

増田周, 窪秀利, 今野裕介, 齋藤隆之, 谷川俊介, 畑中謙一郎(京都大学), 石尾一馬, 大岡秀行, 手嶋政廣, 中嶋大輔, Daniela Hadasch, 林田将明, Daniel Mazin (東京大学), 郡司修一, 武田淳希, 中森健之(山形大学), 折戸玲子(徳島大学), 片桐秀明(茨城大学), 田中真伸(KEK), 猪目祐介, 山本常夏 (甲南大学), 他CTA-Japan Consortium, 池野正弘, 内田智久(KEK, Open-It)

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は北・南半球の両サイトに合計約 100 台の望遠鏡を建設し、20 GeV–100 TeV 以上のガンマ線を従来よりも 10 倍高い感度で全天観測する、29 カ国参加の国際共同プロジェクトである。我々は 23 m 大口径望遠鏡 (LST) の焦点面カメラに搭載する、光検出器信号読み出し回路を開発した。チェレンコフ望遠鏡は、大気入射時にガンマ線が形成する電磁カスケードシャワーを大気チェレンコフ光で撮像する。しかし LST が感度を持つ数十 GeV のエネルギー帯では空気シャワーから到来するチェレンコフ光子数が少なく、星の光等の夜光光子との判別が難しい。我々の読み出し基板は低消費電力のアナログメモリASIC「DRS4」を採用することで、7 本の光電子増倍管 (PMT) からの信号波形を同時に GHz でサンプリングし、シャワー光子と夜光光子の分離を可能にした。さらに LST は低エネルギー閾値を目指すため、平均 15 kHz の非常に高いトリガーレートが見込まれ、望遠鏡一台あたり平均 40 Gbps の超高速転送が必要になる。我々はこの要求に耐えるデータ収集システムを構築した。本講演ではLST 1 号機データ収集システムの概要・性能について報告する。

1. CTA 大口径望遠鏡 (LST) 読み出し回路・DAQへの要求仕様

▶強力な夜光BG除去能力

約 200 MHz/pixel 夜光BG光子と Cherenkov光子とを分離

▶低消費電力

1855 PMTs/telescope からの発熱を抑える

▶広いダイナミックレンジ

MSTのレンジとのオーバーラップ ⇒ **ゲインの異なる2系統のアンプ**

▶平均 40 Gbps/tel の超高速転送

平均 15 kHz の高トリガーレート、265 kB/camera/evt ⇒ **マルチスレッド化**

⇒ **アナログメモリ “DRS4”チップ**

✓GHz 高速サンプリング
✓2.64 W/Channel



図1：LST 完成予想図

2. 読み出し回路 Dragon Ver.5

▶DRS4

・アナログメモリ (switched capacitor array) のASIC

・最大 5 GHz (通常 1 GHz) sampling と 17.5 mW/ch の低消費電力 (回路全体で 2.64 W/ch)

・33 MHzの低速でA/D変換 → 低コスト

▶FPGAによる制御、DAQ

・基板上の8枚のDRS4、12bit ADC、18Mbit SRAM、DACを制御

・Slow Control Board 上のCPLDと通信し、PMTの高圧等を制御

・トリガーが生成されるとDRS4に保存された波形の電荷情報をデジタル変換する。FPGAに実装されたSiTCP技術により、データはGbit Ethernet デバイス(PHY)を用いて、スイッチ、カメラサーバへと転送される。

▶メインアンプ

・広ダイナミックレンジ実現のため High, Lowの2つのGain

・1 ch当たり5個の電流帰還型アンプを使用し広帯域化

▶アナログトリガー

・低エネルギー閾値を達成するトリガー方式。メザニン回路はスペインが開発。隣接21ピクセルの信号をアナログ的に足し合わせた波形に閾値を設ける。

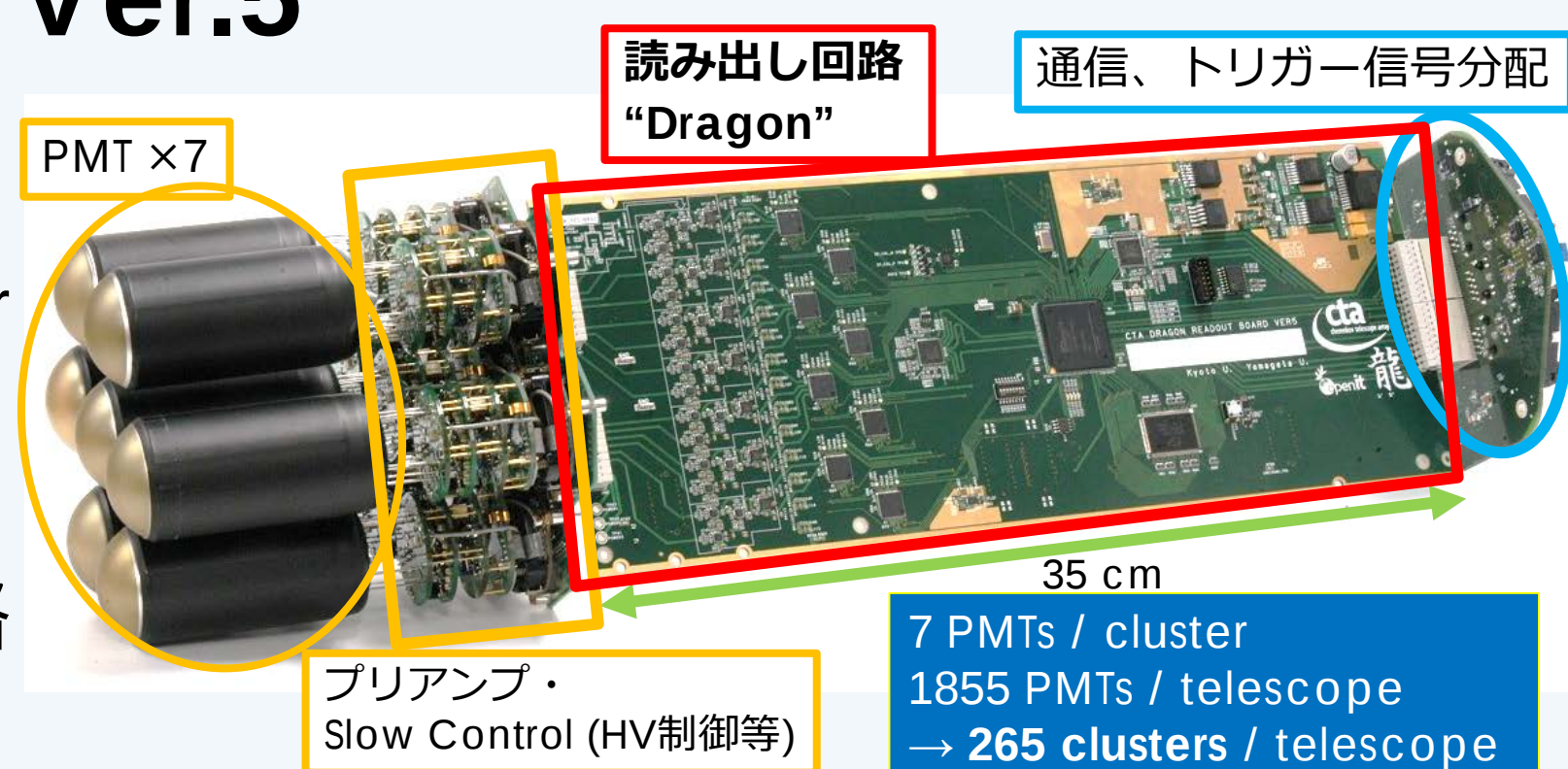


図2：LSTカメラに搭載される7 PMT モジュール

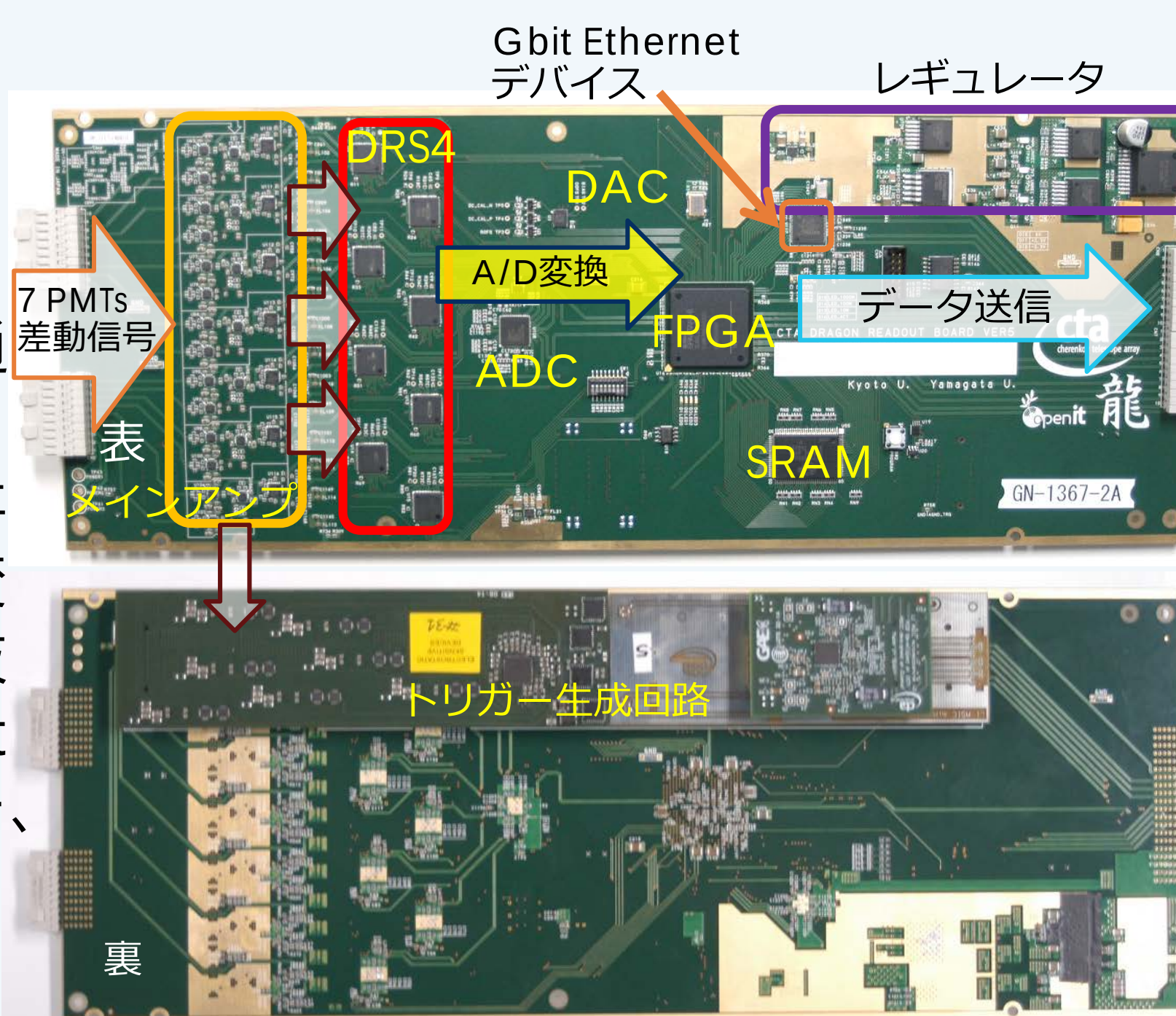


図3：Dragon 読み出し基板と信号の流れ

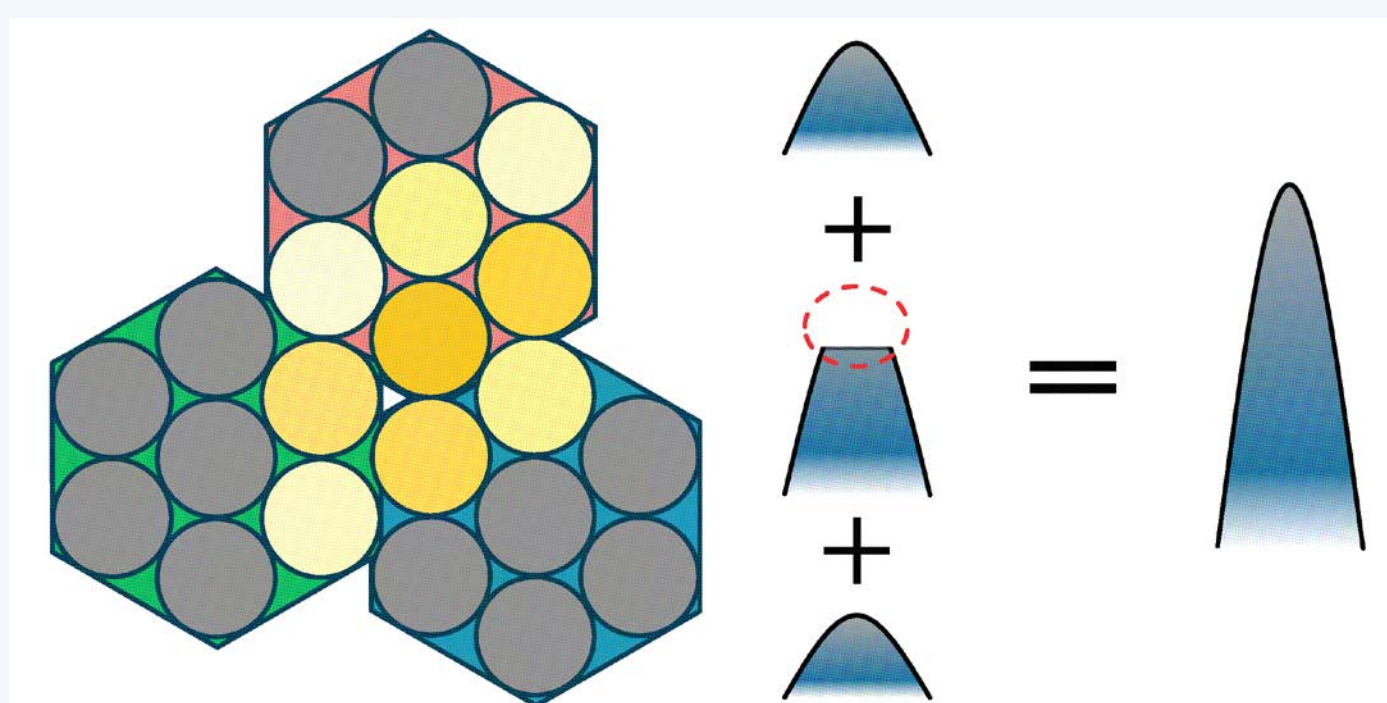


図4：アナログトリガーの概念図

3. DAQ の流れ

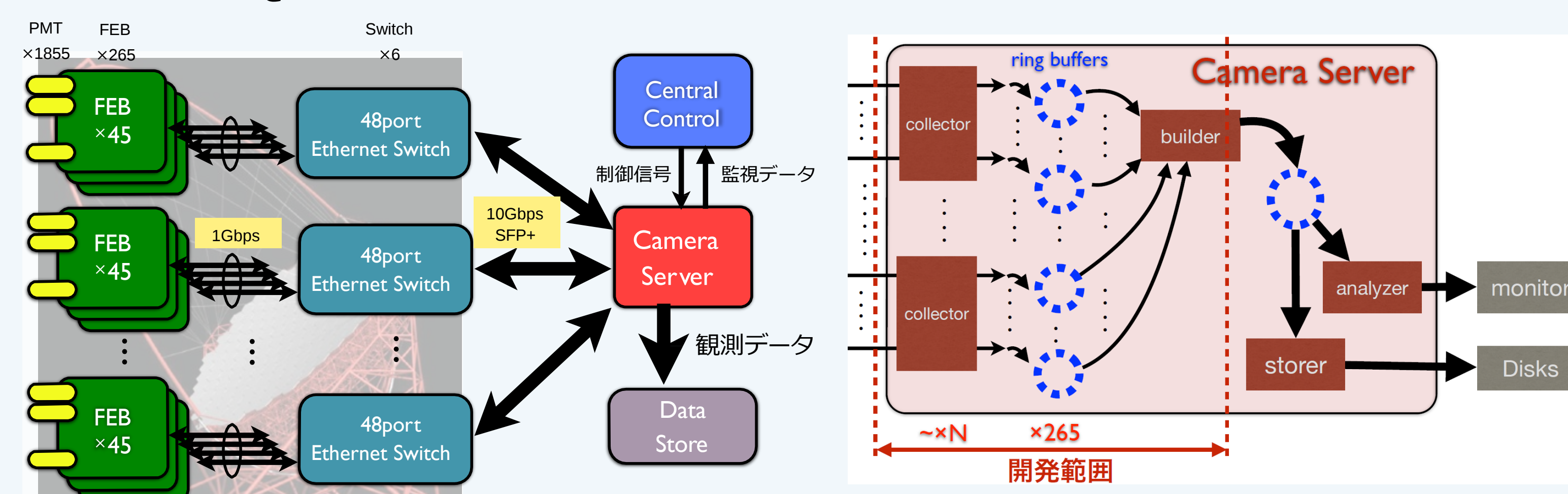


図5：DAQ ハードウェア構成 (左)とデータ収集プログラム構成(右)

▶マルチスレッド

・collector — TCP/IP通信でデータを取得複数スレッドで収集可

・builder — イベント結合

▶リングバッファ

・データを一時保管し、非同期通信による到着時間のズレを吸収

4. Dragon Ver.5 性能評価

✓1 Phe 以下から 2000 Phe 以上まで $\pm 5\%$ 以内のリニアリティ

✓High gainで 300 MHz 以上の広周波数帯域

(Low gainでは数十Phe以上を扱い、さらに 夜光ノイズ $\leq$ 電気ノイズ で波形は崩れないため、Highほど広帯域は求められない)

✓Gain 40000のPMTに弱いLED光を当て、1 Phe 信号波形を FWHM 2-3 ns で取得

✓1 Pheスペクトルから得られる SN比は 5.3

✓タイミングジッターは 1 ns 以内

図6：Dragonダイナミックレンジ(上、中)と周波数帯域(下)

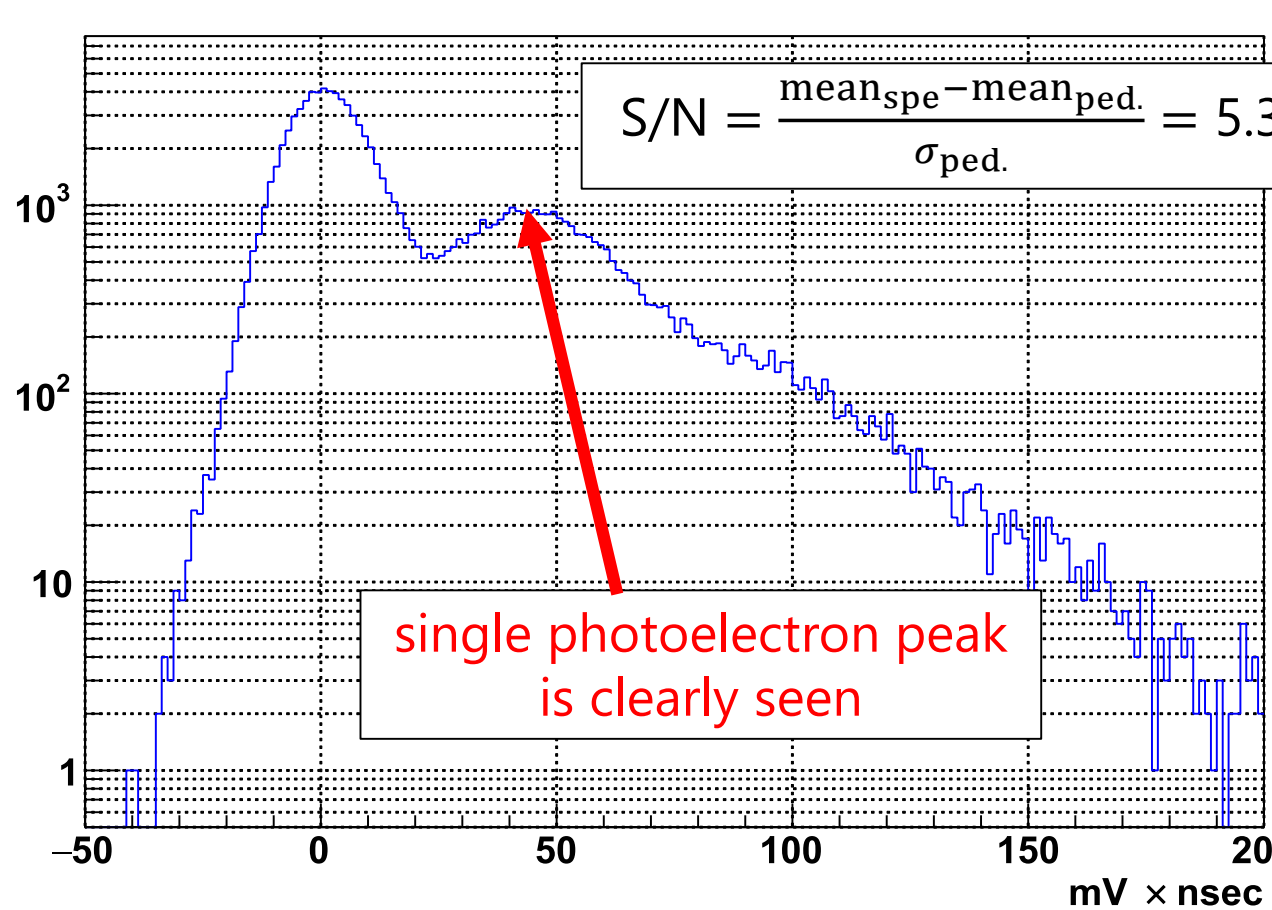
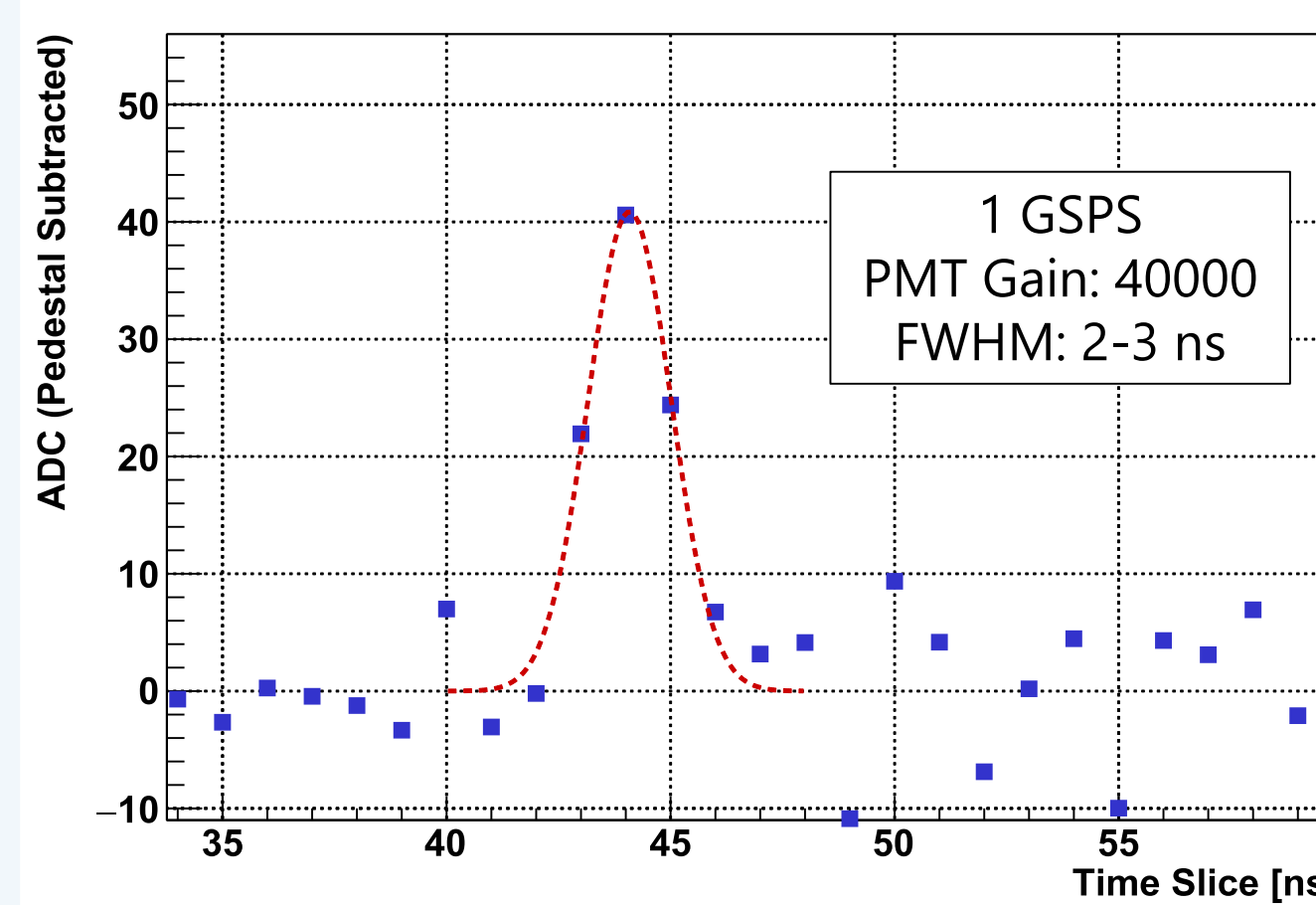
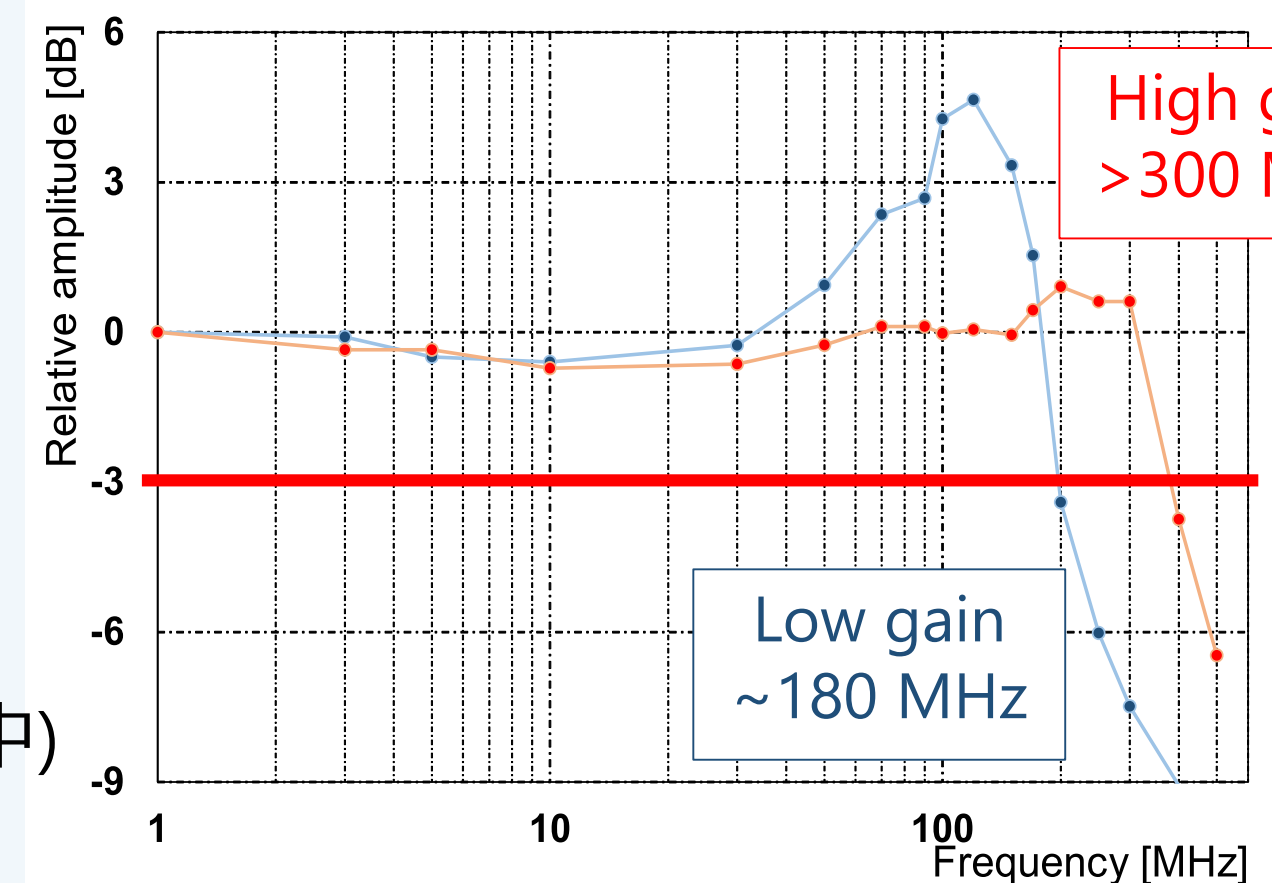
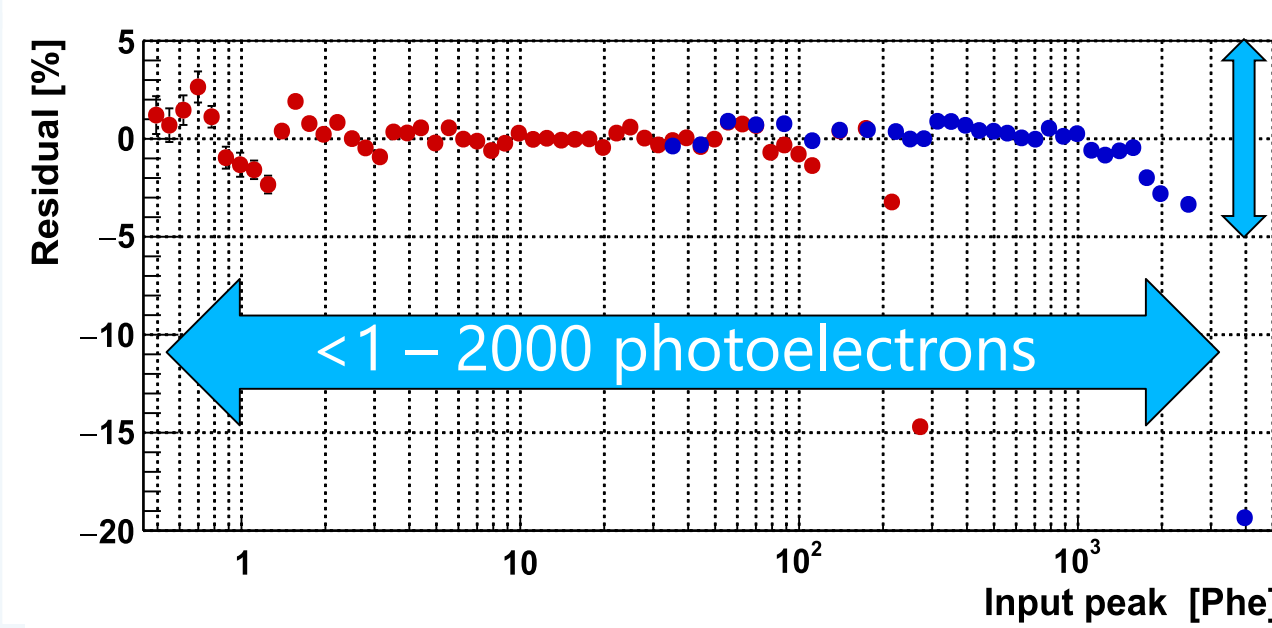
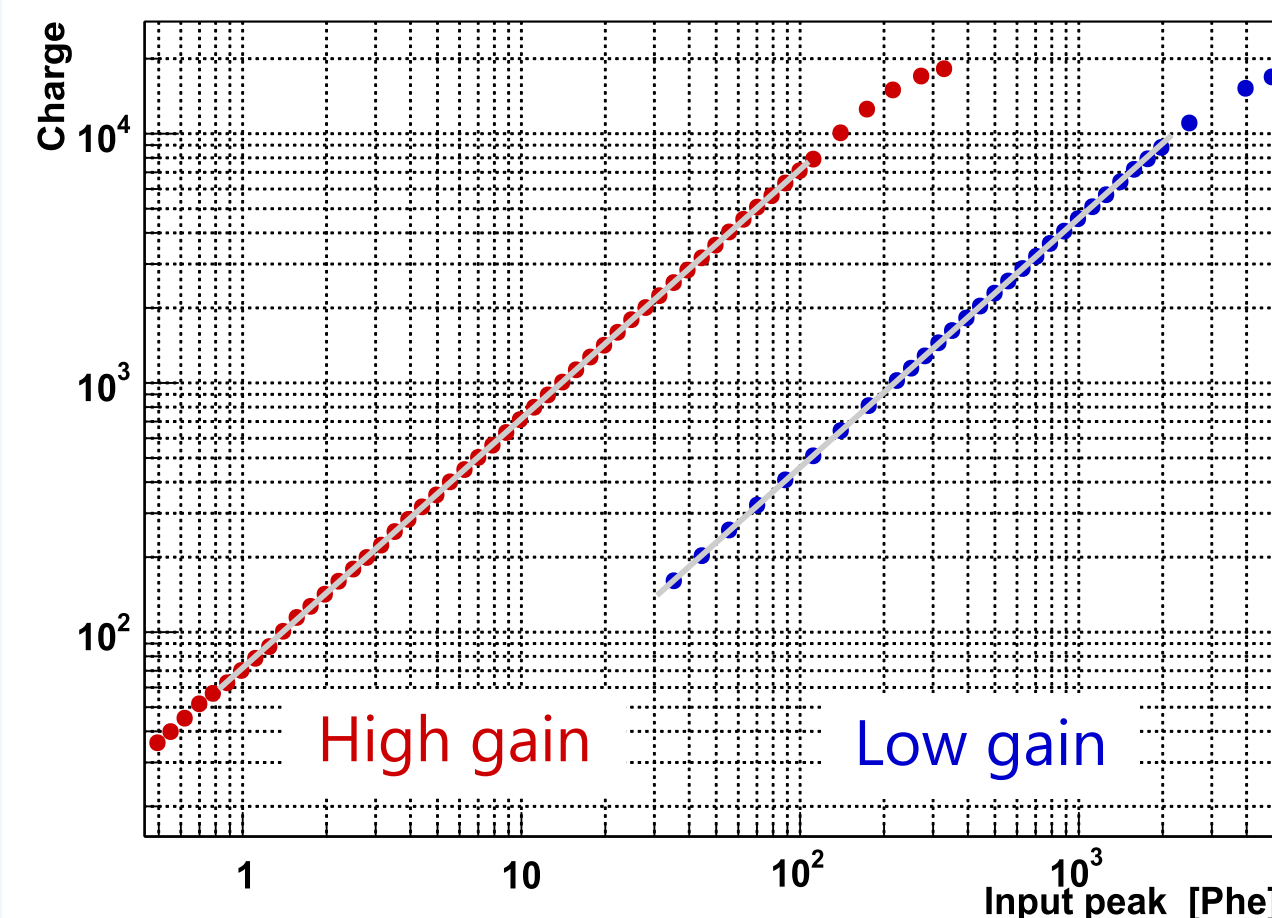


図7：Dragonで取得したPMTの1 Pheパルス波形(左)と1 Pheスペクトル

5. エミュレータを用いたDAQ試験

✓最大26台のPCをDragonのエミュレータとして使用し、試験した

✓collector を2スレッド使用することで要求性能(15 kHz)の約2倍の性能が期待できる

✓エミュレータ 16台に 45 kHz でトリガー、10時間データ収集に成功、要求値 15 kHzで45 接続での長時間データ収集が期待できる

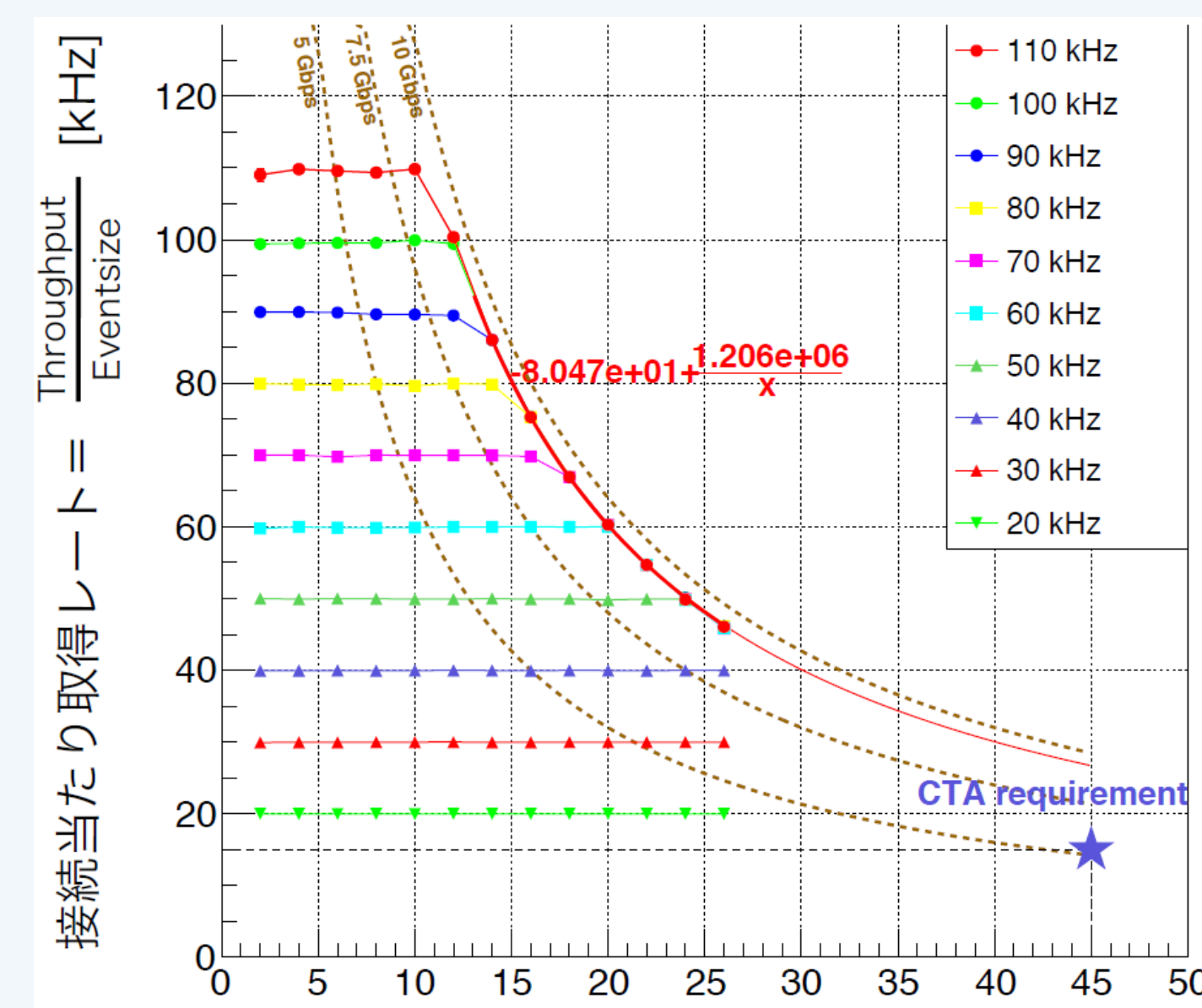


図8：26台を上限として接続数を増やしたときの、2スレッドにおけるデータ取得レート

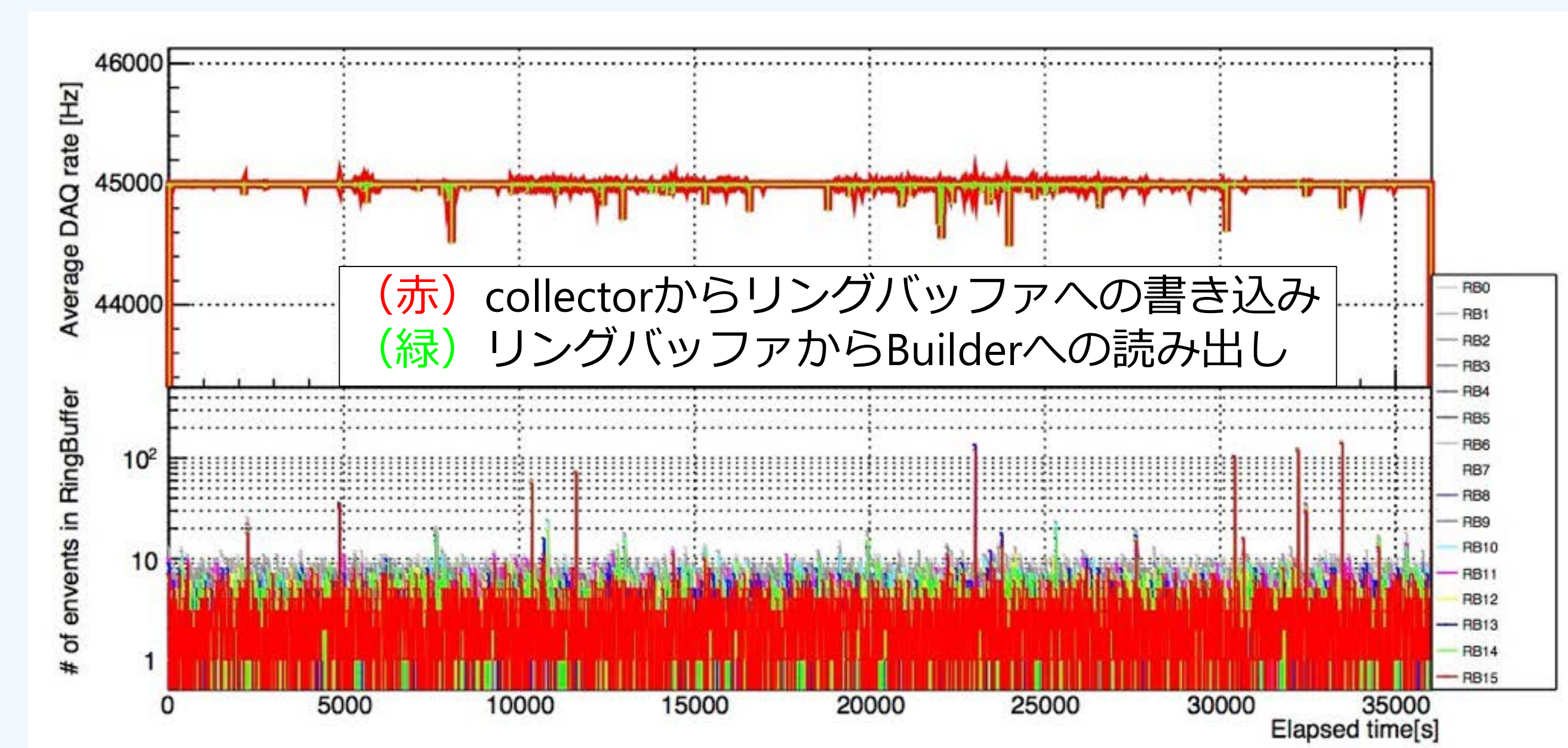


図9：全リングバッファの平均レート(上段)と各リングバッファ内滞留イベント数(下段)