

干渉計型重力波検出器 KAGRA における低温技術

東京大学理学系研究科物理学専攻修士課程 2 年

牛場崇文

1 KAGRA の特徴

干渉計型重力波検出器は国内の KAGRA のみならずアメリカのワシントン州およびルイジアナ州にある LIGO やドイツのハノーファーにある GEO600、イタリアのピサにある VIRGO などが存在する。それら干渉計型重力波検出器の中で KAGRA の特徴として挙げられるものは以下のような点である。

1. 神岡の地下に建設される
2. 鏡を極低温まで冷却する

前者は地面振動が小さい地下に装置を建設することによって地面振動による影響を低減することが目的であり、後者は鏡の熱雑音を低減することが目的である。本講演では特に後者に関して KAGRA での問題点及びその解決策について発表を行った。

2 鏡の低温懸架

鏡を低温で懸架するために KAGRA では鏡に耳（突起）をつけてそこにファイバーをひっかけるという形式をとる。そのような懸架のためには懸架に使うサファイア製のロッドが鏡にひっかけられるように端の太いロッドを製作することが必要である。しかしながら、このようなサファイア製のロッドがそもそも製作可能であるかどうか分からないため種々の企業に製作を依頼し端の太いロッドの製作を試みた。その結果端の太いサファイアのロッドの製作に成功した。しかし、作製したサファイアのロッドは側面研磨をすることができず、フォノンが熱伝導を担う低温ではフォノンの表面での散乱によって熱伝導が悪くなり、KAGRA の懸架に必要な熱伝導率を確保できないという問題が浮上している。そこで現在は、製作した端の太いサファイアのロッドの熱伝導率を実測することで鏡の懸架に使用可能かどうかの確認を行っている。

3 初期冷却時間の低減

KAGRA では熱雑音の低減のために鏡を冷却する。そのため冷凍機による初期冷却時間は装置の観測期間を延ばすという意味で短ければ短いほどいい。KAGRA での初期冷却にかかる時間を見積もるとおよそ 60 日程度冷却に時間がかかることが分かった。この冷却時間は主に 150K 以上の高温では輻射による熱輸送が支配的でそれ以下の温度では熱伝導が支配的であることが数値計算でわかった。そこでクライオスタット内の冷却対象物に diamond like carbon コーティング (DLC コーティング) を施すことにより輻射率を上昇させ、輻射による熱輸送をより短時間で行うことにより初期冷却時間の短縮を試みた。その結果初期冷却時間を半分の

30 日程度まで低減することができるという結果を得た。

4 常温部からの輻射の低減

KAGRA におけるクライオスタットはアーム全体（長さ 3km）を冷却するのは非現実的であるので冷却対象である鏡の周辺のみを冷却する設計である。ところが、レーザー干渉計型の重力波検出器である KAGRA ではクライオスタットにレーザーの通り道である穴を開ける必要があり、先に述べた理由からレーザーの通り道である開口部の外側は直接 300K の場所に続いている。その結果、開口部からの輻射による入熱が大きく鏡に対する入熱が冷凍機的能力を超えてしまい目標温度まで冷却することができないことが分かった。そこで、常温部へと通じる開口部に baffle を取り付けることにより常温部からの入熱を抑えるという試みをした。baffle を開口部に取り付けることにより以下の二つの効果により効率的に輻射による入熱を下げるができる。

1. reflecting back: baffle によって輻射を打ち返し、常温部へと戻す。
2. multiple reflections: baffle によって輻射を多段反射させることにより入熱を抑える。

baffle を取り付ける前後での入熱量は

baffle なし: 6.2 W
baffle あり: 0.16 W

で、さらに baffle に DLC コーティングを行うことで baffle による輻射の吸収も行うと

baffle あり (DLC コーティング): 0.088 W

まで輻射を低減することができる。これは、baffle なしの場合の 100 分の 1 程度であり、この大きさはほかの原因による鏡に対する入熱よりも小さいので、これ以上の対策は不要である。