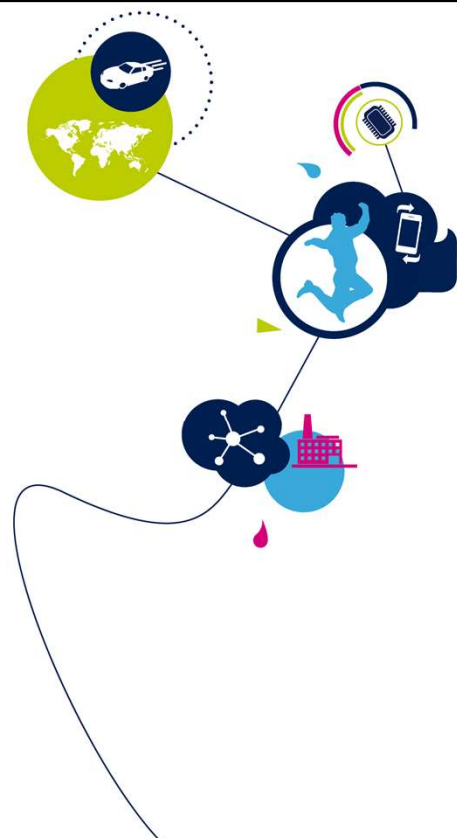


# STM32H7 - LTDC

LCD-TFTディスプレイ・コントローラ  
1.0版



こんにちは、STM32 LCD TFTディスプレイコントローラのプレゼンテーションへようこそ。このプレゼンテーションでは、TFTディスプレイとのインターフェースに使用するLTDCコントローラのすべての機能について説明します。



- LCD TFTディスプレイ・コントローラ
  - 柔軟に設定可能
  - 標準パラレルRGBインタフェース

### アプリケーション側の利点

- 柔軟性のあるプログラム可能なディスプレイ・パラメータ
- 統合されたピクセル・フォーマット・コンバータとブレンダ
- オンチップ・メモリまたは外部メモリをフレームバッファとして使用可能



LCD-TFTは、液晶ディスプレイ-薄膜トランジスタ(Liquid Crystal Display-Thin Film Transistor)の略です。コントローラは柔軟に設定可能であり、標準のパラレルRGBインタフェースと接続します。

LCD TFTディスプレイコントローラの利点には、柔軟性の高いプログラム可能なディスプレイパラメータ、統合ピクセル・フォーマットコンバータ、ブレンダなどがあります。

LCD TFTディスプレイコントローラ(LTDC)のフレームバッファは、パネルの解像度に応じて、オンチップメモリまたは外部メモリに配置できます。

- 24ビットRGBパラレル・ピクセル出力
  - ピクセルあたり8ビット(RGB888)
- 任意のシステム・メモリへの16ダブルワードのバーストアクセスが可能なAXIマスタインタフェース
  - レイヤごとの専用64ダブルワードFIFO
- プログラム可能なタイミングと極性により、さまざまなディスプレイ・パネルと接続が可能
  - タイミング: HSYNC幅、VSYNC幅、VBP、HBP、VFP、HFP
  - 極性: HSYNC、VSYN、非データイネーブル、ピクセルクロック
- TFTのみサポート(STNは対象外)



LCD-TFTディスプレイコントローラは、24ビットパラレルデジタルRGB(赤、緑、青)インタフェースを提供し、水平および垂直同期用の追加信号も備えています。

LTDCはAXIバスマトリックスのマスタであり、内部Flash、SRAM1、SRAM2などの内部メモリ、またはFMC/QUADSPIインタフェースを経由して外部メモリにアクセスできます。

また、レイヤごとに専用の64ダブルワードFIFOも備えています。プログラム可能なタイミングと極性パラメータをサポートし、さまざまなディスプレイパネルと相互接続を行います。

# 柔軟性の高いLTDCパラメータ

4

## さまざまなディスプレイパネルに適合

- プログラム可能なウィンドウ位置とサイズ
- プログラム可能なバックグラウンド・カラー
  - ボトムレイヤとのブレンドに使用される、LTCDレジスタLTDC\_BCCRにプログラムされた24ビットのRGB値
- 2レイヤ・ブレンディングによるマルチレイヤ・サポート
- カラー・チャネルごとに2ビットのディザリング (RGBでは2、2、2)
- 新しいプログラム値は、実行時または垂直ブランキング中にすぐにロード可能



LTDCは、さまざまなディスプレイパネルをサポートできる柔軟でプログラム可能なパラメータを提供します。

-プログラム可能なディスプレイサイズ。例えば: QVGA、WQVGA、VGA

-プログラム可能なバックグラウンドカラー

-ボトムレイヤとのブレンドに使用される、LCDコントローラレジスタ(LTDC\_BCCR)にプログラムされた24ビットのRGB値

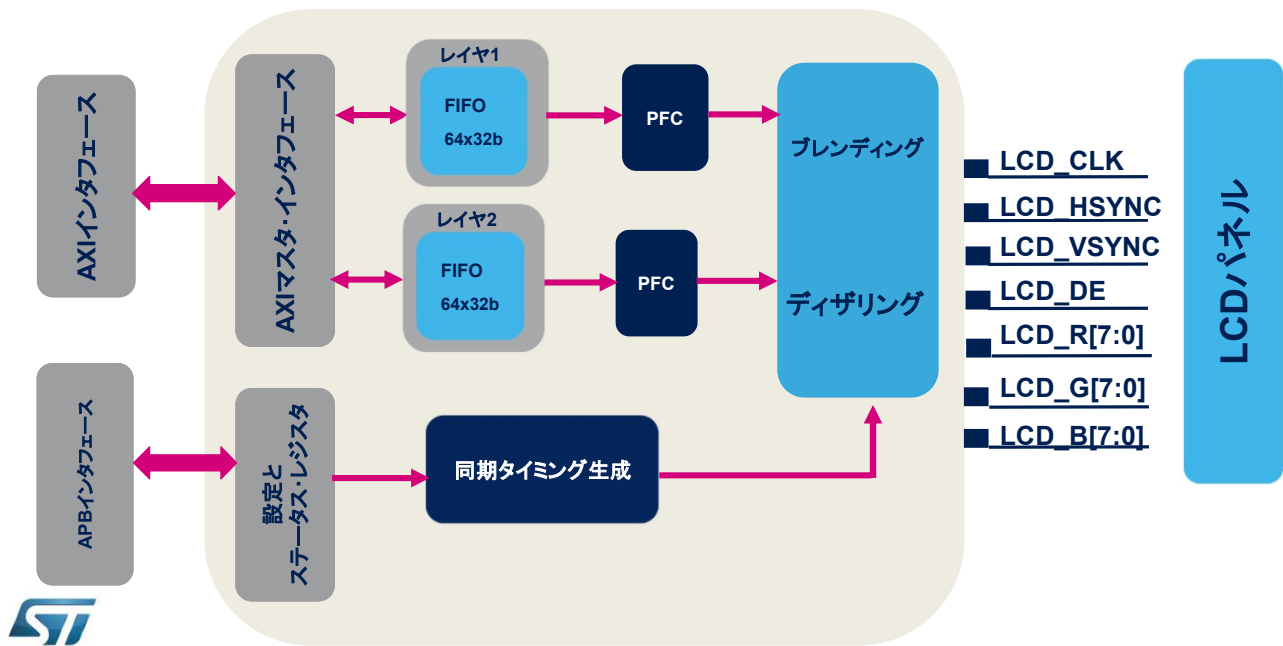
-2レイヤブレンディングによるマルチレイヤサポート

-カラーチャネルごとに2ビットのディザリング (RGBでは2、2、2)  
疑似乱数ディザリングを使用して各ピクセルカラーチャネル(R、G、またはB)値に小さな乱数値(閾値)を加えて18ビットディスプレイで24ビットデータを表示するため、場合により最上位ビットが切り上げられます。

-新しいプログラム値は、実行時または垂直ブランキング中にすぐにロードできます。

# LCD-TFTのブロック図

5



これは、LCD TFTコントローラのブロック図です。

- 3つのクロック・ドメイン：
  - AXIクロック・ドメイン (ACLK)
    - メモリからレイヤFIFOとフレームバッファにデータを転送
  - APBクロックドメイン (PCLK)
    - グローバル設定および割込みレジスタにアクセス
  - ピクセルクロックドメイン (LCD\_CLK)
    - LCD-TFTインタフェース信号、ピクセルデータ、およびレイヤ設定を生成
    - LCD\_CLK出力は、パネルの要件に従って設定する必要がある



LTDCには3つのクロックドメインがあります：

-メモリからレイヤFIFOおよびフレームバッファにデータを転送するAXIクロックドメイン (ACLK)

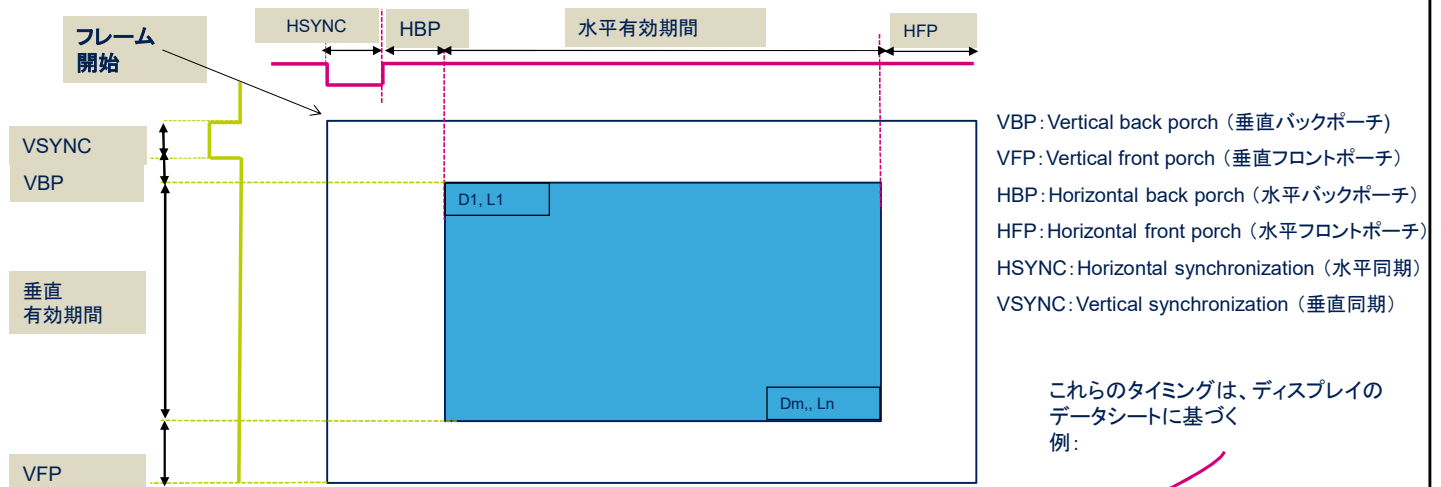
-グローバル設定および割込みレジスタにアクセスするためのAPBクロックドメイン (PCLK)

-LCD-TFTインタフェース信号、ピクセルデータ、およびレイヤ設定を生成するピクセルクロックドメイン (LCD\_CLK)

LCD\_CLK出力は、パネル要件に従って設定する必要があります。

# プログラム可能なLTDCのタイミング

7



Parameters	Symbols	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Horizontal Synchronization	Hsync		2	10	16	DOTCLK
Horizontal Back Porch	HBP		2	20	24	DOTCLK
Horizontal Address	HAdr		-	240	-	DOTCLK
Horizontal Front Porch	HFP		2	10	16	DOTCLK
Vertical Synchronization	Vsync		1	2	4	Line
Vertical Back Porch	VBP		1	2	-	Line
Vertical Address	VAdr		-	320	-	Line
Vertical Front Porch	VFP		3	4	-	Line



TFTパネルと相互接続するため、すべてのタイミングはLTDCコントローラによりプログラムできます。TFTパネルのデータシートに基づくこれらのタイミングは次の通りです:

- VBP: Vertical Back porch (垂直 バックポーチ)
- VFP: Vertical Front porch (垂直 フロントポーチ)
- HBP: Horizontal Back porch (水平 バックポーチ)
- HFP: Horizontal Front porch (水平 フロントポーチ)
- HSYNC: Horizontal synchronization (水平同期)
- VSYNC: Vertical synchronization (垂直同期)

## 柔軟性のあるI/O設定

LCD-TFT信号	説明
LCD_CLK	ピクセルクロック出力
LCD_HSYNC	水平同期
LCD_VSYNC	垂直同期
LCD_DE	非データイネーブル
LCD_R[7:0]	8ビットの赤のデータ
LCD_G[7:0]	8ビットの緑のデータ
LCD_B[7:0]	8ビットの青のデータ

LTDC出力信号がこの表にまとめられています。  
LTDCのピンは、ユーザアプリケーションで設定する必要があります。  
使用されていないピンは、他の目的に使用できます。



# ピクセルデータマッピングとカラー・フォーマット

9

## 8つのプログラム可能な入力カラー・フォーマット

	31:24	23:16	15:8	7:0
ARGB8888	Ax[7:0]	Rx[7:0]	Gx[7:0]	Bx[7:0]
RGB888	Bx+1[7:0]	Rx[7:0]	Gx[7:0]	Bx[7:0]
RGB565	Rx+1[4:0]	Gx+1[5:3]	Gx+1[2:0]	Bx+1[4:0]
ARGB1555	Ax+1[0]	Rx+1[4:0]	Gx+1[4:3]	Gx+1[2:0]
ARGB4444	Ax+1[3:0]	Rx+1[3:0]	Gx+1[3:0]	Bx+1[3:0]
L8	Lx+3[7:0]	Lx+2[7:0]	Lx+1[7:0]	Lx[7:0]
AL88	Ax+1[7:0]	Lx+1[7:0]	Ax[7:0]	Lx[7:0]
AL44	Ax+3[3:0] Lx+3[3:0]	Ax+2[3:0] Lx+2[3:0]	Ax+1[3:0] Lx+1[3:0]	Ax[3:0] Lx[3:0]



レイヤのフレームバッファ内に保存されるデータには、プログラム可能なピクセル・フォーマットが使用されます。

この表は、ピクセルデータマッピングと選択した入力カラー・フォーマットを示しています。

LTDCは、レイヤごとに最大8つのプログラム可能な入力カラー・フォーマットで設定できます。

ダイレクトカラー

ARGB8888

RGB888

RGB565

ARGB1555

ARGB4444

インダイレクトカラー

L8(8ビット輝度またはCLUT)

AL44(4ビットアルファ+4ビット輝度)

AL88(8ビットアルファ 8ビット輝度)

# ピクセル・フォーマット変換 (PFC: Pixel Format Conversion)

10

## ピクセル・フォーマット変換

### RGB565入力ピクセル・フォーマット

ビット位置

4	3	2	1	0	5	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



PFC

### ARGB8888内部ピクセル・フォーマット

ビット位置

0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	1	0	4	3	2	5	4	3	2	1	0	5	4	4	3	2	1	0	4	3	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



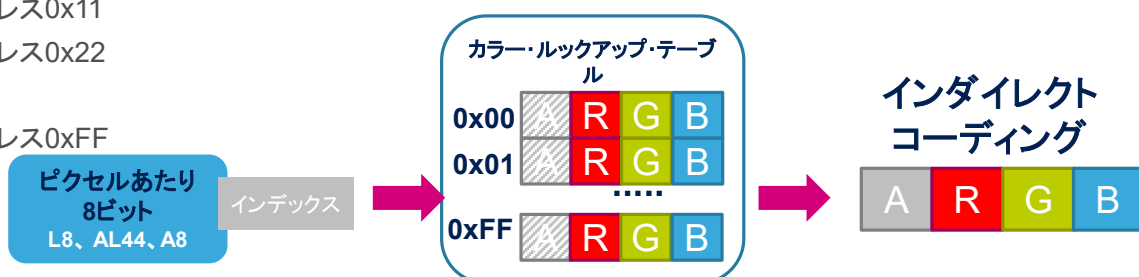
ビットマップのカラー・フォーマットを別のフォーマットに変換する場合、この操作はピクセル・フォーマット変換(PFC:Pixel Format Conversion)と呼ばれます。

フレームバッファから読み取ったピクセルデータは、次のように内部ARGB8888フォーマットに変換されます。幅が8ビット未満のコンポーネントは、ビットレプリケーションによって8ビットまで拡張されます。上位8ビットが選択されます。

ダイレクトカラーからインダイレクトカラーまたはインダイレクトカラーからダイレクトカラーに変換するのは簡単ですが、ダイレクトカラーをインダイレクトカラー・フォーマットに変換する際、非常に複雑な操作であるカラーlookupアップテーブル(CLUT)の再生成が伴います。

## レイヤあたり最大256エントリのカラー・ルックアップ・テーブル(CLUT)

- フレームバッファには、各ピクセルのインデックス値が含まれる
- CLUTには、R、G、Bの値をプリロードしておく必要がある
  - L8およびAL88入力ピクセル・フォーマットの場合、CLUTは256色でプリロード
  - AL44入力ピクセル・フォーマットの場合、CLUTには16色をプリロード  
各色のアドレスは、4ビットLチャンネルを次のように8ビットに複製することによって埋める必要がある
    - L0(インデックスカラー0)、アドレス0x00
    - L1、アドレス0x11
    - L2、アドレス0x22
    - ....
    - L15、アドレス0xFF



カラールックアップテーブルは、入力ピクセル・フォーマットがL8、AL44、およびAL88のインデックスカラーにのみ使用します。

レイヤごとに最大256のエントリをサポートします。

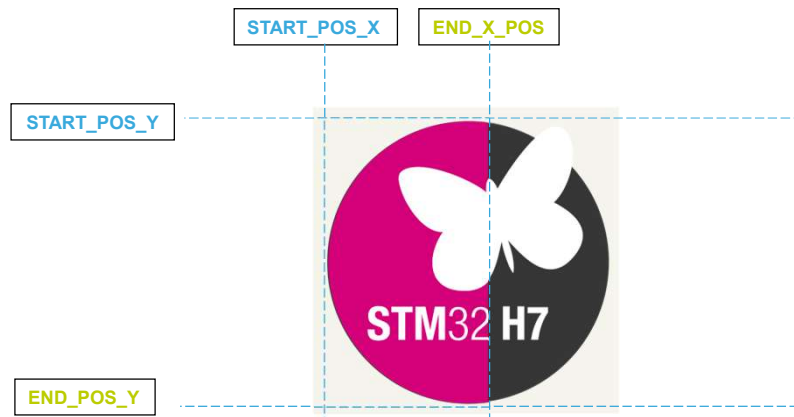
フレームバッファには、各ピクセルのインデックス値が含まれています。

CLUTの各ピクセル(インデックスカラー)には元のR、G、B値を置き換えるR、G、B値を読み込む必要があります。各色(RGB値)には、それ自体のアドレスがあり、CLUT内の位置を表します。

# レイヤのプログラム可能なパラメータ

12

## 柔軟性のあるウィンドウ位置とサイズの設定



すべてのレイヤは配置とサイズを変更できます。

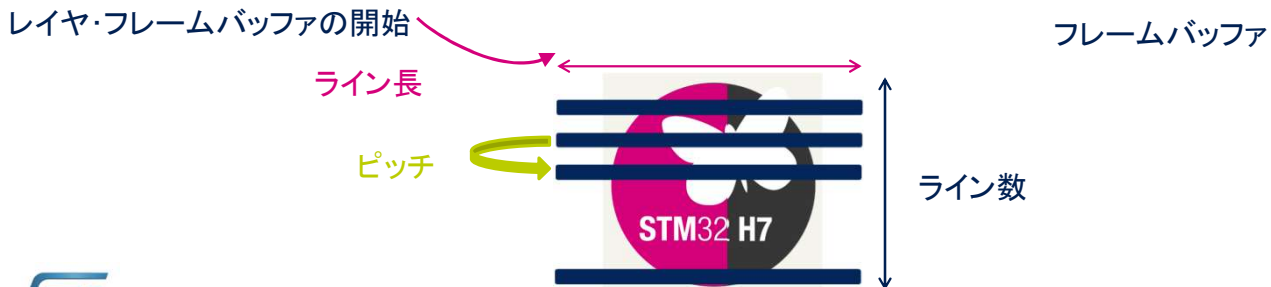
プログラム可能なレイヤの位置とサイズは、ラインの最初と最後の可視ピクセルと  
ウィンドウの最初と最後の可視ラインを定義します。画像フレームの全体を表示、または  
その一部だけの表示もできます。

# レイヤのプログラム可能なパラメータ

13

## カラーフレームバッファの設定

- フレームバッファ・サイズ、ライン長、およびライン数パラメータを正しく設定する必要がある
  - レイヤが必要とするバイトより少ないバイトが設定されている場合、FIFOアンダーランエラーがセットされる
  - レイヤが必要とするバイトより多くバイトが設定されている場合、不要な読取りデータは破棄  
不要なデータは表示されない



すべてのレイヤは、カラーフレームバッファとピッチ用の設定可能なライン数とライン長を持っています。

ピッチとは、1本のラインの始まりと次のラインの始まりの間の距離(バイト単位)です。

これらのパラメータはバイトで表されます-ピクセルではありません!つまり、距離の値はピクセルあたりのビット数で決まります。

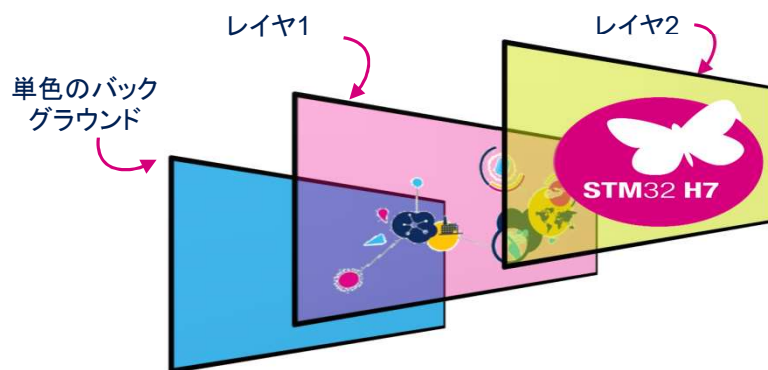
ライン長とライン数のパラメータは、フレームバッファの最後でレイヤFIFOへのデータのプリフェッチを停止するのに使用されます。

# レイヤのプログラム可能なパラメータ

14

## マルチレイヤ・ブレンディング

- アルファ値使用のブレンディングが常にアクティブな状態
- ブレンディングの順序はボトムアップに固定
- ボトムレイヤのバックグラウンド・カラーはプログラム可能



LTDCではブレンディング係数を設定できます。ブレンディングの順序はボトムアップに固定されています。2つのレイヤが有効になっている場合、レイヤ1は最初にバックグラウンドカラーとブレンドされ、次にレイヤ2が前回のブレンド結果とブレンドされます。

## デフォルト色の設定

- デフォルト色 (ARGB) は定義したレイヤウィンドウの外や、レイヤが無効のときに使用される
- 注意が必要な使用例:
  - レイヤ1が有効
  - レイヤ2が無効で、デフォルト色は黒
  - ブレンディング係数が定数アルファ (0xFF) に設定されている場合、画像は表示されない  
黒いウィンドウのみが表示 (レイヤ2のデフォルト色は黒です)
- デフォルト色をバイパスするには、ブレンディング係数を透明なアルファ値 (0x00) に設定



すべてのレイヤはARGBフォーマットでデフォルト色を設定することができ、デフォルト色は定義したレイヤウィンドウの外またはレイヤが無効のときに使用されます。

注意が必要な使用例:

- レイヤ1が有効
- レイヤ2が無効で、デフォルト色は黒

ブレンディング係数が定数アルファ (0xFF) に設定されている場合、画像は表示されません。黒いウィンドウのみが表示されます (レイヤ2のデフォルト色は黒です)。

デフォルト色をバイパスするには、ブレンディング係数を透明な値であるアルファ=0x00にセットします。

# レイヤのプログラム可能なパラメータ

16

## カラーキーイング

- LTDC\_LxCKCRレジスタでレイヤごとに**透明色 (RGB)**を定義できる
- カラーキーイングを有効にすると、現在のピクセルがカラーキーと比較されるプログラムされたRGB値と一致した場合、そのピクセルのすべてのチャンネル (ARGB) が0にセットされる
- **LTDC\_LxCR**レジスタの各レイヤのカラーキーイングを動作中に有効化可能



カラーキー (RGB) の設定により、透明なピクセルを表せます。カラーキーイングを有効にすると、現在のピクセル (フォーマット変換後、ブレード前) がカラーキーと比較されます。プログラムされたRGB値と一致した場合、そのピクセルのすべてのチャンネル (ARGB) が0にセットされます。

カラーキー値を設定することにより、ランタイム時にその値を使用してピクセルRGB値を置換することができます。

カラーキーイングは、LTDC\_LxCKCRレジスタにより有効にします。



割込みイベント	説明
ライン	ライン割込みは、プログラムされた位置ラインに達したときに生成
レジスタリロード	垂直ブランキング期間中にシャドウレジスタのリロードが実行されると、レジスタリロード割込みが生成
FIFOアンダーラン	エンプティのレイヤFIFOからピクセルがリクエストされると、FIFOアンダーラン割込みが生成
転送エラー	データ転送中にAXIバスエラーが発生すると、転送エラー割込みが生成



ライン割込み:

- プログラムされたライン位置に達すると生成されます。

レジスタリロード割込み:

- 垂直ブランキング期間中にシャドウレジスタがリロードされると生成されます。

FIFOアンダーラン割込み:

- エンプティのレイヤFIFOからピクセルがリクエストされると生成されます。

転送エラー割込み:

- データ転送中にAXIバスエラーが発生したときに生成されます。

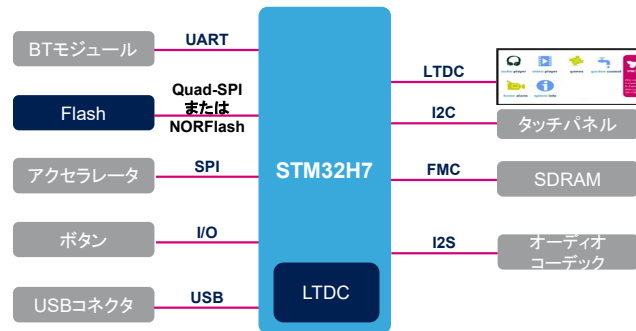
モード	説明
RUN	アクティブ
SLEEP	アクティブ ペリフェラル割込みによって、デバイスはSLEEPモードを終了
STOP	停止 ペリフェラル・レジスタの内容は保持
STANDBY	パワーダウン ペリフェラルは、STANDBYモード終了後に再初期化する必要がある



LTDCは、RUNモードとSLEEPモードでアクティブです。LTDC割込みにより、デバイスのSLEEPモードを終了させることができます。

デバイスは、STOPモードとSTANDBYモードでは通信できません。

- 接続性とHMIを持つ家電機器



グラフィックアプリケーションには、高品質のユーザインタフェースが必要です。これは、STM32H7を使用しLCD-TFTコントローラでディスプレイに接続することで実現できます。さらに、FMCまたはQuad-SPIインタフェースを使用すれば、バックグラウンドイメージ、高解像度アイコン、複数言語をサポートするフォントなど、必要なすべてのグラフィックコンテンツを収めた外部Flashメモリにアクセスできます。

- 詳細については、LTDCに関連する次のトレーニングを参照してください。
  - リセットおよびクロック制御(RCC)
  - 汎用入力／出力(GPIO)



以下は、LTDCモジュールに関連するペリフェラルのリストです。  
詳細については、必要に応じてこれらのペリフェラルトレーニングを参照してください。

- リセットおよびクロック制御(RCC)
- 汎用入力／出力(GPIO)