

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 21 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 芝浦工業大学 システム理工学部

氏 名 : 片岡 誠

研究課題名 : BIM と大規模言語モデルを組み合わせた建築基準適合判定の自動化

助成金額 : 1 0 0 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ～ 至 令和 8 年 3 月 31 日

BIM と大規模言語モデルを組み合わせた建築基準適合判定の自動化

Automation of building code check using BIM and LLM

芝浦工業大学 システム理工学部 教授 片岡 誠

(研究計画ないし研究手法の概略)

本研究では、大規模言語モデル（Large Language Models:以下 LLM）を使って BIM アプリケーションソフトをカスタマイズすることで、建築物に関してユーザーが自然言語で入力する問い合わせに、BIM データベースを参照して回答する仕組みを実現することを目的とする。建築物に関する問い合わせとしてまず建築基準法上の単体規定を満たすかどうかを問う法令文を対象とする。将来的には問い合わせ文の自由度を広げ、設計を支援する多様な情報を提供する機能を実現する。これにより、ユーザーは対話的に設計を進めることができるようになる。また、単体規定への適合について、設計データの法適合性が担保されることになり、建築確認業務を低減することができる。

図に示すように、ユーザーが自然言語で質問を行うと、アドインプログラムが質問文から必要な要素を抽出し、BIM データから値を求めて、回答する。質問文から要素を抽出するプロセスで LLM の機能を使用する。たとえば、「軒高は7メートルを超えるか」という質問に対して、BIM に実装したアドインが LLM に入力する質問（プロンプト）を作成し、その回答をもとに、建築物オブジェクトの軒高が7以下かどうかを判定して結果を回答する。

しかし、「軒高」属性は「建築物」オブジェクトに存在しないため、《構造形式が RC 造であれば、屋上を支える梁のうち最も上にあるもの（ただし、それが塔屋であれば除外する）の上端の、設計地盤面からの高さ》のように「軒高」を算出する関数をあらかじめ用意しておく。法令文によっては複数の関数を組み合わせて判定することもある（「床面積」に対する「開口面積」の割合等）。このように建築に関する属性をあらかじめ関数に紐付けておくことが重要になる。

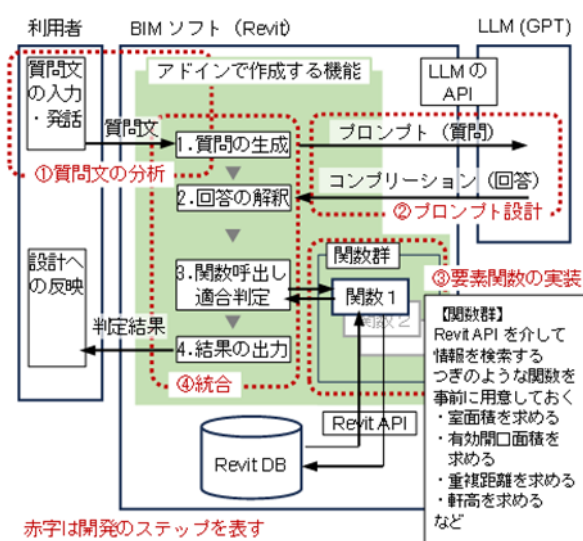


図 1 計画時のシステムの全体像

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 条文の整理

システムの構築に先立って建築基準法の条文を整理した。法改正は小さなものを含めると頻繁に行われるが、出版される法令集には直近の改正が反映されていない。そこでウェブサイト「e-Gov ポータル」(<https://laws.e-gov.go.jp/>)に公開されている法令データを利用した。XML 形式で記述された建築基準法データをダウンロードし、Python プログラムを作成してエクセルの表形式に変換した。プログラムを使えば、XML スキーマが変更されない限り、建築基準法以外のものも含め、新たに施行される法令データをすぐに活用できる。

このデータベースでは条文が入れ子の状態で記述され、条や項の番号、本文／ただし書きの区分などが示されている。つまり、このデータベースから条文のツリー構造は明瞭に取得することができる。しかしながら条文自体は法令文がそのままテキストとして掲載されているだけで、文節間の係り受け関係、修飾・被修飾関係などの構造が示されているわけではない。どのような条件の建築物に適用されるのかを判断するために条文を解釈する必要があることに変わりはない。あらためて条文を概観すると、下位の項目は上位の記述内容の影響を受けるため、単一の条文のみで適用条件を決定することはできないことがわかる。上位の項目が広く対象を制限し、下位の項目で詳細な条件を列挙するような記述があるため、条文の適用の判断にはこれらを組み合わせる必要がある。これは後述する日本語条文を中間形式に変換する際に考慮すべきものとなる。

2. 日本語条文から中間形式を経て、理論付き充足可能性問題に展開する手法

2.1 建築基準法適合判定の流れ

研究計画に示したように、建築基準法の適合判定では、日本語で書かれた条文の論理構造を解析し判定条件を明確にする部分と、その判定に必要な個別のデータを BIM データから取得する部分とに分けて考える。前者は、こういった対象（建物、室）のどの属性が、どの範囲に含まれていれば当該条文を満たすことになるのかを明確にする。ただし、法令文は、単独の条文の記述にも複数の条件や例外が重層的に記述されているものがあり、まずはその構造を正しく取り出すことが重要である。

この課題に対しては過去に、いわゆる自然言語処理技術（形態素解析および係り受け解析技術）を使って、単一の条文の解析を試行したことがある¹⁾。このとき、日本語話者なら難なく正しく解釈するであろう係り受け構造を、係り受け解析器では必ずしも正しい構造を得ることができないという知見を得た。形態素解析までは概ね結果が良好であっても、係り受け構造の正しい特定には不十分で、建築基準適合判定という正確さが求められるアプリケーションに応用するには不適當であると結論づけた。現在において異なるアプローチによる自然言語処理が実用的になりつつあり、これを使うことで係り受け解析を実現できる可能性がある。本研究の計画当初は、係り受け解析が正しくなれば中断していた実装を再開できると考えていたが、AI の発展はさらに洗練された手法を可能にすることがわかった。

条文の解析にいずれの方法を採用しても、解析結果をコンピュータプログラムで処理するために、いったん処理系に依存しない中間形式 (Intermediate Representation: 以下 IR) に変換することにした。IR には、その条文が適用されるための条件、条文の適合判定に使用するオブジェクトと属性、その値の範囲、ただし書きに示される例外規定などが盛り込まれる必要がある。これらの重層的な構造の表現に JSON 形式を採用した。

JSON形式での記述には、たとえば「居室の天井高」がRoomオブジェクトのCeilingHeight属性として記述される。データの値はBIMアプリケーションなどから取得するわけであるが、RoomのCeilingHeightという属性をBIMのアドインプログラムのメソッド（関数）に対応させることでBIMデータから取得することができる。このようなオブジェクト、属性をどの粒度で実装するかによって、判定プログラムの自由度が変わってくる。IRの設計上の留意点である。

建築物にかんするデータはBIMデータから取り出すわけであるが、本研究ではその開発環境としてオートデスク社のRevitを採用した。特定のアプリケーションに依存することは好ましくないが、これは日本語条文とBIMアプリケーションの間にIRを挟むことによって解消できると考えている。IRで表現された属性を使用するアプリケーションのメソッド（関数）に置き換えれば、特定のアプリケーションに限定せずに実装することが可能であろう。

所定の記法に則って記述したIRは、背景理論付き充足可能性問題（Satisfiability Modulo Theories：以下SMT）によって判定が可能になる。もしある変数の値が未定であるなら、条件を満たす具体的な値を示すこともできる。SMTにもいくつか実装系が存在し、たとえばマイクロソフトのZ3などがよく利用される。

以上のように、日本語条文の論理構造をIRとして記述し、一部のオブジェクトのプロパティをBIMデータから取得した後、SMTソルバーによって判定することで、建築基準法の条文に関して適合判定が可能になる。

2.2 中間形式の設計

中間形式IRに必要とされる項目は、法令文の適用条件、適合条件、例外である。適合条件は、対象物の属性値（や属性値の比）がこういった範囲に含まれていればよいのかを示すものであるから、対象オブジェクト、属性、比較演算子、閾値などから構成されるものとした。また、ある条件を満たすインスタンスが存在すればよいのか、すべてのインスタンスが満たすべきなのかを明示するための量化や、厳密な値として設定されているのか、仮定の寸法なのかを区別するためのパラメーターを用意しておくことで、単なる適合判定だけでなく、不適合属性に対する最小値（あるいは最大値）を提示することも将来可能になる。これらをまとめると、IRに必要な要素はつぎのとおりである。

中間形式に必要な要素

1. 適用条件（用途地域、用途、規模、構造、対象範囲…）
2. 対象（オブジェクト）（建築物、居室、開口部…）
3. 属性（高さ、床面積、開口部面積…）
4. 演算子（以下/未満/超えてはならない/以上…）
5. 閾値・係数（13m、1/7、7倍…）
6. 量化・集計（各/それぞれ/合計/最大…）
7. 例外（ただし、～の場合を除く、認めるとき…）

建築基準法第55条第1項を簡略化した条文「第一種低層住居専用地域においては、建築物の高さは、十メートルを超えてはならない」を例にすると、IRは下の枠内のように表される（一部を省略した）。変数名bで表される建築物（subject）がFirstClassResidentialZone

に位置するという条件（**applicability**）を満たすとき、適合条件（**requirement**）、すなわち建築物 **b** を引数として **building_height** メソッドで得られる値（**left**:左辺）が、値 10（**right**:右辺）以下であること、を満たす必要があると記述されている。この例では **applicability** と **requirement** の下位の記述方法が異なっているが、論理式として判定できる記述であるかどうかが重要である。このような記述であれば誤解の余地がなく判定が可能である。

建築基準法第 55 条第 1 項を簡略化した条文例の IR（主要ノードの抜粋）

```
{
  "subject": {
    "object_type": "Building",
    "variable": "b"
  },
  "applicability": {
    "predicate": "located_in_zone",
    "args": [
      { "var": "b" },
      { "constant": "FirstClassResidentialZone" }
    ]
  },
  "requirement": {
    "compare": "<=",
    "left": {
      "function": {
        "name": "building_height",
        "args": [
          { "var": "b" }
        ]
      }
    },
    "right": {
      "literal": {
        "value": 10
      }
    }
  }
}
```

2.3 SMT の検証

中間形式 IR を SMT に変換し、適合／不適合の判定を行うためにマイクロソフトの Z3 ライブラリ（Z3.NET API）を利用した。IR から SMT への変換は機械的に実行できる。ごく簡単に説明すると、IR で記述された判定ルール（複数）と判定対象となるオブジェクト（複数）のすべての組み合わせについて、当該判定ルールを適用する必要がある場合はソルバーに判定ルールを追加していく。この際、BIM から得られる数値属性（**building_height** など）を代入しておく。すべての判定ルールが揃ったら、ソルバーで判定を実行する。SMT ではルールの適合／不適合だけを判定するのではなく、値が未定のものがあれば適合となる値を提示することができる。そのため、未確定値が判定ルールに含まれていれば、条件を満たす値を示した上で、適合の判定をすることができる。

簡易な判定ルールのスキーマを定義し、ダミーの建物データ、室データを与え（一部については「居室ではない」、「窓面積が未定」などの設定をして）、判定ルールの動作を確認した。まず実証用に独立したアプリケーションを作成し、動作確認後に Revit のアドインに移植した。Z3.NET API は .NET Framework とともに使用することができ、Revit 2026 のアドインでも動作することを確認した。

3. BIM からの数値取得

建築物の適合判定を実施するためには、BIM データから具体的な数値を取得する必要がある。そこで、BIM アプリケーション（ここでは Revit）にアドインソフトウェアを実装し、いくつかの属性値を求めるメソッド（関数）を作成した。ユーザーのテキスト入力を LLM（OpenAI API）に送り、回答の受信をイベントとして、建築物の軒高、部屋の天井高、階段の幅・蹴上げ・踏面寸法を求める Revit 用メソッドを実装した。実際の建築基準法および施行令では適用条件が複雑で、条件を満たすオブジェクトを抽出するための条件分岐が多くなるため卒業研究での実装においてはこれらを簡略化したが、関数を独立させておくことでより複雑な要件に対応した関数に置換できることは理解できるであろう。たとえば居室の天井高は、もし居室が天井高属性を持っているならそのまま値を返すことができるが、段差のある天井の場合は居室の容積と床面積を求め、容積を床面積で除することで平均天井高を求めることもできる（卒業研究では後者を採用した）。

この実装では Revit 2024 を使用したが、Revit API が .NET Framework 4.8 を利用するのに対し、OpenAI API は .NET 6 以上で動作するため、両ライブラリを同時に使用することができない。そのため、OpenAI にプロンプトを送る際は HTTP プロトコルを使用した。

また適合判定手法にかんする直接的なテーマではないが、判定対象として「二方向避難の重複距離」を求めるアルゴリズム²⁾の改良を行った。平面の任意の場所から 2 つの直通階段に至る経路を探索し、その経路のうち「おおむね同一の経路」とみなせる部分を重複として距離を算出するものである。BIM アプリケーションとは統合していないが、壁の幾何情報があれば計算できるので今後判定対象に含める予定である。

4. まとめ

日本語で記述された単体規定条文を構造化された中間形式 IR に変換することで、SMT ソルバーによる適合判定が実施できる可能性を確認した。現時点では、日本語条文から IR への変換プロセス、および IR から SMT オブジェクトへの変換プロセスの検証において、かなりの簡略化をしている。また SMT ソルバーに入力するオブジェクトの属性の取得についてはごく少数の関数を実装しただけである。しかしながら過去に取り組んだときよりも実現のための環境が整ってきたことがわかり、建築基準適合判定のひとつの解決策になると考えている。今後は、この方針のもとで変換プロセスの精度を向上させる取り組みが必要である。

参考文献

- 1) 片岡誠：建築基準法の適合判定プログラムへの自動変換手法，日本建築学会技術報告集，第 16 巻，第 34 号，pp.1193-1196, 2010
- 2) 片岡誠：建築基準法適合判定に関する研究 自動生成グラフを用いた二方向避難の重複距離の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集，建築社会システム，pp.331-332, 2024

（発表論文）

石田剛士，片岡誠：BIM と LLM を用いた建築基準法適合判定の自動化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，建築社会システム，2026（投稿済み）