

# 細胞ロボット演習

担当教員：森本 雄矢，聶 銘昊

## 演習の目的.

この演習の目的は，MATLAB を用いた AD/DA 変換の方法を学ぶとともに，生体材料(筋肉)の取り扱いを経験することである．

生体は筋肉の収縮運動によって動作を実現しており，筋肉を理解することはロボットを創ることに生体動作を解析するのも重要である．生体は神経刺激によって筋肉の収縮運動を制御しているが，腹筋ベルト(sixpad など)のコマーシャルで見かけるように，電気刺激によっても運動を制御することができる．本演習では筋肉の理解と情報処理による電気信号処理を目的として，筋肉の収縮運動の観察および MATLAB で生成した電気刺激による収縮運動制御を行う．

## 課題ファイルのコピーと環境設定確認.

ITC-LMS から演習用のプログラムをダウンロードし，解凍する．

MATLAB を立ち上げ，ホームタブ内のアドオン⇒アドオンの管理を選択し，「Data Acquisition Toolbox」「Signal Processing Toolbox」「Audio Toolbox」「Data Acquisition Toolbox Support Package for Windows Sound Cards」がインストール済みであることを確認する．

「Data Acquisition Toolbox」「Signal Processing Toolbox」「Audio Toolbox」がない場合は，アドオン⇒アドオンの入手からインストールするようにしてください．「Data Acquisition Toolbox Support Package for Windows Sound Cards」がない場合は，ダウンロードした演習用フォルダ内の `directsoundaudio.mlpkginstall` を実行し，インストールする．

MATLAB でコマンド `daq.getDevices()` を実行．利用可能な入出力デバイスが 4 つ表示され，入力と出力はそれぞれ 2 つずつあることを確認する．

## 筋電演習で作った回路の確認.

出席番号順に TA に筋電演習で作った回路を持って TA のところにきて，故障していないかチェックする．はんだ不良や故障があった場合は，修理または交換を行う．

**【課題 1】 MATLAB を用いて PC からアナログ信号を出力.**

課題 1a MATLAB で音声を読み、音声の再生レートや音量を調整する.

課題 1b MATLAB で筋電刺激用の信号波形を書き、plot で出力する.

課題 1c 筋電刺激波形をヘッドホンジャックより出力し、パワーアンプで増幅する.

課題 1d 出力波形を制御する.

**【課題 2】 Real time 信号入出力をつくる.**

課題 2a FFT 復習 & パフォーマンス評価.

課題 2b Session object を利用して Real time 信号入出力プログラムを作る.

課題 2c マイクに入力した生信号の強度でヘッドホン出力のオン/オフを制御.

第 2 回の以降の演習

**【課題 3】 課題1で作ったプログラムで筋肉を動かす.**

課題 3a 筋電刺激波形の出力の復習.

課題 3b 電気分解の観察.

課題 3c 筋肉への電気刺激負荷.

課題 3d (自由課題) 筋肉への電気刺激負荷.

**【課題 4】 課題 2 で作ったプログラムで筋電からカエル筋肉を動かす.**

課題 4a 自分の筋電信号の強さを把握し、前回課題 2c のプログラムを調整する.

課題 4b 自分の筋肉の運動でカエル筋肉の動きを制御する.

課題 4c (自由課題) 運動量や運動パターンからカエル筋肉の動きを制御する.

### 【課題 1】 MATLAB を用いて PC からアナログ信号を出力.

デジタル時代と言われている今、電子機器がほぼデジタル化されている。例えば演習用 PC の入出力端子の中、僅か残されたアナログインターフェースはサウンドカードのみである。サウンドカードが DAC (Digital-Analog Converter) と ADC (Digital-Analog Converter) を備え、アナログトランスデューサー (マイク、スピーカーなど) と組んで、音声の取り込みおよび出力の役割を果たしている。さらに、MATLAB の Data Acquisition Toolbox を使うことで、PC をオシロスコープまたはファンクションジェネレータとして使用することができる。  
<https://jp.mathworks.com/products/data-acquisition.html>

#### 1a. MATLAB で音声を流し、再生レートや音量を調整する.

ex1a.m を実行し、Hallelujah の曲を再生してみよう.

初期設定での再生に続いて、再生レートを約 1.9 倍の速度、再生音量を初期音量の 5 倍にした Hallelujah の曲が流れるようにしよう.

#### 1b. MATLAB で電気刺激用の信号波形を書き、plot で出力する. (TA チェック)

ex1b.m を書き換えて、出力波形を周波数 1Hz、0.8V のパルスの長さを 20 ミリ秒として、10 秒間の出力が表示されるようにしよう.

また、筋肉を電気刺激する時は出力電圧の偏りがない方が好ましい。0.8V のパルスと -0.8V のパルスが交互に出力されるようにしよう.

ヒント : square(t) の関数を使用すると良い

#### 1c. 筋電刺激波形を出力し、パワーアンプより増幅. (TA チェック)

ex1c.m の「ここにコードをいれましょう」があるところに課題 1a, b で作成したコードを適切なフォーマットで組み込む。なお、s.Rate は 8192 とすること。連続で信号を出力するには s.IsContinuous を true にする必要があることに注意.

まず、ヘッドホンプラグを入れないまま、スピーカーから信号を聞きましょう.

(スピーカーから音がでない場合、PC の音量調整スライドを押し、音声が出たことを確認。PC のスピーカーがミュート状態じゃないのを確認)

(バックグラウンドに実行している session は s.stop() で中止可能)

次に、オーディオケーブルで PC とパワーアンプを繋ぐ、パワーアンプにバッテリーを入れ、信号の増幅率をパワーアンプのスイッチで調整してみよう.

増幅したあと、出力可能な最大パルス電圧は \_\_\_\_\_ V. また、PC からの出力ではきれいな矩形波が出力されないことを確認する.

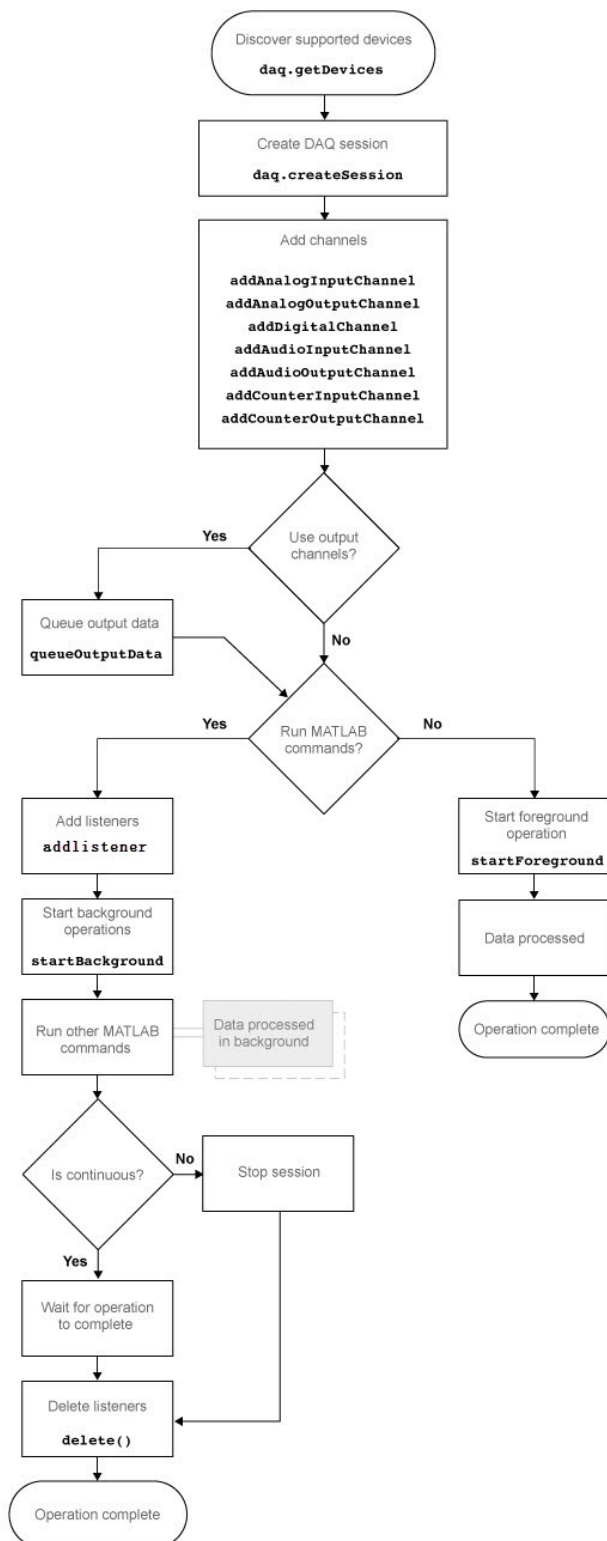
#### 1d. 一定時間ごとに出力される波形が変わるようにする. (TA チェック)

ex1c.m を修正して、キーボード入力により出力される信号の速度が変わるようにする。例えば、速度を早くするか遅くするか聞く質問が出て、打ち込むキーが F か S かによって速度が変わるようにする。1 回でも入力に応じて変われば良い。

## Session Creation Workflow:

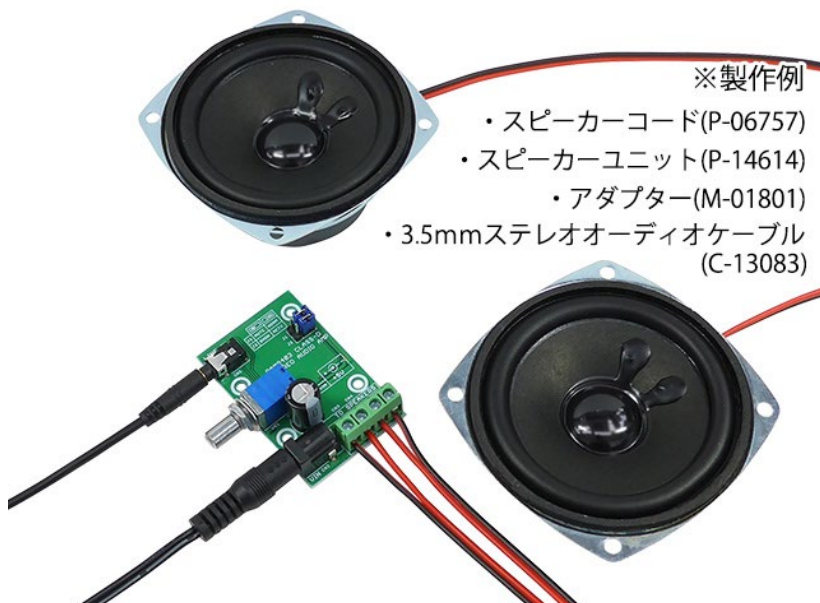
[https://jp.mathworks.com/help/releases/R2018b/daq/create-session.html?searchHighlight=daq&s\\_tid=doc\\_srchtile](https://jp.mathworks.com/help/releases/R2018b/daq/create-session.html?searchHighlight=daq&s_tid=doc_srchtile)

代表的な流れ:



パワーアンプの関連資料:

<https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-15698/>



※製作例

- スピーカーコード(P-06757)
- スピーカーユニット(P-14614)
- アダプター(M-01801)
- 3.5mmステレオオーディオケーブル(C-13083)

アンプ IC (PAM8403) :

<https://akizukidenshi.com/download/ds/diodeinc/pam8403.pdf>



A Product Line of  
Diodes Incorporated

PAM8403

FILTERLESS 3W CLASS-D STEREO AUDIO AMPLIFIER

#### Description

The PAM8403 is a 3W, class-D audio amplifier. It offers low THD+N, allowing it to achieve high-quality sound reproduction. The new filterless architecture allows the device to drive the speaker directly, requiring no low-pass output filters, thus saving system cost and PCB area.

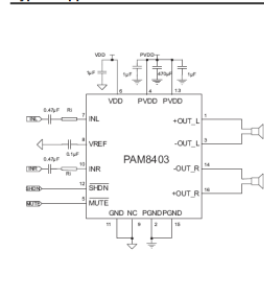
With the same numbers of external components, the efficiency of the PAM8403 is much better than that of Class-AB cousins. It can extend the battery life, which makes it well-suited for portable applications.

The PAM8403 is available in SOP-16 package.

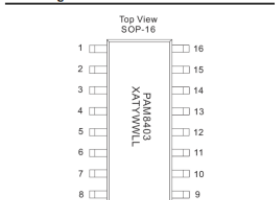
#### Features

- 3W Output at 10% THD with a 4Ω Load and 5V Power Supply
- Filterless, Low Quiescent Current and Low EMI
- Low THD+N
- Superior Low Noise
- Efficiency up to 90%
- Short Circuit Protection
- Thermal Shutdown
- Few External Components to Save the Space and Cost
- Pb-Free Package

#### Typical Applications Circuit

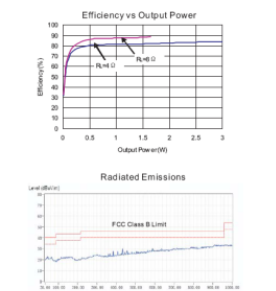


#### Pin Assignments



#### Applications

- LCD Monitors / TV Projectors
- Notebook Computers
- Portable Speakers
- Portable DVD Players, Game Machines
- Cellular Phones/Speaker Phones



PAM8403  
Document number: DSXXXX Rev. 1-4

1 of 11  
www.diodes.com

November 2012  
© Diodes Incorporated



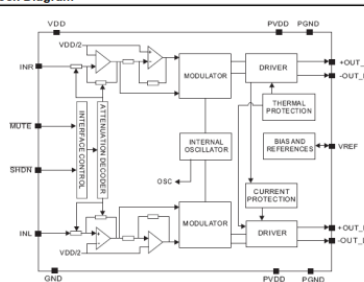
A Product Line of  
Diodes Incorporated

PAM8403

#### Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
1	+OUT_L	Left Channel Positive Output
2	PGND	Power GND
3	-OUT_L	Left Channel Negative Output
4	PVDD	Power VDD
5	MUTE	Mute Control Input (active low)
6	VDD	Analog VDD
7	INL	Left Channel Input
8	VREF	Internal analog reference, connect a bypass capacitor from VREF to GND.
9	NC	No Connect
10	INR	Right Channel Input
11	GND	Analog GND
12	SHDN	Shutdown Control Input (active low)
13	PVDD	Power VDD
14	-OUT_R	Right Channel Negative Output
15	PGND	Power GND
16	+OUT_R	Right Channel Positive Output

#### Functional Block Diagram



PAM8403  
Document number: DSXXXX Rev. 1-4

2 of 11  
www.diodes.com

November 2012  
© Diodes Incorporated

### Absolute Maximum Ratings (@T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise specified.)

These are stress ratings only and functional operation is not implied. Exposure to absolute maximum ratings for prolonged time periods may affect device reliability. All voltages are with respect to ground.

Parameter	Rating	Unit
Supply Voltage	6.0	V
Input Voltage	-0.3 to V <sub>DD</sub> + 0.3V	V
Operation Temperature Range	-40 to +85	°C
Maximum Junction Temperature	150	°C
Operation Junction Temperature	-40 to +125	°C
Storage Temperature	-65 to +150	°C
Soldering Temperature	300, 5 sec	°C

### Recommended Operating Conditions (@T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise specified.)

Parameter	Rating	Unit
Supply Voltage Range	2.5 to 5.5	V
Operation Temperature Range	-40 to +85	°C
Junction Temperature Range	-40 to +125	°C

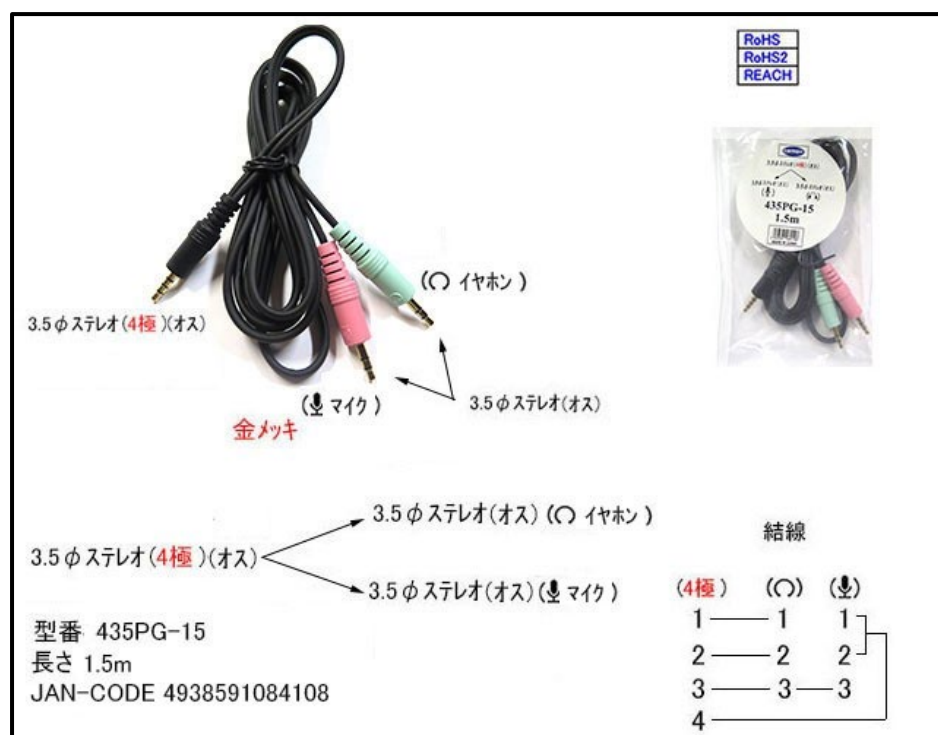
### Thermal Information

Parameter	Package	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance (Junction to Ambient)	SOP-16	θ <sub>JA</sub>	110	°C/W
Thermal Resistance (Junction to Case)	SOP-16	θ <sub>JC</sub>	23	°C/W

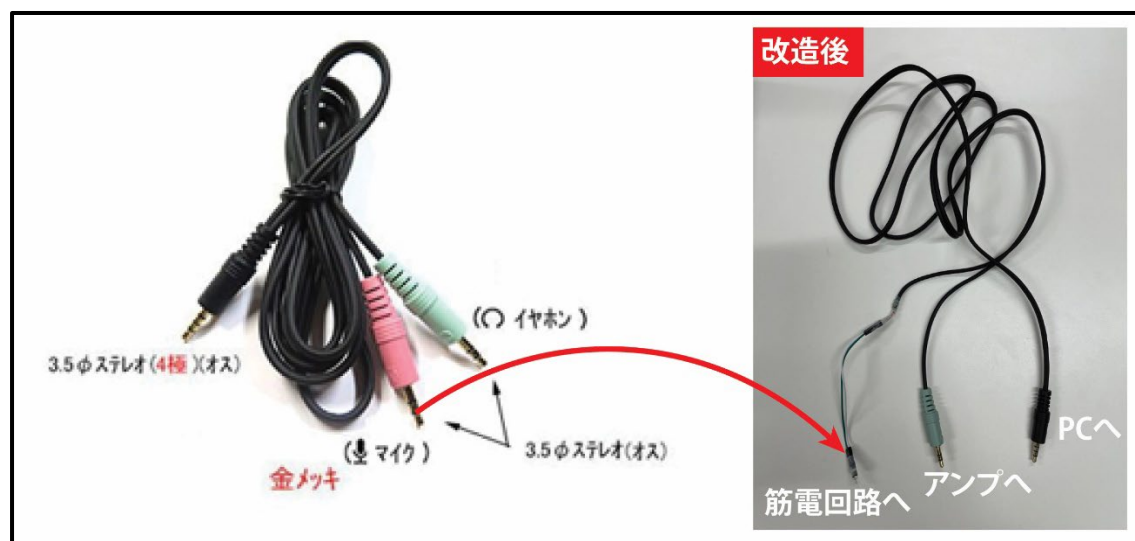
### Electrical Characteristics (@T<sub>A</sub> = +25°C, V<sub>DD</sub> = 5V, Gain = 24dB, R<sub>L</sub> = 8Ω, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
V <sub>DD</sub>	Supply Voltage		2.5		5.5	V
P <sub>O</sub>	Output Power	THD+N = 10%, f = 1kHz, R <sub>L</sub> = 4Ω	V <sub>DD</sub> = 5.0V	3.2		W
			V <sub>DD</sub> = 3.6V	1.6		W
			V <sub>DD</sub> = 3.2V	1.3		W
			V <sub>DD</sub> = 5.0V	2.5		W
			V <sub>DD</sub> = 3.0V	1.3		W
			V <sub>DD</sub> = 3.2V	0.85		W
			V <sub>DD</sub> = 5.0V	1.8		W
			V <sub>DD</sub> = 3.6V	0.9		W
			V <sub>DD</sub> = 3.2V	0.6		W
			V <sub>DD</sub> = 5.0V	1.4		W
			V <sub>DD</sub> = 3.0V	0.72		W
			V <sub>DD</sub> = 3.2V	0.45		W
THD+N	Total Harmonic Distortion Plus Noise	V <sub>DD</sub> = 5.0V, P <sub>O</sub> = 1W, R <sub>L</sub> = 8Ω	f = 1kHz	0.15		%
		V <sub>DD</sub> = 3.6V, P <sub>O</sub> = 0.1W, R <sub>L</sub> = 8Ω	f = 1kHz	0.11		%
		V <sub>DD</sub> = 5.0V, P <sub>O</sub> = 0.5W, R <sub>L</sub> = 4Ω	f = 1kHz	0.15		%
		V <sub>DD</sub> = 3.6V, P <sub>O</sub> = 0.2W, R <sub>L</sub> = 4Ω	f = 1kHz	0.11		%
G <sub>V</sub>	Closed Loop Gain	V <sub>DD</sub> = 2V to 5V		24		dB
PSRR	Power Supply Ripple Rejection	V <sub>DD</sub> = 5.0V, Inputs AC-Grounded with C <sub>IN</sub> = 0.47μF	f = 100Hz	-59		dB
			f = 1kHz	-58		dB
C <sub>O</sub>	Crosstalk	V <sub>DD</sub> = 5.0V, P <sub>O</sub> = 0.5W, R <sub>L</sub> = 8Ω, G <sub>V</sub> = 20dB	f = 1kHz	-95		dB
SNR	Signal-to-Noise Ratio	V <sub>DD</sub> = 5.0V, V <sub>OUT</sub> = 1V, G <sub>V</sub> = 20dB	f = 1kHz	80		dB
V <sub>N</sub>	Output Noise	V <sub>DD</sub> = 5.0V, Inputs AC-Grounded with C <sub>IN</sub> = 0.47μF	No A-Weighting	100		μV
			A-Weighting	150		μV
Dyn	Dynamic Range	V <sub>DD</sub> = 5.0V, THD = 1%	f = 1kHz	90		dB
η	Efficiency	R <sub>L</sub> = 8Ω, THD = 10%	f = 1kHz	87		%
		R <sub>L</sub> = 4Ω, THD = 10%		83		%
I <sub>Q</sub>	Quiescent Current	V <sub>DD</sub> = 5.0V		16		mA
		V <sub>DD</sub> = 3.6V	No Load	10		mA
		V <sub>DD</sub> = 3.0V		8		mA
I <sub>MUTE</sub>	Muting Current	V <sub>DD</sub> = 5.0V	V <sub>MUTE</sub> = 0.3V	3.5		mA
I <sub>SD</sub>	Shutdown Current	V <sub>DD</sub> = 2.5V to 5.5V	V <sub>DD</sub> = 0.3V	< 1		μA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-State Resistor	I <sub>DS</sub> = 500mA, V <sub>GS</sub> = 5V	PMOS	180		mΩ
			NMOS	140		mΩ
f <sub>SW</sub>	Switching Frequency	V <sub>DD</sub> = 3.0V to 5.0V		260		kHz
V <sub>OS</sub>	Output Offset Voltage	V <sub>IN</sub> = 0V, V <sub>DD</sub> = 5.0V		10		mV
V <sub>EH</sub>	Enable Input High Voltage	V <sub>DD</sub> = 5.0V	1.5	1.4		V
V <sub>EL</sub>	Enable Input Low Voltage	V <sub>DD</sub> = 5.0V		0.7	0.4	V
V <sub>IN</sub>	MUTE Input High Voltage	V <sub>DD</sub> = 5.0V	1.5	1.4		V
V <sub>IL</sub>	MUTE Input Low Voltage	V <sub>DD</sub> = 5.0V		0.7	0.4	V
OTP	Over Temperature Protection			140		°C
OTH	Over Temperature Hysteresis	No Load, Junction Temperature	V <sub>DD</sub> = 5.0V	30		°C

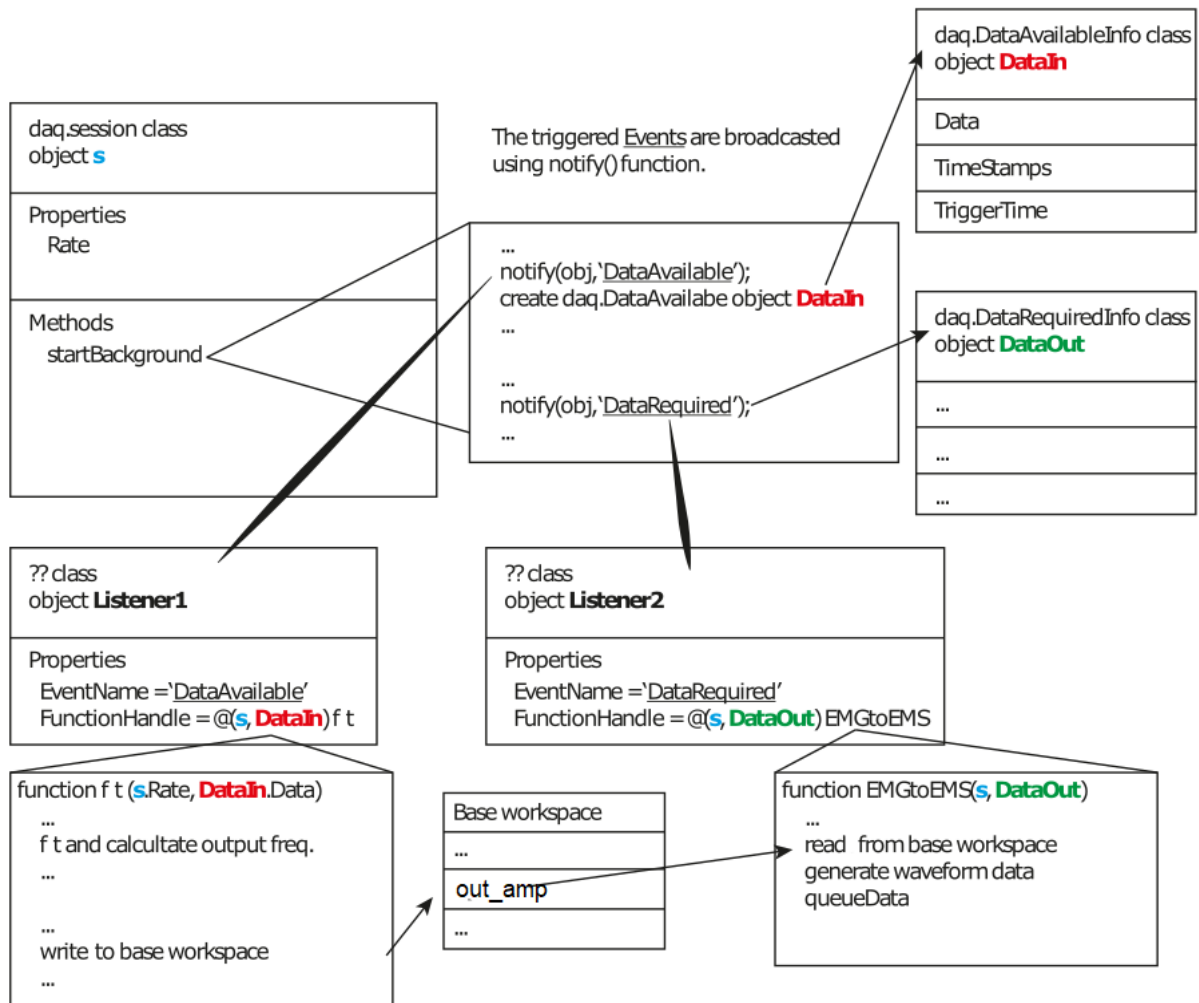
オーディオケーブル(改造前):



オーディオケーブル(改造後):



## 課題 2c 参考 workflow chart





## 【課題 2】 Real time 信号入出力を行う.

MATLAB の Data Acquisition Toolbox では, PC を Real time で入力信号を分析し, 分析結果により異なる出力信号を出すことができる.

### 2a. FFT 復習 & パフォーマンス評価.

MATLAB で使われる FFT では, 信号ベクターの長さにより異なるアルゴリズムが実行されている. 信号ベクターが 512, 1024 などの 2 のべき乗であるとき, Radix-2 FFT アルゴリズムが実行され, 計算が速くなる.

[https://www.dsprelated.com/freebooks/mdft/Radix\\_2\\_FFT.html](https://www.dsprelated.com/freebooks/mdft/Radix_2_FFT.html)

信号ベクターの長さが 2 のべき乗じゃないとき, 信号ベクターの長さが次に大きい 2 のべき乗になるように各行をゼロで埋めることで, これで FFT のパフォーマンスを改良可能である. 関数 `nextpow2` を使用して `ex2a.m` にて新しい長さを定義する.

`ex2a.m` を実行し, 実際の計算所要時間 `t_fast` と `t_slow` を比べてみましょう.

\_\_\_\_\_ 回計算のうち, `t_fast` の平均値が \_\_\_\_\_ 秒, `t_slow` の平均値が \_\_\_\_\_ 秒.

### 2b. Real time 信号入出力プログラムに FFT の機能を組み込もう. (TA チェック)

`ex2b.m` 内の指定の場所にコードをいれ, Input チャンネルと刺激波長生成関数を設置する. さらに, 「%%ここにパフォーマンスのいい FFT を組み込もう」のところに, パフォーマンスのいい FFT を実装する. `ex2b.m` を実行し, フーリエ変換された入力信号がグラフに表記され, PC のマイクに入力された音声に応じて FFT の結果が変化することを確認する.

### 2c. 音声信号の強度でヘッドホン出力のオン/オフを制御. (TA チェック)

`ex2b.m` で追記した内容を `ex2c.m` に転記するとともに, 33 行目と 63 行目にそれぞれのヒントに従って, プログラムを完成させる. プログラムを実行し, マイクへの入力信号の大きさにて, 出力信号がオン/オフ制御できることを確認する. `wave_gen()` の `D` や `t` の範囲が制御速度に与える影響を確認し, 速やかにオン/オフ制御可能にこれらの値を変更すること.

(マイクに大きな音を当てると, スピーカーから課題 1c で実現したパルス音がオンになる. マイクへの入力が少なくなると, スピーカーから音は無し)

(ここから 2 回目)

**【課題 3】 前回で作ったプログラムで筋肉を動かす.**

**3a. 筋電刺激波形の出力の復習. (TA チェック)**

ex1c.m のパルス幅を変更し 5 ms にするとともに、周波数設定を変更し 1 Hz の刺激を与えるプログラムと 20Hz の刺激を与えるプログラムの 2 つを用意する. スピーカーから設定どおり出力されていることを確認した後、パワーアンプに接続し、オシロスコープで出力波形を確認し、電気信号として出力されていることを確認する.

**3b. 電気分解の観察**

20 Hz の電気刺激を与えるプログラムを用いて、食塩水が入っているシャーレに電気刺激を与える. 出力可能な最大パルス電圧 (音量とアンプを最大にしたとき) にて電気刺激を流すと、電気分解にて泡が発生することを確認する. 電気分解が発生することは、液中に電気を流せているということの証明になる.

電気分解の発生に必要な最小の音量 or アンプの増幅率を確認しよう。

**3c. 筋肉への電気刺激負荷. (TA チェック)**

課題 3b で明らかにした条件にて、筋肉が入った培養液に対して 1 Hz の電気刺激を与える. 筋肉がおよそ 1 Hz の頻度で収縮している. これが単縮である. 次に 20 Hz の電気刺激を与え、筋肉が収縮し続けることを確認する. これが強縮である. 強縮は筋肉にダメージを与えるので、5 秒以上連続して負荷しないこと. 単縮, 強縮をそれぞれ引き起こせることを TA にチェック受けること

**3d. (自由課題) 周波数を 1 Hz から 20 Hz の間で調整し、単縮と強縮の間で痙攣しているように見える周波数はおよそいくらか探し出す.**

#### 【課題 4】 筋電からカエル筋肉を動かしてみよう.

- 4a. 自分の筋電信号の強さを把握し、課題 2c のプログラムを調整する. (TA チェック)  
筋電回路を設置する. 筋電回路の出力をオーディオケーブルのマイク端子と繋ぐ.  
ex2c.m を実行し, fft の plot を見ながら筋肉を動かす.  
筋肉が静止状態のとき,  $|Y(f)|$  の値はおよそ \_\_\_\_\_ から \_\_\_\_\_.  
筋肉が動いた瞬間,  $|Y(f)|$  の値はおよそ \_\_\_\_\_ から \_\_\_\_\_.  
以上の結果により, ex2c.m の 66 行目付近, if ロジックの判定条件を適切に修正し、  
筋電の入力に応じて out\_amp の値が変わるようにする.
- 4b. 自分の筋肉の運動でカエル筋肉の動きを制御する. (TA チェック)  
自分の筋肉を動かして電気刺激の出力をオン/オフ制御することで, カエル筋肉の運動を制御できるようにする.
- 4c. (自由課題) 自分の筋肉の運動量や運動パターンからカエル筋肉の動きを制御する.  
筋電情報の変化をトリガーとして、出力される電気刺激の周波数・電圧量を制御し、  
様々な条件でカエル筋肉の運動を制御できるようにする.  
例えば、腕以外に、心拍や眼筋などの他の部位の筋電情報からも、カエル筋肉の運動を制御できるようにする.

