パラメトリックモデルを活用した 3 次元鉄筋モデル自動生成システムの開発

清水建設(株)　○連　勝
清水建設(株)　正会員　松下　文哉
清水建設(株)　正会員　児玉　浩一
清水建設(株)　正会員　柳川　正和

1．はじめに

近年,国土交通省は i-Construction 政策を掲げ,2025 年までに生産性 2 割向上を目標として示している[1]. この政策の下で,BIM/CIM(Building Information Modeling /Construction Information Modeling, Management)に代表される 3 次元プロダクトモデルを活用した生産性向上の取り組みが進められている. BIM/CIM の導入によって，3 次元モデルを用いた関係者の工事に関する理解度の向上や合意形成の迅速化，施工データの効率的な蓄積など多くのメリットが期待される. 一方で，詳細な 3 次元モデルを作成する際に生じる多大な作業コストが，BIM/CIM の導入を阻害する課題となっている[2]. また設計不具合において，データ入力等の手作業による図面作成のミスは設計不具合ケース全体の半数以上を占め[3]，設計ミスが発生すると後々膨大な手間と費用が発生する可能性がある. このため 3 次元モデリングの効率化，そして設計ミスを大幅に削減するため，単純な手作業に対する自動化の実現に大きな期待が寄せられている. 国土交通省も 2030 年までの BIM/CIM の活用業務において，自動設計により 3 次元モデルの高度化・効率化の目標を掲げており[4]，ここでもパラメトリックモデルはその解決策の一つとして活用の方針が示されている.

このような背景を受けて，本研究開発では，パラメトリックモデリング手法の土木分野への適応性について検討するとともに，モデリング時に多大の手作業を要する鉄筋のモデリングを対象とし，3 次元モデルの自動生成システムのプロトタイプの開発を行った.

2．パラメトリックモデル

パラメトリックモデルとは，標準的なテンプレートに対し寸法値等のパラメータを入力することにより，簡便に作成及び修正可能な 3 次元モデルのことである[2]. パラメトリックモデルを活用することで，3 次元モデルの作成作業が簡略化され，作業の効率化が期待できる. また，入力されたパラメータを確認することで，3 次元モデルの照査を行える等の副次的な効果も期待される（**図-1**）. パラメトリックモデルにおいては，モデル内の要素が一連のパラメータによって制御された数学的な関係を維持するため，ある要素を修正すると，それに付随する要素も自動的に調整され,確立された関係を維持することができる[5].

しかし，現状では，パラメトリックモデリング手法は，建築意匠分野での活用例が多く見られるものの[6)~8)]，土木分野に関しては応用研究[9)]は進んでいるが,実際の適用に関してはプレキャストコンクリート等の一部に留まっている[2)]. そこで本研究では,パラメトリックモデリング手法の土木分野への適応という観点から,土木構造物において干渉確認等の比較的 3 次元モデルを生成することが多い鉄筋について自動生成可能なプロトタイプシステムを開発し,鉄筋のパラメトリックモデルの実現可能性について考察する.

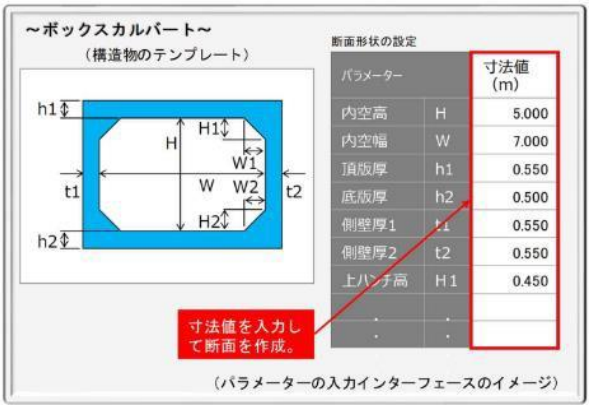

図-1　パラメトリックモデル作成のイメージ[2)]

キーワード　i-Construction, BIM/CIM, Parametric Modelling, Dynamo, Modelling Automation
連絡先　〒104-8370　東京都中央区京橋 2 丁目 16-1　清水建設株式会社　ＴＥＬ03-3561-1111

３．システム設計

(1) 一般的なワークフロー

従来の 3 次元モデルを作成する際には，一般的に「構造計算→2 次元構造図→3 次元モデル」というワークフローになっている．3 次元設計を前提とした場合には構造計算の結果をプログラムから 3 次元 CAD ソフトへ書き出すことがあるが，そのデータ連携は十分ではない．このため鉄筋モデル作成時には単純な手作業を繰り返す必要があり，3 次元モデルを作成するまでにかなりの時間を要している[10]．また設計変更などが発生した場合，関連する 2 次元の図面を全て修正する必要があるなど，膨大な手戻り作業やモデルの不整合などの問題が 発生する[11]．このため従来のワークフローにみられる手作業に頼った鉄筋のモデリングはモデルの作成・変更について，多大な作業コストが生じていると言える．

(2) 要件定義

従来のワークフローでは，単純作業の繰り返しや設計変更による手戻り作業などが原因で，3 次元モデルを作成するまでに多大な時間を要した．こういった課題を踏まえてより効率的なモデリング手法を実現するために，繰返作業や手戻り作業に対する自動化が求められている．この自動化を実現するためには，簡易に作成及び修正可能であるパラメトリックモデルや，3 次元 CAD ソフトと構造計算ソフト等とのデータ連携を可能にするプログラムが求められる．

そこで本研究では，橋梁下部工の鉄筋を対象とし，パラメトリックモデルによる 3 次元鉄筋モデルの自動生成システムのプロトタイプを開発し，各種ソフトウェアとのパラメータ連携が可能なモデルの構築を検討した．プロトタイプの開発にあたり，以下の開発要件を設定した．

a) 鉄筋モデルを含んだプロダクトモデルのパラメータ値に容易にアクセス及び編集する統合コンソールを用意する．
b) 統合コンソール上で，プロダクトモデルに対してパラメータ値を入力・編集することで，プロダクトモデルの簡易作成および修正計画を即時反映できる機能を有する．
c) 3 次元プロダクトモデルのパラメータ値と構造計算用データと双方向に連携できる機能を有する．
d) 作成したパラメトリックモデルをテンプレート化し，異なる設計者や動作環境であってもテンプレートに対応するパラメータを入力することで，プロダクトモデルを再作成可 能な機能を有する．

(3) システムの構成

システム構成を**図-2** に示す．システムへのインプット項目は，一般的には設計条件や構造計算や構造細目で決定される数値であり，鉄筋モデルの場合では，鉄筋径，本数，ピッチ，長さ，かぶり，フック等といった鉄筋のパラメータとなる．またこれらのモデルに関わる各要素のパラメータについては，統合コンソールでコントロールし，パラメトリックモデルの各種制御を行う．

さらに本システムの中では，設計とプログラム開発の 2 つの環境を分けて，開発者はパラメトリックモデルを作成するためのテンプレート（概形を定めたアルゴリズム）を 3 次元 CAD ソフトへ導入し，設計者は中身のアルゴリズムを知らなくても構造計算によるパラメータ値を入力するだけで，モデルを迅速に自動生成できるようにする．設計変更などが発生した場合には，パラメータを再入力することで修正計画が即座に 3D モデルと，連動する 2D 図面に反映される．これによって修正時間を削減するとともに，図面間の整合性も担保することを試みる．

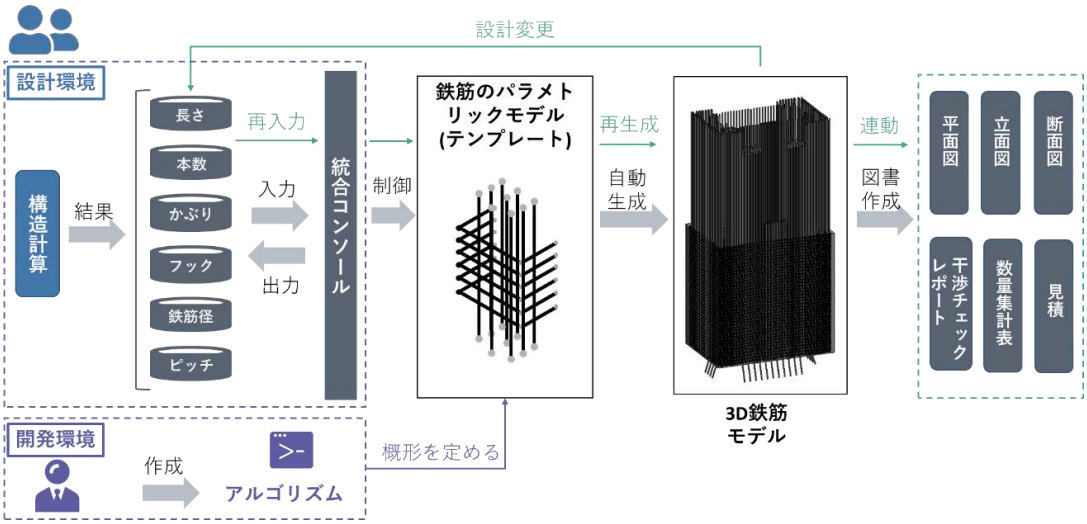

図-2　システム構成の全体像

4．プロトタイプの開発

(1) 実装するソフトウェアの選択

プロトタイプ開発に当たっては，Rhinoceros-Grasshopper[12]と Revit-Dynamo[13]を実装用のツールとして検討した．Rhinoceros はデザインの自由度が高く，さらにそのアドインツールである Grasshopper を通じ，より複雑な形状や曲面を容易に作成できる．しかし，モデル情報に関してはジオメトリックデータに限られ，主な用途は 3D モデリングになっている[14]．

一方で，Revit では 3DCAD ソフトウェアだけでなく，BIM 分野で利用される BIM ツールでもあり[15]，設計から施工,維持管理までのライフサイクル全体で蓄積された情報を扱うことが可能である．また Dynamo により，さらにモデル情報の取得や追跡，処理等ができるため，容易にモデルへのパラメータ制御を行う事が可能となる．そこで今回は Revit とそのアドインツールである Dynamo を利用した．

(2) Dynamo と Dynamo プレイヤーの概要

Dynamo は，AutoCAD や Civil3D，Revit 等で行う作業の自動化を進めるためのビジュアルプログラミングツールである．Dynamo 上でビジュアルコーディングを行いながら，さまざまな要素を互いに接続して動作の関係と順序を定義し，カスタマイズされたアルゴリズムを構築できるようになる．構築したアルゴリズムは，データの処理からジオメトリの生成まで多様な用途で使用することができる[16]．**図-3** に簡単な Dynamo の使用例を示した．

また Dynamo プレイヤーでは，Dynamo で作成されたスクリプトを統合するコンソールである．Dynamo プレイヤーを使用することで，Dynamo のスクリプトを Revit で簡単に実行することができる．

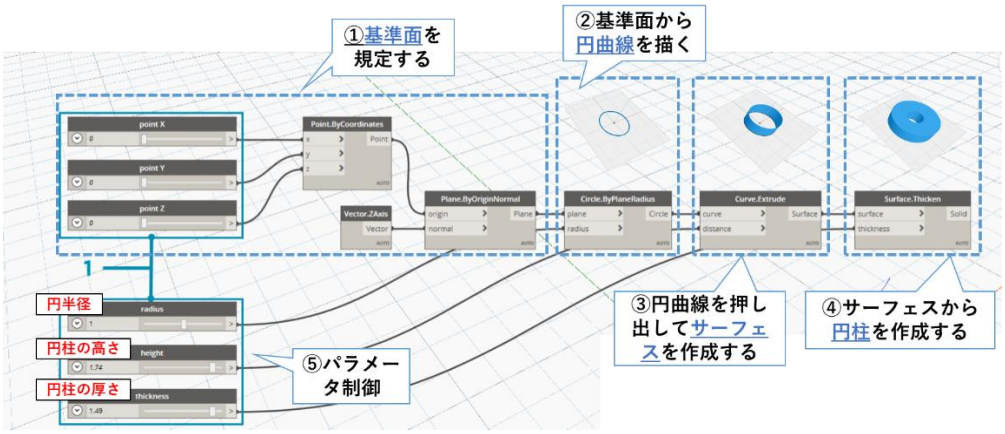

図-3　Dynamo 上での要素接続による円柱の作成

(3) Dynamo によるプロトタイプの開発

対象鉄筋をパラメトリックモデルへ再現させるため，Dynamo で段階毎にパラメトリックモデルの自動生成プログラムを作成した（**図-4**）．ここで入力パラメータと結果の鉄筋モデルとの連携ついて，段階①の「主筋（外部）」を例に挙げて説明する（**図-5**），Dynamo プレイヤーに最初 3 つの入力欄で 3 種類の主筋の長さをそれぞれ定義し，そして種類別の主筋に対して開始および終了の鉄筋番号を記入することで，種類毎の主筋本数も決めるようになる．その後，主筋端部のフックを編集し，必要に応じてフックの有無やタイプ，向きなどを選択する．

必要な鉄筋パラメータ値を Dynamo プレイヤーに入力して実行すると，主筋の 3 次元モデルが迅速に Revit 上で自動生成される．

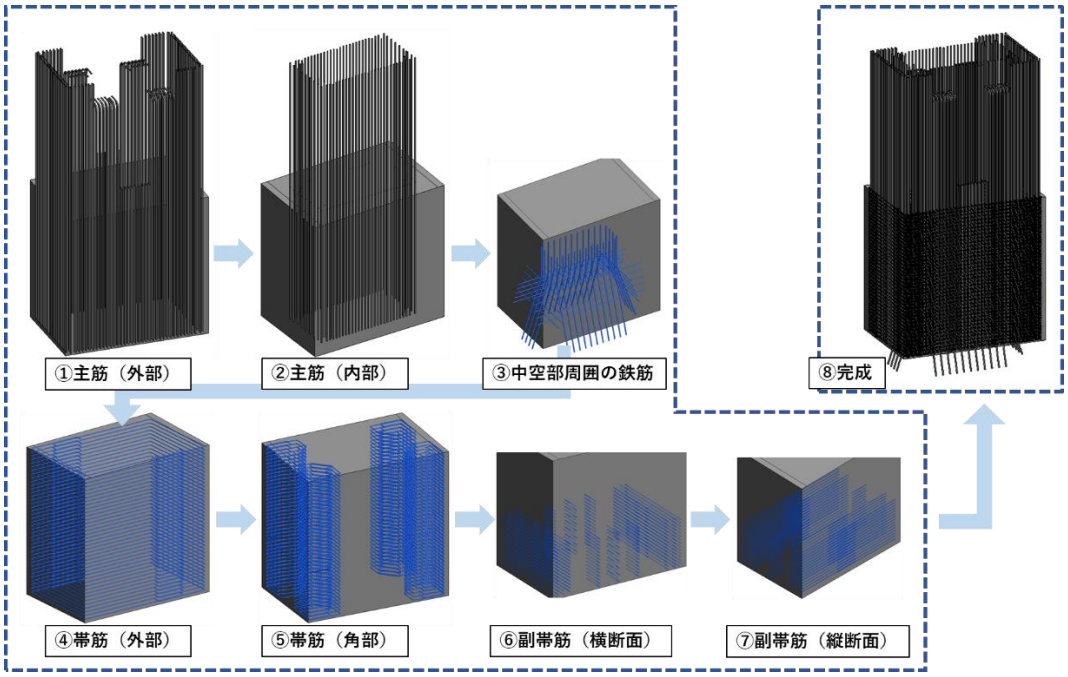

図-4　対象鉄筋モデルの自動作成手順

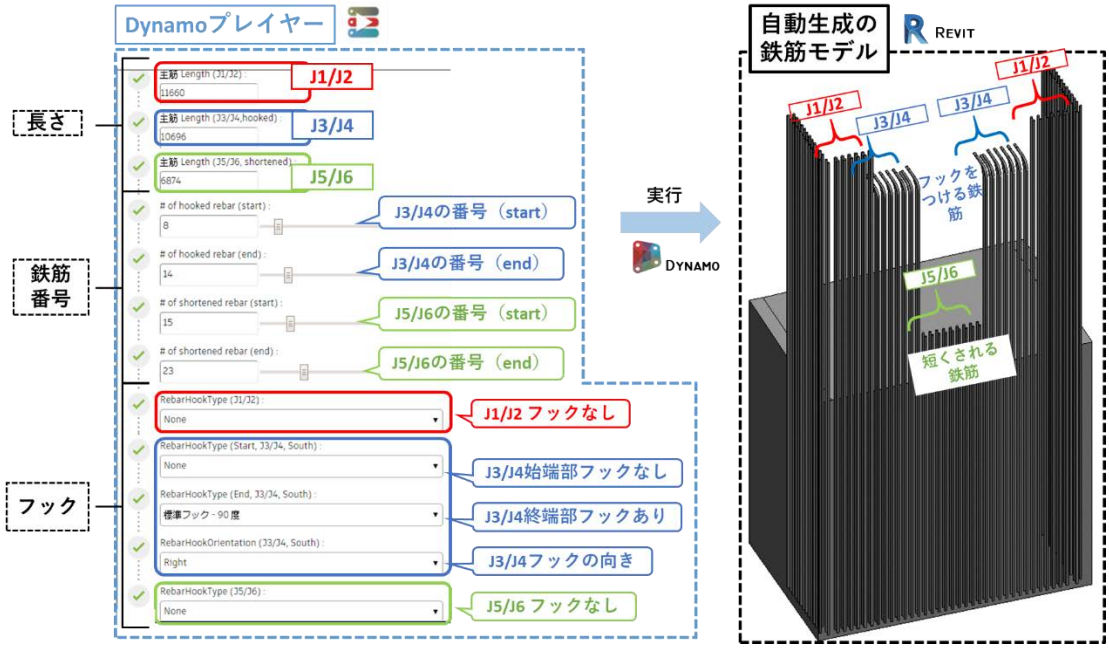

図-5　「①主筋（外部）」の作成手順および入力パラメータと生成モデルとの連携関係

主筋のほか，Dynamo プレイヤーで**図-4**「④帯筋（外部）」のスクリプトを実行すると，同様に帯筋を作成することができる．入力情報に関しては，最初 3 つの欄に帯筋の長さおよび幅を入力し，帯筋形状の調整を行う．その後に鉄筋の直径や曲げ半径に関する入力欄が用意され，鉄筋の規格や折曲げ形状が変更できる．最後に，かぶりやピッチ値，そして鉛直方向の帯筋本数を入力して実行すると，修正可能な帯筋モデルも Revit 上で即時反映される（**図-6**）．

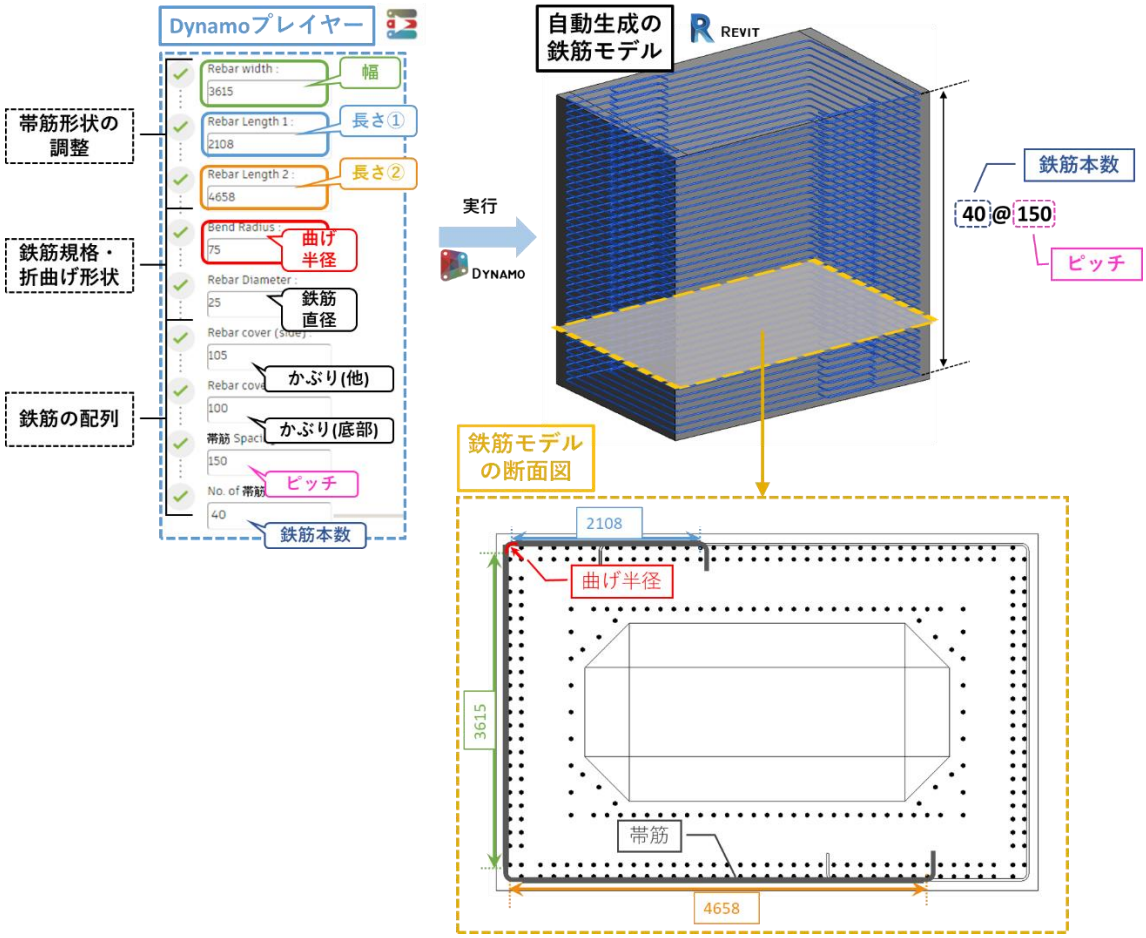

図-6　「④帯筋（外部）」の作成手順および入力パラメータと生成モデルとの連携関係

５．結論と今後の課題

本研究では，鉄筋を対象とし，パラメトリックモデルによる 3 次元鉄筋モデルの自動生成が可能であることを示すことができた．パラメトリックモデルを用いて鉄筋モデルの作成や配置，修正など従来では手間がかかる繰返作業を自動化させることにより，手戻り作業を避けることが可能であり，作業精度と効率の向上にもつながる．

一方で，本研究ではパラメータを反映可能なモデルの作成に留まっており，要件で述べた構造計算と連携するためにはこれを可能にするデータ連携用のプログラムの開発が求められる．また，設計ミスを防ぐためには鉄筋の詳細設計を自動化させるプログラムを考えているほか，作成した鉄筋モデルに対する数量集計，干渉チェック，施工図の自動生成・修正連動などの追加機能も検討する必要がある．さらに，柱梁接合部といったモデル同士が交差する場所や，断面形状が次第に変化していく場所において鉄筋モデルを自動作成できるようなプログラムを今後開発する予定である．このような追加開発を進めることにより，設計のワークフロー全体の効率化・高度化が期待出来る．

11. 参考文献

1) 国土交通省. i-Construction の推進. http://www.mlit.go.jp/common/001257733.pdf
2) 国土技術政策総合研究所. データ交換を目的としたパラメトリックモデルの考え方（素案）. (2020).
3) 国土交通省. 三者会議で修正された不具合.
https://www.skr.mlit.go.jp/kaisai/demae/pdf/1509-99.pdf (2015).
4) 国土交通省. 令和 5 年度の BIM/CIM 原則適用に向けた進め方.
https://www.mlit.go.jp/tec/content/001389577.pdf (2021).
5) Zaki,T.M.& Nassar,K.the American University in Cairo School of Sciences and Engineering Parametric Modeling of Blockwall Assemblies for Automated Generation of Shopdrawings and Detailed Estimates Using Bim. (2016).
6) 清水建設. Shimz DDE. https://www.shimz.co.jp/shimzdesign/dde/ （最終アクセス：2021 年 7 月 27 日）
7) Noiz. NEWS OFFICE PROJECTS. https://noizarchitects.com/ （最終アクセス：2021 年 7 月 30 日）
8) 隈研吾建築都市設計事務所. 建築・建設業界ケーススタディ.
https://www.3ds.com/sites/default/files/2020-03/kengo- kuma-japanese.pdf
9) 松下文哉, 小澤一雅. 施工計画策定プロセスに着目した仮設構造物プロダクトモデル生成手法の開発. i-Construction の推進に関するシンポジウム (2020).
10) NTT ファシリティーズ総研. 建築構造計算プログラムの BIM 連携機能の開発. 57-61 (2014).
11) 建設 IT ワールド.高品質の設計を簡単に使える BIM ワークフローを全社で構築効率化に特化した大建設計の Revit 活用戦略.
https://ken-it.world/success/2019/04/daiken-sekkei-revit-strategy.html (2019).
12) Rhinoceros-Grasshopper. https://www.rhino3d.com/ （最終アクセス：2021 年 7 月 20 日）
13) Revit-Dynamo. https://www.autodesk.com/products/revit/overview （最終アクセス：2021 年 7 月 20 日）
14) Digiarchi. Grasshopper と Dynamo の比較.
https://digiarchi.jp/grasshopper/dynamo-vs-grasshopper/ (2017).
15) Wikipedia. Revit. https://ja.wikipedia.org/wiki/Revit （最終アクセス：2021 年 7 月 30 日）
16) Dynamo Primer. The anatomy of Dynamo.
https://primer.dynamobim.org/ja/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html (2019).