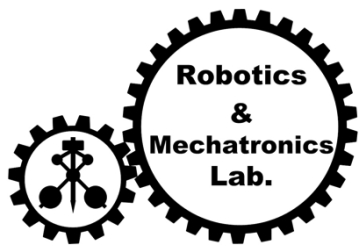


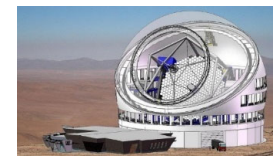
SoC FPGAを用いたTweeter AO装置開発

入部 正継(大阪電気通信大学), 山本広大(京都大学),
藤田勝(大阪電気通信大学), 津久井 遼, 木野 勝, 栗田 光樹夫(京都大学)
衣笠 哲也(岡山理科大学)
(株)アイディア, デマンドクリエイション(株)



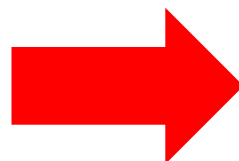
2020/07/11

第52回望遠鏡および観測装置会議



1. 極限補償光学による系外惑星の観測

■ 必要なコントラスト性能

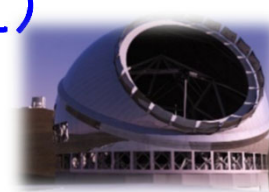
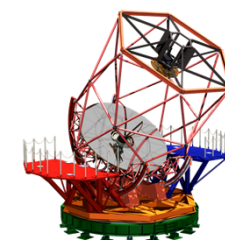


◆ 木星型 太陽系外惑星の直接撮像：SEICA (せいめい望遠鏡)

→ 0.2~0.3秒角 で $10^{-5} \sim 10^{-6}$ のコントラスト

◆ 地球型 太陽系外惑星の直接撮像：SEIT (TMT第2期観測装置)

→ 0.1秒角 で $10^{-8} \sim$ のコントラスト



1. 極限補償光学による系外惑星の観測

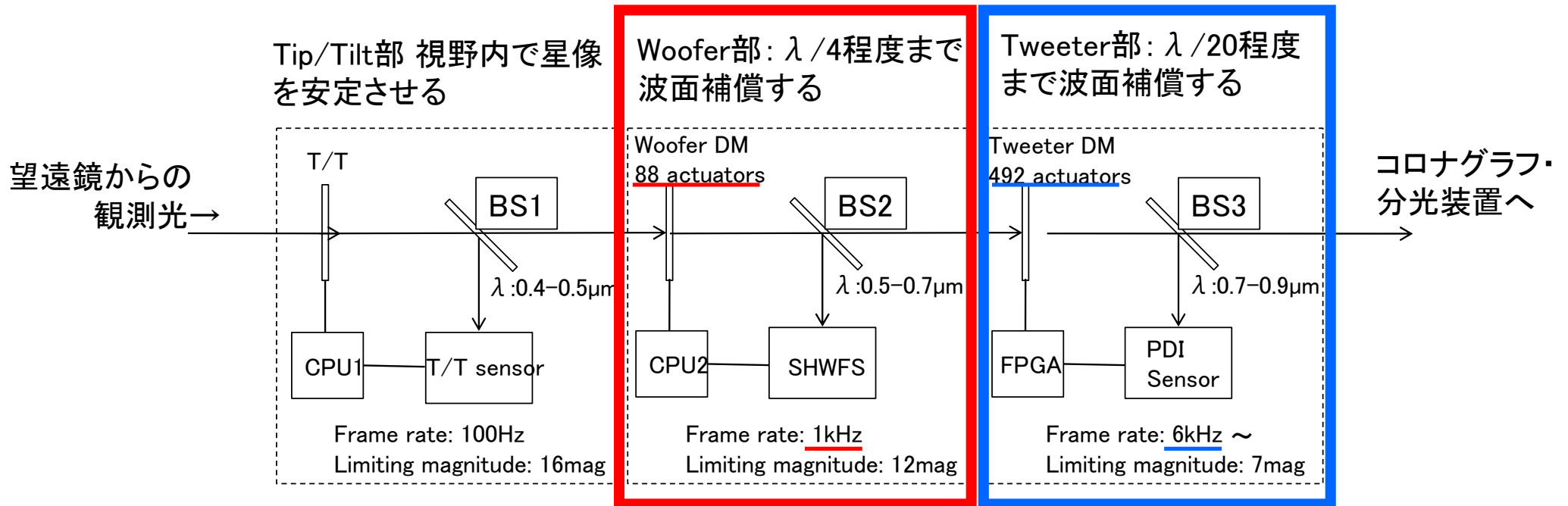
■ 超高コントラスト性能を実現: 極限補償光学

Woofer

低速、粗い波面制御

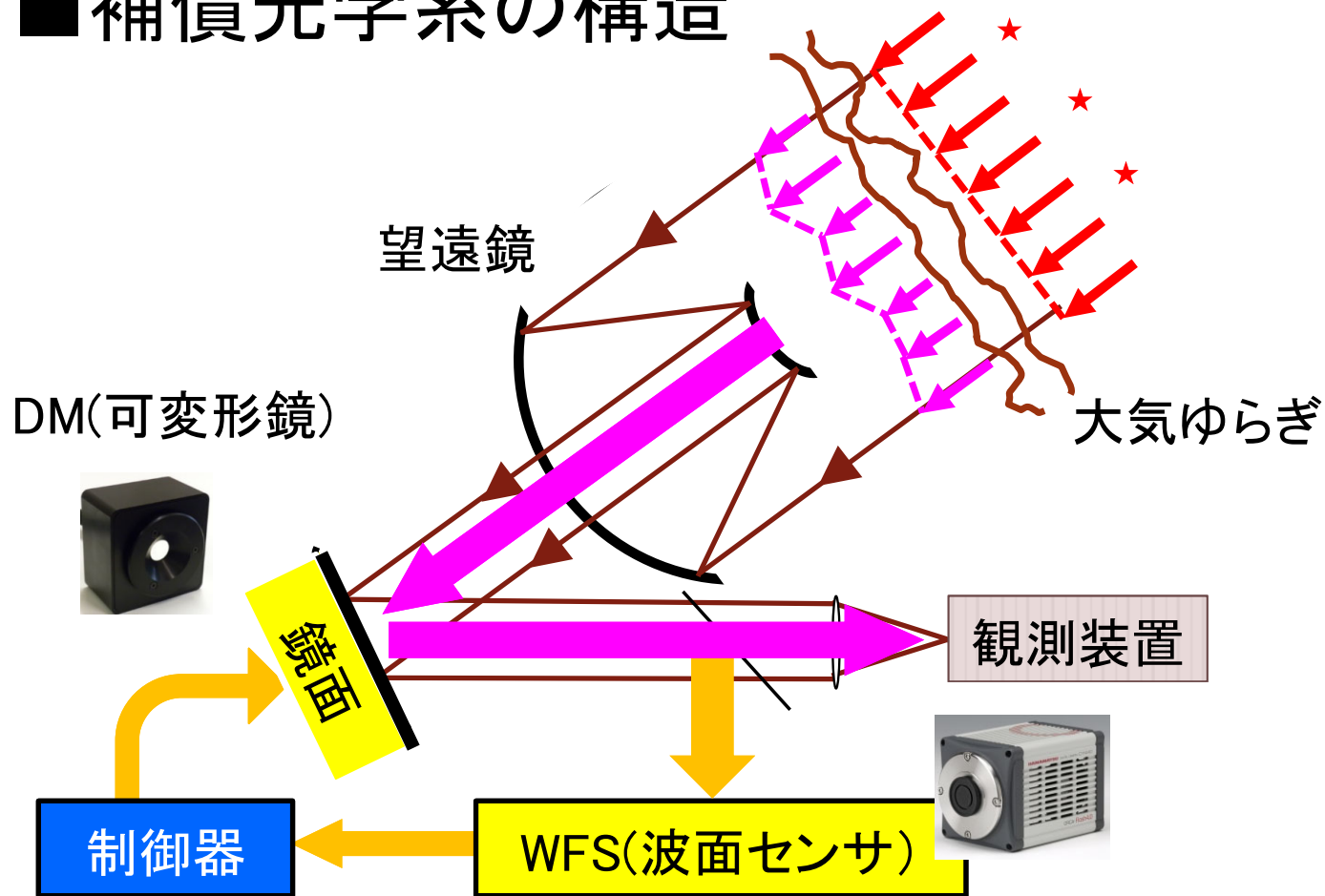
Tweeter

高速、高精度波面制御

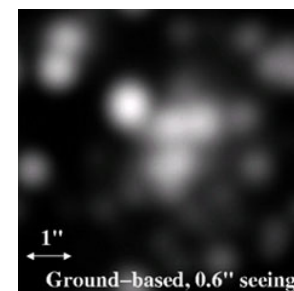


1. 極限補償光学による系外惑星の観測

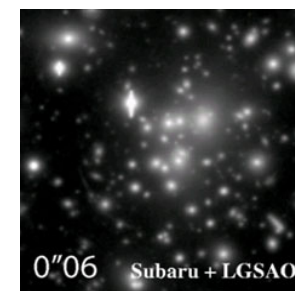
■補償光学系の構造



補償前



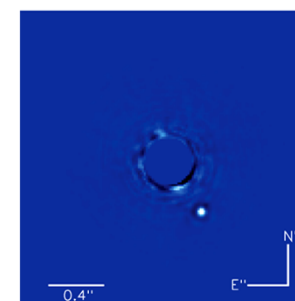
補償後



すばる望遠鏡での観測例



明るい恒星のみ
観測される

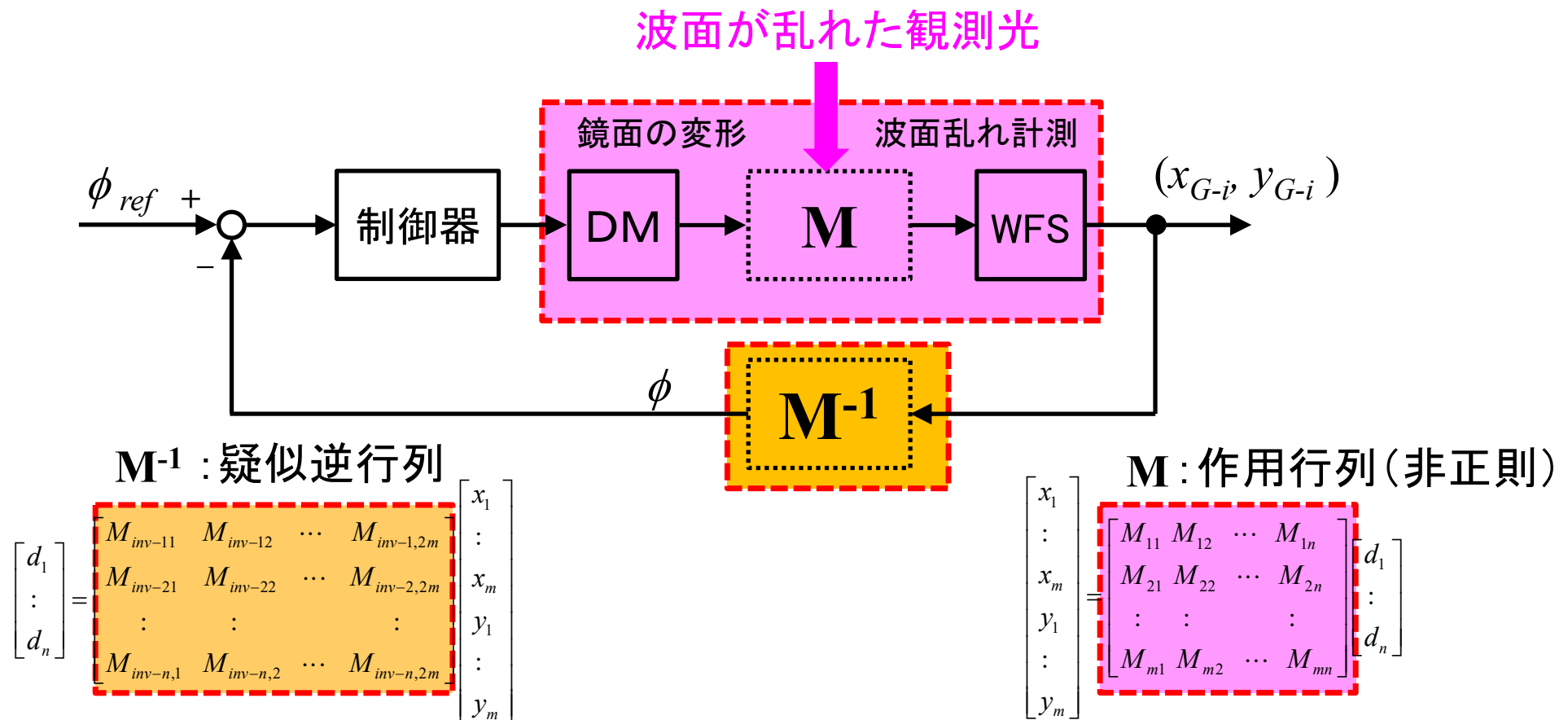


恒星光をキャンセルして
惑星観測

(Macintosh+ 2013)

1. 極限補償光学による系外惑星の観測

■ 補償光学の制御系構成



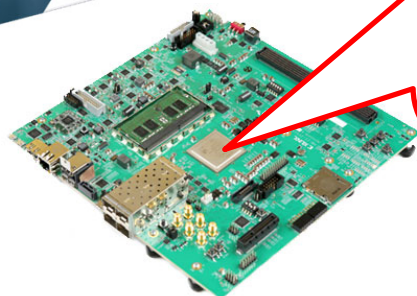
2. SoC FPGAによる補償光学制御装置

■ Tweeter補償光学系の制御装置にSoC FPGAを使用する

・専用の演算回路(ASIC)での装置開発

SoC FPGA (System on Chip FPGA) を使用した制御器を提案

ザイリンクスZynq UltraScale+ MPSoCZCU102
評価キット(EK-U1-ZCU102-G)



Featured Xilinx Devices

Featuring the Zynq UltraScale+ XCZU9EG-2FFVB1156 MPSoC

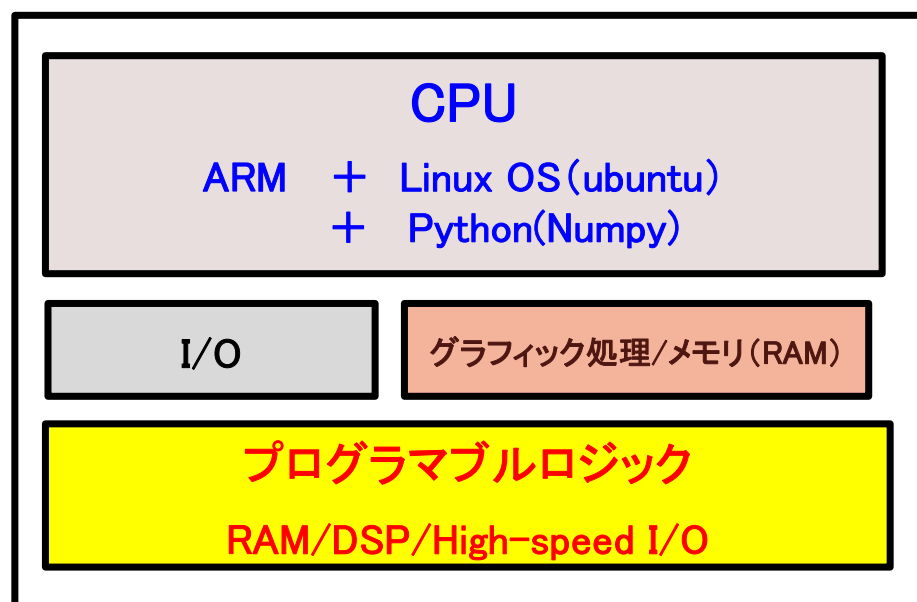
System Logic Cells (K)	600
Memory (Mb)	32.1
DSP Slices	2,520
Maximum I/O Pins	328

2. SoC FPGAによる補償光学制御装置

■ Tweeter補償光学系の制御装置にSoC FPGAを使用する

・専用の演算回路(ASIC)での装置開発

SoC FPGA (System on Chip FPGA) を使用した制御器を提案



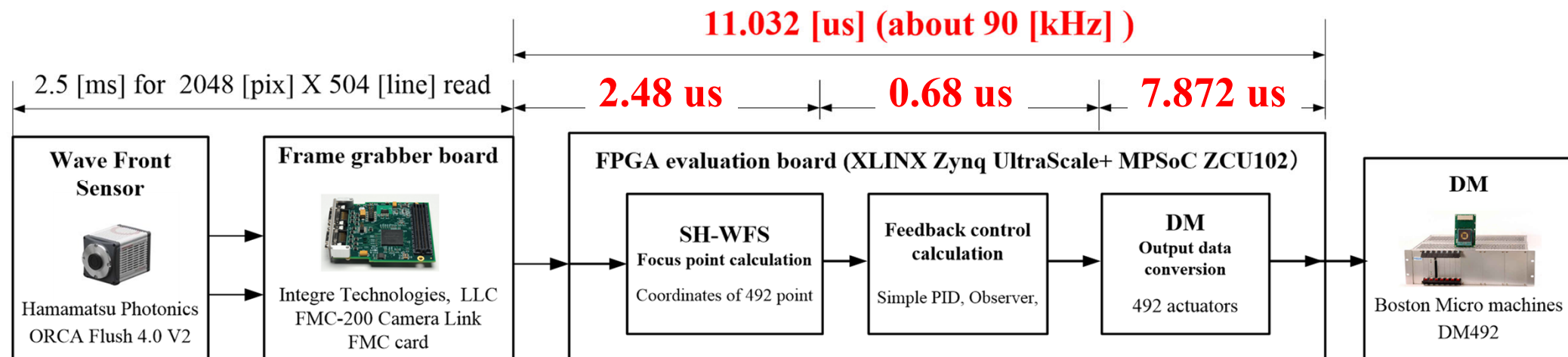
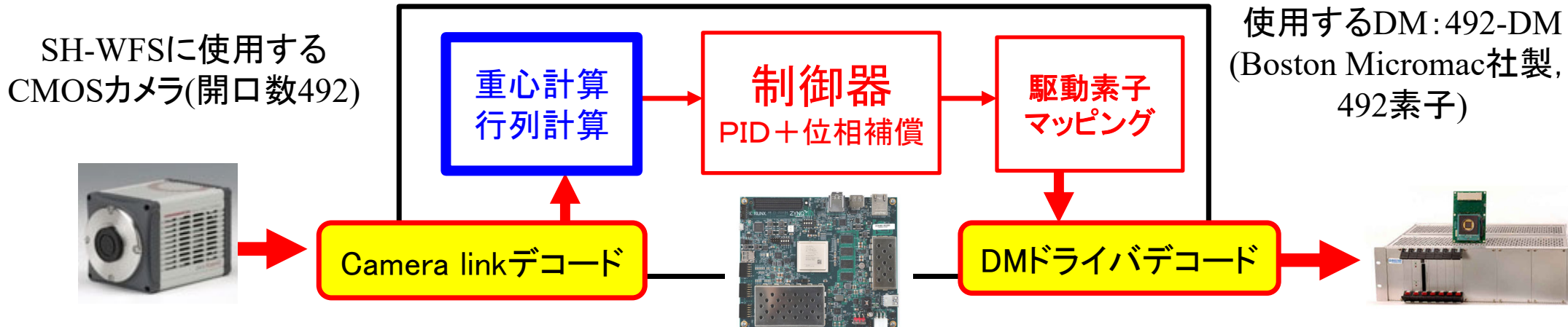
- ・各種制御系設計ツールからの移植が可能
- ・複雑な処理の実行: 画像/音声/マップ/軌道...
- ・高速な入出力処理(シリアル通信I/O)

- ・完全リアルタイム処理(同期回路により遅延≒0)
- ・高速なデジタルフィルタ演算
(DSP使用/制御系設計ツールで設計可)
- ・高速かつリアルタイムな入出力処理(I/O一般)

※OSを使用しないことで実現

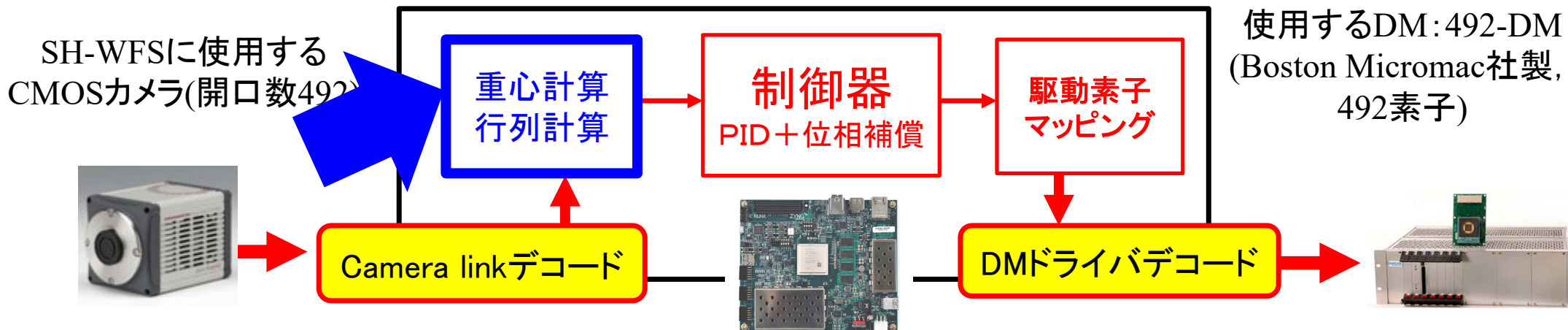
3. Tweeter AO装置開発進捗

■ Tweeter AOのシステム構成

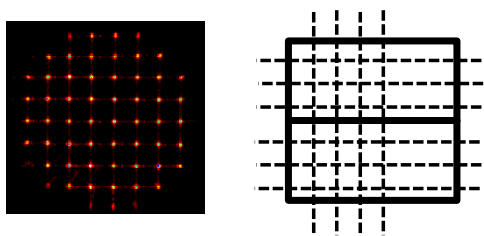


3. Tweeter AO装置開発進捗

■ Tweeter AOのシステム構成

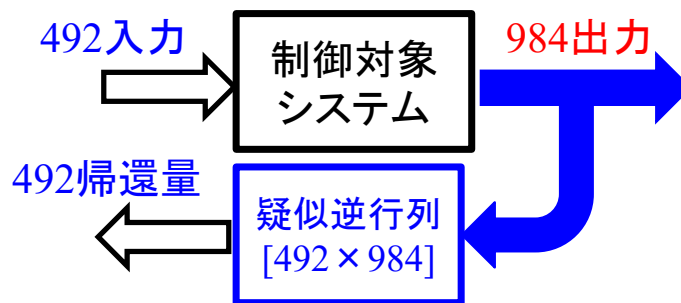


1: 暗電流補正・座標系設定



焦点の感度調整・座標定義・重心位置検知

2: 疑似逆行列計算



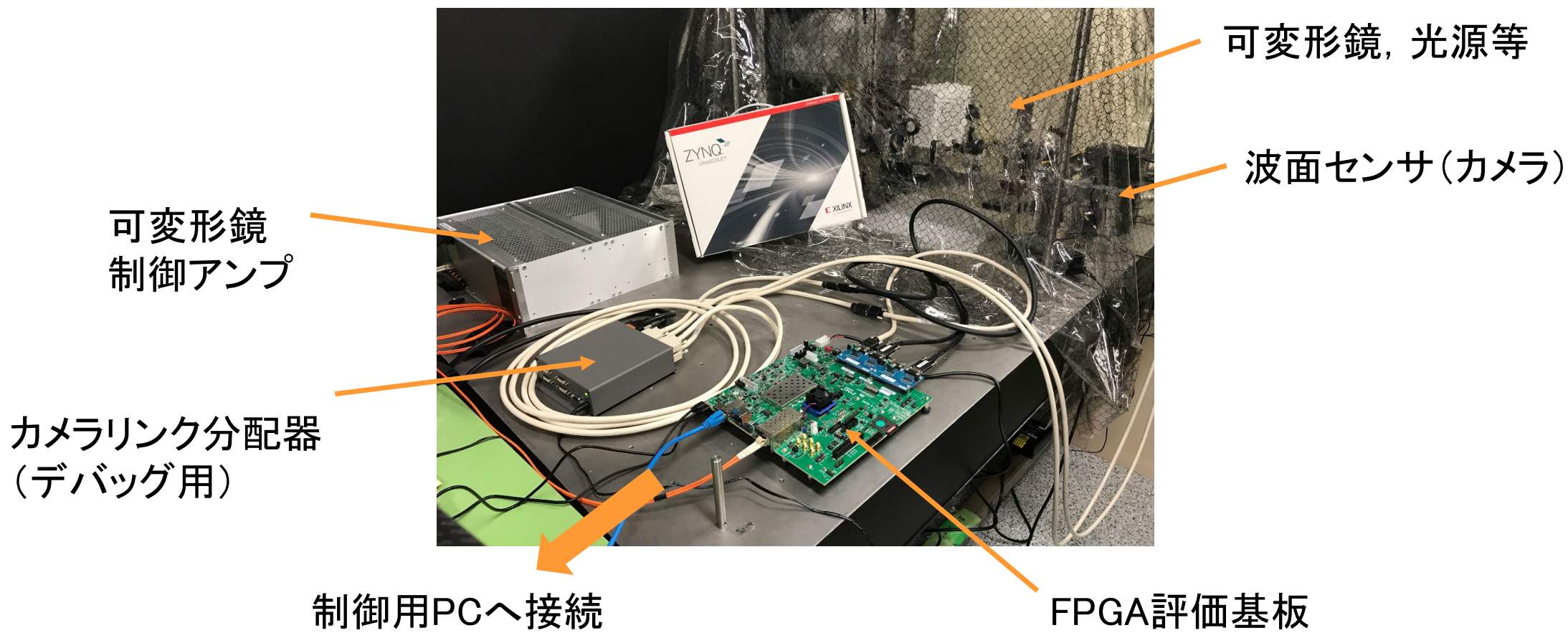
3: データ出力



制御動作の可視化(外部出力)

3. Tweeter AO装置開発進捗

■ Tweeter AOのシステム構成

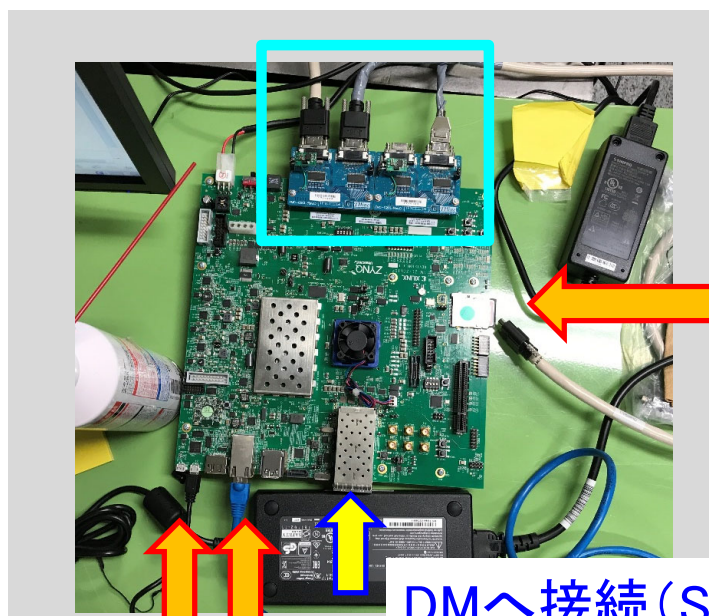


3. Tweeter AO装置開発進捗

■ Tweeter AOのシステム構成

WFSカメラへ接続

Extended Full modeでケーブル2本 / daughter card 改造品



ザイリンクスZynq UltraScale+ MPSoC ZCU102
評価キット (EK-U1-ZCU102-G)

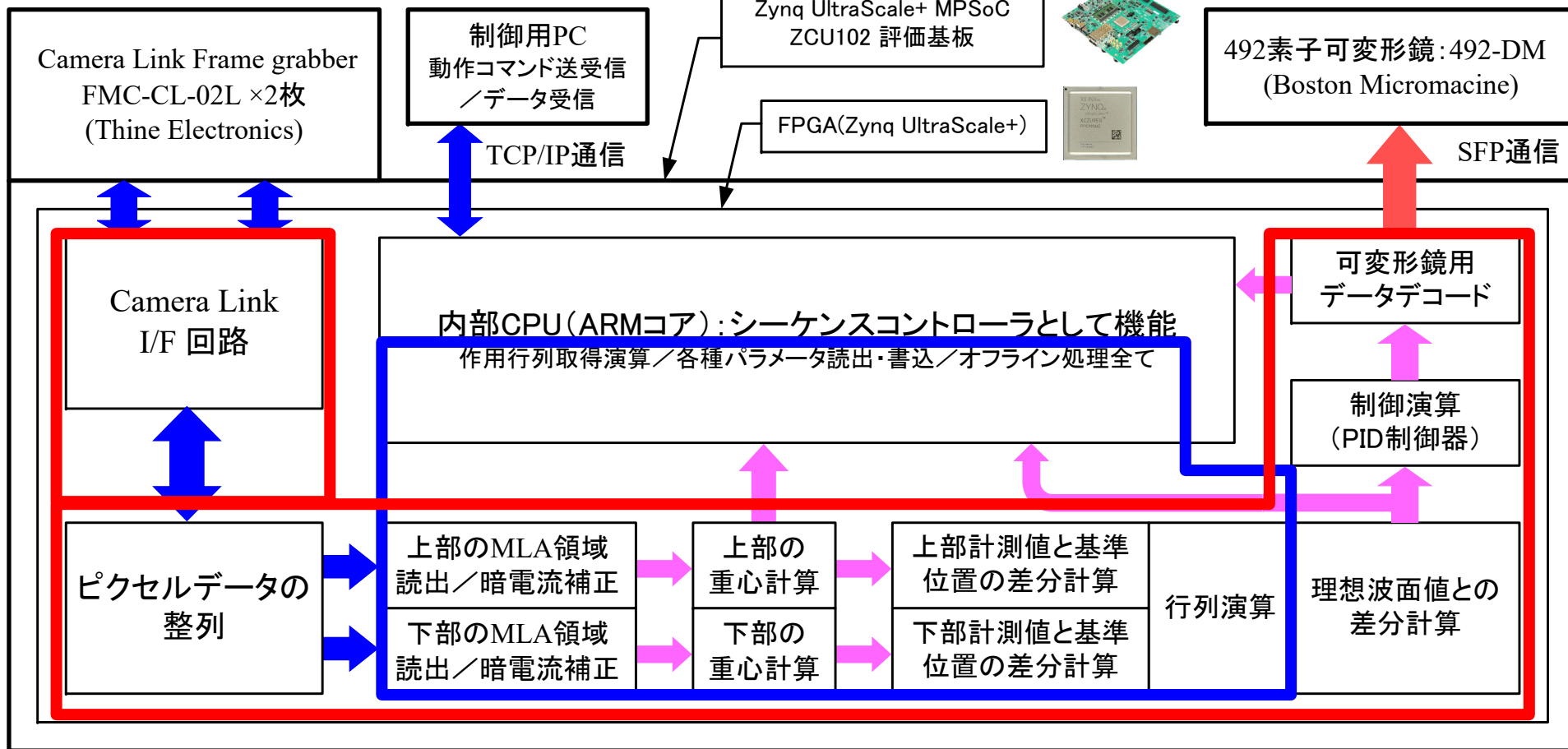
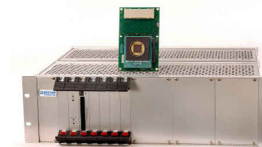
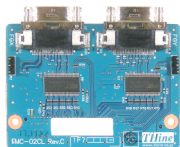
内部ブートイメージ (SDメモリ)

DMへ接続 (SFPケーブル)

制御用PCへ接続
(USB-UART)

制御用PCへ接続 (TCP/IP)

3. Tweeter AO装置開発進捗



3. Tweeter AO装置開発進捗

The screenshot shows a control application window titled "Form1". On the left side, there are several control buttons: "接続" (Connect), "切断" (Disconnect), "受信開始" (Start Reception), "受信停止" (Stop Reception), "未接続" (Not Connected), "DNC所得" (DNC Received), "cell選択" (Cell Selection), "レジスタ書き込み" (Write Register), and "GRAVITY生成" (Generate GRAVITY). Below these buttons are input fields for "受信frame数" (0), "X gravity" (0), "y_gravity" (0), "レジスタ" (1), and "アドレス/Channel" (0). There are also fields for "データ/Command" (0) and "理想位置設定" (Ideal Position Setting).

In the center is a 2D coordinate grid with axes ranging from -5 to 5. A red dot is visible at the origin (0,0).

At the bottom, there are input fields for PID parameters: "入力ゲイン Kp" (1.0), "Kd" (0.0), "Ki" (0.0), and "出力ゲイン" (0.0). There are also buttons for "PID設定" (PID Setting), "DM値" (9000), "M行列所得" (M Matrix Received), "DM出力オン" (DM Output On), and "DM出力オフ" (DM Output Off).

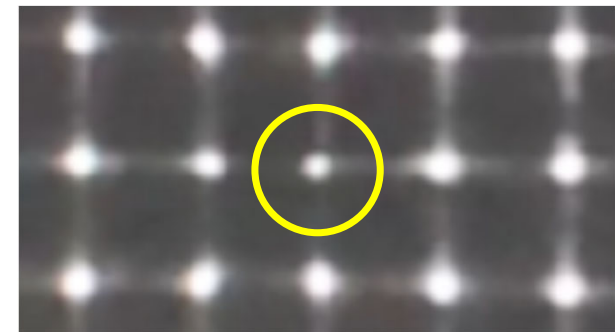
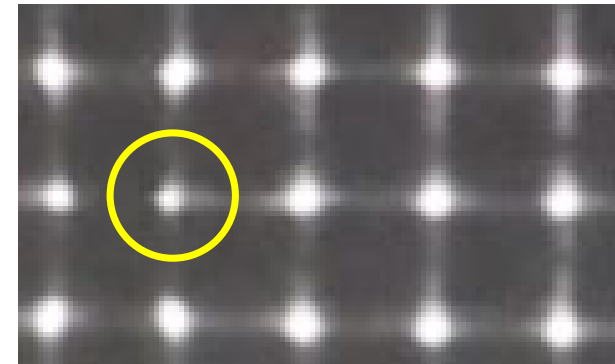
A blue-bordered box on the right side of the window contains the text: "※制御アプリケーションのUI画面" (※ Control Application UI Screen).

3. Tweeter AO装置開発進捗

The screenshot displays a Windows desktop environment. The primary focus is a window titled 'Form1', which serves as a control interface for a Tweeter AO device. This interface includes several functional buttons: '接続' (Connect), '切断' (Disconnect), '受信開始' (Start Reception), '受信停止' (Stop Reception), '転送開始' (Start Transfer), 'DNC所得' (DNC Acquisition), 'cell選択' (Cell Selection), and 'レジスタ書き込み' (Write Register). It also contains numerical input fields for 'x_gravity' (set to 9.9) and 'y_gravity' (set to 9.9844), a 'cell' dropdown menu, and fields for 'アドレス/Channel' and 'データ/Command'. A central graph shows a 2D coordinate system with both axes ranging from -5 to 5. At the bottom of the window, a terminal window provides real-time feedback, displaying messages such as '[OK] Started Serial Getty on ttyPS0.' and '[OK] Reached target Login Prompts.', along with instructions for file conversion: 'reverse.py dn_matrix_sub > matrixcoe.txt' and 'bintxt にて matrix.bin ファイルに変換。' (Convert to matrix.bin file using bintxt). The desktop background is dark blue, and various application icons are visible on the left side.

3. Tweeter AO装置開発進捗

※作用行列取得動作の様子
(SH-WFSの出力画面)



3. Tweeter AO装置開発進捗

■ デバッグ内容

- ・基準位置座標(WFSでのREFデータ)取得
- ・DM動作
- ・作用行列取得
- ・逆行列演算
- ・PID制御器動作: **確認中: 各ゲインの効果, 分解能**

4. まとめ：経過報告

- **Woofers系**補償光学(制御)装置
→ 実装用機材製作済み → 組立 → 実験・パラメータ決定
- **Tweeters系**補償光学装置
→ 2017～2019年**TMT戦略基礎開発経費**を頂いて開発
→ システムの高速化を達成(注:AO全体ではない)
→ **FPGA詳細設計継続**, **UI設計(確認・デバッグ中)**
※Windows上の作業とFPGA-CPU上の作業(Python)の混在が超面倒
→ 実験手配→実験開始 : 大気位相板治具製作開始