

屋内位置情報基盤のためのフロアマップ構造化システム

鈴木 友基^{†1} 梶 克彦^{†1} 河口 信夫^{†1}

現在, 無線 LAN などを用いた屋内位置推定技術の研究が発展しつつある。また, その応用として, 屋内のナビゲーションやユーザの位置に応じた情報提供などが期待されている。そして, それらの実現には屋内の構造情報が必要である。しかし, 現時点では, ナビゲーションや位置依存情報提供を目的とした建物屋内構造情報は広く存在しない。そこで, 構造情報の収集・管理・提供を行う屋内位置情報基盤の構築が求められる。本稿では, フロアマップから構造情報を生成する, フロアマップ構造化システムについて述べる。本システムでは, ユーザが収集したフロアマップ画像から, 自動抽出とユーザによる修正によって, UGC として構造情報を生成する。

A Floor Map Structuring System for Indoor Location Platform

YUKI SUZUKI,^{†1} KATSUHIKO KAJI^{†1}
and NOBUO KAWAGUCHI^{†1}

Currently, a research of indoor location estimation technologies using wireless LAN is evolving. In addition, an indoor navigation and providing such information in accordance with user location are expected. And, indoor structural information is needed to provide them. However, at this time, there are no indoor structural information for the purpose of navigation or providing location-dependent information widely. Therefore, the Indoor Location Platform is required to collect, management and provide structural information. In this paper, we describe a floor map structuring system which generate structural information from floor maps collected by user. In this system, structural information is generated as UGC by auto extraction and modification by the user.

^{†1} 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

1. はじめに

現在, GPS モジュールを搭載したモバイル端末の普及や^{*1}, Web-GIS(Geographic Information System) サービスの普及により, 位置情報に基づいた多様な LBS(Location Based Service) が, Web ページやスマートフォンのアプリケーションなどによって提供されている。こうした LBS の実現は, GPS などの測位技術と, 地図データや位置に関する詳細情報などのデータベースとの両立によって実現している。屋外において, この両者は既に広く整備されている。

一方, GPS の利用が困難な屋内においては, 無線 LAN などを用いた屋内位置推定技術の研究が発展しつつあり, フロアや部屋などが判定可能な測位精度が実現されている。¹⁾ 無線 LAN を用いた屋内位置推定は, 既存のインフラであるアクセスポイントが利用可能であり, 必要なコストが小さいため, 多くの施設において位置推定が可能になると考えられる。

以上から, 屋内測位を応用した, 屋内のナビゲーションやユーザ位置に応じた詳細情報提供などの屋内 LBS が期待されている。現在, 屋内の構造情報として, 建築分野向けの BIM(Building Information Model) などが存在する。しかし, ナビゲーションや位置依存情報提供などの屋内 LBS を目的とした屋内構造情報は, 一部のサービスのために用意された限られた施設のデータしかなく, 屋内 LBS の広い実現に向けた屋内構造情報は存在しない。そこで, 屋内位置情報の収集・管理・提供を行う屋内位置情報基盤の構築が求められる。

本研究では, 屋内構造情報を社会基盤として利用可能とするために, エンドユーザの協力により広く収集する仕組みの実現を目指す。屋内構造情報の収集においては, Web サイト上や施設内などに広く存在し, 入手が容易なフロアマップを利用し, 画像から構造情報を抽出することを考える。既存のフロアマップの収集が必要なことと, 画像処理による構造情報の自動抽出には限界があり, 修正が必要であることから, エンドユーザの手によって, 既存のフロアマップの収集と, 収集されたフロアマップ画像からの自動抽出による抽出不足・誤抽出を修正を行うことで, UGC(User Generated Content) として, 屋内構造情報の収集を行う。また, このように UGC のアプローチで収集することで, 自由に利用可能なオープンデータを作成することが可能である。広く屋内構造情報を収集することで, 屋内 LBS, 屋内測位技術, 屋内外における測位やサービスのシームレス化の発展への貢献を目指す。本稿では, 屋内測位の発展および今後期待される屋内 LBS に必要な屋内構造情報の検討を行い,

^{*1} 日本では 2007 年から 3G 携帯電話への GPS 機能搭載が義務化されている。

これを既存のフロアマップから画像処理によって自動生成する手法と、生成された構造情報のエンドユーザによる修正方法を述べる。

2. 関連研究

現在、GPS 測位などを応用し提供されている多様な LBS の実現は、Google Maps²⁾ などの Web-GIS サービスの普及が理由の 1 つに挙げられる。Google Maps API はフリーで利用可能だが、地図データそのものはオープンではなく、地図データをローカルにキャッシュして、オフラインで地図を利用することなどは不可能である。OpenStreetMap³⁾ は、多くのユーザの共同編集によって、自由に利用可能な地図を制作する、UGC ベースのオープンソースプロジェクトである。地図データ以外にも、Wikipedia⁴⁾ などの、UGC ベースのプロジェクトが発展している。

GPS の利用が困難な建物内や地下街などの屋内においては、PlaceEngine⁵⁾ の屋内測位ソリューションや indoor.Locky⁶⁾ など、無線 LAN などを用いた屋内位置推定技術の研究が発展しつつあり、フロアや部屋などが判定可能な測位精度が実現されている。そこで、屋内測位の応用として、屋内のナビゲーションやユーザの位置に応じた詳細情報提供などの屋内 LBS が期待されており、さらに、屋内外のシームレスなサービスも期待されている。ここで、このような屋内 LBS の実現には、屋外における地図データなどと同様に、屋内の構造情報が必要である。既存の屋内の構造情報としては、Micello Maps⁷⁾ や Google SketchUp⁸⁾ のモデルなどが挙げられる。Micello Maps は、Micello 社が作成したショッピングモールなどの館内地図であり、特定の施設にしか情報がなく、データを自由に利用することはできない。Google SketchUp は、建物などを 3 次元的に可視化するための BIM であり、フロアベース屋内測位の応用としての屋内 LBS を目的としたものではない。このように、現時点では、屋内ナビゲーションや位置依存情報提供などの屋内 LBS を目的とし、OpenStreetMap のデータのように自由に利用可能な BIM は広く存在しない。

本研究では、既存のフロアマップを元に、画像処理などを用いて、UGC のアプローチから、広く屋内構造情報の収集を目指す。画像処理を用いた位置情報抽出は、地図画像から道を抽出してネットワークリンクのデータを作成する研究⁹⁾ や、多くの写真から建造物の 3 次元空間情報を UGC として構築する研究¹⁰⁾ などがあるが、屋内を対象とした位置情報抽出は、センサを搭載した移動ロボットによって地図を生成する研究¹¹⁾ など、多くの施設で広く構造情報の収集を目的としたものは存在しない。

Web-GIS で扱われるデータや BIM の多くはベクターデータであり、osm,kml,gml など

のファイルは XML を用いている。XML で記述された画像フォーマットである SVG も、地図などに用いられている。これらの XML ベクターデータの多くは、JOSM¹²⁾、Google SketchUp⁸⁾、Inkscape¹³⁾ などのソフトウェアを用いて、誰にでも編集が容易である。

以上から考え、本研究が目指す屋内構造情報の収集・管理・提供を行う屋内位置情報基盤に必要な要件を挙げる。

- 屋内ナビゲーションや位置依存情報提供などの屋内 LBS に利用可能な構造情報を作成する。
- 屋内 LBS アプリケーションや屋内測位技術が自由に使用可能なオープンなデータを作成する。
- 特定の建物のみでなく、広く構造情報が収集可能なデータ形式および収集方式を用いる。
- 屋内外においてのシームレス化に向けて屋外座標系との対応を行う。

3. フロアマップ構造化システム

本研究の目指す屋内位置情報基盤の全体像を図 1 に示す。本稿では、この屋内位置情報基盤において、構造情報の収集を行うシステムについて述べる。構造情報の収集にあたっては、フロアマップを利用し、画像からフロアの構造情報を生成する。また、エンドユーザの協力により、UGC として広くオープンな構造情報を収集することを目指す。既存のフロアマップの収集は、エンドユーザの協力によって行う。フロアマップ画像からの構造情報の抽出においては、画像中の抽出可能な情報の自動抽出を試み、抽出不足や誤抽出をエンドユーザの手によって修正するアプローチをとる。

3.1 屋内構造情報

本節では、収集する屋内構造情報について検討する。建物や地下街などの多くの屋内施設には、施設内のフロアマップが存在し、誰にでも入手が容易である。フロアマップには、施設内に掲示されているものや、Web サイト上に掲載されているものがある。Web 上には、Flash を利用したフロアマップなども存在するが、多くはラスターデータの画像である。施設内に掲示されているフロアマップを撮った写真もラスターデータ画像である。フロアマップは屋内位置情報ではあるが、これは人を対象としたものであり、ナビゲーションや位置依存情報提供などを目的として、屋内 LBS が使用するには扱いが困難である。また、建物 CAD データでは、屋内 LBS を目的とするには、形状などの情報は細かく複雑で、現在のテナントの店舗情報などの情報が含まれていない。

建物の屋内構造情報は、建物の名称や屋外座標系における位置など建物全体の情報、建物

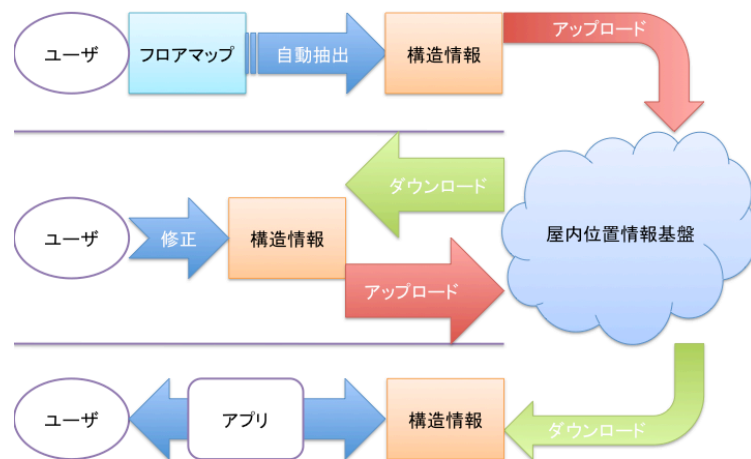


図1 屋内位置情報基盤の全体像
Fig.1 Indoor location platform overview.

内の各フロアの情報やフロア間を移動するリンク情報、さらに、フロア内の部屋・店舗・トイレ・階段やエレベータなどのエリアの位置や形状、それぞれのエリアの詳細情報、フロア内のリンク情報と、階層的なモデルを考える。

本稿で述べるシステムでは、既存のフロアマップを元に、以上のような建物全体の屋内構造情報を目指し、構造情報全体のベースとなる各フロア毎に、フロアの構造化を行う。画像フォーマットであり表示が容易、既存の編集ソフトを用いて編集が可能、今後の拡張が可能などの理由から、構造化されたフロアマップのデータ形式はSVGを用いる。フロア内の部屋や店舗などについての、位置や形状のベクターデータと名称などのメタデータを保持した、フロアマップSVGを構築する過程を、自動生成と修正に分けて述べる。

3.2 構造情報の自動生成

本節では、フロアマップ画像の次の段階として、フロアマップ上の部屋や店舗などの名前と位置・形状の情報を抽出し、ベクターデータに変換したフロアマップSVGの自動生成手法を述べる。フロアマップ画像全体に対して、エッジ検出などのエリアを抽出する処理を行

うと、文字などのノイズを処理する必要があるが、抽出が困難である。そこで、本手法では、多くのフロアマップ上において、部屋や店舗などのエリア内に、その名称などが記されていることに着目する。よって、まずフロアマップ画像全体から文字領域を抽出し、次に文字領域を包括する部屋や店舗のエリアを抽出し、構造情報として保存するアプローチをとる。画像処理にはOpenCVを用いた。

文字領域の抽出

フロアマップ画像から文字領域を抽出する手法を述べる。フロアマップ画像中において、文字領域は比較的周辺に対して輝度の変化が大きく起伏が頻繁である。この文字領域を2値化によって検出可能とするために、モルフォロジー演算のトップハット変換とブラックハット変換を組み合わせた処理を行う。この処理により、文字領域などの輝度の起伏が大きく頻繁な領域以外を除去する。同時に、文字中の離れた線と線とを接続し、まとめて1つとして検出されるようにする。手順を順を追って述べる。まず、原画像(図2)をオープニングした画像(図3)とクロージングした画像(図4)を用意する。これらの処理は、膨張と収縮をそれぞれ異なる順序で同じ回数だけ処理を行ったもので、それぞれ細かなパターンの暗い部分と明るい部分とが除去される。原画像からオープニング画像を減算するトップハット変換では、文字の線と線の間細かい背景が抽出される。クロージング画像から原画像を減算したブラックハット変換では、文字自体が抽出される。以上のトップハットおよびブラックハットの抽出結果は、文字が黒い(周辺に対して輝度が小さい)場合においてであり、文字が白い(周辺に対して高度が大きい)場合では、それぞれの処理は対称の抽出結果となる。本手法では、クロージング画像からオープニング画像を減算し、文字領域全体を抽出する。この文字領域全体の抽出は、文字の白黒によらず、原画像に反転画像を用いても結果は等しい。上記の差分画像(図5)をグレースケール化し、2値化し(図6)、輪郭を検出する。得られた輪郭の包括矩形を文字領域とする。ここで、文字領域と同様の特徴を持つトイレやエレベータのマークも文字領域として得られる。過小および過大な文字領域はノイズとして除去する。図7に赤の矩形で示されているのが、得られた文字領域である。

エリアの抽出

フロアマップ画像から部屋や店舗などの位置・形状を抽出する手法を述べる。フロアマップ画像中において、部屋や店舗などのエリアは、周辺に対して線や色の差によって区別されている。本手法では、エリア内に名称などの文字が記されていると考えるので、文字周辺の最内側の輪郭を検出するアプローチをとる。文字がエリアに及んでいる場合を考慮し、前段で得られた文字領域の中心座標に対して、塗りつぶし処理する。描画はマスク画像に

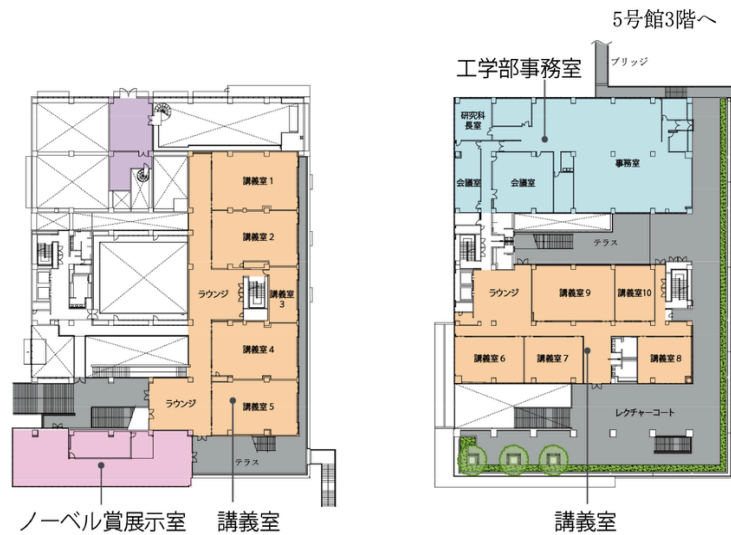


図2 フロアマップ画像
Fig.2 Floormap image.

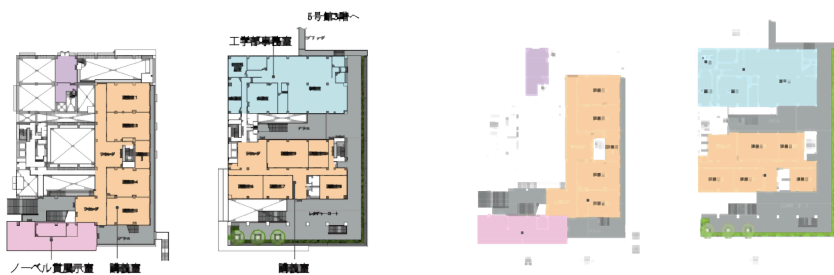


図3 オープニング画像
Fig.3 Opening image.

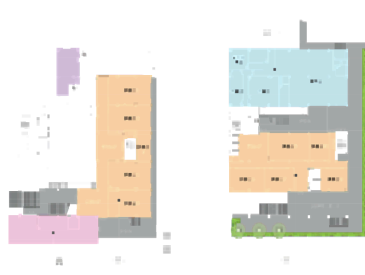


図4 クロージング画像
Fig.4 Closing image.

対してのみ行い、マスク画像から輪郭を検出し、得られた輪郭をエリアとする。中心座標が文字の線上である場合を考慮し、エリアが文字領域に包括されていた場合は、中心座標の隣接ピクセルに対して再処理を行い、これを繰り返す。塗りつぶし処理において、隣接ピクセルを連結成分と決定する際の許容値には幅を持たせ、写真などに見られる小さな輝度



図5 図4と図3の差分画像
Fig.5 Diff image of Fig.4 and Fig.3.



図6 図5の2値画像
Fig.6 Binary image of Fig.5.



図7 フロアマップから抽出された文字領域
Fig.7 Text areas extracted from floor map.

差は連結しているとして処理を行う。過小なエリアはノイズとして除去する。エリアの包括矩形面積が過大なものは、フロア外として判定する。図8に緑の輪郭で示されているのが、文字領域から得られたエリアである。

これまでに我々は、エリアの抽出において、Web画像で85%、写真で90%の抽出率を実

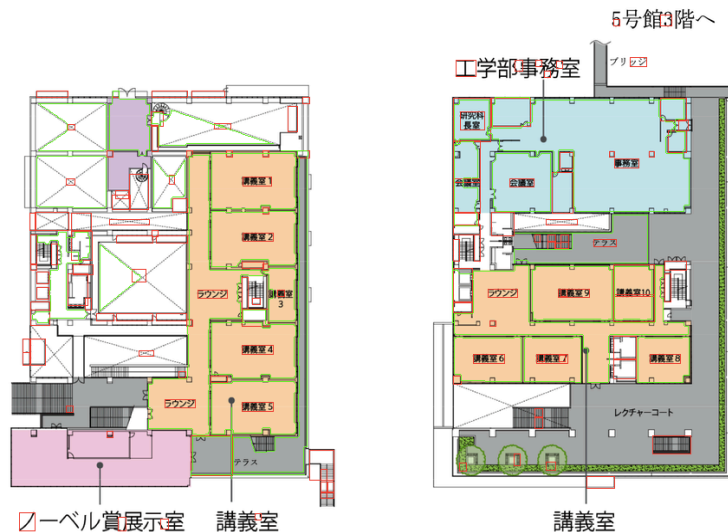


図 8 フロアマップから抽出されたエリア
Fig. 8 Areas extracted from floor map.

現している¹⁴⁾。*1この抽出率は、トイレやエレベータのマークから抽出できたエリアを誤抽出と判定したものである。マークをマッチングなどによって認識することで、さらに自動抽出の精度を向上できると考えられる。

ベクターデータへの変換

フロアマップ画像より得られた構造情報を SVG に変換する。得られた部屋や店舗などの形状を、path 要素を用いてポリゴンとして記述する。path 要素などのグラフィック要素には、それぞれ個別に title 要素と desc 要素とが指定できる。title 要素に、文字領域の OCR によって取得した部屋や店舗などの名称のテキストを記述する。desc 要素は、営業時間などの詳細情報を入力するために空けておく。各要素には、それぞれ固有の ID 属性を割り当てることが可能である。以下に、元のフロアマップ画像にベクターデータをオーバーレイした状態で出力した SVG の例を示す。

*1 写真においては、名古屋大学内のフロアマップのみを用いたので、検討の必要がある。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xmlns:sodipodi="http://sodipodi.sourceforge.net/DTD/sodipodi-0.dtd"
xmlns:inkscape="http://www.inkscape.org/namespaces/inkscape"
version="1.1" width="640px" height="480px">
  <g inkscape:groupmode="layer" id="layer2" inkscape:label="EMP" sodipodi:insensitive="true">
    <image x="0" y="0" xlink:href="file:///Users/user/Pictures/sample.png" width="640" height="480"/>
  </g>
  <g inkscape:groupmode="layer" id="layer1" inkscape:label="SVG">
    <path d="M 200,100 300,100 300,200 200,200 Z" fill="none" stroke="red" stroke-width="1px">
      <title>Room 101</title>
    </path>
    <path d="M 100,100 200,100 200,200 100,200 Z" fill="none" stroke="red" stroke-width="1px">
      <title>Room 102</title>
    </path>
    <path d="M 100,250 300,250 300,300 100,300 Z" fill="none" stroke="red" stroke-width="1px">
      <title>Shop A</title>
    </path>
  </g>
</svg>
```

3.3 構造情報の修正

前節で得られた構造情報には、フロアマップ画像中にない情報は含まれておらず、また、自動抽出には抽出不足や誤抽出が含まれる。これらの修正を一般ユーザの協力によって修正する手法をとる。本節では、Inkscape を用いて、新規エリアの追加、エリアの削除、エリアの形状・位置の修正、エリアの名称・詳細情報の編集の方法を述べる。Inkscape は UNIX, Mac OS X, Windows などクロスプラットフォームで動作する。SVG では、g 要素を用いて、グラフィック要素をグループ化でき、さらに、inkscape 名前空間を用いることで、それぞれのグループをレイヤーとして編集可能である。また、image 要素を用いて、PNG や JPEG などのラスターグラフィックを SVG 内に描画可能である。これには、image 要素のリンク属性から外部の画像を参照する方法と、SVG 内に直接ラスターデータを埋め込む方法とがある。ユーザは、前節で出力された SVG の背面レイヤーに既存のフロアマップ画像を貼付け、全面レイヤー上で構造情報の編集を行う。また、SVG への出力段階で、入力フロアマップ画像を背面レイヤーに貼付けを行うことも可能である。

新規エリアの追加は、ペンツールを用いてポリゴンを描画し、path 要素を追加することで行う。現時点では、今後の構造情報の応用利用を考慮して、ノード（点）の種類はシャープノードを、セグメント（線）は直線を前提とする。エリアの削除は、path 要素を選択して削除することで行う。既存のエリアの形状編集にはノードツールを用いる。図 9 は左のエ

リアを選択した状態の画面である。図9の左のエリアでは、エリアの抽出過程において、文字自体の線が境界線の一部として認識されてしまっている。そのため、文字周辺の凹みを生み出しているノードを削除する必要がある。不要なノードを削除し、ノードの位置を調整することで、図9のエリアの形状は、図10に示すようになる。^{*1}ノードの削除時に、セグメントが曲線に変わらないように、Inkscapeの設定から「ノードの削除時にシェイプを維持する」オプションを外しておく、編集が容易である。ノードツールを用いて、ノードの削除の他に、ノードの追加・移動が行える。Inkscapeでは、これらのエリアの形状編集過程において、背面レイヤーのエッジをトレースすることが可能である。また、pathの編集後に、「ピクセルスナップ」を行うことで、ノードの座標を整数値に補正することが可能である。

各エリアのメタデータの編集においては、図11に示すように、path要素のコンテキストメニューの「オブジェクトのプロパティ」から、title要素とdesc要素とを記述する。title要素（タイトル）には、エリアの名称を記述する。desc要素（説明）には、エリアの種類や営業時間などの詳細情報を、キー・バリューの組のリストをテキストで記述する。キー・バリューの定義は別にスキーマを共有し、ユーザによって定義が追加可能にする。

4. おわりに

本稿では、屋内構造情報の収集・管理・提供を行うを目的とする屋内位置情報基盤に向けての、フロアマップ構造化システムについて述べた。今後は、自動抽出精度の向上や抽出対象の拡大、ユーザの修正におけるプラットフォームの充実化、建物全体としての構造情報の構築手法の検討、構造情報の投稿や共有などを行うサーバとの統合などを行い、屋内位置情報基盤を実現する必要がある。

参考文献

- 1) 藤田迪, 梶克彦, 河口信夫, "Gaussian Mixture Modelを用いた無線LAN位置推定手法", 情報処理学会論文誌, Vol.52 No.3, pp.1069-1081, 2011.
- 2) Google Maps: <http://maps.google.com/>
- 3) OpenStreetMap: <http://www.openstreetmap.org/>
- 4) Wikipedia: <http://www.wikipedia.org/>
- 5) PlaceEngine: <http://www.placeengine.com/>
- 6) 梶克彦, 河口信夫, "indoor.Locky: 屋内位置推定のための無線LAN情報プラットフォーム", 情報処理学会研究会報告, Vol.2010-MBL-56 No.1, pp.1-6, 2010.

*1 図10は、下部の境界線も修正済みである。

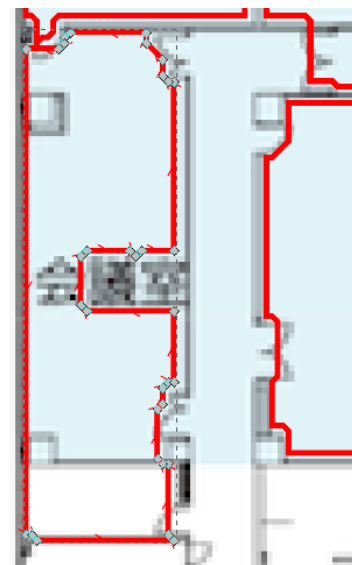


図9 修正前の path
Fig.9 A path before modified.

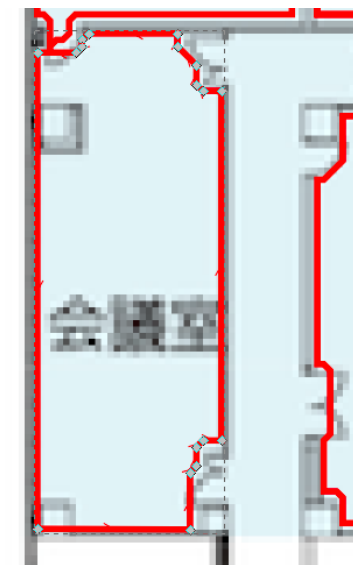


図10 修正後の path
Fig.10 A path after modified.

- 7) Micello: <http://www.micello.com/>
- 8) Google SketchUp: <http://sketchup.google.com/>
- 9) 李燕, "地図画像および数値地図を用いた細街路ネットワークデータの作成方法", 土木学会論文集, Vol.62 No.1, pp.121-130, 2006.
- 10) Noah Snavely, Steven M. Seitz, Richard Szeliski, "Photo Tourism: Exploring Photo Collections in 3D", ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH Proceedings), 25(3), 2006, 835-846.
- 11) 根岸善朗, 三浦純, 白井良明, "全方位ステレオとレーザレンジファインダの統合による移動ロボットの地図生成", 日本ロボット学会誌, Vol.21 No.6, pp.690-696, 2003.
- 12) JOSM: <http://josm.openstreetmap.de/>
- 13) Inkscape: <http://www.inkscape.org/>
- 14) 鈴木友基, 梶克彦, 河口信夫, "無線LAN屋内位置推定のためのフロアマップの構造化", 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.73, No.3, pp.287-288, 2011.

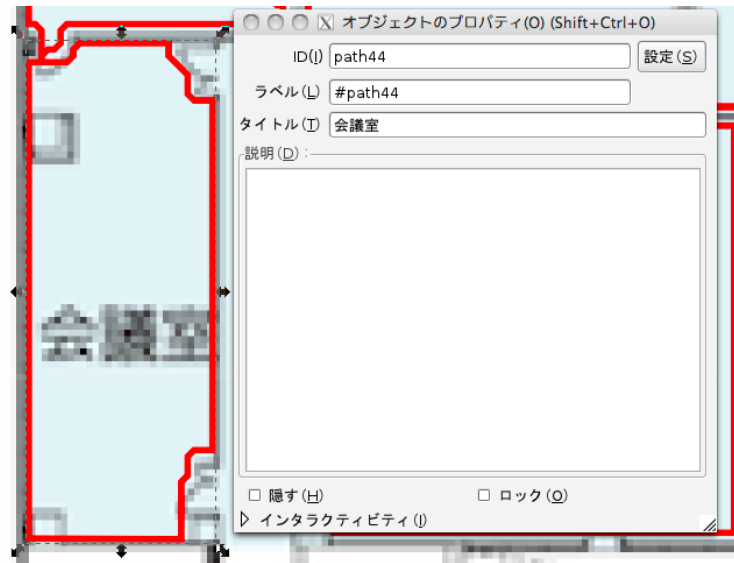


図 11 title と desc の編集画面
Fig.11 Propaty window of a path.