

# MSP430クリスタル選択/発振回路設計ガイド

## Rev. 1.3



監修：  
日本テキサス・インスツルメンツ株式会社  
営業・技術本部  
アプリケーション・組み込みプロセッサ  
菅原 仁

# チェックシート(1) 設計時の注意

- F1xx で、2.5V 以下で動作させますか？
  - 動作させる場合、5.1M $\Omega$ を XOUT と GND 間に挿入しましたか？
- F1xx で、MCLK > 4MHz 動作ですか？
  - 動作させる場合、100K $\Omega$ を Vcc と ROOSC 間に挿入しましたか？
- クリスタルの下部となる基板はGNDを推奨
- クリスタル、コンデンサ、抵抗は出来るだけデバイスの近くに配置していますか？
- XIN・XOUTの配線を短くしましたか？
  - 20mm 以内である。
  - 他の信号線と交差していない。
- 多層基板の場合、クリスタルの下部となる内層に信号線を配置しないで下さい。
- XIN、XOUT と クリスタル間にスルーホールを避けて下さい。
- コーティング剤などによるリークを避けて下さい。洗浄して下さい。

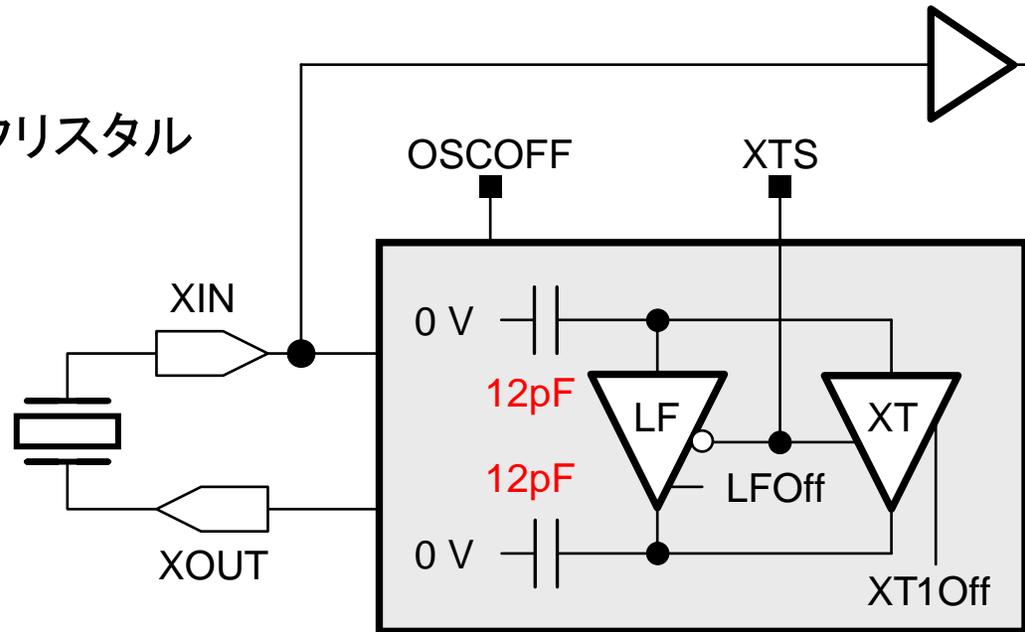
## チェックシート(2) マッチング依頼

- クリスタル製造メーカーへのマッチング依頼はしましたか？
- 依頼の際、プログラムを記述しましたか？必ず行って下さい。
  - クリスタルの発振安定までのディレイ処理を入れましたか？
- クリスタル製造メーカーへその設定を連絡しましたか？
  - 内部コンデンサー容量設定(データシート参照)
  - 内部ドライブ電流設定(F5xx データシート参照)
- HF クリスタルをお使いの場合、
  - 周波数は適切ですか？
  - F2xx レンジの設定は適切ですか？
- F5xx 外部クリスタルを使用可能にしていますか？
  - デフォルトは、GPIOになっています。下記を設定しましたか？  
**P7SEL |= 0x03;                    // enable XT1 for LFXTAL**

# ‘1xx クリスタル・オシレータ

## • LF モード

- 32.768kHz 時計用クリスタル
- 内蔵負荷容量  
**12pF 固定**
- クロック入力可能
- **No LF OSC Fault**  
(フォルト・フラグなし)



## • HF モード

- 400kHz ~ 8MHz
- クリスタル、レゾネータに対応
- HFクロック入力可能
- HF OSC Fault

## ‘1xx レジスタ設定 XT1, XT2

	レジスタ	XTS (1bit)		XT2OFF (1bit)
XT1	LF モード 32,768Hz	0	(R2/SR OSCOFF=0)	--
	HF モード 450kHz ~ 8MHz	1	レゾネータ: 450KHz~ クリスタル: 1MHz~ (R2/SR OSCOFF=0)	--
XT2	HF モード 450kHz ~ 8MHz	--	レゾネータ: 450KHz~ クリスタル: 1MHz~	0

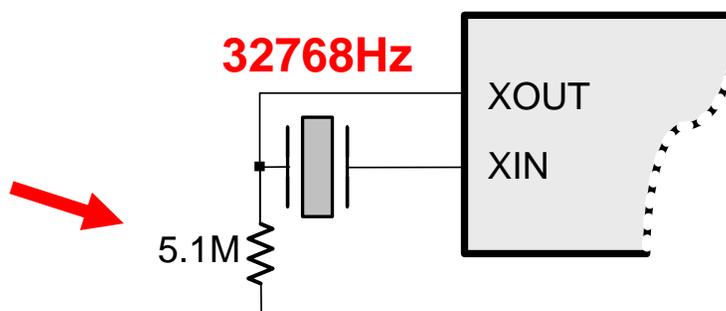
**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

2009/08/04

## ‘1xx クリスタル・オシレータ LFモード

- 32,768Hz クリスタル
  - **Vcc=2.5V 以下のとき、下記のように5.1MΩを挿入**して下さい。負性抵抗値を確保するためです。
  - Vcc>2.5V以上の動作に影響はありません。
- ※お客様の動作電圧をご確認下さい。

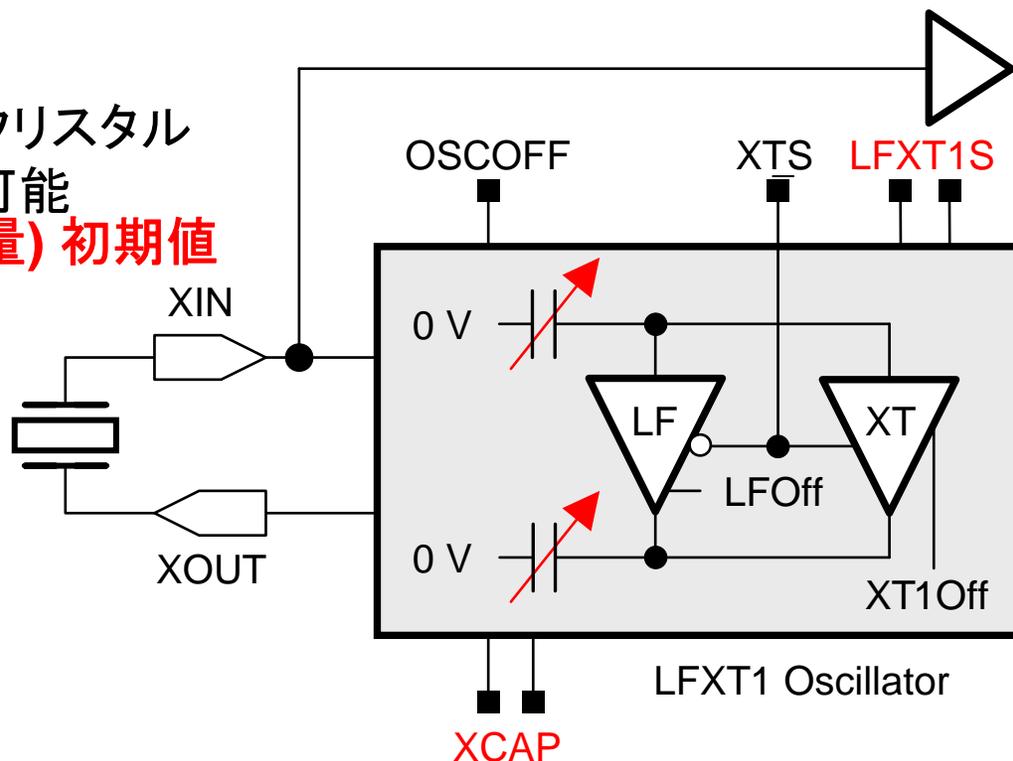
**Vcc < 2.5V のとき、  
5.1MΩを挿入**



# ‘2xx クリスタル・オシレータ

## • LF モード

- 32.768kHz 時計用クリスタル
- 内蔵負荷容量選択可能  
**5.5pF (実効負荷容量) 初期値**  
**データシート参照**
- クロック入力可能
- LF OSC Fault (errata 参照)



## • HF モード

- 400kHz ~ 16MHz
- 周波数レンジを選択
- クリスタル、レゾネータに対応
- HFクロック入力可能
- HF OSC Fault

# '2xx レジスタ設定 XT1 (R2/SR OSCOFF=0)

	レジスタ	XTS (1bit)	LFXT1Sx (2bit)	XCAPx 内部実効負荷 (2bit)
XT1	LF モード 32,768Hz	0	00: であること 01: 予約 10: VLOCLK 11: クロック入力	00: ~1pF <b>01: ~6pF (リセット直後)</b> 10: ~10pF 11: ~12.5pF
	HF モード 400kHz ~ 16MHz	1	00: 0.4~1MHz 01: 1~3MHz 10: 3~16MHz 11: クロック入力	値に関わらず 0pF

2009/08/04

## ‘2xx レジスタ設定 XT2

	レジスタ	XT2OFF (1bit)	XT2Sx クリスタル or レゾネータ (2bit)
XT2	HF モード 400kHz ~ 16MHz	0	00: 0.4~1MHz 01: 1~3MHz 10: 3~16MHz 11: クロック入力

**使用周波数レンジの設定が必要！**

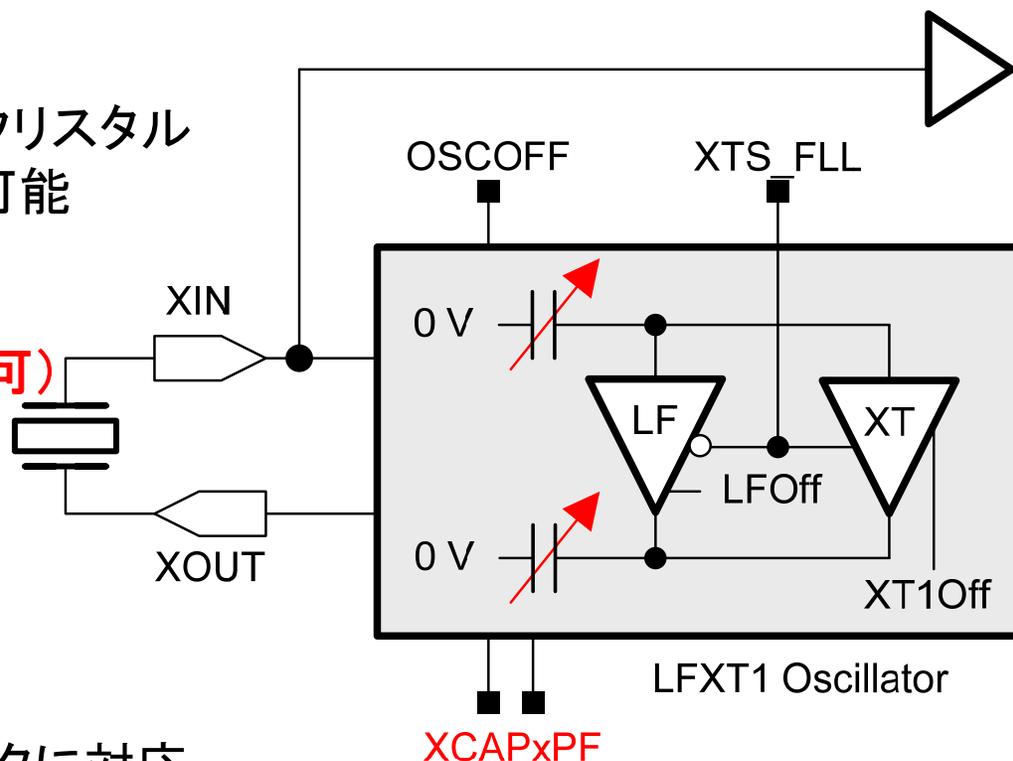
**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

2009/08/04

# ‘4xx クリスタル・オシレータ

## • LF モード

- 32.768kHz 時計用クリスタル
- 内蔵負荷容量選択可能  
**0pF 初期値**
- **クロック入力不可**  
**(デバイスによっては可)**
- LF OSC Fault



## • HF モード

- 400kHz ~ 8MHz
- クリスタル、レゾネータに対応
- HFクロック入力可能
- HF OSC Fault

# '4xx レジスタ設定 XT1 (R2/SR OSCOFF=0)

	レジスタ	XTS_FLL (1bit)	XCAPxPF内部実効負荷 (2bit)
XT1	LF モード 32,768Hz	0	<b>00: ~1pF (リセット直後)</b> 01: ~6pF 10: ~10pF 11: ~12.5pF
	HF モード 450kHz ~ 8MHz (16MHz)	1	値に関わらず 0pF (レゾネータ: 450KHz~ クリスタル: 1MHz~)

新規デバイスは 16MHz まで動作可能

**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

2009/08/04

## ‘4xx レジスタ設定 XT2

	レジスタ	XTS2OFF (1bit)	
XT2	HF モード 450kHz ~ 8MHz(16MHz)	0	レゾネータ: 450KHz~ クリスタル: 1MHz~

新規デバイスは 16MHz まで動作可能

**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

2009/08/04



# '5xx レジスタ設定 XT1

(R2/SR OSCOFF=0)

	レジスタ	XTS (1bit)	XCAP (2bit) F543x,F541x	X1DRIVE (2bit) F543x,F541x
XT1	LF モード 32,768Hz	0	00: 2pF 01: 5.5pF 10: 8.5pF <b>11: 12.0pF (リセット直後)</b>	00:Not specified 01:0.075uA 10:0.170uA <b>11:0.290uA (リセット直後)</b>

XIN, XOUT端子は、初期状態では、GPIOになっています。

**P7SEL |= 0x03; // によりクリスタルを使用可能**

(XT1BYPASS=0, XT1OFF=0)

**注) 動作周波数と電圧は、 データシート参照**

2009/08/04

# '5xx レジスタ設定 XT1

(R2/SR OSCOFF=0)

	レジスタ F543x,F541x	XTS (1bit)	XCAP (2bit)	X1DRIVE (2bit)	動作周波数
XT1	HF モード	1	0pF	00:200uA 01:260uA 10:325uA <b>11:450uA (リセット直後)</b>	<b>4 ~ 8MHz</b> <b>8 ~ 16MHz</b> <b>16 ~ 24MHz</b> <b>24 ~ 32MHz</b>

(XT1BYPASS=0, XT1OFF=0)

**注) 動作周波数と電圧は、 データシート参照**

2009/08/04

## '5xx レジスタ設定 XT2

	レジスタ F543x,F541x	XT2OFF (1bit)	XCAP (2bit)	X1DRIVE (2bit)	動作周波数
XT2	HF モード	0	0pF	00:200uA 01:260uA 10:325uA <b>11:450uA (リセット直後)</b>	<b>4 ~ 8MHz</b> <b>8 ~ 16MHz</b> <b>16 ~ 24MHz</b> <b>24 ~ 32MHz</b>

(XT2BYPASS = 0)

**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

2009/08/04

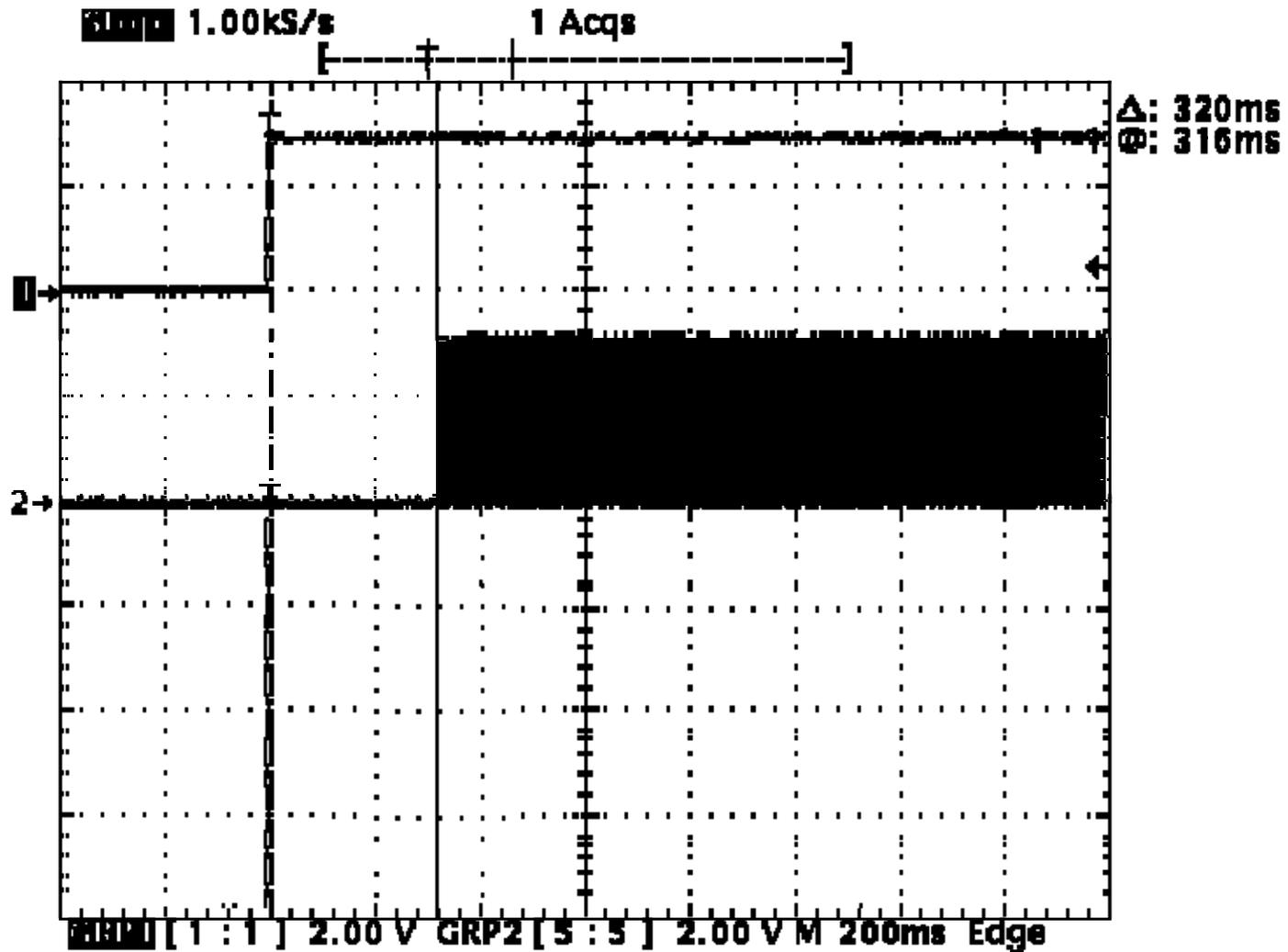
## '5xx レジスタ設定 XT1, XT2 クロック入力

	レジスタ F543x,F541x	XTS	XT1OFF XT2OFF (1bit)	XT1BYPASS XT2BYPASS (1bit)	周波数
XT1	LF	0	0	1	10 ~ 50KHz
XT1	HF	1	0	1	4 ~ 32MHz
XT2	HF	---	0	1	4 ~ 32MHz

**注) 動作周波数と電圧は、データシート参照**

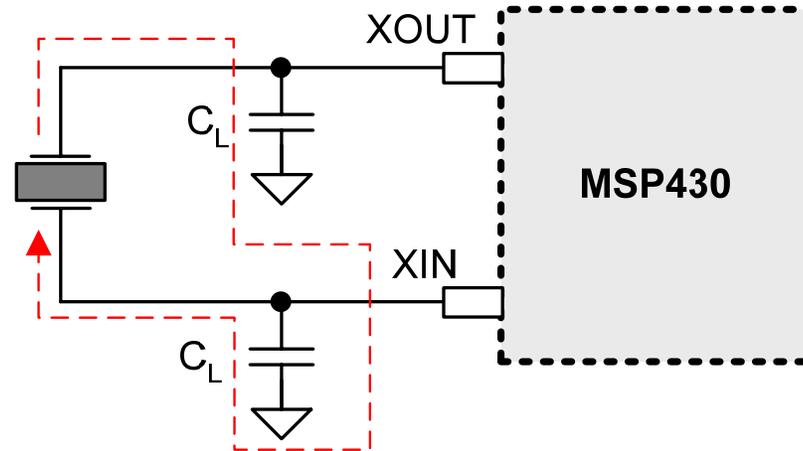
2009/08/04

# 32kHz クリスタルの発振開始波形



2009/08/04

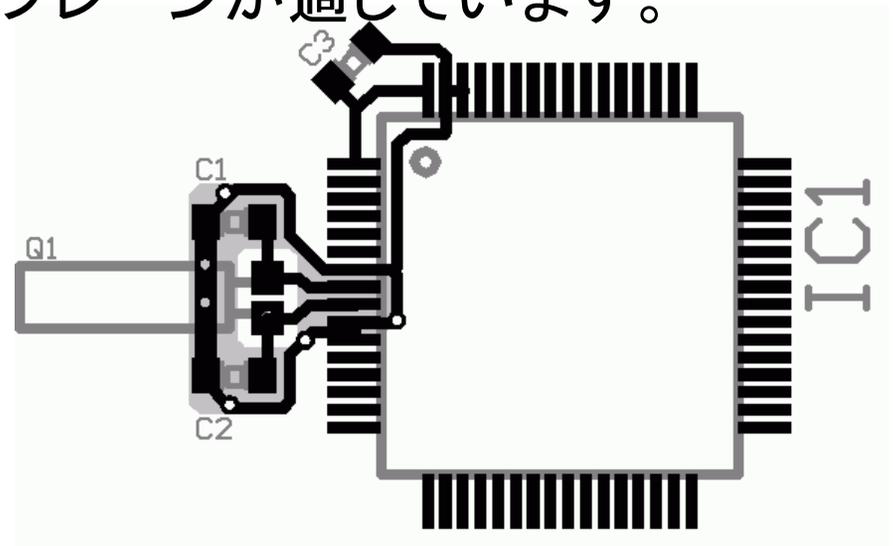
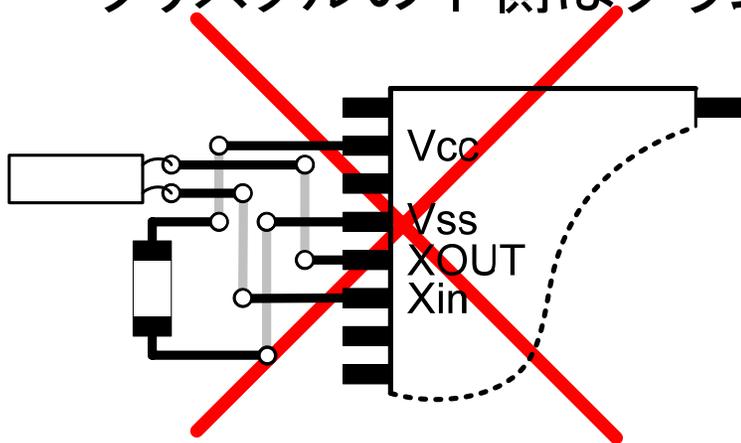
# 実効負荷容量 $C_{\text{EFFECTIVE}}$



- クリスタル・メーカーにより、推奨値が決定されます。
- 各負荷容量は、電氣的に直列に接続されています。
- $C_{\text{EFFECTIVE}} = \{C_{\text{XIN}} \times C_{\text{XOUT}}\} / \{C_{\text{XIN}} + C_{\text{XOUT}}\}$

# クリスタルのレイアウト

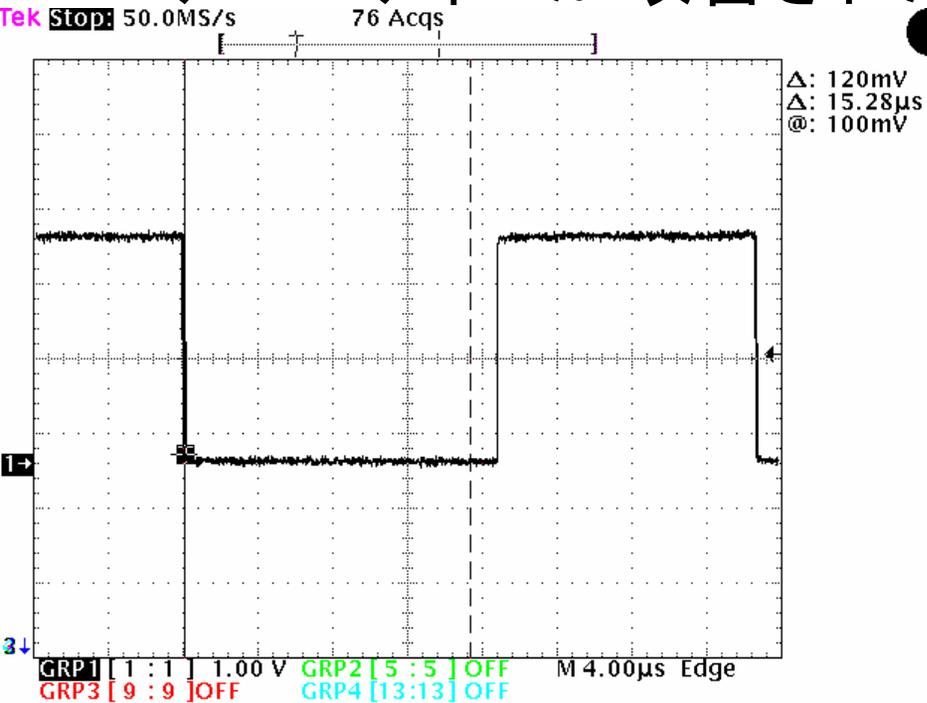
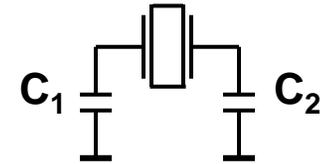
- できる限り MSP430 に近いところに配置して下さい。
- 短く結線して、下側にパターンが走らないようにして下さい。
- スイッチングしている信号源から出来るだけ離して下さい。
- クリスタルの缶をグランドに半田付けして、リードの周りをグラウンドリングして下さい。
- クリスタルの下側はグランドプレーンが適しています。



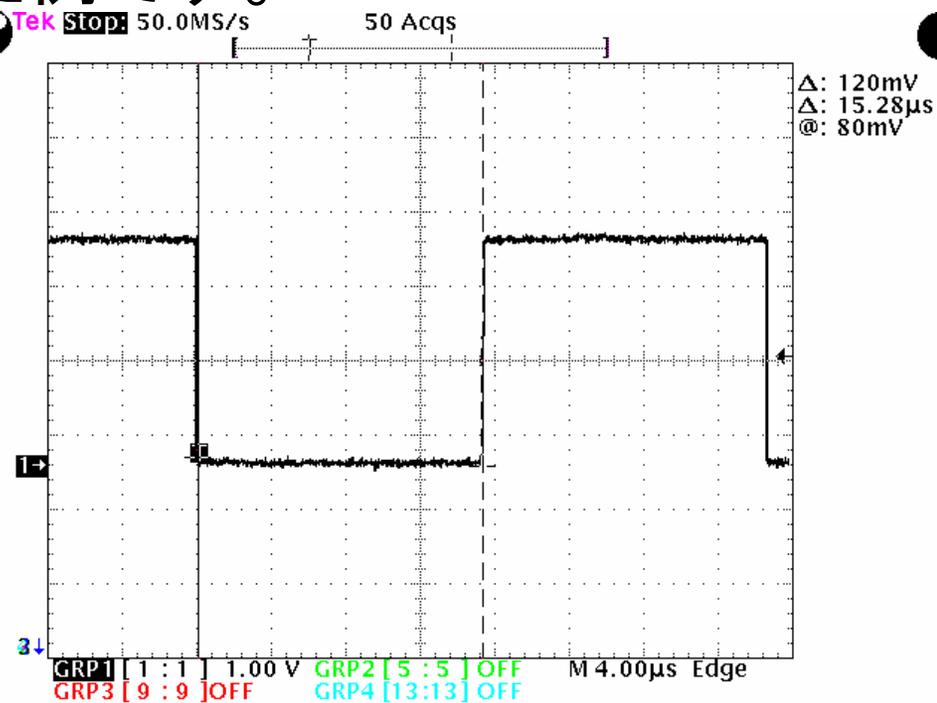
2009/08/04

# クリスタル発振のデューティ

- C1, C2の値を変えることにより、デューティが改善された例です。



Unbalanced



Balanced

**C2側を大きくすると HIGH側が長くなります。**

## まとめ 適切な 32.768KHz クリスタル選択の目安

X'tal CL値	7.0pF	.....	12.5pF
-R 負性抵抗値	より大きい		
OA 発振余裕度	より余裕あり		
Drive Level 励振レベル	駆動電流小さい		駆動電流大きい
Accuracy 発振精度			有利
Rising Time 発振開始時間	約500ms		約3秒
CAPs 外部負荷容量	両端の各負荷容量は 4pF以上必要 (内蔵容量を使用しない場合。0pF設定時)		

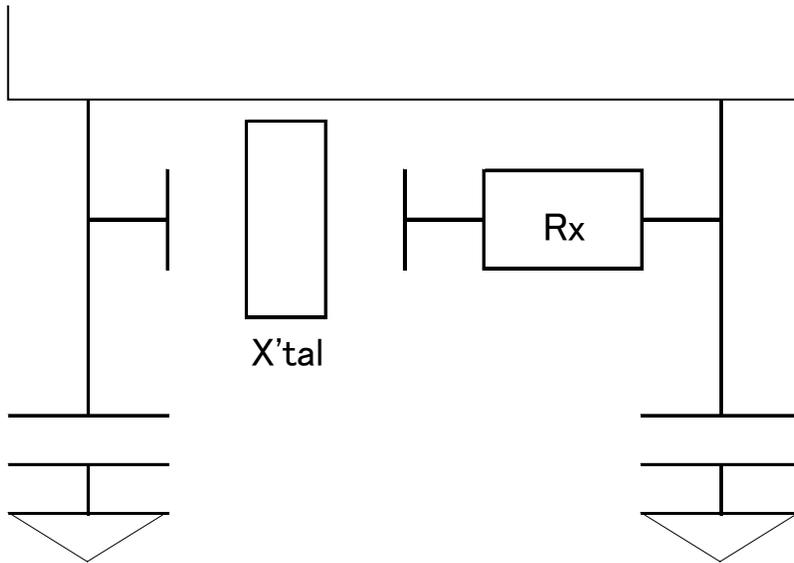
## 補足：電源投入後にDCOの周波数を変更する場合

ユーザーソフトにより、電源投入時の不具合が助長される場合があります。電源投入時は、ソフトウェア・ウェイトを設けて頂き、直ちにCPUのクロック速度を上げることや、ペリフェラルを動作させることを避けることが有効です。

- 50ms ~ 100ms 程度を推奨致します。

# より堅牢な発振回路を実現する為に、

- 下記のように、Rx の準備を推奨致します。



$$ESR + R_x > 40k\Omega$$

外部負荷容量は4pF以上が必要です。(内部0pF使用時)

## より堅牢な発振回路を実現する為に、

- 耐高電圧(AC ~ 数KV)
- 耐ノイズ( 数KVパルス)
- その他、高耐圧試験など
  - は、MSP430の発振回路内部に影響を与えます。
  - 本デバイスは、超低消費電力(電流)を実現する設計が実施されており、そのため、内部には高インピーダンスのノードが多く存在します。
  - 上記のような、高電位の信号源から影響を受け、発振停止やACLK出力停止など、予期せぬ回路動作を引き起こす可能性がありますので、必ず外部にメカニカルなシールド処理を実施して下さい。

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといたします)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIJといたします)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIJは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメータに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIJは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIJは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしていません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは承認をすることを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIJにより示された数値、特性、条件その他のパラメータと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIJは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIJは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIJがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。

弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。

マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

温度: 0~40、相対湿度: 40~85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。

### 3. 防湿梱包

防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

### 4. 機械的衝撃

梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

### 5. 熱衝撃

はんだ付け時は、最低限260以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

### 6. 汚染

はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上