

9 軸 IMU hayate_imu v2.5

ユーザーマニュアル

新規作成日：2021 年 5 月 30 日

最終更新日：2023 年 12 月 25 日

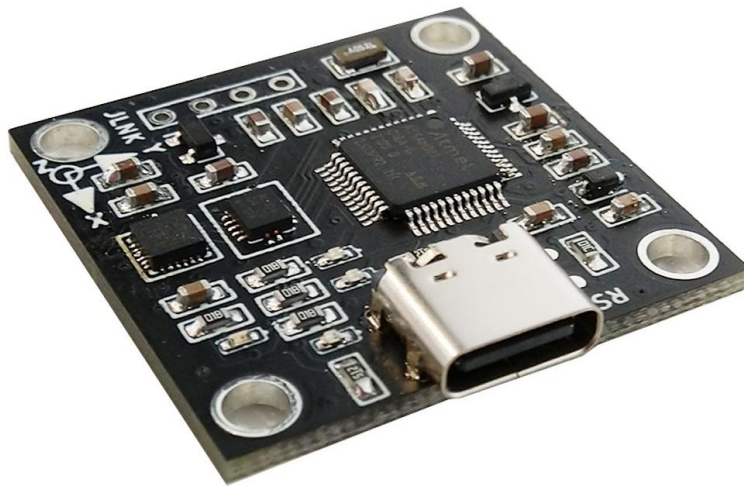
株式会社 翔雲

内容

0. はじめに	3
1. 使用環境	3
2. 使用手順	3
2.1 プラグインのインストール	3
2.2 ROS パッケージのインストール	4
2.3 パラメータの詳細	4
2.4 パラメータの確認	5
2.5 トピックの詳細	6
2.6 トピックの確認	8
2.7 6 軸／9 軸フュージョン四元数の可視化(デモモード)	8
2.8 初期バイアスの測定(較正モード)	9
3. LED 表示	11
4. トラブルシューティング	12
4.1 wrong checksum	12
4.2 9 軸シュージョン	12
5. リリース	12
6. 参考情報	13
6.1 主な規格	13
6.2 ROS パッケージ	13

0. はじめに

hayate_imu は、TDK Invensense ICM-20948 を内蔵し、6 軸/9 軸センサフュージョン、3 軸加速度データ、3 軸角速度データ、3 軸方位(地磁気)データを USB から出力する 9 軸 IMU センサである。製品の外観図は下図に示す。本マニュアルは、hayate_imu の扱い方を示す資料である。



1. 使用環境

- Ubuntu 16.04 18.04 20.04 推奨
- ROS kinetic melodic noetic 推奨

2. 使用手順

2.1 プラグインのインストール

※注意 以下の distro をご使用の ROS Distribution に入れ替える。

```
$sudo apt-get update
```

```
$rosversion -d
```

```
$sudo apt-get install ros-distro-rosserial
```

```
$sudo apt-get install ros-distro-imu-tools
```

例： ROS Distribution は melodic であれば、

```
$sudo apt-get install ros-melodic-rosserial
```

```
$sudo apt-get install ros-melodic-imu-tools
```

2.2 ROS パッケージのインストール

```
$cd ~/catkin_ws/src
```

```
$git clone https://github.com/soarbear/hayate\_imu\_ros.git
```

```
$cd ~/catkin_ws
```

```
$catkin_make
```

2.3 パラメータの詳細

- **port:** /dev/ttyACM_hayate

USB ポート /dev/ttyACM* (デフォルト : /dev/ttyACM_hayate)

- **baud:** 115200

USB シリアルボーレート (デフォルト : 115200 bps)

- **work_mode:** 2

0: 通常出力モード

1: 校正モード

2: デモモード(デフォルト)

- **fusion_mode:** 9

6: 6 軸シュージョン回転ベクトル四元数出力

9: 9 軸シュージョン回転ベクトル四元数出力(デフォルト)

- **output_rate_a:** 225

6 軸または 9 軸フュージョン回転ベクトル(四元数)、加速度センサ、ジャイロセンサの出力レート(デフォルト : 225Hz、レンジ : Min 50Hz ~ Max 225Hz)

- **output_rate_m:** 70

地磁気出力レート(デフォルト：70Hz、レンジ：Min 1Hz ~ Max 70Hz))

- **bias_accel_x: 0**

加速度センサバイアス x(デフォルト：0)

- **bias_accel_y: 0**

加速度センサバイアス y(デフォルト：0)

- **bias_gyro_x: 0**

ジャイロセンサバイアス x(デフォルト：0)

- **bias_gyro_y: 0**

ジャイロセンサバイアス y(デフォルト：0)

- **bias_gyro_z: 0**

ジャイロセンサバイアス z(デフォルト：0)

- **bias_magnet_x: 0**

地磁気センサバイアス x(デフォルト：0)

- **bias_magnet_y: 0**

地磁気センサバイアス y(デフォルト：0)

- **bias_magnet_z: 0**

地磁気センサバイアス z(デフォルト：0)

※ ジャイロスコプ、加速度センサ、地磁気センサのバイアスは納品書に記載、またはパラメータファイルをメールにて送付する。お客様のもとで、params.yaml の該当箇所を書き換える、またはファイルを上書きする。なお、較正モードへ切り替えてお客様のもとでも測定することはできる。環境要素は大いに変わった際、較正モードで初期バイアスの再測定を推奨する。

2.4 パラメータの確認

- params.yaml ファイルにあるパラメータ port、work_mode、output_rate_a、output_rate_m などを確認して、必要に応じて変更する。

```
$nano ~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/config/params.yaml
```

または、\$vim ~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/config/params.yaml

- パラメータの変更があったら、hayate_imu の USB を抜き差しして、あるいは RESET をかけて、再起動させる。
- 併せて、4.トラブルシューティングを参照する。

2.5 トピックの詳細

- imu_data(hayate_imu_ros/ImuData)、通常出力モード用

std_msgs/Header header

Unit: rad/s, angular velocity

geometry_msgs/Vector3 angular_velocity

Unit: (rad/s)², angular velocity covariance

float64[9] angular_velocity_covariance

Unit: m/s², linear acceleration

geometry_msgs/Vector3 linear_acceleration

Unit: (m/s²)², linear acceleration covariance

float64[9] linear_acceleration_covariance

Unit: uT, magnetic field

geometry_msgs/Vector3 magnetic_field

Unit: (uT)², magnetic field covariance

float64[9] magnetic_field_covariance

6axis/9axis fusion rotation vector quaternion

geometry_msgs/Quaternion orientation

6axis/9axis fusion rotation vector quaternion covariance

float64[9] orientation_covariance

- imu_cali(hayate_imu_ros /ImuCali) 、初期バイアス測定モード用

std_msgs/Header header

Unit: dps, angular velocity

geometry_msgs/Vector3 angular_velocity

Unit: dps, bias of angular velocity

geometry_msgs/Vector3 angular_bias

Gyroscope calibration indicator, 0(oringinal) -> 3(best)

uint32 angular_calibration_indicator

Unit: m/s², linear acceleration

geometry_msgs/Vector3 linear_acceleration

Unit: m/s², bias of linear acceleration

geometry_msgs/Vector3 accel_bias

Accelerometer calibration indicator, 0(oringinal) -> 3(best)

uint32 accel_calibration_indicator

Unit: uT, magnetic field

geometry_msgs/Vector3 magnetic_field

Unit: uT, bias of linear acceleration

geometry_msgs/Vector3 magnetic_bias

Magetometer calibration indicator, 0(oringinal) -> 3(best)

uint32 magnetic_calibration_indicator

- **imu_demo(sensor_msgs/Imu)** 、デモモード用

std_msgs/Header header

geometry_msgs/Quaternion orientation

float64[9] orientation_covariance # Row major about x, y, z axes

geometry_msgs/Vector3 angular_velocity

float64[9] angular_velocity_covariance # Row major about x, y, z axes

geometry_msgs/Vector3 linear_acceleration

float64[9] linear_acceleration_covariance # Row major x, y z

2.6 トピックの確認

- USB ポート番号を ttyACM_hayate に固定する。

```
$chmod +x ~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/scripts/create_rules.sh
```

```
$~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/scripts/create_rules.sh
```

- hayate_imu_ros を起動する。

```
$roslaunch hayate_imu_ros hayate_imu_demo.launch
```

または、`$roslaunch hayate_imu_ros hayate_imu.launch`

- Topic のデータを確認する。

```
$rostopic echo imu_data または、$rostopic echo imu_demo または、$rostopic echo imu_cali
```

- Topic の出力レートを確認する。

```
$rostopic hz -w 100 imu_data または、$rostopic hz -w 100 imu_data または、
```

```
$rostopic hz -w 100 imu_data
```

- また、USB ポート番号の ttyACM_hayate を解除する場合、

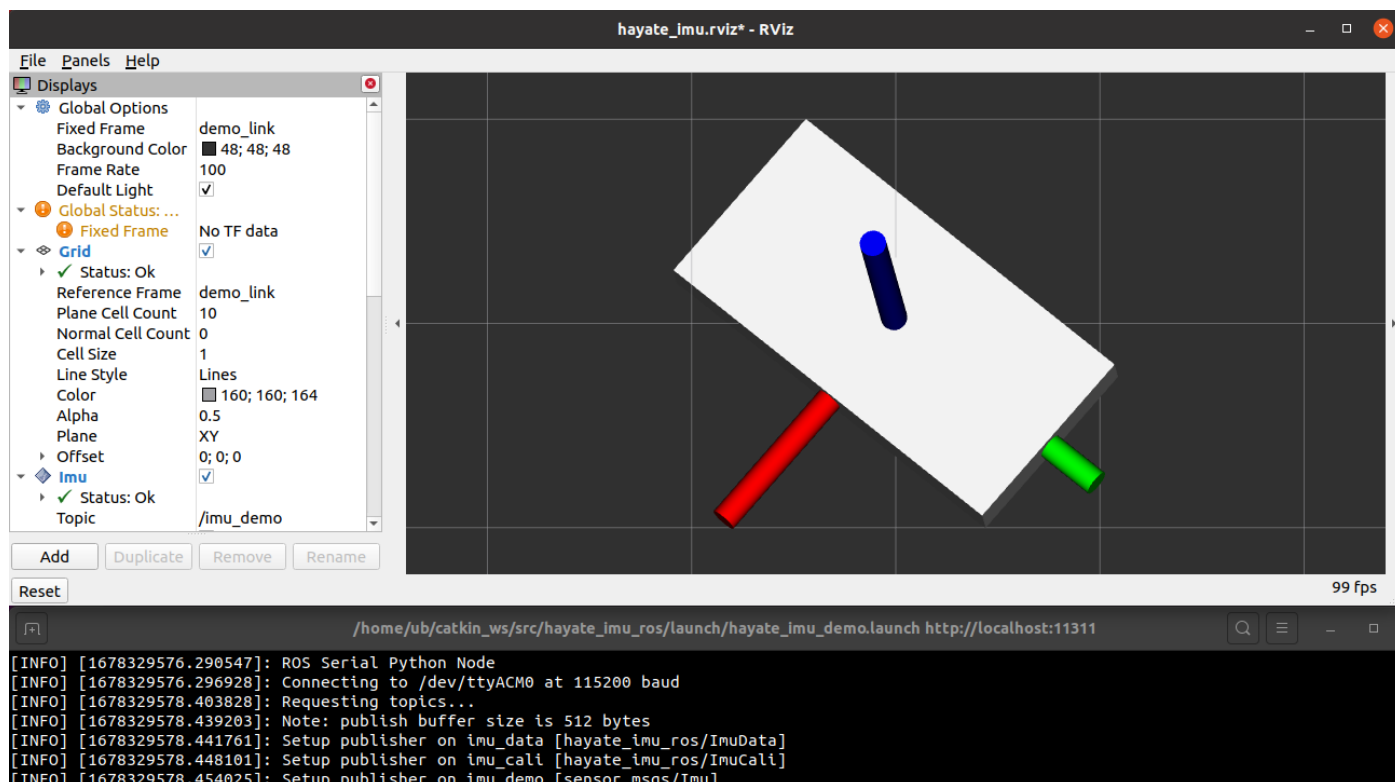
```
$chmod +x ~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/scripts/delete_rules.sh
```

```
$~/catkin_ws/src/hayate_imu_ros/scripts/delete_rules.sh
```

2.7 6 軸／9 軸フュージョン四元数の可視化(デモモード)

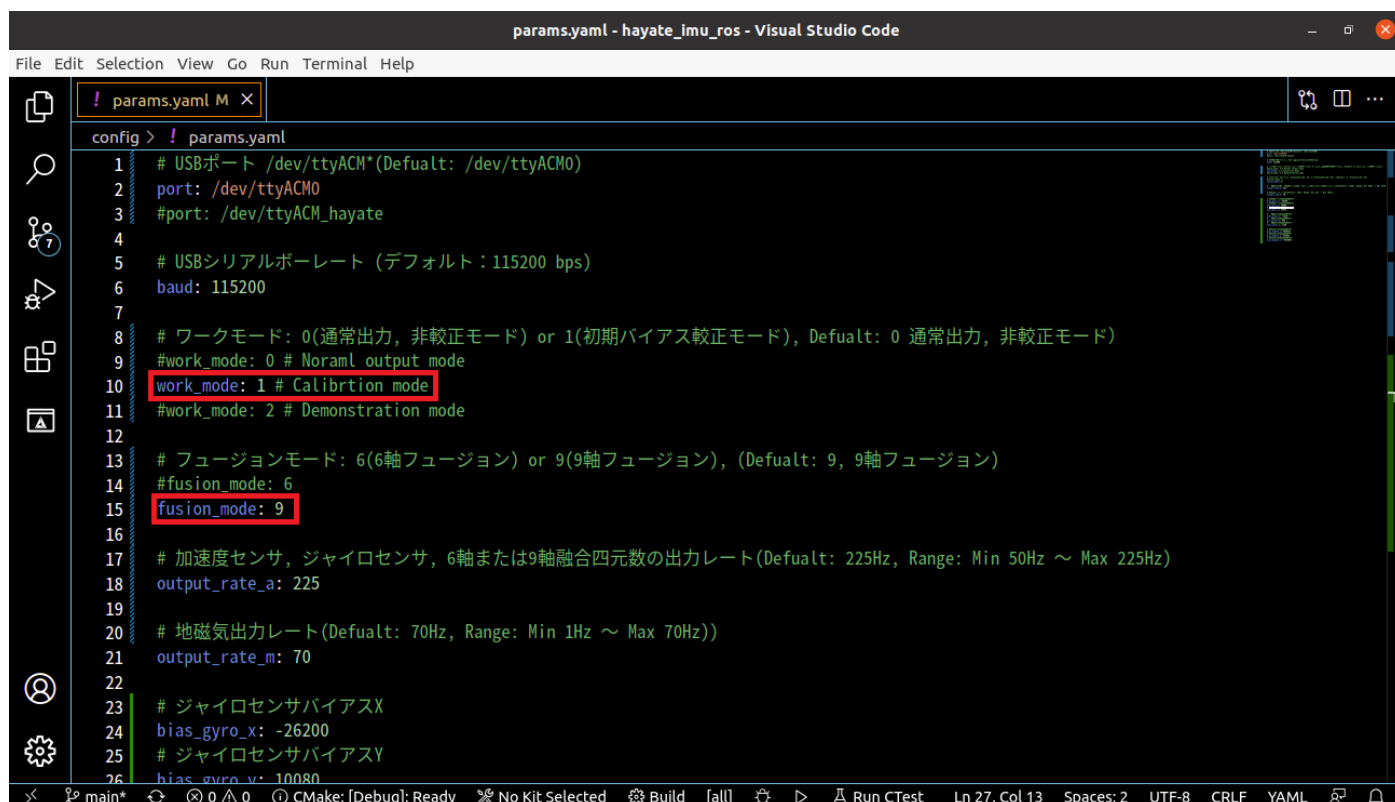
```
$roslaunch hayate_imu_ros hayate_imu_demo.launch
```

roslaunch をリリースした後の画面は下図に示す。



2.8 初期バイアスの測定(校正モード)

下図に示すように、params.yaml の `work_mode = 1` (校正モード), `fusion_mode = 9` (9 軸フュージョン) に設定して、ジャイロ스코ープ→加速度センサ→地磁気センサの順に、以下要領のとおりしっかり測定を行う。



【ジャイロ스코ープ 初期バイアスの測定の要領】

```
$roslaunch hayate_imu_ros hayate_imu.launch
```

```
$rostopic echo /imu_cali
```

上記roslaunchをリリースして、IMUを動かさず、平らに30秒ほど置いて、**angular_calibration_indicator**は3に変わると、ジャイロスコープ 初期バイアスの測定は完了とする。

【加速度センサ 初期バイアスの測定の要領】

6軸にそれぞれ1.0Gまたは-1.0Gを10秒程かけて測定を行う。

- ・ X軸のプラス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第1引数がほぼ1.0になると10秒ほど静止する。

- ・ Y軸のプラス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第2引数がほぼ1.0になると10秒ほど静止する。

- ・ Z軸のプラス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第3引数がほぼ1.0になると10秒ほど静止する。

- ・ X軸のマイナス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第1引数がほぼ-1.0になると10秒ほど静止する。

- ・ Y軸のマイナス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第2引数がほぼ-1.0になると10秒ほど静止する。

- ・ Z軸のマイナス側を上に向けて

加速度出力の**linear_acceleration**の第3引数がほぼ-1.0になると10秒ほど静止する。

6軸を上に向けることを1組として、**accel_calibration_indicator**は3に変わると、加速度センサ 初期バイアスの測定は完了とする。測定途中3に変わっても、6軸にすべて測定することは必要ある。また、1組で3に変わらなないと、もう1組を追加する場合ある。如何に1.0または-1.0に近けることは、精度の良さにつながる。

【地磁気センサ 初期バイアスの測定の要領】

「8字回し」： XY平面、YZ平面、XZ平面すなわち3次元空間の各平面（順番関係なし）において、各平面ずつ、8字の形でhayate_imuを10回程回す。8字の幅は70-100cm程とする。

magnetic_calibration_indicatorは3に変わると、地磁気センサ 初期バイアスの測定は完了とする。測定途中3に変わっても、XY平面、YZ平面、XZ平面ともにおいて回すことは、精度の良さにつながる。

測定完成時の画面は下図に示す。

```

z: -4286656.0
magnetic_calibration_indicator: 3
---
header:
  seq: 326
  stamp:
    secs: 0
    nsecs: 0
  frame_id: "cali_link"
angular_velocity:
  x: -0.3871917724609375
  y: -0.81634521484375
  z: 3.57818603515625
angular_bias:
  x: -27916.0
  y: 824.0
  z: 17156.0
angular_calibration_indicator: 3
linear_acceleration:
  x: -0.39697265625
  y: -0.2587890625
  z: 0.85791015625
accel_bias:
  x: -1472.0
  y: 512.0
  z: 1188.0
accel_calibration_indicator: 3
magnetic_field:
  x: 20.624984741210938
  y: 22.266204833984375
  z: -6.7408294677734375
magnetic_bias:
  x: 2039808.0
  y: 664128.0
  z: -4286656.0
magnetic_calibration_indicator: 3

```

測定結果として、ジャイロスコープ、加速度センサ、地磁気センサの初期バイアスの整数部分は、下図に示すように、params.yaml へそれぞれのパラメータへ転写する。また、IMU は動作時リアルタイムのバイアス測定および補正を行う。

```

params.yaml - hayate_imu_ros - Visual Studio Code
File Edit Selection View Go Run Terminal Help
! params.yaml M X
config > ! params.yaml
22 output_rate_m: 70
23
24 # ジャイロセンサバイアスX(Default: 0)
25 bias_gyro_x: -26200
26 # ジャイロセンサバイアスY(Default: 0)
27 bias_gyro_y: 10080
28 # ジャイロセンサバイアスZ(Default: 0)
29 bias_gyro_z: 19952
30
31 # 加速度センサバイアスX(Default: 0)
32 bias_accel_x: -1410
33 # 加速度センサバイアスY(Default: 0)
34 bias_accel_y: 834
35 # 加速度センサバイアスZ(Default: 0)
36 bias_accel_z: 1150
37
38 # 地磁気センサバイアスX(Default: 0)
39 bias_magnet_x: 2059424
40 # 地磁気センサバイアスY(Default: 0)
41 bias_magnet_y: 524544
42 # 地磁気センサバイアスZ(Default: 0)
43 bias_magnet_z: -4328864
44

```

3. LED 表示

- Red = 電源供給 USB+5V
- Blue = パケット送受信
- Yellow = 6 軸／9 軸フュージョン四元数出力

4. トラブルシューティング

4.1 wrong checksum

下記インフォメーションは、IMU の USB 対向側装置が受信したパケットの CRC エラーに起因する。
hayate_imu の出力レートに関わるパラメータ output_rate_a、output_rate_m を少しずつ下げしてみるか、
hayate_imu の USB 対向側装置リソース(CPU クロック周波数、メモリ容量・スピード)をアップグレード
してみると、下記インフォメーションは消える。

[INFO] [WallTime: 9876543210.0123456789] wrong checksum for topic id and msg

- パラメータ@params.yaml: output_rate_a、output_rate_m の設定例

Ex0: output_rate_a: 220 output_rate_m: 70

Ex1: output_rate_a: 100 output_rate_m: 70

Ex2: output_rate_a: 70 output_rate_m: 70

Ex3: output_rate_a: 50 output_rate_m: 50

- パラメータの変更があったら、hayate_imu の USB を抜き挿しして、もしくは RESET をかけて、再起動させる。

4.2 9 軸シュージョン

出荷時ジャイロスコープ、加速度センサ、地磁気センサの初期バイアス測定済み、また IMU は動作時リアルタイムのバイアス測定および補正を行う。地磁気センサが、周囲の磁気物体からの影響を受けやすい場合がある。

5. リリース

- V2.5 Dec 2023
- V2.4 Mar 2023
- V2.0 May 2021
- V1.0 Mar 2021

6. 参考情報

6.1 主な規格

- ・ 型番 hayate_imu v2.0 rev.C 6軸フュージョン／9軸フュージョンの出力可能
- ・ 内蔵チップ Cortex-M0+、TDK InvenSense ICM-20948(9軸)実装
- ・ 外部接続 USB Type-C コネクタ、USB+5V 給電
- ・ 最大出力レート
 - － 6軸フュージョン／9軸フュージョン四元数 225H
 - － 加速度(アクセル)3軸センサ 225Hz
 - － 角速度(ジャイロ)3軸センサ 225Hz
 - － 地磁気(コンパス)3軸センサ 75Hz
- ・ 測定レンジ
 - － 加速度(アクセル)センサ $\pm 16g$
 - － 角速度(ジャイロ)センサ $\pm 2000dps$
 - － 地磁気(コンパス)センサ $\pm 4900\mu T$
- ・ 補正機能 内蔵補正機能あり
- ・ 標準偏差(RMS-Noise)
 - － 加速度(アクセル)センサ $\pm 0.026313m/s^2$ (ノイズ帯域幅 136Hz)
 - － 角速度(ジャイロ)センサ $\pm 0.0032520rad/s$ (ノイズ帯域幅 154.3Hz)
 - － 地磁気(コンパス)センサ $\pm 0.8\mu T$
- ・ 消費電力 50mW 以下(環境温度 21℃ 実測値)
- ・ 寸法 30mm × 31.4mm × 4.8mm(突起物含む)
- ・ 重量 4g 以下
- ・ 取付穴 M3x4、隣り合う穴の中心間距離 24.4mm

6.2 ROS パッケージ

専用 ROS パッケージの置き場所： https://github.com/soarbear/hayate_imu_ros.git

7. リビジョン

リビジョン	日付	内容
V2.5	2023 年 12 月 25 日	TDK Smart Motion DMP コードのリビジョンに伴う、 ファームウェアのリビジョン、ROS パッケージ更新なし
V2.4	2023 年 3 月 9 日	較正モード、デモモードの追加に伴う、 ファームウェア、ROS パッケージのリビジョン
V2.3	2022 年 9 月 5 日	9 軸フュージョン初期姿勢の補正
V2.2	2021 年 7 月 20 日	2.3 パラメータの追加 4.2 方位補正済みへ変更 6.1 リビジョン C の追加
V2.1	2021 年 6 月 15 日	2.3 パラメータに output_rate_q の追加 4.2 9 軸シェージョンに初期方位の合わせる方法の追加
V2.0	2021 年 5 月 30 日	新規作成