KAGRAサイトにおける クライオスタットの振動測定III

越智聡郎

山元一広 A 、三代木伸二 B 、木村誠宏 c 、小池重明 c 、鈴木敏 $-^{c}$ 、都丸隆行 c

東大理、富山大A、東大宇宙線研B、高エネルギー加速器研究機構C

物理学会@東京理科大学 2018/3/22

概要

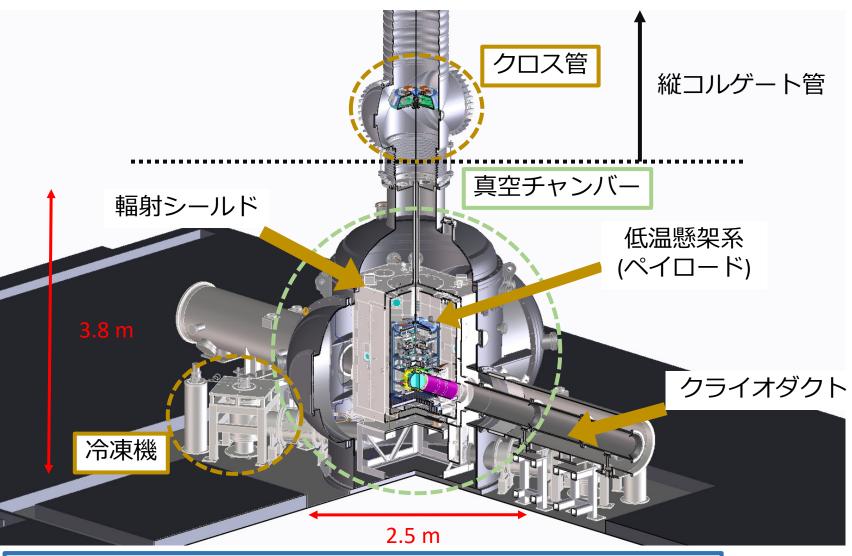
- KAGRAでは、稼働中の冷凍機の振動やクライオスタット の構造的な共振による振動が雑音となることが懸念されて いる
- ・それぞれの振動レベルは<u>地面振動と同程度</u>を目指して 設計されている
- クライオスタットの振動の感度への影響を調べる 基礎データとして、クライオスタットの振動を測定した
- クライオスタットの構造による共振の影響
 - 10-30 Hzに地面振動の1000倍程度の大きな複数のピーク
 - 殆どのピークが共振周波数測定結果と対応付けられた
- 冷凍機の稼働による振動による影響
 - -20.8 Hz, 30-50 Hzで顕著なライン状のピーク (地面振動の1000倍程度)

物理学会@東京理科大学

- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3. 8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 3-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 3-2:冷凍機の稼働による振動の影響
- 4. 結論

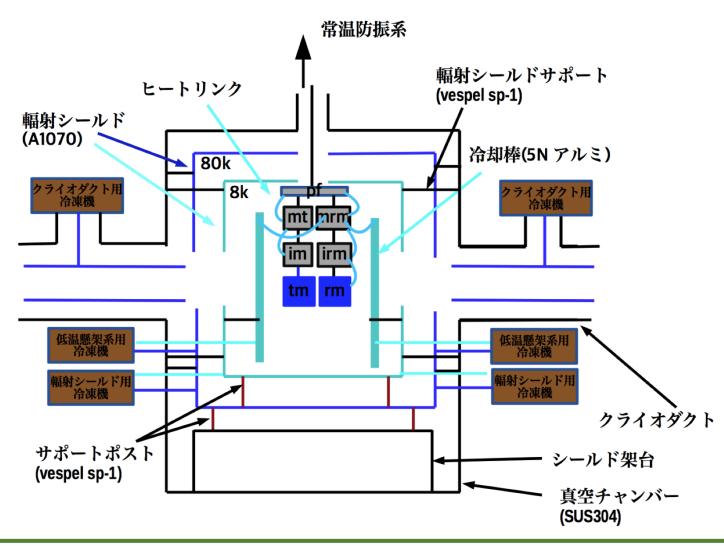
- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3.8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 5-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 5-2: 冷凍機の稼働による振動の影響
- 4. 結論

KAGRAのクライオシステム



「クライオスタット」 = 真空チャンバー + 輻射シールド + 冷凍機

クライオスタットの内部構造



熱負荷を極小にしながらも、構造的強度は持たせる構造

本研究の対象

-KAGRAの低温システムへの要請-

KAGRAの低温システムに要求されること

→KAGRAサイトと同じ地面振動レベル

クライオスタットの振動

- ヒートリンクから混入し雑音となる
- 散乱光雑音を増大させる原因になる

本研究で行ったこと

- ・8K輻射シールドの振動について、
 - クライオスタットの構造的な共振による影響
 - 冷凍機の稼働による振動の影響

を調べ、それぞれについて要求値を満たすか どうか調べた

- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3. 8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 5-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 5-2:冷凍機の稼働による振動の影響
- 4. 結論

打撃試験の概要

•目的

- クライオスタットの共振周波数を測定し、 振動測定結果と対応付ける

•方法

- クライオスタットをハンマで加振し、加速度計で 応答を測定する
- →加振した力と応答の変位のフーリエスペクトルの比で 求められる周波数応答関数に現れたピークの周波数が 共振周波数である

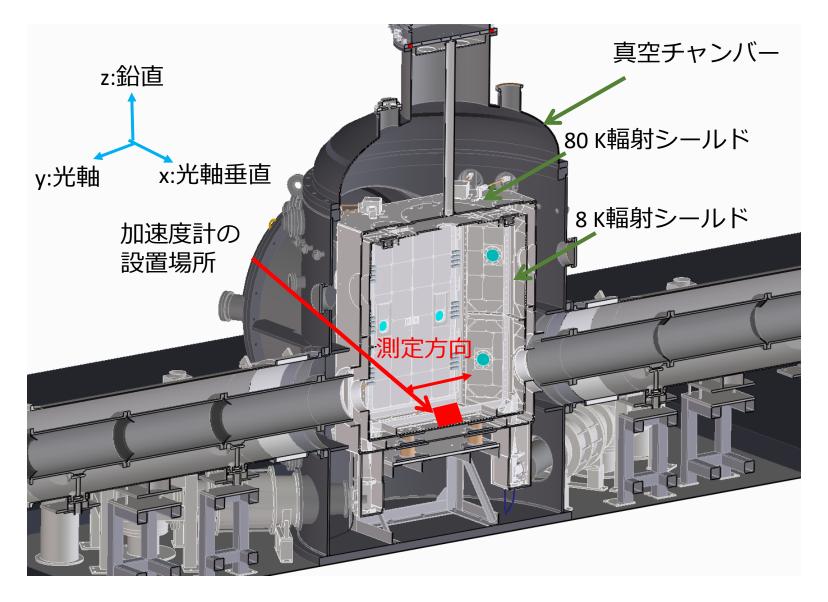
共振周波数測定結果

| クライオスタット真空容器 | | 輻射シールド | | クライオスタット真空容器 | | 輻射シールド | |
|--------------|-----------|--------|-----------|--------------|-----------|--------|------|
| 番号 | 共振周波数(Hz) | | 共振周波数(Hz) | 番号 | 共振周波数(Hz) | | |
| 1 | 9 | | | ш Э | | | • |
| 2 | 10 | | | | 53 | 17) | 53.5 |
| | | 1 | 12.5 | 16 | 55.5 | | |
| 3 | 15 | | | 17 | 57.5 | | |
| 4 | 16 | | 47 | 18 | 58.5 | 18 | 59 |
| (5) | 40.5 | 3 | 17 | 19 | 60.5 | | |
| 9 | 19.5 | 4 | 19 | | | 19 | 63.5 |
| 6 | 21.5 | | 20 | | | 20 | 64.5 |
| 6 ⑦ | 22.5 | _ | 22.5 | | | 21 | 66.5 |
| 8 | 24 | | 24.5 | 20 | 69.5 | 22 | 69.5 |
| 9 | 25 | | 24.5 | 21 | 71.5 | | |
| | 23 | 7 | 27.5 | | | 23 | 73.5 |
| 10 | 30 | | 29.5 | 22 | 77 | | 70.0 |
| | 30 | 9 | 32 | 23 | 79.5 | 24 | 79 |
| | | 10 | 33 | 24 | 81.5 | Ŭ | 75 |
| 11 | 35.5 | | | 24 | 01.5 | 25 | 83 |
| | | 11 | 37.5 | 25 | 84 | 23 | 05 |
| 12 | 39 | | | 25 | | 26 | |
| | | 12 | 40 | | 89 | 20 | 89 |
| 13 | 43.5 | 13 | 41 | 27 | 92 | | |
| | | 14 | 45 | 28 | 93.5 | | |
| 14) | 47.5 | 15 | 47.5 | 29 | 94.5 | | |
| | | 16 | 49 | 30 | 96.5 | | |

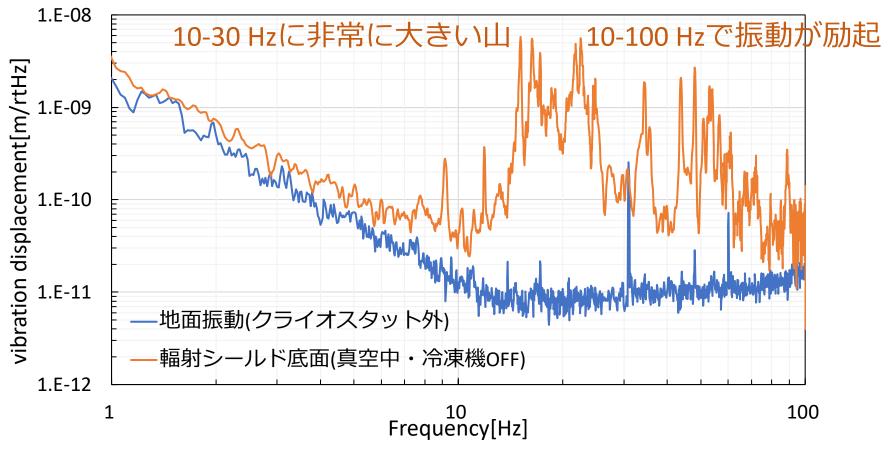
・丸がついているもの: どちらの共振か判別できないが、 質量比からクライオスタット真空容器によるものである可能性が高い

- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3. 8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 5-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 5-2:冷凍機の稼働による振動の影響
- 4. 結論

8K輻射シールドの振動測定



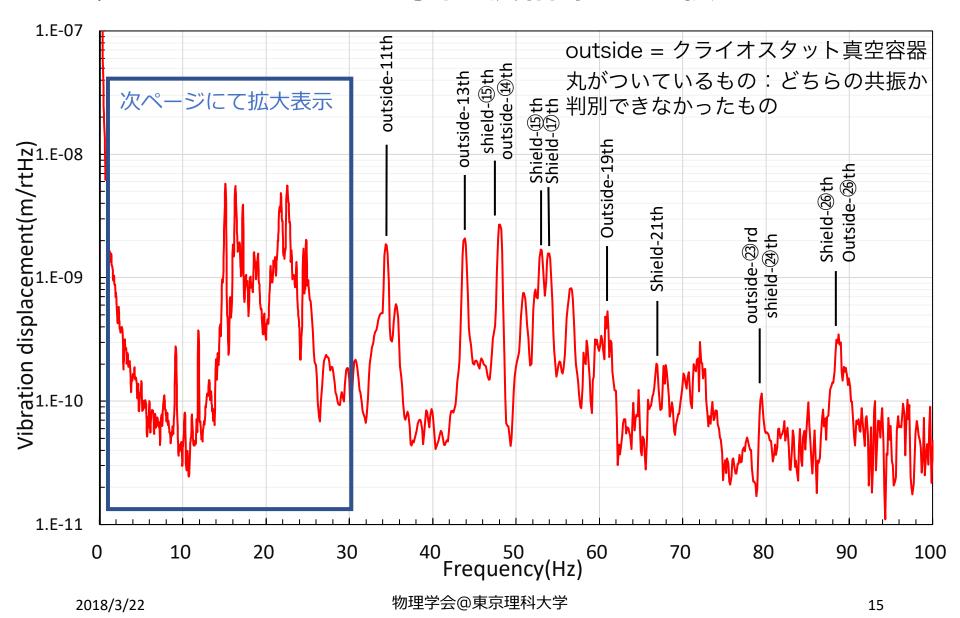
8K輻射シールド底面と地面振動の比較



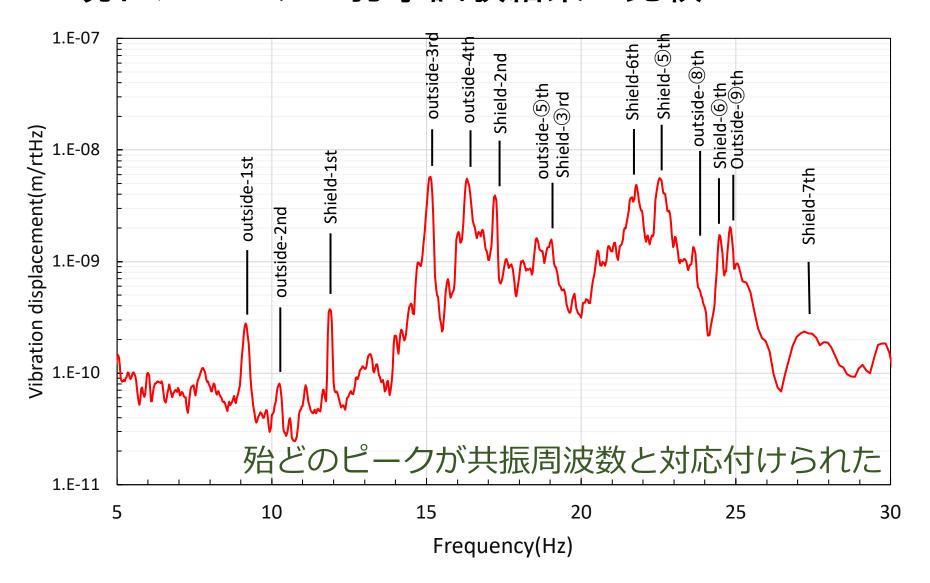
輻射シールド底面:常温真空、干渉計型加速度計で測定、測定日:2017年8月9日

地面振動:干渉計型加速度計で測定、測定日:2017年12月26日

☆8K輻射シールド底面の振動スペクトルに 現れたピークと打撃試験結果の比較

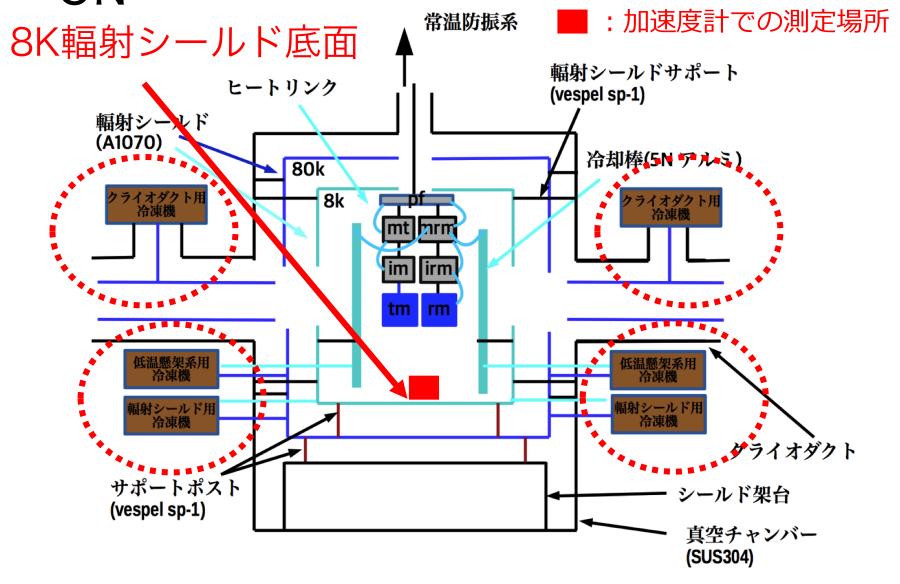


☆8K輻射シールド底面の振動スペクトルに 現れたピークと打撃試験結果の比較



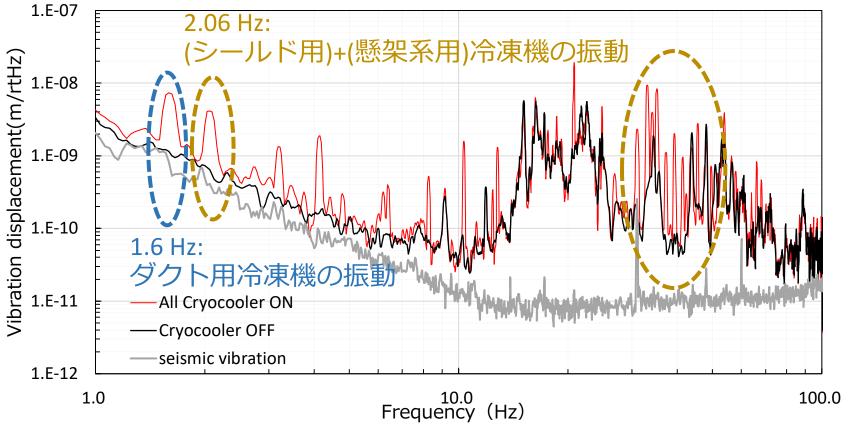
- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3. 8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 5-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 5-2:冷凍機の稼働による振動の影響
- 4. 結論

8K輻射シールド底面の振動測定/全冷凍機 ON



8K輻射シールド底面の振動: 全冷凍機ON/OFFの比較

30-50 Hzで顕著なピーク



輻射シールド底面:常温真空、干渉計型加速度計で測定、測定日:2017年8月9日

地面振動:干渉計型加速度計で測定、測定日:2017年12月26日

全冷凍機6台(クライオダクト用2台+低温懸架系用2台+輻射シールド用2台)ONと全冷凍機OFF時の輻射シールド底面の振動の比較

- 1. KAGRAのクライオスタットと冷凍機
- 2. 打撃試験によるクライオスタットの共振周波数測定
- 3. 8K輻射シールドの振動測定と成分分析:
 - 5-1:クライオスタットの構造の共振による影響
 - 5-2:冷凍機の稼働による振動の影響

4. 結論

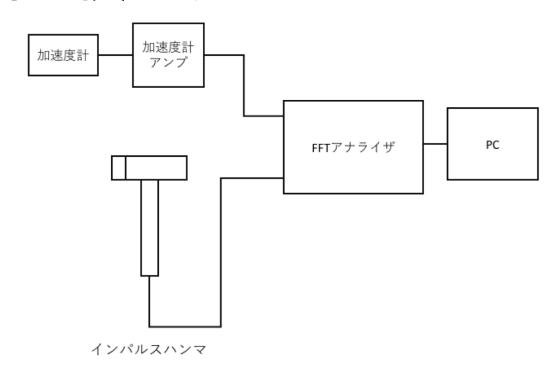
結論

クライオスタットの振動が地面振動と比較してどの程度 大きいか調べるため輻射シールド底面の振動測定を行った

- ・クライオスタットの構造による共振の影響
 - 10-100 Hzで励起が観測された
 - 特に、10-30 Hzで大きな複数のピークが観測された
 - これらの構造は殆どが共振周波数測定結果と 対応付けられた
- 冷凍機の稼働による振動の影響
 - 30-50 Hzで大きな複数のピークが観測された
- 今後の展望:極低温下でのクライオスタットの 振動測定

予備スライド

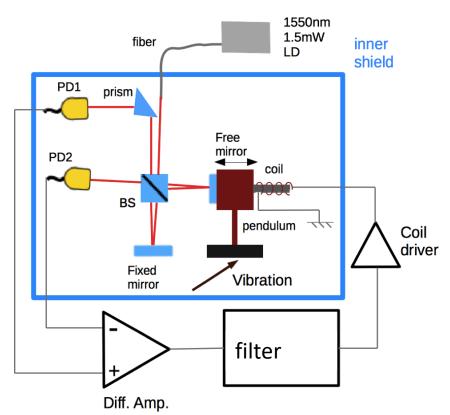
打撃試験の方法

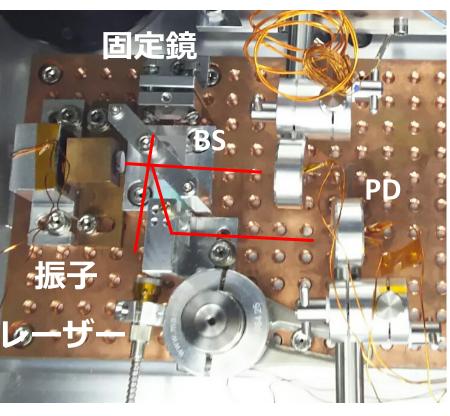


ヘッド部にピエゾが付けられたインパルスハンマで対象物を加振 加振時の応答スペクトルを加速度計で測定

→加振した力のフーリエスペクトルと加速度計での応答のフーリエスペクトルをFFTアナライザで求め、両者の比で定義される周波数応答関数を求める1つの加振点と応答点の組み合わせで周波数応答関数を5個求め、その平均をその組み合わせにおける周波数応答関数とした

干渉計型加速度計について

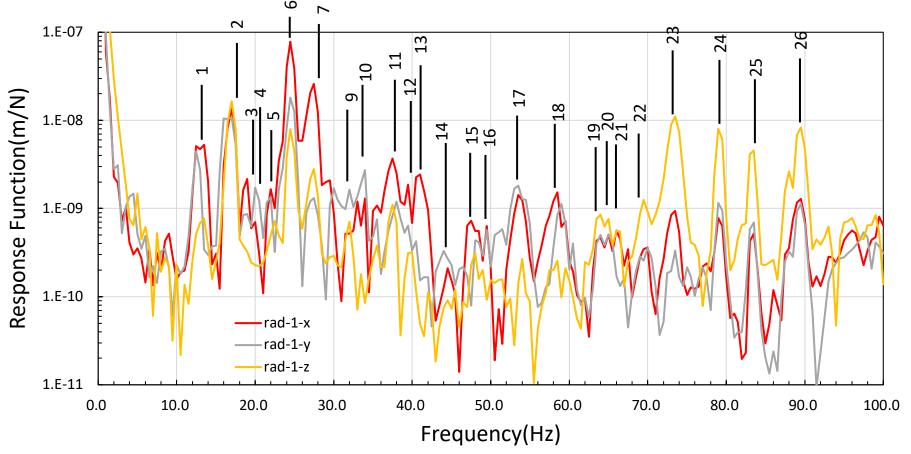




- ・低温での測定を目的とした加速度計(本研究では冷却により アライメントが崩れたので、低温では測定できていない)
 - ・マイケルソン干渉計型:

真空で使用可能、波長基準で自己較正可能

共振周波数の判別方法



- ・輻射シールドを加振し、輻射シールドで応答を測定した周波数応答関数の ―例
- ・ある1点の加振点と応答点の組み合わせに対し、3軸方向の測定結果
- ・周波数応答関数に現れたピークを共振点とし、その共振周波数を読み取った

共振周波数の判別方法

- 他の輻射シールドの加振点についても同様の手法で洗い出し、 その全てを輻射シールドの共振周波数とした
- クライオスタット真空容器を加振し、クライオスタット 真空容器で応答を測定した場合についても、同様の事を行い、 共振周波数を求めた
- 輻射シールドとクライオスタット真空容器のどちらにも現れた共振:
 - クライオスタット真空容器を加振し輻射シールドで応答を 測定した結果と、輻射シールドを加振し輻射シールドで応答を 測定した結果での共振点でのピークの大きさを比較
 - **前者**の方が明らかにピークが大きい場合、クライオスタットの 真空容器の共振点と判別した
 - ただし、このような判別を行った結果、 ピークに顕著な差が認められた共振点はなかった