

モーションシミュレータ 仕様書 / Specification of Motion Simulator

1. 動機 / Motivation

モーション制御に関する組み込みシステムの開発に携わっています。
「制御理論から実機械への応用まで」を、きちんと実践できるようにしたい。
そのための学習として、このモーションシミュレータを作成しました。

I am involved in a development project of an embedded system for motion control.
My goal is to master the application of control to real-world machinery.
I developed this motion simulator as a study tool to achieve that goal.

2. コンセプト / Concept

組み込み制御システムのフローに基づく、離散時系列の制御シミュレータ。
(指令計算 ⇒ 操作量計算 ⇒ 物体の運動変化 ⇒ フィードバック)

A discrete time series control simulator based on the flow of embedded control systems.
(Command Calculation → Manipulation Value Calculation → Object Motion Change → Feedback)

2.1 特徴 / Characteristics

- 「MotionFlow(モーション制御フロー)」クラスを中心に概念整理した、現実に即した分かりやすいオブジェクト指向設計
A clear, realistic object-oriented design with concepts centered around the “MotionFlow” (Motion Control Flow) class.
- カスタマイズ可能(JSONファイルでパラメータ設定)
Customizable via JSON parameter files
- 拡張可能(系統的に設計したPythonパッケージ構成とバージョン管理)
Extensibility through a systematic Python package structure and version control.

2.2 用途 / Applications

- 組み込み制御システムの検証 (Validation of embedded control system)
- 制御工学の学習 (Study of control engineering)

3. 使用例 / Sample

シミュレーションをJupyter Notebookで実行する例を以下のセクションに示します。

(The following sections provide examples of simulation execution in a Jupyter Notebook.)

3.1 シミュレーション実行 / Execute Simulation

```
import pandas as pd          # パッケージのインポート (pandas 表形式データ処理)
import tkmotion as tkm        # パッケージのインポート (モーションシミュレータ)

# モーション制御フローのインスタンスを作成
Create an instance of Motion Control Flow.
flow = tkm.MotionFlow()

# 離散時系列の設定をロード ( $\Delta t=100[\mu s]$ 、Duration=6[s] default)
Load the discretetime configuration
flow.load_discrete_time()

# モーションプロファイルの設定をロード (台形速度)
Load motion profile configuration (Trapezoidal velocity)
flow.load_motion_profile(filepath="tkmotion/prof/default_motion_prof_config.json",
prof_index=1)

# コントローラの設定をロード (PID)
Load controller configuration
flow.load_controller(filepath="tkmotion/ctrl/default_controller_config.json",
ctrl_index=1)

# プラントの設定をロード (質量)
Load plant configuration (mass)
flow.load_plant(filepath="tkmotion/plant/default_plant_config.json", plant_index=0,
phyobj_index=0)

# フローを実行。結果をpandas.DataFrameで得る
Execute the flow. Gets the result as pandas.DataFrame.
df = flow.execute()
```

3.2 結果をグラフで確認 / Visualize the Results

3.2.1 物体の速度変化 / Object Velocity Profile

DataFrameから「経過時間 "time_s"」と「物体速度 "obj_velocity_m_s"」を取り出し、
グラフ描画パッケージ plotly.express でlineプロットを作成する。

Extract the elapsed time ("time_s") and the object velocity ("obj_velocity_m_s") from the DataFrame to
create the line plot using the plotting library plotly.express.

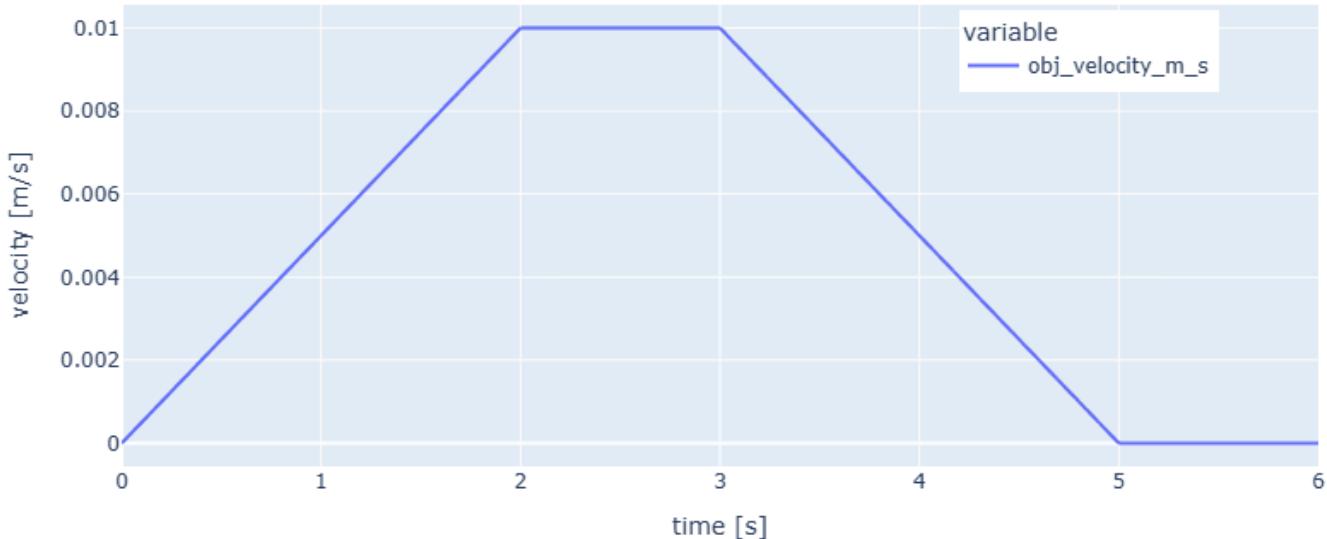
```
import plotly.express as px
fig = px.line(df, x="time_s", y=["obj_velocity_m_s"], title="PhysicalObj Velocity")
fig.update_layout()
```

```

xaxis=dict(title="time [s]"),
yaxis=dict(title="velocity [m/s]"),
legend=dict(yanchor="top", y=0.99, xanchor="left", x=0.7))
fig.show()

```

PhysicalObj Velocity



3.2.2 物体の位置変化 / Object Position Profile

3.2.1と同様に「物体位置 "obj_position_m"」のlineプロットを作成する。

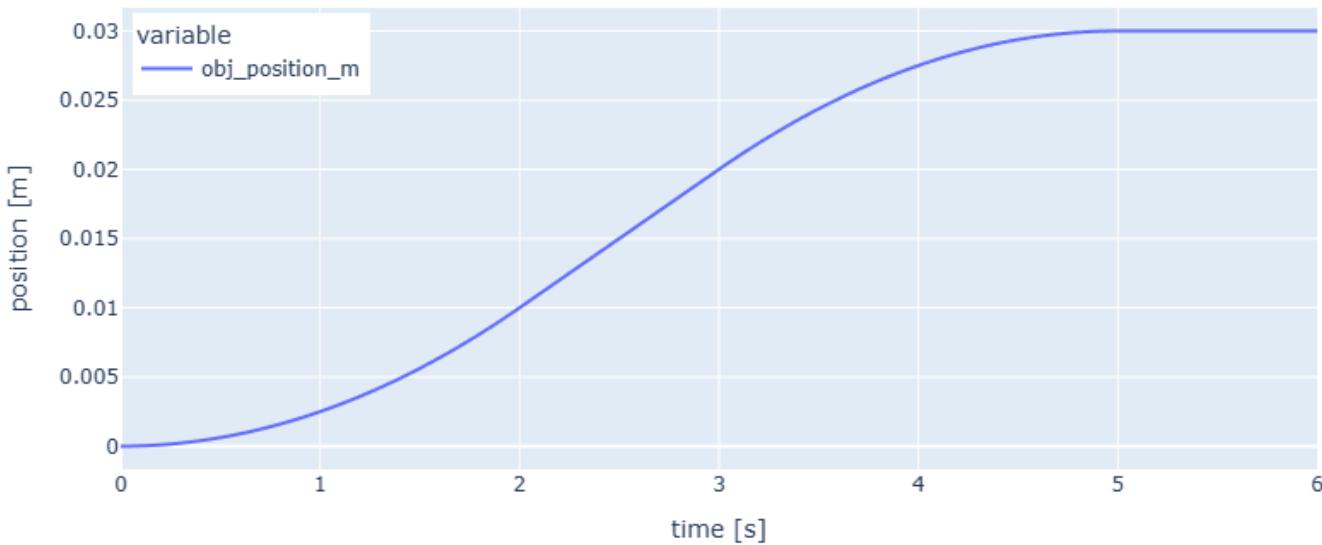
Same as 3.2.1, create the line plot of the object position ("obj_position_m").

```

import plotly.express as px
fig = px.line(df, x="time_s", y=[ "obj_position_m"], title="PhysicalObj Position")
fig.update_layout(
    xaxis=dict(title="time [s]"),
    yaxis=dict(title="position [m]"),
    legend=dict(yanchor="top", y=0.99, xanchor="left", x=0.01))
fig.show()

```

PhysicalObj Position



3.3 質量・ダンパ・ばねモデル (v0.3.0)

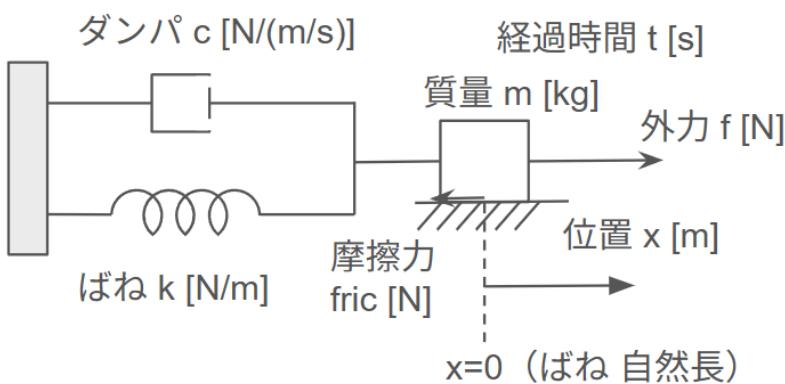
3.3.1 問題定義 / Problem Definition

プラントとして、質量・ダンパ・ばねモデルを考える。

ここでは、質量に対してステップ推力を与えた場合のプラントの振る舞いをシミュレーションする。

Consider the mass-damper-spring model as a plant.

Here we simulate the plant's response when a step force is applied to the mass.



$$\text{運動中 } f = m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx + \text{fric}$$

$$\text{停止 } f = kx$$

3.3.2 推力ステップ 準備① MotionFlow作成 / Step Force Preparation (1): Create MotionFlow

```
# MotionFlow作成 / Create MotionFlow
import pprint
```

```

import tkmotion as tkm
flow = tkm.MotionFlow()
flow.load_discrete_time()
# デフォルトのプロファイル(指令速度0, 指令位置0)をロード /
Load Default Profile (Command Velocity = 0, Command Position = 0)
flow.load_motion_profile(filepath="tkmotion/prof/default_motion_prof_config.json",
prof_index=0)
# コントローラをロード (推力ステップ) / Load Controller (Force Step)
step_ctrl_index = 3
flow.load_controller(filepath="tkmotion/ctrl/default_controller_config.json",
ctrl_index=step_ctrl_index)
pprint.pprint(f"{flow.controller.get_config()}")
# MDSPhysicalObjectのプラントをロード / Load MDSPhysicalObject's plant
plant_index=1
phyobj_index=0
flow.load_plant(filepath="tkmotion/plant/default_plant_config.json",
plant_index=plant_index, phyobj_index=phyobj_index)
# 物理オブジェクトのパラメータを確認 / Confirm PhysicalObject's parameter
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.mass}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.damper}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.spring}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.spring_balance_pos}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.static_friction_coeff}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.dynamic_friction_coeff}")
wn_Hz, cc, zeta, wd_Hz = flow.plant.physical_obj.calc_char_values()
pprint.pprint(f"{wn_Hz} [Hz]")
pprint.pprint(f"{cc} [Ns/m]")
pprint.pprint(f"{zeta} [-]")
pprint.pprint(f"{wd_Hz} [Hz]")
# 物理オブジェクトの状態を確認 / Confirm PhysicalObject's state
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.acc}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.vel}")
pprint.pprint(f"{flow.plant.physical_obj.pos}")

# 出力 / Output
("flow.controller.get_config()={'version': '0.3.0', 'type': 'step', 'name': "
 "'step_controller', 'description': 'Step controller settings for TKMotion '"
 "'simulations.', 'step_force_N': 2.0, 'delay_s': 1.0}")
'flow.plant.physical_obj.mass=2.0'      # kg
'flow.plant.physical_obj.damper=3.0'    # N-s/m
'flow.plant.physical_obj.spring=80.0'   # N/m
'flow.plant.physical_obj.spring_balance_pos=0.0'      # m
'flow.plant.physical_obj.static_friction_coeff=0.0'    # -
'flow.plant.physical_obj.dynamic_friction_coeff=0.0'   # -
'wn_Hz=1.0065842420897408 [Hz]'
'cc=25.298221281347036 [Ns/m]'
'zeta=0.11858541225631422 [-]'
'wd_Hz=0.9994816381373267 [Hz]'
'flow.plant.physical_obj.acc=0.0'

```

```
'flow.plant.physical_obj.vel=0.0'  
'flow.plant.physical_obj.pos=0.0'
```

3.3.3 推力ステップ 準備② 平衡位置の理論値 / Step Force Preparation (2): Theoretical Value of the Balanced Position

```
# ばねの伸び / Spring Strech  
print(f"ステップ推力=2[N]、ばね定数=80[N/m]より、ばねの伸びの平衡値={2/80=} [m]")  
  
# 出力 / Output  
ステップ推力=2[N]、ばね定数=80[N/m]より、ばねの伸びの平衡値=2/80=0.025 [m]
```

3.3.4 推力ステップ シミュレーション / Step Force Simulation

```
# MotionFlow実行 / Run motion flow  
mtnflow_df = flow.execute()  
mtnflow_df
```

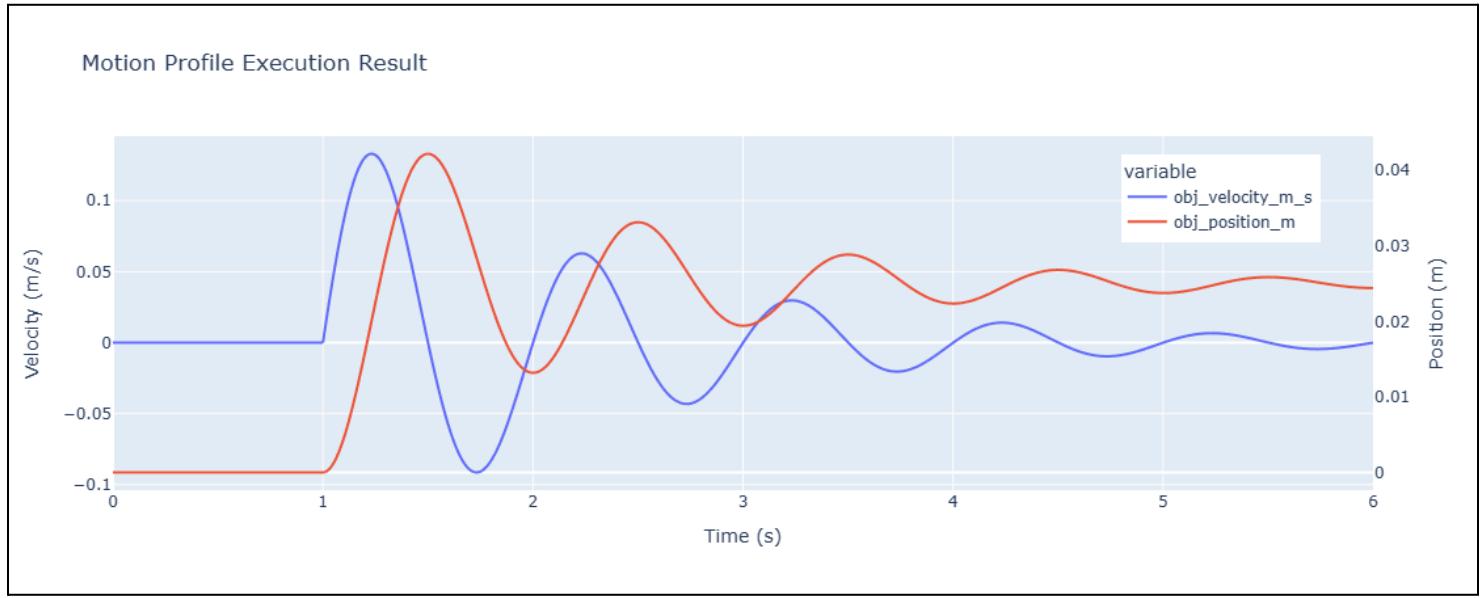
3.3.5 結果 / Result

プロットは、質量の位置が 理論平衡位置 0.025 [m] に収束していく様子を示している。
The plot shows the mass position converging to the theoretical balanced position 0.025 [m].

```
# MotionFlowの結果の可視化 / Visuzalize motion flow result  
import plotly.express as px  
fig = px.line(  
    mtnflow_df,  
    x="time_s",  
    y=[ "obj_velocity_m_s", "obj_position_m"],  
    title="Motion Profile Execution Result")  
fig.update_layout(  
    yaxis2=dict(  
        title="Position (m)", # 第2Y軸のタイトル / 2nd Y axis title  
        overlaying="y", # 第1Y軸の上に重ねる / overlaying on Y  
        side="right", # 右側に表示 / show on rightside  
        showgrid=False # グリッド線を非表示 / supress grid line  
    ),  
    legend=dict(yanchor="top", y=0.95, xanchor="left", x=0.8)  
)  
for trace in fig.data:  
    # 第2Y軸のトレース更新 / Update 2nd Y-axis trace  
    if trace.name == "obj_position_m":  
        trace.update(yaxis="y2")  
        break  
fig.update_yaxes(title_text="Velocity (m/s)", row=1, col=1)  
fig.update_xaxes(title_text="Time (s)", row=1, col=1)
```

```
fig.show()
```

```
# 出力 / Output
```



4. 設計 / Design

4.1 Pythonパッケージとモジュール / Python Packages and Modules

パッケージ = ディレクトリ (Package = Directory)

モジュール = .pyファイル (Module = .py file)

```
tkmotion/
    __init__.py  # ディレクトリをPythonパッケージとして扱わせるためのスクリプトファイル
    flow/  # motion flow / モーション制御フロー
        __init__.py
        motion_flow.py
    time/  # time series / 時系列
        __init__.py
        discrete_time.py
        default_discrete_time_config.json  # 離散時系列 デフォルト設定
    prof/  # motion profile / モーションプロファイル
        __init__.py
        motion_profile.py
        default_motion_prof_config.json  # モーションプロファイル デフォルト設定
    ctrl/  # motion control / モーション制御
        __init__.py
        controller.py
        default_controller_config.json  # コントローラ デフォルト設定
    plant/  # plant (control target) / プラント (制御対象)
        __init__.py
        plant.py
```

```

physical_object.py
default_plant_config.json # プラント デフォルト設定
util/ # utility / ユーティリティ
__init__.py
utility.py

```

4.2 モジュールとクラス / Modules and Classes

4.2.1 パッケージ / Package: tkmotion.flow

motion flow / モーションフロー

モジュール Module	ver	クラス Class	責務 Responsibility	主要特性 Main Characteristics
motion_flow.py	0.3.0	MotionFlow (モーション制御フロー)	モーション指令の流れを司り、シミュレーションを実行	load_discrete_time() load_motion_profile() load_controller() load_plant() execute()

MotionFlow.execute() の戻り値は、シミュレーション結果のpandas.DataFrame。Observerパターンを使って、各オブジェクトのデータを集める。

```

result_df = pd.DataFrame(
{
    "time_s": time_list,
}
)

for key, value in motion_prof_observer.get_observed_data().items():
    result_df[key] = value

for key, value in controller_observer.get_observed_data().items():
    result_df[key] = value

for key, value in phyobj_observer.get_observed_data().items():
    result_df[key] = value

```

DataFrameの実質内容の例:

```

result_df = pd.DataFrame(
{
    "time_s": time_list,                                # 経過時間 [s]
    "cmd_velocity_m_s": cmd_vel_list,                  # 指令速度 [m/s]
    "cmd_position_m": cmd_pos_list,                   # 指令位置 [m]
    "velocity_error_m_s": vel_error_list,              # 速度偏差 [m/s] (指令速度 - プラント速度)
    "position_error_m": pos_error_list,                # 位置偏差 [m] (指令位置 - プラント位置)
    "force_N": force_list,                            # 操作量(推力) [N]
}
)

```

```

        "obj_acceleration_m_s2": obj_acc_list, # プラント加速度 [m/s^2]
        "obj_velocity_m_s": obj_vel_list,      # プラント速度 [m/s]
        "obj_position_m": obj_pos_list,       # プラント位置 [m]
    }
)

```

4.2.2 パッケージ / Package: tkmotion.time

time series / 時系列

モジュール Module	ver	クラス Class	責務 Responsibility	主要特性 Main Characteristics
discrete_time.py	0.3.0	DiscreteTime (離散時間)	間隔 Δt の離散時系列を表現	get_time_step_generator()
↑	↑	DiscreteTimeLoader (離散時間ローダ)	設定(jsonファイル)を読み込み、 DiscreteTimeクラスのインスタンスを生成	load()

```
default_discrete_time_config.json # 離散時系列 デフォルト設定
```

```
[ # 拡張性を考慮し、リスト [] と 辞書 {} を組み合わせる
{
    "discrete_time": [
        {
            "version": "0.3.0",           # 設定バージョン (major.minor.patch)
            "name": "default_discrete_time", # 設定名と説明
            "description": "Default discrete time settings for TKMotion simulations.",
            "time_step_us": 100,          # 時間ステップ [μs]
            "duration_s": 6.0            # 継続時間 [s]
        }
    ]
}
```

4.2.3 パッケージ / Package: tkmotion.prof

motion profile / モーションプロファイル

モジュール	ver	クラス	責務	主要特性
motion_profile.py	0.3.0	MotionProfile (モーションプロファイル)	モーションプロファイルのベースクラス。 モーションプロファイルの共通特性を定義	calculate_cmd_vel_pos()
↑	↑	TrapezoidalMotionProfile (台形モーションプロファイル)	台形状に変化する速度(加速・定速・減速)から 指令速度・指令位置を計算する	↑
↑	↑	ImpulseMotionProfile (インパルスモーションプロファイル)	インパルス状の指令値を出力する	↑

↑	↑	<code>StepMotionProfile</code> (ステップモーションプロファイル)	ステップ状の指令値を出力する	↑
↑	↑	<code>MotionProfileLoader</code> (モーションプロファイルローダ)	設定(jsonファイル)を読み込み、 MotionProfileクラスのインスタンスを生成	<code>load()</code>
↑	↑	<code>MotionProfileObserver</code> (モーションプロファイル観測者)	モーションプロファイルのデータを記録する	<code>observe()</code> <code>get_observed_data()</code>
↑	↑	<code>VelocityZeroOrMinusError</code> (速度ゼロ・マイナスエラー)	設定速度がゼロ、またはマイナスの例外を表す	-
↑	↑	<code>AccelerationZeroOrMinusError</code> (加速度ゼロ・マイナスエラー)	設定加速度がゼロ、またはマイナスの例外を表す	-
↑	↑	<code>MovingLengthZeroError</code> (移動距離ゼロエラー)	設定移動量がゼロの例外を表す	-

```

default_motion_prof_config.json # モーションプロファイル デフォルト設定

[ # 拡張性を考慮し、リスト [] と 辞書 {} を組み合わせる
{
    "motion_profile": [
        {
            "version": "0.3.0",                      # 設定バージョン (major.minor.patch)
            "type": "default",                      # モーションプロファイルの種類
            "name": "default_motion_profile",      # 設定名と説明
            "description": "Default motion profile settings for TKMotion simulations."
        },
        {
            "version": "0.3.0",
            "type": "trapezoid",
            "name": "default_trapezoid_motion_profile",
            "description": "Default trapezoid motion profile settings for TKMotion
simulations.",
            "max_velocity_m_s": 0.01,      # 最大速度 (定速度) [m/s]
            "acceleration_m_s2": 0.005,   # 加速度 [m/s^2]
            "length_m": 0.03            # 移動距離 [m]
        },
        {
            "version": "0.3.0",
            "type": "impulse",
            "name": "impulse_motion_profile",
            "description": "Impulse motion profile settings for TKMotion simulations.",
            "impulse_vel_m_s": 1000,       # インパルス指令速度 [m/s] (テスト値)
            "impulse_pos_m": 1000,         # インパルス指令位置 [m] (テスト値)
            "impulse_on_timestep_count": 1, # インパルスON タイムステップ数 [-]
            "delay_s": 1.0                # 遅延時間 [s]
        },
        {
            "version": "0.3.0",

```

```

    "type": "step",
    "name": "step_motion_profile",
    "description": "Step motion profile settings for TKMotion simulations.",
    "step_velocity_m_s": 0.02, # ステップ指令速度 [m/s] (テスト値)
    "step_position_m": 0.01,   # ステップ指令位置 [m] (テスト値)
    "delay_s": 1.0            # 遅延時間 [s]
},
{
    "version": "0.3.0",
    "type": "step",
    "name": "pos_step_profile",
    "description": "Step motion profile settings for TKMotion simulations.",
    "step_velocity_m_s": 0.0,
    "step_position_m": 0.1,
    "delay_s": 0.1
},
{
    "version": "0.3.0",
    "type": "impulse",
    "name": "vel_impulse_profile",
    "description": "Impulse motion profile settings for TKMotion simulations.",
    "impulse_vel_m_s": 1000,
    "impulse_pos_m": 0,
    "impulse_on_timestep_count": 1,
    "delay_s": 1.0
}
]
}
]

```

4.2.4 パッケージ / Package: tkmotion.ctrl

motion control / モーション制御

モジュール	ver	クラス	責務	主要特性
controller.py	0.3.0	Controller (コントローラ)	コントローラのベースクラス。 コントローラの共通特性を定義	reset() calculate_force()
↑	↑	PIDController (PIDコントローラ)	PID計算を実行するコントローラ ・Proportional 比例 ・Integral 積分 ・Derivative 微分	kvp, kvi, kvd kpp, kpi, kpd reset() calculate_force()
↑	↑	ImpulseController (インパルスコントローラ)	インパルス状の操作量を出力する	calculate_force()
↑	↑	StepController (ステップコントローラ)	ステップ状の操作量を出力する	calculate_force()
↑	↑	ControllerLoader	設定 (jsonファイル) を読み込み、	load()

		(コントローラローダ)	Controllerクラスのインスタンスを生成	
↑	↑	ControllerObserver (コントローラ観測者)	コントローラのデータを記録する	observe() get_observed_data()
↑	↑	PIDControllerObserver (PIDコントローラ観測者)	PIDコントローラの生成データを記録する	↑

```
default_controller_config.json # コントローラ デフォルト設定
```

```
[ # 拡張性を考慮し、リスト [] と 辞書 {} を組み合わせる
{
  "controller": [
    {
      "version": "0.3.0",           # 設定バージョン (major.minor.patch)
      "type": "default",          # コントローラの種類
      "name": "default_controller", # 設定名と説明
      "description": "Default controller settings for TKMotion simulations."
    },
    {
      "version": "0.3.0",
      "type": "PID",
      "name": "default_pid_controller",
      "description": "Default PID controller settings for TKMotion simulations.",
      "kvp_N_(m_s)": 10000.0,     # 速度比例ゲイン [N/(m/s)]
      "kvi_N_(m_s)": 1000.0,      # 速度積分ゲイン [N/(m/s)]
      "kvd_N_(m_s)": 100.0,       # 速度微分ゲイン [N/(m/s)]
      "kpp_N_m": 1000.0,         # 位置比例ゲイン [N/m]
      "kpi_N_m": 500.0,          # 位置積分ゲイン [N/m]
      "kpd_N_m": 10.0            # 位置微分ゲイン [N/m]
    },
    {
      "version": "0.3.0",
      "type": "impulse",
      "name": "impulse_controller",
      "description": "Impulse controller settings for TKMotion simulations.",
      "impulse_force_N": 1000,      # インパルス推力 [N]
      "impulse_on_timestep_count": 1, # インパルスON タイムステップ数 [-]
      "delay_s": 1.0                # 遅延時間 [s]
    },
    {
      "version": "0.3.0",
      "type": "step",
      "name": "step_controller",
      "description": "Step controller settings for TKMotion simulations.",
      "step_force_N": 2.0,          # ステップ推力 [N]
      "delay_s": 1.0                # 遅延時間 [s]
    }
  ]
}
```

4.2.5 パッケージ / Package: tkmotion.plant

plant (control target) / プラント (制御対象)

モジュール	ver	クラス	責務	主要特性
plant.py	0.3.0	Plant (プラント)	制御対象を表現する	physical_obj
↑	↑	PlantLoader (プラントローダ)	プラントの設定 (jsonファイル) を読み込み、 Plantクラスと、Plantに属する各クラスのインスタンスを生成	load()
physical_object.py	0.3.0	PhysicalObject (物理オブジェクト)	現実の物体を表現する	mass acc, vel, pos reset() apply_force()
↑	↑	MDSPhysicalObject (質量・ダンパー・ばね物理 オブジェクト)	質量(Mass)、ダンパー(Damper)、ばね(Spring)を持つ物体を表現す る	↑
↑	↑	PhysicalObjectObse rver (物理オブジェクト観測 者)	物理オブジェクトのデータを記録する	observe() get_observed_data()
↑	↑	MDSPhysicalObjectO bserver (質量・ダンパー・ばね物 理オブジェクト観測者)	質量・ダンパー・ばね物理オブジェクトのデータを記録する	↑
<<将来>> motor.py	将来	Motor (モータ)	モータを表現する (最大トルク・出力遅れ・逆起電力をシミュレーションに反映)	-
<<将来>> encoder.py	将来	Encoder (エンコーダ)	エンコーダを表現する。 (分解能や信号ジッタをシミュレーションに反映)	-

```
default_plant_config.json # プラント デフォルト設定
```

```
[ # 拡張性を考慮し、リスト [] と 辞書 {} を組み合わせる
{
    "plant": [ # プラント
        {
            "version" : "0.1.0", # 設定バージョン (major.minor.patch)
            "physical_object" : [ # 物理オブジェクト
                {
                    "version" : "0.1.0", # 設定バージョン (major.minor.patch)
                    "mass_kg" : 2.0 # 質量 [kg]
                }
            ]
        }
    ]
}
```

```

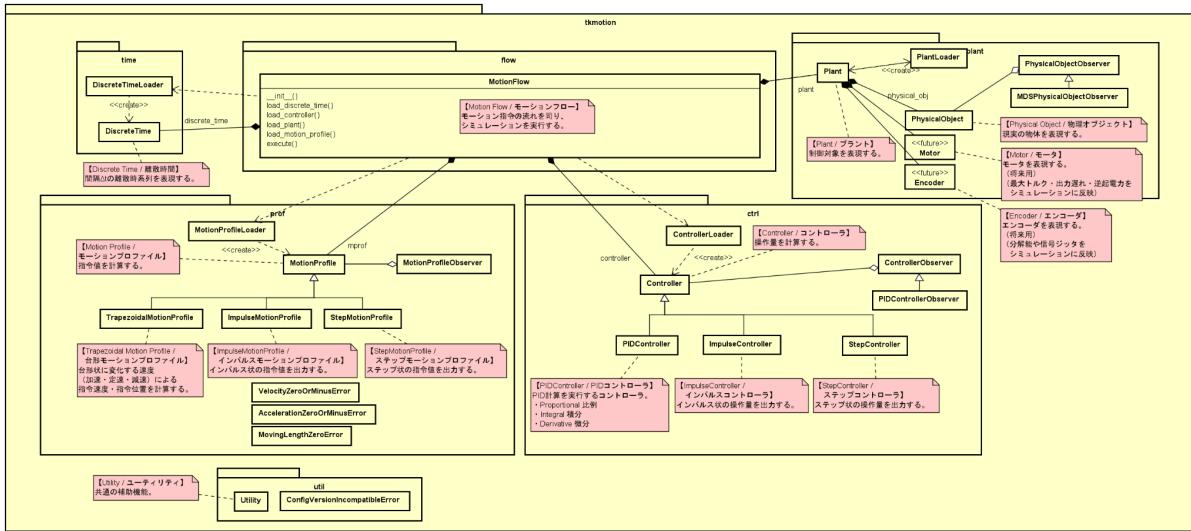
        ]
    }
]

[ # 拡張性を考慮し、リスト [] と 辞書 {} を組み合わせる
{
    "plant": [ # プラント
    {
        "version": "0.3.0",          # 設定バージョン (major.minor.patch)
        "type": "default",         # プラントの種類
        "name": "default_plant",   # 設定名と説明
        "description": "Default plant settings for TKMotion simulations.",
        "physical_object": [ # 物理オブジェクト
        {
            "version": "0.3.0",
            "type": "mass_point",
            "name": "default_physical_object",
            "description": "Default physical object settings for TKMotion
simulations.",
            "mass_kg": 2.0 # 質量 [kg]
        }
    ]
},
{
        "version": "0.3.0",
        "type": "default",
        "name": "MDS_plant",
        "description": "plant which uses MDS physical object settings.",
        "physical_object": [
        {
            "version": "0.3.0",
            "type": "MDS",
            "name": "mds_physical_object",
            "description": "Mass-Damper-Spring physical object settings.",
            "mass_kg": 2.0,      # 質量 [kg]
            "damper_Ns_m": 3.0, # ダンパ係数 [Ns/m]
            "spring_N_m": 80.0, # ばね定数 [N/m]
            "spring_balance_pos_m": 0.0, # ばね平衡位置 [m]
            "static_friction_coeff": 0, # 静止摩擦係数 [-]
            "dynamic_friction_coeff": 0 # 動摩擦係数 [-]
        }
    ]
}
]
}
]

```

モジュール	ver	クラス	責務	主要特性
utility.py	0.1.0	Utility (ユーティリティ)	共通の補助機能を定義する	is_config_compatible()
↑	↑	ConfigVersionIncompatibleError (設定バージョン非互換エラー)	設定バージョンに互換性がない例外を表す	-

4.3 クラス図(概要) / Class Diagram (Summary)



4.4 クラス図(詳細) / Class Diagram (Detail) (Plant UML)

```

@startuml
class Motor <>future>
class Encoder <>future>
class PhysicalObject {
    +grav_acc_m_s2 : float
    +module_version : string
    +config_version : string
    +mass : float
    +acc : float
    +prev_acc : float
    +vel : float
    +prev_vel : float
    +pos : float
    +prev_pos : float
    +__init__() : void
    +get_config() : dict
    +get_observer() : PhysicalObjectObserver
}

```

```

+reset() : void
+set_state() : void
+apply_force() : void
}
class DiscreteTime {
    +module_version : string
    +config_version : string
    +dt : float
    +duration : float
    +__init__() : void
    +get_config() : dict
    +get_time_step_generator() : generator
}
class MotionFlow {
    +module_version : string
    +__init__() : void
    +load_discrete_time() : void
    +load_controller() : void
    +load_plant() : void
    +load_motion_profile() : void
    +execute() : void
}
class MotionProfileLoader {
    +module_version : string
    +__init__() : void
    +load() : void
}
class DiscreteTimeLoader {
    +module_version : string
    +__init__() : void
    +load() : void
}
DiscreteTimeLoader ..> DiscreteTime
class MotionProfile {
    +module_version : string
    +config_version : string
    +type : string
    +cmd_vel : float
    +cmd_pos : float
    +__init__() : void
    +get_config() : dict
    +get_observer() : MotionProfileObserver
    +calculate_cmd_vel_pos() : tuple
}
MotionProfileLoader ..> MotionProfile
MotionFlow *-- "+ mprof" MotionProfile
Plant *-- "+ physical_obj" PhysicalObject
MotionFlow *-- "+ discrete_time" DiscreteTime
class TrapezoidalMotionProfile {

```

```

+V : float
+A : float
+L : float
+dir : float
+Ta : float
+T : float
+Tc : float
+__init__() : void
+calculate_cmd_vel_pos() : tuple
}
MotionProfile <|-- TrapezoidalMotionProfile
class Plant {
    +module_version : string
    +config_version : string
    +__init__() : void
    +get_config() : dict
}
MotionFlow *-- "+ plant" Plant
class PlantLoader {
    +module_version : string
    +__init__() : void
    +load() : void
}
PlantLoader ..> Plant
MotionFlow ..> PlantLoader
class Controller {
    +module_version : string
    +config_version : string
    +type : string
    +vel_error : float
    +pos_error : float
    +vel_error_cumsum : float
    +pos_error_cumsum : float
    +vel_error_diff : float
    +pos_error_diff : float
    +force : float
    +__init__() : void
    +get_config() : dict
    +get_observer() : ControllerObserver
    +reset() : void
    +calculate_force() : float
}
MotionFlow *-- "+ controller" Controller
class ControllerLoader {
    +module_version : string
    +__init__() : void
    +load() : void
}
ControllerLoader ..> Controller

```

```
class PIDController {
    +kvp : float
    +kvi : float
    +kvd : float
    +kpp : float
    +kpi : float
    +kpd : float
    +vel_error : float
    +pos_error : float
    +vel_error_cumsum : float
    +pos_error_cumsum : float
    +vel_error_diff : float
    +pos_error_diff : float
    +__init__() : void
    +get_observer() : PIDControllerObserver
    +reset() : void
    +calculate_force() : float
}
Controller <|-- PIDController
Plant *-- Motor
Plant *-- Encoder
class Utility {
    +get_module_version() : void
    +is_config_compatible() : boolean
}
class ConfigVersionIncompatibleError
class VelocityZeroOrMinusError
class AccelerationZeroOrMinusError
class MovingLengthZeroError
class ImpulseController {
    +p_force : float
    +on_timestep_count : int
    +delay_s : float
    +__init__() : void
    +reset() : void
    +calculate_force() : float
}
Controller <|-- ImpulseController
class ImpulseMotionProfile {
    +p_vel : float
    +p_pos : float
    +on_timestep_count : int
    +delay_s : float
    +__init__() : void
    +calculate_cmd_vel_pos() : tuple
}
MotionProfile <|-- ImpulseMotionProfile
class StepMotionProfile {
    +s_vel : float
```

```

+s_pos : float
+delay_s : float
+__init__() : void
+calculate_cmd_vel_pos() : tuple
}
MotionProfile <|-- StepMotionProfile
class StepController {
    +s_force : float
    +delay_s : float
    +__init__() : void
    +reset() : void
    +calculate_force() : float
}
Controller <|-- StepController
class MDSPhysicalObject {
    +damper : float
    +spring : float
    +spring_balance_pos : float
    +static_friction_coeff : float
    +dynamic_friction_coeff : float
    +__init__() : void
    +get_observer() : MDSPhysicalObjectObserver
    +calc_char_values() : tuple
}
PhysicalObject <|-- MDSPhysicalObject
class PhysicalObjectObserver {
    +physical_obj : PhysicalObject
    +__init__() : void
    +reset() : void
    +observe() : void
    +get_observed_data() : dict
}
class MDSPhysicalObjectObserver {
    +physical_obj : MDSPhysicalObject
    +__init__() : void
}
PhysicalObjectObserver <|-- MDSPhysicalObjectObserver
class ControllerObserver {
    +module_version : string
    +controller : Controller
    +__init__() : void
    +reset() : void
    +observe() : void
    +get_observed_data() : dict
}
class PIDControllerObserver {
    +controller : PIDController
    +__init__() : void
}

```

```

ControllerObserver <|-- PIDControllerObserver
ControllerObserver o-- Controller
PhysicalObjectObserver o-- PhysicalObject
class MotionProfileObserver {
    +module_version : string
    +profile : MotionProfile
    +__init__() : void
    +reset() : void
    +observe() : void
    +get_observed_data() : dict
}
MotionProfileObserver o-- MotionProfile

note right of MotionFlow : 【Motion Flow / モーションフロー】\nモーション指令の流れを司り、\nシミュレーションを実行する。
note right of DiscreteTime : 【Discrete Time / 離散時間】\n間隔 $\Delta t$ の離散時系列を表現する。
note right of MotionProfile : 【Motion Profile / モーションプロファイル】\n指令値を計算する。 \n(デフォルト指令値としてゼロを出力)
note right of Controller : 【Controller / コントローラ】\n操作量を計算する。 \n(デフォルト操作量としてゼロを出力)
note right of Plant : 【Plant / プラント】\n制御対象を表現する。
note right of PhysicalObject : 【Physical Object / 物理オブジェクト】\n現実の物体を表現する。
note right of Motor : 【Motor / モータ】\nモータを表現する。 \n(将来用) \n(最大トルク・出力遅れ・逆起電力を\n シミュレーションに反映)
note right of Encoder : 【Encoder / エンコーダ】\nエンコーダを表現する。 \n(将来用) \n(分解能や信号ジッタを\n シミュレーションに反映)
note right of PIDController : 【PIDController / PIDコントローラ】\nPID計算を実行するコントローラ。 \n-\n Proportional 比例\n-\n Integral 積分\n-\n Derivative 微分
note right of TrapezoidalMotionProfile : 【Trapezoidal Motion Profile / \n 台形モーションプロファイル】\n台形状に変化する速度 \n(加速・定速・減速)による \n指令速度・指令位置を計算する。
note right of Utility : 【Utility / ユーティリティ】\n共通の補助機能。
note right of ImpulseController : 【ImpulseController / \n インパルスコントローラ】\nインパルス状の操作量を出力する。
note right of ImpulseMotionProfile : 【ImpulseMotionProfile / \n インパルスマーションプロファイル】\nインパルス状の指令値を出力する。
note right of StepMotionProfile : 【StepMotionProfile / \n ステップモーションプロファイル】\nステップ状の指令値を出力する。
note right of StepController : 【StepController / \n ステップコントローラ】\nステップ状の操作量を出力する。
note right of MDSPhysicalObject : 【Mass-Spring-Damper Physical Object / \n 質量・ダンパー・ばね物理オブジェクト】\n現実の物体を表現する。
@enduml

```

5. バージョン管理 / Version Control

5.1 ポリシー / Policies

Python Packaging User Guide バージョニング (<https://packaging.python.org/ja/latest/discussions/versioning/>) の「セマンティックバージョニング」を採用する。

バージョン番号変更の規則(上記 Python Packaging User Guide より)

- APIの変更で互換性を失う時には major 番号、
- 後方互換性を保ったままで新機能を追加する場合には minor を、そして
- 後方互換性を維持したままのバグ修正の場合には patch を増加させる。

5.2 代表バージョン / Primary Version

tkmotionライブラリ代表バージョン = motion_flowモジュールのバージョン(このライブラリの中心モジュール)

6. 開発規約 / Development Guidelines

6.1 コーディング規約 / Coding Standards

6.1.1 方針 / Policies

- (1) 短く / Be short
- (2) シンプルに / Be simple
- (3) Zen of Python (<https://peps.python.org/pep-0020/>)

6.1.2 Docstring

Google Python Style Guide

<https://google.github.io/styleguide/pyguide.html#381-docstrings>

7. 開発環境 / Development Environment

7.1 Python version

> python --version

Python 3.13.1

7.2 Python packages

> pip freeze

```
affine==2.4.0
anyio==4.9.0
argon2-cffi==23.1.0
argon2-cffi-bindings==21.2.0
arrow==1.3.0
asttokens==3.0.0
async-lru==2.0.5
```

attrs==25.3.0
babel==2.17.0
beautifulsoup4==4.13.4
black==25.1.0
bleach==6.2.0
branca==0.8.1
certifi==2025.4.26
cffi==1.17.1
charset-normalizer==3.4.1
click==8.1.8
click-plugins==1.1.1.2
cligj==0.7.2
colorama==0.4.6
comm==0.2.2
contourpy==1.3.2
cycler==0.12.1
debugpy==1.8.14
decorator==5.2.1
defusedxml==0.7.1
et_xmlfile==2.0.0
executing==2.2.0
fastjsonschema==2.21.1
feedparser==6.0.12
flake8==7.2.0
folium==0.20.0
fonttools==4.57.0
fqdn==1.5.1
geographiclib==2.0
geopandas==1.1.1
geopy==2.4.1
h11==0.16.0
html5lib==1.1
httpcore==1.0.9
httpx==0.28.1
idna==3.10
ipykernel==6.29.5
ipython==9.2.0
ipython_pygments_lexers==1.1.1
isoduration==20.11.0
jedi==0.19.2
Jinja2==3.1.6
joblib==1.4.2
json5==0.12.0
jsonpickle==4.1.1
jsonpointer==3.0.0
jsonschema==4.23.0
jsonschema-specifications==2025.4.1
jupyter-events==0.12.0
jupyter-lsp==2.2.5
jupyter_client==8.6.3

jupyter_core==5.7.2
jupyter_server==2.15.0
jupyter_server_terminals==0.5.3
jupyterlab==4.4.1
jupyterlab_pygments==0.3.0
jupyterlab_server==2.27.3
kiwisolver==1.4.8
lxml==6.0.0
MarkupSafe==3.0.2
matplotlib==3.10.1
matplotlib-inline==0.1.7
mccabe==0.7.0
mistune==3.1.3
mypy==1.15.0
mypy_extensions==1.1.0
narwhals==2.0.0
nbclient==0.10.2
nbconvert==7.16.6
nbformat==5.10.4
nest-asyncio==1.6.0
networkx==3.5
notebook_shim==0.2.4
numpy==2.2.5
opencv-python==4.12.0.88
openpyxl==3.1.5
overrides==7.7.0
packaging==25.0
pandas==2.2.3
pandocfilters==1.5.1
parso==0.8.4
pathspec==0.12.1
pillow==11.2.1
platformdirs==4.3.7
plotly==6.2.0
prometheus_client==0.21.1
prompt_toolkit==3.0.51
psutil==7.0.0
pure_eval==0.2.3
pyarrow==21.0.0
pycodestyle==2.13.0
pycparser==2.22
pyflakes==3.3.2
Pygments==2.19.1
pyogrio==0.11.0
pyparsing==3.2.3
pyproj==3.7.1
python-dateutil==2.9.0.post0
python-json-logger==3.3.0
pytz==2025.2
pyvis==0.3.2

```
pywin32==310
pywinpty==2.0.15
PyYAML==6.0.2
pyzmq==26.4.0
rasterio==1.4.3
referencing==0.36.2
requests==2.32.3
retrying==1.3.4
rfc3339-validator==0.1.4
rfc3986-validator==0.1.1
rpds-py==0.24.0
scikit-learn==1.6.1
scipy==1.15.2
Send2Trash==1.8.3
setuptools==80.1.0
sgmllib3k==1.0.0
shapely==2.1.1
six==1.17.0
sniffio==1.3.1
soupsieve==2.7
stack-data==0.6.3
terminado==0.18.1
threadpoolctl==3.6.0
tinycc2==1.4.0
tornado==6.4.2
traitlets==5.14.3
types-python-dateutil==2.9.0.20241206
typing_extensions==4.13.2
tzdata==2025.2
uri-template==1.3.0
urllib3==2.4.0
wcwidth==0.2.13
webcolors==24.11.1
webencodings==0.5.1
websocket-client==1.8.0
xyzservices==2025.4.0
```

8. ライセンス / License

Copyright 2025 Takayoshi Matsuyama

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
you may not use this file except in compliance with the License.
You may obtain a copy of the License at

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software

distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
See the License for the specific language governing permissions and
limitations under the License.

9. 履歴 / History

Date	Ver	Content	Author
2025/12/21	0.3.0	質量・ダンパー・ばねモデル Mass-damper-spring model	Takayoshi Matsuyama
2025/12/7	0.2.0	インパルス関数、ステップ関数 Impulse function, step function	Takayoshi Matsuyama
2025/12/1	0.1.0	台形速度PID制御シミュレーション Trapezoidal velocity PID control simulation	Takayoshi Matsuyama