

博士論文

ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた
公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報
管理システムの開発

松下文哉

要旨

論文題目 ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムの開発
氏 名 松下 文哉

近年、国土交通省が推進する i-Construction の取り組みにより、施工現場の品質・出来形の確認に必要な情報（施工管理情報）を現場から比較的容易に取得可能な環境が構築されつつある。これらのデジタル情報は元請会社の施工管理に活用される一方で、発注者の監督検査に活用するための基準類の整備も進められている。しかし情報を取得する主体が受注者のため、発注者に情報が伝達される間に施工管理情報の改竄リスクがあり、これとは別の方法に基づく現場での立会を要する臨場検査が技術基準類の中で求められている。i-Construction が目指す建設現場の全自動化に向けた取り組みの実現のためには、受発注者間の情報の耐改竄性を担保することにより改竄リスクを低減させることが極めて重要である。また支払いについては、受注者の金利負担の課題を解決するために、従来から出来高部分払方式が用意されているが、受注者にとっては支払いのための申請書類の作成、発注者にとっては申請書類の査定が業務の更なる負担となるため、この支払方式が採用しづらい状況にある。この課題を解決するためには出来高部分払いの支払い手続きを合理化するため、契約条件や出来高査定結果などの検査結果を契約履行情報として適切に管理する仕組みの構築が求められる。

一方でブロックチェーン技術は保存データの耐改竄性を担保する特徴を有し、さらにスマートコントラクトを活用することによって契約条件や検査・査定結果といった契約の履行状況を適切にトレース可能となる。これらの特徴を有するシステムを活用することで、品質・出来形検査や出来高査定と組み合わせた既済部分検査の合理化や支払いの自動化の実現を目指す。

本研究の目的は、「目的 1：ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証」と、「目的 2：汎用システムの検討とその提案」にある。目的 1 に対しては現行のサプライチェーンの特徴や課題を整理しこれを解決するための要件を適切に設定する。この上で、ICT 土工を対象に必要な機能を有するプロトタイプを開発し、その有効性の検証について実証試験を通じて確認する。また要件を満足する機能を実装するために、施工管理情報の信憑性担保についてはブロックチェーン、契約情報や契約履行内容の更新についてはスマートコントラクトの適用方法を検討する。目的 2 に対しては他工種への適応も念頭に外部システムも含めて汎用システムを検討し提案する。

プロトタイプの開発では、土工事を対象に必要な要件を設定したうえで、それぞれに必要な機能を実装した。プロトタイプでは、土工事の転圧回数検査や出来高検査に利用する GNSS データや点群測量データを施工管理情報として入力し、これらの情報をもとに検査、出来高査定、支払金額の決定ができるシステムを開発した。まず施工管理情報の信憑性を担保するために、実際に起こり得る改竄パターンを想定し、ブロックチェーンを活用した改竄確認方法を設計しシステムに組み込んだ。ブロックチェーンのみでは担保することができないデータ入力時

の改竄について、入力値の改竄確認システムとして、GNSS データを時系列に描画し施工状況を可視化するプログラムや掘削土量を計測するためのモデル生成を実行するプログラムも開発した。次にスマートコントラクトを用いて契約条件や契約履行状況といった契約情報の管理を行うために、スマートコントラクトに記述すべき情報を定義した。ブロックチェーンとして Ethereum を実装し、Solidity（プログラム言語）を用いてスマートコントラクトを開発した。さらに、品質・出来形の確認、出来高査定、支払金額の算出が可能な構成システムの機能を定義し、その機能を実装した。

国土交通省が発注した道路土工事及び河道整正工事におけるデータを用いて、開発したプロトタイプシステムが実際の公共工事において機能するかを確認するために 2 回の実証試験を行った。実証試験での検証項目は、それぞれ「検証項目 1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること」と、「検証項目 2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて契約条件や契約履行状況をトレースし、支払い金額の自動算出が可能となり支払の実行が可能であること」の二つである。それぞれの検証に当たっては、国土交通省北首都国道事務所事務所及び甲府河川国道事務所事務所の協力の下で、現場から収集された施工管理情報と事前に東京大学で改竄したデータセットを用いて検査や査定に利用する情報の改竄確認が可能か検証した。検証では発注者と元請負会社の 2 者のサプライチェーンを想定した。また検証項目 1 では、改竄確認を行った情報をもとに品質・出来形検査を実施し、検証項目 2 では出来高の査定と、査定した出来高に応じた支払を実行した。検証を行うにあたって、システム内で判断が必要な部分については対象現場の発注者及び受注者の協力のもと社会実装時に利用が想定されるユーザーが確認することで、その有効性を実証した。

システムの提案では、対象工種を土工事に限定せず場所打ちコンクリート工、トンネル工、ダム等を含めて適用範囲を拡大し活用できるようにシステムの汎用化を念頭に構成システムの検討を行った。施工管理情報の信憑性の担保では入力値の改竄リスクを低減するために施工管理情報収集基盤について検討し、現場から収集された情報を直接ブロックチェーンへ保存可能とする。また建設工事では、屋外かつ自然環境の中で目的物を施工することから、施工条件が契約時と異なり設計変更手続きが必要になることが多い。この設計変更に対してもシステムが対応できるようにスマートコントラクトの機能を設計した。さらにシステムへのサプライヤーのアクセス性を考慮し API を WebAPI として開発し、さらに維持管理、機能の追加を容易にするため各エンドポイントを契約情報の保存、入力情報（設計情報・施工管理情報）の保存、改竄確認、出来形確認、出来高確認、支払確認といった機能別に整理した。このブロックチェーンとスマートコントラクトを基盤としたシステムを用いることにより、公共土木工事のサプライチェーンにおける契約管理及び支払いの手続きの合理化が図られ、約 30 億円程度の効率性向上効果を期待できることが国土交通省関東地方整備局の対象工事を用いて試算された。

最後に社会実装を進めるために検討及び解決すべき課題を整理した。課題は、(1)システム開発に関する課題、(2)競争領域の開発促進に関する課題、(3)実装に関する課題の 3 種類に大別され、それぞれ(1)汎用システムの開発体制と費用分担、(2)施工管理情報収集のための環境構築、設計情報管理システムの利用用途の例示、ソフトウェア認証、(3)汎用システムの運用体制、制度上の課題、データ資産の利活用上の課題等を検討する必要があることを示した。

目次

| | |
|---------------------------------------|----|
| 図表一覧 | 7 |
| 第1章 序論 | 15 |
| 1.1 研究の背景 | 15 |
| 1.1.1 建設業への情報通信技術の適用 | 15 |
| 1.1.2 公共工事のサプライチェーンにおける情報マネジメントの現状と課題 | 16 |
| 1.1.3 ブロックチェーン及びスマートコントラクトを活用したシステム | 16 |
| 1.1.4 既往の研究 | 17 |
| 1.1.5 開発するシステムの競争領域・協調領域における位置づけ | 19 |
| 1.2 公共工事のサプライチェーンにおける現状と課題 | 19 |
| 1.2.1 建設業のサプライチェーンの特徴 | 19 |
| 1.2.2 各関係者間での指示・情報・検査・支払の流れ | 20 |
| 1.2.3 各関係者間での契約体系や支払方式 | 25 |
| 1.2.4 各関係者間での工事検査 | 28 |
| 1.2.5 サプライチェーンが抱える課題と考慮すべき事項 | 31 |
| 1.3 研究の目的 | 36 |
| 1.4 研究の方法 | 37 |
| 1.5 研究の構成 | 38 |
| 第2章 ブロックチェーン及びスマートコントラクト | 39 |
| 2.1 ブロックチェーンとは | 39 |
| 2.1.1 ブロックチェーンの定義と特徴 | 39 |
| 2.1.2 ブロックチェーンの技術的な背景 | 40 |
| 2.2 スマートコントラクトとは | 41 |
| 2.3 活用事例と既往研究 | 42 |
| 2.3.1 各産業分野におけるブロックチェーンの活用の展望 | 42 |
| 2.3.2 他分野における活用事例 | 43 |
| 2.4 ブロックチェーンの開発の現状 | 43 |
| 第3章 ICT 土工を対象としたプロトタイプの開発 | 45 |
| 3.1 プロトタイプの要件定義とシステム構成 | 45 |
| 3.1.1 要件の定義 | 45 |
| 3.1.2 プロトタイプのシステム構成 | 45 |

| | | |
|-------|--------------------------------|-----|
| 3.2 | 開発対象の工種と選定理由及びプロトタイプの開発目的..... | 48 |
| 3.2.1 | 開発対象の工種 | 48 |
| 3.2.2 | 土工種の選定理由..... | 50 |
| 3.2.3 | プロトタイプの開発目的 | 50 |
| 3.3 | システム内で扱う入力値と高可用性に対する設計 | 51 |
| 3.3.1 | 入力値 | 51 |
| 3.3.2 | 高可用性に対する設計 | 53 |
| 3.4 | 各構成システムの機能定義 | 55 |
| 3.4.1 | 基盤システムの機能定義 | 55 |
| 3.4.2 | スマートコントラクトの機能定義 | 56 |
| 3.4.3 | 改竄確認システムの機能定義 | 63 |
| 3.4.4 | 出来形確認システムの機能定義 | 66 |
| 3.4.5 | 出来高確認システムの機能定義 | 67 |
| 3.4.6 | 支払確認システムの機能定義 | 67 |
| 3.5 | システムフローと開発したプロトタイプの概説 | 68 |
| 3.5.1 | システムフロー | 68 |
| 3.5.2 | 開発したプロトタイプの概説 | 70 |
| 3.6 | 開発内容 | 82 |
| 3.6.1 | 開発に利用したツール | 82 |
| 3.6.3 | スマートコントラクトの開発 | 84 |
| 3.6.4 | 契約情報保存システムの開発 | 86 |
| 3.6.5 | 入力情報保存システムの開発 | 90 |
| 3.6.6 | 改竄確認システムの開発 | 92 |
| 3.6.7 | 出来形確認システムの開発 | 96 |
| 3.6.8 | 出来高確認システムの開発 | 98 |
| 3.6.9 | 支払確認システムの開発 | 103 |
| 3.7 | 本章の結論 | 112 |
| 第4章 | 出来形検査システムの実証 | 114 |
| 4.1 | 実証試験の目的 | 114 |
| 4.2 | 検証の目的と現場選定及び検証方法 | 114 |
| 4.2.1 | 検証目的と検証範囲 | 114 |
| 4.2.2 | 出来形検査システムの検証を実施する現場の選定 | 115 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.3 | 検証方法 | 117 |
| 4.3 | 実施内容 | 119 |
| 4.3.1 | 検査パターン | 119 |
| 4.3.2 | 品質・出来形の確認 | 120 |
| 4.3.3 | 保存データの改竄確認 | 121 |
| 4.3.4 | 入力値の改竄確認 | 121 |
| 4.3.5 | 改竄の疑いがある企業のトレース | 123 |
| 4.4 | 結果 | 124 |
| 第5章 | 出来高査定及び支払システムの実証 | 125 |
| 5.1 | 検証の目的と現場選定及び検証方法 | 125 |
| 5.1.1 | 検証目的と検証範囲 | 125 |
| 5.1.2 | 出来高査定及び支払システムの検証を実施する現場の選定 | 126 |
| 5.1.3 | 検証方法 | 128 |
| 5.2 | 実施内容 | 131 |
| 5.2.1 | 検査パターン | 131 |
| 5.2.2 | 入力値の改竄確認 | 131 |
| 5.2.3 | 出来高数量の確認 | 133 |
| 5.2.4 | 支払いの実行 | 134 |
| 5.3 | 結果 | 135 |
| 第6章 | 汎用システムの検討と提案 | 136 |
| 6.1 | 汎用システムの概要 | 136 |
| 6.2 | 汎用システムの要件定義とシステム構成 | 137 |
| 6.2.1 | 要件の定義 | 137 |
| 6.2.2 | 全体構成 | 138 |
| 6.3 | システムを利用するプレイヤーの役割と得られる効果 | 141 |
| 6.4 | システムの汎用化に向けた各構成システムの提案 | 142 |
| 6.4.1 | プライベートブロックチェーンの実装 | 142 |
| 6.4.2 | 設計変更に対応したスマートコントラクトの検討と開発 | 144 |
| 6.4.3 | システムのアクセス性及び維持管理を考慮した WebAPI の検討 | 150 |
| 6.4.4 | 施工管理情報収集基盤との連携を考慮した入力情報保存方法の検討 | 156 |
| 6.4.5 | 情報をトレースするための補助システムの検討 | 159 |
| 6.4.6 | その他ツールの検討 | 163 |

| | | |
|-------|--------------------------------|-----|
| 6.5 | 想定されるシステムの利用方法 | 164 |
| 6.5.1 | ワークフロー | 164 |
| 6.5.2 | アクセス制限 | 166 |
| 6.6 | 有用性の評価 | 166 |
| 第7章 | 結論と今後の展望 | 170 |
| 7.1 | 結論 | 170 |
| 7.2 | 今後の展望と課題 | 175 |
| 7.2.1 | 今後の展望 | 175 |
| 7.2.2 | システム開発に関する課題 | 176 |
| 7.2.3 | 競争領域の開発促進に関する課題 | 178 |
| 7.2.4 | 実装に関する課題..... | 179 |
| 参考文献 | | 181 |
| 謝辞 | | 186 |
| 付録 | | 187 |
| 付録A | 用語の概説 | 187 |
| A.1 | 施工管理システム | 187 |
| A.2 | リレーショナルデータベース | 189 |
| 付録B | システム・プログラム関連 | 190 |
| B.1 | トランザクションハッシュを用いた実行結果のトレース..... | 190 |
| B.2 | スマートコントラクトのブロックチェーン上への配置..... | 193 |
| B.3 | 各種ツールに利用した変数一覧及び実行内容 | 195 |
| 付録C | 実証試験関連 | 200 |
| C.1 | 出来形検査システムの実証試験に利用した帳票 | 200 |
| C.2 | 出来高査定及び支払システムの実証試験に利用した帳票..... | 203 |
| C.3 | 実証試験の実施状況..... | 206 |

図表一覧

図一覧

| | | |
|--------|-------------------------------------|----|
| 図 1-1 | ICT 土工の実施率..... | 15 |
| 図 1-2 | サプライチェーンの一例..... | 20 |
| 図 1-3 | 指示・情報・検査・支払の流れ..... | 21 |
| 図 1-4 | 指示の流れ..... | 23 |
| 図 1-5 | 情報の流れ..... | 23 |
| 図 1-6 | 検査の流れ..... | 24 |
| 図 1-7 | 支払の流れ..... | 24 |
| 図 1-8 | 契約方式及び支払方式..... | 25 |
| 図 1-9 | 底板鉄筋の組立について..... | 30 |
| 図 1-10 | 施工管理情報と発注者・元請間の検査の関係について..... | 32 |
| 図 1-11 | 元請職員の業務割合..... | 33 |
| 図 1-12 | 出来高部分払いの実施フロー..... | 34 |
| 図 1-13 | 研究の方法の概念図..... | 38 |
| 図 2-1 | ブロック同士の関係性について..... | 41 |
| 図 2-2 | ブロックチェーンのユースケースとサービスの事例..... | 42 |
| 図 3-1 | プロトタイプの概要..... | 47 |
| 図 3-2 | 出来形検査システムの範囲（赤枠内）..... | 47 |
| 図 3-3 | 出来高査定システム（黄枠内）と支払システムの範囲（赤枠内）..... | 48 |
| 図 3-4 | 土工事の一般的な作業例..... | 49 |
| 図 3-5 | 平成 24 年国土交通省発注工事実績..... | 50 |
| 図 3-6 | 一方向性の説明..... | 54 |
| 図 3-7 | システムの全体フローとスマートコントラクトに関連する内容..... | 58 |
| 図 3-8 | 工事既済部分調書の一部..... | 62 |
| 図 3-9 | 契約項目と契約 ID..... | 63 |
| 図 3-10 | 改竄のパターン..... | 64 |
| 図 3-11 | 保存データの改竄確認..... | 65 |
| 図 3-12 | 出来形確認システム・出来高確認システムと基盤システムとの関係..... | 66 |
| 図 3-13 | システム全体のフロー..... | 69 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 図 3-14 | 開発したプロトタイプの全体図..... | 70 |
| 図 3-15 | 指示（契約）のフロー | 71 |
| 図 3-16 | 指示（率計上分の契約）のフロー..... | 72 |
| 図 3-17 | 情報（施工管理情報の収集）のフロー | 73 |
| 図 3-18 | 検査（改竄確認）のフロー | 74 |
| 図 3-19 | 検査（保存者のトレース）のフロー | 75 |
| 図 3-20 | 検査（出来形の検査）のフロー..... | 76 |
| 図 3-21 | 検査（出来高の査定）のフロー..... | 77 |
| 図 3-22 | 支払（前金払い）のフロー | 78 |
| 図 3-23 | 支払（支払金額の確認）のフロー..... | 79 |
| 図 3-24 | 支払（出来高部分払）のフロー..... | 80 |
| 図 3-25 | 支払（完成払）のフロー | 81 |
| 図 3-26 | スマートコントラクトを実装するプログラムの例..... | 84 |
| 図 3-27 | 現場 ID と契約 ID の関係 | 85 |
| 図 3-28 | 現場 ID 及び契約 ID に対してグループ化される変数の模式図 | 86 |
| 図 3-29 | 契約情報保存システムの概略図..... | 86 |
| 図 3-30 | 契約情報の閲覧・参照用の補助システム | 87 |
| 図 3-31 | 改竄確認システムの実行フロー..... | 92 |
| 図 3-32 | ブルドーザーの刃先情報に関する入力値の改竄確認について | 94 |
| 図 3-33 | 保存データの改竄確認の処理フロー | 94 |
| 図 3-34 | 出来高確認システムの実行フロー..... | 98 |
| 図 3-35 | 現地盤面の点群データ | 100 |
| 図 3-36 | 設計モデルデータ及びブルドーザーの刃先情報..... | 101 |
| 図 3-37 | 掘削土量モデル..... | 101 |
| 図 3-38 | 出来高部分払いの処理フロー | 105 |
| 図 3-39 | 第 1 回目の部分払時の契約条件と履行状況..... | 106 |
| 図 3-40 | 第 2 回目の部分払時の契約条件と履行状況 | 106 |
| 図 3-41 | 竣工払いの処理フロー | 109 |
| 図 4-1 | 出来形検査システムの範囲 | 115 |
| 図 4-2 | 標準断面図 | 116 |
| 図 4-3 | 平面概要図 | 116 |
| 図 4-4 | 実証試験の検証フロー | 118 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 図 4-5 | 転圧管理用のヒートマップ | 120 |
| 図 4-6 | 出来形確認用のヒートマップ | 120 |
| 図 4-7 | 保存データの改竄確認 | 121 |
| 図 4-8 | 設計データの取り込み | 122 |
| 図 4-9 | 転圧回数確認の改竄確認（移動経路を表す GNSS の時刻歴の描画） | 122 |
| 図 4-10 | 出来形確認の改竄確認（点群測量と重機の GNSS の重ね合わせ） | 123 |
| 図 4-11 | 改竄が疑われる企業のトレース | 124 |
| 図 5-1 | 出来高及び支払システムの範囲 | 126 |
| 図 5-2 | 断面図 | 126 |
| 図 5-3 | 実証試験の検証フロー | 130 |
| 図 5-4 | 改竄なしの場合の重機の移動軌跡 | 132 |
| 図 5-5 | 改竄ありの場合の重機の移動軌跡 | 132 |
| 図 5-6 | 掘削土量モデル（左：第 1 回目部分払い，右：第 2 回目部分払い） | 133 |
| 図 5-7 | スマートコントラクトに入力される契約履行状況 | 134 |
| 図 6-1 | 全体構成の概略図 | 136 |
| 図 6-2 | システム構成の詳細図 | 139 |
| 図 6-3 | 生産プロセスに対するシステムフロー | 140 |
| 図 6-4 | ブロックチェーンの実装内容 | 143 |
| 図 6-5 | プライベートブロックチェーンのシステム構成 | 144 |
| 図 6-6 | 設計変更契約への元契約情報のトレース内容 | 146 |
| 図 6-7 | 契約 ID に対する機能管理について | 146 |
| 図 6-8 | 契約情報保存システムのシステムフロー | 147 |
| 図 6-9 | 設計変更の契約情報入力内容の例 | 148 |
| 図 6-10 | WebAPI の役割 | 151 |
| 図 6-11 | エンドポイントの階層構造 | 152 |
| 図 6-12 | WebAPI 及びライブラリと基盤及び補助システムとの関係 | 155 |
| 図 6-13 | 入力情報保存システムのフロー | 156 |
| 図 6-14 | 施工管理システムと基盤システムの連携 | 157 |
| 図 6-15 | 実験用システム | 158 |
| 図 6-16 | 実験用フィールドにおける計測状況 | 158 |
| 図 6-17 | 補助システムの役割 | 159 |
| 図 6-18 | スマートコントラクトの実行結果の例 | 160 |

| | | |
|--------|---------------------------------|-----|
| 図 6-19 | トランザクションハッシュ取得のための解析プログラムの処理フロー | 162 |
| 図 6-20 | ワークフローの全体 | 164 |
| 図 6-21 | 契約情報の保存 | 164 |
| 図 6-22 | 施工管理情報の保存 | 165 |
| 図 6-23 | 検査の実行 | 165 |
| 図 6-24 | 支払いの実行 | 166 |

表一覧

| | | |
|--------|------------------------------------|----|
| 表 1-1 | 施工の統合管理システムの一例 | 17 |
| 表 1-2 | 指示・情報・検査・支払の具体例 | 21 |
| 表 1-3 | 設計変更内容とその具体例 | 26 |
| 表 1-4 | 完成検査と既済部分検査の比較 | 29 |
| 表 1-5 | 抽出された課題一覧 | 35 |
| 表 2-1 | 代表的なブロックチェーン基盤 | 40 |
| 表 3-1 | 土工事における関係企業の担当業務と各社が生成する施工管理情報 | 49 |
| 表 3-2 | 契約情報 | 51 |
| 表 3-3 | 設計情報 | 52 |
| 表 3-4 | サプライヤーが生産する施工管理情報 | 52 |
| 表 3-5 | 点群測量結果と重機位置情報の情報量 | 53 |
| 表 3-6 | ハッシュ値の生成例 | 54 |
| 表 3-7 | 各システムにおいてトレースする情報 | 56 |
| 表 3-8 | 契約条件と履行内容について | 57 |
| 表 3-9 | 入力及び決定する情報（契約情報保存～入力情報保存システム） | 59 |
| 表 3-10 | 各段階の入力及び決定する情報（改竄確認～出来高確認システム） | 60 |
| 表 3-11 | 各段階の入力及び決定する情報（支払確認システム） | 61 |
| 表 3-12 | 指示（契約）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 71 |
| 表 3-13 | 指示（契約）においてトレースする情報 | 71 |
| 表 3-14 | 指示（率計上）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 72 |
| 表 3-15 | 指示（率計上）においてトレースする情報 | 72 |
| 表 3-16 | 情報（施工管理情報の収集）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 73 |
| 表 3-17 | 情報（施工管理情報の収集）においてトレースする情報 | 73 |

| | | |
|--------|---|----|
| 表 3-18 | 検査（改竄確認）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 74 |
| 表 3-19 | 検査（改竄確認）においてトレースする情報 | 74 |
| 表 3-20 | 検査（保存者のトレース）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 75 |
| 表 3-21 | 検査（保存者のトレース）においてトレースする情報 | 75 |
| 表 3-22 | 検査（出来形の検査）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 76 |
| 表 3-23 | 検査（出来形の検査）においてトレースする情報 | 76 |
| 表 3-24 | 検査（出来高の査定）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 77 |
| 表 3-25 | 検査（出来高の査定）においてトレースする情報 | 77 |
| 表 3-26 | 支払（前金払い）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 78 |
| 表 3-27 | 支払（前金払い）においてトレースする情報 | 78 |
| 表 3-28 | 支払（支払金額の確認）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 79 |
| 表 3-29 | 支払（支払金額の確認）においてトレースする情報 | 79 |
| 表 3-30 | 支払（出来高部分払）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 80 |
| 表 3-31 | 支払（出来高部分払）においてトレースする情報 | 80 |
| 表 3-32 | 支払（完成払）の HTTP リクエストに関連する送信情報 | 81 |
| 表 3-33 | 支払（完成払）においてトレースする情報 | 81 |
| 表 3-34 | 開発項目と利用したツールや言語一覧（基盤システム～入力情報保存） | 82 |
| 表 3-35 | 開発項目と利用したツールや言語一覧（改竄確認～支払確認） | 83 |
| 表 3-36 | カラム名の一覧 | 87 |
| 表 3-37 | 契約 ID のルールの例 | 88 |
| 表 3-38 | 現場アドレスの生成・契約情報の入力プロセスで利用する変数名 | 88 |
| 表 3-39 | 現場アドレスの生成プロセスの入出力値 | 89 |
| 表 3-40 | 契約情報の入力プロセスの入出力値 | 89 |
| 表 3-41 | 率計上分の契約情報の入力プロセスの入出力値 | 90 |
| 表 3-42 | 施工管理情報の入力プロセスで利用する変数名 | 91 |
| 表 3-43 | 施工管理情報の入力プロセスの入出力値 | 91 |
| 表 3-44 | 入力値の改竄確認機能の開発にあたって対象としたデータの種類 | 93 |
| 表 3-45 | 保存データの改竄確認及び保存者のトレースで利用する変数名 | 95 |
| 表 3-46 | 保存データの改竄確認プロセスの入出力値 | 95 |
| 表 3-47 | 保存者のトレースプロセスの入出力値 | 96 |
| 表 3-48 | 検査の合否判定の入力プロセスで利用する変数名 | 96 |
| 表 3-49 | 検査の合否判定の入力プロセスの入出力値 | 97 |

| | | |
|--------|---------------------------------|-----|
| 表 3-50 | 出来高率の申請・確認・確定プロセスで利用する変数名 | 99 |
| 表 3-51 | 出来高率の申請プロセスの入出力値 | 99 |
| 表 3-52 | 出来高率の確認プロセスの入出力値 | 100 |
| 表 3-53 | 検査の合否判定の入力プロセスで利用する変数名 | 102 |
| 表 3-54 | 出来高の確定プロセスの入出力値 | 102 |
| 表 3-55 | 前金払いの実行で利用する変数名 | 103 |
| 表 3-56 | 前金払いの入出力値 | 103 |
| 表 3-57 | 支払金額の確認プロセスで利用する変数名 | 104 |
| 表 3-58 | 支払金額の確認プロセスの入出力値 | 104 |
| 表 3-59 | 部分払での支払金額 | 106 |
| 表 3-60 | 部分払の支払金額確定プロセスの入出力値 | 107 |
| 表 3-61 | 第 1 回目の部分払の入出力値 | 107 |
| 表 3-62 | 第 2 回目の部分払の入出力値 | 108 |
| 表 3-63 | 完成払いでの支払金額 | 109 |
| 表 3-64 | 竣工払の支払金額確定プロセスの入出力値 | 110 |
| 表 3-65 | 完成検査の入出力値 | 110 |
| 表 3-66 | 竣工払いの入出力値 | 111 |
| 表 4-1 | 入力値一覧 | 116 |
| 表 4-2 | 実証試験への参加者の役割 | 117 |
| 表 4-3 | 検査のパターン | 119 |
| 表 4-4 | 出来形確認の測定項目と規格値 | 121 |
| 表 4-5 | データ保存者とアドレス | 124 |
| 表 5-1 | 入力値一覧 | 127 |
| 表 5-2 | 実証試験で設定した現場条件 | 127 |
| 表 5-3 | 実証試験参加者の役割 | 128 |
| 表 5-4 | 検査のパターン | 131 |
| 表 5-5 | 出来高数量の確認の判定値 | 133 |
| 表 6-1 | 機能の概要 | 137 |
| 表 6-2 | システムの対応関係 | 139 |
| 表 6-3 | 各プレイヤーの役割 | 141 |
| 表 6-4 | 設計変更内容とその具体例 | 144 |
| 表 6-5 | 各変更内容に対する対応 | 145 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 表 6-6 | 設計変更の契約情報入力プロセスで利用する変数名..... | 148 |
| 表 6-7 | 設計変更の契約情報入力プロセスの入出力値 | 149 |
| 表 6-8 | エンドポイント一覧（契約情報保存システム～出来高確認システム） ... | 153 |
| 表 6-9 | エンドポイント一覧..... | 154 |
| 表 6-10 | 各変更内容に対する対応 | 158 |
| 表 6-11 | トランザクションのレシートに記載される情報（一部） | 161 |
| 表 6-12 | ツール一覧 | 163 |
| 表 6-13 | 平成 31 年度 設計業務委託等技術者単価 | 167 |
| 表 6-14 | 平成 31 年度 国土交通省関東地方整備局発注工事の累計工期..... | 167 |
| 表 6-15 | 検査コストの算出条件 | 168 |
| 表 6-16 | 検査コストの算出結果 | 168 |
| 表 6-17 | 金利収支試算結果..... | 169 |
| 表 6-18 | 平成 31 年度 関東地方整備局の契約金額に対する金融コストの削減額 | 169 |
| 表 7-1 | 汎用システムの開発体制 | 177 |

第1章 序論

第1章では、i-Constructionの政策のもと施工現場への情報通信技術の適応が進み、施工管理に必要なデジタル情報が比較的、容易に取得できるようになった背景を踏まえて、本研究で開発するシステムの必要性や全体像について概説する。また建設業のサプライチェーンの特徴や各関係者間での契約や支払いについて整理し、現行のサプライチェーンの全体像をとらえる。この上で、サプライチェーンが抱える課題を整理し、開発するシステムが解決すべき課題を明確にする。

1.1 研究の背景

1.1.1 建設業への情報通信技術の適用

近年、国土交通省は、i-Constructionの政策を掲げ、「現場作業の高度化・効率化による工事日数の削減」「ICTの導入による省人化」により2025年までに建設業の生産性2割向上を目標として示している¹。例えば土木工事のうち土工事では、掘削、敷均し、転圧、出来形測定の各作業に3次元モデルや情報通信技術を活用したICT土工の取組が進められている。令和元年度の国土交通省の直轄工事におけるICT土工（舗装工、浚渫工を含まない）は公告件数2,246件のうち80%にあたる1,799件で適応されている²。また実施率は図1-1に示す通り、増加傾向にありICT土工の取組みが施工現場へ実装されつつある状況が確認できる。

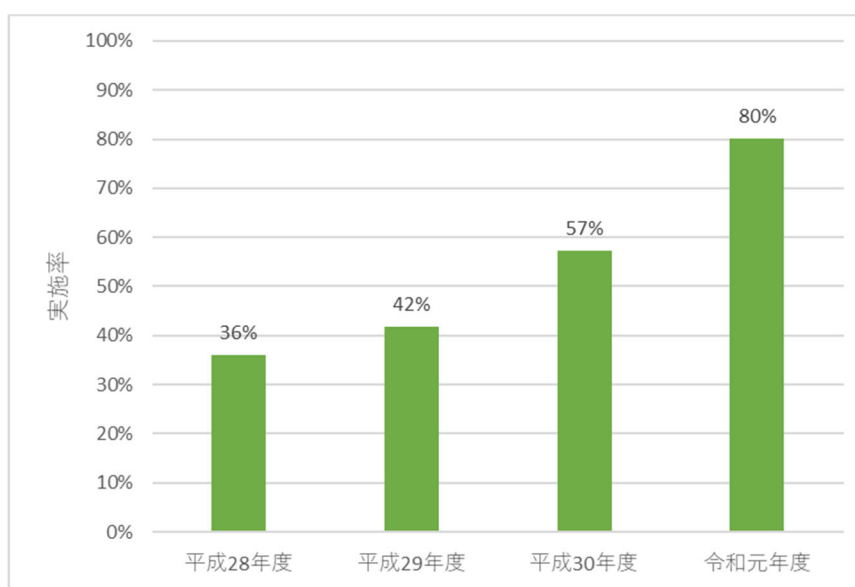


図 1-1 ICT 土工の実施率

(参考文献 2 をもとに筆者が作成)

このような ICT 土工の取組みの現場への実装の背景には、写真測量、点群測量など計測技術の発展により、品質・出来形や進捗確認に必要な情報（以下、施工管理情報）を現場から比較的容易に取得可能な環境が構築されつつあることが挙げられる。またデジタル化された計測情報を解析することにより、出来形としての 3 次元モデルを生成する技術やソフトウェアが開発され、ユーザーが比較的簡単に出来形のモデルを作成することが可能となりつつある。さらに 3 次元モデルは BIM/CIM の推進により、施工段階だけでなく設計段階においても活用が進められており、設計時に作成された設計情報を含んだ 3 次元モデルと出来形の 3 次元モデルを活用することにより、施工誤差の算出などの施工結果に対する出来形確認を行うことが可能となる。

1.1.2 公共工事のサプライチェーンにおける情報マネジメントの現状と課題

受注者は日々の施工管理の中で確認する品質・出来形や進捗確認などに、1 章 1 節 1 項で示したデジタル情報として取得可能な施工管理情報を積極的に活用し、施工管理の効率化、高度化を図っている。さらに生産プロセスで要求される発注者による監督検査についても、これらの情報を利用可能とするために基準類の整備が「ICT の全面的活用を実施するうえでの技術基準類³⁾」として進められ、毎年更新が行われている。

しかし、施工管理情報は受注者が現場から取得する情報であり、発注者に対してこれらの情報をもとに作成した書類を提出する際には、情報の改竄リスクが課題としてある。このため受注者の施工に対する監督検査は依然として現場での立会を要する臨場検査が技術基準類の中で求められている³⁾。

1.1.3 ブロックチェーン及びスマートコントラクトを活用したシステム

i-Construction が目指す建設現場の全自動化に向けた取り組みの実現のためには、受注者の施工管理システムの高度化による施工の自動化のみならず、収集した施工管理情報を受発注者間に流通させ、工事成果に対する発注者の検査や、検査結果により実行される支払いなどの受発注者間にまたがる生産プロセスについても自動化することが求められる。

受発注者間で、施工管理情報を流通させ検査や支払に利用するためには、まず検査の根拠となる情報である施工管理情報の信憑性を担保する必要がある。また信憑性が担保された施工管理情報を用いて実施した品質・出来形検査や出来高査定の結果は契約に基づきその履行状況が適切に管理される必要がある。さらに支払いに結び付けるためには、契約の履行状況を適切にトレースし、支払金額を決定する必要がある。

本研究で開発するシステムは、ブロックチェーンを基盤としたシステムにより施工管理情報の信憑性を担保する特徴を有する。さらに、スマートコントラクトを活用することによって契約条件や契約の履行状況を管理し、その状況をトレース可能とし、出来高部分払や竣工払いといった支払いへつなげることが可能な特徴を有するものである。

1.1.4 既往の研究

(1) 施工管理を合理化するシステムの既往研究

i-Construction の推進は土工事だけではなく、他の工種に対しても積極的に技術開発が進められ、様々な工種に対する施工管理情報の収集が可能となりつつある。

施工管理情報の収集を含めた施工管理を合理化するシステムの既往の研究としては土工以外の工種について、場所打ちコンクリート工については配筋検査⁴やフレッシュコンクリートの品質情報⁵、トンネル工については出来形⁶や切羽情報^{7, 8}などが挙げられる。また、ゼネコン各社や建機メーカー及びベンダーは土工、トンネル工、場所打ちコンクリート工、ダムなどにおいて施工の自動化を含んだ統合管理システムを開発している。その一例を表 1-1 に示す。

表 1-1 施工の統合管理システムの一例

| 工種 | 名称 | 開発元 |
|-------------|---|-------------------------------|
| 土工 | LANDLOG ⁹ | 株式会社ランドログ |
| 土工 | Infrakit ¹⁰ | Infrakit Group Oy (フィンランド) |
| 土工 | A ⁴ CSEL (クウッドアクセル) ¹¹ | 鹿島建設株式会社 |
| トンネル工 | シミズ・スマート・トンネル ¹² | 清水建設株式会社 |
| 場所打ちコンクリート工 | T-CIM ¹³ | 大成建設株式会社 |
| ダム | ODICT (Obayashi-Dam Innovative Construction Technology) ¹⁴ | 株式会社大林組 |

(2) ブロックチェーンやスマートコントラクトを活用したシステムの既往研究

ブロックチェーン及びスマートコントラクトを産業へ応用する取り組みは、様々な産業分野で進められている。bolten-consulting 社の調査によれば 2017 年 10 月時点での活用事例のうち、もっとも多い分野は金融であり、活用事例 410 件のうち 25%程度を占めている。次にサプライチェーン関連への活用が多く、11%程度を占めている^{15,35}。経済産業省の報告書³⁵では、サプライチェーンにおけるブロックチェーン技術の活用にあたってのメリットとして、製品などの来歴を改竄不可能な形でステークホルダー間にて共有することが可能になることを挙げている。

一般的に製造業では売買契約及び PL 法のもと、使用用途を決めた範囲内での不具合は

製造者の責任のもとで商取引が実施されるため、サプライチェーン内において製造過程における製品品質に対する発注者の検査は実施されない。このため製造業において、ブロックチェーンやスマートコントラクトの適応を考える場合、製造者（受注者）の生産した情報が、後の工程で製品の来歴としてトレースが可能であることが求められる。来歴としてトレースできることにより、仮に製造工程や使用時に不具合があった場合、どのサプライヤーに起因する不具合かを特定することが可能となる。

一方、建設業ではすべての公共工事は建設業法に基づく公共工事標準請負契約約款を適用し工事請負契約を締結する²³。この契約のもと受注者は工事の途中で必要な検査を発注者から受け、建設生産プロセスが進む。このように、建設業のサプライチェーンは受注者が生産したものに対する検査を発注者が実施するという特徴を有する。このため、本研究で対象とする建設業のサプライチェーンにブロックチェーンやスマートコントラクトの応用を検討する場合、各サプライヤーの生産情報を記録し来歴のトレースを可能とするだけでなく、この受発注者間にまたがる生産プロセスをどのように取り扱うかが重要となる。この点が他産業のサプライチェーンに対してブロックチェーンを活用するシステムと大きく異なる。

建設産業におけるブロックチェーン及びスマートコントラクトを応用したシステム開発の既往研究としては2020年3月にWang¹⁶らがプレキャストコンクリートの情報共有システムについてブロックチェーンの適応を試みている。この研究では、プレキャストコンクリートの製造情報をリアルタイムに発注者や受注者と情報共有をすることで現場へオンタイムで製品を搬入可能とすること、製品情報のトレーサビリティを確保することを可能とするシステムについて述べられている。このブロックチェーン及びスマートコントラクトを応用した既往研究は、異なるプレイヤー間での情報共有システムへブロックチェーンを活用するものであり、プレキャストコンクリートの製造情報を製品の来歴としてトレース可能とする研究開発と捉えることができる。

本研究で開発するシステムでは、既往の研究や応用事例で製品の来歴を改竄不可能な形でブロックチェーン上に保存するのと同様に、サプライヤーが担った範囲の施工や材料納入に関わる情報をブロックチェーン上に保存する。さらに受発注者間での検査が必要なため、サプライヤーによって保存された情報をトレースし、検査を実施、その検査結果を事前にスマートコントラクトにより記述された契約情報に応じて保存を可能とする。

既往の研究や検討では、異なるプレイヤー間でブロックチェーンにより非改竄性が担保された情報を共有していたことに対し、ここで述べた通り、本研究開発では受発注者間での検査を実現するために、サプライヤーにより生産された施工管理情報を建設生産の重要なプロセスに当たる受発注者間の契約に基づいた品質・出来形検査、出来高査定及び支払につなげることを主眼とする。元請、専門工事会社などを含んだ関係者が施工時に生成する施工管理情報をブロックチェーンへ保存することで直接、検査や支払の根拠データとして活用ができるシステムを開発し、検査や支払などの受発注者間にまたがる生産プロセスの自動化を図る。

1.1.5 開発するシステムの競争領域・協調領域における位置づけ

従来、様々な産業において各企業が個別に競争することにより技術が発展する競争モデルにより技術革新が進められてきた。一方で近年、競争領域と協調領域をうまく峻別する「協調と競争」モデルの重要性が指摘されている。「協調と競争」モデルでは、各企業が個別に研究開発等を進める領域（競争領域）の他に、各企業で共有・協調し研究開発を進める、またシステムを保有するなどの取組みにより得られる効果が向上する領域（協調領域）を明確化することの重要性が指摘されている¹⁷。

自動車メーカーを例に見てみると、ヨーロッパでは開発の競争領域と協調領域をうまく峻別し、効率的な開発体制が築かれている。ドイツのFVV（Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen）は自動車メーカーや部品メーカー等、169社が参加するエンジン研究の共同団体であり物理現象の解明や解析技術の開発といった共通基盤技術分野の研究を行っている¹⁷。

本研究で開発するシステムは1章1節4項の（1）で例示した既往研究として研究開発が進められている施工管理システムと連携することにより、様々な工種への適応が可能となる。この施工管理システムはゼネコン、ベンダーなど様々な会社が生産性向上のために競って開発を進める競争領域に位置づけられる研究開発として捉えられる。

一方、本研究で開発するシステムは、この競争領域において開発される施工管理システムを受発注者間にまたがる生産プロセスである検査や支払につなげるために開発する。このシステムは建設業全体で共有することによって、サプライチェーン全体で生産性の向上が期待できる協調領域に属するシステムとして位置づける。

このため、本研究開発で開発するシステムは将来、建設業界全体で共有、活用されることを想定し、システムの設計・開発を行った。

1.2 公共工事のサプライチェーンにおける現状と課題

建設工事のサプライチェーンの特徴、またサプライチェーン内での各関係者間での指示・情報・検査・支払の流れ、工事検査の現状を整理し、そのうえで現行のサプライチェーンが抱える課題を整理する。

1.2.1 建設業のサプライチェーンの特徴

建設工事のサプライチェーンは、発注者と工事請負契約を結んだ元請を基点に図 1-2 に示す通り、専門工事会社、2次製品メーカー、材料供給会社などによって重層下請構造が形成されることが多い。なお図 1-2 のサプライチェーンは造成工事を例に記載している。

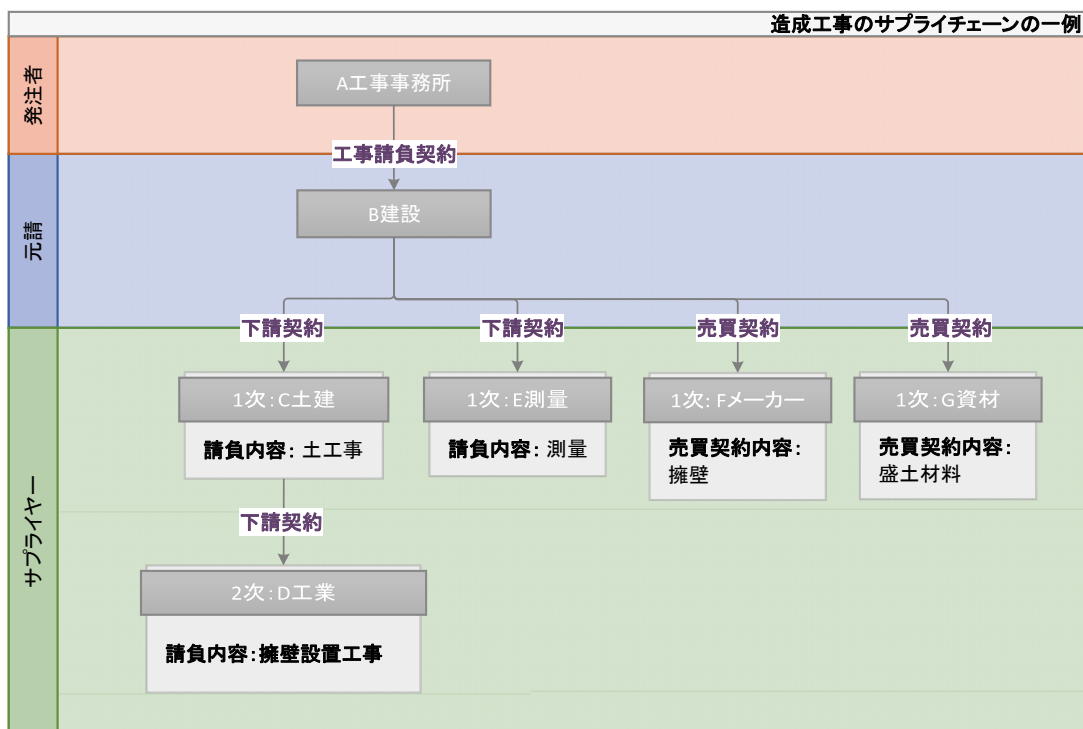


図 1-2 サプライチェーンの一例

また建設産業のサプライチェーンの特徴として、サプライチェーンへの参加者が現場ごとに異なることが挙げられる。これは工事目的物が現地生産かつ一品生産のため、施工するうえで必要な専門性や材料は目的物に応じた工種や工法、さらに外部環境により異なることに起因する。

1.2.2 各関係者間での指示・情報・検査・支払の流れ

図 1-2 に示したサプライチェーンにおいて、発注者、元請会社、サプライヤー間では生産プロセスの中で契約に従った指示、情報、検査、支払の流れがある。この具体例を表 1-2 に示す。また図 1-3 に発注者・元請間、元請・サプライヤー間での指示、情報、検査、支払の模式図を示す。なお図中の矢印の方向は実施する主体から受ける主体を示す。例えば、受発注者間の指示に関しては発注者が指示を出し、元請が受けることを表す。

表 1-2 指示・情報・検査・支払の具体例

| 項目 | 内容 | 具体例 |
|----|----------------------|--|
| 指示 | 契約時に決定した注文者より提示される条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 工事目的物の仕様 ・ 要求水準（品質・出来形） ・ 工期 ・ 施工計画の前提条件 |
| 情報 | 施工，納品により生産される情報 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 施工成果物の品質，出来形 ・ 施工成果物の施工数量（出来高） |
| 検査 | 施工の成果が指示した水準を満たすかの確認 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 要求水準に対する品質，出来形検査， ・ 出来高の査定 |
| 支払 | 施工の成果に対する支払い | <ul style="list-style-type: none"> ・ 前金払 ・ 竣工払 ・ 中間前金払 ・ 出来高部分払 ・ 月払い（元請 - サプライヤー間） |

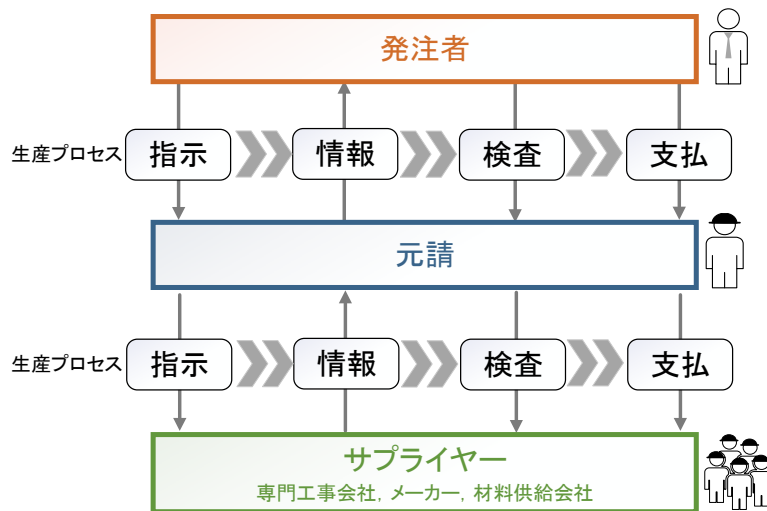


図 1-3 指示・情報・検査・支払の流れ

表 1-2, 図 1-3 に示した指示, 情報, 検査, 支払のそれぞれについて述べる.

(1) 指示

元請は, 発注者から示された設計図書によって指示される工事目的物を所定の工期, コスト内で施工するための施工計画を立案する. この施工計画の中で必要な, 労務, 専門技術, 資機材をサプライヤーへ必要な情報を指示として与え発注する. 発注を請けた1次下請負会社は元請が指示する要求水準を満たす施工計画を立案し, 必要に応じて元請と同じく, 必要な労務, 専門技術, 資機材等を調達する (図 1-4).

(2) 情報

発注者は元請を監理し, 元請は下請会社の施工を適切に管理し工事を進める. 工事成果が要求水準を満たすかの根拠情報は, それぞれの受注者から書面等で受け取る (図 1-5).

(3) 検査

得た情報をもとに注文者は提示した要求水準を満足しているかの検査を行う (図 1-6).

(4) 支払

支払いには施工数量 (出来高) を注文者は確認し, 受注者からの請求に対して請負代金の一部, または全部を支払う (図 1-7).

またここで述べた通り, 元請も発注者から受注した工事の一部をサプライヤーへ発注する. この場合, サプライヤーにとって元請は発注者の位置づけとして捉えることもできるが, 本研究ではこの場合の元請は注文者と呼称する. すなわち本研究において発注者とは, 自身では工事を行わない者を指し, 注文者とは一般建設業許可や特定建設業許可を保有し自身も工事を遂行しかつ発注する者を指すこととする.

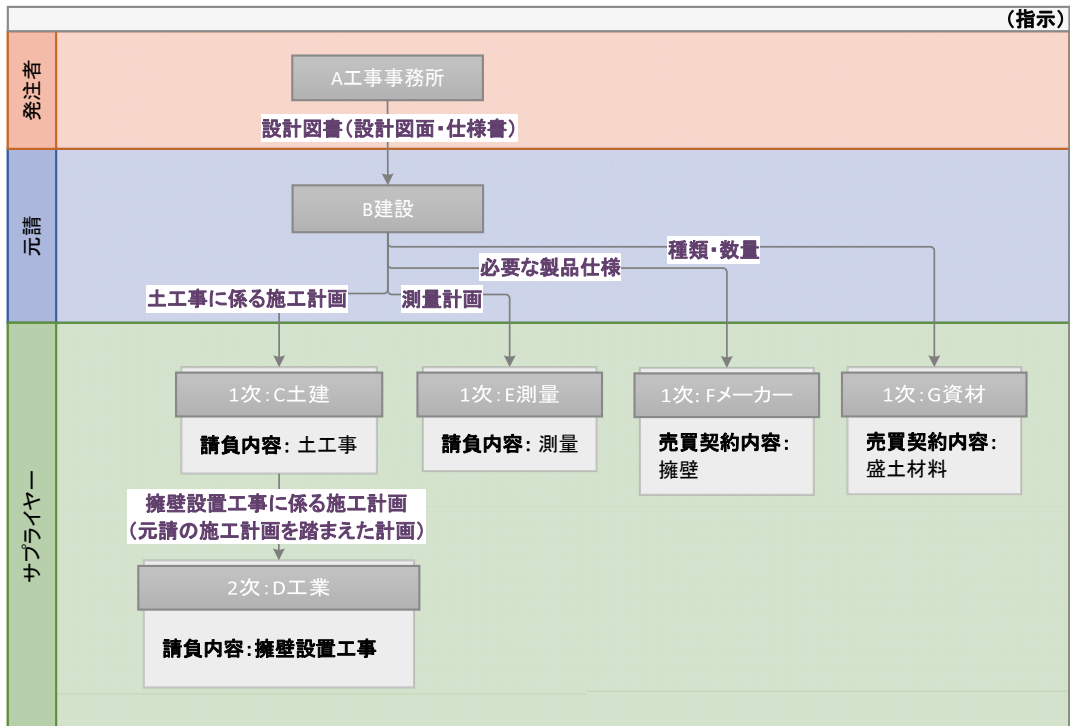


図 1-4 指示の流れ

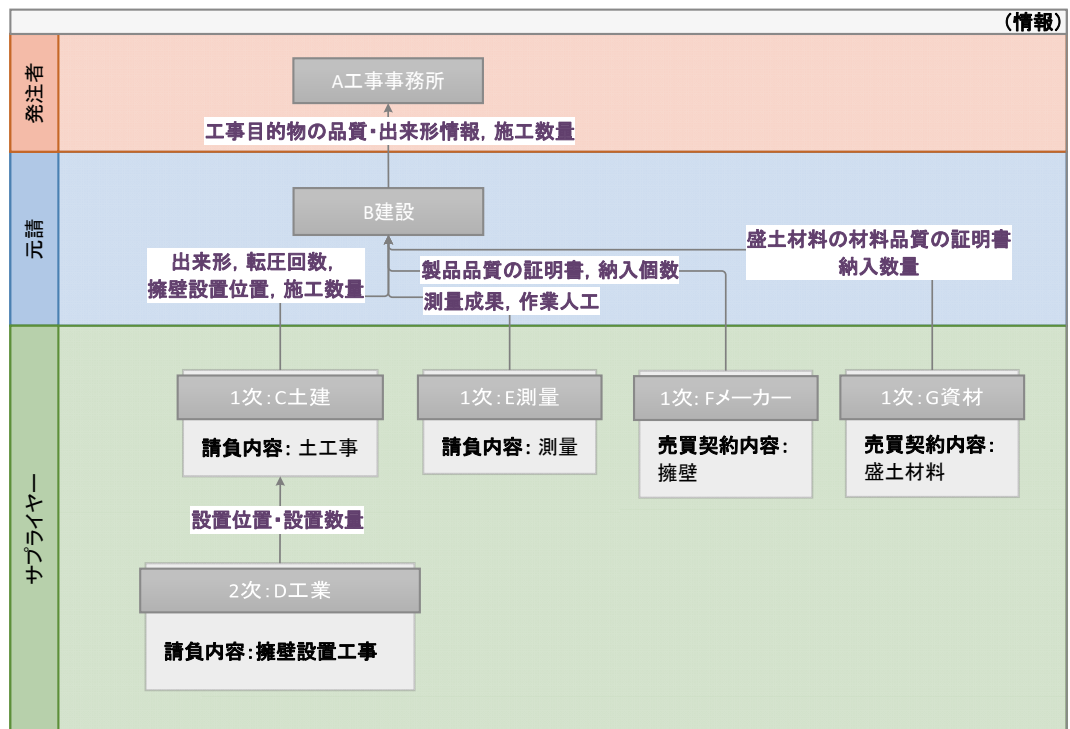


図 1-5 情報の流れ

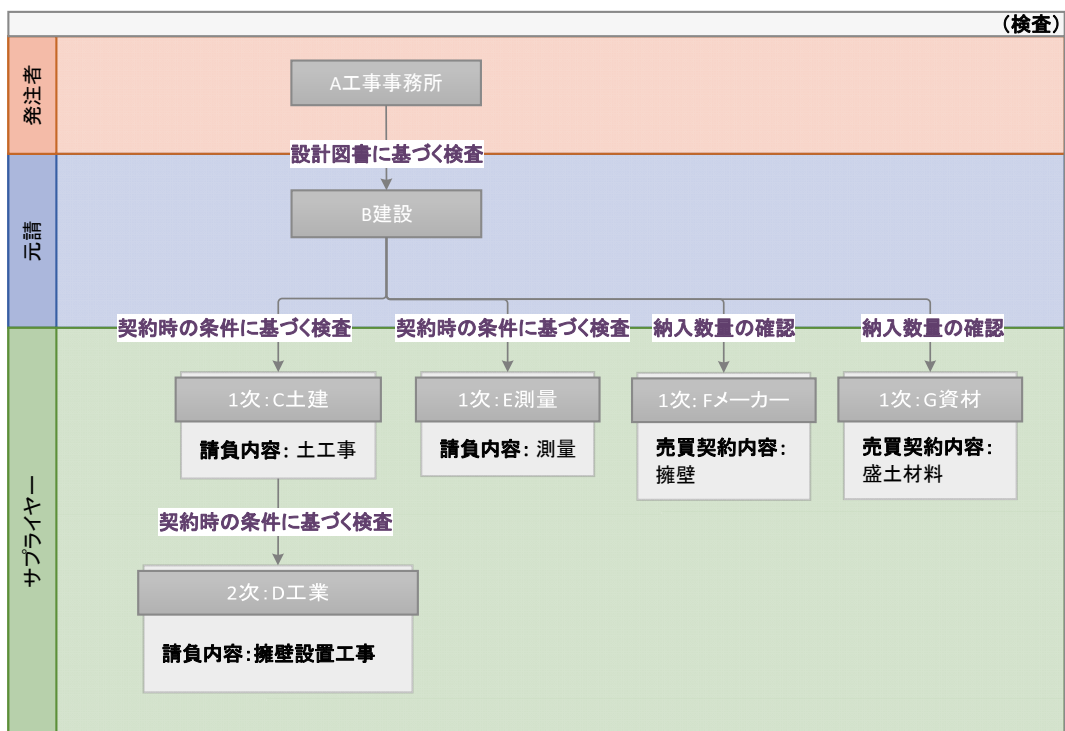


図 1-6 検査の流れ

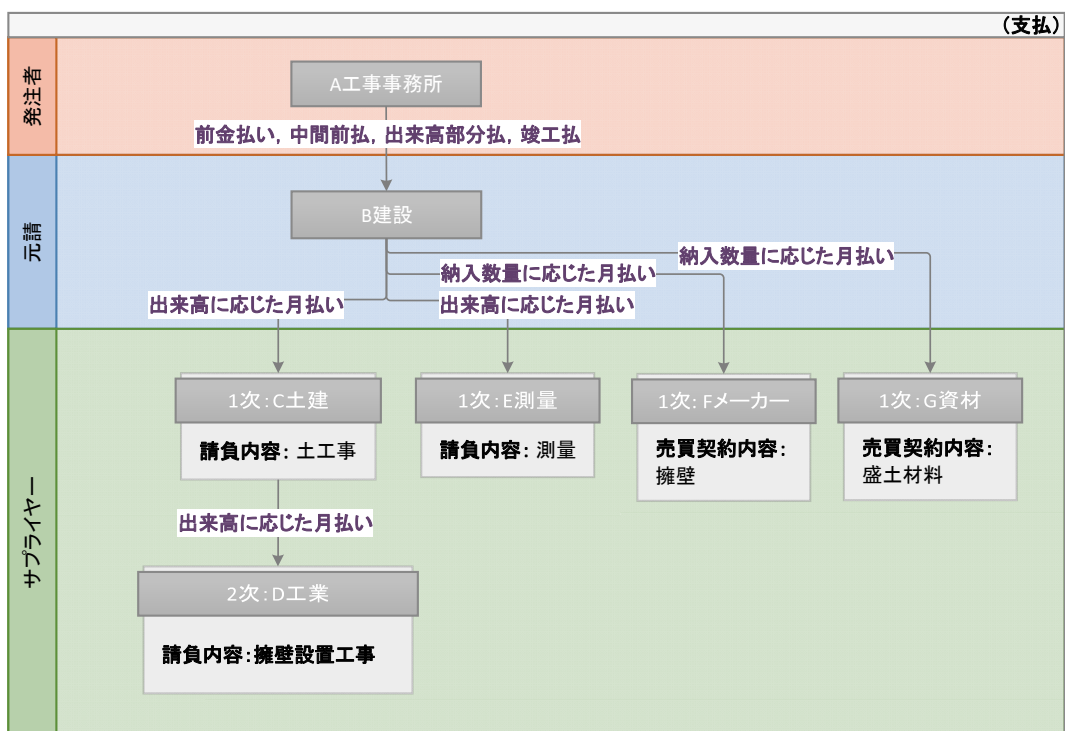


図 1-7 支払の流れ

1.2.3 各関係者間での契約体系や支払方式

(1) 発注者・元請間の契約及び支払

受発注者間の契約は、事業の特性等に応じて適した契約を用いることを可能とするため図 1-8 に示す通り様々な契約方式が用意されている。これらの契約方式の違いは発注時に、主に計画・設計・施工・維持管理からなるインフラ事業全体のうち契約に含める範囲による。

図 1-8 に示した契約方式及び支払方式のうち、国内で一般的に利用される契約方式は設計・施工分離発注方式である。また支払方式は一般的には工事目的物に対して総額で入札する総価契約を行っている。このうち当初契約時に各工種の数量と単価を契約し、数量増減の実績に合わせて清算する契約が総価単価契約（総価契約・単価合意方式）である¹⁸。

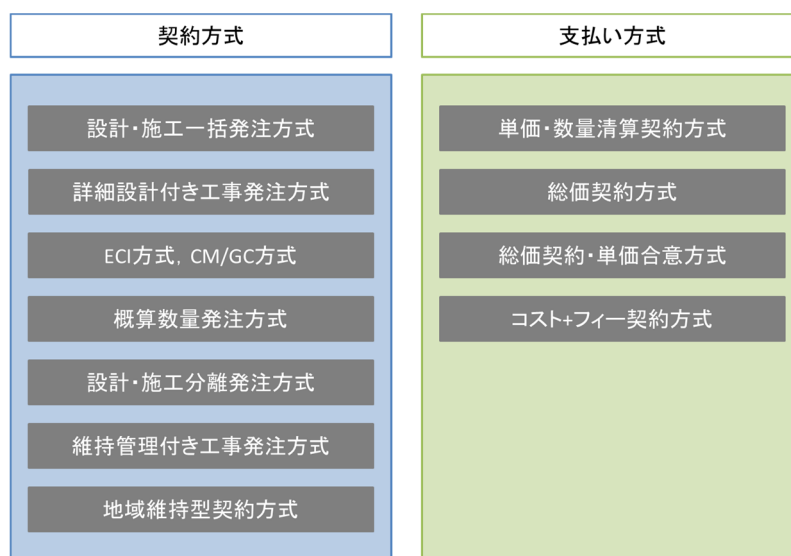


図 1-8 契約方式及び支払方式
(参考文献 19を参考に筆者が作成)

また土木工事は現地における一品生産のため、自然環境条件等により、工事を進める中で当初契約と異なる条件になり得る。条件が契約内容と異なり、工事請負契約書の 18 条（条件変更等）、19 条（設計図書の変更）、20 条（工事の中止）に該当する場合は設計変更手続きを受発注者間で行い改めて契約を結ぶ。想定される設計変更の具体例及び変更内容を表 1-3 にまとめる。

表 1-3 設計変更内容とその具体例

| 契約上の変更内容 | 具体例 |
|--------------|-----------------------------------|
| i. 契約項目の追加 | 契約時に想定していない支障物や巨礫が見つかったため撤去工を追加する |
| ii. 契約数量の変更 | 支障物が見つかり地中連続壁をオフセットしたため掘削数量を変更する |
| iii. 契約単価の変更 | 土質や地下水位が事前に想定していた内容と異なる |

なお図 1-8 に示す単価・数量清算契約方式は海外工事で多く用いられる方式である。この方式では、追加費用が発生した場合、国内のように「追加契約」という方法はとらず「契約内容変更」という形で清算処理が行われる²⁰。

国内工事における請負代金の支払いは工事請負契約書に従い行われ、前金払い、竣工払いからなる。さらに工事途中で支払請求が可能であり、受注者は契約時にこの支払方法として、中間前金払か部分払（出来高部分払）のいずれかを選択することが可能である²¹。これらの支払方法について参考文献 18, 21 を用いて以下（i）～（iv）にまとめる。

（i）前金払い

受注者は、保証事業会社と契約書記載の工事完成の時期を保証期限とする保証契約を締結し、その保証証書を発注者に寄託して、一定限度額（請負金額または各年度予想出来高の 10～40%）を請求することができ、発注者はこれを支払う。

（ii）中間前金払

請負代金額の 40%以内を前金払として一括で支払い、出来高及び工期が 50%を超えた後に支払請求があれば、発注者は請負代金額の 20%以内で支払う。

（iii）出来高部分払

受注者が、契約時に定めた出来高部分および搬入済工事材料に相当する金額を部分払として請求したのに対し、発注者が検査確認した請求金額を支払う。出来高部分払の回数および限度額は契約時に定める。なお本方式は総価契約・単価合意方式が前提となる支払方法である。

(iv) 竣工払い

受注者が工事を完成し、発注者の検査に合格した時に竣工払いを請求し、発注者はその日から40日以内に支払うものとしている。

このうち、工事の出来高に対して支払いを行う出来高部分払方式は、諸外国では単価・数量清算契約方式に基づき短い間隔で出来高に応じた工事代金を支払う方式が一般的であることに対し、国内の公共工事では前払金と完成払の2回の支払いが通例となっていたことを打開するために取り入れられた方式である。期待される効果として、借入金の削減、資金計画が立てやすくなる、会社の信用不安の軽減など「受注者の財務状況の改善」を含む内容²²が挙げられる。

(2) 元請・サプライヤー間の契約及び支払い

各サプライヤーは自社にとっての注文者（1次下請の場合は元請、2次下請の場合は1次下請）と契約を結ぶ。これらの契約は民法上の契約による売買契約及びこれに加えて建設業法、安全衛生法で規定される下請契約のいずれかをその契約内容によって結ぶ。

元請会社と下請会社との間で締結される下請負契約は、一般に個々の元請会社がそれぞれに制定する専門工事請負契約の様式に基づいて運用されている。その専門工事請負契約書の書式は原則として基本契約書、基本約定書、注文請書などから構成される²³。(i)～(iii)に参考文献23を用いて各事項についてまとめる。

(i) 専門工事請負基本契約書

具体的な取引関係に先立って締結されるものであり、元請会社と専門工事会社の商号や代表者名の明記、発注するあらゆる専門工事請負工事への適用の原則、契約有効期間を1年とする原則、双方に異論がなければ同一条件で継続の原則、など普遍的な数か条から構成される。

(ii) 専門工事請負契約基本約定書

専門工事請負契約の基本的な条件を定めた契約約款である。契約当事者の契約上の権利、義務、責任、請負代金の支払方法、契約の変更や紛争の解決手段などを規定する。つまり、両者が取引関係を続ける限り、この基本約定に従うことを約束したものであり、したがって、いったん締結した後、個々の工事ごとに取り交わす必要はない。

(iii) 注文請書

元請会社が発注する特定の工事を、専門工事会社などの下請会社が引き受けたことを約する書類である。特定の契約年月日、工事名、工事場所、着手期日、完成期日、請負代金額などが、具体的に明記される。内訳書、費用負担の特約、施工条件の明示書などが添付される。

内訳書は、請負代金額を構成する個々の工種、費目について名称、品質寸法、呼称、数量、単価、金額を列記し、工事途中で条件変更等が発生した場合の検証や協議の基準になる。

これ以外に、工事中に発生すると予想される費用の負担義務に関して記述した費用負担の特約や専門工事会社が施工するために必要な本工事や仮設工事の労務、資材、機械などの条件を施工条件の明示書に記載する。

また通常、下請企業には、毎月出来高払いを行う。この場合、直接工事の1ヵ月間の出来高数量に応じた金額を支払う。あらかじめ、毎月出来高締切日、出来高支払請求書提出日、出来高支払日を定めておく必要がある。

1.2.4 各関係者間での工事検査

(1) 発注者・元請間の検査

工事検査には、「公共工事の品質確保の促進に関する法律（品確法）」第6条第1項に基づく工事中及び完成時の施工状況の確認及び評価を目的とする技術検査と、「会計法」第29条の11第2項に規定された工事の請負契約についての給付の完了の確認のための検査がある。この技術検査及び給付の検査には出来形の検査、品質の検査が含まれ²⁴、その検査項目や規格値は発注者の仕様書や技術基準に記載されている。

仕様書（共通仕様書、特記仕様書）、契約図面、現場説明書、現場説明に対する質問回答書、工事数量総括表からなる設計図書²⁵には具体的な品質・出来形に対する検査方法が記載されている。この中には監督職員の立会により、規格値に適合しているかを判断する臨場検査が含まれる。臨場検査は使用する材料に対する検査（材料検査）や施工中の各段階で実施される検査（段階確認検査）がある。技術検査ではこの臨場検査を通じて、発注者の要求仕様を受注者の施工結果が満たしているかを確認する。

竣工時や出来高部分払方式を採用している場合の出来高部分払い請求時に行われる給付の検査は、工事費用を支払うための検査であり、この検査時にも材料検査や段階確認検査で確認された品質・出来形検査書類が必要となる。検査の種類はそれぞれ完成検査、既済部分検査である。この2つ検査の比較を表1-4に示す。

表 1-4 完成検査と既済部分検査の比較
(参考文献 24 を参考に筆者が作成)

| 検査の種類 | 完成検査 | 既済部分検査 |
|------------------|--|--|
| 検査概要 | 工事の完成を確認するための検査 | 工事の完成前に請負代金の一部を支払う必要がある場合において、工事の既済部分を確認するための検査 |
| 引き渡し | 行う | 行わない |
| 工事請負契約書の該当箇所 | 契約書第 31 条 | 契約書第 37 条 |
| 共通仕様書 (検査の方法) | 共通仕様書第 1 編 1-1-20 検査職員は監督職員及び請負者の臨場の上、工事目的物を対象として <u>契約図書</u> と対比し、次の各号に掲げる検査を行うものとする。 (1)工事の出来形について、形状、寸法、精度、数量、品質及び出来ばえの検査を行う。 (2)工事管理状況について、書類、記録及び写真等を参考にして検査を行う。 | 共通仕様書第 1 編 1-1-2-1 検査職員は、監督職員及び請負者の臨場の上、工事目的物を対象として <u>工事の出来高に関する資料</u> と対比し、次の各号に掲げる検査を行うものとする。 (1)工事の出来形について、形状、寸法、精度、数量、品質及び出来ばえの検査を行う。 (2)工事管理状況について、書類、記録及び写真等を参考にして検査を行う。 |

表 1-4 に示す通り、既済部分検査と完成検査では受注者の施工結果に対して対比する対象が違ふ。既済部分検査は工事の出来高に関する資料と対比し、完成検査では契約図書と対比し検査を行う。前者の場合は、受注者から提出される出来高部分払申請範囲の出来高調書と現場での施工数量に相違がないか確認するため出来高査定を実施する。後者は契約数量に対して出来高を査定する他、契約図書に定められている契約内容、つまり契約工期、提出物、技術提案の履行状況などを確認する。

また受注者は施工開始前に、提出物として求められる施工計画書の施工管理計画の項に、仕様書や技術基準によって定められた測定項目や規格・管理値、確認方法、確認する

段階などを発注者に対し明示し必要な臨場検査内容を明確にする。現場では事前にこのプロセスを経て受発注者間で確認された検査項目に対し、受注者が検査依頼を発注者の監督官に提出する。検査依頼に記載された指定の時間・場所において監督官またはこれの代理人の立会のもと、臨場検査を実施する。

(2) 元請・サプライヤー間の検査

元請は、自社の社内基準なども踏まえて専門工事会社などのサプライヤーへ契約時に提示した要求水準を満たす結果になっているかを確認する。元請職員は、必要なタイミングで専門工事会社の施工状況の確認を行う。例えば、鉄筋組立時の検査は、所定の鉄筋がすべて組みあがってから検査するのではなく、日々の施工管理の中で部分的に施工状況を確認する。鉄筋の組み立てる順序としては、例えば底板鉄筋の場合、一般的に下筋を組み、そのあと上筋を組み立てる（図 1-9）。この場合、上筋が組みあがってから鉄筋の自主検査を行い、下筋に不具合が見つかったら、物理的に下筋のみ修正することは難しいことが多く、上筋を取り外してから下筋を修正する必要がある。このような修正が見つかったら、その手戻りの範囲が大きくなってしまうため、日々の施工管理の中で部分的に施工状況を確認（検査）する。

また支払のための検査は、日々の検査や材料供給会社から送られる品質証明書などをもとに要求水準を施工結果が満足していることを前提に、月締めで出来高の査定を行う。出来高査定は、サプライヤーから出来高報告を受け、この内容を書類及び現場で確認する。

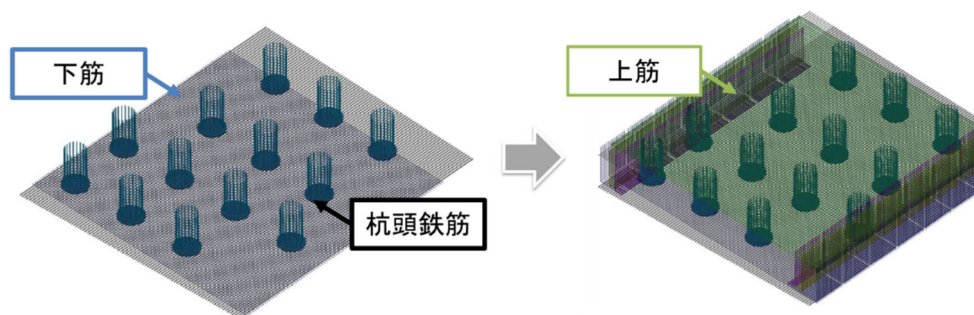


図 1-9 底板鉄筋の組立について

1.2.5 サプライチェーンが抱える課題と考慮すべき事項

以上の内容を踏まえて、建設業のサプライチェーンが有する特徴からシステムを開発するうえで考慮すべき事項や、サプライチェーンが抱える課題を明らかにし、本システムで開発するシステムが解決すべき事項を明確にする。

(1) システムを開発するうえで考慮すべき事項

1章2節1項において建設業のサプライチェーンの構成員が各現場によって異なることを特徴として挙げた。このため建設産業のサプライチェーンに導入するシステムは、この前提に立ってシステムを設計する必要がある。

製造業のように構成員が固定化されたサプライチェーンの場合は、それぞれの企業によって独自のシステムを開発し、各構成員がこれに合わせる形で運用することは可能であるが、建設業の場合は、元請が独自でシステムを開発すると構成員であるサプライヤーが元請になり得るすべての会社に合わせた自社のシステムや体制を整備する必要があり現実的でない。

このため建設業の場合は建設産業全体で共有され、どのサプライヤーでもアクセスすることが可能な基盤となるシステムが必要となる。一方で、システムへのアクセス性を向上すると、悪意を持ったユーザーのシステム上でのデータ改竄などの不正行為が発生するリスクが高まりこれをどのように防ぐかという点が課題になる。

(2) サプライチェーン内での情報流通に係る課題

図 1-5、図 1-6 に示す通り、元請は自身の抱えるサプライヤーによって生成された施工管理情報を踏まえてサプライヤーに対して自主検査を行う。自主検査は一般に発注者から求められる要求水準と同等もしくは、より高い水準を元請自らが設定し、施工や材料による品質のばらつきがあった場合でも、発注者の要求水準を満たすように計画する。このため受注者が収集した施工管理情報のうちその施工管理の中で要求水準を満たしたものは発注者の要求水準を満たし、且つ、その根拠情報は発注者が要求する根拠情報を包含するものとなる。

現行の制度では1章2節4項に示す通り、段階確認検査が求められており、さらにこの段階確認検査では臨場検査が求められる。例えば ICT 土工の無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形検査では、取得した点群測量データと3次元設計図を用いて、施工誤差を表すヒートマップ図を作成する。出来形検査では、このヒートマップ図を用いて規格値との比較を行う書面検査と、トータルステーションを用いた現場での出来形計測に関わる実地検査が求められる²⁶。この実地検査が監督員の立会のもと現場にて実施される臨場検査にあたる。

書面検査の元データは受注者が現場から取得する情報であり、これらの情報をもとにした書面検査には受注者による情報の改竄リスクがある。情報の信憑性の確認を行うために、実地検査にて検査者が任意の断面を指定し、指定された断面での実測値と設計値との

標高差が規格値以内であるかを検査する必要がある。このため受注者の施工に対する監督検査は依然として現場での立会を要する臨場検査が技術基準類の中で求められている。また既済部分検査、完成検査についても、写真などの各種記録により必要な確認が可能であれば、机上での実施でも良いとしつつも、実地において行うことが原則となっている²⁷。

また、元請は発注者の定める検査様式に合致するように、図 1-10 に示す通り①、②のそれぞれの専門工事会社が生み出す施工管理情報をもとに検査用資料を改めて作成し、発注者の段階確認検査に臨む。さらに支払請求時の検査、すなわち既済部分検査、完成検査時には改めて段階確認検査の資料などを含めて検査資料をまとめる必要がある。

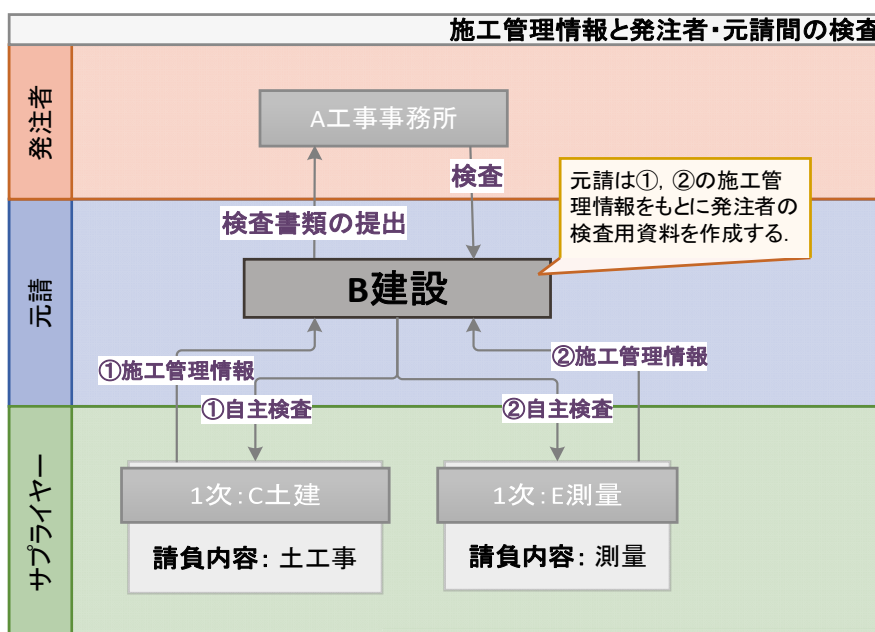


図 1-10 施工管理情報と発注者・元請間の検査の関係について

臨場検査に関係する書類作成及び実際の臨場検査に要している元請職員の業務負担割合の参考値を図 1-11 に示す。この業務負担割合は東京都内の現場に勤務する入社 2 年目の職員 2 名を対象に 2 か月間調査した（2018 年 8 月～2018 年 11 月）結果である。またこの調査時期は既済部分検査や竣工検査には当たらないため、ここで示す臨場検査は技術検査に当たる内容となる。

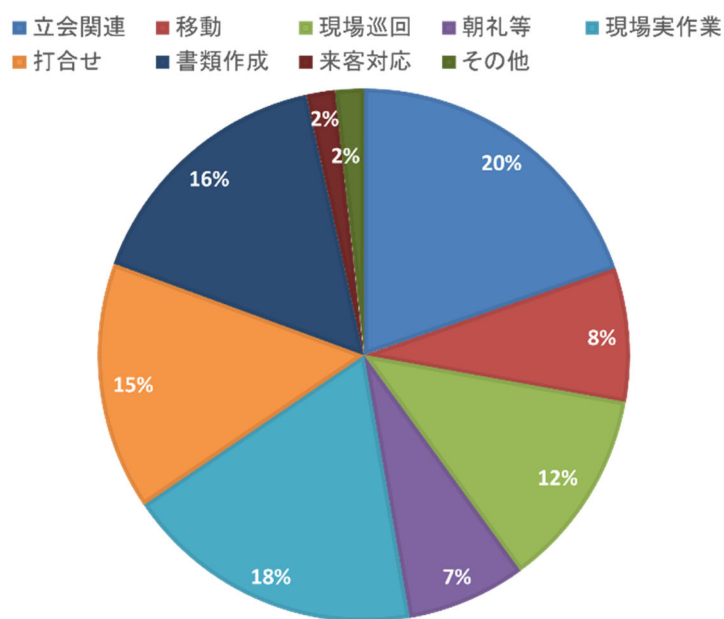


図 1-11 元請職員の業務割合

図 1-11 に示す内容のうち濃青が臨場検査関連（立会関連）に関係する元請職員の業務負担割合となる。この結果より、元請職員だけを取り上げたとしても立会関連の業務に全体業務の 2 割を要していることが分かる。また、この業務割合は受注者側の負担割合を示しており、実際には発注者側にも臨場検査の負担は発生している。

以上の通り、サプライチェーン内での情報流通に係る課題については、施工管理情報の信憑性が担保されていないことに起因し、段階確認検査の中で臨場検査の実施が求められており、この臨場検査が、受注者は検査のための書類作成業務、現場での検査準備業務、また発注者は現場へ赴き実物を確認する業務という形でその負担がかかっているという点が挙げられる。

(3) 支払請求時の検査に係る課題

建設業では 1 章 2 節 3 項で示した通り、一般的には発注者と元請間の支払いは部分払いを選択しない場合は、その工期を通じて前払、中間払い、完成払いでの支払いのみであり、元請とサプライヤー間での支払いは月払いであることが多い。このため、元請は工事を進めるうえで必要な資源（労務、資材、機械等）を調達するため資金調達をする必要があり、この資金調達時の金利負担が受注者にとっては負担となっている。

この金利負担の低減など、受注者の財務状況を改善するためには出来高部分払方式が有効である一方で、その課題も報告されている。国土交通省は本方式に関する調査検討を平成 12 年度から行い、平成 13 年 3 月から 2 件の試行工事を実施し、その効果の検証や抽出した課題について報告書²⁸としてまとめている。効果の検証としては「受注者の財務状況の改善」に対してヒアリングや試算モデルを用いた収支の計算を通じ確認しており、「出

来高に応じた入金により借入金の削減が可能となり、財務状況の改善効果がある」と結論づけている。

抽出された課題については表 1-5 に示す。課題は報告書に沿って、受注者、発注者による資料の作成、審査、検査、支払といった手続きの流れを便宜的に A, B, C の 3つの段階に分類した。この課題分類の出来高部分払い実施フローにおける位置づけを図 1-12 に示す。

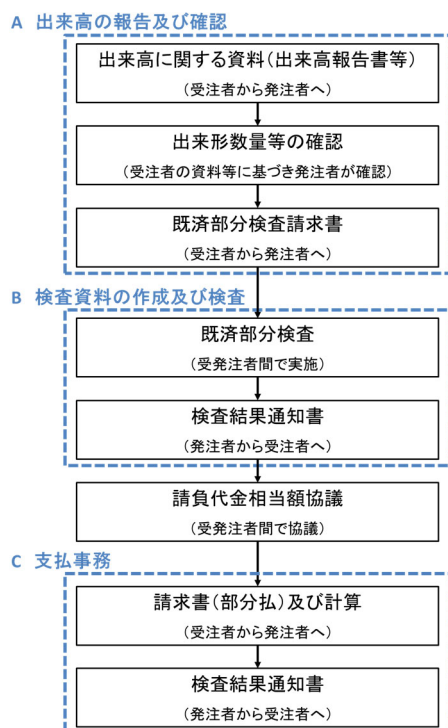


図 1-12 出来高部分払いの実施フロー
(参考資料 22 を参考に筆者が加筆)

表 1-5 抽出された課題一覧

(参考文献 28 より引用)

| 作業段階 | 番号 | 課題 |
|---|----|---|
| <p>A</p> <p>出来高の報告及び確認；</p> <p>受注者による出来高に関する資料の作成と提出及び発注者による出来高数量等の確認作業の段階</p> | 1 | <p>工種の途中段階で部分払を実施する場合は、新たに出来形資料の作成や審査が必要となる。また、部分払を行う時点で最終の品質確認ができない状態における部分払と品質確認の関係について明確にしておく必要がある。</p> |
| | 2 | <p>出来高部分払方式の対象工事件数が増加すれば、審査・確認作業が増加し、発注者の体制の整備が必要となる。</p> |
| | 3 | <p>新しい工種が加わった場合、契約変更をしてから部分払を行うため、変更回数増加に伴い、受発注者の積算等の作業が増加する。また、契約変更が予想される工種の部分払は、過払防止のための調整に時間を要する。</p> |
| <p>B</p> <p>検査資料の作成及び検査；</p> <p>請負者による既済部分検査に関わる資料作成と発注者による検査の実施段階</p> | 4 | <p>従来と比較して、請負者が作成する検査資料の作業量増はそれほど大きくないものの、増加は見られる。また、部分払の検査に合わせて短時間で検査資料を作成しなければならないことに対して負担を感じているが、一方で完成検査前の繁忙が緩和されるなど検査資料作成のための作業の平準化は図られている。</p> |
| | 5 | <p>現行の検査方法・内容で部分払による検査回数・件数が増加すれば、現在の検査体制では、人的、時間的に対応が困難となる。</p> |
| | 6 | <p>既済部分検査専用の規定はないため、完成検査と同等レベルで行っており、十分な効率化が図られていない。また、既済部分検査と完成検査の重複を避ける必要がある。</p> |
| <p>C</p> <p>支払事務</p> <p>検査合格後、受発注者による請負金相当額の協議と確定を行い請負者による請求書の作成提出と審査・支払の段階</p> | 7 | <p>部分払金の請求は完成時請求と異なり、工事代金の内訳の審査や確認に時間を要し、発注者側の経理担当の作業量が増大する。出来高部分払方式の対象工事件数が増えれば、現在の発注者側の事務処理体制のままであれば、対応が困難となり、標準支払期日以内に支払いを完了できないケースも予想される。</p> |

出来高部分払いは、その支払回数分、既済部分検査を行う必要があることから表 1-5 より A-2, B-4, B-5, C-7 に挙げられている通り、A~C のすべての段階で事務作業量の増加が課題として挙げられていることが分かる。

こういった課題により本方式を工事で選択することにより、かえって手続きが煩雑になってしまうことが懸念されることから、必ずしも建設業のサプライチェーンに出来高部分払方式での支払いは浸透していない。このため、本方式の適用による財務状況の改善も十分には達成できていない。

この課題を解決するためには既済部分の合理化が求められる。既済部分検査では、出来高に応じた支払いが行われるため、この出来高情報と契約情報をどのようにシステム内で管理するかという点が重要となる。具体的には、受注者から申請された出来高数量に加えて、契約項目、契約単価、契約数量などの契約内容を電子的に管理することを指す。また、出来高情報の根拠情報となる施工管理情報を生成した者の情報（受注者）、検査を実施する者の情報（発注者）もどのように電子的に管理するかが重要となる。さらに支払いを自動化するためには、これらの情報から支払金額を自動的に算出可能な機能の実装が求められる。

1.3 研究の目的

1 章 2 節で述べた内容を踏まえて本研究において取り組む課題を次にまとめる。

課題 1：臨場検査の負担が受発注者の双方にとって大きい

課題 2：出来高部分払いのための書類作成や査定業務の負担が大きい

課題 1 は、書面検査の根拠情報の信憑性を確認するために、別の計測方法で施工成果を確認する臨場検査が必要とされている点に課題がある。課題 2 は出来高部分払申請時の受注者の出来高申請書類の作成や、この申請内容に対する発注者の査定業務の負担が大きいことが課題である。

次に本研究開発における、これらの課題を解決するための方策を示す。

方策 1：品質・出来形検査や出来高査定の合理化について

サプライヤーが生産した施工管理情報の信憑性を担保し直接、検査や査定に活用可能とする

方策 2：支払いの合理化や自動化について

契約情報や契約履行情報を更新・管理し、さらにこれらの情報を用いて契約履行情報をトレースし支払金額の自動算出を可能とする

本研究では、これらの課題に対し、ここで示した課題を解決するための方策について、具体的にブロックチェーン及びスマートコントラクトの技術的な特徴を活用し、必要なシステムの開発、実証、提案をすることが目的である。また、研究開発を進めるにあたって目的を二つに大別した。

目的1：ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証

現状のサプライチェーンに内在する課題を整理したうえで、これを解決するためにプロトタイプに求められる要件を定義する。この要件を満たす機能を検討し必要な機能を実装したプロトタイプを、ICT 土工を対象に開発した。次に開発したプロトタイプが課題解決に必要な機能を有することを検証するために、検証すべき項目を設定し、これらの項目に対して実証試験を通じてその確認を行った。実証試験は出来高査定システム及び支払システムのそれぞれについて発注者、受注者の協力のもと、システムの有効性を検証した。

目的2：汎用システムの検討とその提案

他工種への適応も念頭に外部システムとの連携を含めて汎用的に利用可能なシステムを提案する。提案にあたっては、汎用的なシステムを提案するため、社会実装時の外部システムとの連携も含めて想定し、システム構成を検討した。さらに、社会実装時に見込まれる削減可能なコストを定量的に算出し、システムの有用性を示す。

1.4 研究の方法

研究の目的で挙げた二つの目的を達成するために採用した具体的な手法をそれぞれ説明する（図 1-13）。

まず目的1に対しては、土工事を対象にプロトタイプの開発を行う。プロトタイプの開発ではサプライチェーンに内在する課題を解決するためにシステムに求められる要件を定義し必要な機能の検討及び実装を行う。さらに、開発したプロトタイプを用いて、検証項目を定め、この内容を確認するための実証試験を行う。検証は出来形検査に係る検証と、出来高査定に係る検証に分けて実施した。実証試験は実現場の施工管理情報を用いて実施し、システム内で判断が必要な部分については当該現場の発注者及び受注者の協力のもと社会実装時に利用が想定されるユーザーが確認することで、その有効性を実証した。

目的2に対しては、他工種への適応も考えたうえでシステムに必要な要件を検討し汎用システムを提案する。またシステムの有用性について、関東地方整備局を対象に検査コスト及び金融コストを算出し、社会実装時に見込まれる効果を定量的に示す。

また図 1-13 に示す通り、プロトタイプの開発及び汎用システムの提案についてそれぞれ

れ要件定義を行う。プロトタイプの開発で定義する要件は、開発するシステムが1章3節で挙げた課題を解決するために必要な要件をICT土工を対象に検討した。一方で、汎用システムにおいて定義した要件は、他工種も含めて広く一般に開発したシステムを活用するために必要な要件とした。

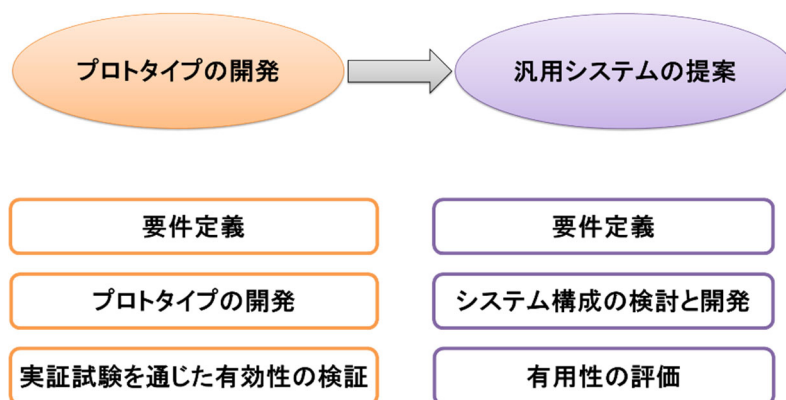


図 1-13 研究の方法の概念図

1.5 研究の構成

第1章では、本研究の背景や現行のサプライチェーンが抱える課題を概説し、研究の目的や方法を設定した。第2章では、本研究で活用するブロックチェーンとスマートコントラクトについて、その技術の特徴や活用事例を説明する。3章ではICT土工を対象にしたプロトタイプの開発を行う。このプロトタイプを用いて4章の出来形検査システムの実証では品質・出来形検査、5章の出来高査定及び支払システムの実証では出来高査定及び支払いに関するシステムの有効性の検証を行う。6章では、汎用システムの提案を行う。開発したプロトタイプ及び検討した汎用システムを踏まえて、第7章では結論と今後の展望を示す。

第2章 ブロックチェーン及びスマートコントラクト

第2章ではブロックチェーンとスマートコントラクトのそれぞれの技術の概要について述べる。また各技術が有する特徴のうち、本研究で活用した特徴について述べる。ブロックチェーンは開発が継続している技術であり、様々な拡張機能などが提案されている。このためブロックチェーン技術の開発の現状についても紹介する。

2.1 ブロックチェーンとは

2.1.1 ブロックチェーンの定義と特徴

ブロックチェーンはビットコインに代表されるような「仮想通貨」や「暗号通貨」の基盤技術として利用されている。その定義は日本ブロックチェーン協会^{*1}が「電子署名^{*2}とハッシュポインタを使用し改竄検出が容易なデータ構造を持ち、且つ、当該データをネットワーク上に分散する多数のノードに保持させることで、高可用性及びデータ同一性等を実現する技術を広義のブロックチェーンと呼ぶ」を広義の定義²⁹として公開している。

ブロックチェーンはプロトコルによって決められたある一定量のデータ（ビットコインの場合は約10分間に1回）を格納したブロックが、暗号化技術を用いて前後のブロックとチェーンのように連結するデータ構造を持つ。この構造により格納したデータの非改竄性を担保している³⁰。またブロックチェーンへの参加者（ノード）のPCが同じデータを共有するP2P（peer to peer）ネットワークを有する³¹。このP2Pネットワークによりブロックチェーンは一つのノードがダウンしたとしてもシステム全体としては機能し続ける高可用性を実現している。これらの仕組みによりブロックチェーン上に記載されたデータは、データの連続性が保証されるためデータのトレーサビリティが確保される³²。

ブロックチェーンは仮想通貨以外にも様々な種類のブロックチェーンが提案されている。表2-1に代表的なブロックチェーン基盤を挙げる。

用語説明（参考文献33及び82より）

^{*1} 日本ブロックチェーン協会とは、2016年4月にブロックチェーンに関わる各種ガイドラインの策定や、国や関係省庁への政策提言を行う業界団体組織として加盟企業28社で発足（日本価値記録事業者協会から改組）した組織。

^{*2} 電子署名とは、デジタル文書の作成者を証明する技術。

表 2-1 代表的なブロックチェーン基盤
(参考資料 33,34を参考に筆者が加筆)

| 名称 | 開発元 | 特徴 |
|--------------------|---------------------|--|
| Bitcoin Core | Bitcoin Foundation | 仮想通貨, 暗号通貨の送金, 決済に特化したネットワーク. |
| Ethereum | Ethereum Foundation | 専用のプログラミング言語でスマートコントラクトを記述できることが特徴. スマートコントラクトを活用することで, 金融以外の様々な分野へのブロックチェーンの応用が可能. |
| Quorum | J.P.Morgan | 企業向けの許可型ブロックチェーン (コンソーシアムチェーン) の一つであり, Ethereum がベースとなったものである ^{※3} . |
| Hyperledger Fabric | Hyperledger Project | エンタープライズ領域での利用が想定されている. ブロックチェーンに参加, また処理を要求するユーザーはあらかじめ登録されている必要のあるパーミッション型のネットワーク. |
| Corda | R3 CEV | 金融向け分散台帳基盤. ネットワーク参加者全員ですべてのデータを共有しないことが特徴. |

2.1.2 ブロックチェーンの技術的な背景

ブロックチェーンの特徴として述べた前後のブロックとチェーンのように連結するデータ構造について, その技術的な背景について概説する. ブロックチェーンにおけるブロック同士の関係性を図 2-1 に示す. n 番目のブロックには生成される一つ前のブロックのハッシュ値が格納されている. このハッシュ値は, データが 1byte でも変わると全く違う値を示す特徴 (詳細は第 3 章 3 節 2 項) を持つ. つまり仮に n-1 ブロックに格納されたデー

用語説明 (参考文献 30 より)

^{※3} コンソーシアムチェーンとは, Bitcoin のように誰でも参加できる (パブリックな) ブロックチェーンに対して, 参加者が許可制 (パーミッション型) で, あらかじめ決められた参加者のみがネットワークを構築するブロックチェーンのことを指す.

タが改竄された場合、nブロックが保有するハッシュ値と整合が取れなくなる。このように一定量のデータ（ブロック）に対してハッシュ値を用いて関連させる（チェーン）ことで、改竄検出が可能なデータ構造としている。

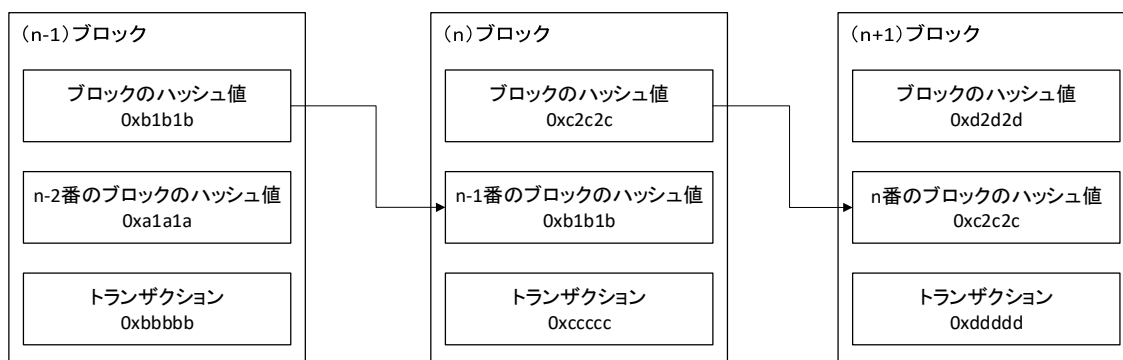


図 2-1 ブロック同士の関係性について
(参考資料 81 を参考に筆者が作成)

またブロックを構成するデータはブロックヘッダ部分とトランザクション部分に分けられる。ブロックヘッダ部分には直前のブロックのハッシュ値、タイムスタンプなどが格納され、トランザクション部分には実際のトランザクションデータなどが格納される³⁰。

本研究で開発するシステムでは、ブロックチェーンが有する耐改竄性の機能を活用しサプライヤーが保存する施工管理情報の信憑性を担保する。またこれに加えて、ある過程でブロックチェーン上に保存されたデータを後の過程で参照する場合に情報のトレーサビリティの機能が必要になる。このためブロックチェーンが有するデータ構造から保証されるデータの連続性を背景にしたトレーサビリティの特徴についてもシステムで活用する。

2.2 スマートコントラクトとは

スマートコントラクトは多義的な概念として用いられており、1990年代後半に、法学者・暗号学者のNick Szaboにより提唱された概念である³⁵。Nick Szaboはスマートコントラクトについて「契約をネットワークを介して締結・履行することにより取引コストを下げるもの」（参考文献36のConclusionを筆者が要約）と述べている。

また近年、スマートコントラクトはブロックチェーン上に実装するコンピュータープログラムを指す言葉としても用いられている。スマートコントラクトを実装可能なブロックチェーン基盤としてはEthereumなどが例として挙げられる。Ethereumにおいてスマートコントラクトは、イーサリアムネットワークプロトコルの一部として決定論的に実行される、改変できないコンピュータープログラム³⁷のことを指す。

このようにスマートコントラクトは概念やプログラムなど様々な内容を表す。本論文で

2.3.2 他分野における活用事例

他分野におけるスマートコントラクトの活用事例について述べる。ここでは、スマートコントラクト及びブロックチェーンを用いた電子商取引の事例として田中ら³⁹によって研究開発された電力流通システムについて取り上げる。

この事例は、無数の発電消費者が保有する再生可能エネルギー発電や蓄電設備を互いに少量少額で相互融通するシステムであり、電力需要と供給者を自動的にマッチングさせる市場についてスマートコントラクトを用いて実現している。

スマートコントラクトを実装するプログラムには、供給者の希望販売単価と購買者の希望購入単価をユーザーが書き込める機能がある。この二つの価格のマッチングを行い、条件が成立した場合、その価格をブロックチェーン上に書き込み、電力メーターから読み取った電力使用量をブロックチェーン上に書き込む。この結果、購買者は成立した電力の購入価格と使用量より必要な支払いを実行する。この事例ではシステム上で約定した購入単価と合意をした関係者（供給者と購買者）の情報がブロックチェーン上にプログラムを介して保存されることにより、これらの情報が改竄不可能となる。のちに電力を消費した際にこれらの情報をトレースし、かつ実際の使用量を計測することで支払金額を決定することが可能となる。

この事例から分かる通り、ブロックチェーン及びスマートコントラクトを活用したシステム開発ではどの情報を改竄不可能とするか、またその情報はどのプロセスでトレースする必要があるかを明確に決定することが重要である。

2.4 ブロックチェーンの開発の現状

ブロックチェーンはその技術自体の開発も継続して行われている。また開発元は表 2-1 に示した通りであるが、例えば、Ethereum の開発元である Ethereum Foundation は Ethereum の諸問題の解決や新たな機能を開発するスタートアップなどを対象に ecosystem support program⁴⁰といった助成金制度などを通じて、Ethereum を発展させるために必要な開発者を支援している。開発された内容はオープンソースとなっていることも多く、誰でも利用することが可能な環境が構築されている。

またブロックチェーンは開発当初から指摘されている課題に加えて、金融以外の他分野への応用が試みられたことで新たな課題も指摘されている。例えば、秘匿性の課題が挙げられる。貿易やサプライチェーンの分野でブロックチェーンとスマートコントラクトが利用される場合、ブロックチェーン上に各会社の取引情報が記録される。ブロックチェーンはその性質上、第三者がブロックチェーン上のデータを閲覧することが可能であり、この情報が取引を行った当事者間以外に共有されることを避けたい場合、これを回避することが難しいという課題がある。こういった課題に対しては例えば、須藤ら⁴¹が新たな保護技術を開発しその解決策の一つを示している。

これ以外にもトランザクション数が大きくなった際にブロックチェーンの処理能力を超

えてしまい送金が遅延したりする課題³⁰（スケーラビリティの課題）などの課題などがある。こういった課題に対しても、開発元や開発のエコシステムに参加する企業等がその解決策を提示しており、今後も新たな機能拡張や課題解決に向けた開発が期待される。

第3章 ICT 土工を対象としたプロトタイプの開発

本章では1章3節に示した目的1のブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証のうち、プロトタイプの開発について述べる。プロトタイプの開発にあたっては、まず開発するシステムの要件、またこれを満たすシステム構成の検討を行う。この上でICT 土工を対象としたプロトタイプについて必要な設計、機能定義を行い、開発を進める。さいごに本章のまとめとしてプロトタイプに要求される要件と設計及び開発したシステムを照らし合わせ、要件を満足していることを確認する。

3.1 プロトタイプの要件定義とシステム構成

3.1.1 要件の定義

本研究では現行の建設業のサプライチェーンに内在する検査や支払に関連する課題を解決するために、プロトタイプに求められる要件として次の5項目を定義する。

- (i) 高可用性を前提とした施工管理情報の保存が可能であること
- (ii) 施工管理情報の耐改竄性の担保とその確認が可能であること
- (iii) 契約条件や履行情報の保存・更新が可能であること
- (iv) 検査・支払のために必要な情報をトレース可能であること
- (v) 出来形検査・出来高査定及び支払いのために必要な処理機能を有すること

要件(i)についてはブロックチェーンの高可用性に配慮したシステムの設計を行い実装する。要件(ii)は受注者が生産した施工管理情報の信憑性を担保するためにブロックチェーン技術が有する耐改竄性の機能を活用する。要件(iii)(iv)は事前に定めた契約情報に対して契約履行内容を記述し管理する、またこの履行情報をトレースするために主にスマートコントラクトを活用する。要件(v)はトレースした情報を用いて、出来形確認、出来高確認、支払金額の算出が可能な機能を定義し、その機能を満たすプログラムを開発する。

3.1.2 プロトタイプのシステム構成

プロトタイプは3章1節1項で定義した要件を満足するために、契約情報の管理、情報の耐改竄性を担保、情報のトレーサビリティを確保する機能を内包した基盤システムを有する。プロトタイプの概要図を図3-1に示す。

基盤システムにはブロックチェーン及びスマートコントラクトを活用することによって、情報の耐改竄性、トレーサビリティや契約情報の管理を行う機能を実装する。また、ここでいう情報とは品質・出来形及び出来高に関わる施工管理情報や契約情報、設計情報を指す。発注者、元請、サプライヤーは生産プロセスの各段階に応じて、これら契約情報、施工管理情報、設計情報を保存する。この情報は基盤システムに集約される。

集約された情報は基盤システムが有するブロックチェーンにより、そのトレーサビリティが確保されるため、関係者はそれぞれの検査、支払時において必要な情報をシステム内から取得することが可能となる。さらに検査の根拠情報となる施工管理情報は、ブロックチェーンにより、その耐改竄性が確保される。これにより情報に対する信憑性が付加されるため、元請、サプライヤーが保存した施工管理情報を直接検査へ利用することが可能となる。よって臨場検査の合理化を図ることが可能となる。

また、基盤システムが有するスマートコントラクトを実装するプログラムにより、契約当事者、契約項目、契約単価、契約数量などの契約情報などが記載された電子契約情報を各契約に対して発行することが可能となる。この電子契約情報には、品質・出来形検査の判定情報や出来高情報を契約履行情報として保存することが可能であり、契約条件と履行状況の管理が可能となる。さらに、これらの情報をトレースすることにより出来高に応じた支払金額を決定することが可能となる。

またプロトタイプはその構成要素に応じて、出来形検査システム、出来高査定システム、支払システムと呼称することとする。それぞれの範囲について図 3-2、図 3-3 に示す。出来形検査システムは、改竄確認システム、出来形確認システム、基盤システム、API から構成されるシステムである。出来高査定システムは出来高確認システム、基盤システム、API から構成されるシステムであり、支払システムは支払確認システム、基盤システム、API から構成される。

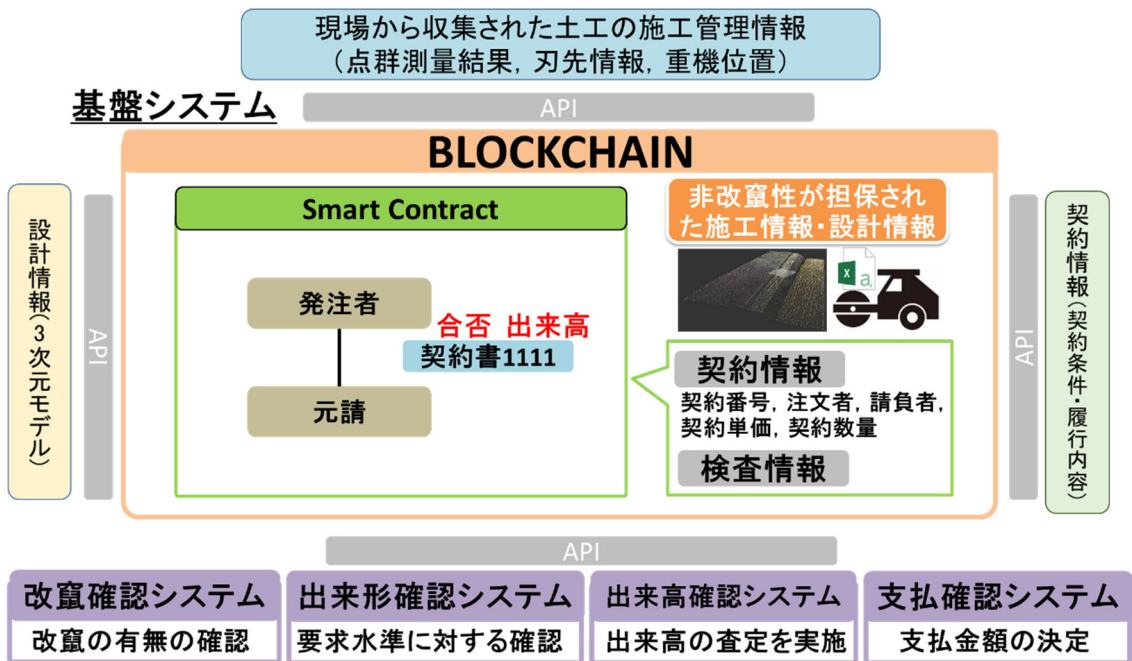


図 3-1 プロトタイプの概要

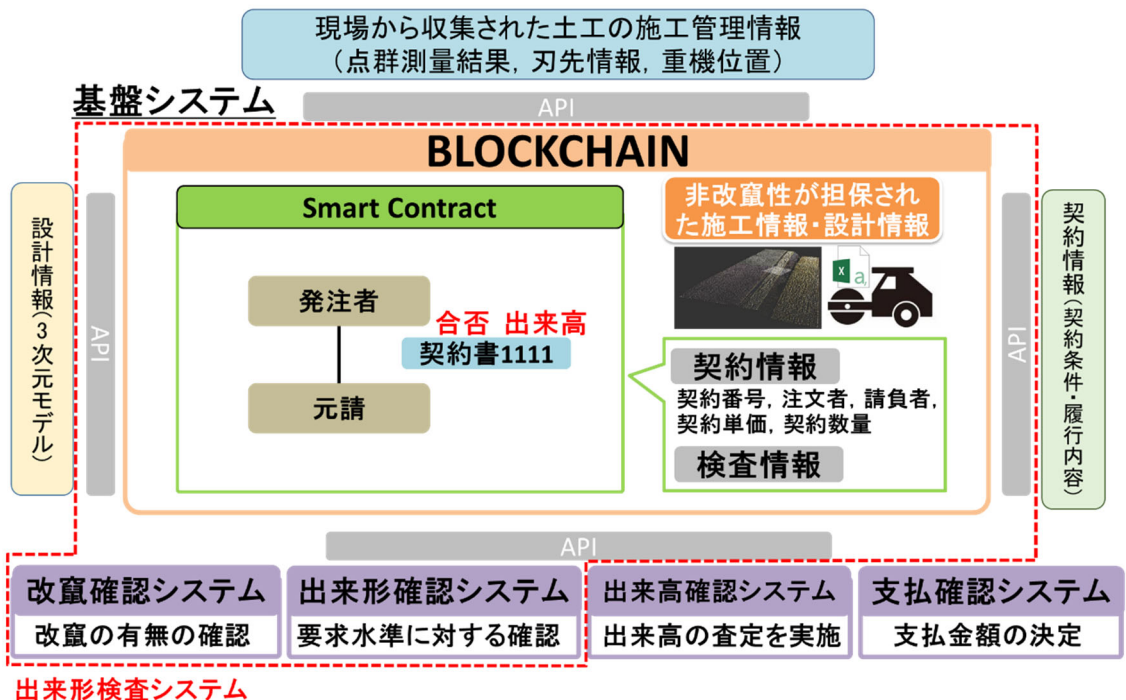


図 3-2 出来形検査システムの範囲 (赤枠内)

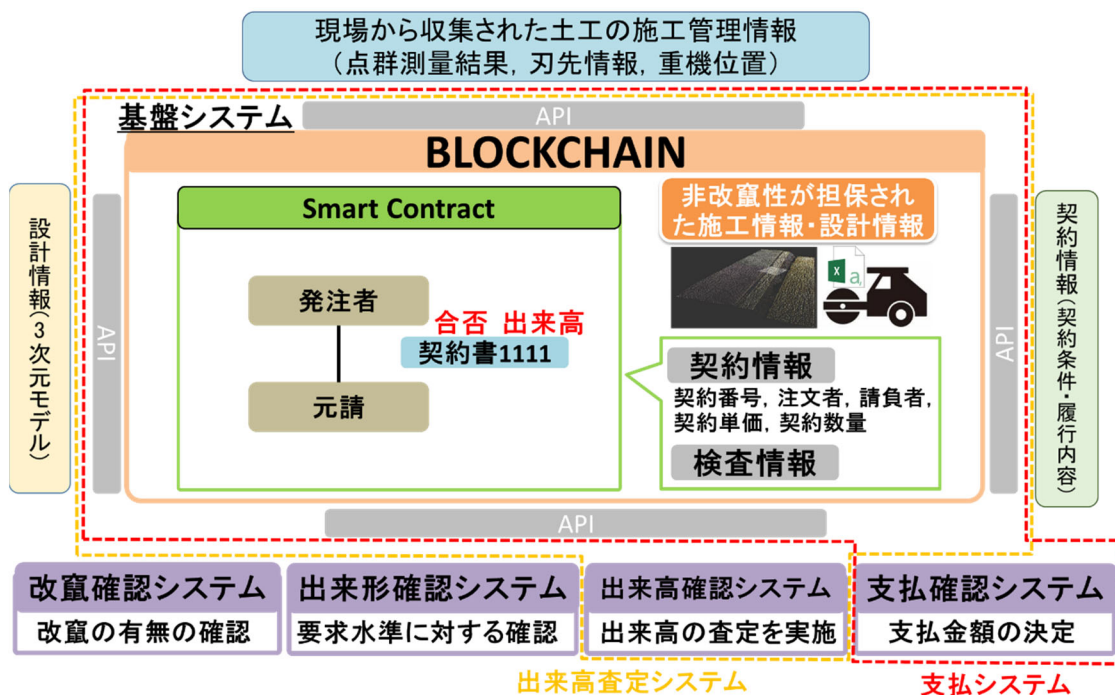


図 3-3 出来高査定システム（黄枠内）と支払システムの範囲（赤枠内）

3.2 開発対象の工種と選定理由及びプロトタイプの開発目的

3.2.1 開発対象の工種

プロトタイプは土工事への適応を考え開発した。土工とは建設工事に伴う土の掘削、積み込み、運搬、敷き均し、締固め等、土を動かす工事の総称⁴²であり、道路土工、河川土工、海岸土工、砂防土工、港湾土工、空港土工など様々な工種で必要となる工事である。

土工事の一般的な作業例を図 3-4⁴³に示す。ここに示す通り、土工事は建設機械を利用する作業が多く、このため建設機械の位置情報やその履歴から必要な施工管理情報を取得することが可能となる。また、この作業以外に出来形確認のための測量工や材料の試験などが必要となる。これらの業務に関わるサプライヤー、担当業務、生成する施工管理情報を表 3-1 に示す。

なおプロトタイプで対象とする契約方式は総価単価契約、支払方式は出来高部分払方式を対象とする。本システムの開発目的の一つが支払回数を増やすことによる受注者の金利収支の改善にあるため、これらの方式を前提とすることとした。

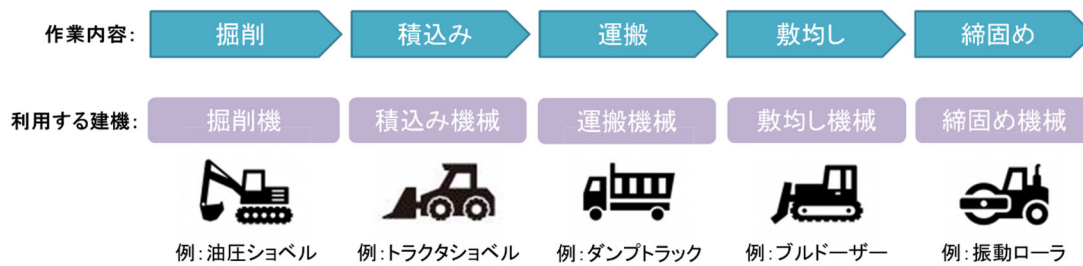


図 3-4 土工事の一般的な作業例
(参考文献 43 を参考に筆者が作成)

表 3-1 土工事における関係企業の担当業務と各社が生成する施工管理情報

| 関係企業 | 担当業務 | 施工管理情報 |
|------|---------|-------------------|
| 測量会社 | 出来形測量 | 座標値 |
| 試験会社 | 転圧の試験施工 | 所定の締固度を満たす転圧回数 |
| 土工会社 | 掘削 | 刃先位置 |
| | 敷均 | 巻出厚 |
| | 転圧 | 重機の移動経路 |
| 材料会社 | 盛土材料の販売 | 盛土材料の室内試験結果等の品質情報 |

3.2.2 土工事の選定理由

土工事の選定理由は、国土交通省発注工事実績⁴⁴において土工事にあたる「機械土工・舗装関連」が22%と一番高い割合を占めていることが挙げられる（図 3-5）。

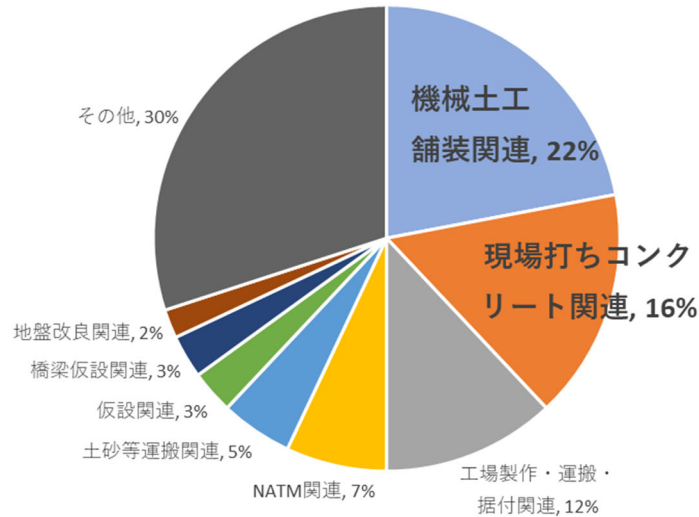


図 3-5 平成 24 年国土交通省発注工事実績
(参考文献 44 を参考に筆者が作成)

また ICT 施工に対する取り組みが早く（ICT 土工）、施工管理情報がデジタル化されていることも選定理由である。ICT 土工とは、国土交通省が推進する i-Construction のトップランナー施策の一つ「ICT の全面的活用」の土工事における取組であり、3次元起工測量、3次元設計データ作成、ICT 施工、3次元出来形管理及び3次元データでの納品を行うものである⁴⁵。ICT 土工の取組事例としては、測量・設計段階では UAV（Unmanned Aerial Vehicle）や地上レーザースキャナー等を用いた3次元測量、施工段階では MC/MG（Machine Control/Machine Guidance）や TS（Total Station）を用いた出来形管理などを活用することが挙げられる。これらの情報化施工技術の活用は一般化し、現場においてその利用が定着しつつあり⁴⁶、施工管理情報が比較的、容易に収集可能な環境が構築されている。

3.2.3 プロトタイプの開発目的

ICT 土工により収集することが可能となった施工管理情報を、開発するブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報と出来形及び出来高情報管理システムのプロトタイプの入力値とする。この取り組みによって、受発注者間にまたがる生産プロセスである契約に基づいた品質・出来形検査や出来高査定及び支払いを合理化、自動化が可能となることを、土工事を対象としたユースケースとして示すことがプロトタイプ

の開発目的である。開発したプロトタイプは、要求される要件に照らし合わせ確認することで、開発するシステムが目指す合理化や自動化が可能となるかを本章では検討する。

さらにプロトタイプを開発することによって、実際の土工事現場の生産プロセスにおいて、開発したシステムの有効性を検証することが可能となる。なおプロトタイプの有効性の検証は第5章、第6章に示す。

3.3 システム内で扱う入力値と高可用性に対する設計

3.3.1 入力値

関係するプレイヤーが直接システムへ必要な情報を入力することを前提とする。入力情報は契約情報、設計情報、施工管理情報がある。各情報の入力値について表 3-2、表 3-3、表 3-4 にまとめる。契約情報については事前に決定する契約条件と生産プロセスの中で確定される履行内容に分けて示す（表 3-2）。設計情報は3次元モデルを前提とし、そのファイルフォーマットはBIM/CIMモデルの電子納品で求められる内容と同一のものとした（表 3-3）。またサプライヤーが生産する施工管理情報は図 1-2 に示したサプライチェーンの一例を用いて示す（表 3-4）。

表 3-2 契約情報

| | 内容 |
|------|--|
| 契約条件 | <ul style="list-style-type: none">・ 契約者（注文者と受注者）の情報・ 契約単価・ 契約数量・ 契約金額 |
| 履行内容 | <ul style="list-style-type: none">・ 品質出来形検査の合否・ 出来高率・ 支払金額（出来高部分払等での既払い金額） |

表 3-3 設計情報⁴⁷

| 対象モデル | ファイルフォーマット |
|---------|-------------------------|
| 土工形状モデル | J-LandXML ^{※4} |
| 構造物モデル | IFC ^{※5} |

表 3-4 サプライヤーが生産する施工管理情報

| 企業と担当業務内容 | | 施工管理情報 |
|-----------|-------|--|
| 1次専門工事会社 | 土工事 | 品質情報 掘削：刃先位置 敷均：巻出厚 転圧：重機移動経路 |
| 1次専門工事会社 | 測量 | 出来形情報 盛土の点群測量結果 |
| 2次専門工事会社 | 擁壁設置 | 出来形情報 擁壁設置位置 |
| 製品メーカー | 擁壁の供給 | 品質・出来形情報 製品の情報 |
| 材料供給会社 | 盛土材料 | 品質情報 盛土材の品質情報 |

用語説明（参考文献 48及び参考文献 49より）

^{※4} J-LandXML とは、オリジナルの LandXML に対して国土交通省の事業で必要な情報を交換するために、一部拡張を行ったファイルフォーマットを指す。この拡張仕様を含む「LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準（案）」を略称として J-LandXML と称することになった。

^{※5} IFC は、ISO-STEP の EXPRESS および EXPRESS-G の規定に従って、建築構造物のプロダクトモデルの仕様を定めたものである。Building Smart International を中心にしている。

3.3.2 高可用性に対する設計

施工管理情報の情報量の一例として点群測量結果と重機位置情報についてバイト数を示す(表 3-5)。点群測量結果のバイト数については、第 4 章で示す実証試験の点群測量結果の実績を参考にした。当該施工箇所の点群測量対象面積は 1,051m²、点数は 225,174 点、ファイルサイズは 5,899,398byte であった。また重機位置情報として 100msec あたりに 1 回、座標値を取得したと仮定すると、1 ヶ月(20 日稼働, 8 時間/日の稼働を想定)あたり重機 1 台の位置情報を示す点群の点数は 5,760,000 点となる。これらを前提として表 3-12 の情報量は試算した。

表 3-5 点群測量結果と重機位置情報の情報量

| 種類 | 情報量 |
|----------------------------------|----------------------------|
| 対象面積 1000m ² あたりの点群測量 | 5,613,128 byte (約 5.6 MB) |
| 1 台, 1 ヶ月あたりの重機位置情報 | 150,907,998byte (約 150 MB) |

ブロックチェーンは第 2 章で記載の通り、高可用性を実現するために、すべてのノードが同じ情報を保持している。実際の現場には、重機は複数台利用していることが多く、土木工事は複数年にまたがることも少なくない。このため表 3-5 に記載した情報など施工管理情報をすべてのノードが保持することを考えるとシステム運用時のストレージコストが大きくなってしまう。

そこで、一方向ハッシュ関数を利用し、保存ファイルからハッシュ値を生成し、この値をブロックチェーンに保存する。ハッシュ値は保存データ 1 ファイルあたりに 64byte の情報量として保存される。仮に 1 ヶ月(20 日稼働)毎日、重機情報を保存し、点群測量を 1 回実施した場合を想定すると、保存するファイル数は 21 ファイルになる。よって、ハッシュ値を用いた場合の情報量は 1,344byte となり、表 3-5 の合計値に対して約 10 万分の 1 程度の情報量に圧縮できることが分かる。

一方向ハッシュ関数は、衝突耐性と一方向性という性質を持つ⁵⁰。ハッシュ値の一方向性の性質とは図 3-6 に示す通りファイルからハッシュ値は生成可能だが、逆にハッシュ値からファイルの作成は出来ないことを意味する。このため保存された施工管理情報を用いて検査を実施する際に、ブロックチェーン上に保存されているハッシュ値から元データを復元して検査を行うことができない。この理由から基盤システムはデータストレージを別に有しており、ファイルの実体はこのデータストレージに保存される。

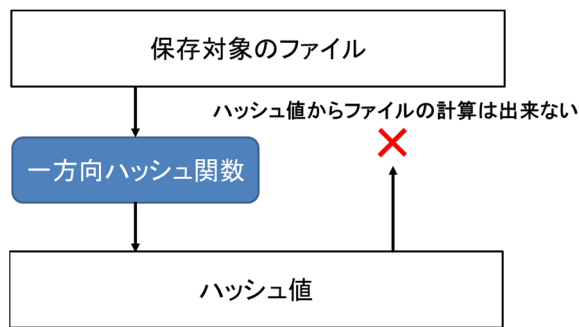


図 3-6 一方方向性の説明
(参考文献 50 を参考に筆者が作成)

衝突耐性とはファイルの内容が 1 ビットでも変化したら、ハッシュ値は非常に高い確率で異なる値になる性質である。つまり少しでもファイルの内容を書き替えると違うハッシュ値が生成されることを意味する。このため保存するファイルのそれぞれに対して別のハッシュ値を生成することができ、この結果、ハッシュ値を用いて実ファイルの代わりとしてデータをブロックチェーン上に保存することが可能となる。実際にハッシュ関数を利用して、生成したハッシュ値を表 3-6 に示す。この例では、(x,y,z,r,g,b) の 6 カラムからなる点データのハッシュ値を生成した。例 1、例 2 では灰色のハッチを変更している。この結果から分かる通り、ハッシュ値は元データの一部が異なればハッシュ値は全く異なる値を示す。

表 3-6 ハッシュ値の生成例

| 元データ | ハッシュ値 |
|---|--|
| 例 1 : 12901.969,-108946.335,462.564,177,184,183, 12902.569,-108946.335,462.553,149,154,153, 12903.469,-108946.335,462.542,164,171,170, | 0xe75732ae48b0a20434ffe9b2a9c661163da4d2fba d422b1971ec6c50baa360ea |
| 例 2 : 22901.969,-108946.335,462.564,177,184,183, 12902.569,-108946.335,462.553,149,154,153, 12903.469,-108946.335,462.542,164,171,170, | 0x7a036fc1b488cccb93c196dff4d5725bdbe35163 1d3da51134e8bc781a96e45 |

3.4 各構成システムの機能定義

3.4.1 基盤システムの機能定義

基盤システムに求められる機能は、契約情報の管理、情報の非改竄性、情報のトレーサビリティが挙げられる。これらを実装するために、ブロックチェーン及びスマートコントラクトを用いる。基盤システムでは、スマートコントラクトにより契約情報の管理、ブロックチェーンにより情報の耐改竄性、トレーサビリティの機能を実装する。

(1) 契約情報の管理

スマートコントラクトを用いて、契約に基づいた検査や支払を実施する場合、契約締結で決定された条件と、その条件に基づく契約履行の管理が重要となる。これを実現するためには、スマートコントラクトを実装するプログラムとブロックチェーンを用いて、「非改竄とする情報」と「各段階においてトレースする情報」をスマートコントラクトの機能として適切に定める必要がある。

(2) 情報の耐改竄性

本システムでは施工管理情報をサプライヤーも含めた受注者が入力し、この情報を直接、検査及び支払に活用する。このため、入力された施工管理情報の耐改竄性が、その信憑性を確保するために必要となる。このためブロックチェーンが有する機能を用いて保存されたデータの耐改竄性を担保する。

(3) 情報のトレーサビリティ

図 3-7 に示すフローの各システムにおいて、前段階で決定された情報をトレースする必要がある（表 3-7）。表 3-7 に示す通り、出来形検査システム及び出来高査定システムでは、それぞれ施工管理情報の他に、契約情報をトレースする必要がある。検査を行う主体は注文者のため、必要となるトレースする契約情報は、契約時に決定された契約当事者（注文者、受注者）に関する情報である。このトレーサビリティについてブロックチェーンを用いて担保する。

また、ここで3章1節1項において示した、出来形検査システム、出来高査定システム、支払システムを構成する基盤システム、出来形確認システム、出来高確認システム、支払確認システムの他に、新たに契約情報保存システムと入力情報保存システムを定義する。契約情報保存システムとは基盤システムのうち、スマートコントラクトへ必要な契約情報を保存するシステムであり、入力情報保存システムとは基盤システムのうちブロックチェーンへ必要な施工管理情報や設計情報を保存するためのシステムである。なお、これらの各システムの詳細については3章4節2項以降で述べる。

表 3-7 各システムにおいてトレースする情報

| システム名 | 入力及び決定する情報 | トレースする情報 |
|------------|----------------|--------------------------|
| 契約情報保存システム | 契約情報 | — |
| 入力情報保存システム | 施工管理情報 設計情報 | — |
| 出来形確認システム | 検査結果 | 契約情報（契約当事者の情報） 施工管理情報 |
| 出来高確認システム | 出来高率 | 契約情報（契約当事者の情報） 施工管理情報 |
| 支払確認システム | 支払金額 | 契約情報（契約金額），出来高率 |

3.4.2 スマートコントラクトの機能定義

スマートコントラクトを用いて契約情報の管理を行う。前項で示した通り，契約締結で決定された条件と，その条件に基づく契約履行の管理が必要な機能となり，これを実現するためには，「非改竄とする情報」と「各段階においてトレースする情報」をスマートコントラクトの機能として適切に定める必要がある。

非改竄とする情報の項目として契約条件と履行内容が挙げられる（表 3-8）。契約条件については，契約者間で合意をされた内容は両者の合意がない限りは変更不可かつネットワーク上の第三者が改竄できない情報として取り扱われる必要がある。また履行内容については，品質出来形検査の合否，出来高率及び既払金額を改竄できない情報として取り扱う。これらの情報は既済部分検査のプロセスを経て出来高率の更新など履行内容の状態が遷移することが求められる。さらに状態の遷移を実行できる者は，注文者（発注者）に限定される必要がある。なお施工管理情報は，履行の根拠情報となるため，施工管理情報の保存のプロセスも履行内容に含める。

表 3-8 契約条件と履行内容について

| | 内 容 |
|------|---|
| 契約条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 契約者（注文者と受注者）の情報 ・ 契約金額（契約単価及び契約数量） |
| 履行内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 施工管理情報の保存 ・ 品質 出来形検査の合否 ・ 出来高査定により確定された出来高率 ・ 支払金額の決定 ・ 既払金額の管理 |

図 3-7 にシステムの全体フローを示す。スマートコントラクトに関連する内容のうち契約条件、履行内容をオレンジで示す。また、図 3-7 に紫で示したプロセスは、履行状況をネットワーク上で確認するために必要なプロセスである。このプロセスは、スマートコントラクトを介してブロックチェーン上からデータをトレースする機能を保有しており、保存データの改竄確認、保存者のトレース、支払金額の確認のプロセスが挙げられる。オレンジ及び紫で示した各項目に対して入力される情報及びトレースする情報を整理する（表 3-9, 表 3-10, 表 3-11）。トレース情報の欄に示した（ ）内の数字は、当該情報が決定された機能の概要の番号を示す。なお、本システムでは出来高部分払方式に対応可能なシステムとして設計するため、支払いは出来高部分払と完成払の 2 種類に分けて考える。

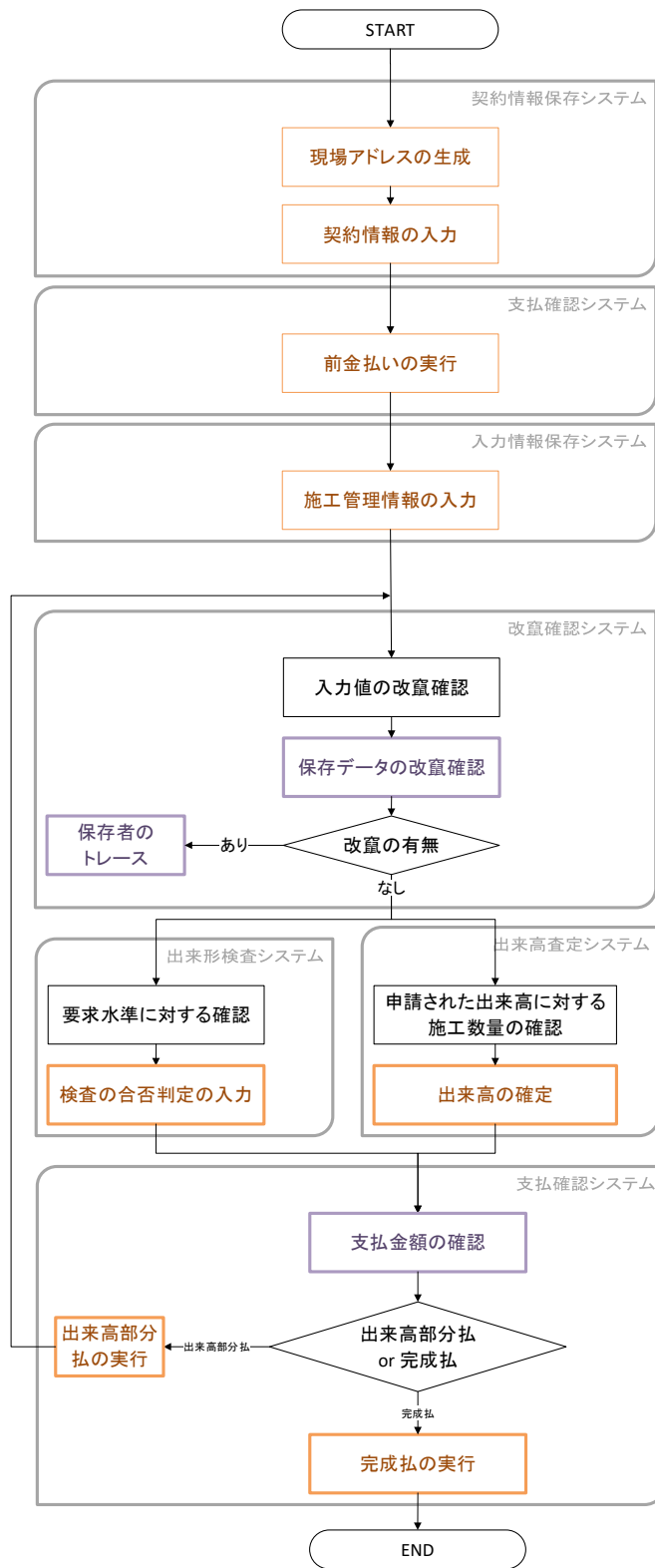


図 3-7 システムの全体フローとスマートコントラクトに関連する内容

表 3-9 入力及び決定する情報（契約情報保存～入力情報保存システム）

| 名称 | 機能の概要 | 入力・決定する情報 | トレースする情報 |
|------------|--------------------------------|---|------------------------|
| 契約情報保存システム | 1. 現場アドレスの生成 ※ 現場 ID の生成 | 請負金額 前金払いの率 契約工期 発注者のアカウント | — |
| | 2. 契約情報の入力 ※ 契約 ID の生成 | 現場 ID 契約 ID 契約単価 契約数量 注文者のアカウント 受注者のアカウント | 現場 ID (1) |
| | 3. 率計上分の契約情報の入力 ※ 契約 ID の生成 | 現場 ID 契約 ID 率 関連する契約 ID | 現場 ID (1) |
| 入力情報保存システム | 4. 施工管理情報, 設計情報の入力 | 施工管理情報のハッシュ値 設計情報のハッシュ値 現場 ID 契約 ID 保存者のアカウント | 現場 ID (1) 契約 ID (2) |

表 3-10 各段階の入力及び決定する情報（改竄確認～出来高確認システム）

| 名称 | 機能の概要 | 入力及び決定する情報 | トレースする情報 |
|-----------|---------------|---|--|
| 改竄確認システム | 5. 保存データの改竄確認 | Transaction Hash 検査に利用する情報 現場 ID 契約 ID | 保存済み施工管理情報のハッシュ値 (4) 現場 ID (1) 契約 ID (2) |
| | 6. 保存者のトレース | Transaction Hash | 保存者 (4) |
| 出来形確認システム | 7. 検査の合否判定の入力 | 品質・出来形の検査結果 現場 ID 契約 ID 注文者のアカウント | 現場 ID (1) 契約 ID (2) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |
| 出来高確認システム | 8. 出来高の確定 | 確定された出来高率 現場 ID 契約 ID 注文者のアカウント | 現場 ID (1) 契約 ID (2) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |

表 3-11 各段階の入力及び決定する情報（支払確認システム）

| 名称 | 機能の概要 | 入力及び決定する情報 | トレースする情報 |
|----------|---------------|--|---|
| 支払確認システム | 9. 前金払いの実行 | 支払金額 現場 ID 注文者のアカウント | 請負金額 (1) 前金払いの率 (1) 現場 ID (1) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |
| | 10. 支払金額の確認 | 現場 ID 契約 ID 注文者のアカウント 申請された出来高率 | 契約金額 (2) 率計上分の項目 (3) 品質・出来形の検査結果 (7) 確定された出来高率 (8) 前回までの既払金額 (11) 現場 ID (1) 契約 ID (2, 3) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |
| | 11. 出来高部分払の実行 | 支払金額 現場 ID 契約 ID 注文者のアカウント | 契約金額 (2) 率計上分の項目 (3) 品質・出来形の検査結果 (7) 確定された出来高率 (8) 前回までの既払金額 (11) 現場 ID (1) 契約 ID (2, 3) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |
| | 12. 完成払の実行 | 支払金額 契約の履行状況確認結果 現場 ID 契約 ID 注文者のアカウント | 契約金額 (2) 率計上分の項目 (3) 品質・出来形の検査結果 (7) 確定された出来高率 (8) 部分払いでの既払金額 (11) 現場 ID (1) 契約 ID (2, 3) 注文者のアカウント (2) 受注者のアカウント (2) |

1～3の各段階では契約条件を決定する。「1. 現場アドレスの生成」は請負金額、前払金、契約工期を入力したうえで発注者が現場 ID と対応した現場アドレスを生成する。契約 ID は、この現場 ID に関連付く形で生成され、各契約 ID には対応する契約情報が入力される。

4～12の各段階では「1. 現場アドレスの生成」時に生成された現場 ID 及び、「2. 契約情報の入力」時に決定された契約 ID、注文者及び受注者の情報をトレースする。現場 ID は工事請負契約に対して割り当てられる ID 番号であり、現場を識別するために用いる。契約 ID は各契約の識別子として扱う。また検査や支払いは契約を結んだ当事者間で行われるため注文者及び受注者の情報が4～12の段階ではトレースされる。7、8はそれぞれ施工管理情報を用いて検査を実施する出来形検査システムと出来高査定システムよりその結果が入力される。また「9. 前金払いの実行」の段階では、「1. 現場アドレスの生成」時に設定した請負金額と前金払いの率から支払金額を決定する。「11. 出来高部分払の実行」の段階では7、8によって確定された出来高率に応じて11で申請された出来高率を確認したうえで支払いを実施する。「12. 完成払の実行」では完成検査と同等の手続きとして契約工期、提出物、技術提案の履行状況等の確認結果を入力する。またこれらの確認の結果、ペナルティがある場合にはその金額を差し引いた額を支払金額として受注者へ支払う。

次に表 3-9 の 2 及び 3 で生成される契約 ID の範囲について述べる。出来高部分払申請時に受注者から発注者に対して提出される工事既済部分調書は、各契約項目に対して出来高率を算出し契約金額を求める（図 3-8）。図 3-8 は第 1 回目の部分払申請時を仮定した。紫のハッチ部は契約時に決まっている内容であり、赤のハッチ部が部分払申請時に記載する部分になる。この図から工事既済部分調書では各契約項目に対して出来高数量及び出来高率が記載され管理されていることが見て取れる。このため、本システムにおいても契約項目に対して出来高を管理する必要があり、各契約の識別子となる契約 ID は図 3-9 に示す通り、契約項目に対して発行する設計とした。また率計上分の契約項目に対しても契約 ID を別途、発行する。

| 工種 | 種別 | 単位 | 契約額 | | | 前回までの出来形 | | 今回までの出来高 | | 出来高率 (%) | 差引今回出来高率 (%) | 第1回支払金額 (円) | 第2回支払金額 (円) | 残額 (円) |
|----------|-----|-----|--------|----------|------------|----------|-----|----------|-----|----------|--------------|-------------|-------------|------------|
| | | | 契約数量 | 合意単価 (円) | 契約金額 (円) | 数量 | 金額 | 数量 | 金額 | | | | | |
| 河道整正工 | 掘削工 | m3 | 22,577 | 200 | 4,515,400 | - | - | 14,053 | - | 62% | 62% | 2,810,600 | - | 1,704,800 |
| | 盛土工 | m3 | 2,600 | 160 | 416,000 | - | - | 900 | - | 35% | 35% | 144,000 | - | 272,000 |
| 根固めブロック工 | 製作 | 個 | 500 | 60,000 | 30,000,000 | - | - | 0 | - | 0% | 0% | 0 | - | 30,000,000 |
| | 据付 | 個 | 500 | 3,000 | 1,500,000 | - | - | 0 | - | 0% | 0% | 0 | - | 1,500,000 |
| | 運搬 | 個 | 500 | 2,700 | 1,350,000 | - | - | 0 | - | 0% | 0% | 0 | - | 1,350,000 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

図 3-8 工事既済部分調書の一部

| 工種 | 種別 | 単位 | 契約額 | | | |
|--------------|-----|----|--------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 契約数量 | 合意単価 (円) | 契約金額 (円) | |
| 河道整正 工 | 掘削工 | m3 | 22,577 | 200 | 4,515,400 | → 契約ID:1111 |
| | 盛土工 | m3 | 2,600 | 160 | 416,000 | → 契約ID:2222 |
| 根固めブ ロック工 | 製作 | 個 | 500 | 60,000 | 30,000,000 | → 契約ID:3333 |
| | 据付 | 個 | 500 | 3,000 | 1,500,000 | → 契約ID:4444 |
| | 運搬 | 個 | 500 | 2,700 | 1,350,000 | → 契約ID:5555 |
| ... | ... | .. | ... | ... | ... | |

図 3-9 契約項目と契約 ID

3.4.3 改竄確認システムの機能定義

改竄確認システムは、受注者が保存した施工管理情報の信憑性を向上しデータの信頼性を確保するため施工管理情報の改竄確認の機能を有するシステムである。このシステムは検査に直接、施工管理情報を活用するために出来形検査システム、出来高査定システムを用いて必要な検査を実施する前に利用するシステムである。

ここでの「改竄」という用語は、発注者や注文者が意図しない修正が情報を取得してから検査や査定をする間に行われたことを意味する。意図しない修正とは、図 3-10 に示す通り、入力値の改竄と保存データの改竄の 2 つが挙げられる。また、施工をやり直して再度、修正情報を保存する行為は、ここでいう改竄には当たらない。

具体的に、入力値の改竄とは受注者が施工管理情報を基盤システムが保有するデータストレージに保存する際にデータを書き換えて保存する行為を指す。例えば、盛土の施工における締固め回数管理のデータについて、実際には一部、所定の締固め回数に達していないのにも関わらず、検査に合格するため、所定の回数となるように振動ローラー等の GNSS データを改竄することが例として挙げられる。

保存データの改竄とは基盤システムのデータストレージに保存されている情報をデータストレージへアクセスし、施工管理情報を改竄する行為を指す。例えば、元請が発注者の出来形検査時に、測量会社からの測量成果の一部が要求水準を満たしていないことが分かった場合、データストレージに保存されている測量成果の一部を改竄することが例として挙げられる。

施工管理情報を直接、利用し検査を行う際は、こういった改竄のリスクがあることから、改竄確認システムではそれぞれの場合に対して改竄確認が可能な機能を有する必要がある。また改竄が疑われる場合には、当該データのデータ保存者をトレースするため、保存者のトレース機能を改竄確認システムは有する。

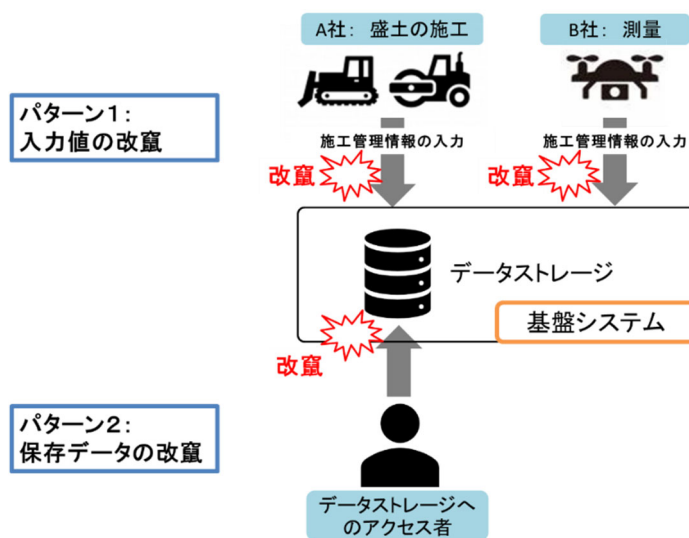


図 3-10 改竄のパターン

入力値の改竄確認、保存データの改竄確認、保存者のトレースのそれぞれの機能について、その詳細を(1)～(3)で述べる。これらの機能は工種特有の部分と工種共通の部分に分けられる。工種特有の部分は入力値の改竄確認の機能である。入力値の改竄確認は、関連する下請負者や取得可能なデータの種類の着目し確認を行う。これらは工種により違うため、工種に応じて入力値の改竄確認方法を考える必要がある。工種共通の部分は、保存データの改竄確認と改竄が疑われる企業のトレース機能である。これらの機能は汎用的な機能であり、改竄確認システムの中で工種に依存しない。

(1) 入力値の改竄

受注者が現場から取得した施工管理情報を発注者の要求水準を満たすように改竄し、ブロックチェーン上に保存するリスクが考えられる。基盤システムが有するブロックチェーンは保存されたデータに対する非改竄性は担保するが、入力されるデータ自体が改竄されている場合には、その改竄を防ぐことができない。このため別の方法で入力値の改竄確認を行う必要がある。

この改竄確認は各企業が生成した情報のクロスチェックを行うこと、取得可能なデータの種類の着目しいくつかのデータを組み合わせて確認することで担保する。A社が施工した場所をB社が測量する場合には、A社の重機情報等から当該施工箇所の座標を取得しB社の測量成果とクロスチェックを行う。この場合、A社、B社が結託しお互いのデータを整合が取れるように改竄しない限り、改竄確認を行うことができる。元請から請負っている契約範囲が両者では異なるため他企業の改竄に別企業が加担するインセンティブは低いと想定されることから、この方法で入力値の改竄確認は有効であると想定される。

また取得可能なデータの組み合わせで確認する方法について述べる。例えば、転圧回数検査時には、振動ローラーなどの転圧機から得られるGNSS情報を活用し、転圧回数の確

認を行っている。このとき重機が移動した位置情報から転圧回数を表すヒートマップを製作し確認している。GNSS データは位置情報以外にもタイムスタンプを有しているため、この場合は重機の移動軌跡を時系列に沿って描画することにより改竄確認を行う。この方法では、受注者が建機のセンサー情報から得られる GNSS のタイムスタンプを含めて変更しない限り、入力値の改竄の有無を確認することが可能である。

(2) 保存データの改竄

保存されたデータに不都合があり、データ保存後に元請や専門工事会社が保存データを改竄するリスクがある。これに対してはブロックチェーン上に保存された当該ファイルのハッシュ値と、検査時にデータストレージに保存されているファイルのハッシュ値を改めて取得し直し照合することで確認する。ハッシュ値は、3章3節2項で示した通りハッシュ関数が有する耐衝突性の性質により、ファイルの内容が1ビットでも変化したら、ハッシュ値は非常に高い確率で異なる値になる。つまり少しでもファイルの内容を書き替えると違うハッシュ値が生成される。仮に保存データに改竄があった場合には、図 3-11 に示す通りハッシュ値の整合が取れないことから改竄の確認を行うことが可能である。またブロックチェーン上に保存されているハッシュ値は、ブロックチェーンの特性上、改竄することができない。このため、基盤システムのストレージ上に保存されている情報が1ビットでも変更されていた場合に、その改竄を検出することが可能となる。

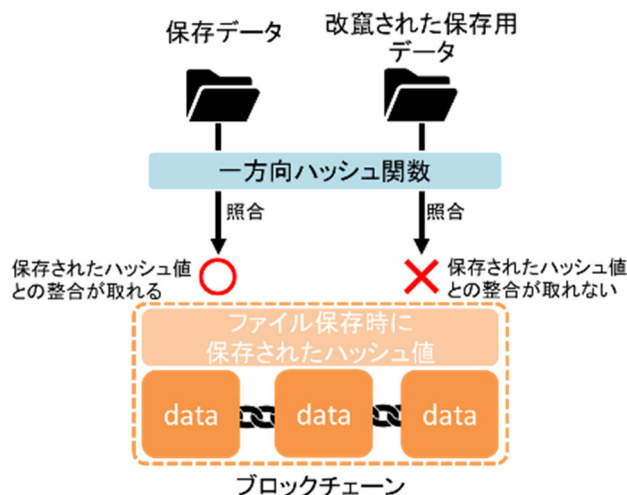


図 3-11 保存データの改竄確認

(3) 保存者のトレース

データの改竄の疑いのある企業を事後にトレース可能とする。またデータ改竄だけでなく維持管理時などに不具合が見つかった場合、データを保存した企業、つまり施工を行った企業のトレースを可能とする。

保存データに対して企業のトレーサビリティを付与するために保存時にアカウント（外部アカウント；Externally owned account）を要求する設計とする。この設計により保存データに保存者情報を関連付けてブロックチェーン上に記載することが可能となる。

3.4.4 出来形確認システムの機能定義

図 3-12 に示す通り、出来形確認システムは、基盤システムより改竄確認システムによって改竄の有無の確認をしたうえで施工管理情報を取得する。また取得した施工管理情報が発注者の要求水準である施工管理基準に示された許容範囲内で一致しているかを確認し、その検査結果を基盤システムに入力する機能を有する。

また要求水準を満足するかの確認を行うためには、施工管理情報の解析、可視化をする必要があり、出来形確認システムはこの機能を有する。例えば解析については点群測量、GNSS データなどの座標データから不規則三角形網（TIN；Triangulated Irregular Network）の生成、可視化については解析結果により求められた施工誤差をヒートマップ図として表す機能が挙げられる。これらの解析、可視化は発注者からの要求水準の内容、計測方法による取得可能なデータにより必要となる要素技術が変わるため工種や計測手法に依存するものである。また、こういった解析、可視化技術はすでに商用ソフトウェア等が存在しているため、本システムの中でも必要に応じて、商用ソフトウェアを活用する。

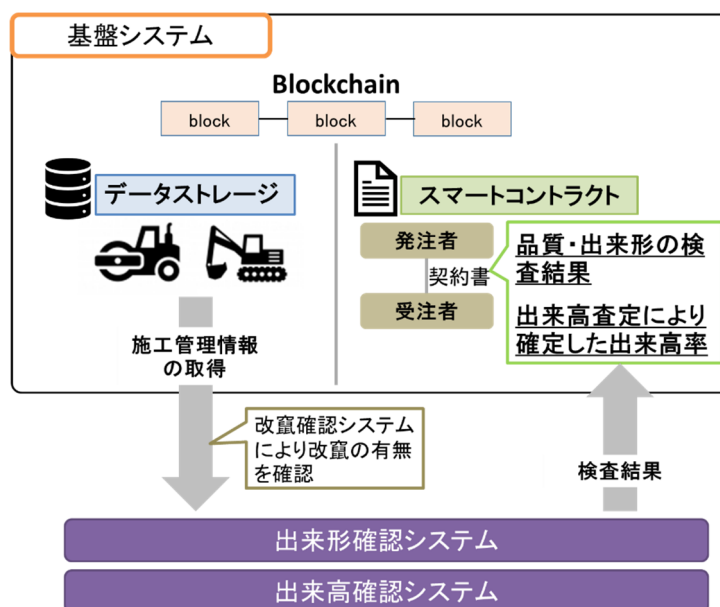


図 3-12 出来形確認システム・出来高確認システムと基盤システムとの関係

3.4.5 出来高確認システムの機能定義

図 3-12 に示す通り、出来高確認システムは出来形確認システムと同様に施工管理情報を取得し、これをもとに出来高数量を算定する機能を有する。算定した出来高数量を契約数量で除すことにより出来高率を計算し、この値をスマートコントラクトに確定した出来高率として入力する。なお出来高数量の算定には解析、可視化の機能が必要となり、これらの機能は出来高の検測単位や計測方法に依存する。

また出来高確認システムは、受注者が出来高部分払申請時に申請する出来高率を保存する機能と、これを発注者が確認する機能を有する。これらの機能は契約情報保存システムによって作成される補助システムを利用し契約情報の閲覧、参照を実行する。

3.4.6 支払確認システムの機能定義

支払いは、前金払いと出来高部分払い及び竣工払いの3種類で別の取扱いとする。これは、1章2節4項に示す通り、それぞれで確認する内容が変わるからである。

前金払い時には、契約条件として設定された請負金額と前金払いの率から前金払いの金額を決定し支払う。

出来高部分払時には、受注者から申請のあった出来高率と出来高査定システムで確認した出来高率が一致するか確認する。また出来高部分払、完成払のそれぞれに対して表 3-11 に記載した情報についてスマートコントラクトを実装するプログラムを介して適切にトレースし、支払金額を決定する機能を有する。n 回目の部分払に対する支払金額は、まず対象となる各契約 ID に対して式 (1) により支払金額を決定する。また α は式 (2) を用いて n 回目の出来高率に対して前回までの部分払金額に相当する出来高率の差分を計算する。この差分が n 回目の支払いに対する出来高率となる。次に、率計上分を加算し支払金額を決定する。支払対象となる契約 ID に関係のある率をトレースし、これを率計上分 (rate 単位：%) の支払金額として式 (3) に示す通り加算し、支払金額を決定する。

$$n\text{回目の}a_k\text{の支払金額} = \text{契約金額} \times \alpha \quad (1)$$

$$\alpha = n\text{回目の出来高率} - \frac{\sum_1^{n-1} n\text{回目の部分払金額}}{\text{契約金額}} \quad (2)$$

$$n\text{回目の出来高部分払金額} = \sum_{k=1}^j (a_k \text{の支払金額}) \times (1 + \text{rate}) \quad (3)$$

ただし、 $a_k = \{\text{contractId}_k\}$

契約ID : contractId

契約IDの合計数 : j とする

竣工払い時には当該の現場 ID に関連する契約 ID 及びその内容をすべてトレースし、部分払で支払対象となっていない出来高率から支払金額を決定する。また支払いの実行時に支払確認システムは、出来形確認、出来高査定システムからの入力値及び契約の履行状況確認の結果を適切に確認したうえで金額を決定する。

また実際の決済は官庁と民間、民間同士での支払いにより本研究で開発したシステムと連携するシステムが異なる。官庁からの支払いは現在、官庁会計システム⁵¹（ADAMS II ; governmental Accounting affairs Data communication Management System）を介している。官庁と民間での決済を行うためにはこのシステムとの連携及び連携を行うための制度を別途、考える必要がある。一方、元請とサプライヤーの民間同士での支払いは、民間金融機関を通して行われる。ここでの決済は、2017年5月に成立した改正銀行法で銀行に努力義務が課されたオープン API（Application Programming Interface）⁵²を用いたシステムの連携、法定通貨との変換比率を固定したデジタル通貨との連携が⁵³案として挙げられる。

3.5 システムフローと開発したプロトタイプ of 概説

3.5.1 システムフロー

システムの全体フローを図 3-13 に示す。フローは生産プロセスの指示、情報、検査、支払の各段階で実行する内容を示した。指示は、契約情報を保存するプロセスである。また情報では、施工から得られる施工管理情報を入力する。検査では、入力値の改竄確認、保存データの改竄確認を行ったうえで、当該データを用いた品質・出来形の確認、出来高数量の確認を行い、この結果を入力する。支払では出来高の申請内容に基づき支払額を確認したうえで、申請に応じた支払（前金払い、出来高部分払、完成払）を実行する。

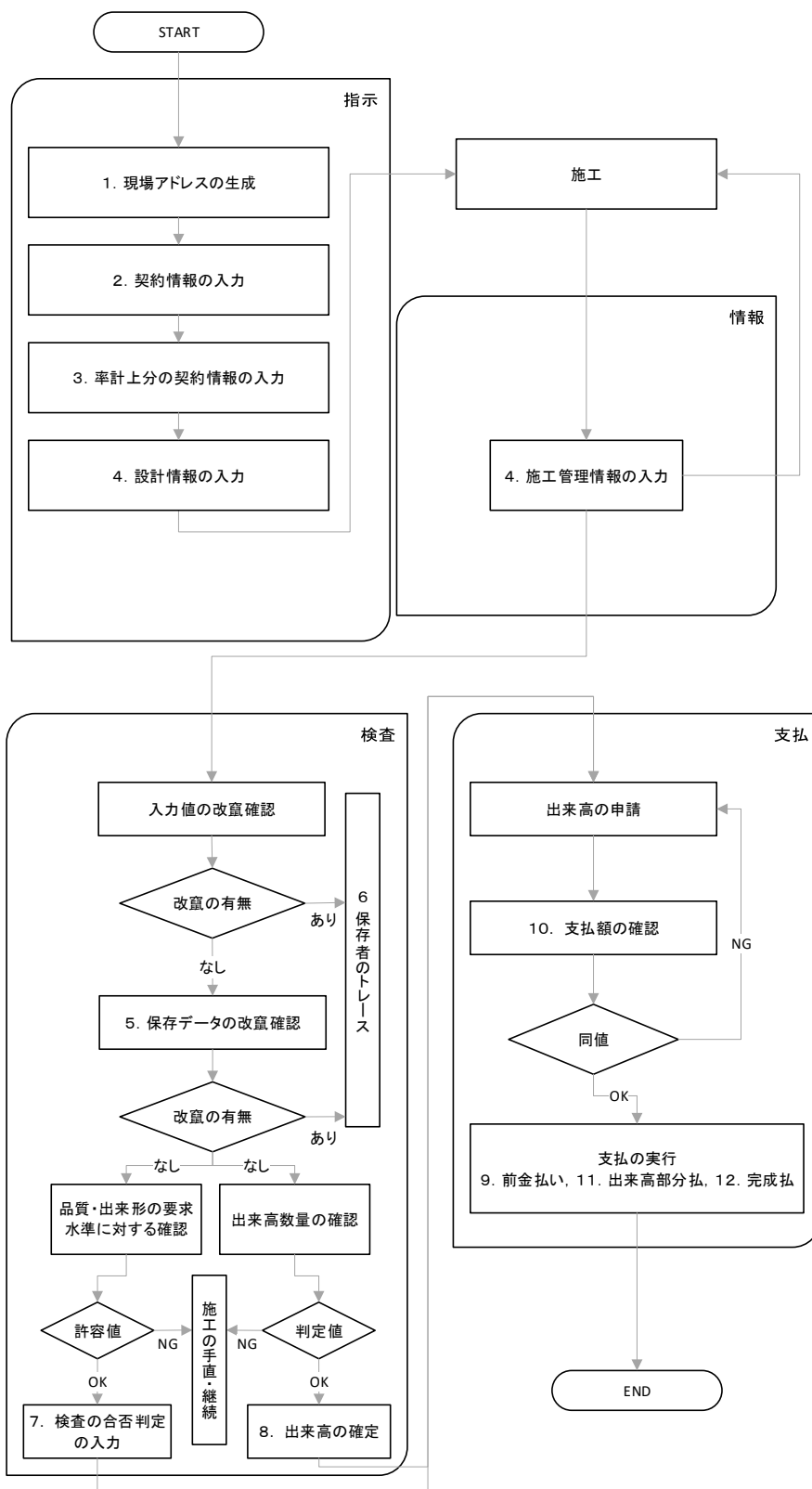


図 3-13 システム全体のフロー

3.5.2 開発したプロトタイプのご概説

開発したプロトタイプのご概説として、その全体図を図 3-14 に示す。プロトタイプは API から実行されるプログラム、P to P ネットワーク（ブロックチェーン）、スマートコントラクト、Storage、Desktop Application、補助機能から構成される。

利用時にはユーザー端末よりリクエストを API へ送信する。この送信内容によって機能（プログラム）が呼び出され、実行される。また実行されたプログラムによって、スマートコントラクト（プログラムコード）が配置されたブロックチェーンに、必要な情報が保存、トレースされる仕組みとなっている。

なお、図中のうち青で示した内容は本研究開発で新たに開発した内容であり、黄土色で示した内容はオープンソース、商用サービスなど既存のプログラムやシステムを活用した。開発内容の詳細は 3 章 6 節で述べる。

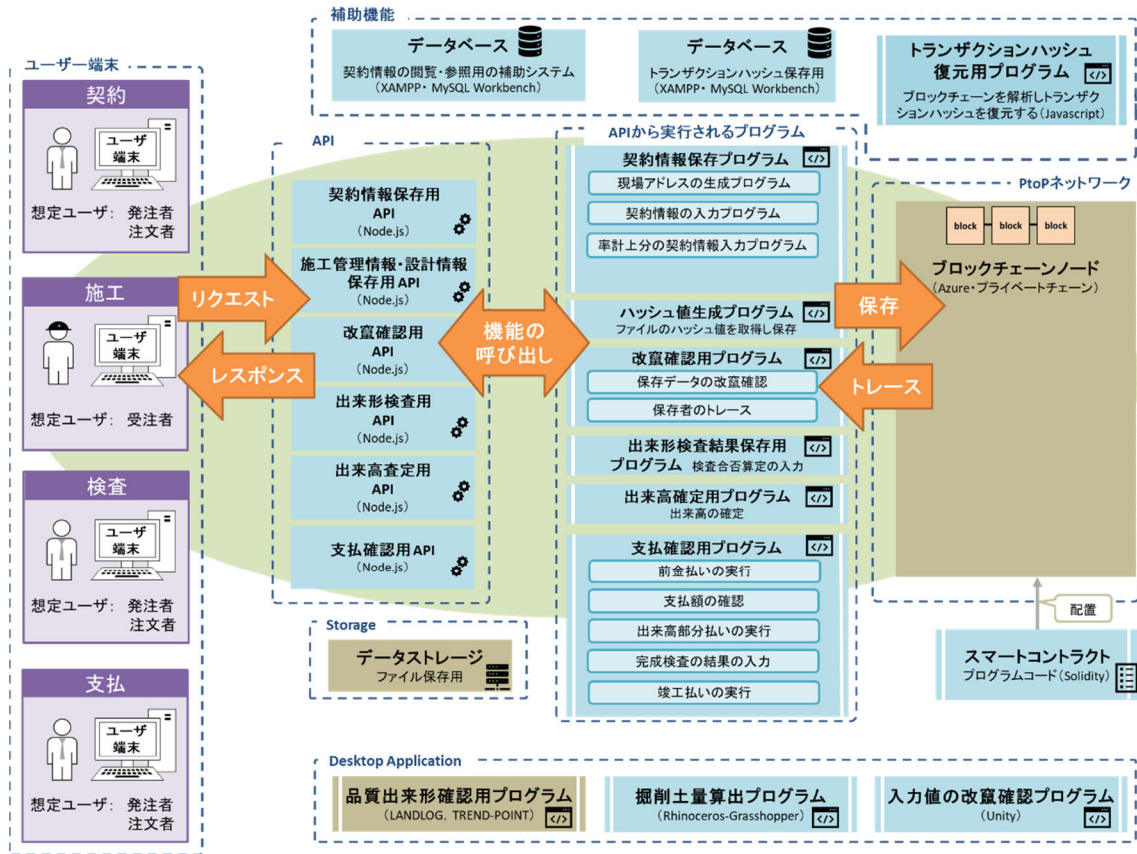


図 3-14 開発したプロトタイプの全体図

次に、各生産プロセスにおいて利用するプログラムや各プログラムに対して入力される情報やフローについて、表 3-12～表 3-33 及び図 3-15～図 3-25 に示す。表には、各段階において送信情報やトレースする情報を記載し、図には図 3-14 を用いて利用するプログラムや情報のフローを示した。

表 3-12 指示（契約）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|---------------------|-----------------|
| リクエスト① 現場アドレスの生成 | 請負金額 |
| | 前金払いの率 |
| | 契約工期 |
| | 発注者のアカウント |
| リクエスト② 契約情報の入力 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 契約単価 |
| | 契約数量 |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

表 3-13 指示（契約）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|-------------------|-------------------------|
| リクエスト② 契約情報の入力 | 現場 ID |

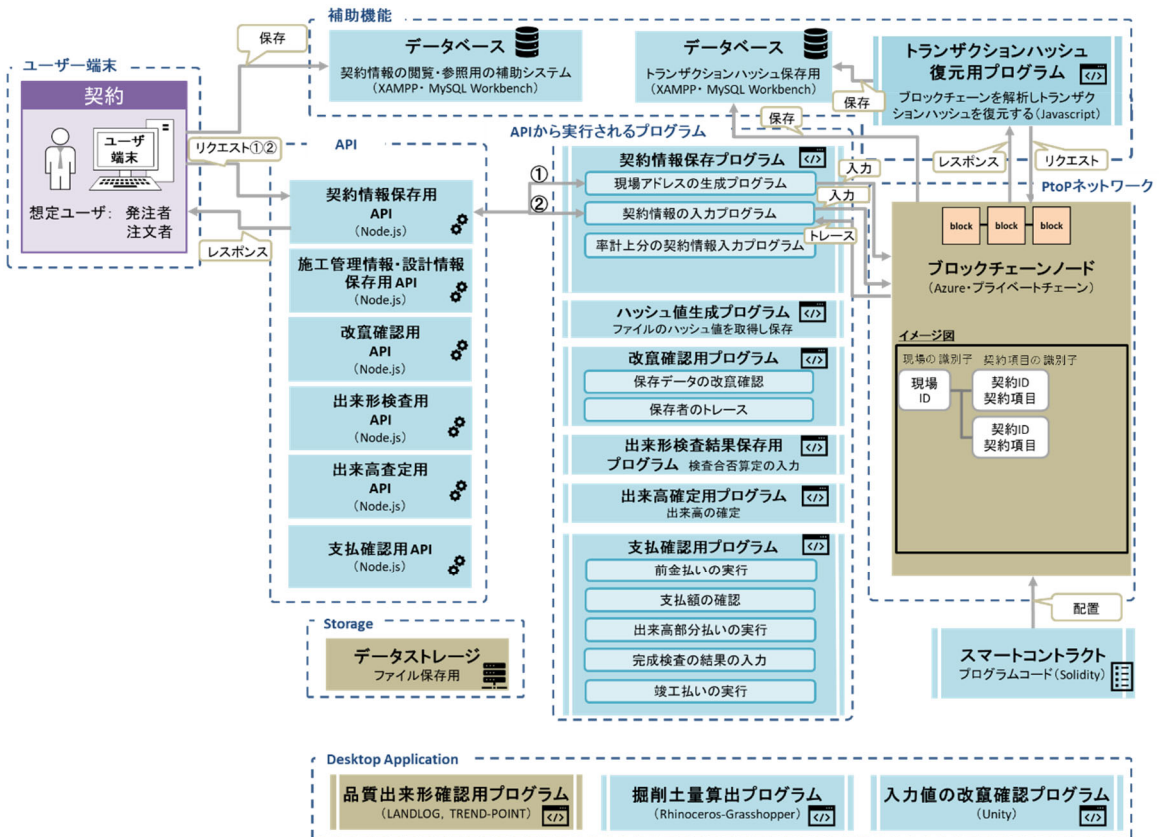


図 3-15 指示（契約）のフロー

表 3-14 指示（率計上）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|------------------------|-----------------|
| リクエスト③ 率計上分の契約情報の入力 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 率 |
| | 関連する契約 ID |

表 3-15 指示（率計上）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|------------------------|-------------------------|
| リクエスト③ 率計上分の契約情報の入力 | 現場 ID |

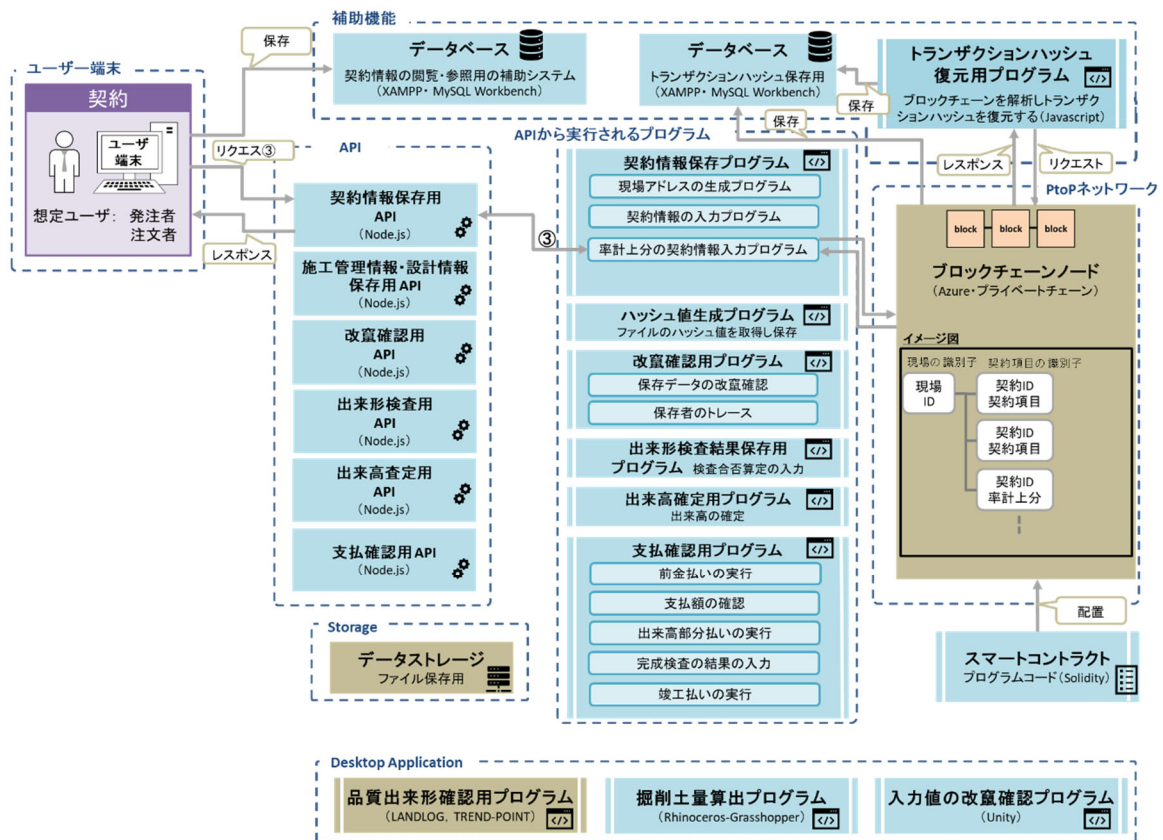


図 3-16 指示（率計上分の契約）のフロー

表 3-16 情報（施工管理情報の収集）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|--------------------------|-----------------|
| リクエスト④ 施工管理情報、設計情報の入力 | ファイルパス |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 発注者のアカウント |

表 3-17 情報（施工管理情報の収集）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|--------------------------|-------------------------|
| リクエスト④ 施工管理情報、設計情報の入力 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 施工管理情報のハッシュ値 |

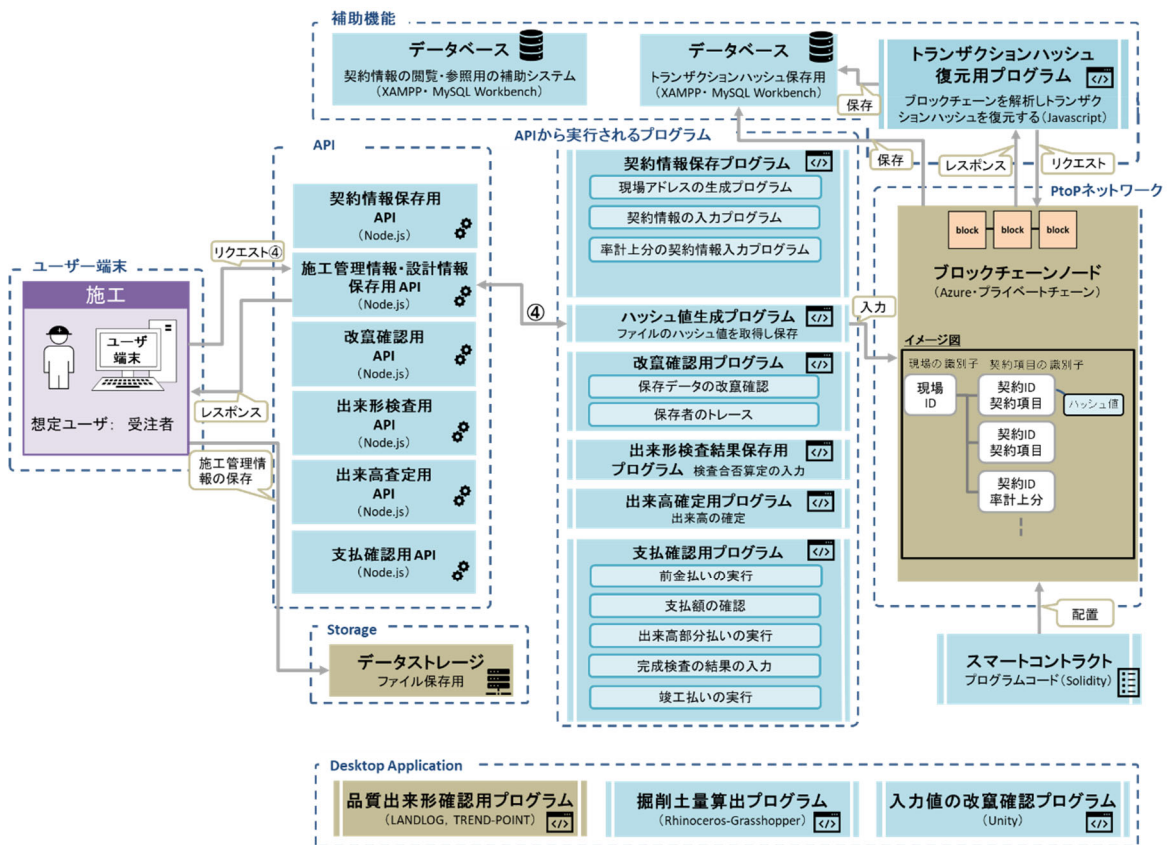


図 3-17 情報（施工管理情報の収集）のフロー

表 3-18 検査（改竄確認）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|----------------------|-----------------|
| リクエスト⑤ 保存データの改竄確認 | トランザクションハッシュ |
| | ファイルのパス |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |

表 3-19 検査（改竄確認）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|----------------------|-------------------------|
| リクエスト⑤ 保存データの改竄確認 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 施工管理情報のハッシュ値 |

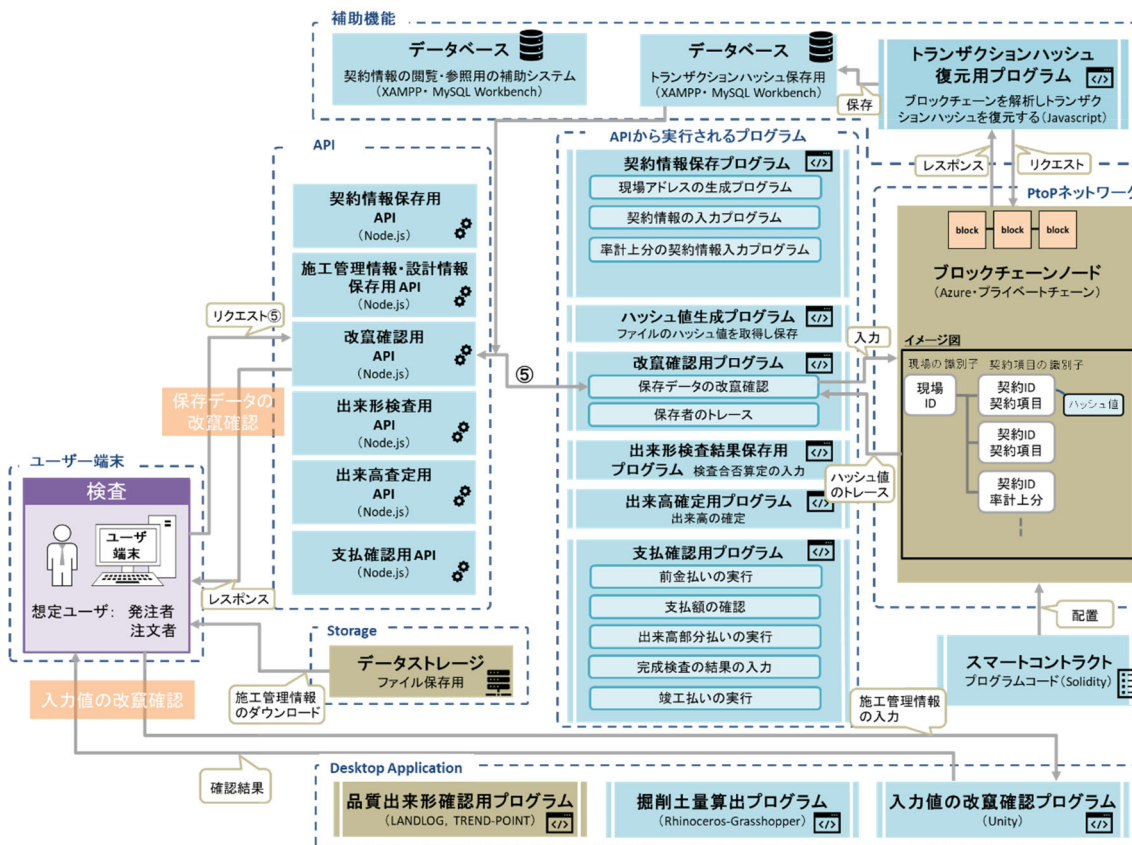


図 3-18 検査（改竄確認）のフロー

表 3-20 検査（保存者のトレース）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|--------------------|-----------------|
| リクエスト⑥ 保存者のトレース | トランザクションハッシュ |

表 3-21 検査（保存者のトレース）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|--------------------|-------------------------|
| リクエスト⑥ 保存者のトレース | 保存者 |

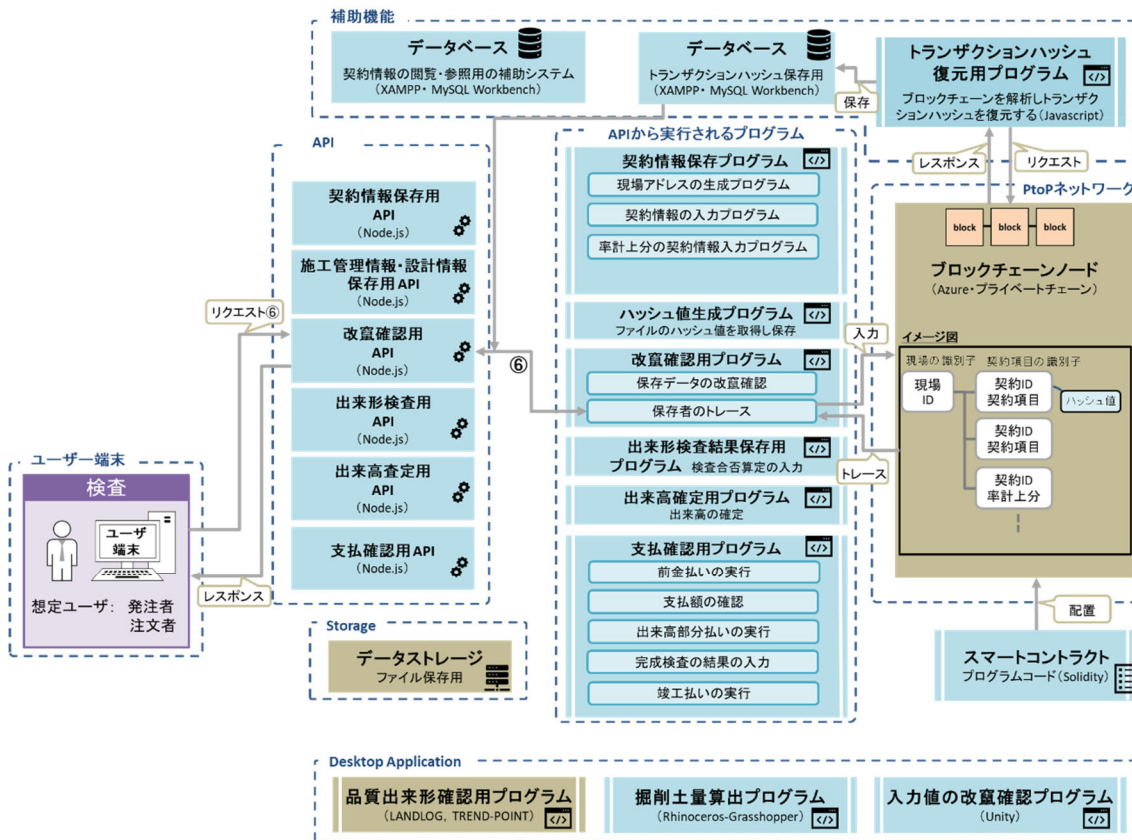


図 3-19 検査（保存者のトレース）のフロー

表 3-22 検査（出来形の検査）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|----------------------|-----------------|
| リクエスト⑦ 検査の可否判定の入力 | 品質・出来形の検査結果 |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |

表 3-23 検査（出来形の検査）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|----------------------|-------------------------|
| リクエスト⑦ 検査の可否判定の入力 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

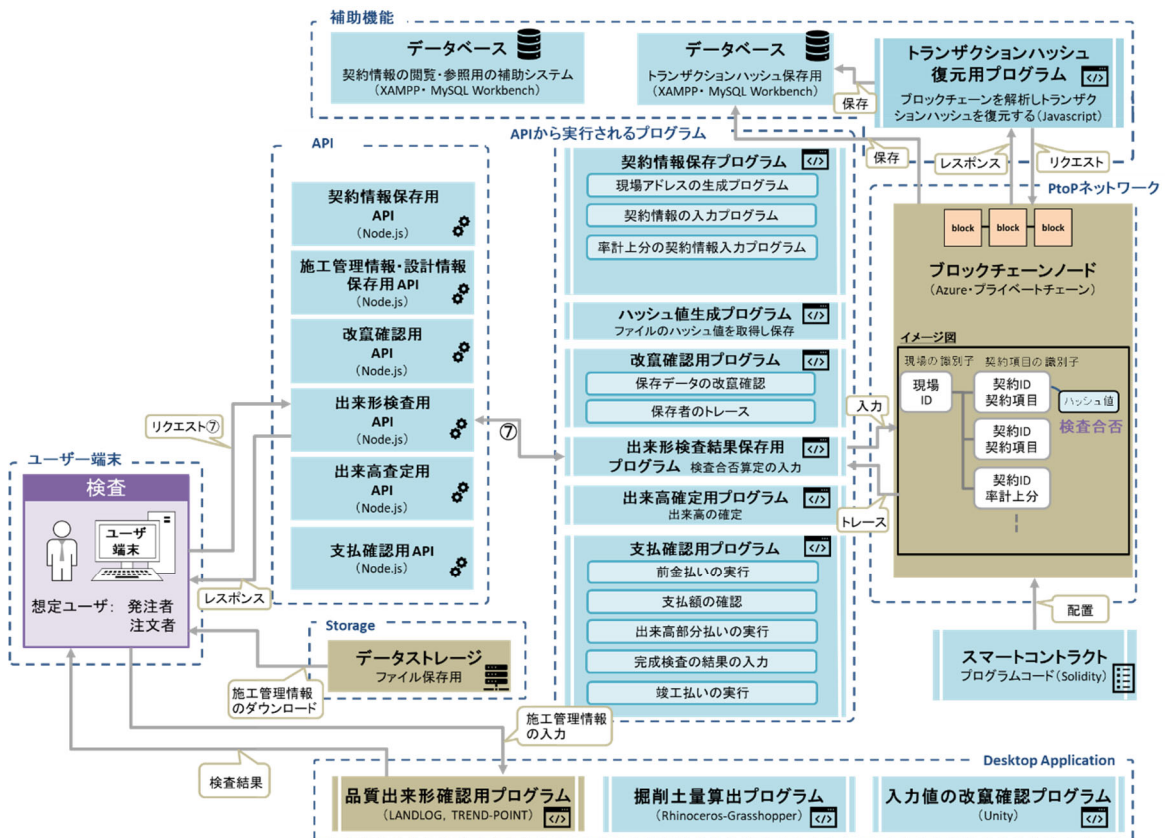


図 3-20 検査（出来形の検査）のフロー

表 3-24 検査（出来高の査定）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|------------------|-----------------|
| リクエスト⑧ 出来高の確定 | 確定された出来高率 |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |

表 3-25 検査（出来高の査定）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|------------------|-------------------------|
| リクエスト⑧ 出来高の確定 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

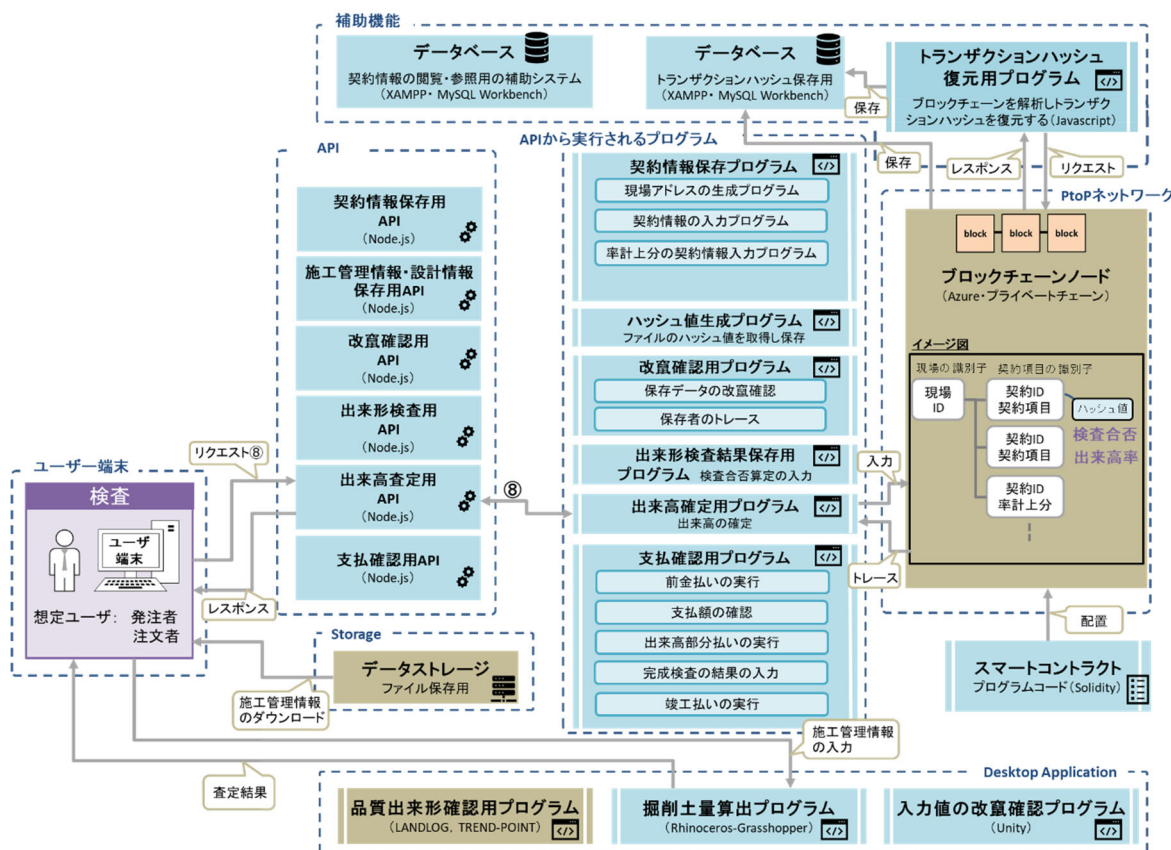


図 3-21 検査（出来高の査定）のフロー

表 3-26 支払（前金払い）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|----------------|-----------------|
| リクエスト⑨ 前金払い | 現場 ID |
| | 注文者のアカウント |

表 3-27 支払（前金払い）においてトレースする情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|----------------|-----------------|
| リクエスト⑨ 前金払い | 請負金額 |
| | 前金払いの率 |
| | 現場 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

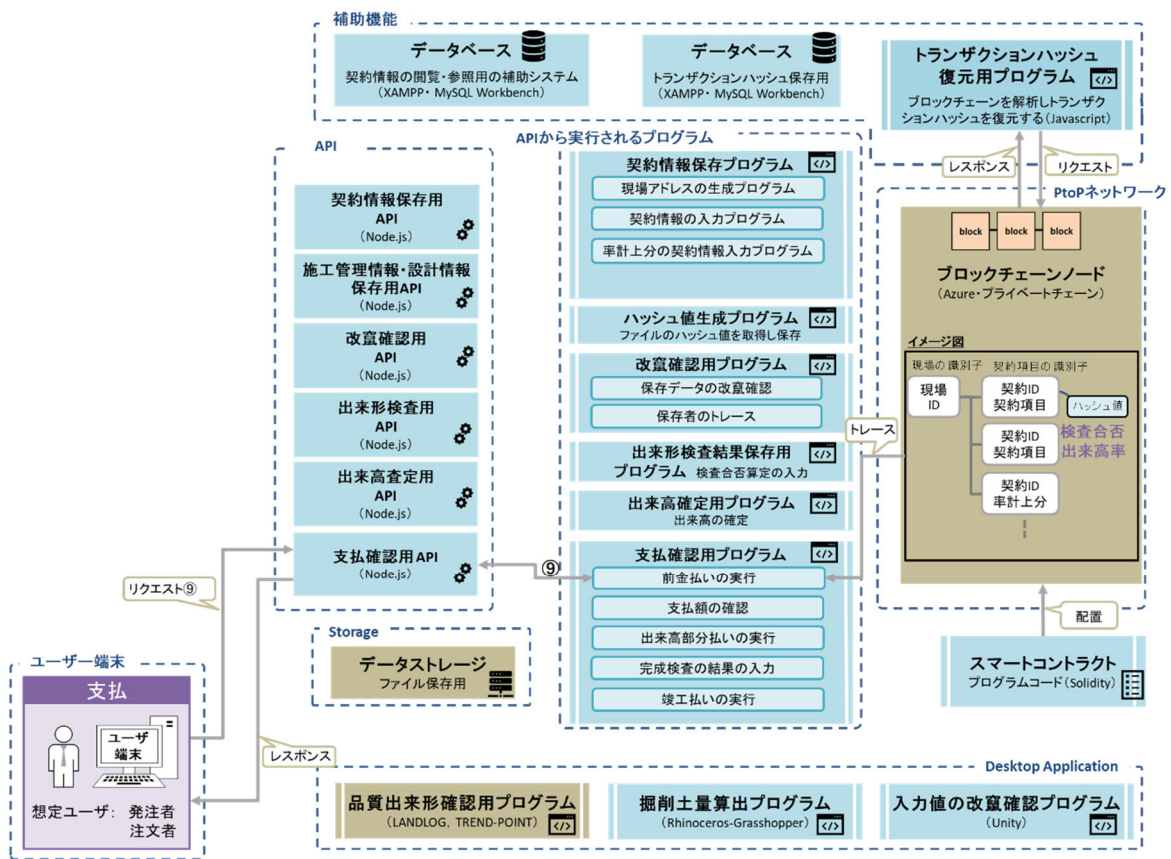


図 3-22 支払（前金払い）のフロー

表 3-28 支払（支払金額の確認）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|-------------------|-----------------|
| リクエスト⑩ 支払金額の確認 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 申請された出来高率 |

表 3-29 支払（支払金額の確認）においてトレースする情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|-------------------|-----------------|
| リクエスト⑩ 支払金額の確認 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |
| | 契約金額 |
| | 率計上分の項目 |
| | 品質・出来形の検査結果 |
| | 確定された出来高率 |
| | 前回までの既払金額 |

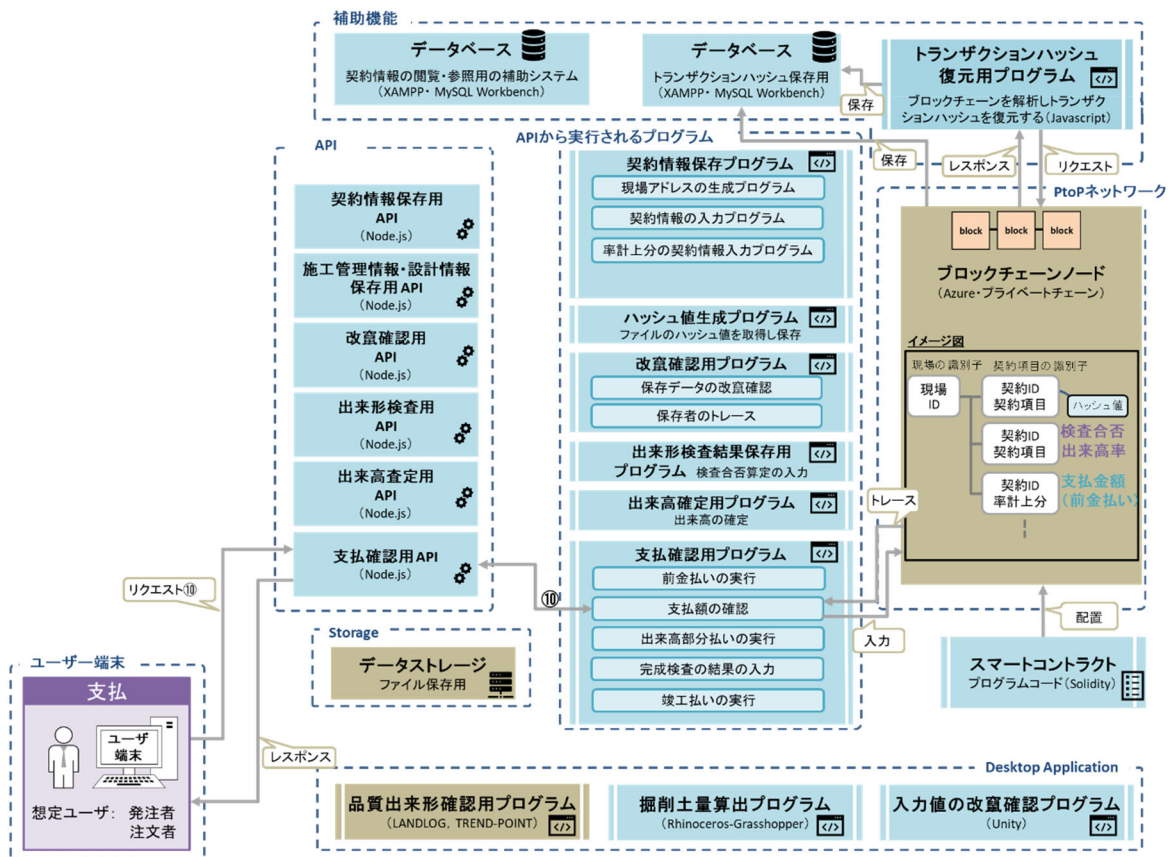


図 3-23 支払（支払金額の確認）のフロー

表 3-30 支払（出来高部分払）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|------------------|-----------------|
| リクエスト① 出来高部分払 | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |

表 3-31 支払（出来高部分払）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|------------------|-------------------------|
| リクエスト① 出来高部分払 | 契約金額 |
| | 率計上分の項目 |
| | 品質・出来形検査結果 |
| | 確定された出来高率 |
| | 前回までの既払金額 |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

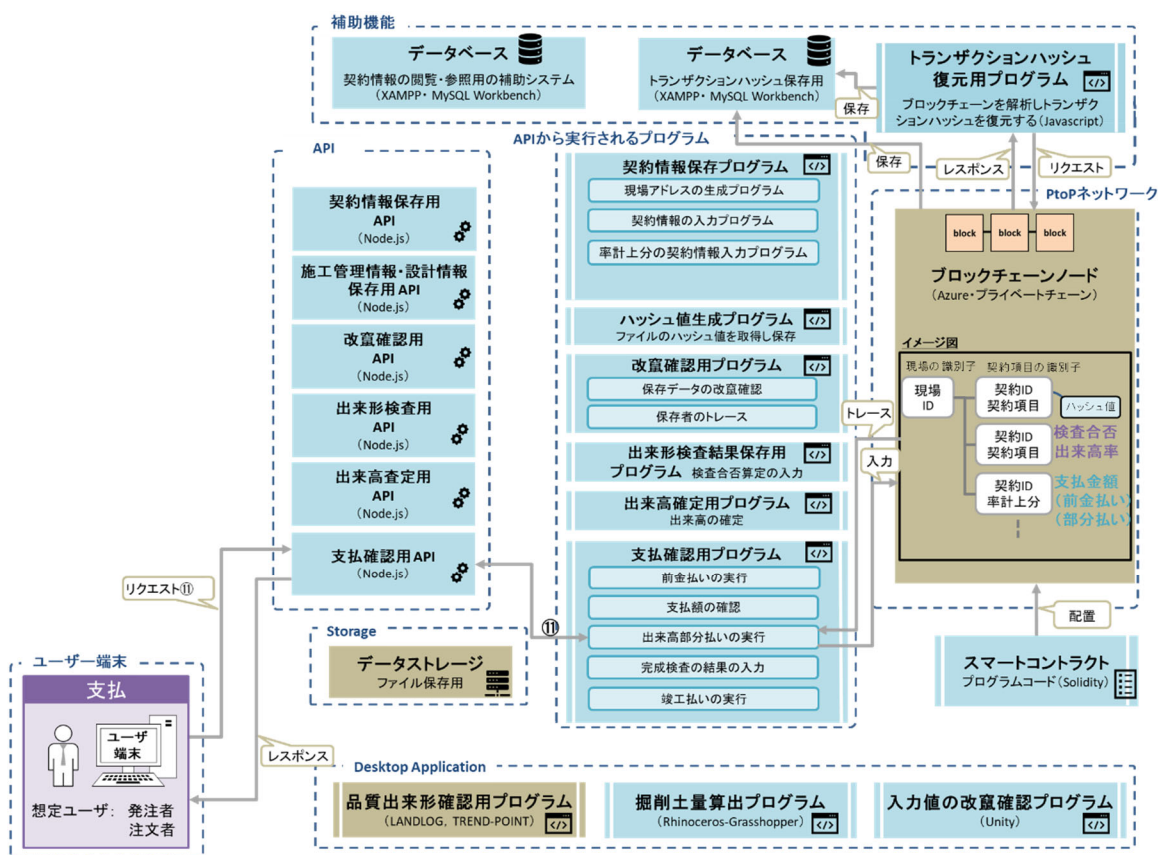


図 3-24 支払（出来高部分払）のフロー

表 3-32 支払（完成払）の HTTP リクエストに関連する送信情報

| 項目 | HTTP リクエストの送信情報 |
|---------------|-----------------|
| リクエスト⑫ 完成払 | 契約の履行状況確認の結果 |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |

表 3-33 支払（完成払）においてトレースする情報

| 項目 | ブロックチェーンの保存情報からトレースする情報 |
|---------------|-------------------------|
| リクエスト⑫ 完成払 | 契約金額 |
| | 率計上分の項目 |
| | 品質・出来形検査結果 |
| | 確定された出来高率 |
| | 前回までの既払金額 |
| | 現場 ID |
| | 契約 ID |
| | 注文者のアカウント |
| | 受注者のアカウント |

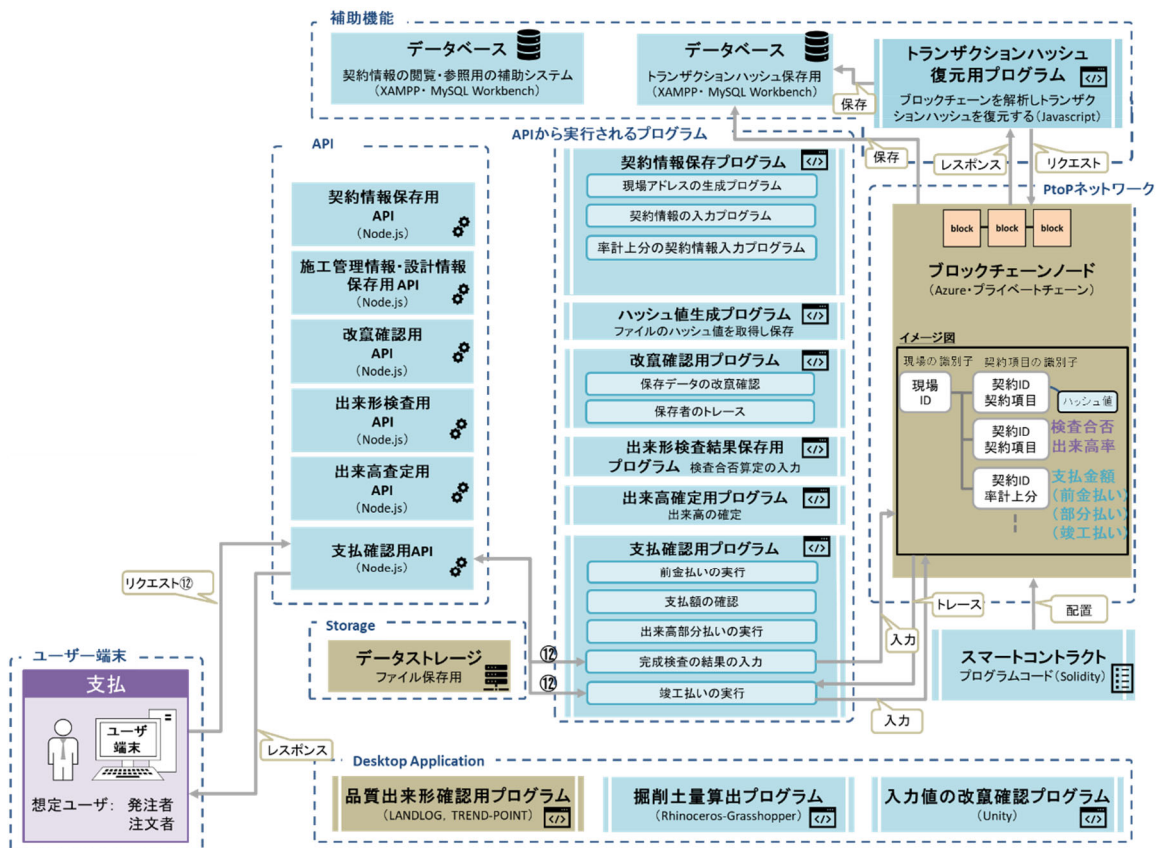


図 3-25 支払（完成払）のフロー

3.6 開発内容

3.6.1 開発に利用したツール

開発に利用したクラウドシステム、ソフトウェア、ツールや使用言語の一覧を表 3-34、表 3-35 に示す。また表に次項以降で、各開発項目の開発内容を述べる項について関連する項として示す。

利用するツールは、建設産業の共有基盤とすべき協調領域と民間の競争的な開発によって技術開発が進む競争領域の範囲に注意し選定を行った。基盤システムは建設産業全体で共有することを想定しており協調領域に位置づけられる。このため、ツールもオープンソースのものなど一つのベンダーに依存しないものを選定した。このうちブロックチェーンについてはプロトタイプでは商用クラウドサービスを活用した。一方で、出来形確認システム、出来高確認システムで必要な可視化、解析技術は競争領域に位置づけられる。

表 3-34 開発項目と利用したツールや言語一覧（基盤システム～入力情報保存）

| 該当するシステム | 開発・実装する項目 | ツールや言語 | 関連する項 |
|------------|---------------------|--|--------|
| 基盤システム | (開発用) ブロックチェーン | Ganache ⁵⁴ | |
| | (実証試験用) ブロックチェーン | Azure Blockchain Service ⁵⁵ | |
| | スマートコントラクト | 使用言語：Solidity ⁵⁶ | 3章6節3項 |
| 契約情報保存システム | 現場アドレスの生成プログラム | 使用言語：Javascript ⁵⁷ | 3章6節4項 |
| | 契約情報の入力プログラム | 使用言語：Javascript | |
| | 率計上分の契約情報入力プログラム | 使用言語：Javascript | |
| | 契約情報の閲覧・参照用の補助システム | XAMPP ⁵⁸ MySQL Workbench ⁵⁹ | |
| 入力情報保存システム | ハッシュ値生成プログラム | 使用言語：Javascript | 3章6節5項 |

表 3-35 開発項目と利用したツールや言語一覧（改竄確認～支払確認）

| 該当するシステム | 開発項目 | ツールや言語 | 関連する項 |
|-----------|-----------------|--------------------------------------|--------|
| 改竄確認システム | 入力値の改竄確認 | Rhinoceros-Grasshopper ⁶⁰ | 3章6節6項 |
| | | Unity ⁶¹ | |
| | 保存データの改竄確認 | 使用言語：Javascript | |
| | 保存者のトレース | 使用言語：Javascript | |
| 出来形確認システム | 出来形検査結果保存用プログラム | 使用言語：Javascript | 3章6節7項 |
| 出来高確認システム | 出来高率の申請 | 使用言語：Javascript | 3章6節8項 |
| | 出来高率の確認 | 使用言語：Javascript | |
| | 出来高の確定 | 使用言語：Javascript | |
| | 土量計算機能 | AutoCAD Civil 3D ⁶² | |
| | | ReCap ⁶³ | |
| | | Rhinoceros-Grasshopper | |
| 支払確認システム | 支払額の確認 | 使用言語：Javascript | 3章6節9項 |
| | 出来高部分払いの実行 | 使用言語：Javascript | |
| | 竣工払いの実行 | 使用言語：Javascript | |

3.6.3 スマートコントラクトの開発

スマートコントラクトを実装するプログラムについてプログラムの構造やアクセス制限機能、定義した機能の実装方法について例を図 3-26 に示す。

```
// 0. 利用するコントラクトのバージョン設定
pragma solidity ^0.4.25;

// 1. コントラクトの宣言
contract test {

    // 2. 状態変数の宣言
    uint password;
    address owner;

    // 3. プログラム配置時に決定する値
    constructor(uint _pass) public {
        password = _pass;
        owner = msg.sender;
    }

    // 4. コントラクト内のコードの実行単位を表すもの
    function Access(uint _n) public view returns (string memory) {

        // 5. アクセス制限
        require(password == _n);
        require(owner == msg.sender);
        return "Accessed";
    }
}
```

図 3-26 スマートコントラクトを実装するプログラムの例

例に示したプログラムは、限られたユーザーがパスワードを入れることによって、「Accessed」と表示する機能を有するものである。

プログラムは図中に示した 0~5 によって構成される。このプログラムは Contract という宣言によってまとめられ、この中に必要な情報や処理を記述する。2 で宣言をしている状態変数とはブロックチェーン上に永続化して保存される変数であり⁶⁴、のちにトレースする必要がある情報である。ブロックチェーンへプログラムを配置する際に必ず決定する変数を `_pass`, `msg.sender` として定義しており、それぞれ 2 で宣言をした `password` と `owner` の変数に格納される。またプログラムをブロックチェーン上に配置する際には必ずアカウント (Externally owned account) を用いる必要がある。コントラクトを配置する際に、`password` は任意に決めることが可能であるが `msg.sender` へはこのアカウントが自動的に格納される。

プログラムをブロックチェーン上に配置をした後、4 によって定義した関数にアクセス

をする。この関数の処理には、アクセスするユーザーと password がプログラム配置時と同じである場合には「Accessed」という文字列が返るように実装している。もし違うユーザーや違うパスワードが入力された場合にはエラーメッセージが表示される。

今回、開発をしたスマートコントラクトを実装するプログラムには、図 4-19 に示すプログラムと同様の方法で、契約者以外の第三者のコントラクトへのアクセスを不可とするアクセス制限を実装した。これにより出来高率の更新など履行内容の状態の遷移を実行できる者を契約条件で決定した、注文者（発注者）に限定することが可能となる。また定義した機能に応じた処理の実装は、必要な機能に応じてそれぞれ関数として実装している。

また 3 章 4 節 2 項で示した通り、スマートコントラクトは現場 ID 及び契約 ID が現場及び契約項目を識別するための識別子となる。現場 ID は一意の ID である必要があり、現場を生成時に一意のアドレスを生成する。このアドレスは 1 から始まる通し番号に関連付けられてブロックチェーン上に保存されるため、ユーザーは通し番号を利用する。また契約 ID は図 3-27 に示す通り、現場 ID に紐づく構成とした。このため契約 ID は現場 ID 内で違う番号である必要がある。

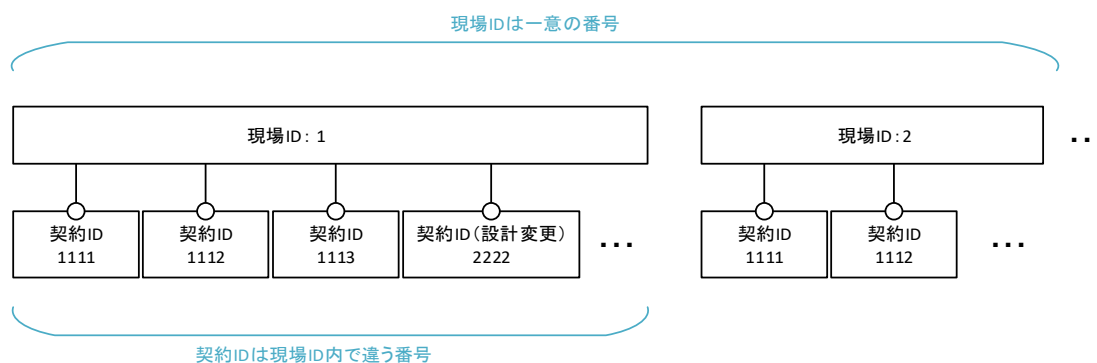


図 3-27 現場 ID と契約 ID の関係

各現場 ID、契約 ID に記載する内容は、strut で実装した。strut とは Solidity におけるデータ型の一種であり構造体型と呼ばれる³⁷ものである。構造体型はユーザーが変数をグループ化するために用意されたものであり、契約 ID に記載する変数をグループ化するために利用した。グループ化した変数を模擬的に図 3-28 に示す。現場アドレスの生成、契約情報の入力の各プロセスに対して、それぞれ strut でグループ化した内容である。現場アドレスの生成については、現場アドレスが生成された後、そのアドレスに対して、現場 ID が付与される。

| 現場アドレスの生成 | | 契約履行状況 | |
|-----------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| 項目 | 変数名 | 項目 | 変数名 |
| 発注者のアカウント | siteOwner | 契約ID | contractId |
| 現場アドレス | siteaddress | 注文者のアカウント | sender |
| 請負金額 | totalPrice | 受注者のアカウント | receiver |
| 契約工期 | completiondate | 契約単価 | unitPrice |
| 契約の履行状況 確認結果 | documentSubmission | 契約数量 | unitVolume |
| | | 品質・出来形検査に 合格した出来高率 | isPassedVolume |
| | | 出来高査定により 確定された出来高率 | progress |

| 現場アドレスへの番号付け | |
|----------------------|--|
| 生成されたアドレスに対して現場IDを付与 | |

図 3-28 現場 ID 及び契約 ID に対してグループ化される変数の模式図

また開発したスマートコントラクトは、その機能を実行するためにブロックチェーン上に配置する必要がある。ブロックチェーン上へのスマートコントラクトの配置方法もいくつか種類があるが、「付録 B.2 スマートコントラクトのブロックチェーン上への配置」に Truffle を利用した例を示す。Truffle⁶⁵とは Ethereum に開発したスマートコントラクトを実装するプログラムの配置等を行うフレームワークである。

3.6.4 契約情報保存システムの開発

基盤システムへの現場アドレスの生成、契約情報の入力、設計変更の契約情報の入力機能と、補助システムを開発する。

図 3-29 に示す通り、契約情報保存システムは基盤システムのスマートコントラクト及び補助システムのデータベースに対して情報を保存する。スマートコントラクトは 3 章 4 節 2 項で示した通り、契約情報を管理するものである。データベースは契約情報を発注者、受注者が適宜閲覧、また受注者が出来高申請を行う際に利用するものであり、契約 ID、工種、種別、契約単価、契約数量、契約金額、出来高数量、支払金額、支払残高が契約項目ごとに記入が可能である。契約 ID、契約金額、支払金額はブロックチェーン上に記載されるものと同様の内容が記載される。

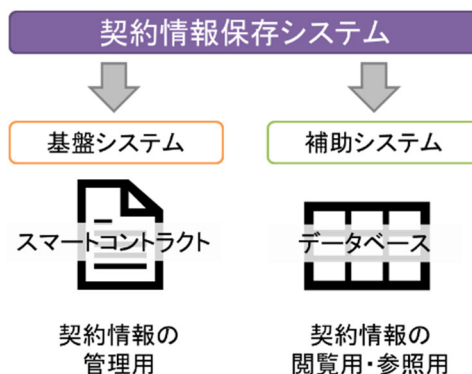


図 3-29 契約情報保存システムの概略図

補助システムは Relational Data Base (RDB)をオープンソースの MySQL を用いて実装した。また実装時に利用したリレーショナルデータベース管理システムは MySQL Workbench である。実装した RDB のカラム名は工事既済部分調書に記載される内容を参考に決定した(図 3-30)。このうち、出来高申請金額、支払金額は工事請負契約時に決定する支払回数分のカラムを設定する。またカラム名の一覧を表 3-36 に示す。なお行に挿入した各値は実現場を参考に架空の現場を想定し入力している。

| id | contractId | item | itemDetail | unit | unitPrice | price | quantity | First completedVolume | ... | First payment | ... | progress | remained Payment |
|-----|------------|---------|------------|------|-----------|-----------|----------|-----------------------|-----|---------------|-----|----------|------------------|
| 1 | 1111 | 河道整正工 | 掘削工 | m3 | 200 | 4,515,400 | 22,577 | 5,527 | ... | 1,083,696 | ... | 24 | 3,431,704 |
| 2 | 2222 | 伐木除根工 | 伐木 | 千m2 | NULL | NULL | 7300 | NULL | ... | NULL | ... | NULL | NULL |
| 3 | 3333 | 水観測所改良工 | 盛土工 | m3 | NULL | NULL | 580 | NULL | ... | NULL | ... | NULL | NULL |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

図 3-30 契約情報の閲覧・参照用の補助システム

表 3-36 カラム名の一覧

| 項目 | カラム名 | 値 (例) |
|---------------|-----------------------|---------------|
| RDB 内での識別子 | Id | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 工種 | Item | 河道整正工 |
| 種別 | itemDetail | 掘削工 |
| 単位 (検測単位) | Unit | m3 |
| 契約単価 | unitPrice | 200 ICT |
| 契約金額 | price | 4,515,400 ICT |
| 契約数量 | quantity | 22,577 m3 |
| 第 1 回目出来高申請金額 | First_completedVolume | 5,527 m3 |
| 第 1 回目支払金額 | First_payment | 1,083,696 m3 |
| 出来高率 | Progress | 24 % |
| 残支払金額 | remainedPayment | 3,431,704 ICT |

また契約情報の識別子である、契約 ID はユーザーが任意で決められるため、現場内でその運用ルールを決める必要がある。契約 ID の重複を避けるために、運用ルールを発注者・元請間、元請・サプライヤー間に対して決める必要があり、この例を表 3-37 に示す。なお、現場 ID は生成時に現場 ID が割り振られた現場アドレスが自動的に生成される。これは現場が異なれば発注者も異なるため、この間でルールを決めることが運用上、現実的でないことから、このような実装とした。

表 3-37 契約 ID のルールの例

| 項目 | ルールの例 |
|------------|--------------------------|
| 発注者・元請間 | 4桁の ID (1111~9999) を利用 |
| 元請・サプライヤー間 | 5桁の ID (11111~99999) を利用 |

次に現場アドレスの生成、契約情報の入力、率計上分の契約情報の入力について、その実行例の入出力値をそれぞれ表 3-39～表 3-41 に示す。入出力の項目、変数及び例として使った値の一覧を表 3-38 へ示す。

またプロトタイプで用いた通貨は ERC20 トークン標準の仮想通貨を独自に発行し支払金額の当事者間での送金を行った。単位は ICT(i-Construction Token)とし、1ICT は 1円と等価であると想定し金額等の設定を行った。

表 3-38 現場アドレスの生成・契約情報の入力プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|-------------|-----------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 現場のアドレス | siteAddress | 0xC2048ce9ccA9DD60F53289Acf3e6b529D9F91F3f |
| 発注者のアカウント | siteOwner | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 請負金額 | totalPrice | 25000000 ICT |
| 前払金額 | advancePayment | 0 ICT |
| 契約工期 | contractedDate | 2022-7-30 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 契約単価 | unitPrice | 200 ICT |
| 契約数量 | unitVolume | 22577 m3 |
| 契約金額 | price | 4515400 ICT |
| 率計上分の率 (入力) | rate | 16 % |
| 率計上分の率 (出力) | accrual | 16 % |
| 関連する契約 ID | relatedContract | [1111, 2222] |

注意：発注者（注文者）及び受注者のアカウントはそれぞれ下記の値を用いる。
 発注者（注文者）： “0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd”
 受注者： “0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22”

表 3-39 現場アドレスの生成プロセスの入出力値

| 現場アドレスの生成 (メソッド : POST) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteOwner": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "password": "123", "totalPrice": 25000000, "advancePayment": 0, "contractedDate": "2022-7-30" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "siteOwner": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "siteAddress": "0xC2048ce9ccA9DD60F53289AcF3e6b529D9F91F3f", "siteId": "1" }</pre> |

表 3-40 契約情報の入力プロセスの入出力値

| 契約情報の入力 (メソッド : POST) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "passForSender": "123", "passForReciever": "123", "unitPrice": 200, "unitVolume": 22577 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "1111", "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "price": "4515400" }</pre> |

表 3-41 率計上分の契約情報の入力プロセスの入出力値

| 率計上分の契約情報の入力 (メソッド: POST) |
|---|
| リクエスト <pre> { "siteId": 1, "contractId": 9999, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "passForSender": "123", "passForReciever": "123", "rate": 16, "relatedContract": [1111,2222] } </pre> |
| レスポンス <pre> { "contractId": "9999", "sender": "0xDe914AEfE7C34a04922768e92F126D4713820956", "reciever": "0x6bbe75762d75118069A43FE386075219494d35da", "accrual": "16" } </pre> |

3.6.5 入力情報保存システムの開発

入力情報のうち施工管理情報は後のプロセスで検査に利用される。このため、どの現場 ID、契約 ID に該当する情報なのかを後のプロセスで適切に識別が可能である必要がある。このため、入力値（リクエスト）は保存する施工管理情報の保存場所を示すファイルのパス以外に、現場 ID、契約 ID を指定して保存する。なお、一つの契約 ID に対し複数のファイルが存在する場合を想定し、保存するファイル番号を index で付与可能とした。

また入力情報保存システムが有するハッシュ値の生成の機能は Javascript で記述し、ハッシュ関数は SHA256 を使用した。これは CRYPTREC (Cryptography Research and Evaluation Committees)⁶⁶で使用が推奨されているハッシュ関数である。

これらの内容に従い、開発した入力情報保存システムのうち、施工管理情報の入力時の入出力内容及び変数の一覧を表 3-42 示す。なお、設計情報を保存する場合はファイルパスを保存対象の設計情報に対して指定することで実行可能である。なお基盤システムが保有するデータストレージは、ユーザー端末のローカルストレージとした。

表 3-42 施工管理情報の入力プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|------------------|------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 受注者のアカウント | sender | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| ファイルの保存場所 | filePath | ./inspection/data/1_Revised_01_H3OKAMANAS-buru_dataA.CSV |
| インデックス | index | 1 |
| 保存結果 | message | "hash stored successfully" |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 生成されたハッシュ値 | hashValue | 0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c |
| Transaction Hash | txhash | 0xcc6b9370fffc29668bf3ad99c72d97ec90c52fa08da64c73ecea431280e957f |

表 3-43 施工管理情報の入力プロセスの入出力値

| 施工管理情報の入力 (メソッド : POST) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "sender": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "siteId": 1, "contractId": 1111, "filePath": "./inspection/data/1_Revised_01_H3OKAMANAS-buru_dataA.CSV", "index": 1, "password": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "message": "hash stored successfully", "siteId": "1", "contractId": "1111", "index": "1", "hashValue": "0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c", "txhash": "0xcc6b9370fffc29668bf3ad99c72d97ec90c52fa08da64c73ecea431280e957f" }</pre> |

3.6.6 改竄確認システムの開発

改竄確認システムが有する、入力値の改竄確認、保存データの改竄確認、保存者のトレースについて、本システム内での各確認の実行フローを図 3-31 に示す。この図に示す通り、検査者は対象となる施工管理情報をデータストレージより取得する。この取得したデータに対して、各確認を実行する。各確認は、入力値の改竄確認は確認用のアプリケーションを用いて実行し、保存データの改竄確認、保存者のトレースについては、API を介して基盤システムを用いて確認する。

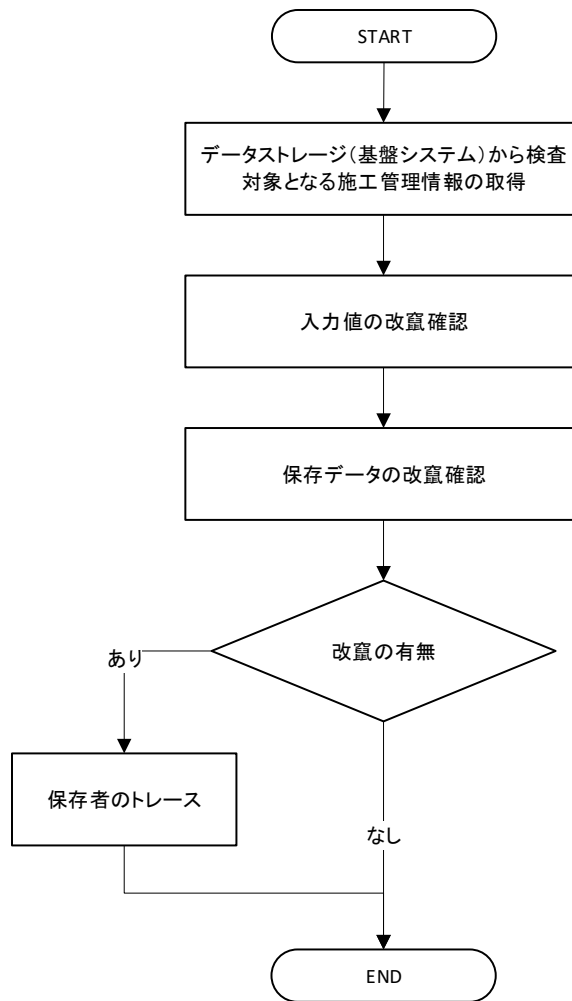


図 3-31 改竄確認システムの実行フロー

(1) 入力値の改竄確認

入力値の改竄確認には、扱うデータの種類により静的または動的なグラフィック処理が必要になる。また今回、対象とするデータの種類の種類は、実証試験で対象とした内容とする。(表 3-44)。

表 3-44 入力値の改竄確認機能の開発にあたって対象としたデータの種類の種類

| 実証試験 | データ取得目的 | 種類 | 詳細 |
|------------------|---------|---------------------|-----------------------------------|
| 出来形検査システムの実証 | 転圧回数管理 | 締固め機械（ブルドーザー）の位置データ | GNSS からの受信情報 座標値 (x,y,z) と受信時刻 |
| | 出来形計測 | 点群測量の結果 | 座標値 (x,y,z) |
| 出来高及び支払確認システムの実証 | 出来形計測 | 掘削機（ブルドーザー）の刃先位置 | GNSS からの受信情報 座標値 (x,y,z) と受信時刻 |

出来形検査システムの実証試験においては 3D モデリング用のソフトウェアの一つである Rhinoceros 及び標準搭載のプラグインである Grasshopper を利用した。転圧回数管理のための設計データの読み込みは、Grasshopper を利用し xml から必要な情報を読み込み、オブジェクトを描画するプログラムを開発した。また出来形検査システムの実証試験のうち転圧回数確認に対しては GNSS データに記録されている時刻と座標値を用いて座標を時刻歴にプロット可能なプログラムを開発した。このプログラムでは重機の移動を時刻歴に確認することが可能となる。改竄する場合には、座標だけではなく時刻についても整合が取れるように改竄する必要があるため、入力値の改竄確認に有効であると考えられる。出来形測量に対しては測量結果と最終層の GNSS データの Z 座標を比較可能とするプログラムを開発した。

また出来高及び支払確認システムの実証においては、動的な処理を得意とする 3 次元ゲームエンジンの Unity を利用し開発した。図 3-32 に示す通り、今回、対象とした掘削機（ブルドーザー）の刃先位置の座標は緑色の点で取得される。この 2 点から各時間で中点を計算し、その中点に沿ってブルドーザーを移動及び移動軌跡を描画するプログラムを開発した。これにより時系列に描画し連続的に重機が移動するかの確認することが可能となり、この確認方法で入力値の改竄確認を実施した。

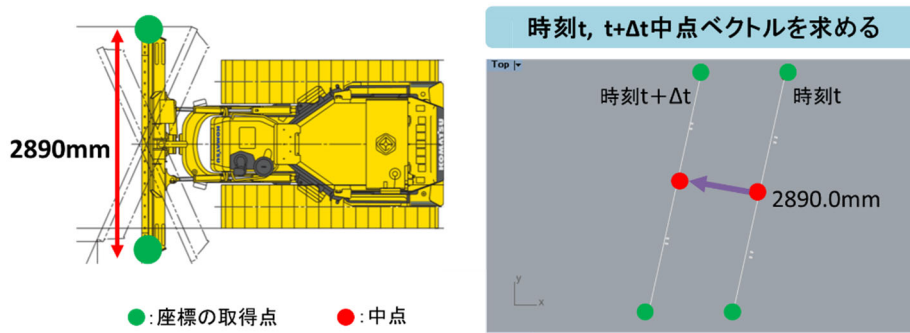


図 3-32 ブルドーザーの刃先情報に関する入力値の改竄確認について
 図中のブルドーザー（黄）は参考資料 67から引用

(2) 保存データの改竄確認

保存データの改竄確認は、基盤システムのストレージから取得した施工管理情報のハッシュ値を改めて取り直し、基盤システムのブロックチェーン上に保存されているハッシュ値をトレースし、比較することにより確認する（図 3-33）。表 3-45、表 3-46 の例に示す通り、保存データの改竄確認時には、保存時に指定した現場 ID、契約 ID、Index を用いて検査に係る情報を適切にトレース可能な実装をした。また、プログラムは JavaScript を用いて実装した。

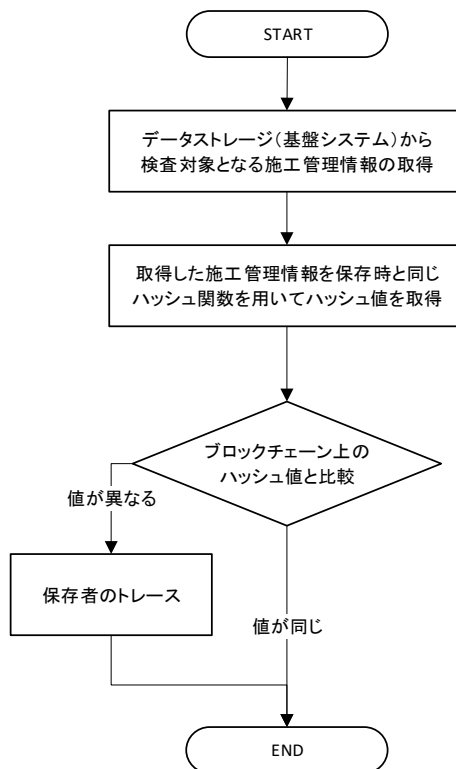


図 3-33 保存データの改竄確認の処理フロー

表 3-45 保存データの改竄確認及び保存者のトレースで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|------------------|-------------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| ファイルの保存場所 | filePathToRawFile | ./inspection/data/1_Revised_01_H30KAMANAS-buru_dataA.CSV |
| インデックス | index | 1 |
| Transaction Hash | txhash | 0xcc6b9370fffc29668bf3ad99c72d97ec90c52fa08da64c73ecea431280e957f |
| 保存時のハッシュ | savedFileHash | 0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c |
| 検査データのハッシュ | localFileHash | 0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c |
| 結果 | result | true |
| 保存者 | saveBy | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |

表 3-46 保存データの改竄確認プロセスの入出力値

| 保存データの改竄確認 (メソッド: GET) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111, "index": 1, "txhash": "0xcc6b9370fffc29668bf3ad99c72d97ec90c52fa08da64c73ecea431280e957f", "filePathToRawFile": "./inspection/data/1_Revised_01_H30KAMANAS-buru_dataA.CSV" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "savedFileHash": "0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c", "localFileHash": "0xda968217d61cf76cd4e61b84200ba3a27b59f7ecb22eb752521c4ee13c830a9c", "result": true }</pre> |

(3) 保存者のトレース

保存者のトレースを行う際には、施工管理情報の入力時に出力されるトランザクションハッシュを利用し、データ入力時の保存者をトレースする。トランザクションハッシュの詳細は6章4節5項で述べる。

表 3-47 保存者のトレースプロセスの入出力値

| 保存者のトレース (メソッド: POST) | |
|-----------------------|--|
| リクエスト | <pre>{ "txhash": "0xcc6b9370fffc29668bf3ad99c72d97ec90c52fa08da64c73ecea431280e957f" }</pre> |
| レスポンス | <pre>{ "saveBy": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22" }</pre> |

3.6.7 出来形確認システムの開発

出来形確認システムでは、改竄確認した施工管理情報が注文者（発注者）の要求水準を満たすかを確認するために、施工管理情報と設計情報を用いたグラフィック処理が必要となる。出来形計測であれば計測値と設計情報との誤差を示すヒートマップ図、転圧管理であれば転圧回数確認を行うためのヒートマップ図の作成が必要となる。プロトタイプでは、このグラフィック処理の部分は既開発のサービスやソフトウェアを利用した。

また確認した結果を、API を介して基盤システム上に書き込む必要がある。変数名一覧や、入出力についてそれぞれ表 3-48、表 3-49 に示す。

表 3-48 検査の合否判定の入力プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|-----------|------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 発注者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | reciver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 検査結果 | check | true |
| メッセージ | message | "Pass the inspection" |

表 3-49 検査の合否判定の入力プロセスの入出力値

| 検査の合否判定の入力 (メソッド: POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "password": "123", "siteId": 1, "contractId": 1111, "check": true }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "message": "Pass the inspection", "contractId": "1111", "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciver": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22" }</pre> |

3.6.8 出来高確認システムの開発

出来高確認システムが有する、出来高の申請、申請された出来高の確認、出来高の計算、出来高の確定についてその実行フローを図 3-34 に示す。出来高の計算は、出来高算定用のアプリケーションを用いて実行する。また出来高の申請及び申請された出来高の確認は基盤システムの補助システムであるデータベースを利用する。発注者はこのデータベースに記載された情報を確認した結果を確定した出来高として、ブロックチェーン上に保存する。

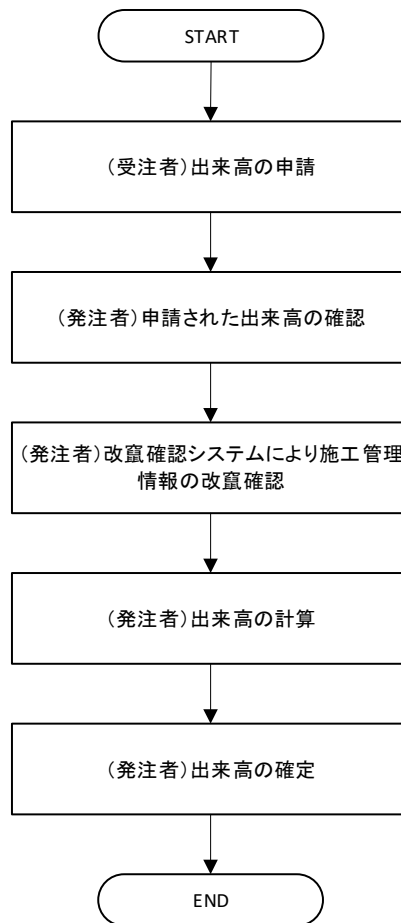


図 3-34 出来高確認システムの実行フロー

(1) 出来高の申請

変数名一覧や、入出力についてそれぞれ表 3-50、表 3-51 に示す。今回の例では 2 回目の出来高部分払いを想定し、出来高の申請の実行結果を示す。受注者は、入力情報として表 3-51 に示す通り、当該の契約 ID と出来高数量を入力する。この結果は、基盤システムの補助システムである契約情報の保存・参照のデータベースへ保存される。またこのデー

データベースには契約情報保存システムを用いて契約条件が保存されており、このうち契約数量の値で申請した出来高数量を除すことによって出来高率を計算する。さらに、この出来高率と契約金額より、出来高部分払申請時に請求する支払代金の計算が実行され、この内容もデータベースに記録される。

なお、支払回数はユーザーの指定なしで自動判別し、表 3-51 に示す通り自動で何回目の出来高部分払い申請化をレスポンス時にユーザーへ知らせることを可能とした。また出来高の申請はデータベースに対して行っており、スマートコントラクトが有する変数の状態は遷移していない。これを明確に示すため、レスポンスの各変数の先頭にデータベースへ保存したことを示す RDB という文字を付記した。

表 3-50 出来高率の申請・確認・確定プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|--------|-----------------------|------------------|
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 出来高数量 | completedVolume | 5,527 m3 |
| 今回支払回数 | numberOfPayment | "Second_payment" |
| 契約数量 | RDB - quantity | 22,577 m3 |
| 出来高数量 | RDB - completedVolume | 5,527 m3 |
| 累計出来高率 | RDB - totalProgress | 49 % |
| 今回支払金額 | RDB - payment | 1,083,696 ICT |
| 出来高率 | RDB - progress | 24 % |

表 3-51 出来高率の申請プロセスの入出力値

| 出来高率の申請 (メソッド : GET) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "contractId": 1111, "completedVolume": 5527 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "numberOfPayment": "Second_payment", "RDB - quantity": 22577, "RDB - completedVolume": 5527, "RDB - totalProgress": 49, "RDB - payment": 1083696 }</pre> |

(2) 申請された出来高の確認

発注者は出来高査定を行うため、受注者より申請された出来高を確認する必要がある。確認は(1)で用いたデータベースにアクセスする。このプロセスの入出力を表 3-52 に示す。

表 3-52 出来高率の確認プロセスの入出力値

| 出来高率の確認 (メソッド : GET) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "contractId": 1111 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "numberOfPayment": "Second_payment", "RDB - quantity": 22577, "RDB - completedVolume": 5527, "RDB - progress": 24 }</pre> |

(3) 出来高の計算

出来高の計算では、改竄確認した施工管理情報を用いて、出来高数量を算定するためグラフィック処理が必要となる。また今回、出来高数量の算定を行うための設計情報や施工管理情報の種類は、出来高及び支払確認システムの実証で対象とした内容とする。現地盤面の点群データ、設計モデルデータ、ブルドーザーの刃先情報(図 3-35, 図 3-36)から掘削土量のモデルを生成し、このモデルの体積を求めることで掘削土量を算出する。

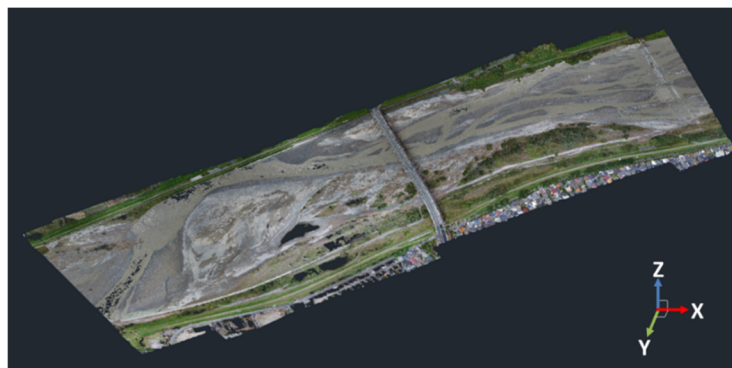


図 3-35 現地盤面の点群データ

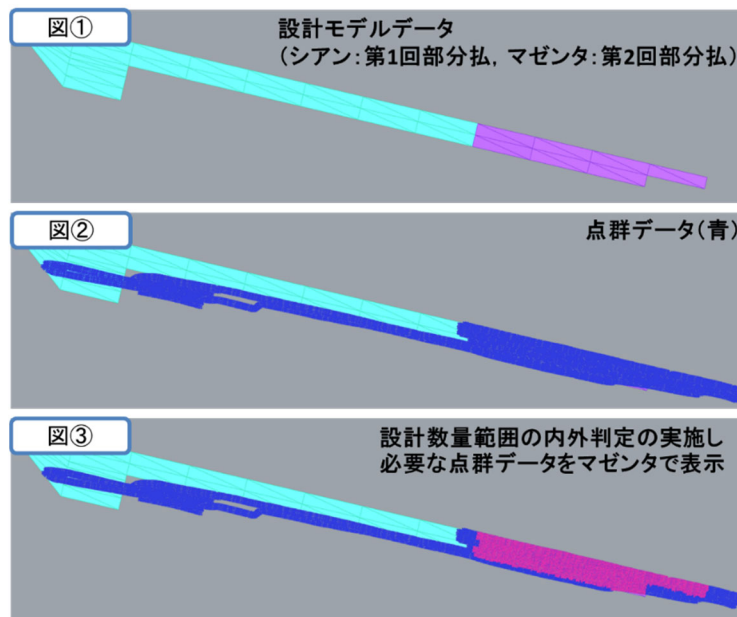


図 3-36 設計モデルデータ及びブルドーザーの刃先情報

また掘削土量算出の元データとなるブルドーザーの刃先情報は必ずしも出来高部分払いの設計数量範囲内のデータのみを取得するものではない。このため図 3-35 に示す通り、各部分払いの設計数量の範囲を示す設計モデルデータ (図①) に対して点群データを重ねる (図②)。Z 方向を鉛直方向としたときに、設計数量範囲以内であるかの判定を設計モデルデータ、ブルドーザーの刃先情報の X 座標、Y 座標を用いて設計数量範囲の内外判定を行う。この結果、当該部分払いで必要な点群データ (マゼンタ) を抽出する (図③)。この結果、抽出した刃先情報と現地盤の点群データを用いて掘削土量モデルを修正した (図 3-37)。

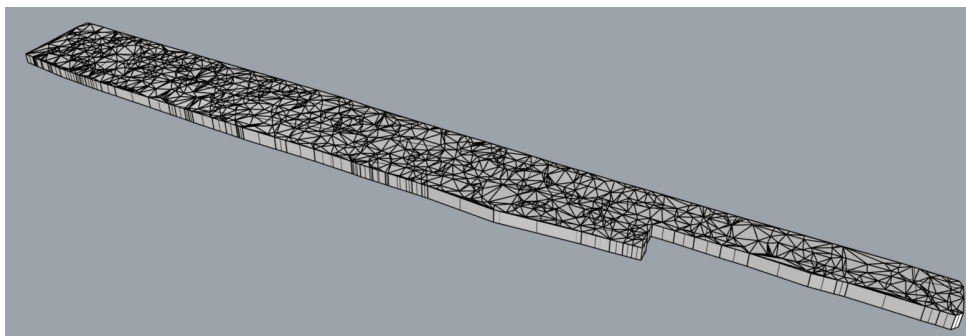


図 3-37 掘削土量モデル

(4) 出来高の確定

算定した出来高数量が、所定の範囲以内に収まっている場合には受注者から申請のあった出来高を確定する手続きを行う。所定の範囲とは、発注者からの要求水準（施工誤差）等を用いて適切に設定する。掘削工の場合は、出来形の許容誤差が±50 mmのため式 1 に示す範囲に出来高数量が収まっていることを確認する。また確認した結果を関連する現場 ID、契約 ID を選択した上で、ブロックチェーン上に入力する（表 3-53、表 3-54）。

$$(\text{設計値} + \text{許容誤差の上限值}) < \text{出来高数量} < (\text{設計値} - \text{許容誤差の下限值}) \quad (1)$$

表 3-53 検査の合否判定の入力プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値（例） |
|-----------|------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 発注者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | reciver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 出来高率 | progress | 30 |

表 3-54 出来高の確定プロセスの入出力値

| 出来高の確定（メソッド：POST） |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111, "progress": 30, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "passForSender": "123", "passForReciever": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "1111", "progress": "30" }</pre> |

3.6.9 支払確認システムの開発

前金払い、出来高部分払い及び竣工払いのそれぞれに対して実装した機能について述べる。

(1) 前金払い

前金払いは現場アドレスの生成時に入力される請負金額と前金払いの率をトレースすることにより、支払金額が決定される。例えば、請負金額が 25,000,000ICT で前金払いの率計上が 20% の場合、前金払いで支払われる金額は 5,000,000ICT となる。

表 3-55 前金払いの実行で利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|-----------|------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 支払金額 | sentAmount | 5000000 |

表 3-56 前金払いの入出力値

| 前金払いの実行 (メソッド : POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "pass1": "123", "pass2": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "sentAmount": "5000000" }</pre> |

(2) 出来高部分払い

出来高部分払いの実行前に、まず支払金額を確認するために申請された出来高率が、3章6節8項のプロセスで確定された出来高率と一致するか確認する。

表 3-57 支払金額の確認プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|-------------------|----------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111 |
| 確認する出来高率 | checkProgress | 20 |
| 確認結果 | SQL-BLC | "Suite Good!!" |
| 発注者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | reciver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 契約金額 | price | 4515400 ICT |
| 出来高率 | progress | 20 |
| 品質・出来形検査に合格した出来高率 | isPassedVolume | 20 |

表 3-58 支払金額の確認プロセスの入出力値

| 支払金額の確認の実行 (メソッド: POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111, "checkProgress": 20 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "SQL-BLC": "Suite Good!!", "contractId": "1111", "price": "4881450", "progress": "20", "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "isPassedVolume": "20" }</pre> |

次に出来高部分払いの処理フローを図 3-38 に示す。支払対象となる契約 ID を複数入れることが可能であり，契約 ID から契約条件及び履行状況をトレースし契約 ID ごとの支払金額を決定する。また支払対象の率計上の契約条件をトレースし，これを掛け合わせることで支払金額を決定する。

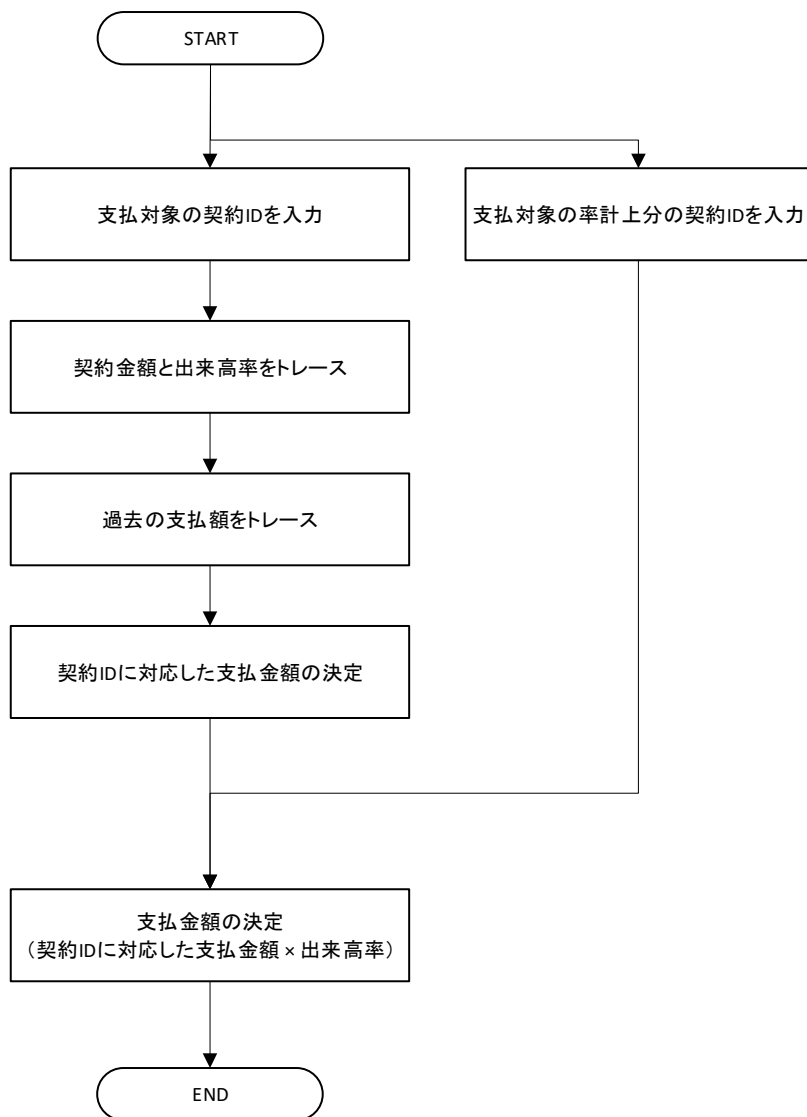


図 3-38 出来高部分払いの処理フロー

次に部分払いの実行結果について示す。それぞれの部分払い時の契約条件及び契約履行の状況を図 3-39，図 3-40 に示す。またこの契約履行上での第 1 回目及び第 2 回目の支払金額を表 3-59 に示す。表 3-60 に変数の一覧，表 3-61，表 3-62 のそれぞれに第 1 回目及び第 2 回目の部分払い申請時の入出力値を示す。この表に示す通り，支払金額は，支払いた契約 ID に対応して出力される。

契約項目

| 契約 | 内容 | 契約 | 内容 |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 契約ID | 1111 | 契約ID | 2222 |
| 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... | 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... |
| 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... | 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... |
| 契約単価 | 200 ICT | 契約単価 | 150 ICT |
| 契約数量 | 22577 m3 | 契約数量 | 32543 m3 |
| 契約金額 | 4515400 ICT | 契約金額 | 4881450 ICT |
| 出来高査定により 確定された出来高率 | 20% | 出来高査定により 確定された出来高率 | 32% |
| 品質・出来形検査に 合格した出来高率 | 20% | 品質・出来形検査に 合格した出来高率 | 32% |

率計上分

| 契約 | 内容 |
|---------------|----------------|
| Contract Id | 9999 |
| Sender(発注者) | 0x14A5E5d52... |
| Receiver(受注者) | 0x23FC76c6C... |
| Rate(率) | 16% |

図 3-39 第 1 回目の部分払時の契約条件と履行状況

契約項目

| 契約 | 内容 | 契約 | 内容 |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 契約ID | 1111 | 契約ID | 2222 |
| 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... | 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... |
| 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... | 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... |
| 契約単価 | 200 ICT | 契約単価 | 150 ICT |
| 契約数量 | 22577 m3 | 契約数量 | 32543 m3 |
| 契約金額 | 4515400 ICT | 契約金額 | 4881450 ICT |
| 出来高査定により 確定された出来高率 | 68% | 出来高査定により 確定された出来高率 | 65% |
| 品質・出来形検査に 合格した出来高率 | 68% | 品質・出来形検査に 合格した出来高率 | 65% |

率計上分

| 契約 | 内容 |
|---------------|----------------|
| Contract Id | 9999 |
| Sender(発注者) | 0x14A5E5d52... |
| Receiver(受注者) | 0x23FC76c6C... |
| Rate(率) | 16% |

図 3-40 第 2 回目の部分払時の契約条件と履行状況

表 3-59 部分払での支払金額

| 項目 | 第 1 回部分払い | 第 2 回部分払い |
|--------------|---------------|---------------|
| 契約 ID : 1111 | 903,080 ICT | 2,167,392 ICT |
| 契約 ID : 2222 | 1562,064 ICT | 1,610,879 ICT |
| 率計上 | 394,423 ICT | 604,523 ICT |
| 支払金額 | 2,859,567 ICT | 4,382,795 ICT |

表 3-60 部分払の支払金額確定プロセスの入出力値

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|------------------|---------------------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 支払対象の契約 ID | contractIdArray | [1111, 2222] |
| 率計上の契約条件を表す契約 ID | contractIdArrayForAccural | [9999] |
| 支払金額 | thisPayment | 3718883 |
| 支払いした契約 ID | contractIdForPayment | ["1111", "2222"] |
| 支払金額 (既払含む) | Payment | [1047573, 1811994] |

表 3-61 第 1 回目の部分払の入出力値

| 出来高部分払いの実行 (メソッド: POST) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractIdArray": [1111,2222], "contractIdArrayForAccural": [9999], "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "pass1": "123", "pass2": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "thisPayment": 2859567, "contractIdForPayment": ["1111", "2222"], "Payment": [1047573, 1811994] }</pre> |

表 3-62 第 2 回目の部分払の入出力値

| 出来高部分払いの実行 (メソッド: POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractIdArray": [1111,2222], "contractIdArrayForAccural": [9999], "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "pass1": "123", "pass2": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "thisPayment": 4382795, "contractIdForPayment": ["1111", "2222", "1111", "2222"], "Payment": [1047573, 1811994, 2514175, 1868620] }</pre> |

(3) 竣工払い

竣工払いの処理フローを図 3-41 に示す。図に示す通り、契約図書に対する確認を行った後に支払いを実行する。完成払いで支払われる金額は、出来高部分払いで支払われた金額を除く額である。この支払金額を表 3-63 に示す。また完成検査は、竣工払いとは別のエンドポイントを設けた。

表 3-63 完成払いでの支払金額

| 項目 | 金額 |
|--------------|-----------|
| 契約 ID : 1111 | 1,444,928 |
| 契約 ID : 2222 | 1,708,508 |
| 率計上 | 504,549 |
| 支払金額 | 3,657,984 |

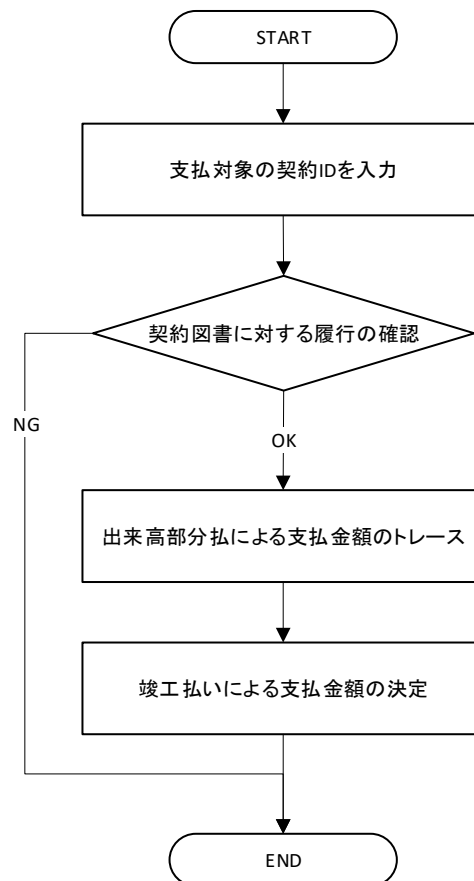


図 3-41 竣工払いの処理フロー

表 3-64 竣工払の支払金額確定プロセスの入出力値

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|------------------|---------------------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 完成検査の結果 | check | true |
| 完成日 | completiondate | 2020-9-4 |
| 支払対象の契約 ID | contractIdArray | [1111, 2222] |
| 率計上の契約条件を表す契約 ID | contractIdArrayForAccural | [9999] |
| 支払金額 | thisPayment | 3718883 |
| 支払いした契約 ID | contractIdForPayment | ["1111", "2222"] |
| 支払金額 | Payment | [1047573, 1811994] |

表 3-65 完成検査の入出力値

| 完成検査の結果入力 (メソッド : POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "check": true, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd ", "pass1": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "siteId": "1", "completiondate": "2020-9-4", "check": true }</pre> |

表 3-66 竣工払いの入出力値

| 竣工払いの実行 (メソッド : POST) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractIdArray": [1111,2222], "contractIdArrayForAccural": [9999], "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "pass1": "123", "pass2": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "thisPayment": 3657984, "contractIdForPayment": ["1111", "2222", "1111", "2222", "1111", "2222"], "Payment": [1047573, 1811994, 2514175, 1868620, 1676116, 1981868] }</pre> |

3.7 本章の結論

3章では1章3節に示した目的1のブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証のうち、プロトタイプの開発を行った。具体的には、(i)～(v)の要件を満たす機能の設計・実装した。ここでは、開発したプロトタイプが各要件を満足しているかを確認し、この章で得られた成果としてまとめる。なお、開発したシステムの検証は4章及び5章に示す。

(i) 高可用性を前提とした施工管理情報の保存が可能であること

ブロックチェーンは第2章で記載の通り、高可用性を実現するために、すべてのノードが同じ情報を保持している。このため、比較的ファイルサイズが大きい施工管理情報を直接ブロックチェーンへ保存するとストレージコストが大きくなる懸念があった。このため施工管理情報に対して、一方向ハッシュ関数を用いてハッシュ値を取得しこれをブロックチェーンへ保存する設計とし実装した。

(ii) 施工管理情報の耐改竄性の担保とその確認が可能であること

改竄確認システムの機能を定義し、受注者が保存した施工管理情報の信憑性を向上しデータの信頼性を確保する機能を設計した。データ改竄の可能性としては、入力値の改竄と保存データの改竄の2つが想定され、入力値の改竄についてはサプライヤー間での施工管理情報のクロスチェックや時系列データの活用、保存データの改竄についてはブロックチェーンの機能を活用することで必要な機能を設計し、改竄確認を可能とした。

また、基盤システムにはブロックチェーンとして Azure Blockchain Service を実装し保存データの耐改竄性の機能を付与した。またトレースした情報の改竄有無の確認については機能を定義した改竄確認システムを開発した。改竄確認システムは、入力値の改竄確認と、保存データの改竄確認機能を実装した。また改竄が疑われる場合に施工管理情報の保存者をトレースする機能も合わせて実装した。

(iii) 契約条件や履行情報の保存・更新が可能であること

スマートコントラクトを用いて契約情報の管理の機能を設計した。契約締結で決定された条件と、その条件に基づく契約履行の管理機能を設計するため、「非改竄とする情報」と「各段階においてトレースする情報」を整理し、スマートコントラクトの機能を定義した。入力情報保存システムの一つとして、契約情報保存システムの機能を定義することで、発注者や注文者から受注者への指示内容である契約情報や履行内容を基盤システムへ保存可能とした。また実装は Solidity を用いてスマートコントラクトを実装するためのプログラムのコーディングを行った。契約情報は、定義した必要な契約条件や契約履行内容について構造体型を用いて実装した。

(iv) 検査・支払のために必要な情報をトレース可能であること

必要な情報をトレースするためにスマートコントラクトの開発において、「各段階でトレースする情報」を適切に定義した。また、情報をトレースするために施工現場を識別するために現場 ID、契約項目を識別するために契約 ID を識別子として定義し実装した。

(v) 出来形検査・出来高査定及び支払いのために必要な処理機能を有すること

出来形確認システム、出来高確認システムの機能を定義した。前者に対しては施工管理情報が発注者の要求水準である施工管理基準に示された許容範囲内で一致しているかを確認すること、後者に対しては同様に施工管理情報から出来高数量を算定する機能を設計した。

実装については出来形確認システムのうち、出来形計測は計測値と設計情報との誤差を示すヒートマップ図、転圧管理であれば転圧回数確認を行うためのヒートマップ図の作成機能が必要となる。これらの機能は既開発のサービスやソフトウェアを利用した。出来高査定システムでは出来高数量の算定を行うための掘削土量のモデル生成用のプログラムを開発し実装した。また検査結果を、スマートコントラクトを実装するプログラムにより記録された契約条件の履行内容として書き込むことが可能な機能を実装した。

また支払いについては、前金払い、出来高部分払い、竣工払いのそれぞれの支払いに分けて必要な機能を実装した。前金払いについては契約条件から請負金額と前払い率をトレースすることにより支払金額を決定する機能を実装した。出来高部分払いについては、契約条件及び契約履行内容をトレースすることにより出来高率に応じた支払金額を決定する機能を実装した。竣工払いについては、契約図書に対する確認を行った後に出来高部分払いで支払われた金額を除く額を支払金額として決定する機能を実装した。

以上の通り本システムに要求される要件に対して、必要な機能を実装したことが確認された。

第4章 出来形検査システムの実証

3章で開発したプロトタイプを用いて、出来形検査システムの有効性を検証するための実証試験を実施した。本章では、まず実証試験の目的を示す。次に現場選定や検証方法について述べた後、実施内容及びその結果を示す。実証試験では、施工現場で実際に収集された施工管理情報を活用し、当該現場の発注者及び受注者の協力のもと、システムの有効性を確認した。

4.1 実証試験の目的

受発注者間にまたがる生産プロセスである品質・出来形検査や出来高査定及び支払いの合理化を目指して、設計・開発した契約情報と出来形及び出来高情報管理システムが、実際の公共工事において機能するかについて検証することが実証試験の目的である。検証する項目を以下、二つに大別し、それぞれに対して確認する。

検証項目1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること。

検証項目2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて、契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新することが可能であること。さらに契約条件や契約履行状況をトレースし支払金額の自動算出が可能であり、支払いの実行が可能であること。

検証項目1については、臨場検査の合理化のために検証する内容であり、本章にて、その検証内容について述べる。検証項目2は支払いの合理化について検証する項目であり、第5章にてその検証内容について述べる。本章では出来形検査システムについて、5章では出来高査定システム及び支払確認システムについて検証する。

4.2 検証の目的と現場選定及び検証方法

4.2.1 検証目的と検証範囲

対象の出来形検査システムを検証する目的は、検証項目1を確認することにある。この検証は、従来の実地検査を省略して机上の検査の実施で品質・出来形の確認が可能となるといった臨場検査の合理化、省力化を実現するために実施するものである。このため検証する範囲は、開発したプロトタイプを用いて品質・出来形検査を模擬的に実施し、改竄有無の確認を行ったうえで施工管理情報を用いた品質・出来形検査が実施可能か検証するこ

ととした。

全体システムにおいて、本実証試験で確認する範囲を図 4-1 に示す。出来形検査システムは、改竄確認システム、出来形確認システム、基盤システム、API から構成されるシステムである。

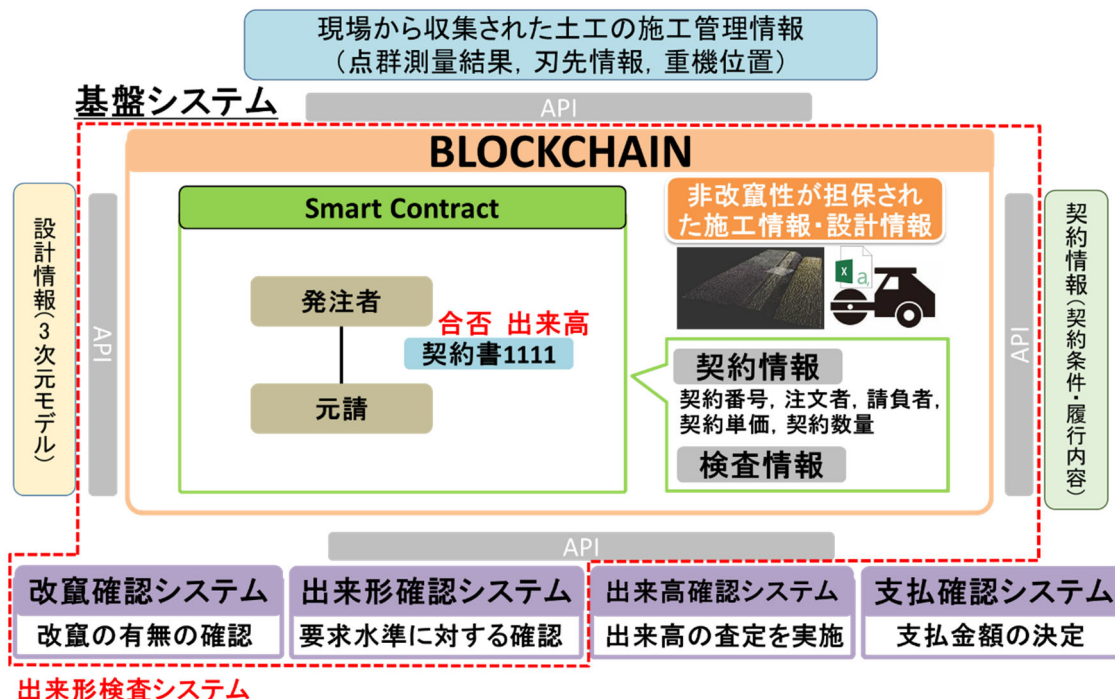


図 4-1 出来形検査システムの範囲

4.2.2 出来形検査システムの検証を実施する現場の選定

本実証試験は、国土交通省 関東地方整備局 北首都国道事務所管轄の H30 年東埼玉道路大川戸地区改良他工事（盛土工事）において実施した。対象工事の標準断面図を図 4-2 に示す。臨場検査が必要な検査項目としては転圧回数検査、出来形検査があり、実証試験はこの二つの検査を対象に実施した。この検査項目に対する設計モデルや施工管理情報を入力値一覧として表 4-1 に示す。

なお当該工事は A～D の 4 ブロックに分けて工事を進めており、今回は A ブロック（盛土量 2796.2m³）のみを実証試験の対象とした（図 4-3）。

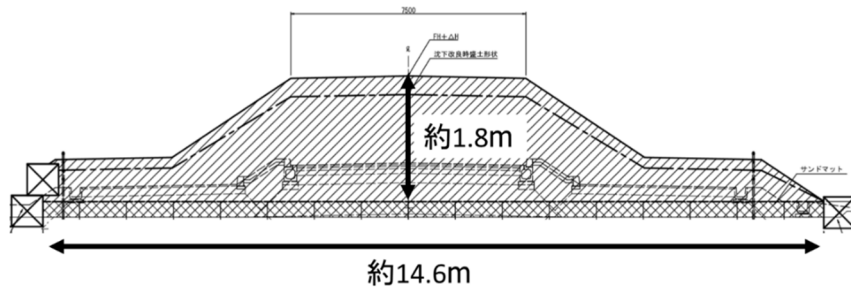


図 4-2 標準断面図

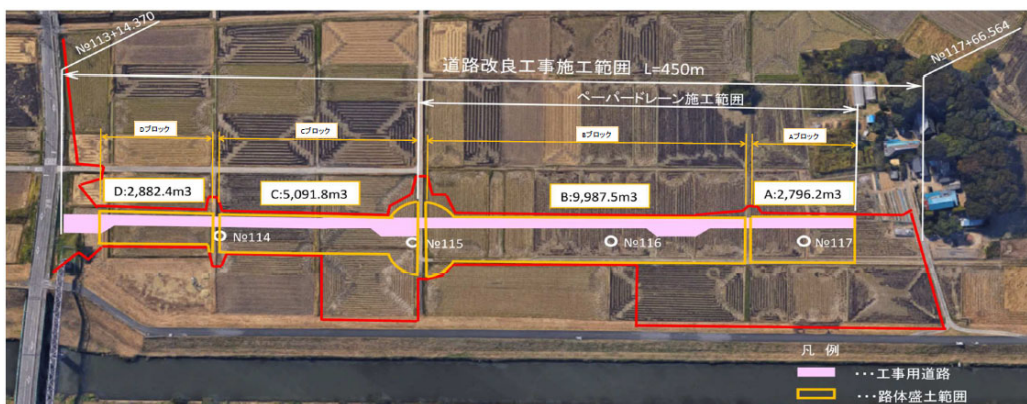


図 4-3 平面概要図

表 4-1 入力値一覧

| 項目 | 入力値 |
|---------------|---------------------------------|
| 設計モデルデータ | 3次元設計モデル (LandXML) |
| 転圧重機の位置データ | GNSS からの受信情報, 座標値 (x,y,z) と受信時刻 |
| 出来形確認の点群測量データ | 座標値 (x,y,z) |

4.2.3 検証方法

出来形検査システムの有効性を検証するためには、実際に検査を実施する実務者がシステムを利用して改竄有無の特定が可能かについて確認する必要がある。このため実証試験では北首都国道事務所の職員の方が、施工現場の実データを用いて模擬的に改竄確認を含む品質・出来形検査を行う形式とした。また、実証試験での目的を達成するために、受注者が現場から集約した施工管理情報の一部を東京大学で書換え改竄データを用意した。こういった事前準備も含めて、表 4-2 に実証試験への参加者とそれぞれの参加者が担った役割を示す。参加者は、発注者（国土交通省 関東地方整備局 北首都国道事務所）、受注者（奈良建設株式会社）、東京大学の3者である。なお受注者は表 4-2 に記載される入力値のうち、転圧重機の位置データと出来形確認の点群測量データを LANDLOG に搭載されているアプリケーションを利用してデータを集約した。また実証試験当日は、システム操作は東京大学、開発したシステムを用いて判断が必要な品質・出来形の確認、改竄データ及び改竄が疑われる企業の特定は発注者が担当した。

表 4-2 実証試験への参加者の役割

| | 担った役割 | 参加者 |
|------|---------------------|------|
| 事前準備 | 設計モデルデータの提供 | 発注者 |
| | 施工管理情報の集約 | 受注者 |
| | 改竄データの作成 | 東京大学 |
| | ブロックチェーンへのデータ保存 | 東京大学 |
| 当日 | 品質・出来形の確認 | 発注者 |
| | 改竄データ及び改竄が疑われる企業の特定 | 発注者 |
| | システムの操作 | 東京大学 |

次に実証試験で行った検証フローを図 4-4 に示す。検証のステップは、はじめにブロックチェーンよりトレースした施工管理情報を活用して施工結果が発注者の要求水準値以内であることを確認する。次に、トレースした施工管理情報の改竄の有無の確認を保存データの改竄確認、入力値の改竄確認のそれぞれに対して実施する。仮に改竄が疑われる場合には、その企業をブロックチェーンからトレースする。フローに示す通り、要求水準を満

たしかつ改竄確認によって改竄なしと判定された場合に、品質・出来形検査に合格したと判断することとする。

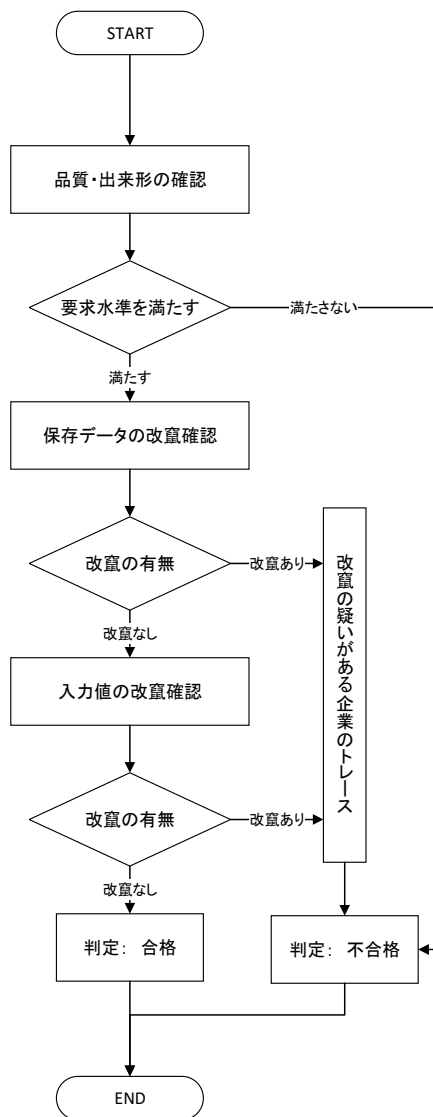


図 4-4 実証試験の検証フロー

4.3 実施内容

実証試験で行った検査パターン及び、4章2節3項の検査方法に示した検証フローにおいて、品質・出来形の確認、保存データの改竄確認、入力値の改竄確認、改竄の疑いがある企業のトレースのそれぞれについて実施内容の詳細を説明する。

4.3.1 検査パターン

検査パターンを表 4-3 に示す。検査は転圧回数確認に対して4つ、出来形確認に対して3つの計7パターンを実施した。実証試験は図 4-4 に示す3項目、品質・出来形の確認、保存データの改竄確認、入力値の改竄確認の結果を用いた合否判定、改竄が疑われる企業のトレースを行った。また No1（転圧回数確認）、No7（出来形確認）を例に、実施内容を具体的に示す。なお付録 C.1 出来形検査システムの実証試験に利用した帳票に実証試験で利用した帳票を添付する。

表 4-3 検査のパターン

| No | 項目 | ①品質・出来形の確認 | ②保存データの改竄確認 | ③入力値の改竄確認 | 判定 |
|----|------------|------------|-------------|-----------|-----|
| 1 | 転圧回数確認 2層目 | 満たす | なし | あり | 不合格 |
| 2 | 転圧回数確認 3層目 | 満たす | なし | なし | 合格 |
| 3 | 転圧回数確認 4層目 | 満たす | あり | — | 不合格 |
| 4 | 転圧回数確認 5層目 | 満たさない | — | — | 不合格 |
| 5 | 出来形確認 天端 | 満たす | あり | — | 不合格 |
| 6 | 出来形確認 天端 | 満たす | なし | なし | 合格 |
| 7 | 出来形確認 天端 | 満たす | なし | あり | 不合格 |

4.3.2 品質・出来形の確認

転圧回数はヒートマップを用いて締固め回数確認を行う。試験施工により定められた要求水準が6回であり、青色に着色されている場合は要求水準を満たすことを示す。図 4-5 に示す通り、No.1 の場合は要求水準を満たすことが分かる。出来形確認も設計情報と点群測量結果よりヒートマップを用いて確認する（図 4-6）。測定項目と測定値及び要求水準である規格値を表 4-4 に示す。

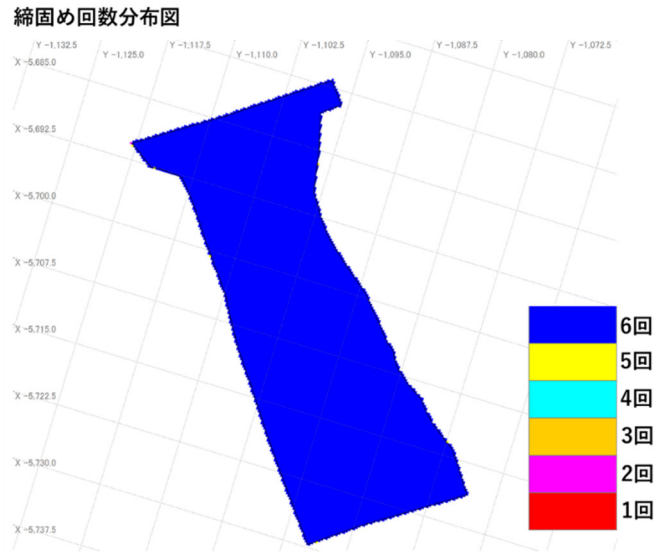


図 4-5 転圧管理用のヒートマップ

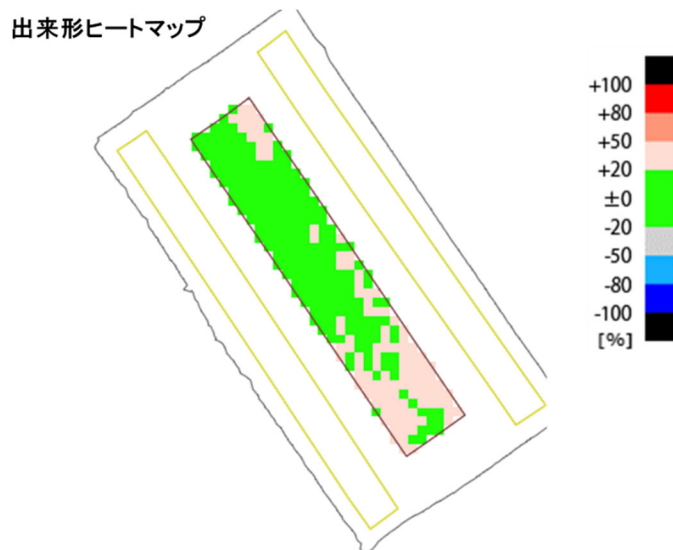


図 4-6 出来形確認用のヒートマップ

表 4-4 出来形確認の測定項目と規格値

| 測定項目と測定値（天端） | | 規格値（要求水準） |
|--------------|----------|-----------|
| 平均値 | 22.0 mm | ± 50 mm |
| 最大値（差） | 69.0 mm | ± 150 mm |
| 最小値（差） | -28.0 mm | ± 150 mm |

4.3.3 保存データの改竄確認

確認にあたっては図 4-7 に示す通り、保存データのファイル名を含む Path を内容に加え HTTP リクエストを実行する。この結果、改竄の有無について True または False がレスポンスとして返ってくる。True の場合は改竄なし、False の場合は改竄ありを意味する。No1, No7 とともに、データ改竄がないため結果は True で返ってくる。

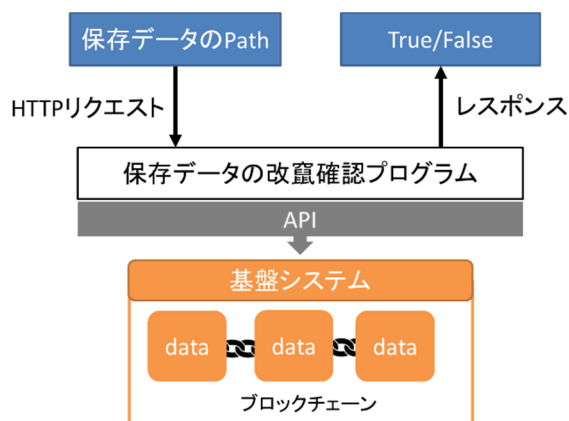


図 4-7 保存データの改竄確認

4.3.4 入力値の改竄確認

No1 の転圧回数確認に対しては図 4-8 に示す通り開発したプログラムで xml 形式の 3 次元設計モデルを取り込み GNSS データを時刻歴にプロットする。図 4-9 では設計モデルを緑、ブルドーザーの GNSS データを赤点、ブルドーザーのクローラー位置を青丸で表している。図 4-9 の左図は、ある時刻の GNSS のプロット状況を示し、右図はその後、時間経過した GNSS のプロット状況を示している。改竄がない場合には実際の重機の移動経路の通り、この点はある一定の方向に対して連続的に描画される（図 4-9 左）。改竄がある場合は、No1 のデータの時刻歴の描画を続けるとある時刻以降でデータが不連続になり、改

竄があったことが確認できる（図 4-9 右）。これは何かしらの座標のデータ改竄時に、時刻データも一緒に改竄しなかったためこの不連続点が生まれる。また、このように設計図と比較可能なため、重機位置の Z 座標がその転圧対象の層厚に応じた位置にあるかも確認することが可能である。

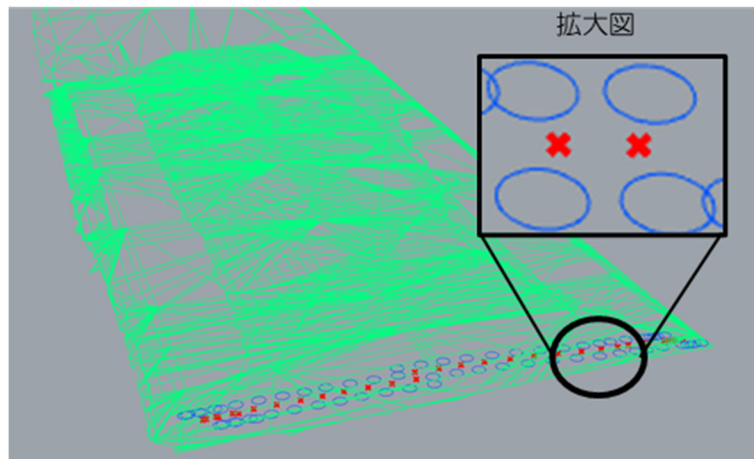


図 4-8 設計データの取り込み

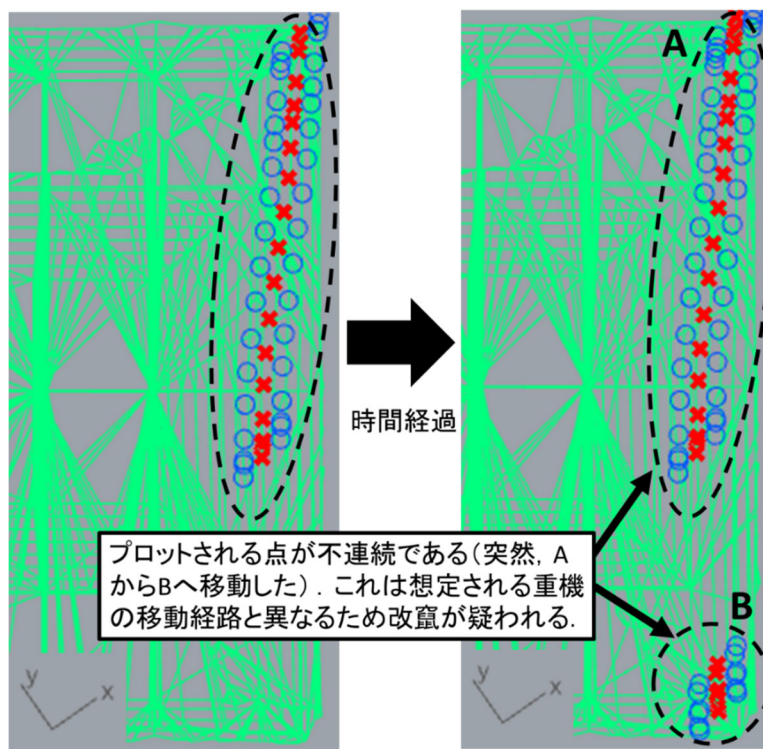


図 4-9 転圧回数確認の改竄確認（移動経路を表す GNSS の時刻歴の描画）

No7 の出来形確認は点群測量結果と座標値と転圧最終層の GNSS 座標を重ねて比較する。入力値の改竄のない No6 の結果では、点群測量結果と転圧最終層の GNSS の位置はほぼ一致する。一方で入力値の改竄がある場合には、No7 の結果に示す通り両者のデータに差異が生じるため改竄を確認することができる (図 4-10)。また点群測量結果に要求される計測精度は±50 mm以内⁶⁸であり、転圧回数確認のための GNSS の精度は垂直 (z) ±30 mm⁶⁹である。要求される精度は大きく異なるため、この両者を比較し差がある場合には計測誤差ではなく改竄を疑うことが可能となる。

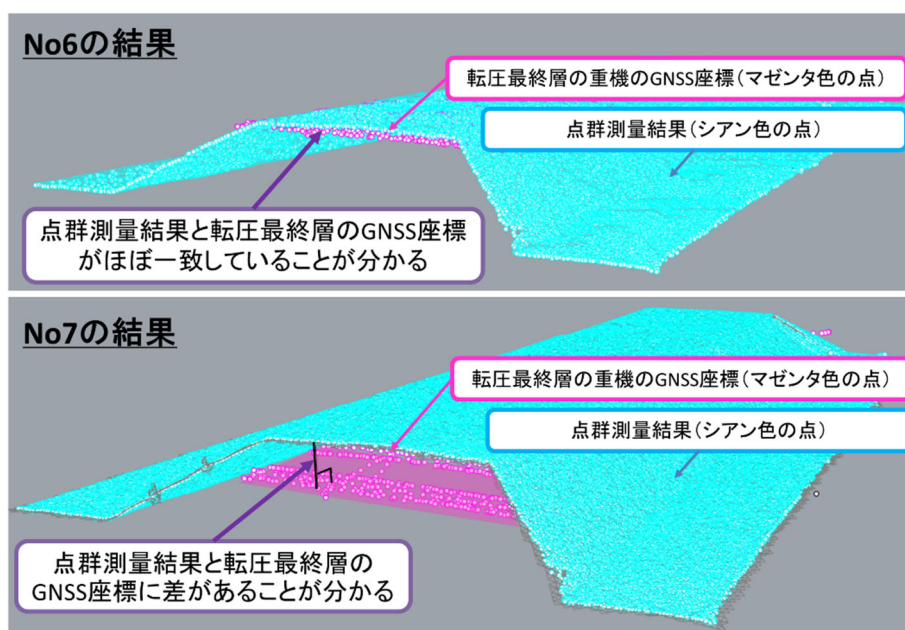


図 4-10 出来形確認の改竄確認 (点群測量と重機の GNSS の重ね合わせ)

4.3.5 改竄の疑いがある企業のトレース

これまでのプロセスで改竄が確認された場合、事後に何かしらの改竄が確認された場合、維持管理段階で施工者を特定したい場合などの、企業情報のトレースを実行する必要性が生じたときは施工した企業のトレースを行う。今回は、4章3節3項と4章3節4項で改竄の疑いがあると判定された検査パターンについて、施工した企業のトレースを実行した。

事前準備でブロックチェーンへ施工管理情報を保存する際に、模擬的に表 4-5 に示す 5 社のアドレスを生成し、そのいずれかのアドレスと紐づけデータを保存した。このため、改竄が疑われる企業の特定は図 4-11 に示す通り、Transaction Hash を内容に加えた HTTP リクエストを実行し、この結果、返ってくるアドレスを用いて特定を行った。改竄が疑われる企業の特定は改竄の疑いのあるものを発注者が抽出し、その No に対応する Transaction Hash を用いて実施した。

表 4-5 データ保存者とアドレス

| | |
|-------|--|
| A建設 | 0x006375cbe053b31890f4830dc5e3b52af198fecc |
| B工務店 | 0xbfb99133da0dc01e0c50786ec655ed17b67f7b4c |
| C土木工業 | 0x888694fca24ca30991eed2ed1322a8a111846498 |
| D土木組 | 0x9c67dec74882bc3168779d9ad7195758652f77d4 |
| E建設工業 | 0x52fa504e4302659a8b0d2ca3f0c12f75fc0465e2 |

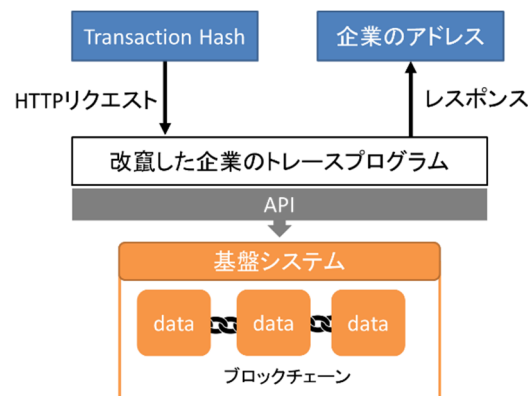


図 4-11 改竄が疑われる企業のトレース

4.4 結果

実証試験では4章3節2項から5項までに示した内容を各検査パターンのそれぞれについて実施した。この結果、表4-3に示す検査パターンのうちNo1, No3, No4, No5, No7に対して検査判定として不合格の判定を得た。また改竄の特定についても図4-4に示す実施フローに基づき各プロセスについて発注者の担当者が実証試験内で確認し、すべての改竄が特定された。さらに改竄が疑われる企業の特定も4章3節5項のプロセスを発注者の担当者が実施し想定通りの企業を特定することができた。

以上の結果より、出来形検査システムにおける検証項目である「検証項目1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること」が確認された。

第5章 出来高査定及び支払システムの実証

3章で開発したプロトタイプを用いて出来高査定及び支払システムの実証試験を実施した。本章では、まず検証の目的や現場選定及び検証方法について述べたうえで、実施内容及びその結果を示す。実証試験では、4章の実証試験と同様に、施工現場で実際に収集された施工管理情報を用いて実施し、当該現場の発注者及び受注者の協力のもと、システムの有効性を確認した。

5.1 検証の目的と現場選定及び検証方法

5.1.1 検証目的と検証範囲

対象の出来高査定及び支払システムを検証する目的は、4章1節に示した実証試験の目的のうち、以下の検証項目2を確認することにある。

検証項目2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて、契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新することが可能であること。
さらに契約条件や契約履行状況をトレースし支払金額の自動算出が可能であり、支払いの実行が可能であること。

この検証は契約情報や契約履行状況（品質・出来形検査及び出来高査定の結果）をトレースし、支払金額を算出するといった支払いの自動化を実現するために必要な機能を検証するものである。このため検証する範囲は、出来高査定及び支払いの実行を模擬的に実施することに設定した。

出来高査定システムの検証は、4章に示した出来形検査システムと同様に、改竄の有無の確認を行ったうえで施工管理情報をトレースし、出来高数量を確認する内容である。支払システムの検証は、出来高査定の結果、入力される出来高数量や事前に設定した契約条件をトレースし支払金額を自動算出し支払いが実行可能か確認した。なお、品質・出来形検査については4章の実証試験にて確認済みのため本章では省略する。

全体システムにおいて、本実証試験で確認する範囲（赤枠、黄枠）を図5-1に示す。出来高査定システムは出来高確認システム、基盤システム、APIから構成されるシステムであり、支払システムは支払確認システム、基盤システム、APIから構成される。

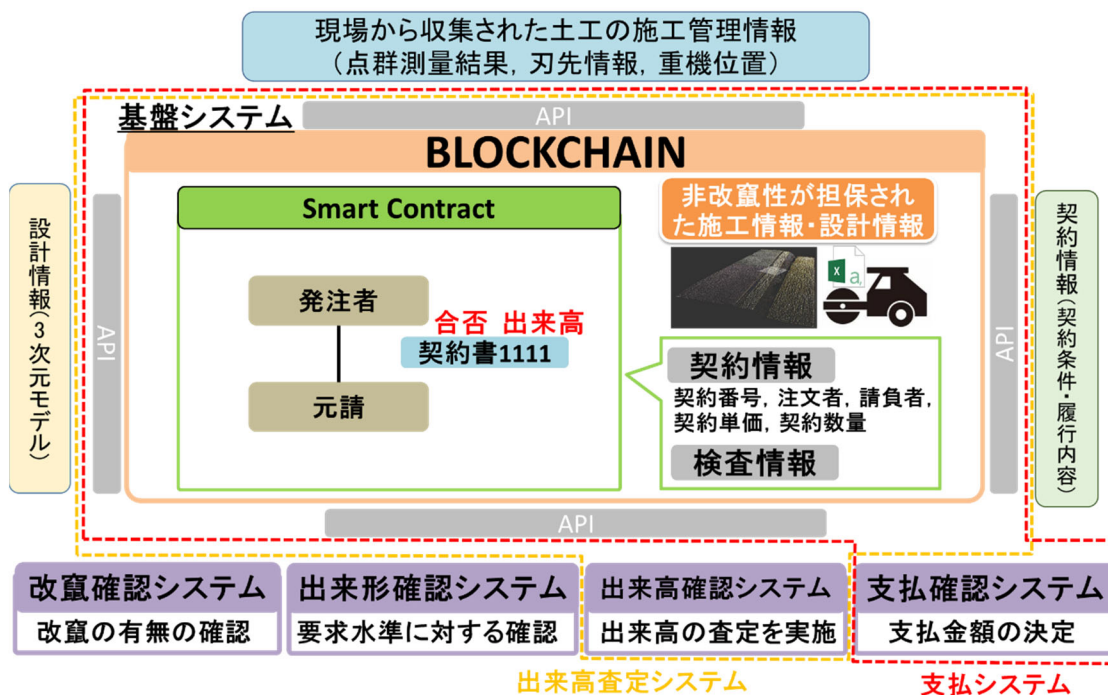


図 5-1 出来高及び支払システムの範囲

5.1.2 出来高査定及び支払システムの検証を実施する現場の選定

本実証試験は、国土交通省 関東地方整備局甲府河川国道事務所管轄の平成 30 年釜無川河道整正その他工事のデータを利用し実施した。当該事業は河道を整正するものであり、図 5-2 の着色部を掘削する工事である。掘削工のため出来高査定における査定対象は掘削数量となる。また前提となる契約条件は、当該工事の工事請負契約を参考に仮想的な現場条件を設定した。出来高査定に必要な入力値や設定した契約条件等について、表 5-1 及び表 5-2 に示す。表 5-1 に示す入力値は、当該工事から利用・取得された設計情報、施工管理情報を活用する。

なお、支払いの実行では仮想通貨を送金するため、実証試験では ICT (i-Construction Token) を発行し用いた。1 円と 1ICT は同価値の設定で契約単価は決定した。

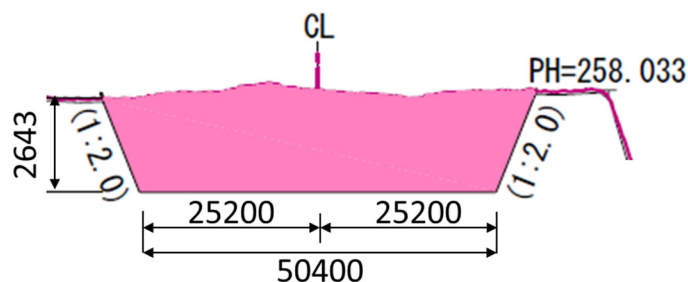


図 5-2 断面図

表 5-1 入力値一覧

| 項目 | 入力値 |
|--------------|-----------------------------|
| 設計モデルデータ | 3次元設計モデル (LandXML) |
| ブルドーザーの刃先データ | GNSS データ, 座標値 (x,y,z) と受信時刻 |
| 現地盤面の点群測量 | 座標値 (x,y,z) |

表 5-2 実証試験で設定した現場条件

| 項目 | 内容 |
|--------|--|
| 契約 | 総価単価契約 出来高部分払方式 |
| 請負金額 | 15,000,000 ICT のうち掘削工 4,515,400ICT |
| 契約内容 | 契約項目：掘削工 契約単価：200ICT 契約数量：22,577m ³ |
| 監理要領 | 施工履歴データを用いた出来形管理要領 河川浚渫工事編 (案) H30 年 3 月 |
| 検査項目 | 出来形検査 (ブルドーザーの刃先情報を利用した出来形検査) |
| 出来高査定 | 掘削数量 |
| 規格値 | 出来形の規格値 ±50mm |
| その他の条件 | 受発注間での協議により部分払い申請を 2 回実施することに決定 各部分払に対する設計数量はそれぞれ 14,053m ³ (62%), 8,524m ³ (38%) |

5.1.3 検証方法

出来高査定システムの有効性を検証するためには、4章の出来形検査システムでの検証と同様、実際に検査を実施する実務者がシステムを利用して改竄有無の特定が可能かについて確認する必要がある。このため実証試験では甲府河川国道事務所の職員の方の協力のもと、施工現場の実データを用いて模擬的に改竄確認を含む出来高査定を実施する形式とした。

支払システムの有効性の検証は、表 5-2 のその他の条件に示す出来高数量に対して出来高部分払い請求が受注者よりあったことを仮定しシステム上、出来高査定に合格した数量に基づいた支払いが契約当事者間で実行されるかについて確認した。

実証試験への参加者については、発注者（国土交通省 関東地方整備局 甲府河川国道事務所）、受注者（湯澤工業株式会社）、東京大学の3者であり各参加者の役割を表 5-3 に示す。また実証試験の目的を達成するために、受注者が現場から取得した施工管理情報の一部を改竄し、改竄データを東京大学側で準備した。実証試験当日は東京大学がシステムを操作し、開発したシステムを用いて判断が必要な、入力値の改竄確認、保存データの改竄確認、出来高数量の確認、改竄が疑われる企業のトレースは発注者が担当した。

表 5-3 実証試験参加者の役割

| | 担った役割 | 参加者 |
|------|--------------------------|------|
| 事前準備 | 設計モデルデータの提供 | 発注者 |
| | 施工管理情報の取得 | 受注者 |
| | 改竄データの作成 | 東京大学 |
| | 契約条件の設定 | 東京大学 |
| | ブロックチェーンへの施工管理情報の保存 | 東京大学 |
| 当日 | 開発したシステムを用いた出来高査定と支払いの実施 | 発注者 |
| | 改竄データ及び改竄が疑われる企業の特定 | 発注者 |
| | システムの操作 | 東京大学 |

次に実証試験の検証フローを図 5-3 に示す。出来高査定についてはトレースした施工管理情報の入力値の改竄確認，保存データの改竄確認を実施したうえで出来高数量の確認及び確認結果に基づいた確定を実施する。出来高率が確定した場合は，出来高検査に合格したとする。また仮に改竄が疑われる場合は，当該企業のトレースをしたうえで不合格と判断し検査を終了する。支払いについては，出来高部分払請求に対して，確定した出来高率と請求範囲の出来高率の比較を実施し，これが同値であれば支払いを実行する。

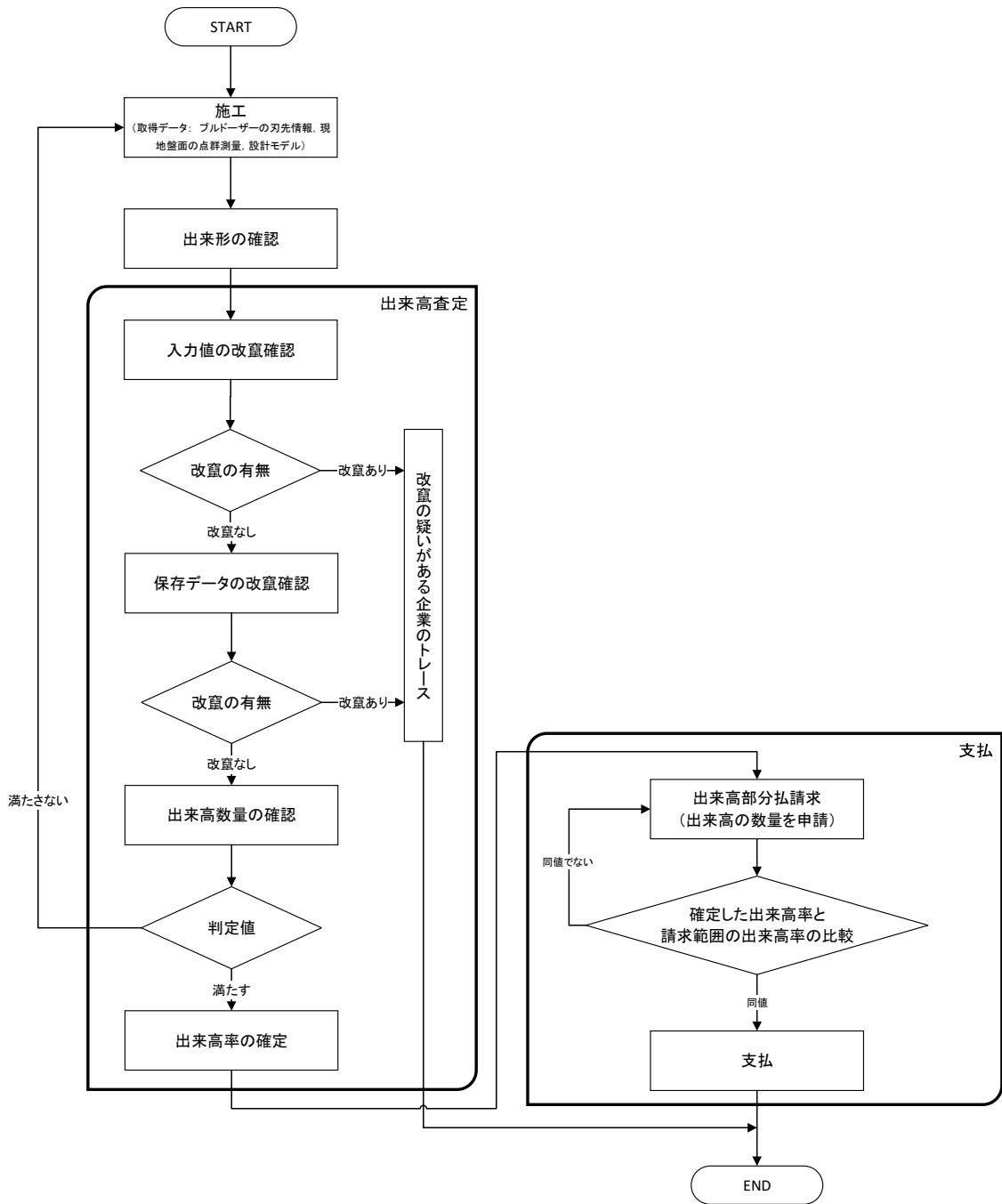


図 5-3 実証試験の検証フロー

5.2 実施内容

実証試験で行った検査パターン及び、5章1節3項の検査方法に示した検証フローにおいて、入力値の改竄確認、出来高数量の確認、支払いについて実施内容の詳細を述べる。また保存データの改竄確認と改竄が疑われる企業のトレースについては、4章3節3項及び4章3節5項と同じ内容のため、本章での説明は割愛する。なお、実証試験では出来形の確認（品質・出来形検査）は完了しているものとして取り扱い、出来高査定及び支払いに関係する内容を実施した。

5.2.1 検査パターン

検査パターンを表 5-4 に示す。出来形検査は掘削工に対して5パターン実施した。また実証試験での支払いについては、表 5-2 に示す通り出来高部分払を想定しており部分払は合計2回実施されるものとする。このため出来高査定についても、1回目部分払と2回目部分払のそれぞれについて実施、判定として合格を得たものに対し、支払いを実行した。

表 5-4 検査のパターン

| No | 受注者 | 部分払 | ①入力値の改竄確認 | ②保存データの改竄確認 | ③出来高数量の確認 | 判定 |
|----|--------|------|-----------|-------------|-----------|-----|
| 1 | C 工務店 | 1 回目 | なし | あり | — | 不合格 |
| 2 | A 建設 | 1 回目 | あり | — | — | 不合格 |
| 3 | B 土木工業 | 1 回目 | なし | なし | OK | 合格 |
| 4 | A 建設 | 2 回目 | なし | あり | — | 不合格 |
| 5 | B 土木工業 | 2 回目 | なし | なし | OK | 合格 |

5.2.2 入力値の改竄確認

図 5-4 に示す通り xml 形式の 3 次元設計モデルを取り込み GNSS データからブルドーザーの移動軌跡を再現するプログラムを用いて確認する。データが改竄されていない場合は、ブルドーザーの移動軌跡は t1, t2, t3 と時間が経過するごとに連続的に移動し、その移動軌跡も連続的に描画される（図 5-4）。

一方で図 5-5 に示す通り描画したデータが不連続になる場合は、何らかのデータ改竄が疑われる。これは施工後に都合の悪いデータを削除する、人為的に点群データを付け加えるなどの行為があったことが疑われる。図 5-5 に示すような内容が確認された場合は改竄の疑いがあると判断し、改竄の疑いがある企業のトレースを実施する。

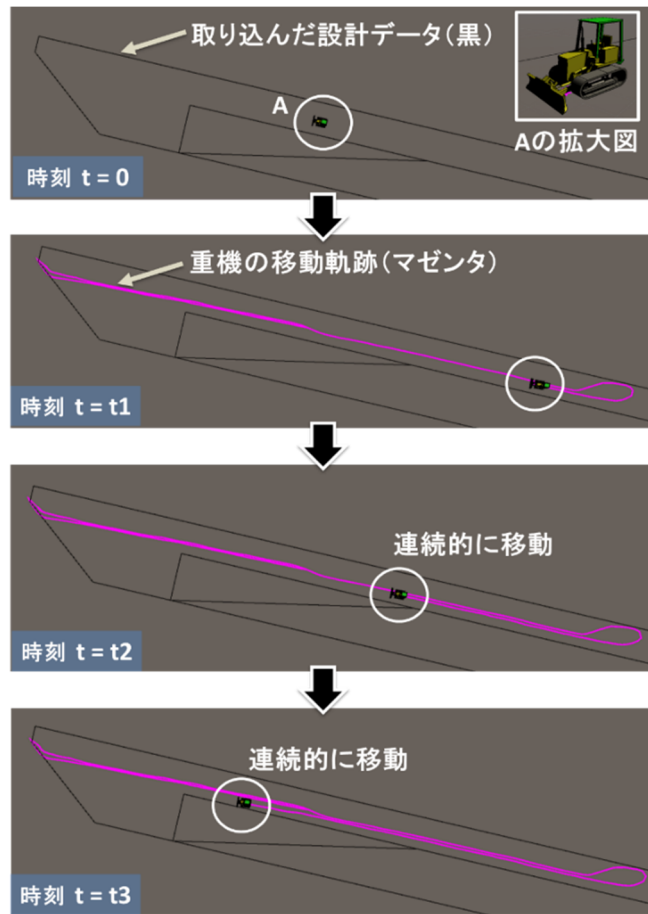


図 5-4 改竄なしの場合の重機の移動軌跡

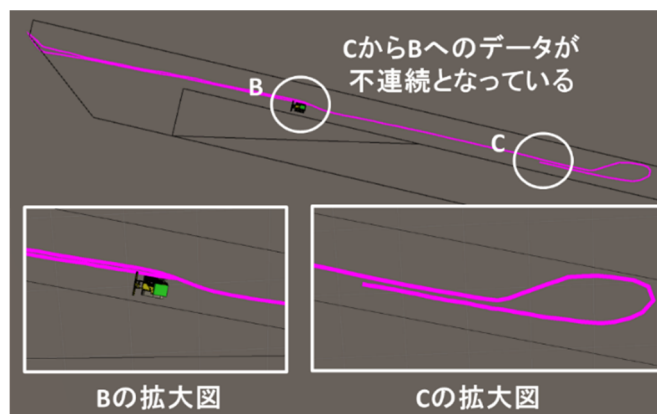


図 5-5 改竄ありの場合の重機の移動軌跡

5.2.3 出来高数量の確認

出来高数量の確認の判定値は、現況地盤面に対して設計モデルデータ±50mmと現地盤面の点群データを用いて上限値と下限値を設定し、この値以内の場合は合格とする（表5-5）。掘削土量の体積の算出は3章6節8項で開発したプログラムを用いて、それぞれ部分払の1回目、2回目に掘削土量モデル（図5-6）を設計モデル、現地盤面の点群データ、ブルドーザーの刃先情報から生成する。また当該工事の出来形管理は掘削床のみであり、法面は含まれない。このため法面整形時の刃先情報は施工管理情報として取得されており、今回の実証試験でも法面の情報は含めない。

入力値の改竄確認、保存データの改竄確認、出来高数量の確認のプロセスで改竄なし、判定値以内と判断された内容に対しては確認された出来高査定の結果に基づいて、契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新する。

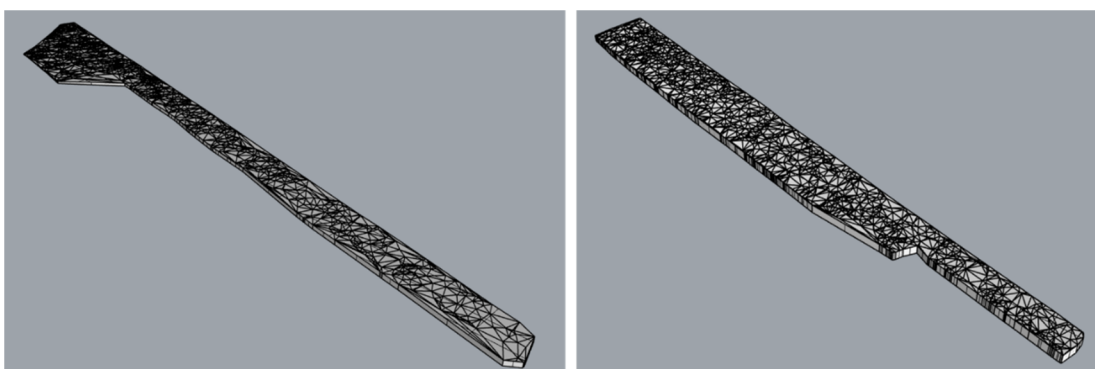


図 5-6 掘削土量モデル（左：第1回目部分払い、右：第2回目部分払い）

表 5-5 出来高数量の確認の判定値

| 部分払 | 設計値 | 下限値 設計値+50mm | 上限値 設計値-50mm |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1回目 | 14,053m ³ | 13,553m ³ | 14,553m ³ |
| 2回目 | 8,524m ³ | 8,214m ³ | 9,348m ³ |

5.2.4 支払いの実行

受注者が出来高査定システムの契約情報の保存機能を用いて出来高数量を入力することを出来高部分払申請とし、発注者は支払いを行う。支払いの実行にあたっては、まず申請された出来高率とブロックチェーン上に保存された出来高査定で確認した値が一致するかを支払システムの機能を用いて確認する。この結果、一致する場合には契約金額と出来高率を乗じた値を当事者間で送金を実施する。

1回目部分払い及び2回目部分払いのそれぞれについて、出来高査定システムにより契約履行状況としてスマートコントラクト上に記述された内容の模式図を図 5-7 に示す。この契約条件や契約履行状況をトレースし決定される支払金額を下記に示す。

$$\text{第1回目部分払い金額} \quad 4,515,400 \text{ ICT} \times 0.62 = 2,799,548 \text{ ICT}$$

$$\text{第2回目部分払い金額} \quad 4,515,400 \text{ ICT} \times (1.00 - 0.62) = 1,715,852 \text{ ICT}$$

| 【1回目部分払い】 契約の履行状況 | | 【2回目部分払い】 契約の履行状況 | |
|-------------------|---|-------------------|---|
| 項目 | 値 | 項目 | 値 |
| 契約ID | 1113 | 契約ID | 2112 |
| 注文者のアカウント | 0x006375cbe053b31890f4830dc5e3b52af198fecc | 注文者のアカウント | 0x006375cbe053b31890f4830dc5e3b52af198fecc |
| 受注者のアカウント | 0x888694fca24ca30991eed2ed1322a8a111846498 | 受注者のアカウント | 0x888694fca24ca30991eed2ed1322a8a111846498 |
| 契約金額 | 4,515,400 ICT 契約単価: 200ICT 契約数量: 22,577m ³ | 契約金額 | 4,515,400 ICT 契約単価: 200ICT 契約数量: 22,577m ³ |
| 品質・出来形検査に合格した出来高率 | 62% | 品質・出来形検査に合格した出来高率 | 100% |
| 出来高査定により確定された出来高率 | 62% | 出来高査定により確定された出来高率 | 100% |

図 5-7 スマートコントラクトに入力される契約履行状況

(左: 第1回目部分払い, 右: 第2回目部分払い)

また、契約金額以上の支払いの実行を防ぐために、2回目以降の支払時には既払金額をトレースし支払金額を決定する。既払金額のトレースは、今回の場合は第1回目部分払いの実行時に取得する Transaction Hash を利用する。

5.3 結果

実証試験では5章3節2項から4項までに示した内容を各検査パターンのそれぞれについて実行した。この結果、No1, No2, No4 に対して検査判定として不合格の判定を得た。また改竄の特定もすべての改竄が特定された。さらに改竄が疑われる企業の特定期も想定通りの企業を特定することができた。

支払いについては、発注者から検査に合格したB 土木工業へ仮想通貨の送金を実行することができた。1回目の部分払では、契約金額に対して62%の出来高率に当たる2,799,548 ICT が送金され、2回目の部分払では38%に当たる1,715,852 ICT の送金の実行が確認できた。

以上の結果より、出来高査定システム及び支払システムにおける検証項目である「検証項目2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて、契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新することが可能であること。さらに契約条件や契約履行状況をトレースし支払金額の自動算出が可能であり、支払いの実行が可能であること」が確認された。

第6章 汎用システムの検討と提案

本章では1章3節に示した目的2の汎用システムの検討とその提案について述べる。3章で述べたプロトタイプは土工事を対象としたものであった。このプロトタイプを他工種に応用するなど汎用的に活用するために必要な要件や機能について本章では検討する。検討に当たっては外部システムとの連携も含めて要件や機能を定義するほか、部分的に必要な開発を行う。

6.1 汎用システムの概要

プロトタイプの開発を踏まえて汎用システムの全体構成の概略図を図6-1に示す。汎用システムは生産プロセス（指示、情報、検査、支払）において必要な機能を満足するために、基盤システムの他に、指示内容に基づき決定される契約情報を保存するための契約情報保存システム、受注者が生成する施工管理情報や設計情報を保存するための入力情報保存システム、検査を実施するための出来形検査システム、出来高査定システム、支払いを実施するための支払システムから構成される。各システムの機能の概要を表6-1に示す。

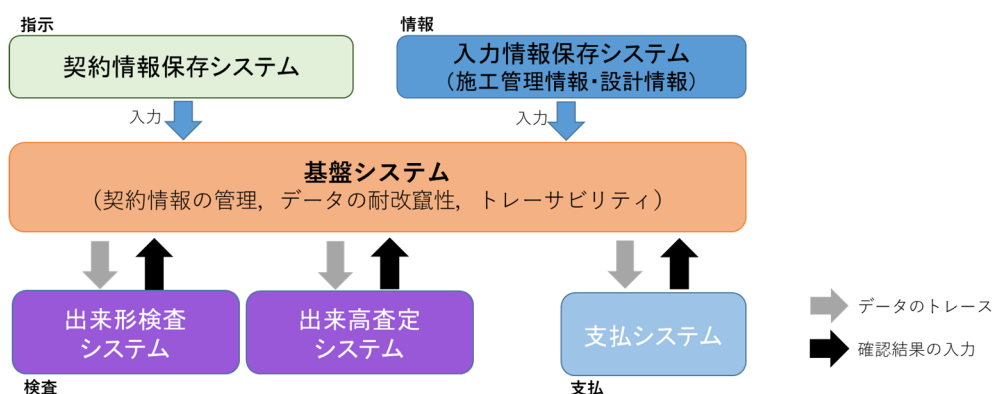


図 6-1 全体構成の概略図

表 6-1 機能の概要

| システム名 | 生産プロセスの段階 | 機能 |
|------------|-----------|---|
| 契約情報保存システム | 指示 | ・ 指示内容に基づき決定される契約情報を保存 |
| 入力値保存システム | 情報 | ・ 施工管理情報，設計情報を保存 |
| 出来形検査システム | 検査 | ・ 施工管理情報の改竄確認 ・ 施工の品質及び出来形が発注者の要求水準内であることの確認 |
| 出来高査定システム | 検査 | ・ 施工管理情報の改竄確認 ・ 施工数量が受注者からの申請された出来形と一致するかの確認 |
| 支払システム | 支払 | ・ 品質及び出来形の検査に合格していることを前提に確認された出来高と契約金額より支払額を決定 |

6.2 汎用システムの要件定義とシステム構成

6.2.1 要件の定義

現行の建設業のサプライチェーンに内在する検査や支払に関連する課題を解決するため、汎用システムに求められる要件として次の5項目を定義する。

- (i) サプライチェーンへの参加者がシステムへアクセス可能であり，生産された施工管理情報をシステムへ保存可能かつ保存データが耐改竄性を有すること
- (ii) 契約条件や契約履行内容を管理することが可能であり，これらの情報が保存・変更可能かつ耐改竄性を有すること
- (iii) 発注者や注文者による施工管理情報のトレースが可能かつその情報の改竄有無の確認が可能であること
- (iv) 施工管理情報に基づいて出来形検査や出来高査定の実施が可能であること
- (v) 契約の履行状況に基づいて，発注者や注文者から受注者に対して支払う金額の自動算出が可能なこと
- (vi) システムを維持管理する上で，改修や更新が行いやすい仕様であること

この要件にはプロトタイプの開発において既に開発した内容も含まれる。このため各要件に対して、本章で検討する内容を明示する。また、すでに競争領域で開発が進んでいる内容については、プロトタイプで示した機能を満足する技術を汎用システムに社会実装時には組み込むことを想定している。このため競争領域において開発が進むことが想定される内容については、本章での汎用システムの検討項目からは除外する。

- (i) 保存データの耐改竄性を担保するために、ブロックチェーンをプロトタイプにおいて活用した。プロトタイプでは商用クラウドサービスを活用した。社会実装時には商用クラウドサービス以外の選択肢があることが望ましいため、プライベートブロックチェーンを実装する（6章4節1項）。また施工管理情報の保存方法について検討する（6章4節5項）。さらにサプライチェーンへの参加者のシステムへのアクセス性を考慮し WebAPI の検討及び開発する（6章4節3項）。
- (ii) 設計変更に対応可能とするスマートコントラクトを検討及び開発する（6章4節2項）。
- (iii) 施工管理情報等の情報をトレースするために必要なトランザクションの管理及び復元方法を検討する（6章4節5項）。
- (iv) 競争領域において各種グラフィック処理技術は開発が進められているため、汎用システムではこれらの技術の活用が期待される。
- (v) 競争領域において様々な決済方法の提案がなされている。汎用システムではこれらの技術の活用が期待される。
- (vi) システムの維持管理更新を念頭に置いた WebAPI を設計する（6章4節3項）。

6.2.2 全体構成

図 6-2 にシステム構成の詳細図を示す。図 6-1 に示したシステムは、図 6-2 に示すシステムによって構成され必要な要件を満足する。概略図及び詳細図で示した各システムの対応関係を表 6-2 に示す。

図 6-3 に生産プロセス（指示、情報、検査、支払）に対するシステムフローを示す。このうち、各システムと Web API をつなぐ矢視はデータの入力及びトレースを表す。

また設計情報は設計図書の一部として入札時に発注者より示されるものであり、指示の前提になる情報である。しかし、現場の条件変更などにより生じる設計変更で設計情報を修正する場合も考えられることから、図 6-3 では生産プロセスのうちの情報に位置づけ、入力情報保存システムが有する機能の一部として取り扱うこととする。また各システムは、基盤システムを共有しており情報の入力及びトレースを適宜、そのプロセス内で実施する。

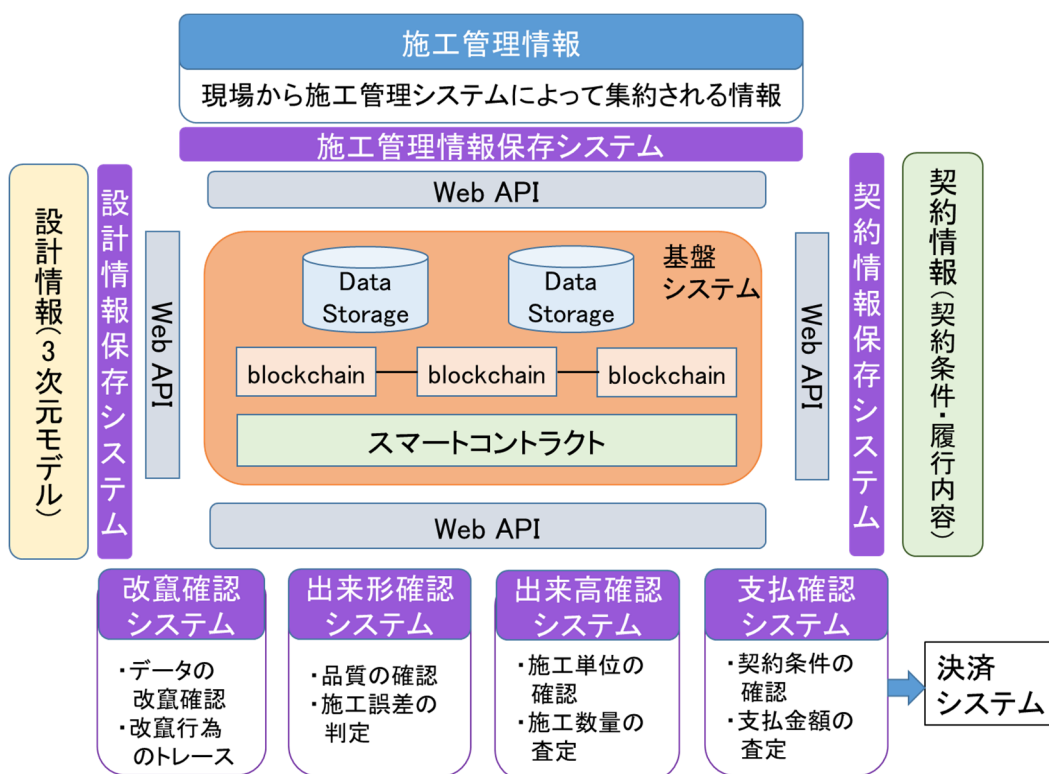


図 6-2 システム構成の詳細図

表 6-2 システムの対応関係

| システム名 (概略図より) | 利用するシステム (詳細図より) |
|---------------|--|
| 契約情報保存システム | 契約情報保存システム, 基盤システム, WebAPI |
| 入力情報保存システム | 施工管理情報保存システム, 設計情報保存システム 基盤システム, WebAPI |
| 出来形検査システム | 改竄確認システム, 出来形確認システム 基盤システム, WebAPI |
| 出来高査定システム | 改竄確認システム, 出来高確認システム 基盤システム, WebAPI |
| 支払システム | 支払確認システム, 基盤システム, WebAPI |

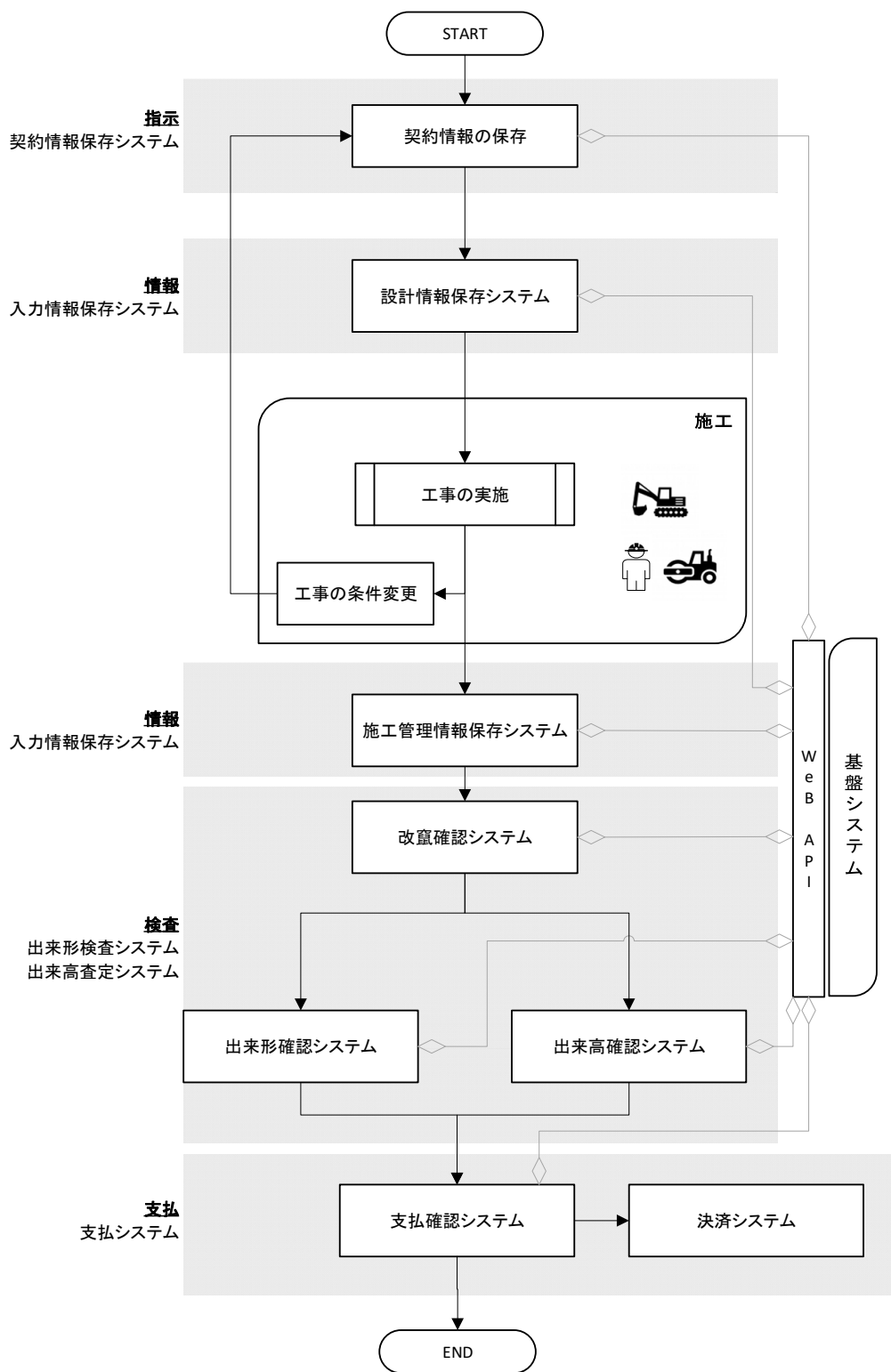


図 6-3 生産プロセスに対するシステムフロー

6.3 システムを利用するプレイヤーの役割と得られる効果

本システムの利用者は発注者、施工者、サプライヤー（専門工事会社、材料メーカー等）が挙げられる。図 6-3 に示した指示、情報、検査、支払の生産プロセスに従い、本システムでは、指示内容に基づき決定される契約情報の保存、受注者が生成する施工管理情報の保存、契約情報及び施工管理情報を活用した検査及び支払を対象として取り扱う。発注者からの指示内容（工事目的物の仕様）や、元請からサプライヤーへの指示内容（元請の施工計画に基づく請負範囲及び制約条件）の策定はシステム外で行い、決定した内容を契約情報としてシステム内に入力する。

表 6-3 各プレイヤーの役割

| 利用者 | 役割 |
|------------|--|
| 発注者 | 契約情報： ・ 工事請負契約で決定された契約情報の保存 (変更契約を含む) |
| | 検 査： ・ 元請の施工成果に対して工事請負契約に基づき検査を実施 |
| | 支 払： ・ 元請の請求に対し工事請負契約に基づき支払額を決定 |
| 元請 | 契約情報： ・ 下請負契約で決定された契約情報の保存 |
| | 施工情報： ・ 施工内容に基づく施工管理情報の保存 |
| | 検 査： ・ 下請会社の施工成果に対して下請負契約に基づき検査を実施 |
| | 支 払： ・ 工事請負契約に基づき発注者に対して支払請求を行う ・ 下請会社の請求に対し下請負契約に基づき支払額を決定 |
| サプラ イヤー | 契約情報： ・ 他のサプライヤーへ発注した場合、その契約情報の保存 施工情報： ・ 供給物の品質証明書の保存 ・ 施工内容に基づく施工管理情報の保存 |
| | 検 査： ・ 他のサプライヤーへ発注した場合、契約に基づき検査を実施 |
| | 支 払： ・ 下請負契約に基づき元請に対して支払請求を行う ・ 他のサプライヤーへ発注した場合、その契約に基づき支払額を決定し支払 |

次に、各プレイヤー別に得られる効果を示す。

(1) 発注者

受注者が保存した施工管理情報の信憑性が担保されるため、この情報を直接、検査に利用可能となり、従来の検査のように別途、確認するための計測等が不要になる。さらに現場において立会を要する臨場検査が省力化されることで、現場に赴き検査を実施する負担を減らすことができる。

また品質・出来形検査及び出来高査定結果がブロックチェーン上に記録された契約情報の履行内容として蓄積されることで契約条件に従った支払金額を自動算出することが可能となる。これにより、会計業務の負担を減らすことが可能となる。

(2) 元請

施工管理情報を直接、検査へ利用可能となることにより、検査のための書類作成の業務を合理化することが可能となる。また発注者と同様に施工管理情報を直接、検査に活用可能となることで臨場検査が省力化、現場立会検査のための準備等の業務を省力化することが可能となる。さらに、煩雑となっていた出来高部分払申請が行いやすくなることにより、金利負担の低減など財務状況の改善も期待される。

(3) サプライヤー

施工管理情報を注文者と基盤システム上で共有することが可能となることによって、現場での確認作業減り、これまでよりも早い段階での注文者による自主検査を行うことが可能となる。これにより、施工の手戻りが少なくなることが期待される。また、本システムを元請、サプライヤー間の支払いに応用することにより、これまでの月払よりも多くの支払回数を実現できることが期待される。

6.4 システムの汎用化に向けた各構成システムの提案

6.4.1 プライベートブロックチェーンの実装

基盤システムで利用するブロックチェーンはEthereumを選定した。EthereumはSolidityを用いてスマートコントラクトの実装が可能なのが選定理由である。開発ではganache-cli、実証試験では商用クラウドサービスであるAzure⁷⁰のAzure Blockchain Serviceを利用し、ブロックチェーンを実装した。(図 6-4)。ブロックチェーンは、一般的にトランザクションを実行してから、新しいブロックが生成されるまでに設定した時間(一般的には10秒前後)待つ必要があるため、送信したリクエストに対するレスポンスに待ち時間が生じる。この待ち時間をなくし、スマートコントラクトの開発及びテストの処理を開発者のため容易にするためにganache-cliは開発されたもの⁸¹であり、本研究開発でもこれを活用した。ganache-cliをブロックチェーンとして利用する場合、WebAPIの

接続先はローカルホストアドレス^{※6}となる。(初期設定は http://localhost:7545)。一方、実証試験ではより汎用システムの実装時に近い環境で試験を行うため、Azure Blockchain Service を利用した。この場合はネットワークを介してクラウドサーバーを WebAPI へ接続する。

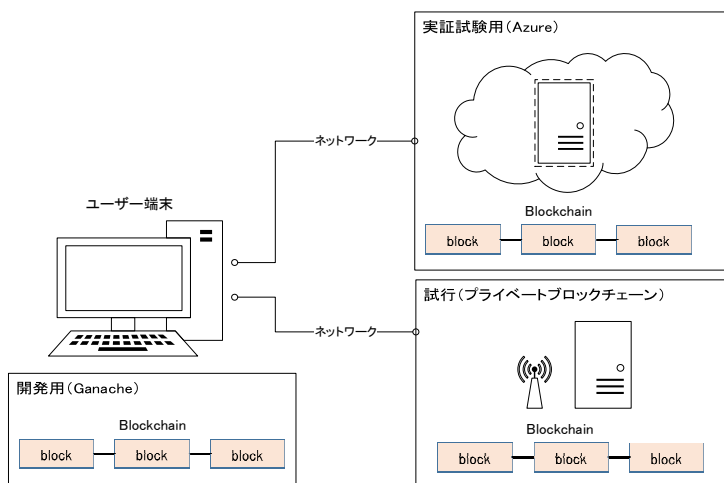


図 6-4 ブロックチェーンの実装内容

またブロックチェーンは社会実装時には高可用性を実現するために、システム参加者がそれぞれ保有する必要がある。このとき、商用のクラウド以外に、別の方法でブロックチェーンを実装する選択肢があることが望ましい。このため、今回、基盤システムの開発の中で試行として、オープンソースの Go Ethereum⁷¹といくつかのハードデバイスを組み合わせてプライベートブロックチェーンを構築し開発したスマートコントラクト等がこのブロックチェーン上で動作するかの確認を実施した。

開発したプライベートブロックチェーンのシステム構成を図 6-5 に示す。ブロックチェーン生成ノードは、サーバー (Raspberry Pi4) にオープンソースである Go-Ethereum を用いた。また生成したブロックチェーンを保存するためのデータストレージを用意した。さらに、ルーターを使用しネットワークの環境を構築した。ユーザー端末は、ワイヤレスアクセスポイントを介してネットワークに接続し、ブロックチェーン生成ノードが保有するブロックチェーンネットワークへ RPC (Remote Procedure Call) 接続する。

用語説明 (参考文献 72)

^{※6} ローカルホストアドレスは自分自身 (自分の PC) を示すための IP アドレスとして使用される。

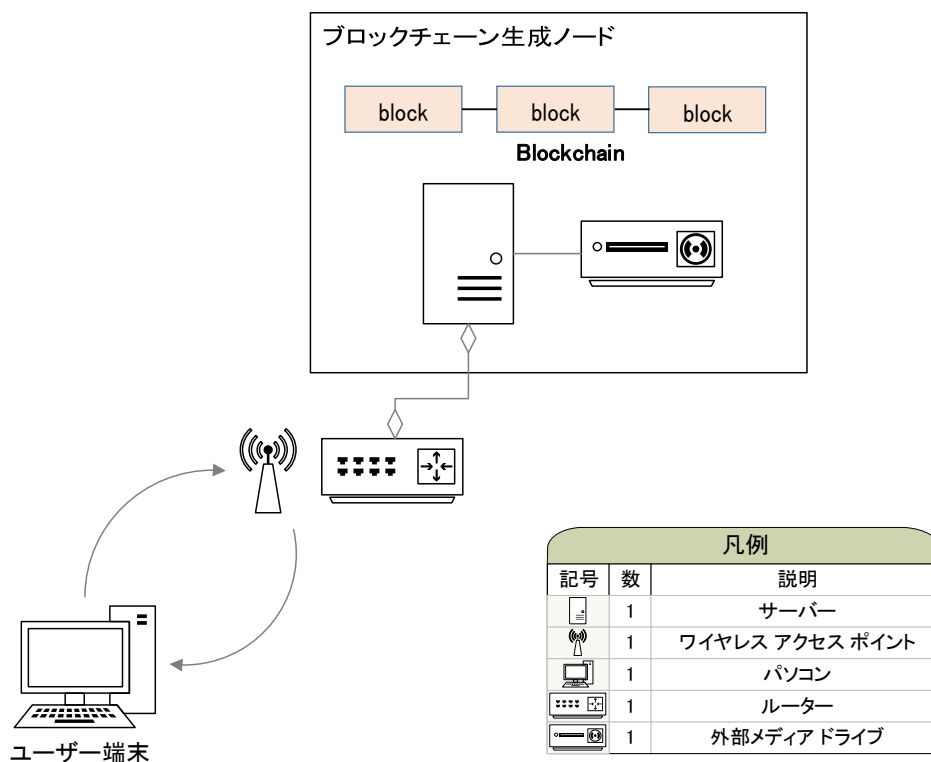


図 6-5 プライベートブロックチェーンのシステム構成

6.4.2 設計変更に対応したスマートコントラクトの検討と開発

1章2節3項に示した設計変更の具体例について以下に再掲する。汎用システムの基盤システムにおけるスマートコントラクトでは、このような設計変更による条件変更について対応する必要がある。各設計変更内容に対するシステム上での対応方法を表 6-5 に示す。

表 6-4 設計変更内容とその具体例

| 契約上の変更内容 | 具体例 |
|--------------|-----------------------------------|
| i. 契約項目の追加 | 契約時に想定していない支障物や巨礫が見つかったため撤去工を追加する |
| ii. 契約数量の変更 | 支障物が見つかり地中連続壁をオフセットしたため掘削数量を変更する |
| iii. 契約単価の変更 | 土質や地下水位が事前に想定していた内容と異なる |

表 6-5 各変更内容に対する対応

| 契約上の変更内容 | システム上での対応 |
|--------------|---|
| i. 契約項目の追加 | 新たな契約 ID を発行する |
| ii. 契約数量の変更 | 契約数量を変更し、元契約の契約条件及び履行状況を適切に引き継ぎ新たな契約 ID を発行する |
| iii. 契約単価の変更 | 契約単価を変更し、元契約の契約条件及び履行状況を適切に引き継ぎ新たな契約 ID を発行する |

また、具体的にスマートコントラクトを実装するプログラムには次の 2 つの機能が求められる。またこれらの機能について図 6-6 に模式図を示す。

- (1) 元契約のコントラクトを停止する機能
- (2) 元契約の履行内容を設計変更後の契約内容に引継ぐ機能

これらの機能のうち (1) については、設計変更後はこの契約内容に従って契約の履行が進むため、元契約は出来高査定及び出来形検査結果の入力受付の機能を停止する必要がある。このため、本システムでは設計変更後に元契約の機能を停止する機能を有する。

(2) については、表 6-4 に示す変更内容のうち ii, iii の場合、すでに品質・出来形検査や出来高査定に合格した出来高率が計上されている可能性があるため新しい契約でもこれらの情報を引き継ぐ必要があるため求められる機能となる。具体的には、図 6-6 に示す、青のハッチ部がトレースする情報である。設計変更契約の契約内容も基本的に、元契約と同じ契約 ID、注文者のアカウント、受注者のアカウント、契約金額（契約単価・契約数量）の情報を保有する。これ以外に、元契約の契約 ID、元契約の契約金額及び既払い金額を元契約からのトレースする情報として保有する。さらに、出来高査定により確定された出来高率、品質・出来形検査に合格した出来高率は元契約の契約履行状況を反映する。契約数量が変更になった場合は、元契約の各出来高数量に対して出来高率を計算しなおし、この結果を設計変更後の契約内容に反映する。このように情報をトレースすることで設計変更後の契約の履行を進める際も元契約の履行状況を踏まえることが可能となり、契約項目に対する過払を防ぐことが可能となる。

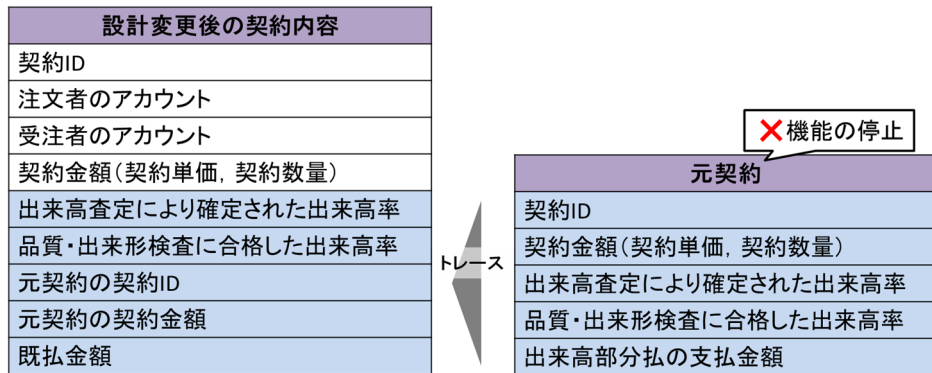


図 6-6 設計変更契約への元契約情報のトレース内容

次に、これらのスマートコントラクトの機能について、その開発内容について述べる。スマートコントラクトを実装するプログラムによって発行された契約 ID は図 6-7 に示す通り、その機能が管理されている。この図に示す通り設計変更等で機能を無効化する必要がある場合に、機能を inactive とし出来高率の確定等の必要な履行内容の状態遷移を不可とする。

また図 6-8 に契約情報保存システムのシステムフローの全体を示す。このフローのうち元契約の契約情報をトレースし計算される設計変更後の各出来高率は式 1 を用いる。

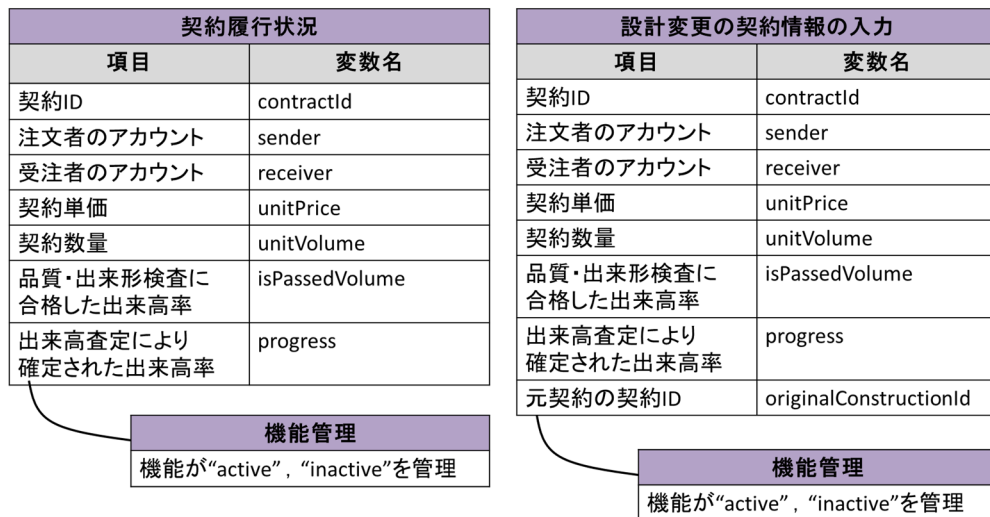


図 6-7 契約 ID に対する機能管理について

$$\text{設計変更後の出来高率} = \frac{\text{元契約の契約数量} \times \text{元契約の出来高率}}{\text{設計変更後の契約数量}} \quad (1)$$

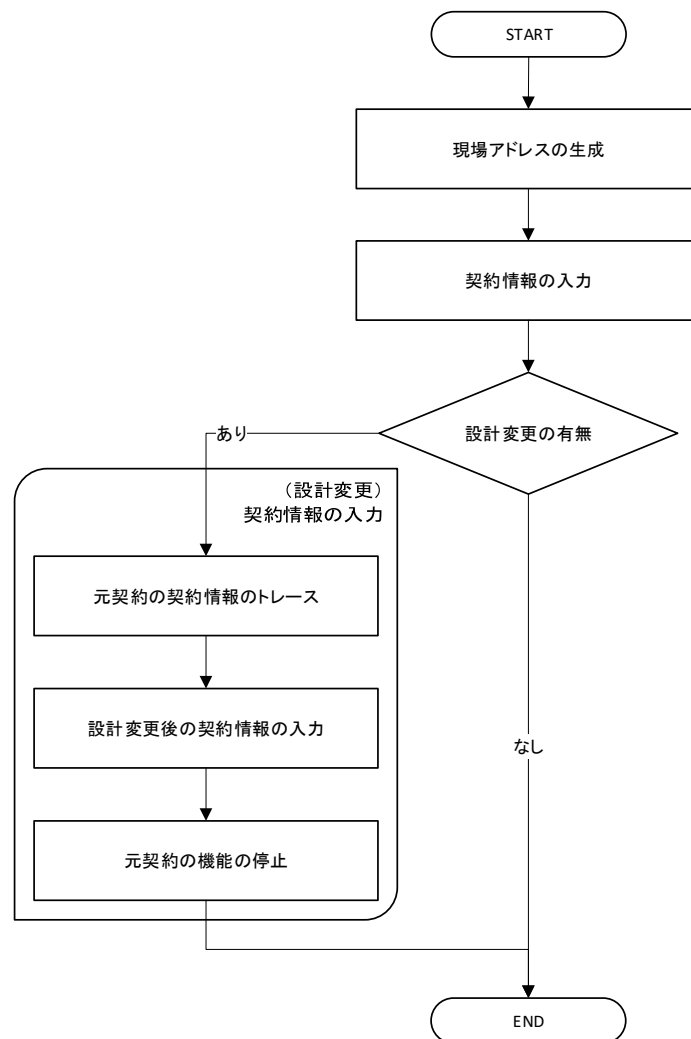


図 6-8 契約情報保存システムのシステムフロー

図 6-9 には具体例として契約 ID が 1111 の元契約を前提に設計変更の契約情報入力内容の例を示す。設計変更の内容は、契約単価及び契約数量がそれぞれ変更になっている。また品質・出来形検査に合格した出来高率及び出来高査定により確定した出来高率のそれぞれも 30%が計上されている状態となっている。このとき、式 1 により決定される設計変更後の各出来高率は、21%となる。

実際の実行例として、表 6-6 及び表 6-7 にそれぞれ設計変更の契約情報入力プロセスの変数名及び入出力値を示す。

| 契約情報の入力 | | | 設計変更の契約情報 | | |
|-------------------|----------------|--|-------------------|------------------------|--|
| 項目 | 変数名 | 値 | 項目 | 変数名 | 値 |
| 契約ID | contractId | 1111 | 契約ID | contractId | 2222 |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd | 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 | 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 契約単価 | unitPrice | 200 | 契約単価 | unitPrice | 220 |
| 契約数量 | unitVolume | 22577 | 契約数量 | unitVolume | 32577 |
| 品質・出来形検査に合格した出来高率 | isPassedVolume | 30 | 元契約の契約ID | OriginalConstructionId | 1111 |
| 出来高査定により確定された出来高率 | progress | 30 | 品質・出来形検査に合格した出来高率 | isPassedVolume | 21 |
| | | | 出来高査定により確定された出来高率 | progress | 21 |

図 6-9 設計変更の契約情報入力内容の例

表 6-6 設計変更の契約情報入力プロセスで利用する変数名

| 項目 | 変数名 | 値 (例) |
|-----------------------|--------------------|--|
| 現場 ID | siteId | 1 |
| 契約 ID | contractId | 1111, 2222 (設計変更) |
| 注文者のアカウント | sender | 0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd |
| 受注者のアカウント | receiver | 0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22 |
| 契約単価 | unitPrice | 200 ICT, 220 ICT (設計変更) |
| 契約数量 | unitVolume | 22577 m3, 32577 ICT (設計変更) |
| 契約金額 | price | 4515400 ICT |
| 元契約の契約 ID | originalContractId | 1111 |
| 既払金額をトレースするための txHash | txhashForPayment | なし |
| 品質・出来形検査に合格した出来高率 | isPassedVolume | 21 % |
| 元契約の契約金額 | originalPrice | 4515400 ICT |
| 元契約での契約金額 | pastPayment | 0 ICT |
| 設計変更の理由 1 | reason1 | "Unit Price is changed" |
| 設計変更の理由 2 | reason2 | "Quantity is changed" |

表 6-7 設計変更の契約情報入力プロセスの入出力値

| 設計変更の契約情報の入力（メソッド：POST） |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 2222, "UnitPrice": 220, "UnitVolume": 32577, "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "passForSender": "123", "passForReciever": "123", "originalContractId": 1111, "txhashForPayment": "" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "2222", "sender": "0x7a0C0e3933436DED0645876Ef1282292Cc04aaAd", "reciever": "0xE487E67faa343Bc4fA6726928EecADd54653bD22", "price": "7166940", "isPassedVolume": "21", "originalConstructionId": "1111", "originalPrice": "4515400", "pastPayment": "0", "reason1": "Unit Price is changed", "reason2": "Quantity is changed" }</pre> |

6.4.3 システムのアクセス性及び維持管理を考慮した WebAPI の検討

基盤システムにサプライチェーンの参加者がアクセスできるように、WebAPI の検討及び開発を行う。WebAPI(Web Application Programming Interface)とは HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)プロトコルを利用してネットワーク越しに呼び出す API⁷³のことを指す。ブロックチェーン及びデータストレージはクラウド化し、様々な現場からアクセス可能な環境を構築する。このため API も Web を介して機能を実行できる WebAPI とした。この API を介して入力値のブロックチェーンへの保存や、各システムがスマートコントラクトを実装したプログラムやブロックチェーンへアクセスすることを可能とする。

図 6-10 に示す通りシステムではユーザーからの入力値を User Interface で受け付け、WebAPI へ HTTP リクエストが送信される。WebAPI は保有する API にアクセスするためのエンドポイント (URI ; Uniform Resource Identifier) を有しており、HTTP リクエスト送信時に指定された URI に対応するシステムの機能と連携し、基盤システムへの入力を実行し出力結果を得る (図 6-10)。

次に WebAPI のエンドポイントを設計する。各エンドポイントを機能別に整理するために、図 6-11 に示す通り 2 階層の構造とした。第 1 階層は、図 6-2 に示す汎用システムを構成する各システムを表すものとした。また、第 2 階層は各システムを構成する機能別に分ける。エンドポイントは、「http://サーバー名/システム名/機能名」で記述するものとし、階層は“/”で区切り、単語は“-”でつなぐこととする。

エンドポイントをこのようなルールで構成することにより、各システムがどのような機能により構成され一つのモジュール^{※7}として形成されているかが分かりやすくなる。このため機能の追加・改修時にどの部分を改修する必要があるか、またどのシステムに帰属するエンドポイントを追加するのかが明確になり、システムの維持管理が行いやすくなる。

このルールに従い設定したエンドポイントの一覧を表 6-8、表 6-9 に示す。またサーバー名は、仮に localhost:8000 とする。

用語説明 (参考文献 74より)

※7 モジュールとは関連性の強い関数や変数のまとまりを明示するためのもの

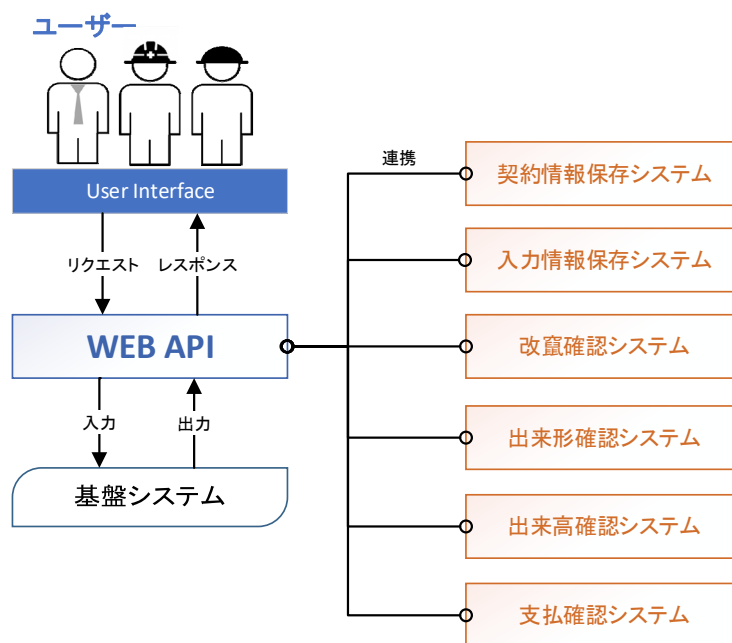


図 6-10 WebAPI の役割

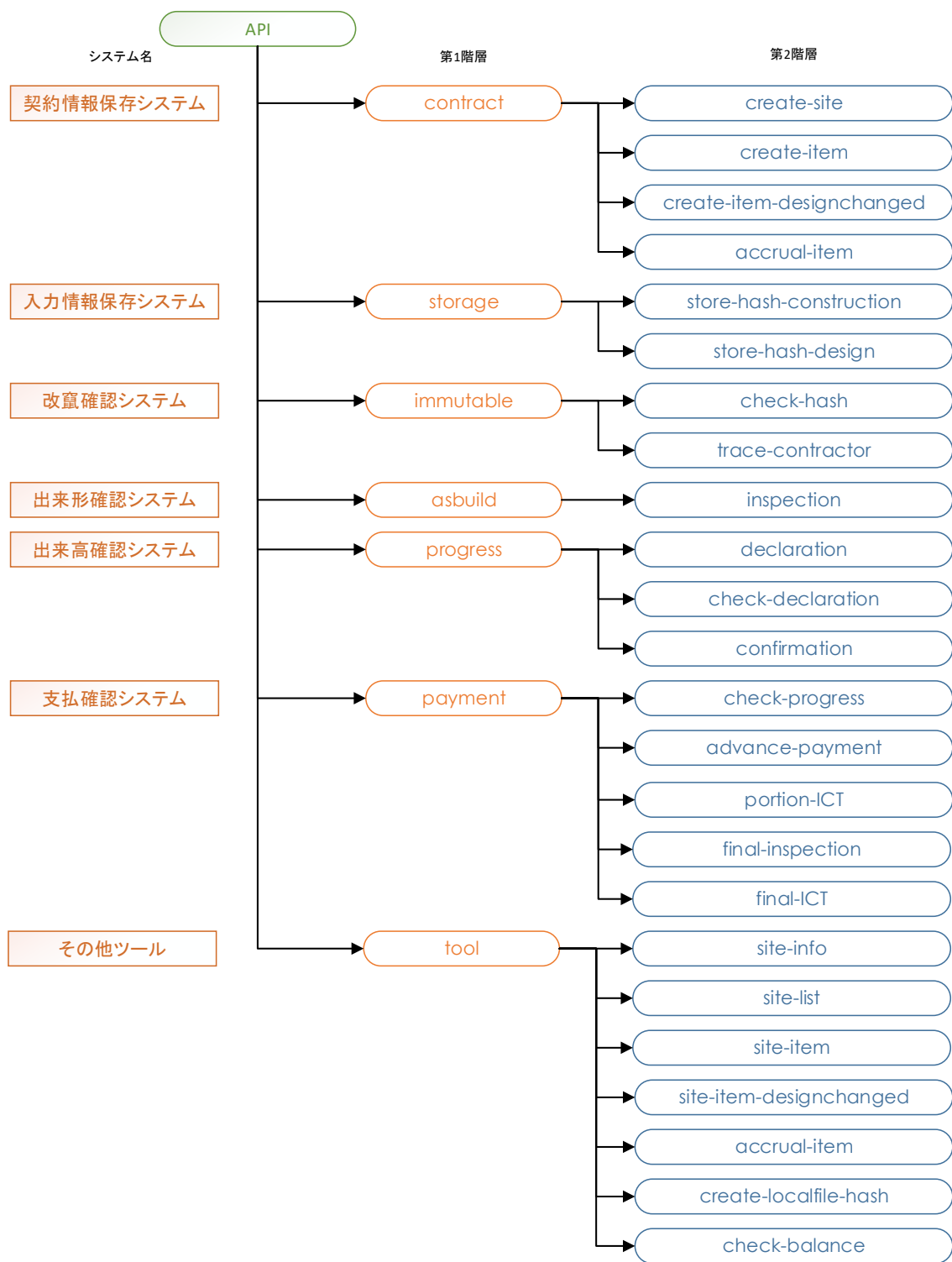


図 6-11 エンドポイントの階層構造

表 6-8 エンドポイント一覧 (契約情報保存システム～出来高確認システム)

| 名称 | ユーザ | 機能の概要 | エンドポイント |
|------------|------------|--------------|--|
| 契約情報保存システム | 発注者 | 現場アドレスの生成 | http://localhost:8000/contract/create-site |
| | 注文者 | 契約情報の入力 | http://localhost:8000/contract/create-item |
| | 注文者 | 設計変更の契約情報の入力 | http://localhost:8000/contract/create-item-designchanged |
| | 注文者 | 率計上分の契約情報の入力 | http://localhost:8000/contract/accrual-item |
| 入力情報保存システム | 受注者 | 施工管理情報の入力 | http://localhost:8000/storage/store-hash-construction |
| | 発注者 設計者 | 設計情報の入力 | http://localhost:8000/storage/store-hash-design |
| 改竄確認システム | 注文者 | 保存データの改竄確認 | http://localhost:8000/immutable/check-hash |
| | 注文者 | 保存者のトレース | http://localhost:8000/immutable/trace-contractor |
| 出来形確認システム | 注文者 | 検査の可否判定の入力 | http://localhost:8000/asbuild/inspection |
| 出来高確認システム | 受注者 | 出来高率の申請 | http://localhost:8000/progress/declaration |
| | 注文者 | 出来高率の確認 | http://localhost:8000/progress/check-declaration |
| | 注文者 | 出来高の確定 | http://localhost:8000/progress/confirmation |

表 6-9 エンドポイント一覧

| 名称 | ユーザ | 機能の概要 | エンドポイント |
|----------|-----|--------------------|---|
| 支払確認システム | 注文者 | 支払額の確認 | http://localhost:8000/payment/check-progress |
| | 注文者 | 前金払いの実行 | http://localhost:8000/payment/advance-payment |
| | 注文者 | 出来高部分払いの実行 | http://localhost:8000/payment/portion-ICT |
| | 発注者 | 完成検査の結果の入力 | http://localhost:8000/payment/final-inspection |
| | 発注者 | 竣工払いの実行 | http://localhost:8000/payment/final-ICT |
| その他ツール | 発注者 | 現場情報の取得 | http://localhost:8000/tool/site-info |
| | 発注者 | 発注した現場一覧 | http://localhost:8000/tool/site-list |
| | 発注者 | 契約条件及び履行状況の確認 | http://localhost:8000/tool/site-item |
| | 発注者 | 設計変更の契約条件及び履行状況の確認 | http://localhost:8000/tool/site-item-designchanged |
| | 発注者 | 率計上分の契約情報の確認 | http://localhost:8000/tool/accrual-item |
| | 発注者 | ファイルのハッシュ値生成 | http://localhost:8000/tool/create-localfile-hash |
| | 発注者 | 残金の確認 | http://localhost:8000/tool/check-balance |

次に WebAPI の開発について述べる。WebAPI の実行環境は Node.js⁷⁵を選定し、開発を行った。また、WebAPI はそのエンドポイントにおいて、入力値を受け付けブロックチェーンに配置されたスマートコントラクトを実装するプログラムへアクセスする。このとき入出力のデータ形式は JSON (JavaScript Object Notation) ^{※8}を利用する。また HTTP でのアクセス時に GET/POST などのメソッドを指定する。GET メソッドは指定した URI から情報の取得を表すメソッドであり、POST メソッドは URI に属する新しいリソースを送信する、つまり新しい情報を登録するために利用するものである ⁷³。

開発した WebAPI はスマートコントラクトへのアクセスのために、Ethereum のノードと通信する Javascript API ライブラリ^{※9}の web3.js⁷⁶を活用する (図 6-12)。web3.js を利用してブロックチェーンにアクセスする際には、配置したコントラクトのコントラクトアドレスが必要になる。このコントラクトアドレスは、ブロックチェーンへコントラクト配置時に発行される。3 章 6 節 3 項の図 3-26 に示したスマートコントラクトをブロックチェーン上に配置した例を「B.2 スマートコントラクトのブロックチェーン上への配置付録」に示す。また基盤システムの補助システムとして利用する RDB (MySQL) へのアクセスは mysql のライブラリ ⁷⁷を活用した。なお補助システムは 6 章 4 節 5 項で説明する。

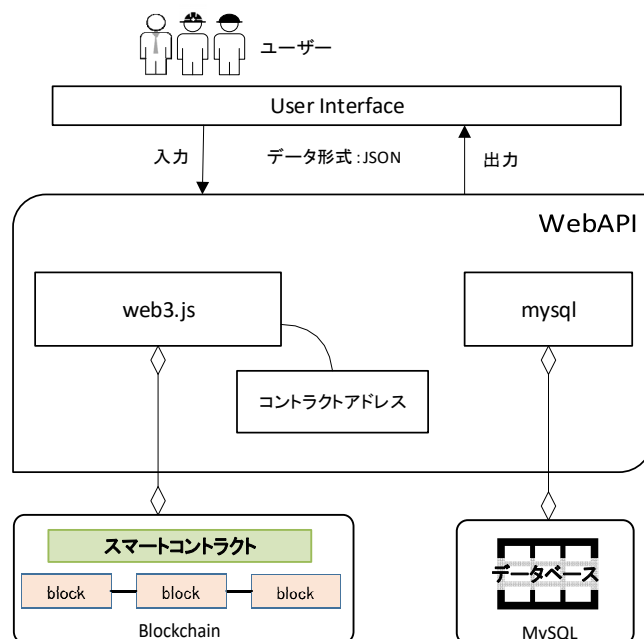


図 6-12 WebAPI 及びライブラリと基盤及び補助システムとの関係

用語説明 (参考文献 78, 79)

※8 JSON とは、軽量のデータ交換フォーマットであり、HTTP リクエスト時などに引数の設定等に利用する。

※9 JavaScript API ライブラリは npm を使ってパッケージをインストールする。npm とは(Node Package Manager)、Node.js 用のさまざまなパッケージを管理することができるツールであり、パッケージのインストールや管理については、今回の開発では npm を活用した。

6.4.4 施工管理情報収集基盤との連携を考慮した入力情報保存方法の検討

図 6-13 に示す通り施工管理情報及び設計情報を入力値として取り扱う。それぞれ施工管理システム及び設計情報管理システムから施工管理情報及び設計情報は取得する。施工管理情報は、元請及びサプライヤーによって生成され、設計情報は設計者によって生成され、設計・施工分離発注の場合は発注者が設計情報管理システムへデータを保存する。また施工管理システム及び設計システムから取得したデータに対し 3 章 3 節 2 項に示した高可用性を実現するため、ハッシュ生成プログラムを利用しハッシュ値を取得し、この取得したハッシュ値を WebAPI 経由で基盤システムへ保存する。

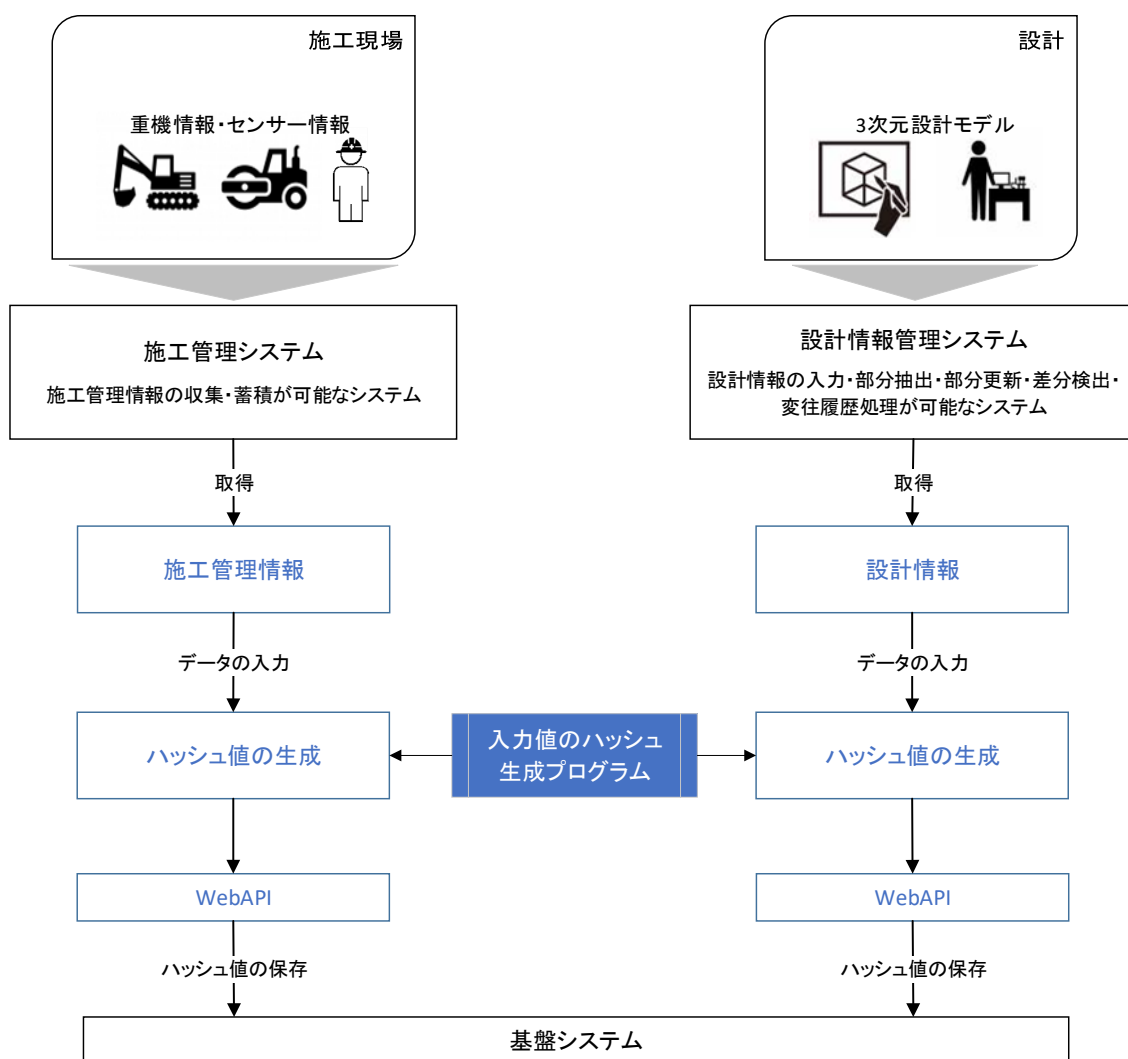


図 6-13 入力情報保存システムのフロー

ここでいう、施工管理システムは施工管理情報の収集・蓄積が可能なシステム、設計情報管理システムは設計情報の入力・部分抽出・部分更新・差分検出・変更履歴処理が可能なシステムを指す。これは様々なものが提案されており、その内容を付録 A.1 施工管理

システムに示す。付録にも示した通り、施工管理システムは、施工現場から施工管理情報を収集する機能を有しており、ここではこういった機能と汎用システムとの連携について検討する。基盤システムのブロックチェーンへの施工管理情報の保存についてプロトタイプの段階では、現場から収集された施工管理情報を手動で保存を実行した。一方、汎用システムでは施工管理情報を次の二つの理由から自動的に保存されることが望まれる。

- (1) 施工管理情報の保存作業の省略
- (2) 入力値の改竄リスクの低減

ここに挙げた通り、自動保存することで入力作業の手間を省くことができる他、直接、建機や測器等から施工管理情報を保存することで入力値の改竄リスクを下げる事が可能となる。施工管理システムから基盤システムへ自動的に保存する際のシステムの模式図を図 6-14 に示す。この図に示す通り、施工管理システムによって収集された施工管理情報は WebAPI 経由で基盤システムに保存される。

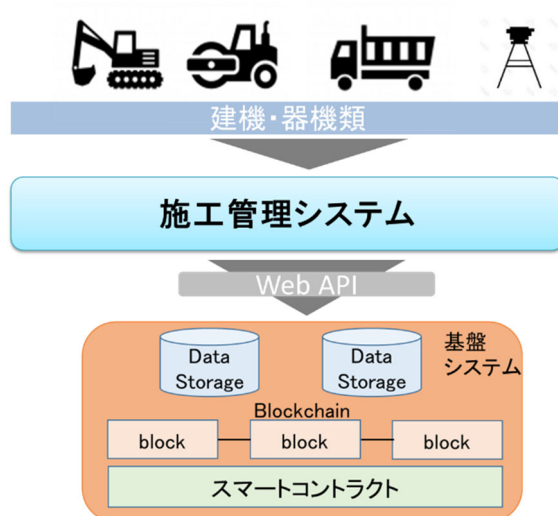


図 6-14 施工管理システムと基盤システムの連携

次にこのシステム間連携を試行するための実験用システムを構築する。実験用システムでは測器を用いて施工管理情報を収集することを想定する。図 6-15 に示す通り、トータルステーションから収集した情報を ROS(Robot Operating System)⁸⁰を用いて受け取り、WebAPI 経由でブロックチェーンへ保存する。構成するシステムに活用したソフトウェアやデバイスを表 6-10 に示す。さらしこの実験用システムを用いて、実験用フィールドにおいて測量を行い、ブロックチェーンへ測量情報が直接保存されることを確認した(図 6-16)。

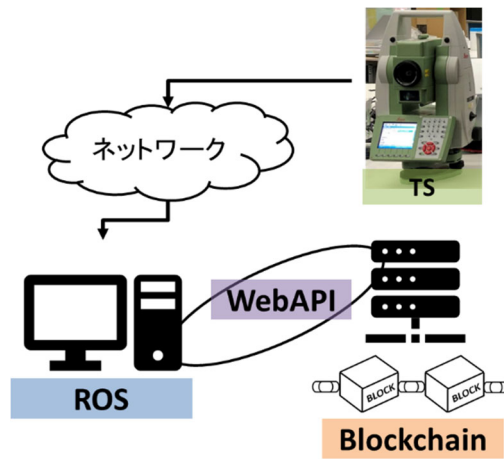


図 6-15 実験用システム

表 6-10 各変更内容に対する対応

| 項目 | 活用したツール |
|----------------|---------------|
| トータルステーション | TS15 |
| ROS | ROS Melodic |
| ブロックチェーン | Go-Ethereum |
| ブロックチェーン用のサーバー | Raspberry Pi4 |



図 6-16 実験用フィールドにおける計測状況

6.4.5 情報をトレースするための補助システムの検討

本システムでは高可用性を実現するためにブロックチェーンへのデータ保存は、保存対象そのものではなく、そのファイルのハッシュ値を取得し保存することとしている。3章3節2項で述べた通り、ハッシュ値を生成する一方向ハッシュ関数は、一方向性の特徴を有するためハッシュ値からファイルを復元することはできない。このため基盤システムは各情報の実体を保存するためにデータストレージを有する。

またブロックチェーンやブロックチェーン上のスマートコントラクトを実装するプログラムにアクセスするためには、ブロックチェーン上でユーザーが所有するアカウントである外部アカウント（Externally owned account）を用いる⁸¹。ブロックチェーン上に外部アカウントを作成すると、公開鍵及び秘密鍵が生成される。公開鍵から外部アカウントのID（以下、アカウント）が生成され、これを利用しスマートコントラクトを実装するプログラムの各関数へのアクセスする。また秘密鍵は個人によって安全なところへ保管する。またこのアカウントを用いてブロックチェーン上で取引することトランザクション（Transaction）と呼ぶ⁸²。

基盤システムは、このトランザクションをトレースするための識別子を保存及びブロックチェーンから識別子を復元する機能を備えた補助システムを有する。図6-17に示す通りトランザクションを実行する（STEP1）と、その実行結果としてトランザクションハッシュ（Transaction Hash）を戻り値として得る⁸³（STEP2）。トランザクションのトレースには、このトランザクションハッシュを利用するため、これを利用しやすいように補助システム内に保存する（STEP3）。ただし、このトランザクションハッシュを保存はユーザーが保有するデータベースを考えているため、その内容の改竄、消去が可能である。このため、このトランザクションハッシュをブロックチェーン上から復元できる機能を補助システムは合わせて有する。

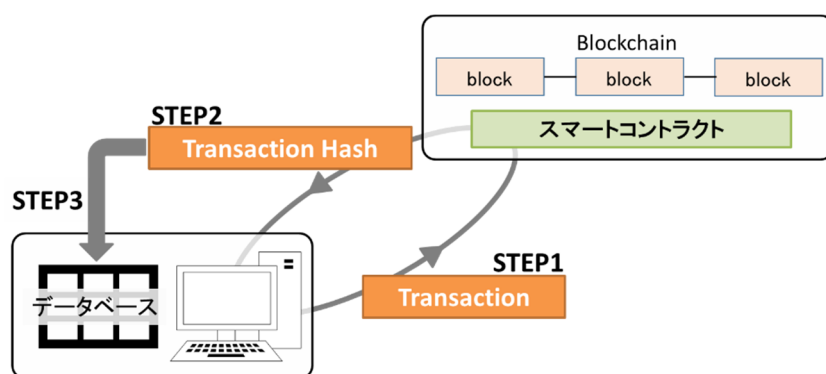


図 6-17 補助システムの役割

また基盤システム上でのトランザクションの実行は、ブロックチェーン上での取引、つまりスマートコントラクトを実装するプログラムの変数の状態が変更される⁸¹ことを意味する。ここでいう変数の状態の変更とは、例えば出来高検査システムを用いて出来高率の

確定を行った場合、図 6-18 に示す通り、「出来高査定により確定した出来高率」が変更されることを指す。この 0%から 30%の変更が、変数の状態が変更されることと同意である。

| 契約 | 内容 | | 契約 | 内容 |
|-------------------|----------------|----------|-------------------|----------------|
| 契約ID | 1111 | 出来高査定の実行 | 契約ID | 1111 |
| 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... | | 注文者のアカウント | 0x14A5E5d52... |
| 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... | | 受注者のアカウント | 0x23FC76c6C... |
| 契約金額 | 4,966,940円 | | 契約金額 | 4,966,940円 |
| 出来高査定により確定された出来高率 | 0% | | 出来高査定により確定された出来高率 | 30% |
| 品質・出来形検査に合格した出来高率 | 0% | | 品質・出来形検査に合格した出来高率 | 0% |

図 6-18 スマートコントラクトの実行結果の例

ブロックチェーンでは、このトランザクションに対して、その戻り値としてトランザクションハッシュを得る。このトランザクションハッシュから、トランザクションのレシート (Transaction Receipt) を得ることができ、レシート内の from (トランザクションの実行者) や logs から必要な情報をトレースすることが可能である (表 6-11)。「付録 B.1 トランザクションハッシュを用いた実行結果のトレース」に図 6-18 の例の実行結果をもとにトランザクションレシートの内容の具体例について記載する。

表 6-11 トランザクションのレシートに記載される情報（一部）

| 項目 | 内容 |
|-----------------|------------------------------------|
| blockHash | このトランザクションが書かれているブロックのハッシュ値 |
| blockNumber | このトランザクションが書かれているブロック番号 |
| transactionHash | トランザクションのハッシュ値 |
| from | 送信者アドレス |
| to | 受信者アドレス，コントラクトの作成であればゼロ |
| contractAddress | コントラクト生成トランザクションの場合，生成したコントラクトアドレス |
| logs | このトランザクションが生成したログ |
| status | トランザクションの成功，失敗を表す |

ユーザーは任意のタイミングで過去の取引記録等を確認したい場合，このようにトランザクションハッシュを用いた情報のトレースを行う。例えば改竄確認システムでの保存者のトレースは，保存時に得たトランザクションハッシュを利用して“from”に格納しているデータを取得する。これにより改竄が疑われる施工管理情報の保存者のトレースが可能となる。

またトランザクションハッシュを用いてデータをトレースするための補助システムとしてトランザクションハッシュを保存する補助システムを，RDB を利用し構築した。さらに，この RDB のデータが何らかの理由で削除，データ消失が起きることに備えて，トランザクションハッシュをブロックチェーンから復元する機能を有するプログラムを開発した。図 6-19 に当該プログラムの処理フローを示す。

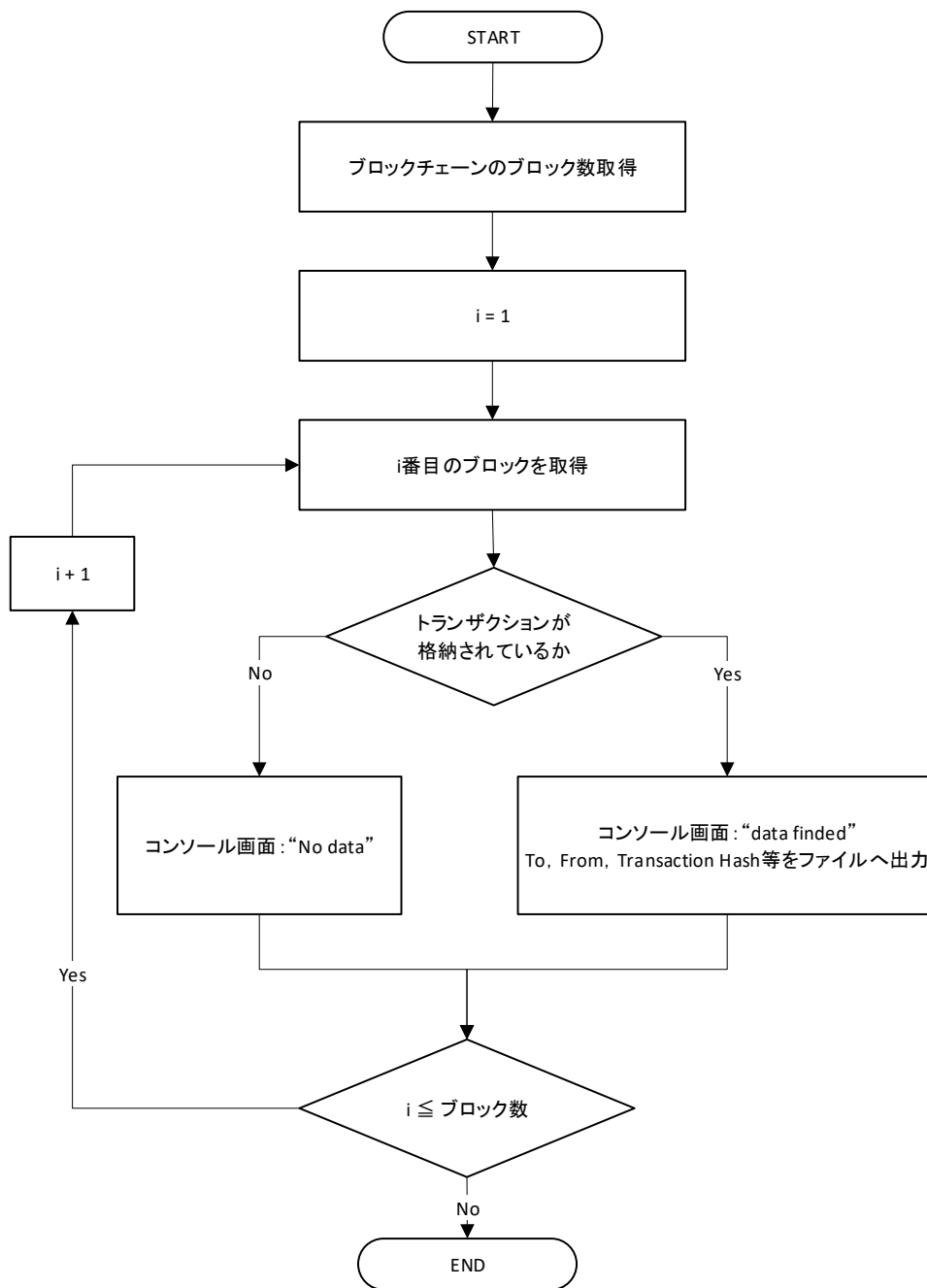


図 6-19 トランザクションハッシュ取得のための解析プログラムの処理フロー

6.4.6 その他ツールの検討

円滑に各システムのプロセスを実行するためにツールを用意した（表 6-12）。これらツールのうち、契約情報保存システムに関連するツールは、受発注者間で結んだ契約情報、またプロセスの中で記録された契約履行の情報について任意のタイミングでトレースすることが可能である。また入力情報保存システムに関連するファイルのハッシュ値生成機能は、取得したファイルのハッシュ値を生成することが可能である。支払確認システムは、支払実行後に残高照会することが可能である。

これらの機能に関連する入出力値については付録 B.3 各種ツールに利用した変数一覧及び実行内容に示す。

表 6-12 ツール一覧

| 関連するシステム名 | 機能 | エンドポイント |
|------------|--------------------|---|
| 契約情報保存システム | 現場情報の取得 | http://localhost:8000/tool/site-info |
| | 発注した現場一覧 | http://localhost:8000/tool/site-list |
| | 契約条件及び履行状況の確認 | http://localhost:8000/tool/site-item |
| | 設計変更の契約条件及び履行状況の確認 | http://localhost:8000/tool/site-item-designchanged |
| | 率計上分の契約情報の確認 | http://localhost:8000/tool/accrual-item |
| 入力情報保存システム | ファイルのハッシュ値生成 | http://localhost:8000/tool/create-localfile-hash |
| 支払確認システム | 残金の確認 | http://localhost:8000/tool/check-balance |

6.5 想定されるシステムの利用方法

6.5.1 ワークフロー

システムのワークフローを(1)～(4)に示す。なお、図6-20に示す通りワークフローは生産プロセスである指示、情報、検査、支払に分けて記述する。

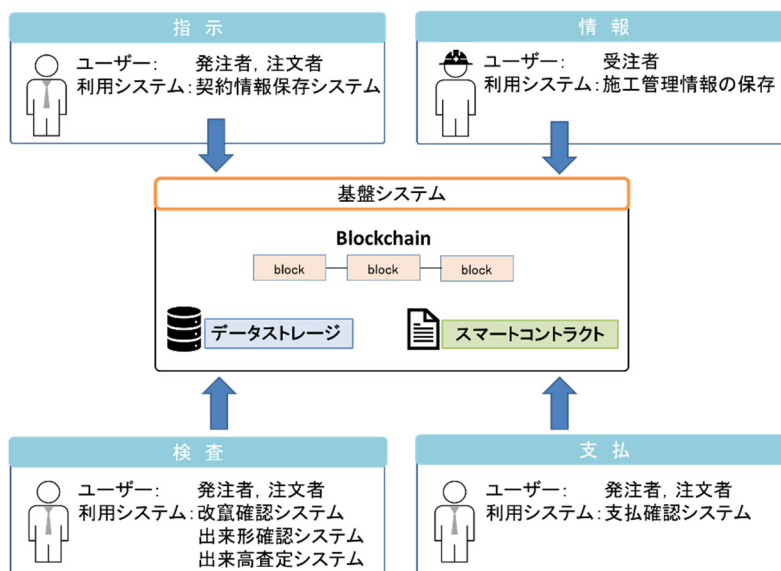


図 6-20 ワークフローの全体

(1) 契約情報の保存（指示）

まず、はじめに契約情報を保存する。契約情報は、取極めた契約条件を発注者または注文者が契約情報保存システムを利用し、基盤システムへ保存する。

STEP1

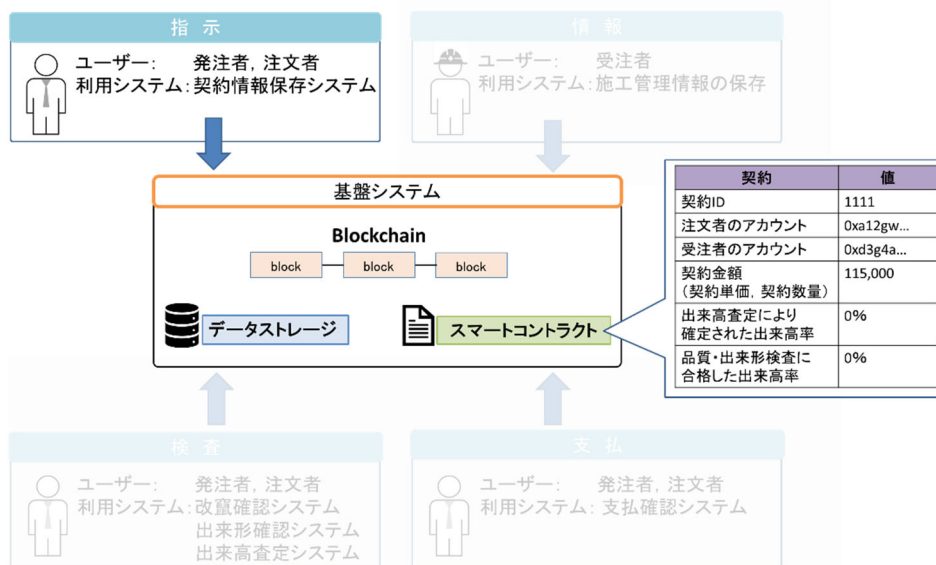


図 6-21 契約情報の保存

(2) 施工管理情報の保存（情報）

受注者は、現場で施工した成果を施工管理情報として施工管理情報保存システムを介して、基盤システムへ入力する。

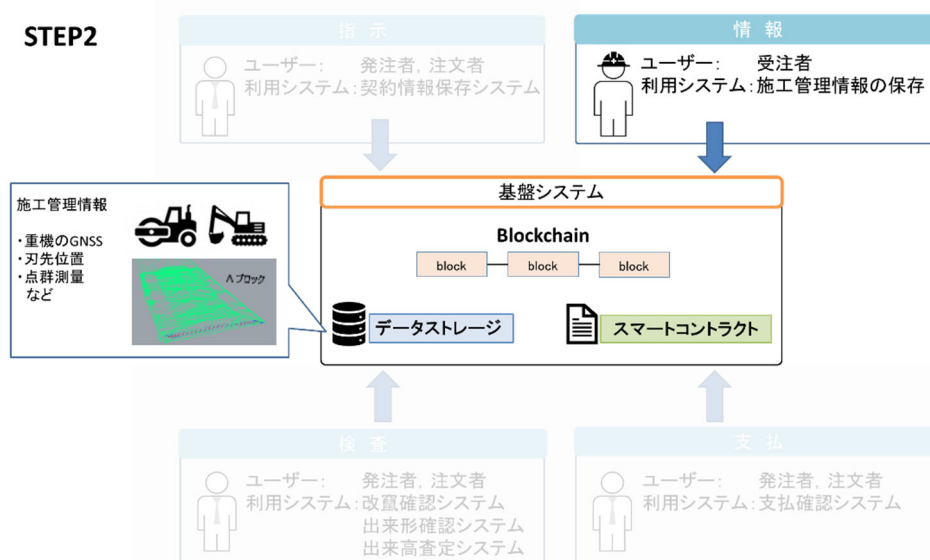


図 6-22 施工管理情報の保存

(3) 検査の実行（検査）

工事を発注した発注者、及び注文者は必要な検査を実施する。検査は改竄確認システムを用いて情報の信憑性を確認した後、出来形確認システム、出来高査定システムを用いてそれぞれ必要な検査を実施する。また検査した結果は、スマートコントラクトの当該箇所にそれぞれ記入する。

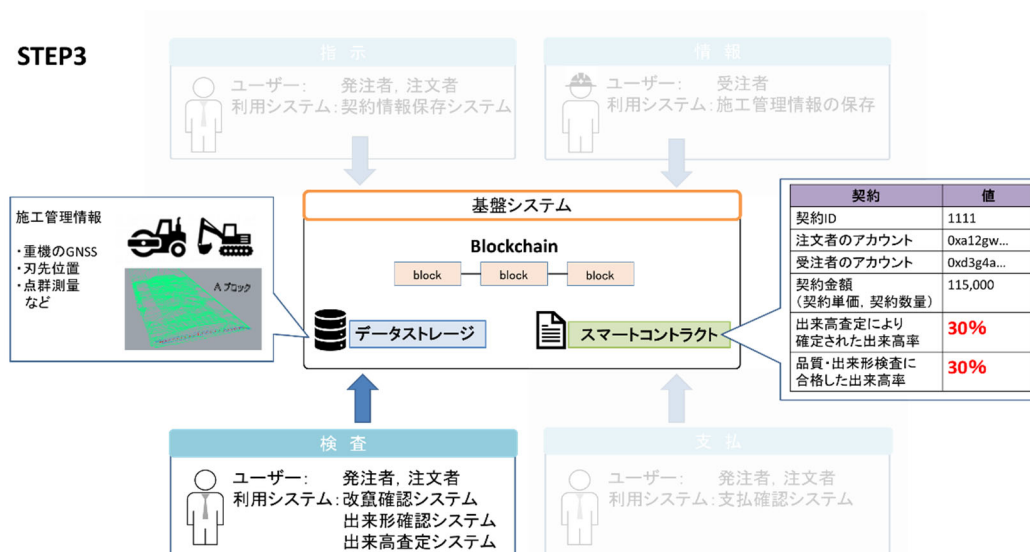


図 6-23 検査の実行

(4) 支払いの実行（支払）

受注者からの支払申請を受けて、発注者及び注文者は支払いを実行する。支払いは、支払確認システムを利用し、契約条件や契約の履行状況を適切に基盤システムからトレースし支払金額を決定する。支払金額もスマートコントラクトへ既払情報として記載する。

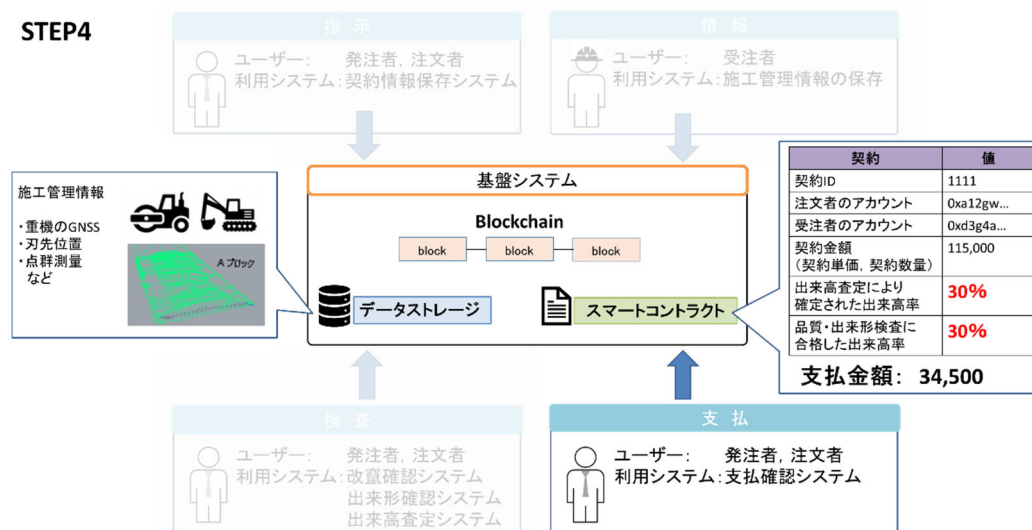


図 6-24 支払いの実行

6.5.2 アクセス制限

契約の履行内容として実施される出来形検査，出来高査定，支払いは契約当事者間で実施される。このため，開発するシステムはアクセス制限の機能を実装する必要がある。

アクセス制限を実装するために契約情報の保存時にアカウントを利用して契約IDを発行する。検査を行う場合にも同様にアカウントを入力する仕様にするすることで，検査結果等をスマートコントラクトへ入力する際に，このアカウントを照合する。これにより注文者以外は検査等の実施ができない機能をスマートコントラクトに実装した。

6.6 有用性の評価

本研究で開発するシステムの有用性を評価する。有用性の評価ではシステムの活用により享受する便益，すなわち削減が見込まれるコストを試算する。コストの算出に当たっては後藤らの研究⁸⁴を参考にした。また，コスト算定は平成31年度の関東地方整備局の発注工事を対象とする。

(1) 検査の合理化によって削減が見込まれるコスト

検査の合理化によって，削減が見込まれるコストを算出する。このコストは現状の臨場

検査によって発生するコストとする。コストの算定式は国土交通省 中部整備局が発行した「第三者による品質証明制度（中部版） 第三者による品質証明の導入について⁸⁵⁾」のうち、品質証明に係る費用のうち直接人件費の算出方法を参考にした（式（1））。

$$\text{費用} = \{(\text{臨場日数}) + (\text{現場までの移動に係る日数})\} \times (\text{基準日額}) \quad (1)$$

また式（1）のうち臨場日数は「施工者と契約した第三者による品質証明業務運用ガイドライン（案）⁸⁶⁾」の当初積算額において式（2）で算定することが示されている。同ガイドラインでは臨場は工期内に週3回行うものとし、1回あたりは0.5人日としている。なお、0.5人日には臨場、資料作成、打ち合わせが含まれるものとし、施工現場までの移動に係る日数は、当初積算額には計上しないものとしている。

$$(\text{臨場日数}) = \{(\text{工期 (日)}) / 7 \text{日}\} \times 3 \text{回/週} \times 0.5 \text{人日/回} \quad (2)$$

また、式（1）の基準日額については同ガイドラインでは設計業務委託等技術者⁸⁷⁾における技師Bを選定している（表 6-13）。工期については平成31年度の関東地方整備局における競争入札、随意契約の累計工期（表 6-14）とする⁸⁸⁾。

表 6-13 平成31年度 設計業務委託等技術者単価

| 技術者の職種 | 基準日額（円） |
|--------|---------|
| 主任技術者 | 68,800 |
| 理事、技師長 | 63,500 |
| 主任技師 | 53,800 |
| 技師（A） | 47,500 |
| 技師（B） | 39,100 |
| 技師（C） | 32,000 |
| 技術員 | 26,400 |

表 6-14 平成31年度 国土交通省関東地方整備局発注工事の累計工期

| 契約区分 | 工事件数 | 累計工期 |
|------|--------|-----------|
| 競争入札 | 1111 件 | 323,453 日 |
| 随意契約 | 114 件 | 20,570 日 |
| | 合計 | 344,023 日 |

以上を踏まえて、検査の合理化によって削減が見込まれるコストを次の条件のもと算出した。なお、基準日額及び1回あたりの人工はガイドラインで示されている値とは別の値を利用する。1回あたりの人工については1章2節5項で示した元請職員の業務負担割合における立会関連の負担割合の値を利用し、発注者も同程度の時間を利用していることとする。またこのアンケート調査の元請の対象が入社2年目のため基準日額も技術員相当とする。

またこの条件で算出した検査コストを表6-16に示す。この結果より、開発するシステムを活用することによって最大、受発注者合計で年間約19億円程度のコスト削減が見込まれる。

表 6-15 検査コストの算出条件

| 項目 | 内容 | 式・値 |
|-----------------|-------------------------------|----------|
| 対象範囲 | 国土交通省 関東地方整備局の平成31年度発注工事 | — |
| 費用の算定式 | 式(1)を利用 | 式(1) |
| 臨場日数 | 式(2)を利用 | 式(2) |
| 現場までの移動に係る日数 | 臨場検査に関連するコストを算出するため0とする | 0日 |
| 基準日額 | 発注者側：技師B | 39,100円 |
| | 受注者側：技術員 | 26,400円 |
| 工期 | 国土交通省 関東地方整備局の平成31年度発注工事の累計工期 | 344,023日 |
| 1週あたりに臨場検査を行う回数 | ガイドラインで利用と同値とする | 3回 |
| 1回あたりの人工 | 業務負担割合の調査結果 | 0.2人日/回 |

表 6-16 検査コストの算出結果

| | 検査コスト |
|-----|--------------------|
| 発注者 | 1,152,981千円 |
| 受注者 | 778,483千円 |
| 合計 | <u>1,931,464千円</u> |

(2) 支払いの合理化・自動化により削減が見込まれるコスト

次に支払いの合理化・自動化による削減される金融コストについて述べる。金融コストについては、個社の財務状況に応じて変動するため試算することは難しい。ここでは東北地方整備局での出来高部分払方式の試行工事（請負金額：333,375,000 円）を通じて示された金融コストの削減に関する効果を引用²²し例示する。

表 6-17 は、試行工事の出来高の実績に基づき借入金の状況等に着眼したモデルにより試算を行ったものである。試算条件は、請負者の当月の収入は前金払いと前月の出来高とし、支出は当月出来高とした。収入が支出を上回る場合は預金金利収入が生じ、下回る場合は借入金利利息が発生し、この金利収支の大小評価する。なお、預金金利は 0.04%/年、借入金利は 1.875%/年と仮定し金利収支の算定は行われている。この結果、従来方式に対して出来高部分払方式は金利収支が改善することが分かる。

また仮に請負金額あたりで同程度の金利収支の改竄があると仮定すると、平成 31 年度の関東地方整備局における契約金額に対する金融コストの削減額は約 10 億円程度と推定される（表 6-18）。

表 6-17 金利収支試算結果
(参考資料 22 より一部抜粋)

| 単位：円 | ケース① | ケース② |
|--------|-------------------|---------------|
| | 前金払 40%，完成払（従来方式） | 前金払 40%，部分払 |
| 前金払 | 133,350,000 円 | 133,350,000 円 |
| 前金払保証金 | ▲ 517,500 円 | ▲ 517,500 円 |
| 預金利息 | 9,616 円 | 12,519 円 |
| 借入利息 | ▲ 1,557,473 円 | ▲ 150,487 円 |
| 金利収支合計 | ▲ 2,065,357 円 | ▲ 655,468 円 |

表 6-18 平成 31 年度 関東地方整備局の契約金額に対する金融コストの削減額

| | 値 |
|----------------------------|----------------|
| 請負金額 1 億円当たりの削減割合 | 0.423% |
| 平成 31 年度の関東地方整備局全体での工事契約金額 | 242,453,776 千円 |
| 削減が見込まれる金融コスト | 1,025,579 千円 |

第7章 結論と今後の展望

7.1 結論

本研究では、サプライヤーが生産した施工管理情報を活用し、受発注者間にまたがる生産プロセスである契約に基づいた品質・出来形検査や出来高査定及び支払いを合理化、自動化するためのシステムをブロックチェーン及びスマートコントラクトの技術的な特徴を活用し研究開発することを目的とした。また、これを達成するために目的を二つに大別し設定した。設定した目的を以下に再掲する。

目的1：ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報及び出来形・出来高情報管理システムのプロトタイプの開発と有効性の検証

目的2：汎用システムの検討とその提案

目的1については現状のサプライチェーンに内在する課題を整理したうえで、これを解決するためにプロトタイプに求められる要件を定義する。この要件を満たす機能を検討し必要な機能を実装したプロトタイプを、ICT 土工を対象に開発した。

また臨場検査の合理化のためにサプライヤーが生産する施工管理情報の信憑性の担保と、支払いの自動化を実現するために契約履行状況を含む契約情報の管理・更新方法を考案した。施工管理情報の信憑性担保についてはブロックチェーン、契約情報の入力や契約履行内容の更新についてはスマートコントラクトを活用した。

次に開発したプロトタイプが課題解決に必要な機能を有することを検証するために、検証すべき項目を設定し、これらの項目に対して実証試験を通じてその確認を行った。実証試験は出来高査定システム及び支払システムのそれぞれについて発注者、受注者の協力のもと、システムの有効性を検証した。なお実証試験におけるサプライチェーンは発注者と元請の2者を想定した。

目的2については、他工種への適応も念頭に外部システムとの連携を含めて汎用的に利用可能なシステムの提案をする。提案にあたっては、汎用的なシステムを提案するため、社会実装時に外部システムとの連携を想定し、システム構成を検討した。連携が想定される外部システムとは、施工管理情報収集のための基盤システム、設計情報管理システムなどであり、これらの開発については7章2節で述べる。

以下にプロトタイプに求められる要件、汎用システムに求められる要件及び実証試験における検証項目について再掲する。

プロトタイプに要求される要件：

- (i) 高可用性を前提とした施工管理情報の保存が可能であること
- (ii) 施工管理情報の耐改竄性の担保とその確認が可能であること
- (iii) 契約条件や履行情報の保存・更新が可能であること
- (iv) 検査・支払のために必要な情報をトレース可能であること
- (v) 出来形検査・出来高査定及び支払いのために必要な処理機能を有すること

汎用システムに要求される要件：

- (i) サプライチェーンへの参加者がシステムへアクセス可能であり、生産された施工管理情報をシステムへ保存可能かつ保存データが耐改竄性を有すること
- (ii) 契約条件や契約履行内容を管理することが可能であり、これらの情報が保存・変更可能かつ耐改竄性を有すること
- (iii) 発注者や注文者による施工管理情報のトレースが可能かつその情報の改竄有無の確認が可能であること
- (iv) 施工管理情報に基づいて出来形検査や出来高査定の実施が可能であること
- (v) 契約の履行状況に基づいて、発注者や注文者から受注者に対して支払う金額の自動算出が可能なこと
- (vi) システムを維持管理する上で、改修や更新が行いやすい仕様であること

さらに、プロトタイプの実証については開発したプロトタイプが実現場において機能するかについて検証するための検証項目を出来形検査システム、出来高査定システム及び支払システムのそれぞれについて設定し確認した。設定した検証項目を以下に再掲する。

検証項目 1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること。

検証項目 2：発注者、注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて、契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新することが可能であること。さらに契約条件や契約履行状況をトレースし支払金額の自動算出が可能であり、支払いの実行が可能であること。

また定義した要件については、プロトタイプでは施工管理情報の信憑性を担保し検査の合理化及び支払の自動化を行う上で必要な要件を、汎用システムではシステムを広く一般に活用するための要件を定義した。すなわち、汎用システムの要件にはプロトタイプで開発した内容も含まれている。このため、プロトタイプの開発、実証及び汎用システムの検討の結果、得られた結論を汎用システムの検討において定義した要件に対してまとめる。また、実証試験によって得られた結論を検証項目ごとに以下にまとめる。

(i) サプライチェーンへの参加者がシステムへアクセス可能であり、生産された施工管理情報をシステムへ保存可能かつ保存データが耐改竄性を有すること

基盤システムにブロックチェーンを活用することによって、サプライヤーから保存されるデータの耐改竄性を担保する機能を設計し、プロトタイプでは Azure Blockchain Service を実装し耐改竄性の機能を付与した。ただし、社会実装時には高可用性を実現するために、システム参加者がそれぞれブロックチェーンを保有する必要がある。このとき、汎用システムとしては商用のクラウド以外に別の方法でブロックチェーンを実装する選択肢があることが望ましいため、オープンソースの Go-Ethereum 上でも開発したプロトタイプが動作することを確認した。

プロトタイプの開発において施工管理情報の保存については入力情報保存システムを開発し、高可用性の設計の観点から指定されたファイルのハッシュ値を生成し、このハッシュ値を Ethereum 上に保存する機能を実装した。さらに汎用システムの検討において、施工管理情報収集基盤システムと連携することによって施工管理情報の保存の自動保存による入力値改竄のリスク低減を実現する方法を検討した。検討した内容はトータルステーションを施工管理情報の収集端末として活用し、ブロックチェーンに必要な情報が直接入力可能であることを確認した。

サプライチェーンへの参加者がシステムへアクセスする場合には外部アカウント (Externally owned account) を利用し、スマートコントラクトを実装するプログラムを用いて契約者以外の第三者のコントラクトへのアクセスを不可とするアクセス制限を実装した。さらに汎用システムでは基盤システムへアクセスする API を WebAPI として設計、開発しサプライチェーンへの参加者がシステムへアクセスすることを可能とした。

(ii) 契約条件や契約履行内容を管理することが可能であり、これらの情報が保存・変更可能かつ耐改竄性を有すること

スマートコントラクトを用いて契約情報の管理機能を設計した。契約締結で決定された条件と、その条件に基づく契約履行の管理機能を設計するため、「非改竄とする情報」と「各段階においてトレースする情報」を整理し、スマートコントラクトの機能を定義した。プロトタイプでは、Solidity を用いてスマートコントラクトを実装するためのプログラムのコーディングを行った。契約情報は、施工現場を識別するために現場 ID、契約項目を識別するために契約 ID を識別子とし、必要な契約情報について構造体型を用いて実装した。また汎用システムにおいては設計変更への対応を想定し、契約 ID に対応する契約情報を無効化可能な機能を実装した。契約情報の入力については契約情報保存システムを開発し、入力機能を実装した。

(iii) 発注者や注文者による施工管理情報のトレースが可能かつその情報の改竄有無の確認が可能であること

改竄有無の確認は、改竄確認システムの機能を定義し、受注者が保存した施工管理情報

の信憑性を向上しデータの信頼性を確保する機能を設計した。データ改竄の可能性としては、入力値の改竄と保存データの改竄の2つが想定される。入力値の改竄についてはサブライヤー間での施工管理情報のクロスチェックや時系列データの活用、保存データの改竄についてはブロックチェーンの機能を活用することで必要な機能を設計しプロトタイプに実装した。また改竄が疑われる場合に施工管理情報の保存者をトレースする機能も合わせて実装した。さらに汎用システムにおいては入力値の改竄リスクを低減するために施工管理情報収集基盤システムとの連携を検討し、ブロックチェーンへ施工管理情報の自動保存を検討した。

またブロックチェーン上のデータのトレースは、トランザクションハッシュを利用する。汎用システムではこのトランザクションハッシュを保存するための補助システムを構築した。さらに、このRDBのデータが何らかの理由で削除、データ消失が起きることに備えて、トランザクションハッシュを復元する機能を有するプログラムを開発した。

(iv) 施工管理情報に基づいて出来形検査や出来高査定の実施が可能であること

出来形確認システムは施工管理情報が発注者の要求水準である施工管理基準に示された許容範囲内で一致しているかを確認する必要がある。このため、計測値と設計情報との誤差を示すヒートマップ図、転圧管理であれば転圧回数確認を行うためのヒートマップ図の作成機能が必要となる。これらの機能は既開発のサービスやソフトウェアを利用した。

出来高査定は施工管理情報から出来高数量を算定する機能が必要となる。出来高数量の算定を行うための掘削土量のモデル生成用のプログラムを開発し実装した。また検査結果を、スマートコントラクトを実装するプログラムにより記録された契約条件の履行内容として書き込むことが可能な機能を実装した。

(v) 契約の履行状況に基づいて、発注者や注文者から受注者に対して支払う金額の自動算出が可能なこと

支払確認システムの機能を定義し出来高部分払、完成払のそれぞれに対してスマートコントラクトを実装するプログラムを介して必要な情報を適切にトレースし、支払金額を決定する機能を設計した。

プロトタイプでは前金払い、出来高部分払い、竣工払いのそれぞれの支払いに分けて必要な機能を実装した。前金払いについては契約条件から請負金額と前払い率をトレースすることにより支払金額を決定する機能を実装した。出来高部分払いについては、契約条件及び契約履行内容をトレースすることにより出来高率に応じた支払金額を決定する機能を実装した。竣工払いについては、契約図書に対する確認を行った後に出来高部分払いで支払われた金額を除く額を支払金額として決定する機能を実装した。

(vi) システムを維持管理する上で、改修や更新が行いやすい仕様であること

汎用システムにおいて User Interface からアクセスする WebAPI のエンドポイントを契

約情報保存システム，入力情報保存システム，改竄確認システム，出来形確認システム，出来高確認システム，支払確認システムの各機能別に分類し定義した。これにより，システムの機能の追加・改修時にどの部分を改修する必要があるか，またどのシステムに帰属するエンドポイントを追加するのかが明確になり，システムの維持管理を行いやすい仕様とした。

次に開発したプロトタイプが，実際の公共工事において機能するかについて検証を実施した。検証は，出来形検査システムは検証項目 1，出来高査定システム及び支払システムは検証項目 2 について確認した。

また検証では，実際に出来形検査や出来高査定及び支払いを実施するプレイヤーがシステムを利用しその有効性を確認する必要がある。このため実証試験では，それぞれの検証に対して発注者や受注者の協力を得て実施した。各検証項目に対して，実証試験で実施した内容とその結果について述べる。

検証項目 1：サプライヤーによって生産された施工管理情報の改竄確認をしたうえで品質・出来形検査の実施が可能であること。

実証試験では，まずブロックチェーンからトレースした施工管理情報を活用して施工結果が発注者の要求水準値以内であることを確認する。次に，トレースした施工管理情報の改竄の有無の確認を保存データの改竄確認，入力値の改竄確認のそれぞれに対して実施する。仮に改竄が疑われる場合には，その企業をブロックチェーンからトレースする。可否の判定は，要求水準を満たしかつ改竄確認によって改竄なしと判定された場合に，品質・出来形検査に合格したと判断する。また実証試験では事前に改竄したデータを用意し，このデータを利用する検査パターンを準備した。検査パターンは合計で 8 パターンあり，それぞれに対して品質・出来形検査を開発した出来形検査システムを利用し実施した。

この結果，すべてのパターンに対して，正しく合格，不合格の判定を得ることができた。また改竄の特定についても，すべての改竄内容を特定することができた。さらに改竄が疑われる企業の特定期も実施し想定通りの企業を特定することができた。

検証項目 2：発注者，注文者によって実施された出来高査定の結果に基づいて，契約履行状況としてスマートコントラクトの情報を更新することが可能であること。
さらに契約条件や契約履行状況をトレースし支払金額の自動算出が可能であり，支払いの実行が可能であること。

実証試験において出来高査定については，検証項目 1 と同様にトレースした施工管理情報の改竄有無の確認を行った。この上で出来高数量を確認し結果を，スマートコントラクトを実装するプログラムを介して契約履行状況の更新を行った。

支払いについては、出来高査定の結果、入力される出来高数量や事前に設定した契約条件をトレースし支払金額を自動算出し支払いが実行可能か確認した。実証試験では検証項目1と同様に事前に改竄したデータを用意し、このデータを利用する検査パターンを準備した。検査パターンは合計で5パターンあり、それぞれについて出来高査定を開発した出来高査定システムを利用し実施した。出来高査定に合格した検査パターンについては次に支払いの実行を行った。

この結果、すべてのパターンに対して、正しく合格、不合格の判定を得ることができた。また改竄の特定もすべての改竄が特定された。さらに改竄が疑われる企業の特定も想定通りの企業を特定することができた。

支払いについては、発注者から検査に合格した企業へ仮想通貨の送金を実行することができた。1回目の部分払では、契約金額に対して62%の出来高率に当たる2,799,548 ICTが送金され、2回目の部分払では38%に当たる1,715,852 ICTが問題なく送金されたことが確認できた。

以上の通り、プロトタイプの開発、汎用システムの検討によって得られた結論や検討結果が定義した要件を満足していることが確認された。またプロトタイプが施工現場の出来形検査や出来高査定及び支払プロセスで有効に機能することが確認された。今後、本研究で設計、開発、検討したシステムを建設生産プロセスに取り入れることで、受発注者間にまたがる生産プロセスである契約に基づいた品質・出来形検査や出来高査定及び支払いを合理化、自動化を実現することが望まれる。またこのシステムによって実現可能となる合理化、自動化が、i-Constructionが目指す建設現場の全自動化に向けた取り組みに寄与し発注者、受注者、サプライヤーの業務が効率化され生産性の向上が期待されるほか、受注者の金利収支の改善も期待される。

7.2 今後の展望と課題

今後の展望として施工品質の向上や維持管理段階に本システムが寄与する可能性、また開発したシステムの実行可能性について述べる。この上で、本研究開発で設計、開発したシステムの社会実装を進めるために検討及び解決すべき課題を、「システム開発に関する課題」、「競争領域の開発促進に関する課題」、「実装に関する課題」の3つに分けて述べる。

7.2.1 今後の展望

(1) 施工品質の向上

開発したシステムにより検査が合理化されることで、従来の抜き取り検査ではなく全数検査を行うことも可能になることが想定される。これにより施工品質の向上や確保が見込

まれる。ただし、これが実現されるためには様々なデバイスから効率よく施工管理情報を収集できることや、取得した情報を要求品質に対する許容誤差などを解析、ビジュアライズするグラフィック処理技術などの競争領域の開発促進をどのように促すか検討する必要がある。

(2) 維持管理段階における活用

維持管理段階において施工段階の情報をトレースし活用するために開発したシステムを利活用することが想定される。本システムを用いることによって、施工段階の契約情報に基づいて誰がどの部分を施工したか、また品質・出来形、出来高情報の根拠となる情報を適切にトレースすることが可能となる。維持管理段階に何かしらの不具合（例：有害なコンクリートのクラック）が発生した場合、同様の条件で施工した場所の特定をすることが可能となる。こういった施工管理情報や設計情報をトレースすることによって、適切な補修計画立案へ本システムが寄与することが期待される。

ただし、維持管理段階で本システムを活用するためには利用したい情報を検索、閲覧することが可能なシステムを追加で開発する必要がある。また、具体的に過去にあった施工管理情報を維持管理で活用した事例などから開発したシステムの有効性を検証することが求められる。

(3) 実行可能性の評価

開発したプロトタイプは土工事のうち転圧、敷均、掘削に対して必要な開発を行い、実証試験でその有効性を検証したものである。これを場所打ちコンクリート工、トンネル工、ダムなどに広げるためには、それぞれの工種の施工管理システムから効率よく施工管理情報を収集されることが望まれる。

さらにシステムのロバスト性の観点では、例えば GNSS の受信が途絶えるなどの不具合が現在のセンサーや通信の技術的制約のもとでは発生し得るため、この対処方法を検討する必要がある。

例えば、出来高査定及び支払いシステムの実証で用いたブルドーザーの移動軌跡のビジュアライゼーションにおいて、GNSS の受信が外部環境の要因によって途絶えた場合には、クローラーの回転角から移動軌跡の情報を補間することなどが考えられる。

クローラーの回転角は、従来の検査では取得が必須の情報ではなかった。今後、施工管理情報の収集基盤が構築されることにより、こういった情報を利活用し開発したシステムのロバスト性が担保される方法を検討する必要がある。

7.2.2 システム開発に関する課題

(1) 汎用システムの開発体制

汎用システムの開発について必要な内容は、ユーザーが使いやすいこと、公共工事の多くの工種で利用できること、決済システムと連携の3点が挙げられる。

ユーザーが使いやすいという観点では、ユーザーインターフェースの開発が必要にな

る。また公共工事の工種は土工事以外にも、場所打ちコンクリート工、トンネル工、ダムなど様々な工種があり、これらの工種で利用することが可能かについて開発や試験運用が必要となる。さらに、本システムの支払システムが出力する結果を用いて貨幣の移動を実行するために決済インフラとの連携が必要となる。

これらの開発内容を進めるという前提で汎用システムの開発体制について検討する必要がある。汎用システムの開発体制に開発者として含まれるべき者を表 7-1 に示す。この表に示す通り、開発には土木技術者、情報通信の技術者の他に、建設生産の制度設計の専門家や実務者、決済インフラの専門家や実務者が含まれることが望ましいと想定される。社会実装に耐え得るシステムを開発するためには、こういった体制でシステムの開発、試験運用を進める必要があると考える。

表 7-1 汎用システムの開発体制

| 開発者に含まれるべき者 | 役割 |
|-----------------------------|--|
| 土木技術及び施工の専門家及び実務者 | <ul style="list-style-type: none"> 各工種において本システムを適用する場合の課題整理や各工種に依存する開発要件の整理 ユーザーインターフェースの設計 施工現場で試験運用 |
| 情報通信技術及びシステム開発の専門家及び実務者 | <ul style="list-style-type: none"> 本研究で示したシステム構成を社会実装するために適した言語やアプリケーションの選定 システムの脆弱性対策と開発するプログラムの品質確保 |
| 土木技術及び建設生産に関わる制度設計の専門家及び実務者 | <ul style="list-style-type: none"> 社会実装時に必要となる制度の設計 |
| 決済インフラの専門家及び実務者 | <ul style="list-style-type: none"> 受発注者間の支払い（Government to Business）、注文者及び受注者間の支払い（Business to Business）で利用する決済インフラの選定と汎用システムとの連携 |

(2) 汎用システム開発の費用分担

汎用システムの開発を進めるために、その費用分担について検討する必要がある。これを検討するためには、まずシステムの開発コストを適切に算出する。このうえで、本シス

テムによって便益を享受するプレイヤー間で適切にそのコストを分配する必要がある。便益を享受するプレイヤーは具体的に発注者、元請、サプライヤーであり、このプレイヤー間で、どのように開発費用を分担するか検討しなければならない。

7.2.3 競争領域の開発促進に関する課題

(1) 施工管理情報収集のための環境構築（施工管理情報収集のための基盤システム）

施工管理システムの開発は、1章1節4項に挙げた通り、ゼネコン各社が個別で研究開発を進めている他、センサーや建設機械から生産される施工管理情報については、測量・計測会社や建機メーカーが個別にシステム開発を進めている。これら競争領域での開発を促進するためには、開発された施工管理システムが施工管理だけでなく、本システムと連携することにより、検査や支払いといった受発注者間の生産プロセスに活用できる施工管理情報収集基盤システムなどの環境構築が望まれる。

この環境構築の既往研究としては、永谷ら^{89,90}により進められている建設機械の標準プラットフォームの開発が挙げられる。本プラットフォームの目的は自動化施工を念頭に異なるメーカーの異なる機種 of 建設機械を横断的に制御できる枠組みの開発にある。このシステム内で扱われる制御信号と建機の外形情報から本システムで必要とする刃先情報や建設機械の位置情報などを取得することも可能である。このシステムでは Robot Operating System (ROS) を活用している。ROS は、ロボットソフトウェア開発向けのフレームワーク⁹¹のことであり、様々なセンサー機器から情報を収集できる。

この建設機械の標準プラットフォームとのシステム間連携などを検討し、必要な施工管理情報収集のための環境構築が必要となる。

(2) 設計情報管理システムの開発

本研究で開発したシステムを利用する施工段階では、設計変更なども含めて設計情報の修正が行われる。こういった設計情報に関する追記修正情報の管理方法及びそのシステムが必要となる。このシステムには、追記修正された設計情報、またその変更履歴のトレースが可能である他、検査範囲、支払範囲の確認が3次元プロダクトモデル上での確認可能なことが求められる。

設計情報管理システムの既往研究や既開発のシステムは、国内では四月朔日らが BIM/CIM 情報共有システムの開発を目的とし、IFC モデルを対象としたグラフデータベースを用いた設計情報のデータマネジメント技術を開発している⁹²。また、BIM HANDBOOK⁹³では設計情報管理システムについて BIM server として紹介しており、オープンソースでは Open BIMserver、商用ソフトウェアとしては Bentley の i-Model や Dassult の 3D experience を例として挙げている。

これらのシステムが競争領域でその開発が促進され、さらに今回、研究開発したシステム内で活用されるためには、既存の設計情報管理システムの活用やそのプロトタイプ開発

し、施工（設計変更）、検査、支払段階における利用用途をユースケースとして例示する必要がある。

(3) ソフトウェア認証

改竄確認システム、出来形確認システム、出来高確認システムはグラフィック処理が必要になる。3次元プロダクトモデルを利活用するためのグラフィック処理関連の技術開発はソフトウェアベンダーによって積極的に進められている。これら競争領域で開発されたソフトウェアを発注者の検査のために利用するためには、そのソフトウェアの認証を行う仕組みが必要となる。認証の実施に行っては、認証制度として実施する機関や団体及びその認証方法のプロセスについて検討する必要がある。

7.2.4 実装に関する課題

(1) 汎用システムの運用体制

運用体制は、ブロックチェーンをノードとして保有するプレイヤーの検討と、システム自体の維持管理と運用の体制の二つについて検討する必要がある。前者については、ブロックチェーンの特徴である高可用性を実現するために必要な検討である。また後者については、汎用システムの開発に携わった企業の出資を元手とした出資会社の設立や、既存組織への維持管理・運用の委託などが考えられる。

(2) 制度上の課題

研究開発したシステムを用いて、品質・出来形検査や出来高査定を実施するためには、出来高部分払を想定した基準類の整備、ソフトウェアやデバイスの認証制度及びセキュリティ担保する制度が必要となる。

出来高部分払を想定した基準類については、現行の技術基準類をもとに既済部分検査時に確認すべき項目を明示する必要がある。また本システムは、元請やサプライヤーが生産した施工管理情報を直接、検査や支払いに活用するため、元請やサプライヤーが利用したソフトウェアやデバイスの認証、さらにそのセキュリティを確認するための仕組みが必要になる。

また発注者の支払いのためには支払いの根拠資料として会計検査院法の計算証明規則第一条の四において光ディスク（CD-ROM、DVD-R）の提出が求められている⁹⁴。現状の制度ではブロックチェーン上の情報は根拠データとはならないため、発注者が保有する既存の支払システム等と、どのように連携するかも踏まえて新たな制度を検討する必要がある。

(3) データ資産の利活用上の課題

本システムを活用することで収集される品質・出来形情報や出来高情報や、入力される

施工管理情報、設計情報、契約情報はこれらの情報を2次利用することにより、生産性向上や新たなサービスの創出に寄与することが想定される。例えば、収集された施工管理情報を解析することによって施工現場の歩掛を得られる可能性がある。このような2次利用が想定されるため、データの利活用に関する権利やこれを定めた制度について検討を進める必要がある。

今後は、社会実装に向けてここに示した課題の検討を進め、社会実装のプロセスを着実に進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1 国土交通省：i-Construction の推進， pp.6， <http://www.mlit.go.jp/common/001149595.pdf>
- 2 国土交通省：ICT 施工の普及拡大に向けた取り組み， pp.1，
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html
- 3 国土交通省：令和 2 年度向け「ICT の全面的活用」を実施する上での技術基準類， 2020 年 3 月 31 日， http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000031.html
- 4 吉武謙二， 山田一宏， 有田真一， 武藤博親：リアルタイム配筋検査システムの橋梁下部工事における有効性評価， 第 2 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム， 2020 年 7 月 2 日.
- 5 大友健， 畠山峻一， 渡邊高也， 水野智亮， 吉田真人：クラウド型品質管理システム T-CIM/Concrete を利用したコンクリートの全数品質管理手法（PRISM を活用した天ヶ瀬ダム再開発トンネル流入部建設工事での試行と実証その 1）， 第 2 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム， 2020 年 7 月 2 日.
- 6 谷村浩輔， 長谷川裕員， 笹嶋和彦， 水上裕介：山岳トンネル ICT 施工管理の取り組み， 第 2 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム， 2020 年 7 月 2 日.
- 7 西尾彰宣， 西川啓一：多視点ステレオ写真測量技術を活用したトンネル切羽 3 次元化について， 第 2 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム， 2020 年 7 月 2 日.
- 8 谷口翔， 鶴田亮介， 栗原浩彦， 柴崎知令：切羽地質情報取得システムの現場適用事例， 第 2 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム， 2020 年 7 月 2 日.
- 9 Landlog： <https://www.landlog.info/>
- 10 Infrakit： <https://infrakit.com/en/>
- 11 A4CSEL（鹿島建設株式会社）：
https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html#!body_01
- 12 シミズ・スマート・トンネル（清水建設株式会社）：
<https://www.shimz.co.jp/topics/construction/item21/>
- 13 T-CIM（大成建設株式会社）：https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2015/150721_3683.html
- 14 ODICT（株式会社大林組）：<https://www.obayashi.co.jp/damworld/system/>
- 15 Boltlen-consulting：Blockchain as a game changer for supply chain management and transport logistics， https://www.decentralized.com/wp-content/uploads/2017/12/Frank-Bolten-Blockchain-in-Use_the-Most-important-projects.pdf， 2017.
- 16 Zhaojing Wang, Tengyu Wang, Hao Hu, Jie Gong, Xu Ren, Qiying Xiao：Blockchain-based framework for improving supply chain traceability and information sharing in precast construction, Automation in Construction, March 2020.
- 17 文部科学省：平成 29 年度版科学技術白書， 第 1 章， 2017 年.
- 18 堀田昌英， 小澤一雅：社会基盤マネジメント， 技報堂出版， pp.15-16， pp.222-223， 2015 年 8 月 30 日.
- 19 国土交通省：多様な入札契約方式について， 第 3 回発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会（資料 2）， 2014 年 3 月 28 日.

-
- 20 草柳俊二：WTO 政府調達協定対象プロジェクトにおける追加費用清算方法に関する考察，土木学会論文集 F4（建設マネジメント）Vol.70，2014 年。
 - 21 国土交通省：ここが変わった部分払，<https://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/dekidaka/dekidaka.pdf>
 - 22 溝口宏樹：我が国における出来高部分払い方式の試行を通じた・課題と改善策に関する考察，建設マネジメント研究論文集 Vol11，2004 年
 - 23 小林康昭，岡本俊彦，齋藤隆，杉原克郎，内藤禎二，二ノ宮正：建設プロジェクトマネジメント，pp.153-154，pp.204-2016，朝倉書店，2016 年 11 月 15 日。
 - 24 国土交通省全国総括工事検査官等会議：公共事業の品質確保のための監督・検査・成績評定の手引き，pp.95-103，2010 年 7 月。
 - 25 国土交通省：土木工事共通仕様書，pp.1-2，
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000773330.pdf，2020 年 4 月。
 - 26 国土交通省：無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案），pp.8，2020 年 3 月。
 - 27 国土交通省：既済部分検査技術基準（案）・同解説，pp.2，平成 28 年 3 月 30 日
 - 28 国土交通省，定期－設計変更協議・部分払方式実施研究会：出来高部分払方式検討報告書，2002 年
 - 29 日本ブロックチェーン協会：https://jba-web.jp/archives/2011003blockchain_definition
 - 30 コンセンサス・ベイス株式会社：ブロックチェーンのしくみと開発がこれ一冊でしっかり分かる教科書，第 1 章 5 節，第 2 章 10 節，第 6 章 40 節，技術評論社，2019 年 9 月 14 日。
 - 31 青木崇：ブロックチェーン（分散型台帳）最新事情第 4 次産業革命を牽引する革新的な技術への期待と課題，pp167-pp168，情報管理 vol.60 no.3，2017 年 6 月。
 - 32 金子雄介・田村浩気・河合伸浩・田中俊太郎・岡知博，貿易実務のブロックチェーン利用実践と課題，pp493，情報処理学会デジタルプラクティス，Vol.10 No.3（通巻第 39 号），2019 年 7 月。
 - 33 日本電気株式会社，コンセンサス・ベイス株式会社：Quorum への入り口，2020 年 5 月。
 - 34 赤羽喜治，愛敬真生：ブロックチェーン仕組みと理論，リックテレコム，pp.100-101，pp.198，2016 年 8 月。
 - 35 経済産業省：平成 29 年度我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備（分散型システムに対応した技術・制度等に係る調査），pp.9-10，pp.16，pp.46-47，2018 年 3 月，
<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180723004/20180723004-2.pdf>
 - 36 Szabo, N. : Formalizing and Securing Relationships on Public Networks, First Monday, Volume2, Number 9, 1997.
 - 37 Andreas M. Antonopoulos, Gavin Wood：マスタリング・イーサリアム，pp.133-134，pp.240-241，オライリー・ジャパン，2019 年 11 月 28 日。
 - 38 経済産業省 商務情報政策局 情報経済課：平成 27 年度我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備（ブロックチェーン技術を利用したサービスに関する国内外動向調査），pp.44-pp.63，2016 年 4 月 28 日
 - 39 田中謙司，阿部力也，Triet Nguyen-Van：ブロックチェーンを用いた電力流通システムの研究，電気学会研究会資料，ST-17-41 SMF-17-40，2017 年 11 月 10 日。

-
- 40 Ethereum foundation ecosystem support program : <https://esp.ethereum.foundation/en/>
 - 41 須藤欧佑, 恩田壮恭, 中村龍矢 : Anonify A Blockchain-Agnostic Execution Environment with Privacy and Auditability, <https://layerx.co.jp/wp-content/uploads/2020/06/anonify.pdf>, 2020年6月4日.
 - 42 土木学会 : 土木用語大辞典, pp.919, 技報堂出版, 1999年2月
 - 43 日本道路協会 : 道路土工要綱, pp.262-365, 丸善出版, 2019年11月20日.
 - 44 ICT導入協議会第1回 : 建設現場の生産性に関する現状, pp.4, 国土交通省, 2015年12月1日, <http://www.mlit.go.jp/common/001118341.pdf>
 - 45 近藤弘嗣, 森川博邦, 藤島崇, 椎葉祐士 : i-ConstructionにおけるUAVを用いた土工出来形管理の基準類の策定及びカイゼン, 土木学会論文集F3(土木情報学) Vol.73 No2 I74-I82, 2017.
 - 46 川野浩平, 谷口寿俊, 青山憲明, 重高浩一, 山岡大亮, 関谷浩孝 : LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準のデータモデルと運用方法の検討, 土木学会論文集F3(土木情報学) Vol.72 No2 I242-248, 2016.
 - 47 国土交通省 : BIM/CIMモデル等電子納品要領(案)及び同解説, pp22, 2020年3月.
 - 48 JACIC : 3次元データの活用, JACIC情報120号, pp.54-59, 2019年8月5日.
 - 49 矢吹信喜 : CIM入門-建設生産システムの変革-, 理工図書, pp.91-92, 2016年1月15日.
 - 50 結城浩 : 暗号技術入門 第3版, pp170-197, SBクリエイティブ, 2015年.
 - 51 財務省 : 官庁会計システム(ADAMSII), pp.1-4, https://www.mof.go.jp/about_mof/mof_budget/290003shiryo.pdf
 - 52 宿輪純一 : 決済インフラ入門, pp.31-33, 東洋経済, 2018年8月.
 - 53 久保隆, 秋葉賢一, フォルゲムトスベン, 片岡義広, 木下信行, 佐々木宏, 寶木和夫, 田澤元章, 中崎隆, 福本拓也, 堀天子, 安河内隆, 渡辺翔太, 渡邊隆彦 : ブロックチェーンをめぐる実務・政策と方, pp.83-84, 中央経済社, 2018年4月.
 - 54 Ganache : <https://www.trufflesuite.com/ganache>
 - 55 Azure Blockchain Service : <https://azure.microsoft.com/en-us/services/blockchain-service/>
 - 56 Solidity : <https://solidity.readthedocs.io/en/v0.6.6/>
 - 57 池田奉延, 鹿野壮 : JavaScriptコードレンピ集, pp.5-8, 技術評論社, 2019年2月27日.
 - 58 XAMPP : <https://www.apachefriends.org/index.html>
 - 59 MySQL Workbench : <https://www.mysql.com/products/workbench/>
 - 60 Rhinoceros-Grasshopper : <https://www.rhino3d.com/>
 - 61 Unity : <https://unity.com/>
 - 62 AutoCAD Civil 3D : <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview?plc=CIV3D&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
 - 63 ReCap : <https://www.autodesk.com/products/recap/overview?plc=RECAP&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
 - 64 加壽長門, 篠原航, 金志京, 川西紀明, 田中克典, 佐々木亮彰, 平野浩司, 前川彰 : 試して学ぶスマートコントラクト開発, pp.44-47, 株式会社マイナビ出版, 2019年1月31日.
 - 65 Truffle : <https://www.trufflesuite.com/>
 - 66 CRYPTREC : <https://www.cryptrec.go.jp/index.html>

-
- 67 KOMATSU カタログ (D37PXi-24) : <http://www.komatsu-kenki.co.jp/products/download/pdf/bulldozer/D37PXI-24.pdf>
- 68 国土交通省：無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案），pp.34, 2020年3月.
- 69 国土交通省：TS・GNSSを用いた盛土の締め管理要領，pp.18-pp.20, 2020年3月.
- 70 Azure : <https://azure.microsoft.com/ja-jp/>
- 71 Go Ethereum : <https://geth.ethereum.org/>
- 72 榎正憲：イーサネット&TCP/IP入門，インプレスジャパン，pp178-180, 2013年12月.
- 73 水野貴明：WebAPI The Good Parts, pp.1-2, pp.29-30, オライリージャパン，2014年11月.
- 74 西尾泰和：コーディングを支える技術，pp.191-197, 技術評論社，2013年5月.
- 75 Node.js : <https://nodejs.org/en/>
- 76 web3.js : <https://web3js.readthedocs.io/en/v1.2.11/>
- 77 mysql : <https://www.npmjs.com/package/mysql>
- 78 沖林正紀：jQuery 本格入門，技術評論社，2014年8月.
- 79 清水俊博，大津繁樹，Jxck，小林秀和，佐々木庸平，篠崎祐輔，高木敦也，西山雄也：サーバーサイド JavaScript Node.js 入門，ASCII，pp.45, 2012年11月.
- 80 ROS : <https://www.ros.org/>
- 81 Ritesh Modi, 花村直親，松本拓也，小池駿平：Solidity プログラムミング，講談社，pp.14-18, pp.38, 2019年9月5日.
- 82 杉井靖典：いちばんやさしいブロックチェーンの教本，インプレス，2017年9月.
- 83 日本電気株式会社，コンセンサス・ベイス株式会社：ブロックチェーンイーサリアムへの入り口，(2123/3669)，日本電気株式会社，2018年9月.
- 84 後藤大輝：建設業サプライチェーンへのブロックチェーン技術導入に伴う費用分担に関するゲーム論的考察，pp.76-77, 2020年9月
- 85 国土交通省 第三者による品質証明の試行工事 実施要領（案）：
https://www.cbr.mlit.go.jp/architecture/kouritsuka/data/hinshitsu_shomei_03.pdf
- 86 国土交通省 大臣官房技術調査課：施工者と契約した第三者による品質証明業務運用ガイドライン（案），pp.5, 2019年6月
- 87 国土交通省 平成31年度 設計業務委託等技術者単価について：
<https://www.mlit.go.jp/common/001274135.pdf>
- 88 国土交通省関東地方整備局 契約に係る情報の公表：
<https://www.ktr.mlit.go.jp/nyuusatu/nyuusatu00003866.html>
- 89 永谷圭司，勝間慎弥，濱崎峻資，谷島涼丞，全邦釘，山下淳，小澤一雅，山内元貴，橋本毅：土量変化率を考慮した油圧ショベルによる自動掘削と建設機械の標準プラットフォームの開発，i-Construction の推進に関するシンポジウム，2020年7月.
- 90 山内元貴，橋本毅，山田充，新田恭士，油田信一：建設機械施工における標準プラットフォームの提案—建設機械制御へのロボット用ミドルウェアの導入—，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 No.20-2, 2020年5月.
- 91 Morgan Quigley, Brian Gerkey, William D. Smart, 河田卓志，松田晃一，福地正樹，由谷哲夫：プログラムミング ROS, オライリージャパン，pp.3, 2017年12月.

-
- 92 四月朔日勉：BIM/CIMにおける情報共有を目的としたプロダクトモデルとデータベースの適合性に関する研究，2017年7月。
- 93 Rafael Sacks, Charles Eastman, Ghang Lee, Paul Teicholz：BIM Handbook, WILEY, pp.112-124, 2018.
- 94 国土交通省会計実務要覧，ぎょうせい，2020年。
- 95 ISO：ISO/TS15143-3 Earth-moving machinery and mobile road construction machinery — Worksite data exchange — Part3 Telematics data, pp.1, 2016.
- 96 土木学会：土木ISOジャーナル，ISO対応特別委員会誌，pp.37, 2017年3月。
- 97 株式会社アंक：SQLの絵本，翔泳社，pp.6-11, 2018年8月。

謝辞

本論文は、東京大学大学院 工学系研究科 小澤一雅教授のご指導のもと研究した内容を取りまとめたものです。2018年10月に東京大学に設置された「i-Construction システム学」寄付講座に着任して以来、週1回の研究会議（計100回以上）を通じて、小澤先生からご指導を賜りました。まだ、駆け出しの未熟な技術者の私にとって、理解が及ばない点、考えきれない点がありながらも、毎週、何とかこの研究会議で先生と議論する内容を考え、研究を前に進めてきました。考えれば考えるほど、進めば進むほど、議論させていただく内容が深くなり、これが途中からは大変楽しくなってきたことが、印象深く記憶されています。小澤先生から教えていただいたことは、数えきれないほど思い返されますが、特に、「モノの本質を捉えること」、「研究に費やす時間を捻出すること（タイムマネジメント）」の2点を先生のご指導から学ばせていただきました。懇切丁寧に、ご指導くださった小澤先生には感謝の念が堪えません。

副査の永谷特任教授、堀田教授、山下准教授、全特任准教授からは本研究に対して様々な角度からアドバイスをいただきました。また、プロトタイプの開発に当たっては Google Japan の児玉様、東京大学大学院 修士の後藤様、実証試験に当たっては国土交通省 関東地方整備局 北首都国道事務所、甲府河川国道事務所及び奈良建設、湯澤工業の関係者の皆様にお世話になりました。この場をお借りし御礼申し上げます。

また、学位取得及び研究の機会を与えてくださった清水建設 常任顧問 河田孝志様へ心より御礼申し上げます。河田顧問は、マレーシアのパハン導水トンネルで所長を務められており、私はそこで河田顧問から熱意あるご指導を賜り、心身ともに鍛えていただきました。また土木技術本部 技術計画部にて、入江正樹上席エンジニア、延藤遵副本部長、藤田淳部長、南郷健太郎 G 長から技術者としての基礎を教えていただきました。次に配属された土木東京支店 大泉シールドでは原忠所長、飯泉勝工事長、前田俊宏工事長、西村直樹工事長から現場の基礎をご指導いただき、私が大学へ赴任する際には温かく送り出してくださいました。ここに名前を記した方以外にも、これまで多くの方からご指導を賜って参りました。また会社を離れて大学に所属する間も皆様より時折、激励のメールやお声がけをいただきました。各部署で皆様からご指導いただいた内容や温かい励ましがなければ研究を進めることは難しかったと思います。この場をお借りし心より御礼申し上げます。

また、i-Construction システム学寄付講座を日頃より支えてくださっている関連業団体の皆様、運営委員会の皆様へも御礼申し上げます。特に運営委員のバシフィックコンサルタンツ 重永様や、三菱総合研究所 竹末様からは成果報告会などでお会いした際に温かいお声がけをいただきました。誠にありがとうございました。

このように、東京大学で過ごした2年半を振り返ると、とても多くの方にお世話になったことを身に染みて感じます。お世話になった皆様へ心より御礼申し上げ、結びといたします。誠にありがとうございました。

付録

付録 A 用語の概説

A.1 施工管理システム

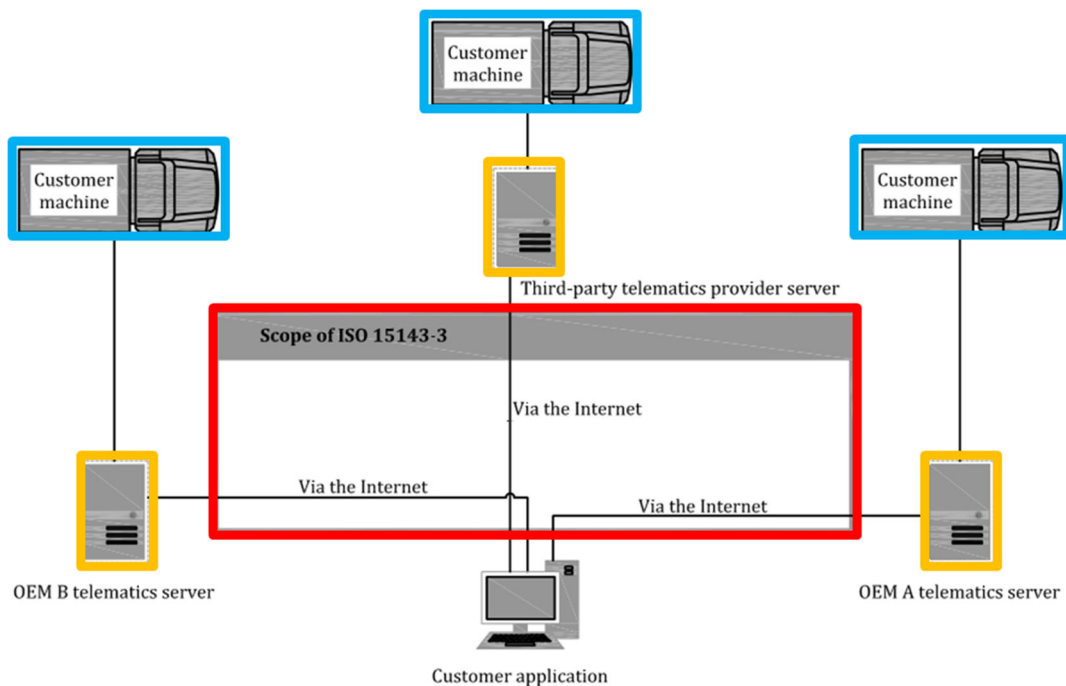
施工管理情報の収集・蓄積が可能なシステムについて概説する。このシステムは施工管理のために現場からの情報を収集・蓄積するシステムを指し、オープンソースから商用のものまで多種多様なものが挙げられる。それぞれメリット、デメリットについて示す。

付録 表 1 施工管理システム内のデータの取得方法（例）

| 取得方法 | メリット | デメリット |
|------------------------|--|---|
| ファイルベースでの情報取得 | 大半のセンサーや商用システムでは取得したデータをファイルで出力することが可能なため、汎用性が高い | ファイルを取得するという作業が必要なため、自動的にデータを基盤システムに入力することが困難 |
| ROS を利用したセンサー情報の収集 | ROS 自体がオープンソースであるため様々なメーカーの情報を取得する環境を構築しやすい | 現状 ROS に対応した建機や測量機器は少ない |
| ISO15143 に準拠した API の活用 | 多くの建機メーカーのサーバーが当該 ISO に準拠している | 施工管理や検査に必要な施工管理情報のすべてが標準化された API では網羅されていない |
| 商用システムとの API 連携 | より多くの施工管理情報を収集、取得することが可能 | 個別の商用 API と連携するための開発が必要となる |

付録 表 1 に示した施工管理情報の取得方法のうち、ISO15143 Part3⁹⁵（EMM and mobile road construction machinery -worksite data exchange -part3 : Telematics data; 土工機械及び走行式道路工事機械 第 3 部：テレマティクスデータ）により重機情報取得に関する標準化の取組みについて述べる。この ISO 規格は米国が機械管理データを第 3 部として提案したものである⁹⁶。各建機メーカーは重機（付録 図 1 青枠）から得られる情報を自社のサーバー（付録 図 1 黄枠）へ保存しており、この範囲のデータの取り扱いには各社

の方式による。ISO15143 Part3 によって標準化された範囲は、各社のサーバーから第三者
がデータを取得する部分（付録 図 1 赤枠）である。ただし、標準化されているデータの
種類は、施工管理や検査・支払に必要な建機情報のすべてを網羅していないため、必要に
応じて各メーカーとの個別の開発が必要になる可能性がある。



付録 図 1 ISO15143 Part3 のスコープ
(参考資料 95 を参考に筆者が加筆)

A.2 リレーショナルデータベース

リレーショナルデータベース（RDB；Relational DataBase）はデータベースの一種であり、データを行（ロー）と列（カラム）で構成された表形式で管理している⁹⁷（付録 図 2）。

テーブル
↓

| | | 列名 | | | |
|-------|-----|----|--------|-------------|-------------|
| 工種 | 種別 | 単位 | 契約数量 | 合意単価 (円) | 契約金額 (円) |
| 河道整正工 | 掘削工 | m3 | 22,577 | 200 | 4,515,400 |
| 河道整正工 | 盛土工 | m3 | 2,600 | 160 | 416,000 |

列(カラム)

行(ロー)

付録 図 2 リレーショナルデータベースの各部位の呼称

またリレーショナルデータベースは、リレーショナルデータベース管理システム（RDBMS：Relational DataBase Management System）というソフトウェアによって管理されている。またSQL（Structure Query Language）とはRDBを操作する際に、利用する言語のことを指す。

付録 B システム・プログラム関連

B.1 トランザクションハッシュを用いた実行結果のトレース

図 6-18 の例（30%の出来高率の確定）の実行内容に基づいて、トランザクション、取得したトランザクションハッシュ、トランザクションハッシュを利用してトレースしたトランザクションレシート、トランザクションレシートを解析したログ記録の確認について記載する。ログ記録の確認では、ログに入力した 30%という数字が含まれていることを確認する。なお、ブロックチェーンは ganache-cli を利用した。

付録 表 2 送信した HTTP リクエストのパラメーターとそのレスポンス

| 出来高の確定 (メソッド: POST, エンドポイント: http://localhost:8000/progress/confirmation) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111, "progress": 30, "sender": "0x1a47044b57BC0c6EAfFb65E82696f997b715b58f", "reciever": "0x0888AE488e3573f689Ce30aB0B186074bf80Df11", "passForSender": "123", "passForReciever": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "1111", "progress": "30" }</pre> |

付録 表 3 取得したトランザクションハッシュ

```
0x850e394068bceae2faac4c60aa663bf8eed4ee4b8eb9ce7ecf2fcad8fd1f0fae
```


付録 表 5 hex から decimal への変換

hex: 1e

変換式

$$1 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = 30$$

Decimal: 30

B.2 スマートコントラクトのブロックチェーン上への配置

Truffle を用いて、Ethereum へスマートコントラクトを配置すると、下記のようなログがコンソール画面上に表示される。この例では図 3-26 に示すコントラクトを配置した。灰色でハッチした部分が配置したコントラクトに対するコントラクトアドレスであり、開発した WebAPI はコントラクトアドレスを利用し、ブロックチェーン上に配置されたスマートコントラクトへアクセスする。

付録 表 6 Truffle を用いたコントラクトの実行結果

```
truffle(develop)> migrate
Compiling .\contracts\test.sol...
Writing artifacts to .\build\contracts

⚠ Important ⚠
If you're using an HDWalletProvider,
it must be Web3 1.0 enabled or your migration will hang.

Starting migrations...
=====
> Network name:    'develop'
> Network id:     4447
> Block gas limit: 6721975

1_initial_migration.js
=====

  Deploying 'Migrations'
  -----
  > transaction hash: 0x6de738ce7b8b48a8ce2a33e76267b19a7f208d4af2f7f5e777feca0e60391889
  > Blocks: 0        Seconds: 0
  > contract address: 0xf9e1E2662d75b92E0834d59E0FaEc1E3AF31E2C7
  > account:         0x5F37ceAc216f3C35ff230CC7A33F184e8dB1d83a
  > balance:        99.99598594
  > gas used:       200703
  > gas price:      20 gwei
  > value sent:     0 ETH
  > total cost:     0.00401406 ETH

  > Saving artifacts
  -----
  > Total cost:     0.00401406 ETH

2_deploy_contracts.js
=====

  Deploying 'test'
```

```
-----
> transaction hash: 0x0b0f73eef8efa3b40ebd0d218dc26e8e43624e78a1b20e148e49dd34d25567e8
> Blocks: 0          Seconds: 0
> contract address: 0x1C18c37E868250318636C858c84C950eD6B4dAC9
> account:          0x5F37ceAc216f3C35ff230CC7A33F184e8dB1d83a
> balance:          99.9915172
> gas used:         223437
> gas price:        20 gwei
> value sent:       0 ETH
> total cost:       0.00446874 ETH

> Saving artifacts
-----
> Total cost:       0.00446874 ETH

Summary
=====
> Total deployments: 2
> Final cost:       0.0084828 ETH
```

B.3 各種ツールに利用した変数一覧及び実行内容

システムを円滑に運用するために、各種ツールを用意した。この実行内容を示す。用意したツールの一覧及び実行結果を示す。

付録 表 7 ツールの一覧

| 機能の内容 | メソッド | エンドポイント |
|--------------------|------|--|
| 契約情報の取得 | GET | http://localhost:8000/tool/site-info |
| 発注した現場一覧 | GET | http://localhost:8000/tool/site-list |
| 契約条件及び履行状況の確認 | GET | http://localhost:8000/tool/site-item |
| 設計変更の契約条件及び履行状況の確認 | GET | http://localhost:8000/tool/site-item-designchanged |
| 率計上分の契約情報の確認 | GET | http://localhost:8000/tool/accrual-item |
| ファイルのハッシュ値生成 | GET | http://localhost:8000/tool/create-localfile-hash |
| 残高確認 | GET | http://localhost:8000/tool/check-balance |

付録 表 8 契約情報の取得の入出力値

| 契約情報の取得 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/site-info) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "totalPrice": "25000000", "siteOwner": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "siteAddress": "0x35B8D34A419A24219A2cAAf024E10c3792d3C7CB", "contractedDate": "2022-7-30", "completionDate": "1970-1-1", "finalInspection": false }</pre> |

付録 表 9 発注した現場一覧の入出力値

| 発注した現場一覧 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/site-list) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteOwner": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "siteOwner": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "siteAddress": ["0x35B8D34A419A24219A2cAAf024E10c3792d3C7CB", "0xbf380A4BC46c75554556d2673B3F14414F97Af12", "0xCb5FE508002D49cC17c75bd4141a35283a2cD07e"] }</pre> |

付録 表 10 契約条件及び履行状況の確認の入出力値

| 契約条件及び履行状況の確認 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/site-item) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1111 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "1111", "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "reciever": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "price": "4881450", "progress": "0", "isPassedVolume": "0" }</pre> |

付録 表 11 設計変更の契約条件及び履行状況の確認の入出力値

| 設計変更の契約条件及び履行状況の確認 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/site-item-designchanged) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 1122, "UnitPrice": 220, "UnitVolume": 32577, "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "reciever": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "passForSender": "123", "passForReciever": "123", "originalContractId": 1111, "txhashForPayment": "" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "1122", "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "reciever": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "price": "7166940", "isPassedVolume": "0", "originalConstructionId": "1111", "originalPrice": "4881450", "pastPayment": "0", "reason1": "Unit Price is changed", "reason2": "Quantity is changed" }</pre> |

付録 表 12 率計上分の契約情報の確認の入出力値

| 率計上分の契約情報の確認 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/accrual-item) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "siteId": 1, "contractId": 9999 }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "contractId": "9999", "rate": "16", "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "reciever": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "relatedContract": ["1111", "2222"] }</pre> |

付録 表 13 ファイルのハッシュ値の生成の入出力値

| ファイルのハッシュ値の生成 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/create-localfile-hash) |
|--|
| リクエスト |
| <pre>{ "filePath": "./inspection/data/design_0mm.txt" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "localFileHash": "0x67e5366a39e8c0b26386eb029bd58ab89be5feefad9603c400f8a34d7574182c" }</pre> |

付録 表 14 残高確認の入出力値

| 残高確認 (メソッド: GET, エンドポイント: http://localhost:8000/tool/check-balance) |
|---|
| リクエスト |
| <pre>{ "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "reciever": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "pass1": "123", "pass2": "123" }</pre> |
| レスポンス |
| <pre>{ "sender": "0x63Cc9CC3a143a915C06C9a39d213dd356ae97aA8", "SenderBalance": "0", "recipient": "0xB710A937c6f3312A7D51070FFA098F68C0847e53", "ReciverBalance": "0" }</pre> |

付録 C 実証試験関連

C.1 出来形検査システムの実証試験に利用した帳票

| ブロックチェーンを活用した立会検査システムの実証試験用確認シート | | |
|--|-----|---------|
| 工事名称： H30東埼玉道路大川戸地区改良他工事 | | |
| 実施日 | 検査者 | システム操作者 |
| | | 松下 文哉 |
| 検査対象場所および内容： Aブロック土工事のうち、転圧及び出来形検査 要求品質・仕様： 転圧回数6回（1層の巻出厚36cm） 出来形許容誤差 天端：平均値±50mm、個々の計測値±150mm ¹⁾ 小段：平均値±80mm、個々の計測値±190mm 利用データ： ブルドーザーのGNSS、UAV測量の点群 ²⁾ | | |
| 1. 検査 | | |
| 次項に示す合計7つのパターン（転圧回数確認4パターン、出来形確認3パターン）に対して検査及び改竄有無の確認を実施します。確認には画面へシステム操作者が必要情報を示しますので、これをもとに表1へ必要事項を記載してください。 | | |
| — 実施手順 — | | |
| i. 「①品質・出来形の確認」を行います。確認は事前に作成した品質・出来形確認帳票を用います。転圧回数確認であれば「転圧回数が6回以上であるか否か」、「出来形確認であれば出来形許容誤差以内であるか否か」をご確認ください。要求品質・出来形を満たしている場合はOK、満たしていない場合はNGを表1に記載してください。OKと判定した場合は、品質・出来形確認帳票の作成時に利用した施工管理情報の改竄の有無の確認（②）を行います。改竄有無確認の実施をシステム操作者へ指示してください。 | | |
| ii. 「②保存データの改竄」確認を行います。確認は東京大学で開発したシステムを用います。ステップ i で“OK”と判断されたものに対して、帳票の作成根拠となっている施工管理情報の改竄の有無を確認します。システム上で改竄確認が完了すると、画面に結果が表示されます。表示の“result”は、“true”が改竄なし、“false”が改竄あり、を示します。結果を表1の当該箇所に記載してください。なしと判定した場合は、入力時のデータ改竄の有無を確認（③）します。改竄有無確認の実施をシステム操作者へ指示してください。 | | |
| iii. 「③入力時のデータ改竄」確認を行います。確認は東京大学で開発したシステムを用います。ステップ ii で“改竄なし”と判断されたものに対して、入力時のデータ改竄の有無を確認します。確認は転圧回数確認に対してはGNSSの時系列データ、出来形確認は点群測量データと最終層の転圧のGNSSデータを用います。画面に表示される情報が実現場に即していない場合は、改竄ありと判断してください。結果を表1の当該箇所に記載してください。また改竄ありと判断した理由も合わせて記載してください。 | | |
| iv. ①～③の結果をもとに検査判定を記載してください。①OK、②なし、③なし、場合は検査判定は合格、それ以外は不合格となります。 | | |
| 2. 改竄した業者の特定 | | |
| 検査の結果、改竄したことが疑われるデータに対して、誰がそのデータを保存したかをトレースします。画面へシステム操作者が必要情報を示しますので、これをもとに表2へ必要事項を記入してください。 | | |
| — 実施手順 — | | |
| i. システム操作者へ改竄の疑いがあるNoを伝えてください（例2例3）。またNoを表2へ記載してください。 | | |
| ii. 画面に表示されたアドレスと参照情報1に記載されている情報を照合してください。 | | |
| iii. 照合の結果、明らかになった業者名を表2に記載してください。 | | |

表1 : 検査用の記入帳票

| No | 項目 | | 利用データ | ①品質・仕様の確認 | ②保存データの改竄 | ③入力時のデータ改竄 | ④検査判定 | 備考 |
|----|--------|--------------|---------------------------|---|-----------|------------|--------|----|
| 例1 | 転圧回数確認 | — | A01_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 例2 | 転圧回数確認 | — | A01_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 例3 | 転圧回数確認 | — | A01_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 ブルドーザーの動きが現実にも即した動きをしていない。 | | | | |
| 例4 | 転圧回数確認 | — | A01_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 2 | 転圧回数確認 | Aブロック2 層目 | A02_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 3 | 転圧回数確認 | Aブロック3 層目 | A03_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 4 | 転圧回数確認 | Aブロック4 層目 | A04_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 5 | 転圧回数確認 | Aブロック5 層目 | A05_1_rhino_in put.csv | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 6 | 出来形確認 | Aブロック 小段 | Ablock_Asbuild 5.txt | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 7 | 出来形確認 | Aブロック 天端 | Ablock_Asbuild 6.txt | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 8 | 出来形確認 | Aブロック 天端 | Ablock_Asbuild 7.txt | OK/NG | なし/あり | なし/あり | 合格/不合格 | |
| | | | | ③入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |

表2 : 改竄した業者の記入帳票

| No | 業者名 |
|----|------|
| 例2 | D土木組 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

参照情報1 : 業者のアドレス

| | |
|-------|--|
| A建設 | 0x006375cbe053b31890f4830dc5e3b52af198fecc |
| B工務店 | 0xbf99133da0dc01e0c50786ec655ed17b67f7b4c |
| C土木工業 | 0x888694fca24ca30991eed2ed1322a8a111846498 |
| D土木組 | 0x9c67dec74882bc3168779d9ad7195758652f77d4 |
| E建設工業 | 0x52fa504e4302659a8b0d2ca3f0c12f75fc0465e2 |

参照情報2 : ブロックチェーン問い合わせ用アドレス

| | | |
|----|----|--|
| 例1 | 1 | 0xebaf409aa8eec667fe2d739da8d2dca6a54018332d958d0ef4315dd24df2bcee |
| 例2 | 2 | 0x66884ece3a7cf2782d3a430e7ed9898475a2809103a250a6fe3f91d65ef42f0d |
| 例3 | 3 | 0x7409252062b06d53ce9495624873d94624a09a6a9d1d1ab697e57b1ffdb27c78 |
| 例4 | 4 | 0x9687505df99df0518f770b1d77d2e197cd72105b58ec684441cef319b5d18cbe |
| 2 | 5 | 0xd2916afa640d2d760457901938e7d35ff77a8aaf173b2cceb2df142e4e5064c0 |
| 3 | 6 | 0x35d88aef4f7992adb7e8159d0a65df74029576e344ab6a9d6c3ed597b56da154 |
| 4 | 7 | 0xa3cf4cd77275140027ed094b94f64bab922ce5fd48e615395cfa1ab5a7287c1 |
| 5 | 8 | 0x7a7492c834c2129eac76590b62e5f594dfe6df5d13ce2cc17960934d3ad78aaa |
| 6 | 9 | 0x917cdf88891811a84081c8f0d6c041cd61fa25035aec895511f0051329865dfa |
| 7 | 10 | 0x8f0aefc85ece588040a48d1071410ed8c0ef92f1a143ddf3d9ddb6a6c8f599f |
| 8 | 11 | 0x654ddcef8208c2ca6055b354cfd6062730417c7e451491ff2fef96a5a91b5956 |

注釈:

- 1) 土木工事施工管理基準及び規格値
- 2) コマツスマートコンストラクションからダウンロード

備考:

本実証試験での“検査”は、工事に係る工事請負契約書第31条に基づく検査とは異なる。本実証実験は一切、工事請負契約に影響しない。改竄データはあくまでもサンプルとして東京大学が用意したものであり、実工事のデータとは関係ない。

C.2 出来高査定及び支払システムの実証試験に利用した帳票

| ブロックチェーンを活用した出来高査定・支払システム実証試験用確認シート | | |
|--|-----|---------|
| 工事名称： H30釜無川河道整正その他工事 | | |
| 実施日 | 検査者 | システム操作者 |
| | | 松下 文哉 |
| 検査内容 : 既済部分検査の出来高査定 (掘削数量の確認) 要求品質・仕様 : 出来形許容誤差 平均値±50mm (-50mmは参考値) 出来高確認の判断基準 : 設計値+50mm < 計測値 < 設計-50mm 利用データ : ブルドーザーの刃先データA, 刃先データB | | |
| <h3>1. 検査</h3> <p>次項に示す合計5つのパターンに対して改竄有無の確認及び出来高確認を実施します。画面へシステム操作者が必要情報を示しますので、これをもとに表1へ必要事項を記載してください。なお、品質・出来形の検査にはすでに合格しているものとします。</p> <p>— 実施手順 —</p> <ol style="list-style-type: none"> 「①入力時のデータ改竄」確認を行います。確認は東京大学で開発したシステムを用います。確認は出来形確認に利用したブルの刃先データ (GNSSの時系列データ) を用います。画面に表示される情報が実現場に即していない場合は、改竄ありと判断してください。結果を表1の当該箇所に記載してください。また改竄ありと判断した理由も合わせて記載してください。なしと判定した場合は、②保存データの改竄確認を実施します。②の実施をシステム操作者へ指示してください。 「②保存データの改竄」確認を行います。確認は東京大学で開発したシステムを用います。ステップiで“なし”と判断されたものに対して、出来高の確認根拠となっている刃先データの改竄の有無を確認します。システム上で改竄確認が完了すると、画面に結果が表示されます。表示の“result”は、“true”が改竄なし、“false”が改竄あり、を示します。結果を表1の当該箇所に記載してください。なしと判定した場合は、③出来形確認を実施します。③の実施をシステム操作者へ指示してください。 「③出来高確認」を行います。確認は東京大学で開発したシステムを用います。ステップiiで“改竄なし”と判断されたものに対して、設計値と計測値 (刃先データA, 刃先データB) を用いて土量の計算を行います。数量に対する判断基準を下記に記載します。 (設計値+50mm < 計測値 < 設計値-50mm) なお、各計測値に対する、設計値±50mmの設計土量は次項に示します。 ①～③の結果をもとに検査判定を記載してください。①なし、②なし、③OK、場合は検査判定は合格、それ以外は不合格となります。検査判定が合格の場合は、支払を実行します。模擬的に仮想通貨 (ICT) を用います。 <h3>2. 改竄した企業の特定</h3> <p>検査の結果、改竄したことが疑われるデータに対して、誰がそのデータを保存したかをトレースします。画面へシステム操作者が必要情報を示しますので、これをもとに表2へ必要事項を記入してください。</p> <p>— 実施手順 —</p> <ol style="list-style-type: none"> システム操作者へ改竄の疑いがあるNoを伝えてください (例1,例2)。またNoを表2へ記載してください。 画面に表示されたアドレスと参照情報1に記載されている情報を照合してください。 照合の結果、明らかになった企業名を表2に記載してください。 | | |

表1 : 検査用の記入帳票

出来高査定結果の判定基準

| | 設計値 | 設計値+50mm(下限値) | 設計値-50mm(上限値) | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------------------|--|--|-----------|---------|--------|----|
| 刃先データA | 14,053 m ³ | 13,553 m ³ | 14,553 m ³ | | | | | |
| 刃先データB | 8,524 m ³ | 8,214 m ³ | 9,348 m ³ | | | | | |
| No | 契約番号 | 受注者 | 利用データ | ①入力時のデータ改竄 | ②保存データの改竄 | ③出来形の確認 | ④検査判定 | 備考 |
| 例1 | 1110 | A建設 | 刃先データA Revised_01_H30 KAMANAS- buru_EX.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 ブルドーザーの動きが現実に即した動きをしていない。 | | | | |
| 例2 | 1110 | A建設 | 刃先データA Revised_01_H30 KAMANAS- buru_EX1.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 例3 | 1110 | A建設 | 刃先データA Revised_01_H30 KAMANAS- buru_EX2.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 1 | 1100 | C工務店 | 刃先データA 1_Revised_01_H 30KAMANAS- buru_dataA.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 2 | 1112 | A建設 | 刃先データA 2_Revised_01_H 30KAMANAS- buru_dataA.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 3 | 1113 | B土木工業 | 刃先データA 3_Revised_01_H 30KAMANAS- buru_dataA.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 4 | 2111 | A建設 | 刃先データB 4_Revised_01_H 30KAMANAS- buru_dataB.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |
| 5 | 2112 | B土木工業 | 刃先データB 5_Revised_01_H 30KAMANAS- buru_dataB.CSV | なし/あり | なし/あり | OK/NG | 合格/不合格 | |
| | | | | ①入力時の改竄有無があると判定した理由 | | | | |

表2 : 改竄した企業の記入帳票

| No | 業者名 |
|----|-----|
| 例2 | A建設 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

参照情報1 : アカウント (アドレス)

| | | |
|-----|-------|--|
| 発注者 | J事務所 | Ox0 06375cbe053b31890f4830dc5e3b52af198fecc |
| 受注者 | A建設 | Oxb fb99133da0dc01e0c50786ec655ed17b67f7b4c |
| 受注者 | B土木工業 | Ox8 88694fca24ca30991eed2ed1322a8a111846498 |
| 受注者 | C工務店 | Ox9 c67dec74882bc3168779d9ad7195758652f77d4 |

参照情報2 : ブロックチェーン問い合わせ用アドレス

| | | |
|----|---|--|
| 例2 | 1 | Ox22b8e8f0f99f306f41f8ef778206de6fe17fb634a67e194f03f6c248849918db |
| 例3 | 2 | Ox4f99af4b6dcd3752c616a42c719180446eb414112b9189738afe9c7fd633a132 |
| 1 | 1 | Ox48c338f26a17a8d8f7f1da3b3c121ea17b0a496150142f4c38a0d0ee482f7860 |
| 2 | 1 | Oxcf2bb0ccf74866494074ba93216ac63c619738aa70a70adc67d4b110e6ae6c34 |
| 3 | 1 | Ox9cfd41471dadba607ee42f3672e6f00f50225c9018489cddcf03344c332e21bf |
| 4 | 1 | Ox6b62e2dec02dc497d1b74eb723f684a1e7f6bf08b6c24cc463fe4342566aa338 |
| 5 | 1 | Oxacdc5601f62bca5a67f11621ec3a94c8dec5411cd3a70172f43ab626c7458df9 |

備考：
 本実証試験での“検査”は、工事に係る工事請負契約書第31条に基づく検査とは異なる。本実証実験は一切、工事請負契約に影響しない。改竄データはあくまでもサンプルとして東京大学が用意したものであり、実工事のデータとは関係ない。

C.3 実証試験の実施状況



実証試験の実施状況（北首都国道事務所）



実証試験の実施状況（甲府河川国道事務所）