KAGRA腕共振器のための 9段防振懸架システムの制御

発表者: 奥富弘基

東大宇宙線研,東大理^A,国立天文台^B,富山大理^C,シラキュース大^D, KAGRAコラボレーション^E 藤井善範^A,L. Trozzo,高橋竜太郎^B,正田亜八香^B,山田智宏, 牛場崇文,榎本雄太郎^A,中野雅之^C,S. W. Ballmer^D,横澤孝章, 山本尚弘,阿久津智忠^B,麻生洋一^B,都丸隆行^B, KAGRAコラボレーション^E



KAGRA防振懸架システム

Type-A suspension

性能評価と制御の実装



KAGRA感度曲線



KAGRA感度曲線









Type-A Suspension



Type-A Suspension



Type-A Suspension



タワー

- 上5段、低周波振動子からなる常温部
- **倒立振子 (IP)**:水平方向の共振~70 mHz
- Geometric Anti-Spring (GAS) フィルタ: 垂直方向の共振~300 mHz

低温ペイロード

▶ 下4段、低温部 (~ 20 K)

サファイア鏡: 22.5 kg(ファイバ接着用耳含む)

Pre-Isolator



Bottom Filter





低温ペイロード



低温ペイロード構成



懸架システムの役割



1. 防振比の測定







| 単一腕共振器 での測定

・モデル予測とはよく 一致(特に>1 Hz)



2.RMS抑制のためのローカル制御



センサーペイロード



アクチュエータ - ペイロード



コイルマグネットアクチュ
 エータ
 MN-MNR間の相対6自由度



l コイルマグネットアクチュ エータ IM-IRM 間の相対6自由度

コイルマグネットアクチュ エータ TM-RM 間の相対3自由度 (L, P, Y)

角度制御



ロード制御

Broadband feedback 機械共振を利用し ピークで高い制御 ゲインを持たせる



MN

ΙΜ

TM

ACT



10²







Type-A suspension 全4台が干渉計とのコミッショニング中

防振性能の評価 モデル予測とよく一致している 観測帯域での評価は今後の課題

RMS抑制のためのローカル制御 ローカル制御における要求値は概ね満たしている グローバル角度制御に向けて準備中











熱雑音低減 さまざまな利点

地下の地面振動







地面振動

 $10^{-10} \, \text{m/Hz}^{1/2}$





鏡変位雑音の要求値 (>10 Hz)

 $10^{-19} \ \text{m/Hz}^{_{1/2}}$





Components

TYPE-A	TYPE- B	TYPE- BP
9 stages	5 stages	3 stages
Inverted Pendulum	Inverted Pendulum	_
GAS Filter x5	GAS Filter x3	GAS Filter x2
Payload: Cryogenic	Room-temperature	Room-temperature
For 4 TMs	For BS and 3 SRs	For 3 PRs

Performance



Tower



PRE-ISOLATION STAGE

Inverted pendulum legs

Horizontal resonance ~ 70 mHz

MECHANICAL FILTER CHAIN

5 geometric anti-springs

Vertical resonance ~ 300 mHz

CRYOGENIC Payload



RADIATION + **C**ONDUCTIVE **COOLING**

Black coated surface

Pure aluminum heat links

SAPPHIRE TEST MASS & FIBERS

Weight: 22.5 kg (ears included)

Hydro-catalysis bonding

Degrees of Freedom



Heat Link



cf. T. Yamada Master Thesis (2018)

Heat Link INDUCES Vibration



Heat Link Vibration Isolation System



Heat Link Vibration Isolation System





Vibration in the Cryostat



HL-VIS Design Performance

by T. Yamada



Vertical-to-Longitudinal Coupling



 $\frac{\text{(Longitudinal)}}{\text{(Vertical)}} \lesssim 1\%$

Vertical-to-Longitudinal Coupling

A BARRIS STRAND ROSA STRAND RECONTANT



Payload Structure





Payload Structure





VIBRATION ISOLATION RATIO Measurement



Local Sensors - Tower



Local Actuators - Tower



Torsion Mode Damping





BF Damper





LVDT + Coil-magnet actuator unit

6 DoFs sensing & actuation w.r.t. the ground

Damping LooP



Decay Time Measurement





MODE	DECAY TIME
#1	961.4 sec.
#2	158.6 sec.
#3	1155.5 sec.

Decay Time Measurement





MODE	DAMPED DECAY TIME
#1	24.8 sec.
#2	43.9 sec.
#3	9.5 sec.

Yaw Mode Damping



Yaw Mode Damping



Modal Damping



Decouples sensor signals into modal amplitudes

Vertical Modes



GAS Filter Response (1)

MODEL PREDICTION



Gas Filter Response (2)

MEASUREMENT RESULT



Modal responses can make the filter design simple

Modal Spectrum

MEASUREMENT RESULT



UNDAMPED

1ST & 2ND MODE DAMPED

Hierarchical Control

