20aSG-6

LHC-ATLAS実験Run3に向けたレベル1ミューオントリガーにおけるTCPを用いたDAQの構築

日本物理学会　2014年秋季大会

東京大学　理学系研究科
浦野　祐作

坂本宏, 二ノ宮陽一, 加藤千曲, 徳永孝之,
佐々木修[A], 池野正弘[A,B], 内田智久[A,B], 鈴木翔太[C], 他ATLAS日本TGCグループ
東大素セ, 高エ研[A], Open Source Consortium(Open－It)[B], 総研大[C]

LHCアップグレード

LHC parameter	Run1（～2012）	Run2（2015～）	Run3（2020～）
重心系energy [TeV]	8	13～14	14
Luminosity[$\mathrm{cm^{-2}s^{-1}}$]	0.77×10^{34}	$1.5 \sim 2.0 \times 10^{34}$	$2.0 \sim 3.0 \times 10^{34}$
バンチ間隔 [ns]	50	25	25

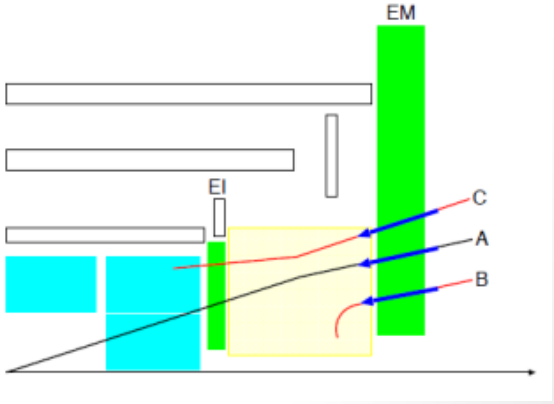
LVL1 muon trigger	Run1（～2012）	Run2（2015～）	Run3（2020～）
p_T threashold [GeV]	15（20）	20	20
Trigger rate [kHz]	9（6）	34	60

トリガーレートの削減方法

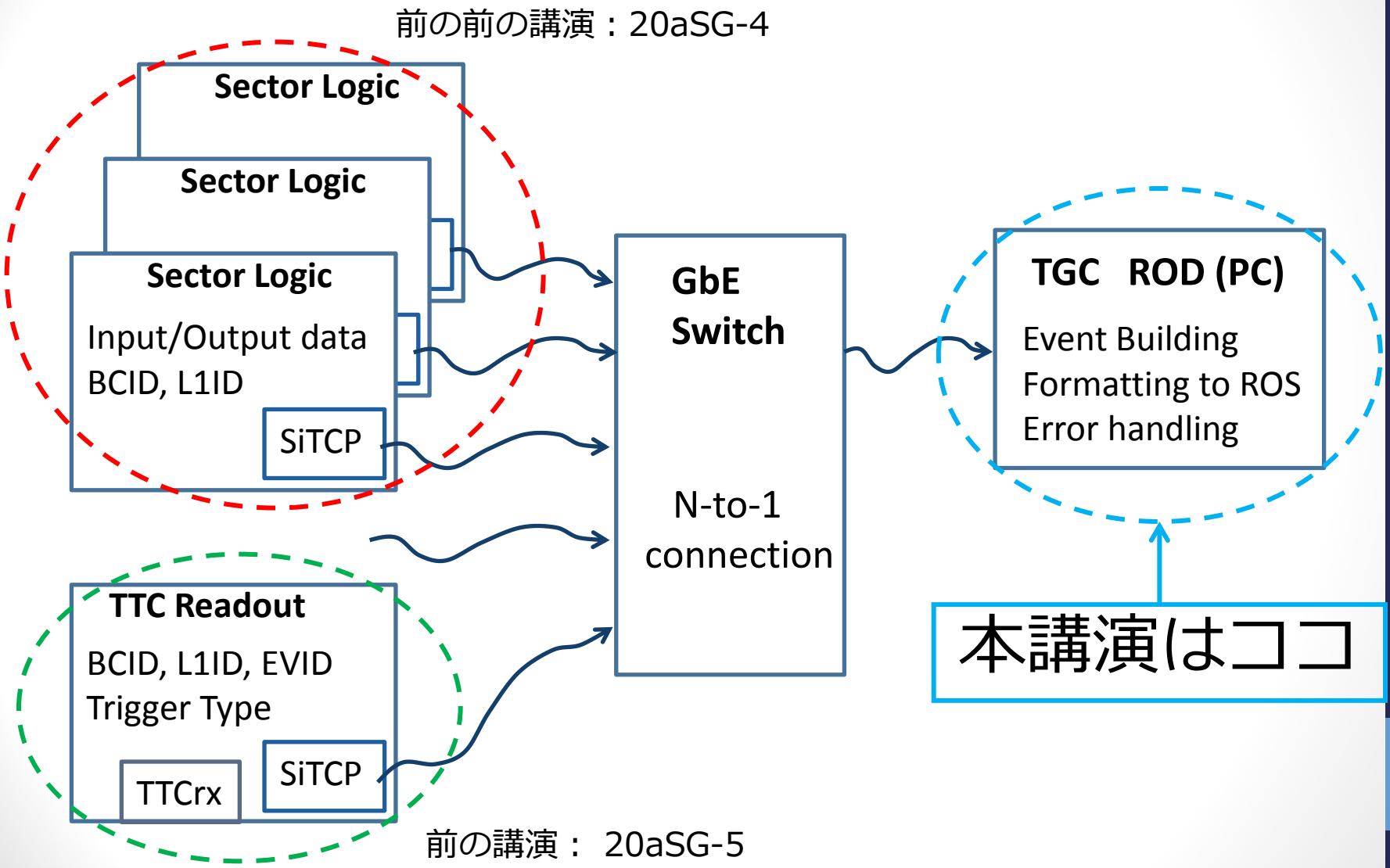
- フェイクトリガー
  - ✓ 衝突点由来でないミューオンのトリガー
  - ✓ TGC レベル 1 トリガーの大多数がフェイク
  - ✓ 右下図の B、C のミューオンによってトリガーが発行される
- ➢ 2020年に、インナーステーションに新検出器 New small wheel（NSW）を導入し、精度の高いトリガーを発行する
- ➢ **入力が増加するため、読み出し系もアップグレードする必要がある**

- Higgs粒子の性質測定のため、p_T threasholdを20GeVのまま維持したい
- Run1のトリガーレート 20kHz を大幅に超えてしまう

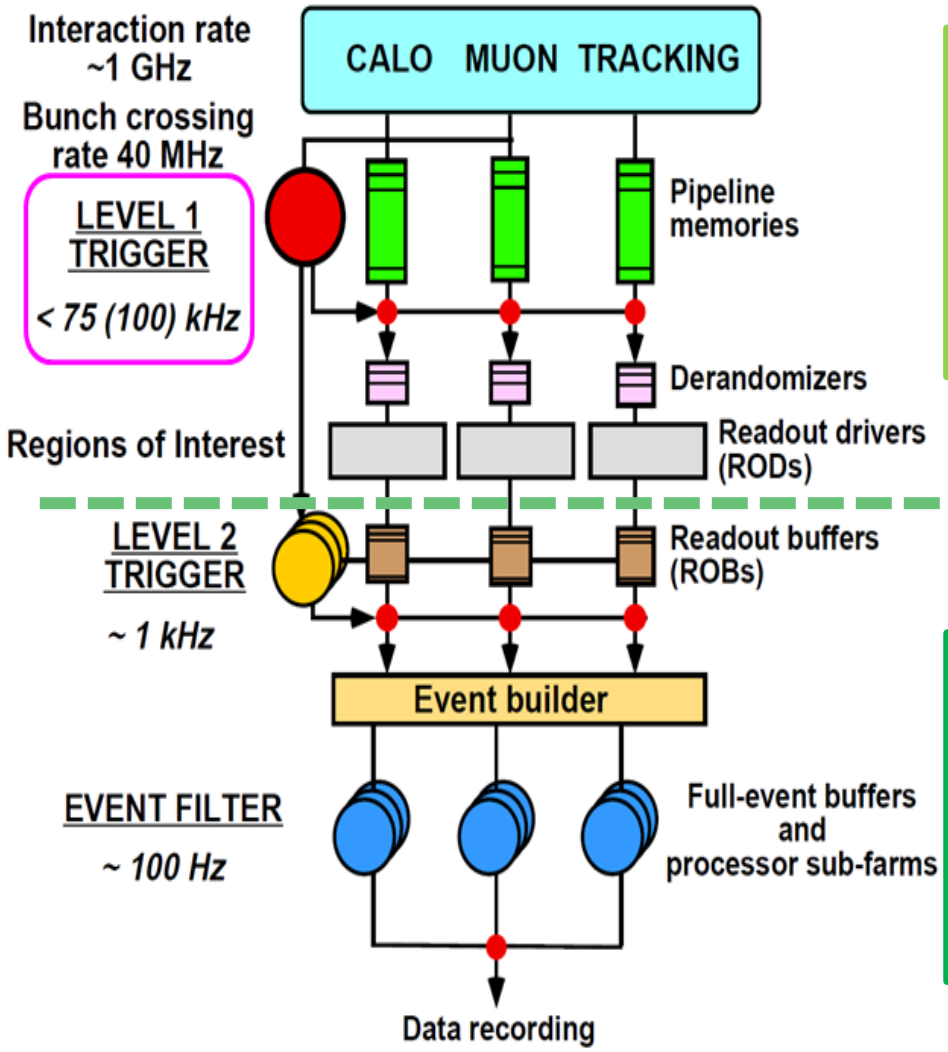
➢ **トリガーレートの削減**が必須



RUN3 に向けた読み出しスキーム



ATLASトリガーシステム



Readout Driver

- サブシステムの読み出し
- **ATLAS 共通のデータフォーマット**で
  イベントデータを ROS へ送信

Readout System

- ATLAS 全体の読み出し
- 各サブシステムの ROD から送られる
  イベントデータを収集

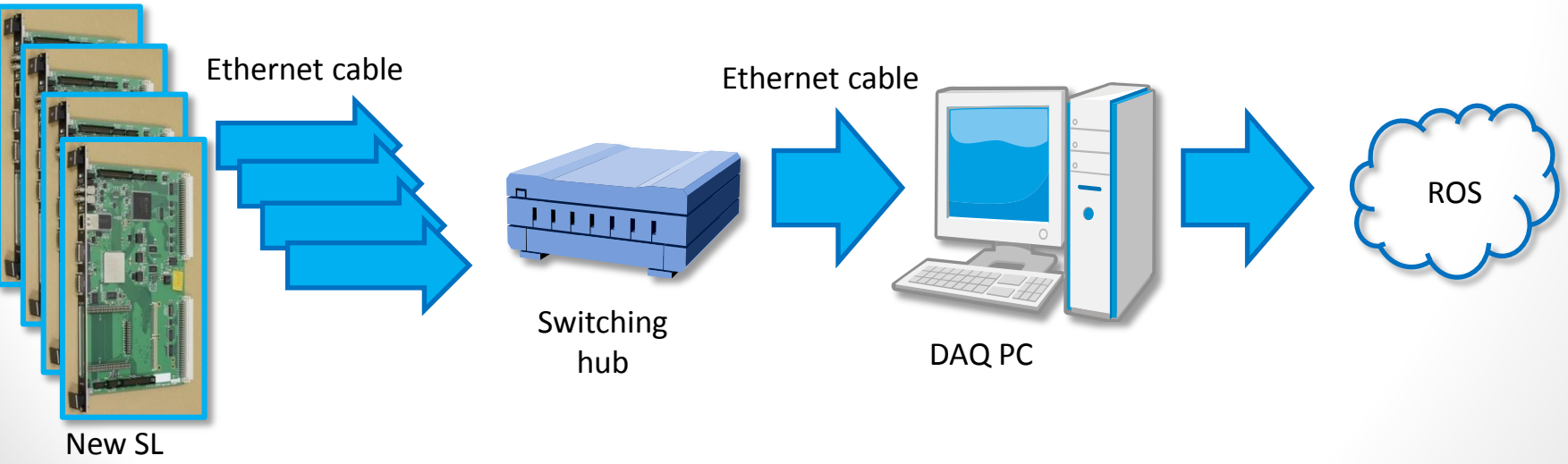
New TGC ROD のアップグレード

New Readout Driver

- New SL の開発に応じて、ROD もアップグレード
  - ✓ New SL と 現行の ROD は**接続できない**
  - ✓ 現行の ROD はハードウェアベースなので**デバッグが大変**
- 汎用的な機器の利用、ソフトウェアによるシステム構築
  - ✓ 開発期間の短縮、保守性の向上
  - ✓ 拡張性の向上

満たすべき性能

- DAQ PC の台数：24 台以下
- New SL の平均出力 35Mbps を処理
- L1A の発行頻度 100kHz 以内に処理



データフォーマット

ROD → ROS

- ATLAS 共通のデータフォーマット（右図）

New SL → ROD

- 独自に決めたフォーマット

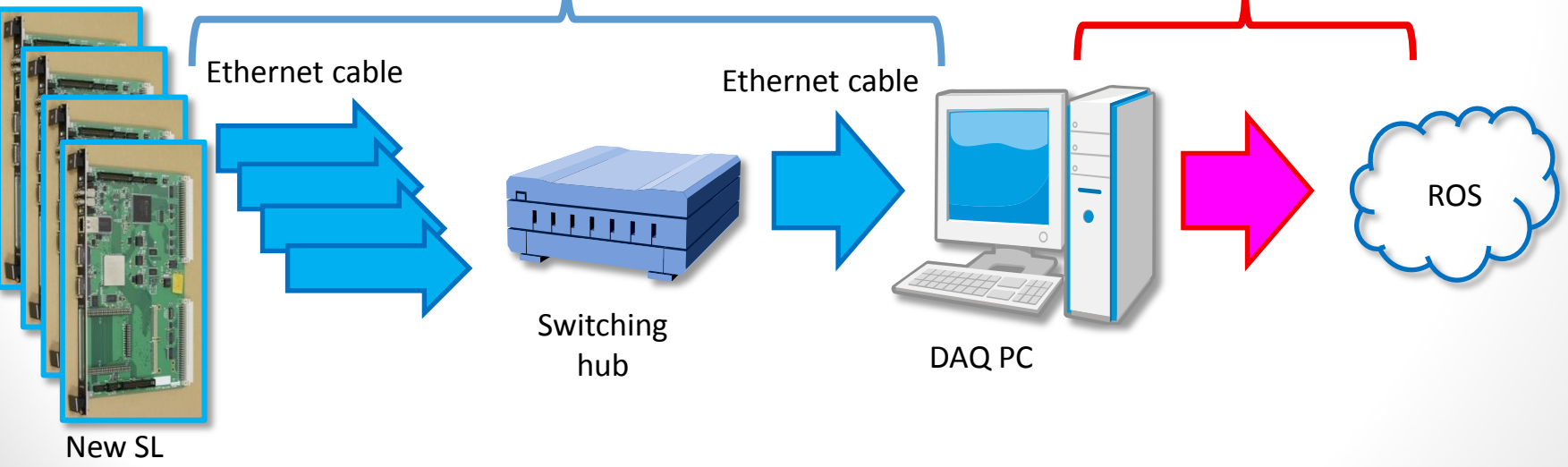
	Data word				Comments
	31..24	23..16	15..8	7..0	
Frame	x'B0F0xxxx'				event frame word (control mode word)
Hdr 0	x'EE1234EE'				start of header marker for ROD data
Hdr 1	*reserved*	*reserved*	header size = 9		words (excluding the x'B0F0xxxx' word)
Hdr 2	ATLAS format version=3.0				ATLAS=0x03'00, TGC=0x03'00
Hdr 3	0	x'67' or x'68'			rce id: x'67'/x'68' = A/C endcap;
Hdr 4	Run type				
Hdr 5	Level-1 I				gh byte is Extended Level-1 ID
Hdr 6	*reserved*	*reserved*	Bunch crossing ID[11..0]		
Hdr 7	*reserved*	*reserved*	*reserved*	Trigger type	
Hdr 8	Detector event type				not used yet
Status	First status word: specific | generic				≠0: event is **not** OK. See Table 2, & [ref. 1]
Status	TGC ROD event status				See Table 3.
Status	ROD VME filter bits				bit per SSW; Filter:1 = accepted. SSW: dropped or timed-out (see Table 4)
Status	Local status word				sence indicates which of the following agments are present[a]. See Tables 5 & 6.
Status	orbit count				orbit count; zero for first L1AID.[b]
Data	Fragment ID	"raw" data word count[c]			fragment ID =1, length in words
Data	Fragment ID	"readout format" hit data word count			fragment ID =2, length in words[d]
Data	Fragment ID	"readout format" tracklet data word count ("tracklet"= 3/4 or 2/3 coincidence)			fragment ID =3, length in words
Data	Fragment ID	"chamber format" hit data word count			fragment ID =4, length in words
Data	Fragment ID	"chamber format count			gment ID =5, length in words
Data	Fragment ID	HipT output wor			gment ID =8, length in words
Data	Fragment ID	Sector Logic word count			fragment ID =9, length in words
Data	raw data, hit, tracklet, sector logic, etc. fragments, in the order of the word counts.				See [ref. 6] and[ref. 8](raw) and Tables 7 to 10.
Data	...				
Data	last raw data, hit or tracklet word				
Trail 0	number of status el				
Trail 1	number of data				
Trail 2	Status block position = 0, i.e				
Frame	x'E0F0xxxx				ent frame word (control mode word)

Header

status

data

trailer

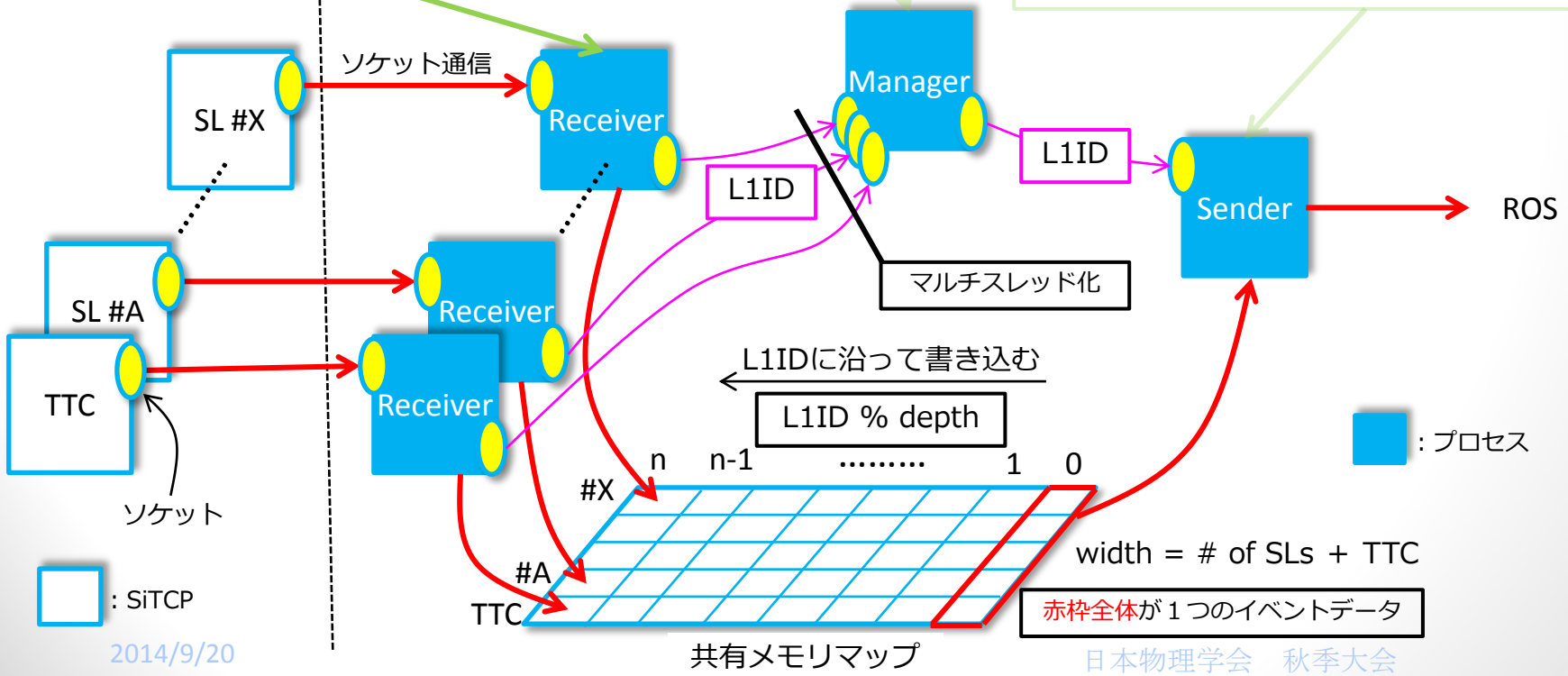


New RODの概念図

Managerプロセス
1. Receiver プロセスから L1ID を受信する
2. 全ての Receiver プロセスからL1ID を受信した後、SenderプロセスにL1ID を通知する

Receiverプロセス
1. SiTCPサーバからデータを受信する
2. 共有メモリに書き込む
3. L1IDをManagerプロセスに通知する

Senderプロセス
1. ManagerプロセスからL1IDを受信する
2. L1IDを元に共有メモリから列ごとデータを読み込む
3. 整合性を確認して ROSへ送る

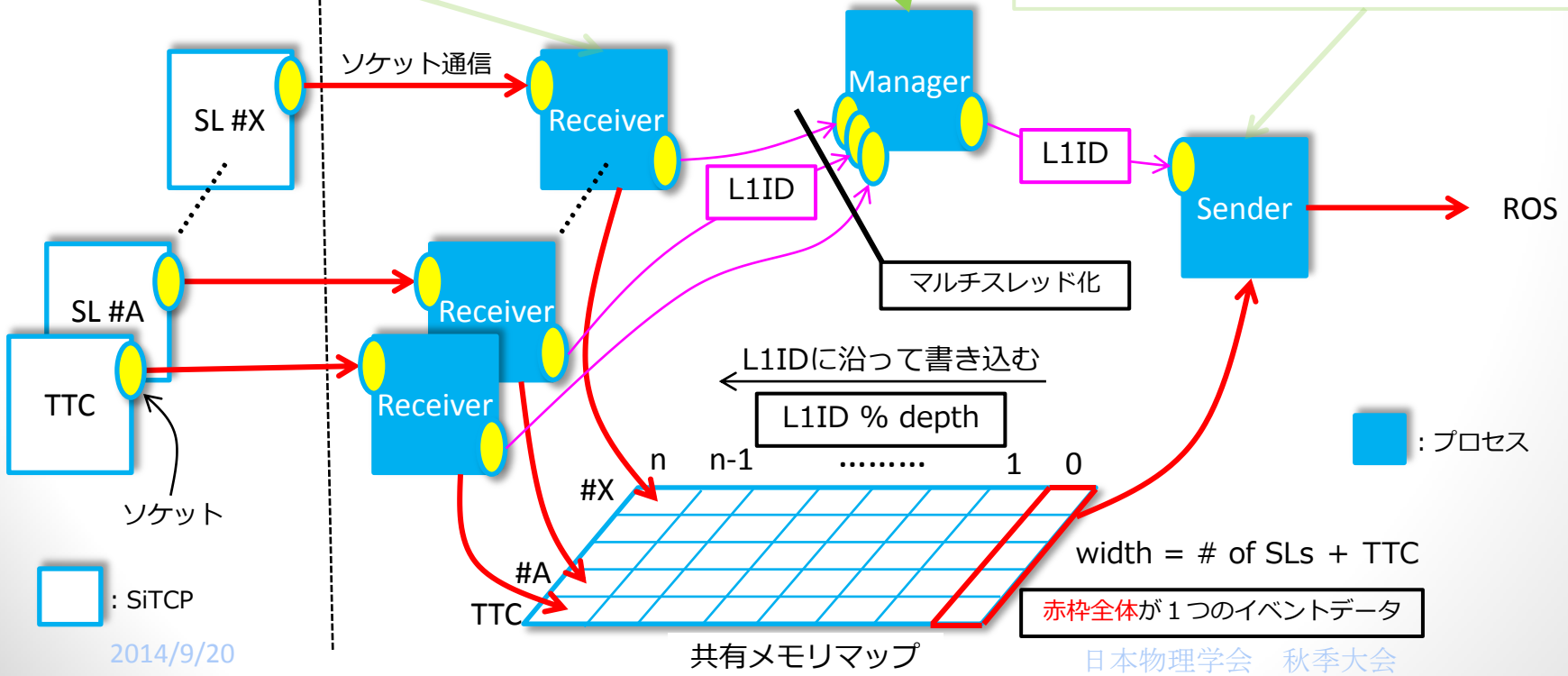


New RODの概念図

Managerプロセス
1. Receiver プロセスから L1ID を受信する
2. 全ての Receiver プロセスからL1ID を受信した後、Senderプロセスに L1ID を通知する

Receiverプロセス
1. SiTCPサーバからデータを受信する
2. 共有メモリに書き込む
3. L1IDをManagerプロセスに通知する

Senderプロセス
1. ManagerプロセスからL1IDを受信する
2. L1IDを元に共有メモリから列ごとデータを読み込む
3. 整合性を確認して ROSへ送る

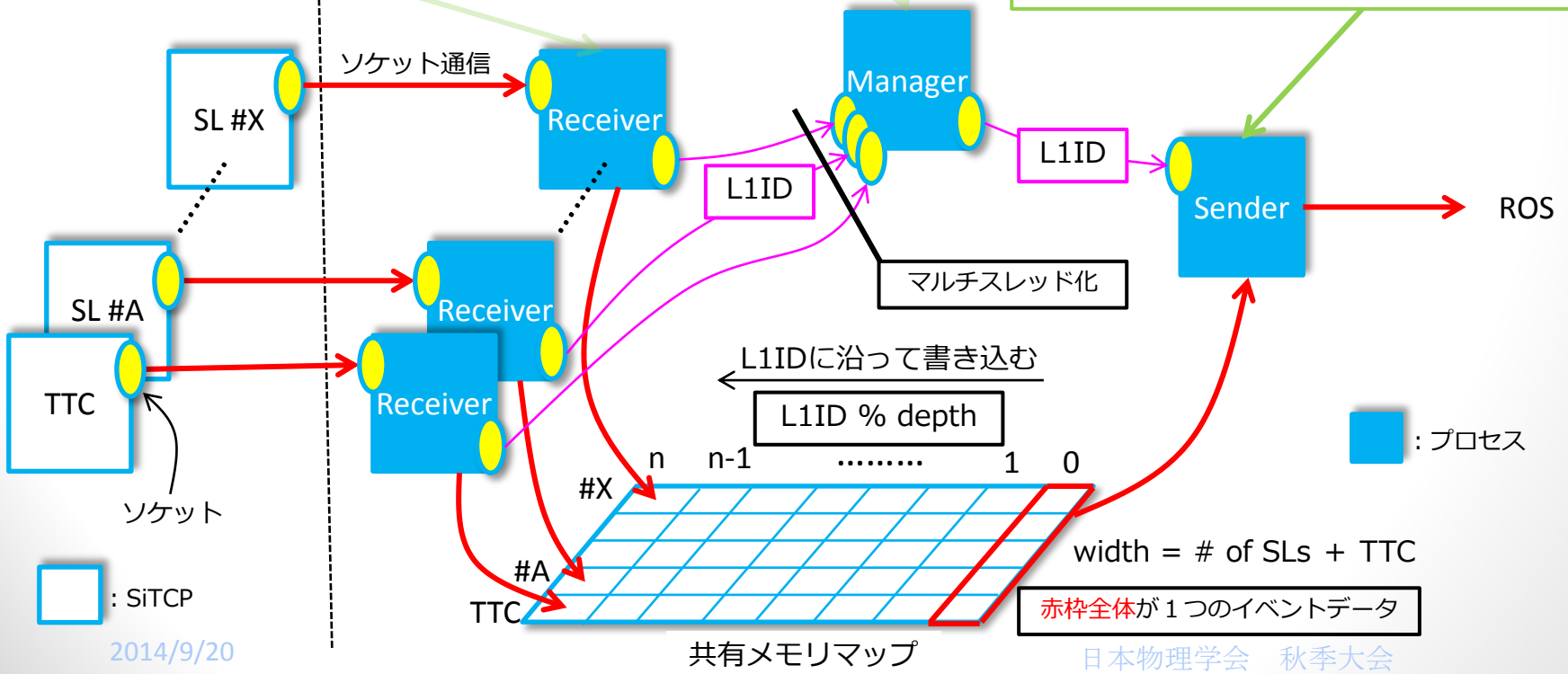


New RODの概念図

Managerプロセス
1. Receiver プロセスから L1ID を受信する
2. 全ての Receiver プロセスからL1ID を受信した後、SenderプロセスにL1ID を通知する

Receiverプロセス
1. SiTCPサーバからデータを受信する
2. 共有メモリに書き込む
3. L1IDをManagerプロセスに通知する

Senderプロセス
1. ManagerプロセスからL1IDを受信する
2. L1IDを元に共有メモリから列ごとデータを読み込む
3. 整合性を確認して ROSへ送る



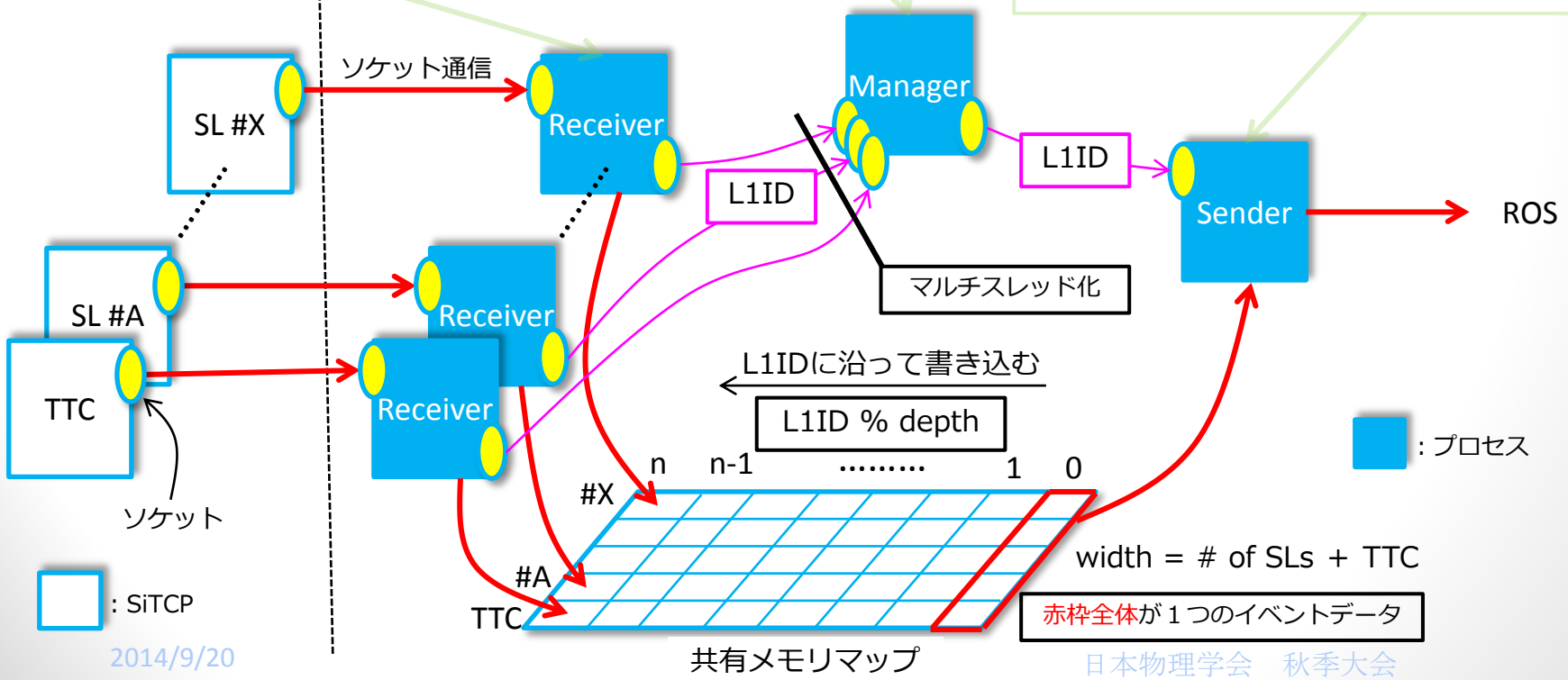
New RODの概念図

Managerプロセス
1. Receiver プロセスから L1ID を受信する
2. 全ての Receiver プロセスからL1ID を受信した後、Senderプロセスに L1ID を通知する

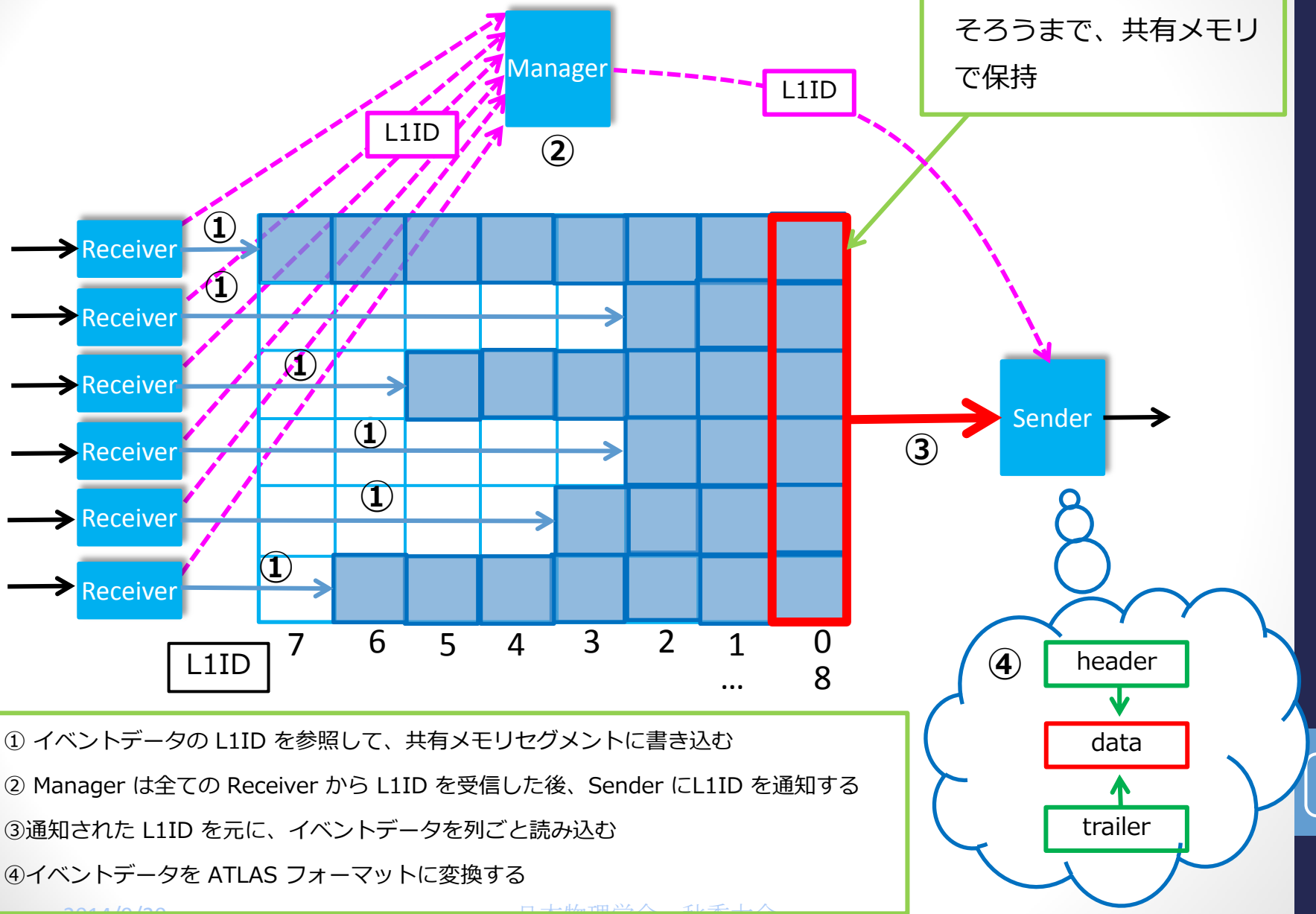
パイプライン処理であるため、
各プロセスで L1A の発行頻度 100kHz（10usec）以内に処理

Receiverプロセス
1. SiTCPサーバからデータを受信する
2. 共有メモリに書き込む
3. L1IDをManagerプロセスに通知する

Senderプロセス
1. ManagerプロセスからL1IDを受信する
2. L1IDを元に共有メモリから列ごとデータを読み込む
3. 整合性を確認して ROSへ送る



Event Building



① イベントデータの L1ID を参照して、共有メモリセグメントに書き込む

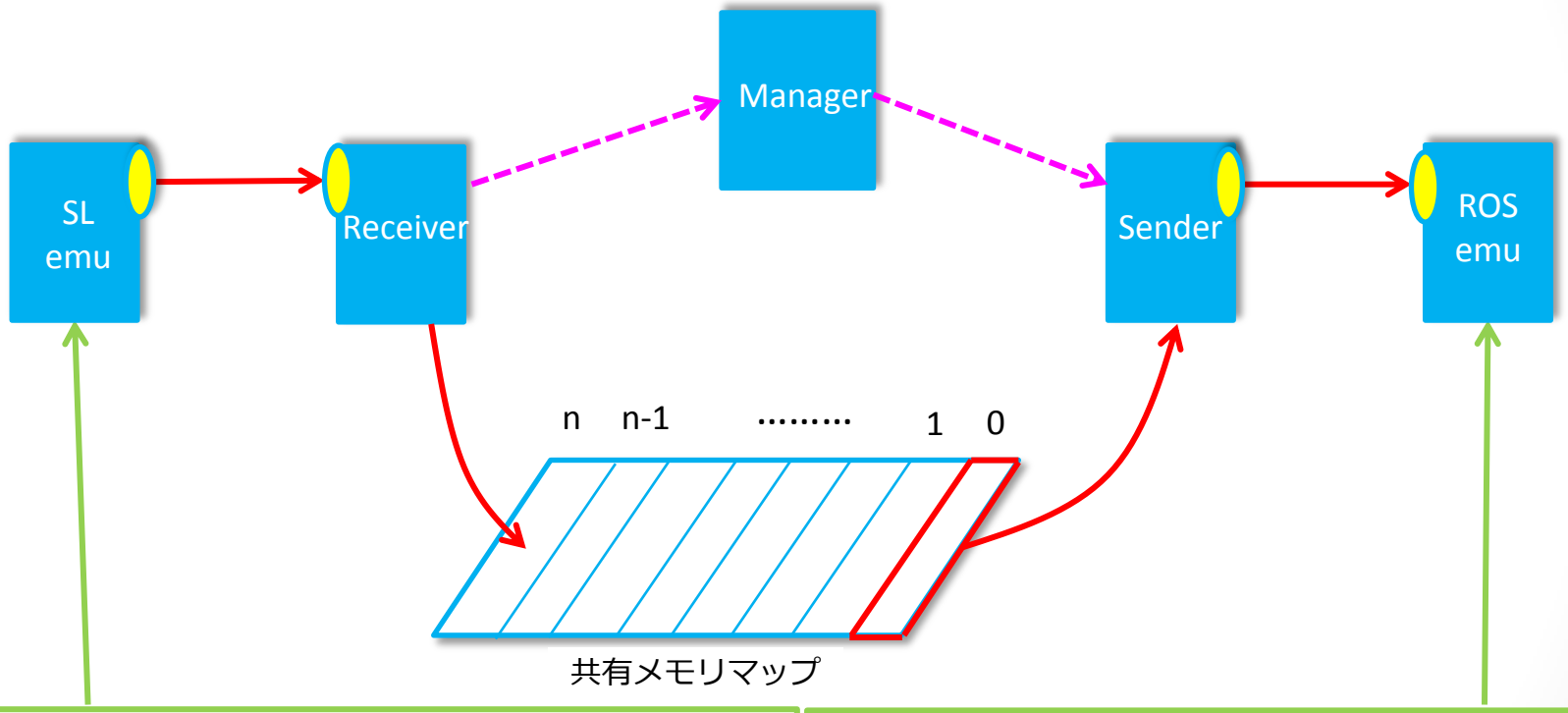
② Manager は全ての Receiver から L1ID を受信した後、Sender にL1ID を通知する

③通知された L1ID を元に、イベントデータを列ごと読み込む

④イベントデータを ATLAS フォーマットに変換する

動作試験

- Receiver、Sender 、Managerのイベント数分だけ処理する時間を計測した
- 20回測定した平均値を算出した



SL エミュレータ

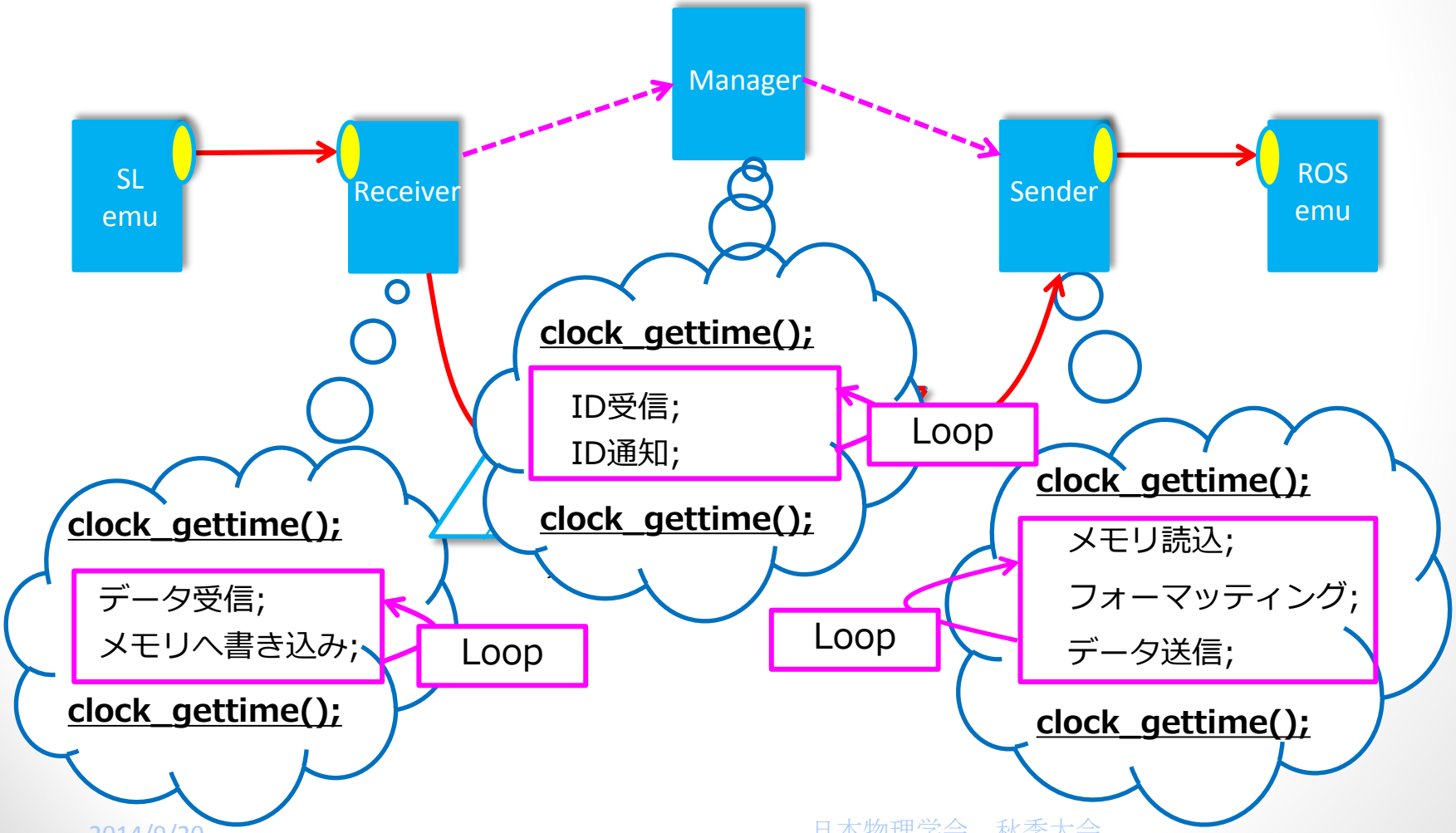
- 1 イベントのサイズを 350Bytes に固定
- スループット：~ 50Mbps > New SL の平均出力 35Mbps

ROS エミュレータ

- Sender から送られるイベントデータを受信

動作試験（計測方法）

- clock_gettime()、clock_getres() システムコールを使用する
- clock_gettime() で始・終の時間を測定し、差分から算出する



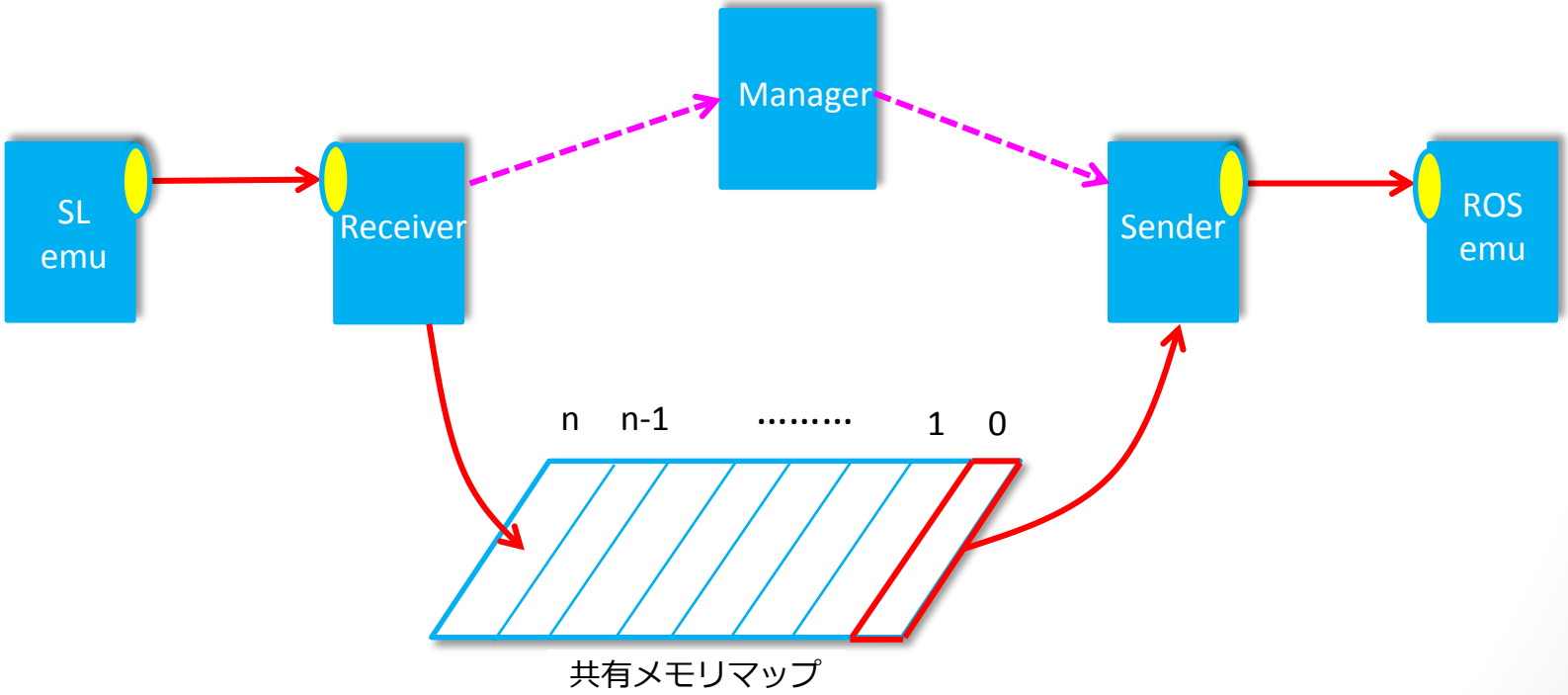
動作試験（試験環境）

Login.icepp （東大・計算機）

・OS：Scientific Linux CERN 6.4（64bits）

・CPU：Intel Xeon E5-2680（Sandy Bridge @ 2.7GHz , 8 cores / CPU）

・Memory：16GB / node　・NIC：10Gbps / node　・Disk：600GB SAS x 2



clock_getres() によるクロックの精度：1ns

動作試験（試験項目）

Login.icepp （東大・計算機）

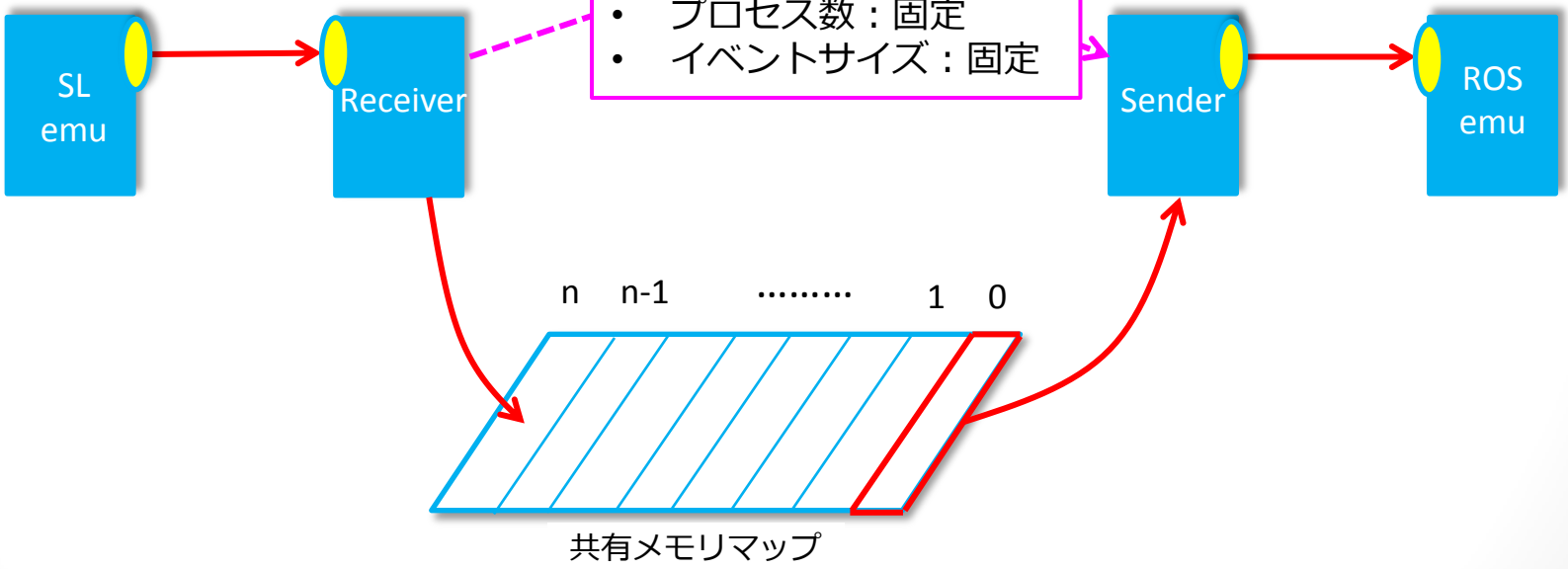
・OS：Scientific Linux CERN 6.4（64bits）

・CPU：Intel Xeon E5-2680（Sandy Bridge @ 2.7GHz , 8 cores / CPU）

・Memory：16GB / node ・Disk：600GB SAS x 2

イベント数を変化

- イベント数：
  - ✓ **10,000**イベント
  - ✓ **20,000**イベント
  - ✓ **30,000**イベント
- プロセス数：固定
- イベントサイズ：固定



動作試験（試験項目）

Login.icepp （東大・計算機）

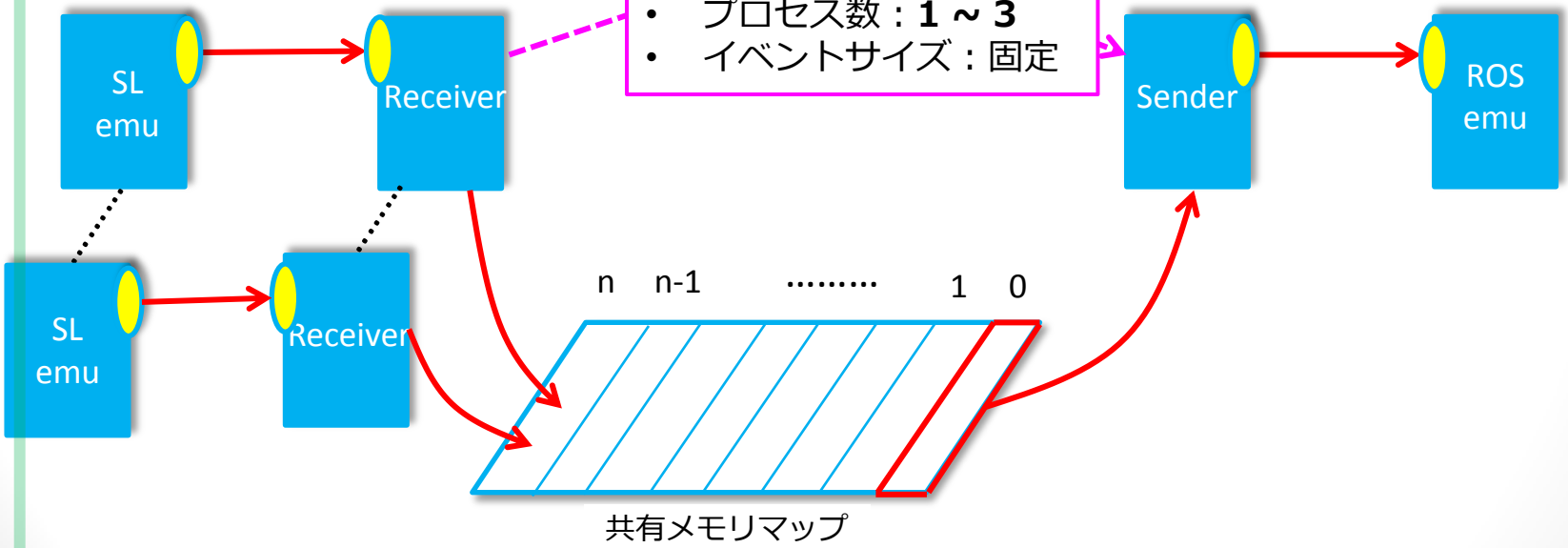
・OS：Scientific Linux CERN 6.4（64bits）

・CPU：Intel Xeon E5-2680（Sandy Bridge @ 2.7GHz , 8 cores / CPU）

・Memory：16GB / node ・Disk：600GB SAS x 2

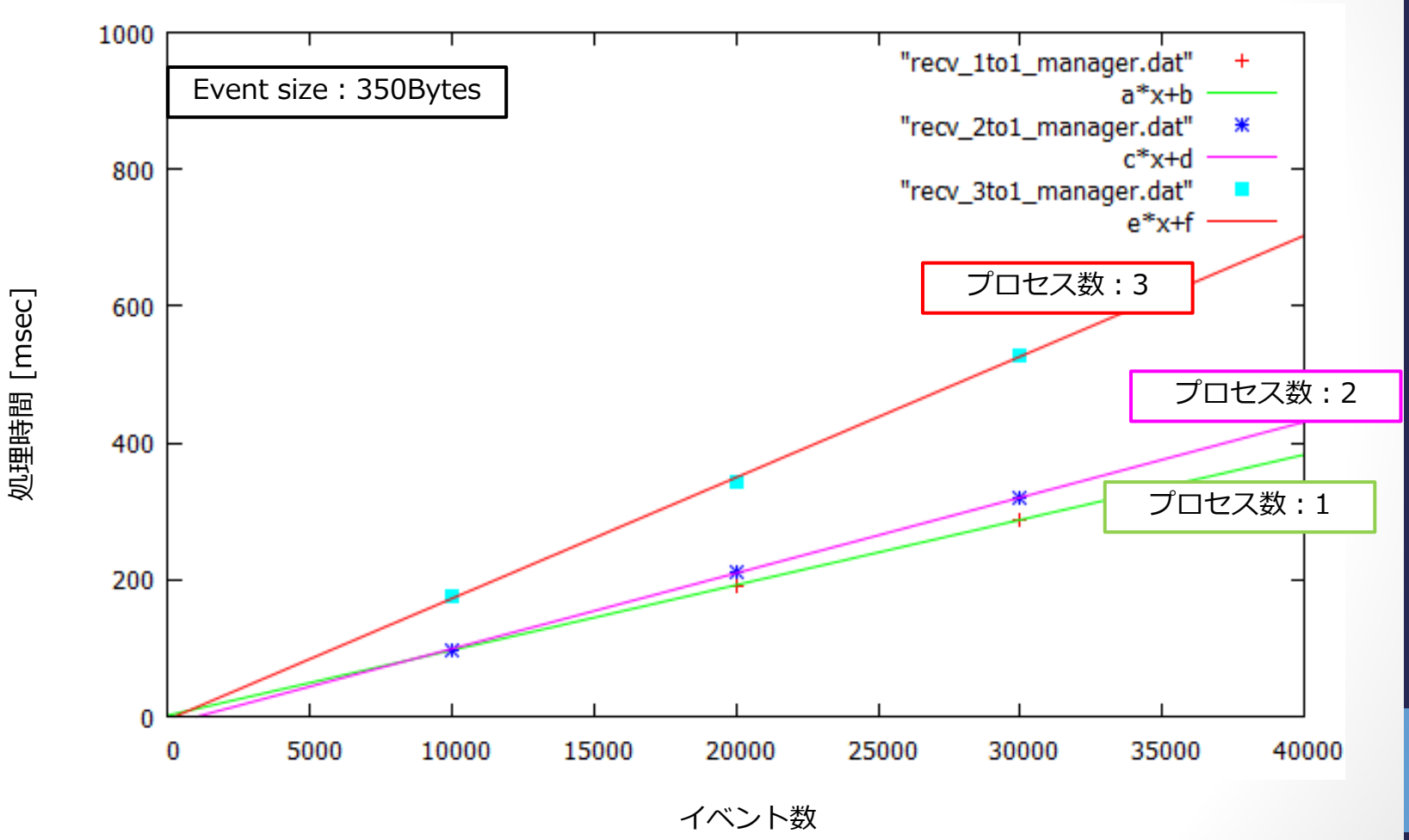
プロセス数を変化

- イベント数：
  - ✓ 10,000イベント
  - ✓ 20,000イベント
  - ✓ 30,000イベント
- プロセス数：**1 ~ 3**
- イベントサイズ：固定



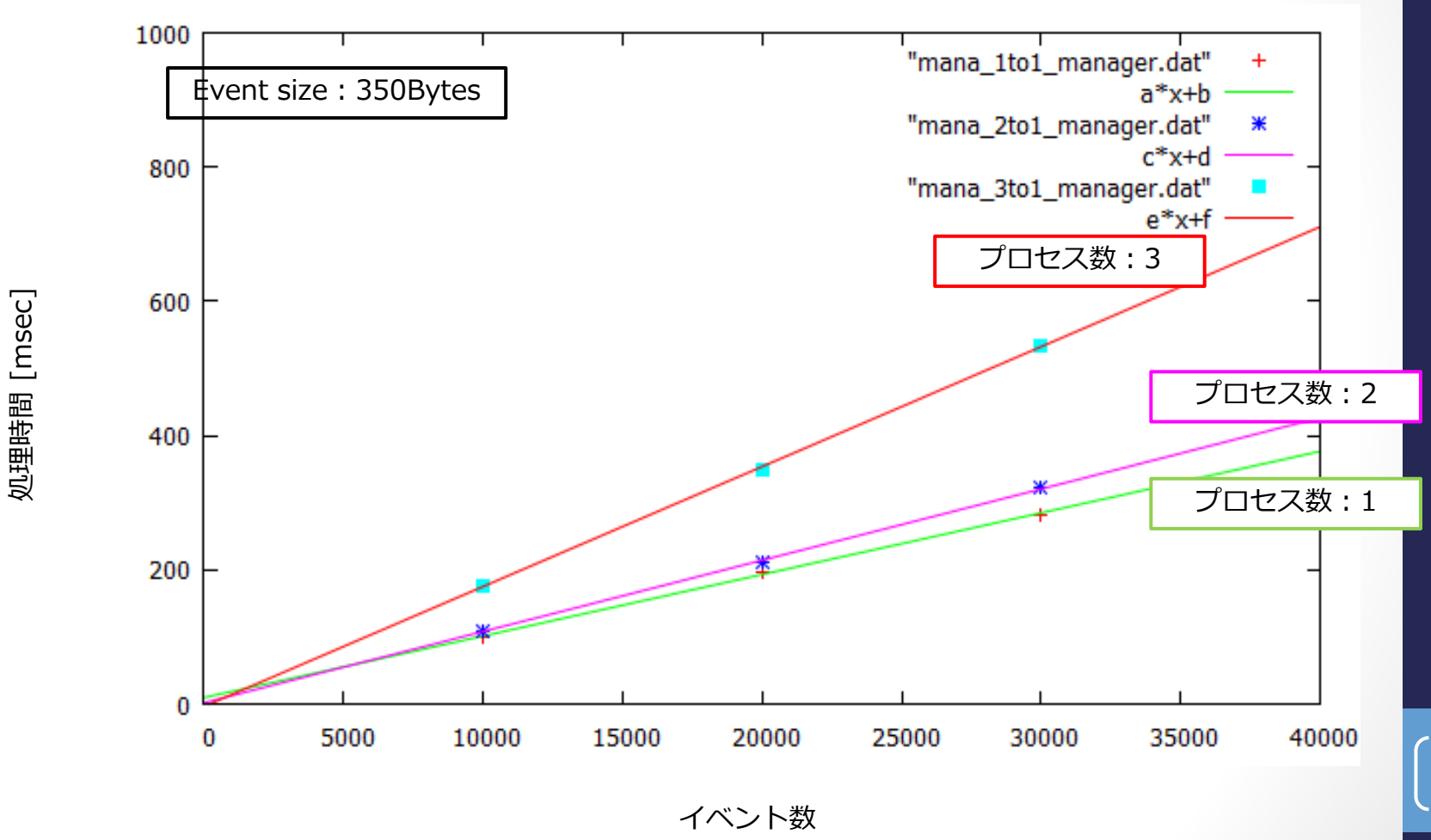
結果

Receiver プロセス



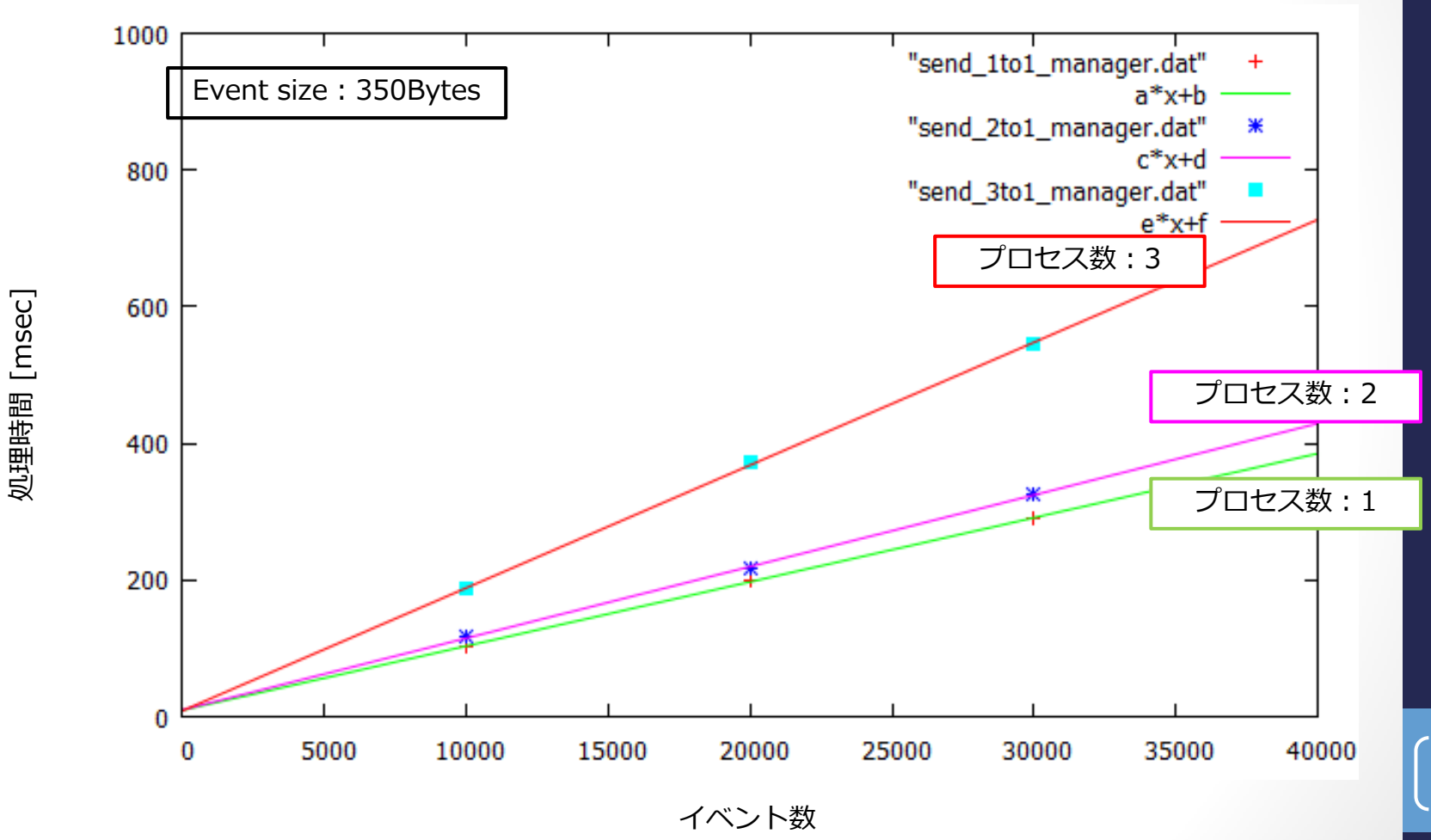
結果

Manager プロセス



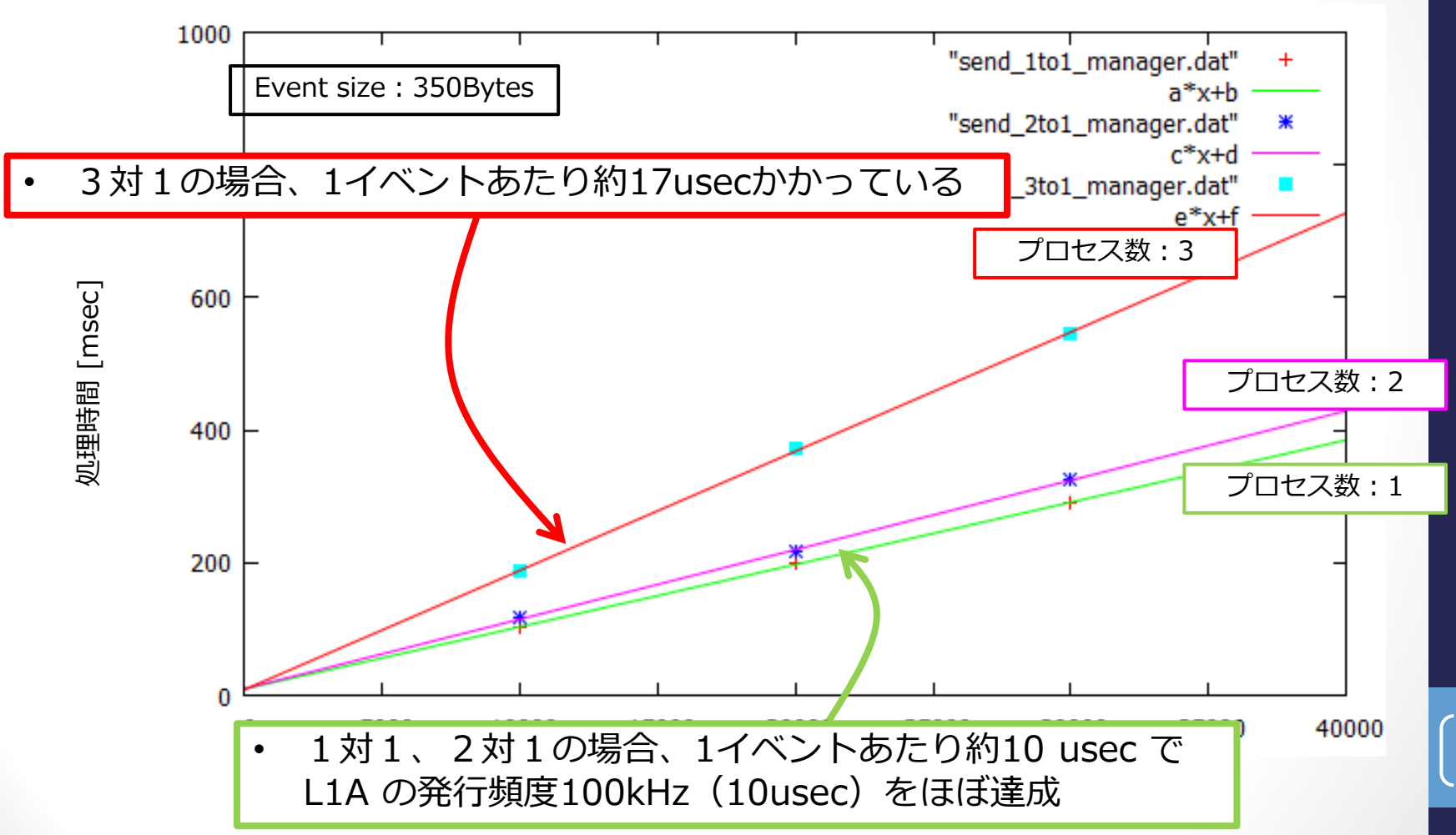
結果

Sender プロセス



結果

Sender プロセス



- ３対１の場合、1イベントあたり約17usecかかっている

- １対１、２対１の場合、1イベントあたり約10 usec で L1A の発行頻度100kHz（10usec）をほぼ達成

まとめと今後

まとめ

- ソフトウェアベースの ROD を研究開発を進めた
- ミューオン運動量判定装置 SL のエミュレータを作成し、読み出し処理にかかる時間を計測した
  - ✓ L1A の発行頻度 100kHz（10usec）より処理時間がかかっている

今後

- プログラムの軽量化・高速化を図り、100kHz（10usec）以内の処理時間を目指す
- SL、TTCとの接続試験を行う
- まだまだ最適化が必要

Back up

LHC-ATLAS 実験

Large Hadron Collider

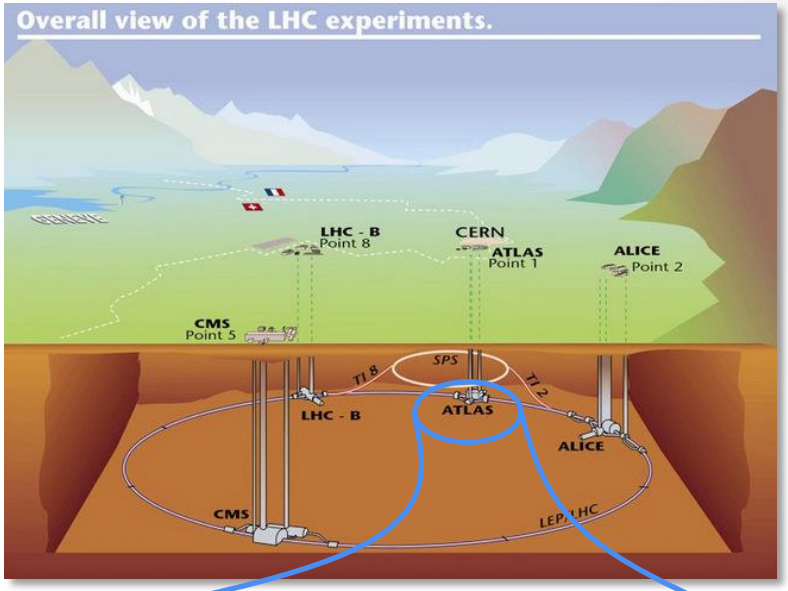
- 陽子・陽子衝突型円形加速器
- リング周長　26.7km
- 設計値
  - ✓ 重心系エネルギー　14TeV
  - ✓ 最大瞬間ルミノシティ

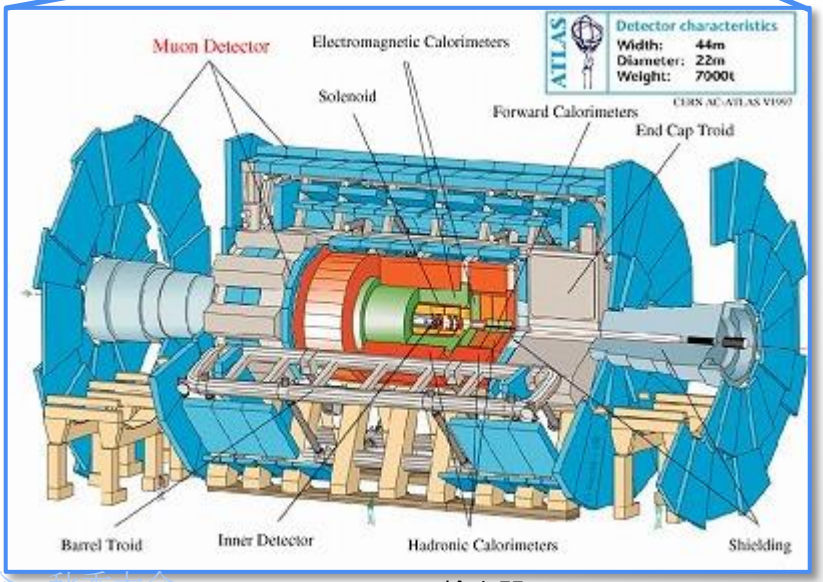
    $1 \times 10^{34}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$

ATLAS 検出器

- 高さ22m、全長44m、重量7,000t
- 様々な検出器の複合体
  - ✓ トラッカー（Pixel detector, SCT, TRT）
  - ✓ カロリメータ（EM, Hadronic）
  - ✓ ミューオンスペクトロメータ

    （MDT, CSC, RPC, TGC）
- Higgs粒子の精密測定や超対称性粒子の探索



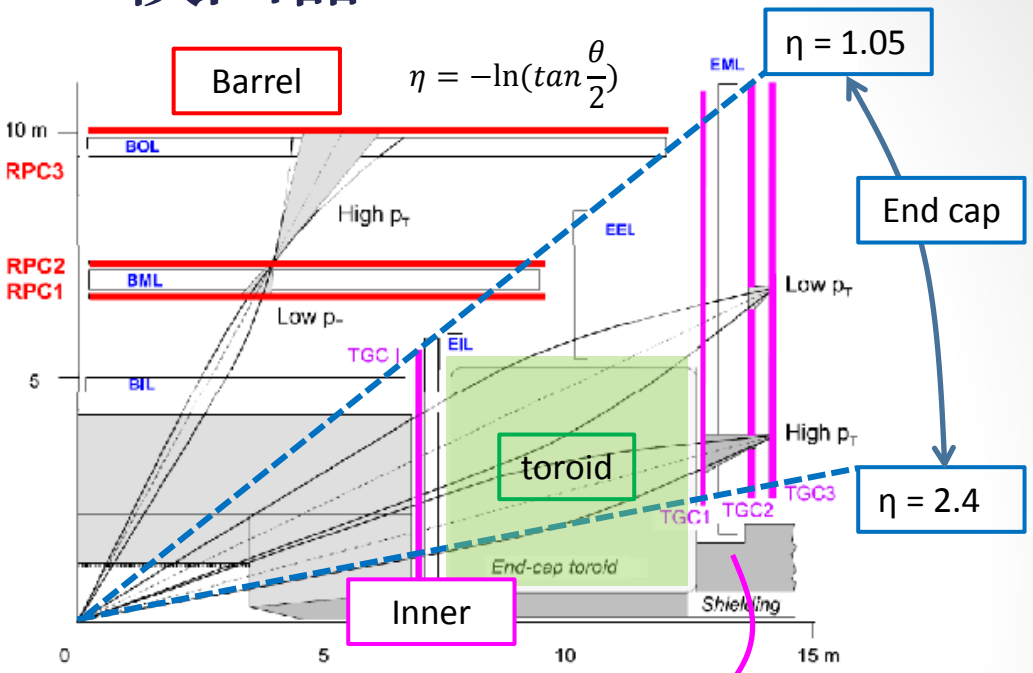


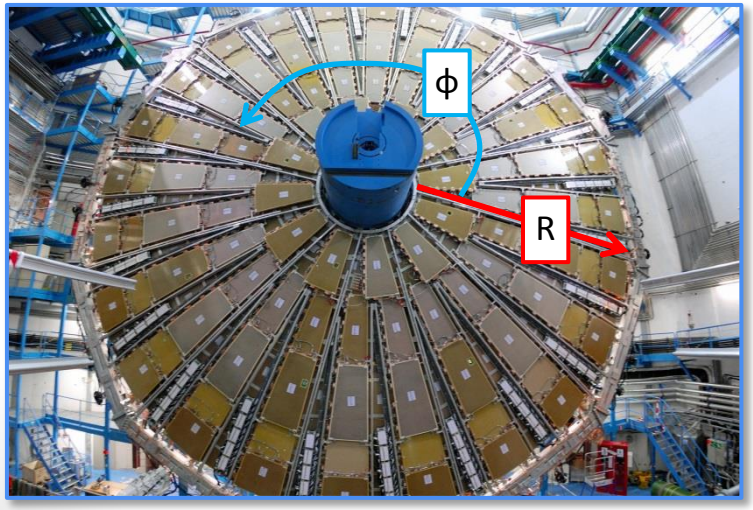
ATLAS検出器

ミューオントリガー検出器

Thin Gap Chamber

- 外側３層　＋　内側１層
  - ✓ 外側３層：Middle Station
  - ✓ 内側１層：Inner Station
- 1.05 < |η| < 2.4の範囲をカバー
- wire（R方向）& strip（φ方向）の次元読み出し

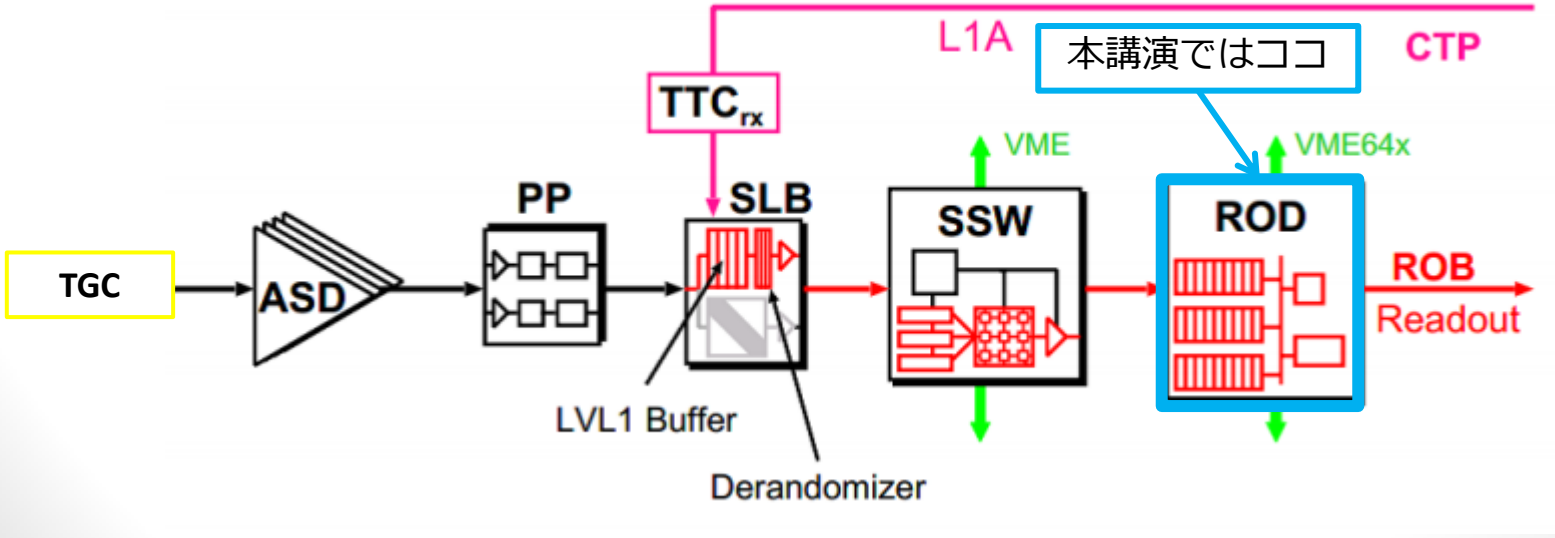




Middle：
- ミューオンはトロイド磁場によって曲げられる
- ３枚のミドルTGCのヒットと、∞運動量の飛跡からのズレで横運動量を求める
- 高い運動量のミューオンに対してトリガーを出力する

現在の TGC の読み出し系

- Level-1トリガーの判定を受けたデータを読み出す
- 読み出しの流れ
  1. デジタライズ・バンチ識別されたデータを SLB の Level-1 バッファに 2.5μsec 保持する
  2. L1A が与えられたデータ、その前後 1 バンチのデータを SSW へ送信する
  3. SSW でデータを圧縮し、RODへ送信する
  4. ROD で複数の SSW からのデータを Event building する（次ページ以降）



TGC ROD

- 24台：1台あたり1/12セクターを担当
- 主な機能
  - ✓ Event building
  - ✓ データの整合性をチェック
  - ✓ Central ATLAS DAQ system へ送信
  - ✓ CTP に Busy信号を出力

Event Building

1. 複数の SSW から送られるデータの収集
2. １つのイベントデータに形成
3. ATLASフォーマット（右図）へ変換
   - ✓ ROD → ROB
   - ✓ ATLAS共通の形式

	Data word				Comments
	31..24	23..16	15..8	7..0	
Frame	x'B0F0xxxx'				event frame word (control mode word)
Hdr0	x'EE1234EE'				start of header marker for ROD data
Hdr1	*reserved*	*reserved*	header size = 9		words (excluding the x'B0F0xxxx' word)
Hdr2	ATLAS format version=3.0				ATLAS=0x03'00, TGC=0x03'00
Hdr3	0	x'67' or x'68'			rce id: x'67'/x'68' = A/C endcap;
Hdr4	Run type				
Hdr5	Level-1 I				gh byte is Extended Level-1 ID
Hdr6	*reserved*	*reserved*	Bunch crossing ID[11..0]		
Hdr7	*reserved*	*reserved*	*reserved*	Trigger type	
Hdr8	Detector event type				not used yet
Status	First status word: specific | generic				≠0: event is **not** OK. See Table 2, & [ref. 1]
Status	TGC ROD event status				See Table 3.
Status	ROD VME filter bits				bit per SSW; Filter:1 = accepted. SSW: dropped or timed-out (see Table 4)
Status	Local status word				sence indicates which of the following agments are present[a]. See Tables 5 & 6.
Status	orbit count				orbit count; zero for first L1AID.[b]
Data	Fragment ID	"raw" data word count[c]			fragment ID =1, length in words
Data	Fragment ID	"readout format" hit data word count			fragment ID =2, length in words[d]
Data	Fragment ID	"readout format" tracklet data word count ("tracklet"= 3/4 or 2/3 coincidence)			fragment ID =3, length in words
Data	Fragment ID	"chamber format" hit data word count			fragment ID =4, length in words
Data	Fragment ID	"chamber format count			gment ID =5, length in words
Data	Fragment ID	HipT output wor			gment ID =8, length in words
Data	Fragment ID	Sector Logic word count			fragment ID =9, length in words
Data	raw data, hit, tracklet, sector logic, etc. fragments, in the order of the word counts.				See [ref. 6] and[ref. 8](raw) and Tables 7 to 10.
Data	...				
Data	last raw data, hit or tracklet word				
Trail0	number of status el				
Trail1	number of data				
Trail2	Status block position = 0, i.e				
Frame	x'E0F0xxx				vent frame word (control mode word)

Header

status

data

trailer

ATLAS Format to ROB

プロセス間通信

- **New TGC RODの主な役割**：Event building
  - ✓ SiTCPと通信するための機構　→　ソケット
  - ✓ データを保持するための機構　→　セマフォ、共有メモリ

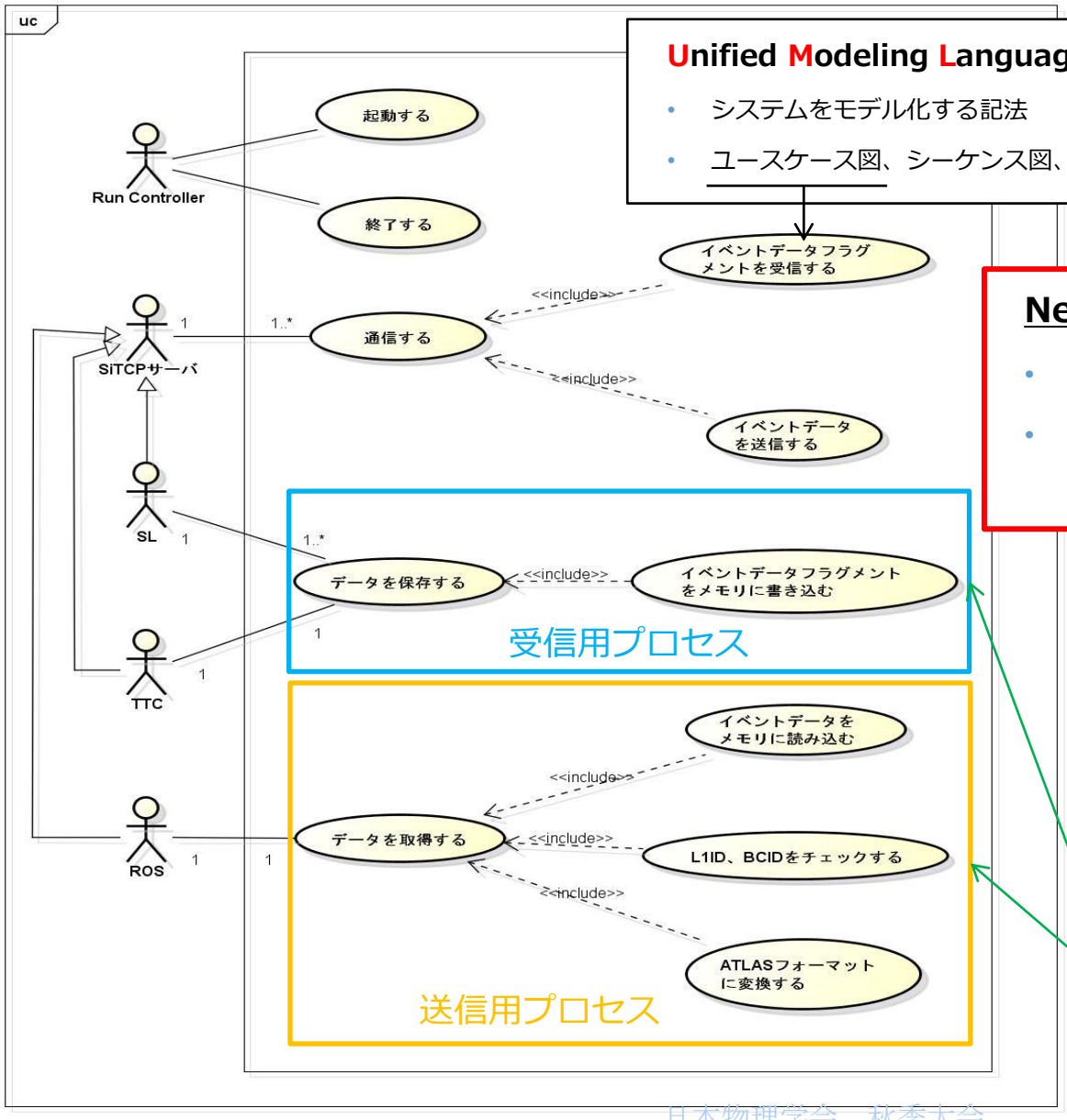
プロセス
プログラムの実行単位

- **TCPソケット**
  - ✓ TCP / IP通信をするための抽象的なインターフェース
  - ✓ クライアント・サーバモデル（クライアント：DAQ PC、サーバ：SiTCPとして構築）

- **セマフォ**
  - ✓ 並行動作をするプロセス間の同期・制御を行う機構
  - ✓ 共有されたメモリ領域、ファイルなどを管理できる

- **共有メモリ**
  - ✓ プロセス間で共有できるメモリ
  - ✓ 本システムではセマフォの制御を受けながらデータの書き込み・読み込みを行う

UMLによる設計



Unified Modeling Language

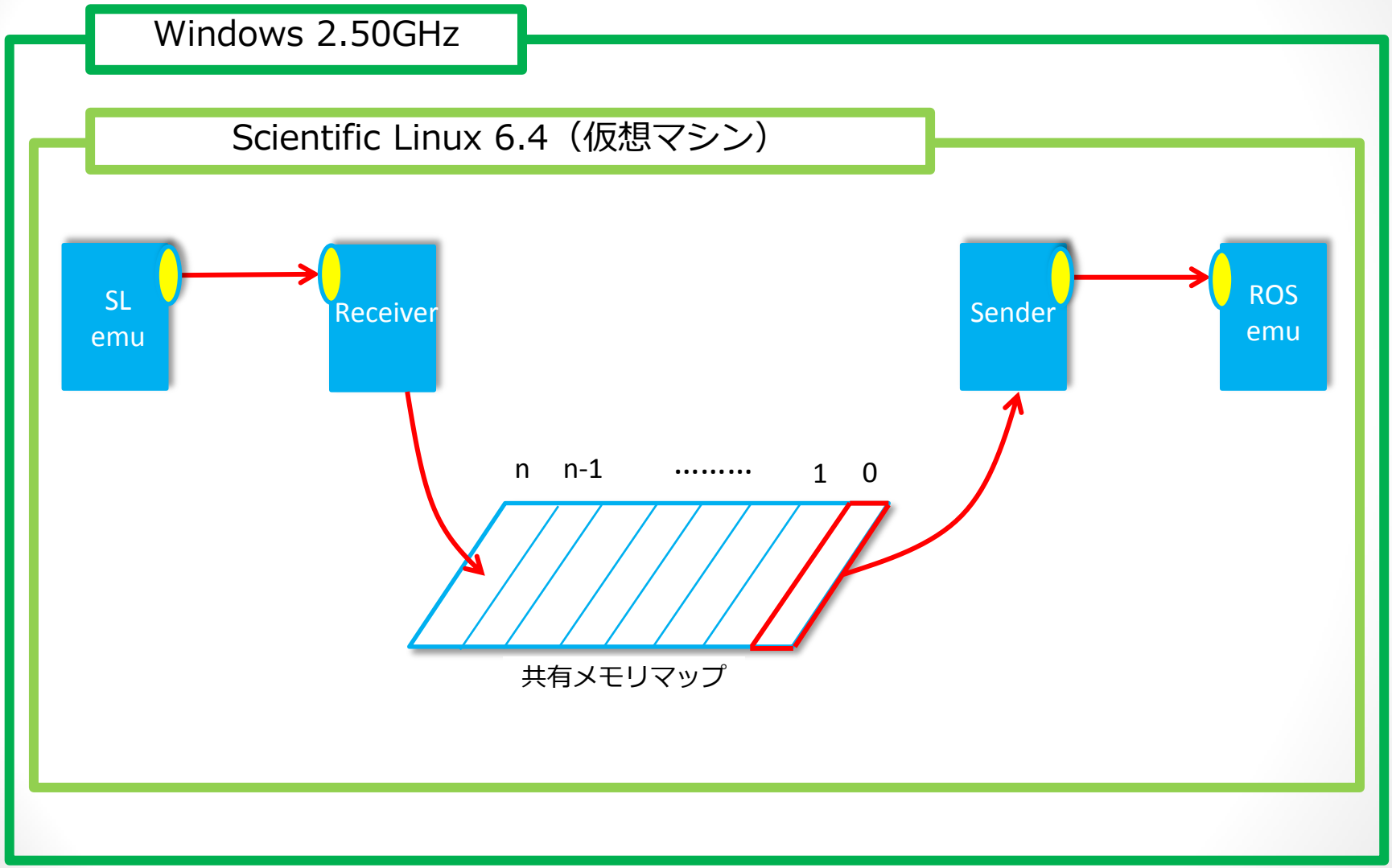
- システムをモデル化する記法
- ユースケース図、シーケンス図、クラス図…

New TGC RODに対する要求

- SL、TTCは**データを保持して**ほしい
- ROS は **Event building されたデータを送って**ほしい

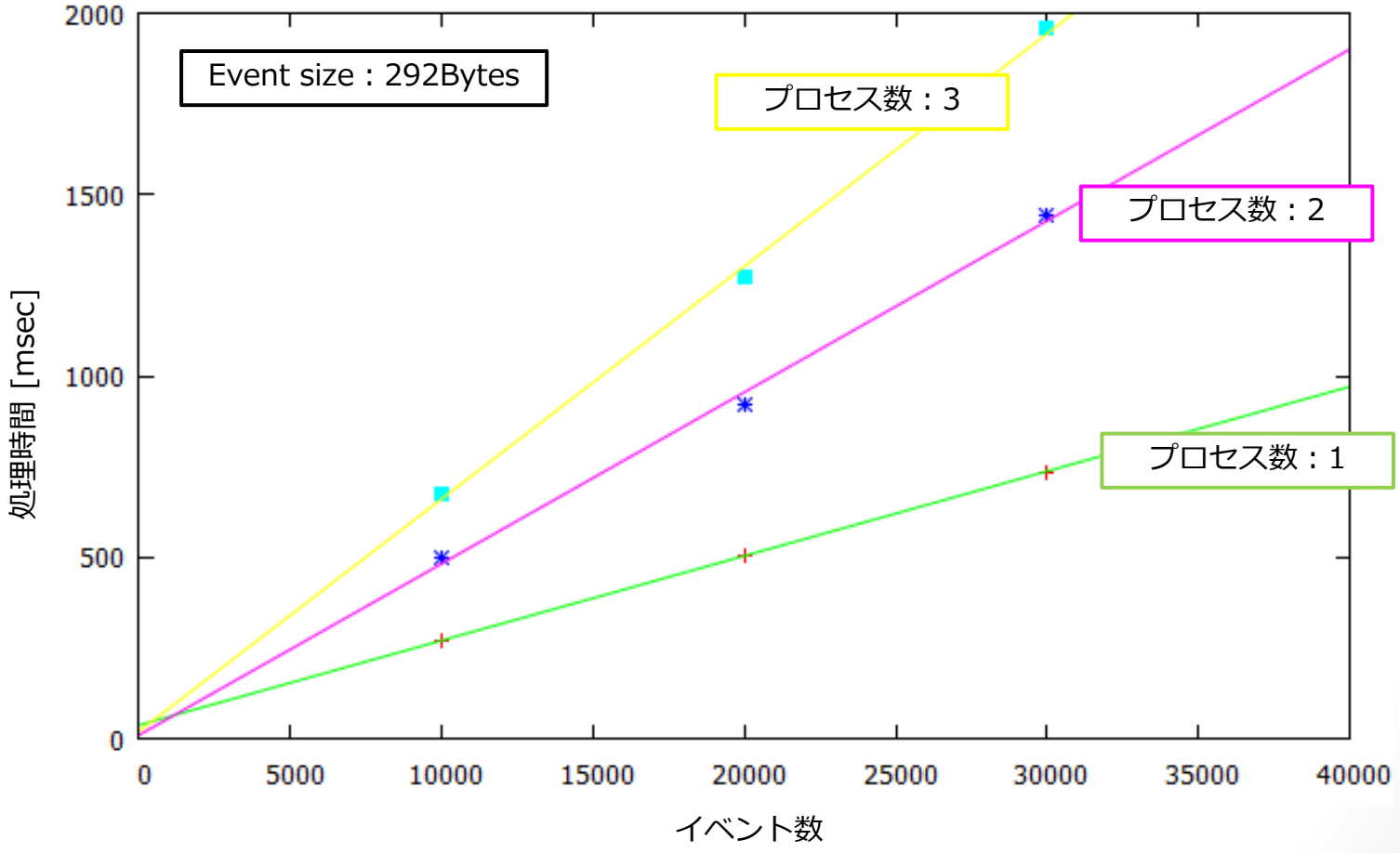
管理用プロセス

動作試験（試験環境）


Windows 2.50GHz
Scientific Linux 6.4（仮想マシン）
SL emu
Receiver
Sender
ROS emu
n
n-1
.....
1
0
共有メモリマップ

結果（仮想OS）

Receiver プロセス



結果（仮想OS）

Senderプロセス