プログラマー 🐝 Lattice Diamond

2021 年 12 月

Lattice Diamond 日本語ユーザーガイド

第14章 プログラマー

本章ではデバイスの書き込みツールであるプログラマー(Programmer)について記述します。Diamond 組 み込みバージョンについての操作を基本として記述しています。スタンドアローン版では、操作や表示が全 く同じではない場合があることに、ご留意ください。

14.1 基本的な書き込み手順

FPGA デバイスのプログラミング、またはコンフィグレーション(以下"書き込み"という表記と併用) の"初回の"基本手順は次の通りです。ここでデバイスへの書き込み用ファイル(.bit / .jed、ビットスト リーム、パターン、イメージなどとも表現される)は生成済みのものとします。

- 1. ダウンロード・ケーブルをターゲットボードに接続(JTAG。MachXO2/3 などでは SPI / I2C も)
- 2. プログラマーの起動とケーブルの(指定・)検出
- 3. デバイス・スキャン (デバイス検出)
- 4. デバイスへの書き込みファイルとアクセスモード、オペレーションを指定
- 5. 書き込み(設定したオペレーション)の実行
- 6. チェインファイル (プロジェクト・ファイル) XCF の保存

チェインファイル(*.xcf)を保存しておくと、二回目以降同じ(JTAG チェイン)構成の場合は、ステップ2の後に xcf を呼び出すことでステップ3と4は省略できます。チェインファイルはプログラマー・プロジェクトと呼ぶことがあり、(当該 JTAG チェインの)オペレーションに関する設定情報を全て含んでいます。

ここで、ラティス定義では"プログラミング"をオンチップ・フラッシュメモリーや SPI フラッシュメモ リーに対する書き込み(.jed ファイル使用)、"コンフィグレーション"をデバイス内部コンフィグレーショ ン SRAM への書き込み(.bit ファイル使用)と呼び、書き込み対象によって異なる用語になっています。こ れはラティスのデータシートやテクニカルノート全般で共通です。

14.1.1 ダウンロード・ケーブルの接続

書き込みの準備として、まずダウンロード・ケーブルをターゲットボードに接続します。最新のダウンロード・ケーブルは USB 対応 HW-USBN-2B です(種類や詳細についてはユーザーガイド『UG48 Programming Cables』をご参照ください)。図 14-1 に USB ダウンロード・ケーブル(右)と、その前バージョンの USB ケーブル HW-USBN-2A (左)の外観図を示します。

図 14-1. USB ダウンロード・ケーブル (左: HW-USBN-2A、右: HW-USBN-2B)



註:本Lattice Diamond 日本語マニュアルは、日本語による理解のため一助として提供しています。作成にあたっては各トピックについて可能な限り正確を期してお りますが、必ずしも網羅的あるいは最新でない可能性や、オリジナル英語版オンラインヘルプや各種ドキュメントと不一致がある可能性があり得ます。疑義が生じ た場合は技術サポート担当者にお問い合わせ頂くか、または最新の英語オリジナル・ソースを参照するようにお願い致します。

ケーブルドライバーが正しくインストールされていない場合や使用ケーブルタイプの設定が異なると、使用する PC 環境で最初に実行する場合にエラーやウォーニングが表示されます。通常は Diamond のインストール時にドライバーのインストールを促すプロンプトが表示されますので、インストール作業が正常終了すれば、準備が整います。

MachXO2/3 シリーズや Crosslink ファミリーの機能として、プログラマーを用いて PC の USB ポートから デバイスの (ハードマクロが備える) SPI や I2C ポートを介してのプログラミング・アクセスが可能です。以 下、特に言及しない場合は JTAG 接続について記述するものとします。

14.1.2 プログラマーの起動

プログラマーの起動には幾つかの方法があります。

- ① Windows スタートメニューから起動。[スタート]→[すべてのプログラム]→[Lattice Diamond 3.12]→ [Diamond Programmer]と選択して起動します
- ② Diamond を立ち上げてから Programmer を指定して起動。プログラマーのアイコン \bigcirc をクリックするか、メニューバーで [Tools] \rightarrow [Programmer] を選択して起動します

③インプリメンテーションのファイルリスト・ビュー内の「Programming Files」セクションに、既存のチェ インファイル (.xcf) がある場合、これをダブルクリックして起動します

インプリメンテーションで初めてプログラマーを起動した時は図14-2のような画面が立ち上がります。

図 14-2. インプリメンテーションで初回起動後の表示例

Programmer: Getting Started	?	×
Select an Action		
Oreate a new project from a JTAG scan		
Cable HW-USBN-2B (FTDI) ▼ Port: FTUSB-0 ▼ Detect Cable		
TCK Divider Setting (0-30x): 1		
O Create a new blank project HW-USBN-2A HW-USBN-2B (FTD) HW-USN-2B (PTD) HW-UN-3C (Parallel)		
Open an existing programmer project		
C:/usr_ss/LSC_RDs/RD1126ufm/project/xo2/vhdl/xo2_vhdl/xo2_vhdl/xo2_vhdlxcf	~	
Import file to current implementation		
C:/usr_ss/LSC_RDs/RD1126ufm/project/xo2/vhdl/xo2_vhdl/xo2_vhdl/xof		
OK	Cano	el

14.1.3 ケーブルの指定・検出

図 14-2 において、初回は『Create a new project from a JTAG scan』ボタンが選択されています。ケーブル がボードに接続されていないとコンソール (Diamond GUI 下部の "Output" ウィンドウ) にエラーメッセージ が出力されます。このウィンドウでの "project" とはプログラマー・プロジェクトのことを指しています。

"Cable"部で選択可能なケーブルタイプは三つあります(図 14-2 内の右)が、プルダウン・メニューから 直接指定することができます。『Detect Cable』ボタンをクリックすることで、ケーブルタイプを自動判別す る(スキャンする)ことも可能です。一旦プログラマー・プロジェクトを作成後に変更することも可能です。

JTAG インターフェイスのない Crosslink の SSPI/I2C や、MachXO2/3 シリーズで SPI/I2C 接続している場合は「Open a new blank project」をチェックして起動することを推奨します。



デフォルトでは最下部の「Import file to current implementation」にチェックが入っています(インポートしない場合は、チェックをはずします)。通常はこのまま "OK" をクリックします。

「TCK Divider Setting」は、スキャンでデバイスが検出できないなどの問題があることが既知ケースでは、 この値を大きくすることで期待動作する場合があります。チェインファイル作成後でも操作することができ ます(図 14-6)。

初めて実行した際に、図 14-3 のような Windows の警告メッセージが出る場合がありますが、右下『アク セスを許可する』をクリックします。

図 14-3. 初回アクセス時の Windows 警告メッセージ

このプログラムの機能のいくつかが Windows ファイアウォールでプロックされています								
すべてのパブリック ネットワールとブライペート ネットワークで、Windows ファイアウォールにより JFAGLServer zwe の機能の(Xつかがブロックされています。 A 前(N) <u>UFAGLServer zwe</u> 発行元(P): 不明 パフ.(H): C Xisco¥diamond¥3.4_x64¥bin¥ntd4¥jtaglesine reixe								
JT AGLServerexe (ここれらのネットワーク上での通信を許可する: ☑ ブライベート ネットワーク (ホーム ネットワークや社内ネットワークなど XR)								
□ パブリック・ネットワーク(空港、喫茶店など)(非推奨)(U) (このようロネットワークは多くの場合、セキュリティが低い物セキュリティが設定されていません)								
プログラムにファイアウォールの経由を許可することの危険性の詳細								
アクセスを許可する(A) キャンセル								

検出が完了するとその旨を通知する図 14-4 のようなメッセージが出ますので、"OK" をクリックします。 図 14-4. 自動検出アクションでの通知画面

🚱 Programmer: Multiple Cables Detec 🖓 🗾 🏹
Select Cable:
USB2 - FTUSB-0 (Lattice FTUSB Interface Cable 💌
OK Cancel

図 14-5 は起動後の表示例です。殆どの場合は [File Name] カラムに作業中のインプリメンテーションで生成した書き込みファイル(.bit,.jed)が自動的に選択・表示されます。[File Name] カラムがブランクの場合は、まず当該セル内を一度クリックします。これによって、セル右端にブラウズ操作用のボタンが表れますので(図 14-5 内の下部)、これをクリックしてターゲットファイルをブラウズ後に選択します。

図14-5. プログラマー・プロジェクト起動後の表示画面例

Γ	🔛 Prograi	mmer - iı	mpl2_lse.xcf *						
	File Edit	View	Design Win	dow Help					
	🖺 🖆 🖟		8 😡 🖓	🐼 🏰 🛄					
Γ	Enable	Status	Device Family	Device	Operation	File Name	File Date/Time	Checksum	USERCODE
	ı 🗹		MachXO2	LCMXO2-7000HE	ase, Program, Verify	O2lab/lab1/impl2_lse/lab1_impl2_lse.jed	06/14/21 13:29:32	0xE087	0x0000000
					~				
	(ブランク味はおりた	库 石 II	4+7	>

ケーブル設定に関して、プログラマーのウィンドウ右側に図 14-6 左図のような表示『Cable and I/O Settings』セクション(図示は一部のみ)があり、図 14-2 と同様の設定ができます。スキャン動作が不成功の場合、本セクションで設定変更することが可能です。図 14-2の "TCK Divider Settings" 設定は、このウィンドウでは "Use custom Clock Divider" をチェックしてイネーブルした後に指定します。

また、ケーブルが "HW-USBN-2B" の場合で、かつファームウェアが最新でない場合に限り、図 14-6 右図 に示すような [Firmware] タブが表示されます。適切なファームウェアを入手して更新します。

14.1.4 スキャン(デバイスの検出)

新規デザインの書き込みや、ターゲットボードが新規または変更後(後述するチェインファイル xcf を作 成済みでない場合など)の操作です。前項 14.1.3 で記述した「Create a new project from scan」で起動した場 合、図 14-5 の「Device Family」および「Device」カラムは、同時に実行されるスキャン結果を反映して表示 されますのでスキャン操作は不要です。

図14-6. ケーブル設定セクション(左、一部)とファームウェア更新タブ(右)

1 6		
Cable and I/O Settings	Cable Settings	Update Firmware MachXO2 firmware: Version: V001 are/XO2Firmware_XO2Firmware.Jed POWR607 firmware: Version: V001 r607 Firmware/POWR607_Cable.jed Update Firmware Save Firmware Save Existing Firmware Cable's Firmware Version ファームウェアが最新 でない場合の追加タブ
	 INITN pin connected DONE pin connected TRST pin connected 	ファームウェアが最新 でない場合の追加タブ
	 Set TRST high Set TRST low 	

スキャンは、プログラマー内上部のアイコンをクリックする(図 14-7)か、プログラマーをデタッチして、メニューの [Design] → [Scan] を選択します。スキャンが正常に行われると(チェインに接続されている) デバイス名が表示されます。他社デバイスは全て JTAG-NOP と表示されます。

図14-7. スキャン・アイコン

					スキャン
File	Edit	View	Design Wine	dow Help	
1 😷	1			🐼 🔕	LOG
En	able	Status	Device Family	Device	e Oper

JTAG チェインが複数デバイスよりなる場合や、例えば「Create a new blank project」を選択・起動後の初 期表示デバイスと異なる作業をする場合(当該インプリメンテーションと直接関連のないボードやデバイス のプログラミングの場合)など、意図する行のどこかで右クリックして当該行を削除し、その後スキャンす ることも可能です。

プログラマーはデバイスから "Device ID" を読み出すことでデバイスの識別を行います。同一ファミリー の派生品間で ID 番号を共有するケースでは、厳密に正確なデバイス名表記にならない事があります(例えば MachXO2-7000HE に対して MachXO2-7000ZE など)。こうした場合、注意を促す意味でデバイスのセルが黄 色で表示されます。セルをクリックすると正しいデバイスの候補がプルダウン表示されますので、選択しま す。

14.1.5 アクセスモードとオペレーションの指定

「Create a new project from a JTAG scan」で立ち上がると、図 14-8 左側のような設定ウィンドウが表示され ますので、当該デバイス行の「Operation」セルか、または行のどこかをダブルクリックして**アクセスモード** と**オペレーション**を指定します。図 14-8 は ECP5 の例で、デフォルトではアクセスモードが "JTAG 1532 Mode"、オペレーションが "Fast Program" になっています。それぞれクリックすると表示されるリストから、 意図するものを選択します(図 14-9)。ECP5 ファミリーで集積されているにはコンフィグレーション SRAM のみですので、"JTAG 1532 Mode"、"Fast Program" が基本的なアクセスモードとオペレーションになります。

図 14-8. ECP5 の場合の画面表示例

😂 Programm	ner - impl3_19	56MwExtref.xcf]	
File Edit \	View Desig	n Window	Help		ECP5UM - LFE5UM-45F - Device Properties	?	×
i 😷 📴 🗔 i	🗄 🍔 🤪	😪 🕼 🔛	LOG				
Enable	Status	Device Family	Device	Operation	General Device Information		
1 🖂		ECP5UM	LFE5UM-45F	Fast Program 🔶	Device Operation		
					Access mode: JTAG 1532 Mode		-
			ダブ	ルクリック	Operation: Fast Program		-
<					Programming Options		
					Programming file a/impl3_156MwExtref/d3Be5sgtmac4v	ersa_impl3_156MwExtrefbit	1
						OK Cano	cel

図 14-9. ECP5 ファミリーのアクセスモード(左)と JTAG1532 Mode のオペレーション(右)

JTAG 1532 Mode	Fast Program
Static RAM Cell Background Mode	Erase, Program, Verify
Advanced Security Keys Programming	Erase Only
SPI Flash Background Programming	Verify Only
Slave SPI Interface Programming	Verify ID
Serial Mode	Display ID
	Display USERCODE
	Read and Save
	Display Control Register0
	Program Control Register()
	Read Status Register
	ELASH TransEB
	Refresh
	Bypage

MachXO2ファミリーの場合を図 14-10 に示します。

図 14-10. MachXO2 ファミリーのアクセスモード(左)と Flash Programming Mode のオペレーション

Flash Programming Mode	FLASH Erase, Program, Verity
Flash Background Mode Static RAM Cell Mode Static RAM Cell Mode Advanced Security File Programming Advanced Security Production Programming SIP Flash Programming Slave SPI Interface Programming I2C Interface Programming I2C Interface Programming Advanced Flash Programming PTM Programming PTM Background Programming	FLASH Erase, Program, Verify, Secure Plus FLASH Frase, Program, Verify, Secure Plus FLASH OFG Erase, Program, Verify FLASH OFG Verify Only FLASH OFG and UFM Erase, Program, Verif FLASH Verify Only FLASH Erase OFG Only FLASH Erase OFG only FLASH Erase OFG and UFM Only FLASH Erase OFG and UFM Only FLASH Brase OFG and UFM Only FLASH Brase OFG and UFM Only FLASH Brase OFG and UFM Only FLASH Display USERCODE FLASH Bisplay USERCODE FLASH Read and Save FLASH Calculate Checksum FLASH UFM Program, Verify FLASH UFM Program, Verify FLASH Verify UFM FLASH Secure Device FLASH Secure Device FLASH Secure Device FLASH Refresh FLASH Nerify Feature Rows FLASH Verify Feature Rows FLASH Program Feature Rows FLASH Bypass

MachXO2/3 シリーズでは不揮発メモリー(フラッシュメモリーや NVCM)が集積されています。ECP5 同様 "Fast Program" は有効ですが、不揮発メモリーへのプログラミングには「Access Mode」として "Flash

Programming Mode" または "Flash Background Mode" を選択します。

MachXO3D ファミリーの場合を図 14-11 に示しますが、「Port Interface」項目が追加されています。 MachXO3D にはオンチップのコンフィグレーション用フラッシュメモリーが二面(CFG0/CFG1、または FLASHA/FLASHB) あり、UFM セクタも複数あります(UFM0 ~ UFM3)。コンフィグレーション・モードの 設定にも依存しますが、デザイン内でそれらがイネーブルされている場合は、サブプロセス [JEDEC File] を 実行すると、ファイル末尾が"xxx_a.jed / xxx_b.jed"、"xxx_u2.jed / xxx_u3.jed" などの書き込みファイルが複 数生成されます。この時、フィーチャー行用の"xxx.fea"という拡張子のファイルが、これらとは別に生成さ れます。さらに"xxx.jed_list"というテキストファイルも生成されて、生成ファイルの一覧が書き出されます。 図 14-11 は jedec ファイルの指定例です。該当するオプションをチェックしてファイル指定します。

図 14-11. MachXO3D ファミリーのアクセスモード(左)と Flash Programming Mode のオペレーション

😂 MachXC	03D - LCMXO3D-9400H	HC - Device Properties	?	×	Static RAM Cell Mode Static RAM Cell Background Mode
					Flash Programming Mode
General	Device Information				Feature Row Programming
- Device	Operation				SPI Flash Programming
Device	operation				PTM Programming PTM Background Programming
Access	mode:	Flash Programming Mode	· · · ·	•	
Port Inte	erface:	JTAG Interface	•		JTAG Interface Slave SPI Interface
Operatio	on:	FLASH Erase,Program,Verify	• •		I2C Interface
					FLASH Erase,Program,Verify
CFG	0 Programming Options	3			FLASH Verify Only
					FLASH Erase Unly FLASH Verify ID
Progra	amming file: orks/xo3d	lUFMviaWBforYK/fit/impl1/xo3dUFMviaWBfo	rYK_impl1_a.jed		FLASH Display ID
					FLASH CFG Erase, Program, Verify
				_	FLASH CFG Verify Only
CFG	1 Programming Options				FLASH OFG Erase Only FLASH LIEM Frase Program Verify
					FLASH UFM Verify Only
Progra	amming file:				FLASH UFM Erase Only
110010					FLASH Display USERCODE
					FLASH Read and Save FLASH Calculate Checksum
UFM	2/UFM3 Programming	Options		_	FLASH Read Status Register
					FLASH Refresh
	M3 Programming file:				FLASH Dry Run
	M2 TOBIGINING THE-		111		FLASH Version Rollack Protection
					FLASH Bypass
	M9 Programming file:	EMuisWDforVK /fit /impl1/vo2dLIEMuisWDfor	VK impl1 u9 ind		
≥ u	mo rrogramming file:		rk_impri_do.jed		
			OK Cano	el	

どのようなデザインでも基本的に一度は、ファイル "xxx.fea" もフィーチャー行を対象にプログラムする必要があります。「Access mode」は "Feature Row Programming"、「Operation」は "Program Feature Row" です。

図 14-12. MachXO3D ファミリーのフィーチャー行プログラム例

MachXO3D - LAMXO3D-4300HO	- Device Properties	?	×
General Device Information			
Device Operation			
Access mode:	Feature Row Programming		-
Port Interface:	JTAG Interface		-
Operation:	Program Feature Row		-
Password Protection Options	(Provide key file if password protection enabled)		
-Feature Row Programming Optio	ns		
Feature Row file (fea): works.	/chkEncryption/forXO3D/impl1/d3Cxo3DchkBek_imp	ol1.fea	D
	ОК	Can	cel

なお、フィーチャー行の書き換えは極力避けることを推奨しています。

このようにデバイス・ファミリーによって「Access mode」(アクセスモード)と「Operation」(オペレー ション)の初期表示、および選択できる項目は異なります。詳細はオンラインヘルプの "Programming the FPGA"→"Programmer Options"→"Device Properties Dialog Box – Device, Access Mode, and Operation Options" をご参照ください。デバイス・ファミリー毎のオペレーションがすべて記述されています。

なお、図 14-8 右側や図 14-11 左側の "Device Properties" ウィンドウには [Device Information] タブがありま す。デバイスの各属性情報が確認できます(図 14-13)。

図 14-13. Device Information タブ表示の例(左: ECP5、右 MachXO3D)

ECP5UM - LFE5UM-45F - Device Prop	perties	MachXO3D - LCMXO3D-9400HC - De	evice Properties
General Device Information		General Device Information	
Family Name	ECP5UM	Family Name	MachXO3D
Device Name	LFE5UM-45F	Device Name	LCMXO3D-9400
/CC Voltage Supply	1.1V	VCC Voltage Supply	2.5V/3.3V
rogramming Pins	TCK, TMS, TDI, TDO	Address Register Length	888
ddress Register Length	9470	Data Register Length	2376
ata Register Length	848	JTAG IDCODE	0x212E3043
AG IDCODE	0x01112043	JTAG IDCODE Mask	OxFFFFFFF
AG IDCODE Mask	OxFFFFFFF	IDCODE Length	32
CODE Length	32	Instruction Register Length	8
struction Register Length	8	USERCODE Register Length	32
SERCODE Register Length	32	Boundary Scan Register Length	760
oundary Scan Register Length	510	Support FPGA Loader	Yes
upport FPGA Loader	Yes	Support External ASC Device	Yes (8)
laximum Erase Pulse Width (ms)	200	Maximum Erase Pulse Width (ms)	45000
Maximum Program Pulse Width (ms)	10	Maximum Program Pulse Width (ms)	10

これらの情報は PCB レベルのバウンダリスキャン・テストやインシステム・プログラミングなどを行う際に参照され得ます。

14.1.6 書き込みファイルの指定

次に書き込みファイルの指定を行います。起動・スキャン後、通常は「File Name」セルが自動フィルされ ますが、ブランクの場合は図 14-5 のように [File Name] セルをクリック後、ブラウズボタンを押して所望の ファイルを指定します。「File Date/Time」「Checksum」「USERCODE」の各セルにはファイルから読み取られ た情報が入ります。複数の xcf ファイルで、デザインの異なる同名の書き込みファイルを使い分けるケース などでは、タイムスタンプ情報やチェックサム値で識別できます。

MachXO3D に関しては、オンチップのコンフィグレーション用フラッシュメモリーが二面あり、UFM セク タも複数ありますので、デザイン依存ですがそれらがイネーブルされている場合は、ファイル指定が他の XO2/3 シリーズとは異なります(図 14-11)。デザインを実装し、Export Files プロセスまで完了すると、該 当する場合は複数の書き込みファイル(.jed)が生成されますので、それぞれに対応するファイル名を選択・ 指定するようにします(ファイル末尾が"xxx_a.jed/xxx_b.jed"、"xxx_u2.jed/xxx_u3.jed"など)。

書き込みファイルの拡張子は次の通りです:

[.]jed MachXO2/3シリーズのフラッシュメモリーなど、オンチップ不揮発メモリー対象



.bit MachXO3L NVCM、iCE40 シリーズ NVCM、その他 ECP5 ファミリー(LatticeECP シリーズ)な どのコンフィグレーション SRAM、および FPGA 外付け SPI フラッシュメモリー(単独)対象

.mcs 外付け SPI フラッシュメモリー (デュアル / マルチブートなど複数の bit ファイル) 対象

なお、使用するファイルはプログラマーによる(JTAG/SPI/I2C ポートを介した)書き込みだけではなく、 外部コントローラによる場合も同様です。ただし、後者の場合で特にキャラクタベースのインターフェイス である SPI/I2C を介する場合は、バイナリファイルであるビットファイルを扱いやすい 16 進数に変換して用 います。

14.1.7 書き込みオペレーションの実行

各種設定が完了しましたのでメニューアイコン列から ↓ をクリックして、書き込み(コンフィグレー ション、またはプログラミング)を実行します。プログラマーをデタッチし、メニューで [Design] → [Program] と選択することでも可能です。

図14-14. オペレーション正常終了の例

	🕼 Start Page 🔟 🔃 Reports 💟 👙 Programmer - imp1.xcf 🛊 🛛								
ł	22 🔯 🛱 📽 🍇 🛄								
Γ	En	nable Status Device Family Devi		e	Operation				
1	\checkmark		PASS	MachX	02	LCMXO2-7	7000HE	SRAM Fast Program	···/zpastWorks/sa

プログラマーを実行後、「Status」セルに緑色で PASS(もしくは黄色で DONE)と表示されれば、オペレー ションが正常に終了したことを示します(図 14-14)。FAIL(赤)が表示された場合には、何らかの理由によ り、オペレーションが失敗しています。Diamond 下部の[Output]ウィンドウのメッセージをチェックするか、 失敗の原因が不明の場合は、ログファイルを確認します。

ログファイルの表示はアイコン W をクリックします。ログのクリアはデタッチ状態で [Design] → [Clear Log File] と指定します。

14.1.8 チェインファイルの保存

作業したプログラマー・プロジェクトは JTAG チェイン情報を含む設定一式であり、"チェインファイル" (拡張子 xcf) として保存します。保存アイコン 同 をクリックするか、デタッチ状態でメニューから [File] → [Save <Implementation 名 >.xcf] または [Save <Implementation 名 >.xcf as ...] を選択します。保存したチェイ ンファイルは、Diamond のファイルリスト・ビュー内 "Programming Files" セクションに自動的にアクティブ なチェインファイル (太字) として取り込まれます。次回以降ダブルクリックすれば、同じ設定で起動します。

14.1.9 Read & Save オペレーションの実行

図 14-15. Read and Save オペレーション

🤮 MachXO	MachXO2 - LCMXO2-7000HE - Device Properties							
General	Device Information							
Device C	Operation							
Access	mode:	Static RAM Cell Mode		•				
Operatio	n:	SRAM Read and Save		•				
Readbac	k Options							
Save t	o file: C:/usr_ss/DssF	køs∕zpastWorks∤lab1_imp1bit			11			
			OK	Cance	el			

書き込みオペレーションの前に、直前の状態で FPGA に書き込まれているコンフィグレーション・データ をリードバックしてファイルに保存したい場合があります。このオペレーションが"(SRAM/Flash) Read and Save"です。図 14-15 に MachXO2 シリーズで SRAM 対象の場合の例を示します。リードバック後に保存する ファイル名を「Save to file」セルに入力し、『OK』ボタンでメインウィンドウに戻ります。

その後アイコン 🧶 をクリックして実行します。プログラマーのステータスが"DONE"となれば完了です。

なお、スプレッドシート・ビューの [Global Preferences] タブにある "CONFIG_SECURE" オプションがイ ネーブルされている書き込みファイルがデバイスに書かれている場合、リードバック結果は全て "1" (デバ イスによっては全て "0") になります。

14.2 ソフトエラー検出機能検証時のオペレーション

Diamond にはソフトエラーを模擬して機能検証することを可能にする "SEI エディター" があります。この ツールで生成したビットストリームのロードはバックグランド・モードを用います。「Access mode」を "Static RAM Cell Background Mode" に、「Operation」を "XSRAM SEI Fast Program" にします (図 14-16)。

図 14-16. ソフトエラー検証時のプログラマー設定

SECP5UM -	LFE5UM-25F - I	Device Properties
General	Device Informati	on
Device Op	peration	
Access m Operation	node:	Static RAM Cell Background Mode
Programm	ning Options	
Progra	mming file:	
Device Op	ptions	
Reini	tialize part on prog	ram error
		OK Cancel

なお、プログラミングの実行前に SED マクロ機能はオフにしておく必要があります。SEI エディターの操作については第 22 章をご参照ください。

14.3 その他のオペレーション

その他オペレーションの詳細については、オンラインヘルプの "Programming the FPGA" \rightarrow "Programmer Options" \rightarrow "Device Properties Dialog Box" をご参照ください。

14.4 外付け SPI フラッシュメモリーのプログラミング

オンチップにコンフィグレーション SRAM のみを集積する ECP5 ファミリー (LatticeECP シリーズ) では、 外付け SPI フラッシュメモリーからコンフィグレーション・データをロードして起動するモードが最も良く 利用されます。また、オンチップ不揮発メモリーを集積する MachXO2/3 シリーズや Crosslink では、デュア ルブート機能に対応しており、外付け SPI フラッシュメモリーを接続することが少なくありません。

14.4.1 コンフィグレーション用外付け SPI フラッシュメモリー

ECP5 ファミリー (LatticeECP シリーズ) および MachXO2/3 シリーズでは、FPGA 経由で外付け SPI フラッシュメモリーを JTAG ポートからプログラミング (書き換え) することができます (Crosslink は SPI フラッシュメモリーに直接アクセスします)。デバイスは MSPI コンフィグレーション・モードに設定します。図 14-17 は ECP5 の場合で、「Device Operation」の「Access mode」は "SPI Flash Background Programming" を選択します。MachXO2/3 ファミリーの場合 (図 14-10、図 14-11)、「Access mode」は "SPI Flash Programming" です。

「Operation」は、それぞれで選択可能なオペレーションからいずれかを指定します。書き換える場合は "SPI Flash Erase, Program, Verify" の一連の動作を指定します。

使用するファイルは.bit または.mcs です。Export プロセスのサブプロセス [Bitstream File] で.bit ファイル を生成します。以降に記述するデュアルブートやマルチブートではなく、単独の mcs ファイルが必要な場合、 ECP5 ファミリーではサブプロセス [PROM File] で生成できます。MachXO2/3 シリーズでは Export プロセス では生成できませんので、デプロイメント・ツールで生成します。

図 14-17. オペレーションと SPI フラッシュメモリーの選択例 (ECP5)

ECP5UM - LFE5UM-45F - Device Pro	perties	?	×	
General Device Information				SPT Flash Frase Program Verify
Device Operation				SPI Flash Erase Program SPI Flash Verify ID
Access mode:	SPI Flash Background Programming	-		SPI Flash Verify Only SPI Flash Erase All
Operation:	SPI Flash Erase, Program, Verify			SPI Flash Read and Save SPI Flash Calculate File Size Checksum SPI Flash Calculate Davise Size Checksum
Programming Options				SPI Flash Calculate Device Size Checksum SPI Flash Bypass SPI Flash Erase,Program,Verify Quad 1 Soan SPI Flash Davice
Programming file:	0:	<20B4		ocan ort riash bevice
SPI Flash Options				SPI Serial Flash SPI Serial Flash (Legacy)
Family:	SPI Serial Flash	•		
Vendor:	Macronix			Cypress ON Semiconductor
Device:	MX25L12835F	•		GigaDevice ISSI
Package:	16-pin SOP	· •		SPANSION Macronix
SPI Programming				Micron WinBond
Data file size (Bytes): 1032654	Load fro	mFile		
Start address (Hex):	0×00000000	-		
End address (Hex):	0×080E0000	-		
Erase SPI part on programmin	ng error			
Secure SPI flash golden patte	rn sectors			
	ОК	Canc	el	

次に FPGA 外付けの SPI フラッシュメモリーを 「SPI Flash Options」 部で指定します。「Family」は "SPI Serial Flash" は各メモリーベンダーの現行シリーズ一覧から指定する場合に、"SPI Serial Flash (Legacy)" をレガシーな(旧シリーズの) SPI フラッシュメモリーから指定する場合に選択します。

次いで「Vendor」を選択後、適切な「Device」と「Package」を指定します。「Data file size (Bytes)」セルは 上部「Programming file」を指定すると自動で入力されますが、ブランクのままの場合は『Load from File』ボ タンをクリックして読み出します。このセルがブランクのまま『OK』ボタンを押すと、図 14-18 のような メッセージが表示されて先に進むことができませんので、ご留意ください。

また bit ファイルが指定した SPI フラッシュメモリーに収まらないとか、SPI フラッシュメモリーの型番が 不一致の場合も、それぞれエラーメッセージが出力されますので、解消するようにします。

この MSPI コンフィグレーション・モードでは、開始アドレス「Start Address (Hex)」は "0x000000" です。

図 14-18. 「Data file size」セルが 0 の場合のメッセージ



14.4.2 マルチブート用外部 SPI フラッシュ: ECP5 ファミリー

ECP5 ファミリーは、外付け SPI フラッシュメモリーに複数のコンフィグレーション・データ (ゴールデン・イメージとプライマリ・イメージ、および最大4本の代替イメージ)を保存する、いわゆるデュアル・ ブート (マルチブート)機能をサポートしています。詳細はテクニカルノート TN-02039 をご参照ください。

オペレーションは前項と同様に "SPI Flash Background Programming" を選択し、「Programming File」として デュアル / マルチ・ブート対応の書き込みファイル (.mcs) を指定します。mcs ファイルはプログラミング・ ユーティリティであるデプロイメント・ツール (Deployment Tool) を使用して事前に作成しておきます。 図 14-19 にデプロイメント・ツールでの "Step 2 of 4" の設定例を示します。「Golden Pattern」と「Primary Pattern」にそれぞれビットストリーム・ファイルを設定します。「Byte Wide Bit Mirror」はチェックします。

図 14-19. デプロイメント・ツールによる mcs ファイルの生成オプション設定例

Diamond Deployme	nt Tool- project0.ddt*	-		×		
File Edit Help						
🐣 🖻 📑 🔤	📼 🔤 🔤 🚟 🔛 🌌					
External Memory: Du Step 2 of 4: Dual	al Boot Fash Read Duai I/O SPI Flash Read Duai I/O SPI Flash Read Quad I/O SPI Flash Read					
Output Format:	Intel Hex 🗸					
SPI Flash Size (Mb):	64 🗸					
SPI Flash Read Mode	Standard Read 🗸					
Golden Pattern:	C:/usr_ss/D3Cworks/chkXlkLvds71/imp11/chkXlkLVDS71rx_imp11E Starting Address: 0x0040	0000	•			
Primary Pattern:	C:/usr_ss/D3Cworks/chkXlkLvds71/imp11/chkXlkLVDS71rx_imp11E 🕶					
🗹 Protect Golden Sec	tor					
🗹 Byte Wide Bit Mirro	r					
🗌 Retain Bitstream H	eader					
Optimize Memory Space						
	P	revious	Next			

デプロイメント・ツールによるデュアルブート用 mcs 生成の詳細については第15.1.3節をご参照ください。

14.4.3 デュアルブート用外部 SPI フラッシュ: MachXO2/3 シリーズ

MachXO2/3 シリーズはデュアルブート・モードに対応します。オンチップ不揮発メモリーと外付け SPI フ ラッシュメモリーにそれぞれ1本のイメージを保存し、マスターSPI モードと SDM モードの組み合わせで実 現します。MachXO2 ではオンチップメモリーにプライマリ・イメージ、SPI フラッシュメモリーにゴールデ ン・イメージが保存されます。MachXO3L/LF の場合は逆です。ともに起動は必ずプライマリ・イメージか らで、ユーザーがその順序を変える方法はありません。

MachXO2/3 シリーズの場合、「Operation」の「Access mode」(図 14-10 の左下)は "SPI Flash Programming" ですが、外部 SPI フラッシュメモリーに置くイメージの開始アドレス「Start Address (Hex)」は "0x010000" で なければなりません。その他 SPI フラッシュメモリーの指定方法などは ECP5 ファミリーと同様です。

MachXO2/3 シリーズのなかで、MachXO3D ファミリーに限っては、前述のとおりオンチップのコンフィグ レーション用フラッシュメモリーが二面あり(CFG0、CFG1)、内部 CFG0/1 のみのデュアルブートや外部 SPI フラッシュメモリーが関与する動作、さらにはセキュリティ機能を強化しているアーキテクチャに関わ る機能など、動作はやや複雑です。詳細はテクニカルノート TN-02069 をご参照ください。

なお、Diamond スプレッドシート・ビューで設定するグローバル制約(Global Preference)のコンフィグレーション指定については、第16.3.1項をご参照ください。

ここで、ボード設計に関して注意点を追記しておきます。MachXO2/3 シリーズの場合、SPI マクロを集積 する EFB (組み込みファンクションブロック)が SPI マスターになります。クロック信号 spi_clk は出力 (MCLK) になり、外部プルアップ抵抗 1kΩ (必ずプルアップ)を付加することが推奨されています。それぞ れテクニカルノート "Hardware Checklist" (TN1208、TN1291)にも明記されていますので、ご参照ください。



14.4.4 デュアルブート用外部 SPI フラッシュ: Crosslink ファミリー

Crosslink ファミリーでは、ECP5 ファミリーや MachXO2/3 シリーズと異なり、デバイスを経由して外付け SPI フラッシュメモリーをプログラムする機能には対応していません。オフラインで SPI フラッシュメモリー をプログラミングして実装するか、プログラマーから直接アクセスできる PCB 設計にしておきます(Crosslink の MSPI 動作と競合しないように留意します)。

プログラマーの「Access mode」は "SPI Flash Programming" にします (図 14-20)。この場合の「Operation」 は他と同様です (図 14-21)。なお、「Port Interface」はプログラマーから Crosslink にアクセスする際のポートを指定するもので、SPI フラッシュメモリーへのアクセスでは非該当です。

図 14-20. Crosslink のアクセスモードとポート・インターフェイス設定

IFMDF - LIF-MDF6000 - Dev	ce Properties		?	×	
General Device Information Device Operation Access mode: Port Interface:	Static RAM Cell Mode		•		Static RAM Cell Mode Static RAM Cell Background Mode Flash Programming Mode ► Flash Background Mode Feature Row Programming Advanced Security Keys Programming
Operation:	SRAM Fast Configuration		•		SPI Flash Programming Slave SPI Interface I20 Interface
Programming Options Programming file:					
		OK	Canc	el	

図 14-21. Crosslink の SPI Flash Programming オペレーション設定など

LIFMDF - LIF-MDF6000 - Devic	e Properties	?	\times	
ieneral Device Information				
Device Operation				
Access mode:	SPI Flash Programming		•	
Operation:	SPI Flash Erase,Program,Verify		•	
Programming Options			of Elash	Exaca Program Marifu
Programming file:]	PI Flash PI Flash PI Flash PI Flash	Erase, Program Erase, Program, Verify Quad 1 Verify ID Verify Only
SPI Flash Options		SI	PI Flash PI Flash PI Flash	Erase All Read and Save Bypass
Family:	SPI Serial Flash	S	an SPI F	Flash Device
Vendor:	Macronix	•		
Device:	MX25L12835F			
Package:	16-pin SOP	\ •		
SPI Programming	(
Data file size (Bytes): 0		oad from File		
Start address (Hex):	Q ×0000000	- / -		
End address (Hex):	0×00FF0000	-		
Erase SPI part on progr	amming error			
🗌 Secure SPI flash golden	pattern sectors			

外部 SPI フラッシュメモリーに置くイメージの開始アドレス「Start Address (Hex)」は "0x000000" です。その他の指定方法などは XO2/3 ファミリーなどと同様です。

Crosslink ファミリーにおけるデュアルブート・モードの実現は、MSPI モードにし(MASTER_SPI_PORT = ENABLED) てスプレッドシート・ビューのグローバル制約(Global Preference)で "BOOT_UP_SEQUENCE" を意図する動作によって NVCM-EXT / EXT-NVCM / EXT-EXT のいずれかに設定します。

「Programming file」セルは、オンチップ NVCM のイメージをデュアルブートの一つとする場合は、Diamond の Export プロセスで生成した .bit ファイルをそのまま指定します。"EXT-EXT"にした場合は、外部 SPI フ

ラッシュメモリーに二つのイメージをストアしますので、ECP5 のマルチブートと同様に、Deployment Tool であらかじめ二つのイメージを統合した mcs ファイルを生成しておき、これを指定します。

14.4.5 Dual/Quad リードモード用 SPI フラッシュメモリー: ECP5

ECP5 のマスター SPI モードを用いた外付け SPI フラッシュメモリーによるコンフィグレーションでは、 データ線を二本 (Dual) または四本 (Quad) 用いることで起動時間を短くすることが可能です (Dual/Quad リードモード)。手順として三つのポイントに留意する必要があります。

最初はスプレッドシート・ビュー [Global Preference] の "sysConfig" 部設定です。"MASTER_SPLPORT" を イネーブルにすることが必須です。また、ECP5 の SPI インターフェイス端子を専用ピンとして保持 (preserve) する場合は、"SYS_CONFIG" モードを "SPLDUAL" 或いは "SPLQUAD" にする必要があります (図 14-22)。

図 14-22. Dual/Quad SPI リード用 sysConfig 設定例

***	sysConfig			
144	SLAVE SPI PORT	DISABLE		
14-1	MASTER_SPI_PORT	ENABLE	n	
	SLAVE_PARALLEL_PORT	DISABLE	,	
2	BACKGROUND RECONFIG	OFF		
	DONE_EX	OFF		
P	DONE_OD	ON		JTAG
a.	DONE_PULL	ON		JTAG
4	MCCLK FREQ	62		SSPI
2	TRANSFR	OFF		SPI_SERIAL
	CONFIG_IOVOLTAGE	2.5		SPI_DUAL
A6	CONFIG_SECURE	OFF	_	SPLQUAD
<u> 1</u>	WAKE UP	21		SLAVE_PARALLEL
	COMPRESS CONFIG	OFF		SLAVE_SERIAL
-	CONFIG_MODE	JTAG 🖌	Π	
	INBUF	JTAG	-	

次にビットストリーム・ファイルの変換です。ECP5 のマルチブートと同様に、デプロイメント・ツール で mcs ファイルに変換します。図 14-23 にデプロイメント・ツールでの "Step 2 of 4" の設定例を示します。

図 14-23. デプロイメント・ツールによる Dual/Quad SPI リード用 mcs 生成設定例

Diamond Deployment Tool- project0.ddt*	_	×
File Edit Help		
答 🖻 🗔 🔤 📼 📼 🔤 🧱 🌌		
External Memory: Advanced SPI Flash		
Step 2 of 4: Advanced SPI Flash Options		
Options - User Data Files - Multiple Deat		
Options User Data Files Multiple Boot		
Output Format: Intel Hex -		
SP] Flash Size (Mb): 64 🔫		
SPI Flash Read Mode Quad I/O SPI Flash Read 🔻		
Eyte Wide Bit Mirror Standard Read		
Retain Bitstream Header Dual I/O SPI Flash Roa	d	
Optimize Memory Space Quad 1/0 SPI Flash Rea	od	

デプロイメント・ツールによる Dual/Quad SPI リード SPI フラッシュメモリー用 mcs 生成の詳細について は第 15.1.5 項をご参照ください。

最後はプログラマーの設定です。例を図 14-24 に示します。「Access mode」は "SPI Flash Background Programming"を、「Operation」は "SPI Flash Erase, Program, Verfy Quad 1"を選択します。「Programming file」セルにはデプロイメント・ツールで変換・生成した mcs ファイルをブラウズして指定します。図 14-24 では省略していますが、ウィンドウ下部「SPI Flash Options」セクションは SPI フラッシュメモリーのデバイス指定です。

全て設定後、プログラマーに戻り、実行します。



図 14-24. Quad SPI リードのプログラマー設定例

SECP5UM -	LFE5UM-85F	- Device Properties	?	×
General Device Op Access m	Device Inform peration ode:	SPI Flash Background Programming		-
Operation		SPI Flash Erase,Program,Verify Quad 1		-]
- Programm Program	ing Options ming file (g/1	it2verifyVip/d3Ce5gdmiVip tCkg_impl7andMulti2b.mos	D56A	
-SPI Flash	Options			
Family:		SPI Serial Flash	-	

14.4.6 SPI フラッシュメモリーの登録、使用

"Device Properties"の「SPI Flash Options」部で指定する SPI フラッシュメモリー候補に、意図するメモリーがない場合の機能です。最初にカスタム品として手元で登録すると、その後に使用できるようになります。

プログラマーのデバイス行を選択後右クリックすると表示されるドロップダウン・リストか(図 14-25、 左)、デタッチして [Edit] メニューから(図 14-25、右)、いずれも "Custom Devices ..."を選択します。

図 14-25. カスタム SPI フラッシュメモリー登録ウィンドウの呼び出し

	右クリ	ックから		メニューから	
1: Price Fam	Device CMX02-7000HE	Operation 12(Construction Device Prope Edit I/O State Custom Devic Custom Devic Custom Devic Copy Paste	Fil rties pes Ctrl+C Ctrl+V	File Diamond Programmer - impl1.xcf * File Edit Year Copy Copy Ctrl+C Er Paste Ctrl+V Add Device Remove Device	
		Add Device Remove Devi Internal Tools	ce	Edit I/O State Custom Devices Settings	

表示されるウィンドウで『Add』ボタンをクリックし(図 14-26、左)、次いで適宜任意の名称とデバイス 名、パッケージ、デバイス ID など必要な値やパラメータを選択・入力します。名称は後で選択する場合に判 別がつくような名称にして登録します。

図 14-26. SPI フラッシュメモリー登録ウィンドウ

Edit Custom Device	? ×	Custom SPI Flash Device
Device family: SPJ Serial Flash Custom Device:	Add Remove Edit	Device family (Ex: SPI serial flash custom): SPI Serial Flash Custom Device description (Ex: M25P32-VMF6G); Device name (Ex: SPI-M25P32) *: Package (Ex: 16-pin SOIC);
Package:		Device vendor (Ex: STMicro) *: Device density (Ex: 32Mbits) *: AMIC Device ID (Ex: 0x15) *: Byte per sector (Ex: 65535) *: 0x05 Hex 65536 Byte
Device description.	Cancel	Protection options on * = required field OK Cancel



14.5 I2C・SPI ポートからのプログラミング

MachXO2/3シリーズやCrosslinkファミリーではHW-USBN-2Bケーブルを用いてプログラマー(PCのUSB ポート)からデバイスが備えるコンフィグレーション用のI2CポートやSPIポートを介してアクセスするこ とができます。MachXO2/3シリーズのI2CインターフェイスはEFB(ハードマクロ)のプライマリ・ポートです。

14.5.1 ケーブルの接続

ケーブルをフライワイヤーでターゲットボードに接続する際の、I2C / SPI に関わる信号線の割り当てのみ を以下に示します。詳細は『FPGA UG-02042-26.4 Programming Cables』をご参照ください。

表 14-1. プログラミングケーブル HW-USBN-2B のピンと定義

信号	ケーブルでの名称	線材の色	PC からの方向	デバイスピン	信号の説明
Test Data Output	SDO/TDO	茶	Input	SPISO	SPI データ入力
Test Data Input	SDI/TDI	橙	Output	SISPI	SPI データ出力
Enable	ispEN/Enable/PROG/SN	黄	Output	SN	SPI チップセレクト
Test Clock	SCLK/TCK	白	Output	MCLK	SPI クロック
I2C Clock	SCL	白黄ストライプ	Output	SCL	I2C クロック
I2C Data	SDA	白緑ストライプ	Output	SDA	I2C データ

14.5.2 グローバル制約の設定

これら機能を有効にするためには、コンフィグレーション関連グローバル制約の1つであるオプションを それぞれイネーブルした書き込みファイルを生成・プログラミングしておく必要があります。Diamond のデ フォルト (いわゆる "SW Default") はどちらも DISABLE です。

SPI アクセス SLAVE_SPI_PORT = ENABLE

I2C アクセス I2C_PORT = ENABLE

ちなみにブランクデバイスのデフォルト(いわゆる "HW Default") は、どちらも ENABLE です。

スプレッドシートビューでの設定を保存すると、設計制約ファイルlpfに書き出されますので、その後はテキストエディターによる編集も可能です。図 14-27 に MachXO3L の "sysConfig" セクションを示します。

図 14-27. [Global Preference]の sysConfig セクション (MachXO3L)

ſ	Start Page 🗵 🔃 Reports 🗵	🌠 Spreadsheet View 🛛
ø	Preference Name	Preference Value
ហាំ	Block Path	
17 19 19 19 19 19 17 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19		DISABLE DISABLE DISABLE ENABLE ON CFG ON OFF OFF OFF DISABLE DISABLE DISABLE
MAG		III •
	Assignments Clock Resource Rour	te Priority Cell Mapping Global Preferences

14.5.3 プログラマーの設定

プログラマーのアクセスモードとオペレーションの設定例は図 14-28 および図 14-29 ののようになりま す。アクセスモードは I2C ポート経由の場合は "I2C Interface Programming"、SPI ポートの場合は "Slave SPI Interface Programming"です。

図 14-28. I2C ポート・アクセスのオペレーション(MachXO2 の例)

MachXO2 - LCMXO2-7000HE - Device Properties	Γ
General Device Information Device Operation Access mode: I20 Interface Programming Operation: Programming Options Programming file: prk/xp2lab/lak1_c33/imp11/lab1_d3p3_imp11.jod I20 Slave Address Ox40 (In Hexateorimal Default address is 0x40.)	KO Excer Hozom Verry I20 Program I20 Program Verify,Secure I20 Erase,Program,Verify,Secure Plus I20 Erase Only I20 Verify ID I20 Verify ID I20 Verify ID I20 Program Feature Rows I20 Erase Program,Verify,Feature I20 Erase Program,Verify,Secure I20 Erase,Program,Verify,Secure I20 Erase,Program,Verify,S
Davise Options	120 Background Program Feature Rows 120 Background Program Feature Rows 120 Befresh

図 14-29. SPI ポート・アクセスのオペレーション (MachXO2 の例)

MachXO2 - LCMXO2-7000HE - Device Properties	
General Device Information Device Operation Access mode: Slave SPI Interface Programming Operation: Slave SPI Erase Program Verify	Slave SPI Ecsechlopham/Verity Slave SPI Ecsec-Program/Verity.Secure Slave SPI Ecsec-Program/Verity.Secure Plus Slave SPI Ecsec-Program.Verity Slave SPI Ecsec Only Slave SPI Ecsec Only Slave SPI Verity Only Slave SPI Verity Only
Programming Options Programming file: xks/D33work/xo2lab/lab1/impl1/lab1_impl1.jed	Slave SPI Display ID Slave SPI Display USERCODE Slave SPI Read and Save Slave SPI LENd Program Verify Slave SPI LENd Program Verify
Device Options Reinitialize part on program error	Slave SPI Background Erase, Program, Verify Slave SPI Background Erase, Program, Verify, Secure Slave SPI Background Hower Plus Slave SPI Background CFG Erase, Program, Verify Slave SPI Background CFG Program Feature Rows
OK Cancel	Slave SPI Background Erase Only Slave SPI Background Frase Only Slave SPI Background Verify Only

14.6 セキュリティー機能関連のオペレーション

14.6.1 ラティス FPGA とセキュリティー対応

前項で言及したように、ラティスの FPGA は全てのファミリーではスプレッドシート・ビューで "CONFIG_SECURE"オプションをイネーブルすることで、デバイスから書き込み済みコンフィグレーション・ データの読み出しを不可能にする基本機能に対応します。この機能を無効にするためには、デバイスを消去 するか、本オプションを OFF にした書き込みデータで更新する手段しかありません。

なお、CONFIG_SECURE オプションがイネーブルされていると、通常の "Erase, Program, Verify" オペレー ションは選択できなくなり、"Erase, Program, Verify, Secure (Plus)" になりますので、ご留意ください。

この基本機能に加えて ECP5 ファミリー (LatticeECP2S/ECP3 ファミリー)、MachXO3L/LF ファミリー、 および Crosslink では、"セキュリティーキー"による保護、書き込み(コンフィグレーション / プログラミ ング)データの暗号化 (Encryption) などに対応しています (どの機能に対応しているかはファミリーによっ て異なります)。さらに MachXO3D ファミリーではこれに加えて改ざん防止など、セキュリティー機能が大 幅に強化されています。

14.6.2 暗号化対応パッケージのインストール

セキュリティー対応の機能を実現するためには、暗号化パッケージ(Encryption Package)が必要です。ス タンドアローン・プログラマー用には別のパッケージを用意しています。Diamond のページ下部から入手し ます(図 14-30)。

これ以降は、パッケージのインストールが完了しているものとして記述します。ビットストリーム・ファ イルの暗号化手順についてはデプロイメント・ツールで記述します(第15.1.7項参照)。

なお、ECP5 ファミリー(LatticeECP シリーズ)はコンフィグレーションメモリーが揮発性のため、暗号 キーを保持するメモリーは OTP(一度のみプログラム可能)です。キーを一度プログラムした後は変更(書 き換え)ができませんので、ご注意ください。

Quick Ref	erence	Technical Resources	Informa	tion Resources		Downloads		
Applicatio Installatio User Man	n Note n Guides ual	Known Issues Product Change Notification	Product Release Tutorial Help	Brochure Notes		Downloadal	ole Software)
⊠ 🕹	TITLE 🗸			NUMBER 0	VERSION \diamond	DATE 🗘	FORMAT 0	SIZ
	Diamond 3.12 64-	bit Encryption Pack for Linux 🕠			3.12	12/8/2020	RPM	1.3
	Diamond 3.12 64-	bit Encryption Pack for Windows ↓			3.12	12/8/2020	ZIP	3.6
	Diamond 3.12 64-	bit for Linux ⊡			3.12	12/8/2020	RPM	1.8
	Diamond 3.12 64-	bit for Windows ⊡			3.12	12/8/2020	ZIP	1.6
	LatticeMico System	n for Diamond 3.12 64-bit Linux ⊡			3.12	12/8/2020	RPM	342.2
	Programmer Stan	dalone 3.12 64-bit for Linux ⊡			3.12	12/8/2020	RPM	59.5
	Programmer Stan	dalone 3.12 64-bit for Windows 🕁			3.12	12/8/2020	ZIP	56.4
	Programmer Stan	dalone Encryption Pack 3.12 64-bit for Linux	t]		3.12	12/8/2020	RPM	108.2
	Programmer Stan	dalone Encryption Pack 3.12 64-bit for Windov	vs 🗊		3.12	12/8/2020	ZIP	2.6
	Reveal Standalone	a 3.12 64-bit for Linux ⊡			3.12	12/8/2020	RPM	51.2
	Reveal Standalone	a 3.12 64-bit for Windows ⊡			3.12	12/8/2020	ZIP	55.6

図 14-30. 暗号化対応パッケージのダウンロード

14.6.3 暗号化に用いるキーファイルの生成

最初のステップとして、セキュリティー機能を実装する際のベースになる暗号キーファイル (Encryption Key File)を生成しておきます。

暗号化対応パッケージをインストールしている状態で、セキュリティ対応デバイスをターゲットとした Diamond プロジェクトを作成すると、図 14-31 のようにツールメニューからセキュリティー設定ツール (Seciruty Setting) が起動できるようになります。未インストール状態やセキュリティー非対応デバイスのプ ロジェクトではメニューの候補に表示されません。

最初のウィンドウは暗号キーファイルに対するアクセスを制限するためのパスワード設定です。

図14-31. セキュリティー設定ツールの起動

🧇 Lattice Diamond - Reports		
File Edit View Project Design Process	Tool	s Window Help
* * • 🖻 - 🖯 🖨 🛑 🗠 ∞ 🖇 🗅	1	Spreadsheet View
i 💅 🗃 🖨 😫 🚍 😂 册 🔍 唑 🖼 i		Package View
Process	۲	Device View
✓ Z Synthesize Design		Netlist Analyzer
Lattice Synthesis Engine	E	Netlist View
✓ Z Map Design	8	NCD View
Map Trace	38	Clarity Designer
VHDL Simulation File	n,	Reveal Inserter
😯 🥐 Diaco & Pouto Design	-	Constitute Day food atting
	-	Synplify Pro for Lattice
	м	ModelSim Lattice-Edition
	<u> </u>	Security Setting
	6	Run Manager
	3	Simulation Wizard
		Clear Tool Memory
		Options

図 14-32 のようにデフォルトの "LATTICESEMI" が自動入力されて表示されます。所望のワードに変更す る場合は『Change Password...』をクリックし、小ウィンドウで二回入力して『OK』をクリックます。二つ が一致しないと、メッセージ (The passwords entered do not match. Please re-enter.) が表示されて先に進め ません。問題なければ元のウィンドウで『OK』をクリックします。

図14-32. 暗号キーファイルに対するパスワードの設定

📀 Enter Password	?	×	🚸 Change Pass	? >
Enter password to secure your further security settings.			Set Password Enter Password	
	hange Pass	sword	Confirm Password	•
Password must be 8 to 16 alphanumeric characters (A-Z, a-z, 0 allowed.	-9). Space	is not	Password must be 8 t	• 16
OK Cancel	He	lp	0-9). Space is not allo Ok	owed. Cancel

次に表示されるウィンドウは暗号キーの設定です。始めは図 14-33 左のように「Encryption Key」セルは入 力できない状態になっていますので、チェックボスにチェックします。「Key Format」を ASCII/Hex/Binary から選択した後に「Encryption Key」セルに暗号キーを入力します。ASCII は 16 文字以下、Hex は 32 文字以 下、Binary は 128b 以下です。問題なければメッセージ(Encrypted files are produced successfully.)が表示さ れて完了です。

図 14-33. 暗号キーの設定

Security Settings	? ×			
	🚸 Security Settings		?	×
Advanced Security Settings Advanced Settings Options Encryption Key	Advanced Security Settings Advanced Settings Options Encryption Key [123456789abcdef0] OK	ASCII Hex Binary Cancel	Key Form Hex Help	iat ▼

以上により、ECP5 では Diamond プロジェクト・フォルダー直下に "<project>.sec" および "<project>.bek" の二つのバイナリファイルが生成されます (.bek が暗号化キーファイル)。MachXO3L/LF ではファイル "<project>.key" も生成されます。bek ファイルはこれ以降の処理で適宜呼びだされます。これらはプロジェクト単位で共通で、インプリメンテーションごとに使い分けることなどはできません。

ー旦パスワードをデフォルトから変更してセキュリティー設定が行われた場合で、二回目以降に "Security Setting" を起動すると図 14-34 のようなウィンドウが現れ、パスワード入力が求められます。不一致だとエラーメッセージが出て、先に進めませんので、ご注意下さい。

パスワードが一致すれば、図 14-34 のようなウィンドウになりますので、暗号キーの変更が可能になりま すが、パスワードを紛失してしまった場合、再現・回復できません。.sec/.bek 両ファイルを手動で削除して、 やり直すしかするしか手段はありませんので、ご留意ください。

図14-34. 二回目以降のセキュリティー設定の起動(パスワード変更後)

Inter Password	?	×	
Enter password to secure your further security settings.	🚸 Error	The	×
[Cha	\bigotimes	The pa	ssword is incorrect, please retype!
Password must be 8 to 16 alphanumeric characters (A-Z, a-z, 0-9 allowed.			ОК
OK Cancel	Help	Þ	

14.6.4 ビットストリームの暗号化

ECP5 に限っては、一旦セキュリティー・ツールで暗号化キーファイルを生成すると、そのプロジェクトは [Export Files] のサブプロセス [Bitstream File] で生成される bit ファイルは暗号化されたものが生成されます。ストラテジー・オプションなど、明示的な設定方法はありません。複数のインプリメンテーションがあっても、全て適用されます。暗号化をしない場合は、生成済みキーファイルー式を手動で削除します。

ECP5 ファミリー以外や別フローでビットストリームの暗号化が必要な場合はデプロイメント・ツールを 用います。第15.1.7項をご参照ください。

14.6.5 MachXO3D におけるセキュリティー設定

MachXO3D も暗号化や認証機能対応のための設定はセキュリティ・ツールを用いますが(図 14-35 は設定 ウィンドウ例)、セキュリティーレベルが何段階かあるため、スプレッドシート・ビュー[Global Preference] の sysConfig オプション設定やプログラマーのオペレーションを含めて、機能・動作がやや複雑です。詳細は テクニカルノート TN-02069 MachXO3D Programming and Configuration Usage Guide、TN-02091 MachXO3D Embedded Security Block 他をご参照ください)。

・「Flash Protection」はパスワードによるアクセスの保護の設定です("xxx.key"を生成)。プログラマーの "Advanced Security Keys Programming" アクセスの "Security Program Password Key" オペレーションで、保護 する対象を指定するオプションがあります。これらはフィーチャー行にストアされます。

- ・ビットストリームの暗号化は "AES Encryption" で指定するキーで行います("xxx.bek"を生成)
- ・ビットストリームの認証は"SHA256 ハッシュ符号"で生成したビットストリームのダイジェストに対し て秘密鍵で ECDSA 符号化したシグニチャーと、これを公開鍵で復号化したものを比較して一致・不一致 を検出することで行います

『Default Key』や『Auto Generated Key (Pair)』ボタンをクリックすると、それぞれツールが自動的にキーを 生成して各セルを満たします。ユーザー入力も可能です。



図 14-35. MachXO3D のセキュリティー設定ウィンドウ例

🤣 Security Settings	? ×
Security Settings Signature Authentication	フリック
Flash Protection (Device Password)	Default Kau
	クリック
Key: 233EC9C76D6A88AABA3D8BD1171CFC022B6C1C972DF Format: Hex Load from File (Au	uto Generated Key
 ECDSA Authentication Public key and private Key Public key and SHA256 signature Format: Hex Auto General 	ted Key Pair
Public key: 152448F33D51390814436473E0C515347F9FD62933CE17FD8FB7505EEBCC2231D031D0BC8C225	Load from File
Private key: 26DB9DF72BE0963A4A6017C87AAF8747CF3184E7F4E027A793A41ED359CE4819	Load from File
SHA256 signature: Enter signature	Load from File
SHA256 digest: Enter digest	Verify
Note: SHA256 digest is used to verify public key and signature, and will not be saved.	
0	K Cancel

セキュリティー・ツールでの設定が完了すると、プロジェクト下に "security_setting" という名称のサブフォ ルダーが生成され、 "<project>.secproj" および "<project>.bek" と "<project>.key" の三つのバイナリファイル が生成されます。公開鍵 (Public Key) と秘密鍵 (Private Key) を生成した場合は、 "<project>.pub" と "<project>.prv" のキーファイルが二つ生成されます。

14.6.6 暗号キーのプログラミング: ECP5

暗号化したビットストリームをプログラミングをするためには、予め暗号キーをプログラミングしておく 必要があります。ECP5より前のLatticeECP3ファミリーまでのオペレーションとは異なりますので、注意必 要です。暗号キーと、そのキーで暗号化済みの書き込みファイルを一度にプログラミングすることはできません。 暗号キーが未書き込みの状態で、暗号化済みビットストリームを用いてコンフィグレーションすることはで きません。

暗号キーのみのプログラミングは、図 14-36 に示すように「Access mode」を "Advanced Security Keys Programming"、「Operation」を "Security Program Encryption Key Only" に指定します。

図 14-36. 暗号化キーのプログラミング設定

Sec 2014 - LFE5U-45F - Device Properties ? Sec	urity Program Encryption Key Only urity Program Feature Lock	ECP5UM - LFE5UM-45F - Device Properties	?	×
General Device Information Sec Sec Sec Sec Sec Sec Sec Sec Sec Sec	Irity Read Encyption Key Irity Program TraceID Irity Read TraceID Irity Read TraceID Irity Read TraceID Irity Read TraceID Maximum 16 characters with case as Maximum 16 characters with case as Hide/Show Password OK Ca	Ceneral Device Information Device Operation Advanced Security Keys Programming Operation: Security Program Encryption Key Only Encryption Key Options Incryption key Options Incryption key lock Type 'yes' to confirm Incrypted Bitstream Only Type 'yes' to confirm	ad Key	
OK Calice		UK	Car	Cel

既に作成済みの暗号化キーファイル .bek を『Load Key...』ボタンで読み込みますが、図のようにパス ワード入力を求められます。一致すれば図 14-36 の右のように「Encryption Key」セルが"●"でフィルされ ますが、一致しないと先には進めません。



ここで、「Program key lock」オプションをチェック(イネーブル)すると、暗号キーファイルをリードバッ クする手段がなくなります。その場合、キーが正しいかどうかは、暗号化ビットストリームをプログラムす ることによってのみ確認できます。それでも良い場合は「Type 'yes' to confirm」セルに"yes"とタイプします。

また「Encrypted Bitstream Only」オプションは、このオペレーション後にデバイスは暗号化済みビット

ストリームのみを受け付けるようになります。外付け SPI フラッシュメモリーに保存済みの暗号化していな いビットストリームによる MSPI モードでの起動もできません。上と同様に "yes" を入力して誤設定しない ようにします。

既に記述した通り、暗号キーは OTP ですので、一度プログラムすると、書き換えはできません。「Encrypted Bitstream Only」オプションも一旦設定すると取り消しできませんので、ご注意ください。

設定完了後、このウィンドウを抜けて、プログラマーでオペレーションを実行します。プログラマーの [Status] が "PASS" と表示されれば成功です。

14.6.7 暗号化済みビットストリームの書き込み: ECP5

暗号化済みビットストリームの書き込み設定は通常と同じで、アクセスモードは "ISC1532 Mode"、オペレーションは "Fast Program"を選択します。暗号キーをプログラムしていない場合はオペレーションに失敗します。前項で示す暗号キーをプログラム済みの場合にのみ可能です。

外付け SPI フラッシュメモリーにプログラムする際にはアクセスモードが [SPI Flash Background Programming]、オペレーションは [SPI Flash Erase, Program Verify] などを指定します。

14.7 その他の機能

14.7.1 ダウンロード・ケーブルと I/O ポートの設定

デバイス・スキャンが成功しない場合、ダウンロード・ケーブルの設定が正しくない可能性がありますが、 その確認には、"Download Debugger" が有用です。プログラマーをデタッチして Design → Utilities → Download Debugger と選択して起動後、Configuration → Cable and I/O Port Setup... と選択します。『Cable Detect』ボタ ンをクリックして、意図する状態と相違がないかを確認します(図 14-37)。

図 14-37. ケーブル設定の再確認



14.7.2 JTAG 信号線接続の確認

ダウンロード・ケーブルの設定が正しくてもデバイス・スキャンが失敗する場合、フライワイヤ形式のケー ブルや PCB 配線が各 JTAG 信号線の期待する配線と合致していないことが考えられます。この場合 GUI を用 いて接続テストをすることができます。

プログラマーのウィンドウ右側に図 14-38 の左部のようなセクションがあります。『Debug Mode ...』ボタ

ンをクリックすると右部のようなウィンドウが表示されますので、『Test』ボタンなどで接続状態が確認できます。アクションと対象信号は左側の表内の白色セルをクリックして指定します。

例えば TDO の Read セルをクリックするとチェックマークが表示されますので、その後『Test』をクリックします。リード結果がログファイルに書き出されますので、実際の論理レベルと合致するかが確認できます。

TDO 以外は全て出力信号ですので、トグル(Toggle)・High 固定(Hold High)・Low 固定(Hold Low)のいずれかアクションを意図する信号に対するセルをチェックします。『Test』ボタンをクリックすると、指定したアクション(レベル)に出力がドライブされますので、接続の正しさを確認できます。

図 14-38. 信号接続テスト GUI

	Cable Setting Cable: Port: Custom port: Programming © Use defau O Use custo	S Detect Cable HW-USBN-2B (FTD) FTUSB-0 Speed Settings It Clock Divider im Clock Divider	•						
Cable and I/O Settings	VO Settings Use defau Use custo INITN pi DONE p TRST pi OSet TF Set TF Set TF Set isp Set isp Oynan Delay Activ @ Activ	It I/O settings im I/O settings in connected in connected SST high SST high SST low AMN pin connected in connected on conn	© T MT T T T T	Cable Sig (1-0-1)al6601 II IS IS IS I IS I I I I I I I I I I I I I	Heigh Hold Hold Hold Hold Hold Hold Hold Hold	Read	(P (P 0 Ni 0 OK	? Test Loop Test ress ESC to View Log Power Chec @ VCC statu oggle delay:	× stop) sk ms ss:
		Debug Mode							

14.7.3 JTAG クロック周波数の変更

レガシーデバイスとか、何らかの事由で JTAG からのオペレーションが失敗する際に、JTAG クロック (TCK)の周波数を遅くすることで問題が解消する場合があります。

プログラマーをデタッチした後、図 14-39 のように Edit --> Settings... とたどると右のような画面が表示 されます。「Pulse Width Delay Settings」部の『Use custom pulse width delay』ボタンをイネーブルし、[TCK low pulse width delay (0-10x):]行の値を変更します。デフォルトは1で、大きくするほど周波数が遅くなりま す。



図 14-39. TCK 周波数の変更



周波数の算出式は次の通りです。

HW-USBN-2AFreq. = 6 / (1 + TCK Delay) [MHz] $`0' \rightarrow 6MHz$, $`1' \rightarrow 3$ MHz, etc.HW-USBN-2BFreq. = 4 / (1 + TCK Delay) [MHz] $`0' \rightarrow 4MHz$, $`1' \rightarrow 2MHz$, etc.

14.8 USB ドライバーのインストール

図 14-40. USB ドライバーのインストール要求初期画面



ターゲットボードを初めて USB ポートに接続した場合に、USB ドライバーのインストールが事前に完了していないと、インストールを促す Windows のメッセージが表示されます。『一覧または指定の場所からインストールする』を選択し次に進みます。(Windows は Administrator 権限でログインしている必要があります)。

図 14-41. USB ドライバーのフォルダー指定

索とインスト・	ールのオブションを選んでください。
● 次の場	所で最適のドライバを検索する(S)
下のチ: イバが4	ロック ボックスを使って、リムーバブル メディアやローカル パスから検索できます。検索された最適のドラ (ンストールされます。
	リムーバブル メディア (フロッピー、 CD-ROM など) を検索(M)
)次の場所を含める(Q):
	C¥WINDOWS¥system32 ● 医脱化
○ 検索し 一覧か とは限り	ないで、インストールするドライバを選択する(D) らドライバを選択するには、このオプションを選びます。選択されたドライバは、ハードウェアに最適のも(Jません。

次の表示で"次の場所を含める"を選択して、『参照』ボタンでブラウズして"C:¥WINDOWS¥system32"を 指定します(図 14-41)。その後『次へ』をクリックします。

図 14-42. FTDI USB ドライバーのコピー元指定



FTDI USB スレーブデバイスがボード上にある場合、続いて図 14-42 に示すような画面が表示されます。 『参照』ボタンでブラウズして "C:¥WINDOWS¥system32¥drivers" を指定し、『OK』をクリックします。これ 以外に "ファイルが必要" と促される場合がありますが、同様に "C:¥WINDOWS¥system32" か "C:¥WIN-DOWS¥system32¥drivers" を指定して手順を完了します。

図 14-43. デバイスマネージャの起動(ウィンドウの一部)

システムのプロパティ
コンピューター名 ハードウェア 詳細設定 システムの保護 リモート
デバイスマネージャー デバイスマネージャーは、コンピューターにインストールされているすべ てのハードウェアデバイスを表示します。デバイスマネージャーを使っ て、各デバイスのプロパテを変更できます。 デパイスマネージャー(D)
デバイスのインストール設定 打使いのデバイスに使用するドライバー ソフトウェアあよびデバイスの 詳細情報を Windows でダウンロードするかどうか選択してください。
デバイスのインストール設定(3)

その後、システム・プロパティ(コントロールパネル)のデバイスマネージャ(図 14-43)で、ボードを接続した状態で正常に認識されていることを確認します(図 14-44)。

図 14-44. デバイスマネージャの USB ドライバー表示例(左: FTDI あり、右: なし)

