

RX63Nグループ、RX631 グループ

FFT 演算を用いた音名判定

R01AN1265JJ0100
Rev.1.00
2013.08.01

要旨

本アプリケーションノートでは、RX63Nグループ、RX631グループのDSPライブラリを用いた音名判定システムについて説明します。機能の特長を以下に示します。

- 一定の音域(ド：C4～シ：B4)を判定します
- 判定対象は半音を含む、1音または3音以下の和音です
- 音データを周波数データに変換するFFT演算でDSPライブラリを用います
- 入力された音の音名をLCDに表示します

対象デバイス

- ・RX63Nグループ 177、176ピン版 ROM容量：768KB～2MB
- ・RX63Nグループ 145、144ピン版 ROM容量：768KB～2MB
- ・RX63Nグループ 100ピン版 ROM容量：768KB～2MB
- ・RX631グループ 177、176ピン版 ROM容量：256KB～2MB
- ・RX631グループ 145、144ピン版 ROM容量：256KB～2MB
- ・RX631グループ 100ピン版 ROM容量：256KB～2MB

本アプリケーションノートを他のマイコンへ適用する場合、そのマイコンの仕様にあわせて変更し、十分評価してください。

目次

1. 仕様.....	3
2. 動作確認条件.....	4
3. 関連アプリケーションノート.....	4
4. ハードウェア説明.....	5
4.1 ハードウェア構成例.....	5
4.2 使用端子一覧.....	5
5. ソフトウェア説明.....	6
5.1 動作概要.....	6
5.2 音声取り込み.....	6
5.2.1 音声取り込みに必要な値の算出手順.....	6
5.2.2 周辺機能の詳細設定.....	9
5.3 FFT 演算.....	11
5.4 音名判定.....	12
5.5 判定結果表示.....	14
5.6 ファイル構成.....	15
5.7 オプション設定メモリ.....	15
5.8 定数一覧.....	16
5.9 構造体/共用体一覧.....	16
5.10 変数一覧.....	17
5.11 関数一覧.....	18
5.12 関数仕様.....	19
5.12.1 サンプルコードで使用する関数.....	19
5.12.2 DSP ライブラリの API 関数.....	22
5.13 フローチャート.....	24
5.13.1 メインフロー.....	24
5.13.2 周辺機能以外のポート初期設定.....	25
5.13.3 周辺機能の初期設定.....	26
5.13.4 DMA 転送終了割り込み.....	29
5.13.5 音名判定.....	30
6. サンプルコード.....	31
7. 参考ドキュメント.....	31

1. 仕様

本システムは、ド：C4～シ：B4 の音域の音入力に対し、入力された音の音名を LCD に表示します。

処理内容は、マイクから入力された音声を A/D 変換によってデジタルデータ(以下、音データと称します)に変換する「音声取り込み」、音データから周波数データに変換する「FFT 演算」、その周波数データからパワースペクトルを求め、音名を判定する「音名判定」、音名を LCD に表示する「判定結果表示」の 4 つから構成します。また、FFT 演算では、RX シリーズ DSP ライブラリの FFT 演算を用います。

表 1.1 に使用する周辺機能と用途、図 1.1 に音名判定システムのブロック図を示します。

表 1.1 使用する周辺機能と用途

周辺機能	用途
MTU2a チャンネル 0 (MTU0)	音声取り込みのサンプリング周期を生成
12 ビット A/D コンバータ(S12AD)	音声から音データへの変換
DMACA	A/D 変換結果を FFT 演算で用いるバッファに転送

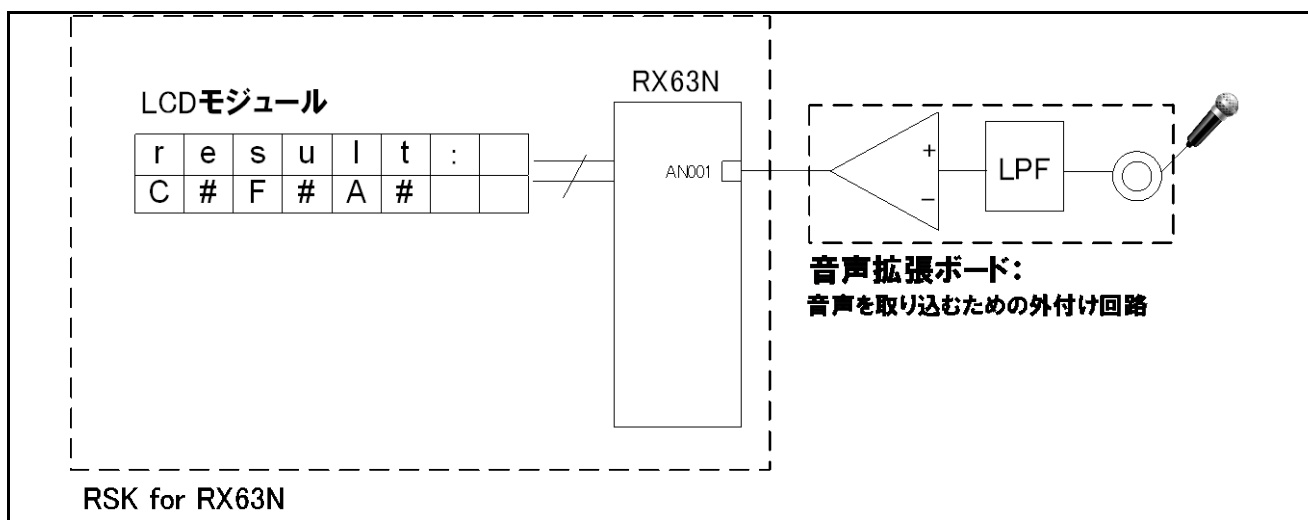


図 1.1 音名判定システムのブロック図

2. 動作確認条件

本アプリケーションノートのサンプルコードは、下記の条件で動作を確認しています。

表 2.1 動作確認条件

項目	内容
使用マイコン	R5F563NBDDFC(RX63N グループ)
動作周波数	<ul style="list-style-type: none"> ・ メインクロック : 12MHz ・ PLL : 192MHz (メインクロック 1 分周 16 通倍) ・ システムクロック (ICLK) : 96MHz (PLL2 分周) ・ 周辺モジュールクロック A (PCLKA) : 96MHz (PLL2 分周) ・ 周辺モジュールクロック B (PCLKB) : 48MHz (PLL4 分周) ・ 外部バスクロック (BCLK) : 48MHz (PLL4 分周) ・ FlashIF クロック (FCLK) : 48MHz (PLL4 分周) ・ IEBUS クロック (IECLK) : 48MHz (PLL4 分周)
動作電圧	3.3V
総合開発環境	ルネサスエレクトロニクス製 High Performance Embedded Workshop Version 4.09.01
C コンパイラ	ルネサスエレクトロニクス製 C/C++ compiler package for RX Family V.1.02 Release01
	コンパイルオプション -cpu=rx600 -output=obj="\$\$(CONFIGDIR)¥\$(FILELEAF).obj" -debug -nologo (統合開発環境のデフォルト設定を使用しています)
iodifine.h のバージョン	Version 1.50
エンディアン	リトルエンディアン(注 1)
動作モード	シングルチップモード
プロセッサモード	スーパーバイザーモード
サンプルコードのバージョン	Version 1.00
使用ボード	Renesas Starter Kit+ for RX63N (R0K50563NC000BE)

注 1 : 本アプリケーションノートのサンプルコードは、ビッグエンディアンには対応していません。

3. 関連アプリケーションノート

本アプリケーションノートに関連するアプリケーションノートを以下に示します。併せて参照してください。

- RX600 Family RX DSP Library API(R01AN1244ES0100)
- RX63N グループ、RX631 グループ 初期設定例 Rev1.10 (R01AN1245JJ0110)

上記アプリケーションノートの関数を、本アプリケーションノートのサンプルコードで使用しています。Rev は本アプリケーションノート作成時点のものです。

最新版がある場合、最新版に差し替えて使用してください。最新版はルネサスエレクトロニクスホームページで確認および入手してください。

4. ハードウェア説明

4.1 ハードウェア構成例

本システムのハードウェア構成例を図 4.1 に示します。音声取り込みに用いる音声拡張ボードは、回路図の参考例を示します。

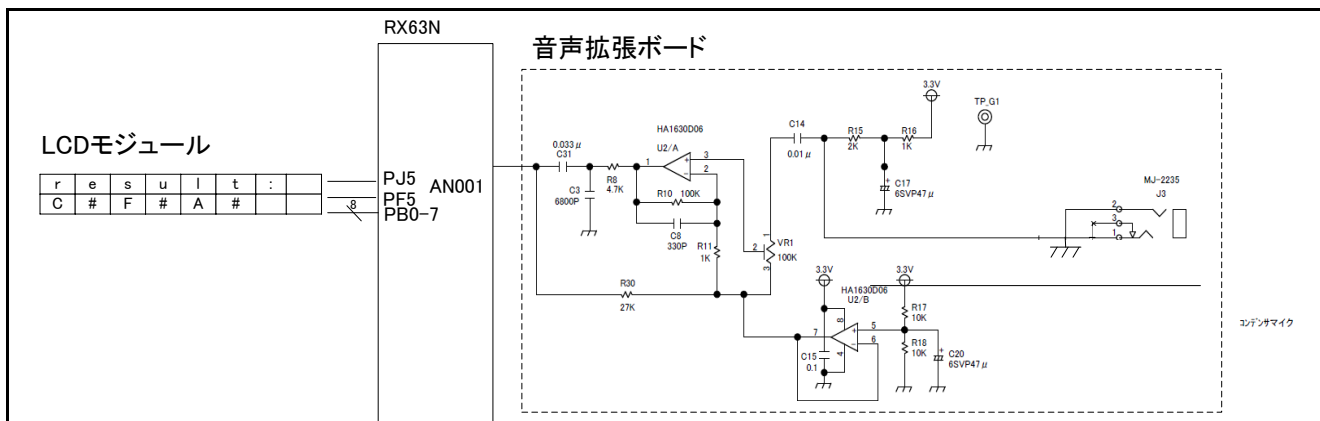


図 4.1 ハードウェア構成例

4.2 使用端子一覧

表 4.1 に使用端子と機能を示します。

表 4.1 使用端子と用途

端子名	入出力	用途
AN001	入力	マイクからのアナログ電圧入力
PF_5	出力	ディスプレイネーブルピン
PJ_5	出力	デバッグコントロールピン
PB_0~PB_7	出力	データ出力ピン

5. ソフトウェア説明

5.1 動作概要

本サンプルコードは、以下の 4 つの処理で構成しています。

- (1) 音声取り込み：マイクから入力された音声を A/D 変換によって音データに変換します
- (2) FFT 演算：音データを周波数データに変換します
- (3) 音名判定：周波数データからパワースペクトルを求め、音名を判定します
- (4) 判定結果表示：判定された音名を LCD に表示します

図 5.1 動作概要図 で示す順序で動作を説明します。

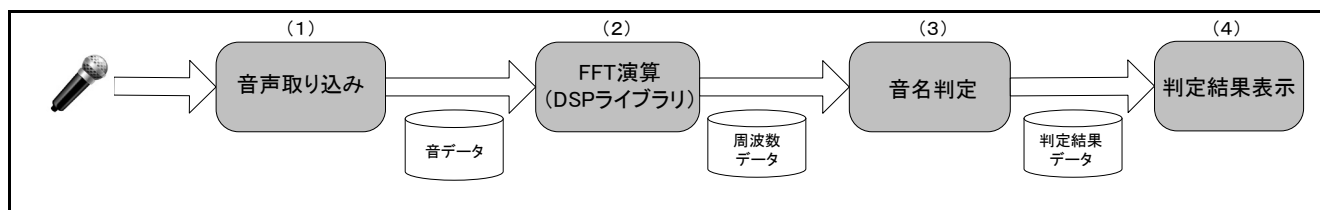


図 5.1 動作概要図

5.2 音声取り込み

音声取り込みは、以下の手順で行います。

- (1) 入力された音声を一定の時間間隔(サンプリング周期)で A/D 変換を行い、音データに変換します
- (2) A/D 変換した結果を DMA 転送でバッファに格納します

5.2.1 で音声取り込みに必要な値の算出手順、5.2.2 で周辺機能の詳細設定について示します。

5.2.1 音声取り込みに必要な値の算出手順

音声取り込みを行うためには、サンプリング周波数、データ个数、FFT の基本周波数、1 回の音声取得に必要な時間の算出が必要です。これらの項目を算出するまでの手順と具体例を以下に示します。

- 1) サンプリング定理(コラム 1 の 1 参照)より、サンプリング周波数の条件を算出する。

[算出方法] 本システムの場合、連続信号の持つ周波数上限 f は、シ(B4) : 493Hz のため、

「サンプリング周波数 $f_s \geq 2f = 493 \times 2$ 」より、サンプリング周波数 f_s は約 1.0kHz が条件となります。

- 2) 各音の間隔より、FFT の基本周波数(コラム 1 の 2 参照)の条件を算出する。

[算出方法] 本システムの場合、音と音の間隔が一番狭いのはド～ド#の約 16Hz であり、それを 3 分割するため、スペクトルの間隔は「 $16 \div 3$ 」より「約 5Hz」が条件となります。

- 3) 条件 1)、2)、および算出規則を用いて、データ个数(コラム 1 の 3 参照)を算出する。

[算出方法] 本システムの場合、「サンプリング周波数(1kHz) \div 基本周波数(5Hz) \leq データ个数(200 個)」よりデータ个数は、2 の N 乗の近似値である 256 個とします。

- 4) 3)のデータ個数と 2)の FFT の基本周波数を用いて、最終的なサンプリング周波数を算出し、その値が 1)のサンプリング周波数の条件を満たしていれば、サンプリング周波数に決定する。

[算出方法] 本システムの場合、データ個数(256)×基本周波数(5Hz)=サンプリング周波数(1.28kHz)

この値は上記 1)のサンプリング周波数の条件を満たしているので問題なし。

- 5) 決定した 4)のサンプリング周波数から、サンプリング周期を求める

[算出方法] 本システムの場合、 $1 \div \text{サンプリング周波数}(1.28\text{kHz}) = \text{サンプリング周期}(0.78125\text{ms})$

- 6) 決定した 5)のサンプリング周期と 3)のデータ個数から、1 回の音声取得に必要な時間を求める

[算出方法] 本システムの場合、サンプリング周期(0.78125ms)×データ個数(256) = 0.2s

以上より決定した、本サンプルコードでの設定値を表 5.1 に示します。

表 5.1 本サンプルコードでの設定値

項目	設定値
サンプリング周波数	1.28kHz
サンプリング周期	0.78125ms
データ個数	256 個
FFT の基本周波数	5Hz
1 回の音声取得に必要な時間	0.2s

コラム1: 音声取り込みに必要な基礎知識

1. サンプリング周波数の条件

原信号には存在しなかった雑音(エイリアス)の発生を防ぐために、サンプリング定理(注 1)を満たす必要があります。

注 1: サンプリング定理

連続信号に含まれる周波数成分を正しいサンプリング値として与えるには、

サンプリング周波数が連続信号の持つ周波数上限の 2 倍以上でなければなりません。

つまり、サンプリング周波数 f_s は、連続信号の持つ周波数成分の上限周波数 f に対して

「 $f_s \geq 2f$ 」でなければなりません。

2. FFT の基本周波数(スペクトルの間隔)の条件

音名の判定を正確に行うため、隣接する音と音の周波数の間隔が一番狭い場合に対応する必要があります。また、各音のパワースペクトルは、期待値の次数の前後にも音を入力していないときよりも高いスペクトルが出現します。

そのために、隣接する音を正確に判定するためには 3 つのスペクトル間隔を空ける必要があります。

(例) 本システムの場合、隣接する音と音の間隔が一番狭いのは「ド～ド#」であり、その間隔は 16Hz です。ド～ド#の間には 3 つのスペクトルの間隔があるため、1 つの間隔は「 $16\text{Hz} \div 3$ 分割=約 5Hz」となります。

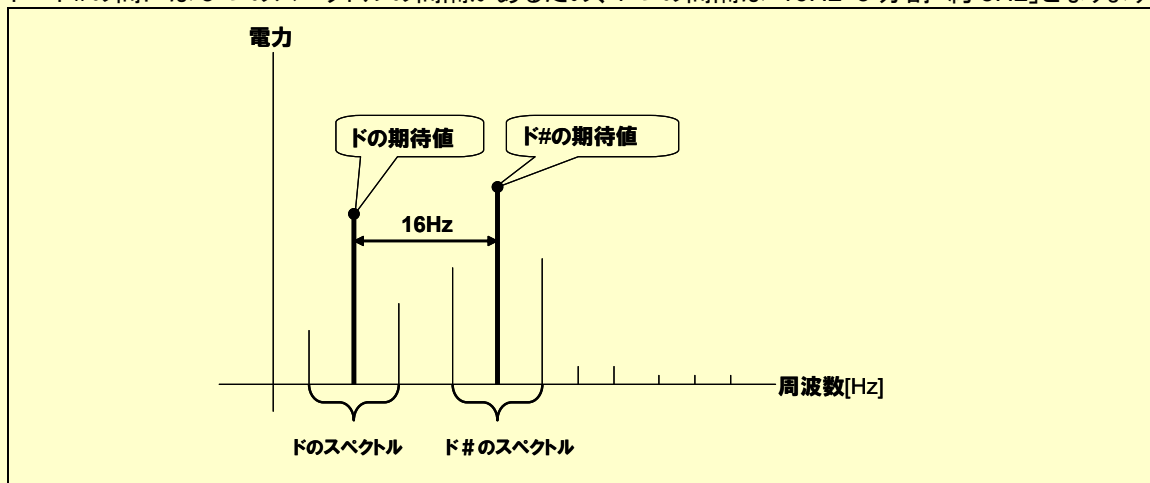


図 5.2 各音のスペクトル間隔の例(ド～ド#)の場合

3. データ個数の条件

入力信号のサンプル数であり、2 の N 乗個である必要があります。

算出方法: (上記 1 を満たす) サンプリング周波数 \div (上記 2 を満たす) FFT の基本周波数 \leq データ個数 (2 の N 乗)

4. 最終的なサンプリング周波数の決定

データ個数(上記 3)と FFT の基本周波数(上記 2)を元にサンプリング周波数を決定します。

算出方法: データ個数 \times 基本周波数 = サンプリング周波数

5. 備考

判定する帯域を広げる場合は、データ個数を増やしてください。

ただし、データ個数を増やすと、FFT の演算時間が長くなります。

- ・今回: データ個数が 256 の場合: 判定帯域は $256 \times 5\text{Hz} = 1.28\text{kHz}$ の半分である 0.64kHz まで判定可能
- ・変更: データ個数が 512 の場合: 判定帯域は $512 \times 5\text{Hz} = 2.56\text{kHz}$ の半分である 1.28kHz まで判定可能

5.2.2 周辺機能の詳細設定

5.2.1 で決定した設定値を用いて音声取り込みを行います。音声取り込みは、入力された音をサンプリング間隔ごとに A/D 変換し、その変換結果を DMAC で転送します。A/D 変換を起動するトリガの発生にはマルチファンクションタイマパルスユニット 2(MTU2a)を用います。表 5.2～表 5.4 に音声取り込みに用いる MTU2a、12 ビット A/D コンバータ、DMA コントローラの詳細設定を示します。

表 5.2 MTU2a チャンネル 0 (MTU0) の設定

項目	内容
動作モード	ノーマルモード
カウンタクリア要因	TGRA のコンペアマッチ
カウントソース	内部クロック(PCLK/4)
タイマ動作周期	0.78125ms

表 5.3 12 ビット A/D コンバータ (S12AD) チャンネル 1(AN001) の設定

項目	内容
A/D 変換起動トリガ	MTU0.TGRA と TCNT のコンペアマッチ(TRG0AN_0)で A/D 変換開始
動作モード	シングルスキャンモード

表 5.4 DMA コントローラ チャンネル 0 (DMAC0) の設定

項目	内容
DMAC 起動トリガ	12 ビット A/D コンバータスキャン変換終了割り込み要求(S12ADI0)
転送内容	A/D 変換結果
データ転送サイズ	16 ビット
転送元アドレス	A/D 変換結果格納レジスタ(ADDR1)
転送先アドレス	内部 RAM に用意したバッファ : g_adc_buf1[] 、 g_adc_buf2[] (注 1)
転送モード	ノーマル転送
転送回数	256 回

注 1 : 2 つのバッファの使用方法は、5.3 に示します。

次に音声取り込みの際の、周辺機能の動きの詳細を示します。図 5.3 に主要な信号の相互関係を示します。図内の番号は本文で説明した現象が起こるタイミングを示します。

- ① MTU0 のカウンタと TGRA レジスタの値が一致するとコンペアマッチ信号が出力され、ADST ビットが“1” (A/D 変換開始) となります。
ADST ビットが“1”になると A/D 変換が開始され、A/D 変換が終了すると“0”になります。
- ② A/D 変換が終了すると、スキャン終了割り込み要求を発生し DMAC が起動します。
- ③ DMA 転送を 256 回実行すると、DMA 転送終了フラグが“1”となり FFT 演算が開始されます
- ④ A/D 変換結果の格納先をもう 1 つのバッファに変更し、A/D 変換を続けます。2 つのバッファを交互に使用し、DMA 転送と FFT 演算を並行して行います。

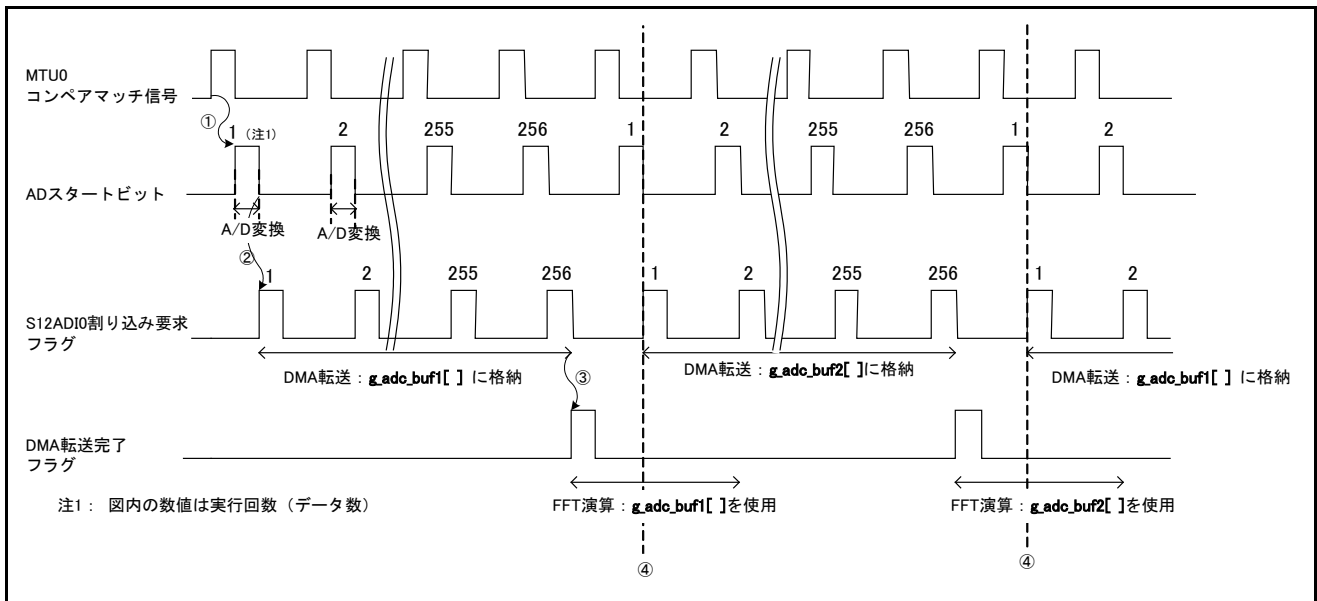


図 5.3 音声取り込みの際の周辺機能の動き

5.3 FFT 演算

本サンプルコードの FFT 演算には、「RX600 シリーズ DSP ライブラリの FFT 演算 (R_DSP_FFT_i16ci16)」を使用します。

図 5.4 に示すように、本サンプルコードでは、A/D 変換結果格納用のバッファ(配列)を 2 つ用意し、交互に格納、FFT 演算に用います。図 5.4 に FFT 演算に関わるデータの流れ、図 5.5 に FFT 演算がバッファを使用するタイミング/期間を示します。

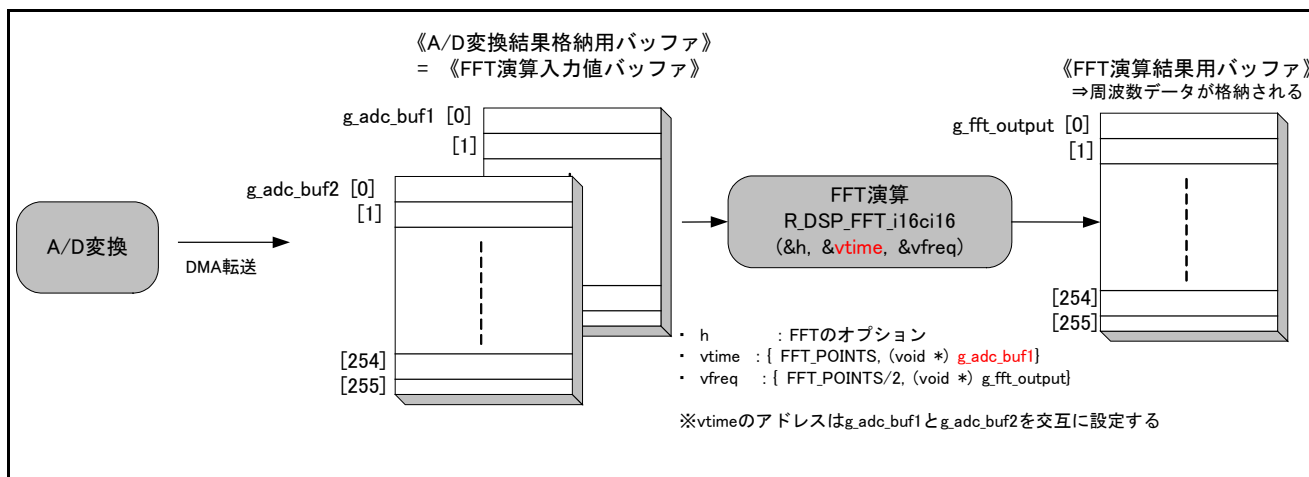


図 5.4 FFT 演算に関わるデータの流れ

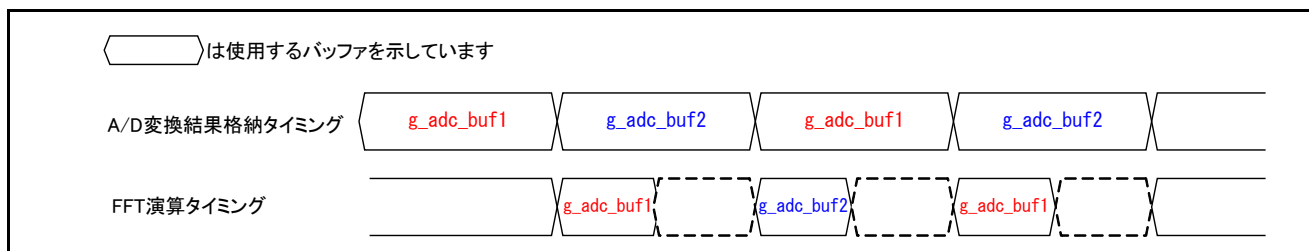


図 5.5 FFT 演算がバッファを使用するタイミング/期間

5.4 音名判定

本サンプルコードの音名判定の対象はド：C4～シ：B4 の範囲の 1 音または 3 音以下の和音とします。この音名判定は、次の手順で行います。

- (1) FFT 演算の出力値である周波数データを、パワースペクトル(コラム 2 参照)に変換します。
- (2) 算出したパワースペクトルのうち、下記条件(◆入力音の選定条件)を満たすものを入力音の候補とします。
- (3) 入力音の候補をパワースペクトルの大きい順にソートを行い、大きいものから 3 音を音名判定します。
- (4) 音名判定は、次数から音名を判断します。(音と次数の関係は表 5.5 に示します)。
- (5) 複数音が入力された場合、周波数の低い順から LCD に表示します。

◆ 入力音の選定条件

下記 3 つの条件を満たした場合、有音と判定します。有音の判定方法を図 5.6 に示します。

条件 1：出力されたパワースペクトル全体の平均値以上である

条件 2：ピークポイント(前後の次数よりもパワースペクトルが大きい)である

条件 3：ホワイトノイズ(※1)ではない。

※1：ホワイトノイズは入力時の環境によって異なります。定数 'WHITENOISE' の値を変更してください。

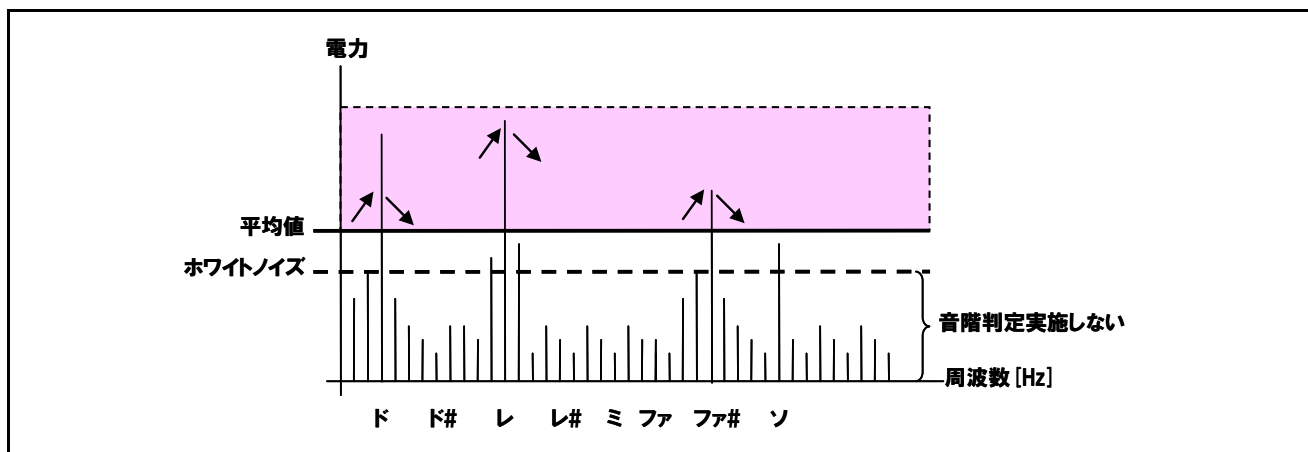


図 5.6 有音の判定方法(有効な入力音がド、レ、ファ#の場合)

◆ 各音と次数の関係

音名判定は、入力音の候補の次数を音名に対応させます。表 5.5 に各音に対応する次数を示します。
また、表内の'計算値'は、「周波数÷FFTの基本周波数」によって算出します。

表 5.5 各音と次数の関係

音名	階名	周波数 (Hz)	計算値	各音に対応する次数	音名	階名	周波数 (Hz)	計算値	各音に対応する次数
C4	ド	261.63	52.36	50-54 次	F4#	ファ#	369.99	74.00	73-76 次
C4#	ド#	277.18	55.44	55-57 次	G4	ソ	392.0	78.40	77-80 次
D4	レ	293.66	58.73	58-60 次	G4#	ソ#	415.3	83.06	81-86 次
D4#	レ#	311.13	62.22	61-64 次	A4	ラ	440.0	88.00	87-91 次
E4	ミ	329.63	65.93	65-68 次	A4#	ラ#	466.16	93.23	92-96 次
F4	ファ	349.02	69.80	69-72 次	B4	シ	493.83	98.77	97-102 次

コラム 2: パワースペクトル(X_n)とは

- ・ 各周波数成分の持っているエネルギー値の比であり、今回は音の大きさを示します。
- ・ 振幅スペクトルの 2 乗値に相当します。
- ・ 求め方は、FFT 演算によって出力された周波数データの正弦波(実部 a_n)、余弦波(虚部 b_n)の計数の 2 乗の和です。

$$X_n^2 = a_n^2 + b_n^2 \quad (n \text{ は次数})$$

5.5 判定結果表示

本サンプルコードの LCD 表示は次の 3 パターンです。

初期表示

i	n	p	u	t	:		

判定結果表示：有音の場合は、音名を表示する (例：階名が'ド#・ファ#・ラ#'の場合)

r	e	s	u	l	t	:	
C	#	F	#	A	#		

判定結果表示：無音の場合

r	e	s	u	l	t	:	
s	i	l	e	n	t		

また、LCD 表示に関する基本仕様は以下の通りです。

- 有音の場合、音名を表示します。
本サンプルコードで表示される'C~B'は、'C4~B4'を示します。
- 有音の条件(ホワイトノイズ以上かつパワースペクトルの平均値以上を満たす)を満たす間、結果を表示し続けます。
- システム起動時から最初の音名判定を行うまで、初期表示を行います。
- 和音の場合の出力は、周波数の低い音から順に表示します。

5.6 ファイル構成

表 5.6 にサンプルコードで使用するファイルを示します。なお、統合開発環境で自動生成されるファイルは除きます。

表 5.6 サンプルコードで使用するファイル

ファイル名	概要	備考
RX_DSP_Little.lib	FFT 処理	DSP ライブラリ
main.c	メイン処理	
r_init_stop_module.c	リセット後に動作している周辺機能の停止	
r_init_stop_module.h	r_init_stop_module.c のヘッダファイル	
r_init_non_existent_port.c	存在しないポートの初期設定	
r_init_non_existent_port.h	r_init_non_existent_port.c のヘッダ	
r_init_clock.c	クロック初期設定	
r_init_clock.h	r_init_clock.c のヘッダ	
peripheral_init.c	MTU2a、A/D 変換、DMAC の初期設定	
peripheral_init.h	peripheral_init.c のヘッダ	
port_init.c	周辺機能以外のポートの初期設定	
port_init.h	port_init.c のヘッダ	
global.c	グローバル変数の定義	
global.h	マクロ定義、大域変数の外部参照	
lcd.c	LCD 表示	
lcd.h	lcd.c のヘッダ	
sound_analyze.c	音名判定処理	
sound_analyze.h	sound_analyze.c のヘッダ	
windowtbl_256.h	256 データの窓データ	
r_dsp_transform.h	DSP ライブラリに組み込まれるヘッダ	
r_dsp_types.h	DSP ライブラリの共通ヘッダ	

5.7 オプション設定メモリ

表 5.7 にサンプルコードで使用するオプション設定メモリの状態を示します。必要に応じて、お客様のシステムに最適な値を設定してください。

表 5.7 サンプルコードで使用するオプション設定メモリ

シンボル	アドレス	設定値	内容
OFS0	FFFF FF8Fh~FFFF FF8Ch	FFFF FFFFh	リセット後、IWDT は停止 リセット後、WDT は停止
OFS1	FFFF FF8Bh~FFFF FF88h	FFFF FFFFh	リセット後、電圧監視 0 リセット無効 リセット後、HOCO 発振が無効
MDES	FFFF FF83h~FFFF FF80h	FFFF FFFFh	リトルエンディアン

5.8 定数一覧

表 5.8 にサンプルコードで使用する定数を示します。

表 5.8 サンプルコードで使用する定数

定数名	設定値	内容
FFT_POINTS	256	サンプリングのデータ個数
WHITENOISE	300000	ホワイトノイズの上限 (注 1)
FALG_COMP	1	フラグのセット状態
BUFF1	1	A/D 変換格納先が g_adc_buf1[] の場合
BUFF2	0	A/D 変換格納先が g_adc_buf2[] の場合

注 1: ホワイトノイズは入力時の環境によって異なります。定数 'WHITENOISE' の値を変更してください。

5.9 構造体/共用体一覧

図 5.7 にサンプルコードで仕様する構造体/共用体を示します。

```
typedef struct
{
    uint16_t  n;                /* データ個数 */
    void *   data;             /* FFT 演算の入力、出力の格納先 */
} vector_t;

vector_t vtime = {FFT_POINTS, (void *)g_adc_buf1}; /* FFT 演算の入力値 情報 */
vector_t vfreq = {FFT_POINTS/2, (void *)g_fft_output}; /* FFT 演算の出力値 情報 */
```

図 5.7 サンプルコードで仕様する構造体/共用体

5.10 変数一覧

表 5.9 にグローバル変数、表 5.10 に static 型変数を示します。

表 5.9 グローバル変数

型	変数名	内容	使用関数
int16_t	g_adc_buf1 [256]	FFT の入力値に使用される A/D 変換結果格納用バッファ 1	main/ init_dmac /Excep_DMACA_DMACH0
int16_t	g_adc_buf2 [256]	FFT の入力値に使用される A/D 変換結果格納用バッファ 2	main/ init_dmac / Excep_DMACA_DMACH0
int16_t	g_fft_output [256]	FFT の出力結果格納	main/sound_analyze
int8_t	g_dmac_flag	DMA 転送終了フラグ 0: 転送中 1: 転送完了	main/ Excep_DMACA_DMACH0
int8_t	g_buf_flag	A/D 変換結果格納 buf フラグ 0: g_adc_buf2 に格納 1: g_adc_buf1 に格納	main/ Excep_DMACA_DMACH0
char	g_result [8]	判定結果格納用バッファ	sound_analyze/Display_LCD

表 5.10 static 変数

型	変数名	内容	使用関数
vector_t	vtime	FFT 演算用入力データ	R_DSP_FFT_i16ci16
vector_t	vfreq	FFT 演算用出力データ	R_DSP_FFT_i16ci16
int32_t	status	DSP ライブラリのエラーチェック	main
int32_t	fft_bitrev[56]	ビット反転用バッファ	main
int16_t	fft_twiddle[FFT_PO INT+FFT_POINTS/2]	回転因子バッファ	main
int16_t	r_fft_tbl_window	窓係数	main
uint32_t	input_cnt	DMA 転送完了回数	Excep_DMACA_DMACH0
uint32_t	real	周波数データの実数部 2 乗	sound_analyze
uint32_t	image	周波数データの虚数部 2 乗	sound_analyze
uint32_t	power[128]	パワースペクトル格納用バッファ	sound_analyze
uint32_t	sum	パワースペクトルの合計	sound_analyze
float	avg	パワースペクトルの平均	sound_analyze
uint8_t	peak[10]	入力音の候補格納バッファ	sound_analyze
const char	clear[8]	結果クリア用バッファ	sound_analyze
const char	silent[8]	無音表示用バッファ	sound_analyze

5.11 関数一覧

表 5.11 にサンプルコードで使用する関数、表 5.12 に DSP ライブラリの API を示します。

表 5.11 サンプルコードで使用する関数

関数名	説明
main	メイン処理
R_INIT_StopModule	リセット後に動作している周辺機能の停止
R_INIT_NonExistentPort	存在しないポートの初期設定
R_INIT_Clock	クロック初期設定
port_init	ポート初期設定
peripheral_init	周辺機能の初期設定
mtu_init	MTU0 の初期設定
s12ad_init	S12AD の初期設定
dmac_init	DMACA の初期設定
lcd_init	LCD の初期化
Display_LCD	LCD 表示
sound_analyze	音名判定
Excep_DMACA_DMACH0	DMA 転送終了割り込み
error	エラー処理

表 5.12 DSP ライブラリの API 関数

関数名	説明
R_DSP_FFT_i16ci16	実数 FFT 演算
R_DSP_FFT_BufSize_i16ci16	FFT 演算に用いる領域の確保
R_DSP_FFT_Init_i16ci16	FFT 演算のための初期化

5.12 関数仕様

サンプルコードの関数仕様を示します。

5.12.1 サンプルコードで使用する関数

main	
概要	メイン処理
ヘッダ	sound_analyze.h, lcd.h, r_dsp_transform.h, windowtbl_256.h, r_init_clock.h, r_init_non_existent_port.h, port_init.h, peripheral_init.h
宣言	void main (void)
説明	各関数(ポートの初期設定、クロックの初期設定、周辺機能(MTU、A/D 変換、DMA 転送)、また LCD の初期設定をコールします。また、MTU0 のカウント開始、DMA 転送許可を行います。
引数	なし
リターン値	なし

R_INIT_StopModule	
概要	リセット後に動作している周辺機能の停止
ヘッダ	r_init_stop_module.h
宣言	void R_INIT_StopModule(void)
説明	モジュールストップ状態へ遷移する設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
備考	サンプルコードでは、モジュールストップ状態への遷移は行っていません。 本関数の詳細は、アプリケーションノート「RX63N グループ、RX631 グループ初期設定例 Rev.1.00」を参照してください。

R_INIT_NonExistentPort	
概要	存在しないポートの初期設定
ヘッダ	r_init_non_existent_port.h
宣言	void R_INIT_NonExistentPort (void)
説明	176 ピン未満の製品に対して、存在しないポートの端子に対応するポート方向レジスタの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
備考	サンプルコードでは、176 ピン版(PIN_SIZE=176)に設定しています。 本関数をコールした後に、存在しないポートを含む PDR、PODR レジスタへバイト単位で書き込む場合、存在しないポートの方向制御ビットには“1”、ポート出力データ格納ビットには“0”を設定してください。 本関数の詳細は、アプリケーションノート「RX63N グループ、RX631 グループ初期設定例 Rev.1.00」を参照してください。

R_INIT_Clock	
概要	クロック初期設定
ヘッダ	r_init_clock.h
宣言	void R_INIT_Clock (void)
説明	クロックの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
備考	サンプルコードでは、システムクロックを PLL とし、サブクロックを使用しない処理を選択しています。 本関数の詳細は、アプリケーションノート「RX63N グループ、RX631 グループ初期設定例 Rev.1.00」を参照してください。
port_init	
概要	ポートの初期設定
ヘッダ	なし
宣言	void port_init (void)
説明	LCD で使用するポートの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
peripheral_init	
概要	周辺機能の初期設定
ヘッダ	lcd.h
宣言	void peripheral_init (void)
説明	使用する周辺機能(MTU0、S12AD、DMAC)の初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
mtu_init	
概要	MTU0 の初期設定
ヘッダ	global.h
宣言	void mtu_init (void)
説明	MTU0 の初期設定を行います。また、MTU0 の割り込みの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし
s12ad_init	
概要	S12AD の初期設定
ヘッダ	global.h
宣言	void s12ad_init (void)
説明	12 ビット A/D 変換の設定と使用する端子の設定、割り込みの初期設定を行います。
引数	なし
リターン値	なし

R_DSP_FFT_i16ci16	
概要	実数 FFT 演算
ヘッダ	r_dsp_transform_internal.h, r_dsp_types.h
宣言	int32_t R_DSP_FFT_i16ci16 (r_dsp_fft_t *handle, cpmst vector_h *src, vector_t *dst)
説明	第一引数の FFT 処理に必要な情報と第二引数を用いて FFT 計算を行い、第三引数に結果を入力します。
引数	<ul style="list-style-type: none"> ● handle FFT 処理のオブジェクトに使用するオプション ● src 入力値が格納されたアドレスへのポインタ ● dst 出力値が格納されるアドレスへのポインタ
リターン値	エラー判定 R_DSP_STATUS_OK : FFT 演算成功 R_DSP_ERR_HANDLE_NULL : ハンドルデータなしの場合 R_DSP_ERR_INPUT_NULL : 入力値無しの場合 R_DSP_ERR_OUTPUT_NULL : 出力値無しの場合 R_DSP_INVALID_INPUT_SIZE : 入力サイズが適切でない場合 R_DSP_INVALID_OUTPUT_SIZE : 出力サイズが適切でない場合 R_DSP_STATUS_OVERFLOW : データがオーバーフローした場合
備考	Handle の構造体に含まれる h.window は窓関数を指します。窓関数についてはコラム 3 を参照ください。

コラム 3: 窓関数とは

- ・ FFT 演算の誤差を少なくするために行う前処理で、FFT 演算の入力データに窓関数をかけることで、サンプリングした波形の最初と最後の部分の各振幅が小さくなります。これによって理想の入力データ (基本波のちょうど 1 サイクル、または整数倍サイクル) に近づけます。
- ・ 今回用いたハニング窓は、「 $0.5 - 0.5 \cos(2\pi n / (\text{データ個数} - 1))$ 」で算出します。

5.13 フローチャート

5.13.1 メインフロー

図 5.8 にメインのフローチャートを示します。



図 5.8 メイン処理

5.13.2 ポート初期設定

図 5.9 にポートの初期設定のフローチャートを示します。

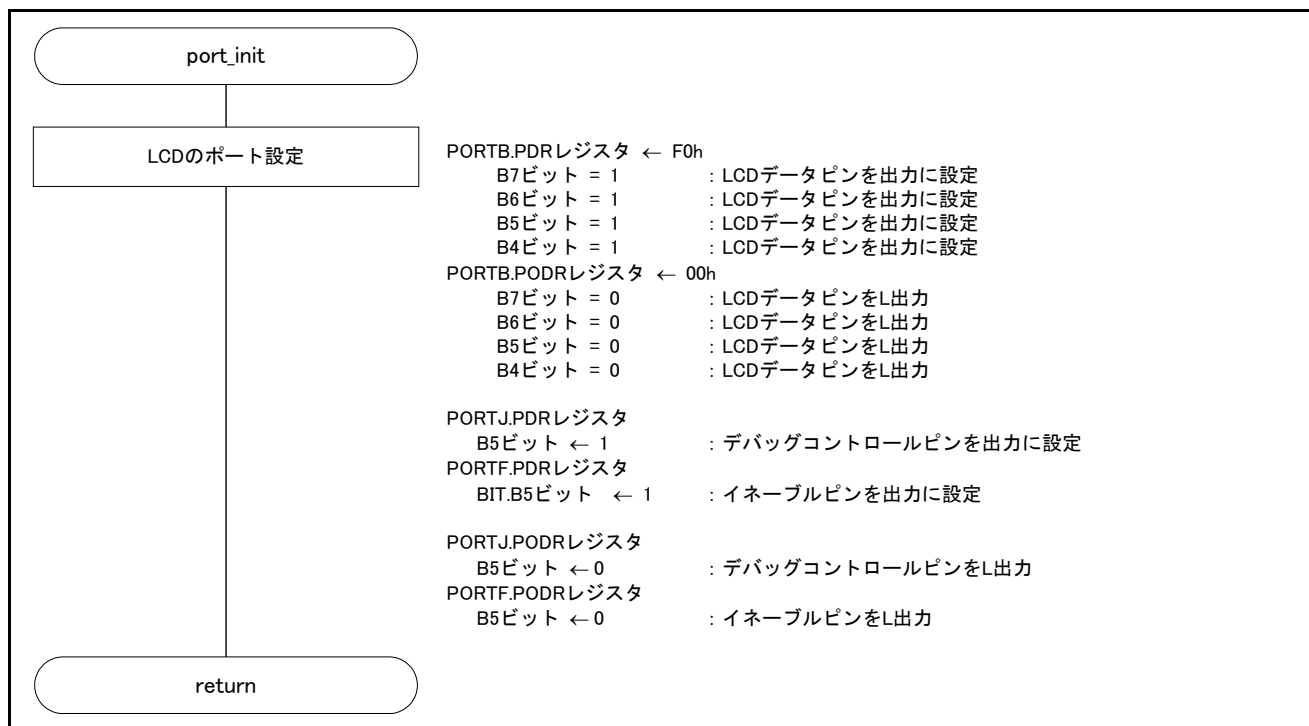


図 5.9 ポートの初期設定

5.13.3 周辺機能の初期設定

図 5.10～図 5.13 に周辺機能の初期設定のフローチャートを示します。

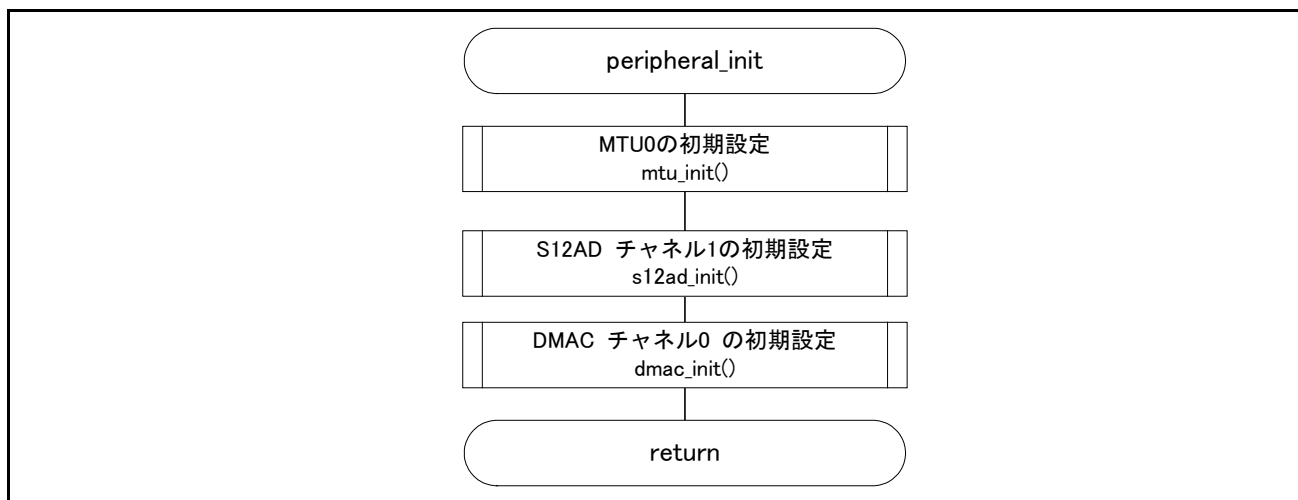


図 5.10 周辺機能の初期設定

5.13.3.1 MTU0 の初期設定

図 5.11 に MTU0 の初期設定のフローチャートを示します。

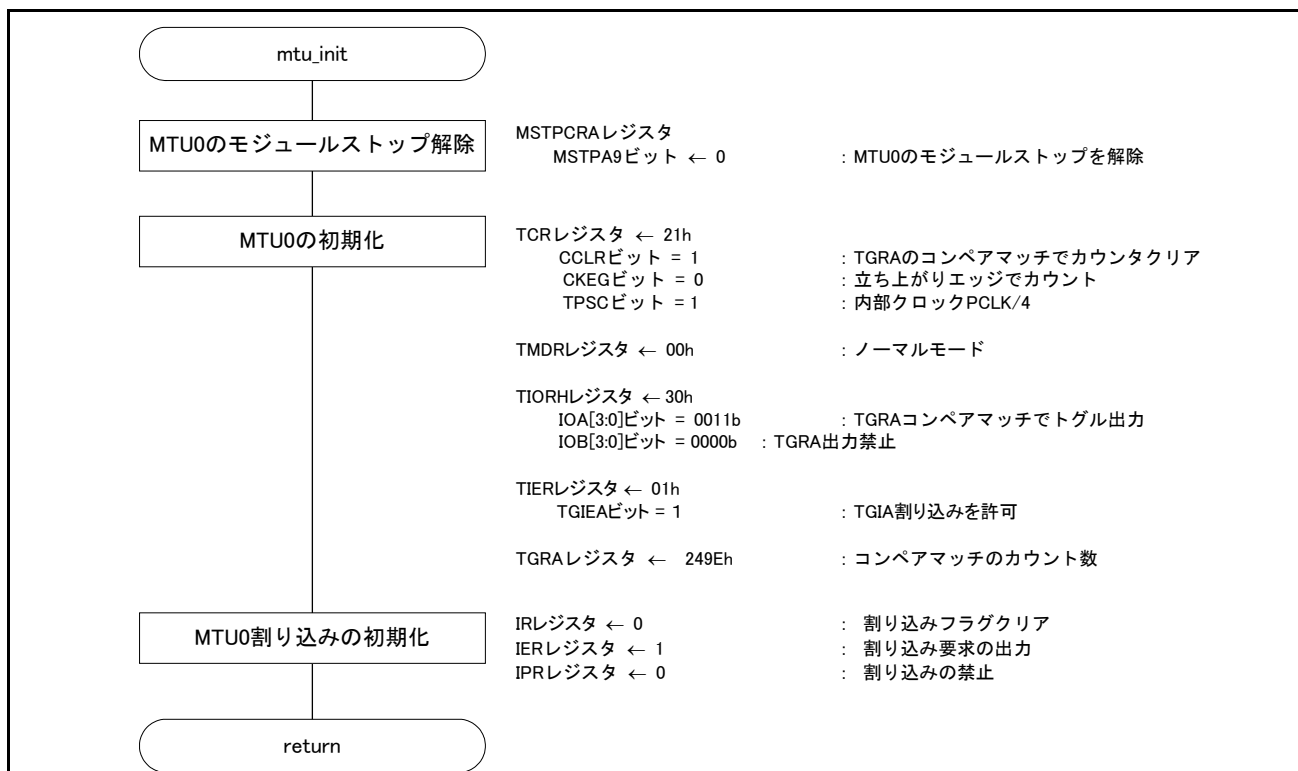


図 5.11 MTU0 の初期設定

5.13.3.2 S12AD の初期設定

図 5.12 に S12AD の初期設定のフローチャートを示します。

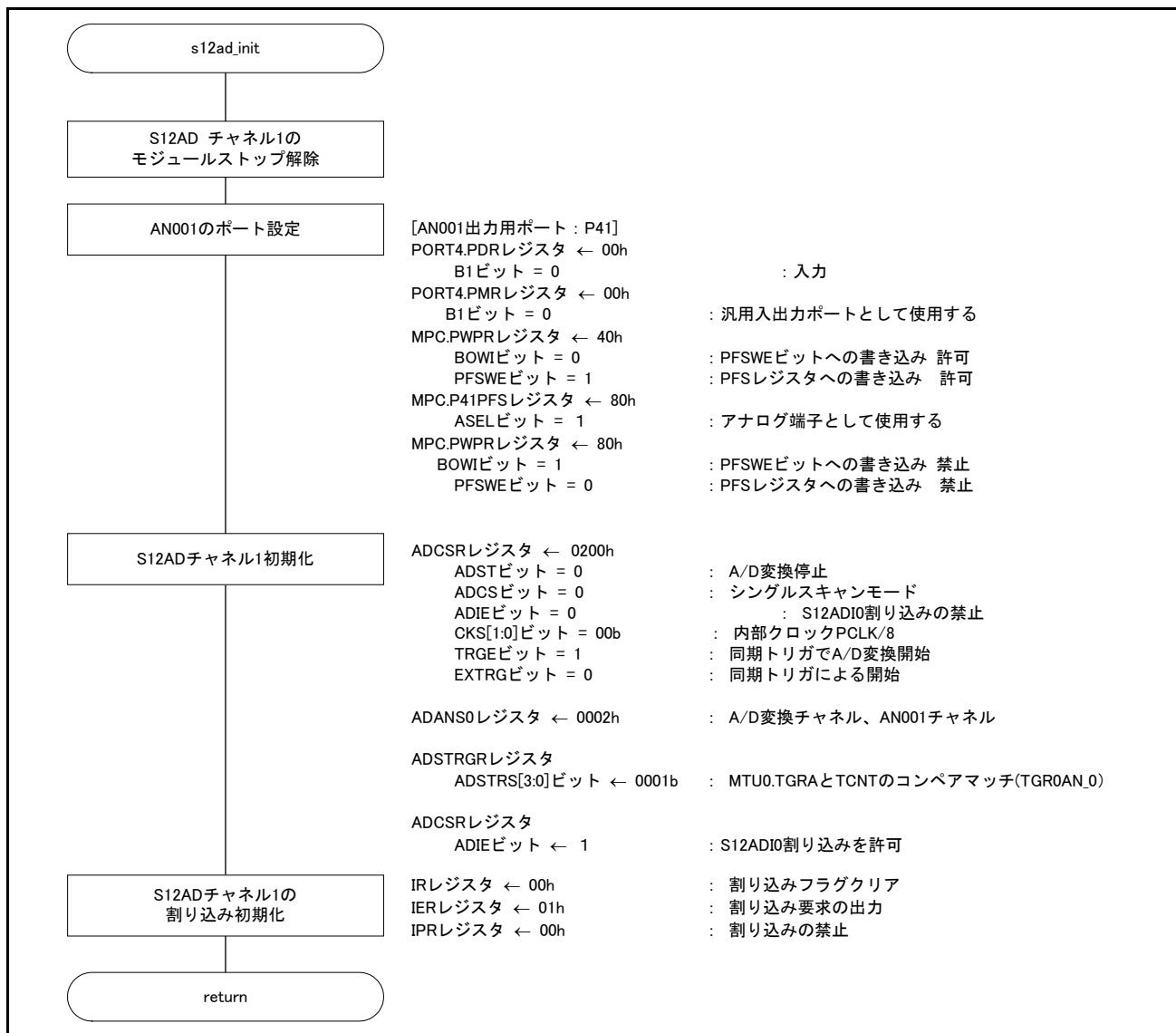


図 5.12 S12AD チャンネル 1 の初期設定

5.13.3.3 DMAC の初期設定

図 5.13 に DMAC の初期設定のフローチャートを示します。

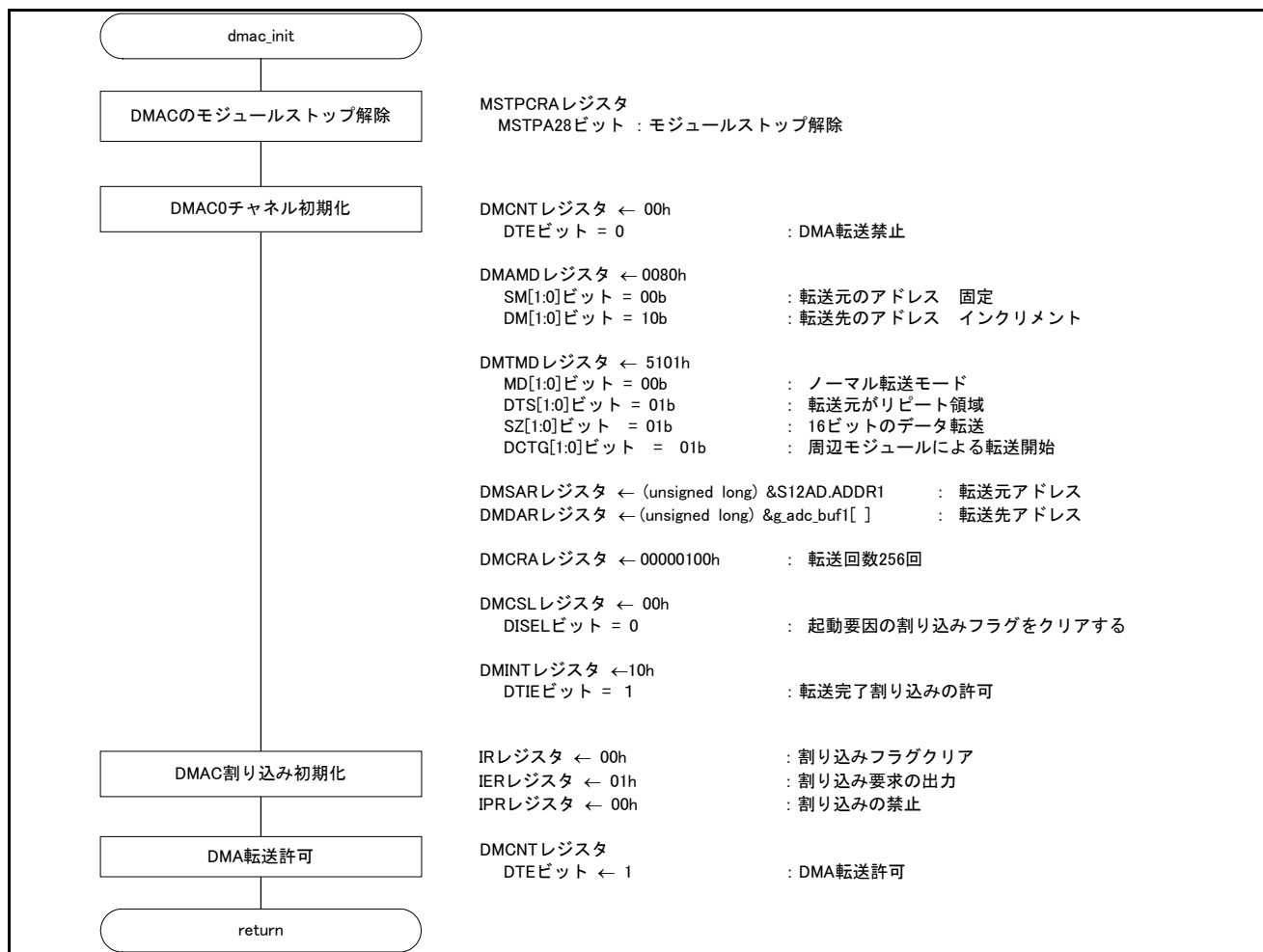


図 5.13 DMAC の初期設定

5.13.4 DMA 転送終了割り込み

図 5.14 に DMA 転送終了割り込みのフローチャートを示します。

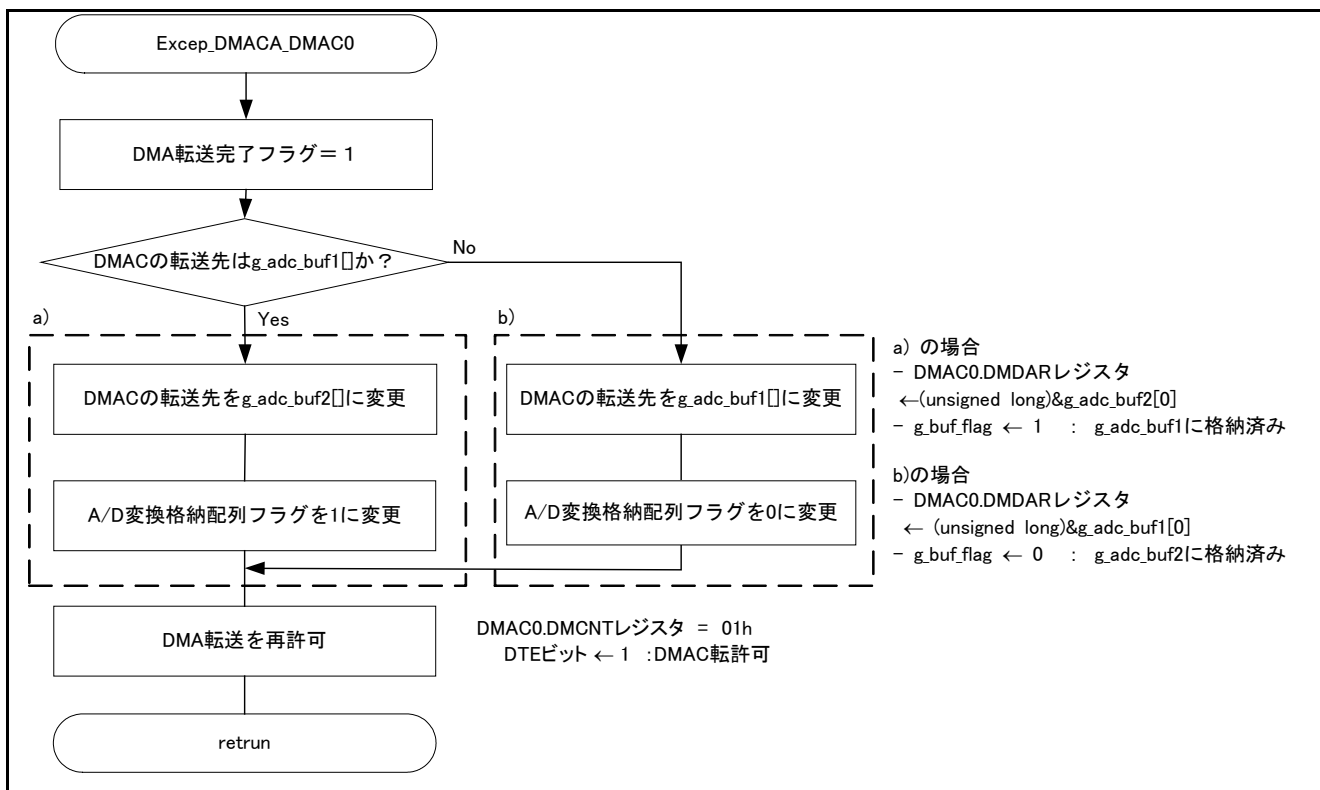


図 5.14 DMA 転送終了割り込み

5.13.5 音名判定

図 5.15 に音名判定のフローチャートを示します。

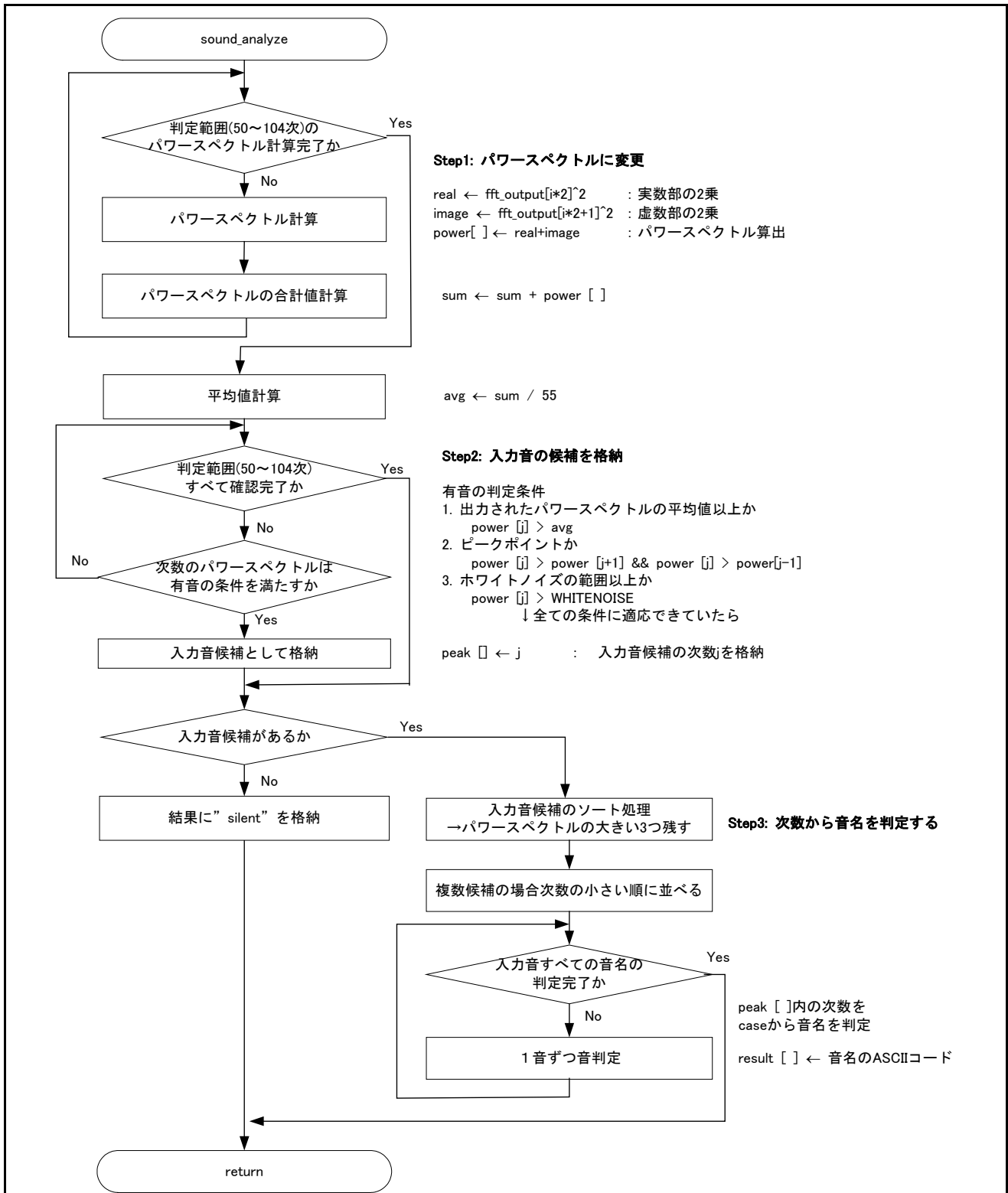


図 5.15 音名判定

6. サンプルコード

サンプルコードは、ルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。

7. 参考ドキュメント

ユーザーズマニュアル：ハードウェア

RX63Nグループ、RX631 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 Rev.1.50 (R01UH0041JJ)
(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

テクニカルアップデート／テクニカルニュース

(最新の情報をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

ユーザーズマニュアル：開発環境

RX ファミリー C/C++コンパイラパッケージ V.1.01 ユーザーズマニュアル Rev.1.00(R20UT0570JJ)
(最新版をルネサス エレクトロニクスホームページから入手してください。)

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com>

お問合せ先

<http://japan.renesas.com/contact/>

改訂記録	RX63N グループ、RX631 グループ アプリケーションノート FFT 演算を用いた音名判定
------	---

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2013.08.01	—	初版発行

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本文を参照してください。なお、本マニュアルの本文と異なる記載がある場合は、本文の記載が優先するものとします。

1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「未使用端子の処理」に従って処理してください。

CMOS製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI周辺のノイズが印加され、LSI内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

2. 電源投入時の処置

【注意】電源投入時は、製品の状態は不定です。

電源投入時には、LSIの内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。

同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. リザーブアドレスのアクセス禁止

【注意】リザーブアドレスのアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレスがあります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

4. クロックについて

【注意】リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。

プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子(または外部発振回路)を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子(または外部発振回路)を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、事前に問題ないことをご確認下さい。

同じグループのマイコンでも型名が違うと、内部メモリ、レイアウトパターンなどの相違などにより、特性が異なる場合があります。型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して、お客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
3. 本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。
標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、
家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、
防災・防犯装置、各種安全装置等
当社製品は、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図しない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っていません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
9. 本資料に記載されている当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。また、当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注1において定義された当社の開発、製造製品をいいます。



ルネサス エレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

※営業お問合せ窓口の住所・電話番号は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス販売株式会社 〒100-0004 千代田区大手町 2-6-2 (日本ビル)

(03)5201-5307

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。

総合お問合せ窓口：<http://japan.renesas.com/contact/>