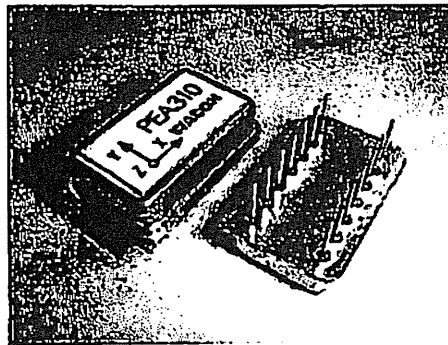


## 圧電型3軸加速度センサ (アンプ内蔵型)

### PEAシリーズ



ワコーが提供する PEA シリーズは、検出素子に圧電セラミックを使用した 3軸加速度センサです。センサに対してあらゆる方向から加えられた加速度  $A$  に対し、3軸方向の加速度成分 ( $A_x, A_y, A_z$ ) を出力します。

この信号から、加速度の大きさと方向を求めることができます。

センサの構造は1つの素子で同時に3軸方向の加速度を検出可能となるように工夫されております。そのため小型軽量で低価格なセンサが実現できました。

また、出力はオペアンプ出力ですので、取り扱いが大変容易です。

車両、ロボット、工作機械、ゲームなど幅広い分野にご利用頂けます。

#### 特徴

◆3軸加速度を同時に検出

加速度  $A$  の3軸方向の加速度成分 ( $A_x, A_y, A_z$ ) に分離して出力

◆小型軽量

1つの素子で3軸加速度が検出可能なため、小型軽量

◆広いダイナミックレンジ

0.5~500(PEA304)、1000(PEA320)、2000Hz(PEA350)の

周波数領域で安定に測定が可能

## 用途

### ◆車両

エア・バッグ・システム/振動計測・制御/シャシー・コントロール

### ◆ロボット・工作機械

異常振動検出/アーム制御

### ◆民生

歩数計/ゲーム用インプット・デバイス/地震計(感震計)/防犯用感振器 etc.

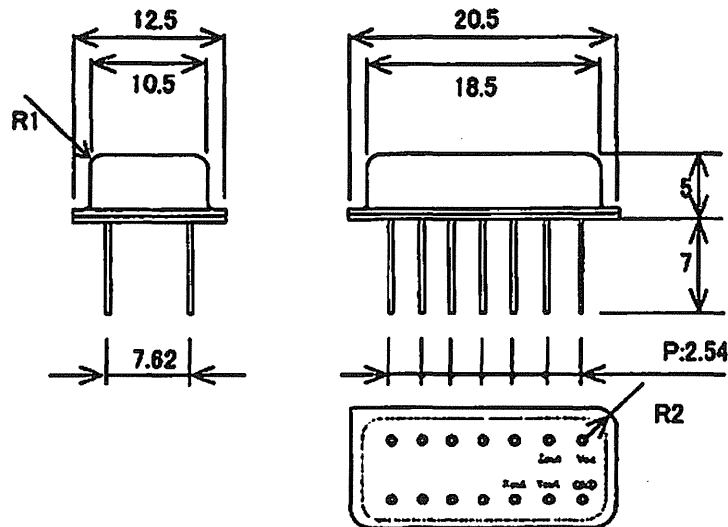
## ■主な仕様

<typical>

項目	製品名			単位
	PEA304	PEA320	PEA350	
検出軸	3軸(X,Y,Z)			
定格加速度	±4	±20	±50	G
検出感度	500	±100	40	mV/G
応答周波数	0.5~500	0.5~1000	0.5~2000	Hz
直線性	±2			%FS 以下
零点出力	2.5±0.2			V
他軸感度	5			%FS 以下
駆動電圧	5			V
消費電流	0.5			mA 以下
動作温度	-40~85			℃
保存温度	-40~100			℃
サイズ	20.5×12.5×5.0			mm

[注]仕様は断り無く変更することがあります。

## ■外形寸法 (mm)



株式会社ワコー 大宮工場  
〒330-0854 さいたま市大宮区榎木町4-241-2 第2山崎ビル8F  
TEL 048-641-8993 FAX048-641-8998

富山工場  
〒933-0919 富山県高岡市二塚322-5 高岡テクノドーム内203号室  
TEL0768-29-2370 FAX0768-29-2371

販売会社 株式会社ワコー販売  
〒101-0002 東京都千代田区船場本町3-9-15 ファロス日本ビル8F  
TEL 03-3881-2513 FAX 03-3881-2514

URL <http://www.wacoh.co.jp>

# BMA150

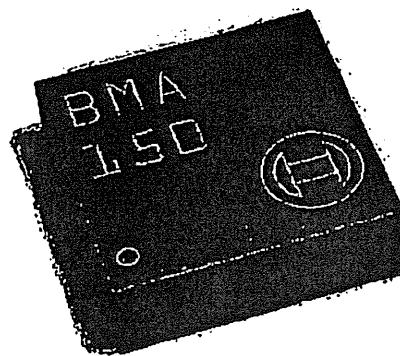
## Digital, triaxial acceleration sensor

### Data sheet

Bosch Sensortec



**BOSCH**  
Invented for life



#### **BMA150 Data sheet**

**Order code(s)** 0 273 141 028 (non-halogen-free) and 0 273 141 043 (halogen-free)


**Package type** 12-pin LGA

**Data sheet version** 1.5

**Release date** 29 May 2008

#### **Notes**

Specifications are subject to change without notice.  
Product photos and pictures are for illustration purposes only and may differ from the real product's appearance.

 <b>BOSCH</b>	<p style="text-align: center;">Data sheet <b>BMA150</b> Triaxial, digital acceleration sensor</p>	<p style="text-align: right;">Bosch Sensortec</p>
--	---	---

## BMA150

### Digital, triaxial $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ acceleration sensor

#### Key features

- Three-axis accelerometer
  - Temperature output
  - Small package
  - Digital interface
  - Programmable functionality
  - Ultra-low power ASIC
  - Eco-friendly
- LGA package**  
Footprint 3mm x 3mm, height 0.90mm  
SPI (4-wire, 3-wire), I<sup>2</sup>C, interrupt pin  
g-range  $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ , bandwidth 25-1500Hz, internal acceleration evaluation for interrupt trigger also enabling stand-alone capability (without use of microcontroller), self-test
- Low current consumption, short wake-up time, advanced features for system power management  
RoHS compliant, Lead(Pb)-free  
Halogen-free (part number 0 273 141 043 only)

#### Typical applications

- HDD protection
- Menu scrolling, tap sensing function
- Gaming
- Pedometer/step-counting
- Drop detection for warranty logging
- Display profile switching
- Advanced system power management for mobile applications
- Shock detection

#### General description


The BMA150 is a triaxial, low-g acceleration sensor IC with digital output for consumer market applications. It allows measurements of acceleration in perpendicular axes as well as absolute temperature measurement.

An evaluation circuitry converts the output of a three-channel micromechanical acceleration-sensing structure that works according to the differential capacitance principle.

Package and interface have been defined to match a multitude of hardware requirements. Since the sensor IC has small footprint and flat package it is attractive for mobile applications. The sensor IC can be programmed to optimize functionality, performance and power consumption in customer specific applications.

The BMA150 senses tilt, motion and shock vibration in cell phones, handhelds, computer peripherals, man-machine interfaces, virtual reality features and game controllers.

The BMA150 is the LGA package version of the SMB380 triaxial acceleration sensor which is available in a 3mm x 3mm x 0.9mm QFN package.

 <b>BOSCH</b>	Data sheet <b>BMA150</b> Triaxial, digital acceleration sensor	Bosch Sensortec
--	--	-----------------

## 1. Specification

If not stated otherwise, the given values are maximum values over lifetime and full performance temperature/voltage range in the normal operation mode.


**Table 1: Operating range, output signal and mechanical specifications of BMA150**

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Units
<b>OPERATING RANGE</b>						
Acceleration range	$\pm 2g$	Switchable via serial digital interface	-2		2	g
	$\pm 4g$		-4		4	g
	$\pm 8g$		-8		8	g
Supply voltage analogue	$V_{DD}$		2.4		3.6	V
Supply voltage for digital I/O	$V_{DDIO}$	$V_{DDIO} \leq V_{DD}$	1.62		3.6	V
Supply current in normal mode	$I_{DD}$	Digital and analog		200	290	$\mu A$
Supply current in stand-by mode *	$I_{DDsbm}$	Digital and analog		1	2	$\mu A$
Operating temperature	$T_A$		-40		+85	$^{\circ}C$
<b>ACCELERATION OUTPUT SIGNAL</b>						
Acceleration output resolution		Format: 2's complement			10	Bit
Sensitivity	$S_{2g}$	g-range $\pm 2g$	246	256	266	LSB/g
	$S_{4g}$	g-range $\pm 4g$	122 **	128	134 **	LSB/g
	$S_{8g}$	g-range $\pm 8g$	61 **	64	67 **	LSB/g
Zero-g offset	Off	$T_A = 25^{\circ}C$ , calibrated	-60		60	mg
Zero-g offset	Off	$T_A = 25^{\circ}C$ , over lifetime ***	-150		150	mg
Zero-g offset temperature drift		Over $T_A$		1		mg/K
Power supply rejection ratio	PSRR	Over $V_{DD}$			0.2	LSB/V

\* For more details on the BMA150's current consumption during wake-up mode, please refer to chapter 7.2 & 7.3

\*\* Values here are given as indications for reference only

\*\*\* The offset can deviate from the original calibration mainly due to stress effects during soldering depending on the soldering process. For many applications it is beneficial to re-calibrate the offset after PCB assembly (see application note ANA016 "In-line offset re-calibration").

 <b>BOSCH</b>	Data sheet <b>BMA150</b> Triaxial, digital acceleration sensor	Bosch Sensortec
--	--	-----------------

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Units
Bandwidth	bw	2 <sup>nd</sup> order analog filter		1500		Hz
		Digital filter *		25, 50, 100, 190, 375, 750		Hz
Acceleration data refresh rate (all axes)	f_rate		2700	3000	3300	Hz
Nonlinearity	NL	Best fit straight line	-0.5		0.5	%FS
Output noise	n <sub>rms</sub>	Rms		0.5		mg/√Hz
<b>TEMPERATURE SENSOR IC</b>						
Sensitivity	S <sub>T</sub>	Preliminary data	0.475	0.5	0.525	K/LSB
Temperature measurement range	T <sub>S</sub>		-30		97.5	°C
Temperature offset	Off <sub>T</sub>	Calibrated at 30°C		1		K
<b>MECHANICAL CHARACTERISTICS</b>						
Cross axis sensitivity	$\bar{S}$	Relative contribution between 3 axes			2	%
<b>POWERING UP CHARACTERISTICS</b>						
Wake-up time	t <sub>wu</sub>	From stand-by		1	1.5	ms
Start-up time	t <sub>su</sub>	From power-off		3		ms

\* Please refer to chapter 3.1.3 for more detailed explanations

# BMA220

## Digital, triaxial acceleration sensor

Bosch Sensortec



**BOSCH**  
Invented for life

### General description

The BMA220 is an ultra small triaxial, low-g acceleration sensor with digital interfaces, aiming for low-power consumer market applications.

The BMA220 allows measurement of accelerations in 3 perpendicular axes and thus senses tilt, motion, shock and vibration in cell phones, handhelds, computer peripherals, man-machine interfaces, virtual reality features and game controllers.

### BMA220 target applications

- ▶ Display profile switching (e.g. portrait/landscape)
- ▶ Tap sensing function
- ▶ Menu scrolling
- ▶ Gaming
- ▶ Advanced power management for mobile devices
- ▶ Shock detection

### Sensor operation

With its size of only 2 mm x 2 mm the BMA220 represents a new generation of digital acceleration sensors. The BMA220 integrates a multitude of features that facilitates its use especially in the area of motion detection applications, such as device orientation detection, gaming, HMI and menu browser control.

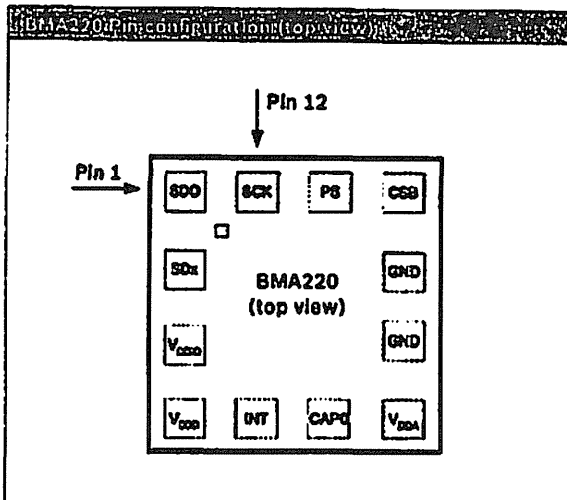
### Key features BMA220

- ▶ User programmable g-range and bandwidth
- ▶ Low-power consumption
- ▶ SPI (3-wire/4-wire) and I<sup>2</sup>C interface
- ▶ User programmable interrupt engine
- ▶ Ultra-low-power auto-wake-up mode
- ▶ Self-test capability
- ▶ Ultra small package
- ▶ RoHS compliant, halogen-free

The BMA220 is highly configurable in order to give the designer full flexibility when integrating the sensor into his system. All features can be set by software via the digital interface. This implies also that even once a hardware platform with the BMA220 exists, it can be modified by software in order to expand the capabilities and use cases.

As already introduced with the successful BMA150 and SMB380 digital acceleration sensors, also for the BMA220 the g-ranges, bandwidths and interrupt parameters can be user programmed via the serial digital interface. Here the user can choose between I<sup>2</sup>C and SPI (3-wire/4-wire) interface modes.

Technical data	BMA220
preliminary	
Sensitivity axes	x/y/z
Measurement range	±2g, ±4g, ±8g, ±16g (switchable via SPI/I <sup>2</sup> C)
Sensitivity (calibrated)	2g: 16LSB/g 4g: 8LSB/g 8g: 4LSB/g 16g: 2LSB/g
Resolution	6bit ⇔ 62.5mg (±2g range)
Nonlinearity	±2% FS
Zero-g offset	±100mg
Bandwidth	1kHz ... 32Hz (switchable via SPI/I <sup>2</sup> C)
Digital input/output	SPI & I <sup>2</sup> C, interrupt pin
Supply voltage	1.8V
I/O supply voltage	1.62V ... 3.6V
Temperature range	-20°C ... +70°C
LGA package	2mm x 2mm x 0.98mm



Pin No.	Name	Function
1	SDO	SPI serial data output
2	SDx	I <sup>2</sup> C/SPI serial data in/out (SDI, SDA, SDO)
3	V <sub>DDIO</sub>	I/O supply voltage (1.62...3.6V)
4	V <sub>DD</sub>	Digital supply voltage (1.8V)
5	INT	Interrupt output
6	DNC	Do not connect!
7	V <sub>DDA</sub>	Analog supply voltage(1.8V)
8	GND	Shared ground
9	GND	Shared ground
10	CSB	SPI chip select
11	PS	I <sup>2</sup> C/SPI select pin
12	SCK	SCL (I <sup>2</sup> C serial clock) SCK (SPI serial clock)

One of the key elements of the BMA220 is the intelligent interrupt engine that gives the hard- and software designer full control. Various motion detection scenarios can be identified by the BMA220 and signaled to the system via a simple interrupt pin.

By using the digital serial interface, the exact details of the motion event that triggered the interrupt can be read-out.

Following motion detection use case scenarios are supported by the interrupt engine:

- ▶ Any-motion (slope) detection
- ▶ Tap sensing
- ▶ Orientation change recognition
- ▶ Low-g/high-g detection
- ▶ Data-ready
- ▶ Self-wake-up

The interrupts can be conveniently configured by the user and thus perfectly support the integration of the BMA220 into the user's system environment.

Another important feature of the BMA220 acceleration sensor is the power management module. This module allows for optimizing the sensor's power consumption in-line with the specific user requirements. Thus, it is not necessary to operate the sensor at full power for all application scenarios all the time. For some use cases the power consumption drastically shrinks to just a fraction of what would be required in full performance mode.

Moreover this feature of the BMA220 allows for an intelligent system power management and thus significant reduction of the whole system's power consumption. In particular, this helps increasing battery life-time of any kind of mobile device.

In the unique "dedicated I/O" modes the BMA220 can be operated as a stand-alone device without requiring a  $\mu$ Controller.

**Headquarters**  
**Bosch Sensortec GmbH**

Gerhard-Kindler-Strasse 8  
72770 Reutlingen · Germany  
Telephone +49 7121 3535 900  
Fax +49 7121 3535 909  
contact@bosch-sensortec.com  
www.bosch-sensortec.com



研究分担者 石松一真 独立行政法人労働安全衛生総合研究所 研究員

研究要旨：本研究では、国内外でいまだ開発がなされていない、作業現場において容易に工具振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)が測定できる安価な機器を3年間で研究開発する事が目的である。この分担研究では、国内外のJIS B 7761-1の規格に準拠した国内外で市販されている手腕振動計測器の調査及び手腕振動実現の為の計測ソフトの検討に関する研究を行った。国内外メーカーから市販されている手腕振動測定装置にも2種類のもので考えられていることが明らかになった。手腕振動計測装置の価格は100万円前後の非常に高価な機器であることが明らかになった。また、汎用計測装置に至っては、数百万円の高額であることも明らかになった。振動工具管理責任者が、毎日、作業の前後に手持振動工具の振動工具の振動値の管理には、現在市販されている手腕振動計測装置では、高価で容易に使用することが出来ない事が明らかになった。今回の調査から、今回の研究テーマである作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究の必要性を明らかにする事が出来た。手腕振動計測装置の基本システムを駆動するための計測ソフトの基本的な考え方を明らかにすることができた。

#### A. 研究目的

本研究の目的は、作業現場において容易に工具振動の大きさを測定できる安価な機器の開発である。平成21年7月10日に厚生労働省より発出された振動の新指針では、振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)及び振動のばく露時間で規定される1日8時間の等価振動加速度実効値である日振動ばく露量 $A(8)$ の考え方を取り入れ、日振動ばく露限界値及び日振動ばく露対策値に基づく作業管理等を推進しているが、海外においては、振動リスクを、実作業の観察、振動の予想される大きさに関する情報、振動の大きさの測定によって評価するとされている。また、振動の大きさは、点検・整備、作業の状況によって変化すると考えられることから、作業現場においての工具の振動計測が必要である。この計測には、現在市販されている人体振動計などでも可能であるが、市販されてきている人体振動計の価格は100万円前後の非常に高価な機器である。このような現状から、事業者に対し一律に振動測定を求めるのは

困難な状況である。

本研究では、国内外でいまだ開発がなされていない、作業現場において容易に工具振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)が測定できる安価な機器を3年間で研究開発する事が目的である。

この分担研究では、国内外のJIS B 7761-1の規格に準拠した国内外で市販されている手腕振動計測器の調査及び手腕振動実現の為の計測ソフトの検討に関する研究を行った。

#### B. 研究方法

平成22年度は、インターネットを用いて国内外で市販されているJIS B 7761-1準拠の手腕系計測器の調査を行うとともに、手腕振動計測装置の基本システムを駆動するための計測ソフトの検討に関する下記の研究を実施することにした。

1. 国内外で市販されているJIS B 7761-1 (ISO 8041)に準拠した手腕振動計測装置の調査
2. 手腕振動計測装置の基本ソフトの調査

## C. 研究結果 及び D. 考察

### 1. 国内外で市販されているJIS B 7761-1 (ISO 8041)に準拠した手腕振動計測装置の調査

JIS B 7761-1:2004 (ISO8041:2005)の装置は、対象周波数範囲が8Hzから1000Hzで、手腕振動の周波数補正曲線の周波数補正ができ、手持振動工具のハンドルから入る振動を3軸方向(X, Y, Z)同時に周波数補正振動加速度実効値が測定出来るような装置である。国内外で一般的に市販されている装置を調査した。その結果、**図1**に示すような装置が市販されていることが明らかになった。

これらの測定器内部では、手に伝達する振動を工具のハンドルに取り付けた加速度計で測定した振動加速度信号を、アンチエイリアジングフィルター通過後、A/D変換器によりアナログ信号をデジタル信号に変換して、コンピュータ上で周波数補正振動加速度実効値を求めることが出来るようになってきている。この測定器で測定できる工具の振動の大きさ、すなわち、振動量は、人の特性を考慮した周波数補正振動加速度実効値(m/s<sup>2</sup>r. m. s.)を測定することができる。ここでの周波数補正振動加速度実効値は、次式で表わされる。

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 $a_w(t)$ は手腕振動の周波数補正を行った振動加速度の瞬時値(ms<sup>-2</sup>)である。

そして、これらの装置では、X, Y, Z軸方向の振動を同時に測定し、3軸方向のそれぞれの値( $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$ ,  $a_{hw_z}$ )から $a_{hw}$ (the root-sum-of-squares of the three component values)が式(2)から求めることが出来るようになってきている。

$$a_{hw} = (a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2)^{1/2} \quad (2)$$

国内外メーカーから市販されている手腕振動測定装置にも2種類のものが考えられている。**図1**の上段と中段に示すように、単にJIS B 7761-1 (ISO5349-1)に準拠した形で周波数補正振動加速度実効値を求めることを目的にした簡易計測器と、**図1**の下段に示すように、測定時の工具振動加速度の時間波形を記憶し、周波数補正振動加速度実効値以外に、周波数分析などを行うことが出来る汎用計測器の2種類が販売されてきている事が明らかになった。

また、**図1**の上段と中段に示されている市販されてきている手腕振動計測装置の価格は100万円前後の非常に高価な機器であることも明らかになった。**図1**の下段の汎用計測装置に至っては、数百万円の金額であることも明らかになった。

したがって、振動工具管理責任者が、毎日、作業の前後に手持振動工具の振動工具の振動値の管理には、**図1**のような現在市販されている手腕振動計測装置では、高価で容易に使用することが出来ない事が明らかになった。

今回の調査から、今回の研究テーマである作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究の必要性を明らかにする事が出来た。

### 1. 手腕振動計測装置の基本ソフトの調査

ISO8041の装置は、対象周波数範囲が8Hzから1000Hzで、**図2**に示すような手腕振動の周波数補正曲線の周波数補正ができ、手持振動工具のハンドルから入る振動を3軸(X, Y, Z)同時に周波数補正振動加速度実効値が測定出来るような**図3**に示す装置が考案されている。この測定器内部では、**図4**に示すように、手に伝達する振動を工具のハンドルに取り付けた加速度計で測定した振動加速度信号を、アンチエイリアジングフィルター通過後、A/D変換器によりアナログ信号をデジタル信号に変換して、コンピュータ上で周波数補正振動加速度実効値を求めることが出来る。この測定器で測定できる工

具の振動の大きさ、すなわち、振動量は、人の特性を考慮した周波数補正振動加速度実効値 ( $m/s^2 r.m.s.$ ) を測定することが出来る。ここでの周波数補正振動加速度実効値は、式(1)で表わされる。

そして、この装置では、X, Y, Z 軸同時に測定し、3 軸のそれぞれの値 ( $a_{hrx}, a_{hry}, a_{hrz}$ ) から  $a_{hrs}$  (the root-sum-of-squares of the three component values) が式 (2) から求めることが出来るようになってきていることが明らかになった。

ISO8041 や ISO5349-1 で述べられている振動計測評価の方法に準拠した形で振動を計測できる計測器の考え方が国際的に統一されてきている。ISO8041 や ISO5349-1 での振動計測は、JISC1511 の手持工具振動レベル計のように、メータでレベルを読み取ったり、レベルレコーダに記録を取り、後で値を読み取るものではなく、図 4 に示すように、振動加速度計からの振動出力を、コンピュータに任意の測定時間取り込み、演算機能によって、周波数補正曲線の定義式に従って周波数補正を行い、周波数補正振動加速度実効値を演算によって求めることが主流である。

振動を 1 軸計測する基本システムは、図 3 に示すような、振動加速度計、前置増幅器、アンチエイリアジングフィルタ、A/D 変換器、コンピュータで構成される。ただし、測定対象や周波数範囲によって、振動加速度計やアンチエイリアジングフィルタ、A/D 変換器の能力を考えなければならない。このようなシステムで取り込まれた振動データから、周波数補正後の周波数補正振動加速度実効値を求めるためには、取り込んだ振動データを、コンピュータ内部で処理出来るソフトを開発しなければならない。ソフトの基本的な考え方を Matlab でコーディングしたソフトの例を図 5 に示す。この図 5 の周波数補正曲線のゲインを求める式を示す。

a) 周波数帯域制限 (Band-limiting)  
ハイパス

$$H_h(p) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2}\omega_1}{p} + \left(\frac{\omega_1}{p}\right)^2}$$

ローパス

$$H_l(p) = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{2}p}{\omega_2} + \left(\frac{p}{\omega_2}\right)^2}$$

b) 加速度・速度変換特性  
(Acceleration-velocity transition)

$$H_i(p) = \frac{1 + \frac{p}{\omega_3}}{1 + \frac{p}{Q_4\omega_4} + \left(\frac{p}{\omega_4}\right)^2}$$

W. B combined の場合は、

$$H_i(p) = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{f^2}{f_4^2}}}$$

c) 増加ステップ特性 (Upward step)

$$H_s(p) = \frac{1 + \frac{p}{Q_5 \omega_5} + \left(\frac{p}{\omega_5}\right)^2}{1 + \frac{p}{Q_6 \omega_6} + \left(\frac{p}{\omega_6}\right)^2} \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2$$

これらの式において、 $H_0$  は、ハイパスフィルタ伝達関数、 $H_1$  は、ローパスフィルタ伝達関数、 $H_2$  は、加速度-速度変換伝達特性、 $H_3$  は、段階増加特性伝達関数、 $p=j\omega$ 、 $\omega_n=2\pi f_n$  ( $n=1\sim6$ ) である。また、これらの式の各パラメータの値は、改定作業中の ISO8041 による。総合周波数補正伝達関数は、次式によって求めることができる。

$$H(p) = H_0(p) \cdot H_1(p) \cdot H_2(p) \cdot H_3(p)$$

A/D 変換器で取り込んだデータは時系列データであるため、ここでは時間軸上で周波数補正振動加速度実効値を求めるためには、信号処理で考えられているデジタルフィルタリング処理、すなわち、図4に示したように、取り込んだ振動データと総合周波数補正伝達関数で求めたゲインとの畳み込み積分を行わなければならない。この畳み込み積分のためには、ゲインを逆フーリエ変換してインパルス応答を求めなければならない。その畳み込み積分後のデータから周波数補正振動加速度実効値を求めることが可能である。この1連の流れを図6に示す。図6のデジタルデータから周波数補正振動加速度実効値は次式により求めることができる。

$$a_{rms} = [1/n(\sum x_i^2)]^{1/2}$$

ここで、 $x_i$  は周波数補正振動加速度のサンプルされたデータ、 $n$  はサンプリング個数、 $a_{rms}$  は、周波数補正振動加速度実効値である。

図3は1軸測定の場合であるが、多軸で振動計

測を同時に行う場合には、振動加速度計、前置増幅器、アンチエイリアジングフィルタ、A/D 変換器などを、測定軸数に応じて増設しなければならない。また、軸によって周波数補正曲線のゲインが異なっている場合は、軸に対してのゲイン及びインパルス応答を計算して記憶しておく必要がある。このような考え方を備えた図1に示した手腕振動測定装置が、国内外メーカーからは販売されてきている事があきらかになった。

## E. 結論

平成22年度は、インターネットを用いて国内外で市販されている JIS B 7761-1 (ISO 8041) 準拠の手腕系計測器の調査を行うとともに、手腕振動計測装置の基本システムを駆動するための計測ソフトの検討に関する研究を実施し、下記の結論を得た。

1. 国内外メーカーから市販されている手腕振動測定装置にも2種類のものが考えられていることが明らかになった。
2. 手腕振動計測装置の価格は100万円前後の非常に高価な機器であることが明らかになった。また、汎用計測装置に至っては、数百万円の金額であることも明らかになった。
3. 振動工具管理責任者が、毎日、作業の前後に手持振動工具の振動工具の振動値の管理には、現在市販されている手腕振動計測装置では、高価で容易に使用することが出来ない事が明らかになった。
4. 今回の調査から、今回の研究テーマである作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究の必要性を明らかにする事が出来た。
5. 手腕振動計測装置の基本システムを駆動するための計測ソフトの基本的な考え方を明らかにすることができた。

**F. 健康危険情報**

特になし。

**G. 研究発表**

**1. 論文発表 なし**

**2. 学会発表**

Seiichi FujimotoI, Shigenobu Yoshida,  
Kazuya Shimizu, Kazuhisa Miyashita, Kazuma  
Ishimatsu, Setsuo Maeda: Development of  
hand-arm vibration measurement device,  
Proceedings of the 18th Japan Conference on  
Human Response to Vibration (JCHRV2010),  
TEAC CORPORATION, Tokyo, Japan, August 4 -  
6, 2010, pp.13-20.

**G. 知的財産権の出願・登録状況**

(予定を含む)

特になし。



図1 市販されている手腕振動計測器

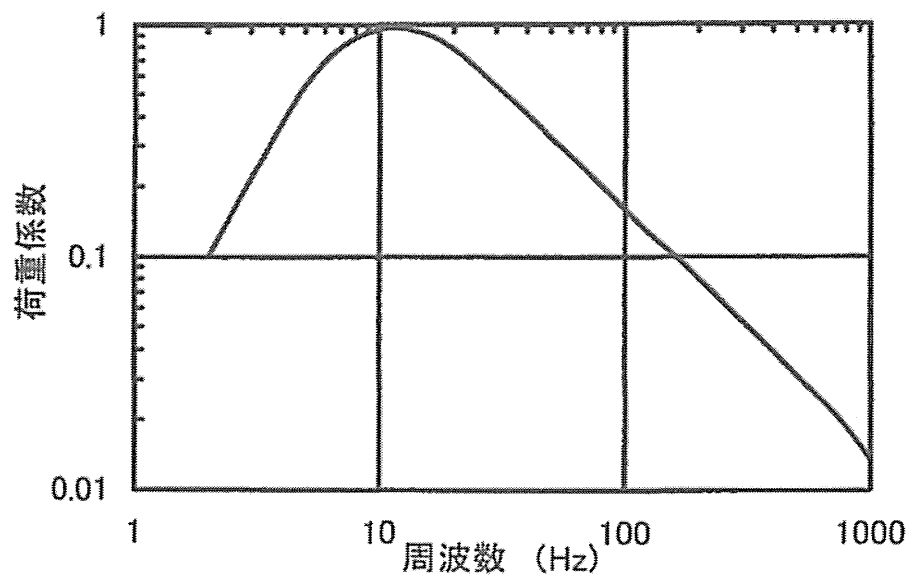


図2 JIS B 7761-1(ISO 8041, ISO5349-1)の周波数補正曲線

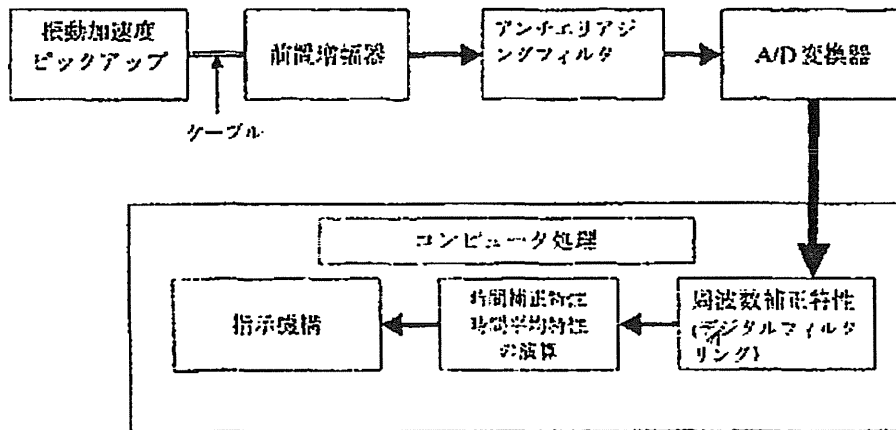


図3 手持振動測定装置の概念図

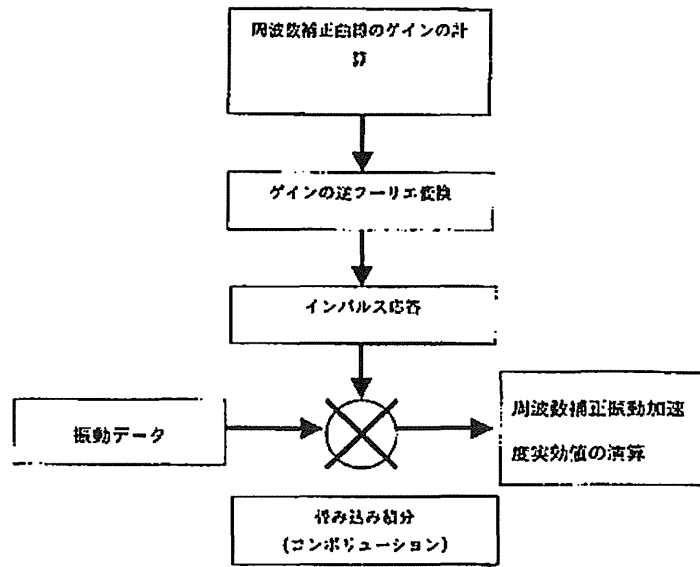


図4 時間領域での周波数補正法(コンボリューション)の考え方



```

function y = isoFILM(x,fs)
% ISOFILM
% Filter ISO 8041 Wk, whole body, vertical direction
%   y = isoFILM(x,fs);
%   y output signal vector, acceleration
%   x input signal vector, acceleration
%   fs sampling frequency Hz
%   bilinear transformation algorithm is used

f1 = 0.4;
f2 = 100;
f3 = 12.5;
f4 = 12.5;
Q1 = 0.63;
Q5 = 2.37;
Q3 = 0.91;
f6 = 3.35;
Q4 = 0.91;

w3 = 2*pi*f3;
w4 = 2*pi*f4;
w5 = 2*pi*f5;
w6 = 2*pi*f6;

nyq = fs/2; % Nyquist frequency

% hard limiting high pass and low pass
%
[b1,a1] = butter(2,21/nyq,'high'); % High pass
[b2,a2] = butter(2,12/nyq); % Low pass

% any transition
%
B1 = [1/w3 1];
A1 = [1/w4/w6 1/Q4/w4 1];
[b3,a3] = bilinear(B1,A1,fs);

% upward step
%
B4 = [1/w5/w5 1/Q5/w5 1]*w3*w5/w6/w6;
A4 = [1/w6/w6 1/Q6/w6 1];
[b4,a4] = bilinear(B4,A4,fs);

% Apply filter to input signal vector x (output to signal vector y)
%
y = filter(b2,a2,x);
y = filter(b1,a1,y);
y = filter(b3,a3,y);
y = filter(b4,a4,y);

```

Figure C.1 — Example code for applying the frequency weighting  $W_k$  to a time signal

図5 MATLABによる周波数補正計算の例

資料 半導体振動加速度センサーを取り付けるための振動計測アダプターの調査  
および現場での使用性に関する研究

研究分担者 宮下和久 和歌山県立医科大学医学部 教授

研究要旨：本研究では、国内外でいまだ開発がなされていない、作業現場において容易に工具振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)が測定できる安価な機器を3年間で研究開発する事が目的である。この分担研究では、ISOやJIS規格等で考えられてきているセンサーを取り付けるためのアダプターの調査を行うとともに、現場でのアダプターの仕様性検討に関する研究を行った。インターネットやメーカーのカタログ等を調べた結果、図5に示すようなアダプターが市販されていることを明らかにした。JISB 7761-2による加速度ピックアップを取り付ける方法が考えられてきているが、加速度ピックアップの取り付けの容易さや、振動工具管理責任者の計測の容易性等に関しての検討はこれまで行われていなかった。「作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究」で開発を考えている手腕振動計測装置のセンサーアダプターとしては、図5の①か②のアダプターが、振動工具管理責任者が作業の前後に工具の振動値計測を実施する時に、使用性がいいことを明らかにすることができた。

#### A. 研究目的

本研究の目的は、作業現場において容易に工具振動の大きさを測定できる安価な機器の開発である。平成21年7月10日に厚生労働省より発出された振動の新指針では、振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)及び振動のばく露時間で規定される1日8時間の等価振動加速度実効値である日振動ばく露量A(8)の考え方を取り入れ、日振動ばく露限界値及び日振動ばく露対策値に基づく作業管理等を推進しているが、海外においては、振動リスクを、実作業の観察、振動の予想される大きさに関する情報、振動の大きさの測定によって評価するとされている。また、振動の大きさは、点検・整備、作業の状況によって変化すると考えられることから、作業現場においての工具の振動計測が必要である。この計測には、現在市販されている人体振動計などでも可能であるが、市販されてきている人体振動計の価格は100万円前後の非常に高価な機器である。

このような現状から、事業者に対し一律に振動測定を求めるのは困難な状況である。

本研究では、国内外でいまだ開発がなされていない、作業現場において容易に工具振動の大きさ(周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値)が測定できる安価な機器を3年間で研究開発する事が目的である。

この分担研究では、ISOやJIS規格等で考えられてきているセンサーを取り付けるためのアダプターの調査を行うとともに、現場でのアダプターの仕様性検討に関する研究を行った。

#### B. 研究方法

平成22年度は、インターネットを用いて国内外で市販されているJIS B 7761-2準拠の手腕振動計測時に使用される加速度センサーを取り付けるアダプターの調査を行うとともに、実際の振動工具を使用する現場でのアダプターの使用性を調査するために下記の研究を実施す

ることとした。

1. JIS B 7761-2に準拠した手腕振動計測用アダプターの調査

2. 振動アダプターの使用性の調査

## C. 研究結果 及び D. 考察

1. JIS B 7761-2に準拠した手腕振動計測用アダプターの調査

図1には、JIS B 7761-2で示されている加速度計の取り付けの例を示す。図2には、実際に工具に直交3軸方向の振動加速度計を取り付けた例を示す。

実機の測定においては、同じ振動工具でも加速度センサの取り付け方や測定位置など、測定方法が異なると同じ値は得られませんので注意が必要です。振動加速度センサは工具やハンドルなど振動体に比べ軽量（5%以下）で、ハンドルにしっかり取り付けるのが一般的です。しかし、打撃工具のように振動加速センサに衝撃が与えられる場合には、工具と振動加速センサ間にメカニカルフィルターを使うよう記述されています。また、ハンドルを覆っているゴムやフォームなどの弾性体は正確な振動測定の障害となるので、除去するかセンサを堅く固定するとしています。フォームが厚く振動低減効果があるときはフォームの上からアダプタを用いる方法も記述されていますが、共振して振動が大きくなることもあるので注意を要します。加速度ピックアップのハンドルへの取り付け位置としては、図3に示されるような方法がJIS B 7761-2で規定されています。

このように、図1のどれかの加速度計の取り付け方法を用いて、図3の取り付け位置を決定し、図4に示すような市販の人体振動測定装置を用いることにより、手持振動工具のハンドルでの振動を計測することが可能になると考えられてきている。

インターネットやメーカーのカタログ等を調べた結果、図5に示すようなアダプターが市販されていることを明らかにした。

2. 振動アダプターの使用性の現場調査

図1に示したJISB 7761-2による加速度ピックアップを取り付ける方法が考えられてきているが、加速度ピックアップの取り付けの容易さや、振動工具管理責任者の計測の容易性等についての検討はこれまで行われていなかった。

例えば、図1の上段や中段に示される方法では、現場での振動工具管理責任者が容易に手持振動工具のハンドルにピックアップを取り付けることは困難であると考えられる。また、図1の下段で考えられているピックアップを取り付けるアダプターを使用する方法もいくつか考えられてきているが、どのアダプターによる方法が振動送付管理責任者にとって使用しやすいアダプターであるかは明らかになっていない。

そこで、この分担研究では、図5に示した3種類のアダプターの使用性について、図6に示すような現場にて調査した。

工具のハンドルの形状が工具により異なっていることから、ハンドルにフィットし、どのようなハンドル形状や、また、作業者が防振手袋等を使用している場合でも、測定者が使用しやすいアダプターは、図5の中の①「簡単な手持ち式アダプタ」であることが明らかになった。図5の③成型による手持ち式アダプタは、加速度計からの振動を計測器に伝送するケーブルがアダプタのセンターにある事により、手袋をはめた状況でのアダプターを握る事が困難である事が明らかになった。また、②のアダプターは、③のアダプターよりも使用性は良かったが、①のアダプターよりも使用性は良くないように思われた。ただ、手持ち振動工具を握るハンドル部分の長さが短い場合には、①よりも②のアダプターの方

が使用性が良いように思われた。

したがって、今回の全体の研究テーマである「作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究」で開発を考えている手腕振動計測装置のセンサーアダプターとしては、図5の①か②のアダプターが、振動工具管理責任者が作業の前後に工具の振動値計測を実施する時に、使用性がいいことを明らかにした。

#### E. 結論

この分担研究では、ISOやJIS規格等で考えられてきているセンサーを取り付けるためのアダプターの調査を行うとともに、現場でのアダプターの仕様性検討に関する研究を行い、次の事を明らかにすることが出来た。

1. インターネットやメーカーのカタログ等を調べた結果、図5に示すようなアダプターが市販されていることを明らかにした。
2. JISB 7761-2 による加速度ピックアップを取り付ける方法が考えられてきているが、加速度ピックアップの取り付けの容易さや、振動工具管理責任者の計測の容易性等に関しての検討はこれまで行われていなかった。  
「作業現場において容易に振動の大きさを測定できる機器の開発に関する研究」で開発を考えている手腕振動計測装置のセンサーアダプターとしては、図5の①か②のアダプターが、振動工具管理責任者が作業の前後に工具の振動値計測を実施する時に、使用性がいいことを明らかにすることができた。

#### F. 健康危険情報

特になし。

#### G. 研究発表

1. 論文発表 なし

#### 2. 学会発表

Seiichi Fujimoto<sup>1</sup>, Shigenobu Yoshida, Kazuya Shimizu, Kazuhisa Miyashita, Kazuma Ishimatsu, Setsuo Maeda: Development of hand-arm vibration measurement device, Proceedings of the 18th Japan Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2010), TEAC CORPORATION, Tokyo, Japan, August 4 - 6, 2010, pp. 13-20.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

特になし。