




MU-01

IMU Core (Excel アドイン) 取扱説明書



株式会社 Xenoma

## 目次

1.	はじめに	2
1.1	クォータニオンの基本	2
1.2	Yaw (ヨー), Pitch (ピッチ), Roll (ロール)と座標系	2
2.	関数一覧	3
2.1	加速度・ジャイロ基本	3
2.2	クォータニオン基本	6
2.3	ベクトル回転	7
2.4	クォータニオン $\leftrightarrow$ Yaw/Pitch/Roll 変換	8
2.5	Body/World 相対姿勢	10
2.6	IMU センサデータによる姿勢更新	12
2.7	判定	16
3.	ライブラリの利用例	17
3.1	利用例 1：骨盤の姿勢計算	17
3.1.1	事例の背景	17
3.1.2	計測方法	17
3.1.3	計算方法	18
3.2	利用例 2：センサのキャリブレーション	22
3.2.1	事例の背景	22
3.2.2	計測方法	22
3.2.3	計算方法	23
3.2.4	【参考】キャリブレーションの詳細	24
4.	Excel へのライブラリのセットアップ方法	25
4.1	インストーラの準備	25
4.2	インストール	26
4.3	Excel アドインの登録	26
4.4	request.dat の生成	27
4.5	license.dat の登録	28
5.	IMUCore バージョン履歴	29

# Xenoma

## 1. はじめに

本説明書は、Excel 上で慣性センサ (IMU) の加速度・ジャイロ (角速度) から、センサの姿勢などを計算するためのライブラリの使い方に関するものです。姿勢はクォータニオンと呼ばれる四元数で表現し、加速度・ジャイロは xyz の 3 軸のベクトルで表現します。

### 1.1 クォータニオンの基本

- クォータニオンは 1 行 4 列で指定します。並びは  $[w, x, y, z]$  です。
- 3 次元ベクトルは 1 行 3 列、または 3 行 1 列でも指定できます。並びは  $[x, y, z]$  です。
- 時系列の 3 次元データは「行方向にサンプルが並ぶ 3 列データ」です。例：N 行×3 列。
- 時系列のクォータニオンは「行方向にサンプルが並ぶ 4 列データ」です。例：N 行×4 列。
- 戻り値が配列の関数は、動的配列対応の Excel では自動でスピルします。
- 角度の単位は Yaw, Pitch, Roll (YPR) もジャイロも rad (ラジアン) 前提です。

種類	形	例
単一クォータニオン	1×4 または 4×1	$[w, x, y, z]$
単一ベクトル	1×3 または 3×1	$[x, y, z]$
加速度系列	N×3	各行が 1 サンプル
ジャイロ系列	N×3	各行が 1 サンプル
クォータニオン系列	N×4	各行が $[w, x, y, z]$

例：A2:D2 に初期クォータニオン、F2:H101 にジャイロ系列、J2:L101 に加速度系列を置く、という使い方が基本です。

### 1.2 Yaw (ヨウ), Pitch (ピッチ), Roll (ロール) と座標系

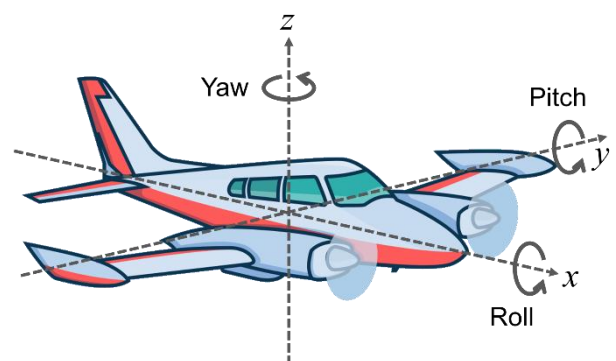
測定対象の姿勢は、一般に右図に示す Yaw、Pitch、Roll で表現されます。

ここで用いる xyz 軸は、MU-01 センサ自身の座標系ではなく、対象物 (ヒトや乗り物など) の姿勢を表すワールド座標系 (World) です。

MU-01 は、センサ固有の xyz 軸に基づいて加速度およびジャイロデータを記録します (詳細は MU-01 のマニュアル参照)。

一方で、MU-01 を対象物に取り付ける際には、必ずしもワールド座標系の xyz 軸と厳密に一致させる必要はありません。

初期姿勢を基準として、その後の変化量から対象物の姿勢を算出することが可能です (詳細は本マニュアル第 3 章を参照してください)。



# Xenoma

---

## 2. 関数一覧

### 2.1 加速度・ジャイロ基本

#### Vec3Mean

DLL 公開関数名	GetMeanVector3
引数	vecRange : N × 3 配列 (Vec3 系列)
戻り値	1 × 3 配列 (平均 Vec3)
説明	Vec3 系列の各軸平均を返します。
入力例	=Vec3Mean(B2:D1000)

#### Vec3Variance

DLL 公開関数名	GetVarianceVector3
引数	vecRange : N × 3 配列 (Vec3 系列)
戻り値	1 × 3 配列 (分散 Vec3)
説明	Vec3 系列の各軸分散を返します。静止判定などに使用します。
入力例	=Vec3Variance(B2:D1000)

#### MeanNorm

DLL 公開関数名	GetMeanNorm
引数	vecRange : N × 3 配列 (Vec3 系列)
戻り値	スカラー値
説明	Vec3 系列のノルム平均を返します。加速度の平均重力確認などに使用します。
入力例	=MeanNorm(B2:D1000)

# Xenoma

## GetBiasCalib

DLL 公開関数名	GetBiasCalibrationParameters6
引数	dataRange : N × 6 IMU 系列 [accX, accY, accZ, gyroX, gyroY, gyroZ] dt : サンプル周期 [s] windowSec : 静止判定窓長 [s] (省略時 3.0) stepSec : 探索ステップ [s] (省略時 0.1) maxTiltRad : 面判定許容傾き [rad] (省略時 0.261799387799149 ≐ 15° ) varThreshold : 分散閾値 (省略時 0.01) gravity : 重力加速度 [m/s <sup>2</sup> ] (省略時 9.80665) minAccScale : 加速度 Scale 最小値 (省略時 0.9) maxAccScale : 加速度 Scale 最大値 (省略時 1.1)
戻り値	1 × 9 配列 [accBiasX, accBiasY, accBiasZ, accScaleX, accScaleY, accScaleZ, gyroBiasX, gyroBiasY, gyroBiasZ]
説明	6面静止データから加速度 Bias/Scale とジャイロ Bias を推定します。gyroScale は含みません。
入力例	=GetBiasCalib(B2:G20000,0.01)

## GetIMUCalib

DLL 公開関数名	GetIMUCalibrationParameters6
引数	dataRange : N × 6 IMU 系列 [accX, accY, accZ, gyroX, gyroY, gyroZ] dt : サンプル周期 [s] windowSec : 静止判定窓長 [s] (省略時 3.0) stepSec : 探索ステップ [s] (省略時 0.1) maxTiltRad : 面判定許容傾き [rad] (省略時 0.261799387799149 ≐ 15° ) varThreshold : 分散閾値 (省略時 0.01) gravity : 重力加速度 [m/s <sup>2</sup> ] (省略時 9.80665) minAccScale : 加速度 Scale 最小値 (省略時 0.9) maxAccScale : 加速度 Scale 最大値 (省略時 1.1)
戻り値	1 × 12 配列 [accBiasX, accBiasY, accBiasZ, accScaleX, accScaleY, accScaleZ, gyroBiasX, gyroBiasY, gyroBiasZ, gyroScaleX, gyroScaleY, gyroScaleZ]
説明	IMU キャリブレーションパラメータを返します。現在 gyroScale は推定せず[1,1,1]を返します。
入力例	=GetIMUCalib(B2:G20000,0.01)

# Xenoma

---

## ApplyIMUCalib

DLL 公開関数名	ApplyIMUCalibration
引数	dataRange : $N \times 3$ または $N \times 6$ 配列 calibRange : 6 値または 12 値のキャリブレーションパラメータ
戻り値	補正後の $N \times 3$ または $N \times 6$ 配列
説明	Bias/Scale 補正を適用します。 3 列入力時 : [biasX, biasY, biasZ, scaleX, scaleY, scaleZ] を適用します。 6 列入力時 : [accBias3, accScale3, gyroBias3, gyroScale3] の 12 値を適用します。
入力例	=ApplyIMUCalib(B2:D20000,J2:O2) =ApplyIMUCalib(B2:G20000,J2:U2)

# Xenoma

---

## 2.2 クォータニオン基本

基本的なクォータニオンを得ます。

### IdentityQuat

DLL 公開関数名	IdentityQuaternion
引数	なし
戻り値	1×4 配列 ([w, x, y, z])
説明	単位クォータニオン [1, 0, 0, 0] を返します。初期値や確認用に使います。
入力例	=IdentityQuat()

### NormalizeQuat

DLL 公開関数名	NormalizeQuaternion
引数	quatRange : クォータニオン 1 個
戻り値	1×4 配列
説明	クォータニオンを正規化します。計算誤差などでノルムが 1 からずれた場合に使います。
入力例	=NormalizeQuat(A2:D2)

### ConjugateQuat

DLL 公開関数名	ConjugateQuaternion
引数	quatRange : クォータニオン 1 個
戻り値	1×4 配列
説明	クォータニオンの共役を返します。逆回転や相対姿勢計算で使います。
入力例	=ConjugateQuat(A2:D2)

# Xenoma

---

## 2.3 ベクトル回転

3次元ベクトルをクォータニオンによって回転します。

### QuatRotateVec3

DLL 公開関数名	QuaternionRotateVector3
引数	quatRange : クォータニオン 1 個、vecRange : ベクトル 1 個
戻り値	1 × 3 配列
説明	指定したベクトルをクォータニオンで回転します。
入力例	=QuatRotateVec3(A2:D2,F2:H2)

### QuatsRotateVec3

DLL 公開関数名	QuaternionSeriesRotateVector3
引数	qRange : クォータニオン系列 (N × 4)、vecRange : ベクトル 1 個
戻り値	N × 3 配列
説明	クォータニオン系列の各姿勢で、同じベクトルを時系列に回転します。
入力例	=QuatsRotateVec3(A2:D101,F2:H2)

# Xenoma

---

## 2.4 クォータニオン⇔Yaw/Pitch/Roll 変換

クォータニオンと Yaw/Pitch/Roll を変換します。

### Quat2Ypr

DLL 公開関数名	GetYawPitchRoll
引数	quatRange : クォータニオン 1 個
戻り値	1 × 3 配列 (Yaw, Pitch, Roll)
説明	クォータニオンを Yaw/Pitch/Roll に変換します。
入力例	=Quat2Ypr(A2:D2)

### Quats2Yprs

DLL 公開関数名	GetYawPitchRollSeries
引数	qRange : クォータニオン系列 (N × 4)
戻り値	N × 3 配列
説明	クォータニオン系列を YPR 系列に変換します。
入力例	=Quats2Yprs(A2:D101)

### Ypr2Quat

DLL 公開関数名	GetQuaternionFromYawPitchRoll
引数	1 × 3 配列 (Yaw, Pitch, Roll)
戻り値	1 × 4 配列
説明	Yaw/Pitch/Roll からクォータニオンを生成します。角度単位は rad です。
入力例	=Ypr2Quat(B2:D2)

### Yprs2Quats

DLL 公開関数名	GetQuaternionSeriesFromYawPitchRollSeries
引数	yprRange : YPR 系列 (N × 3)
戻り値	N × 4 配列
説明	YPR 系列をクォータニオン系列へ変換します。各行が 1 サンプルです。
入力例	=Yprs2Quats(A2:C101)

# Xenoma

---

## AxisAngle2Quat

DLL 公開関数名	GetQuaternionFromAxisAngle
引数	ax, ay, az : 回転軸ベクトルの各成分、angleRad : 回転角 [rad]
戻り値	1×4 配列
説明	軸角表現からクォータニオンを生成します。回転軸は内部で正規化されます。
入力例	=AxisAngle2Quat(0,0,1,PI()/2)

## GravityBody

DLL 公開関数名	GetGravityBody
引数	quatRange : クォータニオン 1 個
戻り値	1×3 配列
説明	その姿勢で見た重力方向ベクトルを Body 座標系で返します。
入力例	=GravityBody(A2:D2)

# Xenoma

## 2.5 Body/World 相対姿勢

センサの初期姿勢を用いて Body 座標系または World 座標系のクォータニオンや Yaw/Pitch/Roll を得ます。引数に複数のクォータニオンを与えることにより、まとめて高速に計算を行うこともできます。

### Accs2InitialQuat

DLL 公開関数名	GetInitialQuaternionFromAcc
引数	accRange : 加速度系列 (N×3)、varThreshold、normMeanMin、normMeanMax
戻り値	1×4 配列
説明	静止中の加速度系列から初期姿勢 (初期クォータニオン) を推定します。
入力例	=Accs2InitialQuat(J2:L51,0.02,9.5,10.1)

### Quat2BodyQuat

DLL 公開関数名	GetBodyQuaternion
引数	qCurrentRange : 現在クォータニオン、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	1×4 配列
説明	初期姿勢を基準にした Body 相対クォータニオンを返します。開始時点からの変化量を見たい場合に使います。
入力例	=Quat2BodyQuat(A3:D3,\$A\$2:\$D\$2)

### Quat2BodyYpr

DLL 公開関数名	GetBodyYawPitchRoll
引数	qCurrentRange : 現在クォータニオン、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	1×3 配列
説明	初期姿勢を基準にした Body 相対 YPR を返します。関節角や、開始時点からの動きの評価に向きます。
入力例	=Quat2BodyYpr(A3:D3,\$A\$2:\$D\$2)

### Quat2WorldQuat

DLL 公開関数名	GetWorldQuaternion
引数	qCurrentRange : 現在クォータニオン、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	1×4 配列
説明	World 基準の相対クォータニオンを返します。空間上の向きの差を見たい場合に使います。
入力例	=Quat2WorldQuat(A3:D3,\$A\$2:\$D\$2)

# Xenoma

## Quat2WorldYpr

DLL 公開関数名	GetWorldYawPitchRoll
引数	qCurrentRange : 現在クォータニオン、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	1×3 配列
説明	World 基準の相対 YPR を返します。外から見たときの姿勢差を確認したい場合に使います。
入力例	=Quat2WorldYpr(A3:D3,\$A\$2:\$D\$2)

## Quats2BodyQuats

DLL 公開関数名	GetBodyQuaternionSeries
引数	qRange : クォータニオン系列 (N×4)、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	N×4 配列
説明	クォータニオン系列を、初期姿勢基準の Body 相対クォータニオン系列へ変換します。
入力例	=Quats2BodyQuats(A2:D101,\$A\$2:\$D\$2)

## Quats2BodyYprs

DLL 公開関数名	GetBodyYawPitchRollSeries
引数	qRange : クォータニオン系列 (N×4)、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	N×3 配列
説明	クォータニオン系列を、初期姿勢基準の Body 相対 YPR 系列へ変換します。
入力例	=Quats2BodyYprs(A2:D101,\$A\$2:\$D\$2)

## Quats2WorldQuats

DLL 公開関数名	GetWorldQuaternionSeries
引数	qRange : クォータニオン系列 (N×4)、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	N×4 配列
説明	クォータニオン系列を、World 基準の相対クォータニオン系列へ変換します。
入力例	=Quats2WorldQuats(A2:D101,\$A\$2:\$D\$2)

## Quats2WorldYprs

DLL 公開関数名	GetWorldYawPitchRollSeries
引数	qRange : クォータニオン系列 (N×4)、qInitialRange : 初期クォータニオン
戻り値	N×3 配列
説明	クォータニオン系列を、World 基準の相対 YPR 系列へ変換します。
入力例	=Quats2WorldYprs(A2:D101,\$A\$2:\$D\$2)

# Xenoma

## 2.6 IMU センサデータによる姿勢更新

IMU センサのデータ（主にジャイロ、ドリフト補正に加速度）を用い、姿勢を更新します。本節の関数では、特に断りのない限り、以下の単位を使用します。

- qRange / qInitialRange : クォータニオン [w, x, y, z]
- gyroRange : ジャイロデータ [rad/s]
- accRange : 加速度データ [m/s<sup>2</sup>]
- dt : サンプル間隔 [s]
- gravity : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>] (通常 9.80665)

### UpdateQuatByGyro

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionByGyro
引数	qRange : 現在クォータニオン、gyroRange : ジャイロベクトル 1 個、dt : サンプル間隔[s]
戻り値	1×4 配列
説明	ジャイロ 1 サンプルを用いて、クォータニオンを 1 ステップ更新します。通常版です。
入力例	=UpdateQuatByGyro(A2:D2,F2:H2,0.01)

### UpdateQuatByGyroRK4

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionByGyroRK4
引数	qRange : 現在クォータニオン、gyroRange : ジャイロベクトル 1 個、dt
戻り値	1×4 配列
説明	4 次の Runge-Kutta 法でジャイロ 1 サンプルの姿勢更新を行います。
入力例	=UpdateQuatByGyroRK4(A2:D2,F2:H2,0.01)

### UpdateQuatsByGyro

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionSeriesByGyro
引数	qInitialRange : 初期クォータニオン、gyroRange : ジャイロ系列 (N×3)、dt
戻り値	N×4 配列
説明	ジャイロ系列を積分してクォータニオン系列を返します。
入力例	=UpdateQuatsByGyro(A2:D2,F2:H101,0.01)

# Xenoma

---

## UpdateQuatsByGyroRK4

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionSeriesByGyroRK4
引数	qInitialRange : 初期クォータニオン、gyroRange : ジャイロ系列 (N×3)、dt
戻り値	N×4 配列
説明	4 次の Runge-Kutta 法でジャイロ系列を積分し、クォータニオン系列を返します。
入力例	=UpdateQuatsByGyroRK4(A2:D2,F2:H101,0.01)

## UpdateYprsByGyro

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollSeriesByGyro
引数	qInitialRange : 初期クォータニオン、gyroRange : ジャイロ系列 (N×3)、dt
戻り値	N×3 配列
説明	ジャイロ系列を積分し、各時刻の YPR 系列を返します。
入力例	=UpdateYprsByGyro(A2:D2,F2:H101,0.01)

## UpdateYprsByGyroRK4

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollSeriesByGyroRK4
引数	qInitialRange : 初期クォータニオン、gyroRange : ジャイロ系列 (N×3)、dt
戻り値	N×3 配列
説明	4 次の Runge-Kutta 法でジャイロ系列を積分し、各時刻の YPR 系列を返します。
入力例	=UpdateYprsByGyroRK4(A2:D2,F2:H101,0.01)

## UpdateQuatByMahony

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionByMahony
引数	qRange、gyroRange、accRange、dt、kp、[gravity]
戻り値	1×4 配列
説明	Mahony フィルタで 1 サンプルだけクォータニオンを更新します (gravity は省略時 9.80665)。
入力例	=UpdateQuatByMahony(A2:D2,F2:H2,J2:L2,0.01,2,9.80665)

# Xenoma

---

## UpdateQuatByMahonyAdaptive

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionByMahonyAdaptive
引数	qRange、gyroRange、accRange、dt、kpMax、kpMin、accelUpperStart、accelUpperEnd、accelLowerStart、accelLowerEnd、ki、[gravity]
戻り値	1×4 配列
説明	Adaptive Mahony フィルタで 1 サンプルだけクォータニオンを更新します。
入力例	=UpdateQuatByMahonyAdaptive(A2:D2,F2:H2,J2:L2,0.01,2,0.05,10.3,14.7,9.3,4.9,0,9.80665)

## UpdateYprByMahony

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollByMahony
引数	qRange、gyroRange、accRange、dt、kp、[gravity]
戻り値	1×3 配列
説明	Mahony フィルタで 1 サンプル更新し、YPR を返します。
入力例	=UpdateYprByMahony(A2:D2,F2:H2,J2:L2,0.01,2,9.80665)

## UpdateYprByMahonyAdaptive

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollByMahonyAdaptive
引数	qRange、gyroRange、accRange、dt、kpMax、kpMin、accelUpperStart、accelUpperEnd、accelLowerStart、accelLowerEnd、ki、[gravity]
戻り値	1×3 配列
説明	Adaptive Mahony フィルタで 1 サンプル更新し、YPR を返します。
入力例	=UpdateYprByMahonyAdaptive(A2:D2,F2:H2,J2:L2,0.01,2,0.05,10.3,14.7,9.3,4.9,0,9.80665)

## UpdateQuatsByMahony

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionSeriesByMahony
引数	qInitialRange、gyroRange、accRange、dt、kp、ki、[gravity]
戻り値	N×4 配列
説明	Mahony フィルタで時系列のクォータニオンを計算します。
入力例	=UpdateQuatsByMahony(A2:D2,F2:H101,J2:L101,0.01,2,0,9.80665)

# Xenoma

## UpdateQuatsByMahonyAdaptive

DLL 公開関数名	UpdateQuaternionSeriesByMahonyAdaptive
引数	qInitialRange、 gyroRange、 accRange、 dt、 kpMax、 kpMin、 accelUpperStart、 accelUpperEnd、 accelLowerStart、 accelLowerEnd、 ki、 [gravity]
戻り値	N × 4 配列
説明	Adaptive Mahony フィルタで時系列のクォータニオンを計算します。
入力例	=UpdateQuatsByMahonyAdaptive(A2:D2,F2:H101,J2:L101,0.01,2,0.05,10.3,14.7,9.3,4.9,0,9.80665)

## UpdateYprsByMahony

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollSeriesByMahony
引数	qInitialRange、 gyroRange、 accRange、 dt、 kp、 ki、 [gravity]
戻り値	N × 3 配列
説明	Mahony フィルタで時系列処理を行い、各時刻の YPR 系列を返します。
入力例	=UpdateYprsByMahony(A2:D2,F2:H101,J2:L101,0.01,2,0,9.80665)

## UpdateYprsByMahonyAdaptive

DLL 公開関数名	UpdateYawPitchRollSeriesByMahonyAdaptive
引数	qInitialRange、 gyroRange、 accRange、 dt、 kpMax、 kpMin、 accelUpperStart、 accelUpperEnd、 accelLowerStart、 accelLowerEnd、 ki、 [gravity]
戻り値	N × 3 配列
説明	Adaptive Mahony フィルタで時系列処理を行い、各時刻の YPR 系列を返します。
入力例	=UpdateYprsByMahonyAdaptive(A2:D2,F2:H101,J2:L101,0.01,2,0.05,10.3,14.7,9.3,4.9,0,9.80665)

## AdaptiveKp

DLL 公開関数名	ComputeAdaptiveKp
引数	accelNorm、 kpMax、 kpMin、 accelUpperStart、 accelUpperEnd、 accelLowerStart、 accelLowerEnd、 [gravity]
戻り値	数値 1 個
説明	加速度ノルムに応じて Adaptive Mahony 用の kp を計算します。gravity は省略時 9.80665 です。
入力例	=AdaptiveKp(M2,2,0.05,10.3,14.7,9.3,4.9,9.80665)

# Xenoma

---

## 2.7 判定

状態を判定します。

### IsAccStable

DLL 公開関数名	IsStableAccWindow
引数	accRange : 加速度系列 (N×3)、varThreshold、normMeanMin、normMeanMax
戻り値	TRUE / FALSE
説明	加速度系列が静止判定条件を満たすかどうかを返します。初期姿勢推定前の確認に使用します。
入力例	=IsAccStable(J2:L51,0.02,9.5,10.1)

### IsFiniteQuat

DLL 公開関数名	IsFiniteQuaternion
引数	quatRange : クォータニオン 1 個
戻り値	TRUE / FALSE
説明	クォータニオンの各成分が有限値かどうかを判定します。
入力例	=IsFiniteQuat(A2:D2)

### IsFiniteVec3

DLL 公開関数名	IsFiniteVector3
引数	vecRange : ベクトル 1 個
戻り値	TRUE / FALSE
説明	3次元ベクトルの各成分が有限値かどうかを判定します。
入力例	=IsFiniteVec3(F2:H2)

## 3. ライブラリの利用例

### 3.1 利用例 1：骨盤の姿勢計算

#### 3.1.1 事例の背景

本事例では、MU-01 を骨盤に装着し、被験者の姿勢変化を Yaw、Pitch、Roll として定量的に評価することを目的としています。一般に、IMU センサは取り付け方向のずれや個体差の影響を受けやすいため、センサの座標系を対象物の座標系と厳密に一致させることは容易ではありません。

そこで本手法では、計測開始時に被験者が静止している区間のデータから初期姿勢を推定し、それを基準として以降の姿勢変化を算出します。この方法により、センサの取り付け誤差を許容しつつ、対象物（本事例では骨盤）の動きを安定して評価することが可能となります。

また、ジャイロと加速度を組み合わせた姿勢推定（Mahony フィルタ）を用いることで、短時間の動きだけでなく、ドリフトが生じる長時間の連続的な動作においても滑らかで一貫した姿勢情報を取得できます。本事例は、ヒトの歩行解析や姿勢評価を対象としていますが、さらなる応用として自動車や自転車、車いすなどに取り付けてもよく、対象物の姿勢や運動を簡便に計測・可視化するものです。

#### 3.1.2 計測方法

1. MU-01 を被験者の腰部、骨盤付近に取り付けます。
2. 加速度レンジ 16G、ジャイロレンジ 2000 dps、サンプリングレート 100Hz で計測を開始します。  
**△注意** ジャイロレンジの設定は dps ですが、計測結果の CSV には rad/s で記録されます。
3. 被験者は静止立位で約 10 秒間、静かに立ちます。
4. その後、歩行、前屈、回旋などの運動をそのまま計測します。
5. 計測終了後、Excel 上で骨盤の姿勢変化を算出します。

1. MU-01を被験者の腰部、骨盤付近に取り付けます。



3. 被験者は静止立位で約10秒間、静かに立ちます。



4. その後、歩行、前屈、回旋などの運動をそのまま計測します。



# Xenoma

## 3.1.3 計算方法

1. 保存したデータの CSV ファイルを Excel で開きます。
2. 静止立位の範囲は十分に安定していれば決まりはありません。以降、この例では以下のようにします。
  - 安定範囲を 2~301 行とする（グラフなどで確認してください）
  - データ範囲を 302 行以降とする
3. セル関数 Accs2InitialQuat を用いて、I301 に `=Accs2InitialQuat(B2:D301,0.02,9.6,10)` と入力します。すると、I301:L301 に初期姿勢のクォータニオンが計算、展開されます。

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in columns A through H:

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095

Cell I301 contains the formula: `=Accs2InitialQuat(B2:D301,0.02,9.6,10)`

The screenshot shows the same Excel spreadsheet as above, but with the results of the formula in cells I301:L301:

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp				
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095				
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095				
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095				
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095	0.044644	0.736502	-0.04084	0.673724
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095				
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095				

# Xenoma

4. 次に、I302 に=UpdateQuatsByMahony(I301:L301,E302:G1672,B302:D1672,0.01,2,0,9.80665)と入力します。姿勢変化の計算は主としてジャイロの積分で行いますが、この方法は Mahony フィルタと呼ばれる重力を用いたドリフト補正を加えたものです。

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095
297	31:30.8	9.68694	0.143652	-0.88107	-0.00319	-0.06595	0.051057	4095
298	31:30.8	9.749189	0.086191	-0.87149	0.022338	-0.10637	0.065949	4095
299	31:30.8	9.725247	0.076614	-0.88585	0.001064	0.021274	-0.00745	4095
300	31:30.8	9.758766	0.134075	-0.92416	0.022338	-0.04468	0.04893	4095
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095
304	31:30.8	9.730036	0.114922	-0.93374	0.038293	0.037229	0.022338	4095
305	31:30.8	9.744401	0.129287	-0.91459	0.013828	-0.04787	0.006382	4095
306	31:30.8	9.792285	0.110133	-0.88585	-0.00851	-0.03723	-0.00851	4095
307	31:30.9	9.77792	0.09098	-0.94332	0.009573	-0.00106	0.052121	4095
308	31:30.9	9.691728	0.114922	-0.90501	0.023401	0.064886	0.009573	4095
309	31:30.9	9.77792	0.143652	-0.93853	0.012764	-0.0117	0.036166	4095
310	31:30.9	9.749189	0.11971	-0.91459	-0.02127	-0.01276	0.062758	4095
311	31:30.9	9.701305	0.11971	-0.9098	-0.00532	-0.03936	0.00851	4095
312	31:30.9	9.725247	0.067038	-0.84755	0.005318	-0.06489	0.056376	4095
313	31:30.9	9.773131	0.114922	-0.90022	-0.00425	0.001064	-0.00851	4095
314	31:30.9	9.634267	0.134075	-0.94332	-0.00745	-0.08829	-0.00106	4095
315	31:30.9	9.739612	0.110133	-0.9098	0.042548	-0.05212	0.022338	4095

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095
297	31:30.8	9.68694	0.143652	-0.88107	-0.00319	-0.06595	0.051057	4095
298	31:30.8	9.749189	0.086191	-0.87149	0.022338	-0.10637	0.065949	4095
299	31:30.8	9.725247	0.076614	-0.88585	0.001064	0.021274	-0.00745	4095
300	31:30.8	9.758766	0.134075	-0.92416	0.022338	-0.04468	0.04893	4095
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095
304	31:30.8	9.730036	0.114922	-0.93374	0.038293	0.037229	0.022338	4095
305	31:30.8	9.744401	0.129287	-0.91459	0.013828	-0.04787	0.006382	4095
306	31:30.8	9.792285	0.110133	-0.88585	-0.00851	-0.03723	-0.00851	4095
307	31:30.9	9.77792	0.09098	-0.94332	0.009573	-0.00106	0.052121	4095
308	31:30.9	9.691728	0.114922	-0.90501	0.023401	0.064886	0.009573	4095
309	31:30.9	9.77792	0.143652	-0.93853	0.012764	-0.0117	0.036166	4095
310	31:30.9	9.749189	0.11971	-0.91459	-0.02127	-0.01276	0.062758	4095
311	31:30.9	9.701305	0.11971	-0.9098	-0.00532	-0.03936	0.00851	4095
312	31:30.9	9.725247	0.067038	-0.84755	0.005318	-0.06489	0.056376	4095
313	31:30.9	9.773131	0.114922	-0.90022	-0.00425	0.001064	-0.00851	4095
314	31:30.9	9.634267	0.134075	-0.94332	-0.00745	-0.08829	-0.00106	4095
315	31:30.9	9.739612	0.110133	-0.9098	0.042548	-0.05212	0.022338	4095

これにより、I301:L1672 に姿勢クォータニオンの計算結果が展開されます。これはセンサ座標系に基づく姿勢であるため、初期姿勢を基準とした相対姿勢（World 基準）に変換します。

# Xenoma

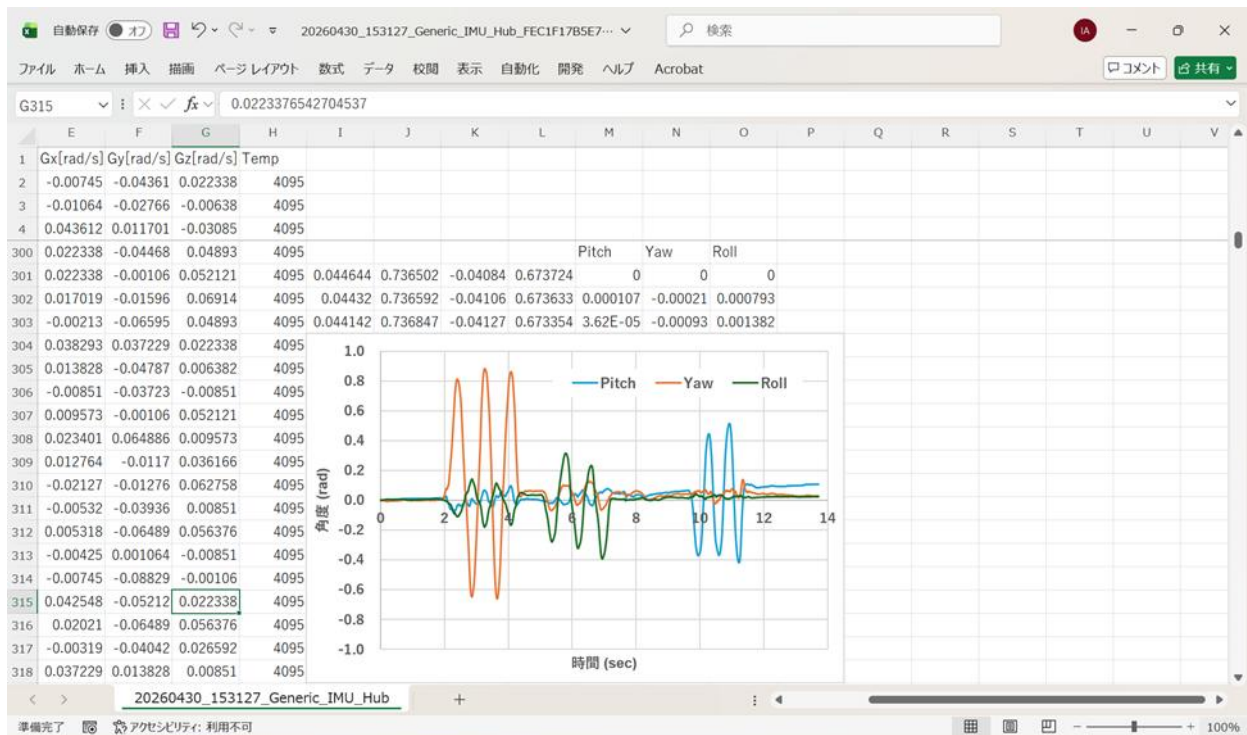
5. 次に、M301 に=Quats2WorldYprs(I301:L1672,I301:L301)と入力します。これにより、M,N,O列にそれぞれ Yaw, Pitch, Roll の値 (ラジアン) が入ります。301 行は初期姿勢なのですべて 0、つまり初期姿勢が基準となります。

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095
297	31:30.8	9.68694	0.143652	-0.88107	-0.00319	-0.06595	0.051057	4095
298	31:30.8	9.749189	0.086191	-0.87149	0.022338	-0.10637	0.065949	4095
299	31:30.8	9.725247	0.076614	-0.88585	0.001064	0.021274	-0.00745	4095
300	31:30.8	9.758766	0.134075	-0.92416	0.022338	-0.04468	0.04893	4095
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095
304	31:30.8	9.730036	0.114922	-0.93374	0.038293	0.037229	0.022338	4095
305	31:30.8	9.744401	0.129287	-0.91459	0.013828	-0.04787	0.006382	4095
306	31:30.8	9.792285	0.110133	-0.88585	-0.00851	-0.03723	-0.00851	4095
307	31:30.9	9.77792	0.09098	-0.94332	0.009573	-0.00106	0.052121	4095
308	31:30.9	9.691728	0.114922	-0.90501	0.023401	0.064886	0.009573	4095
309	31:30.9	9.77792	0.143652	-0.93853	0.012764	-0.0117	0.036166	4095
310	31:30.9	9.749189	0.11971	-0.91459	-0.02127	-0.01276	0.062758	4095
311	31:30.9	9.701305	0.11971	-0.9098	-0.00532	-0.03936	0.00851	4095
312	31:30.9	9.725247	0.067038	-0.84755	0.005318	-0.06489	0.056376	4095
313	31:30.9	9.773131	0.114922	-0.90022	-0.00425	0.001064	-0.00851	4095
314	31:30.9	9.634267	0.134075	-0.94332	-0.00745	-0.08829	-0.00106	4095
315	31:30.9	9.739612	0.110133	-0.9098	0.042548	-0.05212	0.022338	4095

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp	M	N	O
2	31:27.8	9.744401	0.081403	-0.78051	-0.00745	-0.04361	0.022338	4095			
3	31:27.8	9.725247	0.114922	-0.88107	-0.01064	-0.02766	-0.00638	4095			
4	31:27.8	9.710882	0.081403	-0.77572	0.043612	0.011701	-0.03085	4095			
297	31:30.8	9.68694	0.143652	-0.88107	-0.00319	-0.06595	0.051057	4095			
298	31:30.8	9.749189	0.086191	-0.87149	0.022338	-0.10637	0.065949	4095			
299	31:30.8	9.725247	0.076614	-0.88585	0.001064	0.021274	-0.00745	4095			
300	31:30.8	9.758766	0.134075	-0.92416	0.022338	-0.04468	0.04893	4095			
301	31:30.8	9.758766	0.124498	-0.96247	0.022338	-0.00106	0.052121	4095	0.044644	0.736502	-0.04084
302	31:30.8	9.749189	0.076614	-0.93374	0.017019	-0.01596	0.06914	4095	0.04432	0.736592	-0.04106
303	31:30.8	9.696517	0.09098	-0.92416	-0.00213	-0.06595	0.04893	4095	0.044142	0.736847	-0.04127
304	31:30.8	9.730036	0.114922	-0.93374	0.038293	0.037229	0.022338	4095	0.043947	0.736768	-0.0412
305	31:30.8	9.744401	0.129287	-0.91459	0.013828	-0.04787	0.006382	4095	0.043892	0.736962	-0.04116
306	31:30.8	9.792285	0.110133	-0.88585	-0.00851	-0.03723	-0.00851	4095	0.043958	0.737092	-0.04116
307	31:30.9	9.77792	0.09098	-0.94332	0.009573	-0.00106	0.052121	4095	0.043744	0.737127	-0.04132
308	31:30.9	9.691728	0.114922	-0.90501	0.023401	0.064886	0.009573	4095	0.043659	0.736932	-0.04124
309	31:30.9	9.77792	0.143652	-0.93853	0.012764	-0.0117	0.036166	4095	0.043528	0.73701	-0.0413
310	31:30.9	9.749189	0.11971	-0.91459	-0.02127	-0.01276	0.062758	4095	0.043417	0.737061	-0.04158
311	31:30.9	9.701305	0.11971	-0.9098	-0.00532	-0.03936	0.00851	4095	0.04343	0.737215	-0.04161
312	31:30.9	9.725247	0.067038	-0.84755	0.005318	-0.06489	0.056376	4095	0.0432	0.737398	-0.04182
313	31:30.9	9.773131	0.114922	-0.90022	-0.00425	0.001064	-0.00851	4095	0.043276	0.737401	-0.04178
314	31:30.9	9.634267	0.134075	-0.94332	-0.00745	-0.08829	-0.00106	4095	0.043332	0.737743	-0.04178
315	31:30.9	9.739612	0.110133	-0.9098	0.042548	-0.05212	0.022338	4095	0.043114	0.737931	-0.04171

# Xenoma

6. このデータは体を左右にねじり、次に前後に傾けて、最後に左右に傾けたものです。1.2節の図を参考にしてください。



## ⚠注意

オイラー角 (Yaw/Pitch/Roll) は姿勢の変化を直感的に理解しやすいため、表示用途には便利ですが、特定の姿勢では特異点により値が不安定になる場合があります。

特に、解析や制御などで姿勢データを安定して扱う必要がある場合は、クォータニオンの使用を推奨します。

## 3.2 利用例 2：センサのキャリブレーション

### 3.2.1 事例の背景

本事例では、IMU センサで問題となりやすいオフセット誤差（バイアス）を中心としたキャリブレーション方法を説明します。本ライブラリでは、センサを収納箱などの直方体治具に固定し、その 6 面すべての向きでそれぞれ 3 秒以上静止させることで、ジャイロのバイアス、および加速度の 3 軸バイアスと 3 軸スケールを推定できます。このとき、加速度については各面で異なる方向の地球重力加速度を利用してキャリブレーションパラメータを算出します。

なお、キャリブレーションは短時間の簡単な計測ではそれほど必要はありません。長時間のドリフトや重力の値を厳密に用いるときにお使いください。

### 3.2.2 計測方法

1. MU-01 を直方体治具に入れます。中で静止中にセンサが動かなければ問題ありません。  
**△注意** 収納箱は軽くて振動しやすいので、例えば以下のようなものをご利用下さい。  
ルーズ金具（コの字の金具で磁石がつく）：<https://www.monotaro.com/g/01431479/>
2. 加速度レンジ 16G、ジャイロレンジ 2000 dps、サンプリングレート 100Hz で計測を開始します。  
**△注意** ジャイロレンジの設定は dps ですが、計測結果の CSV には rad/s で記録されます。
3. 治具の 6 面すべてについて、それぞれの面を下にして 3 秒以上（約 5 秒）静止させて計測します。  
**△注意** 計測時、治具が揺れていないことに注意し、置いているテーブルには触れないでください。
4. 6 面すべての計測が完了したら、Excel 上でキャリブレーションパラメータを計算します。

# Xenoma

## 3.2.3 計算方法

1. 保存したデータの CSV ファイルを Excel で開きます。
2. セル関数 GetIMUCalib を用いて、I1 に=GetIMUCalib(B2:G9241,0.01)と入力します。すると、I1:T1 にキャリブレーションパラメータが展開されます。0.01 は 100Hz のときのサンプリング間隔 [s] です。もし 6 面のどこか一つでも 3 秒の安定区間がないと、エラーになります。

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp	=GetIMUCalib(B2:G9241,0.01)
2	00:48.2	-0.05267	0.071826	9.873688	0.001064	0.038293	-0.0819	4095	
3	00:48.2	0.076614	0.076614	9.830592	0.013828	0.047866	0.027656	4095	
4	00:48.2	0.004788	0.067038	9.825804	0	0.034038	0.015955	4095	
5	00:48.2	-0.02873	0.033519	9.849746	0.013828	0.012764	0.068077	4095	
6	00:48.2	0.009577	0.095768	9.921572	0.012764	-0.02234	0.035102	4095	

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp	I1	J1	K1	L1	M1	N1	O1	P1	Q1	R1
2	00:48.2	-0.05267	0.071826	9.873688	0.001064	0.038293	-0.0819	4095	-0.0272	-0.07121	0.106377	0.999356	0.999585	0.999567	0.006784	0.009346	0.008648	
3	00:48.2	0.076614	0.076614	9.830592	0.013828	0.047866	0.027656	4095										
4	00:48.2	0.004788	0.067038	9.825804	0	0.034038	0.015955	4095										
5	00:48.2	-0.02873	0.033519	9.849746	0.013828	0.012764	0.068077	4095										
6	00:48.2	0.009577	0.095768	9.921572	0.012764	-0.02234	0.035102	4095										

3. セル関数 ApplyIMUCalib を用いて、I2 に=ApplyIMUCalib(B2:G9241,I1:T1)と入力します。すると、B2:G9241 の加速度とジャイロのデータを、以下の式でキャリブレーションした結果を計算します。

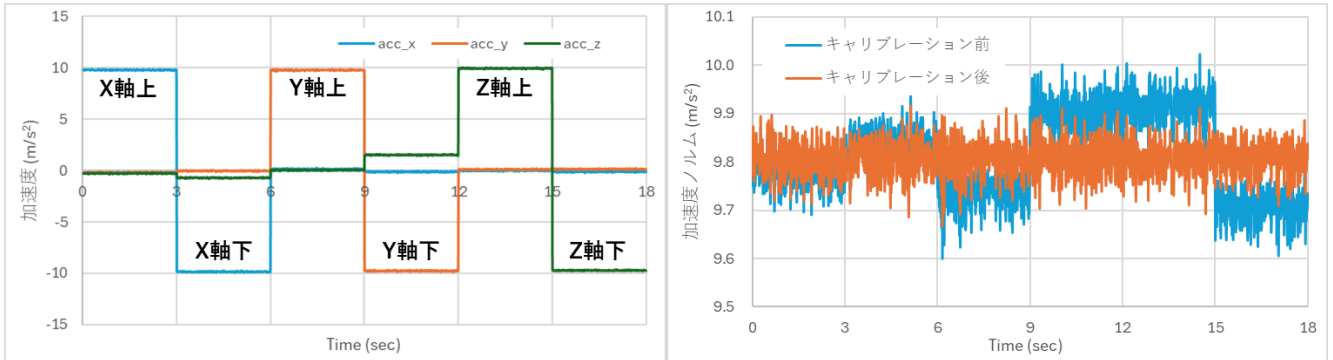
1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp	I2	J2	K2	L2	M2	N2	O2	P2	Q2	R2
2	00:48.2	-0.05267	0.071826	9.873688	0.001064	0.038293	-0.0819	4095	=ApplyIMUCalib(B2:G9241,I1:T1)									
3	00:48.2	0.076614	0.076614	9.830592	0.013828	0.047866	0.027656	4095										
4	00:48.2	0.004788	0.067038	9.825804	0	0.034038	0.015955	4095										
5	00:48.2	-0.02873	0.033519	9.849746	0.013828	0.012764	0.068077	4095										
6	00:48.2	0.009577	0.095768	9.921572	0.012764	-0.02234	0.035102	4095										
7	00:48.2	0.057461	0.09098	9.840169	0.003191	0.058503	-0.03085	4095										
8	00:48.2	0	0.071826	9.83538	0.005318	0.092542	-0.05531	4095										
9	00:48.2	-0.01437	0.047884	9.878476	0.004255	-0.01808	0.003191	4095										
10	00:48.2	0.02873	0.076614	9.89763	0.005318	0.006382	0.014892	4095										
11	00:48.3	0.004788	0.114922	9.907206	0.035102	0.049994	-0.03404	4095										

1	Time	Ax[m/s <sup>2</sup> ]	Ay[m/s <sup>2</sup> ]	Az[m/s <sup>2</sup> ]	Gx[rad/s]	Gy[rad/s]	Gz[rad/s]	Temp	I2	J2	K2	L2	M2	N2	O2	P2	Q2	R2
2	00:48.2	-0.05267	0.071826	9.873688	0.001064	0.038293	-0.0819	4095	-0.02546	0.142976	9.763077	-0.00572	0.028947	-0.09055				
3	00:48.2	0.076614	0.076614	9.830592	0.013828	0.047866	0.027656	4095	0.103746	0.147763	9.720001	0.007044	0.03852	0.019008				
4	00:48.2	0.004788	0.067038	9.825804	0	0.034038	0.015955	4095	0.031966	0.13819	9.715214	-0.00678	0.024692	0.007308				
5	00:48.2	-0.02873	0.033519	9.849746	0.013828	0.012764	0.068077	4095	-0.00153	0.104685	9.739146	0.007044	0.003418	0.059429				
6	00:48.2	0.009577	0.095768	9.921572	0.012764	-0.02234	0.035102	4095	0.036751	0.166908	9.810941	0.00598	-0.03168	0.026454				
7	00:48.2	0.057461	0.09098	9.840169	0.003191	0.058503	-0.03085	4095	0.084605	0.162122	9.729573	-0.00359	0.049157	-0.0395				
8	00:48.2	0	0.071826	9.83538	0.005318	0.092542	-0.05531	4095	0.027181	0.142976	9.724787	-0.00147	0.083195	-0.06396				
9	00:48.2	-0.01437	0.047884	9.878476	0.004255	-0.01808	0.003191	4095	0.012825	0.119044	9.767864	-0.00253	-0.02743	-0.00546				
10	00:48.3	0.02873	0.076614	9.89763	0.005318	0.006382	0.014892	4095	0.055893	0.147763	9.787009	-0.00147	-0.00296	0.006244				
11	00:48.3	0.004788	0.114922	9.907206	0.035102	0.049994	-0.03404	4095	0.031966	0.186054	9.796582	0.028318	0.040647	-0.04269				

# Xenoma

## 3.2.4 【参考】キャリブレーションの詳細

キャリブレーションではまず、6面すべてについてもっとも安定している3秒区間を、加速度データを用いて探索します(下図左)。IMUセンサのxyz軸は完全に下向きに揃っている必要はなく(鉛直に対して15°以内)、箱の中で静止していればOKです。



加速度ベクトルを $[a_x, a_y, a_z]$ とすると、どの区間でも

$$\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

となる必要があります。しかし、実際にはセンサの誤差があるため加速度のバイアス補正値を $[b_{ax}, b_{ay}, b_{az}]$ 、スケール補正値を $[s_{ax}, s_{ay}, s_{az}]$ とすると、

$$\sqrt{s_{ax}(a_x - b_{ax})^2 + s_{ay}(a_y - b_{ay})^2 + s_{az}(a_z - b_{az})^2} = 9.80665$$

となるため、(非線形)最小二乗法により最適な $[b_{ax}, b_{ay}, b_{az}]$ 、 $[s_{ax}, s_{ay}, s_{az}]$ を探索します。本ライブラリではLevenberg-Marquardt法を用いています。

$$\text{二乗誤差} = \sum_i \left( \sqrt{s_{ax}(a_x^i - b_{ax})^2 + s_{ay}(a_y^i - b_{ay})^2 + s_{az}(a_z^i - b_{az})^2} - 9.80665 \right)^2$$

上図右を見ると、キャリブレーション前は向きによって値のずれが見られますが、補正後はほぼ9.80665で揃っているのがわかります。

ジャイロについては、どの面が上でも値はゼロなのでスケールは $[1, 1, 1]$ で固定し、バイアスのみを各軸の平均値から計算しています。ジャイロのスケールをキャリブレーションする場合は、回転速度が既知のテーブルでIMUセンサを回転する必要があります。

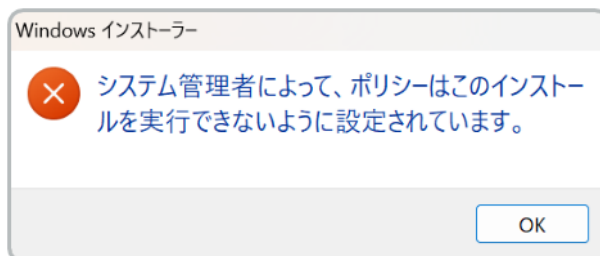
## 4. Excel へのライブラリのセットアップ方法

### 4.1 インストーラの準備

1. 配布された ZIP ファイルを右クリックし、「すべて展開」を選択します。
2. 展開したフォルダ内に以下のファイルがあることを確認してください。
  - setup.exe
  - IMUCoreSetup.msi

#### ⚠注意

ダウンロードしたファイルにはセキュリティ制限が付与される場合があります。



この時は、ファイルを右クリック → 「プロパティ」 → 「許可する」にチェック → OK



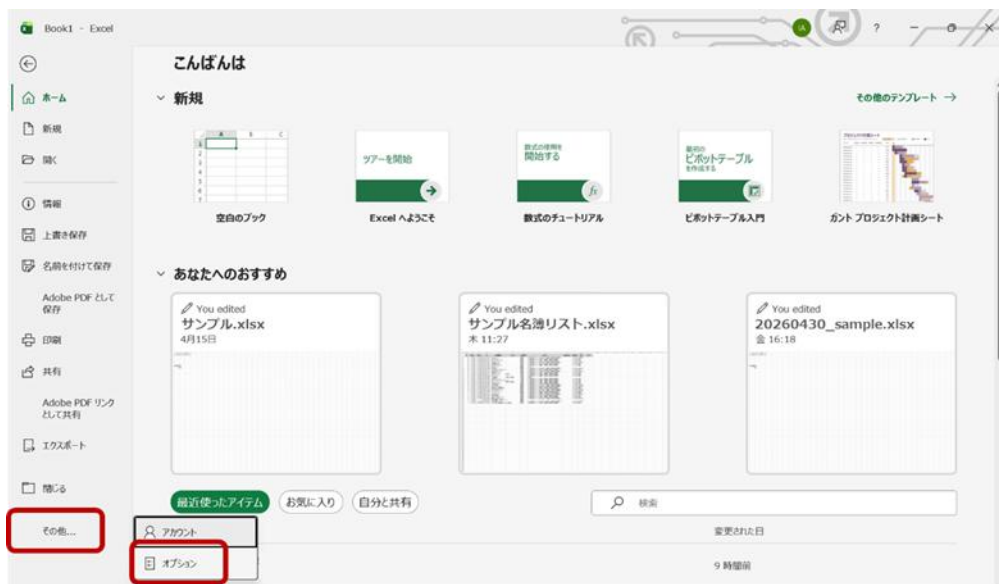
# Xenoma

## 4.2 インストール

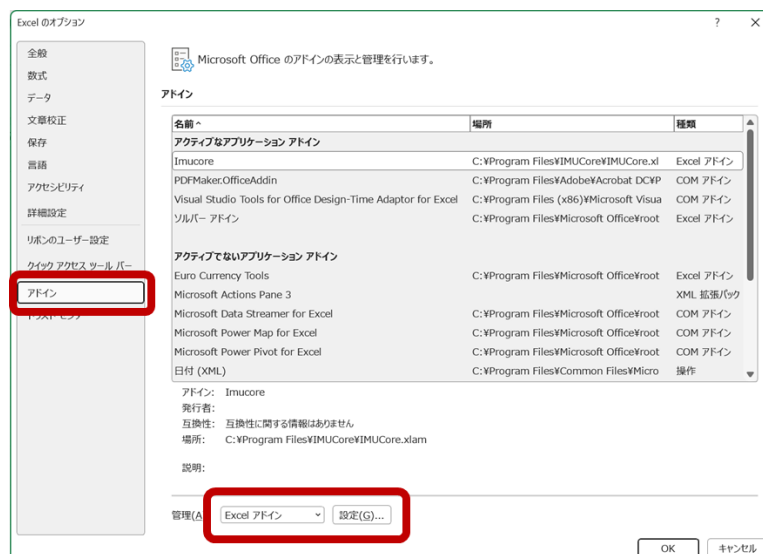
1. setup.exe をダブルクリックして起動します。
2. 画面の指示に従ってインストールを完了します。インストールにより以下が自動配置されます。
  - アドインファイル (.xlam) および DLL → C:\Program Files\IMUCore¥
  - ライセンス用フォルダ → C:\ProgramData\IMUCore¥

## 4.3 Excel アドインの登録

1. Excel を起動します。
2. 「ファイル」→「その他」→「オプション」→「アドイン」

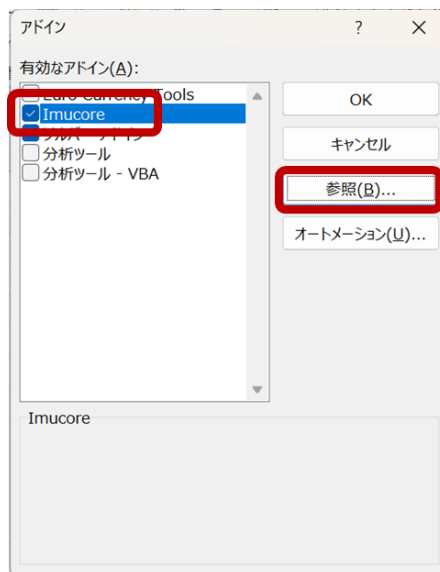


3. 「アドイン」→「管理：アドイン」→「設定」



# Xenoma

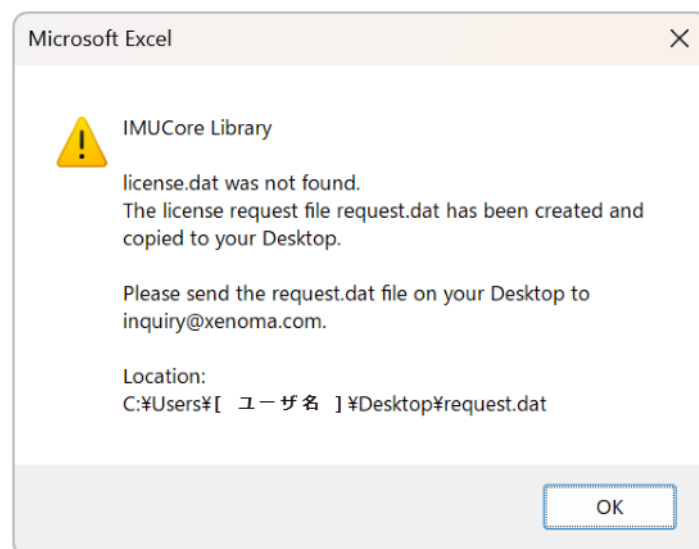
- 「参照」から C:¥Program Files¥IMUCore¥IMUCore.xlam を選択
- チェックを入れて OK



- 注意** Excel を再起動します。

## 4.4 request.dat の生成

- Excel 再起動後、request.dat が生成されます (C:¥ProgramData¥IMUCore およびデスクトップ)。



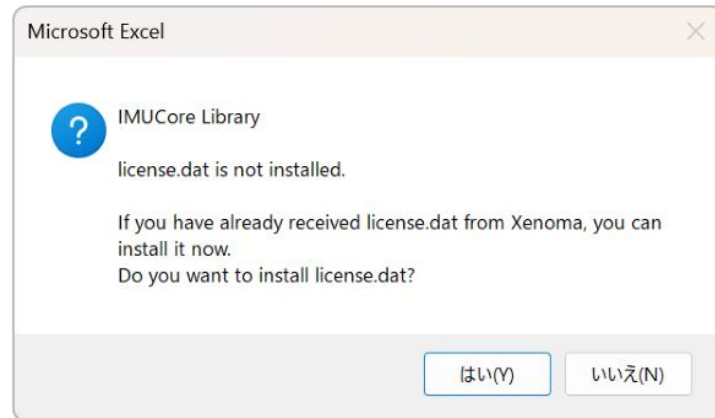
- inquiry@xenoma.com に request.dat を添付ファイルとして送ってください。
- Excel を終了し、license.dat が Xenoma より送られてくるのをお待ちください。

# Xenoma

---

## 4.5 license.dat の登録

1. license.dat が Xenoma から送られてきた後、Excel を起動すると以下のメッセージが出ます。



2. 「はい」をクリックすると、ファイル選択画面となるので license.dat を選択し、登録します。
3. **△注意** Excel を再起動します。再起動後、IMUCore のセル関数が使用可能になります。

# Xenoma

---

## 5. IMUCore バージョン履歴

v1.2.2	キャリブレーション機能の追加。	2026/05/27
v1.1.0	初期バージョン。	2026/05/01