

201233003B

厚生労働科学研究費補助金  
労働安全衛生総合研究事業

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

平成22～24年度 総合研究報告書

研究代表者 前田 節雄

平成25（2013）年5月

## 目 次

### I. 総合研究報告

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

前田節雄

----- 1

(資料) 国内外の半導体振動加速度センサーの調査および手腕振動計測装置の基本システムの検討に関する研究 -----11

前田節雄

添付資料：国内外の半導体加速度センサーの仕様書

(資料) JIS B 7761-1の規格に準拠した国内外の計測器および計測ソフトの調査に関する研究 ----- 47

石松一真

(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 -----56

宮下和久

(資料) 平成 22 年度の調査に基づいた機器の開発（協力企業とともに） -----64

前田節雄

添付資料 1：手腕振動測定装置一次試作資料

添付資料 2：手腕振動測定装置二次試作資料

添付資料 3：センサー&アダプターの仕様

添付資料 4：二次試作後の操作画面の検討資料

添付資料 5：操作性改良の資料

(資料) 開発機器と市販人体振動計との比較のための市販人体振動計の調査

----- 105

石松一真

添付資料 1：市販手腕振動測定装置の仕様

(資料) 開発機器と市販人体振動計の比較検討	-----132
------------------------	----------

宮下和久

(資料) 平成23年度の調査に基づいた機器の開発（協力企業とともに）及び開発機器と市販人体振動計の比較検討	-----136
---	----------

前田節雄

添付資料1：手腕振動測定装置三次試作資料

添付資料2：手腕振動測定装置四次試作資料

添付資料3：センサーの仕様検討資料

添付資料4：アダプターの仕様検討資料

添付資料5：工業技術研究所での試験結果

添付資料6：フィールドテスト結果にもとづく改良案検討資料

(資料) 点検整備が簡単にできる装置であるかどうかと、実現場での作業員自身が振動管理が容易になる装置であるかの検討	-----185
---	----------

宮下和久

添付資料1：今回の開発機器の取扱説明資料

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	----- 197
---------------------	-----------

IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----203
-----------------	----------

# I . 総合研究報告

## 厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）

### 総合研究報告書

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

研究代表者 前田節雄 近畿大学総合社会学部 教授

研究要旨：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)の考え方に基づく作業管理等を推進している。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、振動工具を有する事業場においては、「振動工具管理責任者」を選任し、振動工具の点検・整備状況を定期的に確認するとともに、その状況を記録することになっている。この定期的な確認には、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で操作も複雑な機器である。このような現状から、事業者および振動工具管理責任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。

#### 分担研究者

平成22年度

石松一真（独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究員）

宮下和久（和歌山県立医科大学医学部教授）

平成23年度

石松一真（滋慶医療科学大学院大学准教授）

宮下和久（和歌山県立医科大学医学部教授）

平成24年度

宮下和久（和歌山県立医科大学医学部教授）

#### A. 研究目的

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)の考え方に基づく作業管理等を推

進している。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、振動工具を有する事業場においては、「振動工具管理責任者」を選任し、振動工具の点検・整備状況を定期的に確認するとともに、その状況を記録することになっている。この定期的な確認には、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で操作も複雑な機器である。このような現状から、事業者および振動工具管理責任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。

## B. 研究方法

平成22年度には次の研究を実施した。

- ① インターネットを用いて国内外の振動加速度センサーの調査を行い、最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した計測が可能であるかの確認を行いながら手腕振動計測装置の基本システムの構築に関する研究を実施することにした。
- ② 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。
- ③ 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。

平成23年度には次の研究を実施した。

① 平成22年度に実施した研究に基づいた最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した手腕振動計測装置の基本システムの構築に関する研究を実施した。

② 国内外の JIS B 7761-1、ISO 5349-1、ISO 8041 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に関する研究を行った。

③ では、②にて実施した市販計測機器の調査結果を受けて、その機器を集めて、①で開発した機器との手腕振動計測に関する比較検討を行った。

平成24年度には次の研究を実施した。

① 試作機器の実現場での有効性を確認するために、指針で測定、表示等が必要な代表的な工具を用いて、手振動計測を市販人体振動計と開発機器で実施し、測定結果の比較検討を行い、試作機器の有効性を確認する。

② 開発機器を実作業現場に持ち込み、手持振動工具の点検整備が簡単にできる装置であるかどうかと、実現場での振動工具管理責任者が振動管理が容易に実施出来る装置であるかの検討を、事業所等で実施し機器を完成させる。

## C. 研究結果及びD. 考察

① 一般的な加速度型振動加速度ピックアップで述べた内容の特性を満足できる半導体加速度センサーが国内外に現存するかどうかの検討を、インターネット等での調査したの半導体振動加速度センサーについて検討を行った。そのセンサーを資料に示した。表3や添付の資料から、振動加速度測定軸、測定加速度最大値、測定周波数に関しての違いがあることが明らかである。

ISO や JIS 規格の手腕振動計測装置の基本

システムの調査し、手腕振動計測装置の基本システム構成が明らかになった。そこで、これと同様の基本システムに準拠しながら、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作製するための基本的な検討を行うために部分的なシステムを考え、基本的な検討を行うことが出来る部品構成を構築し、手腕振動計測基本システムを考え、半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値が計測可能かどうかの検討を行った。

② 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、数種類の装置が市販されていることが明らかになった。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。

ISO8041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(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が考案されている。この測定器内部では、

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。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 ( $a_{hwz}$ ,  $a_{hwz}$ ,  $a_{hwz}$ ) から  $a_{hws}$  (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いることが明らかになった。

③ 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度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、JIS B 7761-2で規定されている。このように、どれかの加速度計の取り付け方法を用いて、

取り付け位置を決定し、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、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。

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2に示した3種類のアダプターの使用性について現場にて調査した。

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2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2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2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。

① 平成22年度に実施した研究に基づいた最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した手腕振動計測装置の基本システムの構築のために行った機器の設計や基本システムを添付資料1、2、3、4に示した。また、添付資料1-4に基づいて開発した手腕振動計測装置を図1に示した。

② 平成23年度は、インターネット等を用いて国内外のJIS B 7761-1、ISO 5349-1、ISO 8041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に関する研究を行い、それぞれの機器の比較検討を行った。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、数種類の装置が国内外で市販されていることが明らかになった。

今回の調査結果から、開発機器の計測の有効性を調べる機器として、図2の装置であることを明らかにした。



③ では、②で明らかにした国内外で市販されている手腕振動計測装置を揃えて、今回①で開発した機器との振動計測結果を実験室にて比較し、今回開発機器の有効性や問題点を明らかにした。

④ 平成 23 年度に実施した研究に基づいた最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した手腕振動計測装置を完成させた。平成 24 年度に完成させた手腕振動計測装置を図 1 に示した。

また、平成 24 年度は、今回の調査結果から、開発機器の計測の有効性を調べる比較機器として、図 2 の装置を用いた。今回①で開発した機器との振動計測結果を実機にて比較し（表 1：比較結果）、今回開発機器の有効性を明らかにした。

⑤ 開発機器を実作業現場に持ち込み、手持振動工具の点検整備が簡単にできる装置であるかどうかと、実現場での作業者が振動管理が容易に実施出来る装置であるかの検討を、事業所等で実施し（表 2：使用性アンケート調査結果）機器を完成させた。

## E. 結論

### ①

1. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS 加速度センサー)の選択において、振動加速度測定軸が 3 軸になっている半導体振動加速度センサーであっても、同じ感度で 3 軸の測定が出来ない事も、調査により明らかにすることが出来た。したがって、手腕振動計測装置の手腕振動計測が可能で半導体振動加速度センサーで、使用できる可能性のあるセンサーの候補が非常に少ないことが明らかになった。

2. 手腕振動計測装置の基本システムの構築基本的な検討が行うことが出来る部品構成を構築し、手腕振動計測基本システムを考え、

半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の 3 軸合成値が計測可能かどうかの検討を行うことが可能な基本システムを構築することが出来た。

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ことが明らかになった。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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。

⑦ 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 2 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。

⑧ 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 2 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、使用性が高いことを明らかにすることができた。

- ① 平成 23 年度は、平成 22 年度に実施した研究に基づいて、最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格を満足した手腕振動計測装置の基本システムの構築に関する研究を実施した。
  - ② 平成 23 年度は、インターネット等を用いて国内外の JIS B 7761-1、ISO 5349-1、ISO 8041 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に関する研究を行い、それぞれの機器の比較検討を行った。
  - ③ ②にて実施した市販計測機器の調査結果を受けて、その機器を集めて、①で開発した機器との手腕振動計測に関する実験室での比較検討を行った。
- ① 平成 23 年度に実施した研究に基づいた最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した手腕振動計測装置を完成させた。また、平成 24 年度は、開発した機器との振動計測結果を実機にて比較し、今回開発機器の有効性を明らかにした。
  - ② 開発機器を実作業現場に持ち込み、手持振動工具の点検整備が簡単にできる装置であるかどうかと、実現場での作業者が振動管理が容易に実施出来る装置であるかの検討を（表 2：使用性検討結果）、事業所等で実施し機器を完成させた。

#### F. 研究発表

1. 論文発表       なし
2. 学会発表

A : Seiichi Fujimoto, 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.

B : 前田節雄(2011) 振動の機械指令の変遷とわが国への影響、安全と健康、Vol.12, No.10, pp.59-61.

C : 前田節雄(2011)振動工具の現状と課題、安全と健康、Vol.12, No.2, pp.62-64.

D : Atsushi Yoshioka, Setsuo Maeda, Kazuhisa Miyashita (2011) Measurement System used MEMS Acceleration Sensor with ZigBee, Proceedings of 19<sup>th</sup> Japan Conference on Human Response to Vibration, Nagoya University, Nagoya, Japan, August 8-10, pp. 1-7.

D: Setsuo Maeda, Serap Guner Geridonmez, Kazuhisa Miyashita, Kazuma Ishimatsu (2011) Transition of Frequency-Weighting Curves of Hand-Arm Vibration Evaluation, Proceedings of 19<sup>th</sup> Japan Conference on Human Response to Vibration, Nagoya University, Nagoya, Japan, August 8-10, pp. 1-10.

E : Setsuo Maeda, Thomas Koch (2011) Implementation and Influences of Machinery Safety Directive of 2006/42/EC, Proceedings of 19<sup>th</sup> Japan Conference on Human R

response to Vibration, Nagoya University, Nagoya, Japan, August 8-10, pp.1-9.

F: Setsuo Maeda, Serap Gunger Geridonmez, Kazuhisa Miyashita, Kazuma Ishimatsu (2011)

Validation of frequency weightings of hand-transmitted vibration for evaluating comfort, Proceedings of internoise2011, Osaka, September 4-7, pp.1-6.

G: Jin Fukumoto, Setsuo Maeda, Shigeki Takemura, Kouichi Yoshimasu, Kazuhisa Miyashita, Nobuyuki Miyai, Ting Anselm Su, Ryuichi Nakajima, Makoto Tateno, Kyoji Yoshikawa, Yoshiro Nasu: Comparison of Hand-arm vibration syndrome (HAVS) among foresters between tropical and temperate climate. Proceedings of internoise2012 (CD-ROM) (2012)

H: Takayuki Mori, Setsuo Maeda, Masatomo Komai: Results of vibration measurement of Wire Brushes mounted on hand held power tools. Proceedings of the 20th JAPAN Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2012), pp.23-29 (2012)

I: Tadayoshi Mae, Setsuo Maeda, Shigenobu Yoshida, Keisuke Fujimoto, Kazuya Shimizu, Kazuhisa Miyashita: Development of simple type hand-arm vibration measurement device For person in charge of the vibration tool management. Proceedings of the 20th JAPAN Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2012), pp.30-37 (2012)

J: Atushi Yoshioka, Setsuo Maeda, Kazuhisa Miyashita: Calculation system for A(8) using email system. Proceedings of the 20th JAPAN Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2012), pp.38-46 (2012)

K: Jin Fukumoto, Setsuo Maeda, Shigeki Takemura, Kouichi Yoshimasu, Kazuhisa Miyashita, Ting Anselm Su, Ryuichi Nakajima: Vibratory tools total operation time (TOT) and hand arm vibration syndrome (HAVS) in Japanese Wakayama forestry workers. Proceedings of the 20th JAPAN Conference on Human Response to Vibration (JCHRV2012) pp.92-95 (2012)

L: 前田節雄、宮下和久: 手腕振動測定装置の国内外の動向. 第52回近畿産業衛生学会(和歌山県立医科大学保健看護学部) 39頁 (2102)

M: 吉岡淳、前田節雄、宮下和久: 電子メールを利用した日振動ばく露量A(8)の計算システム. 第52回近畿産業衛生学会(和歌山県立医科大学保健看護学部) 40頁 (2012)

N: 福元仁、前田節雄、竹村重輝、吉益光一、宮下和久: 手腕振動障害を訴える手指ごとに検証した検査データの特徴について. 第52回近畿産業衛生学会(和歌山県立医科大学保健看護学部) 41頁 (2012)

O: 前田節雄: 振動工具管理責任者向け機器の開発状況. 安全と健康 2013年3月号(印刷中) (2013)

G. 知的財産権の出願・登録状況 なし

資料

資料 国内外の半導体振動加速度センサーの調査および手腕振動計測装置の  
基本システムの検討に関する研究

研究代表者 前田節雄 近畿大学総合社会学部 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。平成22年度は、インターネットを用いて国内外の振動加速度センサーの調査を行い、最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した計測が可能であるかの確認を行いながら手腕振動計測装置の基本システムの構築に関する研究を実施することにした。この分担研究では、下記の事を明らかにした。

1. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS 加速度センサー)の選択において、振動加速度測定軸が3軸になっている半導体振動加速度センサーであっても、同じ感度で3軸の測定が出来ない事も、調査により明らかにすることが出来た。したがって、手腕振動計測装置の手腕振動計測が可能で半導体振動加速度センサーで、使用できる可能性のあるセンサーの候補が非常に少ないことが明らかになった。
2. 手腕振動計測装置の基本的な検討が行うことが出来る部品構成を構築し、手腕振動計測基本システムを考え、半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値が計測可能かどうかの検討を行うことが可能な基本システムを構築することが出来た。

#### 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、国内外の半導体振動加

速度センサーの調査および手腕振動計測装置の基本システム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の振動加速度センサーの調査を行い、最も安価で、かつ、JIS B 7761-1 準拠の手腕系計測器の規格に満足した計測が可能であるかの確認を行いながら手腕振動計測装置の基本システムの構築に関する研究を実施することにした。

### 1. 一般的な加速度型振動加速度ピックアップとは？

加速度型振動ピックアップは加速度に比例する電圧をその出力端子に発生させる電気-機械変換子である。加速度型振動ピックアップの種類には表1に示す様なものが市販されているが、手腕振動を測定する一般的な加速度型振動ピックアップは、圧電型のピエゾ型加速度型振動ピックアップで構造は図1に示すようなものである。加速度型振動ピックアップでは、変換要素は重錘を載せた2つの円板状圧電素子からなっている。この重錘には、あらかじめ剛いばねで荷重がかけられており、全体は厚い台の上に金属ケースの中に支持されている。加速度型振動ピックアップが振動を受けると、重錘は圧電素子に変動する力をあたえる。この力は重錘の加速度に比例する。ピエゾ効果によって、変動するポテンシャル(電圧)が2つの圧電素子の間に発生する。この電圧はこの力あるいは重錘の加速度に比例する。この質量と加速度型振動ピックアップ全体の剛性で決まる共振振動より低い振動数に対して質量の加速度は変換子全体の加速度と同じとなり、発生する電圧は変換子が受ける加速度と比例することになる。

この関係は、図2に示すように、加速度型振動ピックアップの周波数特性 (frequency characteristics) で説明される。ここでは周波

数に無関係な一定の加速度を与えたときの加速度型振動ピックアップの出力電圧が、周波数の関数として記録されている。この図には共振の影響がはっきりと認められる。実際にこの共振の影響によって、加速度型振動ピックアップの使用周波数範囲の上限が決まり、一方周波数下限は通常、結合する増幅器の特性によって決定される。図3に示すように、加速度型振動ピックアップは、共振によって高周波数域における感度の上昇があるので、このような高周波数における測定点の振動には正しく応答した出力は得られない。振動信号を周波数分析する場合には、加速度ピックアップの共振による高周波数ピークが簡単に見分けることが出来るので、それを無視することが出来る。しかし、加速度ピックアップの共振を含む広帯域のオーバーオール測定においても、もし測定する振動の成分が共振周波数域に存在していれば、不正確な結果が得られることになる。この問題は、出来るだけ広い周波数範囲の加速度ピックアップを選び、振動計またはプリアンプに内蔵されているLP (ローパスフィルタ) を用いて、加速度ピックアップの共振によって生じる不要な信号を取り除くことにより解決することが出来る。また、測定が低周波数に限定されている場合には、高周波数の振動と加速度ピックアップの共振による影響はメカニカルフィルタによって除去することが可能である。メカニカルフィルタは図4に示すように弾性体(ゴム)と加速度ピックアップを表面に取り付けるための2個のマウンティングスから構成されている。これにより上限周波数を0.5 KHz から5 KHz 間に下げることが可能である。

加速度型振動ピックアップの感度、すなわちある加速度を受けた時の出力端子に発生する電圧の大きさは、一部は電圧素子の圧電特性に関係し、一部は図4の重錘の重さに関係する。したがってこの圧電材料が与えられると機械

的な大きさによってその感度が決まってくる。すなわちこのことは、小さくなればなるほど、感度は低くなることを示している。他方、機械的な大きさが小さくなれば加速度型振動ピックアップの共振特性は上昇し、したがって使用周波数範囲が広がる。

加速度型振動ピックアップは図5に示すような各種のタイプが用意されている。また、各社から表2のような加速度ピックアップの仕様が用意されている。我々は、測定しようとする対象に応じて、表1から適当に加速度型振動ピックアップを選択することになる。そのとき、その表で大切になるのは、加速度型振動ピックアップの周波数応答と感度になると思われる。また、加速度計の選択には、上記以外に考えなければならない要素が多くある。それらの1つは、加速度型ピックアップの主軸方向の感度、あるいは横感度である。この横感度は、加速度型ピックアップの主軸に垂直な面に働く加速度面に対する感度である(図6参照)。この感度は規準(主軸)感度の百分率であらわされるのが普通で、出来る限り小さいほうがよい。よい加速度型ピックアップであるためには、最大の横感度は低周波数のとき主要軸動数の感度の5%以下でなければならないとされている。

他に考えるべき要素は加速度型振動ピックアップが使用される環境である。加速度型振動ピックアップは厳しい環境条件の屋外実験、または試験片の振動を測定するのに用いられる場合が多い。したがって環境条件の変化に対する感度は出来る限り小さいことが重要である。またこれに影響をおよぼす要素は主として温度、湿度、周囲の急激な圧力(音)の変化である。使用予定の加速度型振動ピックアップの環境条件範囲などは表2から選択する。

また、手持振動工具のハンドルでの振動の測定をする場合、工具の重量と加速度型振動ピックアップの関係も考慮しなければならない。被

測定物が軽い場合には加速度ピックアップ質量は重要になる。質量を付加することによって測定点の振動レベルと周波数が変化する。一般的には加速度ピックアップの質量は、加速度ピックアップを取り付ける振動部の動力的質量の1/10以下でなければならないとされている(図7参照)。

## 2. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS加速度センサー)とは?

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems: 微小電気機械システム)とは、電気回路(制御部)と微細な機械構造(駆動部)を一つの基板上に集積させた部品(デバイス)のことであり、我が国の強みである半導体製造技術やレーザー加工技術等の微細加工技術に代表されるナノテクノロジーや各種材料技術等を駆使して製造されるセンサーのことである。国内外で製造市販されている半導体加速度センサーをインターネットを用いて調査するとともに、カタログ等の資料から、今回、開発予定の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のセンサーとして用いることが出来るかどうかの検討を行った。

## 3. 手腕振動計測装置の基本システム

ここでは、ISO規格やJIS規格で定義されている手腕振動計測装置の基本システムの考え方を調査し、その基本システムとして、どのような個々の機器としての構成要素について調査するとともに、その基本システムを検討するための部品等をピックアップした。

### C. 研究結果

#### 1. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS加速度センサー)の選択

一般的な加速度型振動加速度ピックアップで述べた内容の特性を満足できる半導体加速

度センサーが国内外に現存するかどうかの検討を、インターネット等での調査した表3の半導体振動加速度センサーについて検討を行った。そのセンサーを資料に示した。表3や添付の資料から、振動加速度測定軸、測定加速度最大値、測定周波数に関しての違いがあることが明らかである。

## 2. 手腕振動計測装置の基本システムの構築

ISO や JIS 規格の手腕振動計測装置の基本システムの調査の結果、図8に示すような構成で手腕振動計測装置が構成されていることが明らかになった。そこで、これと同様の基本システムに準拠しながら、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製作するための基本的な検討を行うために図9のような部分的なシステムを考え、基本的な検討が行うことが出来る部品構成を図8のように構築し、図10のような手腕振動計測基本システムを考え、半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値が計測可能かどうかの検討を行った。

## D. 考察

### 1. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS 加速度センサー)の選択

今回の国内外の調査による半導体振動加速度センサーの表3の中のセンサーで、振動加速度測定軸が3軸になっている半導体振動加速度センサーであっても、同じ感度で3軸の測定が出来ない事も、調査により明らかにすることが出来た。したがって、手腕振動計測装置の手腕振動計測が可能な半導体振動加速度センサーで、使用できる可能性のあるセンサーの候補が非常に少ないことが明らかになった。

### 2. 手腕振動計測装置の基本システムの構築

基本的な検討が行うことが出来る部品構成を図8のように構築し、図10のような手腕振動計測基本システムを考え、半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値が計測可能かどうかの検討を行うことが可能な基本システムを構築することが出来た。

## E. 結論

1. 国内外の半導体振動加速度センサー(MEMS 加速度センサー)の選択において、振動加速度測定軸が3軸になっている半導体振動加速度センサーであっても、同じ感度で3軸の測定が出来ない事も、調査により明らかにすることが出来た。したがって、手腕振動計測装置の手腕振動計測が可能な半導体振動加速度センサーで、使用できる可能性のあるセンサーの候補が非常に少ないことが明らかになった。

### 2. 手腕振動計測装置の基本システムの構築

基本的な検討が行うことが出来る部品構成を構築し、手腕振動計測基本システムを考え、半導体振動加速度センサーを用いて、工具のハンドルでの周波数補正振動加速度実効値の3軸合成値が計測可能かどうかの検討を行うことが可能な基本システムを構築することが出来た。

## 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

A. Seiichi Fujimoto, 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.

B. Setsuo Maeda and Thomas Koch: New  
Japanese Guidelines for Preventing Hand-Arm  
Vibration Syndrome, Proceedings of the 18th  
Japan Conference on Human Response to  
Vibration (JCHRV2010), TEAC CORPORATION,  
Tokyo, Japan, August 4 - 6, 2010, pp.66-85.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

特になし。

表1 ピックアップの種類

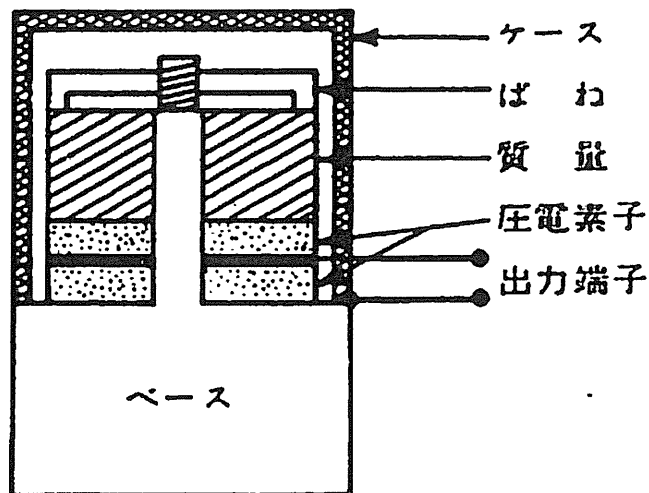
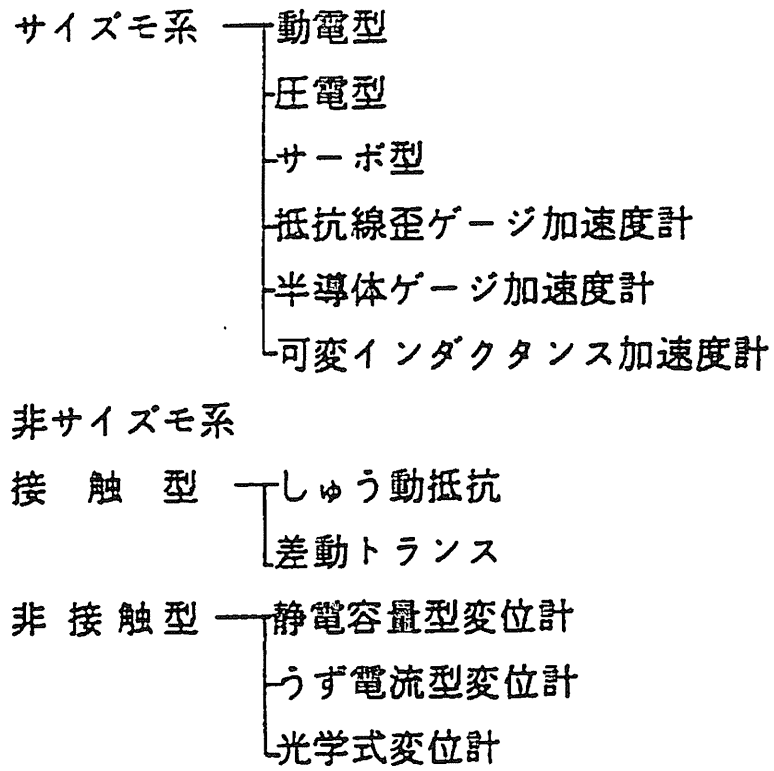


図1 圧電型加速度計の構造

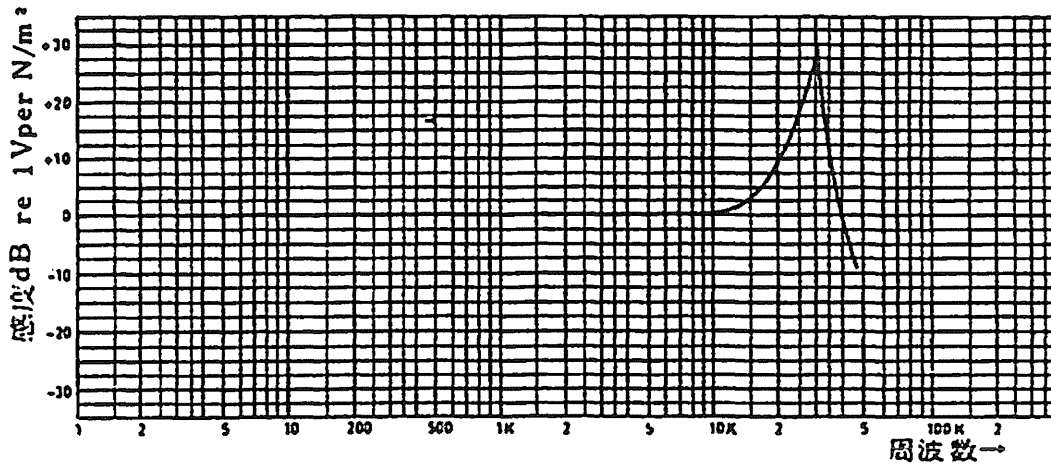


図2 加速度計の応答曲線

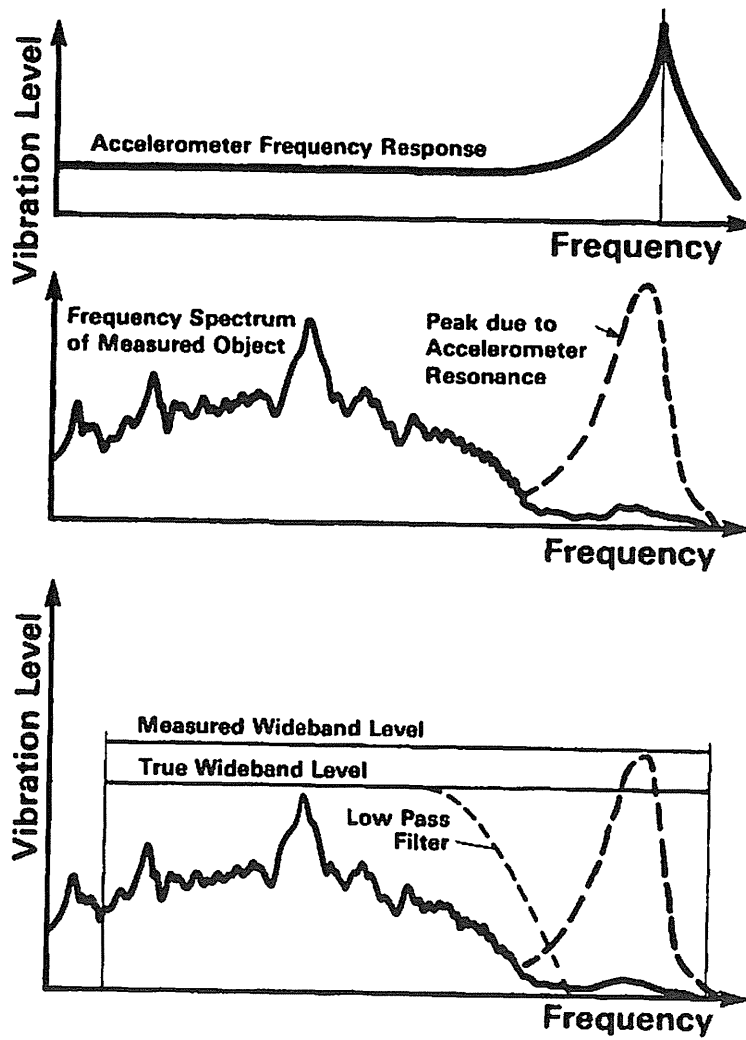


図3 加速度計の共振の影響

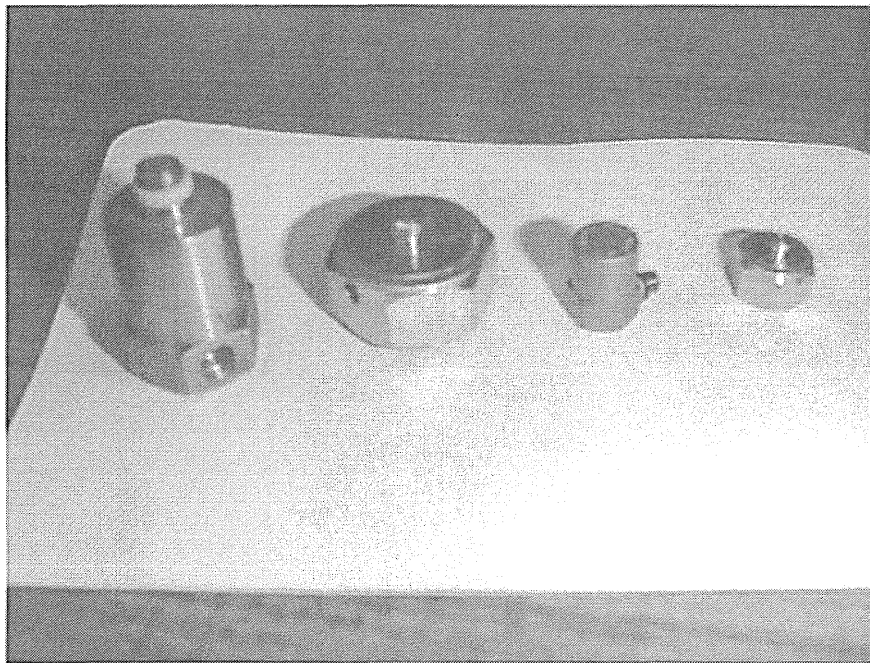
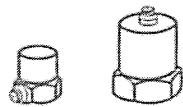


図4 メカニカルフィルタの例

General Purpose Types



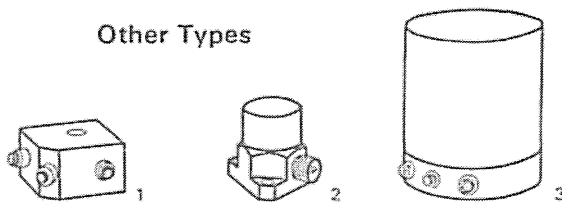
Sensitivity: 1 to 10 pC/ms<sup>-2</sup>  
 Weight: 10 to 50 grammes  
 Frequency Range: 0 to 12 000 Hz

Miniature Types



Sensitivity: 0,05 to 0,3 pC/ms<sup>-2</sup>  
 Weight: 0,4 to 2 grammes  
 Frequency Range: 1 to 25 000 Hz

Other Types



- 1 For triaxial measurements
- 2 For permanent monitoring on industrial machines
- 2 For use in very high temperatures
- 3 For building and other structural vibration measurements
- 4 For calibration and other reference purposes
- 5 For very high shock measurements [1000 km/s<sup>2</sup> (100 000 g)]

図5 ピックアップ (加速度計) の種類