

## 複数センサを用いた 6 軸加速度測定実験

増田峰知\*, 谷澤之彦\*

### Measurement Experiment of the 6 DOF Acceleration Using Multiple Sensors

by Takanori MASUDA and Yukihiro TANIZAWA

It is necessary for a development of a 6-DOF vibration generator to study both of the mechanism itself and the method of measurements. Authors have already proposed the 6-axis vibration generator based on the parallel mechanism by the former report. In this report, the 6-DOF acceleration sensor, which can measure the translational or rotational acceleration, is proposed and used to measure for the existing parallel mechanism. Finally, the developed sensor can measure translational and rotational acceleration respectively. However, it cannot measure them simultaneously, and much noise occurred.

Key Words: Multiple DOF, Vibration Generator, Acceleration, and Measurement

#### 1. はじめに

近年、製品の耐振性評価や生体に与える加速度の影響を評価する需要が高まっている。そのため、低価格で扱い易い、並進 3 軸及び回転 3 軸の合計 6 軸の振動が発生できる多軸振動発生装置が望まれている。著者らは H12 年度報告<sup>1)</sup>において、図 1 に示すような直動型パラレルメカニズムの運動原理を用いた 6 軸振動発生装置の提案を行ってきた。

本年度は、既存のパラレルメカニズム装置を用い

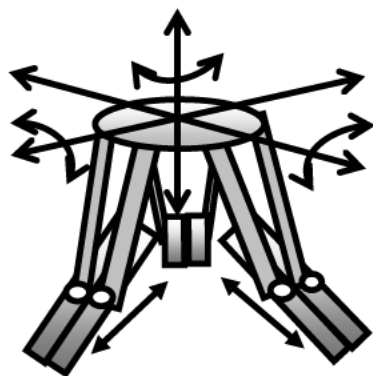


図 1 直動型パラレルメカニズムを利用した 6 軸振動発生装置の例

て、実際に 6 軸振動を発生させる実験を試みるとともに、6 軸の加速度を測定できるように配置を工夫した複数のセンサによる加速度測定実験を行なった。実験結果は、ノイズ発生等の問題により必ずしも満足できないものであったが、実験によりいくつかの課題を整理・抽出することができた。

#### 2. 6 軸加速度計測

##### 2. 1. 測定原理の検討

実際に多軸加振機を運用する場合は、測定物に振動を与えるのと同時に、そこに発生した加速度を測定することが重要である。空間で運動する質点は、図 2 に示すように、並進の 3 自由度と回転の 3 自由度の計 6 自由度<sup>2)</sup>で表される。しかし、6 軸を一度

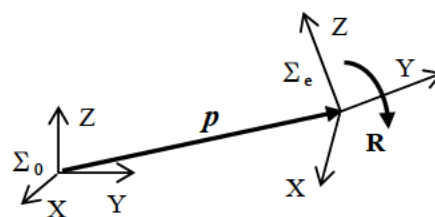


図 2 座標変換原理

\* 金属研究室研究グループ

に計測できる加速度センサは一般的ではなく、このことは、多軸試験機メーカーにおいても開発課題として挙げられている。そこで、本章では、6 軸加速度（但し角加速度を含む）の計測方法について検討する。

一般に、並進の加速度成分 (X,Y,Z 軸と平行に発生する加速度成分) は、座標軸と平行に配置された加速度センサで計測される。それに対して、回転の加速度成分 (X,Y,Z 各軸周りに発生する角加速度成分) の測定には、航空機や飛行体の姿勢制御などではジャイロセンサ等が用いられることが多いようである。一般にジャイロセンサは、回転運動の中心に設置して用いられることが多い。しかしながら、多軸加振機への利用を想定した場合、測定対象ワークを一度取りつけたら、取りつけ直すことなく並進 3 自由度と回転 3 自由度を全てが測定できることが望ましい。即ち、回転中心には、測定対象物を設置したいため、センサの設置位置は回転中心以外としたい。具体的には、回転中心以外に 1 個以上のセンサを設置し、それらのデータを組み合わせ、中心部での発生加速度を推定することが想定される。

次項で、運動の自由度により振動発生条件を整理し、それぞれの場合において、発生加速度の検出方法を整理する。

2. 2. 具体的な検出方法

2. 2. 1. 回転中心が並進運動を伴う同時 6 軸振動の場合 (剛体の 6 自由度運動)

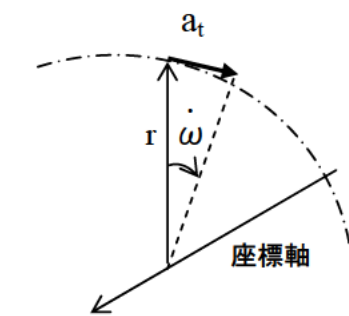


図 3 角加速度の算出

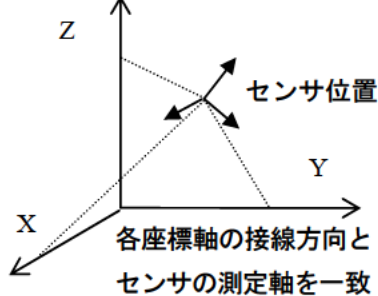


図 4 順次 6 軸測定用のセンサ配置の一例

6 軸振動現象の再現など並進と回転の運動が同時に発生する場合、並進加速度及び角加速度で表される。位置姿勢を  $r = (p, \eta)^T$  (但し、 $p$ : 並進成分  $\eta$ : 回転成分) とすると、速度及び加速度はそれぞれ式(1)(2)で表される。但し、式中のイタリック表記はベクトル量を、ローマン表記はスカラー量をそれぞれ表している。

$$dr/dt = \dot{r} + \omega \times r \tag{1}$$

但し、 $\omega$ : 角速度,  $\times$ : ベクトル積

$$d(dr/dt)/dt = \ddot{r} + \dot{\omega} \times r + \omega \times \dot{r} + \omega \times (\dot{r} + \omega \times r) \tag{2}$$

この場合の計測は、並進成分に発生するコリオリ力(式(2)第 3 項)や求心加速度 (式(2)第 4 項) を、測定または推定しなければならないため複雑である。この条件では、複数のセンサを、幾何的に特異な姿勢にならないように配置すれば、測定物中心での並進加速度及び角加速度の推定が可能になると思われるが、本研究ではその解決には至らなかった。

2. 2. 2. 順次 6 軸振動の場合 (剛体の 1 自由度運動)

JIS で規定されているような各軸を順次に加振する条件を考えた場合<sup>3)</sup>、これは 1 自由度運動として分解して扱うことができる。

並進運動では、座標軸と平行に設置されたセンサデータをそのまま使うか、幾何的に合成すればよい。

回転運動では、各センサには回転運動の接線方向の加速度  $a_t$  と回転中心に向かう求心加速度が発生する。中心に並進運動を与えない条件で、各座標軸周りに運動を与える時、各センサの動きは図 3 に示すように回転中心を原点とする円運動と考えられるため、回転中心からセンサ位置までの距離を  $r$  とすると、接線方向の加速度は式 (3) で表されるため、回転中心の角加速度  $\dot{\omega}$  は式 (4) で表される。

$$a_t = r \dot{\omega} \tag{3}$$

$$\dot{\omega} = a_t / r \tag{4}$$

この式より、角加速度  $\dot{\omega}$  を計測するには、接線方向の加速度データが一つあればよいことがわかる。よって、回転中心が一点で各軸周りに順次駆動させる場合、各回転軸それぞれの接線方向の加速度データが一つあれば良いことがわかる。

具体的にこれらの条件を満たすには、図 4 に示す

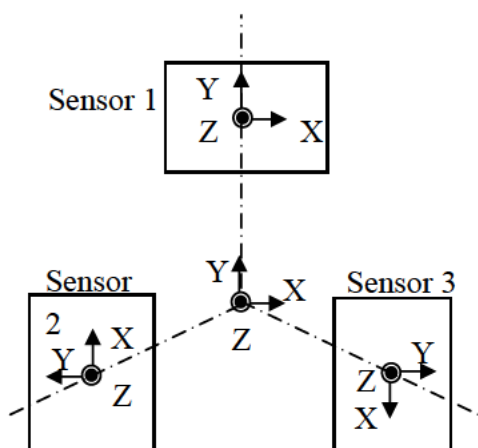


図5 組み合わせたセンサ

ような1つの3軸加速度センサを全ての座標軸上以外に配置する, 3個の1軸加速度センサを各座標軸に対し接線方向に配置するなど, 数通りの配置方法が考えられる。

### 3. 計測実験

#### 3. 1. 実験方法

前章で整理した加速度計測手法を参考にして, 実際に順次6軸振動の測定実験を行なった. 本報では, 複数の多軸センサを組み合わせ, その幾何関係から6軸の加速度を推定することとする. この測定方法の場合, 次のような特徴がある。

<長所>

- ① 回転中心に測定物を設置することができる
- ② 市販の並進型加速度センサを利用できる
- ③ 自由度に対し, 測定データが冗長であるため, 平均化などの処理によりデータの信頼度を上げられる。

<短所>

- ① 回転中心が並進運動するは, 手先座標系の運動にコリオリ力が発生するため, 使用することができない。
- ② 複数のセンサを同期して測定する必要がある。
- ③ 配置によっては, 幾何的に特異な位置関係となり, 測定が困難になる恐れがある。(例えば, 同一線上に並べて配置した場合など)

図5に実験用に製作したセンサを示す. 図5よりテーブル中心部に発生する並進成分は, 3センサの幾何関係より, 式(5)~(7)で表される。

$$a_x = (a_{1x} - a_{2y} + a_{3y}) / 3 \quad (5)$$

$$a_y = (a_{1y} + a_{2x} - a_{3x}) / 3 \quad (6)$$

$$a_z = (a_{1z} + a_{2z} + a_{3z}) / 3 \quad (7)$$

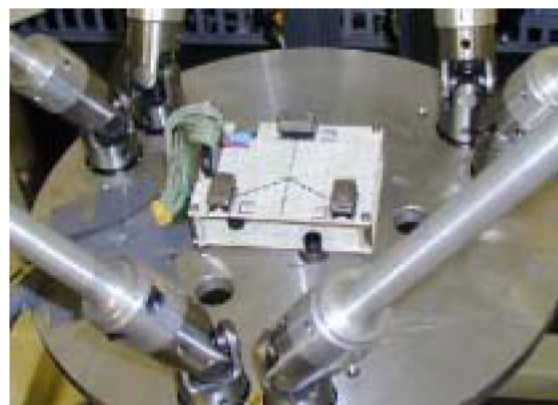


図6 エンドプレートに取り付けたセンサ

同様に, 回転に対しては,

X軸周り:

$$\dot{\omega}_x = (a_{1z}/r - a_{2z}/r \cdot 2 - a_{3z}/r \cdot 2) / 3 \quad (8)$$

Y軸周り:

$$\dot{\omega}_y = (a_{2z}/1.732 r \cdot 2 - a_{3z}/1.732 r \cdot 2) / 2 \quad (9)$$

Z軸周り:

$$\dot{\omega}_z = a_{1x}/r \quad (10)$$

実験に用いた装置は, 前報で振動特性を測定した既存の垂直直動型パラレルメカニズム装置である. このエンドプレート上に, 図6のようなセンサを配置して実験に供した. 振動は, エンドプレートに与える振動データの振幅端2点の位置をPTP制御で繰り返し運動させることで発生させた. 与えた振幅は, 並進運動で10mm, 回転運動で0.1radとした。

#### 3. 2. 実験結果

実験結果を図7~12に示す. 図7~9は並進運動した場合, 図10~12は回転運動を与えた場合の測定データである. 並進成分においては, 手先の加速度をうまく検出できている. 但し, いずれの場合も, モータから誘導された電磁ノイズの影響が大きかった. また, 回転運動では, スムーズな運動を得ることができなかった. これは, 本装置の制御方法に原因があるものと考えられる. 本装置では, まず作業空間で位置を指令し, 逆運動学で関節空間の位置に変換した後, 関節空間でPTP制御を行なっている. そのため, 作業空間での補間は保証されない. 特にX軸周りの回転運動は, ジョイントの配置が対称でないため, スムーズな振動を与えられなかった. これらの問題は, 作業空間での軌道制御を行なうことで対応できると思われる。



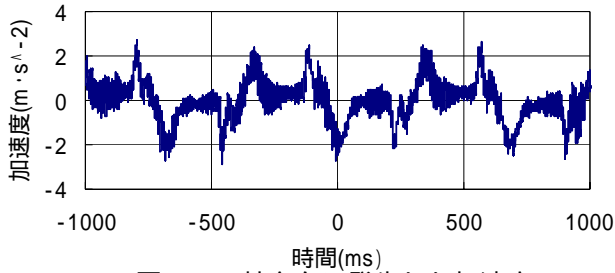


図7 X軸方向に発生した加速度

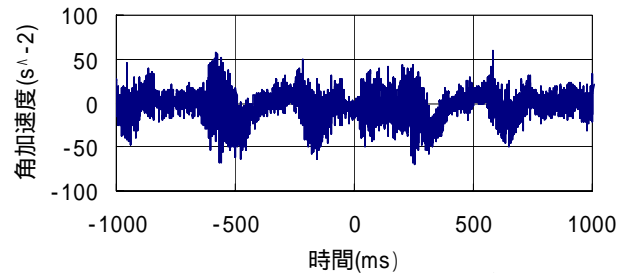


図10 X軸回りに発生した角加速度

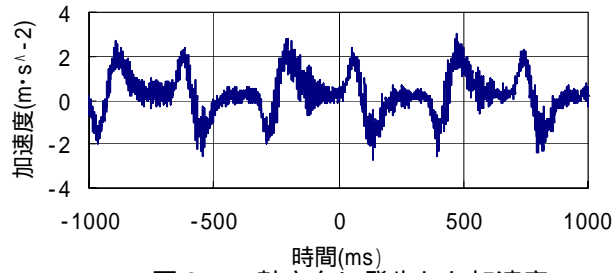


図8 Y軸方向に発生した加速度

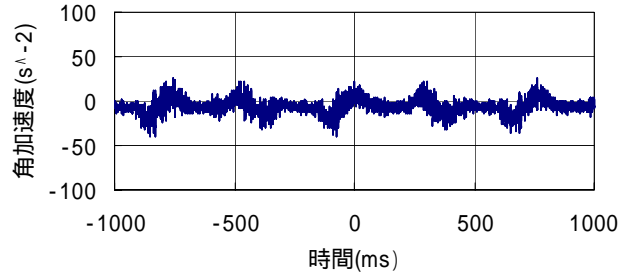


図11 Y軸回りに発生した角加速度

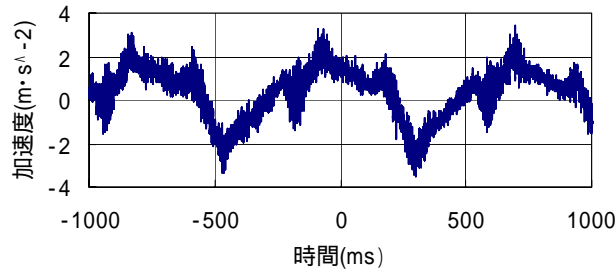


図9 Z軸方向に発生した加速度

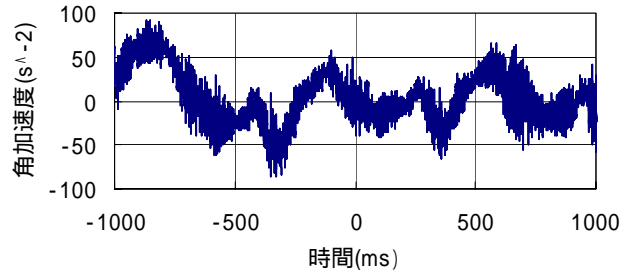


図12 Z軸回りに発生した角加速度

### 3.3. 実験で明らかになった問題点

本実験により以下の課題が明らかになったため、ここに整理する。これらは、ノウハウ的な部分でもあるが、実際には大きな問題となった点である。

#### (1) モータの反転運動が頻繁に発生

6軸パラレルメカニズムを高速振動させる場合は、アクチュエータが高速往復運動を行なうため、モータ及びボールねじで構成される直動機構が正転逆転の切替が頻繁に発生する。このような使用条件では、スムーズな運動制御が困難になるだけでなく、大電流が要求されるためエネルギー消費の増大とノイズの発生が考えられる。この対策としては、前報<sup>1)</sup>で提案した単駆動源6カム方式の機構が効果的であると考えられる。

#### (2) ノイズ対策

実験結果で示したように、モータから誘導される電磁ノイズが大きく発生した。この問題に対しては、ケーブルのシールド化、ツイストペア化、フレームアースの追加など、考えられるノイズ対策を行なったにも関わらず、解決には至らなかった。実際に測定する時には、センサケーブルの引き回しにも注意

が必要である。センサケーブルは、それ自身が大きく振れる状況は、センサに対し物理的に振動を及ぼしたり、電磁ノイズを誘導する原因になりやすい。

### 4. 結言

本研究では、直動型パラレルメカニズムを適用した多軸振動発生装置について、順次6軸加速度計測について、その測定方法を検討し、計測実験を行なった。計測実験そのものは、いくつかの問題が解消できず不調であったが、多軸加振機に流用するための問題点が整理できた。今後の課題としては、同時6軸振動の計測システムの構築が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 増田峰知, 谷澤之彦: "直動型パラレルメカニズムの多軸振動発生装置への応用"平成12年度三重県科学技術振興センター工業技術総合研究所研究報告, No.25, p.25-31 (2001)
- 2) 日本機械学会編: 機械工学便覧 A3 "力学・機械力学" (1987)
- 3) JIS D 1601: 自動車部品振動試験方法