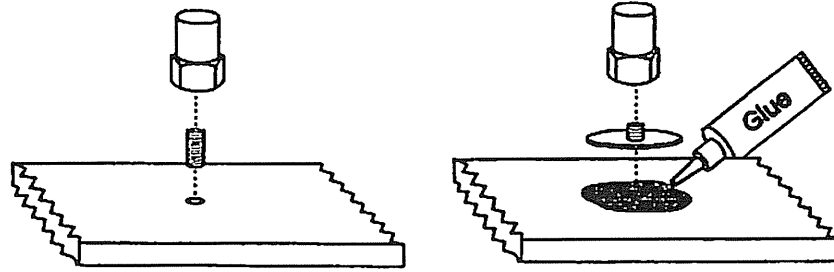
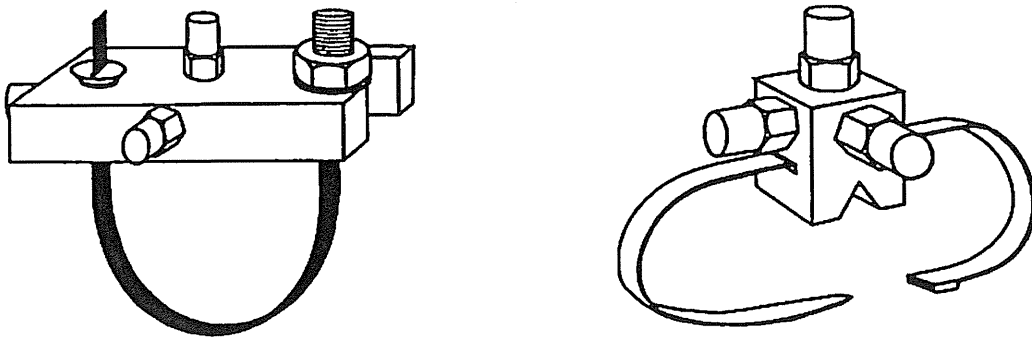


埋め込みボルトによる取付け（ねじ止め） 接着剤又はセメントによる取付け



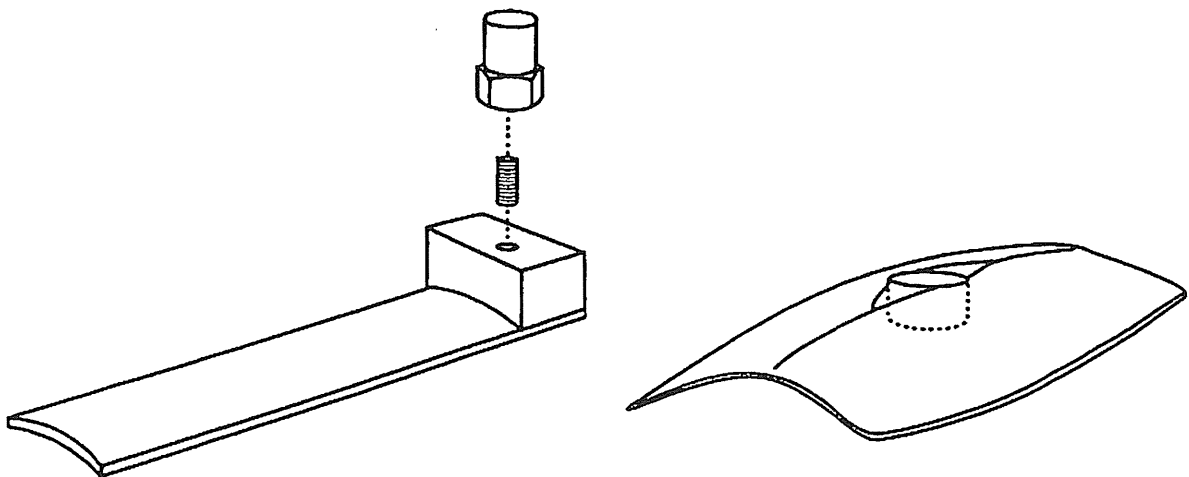
クランプ接続



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

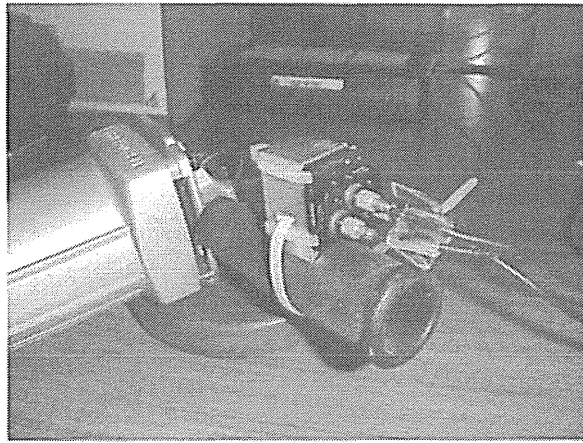


図2 グラインダに3軸加速度計を取り付けた例

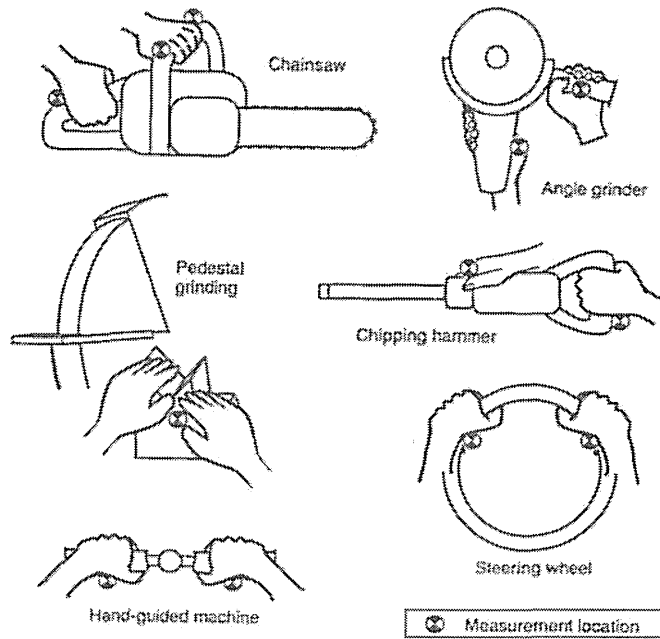


図3 各種工具での加速度計取り付け位置



図4 市販されている手腕振動計測器

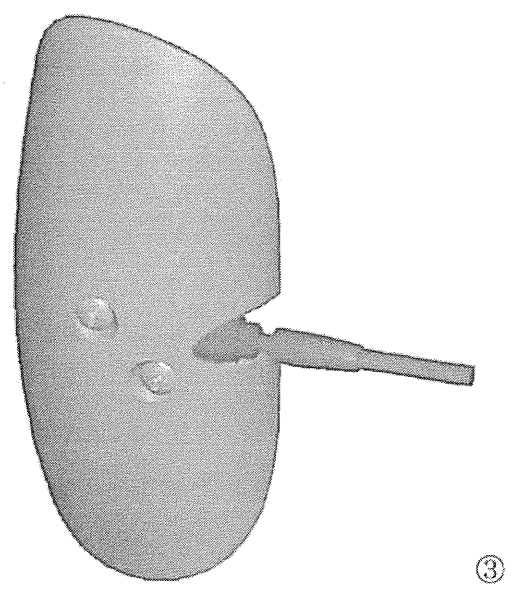
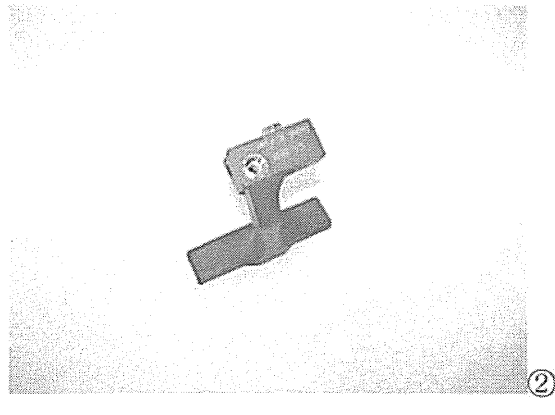
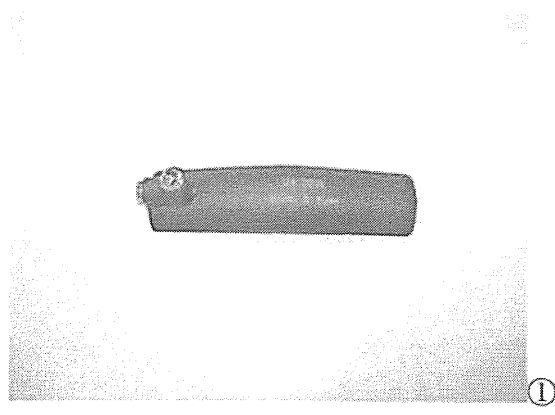


図5 アダプターの例

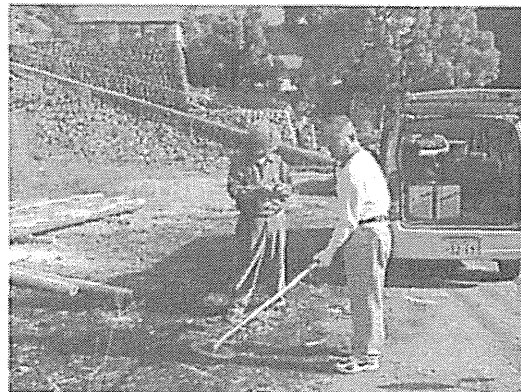
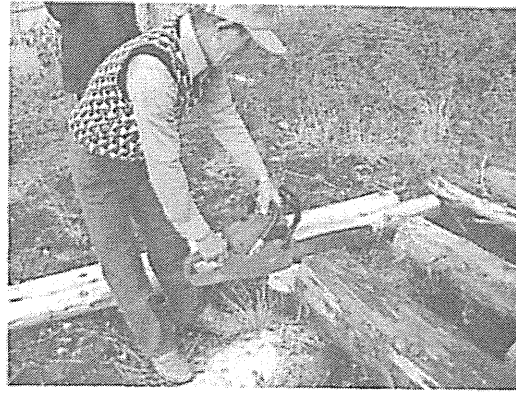


図6 アダプター使用性調査現場風景の例

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、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。

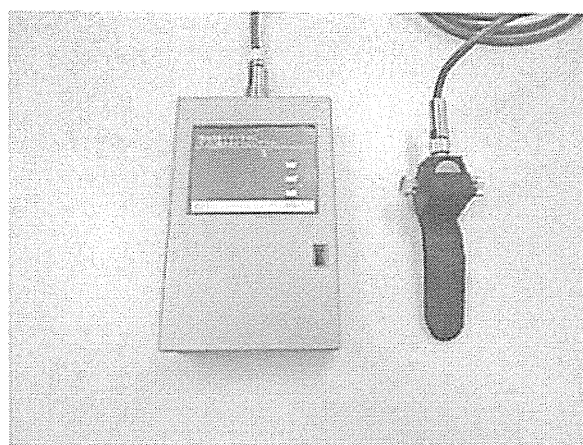


図1 今回開発した手腕振動計測装置

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 19th 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 19th 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 19th 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。

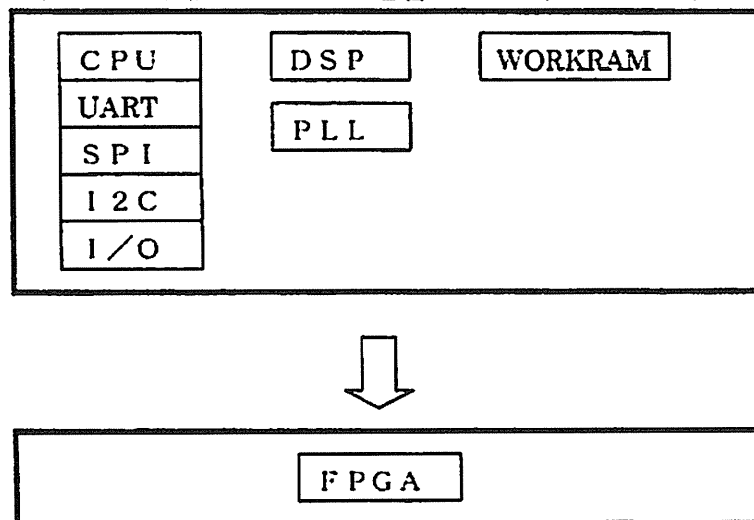
① F P G A の採用による回路の簡素化

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 ²

F P G A の場合 2 2 5 m m ²

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内臓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

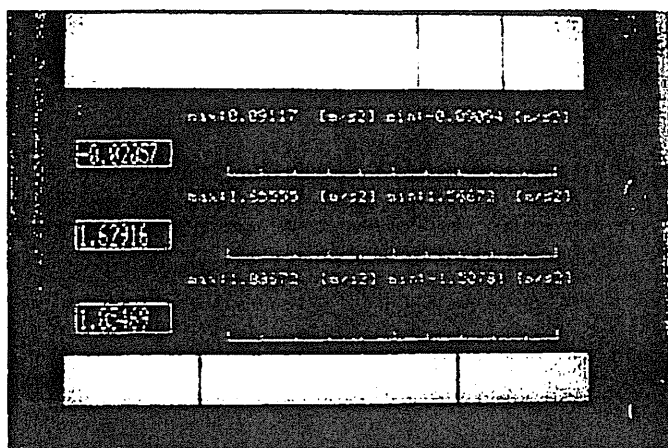
FPGA内臓58のDSPスライスの実力評価

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^2 の
振動に対する補正結果です。

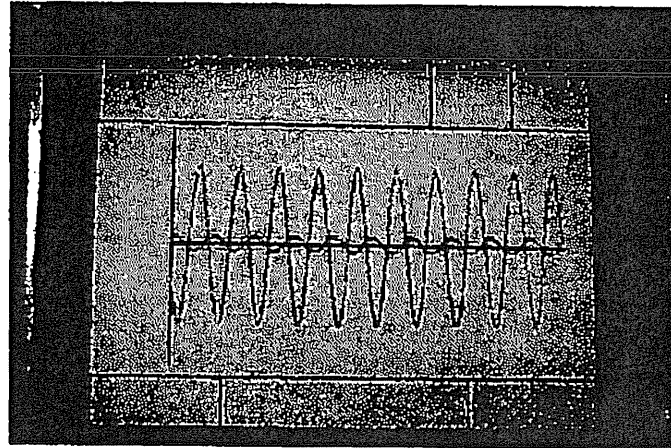
JISでは呼称値160Hzに対する補正係数は0.101、許容値
は+12%~-11%となっています。(1.1312~0.8989)

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

159.2 Hz、 10 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。

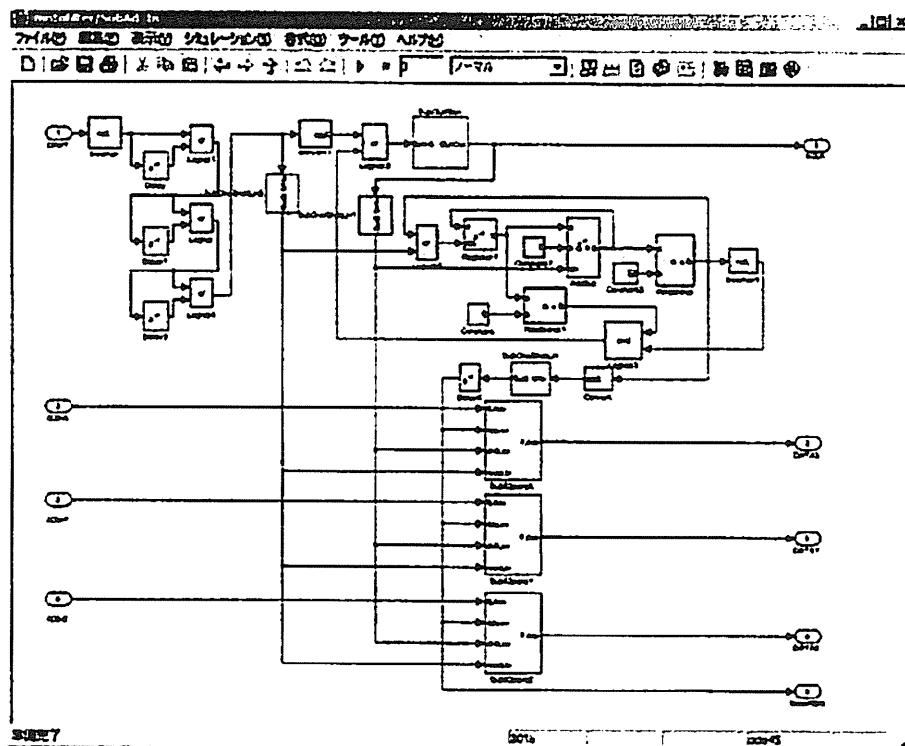
MATLABによる開発環境とシミュレーション環境により、開発期間は大幅に削減できました。

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。

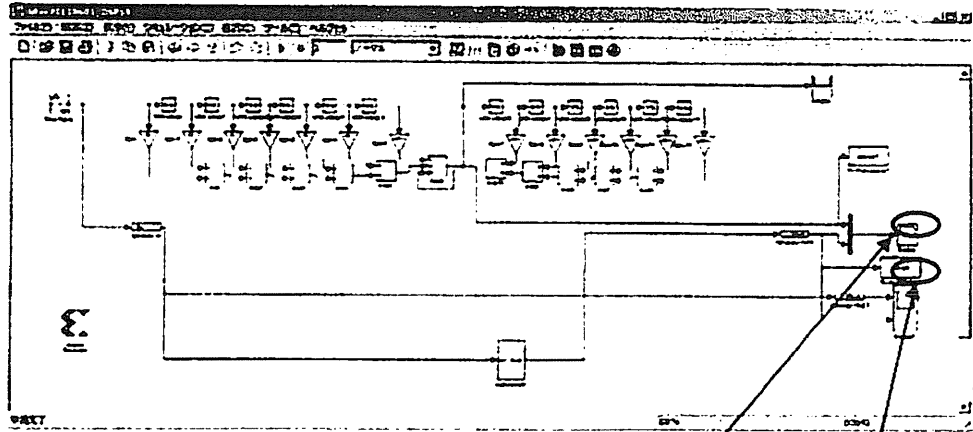
ソフト開発では言語を記述する方式ではなく、MATLABによる演算ブロックを使用（又は作成）し、パラメータを入力する方式により信頼性の向上が確認できました。

以下は設計及びシミュレーションの一部です。

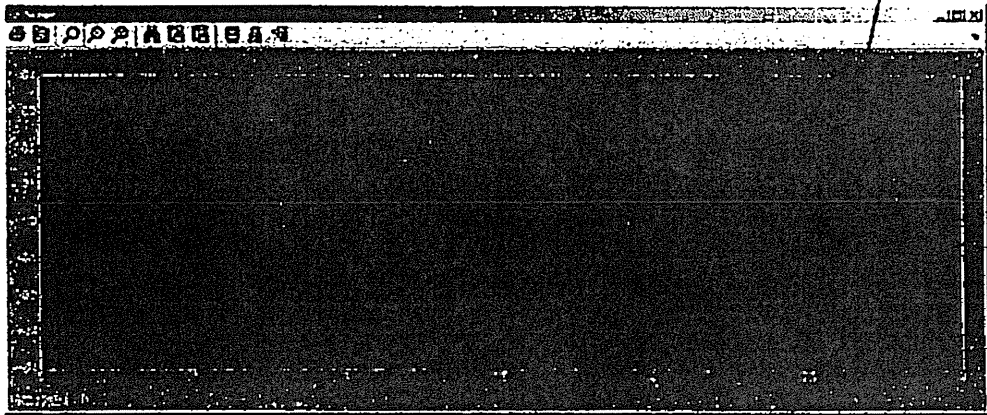
●FPGA内の固定少数点による補正フィルタ



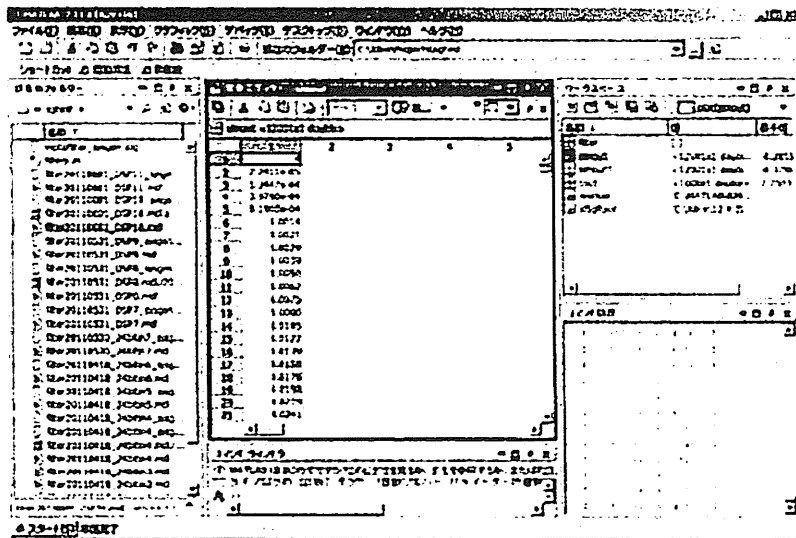
●FPGAの補正フィルタとMATLAB浮動小数点補正フィルタの比較シミュレーション



●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



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/s²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。

2-3. A/D変換ユニット

A/D変換ユニットは $\Delta\Sigma$ 変換方式を採用します。

Texas INSTRUMENTS社製ASD1281を搭載し、最高4000 SPS、32Bit分解能、フィルタ機能の評価を行います。

逐次変換方式との優位性を評価し、最適なサンプリング速度と必要変換Bit数を検討します。

インターフェースはSPIシリアル通信とし、FPGAのSPIペリフェラルの評価を併せて行います。

1次試作では159.2Hzの振動に対して、32bitの4000 SPSで目的の精度は検証できました。FPGA内では32bitデータを24bitに圧縮しています。又、1.2KHzの振動に対しては精度維持の為にサンプリング速度の向上が必要となります。

ASD1281が持っているフィルタ機能は使用していません。

SPIペリフェラルでは、A/D変換がSPI通信となっていますが、同期の為に信号が必要となり、標準ペリフェラルとの同期接続を行いました。

2-4. 液晶ユニット

京セラ製KCG047QVLAEG00のカラー4.7インチ液晶を使用し、各種数値表示及びグラフ表示を行います。

コントラスト制御及びバックライト制御回路を含みます。

製品化では専用小型液晶を搭載しますが、液晶制御回路のFPGA内蔵化を検討します。

2-5. 入力ユニット

抵抗膜式タッチパネル方式で操作入力を行います。

一次試作ではソフトにより画面を作成し、必要な数の操作スイッチを配置可能となります。

製品化に於いてはタッチパネル方式とはせず、専用シートスイッチ又はタクトスイッチとなります。

京セラ製KCG047QVLAEG00の液晶表示、バックライト、コントラスト、タッチパネル操作において動作の検証を行いました。

LCD制御のFPGA内蔵化とタッチパネルの採用については、量産化時の検討課題とします。

2-6. USBユニット

SiliconLABS社製CP2103-GMを搭載します。

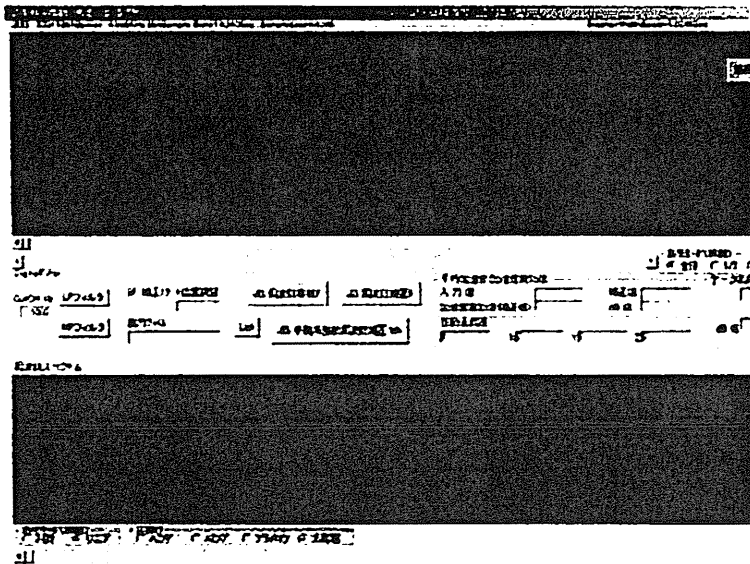
インターフェースはUARTとし、FPGAのUARTペリフェラルの評価を併せて行います。

パソコンではUSBから送信されるデータを処理する専用ソフトを作成します。

CP2103-GMの動作とFPGA内UARTペリフェラルの検証を行いました。

●計測データ条件入力、シミュレーション条件入力

●USBから取得した振動データの補正值とFFTのグラフ表示



2-7. バッテリーユニット

コントローラにはMAXIM社製MAX8934Aを搭載します。
バッテリーにはWOLF-EYES社製単三型リチウムイオン電池を搭載します。
リチウムイオン電池の充電性能及び安全性能を評価します。
ダミー負荷による充放電サイクルの評価も併せて行います。

WOLF-EYES社製単三型リチウムイオン電池が入手できなかった
為、MAX8934Aの検証はできませんでした。
2次試作では電池パックによる検証を改めて行います。

2-8. CPUユニット

XILINX社製EK-S6-SP605-G-Jを使用します。
このボードはSpartan-6シリーズのXC65LX45Tを搭載した
評価用ボードとなっています。
FMC拡張コネクタに一次試作基板を接続し総合評価を行います。
搭載されているFPGA性能の過不足を評価し、製品に採用するFPGAを
決定します。
メーカーの提供する評価ボードを使用することにより、開発のリスクを最小限
に抑えることができます。又JTAGデバッグ環境が搭載されていますのでデバッグ
作業の効率化も図れます。

評価ボードを採用することにより、開発及びデバッグの効率化と一次
試作の総合評価が検証できました。

FPGAの能力評価ではLX45で問題ないと評価し、2次試作では
XC65LX45Tから、PCIエクスプレスとGTPトランシーバ
の機能がないXC65LX45に変更します。