加速度センサを用いた運動体速度の時間領域測定

非会員 古山 和典* 非会員 野呂 光生*
正 員 平田 晃正* 正 員 藤原 修*

Time Domain Measurement of Moving Object Speed Using Acceleration Sensor

Kazunori Koyama*, Non-member, Mitsuo Noro*, Non-member, Akimasa Hirata*, Member,
Osamu Fujiwara*, Member

In this study, we proposed a time-domain measurement method of moving object speed with a commercially available acceleration sensor. The sensor of this kind is normally used to measure the acceleration of a stationary vibration object, while it is not applicable to the measurement of a transient moving object due to the frequency response of the sensor itself. An impulsive sensor response was derived from the free-drop movement of a metallic sphere. The deconvolution allows the sensor to measure the acceleration in the time domain, which was validated through the measurement of the speed of a hand-held metal piece approaching a target.

キーワード：加速度センサ，時間領域測定，逆たたみこみ積分

Keywords：Acceleration sensor, time domain measurement, deconvolution

1. まえがき

半導体技術の著しい進歩に伴い，電子機器の高速・多機能化が進んだ半面，高速・低電圧動作の集積回路に起因して，電磁雑音に対する機器イミュニティ（耐性）の劣化が著しい。特に，帯電人体からの静電気放電（ESD：ElectroStatic Discharge）で生ずる過渡的電磁雑音はマイクロ波帯にわたる広帯域の周波数スペクトルを含み，電子機器に深刻な電磁障害を及ぼすとされる。筆者らの研究グループでは，帯電人体がもつ金属棒からの放電電流を測定し，同特性が帯電電圧との関係において金属棒の接近速度に大きく依存することを示したが⁽¹⁾，速度測定までは至らなかった。本論文では，上述の実験で金属棒の放電対象への接近速度の定量的把握を目的として，市販の加速度センサを用いた過渡的な運動体速度の時間領域測定を示す。

2. 加速度センサの原理と校正

加速度センサの外形寸法と内部構造を図 1 に示す。加速度センサは，圧電素子に加わる力学的ストレス F をそれに比例する電荷量 Q に変換するもので，図に示すようにベースに垂直に立てられたポストに円筒状のせん断型圧電素子が装着され，円筒外周にはおもり m が取り付けられている。加速度 α が圧電素子に加わると，そのストレス F は， $F=m\alpha$ となるので，加速度 α に比例した Q が発生する。この Q を電圧信号として取り出せば，加速度が測定できる。一般に，

この種のセンサは，定常振動に対する加速度の測定に使用されるので，過渡的な運動物体に対してはセンサ自身の周波数特性を考慮する必要がある。本論文では，自由落下運動に対するセンサの出力応答 $a_m(t)$ からセンサ系自身のインパルス応答 $h(t)$ を導出し，逆たたみこみ積分（デコンボリューション）による過渡的な運動物体の速度の推定法を提案する。図 2 は金属球を用いた落下運動の配置図を示す。図 3(a)に測定電圧波形 $a_m(t)$ とデコンボリューション波形 $a(t)$ を，図 3(b)には速度波形 $s(t)$ をそれぞれ示す。ここで，波形 $a(t)$ が重力加速度 g ($\approx 9.8[\text{m/s}^2]$) となるように校正係数 $k[\text{mV/m/s}^2]$ を求めると， $1.00552[\text{mV/m/s}^2]$ となる。なおセンサ系のインパルス応答 $h(t)$ は，測定電圧波形 $a_m(t)$ が $g \cdot u(t)$ ($u(t)$ ：単位階段関数) に対するインディシャル応答に対応するので， $a_m(t)$ を，

$$\frac{a_m(t)}{g} = A(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

という指数関数に当てはめて，これを微分して求めた。このとき，運動物体の加速度に対する測定電圧波形を $a_m(t)$ とすれば，速度波形 $s(t)$ は，

$$s(t) = \frac{1}{k} \frac{1}{A} \frac{1}{\beta - \alpha} \left\{ a_m(t) + (\alpha + \beta) \int_0^t a_m(t') dt' + \alpha \beta \int_0^t (t - \tau) a_m(\tau) d\tau \right\}$$

から計算できる。図 3(b)は上式の計算波形と理論波形とがよく一致していることを示す。

* 名古屋工業大学大学院情報工学専攻
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken, 466-8555

図 1 加速度センサの外観と内部構造

Fig. 1. General view and internal structure of acceleration sensor

図 2 金属球の自由落下運動の実験測定系

Fig. 2. Measuring system of free-fall drop

図 3 加速度センサの自由落下による校正

Fig. 3. Calibrated acceleration rate and velocity of metal sphere using proposed method

3. 検証実験

実験配置図を図 4 に示す。図 5 に金属棒の接近速度の測定例を示す。図 6(a)は計算で推定した速度波形の平均速度 $\bar{s}$ と測定配置から概算した平均速度 $\bar{s}_m (= H/T_c)$ とを比較して示す。図 6(b)は $\bar{s}$ と金属棒が衝突した瞬間の速度 s_{col} との比較を示す。ここで、加速度センサは手背上に発泡スチロールを介して固定し、金属棒は SMA コネクタ中心電極に取り付けた円板電極に距離 $H=10, 20$ cm 離れた位置から接近させたときの電圧を各 10 回測定し、速度波形を計算した。図 6(a)から、平均速度の比較はよく一致していることがわかる。また、 $H=10$ cm では衝突した瞬間の速度は平均速度の概ね 2 倍近くあること、 $H=20$ [cm] では 2 倍以下でばらついていて、などがわかる。後者は、電極板が小さいため慎重に衝突させようとした結果と考える。

図 4 金属体接近運動の実験配置図

Fig. 4. Measuring system of approaching metal piece

図 5 金属体接近速度の測定例

Fig. 5. Measurement example of measurement approaching speed of metal piece

図 6 平均速度と衝突速度の評価

Fig. 6. Evaluation method of (a) average and (b) collision speeds

4. むすび

市販の加速度センサによる運動物体の時間領域測定法を提案し、手にもった金属棒の接近速度を測定することで提案法の妥当性を示した。今後の課題として、帯電人体がもつ金属棒の接近速度と放電特性との定量関係を明らかにすることがあげられる。

(平成 18 年 3 月 14 日受付)

文 献

- (1) Y. Taka, I. Mori, and O. Fujiwara : "Characteristic measurement for air discharge through hand-held metal piece from charged human-body", IEICE Technical Report, EMCJ2005-40, pp.109-114 (2005-06) (in Japanese)
高 義礼・森 育子・藤原 修:「帯電人体のもつ金属棒を介した気中放電の特性測定」, 信学技報, EMCJ2005-40, pp.109-114 (2005-06)