

Developers Note for ADAMR2 Project

一関高専 専攻科 生産工学専攻 2 年 藤野航汰

2020 年 11 月 3 日

目次

第 1 章	URDF を記述する	2
1.1	URDF とは？	2
1.2	何故 URDF を書くのか？	3
1.3	ADAMR2 の実機用 URDF モデリング	3
1.4	URDF モデリング用パッケージの作成	3
1.5	base_link の作成と追加	7
参考文献		11

第 1 章

URDF を記述する

本章では、ROS においてロボットの構造をモデリングするためのフォーマットである URDF(Unified Robot Description Format) と、URDF をプログラマブルに記述することのできるマクロパッケージである xacro^{*1}について解説します。

1.1 URDF とは？

URDF についての説明を MathWorks の Web サイトから引用します。[1]

URDF (Unified Robotics Description Format) は、製造業の組み立てライン用ロボット マニピュレータ アームや遊園地用のアニマトロニクス ロボットなどのマルチボディ システムをモデル化するために、学术界や産業界で使用される XML 仕様です。

URDF では、ロボットのモデルをリンク (Link) とジョイント (Joint) からなるツリー構造で表現します。ボディやホイール、センサ等、駆動しないブロックをリンクとして扱い、リンクとリンクとの接続 (固定, 回転, 直動, etc) をジョイントとして扱います。URDF によってモデリングされたロボットは、最終的に図 1.1[2] のような構造になります。

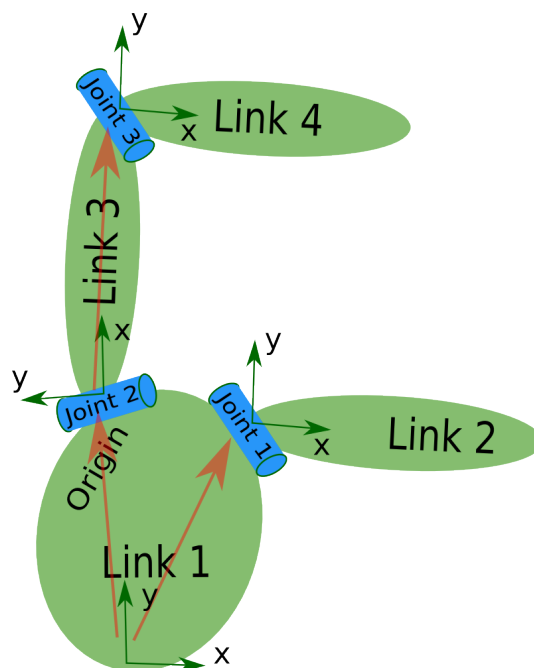


Fig.1.1 Tree Structure of URDF

URDF を記述することで、ロボットを構成する各リンクの位置関係やジョイントの属性を表すことができます。また、URDF の各リンク/ジョイントに詳細なオプションを追加することで、シミュレーション用モデル

^{*1} <http://wiki.ros.org/xacro>

を作成することもできます。

1.2 何故 URDF を書くのか？

ROS の教本やチュートリアルでよく紹介されている URDF ですが、実のところ URDF を書かなくてもロボットの実機を動かすシステムを構築することができます。URDF が提供するの、ロボット座標系におけるセンサやアクチュエータ等の位置関係を示す座標変換であり、これは TF パッケージを用いることでも実現できるものです。言い換えれば、TF を直接発行してロボットの各コンポーネントの座標変換を提供することができれば URDF を記述する必要は無いという事です。

では、URDF を記述する理由はあるのでしょうか？これはあくまで筆者の考えですが、以下のような利点があると考えます。

1. ロボットの各コンポーネントの位置関係を一括で管理することができる
2. ロボットの詳細な構造を可視化することができる
3. 実機と同じモデルでシミュレーションを行うことができる

URDF を記述することの大きな利点の 1 つとして、ロボットのモデルの可視化を行うことができるという点があると考えます。リンクやジョイントの座標変換を提供するだけなら TF パッケージを使うことで実現できるのですが、その場合モデルの可視化を行うことができません。そのため、入力した数値が正しいのかどうかを検証するのが困難になります。例えば、ロボットのハードウェアの設計を変更して、センサの位置が代わってしまったという場合を考えます。TF パッケージと URDF のどちらを使う場合でも、新しいセンサの位置を 3D CAD の設計データから計算して数値を導出するのは同じですが、TF パッケージを使う場合は可視化の手段が乏しいため、その数値が正しいかどうかを検証することが難しくなります。一方で URDF を使う場合は、URDF ファイルを編集^{*2}し、更新したモデルを rviz で可視化することで、センサの位置が正しい位置にいるのかどうかを目で確かめることができます。

また、副産物的な考え方ですが、実機用の URDF ファイルにシミュレーションのためのオプションを追記することで、ロボットのシミュレーション環境を簡単に整えることが可能になります。ros_control^{*3}のフレームワークと合わせることで実機とシミュレーションで同一のコントローラを使ってロボットを動かすことができるため、SLAM や Navigation 等のアプリケーションの開発を効率よく進められるようになります。

以上の理由から、ここでは URDF を記述してロボットのモデリングを行うことを強く推奨します。次の小節移行から、ADAMR2 で実際に使用している xacro ファイルをもとに、URDF によるロボットの実践的なモデリングについて解説します。

1.3 ADAMR2 の実機用 URDF モデリング

早速 xacro を用いて実際に ADAMR2 の実機用 URDF モデリングを行います。xacro を用いるため、URDF を直接記述することはありませんが、URDF の記述に関する基礎知識が必要になります。このセクションでは URDF 記述のチュートリアルについては取り扱わず、より実践的な内容を説明します。URDF モデリングのチュートリアルは Web 上に大量に存在します。この小節を読む前に、そちらを参照して基礎知識を身に付けてください。

これからモデリングするロボットのスケッチを図 1.2 に、リンクとジョイントのグラフを図に示します。

トップレベルのリンクとして base_footprint(空のリンク) があり、その下に base_link があります。ホイール、センサ、キャスターのリンクはすべて base_link の子リンクです。

1.4 URDF モデリング用パッケージの作成

1.4.1 ディレクトリ構成

ここから実際に URDF モデリングを行っていきます。まずは、URDF モデルを置くための ROS パッケージを作成します。慣習的に、ロボットの URDF モデルは*_description(*はロボットもしくはプロジェクトの名前) という名前の ROS パッケージに配置します。ADAMR2 プロジェクトならば「adamr2_description」という名前になります。URDF モデリングを始める前に、パッケージを作っておきましょう。ビルド依存パッケージは無いので、パッケージ作成コマンドにオプションは必要ありません。

^{*2} 実際は xacro で記述した後に URDF をエクスポートすることが多いので、直接 URDF ファイルを編集することはありません。

^{*3} http://wiki.ros.org/ros_control

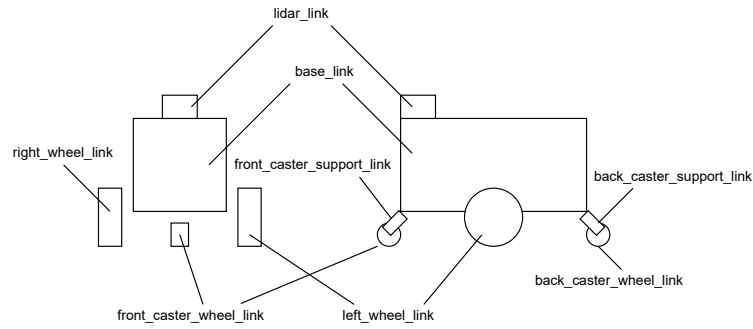


Fig.1.2 Link Structure of Diff-Drive Mobile Robot

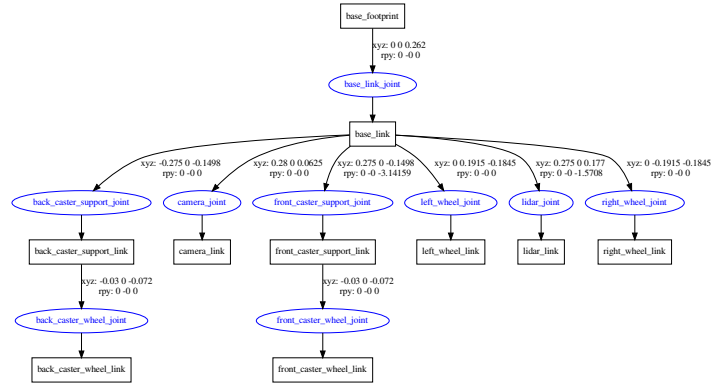


Fig.1.3 URDF Tree of ADAMR2

Code 1.1 Create a Package to put the URDF Model in

```
catkin create pkg adamr2_description
```

パッケージが作成できたら、中にいくつかのディレクトリを作成します。adamr2_description パッケージのディレクトリ構成はコード 1.2 のようにします。

Code 1.2 Directory Structure of adamr2_description

```
adamr2_description/
├─ launch/
├─ meshes/
├─ rviz/
├─ urdf/
├─ package.xml
└─ CMakeLists.txt
```

launch/ディレクトリには、URDF モデルの可視化を行うための launch ファイルを置きます。meshes/ディレクトリには、STL 形式のロボットの 3D モデルを置きます。rviz/ディレクトリには、URDF モデル可視化時の rviz の設定ファイルを置きます。そして、urdf/ディレクトリに xacro ファイルを格納していきます。

urdf/ディレクトリの中身のディレクトリ構造はコードのようになります。

Code 1.3 Directory Structure of urdf/

```
urdf/
├─ base/
│   └─ base.xacro
├─ caster/
│   └─ caster.xacro
├─ lidar/
│   └─ lidar.xacro
```

```

├ wheel/
│   ├── transmission.xacro
│   └── wheel.xacro
└ robot.xacro

```

robot.xacro がルートファイルです。ルートファイルから各コンポーネントの xacro ファイルをインクルードし、ロボットのモデルを作成します。このファイルは最終的に xacro パッケージのノードを用いて URDF ファイルに変換されます。

ロボットの主要コンポーネントであるボディ、キャスト、LiDAR、ホイールのそれぞれに対してディレクトリを作り、その中に各々の xacro ファイルを格納します。ここで、キャストはロボットの前後に 1 つずつ、ホイールはロボットの左右に 1 つずつ存在しますが、それぞれに対応する xacro ファイルを複数作成する必要はありません。共通のモジュールとして xacro ファイルを作成しておき、ルートファイルから読み込む際に名前や位置を付けることで各リンクを定義します。また、wheel には transmission.xacro というファイルがありますが、これは ros.control を用いたコントローラを作る際に必要となるオプションを設定するためのファイルです。

1.4.2 ルートファイルの作成

では早速、最初の xacro ファイルを作成してみましょう。ルートファイルである robot.xacro を記述してみます。urdf/ディレクトリの中に robot.xacro という名前の空のファイルを作成し、まずコード 1.4 のように記述します。

Code 1.4 robot.xacro

```

<?xml version="1.0"?>
<robot name="adamr2" xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">

</robot>

```

URDF のルートファイルは、robot という要素のタグで始まる必要があります、他の全ての要素はこの robot タグの中に入っていなければなりません。[3] robot タグの name 属性にはロボットの名前を指定します。ここで指定した名前は後々使用することになるので、一意な名前をつけておきましょう。また、xmlns:xacro 属性にも値を設定しておきます。この値は ROS 固有のもので、コピペして構いません。1 行目の文は XML のバージョン指定です。1.0 を指定しておきます。

これだけでは何も起きないので、robot タグ内に要素を追加してみましょう。コード 1.5 のように追記してみます。

Code 1.5 robot.xacro

```

<?xml version="1.0"?>
<robot name="adamr2" xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">
  <link name="base_footprint"/>
</robot>

```

link タグを記述することにより、ロボットにリンクを追加することができます。本来、link タグは inertial, visual, collision の要素を持つのですが[?], base_footprint リンクは実体を持たない空のリンクなので、空要素タグで記述します。

link 空要素タグの中で name 属性に値を代入しています。この name 属性につけた名前がリンクの名前となり、他のリンクから参照できるようになります。

1.4.3 URDF への変換と構文チェック

まだ 1 つのリンク (しかも空のリンク) しか追加していませんが、ひとまず URDF の構文チェックを行ってみましょう。ROS のツールに check_urdf というものがあり、これを使用すると URDF が正しい構造になっているかどうかをチェックすることができます。

しかし、xacro ファイルのままではチェックを行うことができません。^{*4}そのため、まず xacro ファイルから

^{*4} チェックツールを実行すること自体は可能ですが、URDF に含まれるリンク等が展開されないのでチェックにはなりません。

URDF ファイルに変換し、変換したファイルをチェックにかけることになります。

xacro ファイルを URDF ファイルに変換するには、xacro パッケージのノードを使用します。roscore を起動した状態で、コードのコマンドを実行します。

Code 1.6 Conversion from xacro to urdf

```
roslaunch xacro xacro robot.xacro > robot.urdf
```

このコマンドによって、robot.xacro と同じディレクトリに robot.urdf が生成され、コード 1.7 に示すような内容が書き込まれます。

Code 1.7 Generated URDF file

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!-- ===== -->
<!-- | This document was autogenerated by xacro from robot.xacro | -->
<!-- | EDITING THIS FILE BY HAND IS NOT RECOMMENDED | -->
<!-- ===== -->
<robot name="adamr2">
  <link name="base_footprint"/>
</robot>
```

生成された URDF ファイルの先頭に書かれている通り、このファイルを直接編集することは推奨されません。生成元となった xacro ファイルを編集して修正作業等を行います。

現時点での robot.xacro は空のリンクが 1 つだけのシンプルなファイルなので、URDF に変換しても大した違いはありません。とりあえずこの URDF ファイルをチェックにかけてみましょう。コード 1.8 を実行します。

Code 1.8 Check URDF

```
check_urdf robot.urdf
```

このコマンドは ROS ノードではないため、roscore が起動していなくても使うことができます。正しく記述できている場合、コード 1.9 に示すようなメッセージがターミナルに表示されます。

Code 1.9 Check Result

```
robot name is: adamr2
----- Successfully Parsed XML -----
root Link: base_footprint has 0 child(ren)
```

ここまでの作業で、xacro ファイルの記述と URDF への変換、及び構文チェックまでを行うことができました。URDF を xacro によって記述するときは、このように URDF に変換してチェック作業を行いながら書くことになります。

1.4.4 URDF の可視化

urdf_to_graphviz コマンドを使えば、作成した URDF をグラフにして可視化することができます。コード 1.10 に示すコマンドを実行することで、URDF のツリー構造を可視化した PDF 画像ファイルを得ることができます。

Code 1.10 Visualize URDF Tree

```
urdf_to_graphviz robot.urdf
```

出力結果は図 1.4 のようになります。現時点では base_footprint リンクしか定義していないので、グラフのノードは 1 つだけです。



base_footprint

Fig.1.4 URDF Tree (base_footprint Only)

1.5 base.link の作成と追加

節 1.4 までの作業で、ルートファイル robot.xacro の作成と base_footprint リンクの定義を行いました。この節ではロボットのボディのリンクである base.link の定義とルートファイルへの追加の作業を行います。

1.5.1 base.xacro の作成

まず、base.link の要素や属性の定義を記述するファイルを作成します。urdf/ディレクトリ以下に base/ディレクトリを作成し、base.xacro という名前のファイルを作成します。そして、まずはコード 1.11 のような内容を記述します。

Code 1.11 base.xacro

```
<?xml version="1.0"?>
<robot xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">
  <xacro:macro name="base" params="parent *joint_origin">

    </xacro:macro>
  </robot>
```

ルートファイルと同じく、robot タグをトップレベルに記述し、その中に他の全ての要素を記述していきます。ただし、コンポーネントファイルには name 属性を書く必要はありません。名前空間だけ指定しておきましょう。

robot タグの中には、xacro:macro タグが書かれています。これが xacro におけるマクロの定義であり、ルートファイルから呼び出されるものです。マクロの中に link や joint 等のタグを記述しておけば、ルートファイルから呼び出されたときにそれらが展開される、という仕組みです。xacro:macro タグには name 属性と params 属性があります。name 属性にはマクロの名前を指定します。params 属性には、そのマクロが取る引数を指定することができます。引数は複数設定することができ、半角スペースで区切って記述します。コード 1.11 では、引数として parent(親リンク名の指定) と *joint_origin^{*5}(座標原点の指定) の 2 つを取るようになっています。

base.xacro ファイルでは、このマクロを読み込んだら「base.link の定義」と「base_footprint と base.link を繋ぐジョイント base.link_joint の定義」が行われるようにマクロを定義します。

1.5.2 joint の設定

この小節では base.link_joint の定義を行います。コード 1.12 のようにマクロタグ内に joint タグを追記します。

Code 1.12 Configure base.link_joint

```
<?xml version="1.0"?>
```

^{*5} アスタリスクが先頭に付くパラメータは「ブロックパラメータ」と呼ばれるパラメータで、任意の要素を展開することができます。


```

<robot xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">
  <xacro:macro name="base" params="parent *joint_origin">
    <joint name="base_link_joint" type="fixed">
      <xacro:insert_block name="joint_origin"/>
      <parent link="{parent}" />
      <child link="base_link" />
    </joint>
  </xacro:macro>
</robot>

```

joint タグは name と type の 2 つの属性を持ち、また以下の要素を持ちます。 [4]

- origin：親リンクから見たジョイントの原点座標
- parent：親リンク名
- child：子リンク名
- axis：ジョイントの軸。回転ジョイントの場合は回転軸を表す
- calibration：ジョイントの絶対位置を校正するために使用される、ジョイントの基準位置
- dynamics：ジョイントの物理的特性を指定するための要素
- limit：ジョイントの角度、力、速度のリミットを指定するための要素
- mimic：他のジョイントの動きを真似させるときに使用する要素
- safety_controller：ジョイントが安全に動作するために設定するソフトナリミット

このうち、ジョイントの定義に必須なのは parent と child のみで、他の要素は指定しなくてもジョイントを定義することができます。

ここでは、ジョイント名を「base_link_joint」、ジョイントタイプを「fixed」とし、要素には parent と child、そして origin を設定します。

child 要素は base_link です。base_link はまだ存在せず、1.5.3 で定義します。parent 要素にはマクロが引数として受け取った値をそのまま使用します。引数をマクロ内で利用するには、`{PARAMETER_NAME}` の書式を使用します。

joint タグの origin 要素で指定するのは、親リンクから見たジョイントの原点座標です。図 1.5.2 のように、ジョイントが子リンクの原点になります。ここでは base_link が子リンクなので、base_link の座標系原点は base_link_joint の位置になるという事になります。

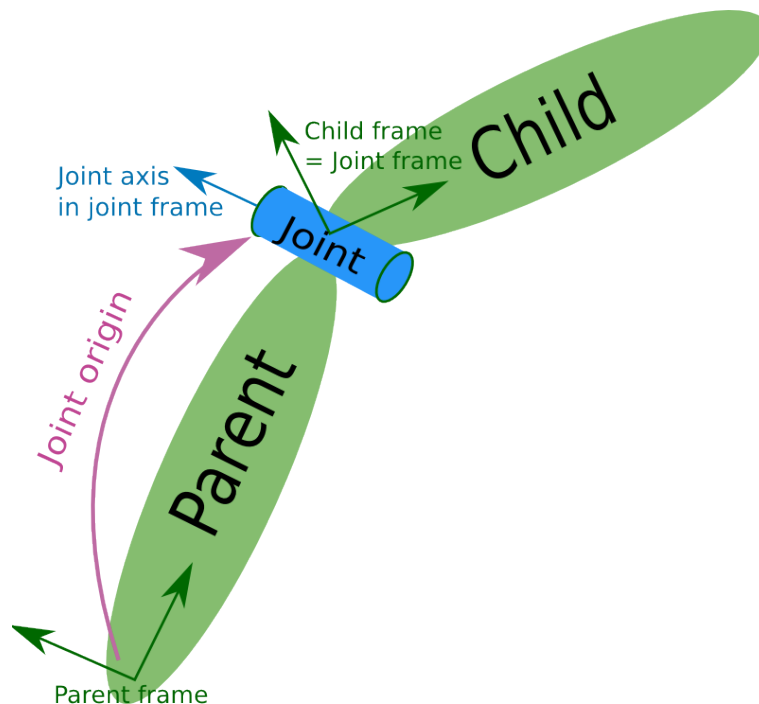


Fig.1.5 Coordinate Transformation Relationship Between Link and Joint[4]

origin 要素もマクロが引数として受け取ったものを使用します。ただし、origin 要素は単なる値ではない

め、parent 要素のようにそのまま使うことはできません。そこで使用するのがブロックパラメータと呼ばれる引数です。これを使用することで、ルートファイルからジョイントの origin 要素を定義できるようになります。コード 1.12 では*joint_origin という名前でブロックパラメータを定義しています。ルートファイルから読み込む際の詳細はで説明します。

ジョイントの設定は以上で完了です。次は link タグの設定を行います。

1.5.3 link タグの設定

ここから link タグを定義して、base.link の要素を記述していきます。link タグは inertial, visual, collision の 3 つの要素を持ちます。link タグ及び各要素の詳細について知りたい方は、ROS Wiki のページ^{*6}を参照してください。

Gazebo シミュレーションを行う際は全ての要素について定義する必要がありますが、rviz で可視化するだけなら visual 要素を設定するだけで事足ります。本章では実機用 URDF の記述を目的としているため、ここではシミュレーション用の設定については説明しません。シミュレーション用の設定については後の章で解説します。

visual 要素はモデルの見た目の要素を定義するタグです。コード 1.13 のようにマクロタグ内に link タグを追記し、更にその中に visual 要素を記述します。

Code 1.13 link Element

```
<?xml version="1.0"?>
<robot xmlns:xacro="http://ros.org/wiki/xacro">
  <xacro:macro name="base" params="parent *joint_origin">
    <joint name="base_link_joint" type="fixed">
      <xacro:insert_block name="joint_origin"/>
      <parent link="{parent}"/>
      <child link="base_link"/>
    </joint>

    <link name="base_link">
      <visual>
        <origin xyz="0.0 0.0 0.0"/>
        <geometry>
          <mesh filename="package://adamr2_description/meshes/base_link.STL"/>
        </geometry>
        <material name="red">
          <color rgba="1.0 0.0 0.0 1.0"/>
        </material>
      </visual>
    </link>
  </xacro:macro>
</robot>
```

visual 要素は更に origin, geometry, material 要素を持ちます。geometry 要素ではリンクの見た目を表す形状を定義します。長方形、球、円柱等のプリミティブな図形を設定できる他、STL ファイルを読み込んで設定することができます。実際、コード 1.13 では mesh 要素に STL ファイルを指定して形状を設定しています。STL ファイルは 1.5.4 で作成します。

origin 要素では geometry 要素で指定した図形の原点の座標を設定することができます。リンクの座標系から見た位置、即ちこのリンクが所属するジョイントの原点からみた位置で指定することになります。このドキュメントでは、基本的にリンクの位置は joint タグの位置を設定することで決定します。そのため、link タグの origin 要素の値はほとんどの場合でゼロになります。

material 要素ではリンクの色を設定することができます。ただし、プリミティブ図形または STL ファイルを使用する場合は、単色でしか設定できません。リンクの見た目の色を詳細に決定したい場合は、COLLADA ファイル (拡張子は*.dae) を用意する必要があります。ロボットの開発にとってあまり本質的ではないと考えたので、このドキュメントでは COLLADA ファイルの作成については説明しません。

^{*6} <http://wiki.ros.org/urdf/XML/link>

1.5.4 メッシュファイル (STL 形式) の作成と割り当て

visual 要素の mesh に指定する STL ファイルを、3D-CAD ソフトである SolidWorks2019 を用いて作成します。SolidWorks にはパーツファイルを STL にエクスポートする機能があるので、これを使います。

ROS REP:103^{*7}にあるように、ROS では長さの単位を全てメートルで扱います。しかし、3D-CAD で設計を行うときはミリメートル単位でモデリングするのが一般的です。従って、そのまま STL エクスポートすると、ROS から読み込んだときにモデルの大きさが 1000 倍になってしまいます。また、ROS ではロボットの座標軸の向きは「X 軸がロボットの前進方向、Z 軸は鉛直上向き方向、Y 軸は右手座標系となるような向き」と決められています。3D-CAD のデフォルト座標軸がこのような向きになっていることは少ないため、STL ファイルをエクスポートした後に Blender 等の 3D-CG ファイルでスケールや向きを調整しなければならない場合が殆どです。

しかし、SolidWorks には STL ファイルをエクスポートする際に、単位系や座標系を指定することができる機能があります。そのため、適切な設定を行いさえすれば 3D-CG ソフトで後処理を行うことは必要ありません。

図??に、base.link に対応付けるロボットのボディの 3D-CAD モデルを示します。これはアセンブリファイルをパーツファイルに変換したもので、筐体の他、アクチュエータ (ホイールは含まない) も内包しています。

1.5.5 ルートファイルからインクルードする

1.5.6 rviz による可視化

^{*7} <https://www.ros.org/reps/rep-0103.html>

参考文献

- [1] MathWorks. URDF 入門. <https://jp.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/urdf-model-import.html>.
- [2] Open Source Robotics Foundation. urdf/XML/model - ROS wiki. <http://wiki.ros.org/urdf/XML/model>.
- [3] Open Source Robotics Foundation. urdf/XML/robot - ROS wiki. <http://wiki.ros.org/urdf/XML/robot>.
- [4] Open Source Robotics Foundation. urdf/XML/joint - ROS wiki. <http://wiki.ros.org/urdf/XML/joint>.