

## 小型ながら長周期・大振幅を測定できるデジタル制御による絶対変位センサの開発

### Development of Compact Absolute Displacement Sensor using Digital Control that is measurable Vibration Possessing Long Period and Large Amplitude

○石井大揮<sup>1</sup>, 小坂田真拡<sup>2</sup>, 原田功大<sup>2</sup>, 渡辺亭<sup>3</sup>, 背戸一登<sup>4</sup>

\*Taiki Ishii<sup>1</sup>, Mahiro Osakada<sup>2</sup>, Koudai Harada<sup>2</sup>, Toru Watanabe<sup>3</sup>, Kazuto Seto<sup>4</sup>

This paper proposes a new type of active seismometer in order to measure vibration with long period and wide dynamic range. In order to lower the natural frequency and expand the detectable amplitude, the sensor with the low natural frequency is realized by using feedback control. Besides, analog feedback controller consisted of resistors, capacitors and operational amplifiers possess disturbance dependency, while digital feedback controller consisted of computer and digital signal processor is disturbance independent. In this report, a digital feedback controller is developed to avoid disturbance dependency. It has been demonstrated that the detectable frequency range and the dynamic range of that is expanded.

#### 1. 緒言

高層ビルの固有振動数は概ね 0.1Hz, 周期は 5~6 秒の長周期の地震波により共振する. このような揺れを速やかに止めるには, ビルの内部減衰を高める方法が必要になる. その方法の一つにアクティブ制振法がある. しかし, この方法では, ビルの変位をセンサで検出する必要があるが, 1Hz 以下の長周期の揺れを測定することが難しい. そこで筆者らはフィードバック理論を用いて 1mm の可動範囲を持つ絶対変位センサで周波数 0.1Hz, 振幅 1m の揺れを測定可能な絶対変位センサの開発を目指す. 先行研究で用いていたセンサのアナログコントローラは, 外部の環境によって, 性能が変化する等の問題点があった. 本研究では, それらの問題を解決するため, 新たにデジタルコントローラを開発した.

#### 2. 提案する絶対変位センサ

センサヘッドとコントローラからなる絶対変位センサの基本構成を Figure 1 に示す.

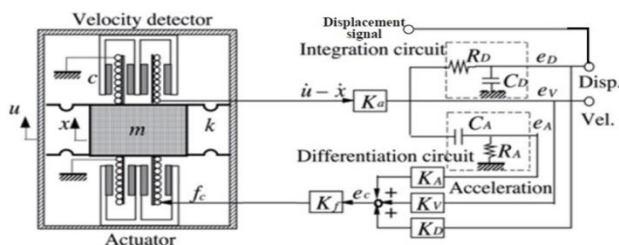


Figure 1. Structure of absolute displacement sensor

センサヘッド内は質量  $m$  を有する可動部とそれを一方向に可動できるようにバネ定数  $k$  のバネで支持されているバネ部からなるサイズモ型構造であり, 可動部

はアクチュエータによって駆動される. その動きは速度検出器によってセンサヘッドの変位  $u$  と可動部の変位  $x$  間の相対速度  $\dot{u} - \dot{x}$  に比例する相対速度信号電圧  $e_V$  として検出される. 可動部の動きに伴い減衰係数  $c$  を有する減衰力が発生する. 制御回路からの制御電圧  $e_C$  によってアクチュエータには制御力  $f_C$  が発生する. 制御回路内では相対速度信号電圧  $e_V$  を積分回路に通す事によって相対変位信号電圧  $e_D$ , 微分回路に通す事により, 相対加速度信号電圧  $e_A$  を発生させる. これら 3 つの相対信号に各々変位フィードバックゲイン  $K_D$ , 速度フィードバックゲイン  $K_V$ , 加速度フィードバックゲイン  $K_A$  を掛けて, 更に 3 つの信号を合成することにより制御信号  $e_C$  を得る. 制御力  $f_C$  は制御信号  $e_C$  に力係数  $K_f$  を掛けて作られる.

#### 3. デジタルコントローラ

デジタルコントローラを用いた絶対変位計の構成を Figure 2 に示す. 今回はコントローラとして national instruments 製のデジタルコントローラプラットフォームである NI my RIO を使用している. NI my RIO は安価な制御マイコンと I/O ポートを有する独立計測制御ユニットであり, デジタル制御が単機で実現できる.

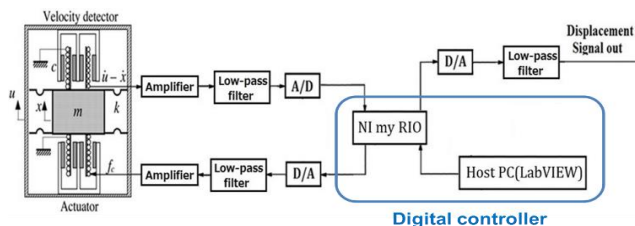


Figure 2. The schematic of proposed sensor with digital controller

このセンサはセンサヘッドとデジタルコントローラ、アナログ回路で設計された増幅器とローパスフィルタで構成されている。これはまず、センサヘッドの速度検出部で検出した相対速度信号をローパスフィルタでノイズを除去した後、アナログ信号からデジタル信号に変換している。その後、デジタルフィードバックコントローラで処理し、デジタル信号を再びアナログ信号に変換して増幅回路とローパスフィルタに通した後、センサヘッドのアクチュエータにフィードバックして制御力を発生させている。

また、デジタルコントローラで使用した Lab VIEW プログラムを Figure 3 に示す。

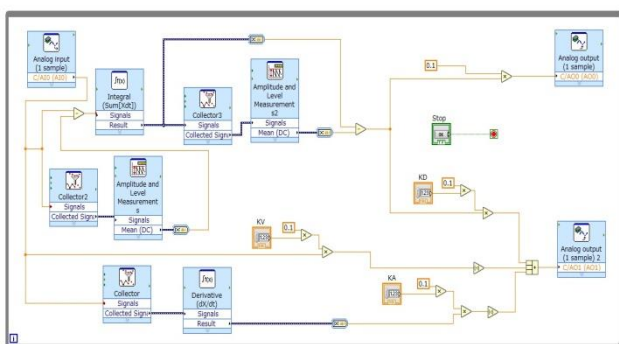


Figure 3. Lab VIEW program

#### 4. アナログコントローラによるセンサの周波数応答の測定結果

アナログコントローラを用いたセンサにおける非制御時のセンサの周波数応答と、全フィードバック制御を掛けた時の周波数応答の測定結果を Figure 4 に示す。Figure 4 に示すように、全フィードバック制御を掛けることにより、ゲインを 37dB 低下させ、可動範囲を 70.8 倍まで拡大させることができ、固有振動数を 0.45Hz にまで下げることができる。

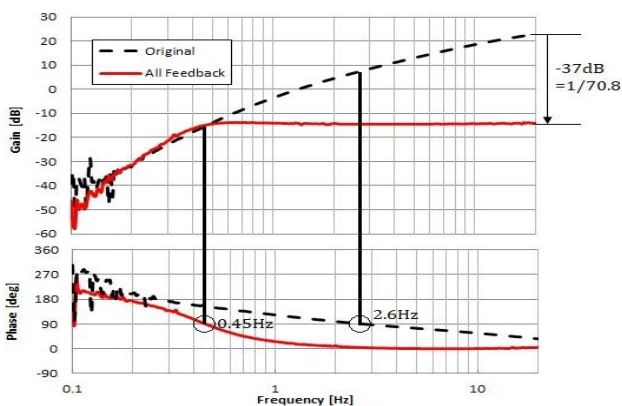


Figure 4. Measured frequency response of analog controller

#### 5. デジタルコントローラによるセンサの周波数応答の測定結果

デジタルコントローラを用いたセンサにおける非制御時のセンサの周波数応答と、全フィードバック制御を掛けた時の周波数応答の測定結果を Figure 5 に示す。Figure 5 に示すように、全フィードバック制御を掛けることにより、ゲインを 12dB 低下させ、可動範囲を 3.98 倍まで拡大させることができ、固有振動数を 1.4Hz にまで下げることができた。しかしながら、これ以上の性能向上は NI my RIO 自体の空間分解能が低いために不可能であった。

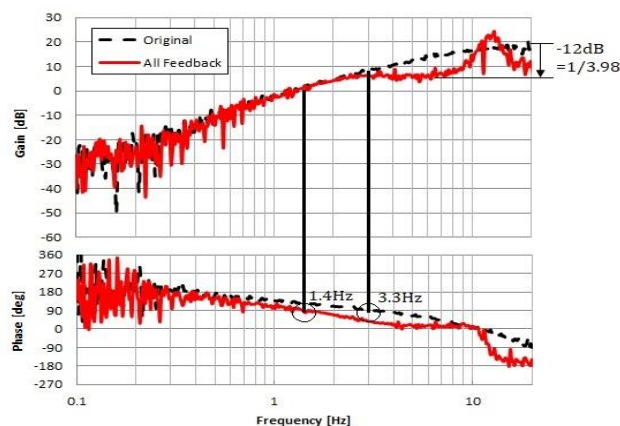


Figure 5. Measured frequency response of digital controller

#### 6. 結言

本研究では、アナログコントローラと同様にデジタルコントローラにおいても、センサの計測範囲を拡大させ、より長周期・大振幅の振動の計測が原理的に可能であることを確認できた。

#### 7. 今後の展望

プラットフォームをより高分解能なものに変更し、更なる性能向上を目指す。

#### 8. 参考文献

[1] 背戸 一登, 渡辺 亨:「フィードバック制御の基礎と応用」, コロナ社, (2013)  
 [2] 原田 功大, 渡辺 亨, 背戸 一登:「DEVELOPMENT OF A SMART VIBROMETER USING DIGITAL CONTROL TO EXPAND DYNAMIC RANGE」, 6<sup>th</sup> PACIFIC-ASIA CONFERENCE ON MECHANICAL ENGINEERING(6PACME), Integrated Research and Training Center, Technological University of the Philippines College of Science and Technology, Nihon University, Japan, pp60, (2017)