

課題情報シート

テーマ名 :	ウッドセラミックス湿度測定システムの開発				
担当指導員名 :	水渡 博幸	実施年度 :	24 年度		
施設名 :	千葉職業能力開発短期大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	電子情報技術科		
課題の区分 :	総合制作実習課題	学生数 :	1	時間 :	16 単位 (288h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

ウッドセラミックス湿度センサは、そのインピーダンスを計測することで湿度を求めることができます。いろいろな周波数でインピーダンスを測定するためにはLCRメータなどの大型で高価な測定器が必要となります。昨年度はウィーンブリッジ発振回路を使用して、単一周波数で測定できる装置を開発しました。今年度は比較的安いコストで使用できるようになったDDS (Direct Digital Synthesizer) を使用して周波数を可変して測定することができる湿度測定装置を開発しました。今回使用したDDSはA/D変換機能、DSPの機能が内蔵されており、マイコンとI2C™通信により制御することができます。これらの機能により、インピーダンスだけでなく位相も求めることができます。

【訓練（指導）のポイント】

測定の主要な部分はDDSのハードウェア機能で実現できるので、マイコンとの通信技術を習得させる必要があります。また、ユーザーインターフェース部分のプログラミング技術も必要となります。装置として具体的なモノにするために回路設計技術、プリント基板作成技術が必要となります。

学生にはC言語プログラミングと電子回路CADを中心に技術を習得させました。あとは、目標を段階的に設定してハードルが高くなりすぎないようにしました。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 関東職業能力開発大学校附属千葉職業能力開発短期大学校
住所 : 〒260-0025 千葉県千葉市中央区問屋町 2-25
電話番号 : 043-248-5072 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/chiba/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

ウッドセラミックス湿度測定システムの開発

千葉職業能力開発短期大学校 電子情報技術科

1. はじめに

ウッドセラミックスとは、木質系材料にフェノール樹脂を含浸させ、真空焼成することで作成される機能性炭素材料である。ウッドセラミックスは湿度に反応してそのインピーダンスが変化する特徴を有している。通常の湿度センサの動作温度は室温付近であり、高温域で動作する安価な湿度センサの開発が望まれている。高温域湿度センサシステムの製作は去年から継続されているテーマである。このテーマに興味を持ったので、総合制作実習として取り組むことにした。

2. 湿度測定の原理

マイコン側からの命令を受けて、インピーダンス計測デバイスが、湿度センサから現在のセンサのインピーダンスを計測する。計測データはマイコンが受け取り、取得データからセンサのインピーダンスを計算する。決定したインピーダンスをセンサの湿度特性と照らし合わせて湿度を決定する。マイコンは、液晶を制御し湿度を表示させる。測定している様子を図1で示す。

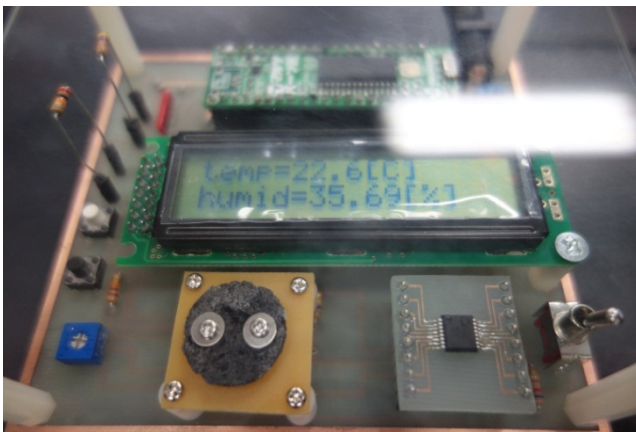


図1 測定の様子

2-1. ウッドセラミックス

ウッドセラミックス (Wood ceramics:以下 WCMs) は、伝統的炭素材料である木炭に、炭素繊維やカーボンナノチューブ等に代表される機能性炭素材料の性質を取り入れた、両者の中間的性質をもつ新機能性多孔質炭素材料である。この WCMs は木質系材料にフェノール樹脂等の熱硬化性樹脂を含浸し、焼成することで作製される。WCMs は多孔質構

造をしており、その表面での水分子の吸着によってインピーダンスが変化する。このインピーダンスの変化を計測することで湿度を測定することができる。また、WCMs は高温下でも素材の変化や劣化がほとんどなく、従来では難しかった高温下での湿度センサとして応用が期待されている。WCMs は図2に示す。

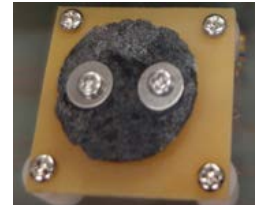


図2 WCMs

2-2. 通信方法

マイコンとインピーダンス計測デバイスとの通信は、計測デバイスの仕様から I2C™ 通信を使用した。I2C™ とは Inter-Integrated Circuit の略で、シリアル・クロック信号 SCL とシリアル・データ信号 SDA の2本の信号線で通信する。マスター側とスレーブ側を明確に分け、マスター側が全ての制御の主導権を持っている。図3に I2C™ の通信概略図を示す。マイコンをマスターに、インピーダンス計測デバイスをスレーブにする。スレーブは、個々のスレーブアドレスを持っており、このアドレスをもとに、どのスレーブを動作させるかを指定する。図4に I2C™ 通信の手順を示す。通信は、必ずマスター側のスレーブアドレス送信からはじまる。受信、送信の選択は、スレーブアドレス後の read/write bit 付加により判断する。受信の場合は、あらかじめポインタコマンドで受信したいレジスタ・ロケーションを指定しておく必要がある。データは、1バイトずつの受け渡しを行う。通信速度は 100kbps を使用した。

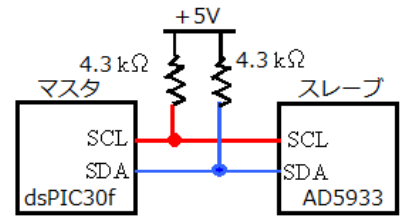


図3 I2C 通信概略図

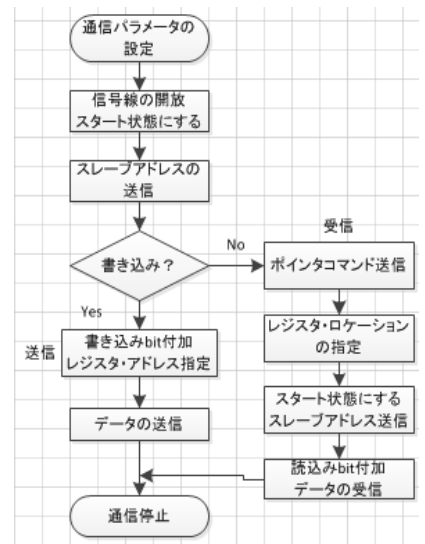


図4 I2C 通信手順のフローチャート

2-3. 交流によるインピーダンス計測

インピーダンスの計測には、アナログデバイセズ社のインピーダンス・コンバータ AD5933 を使用した。AD5933 は交流波生成器と 12 ビット A/D コンバータを内蔵している。交流波生成器は、外部の複素インピーダンス（湿度センサ）を励起し、ADC でサンプリングされる。内蔵の DSP エンジンで DFT が行われ、各出力周波数で実数 (R) と虚数 (I) のデータを返す。この動作を周波数掃引という。その概略図を図 5 に示す。

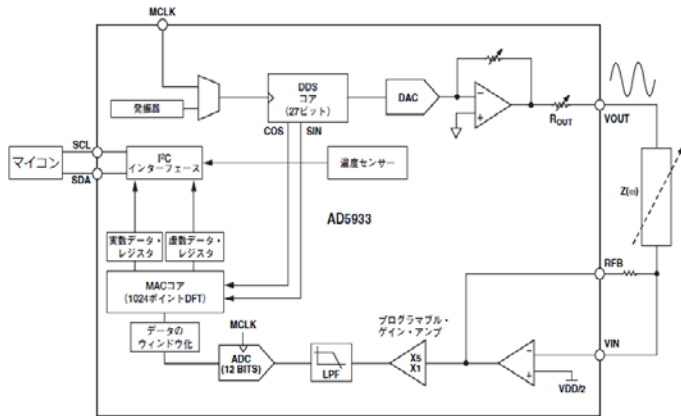


図 5 AD5933 機能ブロック図

有効なインピーダンスを計測するには、校正(キャリブレーション)という基準位置を決めることと未知のインピーダンスを計測する二度の周波数掃引を行う必要がある。周波数掃引実行手順は、図 6 に示す。

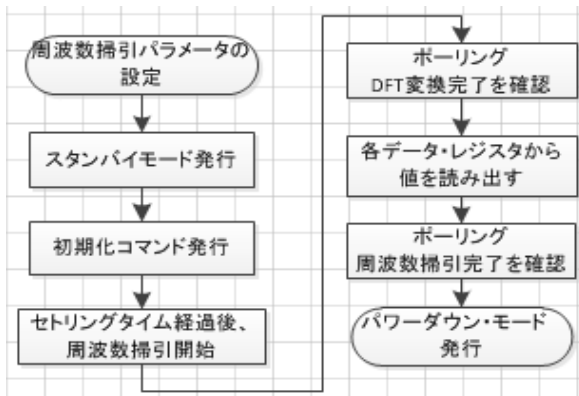


図 6 周波数掃引実行のフローチャート

掃引開始周波数は、実験から誤差の一番少なかった 100kHz に設定する。周波数インクリメント幅、インクリメント数、セトリングタイムサイクル数を設定後、周波数掃引を実行する。各実行状況を監視し、完了を確認できたら、データの取出し、掃引終了を行う。それらの命令は、すべてマイコン側から制御する。AD5933 から受け取ったデータは、マイコン内で計算し、インピーダンスの大き

さに変換する。

2-4. インピーダンス決定

まず、キャリブレーションを行う。キャリブレーションは、抵抗のみで行いシングルポイントで行う場合はインピーダンス範囲の中央値の抵抗値のものを選ぶ。今回の湿度センサのインピーダンス範囲は、170[kΩ]~40[kΩ]の範囲でありシングルポイントキャリブレーションを行うので、105[kΩ]の抵抗をキャリブレーションインピーダンスとして選択した。選択したキャリブレーションインピーダンスで周波数掃引を行うとその抵抗の実数 (R)、虚数 (I) データを得られる。

また、位相は $\text{位相} = \tan^{-1}(I/R)$ で計算することができる。キャリブレーション時の位相をシステム位相という。掃引時のデータの大きさ (Magnitude) は $\text{Magnitude} = \sqrt{R^2 + I^2}$ で計算される。次にゲイン係数を計算する。計算式は式 1 に示す。キャリブレーションは、ゲイン係数と位相が計算できれば完了する。続いて WCMs の周波数掃引を行う。同じく位相、データの大きさを求める。インピーダンスの大きさは式 2 のようにゲイン係数を使用する。実際の実数成分、虚数成分は、インピーダンスと測定インピーダンスの位相を必要とする。インピーダンス位相の計算式は、式 3 に示す。実数成分、虚数成分の計算式は、式 4 に示す。

式 1) ゲイン係数計算 $\text{ゲイン係数} = \frac{\text{アドミタンスコード}}{\text{校正インピーダンスデータの大きさ}} = \frac{1}{\text{校正インピーダンス}}$

式 2) インピーダンス計算 $\text{インピーダンス}(Z) = \frac{1}{\text{ゲイン係数} \times \text{データの大きさ}}$

式 3) 位相計算 $|\text{インピーダンス位相}(Z\theta)| = (\text{測定インピーダンスの位相}) - (\text{システム位相})$

式 4) 実数、虚数成分計算 $|Z_{\text{REAL}}| = |Z| \times \cos(Z\theta)$
 $|Z_{\text{IMAG}}| = |Z| \times \sin(Z\theta)$

以上の計算から、シングルポイント周波数で周波数掃引を行い、インピーダンスを求める例を図 7 で示す。

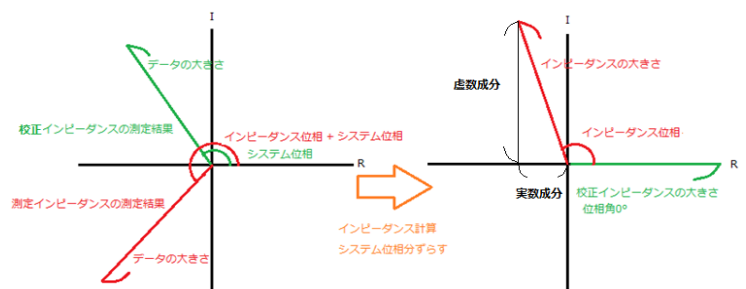


図 7 インピーダンス決定をガウス平面で表した図

インピーダンス測定が、実際に正しく行えているのかを確認するために、図 8 に示す回路のインピーダンスを測定した。測定に使用した周波数は 1 kHz ~ 100 kHz である。また、比較のために同じ回路を LCR メータ (HIOKI 3532-50) でも測定した。測定結果を図 9 に示す。

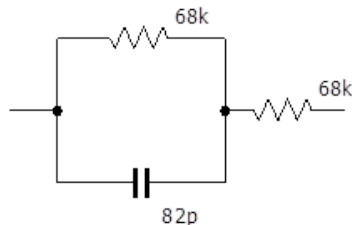


図 8 測定した回路

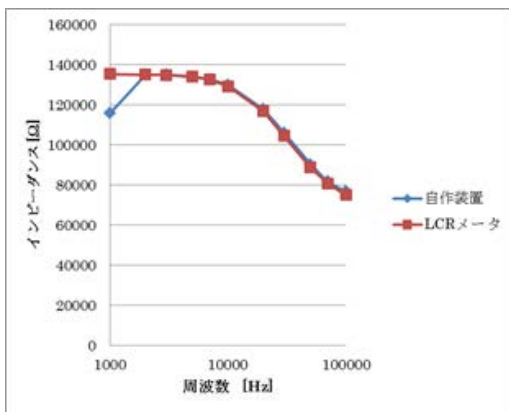


図 9 インピーダンス測定結果

図 9 のグラフから製作した測定システムで測定したインピーダンスと LCR メータで測定したインピーダンスは、ほぼ同じ値を示していることが分かる。このことから製作した測定システムは正常に動作していることが確認できる。

2-5. 湿度決定

WCMs の湿度特性を図 10 に示す。図 10 のグラフから四つの近似直線を引き、測定した WCMs のインピーダンスと WCMs の湿度特性を照らし合わせて湿度決定をする。ちなみに温度決定は DDS モジュールから、signed int 型の 2 バイトのデータを処理することで得る。

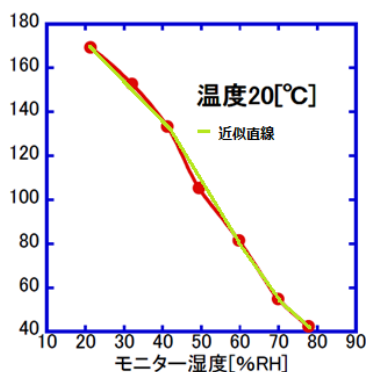


図 10 WCMs の湿度特性

3. 実験回路

製作した湿度測定システムの回路図を図 11 に示す。

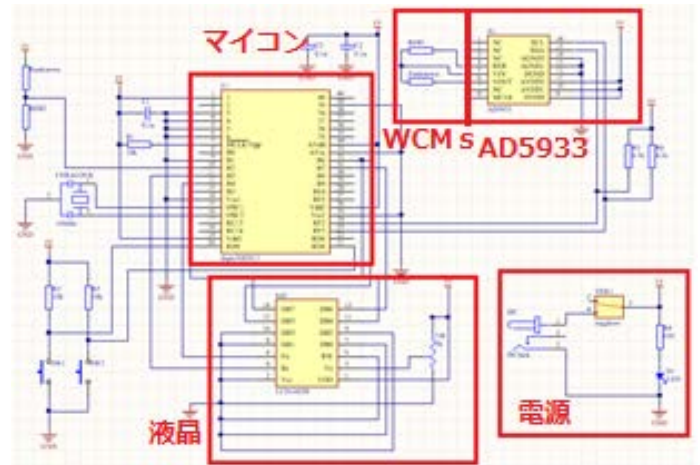


図 11 製作した湿度測定システムの回路図

4. まとめ

昨年度に引き続き、WCMs 湿度測定システムの開発を行った。昨年はウィーンブリッジ発振回路を使用した測定回路であったため、単一周波数でのインピーダンスの測定しかできなかった。今年度は DDS モジュール IC を使用することで周波数を可変してインピーダンスを測定することが可能となった。製作したシステムと LCR メータとを比較したところ、LCR メータと比べて遜色のない結果が得られた。このシステムを使用すれば、従来の湿度センサでは測定の難しい高温下で使用できる小型で安価な WCMs 湿度測定システムを構築できることを示すことができた。

5. 参考文献等

- 1) ANALOG DEVICES AD5933 データシート
- 2) 電子制御・信号処理のための dsPIC 活用ガイドブック 後関 哲也 技術評論社
- 3) dsPIC 基板で始めるデジタル信号処理 岩田 利王 CQ 出版
- 4) YS 電子工作 Lab <http://www.ys-labo.com/>

課題実習「テーマ設定シート」

作成日：平成24年 9月24日

科名： 電子情報技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習Ⅰ、Ⅱ		ウッドセラミックス湿度測定システムの開発	
担当教員		担当学生	
水渡 博幸			
課題実習の技能・技術習得目標			
回路設計技術、プリント基板設計技術、プログラミング技術およびそれらの融合技術を習得します。 長期間の実習となるので、進捗管理の方法を習得します。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
学生自らが興味があり、電子情報技術科で学ぶハードウェア技術とソフトウェア技術を用いて、実用的なモノ（システム）を製作することをテーマとした。			
実習テーマの特徴・概要			
回路設計、プリント基板製作、プログラミングを行い、それらを一つにまとめて製品やシステムに仕上げます。また、期限内に完成するように進捗管理を行います。共同作業者とのコミュニケーションも身に付きます。			
No	取組目標		
①	使用する部品の選定を行います。		
②	試作回路を作成し、実験を行います。		
③	プリント基板回路を作成し部品を実装します。		
④	プログラミングを行います。		
⑤	最終的なシステムの調整を行います。		
⑥	製作したシステムの評価を実施し、評価、分析、まとめを行います。		
⑦	発表レジュメ、プレゼンテーション資料の作成、卒論の作成、展示・発表会を実施します。		
⑧	実習は常に5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）を意識して安全衛生作業を遂行します。		
⑨			
⑩			