



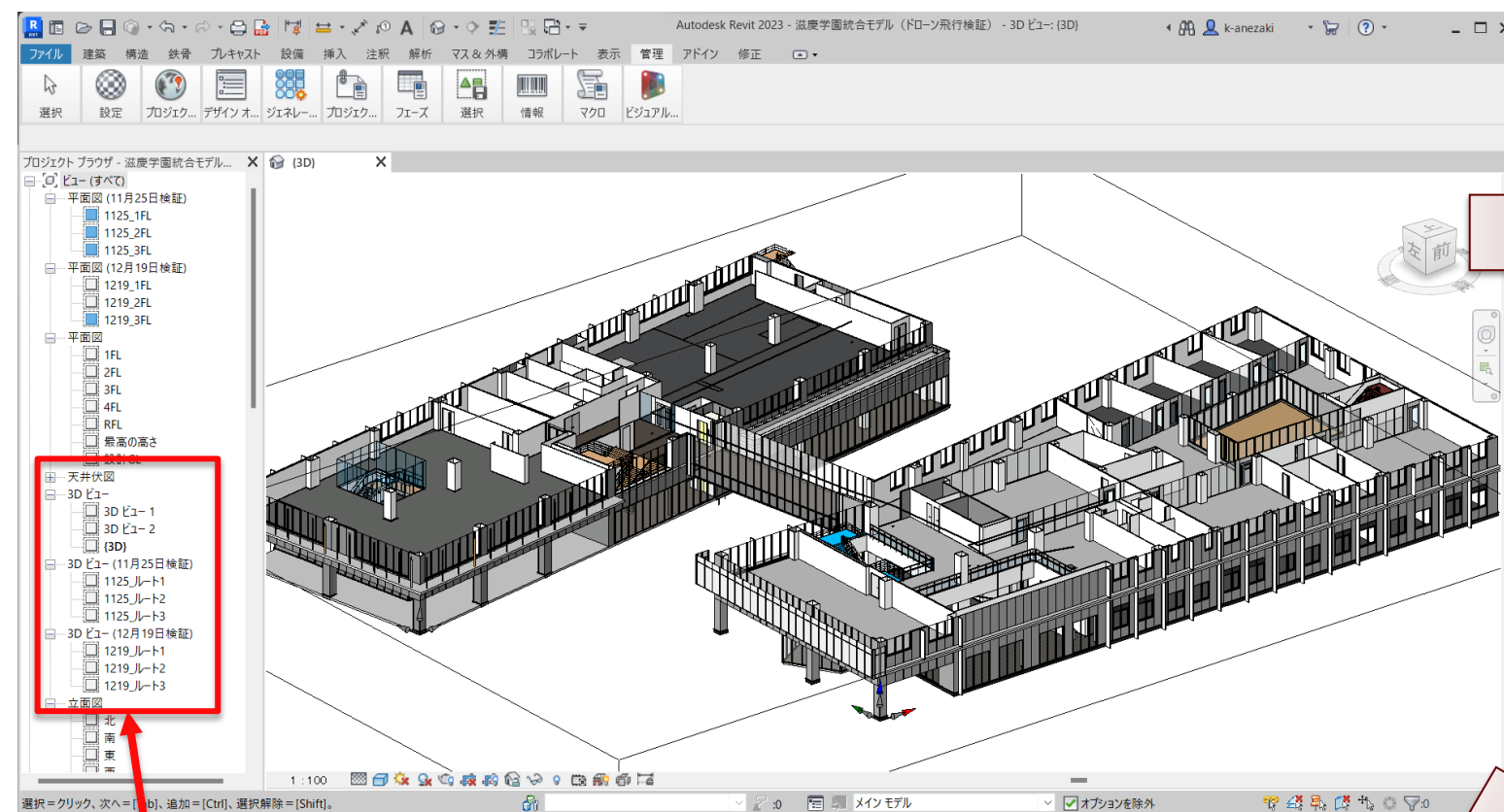
Skydioは撮影データに次のデータを保存。

- Skydioの機体位置
- Skydioの機体速度
- Skydioの機体角度
- ジンバル(カメラ)の位置
- ジンバル(カメラ)の角度

これを読み出すことにより、撮影データとBIMデータを紐付けることが可能。

BIMモデルを活用した映像データの効果的な管理・共有手法

動画、静止画の管理・共有

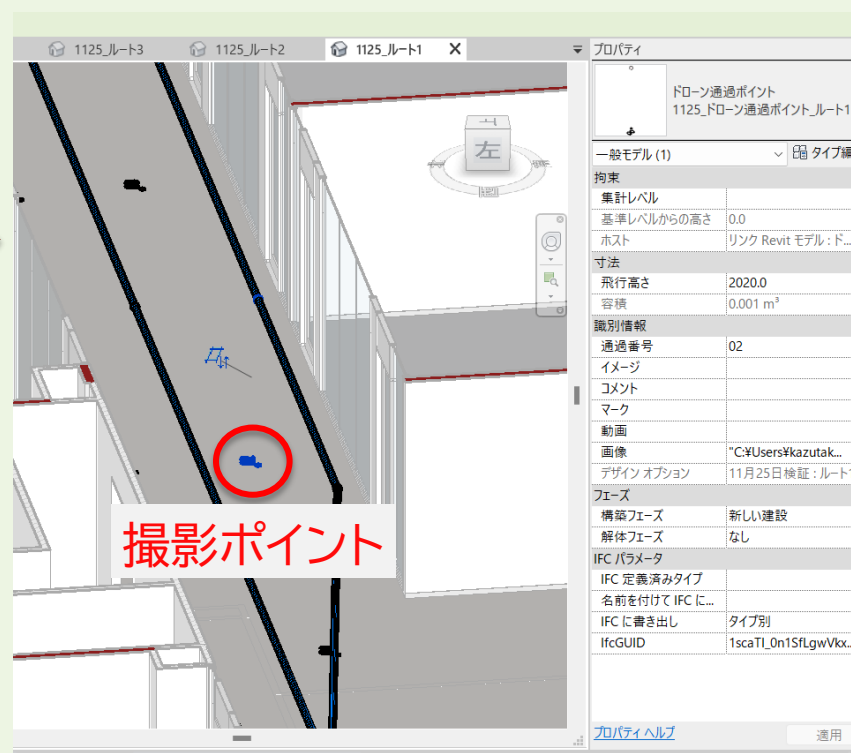


日付とルートを選択

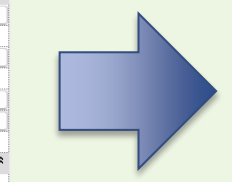
飛行ルート、動画を撮影する「**撮影ルート**」と静止画を撮影する「**撮影ポイント**」で構成することにより、撮影データの紐付け、閲覧が容易となる。

紐付けられた動画と静止画はクラウド上(BIM 360)で共有が可能

撮影ポイントに紐付けされた静止画が再生



静止画を表示

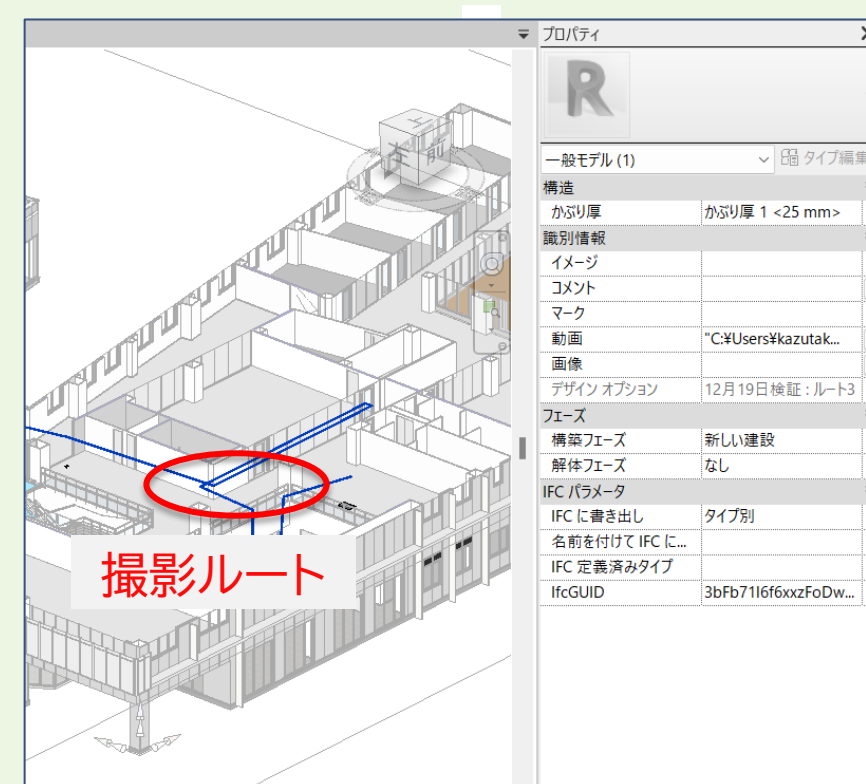


天井内部の施工状況

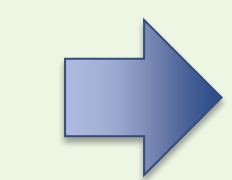
区画ごとの施工状況



撮影ルートに紐付けされた動画が再生



動画が再生



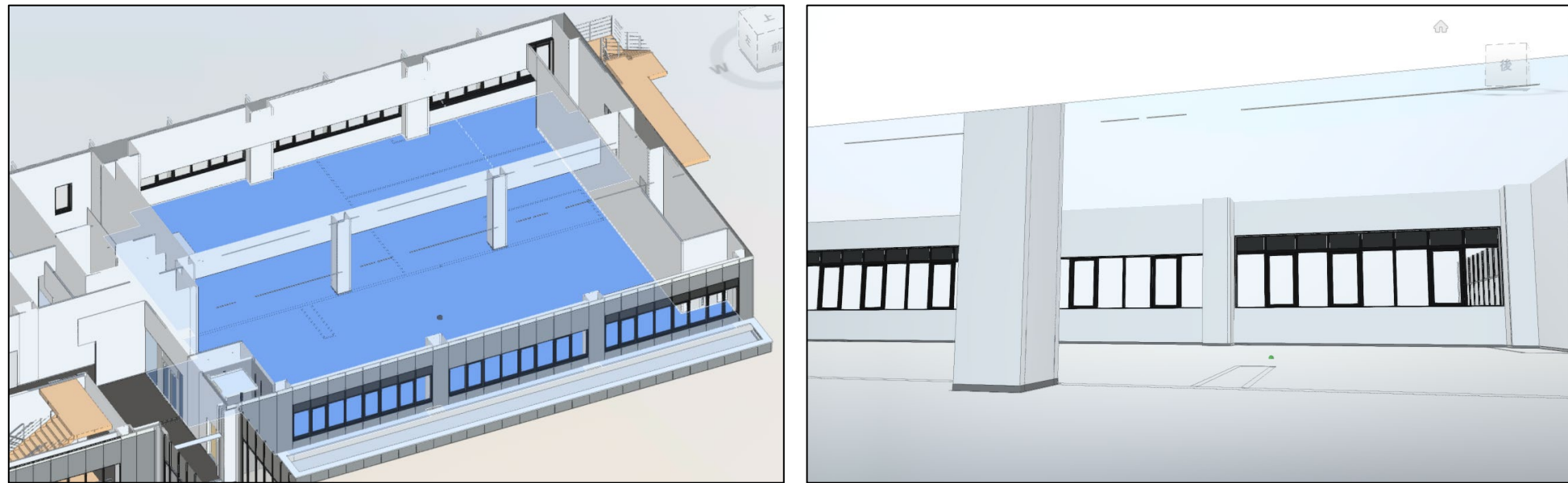
撮影ルートの施工状況を確認・記録

検証B-1 BIMモデルとの連携(BIMモデルへの3Dマッピング)

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

ドローンの自律飛行時に撮影した静止画をBIMモデルへ3Dマッピング。ウォークスルー閲覧できるように動画に変更。
静止画の品質を向上することで将来的にはAR、VRアプリケーションを作成しデジタルツインの実現に貢献。

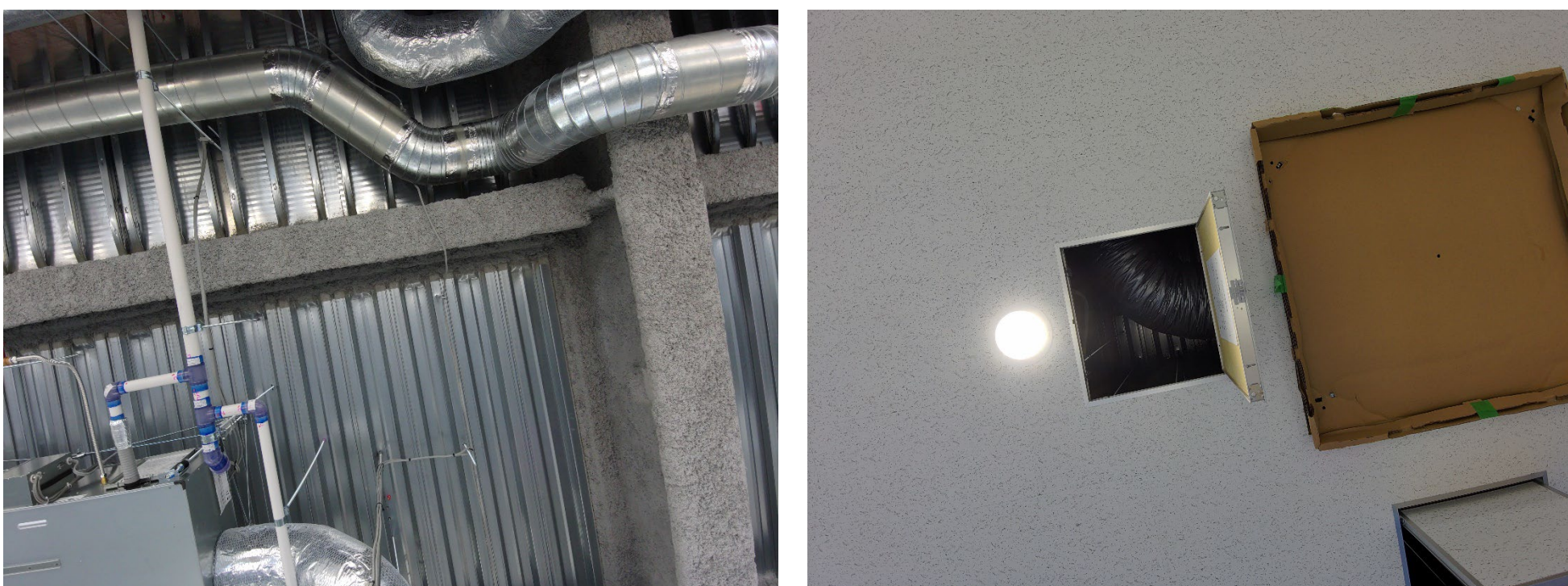
3Dマッピング前のBIMモデル



北棟2F 学生ホール

実際に撮影した画像をマッピング

取得画像



北棟2F 学生ホール 天井部撮影画像

3Dマッピング後

実際に取得した画像および座標情報を元にBIMモデルへ3Dマッピング

マッピング

3Dマッピングの動画内でドローンが飛行している現在地を表示

平面位置



撮影位置

現在位置

画像取得位置

実際に取得した画像を取得した座標位置にドローンの機体画像を配置して表示

当該箇所の拡大表示→



撮影位置に機体を表示

検証B-1 建設現場に係る航空法ドローン関連条項

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

| 関連項目 | 内容(一部抜粋) | 根拠 |
|---------------------|--|---|
| 屋内での無人航空機の飛行 | <p>建物内等の屋内での飛行については、航空法第132条及び第132条の2は適用されない。ここで、(1)及び(2)の空間内の飛行は屋内での飛行であると見なし、(3)の行為は屋外での飛行とは見なさない。</p> <p>(1)開口部はあるが、内部と外部が明確に区別された空間 例:トンネル内部、地下道内部、煙突内部、窓・扉の開いた建物等</p> <p>(2)無人航空機のスケールより目の細かいネット、金網等で囲われ無人航空機が飛行範囲を逸脱することがないように措置された空間</p> <p>(3)開口部付近において、飛行前の拳動確認のために一度飛行させる者の近くで低高度の浮上を実施し、これに引き続き空間内部に向けて直ちに進入する行為</p> | <p>無人航空機に係る規制の運用における解釈について令和4年6月6日 最終改正(国空無機第56234号)</p> |
| 国土交通大臣の承認が必要な屋外での飛行 | <p>以下各号に掲げる方法のいずれかによらない飛行</p> <p>一 日出から日没までの間において飛行させること。</p> <p>二 当該無人航空機及びその周囲の状況を目視により常時監視して飛行させること。</p> <p>三 当該無人航空機と地上又は水上の人又は物件との間に国土交通省令で定める距離を保つて飛行させること。</p> <p>四 祭礼、縁日、展示会その他の多数の者の集合する催しが行われている場所の上空以外の空域において飛行させること。</p> <p>五 当該無人航空機により爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件で国土交通省令で定めるものを輸送しないこと。</p> <p>六 地上又は水上の人又は物件に危害を与え、又は損傷を及ぼすおそれがないものとして国土交通省令で定める場合を除き、当該無人航空機から物件を投下しないこと。</p> | <p>航空法第百三十二条の八十六(飛行の方法)</p> |
| | <p>航空法第132条の2第1項第7号の規定は、飛行する無人航空機の衝突から人又は物件を保護することが趣旨であることから、一定の距離(30m)を保つべき人又は物件とは、次のとおりと解釈される。</p> <p>○「人」とは、無人航空機を飛行させる者及びその関係者以外の者をいう。</p> <p>○「物件」とは、次に掲げるもののうち、無人航空機を飛行させる者及びその関係者が所有又は管理する物件以外のものをいう。</p> <p>a)中に人が存在することが想定される機器(車両等) b)建築物その他の相当の大きさを有する工作物</p> <p>具体的な例として、次に掲げる物件が本規定の物件に該当する。</p> <p>車両等:自動車、鉄道車両、軌道車両、船舶、航空機、建設機械、港湾のクレーン等</p> <p>工作物:ビル、住居、工場、倉庫、橋梁、高架、水門、変電所、鉄塔、電柱、電線、信号機、街灯等</p> <p>※なお、以下の物件は、本規定の趣旨に鑑み、本規定の距離を保つべき物件には該当しない。</p> <p>a)土地(田畑用地及び舗装された土地(道路の路面等)、堤防、鉄道の線路等であって土地と一体となっているものを含む。)</p> <p>b)自然物(樹木、雑草等)等</p> | <p>無人航空機に係る規制の運用における解釈について令和4年6月6日 最終改正(国空無機第56234号)</p> |
| 国土交通大臣の許可が必要な屋外での飛行 | <p>一 無人航空機の飛行により航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれがあるものとして国土交通省令で定める空域(空港等の周辺の空域、緊急用務空域、地表又は水面から150m以上の高さの空域)</p> <p>二 前号に掲げる空域以外の空域であつて、国土交通省令で定める人又は家屋の密集している地域の上空</p> <p>地表又は水面から150m以上の高さの飛行の禁止空域から、地上又は水上の物件から30m以内の空域が除外される。例えば、空港等の周辺、緊急用務空域又は人口集中地区のいずれにも該当しない地域において、高層の建物の壁や屋上から30メートル以内の空域であれば、150メートル以上の高さの空域に達する場合であっても、無人航空機を無許可で飛行させることが可能となる</p> | <p>航空法第百三十二条の八十五(飛行の禁止空域)</p> <p>航空法施行規則第二百三十六条の七十一(飛行の禁止空域)</p> <p>無人航空機に係る規制の運用における解釈について令和4年6月6日 最終改正(国空無機第56234号)</p> |

現時点での検証まとめと今後の検証について

検証A-1

【検証結果】

- 単価情報を追加すれば、設計段階で生産したBIMの情報を用いて概算コスト算出が可能。
- 結果の正確性は良好。原因不明の大きな誤差はなし。
- 部屋の面積の捉え方、間仕切の詳細度により3割程度の誤差が発生。

【課題】

- 実用化に向けて、単価表の管理についてのルール化が必要。
- 算出した結果についてのチェック体制の構築。
- 一部、概算を考慮しながらBIMモデルを作成する必要がある。

【定量的な目標】

コスト算出結果取得までの工数又は時間の削減効果

50%削減

設計変更によるコスト変動の見える化による顧客満足度の効果

70%以上

- プロジェクトSの検証結果まとめ
コスト算出までにかかった時間を比較

- アンケート調査
発注者、設計者、営業、工事管理者等(予定)

検証A-2

【検証結果】

- 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。
- 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。
- 価格高騰時期には大幅な誤差が出たが、過去の類似状況を学習させることで改善が見られた。

【課題】

- 実用化に向けて、コスト予測対象資材の拡張が必要。
- AIモデルの精度の向上が重要で、様々な価格の動きを持つ学習データが必要。

【定量的な目標】

左同様

- PowerBIによる検証A-1の明細の可視化
- 検証結果までのプロセスのまとめ

検証B-1

【検証結果】

- 1.15m以上の狭隙部の自律飛行は可能であることを確認した。ただし、1m以下の場合には通過できない場合がある。
- 複数階又は複数棟(全体ルート約80m)の飛行ルートを大きく逸れることなく自律飛行可能なことを確認した。
- 本社⇄現場間の遠隔操作が可能なことを確認した。
- 静止画及び動画の画質が4Kであり、鮮明度も十分に活用可能な品質であることを確認した。

【課題】

- 施工現場でドローンを運用する範囲にWi-Fi環境を構築する必要がある
- 照度が低い環境(夜間等)において、飛行できない場合がある
- 工程が進むと、既存のルートが使用できない場合がある

【定量的な目標】

移動時間を含む作業時間又は日数の削減効果

50%削減

設計変更によるコスト変動の見える化による顧客満足度の効果

70%以上

- 監理者、管理者 の現場巡回(視察)時間の削減
についての考察

- アンケート調査
発注者、工事管理者、工事監理者等(予定)

夢から感動へーハートテクノロジー



株式会社日積サーベイ
Nisseki Survey



燈株式会社/AKARI Inc.
東京大学/松尾研究室発AIスタートアップ



株式会社センシンロボティクス
SENSYN ROBOTICS, Inc.