

この資料は英語版を翻訳したもので、内容に相違が生じる場合には原文を優先します。こちらの日本語版は参考用としてご利用ください。設計の際には、最新の英語版で内容をご確認ください。

MI151017-2.0

### はじめに

アルテラ・デバイスは、シミュレーションからアプリケーションまで一貫した予測可能なデバイス性能を提供します。デバイスをプログラムする前に、任意のデザインに対するワースト・ケースのタイミングを決定できます。Quartus® II タイミング・アナライザを使用するか、またはこの章で説明するタイミング・モデルと個々のデバイス・データシートに記載されたタイミング・パラメータを使用して、伝播遅延を概算できます。



最も正確なタイミング結果を得るには、この章の後半で述べる二次的要因の影響を考慮する Quartus II タイミング・アナライザを使用する必要があります。

この章では、外部および内部タイミング・パラメータを定義し、MAX® II デバイス・ファミリのタイミング・モデルについて説明します。



この章では、読者はデバイスのアーキテクチャおよび特性について精通していると仮定しています。アーキテクチャの詳細、およびこの章で記載されているタイミング・パラメータの特定値については、このハンドブックにある特定のデバイスまたはデバイス・ファミリのデータシートを参照してください。

この章は、以下の項で構成されています。

- 16-1 ページの「外部タイミング・パラメータ」
- 16-2 ページの「内部タイミング・パラメータ」
- 16-4 ページの「MAX II UFM の内部タイミング・パラメータ」
- 16-5 ページの「タイミング・モデル」
- 16-6 ページの「タイミング遅延の計算」
- 16-9 ページの「プログラマブル入力遅延」
- 16-9 ページの「タイミング・モデルと Quartus II タイミング・アナライザの比較」

### 外部 タイミング・ パラメータ

外部タイミング・パラメータは、実際のピン間のタイミング特性を表します。各外部タイミング・パラメータは、内部タイミング・パラメータを組み合わせることで構成されます。外部タイミング・パラメータの値は、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章に記載されています。これらの外部タイミング・パラメータは、広範囲にわたる性能測定から導出され、テストによって確認されたワース

ト・ケース値です。すべての外部タイミング・パラメータは、太字で示されています。表 16-1 は、MAX II ファミリの外部タイミング・パラメータを定義しています。

パラメータ	説明
$t_{PD1}$	デバイスの対角線上に横切るバスを使用し、出力ピンに隣接するロジック・アレイ・ブロック (LAB) の単一ロック・アップ・テーブル (LUT) に組み合わせロジックを実装したワースト・ケースの I/O 配置に対するピン間遅延。隣接するロジック・エレメント (LE) から出力ピンの間に高速 I/O 接続が使用されます。
$t_{PD2}$	入力ピンに隣接するシングル・エッジ LE 内に組み合わせロジック (2 入力 AND ゲート) を実装したベスト・ケースのピン間遅延。2 つの入力の最長ピン・パスが示されます。隣接する LE から出力ピンの間に高速 I/O 接続が使用されます。
$t_{CLR}$	レジスタ・クリア時間遅延。入力遷移から測定し、Low 信号が外部出力に現れるのに要する時間。
$t_{SU}$	グローバル・クロックのセットアップ・タイム。クロック・ピンでグローバル (同期) クロック信号がアサートされる前に、入力ピンにデータが存在しなければならない時間。
$t_H$	グローバル・クロックのホールド・タイム。クロック・ピンでグローバル・クロック信号がアサートされた後、入力ピンにデータが存在しなければならない時間。
$t_{CO}$	グローバル・クロックから出力までの遅延。クロック・ピンでグローバル・クロックがアサートされた後、有効な出力を得るのに必要な時間。
$t_{CNT}$	最小のグローバル・クロック周期。グローバル・クロックでドライブされるカウンタが維持される最小周期。

## 内部 タイミング・ パラメータ

デバイス内部で個々のアーキテクチャのエレメントによって生じるタイミング遅延は、内部タイミング・パラメータと呼ばれ、このパラメータは明示的には測定できません。すべての内部タイミング・パラメータは、イタリック体で示されています。表 16-2 に、MAX II ファミリの内部タイミング・マイクロパラメータを定義します。

パラメータ	説明
$t_{LUT}$	データ入力からデータ出力までの LE の組み合わせ LUT 遅延。
$t_{COMB}$	組み合わせバス遅延。LUT からの組み合わせロジック信号が LE レジスタをバイパスしてから、LE から出力可能になるまでの遅延時間。
$t_{CLR}$	LE レジスタ・クリア遅延。レジスタの非同期クリア入力のアサートされてから、レジスタ出力がロジック Low で安定するまでの遅延。
$t_{PRE}$	LE レジスタ・プリセット遅延。レジスタの非同期プリセット入力のアサートされてから、レジスタ出力がロジック High で安定するまでの遅延。

表 16-2. 内部タイミング・マイクロパラメータ (2 / 2)

パラメータ	説明
$t_{SU}$	LE レジスタのセットアップ・タイム (クロック前)。レジスタが入力データを正しく格納するために、レジスタ・クロックの立ち上がりエッジ前に、データおよびイネーブル入力信号が安定していなければならない時間。
$t_H$	LE レジスタのホールド・タイム (クロック後)。レジスタが入力データを正しく格納するために、レジスタ・クロックの立ち上がりエッジ後に、データおよびイネーブル入力信号が安定していなければならない時間。
$t_{CO}$	LE レジスタのクロックから出力までの遅延。レジスタのクロックの立ち上がりエッジから出力にデータが現れるまでの遅延。
$t_C$	レジスタ・コントロール遅延。LE レジスタのクロック、プリセット、またはクリア入力に信号を伝達するのに必要な時間。
$t_{FASTIO}$	組み合わせ出力遅延。 $t_{FASTIO}$ は、I/O ブロックに隣接する LE からの組み合わせ信号が高速 I/O 接続をしようとした場合に必要となる時間です。
$t_{IN}$	I/O 入力パッドおよびバッファ遅延。 $t_{IN}$ は、入力として使用される I/O ピンに適用されます。
$t_{GLOB}$	$t_{GLOB}$ は、グローバル・ピンを使用する場合、GCLK ピンに適用されます。 $t_{GLOB}$ は、グローバル・クロック・ネットワークを介して、GCLK ピンから LAB カラム・クロックにグローバル信号を伝達するのに必要な遅延です。
$t_{IOE}$	内部生成した出力イネーブル遅延。内部で生成した信号がインタコネクタからトライ・ステート・バッファの出力イネーブルに到達するまでの遅延です。
$t_{DL}$	入力配線遅延。隣接する LE への入力として使用されるロウ I/O ピンから生じる遅延。
$t_{IODR}$	ロウ・インタコネクタに対する出力遅延。ロウ・インタコネクタから I/O セルに信号を伝達する場合の遅延です。
$t_{OD}$	出力遅延バッファおよびパッド遅延。異なる I/O 規格、ドライブ強度、およびスルー・レートに関連する追加遅延については、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章の「タイミング・モデルおよび仕様」の項を参照してください。
$t_{XZ}$	出力バッファ・ディセーブル遅延。出力バッファのイネーブル・コントロールがディセーブルされた後、ハイ・インピーダンスが出力ピンに現れるのに必要な遅延。異なる I/O 規格、ドライブ強度、およびスルー・レートに関連する追加遅延については、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章の「タイミング・モデルおよび仕様」の項を参照してください。
$t_{ZX}$	トライ・ステート・バッファのイネーブル・コントロールがイネーブルされた後、出力信号が出力ピンに現れるのに必要な出力バッファ・イネーブル遅延。異なる I/O 規格、ドライブ強度、およびスルー・レートに関連する追加遅延については、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章の「タイミング・モデルおよび仕様」の項を参照してください。
$t_{C4}$	平均的負荷のカラム・インタコネクタに対する遅延。 $t_{C4}$ はロウ方向の 4 つの LAB までの距離に対応します。
$t_{R4}$	平均的負荷のロウ・インタコネクタに対する遅延。 $t_{R4}$ はカラム方向の 4 つの LAB までの距離に対応します。
$t_{LOCAL}$	ローカル・インタコネクタ遅延。

## MAX II UFM の 内部 タイミング・ パラメータ

MAX II ユーザ・フラッシュ・メモリ (UFM) のタイミング・パラメータは、UFM アーキテクチャのエレメントによって生じるタイミング遅延で明示的には測定できません。すべてのタイミング・パラメータは、イタリック体で示されています。表 16-3 に、MAX II UFM の内部タイミング・マイクロパラメータを定義します。

表 16-3. MAX II UFM の内部タイミング・マイクロパラメータ

パラメータ	説明
$t_{ASU}$	アドレス・レジスタ・シフト信号のアドレス・レジスタ・クロックに対するセットアップ。
$t_{AH}$	アドレス・レジスタ・シフト信号のアドレス・レジスタ・クロックからのホールド。
$t_{ADS}$	アドレス・レジスタ・データ・インのアドレス・レジスタ・クロックに対するセットアップ。
$t_{ADH}$	アドレス・レジスタ・データ・インのレジスタ・クロックからのホールド。
$t_{DSS}$	データ・レジスタ・シフト信号のデータ・レジスタ・クロックに対するセットアップ。
$t_{DSH}$	データ・レジスタ・シフト信号のデータ・レジスタ・クロックからのホールド。
$t_{DDS}$	データ・レジスタ・データ・インのデータ・レジスタ・クロックに対するセットアップ。
$t_{DDH}$	データ・レジスタ・データ・インのデータ・レジスタ・クロックからのホールド。
$t_{DCO}$	データ・シフト・アウト時のデータ・レジスタ・クロックからデータ・レジスタ出力までの遅延。
$t_{DP}$	PROGRAM 信号のデータ・クロックに対するホールド・タイム。
$t_{PB}$	PROGRAM の立ち上がりエッジから UFM BUSY 信号の立ち上がりエッジまでの最大遅延。
$t_{BP}$	UFM BUSY 信号 Low から PROGRAM 信号 Low までの許容最小遅延。
$t_{PPMX}$	プログラム時のビジー・パルスの最大長。
$t_{AE}$	ERASE 信号のアドレス・クロック・タイムに最小ホールド・タイム。
$t_{EB}$	ERASE の立ち上がりエッジから UFM BUSY 信号の立ち上がりエッジまでの最大遅延。
$t_{BE}$	UFM BUSY 信号 Low から ERASE 信号 Low までの許容最小遅延。
$t_{EPMX}$	消去時の busy パルスの最大長。
$t_{RA}$	最大リード・アクセス・タイム。DRSHT 信号 Low からデータ・レジスタ出力で最初のデータ・ビットが観測されるまでの遅延。
$t_{OE}$	OSC_ENA 信号が UFM に達してから内部の OSC によるクロックの立ち上がりが出力されるまでの遅延。
$t_{OSCS}$	OSC_ENA の立ち上がりエッジから ERASE/PROGRAM 信号の立ち上がりエッジまでの最大遅延。
$t_{OSCH}$	ERASE/PROGRAM 信号 Low から OSC_ENA 信号 Low までの許容最小遅延。

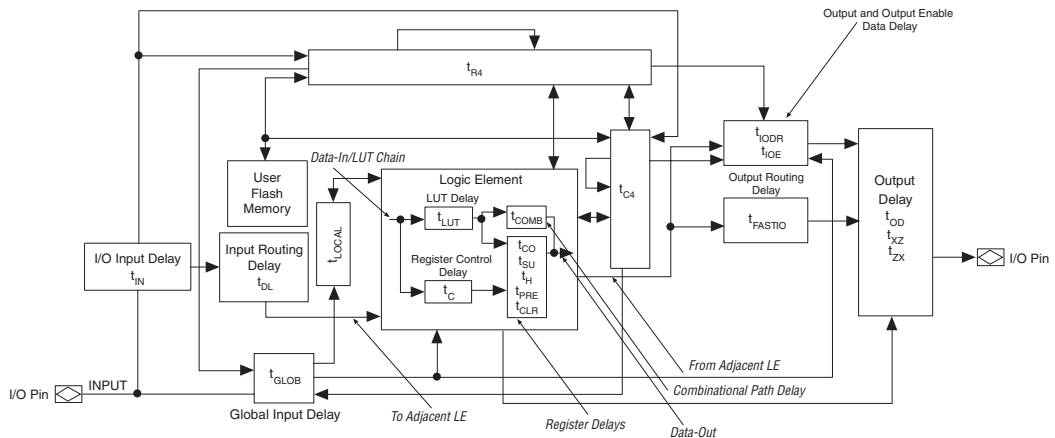
## タイミング・モデル

タイミング・モデルは、アルテラ・デバイスを通じての遅延を示す簡略化されたブロック図です。ロジックは、様々なパス上に実装できます。デザインで使用される実際のパスは、プロジェクトのQuartus II Report File (.rpt) にリストされる式を調べて追跡できます。次に適切な内部タイミング・パラメータを加算して、デバイスを通じた遅延を見積ることができます。

MAX II アーキテクチャは、グローバルに伝達されるクロックを備えています。MultiTrack インタコネクタにより、MAX II デバイスのすべての集積度およびスピード・グレードにおいて、性能の予測、正確なシミュレーション、および正確なタイミング解析が保証されています。

図 16-1 に、MAX II デバイスのタイミング・モデルを示します。タイミング・モデルは暫定バージョンのため、変更される場合があります。タイミング・モデルの最終バージョンは、適宜リリースされます。

図 16-1. MAX II デバイスのタイミング・モデル



## タイミング遅延の計算

図 16-1 に示すタイミング・モデルを使用し、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章を参照して、MAX II デバイスのピン間タイミング遅延を概算できます。外部タイミング・パラメータは、内部タイミング・パラメータの組み合わせからそれぞれ計算されます。図 16-2 ~ 16-6 に、MAX II デバイス・ファミリの外部タイミング・パラメータを示します。MAX II デバイスを介して異なるパスを通過する信号の遅延を計算するには、タイミング・モデルを参照して、どの内部タイミング・パラメータを合計するかを決定します。

最も正確なタイミング結果を得るには、配置やファンアウトなどの二次的要因の影響を計上する Quartus II タイミング・アナライザを使用します。

図 16-2. 外部タイミング・パラメータ ( $t_{PD1}$ ) 注 (1)

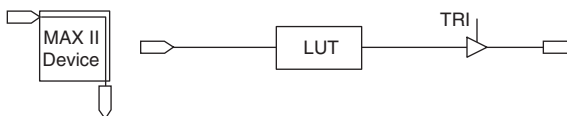


図 16-2 の注:

$$(1) \quad t_{PD1} = t_{IN} + N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4 + t_{LUT} + t_{COMB} + t_{FASTIO} + (t_{OD} + \Delta t_{OD})$$

表 16-4 に、デバイス集積度に対する LAB 数を示します。

デバイス集積度	N LAB 行数	M LAB カラム数
EPM240	4	6
EPM570	7	12
EPM1270	10	16
EPM2210	13	20

$\Delta t_{OD}$  は、電流値 16 mA の 3.3-V LVTTTL 以外の I/O 規格を使用する場合の  $t_{OD}$  マイクロパラメータに対する追加遅延 (図 16-2 の注を参照) です。追加遅延の値については、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「DC およびスイッチング特性」の章を参照してください。以下に例を示します。

電流値 16 mA、3.3-V LVTTTL 高速スルー・レートの I/O 規格を使用する EPM240 デバイスの  $t_{PD1}$  は、以下のようになります。

$$t_{PD1} = t_{IN} + 4 \times t_{R4}/4 + 6 \times t_{C4}/4 + t_{LUT} + t_{COMB} + t_{FASTIO} + t_{OD} \dots (a)$$

電流値 7 mA、2.5-V LVTTTL 高速スルー・レートの I/O 規格を使用する EPM240 デバイスの  $t_{PD1}$  は、以下のようになります。

$$t_{PD1} = (a) + (2.5\text{-V LVTTTL 高速スルー } 7 \text{ mA の } \Delta t_{OD})$$

図 16-3. 外部タイミング・パラメータ ( $t_{PD2}$ ) 注 (1)

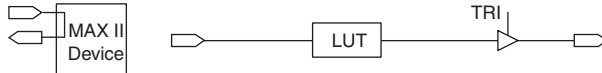


図 16-3 の注:

(1)  $t_{PD2} = t_{IN} + t_{DL} + t_{LUT} + t_{COMB} + t_{FASTIO} + (t_{OD} + \Delta t_{OD})$

図 16-4. 外部タイミング・パラメータ ( $t_{CO}$ ) 注 (1)、(2)

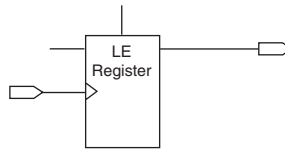


図 16-4 の注:

- (1)  $t_{CO} = t_{GLOB} + t_C + t_{CO} + (N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4) + (t_{IODC}$  または  $t_{IODR}) + (t_{OD} + \Delta t_{OD})$   
 (2) 定数 N および M は、デバイス全体における LAB の位置に応じて変更されることがあります。

図 16-5. LE レジスタのクリアおよびプリセット・タイム ( $t_{CLR}$ ) 注 (1)

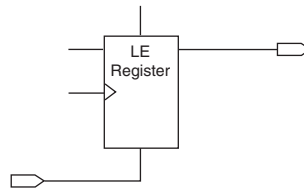


図 16-5 の注:

(1)  $t_{CLR} = t_{GLOB} + t_C + t_{CLR} + (N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4) + (t_{IODC}$  または  $t_{IODR}) + (t_{OD} + \Delta t_{OD})$

図 16-6. LE レジスタのクリアおよびプリセット・タイム ( $t_{PRE}$ )

注 (1)

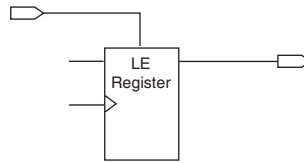


図 16-6 の注:

(1)  $t_{PRE} = t_{GLOB} + t_{LOCAL} + t_c + t_{PRE} + (N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4) + (t_{ODC} \text{ または } t_{ODR}) + (t_{OD} + \Delta t_{OD})$

I/O データおよびクロック入力からのセットアップおよび  
ホールド・タイム

Quartus II ソフトウェアは、LE レジスタに対するゼロ・ホールド・タイムを保証するために、入力ピンからレジスタ入力までの追加配線遅延を挿入することがあります。セットアップ・タイムおよびホールド・タイムの取得には、Quartus II タイミング・アナライザの使用を推奨します。

図 16-7 と 16-8 を参照してください。

図 16-7. セットアップおよびホールド・タイム ( $t_{SU}$ ) 注 (1)

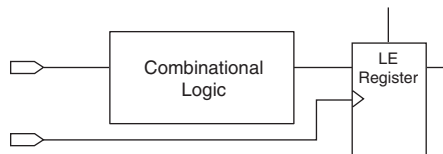


図 16-7 の注:

(1)  $t_{SU} = (t_{IN} + N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4 + t_{LUT}) - (t_{GLOB} + t_c) + t_{SU}$

図 16-8. セットアップおよびホールド・タイム ( $t_H$ ) 注 (1)

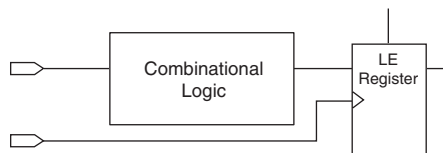


図 16-8 の注:

(1)  $t_H = (t_{GLOB} + t_c) - (t_{IN} + N \times t_{R4}/4 + M \times t_{C4}/4 + t_{LUT}) + t_H$



図 16-4 から 16-8 で、定数 N および M は、組み合わせロジック実装のために、デバイス全体における LAB の位置に応じて変更されることがあります。

## プログラマブル 入力遅延

プログラマブル入力遅延は、入力ピンに遅延を追加してゼロ・ホールド・タイムを保證するオプションを提供します。このオプションは、Assignment Editor (Assignments メニュー) でピンごとに設定できます。以下の手順は、Quartus II ソフトウェアで選択された入力ピンに対する入力遅延をオンにする方法を示します。

1. デザイン・ファイルで入力ピン名を選択します。
2. Assignment Editor で右クリックし、**Locate** を選択します。
3. Assignment Name の下をダブル・クリックし、ドロップダウン・リストで **Input Delay from Pin to Internal Cells** を選択します。
4. 作成されたアサインメント名の右側の **Value** セルをダブル・クリックし、1 を入力します。
5. File メニューの **Save** をクリックします。

## タイミング・ モデルと Quartus II タイミング・ アナライザの 比較

タイミング・モデルに基づく手計算によって、デザインの性能をかなり正確に見積ることができます。ただし、Quartus II タイミング・アナライザは、以下のような配線マイクロパラメータに影響を及ぼす二次的な要素を計上できるため、デザイン性能に関する最も正確な情報を常に提供することが可能です。

- 遅延パスにおける各信号のファンアウト
- 信号のソースとデスティネーションに対するその他の負荷の位置
- 信号のソースとデスティネーション間の距離
- デバイスのエッジで一部のインタコネク트가切り取られる各種インタコネクト長

## まとめ

MAX II デバイス・アーキテクチャには、信号の合成および配置に基づいて見積ることができる予測可能な内部タイミング遅延があります。Quartus II タイミング・アナライザは、最も正確なタイミング情報を提供します。ただし、「MAX II デバイス・ハンドブック」の「[DC およびスイッチング特性](#)」の章に記載されているタイミング・パラメータとタイミング・モデルを使用して、コンパイル前にデザインの性能を見積ることができます。どちらの方法でも、デザインのイン・システム・タイミング性能を正確に予測できます。

## 参考資料

この章では以下のドキュメントを参照しています。

- 「MAX II デバイス・ハンドブック」の「[DC およびスイッチング特性](#)」の章

## 改訂履歴

表 16-5 に、本資料の改訂履歴を示します。

表 16-5. 改訂履歴		
日付 & ドキュメント・バージョン	変更内容	概要
2007 年 12 月 v2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 表 16-1 の <math>t_{PD2}</math> 情報を更新。</li> <li>● 表 16-2 に <math>t_{COMB}</math> 情報を追加。</li> <li>● 図 16-1 を更新。</li> <li>● 図 16-2 の注 (1) を更新。</li> <li>● 「タイミング遅延の計算」の項を更新。</li> <li>● 「参考資料」の項を追加。</li> </ul>	—
2006 年 12 月 v1.4	改訂履歴を追加。	—
2005 年 1 月 v1.3	17 章から変更。内容の変更はなし。	—
2004 年 12 月 v1.2	プログラマブル入力遅延の項を追加。	—
2004 年 6 月 v1.1	表 16-1 を更新。パラメータの名称を更新。	—

