

BIM データ化された設計図書を用いた施設管理の効率化

修繕記録に基づいた建物構成要素のトラブル間隔の分析を通じて

EFFICIENT FACILITIES MANAGEMENT USING EXISTING DESIGN DOCUMENTS CONVERTED
TO BUILDING INFORMATION MODELS

A case study of calculating time between troubles of building components based on repair records

松林道雄*, 渡辺 俊**

Michio MATSUBAYASHI and Shun WATANABE

This study aims at considering efficient facilities management using existing design documents converted to building information models. Note that, whenever possible, original paper documents will be used to create the building information models used in our method. Based on repair records, attempts were made to calculate the time between problems of the building components. Explanatory variables were acquired from BIM data along with other materials. As a result, some variables acquired from BIM data were statistically significant. And by adding room-based explanatory variables including ones obtained from BIM data, some adjusted R-squared values got higher.

Keywords : BIM, Design documents, Repair record, Regression analysis, Existing building, Conservation

BIM, 設計図書, 修繕記録, 回帰分析, 既存建築ストック, 維持更新

1. はじめに

1.1 背景と目的

わが国では建築ストックを含む、高度経済成長期に建設された大量の社会基盤ストックを如何に維持更新していくかが社会問題となっている。その背景には点検の不備に加え、設計情報管理の不備が指摘できる。これら諸々の問題に対して、政府が策定した「インフラ長寿命化基本計画」¹⁾では CIM (Construction Information Modeling) 等の導入²⁾に言及するなど情報基盤の活用と整備が謳われている。文教施設に関しては、文部科学省がこれを受けて行動計画³⁾を策定し、各大学に効率的なメンテナンスサイクルの構築を要請している。しかし、同行動計画には既存の設計図書の保存・利用への言及が見られず、設計情報管理の視点が欠如している。以上の実状に対して、著者らはこれまでに、BIM (Building Information Modeling) を活用した既存建物の維持更新のための情報技術の研究^{4), 5)}を行ってきた。

ところで、既存施設では設計図書とは別に、日常の施設管理業務から紙媒体による膨大な量の修繕記録連絡票が発生・蓄積し放置されている。これらを集計し詳細に分析・評価する取組みは少ない。既存施設を管理・所管する者にとって、以後の施設管理を改善するにあたり、これらのデータの利用価値は高い。また、修繕・更新の

履歴の利活用は、情報基盤の活用と整備に含まれる内容である。

これまでの施設のメンテナンスは不具合や故障が起きてからの事後的対応に終始している。よって、これらのトラブルを事前に予測することは効率的なメンテナンスサイクルの構築にとって有用であろう。そこで、以上に記す効率的な施設管理の実現を目指し、修繕記録を BIM データに紐付けることによって、建築構成要素群の巨大で複雑な空間的・ネットワーク的つながりを加味した設備更新の予測システムの構築を行う。

修繕記録を利用するにあたり、これらの記述から得られるトラブルの原因を当該の要素単体の属性だけに求めても、その究明には不十分である。そこで、当該要素と空間的・ネットワーク的に関連ある要素の属性までも BIM データを通じて引き出すことで精度の高い因果関係を分析することを目指す。

以上より、修繕記録に基づいた建物構成要素のトラブル間隔の分析を通じて、BIM データ化された設計図書を用いた施設管理の効率化について検討することを本研究の目的とする。

1.2 既往研究の整理

大学の施設管理においては、竹下らが配置図・平面図で表現される空間とデータベースとを関連づけた FM システムを開発した⁶⁾。岸本らは CAD ベースの FM データベースシステムを開発し、これ

* 筑波大学大学院システム情報工学研究科社会工学専攻
日本学術振興会特別研究員 DC

** 筑波大学システム情報系社会工学域 教授・博士(工学)

JSPS Research Fellow, Dept. of Policy and Planning Sciences, Graduate School of Systems and Information Engineering, Univ. of Tsukuba
Prof., Division of Policy and Planning Sciences, Faculty of Engineering, Information and Systems, Univ. of Tsukuba, Ph. D. in Eng.

をユーザ参加型のものへと発展させた⁷⁾。修繕記録を用いた分析においては、田島らが大学における修繕プロセスを明確にした上で修繕発注記録台帳を基にデータベースを作成し、建物使用用途別や対象部位、竣工後年数に関して件数と修繕費の分析を行った⁸⁾。

施設管理における BIM の利用について、IFMA (International Facility Management Association) による維持管理に向けた BIM 技術やこれらを扱うための指針を施設管理者向けに整理したものが挙げられる⁹⁾。また、FM に BIM を取り込んだ様々なシステム開発が見られてきている¹⁰⁾。長曾我部らは既存施設の LCC 算定に対して BIM の導入効果を検証した¹⁰⁾。Nakama らは BIM モデルと属性情報とをウェブサイト上で表示し、施設情報を管理するシステムを開発し¹¹⁾、大西らはこれに、インターネットを介してオンラインから得られる情報を記録するシステムを開発し追加した¹³⁾。Fukuda らは BIM モデルをベースに CFD と VR、AR 技術を統合させた設計ツールを開発し¹⁴⁾、Hosokawa らは室内温熱環境設計におけるフィードバックのために CFD と VR の統合を発展させた¹⁵⁾。またコンピュータシミュレーションにおいて、阿部らは自己組織的かつ段階的な手法の可能性を検証しており¹⁶⁾、BIM データの利用に関連するものとして挙げられる。

施設管理に関連する研究は設計・施工のものとは比べて希薄な傾向にあり、かつ BIM と関連付けたものとなると、現在においてその蓄積は極めて少ない。

2. 研究方法

Fig. 1 に研究の流れを示す。本研究におけるトラブル間隔とは、ある場所の建物構成要素について発生した相談の日数間隔とする。事例として筑波大学キャンパス内の施設を対象とし、修繕記録として筑波大学で使用される緊急修繕等連絡書を扱う。最初に、対象とする修繕記録を収集し、書類における設定項目と記入状況の把握を行う。スプレッドシートへのデータ入力を行い、箇所・名称の曖昧な表現については施設部資料を参考とする。修繕記録の性格を把握するために、入力したデータを用いて相談内容と建物名称による集計を実施する。次に、トラブル間隔を目的変数とした重回帰分析を実施する。目的変数は修繕記録から算出する。説明変数は BIM データを含めた資料から取得する。BIM データは既存施設の設計図書から変換したものを用いる。BIM データからの説明変数の取得については 5C 棟を題材として確認を行った。3 章の集計結果から相談件数の多い 3 項目を扱う。結果については相談内容で表を分ける。また、段階的に作業を行ったため、目的変数の種類、サンプルグループ、BIM から得た説明変数の有無でケースを分けた。トラブル間隔の分析結果については、施設管理者へのヒアリングによりその有用性の評価を行う。

3. 修繕記録について

修繕記録に基づいた建物構成要素のトラブル間隔を分析するにあたり、修繕記録を収集し、スプレッドシートにデータ入力した。そして、集計を行うことでデータの特徴を把握した。

3.1 修繕記録の収集、データ入力

収集した修繕記録の概要を Table 1 に示す。学内における使用回数が多いことから対象に選定した。建物ユーザはこれを用いて施設

部署へ点検または修繕を依頼する。書類は FAX やメールによって施設部署へ送られる。相談によっては、建物の図面や写真が添付される。Fig. 2 は筑波キャンパスとその地区割りだが、この書式はキャンパス全体で使用されている。敷地規模は南北に 4km、東西に

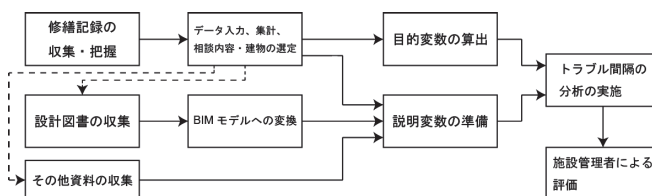


Fig. 1 Research process

Table 1 Overview of collected repair records

項目	内容
書類名称	緊急修繕等連絡書
内容	施設設備関係の緊急修繕等が発生した場合における連絡の書式
期間	2014年4月1日～2015年3月31日
範囲	筑波大学筑波キャンパス
件数	3,407件



Fig. 2 Tsukuba campus and districts within the campus

0.8kmに及び、391棟が含まれる。季節固有の相談が把握できるような1年分の書類を収集した。

書式に設定されている項目について整理したものをTable 2に示す。相談内容にあたる緊急修繕の欄では、まず区分を記述し、次に詳細内容を自由記述するようになっている。書類を眺めると依頼者によって相談内容の記載方法が異なる。相談内容以外にも、所属部署、棟名、室名などにおいて、同一内容に対する記入のばらつきが見られた。記述量については、依頼者側が充実している一方、対応者側はそのほとんどが受付日と受付番号のみと最低限の記述に留まっていた。

施設部へのヒアリングによると、依頼者がそれぞれの方法で相談内容を記述できることを意図して緊急修繕の内容については自由記述が設定されている。また、この書類は修繕時のやり取りで使用され、その後は時系列に整理され保管される。現状では分析への利用価値が認められつつも、それを実施する時間の確保ができていない。

分析用のデータ作成において、緊急修繕等連絡書に記載される内容をスプレッドシートに入力した(Photo 1^{注3)})。紙媒体のままでは分析を行うことが困難なため、Table 2に示される項目に対応した見出しを設け、記載内容をそれぞれのセルに振り分けていった。

Table 2 Items of repair records

[依頼者側]	
分類	項目
時期	依頼日、時間
依頼者	所属部・課・係名、氏名、内線、FAX
位置	棟名、階、室名
緊急修繕	区分、内容
対応	入室時の連絡の有無
[対応者側]	
分類	項目
時期・順番	受付日、受付番号、その他記述欄
対応	対応部署、連絡日、連絡先、連絡内容、備考

Photo 1 Input data of repair records

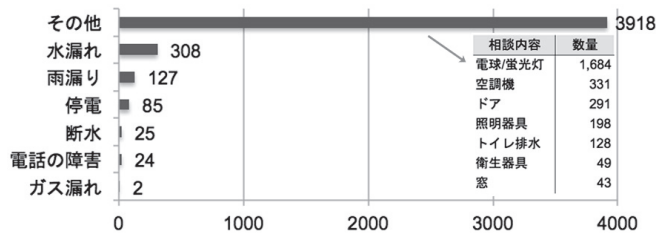


Fig. 3 Breakdown of consultation contents and contents most often seen in "others"

また、同一内容に対する記入のばらつきに対して、建物名・室名は国立大学大学法人等実態報告の棟別平面図を用いて名称を統一するよう努めた。一枚に複数の相談がある場合は枝番をつけることによって区別した。以上の作業を行った結果のデータ数は4,489件であった。

3.2 相談内容と建物名称による集計

修繕記録の性格を把握するために、入力データにつき相談内容(緊急修繕の区分・内容)と建物名称に基づいた集計を実施した^{注4)}。

相談内容(緊急修繕の区分・内容)に基づいた集計結果をFig. 3に示す。書式では7項目の区分が設定されているが、その他が3,918件(87.3%)と圧倒的に多く見られた。その数値の高さから、その他の詳細記述にも焦点を当てて内容を整理することが必要と判断し、詳細(緊急修繕の内容)に対する分類を試みた。分類は、施設部ホームページに掲載される処理状況一覧に記載される項目(Table 3)を主な参考とし、またBIMソフトウェアが有する建物構成要素に対応させるよう努めた。分類したものを集計した結果(Fig. 3)、電球/蛍光灯が最も多かった。次に、空調機、ドア、照明器具と続いた。なおFig. 3中の表は一部の内容のみ掲載している。

建物名称による集計について、相談件数の分布をFig. 4に示す。また、件数の上位5棟についてTable 4に示す。棟名称と件数のみでは特徴を捉えるのは困難であるため、参考として国立大学大学法人等実態報告の配置図に記載される情報から2項目、また地区を

Table 3 Classification of contents seen in "others"

区分	大分類	小分類(例)
その他	建築	ドア、窓、網戸、天井、壁、屋上防水、ルーフトレン、土台、階段、柵
	機械	空調機、ダクト、ダンパー、換気扇、配管、衛生器具、トイレ排水、トイレ給水、浴槽、洗面台、ガス器具
	電気	電球/蛍光灯、照明器具、配線器具、分電盤、自動ドア、エレベーター、防災機器、放送設備、音響機器

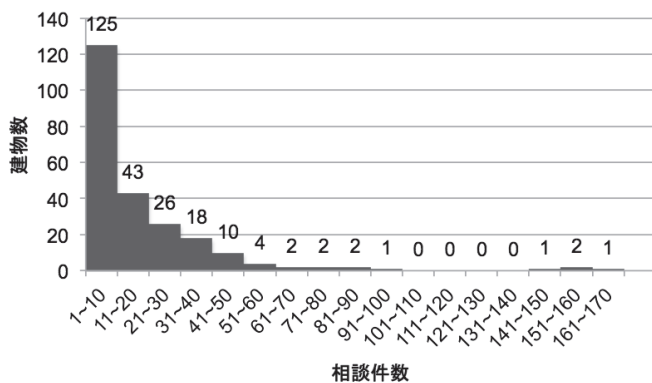


Fig. 4 Distribution of the number of consultation

Table 4 Buildings with most consultations

棟名称	件数	地区	延べ床面積(m ²)	建築年
総合研究棟 B	161	中地区	17,430	2003
医学系学系棟	155	西地区	24,340	1976
工学系学系 F 棟	151	中地区	20,088	1979
総合研究棟 D	146	南地区	14,651	2003
5C 棟	94	南地区	18,027	1973

Table 4 に追加した。項目を追加する作業を通じて、延べ床面積が大きい方が件数も多く見られる傾向が捉えられた。一方で、建築年が古いものは必ずしも件数が多いとは限らない状況が捉えられた。

本節の作業を通じて、以降の分析に使用する相談内容とサンプルとして使用する建物を選定した。ところで、収集した修繕記録では、緊急修繕の内容だけでなく棟名・室名、所属部署名においても、同一内容に対して書類ごとに記述のばらつきが見られた。これらのばらつきに対し、データ作成時等における入力者の判断がその後の分析に大きく影響する。判断の偏りを避けることは容易ではないが、資料等を参考することによって入力内容の統一に努めることが重要となる。

4. 分析のための変数抽出

本研究では重回帰分析を用いて、選択した建物構成要素のトラブル間隔を予測すること、こういった要因がトラブル間隔を決定するかを説明することを試みた。この分析の実施に向け目的変数と説明変数の抽出を行った。Table 2 の項目からは時期と位置、緊急修繕の区分・内容を用いた。そして、前章から多くの件数が見られた相談内容として、その他中のドアと空調機、電球/蛍光灯を選択した。また、サンプル数を確保する観点より、建物は相談件数の多い方から5棟を選択した(707件、15.7%)。これらの建物については建設工事の設計情報も使用することから、5棟の主要工事における設計図書一覧をTable 5に掲載する。

4.1 目的変数

相談内容に対応する建物構成要素について、ある場所で発生した緊急修繕(トラブル)の前回からの日数間隔を目的変数として設定した。場所の設定について、建物単位を基準として算出する値と、部屋単位を基準として算出する値の2種類を準備している。前者は、ある建物に含まれる対象の建物構成要素についてトラブルが起こる日数間隔を指す。後者は、ある部屋に含まれる対象の建物構成要素についてトラブルが起こる日数間隔を指す。数値は、算出する基準を建物または部屋で区別した上で修繕記録に記載される日付を拾い上げ、同箇所の前回トラブルからの間隔を求めた^{[注5])}。

4.2 説明変数

4.2.1 既存の設計図書のBIMデータ化

本研究ではBIMデータ化された設計図書を用いて得る説明変数の影響を観察する。これを得るためのBIMデータは手動によって紙媒体の設計図書から再現されたものを想定している。

BIMソフトウェア^{[注6])}を用いて、既存の設計図書をBIMデータへ変換する。BIMデータ変換・使用例として、Table 4中の5C棟を取り上げる。1973年の筑波大学発足時から存在し、40年以上使用されており、研究室や事務室、会議室や教室を含む多目的型の施設である。改修歴があり、2006年から2008年には耐震補強のために建物全体にわたる大規模改修工事がなされている。

Fig. 5に示すように、BIMデータ化にあたっては直近の大規模改修工事の設計図書を最初に参考とした。そして、大規模改修工事の設計図書に記載されない箇所があったとき、新営工事のものを参考とした。専門については、建築工事を使用した後に、機械・電気設備工事を使用した。配置要素は主にソフトウェアに搭載されるものを用いている。Fig. 6に示されるBIMデータはこれらの手順を経て

作成されたものである。

4.2.2 各資料からの説明変数の取得

取得した説明変数の一覧をTable 6とTable 7に分けて示す。説明変数は各相談内容に関連するものを集めるよう努めた。

Table 5 List of design documents for major building projects

棟名称	工事種類	年度	専門
総合研究棟 B	新営工事	2002, 2004	建築, 機械, 電気
医学系学系棟	新営工事	1975, 1976, 1977	建築, 機械, 電気
	大規模改修工事	2012, 2014, 2015	建築, 機械, 電気
工学系学系 F 棟	新営工事	1977, 1979	建築, 機械, 電気
	大規模改修工事	1991, 2008	建築, 機械, 電気
総合研究棟 D	新営工事	2002, 2004	建築, 機械, 電気
5C 棟	新営工事	1973, 1974	建築, 機械, 電気
	大規模改修工事	2006, 2007	建築, 機械, 電気

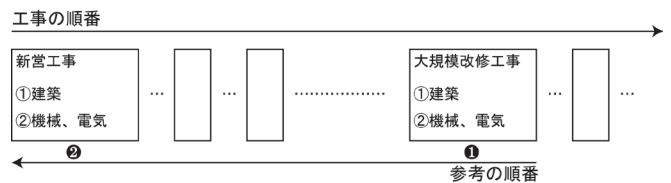


Fig. 5 Order of design documents as a reference

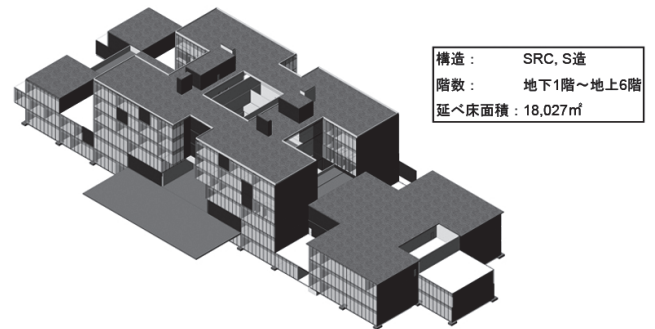


Fig. 6 Building information model of Building 5C

Table 6 Building-based explanatory variables

説明変数	内容	追加先	入手元
期間	学期中を1, 休業中を0	建・機・電	修繕記録
築年数	年	建・機・電	棟別平面図
延べ床面積	m ²	建・機・電	棟別平面図
総階数	階数の合計	建・機・電	棟別平面図
気温	℃ (最高気温)	機	気象庁 HP
天気	曇り・雨を1, 晴れを0	電	気象庁 HP
消費電力	W (ピーク時)	機・電	電力管理情報システム

Table 7 Room-based explanatory variables

説明変数	内容	追加先	入手元
部屋体積	m ³	建・機・電	BIM データ[方法 1]
配置階	階	建	BIM データ[方法 1]
ドア数	個	建	BIM データ[方法 2]
空調機数	個	機	BIM データ[方法 3]
吹出口数	個	機	BIM データ[方法 3]
照明器具数	個	電	BIM データ[方法 3]
授業時間数	単位数の合計	建・機・電	シラバス

Table 6 に掲載するものは、建物の属性値にあたる説明変数である。期間は修繕記録中の依頼日を 2014 年度の学年暦に照らし合わせるにより算出した。築年数や延べ床面積、総階数は国立大学法人等施設実態調査の棟別平面図を、消費電力は大学の電力情報システム^{注7)}を、気温と天気は気象庁データ^{注8)}を用いて取得した。

Table 7 に掲載するものは、部屋の属性値にあたる説明変数である。その多くは BIM データ（設計図書）から取得した。BIM データ以外について、授業時間数は大学のシラバス^{注9)}を使用した。

BIM データからの説明変数取得においては、要素単体の設計時に決定される属性値だけでなく、要素と空間的・ネットワーク的に関連ある別要素の属性を利用することを試みた。本研究で用いたデータ取得方法について Table 8 に整理した。方法 1 ではオブジェクトの配置時に作図環境によって決定される属性値を利用する。BIM データ化において部屋体積は部屋オブジェクトを配置する際に、配置階はドアオブジェクトを配置する際にその値が決定される。これらはオブジェクトが選択された際にウィンドウ中に表示されるものである。方法 2 では当オブジェクトに加え、他オブジェクトが配置されることによって決定される属性値を利用する。Photo 2 に示すのは、ドアがつながる 2 部屋を記述する属性値の表である。ドアの一覧表作成時または属性情報をエクスポートすることによって確認することができる。この属性値は、ドアそのものの配置に加え、それを含む壁が境界となるような部屋オブジェクトが配置されて初めてその値が決定される。Table 7 掲載のドア数は Photo 2 に示す表から取得した^{注10)}。方法 3 では Fig. 7 に示すような部屋と該当オブジェクト間の包含関係を利用する。部屋は壁によって領域が決まり、上下方向は床と天井によって定義され 3 次元の形状を有する。空調機数と吹出口数、照明器具数は部屋に含まれるものを数え上げること^{注11)}によってその値を取得した。ただし、本研究では 5C 棟のみこれらの方法を用い、他 4 棟については代替の方法を用いている^{注12)}。

ここまでで設定した 2 種類の目的変数、説明変数を用いて分析を実施するにあたり、Fig. 8 に示すクラス間の包含関係を前提とした。部屋は建物に含まれることから、部屋から見ると部屋そのものの性格に加え建物が持つ性格も有しているという前提である。具体的には、建物を基準とした目的変数を用いる場合、説明変数は建物に対応したもののみ使用した。部屋を基準とした目的変数を用いる場合、建物に対応した説明変数を使用し、部屋に対応したものの追加の有無で場合分けをした。

5. トラブル間隔の重回帰分析

トラブル間隔の重回帰分析の実施には統計用ソフトウェア^{注13)}を用いた。説明変数の採用については強制投入とした。相談内容ごとに結果をまとめた表を Table 9 から Table 11 に示す^{注14)}。

重回帰分析は段階的に行っており、目的変数について最初に建物単位を基準としたもの、後に部屋単位を基準としたものの結果を算出した。サンプル数についても段階的に作業を行ったためデータグループを分けている。グループ A は 5C 棟のみのデータ（94 件）、グループ B は 5 棟のデータ（707 件）、グループ C は筑波キャンパス中の棟全てのデータ（4,489 件）とした。また、部屋の属性値にあたる説明変数の追加（BIM 追加と表記）の有無で場合分けをした。なお、BIM データからの説明変数取得は 5 棟のみであることから、

グループ C は建物を基準とした目的変数のみの結果を掲載している。

ここでは、部屋を基準とした目的変数・グループ B の結果について、有意な説明変数、BIM データから取得した説明変数の有無による変化を述べる。各相談内容を見たところ、BIM データから得た説明変数に有意なものがある場合（ドアと電球/蛍光灯）については、これらの追加による決定係数の向上が見られた。このことから、BIM データから得る説明変数を加えることにより予測の精度が向上するものと捉えられる。

5.1 ドア（建築）

部屋を基準とした目的変数において、BIM データから得た説明変

Table 8 Data acquisition method using BIM

方法	方法 1	方法 2	方法 3
内容	オブジェクトの配置時に決定される属性値を使用。	当オブジェクトに加え、他オブジェクトが配置されることによって決定される属性値を使用。	部屋に含まれる該当クラスのオブジェクトを数え上げる。
説明変数	部屋体積、配置階	ドア数	空調機数、吹出口数、照明器具数

Id	PhaseId	DesignOp	FromRoom	ToRoom	クリックして選...
516515	新しい建設	-1	202-5	廊下	
516609	新しい建設	-1	202-4	廊下	
516641	新しい建設	-1	202-3	廊下	
516663	新しい建設	-1	202-2	湯沸室	
516685	新しい建設	-1	廊下	渡り廊下	
516705	新しい建設	-1	廊下		
516993	新しい建設	-1	209	廊下	
517128	新しい建設	-1	209	廊下	
517204	新しい建設	-1	廊下		
517284	新しい建設	-1	廊下	211	
517359	新しい建設	-1	211	212	
517396	新しい建設	-1	213	廊下	
517435	新しい建設	-1	214	213	

Photo 2 Attribute information of door (Method 2)

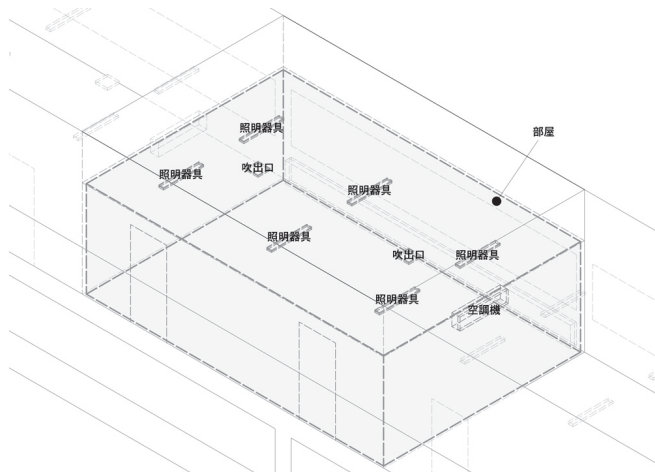


Fig. 7 Counting the number of elements within room (Method 3)

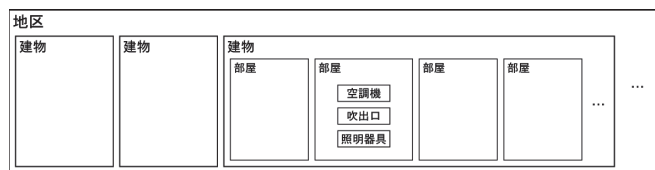


Fig. 8 Inclusion relationship between classes

Table 9 Multiple regression analysis results (Door)

目的変数	建物			部屋			
	グループ	A	B	C	A	A	B
BIM追加				無	有	無	有
	N=15	N=61	N=286	N=15	N=15	N=61	N=61
説明変数	β	β	β	β	β	β	β
期間	.328	-.117	-.054	.430	-.416	-.003	-.020
築年数	-	-.087	-.005	-	-	-.122	.027
延べ床面積	-	.320	-.280**	-	-	-.043	-.189
総階数	-	-.070	-.100	-	-	-.074	-.103
部屋体積					-.429		-.124
配置階					-.482		-.331*
ドア数					.089		-.044
授業時間数					-.155		-.172
R^2	.107	.080	.136**	.185	.430	.024	.124
R^2_{adj}	.039	.014	.124**	.122	.114	-.046	-.011

** $p < .01$, * $p < .05$, † $p < .10$

グループ: A/5C棟のみ, B/Table 4掲載の5棟, C/筑波キャンパス中の棟全て

BIMデータから得た説明変数: 名称にアンダーライン (Table 10, Table 11も同様)

Table 10 Multiple regression analysis results (Air conditioner)

目的変数	建物			部屋			
	グループ	A	B	C	A	A	B
BIM追加				無	有	無	有
	N=19	N=75	N=316	N=19	N=19	N=75	N=75
説明変数	β	β	β	β	β	β	β
期間	-.147	-.186	-.002	-.453	-.568	-.085	-.044
築年数	-	-.578*	.128*	-	-	.155	.295
延べ床面積	-	.356†	-.173*	-	-	.102	-.016
総階数	-	-.143	-.196*	-	-	-.176	-.126
気温	-.074	-.239*	-.285**	-.456*	-.395	-.694**	-.717**
消費電力	-.041	-.306	.023	.381	.482	.511*	.576*
部屋体積					-.451		.198
空調機数					.498		-.243
吹出口数					-.287		-.034
授業時間数					-.053		.025
R^2	.043	.186*	.217**	.397*	.516	.448**	.465**
R^2_{adj}	-.148	.114*	.202**	.277*	.208	.399**	.381**

Table 11 Multiple regression analysis results (Lamp bulb, Fluorescent lamp)

目的変数	建物			部屋			
	グループ	A	B	C	A	A	B
BIM追加				無	有	無	有
	N=6	N=233	N=1628	N=6	N=6	N=233	N=233
説明変数	β	β	β	β	β	β	β
期間	.199	-.016	.029	-.936†	-.344	-.212**	-.210**
築年数	-	.654**	-.130**	-	-	.597**	.758**
延べ床面積	-	-.131	-.135**	-	-	-.090	-.270†
総階数	-	-.339**	-.119*	-	-	-.289**	-.238**
天気	.131	-.006	-.010	.233	1.115	-.022	-.026
消費電力	.608	.461**	-.095*	.276	-.759	.493**	.527**
部屋体積					-1.905		.105
照明器具数					.770		-.327**
授業時間数					-		.080
R^2	.582	.089**	.075**	.819	1.000	.113**	.173**
R^2_{adj}	-.044	.065**	.071**	.547	-	.089**	.139**

数の中で配置階が5%の水準で有意であった。また、BIMデータから得た説明変数の有無による変化は、追加することにより自由度調整済み重決定係数の向上が見られた。しかし、決定係数そのものは低い値であった。

参考として、修繕記録中の相談の詳細記述を確認すると、当要素においてはドアクローザーや鍵、ドアノブの故障や開閉の不具合が多く見られている。

5.2 空調機 (機械)

部屋を基準とした目的変数において、BIMデータから得た説明変数の中で有意なものはない。また、BIMデータから得た説明変数の有無による変化は、追加することによる自由度調整済み重決定係数の向上は見られなかった。決定係数はドア・電球/蛍光灯と比べて高い値であった。

修繕記録中の相談の詳細記述を確認すると、冷暖房の不作動、操作パネルのエラー表示が多く見られている。

5.3 電球/蛍光灯 (電気)

部屋を基準とした目的変数において、BIMデータから得た説明変数の中で照明器具数が1%の水準で有意であった。また、BIMデータから得た説明変数の有無による変化は、追加することにより自由度調整済み重決定係数の向上が見られた。しかし、決定係数そのものは低い値であった。

修繕記録中の相談の詳細記述を確認すると、そのほとんどがこれらの交換に関するものである。

また、この相談内容では部屋を基準とした目的変数におけるグループBにて多くの説明変数が採択されたことから、これらのみを用いて再度、強制投入法から重回帰式(1)を求めた。

$$y = 209.175 - 46.507 * x_1 + 6.019 * x_2 - 0.008 * x_3 - 9.861 * x_4 + 0.240 * x_6 - 2.454 * x_8 \quad (1)$$

x_1 : 期間, x_2 : 築年数, x_3 : 延べ床面積, x_4 : 総階数, x_6 : 消費電力, x_8 : 照明器具数

例として、(1)に2016年7月1日における期間と消費電力、5C棟の属性値を代入し^{注15)}、更に修繕記録中で相談が見られた執務室(8ヶ所)と実習室(31ヶ所)の照明器具数を代入し時間換算すると、前者は4,787時間、後者は2,843時間となる。いずれも蛍光灯の定格寿命とされる6,000~12,000時間より小さな値である。一つの理由として、電球/蛍光灯は一斉に交換されるわけではなく、部屋中のいずれかのみが交換されていることの影響が想定される。しかし、照明器具数が増加するに伴いトラブル間隔が劇的に短縮するわけではなかった。値を代入することを通じて、トラブル間隔が必ずしも電球/蛍光灯の定格寿命と一致しないことが読み取れた。

6. 施設管理者による評価

BIMを導入することにより得られた効果について、トラブル間隔の分析結果を施設部の担当職員へ説明し、これに対する意見・コメントを収集することによりその評価とした。実施したヒアリングの概要をTable 12に記す。なお、前章の目的変数/部屋・グループBにて有意と判定されたドア・設置階と電球/蛍光灯・照明器具数については、それぞれの件数分布のグラフを事前に作成しヒアリングに臨んでいる。例として、電球/蛍光灯・照明器具数の件数分布をFig.

Table 12 Overview of conducted interview

項目	内容
日時	2016年10月17日
回答者	筑波大学施設部職員2名
配布物	・修繕記録の集計結果（相談内容、建物名称） ・トラブル間隔の分析に関する資料
進行	① 集計結果、トラブル間隔の分析の説明 ② ①に対する評価・意見の聞き取り

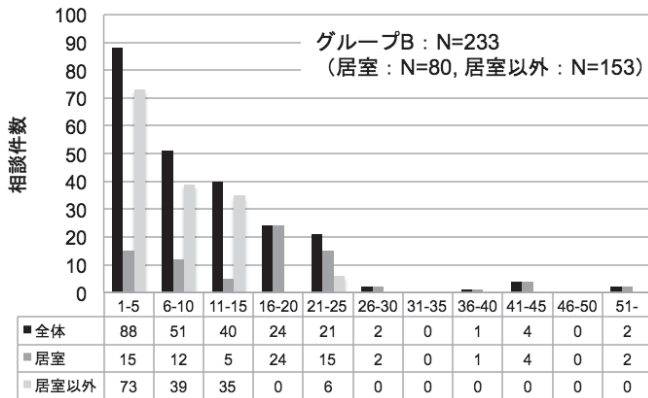


Fig. 9 Distribution of the number of consultation (Lamp bulb, fluorescent lamp, group B, the number of lighting fixtures)

9に示す。これについては対象データを観察した上で居室と居室以外とでデータを区別したものを追加している^{注16)}。

相談内容と建物名称の集計結果について、今まで実施されなかったこともあり、件数の多い相談内容と建物を把握することができたが、件数の多くない建物または部屋単位の傾向となると、1年分のサンプル数では把握することが難しく、少なくとももう2~3年分の数量が必要であるという意見が聞かれた。

トラブル間隔の分析について、ドアと電球/蛍光灯は決定係数の低さが指摘された。空調機のそれは低くないものの、BIMデータからの説明変数に有意なものなかったことから、空調機のトラブルに関連がありかつ設計図書から得られる情報についての意見を得た。

また、ヒアリングにおいて採択された説明変数とそれに係るデータをベースとしたトラブル間隔を延長するための意見を得た。電球/蛍光灯・照明器具数でFig. 9を説明した際に、居室にて照明器具数が16~25の部屋で相談件数が多いのは、交換方法によることが聞かれた。事務室や研究室の交換については、所属する部局の事務室から交換分を受けとることになっている。そのため、当該の電球/蛍光灯は施設部から各部局の事務室にまとめて納入されている。部局の事務室は一定規模の広さを有する部屋が多く、これらが該当する。一方、廊下やトイレなどの交換は施設部が対応するようになっている。データを見ると居室以外では1~5に件数が集中し、指数関数的な減衰を見せる。施設部では、学内の照明を今後はLEDに切り替えて行く方針を持っている。Fig. 9に加え施設部が把握している状況に基づいて、マネジメントコスト削減の観点からは居室以外のLED導入を優先すべきであるという意見が聞かれた。居室を除いたデータは施設部職員の負担に直接関係するものとして捉えられるため、件数が集中する照明器具数が少ない部屋の改善が重要視された

ためである。

ヒアリングを通じて、空調機と比ベドアと電球/蛍光灯は、BIMから得た変数を追加することにより決定係数の向上が見られたものの、値そのものは低いという意見が聞かれた。一方で、有意な説明変数とそれに係るデータを利用することから、如何にしてトラブルを予防するかについての意見交換をすることができた。

7. おわりに

施設管理の効率化を目指し、日常の施設管理業務から発生する膨大な量の修繕記録を用いた設備更新の予測システムを開発するに、BIMモデルにおける建築要素の集合体の中から関連する要素の属性情報を引き出して利用することにより、修繕記録中の要素の属性値のみでは実現できない分析を可能としたことが本研究の成果である。作業としては、トラブル間隔の重回帰分析を実施しその評価を行い、以下の結果を得た。

目的変数/部屋・グループBにおいてBIMデータから得た説明変数に注目すると、ドアの配置階と電球/蛍光灯の照明器具数で有意な関連が見られた。また、これら2つの相談内容では、自由度調整済み重決定係数も部屋に関する説明変数を追加することにより値が向上した。このことから、本稿で設定するような分析においてBIMデータから得る説明変数も説明力を持ち、また追加することによって重回帰式の当てはまりを向上させる可能性があることが示唆される。しかし、空調機では有意差が見られる説明変数が得られなかったため、目的変数との因果関係を念頭に置いた上で新たな変数をBIMデータから取得することが求められよう。また、今回は3種類の取得方法を試みたが、BIMが持つデータ構造を踏まえれば、注目したのはその一部分である。予測システムの性能向上に向けて、新たなデータ取得方法について検討する必要がある。

また、重回帰分析を実施するにTable 9~11のグループAにおける各相談内容のサンプル数については、1年分の修繕記録では1棟あたりのサンプル数が少なくかつ相談内容によって細分化されるため、更に件数が少なくなることを確認した。グループBのように建物数を増やす方法を取りサンプル数を確保したが、設計図書を用いることを念頭に入れるならば、収集する期間を延ばすことによってサンプル数を確保することも必要である。施設管理者へのヒアリングからは、2~3年分の収集が一つの目安となるだろう。

更新時期の予測精度について、空調機の決定係数はある程度の数値の高さを確保したが、ドアや電球/蛍光灯の値は低く、また施設管理者からも同内容を指摘された。このことから、現状では2つの相談内容について、トラブルを事前予測するにはモデルの精度が不十分であり改善が必要である。精度向上に向けては、新たに有意となる説明変数の発見が挙げられる。また、場合によってはモデル選択の再検討も視野に入る。

一方で、採択された説明変数とそれに係るデータそのものがトラブルを予防するための材料として利用できることをヒアリングから確認した。このことからBIMデータから得られる修繕記録中の要素に関連する他要素の属性情報は、これに内包されるトラブル発生のメカニズムを検討することによって施設管理の改善に繋げることができると考える。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP15J01014 と JP25242029 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議：“インフラ長寿命化基本計画”，内閣官房 インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議，http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra_roukyuuka/pdf/houbun.pdf, (参照 2016-10-07)
- 2) 文部科学省：“文部科学省インフラ長寿命化計画（行動計画）”，文部科学省インフラ長寿命化計画（行動計画）の策定について：文部科学省，http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/27/03/_icsFiles/fieldfile/2015/03/31/1356260_2_1.pdf, (参照 2016-10-12)
- 3) 松林道雄，渡辺俊：既存建築ストックの維持更新に向けた BIM による設計図書電子化の検討 -筑波大学の施設を題材として-，日本建築学会技術報告集，第 20 巻，第 45 号，pp.795-798, 2014.06
- 4) Matsubayashi, M. and Watanabe, S.: Generating Schematic Diagrams of MEP Systems from 3D Building Information Models for Use in Conservation, Proceedings of the 20th Conference on Computer-Aided Design Research in Asia (CAADRIA 2015), pp.293-302, 2015.05
- 5) Matsubayashi, M. and Watanabe, S.: Forecasting Time between Problems of Building Components by Using BIM, CAADence in Architecture - Proceedings of the International Conference on Computer Aided Architectural Design, pp.107-112, 2016.06
- 6) 竹下純治，佐野寿久，加藤彰一，清水裕之，谷口元：工学部の再開発に関わるファシリタマネジメント・システムの開発 パーソナル・コンピュータを使用した大学施設のデータベース開発，日本建築学会技術報告集，第 2 号，pp.150-155, 1996.03
- 7) 岸本達也，服部岑生，上野武：大学キャンパスにおけるネットワーク環境を用いたユーザ参加型・FM データベースシステムの可能性 -千葉大学での取組事例を通じて-，日本建築学会技術報告集，第 14 号，pp.211-216, 2001.12
- 8) 田島栄治，角田善三郎，小松幸夫：大学施設における修繕執行プロセス及び修繕費の分析，日本建築学会計画系論文集，第 581 号，pp.135-141, 2004.07
- 9) IFMA: BIM for facility managers, Teicholz, P. (ed.), John Wiley & Sons, 2013
- 10) 長曾我部真裕，位寄和久，下田貞幸，大西康伸，小島裕也：BIM を適用した既存施設の LCC 算定手法に関する研究 -キャンパス FM 業務モデルに関する研究-，日本建築学会第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.79-84, 2011.12
- 11) Nakama, Y., Onishi, Y. and Iki, K.: Development of Building Information Management System Using BIM toward Strategic Building Operation and Maintenance, Proceedings of the 20th Conference on Computer-Aided Design Research in Asia (CAADRIA 2015), pp.397-406, 2015.05
- 12) 仲間祐貴，大西康伸，位寄和久：継続的利用と情報共有を可能にする建物維持管理支援のための BIM を活用したウェブシステムの開発，日本建築学会技術報告集，第 22 巻，第 50 号，pp.359-364, 2016.02
- 13) 大西康伸，仲間祐貴，位寄和久，村松弘治，幡宮祥平：識別情報タグと BIM を用いた施設維持管理における点検業務支援 -オブジェクトベースの建築情報マネジメントシステムの研究 その 3-，日本建築学会第 38 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.13-18, 2015.12
- 14) Fukuda, T., Mori, K. and Imaizumi, J.: Integration of CFD, VR, AR and BIM for Design Feedback in a Design Process: An Experimental Study, Proceedings of the 33rd eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe), pp.665-672, 2015.09
- 15) Hosokawa, M., Fukuda, T., Yabuki, N., Michikawa, T. and Motamedi, A.: Integrating CFD and VR for Indoor Thermal Environment Design Feedback, Proceedings of the 21st Conference on

Computer-Aided Design Research in Asia (CAADRIA 2016), pp.663-672, 2016.03

- 16) 阿部祐一，池田靖史：空間性を手がかりとしたコンピュータシミュレーションによる自己組織的、プロセス的手法を用いた住宅街の配置デザインに関する研究，日本建築学会第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.25-30, 2011.12

注

- 注1) 「インフラ長寿命化基本計画」中の情報基盤の整備と活用では、3 次元の形状データや施設の様々な属性を一体的にわかりやすい形式で管理できるシステム（Construction Information Modeling [CIM]等）の導入についての検討が述べられている。ここでの CIM とは、BIM の世界的な潮流を受けて、土木分野における BIM 技術の普及・ICT の活用を目指した佐藤直良氏（2012 年当時、国土交通省技監）が提唱した造語を指す。よって、当内容は BIM の概念を内包する言及と言える。
- 注2) 建設分野では、ichroa と BIM との連携（前田建設工業）、BIMobile（大林組）などが挙げられる。
- 注3) Photo 1 に関して、個人等を特定する項目については内容を伏せている。
- 注4) 大学内ホームページで大学施設管理に関する年間報告書が掲載されており、本修繕記録に関する集計も含まれるが、月別、専門別（建築、機械、電気）の件数と簡単な内容に留まっており、現状では全ての項目の集計はなされていない。よって、トラブル間隔の分析をする前段階として、修繕記録の性格を把握することが必要と判断し、本集計を実施した。各項目の中で重要度の高い相談内容、建物名称を優先した。
- 注5) 本研究で収集した修繕記録は期間が限定されていることより、最初のトラブルについては平成 26 年 4 月 1 日からの間隔で値を設定した。
- 注6) Autodesk 社 Revit 2016 を使用した。
- 注7) 筑波大学電力情報管理システムのウェブサイト（学内のみアクセス可能）にアクセスすることにより、地区ごと・建物ごとに使用電力を確認することができる。ここから得られるデータからピーク時の値を使用した。
- 注8) データは気象庁ホームページから取得した。気象庁：“過去の気象データ・ダウンロード”，気象庁ホームページ，<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, (参照 2016-04-07)
- 注9) 2014 年度の大学・大学院シラバスを使用し、部屋ごとに実施される 1 年間の授業単位数の和をその値とした。
- 注10) Revit DB Link を用いて属性情報一式をデータベースソフトに書き出した後に、ドアが持つ属性情報の一つを収録した表（名称：RoomFromToAssociations）を用いた。表中の見出し FromRoom と ToRoom に記載される部屋名を数え上げた（Photo 2 参照）。
- 注11) BIM ソフトウェア上では、プログラムを組み API を用いることによってデータを獲得した。該当の各オブジェクトの代表点を出し、それぞれがどの部屋に含まれるかについて確認した結果を抽出している。
- 注12) 建物が異なっても変換のプロセスは同じであることから、その結果作成される BIM データの性質は同じとなる。従って、部屋体積については部屋面積に天井高を乗じることによって、配置階は平面図を確認することによって、ドア数や空調機数、吹出口数、照明器具数は各配置図に記載される記号を拾い上げることによって算出した。
- 注13) IBM 社 SPSS Statistics 19.0 を使用した。
- 注14) Table 9, Table 10, Table 11 中のデータグループ A について、サンプルの建物が 1 棟のみであることから建物に関する説明変数の内 3 つ（築年数，延べ床面積，総階数）が除外されている。
- 注15) [期間]=1, [築年数]=41, [延べ床面積]=18,027, [総階数]=7, [消費電力]=95.33 を代入。
- 注16) ここでは、居室を執務、作業等の目的のために継続的に使用する室とした。事務室、研究室、講義室等が挙げられる。居室以外は先ほど述べたもの以外とし、例えば廊下、トイレ、階段室、機械室、倉庫等が挙げられる。

EFFICIENT FACILITIES MANAGEMENT USING EXISTING DESIGN DOCUMENTS CONVERTED TO BUILDING INFORMATION MODELS

A case study of calculating time between troubles of building components based on repair records

*Michio MATSUBAYASHI** and *Shun WATANABE***

* JSPS Research Fellow, Dept. of Policy and Planning Sciences, Graduate School of Systems and Information Engineering, Univ. of Tsukuba

** Prof., Division of Policy and Planning Sciences, Faculty of Engineering, Information and Systems, Univ. of Tsukuba, Ph. D. in Eng.

This study aims at considering efficient facilities management using existing design documents converted to building information models.

Numerous buildings were constructed during Japan's period of high economic growth and the conservation of those buildings is now a social issue. The deficiency of not only a periodic inspection but also the management of the construction information causes those circumstances. Because the use of the design documents is important for the maintenance of existing buildings, the use of building information models made from these documents is examined in this study. In these buildings, apart from the design documents, from routine work of facilities management, repair records printed in paper are generated in large quantities and accumulate every year, but are left uncared for. These data has a utility value for improving future facilities management. In the maintenance of facilities, whenever malfunctions and troubles happen, treatments are ex post facto conducted. It is useful for constructing an effective maintenance cycle to predict these troubles beforehand. To achieve the above-mentioned goal, by linking repair records to building information models, the system for predicting the renewal date of the components of building, which used the spatial or network relationship among the components of building information models, was constructed.

Tsukuba University's repair records for buildings were collected for the analyses. After the items and each entry content were confirmed, the information written in the repair records was input into a spreadsheet. About inputted data, simple totaling was carried out based on reported consultations and the building name in order to gain an understanding of the characteristics of the collected documents. Based on the result of the totaling, consultation contents and buildings for the analyses were determined.

Next, attempts were made to calculate the time between problems of the building components via multiple regression analyses. A Door and an air conditioner and lamp bulb, fluorescent lamp were treated as a case study. The time between problems of the target class was selected as an objective variable. These values were acquired by confirming the dates written in the entry columns for a building or a room. Explanatory variables were acquired from BIM data along with other materials. Whenever possible, original paper documents will be used to create the BIM data used in our method. Three methods of data acquisition from building information models were conducted in this study. The first method used the attribute information of the object, which was determined when it was located. The second method used the attribute information of the object, which was determined when some objects including it were located. The third method used the inclusion relations between a room and other classes.

The forced entry method was adopted for the analyses. Because the calculations were conducted in phases, we classified the cases based on the kind of objective variables or sample group or whether room-based explanatory variables were added.

As for two cases (door, lamp bulb and fluorescent lamp) which used a room-based objective variable and data group B, the adjusted R-squared value got higher by adding the explanatory variables acquired from BIM data. However, because the R-squared value itself is low in these cases, improving the regression model is necessary in order to use it for the prediction. About the explanatory variables acquired from BIM data, the floor at which the door is located (Door) and the number of lighting fixtures (Lamp bulb, Fluorescent lamp) were statistically significant in data group B. And from the interview to engineers, the utility value for considering the extension of the time between troubles was pointed out in these variables.

(2016年7月9日原稿受理, 2016年12月28日採用決定)