

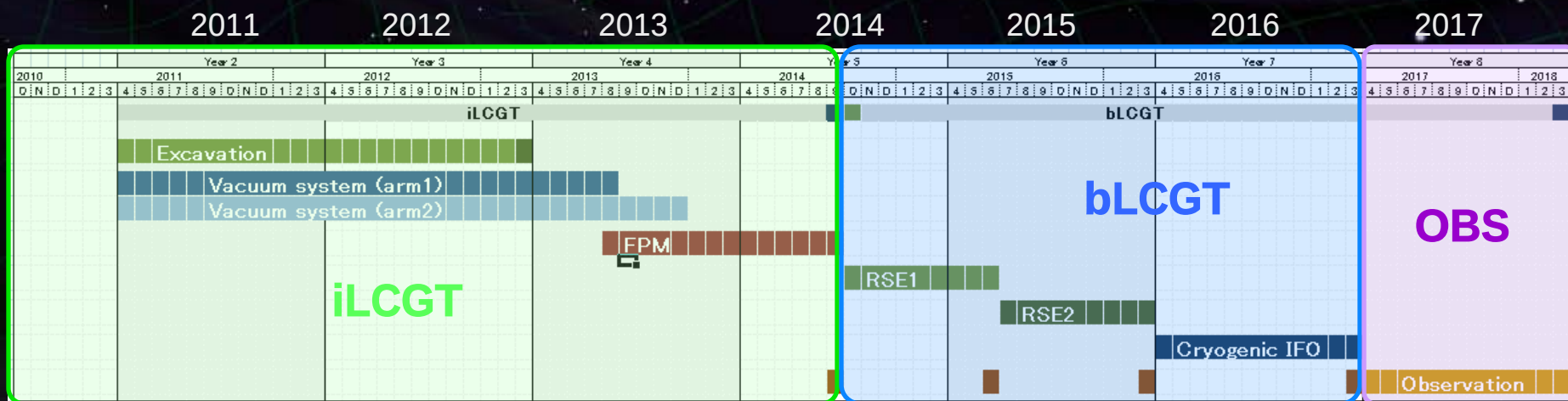
問題意識

- 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？

➡ これらを解決する方策を提案。

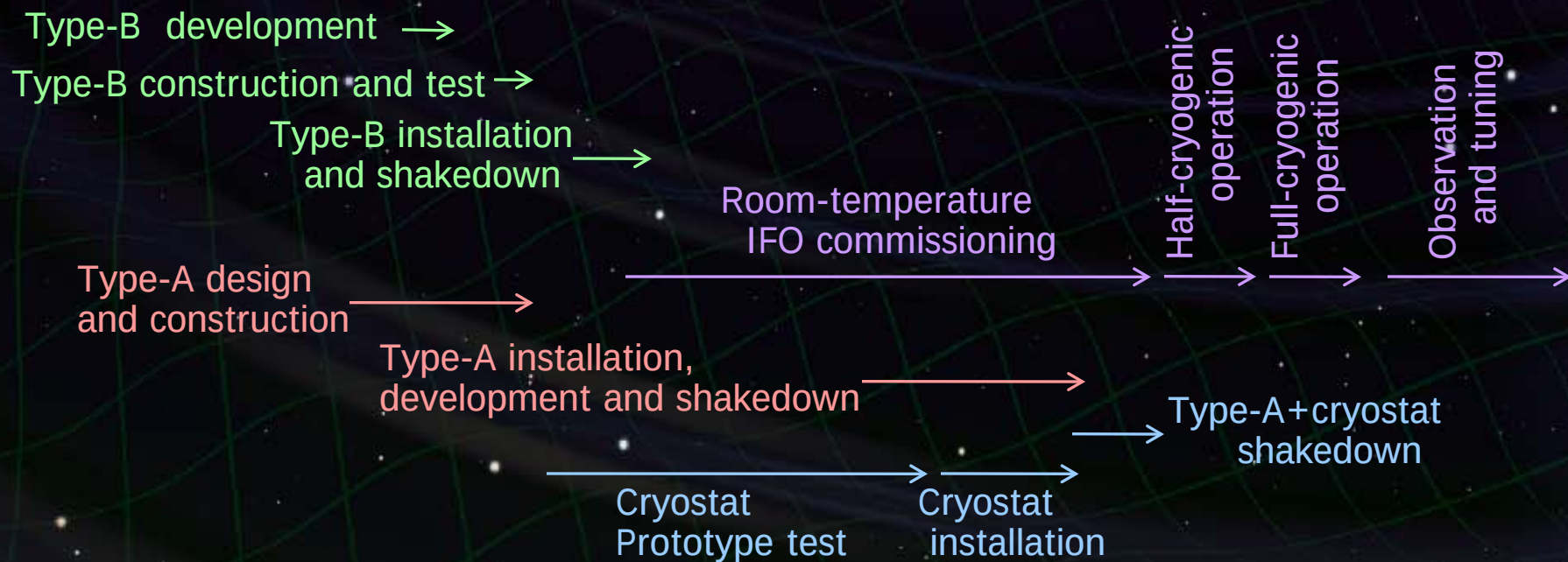
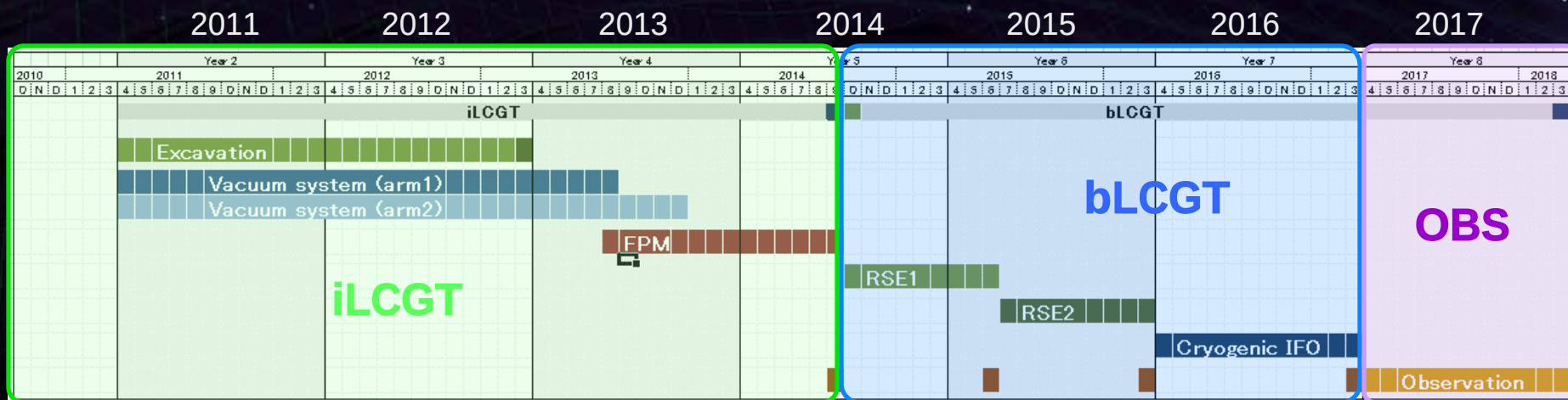
LCGT建設計画の提案

- 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や、bLCGT移行後のRSE導入とそれによる観測運転は、この基線長の少し短い常温干渉計で行う。それと並行して、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、およびペイロードの開発を進める。
- bLCGT低温移行期までに、エンドルームでType-A + クライオスタットのフルモデル試験を完了させる。



参考:これまでの計画

Draft Schedule



意義

(1) iLCGT初期動作開始までの技術リスクの低減、スケジュールの短縮.

トンネル2層構造を前提としたType-A防振系は、ほぼ現地でしかフルモデル試験ができない。iLCGT初期インストール時からType-A防振系を導入する計画では、その動作が確立するまで、干渉計のコミッショニングが開始できない。つまり、現地でしか試験できないType-A防振系がスケジュール上のクリティカルパスになっている。これを回避するためには、現地導入前の十分な事前試験が必要であるが、

- Type-Bなど他の防振系開発などと並行して行わなければならない。
- 30kgマスに対応できる常温ペイロード部の別途開発が必要。

など負担が大きい。そこで、iLCGT初期導入時には、試験マスにType-A防振系ではなく、Type-B防振系を用いる。事前開発では天文台でのType-Bのフルモデル試験に専念するとともに、神岡施設整備が完了する前に必要なType-B防振系実機のアセンブリと試験も進めておく。これにより、防振系に関する技術リスクを避けるとともに、iLCGT干渉計の初期動作開始までの期間を短縮する。

- Type-Bはいずれにせよ、テストマス以外の光学系用に必要であること、
- Type-Bは現地以外でもアセンブリとフルモデル試験が可能であること、
- Type-Bの方がType-Aよりも、現地での設置作業時間も短縮できる可能性があること、
- がポイント。初期観測も当初の予定通り2014年9月に可能か？

(2) Type-A防振系・低温ペイロードの実地開発を可能にする。

トンネル2層構造化されたエンドルームでType-A防振系の現地への実機導入と総合試験を行うことが可能になる。神岡サイトの静寂な環境で試験を行うことで防振系調整のための余分な調整を行う手間を省くことができる。この開発・試験は、干渉計コミッショニングと並行して行われるため、期間を長めにとることが可能になるとともに、問題発生時にも全体スケジュールに対する影響は抑えられる。従って、比較的腰を据えた開発が可能になる。

- ・ペイロード部は、最終的なサファイヤテストマス为前提に開発すればよく、これまでの計画にあったような、10kgのシリカテストマスで動作させるための開発は必要ない。
- ・エンドテストマス 2箇所は、干渉計コミッショニング作業と並行して実機の導入が可能。
インプットテストマス 2箇所も、ペイロード以外は実機設置可能。

(3) 低温系導入を前倒し・実機総合試験ができる可能性がある。

干渉計コミッショニングと並行して、エンドルーム2箇所ではType-A防振系だけでなく、クライオスタット実機の設置・動作試験、それらを組み合わせるとともにサファイヤテストマスを実機にインストールした状態での総合試験を行うこともできる。bLCGTの低温移行時には、初期にはエンドテストマスだけ冷却した「半低温」動作を行う見込みであり*未定、スムーズな移行が期待できる。もしこの総合試験時に低温系に問題があった場合にも干渉計のコミッショニング、もしくは常温観測運転を継続することができ、LCGT全体の活動を止めることはない。

- ・「半低温」移行時の作業は、常温で使用していたエンドテストマス防振系の撤去、ラディエーションシールドと真空ダクトの接続、2つが大きな作業となる。
- ・この「半低温」動作時には、光はテストマス基材をほとんど透過しないため、サファイヤ基材の熱吸収は問題にはならず、多少品質の低い基材、もしくは結晶軸の違う基材でも使用可能である。
- ・また、多少のスケジュールの遅れがあった場合でも、「半低温」での安定動作と期待通りの感度が所期の期間内に達成されれば、対外的な面目を保つことは可能であろう。
- ・現在、別室でクライオスタットの実証機試験を行う計画になっているが、これを後で改良するかもしれないが、エンドテストマス実機として所定の場所で試験することはあり得るか？

懸念・要確認事項

・エンドルームのスペース

Type-B防振系をセンタールームに近い側に設置することが可能か。

Type-A防振系とクライオスタットの開発を並行して行えるだけの空間があるか。

→ トンネル・施設・真空・低温 サブシステム

・干渉計コンフィグレーション

常温時と低温時で干渉計の基線長が数m変化する。問題になるか？

→ 主干渉計・鏡 サブシステム

・クライオスタットの搬入

常温干渉計用の防振系が設置された状態でエンドルームにクライオスタットを搬入・設置することが可能か？

→ トンネル・低温 サブシステム

・追加物品用の経費

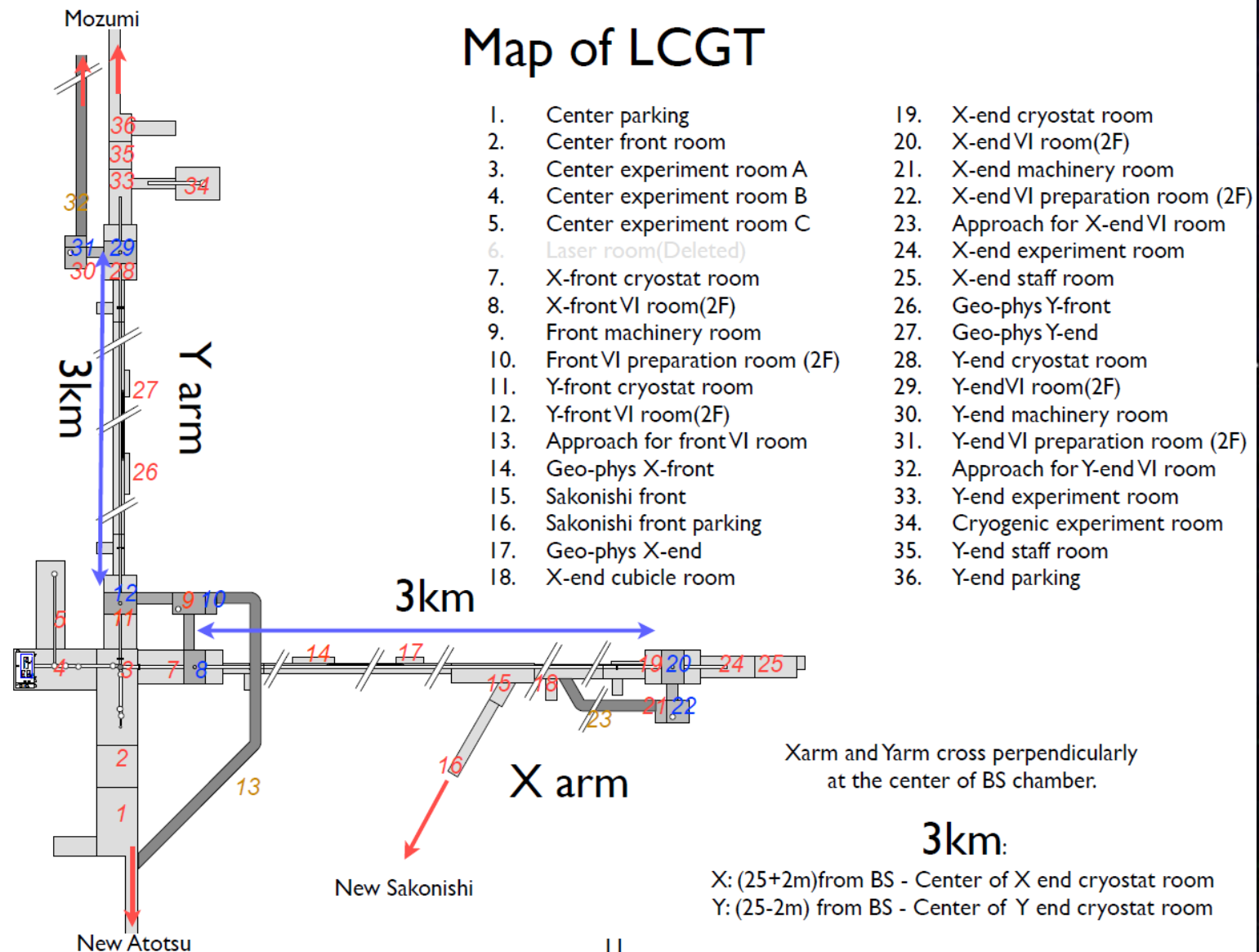
これまで： 常温テストマス用真空槽、常温ペイロード (4組) , (防振系試験施設)

この案： 常温テストマス用Type-B防振系 (4組)

ただし、Type-A 3組は初期には不要。

→ マネジメント

Site Dimension

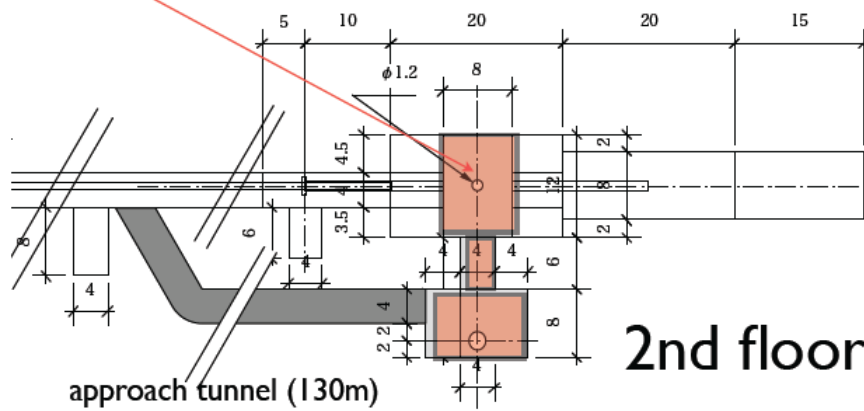
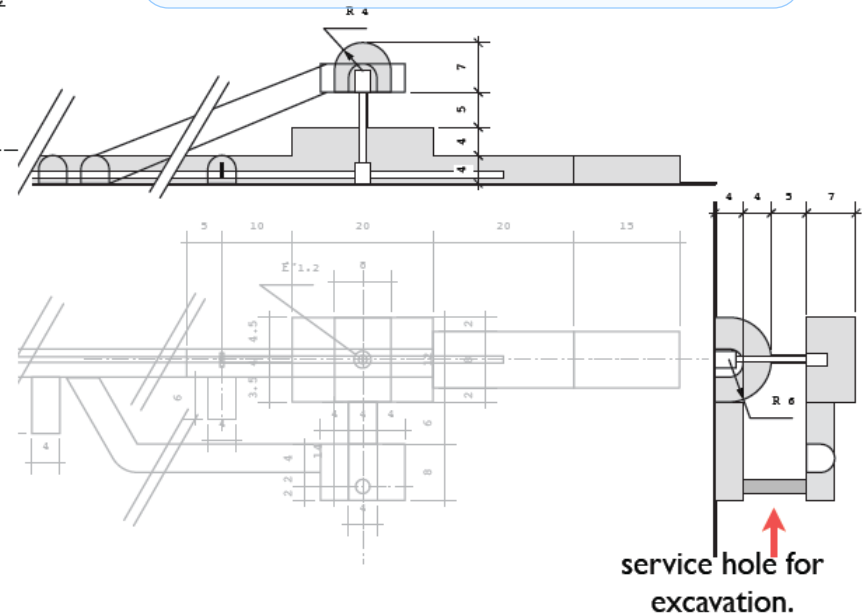
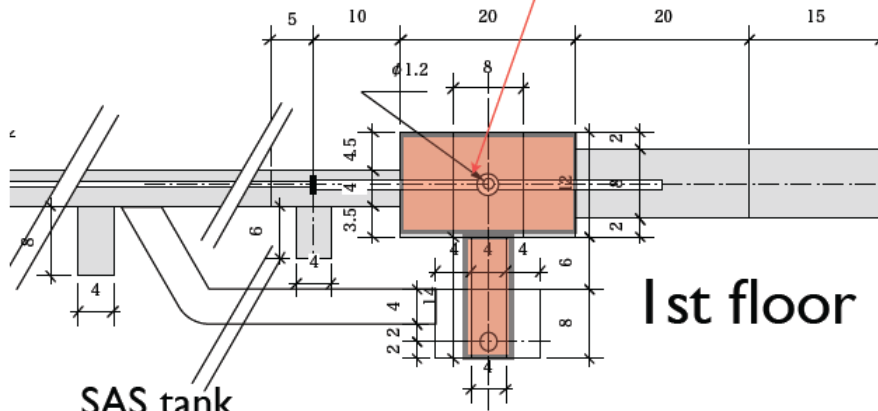


End Room Dimension

X end (2layer)

Test mass tank

End room 1st floor
W12m , L20m, H8m



Compare with 1 layer (20×20×H15m)

Floor area : 400m² → 512m²

Volume : 5140m³ → 2860m³

Approach tunnel(130m) : 1860m³.

Vertical hole: about 2,500,000Yen.

まとめ

- この提案は、特にスケジュール面で Mission Impossible と言われるLCGTの実現を possible にする鍵になり得るように思う。事前開発・現地での作業・現地での開発のロードを時間的に分散されるとともに、現地コミッシングと現地開発を並行して進めることを可能にする。
- 従って、もし必要なら、多少の労力を払う価値は十分にあるように思える。
- 一方、この案の実現のためには、グループ内で調整を行い、十分なコンセンサスを得る必要がある。

➡ 根本的な問題、困難な点、より良い方策はあるか？

論点

- 根本的な問題、困難な点はあるか？

- より良い方策はあるか？

常温干渉計用に Type-BではなくType-C, その他を用いる可能性は？

低温系のより良い開発計画はあるか？

その他、意見・対案は？

- 新学術領域が採択された場合、計画に変更はあるか？

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。

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.

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* bLCGT開始	3km基線長のFPM干渉計動作					
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の実地開発を行いつつ、問題が起きた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。 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？			Type-A防振系・ペイロードの現地試験には制限。
備考						
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はある。					
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)					

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を至急に実施すること。
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.

ロードマップ会議検討方針

- (0) 国の予算承認の都合でトンネル掘削・施設整備スケジュールが遅れる可能性がある。ただし、遅れたとしても、建設のロードマップは遅れに応じて順延とし、大きな流れは変えないようにする。スケジュール短縮できる方策は常に考慮する。
- (1) 2014年9月の「初期観測」を実施する方針は今のところ保つ。ただし、その時点での干渉計コンフィグレーションについては議論の余地を残し、目標を再設定する。その上で、External Reviewでの提言通り bLCGTまで含めたスケジュールを最適化をするように練り直す。2014年9月にiLCGTは完了していなくても良く、iLCGT完了時に再度観測運転を行うことも良しとする。
- (2) トンネル2層化、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。一方で、「開発が完了したもののみをLCGTに入れる」という方針も維持する。
- (3) 最終的な低温干渉計の達成が第一優先。それに向けて最短で進める方策を各種制約の中で検討する。iLCGTの段階では究極の感度を求めることはしない。

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.

Room-temp.
vacuum tank

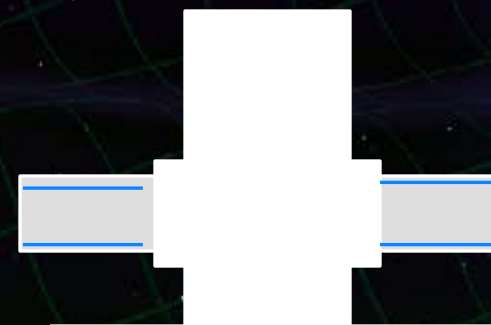
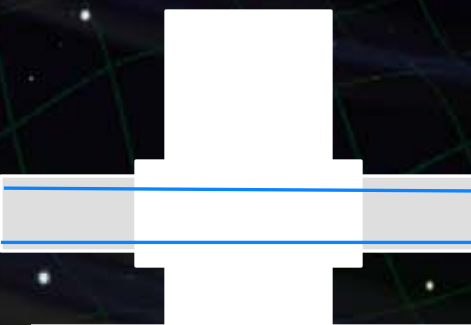
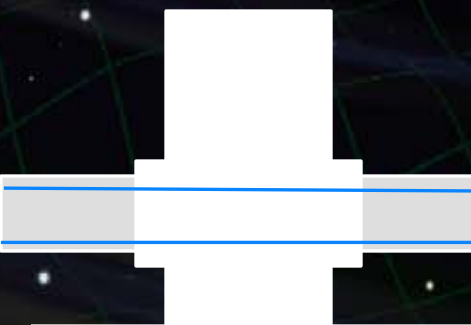
(a) 真空槽撤去
& シールド設置

(b) 真空槽撤去せずに
シールド設置

(c) シールド接続

Rad. shield
+ Insulator

Vacuum Duct



選択肢

・真空槽と設置場所

Front	Default	5m shift	End	Default	5m shift
Cryostat	($\alpha-1$)	($\alpha-2$)	Cryostat	($\alpha-1$)	($\alpha-2$)
Type-B	($\beta-1$)	($\beta-2$)	Type-B	($\beta-1$)	($\beta-2$)
その他	($\gamma-1$)	($\gamma-2$)	その他	($\gamma-1$)	($\gamma-2$)

・防振系

Front	Full	途中クランプ	End	Full	途中クランプ
Type-A	(A-1)	(A-2)	Type-A	(A-1)	(A-2)
Type-B	(B-1)	(B-2)	Type-B	(B-1)	(B-2)
Type-C	(C-1)	(C-2)	Type-C	(C-1)	(C-2)
その他	(D-1)	(D-2)	その他	(D-1)	(D-2)