

1 データ取得 (ver.3.00)

ここで取り扱うデータ取得の範囲は以下の通りで、神岡実験施設に設置すべきシステムを対象とする。

1. Main DAQ system
2. Frame Maker
3. Detector Diagnosis
4. Environment Monitor
5. Time Keeper and Global Positioning System
6. Raw Data Archive
7. Pre Analysis Server
8. Data Distribution

システム全体の概念図は図 1 に示した通りで、神岡鉱山内に設置される重力波検出器からデータを取得し、共同研究者へデータを配信するシステムである。基線長 3 km の重力波検出器では、取得すべき信号源は広範囲に分散している。このため、検出器の各所に設置された DAQ station と呼ぶフロントエンドにおいてデータを取得し、データを Raw Data Archive と呼ぶコンピュータに集積する。集積されたデータは Diagnosis Server と呼ばれるコンピュータにて検出器の動作状況のモニターならびに診断に使われる。

一方、重力波検出に重要な信号として選別されたデータは、Main system と呼ばれるコンピュータにて集積され、Pre-analysis server と呼ぶコンピュータにて、様々な重力波源探査に適した形式にデータが処理される。Pre-analysis server およびデータ配信用の Data distributor は神岡坑外の研究施設に設けられた計算機室に置かれる。

重力波探査に参加する共同研究者は、上記 Data distributor よりデータを受け取ることが出来る。

また、データ取得の際の時刻同期を目的とした Time Keeper and Global Positioning System もデータ取得グループの担当するシステムとする。

重力波信号探査のための国際的な相関解析については、国外の検出器ネットワークにアクセス出来ること、予め重力波信号選別が行える計算能力が有することなどが必要であるので、神岡実験施設に設置すべきシステムとせず、別途解析システムとして議論する。

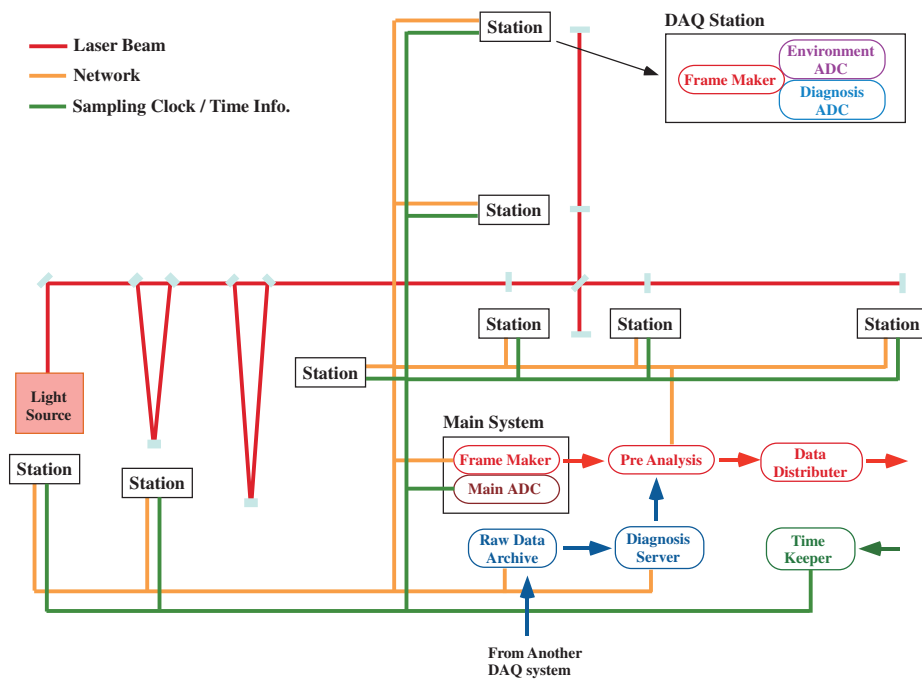


図 1: データ取得概念図: 2 台の干渉計それぞれに独立したデータ取得システムを構築する。共通システムは Raw Data Archive、Diagnosis Server、Time Keeper and Global Positioning System である。

1.1 Main DAQ system

ここで取り扱う信号は、主に重力波信号探査に用いられるものに限定する。このシステムの一番大切な仕様は観測帯域の上限周波数で、Compact binary objects の inspiral だけを考えた場合は、 $0.1 M_{\odot}$ の連星では Inner-Most Stable Circular orbit での公転周期から、重力波の上限周波数が 5 kHz 程度と見込まれる。しかし LCGT project では、inspiral phase のみならず合体直前、直後の波形解析から星の内部情報に関する研究も期待されている。このような研究のことも考慮して、観測帯域の上限を 10 kHz と設定した。これに伴う Analog-to-Digital Converter、Frame Formatted Data File の仕様は、表 1、2 の通りである。

Sampling Clock	$32768 \text{ Hz} = 2^{15}$
Number of Channels	32 CH
Bit Resolution	24 bit = 4 byte integer
Anti-alias Filter	Digital Filter with 10 kHz cutoff
Data Rate	4 MB / sec

表 1: Main DAQ system: Analog-to-Digital Converter (ADC) 仕様

Frame Length	1 second = 32768 samples
File	64 frames / file

表 2: Main DAQ system: Frame Formatted Data File 仕様

1.2 Frame Maker

Main DAQ system と違い以下の Detector Diagnosis と Environment Monitor は、検出器の各部を監視するという目的上、実験施設内に分散して設置せざるを得ない。このため Frame Maker と Detector Diagnosis ADC、Environment Monitor ADC の 1 セットを DAQ station とし、実験施設の 8 つの区域をそれぞれ分担することにした。

Frame Maker の役割は

1. 各 ADC からデータを読み出す。
2. データを Frame Formatted Data File として記録する。
3. 記録したデータを Raw Data Archive へ転送する。
4. 記録したデータを用いて干渉計の動作状態を診断する。

で、このためのハードウェア仕様は以下の通りである。

Operation System	UNIX
Hard Disk	$14.4 \text{ GB} / \text{hour} \times 70 \text{ hours} = 1 \text{ TB}$
Network Interface	Gigabit Ethernet with optical fiber link

表 3: Frame Maker: ハードウェア仕様

1.3 Detector Diagnosis

Detector Diagnosis は干渉計の動作状態を診断するために、各制御系のコントロール信号をモニターするのが主な役割である。これらの信号の制御帯域は、場合により大きく異なり ADC の性能を一意に決定することが難しい。このためハードウェアの仕様として Sampling Clock は最大限を想定し、干渉計診断ソフトウェアで必要な帯域をフィルタリングすることとした。

Detector Diagnosis の Analog-to-Digital Converter 性能は以下の通りである。

Sampling Clock	16384 Hz = 2^{14}
Number of Channels	512 CH = 64 CH × 8 stations
Bit Resolution	16 bit = 2 byte integer
Anti-alias Filter	Digital Filter with 5 kHz cutoff
Data Rate	2 MB / sec × 8 stations

表 4: Detector Diagnosis: Analog-to-Digital Converter (ADC) 仕様

干渉計診断のためのデータ処理の大部分は、前述の Frame Maker と呼ぶコンピュータ上で各 DAQ station 毎に行うこととする。検出器全体の状態把握や、過去の履歴情報の検索機能などについては、別途を設置するコンピュータ (Diagnosis Server) でこれを行う。これは一見冗長なシステムと見えるが、干渉計診断システムは建設期に特に重要で、検出器全体もしくはデータ取得システム全体が稼動していなくとも建設に伴い各 DAQ station 単独で動作することを優先することを考慮した構成である。

1.4 Environment Monitor

Environment Monitor は主に、レーザー光源、冷凍システム、真空システムなどの温度、湿度、圧力をモニターすることが目的である。このため有効帯域は 10 Hz とする。

Environment Monitor の Analog-to-Digital Converter 性能は以下の通りである。

Sampling Clock	32 Hz = 2^5
Number of Channels	512 CH = 64 CH × 8 stations
Bit Resolution	16 bit = 2 byte integer
Anti-alias Filter	Analog Filter with 10 Hz cutoff
Data Rate	2 kB / sec × 8 stations

表 5: Environment Monitor: Analog-to-Digital Converter (ADC) 仕様

1.5 Time Keeper and Global Positioning System

実験データを記録する上で、時刻情報は欠かせない。現在では Global Positioning System (GPS) を利用することで容易に $1 \mu\text{sec}$ 以下の高精度を得ることが可能である。問題は神岡実験施設が地下に建設されるため、GPS アンテナを坑外に設置しなければならないこと、高精度を保ったまま時刻情報を坑内に伝送しなければならないことである。

このためのシステムを図 2 に示す。坑外に設置されたアンテナ部と時刻情報を伝送する光伝送システム、さらに坑内の Sampling Clock 発生器と、各 ADC への sampling clock 分配器から成る。Sampling Clock 発生器は、万一 GPS signal の送信が中断しても数日から数週間安定した clock の供給が維持できるように、ルビジウム原子時計を内蔵オプションを付加することとする。ルビジウムを選択したのは、その価格と安定度から判断してセシウム原子時計までは必要なしと判断したからである。

この他に、Trigger Signal を送るとその時刻をアスキーデータとして返してくれる GPS Time decoder も坑内に設置する。

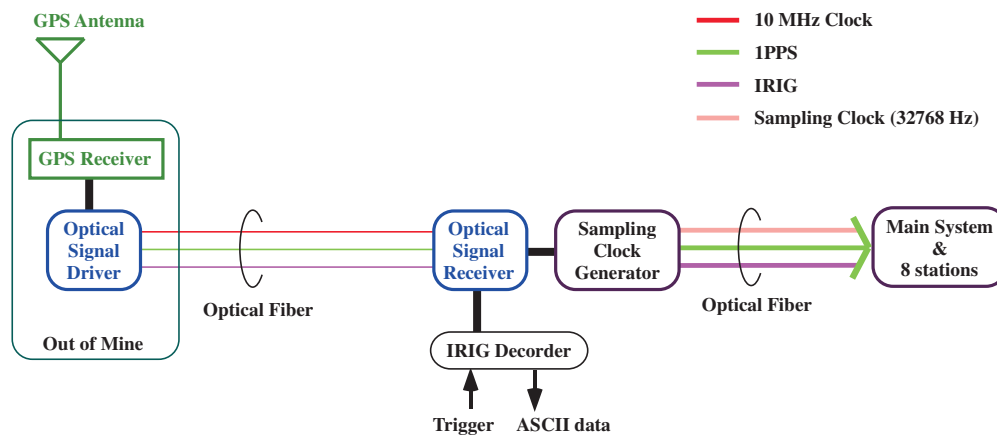


図 2: 時計システムと GPS の概念図：坑外に設置されたアンテナ部と時刻情報を伝送する光伝送システム、さらに坑内の Sampling Clock 発生器と各 ADC への sampling clock 分配器から成る。

1.6 Raw Data Archive

各 DAQ station で作られた Frame Formatted Data File は、Raw Data Archive へ送られて蓄積される。ユーザーの利便性を考えると 30 日分のデータがハードディスク上に蓄積されていて、簡単にアクセス出来ることが重要で、このためのハードディスク容量は 100 TB となる。また、長期データ保存のためには、テープ記録装置と大量のテープを扱えるテープアーカイバも必要であるが、この装置を神岡実験施設に設置するかそれとも実験施設とは別の柏キャンパスに設置するかは、維持管理を踏まえて別途議論が必要と思われる。

	From Each Station	On Data Archive
Main DAQ system	4 MB / sec	14.1 GB / hour
Detector Diagnosys	2 MB / sec \times 8	56.3 GB / hour
Environment Monitor	2 kB / sec \times 8	0.05 GB / hour
Total	20 MB / sec	70.4 GB / hour

表 6: データ転送レートと Raw Data Archive 上での蓄積データ量

1.7 Pre Analysis Server

Raw Data は解析以前に Calibration により時空歪みなどの物理量に変換され、且つ重力波信号探査のための pre-selection もしくはデータ圧縮されることが必要で、以下に示すような Pre Analysis が、実時間で処理できなければならない。

1. Detector Calibration
2. Averaging of Noise Spectrum
3. Phase-space mesh specification for compact binary objects inspiral search
4. Data compression for continuous signal search
5. Burst Noise Selection

このために Pre Analysis Server は前述の Raw Data Archive と連携して大量のデータを高速に処理できなければならない。このようなシステムとしてコンピュータクラスタによる並列計算機が考えられる。

1.8 Data Distribution

前処理されたデータは、本格的な重力波探査のために研究協力者の元に分配される。このため高速ネットワークが必要であるが既に稼働始めた Super-SINET などは、上記で必要とされる 100 MB/sec のデータ転送能力を有しているため、十分に実現可能であると予想される。

また、重力波検出器の国際ネットワークとも連携する必要もあるがこれは解析システムにより実現するものとする。

1.9 Summary of ADC Specification

以上より、Analog-to-Digital Converter に要求される仕様は以下の通りである。

	Sampling Clock (Hz)	Number of Channels	Bit Resolution	Effective Band-width (Hz)
Main DAQ system	$32768 = 2^{15}$	32	24	10 k
Detector Diagnosys	$16384 = 2^{14}$	$512 = 64 \times 8$	16	5 k
Environment Monitor	$32 = 2^5$	$512 = 64 \times 8$	16	10

表 7: 各 Analog-to-Digital Converter の仕様一覧