

既存建築ストックの長寿命化に向けた
BIMによる施設管理技術の開発

2017年3月

松林 道雄

既存建築ストックの長寿命化に向けた
BIMによる施設管理技術の開発

松林 道雄

システム情報工学研究科
筑波大学

2017年3月

目次

第1章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	3
1.3 既往研究	3
1.3.1 国内における BIM の普及・標準化に関する動向	4
1.3.2 BIM の利用・技術開発に関する研究	4
1.3.3 既存建物の施設管理に関する研究	6
1.3.4 既存建物を対象とした BIM の利用に関する研究	7
1.4 ケーススタディの対象について	8
1.5 BIM (Building Information Modeling) について	15
1.6 論文の構成	16
第2章 設計図書の BIM データ化	18
2.1 筑波キャンパス内の施設	19
2.1.1 筑波キャンパスの概要	19
2.1.2 筑波キャンパス内施設の性能	20
2.2 紙媒体の設計図書を持つ施設	25
2.2.1 対象の施設とその設計図書	25
2.2.2 BIM データ化の作業	29
2.2.3 紙媒体による設計図書の分析	33
2.3 現行の建設工事における BIM の利用	41
2.3.1 BIM に関連する制度の整備状況	41
2.3.2 新規建設における BIM の利用	42
2.4 小括	44
第3章 BIM データから従来の設計図書への変換	46
3.1 施設管理場面における設計図書の利用	46
3.1.1 ステージごとの設計図書の作成・利用状況	46
3.1.2 機械設備における系統図の利用	48
3.1.3 BIM モデルから従来の形式による設計図書への変換	49
3.2 各種図面の生成に関連する研究	50
3.3 従来の系統図の表現	51
3.3.1 MEP システムのネットワーク	51
3.3.2 建物躯体・部屋・スペース	53
3.4 系統図生成のプロセス	54
3.4.1 BIM モデルからのデータ抽出	55
3.4.2 抽出データを用いたレイアウト	60
3.4.3 複数施設に渡って MEP 要素が連続するケース	63
3.5 生成した系統図の評価	64
3.6 小括	65

第4章	BIMデータを用いた施設管理の効率化	67
4.1	既存建物における修繕記録の利用	68
4.1.1	修繕に関わる施設管理業務	68
4.1.2	BIMを用いた施設管理効率化の検討	69
4.2	修繕記録について	69
4.2.1	修繕記録の収集、データ入力	69
4.2.2	相談内容と建物名称による集計	73
4.3	分析のための変数抽出	75
4.3.1	予測手法の選定について	75
4.3.2	目的変数	77
4.3.3	説明変数	77
4.4	トラブル間隔の重回帰分析	82
4.4.1	ドア（建築）	82
4.4.2	空調機（機械）	83
4.4.3	電球/蛍光灯（電気）	83
4.5	施設管理者による評価	85
4.6	小括	87
第5章	結論	88
5.1	既存の設計資料をベースとしたBIMデータの利用像	88
5.1.1	施設管理者による利用	88
5.1.2	大学職員・教員による利用	91
5.2	既存施設の長寿命化に向けたBIMの活用	92
5.2.1	BIMデータ中の要素間の関係を利用	92
5.2.2	複数施設にわたる属性情報の一括利用	92
5.3	今後の展望	93
	初出一覧	95
	謝辞	97
	参考文献	98
	付録	102

図表目次

図

図 1-1	国立大学を対象とした保有面積の分布	9
図 1-2	国立大学法人等の経過年数別保有面積	11
図 1-3	筑波大学の経過年数別保有面積	12
図 1-4	筑波大学のライフラインの経過年数別長さ	14
図 1-5	論文の構成	17
図 2-1	第 2 章の作業の流れ	18
図 2-2	筑波キャンパス内施設の建築年	22
図 2-3	筑波キャンパス内施設の延べ床面積	23
図 2-4	筑波キャンパス内施設の改修履歴	24
図 2-5	5C 棟周辺の共同溝の配置	27
図 2-6	参考とする工事の順番	31
図 2-7	各工事の設計図書における参考の順番	31
図 2-8	クラスの階層	33
図 3-1	系統図生成のプロセス	55
図 3-2	線に関する属性情報を抽出する手続き	57
図 3-3	CAD ソフトウェア上での系統図描画の手続き	60
図 3-4	系統図の凡例	63
図 4-1	トラブル間隔の分析の手順	67
図 4-2	筑波キャンパスとその地区割り	72
図 4-3	緊急修繕の区分の内訳と“その他”中で多く見られる相談内容	74
図 4-4	相談件数の分布	75
図 4-5	トラブル間隔の分析	76
図 4-6	目的変数の算出方法	77
図 4-7	BIM データ中の要素における空間的・ネットワーク的關係	80
図 4-8	部屋内の要素の数え上げ（方法 3）	81
図 4-9	クラス間の包含関係	82
図 4-10	相談件数の分布（電球/蛍光灯，グループ B，照明器具数）	86
図 5-1	建設時期で区別した BIM データ化のプロセス	91
図 5-2	BIM データ中の要素が持つ属性値の利用像	94

写真

写真 2-1	5C 棟の外観	26
写真 2-2	BIM モデル：5C 棟／建築	32
写真 2-3	BIM モデル：5C 棟／MEP システム	32
写真 2-4	BIM モデル：5C 棟と共同溝／MEP システム	32

写真 2-5	建具表の一部を抜粋（資料 B）	34
写真 2-6	梁断面リストの一部を抜粋（資料 B）	35
写真 2-7	空調の平面図の一部を抜粋（資料 C）	37
写真 2-8	空調の系統図（資料 C）	37
写真 2-9	衛生の平面図の一部を抜粋（資料 C）	38
写真 2-10	電気（幹線）の平面図の一部を抜粋	40
写真 2-11	電気（照明）の平面図の一部を抜粋	40
写真 3-1	空調ダクトの系統図：5C 棟新営工事	52
写真 3-2	空調ダクトの系統図：5C 棟大規模改修工事	52
写真 3-3	BIM ソフトウェア上でのアドインコマンド実行と生成されたファイル	58
写真 3-4	命令用テキストファイル内の記述	59
写真 3-5	提案した方法による空調ダクトの系統図	62
写真 3-6	写真 3-5 に示される系統図の拡大イメージ	62
写真 3-7	5C 棟と共同溝とが連続した MEP システムのネットワーク	64
写真 4-1	修繕記録の入力データ	73
写真 4-2	ドアの属性情報（方法 2）	81

表

表 1-1	保有面積の上位 10 校	9
表 1-2	施設種類による保有面積の比較	10
表 1-3	国立大学法人等の経過年数・改修別保有面積	11
表 1-4	筑波大学の経過年数・改修別保有面積	12
表 1-5	国立大学法人等の基幹設備の経過年数	13
表 1-6	筑波大学の基幹設備の経過年数	13
表 1-7	筑波大学のライフラインの経過年数	14
表 2-1	筑波キャンパスの概要	19
表 2-2	筑波キャンパス共同溝の概要	20
表 2-3	筑波キャンパス内施設の建築年による分布	21
表 2-4	筑波キャンパス内施設の延べ床面積による分布	21
表 2-5	筑波キャンパス内施設の改修履歴による分布	21
表 2-6	5C 棟の概要	26
表 2-7	5C の主要工事における設計図書の一覧	28
表 2-8	共同溝の設計図書の一覧	28
表 2-9	新規クラスの候補	34
表 2-10	設計図書の切断面についての分類	36
表 2-11	BIM に関する技術的基準の比較	42
表 2-12	大学施設建設における BIM の利用に関するヒアリングの概要	43
表 2-13	大学施設建設における段階ごと BIM の利用状況	44
表 3-1	設計図書の利用に関するヒアリングの概要	47
表 3-2	設計図書の利用に関するヒアリングの回答	48

表 3-3	機械設備図の利用に関するヒアリングの概要	48
表 3-4	BIM モデルから従来の設計図書への変換方法	50
表 3-5	従来の形式による系統図に見られる表現	54
表 3-6	MEP システムの記述に用いる表現と属性情報	56
表 3-7	系統図の評価に関するヒアリングの概要	64
表 4-1	大学施設の修繕に関するヒアリングの概要	68
表 4-2	収集した修繕記録の概要	71
表 4-3	修繕記録内の項目	73
表 4-4	“その他”中で見られる相談内容の分類	74
表 4-5	相談件数の多い建物	75
表 4-6	主要工事における設計図書リスト	76
表 4-7	建物に基づいた説明変数	78
表 4-8	部屋に基づいた説明変数	78
表 4-9	BIM を用いたデータ取得方法	80
表 4-10	重回帰分析の結果（ドア）	84
表 4-11	重回帰分析の結果（空調機）	84
表 4-12	重回帰分析の結果（電球/蛍光灯）	85
表 4-13	トラブル間隔の分析結果に関するヒアリングの概要	86

第1章 序論

1.1 背景

わが国では、高度経済成長期に大量に建設された社会基盤ストックの老朽化が一斉に訪れており、これらの維持更新が緊急の課題である。1980年代にアメリカでも社会問題となったインフラ老朽化^{注1-1)}だが、わが国においては異なる側面から課題が出現している。この課題が表面化したきっかけの一つに中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故^{注1-2)}が挙げられる。この事故において、定期点検の不備にスポットライトが当たり、関連して設計図書が現存しないストックの存在が指摘された^{注1-3)}。建築物においては、全国各地の小学校・中学校・高等学校の校舎で窓枠の落下^{注1-4)}や手摺の崩落^{注1-5)}等の事故が発生している。こうした社会問題の背景には、既存インフラの定期点検の不備に加え、これらの設計情報管理の不備が指摘できる。当時の設計図書（図面・仕様書など）のほとんどは紙媒体である。管理スペースの問題などから廃棄されていたり、保管されていても劣化や損傷が激しかったりする。建設ときに作成されたはずの設計図書が参照できない場合には、事故原因の究明や維持管理の計画策定に際して、改めて建築物の現状図を一から作り直すこととなり、膨大な時間とコストを要する。これら諸々の課題に対して、2013年11月に政府が取りまとめた「インフラ長寿命化基本計画」¹⁾において、CIM（Construction Information Modeling）等の導入など、“情報基盤の活用と整備”が謳われており、設計情報の管理・活用について再検討が求められている。

CIMとは、建築・土木分野全体でのBIM（Building Information Modeling）技術の普及・推進を目指した佐藤直良氏（元国土交通省事務次官）によるわが国独自の造語^{注1-6)}である。BIMについては、2009年にこれに関連する書籍や雑誌がいくつか発行され^{注1-7)}、2010年には国土交通省官庁営繕部でBIM導入に関するプレスリリース²⁾が発表された。新規建設プロジェクトにおいては、フロントローディング^{注1-8)}の効果等からBIMによる設計情報の構築・管理が国際的に普及しつつある。この新しいコンセプトは企画設計から建設、生産、施設管

注1-1) 米国では1920年代のニューディール政策以降に整備されたインフラの老朽化が社会問題となった。インフラ老朽化問題は以前から国土交通省で取り上げられている。（参考）Choate P, Walter S. America in ruins: the decaying infrastructure. Durham, NC: Duke Press, 1983, p.101.（和訳はChoate P, Walter S 著，古賀一成ほか訳。荒廃するアメリカ。東京：開発問題研究所，1983，p.206.）

注1-2) 平成24年12月2日（日）午前8時3分頃発生。（参考）国土交通省：中央自動車道笹子トンネル内で発生した崩落事故について（第1報），国土交通省報道発表資料，2012.12.

注1-3) NHKではインフラ老朽化の特集番組が生まれ、この中で維持更新の課題の一つとして設計図書の紛失が指摘された。（参考）NHK ONLINE クローズアップ現代：“問われる“維持管理”～笹子トンネル事故の波紋～”，http://www.nhk.or.jp/gendai/yotei/index_yotei_3303.html，（参照 2014-01-26）。

注1-4) 例えば、平成21年12月に福岡県福岡市の小学校で発生した事故が挙げられる。（参考）福岡市学校施設窓サッシ事故検証検討会：学校施設窓サッシ事故検証検討会報告書，2011.05.

注1-5) 例えば、平成22年4月に茨城県高萩市の高等学校で発生した事故が挙げられる。（参考）文部科学省：子供たちの安全を守るために「学校設置者のための維持管理手引」，2016.03.

注1-6) JACIC：“基調講演 CIM ノススメ～建設生産システムのイノベーションに向けて～”，平成24年度第1回JACICセミナー開催のご報告，http://www.jacic.or.jp/movie/jseminar/20120413/shiryu/120413_sato_n.pdf，（参照 2016-10-16）。

注1-7) 例えば、新建築社の「BIM元年・広がるデザインの可能性」（2009年）、山梨の「業界が一変するBIM建設革命」（2009年）などが挙げられる。

注1-8) 建設のプロセスにおいて、初期工程（フロント）に重点を置いて集中的に労力・資源を投入して後工程で発生しそうな負荷（仕様変更など）を前倒しすることで、品質向上や納期短縮を図る活動を指す。BIMにおいては、3Dモデルを仮想空間上で可視化しシミュレーションによる検証によって最適化を図ることにより、設計の現場で頻発する手戻りによるスケジュールの長期化や、無駄なコストの発生を事前に防ぐことを目指している。

理など様々な場面で浸透してきているが、現状においては企画・設計に向けた技術開発が先行し、施工部門への展開はあるものの、施設のライフサイクル全体を通じた効果的活用には至っていない。施設管理における BIM データの戦略的活用技術の開発が十分に進んでいないため、予算的に見合う新規建設プロジェクトでの活用に留まり、既存施設については改めて BIM データを作成する手間に対してコストが見合わない問題がある。また、既存ストックの設計図書を BIM・CIM データに変換する取り組みが進んでいないことから、既存の設計資料がどれだけ BIM・CIM に結びつけられるかは不透明である。

政府の「インフラ長寿命化基本計画」を受け、各省庁は行動計画の策定・実施を進めている。文部科学省では「文部科学省インフラ長寿命化基本計画（行動計画）」³⁾を策定し、当該計画に基づいて対策を実施していくという「メンテナンスサイクル」の構築を各大学に要請している。しかし、同行動計画には設計や施工時に作成・活用した図面等の記録の保存について言及が見られず、設計情報管理の視点が欠落している。先ほど述べた、設計図書のない施設においてその維持管理が困難である例を考慮するならば、適切な情報管理の戦略がないままに行動計画を実行しようとも、持続可能性のある効率的なメンテナンスサイクルの構築は困難である。

国立大学法人等の施設について 2015 年に文部科学省が発表した資料⁴⁾によると、平成 27 年度の国立大学法人等の建築物の保有面積は約 2,813 万㎡存在する。そのうち建築後 30 年以上経過したものは約 1,644 万㎡と、全体の 58.4%を占める。経過年数の高い建物が徐々に増えていることから、大学施設でも老朽化の問題を抱えていることがわかる。また、建築と比べて機械設備は更に深刻である。平成 27 年 5 月時点の国立大学法人等の基幹設備は 7,060 台あるが、このうち 50.9%が法定耐用年数^{注1-9)}を超過している。建築については耐震補強工事や改修工事等の実施によってその改善が進んでいるが、機械設備については建築よりライフサイクルが短いにも関わらずその改善が進んでいない。今後も老朽施設が増えていくことから、老朽化に伴うトラブルの増加が予想される。よって、これらの維持更新については、戦略的な内容が求められている。

本研究では、国立大学の中からケーススタディの対象として筑波大学を選定した。筑波大学は、国立大学の中でも有数の規模を誇るとともに、キャンパス内には多数の学生宿舎や大規模な共同溝が設置されている。また、他大学とは異なり、キャンパス内施設の大半が一斉に更新時期を迎えている点が特徴として捉えられる。これらの状況から、政府が目指すインフラ長寿命化のための CIM 等の導入による「情報基盤の活用と整備」のケーススタディとしても適切である。

注1-9) 減価償却資産の耐用年数等に関する省令に基づく耐用年数を指し、はそれぞれ 15 年である。ただし、中央監視制御設備のみ法定耐用年数は 5 年である。

1.2 目的

以上より、国立大学施設を対象として、これらの設計情報管理・利用の状況を詳細に把握することで、施設管理の現場のニーズを把握するとともに、各ニーズに応える既存建築ストックの長寿命化に向けた BIM による施設管理技術を開発することが本論文の目的である。筑波大学の施設をケーススタディの対象に BIM を用いた施設管理技術を開発する。

「インフラ長寿命化基本計画」において、データの有用性から、既存の媒体から 3D の形状データに加え様々な属性を一体的に管理するシステム (BIM) への移行に言及しており、これの実現が視野に入っている。本論文では、設計図書の媒体のあり方から、紙媒体に収録される設計・建設情報を全て BIM に移行し、施設管理に利用する情報は全て BIM モデルから獲得するシナリオを想定している。このシナリオを実現するにあたり、所与の設計資料から BIM モデルを構築する手順を確立する。

また、既存建築ストックの長寿命化に向けて施設管理の現場が、既存の紙媒体によるアナログな方法から BIM による方法へ移行するには、一足飛びではなく段階的なプロセスが不可欠である。この移行を促進する目的から、BIM データから慣れ親しんだ既存の形式による設計図書への変換手法を開発する。

および、改めて既存施設の BIM データを作成するコストに見合う、BIM による、現場のニーズに即した効率的メンテナンスの支援技術が必要である。今まで事後対応に終始していた修繕への対応を事前に行うという効率的なメンテナンスサイクル構築を実現させる目的から、BIM データ化された設計図書を用いて設備要素の更新間隔を予測するシステムを開発する。

1.3 既往研究

既往研究については、①国内における BIM の普及・標準化に関する動向、②BIM の利用・技術開発に関する研究、③既存建物の施設管理に関する研究、④既存建物を対象とした BIM の利用に関する研究の 4 グループに分けて整理した。

近年、BIM の利用や技術開発を扱う研究、BIM を活用した建設プロジェクトが数多く実施されてきている。また、共通のデータフォーマットの開発やデータライブラリーの構築、BIM に関連した制度の整備も進んできている。しかし、これらのほとんどは企画・設計・施工部門を対象としたものであり、維持管理を対象とした研究はまだ数少ない。既存建物の維持管理に関する研究を見ると、費用の分析やファシリティマネジメントに関する技術開発等の蓄積が見られるが、BIM と関連付けた研究となるとその蓄積は現状では極めて少ない。その中で、施設情報が集約されている既存の設計資料を BIM データ作成に再利用する立場のものは見られない。

本研究内容に近接するものとして、熊本大学で行われている施設管理への BIM の利用に関する一連の研究^{34),35),36),37),38)}が挙げられる。その中の一つにシーズ志向のアプローチにて建物維持管理業務支援のために BIM を基礎としたシステムを開発するものがある。また、ライフサイクルコスト等の長期的な視野に立った意思決定のための資料を生成するプロセス中に BIM データ中のオブジェクトとそれが持つ属性情報を組み込ませる手法を開発するものがあり、本研究と近いスタンスのものとして挙げられる。これらに対して、BIM を用いて既存施設の維持管理を行うに、既存施設の設計資料を BIM データとして再構築し、これを施設管理に利用するスタンスに立つ点において本研究は独自性かつ新規性を有する。このス

タンスに立つ研究は見られていない。また、国立大学施設を対象として設計情報管理の状況を詳細に把握することで施設管理の現場でのニーズを把握するとともに、BIM を用いてこれに解決する立場をとる点においても独自性を主張する。

1.3.1 国内における BIM の普及・標準化に関する動向

一般社団法人 buildingSMART Japan^{注1-10)}は BIM データの相互運用を可能にするための標準化の取り組みを進めている。1995 年に、建物のライフサイクルを通して使用する標準フォーマットの作成を目的とし、世界的な機関として buildingSMART (旧 International Alliance for Interoperability [IAI]) が設立された。その日本支部として buildingSMART Japan が 1996 年に設立された。この加盟者は多くの業種にまたがっており、共同で共通フォーマット IFC (Industry Foundation Classes) の仕様を開発している。

国土交通省官庁営繕部は 2010 年から官庁営繕事業における BIM の活用を進めている。2010 年 3 月 31 日に BIM 導入プロジェクトを開始し²⁾、2014 年 3 月 19 日に BIM ガイドラインを発表した⁵⁾。BIM 導入プロジェクトは新宿労働総合庁舎^{注1-11)}と静岡地方法務局藤枝出張所^{注1-12)}、前橋地方合同庁舎^{注1-13)}において実施されている。これらのプロジェクトの各段階にて BIM が用いられた。基本設計方針の策定段階、基本設計段階、実施設計段階、施工段階のそれぞれの場面でプロジェクトを進行させるために BIM の持つポテンシャルを大いに活用されている。

建築保全センターは 2015 年より BIM ライブラリーコンソーシアム^{注1-14)}の運営を進めている。当団体は、3D の形状情報とともに、建築材料・設備機器等の耐久性、エネルギー使用等の情報を集約した BIM ライブラリーを構築することを目標にしている。BIM ライブラリーの在り方に関する検討、建築系の標準仕様の作成、設備系の標準仕様の作成、運用に関する基準、規約等の作成に取り組んでいる。また、C-CADEC (Construction-CAd Data Exchange Consortium)^{注1-15)}の Stem (Standard for the Exchange of Mechanical equipment library data)^{注1-16)}、BE-Bridge (Building Equipment - Brief Integrated format for Data exchanGE)^{注1-17)}等の既存の成果を活用・拡張することにより、早期にライブラリーを構築、提供できるように取り組んでいる。これは維持管理に関わるデータの共有化として捉えられる。

1.3.2 BIM の利用・技術開発に関する研究

最初に、Eastman ら⁶⁾は BIM の核をなす技術、BIM で建設プロジェクトを運用している事例をまとめた書籍を出版したものが挙げられる。この書籍では設計者や建築施工業者、機

注1-10) ホームページ URL は <http://www.building-smart.jp>、(参照 2016-10-01)。

注1-11) 国土交通省官庁営繕部による官庁営繕事業における BIM 導入を試行したプロジェクトの一つ。一番最初に BIM 導入を試行したプロジェクト。ホームページ URL は http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk6_000096.html、(参照 2016-10-01)。

注1-12) 国土交通省官庁営繕部による官庁営繕事業における BIM 導入を試行したプロジェクトの一つ。中部地方整備局によるプロジェクト。ホームページ URL は http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk6_000098.html、(参照 2016-10-01)。

注1-13) 国土交通省官庁営繕部による官庁営繕事業における BIM 導入を試行したプロジェクトの一つ。9 官署が入居する規模の大きい庁舎を対象としている。ホームページ URL は http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk6_000099.html、(参照 2016-10-01)。

注1-14) ホームページ URL は <https://www.bmmc.or.jp/blc/>、(参照 2016-10-01)。

注1-15) 一般財団法人建設業振興基金の設計製造情報化評議会を指す。1998 年 5 月に発足し、建設産業の設計や製造にかかわる情報を中心とする電子商取引の基盤整備及び導入や普及の推進を進めてきた。2015 年 3 月をもって解散し、その業務は建築保全センターに引き継がれている。

注1-16) 図面情報や技術情報のデータ交換の標準化を図るため、設備機器データ交換のための仕様として C-CADEC によって構築された。

注1-17) 異なる CAD システム間でも部材属性を伴った CAD データの交換ができるように、C-CADEC によって開発されたフォーマット。部材の種類や形状、寸法、用途、接続方法などの部材属性を保持しており、複数の CAD システム間でデータ交換しても断面や 3D 形状を確認できる。

械設備施工業者、建物所有者、施設管理者のそれぞれに対して BIM がどのようなメリットをもたらすかについて述べられている。

大西ら⁷⁾は BIM ソフト及び解析ソフトを活用した包括的な建築教育プログラムの開発を行った。BIM を用いることにより、建築についてもバーチャル上の建物と座学とを関連付けたリバーズエンジニアリングによる教育を試みている。BIM ソフトウェアを用いて BIM モデルを作成することと関連付けて授業を計画・実施し、その評価を行った。構法と構造力学、環境力学を対象としている。学生の声をもとに授業の評価を行い、当教育プログラムの利点と課題を整理している。

加戸ら^{8),9),10)}は歴史的建造物を構成部品単位から精緻な 3D のデジタルアーカイブとして構築した。外観ないし内観の再現に留まらず、データベースを用いた部品管理のもと建築物全体を正確にモデル化することで資料性の高いデジタルアーカイブを作成した。部品雛形を BIM ソフトウェア上に配置し、パラメータを適宜与えながら部品をモデル化していく。部品管理は BIM ソフトウェアの内部データベースを主に利用し、部品雛形と部品モデルを分けて管理している。平沢ら¹¹⁾はこの研究に関連して、この手法に基づいて生成された BIM モデルを利用して、現在のエンジニアリングに役立てることを目指し振動モデルの構築に有用な情報を引き出す手法を開発した。また、加戸ら¹²⁾はこのデジタルアーカイブにおいて写真等の関連資料を管理する手法、ウェブ上で閲覧するための手法を開発した。このアプローチは他の構法にも拡張され、田中ら¹³⁾はツーバイフォー構法の知識表現を構成部品単位からデジタルアーカイブとして再現した。

木本ら¹⁴⁾は BIM を用いた建築基準法適合判定に関する基礎的な研究を行った。日本の建築基準法の条文に含まれる適合判定に必要な情報を BIM モデルから取得し、適合判定するための合理的かつ効率的な方法論を確立することを目指している。適合判定に関する実態把握のため文献調査とアンケート調査を行い、BIM を用いた適合判定のために必要な情報と判定内容を把握するために、建築基準法の分析を行った。また、BIM ソフトウェアを用いて 3D モデルに付加された属性情報をどのように管理するかを検討している。

建築研究所¹⁵⁾では、設計時、工事中、竣工時、供用時の各段階にて、電子申請に基づいた建築物の技術基準への適合確認における BIM の利用が研究されている。技術基準の適合確認に必要な情報の定義とその表現、管理に至る仕様を検討し、プロトタイプシステムを作成し、システムの検証を進めている。

三木ら¹⁶⁾は空調・衛生設備部材に対して共通フォーマット IFC による表現の整理を行った。建築設備分野における種々の要素の表現手法が明確にされていないことが BIM の普及の制約と捉えており、これの克服を目指している。ダクト直管を題材とし、BIM モデル作成に必要な情報を特定し IFC を用いて実装することを通じて、表現方法を整理した。また、三木ら¹⁷⁾は空調設備分野における 3D 部材データ作成を試行した。メーカーによるデータ提供を促進することを目的とし、空調設備で使用される制気口を題材として、3D 部材データの仕様の決定、データ作成ソフトの開発、データの作成と確認を行った。試行の手順は、仕様の決定、データ作成ソフトの開発、データの作成・確認としている。また、BIM ソフトウェアを使用せずにデータを作成するソフトウェアを開発した。

刁ら¹⁸⁾は環境シミュレーションにおいて、BIM 概念に基づく最適建築設計支援システムの開発を行った。BIM を環境シミュレーションで利用するためには、BIM に組み込む情報を整理する必要があることから当研究では、これまで目的別に行われてきた環境シミュレーションを統合した多目的最適化問題を対象にケーススタディを行い、これらの情報を整理すると共に、環境シミュレーションを自動的に連成する環境計画対応型の BIM 技術の枠組みと仕様を提案している。

樋山ら¹⁹⁾は BIM を用いた環境シミュレーションのためのデフォルト設定値導出手法の開発を行った。BIM で定義されるクラスと属性を、それまでに蓄積された建築設計データの集合を利用して最適なデータに改善することを視野に入れている。ケーススタディは熱負荷計算用に提案されたオフィス用標準問題の最上階事務室の一室を対象とした。建物コア位置と天井高をそれぞれ 4 水準で変化させた 16 ケースの基本条件設定を準備し、表に示す条件下で、それぞれ最適化計算を行った。BIM の利用が建築設計の効率化と高度化に寄与する為には、設計におけるフロントローディングの実現と BIM データの再利用性の向上が鍵と捉えている。

Fukuda ら²⁰⁾は設計時における施主とのコミュニケーションに役立てることを想定し、BIM モデルをベースに CFD (Computational Fluid Dynamics) と VR (Virtual Reality)、AR (Augmented Reality) を統合させた設計ツールを開発した。実証的な研究アプローチとして、実際の住宅設計プロジェクトの課題に対して、開発した設計ツールを適用した。住宅内温熱環境の課題の解決のため CFD シミュレーションを実施し、各室のプライバシーの検討のため VR シミュレーションを実施した。結果、各ツールが実プロジェクトで一定の役割を果たしたとした。Hosokawa ら²¹⁾は、日常的に温熱環境設計に従事していないユーザでも解析結果を迅速に把握し、必要に応じて設計案にフィードバックすることができる設計プロセスの実現を目指し、室内温熱環境設計におけるフィードバックのための CFD と VR の統合を発展させた。

藤澤ら²²⁾は BIM と GIS とを連携させて日照シミュレーションと都市景観デザインへの応用することについて検討した。地理空間情報と BIM ソフトウェアを用いて、都心商業地域のマンション居住における日照シミュレーション手法とその応用に関する検討を行うことを目指した。基盤地図情報と国土数値情報に加え、東京都都市計画地理情報システムのデータを使用し、これらの GIS データを BIM ソフトウェアに取り込み 3D モデル群を作成した。シミュレーションとしては、全ての建築物の階数を同一にした 4 ケースの日影を示し、この結果を基に、各建築物のフロアごとの日照評価を行った。また、日照評価を基にして都市景観シミュレーションを行い都市景観デザインへの応用を試みている。日照は建築物相互が影響し合っていることから、広域的な GIS データの活用が特に有効であり、日照評価結果を GIS のオーバーレイ分析にフィードバックする事によって、街区レベルでの日照状況とその要因を捉えるのに役立ったとまとめている。

阿部ら²³⁾は住宅地の計画において、コンピュータシミュレーションによる自己組織的かつ段階的な手法の可能性を検証した。従来の住宅計画地が抱える問題として均質的かつ単調な配置による無機質な都市空間の創出や住宅同士の関係性の希薄さを挙げ、この課題の解決を目指している。作業は、敷地情報の入力後にそれまでの成果物に対応させて、あらかじめ設定したルールに基づき新築する住宅の配置・形状・向き等を生成するという段階的なシミュレーションを行い、かつ住宅地の新陳代謝も実行するというものである。結果からは、道路・公共施設の配置は当手法で対応することが難しく、別途、手動によって補完して行く必要性があったとした。総じて、自己組織的かつプロセス的手法は一定の成功があったと結んでいる。

1.3.3 既存建物の施設管理に関する研究

竹下ら²⁴⁾は配置図・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 (Facility management) システムを開発した。名古屋大学の老朽化・狭隘がある状況及び再開発に伴う建て替えに対応すべく、ファシリティマネジメントの試みの一貫としてシステム開発が実施された。CAD によって入力された施設実態調査平面図のデータを使用し、DXF ファイルへ変換することにより使用端末である Macintosh に移設した。開発の当初の目標である視覚

による情報管理システムとして、結果的に満足する機能を構築することが出来たとしている。FM システムには情報検索やシミュレーション・モデルとしての機能を持たせた。

岸本ら²⁵⁾は建築図面とリンクした CAD ベースの FM データベースを開発した。そして、ネットワーク環境を利用しユーザ参加型のシステムへと発展させた。千葉大学キャンパス計画推進室では、既存施設の有効活用を推進するため施設情報のデータベース化とファシリテイマネジメントが継続的に行われている。これを推進するために CAD ベースの FM データベースが開発され、学科再編にともなう施設再配分の計画立案と意思決定に活用された。その後、見直しが行われ、ネットワーク環境を用いてユーザが任意の場所から随時にデータの記入・更新ができるシステムに変更した。検索機能および集計機能を備え、各種意思決定に用いることができるように変更した。このシステムは千葉大学以外の多くの大学等の教育研究機関にも波及している。また、岸本ら²⁶⁾は、利用形態によって異なるデータベースシステムの統合化、管理組織によって異なる管理システムの統合化を進めた。

田島ら²⁷⁾は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。まず、対象とする大学の修繕の仕組み、定義、修繕が行われるまでのプロセスについて整理した。次に建物に関わる修繕項目を対象として、部位・部材を施設管理台帳に基づき分類しデータベースを作成した。そして、修繕工事の内容別に分類し、部位・部材別分類表を作成し、その属性に沿って数値化し、分析を行い修繕費の傾向を調べた。また、使用形態による棟毎の傾向、使用形態による棟毎の中分類から見た傾向、修繕件数と修繕費の割合を分析した。これらの分析を通じて、施設管理分析に必要な記録項目を提案している。

Iki ら²⁸⁾は、広範囲に渡って複数のビルを管理することを想定した、分散されたデータベースをネットワークによって繋げる CAFM (Computer-aided facility management) システムを開発した。また、これらの空間分析また空間計画に使用するための機能を開発した。そして、Iki ら²⁹⁾は、この CAFM システムを多くの施設管理を行う技術者が扱えるよう、イントラネット上で運用するためシステムを追加開発した。Shimoda ら³⁰⁾は、建物の維持管理に関係したコスト管理を助けるための機能を追加開発した。Okada ら³¹⁾は、LCM (Life cycle management) の検討に利用できるよう、LCC (Life cycle cost) 算定を行うための機能を追加開発した。

国土交通省³²⁾では官庁施設のストックマネジメント技術が開発されている。これを開発するにあたり、平成 11 年度～平成 12 年度において官庁施設のストックマネジメント検討委員会が設置され、これらの検討が行われた。具体的には、施設の現況評価と保全計画の立案するための指針の作成、保全業務の実施と評価をするための指針の作成、保全情報システムの整備、保全技術の体系化が進められ、ストックマネジメント技術の体系の構築がなされた。

1.3.4 既存建物を対象とした BIM の利用に関する研究

FM への BIM の利用について触れたものとして、IFMA (International Facility Management Association)³³⁾によって、維持管理に向けた BIM 技術やこれらを扱うための指針を整理し書籍としてまとめられたものが挙げられる。この書籍は施設管理者が BIM を導入するにあたり必要な知識が掲載されており、利用価値の高いものとなっている。また、IFC をベースに開発された、維持管理のための情報を収録するフォーマット COBie (Construction Operations Building Information Exchange)^{注1-18)}についても触れられている。

注1-18) IFC をベースに開発されたデータ交換標準で、設計・施工段階から運用段階へと建物の情報を受け渡すために使われるデータフォーマットを指す。これに準拠したファイルは表計算ソフト Excel で編集できるようになっている。

長曾我部ら³⁴⁾は既存施設の LCC 算定に対して BIM の導入効果を検証した。建物の長寿命化や資産価値向上への関心に伴い、施設戦略において LCM の導入が進んでいる中、BIM を用いた LCC 算定の手法を構築しその導入効果を把握することを目標とした。BIM ソフトウェアを使用し、精算法を用いる LCC 算定に対応した 2 種類の BIM モデル（詳細モデルと簡易モデル）を作成し比較した。作成した BIM モデルは LCC 算定用の単価データベースと連携させ、施設別・部位別・室用途別の経年別投資額算定に使用された。

仲間ら^{35),37)}は、ウェブ上に BIM ソフトウェアによって作成された BIM モデルを表示し、かつ建物の各種情報の管理を行うシステムを開発した。また、Nakama ら³⁶⁾は部屋に設置されるセンサーからデータを収集し、これを BIM モデル中の要素の属性情報に結びつける機能を開発・追加し、大西ら³⁸⁾はこれに、インターネットを介してオンサイトから得られる施設に関わる情報を記録するシステムを開発・追加した。

1.4 ケーススタディの対象について

ケーススタディの対象に選定した筑波大学について、国立大学中における位置づけを整理する。大学が持つ保有面積、施設種類による割合、経過年数別の保有面積、基幹設備の経過年数の 4 項目から説明する。本節の図表を作成するにあたり、国立大学法人等については文部科学省の資料^{注1-19)}を使用した。筑波大学については筑波大学施設部の資料^{注1-20)}を使用した。

まずは大学が持つ保有面積についてである。図 1-1 は国立大学 86 校を対象とした保有面積による分布を示している。これを見ると、5,000 千㎡未満の大学が 87%を占める。表 1-1 は国立大学のうち保有面積の上位 10 校を上から並べたものである。筑波大学は 6 番目に位置しており、保有面積の観点から見ると大学の規模が大きいことがわかる。

施設種類による割合についてである。表 1-2 は国立大学全体と筑波大学について、施設種類によって分類された各施設の保有面積を比較したものである。国立大学全体と比較すると、筑波大学では宿泊施設や附属学校の割合が高いことが読み取れる。

経過年数別の保有面積についてである。表 1-3 は国立大学法人等の経過年数・改修履歴別の保有面積を示している。国立大学法人等の改修別経過年数は 25 年以上のものしか掲載されていないため、0 年から 24 年については省いている。図 1-2 は国立大学法人等の経過年数別保有面積をグラフにしたもので、また改修履歴でも区別している。表 1-4 は筑波大学の経過年数・改修別保有面積を示している。図 1-3 は筑波大学の経過年数別保有面積をグラフにしたもので、また改修履歴でも区別している。改修履歴の区別に関して、改修済は耐震改修と外部改修と内部改修の全ての工事が完了したもの、一部改修済は 3 種類の工事うち 1 種類以上が完了したもの、未改修はいずれも完了していないものを指す。筑波大学では経過年数 35~39 年、40~44 年の範囲に施設が集中しており、これらの半分以上が未改修である。国立大学の中では経過年数が大きい施設の更新が一斉に訪れていることがその特徴として捉えられる。

基幹設備の経過年数についてである。表 1-5 は国立大学法人等の基幹設備を経過年数で区別したものである。表 1-6 は筑波大学の基幹設備を経過年数で区別したものである。筑波大学の排水処理設備については経過年数の情報がないため、経過年数別の件数は省いている。施設の経過年数から捉えられたことが基幹設備でも捉えられ、例えば筑波大学では受水槽と冷房熱源に 30 年以上経過したものを多く見られる。建築物より設備の方が耐用年数は短く、

注1-19) 文部科学省大臣官房文教施設企画部「国立大学法人等施設実態報告書 平成 27 年度」⁴⁾を使用した。

注1-20) 筑波大学施設部で作成している「国立大学法人等施設実態報告書」向け提出用データを使用した。

老朽化の緊急度がより高い。

また、筑波大学についてはそのライフラインに関するデータ^{注1-21)}を収集した。表 1-7 は筑波大学の屋外に設置されるライフラインを経過年数で区別したものである。図 1-4 は筑波大学の屋外に設置されるライフラインの経過年数別長さをグラフにしたものである。屋外冷暖房管と屋外排水管、屋外ガス管、屋外給水管では経過年数 35~39 年、40~44 年の範囲に管が集中している。

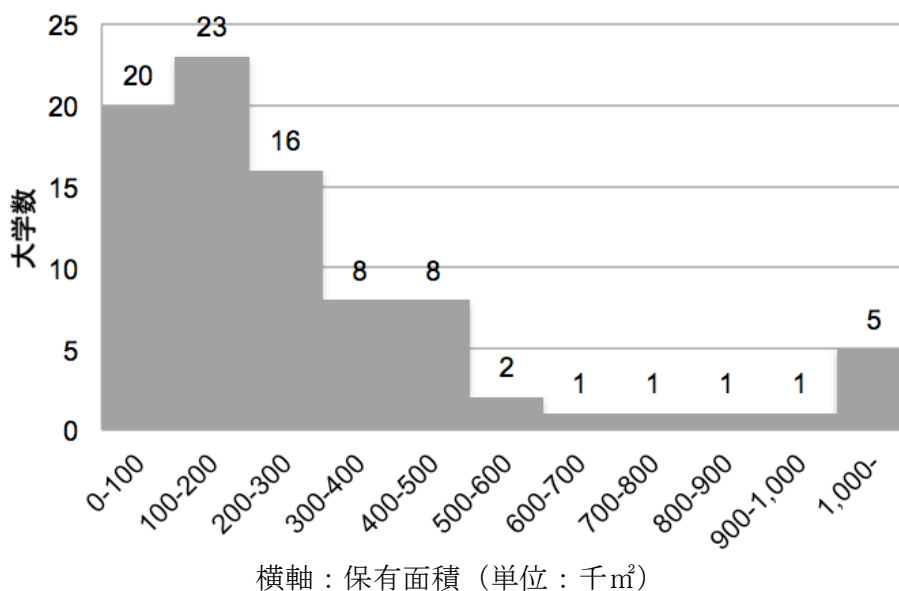


図 1-1 国立大学を対象とした保有面積の分布

表 1-1 保有面積の上位 10 校

学校名	保有面積 (m ²)
東京大学	1,709,300
京都大学	1,286,138
東北大学	1,118,536
大阪大学	1,047,059
九州大学	1,011,532
筑波大学	963,076
北海道大学	854,463
名古屋大学	749,419
広島大学	631,491
神戸大学	557,942

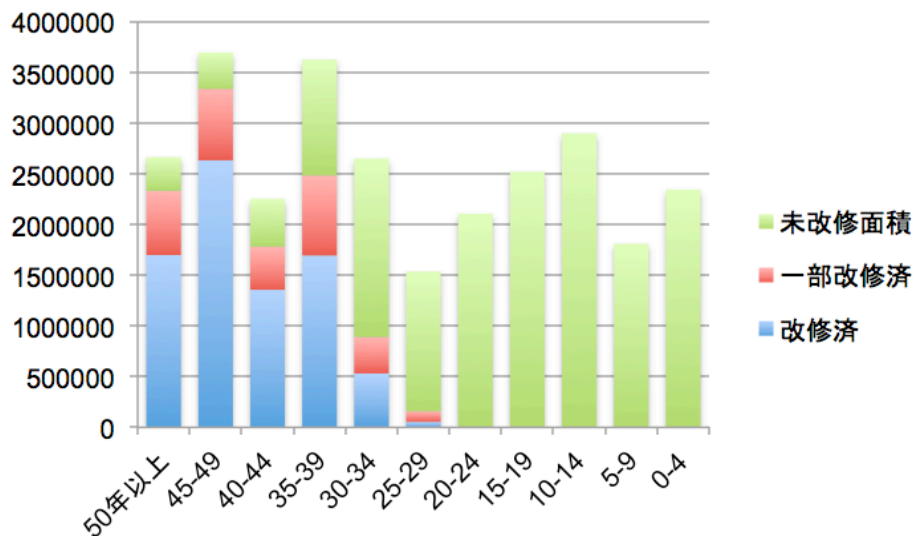
注1-21) 筑波大学施設部で作成しているライフラインに関するデータを使用した。

表 1-2 施設種類による保有面積の比較

区分	[国立大学全体]		[筑波大学]	
	保有面積 (㎡)	割合	保有面積 (㎡)	割合
教育・研究施設	14,770,882	57%	473,710	49%
図書館	912,296	4%	27,493	3%
体育施設	495,920	2%	22,699	2%
支援施設	973,722	4%	39,905	4%
宿泊施設	1,241,389	5%	93,021	10%
附属学校	1,350,848	5%	97,642	10%
附属病院	3,486,062	14%	111,237	12%
管理施設	1,176,693	5%	37,661	4%
設備室等	1,278,867	5%	59,708	6%
計	25,686,679	100%	963,076	100%

表 1-3 国立大学法人等の経過年数・改修別保有面積

経過年数	保有面積 (㎡)	割合	改修済	一部改修済	未改修
50年以上	2,666,104	9.5%	1,699,900	634,731	331,473
45~49年	3,697,997	13.1%	2,635,311	704,231	358,455
40~44年	2,255,389	8.0%	1,357,637	425,995	471,757
35~39年	3,630,213	12.9%	1,696,105	789,276	1,144,832
30~34年	2,652,737	9.4%	532,083	359,421	1,761,233
25~29年	1,537,212	5.5%	54,466	104,626	1,378,120
20~24年	2,107,806	7.5%			
15~19年	2,522,469	9.0%			
10~14年	2,901,432	10.3%			
5~9年	1,812,340	6.4%			
0~4年	2,346,257	8.3%			
計	28,129,956	100%			

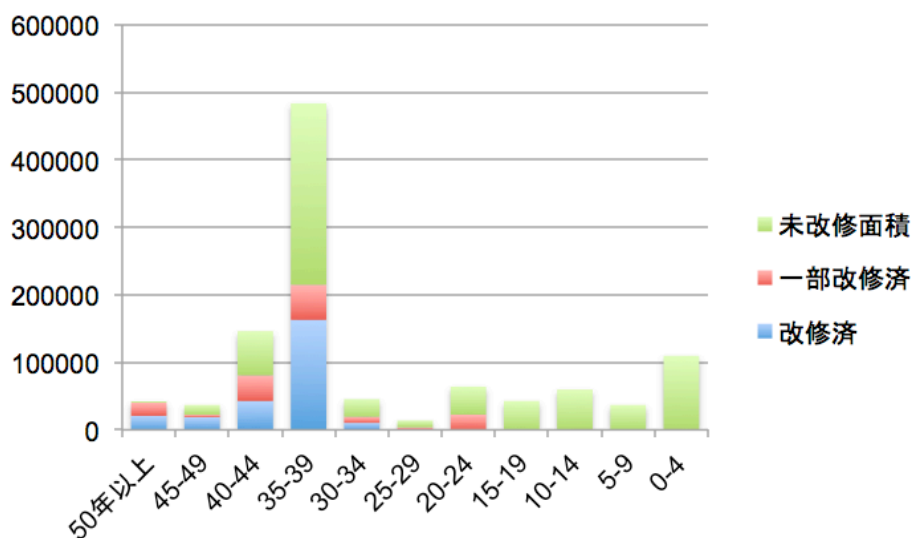


縦軸：保有面積（単位：㎡）

図 1-2 国立大学法人等の経過年数別保有面積

表 1-4 筑波大学の経過年数・改修別保有面積

経過年数	保有面積 (㎡)	割合	改修済	一部改修済	未改修
50年以上	41,153	3.8%	20,799	19,473	881
45~49年	37,005	3.4%	18,780	3,543	14,682
40~44年	146,319	13.5%	42,773	37,960	65,586
35~39年	483,906	44.7%	163,025	52,014	268,867
30~34年	45,560	4.2%	10,322	9,107	26,131
25~29年	13,945	1.3%	0	3,572	10,373
20~24年	64,091	5.9%	0	22,609	41,482
15~19年	42,843	4.0%	0	0	42,843
10~14年	59,814	5.5%	0	0	59,814
5~9年	36,949	3.4%	0	0	36,949
0~4年	109,789	10.2%	0	0	109,789
計	1,081,374	100%	255,699	148,278	677,397



縦軸：保有面積（単位：㎡）

図 1-3 筑波大学の経過年数別保有面積

表 1-5 国立大学法人等の基幹設備の経過年数

経過年数	特別高圧 受変電	自家発電	中央監視 制御	受水槽	排水処理	冷房熱源	暖房熱源
30年以上	34	77	12	708	226	118	85
25~29年	9	26	6	244	30	73	49
20~24年	25	74	26	324	48	164	101
15~19年	56	101	48	419	47	236	95
10~14年	47	133	71	418	49	297	105
5~9年	24	114	63	289	43	346	184
0~4年	29	2408	73	369	35	348	154
計	224	933	299	2,771	478	1,582	773

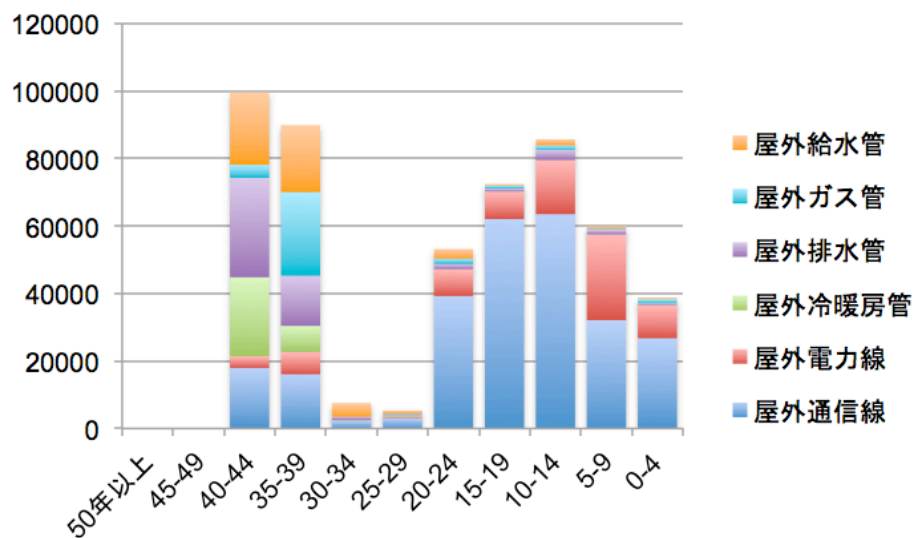
表 1-6 筑波大学の基幹設備の経過年数

経過年数	特別高圧 受変電	自家発電	中央監視 制御	受水槽	排水処理	冷房熱源	暖房熱源
30年以上	0	0	1	29		20	1
25~29年	0	0	0	6		0	1
20~24年	0	0	0	10		2	1
15~19年	0	0	0	26		6	2
10~14年	0	0	0	27		4	7
5~9年	2	0	0	10		13	5
0~4年	2	11	4	25		1	1
計	4	11	5	133	40	46	18

表 1-7 筑波大学のライフラインの経過年数

経過年数	屋外 通信線	屋外 電力線	屋外 冷暖房管	屋外 排水管	屋外 ガス管	屋外 給水管
50年以上	0	0	0	0	0	0
45~49年	0	0	0	0	0	0
40~44年	17,960	3,470	23,419	29,486	3,860	21,400
35~39年	16,100	6,628	7,712	14,870	24,804	19,765
30~34年	2,390	0	137	1,002	0	4,023
25~29年	3,170	384	384	417	63	908
20~24年	39,275	7,971	0	1,544	1,592	2,809
15~19年	62,210	8,123	0	891	966	316
10~14年	63,541	16,050	0	3,045	1,267	1,776
5~9年	32,124	25,413	0	1,357	290	652
0~4年	26,765	9,866	0	485	1,256	211
計	263,435	77,905	31,652	53,097	34,098	51,860

単位：m



縦軸：延べ長さ（単位：m）

図 1-4 筑波大学ライフラインの経過年数別長さ

1.5 BIM (Building Information Modeling) について

BIM という言葉は元々学術的、技術的な専門用語ではなく、パスワード (Buzzword) として用いられてきた。そのため、記事や出版物によってこの言葉が指す像が異なることが多かった。しかし、大西らや国土交通省による明確な用語の定義等により、その内容が整理されてきている。

本論文で用いる BIM という言葉は、コンピュータ上に 3D モデルとそれに加えて建物の部位等の属性情報を併せた建築情報モデルを構築することを指すものとする。また、技術的側面を主に指すものとし、この解釈に基づいて論文を記述した。建築情報モデルの作成とその活用のための運用プロセスと定義するものもあるが本論文ではこの内容では使用しない。既存建築ストックを扱うにあたり、これらの設計図書を BIM データ化するプロセスを想定していること、これらの設計・建設に関する情報は施設管理者が所有・管理していること、BIM データの構築・利用の判断は施設管理者側に依存することを考慮し、定義の範囲を定めた。また、BIM モデルと BIM ソフトウェア等の用語も使用する。また、用語の利用範囲を定めるにあたり大西らや国土交通省による定義を参考とした。

参考とした定義に関して、大西ら⁷⁾は BIM に関する用語を次のように定義している。

BIM (Building Information Modeling)

建物を構成する各部材の立体形状モデルに、部材に関する多種多様な情報（機能種別、寸法・容積、建物での使用位置、素材とその物性値、構造属性、コスト、製造情報、修繕情報など）を関連づけたデータベース、またはそれらを入力する一連の過程を指す。建物のライフサイクル全般で扱われる情報を、電子的に作成し、保持し、相互運用していくという情報利活用に関する概念である。

BIM 対応 CAD (3DCAD)

BIM に対応した CAD の主な特徴として、以下の 3 点などが挙げられる。また、透視図作成などに用いられる立体形状を主に扱う従来の CAD (汎用 3DCAD) とは区別して用いる。

- ① 各建築部材の立体形状モデルに様々な部材属性情報を持たせることができるオブジェクト指向である
- ② 部材形状や部材相互の位置関係が幾何学的ルールで定義されておりパラメトリックな編集が可能である
- ③ 建築部材の図面表記と立体形状が連動しているため各種図面と透視図が常に整合している

国土交通省官庁営繕部の BIM ガイドライン⁸⁾によると BIM を含む用語は次のように定義される。なお、BIM は「Building Information Modeling」の略称以外に、「Building Information Model」の略称に用いられていることも注記している。そのため、「Building Information Model」と「BIM (Building Information Modeling)」とを区別するために「BIM モデル」を定義している。また、建物情報の活用によるビジネスプロセスの体制、管理として「Building Information Management」の略称とされている場合も指摘しており、「Building Information Modeling」は建物情報モデルの構築、活用のためのビジネスプロセスの意味で使用される場合があることにも触れている。本論文中で実施したヒアリング調査の中で、一部の回答者からは Building Information Management の内容で BIM を使用する

のが見られた。

BIM (Building Information Modeling)

コンピュータ上に作成した 3 次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等、建築物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルを構築することをいう。

BIM モデル

コンピュータ上に作成した 3 次元の形状情報に加え、室等の名称・面積、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等の建築物の属性情報を併せ持つ建物情報モデルをいう。

BIM ソフトウェア

意匠、構造、電気設備又は機械設備の分野の BIM モデルを作成するためのソフトウェアをいう。

1.6 論文の構成

本論文の構成を図 1-5 に示す。本論文は上記の背景と目的を踏まえて全 5 章から構成される。第 1 章は序論、第 2 章は設計図書の BIM データ化、第 3 章は BIM データから従来の設計図書への変換、第 4 章は BIM データを用いた施設管理の効率化、第 5 章は結論である。本研究における作業は二つの段階に区別できる。一つは、既存設計図書の BIM データ化についてである。もう一つは、BIM データ化された設計図書の利用についてである。

第 1 章では、先ほど記した研究の背景と目的に加え、既往研究のレビューを行い、本研究の位置づけの整理を行った。また、ケーススタディの対象地の位置づけを明確にし、本研究で用いる用語の整理を行った。また、論文の構成について述べる。

第 2 章では、国立大学施設の設計図書を BIM データ化する手法についての検討を行った。BIM データ化作業を行うに先立って、筑波キャンパス内の各施設の性能を比較し、対象とする施設の位置づけを整理した。そして、施設の建設時期で BIM データ化のシナリオを区別し、建設当時の設計図書が紙媒体のケース、そして現行の建設工事における BIM データの利用とで分けてその方法を検討した。前者については、対象の施設とその設計図書の把握をし、BIM データ化の手順を整理しながら BIM データを構築した。また、BIM データ構築と並行して、参考とした紙媒体の設計図書に対する分析を行った。後者については、BIM に関連して関係省庁が掲げている技術的基準やプレスリリース等の確認を行った。また、筑波大学を対象とし、新規建設プロジェクトにおける BIM データ利用の把握を行った。

第 3 章では、BIM データから従来の形式による設計図書への変換について検討した。既存の形式による図面の一つとして系統図の変換手法を開発した。最初に、建物のライフサイクルにおける各ステージの設計図書の利用状況を把握するために、大学や地方自治体、プラント建設会社へヒアリングを実施した。そして、設計図書の詳細な利用状況や課題を把握するために筑波大学施設部へのヒアリングを実施した。BIM モデルと伝統的な設計図書との橋渡しをする技術の整理を行い、各種図面を生成する研究の整理を行った。BIM データから従来の形式による系統図を生成するプロセスを開発するにあたり、5C 棟の工事を題材にし系統図中の表現の整理を行った。その整理から抽出したデザインに関するルールを反映させた系統図生成のプロセスを構築した。また、複数施設の MEP 要素が連続するケースについても

プロセスを構築した。生成された系統図については、筑波大学施設部へヒアリングを実施することからその評価を行った。

第4章では、蓄積された修繕記録を BIM データに関連付けることから、建築構成要素の更新間隔を予測するシステムを構築した。最初に、既存建物における修繕業務とこれに使用される修繕記録に関わる課題を把握するために筑波大学施設部とその業務委託先を対象にヒアリングを実施した。ヒアリングから抽出した課題を克服するためにトラブル間隔の重回帰分析を設定した。トラブル間隔とは、修繕記録から拾い上げる、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。筑波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。対象とする修繕記録を収集しこれらの情報をスプレッドシートへ入力した。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した。これらの作業結果を踏まえ、分析に用いる相談内容や建物データを選定した。目的変数は修繕記録から算出し、説明変数は BIM データを含めた資料から取得した。BIM データは既存施設の設計図書から変換したものをを用いている。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。段階的に作業を行ったことから、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場合分けをした。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った。

第5章では、第2章から第4章までの研究成果をもとに、本論文における結論を述べている。また、今後の展望について触れている。

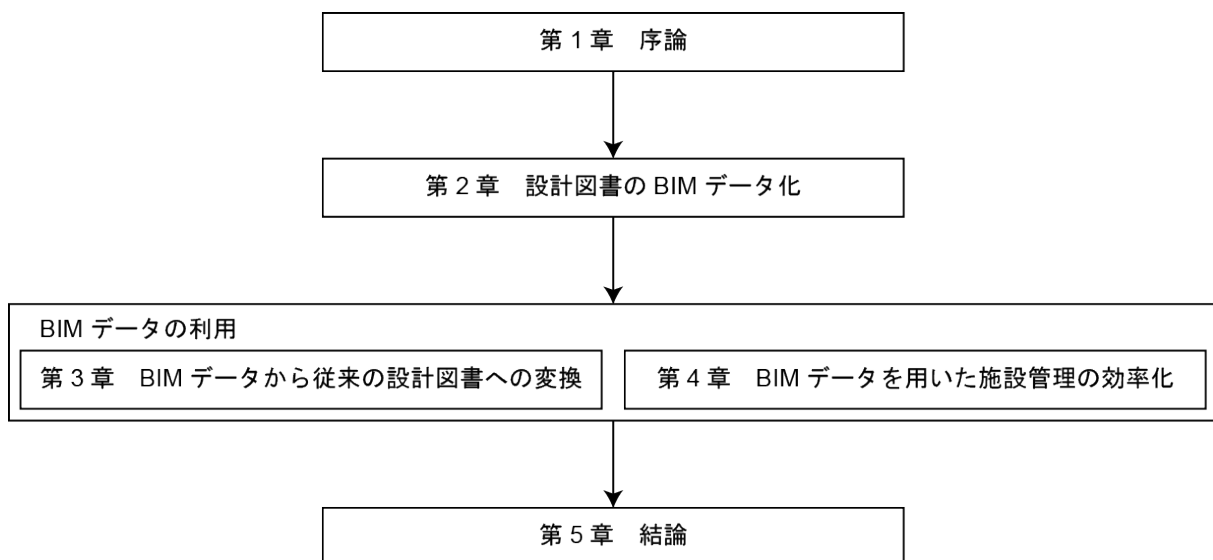


図 1-5 論文の構成

第2章 設計図書の BIM データ化

本章では、国立大学施設の設計図書を BIM データ化する手法についての検討を行った。「インフラ長寿命化基本計画」では、その情報基盤の活用と整備において、3D 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するシステムへの移行（CIM 等の導入）に言及している。既存施設においては、これらの設計図書を BIM データ化することによって移行となることから、この手順の確立を目指し作業プロセスの整理を行った。本研究では、既存施設の設計・建設情報の収録を紙媒体から BIM へと移行し、以後はペーパーレスで、維持管理に関わる情報の取得を全て BIM モデルから行う状況を想定している。

図 2-1 に第 2 章における作業の流れを示す。BIM データ化作業を行うに先立って、筑波キャンパス内の各施設の性能を建築年、延べ床面積、改修履歴の 3 項目より表現し、対象とする施設の位置づけを整理した。そして、施設の建設時期で BIM データ化のシナリオを区別し、建設当時の設計図書が紙媒体のケース、そして現行の建設工事における BIM データの利用とで分けてその方法を検討した。

前者については、対象の施設とその設計図書の把握をした上で、優先する工事の順番を決定し、参考図書の順番を決定するなど BIM データ化の手順を整理し、BIM データを構築した。また、BIM データの構築と並行して、参考とした紙媒体の設計図書に対する分析を行った。BIM データ化に伴う課題、紙媒体から BIM に移行することによってどのような変化が捉えられるかを考察した。後者については、BIM に関連して関係省庁が掲げている技術的基準やプレスリリース等の確認を行った。また、筑波大学を対象とし、新規建設プロジェクトにおける BIM データ利用の把握を行った。これら調査から得られた結果から、BIM データを整備するシナリオや課題について考察した。

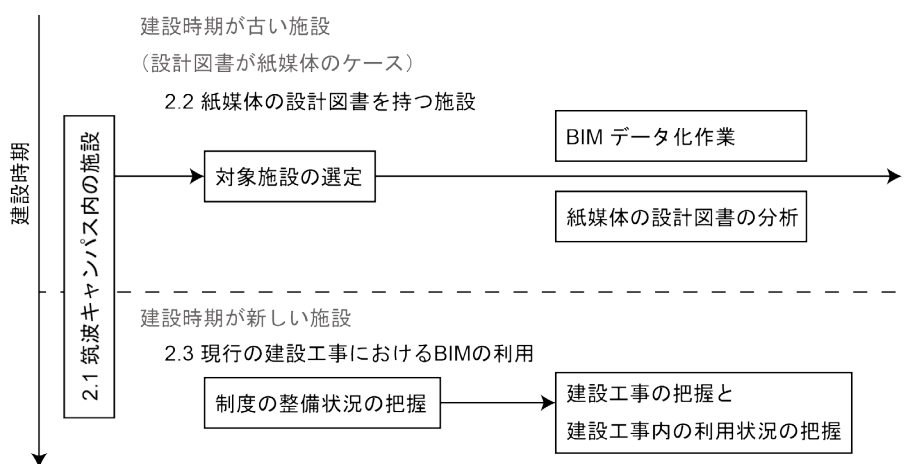


図 2-1 第 2 章の作業の流れ

2.1 筑波キャンパス内の施設

BIM データ化を行うにあたって、その対象として選定した 5C 棟、また第 4 章において BIM データとして扱う対象に選定した医学系学系棟、工学系学系 F 棟、総合研究棟 B、総合研究棟 D について、筑波キャンパス内施設における位置づけを整理した。建築年、延べ床面積、改修履歴の 3 項目から特徴を整理した。本節の図表を作成するにあたっては、筑波大学施設部の資料^{注 2-1)}を使用した。

2.1.1 筑波キャンパスの概要

各施設の特徴について触れる前に、まず筑波キャンパスの概要を述べる。表 2-1 は筑波キャンパスの概要をまとめたものである。キャンパスの形状は図 2-2 から図 2-4 に記載される通りである。筑波キャンパス内は北地区と中地区、南地区、西地区、春日地区の 5 つの地区で区別される。5C 棟と総合研究棟 D は南地区、医学系学系棟は西地区、工学系学系 F 棟と総合研究棟 B は中地区に位置する。筑波大学発足以降、現在に至るまでに建物は 401 棟存在する^{注 2-2)}。また、筑波キャンパスの全体にわたって共同溝が埋設され、水道やガス、電気配線が敷設されている。

筑波キャンパス内共同溝の概要を表 2-2 の通りである。キャンパス中西部に位置する中央機械室を起点にして南北に約 4km の幹線が伸び、そこから各地区に枝分かれしている。共同溝の中には水道やガス、電気、通信等の配管・配線が収納されている。

表 2-1 筑波キャンパスの概要

項目	内容
土地	2,454,194m ²
敷地規模	南北 4km 東西 0.8km
建物数	401 棟
建物保有面積	849,880 m ²

注2-1) 筑波大学施設部で作成している「国立大学法人等施設実態報告書」向け提出用データを使用した。

注2-2) 筑波大学施設部で作成している「国立大学法人等施設実態報告書」向け提出用データから確認した。

表 2-2 筑波キャンパス共同溝の概要

項目		内容
寸法		2m×2m～8.5m×3m (内径)
延べ長さ		約 14km
内部設備	配管	市水, 中水, 消火栓用, 都市ガス, ヘリウム回収, 高温水 (往・還), 冷水 (往・還), 蒸気・還水
	電線	電力 (6kv), 電話, 放送, 情報ラン, 防災, 中央監視
	その他	照明 (スイッチは 3 回路型), コンセント, ガス漏れ警報器, 案内板

2.1.2 筑波キャンパス内施設の性能

筑波キャンパス内施設の性能に関して、建築年と延べ床面積、改修履歴の 3 点から整理した。表 2-3 と表 2-4、表 2-5 では、本論文で使用する 5C 棟と医学系学系棟、工学系学系棟、総合研究棟 B、総合研究棟 D がどの欄に含まれるかを記載している。

まず建築年についてである。表 2-3 は筑波キャンパス内施設の建築年による分布を示したものである。図 2-2 は表 2-3 の分布を GIS にて表現したものである。筑波キャンパス内施設の半数以上が 1970 年代に建設され、40 年以上経過している。これらは耐震補強の観点から更新が必要である。1980 年までの施設には 5C 棟と医学系学系棟が含まれる。

延べ床面積についてである。表 2-4 は筑波キャンパス内施設の延べ床面積による分布を示したものである。図 2-3 は表 2-4 の分布を GIS にて表現したものである。延べ床面積が大きくなるほ施設の数が増加している。また、各地区において建物が密集している箇所の中心部に位置しているものが多い。本論文で使用する 5 棟は全て延べ床面積が大きい。

改修履歴についてである。表 2-5 に筑波キャンパス内施設の建築年による分布を示したものである。図 2-4 は表 2-5 の分布を GIS にて表現したものである。改修履歴の区別に関して、改修済 (All) は耐震改修と外部改修と内部改修の全ての工事が完了したもの、一部改修済 (Partly) は 3 種類の工事うち 1 種類以上が完了したもの、未改修 (None) はいずれも完了していないものを指す。全て完了したものは 33 件と 8%程度に留まる。一部改修済は 56 件であり、これを足し合わせても 22%である。5C 棟と医学系学系棟は改修済であり、工学系学系 F 棟は一部改修済みである。新しい建物に属する総合研究棟 B と総合研究棟 D は改修工事はなされていない。

5C 棟と医学系学系棟は古い建物に属し、その建設時期からは紙媒体による設計図書である。また、数少ない改修済の施設であり、新営工事と大規模改修工事のそれぞれの設計図書が使用可能である。改修済みでない多くの古い施設については、基本的には新営工事の設計図書のみから BIM モデルを再現することになる。

表 2-3 筑波キャンパス内施設の建築年による分布

建築年	棟数	使用建物
-1980	230	5C 棟, 医学系学系棟
1981-1990	57	-
1991-2000	32	工学系学系 F 棟
2001-2010	42	総合研究棟 B, 総合研究棟 D
2011-	40	-

表 2-4 筑波キャンパス内施設の延べ床面積による分布

延べ床面積	棟数	使用建物
- 1,000	201	-
1,001- 2,000	78	-
2,001- 3,000	43	-
3,001- 4,000	24	-
4,001- 5,000	16	-
5,001- 6,000	14	-
6,001- 7,000	5	-
7,001- 8,000	3	-
8,001- 9,000	3	-
9,001-10,000	2	-
10,001-	12	5C 棟, 医学系学系棟, 工学系学系 F 棟, 総合研究棟 B, 総合研究棟 D

表 2-5 筑波キャンパス内施設の改修履歴による分布

改修履歴	棟数	使用建物
未改修	313	総合研究棟 B, 総合研究棟 D
一部改修済	55	工学系学系 F 棟
改修済	33	5C 棟, 医学系学系棟



図 2-2 筑波キャンパス内施設の建築年

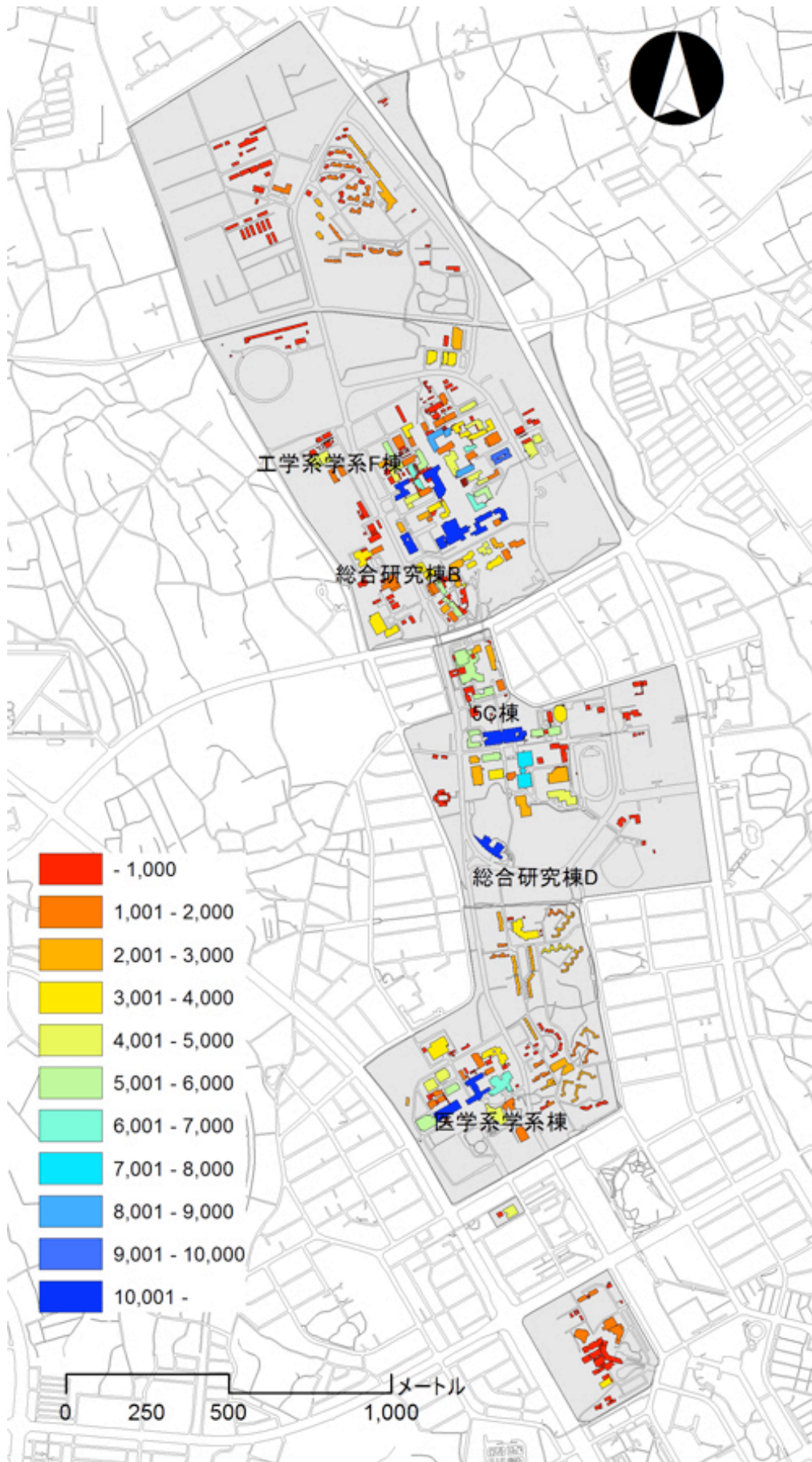


図 2-3 筑波キャンパス内施設の延べ床面積

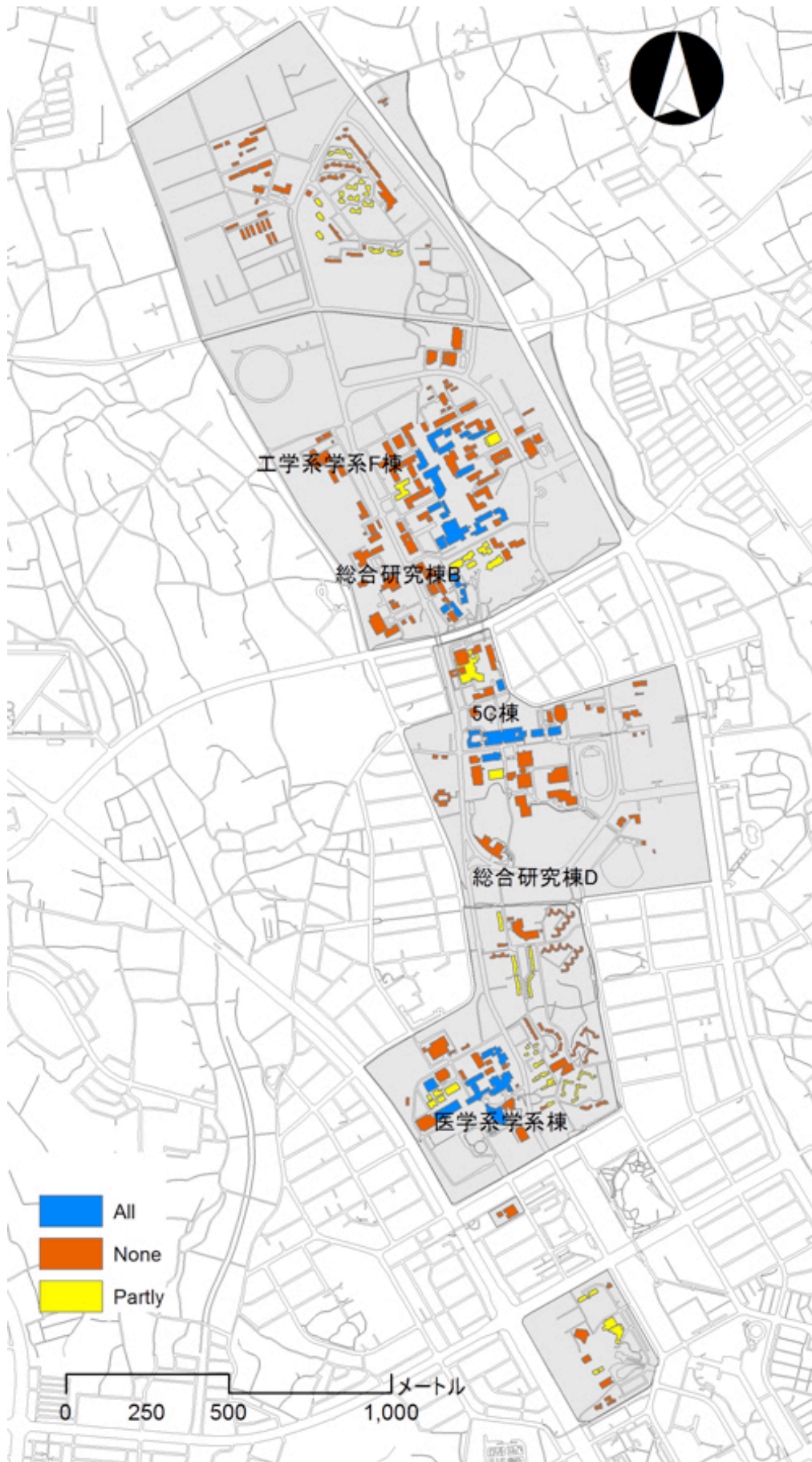


図 2-4 筑波キャンパス内施設の改修履歴

2.2 紙媒体の設計図書を持つ施設

紙媒体の設計図書を持つ施設において、これらから BIM モデルを構築するケースについてである。本節のケーススタディの対象として、筑波キャンパス南地区に位置する 5C 棟、そして 5C 棟周辺の共同溝を扱う。BIM データ化するに使用する建築構成要素のクラスはソフトウェアに標準搭載されるもののみとした。BIM データ化作業を通じて、工事の参考とする順番や要素の配置する順番の整理を行った。また、紙媒体における表現を考察することから、紙媒体から BIM データへの移行に伴う変化や課題を整理した。

2.2.1 対象の施設とその設計図書

ケーススタディの対象として、建設から期間が経ち更新時期を迎えていること、建物内に多くの機能が含まれるという条件を考慮し 5C 棟を選択した。5C 棟の概要は表 2-6 の通りである。また、写真 2-1 は 5C 棟の南側からの外観を写したものである。槇文彦氏設計による 5C 棟は筑波大学発足時から存在し、建築後 40 年程経過している。改修履歴があり、2006 年から 2008 年までには耐震補強工事が実施され、これと同時期に空調と衛生・電気の建物内外に渡る大規模改修工事がされた。また、大学施設の中では大講義室から研究個室など多種類の部屋を有するという特徴が見られる。前節の作業からは、建築年が古く、延べ床面積が大きく、更新時期を迎えている施設群に含まれるが、数少ない改修済みという性格が捉えられる。主要な工事として、新営工事と大規模改修工事が挙げられる。

第 3 章では、5C 棟周辺の共同溝の BIM データを使用した。5C 棟周辺における共同溝の配置は図 2-5 の通りである。5C 棟においてはその地下に共同溝が入り込む構造となっている。

BIM データ化に使用した 5C 棟の設計図書の一覧を表 2-7 に示す。この中で記号がついているものは第 3 節における分析に使用したものである。なお、5C 棟を含め、筑波大学の新営建設当時の設計図書のほとんどは紙媒体であり、原図または製本の形式にて保存されていた。原図の多くは A1 サイズのトレーシングペーパーに記載されている。一方で、2006 年と 2007 年における大規模改修工事では、その設計図書は紙媒体だけでなく電子媒体による保存も見られた。電子媒体は PDF や CAD 形式で保存されている。

共同溝の設計図書の一覧を表 2-8 に示す。共同溝の躯体の扱いは土木工事である。一方、設備敷設物の工事はそれぞれ機械、電気と、建築による分類と一致している。主要な工事は新営工事のみであり、その設計図書は全てが紙媒体であり、原図または製本の形式にて保存されていた。

BIM データ化の作業を進める下準備として、紙媒体の設計図書はスキャナで取り込むことによって画像データとした。変換作業において、これらを参照し、またソフトウェア内に取り込むことによって参考とした。

表 2-6 5C 棟の概要

項目	内容
位置	筑波キャンパス南地区体芸エリア
建築年	1973 年
構造	S 造（一部 SRC 造）
階	地下 1 階～地上 6 階
延べ床面積	18,027 m ²



写真 2-1 5C 棟の外観



図 2-5 5C 棟周辺の共同溝の配置

表 2-7 5C の主要工事における設計図書の一覧

記号	工事名称	専門	工事	年	数量	内訳
A	東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他工事	建築	新営	1973 1期	55	意匠 36、構造 19
B	東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他工事	建築	新営	1974 2期	119	意匠 84、構造 35
C	東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他機械設備工事	機械	新営	1973 1期	49	空調 31、衛生 17、EV1
D	筑波大学体育専門学群棟新営機械設備工事	機械	新営	1973 2期	11	空調 5、衛生 6
-	体育専門学群棟新営その他電気工事	電気	新営	1973 1期	67	(省略)
-	体育専門学群棟新営電気工事（Ⅱ期）	電気	新営	1974 2期	17	(省略)
E-1	筑波大学体芸中央棟改修工事	建築	改修	2006 1期	106	意匠 73、構造 33
E-2	筑波大学体芸中央棟改修工事（設計変更分・設計変更分2）	建築	改修	2006 1期	45	意匠 44、構造 1
-	体芸中央棟改修Ⅱ期工事	建築	改修	2006 2期	79	共通 5、意匠 49、構造 25
-	体芸中央棟改修機械設備工事	機械	改修	2006 1期	87	共通 6、空調 63、衛生 17
-	体芸中央棟改修Ⅱ期機械設備工事	機械	改修	2007 2期	94	共通 6、空調 69、衛生 19
-	体芸中央棟改修電気設備工事・設計変更含む	電気	改修	2006 1期	71	(省略)
-	体芸中央棟改修Ⅱ期電気設備工事	電気	改修	2007 2期	68	(省略)

注) 建築は発注図、機械と電気は完成図を収集した。

表 2-8 共同溝の設計図書の一覧

工事名称	専門	工事	種類	年度	数量
筑波大学基幹整備工事（共同溝）	土木	新営	完成図	-	54
筑波大学基幹整備工事（その1）機械設備工事	機械	新営	完成図	1973	6
筑波大学基幹整備工事そのⅢ（共同溝内配管その他）工事	機械	新営	完成図	1975	74
筑波大学基幹整備工事（その1）電気工事	電気	新営	完成図	1974	14
筑波大学基幹整備工事そのⅢ（共同溝内配線外灯その他）工事	電気	新営	完成図	1974	27
筑波大学基幹整備工事その18（南地区共同溝内配線）・外灯工事	電気	新営	完成図	1977	24

施設部署の分担

筑波大学施設部では、専門による分担が、建築・土木と機械、電気の3種類に分けられている。よって、設計図書も専門によって分けられており、その上で、地区別、建物別に分類され管理されている。なお、建築・土木は意匠図と構造図に関する内容と対応し、機械は機械設備図の空調・衛生と対応し、電気は機械設備図の電気と対応している。

設計図書の媒体

以前に実施した国立大学の施設部署へのアンケート調査では、ほとんどの国立大学において、施設の設計図書は紙媒体による原図・製本であることがわかった³⁹⁾。近年の建設工事については、紙媒体だけでなく電子媒体による納品も見られ、PDFデータまたはCADデータの蓄積がされている。そのため、施設管理業務で使用される媒体では、紙媒体だけでなくPDFデータやCADデータの利用も見られる。また、筑波大学では紙媒体の設計図書をスキャナに取り込みPDFデータにする取り組みも見られた。

2.2.2 BIM データ化の作業

紙媒体による設計図書のBIMデータ化には、BIMに対応するソフトウェア（以降、BIMソフトウェア）^{注2-3)}を使用した。作図においては、用いたBIMソフトウェアが有する建築構成要素と設計図書中の記載内容との対応を見て三つの機能^{注2-4)}を使い分けている。要素に用いるクラスはソフトウェアに予め登録されているものを主に利用した。また、BIMデータ化作業と並行して次節に述べる紙媒体による設計図書の分析を行った。

建築工事については発注図にあたる設計図書を参考とした。機械設備工事と電気設備工事は完成図にあたる図書を参考とした。

作業後のBIMデータだが、表2-7で記号を振った設計図書に関連して、写真2-2に示すBIMモデルは主にA・B、写真2-3に示すBIMモデルはC・Dの空調に関する要素を配置したものである。各工事に記載される要素を配置した時点において、ファイルのデータ容量は合わせて約25MBであった^{注2-5)}。BIMデータ化作業に用いたラップトップ^{注2-6)}では操作に負担が掛かるようなデータ量ではなかった。しかし、他工事の建築要素の追加、工事に固有なクラスの定義をすることにより、100MBから1GBのオーダーでのファイル容量の増加が予想される。

5C棟

5C棟のBIMデータ化を通じて、図2-6に示すような工事の参考にする順番と、図2-7に示すような設計図書内の図面の参考の順番を整理した。

図2-6の作成にあたって、参考とする工事の順番を検討するに表2-7中のそれぞれの設計図書の内容を確認した。建築の大規模改修工事の設計図書を見ると、A・Bのような建築の新営工事に記される躯体が基礎となり、Eのような改修工事の設計図書が作成されていることが読み取れた。大規模改修工事などの建物全体をカバーしている工事が存在する場合、それだけを用いて建物を再現することが可能であると捉えた。また、現状に一番近い状態を表

注2-3) Autodesk Revit 2012 を用いた。

注2-4) Autodesk Revit 2012 は3種類のソフトウェア（Architecture, Structure, MEP）から構成される。Architectureでは建築意匠に関係する要素を配置・編集することができ、Structureでは構造に関する要素を配置・編集することができ、MEPでは機械設備に関する要素を配置・編集することができる。

注2-5) 表記したデータ量を持つBIMモデル内の要素だが、A・Bからは通り芯、内壁、外壁、床、天井、建具、家具、屋根、柱、梁、基礎を配置した。C・Dからはダクトとその継手、配管とその継手、機械設備を配置した。

注2-6) MacBook Air の Windows 環境（Boot Camp, Windows 7 Professional）を使用。OS：MacOS X 10.9, プロセッサ：1.7 GHz Intel Core i7, メモリ：8 GB 1600 MHz DDR3, グラフィックス：Intel HD Graphics 5000 1536 MB。

現しているのは、直近に行われた工事の設計図書となる。よって、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することとした。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。ここまでが大規模改修工事の履歴があるケースについてである。筑波キャンパス内施設の多くは改修歴がないものであるため、基本的には新営工事の設計図書のみから BIM データを構築することになる。専門に関して、C・D のような機械・電気設備工事の設計図書は A・B のような建物躯体を基礎として作成されていることから、その順番については、建築工事の後に機械・電気設備工事を参考とすることとした。

図 2-7 の作成にあたって、一つの工事における図面や仕様書の内容を確認した。縮尺が小さく、抽象度の高い図面は建物の全体を表現しており、縮尺が大きく、抽象度の低い図面は建物の一部を詳しく表現している。建築工事の設計図書内の順番としては、最初に概略を示す平面図・立面図・断面図・天井伏図を参考とすることとした。また、作図方法としてソフトウェアにあらかじめ登録されるクラスを使用していることから、平面図を主として用いた。そして、配置した要素に対して都度、属性情報を追加入力する順番とした。また、工事固有のクラスは、建具表や建具姿図等を参考とすることにより作成し、作成できたら既に配置した要素と置き換えることとした。

これらの手順を経て作成され、レンダリング処理がされた 5C 棟の BIM モデルは写真 2-2 と写真 2-3 の通りである。写真 2-2 は建築に関する要素のみを表示したもの、写真 2-3 は機械設備 (MEP [Mechanical, electrical, and plumbing]^{注2-7} システム) に関する要素のみを表示したものである。

なお、5C 棟の BIM モデルは本章に加えて第 3 章と第 4 章でも使用する。

共同溝

共同溝の BIM データ化は 5C 棟における手順を参考とし、図 2-6 と図 2-7 に示す流れで進めた。なお、ファイルは 5C 棟と区別している。

最初に土木の工事に記載される情報を反映させ、その後に機械設備の情報を反映させた。5C 棟と比べると共同溝は規模・スケールが大きく、平面図には抽象化された表現にて設備要素が記述されていることから、これらの要素は躯体と図面記載を頼りにおおよその位置に配置した。また、5C 棟と共同溝とでファイルを区別して作図を行ったことから、共同溝のファイルにおいて 5C 棟との境界に位置する設備要素についてはその属性値 (コメント欄) に 5C 棟のファイル名と隣接する要素の ID を追記した。

変換後のレンダリング処理がされた共同溝・MEP システムの BIM モデルは写真 2-4 の通りである。写真 2-4 は共同溝に加え 5C 棟の BIM モデルも併せて表示しており、共同溝の MEP システムは左下に表示されているものが該当する。

なお、共同溝の BIM モデルは第 3 章で使用する。

注2-7) 機械・電気・配管をまとめたものを指す。本論文では、機械設備のシステムを指す場合にこの用語を用いる。

工事の順番

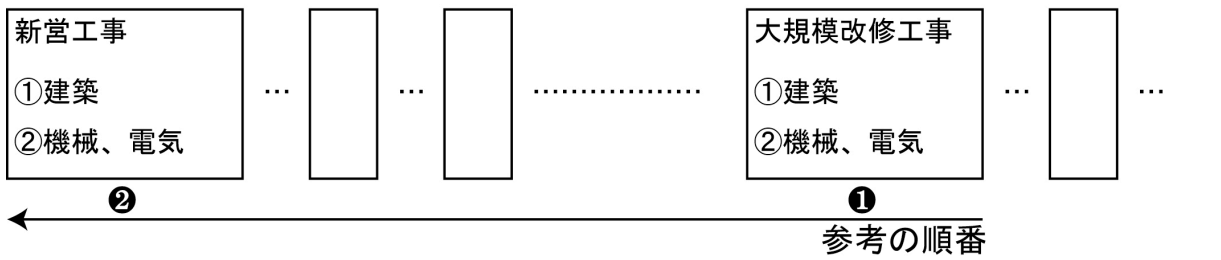


図 2-6 参考とする工事の順番

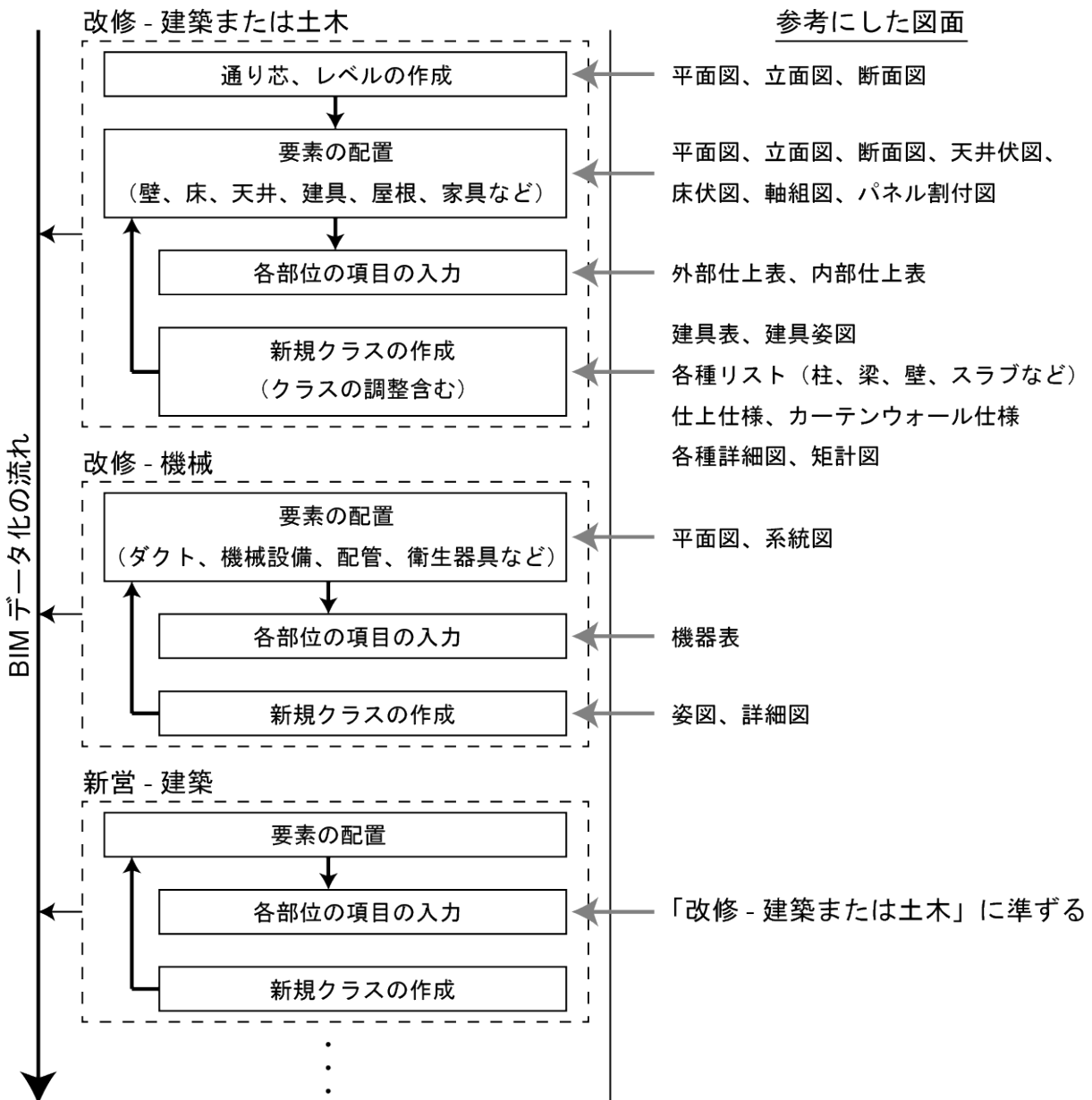


図 2-7 各工事の設計図書における参考の順番

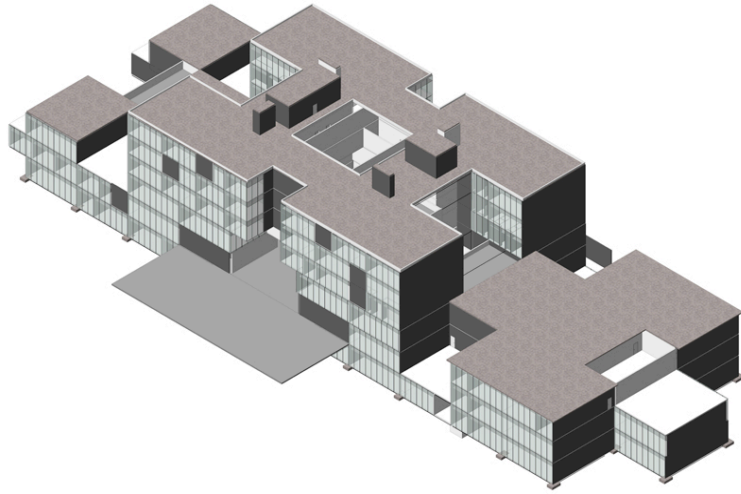


写真 2-2 BIM モデル：5C 棟／建築

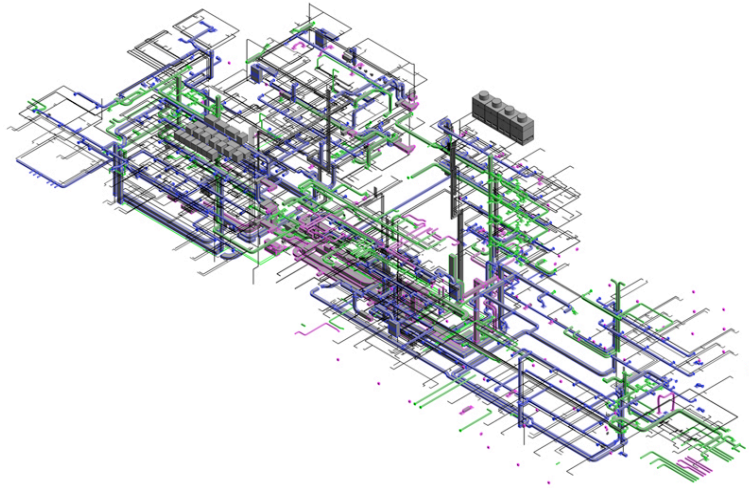


写真 2-3 BIM モデル：5C 棟／MEP システム

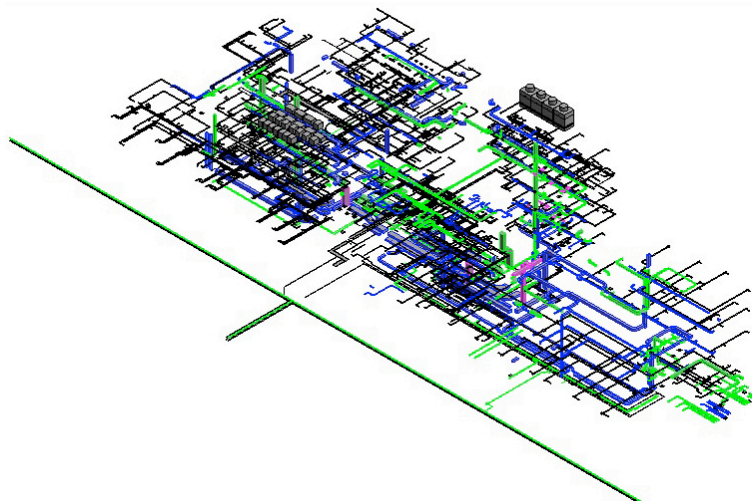


写真 2-4 BIM モデル：5C 棟と共同溝／MEP システム

2.2.3 紙媒体による設計図書の分析

設計図書の BIM データ化作業と並行して、紙媒体による設計図書の分析を実施し、設計情報の収録についての考察を行った。分析は意匠図と構造図、機械設備図（機械と電気）の 3 つに分けて行っている。

意匠図

意匠図に関しては、設計図書に掲載される工事固有のクラスについて検討した。

図 2-8 に掲載したのは使用ソフトウェアによるクラスの階層を表現したものである。BIM のデータ構造は建築要素を対象としたオブジェクト指向であり、予め準備されたクラスの建築要素しか配置できない。例として、柱は新たにクラスを作成しない限り、円柱 A や円柱 B、長方形の柱 A、長方形の柱 B の既に登録されているもの（タイプ）しか配置できない。なお、写真 2-2 に示される BIM モデルは BIM ソフトウェアにあらかじめ収録されるクラスのみを使用しており、オリジナルのクラスの代替として配置している。そのため、拡大表示するとオリジナルのデザインとの差異が際立ってくる。以上の BIM が持つデータ構造からは、BIM データ化をするにあたっては、あらかじめ準備されたクラスしか設計に利用できないことの影響を考慮する必要がある。BIM データの構築においては、これに並行して、設計図書から工事固有のクラスを準備し、既に配置されたオブジェクトを都度交換していくプロセスが想定される。

工事固有のクラスの再現に関して、各工事の設計図書からクラスの候補となるものを拾い上げ^{注 2-8}、かつ抽出元の資料の観察を行った。拾い上げた結果、各工事における新規クラスの候補は表 2-9 の通りとなった。工事どうしで比較すると、建築の新営工事 A・B が最も数量が多い。改修工事 E-1・E-2 では交換する建具や設備のみが拾い上げられるため、その数は少なかった。新営の機械設備工事 C・D では機器・設備のみが拾い上げられたため数は少なかった。拾い上げた候補についてその形状情報は、例えば、建具表ではサイズや形状を表すものが簡単な立面または寸法のみ記載である場合が多かった（写真 2-5 参照）。他の建築要素との関係が表現され、参考にできるものとして詳細図の活用が挙げられる。しかし、これらに記述される内容を以てしても断片的な情報しか記述されていなく、3D 形状については精度の高いものの再現は難しい。一方で、精度の高い BIM データを構築するには、クラスの事前定義が必要であり、設計図書から得られる情報からこれらを準備する手法を整理することが必要である。

意匠図においては、設計図書に記載される工事固有のクラスを準備しないと、精緻な BIM モデルを再現できない。また、紙媒体による設計図書を観察することからは、これらを再現するための形状情報に限りがあることを把握した。

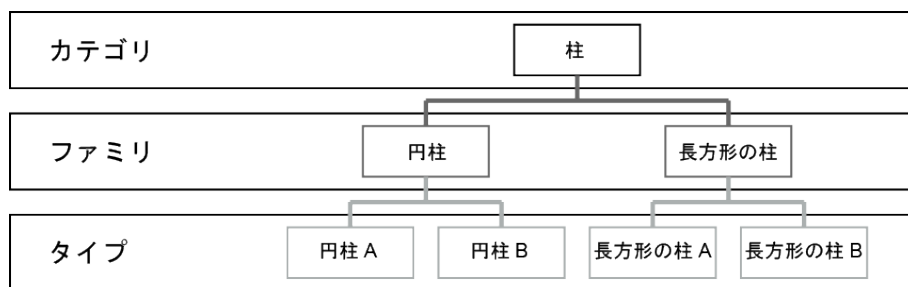


図 2-8 クラスの階層

注2-8) 表 2-9 に掲載するクラス候補の数え方について、仕上仕様と建具表などのリストからは掲載される記号の数を拾い上げた。また、一枚の図面に部材の仕様があり、かつ平面図などでサイズが記載されるものを拾い上げた。

表 2-9 新規クラスの候補

		数量	抽出元
A	315	意匠 109	仕上仕様、トップライト詳細図、雑詳細図、建具表、カーテンウォール仕様
		構造 206	断面リスト（柱、梁、基礎、スラブ、壁、階段、擁壁）
B	450	意匠 185	仕上仕様、トップライト詳細図、雑詳細図、建具表、パネル貼付図、カーテンウォール仕様
		構造 265	断面リスト（柱、梁、基礎、スラブ、壁、階段、擁壁）
C	9	空調 7	自動制御系装図、熱交換器、盤姿図
		衛生 1	高架水槽詳細図
		EV 1	EV 工事
D	0	空調 0	-
		衛生 0	-
E-1	71	意匠 66	雑詳細図、建具表
		構造 5	鉄骨ブレースリスト
E-2	25	意匠 20	建具表、詳細図
		構造 5	断面リスト（梁、スラブ）

階	種別	名称	断面寸法		高さ	構造	仕上	材料	仕様	備考	形状	材質	
			幅	奥行									
1	IA	廊下	900	2000	160	3	行旅ス 773ユ	スラブ OP	スチール OP			D	SS
1	IB	貴賓室 入口	2600	3600	160	1	高橋	ス	ス			D	全
1	IB	廊下 入口	1800	2000	160	1	高橋	ス	ス			D	全
1-4 6	IA	廊下 入口	900	2000	120	1	高橋	ス	ス				

※縮尺の記載なし

写真 2-5 建具表の一部を抜粋（資料 B）

構造図

構造図に関しても、設計図書に掲載される工事固有のクラスについて検討した。

構造に関する図面・仕様書を確認すると、伏図や軸組図で部材の配置が記述され、断面リスト等によって各部材の詳細が記述されていることが確認できる。クラス作成の手掛かりとしては写真 2-6 に示すような断面リスト等が確認できた。各種リストには形状表現が見られ、ほとんどの候補がこれらから数え上げられた。

構造設計では建物全体の形状から部材の詳細が決定されること、配筋や接合部の取り合い等は強度を満足するように設計されることが、その性格に挙げられる。各種リストに記載される内容を満足するクラスが準備でき、クラスに対応したオブジェクトが伏図や軸組図に記される通りの配置がなされていれば、構造体としての表現が実現する。一方、維持管理においては、現地調査から発見される劣化等の情報を該当するオブジェクトに記入することによ

って、構造体の各部の現状を表現することができる。以降の構造体の補強を検討するに、いかにして各部材に現状を反映させるかが重要となるだろう。

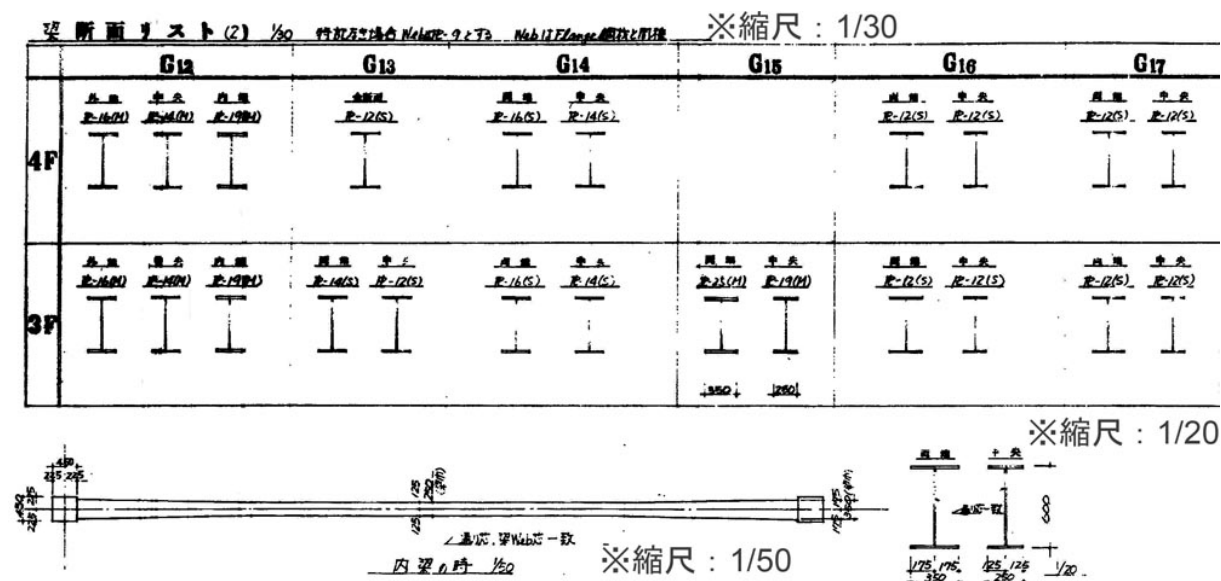


写真 2-6 梁断面リストの一部を抜粋（資料 B）

機械設備図

機械設備

機械設備図に関しては、各工事の設計図書から得られる高さ方向、水平方向の情報について検討した。

各工事の設計図書（資料 A, B, C, D, E-1, E-2）に対して、それぞれの図面・仕様書の表現が建物を水平方向に切断したものによるか（水平と表記）、高さ方向に切断したものによるか（高さで表記）、一枚に両方含むか（水平+高さで表記）、それ以外かで分類し^{注2-9)}、数値を表 2-10 に整理した。

A と B の建築の新営工事については[水平]の数に対し、[高さ]を含む図面が 50%以上見られる一方で、C と D の機械設備の新営工事については 25%以下であった。設計図書一式内の比率から機械設備工事の設計図書においては、[高さ]方向を記す図面が建築工事と比べて少ないことが捉えられた。

表 2-10 の結果を受けて、それぞれの工事における個々の図面を観察した。機械設備の空調に関して、[水平]の図面には平面図が挙げられるが、写真 2-7 に示されるものにはダクトの配置とサイズが記載されている。[高さ]の図面としては、写真 2-8 に示されるような系統図のみである。これは、フロアをまたがる空調のネットワークのつながりを表現することに重点が置かれた抽象度の高い図面であり、[高さ]の図面の抽象度が高いことが機械設備図の特徴である。

実際のダクト・配管は立体的に入り組んで配置されているため、これらがありのままで記述されると却ってネットワーク上のつながりが分かりにくくなる問題がある。よって、系統図はネットワークのつながりを単純化することによって、これを容易に把握することを可能にしている。一方で、この操作により、ダクト・配管の正確な配置が変更され、躯体の表現

注2-9) 表 2-10 での分類方法について、建物を水平方向または高さ方向で切断されており、かつ複数の部屋またはレベルが表示されている図面を数え上げている。仕上表や建具表など、どちらにも当てはまらないものはその他とした。

等も省略されることから、機械設備の要素の具体的な位置を把握することには向かない。

機械設備の衛生については写真 2-9 に示す平面図を見ると、空調と比べて表現が抽象化されており、配管のつながりを表現することに重きが置かれている。また、紙媒体による記載では建物の大きさが基準となるため、図面のスケールからも制約される。そのため、配管のサイズや位置まで記述することが困難になる。

以上から、[高さ]を記す図面が少なく、該当する図面は表現の抽象度が高いことが紙媒体における機械設備図の特徴である。

一方、BIM モデルは、写真 2-2 と写真 2-3 からわかることとして、建築と機械設備それぞれの要素がクラスによって区別されている。表示の有無をクラス毎に自由に変更でき、躯体と機械設備を併せて表示することも、個別に表示することも可能である。また、BIM モデルの一部分を拡大して表示することによって、各オブジェクトのサイズや位置を正確に確認することができる。

従来の設計図書では、ネットワークのつながりを表現するのに重点が置かれるため、高さ方向を表す図面の抽象度が高く、またこの図面の数量が少ないこと、建物のスケールに影響され要素の表現が抽象化されることから、これらのサイズや具体的位置の特定が難しかった。BIM モデルでは機械設備の要素も具体的なサイズと位置を持ち、建築のものと同じデータ内に統合されること、1/1 のスケールで記述される。これに移行することによって、データを見るだけで該当の要素の位置を特定するのが可能となるのが変化として捉えられる。

表 2-10 設計図書の切断面についての分類

		水平…①	高さ…②	水平+高さ…③	その他	(②+③)/①
A	意匠	13	6	4	13	77%
	構造	5	3	0	11	60%
B	意匠	30	15	9	30	80%
	構造	10	4	1	20	50%
C	空調	21	2	0	8	10%
	衛生	13	1	0	3	8%
	EV	0	0	0	1	-
D	空調	4	0	1	0	25%
	衛生	4	1	0	1	25%
E-1	意匠	43	8	1	21	21%
	構造	15	3	0	15	20%
E-2	意匠	22	5	2	15	32%
	構造	1	0	0	0	0%

※6階平面図

図面の縮尺：1/100

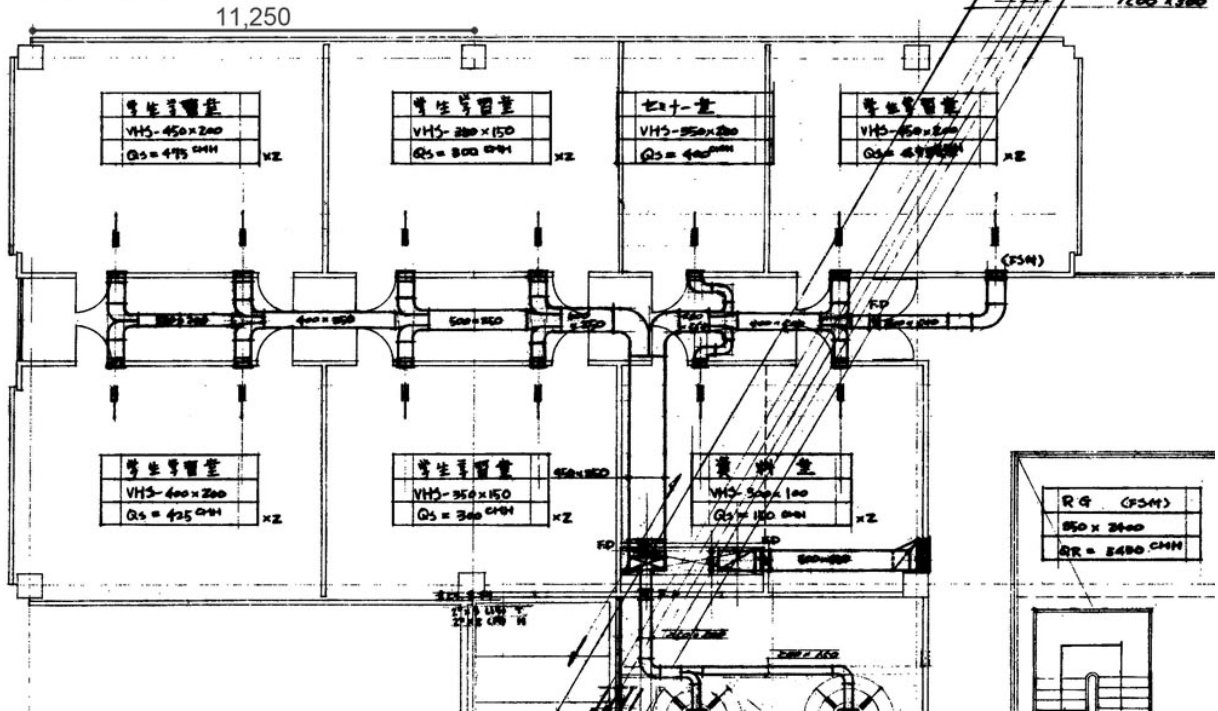


写真 2-7 空調の平面図の一部を抜粋 (資料 C)

※縮尺の記載なし

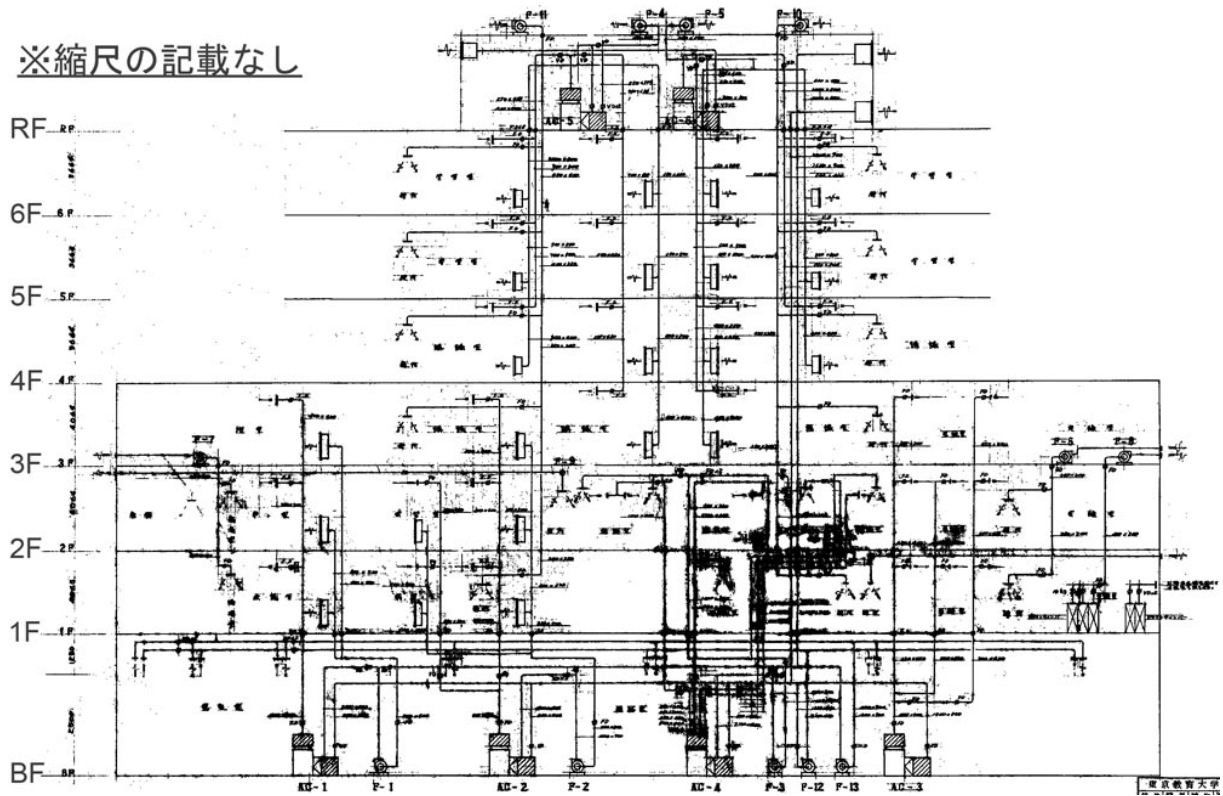


写真 2-8 空調の系統図 (資料 C)

※1階平面図

図面の縮尺・1/100

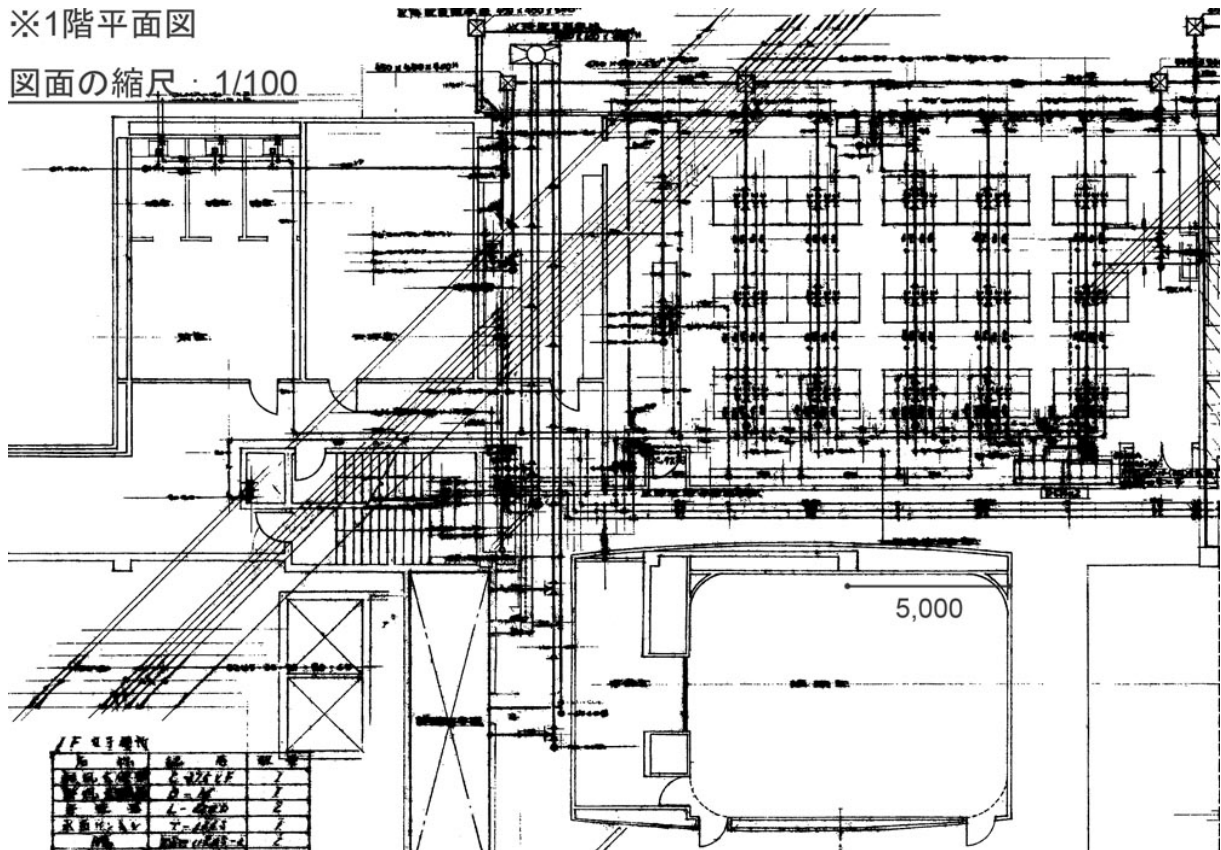


写真 2-9 衛生の平面図の一部を抜粋 (資料 C)

電気

電気も機械設備と同様のアプローチで、最初に各工事の設計図書から得られる高さ方向、水平方向の情報について検討した。

各工事の設計図書に対して、それぞれの図面・仕様書の表現が建物を水平方向に切断したものによるか、高さ方向に切断したものによるか、一枚に両方含むか、それ以外かで分類した。その結果、機械設備と同様に[高さ]方向を記す図面が建築と比べると少ない状況を捉えた。

電気については、幹線と配線、照明、放送設備等の分類によって図面の一式も区別されている。そして、それぞれのシステムを表現する平面図や系統図が作られる。また、経路部材によって記述の性格が異なる。次にそれぞれのシステムにおける個々の図面を観察した。

ケーブルラックや電線管は、平面図において抽象度が低い表現がされ、具体的な配置が記述されている。表現は空調ダクトのものに近い。例えば、電気（幹線）については写真 2-10 に示す平面図（新営工事, 1973 年 1 期より）を見ると、ケーブルラックの配置が正確に記述されていることが読み取れる。しかし、ケーブルラックは配線の束を収めるためのスペースであって、電気系統に直接関与するものではない。配線を収録する性質において、電線管も同様な性格を持つ。主要な配線の位置を特定するためのケーブルラックの配置であるため、これらの記述は空調ダクトのものとは異なり、電気システムのネットワークを直接把握するためのものではない。

配線は、平面図において抽象化された表現がされ、デフォルメされた配置表現がされている。表現は配管のものに近い。例えば、電気（照明）については写真 2-11 に示す平面図（新営工事, 1973 年 1 期より）を見ると、電気システムのネットワークとしての表現が強調されてお

り、その引き換えとして配線の配置表現がデフォルメされている。照明器具は配線とは異なり、正確な位置が記述されている。クラス毎に性格を整理すると、配置されている照明器具に対して、どのように配線がつながっているかを表現するために、配線の表現方法が抽象化されていることが読み取れる。

BIM ソフトウェアの作図画面を確認すると、配線については紙媒体のそれと同様な表現方法が用いられている。2D による平面図上で編集がされ、円弧の形状を持った線で照明器具どうしをつなぐ作図が行われる。また、配線はダクトや配管と比べて、その施工において定まった箇所に固定されるものではなく、ケーブルラックや電線管等の補助器具に依存することから、図面上にこれらの正確な位置を記述することの重要度は低い。

以上から、電気設備に関連する要素については機械設備と比べると、BIM による表現と紙媒体のものとの差異は小さい。紙媒体から BIM への移行により、特に機械設備のダクトや配管において、その形状や性格な配置を把握できることが特徴のある変化として捉えられる。

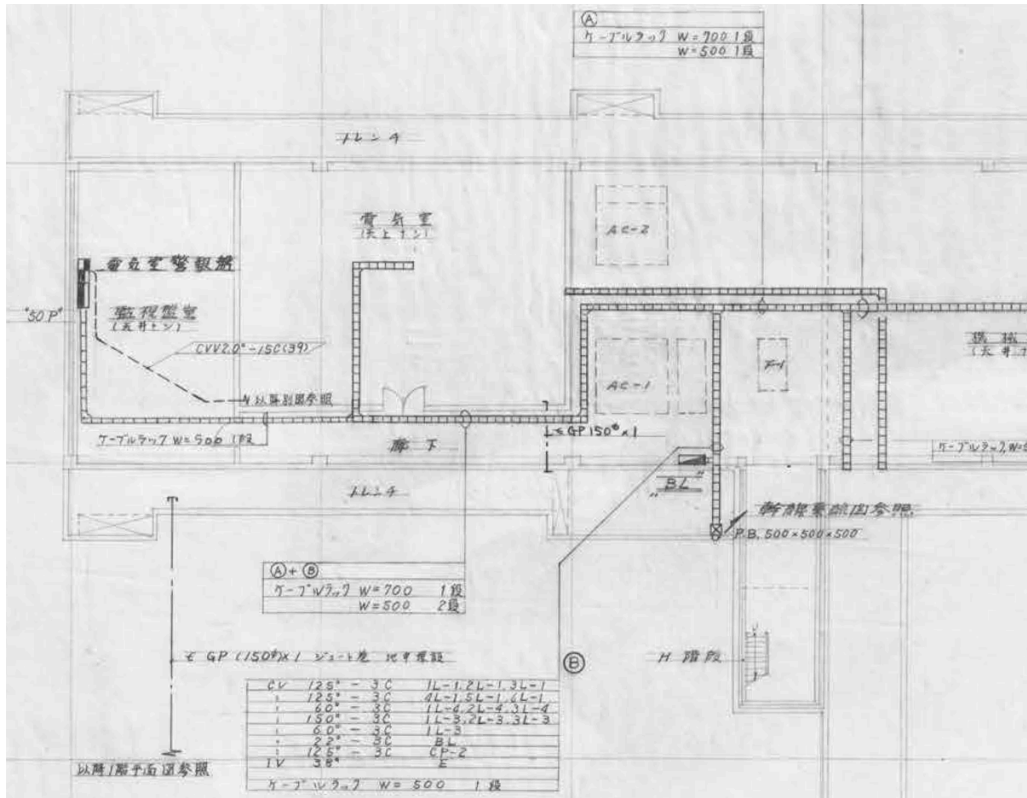


写真 2-10 電気（幹線）の平面図の一部を抜粋

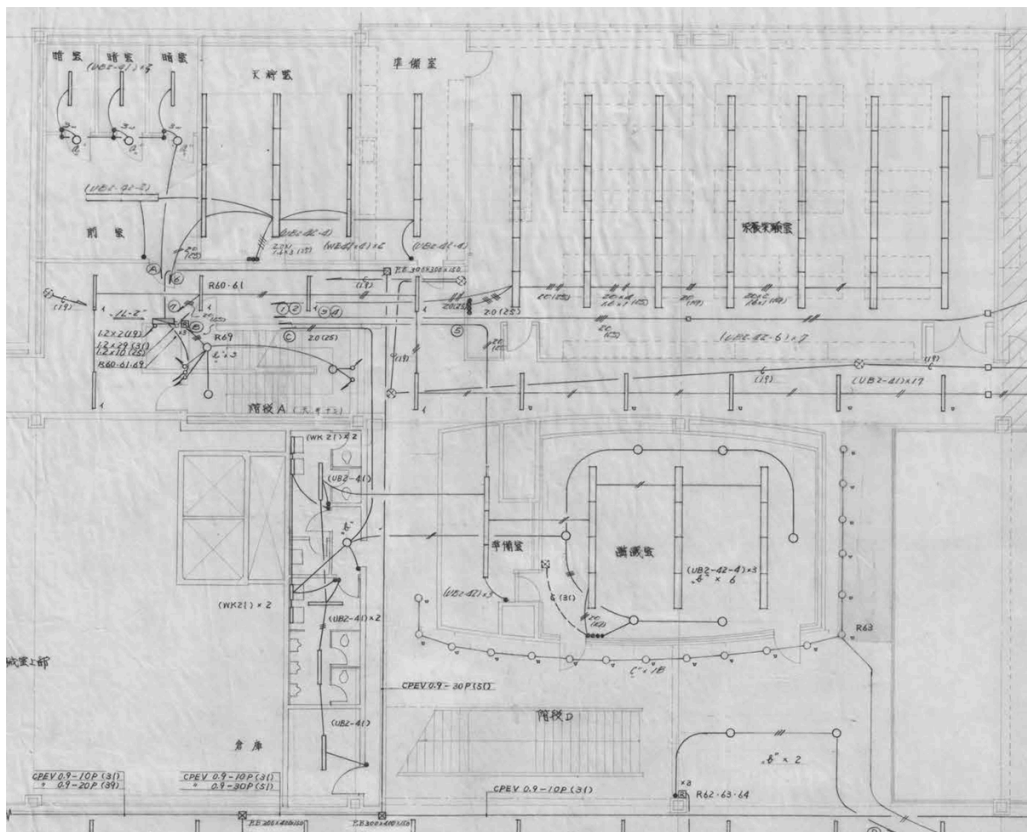


写真 2-11 電気（照明）の平面図の一部を抜粋

2.3 現行の建設工事における BIM の利用

新規建設プロジェクトにおいては BIM の導入が増加していることから、国立大学の建設工事における BIM の利用について調査した。関係省庁が掲げている技術的基準やプレスリリース等の確認を行い、筑波大学内の建設工事における BIM の利用状況を確認した。

2.3.1 BIM に関連する制度の整備状況

国立大学の建設工事に影響を与えるものとして、関係省庁が掲げる BIM に関連した制度が挙げられる。これの整備状況を把握するために、関係省庁のホームページの状況を整理した。国立大学を対象とするため、方法は国土交通省に加え文部科学省のホームページ内容を確認することによる。注目した箇所は建築物に関連する技術的基準とプレスリリースである。建築物に関連する技術的基準のページでは、技術基準名に「BIM」の用語が登場するかどうかで判断した。プレスリリースはその内容に BIM による建設工事が含まれるかどうかで判断した。結果は表 2-11 の通りである。

国土交通省では 1 件の BIM に関連する技術基準（官庁営繕事業における BIM モデルの作成及び利用に関するガイドライン）が見られた。また、プレスリリースは 2010 年 3 月と 2014 年 3 月に 1 件ずつ見られた。一方、文部科学省では BIM に関連する技術基準は掲載されていなかった。建築に関わる技術的基準のいくつかはホームページ上に整備されているが、現状では BIM に関連するものは存在しない。また、人才培养に関して BIM の教育内容に触れるプレスリリースは見られたが、建設工事に BIM を採用する内容のものは見られなかった。

よって、文部科学省においては技術的基準が存在しないことから、国立大学の新規建設プロジェクトで BIM を利用するかどうかは、大学施設部や設計事務所、施工会社などのプロジェクトに関わる各団体に委ねられることが捉えられた。

表 2-11 BIM に関する技術的基準の比較

国土交通省	
ページ名称 (URL)	官庁営繕：技術基準 - 国土交通省 http://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk2_000017.html
「BIM」の記載	有
技術基準の名称	官庁営繕事業における BIM モデルの作成及び利用に関するガイドライン (2-13. その他施設整備関連)
プレスリリースの有無	有 (2 件：官庁営繕関係報道発表資料)
文部科学省	
ページ名称 (URL)	文部科学省の技術的基準一覧：文部科学省 http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/eizen/04032202.htm
「BIM」の記載	無
技術基準の名称	-
プレスリリースの有無	無

※URL とプレスリリースの確認は 2016 年 9 月 29 日時点

2.3.2 新規建設における BIM の利用

文部科学省による技術的基準がない状況に対し、新規建設プロジェクトで BIM の利用がされているかどうかを把握するため、筑波大学を対象とした調査を行った。方法は筑波大学施設部または関係業者に対するヒアリングによる。実施したヒアリングの概要は表 2-12 の通りである。

最初に、筑波大学施設部へヒアリングを行い、大学内の建設工事で BIM の利用が見られたかどうかを確認した。1 件、西地区医学エリアに位置する建物^{注2-10)}において、BIM の活用が聞かれた。建築工事の打合せ資料に BIM データが使用されていたことから、該当の資料を入手した。

次に、当プロジェクトにつきどの段階で BIM が利用されていたかを把握するため、筑波大学施設部へのヒアリング結果に基づき、建設プロジェクトを段階で区別し BIM の利用状況を表 2-13 に整理した。企画から実施設計までは BIM の利用は見られず、建築施工と機械設備施工において BIM の利用が見られた。

そして、表 2-13 に整理した情報に基づき、BIM の利用が聞かれた建築の施工業者と機械設備の施工業者に対してヒアリングを実施した。建築の施工業者については E メールにて行い、機械設備の施工業者については施設部経由にて質問を送った。建築の施工業者に関して、①に対しては鉄骨の建方を検討する際において BIM モデル^{注2-11)}が作成された。この BIM モデルは筑波大学施設部との打合せにおいても情報共有の手段として使用された。②に対して

注2-10) 筑波キャンパス西地区医学エリアに位置する睡眠医科学研究棟を指す。

注2-11) この回答者は Building Information Management の内容にて BIM を用いていたため、BIM モデルに該当する言葉の多くに 3D モデルを使用していた。これらについては、本論文の定義と照らし合わせて BIM モデルを当てはめている。

は、国立大学の建設工事においては BIM が指定されないことから、その利用はないという回答が聞かれた。機械設備の施工業者に関して、①に対してはダクト・配管が鉄骨梁と干渉しているかどうかを確認するため、メンテナンス時の取り扱いを考慮した空調機の配置を検討するために BIM モデルが使用された。

筑波大学を対象とした調査から、BIM を活用したプロジェクトを 1 件確認した。改修工事では全く見られなかったため、新規建設プロジェクトが対象となるだろう。ヒアリングから得た建築の施工業者の意見、文部科学省の技術的基準に BIM に関するものがない状況を考慮すると、BIM を積極的に利用する体制が国立大学側には準備されていないと捉えられる。一方で、円滑にプロジェクトを進行させるため、品質を高めるため施工業者側の自主的に BIM データを作成し利用している状況が確認できた。他大学、他プロジェクトにおいても同様に BIM が活用されている状況が想定できるだろう。

表 2-12 大学施設建設における BIM の利用に関するヒアリングの概要

項目	内容
回答者と時期	2016 年 7 月～9 月：筑波大学施設部施設企画課 手段：ヒアリングまたは E メールによる，人数：2 名
質問	① 筑波大学内の直近の工事における BIM の利用の有無について ② BIM の利用があったプロジェクトについて
回答者と時期	2015 年 7 月：建築の施工会社 手段：E メールによる，人数：1 名
質問	① プロジェクト内でどの場面で BIM を利用したか ② 国立大学の建設工事で BIM が利用されているかどうか
回答者と時期	2015 年 8 月：機械設備の施工会社 手段：施設部経由のヒアリングによる
質問	① プロジェクト内でどの場面で BIM を利用したか

表 2-13 大学施設建設における段階ごと BIM の利用状況

段階	BIM 利用の有無	備考
施設部担当部署	無	-
基本設計	無	実質的な基本設計は行われていない。
実施設計	無	-
工事監理	無	-
施工（建築）	有	鉄骨の建方を検討するのに利用。
施工（機械設備）	有	柱や梁、壁との取り合いを検討するのに利用。

2.4 小括

既存施設の設計図書を BIM データ化する作業を検討し、その中で参考とする工事の順番と参考とする図書の順番を整理したこと、紙媒体の設計図書の分析からクラスに関する課題を捉えたこと、紙媒体から BIM への移行に伴った機械設備における変化を指摘したことが本章の主なる成果である。また、施設の建設時期でケースを区別し、建設当時の設計図書が紙媒体であるケース以外に、現行の建設工事で一部見られる BIM データが利用されるケースについても整理した。

設計図書が紙媒体のケースについて、筑波キャンパス内の施設の比較からは多くの建物において改修工事がされていなく、新営工事時の設計図書が主要な資料である状況を把握した。数少ない改修済みのケースである 5C 棟を題材に、各工事が持つ情報量と現状に近くさせる方針から大規模改修工事を優先し、建築工事を優先する順番に整理した。しかし、多くの建物については新営工事のみから再現するプロセスが想定される。

BIM データ化と並行して実施した紙媒体による設計図書の分析において、意匠図・構造図については、建具など各工事に固有なクラスの数量の多さが特徴的であるとした。BIM のデータ構造として、建築要素を対象としたオブジェクト指向であることに触れ、あらかじめ準備されたクラスしか使用できないことから、工事固有のクラスの事前定義が BIM データの精度に影響することを指摘した。機械設備図については、意匠や構造に加えこれらの要素も具体的なサイズと位置を保持し同一データ内に収録されることを、紙媒体から BIM に移行する際の特徴とした。紙媒体による様式では、高さ方向の情報を収録する図面として系統図一枚しか用意されないこと、また、実際の入り組んだ配置のものを抽象化し単純化する引き換えとして設備要素の位置の正確さを犠牲としていることに触れ、BIM データの特徴を捉えた。電気設備より機械設備においてその恩恵は大きい。施設管理場面を想定すると、トラブル対応で設備要素の配置やサイズを事前に確認するケースにおいて、構造体とダクト・配管が同一画面内に表示され理解できることは大きなメリットがあり、設計データのみから多くの情報を得ることができる。

現行の建設工事における BIM の利用について、関係省庁が掲げる BIM に関する技術基準を比較したところ、国土交通省で掲載されている一方で文部科学省では設定されていない状況が確認できた。筑波大学を対象としたヒアリング調査からは、一件の建物で BIM の利用が見られたため、建設プロセスを分解して各段階における BIM の利用状況を調査し、建築

施工と機械設備施工での利用を確認した。これらの状況から、現行の建設プロジェクトについては各業者が自主的に作成・運用している BIM データを有効活用するよう、施設管理者側のデータ入手・構築の体制作りのあり方が重要であると指摘した。

設計図書 of BIM データ化に関する課題として、意匠図・構造図の考察で触れたクラスの設定を充実させることによる BIM モデルの精緻化が挙げられる。冒頭で述べた通り、本研究ではソフトウェアに標準搭載されるクラスのみ用いており、BIM データの詳細度は決して高くない。設計図書から得られる内容と施設管理の実態に即した内容との 2 視点から検討して行くことが必要と考える。後者に関しては、筑波大学施設部へのヒアリング結果によると、例えば、緊急修繕の依頼でドアの部品を交換する際に、BIM モデル中の該当要素に交換部品の型番が記載されていると便利であるという意見が聞かれている。これらの情報は既存の設計図書からは得ることのできないものである。施設管理への効果と、作成に伴う手間からクラス作成の評価を行っていくのがよいだろう。また、本章では 1 棟のみを扱ったが、複数施設の BIM データ化を想定するならば、工事固有のクラスを施設毎に準備すると膨大な作業発生し、かつ施設間の重複が予想される。施設群を通じてクラスの再利用の可能性を検討することも必要である。

現状の反映も課題として挙げられる。意匠・構造については発注図を使用しており実施図面レベルの情報を用いた BIM モデルの構築であった。そのため、施工にて実施された変更については反映されていない。機械設備については施工図を使用しており、意匠・構造と比べると現状に近い状態を示している。しかしながら、日々の利用の結果が反映されている訳ではない。実態に即した BIM モデルが利用できるよう、構築の段階でどの程度の品質を確保すべきかを整理する必要がある。

BIM データ化に伴う作業量・作業時間を挙げられる。本章では変換プロセスの整理と変換されたものの特徴の把握に主眼が置かれており、これに要した労力については触れてはいない。これらの測定は厳格には行っていないが、作業量自体は膨大なものでありこれを如何に効率化するかは今後の課題である。

第3章 BIM データから従来の設計図書への変換

本章では、BIM データから従来の形式による設計図書への変換について検討した。既存建築ストックの長寿命化に向けて施設管理の現場が、既存の紙媒体の利用によるアナログな方式から BIM による方式へ移行するには、一足飛びではなく段階的なプロセスが不可欠である。この移行を促進するために、BIM データから技術者が慣れ親しんだ既存の形式による設計図書の一つとして系統図の変換手法を開発した。機械設備は故障相談の頻度が高く、これの位置やシステムのネットワークを特定するために系統図は必須であるが、BIM モデルから変換する方法は確立されていない。また、系統図は一般の建築図面とは異なり、機械設備のネットワークの構造を保持しつつその配置は抽象化されており、単純な幾何変換では作成できない。

最初に、建物のライフサイクルにおける各ステージの設計図書の利用状況を把握するために、大学や地方自治体、プラント建設会社へヒアリングを実施し、ステージと対応させて聞き取り結果を整理した。そして、設計図書の詳細な利用状況や課題を把握するために筑波大学施設部へのヒアリングを実施した。BIM モデルと伝統的な設計図書との橋渡しをする技術の整理を行い、各種図面を生成する研究の整理を行った。

BIM データから従来の形式による系統図を生成するプロセスを開発するにあたり、5C 棟の工事を題材にして、系統図中の表現の整理を行った。その整理から抽出した、デザインに関するルールを反映させた系統図生成のプロセスを構築した。また、応用として複数施設の MEP 要素が連続するケースについてもプロセスを構築した。構築したプロセスを経て生成された系統図については、筑波大学施設部職員へヒアリングを実施し、彼らの意見を以てその評価を行った。

3.1 施設管理場面における設計図書の利用

施設管理場面への BIM 導入を検討するにあたり、建物のライフサイクルのステージによって、どのような設計図書の作成・利用状況があるかをヒアリング調査結果から整理した。そして、維持管理場面に焦点を当て、具体的な設計図書利用と BIM モデルの利用が困難とされる場面があるかどうかについて筑波大学施設部にヒアリングを行った。また、BIM モデルからの変換プロセスが確立されている図面種類とこれら変換に関連する研究についての整理を行った。

3.1.1 ステージごとの設計図書の作成・利用状況

建物のライフサイクルのステージによって、どのような設計図書が作成され、どのように利用されているかを把握するために、国立大学や都道府県、プラント建設会社を対象にヒアリングを実施した。実施したヒアリング調査の概要を表 3-1 に示す。

設計図書の利用に関する質問に対する回答を表 3-2 に整理した。表中の項目「場面」については、それぞれの団体が建築物を運用するサイクルのどのステージに位置するかを、著者

が判断した。企画、設計、建設、維持管理に4種類を設定し、このいずれかに当てはめた。

回答を見ると、国立大学・メンテナンス会社・都道府県とプラント建設会社とで傾向が異なる。国立大学、都道府県と維持管理に属する団体では、紙媒体やCAD、PDFによる設計図書の使用が主である。CADソフトも2D作図を行うものが専ら使用されている。また、3Dデータへ移行する予定はないという回答が共通して聞かれた。一方、プラント建設会社のみ対照的な回答が聞かれた。データ利用については、1990年代から3Dデータへ移行しており、それに伴い3DのCADソフトやデータを使用が主である。また、ヒアリングからは設計データを3D化した経緯やその取組みについて聞くことができた。プラント建設分野は建設分野と比べて早い時期に3Dに移行している。

表3-2の整理を通じて、企画・設計・建設と比べると維持管理場面においては紙媒体の設計図書の利用が中心となっている状況が捉えられた。また、維持管理に関わる技術者においては2Dで表現される設計図書の扱いに慣れている状況が捉えられた。これらの結果からは、現在においても伝統的な設計図書利用への親しみが強いことが想定される。BIMが普及する過程において、維持管理場面で利用されるデータが技術者にとって使いやすいかどうかは重要である。使いにくい場合、BIMデータから伝統的な設計図書へと橋渡しをする技術の確立が鍵となる。

表 3-1 設計図書の利用に関するヒアリングの概要

項目	内容
時期と回答者	2014年5月, 2014年10月: 国立大学A 施設部署 ※メンテナンス会社については国立大学Aからのヒアリングによる 場所: 大学内, 人数: 2名 (2014/05), 3名 (2014/10)
	2015年9月: 国立大学B 施設部署 場所: 大学内, 人数: 2名
	2015年10月: プラント建設会社 設計部署 場所: 本社事務所内, 人数: 1名
	2016年1月: 国立大学C 施設部署 場所: 大学内, 人数: 2名
	2016年1月: 都道府県 情報管理部署 場所: 県庁内, 人数: 2名
	質問

表 3-2 設計図書の利用に関するヒアリングの回答

対象	場面	①設計図書の媒体	②CAD ソフト	③3D データへの移行
国立大学 A	維持管理	紙, PDF, CAD	2D	予定なし
メンテナンス会社 ※国立大学 A の回答による	維持管理	紙, PDF, CAD	2D	-
国立大学 B	維持管理	紙, PDF, CAD	2D	予定なし
国立大学 C	維持管理	紙, PDF, CAD	2D	予定なし
都道府県	維持管理	(紙), PDF, CAD	2D	予定なし
プラント建設会社	設計から建設	3D モデル	3D	1990 年代から

3.1.2 機械設備における系統図の利用

維持管理場面において、具体的な設計図書（機械設備図）の利用状況について把握するために筑波大学施設部に対してヒアリングを実施した。ヒアリングを行う中で機械設備での利用に注目したため、質問は機械設備に関するものを掲載している。表 3-3 に機械設備図の利用に関するヒアリングの概要を示す。

表 3-3 機械設備図の利用に関するヒアリングの概要

項目	内容
日程	2014 年 10 月
場所	筑波大学筑波キャンパス中央機械室
部署	施設部
回答者	3 名（内訳：機械 1 名，建築 2 名）
質問	① 設計図書を利用する場を教えてください。
	② 普段、利用している設計図書の媒体は何ですか？
	③ どのようにして機械設備のネットワークを理解していますか？
	④ 3D モデルによる機械設備のネットワークは理解できますか？

質問①に関して、建物利用者から緊急修繕の依頼を受けた後に、現場に行き行って該当する箇所を事前に特定するために設計図書が使用されている。また、施設の改修工事等の計画を作成する際に、新営工事等の過去の設計図書が参考として使用される。

質問②に関して、質問①で回答した業務で使用する設計図書は、紙媒体または PDF、CAD によるものであり、3D データは使用していない。図面の作成・修正にあたっては、AutoCAD^{注3-1)}や Vectorworks^{注3-2)}、JW_cad^{注3-3)}など（職員によって使用するソフトウェアが異なっ

注3-1) Autodesk 社の CAD ソフト。ソフトウェアについては以下ページを参考。

<http://www.autodesk.co.jp/products/autocad/overview>, (参照 2016-09-23)。

注3-2) Vectorworks 社の CAD ソフト。ソフトウェアについては以下ページを参考。<http://www.aanda.co.jp/Vectorworks2016/>,

ていた)、2D を主とする CAD ソフトが使用されている。

質問③以降は機械設備に関する利用に限定している。質問③に関して、機械設備やダクト・配管に関する相談を受けた際に、通常は系統図と平面図（場合によっては、建築工事の断面図・立面図も利用する）とを組み合わせることで検索の対象を限定している。そして、当たりをつけた後に、現地に赴き対象を特定している。

質問④に関して、3D モデルによる機械設備のネットワークを理解するのは大変そうであると回答された。施工時には各部材が互いに干渉しているかどうかを確認するにあたって、部材の配置やサイズが正確に記述されていることが重要となるため、3D モデルは役に立つ。一方、施設管理においては、設備要素の物理的な配置より機能的関係の把握の方が重要であり、要素間のつながりが理解できることが必要であると回答された。

以上の回答から、施設管理に関わる技術者は 2D で表現される設計図書の利用に親しんでいる様子が捉えられた。また、機械設備のネットワークを理解する場面において、3D の経路部材が多ければ多いほどこのネットワークの細部を区別することがより困難になると、BIM モデルの持つ課題が捉えられた。こうした状況に対し、従来の設計図書でなされていた施設管理と同様な作業を BIM で実現するために、BIM データから従来の形式による系統図を生成することが必要である。

3.1.3 BIM モデルから従来の形式による設計図書への変換

BIM モデルから従来の設計図書への変換方法を表 3-4 に整理した。BIM モデルは 3D の形状にて表現されており、平面図や立面図、断面図は BIM モデルを水平方向にまたは高さ方向に切断することによって生成され、これらは BIM モデルの一般的な性質として挙げられる。平面詳細図や断面詳細図は図面の詳細度を高くした状態で、同様に BIM モデルを切断することによって生成できる。

また、BIM データと従来の記法による建築図面とを橋渡しする技術としては、建具表^{注3-4}や梁断面リスト^{注3-5}を自動生成する拡張ツールが既に実用化されている。これらの多くは BIM モデルの投影図とオブジェクトの属性情報を組み合わせて実現するものである。

設備 CAD の多くでは、アイソメトリックによる単純化を行った 3D の記法が多く取られている。また、一部のソフトウェアにおいて、2D の作図機能にて系統図作成を支援するためのレイアウト機能^{注3-6}が見られる。

しかし、系統図については、BIM データからこれを自動的に生成する手段が存在しない。系統図は一般の建築図面とは異なり、建物躯体といったリアルな図形と機械設備のネットワークといった抽象化された図形とが組み合わさって形成される図面である。これを実現するためには、実際に存在するモデルの一部（機械設備のネットワーク）を抽象化し再構築するプロセスを含んだアルゴリズムが必要である。

(参照 2016-09-23)。

注3-3) 日本で開発されたフリーウェアの CAD ソフト。ソフトウェアについては開発者によるホームページを参考。
<http://www.jwcad.net>, (参照 2016-09-23)。

注3-4) 例えば、Autodesk 社の Revit における「建具表作成」の拡張機能が挙げられる。

注3-5) 例えば、Autodesk 社の Revit における「RC 断面リスト作成」の拡張機能が挙げられる。

注3-6) 例えば、設備系 CAD ソフトの Rebro (NYK システムズ社) では系統図のレイアウト作成がある。これは階高とシャフト数などの必要情報を入力し、系統図作図に利用できる建物立面を汎用線にて作成する機能である。その後、空調の系統図を手動で入力するようになっている。

表 3-4 BIM モデルから従来の設計図書への変換方法

項目	内容
平面図	BIM モデルを水平方向に切断することにより生成。
立面図	BIM モデルを正面・背面・側面から垂直方向に投影することにより生成。
断面図	BIM モデルを高さ方向に切断することにより生成。
建具表	拡張ツール等にて提供。
梁断面リスト	拡張ツール等にて提供。

3.2 各種図面の生成に関連する研究

系統図の生成に近接する研究の整理を行った。2D の図面から 3D モデルを生成することを扱った研究、機械設備のダクト・配管の設計に関する研究、情報が蓄積された BIM データからの各種資料の生成に関する研究の 3 グループに分けて整理した。機械設備においては配管の自動設計に関する研究、BIM データからの各種資料の生成においては投影図やスケジュール表を生成する研究があるものの、3D モデルによる機械設備のネットワークを抽象化し図面として生成するものは見られない。

建築図面に関しては、紙媒体や CAD で表現される 2D の図面から 3D モデルを構築する取り組みが多く見られる。Kawasumi ら⁴⁰⁾は立面図などの正投影された建築図面から 3D モデルを半自動的に構築する手法を開発した。他にも、紙媒体や CAD に記された建築図面から 3D モデルを自動的に構築する試みが多くなされており、Yin ら⁴¹⁾はこれらの研究のレビューを行っている。

機械設備の図面に関しては、自動的に 3D モデルによる経路を生成する手法についての研究が配管設計において多く見られる。船舶やプラント建設の分野において長い間取り組まれている研究課題であり、2D の経路生成から始まってソフトウェアの発展等に伴い 3D に移行してきた。Asmara ら⁴²⁾は細胞分割のアプローチを用いた自動配管のシステムを開発し、Ando ら⁴³⁾はエルボとベンドなどの管を反映させた自動配管のシステムを開発した。

情報が蓄積された BIM データから図面・仕様書等を生成する取り組みに関して、Kim ら⁴⁴⁾は蓄積された BIM データ中のオブジェクトの属性情報を用いることから建設スケジュールを自動生成する手法を開発した。Manrique ら⁴⁵⁾は木造枠組壁構法による住宅建設において、BIM モデルから姿図等を生成しこれらを集約することによって施工図を作成する手法を開発した。Martins ら⁴⁶⁾は建物中の水道配管の設計において、BIM モデルをベースとした各種法規への適合を確認するためのアプリケーションを開発した。このアプリケーションには 3D モデルによる設備要素を単純化し平面図や断面図として作成する機能が含まれており、また 3D ビューが確認できる仕様が含まれている。

3.3 従来の系統図の表現

BIM データからの従来の形式による設計図書への変換について、系統図（機械設備図）の生成を取り上げる。系統図生成のプロセスを開発するにあたり、最初に従来の系統図の記法・形式を整理した。また、国土交通省発行の標準詳細図⁴⁷⁾を参考としている。機械設備（以降は MEP システムと記す）のネットワークと建物躯体・部屋・スペースとで分けて整理した。

3.3.1 MEP システムのネットワーク

機械設備図において、系統図は建物中の空調や配管、電気等のシステムの高さ方向のつながりを記述している。これに記載される線材については理解しやすくするため、実際のサイズ・配置ではなく、単純化・抽象化されたものとなっている。例として、写真 3-1 と写真 3-2 に 5C 棟の空調ダクトに関する系統図を掲載した。写真 3-1 は新営工事時、写真 3-2 は大規模改修工事時のものである。これら 2 点を用いて系統図中の表現を整理した。表現を整理するにあたって、MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースとで区別することとした。

MEP システムのネットワークについて、最初に系統図を構成する要素を区別した。空調ダクトの系統図においては、ダクトやそれらの継手は線として、また機械設備やエアターミナル^{注 3-7)}はシンボルとして表現される。ダクト内に流れる物体（給気や排気等）は線上のラベルによって表現され、また線の表現形式（実線や点線等）によっても区別される。シンボルの形状は要素のクラスによって区別される。シンボルの付近には要素のクラスに対応したラベルが付加される。また、工事に固有な表現も見られた。例えば、ダクトサイズのラベルについては新営工事の系統図のみに付加されていた。

また、MEP システムのネットワークに関する表現の整理を通じて、各システムにおいて、何と何がつながっているか、また、それぞれの線が何を意味しているかを理解できることが重要であると捉えた。

注3-7) 本研究で利用した BIM ソフトウェア (Autodesk Revit) で用いられる機械設備に関するクラス名称を指す。空調における給気や排気、還気の出入口にあたる機器・器具が該当し、具体的には「吹出口」、「排出口」等を指す。

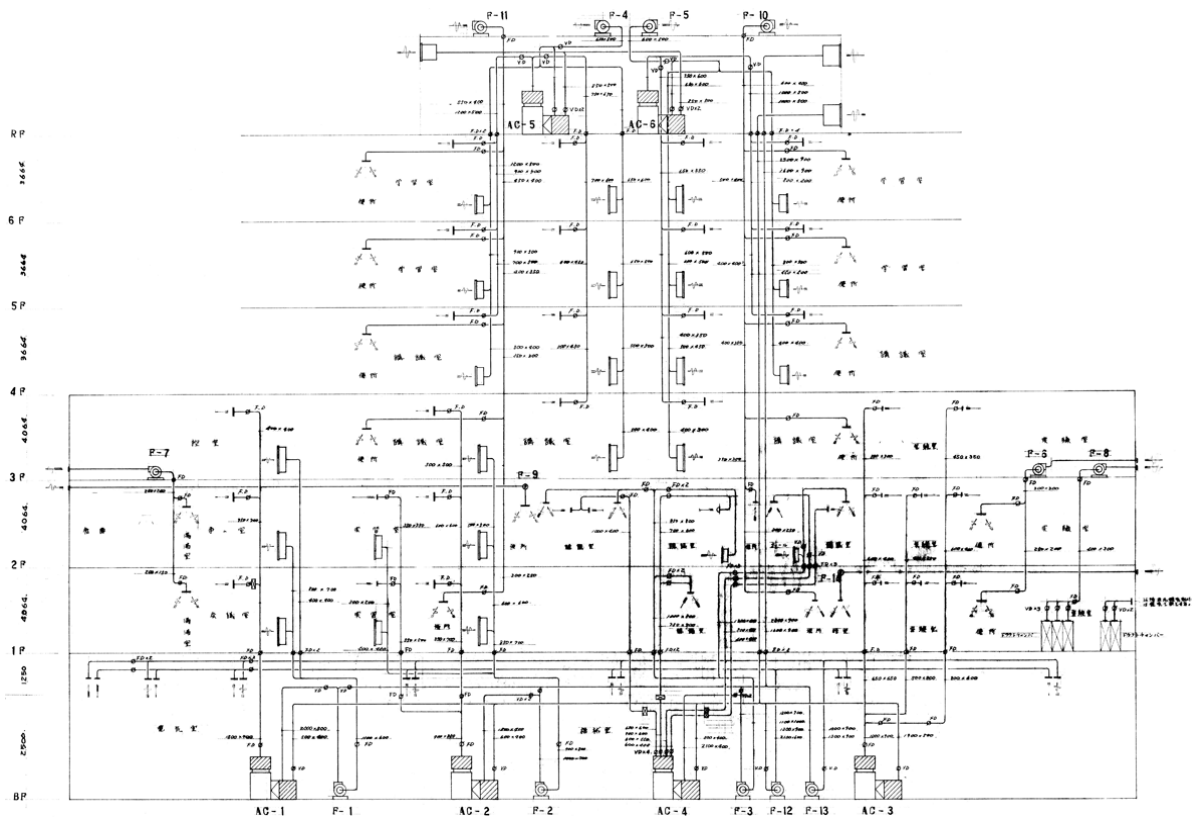


写真 3-1 空調ダクトの系統図：5C 棟新営工事



写真 3-2 空調ダクトの系統図：5C 棟大規模改修工事

3.3.2 建物躯体・部屋・スペース

次に建物躯体・部屋・スペースについて、これらに関連する表現を区別した。写真 3-1 と写真 3-2 のそれぞれに示される系統図内のこれらの表現は断面図や立面図のそれと比べると、異なることが確認できる。例えば、系統図内の建物躯体は縮尺に基づいて描かれていない。系統図中にはフロアラインや階高の値が記載されている。しかし、建物躯体の形状を計測すると、正確な寸法で記載されないことが確認できる。

工事に固有な表現として、天井については新営工事では表現されてなかったが、大規模改修工事では表現されていた。

2 工事に共通することとして、一つのシステムについて一枚の系統図で表現されていることが挙げられる。それに伴い、建物内の主要な部屋・スペースが手前・奥の区別なく一枚に集約されていることが読み取れた。前後に位置する部屋は、系統図では左右に再配置される。しかし、必ずしも全ての部屋・スペースが再現される訳ではない。部屋・スペースの名称はラベルとして表現され、建物躯体内の該当の部屋・スペースに配置される。ラベルによって区切られた範囲に MEP システムのネットワークの線が乗ることにより、ダクトや配管がどの部屋・スペースを経由するかを理解することができるようになっている。そのため、建物躯体・部屋・スペースは MEP 要素の位置を把握するのを助ける役割を持つ。

3.3.1 と 3.3.2 の作業を踏まえ、表 3-5 に従来形式による系統図に見られる表現を整理した。以降、系統図を生成するプロセスの開発にあたっては、これらに掲載される項目を参考とした。

表 3-5 従来の形式による系統図に見られる表現

	両方に見られる表現	片方のみに見られる表現
線	<ul style="list-style-type: none"> ダクトとその継手は線として表現される 	
シンボル	<ul style="list-style-type: none"> 機械設備とエアターミナルはシンボルとして表現される 	
ラベル	<ul style="list-style-type: none"> ダクトの MEP システムは線の上にラベルとして表現される 機械設備の名称はシンボルの近くにラベルとして表現される 	<ul style="list-style-type: none"> ダクトのサイズは線の近くにラベルとして表現される (新営工事)^a
部屋, スペース	<ul style="list-style-type: none"> 名称が表現される 	
建物の躯体	<ul style="list-style-type: none"> 階高の値が示される 	<ul style="list-style-type: none"> 全ての階につき、建物の外形が表現される (改修工事) 全ての階につき、建物の外形が表現されるとは限らない (新営工事)^a
その他	<ul style="list-style-type: none"> それぞれのシステムは一枚の図面として表現される^a 	

MEP: mechanical, electrical, and plumbing.

^a 本章では用いられない表現

3.4 系統図生成のプロセス

次に、BIM データから従来の形式による系統図を生成するためのアルゴリズムを開発した。施設管理業務にて設計図書が編集可能であることを考慮し、CAD ソフト上に生成することとした。図 3-1 にアルゴリズムのプロセスを示す。BIM ソフトウェア内に記述される BIM モデルからは、MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースとを区別して取り出す。機械設備図で表現される MEP システムのネットワークについては、BIM モデル内でこれらを構成する要素を特定して抽出し、CAD ソフトウェア上で抽出データを用いて描画することを目指した。取り出されたデータを用いて CAD ソフトウェア上で描画を行うことにより系統図を生成する。ケーススタディの対象として、5C 棟の空調ダクトのシステムを扱う。BIM モデルは 2 章で作成した建築と機械設備の 2 点 (写真 2-2 と写真 2-3 を参照) を使用した。

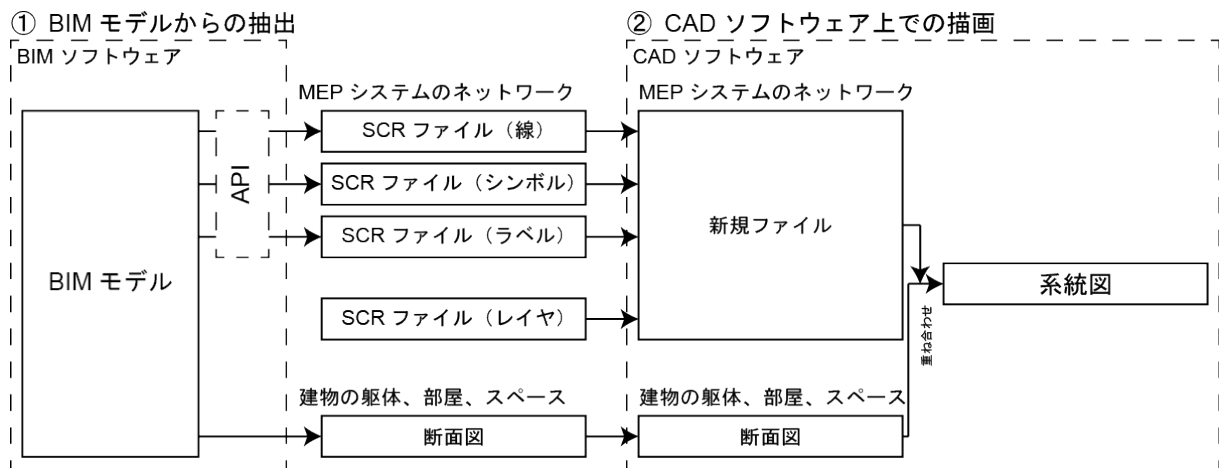


図 3-1 系統図生成のプロセス

3.4.1 BIM モデルからのデータ抽出

BIM モデルからのデータ抽出を行うにあたり、MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースを区別する。

MEP システムのネットワーク

MEP システムのネットワークを取り出しには、BIM ソフトウェアの API (Application Programming Interface) 上で動作する、C#を用いて作成したプログラムを使用した。作成したプログラムだが、CAD ソフトウェア上ではスクリプトを用いて属性表現を作図することを念頭に置いており、その命令用のテキストファイル (AutoCAD でのスクリプトファイルに対応したデータ形式^{注3-8)} として抽出するようにしている。

作成したプログラムでは、BIM モデル中の MEP システムのネットワークを形成する全てのクラス・要素を対象とし操作を実行する。従って、MEP システムに属する全ての要素のクラスをプログラム中に記載している。空調ダクトのシステムにおいては、ダクトとフレキシブルダクト、ダクト継手、機械設備とエアターミナルが該当する。

表 3-6 に MEP システムのネットワークの記述に用いる表現と属性情報を整理した。抽出される命令用テキストファイルは、表 3-6 掲載の属性の表現に基づいてファイルを区別した。つまり、線とシンボル、ラベル (線)、ラベル (機械設備のシンボル) の 4 ファイルに分けてエクスポートしている。属性の表現によって取り出す属性情報は異なる。

注3-8) 拡張子は SCR (Script の略)。AutoCAD ではマウス等によるインタラクティブな作図だけでなく、図形等をスクリプトで入力することによっても作図ができることを特徴とする。AutoCAD 起動時に SCR ファイルを呼び出すか、コマンドを使用することによりスクリプトを実行することができる。

表 3-6 MEP システムの記述に用いる表現と属性情報

属性の表現	属性情報
線	2 要素の位置 どのシステムが表現されているかについての情報
シンボル	要素の位置
ラベル (線)	どのシステムが表現されているかについての情報
ラベル (機械設備のシンボル)	要素の名称

線に関する命令用テキストファイルについて、ダクトとフレキシブルダクト、ダクト継手、機械設備、エアターミナルの属性情報を使用した。線に関する属性情報を抽出する手続きは図 3-2 の通りである。最初に MEP システムのネットワークを構成する要素を全て集める。次にそれぞれの要素の属性情報（接続状態）を確認する。選択した要素が他の要素との接続を持つ場合、それに接続する全ての要素に対して順番にアクセスする。アクセスした際に、2 要素に物理的接続が確認できた場合には、それぞれの要素の代表点を結ぶことによって線を作成した。ダクトとフレキシブルダクトなどの線材の場合、始点と終点を結ぶ線の中心を代表点としている。ダクト継手や機械設備、エアターミナルの場合、要素の基準点を代表点としている。接続状態の確認時には、属性情報（MEP システムの種類）を確認も行っている。この属性情報（MEP システムの種類）は CAD ソフトウェア上で描かれる線のレイヤを決定するのに用いられる。接続が確認された要素ペアごとに、これらの作業結果が命令用テキストファイルに記述される。

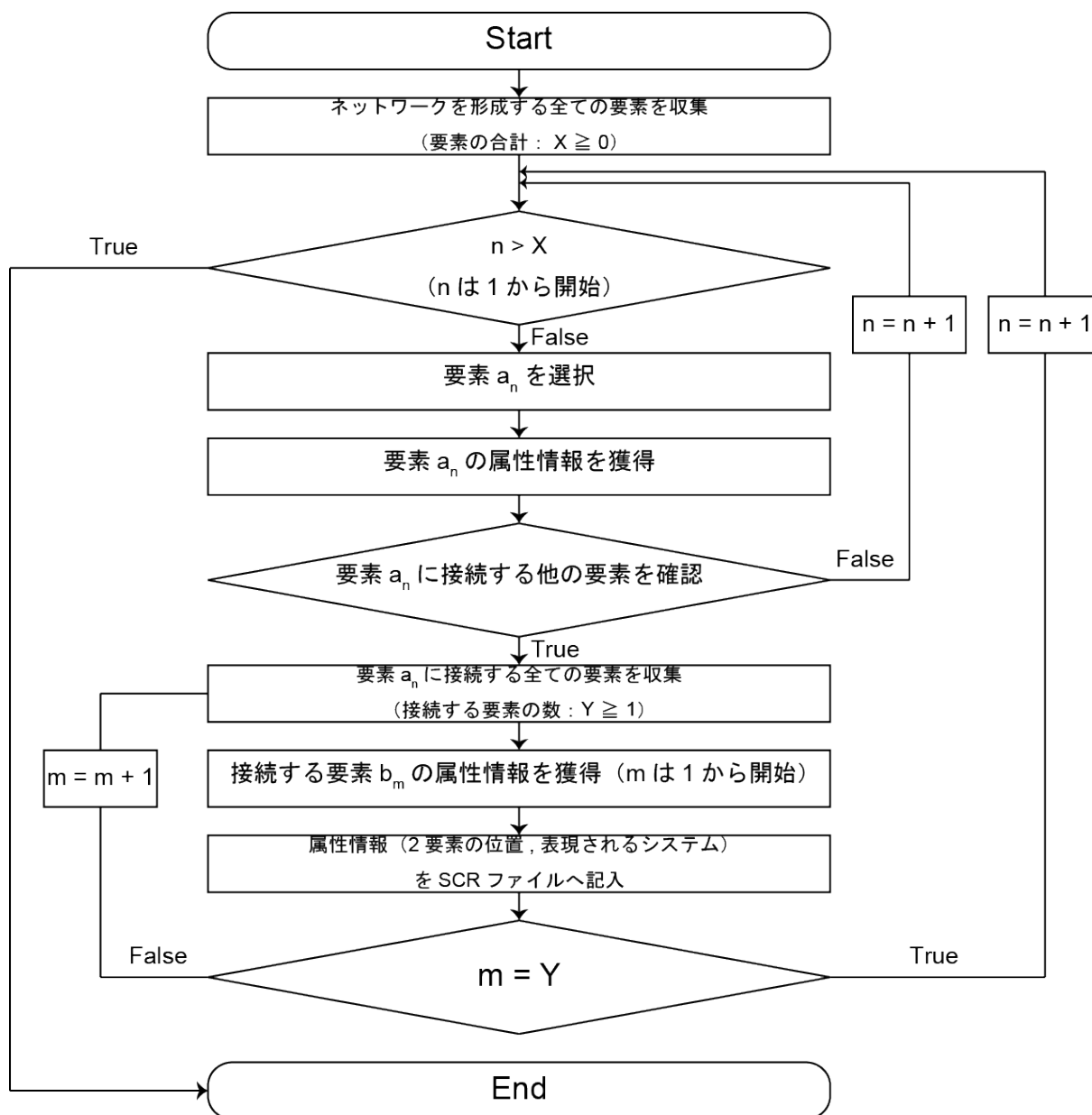


図 3-2 線に関する属性情報を抽出する手続き

シンボルに関する命令用テキストファイルについて、機械設備とエアターミナルの属性情報（座標値）を使用した。これらシンボルの形状は、BIM ソフトウェアからデータを抽出する時点で決定する。本研究においてはシンプルな表現とするために、単純な形状を採用し、機械設備は円、エアターミナルは三角形を割り当てた。MEP システムのネットワークを構成する要素を全て集めた後に、要素ごとに該当する形状と座標値を命令用テキストファイルに記述した。

線に付随するラベルに関する命令用テキストファイルについて、ダクトやフレキシブルダクト、ダクト継手が持つ MEP システムに関する属性情報（名称の一部、座標値）を使用した。該当する線上に MEP システムのラベルが配置されるように設定した。

シンボルに付随するラベルに関する命令用テキストファイルについて、機械設備の属性情報（名称、座標値）を使用した。該当する機械設備の近くにラベルが配置されるように設定

した。

また、それぞれの命令用テキストファイルにつき、次に掲げる設定をプログラムに含めている。

- ・ 縮尺を断面図のそれと同じになるよう設定する。
- ・ ファイル中の基準点が断面図のそれと同じになるよう設定する。
- ・ 各図形は、BIM モデル中の高さ方向と長手方向の座標値を割り当てることによって、系統図中に配置するが、図形どうしの重複を防ぐ為に、短手方向の座標値を 2 つの座標値（高さ方向と長手方向）に加える。

写真 3-3 は BIM ソフトウェア内でプログラムが実行されたもの、かつ抽出されたファイルを示したものである。BIM ソフトウェアの画面内のリボンに掲載される項目を選択することによって、MEP システムのネットワークを取り出すプログラムを実行することができる。なお、プログラム実行に要した時間は 10 秒程度であり、短い時間で作業は終了した。写真 3-4 は命令用テキストファイルを Notepad^{注3-9)}で開いた画面を示している。命令用テキストファイルでは以降の CAD ソフトウェアで用いられる文法に合わせて文章が記述される。具体的には、描く図形ごとに、レイヤ設定と図形種類、座標等が記述されている。

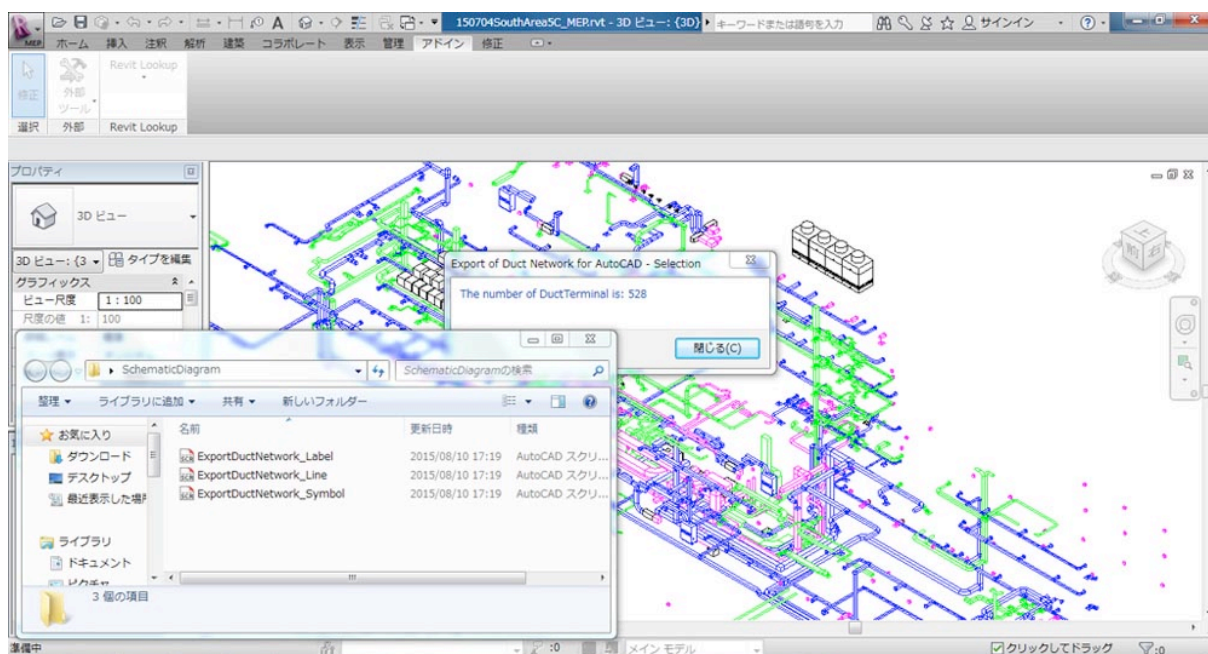


写真 3-3 BIM ソフトウェア上でのアドインコマンド実行と生成されたファイル

注3-9) Microsoft 社のオペレーティングシステム Windows に付属するテキストエディタの英語名称を指す。日本語版においては「メモ帳」と記載される。なお、本章で使用した Windows のバージョンは 7 である。

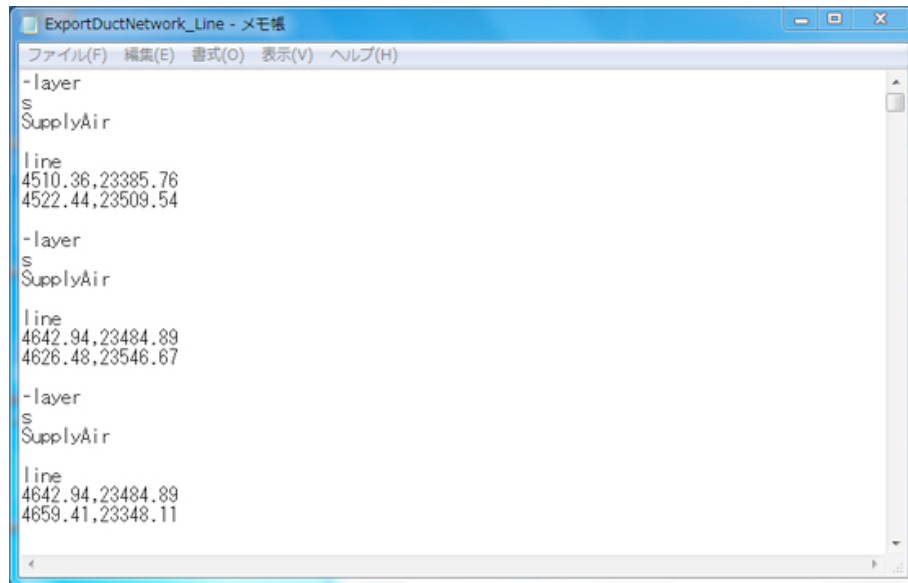


写真 3-4 命令用テキストファイル内の記述

建物躯体・部屋・スペース

建物躯体・部屋・スペースを表現するにあたり、表 3-5 で整理した内容に対して簡単に実現できる方法を検討し、断面図の採用で進めることとした。しかし、単に断面図を使用するだけだと、建物躯体は具体的に表現できるが、全ての部屋・スペースを表現することはできない。そこで、断面図を採用するにあたり、MEP システムのネットワークの表現の一部を修正した。

断面図の生成は BIM ソフトウェアが持つ一般的な機能を用いている。具体的には、BIM モデル中から切断する面と表示の向きを選択することによって、断面図の生成は実現できる。表 3-5 で整理した内容に基づき、各部屋・スペースとそれらのラベルのみで表現することとした。よって、断面図生成の際には、壁と床、天井、屋根といった空間を形作る要素のみに限定して表示することとした。また、各要素の表現は単純である方が好ましく、断面図の Level of Detail^{注3-10)}はより簡単なものに設定している。部屋・スペースの名称にはラベルオブジェクトを用いた。そして、断面図を取り出すにあたり、後に使用する CAD ソフトウェアへの対応を考慮し、データ形式として DWG^{注3-11)}を選択した。

従来の記法による系統図とは異なり、採用した方法では一枚の断面図内に建物内全ての部屋・スペースを表現することは不可能である。一方、このままでは断面図と MEP システムのネットワークとを重ね合わせたときに、MEP システムのネットワークのどの部分がどの部屋・スペースを経由しているかを把握することが難しい。そこで、MEP システムのネットワーク中の線に関する命令用テキストファイルについて、BIM モデルの切断線から各 7m 以内の範囲に含まれる設備要素のレイヤを他のものと区別するよう、プログラムに修正を加えた。表現は、図形を描く線の太さで区別するようにしている。距離 7m については、5C 棟の各階平面図の平面形状を考慮した上で決定した数値である。

注3-10) 略語である LOD でも呼ばれる。BIM に関するデータの詳細度を数値化し、定量的に表す指標を指す。BIM モデルの作成の段階においてデータの詳細度を調整するために作られた指標であり、LOD100、LOD200、LOD300、LOD400、LOD500 等で表現される。

注3-11) オートデスク社製の CAD ソフトウェア、AutoCAD の標準ファイル形式。Drawing の略。BIM ソフトウェアの Autodesk Revit とのデータ互換性が高くかつ広く建設業界で使用されるフォーマットであることから選択した。

3.4.2 抽出データを用いたレイアウト

前項にて BIM ソフトウェアから抽出されたファイルを用いて、CAD ソフトウェア上で MEP システムの系統図を描画する。図 3-3 に CAD ソフトウェア上での系統図描画の手続きを示す。MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースとを区別して、描画ファイルを作成し、これらを重ね合わせることによって系統図を作成する。

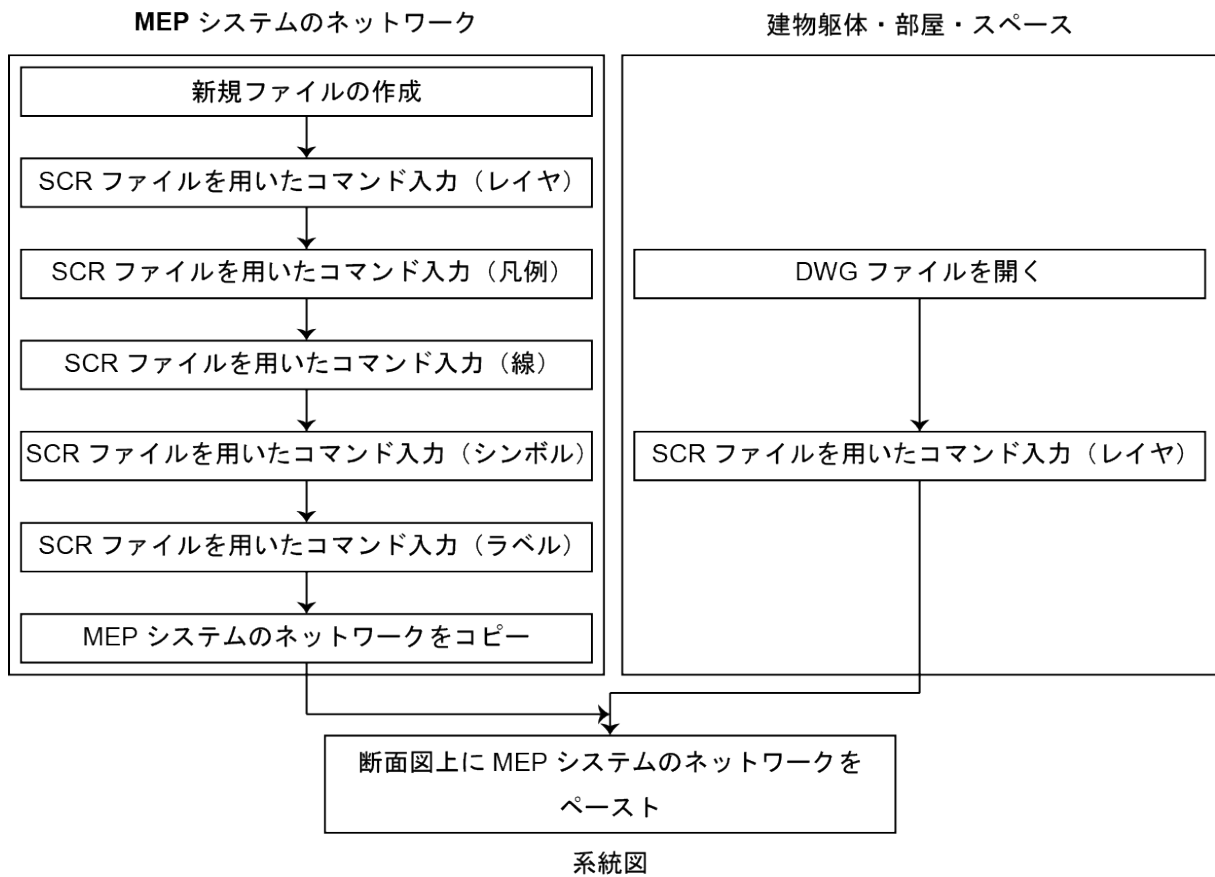


図 3-3 CAD ソフトウェア上での系統図描画の手続き

MEP システムのネットワーク

最初に MEP システムのネットワークを記述するための新規ファイルを作成する。次に、レイヤの環境設定が記録された命令用テキストファイルを取り込み、作図環境を設定する。凡例に関する内容が記録された命令用テキストファイルを取り込み、作業画面上に凡例に関する図形や文字を入力する。レイヤの環境設定と凡例については、BIM モデル中の機械設備の要素が有する属性情報を参考にし、別途文書作成用のソフトウェアを用いて作成した。そして、線、シンボル、ラベルの順に、BIM モデルからエクスポートした命令用テキストファイルを取り込むことによって各図形を描画した。以上の操作により、MEP システムのネットワークを作成した。

建物躯体・部屋・スペース

最初に BIM モデルからエクスポートされた DWG ファイルを開くことによって断面図を表示する。そして、レイヤの環境設定が記録された命令用テキストファイルを取り込むことによって作図環境の設定を変更した。断面図に関するレイヤの環境設定についても、文書作成用のソフトウェアを用いて、命令用テキストファイルを作成している。その際、MEP システムのネットワークと比べて断面図の表現が目立たなくなるように、線の色を淡くし、線の太さが小さくなるよう調整した。

系統図への仕上げ

MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースのそれぞれのファイルが作成した後に、MEP システムのネットワークをコピーし建物躯体・部屋・スペースのファイル上に貼り付けた。貼り付けの際には、2 つのファイルが同じ座標位置になるよう基準点を一致させている。

生成した系統図の全体像を写真 3-5 に示す。また、写真 3-6 は写真 3-5 の左側上部階の一部分を拡大した画面である。図 3-4 は写真 3-5 と写真 3-6 で示される系統図の凡例である。ここに示す凡例において、各例の綴りは、BIM ソフトウェア中要素の属性情報の値をそのまま用いている。

建物躯体・部屋・スペースを表現するのに断面図を用いたことに伴い、BIM モデルにおける断面図の切断線から各 7m 以内の範囲に含まれる MEP システムのネットワークの線の表現を変更した。この操作については、系統図の一部分を拡大することによって線の表現が区別されている様子を確認することができる（写真 3-6）。表現の違いを確認することにより、表現が変更された線は断面線の近くに配置されている要素のペアであることを理解することができる。

以上のように、MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースを別個に作成し、これらを重ね合わせることによって CAD ソフトウェア上で系統図を生成した。また、CAD データの形式にて系統図を生成したことから、作成後に誰でもこれを編集することが可能であり自由度の高いものとなっている。

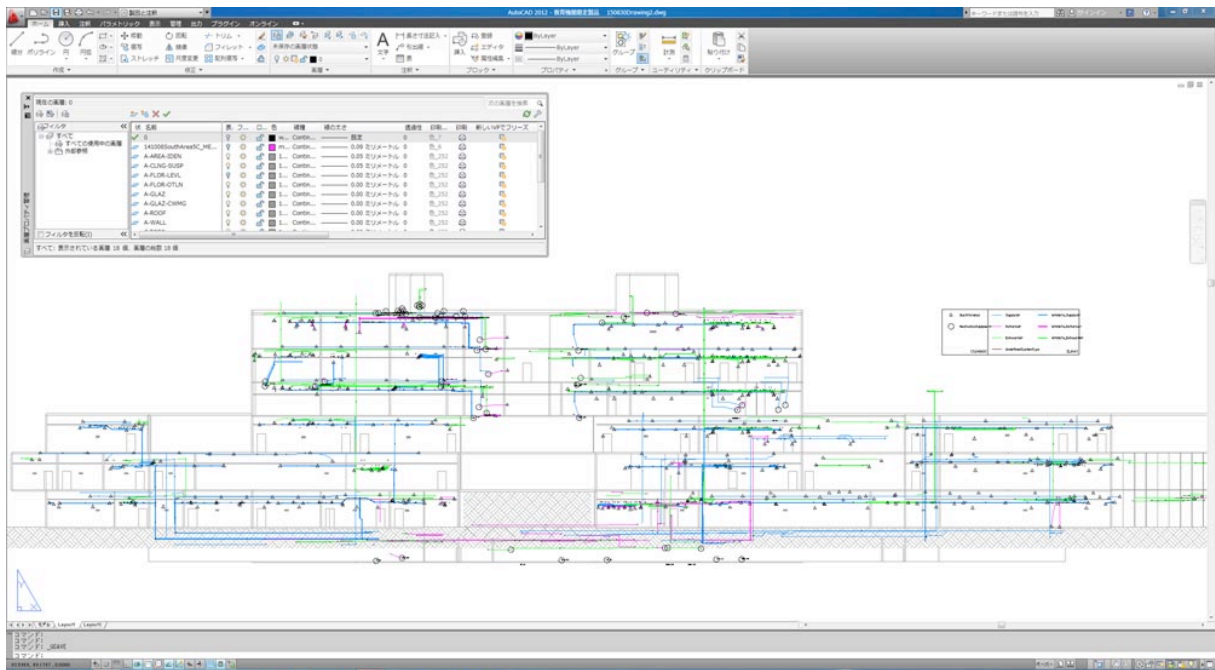


写真 3-5 提案した方法による空調ダクトの系統図

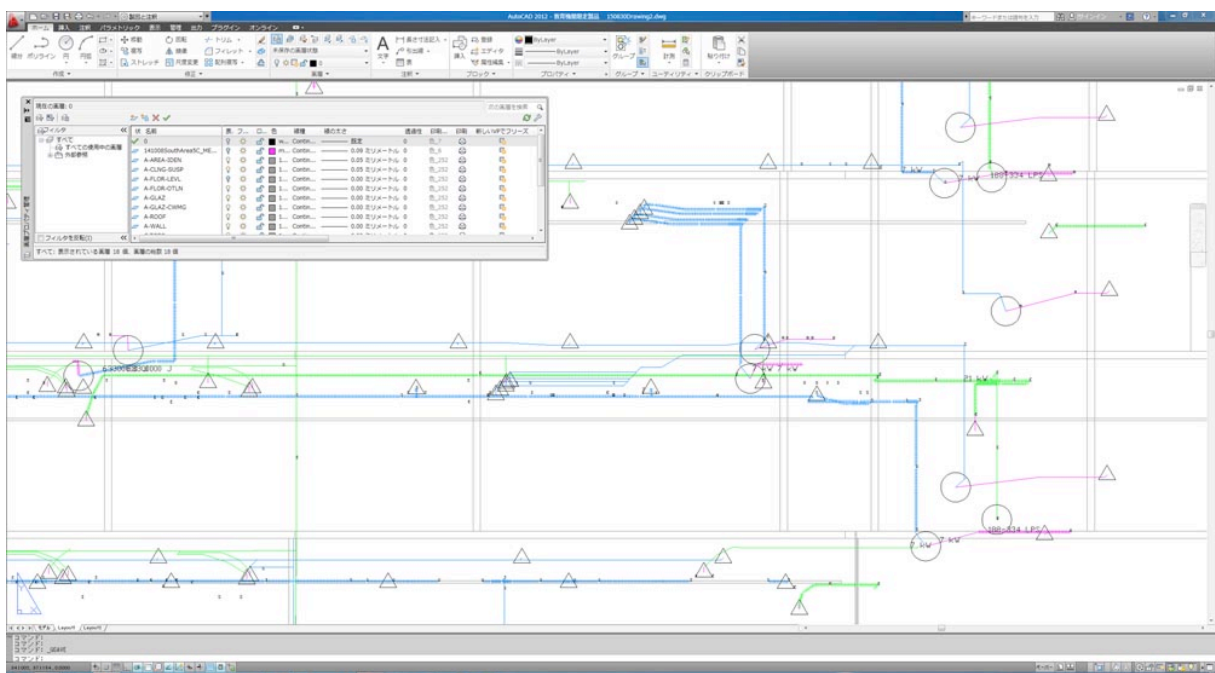


写真 3-6 写真 3-5 に示される系統図の拡大イメージ

△	DuctTerminal	—	SupplyAir	—	Within7m_SupplyAir
○	MechanicalEquipment	—	ReturnAir	—	Within7m_ReturnAir
		—	ExhaustAir	—	Within7m_ExhaustAir
		—	UndefinedSystemType		
[Symbol]				[Line]	

図 3-4 系統図の凡例

3.4.3 複数施設に渡って MEP 要素が連続するケース

系統図を応用する手法を検討するにあたり、複数施設に渡って MEP 要素が連続するケースにおいて、MEP システムのネットワークを結合することができるかどうかを確認した。

前章の写真 2-4 に掲載される BIM モデルをケーススタディとして扱っている。下準備として、各 BIM モデル中の MEP 要素について、他 BIM モデルとの境界に位置するものについてはその属性情報（コメント欄）に対応する BIM モデルの名称を記載した。BIM モデルからのデータ抽出の方法は 3.4.1 に記載される内容と基本的には同じである。異なる点は、図 3-2 を参考として命令用テキストファイルを作成するにあたり、選択している要素に対して他 BIM モデルとのつながりがあるかどうかを、属性情報（コメント欄への記載の有無）を調べることによって確認している点である。コメント欄への記載がある場合はその内容を命令用テキストファイルに追加している。データ抽出後に命令用テキストファイルを開き、コメント欄に書かれた記載内容がある要素を確認し、接続するペアを手動にて記述し直した。

写真 3-7 は 5C 棟の配管と共同溝の配管とが連続した状態における MEP システムのネットワークを表示したものである。前章の写真 2-4 の BIM モデルに該当するデータを用いて生成している。なお、前節と異なり、この MEP システムのネットワークは別のソフトウェアを用いて描画しており^{注 3-12)}、また建物躯体・部屋・スペースは省略している。写真 3-7 の下部からは、地下にあたるレベルで MEP 要素が連続している様子を確認することができる。この部分が共同溝と 5C 棟の MEP 要素が接続している箇所該当する。

以上の作業からは、複数施設の BIM モデルが整備されていれば、それぞれの BIM モデルにおける端部の要素を結合することによって、MEP システムのネットワークを一体的に扱うことが可能であることを確認した。

注3-12) 写真 3-7 の描画には Cytoscape を使用している。Cytoscape はオープンソースのバイオインフォマティクスソフトウェアプラットフォームを指す。ノードとエッジによるネットワークグラフ可視化を特徴とする。生物学研究用途だけでなく、ソーシャル・ネットワーク・サービスなどで使用される。ネットワークデータの可視化が簡単に行えるため、CAD ソフト上の描画を検討する前段階として、本ソフトウェアを使用して系統図生成の検討を行った。

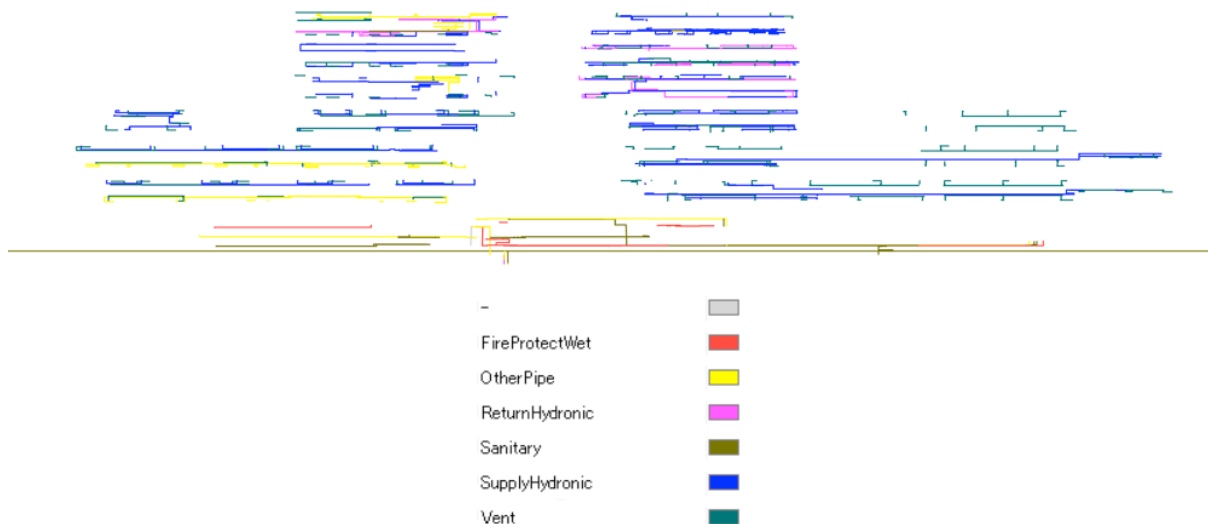


写真 3-7 5C 棟と共同溝とが連続した MEP システムのネットワーク

3.5 生成した系統図の評価

生成した系統図について、筑波大学施設部職員へ説明し、これの利用に関する意見を収集することにより、その評価を行った。表 3-7 に系統図の評価に関するヒアリングの概要を示す。ヒアリングを行う前に、生成した系統図について事前知識が得られるよう回答者へ資料を配布した。加えて、著者によるラップトップを用いたデモンストレーションを実施している。

表 3-7 系統図の評価に関するヒアリングの概要

項目	内容
日程	2015 年 8 月
場所	筑波大学筑波キャンパス中央機械室
対象部署	施設部
回答者	4 名（内訳：機械 2 名，電気 1 名，建築 1 名）
配布物	系統図生成のプロセスを記述した書類
	PDF としてエクスポートされた系統図 （AutoCAD のレイヤを PDF のレイヤとして引き継いでいる）
インタビュー前の説明	ノートパソコンを用いて系統図生成のデモンストレーションを実施
質問	① 生成した系統図は従来のもので表現が似ていますか？
	② 生成した系統図は使用しやすいと考えますか？
	③ 生成した系統図について何か改善すべき点がありますか？

表 3-7 に掲載する質問の回答を以下に記す。

質問①について、2 つの系統図を比較した時、生成した系統図内の空間表現が従来の記法によるものと異なるという回答が 4 名から聞かれた。原因としては、断面図そのものを使用していること、それに伴って一部の MEP 要素の線の表現が変更されていることが挙げられた。

質問②について、生成した系統図が使いやすいかどうかについては、これを生成するプロセスが事前に説明されていれば問題ないという回答が聞かれた。一方で、施設部だけでなく施工業者からの意見を収集する必要がある、彼らは施設部と異なる意見を持つ可能性があるという回答が聞かれた。

質問③について、生成した系統図に対応させて MEP システムの平面図の表現にも修正が必要であるという回答が聞かれた。その理由として、施設管理者は MEP システムについては平面図と系統図を組み合わせて利用することによってその内容を理解している。平面図の表現も併せて改善することにより、生成した系統図がより分かりやすいものになるという話が聞かれた。

筑波大学施設部職員へのヒアリングから、生成した系統図は利用可能なものであることを確認した。一方、系統図の表現で改善されるべき点もいくつか確認した。また、系統図の表現を改善するにあたっては、大学の施設管理者だけでなく施工業者の意見も参考とする必要があることを確認した。

3.6 小括

維持管理に従事している技術者は従来の形式による設計図書の理解に慣れている状況に対して、系統図を対象に BIM データから従来の形式による図面へと変換するプロセスを構築したことが本章の成果である。この橋渡しの技術により、従来の記法に親しんだ技術者が BIM モデルから MEP システムのつながりを把握することを可能とした。

各団体へのヒアリングからは、設計・建設と維持管理とでは親しんでいる設計図書の媒体が異なることを捉えた。筑波大学施設部のヒアリングからは、機械設備における系統の把握に BIM モデルは利用しづらいこととその理由を捉えた。既存の系統図中の表現を整理することから、これを構成するクラスのグループを MEP システムのネットワークと建物躯体・部屋・スペースの二つに分類した。BIM データから従来の形式による系統図を生成する方法として、CAD ソフトウェア上において BIM データから抽出された 2 グループのファイルを用いて描画する方法を設定した。MEP システムのネットワークについては、BIM モデル中の MEP 要素の位置情報・属性情報を用いることにより、これらをテキストファイルに記述し、独立したファイルとしてエクスポートした。CAD ソフトウェア上では、抽出したこれらのファイルを順次取り込むことによって、MEP システムのネットワークの自動的な描画を行った。建物躯体・部屋・スペースについては、これを表現する要素の表現を単純化した状態で断面図としてエクスポートした。CAD ソフトウェア上では、抽出したファイルを読み込み、レイヤ設定が記述された命令用テキストファイルを取り込むことによって、建物躯体・部屋・スペースの表現を調整した。CAD ソフトウェア上で 2 種類のファイルを別々に完成させた後に、二つの図形群を重ね合わせることで、系統図として完成させた。

生成した系統図の評価については、事前説明があれば利用可能であるという一定の評価が聞かれた。一方で、以後の仕様改善に向けた複数の課題が指摘された。また、施設管理者だけでなく、修繕や改修に関わる施工業者の意見を取り入れることの必要性を指摘された。

系統図の生成プロセスの開発に関する課題として、まずはヒアリング結果に応える改善が挙げられる。また、多くの技術者が利用できるような BIM ソフトウェア上のインタフェース改善も必要である。本章では CAD ソフトウェア上で系統図を生成したが、BIM の普及を想定するならば BIM ソフトウェア内で完結する系統図生成するためのプログラムが必要だろう。本章では機械設備の系統図を取り上げたが、生成手法が確立されていなくかつ施設管理場面において多く利用される他の図面・仕様書についても、生成する手段の確立が求められる。

一方で、従来の 2D に依存した理解によらない、3D で MEP システムの系統を分かりやすく記述・理解できるような新しい BIM による設計図書の表現方法の提案をして行くことも必要と考える。

第4章 BIM データを用いた施設管理の効率化

本章では、事後対応に終始していた緊急修繕の対応を事前に行うことによる効率的なメンテナンスサイクルの構築を目指して、蓄積された修繕記録を BIM データに関連付けることから、建築構成要素の更新間隔を予測するシステムを構築した。具体的には、修繕記録に基づいた建物構成要素のトラブル間隔について、重回帰分析を用いることにより算出した。大学では限られた人員・リソースでキャンパス全体が管理されることから、各施設の細部に渡って定常的に点検を行うことは難しい。また、施設設備の故障・トラブルは建物ユーザからの声をもとに事後対応的にその修繕が行われ、これら日常の修繕業務から膨大な記録が発生し蓄積されているが、処理後は放置されており有効活用がされていない。

最初に、既存建物における修繕業務とこれに使用される修繕記録に関わる課題を把握するために筑波大学施設部とその業務委託先を対象にヒアリングを実施した。ヒアリングから抽出した課題を克服するためにトラブル間隔の重回帰分析を設定した。本章におけるトラブル間隔とは、修繕記録から拾い上げる、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。筑波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。図 4-1 にトラブル間隔の分析の手順を示す。まず、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った。次にこれらの情報をスプレッドシートへ入力した。対象の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した。これらの作業結果を踏まえ、分析に用いる相談内容や建物データを選定し、トラブル間隔を目的変数とした分析を実施した。目的変数は修繕記録から算出し、説明変数は BIM データを含めた資料から取得した。BIM データは既存施設の設計図書から変換したものをを用いている。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。段階的に作業を行ったことから、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場合分けをした。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った。

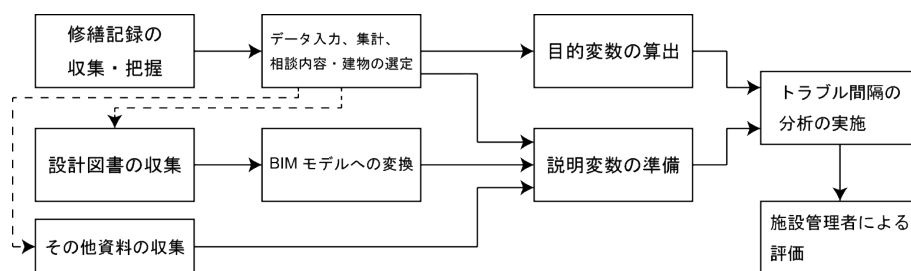


図 4-1 トラブル間隔の分析の手順

4.1 既存建物における修繕記録の利用

BIM データを用いた施設管理の効率化を検討するに、既存建物における修繕業務とこれに使用される修繕記録に関わる課題を取り上げ、また限られた人員で多くの施設を管理している状況を整理した。これらの状況に対して、BIM データを用いることによる施設管理の効率化の方向性を検討した。

4.1.1 修繕に関わる施設管理業務

修繕に関連した施設管理業務について把握するために、筑波大学施設部と維持管理業務の委託先であるメンテナンス会社に対してヒアリングを実施した。表 4-1 に大学施設の修繕に関するヒアリングの概要を示す。

表 4-1 大学施設の修繕に関するヒアリングの概要

項目	内容
日程	2016 年 1 月
場所	筑波大学筑波キャンパス本部棟アネックス
部署	施設部, メンテナンス会社
回答者	4 名 (内訳: 施設部 2 名, メンテナンス会社 2 名)
質問	① 維持管理に関わる業務について
	② 修繕の対応について
	③ 修繕記録の利用、保管について
	④ 修繕に関わる情報の共有について

質問①②に関して、筑波大学では日常の巡回点検や緊急修繕の一次対応についての業務をメンテナンス会社に委託している。巡回点検は機械室や電気室などの重要度の高い室をベースとして、優先度の高い施設や部屋を中心にコースが組まれている。施設の故障・トラブルの多くは建物ユーザからの声をもとにその対処を行っている。緊急修繕においては、建物ユーザからの修繕依頼を施設部で受け、メンテナンス会社へ情報を転送している。メンテナンス会社によって状況確認等の一次対応がなされ、簡単なトラブルについてはメンテナンス会社が対応している。

質問③に関して、修繕依頼書は主に緊急修繕の対応時に情報伝達の手段として利用されている。緊急修繕の依頼は一年間で 3,000 件~4,000 件もの数で発生している。施設部では緊急修繕の対応後、紙媒体の修繕依頼書を番号順にまとめ、量がまとまったらダンボール箱に収納して事務所内の棚に保管している。メンテナンス会社は施設部から提供を受けた修繕依頼書に対して独自の管理番号を振り管理している。

質問④に関して、週 1 回のペースで定例会議を設けられ、修繕に関する情報共有が行われている。また、日常の巡回点検のルートの見直し等が検討されている。

以上のヒアリングからは、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修繕依頼書が発生・蓄積するが、緊急修繕の対応後には利用されていない状況が捉

えられた。1年以内のもののみ施設部が発行している年度報告書^{注4-1)}の作成に使用されているが、その分析内容は地区ごとの件数、月ごとの件数、専門ごとの件数といった簡単な集計結果を用いるに留まる。施設部担当者からは、修繕記録を分析し今後の施設管理に役立てることの意義は感じている一方で、紙媒体のものを分析することが困難でその着手がなかなかできていないことが回答された。記入量の不足や記入形式が統一されていないことなどにより修繕記録そのものの情報量が少ないことも、これの分析が躊躇される要因として挙げられる。既存施設を管理・所管する者にとって、以後の施設管理の方法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、「インフラ長寿命化基本計画」中の情報基盤の活用と整備にも触れられており、効果的な維持管理の実施に向けての必要な情報として扱われている。

また、筑波大学では日常の巡回点検等を業務委託するなど、限られた人員でキャンパス全体を管理している状況が捉えられた。限られた人員・リソースの中で効果的な施設管理を実現するには、事後保全だけでなく予防保全の導入も必要であり、それを支援する手段として蓄積されたデータの利活用が挙げられよう。また、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る。

4.1.2 BIM を用いた施設管理効率化の検討

蓄積された膨大な量の修繕記録を用いた分析を行うにあたり、これらが持つ情報量の限度に加え記入不足等による欠陥を、他資料で補うことからその克服を試みた。施設内の空間・設備・器具に関する情報は設計図書から獲得することができる。建築構成要素が目的に応じて各種図面・仕様書に断片化される既存媒体と比べて、BIMは様々な建築構成要素が建設に関わる様々なルールに基づいて一ヶ所に集約される点に特徴がある。集約されたBIMデータから、それを実現するための空間的・ネットワーク的なルールを使用することにより、該当要素単体のみならずそれに付随する属性情報を引き出し利用することを試みた。

以上から、効率的な施設管理の実現を目指し、修繕記録をBIMデータに紐付けすることによって、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った。修繕記録を使用するにあたり、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ことから、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した。

4.2 修繕記録について

最初に筑波大学で使用される修繕記録を収集し、これをスプレッドシートにデータ入力した。そして、このデータを用いて相談内容と建物名称による集計を行うことから収集した資料の特徴を把握した。

4.2.1 修繕記録の収集、データ入力

収集した修繕記録の概要を表4-2に示す。緊急修繕等連絡書は筑波大学施設の維持管理に関わる記録の中で、学内における使用回数が多いことから収集対象に選定した。建物ユーザ

注4-1) 名称は「筑波大学施設管理」。最新は平成25年度版。筑波大学施設部ウェブサイト（学内のみアクセス可能）から取得できる。

はこれを用いて筑波大学施設部に点検または修繕を依頼している。やりとりの際、書類はFAXまたはメールによって施設部へ送られている。相談によっては、建物の図面や写真が補足資料として添付される。この書式は附属病院を除く筑波キャンパス内の施設で使用されている。参考として、図 4-2 は筑波キャンパスの全体像とその地区割りを示したものである。期間については季節固有の相談が把握できるよう1年分の書類を収集した。

最初に、書類に設定されている項目を整理した。書式で設定されている項目について整理した結果を表 4-3 に示す。依頼者が記入する箇所において、相談内容にあたる緊急修繕の欄では、まず区分を選択し、次に具体的内容を自由記述するようになっている。この欄については依頼者によって同一内容に対して相談内容の記載方法が異なるのが目立っていた。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、依頼者側の部分が充実している一方、対応者側の方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。

筑波大学施設部職員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できるよう設定されている。また、この書式は主に修繕依頼時のやり取りで使用される。修繕の終了後は時系列に整理され施設部の事務所内にて保管される。保管された修繕記録については、現状では分析への利用価値が認められつつも、これを実施する時間を確保できていなく、放置された状態になっている。

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。表 4-3 に示される項目に対応した見出しをスプレッドシート内に設け、記載内容をそれぞれのセルに振り分けていった。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^{注 4-2)}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件数は 4,489 件であった。写真 4-1 は修繕記録の入力データ^{注 4-3)}を示している。

注4-2) 国立大学法人等施設実態調査における筑波大学の棟別平面図は筑波大学施設部ウェブサイト（学内のみアクセス可能）から取得した。筑波大学施設部：棟別平面図／国立大学法人等施設実態調査（様式 3）、筑波大学施設部ホームページ、学内のみアクセス可、(参照 2015-10-19)。

注4-3) 写真 4-1 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。

表 4-2 収集した修繕記録の概要


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	筑波キャンパス
件数	3,407件
書式	



図 4-2 筑波キャンパスとその地区割り

表 4-3 修繕記録内の項目

[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

No	依頼年月日	時間	所属部課等	氏名	内線	FAX	棟名称等	階数	室名	入室時	緊急修繕の区分	緊急修繕の内容
156	平成26年4月9日	09:00	医学系技術室	xx xx	xxxx	3034	医学系学系棟	1	障がい者用トイレ	-	その他	トイレ
157	平成26年4月9日	10:40	体育芸術エリア	xx xx	xxxx	6308	芸術学系棟	6	638	-	その他	窓
158	平成26年4月9日	11:10	北アフリカ研究	xx xx	xxxx	5776	共同研究棟A	各階	南側階段踊り場	-	その他	電球
159	平成26年4月9日	11:20	人間エリア支援	xx xx	xxxx	5747	人間学系系B棟	1	126	-	その他	ドア
160	平成26年4月9日	11:45	学生部学生生活	xx xx	xxxx	2268	体芸食堂	1	食堂ホール	不要	雨漏り	
161	平成26年4月9日	13:30	総務部情報化	xx xx	xxxx	6950	一の矢学生宿	1	-	不要	その他	ネット
162	平成26年4月9日	14:40	数理工学物質	xx xx	xxxx	6305	総合研究棟B	3	廊下	-	その他	キー
163	平成26年4月9日	15:10	数理工学物質	xx xx	xxxx	6501	自然系学系D棟	5	511	不要	その他	電球
164	平成26年4月3日	16:35	総務部総務課	xx xx	xxxx	3972	本部棟高層棟	5	廊下	-	その他	窓
165	平成26年4月1日	-	施設部施設マ	xx xx	xxxx	-	外国人教師等	14	413	-	その他	シャ

写真 4-1 修繕記録の入力データ

4.2.2 相談内容と建物名称による集計

修繕記録の性格を把握し分析の方針を立てるために、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4-4)}。

相談内容（緊急修繕の区分・内容）に基づいた集計の結果を図 4-3 に示す。書式では緊急修繕の区分は 7 項目（水漏れ、雨漏り、断水、ガス漏れ、停電、断水、その他）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。他の区分と比べて数値が高いことから、その他の具体的内容に焦点を当てて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。分類をするにあたり、筑波大学施設部ホームページに掲載される修繕依頼の処理状況一覧^{注4-5)}に記載される項目を参考とした。表 4-4 には処理状況一覧で記載される項目の一部を掲載している。また BIM ソフトウェアが有する建物構成

注4-4) 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（筑波大学施設管理）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4-5) 筑波大学施設部ウェブサイト（学内のみアクセス可能）から取得した。

要素のクラスに対応させるよう努めた。分類したものを集計し直した結果は図 4-3 の右部分の通りである。電球/蛍光灯に関する内容が最も多かった。次に、空調機、ドア、照明器具と続いた。なお図 4-3 には上位にあたる一部の相談内容のみ掲載している。

建物名称による集計について、相談件数の分布を図 4-4 に示す。また、件数の上位 5 棟については表 4-5 に掲載する。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、国立大学大学法人等実態報告の配置図^{注4-6)}に記載される情報から 2 項目、また該当する地区名を表 4-5 には追加した。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。

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。相談内容は表 4-4 中にある大分類から一つずつ選定した。建築ではドア、機械では空調機、電気では電球/蛍光灯である。建物は表 4-5 に掲載する 5 棟を扱うこととした。

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ついては、データ作成時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こととなる。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になる。

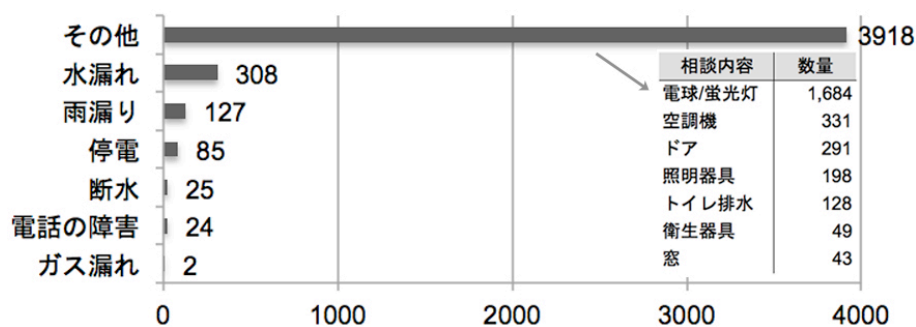


図 4-3 緊急修繕の区分の内訳と“その他”中で多く見られる相談内容

表 4-4 “その他”中で見られる相談内容の分類

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, ルーフドレン, 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

注4-6) 国立大学法人等施設実態調査における筑波大学の配置図は筑波大学施設部ウェブサイトから取得した。筑波大学施設部：“茨城県所在団地の配置図／国立大学法人等施設実態調査（様式 2）”，筑波大学施設部ホームページ，<http://shisetsu.sec.tsukuba.ac.jp/06/2015ibaraki.pdf>，(参照 2015-10-19)。

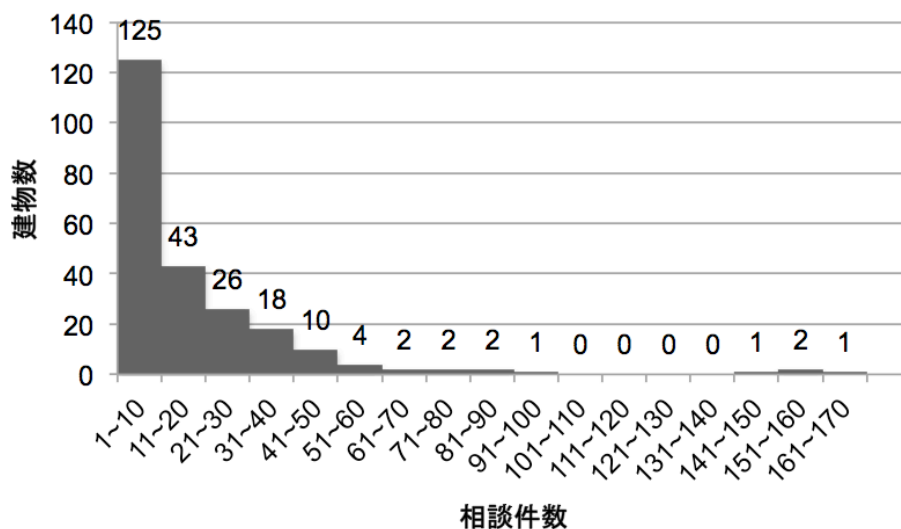


図 4-4 相談件数の分布

表 4-5 相談件数の多い建物

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

4.3 分析のための変数抽出

修繕記録を BIM データに紐付けすることによって、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する方法として、トラブル間隔を複数の説明変数から予測するというアプローチを採用した。そして、トラブル間隔の分析に向けて、その実現に必要な目的変数と説明変数の抽出を行った。

4.3.1 予測手法の選定について

修繕記録中の要素の内的属性における情報量不足を克服するため、これから得られる当該要素に関連した属性値について、BIM を含め他の資料から追加することとした。目的変数については、表 4-3 の項目から時期の値が得られるのでこれからトラブル間隔を求めることとした。これらを満たすものの一つとして、重回帰分析を用いた。重回帰分析を用いることから、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る。トラブル間隔の分析についてのイメージは図 4-5 の通りである。要素の属性値は、それを取り巻く部屋や建物が持つ内容も含めた。

膨大な量の修繕記録から得られるデータを定量的に捉えることとしているため、軽微な事象と重大な事象の区別なく全てのトラブルを等価に扱う前提に立っている。件数が少なくとも内容が重大なものについては通常は個別に吟味する必要があるが、本章ではこれらについては扱わない。

表 4-3 の項目からは時期と位置、緊急修繕の区分・内容を用いる。また、前節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（表 4-5 に掲載）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表 4-6 にまとめた。

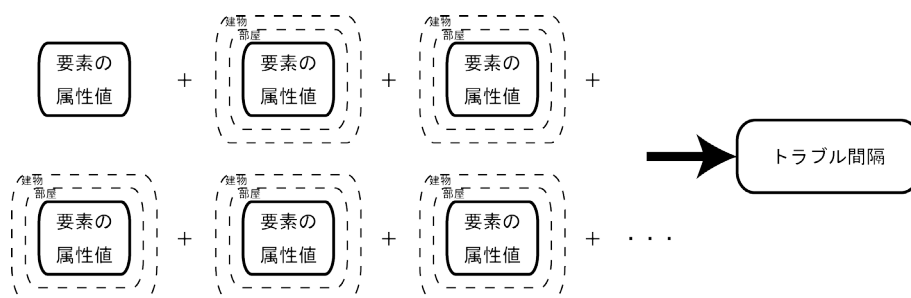


図 4-5 トラブル間隔の分析

表 4-6 主要工事における設計図書リスト

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

4.3.2 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。場所の設定においては、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種類を準備した。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ることに
 よって、同箇所の前回トラブルからの間隔を求めた^{注 4-7)}。目的変数の算出についてのイメ
 ージを図 4-6 の通りである。

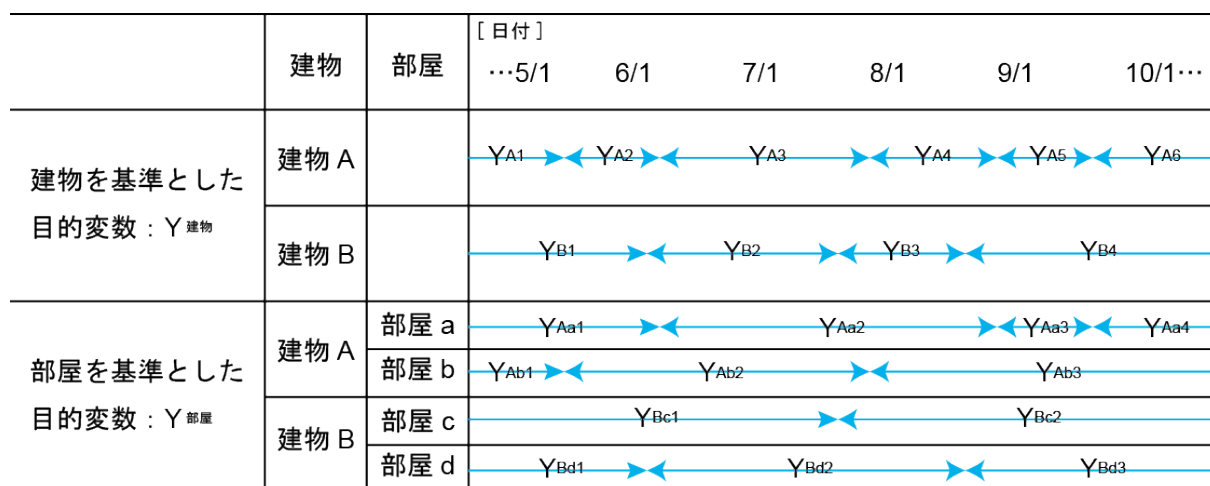


図 4-6 目的変数の算出方法

4.3.3 説明変数

既存の設計図書の BIM データ化

本章では 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。説明変
 数を得るための 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 データ変換・使用例として、表 4-5 中の 5C 棟を取り上げる。BIM データ化の
 作業については 2 章の方法・内容を踏襲する。5C 棟の BIM モデルの外観は写真 2-2 の通り
 である。

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表 4-7 と表 4-8 に分けて示す。これらにおける追加先の「建」
 はドア、「機」は空調機、「電」は電球/蛍光灯を指す。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。

注4-7) 本章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。

表 4-7 建物に基づいた説明変数

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

表 4-8 部屋に基づいた説明変数

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

表 4-7 に掲載するものは、建物の属性値にあたる説明変数をまとめたものである。期間は修繕記録に記載される依頼日を基礎として、これを 2014 年度の筑波大学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に記載される内容を建物名に紐付けることによって獲得した。消費電力は大学の電力情報システム^{注 4-8)}に記載される日付に紐付けることによって獲得した。気温と天気は気象庁データ^{注 4-9)}に記載される日付に紐付けることによって取得した。

表 4-8 に掲載するものは、部屋の属性値にあたる説明変数をまとめたものである。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 4-10)}を使用した。

注4-8) 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4-9) 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4-10) 筑波大学における 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。

BIM データ化された設計図書の利用

BIM データからの説明変数の取得においては、建築構成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ている。BIM において、BIM データ内のオブジェクトは位置情報を保持しているだけでなく、採用しているクラスが持つルールによって他のオブジェクトと関連付けられており、様々なルールや関係性を保ちながら膨大なオブジェクトが BIM データ内に統合されている。図 4-7 は BIM データ内の要素の空間的關係またはデータ上のつながりを表現したものである。BIM を用いたデータ取得方法について表 4-9 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。複数のオブジェクトが配置されることによって値が決定される点において、性格が異なるため方法 1 と区別した。写真 4-2 に示すのは、ドアがつなげる 2 部屋を記述した属性値についての表である。この表はドアについて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。属性値だが、BIM データ化においてドアオブジェクトの配置に加え、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。ドア数は写真 4-2 に示す表を用いることによって取得した^{注 4-11)}。

方法 3 では図 4-8 のイメージ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要素を数え上げる^{注 4-12)}こと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 4-13)}。

注4-11) 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（写真 4-2 参照）。

注4-12) 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4-13) 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。

修繕記録

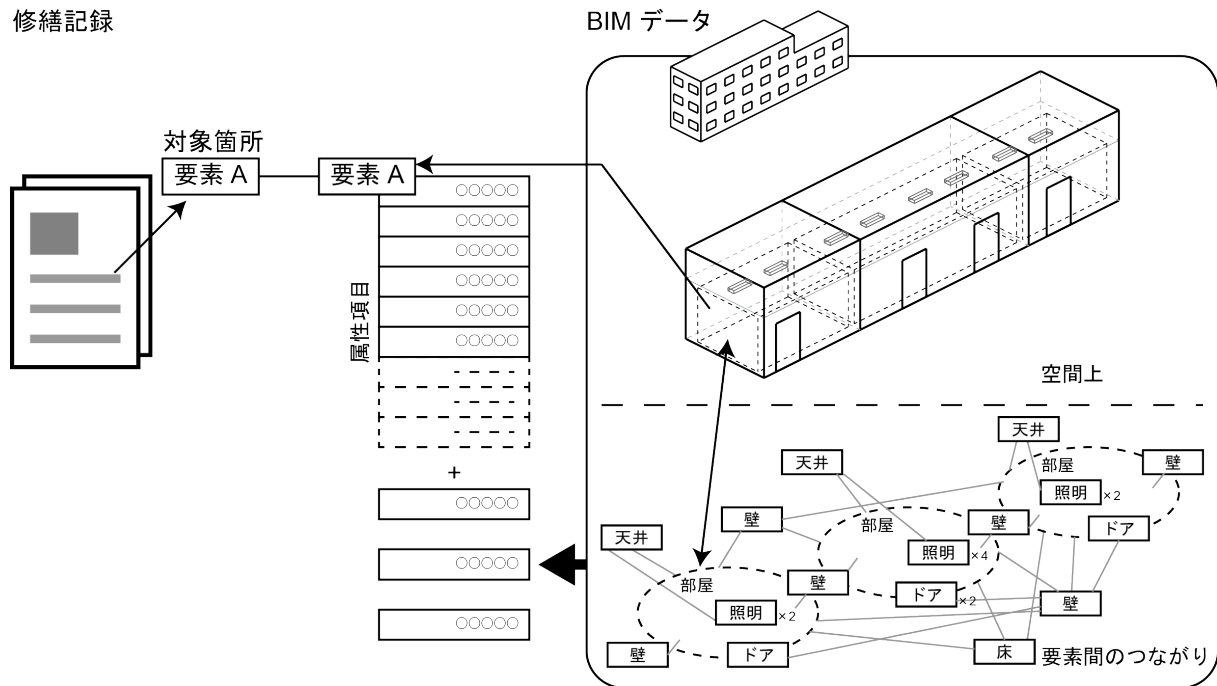


図 4-7 BIM データ中の要素における空間的・ネットワーク的關係

表 4-9 BIM を用いたデータ取得方法

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	クリックして建
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	

写真 4-2 ドアの属性情報 (方法 2)

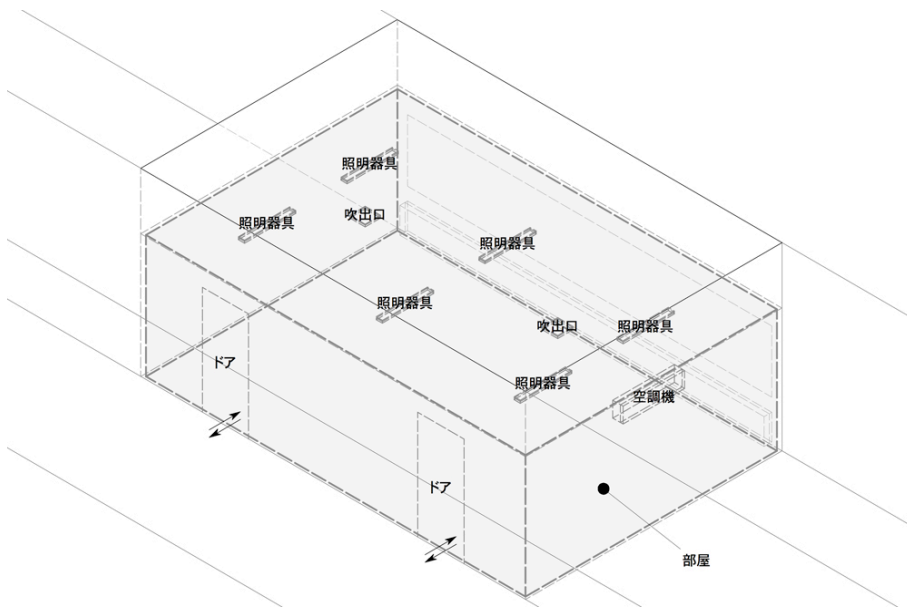


図 4-8 部屋内の要素の数え上げ (方法 3)

クラス間の包含関係の適用

ここまでで設定した2種類の目的変数、説明変数を用いるにあたり、図4-9に示すクラス間の包含関係を前提とした分析を実施した。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を使用した。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。

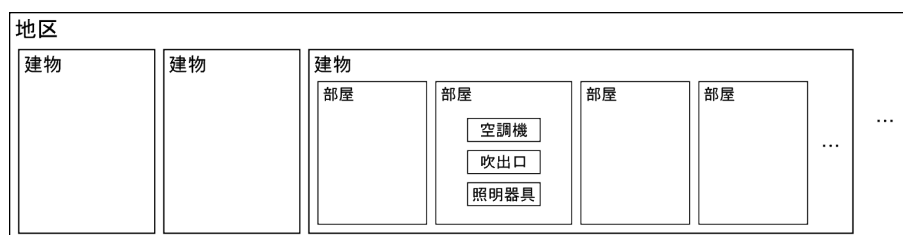


図 4-9 クラス間の内包関係

4.4 トラブル間隔の重回帰分析

前節で準備した変数と設定を用いてトラブル間隔の分析を実施した。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4-14)}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ものを表4-10から表4-12に示す^{注4-15)}。

重回帰分析は段階的に行っており、目的変数については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は表4-5掲載の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。

4.4.1 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を見ると、これを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。

注4-14) IBM社SPSS Statistics 19.0を使用した。

注4-15) 表4-10, 表4-11, 表4-12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。

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。

4.4.2 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を見ると、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。

4.4.3 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を見ると、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、電球/蛍光灯においては、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。実際の値を代入することにより、電球や蛍光灯の規格の一つとして設定される定格寿命との差異を調べた。

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

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4-16}、更に修繕記録中で相談が見られた執務室（照明器具数：8ヶ所）と実習室（照明器具数：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。照明器具数が増加するに伴いトラブル間隔は短縮されたが、劇的な減少は見られなかった。このような値が算出される理由は多く考えられるが、その中の一つとして、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。

重回帰式の内容を見るに、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く、それより小さい値で出てくることを捉えた。

注4-16) [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。

表 4-10 重回帰分析の結果（ドア）

目的変数	建物			部屋			
	A	B	C	A	A	B	B
グループ 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 / 表 4-5 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（表 4-11, 表 4-12 も同様）

表 4-11 重回帰分析の結果（空調機）

目的変数	建物			部屋			
	A	B	C	A	A	B	B
グループ 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**

表 4-12 重回帰分析の結果（電球/蛍光灯）

目的変数	建物			部屋			
	A	B	C	A	A	B	B
グループ 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**

4.5 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判定するために、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・コメントを収集した。収集した意見・コメントを以てその評価とした。トラブル間隔の分析結果に関するヒアリングの概要を表 4-13 に記す。なお、前節の目的変数/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図 4-9 に掲載する。これを作成するにあたっては、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4-17)}。

注4-17) 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。

表 4-13 トラブル間隔の分析結果に関するヒアリングの概要

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

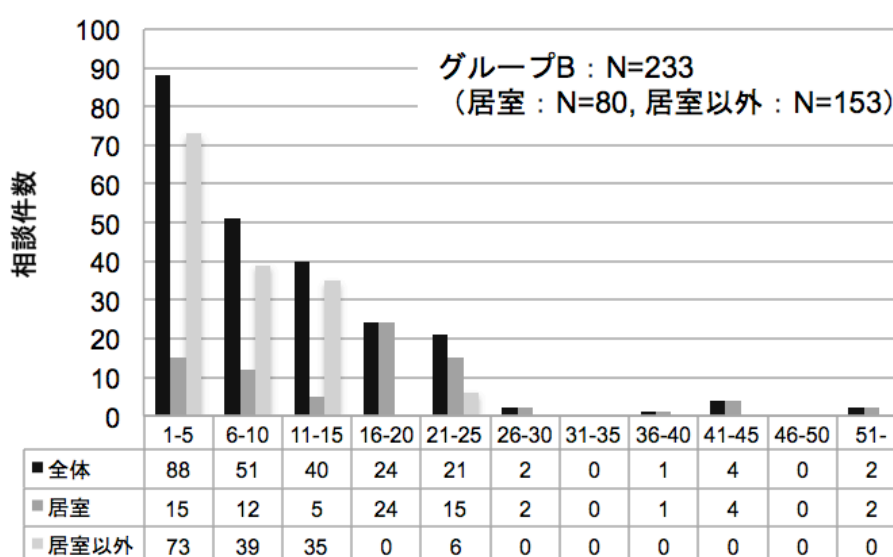


図 4-9 相談件数の分布（電球/蛍光灯，グループ B，照明器具数）

ヒアリング結果に関して、相談内容と建物名称の集計結果からは、今まで実施されなかった集計であることより、件数の多い相談内容と建物を把握できたことに満足されていた。しかし、多くの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がなかったことから、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が聞かれた。電球/蛍光灯・照明器具数で図4-9を説明した際に、居室にて照明器具数が16~20、21~25の部屋で相談件数が多いのは、交換方法が大きく影響していることが聞かれた。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直接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。

照明に関して、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であることが聞かれた。図4-9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導き出された。照明器具数については、ヒアリングから得た一括納入している部屋（居室）を除くと、照明器具数の増加に応じて相談件数が減少する様子が捉えられ、これが施設部職員の負担に関係していることが把握できた。電球/蛍光灯については、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。

4.6 小括

施設管理の効率化を目指して、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構成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、修繕記録から得られる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章の成果である。

BIMデータから得た説明変数に注目すると、ある程度のサンプル数が確保された目的変数/部屋・グループBにおいて、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、本章で設定するような分析手法において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ことから、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の課題が残った。BIMデータを用いた説明変数の取得では、3種類の方法を取り上げたが、BIMが持つデータ構造を踏まえれば、注目したのは多くある方法の中の一部と言える。予測システムの性能向上に向けては、新たなデータ取得方法について検討する余地は大きい。

トラブル間隔の予測精度について、空調機における決定係数はある程度の数値の高さを確保したが、ドアと電球/蛍光灯のそれは低く、またヒアリングにおいて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は、トラブル間隔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。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。この側面からは、BIMデータから得られる修繕記録中の当該要素とそれに関連する他要素等の属性情報に内包される、トラブル発生メカニズムを検討することから施設管理の改善に繋げる利用可能性を捉えた。

設備要素の更新を予測する今後の課題として、トラブル間隔の分析の精度向上に向けて、新たな有意となる説明変数の発見、先ほど述べた新たなデータ取得方法の発展が必要である。一方で、モデル自体を再考する可能性についても触れなければいけない。事後保全のものを予防保全に変えて行く意味での施設管理の効率化が最終目標であるが、蓄積された修繕記録の利用方法は本章で設定したものに限らない。本章ではBIMデータを適合させるためのモデル選択もあり、重回帰分析を採用している。しかし、設定したトラブル間隔は生存時間分析(Survival analysis)の生存時間の内容に近く、また、機械・システム分野において故障率にはバスタブ曲線の適用が一般的であり、これらの方法も検討する必要がある。モデル再の検討する中でBIMの適用を再考する必要もあるだろう。

第5章 結論

ここまでに、既存設計図書を BIM データ化する中でその手順や特徴、課題を整理し、また、施設管理における現場のニーズに対応する BIM を用いた施設管理技術を開発した。本章では第 2 章から第 4 章で得られた結果を踏まえ、既存の設計資料をベースとした BIM データの利用像、既存施設の長寿命化に向けた BIM の活用、また今後の展望について述べる。

5.1 既存の設計資料をベースとした BIM データの利用像

既存建築ストックの紙媒体による設計図書から仮想空間上に実寸スケールの BIM データを構築し、以後は施設管理に必要な情報を全て BIM から得るとというのが、本論文で描く BIM を用いた施設管理のイメージである。第 2 章において、既存設計図書の BIM データ化を取り扱ったが、これの実現に伴いどういった施設管理が行われるかについて述べる。国立大学を対象としたことから、施設管理者と大学事務・教員とで利用者を区別して記載した。

5.1.1 施設管理者による利用

施設管理者による利用について、新しく実現すること、BIM データを扱うにあたっての課題に関する話題を記載した。また、施設の建設時期で区別した BIM データ整備のプロセスや課題を記載した。

維持管理場面におけるフロントローディング

紙媒体から BIM データに移行することによって、既存建築ストックの維持管理場面におけるフロントローディングが実現するだろう。ここでは、設計図書を確認することによって、現地でないことを確認できない情報のいくらかを事前に知ることができることを指す。

例えば、機械設備に関してダクトや配管等に故障・トラブルがあった際、今までは設計図書のみでは位置が特定できないため、おおよその箇所を限定した上で現地に赴き、点検口から確認するまたは壁・天井等を解体することによって対象を特定し現状把握をしていた。故障・トラブルの状況など、現地でないことを確認できないものも存在するが、そこにたどり着くための手順・労力の減少に貢献するだろう。現地で確認するには、広大なキャンパス内での移動があり、建物内の移動があり、場合によっては壁や天井の解体も必要となるが、BIM データによる仮想空間状の建物を確認することからこの作業のいくつかを省略することができる。BIM モデルから該当要素の位置情報等を得ることは、機械設備に限らず他の要素についても、手順・労力の軽減につながるだろう。

第 2 章の紙媒体の設計図書の分析から、機械設備において、実際には各系統の配管が入り組んで配置されているのを、既存の系統図ではこれらを抽象化し配置を整理することによって、それぞれのつながりを容易に読み取れることを可能にし、引き換えとして設備要素のサイズ・位置の記述の正確さを犠牲としていることを指摘することから、BIM データの特徴を捉

えた。今までの設計資料で具体的な形状・配置を単純化・抽象化していた要素に対し、BIM データ中に実物と同等の要素として配置されることにより、これら要素の形状や配置が実寸スケールで正確に読み取ることが可能となる。

一方、本論文でカバーできなかったこととして、BIM データ中の要素を調べることから、いつ作られたものなのか、性能は、交換部品の型番はなど、要素に付随した属性情報を利用する像である。第2章のBIM データ化作業においてはBIM ソフトウェアに標準搭載のクラスしか利用していなく、また属性情報の収録には触れていない。そのため、属性情報の踏み込んだ利用像までは述べられないが、例えば、ドア修理の相談が来てこれを調べるときにBIM モデルの該当ドアを選択することから、その型番からドアノブやドアクローザー等の交換部品についての情報を得ることができたら便利であると考え。属性項目の設定にまで踏み込み収録内容を整理することによって、BIM モデルが状況把握だけでなく先取りをした対応も事前に行え、施設管理者側の作業効率化に貢献できるものと考え。施設管理者の限られた人員・リソースを効果的にまわしていくのに貢献する点において、BIM がもたらすフロントローディングに利点が捉えられる。

建築構成要素への修繕・利用履歴等の蓄積

修繕・利用の履歴等の蓄積に関して、BIM を利用するならば、これを構成するいずれかの建築構成要素に紐付けていく方がいいだろう。それぞれの建築構成要素に対応して履歴が整理されると、これらの再利用が容易になる。

BIM モデルは膨大な量のオブジェクトから構成されるが、それぞれのオブジェクトには建築要素に対応したクラスが持つ性質が含まれており、属するクラスの性質によって階層化されている。そのため、個々のオブジェクトを特定することが容易である。対して紙媒体の設計図書においては、ほとんどの図面と表はデータとしては関連付けられていない。例外として、建具はリスト形式で表現される建具表とで建具配置図によって図面として関連付けられているが、データとして紐付けられている訳ではない。第4章において緊急修繕等連絡書の内容把握から、例えば、ドアの故障があった際に部屋名は記述されるが、部屋内のどれであるかまでは記述されることは少なかった。空調機や蛍光灯等の故障でも同様である。これに対して、BIM を利用することにより、修繕・利用等の履歴を記録する際、その内容を紐付ける対象にあいまいさがなくなる。

また、BIM モデル中のオブジェクトと紐付ける対象は修繕・利用等の履歴だけではない。センサー等から得られる情報も当てはまる。例えば、建物中の設備・器具にセンサーを設置して定期的に収集したデータを、BIM データ中の対応するオブジェクトに紐付けることによって管理することも可能であろう。

BIM データの加工技術

BIM によって実物と同等の建物を仮想空間上で理解すること、BIM データ中のそれぞれのオブジェクトが持つ膨大な量の属性項目を利用することは、施設管理者にとっては困難なことでもある。施設管理場面における BIM の普及には、これの一部を取り出したりは抽象化する技術開発も必要であり、第3章で開発した BIM モデルから系統図を生成するアルゴリズムも含まれる。

第2章における紙媒体の設計図書の分析から、機械設備図では系統のつながりを表現するのに重点が置かれるため機械設備の要素のサイズや具体的位置の特定が難しくなっており、この問題を克服する点に BIM データ化のメリットを捉えた。逆に、第3章からは、機械設備のあるシステムの系統を、BIM モデルを用いて理解しようとするのと却って困難であること

を指摘し、これを克服する手段として BIM モデルから従来の形式による系統図を生成した。また、これは伝統的な設計図書に慣れ親しんだ技術者向けの加工技術とも言える。

機械設備における系統の把握以外にも、施設管理の目的に応じて BIM データ中の一部要素を選び抽象化することから理解しやすいデータを作るなど、BIM データを加工する技術の開発が必要である。設計図書の利用状況から施設管理におけるニーズを捉えていくことが大事になるだろう。

施設の建設時期で区別した BIM データの整備方法

設計図書を BIM データ化するにあたって、その整備プロセスは施設の建設時期によって 3 通りに分けられる。図 5-1 は設計図書の BIM データ化のプロセスを施設の建設時期で区別して図示したものである。

上の段について、多くの既存施設においては全ての設計図書は紙媒体である。この場合、第 2 章で整理したように建築工事の設計図書を最初に BIM データ化し、建物躯体を基礎として機械設備工事と電気設備工事の設計図書を BIM データに統合していくことになる。

真ん中の段について、第 2 章の調査からわかったこととして、現行の建設工事においては、施設管理者側へ納品はされていないが、業者側の一部で個別に BIM データが構築・活用されていることが挙げられる。この状況を踏まえるならば、施設管理者側で各業者が作成した BIM データを入手し、統合する仕組み・体制の構築が重要となるだろう。入手可能な BIM データは全ての工事をカバーしているとは限らないので、これを基礎として、CAD、PDF または紙媒体の設計図書によって記載される他の工事内容を統合していくシナリオが想定される。ただ、本論文ではシナリオとプロセスの想定に留まっているため、個別の建設事例に対して BIM データ化のシナリオ・プロセスを検討することが課題である。

下の段については現在のところ実現されていないが、今後、国立大学の建設に係る制度が BIM を前提とした内容となれば、設計から施工、維持管理まで BIM を用いてプロジェクトが進行することになるだろう。一方、現在の段階ごとの BIM の普及度を考慮すると、設計・施工の方が導入に積極的であることから、これらのプロセスに必要な属性項目が優先された BIM データを維持管理側で使用することが予想される。BIM 普及の恩恵を受けるには、維持管理側からも必要な属性項目を提案することが必要であり、それを実現するための施設管理に必要な属性項目の把握・整理が課題と考える。BIM で施設管理を実施するにあたっては、維持管理側からの属性項目の指定が大事であり、上流側に要求することにより維持管理において使いやすい BIM データが納品されるようになるだろう。

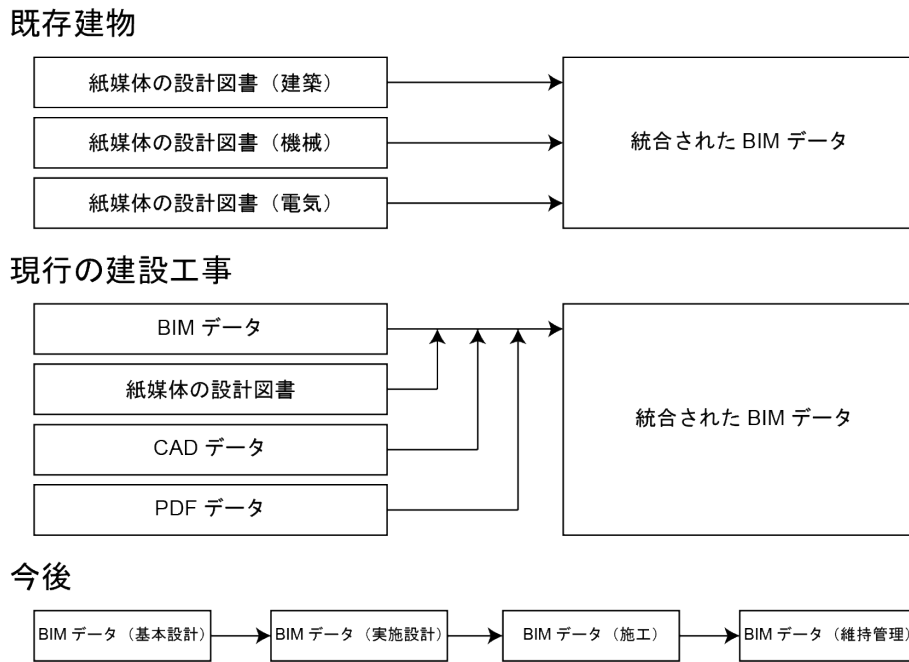


図 5-1 建設時期で区別した BIM データ化のプロセス

5.1.2 大学職員・教員による利用

建物を 3D モデルとして扱う BIM の性質は、紙媒体の図面で表現される建物と比べて全体像と細部の把握が容易であるため、大学事務・教員にとっても有用な媒体であると考えられる。一方、これらのユーザに対しては、BIM が持つ膨大な種類のクラス、専門性の高い属性項目を多く含む点が障壁となる可能性がある。

BIM データは設計・建設の用途に応えるため建物を構成するクラスの分類が細かく、それぞれに設定される属性項目の量は膨大であり、項目の多くは専門性が高い。そのこともあり、本論文における BIM データの利用層は、建築図面の理解が容易に行える、建築の専門教育を受けた技術者・施設管理者を想定している。

大学事務・教員に向けては、BIM データが容易に利用できるよう事前の加工が必要であり、データ加工の方針を策定することが不可欠である。多くのユーザが BIM データを理解し利用できるよう、利用するクラスと属性項目の取捨選択をし、各クラスの表現の詳細度も調整することが必要であると考えられる。

施設管理における利用については、緊急修繕を依頼する際の意味疎通のツールとしての利用が想定される。この場合、実物と BIM モデル中のオブジェクトとの対応が取れるような意味疎通の方法となる。例えば、緊急修繕等のトラブル発生時に、該当の部屋や器具等に対して、BIM モデルから得られる個別 ID を記載し故障・トラブルの状況を伝える流れが想定される。部屋の指定だけでなく器具・装置の指定までできれば、後に利用しやすい修繕・利用の履歴となる。または、該当の箇所を BIM モデル中から選び、コメントを記入することによって意思を伝達する利用が想定される。これについては、仲間らによって Web ブラウザを介して BIM モデルを操作することによるコミュニケーション手法の開発が進められている^{35),37)}。

また、BIM データを加工し利用する展開も想定され、その用途として、建物の 3D マップとしての利用、ある程度の精度を持った 3D データの研究への利用が挙げられる。

5.2 既存建築ストックの長寿命化に向けた BIM の活用

本論文の作業を通じて見えてきた、既存の設計図書ではできない BIM を活用することによる既存建築ストックの長寿命化に向けた施設管理技術の像について 2 点述べる。

5.2.1 BIM データ中の要素間の関係を利用

一つに、BIM モデルにおける要素群の巨大で複雑な空間的・ネットワーク的つながりの活用した管理技術の可能性が挙げられる。

この性質を利用したものとして第 4 章が挙げられ、膨大な量の修繕記録を用いた設備更新の予測システムの開発する中で、BIM モデルにおける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。

紙媒体の設計図書だと図面・仕様書ごとに情報が分断されており、建物内の要素どうしは意味としてのつながりや関係はあるが、データとしては記録されない。対して、BIM は建築構成要素の集合とそれらを繋ぐルールを一つのデータ内で統合するものである。一元化された BIM データ中から空間的またはネットワーク的關係を用いて必要な複数要素を選び出し使用することに、BIM ならではの新しさがあると考ええる。

例として、重大な事故・故障・トラブルが発生した場合において、該当要素の属性値としてその内容・対応結果を紐付けるだけでなく、該当要素の近辺にある要素またはネットワーク的につながりのある要素を引き出して、併せて記録することが有効でないかと考える。要素間のつながりや構造を加味して事故履歴を記録することにより、後に類似する施設や箇所を特定するのに利用でき、同種のリスクに対する予防策を特定した施設や箇所に施すことができるのではないかと考える。

5.2.2 複数施設にわたる属性情報の一括利用

もう一つに、キャンパス内の複数施設を BIM データ化することにより、データベース上でこれら施設が持つ属性情報を建築構成要素レベルで一括利用することが可能になる。建築構成要素レベルでキャンパス内全施設のオブジェクトを並び変えまた比較することから、既存施設の長寿命化に役立つ情報が得られるだろう。また、これは筑波大学のスケールメリットを生かした BIM データの利用像として挙げたい。

タイル等による外壁の更新を検討する場面を例に記載する。データベース上で外壁を材料、施工年、または面積で並び変えをする。そうすると、同材料で同時期に施工されたものをキャンパスにまたがって確認することができる。また、類似する材料も表示すれば、材料の統一化を検討することもあるだろう。工事を計画するに、部材素材の共通化が行えて費用節約を検討することも可能であると考ええる。従来の設計図書を用いるならば建物ごとの検討となるだろうが、BIM を用いることによってキャンパスを横断した検討も可能になる。

ただ、本論文では単体施設の BIM データ化を扱うに留まっているため、本項で想定したシナリオについては、複数施設を BIM データ化した上で踏み込んで実現可能性の検討をすることが必要である。

5.3 今後の展望

本論文では、既存施設の維持管理における BIM の利用に関して、既存設計図書から BIM データ化を行うシナリオを想定し、これを実現する手順を整理したことが新しい成果である。また、既存設計図書から構築した BIM データの利用に関して、施設管理に関わる技術者が慣れ親しんだ図面として、系統図を BIM データから生成するアルゴリズムを開発したこと、また、膨大な量の修繕記録を用いた設備更新の予測システムの開発するに、BIM モデルにおける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成果である。

本論文で扱った内容に関する今後の課題については、各章の小括に記載した通りである。ここでは、本論文でカバーしなかった課題について 3 点触れたい。

一つ目に、設計資料が全く存在しない既存施設における BIM データ構築が挙げられる。第 2 章では既存建築ストックの中で設計図書が現存している建物を対象とした。一方で、表 3-1 に掲載したヒアリングからは、設計図書が全く現存していない建物も多く存在することがわかった。既存建築ストックを対象にするならば、設計資料があるケースだけでなく、ないケースについても BIM データ構築を検討する必要がある。

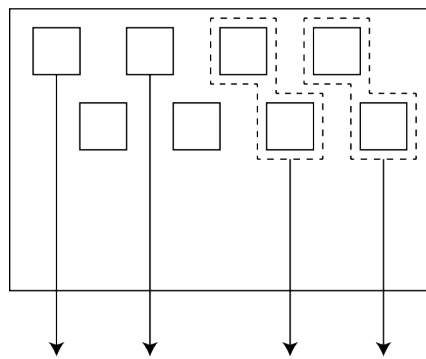
二つ目に、実空間に存在する要素と BIM データ中の要素とを対応させ、かつ実空間から得られる情報を随時 BIM データに反映させ、これを利用する手法に関する技術開発が挙げられる。第 4 章では BIM データ中の要素と修繕記録中の要素を対応させる手法を扱ったが、対応させるものは修繕・利用履歴だけではない。現在では、IoT (Internet of Things) も浸透してきており、最新のセンサーやネットワークの技術を用いて、扉や外壁、キッチン、収納、浴槽、トイレなどからの情報を集めるといった、効果的な施設管理を目指したデータ利用の検討が見られる^{注5-1)}。Nakama らの研究³⁶⁾も IoT と BIM モデルとの連携に焦点を当てているものである。仮想空間上の要素と実空間の要素とを対応させることに注目した技術開発も発展が望まれる分野である。

三つ目に、BIM データ中のオブジェクトが持つ属性値等を集計することによって、建物を代表する値を算出する手法の技術開発が挙げられる。2 種類の BIM データ中の要素が持つ属性値の利用イメージを図 5-2 に示す。左は第 4 章の作業を想定しており、BIM データ中の要素が持つ属性値を、他の資料中の対応する要素に結びつけ利用するものである。右は BIM データ中の要素が持つ属性値を集約し、建物を代表する値として算出するもので本論文では扱っていない。例えば、CASBEE (建築環境総合性能評価システム) に代表される環境性能の評価があり、これを算出するツールの開発も見られる^{注5-2)}。また、GIS (地理情報システム) の建物ポリゴンデータの属性値としての利用や、その他、建物の評価値として使用する方向性が想定される。要素を集計することに注目した研究も発展の余地がある。

注5-1) 株式会社 LIXIL は実証実験施設を建設するなど、住生活における IoT の活用に向けたプロジェクトを進めている。その中で最新のセンサーやネットワークの技術を用いて、日々の住生活に関わるデータを収集し、これを平面図等に表現される空間と結びつける取り組み等がなされている。(参考) 株式会社 LIXIL: “LIXIL だからできる住生活の未来に向けて、「住まいの IoT」の実現へ LIXIL IoT House プロジェクト始動 ～東京大学坂村健教授と共同研究を開始し、実証実験施設を建設～”, LIXIL ニュースリリース, http://newsrelease.lixil.co.jp/news/2015/070_company_1202_03.html, (参照 2016-10-02)。

注5-2) 一般社団法人日本サステナブル建築協会による Autodesk Revit の拡張ツールが挙げられる。(参考) 一般社団法人日本サステナブル建築協会: “Autodesk Revit Extension for CASBEE のリリースについて”, ニュース一覧 (2010 年), http://www.ibec.or.jp/CASBEE/revit_CASBEE.htm, (参照 2017-01-03)。

統合された BIM データ (4 章)



統合された BIM データ

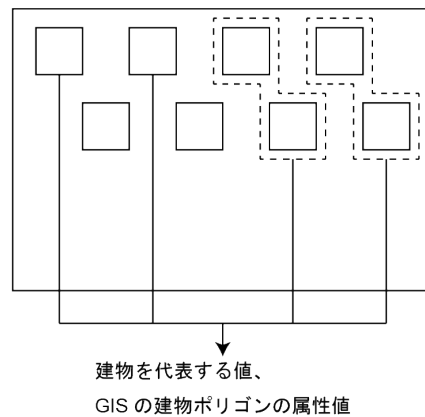


図 5-2 BIM データ中の要素が持つ属性値の利用像

最後に、既存建築ストックの長寿命化に向けて BIM を導入することの有無についてであるが、現時点ではデータ作成の作業やコスト負担などの懸念がある。本論文では、既存施設の設計図書を BIM データ化することの一部しかカバーしていなく、また、作業量等の踏み込んだ分析までは行えていない。

ところで、企画・設計場面でも最初は作業量やコストが課題とされていたが、データ製作の体制の整備や種々のプログラムの開発によってこれらが克服されてきており、施工場面でも BIM データの活用に向けて積極的な取り組みが進んでいる。施設管理場面についても同様の展開を想定しており、目的や利用像が明確になれば、既存建物の BIM データ化も大きな負担ではなくなると考える。ただ、これを判定できるまでの BIM を用いた施設管理技術が整備されている状態になく、その議論が行えるよう施設管理の現場のニーズに対応した技術を発見しそそえて行くことが当面の目標と考える。既存建物から得られる情報で BIM データを構築する場面の整理と構築技術の整備、また、BIM データを用いた施設管理像の明確化の二つが BIM 導入の有無を判定するために必要な条件であると考え。

初出一覧

論文名（公表誌）	本論文該当箇所
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. ※査読付	第 2 章
Matsubayashi M and Watanabe S. Generating schematic diagrams of MEP systems from 3D building information models for use in conservation. In: <i>Proceedings of the 20th international conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2015</i> , Daegu, Korea, 2015, pp.293-302. ※査読付	第 3 章
Matsubayashi M and Watanabe S. Generating two-dimensional schematic diagrams of mechanical, electrical, and plumbing systems from three-dimensional building information models. <i>International Journal of Architectural Computing</i> 2016; 14(3): 219-232. ※査読付	第 3 章
Matsubayashi M and Watanabe S. Forecasting time between problems of building components by using BIM. In: <i>CAADence in Architecture - Proceedings of the International Conference on Computer Aided Architectural Design</i> , Budapest, Hungary, 2016, pp.107-112. ※査読付	第 4 章
松林道雄, 渡辺俊: 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, 日本建築学会計画系論文集, 第 82 巻, 第 734 号, 2017.04 掲載予定. ※査読付	第 4 章

- Matsubayashi M and Watanabe S. Converting drawings and specifications of building stock to BIM model. In: *Proceedings of the 19th conference on computer-aided design research in Asia CAADRIA 2014*, Kyoto, Japan, 2014, pp.929–930. 第2章
- Matsubayashi M and Watanabe S. Using BIM for conversion of design documents into electronic Form, In: *Abstracts of the 5th Annual Tsukuba Global Science Week (TGSW 2014)*, Tsukuba, Japan, 2014, p.119. 第2章
- 松林道雄, 渡辺俊: 国立大学既存ストックにおける設計仕様書電子化の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 情報システム技術, pp.39-40, 2014.09. 第2章
- 松林道雄, 渡辺俊: 既存建築ストック更新に向けた BIM による設計図書電子データ化とその利用可能性 接続情報を用いた複数要素の関連付け, 応用地域学会 2014 年度第 28 回研究発表大会, 2014.11. 第3章
- 松林道雄, 渡辺俊: 接続情報に基づく BIM モデルからの系統図の生成 BIM を用いた電子データ化による設計図書の整備とその利活用, 日本建築学会 第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.211-214, 2014.12. 第3章
- 松林道雄, 渡辺俊: 3D モデルを用いた既存大学施設の修繕記録の内容に関する検討, 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.245-248, 2015.12. 第4章
- 松林道雄, 渡辺俊: BIM と修繕記録を用いた既存建物の部位等の更新間隔算出, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 情報システム技術, pp.125-126, 2016.08. 第4章

謝辞

本論文をまとめるにあたり、指導教員の渡辺俊先生からは研究室ゼミや各種審査を通じて、数々のご指導、ご助力、ご支援を賜りました。常に成果を出すことに厳しいご姿勢またご指摘からは、今後も研究を続けていく上での大きな学びがあったように思います。

複数回の論文審査に渡り、有田智一先生、雨宮護先生、大澤義明先生、張勇兵先生からは貴重なご指摘、ご助言を賜りました。また、研究テーマに関連したシンポジウムのご紹介など多くのご支援をいただきました。

BIM 研究の先駆者である熊本大学の大西康伸先生には、熊本訪問時に快く迎えていただき、また維持管理における BIM 利用に関する貴重なご指摘、ご助言を賜りました。

筑波大学施設部のみなさまからは、大学施設の設計図書や緊急修繕等連絡書、各施設の基礎データなど本研究を進める上で必要な資料をご提供頂きました。また、多くのヒアリング調査にもご協力いただき、研究を進める上で貴重なご意見、ご指摘をいただきました。

博士課程の生活を通して、在籍した都市情報研究室のみなさんや文科系修士棟の研究室のみなさんとは、日々の談笑や食事等からたわいもない話をし、また研究に関する議論もしました。忙しく過ごす中にも楽しい時間があり、有意義な大学院生活だったように思います。

本論文を結ぶにあたり、お世話になりましたみなさまに深くお礼申し上げます。

2017年1月
松林 道雄

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) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：官庁営繕事業における BIM 導入プロジェクトの開始について，国土交通省報道発表資料，2010.03.
- 3) 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/afieldfile/2015/03/31/1356260_2_1.pdf, (参照 2016-10-12).
- 4) 文部科学省大臣官房文教施設企画部：“国立大学法人等施設実態報告書 平成 27 年度”，文部科学省 国立大学法人等施設の実態，
http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/kokuritu/_icsFiles/afieldfile/2015/08/28/1297929_1.pdf, (参照 2015-10-19).
- 5) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：「BIM ガイドライン」の策定とその運用について，国土交通省報道発表資料，2014.03.
- 6) Eastman C, Teicholz P, Sacks R, et al. *BIM HANDBOOK*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008, p.490.
- 7) 大西康伸，両角光男：3DCAD 及び解析ソフトを活用した包括的建築教育プログラムの開発とその評価，日本建築学会計画系論文集，第 76 巻，第 665 号，pp.1337-1345, 2011.07.
- 8) 加戸啓太：伝統木造構法の精緻なモデル化に関する研究，千葉大学，2011，博士論文.
- 9) 加戸啓太，平沢岳人：精緻な建築デジタルアーカイブの作成と活用に関する研究，日本建築学会技術報告集，第 15 巻，第 30 号，pp.581-584, 2009.06.
- 10) 加戸啓太，平沢岳人：伝統木造建築物のデジタルアーカイブ化における部品雛形と部品に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第 76 巻，第 662 号，pp.877-886, 2011.04.
- 11) 平沢岳人，加戸啓太：精緻なデジタルアーカイブから生成する五重塔の振動モデルに関する研究，日本建築学会技術報告集，第 17 巻，第 35 号，pp.397-400, 2011.02.
- 12) 加戸啓太，田中智己，平沢岳人，西山功：精緻なデジタルアーカイブでの関連資料の管理とその閲覧利用に関する研究，日本建築学会技術報告集，第 19 巻，第 42 号，pp.779-782, 2013.06.
- 13) 田中智己，高林弘樹，加戸啓太，平沢岳人：三次元モデルによるツーバイフォー構法の知識表現に関する研究，日本建築学会技術報告集，第 20 巻，第 45 号，pp.803-806, 2014.06.
- 14) 木本健二，片岡誠，高橋肇宏：BIM を用いた建築基準法適合判定に関する基礎研究，日本建築学会計画系論文集，第 76 巻，第 666 号，pp.1443-1351, 2011.08.
- 15) 武藤正樹，左海冬彦，小野久美子，石原直，加戸啓太，長谷川直司：建築物の技術基準へ

- の適合確認における電子申請等の技術に関する研究その1 技術開発ステップの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 情報システム技術, pp.111-112, 2013.08
- 16) 三木秀樹, 一ノ瀬雅之, 須永修通, 中野民雄, 市川憲良: 空調・衛生設備部材の IFC による表現手法の明確化, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 44 号, pp.375-380, 2014.02.
 - 17) 三木秀樹, 一ノ瀬雅之, 須永修通, 中野民雄, 市川憲良: 空調設備分野における 3 次元部材データ作成の試行, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 46 号, pp.1125-1130, 2014.10.
 - 18) 刁芸婷, 加藤信介, 樋山恭助: BIM 概念に基づく最適建築設計支援システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 16 巻, 第 34 号, pp.1065-1068, 2010.10.
 - 19) 樋山恭助, 窪田真和, 加藤信介: 環境系シミュレーションのためのデフォルト設定値導出手法の開発 BIM データの再利用による最適建築設計支援手法の提案, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻, 第 686 号, pp.367-374, 2013.04.
 - 20) Fukuda T, Mori K and Imaizumi J. Integration of CFD, VR, AR and BIM for design feedback in a design process: an experimental study. In: *Real Time: Extending the Reach of Computation: 33rd eCAADe Conference Proceedings*, Vienna, Austria, 2015, pp.665-672.
 - 21) Hosokawa M, Fukuda T, Yabuki N, et al. Integrating CFD and VR for indoor thermal environment design feedback. In: *Proceedings of the 21st international conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2016*, Melbourne, Australia, 2016, pp.663-672.
 - 22) 藤澤範好, 宮崎隆昌, 中澤公伯: BIM と GIS の連携による日照シミュレーション手法の検討と都市景観デザインへの応用に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 21 巻, 第 47 号, pp.355-360, 2015.02.
 - 23) 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.
 - 24) 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テイマネジメント・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.
 - 25) 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.
 - 26) 岸本達也, 上野武: 大学キャンパスにおけるネットワーク環境を利用した施設利用統合管理システム -利用形態の異なるスペースと管理組織の統合システムのプロトタイプ-, 日本建築学会技術報告集, 第 19 号, pp.323-328, 2004.06.
 - 27) 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.
 - 28) Iki K, Shimoda S, Miyazaki T, et al. On the development and the use of network based CAFM system. In: *Proceedings of the 3rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 1998*, Osaka, Japan, 1998, pp.253-260.

- 29) Iki K, Shimoda S, Kumadaki N, et al. Development and use of intranet-based CAFM system. In: *Proceedings of the 4th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 1999*, Shanghai, China, 1999, pp.383-392.
- 30) Shimoda S, Iki K, Kumadaki N, et al. Development of the CAFM system for life cycle management. In: *Proceedings of the 4th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 1999*, Shanghai, China, 1999, pp.125-132.
- 31) Okada M, Iki K and Shimoda S. Development of CAFM system for LCM on building maintenance and management. In: *Proceedings of the 9th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2004*, Seoul, Korea, 2004, pp.681-692.
- 32) 辻川孝夫, 足立守, 林理: 官庁施設のストックマネジメント技術の構築 (その 1) 官庁施設の保全の現況調査報告, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), pp.1131-1132, 2000.09.
- 33) IFMA. *BIM for facility managers*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013, p.352.
- 34) 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.
- 35) Nakama Y, Onishi Y and Iki K. Development of building information management system using BIM toward strategic building operation and maintenance. In: *Proceedings of the 20th international conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2015*, Daegu, Korea, 2015, pp.397-406.
- 36) Nakama Y, Onishi Y and Iki K. Development of building information management system with data collecting functions based on IoT technology. In: *Real Time: Extending the Reach of Computation: 33rd eCAADe Conference Proceedings*, Vienna, Austria, 2015, pp.647-655.
- 37) 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.
- 38) 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.
- 39) 松林道雄, 渡辺俊: 国立大学での施設管理における設計図書の情報化 -大学施設の設計図書に関するアンケート調査を通じて-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 情報システム技術, pp.17-18, 2012.09.
- 40) Kawasumi N and Yamaguchi S. Reconstruction of an architectural three dimensional model from orthographic drawings. In: *Proceedings of the 3rd International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 1998*, Osaka, Japan, 1998, pp.355-364.

- 41) Yin X, Wonka P and Razdan A. Generating 3D building models from architectural drawings: a survey. *IEEE Computer Graphics and Applications* 2009; 29(1): 20-30.
- 42) Asmara A and Nienhuis U. Automatic piping system in ship. In: *Proceedings of COMPIT '06*, Oegstgeest, The Netherlands, 2006, pp.269-279.
- 43) Ando Y and Kimura H. An automatic piping algorithm including elbows and bends. In: *Proceedings of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011 (ICCAS2011)*, Trieste, Italy, 2011, Vol.3, pp.153-158.
- 44) Kim H, Anderson K, Lee S, et al. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. *Automation in Construction* 2013; 35: 285-295.
- 45) Manrique JD, Al-Hussein M, Bouferguene A, et al. Automated generation of shop drawings in residential construction. *Automation in Construction* 2015; 55: 15-24.
- 46) Martins JP and Monteiro A. LicA: a BIM based automated code-checking application for water distribution systems. *Automation in Construction* 2013; 29: 12-23.
- 47) 国土交通省：公共建築設備工事標準図（機械設備工事編）平成 28 年版，官庁営繕：技術基準 - 国土交通省, <http://www.mlit.go.jp/common/001108797.pdf>, (参照 2016-07-07).

付録

第2章の「表2-7 5Cの主要工事における設計図書の一覧」に関して、5C棟で実施された工事の一覧とそれぞれの設計図書の保管状況を記載する。また、以下に記載する記号Aから記号E-2までのそれぞれの工事における設計図書の一覧を記載する。

- 記号A：東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他工事
- 記号B：東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他工事
- 記号C：東京教育大学 新筑波大学（仮）体育専門学群棟新営その他機械設備工事
- 記号D：筑波大学体育専門学群棟新営機械設備工事
- 記号E-1：筑波大学体芸中央棟改修工事
- 記号E-2：筑波大学体芸中央棟改修工事（設計変更分・設計変更分2）

付録の一覧は以下の通りである。

- 表A-1 5C棟で実施された工事における設計図書の保管状況
- 表A-2 工事Aの設計図書の一覧
- 表A-3 工事Bの設計図書の一覧
- 表A-4 工事Cの設計図書の一覧
- 表A-5 工事Dの設計図書の一覧
- 表A-6 工事E-1の設計図書の一覧
- 表A-7 工事E-2の設計図書の一覧

表 A-1 5C 棟で実施された工事における設計図書の保管状況

年度	専門	件名	図面種類	保管状況			
				原図	製本	PDF	CAD
S48	建築	体育専門学群棟新営その他工事	発注図	○	○	-	-
S49	建築	体育専門学群棟新営工事（Ⅱ期）	発注図	○	○	-	-
S49	建築	体育専門学群棟新営追加工事	発注図	○	-	-	-
H4	建築	体芸中央棟天井改修その他工事	発注図	○	○	-	-
H5	建築	体育芸術専門学群中央棟屋上防水改修工事	発注図	○	-	-	-
H5	建築	体芸中央棟鉄部塗装改修その他工事	発注図	○	-	-	-
H5	建築	体育芸術専門学群中央棟外壁改修その他工事	発注図	○	○	-	-
H6	建築	体育芸術専門学群中央棟外壁改修その他工事（その2）	発注図	○	-	-	-
H18	建築	体芸中央棟改修工事	発注図	○	○	○	○
H18	建築	体芸中央棟改修工事（設計変更分）	発注図	○	○	○	○
H19	建築	体芸中央棟改修Ⅱ期工事	発注図	○	○	○	○
H19	建築	体芸中央棟改修Ⅱ期工事（設計変更分）	発注図	○	-	○	○
S48	電気	体育専門学群棟新営その他電気工事	発注図	○	-	-	-
S48	電気	体育専門学群棟新営その他電気工事	完成図	○	-	-	-
S49	電気	体育専門学群棟新営電気工事（Ⅱ期）	発注図	○	-	-	-
S49	電気	体育専門学群棟新営電気工事（Ⅱ期）	完成図	○	-	-	-
H18	電気	体芸中央棟改修電気設備工事・設計変更含む	発注図	○	○	-	-
H18	電気	体芸中央棟改修電気設備工事・設計変更含む	完成図	○	○	-	○
H19	電気	体芸中央棟改修Ⅱ期電気設備工事	発注図	○	○	-	-
H19	電気	体芸中央棟改修Ⅱ期電気設備工事	完成図	○	-	-	○
H19	電気	体芸中央棟改修Ⅱ期エレベーター設備工事	完成図	-	-	○	○
S48	機械	体育専門学群棟新営機械設備工事	発注図	○	-	-	-
S48	機械	体育専門学群棟新営機械設備工事	完成図	○	-	○	-
S49	機械	体育専門学群棟その他暖房ボイラ取設工事	完成図	○	-	○	-
S53	機械	体育専門学群棟講義室空調設備取設工事	完成図	○	-	-	-
H11	機械	体芸中央棟等身障者便所取設機械設備工事	発注図	○	-	-	-
H11	機械	体芸中央棟等身障者便所取設機械設備工事	完成図	○	-	○	-
H17	機械	体芸中央棟等屋内消火設備改修工事	発注図	○	-	-	-
H17	機械	体芸中央棟等屋内消火設備改修工事	完成図	○	○	-	-
H18	機械	体芸中央棟改修機械設備工事	発注図	-	○	-	-
H18	機械	体芸中央棟改修機械設備工事	完成図	-	○	○	○
H19	機械	体芸中央棟改修Ⅱ期機械設備工事	発注図	○	○	-	-
H19	機械	体芸中央棟改修Ⅱ期機械設備工事	完成図	○	○	○	○
H23	機械	（災害復旧）5C棟屋上熱源撤去工事	発注図	○	-	-	○
H23	機械	（災害復旧）5C棟屋上空調設備災害復旧工事	発注図	○	-	○	○
H23	機械	（災害復旧）5C棟屋上空調設備災害復旧工事	完成図	○	○	○	○

S: 昭和, H: 平成

表 A-2 工事 A の設計図書の一覧

記号	名称	記号	名称		
A	1	図面リスト	S	1	標準図
	2	案内図及び配置図		2	杭配置図
	3	設計概要及び外部仕上表		3	基礎・1階伏図
	4	内部仕上表 1		4	2階伏図
	5	内部仕上表 2		5	3階伏図
	6	仕上仕様		6	4階伏図
	7	1階平面図 NO.1		7	鉄骨軸組図 (1)
	8	1階平面図 NO.2		8	鉄骨軸組図 (2)
	9	2階平面図 NO.1		9	鉄骨軸組図 (3)
	10	2階平面図 NO.2		10	柱、ポスト 断面リスト
	11	3階平面図 NO.1		11	梁 (小梁) 断面リスト
	12	3階平面図 NO.2		12	基礎 断面リスト
	13	屋根伏図		13	基礎, 地中梁 断面リスト (2)
	14	断面図 NO.1		14	床版, 壁, 階段 断面リスト
	15	立面図 NO.1		15	RC 梁, 柱, 擁壁 断面リスト
	16	立面図 NO.2, 断面図 NO.2		16	溶接標準詳細図
	17	1階天井伏図 NO.1		17	小梁取合い, RC 鉄骨取付詳細
	18	1階天井伏図 NO.2		18	G 階段詳細図
	19	2階天井伏図 NO.1		19	雑詳細図
	20	2階天井伏図 NO.2			
	21	3階天井伏図 NO.1			
	22	3階天井伏図 NO.2			
	23	矩計図 NO.1			
	24	矩計図 NO.2			
	25	G 階段詳細図			
	26	G 便所詳細図			
	27	断面詳細図 (ホール及び実習室)			
	28	実習室詳細図			
	29	実験室詳細図			
	30	トップライト詳細図			
	31	雑詳細図			
	32	建具表			
	33	建具姿図 NO.1			
	34	建具姿図 NO.2			
	35	カーテンウォール仕様			
	36	求積表			

表 A-3 工事 B の設計図書の一覧

記号	名称	記号	名称
A	1 図面リスト	A	39 (学生控室) 断面詳細図 C
	2 案内図及び配置図	40	A, B 階段平面詳細図
	3 設計概要及び外部仕上表	41	A, B 階段平面詳細図
	4 仕上表 1	42	C 階段平面詳細図
	5 仕上表 2	43	D 階段平面詳細図
	6 仕上表 3	44	F 階段平面詳細図
	7 仕上表 4	45	E, H 階段詳細図
	8 仕上仕様	46	屋外階段詳細図
	9 地階平面図	47	便所平面詳細図
	10 1 階平面図 NO.1	48	断面詳細図 (ホール及び実習室)
	11 1 階平面図 NO.2	49	実験室詳細図
	12 2 階平面図 NO.1	50	実習室詳細図
	13 2 階平面図 NO.2	51	200 名講義室詳細図
	14 3 階平面図 NO.1	52	1 階 80 名講義室詳細図
	15 3 階平面図 NO.2	53	塔屋詳細図 (トップライト A) 1
	16 4 階平面図	54	塔屋詳細図 (トップライト A) 2
	17 5 階平面図	55	塔屋詳細図 (トップライト A) 3
	18 6 階平面図	56	トップライト B, 他詳細図
	19 屋階平面図	57	雑詳細図 1
	20 塔屋 1, 2 階平面図	58	雑詳細図 2
	21 立面図 NO.1	59	建具リスト 1
	22 立面図 NO.2	60	建具リスト 2
	23 立面図 NO.3	61	建具リスト 3
	24 断面図 NO.1	62	建具平面図 (地階)
	25 断面図 NO.2	63	建具平面図 (1 階)
	26 1 階天井伏図 NO.1	64	建具平面図 (2 階)
	27 1 階天井伏図 NO.2	65	建具平面図 (3 階)
	28 2 階天井伏図 NO.1	66	建具平面図 (4, 5 階)
	29 2 階天井伏図 NO.2	67	建具平面図 (6, 屋階)
	30 3 階天井伏図 NO.1	68	建具平面図 (塔屋 1, 2 階)
	31 3 階天井伏図 NO.2	69	パネル貼付図 1
	32 4 階天井伏図	70	パネル貼付図 2
	33 5 階天井伏図	71	パネル貼付図 3
	34 6 階天井伏図	72	カーテンウォール仕様
	35 矩計図 NO.1	73	求積図 (地階, 1 階)
	36 矩計図 NO.2	74	求積図 (2 階)
	37 (中央大ホール) 断面詳細図 A	75	求積図 (3 階)
	38 (中央大ホール) 断面詳細図 B	76	求積図 (4, 5 階)

記号	名称
A	77 求積図 (6, 屋階, 塔屋 1, 2 階)
	78 現況図
	79 敷地造成図
	80 調整地
	81 敷地断面図 (1)
	82 敷地断面図 (2)
	83 敷地断面図 (3)
	84 工作物詳細図

記号	名称
S	1 標準図
	2 杭配置図
	3 基礎・地階伏図
	4 基礎・1 階伏図
	5 2 階伏図
	6 3 階伏図
	7 4 階伏図
	8 5 階伏図
	9 6 階伏図
	10 R (P1)階伏図
	11 P2, PR 階伏図
	12 鉄骨軸組図 (1)
	13 鉄骨軸組図 (2)
	14 鉄骨軸組図 (3)
	15 鉄骨軸組図 (4)
	16 柱, ポスト 断面リスト
	17 壁 断面リスト
	18 梁 (小梁) 断面リスト
	19 基礎 断面リスト
	20 基礎, 地中梁 断面リスト (2)
	21 床版, 壁, 階段 断面リスト
	22 RC 梁, 柱, 擁壁 断面リスト
	23 鉄骨ラーメン詳細図
	24 溶接標準詳細図
	25 トップライト詳細図
	26 C 階段詳細図
	27 B 階段塔屋詳細図
	28 D 階段詳細図
	29 空調, EV 機械室, 屋外階段 詳細図
	30 小梁取合い, RC 鉄骨取付詳細
	31 柱脚鉄骨鉄筋詳細図
	32 200 名講義室まわり詳細図
	33 F 階段詳細
	34 雑詳細図 (1)
	35 雑詳細図 (2)

表 A-4 工事 C の設計図書の一覧

記号	名称	記号	名称
AC	1	配置図, 凡例	EV 1 エレベーター工事
	2	機器表	P 1 配置図及びに凡例 2 機器表 3 配管系統図 4 地階 1 階平面図 5 1 階平面図 6 1 階平面図 7 2 階平面図 8 2 階平面図 9 3 階平面図 10 3 階平面図 11 4 階平面図 12 5 階平面図 13 6 階平面図 14 塔屋 1 階平面図 15 連結散水設備平面図 16 各階便所詳細図 17 高架水槽詳細図
	3	ダクト系統図	
	4	配管系統図	
	5	地階ダクト平面図	
	6	1 階ダクト配管平面図	
	7	1 階ダクト配管平面図	
	8	2 階ダクト配管平面図	
	9	2 階ダクト配管平面図	
	10	3 階ダクト配管平面図	
	11	3 階ダクト配管平面図	
	12	4 階ダクト配管平面図	
	13	5 階ダクト配管平面図	
	14	6 階ダクト配管平面図	
	15	塔屋 1 階ダクト配管平面図	
	16	R 階ダクト配管平面図	
	17	地階配管平面図	
	18	自動制御系装図	
	19	ヘッダー, 装置詳細図	
	20	熱交換器	
	21	操作盤結線図	
	22	制御回路図	
	23	盤姿図	
	24	動力設備地階平面図	
	25	動力設備 1 階平面図	
	26	動力設備 2 階平面図	
	27	動力設備 3 階平面図	
	28	動力設備 4 階平面図	
	29	動力設備 5 階平面図	
	30	動力設備 6 階平面図	
	31	動力設備屋上階平面図	

表 A-5 工事 D の設計図書の一覧

記号	名称
P	1 図面リスト, 配置図
	2 系統図, 器具表, 案内図, 凡例 (衛生)
	3 1 階平面図 NO.1 (衛生)
	4 2 階平面図 NO.1 (衛生)
	5 3 階平面図 NO.1 (衛生)
	6 1, 2, 3 階屋上平面図 NO.2 (衛生)
	7 系統図, 案内図, 1 階, 屋上平面図 (空調)
	8 1 階平面図 NO.1 (空調)
	9 2 階平面図 NO.1 (空調)
	10 3 階平面図 NO.1 (空調)
	11 1, 2, 3 階屋上平面図 NO.2 (空調)

表 A-6 工事 E-1 の設計図書の一覧

記号		名称	記号		名称
		特記仕様書 (1)	A	36	サイン案内図 1
		特記仕様書 (2)		37	サイン案内図 2
A	0	図面リスト		38	サイン詳細図 1
	1	建物概要, 付近見取図, 配置図		39	サイン詳細図 2
	2	面積求積図 1			
	3	面積求積図 2			
	4	改修概要書			
	5	内部仕上表			
	6	地階撤去・改修平面図			
	7	1 階撤去・改修平面図			
	8	2 階撤去・改修平面図			
	9	3 階撤去・改修平面図			
	10	4 階撤去・改修平面図			
	11	5 階撤去・改修平面図			
	12	6 階撤去・改修平面図			
	13	R 階, PHR 階撤去・改修平面図			
	14	南, 西立面図			
	15	北, 東立面図			
	16	断面図			
	17	地階天井伏図			
	18	1 階天井伏図			
	19	2 階天井伏図			
	20	3 階天井伏図			
	21	4 階, 5 階天井伏図			
	22	6 階, R 階天井伏図			
	23	建具案内図 1			
	24	建具案内図 2			
	25	建具表 1			
	26	建具表 2			
	27	矩計図 1			
	28	矩計図 2			
	29	便所詳細図 1			
	30	便所詳細図 2			
	31	部分詳細図 1			
	32	部分詳細図 2			
	33	部分詳細図 3			
	34	部分詳細図 4			
	35	部分詳細図 5			

記号	名称
S	1 標準特記仕様書
	2 基礎・1階伏図
	3 2階伏図
	4 3階伏図
	5 4階伏図
	6 5階伏図
	7 6階伏図
	8 R階伏図
	9 軸組図 1
	10 軸組図 2
	11 軸組図 3
	12 壁補強詳細図
	13 鉄骨ブレースリスト
	14 鉄骨ブレース詳細図
	15 床補強用架構要領図・屋上設備架台設置仕様及び梁補強要領図
	16 雑詳細図
	17 基礎・地中梁リスト (既存図)
	18 鉄骨梁リスト 1 (既存図)
	19 鉄骨梁リスト 2 (既存図)
	20 柱リスト (既存図)
	21 RC梁・柱リスト (既存図)
	22 スラブ・壁・階段リスト (既存図)

記号	名称
003-001	1 案内図・キープラン
	2 仕上表-1
	3 仕上表-2
	4 仕上表-3
	5 仕上表-4
	6 仕上表-5
	7 B1 階平面図
	8 1 階平面図-1
	9 1 階平面図-2
	10 2 階平面図-1
	11 2 階平面図-2
	12 3 階平面図-1
	13 3 階平面図-2
	14 4 階平面図
	15 5 階平面図
	16 6 階平面図
	17 R 階平面図
	18 B1 階天井伏図
	19 1 階天井伏図-1
	20 1 階天井伏図-2
	21 2 階天井伏図-1
	22 2 階天井伏図-2
	23 3 階天井伏図-1
	24 3 階天井伏図-2
	25 4 階天井伏図
	26 5 階天井伏図
	27 6 階天井伏図
	28 R 階天井伏図
	29 断面図-1
	30 断面図-2
	31 (参考図) 基礎・1 階伏図
	32 (参考図) 2 階床伏図
	33 (参考図) 3 階床伏図
	34 (参考図) 4 階床伏図
	35 (参考図) 5 階床伏図
	36 (参考図) 6 階伏図
	37 (参考図) R (P1)階伏図
	38 (参考図) P2・PR 階伏図

記号	名称
003-001	39 (参考図) 柱・ポスト断面リスト
	40 (参考図) 梁断面リスト-1
	41 (参考図) 梁断面リスト-2
K	1 (参考図) 仮設計画図

表 A-7 工事 E-2 の設計図書の一覧

記号		名称	記号		名称
A	0	図面リスト	003-001	1	【変更後】案内図・キープラン
	1	【変更前】【変更後】建物概要、付近見取図、配置図		2	【変更後】仕上表-1
	2	【変更後】面積求積図 1		3	【変更後】仕上表-2
	3	【変更前】【変更後】面積求積図 2		4	【変更後】仕上表-3
	4	【変更前】【変更後】改修概要書		5	【変更後】仕上表-4
	5	【変更前】【変更後】内部仕上表		6	【変更後】仕上表-5
	6	【変更後】地階撤去・改修平面図		7	【変更後】B1 階平面図
	7	【変更後】1 階撤去・改修平面図		8	【変更後】1 階平面図-1
	8	【変更後】2 階撤去・改修平面図		9	【変更後】1 階平面図-2
	9	【変更後】3 階撤去・改修平面図		10	【変更後】2 階平面図-1
	10	【変更後】4 階撤去・改修平面図		11	【変更後】2 階平面図-2
	11	【変更後】5 階撤去・改修平面図		12	【変更後】3 階平面図-1
	12	【変更前】【変更後】6 階撤去・改修平面図		13	【変更後】3 階平面図-2
13	【変更前】【変更後】R 階、PHR 階撤去・改修平面図	14		【変更後】4 階平面図	
		15		【変更後】5 階平面図	
		16		【変更後】6 階平面図	
		17		【変更後】R 階平面図	
		18		【変更後】B1 階天井伏図	
		19		【変更後】1 階天井伏図-1	
		20		【変更後】1 階天井伏図-2	
		21		【変更後】2 階天井伏図-1	
		22		【変更後】2 階天井伏図-2	
		23		【変更後】3 階天井伏図-1	
		24		【変更後】3 階天井伏図-2	
		25		【変更後】4 階天井伏図	
		26		【変更後】5 階天井伏図	
		27		【変更後】6 階天井伏図	
		28		【変更後】R 階天井伏図	
		29		【変更後】断面図-1	
		30		【変更後】断面図-2	