

## 特集 「技術研究所再整備」

### 技術研究所再整備におけるBIM利用

金子 智 弥

川 口 晋

福 士 正 洋

(本社建築本部)

(本社IT戦略企画室)

和 田 克 明

天 満 秀 明

小 野 島 一

(本社設計部)

(東京本店建築事業部)

(技術研究所再整備工事事務所)

#### Application of BIM to Redevelopment of the Technical Research Institute

Tomoya Kaneko

Susumu Kawaguchi

Masahiro Fukushi

Katsuaki Wada

Hideaki Tenma

Hajime Onojima

#### Abstract

Building information modeling (BIM) is widely adopted in Europe and North America as a technique that can solve the problems caused by paper-based drawings. BIM is one of the most promising developments in the architecture, engineering, and construction industries. The Obayashi Corporation had a BIM propulsion division since 2010 for ensuring the spread and development of BIM. In the redevelopment of the Technical Research Institute, we applied BIM to 1) carry out daylighting planning, 2) detect inconsistencies between architectural, structural, and mechanical, engineering, and piping (MEP) designs, 3) ensure accurate quantity take-off, 4) evaluate the interior design, 5) visualize the construction process, and 6) finalize a detailed MEP design. We evaluated this project from the viewpoint of designers, general contractors, owners, and users and confirmed the various advantages of BIM.

#### 概 要

紙図面に起因する様々な課題を解決する技術として、欧米ではBIMが積極的に利用されている。BIMは建設業における最も有望な開発技術のひとつと見なされており、大林組では2010年4月からBIM推進室を設置して積極的な本格的な普及展開を行っている。技術研究所再整備においては、設計と施工の各段階で次のような用途に利用した。1)採光計画、2)意匠・構造・設備の整合性確認、3)数量積算、4)内装レイアウトの評価、5)施工プロセスの可視化、6)設備工事の生産設計。その結果、発注者・利用者・設計者・施工者の立場からBIMの効果を確認した。またこの過程で制作したモデルは、建物の運用段階のファシリティ・マネージメントや維持補修への活用が期待できる。

#### 1. はじめに

BIM(Building Information Modeling)は、今後の建設産業において最も有望な技術と考えられている。開発途上の技術であり万能ではないが、利用分野を限定すれば現時点でも明確な導入効果が期待できる。技術研究所再整備では、設計から施工に至る様々な局面でBIMを利用し、また施設の運用時も継続して利用していく。大林組は設計者・施工者であると同時に発注者・利用者でもあり、それぞれの立場からBIMの効果を確かめることが出来た。本報では、まずBIMの概要と大林組の取組みについて述べる。次に技術研究所再整備の設計段階から施工段階における適用事例を紹介する。なお、本再整備について述べる時、発注者・利用者は技術研究所とその職員を、設計者は本社設計部を、施工者は技術研究所再整備工事事務所および専門工事会社を意味する。

#### 2. BIMの現状と大林組の取組み

##### 2.1 BIMの定義

Chuck Eastmanらは<sup>1)</sup> BIMを「コンピュータ上に構築し

た仮想の建物モデルを、建設プロジェクトの関係者間で共有し、様々な分析に利用するプロセスとそのための技術」と定義している。本稿ではこの定義を採って進める。

現実の建設物が様々な部品や材料を組み合わせることで実現されるように、BIMにおける建物モデルも部品モデルを組み合わせる。BIMの部品モデルは次の機能を持った“インテリジェント”なデジタル表現である。

- 1) グラフィック機能：平面図・立面図・透視図など必要に応じて様々な表現形式で部品を表示する機能
- 2) 属性データ：形状・サイズ・性能・型番・材質・価格等、その部品を規定し特徴付ける様々な情報
- 3) パラメトリックルール：属性データ相互や他の部品モデルとの関係から、属性データを自動調整する機能

例えば、「壁」に「ドア」の部品モデルを配置すると、「壁」に必要な大きさの開口部が自動的に作られる。また「ドア」の属性データとして高さや幅を変更すると、図面上の表現も自動的に切り替る。同時に、重量や塗装が必要な面積も自動計算される (Fig. 1)。

BIMのプロセスでは意匠・構造・設備等の各設計者がそ

れぞれモデルを制作し、これらをひとつに統合して建物モデルを作る。設計者はそれぞれの業務に特化したソフトウェア（BIMツール）を利用する機会が多い。そのため、モデルの統合にはデータ書式の変換が必要になる。異なるモデルを統合する際に、モデル間の干渉が見つかることがある。モデルの干渉箇所は、実際に施工すれば工事の不具合が発生する箇所であり、モデルの修正が必要になる。

統合した建物モデルは、任意の面で切断して内部を確認できる（Fig. 2）。また、数量積算・明細書作成・エネルギー分析など、さまざまな分析に利用できる。

BIMツールの技術的背景は、自動車産業をはじめとした製造業で利用されている「3次元CAD」と同様である。ただし、「部屋」や「空間」も部品モデルのひとつとして扱う点が異なる。この機能は設計の早い段階で、各部屋に求められる性能を規定する段階で必要である。

## 2.2 海外におけるBIMの効果

北米と欧州においてBIMが必要となった理由を、Chuck Eastmanらは、紙の設計図に起因する問題としてTable 1のように説明している。ただし、これらは米国の公共工事の60%、民間工事の40%を占める、設計施工分離契約（Design-Bid-Build）を前提にしている。

一方、BIMに期待される効果を次のように説明している。

- 1) 計画段階：発注者が設計案を分析・評価する段階では、概略の建物モデルを用いて予算と予定工期内で最善の設計が得られる。
- 2) 設計段階：設計中の建物を常に3次元で視覚的に確

められる。設計の単純な修正は自動的に調整できる。必要ならいつでも2次元の図面を生成できる。意匠・構造・設備の各設計間の協調が進めやすい。設計のどの段階でも数量積算が出来る。エネルギー効率の分析ができる。

- 3) 施工段階：部材モデルに時間軸を追加し施工計画に利用できる。施工前に設計の不整合を発見できる。設計変更や施工条件の変化にすばやく対応できる。工場では部品モデルから製造データを抽出できる。工事計画の確度が高まり工期短縮に寄与する。
- 4) 運用段階：施工中の変更を反映した建物モデルを利用すれば、建物の運用と管理、ファシリティ・マネージメント・システムと連携する

欧米の発注形式では、工事費の増加や工事の遅延とそれに伴う訴訟の費用が、発注者の負担になっている。そのためBIMの上記の効果は発注者にとって重要である。

北欧フィンランドで最大の不動産管理会社であるSenate Propertiesは、2007年に「BIM Requirements 2007<sup>2)</sup>」公開し、今後全てのプロジェクトにBIMを利用することを表明した。この文書は設計者・施工者にBIMの利用を義務付けるもので、設計者間で建物モデルを共有する方法についても詳しく取り決めている。

## 2.3 日本国内におけるBIMの普及

一方日本においては、北米や欧州ほどBIMが普及していない。その理由として、日本では定額請負契約（Lump Sum Contract）が一般的で、商習慣の違いから工事費増加と

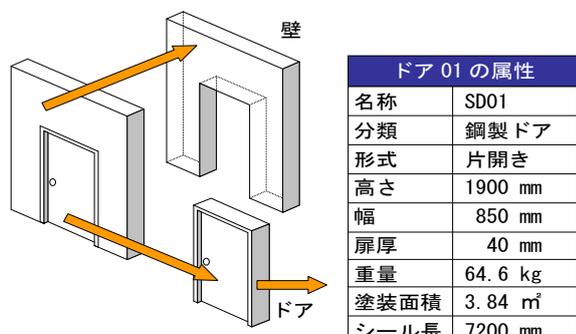


Fig. 1 BIMの部品モデルの概念  
A Concept of BIM parts model

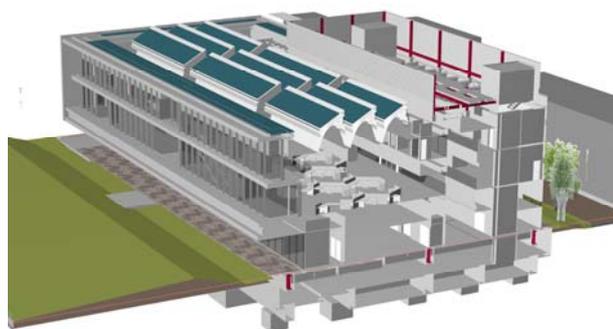


Fig. 2 BIMモデルの切断  
Section of BIM Model

Table 1 紙の設計図に起因する問題点(北米)<sup>1)</sup>  
Problems caused by Paper-based drawings

段階	問題点
設計段階	・設計の最終段階で重要な問題点が見つかったとしても、変更を反映する時間がないため、原設計の折中案を選択せざるを得ない。
	・設計者・ゼネコン・サブコン・部品メーカーなど工事の関係者が多く、大量の情報と人の管理が困難。
	・設計者が設計図に詳細を明記しなかったために施工者との紛争になることがある。
施工段階	・工事入札の際、ゼネコン・サブコンはそれぞれ個別に積算・見積りを行う。工事を獲得できない場合、積算・見積りのための費用は施工者の一般費用に上乗せされる。
	・ゼネコン・サブコンが間違い・不整合・遺漏のある設計図書に基づいて施工図を制作することで工事費の増大と工事の遅延を招く
	・一般に工場での部品製作は品質・工期・コストの面で施工現場での製造より有利だが、設計の不整合・不正確がある場合、工場での製造が困難になる。
	・設計の不整合や発注者の新しい要求などによって設計変更が発生する。設計変更に対応するためのコストは法的争議の原因になる。
運用段階	・発注者が承認するまで、リードタイムが掛かる資材を早期に発注できない。
	・紙の設計図の間違いや脱落が原因で、想定外の工事費の増加と工事の遅延が発生し、しばしば工事関係者間の訴訟に発展するケースがあった。
	・紙図面は建物の保守・運営に携わるFMチームに情報を受け渡すのに労力を要する。

工期遅延のリスクが発注者に少ないことが一因と考えられている<sup>3)</sup>。しかし、2.2で挙げたBIMの期待効果は日本でも該当する点がある。今後BIMを利用し、顧客満足度と生産性向上を目指した技術開発が活発化すると考えられる。

## 2.4 大林組の取組み

BIMへの期待の高まりを受け、大林組は2010年4月1日に建築本部内にBIM推進室を新設した。BIM推進室の目的は、計画～設計～施工～維持管理までの業務改革フローを見据え、全社的なBIMの導入と推進を図ることである。意匠・構造・設備の各設計者と、生産設計・工事管理、情報システムの専門家で構成され、BIMの一貫利用による顧客満足度と生産性の向上を目指している。

## 3. 技術研究所再整備におけるBIMの利用

### 3.1 意匠設計での利用

新本館「テクノステーション」の設計に際しては異分野研究員を一堂に集結して相互に刺激し合い、技術創出を図る場づくりが求められた。知識創造とイノベーションの活性化を目指し、相互の視認性の高い吹抜けのワンボックス大空間を2階に配し、南側のケヤキ並木と前庭の眺望を取り込む快適な環境づくりを目指した。Fig. 3は建物モデルから作成した新本館の南側立面図である。

新本館は最高水準のCO<sub>2</sub>削減率を目指して、自然エネルギーの徹底な利用を図り次のような仕掛けを施した。

- 1) 昼間の照明を無灯化出来るように、天井にハイサ

イドライトを設けて昼光を取入れる。

- 2) 東西側面は日射遮蔽ルーバーで直射光を防ぐ。
- 3) 南側窓からはライトシェルフを利用し光を室内に取入れる。

オフィス内に直達光を避けつつ天空光を取り入れるためにハイサイドライトの形状検討や日射遮蔽ルーバー等の効果確認を、意匠モデルに日射データを与えて、Fig. 4に示す採光シミュレーションを行った。(a)は夏至の午後4時の採光をシミュレーションし、ハイサイドライトからの光が室内に直達していないかを確認したものである。低角度の日射に対しても直達を避けるようこの後ルーバー形状の調整を図った。(b)は夏至の午前9時の東面の採光である。日射遮蔽ルーバーの直達光遮蔽の効果が確かめられた。

室内の任意の視点から1日の採光の状況をアニメーションで確認できたのは、昼光利用/制御の検討に有効であった。また意匠モデルを変換し照度シミュレーションソフトへの連関利用も図った。このことで自然採光による定量的な照度の事前確認を手早く行うことが可能となった。

また、簡易ビューアーを用いて利用者自身が自席のパソコンで建物内部をウォークスルーで確認できるようにしたことで、設計者と発注者の早期の合意形成にもつながった。

### 3.2 意匠・構造・設備設計の整合性確認

地震時でも建物を継続使用できるように、新本館にはスーパーアクティブ制震技術「ラピユタ2D」を世界で初めて適用した。ラピユタ2Dは、建物と地面を積層ゴムで



Fig. 3 BIMを利用した立面図（南側）  
Elevation drawing using BIM model



(a) 夏至の日の夕方午後4時の採光

(b) 夏至の日の午前9時の採光

Fig. 4 採光計画への利用  
Application to daylighting planning



モデルをほぼ実物大に表示できるPhoto 1の3Dコンテンツのプレゼンテーションスタジオがあり、2層吹抜けとワンボックスによる開放感と一体感を体感することが出来た。

### 3.5 工事計画と工事管理への利用

部品モデルには、その部品を建物に組み付ける施工予定日時を属性データとして設定できる。これを利用して、特定の日時より施工予定日時が早い部品を表示し、反対に施工予定日時が遅い部品を非表示とすれば、その時点における工事の進捗状況を可視化できる。この日時を順次変化すれば、施工プロセスを簡単なアニメーションとして表示できる。また、使用開始日時と終了日時を属性データに設定して表示期間を制御すれば、足場などの組立て解体やクレーンなどの建設機械の移動も表現できる。この仕組みを施工段階に応用したシステムを、3Dに時間軸を加えるという意味で「4D-CAD」または「仮想建設システム」と呼ぶ。

仮想建設システムの目的は以下の通りである。

- 1) 工事計画の視覚的な確認・検討
- 2) 発注者・設計者・近隣への工事計画の説明
- 3) 工事関係者・作業員間の打合せや施工手順の周知徹底

また、施工予定日時に換えて、実際の施工実績日時を設定すれば、工事完了後に施工過程を再現することも出来る。

仮想建設システムは複雑な施工プロセスを分かりやすく説明できるので、大林組では1993年から実用化している<sup>4)</sup>。従来、仮想建設システムを利用するためには、部品単位に分割できる建物モデルを制作する必要があるが、大規模で複雑な工事を中心に適用してきた。一方、BIMの普及に伴って、設計段階で制作した建物モデルを仮想建設システムに利用できるようになり、従来よりも容易に実現できるようになった。

Fig. 8は、建物モデルによる新本館の仮想建設システムである。ここでは例として4つの段階を示したが、実際は分単位でアニメーション表示できる。また、例に示すように同時刻のモデルを異なる視点で確認できるため、工事計画段階で作業員の調整や安全確認を行う際も有効である。

技術研究所再整備全体としては、旧施設の解体と新本館等の新築工事を行いながら、既存施設を運用した。その間、工事車両の搬入路や利用者の動線の切替えが発生したが、仮想建設シ

テムは発注者へこのような説明にも有効利用できた。

### 3.6 生産設計と生産性向上への利用

設計者が制作した設計図を基に、施工者は施工方法と工程計画を考慮した図面を制作する。大林組ではこのプロセスを「生産設計」と呼ぶ。生産設計は、施工者が工事の品質と工期と保証するために必要なプロセスであり、設計部とは別に施工部門内に独立した組織を設けている。

施工段階でのBIM利用のひとつとして、BIMによる生産設計モデルを制作した。Fig. 9は、新本館の設備の生産設計モデルである。(a)は制震層上部のモデルで、ラピュータ2Dを実現するための複雑な配管を精密にモデル化した。(b)は屋上階の限られた空間にコンパクトに配置した設備群のモデルである。

設備の生産設計モデルは次のように制作し活用した。

- 1) 躯体を示す構造モデル上に、電気・衛生・空調の各設備の部品モデルを追加入力した。次に、設備と躯体または設備相互の干渉が無いように完全に調整した。この時、施工時の工事手順や運用段階でのメ

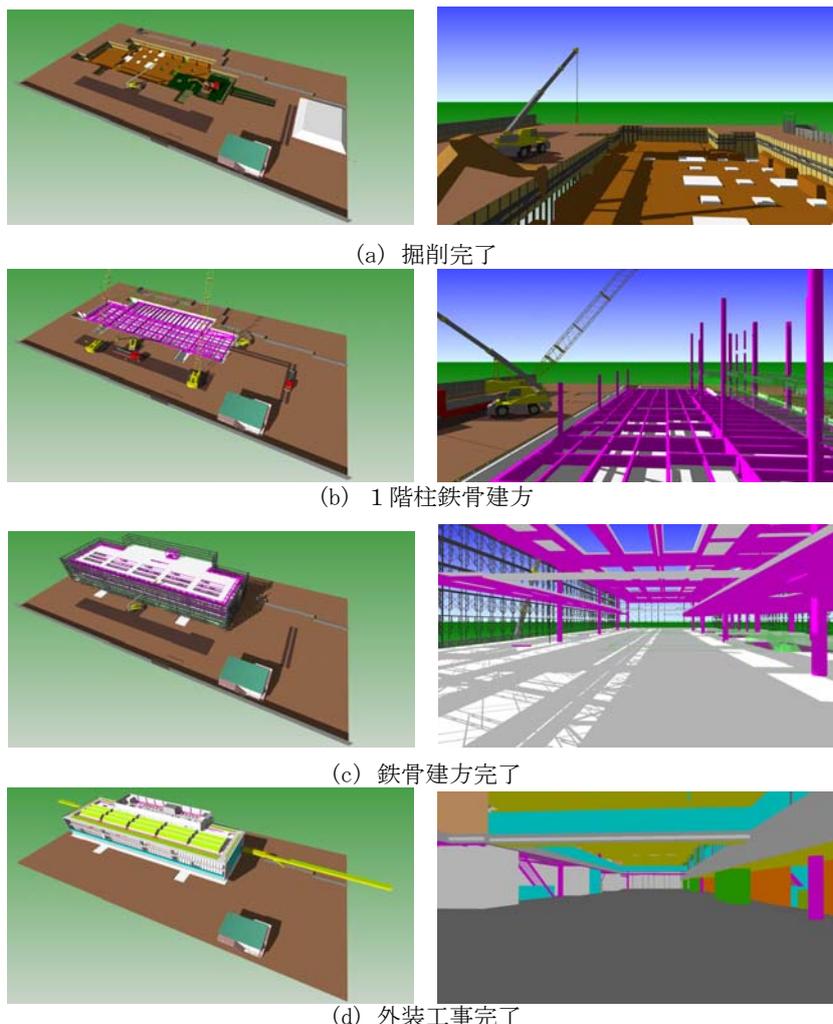
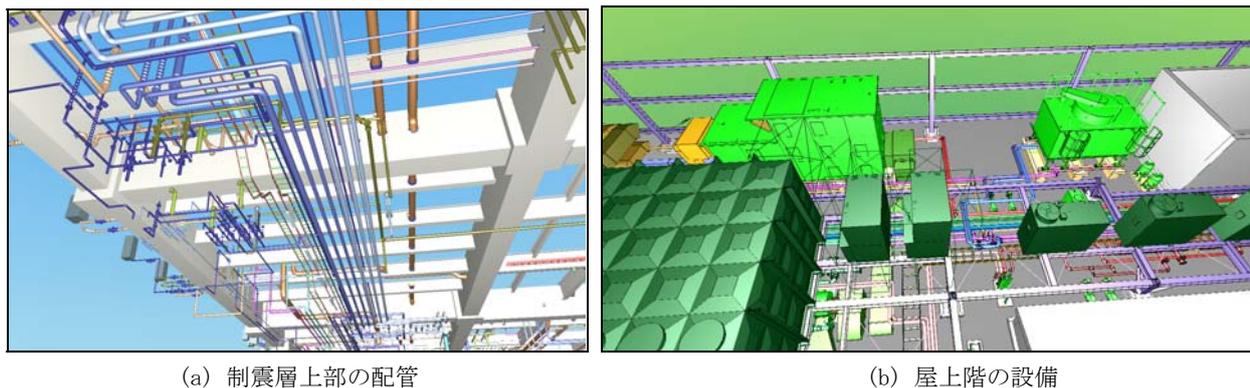


Fig. 8 工事工程の可視化

Visualization of Construction Process



(a) 制震層上部の配管

(b) 屋上階の設備

Fig. 9 BIMによる設備の生産設計モデル

MEP Detailed model

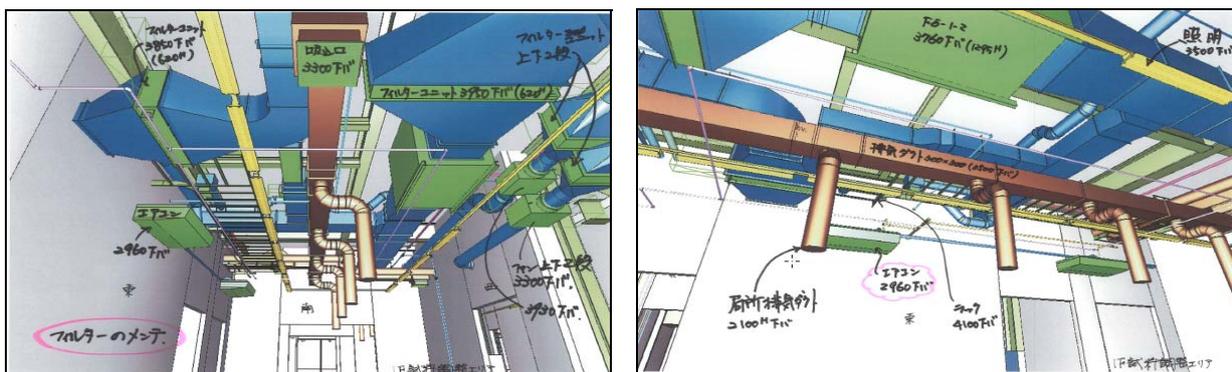


Fig. 10 生産設計モデルを利用した調整  
Coordination in HVAC Detailed model

メンテナンススペースも考慮した。

- 2) 仕上げ面を示す意匠モデルを重ね、配管・ダクト・設備機器のレイアウトおよびメンテナンス性を考慮した3Dパースモデルにより、設計者・発注者への確認作業を行った (Fig.10)。
- 3) モデルから平面や断面を切出し、寸法線等を書き加えて、専門工事会社に提供する2次元図面を制作した。
- 4) BIMツールの積算機能を利用し、部品数量を算出し、部材発注管理利用した。
- 5) ダクト製造工場に空調モデルデータを提供し、従来必要だった2次元図面を基にNC工作機械への入力データを作成する作業を省略した。
- 6) モデルによる設備工事の完了イメージを施工現場に掲示し、作業者への周知徹底に利用した。
- 7) モデルに基づいて2次元の竣工図を制作した。

作成した生産設計モデルは、竣工モデルとしてとして建物の運用段階や、将来の維持補修に利用できる。

#### 4. まとめ

BIMは開発途上の技術で日本での適用事例は多くないが、今後の発展が期待されている。技術研究所再整備においては、設計段階から施工段階まで様々な用途でBIMを利

用した。その過程で制作した建物モデルは、建物の運用段階のファシリティ・マネジメントや維持補修への活用が期待できる。また、旧本館のコンバージョンにもBIMを活用する予定である。

#### 謝 辞

専門工事会社との協業の事例として、株式会社内田洋行に図と写真をご提供頂いた。記して、関係各位に深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Chuck Eastman, Paul Teicholz : BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors : BIM Handbook, 2008
- 2) Arto Kiviniemi, et al : BIM Requirements 2007, Senate Properties, 2007. 12. 31
- 3) 日本建築学会 建築生産情報化小委員会 活動報告ー建築生産におけるBIMの課題分析と事例調査, 「建築生産の情報化とBIM」シンポジウム, 2009. 12. 1
- 4) 金子智弥, 他 : パソコンを利用した仮想建設システムの改良と適用ー無線LANを利用した躯体工事実績の収集, 第10回建設ロボットシンポジウム, 2004. 9