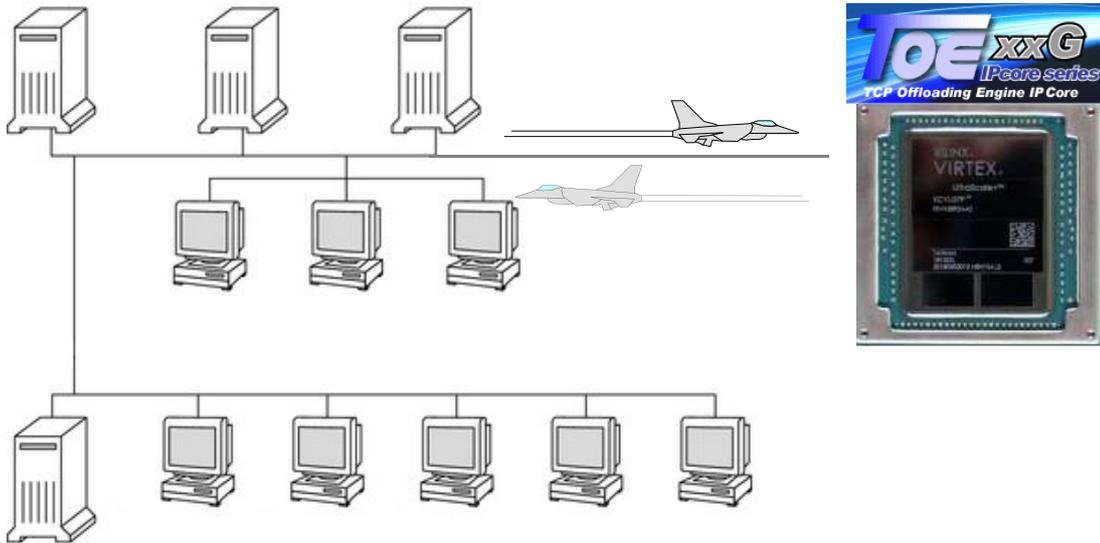


Xilinx版TOExxG-IPコアのご紹介

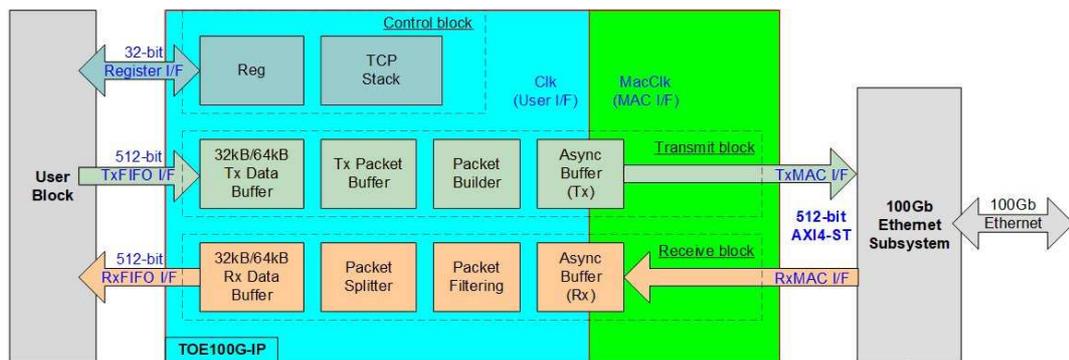
Ver2.0XJ



純ロジックのIPコアで超高速TCP実装

TOExxG-IPコアの概要

- ・ 100G/40G/25G/10G/1GbE対応のTCP/IPオフロード・エンジン・コア
- ・ ユーザ回路とXilinx製イーサネット・サブシステムの間に入挿
- ・ TCPの送信・受信の両方向の処理を完全HW・全自動化
- ・ Full Duplex(送受信同時)通信をサポート



TOE100G-IP(100GbE対応)コア・ブロック図

Xilinx製(Ethernet Subsystem) IPコア

TOExxG-IPコアのラインナップ

ファミリ ラインレート	1GbE	10GbE	25GbE	40GbE	100GbE
Artix-7	対応済				
Kintex-7	対応済	対応済			
Virtex-7	対応済	対応済			
Zynq-7000	対応済	対応済			
Kintex-UltraScale	対応可	対応済		対応済	
Kintex-UltraScale+	対応可	対応可	対応済	対応可	対応済
Zynq-UltraScale+	対応可	対応済		対応済	
Virtex-UltraScale+	対応可	対応済	対応済	対応可	対応可
Alveo		対応可	対応可	対応可	対応済

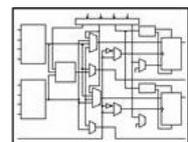
TOExxG-IPコア・ラインナップ (2021/8/1時点)

対応済: 即時納品可

対応可: 注文可能

TOExxG-IPコアの特長1

- ・ TCP/IP処理を完全ロジック・ハードウェア化
 - CPU負荷がゼロ、理論上最小の処理レイテンシ
- ・ 送信のみ/受信のみ/同時送受信を高速転送
 - ラインレートの90%程度の実転送速度
 - 同時送受信(全二重通信)でも80%程度を達成
- ・ 転送データの信頼性を確保
 - 送信時: ACK抜け/重複/タイムアウト等で自動リトライ
 - 受信時: シーケンス番号を評価し返信ACKを自動制御
 - フロー制御: TCPウィンドウ・アップデート・パケット自動送受信



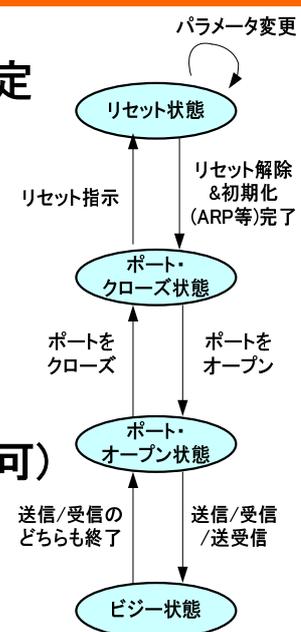
TOE_{xxxG}-IPコアの特長2

- ・ データバッファ容量を選択可能
 - FPGAメモリ・リソースとパフォーマンスからユーザが選択
- ・ Xilinx製標準イーサネット・サブシステム対応
 - 弊社製低価格EMAC-IPコアとの接続も可能
- ・ 実機動作リファレンス・デザインを用意
 - Xilinx評価ボードで動作するプロジェクト
 - 購入前にパフォーマンス・信頼性の実機評価を検証可能
 - 製品のリファレンスはコア以外の全回路をソースで添付



TOE_{xxxG}-IPコアの動作概要

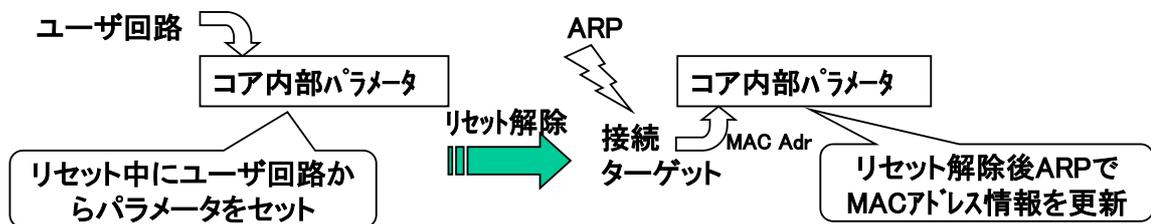
- ・ リセット状態でパラメータ(IP&MACアドレス等)を設定
- ・ リセット解除で初期化(ARP等)を実行
- ・ 初期化完了後ポートをオープン(アクティブ/パッシブ)
- ・ 送信・受信は独立して動作(同時送受信可)
- ・ パラメータ変更はリセット状態で実施
(転送長/パケット長はビジー以外の状態で変更可)



コアの状態遷移図

初期化動作

- ・ パラメータの初期値設定
 - コアのリセット維持中にユーザ回路より設定
 - IPおよびMACアドレス・ポート番号を指定
 - 設定を完了するとリセットを解除
- ・ リセット解除後ARP実行（相手MAC Adr手動設定も可能）
 - クライアント・モード: 接続ターゲットに対してARPを発行
 - サーバー・モード: 接続ターゲットからのARPを待機



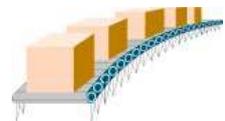
2021/8/2

Design Gateway

Page 7

高速送信

- ・ 送信パケットの生成
 - ユーザ回路は送信データをFIFO I/Fで書込み
 - 送信データをフレームサイズで分割
 - ヘッダと送信データを結合しEMACへ出力
- ・ 自動再送機能
 - ターゲットからのACKを常時チェック
 - ACK抜け/重複/タイムアウト等の異常ACKを検出
 - 異常ACKの種類に応じて適切な再送データを用意



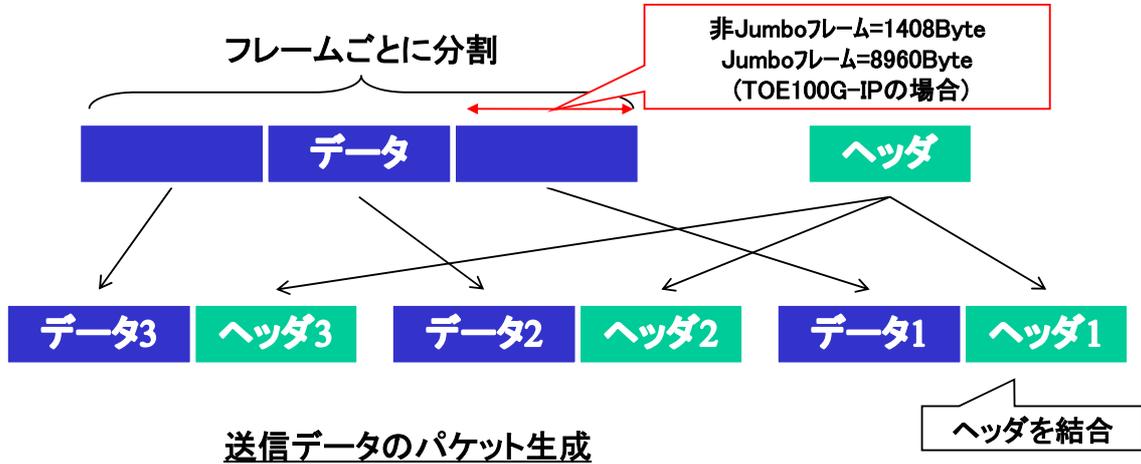
2021/8/2

Design Gateway

Page 8

送信パケットの生成

- 送信データにヘッダを自動的に付加しEMACへ転送
 - データはコア内にてフレーム・サイズで分割
 - チェックサムやシーケンス番号などもコアが自動生成



自動再送機能

- 専用設計された特殊なFIFOで再送を実装
 - 正常ACKで読み出しポインタを進める
 - 異常ACKの場合コアは適切な位置にポインタを戻す
 - ポインタ制御・再送の実行をコアが自動制御



高速受信

- ・ 受信パケットのヘッダ・チェック 
 - 受信対象でない場合やチェックサム・エラーの場合は破棄
- ・ データ並び替え 
 - シーケンス番号の入れ替え発生時に並び替え
 - 受信済みデータの再送要求を防ぎ転送効率を維持
 - 並び替え処理できない場合は重複ACKで再送要求
- ・ 重複データの結合 
 - 受信データが前回受信パケットと重複する部分を検出
 - 重複箇所のみ破棄し連続データとして復元

受信パケットのヘッダ・チェック

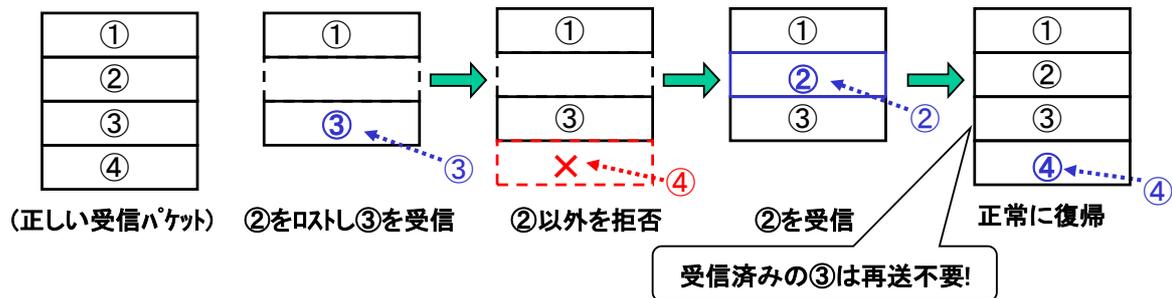
- ・ 受信ヘッダのチェック・サムが正しいことを確認
 - 更に以下の条件を満たすこともコアが確認

Byteオフセット	プロトコル	データ内容	確認条件
0-5	ICMP	あて先MACアドレス	SML/SMHLレジスタで設定したコアのMACアドレスと一致
6-11	ICMP	送信元MACアドレス	ARPで検出した通信ターゲットのMACアドレスと一致
12-13	ICMP	タイプ	0x0800 (IPパケット)であること
14	IP	バージョン/ヘッダ長	0x45 (IPv4, IPヘッダ長=20)であること
20	IP	フラグ/フラグメントOFS	下位6ビットがゼロ(フラグメントの有無チェック)であること
23	IP	プロトコル番号	0x06(TCPパケット)であること
26-29	IP	送信元IPアドレス	DIPLレジスタで設定した通信ターゲットのIPアドレスと一致
30-33	IP	あて先IPアドレス	SIPLレジスタで設定したコアのIPアドレスと一致
34-35	TCP	送信元ポート番号	DPNLレジスタで設定/パッシブオープンで取得した通信ターゲットのポート番号と一致
36-37	TCP	あて先ポート番号	SPNLレジスタで設定したコアのポート番号と一致
38-41	TCP	シーケンス番号	前回処理時のシーケンス番号との差分がコアで処理可能範囲内

受信パケット・ヘッダの確認条件

データ並び替え

- シーケンス番号がスキップした(ロスト)場合に機能
 - ロスト状態を解消するパケット以外は受信しない
 - スキップ部のデータを回復するロスト解消パケットのみ受信
- データ並び替え
 - ロスト解消パケットからデータの連続性を完全に復元
 - 受信済みデータは再送要求せずパフォーマンスを維持



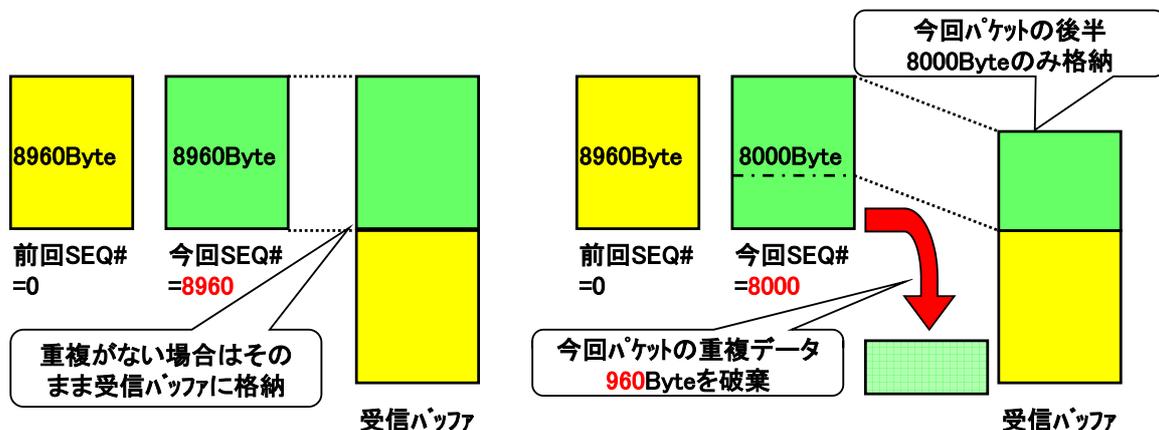
2021/8/2

Design Gateway

Page 13

重複データの結合

- データの重複を検出し自動的に補正
 - シーケンス番号から受信データの重複を検出
 - 重複箇所のみ破棄し連続データとして復元



2021/8/2

Design Gateway

Page 14

フロー制御 (Window Update自動送信機能)

- ・ TCP Window Update (ACK)パケット生成
 - 受信データ・バッファの空きスペース復活を検出
 - 設定した閾値でWindow Updateパケットを自動送信
 - 相手送信側ではWindowサイズ復活で送信が再開可能

IP末尾42=FPGA IP末尾25=PC

Source	Destination	Protocol	Length	Info
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=61321 win=4213 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=62781 win=2753 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=64241 win=1298 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	[TCP window Update] 4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=64241 win=3352 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	[TCP window Update] 4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=64241 win=5406 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	[TCP window Update] 4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=64241 win=7460 Len=0
192.168.11.42	192.168.11.25	TCP	60	[TCP window Update] 4000-50223 [ACK] Seq=1 Ack=64241 win=9514 Len=0
192.168.11.25	192.168.11.42	TCP	1514	50223-4000 [PSH, ACK] Seq=64241 Ack=1 win=256960 Len=1460
192.168.11.25	192.168.11.42	TCP	1514	50223-4000 [ACK] Seq=65701 Ack=1 win=256960 Len=1460
192.168.11.25	192.168.11.42	TCP	1514	50223-4000 [ACK] Seq=67161 Ack=1 win=256960 Len=1460

(PC->FPGAの受信に対する通常ACK)

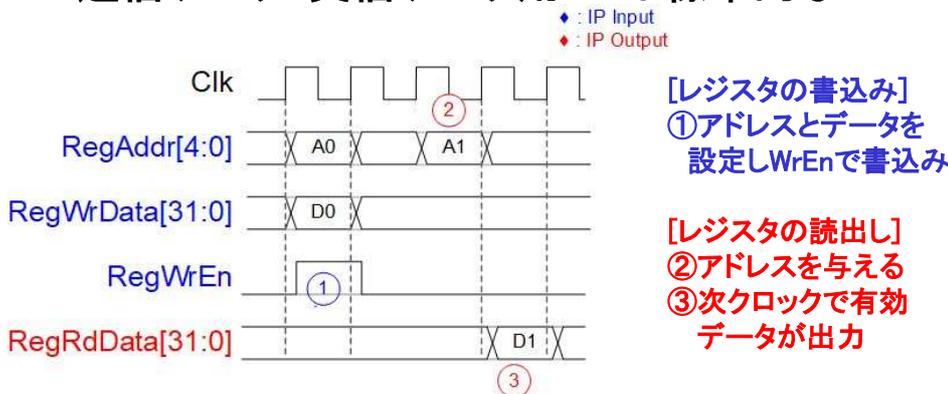
Windowサイズ復活後PCからのデータ送信を再開

Window Updateパケットの自動送信 (TOE1G-IPコアの実動作例)

Windowサイズ復活でコアからWindow Updateパケットを自動発行

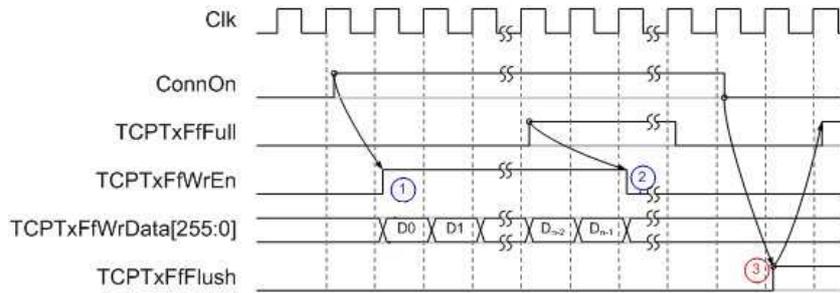
ユーザ・インターフェース(制御)

- ・ レジスタI/F、送信FIFO I/F、受信FIFO I/Fの3種類
 - レジスタI/Fは初期パラメータの設定、方向切り替え指示
 - 送信データ・受信データ用I/Fは標準的なFIFO I/F



レジスタI/Fのタイムチャート

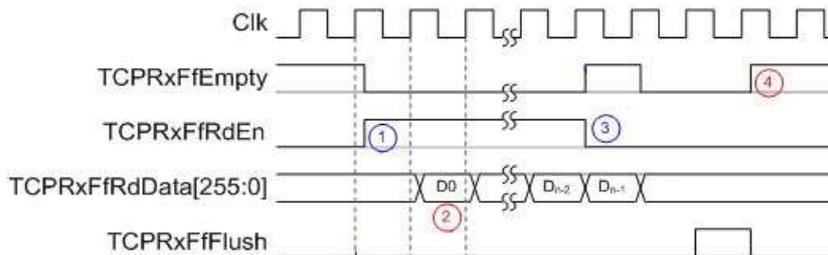
ユーザ・インターフェース(データ)



送信FIFO I/Fのタイムチャート

[送信データの書込み]

- ①データをWrEnで書込み
- ②Fullになってから4クロック以内にライト中断
- ③FlushでFIFOクリア



受信FIFO I/Fのタイムチャート

[受信データの読み出し]

- ①非EmptyでRdEnにて読出し
- ②次のクロックでデータ出力
- ③Emptyではリード禁止
- ④FlushでFIFOクリア

データ・バッファ容量の設定

- ・ 送受信のデータ・バッファをパラメタライズで設定可能
 - ① 送信データ・バッファ: 16K/32K/64KByteから選択
 - ② 受信データ・バッファ: 16K/32K/64KByteから選択
- ・ リソースとパフォーマンスの最適点を調整できる

ジェネリック名	設定範囲	説明
TxBufBitWidth	9-11	送信データ・バッファ・サイズをアドレス・ビット幅で設定します。例えば 9 の場合 16K バイト、11 の場合 64K バイトとなります。
RxBufBitWidth	9-11	受信データ・バッファ・サイズをアドレス・ビット幅で設定します。例えば 9 の場合 16K バイト、11 の場合 64K バイトとなります。

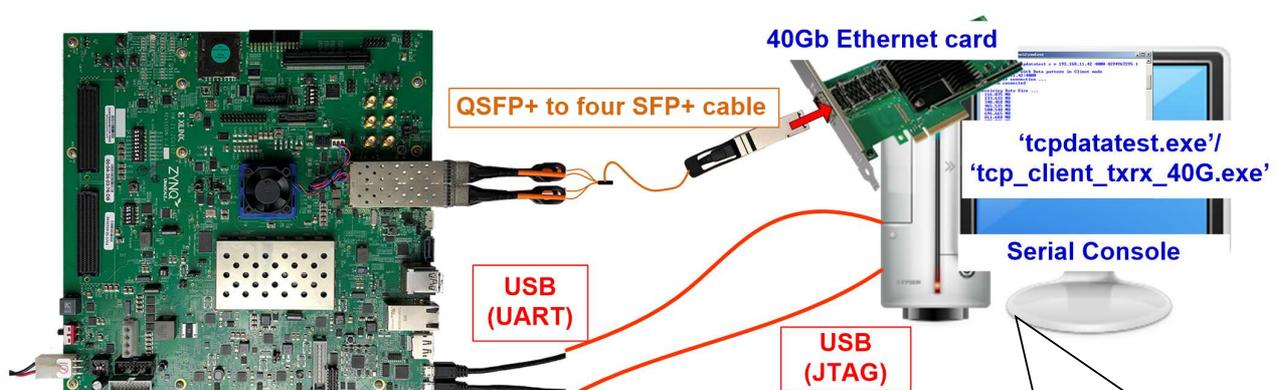
各データ・バッファはパラメタライズで設定できる

評価用Bitファイル

- ・ 2種類の評価用bitファイル
 - PC～FPGA間または2枚のFPGAボード間で通信
 - ただしPC評価の場合PC側がボトルネックになる
(汎用PCで高ラインレートのTCPデータ実時間処理は困難)
- ・ 転送パフォーマンス測定/データ・ベリファイ
 - 半二重通信および全二重通信をサポート
 - ベリファイによりデータ信頼性の確認が可能
- ・ Bitファイルでコア購入前に実機評価可能

評価環境A: PC～FPGA間通信

- ・ PC側は評価用ソフトウェアを使用し評価
 - 注意点: 1GbE版以外ではPC側がボトルネックで最高パフォーマンスは出せない



評価環境A: PC～FPGA間通信(40GbEの例)

注: 実際のデータ転送ではPC側のTCP処理がボトルネックとなり転送速度は制限されます

リファレンスと実機評価による開発

- ・ リファレンス+評価ボードによる確実な開発
 - まず最初に製品添付のリファレンスで実機動作を確認
 - そこからユーザ製品に向け少しずつ編集
 - 編集ごとに実機動作をStep by Stepで確認
 - 問題があれば1ステップ前に戻るだけで動く状態にすぐ復帰できる



大きな後戻りがなく確実に短期間での製品開発が可能!

消費リソース

- ・ TOExxG-IPコア単体消費リソース
 - 送信/受信ともデータ・バッファを最大の64Kバイトに設定した場合のリソース



ラインレート (ファミリ)	クロック周波数	消費ロジック	最大消費メモリ
1GbE (Kintex-7)	125MHz	1059 Slices	37.5 BRAM Tile
10GbE (Kintex-7)	156.25MHz	1326 Slices	36 BRAM Tile
10GbE (Kintex-US)	156.25MHz	755 CLB	34.5 BRAM Tile
25GbE (Kintex-US+)	350MHz	864 CLB	36 BRAM Tile
40GbE (Kintex-US)	300MHz	959 CLB	34.5 BRAM Tile
100GbE (Alveo)	350MHz	1999 CLB	53 BRAM Tile

TOExxG-IPコア単体コンパイル結果

送受信ともバッファを最大に設定した場合です。
バッファ容量を削減すればBRAM消費リソースを節約できます。

パフォーマンス測定例(100GbE版)

```

+++ TOE100G-IP Send Mode +++
Enter transfer size (aligned to 512-bit): 64 - 0x3FFFFFFC0 => 0x3FFFFFFC0
Enter packet size (aligned to 512-bit) : 64 - 8960 => 8960
Input mode : [0] Client [1] Server => 1
Run test application on PC by following command
tcpdatatest c r 192.168.100.25 60001 274877906880 1

Wait Open connection ...
Connection opened
Start data sending
Send 12392 MByte Recv 0 Byte
Send 24784 MByte Recv 0 Byte
Send 37176 MByte Recv 0 Byte

Send 247839 MByte Recv 0 Byte
Send 260231 MByte Recv 0 Byte
Send 272623 MByte Recv 0 Byte
Send data complete

Close connection
Connection closed

Total tx transfer size = 4294967295 512-bit
Total = 274.877[GB] , Time = 22186[ms] , Transfer speed = 12389[MB/s]
    
```

256Gバイト・データを
ジャンボフレーム(8960バイト)で
他方のFPGAへ送信

**転送パフォーマンス
12,389MByte/sec!**

2枚のFPGAボード間での片方向(送信→受信)評価結果例 (100GbE)

パフォーマンス実測値(各ラインレート)

ラインレート	半二重通信	全二重通信	測定条件
1GbE	116MByte/s	103MByte/s	FPGA-PC間転送
10GbE	1,200MByte/s	924MByte/s	FPGA-PC間転送
25GbE	3,098MByte/s	3,096MByte/s	2枚のFPGAボード間
40GbE	4,907MByte/s	4,858MByte/s	2枚のFPGAボード間
100GbE	12,389MByte/s	11,177MByte/s	2枚のFPGAボード間

各ラインレート対応版のTOExxxG-IPコア・パフォーマンス実測値

結論

- ・ TOE_{xxxG}-IPコアで接続ターゲットと高速データ転送
 - 保証されたTCPデータでラインレート上限に迫る転送速度
- ・ 再送を含めた複雑なTCP処理を完全にハード化
 - データ並び替えや重複データ削除もコアが自動的に処理
- ・ レジスタやFIFOにより接続容易なユーザI/F
 - CPUなしのシステム実装を可能とするシンプルなI/F
- ・ 実機動作を確認できるリファレンス・デザイン
 - デザインと動作確認の同時並行が可能



**ネットワーク帯域を最大限に活用する
製品開発を強力に支援します!**

問い合わせ

- ・ ホームページに詳細な技術資料を用意
 - https://dgway.com/TOE-IP_X.html
- ・ 問い合わせ
 - 株式会社Design Gateway
 - E-mail : info@dgway.com
 - FAX : 050-3588-7915

