

## Synopsys 製品 利用報告書の提出のお願い

日頃は Synopsys 製品をご利用いただき、誠にありがとうございます。

ソフトウェアライセンス契約書に記載の通り、利用報告書の提出をお願いいたします。なお、提出いただいた利用報告書の内容は弊社 Web サイトなどで公開し、他のユーザーの方に紹介する資料として利用することがあります。

**利用報告書は以下の項目を含む内容を 4 ページ以上で記入してください。**

- **日付**：本報告書を記入した日付。
- **所属名**：ご所属の教育機関、団体の名前。研究室名やグループ名までご記入ください。
- **氏名**：本報告書を記入いただいた方や実際に Synopsys 製品を利用された方のお名前。
- **連絡先メールアドレス**：本報告書を記入いただいた方や実際に Synopsys 製品を利用された方の連絡先メールアドレス。本報告書を読まれ興味を持たれた方が詳細な内容を問い合わせる場合がございます。
- **利用ソフトウェア**：利用された Synopsys 製品のソフトウェア。
- **タイトル**：本報告書のタイトル。利用報告書集(弊社 Web サイト)で公開するタイトルです。
- **概要**：本報告書の概要。利用報告書集(弊社 Web サイト)で公開する概要です。
- **概要画像**：本報告書の内容を表す画像(貼付)。利用報告書集(弊社 Web サイト)で公開する画像です。
- **キーワード**：本報告書の内容を表すキーワード。利用報告書集(CODE V もしくは LightTools の製品サイト)で公開するキーワードです。
- **研究内容**：現在行われている研究の内容。
- **ソフトウェア利用背景**：現在行われている研究の中で Synopsys 製品のソフトウェアを利用する背景。
- **ソフトウェア利用成果**：Synopsys 製品のソフトウェアを利用した結果として得られた成果。図表などの添付もお願いします。
- **まとめ**：本報告書のまとめや今後の展望。
- **本内容の詳細を掲載した論文や発表学会、雑誌**：本内容の詳細を掲載した論文、発表した学会や雑誌など。

※「研究内容、ソフトウェア利用背景、ソフトウェア利用背景、まとめ」に関しては、構成の変更や項目の追加、項目名の変更をされても問題ありません。

## **Synopsys 製品 利用報告書**

日付：06/09/2017

所属名：National Astronomical Observatory of Japan

氏名：Simon Zeidler, Tomotada Akutsu

連絡先メールアドレス：simon.zeidler@nao.ac.jp

利用ソフトウェア：LightTools

タイトル：

## Back Scattered Light Interferometric Gravitational Wave Detectors

概要：

Scattered light in interferometric gravitational wave detectors needs to be reduced so that it will not harm the actual signals coming from a gravitational wave. We have investigated the scattering coming from multilayer coatings on the surfaces of high-performance mirrors which are usually used in such detectors and compared the results with single-surface scattering theories, which are traditionally used in the field of gravitational wave detectors. We have performed simulations using LightTools to show the differences between multilayer scattering and single-surface scattering models in the back-scattering of mechanical structures close to the mirrors and the impact on the sensitivity of the Japanese gravitational wave detector KAGRA which is currently under construction. We show that the back-scattering by using those coatings can be larger by up to almost two orders of magnitude and they also give rise to additional scattering features that should be taken into account for all optical applications in gravitational wave detectors.

概要画像：

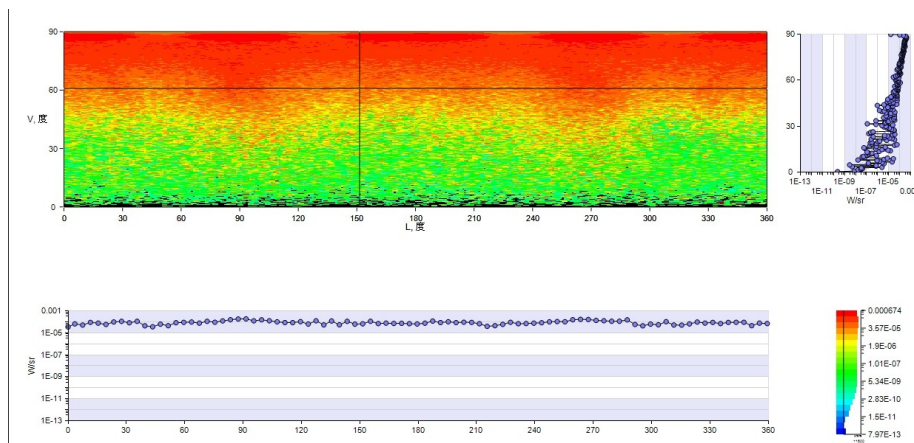


Figure 1: Illuminescence result of back-scattering simulations with LightTools showing the scattered light coming back from the recoil mass to the mirror's surface.

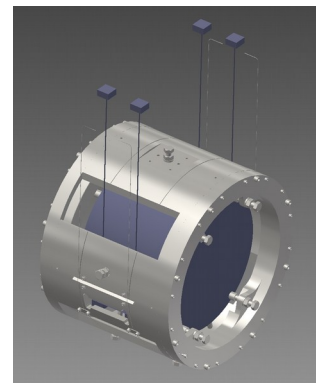


Figure 2: Mirror (blue) and its recoil mass (grey) in KAGRA

**キーワード：**

Scattering; Interferometer

**研究内容：**

In interferometers, mirrors are used to guide a laser into cavities which then interferes with itself and serves information about the experienced phase difference. For gravitational-wave detectors as KAGRA, the expected phase differences due to gravitational waves are very small. Hence, their sensitivity to noise is extreme high. One of the main contributions to phase noise is scattering light.

In order to get information on the back-scattering of structures close to the mirrors, first a probable scattering distribution calculated with the aid of scattering theories (multilayer or single surface) has been applied as a light source in LightTools. The subsequent scattering back off structures other the the mirror has been counted by a detector-surface below the light source in LightTools.

From the hemispherical distribution of the back-scattered light, the part that will be scattered a last time toward the direction of the laser is calculated and used for estimating the scattering-light noise in KAGRA.

**ソフトウェア利用背景：**

We used LightTools mainly for the calculation of how much of the secondary scattered light will come back to the mirror where the first scattering appears. These calculations have been done by using 50 million rays per run.

**ソフトウェア利用成果：**

Our results show that the usage of multilayer coated mirrors have a significant difference in the amount of scattered light that is coupled back into the main beam, compared to polished surfaces. Depending on the position of the mirror in the KAGRA detector, the difference can be a factor of 100.

We found that multilayer coated mirrors in KAGRA show an increased scattering

especially toward wider angles of incidence which affects the secondary scattering from recoil masses.

**まとめ：**

We have successfully calculated the amount of scattered light that couples back into the main laser beam of an interferometric gravitational wave detector. Our calculations were based on multilayer-coated mirrors and achieved with the LightTools software which we used for the realistic, numerical simulation of the situation around the mirrors in KAGRA, the Japanese gravitational wave detector.

**本内容の詳細を掲載した論文や発表学会、雑誌：**

Publication based on these results:

“Calculation method for light scattering caused by multilayer coated mirrors in gravitational wave detectors”; Simon Zeidler, Tomotada Akutsu, Yasuo Torii, Eiichi Hirose, Yoichi Aso, Raffaele Flaminio; Optics Express, vol. 25, no. 5; 4741 - 4760 (2017)