

ストロボスコープシステム改良及びサイエンスヒルズこまつ科学実験

宇野 宗則

ナノマテリアルテクノロジーセンター 工作室

概要

自分の行っている業務として、ナノマテリアルテクノロジーセンター業務は主に依頼工作、講習会、工作室の維持管理を行い、技術サービス部業務は地域貢献（科学実験デモ）を行っている。平成 26 年度に行ったそれらの業務の中から、依頼工作の「ストロボスコープシステムの改良」及び、地域貢献の「サイエンスヒルズこまつ科学実験」について報告する。

1 ストロボスコープシステム改良

本工作室の依頼工作では、機械加工による部品の製作、溶接、部品や装置の設計・開発、外注用図面の作成、電気・電子工作、計測・制御システム開発業務等を行っており、平成 26 年度は 137 件の依頼があった。今回報告する「ストロボスコープシステムの改良」はその中の一つである。

1.1 ストロボスコープシステム改良点の概要

この装置は音楽用 CD と同サイズの円盤型サンプルステージ試料台を 0-5000rpm で回転させ、遠心力による試料の変化の様子を観察することを目的とする。回転体の観察を行うために、図 1 のように CD 型試料台の下にスリット付きの円盤を設け、フォトカプラでスリットを検出した瞬間撮影を行うというのが基本構造である。スリット付きの円盤は、周回検出用と、撮影位置を円盤上の 180 度の範囲でおおまかに調節するために 2 度間隔で 180 度スリットを付けた撮影位置調節用の 2 種類を使っている。何番目のスリット位置で撮影を行うかは本体の操作パネルに取り付けたポテンショメーターで調節する。動作の流れは以下のとおりである。

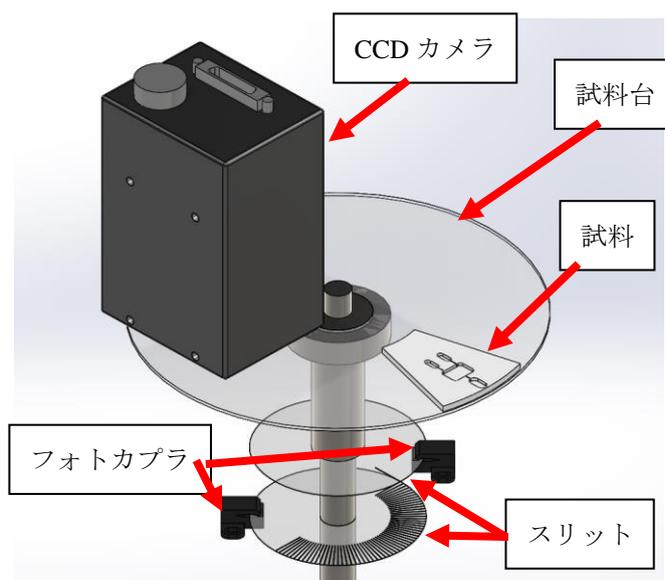


図 1. 回転部概略

1. フォトカプラが周回のスリットを検出する。
2. ポテンショメーターにかかる電圧値を AD 変換し、何番目の撮影位置スリットで撮影を行うかを計算する。
3. 撮影位置スリットをフォトカプラで検出し、目的のスリットが通過するまでスリット数をカウントする。
4. 目的のスリットが通過した瞬間、CCD カメラにトリガ信号を出す。
5. CCD カメラが撮影を開始する時間を待って、ストロボ発光トリガ信号を出す。
6. 撮影後は再度、周回スリットを待つ。(以下、ループ)

1.2 回転速度の違いで撮影位置がずれる問題とは

CCD カメラにはトリガ受信から撮影までの間に露光開始遅延時間があるため、CCD カメラへのトリガからストロボへのトリガまでに 40 μ sec の時間を設ける必要があった（前述動作の流れ 5）。CCD カメラが被写体を記録するのはストロボ発光時である。従って、撮影位置のスリットを検出してから試料を撮影するまでに 40 μ sec かかることになるが、その間も試料は回転移動し続ける。実験は 500rpm-5000rpm の間で行われ、回転速度の違いによる 40 μ sec の移動距離の違いは表 1 のようになる。図 1 の概略図には示していないが、CCD カメラと顕微鏡を組み合わせるため、1mm のずれは撮影する画像中では非常に大きく、500rpm の瞬間と 5000rpm の瞬間では違う場所を撮影することになる。

回転速度	500rpm	5000rpm
移動距離	約 0.1mm	約 1mm

表 1. 回転速度と 40 μ sec 移動距離

1.3 マイコンプログラムの改良

撮影位置のずれを補正するために、トリガを発生させているマイコン（PIC16F1826）で回転速度に合わせてトリガ出力タイミングをコントロールするタイマープログラムを作った。この装置のプログラミングには、可能な限りリアルタイム性を追求するために、コンパイルにより無駄なコードが生成される C 言語は使用せず、アセンブリ言語を使用している。アセンブリコマンドには乗算命令がなく、また、8bit 単位を意識しなければならないために、計算が必要な部分で煩雑になり、プログラミングに慣れるまでに時間がかかった。

結果、当初は速度変化により目測で撮影画面幅の 50%程度、撮影位置に変化があったものを、5%以下に抑えることができた。

1.4 ストロボスコープシステム開発のまとめ

ストロボスコープシステムの依頼者が他機関へ異動したため、今回の改良でこの装置の開発は終了となった。最初の試作機の開発が始まったのが平成 22 年 12 月（昨年度の報告書を参照）。開発当初は電気・電子工作にまだまだ不慣れで、新たな技術獲得への挑戦でもあった。PIC マイコンのプログラミングもマニュアル片手に web や本学図書館の書籍を参考にしながら手探りで行っていた。装置の改良を重ねるうち、電気・電子工作を行ううえでの自分のスタイルを身につけていくことができた。また、マイコンプログラミングに必要な開発環境を整備するきっかけにもなった。その結果、この装置の開発の途中にいくつかの電気・電子工作やマイコンプログラミングを含む依頼があったが、スムーズにこなすことができた。

この装置の開発の機会をいただいたことに感謝すると共に、これからもこのような装置の開発に挑戦していきたい。

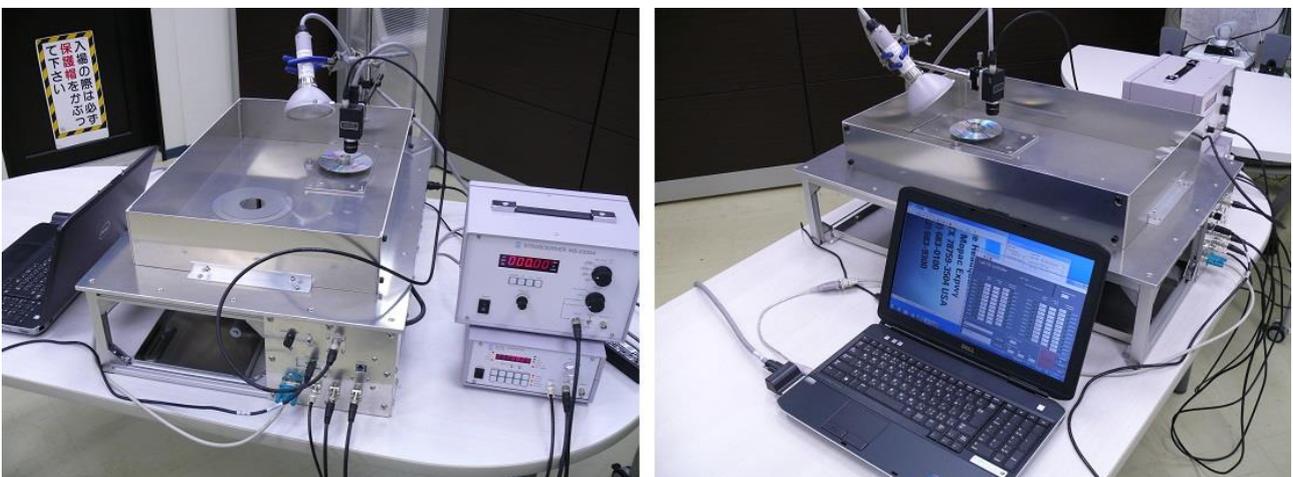


図 2. ストロボスコープシステム完成版

2 地域貢献業務（サイエンスヒルズこまつ科学実験教室）

本学では、小松市にあるサイエンスヒルズこまつから依頼を受け、3 研究科が交代で科学実験教室を行っている。今回、マテリアルサイエンス研究科からの依頼を受け、ナノセンター系技術職員がマテリアルサイエンス研究科の科学実験を受け持つことになった。

毎年、技術サービス部では地域貢献業務として、ジャイストフェスティバル及びこどもマイスターにおいて一般向けに公開科学実験を行っており、例年 4 月より実験内容を検討するためのミーティングを開始している。今回はその中で出た様々なアイデアの中から、私が提案した音に関する実験をサイエンスヒルズこまつ科学実験教室に使用することになり、実験の考案、実験装置の開発、サイエンスヒルズこまつとの折衝、1 月 11 日に行われた科学実験の司会、実演を担当した。

2.1 実験内容

○スピーカーの仕組み

LabVIEW で作ったアプリケーションによりファンクションジェネレーターを操作して直流信号をスピーカーに入力。直流信号では音が鳴らないことを確認する。赤、青の LED で電流の向きを視覚化。オシロスコープの見方を説明し、電流の向きと表示の関係を理解する。

○音とは何か？

ギターを弾いて音を鳴らしたり指で弦を抑えて音を止めたりすることで、音とは振動であることを説明する。スピーカーから音を鳴らすには、スピーカーを振動させなければならないことを理解する。

○スピーカーの仕組み

スピーカー（車用）を半分に切断したものを用意し、永久磁石・電磁石・膜でできている構造を観察する。

○電磁石

電磁石と方位磁石を用意し、電流の向きを変えることで N 極 S 極が入れ替わることを観察する。スピーカーの入力電流の向きを変化させることで膜を振動させることができることを説明する。

○スピーカーを鳴らす実験その 2

スピーカーにサイン波を入力し、電流の向きが入れ替わる信号でスピーカーが鳴るかどうかを実験する。周波数、ヘルツ等の用語を説明し、1 ヘルツから徐々に入力周波数を上げていく。電流の向きの変化を赤と青の LED と、オシロスコープで確認する。20 ヘルツあたりから音が鳴り始めることを確認し、人間の耳の可聴域の下限が約 20 ヘルツであることを説明する。

○手作りスピーカー

洗面器に紙と永久磁石を貼り付けたものと、釘にコードを巻いただけの電磁石を使用。アンプで増幅した信号を入力し、音楽を鳴らす。本物のスピーカーの構造を真似て作った簡単なスピーカーでも音を鳴らすことができることを観察する。（写真 1）

○可聴域の周波数と超音波

ピアノ、人の話し声、イルカやコウモリの鳴き声について、周波数を例示する。

○可聴域上限テスト



写真 1. 手作りスピーカーの実験



写真 2. パラメトリックスピーカー

保護者も含めて全員参加でテストを行う。スピーカーは超音波域でも出力可能なパラメトリックスピーカー（写真 2）を使用する。全員挙手した状態で実験開始。8000 ヘルツから徐々にスピーカーから出力する音の周波数を上げていき、聞こえなくなったところで手を下げてもらう。途中 16000 ヘルツあたりで挙手が子供のみとなったことを確認する。20000 ヘルツ付近で全員の手が下がることを確認し、人間の可聴域上限は約 20000 ヘルツだということを説明する。

○パラメトリックスピーカーキットによる超音波の指向性体験

市販のパラメトリックスピーカーキットの指向性の強い音を体験。どのような場面で指向性の強い音を使用されるかを例示する。

○縦波と横波（個別の PC で LabVIEW アプリケーションを使用して行う実験。以下同様。）

縦波と横波の動きを観察し、その違いを理解する。また、自然界でみられる現象における縦波と横波の例を示す。

○波形による音色の違い

正弦波、三角波、矩形波、ノコギリ波を同じ周波数で視聴し、ドレミファソラシドを奏でた時の音色の違いを体験する。また、30 年前のゲーム機に使用された音源が持つ波形である三角波、矩形波（12.5%、25%、50%）で有名ゲームの楽曲を奏で、波形による雰囲気の違いを体験する。この楽曲の演奏については事前に JASRAC に利用申請を行った。

○波の重ね合わせ

様々な振幅と周波数の正弦波を次々と重ねあわせて、三角波、矩形波、ノコギリ波に変形していく様子を観察する。複雑な波形も基本的な波の形である正弦波を重ねあわせて作ることができることを説明する。

○音の周波数解析（写真 3.）

マイクに入力した音声の波形と、それがどのような周波数、大きさの正弦波で構成されているのかを表示するアプリケーションを使用する。母音（「あいうえお」）を入力した場合、同じ音の高さでも、母音によって構成する正弦波の大きさが違うことを観察する。肉声の母音が何種類もの倍音周波数なのに対し、口笛はほぼ単一の周波数であり、波形も綺麗な正弦波に近いことを観察する。

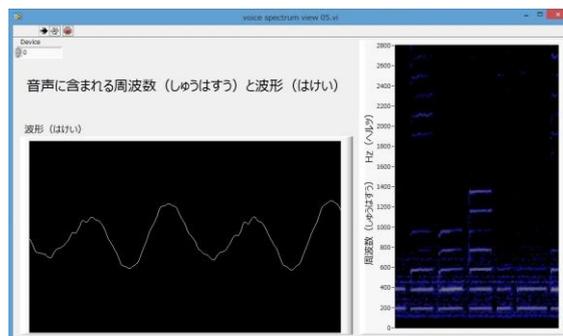


写真 3. 音の周波数解析

○音声合成（写真 4.）

重ねあわせた波のスピーカー出力が「あいうえお」と聞こえるように、200ヘルツの倍音周波数 13 個の強度を操作する。左右に 1 つずつ同じフォーマットのグラフがあり、左側は前述のアプリケーションで作った「あいうえお」の周波数ごとの強さの例を表示する。右側は入力した値が反映される。左側のサンプルと同じようなグラフに仕上げることで「あいうえお」を作る。完成した参加者には自分の作った合成音声を発表してもらう。

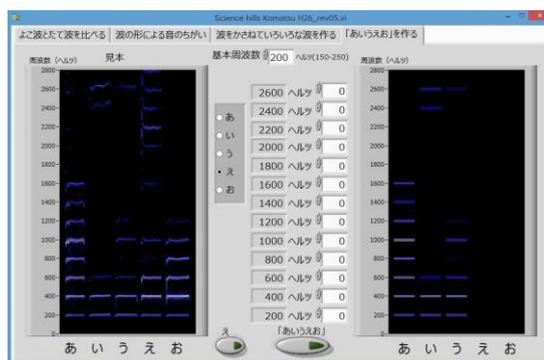


写真 4. 音声合成

2.2 サイエンスヒルズこまつ科学実験まとめ

音の実験は平成 22 年度のオープンキャンパスでも行ったが、今回は全く新しい内容の実験を作った。最終的に音声合成を行うことを目標に、その仕組みを理解するためのシナリオを組み立てた。いずれどこかで披露するか、他機関と共有できればと思う。以上。