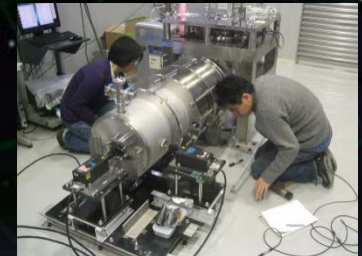


重力波プロジェクト推進室

発表者：安東 正樹



- **背景と位置づけ**
- **重力波プロジェクト推進室の概要**
- **研究活動報告・計画**
- **まとめ**

背景と位置づけ

- ・大目標：重力波天文学の創成と発展。



- ・現在の取り組み

- 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

- * 中心推進機関としてプロジェクトを推進。

- * KAGRAによる天文学。

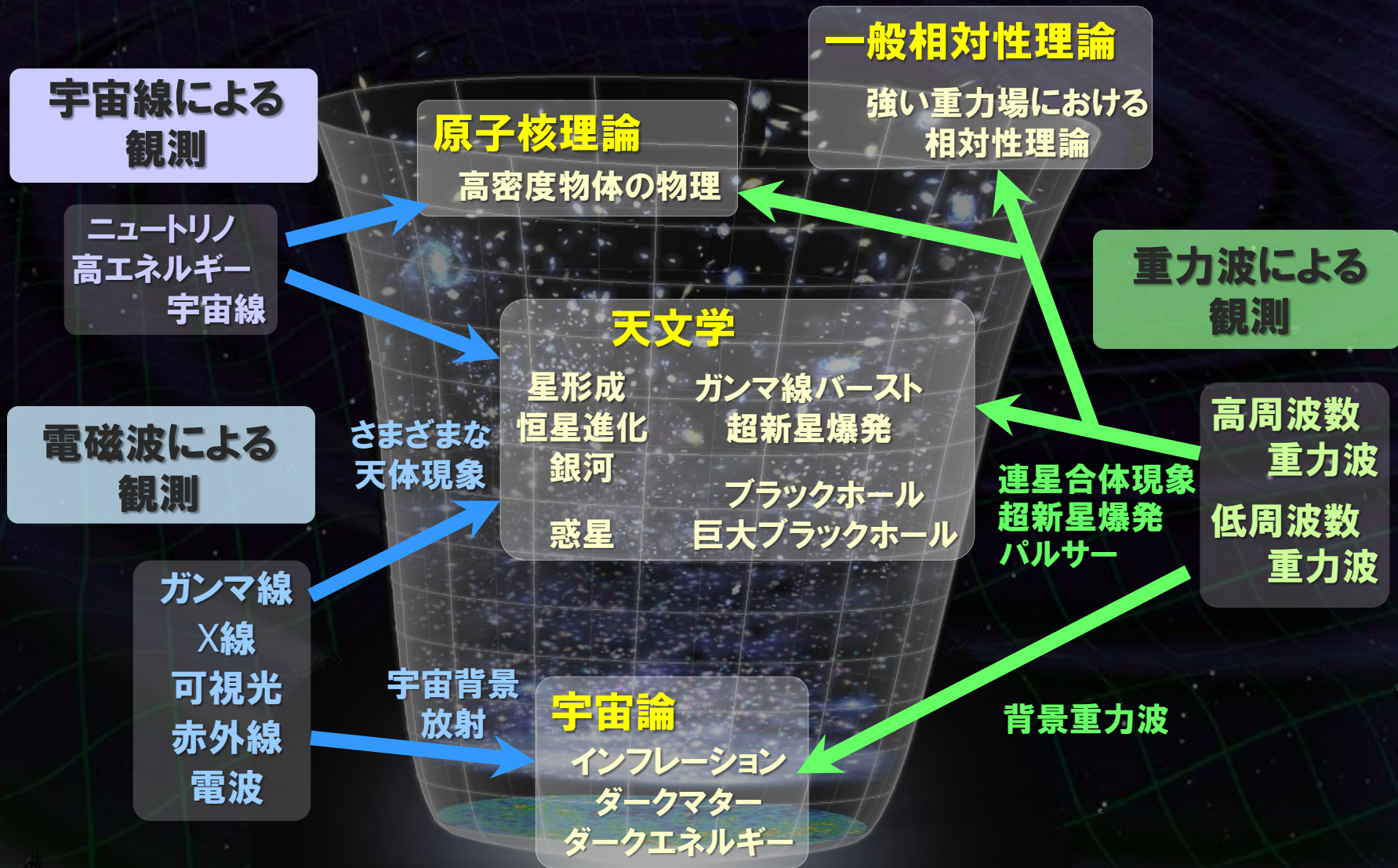
- 将来を見越した先端技術開発

- * KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化。

- * 宇宙重力波望遠鏡。

プロジェクト推進・研究成果・人材育成

重力波で宇宙を探る



背景画: NASA/WMAP Science Team

重力波天文学のロードマップ

地上望遠鏡

より遠くを観測 (10Hz-1kHz)



宇宙望遠鏡

低周波数帯の観測 (1Hz以下)



重力波天文学のロードマップ

地上望遠鏡

より遠くを観測 (10Hz-1kHz)

宇宙望遠鏡

低周波数帯の観測 (1Hz以下)



重力波プロジェクト推進室 概要

重力波プロジェクト推進室の構成員

● 総数 18名 (昨年度 24名: 学生・共同研究者数に変動)

・研究教育職員

教授 人選中

安東 正樹 准教授

高橋 竜太郎 助教 (出向中)

辰巳 大輔 助教

上田 暁俊 助教 (併任)

大石 奈緒子 助教 (出向中)

阿久津 智忠 助教

・技術系職員

石崎 秀晴 研究技師

鳥居 泰男 研究技師

田中 伸幸 主任技術員

※ *印は総数に含まず

・博士研究員

端山 和大 研究員

我妻 一博 研究員

中村 康二 研究員

・事務職員 (JASMINEと兼務)

近藤 美穂子 事務支援員

吉住 みづほ 事務支援員

・名誉教授

藤本 眞克*

・学生

和泉 究* D4 東大・理・天文 (卒業)

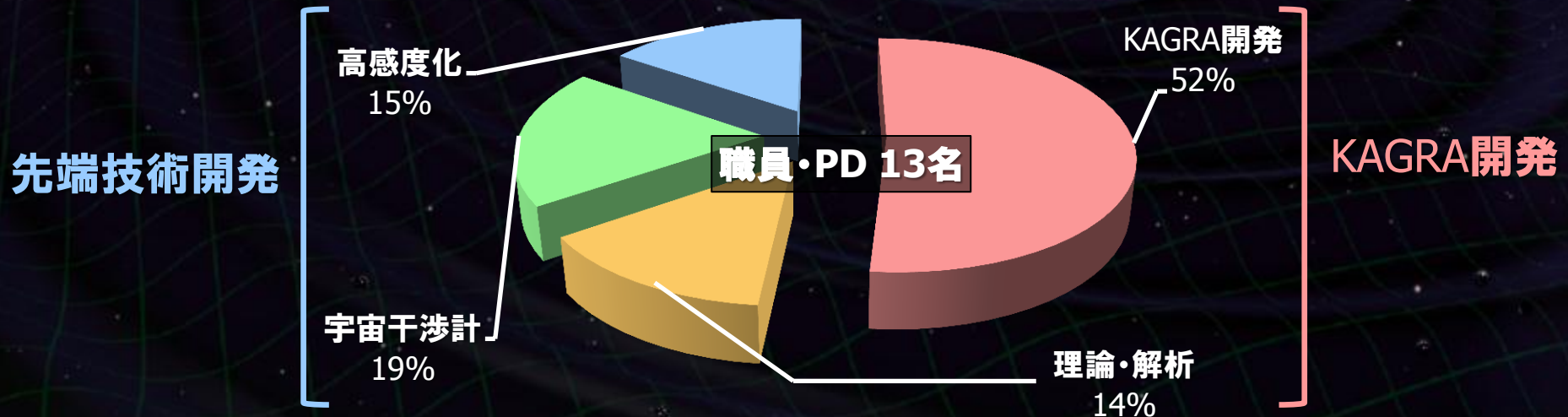
権藤 里奈 M2 お茶の水女子大

斎藤 那菜 M1 お茶の水女子大

春日 恵美 B4 お茶の水女子大

● 研究活動の比率

※各人の研究活動についての
エフォート割合の単純和より見積り



- 約2/3がKAGRAに関する活動
→ 今後, より強化・増大の見込み
(新教授の着任, プロジェクト研究員の増員)

・重力波分野においてKAGRAの成功が第1優先課題

⇒ 主要推進機関の1つとしてより強固な体制のもと推進.

- プロジェクト全体の推進.
- 担当サブシステムの開発・評価試験.
- 理論・データ解析を通じての天文学の創成.

・最先端技術の基礎研究開発も重要

⇒ 研究成果の創出・人材の育成と重力波分野の継続的发展.

- 自由な発想に基づく、挑戦的で新しい科学的価値の創造.
- KAGRA以外の独自性のある研究成果と実績の蓄積.
- 先進的な研究拠点としての魅力.

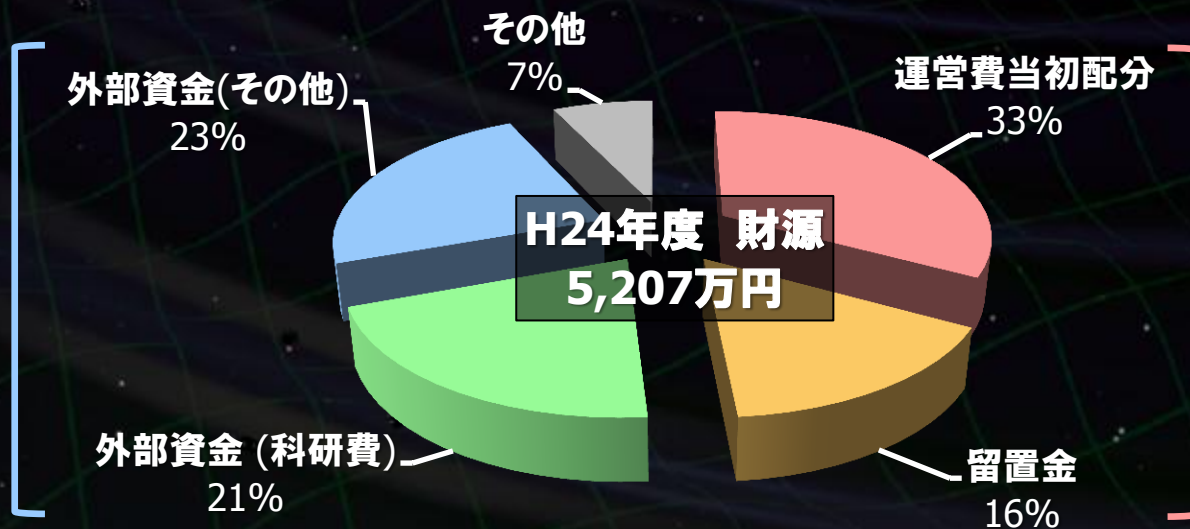
研究活動のバランスを取りつつ進める.

平成24年度 予算概要

● 平成24年度 予算合計 5,207 万円

・台内経費	運営費交付金	1,715 万円
	留置金	820 万円
	その他	370 万円
・外部資金	科研費	1,085 万円
	その他 資金	1,220 万円

主に先端技術
開発に使用



KAGRA開発
環境整備な
どに使用

●	平成25年度 台内予算要求合計	<u>5,935 万円</u>
	・長期的経費	<u>4,435 万円</u>
	- 運用経費	630 万円
後述 ⇨	- 研究開発経費	2,800 万円
	- 契約職員人件費	460 万円 (JASMINEと共同)
	- 個人研究経費	545 万円
	・短期的経費	<u>1,500 万円</u>
後述 ⇨	- 研究開発経費	1,500 万円

● 外部資金

- | | | |
|---|--------|----------|
| - | 科研費継続 | 890 万円 |
| - | 科研費申請中 | 6,035 万円 |
- (特別推進研究, 新学術領域公募, 基盤研究(A) など)

予算要求とKAGRAの予算状況

- 研究開発費要求は、主にKAGRAに関するもの。
- 現在のKAGRA経費：最先端 98億円 + トンネル掘 33億円
→ 当初プロジェクト要求に対して30億円程度不足。
人件費、旅費は支出できない。



- KAGRA実機としてインストールされるもののみ支出。
- 設計開発、プロトタイプ試験、実機評価試験などは、
協力機関の努力によって補われている。

• 天文台担当の主なサブシステムの執行予算規模

- 防振 ~ 26,500 万円
- 補助光学系 ~ 23,100 万円
- 鏡 ~ 43,400 万円

その他

干渉計、入出射光学系、
デジタルシステムなど。

- **研究開発経費** 2,800 万円
 - KAGRA
 - * **防振・懸架** 500 万円 (Type-B 300, 光てこ 200)
 - * **補助光学系** 1,000 万円 (テレスコープ 800, 散乱 200)
 - * **鏡** 800 万円 (評価400, サンプル鏡 400)
 - **先端技術開発**
 - * DECIGO/DPF 500 万円
(干渉計試験マス 200 入射光学系 300)

- **短期経費** 1,500 万円
 - **低温施設整備** 1,500 万円 (冷凍機1000, 設計・試作 500)

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

- 中心推進機関としてプロジェクトを推進.
- KAGRAによる天文学.

将来を見越した先端技術開発

- KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化.
- 宇宙重力波望遠鏡.

• 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

- 新しい愛称 KAGRA (かぐら)
- トンネル・施設・真空・低温など、本格的な建設開始.
- 防振・補助光学系・鏡など担当サブシステムで進捗.
- 先端技術センター(ATC)の重点領域に位置付け.

• 先端技術開発

- DECIGOパズファインダーの設計・開発進捗.
- 新しい手法の研究立ち上げ (弱測定, TOBA)

※ ハイライト論文

- 和泉 究 : Optical Society of America誌 スポットライト.
- 中村 康二 : Classical and Quantum Gravity誌 High-Lights 2011-2012

研究活動報告 (1) : KAGRA

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

- 中心推進機関としてプロジェクトを推進.
- KAGRAによる天文学.

将来を見越した先端技術開発

- KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化.
- 宇宙重力波望遠鏡.

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA



基線長3kmの低温干渉計

2017年頃本格的な観測開始 → 重力波天文学の創成.



・ホスト機関：

東京大学宇宙線研究所

・副ホスト機関：

国立天文台

高エネルギー加速器研究機構

・国内外の研究機関

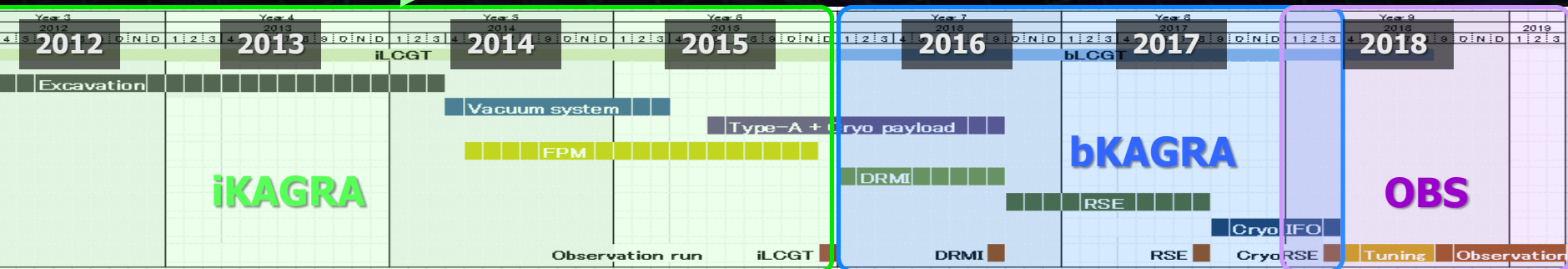
東京大, 大阪市大, 東工大,
大阪大, 京都大, 産業技術総
合研究所, 情報通信研究機構,
電気通信大, 山梨英和大 など.

KAGRAスケジュール

• **iKAGRA** (2010.10 – 2015.12)

3-km FPM interferometer

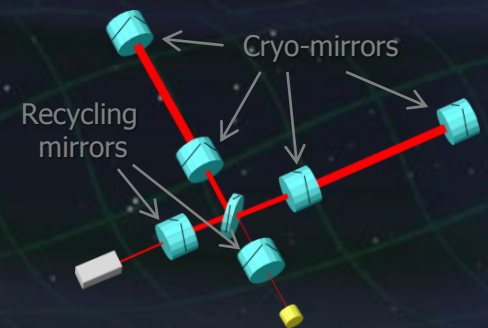
- Baseline 3km room temp.
- Operation of total system with simplified IFO and VIS.



• **bKAGRA** (2016.1 – 2018.3)

Operation with full config.

- Final IFO+VIS configuration
- Cryogenic operation.



KAGRAスケジュールと予算

FY2010 FY2011 FY2012 FY2013 FY2014 FY2015 FY2016 FY2017

予算・主旨

最先端研究基盤整備事業
(~98億円) → iKAGRA

科研費 特別推進研究
(~5億円) → 人材確保・評価試験

トンネル掘削経費 (~33億円)

概算要求 (~20億円)
→ 望遠鏡アップグレード

KAGRA構成



Upgrade

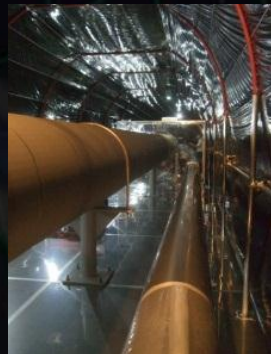


目標

施設・望遠鏡基盤の整備

重力波の検出と天文学

- **施設・真空系など建設が着実に進んでいる。**
 - **トンネル：中央室大部分・Yエンド室 掘削済。**
Y腕部 550m.
 - **施設： 現地オフィス稼働開始。**
 - **真空： 腕ダクト 90%以上が納品済。**
インストール試験施設で手順確認。
 - **クライオスタット：4台の真空槽ほぼ完成。**

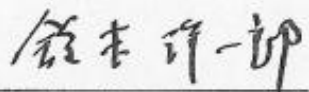


大型重力波望遠鏡計画の推進についての覚書

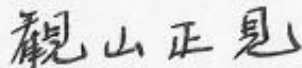
東京大学宇宙線研究所、自然科学研究機構国立天文台および高エネルギー加速器研究機構は、大型重力波望遠鏡計画の実現が、物理学及び天文学の発展に重要な意義をもたらすことを認識し、宇宙線研究所の統括により、協力して計画を推進する。

この合意は、平成6年8月1日付け（平成8年8月1日付け更新、平成10年8月1日付け更新、平成12年11月20日付け更新、平成15年4月1日付け更新及び平成17年4月1日付け更新）の重力波の研究推進に関する三者合意を継承するもので、平成19年4月1日から2年間有効とし、3者間の協議により更新できるものとする。

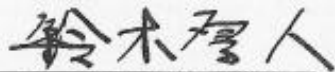
平成19年2月28日



東京大学宇宙線研究所長
鈴木洋一郎



自然科学研究機構国立天文台長
観山正見



高エネルギー加速器研究機構長
鈴木厚人

- ICRR-KEK-NAOJ間の
KAGRA推進協力の覚書。
 - 平成6年8月より
 - 平成8,10,12,15,17,19,
21,23年にそれぞれ
期間延長の合意。
- 平成24年6月19日
KAGRA協議会で継続を確認。

主要機関の1つとしてKAGRAの実現に貢献.

• 重力波プロジェクト推進室

- KAGRA内で主要な役割.

* 執行部の一員としてのプロジェクト推進.

* 主要サブシステムをチーフなどの立場で担当.

- TAMA施設の活用 → KAGRAの実現性向上, リスク低減.

• 先端技術センター

- KAGRAを重点領域に位置付ける.

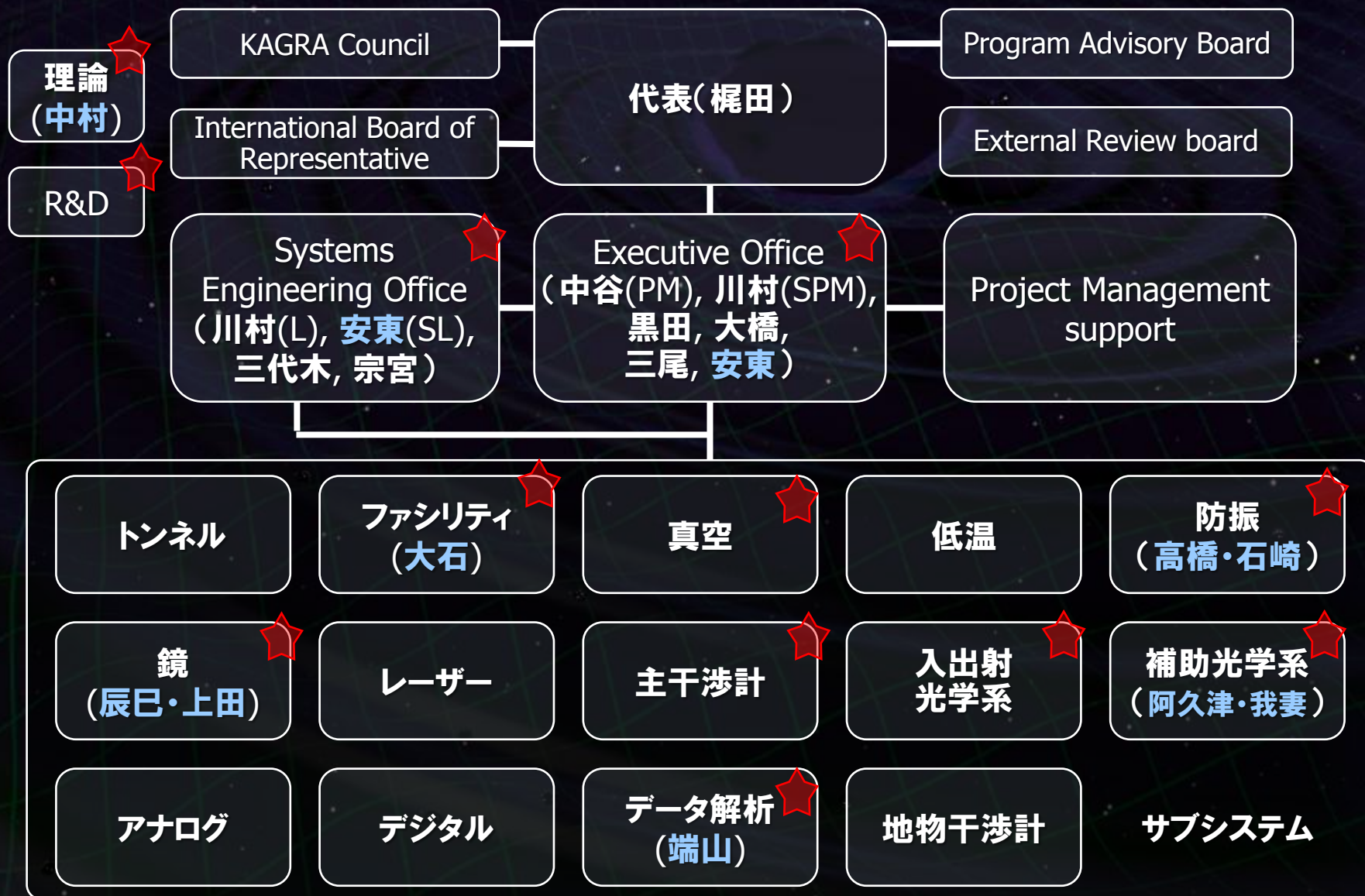
- 重力波プロジェクト推進室から安東・阿久津がATC併任.

- 特にAOS(補助光学系)サブシステム開発を受け持つ.

天文台の担当

- **執行部** : 安東 (SEOサブリーダー)
国際協力, 特別作業班, レビュー
- **真空** : 高橋
真空装置の設計・発注, 敷設準備
- **防振** : 高橋 (チーフ), 石崎
防振装置の設計, 試作・試験
- **補助光学系** : 阿久津 (チーフ)
補助光学系設計・試作試験
- **鏡** : 上田 (サブチーフ), 辰巳
鏡の性能評価
- **主干渉計など** : 辰巳, 我妻
干渉計光学系・制御系設計
- **デジタルシステム・観測・施設** : 大石, 辰巳, 端山, 中村
デジタルシステムの性能評価, 干渉計モニタシステム構築

KAGRAの組織



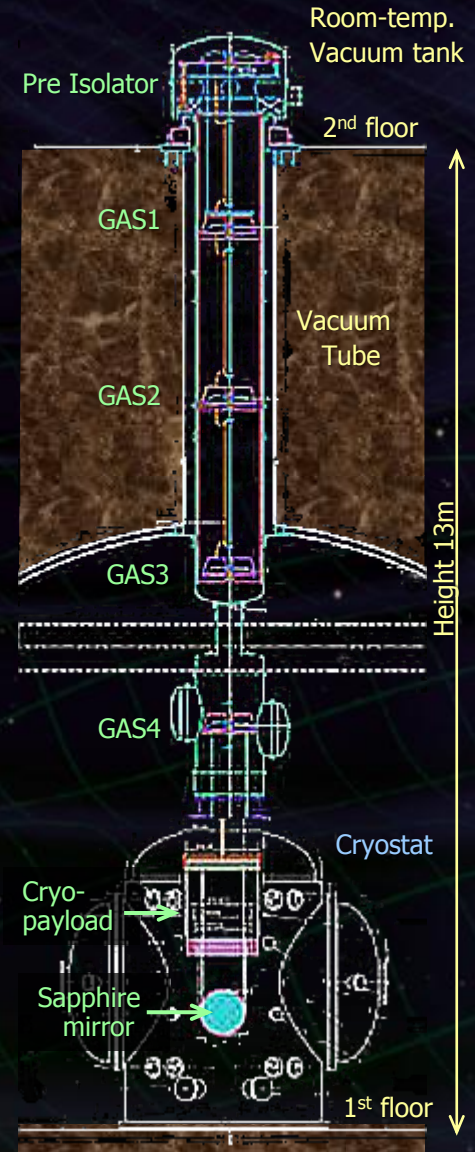
防振装置開発

• 光学素子のための防振・懸架系 (高橋, 石崎)

- サファイヤ低温鏡の防振系
- その他, 常温光学素子の防振系

• 現在は部分に分けて開発中

⇒ 2013年度より TAMA300を用いて
総合プロトタイプ試験



Pre-isolator試験の様子

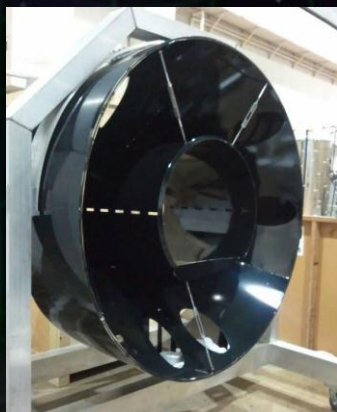


ペイロード初期プロトタイプ

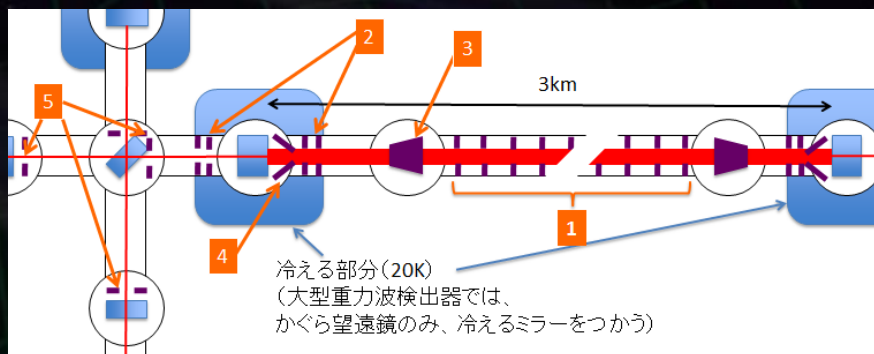


架台支柱試験品

- 干渉計の散乱光処理など (阿久津, 我妻)
 - 散乱光などの処理. 透過光モニタなどのコンポーネント.
 - 干渉計の最終感度を定める可能性がある重要なサブシステム.
- 具体設計進行中: ATCの協力.
ATCにて開発・試験環境整備 ← 留置き金.
⇒ 今年度中に試作品評価, 実機製作開始.
2015年末までに実機製作・評価試験完了 → インストール.



バッフル (内径22cm)



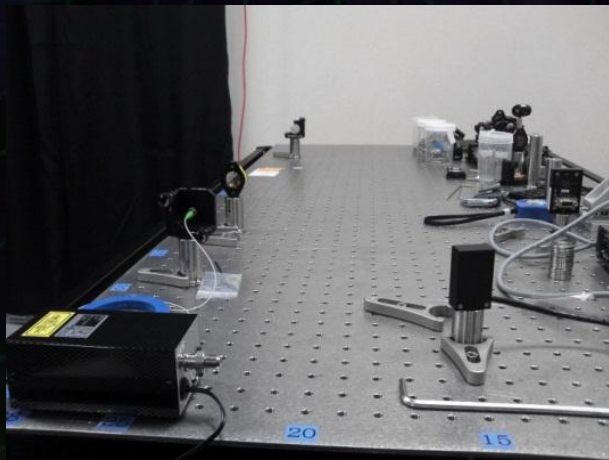
KAGRAバッフル構成図



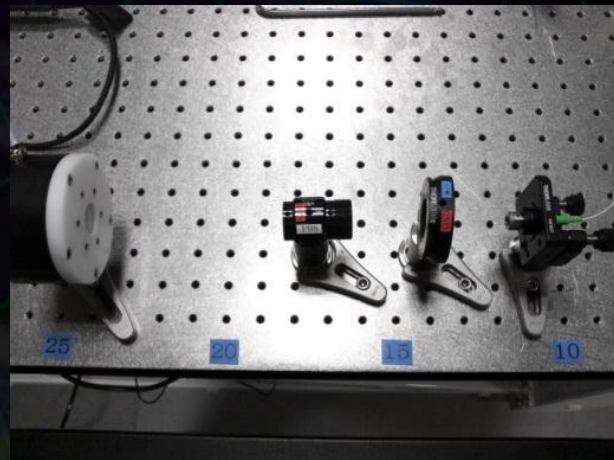
透過光用 Beam reducing telescope
長さ約1.5m (LIGO同等品)

・光てこ (我妻, 高橋, 阿久津)

- 鏡の角度変動モニタ.
 - 補助光学系・防振系の両方とインターフェース.
- ・設計・試作試験が進行中. → 本格的なプロトタイプ試験へ.



光源評価のためのセットアップ



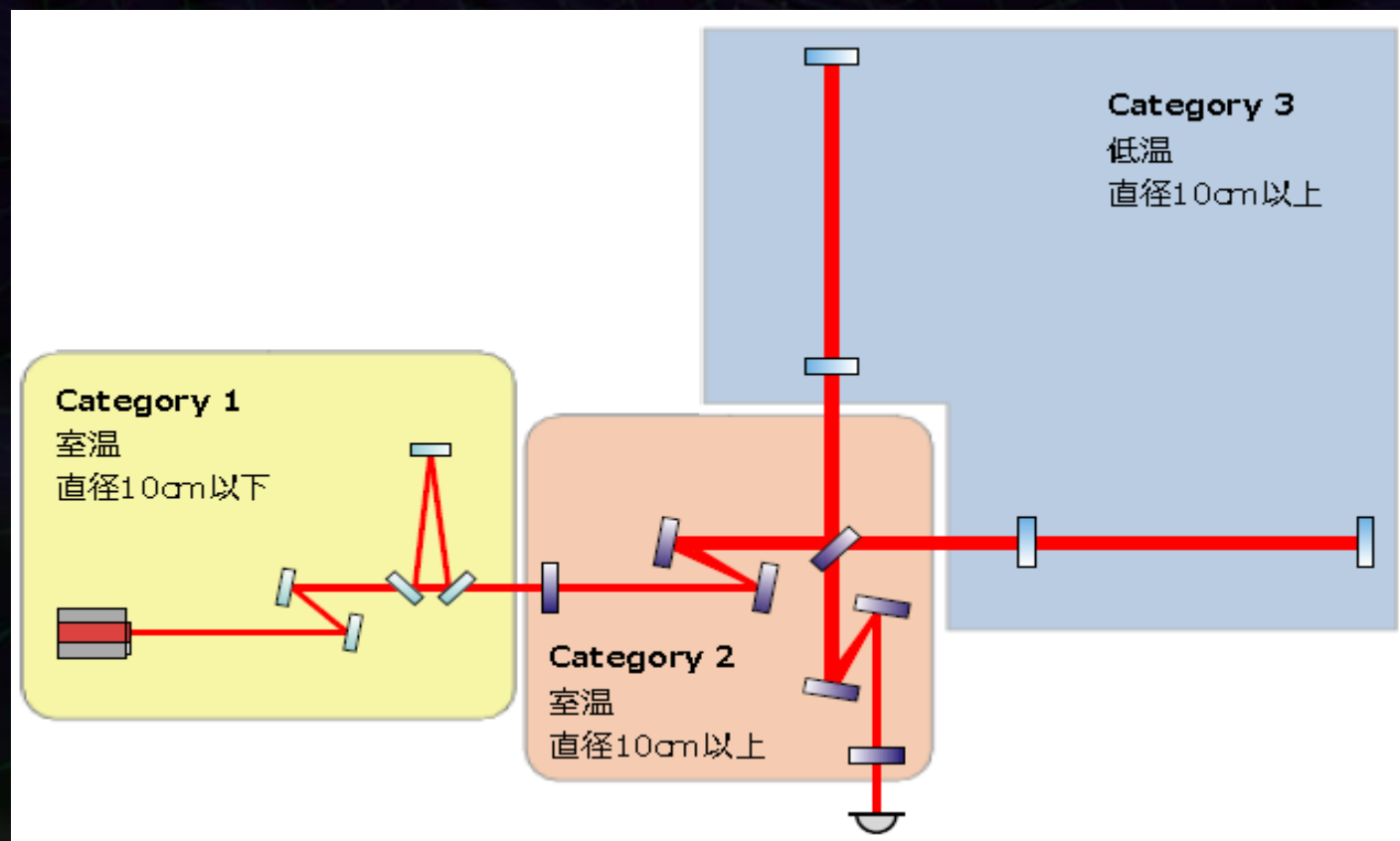
ファイバー出射部の様子



評価中のSLD光源, PSD, QPD

・干渉計の主要光学素子の開発 (上田・辰巳)

- 主に光学素子の性能評価(散乱損失など)を担当.
- サファイヤ鏡, 入射光学系用鏡.



• 散乱・損失計測システム開発中 ← 留置き金等

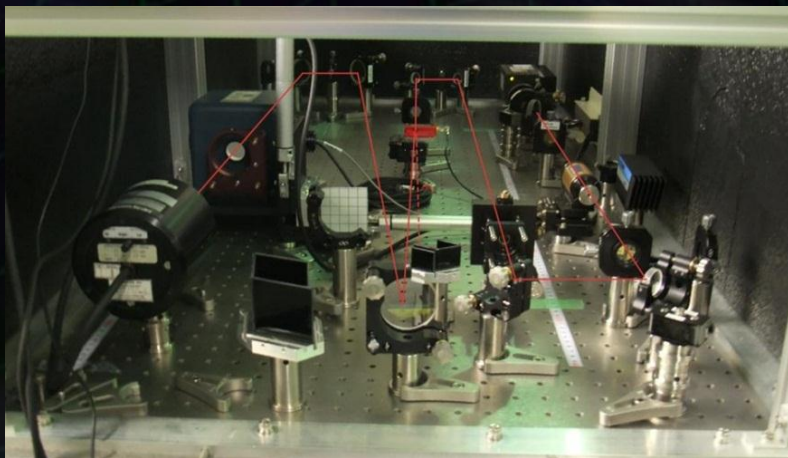
→ 1ppmクラスの損失測定システムは開発済

(国立天文台 年次報告ハイライト参照).

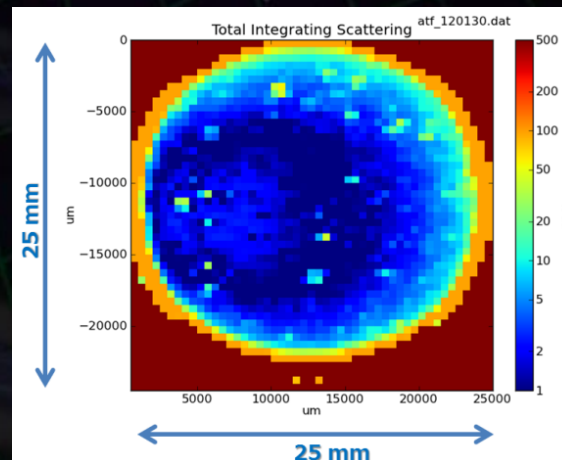
鏡汚染の評価, 洗浄手法, コーティング手法の確立.

⇒ 2.5年程度で完成, 鏡性能の評価と向上をはかる.

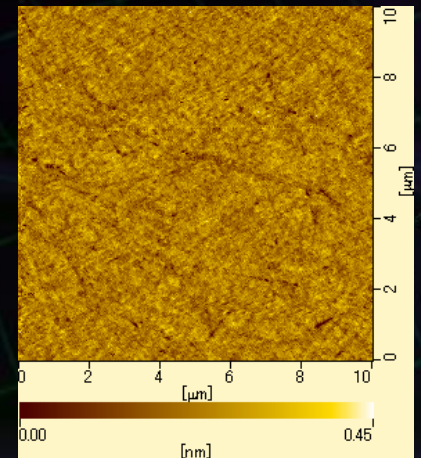
サファイヤテストピース, 入射系鏡・サファイヤ鏡 実機性能評価.



散乱計測装置

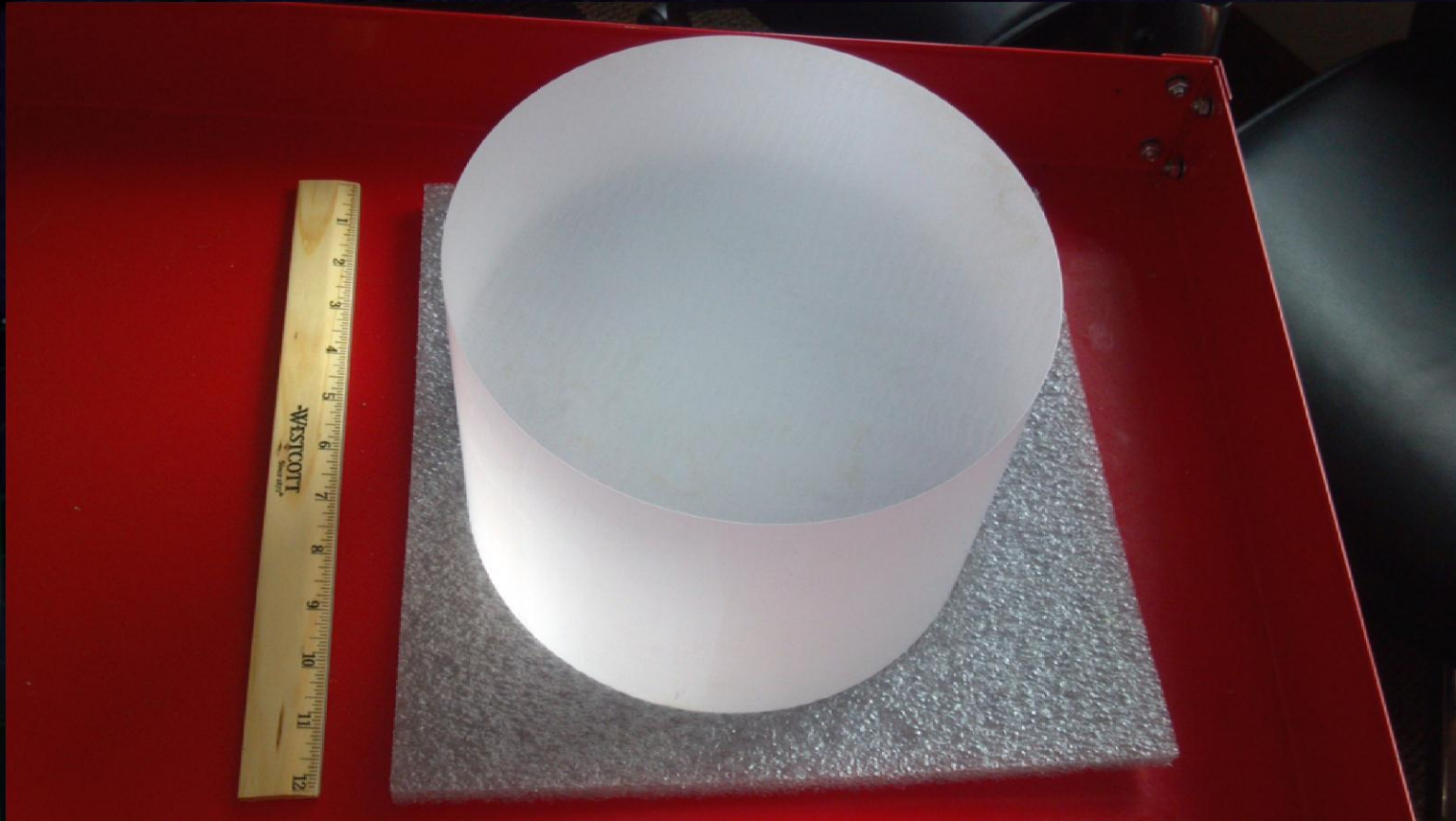


散乱計測結果



表面粗さ計測

サファイヤ鏡

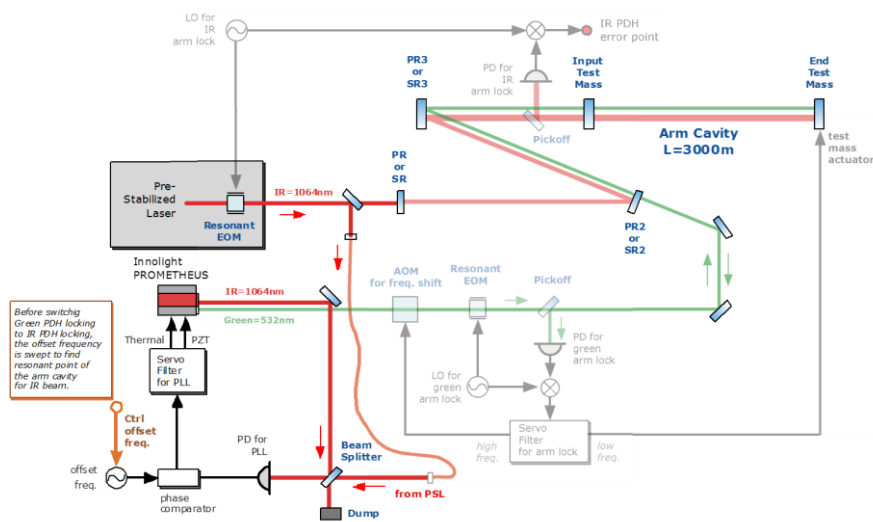


2 Sapphire substrates were delivered
($\Phi 220\text{mm}$, t 150mm, c-axis)

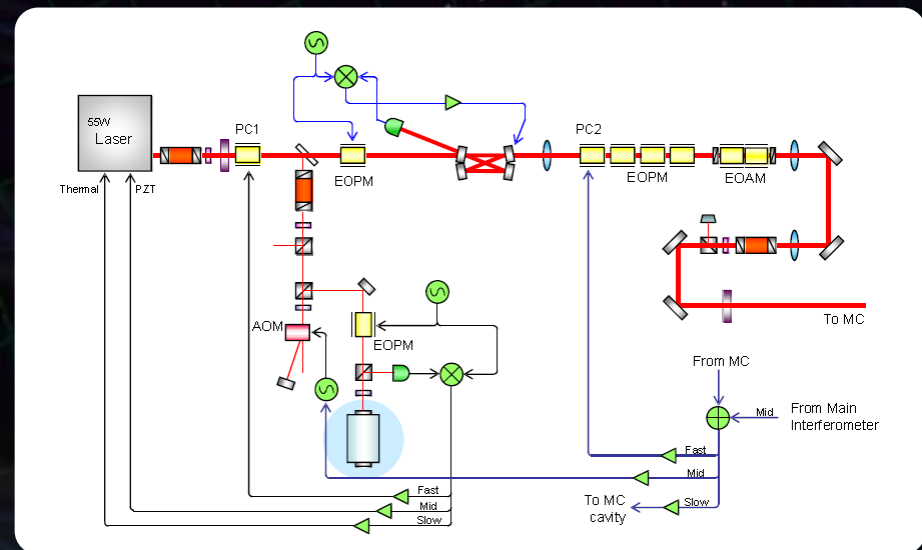
・主干渉計・入出射光学系 (辰巳, 我妻, 和泉)

干渉計の光学系・制御系の設計.

- 干渉計における制御トポロジー (周波数安定化)
- 補助ロックシステムの検討



補助ロックシステムの概念図



光源周波数安定化システムの概念図

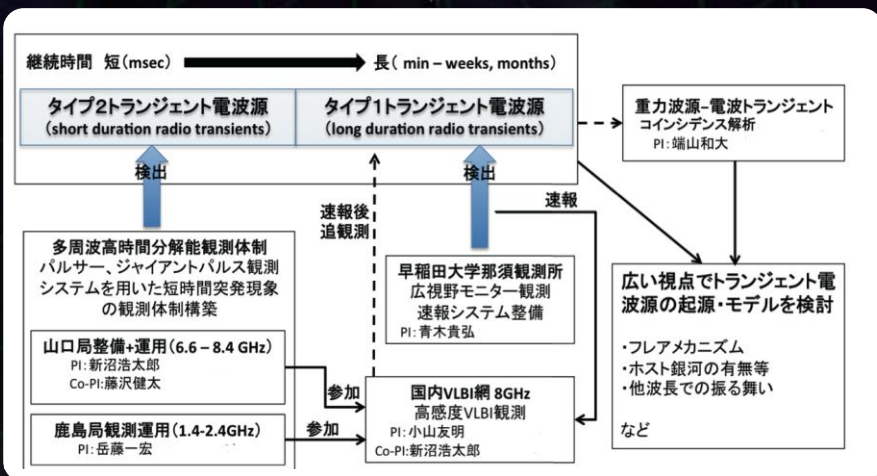
・観測システム・施設 (端山, 辰巳, 大石)

- 観測データの処理, 解析結果の即時配布.
- 干渉計の状態把握, 観測データの品質評価.

⇒ 国立天文台内でのシステム構築.

CLIOでの短期観測運転 → システムのEnd-to-End試験.

- KAGRA坑内の安全管理体制.



トランジェントと天体観測体制



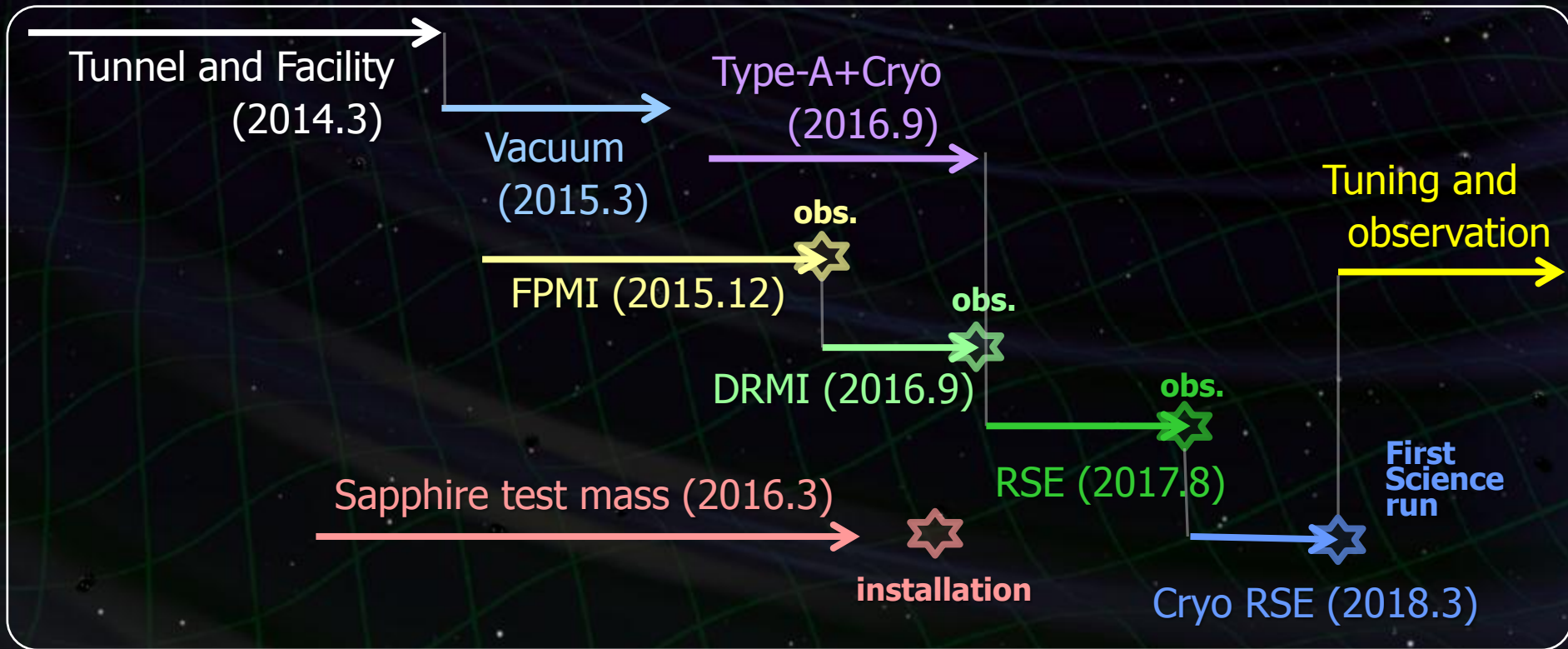
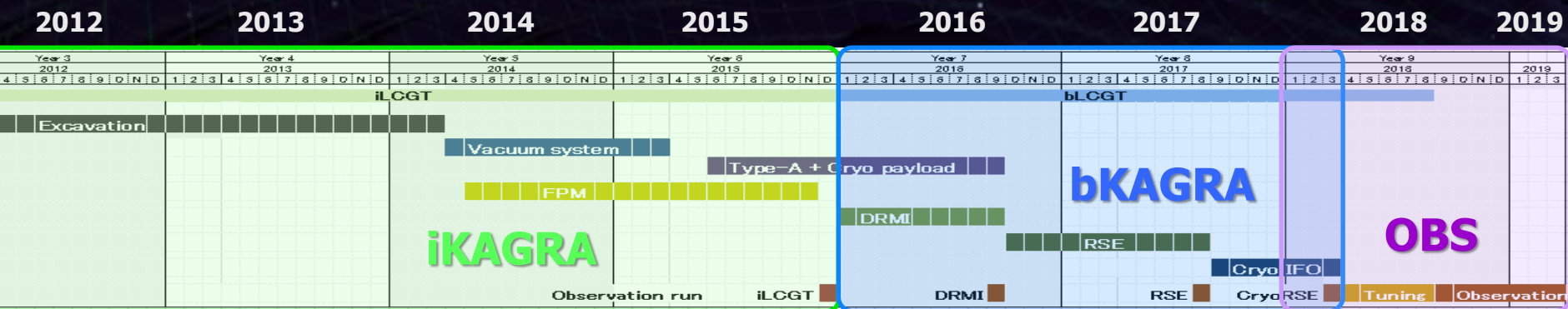
データグリッド用計算機



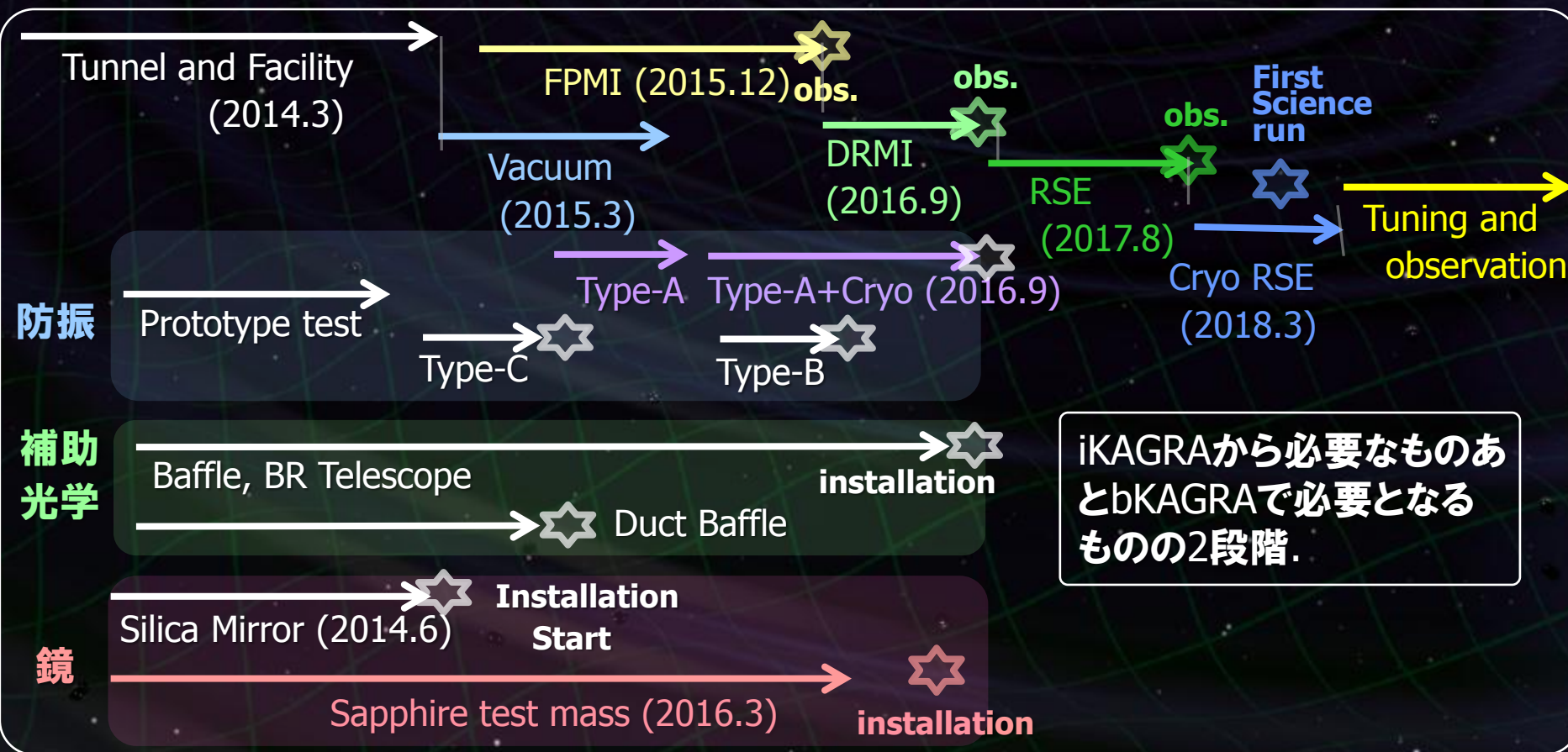
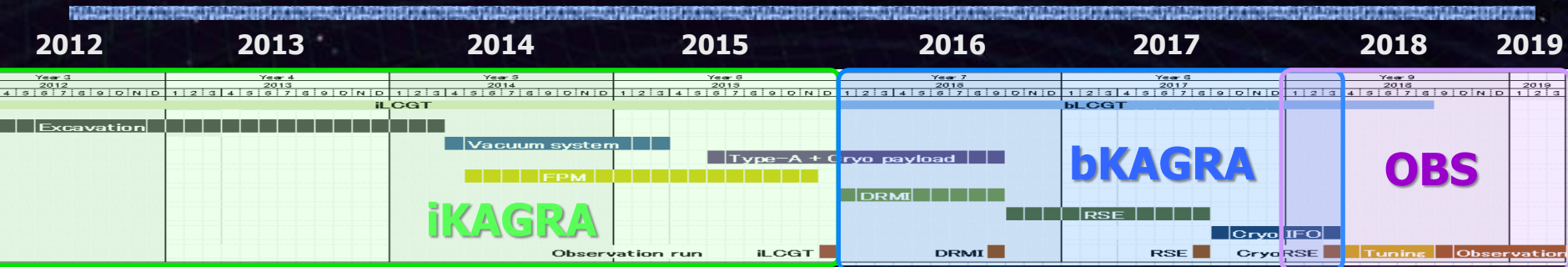
開発中の干渉計診断システム

研究計画

KAGRAスケジュール



KAGRAスケジュール



iKAGRAから必要なものあとbKAGRAで必要となるものの2段階.

研究計画：防振装置開発

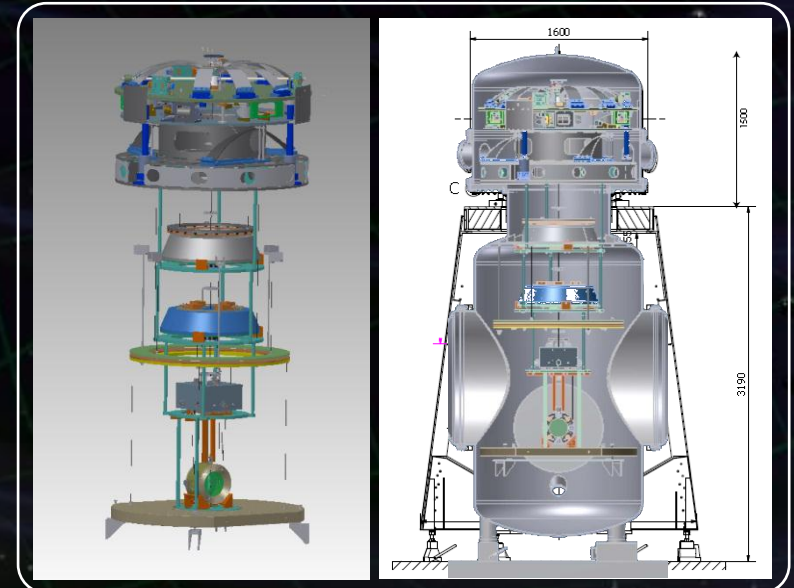
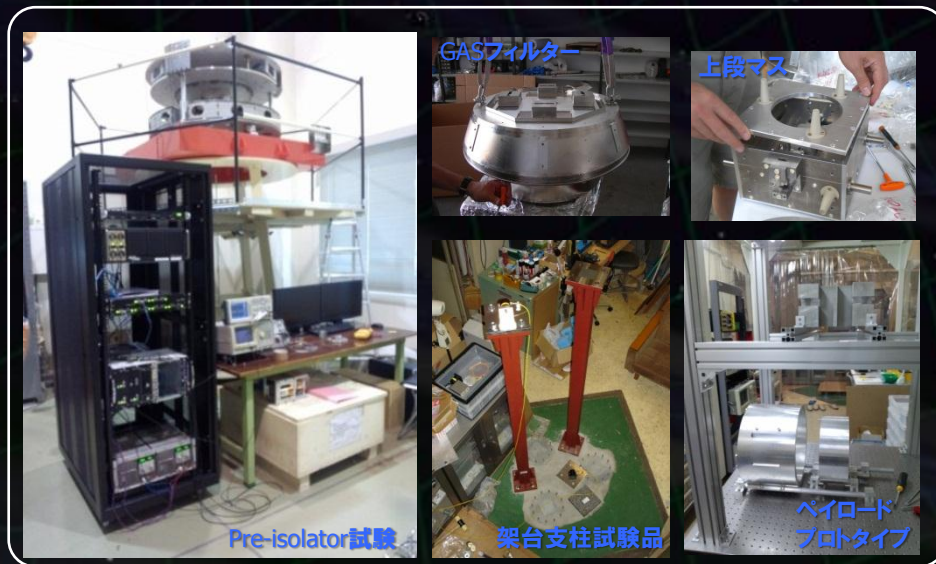
• TAMA300施設を用いた懸架系 総合試験

- 常温光学系用の防振装置 (Type-B SAS)

* 現在は部分ごとに評価試験を行っている。

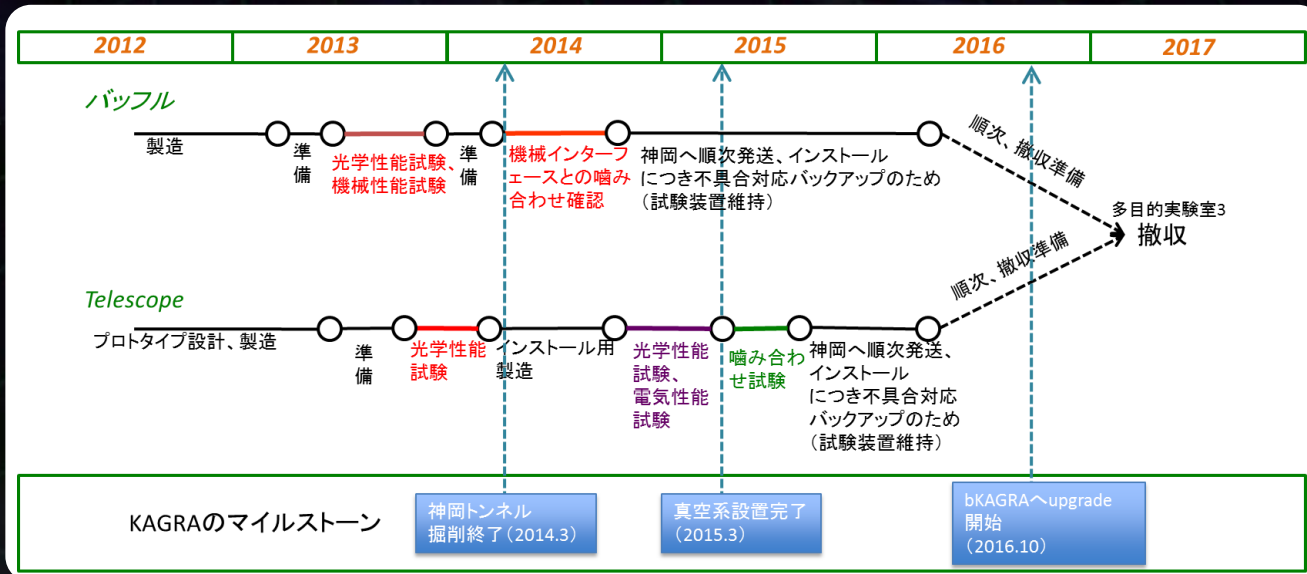
(Pre-Isolator, Payload, Support)

→ 2013年度より TAMA300で総合プロトタイプ試験。
西エンド真空槽を改造 → フルシステム試験。



・基本性能評価とプロトタイプ試験

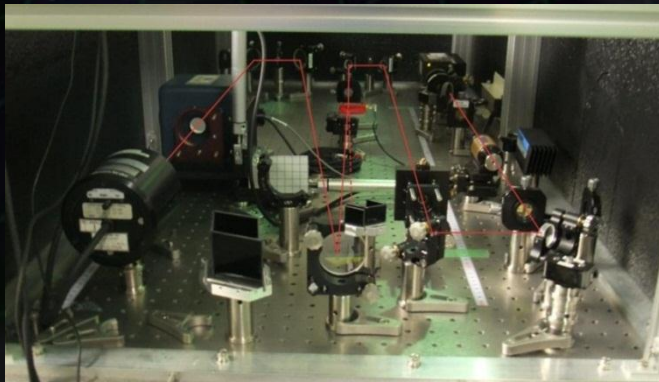
- バッフル：光学性能・機械特性の評価試験.
- テレスコープ（腕透過光の処理用光学系）：
プロトタイプの製作・特性評価試験.
- 光てこ, ビューポート, 光学素子モニタ等, コンポーネント試験.



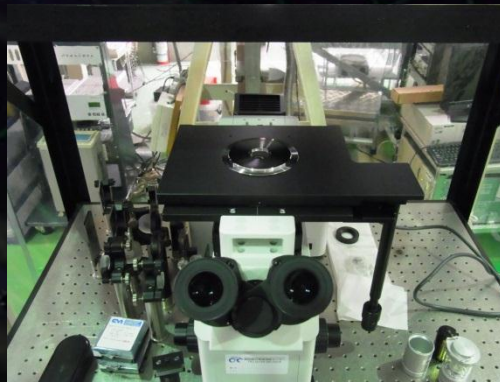
透過光用 Beam reducing telescope
長さ約1.5m (LIGO同等品)

・鏡性能評価システムの開発を継続

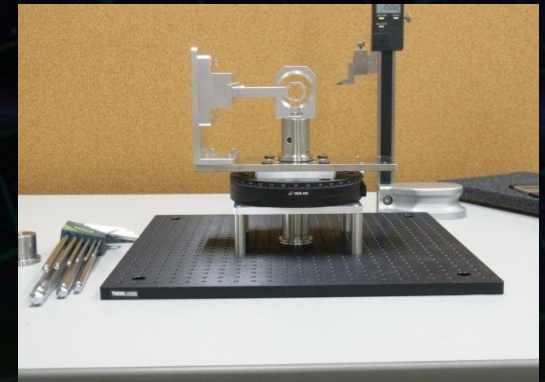
- 散乱・損失測定：1ppmクラスの散乱測定システムは完成。
→ リングダウン法による低損失測定システム。
散乱の角度依存性測定。
- ミラー汚染と洗浄技術：
赤外フーリエ分光による残留物測定(ATC), UV光によるドライ洗浄試験, TAMAミラーのQ-Mass測定。



散乱測定装置



光学顕微鏡



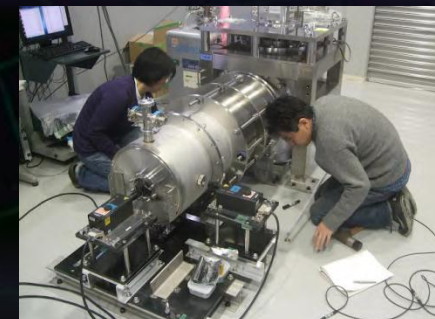
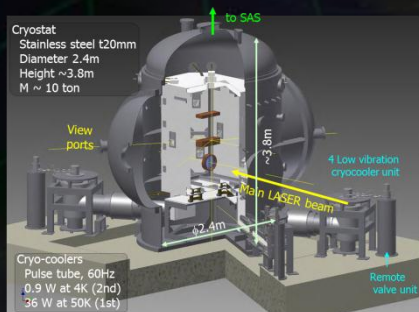
散乱角度依存性測定セットアップ

研究計画：低温施設整備

- KAGRA低温部に収められる装置を試験・評価するための設備。
 - 防振系・補助光学系：最終的に低温部(20K)にインストール。
 - 現在、重力波P推進室には試験設備が無い。
 - KEK, ICRRなどに出向いてコンポーネント試験。
 - 重力波分野の基礎・応用研究では低温設備は必須になる。
 - 国内・国際的な競争力の維持。



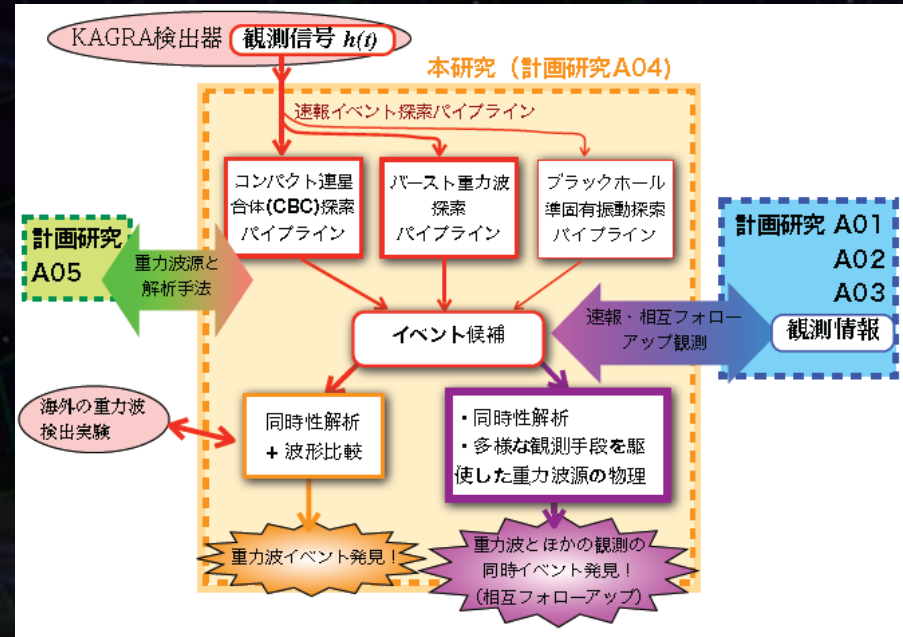
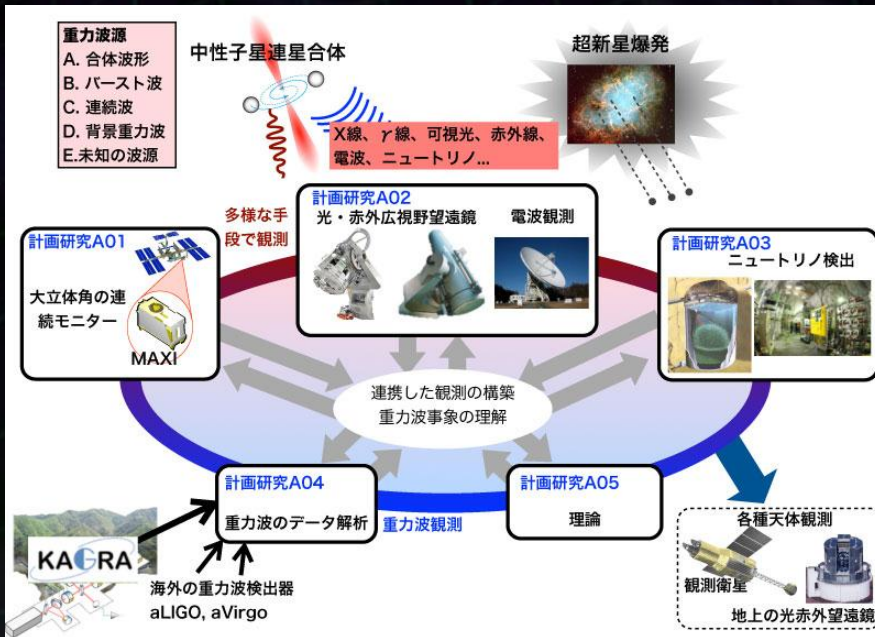
- 2年計画で整備（設計, 冷凍機 / 防振, 輻射シールド, 組上げ）。
基本的にはKAGRAと同構成。ただし真空槽など現有物を利用し、コスト削減をはかる。



重力波天文学のための理論・データ解析研究.

- 新学術領域研究「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」に参加.

→ 重力波の理論・データ解析, X線・光赤外・電波やニュートリノによる突発天体の観測.



研究活動報告 (2) : 先端研究開発

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

- 中心推進機関としてプロジェクトを推進.
- KAGRAによる天文学.

将来を見越した先端技術開発

- KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化.
- 宇宙重力波望遠鏡.

重力波天文学のロードマップ

地上望遠鏡

より遠くを観測 (10Hz-1kHz)

宇宙望遠鏡

低周波数帯の観測 (1Hz以下)



• KAGRAなど地上重力波望遠鏡の高感度化のための基礎研究。
研究体制・内容の入れ替え（異動, 科研費採択）

- 昨年まで：

QND実験, DFI実験など

→ 東大・宇宙線研究所, 法政大などに移設。

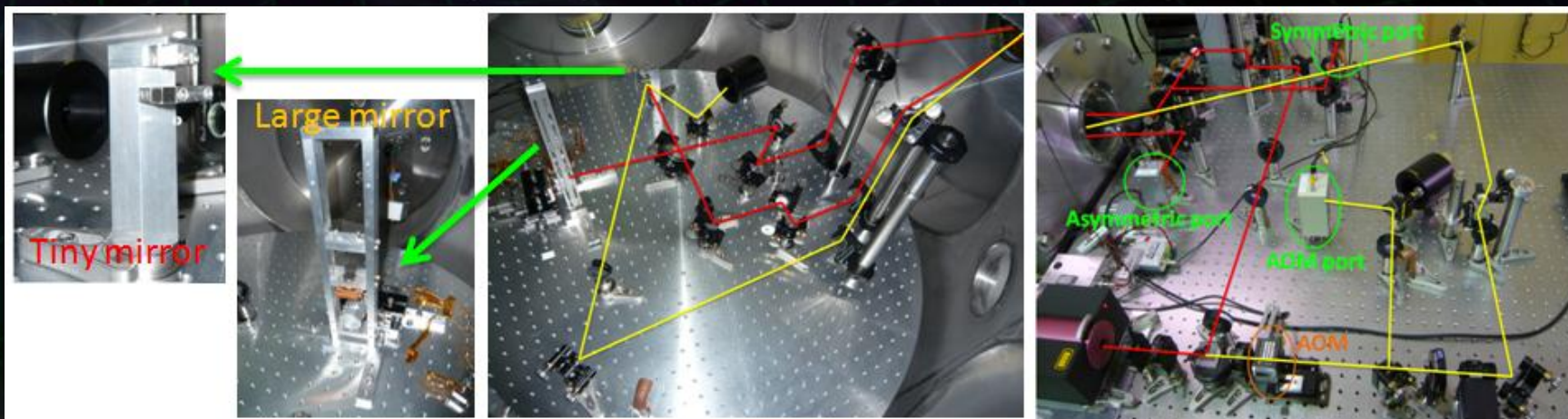
- 今年度より：

弱測定実験を新規立ち上げ。

TOBA実験を移設立ち上げ。

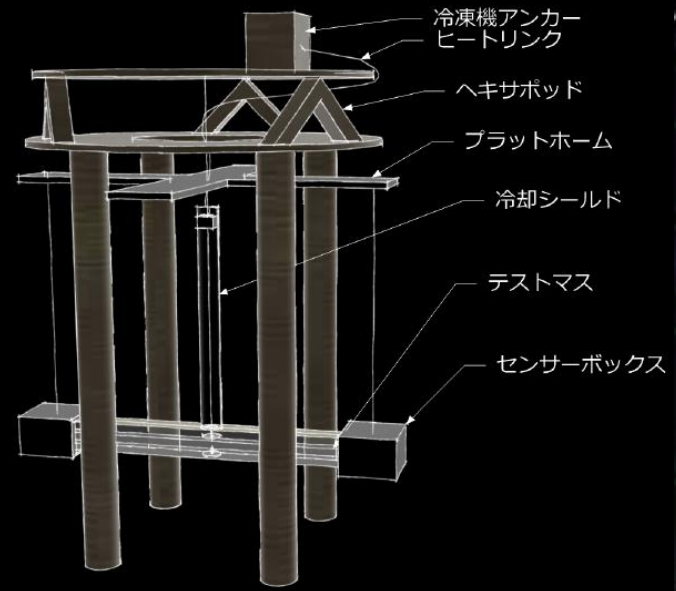
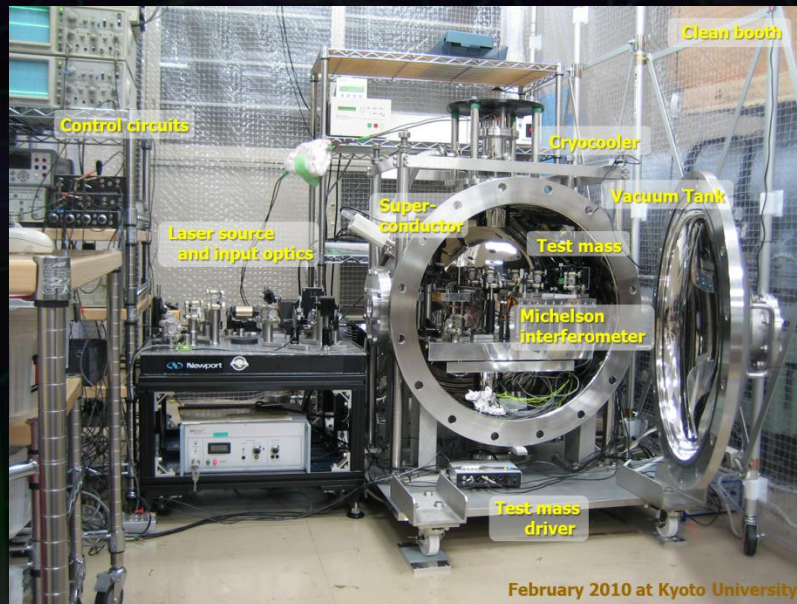
• 光の量子雑音研究のための基礎研究 (我妻)

- 光検出器の量子効率の精密測定
- 約20mgの超軽量鏡の応答を利用した新しい手法。
→量子効率測定の不確かさ1% を実現.



低周波数重力波望遠鏡TOBA

- 地上での低周波数重力波観測のための基礎研究 (安東, 権藤)
 - ねじれ振り子を利用した新しいタイプの重力波望遠鏡.
 - これまでに0.1Hzの周波数帯で世界最高感度の達成や, 複数台での同時観測などを実現.
 - 実験装置を京都大学より移設・再立ち上げ
 - より本格的な望遠鏡として基礎開発を継続.



• 量子測定 of 理論的研究 (阿久津, 中村)

- 重力波望遠鏡に対する量子非破壊測定手法の研究

- 関連研究者を集めて定期セミナーを開催 (3年目)

阿久津智忠(国立天文台)、鹿野豊(分子科学研究所)、須佐友紀(東工大)、宗宮健太郎(東工大)、中村康二(国立天文台)、西澤篤志(京都大学)、藤本真克(国立天文台、東工大)、細谷暁夫(東工大)、山本直樹(慶応大学)

• 一般相対論的高次ゲージ不変摂動論とその応用 (中村)

- 一般相対論的高次ゲージ不変摂動論に関する

 - 一般的な理論整備 → 宇宙論, 強重力場などへ応用.

- 重力研究財団(Gravity Research Foundation)

 - 「2012 Awards for Essays on Gravitation」佳作

- Classical and Quantum Gravity誌 ハイライト論文

DECIGO (DECI-hertz interferometer Gravitational wave Observatory)

光共振型マイケルソン干渉計
アーム長: 1000 km
レーザーパワー: 10 W
レーザー波長: 532 nm
ミラー直径: 1 m

宇宙重力波望遠鏡 (~2027)

→ 他では得られない豊富なサイエンス

宇宙の成り立ちに関する知見

インフレーションの直接観測

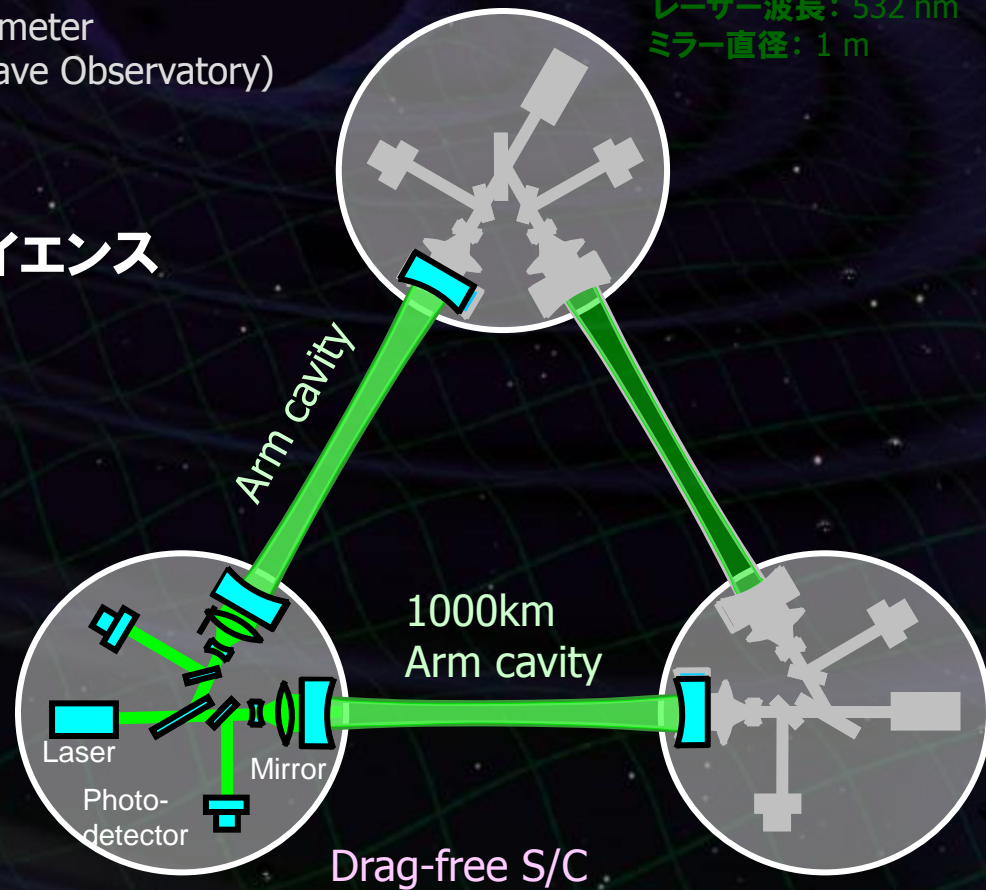
ダークエネルギーの性質

ダークマターの探査

銀河形成に関する知見

ブラックホール連星の観測

宇宙の基本法則に関する知見



互いに1000km離れた3機のS/C
非接触保持された鏡間距離を
レーザー干渉計によって精密測距

太陽公転軌道
最大4ユニットで相関をとる

初期宇宙の観測



Background:
original figure by
NASA/WMAP Science Team

KAGRA (~2017)

地上重力波望遠鏡

→ High frequency events

重力波の検出と天文学の創成

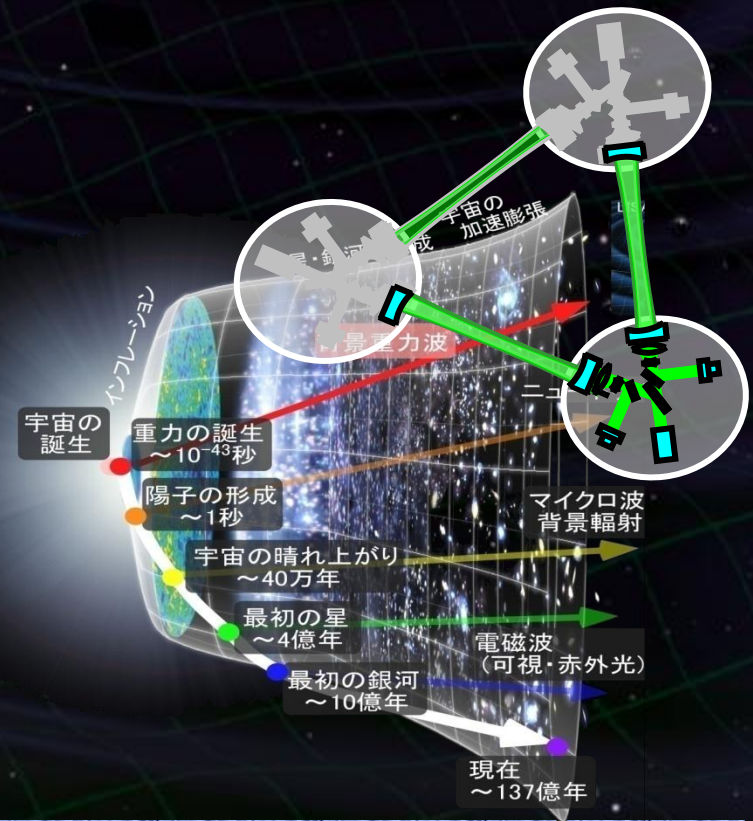


DECIGO (~2027)

宇宙重力波望遠鏡

→ Low frequency sources

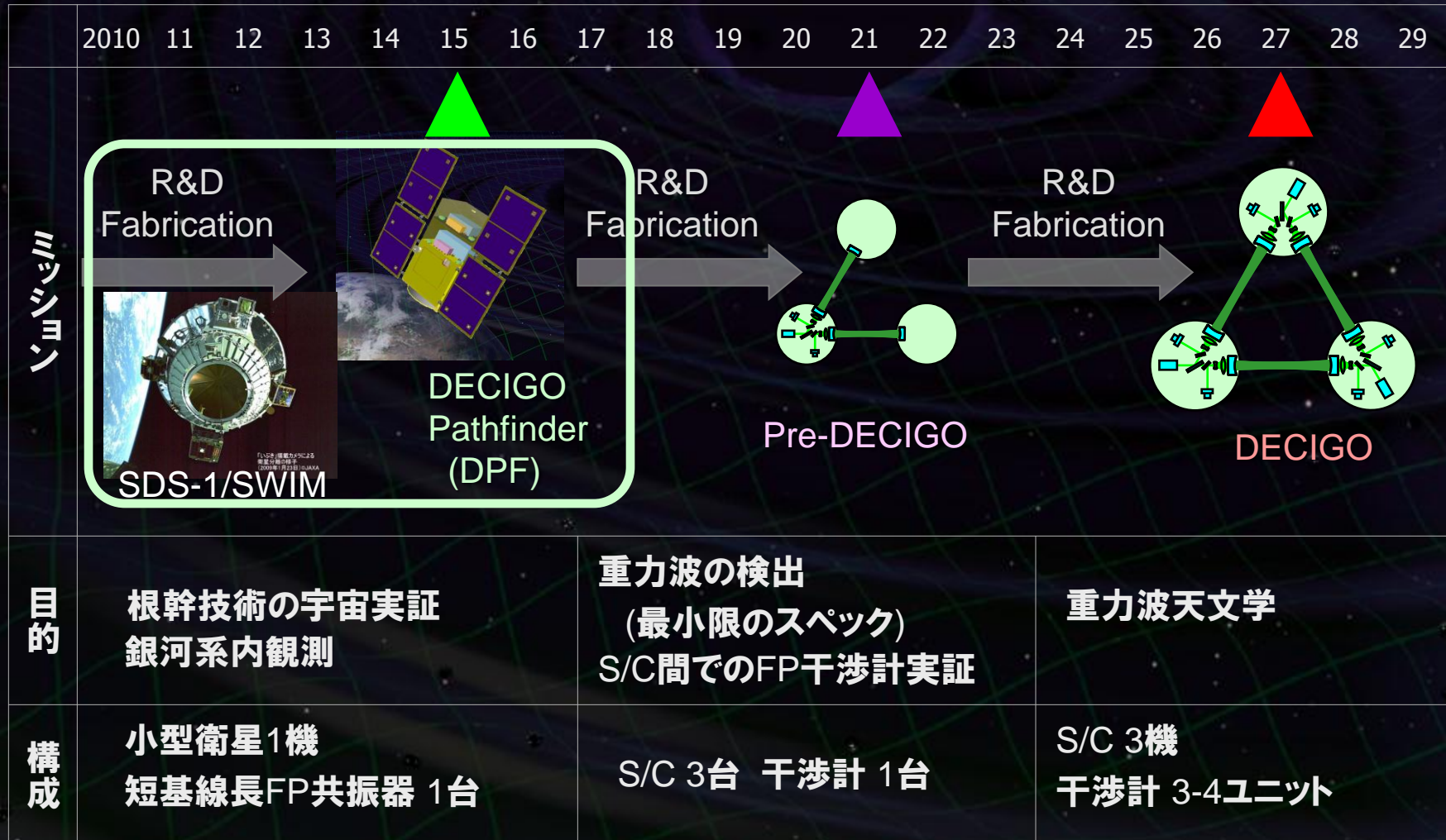
重力波天文学の展開・宇宙論



DECIGOのロードマップ



Figure: S.Kawamura



DECIGOパスファインダー (DPF)

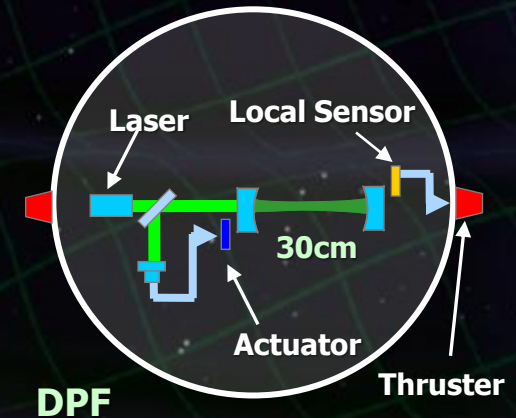
DECIGOのための最初の前哨衛星

DECIGO : 基線長 1000kmの編隊飛行

→ DPF 1機の衛星 (基線長30cm干渉計)

350kg級 小型衛星

地球周回軌道 (高度 500km)



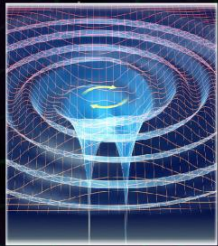
DECIGOの主要技術の宇宙実証

レーザー干渉計, 安定化レーザー光源,

ドラッグフリーシステム、データ取得と解析

宇宙・地球の観測

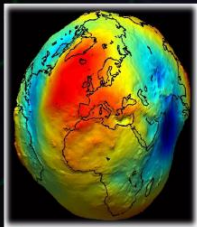
重力波観測



銀河中心付近の中間質量ブラックホールの合体現象を観測。

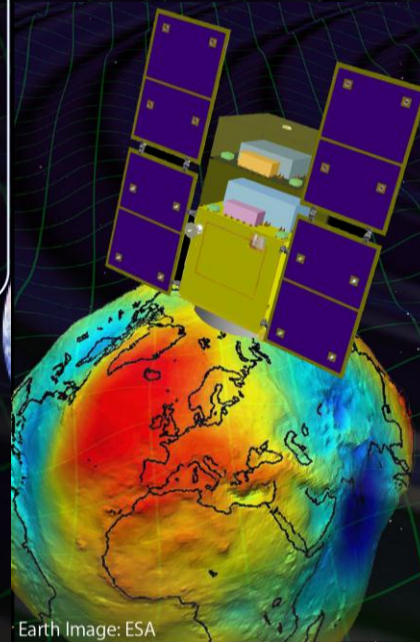
⇒ 銀河形成への知見

地球重力場観測



1mm程度のジオイド高分解能での地球重力場観測。

⇒ 地球環境モニタ

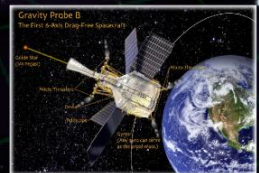
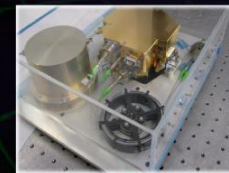
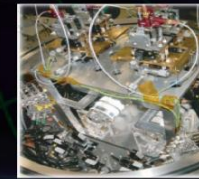


Earth Image: ESA

先端科学技術の確立

無重力精密実験プラットフォーム

- ・干渉計による精密変動計測
- ・安定化レーザー光源の実現
- ・ドラッグフリーによる低振動環境



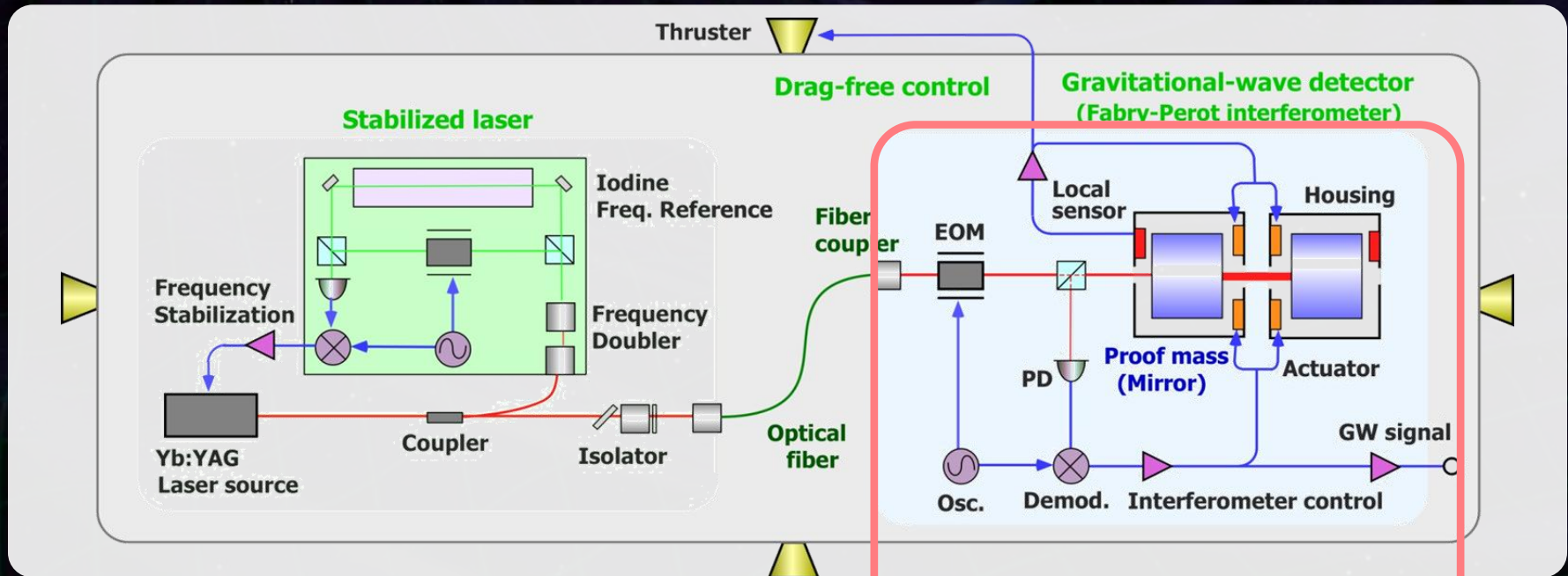
⇒ 宇宙環境利用の新しい可能性

DPFミッション機器構成

ミッション機器重量 : 150kg
ミッション機器空間 : 95 cm立方

ドラッグフリー

ローカルセンサで相対変動検出
→ スラスタにフィードバック



安定化レーザー光源

Yb:YAGレーザー

出力 25mW

ヨウ素飽和吸収による

周波数安定化

ファブリー・ペロー共振器

フィネス : 100

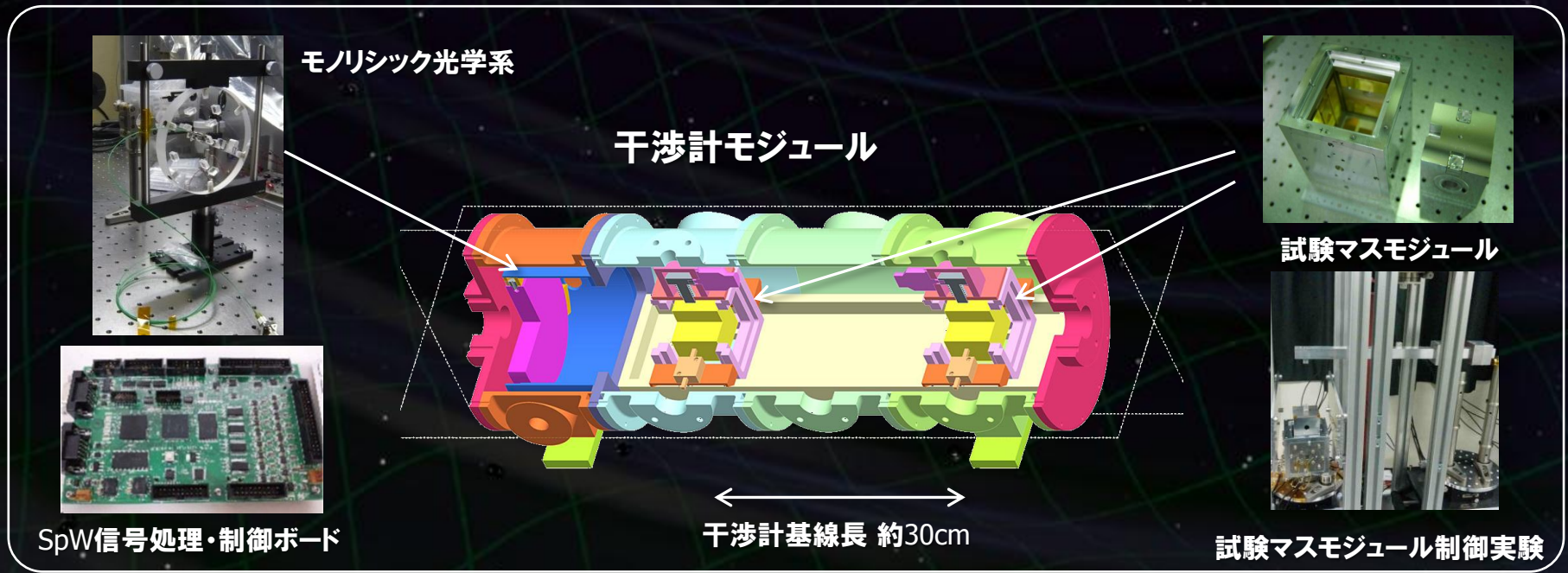
基線長 : 30cm

試験マス : 質量 数kg

PDH法により信号取得・制御

干渉計モジュール

- DPF搭載の干渉計 (阿久津, 上田, 権藤, 安東)
 - 各コンポーネントのBBM試験進行中
(試験マスモジュール, モノリシック光学系, 信号処理).
→ 干渉計モジュールとしてパッケージ化.
構造設計と製作進行中.



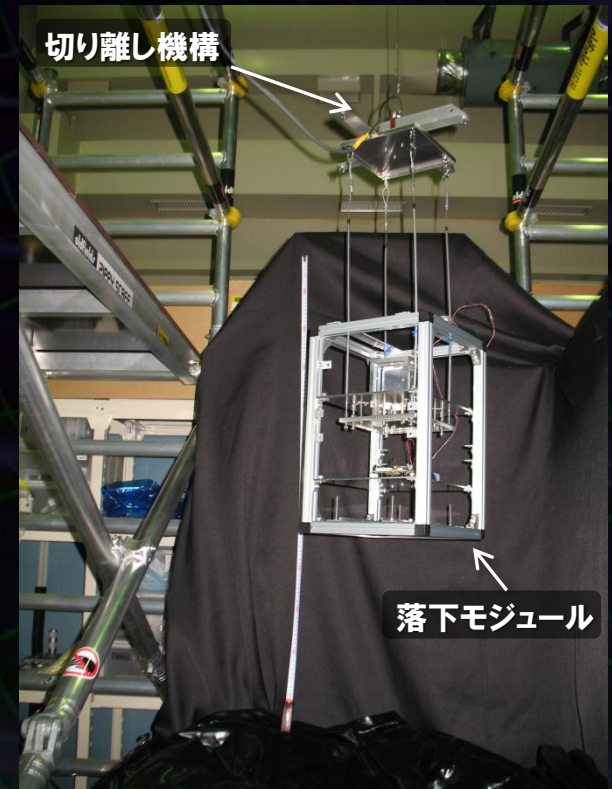
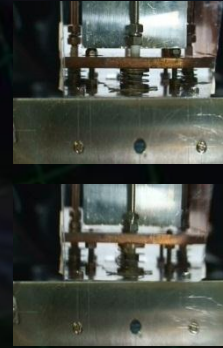
- 試験マスモジュールの自由落下試験 (阿久津, 鳥居, 田中)
 - 無重力下での試験マス制御のデモンストレーション
 - 自由落下実験装置を開発し、試験.
 - 自由落下モジュール
(構造, 電源, センサ, ロガーなど)
 - 落下設備
(足場, 切り離し機構, クッションなど)
 - モジュール落下試験開始



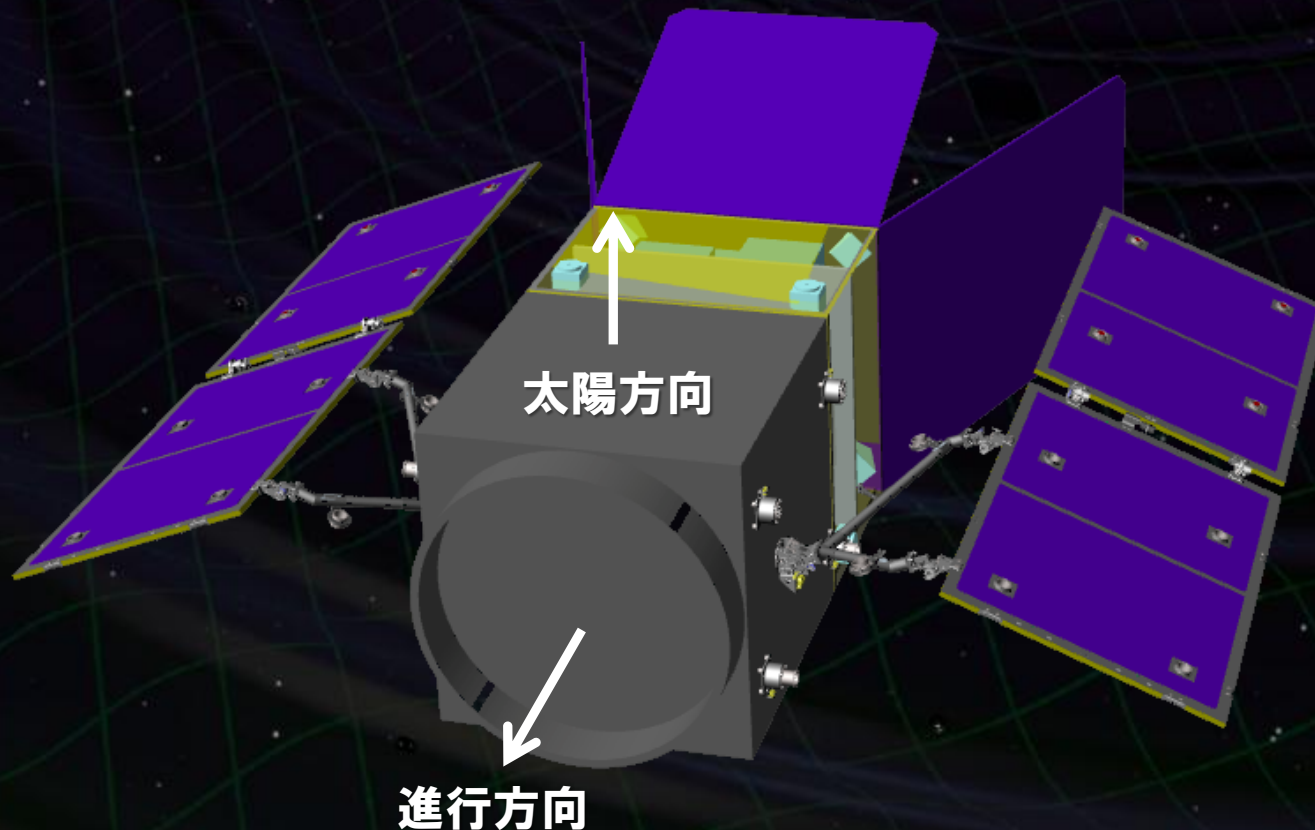
落下試験用信号発生・データロガー



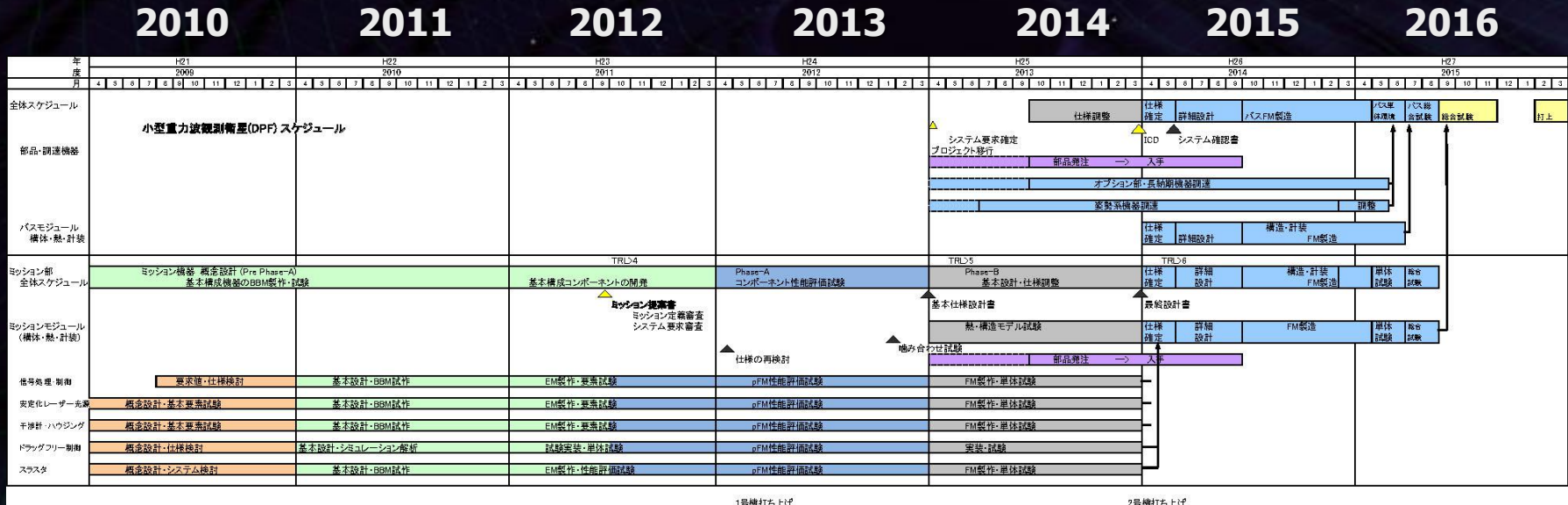
風防容器



- DPF衛星のミッション検討 (法政大, 安東, 阿久津)
 - 構造, ドラッグフリー, ミッションシーケンス, 受動姿勢安定など



DPFスケジュール



概念設計

BBM

EM / pFM

FM

衛星FM

総合試験

↑
ミッション提案

TRL 4以上が必要

基本技術要素が同時に動作し、
実証モデルとして性能を発揮していること'

↑
コンポーネントFM完成

仕様を満たす
各種環境試験に合格

まとめ

重力波天文学のロードマップ

地上望遠鏡

より遠くを観測 (10Hz-1kHz)

宇宙望遠鏡

低周波数帯の観測 (1Hz以下)



• 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA

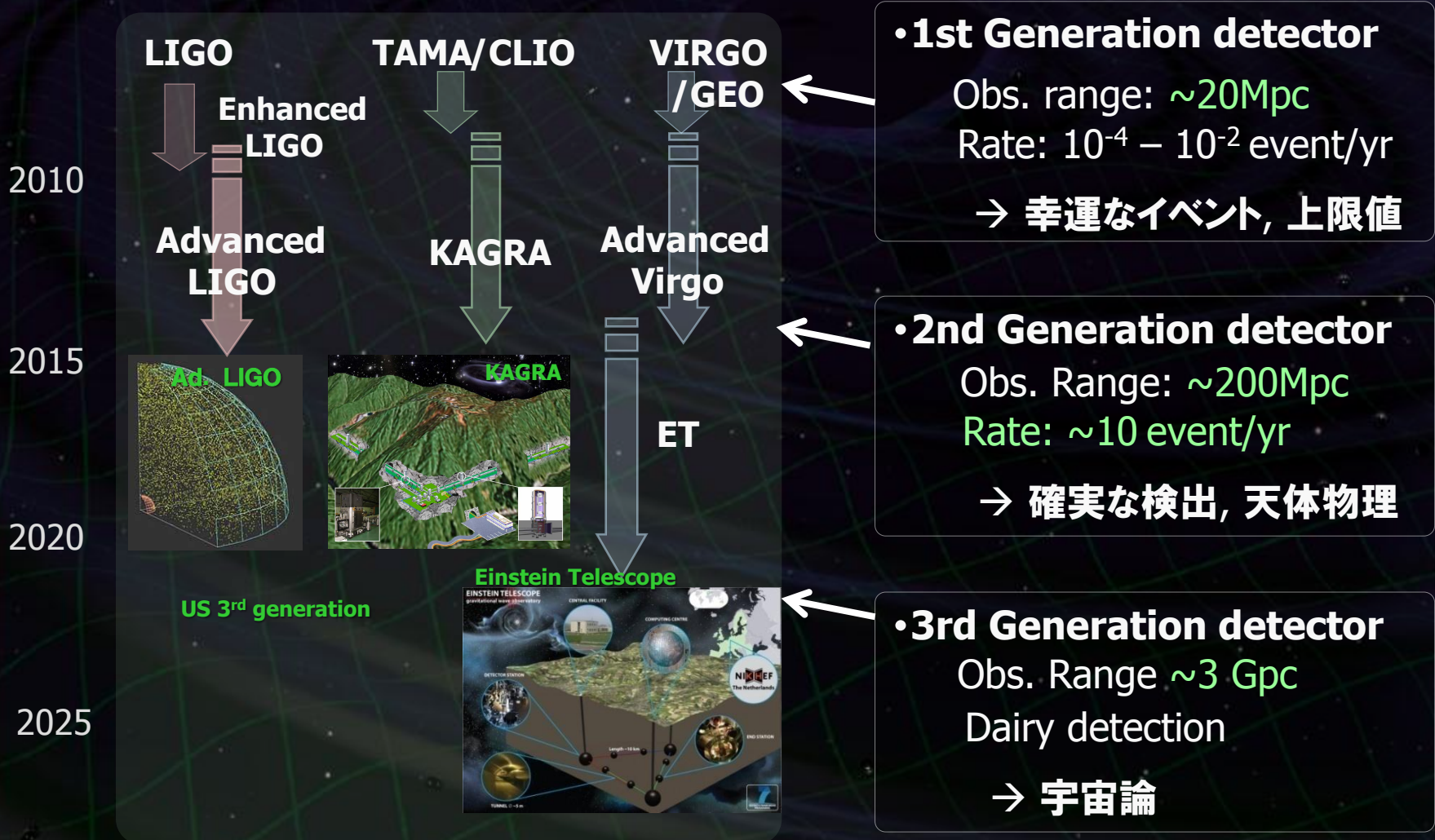
本年度より、トンネル掘削など本格的な建設が開始された。重力波プロジェクト推進室は、先端技術センター(ATC)の協力も受け、主要サブシステムやプロジェクト全体の推進において中心的な役割を果たしている。将来の新しい天文学を創成するという意義のもと、国立天文台のより強力なサポートをお願いしたい。

• 先端技術開発

DECIGOパスマインダーの開発、および科研費等による基礎開発研究によって成果の創出と人材の育成を継続している。サポートをお願いしたい。

補足資料

地上重力波望遠鏡のロードマップ

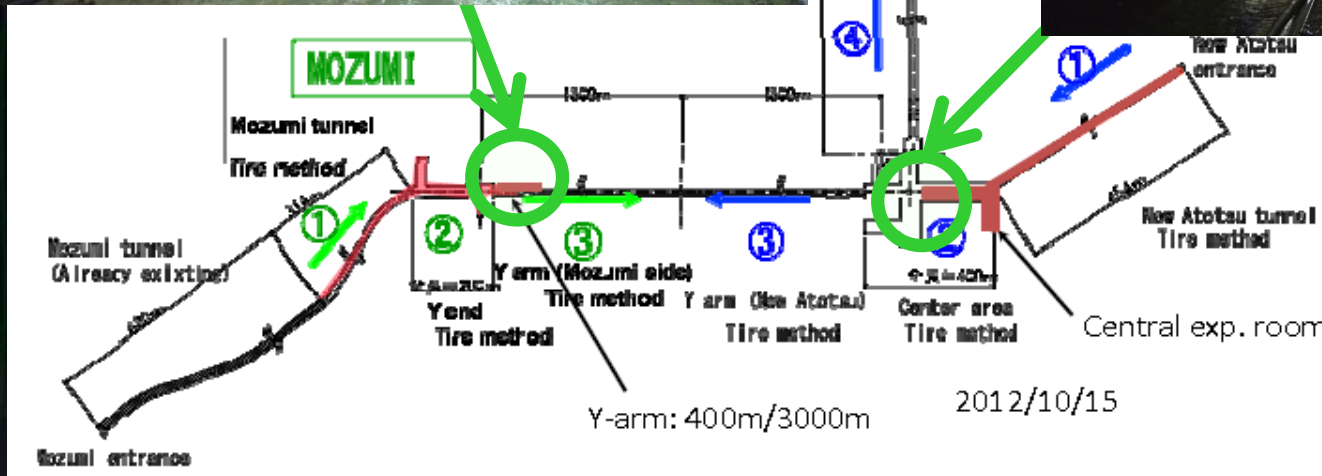


- **現在-2018年頃** KAGRAの建設と最初の観測運転
 - 最初の重力波信号検出. 重力波天文学の幕開け.
 - KAGRAの建設, 観測運転が第1優先課題.
 - ☆ データ解析研究, 次世代重力波望遠鏡へ向けた基礎開発研究.
→ プロジェクト推進と分野の継続的な発展のバランス.
- **2018-2023年頃** 本格的な観測運転とアップグレード
 - 多数の重力波信号観測, 干渉計先端技術の本格導入.
 - データ解析と本格的な天文学, 科学的成果の創出.
 - ☆ 宇宙重力波望遠鏡などへ向けた基礎開発研究.
→ 研究分野の拡大, 研究拠点の形成.
- **2023-2028年頃** 第3世代重力波望遠鏡, 宇宙重力波望遠鏡.
 - 遠方の重力波源観測, 宇宙論的知見.
 - ☆ 世界的な協力関係の中で主導的な役割.

Excavation Status

- Mozumi entrance
 - Y-end room almost completed
 - Y-arm tunnel 400m/3000m

- New Atotsu entrance
 - Center Hall excavation



Surface Facility at Kamioka

Rent and remodel a public building (140m²) for free.

→ On-site office and laboratory for GW group.



Aug. 29, 2012
Announcement for local people
→ Open as office in Nov.



真空装置の設計と製造

- 12m, $\Phi 800\text{mm}$ を接続し 3km x 2本の腕を構成.
→ 順調に製造 (478本の70%以上が納品済)



Press to form a duct



Bellows for each duct



Baking at MIRAPRO Co.
Noda/MESCO, Kamioka



Test at MIRAPRO Co. Noda



Transportation to Kamioka

Presentation
By Y.Saito (KEK)

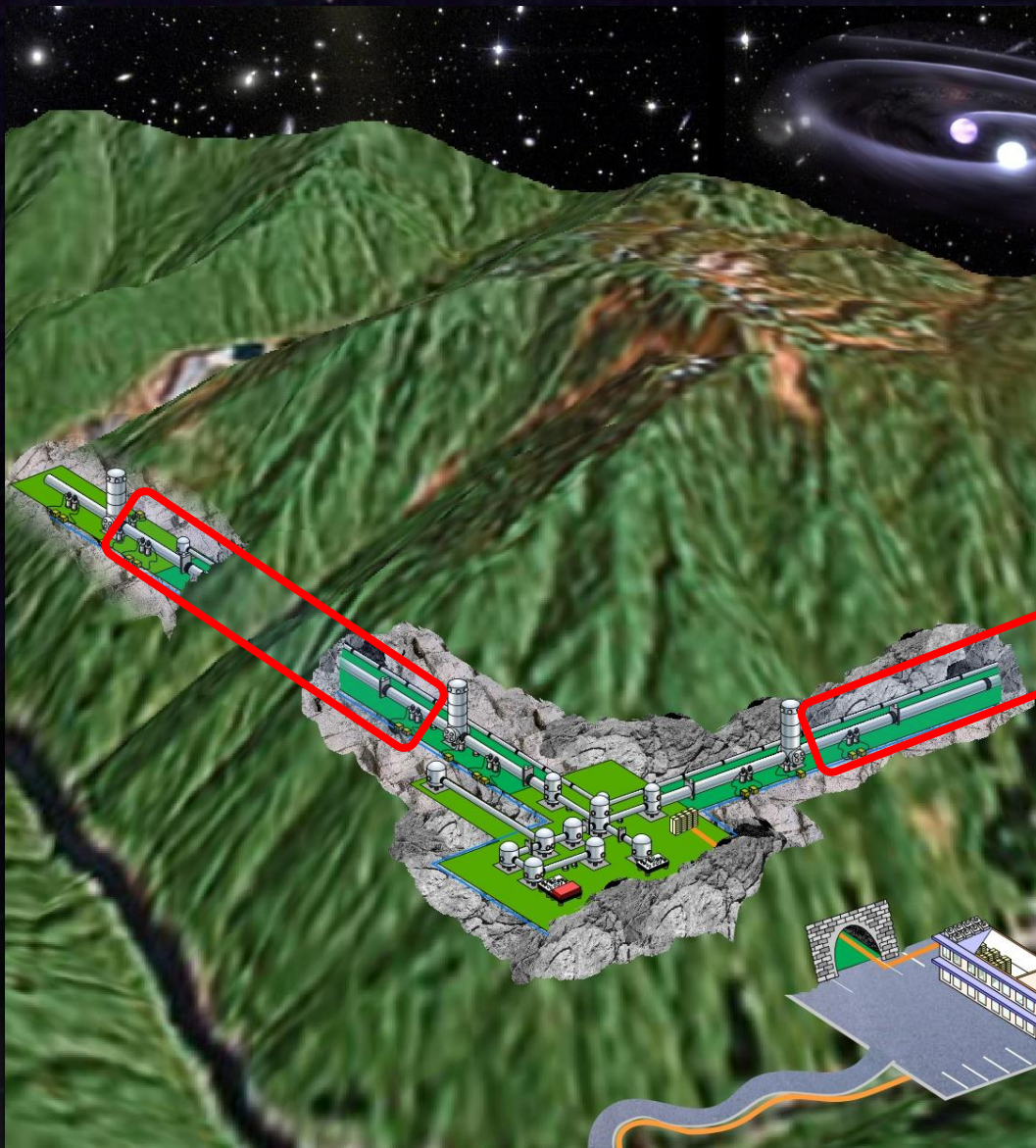
KAGRA tunnel simulator for installation test (MIRAPRO, Noda factory)



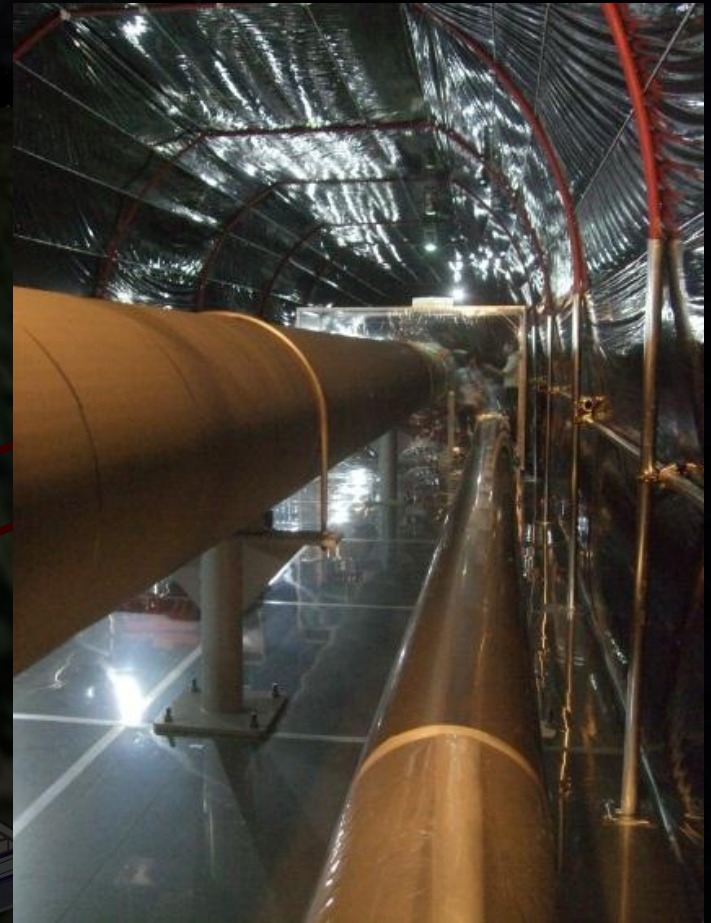
June 28, 2012, Photo by Kamiizumi and Iwasaki (ICRR)



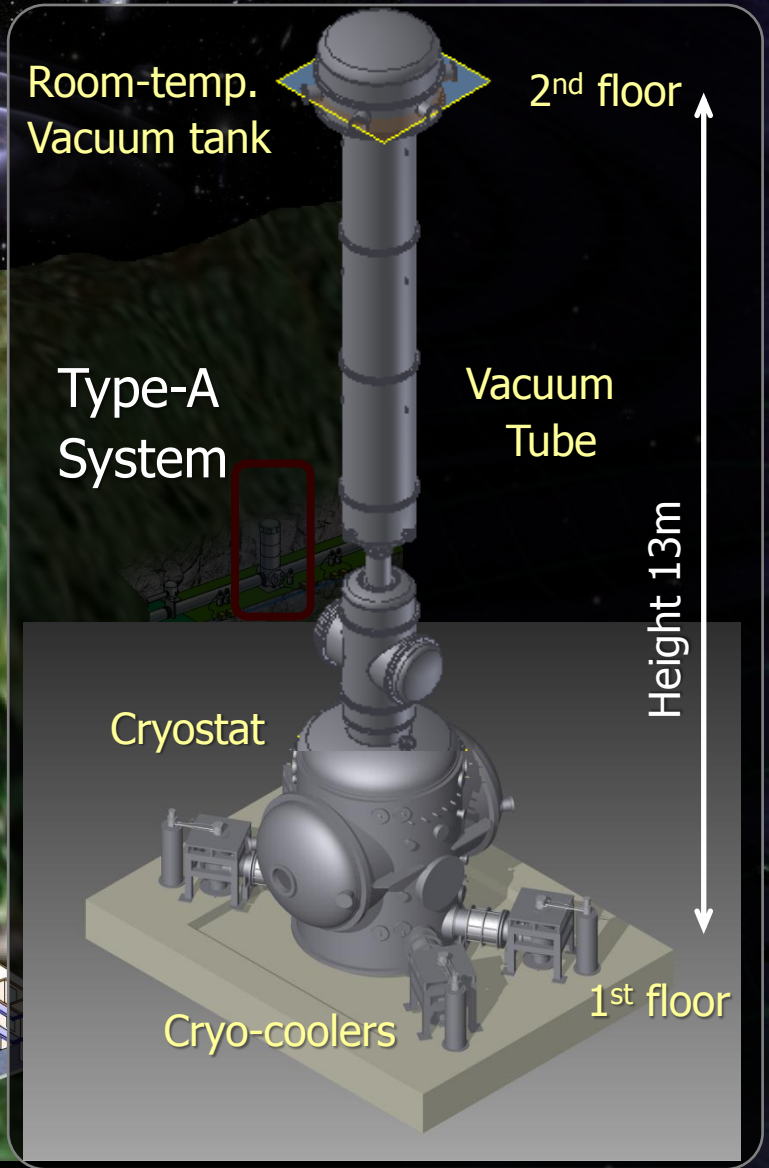
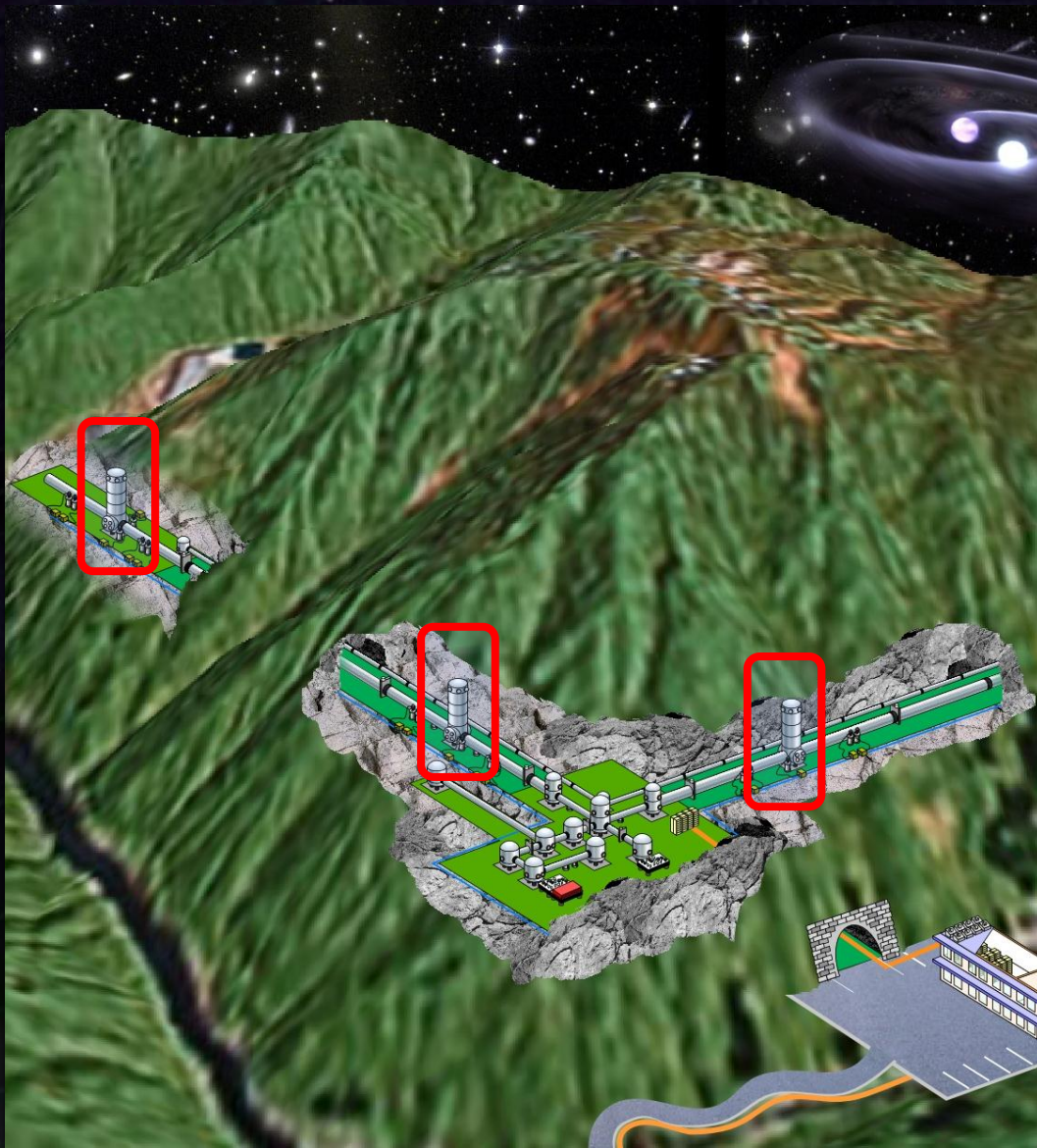
真空装置



Installation test facility



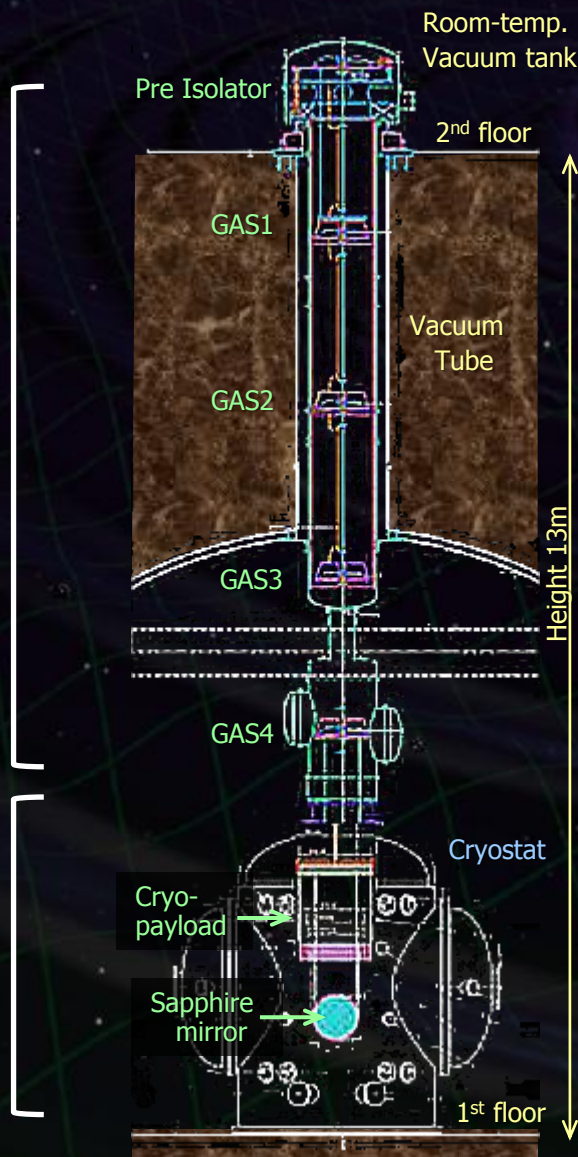
低温鏡 懸架・防振装置



低温鏡 懸架・防振装置

Room-temp.
Filter chain

Cryogenic
Payload



Room-temp.
Vacuum tank

2nd floor

'Type-A'
System

Vacuum
Tube

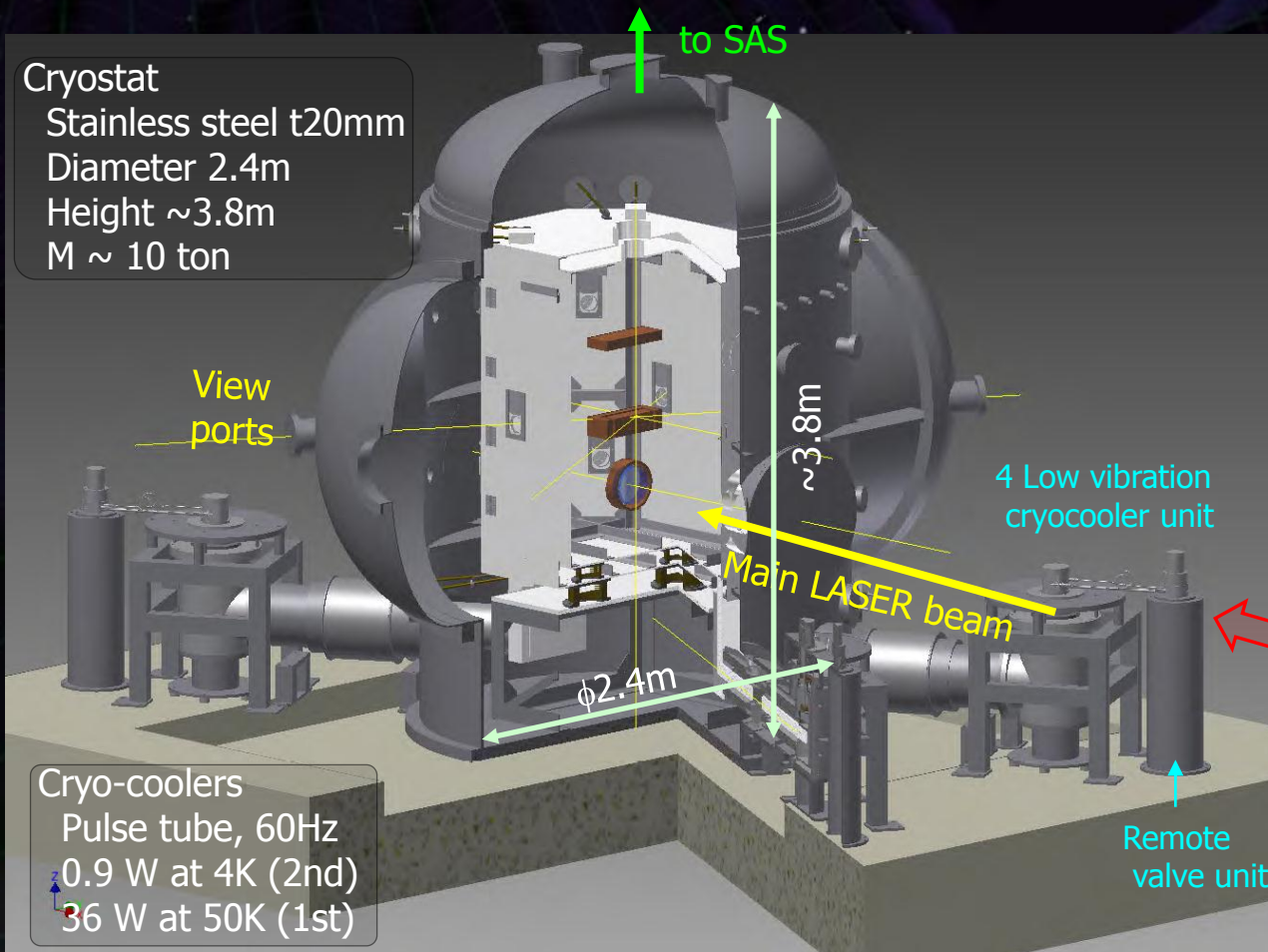
Cryostat

Height 13m

Cryo-coolers

1st floor

- 4 Cryostats and 9 cryo-coolers in FY2012.



クライオスタットの製作

Cryostat #1 in preparation for installation of radiation shield.



Cryostat #2 in leak test.

3rd and 4th cryostats under construction



Radiation shield



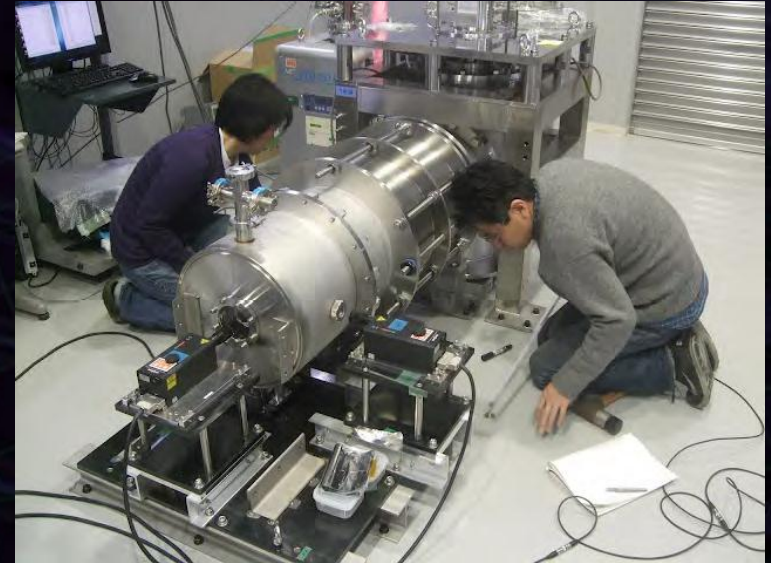
Toshiba Keihin Factory (Oct 31, 2012)

低振動冷凍機ユニット

Cryo-cooler units at ICRR (Kashiwa)



Vibration measurement



Storage at
ICRR (Akeno)



T.Suzuki at
External Review
(April 2012)

- **重力波検出器TAMA300の経験** → KAGRA内で主要な役割.
 - 執行部メンバー: 安東 (EO, SEO)
 - サブシステムチーフ: 高橋 (防振 VIS), 阿久津 (補助光学系 AOS)
 - サブシステム サブチーフ: 上田 (鏡 MIR)
 - サブシステムメンバー: 辰巳, 石崎, 端山, 我妻, 中村
(鏡, 干渉計, 入出射光学系, データ解析, 理論研究).
- **TAMA施設の活用** → KAGRAの実現性向上, リスク低減.
- **重力波分野の先端研究** → 中心研究拠点 (成果の創出, 継続的発展).
 - データ解析体制や電磁波など他の観測手法との同時観測
(いわゆる「マルチメッセンジャー観測」) 体制の構築.
 - 干渉計の高感度化技術, 宇宙干渉計等の次世代技術.

近年の重力波関係大型予算状況

- 2010年6月 文部科学省 最先端基盤整備事業 採択
98億円 → KAGRAの建設が開始 (トンネル経費等は含まれず).
- 2010年秋 2011年度 大型科研費申請 (2011年春にヒアリング)
 - 新学術領域研究(領域提案型) 約14億円? 代表 中村卓史 (京都大)
「天体からの重力波検出で開く物理学のフロンティア」→ 不採択
- 2011年秋 2012年度 大型科研費 (2012年春にヒアリング)
 - 新学術領域研究(領域提案型) 約8億円 代表 中村卓史 (京都大)
「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」→ 採択
 - 特別推進研究 約5億円 代表 梶田隆章 (東大・宇宙線研)
「重力波の研究 —重力波の世界初観測を目指して—」 → 不採択
- 2011年12月 KAGRA空洞掘削経費が認められる。
33億円 → KAGRAのトンネル掘削工事が開始.
- 2012年 2013年度 大型科研費等 準備中
 - 特別推進研究 約??億円 代表 梶田隆章 (東大・宇宙線研)
 - 概算要求 約20億円? 代表 梶田隆章 (東大・宇宙線研)

※ 大型科研費申請戦略は、重力波コミュニティ(JGWC)で議論、決定している。

採択された新学術領域研究の研究内容



•新学術領域研究(領域提案型)

「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」 約8億円

代表 中村卓史 (京大)

- 「重力波、ニュートリノ、ガンマ線、X線、光・赤外線、電波を使ってMulti Messenger Astrophysicsを単一のグループで実行すること。」が目的.
- KAGRAの建設とは独立な、より一般的な研究.

重力波天体の理論, データ解析, 電磁波・ニュートリノ観測.

A01 重力波天体からのX線・ γ 線放射の探索 河合誠之 (東工大)

A02 天体重力波の光学赤外線対応現象の探索 吉田道利 (広島大)

A03 超新星爆発によるニュートリノ信号と重力波信号の相関の研究
ヴァギンズ マーク (東京大IPMU)

A04 多様な観測に連携する重力波探索データ解析の研究
神田展行 (大阪市大)

A05 重力波天体の多様な観測に向けた理論的研究 田中貴浩 (京大)

公募研究 年間 400万円以下 4件, 200万円以下 4件, 100万円以下 4件

来年度見込み

- **特別推進研究 約??億円 代表 梶田隆章 (東大・宇宙線研)**
 - 宇宙線研にて申請準備中
 - 内容は調整中 (いくつかのテーマ + 人件費, 旅費, 雑多な消耗品)
 - 天文台スタッフ何名かが共同研究者として参加見込み.
 - 天文台としては 担当KAGRAサブシステムの開発をより強く推進する.
→ 人員増はあるかもしれない. 大きな施設負担増は無い見込み.
- **新学術領域研究(領域申請型) 代表 中村卓史 (京都大)**
 - 公募研究に幾つか申請予定 (応募の重複制限は、ほとんど無い).
 - 1テーマにつき、最大でも400万円/年. → 大きな負担増は無い見込み.
- **その他 科研費申請 : 基盤研究, 挑戦的萌芽研究 など.**

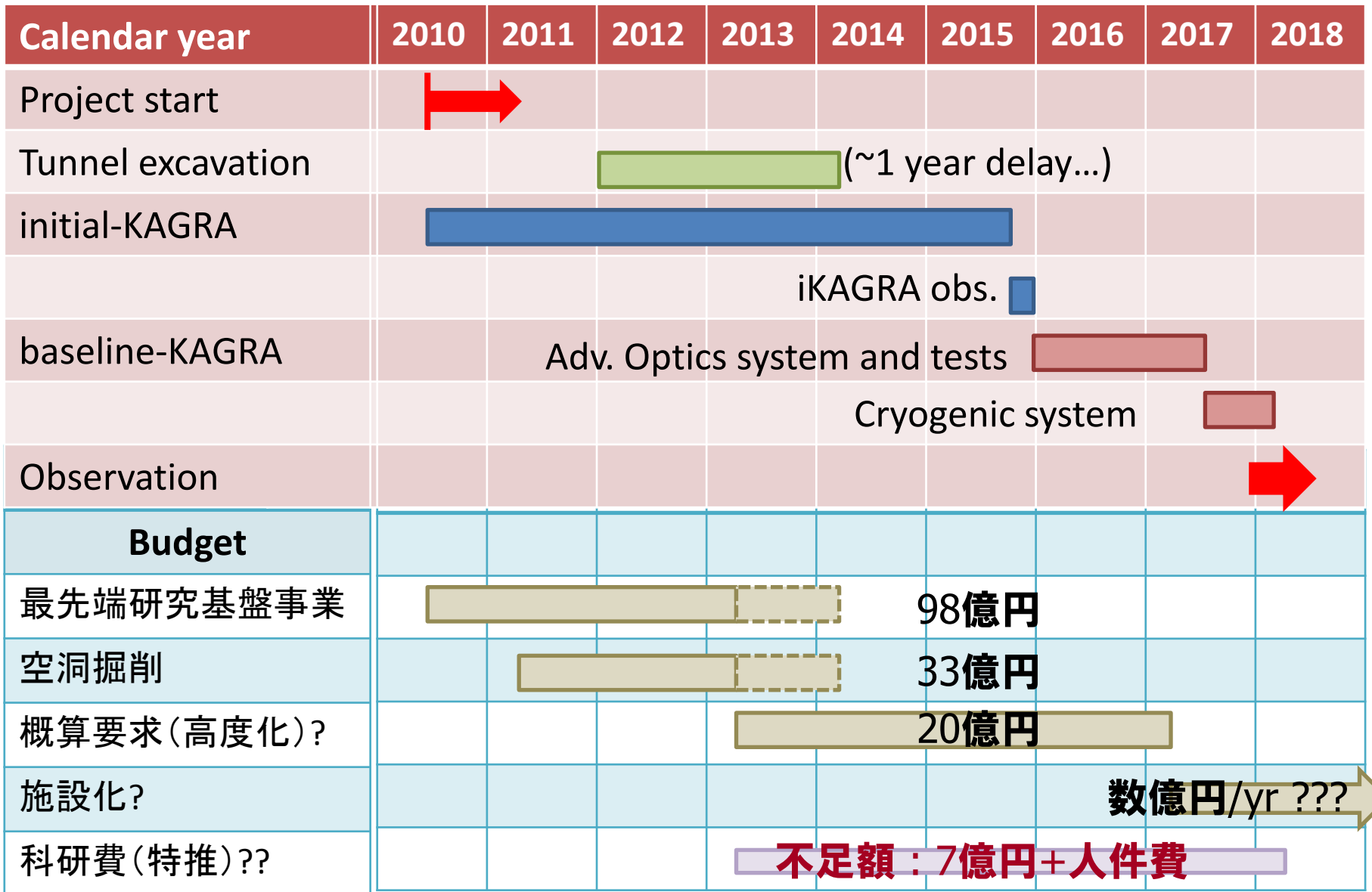
- 重力波プロジェクト推進室と協力しKAGRAを推進.
 - 重力波プロジェクト推進室から安東・阿久津がATC併任.
 - KAGRA側からの人的供給相談中.
- KAGRAを重点領域に位置付ける (ATC運営委員会).
 - 東大宇宙線研究所・梶田所長よりのサポートの依頼 (2012初頭).
 - 先端技術センター専門委員会報告書 (2012年5月).

「先端技術センターは、東京大学宇宙線研究所および国立天文台重力波プロジェクト推進室と協力し、KAGRA建設に必要な光学・機械系開発において中心的な役割を果たすべきである。」

→ 具体的な議論を開始

- 4/24 先端技術センター - かぐら 協力キックオフ会議
- 6/5 補助光学系(AOS) 具体的・技術的な検討会.
- 6/21 AOS具体スケジュール, 人員配置などの相談.
- 鏡(MIR)等のサブシステムについても議論を継続.
- AOSの機械設計など進行中 (2週間1回の定期打ち合わせ)

建設スケジュール



DPFシステム概要

DPF Payload

Size : 950mm cube
Weight : 150kg
Power : 130W
Data Rate: 800kbps
Mission thruster x12

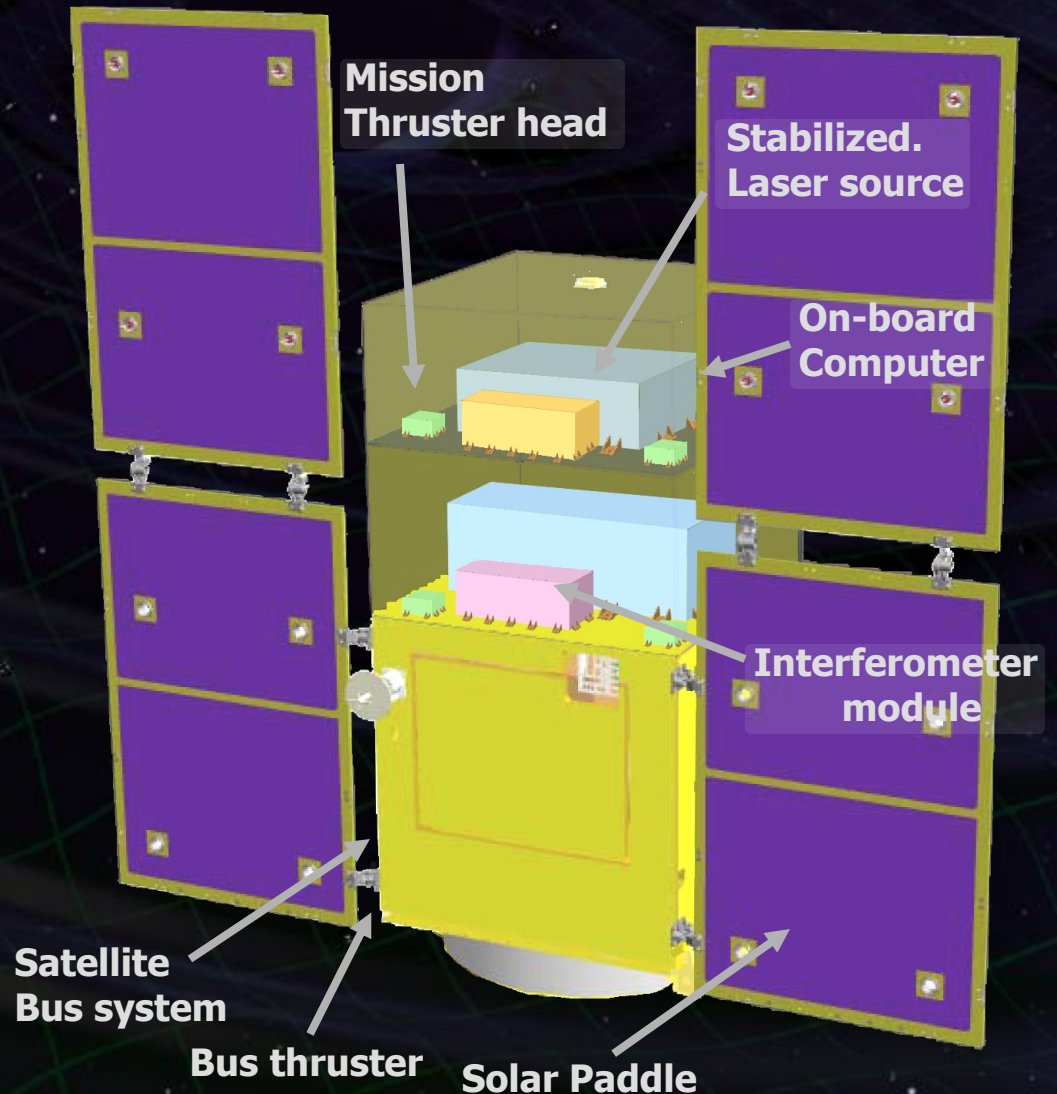
Power Supply
SpW Comm.



Satellite Bus

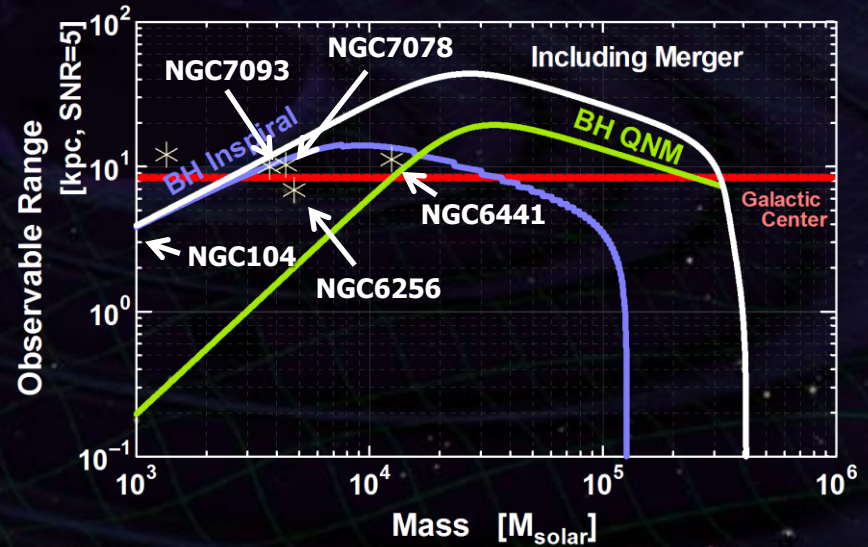
(‘Standard bus’ system)

Size :
950x950x1100mm
Weight : 200kg
SAP : 960W
Battery: 50AH
Downlink : 2Mbps
DR: 1GByte
3N Thrusters x 4



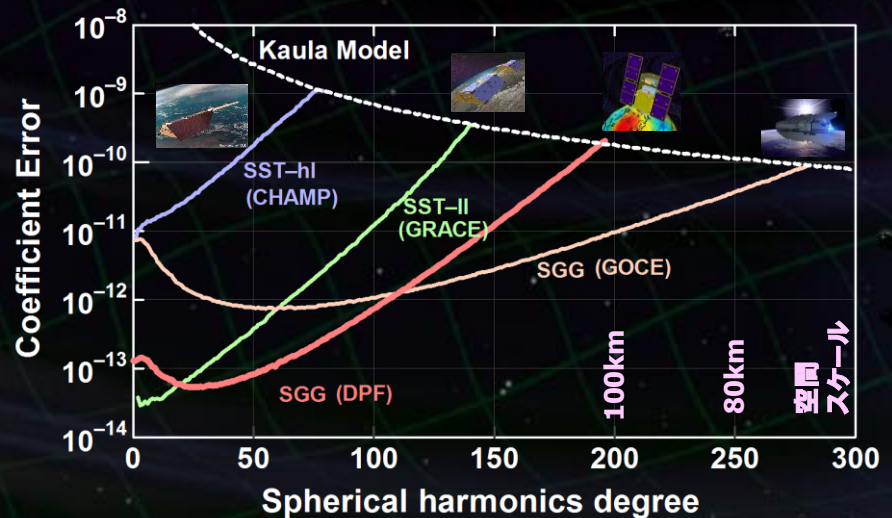
重力波により宇宙を見る
 銀河系内のBH連星合体
 → 巨大BH形成への知見.

DPFの感度では
 ~30個の球状星団を観測可能



重力で地球を見る
 地球重力場の観測
 地球形状の計測
 地球環境モニタ

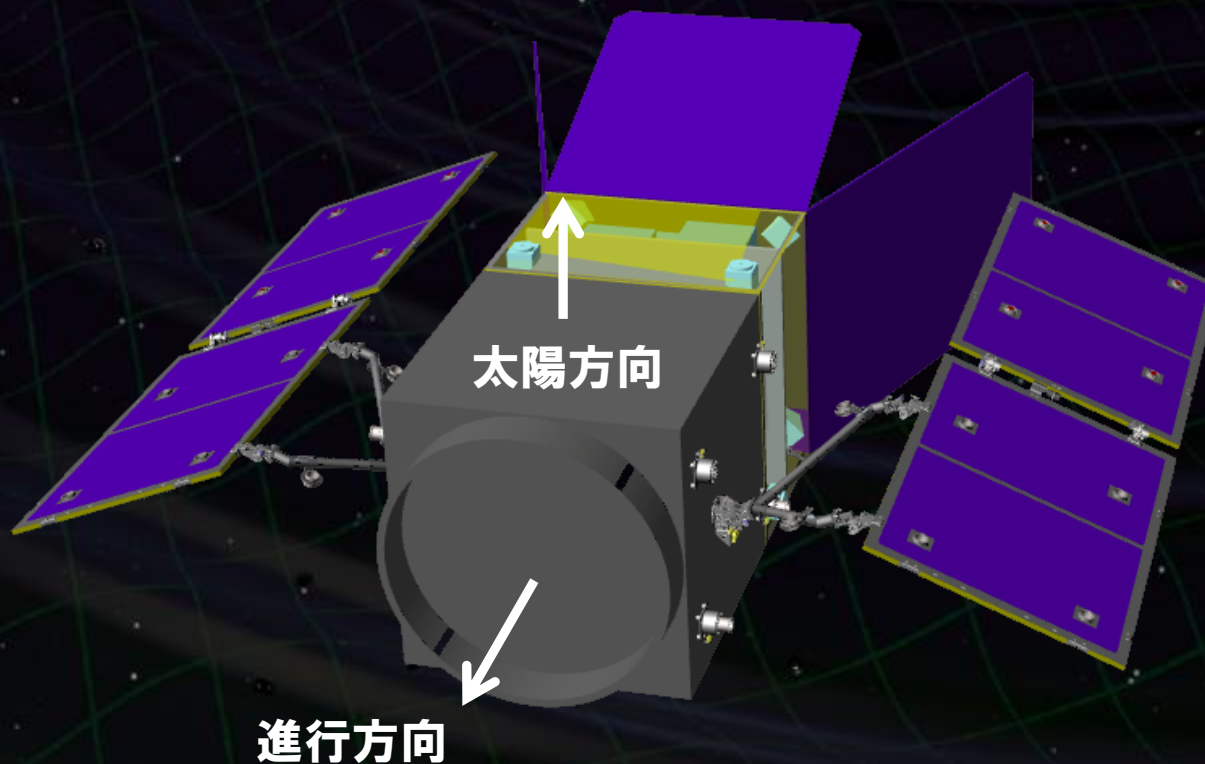
他の海外ミッションに匹敵する感度
 国際観測網への貢献, 独自の観測
 (2012-2016に国際観測網にギャップ)



DPF衛星形状の設計

衛星振動の影響を避けるため、RWは搭載しない → 姿勢安定が重要.

- 地球大気・太陽輻射圧に対する受動姿勢安定形状の検討.
- 初期姿勢捕捉シーケンスの検討.



干渉計モジュール

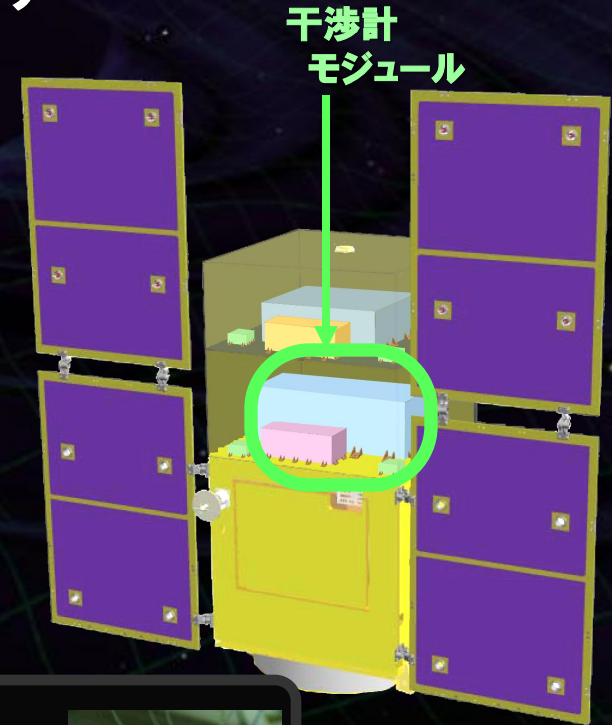
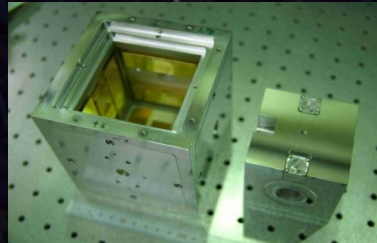
レーザー干渉計：試験マス + 干渉計 + センサ

試験マスモジュール

重力・重力波を観測するための基準

- BBM of Module, Sensor, Actuator, Clump/Release
- μ -Grav. Exp.

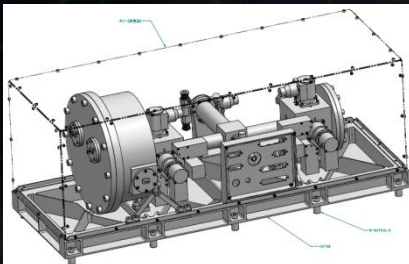
法政大, 国立天文台,
お茶大, スタンフォード大



干渉計モジュール

→ 重力波観測, 重力勾配計

- 30cm IFO BBM
- Packaging
- Digital control
- Monolithic Opt.



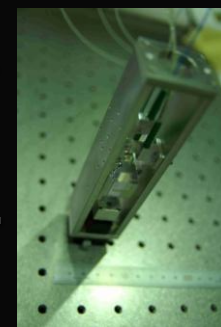
国立天文台, 東大

レーザーセンサ

→ 加速度計センサ

- BBM test
- Sensitivity meas.

東大地震研, 東大理



JAXAの小型科学衛星シリーズの候補

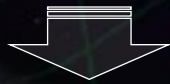
標準衛星バス + 次期固体ロケットを利用して
最低 3機の小型科学衛星 を打ち上げる計画

1号機 SPRINT-A/EXCEED (~2013年)

UV望遠鏡による惑星観測

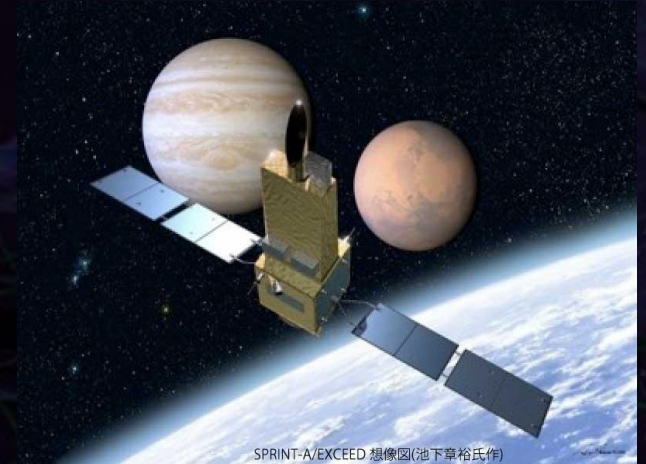
2号機 SPRINT-B/ERG (~2015年)

地球周辺の磁気圏観測



DPF: 小型科学衛星3号機 を目指す
宇宙分野における新しいサイエンスの
可能性として評価を受けている

打ち上げ目標 : 2016/17年度



小型科学衛星1号機 SPRINT-A/EXCEED



Next-generation
Solid rocket booster (M-V FO)
Fig. by JAXA

DECIGO-WG メンバー 145名

理論	57名
実験	80名
シニア	8名

実験 80名の内訳

KAGRAでも主要タスクを担うメンバー	17名
KAGRAでも一部のタスクを持つメンバー	3名
DECIGO/DPFのみに参加	57名
国外	4名