

Society5.0を支える革新的コンピューティング

「MEC用マルチノード統合システムの開発」 技術2021年度領域会議

2122年10月10日

天野G:ハードウェアプラットフォーム (慶應大)

飯田G:次世代チップ (熊大)

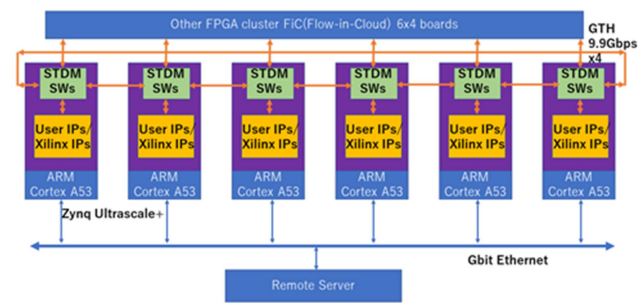
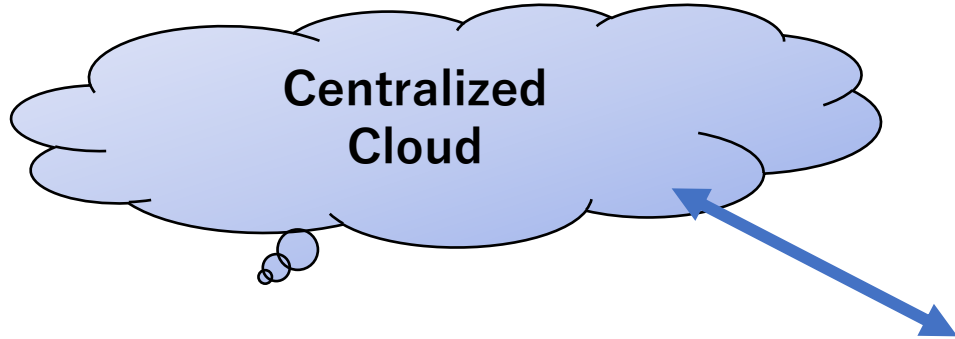
菅谷G:システムソフトウェア (芝浦工大)

西G:アプリケーション (慶應大)

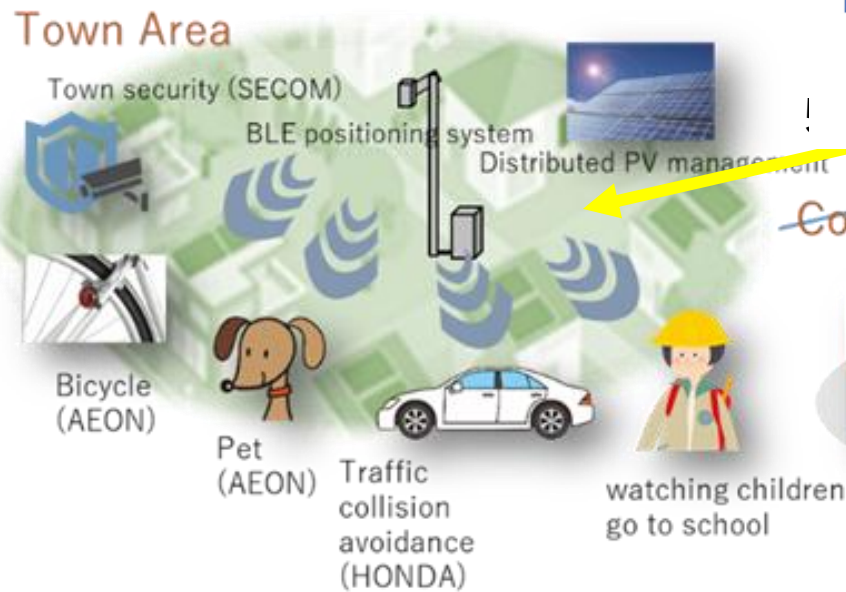
若林G:設計用CAD (東大・NEC)

MEC(Multi-access Edge Computing)用 計算システム

5G の低遅延、高バンド幅の特徴を生かして
工場のスケジュール、ロボット、ドローンの制御、
スマートシティの交通制御など準リアルタイム的な
処理を行う



FPGA(Field Programmable Gate Array)
を用いたMEC data center



2021年10月の状況

MKUBOS + FiC クラスタが MEC クラスタの プロトタイプとして稼働中

MKUBOS/PYNQ クラスタ：性能、電力効率で
Ryzen-7 を上回る → 詳細評価あり

PYNQ・IP ベース設計

Slurm を使った FiC-RM が稼働中 → デモあり

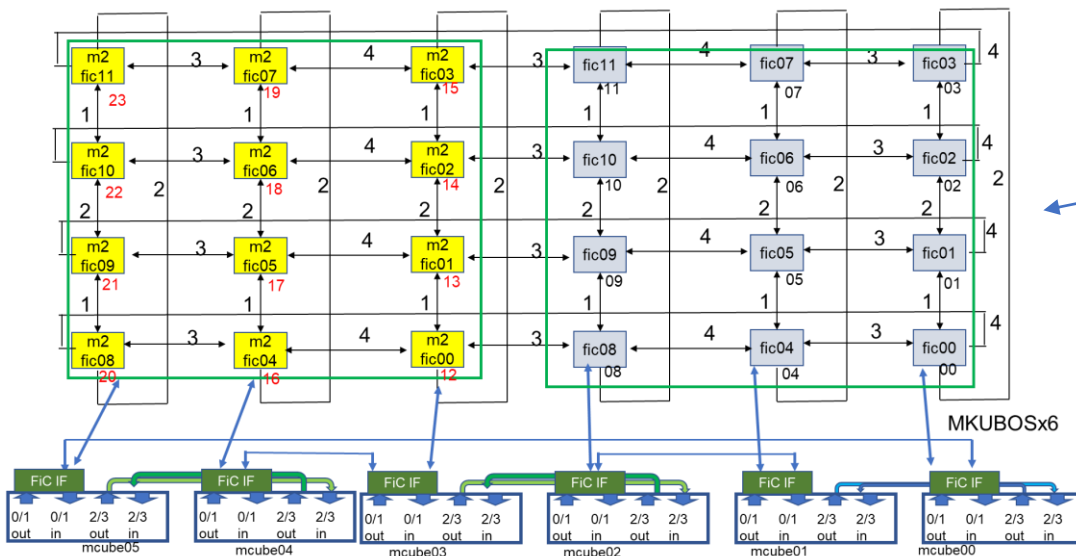
より進んだ管理システム
RoS との統合 (菅谷G)

本日の後半はこの話題に集中

スマートシティ情報を用いたサービス基盤、画像処理アプリ、音響処理(hark) (西G)

Wide territory

FiC 4x6



匿名化
ハード
ウェア

System C +
CyberWorkBench でのシ
ミュレーション、自動分
割、インタフェース自動
挿入 (若林G)

MQTT
broker

コンセプトのチップ化
SLM TEG1 (飯田G)

SLMLET
(TEG2)

グラフ処理 (近藤プロジェクトとの連携)

工場配送最適化、3D画像生成 (産業界と連携)

https://www.am.ics.keio.ac.jp/crest/?page_id=25

FPGA(Field Programmable Gate Array)クラスタはなぜMECに適しているのか？

- ハードウェアを使うので準リアルタイム的な処理ができる
- ボードをつないでいけば要求が多い時も大丈夫（スケーラブル）
- PCで作るサーバー、GPUよりも消費電力が小さい

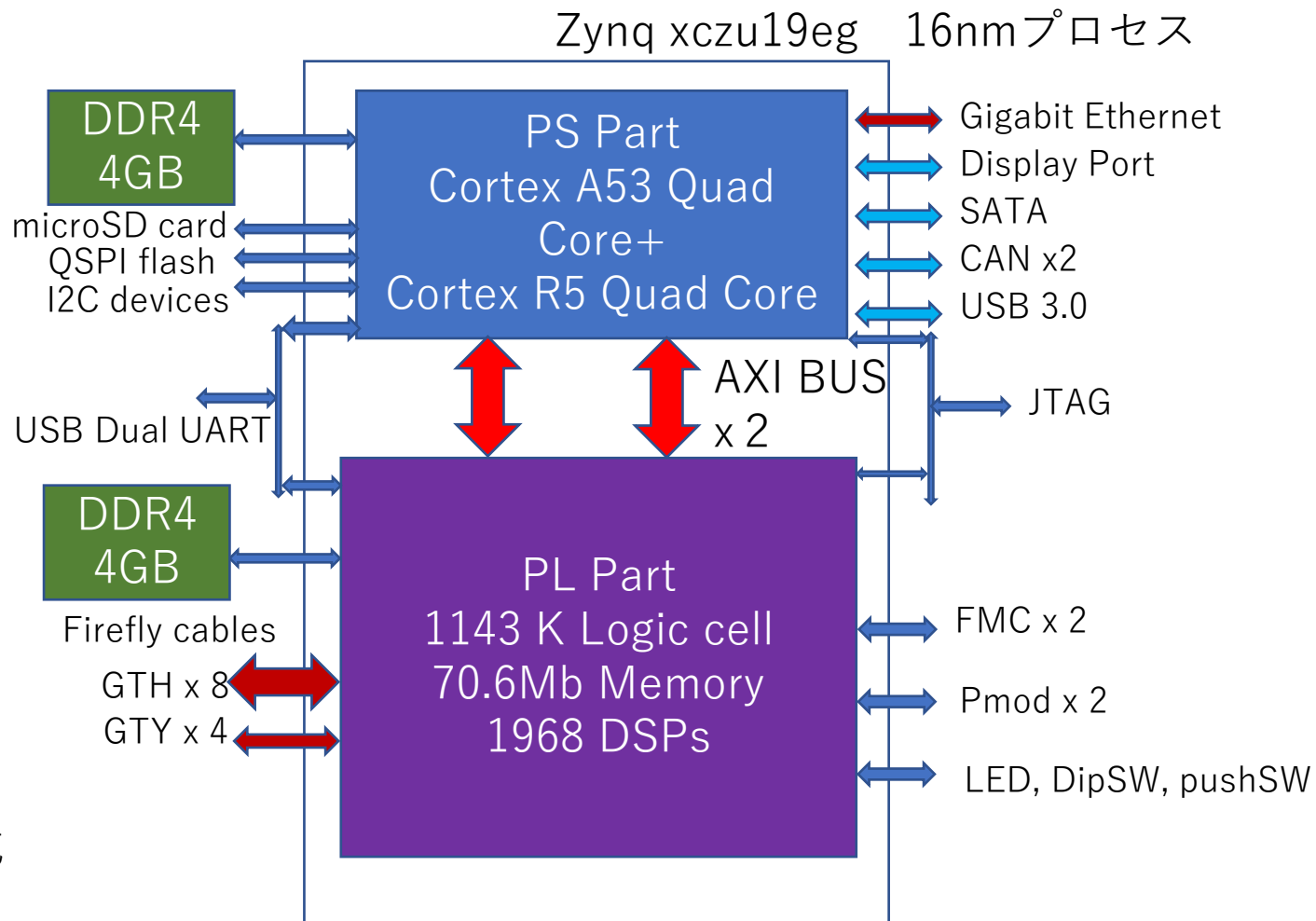
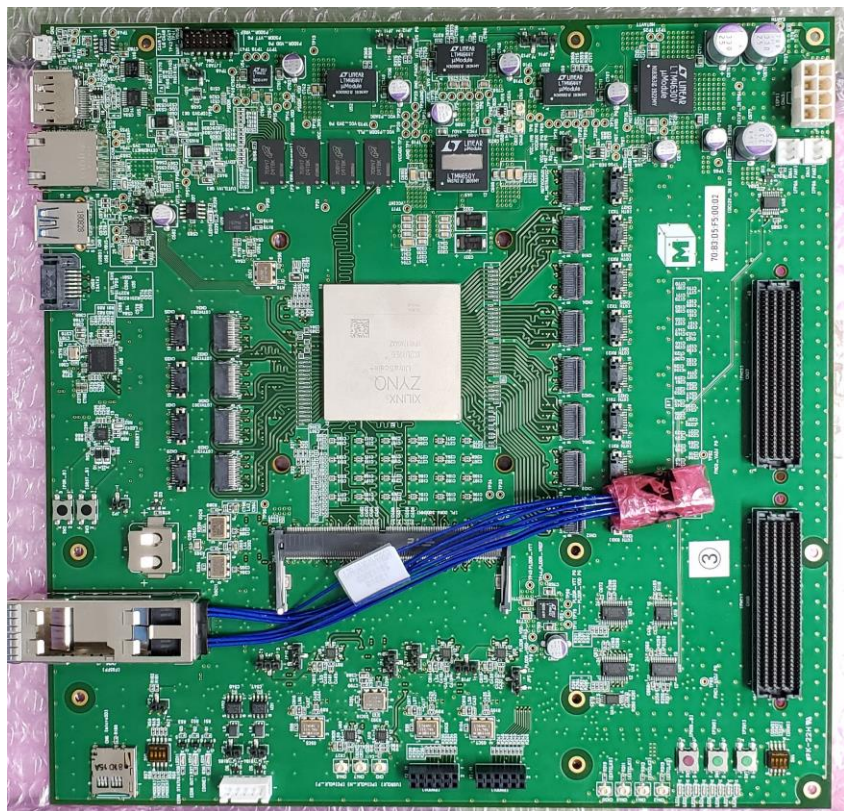


解決しなければならない問題

- スタンドアロンでの動作が必要
- 標準的なOS、プログラミング環境
- 遅延、転送容量が保証できる高速インターコネクト

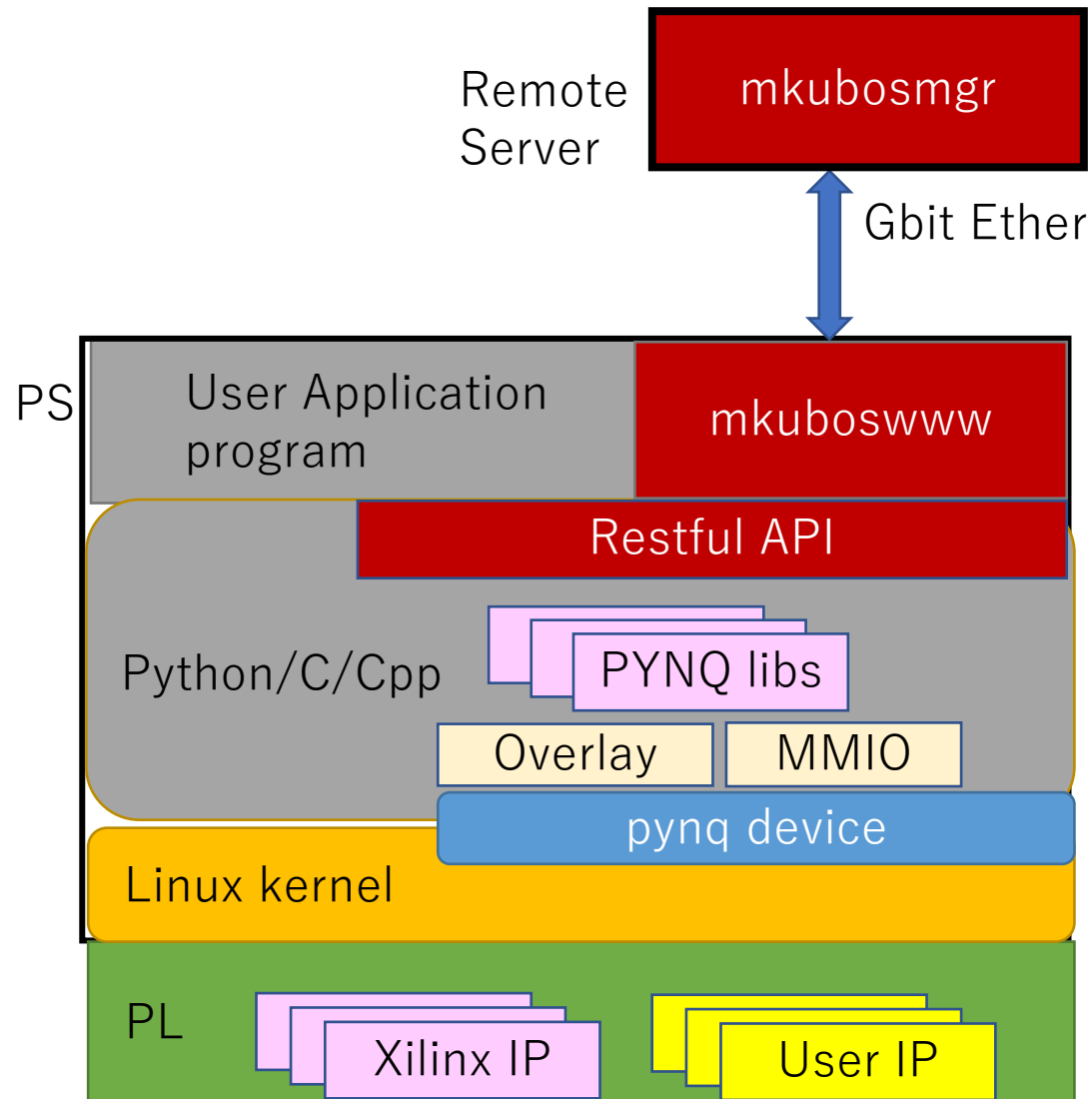
PALTEK M-KUBOS/PYNQ

<https://www.paltek.co.jp/mcube/index.html>



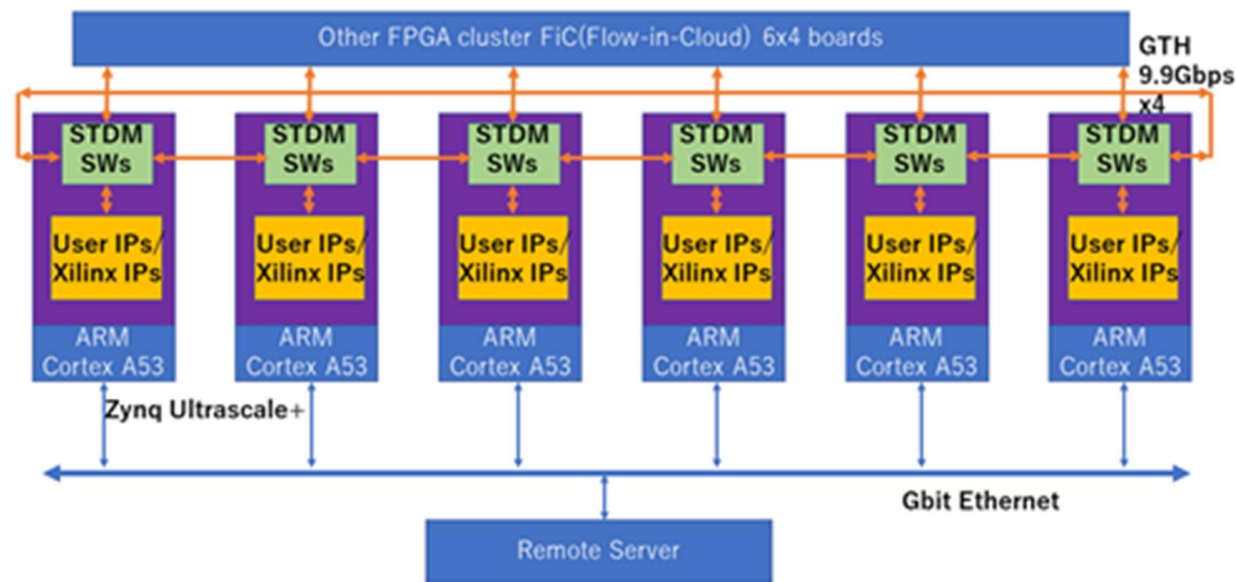
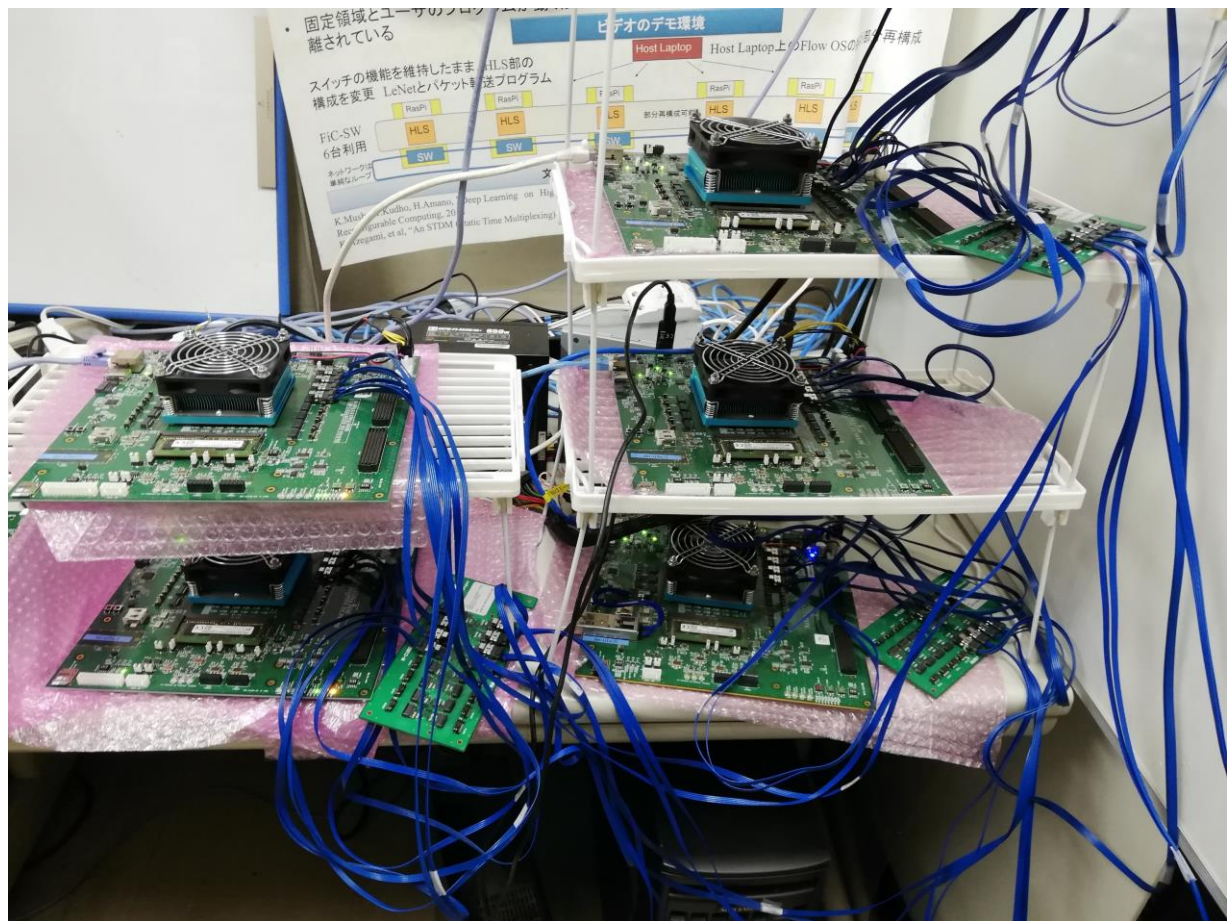
Zynq Ultrascale+ 最大サイズのFPGA搭載
高速リンクでクラスタ構成可能
ホストPC不要

オープンプラットフォームPYNQのクラスタ化



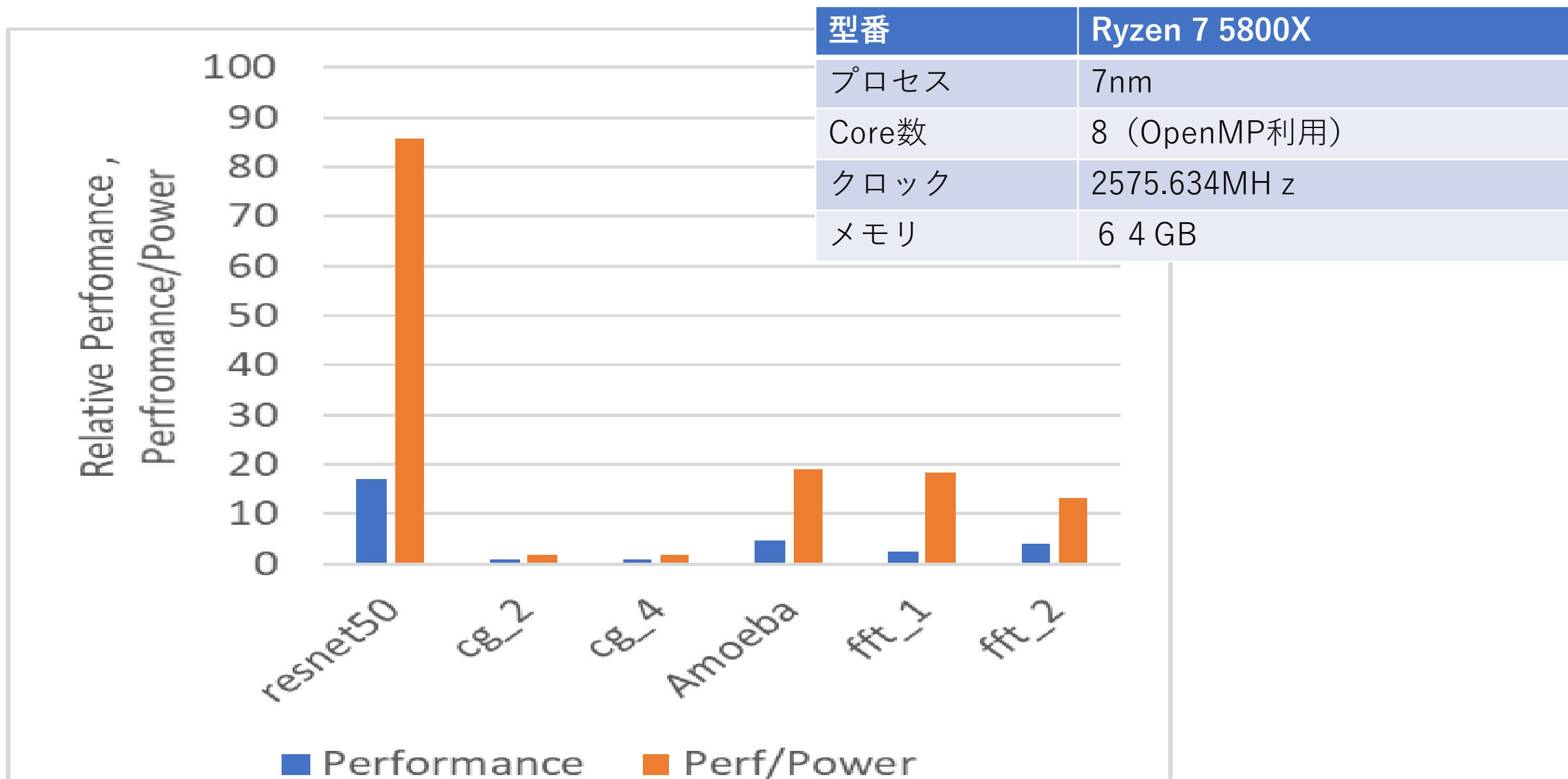
- Ubuntu Linux搭載
- FPGAの構成、制御はPythonで可能
- Restful APIでリモート制御
- Slurmの利用でマルチテナント
- IPベース設計
(現在、NEC CWBを用いた設計環境構築中)

プロトタイプクラスタの現状



MKUBOSボード6ノードで稼働中
安価なミッドレンジのクラスタFiCと接続
協調動作

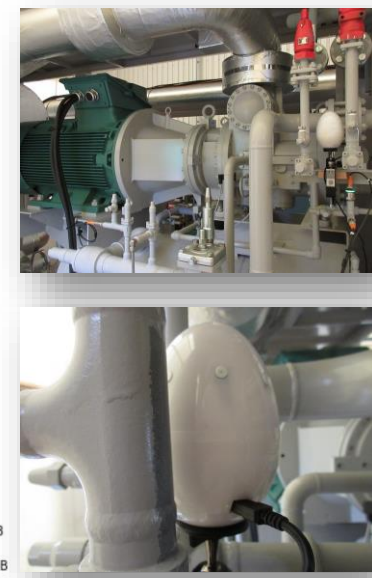
最新のPCのx2 ~ x80の電力効率を達成



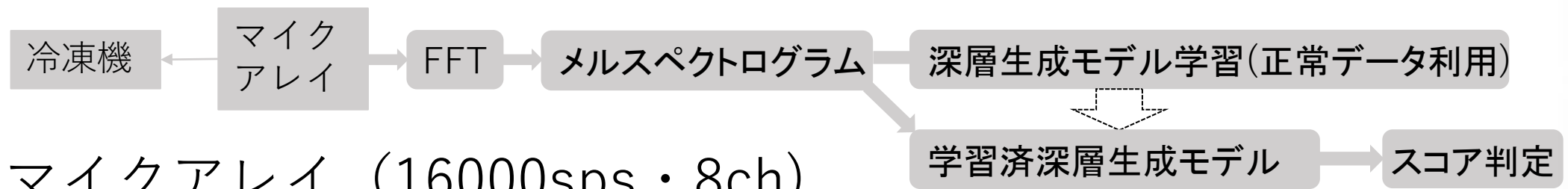
西G（アプリケーション班）の研究実績

- HarkのHW化
 - MKUBOS上で稼働を試みている→苦戦中
- Harkアプリケーションとしての異常検知
 - 大型冷凍設備の音響利用異常検知(ソフトウェア構築済)
 - 故障時損失額大きい港湾など大型冷凍設備のマイクロフォンアレイを用いた異常検知を行う
- スマートタウン情報を用いたサービス基盤
 - k匿名化・I多様化・差分プライバシー等情報匿名化手法のHW化(済)
 - 情報流通のためのMQTTブローカーHW化・ネットワーク透明化とM-KUBOS実装(済)
 - M-CUBOSを用いたMQTTブローカーマイグレーション(実施中)
- スマートタウン情報を用いたサービス
 - 以下のサービスはMQTTを利用しており上記マイグレーションにより負荷分散される
 - スマート分電盤の電力利用情報を用いた電力利用レコメンドレポート生成(済)
 - 空調電力と室温を利用した自動住宅性能評価とグリーンニューディール(済)
 - 購買情報を利用した購買レコメンド(済)

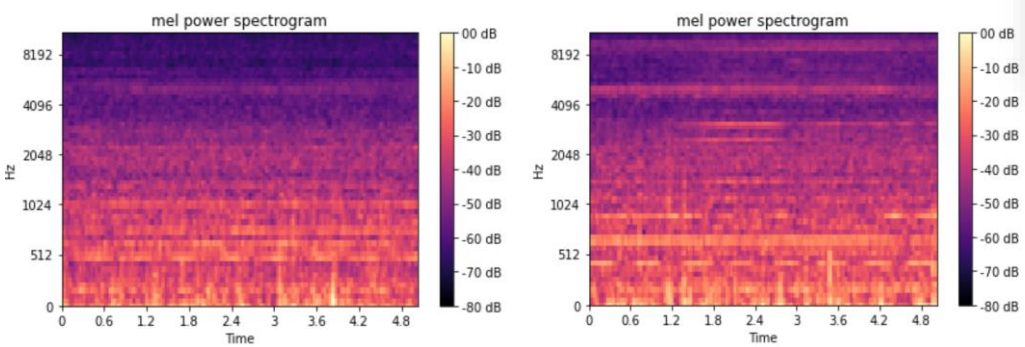
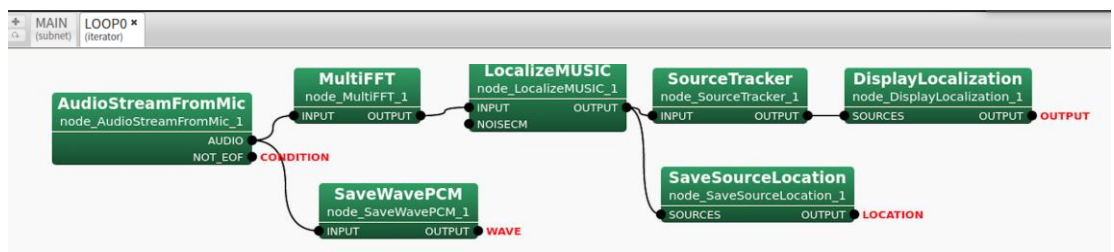
大型冷凍機音響利用異常検知



- 後付けが容易で低コスト



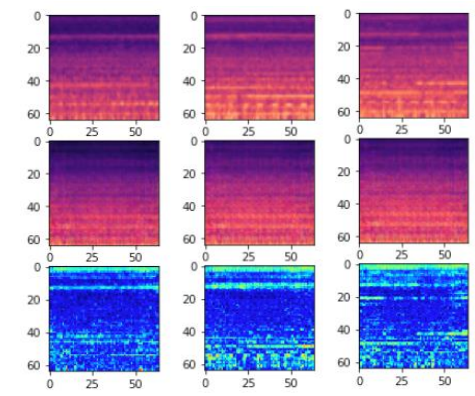
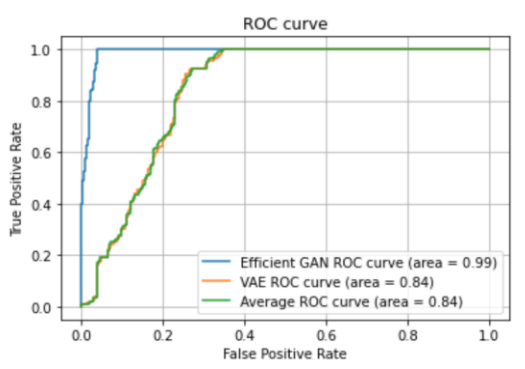
- マイクアレイ (16000sps・8ch)
- HARKで音響解析フローを作成
 - 運転中5分に一度1分稼働音を収集



正常データ例

異常データ例

- Efficient-GANを利用
- 何が悪いのか？も判断
 - さらに場所を特定



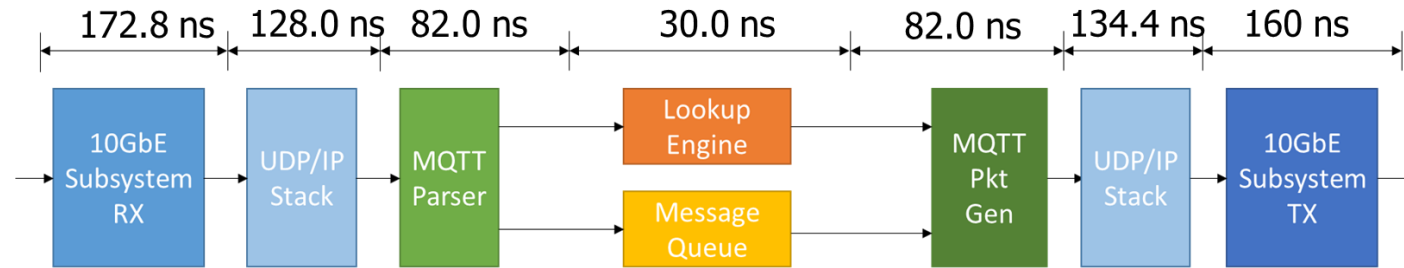
計測音
推定される正常音
どの音が異常音か

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ブローカー マイグレーション

- サービスアプリで多様するMQTTをネットワーク透明にHW Live Migration

- MQTT v3.1.1準拠

- マルチレベルワイルドカードトピックサポート、QoS・Retain・Willは未サポート



レイテンシ評価 →

789.2ns

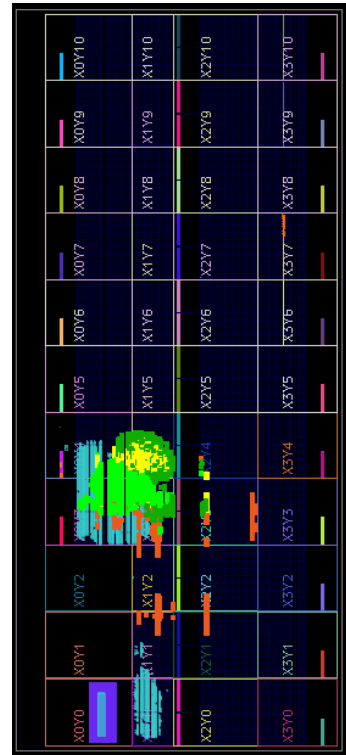
100M message/sec

10GbE ラインレート

- パイプライン構造による高スループット化
- 2つのハッシュテーブル(Topic Table, Subscriber Table)による動作
 - トピックの長さ・サブスクライバの数に関わらず参照・追加が一定時間で終了
- 時刻同期アプリ評価(制御利用も可能)

- サブスクライバが100台でも
平均 18.279 μ s、標準偏差 11.22 μ s
- SW比で遅延が約2.3%に低減
- SW比で標準偏差が約 40.5 %に低減

	FF	LUT	BRAM	
MQTT Parser (黄緑)		0.45%	0.88%	0.94%
Lookup Engine (橙)		0.03%	0.05%	2.44%
Message Queue (黄)		0.00%	0.32%	0.94%
MQTT Pkt Gen (深緑)		0.56%	0.30%	0.00%
UDP/IP & 10GbE Subsystem		0.72%	1.24%	0.15%
Total		2.14%	3.42%	4.62%
Available	1,045,440	522,720		1,968



サービス系成果

- 軽量の機械学習を利用した分析とレポート自動生成
 - K-Means, Mean-Shiftで消費形態を分類

http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_1	12-28T22:00:00.000+09:00	0.021
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_2	12-28T22:30:00.000+09:00	0.032
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_3	12-28T23:00:00.000+09:00	0.015
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_4	12-28T23:30:00.000+09:00	0.015
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_5	12-28T00:00:00.000+09:00	0.152
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_6	12-28T00:30:00.000+09:00	0.046
http://servicer.jp/server/home_12/hems_23/point_id_7	12-28T01:00:00.000+09:00	0.047



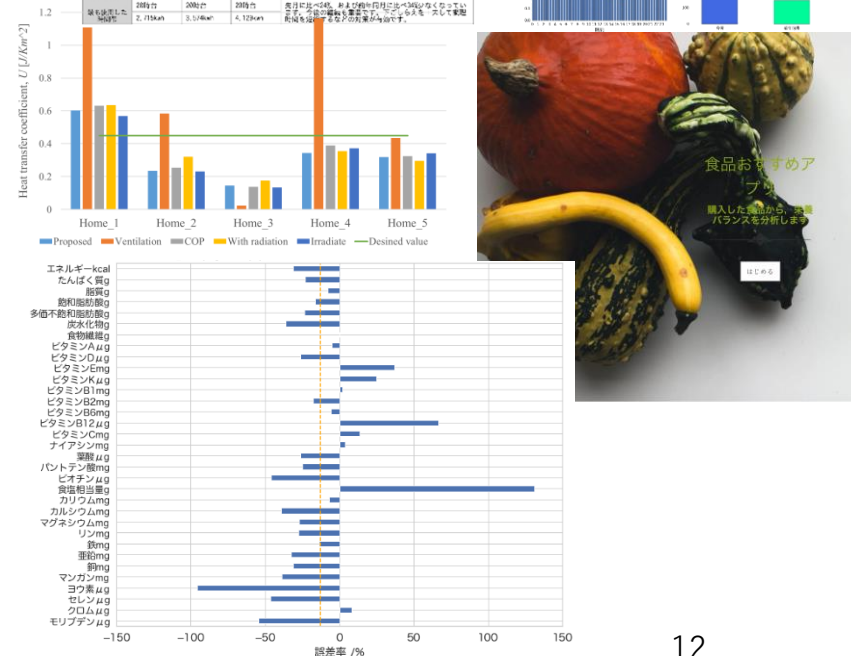
2室モデルによる断熱性能推定

- カルマン推定による高精度化と換気・日照補正
- 換気モデル $C \frac{d\theta_r}{dt} = H + UA(\theta_a - \theta_r) + \rho c_p q(t)(\theta_r - \theta_a)$
- GNDで市・住人・投資企業・不動産・サービス全員がWinに

レシート情報を用いた購買レコメンド

- 栄養素量算出の評価において15%程度の誤差

これらをHW MQTTで匿名化利用



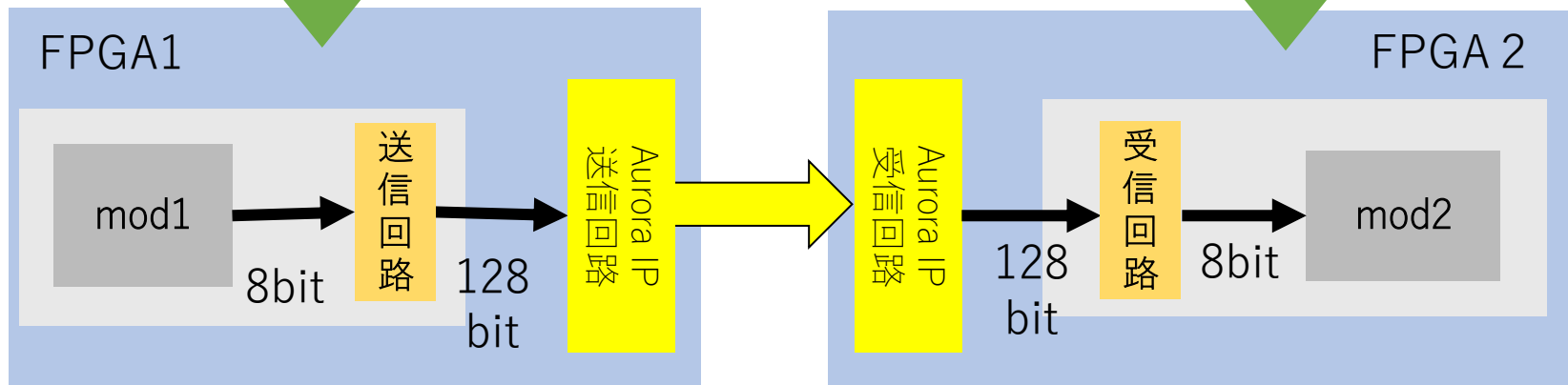
動作記述を複数FPGAで動かす設計環境(若林G)

目標：巨大なシステムを高位合成する場合に、複数FPGAに自動分割しマッピング

- M-KUBOS はFPGA間をAurora IPで通信
Aurora IP と各モジュールとのデータ通信は 170bitのAXI4-Streamで固定
- 複数のデータをパックして、170bitとして送信する回路と、複数個のデータ
複数個のデータをまとめる送信回路と**複数個のデータに分割する受信回路**が必要
- 高位合成ツールで**送信回路と受信回路を自動生成** (昨年度成果)

```
// Cyber func=process  
void mod1(sc_int<8> ary[256]  
  /* Cyber stream_pack=16 */){//16データを1パケットとせよ  
}
```

```
// Cyber func=process  
void mod2(sc_int<8> ary[256]  
  /* Cyber stream_pack=16 */){  
}
```



動作記述を複数FPGAで動かす設計環境(若林G)

- 本年度上期成果：分割指定の容易化

「**分割位置のFIFO**」と「**分割後のモジュール名**」を合成ディレクティブ指定すると、分割された高位合成用記述と、FPGAボード間の通信に必要な回路記述を自動合成

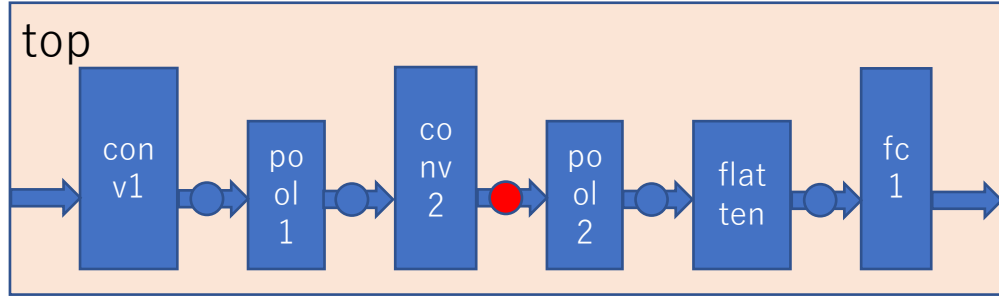
```
SC_MODULE(top){  
  ...  
  pool1 *inst_pool1;  
  conv2 *inst_conv2;  
  cw_fifo *inst_fifo3;  
  pool2 *inst_pool2;  
  ...  
}
```

**SystemC
動作記述**

分割指定なし

高位合成ツール

RTL記述：単一FPGA

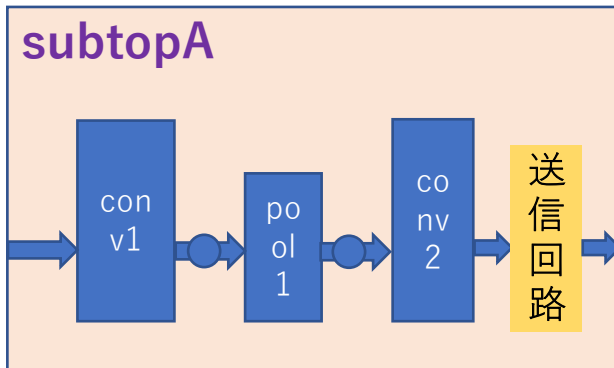


複数FPGAへの分割指定

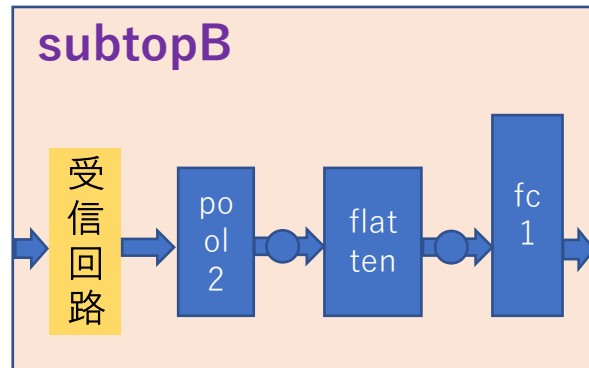
```
SC_MODULE(top){  
  ...  
  pool1 *inst_pool1;  
  conv2 *inst_conv2/* Cyber module_group = subtopA */;  
  cw_fifo *inst_fifo3/* Cyber partition = 16 */;  
  pool2 *inst_pool2/* Cyber module_group = subtopB */;  
  ...  
}
```

高位合成ツール

FPGA1



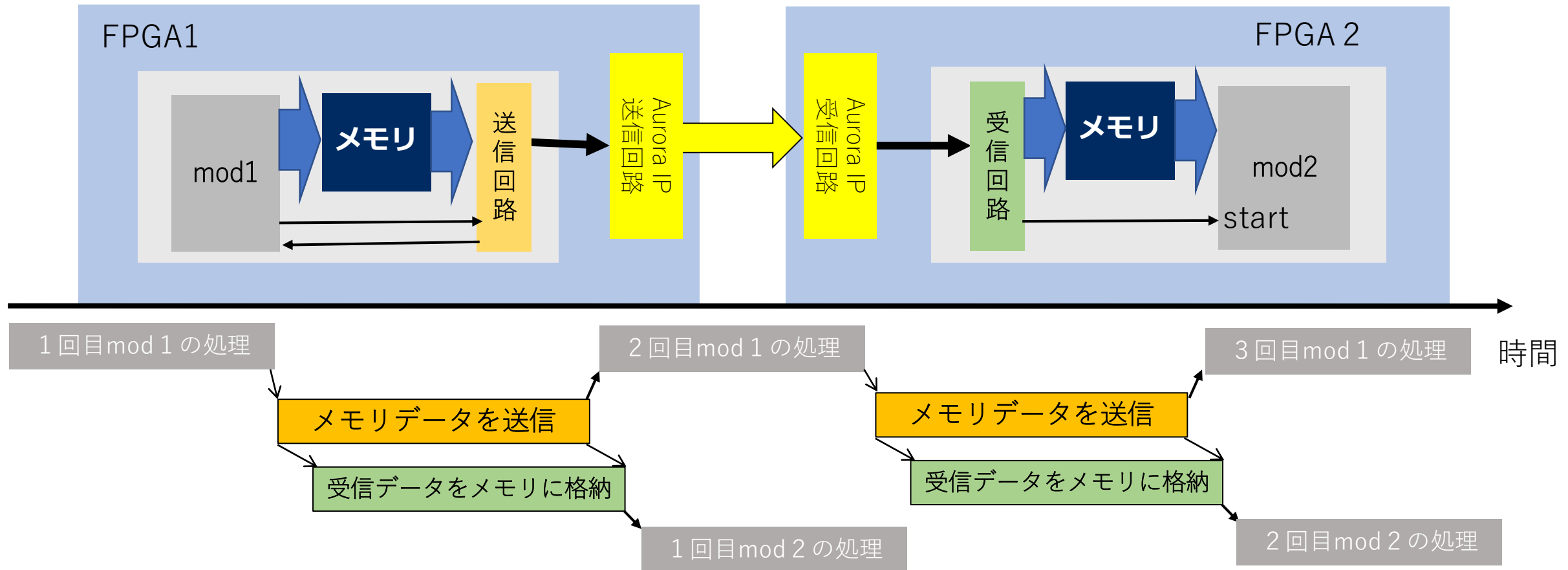
FPGA2



複数データを172ビット分パックして、送信、受信

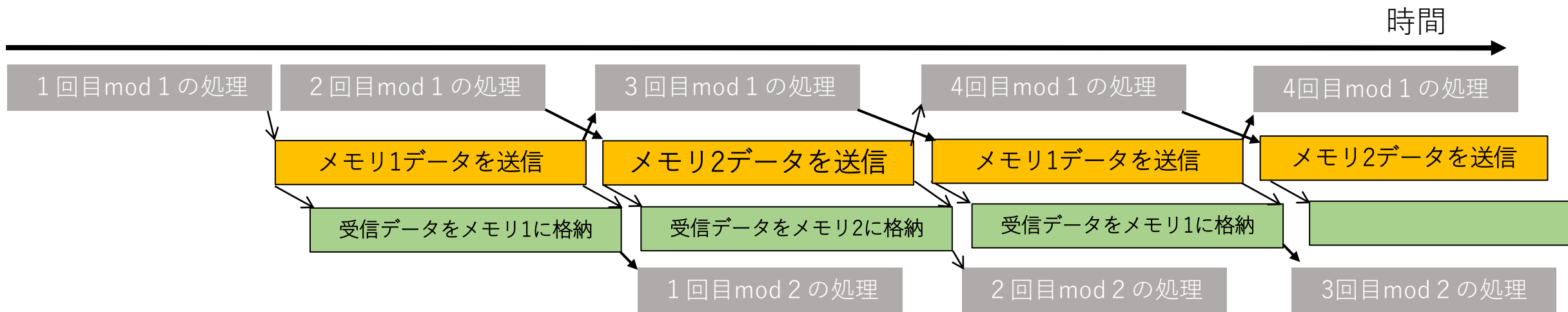
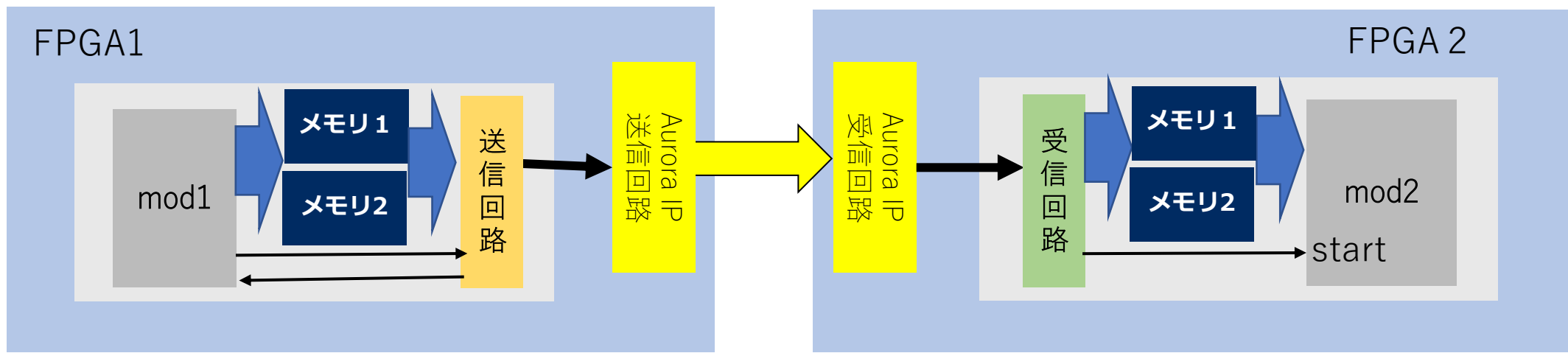
動作記述を複数FPGAで動かす設計環境(若林G)

- メモリ要素をストリーム化して送信。ストリームを受信してメモリに格納するインタフェース回路を自動生成
- 上記はランダムアクセスの場合。順次アクセスの場合はメモリを使わずに、FIFOだけの回路を生成可能)



動作記述を複数FPGAで動かす設計環境(若林G)

- メモリバッファをピンポンバッファにすることで高速化 (ランダムアクセス)



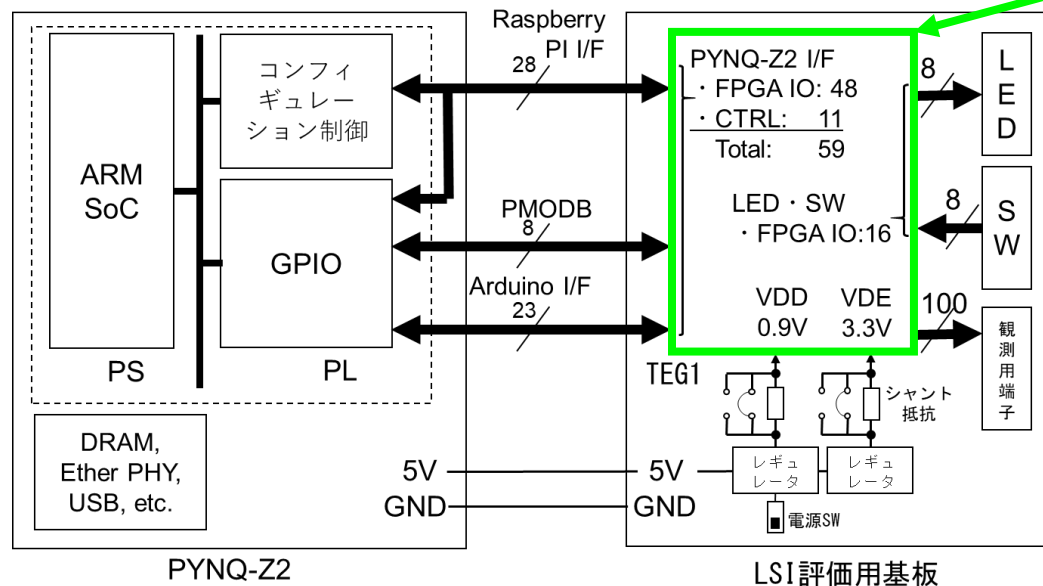
飯田G TEG1チップ評価

LSI評価用基板の開発

設計方針

評価チップの制御信号およびFPGAの入出力を柔軟に制御できるようにする

- ✓ PYNQ-Z2ボード (Xilinx Zynq XC7Z020) のドータボードとして設計
- ✓ PYNQからPythonより制御
- ✓ FPGA制御信号11本, 入出力48本の計59本をPL部に接続



TEG1評価

評価用基板のモックアップボードを作成

評価回路：24ビットバイナリカウンタ

動作確認：コンフィギュレーション後、**問題なく動作していることを確認**

リソース消費：

FF：24/1024 (3%)

BLE：38/1024 (4%)

STA解析結果：

FF-to-FFクリティカルパス遅延
5.658ns (176.7 MHz)

動作周波数：(実測)

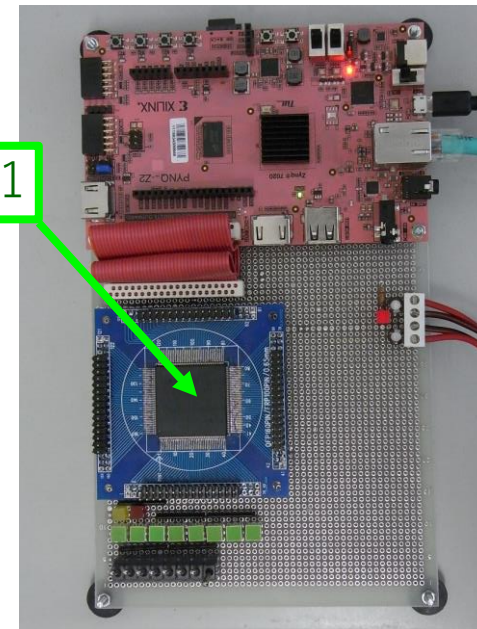
Max 約83 MHz (上記評価回路)

消費電流：(カウンタ動作時)

コア電源 (0.9V)：90mA

I/O電源 (3.3V)：36mA

(電源に内蔵の電流計による)



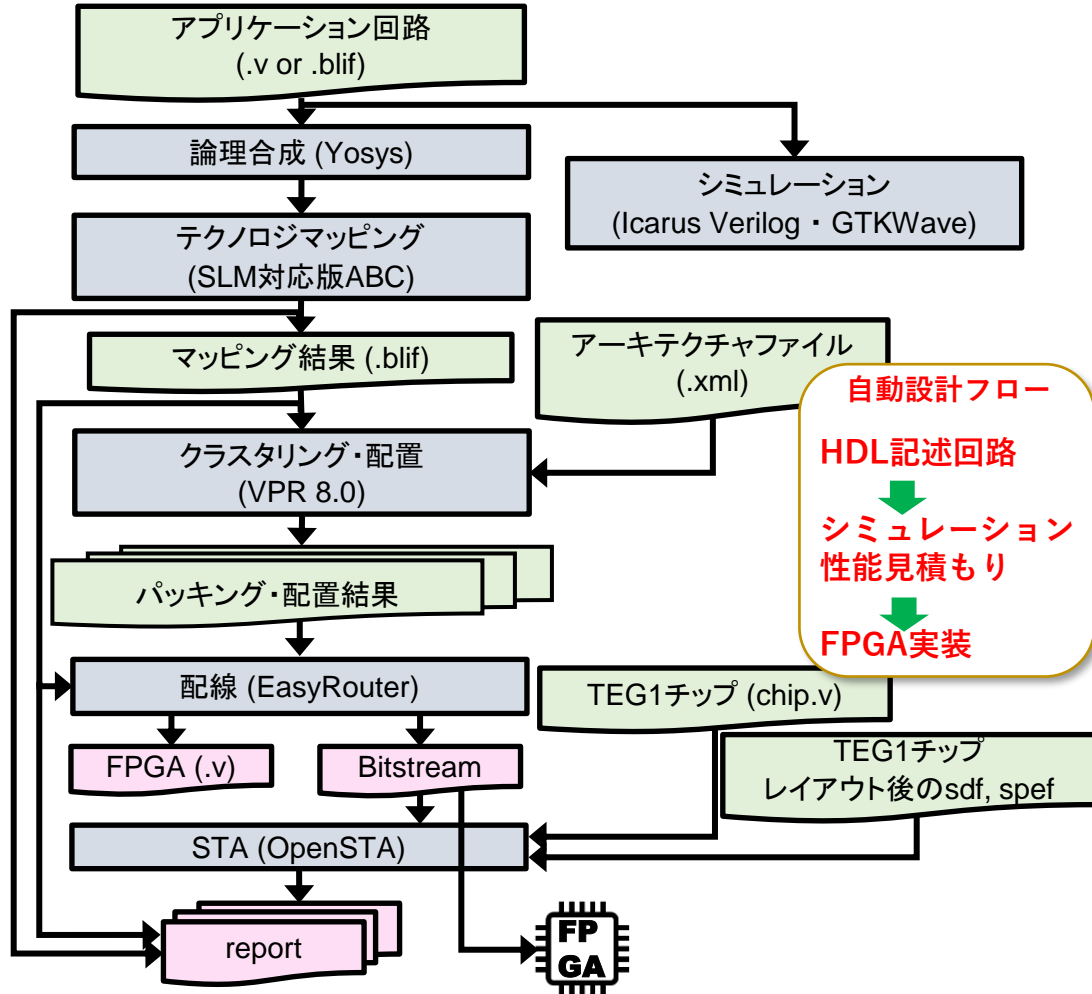
評価用基板モックアップ

LSI評価基板製造が間に合わなかったためモックで評価

ブラウザベース設計環境の構築

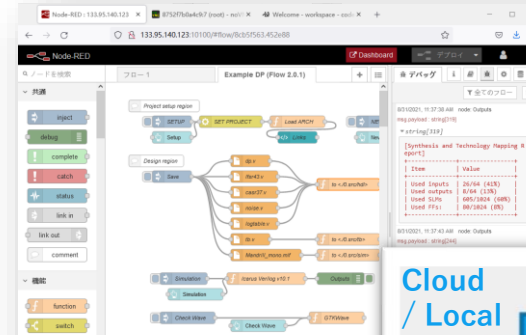
～ EDAフローの確立と設計環境の整備 ～

EDAフロー



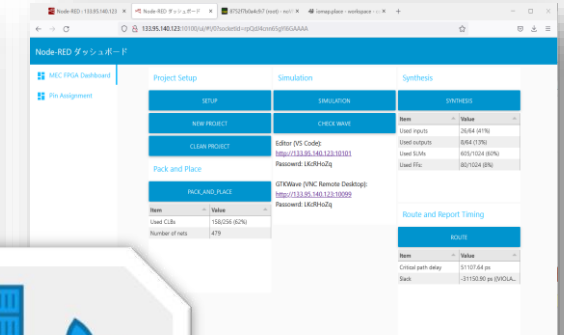
設計環境

可視化したEDAフロー



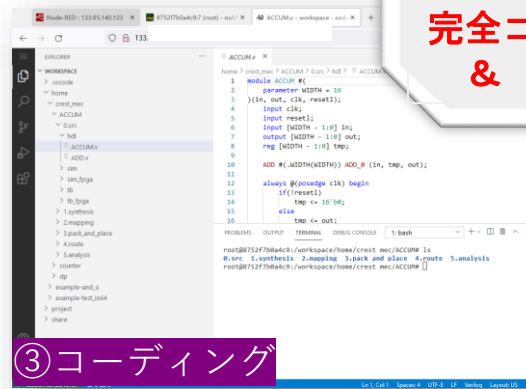
① EDAフローの構成

ダッシュボード



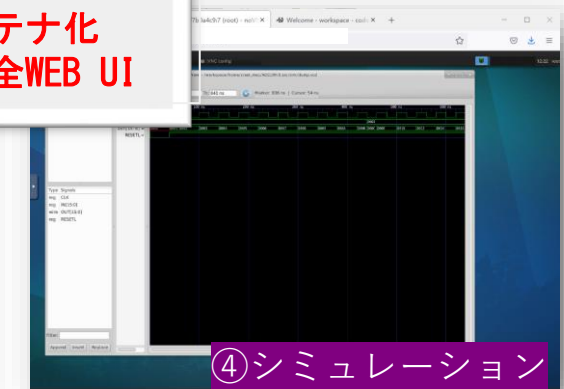
② プロジェクト管理

エディタ



③ コーディング

遠隔デスクトップ



④ シミュレーション



実アプリケーションを実装・評価する環境が整った

2020年後半-2021年前半の業績

https://www.am.ics.keio.ac.jp/crest/?page_id=37

- ジャーナル件数：15件　IEEE Trans., ACM Trans.など一流ジャーナルもあり
- 国際会議：24件　ICFPTなど難関国際会議も含む
- 受賞：6件
- 国際シンポジウム：
 - 2020年11月25日　CANDAR2020
Challenge to Multi-access Edge Computing
- 展示：
 - 2020年12月9日　慶應テクノモール