

201032015A

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年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 前田 節雄

平成23（2011）年 5月

## 目 次

### I. 総括研究報告

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

-----1

前田節雄

### II. 分担研究報告

1. 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

(資料) 国内外の半導体加速度センサーの仕様書

2. 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  
-----59

石松一真

3. 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 -----68

宮下和久

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 -----80

IV. 研究成果の刊行物・別刷 -----81

# I . 統括研究報告

## 厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）

### 総括研究報告書

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：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に計測ソフトの検討に関する研究を行った。③ISO 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。

#### 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。

そこで、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。

## B. 研究方法

①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。

②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。

③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にした。

## 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、測定周波数に關しての違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製作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った。

② JIS B 7761-1:2004 (ISO8041:2005) の装置は、対象周波数範囲が 8 Hz から 1 0 0 0 Hz 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 8 Hz から 1 0 0 0 Hz 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 ( $a_{hw_x}, a_{hw_y}, a_{hw_z}$ ) 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する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ー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。

## 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。

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

A. 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.

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.

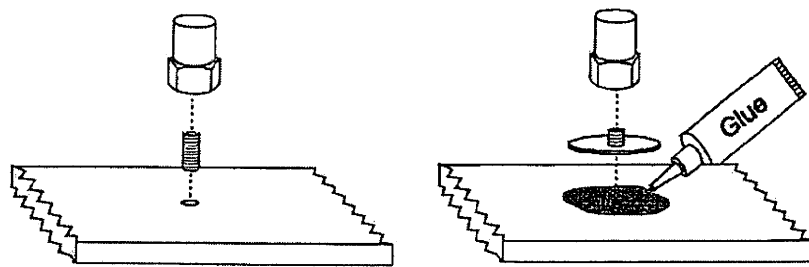
#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

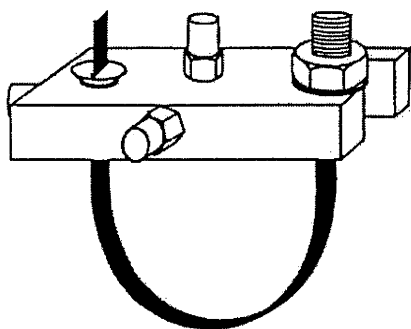
特になし。



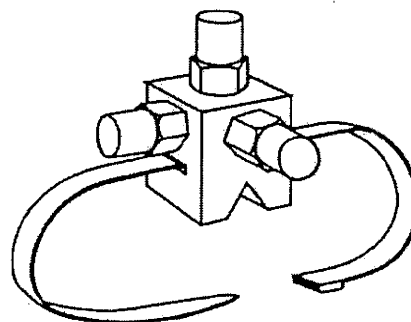
埋め込みボルトによる取付け（ねじ止め） 接着剤又はセメントによる取付け



クランプ接続

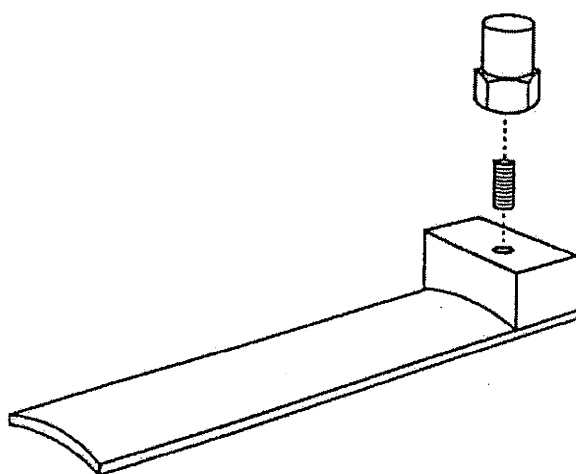


a) 金属製Uクランプ（金属ストラップ式）  
金属ホース

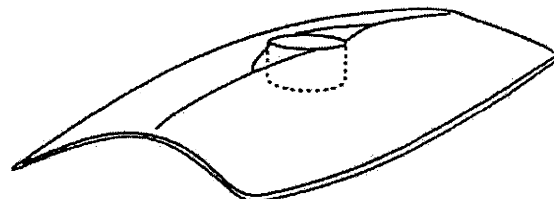


b) ナイロンストラップ又は  
クリップ式

手持ちアダプタ



a) 簡単な手持ち式のアダプタ

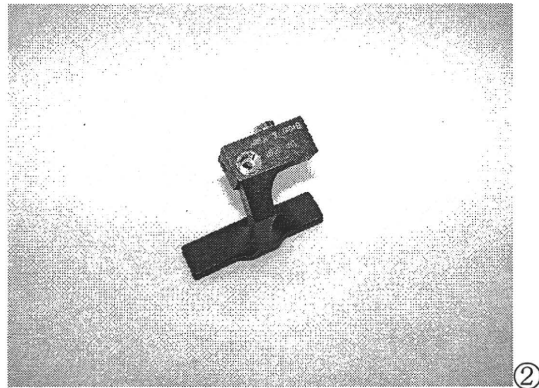


b) 成型による手持ち式のアダプタ

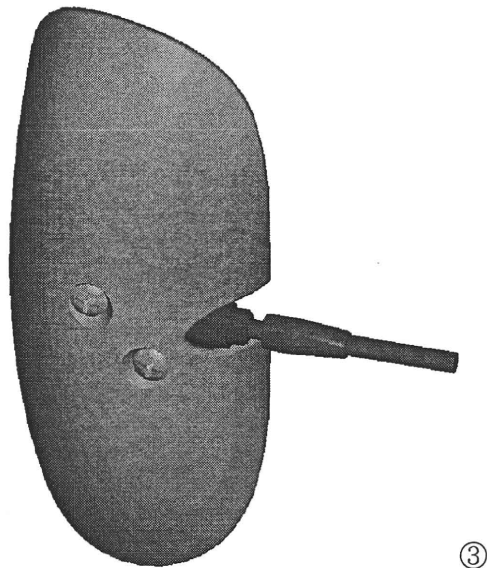
図1 JIS B 7761-2 によるピックアップ取り付けの例



①



②



③

図2 アダプターの例

## II. 分担研究報告

## 厚生労働科学研究補助金（労働安全衛生総合研究事業）

### 分担研究報告書

#### 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

研究分担者 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 piezo 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。piezo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できるので、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作製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

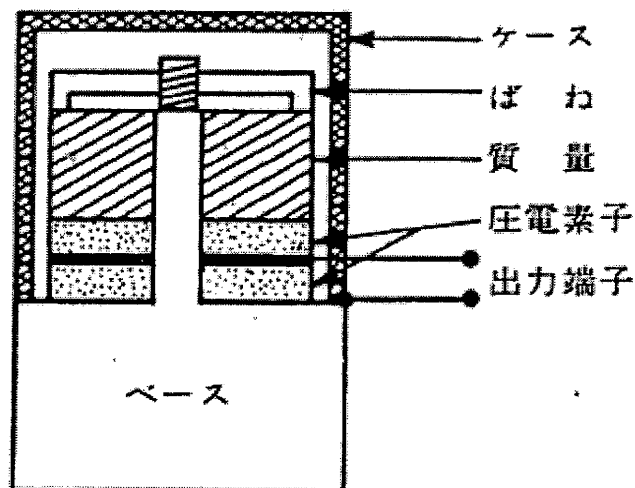
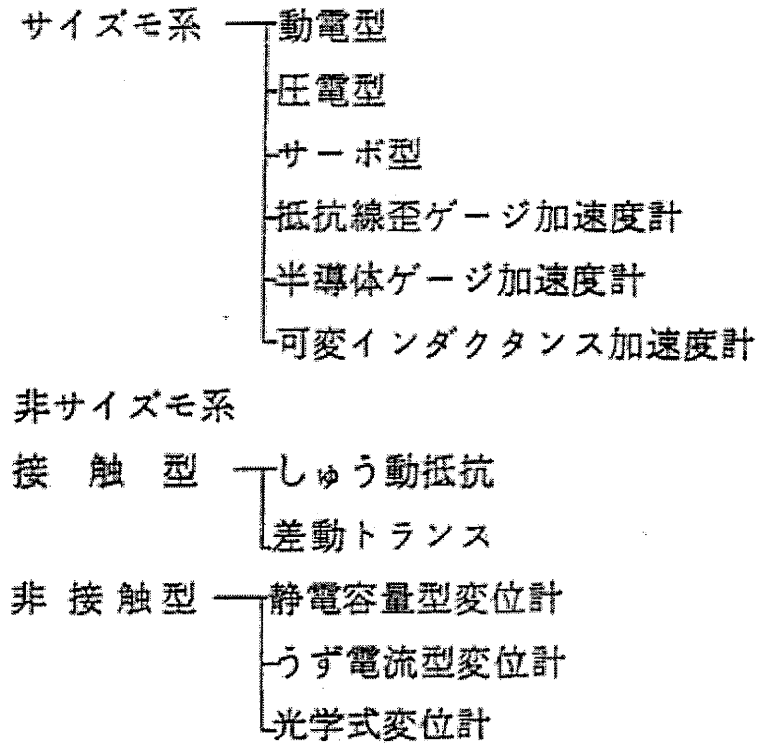


図1 圧電型加速度計の構造

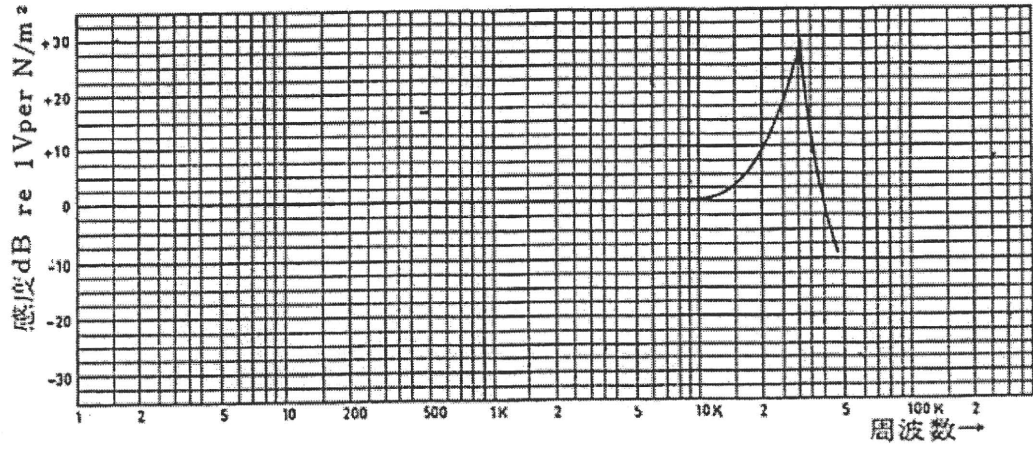


図2 加速度計の応答曲線

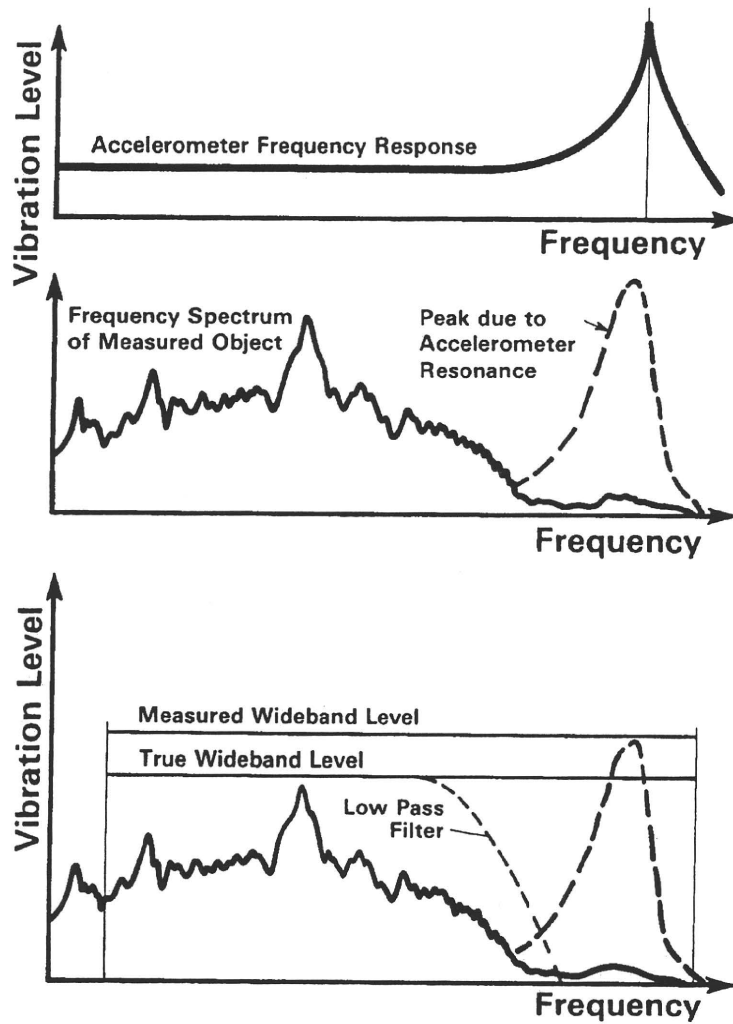


図3 加速度計の共振の影響

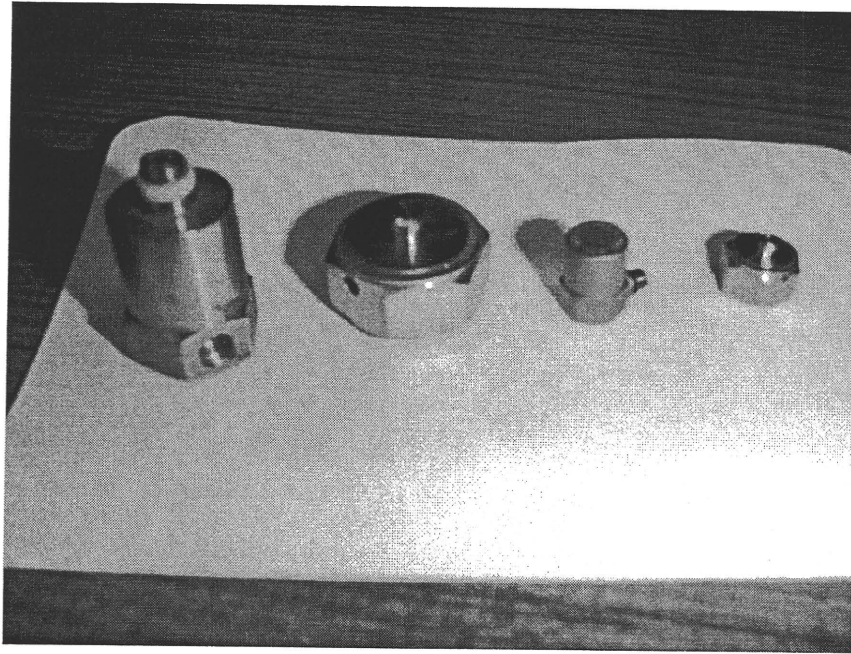
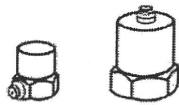


図4 メカニカルフィルタの例

**General Purpose Types**



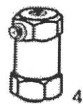
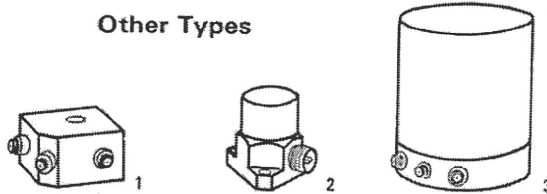
Sensitivity: 1 to 10 pC/ms<sup>-2</sup>  
 Weight: 10 to 50 grammes  
 Frequency Range: 0 to 12000 Hz

**Miniature Types**



Sensitivity: 0,05 to 0,3 pC/ms<sup>-2</sup>  
 Weight: 0,4 to 2 grammes  
 Frequency Range: 1 to 25000 Hz

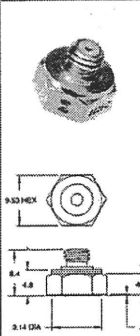
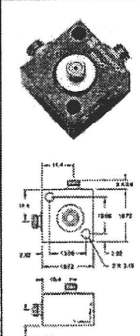
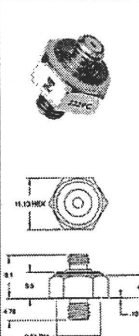
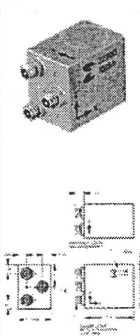
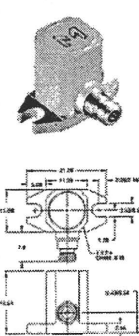
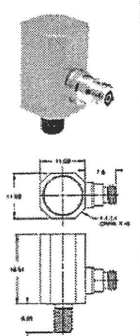
**Other Types**



- 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

表2 各種ピックアップの仕様の例

モデル名	2226C	2228C	2229C	2230D	2248	2248M1
特徴	環状シェア構造 軽量(2.8gm)	三軸計測用 環状シェア構造 軽量(15gm)	環状シェア構造 軽量(4.9gm) ネジ止め	三軸計測用 環状シェア構造 高温計測用(+260℃)	放射能、高温環境用 +482℃計測可 Up to $6.2 \times 10^{10}$ rad Up to $6.2 \times 10^{18}$ N/cm <sup>2</sup>	
形状						
単位(mm)						
感度 PC(m/s <sup>2</sup> ) PC/(9.8m/s <sup>2</sup> ) Typical	0.29(2.8)	0.29(2.8)	0.29(2.8)	0.3(3)	0.3(3)	0.3(3)
容量 pF(Typical)	400	400	400	770	1,000	1,000
最小感度 PC/(m/s <sup>2</sup> ) PC/(9.8m/s <sup>2</sup> )	0.22(2.2)	0.22(2.2)	0.22(2.2)	0.2(2)	0.24(2.4)	0.24(2.4)
応答周波数 Hz	(±5%)	1~5,000	10~4,000*	1~5,000*	1~5,000	
	(±10%)				1~8,000	1~8,000
共振周波数 kHz	21	21	21	21	25	25
耐衝撃加速度 m/s <sup>2</sup> (9.8m/s <sup>2</sup> )	19,600(2,000)	19,600(2,000)	19,600(2,000)	200(2,000)	300(3,000)	300(3,000)
機械感度 %	≦3	≦5	≦5	5	5	5
直線性	%	1	1	1	1	1
	9.8m/s <sup>2</sup>	0~2,000(500毎)	0~2,000(500毎)	0~2,000(500毎)	0~2,000(500毎)	0~3,000(1,000毎)
ベース歪み感度 EQ(m/s <sup>2</sup> )/μ strain	0.01		0.05		0.005	0.005
サーマルドリフトエラー EQ(m/s <sup>2</sup> )/℃	0.1		0.07			
電磁感度 EQ(m/s <sup>2</sup> ) rms/gauss	0.01	0.1	0.01	0.001		
グラウンド	非絶縁	絶縁	絶縁	非絶縁	非絶縁	非絶縁
使用温度範囲 ℃	-55 ~ +177	-55 ~ +177	-55 ~ +177	-55 ~ +260	-55 ~ +482	-55 ~ +482
重量 gm	2.8	15	4.9	17	13	13
取付方法	接着	4-40ネジ	10-32ネジ	スタッド	フランジ(6-32)	スタッド(10-32)
シールドタイプ	エポキシ	エポキシ	エポキシ	溶接密閉	溶接密閉	溶接密閉
付属品	3060A-120	3060A-120 取付ネジ	3060A-120	取付ネジ	3075M6-120 取付ネジ	3075M6-120
その他		*低域周波数は、使用するアンプにより決定する。				