LCGT解析勉強会

データのおおまかな流れ

神田展行

LCGT解析勉強会 第1回 2011/5/17,大阪市大

TAMA --> CLIO ---> LCGT

TAMA

• 300m基線長、@三鷹(NAOJ)

CLIO

•100m、神岡、低温鏡







LEGT

LCGT

(LARGE-SCALE CRYOGENIC GRAVITATIONAL WAVE TELESCOPE)

Underground

in Kamioka, Japan
 Silent & Stable
 environment

3km baseline

Cryogenic Mirror

- •20K
- saffhire substrate

Plan

2010: construction start now! <-- partially funded in this year. (9.8 billion yen, about 2/3 of whole fund.)

2014: first run in normal temperture

2017-: observation with cryogenic mirror



本論の前に (1)

LCGTデータを解析するための勉強会

入門から始めましょう

- 干渉計のデータはどんなものか?
- 「データを解析する」はどんなことをやるのか?

(理論面)

目的(重力波源、取り出す物理量、などなど)

解析手法

(実験面)

データの流れ、形式、扱い方 どんな道具があるか/使い方

将来...

(入門的なことを無くすのではないけど、)いずれは「LCGTデータを実際に解析する 仕事のミーティング」に移行したい。

本論の前に (2)

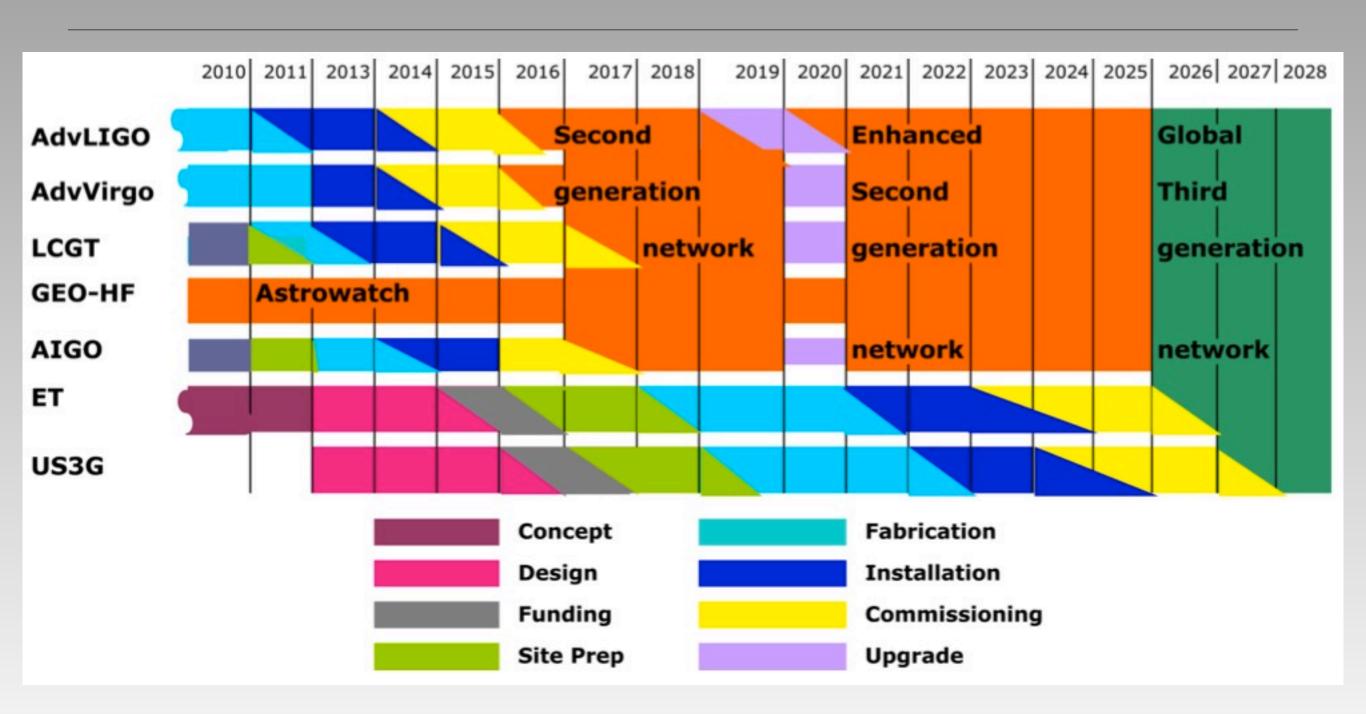
初期条件&境界条件

- TAMAでの経験
- LIGOでの経験
- •advanced detectorの観測スケジュール

LCGTの観測に間に合うように、

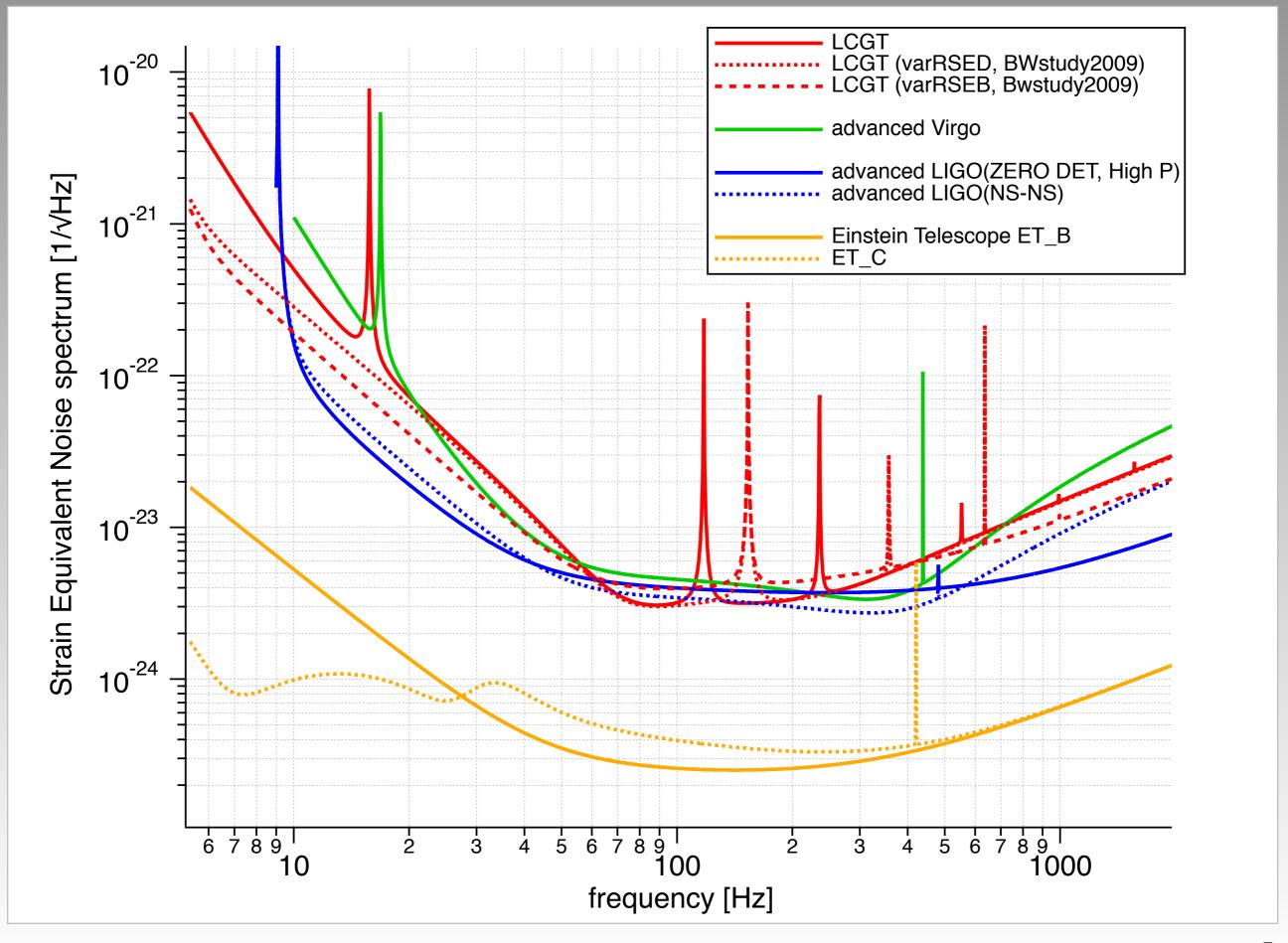
aLIGO, aVirgoらと一緒に仕事ができるように、

GWIC (GRAVITATIONAL WAVE INTERNATIONAL COMMITTEE) ROADMAP



https://gwic.ligo.org/

https://gwic.ligo.org/roadmap/Roadmap 100814.pdf



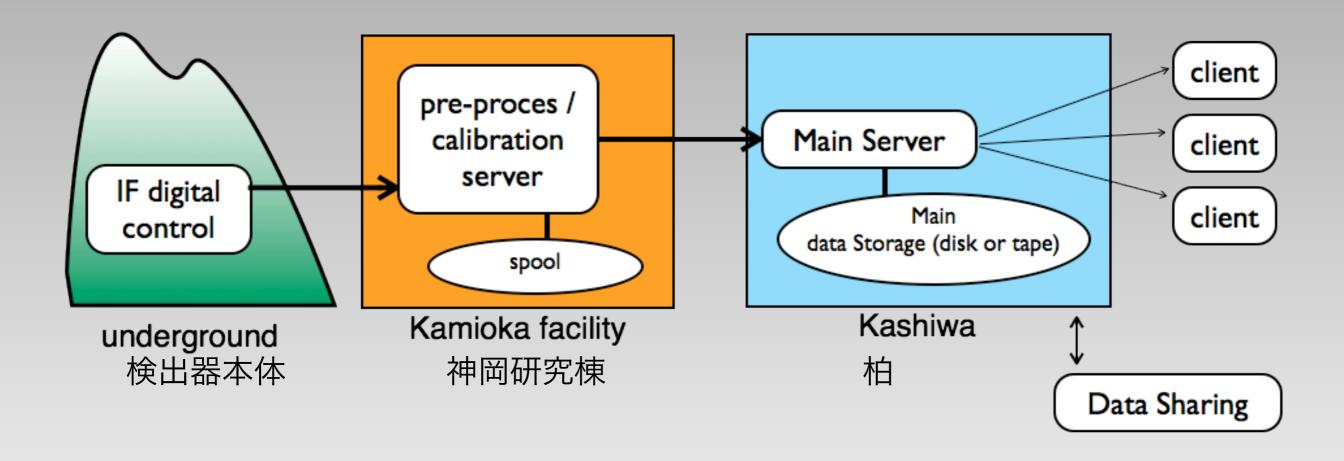
今日のお話

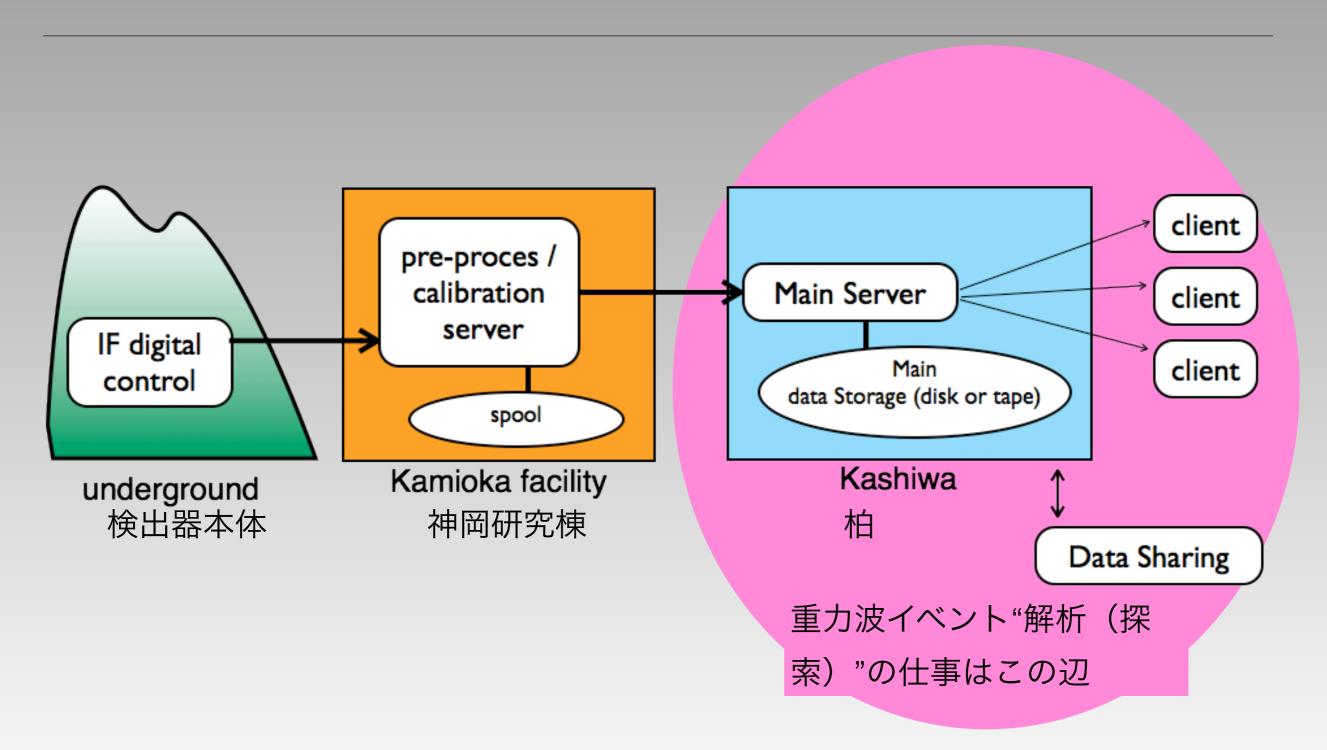
重力波検出器の信号について

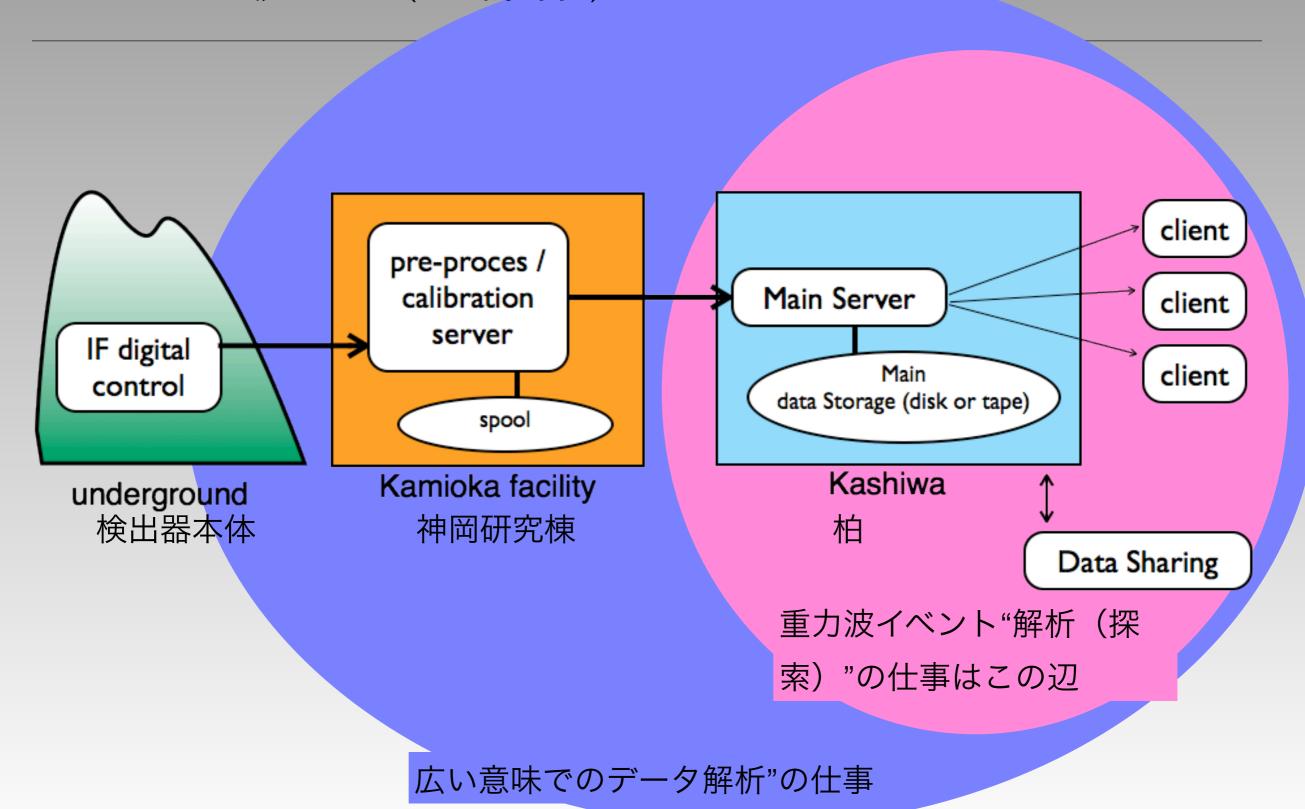
•どんなもの?

観測データについて

- データの流れ
- データ量
- データの形式

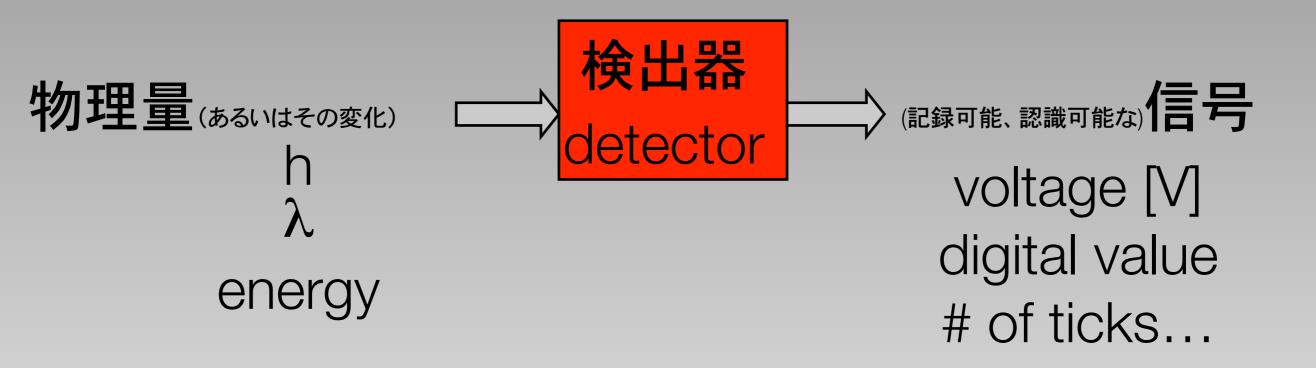




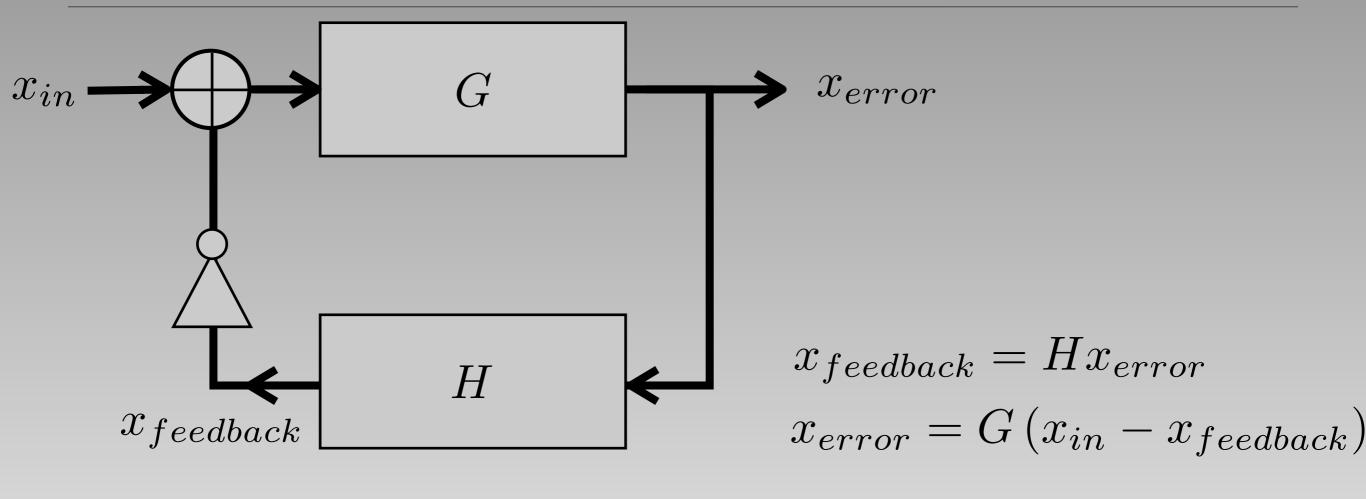


重力波検出器の信号について

- 検出器からは時系列の変位信号が得られる。
 (重力波信号 h(t) がでてくる「主干渉信号」。
 各種装置の雑音も重なっている)
 解析では 周波数領域 h(f) に変換したものも用いる。
- ●干渉計の各種制御に関する信号(これも基本的に時系列)
- ●環境モニター系

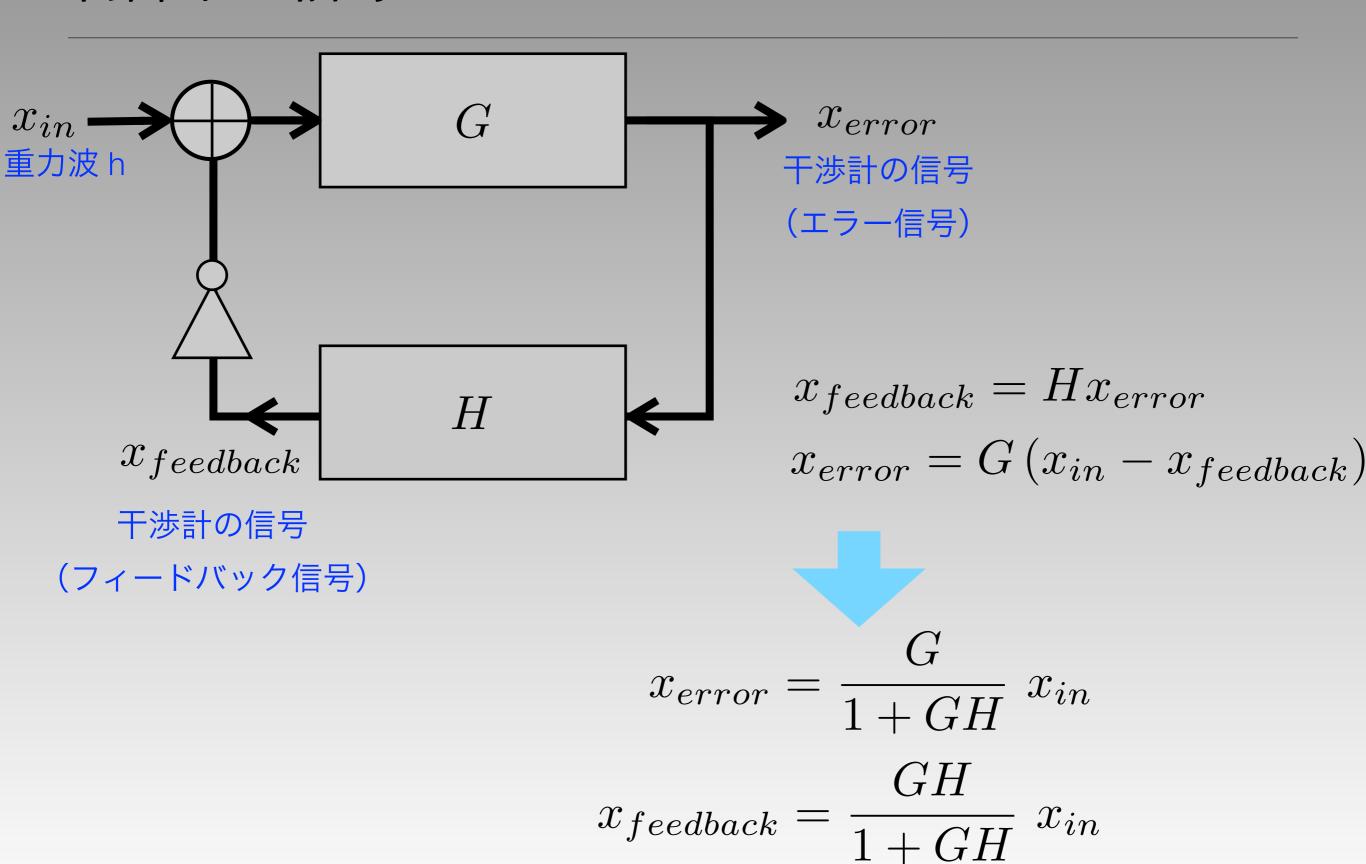


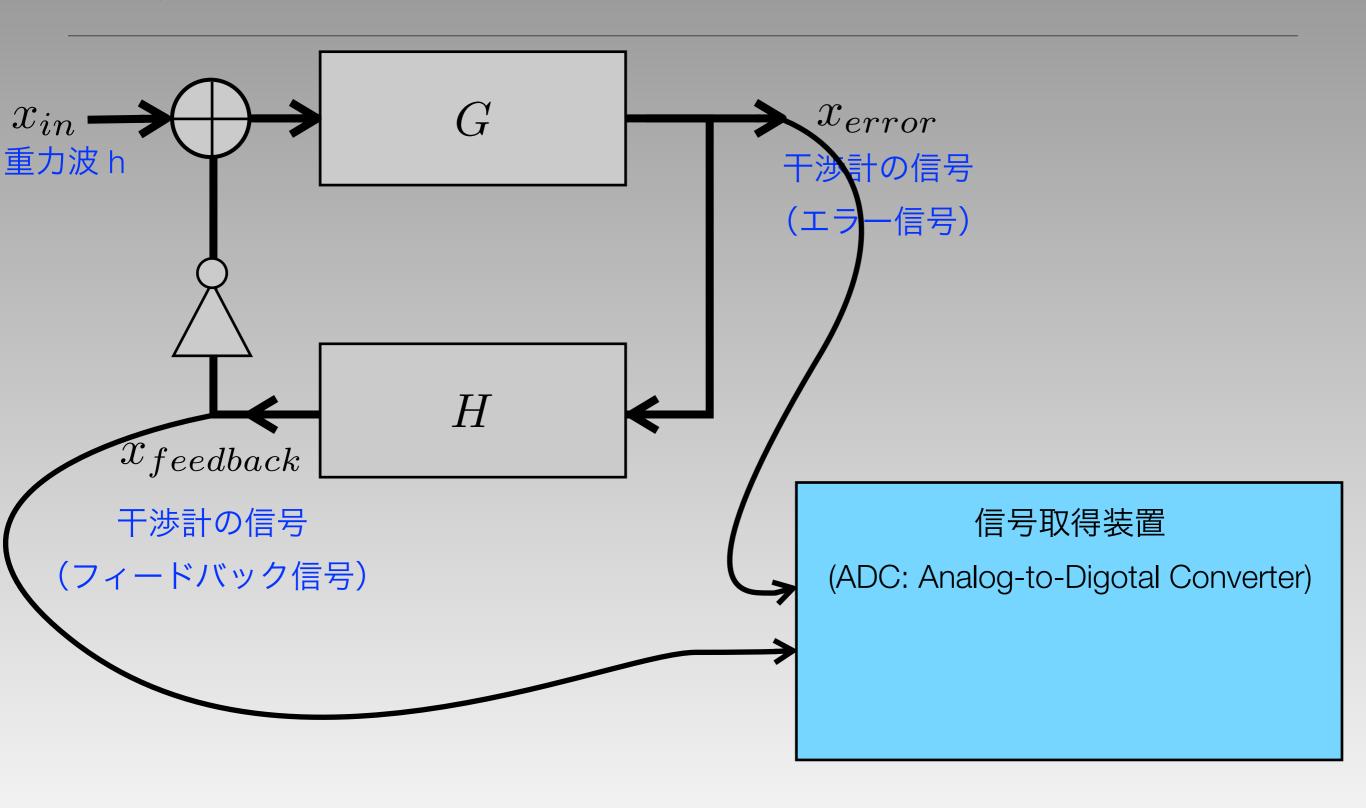
レーザー干渉計重力波検出器の場合、 入力の物理量は時空の歪み **h(t)** および各種雑音 n(t)、 記録されているのはADCの値 **v(t)**

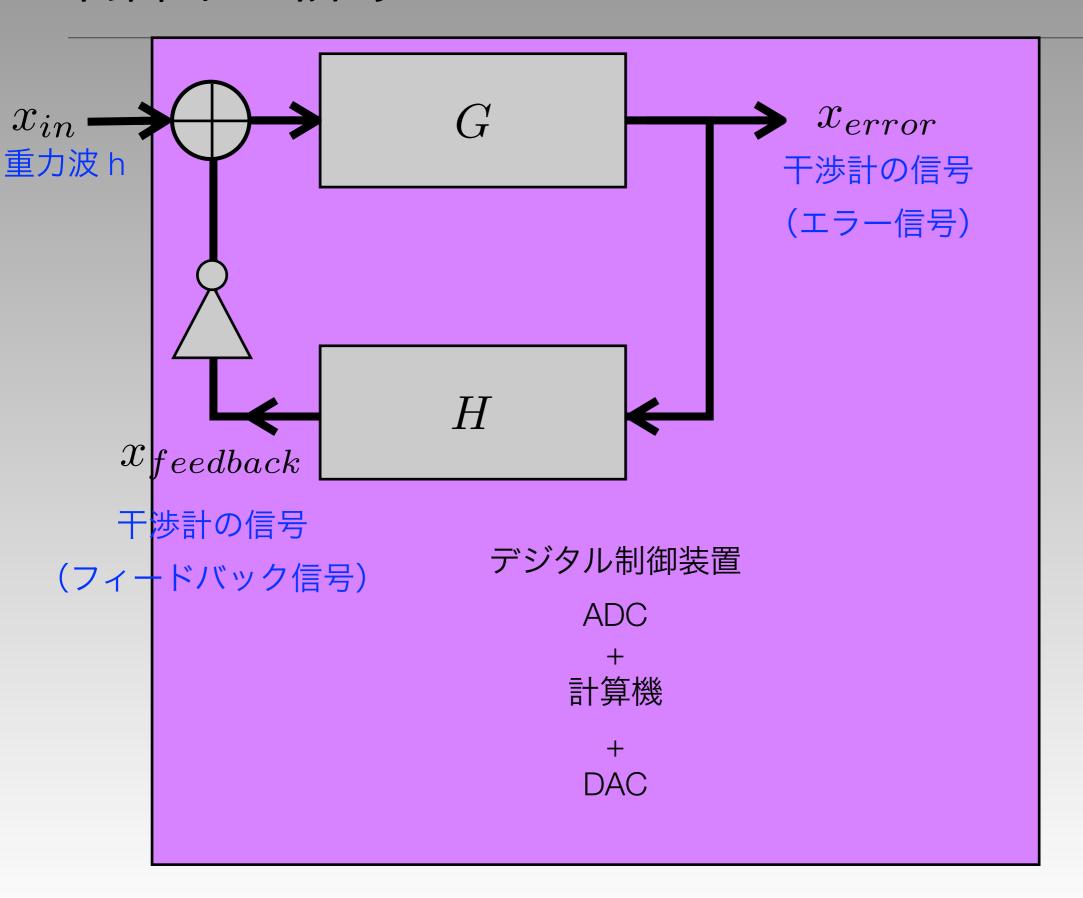


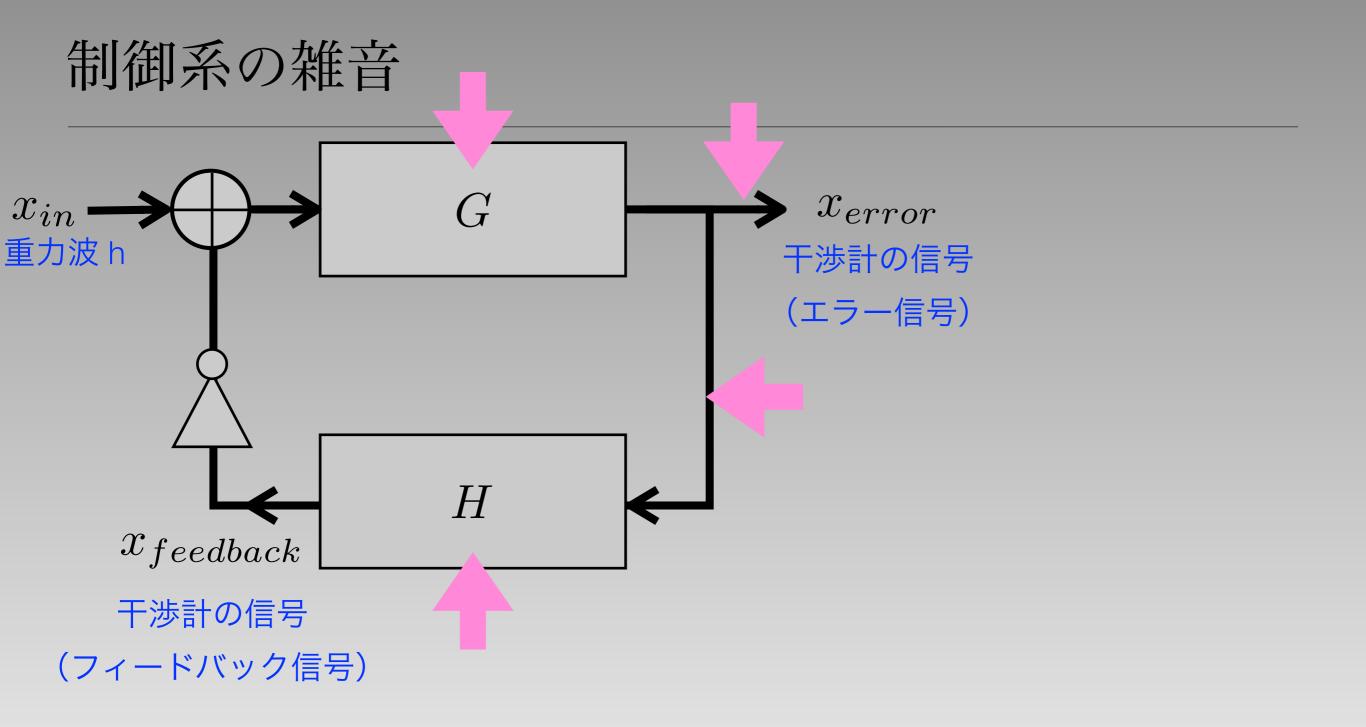
$$x_{error} = \frac{G}{1 + GH} x_{in}$$

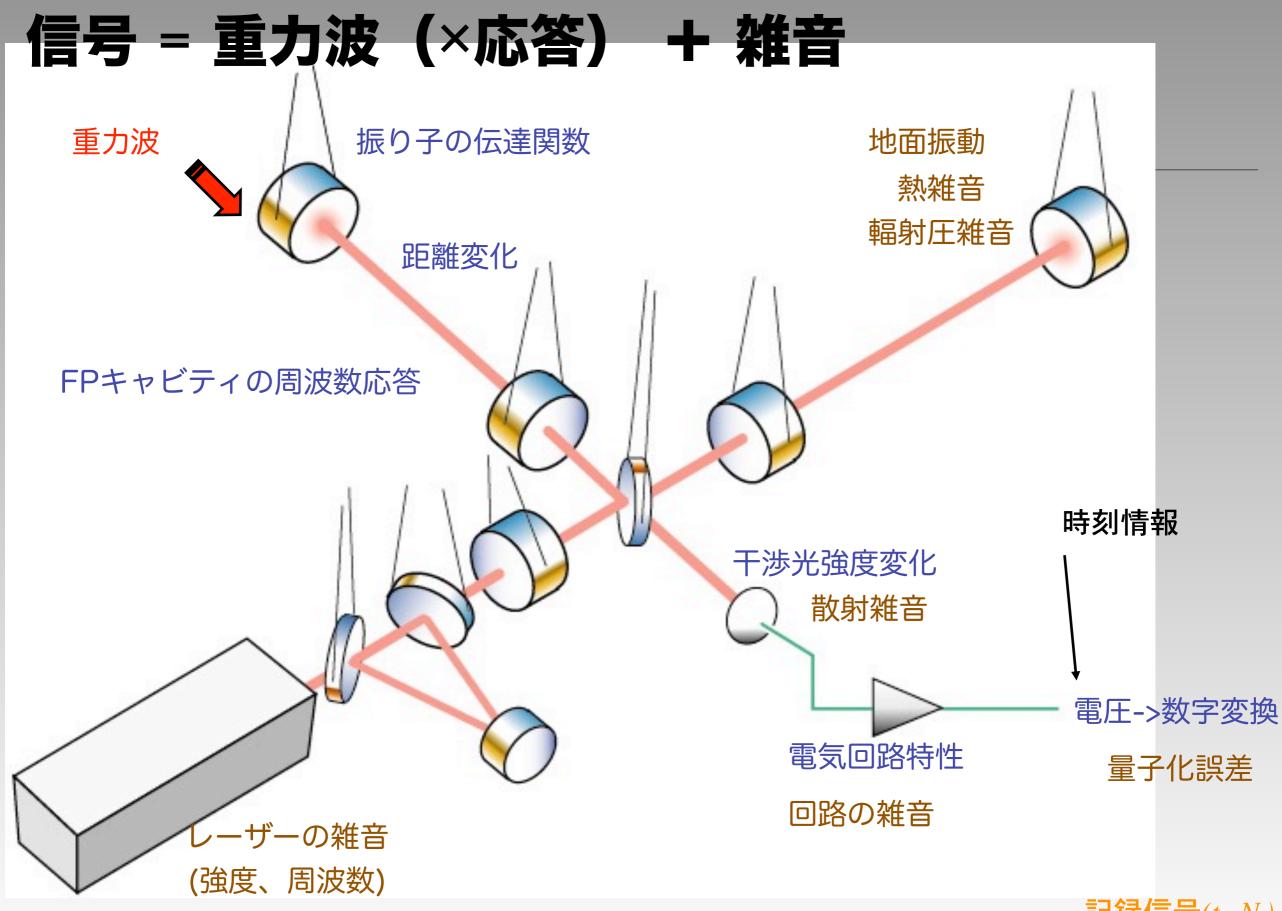
$$x_{feedback} = \frac{GH}{1 + GH} x_{in}$$





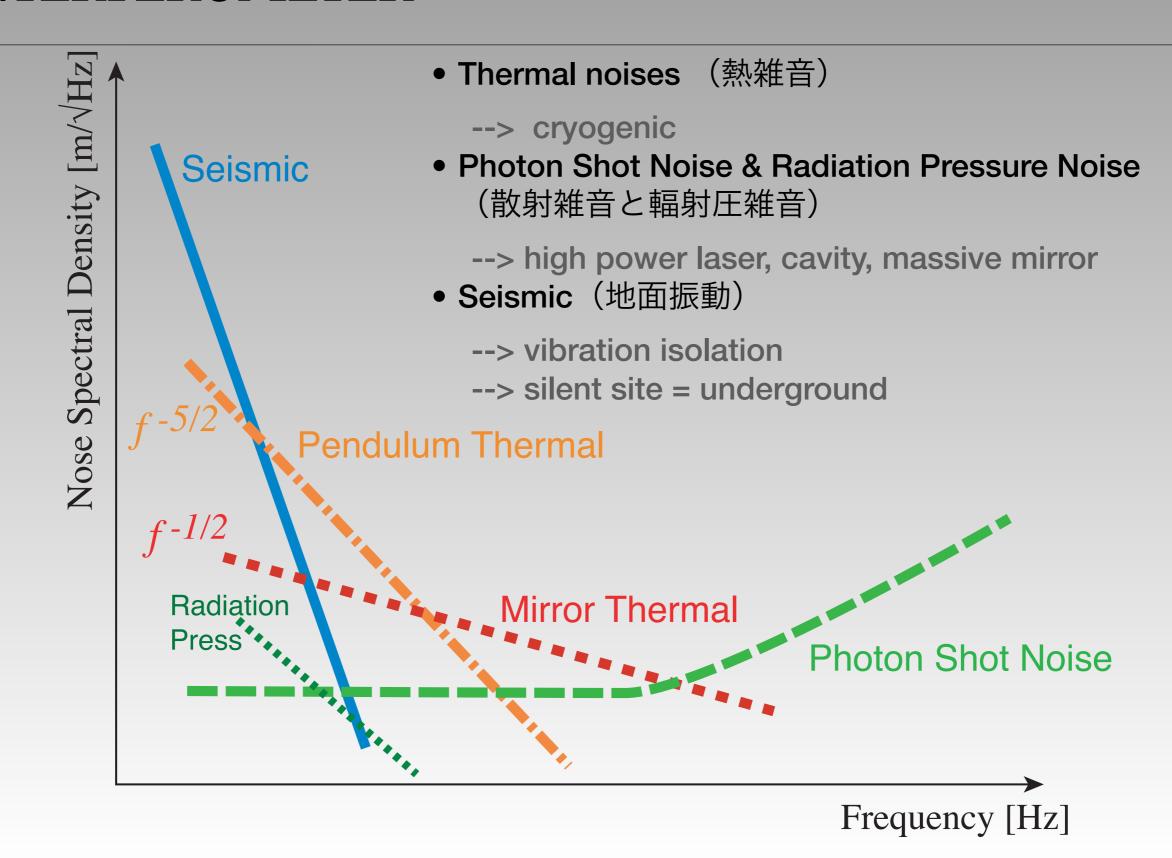




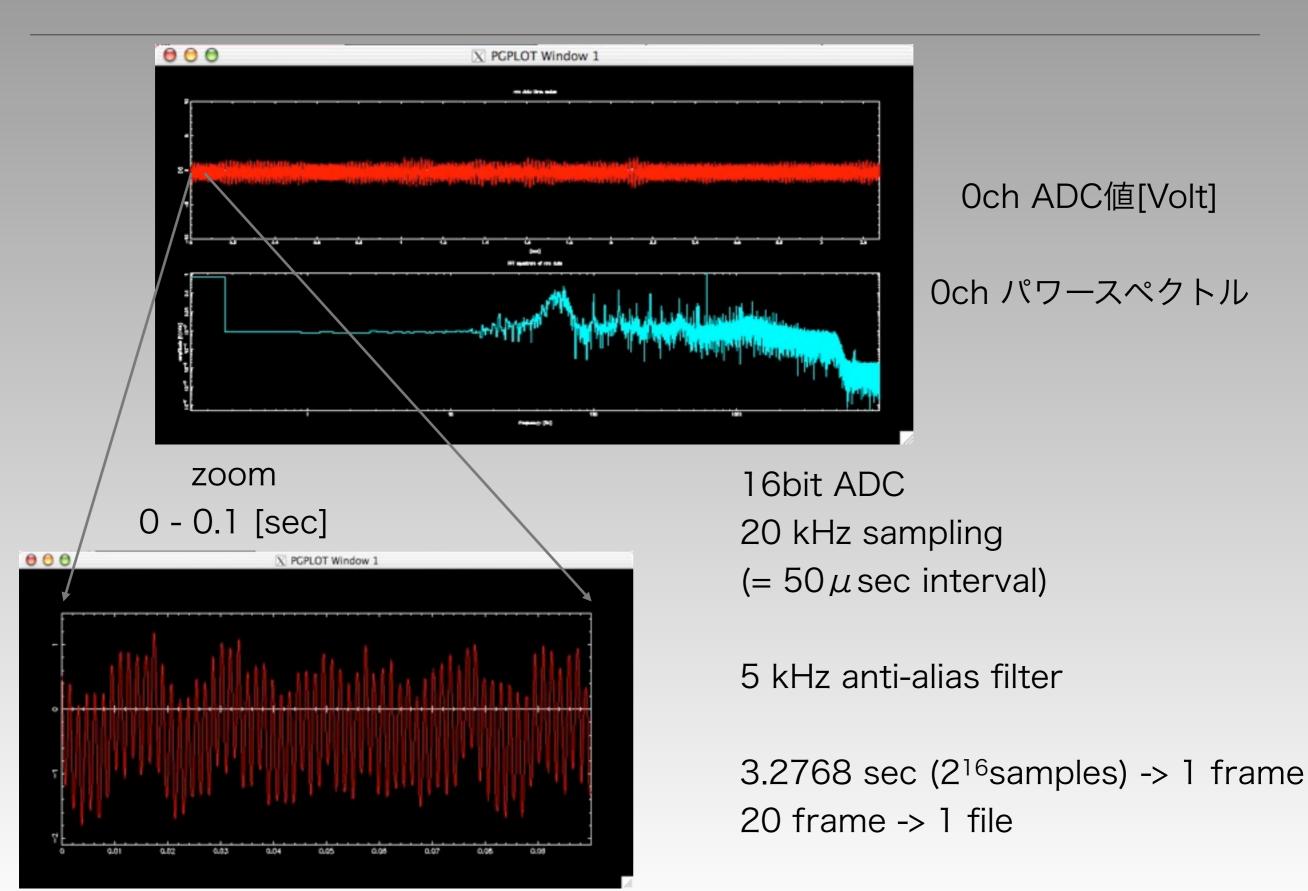


記録信号 (t_i, N_i)

FUNDAMENTAL NOISES IN LASER INTERFEROMETER



例:TAMAの信号(データ)



TAMA DAQ SYSTEM (2000頃)

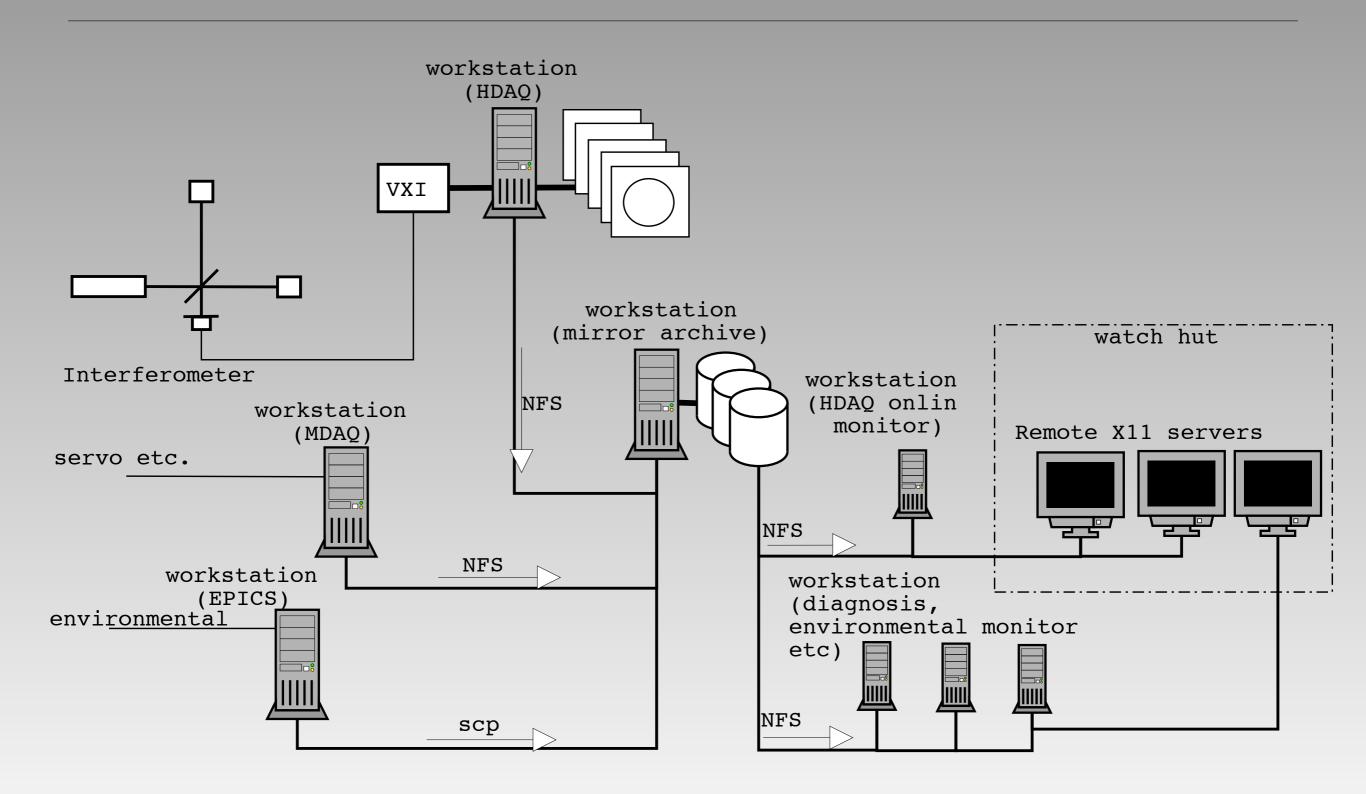
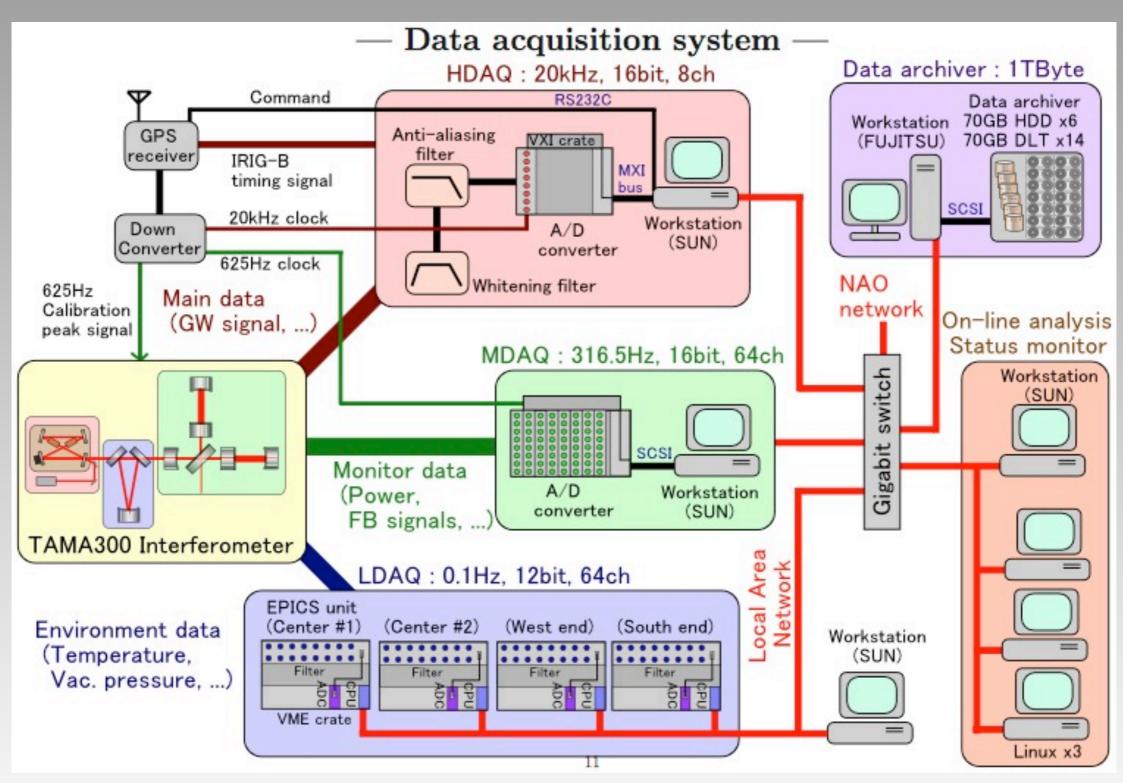


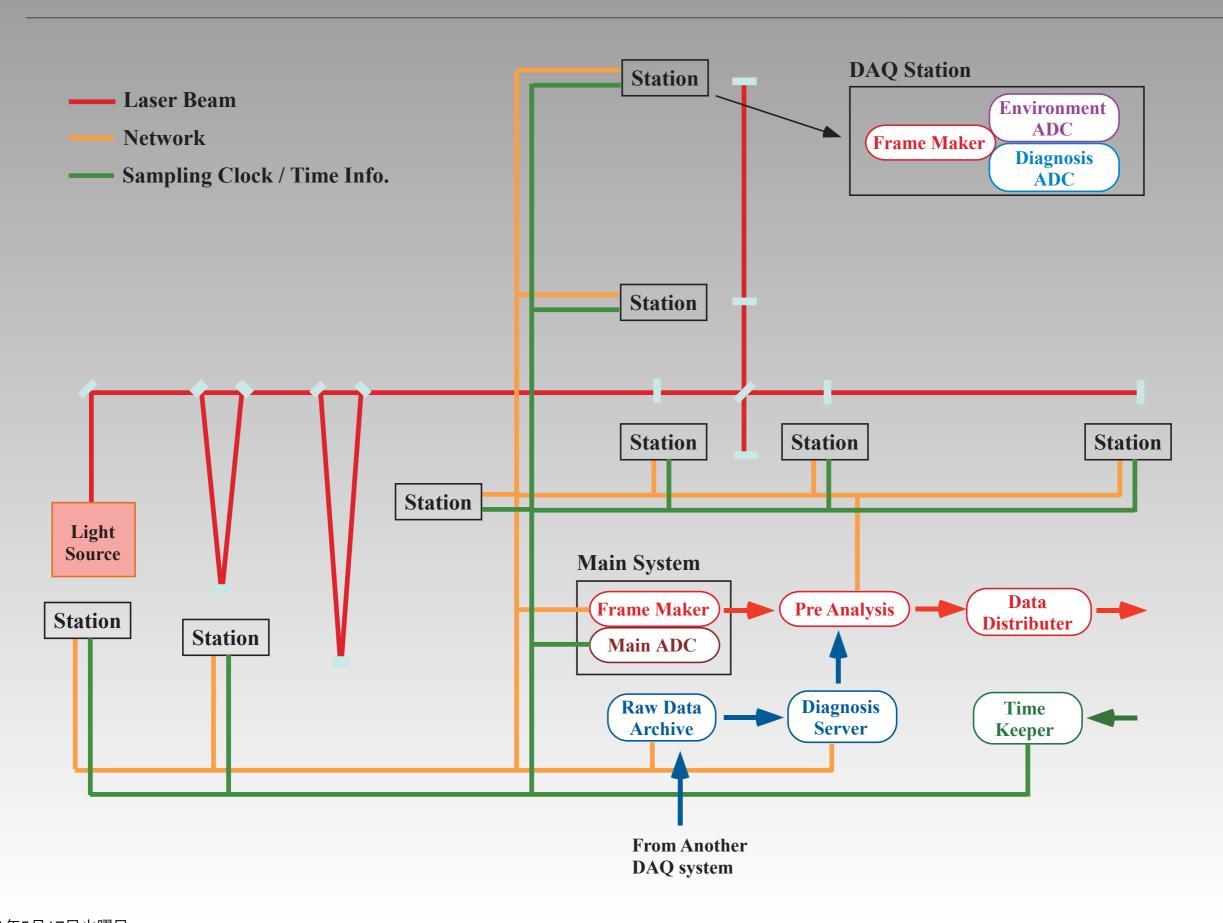
Figure 1: Schematic of DAQ System (with major hosts only)

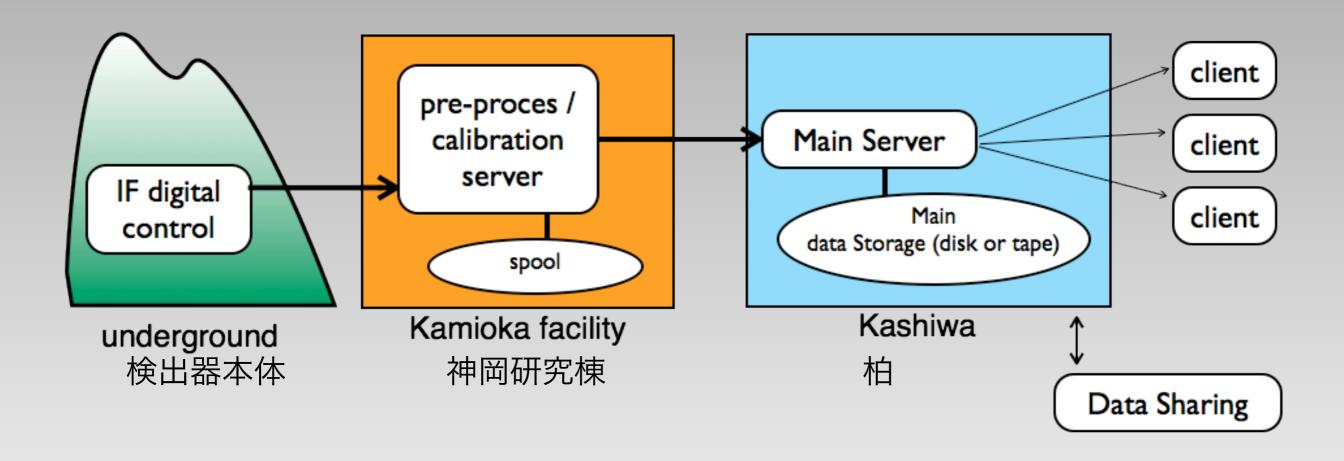
TAMA DAQ SYSTEM (2000頃)



data amount ~1GB/hour

LCGTデータ取得概念図





重力波の観測データについて

信号種類

- ●時系列信号(主干渉信号、制御信号)
- ●環境モニター

重力波信号の性格上、全部記録するしかない!

LCGT 1台 raw data ~ 600 TB/年

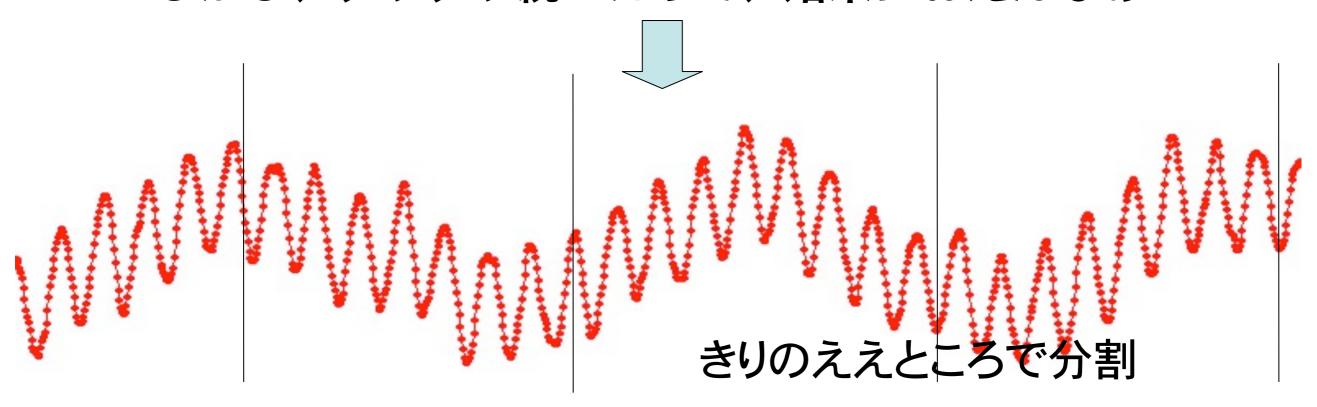
データ形式

◆Virgo, LIGOらと国際的に決めてある"Frame data format"

chunked data stream

- ・そもそもは連続的な出力記録時に、
- ・時間的に離散化(サンプリング)
- ・ 大きさも量子化してある cf:量子化雑音

しかし、ダラダラ続いたって、始末におえんなぁ...



FRAME DATA FORMAT (世界の重力波実験の共通フォーマット)

- ・時間的に分割して"frame"に分割
- ・構造体

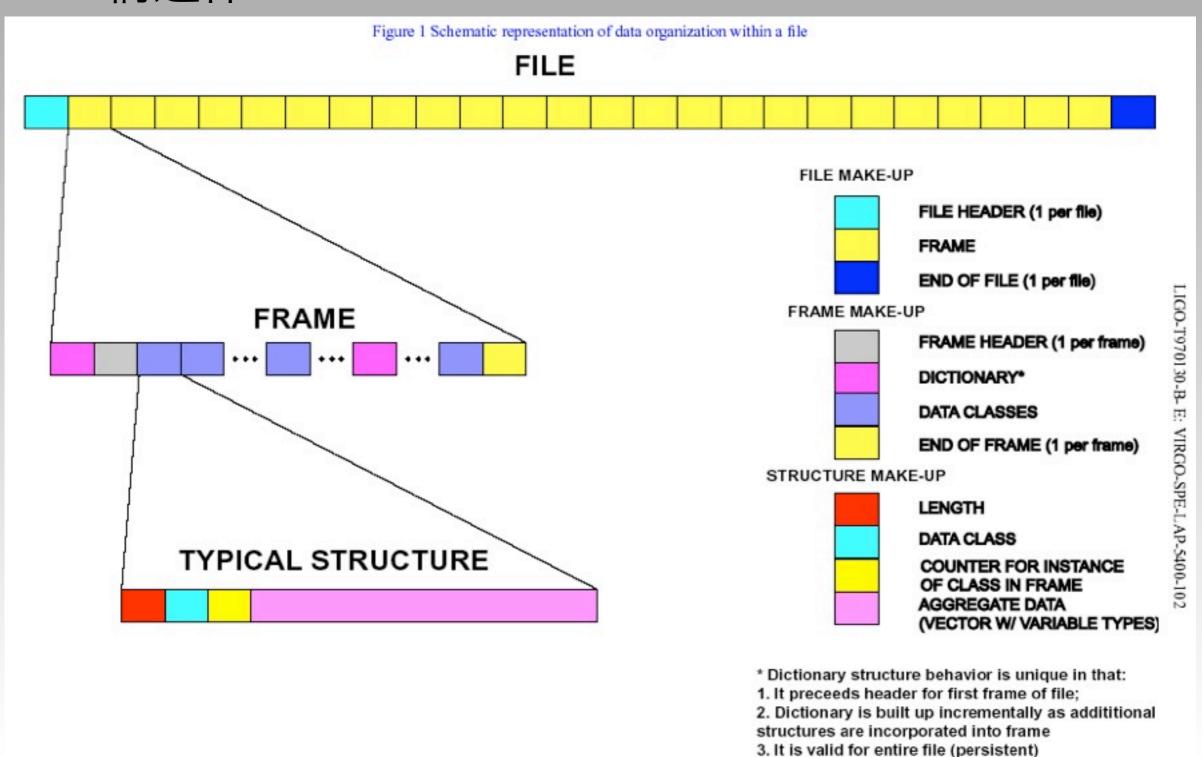
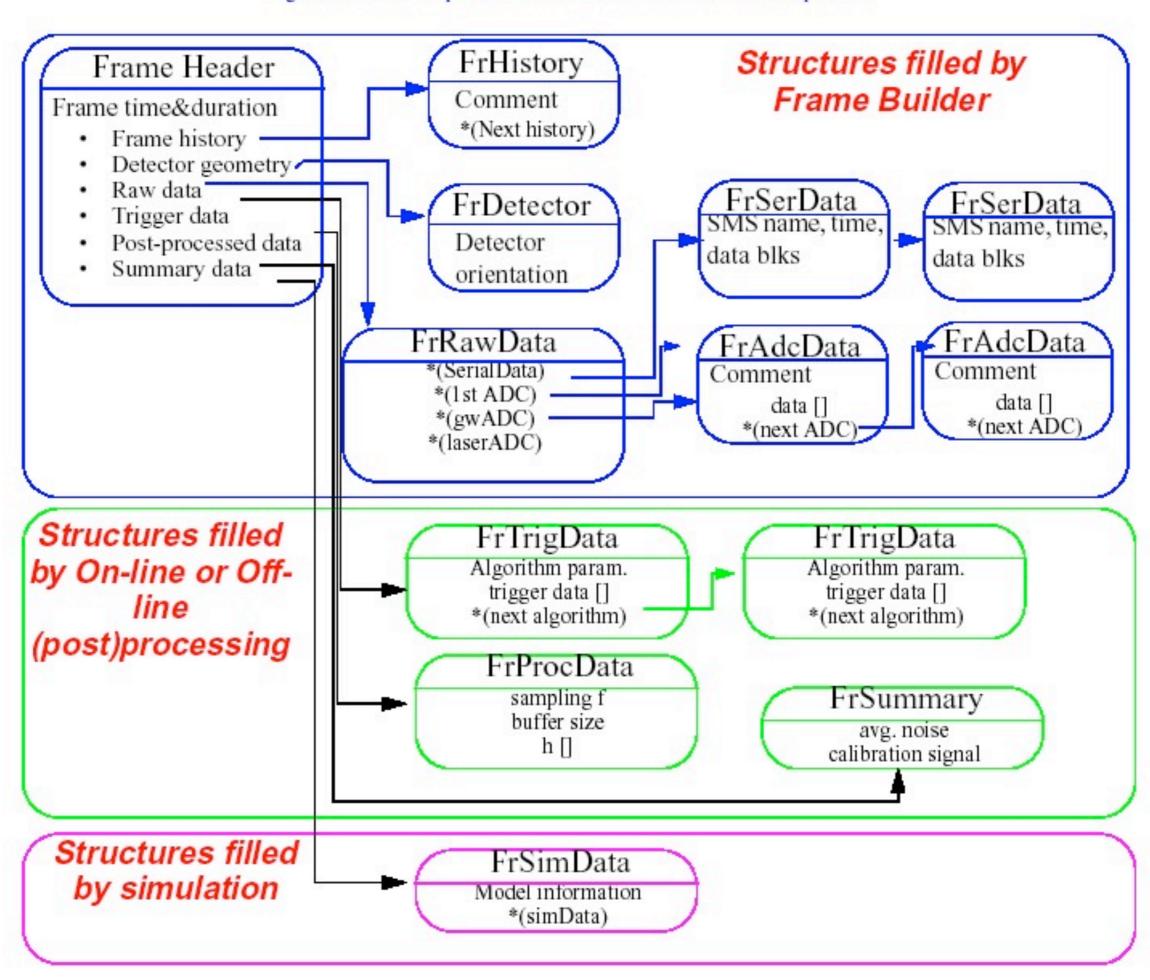


Figure 2 Schematic representation of frame structures and relative pointers



データ量

	Sampling	Number of	Bit	Effective
	Clock (Hz)	Channels	Resolution	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 17.7: 各 Analog-to-Digital Converter の仕様一覧

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

表 17.6: データ転送レートと Raw Data Archive 上での蓄積データ量

raw data ~600 TB/年

sampling freq. ≥ factor xターゲットの重力波の周波数 =干渉計の感度帯域

較正データ、シミュレーションなど



hへの換算

$$v(t) = Const. \times h(t)$$
 だと楽ですが...

応答の周波数依存性

伝達函数: $G(\omega)$

h(t), v(t) のフーリエ変換: $\widetilde{h}(\omega), \widetilde{v}(\omega)$

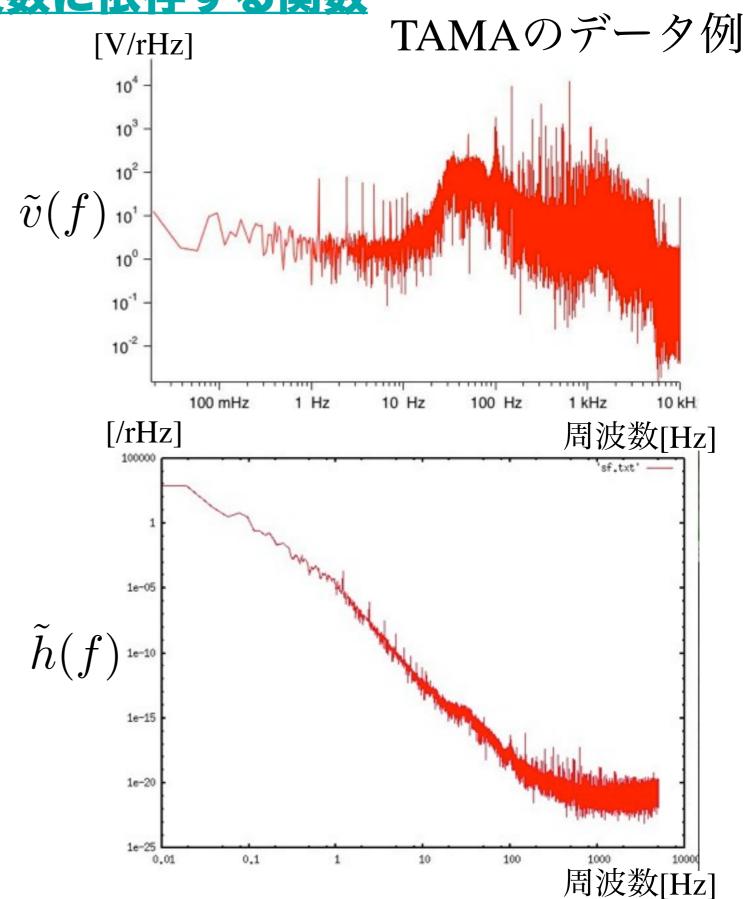
$$\widetilde{v}(\omega) = G^*(\omega) \cdot \widetilde{h}(\omega)$$

だから実際の計算は、

$$\widetilde{h}(\omega) = G^{-1}(\omega) \cdot \widetilde{v}(\omega)$$

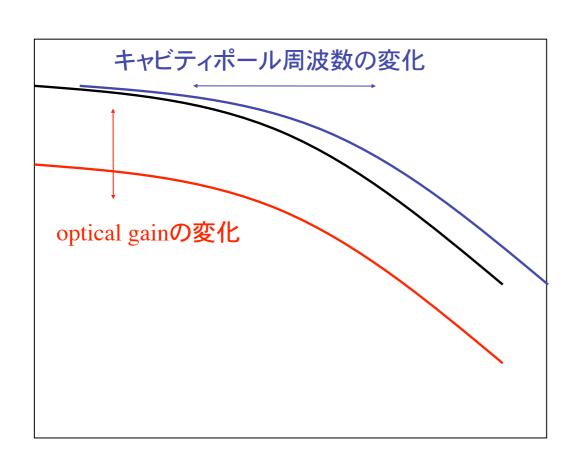
干渉計の伝達関数は周波数に依存する関数

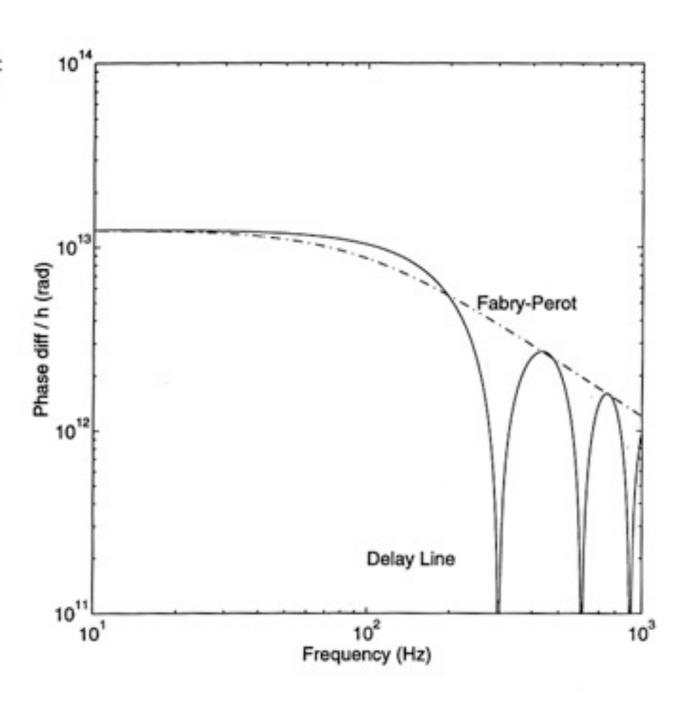
- ・制御系の応答
 - キャビティの周波数応答
 - ・振り子の(重力波に対す る)応答
 - ・フィードバックの周波数 依存性



キャビティの重力波に対する応答

$$\Delta \phi = h\tau_s \frac{8\pi c}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{1 + (4\pi f_{GW}\tau_s)^2}}$$





"Fundamentals of Interferometric Gravitational Wave Detectors", P.R.Saulson, World Scientificから抜粋

フィードバック系

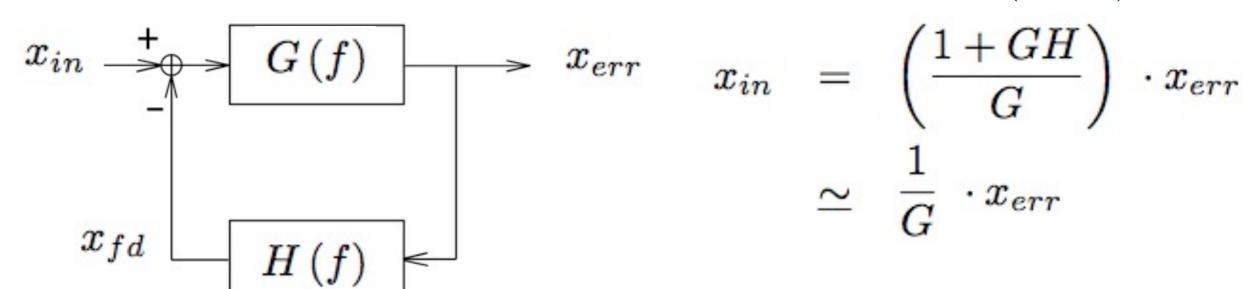
フィードバックなし

$$x_{in} \longrightarrow G(f) \longrightarrow x_{err}$$

$$x_{in} = \frac{1}{G(f)} \cdot x_{err}$$

フィードバック有り

フィードバックのかかっていない周波数帯(GH<<1)

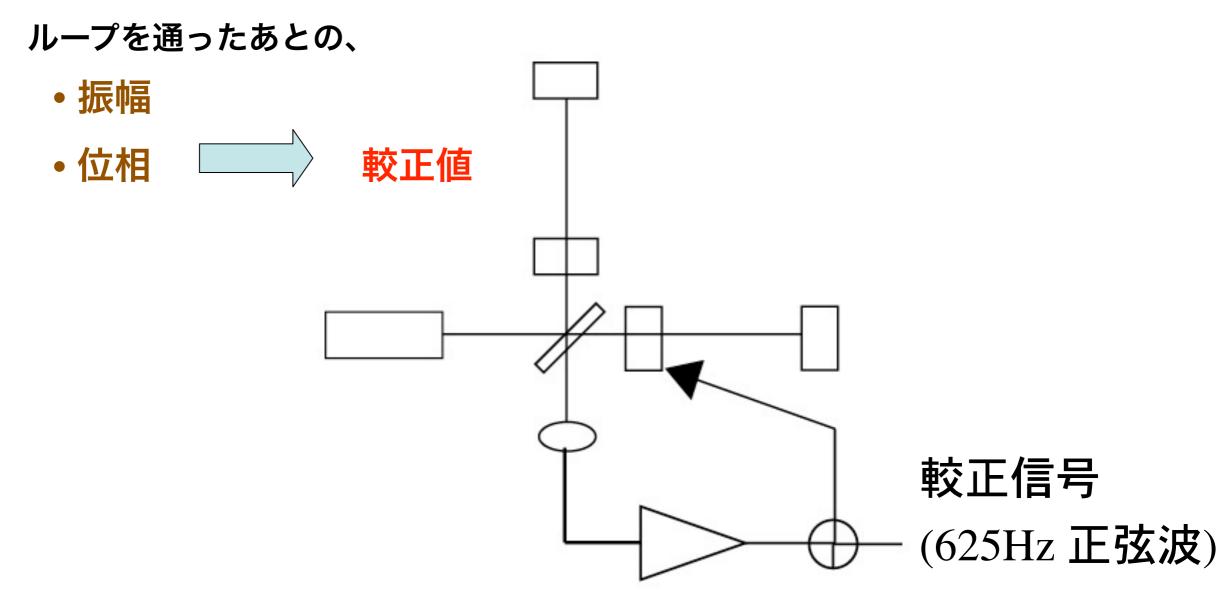


フィードバックのかかっている周波数帯(GH>>1)

$$x_{in} = \left(\frac{1+GH}{GH}\right) \cdot x_{fd}$$
 $\simeq x_{fd}$

伝達関数の較正

- ・観測の前後に、干渉計システムの応答(伝達関数)を 測定する
- ・観測中は、較正信号を制御ループに注入し、鏡を小さく揺らす



雑音はどう換算するのか?

ADCで得ている信号は、本当は

重力波の信号+雑音:
$$\widetilde{v}(\omega) + \widetilde{v_n}(\omega)$$

それもほとんど重力は信号の方はない(すくない、ちいさい、まだみつかってない)...

どこに起源があって検出器システムのどこでの混入したかで、応答関数は違うし、所詮単位も違う。

(とりあえずしらんから) ADCの信号は全部重力波とおもって換算するしかないねん!

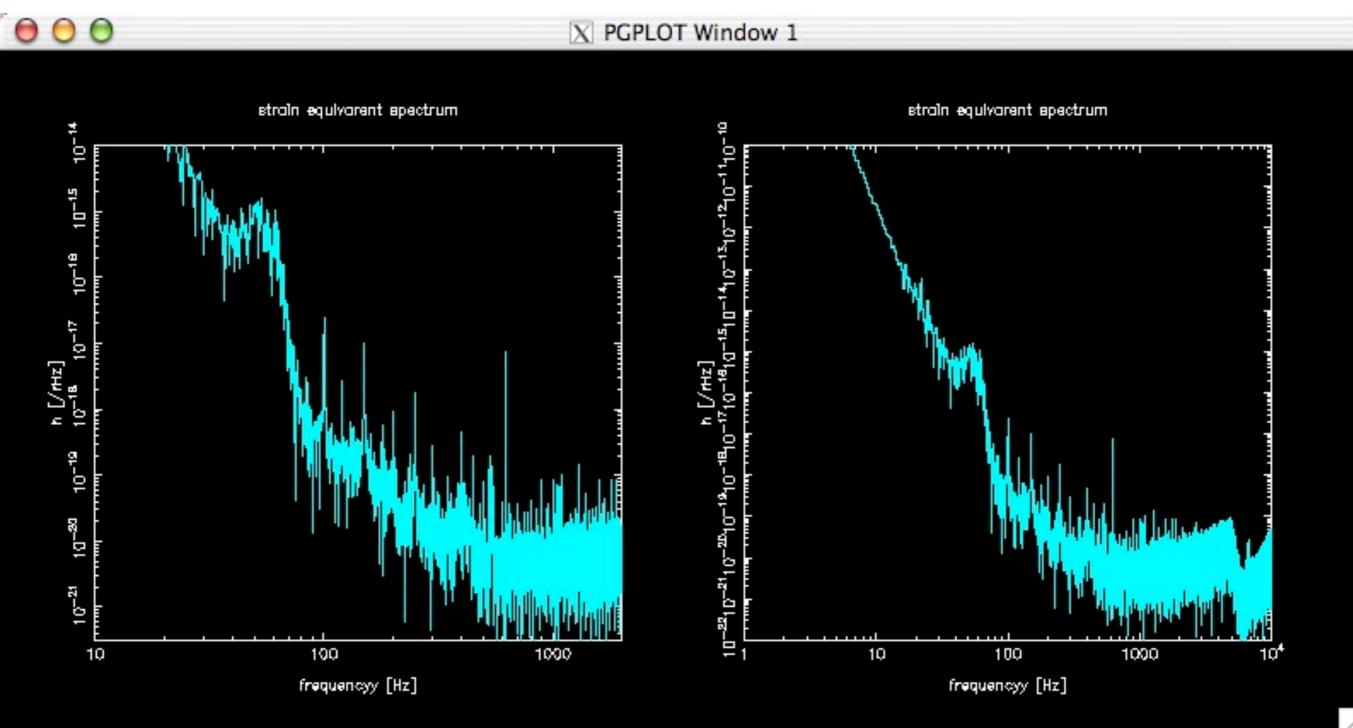
$$\widetilde{s}(\omega) = G^{-1}(\omega) \cdot [\widetilde{v}(\omega) + \widetilde{v_n}(\omega)]$$

ということは、こう

$$\widetilde{s}(\omega) = \widetilde{h}(\omega) + \widetilde{n}(\omega)$$

考えてええねん。(linear systemやから)

example: h(f) 相当の雑音スペクトラム



横軸は周波数[Hz] 縦軸の単位は、[1/√Hz]

本日のミニまとめ

というわけで解析では、

• 重力波信号と雑音がいっしょになった信号を使う s=h+n

ullet データは時系列で得る v(t)

• 較正しないと使えない v(t) \Rightarrow s(t) or $\tilde{v}(f)$ \Rightarrow $\tilde{s}(f)$

●解析に使うのは、時系列、周波数領域、(あるいは...)

$$s(t)$$
 or $\tilde{s}(f)$ $(h(t)$ or $\tilde{h}(f))$

frame format