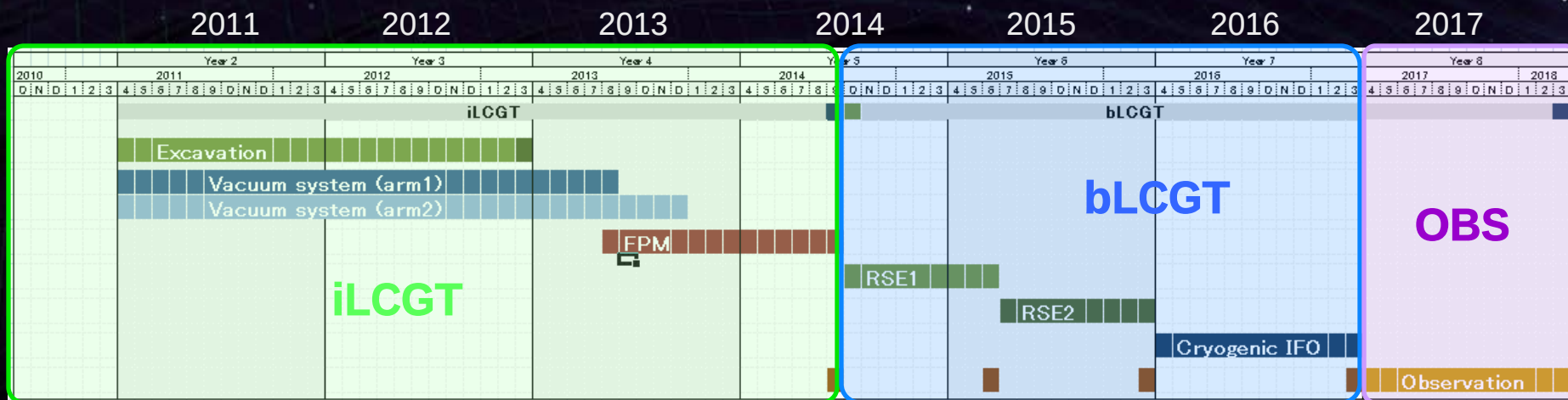


LCGT roadmap

- Recent main issue is the development and construction plan of vibration isolation and cryogenic systems.
- Discussion and comparison of 3 plans.
 - Plan-A: Install the Type-A system as vibration isolator for the room-temp. interferometer at the first stage of iLCGT.
Develop the cryogenic system at separated facility.
 - Plan-B: Install a Type-B SAS system for iLCGT. The end test mass is placed in front of the original position. The cryogenic system will be developed and tested at the end room in parallel to the interferometer comissioning.
 - Plan-C: Install a Type-C VIS for iLCGT. The other plan is similar to Plan-B.

⇒ Executive committee has made a decision.

Plan-A Draft Schedule



Type-B development →

Type-B construction and test →

Type-B installation
and shakedown →

Type-A design,
construction, and test →

Type-A installation,
development and shakedown →

Room-temperature
IFO commissioning

Half-cryogenic
operation

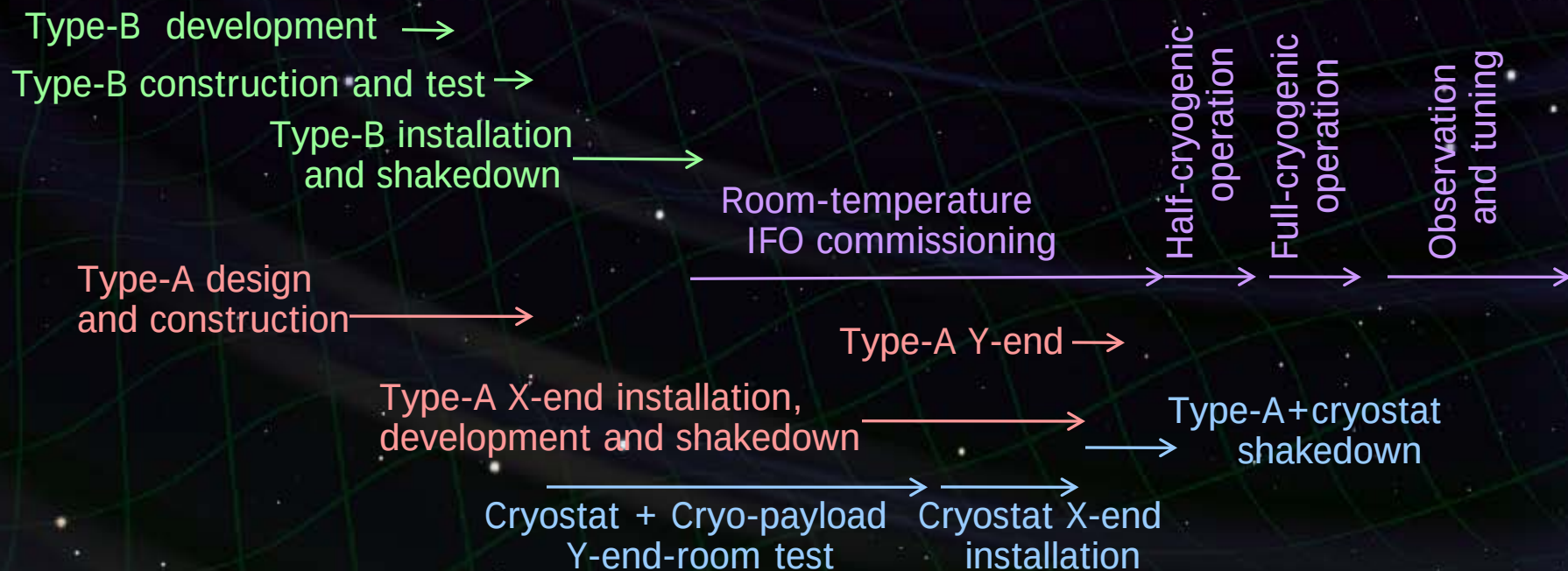
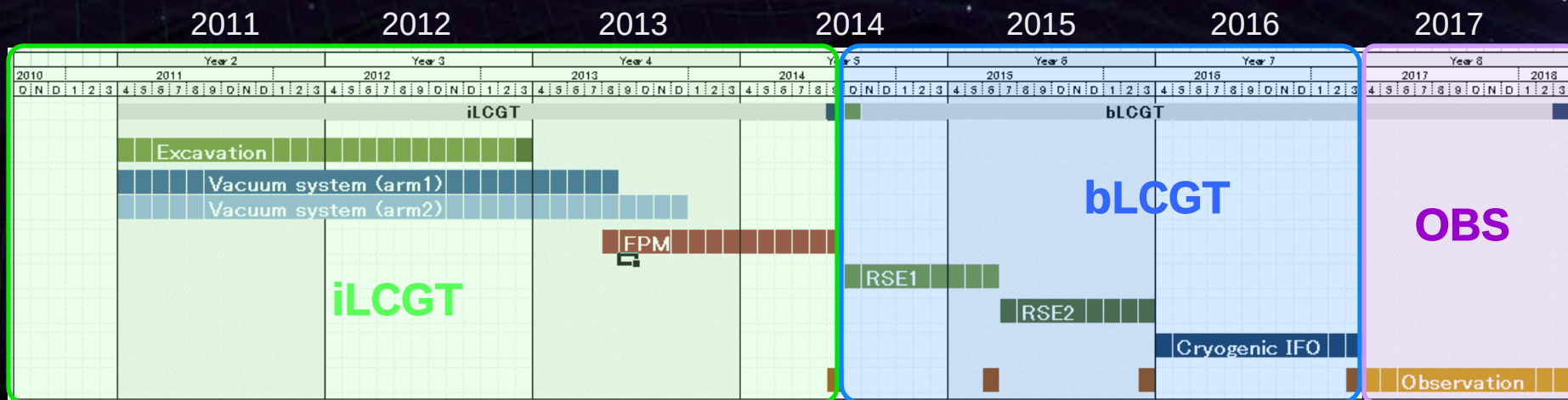
Full-cryogenic
operation

Observation
and tuning

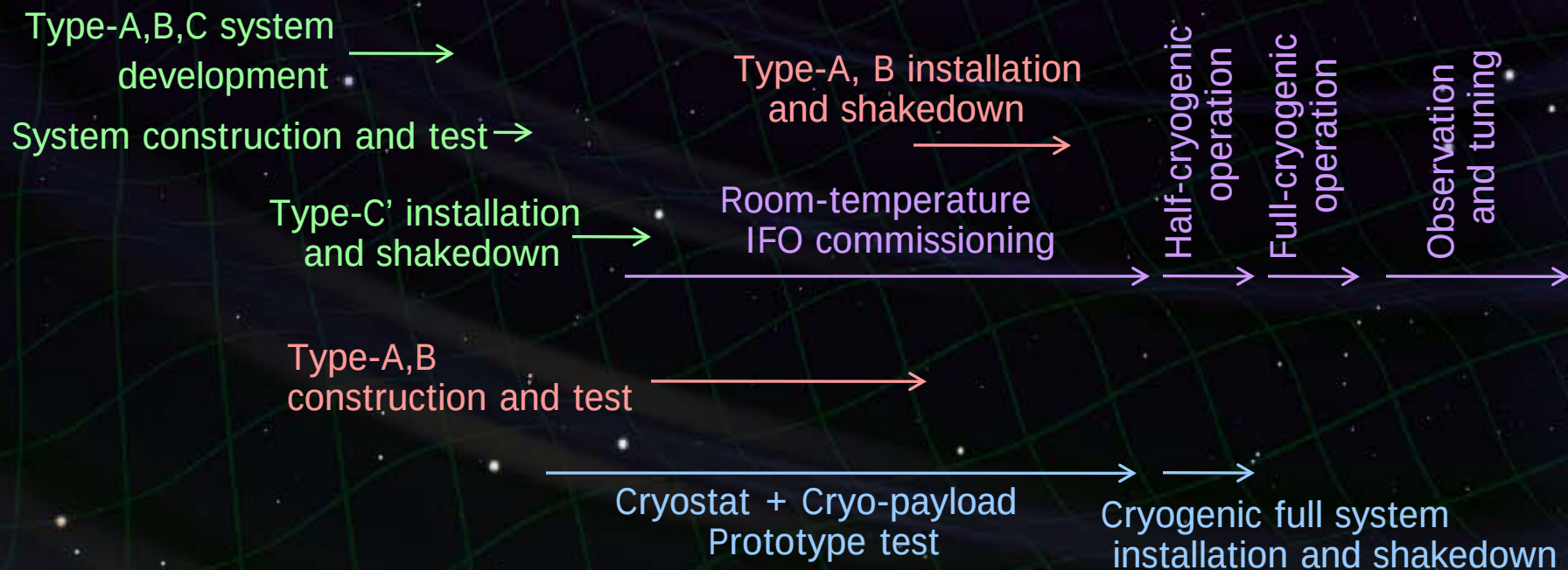
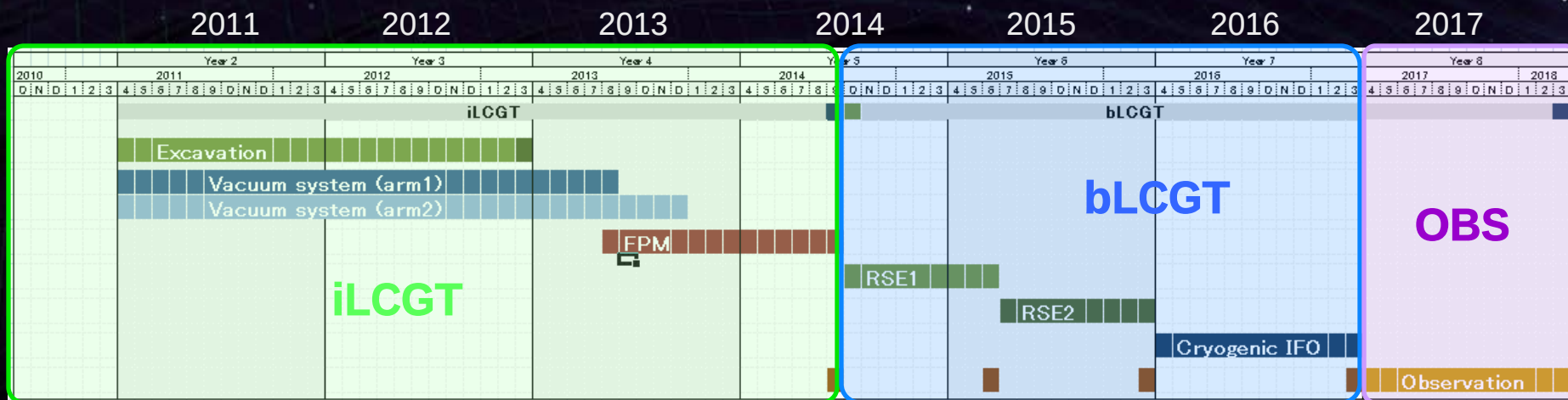
Cryostat + Cryo-payload
Prototype test

Cryogenic full system
installation and shakedown

Plan-B Draft Schedule



Plan-C Draft Schedule



Plan-A 概要

- iLCGTの初期インストールの段階で、4つのテストマス用防振系としてType-A防振系を導入する。ペイロード部・真空槽は10kgの常温用のものを準備する。
- iLCGT干渉計における初期観測運転とbLCGT移行後のRSE導入とそれによる観測運転は、この常温干渉計で行う。
- 干渉計動作開始後は、それと並行して、いずれかの場所で低温ペイロード及び、クライオスタットの開発を行う。
- 干渉計のエンドテストマスを低温システムに置き換え、「半低温」動作を行う。
- フロントテストマスを低温システムに置き換え、LCGT最終形態での動作を行う。

Plan-A 補足説明

- ・常温干渉計から低温干渉計移行時には以下の作業が必要
常温ペイロード・真空槽撤去、常温ダクト一部撤去
クライオスタット設置、ラディエーションシールド設置・接続
- ・低温ペイロード + Type-A防振系を組み合わせたフルシステム試験は
実機で行う。

Plan-B 概要

- iLCGTの初期インストールの段階で、常温用のエンドテストマス2つの位置5m(TBD)手前にずらして設置する。この際、テストマス用防振系としてType-B 防振系を導入する。
- iLCGT干渉計における初期観測運転とbLCGT移行後のRSE導入とそれによる観測運転は、この全基線長の少し短い常温干渉計で行う。
- それと並行して、Xエンドルームの所定の位置にType-A防振系を設置し、防振系、および低温ペイロード(防振特性中心)の開発を進める。
- 低温用のクライオスタットと低温ペイロード(冷却特性中心)はYエンドルームで開発を行う。
- その後、X,YどちらかのエンドルームでType-A防振系・低温ペイロード・クライオスタット・サファイヤ鏡を組み合わせ、冷却系のフルモデル試験を完了させる。ここまでは、常温干渉計の動作と並行して進める。
- 干渉計を低温エンドテストマスに接続し、「半低温」動作を行う。
- フロントテストマスを低温のものに置き換え、LCGT最終形態での動作を行う。

Plan-B 補足説明

- ・常温干渉計から低温干渉計移行時には以下の作業が必要

エンドテストマス:

常温防振系・常温真空槽撤去

常温ダクト一部撤去、ラディレーションシールド設置・接続

フロントテストマス:

常温防振系・常温真空槽撤去、常温ダクト一部撤去

クライオスタット設置、ラディレーションシールド設置・接続

- ・クライオスタット+低温ペイロードの開発計画は、プランAと同等。
低温フルシステム試験を行う分だけ、前倒しになっている。

Plan-C 概要

- iLCGT初期インストール段階で、4つのテストマスおよび、BS等の光学素子用の防振系として、スタック+Type-Bペイロード という構成のものを導入する.
- iLCGT干渉計における初期観測運転は、この常温干渉計で行う.
- それと並行して、Type-B防振系の開発を別施設で行う.
- それと並行して、Xエンドルームの所定の位置にType-A防振系を設置し、防振系、および低温ペイロード(防振特性中心)の開発を進める.
- bLCGT移行後に、干渉計のRSE動作の前、もしくは後に防振系のアップグレード(Type-Bの導入)を行う.
- 干渉計を低温エンドテストマスに接続し、「半低温」動作を行う.
- フロントテストマスを低温システムに置き換え、LCGT最終形態での動作を行う.

Plan-C 補足説明

- ・常温干渉計から低温干渉計移行時には以下の作業が必要

エンドテストマス:

常温防振系・常温真空槽撤去

常温ダクト一部撤去、ラディレーションシールド設置・接続

フロントテストマス:

常温防振系・常温ダクト一部撤去

ラディレーションシールド設置・接続

(真空槽は始めからクライオスタットを用いる)

- ・クライオスタット+低温ペイロードの開発計画は、プランBと同等。
低温フルシステム試験を行う分だけ、前倒しになっている。

プランの比較

干渉計占有時間

	Plan-A		Plan-B		Plan-C	
iLCGT 設置開始時	Type-A・B常温 真空槽・防振系 設置・調整 4+7台	10.5 ヶ月	Type-B常温真空槽・ 防振系設置・調整 11台	9.6 ヶ月	Cryostat/Type-B 真空槽・Type-C防 振系設置・調整 11台	4.6 ヶ月
半低温動作 移行時	エンドシステム 入替、低温フル 試験 2台	1.9 ヶ月	エンドシステム 入替 2台	0.7 ヶ月	エンドシステム 入替 2台	5.8 ヶ月
全低温動作 移行時	フロントシステム 入替 2台	1.9 ヶ月	フロントシステム 入替 2台	1.9 ヶ月	フロントシステム 入替 2台	1.9 ヶ月
コスト	常温ペイロード 4台	20 M¥	Type-B防振系 4台	72 M¥	常温ペイロード 4台 +スタック 4台	39 M¥
	常温真空槽 4台	128 M¥	常温真空槽 4台	128 M¥	常温真空槽 2台	64 M¥
合計	干渉計占有時間	14.3 ヶ月	干渉計占有時間	12.2 ヶ月	干渉計占有時間	12.3 ヶ月
	非占有時間		非占有時間	3.7 ヶ月	非占有時間	3.7 ヶ月
	コスト	148 M¥	コスト	200 M¥	コスト	103 M¥

メリット・要検討事項

	Plan-A	Plan-B	Plan-C
メリット	・常温干渉計をより良い性能を持つ Type-A防振系で動作させられる. ・常温干渉計を用いてType-A防振系の特性評価・実証ができる.	・低温フルシステム(Type-A防振系・低温ペイロード・サファイヤテストマス・クライオスタット)の現地実機評価試験を、干渉計動作と並行して進めることが可能. ・常温干渉計動作から「半低温」動作への移行作業が低減され、干渉計動作時間をより多く確保できる. ・追加開発項目がほとんど無い.	・低温フルシステム(Type-A防振系・低温ペイロード・サファイヤテストマス・クライオスタット)の現地実機評価試験を、干渉計動作と並行して進めることが可能. ・常温干渉計動作から「半低温」動作への移行作業が低減され、干渉計動作時間をより多く確保できる. ・追加開発項目がほとんど無い.
必要追加項目・要検討事項	・常温テストマス用ペイロー・真空槽 4組の製作・設置・調整. ・常温部撤去・低温系設置の手順検討. ・低温フルシステム試験設備の 建設(?)・整備.	・常温テストマス用Type-B防振系・真空槽 4組の製作・設置・調整. ・常温部撤去・低温系設置の手順検討. ・エンドルームの配置・作業の干渉の検討.	・常温テストマス用ペイロード 4組、スタック・真空槽 2組の製作・設置・調整. ・常温部撤去・低温系設置の手順検討. ・エンドルームの配置・作業の干渉の検討.

意見集約 (1/4)

	Plan-A	Plan-B	Plan-C
○ (良いと考える)	4	1	9
△ (許容できる)	5	10	6
× (避けるべき)	6	4	0

		廣瀬	我妻	太橋	山元	中谷	麻生	三代木	川村	内山	神田	高橋	宮川	新井	山本	安東
2	Plan-A	○	△	△	×	×	△	○	△	○	△	○	×	×	×	×
3	Plan-B	△	×	△	△	△	△	△	△	×	△	×	△	×	△	○
1	Plan-C	△	○	△	△	○	○	○	○	△	○	△	○	○	○	△

意見集約 (2/4)

- 廣瀬 (○-△-△)

正直言ってあの資料だとどれが技術的に優れているのか私には判断できませんでした。それができる詳細設計が完了していないと判断します。もしそうなら、私は防振リーダーの意見を尊重したいです。ただし、これだけの議論があるので、技術的に議論できる形で、これから問題をみんなにオープンにして、それを解決するアイデアをみんなで知恵を絞っていくのが良いと思います。どれにするかを定めるより、技術的にどうやって解決するかに注力すれば、きっと良い知恵が出てきてより良い方向に向かうのではないかと思います。

- 大橋 (△-△-△)

まず、iLCGTにSASは不要と思う。一旦、SASを導入してしまえば、type-Aとtype-Bの違いは、type-B同士の個性の違いと同程度かもしれない。Plan-Cでの心配は、スタックに入れられるようにクライオスタットを設計変更する必要があること。iLCGTにはスタックさえ不要かもしれない。

- 山元 (×-△-△)

Plan BとCの折衷案か。確かにiLCGTも大事であるが、全てtype CだとbLCGTで破綻しそうな気がする。Plan Aの場合低温payloadをぶっつけて本干渉計に組み込むことになり、それがリスクか。いずれにせよ楽な道はない。

意見集約 (3/4)

- 中谷(×-△-○)
3案のどれかに決まった後、基本構想を変えない範囲のマイナーな変形案は許容するようにすべきだと思います。
- 三代木(○-△-○)
同じサイトで、違う防振系の比較が労少なくできるのが問題解決に役立つかも。
- 川村 (△-△-○)
Plan-CはPlan-Bの良い点を持ち、かつ、iLCGTへの最短コース。Plan-Bはせっかくの苦勞が感度で報われないのがつらい。Plan-Aは防振グループの意欲があるとはいえちょっとリスク。
- 内山 (○-×-△)
typeAを少なくとも1台は3km cavityに組み込むべきと思う。
- 神田 (△-△-○)
type-A防振系と低温系とどちらかに問題が生じるか否かだが、正直判断がつかない。分離して進める方が個別の問題は切り分けて対処しやすいだろうと考えて、Cを優先する意見です。

意見集約 (4/4)

- 新井 (×-×-○)

ただし、SASの動作検証を後送りしないため、Center Roomの一部(場合によっては3km腕)でType-Bの实地検証を行うことを盛り込む。(エンドでの低温Type-Aの開発をさらに平行して行うのはデフォルトとして)

- 山本 (×-△-○)

Type-Bの開発進行状況に応じて、可能であればBS等にType-Bを採用する。

- 安東 (×-○-△)

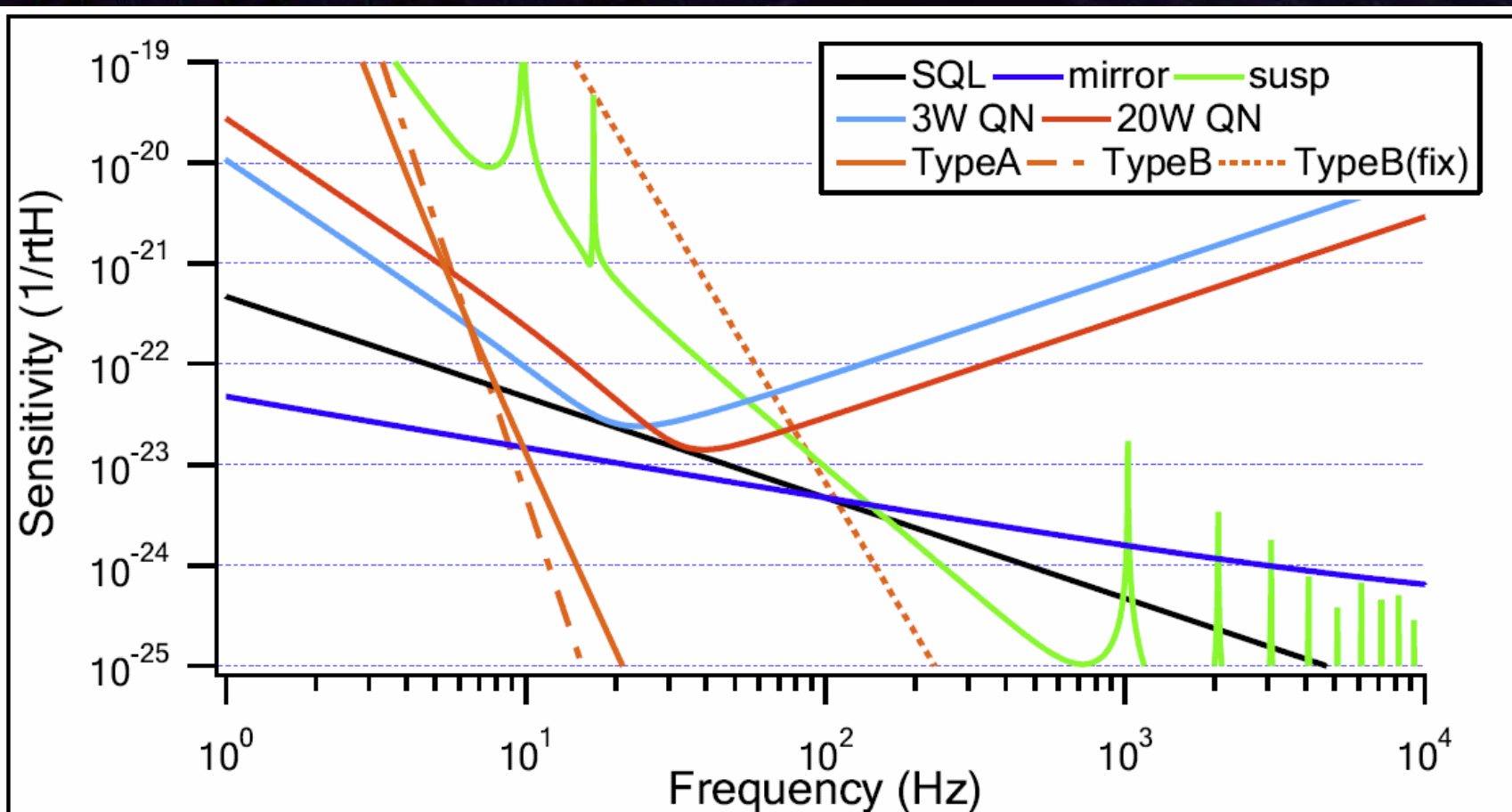
Type-B SAS技術は完成されているべき。それを積極的に利用する。

その他、論点

- **トンネル縮小の影響**. Plan-B, Cでは、常温真空槽からクライオスタットへの入れ替え/再接続が必要となる. この作業は可能か?
 - 常温真空槽は運び出さなくても良い. ダクト経路に残すか、脇へ移動させ、別用途に再利用することも可能.
- **作業の干渉**. Plan-B, Cでは、エンドルームで複数の実験が並行して進められる. 作業の干渉・振動による実験への影響はないか?
 - 配慮した配置にする必要はある. エンドルームの20m手前、ラディエーションダクトシールドの手前に拡幅部を設け、常温真空槽を設置することも可能. コストと作業性を踏まえて判断が必要.
- **External Review**ではType-B防振系を使用することを勧められていた. これへの対応は?
 - 無駄とリスクを抑え、bLCGTの実現を早めることが主旨. それに沿った形であれば良い.

iLCGT感度見込み

基線長3km FPMを仮定.



IR = 29/17Mpc (TypeA/B, 20W/3W), 21/11Mpc (TypeB-fix, 20W/3W)

補足資料

追加開発・検討項目

Plan-A

Plan-B

防振装置

常温ペイロード

真空装置

常温真空槽

低温装置

常温部撤去・ラディエーション
シールドの設置方法

常温ダクト撤去・ラディエー
ションシールドの設置方法

施設・他

クライオスタット・低温懸架・
Type-A防振系試験施設・設備

エンドルームの配置検討

追加必要経費

	Plan-A	Plan-B
防振装置	常温ペイロード (テストマス用4台)	Type-B防振系 + ペイロード (テストマス用4台)
真空装置	常温真空槽 (テストマス用4台)	常温真空槽 (テストマス用4台)
低温装置	---	---
施設・他	低温系への移行経費 クライオスタット・低温懸架・ Type-A防振系試験施設・設備	低温系への移行経費

参考資料

前提知識

・防振系に関して前提知識

Type-Aは、低温系との整合性をとることを主目的としている。

(下部でのクライオスタットのスペース確保と堅牢な支持土台を両立.)

Type-Bは、BS, 入射光学系など, 最終形でも7台使用される。

Type-A, Bではプレアイソレータ部の構造など多くの部品が共通。

防振性能は, Type-Bの方がType-A+低温より良い。(ヒートリンクの影響)。

支持するテストマス重量は Type-A 30kg, Type-B 10kg を前提。

・冷却系についての前提知識

Yエンドルーム付近に作られた専用部屋でクライオスタット実証機の総合試験。

トンネル・施設完成後(2012年度初め)に開始。

できるだけ多くの実証要素を組み込みたい。

・トンネルについての前提知識

トンネルは、後からクライオスタットを搬入・設置できるように設計されている。

今から設計変更はおそらく無い。

トンネル拡幅部、Yエンドのクライオスタット実証機部屋なども残る。

ただし、予算削減の可能性とそれによる影響はあるかも。

これまでの計画 (Review B前)

•iLCGT時

Type-A, Type-Bなど所期の防振系をインストール.

テストマス用にはType-Aを使用.

(常温用の真空槽・ペイロードを別途準備し、テストマスは10kgのシリカを使用.)

防振系プリアイソレータの調整はせずに、プラットフォーム上部でクランプして使用.

•bLCGT初期

干渉計のRSE動作後、防振系のアップグレード・調整.

この状態でフル干渉計を動作させる.

•低温移行時

テストマス用の常温真空槽・ペイロードを撤去し、クライオスタットに置き換え.

ラディエーションシールドの設置.

低温用ペイロードへの取り換えとサファイヤテストマスのインストール.

冷却試験・低温動作試験.

→ 低温干渉計動作.

External Review Comments

iLCGT, 防振系に関するコメント

- iLCGTでテストマスにType-B防振系を使用すること。
TAMA SASの経験と実績を最大限に利用し、技術リスクを低減する。
- Type-B防振系のfull scale testを至急を実施すること。
事前にはほぼ完全な試験を完了させることで現地での作業負担と、LCGT計画全体に対するスケジュールリスクを低減する。
- 中途半端な防振系のインストールはやめ、完成形をインストールする。
無駄を減らし、bLCGT全体まで含めたスケジュールをリスクの少ないものにするという意図。
- トンネルの2層構造をやめ、大きなホールにする。
テストマス位置の変更や大規模防振系など、将来の拡張性を担保する、という意図。 → これは、今から変更しないという方針。

その他

- 常温干渉計での観測も考えるべし。
- 低温干渉計移行時にはエンドテストマスだけ冷やした半低温をしたらよいのでは。

現状での制約条件など

現在までの状況

- 先端経費を用いたiLCGT用の予算執行(物品の購入)は2013年度までに完了する.
- 低温関係を含む物品経費は、高度化経費として獲得を目指す. 早くて2015年度から使用可能.
- 2014年9月に「初期観測」を行うという対外的な約束をしている. これは、外部からの要請ではなく、LCGTグループが示した方針.

それに加えて、以下の状況がある

- 国の予算認可の都合で本年度からのトンネル掘削工事・施設整備の開始が遅れる可能性が高い. その場合、2012年度末の時点での施設整備も全ては完了していない可能性もある. 遅れの度合いなどは未確定.

問題意識

- LCGTでは、スケジュールが非常に厳しい。特に現地でのインストール・コミッシング時間の制約が大きい。
 - 事前に十分な実機評価試験を行い、現地作業をできるだけ圧縮することが必須。「LCGTをR&Dのためには使用しない。」
- 一方、2階建てフロア構造を前提とする低温テストマス用のtype-A防振系は現地でしか最終試験ができない。(他の場所で行うと、大がかりな施設が必要で、かつ地面振動レベルが大きく試験のための労力が大きい.)
 - 技術的・スケジュール上のリスクを避けにくい。
- 低温ペイロードについては、開発が必要となっている。LCGT低温干渉計に用いるためには、事前最終評価試験をtype-A防振系、クライオスタットと組み合わせて行う必要がある。別に施設を建設するか、干渉計のコミッシングを止めてLCGT実機で試験するか？

これまでにあった意見など

これまでにあった 意見・懸念 (羅列・相反する意見も含む)

- ・トンネル設計に変更が必要か?

- 必須では無い. 多少変更できれば少しやり易くなる.

- ・トンネル設計の変更は無い.

- ・常温テストマス系から低温テストマス系へ取り換えることは、
物理的に可能か? その作業の労力は問題ないか?

- ・テストマス用Type-Bを製作する手間、コストが勿体ない.

- これまでの案でも常温用真空槽・ペイロードの製作と取り換えは前提.

- ・テストマス用にType-Cなどより簡便なものを使用するのはどうか?

- ・最終的にエンドテストマスをType-Bにするのはダメなのか?

- ・真空Gとしては対応可能.

- ・リスクはいずれにせよあり、早く最終形態に近づいておいた方が良い.

- ・基線長が変わることによって干渉計パラメータは変わらない.

- ・経費執行上は、大きな問題はない. クライオスタットは製作する.

- ・クライオスタットにType-Bを入れるのは難しいだろう.

- ・常温干渉計で感度を求めるか、という問題が堂々巡りをしている.

- 感度は突き詰めない、という方針は変えていない.

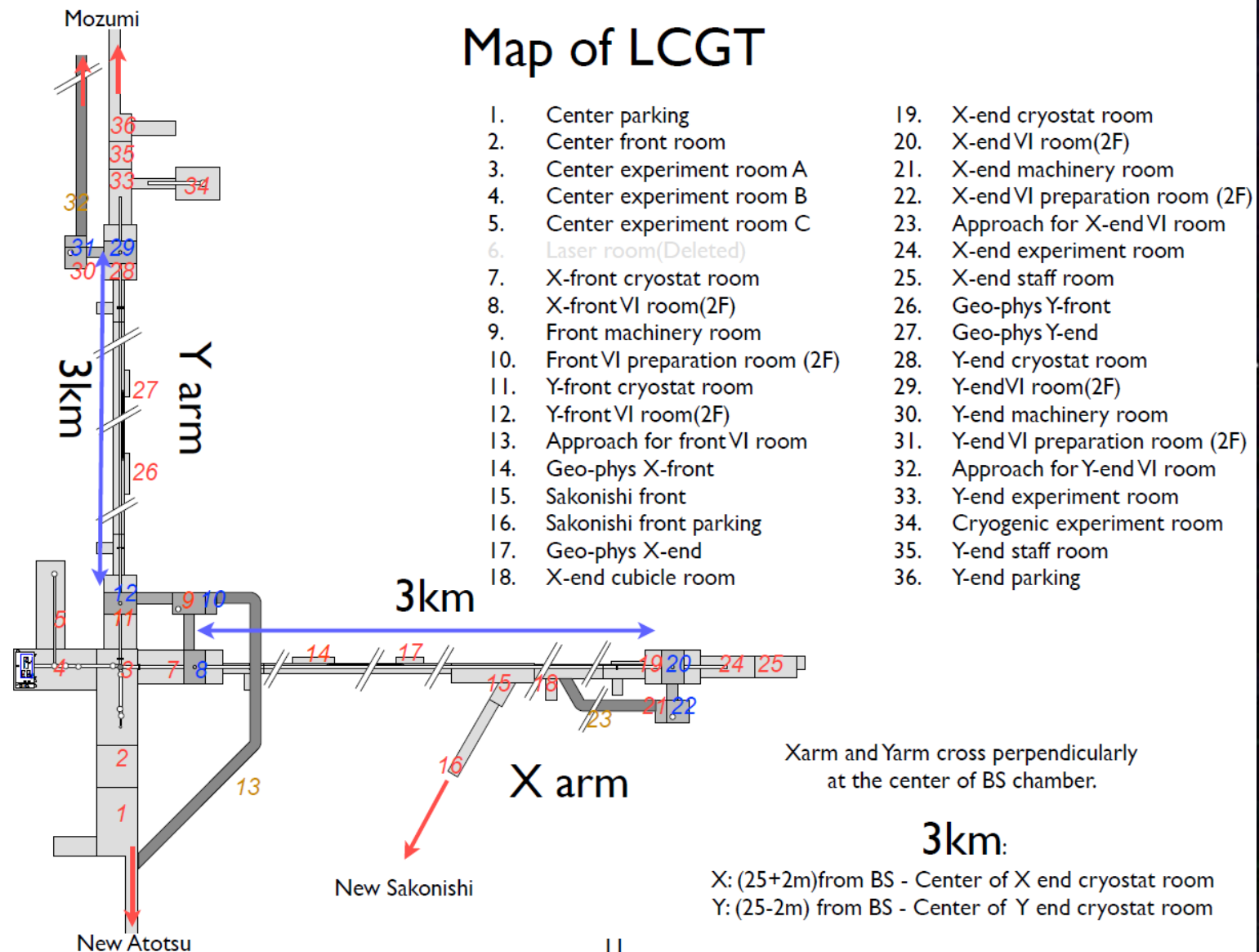
補足資料

	Type-A初期導入案	Type-(A+B)複合案(1)	Type-(A+B)複合案(2)	Type-B初期導入案(1)	Type-B初期導入案(2)	Type-B初期導入案(3)
- 2012年3月 トンネル掘削・施設整備	TAMAを用いてType-Bの実証機開発。 予算次第でType-A半分サイズのプロトタイプ試験も行う。			TAMAを用いてType-Bの実証機開発。		
2012年4月 真空槽・干渉計 設置開						
17カ月	テストマス用にType-Aを導入。常温部(真空槽・ペイロード)は最終仕様から変更。	エンドテストマス2か所にType-Aを導入。フロントはType-Bを導入。	エンドテストマス1か所にType-Aを導入。他はType-Bを導入。	テストマス用にType-B 4台を導入。腕の基線長は少し短くし、エンドルームでType-Aの実証テストを行う。	テストマス用にType-B 4台を導入。	
	他のType-B, Type-C防振系も所期のものを導入。(簡易版にするオプションも検討する。)				他のType-B, Type-C防振系は一部簡略化。	他のType-B,C防振系については未定。
2014年9月 初期観測運転実施						
5カ月	iLCGTコミッショニング継続					
2015年3月 iLCGT完了・観測運転*	3km基線長のFPM干渉計動作					
bLCGT開始						
8カ月*(RSE導入の裏作	低温ペイロードの開発。			Type-A防振系・低温ペイロードの開発。		
2015年12月 RSE導入完了・観測運転*	3km基線長の常温RSE干渉計動作					
3カ月*	テストマス用防振系をアップグレード。ペイロードとその真空槽部を低温ペイロード、クライオスタットに取り換え。	テストマス用防振系をアップグレード。Type-Aペイロードとその真空槽部を低温ペイロード、クライオスタットに取り換え。Type-B防振系をType-A低温仕様に置き換え。	テストマス用防振系をType-A低温仕様に変更に取り換え。			
					テストマスに使用していたType-B防振系を所期の位置に移動。	必要に応じてType-B移動。
2016年3月 防振系アップグレード完了						
2016年4月 低温系導入開始						
2017年4月 観測+コミッショニング	チューニング					
主旨	Type-A防振系を最初から導入することで置き換えを最小限に抑える。	Type-Aの実地開発をいくつかの場合の干渉計コミッショニングスケジュールへの影響を抑える。	初期にはType-B防振系の開発・動作に専念。その後、干渉計コミッショニングの裏でType-A防振系の現地試験することでType-A完成度を向上させる。			iLCGT時にType-Aの開発を進めつつ、干渉計基線長を維持する。
懸念	iLCGT設置開始時にType-A,B,Cそれぞれの開発がほぼ完了してはならない。常温Type-Aペイロード・真空槽分は追加の開発が必要。		基線長が変わることによるiLCGT-bLCGTの光学系整合性。			Type-A防振系・ペイロードの現地試験には制限。
備考			エンドルームに余分なスペース掘削が必要か？ エンドルームでのType-A実証試験をクライオスタット実証機試験とセットでできないか？分けておいた方が 良いか？			
追加で必要となる物品	常温Type-A用30kgマス仕様ペイロード(4組)	テストマス用Type-B防振系(2組以下)	テストマス用Type-B防振系(3組以下)	テストマス用Type-B防振系(4組)	一部Type-B防振系と簡易防振系(計4組)。	一部Type-B防振系と簡易防振系(計4組)。
	テストマス用常温真空槽(4組)					
要検討事項	予算上の観点での確認：追加物品手配のための経費、予算執行の流れに変更を要するかの確認。 iLCGTの段階で感度を問うのか、という議論。現時点では感度は問わない、という立場でいるが、External ReviewでaLIGO, Adv. VIRGOとの初期観測についても触れられている。どこまで可能なかの情報は確認しておく必要がある。					
その他メモ	トンネル2層化構成、最終(低温)段階でType-A防振系を使用するという方針は変えない。 開発が完了した物をLCGTに導入する、という方針は維持する。 Type-AとType-Bの差異： 段数、ペイロード質量、ローカルセンサ・アクチュエータ、冷却系のための部品類。 Type-BとTAMA SASの差異：ペイロード質量など規模の違い。 技術的・スケジュール上のリスクを抑えるための理想は「全く同じ」防振系を事前に試験しておくこと。それに対して「基本的に同じ」という構成が、どこまで許容可能か。 防振系の開発は、どのプロジェクトも苦労している。機械系はなかなか理屈通りにならないため。その一方、それらの経験の積み上げがあるから、問題なく計画を進められるという観点で考えることもできる。 * bLCGT時のRSE期間、防振系アップグレード期間については要検討。低温導入を前倒しにする、という考え方もできる。 * 2015年4月より高度化経費が使用可能(を目指す)					

Vibration isolation system

	Type-A	Type-B
Suspended Optics	4 units for Cryogenic test mass (30kg)	7 units for BS, RM, SEM, MMT (10kg)
Isolator	Pre-Isolator (IP+GASF) GASF x 3 Payload	Pre-Isolator (IP+GASF) GASF x 1 Payload
Vacuum	Tank at the upper-floor Vertical duct Connection tank Cryostat	Single room-temp. tank
Damping	Eddy-current damping Local control	Eddy-current damping Local control

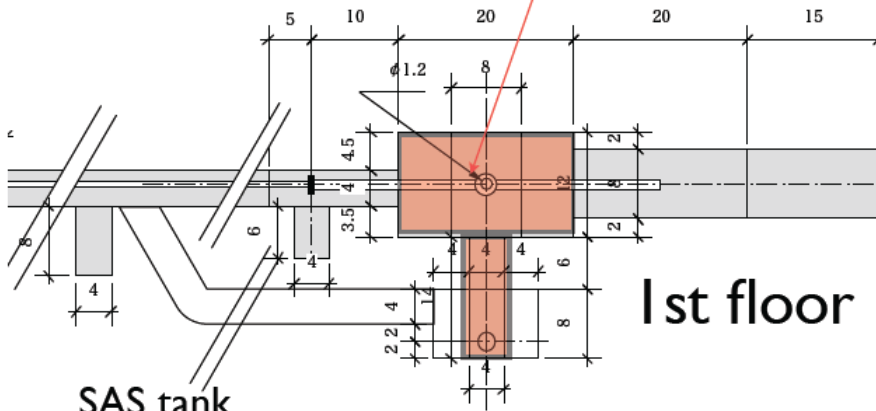
Site Dimension



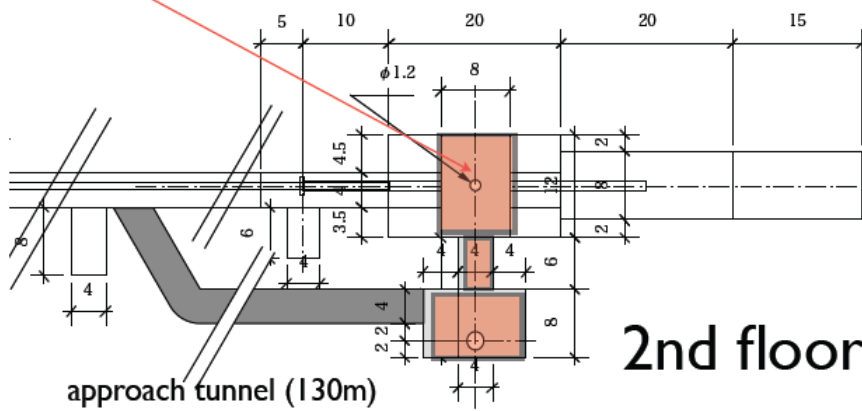
X end (2layer)

Test mass tank

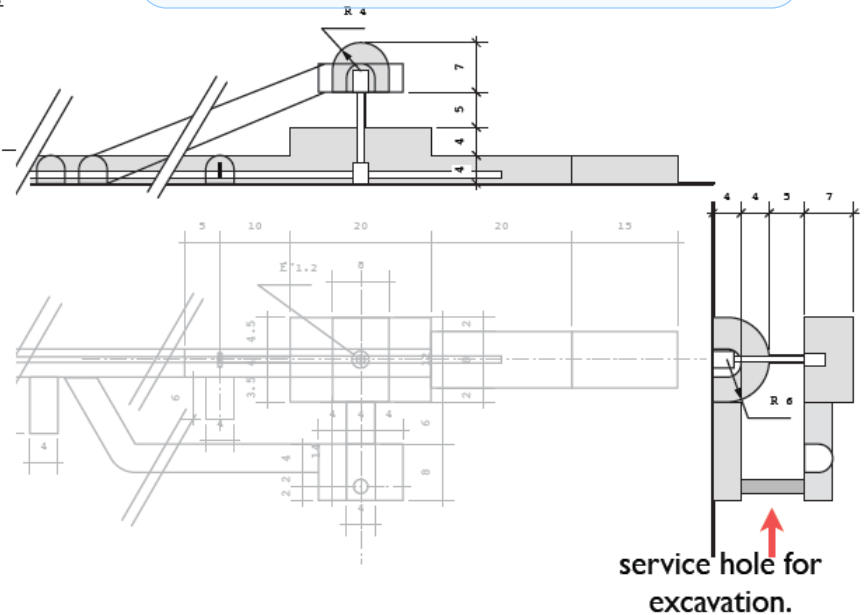
End room 1st floor
W12m , L20m, H8m



1st floor



2nd floor



service hole for excavation.

Compare with 1 layer (20×20×H|5m)

Floor area : $400\text{m}^2 \rightarrow 512\text{m}^2$

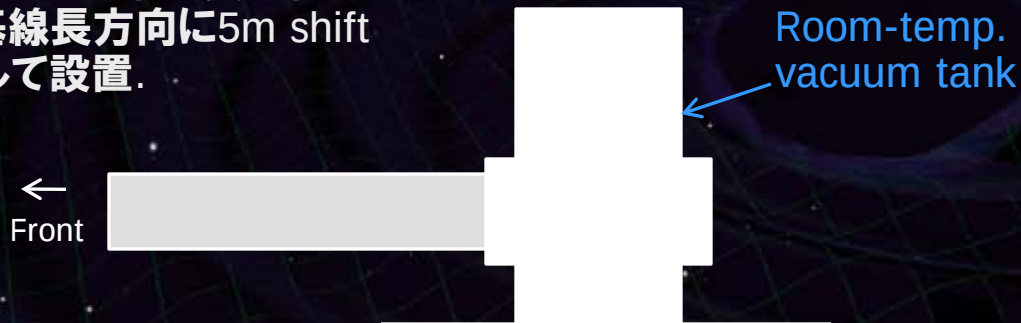
Volume : 5140m³ → 2860m³

Approach tunnel(130m) : 1860m³.

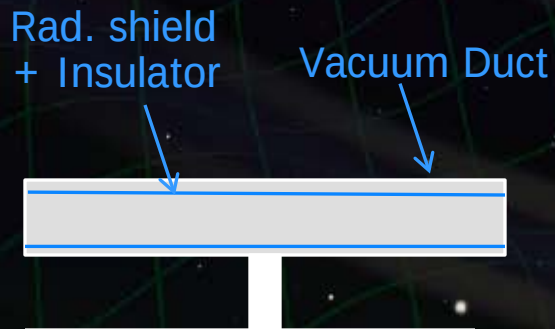
Vertical hole: about 2,500,000Yen.

ラディエーションシールド

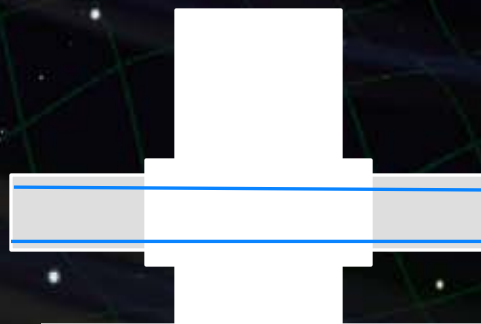
iLCGT用常温真空槽
基線長方向に5m shift
して設置.



(a) 真空槽撤去
& シールド設置



(b) 真空槽撤去せずに
シールド設置



(c) シールド接続

