



宇宙マイクロ波背景放射 観測実験の高度化に 対応したデータ収集系

樋口岳雄・田島治・羽澄昌史・長谷川雅也

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

茅根裕司

東北大学

他 QUIET コラボレーション

日本物理学会 2009年秋季大会

13aSC-3

QUIET 実験の概要

宇宙マイクロ波
背景放射



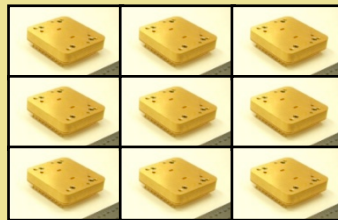
望遠鏡

望遠鏡モニター

時計

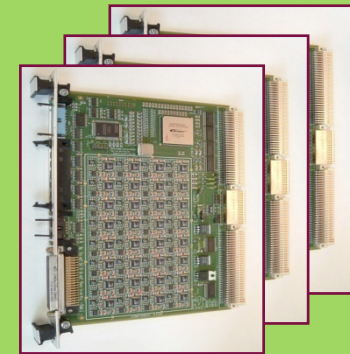
環境モニター

バイアス電圧
電源装置



偏光計

システム同期用
クロック



A-D 変換器

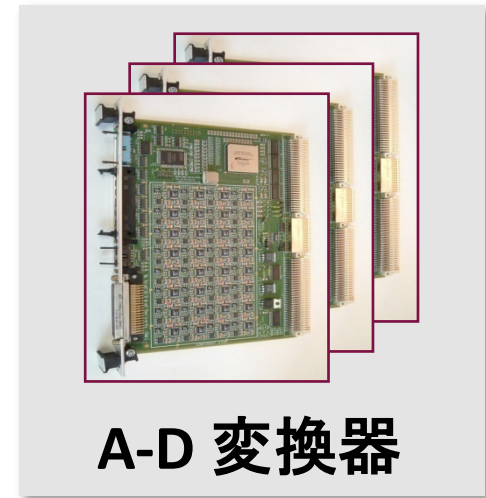


記録システム

QUIET 実験のデータ源

バイアス電圧 電源装置

- 偏光計に印加する
バイアス電圧電源の状態。



A-D 変換器

- 約 1,600 個数の偏光計から
各 8 チャンネル分の出力。
- 約 12,800 チャンネル分の
データを A-D 変換した、
QUIET 実験のメインデータ。

- 望遠鏡の 3 次元的な向きの情報。

望遠鏡モニター

時計

環境モニター

- GPS による時刻情報。
- 温度、天候などの環境情報。

QUIET 実験のデータ特性

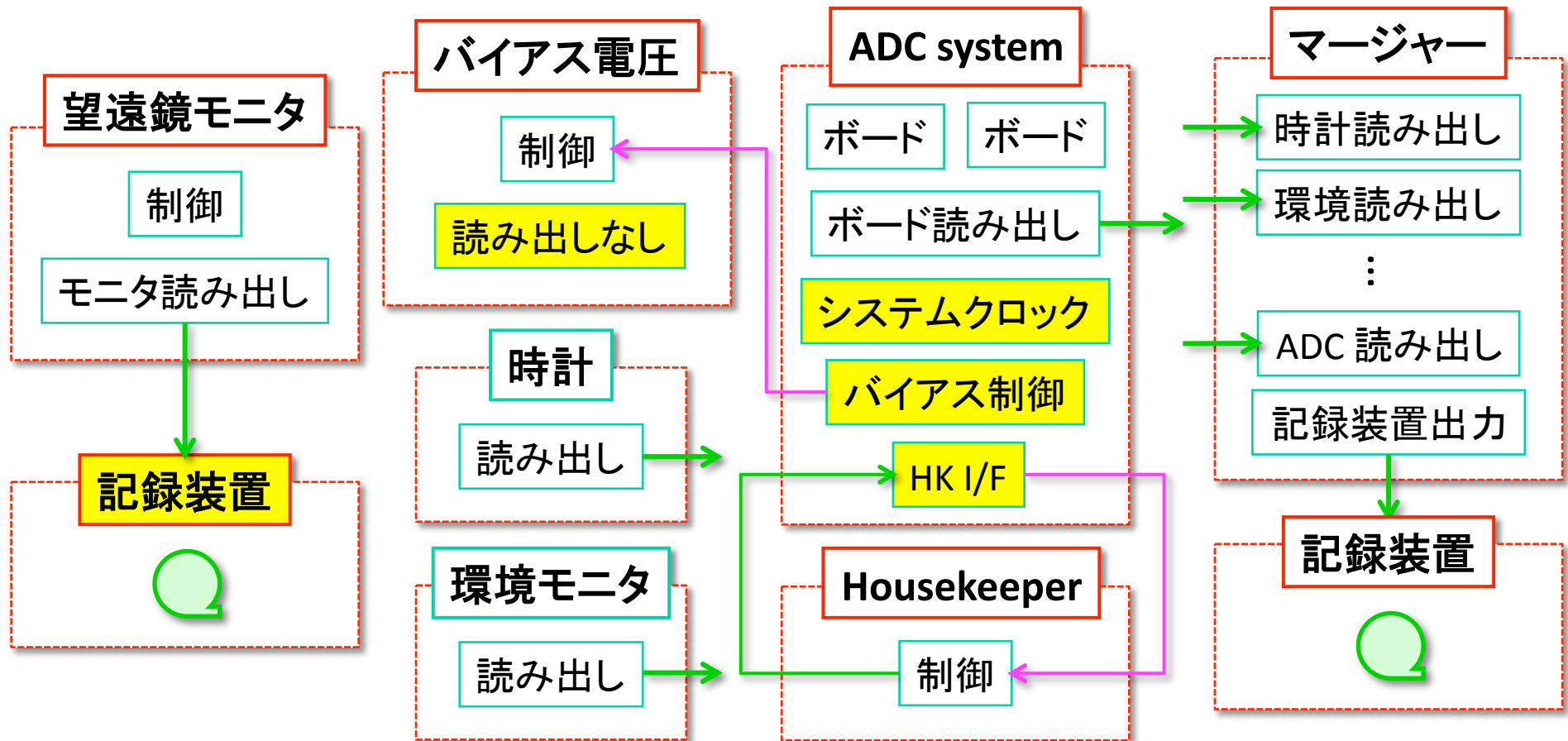
・望遠鏡・偏光計

- 望遠鏡は常に天空を観測している。
- 偏光計は常に偏光データ (Stokes parameters) を出力している。
 - 1つの偏光計は8つの出力ポートを持つ。
 - 出力ポートの系統誤差を減らすため、**4kHz** ごとに、出力される Stokes parameter の Q と U が入れ替わる (demodulation)。

・A-D 変換器

- A-D 変換器は偏光計の出力を **18bit/800kHz** でデジタル化する。
- デジタル化されたデータは 8,000 サンプルごと (**100Hz 周期**) に平均 (averaging) され、VME バス経由で読み出される。
- 64 チャンネル入力の VME ADC ボードならば 200 枚を要し、また VME クレートは 13 台程度必要となる。

QUIET 第 1 期実験の DAQ



- QUIET 実験の DAQ として適確に機能。最初期の DAQ として成功。
- ADC を中心とした小規模実験指向のデザイン。
QUIET 実験の大規模化に向けてスケーラビリティを意識したデザインが必須。
- エラー処理を含む制御機能と読み出し機能およびクロックの分離が必要。

QUIET 第 2 期実験の DAQ 計画

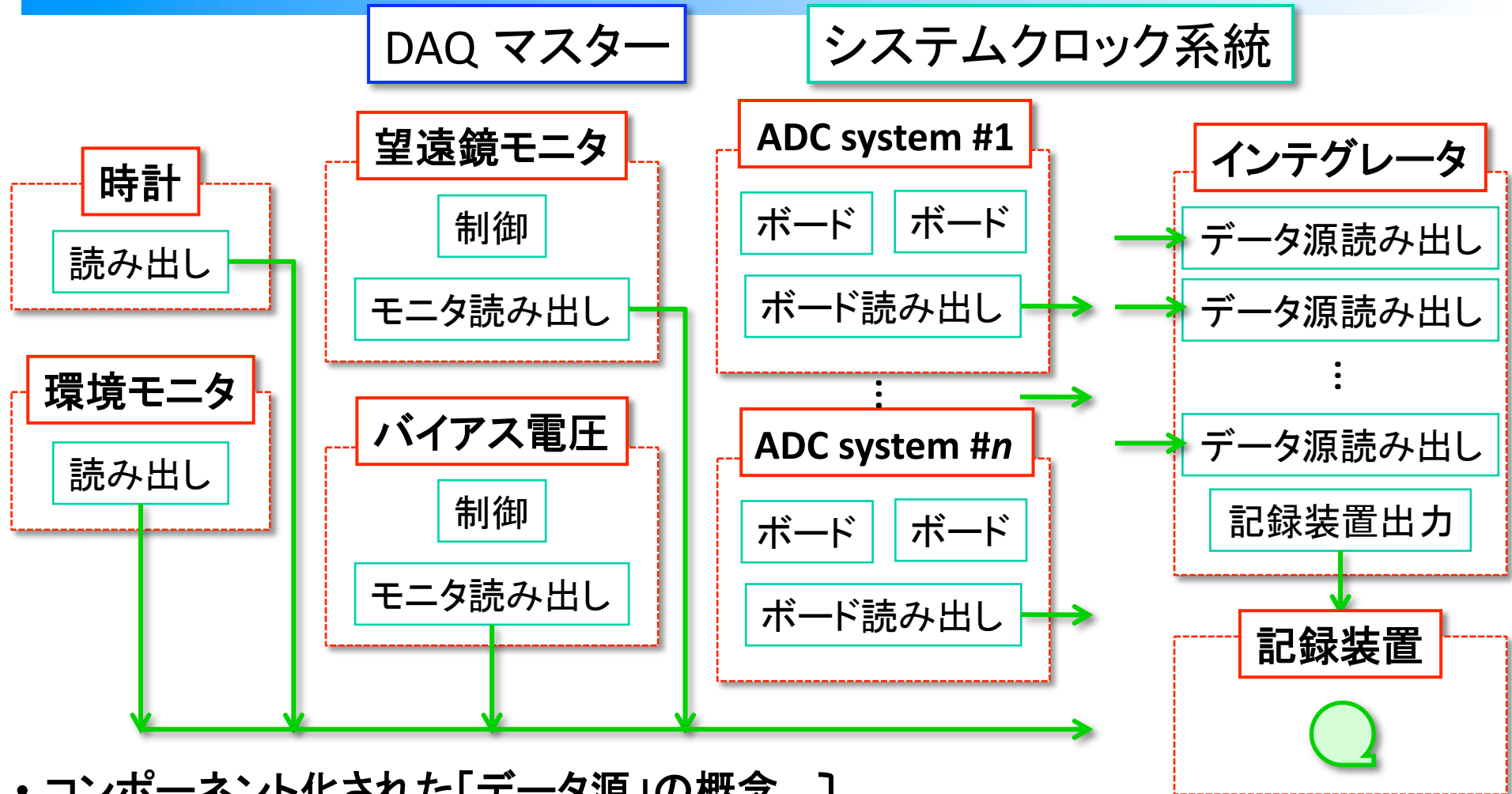
- DAQ システムの特徴

- 高エネルギー実験の DAQ と相似性が大きい。
 - 偏光計の全チャンネル数は約 12,800 と膨大である。
 - メインデータのほかに複数のデータ源がある。

高エネルギー実験の DAQ の特徴

大きな DAQ システムの必然として
スケーラビリティを意識して設計されている
→ システム開発・保守・拡張が容易

QUIET 第 2 期実験の DAQ 計画



- コンポーネント化された「データ源」の概念
- データ源インテグレータの導入
- 「DAQ マスター」による全体制御
- 独立したシステムクロックシステムの導入

スケールビリティの実現

要素開発: A-D 変換器

- ・ 現在使用中の A-D 変換器

- VME 6U サイズ。ボードあたり差動 32 入力。
- A-D 変換のほかにシステムクロックの供給やバイアス電源の状態監視などを担当する。多機能であるが、その分複雑でスケーラビリティが少ない。



現在の A-D 変換器

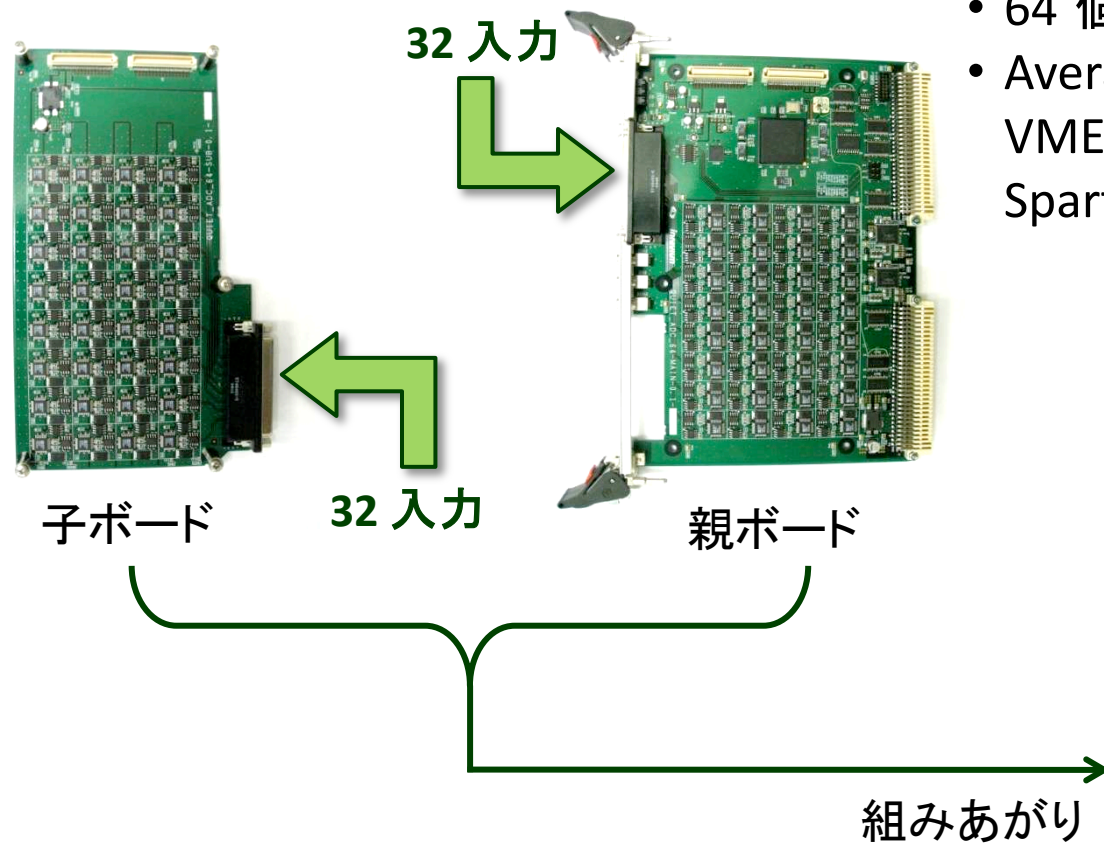
- ・ 新しい A-D 変換器の設計コンセプト

- 機能を A-D 変換に限定し、スケーラビリティを高める。
- ボード当たりのチャンネル密度を倍にし、偏光計のチャンネル数増加に対応する。

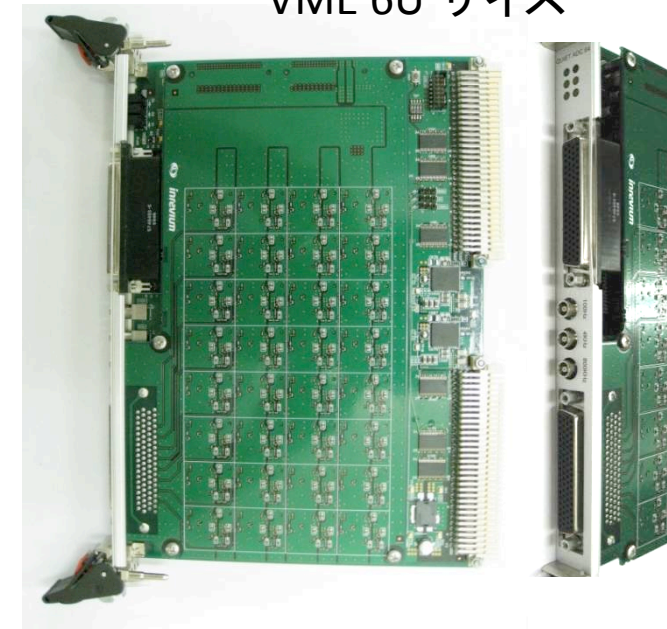
要素開発: A-D 変換器

- KEK で開発した高密度でスケラブルな A-D 変換器

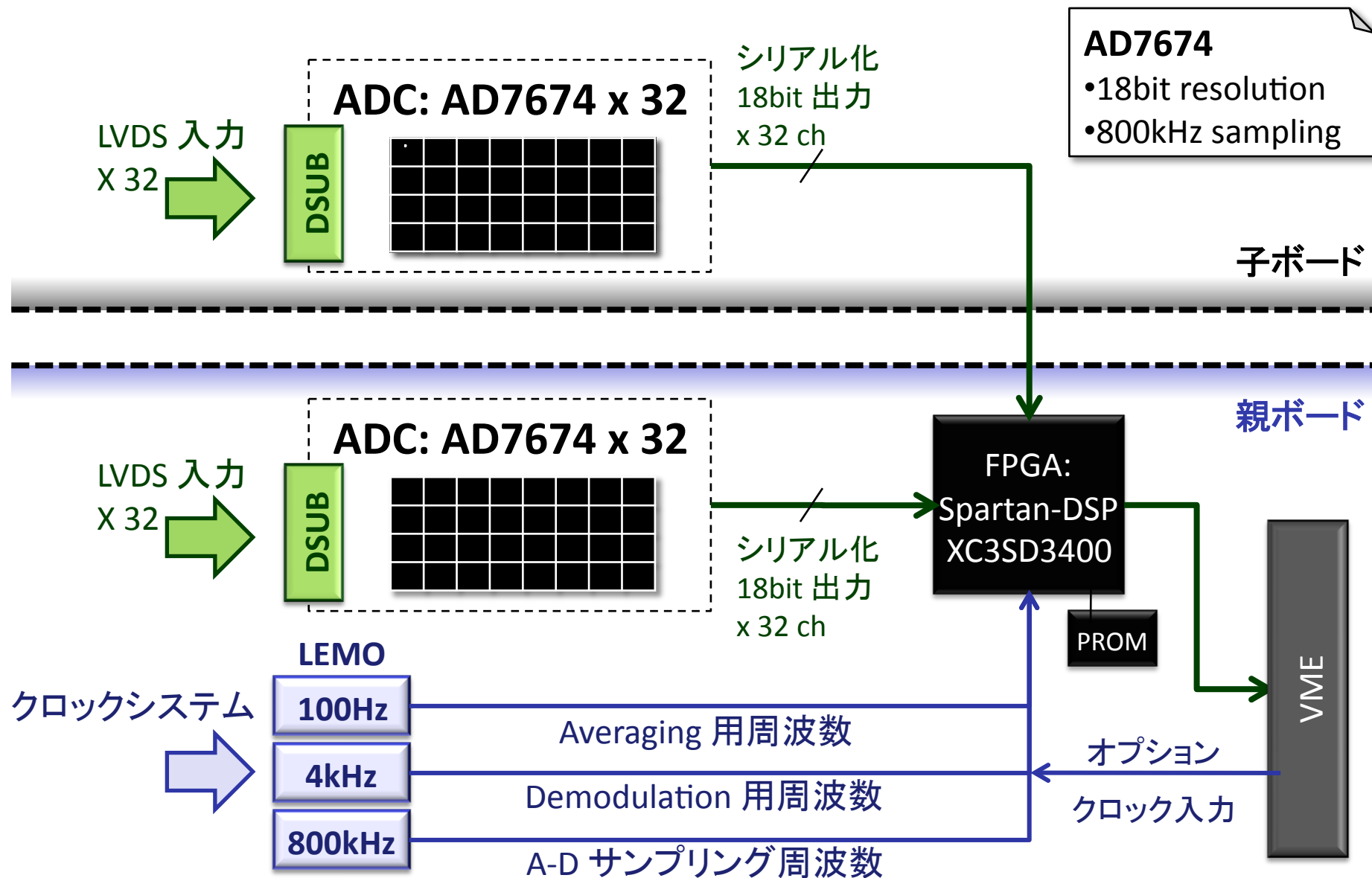
- 32 x 2 の差動アナログ入力コネクタ。
- 64 個の A-D 変換チップ AD7674。
- Averaging と demodulation、および VME バスとの通信を担う FPGA Spartan-DSP XC3SD3400。



VME 6U サイズ



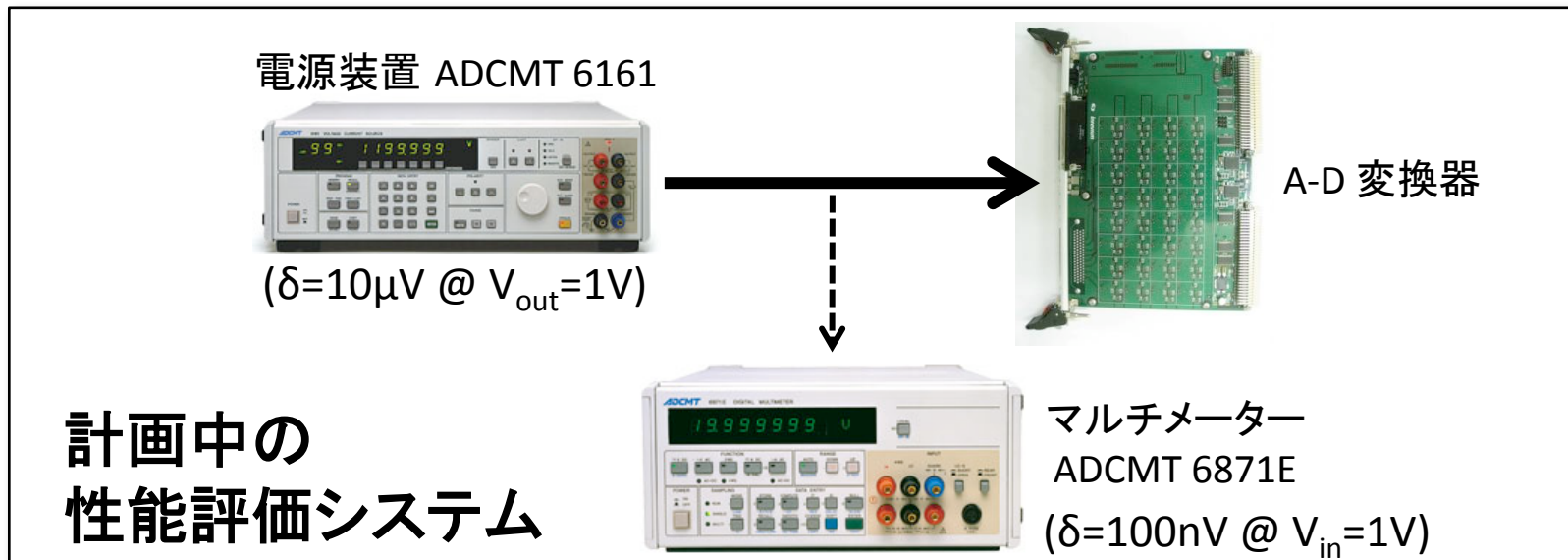
要素開発: A-D 変換器



要素開発: A-D 変換器

・ A-D 変換器に関する今後の研究項目

- FPGA ファームウェアのコーディング
 - ADC 出力のデシリアライザ、demodulation、averaging、VME インターフェイス等の実装。
- 性能評価 – 線形性と分解能の検証
 - 18bit ADC の性能評価なので、電源装置の安定性と測定器の精度の、いずれも超高性能なものが必要。



要素開発: クロック系統

・クロック系統の設計

- クロック系統はデータの流れとは分離。DAQ 系統の各システムは、クロック系統からクロックを受信する (自作しない)。
- 問題の切り分けを容易にするため、全クロックは単一のソースの分周によって作成され、すべて同期していることが望ましい。

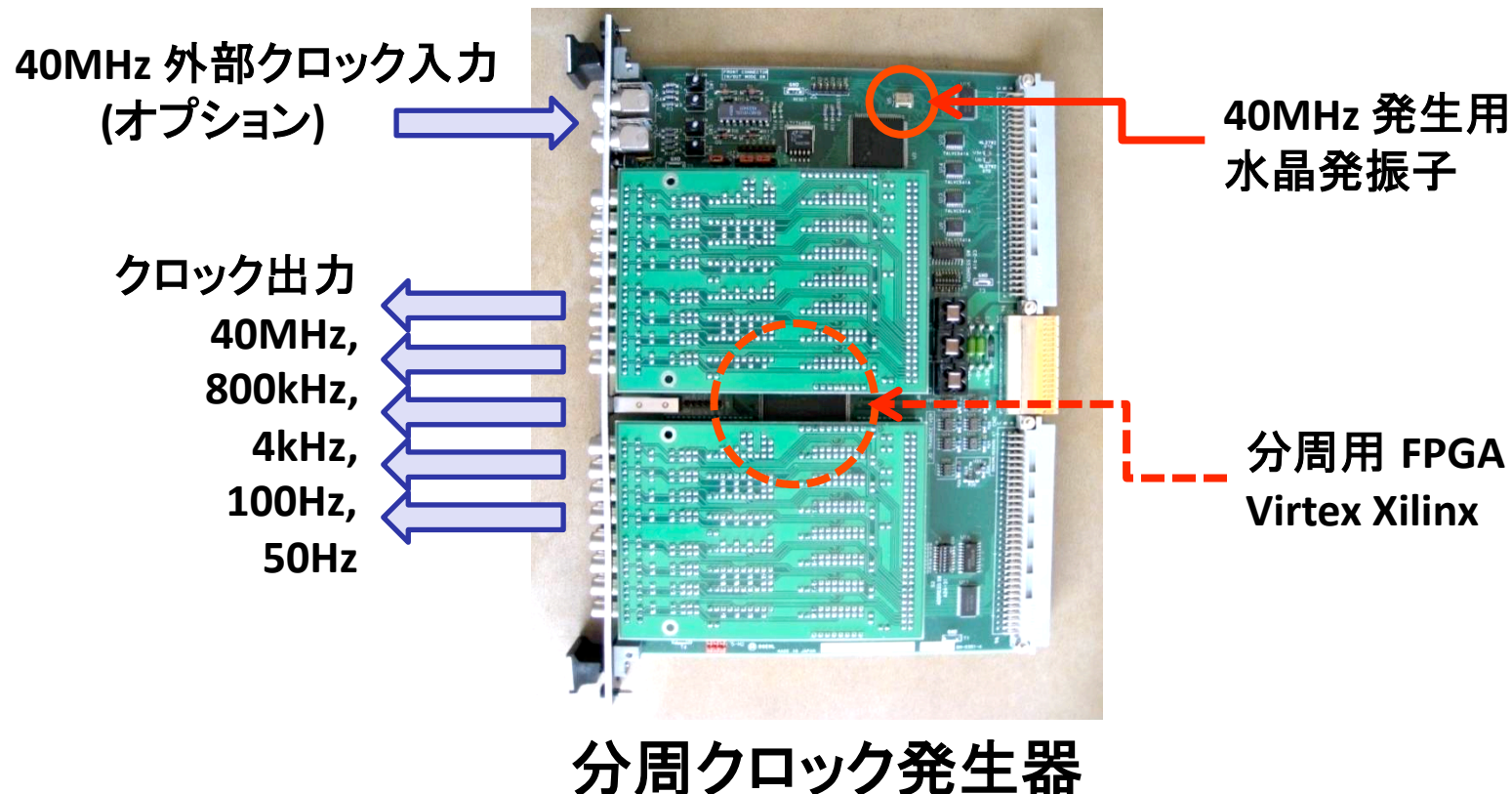
・必要なクロック周波数

40MHz	システムクロック。 A-D 変換器本体のほか望遠鏡制御機器等を使用。
800kHz	A-D 変換器のサンプリング周波数。
4kHz	Demodulation 用周波数。
100Hz	A-D 変換データの averaging 用周波数、 読み出しタイミング。
50Hz	Double demodulation 用周波数。

要素開発: クロック系統

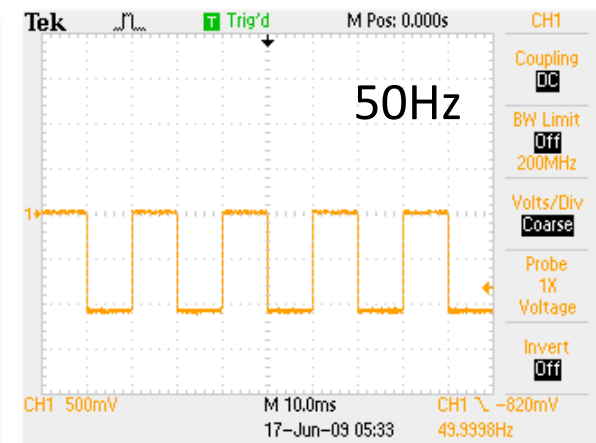
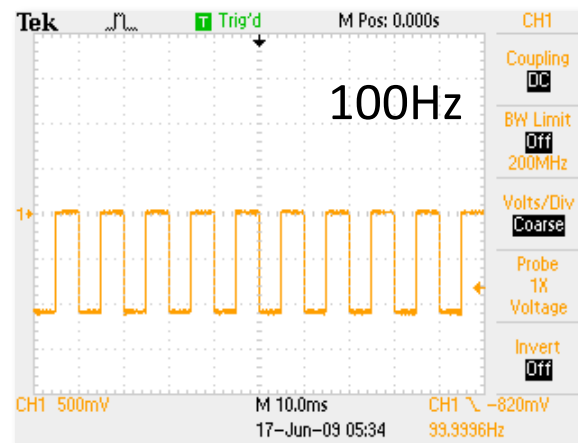
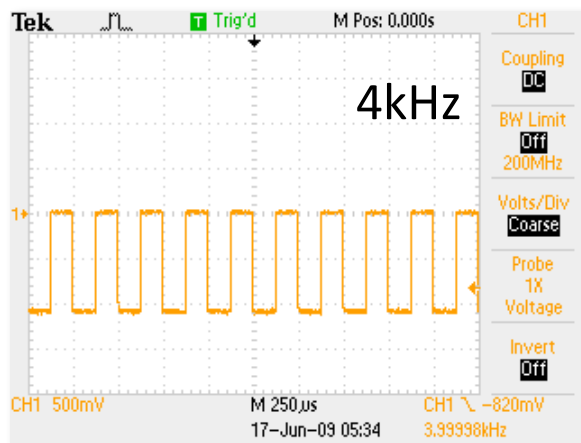
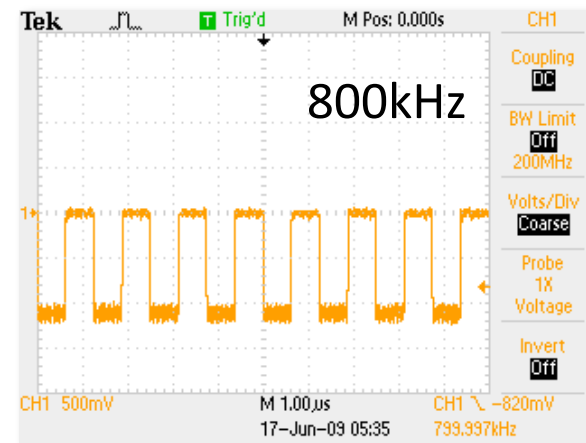
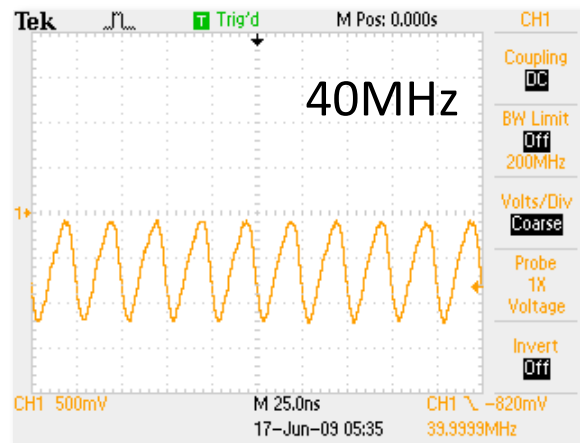
・分周クロック発生器

- 各部のクロック同期のため、クロックはシステムクロック (40MHz) の分周によって作成し、これを各部に分配する。



要素開発: クロック系統

- 分周・作成されたクロック



要素開発: データ保管システム



チリの観測サイト



現地で生データを
Blu-ray に記録



シカゴ大学へ
メディアを物理輸送



シカゴ大学内



生データのまま記録
“Level 0”

簡易解析をして記録
“Level 1”

インターネット

オフィシャル
バックアップ

KEK 滞在
研究者用のコピー

KEK



コピー
モニター
機能付き

まとめ

- QUIET 第 2 期実験のためにスケーラブルな DAQ システムが必要であり、そこには高エネルギー実験の技術が応用可能である。
- QUIET 第 2 期実験の DAQ ではコンポーネント化されたデータ源、データを統合するデータ源インテグレータ、独立したクロック系統、各コンポーネントをつかさどる DAQ マスタ等の概念を導入する。
- 各コンポーネントのいくつかの要素開発に着手した。
 - スケーラブルで高密度な A-D 変換器の試作品
 - クロックシステム
 - データ保管システム
- KEK はさらに研究を進め、QUIET 第 2 期実験の DAQ で主導的な役割を果たす。

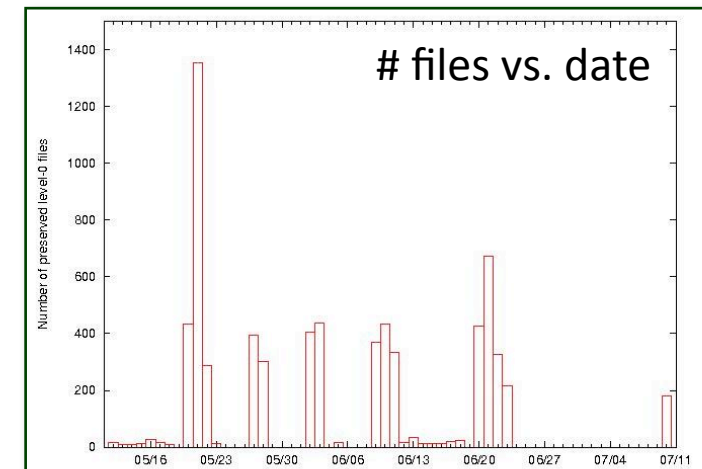
要素開発: データ保管システム

- **Level0 データのコピー: intelligent copy**

- scp を使用。4 つの scp が同時に並走。合計約 1.4MB/s。
- コピー直後に両データのチェックサムを比較して整合性を確認。
- ひとたびコピーが正常に完了したファイルは、情報を記録して再度のコピーを回避。
 - オリジナルデータの破損があってもバックアップ側は保護される。
- コピー不良等の異常検出を容易にするため、コピー日報を自動生成して web に掲載。
- 記録媒体・容量: テープ 25TB

- **Level1 データのコピー: trivial copy**

- rsync を使用した単純な同期。



要素開発: KEK データ解析システム

ファイルサーバー



DELL PowerEdge 2950III
Quad-core Xeon 2.66GHz
8GB メモリ
RHE5 (64bit)
73GB local disk

LAN

NIS/NFS

計算サーバー (15 台)



...



DELL PowerEdge R200
Quad-core Xeon 2.66GHz
8GB メモリ
Redhat Enterprise 5 (64bit)
80GB local disk

SAS

DAS



DELL PowerVaultMD1000
10TB RAID システム

その他

ログインサーバー

バッチシステム

TORQUE + MAUI (いずれも無償)

導入済み解析ソフトウェア

IDL、matlab、cmbfast 等