

# オントロジーを用いた建造物のバリアフリー度判定

松本百世<sup>†1,★1</sup> 高田雅美<sup>†1</sup> 城和貴<sup>†1</sup>

本研究では、オントロジー技術を用いてバリアフリー度の判定を行うシステムを構築する。システム開発にあたり、建造物のオントロジーと建造物内における人の行為のオントロジーをそれぞれ作成する。建造物オントロジーは建造物の構造に着目し、行為オントロジーは行為主により生じる行為の差異に着目して作成する。開発するシステムには、オントロジーの情報に応じて、バリアフリー度評価に必要な指標を設ける。2つのオントロジーを組み合わせることで、様々な視点でのバリアフリー度の判定を可能にする。

## Barrier-free level determination of a building using the ontology

MOMOYO MATSUMOTO<sup>†1</sup> MASAMI TAKATA<sup>†2</sup>  
KAZUKI JOE<sup>†3</sup>

In this research, we construct a system for barrier-free level determination using ontology. The system includes a building ontology and an action ontology. The building ontology targets construction of a building. In the action ontology, actions to the building differ each user's character. In the system, reference indexes for barrier-free level are set suitably based on these ontologies. By using two ontologies, the system can target anonymous users.

### 1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震で大規模な被害を受けた被災地の復興のため、現在公共インフラの必要性は極めて高い。また、被災地以外の場所でも、1960年代の高度経済成長期に建設された公共インフラが次々と耐用年数を超えているため、建て替えの必要がある[1]。

新たな公共インフラを建築するにあたり、各施設はバリアフリーである必要がある。高齢化や障害者差別の撤廃運動により、建造物のバリアフリーに関する法律は幾度も改正され、現在は2006年に施行されたバリアフリー新法に沿って建築が行われる[2]。バリアフリー新法とは、高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律であり、学校や病院など不特定多数の人が使用する施設に適用される。バリアフリー新法では、廊下や階段、傾斜など施設の部分ごとに設計の際に注意すべき点が一般基準として制定され、一般基準をまとめたチェックリストが存在する。公共施設の建築の際には、チェックリストを満たすように建築を行う。しかし、チェックリストには、「～しやすい」・「～しにくい」などの曖昧な表現が多く、評価方法も個人の調査やアンケート調査による判断など、主観を交えたものになる[3]。

そこで、本研究ではオントロジーを用いたバリアフリー度判定システムの構築を行う。情報科学におけるオントロジーとは、人間が対象世界をどのように見ているかという根源的な問題意識をもって物事をその成り立ちから解きあ

かし、それをコンピュータと人間が理解を共有できるように書き記したものと定義される[4][5]。オントロジーを用いることで、人間の理解している情報をコンピュータが処理できる形で管理することが可能となる。さらに、オントロジーをシステムに組み込むことによって、オントロジー内の情報を利用して推論を用いた検索を行うことができる。開発するシステムは、以下のとおりである。建造物と建造物内における人の行為をそれぞれオントロジー化する。建造物オントロジーは、建造物の設計における詳細な情報を管理する。建造物内行為オントロジーは、建造物内における人の行為を、行為主の年代や障害の有無等の要素から分類し、考えられる全ての行為をモデル化して管理するものである。2つのオントロジーを照会し、建造物の設計においてどのような人が行動する際に危険が生じるか判断することで、建造物のバリアフリー度の判定を行う。

第2章では、バリアフリーの現状について既存研究を交えて説明する。第3章では、具体的なシステム設計について説明を行い、第4章でシステムを用いた実行結果の例を記述する。

### 2. バリアフリーの現状

#### 2.1 バリアフリー新法

バリアフリー新法とは、2006年12月20日に施行された、高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律である。より一般的・総合的なバリアフリー施策の維持のために、従来のハートビル法と交通バリアフリー法を統合・拡充したものが現在のバリアフリー新法である。法律の適用場所の範囲が増加し、移動対象者についても「高齢者、身体障害者など」としていたのに対して、新法では「高齢

†1 奈良女子大学  
Nara Woman's University  
★1 nbm\_matsumoto@cc.nara-wu.ac.jp

者、障害者等」とすることで、身体障害だけでなく、精神、知的などすべての障害が含まれる。

バリアフリー新法の適用施設において、施設管理者は基準を満たした施設の設置や維持が求められる。その時に用いられるのが、国土交通省公表の建築物移動等円滑化基準チェックリストである。チェックリストは、部屋、廊下、階段など建造物の部分ごとに必要事項・基準が記されている。例えば、出入口の基準には、「幅は 80cm 以上であるか」と「車いす使用者が通過しやすく、前後に水平部分を設けているか」の 2 つの基準がある。前者のように明確な数値のある基準は容易に基準を満たしているか判定することが可能であるが、後者のような「～しやすい」などの主観が混じった表現の基準は、明白な判定が困難である。このような場合は、実際に似たような作りの建造物の前例をもって評価を行うか、アンケート調査の実施で評価を行うのがバリアフリー新法の現状である。

## 2.2 既存研究

会津大学で行われたバリアフリー環境における市民の動作の可視化[6]について記述する。この研究は、日常生活におけるあらゆる人の動作の実状をシミュレーション化することで、様々な人への配慮のある町づくりへの貢献を目指すものである。研究概要を説明する。まず、広辞苑から動作に関連する単語を約 2 万語抽出し、その中から「歩く」という単語に関して、派生単語群を作成する。派生単語群とは、「歩く」という動詞に品詞を足してできる、複合語や詳細な動詞のことである。次に、人体を頭・腕・同・腰・足の 5 つに分類し、そのデータを「歩く」の派生単語群に持たせることにより、動作データベースの作成を行う。データベース内には、実際に被験者のモーションキャプチャによって得られた各部位の位置関係の数値を格納する。以上のデータベースから得られた結果を考察することにより、「歩く」という動作における差異などを可視化することができる。

筑波大学で行われた関節可動域を考慮した人体転倒動作シミュレーション[7]について記述する。この研究は、遺伝的なアルゴリズムを用いて年齢層による関節可動域を考慮し、人体の転倒動作のシミュレーションを年齢別に行うものである。研究概要を説明する。まず、頭・首・肩・肘など 14 箇所の可動関節を持つ骨格モデルを作成し、年齢別に各可動関節に自由度のデータを付与する。特に高齢と壮年の男性の動作に着目し、それぞれの転倒開始時の動作を遺伝的アルゴリズムによって進化させ、転倒動作を自動生成する。そして、床との衝突による転倒ダメージを計算する。その結果を、高齢者、壮年者で比較することで、関節可動域が動作に与える影響を考察することができる。

東京電気大学で行われた歩道スペースのバリアフリー化支援のための人体動作解析システムの開発[8]について記述する。この研究の目的は、バリアフリーに準ずる道路

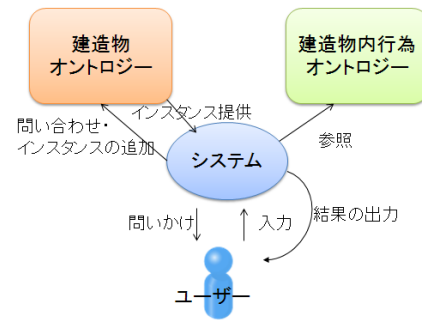


図 1 システム概要

の評価を客観的に行うシステムを構築することである。研究概要について説明する。高齢者の歩行を再現できる高齢者体験キットを着用した被験者が実際にスロープの上り下りを行い、その様子を Hybrid Video Theodolite System(HVT システム)を用いて測定する。HVT システムとは、2 台のステレオ計測 CCD カメラと 1 第の移動体追跡 CCD カメラ、レーザ距離計測機などから成るマルチシステムであり、各種デジタルデータの記録と解析が可能である。なお、実験で使用するスロープは勾配や段差の変更が可能である。測定した様々な勾配・段差の歩行データから歩行解析を行い、骨格画像を作成する。得られた骨格画像から特徴点抽出を行い、道路構造評価への応用を行う。

上記の研究は全て、年齢や環境などによる動作の差異に着目して、モーションキャプチャによって得られた実測値を体系化し、シミュレーション化することで、建造物や道路などの特定部分へバリアフリー評価を行うものである。これらの研究は、既存の建造物や道路に対する評価には有用であるが、新規建造物の企画段階における評価には適切ではない。

## 3. システム設計

### 3.1 システム概要

本研究で構築するシステムは、建造物の構造の詳細を入力し、入力された建造物のバリアフリー度を判定し、問題があればその旨を出力するシステムである。

図 1 はシステムの概要を模式的に表したものである。システムの動作手順を順に記述する。まず、システム起動後、バリアフリー度判定の対象となる建造物の構造の入力画面が表示される。初めに部屋や通路などの主要部分の個数を入力することによって、システム内で建造物オントロジーへの問い合わせが行われる。その後、入力した主要部位が対応するクラスの属性や下位クラスを、システム側が質問として提示し、ユーザがそれに答えることで詳細な構造情報を入力する。入力された構造情報は、システム内で建造物オントロジーに適応する形に変化し、オントロジーのインスタンスとして格納される。その後、格納されたインスタンスを用いて、オントロジー内の記述ルールに従い人に

危険がある、もしくはバリアフリー度に違反している部分を検出する。最後に、検出した結果を建造物内行為オントロジーと照らし合わせ、どのような人のどのような行為にとって危険があるのかを出力する。

### 3.2 オントロジーの定義

本システムで扱うオントロジーの定義について説明する。オントロジーは、概念クラスとそれを結ぶ意味リンクから構成される。概念には、存在する全てのリソースが含まれ、概念と概念の間の様々な関係を表すのが意味リンクである。以下、オントロジーの構築に用いた意味リンクを順に説明する。

**subClassOf** リンクは概念間の階層関係を表す意味リンクであり、リンク元の概念がリンク先の概念の下位概念であることを示す。この時、リンクの先の概念は上位概念と呼ばれる。本稿では、“—”という記号で表されており、“—”記号が右に行くほど下位概念、左に行くほど上位概念となる。

**AttributeOf** リンクは、リンク元の概念がリンク先の概念の属性であることを示す。本稿では、“a:”と表記されており、直上の概念に付随する属性であるという関係を示す。属性とは、ものの重さや大きさなどの、付随する概念に依存し、単体では存在できないもののことである。

**hasPart** リンクは、概念間の全体、部分関係を示すリンクである。リンク先の概念がリンク元の概念の部分概念であることを表し、この時リンク元の概念は全体概念であるといえる。本稿では、“has,数値”と表記されている。この時数値は、部分概念の数を表す。例えば、対物作用行為クラスという全体概念における行為対象物という部分概念は、“hasPart,1”と表記されているため、1つの行為対象物のみを部分として持つことを示している。数字による個数制約の記述の仕方は、数字を指定する他に、“0..”で0以上、“0..2”で0以上2以下というように定義することが可能である。

以上の意味リンクを用いて概念間の関係を明記することにより、オントロジーの枠組みが構築できる。しかし、構築した枠組みは概念間の関係だけが表記された抽象的なものであるため、具体物を表す際には具体的な内容で記述したインスタンスモデルが必要である。

**instanceOf** リンクは、オントロジーの枠組みにある概念間の関係を引き継いだ具体物を記述する際に用いられる意味リンクである。**instanceOf** リンクは、具体物が枠組み内の抽象物に属することを意味する。**instanceOf** リンクを用いることで、枠組み間の概念同士の関係を引き継いだ具体物であるインスタンスモデルが作成できる。枠組みとインスタンスモデルの両方を作成することで、より実用的なオントロジーを構築することができる。

### 3.3 建造物オントロジー

建造物オントロジーは、建造物の構造を詳細に定義する

建造物クラスと、建造物の安全性を評価するための指標クラスを主軸とするオントロジーである。

建造物オントロジーの具体的な構成を以下に示す。

— 建造物クラス

has 複数の建造物部分クラス

— 建造物部分クラス

a: 指標

— 部屋クラス

a: 幅・奥行・高さ

has,1.. 床・壁・出入口

has,0.. 段差・補助部

— 接続部クラス

a: 幅・高さ

— 出入口

has,0..1 ドア・敷居

— 通路

— 廊下

a: 長さ

— 高低移動通路

— 階段

a: けあげ高

has,1.. 踏面

has,0.. 手摺・案内設備

— 傾斜路

a: 傾斜度

— エレベーター

— 補助部クラス

— 補助設備

— ドア

a: 開き方

— 手摺

a: 高さ

— 案内設備

— 標識

— 点字ブロック

— 構造物クラス

a: 物質

— 壁

— 床

— 段差

— 敷居

建造物クラスは、バリアフリー度判定という目的のため、構造に着目して構築する。本研究では、建造物は複数の建造物部分の集まりであると考えられる。ここでの建造物部分は、部屋や廊下等の建造物内の空間を始め、床や壁などの構造物、扉等の装飾など、建造物内のすべてのものを指す。建造物部分クラスは、建物内で概念が果たす役割別に以下の4つの区分がある。

- (1) 部屋クラス
- (2) 接続部クラス
- (3) 補助部クラス
- (4) 構造物クラス

区分(1)の部屋クラスは、建造物内に部屋として存在する空間全般を表すクラスである。客室、浴室、便所など用途別の定義が可能である。幅・奥行き・高さなどを属性として表記できる他、その部屋の床や壁などの情報も付与できる。

区分(2)の接続部クラスは、出入口や廊下や階段など、人が通る通路全般を表すクラスである。幅・奥行・高さや階段のけあげなどを属性として表記できる他、出入口のドアや階段の手摺などといった付属物の情報も付与できる。

区分(3)の補助部クラスは、標識や点字ブロックなどといった案内設備や、手摺やドアといった補助設備を表すクラスである。それぞれの特徴を下位クラスもしくは属性で固有に付与する。

区分(4)の構造物クラスは、床・壁・段差などといった、部屋や接続部の構成物を表すクラスである。構造物クラスは全て、自身を構成する物質を属性として持つ。

以上の建造物部分クラスには、属性として、指標クラスが定義されている。これは、建造物のそれぞれが指標を持つことで様々な条件を定義するためである。

指標クラスは、建造物の構造物のバリアフリー度を判定するために、様々な基準ごとに安全性を評価するための指標である。このクラスは主に建造物自体の構造を扱う建造物指標と、建造物利用者と建造物の関係を扱う建造物-利用者指標の2種類に大別される。

建造物指標は、建造物の構造における具体的な数値を扱う指標である。建造物指標は更に個数指標とサイズ指標に区分できる。個数指標は、建造物部分クラス内における、それぞれの場所で必要な設備の個数を示す指標である。個数指標は指定場所と個数を属性として持つ。個数指標を建造物部分クラスの指標属性として付与することで、様々な場所の様々な物の個数を指定することが可能である。サイズ指標は、建造物の様々な部分のサイズを表すための指標である。個数指標が具体的なものの個数を数値として持つのに対し、サイズ指標はサイズそのものの数値ではなく、サイズの範囲によって分類した指数を数値として持つ。具体的には、手摺の高さ指標は、750mm未満であれば1を、750mm以上800mm以下であれば2を、800mm超の場合は3を数値として持つ。このように、サイズ指標は予めサイズと対応数値を定める必要があるため、サイズ指標の下位概念として必要な指標の追加を行う。本稿では、手摺の高さ指標、段差指標、出入口幅指標、通路幅指標、けあげ高さ指標をそれぞれ規定する。なお、ここで言うけあげ高さ指標とは階段のけあげ部分の高さを表す指標であり、行為オントロジーで用いる蹴上高さ指標と区別するために平仮

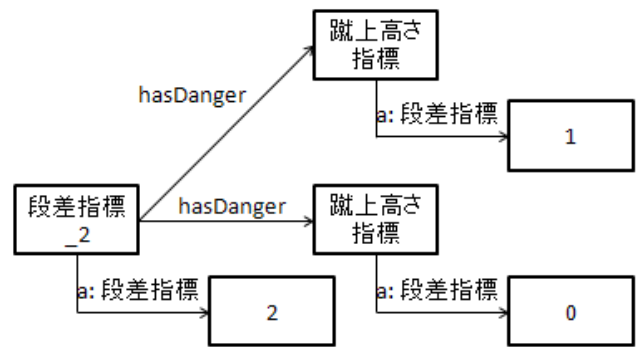


図 2 指標によるルール規定例

名で表記している。

指標クラスで扱うプロパティとして、”has danger” を追加する。これは、建造物プロパティにおける指標クラスの数値が、人の行為オントロジーにおける指標クラスに対して危険性があることを示す。図2は危険性のルールを定めた例である。段差指標が2(2cm以上)である時、高さ指標が1である人と0である人に危険があることを表している。このように定めたルールをもとに、入力された建造物の指標を調べた後、建造物内行為オントロジー内に問い合わせを行い、人の持つ指標から推論を行うことで、どのような箇所がどのような人に対して危険があるのかを判断することが出来る。

### 3.4 建造物内行為オントロジー

建造物のバリアフリーを考えるにあたり、バリアフリー新法に沿うだけでなく、どのような人でも使用できる建造物が望ましいと考える。そこで、人の行為に着目する。建造物の設計の段階で、コンピュータが正しく人の行為を認識することができれば、人の行為の妨げになる建造物の設計を見抜くことができる。しかし、人間の行為をコンピュータに認識させる際、行為過程の多様性が問題となる。言葉にすれば同じ行為であっても、行為に対する体の動かし方や動きの大きさ等が人により異なる。また、同じ人であっても周囲の環境や精神状態によって体の動かし方が変化する。このように、様々な不確定な要素によって左右されるため、人の行為はデータベース等による表現が困難である。

そこで、オントロジーを利用する。オントロジーを用いることによって、人間が行為を行う際に生じる不確定な要素を、行為の部分概念として付与することで表現が可能である。人体動作・視線・オブジェクト運動・空間・感情など、行為における不確定要素を部分概念として付与して、行為オントロジーを構築する。図3は以前作成した行為オントロジーの概要である。行為オントロジーは、行為に影響を与え得る全ての要素を付与することで、状況による行為の差異を表現することができるオントロジーである。

行為オントロジーを元に、システムの目的に沿って建造

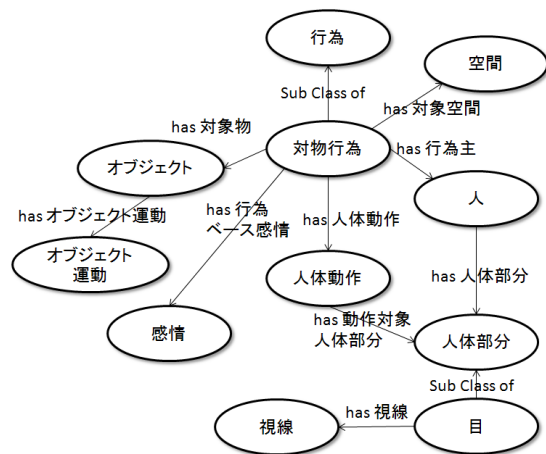


図 3 行為オントロジーの概要

物内行為オントロジーを構築する。建造物のバリアフリー度の判定を行うため、行為を建造物内における人の行為に限定し、不必要な要素を消去し、新たに必要要素の追加・詳細化を行う。

建造物内行為オントロジーの具体的な構成を以下に示す。

— 人クラス

- a: 年齢
- a: 性別
- a: 蹴上高さ
- a: 手上げ高さ
  - 身体障害者クラス
  - has,1.. 身体障害部位

— 行為クラス

- has,1 行為主
  - 移動行為クラス
    - 前進
    - 転回
    - 段を上る
    - 段を降りる
  - 対物作用行為クラス
    - has,1 行為対象物
      - ドアを開ける
      - ドアを閉める
      - 手摺を掴む

本稿における建造物内行為とは、不特定多数の人が利用する施設の状況下における一般的な行為のことを指す。また、構築するシステム内において、バリアフリーに関係のある行為のみが必要であるため、その他の行為についてはオントロジーから除外する。建造物内における人の行為は、移動行為と対物作用行為の2つのクラスに分類することができる。移動行為は、人の場所の移動のための行為に関するクラスであり、歩くや曲がるといった平面的な移動の他に、段の昇降など上下の移動も含まれる。対物作用行為は、

人がオブジェクトに働きかける行為に関するクラスであり、ドアの開閉や手摺を掴むといった行為が含まれる。

システムの目的上、どのような人がどのような行為を行う際に危険が伴うのかという判断が重要である。そのため、行為主としての人を詳細に定義する必要がある。本研究において人間と行為の関係が密接であるため、人に関する手詳細な定義を建造物内行為オントロジーの中で行う。人の身体に関するもので、建造物内での行為に差異を生じさせるものを、人を表す指標として定義する。定義には次の5つの区分を用いる。

- (1) 身体障害
- (2) 年齢
- (3) 性別
- (4) 蹴上高さ
- (5) 手上げ高さ

区分(1)の身体障害は、本研究においては視力・体幹・上肢・下肢のいずれかに関する障害のことを指す。目・体幹・上肢・下肢をそれぞれ人体部分として定義し、人体部分の属性として自由度を付与する。自由度は、その人体部分が思うように動かすことができるかどうかの指標である。その部位を自由に動かせる場合は1を、動かせない場合は0を設定する。

区分(2)の年齢においては、行為に影響を及ぼす程度の年齢の差を考慮し、人の年齢を指標により三種類に区分する。子どもであれば1を、高齢者であれば3を、それ以外は2を設定する。

区分(3)の性別は、性別による行為の差を見出すための指標である。男性または女性を設定する。

区分(4)の蹴上高さとは、歩行時などに地面から足を上げる高さのことである。下肢が上方向に全く動かない状態であれば0を、動きにくい状態であれば1を、問題なく動く場合は2を設定する。

区分(5)の手上げ高さは、上方向に手が届く範囲を表す指標である。上肢が上方向に全く動かない状態であれば0を、高いところに手が届きにくい場合は1を、問題なく手が届く場合は2を設定する。

#### 4. 実験

システムの有効性を確認するために、出入口の段差が高い部屋があるという問題を持った建造物と、階段の手摺の高さが高いという問題を持った建造物を入力データとして実験を行う。

1つ目として、出入口の段差が高い部屋がある建造物は、4つの部屋をもつ平屋であり、その内の1つの部屋の1つの入口の段差が高いという建造物である。このインスタンスモデルの一部を、図4に示す。図のように、「出入口\_4」は「段差指標2(段差が高い状態)」を持つ。この入力に対する実行結果を、図6の左図に示す。実行結果から、『出入口\_4



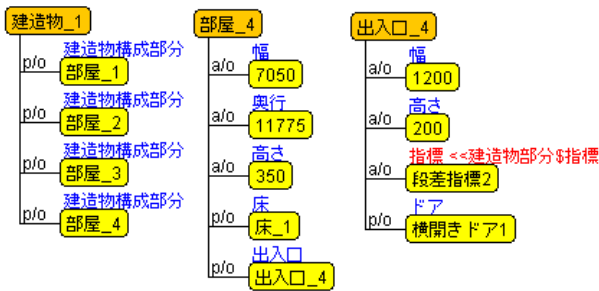


図 4 入力から作成されたインスタンスモデル



図 5 入力から作成されたインスタンスモデル

警告: 以下の部分に危険があります	警告: 以下の部分に危険があります
問題指標 段差指標2	問題指標 手摺高さ指標2
危険場所 建物_1 部屋_4 出入口_4	危険場所 建物_2 階段_1 手摺_1
危険行為 前進	危険行為 段を上る 段を降りる
危険行為者 子ども 高齢者 女性 視覚障害者 下肢障害者 車椅子利用者	危険行為者 子ども 高齢者

図 6 実行結果

の段差』が『子ども・高齢者・女性・視覚障害者・下肢障害者・車椅子利用者』の『前進』行為に危険があると分かる。

2つ目として、階段の手摺の高さが高い建造物は、2階建てでそれぞれの階に1つの廊下と廊下を挟んだ部屋が2つあり、1つの階段がある建物である。このインスタンスモデルの一部を、図5に示す。図のように、“階段\_1”の“手摺\_1”は“手摺高さ指標 2(手摺が地面から高い位置にある状態)”を持つ。この入力に対する実行結果を、図6の右図に示す。実行結果から、『階段\_1の手摺の高さ』が『子ども・高齢者』の『段を上る・段を降りる』行為に危険があると

いうものである。

以上の結果から、本システムを用いて建造物のどの部分がどのような人にとって危険があるのかを知ることができると言える。

## 5. まとめ

本稿では、建造物と人間の行為をそれぞれオントロジー化し、それらを利用してバリアフリー度の判定を行うシステムを構築した。バリアフリー度の判定においては、単にバリアフリー新法に沿うだけでなく、建物内における人の行為に着目し、どのような人でも利用可能な建造物であるかを判断することを目指す。そのためには、年齢や性別、身体障害の有無などによって生じる人の行為の差異を表現する必要がある。そこで、オントロジーを用いて概念の区分や属性を付与することで、多様な人の行為の表現を行った。同様に、建造物についても、建造物の構造を体系的に整理した建造物オントロジーを作成することで、様々な建造物を扱うことができる。さらに、2つのオントロジーは、定められた指標でルールを表現することにより、建造物のどのような構造がどのような利用者にとって危険があるのかを明らかにすることができる。

構築したシステムは、精度と汎用性の向上の余地があると考えられる。具体的には、現在2~3段階で表記している行為クラスの指標をより詳細化することや、行為クラスの指標自体を増やすことで、システムの質が向上させることが可能であると考えられる。また、現在のシステムでは、質疑応答形式で建造物オントロジーのインスタンスモデルの作成を行っているが、建造物のCAD図面などから数値を取り込むなどの方向で外部との連携を強化していけば、より実用的なシステムにすることができる。

## 参考文献

- 1) 国土交通省  
<http://www.mlit.go.jp/>
- 2) 国土交通省 建築物におけるバリアフリーについて  
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/barrier-free.html>
- 3) 建築物移動等円滑化誘導基準チェックリスト  
<http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/barrier-free.files/07-01yuudu.pdf>
- 4) 溝口理一郎: 知の科学 オントロジー工学,人工知能学会編集,株式会社オーム社,2005.1.20
- 5) 溝口理一郎: オントロジー構築入門,株式会社オーム社,2006.9.20
- 6) 張替美穂・加藤光・大越孝道・上田稯(会津大), 山本裕二(名古屋大), 工藤和俊(東京大): バリアフリー環境における市民の動作の可視化, 情報処理学会研究報告 巻: 98 号: 112(CG-93) pp.19-24(1998)
- 7) 趙航・周輝・蔡東生(筑波大): 関節可動域を考慮した人体転倒動作シミュレーション, 情報処理学会研究報告 巻: 2003 号: 117(CG-113), pp.51-55(2003).
- 8) 穴井哲治 (東京電機大 理工): 歩道スペースのバリアフリー化支援のための人体動作解析システムの開発, 東京電機大学総合研究所年報 号: 23, pp167-172(2004)