

THESIS

Arm Length Compensation System  
for Underground Gravitational-wave  
Telescope

Koseki Miyo

*Department of Physics*  
*University of Tokyo*

MMM 2020



# Contents

<b>1</b>	<b>Background</b>	<b>5</b>
1.1	Gravitational-wave	5
1.2	Sources of gravitational-wave	5
1.3	Interferometric Gravitational-wave detection	5
1.4	Terrestrial Laser Interferometers	5
1.5	KAGRA	5
1.6	Summary of the Chapter	5
<b>2</b>	<b>Geophysics Interferometer (GIF)</b>	<b>7</b>
2.1	Overview	7
2.2	Purpose	7
2.2.1	Motivation in Geophysics	7
2.2.2	Motivation in GW detectors	7
2.3	Working Principle	7
2.3.1	Response to the seismic strain	7
2.3.2	Signal Detection Scheme	7
2.3.3	Noise	8
2.4	Optics	8
2.4.1	Mode Matching Optics	8
2.4.2	Frequency Stabilized Laser	8
2.4.3	Core Optics	8
2.5	Data Acquisition System	8
2.5.1	Stand Alone System	8
2.5.2	Realtime System	8
2.6	Summary of the Chapter	8
<b>3</b>	<b>Underground Seismic Noise</b>	<b>9</b>
3.1	Introduction	9
3.1.1	KAGRA Tunnel	9
3.2	Theory of Seismic Waves	9
3.2.1	Seismic Waves	9
3.2.2	Spatial Autocorrelation	9
3.2.3	Common and Differential Mode Ratio (CDMR)	9
3.3	Seismic Noise	9
3.3.1	Long Term Characteristics	9
3.3.2	Microseismic Peak Model	9
3.3.3	Peak identification	9
3.4	Fluctuation of the Arm Length	9

3.4.1	10
3.5 Summary of the Chapter	10
<b>4 Arm Length Compensation Control Using the GIF</b>	<b>11</b>
4.1 Problem of the Arm Length Fluctuation	11
4.1.1	11
4.1.2	11
4.1.3	11
4.2 Control Design	11
4.2.1	11
4.2.2	11
4.2.3	11
4.3 Experimental Arrangement	11
4.3.1	11
4.3.2	11
4.3.3	11
4.4 Result	11
4.4.1	11
4.4.2	11
4.4.3	11
4.5 Summary of the Chapter	11
<b>5 Conculusion and Future Directions</b>	<b>13</b>
5.1 Conclusion	13
5.2 Future Directions	13

# Chapter 1

## Background

1.1 Gravitational-wave

1.2 Sources of gravitational-wave

1.3 Interferometric Gravitational-wave detection

1.4 Terrestrial Laser Interferometers

1.5 KAGRA

1.6 Summary of the Chapter



# Chapter 2

## Geophysics Interferometer (GIF)

### 2.1 Overview

項の関係をここで述べる。

### 2.2 Purpose

この干渉計の目的を述べる。どういう地球物理の現象をターゲットにしているかとか述べる。それをもとに要求値が決まっていく。

#### 2.2.1 Motivation in Geophysics

地物でのモチベーション。(ここは新谷さん高森さん早河さんに聞いて書く。)

#### 2.2.2 Motivation in GW detectors

重力波望遠鏡でのモチベーション。Drever 氏の SPI の原論文で述べられていた「Seismic Interferometer」のように基線長伸縮を低減することが、GIF を KAGRA に設置するモチベーション。

### 2.3 Working Principle

動作原理を書く。どうやって地面の歪みをマイケルソン干渉計で検出するのかここに書く。

#### 2.3.1 Response to the seismic strain

どうやって地面の歪みが基線長伸縮として応答するか述べる。地面の歪みから基線長伸縮への伝達関数を載せる。

#### 2.3.2 Signal Detection Scheme

どうやって干渉計信号から基線長伸縮を取り出すか述べる。Quadrature Phase Detection について書く。ここからサンプリング周波数への要求値が定まることを述べる。

### 2.3.3 Noise

どういう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。

## 2.4 Optics

どうやって実際の干渉計を構築しているか述べる。

### 2.4.1 Mode Matching Optics

どういう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。

### 2.4.2 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。

### 2.4.3 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。

## 2.5 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。

### 2.5.1 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。

### 2.5.2 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。

## 2.6 Summary of the Chapter

本章で述べたパラメータを表にまとめる。



# Chapter 3

## Underground Seismic Noise

### 3.1 Introduction

#### 3.1.1 KAGRA Tunnel

KAGRA のトンネルについて述べる。センターと両エンドが地表からどれぐらいの深さにあるかとか、どういう岩石が分布しているとか。たしか三代木さんがトンネルの図を持っていた。

### 3.2 Theory of Seismic Waves

本章の説明で必要になる理論を述べる。

#### 3.2.1 Seismic Waves

Body Waves

Surface Waves

#### 3.2.2 Spatial Autocorrelation

#### 3.2.3 Common and Differential Mode Ratio (CDMR)

### 3.3 Seismic Noise

#### 3.3.1 Long Term Characteristics

#### 3.3.2 Microseismic Peak Model

#### 3.3.3 Peak identification

### 3.4 Fluctuation of the Arm Length

KAGRA は、硬い岩盤おかげで基線長伸縮が他のサイトよりもよく低減されていることを述べる。

**3.4.1****3.5 Summary of the Chapter**

# Chapter 4

## Arm Length Compensation Control Using the GIF

### 4.1 Problem of the Arm Length Fluctuation

#### 4.1.1

#### 4.1.2

#### 4.1.3

### 4.2 Control Design

#### 4.2.1

#### 4.2.2

#### 4.2.3

### 4.3 Experimental Arrangement

#### 4.3.1

#### 4.3.2

#### 4.3.3

### 4.4 Result

#### 4.4.1

#### 4.4.2

#### 4.4.3

### 4.5 Summary of the Chapter



# Chapter 5

## Conculusion and Future Directions

### 5.1 Conclusion

### 5.2 Future Directions