

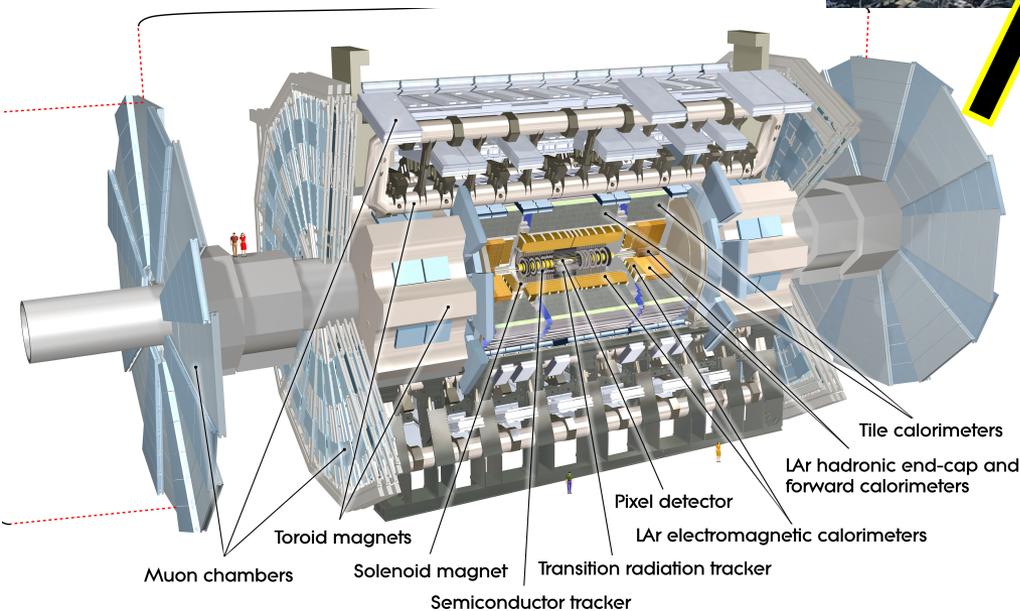
LHC-ATLAS 実験 Run-3 に向けた ミューオントリガーのための システム制御ソフトウェアの開発

東京大学 ICEPP 奥村研究室 M1 杉崎海斗

LHC-ATLAS Experiment Run-3

2021年に第3期運転 (Run-3) を開始

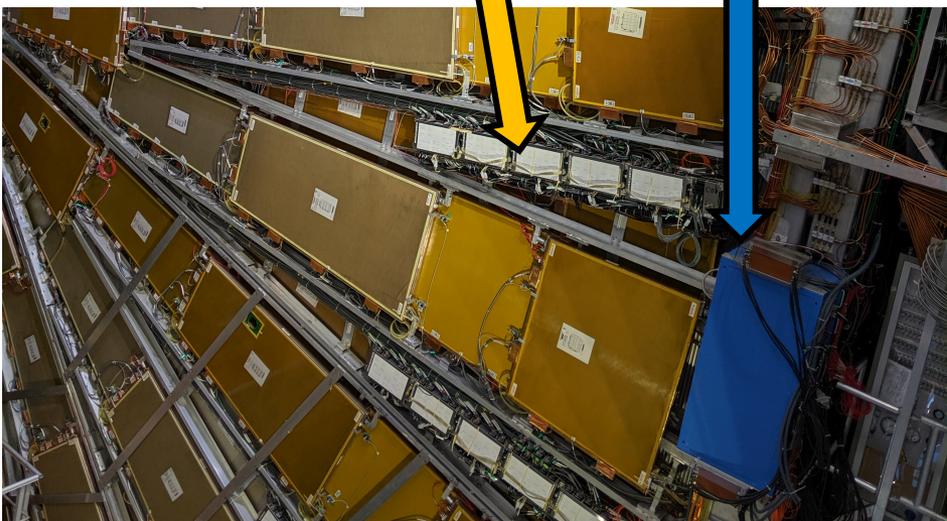
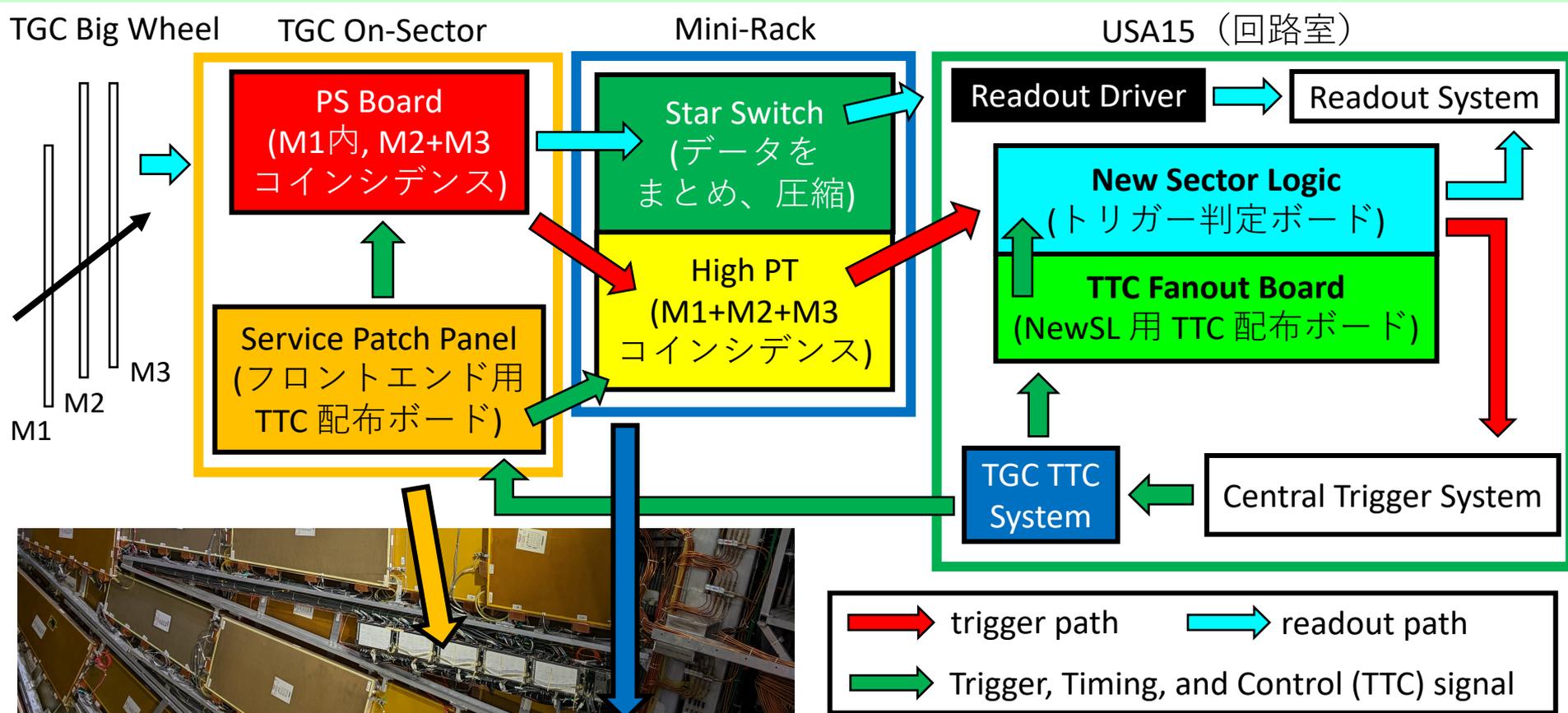
- Run-3 だけで 300 fb^{-1} 程度のデータを蓄積予定
- 各バンチの陽子数を増やし、より効率的にデータを蓄積する



検出効率を上げるべく、各検出器でハードウェアとソフトウェアの両面からのアップグレードが進行中

衝突事象を高速で選別するトリガーシステムの制御ソフトウェア開発に取り組んでいる

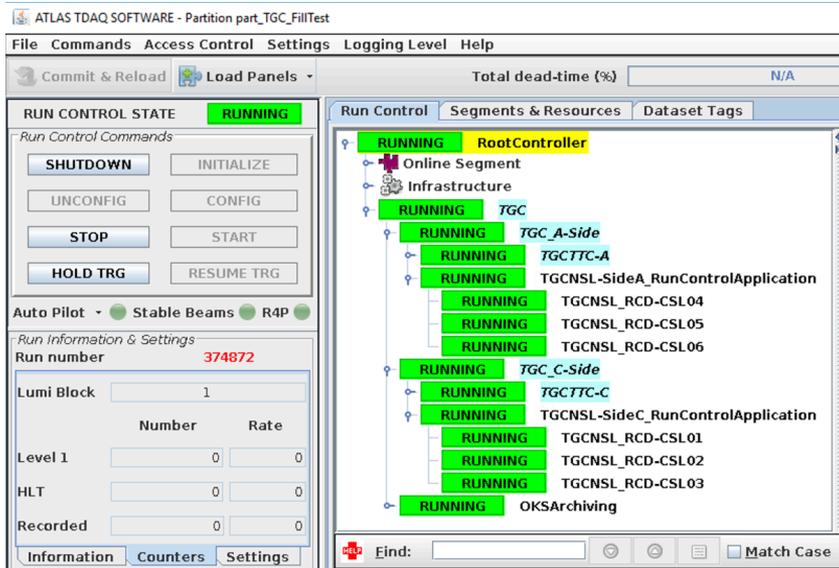
Run-3 Level-1 Muon Endcap Trigger System



物理現象を正確に測定するためには、
ATLAS 実験室および回路室に跨がる
この大規模システムを同期して
制御する必要がある

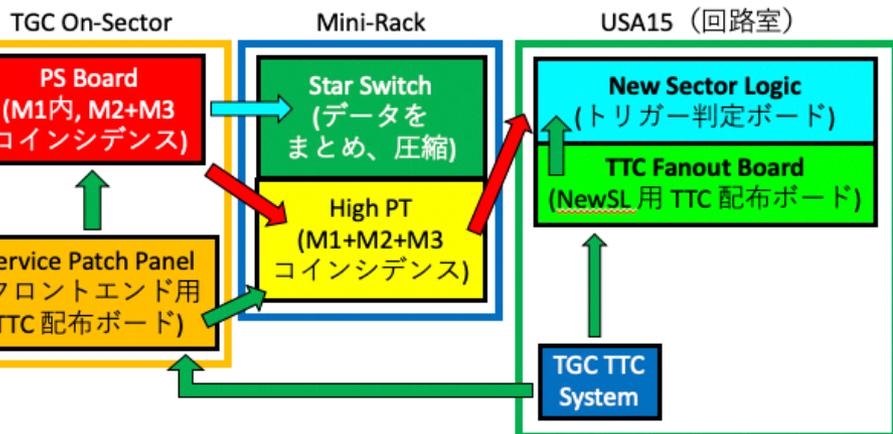
ATLAS System Control Software

システム全体の制御には ATLAS TDAQ (Trigger and Data Acquisition) Software を用いる



ATLAS 実験回路室にある 6 crate system
(1 crate に NewSL 12 枚と TTCFOB 1 枚)

Run-3 から新たに導入される全72枚の
New SL ボードを含む形で、トリガー
システムを同期して動かすことができる
システム制御ソフトウェアを初めて作った



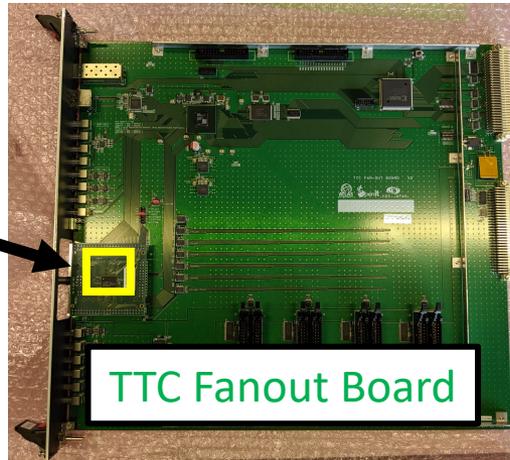
The Hierarchy of Software Development

システム全体の制御を実現するためには、
様々な階層のソフトウェアを開発しなければならない



TTCrx

受信した TTC 信号の
タイミング調整を行う



TTC Fanout Board

I²C 通信を行うための
ドライバソフト

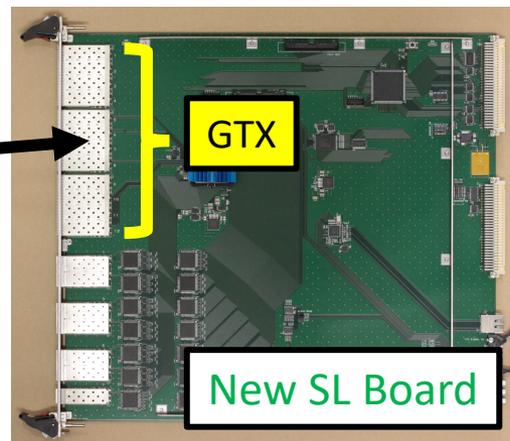
ハードウェア固有の
I²C 操作を行うための API

TDAQ Software を走らせるときに
上記ソフトウェアを使って実際に
操作を行うモジュール単位のソフト

運転操作が正しく行われるような
順序立てを考慮したシステム
レベルの同期制御ソフト



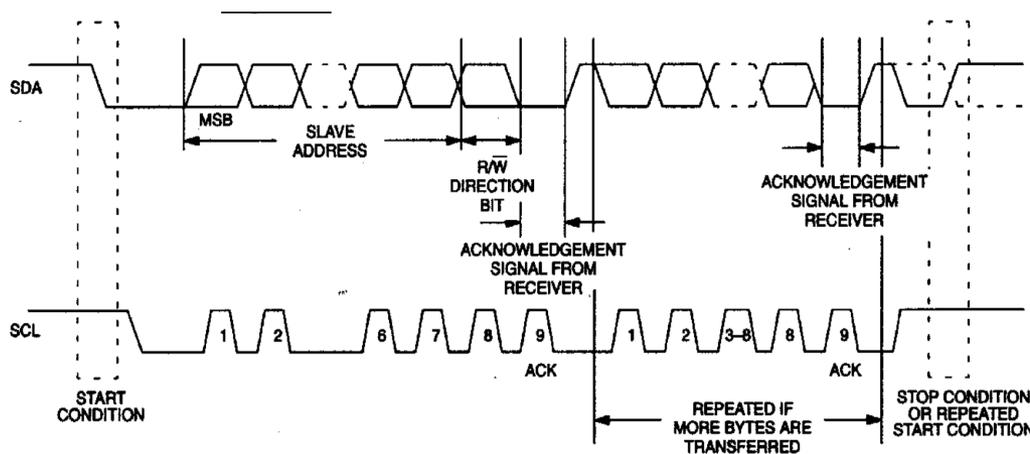
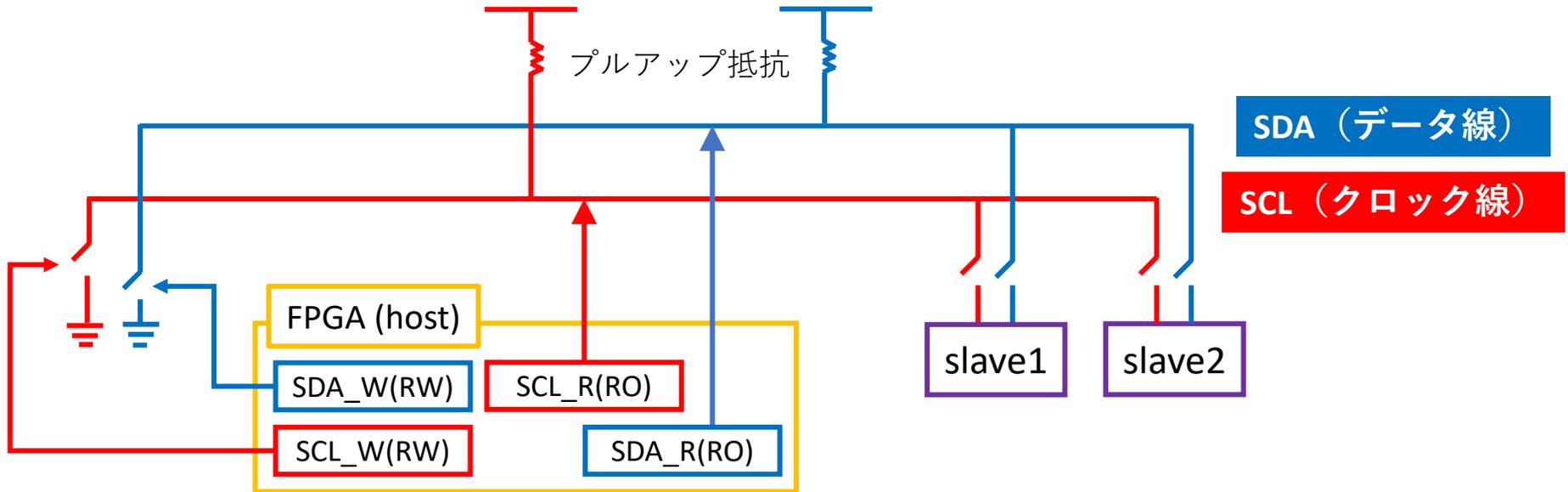
SFP+ 光トランシーバー
検出器からの光信号を受信



New SL Board

I²C Protocol Driver Software Development

I²C 通信を行うための汎用型ドライバソフトを開発した



- VME 経由でデータ線とクロック線用の FPGA レジスタを制御する
- start, stop, read, write 単位の操作を定義した API を開発した

Hardware Dependent Software Development

TTCrx チップや SFP+ トランシーバ固有の I²C 操作を行うための API を開発した

TTCrx

チップ固有の 6 ビットの I²C ID を持つ

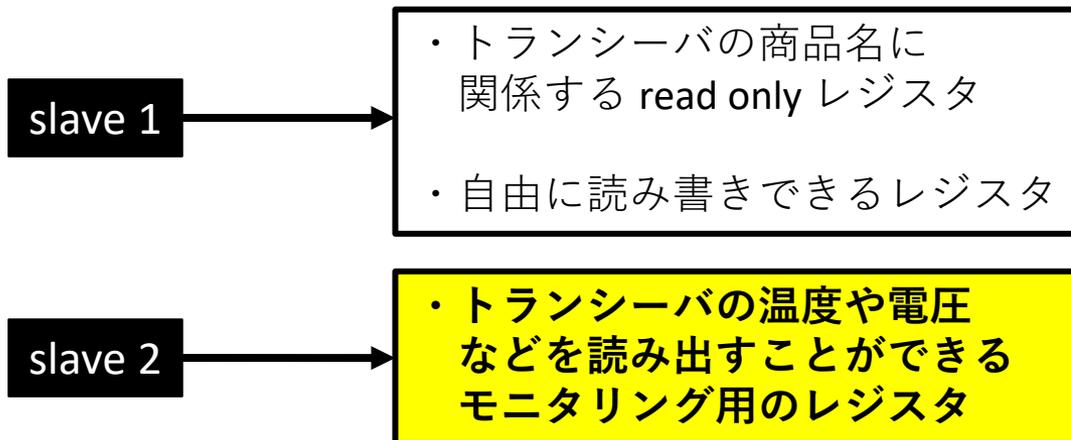
I2C access register name	Resulting 7 bit I2C address
I2C_pointer	ID_I2C<5:0> * 2
I2C_data	ID_I2C<5:0> * 2 + 1

Table 12 I2C address calculation.

1. ポインタレジスタ (slave 1) に操作したいレジスタの番号を指定する
2. データレジスタ (slave 2) に読み書きを行う

SFP+

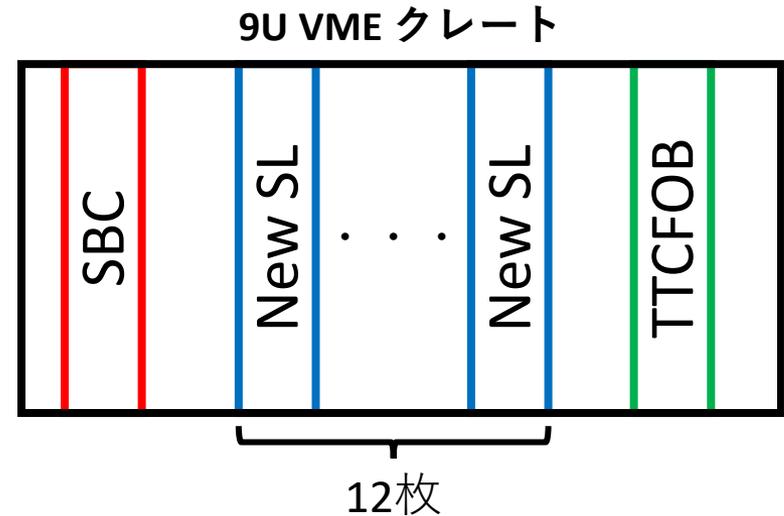
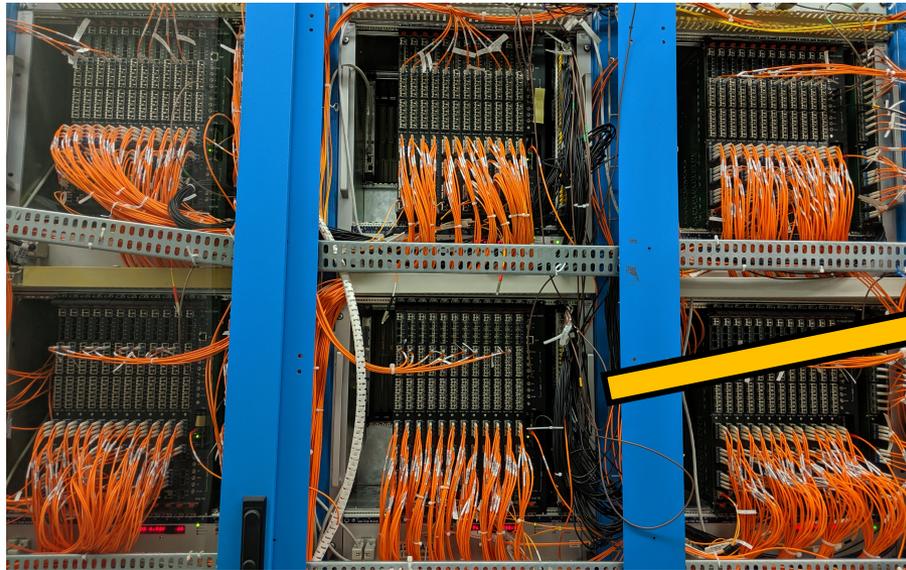
2種類の slave のそれぞれに属するレジスタが存在する



1. 操作したいレジスタを持つ slave のアドレスを指定する
2. 操作したいレジスタの番号を指定する
3. 読み書きを行う

Module Level Software Development

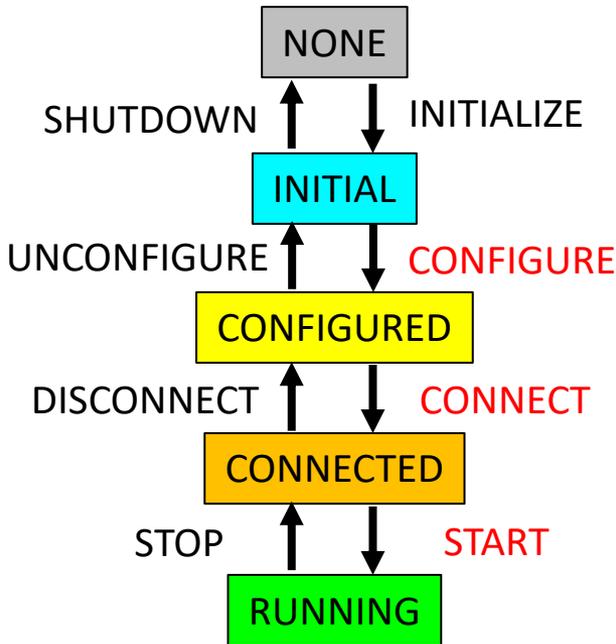
各モジュール（ボード）で運転中に行う操作を司るソフトウェアを開発した



- 各クレートにある Single Board Computer (SBC) で各モジュール（ボード）で行う操作を定義したソフトウェアが走る
- TTC Fanout Board (TTCFOB) の操作ソフトウェアに TTCrx の TTC 信号の遅延タイミングの初期操作やチップの状況のモニタリングを行う機能を実装した
- New Sector Logic (NewSL) の操作ソフトウェアに SFP+ の温度や電圧のモニタリングを行う機能を実装した

System Level Software Development

システム全体の制御を可能にするために、運転操作の順序立てを行い、異なるシステムが同期制御される仕組みを用意した



State Transition	TGC Frontend (実験室内)	9U クレート (回路室内)	TGC TTC System (回路室内)
CONFIGURE		ファームウェアの書き込み	
	TTCrx チップのリセット		
	TTCrx の configuration		TTC の configuration
CONNECT	データ送信準備	subtransition	
		データ受信準備	
START	FIFO のリセット		
	データ送信		

各モジュールを LHC のクロックと同期させることが第一優先

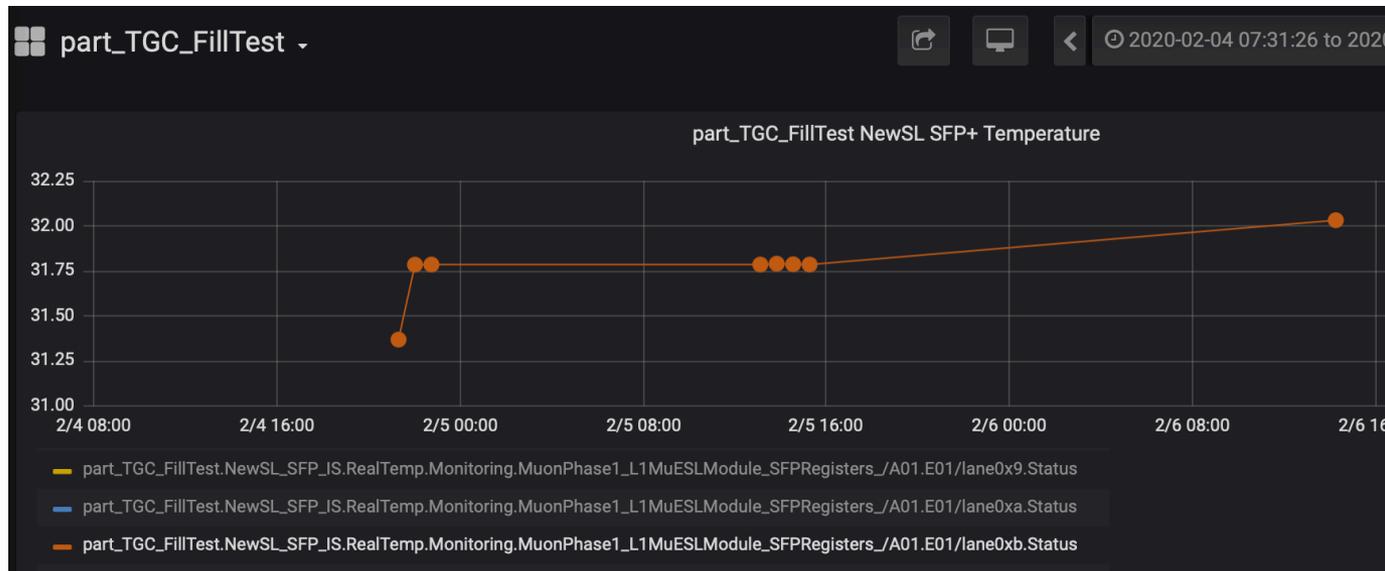
9U クレートに加え、フロントエンドやTTCシステムなどの広範囲に渡るシステムを正しい順序で制御できるように、システム間で共通の運転状態を用意した

Commissioning and Monitoring

自分が作ったシステム制御ソフトウェアを使って、コミッショニングが進行中

- ・ tile calorimeter との通信試験 (Tile Muon Digitizer Board と New Sector Logic 間)
- ・ 実験室と回路室間の通信試験

IS や PBeast というサーバーを経由して、ウェブ (Grafana) から見やすい形でモニタリング状況を確認できるようにした



SFP+ の温度の
モニタリング

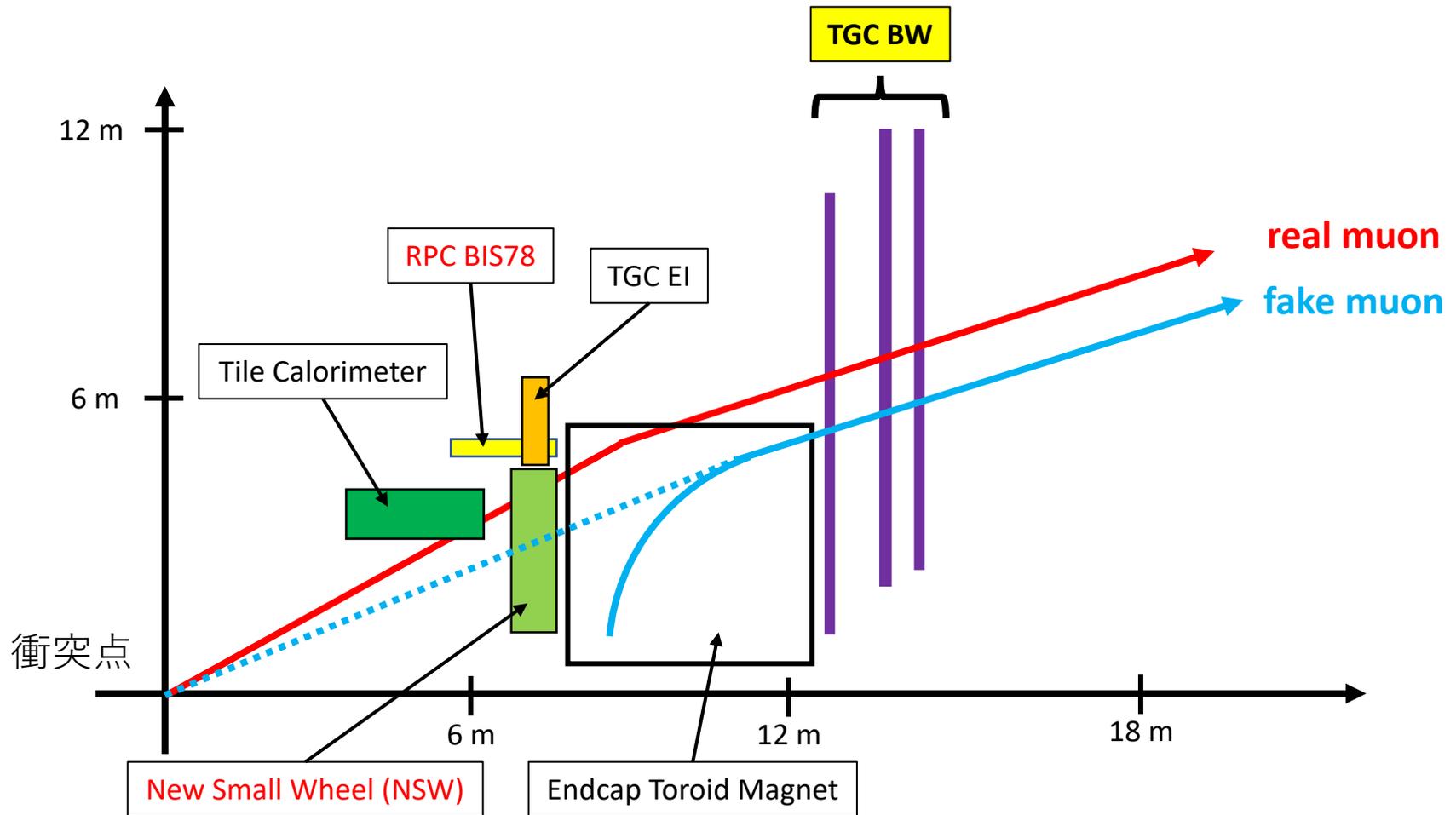
運転状況がすぐに把握できるようなモニタリング用ウェブページを作っていく予定

Summary

- LHC ATLAS 実験 Run-3 でも初段ミュオンエンドキャップトリガーシステム全体の安定運転を実現し、物理現象を正確に測定するためには、そのシステム全体の同期制御を行う必要がある
- **複数の階層に渡る制御ソフトウェアの開発**を通して、Run-3 から新たに導入される New Sector Logic ボードを含む**新たなトリガーシステムの大部分が同期して動くシステム制御ソフトウェアを初めて開発した**
- 本研究で開発したシステム制御ソフトウェアを使ったコミッショニングが進行しており、Run-3 に向けた準備が着々と進んでいる
- 操作しやすいモニタリング UI の実現なども通して、より洗練されたシステム制御ソフトウェアの開発を現在も行なっている
- 2021年の Run-3 開始時までには初段ミュオンエンドキャップトリガーシステムの安定運転を実現する

Backup

Phase-1 Upgrade of Level-1 Muon Endcap Trigger

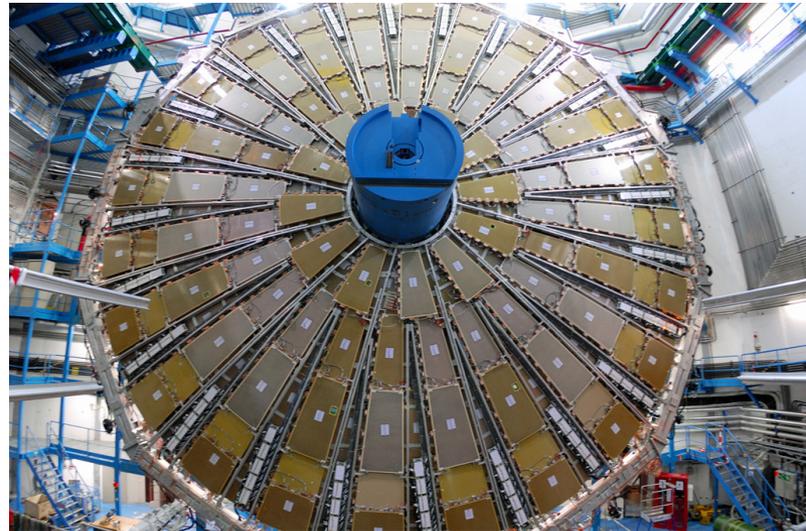


fake trigger を削減するべく、New Small Wheel などの新しいトリガー検出器を導入

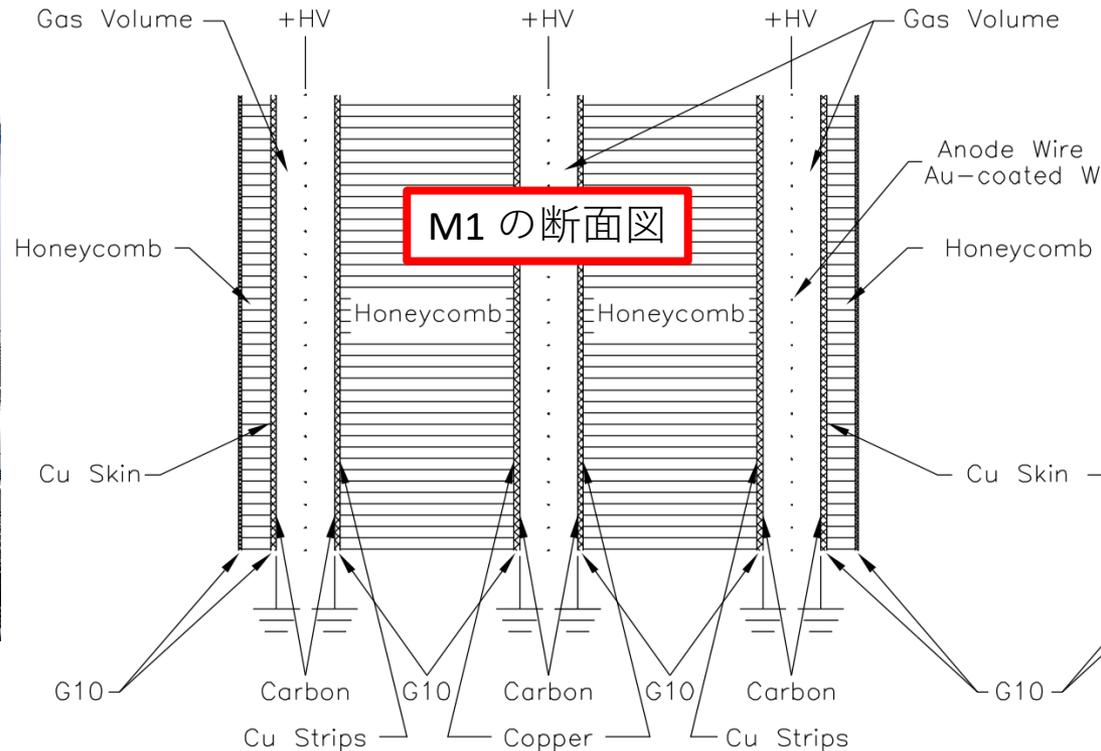
Facts about the Thin Gap Chamber Detector

初段ミュオンエンドキャップトリガーの根幹をなすミュオン検出器

TGC Big Wheel



← 直径 25 m →

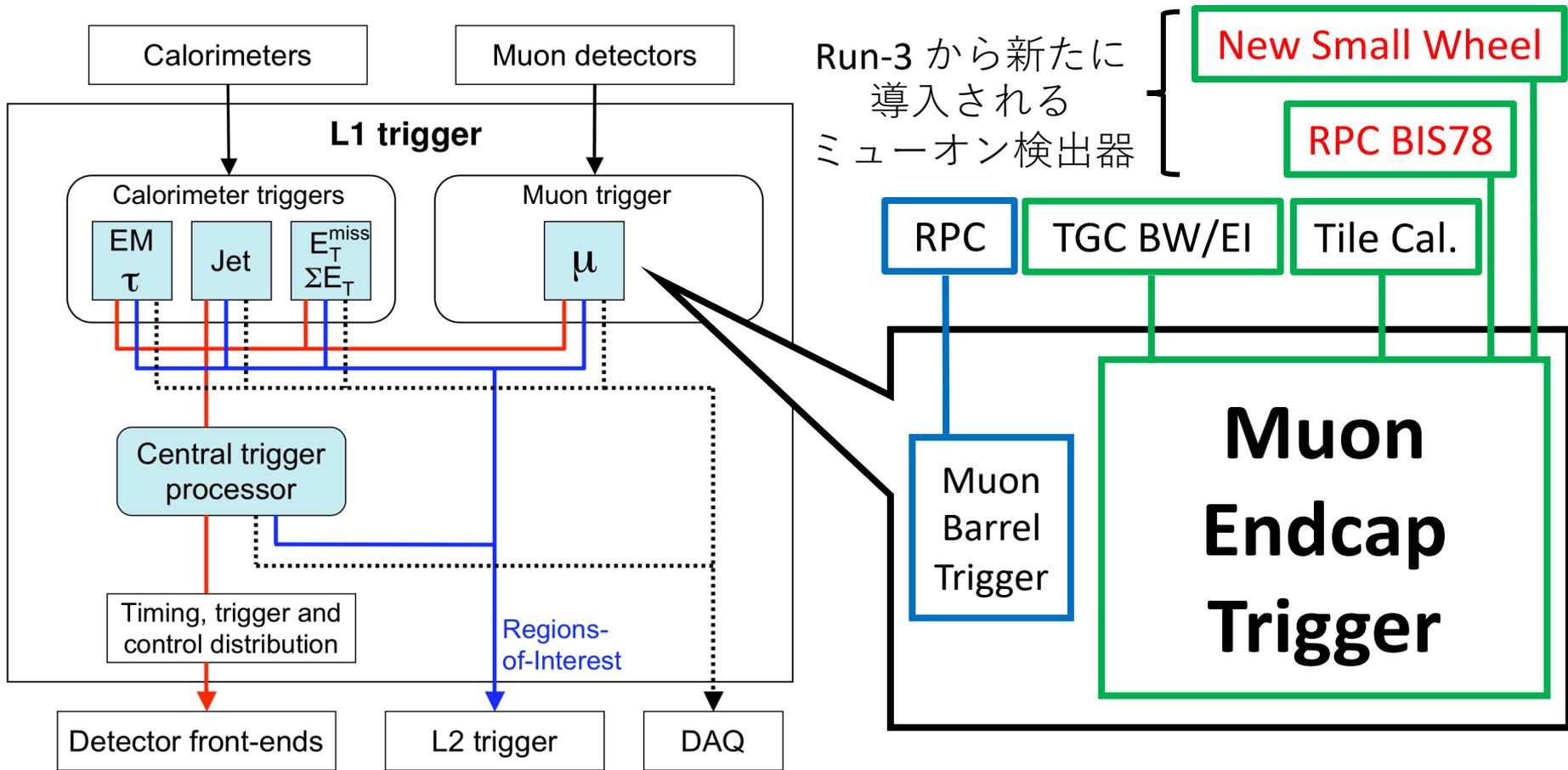


- M1, M2, M3 という3つのステーションがあり、それぞれ3層, 2層, 2層のガス層を持つ
- 半径方向と角度方向に走る電極の電気信号から各層の2次元的な位置を決定する
- すべての層の情報を組み合わせることで、ミュオンの運動量を決定する

Level-1 Trigger & Level-1 Muon Endcap Trigger System

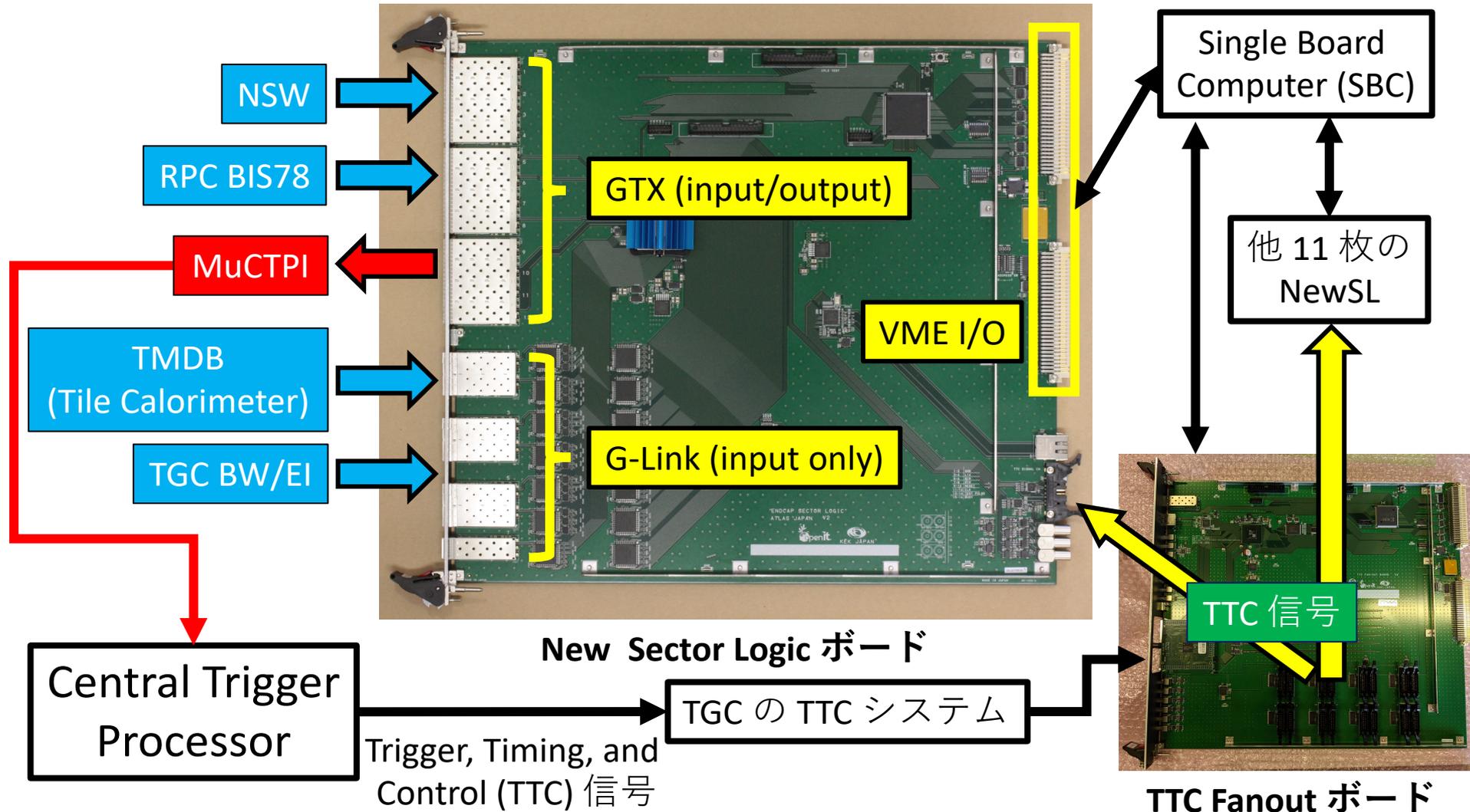
陽子バンチ間衝突は毎秒約 4000万回起きるので、すべての衝突事象は記録できない

物理的に重要な衝突事象を切り取る **トリガー** 機能が必須



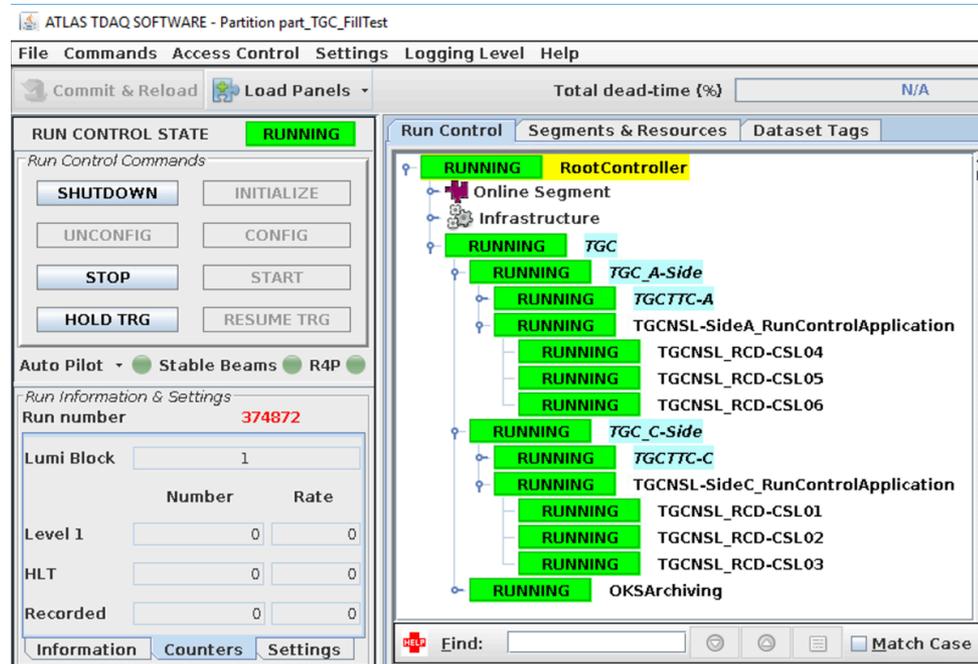
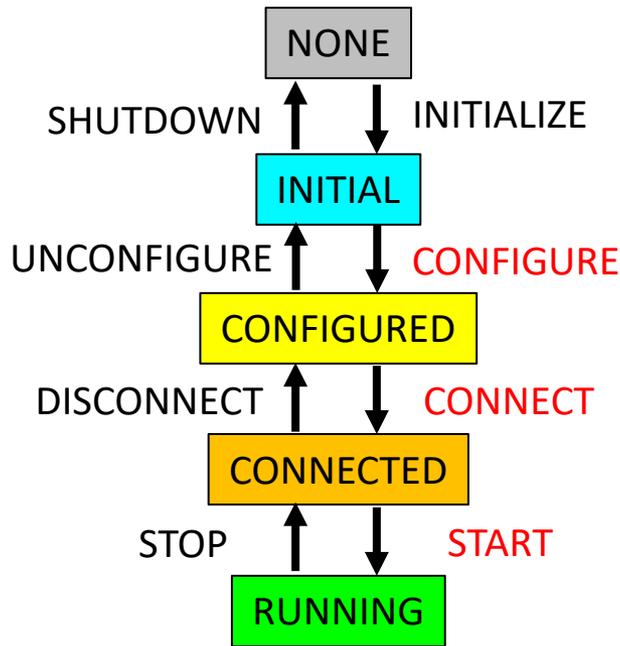
New Sector Logic Board

New Sector Logic ボードが各検出器の信号を受信してトリガー判定を行う



Run Control State Transition

運転の各段階で、それぞれのモジュールでどのような操作を行うか、
検出器間の同期をどのような手順で行うかを定める必要がある



Level-1 Muon Endcap Trigger System 全体の階層構造を決定して、
同期制御もできるようにしなければならない

Overview of Run-3 State Transition

Run-3 用の Level-1 Muon Endcap Trigger の運転手順を考え、提案した

State Transition	NewSL や TTCFOB (回路室内)	TGC Frontend (実験室内)	TGC 以外の検出器・MuCTPI
Configure	ATLAS のデータベース (OKS) から configuration parameter を取得		
	<ul style="list-style-type: none"> firmware configuration TTCrx チップのリセット 		
	TTCrx configuration		
	<ul style="list-style-type: none"> 送信側 GTX のリセット FPGA のレジスタリセット 	TGC BW/EI で G-Link idle mode	<ul style="list-style-type: none"> TMDB で G-Link idle mode NSW と RPC BIS78 で 送信側 GTX のリセット
Connect	<ul style="list-style-type: none"> 受信側 G-Link のリセット 受信側 GTX のリセット 		MuCTPI で送信側 GTX のリセット
Start	FIFO reset		
		TGC BW/EI で G-Link data mode	TMDB で G-Link data mode

今現在はこの提案に沿って開発を進めている最中

Run-3 State Transition (TTC Related)

State Transition	NewSL や TTCFOB (回路室内)	TGC Frontend (実験室内)	TGC 以外の検出器・MuCTPI
Configure	ATLAS のデータベース (OKS) から configuration parameter を取得		
	<ul style="list-style-type: none"> firmware configuration TTCrx チップのリセット 		
	TTCrx configuration		
	<ul style="list-style-type: none"> 送信側 GTX のリセット FPGA のレジスタリセット 		
Connect	<ul style="list-style-type: none"> 受信側 G-Link のリセット 受信側 GTX のリセット 		MuCTPI で送信側 GTX のリセット
Start	FIFO reset		
		TGC BW/EI で G-Link data mode	TMDB で G-Link data mode

各ボードを LHC のクロックと同期させることが第一優先なので、TTC 関係の準備はファームウェアの書き込み直後に行う

Run-3 State Transition (G-Link Related)

State Transition	NewSL や TTCFOB (回路室内)	TGC Frontend (実験室内)	TGC 以外の検出器・MuCTPI
Configure	ATLAS のデータベース (OKS) から configuration parameter を取得		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ firmware configuration ・ TTCrx チップのリセット 		
	TTCrx configuration		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 送信側 GTX のリセット ・ FPGA のレジスタリセット 	TGC BW/EI で G-Link idle mode	<ul style="list-style-type: none"> ・ TMDB で G-Link idle mode ・ NSW と RPC BIS78 で送信側 GTX のリセット
Connect	<ul style="list-style-type: none"> ・ 受信側 G-Link のリセット ・ 受信側 GTX のリセット 		MuCTPI で送信側 GTX のリセット
Start	FIFO reset		
		TGC BW/EI で G-Link data mode	TMDB で G-Link data mode

G-Link 通信では、送信側の idle mode → 受信側のリセット → 送信側の data mode が必要

Run-3 State Transition (GTX Related)

State Transition	NewSL や TTCFOB (回路室内)	TGC Frontend (実験室内)	TGC 以外の検出器・MuCTPI
Configure	ATLAS のデータベース (OKS) から configuration parameter を取得		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ firmware configuration ・ TTCrx チップのリセット 		
	TTCrx configuration		
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 送信側 GTX のリセット ・ FPGA のレジスタリセット 	TGC BW/EI で G-Link idle mode	<ul style="list-style-type: none"> ・ TMDB で G-Link idle mode ・ NSW と RPC BIS78 で送信側 GTX のリセット
Connect	<ul style="list-style-type: none"> ・ 受信側 G-Link のリセット ・ 受信側 GTX のリセット 		MuCTPI で送信側 GTX のリセット
Start	FIFO reset		
		TGC BW/EI で G-Link data mode	TMDB で G-Link data mode

GTX 通信では、送信側のリセット→受信側のリセットが必要