

# FMCを用いた 汎用VMEモジュールの開発

佐々木信哉、秋山篤美、岩崎昌子 (KEK 加速器)  
池野正弘、庄子正剛 (KEK 素核研)  
阿部利徳 (SPring-8)

# 内容

- 開発背景
- 開発モジュールの仕様
- 評価ボードを用いたテスト
  - ✓ Auroraによる光通信、AuroraのCRCオプション
  - ✓ メザニンカードを用いたIO信号の取り扱い
- スケジュール
- まとめ

# 開発背景

# 開発のモチベーション

- 加速器・実験装置では用途ごとに専用のモジュールが必要な場合が多い
- 用途ごとの専用モジュール開発にはコストがかかる
- メザニンカードを取り替えて様々な用途に使用できる汎用モジュールが欲しい

# 開発のモチベーション

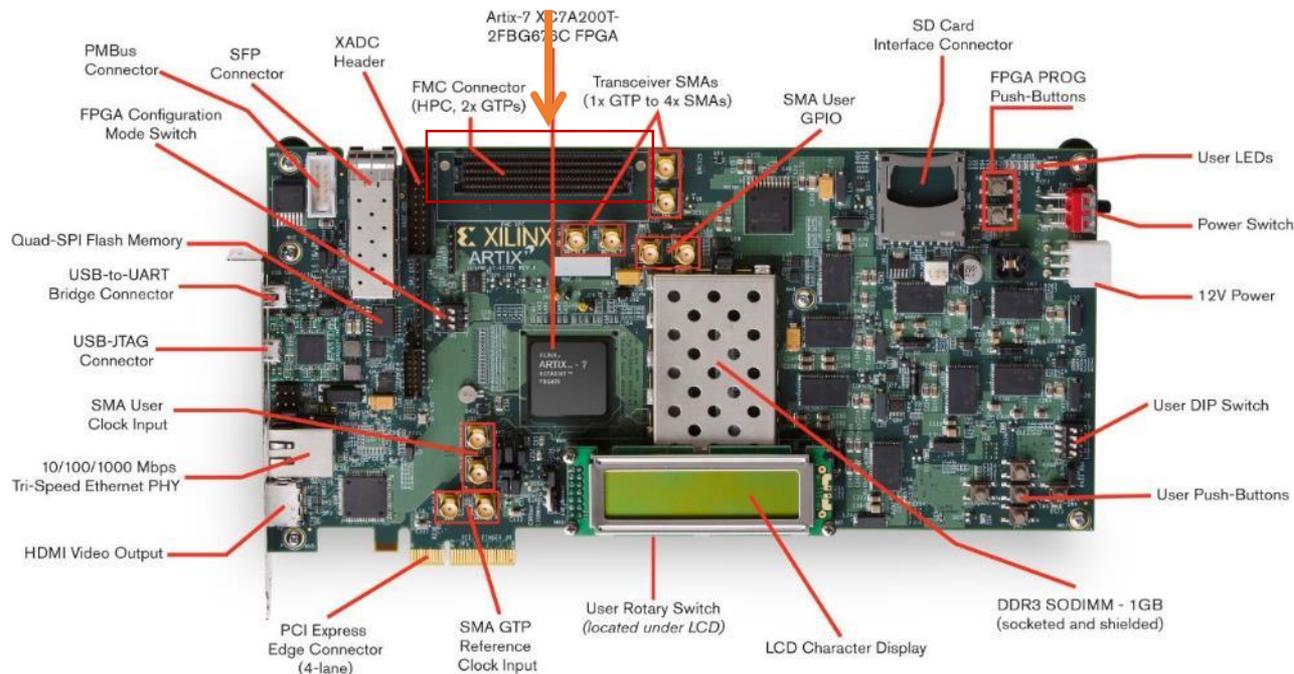
- FMC規格のメザニンカードを付け替えることで様々な機能を実現するボードの開発

ターゲット実験: SuperKEKB・SACLA DAQ

- SPring-8・KEK加速器・OpenItの共同開発
- 加速器制御・SACLA DAQ用に最適化

# FMCコネクタの使用

IO用基板をここに接続する



## 利点

親基板の開発とは独立にメザニンカードのデバックが行える。

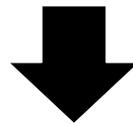
## 欠点

FMCを使用すると開発経費が、若干高め

# 使用用途

## SuperKEKB side

- 加速器間信号(アボート、入射許可)のやりとり
  - やりとりする信号点数がKEKBに比べて増加
  - 従来のレベル信号を送る方法では光ケーブルの本数が不足



デジタル・サンプリング化により  
一本の光ケーブルで複数の信号を伝送したい

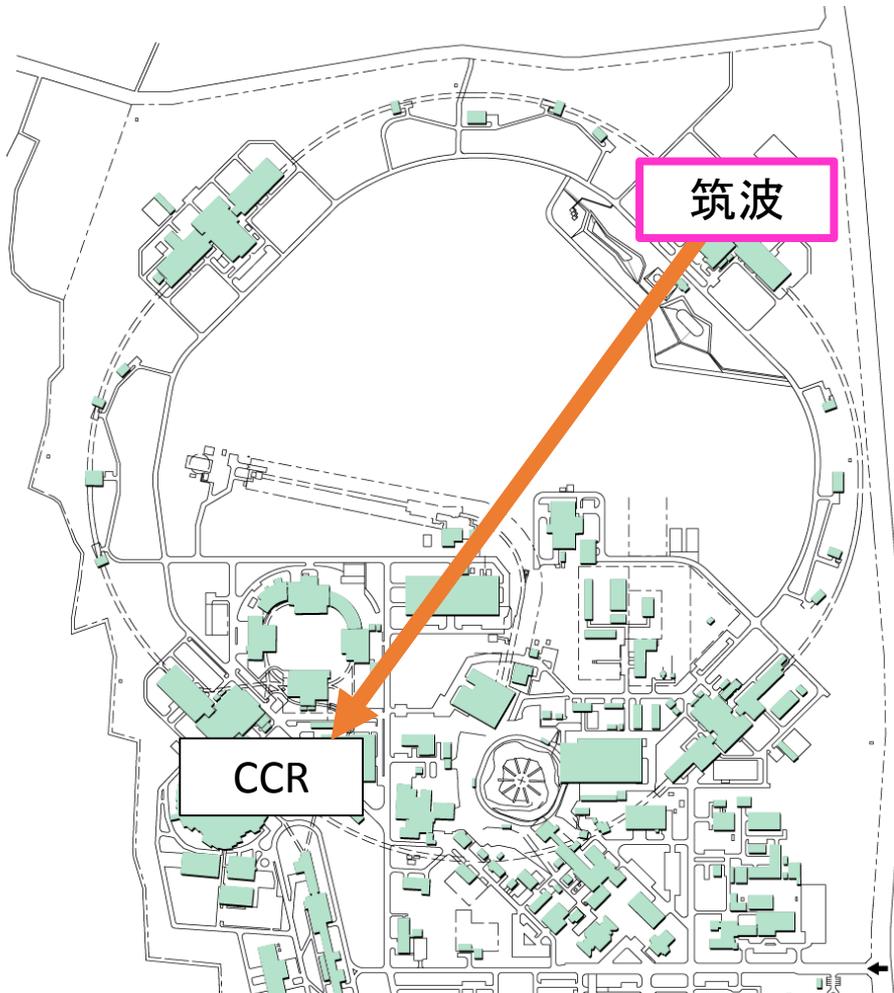
- 同じボードをBeamGateや超電導磁石クエンチ検出など他の用途にも使用したい

# 使用用途

## SACLA side

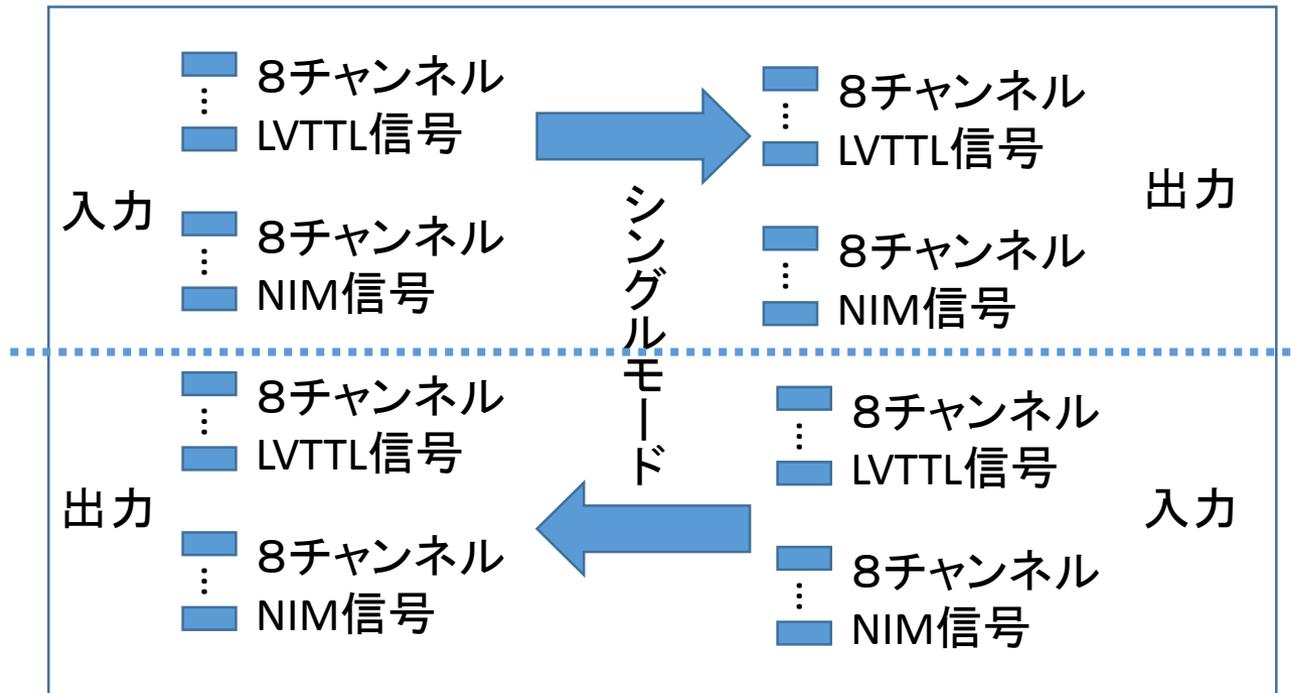
- SACLA実験用タグ信号を取り扱えるボード
- SPring-8で開発したカメラリンクFMCカードの有効利用
- VME CPUボードの供給不安に対応

# 要求される仕様(SuperKEKB)



- 筑波実験ホールからの4個以上の信号を一本の光ケーブルで転送したい。
- 光ケーブル長: 約2kmシングルモード
- 開発したモジュールはBeamGateなど他の用途でも使用したい

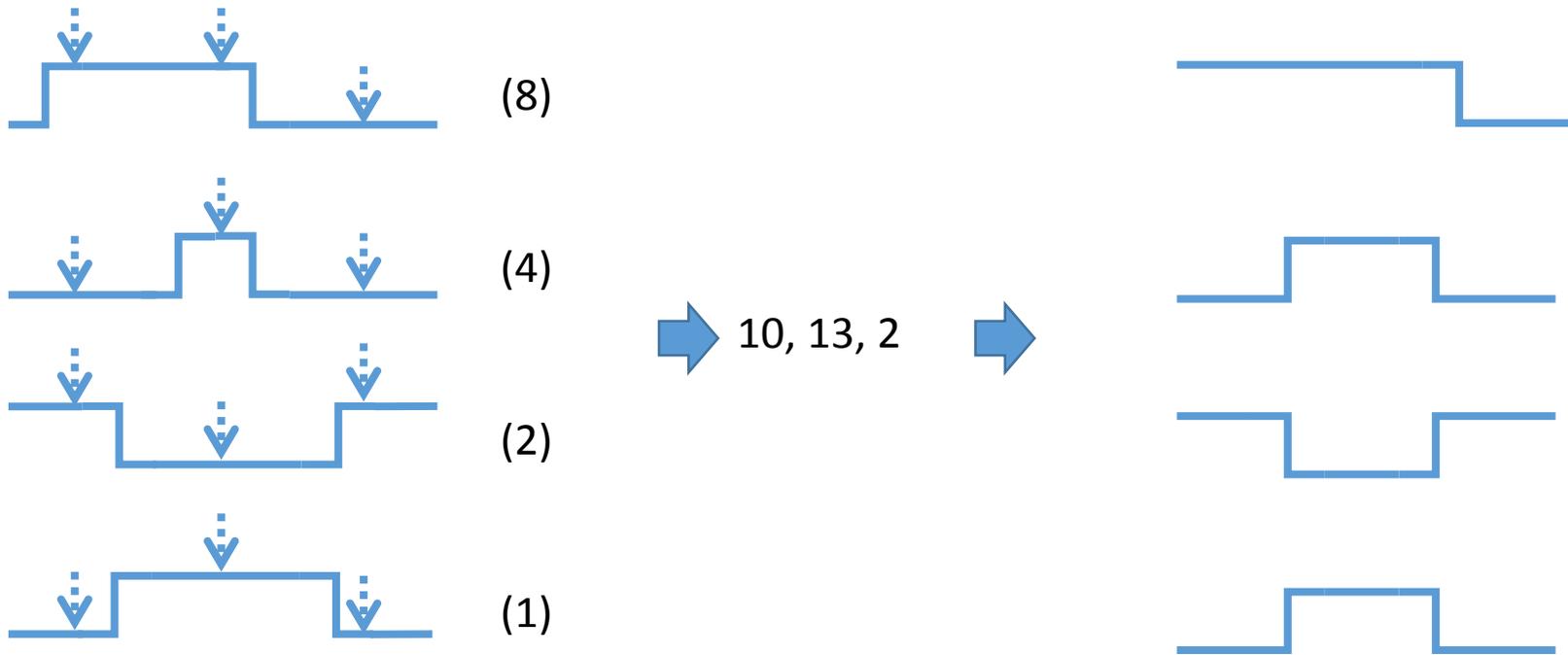
# 要求される仕様(SuperKEKB)



- 一対のシングルモード光ファイバーでの通信
- 信号の周波数帯域は10MHz以下、リアルタイム性の保証が数μ秒で間に合うこと
- VMEバスが使用可

# 要求される仕様(SuperKEKB)

- 複数の信号を転送する方法 → デジタル・サンプリング方式



サンプリング

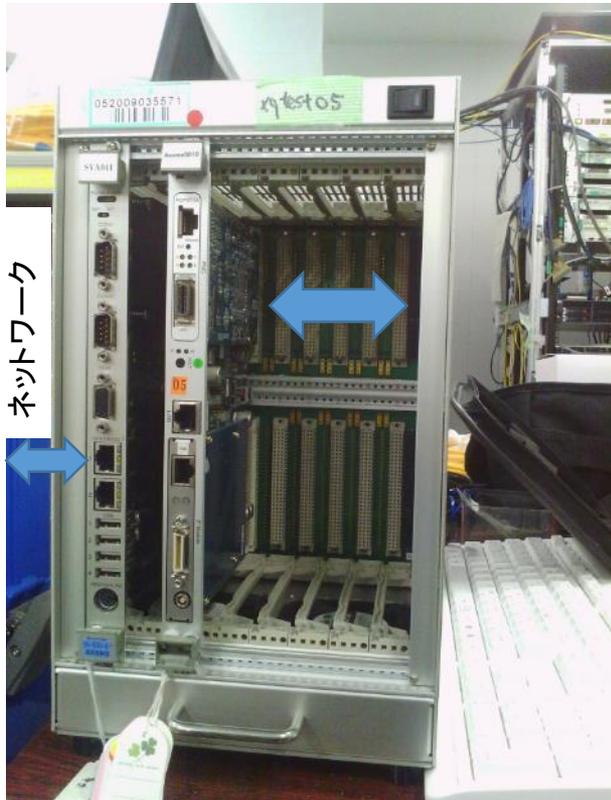
光転送

復元

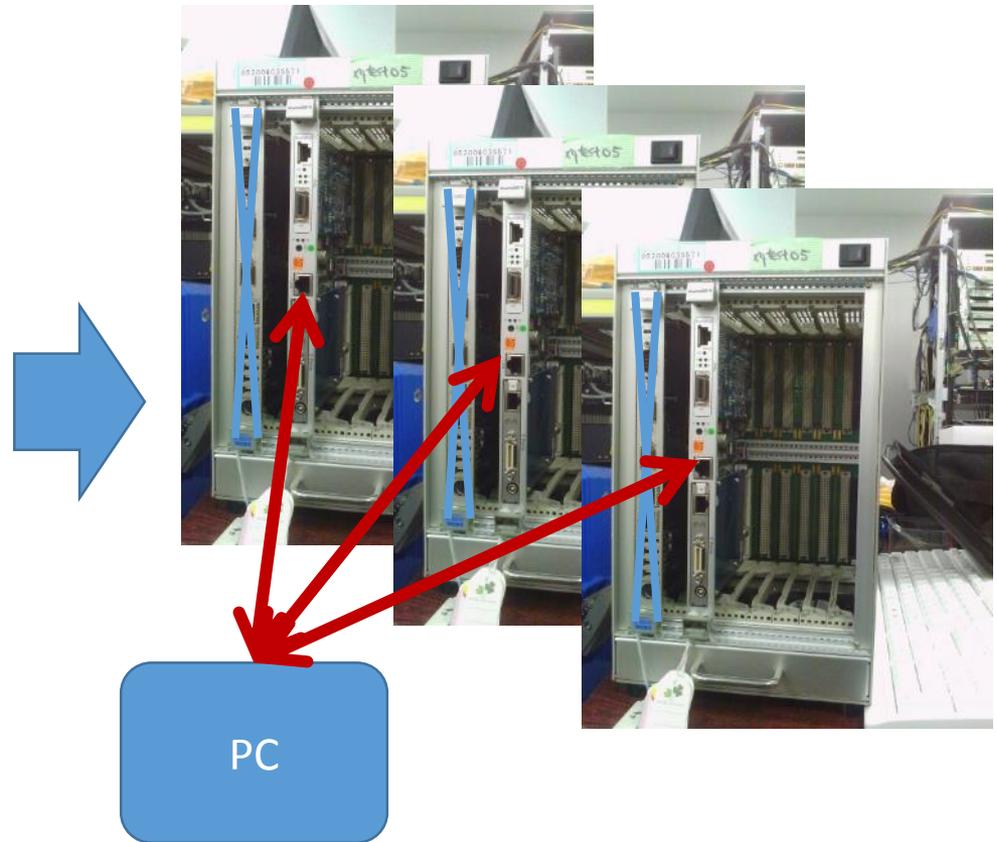


# 要求される仕様(SACLA)

CPUボードを介しVMEバスを使った制御



VMEバスをネットワークに置き換えた制御



# 開発モジュールの仕様

# 要求を満たすのに必要な機能

- I/O部

- ✓ LVTTTL信号、NIM信号(それぞれ in:8ch out:8ch以上)
- ✓ タグ信号入力

- 光データ転送部

- ✓ SFPモジュール(1Gbps)+Aurora(P2P)

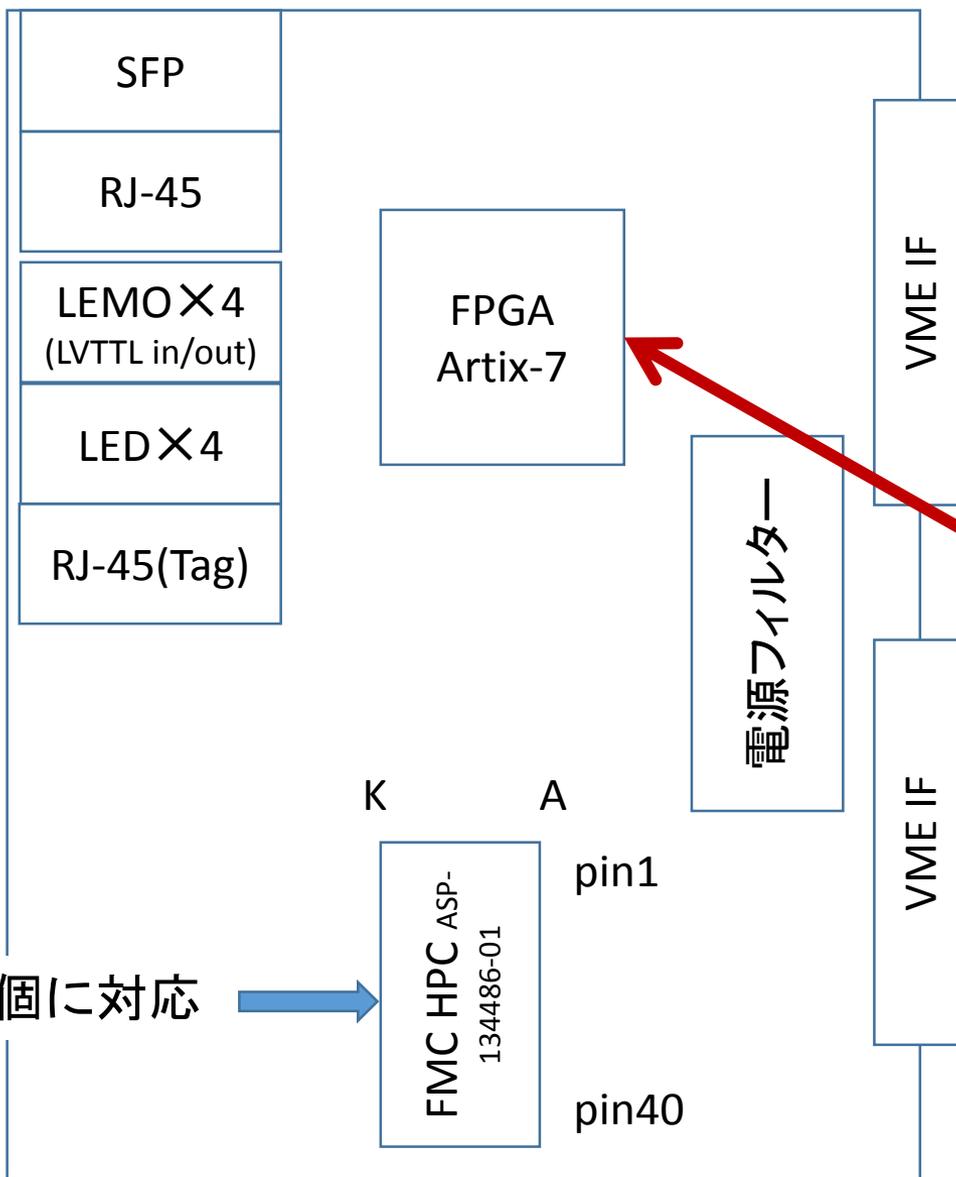
- 制御部

- ✓ VMEbus (SuperKEKB)
- ✓ Ethernet (SACLA,SuperKEKB)

# 開発項目

- I/O部、光データ転送部、制御部の機能を実現したモジュール (OpenItとの共同開発)
  - ✓ FMCコネクタを用いた親基板＋メザニンカードの構成で実現
  - ✓ SPring-8用に開発した親基板(新規開発中)を用いる
  - ✓ Super KEKB用にメザニンカードを開発(LVTTL-NIM-IN-OUT)
- モジュールの制御(KEK加速器+OpenIt)
  - ✓ FPGAファームウェア
    - 信号のサンプリング
    - Auroraによる光伝送
    - エラー処理
  - ✓ VMEのデバイスドライバー

# 親基板

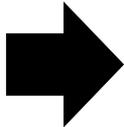


FPGAは、Spring-8の仕様により決定 (5Gbps必要なため)

400ピン以上の配線

SFPモジュール4個に対応

# ハードウェア開発現状

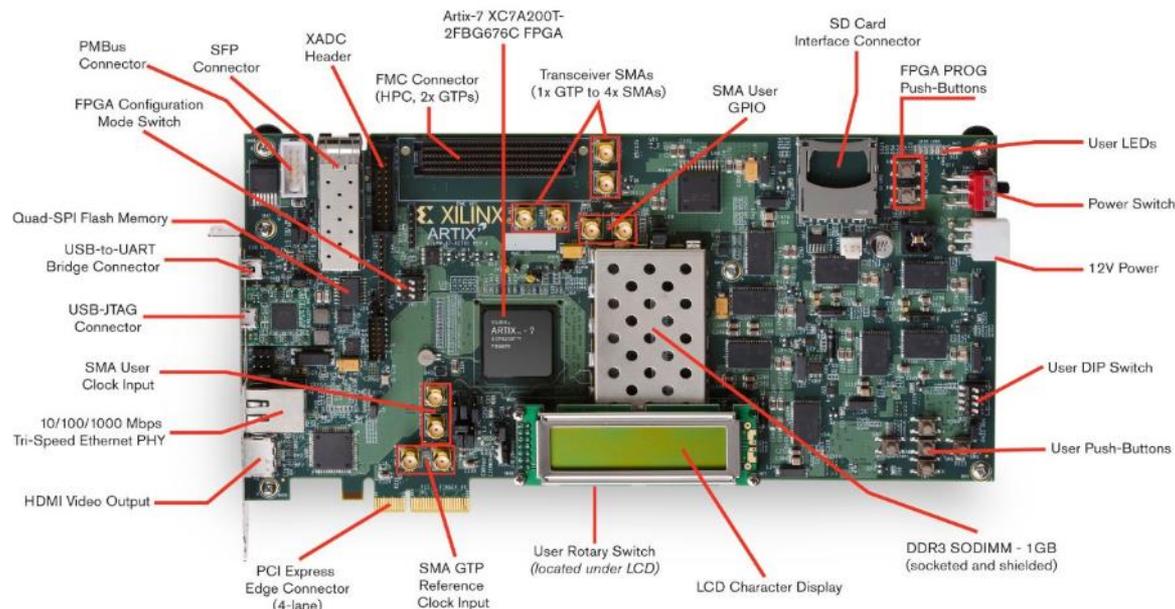
- SuperKEKB用メザニンカードは完成済み
  - 親ボードは、レイアウト中
    - ほぼすべてのFPGAのピンを使用(>400)
    - 限られたスペースで多数のLVDS
    - ほぼ0ベースからの開発のため時間がかかる
  - ほぼ0ベースからの開発
    - 親ボードは当初加速器向けTDCモジュールをベースに開発予定だった
    - 使用しているFPGA(Spartan-6)のスペックがSPring-8の仕様を満たさない
-   Artix-7に変更  
 一発では動かないリスク

# 評価ボードを用いたテスト

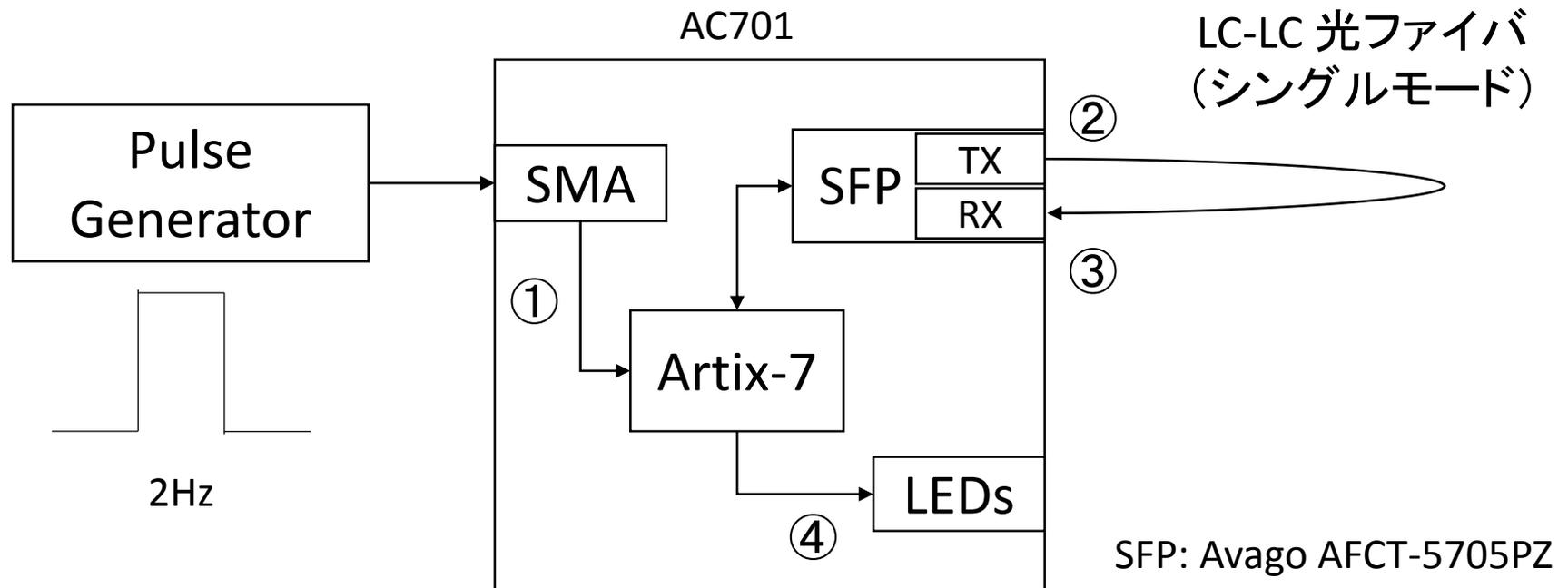
- ✓ Auroraのテスト
- ✓ メザニンカードを使用したI/O制御テスト

# AC701評価キット

- 親基板で採用したFPGAであるArtix-7の評価キット
- FMC、SFPがついている
- SFPを使用したトランシーバ(Aurora)の試験を実施

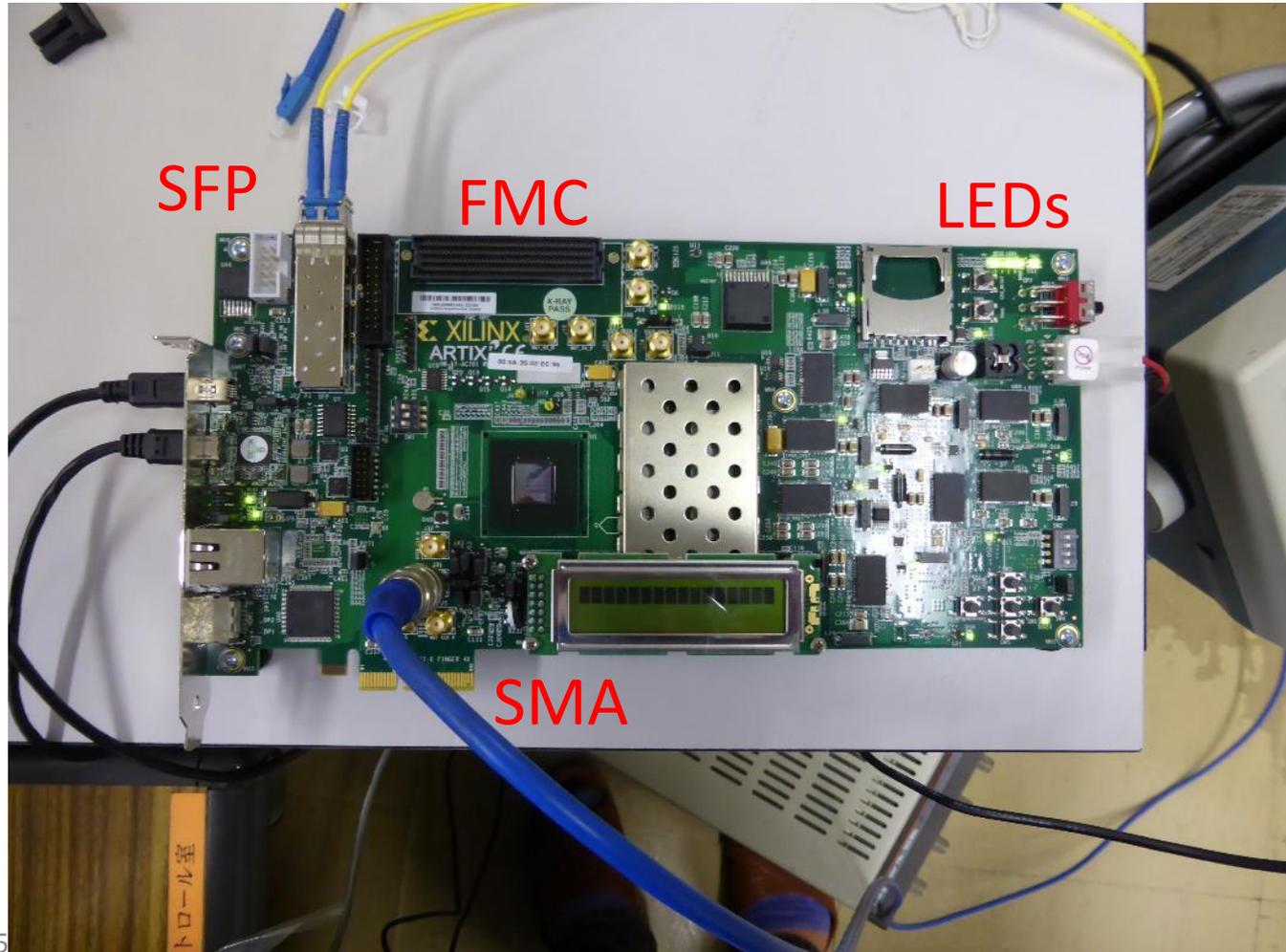


# Auroraのテスト構成



- ① SMAコネクタからの信号入力を約10MHzでサンプリング
- ② サンプリングしたデータをAuroraで送信
- ③ ループバックしてAuroraでデータを受信
- ④ 受信したデータをLED表示

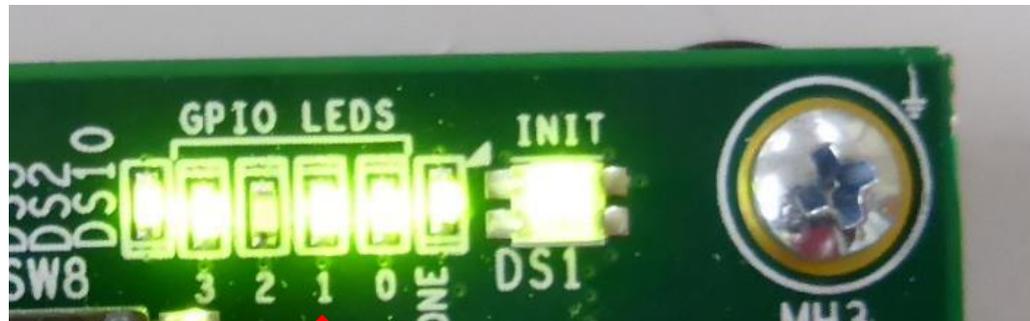
# テストの写真



# SMA入力に応じた点滅を確認



Auroraでデータの送受信  
ができています



# 光伝送経路の健全性について

- 安定した加速器運転には、光伝送経路の健全性についての保証が必要
- サンプルングした16bitの信号に誤り検出符号を追加して転送
- 誤り検出符号により問題が見つかった場合は、その旨をDBに保存
- 光伝送経路の健全性をモニター
- Auroraプロトコルでは誤り検出方法は定義されていない

# 誤り検出方法の例

- パリティチェック

- ✓ データ中の1の個数をパリティビットで奇数か偶数に統一する
- ✓ 2つ以上の誤りは検出できない

- チェックサム

- ✓ いくつかのデータのまとまりごとにその合計値を算出し、データ本体に付け加える
- ✓ 計算結果が同じになるエラーは検出できない

- 巡回符号検査(CRC)

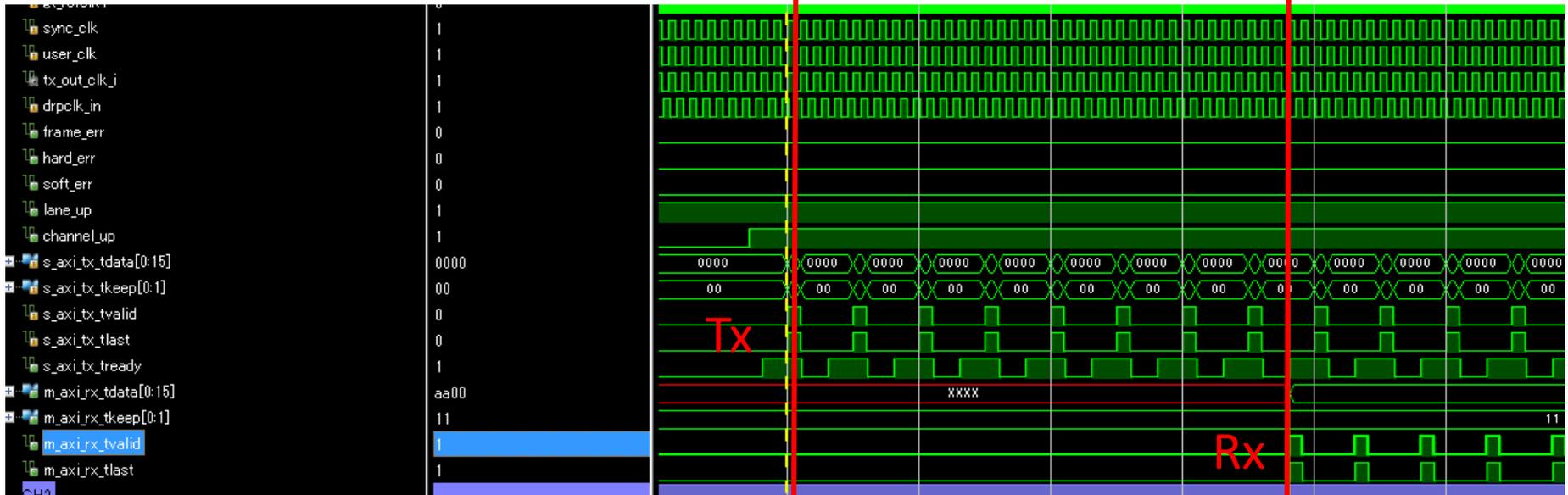
- ✓ データのまとまりごとに特定の数値で割り、そのあまりを検出符号としてデータ本体に付け加える

# AuroraのCRC

- Auroraプロトコルでは誤り検出方法は定義されていない
- ただ、AuroraのIPではオプションとしてCRCが提供されている
- Auroraのコードを読んでどのようにCRCが実装されているかを確認することも可能。(だが確認はしていない)

# CRCを利用していないAuroraのlatency

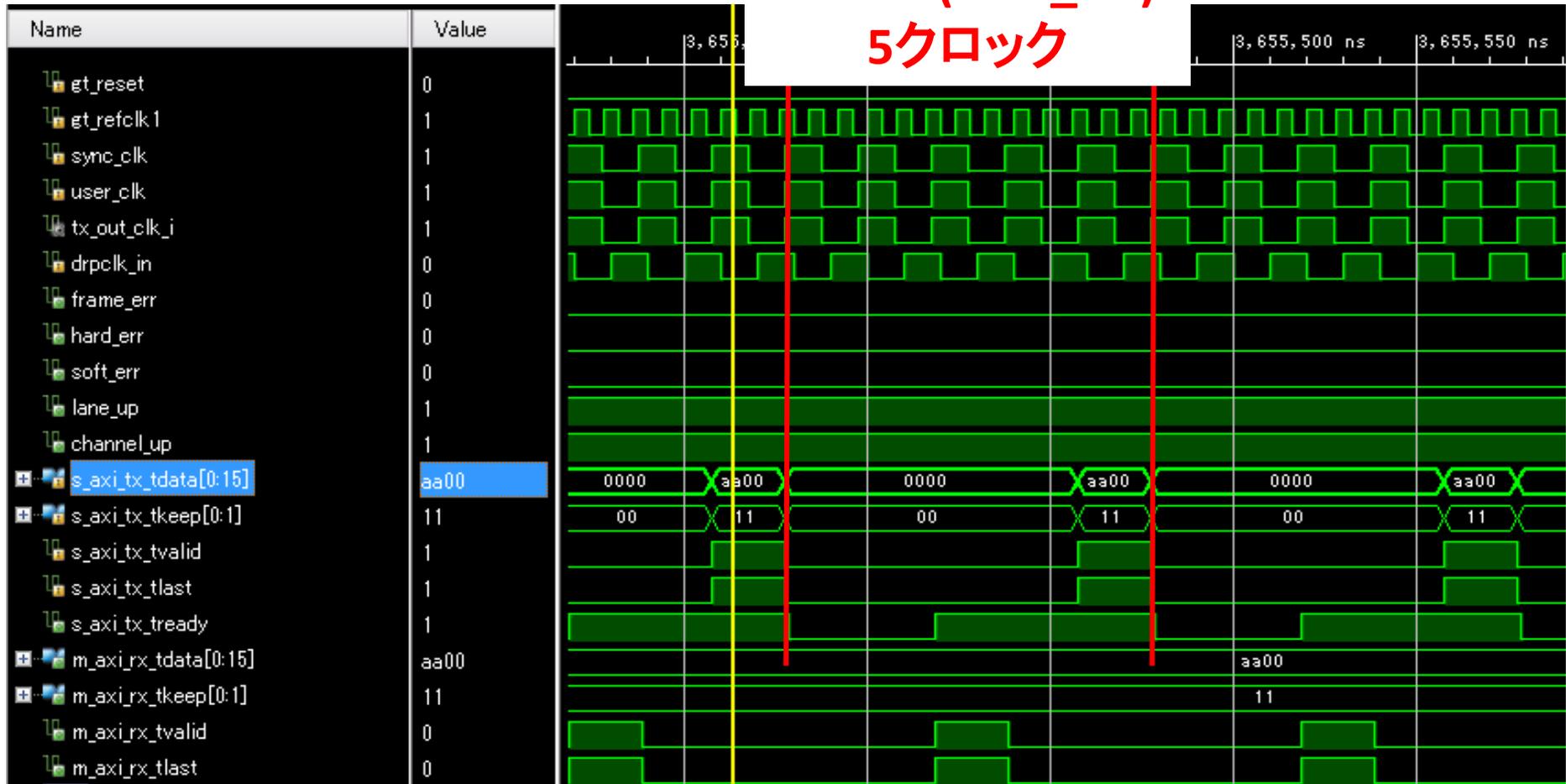
50MHz(user\_clk)  
37クロック





# CRCを利用していないAuroraの送信周期

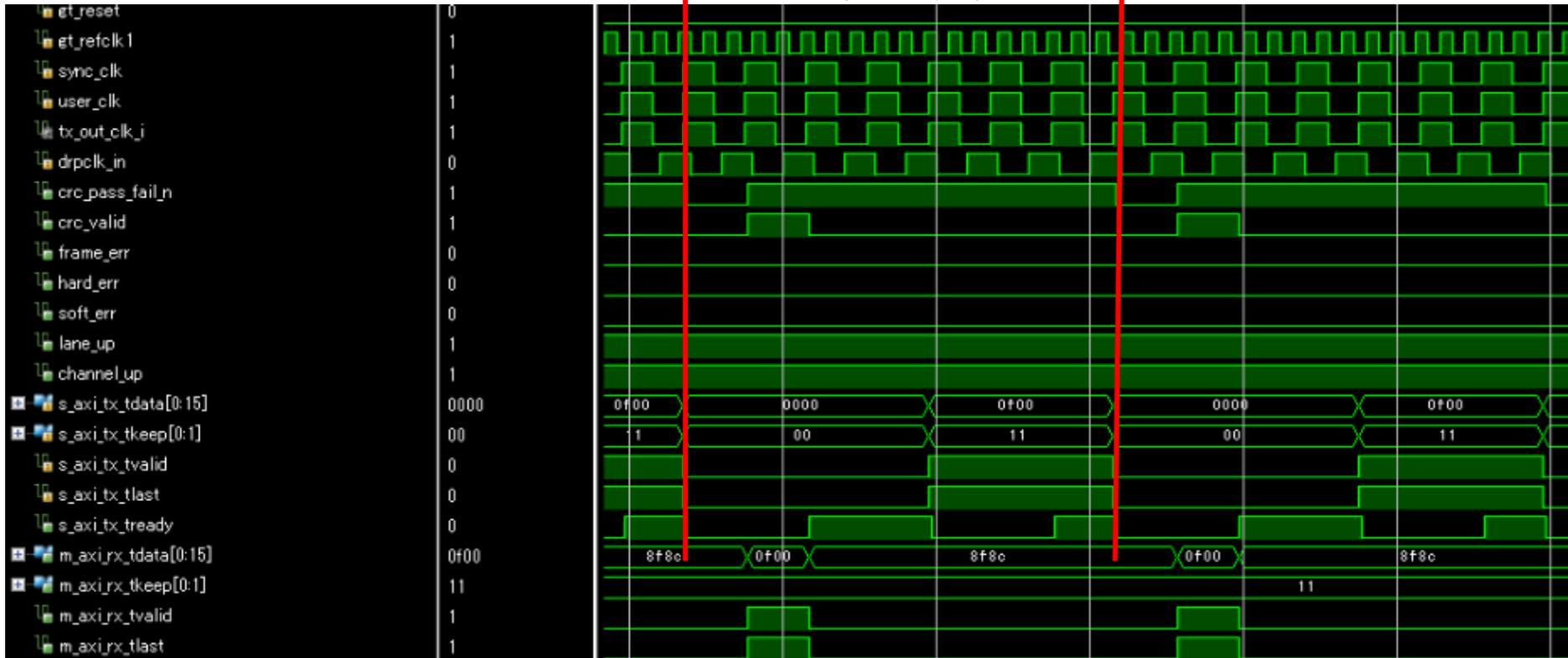
50MHz(user\_clk)  
5クロック



5クロック周期でデータを送信

# CRCを利用したAuroraの送信周期

50MHz(user\_clk)  
7クロック



7クロック周期でデータを送信

# Auroraのレイテンシ・繰り返し周期

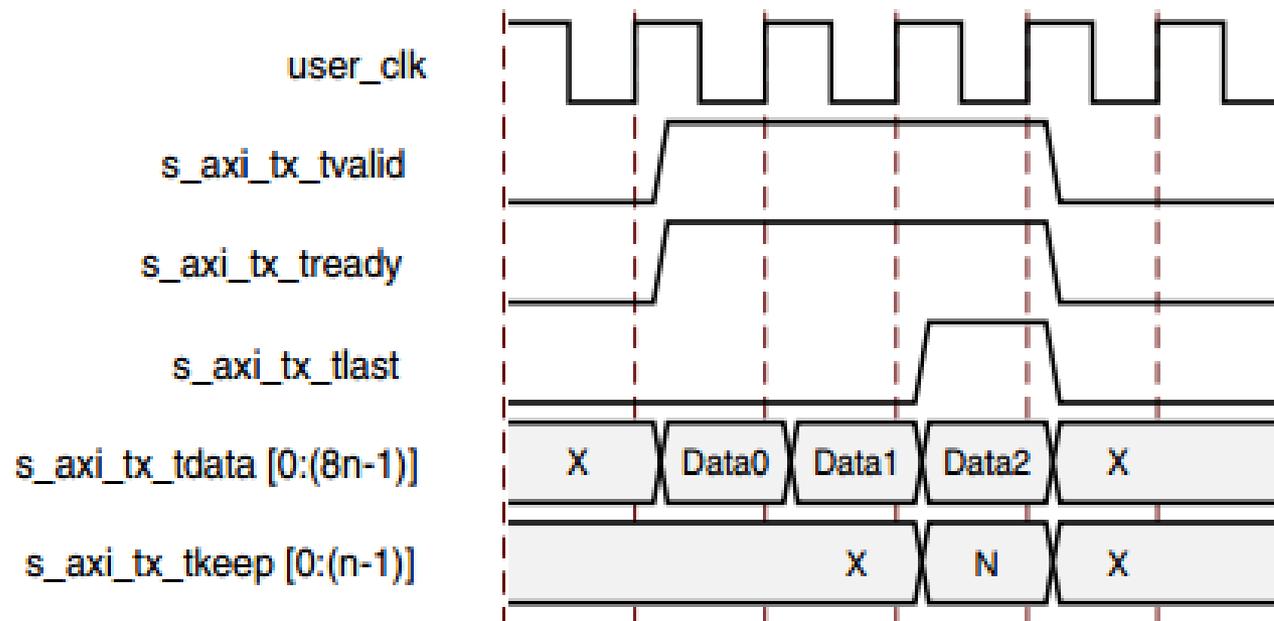
	レイテンシ	繰り返し周期 (サンプリング周期)
CRC無し	37クロック	10MHz
CRC有り	43クロック	約7MHz

※ クロック: 50MHz

レイテンシやサンプリング周期に対する要求はまだ明確でない

- ✓ 伝送経路での遅延と比べるとレイテンシは比較的小さい
- ✓ 7MHzのサンプリングで問題かどうかはこれから議論する

# Aurora データ送信タイミングチャート



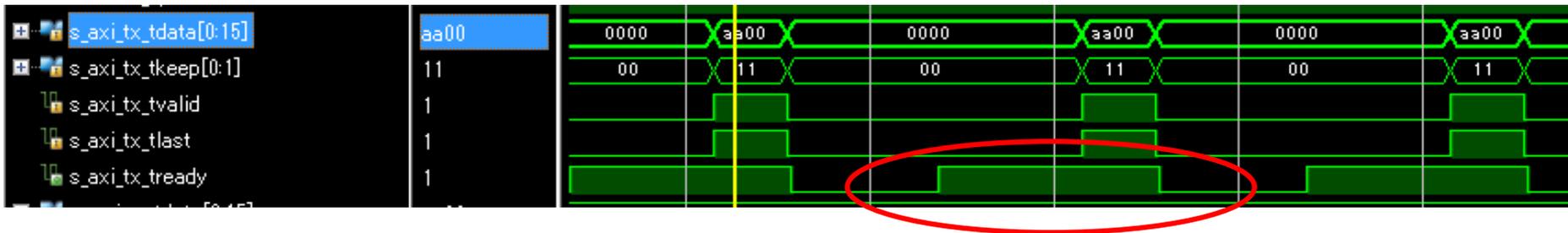
**s\_axi\_tx\_tready**がHiの時のみデータ送信が可能

ユーザが入力するのはtvalid、tlast、tdata、tkeepの4つ

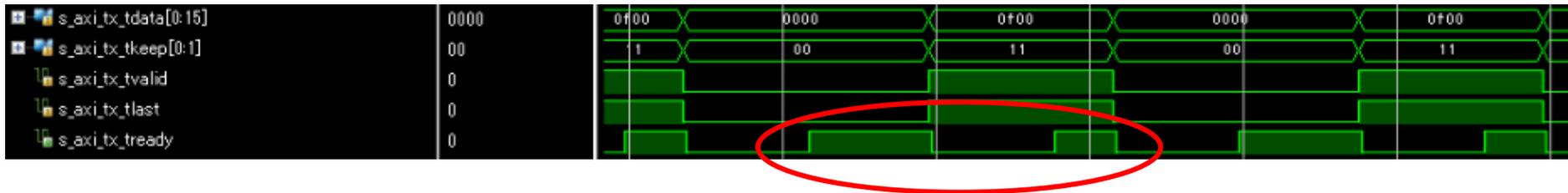
(試験ではtreadyがHiの時にデータをサンプリングして送信)

# CRC使用、未使用の送信周期比較

- CRC未使用



- CRC使用



CRCを使用した場合treadyがLoになりデータ送信が出来ないタイミングが発生

→ 結果としてデータの送信周期が2クロック分長くなった

# メザニンカードを使用したI/O制御テスト

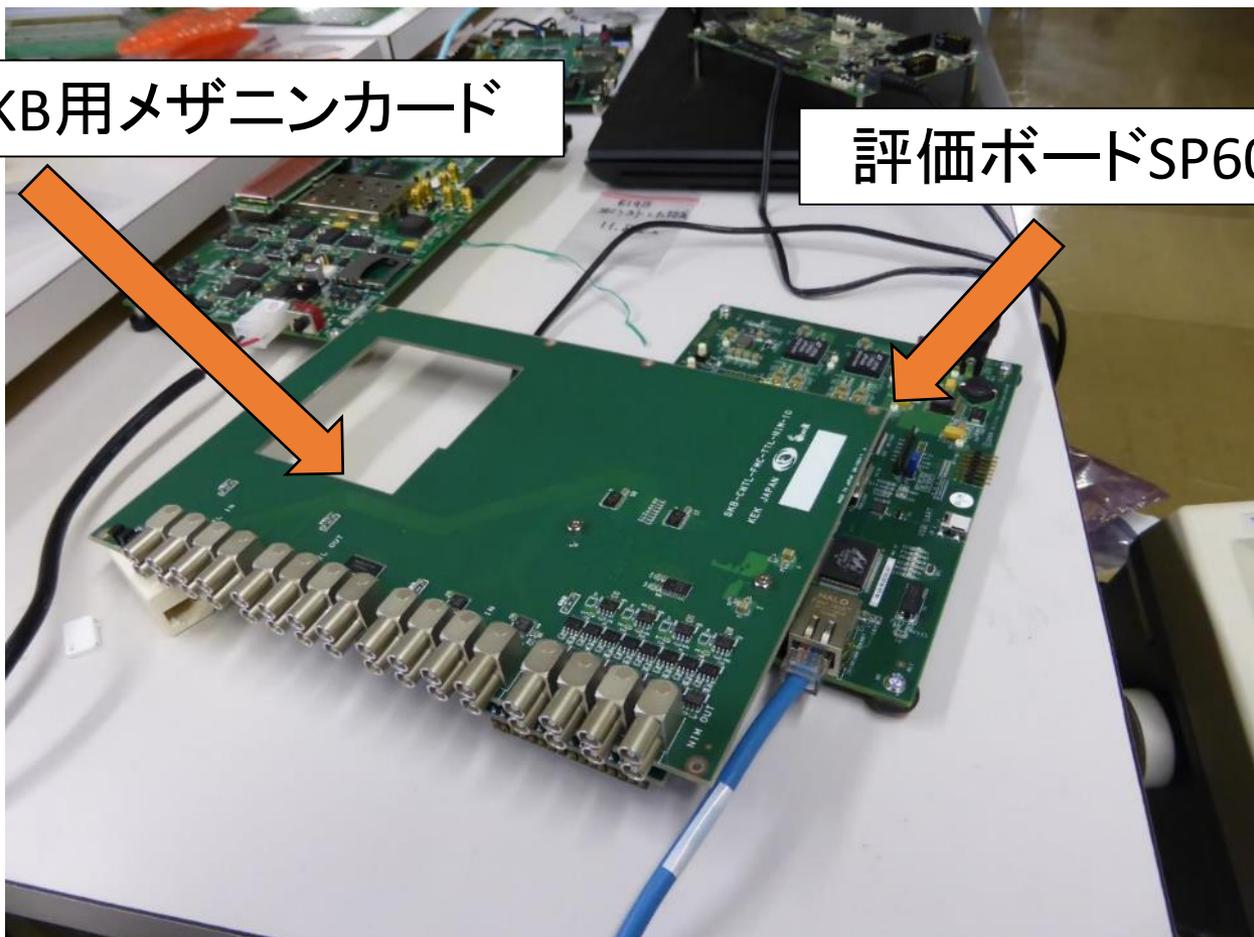
- SuperKEKBのPhase1の運転が来年2月から始まる
- メザニンカードを使用した制御を行うシステム
  - ✓ ビームゲート制御
  - ✓ ソフトウェアアボートトリガー信号源 など

➡ Phase1 (2月) までに用意しなければならない
- 親基板がPhase1までに間に合わない可能性を考慮
  - ➡ Phase1では評価ボードを使用して制御することに
- ボードの制御はSiTCPのRBCPを利用

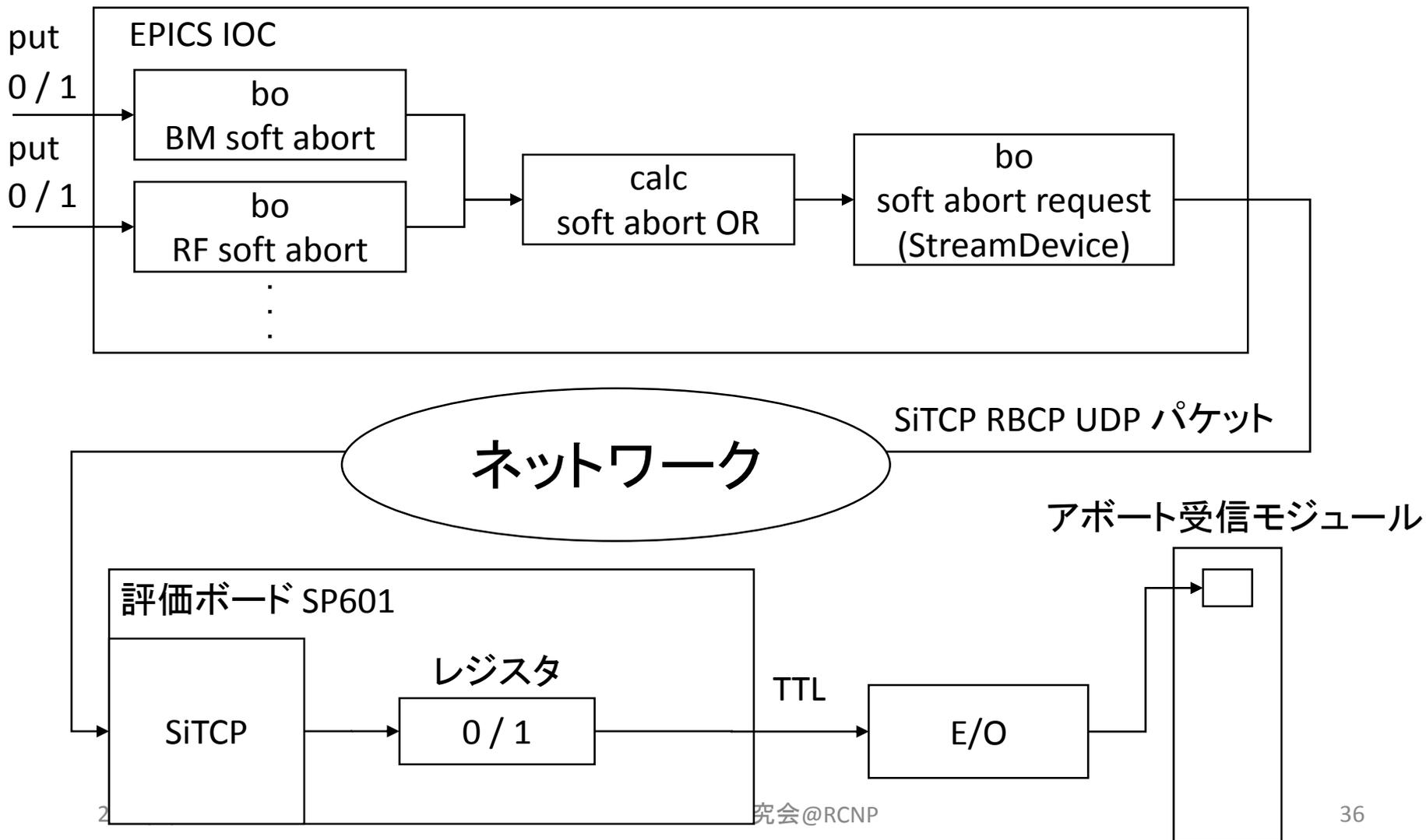
# メザニンカードを使用したI/O制御テスト

SuperKEKB用メザニンカード

評価ボードSP601



# ソフトウェアアボートトリガー信号源の実装



# スケジュール

- 親基板：今夏納品予定
- SuperKEKB用メザニンカード：すでに納品  
評価ボード＋メザニンカードでデバック開始  
IO信号の取り扱い  
Aurora  
誤り符号  
光伝送後の信号のlatencyとjitterの確認  
...
- 親基板＋メザニンカード：8月下旬  
デバイスドライバーの開発

# まとめ

- FMCメザニンカードをインターフェースにした汎用VMEボードを作成しています
- 複数のハード信号を一本のシングルモード光ファイバーで通信できるモジュールを開発中
- VMEバスに依存しないシステムの構築→次世代プラットフォーム(xTCA)までのつなぎとして(SACLA)
- 秋までに動作できるようにがんばっています