



# STM32L4 - SAI

シリアル・オーディオ・インタフェース  
(Serial Audio Interface)

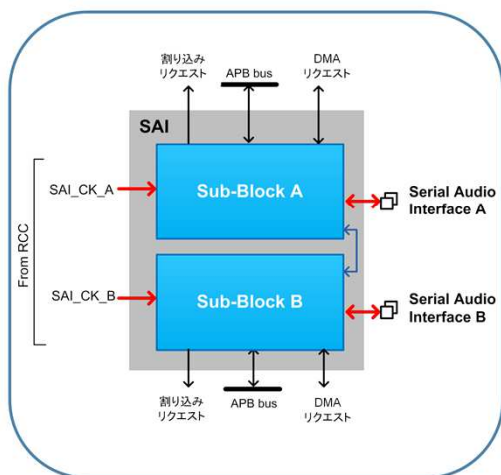
Revision 1



Jan - 2016

こんにちは、STM32シリアル・オーディオ・インタフェースのプレゼンテーションへようこそ。

外部のオーディオの機器を接続するために使用されるインタフェースの特徴について、このプレゼンテーションで説明します。



## 外部オーディオデバイスとのインタフェースを提供

- 全設定はプログラム可能
- 標準規格に適用可能: I2S/PCM / TDM / SPDIF / AC97
- 2つの独立したサブブロック

## アプリケーションの利点

- 多種多様のオーディオ機器に適用可能
- 全二重操作
- 完全に設定可能なデジタルオーディオのフォーマット



シリアルオーディオインタフェース (Serial Audio Interface) は、増幅器、ADC、DAC、オーディオコーデック、オーディオプロセッサなどの外部のオーディオの機器と通信するためにインタフェースを提供するために、STM32に搭載されています。

このインタフェースは、最も多くのデジタルオーディオ標準をサポートに適用するで、完全に設定可能であります。SAIの内部の同期機能のため、どのような既存のオーディオ機器との接続が容易です。また、必要なIOピンは最小に低減できます。

- いくつかのプロトコルをサポート
  - フリープロトコルモード:
    - I2S Philips Standard (Inter-IC Sound)
    - I2S MSB または LSB-justified (Variant of Inter-IC Sound)
    - TDM (Time Division Multiplexing)
    - PCM (Pulse Code Modulation)
    - 他...
  - SPDIF 出力 (Sony/Philips Digital InterFace)
  - AC'97 (Audio Codec 97 from Intel)



3つの種々のモードにおいてSAIのプログラムを作ることができます。

- フリープロトコルモードはその柔軟性のために、SAI のI2S、PCM、TDM...などの標準規格の適用を可能にする、もし必要であれば、カスタマイズ シリアルインターフェイス も可能です。
- SPDIFプロトコルモードは、SAIが、IEC60958標準を使ってオーディオサンプルを送ることを可能にします。
- AC97プロトコルも、SAIで適用できます

- すべてのオーディオ・サンプリングレートに適用可能  
(水晶周波数に依存)
- 個々のサブブロック用のマスタまたはスレーブモードに適用可能
- データインプット、アウトプットまたは全二重に適用可能、1つのサンプルあたり最大32bit
- サブブロック間のまたは他のSAIと同期に適用可能
- コンパンディングモード ( $\mu$ -Law, A-Law)
- 8ワード FIFOサイズ
- 2 DMAインタフェース、2 割込みライン



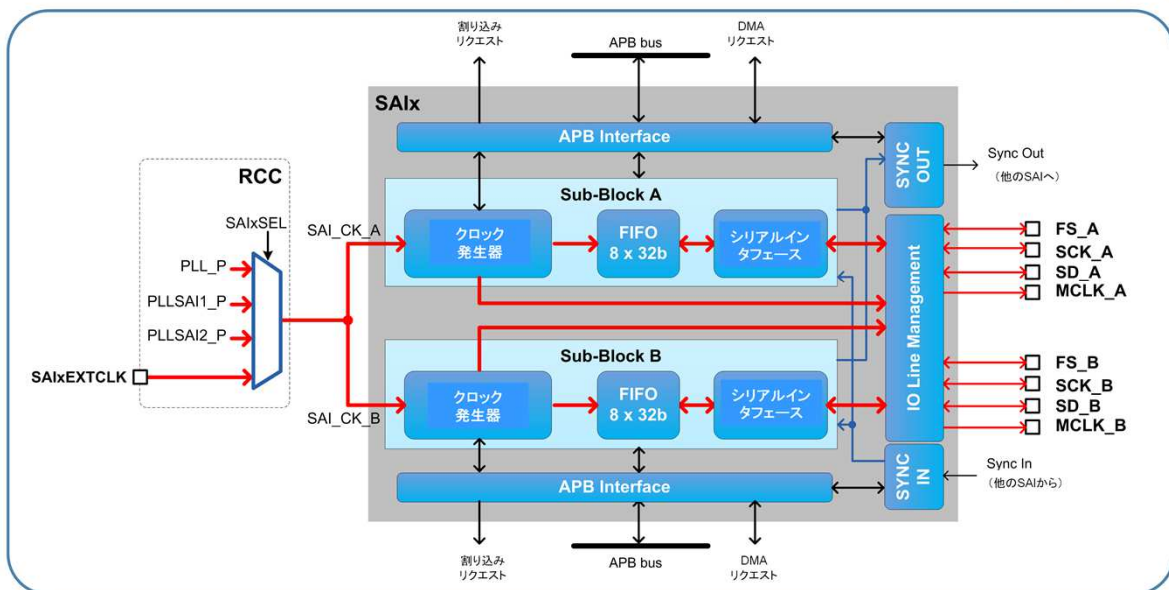
SAIは、アプリケーションのために使われた水晶周波数に依存してすべての標準のオーディオのサンプリングレートに適用できます。

さらに、SAIは、マスターとスレーブモード、半二重のまたは全二重の通信が可能です。

また、複数のSAIを一緒に同期させることが可能です。

SAIは、8つのサンプルFIFOバッファも提供します。

最高2つの割込みとDMAインタフェースも提供します。



SAIは2つの独立なサブブロックにより構成されています(AとB)。

各々のサブブロックは、以下を持ちます：

- それ自身のAPBインタフェース、クロック発生器、FIFOバッファ、DMAインタフェースと割り込みインターフェース。

各々のサブブロックは受信、送信、マスター、スレーブをそれ自身のプロトコルで、設定することができます。

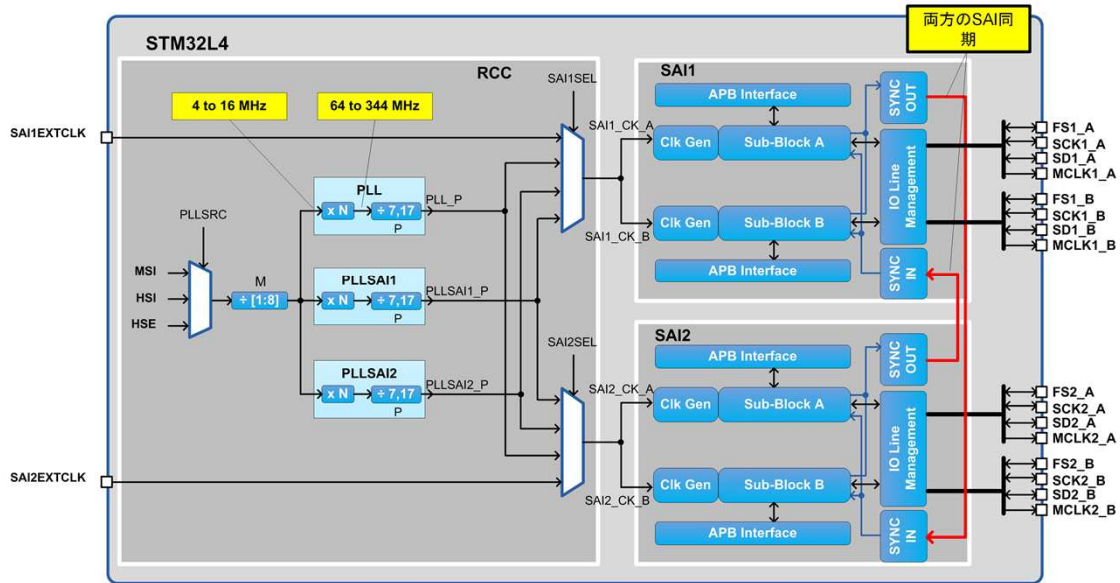
同期する2つのサブブロックまたは同期する2つのSAI間で同期可能です。

各々のサブブロックは、最大で4つのIOを取り扱うことができます：

- FS\_xは、フレーム同期化信号です。
- SCK\_xは、ビットクロックです。
- SD\_xは、シリアルデータ・ラインです。
- MCLK\_xは、マスタークロックです。

## 回路内のSAI

6



STM32L4xxには、2つのSAIが組み込まれています。  
 各々のSAIは、3つの内部のPLLのうちの1つから、または、PAD (SAI<sub>EXTCLK</sub>) からカーネルクロック (SAI<sub>CK\_x</sub>) を受け取ることができます。  
 マスターモードでプログラムされるとき連続音声インタフェースのタイミングを生み出すために、カーネルクロックは、SAIにより用いられます。

# フリープロトコル・モード

7

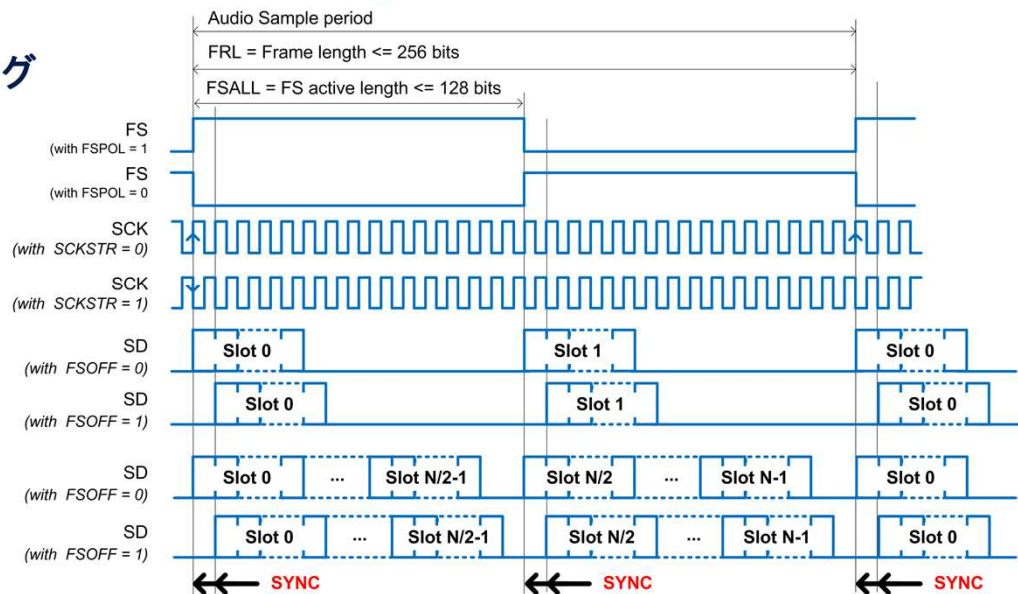
- フリープロトコル・モードは、以下の中でSAIの構成を選ばなければならない：
  - I2S Philips 標準規格
  - I2S MSB または LSB-正当化
  - TDM または PCM
- フリープロトコル・モードは、以下のパラメータの調整を可能にする：
  - データ正当化 (LSB/MSB最初に)
  - データ・サイズ、スロット (またはチャンネル) サイズ
  - フレーム毎のスロット数
  - スロットのデータサンプル位置
  - シリアルクロックのサンプリングエッジ
  - フレームサイズ、フレーム極性、フレーム期間
  - フレームアクティブレベル・サイズ
  - フレーム同期化モード
  - マスター/スレーブモード
  - シングルまたはマルチまたは全二重データライン



フリープロトコル・モード、柔軟なプログラミング・インタフェースは、ほとんどの一般の音声標準インタフェースを簡単に設定できます。



## I2S-Like タイミング



以下に、I2S-Likeプロトコル用のインタフェースの例を示します。

I2S-Likeプロトコルにおいて、フレーム同期化信号 (FS) の各々のエッジは、スロット・スタート位置を整列させるのに用いられます。

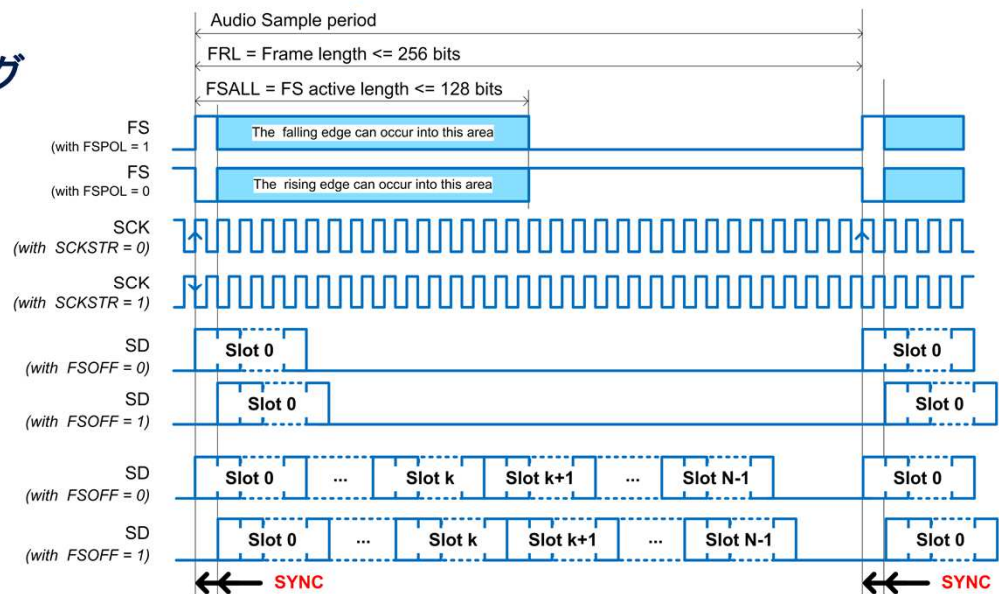
- フレーム長、任務サイクルと極性は、調節することができます。
- クロックストローブエッジは選択可能です。
- フレームエッジに関するスロットの位置は、選択可能です。
- フレーム毎のスロット数: I2S-Likeプロトコルの偶数である必要有り。



# フリースプロトコル・モード

9

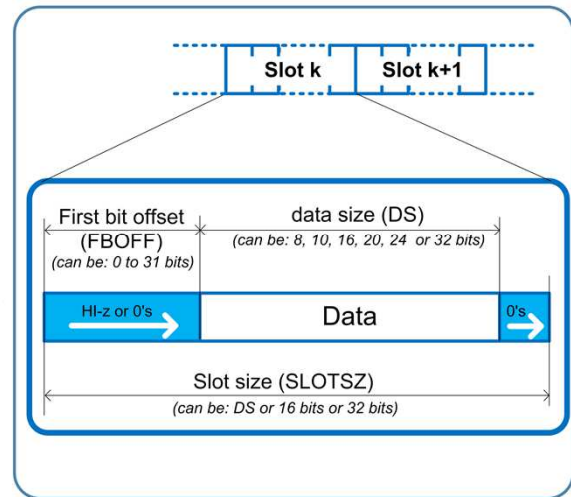
## TDM-Likeタイミング



- 以下に、TDM-Likeプロトコル用のインタフェースの例を示します。  
TDM-Likeプロトコルにおいて、フレーム同期化(上下する)の1つのエッジだけは、スロット位置を整列させるのに用いられます。
- フレーム長、任務サイクルと極性は、調節可能です。
  - クロックストローブエッジは選択可能です。
  - フレーム・アクティブエッジに関するスロットの位置は、選択可能です。
  - フレーム(最大16)毎のスロットの数は、選択可能です。

## スロット設定:

- 音声フレームにつき最大16のスロット。
- 各々のスロットはアクティブか否かを定義可能
- スロット中のデータの位置は、調節可能。
- データ・ラインを、HI-Zでセット可能
  - 非アクティブスロット用
  - デバッグFBOFFエリア



スロット・サイズはデータ・サイズと同じか常に大きいからです。  
 必要であるならば、SAIは各々のスロットの内側のデータの位置と、未使用スロットのHi-Zのセッティングの制御を行います。  
 データ・ラインがいくつかのデバイスで分配されるとき、この機能は役に立ちます。

## マスターとスレーブモード:

- マスターモードにおいて:
  - SAIはタイミング信号を提供:
    - ビットクロック (SCK), フレーム同期 (FS), 必要に応じてマスタークロック(MCLK)
  - シリアルデータ・ライン(SD)は、入力または出力に設定可能
- スレーブモードにおいて:
  - SAIはタイミング信号を外部デバイスから受け取る:
    - ビットクロック (SCK), フレーム同期 (FS)
  - シリアルデータライン(SD)は入力または出力に設定可能



マスターモードでは、SAIはマスタークロック(MCLK)を生成することができるか、SAIxEXTCLK PADsを通して外部マスタークロックを使うことができます。

マスタークロックは、参照クロックを外部音声コーデックに提供したものです。

スレーブモードでは、MCLK信号は使われません。

## サンプリングレート調整

- サンプリングレートはMASTERモードにおいて調整。
- サンプリングレート調整は、生成されるMCLKに依存。
- マスタクロック(MCLK)は、しばしば参照クロックとして外部のオーディオのコーデックから要求。
  - 外部のオーディオのコーデックのほとんどは、ジッタに過敏：  
→ MCLKは、オーディオ性能の悪化を避けるために、できるだけきれいにしなければならない。
- SAIによって生成するMCLKは、クロック品質を保証する。



MASTERモードでは、正しいサンプリング・レートを提供するためのタイミング生成は、SAIに依存します。  
SLAVEモードでは、サンプリング・レートは外部オーディオ装置から提供されます。

## サンプリングレート調整、MCLK生成時:

$$F_{FS} = \frac{F_{MCLK}}{256}$$

$$F_{MCLK} = \frac{F_{SAI\_CK}}{2 \times MCKDIV} \quad (1)$$

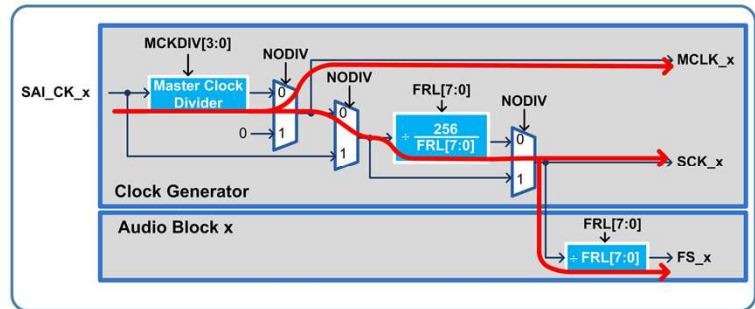
$$F_{SCK} = F_{FS} \times (FRL + 1)$$

$FRL+1 = 8, 16, 32, 64, 128, 256$

$F_{FS}$ は、サンプリング・レート周波数(〜フレーム期間)。

$F_{MCLK}$ は、マスター・クロック周波数。

$F_{SCK}$ は、ビット・クロック周波数。



(1)  $MCKDIV = 0$ の時

$$F_{MCLK} = F_{SAI\_CK}$$



クロックジェネレータはMASTERモード通信のために必要で、それは、シリアルオーディオのインタフェースのサンプリングレートを調整するために使用されます。

クロックジェネレータは、MCLK\_x、SCK\_x、およびFS\_xに、もとの周波数を提供します。

マスタークロック(MCLK)を生成する必要があるとき、フレーム長は2の累乗でなければなりません。

FS\_x周波数とMCLK\_x周波数の比率は、256に固定です。



## SAI 同期:

SAIは、2つのサブブロック(内部同期)を同期させることが可能。

SAIは、異なるSAI(外部同期)のサブブロックを同期させることが可能。

同期が使用されない場合は、各々のサブブロックは独立。

例:

- SAI\_A は I2S Philips マスター, SAI\_Bは SPDIF
- SAI\_A は TDM スレーブ, SAI\_B は AC97

内部や外部の同期が使われる場合、以下の制限がある:

- 異なるプロトコルを用いた2つのSAIサブブロックを同期させることは不可
- 異なるプロトコルを用いた2つのSAIを同期させることは不可。



2本のデータライン(例えば全二重I2S)をリクエストしている通信のために、内部の同期を使うことができます。

2本以上のデータライン(最高4つ)をリクエストしている通信のために、外部の同期を使うことができます。

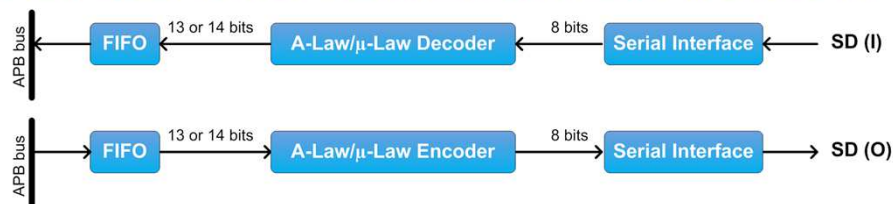
たとえば、HDMI ICを連結するとき。

一緒に同期するすべてのサブブロックは、同じプロトコル仕様で動作させなければなりません。



## コンパANDING:

- コンパANDINGは、8bitシリアル・インタフェースでデータ・サイズを減らすのに用いられる。
- $\mu$ -LawとA-Lawフォーマットは、MSB調整で8bitコード要素にデータをコード化する
- 2つのコンパANDING・モードがサポートされる: CCITT G.711勧告の一部である $\mu$ -LawとA-Law
- アメリカ合衆国と日本で使用されるコンパANDING標準規格は、 $\mu$ -Lawで、ダイナミックレンジの14bitが可能。
- ヨーロッパのコンパANDING標準規格はA-Lawで、13bitのダイナミックレンジが可能。



データ・サイズを減らすために、それはデータ・パス、A-Lawまたは $\mu$ -LawコンパANDERに挿入するのが可能です。

A-Lawと $\mu$ -Lawが無損失性圧縮器でないことに注意してください。コンパANDING・モードが、通常、電話通信で使われます:

小さなデータは拡大されます、そして、大きいデータは減少されます。

SNRは、強い信号と弱い信号用で、同一の傾向があります。

## ミュートモード:

### 送信モード:

- 送られたサンプルを0に強制するか、前の送られたサンプルを繰り返すのに用いられる
- ミュートモードは進行中のフレームの間ならいつでも選択することができ、次のフレームの初めに実効される。
- ミュートモードの間、TX-FIFOポインターはインクリメント。

### 受信モード:

- 連続的なフレームの総量を0にセットするアクティブなスロットで、データが受け取られたかどうか検出するのに用いられることができます。
- 連続的なフレームの総量は、プログラム可能
- 割り込み発生(有効であれば)。



SAIにも、ミュート機能があります。

## 予想された/遅いフレーム・エラー:

この機能は、雑音が多い環境のためにSCK Clock/FSの上で不具合を見つけるのに用いられる。

スレーブモードは、フレーム同期化が期待される時間に起こるかどうかを、SAIは検出可能:

あまり早くなく、あまり遅くなく。

ステータスフラグは使用可能、そして、割り込みも同様に発生することが可能。

予想されたか遅いフレーム検出エラーの後、アプリケーション・ソフトウェアはSAIを再起動可能。



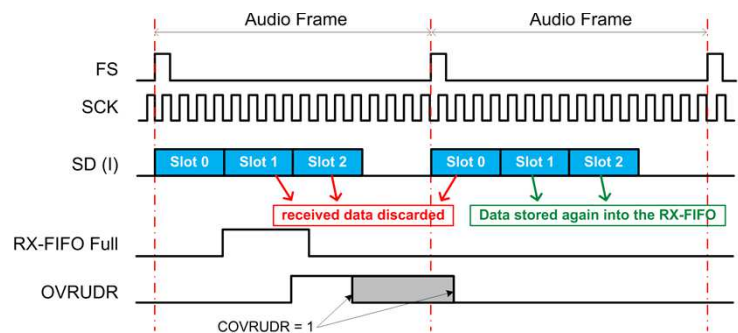
予想外のフレーム同期化不整列を検出することによって、予想された/遅いフレームエラー検出は、インタフェースの信頼性を高めます。

アンダーラン/オーバーランが発生しても、SAIはデータ・アラインメントを保証

## オーバーラン/アンダーラン処理:

- RX-FIFOが満杯のとき、オーバーランが発生、そして、シリアルインタフェースから来ている新しいデータは格納されなければならない。
- TX-FIFOが空のとき、アンダーランが発生、そして、新しいデータはシリアルインタフェースによって要求される。

- 例：Slot 1のFIFOオーバーラン



SAIはSPDIFプロトコルを使ったオーディオサンプルを生成可能:

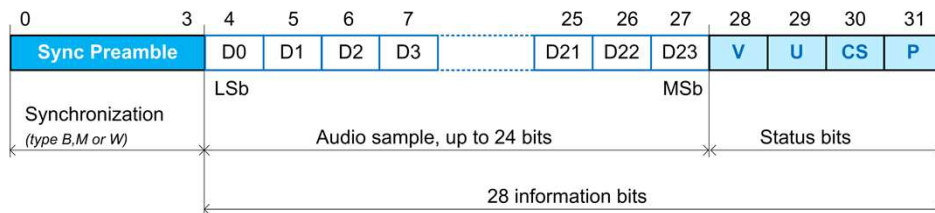
- SPDIFモードにおいて、SD\_x IOだけが使用され、他はフリー。
- データサイズは24bit(強制的に決められる)。
- データは、エンコードされたマンチェスターで(または、2層マーク)。
- SAIはプリアンプルとパリティを自動的に生成。
- アプリケーションは、CS、U、およびVビットを処理。



SPDIFプロトコルにおいて設定される場合は、送信モード中は音声IEC60958標準規格にSAIは適応します。  
ソフトウェアは、CS、UとVビットを取り扱わなければなりません。  
SAIは、送られたデータによってパリティビットを生成します。

## • サブフレームフォーマット

- プリアンブル
- 最大24bitデータ
- 4 ステータスビット
  - Vは有効ビット、それは現在のサンプルがアナログ信号に直接変わることができることを意味する。
  - Pは受信されたサブフレームのパリティ・ビット、それは受信されたサブフレームをチェックするのに用いる
  - Uはユーザーデータ・チャンネル、各々のメッセージは192bitで構成される
  - CSはチャンネルステータス、各々のメッセージは192bit構成される(すなわちサンプリング・レート、サンプル長...)



IEC60958では、ブロック構造はチャンネル状態(CS)とユーザー情報(U)を解読するのに用いられます。

- 各々のブロックは、192のフレームを含みます。
- 各々のフレームは、2つのサブフレームを含みます。
- 各々のサブフレームは、32ビットを含みます。
- 同期プリアンブルは、ブロックと下位フレーム境界の検知を可能にします。

## シンボル率:

オーディオサンプル・レート(FS)は、以下の数式を使用し調節可能:

$$F_S = \frac{F_{SAI\_CK}}{64}$$

## データフォーマット:

データレジスタはデータに加えてCS、U、およびVビットを含む。

F <sub>SAI_CK</sub>	オーディオサンプル レート
2.8224 MHz	44.1 kHz
3.072 MHz	48 kHz
6.144 MHz	96 kHz

	31		27	26	25	24	23		8		4		0								
	Not used						CS	U	V	D23	D22	D21		D8	D7		D5	D4	D3		D0
SAI_xDR	Not used						CS	U	V	D23	D22	D21		D8	D7		D5	D4	Not used		
	Not used						CS	U	V	D23	D22	D21		D8	Not used						



Fsai\_ck\_x周波数は、適切なオーディオのサンプルレートを生成するために調整しなければいけません。  
送信FIFOの中のデータはスライドに例示するように調整されなければなりません。MSBはいつもポジション23にあります。



SAIは、AC'97リンク・コントローラとして動作させることが可能。

- スロット数は13個固定:
  - タグスロット :スロット0 (16bit)
  - データスロット: スロット1 ~ スロット 12 (20bit)
- フレーム長は256bit固定



SAIは、AC'97リンク・コントローラとして動作させることができます。

このプロトコルが使われるとき、フレーム長、スロット番号とスロット長はハードウェアで固定されています。

## 割り込み:

割り込みイベント	説明	割り込みのクリアの仕方
FREQ	FIFO リクエスト(FIFO 閾値に達する)	SAI_xDR 読み出しまたは書き込み <sup>(2)</sup>
OVRUDR	オーバーラン/アンダーランエラー	COVRUDR = 1
AFSDET	予想フレーム同期化検出	CAFSDET = 1
LFSDET	遅延フレーム同期化検出	CLFSDET = 1
CNRDY	コーデック未準備(AC'97モードのみ)	CCNRDY = 1
WCKCFG	間違ったフレーム長構成 <sup>(1)</sup>	CWCKCFG = 1
MUTEDET	ミュート検出	CMUTEDET = 1

(1)WCKCFGが1をセットされるとき、FIFOレベルが閾値以下にあるとき、SAIは自動的に無効(SAIxEN=0)

(2)より正確に、FIFOレベルが閾値以下にある時

## DMA:

FIFO閾値に達するとき、DMAリクエスト可能



いくつかのイベントが、割り込みを引き起こすことができます:

- FIFO リクエスト(FIFO 閾値に達する) イベント,
- オーバーラン/アンダーランエラーイベント
- 予想フレーム、遅延フレーム同期化検出イベント
- コーデック未準備(AC'97モードのみ)イベント
- ミュート検出イベント

SAIのフレーム長が不適当にプログラムされたことをユーザーに知らせるために、WCKCFGイベントを使うことができます。

この機能は、マスターモードのみで利用可です。

# 低消費電力モード

25

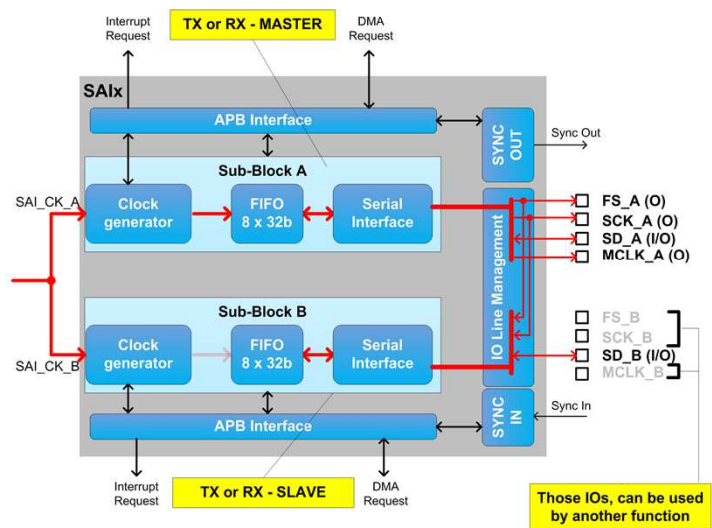
モード	説 明
Run	動作.
Sleep	動作. 周辺機能の割り込みは、デバイスがSleepモードから復帰する要因になります。
Low-power run	動作.
Low-power sleep	動作. 周辺機能の割り込みは、デバイスがLow-power sleepモードから復帰する要因になります。
Stop 1	停止. 周辺機能レジスタは内容保持
Stop 2	停止. 周辺機能レジスタは内容保持
Standby	パワーダウン。周辺機能は、Standbyモードから復帰後、再初期化要
Shutdown	パワーダウン。周辺機能はShutdownから復帰後、再初期化要



SAIは、正常に動作するために、バス・インタフェースクロック (APB クロック) とカーネルクロック (SAIn\_CK\_x) を必要とします。

## • 全二重マスターまたは二線式:

- サブブロックAはマスター
- サブブロックBはスレーブ
- サブブロックBは、サブブロックAに同期



全二重マスターモードについては、2本のデータ通路が必要であるので、2つのサブブロックが必要です。

マスター・サブブロックAは、内部の同期機能(IOライン管理)を用いて、スレーブ・サブブロックBと同期します。

内部の同期を行おうとすると、必要とされる内部の同期数とIOの数は最低値になります。

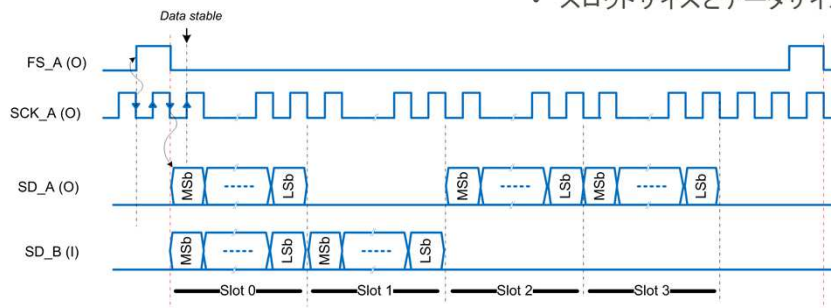
## TDM マスター, 4スロット :

### SAI\_A プログラム概要:

- マスター TX モード,
- 4 スロット (NBSLOT = 3), スロット0と2 と3は動作 (SLOTEN = 0x0D)
- スロットサイズとデータサイズは同じ

### SAI\_B プログラム概要:

- スレーブ RX モード,
- 4 スロット (NBSLOT = 3), スロット0と1は動作 (SLOTEN = 0x03)
- 内部同期有効 (SYNCEN = 1)
- スロットサイズとデータサイズは同じ



もう一つの例は、TDMプロトコル使用による全二重モードです。スロット1はサブブロックA用で不活発です(使われない)、そして、スロット2と3は、サブブロックB用で不活発です。両方のサブブロックについては、フレームは4つのスロットを持ちます。サブブロックAは、フレームにつき3サンプルです。サブブロックBは、フレームにつき2サンプルです。