

ANCコントローラ取り扱い説明書

2007年3月8日改訂

有限会社アクティモ

問い合わせ先

e-mail : nkjm@ae-gate1.archi.kyoto-u.ac.jp

目次

1	パネル説明	1
2	ハードウェア仕様	2
3	操作手順	3
3.1	動作モード	3
3.1.1	LED チェック、動作モード 0	3
3.1.2	\hat{c} フィルタの同定、動作モード 1	4
3.1.3	fileted-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC、動作モード 2	5
3.1.4	固定 ANC、動作モード 3	6
3.1.5	leaky fileted-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC、動作モード 4	7
3.1.6	右入力信号のレベル表示、動作モード 5	8
3.1.7	フィードバックキャンセル用適応フィルタ、動作モード 6	9
3.1.8	フィードバックキャンセル用固定フィルタ、動作モード 7	10
3.1.9	標本化周波数の設定、動作モード 8	11
3.1.10	ステップサイズの設定、動作モード 9	12
3.1.11	タップ数の設定、動作モード 10	13
3.1.12	Leak 係数の設定、動作モード 11	14
4	操作手順	15
4.1	操作例 –filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC	16
5	入出力信号	19

6	動作パラメーター	21
7	ANC	22
8	Tips	24
9	FAQ	25

1 パネル説明

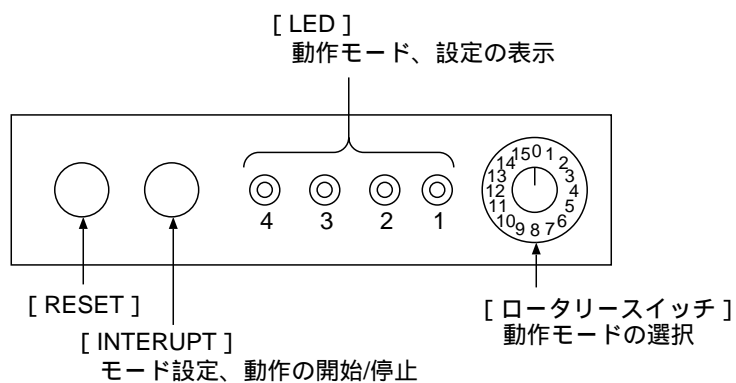


図 1: 正面パネル

コントローラーの設定及び、フィルタ係数を初期値に戻すには、RESET ボタンを押してください。

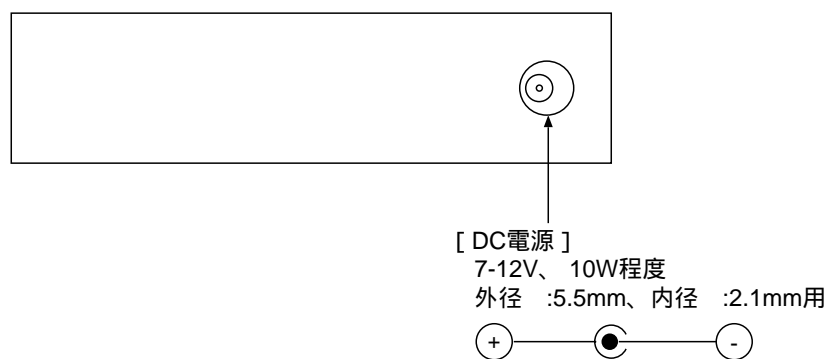


図 2: 背面パネル

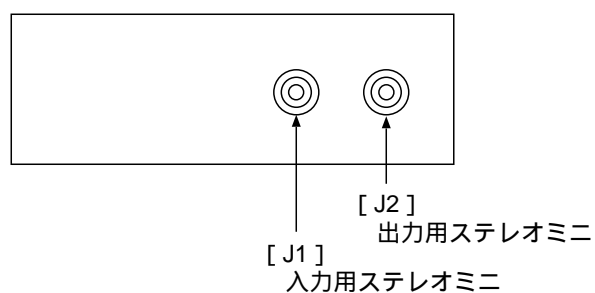


図 3: 右側面パネル

2 ハードウェア仕様

DSP	AnalogDevicesADSP – 2181
クロック周波数	33MHz
演算精度	16bit 固定小数点
演算量	33MIPS
AD/DA コンバータ	AnalogDevicesAD1847
AD/DA コンバータ精度	16bit
アナログ入力チャンネル数	2
アナログ出力チャンネル数	2
アナログ入出力端子	ステレオミニ × 2
サンプリング周波数	最大 48kHz
アナログ入力	2V _{rms} の AC カップリングラインレベル入力
アナログ出力	1V _{rms} の AC カップリングラインレベル出力
電源	7 – 12V、10W 程度

3 操作手順

3.1 動作モード

コントローラーには下の0から11までの動作モードがあります。トグルスイッチ(図1参照)をモード番号にあわせてから INTERRUPT スイッチ(図1参照)を押すことによって、各モードの動作を行うことができます。各モードでの詳しい操作手順および、コントローラーの入出力信号は3.1.1節以降で述べます。コントローラーの設定及び、FIR フィルタ係数を初期値に戻すには、RESET ボタン(図1参照)を押してください。

動作モード番号	動作
0	LED チェック
1	\hat{c} フィルタの同定
2	filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC
3	固定 ANC
4	Leakey filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC
5	右入力信号のレベル表示
6	フィードバックキャンセル用適応フィルタ
7	フィードバックキャンセル用固定フィルタ
8	標本化周波数の設定
9	ステップサイズの設定
10	フィルタタップ数の設定
11	Leak 係数の設定

3.1.1 LED チェック、動作モード0

入出力信号	なし
動作の開始	トグルスイッチを0にあわせて、INTERRUPT スイッチを押して下さい。
動作	フロントパネルの4つのLEDが交互に点滅

3.1.2 \hat{c} フィルタの同定、動作モード 1

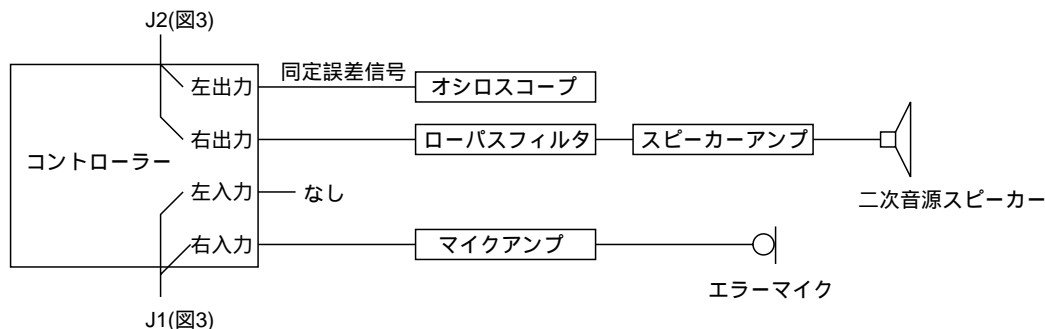


図 4: 周辺機器との接続例

- 動作の開始 トグルスイッチを 1 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。
- 動作の再開始 \hat{c} フィルタの同定をすでに開始した状態で、トグルスイッチを 1 にあわせて、INTERUPT スイッチを押すと、 \hat{c} フィルタの係数を初期値に戻して、動作を再開始します。
- 動作の停止 トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

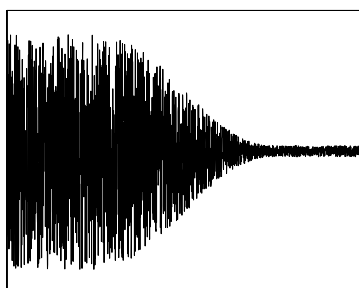


図 5: 同定誤差信号

動作モード 1 では \hat{c} フィルタの同定、即ち、コントローラーの右出力からコントローラーの左入力までのインパルス応答を、コントローラー内の FIR フィルタで近似します。近似の誤差はコントローラーの正面パネル、及び、左出力で確認することができます。同定がうまく行われると、同定誤差信号 (左出力) は、図 5 のように同定開始直後は大きく徐々に小さくなっていき、ある値で定常状態になります。オシロスコープが無いときには、正面パネルの LED で同定がうまく行われたかどうかを確認できます。同定誤差が大きいときには LED は左の方まで点灯し、誤差が小さくなると徐々に左の方から消えていきます。同定がうまく行われなときには、二次音源のスピーカーアンプのボリュームとエラーマイクのアンプのボリュームを調整して、同定を再開始して下さい。 \hat{c} フィルタの同定を行った後に、エラーマイク及び二次音源を移動したり、機器を変更すると、二次経路が変化するため ANC の性能は低下もしくは全く機能しなくなります。

3.1.3 filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC、動作モード 2

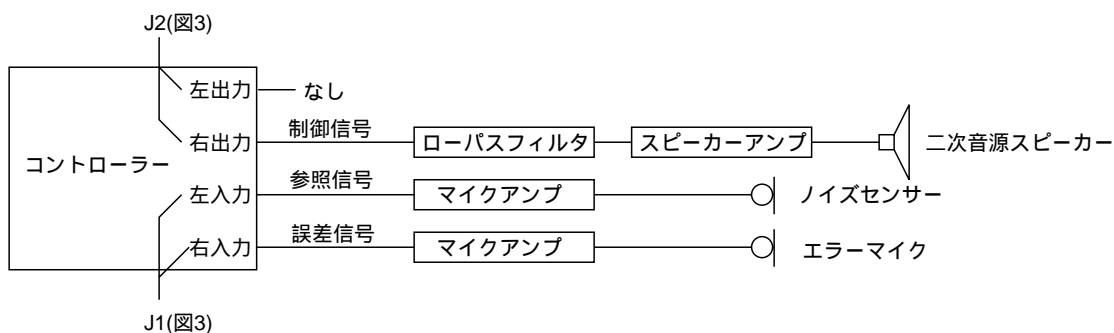


図 6: 周辺機器との接続例

動作の開始 トグルスイッチを 2 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。

動作の再開始 適応 ANC の同定をすでに開始した状態で、トグルスイッチを 2 にあわせて、INTERUPT スイッチを押すと、FIR フィルタの係数を初期値に戻して、動作を再開始します。ただし、モード 1 で近似した \hat{c} フィルタの値は保持したままです。

動作の停止 トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作モード 2 では filtered-x LMS を用いた適応 ANC を行います。接続例ではノイズセンサーを設置していますが、参照信号として騒音源信号を直接取得してもかまいません。動作モード 2 ではノイズセンサーを移動しても、コントローラー内の FIR フィルタの係数を LMS アルゴリズムを用いて最適な値に更新します。

3.1.4 固定 ANC、動作モード 3

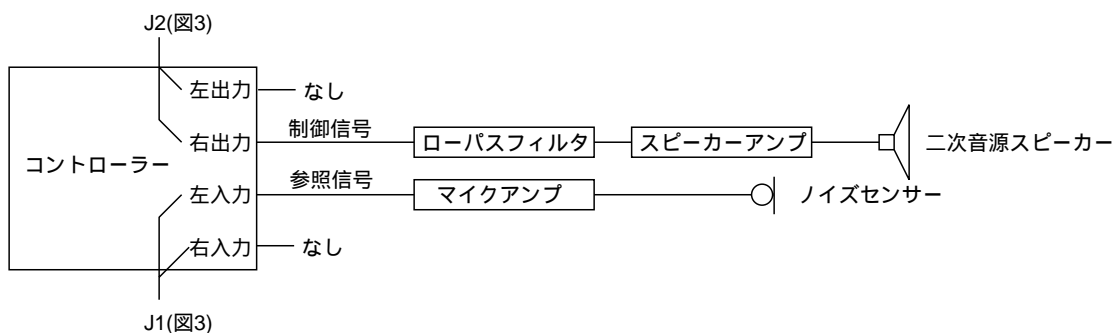


図 7: 周辺機器との接続例

- 動作の開始** トグルスイッチを 3 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。
- 動作の再開始** 適応 ANC の同定をすでに開始した状態で、トグルスイッチを 3 にあわせて、INTERUPT スイッチを押すと、動作を再開始します。
- 動作の停止** トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作モード 3 では固定 ANC を行います。動作モード 2 もしくは 4 の適応 ANC を動作させ、制御効果が得られた後に停止し、固定 ANC を開始すると、適応 ANC を停止したときの FIR フィルタの係数を用いた固定 ANC を行えます。固定 ANC ではエラーマイクを設置する必要はありませんが、ノイズセンサーの位置を適応 ANC を停止したときの位置から動かすことは出来ません。

3.1.5 leaky filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC、動作モード 4

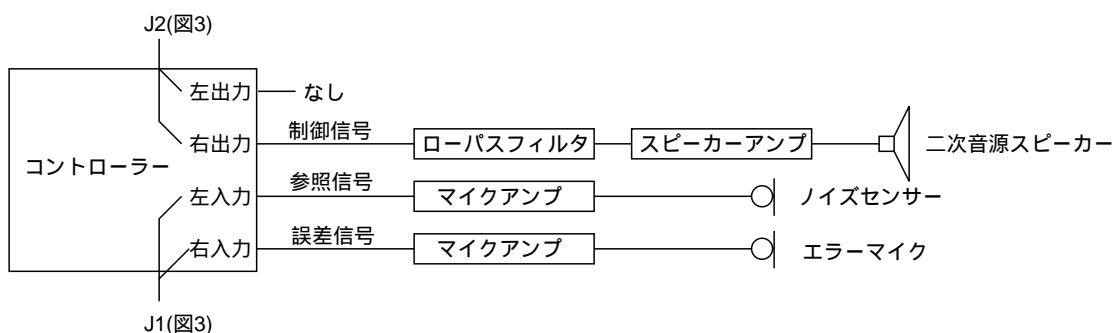


図 8: 周辺機器との接続例

- 動作の開始** トグルスイッチを 4 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。
- 動作の再開始** 適応 ANC の同定をすでに開始した状態で、トグルスイッチを 4 にあわせて、INTERUPT スイッチを押すと、FIR フィルタの係数を初期値に戻して、動作を再開始します。ただし、モード 1 で近似した \hat{e} フィルタの値は保持したままです。
- 動作の停止** トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作モード 4 では leaky filtered-x LMS を用いた適応 ANC を行います。接続例ではノイズセンサーを設置していますが、参照信号として騒音源信号を直接取得してもかまいません。動作モード 4 ではノイズセンサーを移動しても、コントローラー内の FIR フィルタの係数を LMS アルゴリズムを用いて最適な値に更新します。

3.1.6 右入力信号のレベル表示、動作モード 5

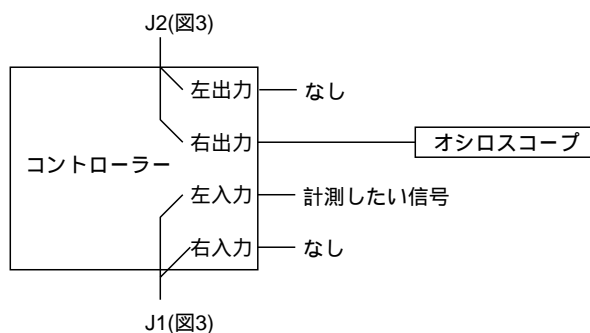


図 9: 周辺機器との接続例

- 動作の開始 トグルスイッチを 5 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。
- 動作の再開始 トグルスイッチを 5 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。
- 動作の停止 トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作モード 5 では右入力信号のレベル表示をし、入力信号の大きさが適当かどうかを調べることができます。入力信号を AD 変換した後の信号の上位 4 ビットを正面パネルの LED で表します。LED が全て点灯すると量子化ビット全てを使っている、もしくはオーバーフローしていることを表します。

3.1.7 フィードバックキャンセル用適応フィルタ、動作モード 6

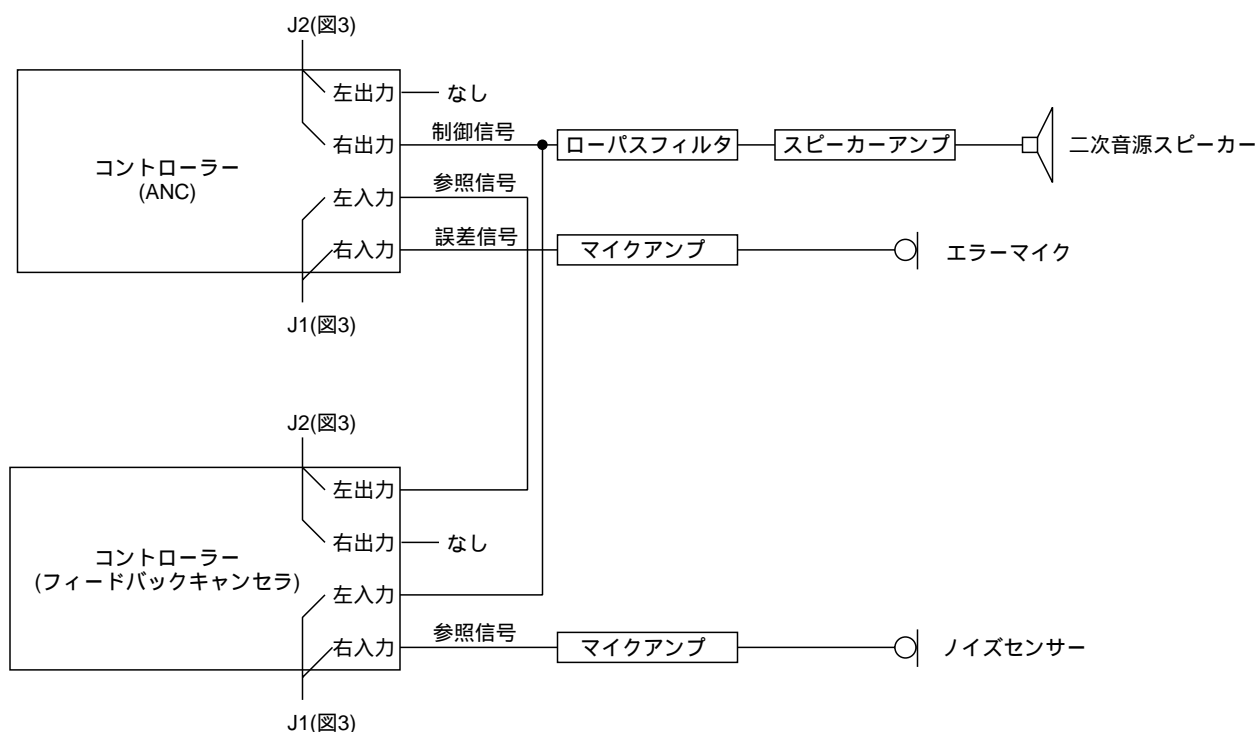


図 10: 周辺機器との接続例 (フィードバックキャンセラ)

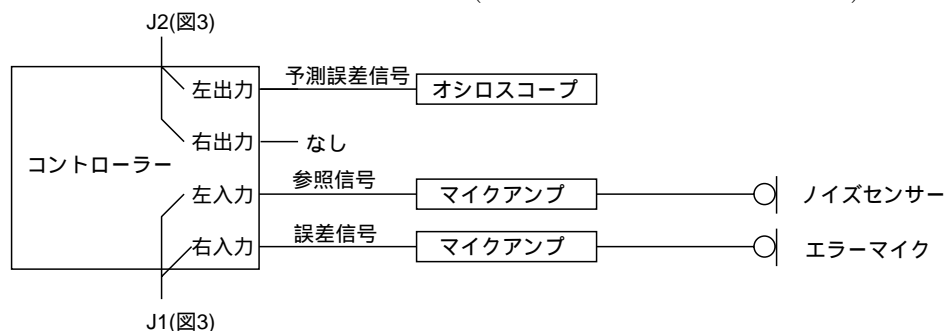


図 11: 周辺機器との接続例 (予測誤差測定)

動作の開始 トグルスイッチを 6 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。

動作の再開始 トグルスイッチを 6 にあわせて、INTERUPT スイッチを押してください。

動作の停止 トグルスイッチを 0 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作モード 6 はフィードバックキャンセラーもしくは予想誤差測定として機能します。

3.1.8 フィードバックキャンセル用固定フィルタ、動作モード7

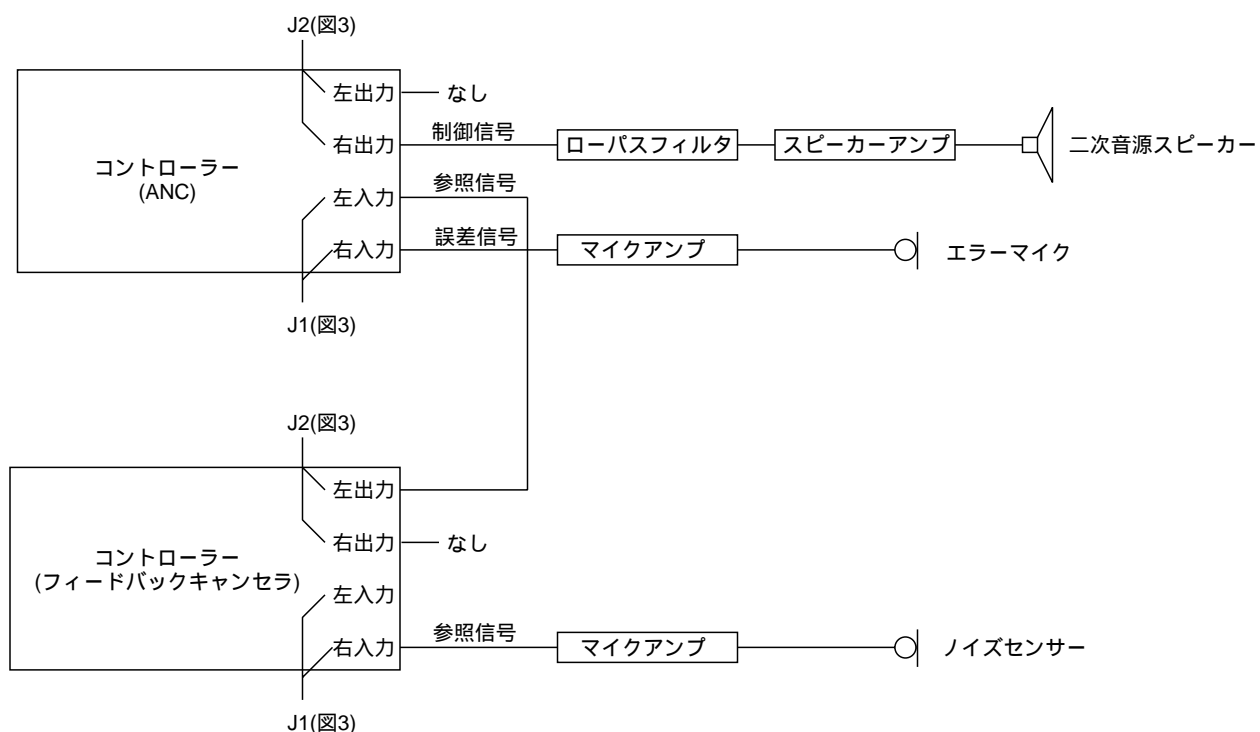


図 12: 周辺機器との接続例 (フィードバックキャンセラ)

動作の開始 トグルスイッチを7にあわせて、INTERUPTスイッチを押してください。

動作の再開始 トグルスイッチを7にあわせて、INTERUPTスイッチを押してください。

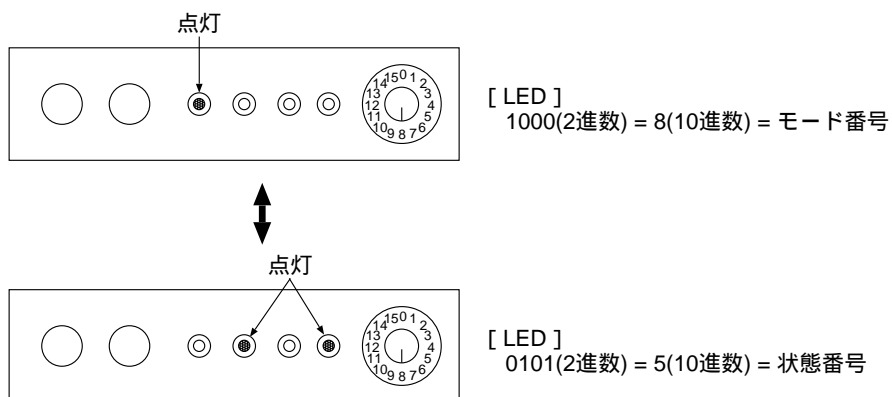
動作の停止 トグルスイッチを0にあわせて、INTERUPTスイッチを押して下さい。

動作モード7はフィードバックキャンセラーとして機能します。FIRフィルタの係数は動作モード6で決定します。

3.1.9 標本化周波数の設定、動作モード 8

- 入出力信号 なし
- パラメータの設定 トグルスイッチを 8 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。
- 動作 動作モード番号と状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) をフロントパネルの 4 つの LED で交互に表示

トグルスイッチを 8 にあわせた状態で、INTERUPT スイッチを押すと、1 回押すたびに状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) は 1 ずつ増えていき、16 回押すと 0 に戻ります。初期状態では状態番号 0 の値に設定されています。例えば、標本化周波数を 4kHz(状態番号 2) にするには、トグルスイッチを 8 にあわせ、INTERUPT スイッチを 2 回押してください。設定が行われると LED は以下のように交互に点滅します。



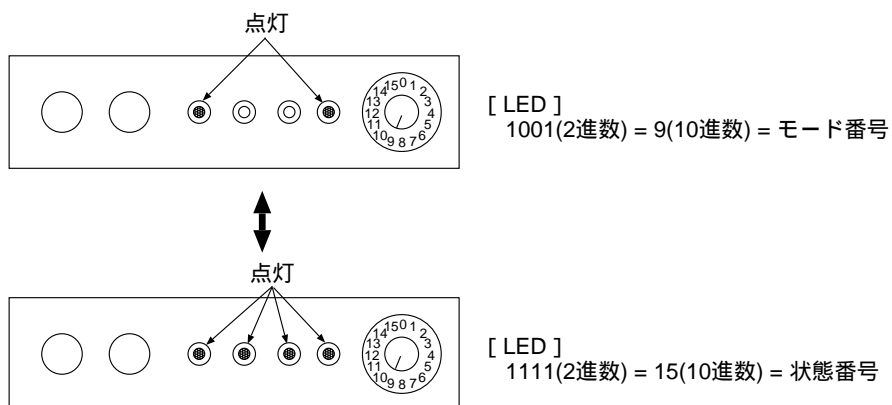
3.1.10 ステップサイズの設定、動作モード 9

入出力信号 なし

パラメータの設定 トグルスイッチを 9 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作 動作モード番号と状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) をフロントパネルの 4 つの LED で交互に表示

トグルスイッチを 9 にあわせた状態で、INTERUPT スイッチを押すと、1 回押すたびに状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) は 1 ずつ増えていき、16 回押すと 0 に戻ります。初期状態では状態番号 0 の値に設定されています。例えば、ステップサイズを 0.00098 (状態番号 15) にするには、トグルスイッチを 9 にあわせ、INTERUPT スイッチを 15 回押ししてください。設定が行われると LED は以下のように交互に点滅します。



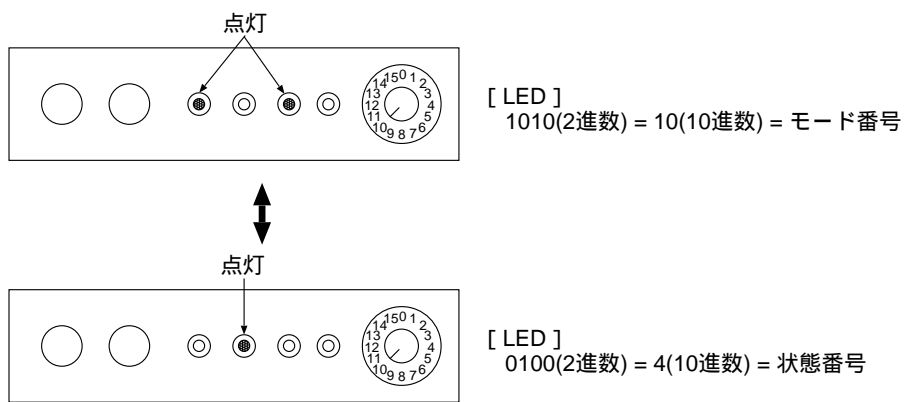
3.1.11 タップ数の設定、動作モード 10

入出力信号 なし

パラメータの設定 トグルスイッチを 10 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作 動作モード番号と状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) をフロントパネルの 4 つの LED で交互に表示

トグルスイッチを 10 にあわせた状態で、INTERUPT スイッチを押すと、1 回押すたびに状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) は 1 ずつ増えていき、16 回押すと 0 に戻ります。初期状態では状態番号 0 の値に設定されています。例えば、標本化周波数を 768 (状態番号 4) にするには、トグルスイッチを 10 にあわせ、INTERUPT スイッチを 4 回押してください。設定が行われると LED は以下のように交互に点滅します。



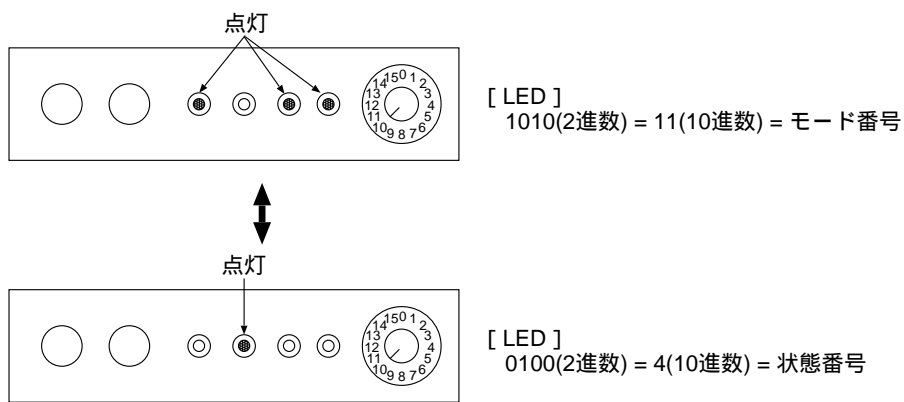
3.1.12 Leak 係数の設定、動作モード 11

入出力信号 なし

パラメータの設定 トグルスイッチを 11 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して下さい。

動作 動作モード番号と状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) をフロントパネルの 4 つの LED で交互に表示

トグルスイッチを 11 にあわせた状態で、INTERUPT スイッチを押すと、1 回押すたびに状態番号 (6 章、動作パラメーターを参照) は 1 ずつ増えていき、16 回押すと 0 に戻ります。初期状態では状態番号 0 の値に設定されています。例えば、Leak 係数を 0.999 (状態番号 2) にするには、トグルスイッチを 11 にあわせ、INTERUPT スイッチを 4 回押して下さい。設定が行われると LED は以下のように交互に点滅します。



4 操作手順

1. 接続 3.1.2-8 章に従って機器とコントローラーを接続してください。
2. 起動
 1. AC アダプタを接続して下さい。
 2. RESET スイッチを押して下さい。
 3. 正常に起動すると、4 つの LED が順番に点灯します。
3. パラメーターの設定 3.1.9-12 章に従ってパラメーターを設定して下さい。
4. 動作の開始

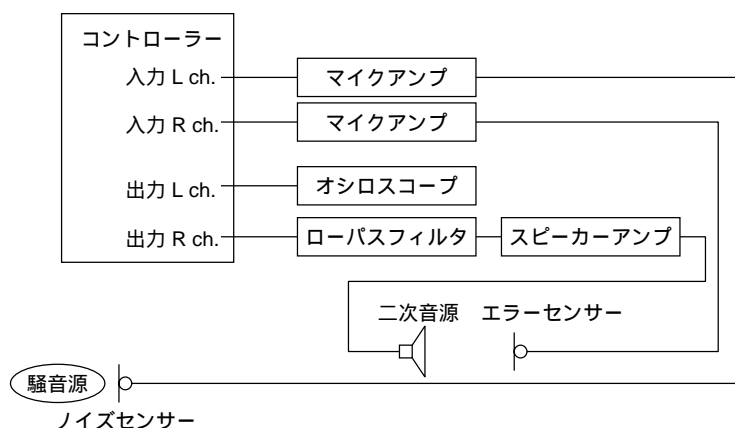
4.1 操作例 –filtered-x LMS アルゴリズムを用いた適応 ANC

0. 使用する機材

- コントローラー ×1
- オシロスコープ ×1
- スピーカーアンプ ×1
- スピーカー (二次音源) ×1
- マイクアンプ ×2 チャンネル
- マイク ×2 (エラーセンサー、ノイズセンサー)
- ローパスフィルタ ×1

1. 接続

下图の様に機器とコントローラーを接続してください。



2. 起動

3. パラメーターの設定

標本化周波数を 2kHz、ステップサイズを 0.00098、タップ数を 768 に設定します。まず、標本化周波数の設定はトグルスイッチを 8 にあわせ、INTERUPT スイッチを 5 回押してください。そして、LED が図 13 のように点滅していることを確認してください。ステップサイズの設定はトグルスイッチを 9 にあわせ、INTERUPT スイッチを 15 回押してください。そして、LED が図 14 のように点滅していることを確認してください。タップ数の設定はトグルスイッチを 10 にあわせ、INTERUPT スイッチを 4 回押してください。そして、LED が図 15 のように点滅していることを確認してください。

4. \hat{c} フィルタの同定

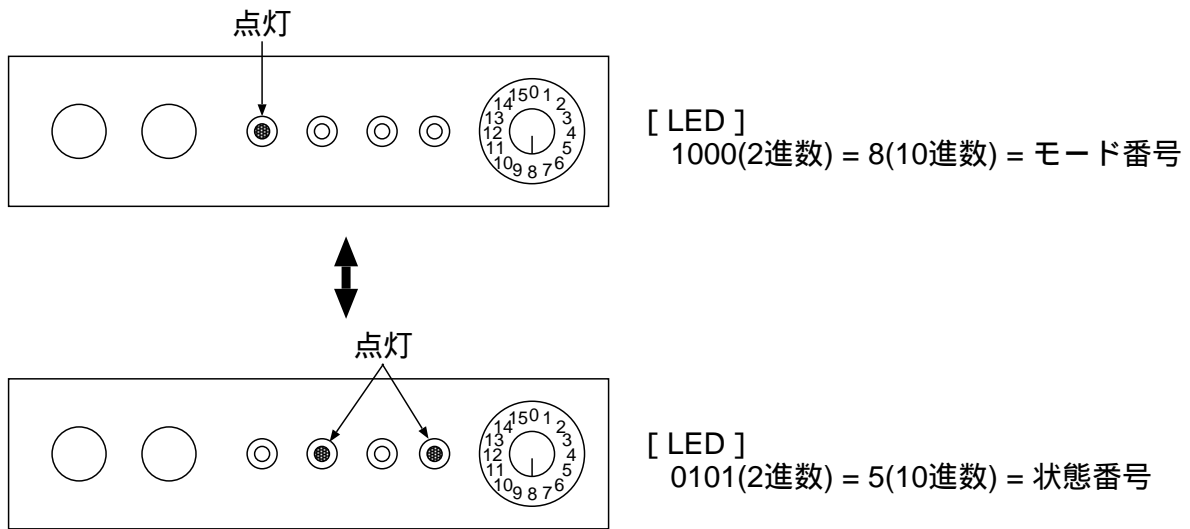


図 13: サンプル周波数

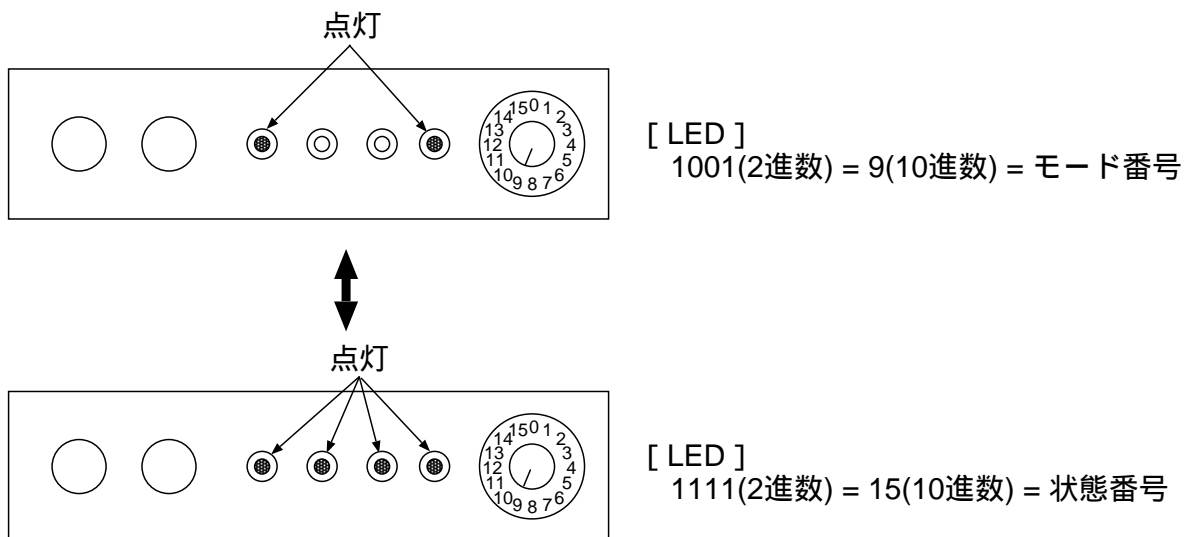


図 14: ステップサイズ

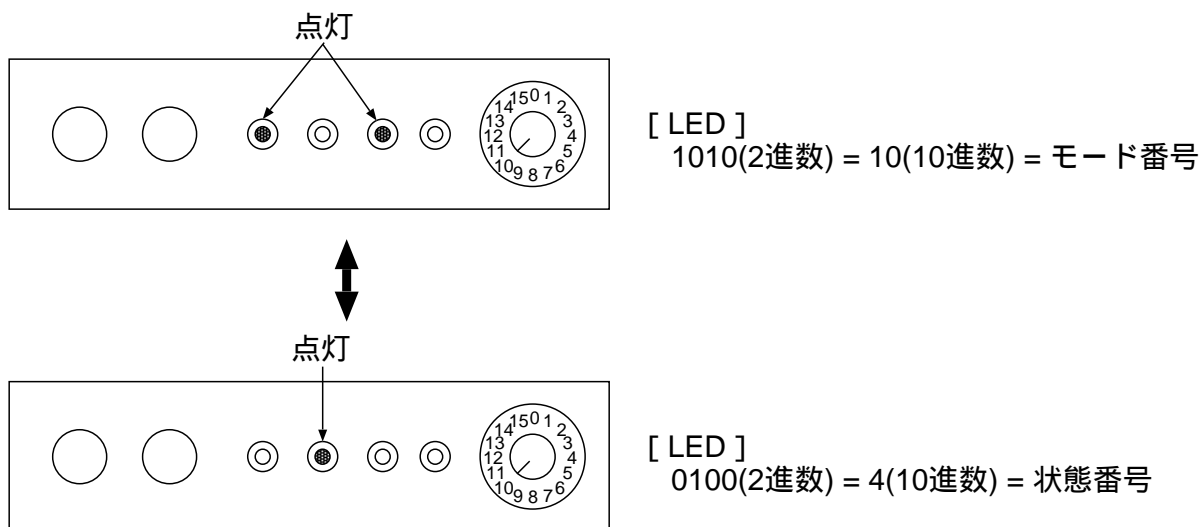


図 15: タップ数

トグルスイッチを 1 にあわせて、INTERUPT スイッチを押して同定を開始してください。同定の誤差は左出力から出力されるので、オシロスコープで確認できます。

5. LMS アルゴリズムを用いた適応制御

制御を開始するにはトグルスイッチを 2 にあわせて INTERUPT スイッチを押してください。

5 入出力信号

・モード1

左出力：同定誤差
右出力：二次音源
左入力：なし
右入力：エラーマイク

・モード2

左出力：なし
右出力：二次音源
左入力：ノイズセンサー
右入力：エラーマイク

・モード3

左出力：なし
右出力：二次音源
左入力：ノイズセンサー
右入力：なし

・モード4

左出力：なし
右出力：二次音源
左入力：ノイズセンサー
右入力：エラーマイク

・モード5

左出力：右入力信号
右出力：なし
左入力：なし
右入力：測定したい信号

・モード6

「フィードバックキャンセラ」

左出力：ANC ノイズセンサー入力
右出力：なし
左入力：二次音源出力信号
右入力：ノイズセンサー出力信号

「予測誤差測定」

左出力：予測誤差信号
右出力：なし
左入力：ノイズセンサー
右入力：エラーマイク

・モード7

左出力：ANC ノイズセンサー入力

右出力：なし

左入力：なし

右入力：ノイズセンサー出力信号

6 動作パラメーター

状態番号	標本化周波数 モード 8	ステップサイズ モード 9	フィルタタップ数 モード 10	Leak 係数 モード 11
0(初期状態)	6,000	0.002	1,024	0.999969
1	4,800	0.0039	960	0.99976
2	4,000	0.0078	896	0.9995
3	3,000	0.0156	832	0.9993
4	2,400	0.03125	768	0.999
5	2,000	0.0625	704	0.9988
6	1,500	0.125	640	0.9985
7	1,000	0.25	576	0.9983
8	750	0.5	512	0.998
9	500	0.99997	448	0.9978
10	48,000	0	384	0.9976
11	24,000	0.00006	320	0.9973
12	16,000	0.00012	256	0.997
13	12,000	0.00024	192	0.9968
14	9,600	0.00049	128	0.9966
15	8,000	0.00098	64	0.9963

7 ANC

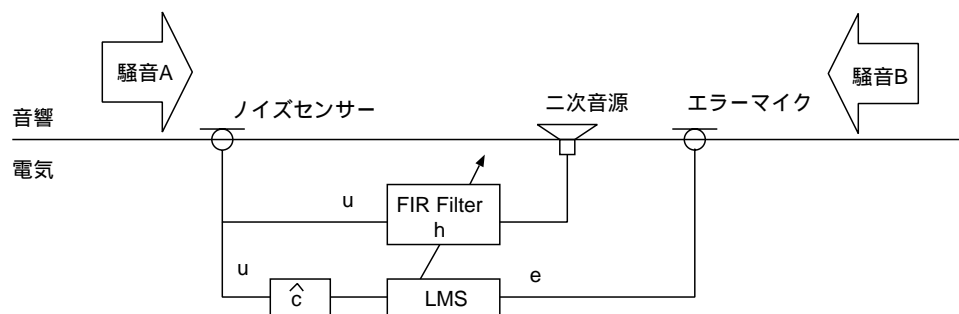


図 16: システム模式図

フィードフォワード型 ANC システム

フィードフォワード型の ANC (Active noise control) では騒音は二つの経路をたどります。一つは音信号のままエラーマイク地点へと伝搬するもの (経路 α)、もう一つはノイズセンサーで電気信号へと変換され二次音源で再び音信号へと変換されエラーマイク地点へと伝搬するもの (経路 β) です。ここで経路 α と β のインパルス応答の振幅が同じで位相が反転しているとき、エラーマイク地点で騒音と二次音源から発せられた音は互いに打ち消しあいます。コントローラー内の FIR フィルターは上記の条件を満たすように値が決定される必要があります。

残響時間

上述の経路 α のインパルス応答長が長いとき、経路 β の応答長もそれと同じだけの長さが必要となります。したがって、制御可能な条件はコントローラーの FIR フィルターの性能に依存します。残響時間が長い空間には FIR フィルターのタップ長を大きくし、サンプリング周波数を小さくすることで対応可能です。

因果律

図1に示す騒音 A は打ち消すことができますが、騒音 B は打ち消すことができません。これは騒音 B はノイズセンサーに到達する前にエラーマイクに到達するためです。騒音 B を打ち消すにはコントローラーを通る経路 β のインパルス応答が負の時間に値を持つ必要があります。即ち、ノイズセンサーに騒音が到達する前に音を出す必要があります。そのような特性を実現することが不可能なため、騒音 B は打ち消すことができません。従って、システムは騒音源-ノイズセンサー- 二次音源-エラーセンサーの順に配置する必要があります。弊社のコントローラーでの遅延は 1ms 程度ありますので、ノイズセンサーは二次音源よりも 34cm 騒音源よりも配置する必要があります。また、コントローラーの後段に接続するローパスフィルタも遅延があるので、注意が必要です。

フィードバックループ

騒音はノイズセンサー-FIR フィルター-二次音源-エラーマイクという経路を通るのですが、ノイズセンサー-FIR フィルター-二次音源-ノイズセンサーという経路もありえます。後者の経路はハウリングを引き起こし、制御効果の低下をまねきます。従いまして、二次音源とノイズセンサーの配置はハウリングを引き起こさないように工夫する必要があります。

FIR フィルタ係数の更新

FIR フィルタの更新は LMS アルゴリズムを使って更新しており、以下の式で表すことができます。

$$h_{n+1} = h_n - \mu e(\hat{c} * u) \quad (1)$$

ここで、 h_n は時間 n における FIR フィルタ係数、 u はノイズセンサーで観測される信号、 e はエラーマイクで観測される信号、 μ はステップサイズ、 \hat{c} は二次音源からエラーマイクまでのインパルス応答を模擬した FIR フィルターの値です。ここで、この更新はサンプル時間ごとに行われます。従いまして、適応動作を速くするためには、サンプリング周波数を大きくし、ステップサイズを大きくする必要があります。この適応動作がうまく行かない場合があります、発散と呼ばれます。発散は u 、 e 、 μ が大きい時に起こりやすいです。

8 Tips

・残響時間が長いとき →

コントローラーのサンプリング周波数を小さく、タップ数を大きくしてください。

・適応を速くしたいとき →

コントローラーのサンプリング周波数を大きく、ステップサイズを大きくしてください。

・発散するとき →

コントローラーのステップサイズを小さく、ノイズセンサー入力を小さく、二次音源のアンプのボリュームを小さくしてください。

・ハウリングするとき →

ノイズセンサー入力を小さく、二次音源のアンプのボリュームを小さく、二次音源とノイズセンサーを離して配置してください。

9 FAQ

- ・ \hat{c} フィルタの同定を行った後に二次音源を動かしても大丈夫ですか？

\hat{c} フィルタの同定を行った後に、エラーマイク及び二次音源を動かすと、二次音源からエラーマイクまでのインパルス応答が変化するため、ANCは正常に動作しません。機器を変更したときや配置を変更したときには、再度 \hat{c} フィルタの同定を再度行ってください。

- ・ 二次音源やエラーマイクのアンプはどのように調節するのですか？

コントローラーへの入力値は $2V_{rms}$ 程度必要です。ノイズセンサー、エラーセンサーの信号をオシロスコープで観測しながら $2V_{rms}$ 程度になるよう二次音源のスピーカーアンプ、マイクアンプの増幅率をまず調節し、その後、もっとも制御効果が大きくなるようアンプの増幅率を徐々に調節してください。また、動作モード5では入力レベルを調べるができます。

- ・ ノイズセンサーはどのように配置すればよいのですか？

ノイズセンサーは騒音源の近くに配置して下さい。騒音源の近くに配置できないときには、騒音の流れを考えて騒音源と二次音源の間に配置してください。

- ・ 二次音源のスピーカーアンプの前にローパスフィルタを設ける必要はあるのですか？

コントローラーに搭載しているAD/DA変換器(AD1847)は、コントローラーの動作パラメーターであるサンプリング周波数をいくつにしても、常に48kHzで動作しています。そして、コントローラー内部のサンプリング周波数とAD/DA変換のサンプリング周波数の整合性をとるために、「間引き」と「補完」を行っています。AD変換では数サンプルに1回抽出する「間引き」を行い、DA変換では数サンプル同じ信号を出力する「補完」を行います。例えば、コントローラーのサンプリング周波数を6kHzに設定すると、DSPからは8サンプル($48 \div 6=8$)同じ信号がDA変換器に渡され、DA変換(サンプリング周波数48kHz)されて出力されます。ですので、コントローラーからの出力は階段状の波形となります。そして、コントローラーからの出力は常に高周波数成分を含みますので、制御に不必要な成分はローパスフィルタで取り除く必要があります。