

201130007A

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23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 前田 節雄

平成24（2012）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. 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）

-----7

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

2. 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

-----68

石松一真

添付資料 1：市販手腕振動測定装置の仕様

3. 開発機器と市販人体振動計の比較検討

-----137

宮下和久

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

-----141

IV. 研究成果の刊行物・別刷

-----143

# 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。

### 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 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。

## B. 研究方法

- 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。

## C. 研究結果 及び D. 考察

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。

## E. 結論

- 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。

## 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: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.

B: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.

C: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 Gunger 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 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.

## H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

特になし。

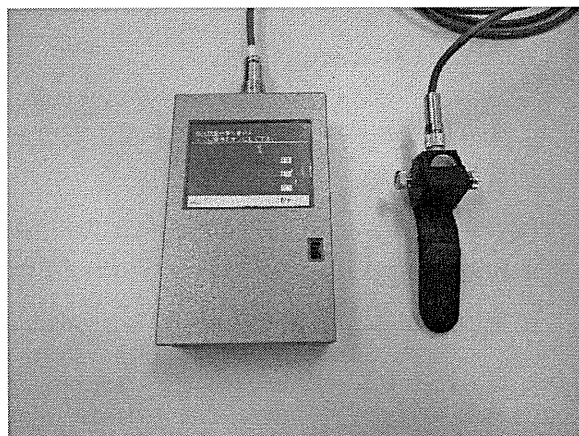


図1 今回開発した手腕振動計測装置



図2 市販されている人体振動計測器

## 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

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）

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、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した。
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。平成23年度は、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結果に基づいた機器の開発を行った。

#### 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、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結果に基づいた機器の開発を行った。

## B. 研究方法

平成23年度は、平成22年度の研究結果に基づいた設計仕様に従った機器の実現に向けての研究を協力企業の協力のもとに実施することにした。

### 1. 開発手腕振動測定装置一次試作

添付資料1に基づいて、手腕振動測定装置の一次試作機器の試作を実施した。

### 2. 開発手腕振動測定装置二次試作

一次試作は、平成22年度の機器構成に基づいて試作を行った結果であったので、実際の現場での使用に関しては考慮されていなかった。そこで、添付資料2にあるように、第二次試作では、現場にて振動工具管理責任者等が容易に使用できるような大きさにするための検討を行った。

### 3. センサー及びアダプターの試作

ここでは、二次試作の機器で使用する手腕振動加速度計とハンドアダプタの試作を実施した。その内容は、添付資料3に示す内容である。

## C. 研究結果及びD. 考察

### 1. 開発手腕振動測定装置一次試作

### 2. 開発手腕振動測定装置二次試作

### 3. センサー及びアダプターの試作

図1のような機器を添付資料1、2、3に基づいて試作することが出来たが、添付資料2の第二次試作時点では、添付資料4に示すように開発機器の操作性が実現場で困難であると考えられたので、添付資料5に示すような操作性の改良を行い、より容易に使用できるように仕上げた。

## E. 結論

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を満足した手腕振動計測装置の基本システムを、添付資料1～5に基づき、下記の機器の開発を行うことが出来た。

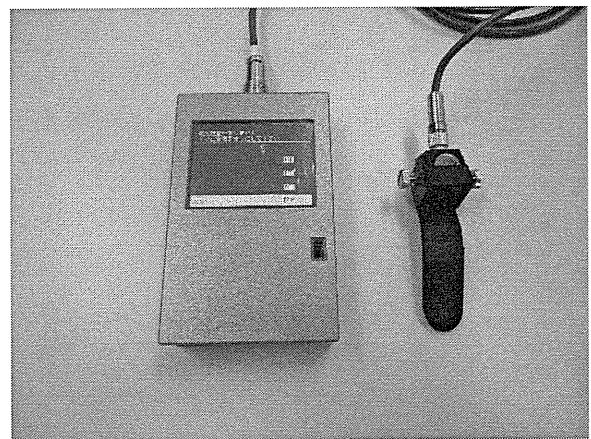


図1 今回開発した手腕振動計測装置

## 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: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.

B: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.

C: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 Gunger 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 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.

## H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

特になし。

添付資料 1 : 手腕振動測定装置一次試作資料

# 手腕振動測定装置一次試作

## 開発報告書

この報告書は、先に提出しました開発仕様書の各項目に対して、結果を記述する形式となっています。

この報告書の結果から、開発計画では1次試作／2次試作としていたものを、1次試作／2次試作／3次試作に変更し、この報告書に記載されている2次試作を追加します。

2011年6月

## 1. 概要

低価格で高性能な手腕振動計測装置の製品開発に向けて一次試作を行い、製品量産化への実証確認を行います。

今回の一次試作では以下の項目について動作性能と可能性について検証します。

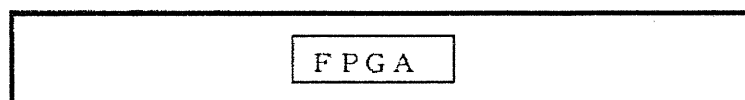
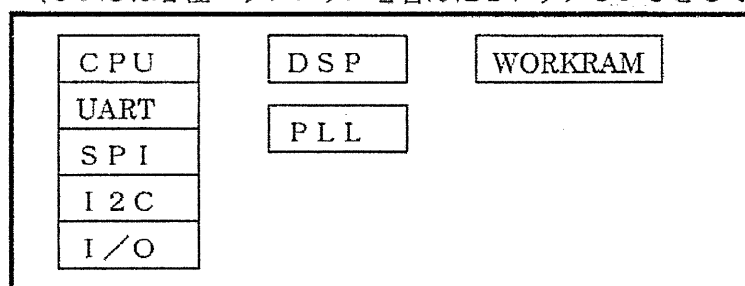
### ① F P G A の採用による回路の簡素化

専用 L S I の F P G A ペリフェラル化による性能評価

周辺回路の F P G A 内蔵化による装置小型化及び低価格化

F P G A を使用せず専用 L S I で設計した場合は以下の構成となります。

( C P U は各種ペリフェラルを含んだ 1 チップ C P U としています)



F P G A に組み込まれた各種ペリフェラル、 P L L は周辺回路と接続することにおいて問題がないことを検証しました。

D S P 及び W O R K R A M についても補正演算、 F F T において十分機能することを検証しました。

装置小型化についてはパッケージ面積で

専用 L S I 構成の場合 9 2 5 m m <sup>2</sup>

F P G A の場合 2 2 5 m m <sup>2</sup>

低価格化については 1 0 台程度のサンプル価格 (インターネット) で

専用 L S I 構成の場合 5, 0 4 6 円

F P G A の場合 4, 6 8 2 円

デバイス価格以外に基板面積、実装、管理面でも低価格化が可能となります。

## ②FPGAに組込まれるCPUのパフォーマンス

FPGA内蔵32bitRISC型CPUの実力評価  
CPUデバイス不要による装置小型化及び低価格化

32bitRISC型CPUとしてルネサス製SH2と比較した場合  
当社の他製品でのA/D変換、LCD表示において同等のパフォー  
マンスがあることを検証しました。

CPUデバイス不要による装置小型化及び低価格化については①で  
CPUを含めた内容で検証しています。

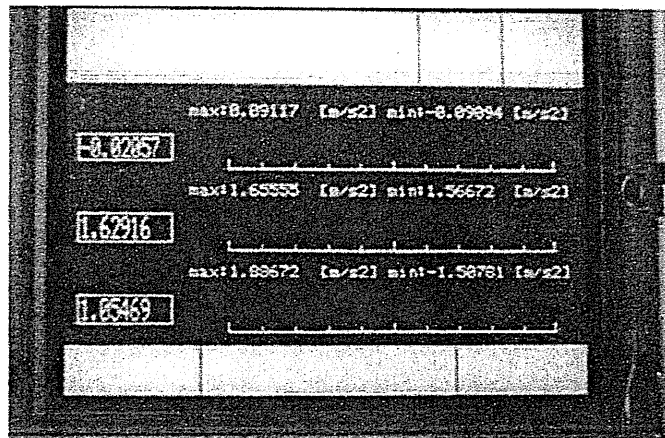
## ③FPGAに組込まれるDSPのパフォーマンス

FPGA内蔵58のDSPスライスの実力評価  
DSPデバイス不要による装置小型化及び低価格化

補正演算とFFT処理において、今回採用したFPGA(LX45)  
に内蔵されているリソースで実現できることを検証しました。

DSPデバイス不要による装置小型化及び低価格化については①で  
DSPを含めた内容で検証しています。

### ●振動補正值表示



3段目の「1. 05469」は159.2Hz、10m/s<sup>2</sup>の  
振動に対する補正結果です。

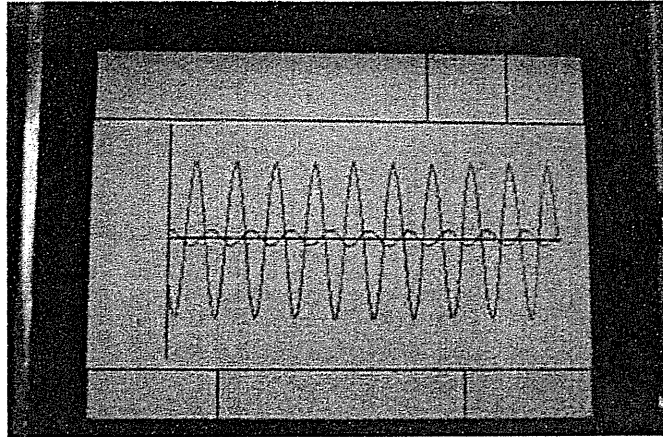
JISでは呼称値160Hzに対する補正係数は0.101、許容値  
は+12%～-11%となっています。(1.1312～0.8989)

#### ④ $\Delta \Sigma$ 方式 A/D変換の優位性

連続振動波形に対する  $\Delta \Sigma$ 方式の分解能及び性能評価  
装置の振動データに対する高信頼性化

159.2Hz、 $10\text{m/s}^2$ の振動入力で期待するサンプリング  
波形であることを検証しました。

##### ● 振動波形/補正波形表示



大きい波形は加速度瞬時値、小さい波形は補正加速度瞬時値

今後の課題として、一次試作では分解能32bit、MAX4000  
SPSのA/D変換デバイスを採用しましたが、シミュレーションの  
結果1.2KHzの振動に対して精度を上げる為サンプリング数を  
上げる必要があります。

又、分解能については24bitでも十分な演算精度が得られること  
から、2次試作では最適なA/D変換デバイスに変更します。

候補として1チップ/3軸同時変換/ $\Delta \Sigma$ 方式/24bit/MAX  
127KSPSのADS1274を検討しています。



### ⑤ MATLABによる演算処理ソフト開発

DSP演算処理ソフトのMATLAB採用の優位性評価

シミュレーションによる動作検証評価

ソフト開発の短期間化及びソフトの高品質化

個別CPU+DSPで開発した場合、シミュレーション環境の整備を含めた開発期間は1年程度と推測できます。

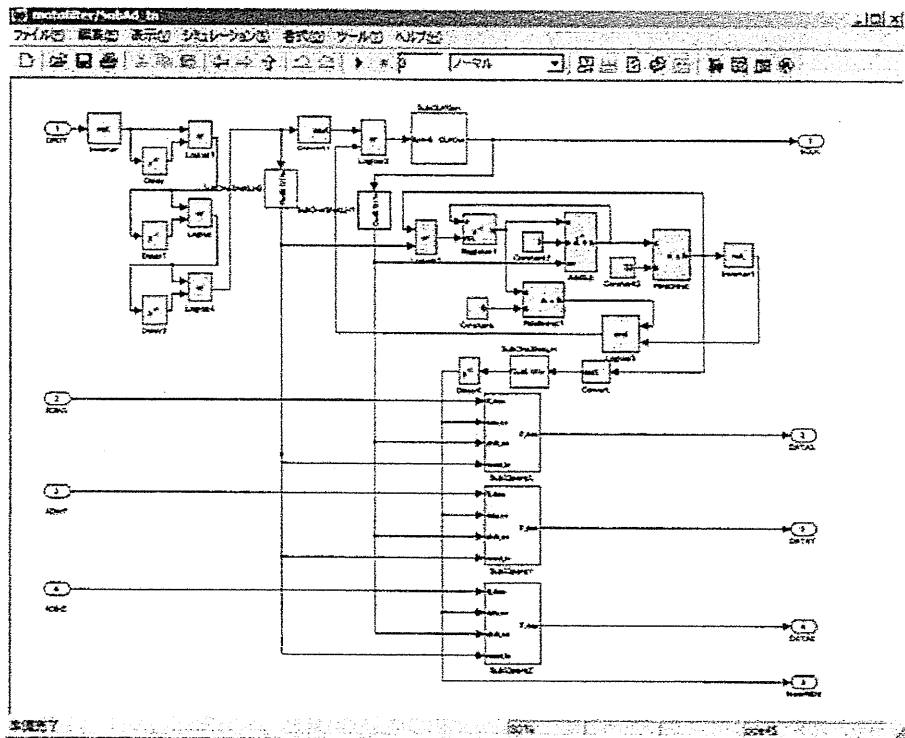
MATLABによる開発環境とシミュレーション環境により、開発期間は大幅に削減できました。

シミュレーション環境では任意の入力信号から最終の補正結果までをPC上でシミュレーションが実現できました。これにより一次試作が完成するのを待たずに開発に着手ができ、開発期間の短縮が可能となりました。

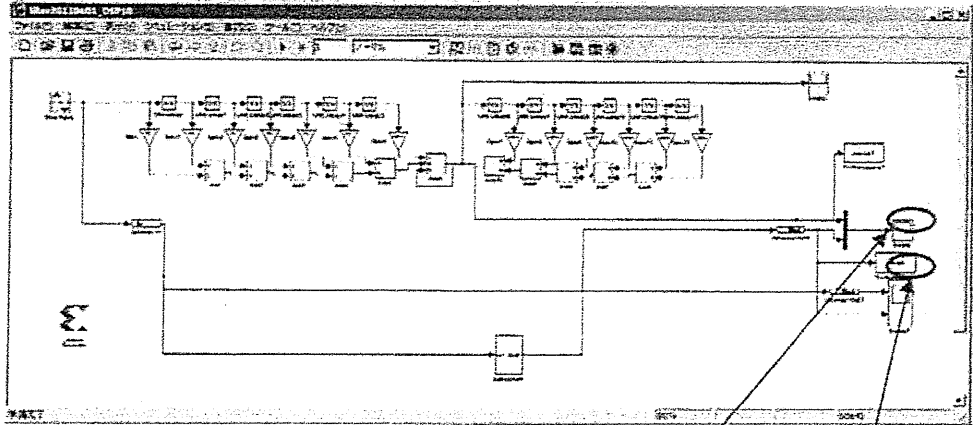
ソフト開発では言語を記述する方式ではなく、MATLABによる演算ブロックを使用（又は作成）し、パラメータを入力する方式により信頼性の向上が確認できました。

以下は設計及びシミュレーションの一部です。

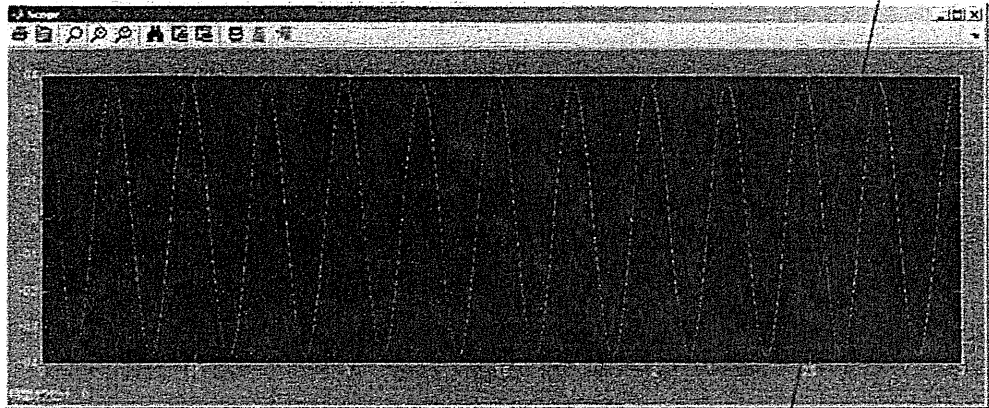
### ●FPGA内の固定少数点による補正フィルタ



● FPGAの補正フィルタとMATLAB浮動小数点補正フィルタの比較シミュレーション



● 波形モニターによるシミュレーション結果



● 演算結果のJIS補正值比較シミュレーション結果

| 演算結果               | JIS補正值             | 比較結果 |
|--------------------|--------------------|------|
| 1.0000000000000000 | 1.0000000000000000 | 一致   |
| 1.0000000000000001 | 1.0000000000000001 | 一致   |
| 1.0000000000000002 | 1.0000000000000002 | 一致   |
| 1.0000000000000003 | 1.0000000000000003 | 一致   |
| 1.0000000000000004 | 1.0000000000000004 | 一致   |
| 1.0000000000000005 | 1.0000000000000005 | 一致   |
| 1.0000000000000006 | 1.0000000000000006 | 一致   |
| 1.0000000000000007 | 1.0000000000000007 | 一致   |
| 1.0000000000000008 | 1.0000000000000008 | 一致   |
| 1.0000000000000009 | 1.0000000000000009 | 一致   |
| 1.0000000000000010 | 1.0000000000000010 | 一致   |
| 1.0000000000000011 | 1.0000000000000011 | 一致   |
| 1.0000000000000012 | 1.0000000000000012 | 一致   |
| 1.0000000000000013 | 1.0000000000000013 | 一致   |
| 1.0000000000000014 | 1.0000000000000014 | 一致   |
| 1.0000000000000015 | 1.0000000000000015 | 一致   |
| 1.0000000000000016 | 1.0000000000000016 | 一致   |
| 1.0000000000000017 | 1.0000000000000017 | 一致   |
| 1.0000000000000018 | 1.0000000000000018 | 一致   |
| 1.0000000000000019 | 1.0000000000000019 | 一致   |
| 1.0000000000000020 | 1.0000000000000020 | 一致   |
| 1.0000000000000021 | 1.0000000000000021 | 一致   |
| 1.0000000000000022 | 1.0000000000000022 | 一致   |
| 1.0000000000000023 | 1.0000000000000023 | 一致   |
| 1.0000000000000024 | 1.0000000000000024 | 一致   |
| 1.0000000000000025 | 1.0000000000000025 | 一致   |
| 1.0000000000000026 | 1.0000000000000026 | 一致   |
| 1.0000000000000027 | 1.0000000000000027 | 一致   |
| 1.0000000000000028 | 1.0000000000000028 | 一致   |
| 1.0000000000000029 | 1.0000000000000029 | 一致   |
| 1.0000000000000030 | 1.0000000000000030 | 一致   |
| 1.0000000000000031 | 1.0000000000000031 | 一致   |
| 1.0000000000000032 | 1.0000000000000032 | 一致   |
| 1.0000000000000033 | 1.0000000000000033 | 一致   |
| 1.0000000000000034 | 1.0000000000000034 | 一致   |
| 1.0000000000000035 | 1.0000000000000035 | 一致   |
| 1.0000000000000036 | 1.0000000000000036 | 一致   |
| 1.0000000000000037 | 1.0000000000000037 | 一致   |
| 1.0000000000000038 | 1.0000000000000038 | 一致   |
| 1.0000000000000039 | 1.0000000000000039 | 一致   |
| 1.0000000000000040 | 1.0000000000000040 | 一致   |
| 1.0000000000000041 | 1.0000000000000041 | 一致   |
| 1.0000000000000042 | 1.0000000000000042 | 一致   |
| 1.0000000000000043 | 1.0000000000000043 | 一致   |
| 1.0000000000000044 | 1.0000000000000044 | 一致   |
| 1.0000000000000045 | 1.0000000000000045 | 一致   |
| 1.0000000000000046 | 1.0000000000000046 | 一致   |
| 1.0000000000000047 | 1.0000000000000047 | 一致   |
| 1.0000000000000048 | 1.0000000000000048 | 一致   |
| 1.0000000000000049 | 1.0000000000000049 | 一致   |
| 1.0000000000000050 | 1.0000000000000050 | 一致   |
| 1.0000000000000051 | 1.0000000000000051 | 一致   |
| 1.0000000000000052 | 1.0000000000000052 | 一致   |
| 1.0000000000000053 | 1.0000000000000053 | 一致   |
| 1.0000000000000054 | 1.0000000000000054 | 一致   |
| 1.0000000000000055 | 1.0000000000000055 | 一致   |
| 1.0000000000000056 | 1.0000000000000056 | 一致   |
| 1.0000000000000057 | 1.0000000000000057 | 一致   |
| 1.0000000000000058 | 1.0000000000000058 | 一致   |
| 1.0000000000000059 | 1.0000000000000059 | 一致   |
| 1.0000000000000060 | 1.0000000000000060 | 一致   |
| 1.0000000000000061 | 1.0000000000000061 | 一致   |
| 1.0000000000000062 | 1.0000000000000062 | 一致   |
| 1.0000000000000063 | 1.0000000000000063 | 一致   |
| 1.0000000000000064 | 1.0000000000000064 | 一致   |
| 1.0000000000000065 | 1.0000000000000065 | 一致   |
| 1.0000000000000066 | 1.0000000000000066 | 一致   |
| 1.0000000000000067 | 1.0000000000000067 | 一致   |
| 1.0000000000000068 | 1.0000000000000068 | 一致   |
| 1.0000000000000069 | 1.0000000000000069 | 一致   |
| 1.0000000000000070 | 1.0000000000000070 | 一致   |
| 1.0000000000000071 | 1.0000000000000071 | 一致   |
| 1.0000000000000072 | 1.0000000000000072 | 一致   |
| 1.0000000000000073 | 1.0000000000000073 | 一致   |
| 1.0000000000000074 | 1.0000000000000074 | 一致   |
| 1.0000000000000075 | 1.0000000000000075 | 一致   |
| 1.0000000000000076 | 1.0000000000000076 | 一致   |
| 1.0000000000000077 | 1.0000000000000077 | 一致   |
| 1.0000000000000078 | 1.0000000000000078 | 一致   |
| 1.0000000000000079 | 1.0000000000000079 | 一致   |
| 1.0000000000000080 | 1.0000000000000080 | 一致   |
| 1.0000000000000081 | 1.0000000000000081 | 一致   |
| 1.0000000000000082 | 1.0000000000000082 | 一致   |
| 1.0000000000000083 | 1.0000000000000083 | 一致   |
| 1.0000000000000084 | 1.0000000000000084 | 一致   |
| 1.0000000000000085 | 1.0000000000000085 | 一致   |
| 1.0000000000000086 | 1.0000000000000086 | 一致   |
| 1.0000000000000087 | 1.0000000000000087 | 一致   |
| 1.0000000000000088 | 1.0000000000000088 | 一致   |
| 1.0000000000000089 | 1.0000000000000089 | 一致   |
| 1.0000000000000090 | 1.0000000000000090 | 一致   |
| 1.0000000000000091 | 1.0000000000000091 | 一致   |
| 1.0000000000000092 | 1.0000000000000092 | 一致   |
| 1.0000000000000093 | 1.0000000000000093 | 一致   |
| 1.0000000000000094 | 1.0000000000000094 | 一致   |
| 1.0000000000000095 | 1.0000000000000095 | 一致   |
| 1.0000000000000096 | 1.0000000000000096 | 一致   |
| 1.0000000000000097 | 1.0000000000000097 | 一致   |
| 1.0000000000000098 | 1.0000000000000098 | 一致   |
| 1.0000000000000099 | 1.0000000000000099 | 一致   |
| 1.0000000000000100 | 1.0000000000000100 | 一致   |

## ⑥民生用途向け低価格加速度センサーの性能評価

MEMS加速度センサーの性能評価と課題の抽出

MEMS採用によるセンサー部小型化及び低価格化

一次試作ではセンサーはADXL326を使用し、振動発生器としてB&K製4294（1軸校正用）の組み合わせで159.2Hz、10m/s<sup>2</sup>の振動を計測しました。（④のLCD画面参照）

一次試作はPC+FPGA評価ボード+試作基板+センサー基板の組み合わせであり、3軸の任意振動発生装置（試験場）又は実工具の使用環境への持込み及び工具又は手腕へのセンサー固定は困難です。今後の課題としては、振動計測装置の一体化/小型化、センサー基板の小型化/2チップ固定化、PC不要測定、開発担当者意外でも使用できる操作性が必要となります。

2次試作ではこれらのことを実現し、振動発生現場で他社の計測装置との比較を可能とします。

併せて現場環境での周波数特性、ノイズ特性、温度特性、衝撃耐性の評価も行います。

この結果によりMEMSセンサーの最終評価が決定されます。

## ⑦リチウムイオン二次電池の採用

市販リチウムイオン二次電池の性能評価と専用電池開発仕様検討

リチウムイオン採用による装置動作時間の長期化

## ⑧ACアダプターとUSBの2WAY充電

リチウムイオン充電専用LSIの性能評価

2WAY充電による充電方法の多様化

1次試作では全ての電源はFPGA評価ボードから供給されています。リチウムイオン専用充電ICを実装していましたが、市販の単3型リチウムイオン電池とサーミスタが入手できなかった為、性能評価の検証はできませんでした。

2次試作では現場での測定を想定し、リチウムイオン電池パックを搭載します。これにより性能評価と動作時間を検証します。

専用電池パックの開発は量産化での検討課題とします。

## ⑨USB接続によるパソコンデータ収集

### USB制御専用LSIの性能評価

### USB接続による使用パソコンの多様化

USB接続によるパソコンデータ収集は検証できました。

PC側にはメーカー供給のドライバーを使用し、アプリケーションソフトとの通信接続が検証できました。

## 2. 機能（回路）ブロック

### 2-1. アンプユニット

アンプユニットでは加速度センサーの出力信号に対する加工を行わず、バッファ処理のみ行います。

次段のフィルタ性能及びA/D変換性能の評価により、アンプ回路の削除の可能性を検討します。

評価により増幅が必要な場合は、最適な増幅率を求めます。

1次試作ではバッファ処理のみで振動波形を計測しました。

2次試作では振動入力が微弱な場合を想定し、アンダーレンジ操作を可能とする1～6倍のデジタル増幅回路を搭載します。

### 2-2. フィルタユニット

フィルタユニットではA/D変換のアンチエイリアジングを目的にしたローパス・フィルタを構成しています。

カットオフは1500Hzとしていますが、次段のA/D変換性能及びデジタルフィルタ性能により、フィルタ回路の削除の可能性を検討します。

評価によりフィルタが必要な場合は、最適なカットオフ周波数を求めます。

1次試作では校正用振動発生器を使用している為、標準的には正弦波形となっており、フィルタは機能していませんでした。

2次試作ではA/D変換のサンプル速度が10KHzとなる為、カットオフ周波数を3KHzに変更します。

このフィルタはSAR型A/D変換の折り返し雑音対策のものであり、振動信号に対するフィルタはFPGA内のDSPによるFIRフィルタで実現しています。

フィルタユニットの削除の可能性は、実工具などの測定の結果により判断します。