

THESIS

Arm Length Compensation System
for Underground Gravitational-wave
Telescope

Koseki Miyo

Department of Physics
University of Tokyo

MMM 2020

Contents

1	Geophysics Interferometer (GIF)	5
1.1	Overview	5
1.2	Purpose	5
1.2.1	Motivation in Geophysics	5
1.2.2	Motivation in GW detectors	5
1.3	Working Principle	5
1.3.1	Asynmetric Michelson Interferometer	5
1.3.2	Response to the seismic strain	5
1.3.3	Signal Detection Scheme	6
1.3.4	Noise	6
1.4	Optics	6
1.4.1	Mode Matching Optics	6
1.4.2	Frequency Stabilized Laser	7
1.4.3	Core Optics	7
1.5	Data Aquisition System	7
1.5.1	Stand Alone System	7
1.5.2	Realtime System	8
1.6	Summary of the Chapter	8

Chapter 1

Geophysics Interferometer (GIF)

1.1 Overview

1.2 Purpose

1.2.1 Motivation in Geophysics

1.2.2 Motivation in GW detectors

1.3 Working Principle

1.3.1 Asynmetric Michelson Interferometer

$$\phi = 2\pi \frac{2(l_x - l_y)}{\lambda} \sim 4\pi \frac{l_x}{\lambda} \quad (1.1)$$

$$|d\phi| = 4\pi \frac{l_x}{\lambda} \left(\left| \frac{d\lambda}{\lambda} \right| + \left| \frac{dl_x}{l_x} \right| \right) \quad (1.2)$$

1.3.2 Response to the seismic strain

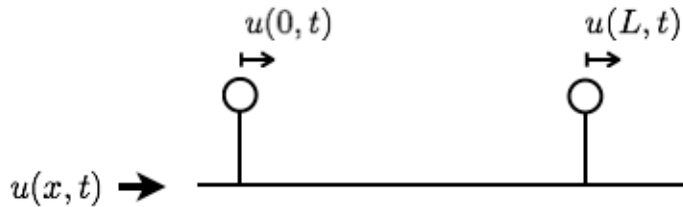


Figure 1.1: The displacements of the two points which are sparated L in X axis.

The response of the strainmeter to seismic waves have characteristics of the low pass filter. To calculate this response, it is assumed that the plane seismic

waves which displacement $u(x, t)$ is represented as $u(x, t) = u_0 e^{i(\omega t - kx)}$ with angular frequency of ω and wave number of k , propagate along with the direction of the base-line of the strainmeter. The length fluctuation between two mirrors sparated with L can be expressed as

$$\Delta L(t) \equiv u(0, t) - u(L, t) \quad (1.3)$$

$$= u(0, t) - u(0, t - \tau), \quad (1.4)$$

where $\tau = L/v$ is the time delay. The transfer function from the displacement to the length fluctuation is

$$H_{\text{disp}}(s) \equiv \frac{\Delta L(s)}{u(s)} = 1 - \exp(-\tau s) \quad (1.5)$$

Because the strain amplitude $\epsilon(x, t)$ is defined as $\epsilon(x, t) \equiv \frac{du}{dx}$, the strain

$$\epsilon(x, t) \equiv \frac{du}{dx} = \frac{du}{dt} \frac{dt}{dx} \quad (1.6)$$

$$= u(x, t)' \frac{1}{v} \quad (1.7)$$

Therefore, the response of the strainmeter to the seismic strain is given

$$H_{\text{strain}}(s) \equiv \frac{\Delta L(s)}{\epsilon(s)} = \frac{\Delta L(s)}{\frac{s}{v} u(s)} = (1 - \exp(-\tau s)) \frac{v}{s} \quad (1.8)$$

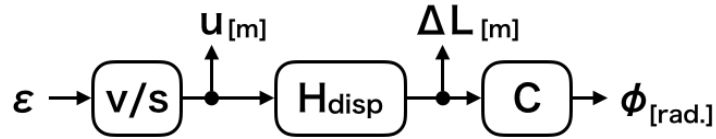


Figure 1.2

1.3.3 Signal Detection Scheme

Quadrature Phase Detection

1.3.4 Noise

どういふノイズが原理的に存在するか述べる。空気ゆらぎ、周波数雑音を述べる。

1.4 Optics

どうやって実際の干渉計を構築しているか述べる。

1.4.1 Mode Matching Optics

どういふモードマッチをして干渉計として光を干渉させているか述べる。

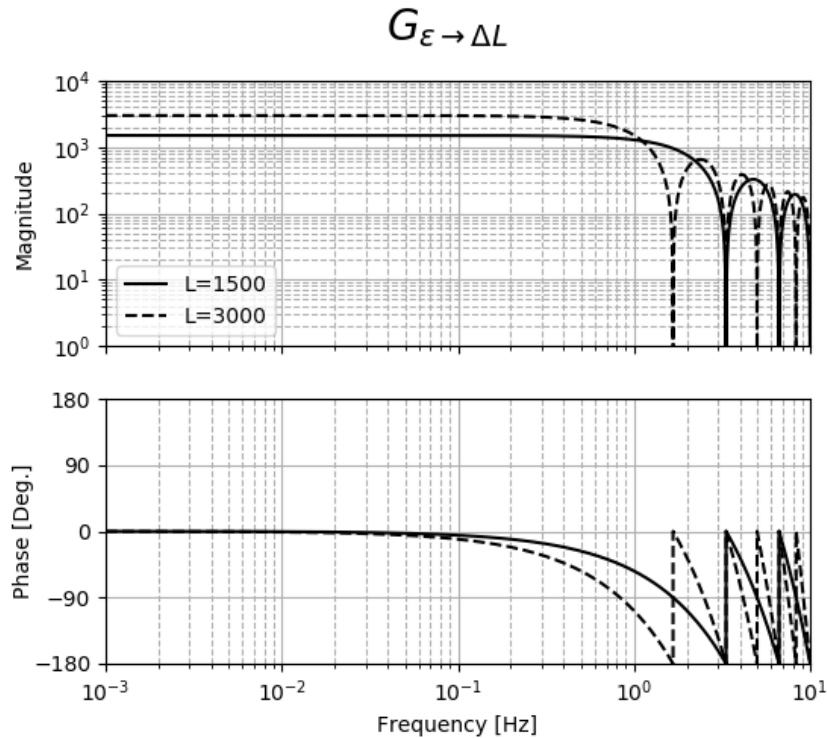


Figure 1.3

1.4.2 Frequency Stabilized Laser

どういう制御をして周波数安定をしているか述べる。

1.4.3 Core Optics

Beam Splitter

どういうミラーを使っているか述べる。

Corner Cube

どういうミラーを使っているか述べる。大きさとか表面の精度とか。

1.5 Data Aquisition System

DAQ について述べる。冗長性を持たせるために二系統の DAQ を使っていることを述べる。一方は KAGRA とは独立で、もう一方は KAGRA と同じシステムに組み込んでいることを述べる。

1.5.1 Stand Alone System

森井システムについてのべる。コンパクトなシステムで地下環境でも安定して動くシステムだ、と述べる。

1.5.2 Realtime System

KAGRA のリアルタイムシステムについて述べる。KAGRA の制御に組み込むために歪変換をリアルタイムで行っている、と述べる。

1.6 Summary of the Chapter

本章で述べたパラメータを表にまとめる。