

人類初の「重力波」直接観測が期待される最先端プロジェクトが  
東京大学宇宙線研究所を中心に進行中

# 「重力波」の初検出を目指す

## 大型低温重力波望遠鏡「かぐら」<sup>KAGRA</sup>

オープンクリーンシステム「KOACH」が  
「かぐら」の最先端技術に必要なクリーン環境をつくる

「重力波」とは、質量をもつ物体が運動をすることにより時空にできた歪みが、波のように光速で伝わっていく波動現象で、既にアインシュタインが1916年に唱えた一般相対性理論でその存在が予言されていました。しかし、いまだに間接的にしか存在が確認されておらず、直接検出されたことはありません。アインシュタイン自身、実際の検証は不可能であろうと思っていたようです。

世界でまだ誰も捉えたことがないこの「重力波」の直接検出を目指すプロジェクトでは、昨年1月から大型低温重力波望遠鏡「かぐら (KAGRA)」の建設が始まっています。

「かぐら」の施設の一部にはクリーン環境が必要であることから、同プロジェクトを中心となって進めている東京大学宇宙線研究所に、オープンクリーンシステム「KOACH」が導入されています。これをきっかけに当社は、この最先端プロジェクト「かぐら」の壮大な計画を身近に感じるようになりました。

そこで、宇宙の誕生を解き明かすとも言われ、人類がその姿を捉えようと長年追い続けている「重力波」、そして「かぐら」についてより多くの人に知っていただけるよう、東京大学宇宙線研究所のKOACH導入の事例報告とともにご紹介いたします。



愛称「かぐら (KAGRA)」

建設地である神岡 (Kamioka) の頭文字と重力波の英語名 (Gravitational wave) の冒頭を組み合わせた「KAGRA」のかな表記。神へ奉納する舞楽「神楽」にもかけている。全国から公募された中から、愛称決定委員会 (委員長は芥川賞作家の小川洋子氏) による厳選な審査の結果、選定された。

## 「かぐら」プロジェクトとは？

まだ直接検出されたことがない「重力波」の初検出を目指して、東京大学宇宙線研究所が中心となっている実験計画です。現在、重力波検出のために必要な大型低温重力波望遠鏡「かぐら」が、岐阜県飛騨市神岡町に建設中です。

「かぐら」は望遠鏡という名前が付いていますが、光学望遠鏡や電波望遠鏡とは大きく違っており、レーザー干渉計を使用して、時空の“ひずみ”を測定します。そして、レーザー干渉計は精度を高めるために、高出力のレーザー光源、大口径・超低損失ミラー、超高真空装置など、様々な最先端技術を必要とします。

### ●重力波について

アインシュタインの一般相対性理論によれば、質量を持った物体が存在すると、それだけで時空にゆがみができます。さらに、その物体が運動をすると、この時空のゆがみが光速で伝わっていきます。これが重力波です。世界中の研究機関がその初検出を目指して競争しつつ、かつ協力し合っています。

### ●重力波を検出する意義

重力波が検出できれば、光の仲間である電磁波とは異なる方法で宇宙を観測することができるようになります。特に、重力波は物体の表面で散乱を起こさないで、光（電磁波）を用いた方法では不可能な、宇宙誕生の瞬間に近い時までさかのぼって宇宙を観測することができますようになります。

## 大型低温重力波望遠鏡「かぐら」

大型低温重力波望遠鏡「かぐら」の大きな特徴は以下の4つです。

### 1. 望遠鏡の規模は3km

時空の“ひずみ”を測定する「かぐら」のレーザー干渉計の基線長は3kmで、国際的な競争力を持つ規模です。

### 2. 望遠鏡を鉱山内のトンネルに建設

神岡鉱山内という極めて地面振動が少なく、温度・湿度の安定な環境に設置します。実は地面は、風や打ち寄せる波、地球自身の固有な振動で常に振動しています。

それらの振動は地下に潜ることにより低減され、神岡鉱山内では地上の1/100まで小さくなっています。

このことは重力波検出装置を長時間運転し、観測する上で大きな利点となります。

### 3. 鏡をマイナス253℃まで冷却

鏡をマイナス253℃まで冷却することで、検出器の感度を制限していた熱雑音をさらに低減することを目指しています。

### 4. 鏡の材質としてサファイアを用いる

サファイアは光学特性に優れていることに加え、低温に冷却すると熱伝導や機械的損失が少なくなるなどの長所があります。

## 「かぐら」に必要なクリーン環境

重力波望遠鏡では、長さの変化を読み取る物差しが目盛りとしてレーザー光源の波長を利用しています。検出器にわずかな塵でも付着すると、レーザーの波長が安定しない原因になるため、トンネル内にクリーン環境が必要となります。

KOACHは、鏡が入る装置まわりをクリーン環境にするため「かぐら」にも導入されることが検討されています。



鏡冷却装置

取材にご協力いただいた廣瀬先生は、この鏡の開発に携わっています。現在、宇宙線研究所に導入されているフロアーコーチEzは、鏡の検査・試験の際に使用されています。

## 東京大学宇宙線研究所

重力波推進室 特任研究員の廣瀬榮一様から、  
KOACHの導入についてお話をいただきました。



—東京大学宇宙線研究所について教えてください。

宇宙についての研究、宇宙線そのものの研究、あるいは宇宙線に含まれる素粒子\*という物質の根源の研究など、研究者の関心はさまざまです。東京大学宇宙線研究所をおおまかに説明すると、宇宙からやってくる宇宙線（Cosmic Ray）を通した研究が行われている施設となります。その中で、私は重力波推進室に在籍しています。

「重力波」は一般的には宇宙線には分類されませんが、宇宙からやってくるものということで、この宇宙線研究所で研究が行われています。

以前、私は流体力学分野のエンジニアをしており、具体的には航空機エンジンの設計に携わっていましたが、

アメリカで重力波プロジェクトにかかわったことをきっかけに重力の研究を始め、それ以来、重力波の研究を続けています。

### ■ 素早い対応が不安を払拭した

—KOACH導入を決めた経緯を教えてください。

一昨年（2011年）の12月、クリーンルーム関連の新しい情報を期待して半導体の展示会「セミコン・ジャパン」を見学しました。アメリカの重力波の研究の場で目にしていたクリーン環境は満足できるレベルのものではなく、だからといって半導体工場などにあるクリーンルームでは構造



3段3列のフローアークーチEzが導入された

が大掛かりであるため、「かぐら」のトンネルの中では再現できないと考えていました。

そんな中、前情報を全く持たずに行った展示会場で目に留まったのが「KOACH」でした。デモンストレーションを見て、これまでのクリーンルームとは全く違ったコンセプトの製品であることがわかりました。

「これはもしかしたら良いかもしれない」という感想を持ちました。

その場で一通りの説明は受けたのですが、一般的なクリーンルームより高価に見えたことなどから、実際に導入できるかという不安も抱きながら会場を後にしました。

ところが、展示会後に連絡をもらったことから、こちらの用途や懸念事項を具体的に伝えることができました。その一つが、クリーンゾーン内に物品がある場合の清浄度についてでした。

こちらの質問や要望に素早く対応してもらい、その回答もデータ取りしたものであったりと、こちらの不安を解消してもらえました。さらには、導入にあたり決裁者を説得するのにも十分役立ちました。



重力波実験室に導入されたKOACH



室内の温湿度は備え付けのエアコンで管理。エアコンの吹き出し気流がKOACHに影響しないよう配置してある



東京大学宇宙線研究所（千葉県柏市）

## KOACH導入で得られたもの

——導入後の運転状況はどうかですか？

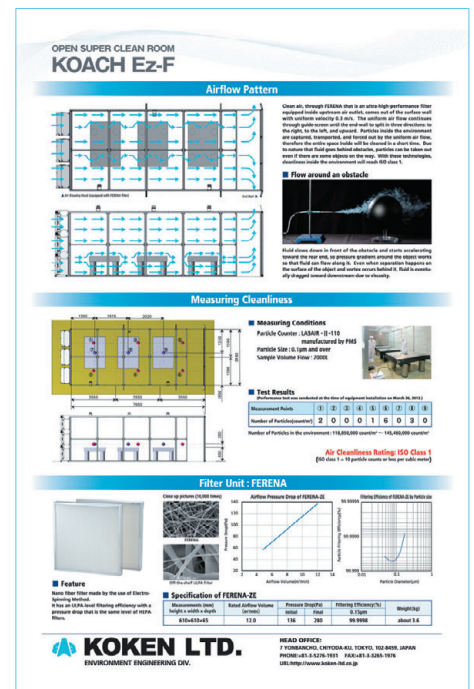
昨年3月にフロアーコーチEzを導入してからは24時間の連続運転をしており、清浄度についても全く問題がありません。

実は、今KOACHを設置している部屋は、導入前はかなり雑然としていたのですが、クリーン環境をつくるにあたり、まずはその場所をクリーン環境にふさわしいものにするところから始めました。

KOACH導入の前に約1ヶ月かけて、整理整頓と部屋の環境改善を行いました。KOACH設置後もより良い維持管理ができ、日頃の作業管理にも気を配っています。

KOACH導入をきっかけに、作業環境の全般的な見直しができ、スタッフの意識が大きく変わりました。これは素晴らしいことだと思います。

※素粒子：物理学において、物質を構成する最小の単位。物質を細分化していき、それ以上分割できない粒子のこと。自然界にそのまま安定的に存在してはいないので、宇宙線の観測などにより発見・研究されている。東京大学宇宙線研究所のカミオカンデによって、素粒子のひとつであるニュートリノの観測に世界で初めて成功したことにより、日本の物理学者の小柴昌俊氏が2002年にノーベル物理学賞を受賞されました。



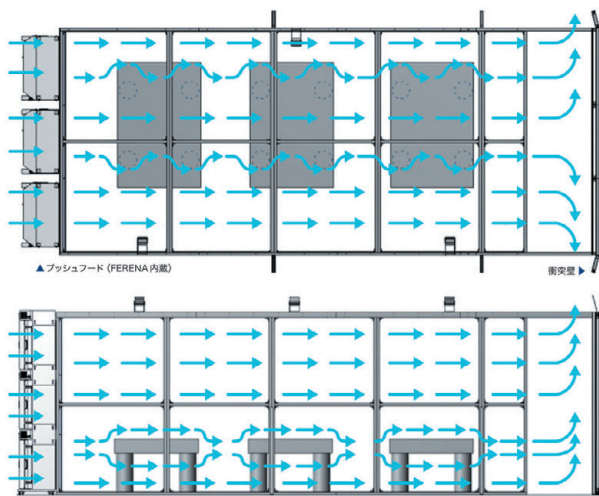
フロアーコーチEzの説明用に掲示されたポスター。流体力学を専門にされていた廣瀬先生ならではの気流解説についての表現が見られる

## KOACHがつくるクリーン環境

——運転状況はいかがですか？

清浄度には満足しています。しかもKOACHの場合は、手をかけずにその清浄度を維持管理できる点が素晴らしいです。発じんしてもすぐに清浄度を回復することは、かなり強力なメリットだと思います。

そのKOACHの気流の特徴はサイドフロー方式であり、従来のクリーンルームとは全く違うために、なかなか理解され難いかもしれませんが、私は見学者などに説明するときに「ところてん方式」という表現を使って説明しています。



フローアーコーチEzの清浄空気の流れ (モデル図 上：平面図、下：側面図)

このようなクリーン環境をつくりだせるKOACHは素晴らしいと思いますし、ゆくゆくは「かぐら」に持っていく予定ですが、このままここに置いておけないかというスタッフもいるくらいです。とにかくKOACHがなかったら今頃どうなっていたらと思います。

「かぐら」プロジェクトでのKOACHの最終的な役割は、トンネル内で今と同じようなクリーン環境をつくり出すことです。

トンネル内は、粉じん数も湿度も全然違う環境なので、かなり厳しい条件になるかと思いますが、このクリーン環境が重力波検出においては不可欠となるので、是非実現していきたいと思っています。

\* \* \*

宇宙の誕生の謎を解き明かす世界規模の研究が日本の鉱山地下に掘られたトンネルで行われるということは、まだまだ多くの人に知られていないかもしれません。アインシュタインが「重力波」を予言してからほぼ100年後となる2017年には、「かぐら」による重力波の直接観測がいよいよ始動する予定です。

当社は、この壮大なプロジェクトの一端にでも係わることができることを大変光栄に思い、そして、人類がいまだ成し遂げていない重力波の直接検出が「かぐら」によって成功することを願っています。



フローアーコーチEz (7列3段20mの例)

参考：KAGRA大型低温重力波望遠鏡HP <http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/>  
東京大学宇宙線研究所HP <http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/>  
重力波プロジェクト推進室HP [http://tamago.mtk.nao.ac.jp/spacetime/lcgt\\_j.html](http://tamago.mtk.nao.ac.jp/spacetime/lcgt_j.html)