

**PLUSのための
現状把握
(2010・2月)**

LCGT-SAS (高橋)

防振系作業部会(デザイン)

6回の作業部会と1回のブレインストーミングを開催(6月～11月)

- LCGT-SASのモデリング計算を行い防振系の大きな構成を決定
- SPI導入判断に寄与
- 中段マスのeddy current dampingに替わるローカル制御の必要性の認識

今年度の積み残し項目

- 常温-低温のリンク
- ローカル制御の方法
- センサ、アクチュエータの仕様
- 配線の仕様
- シミュレーション
- 調達計画

TAMA-SASのまとめと問題点についてはwikiに”Evaluation of TAMA-SAS for LCGT”と題する資料がある

<http://gw.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/LCGT/subgroup/vis>

R&D

Majorana氏との共同研究(客員研究員、7/1-8/31)

- VIRGO-likeグローバル制御の検討
- 神岡におけるIPの振る舞いの調査(続行中)
- Geophoneの評価(IP制御用センサに目処)

先端技術センターとの共同開発

- Folded pendulumを用いた水平加速度計の開発
- Mini-GASを用いた垂直加速度計の開発

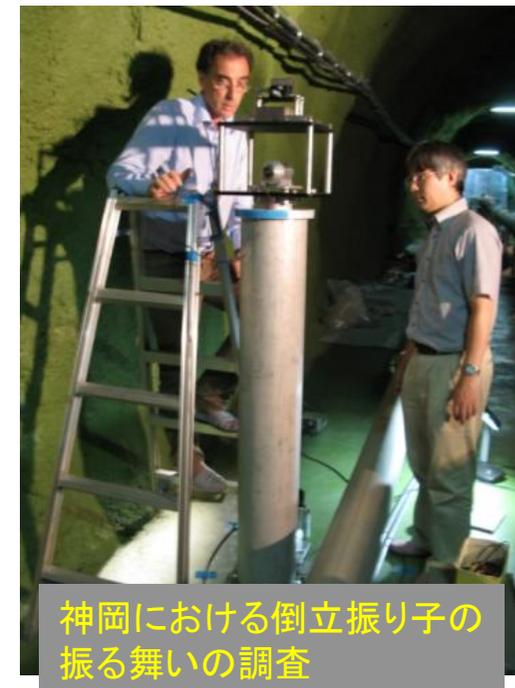
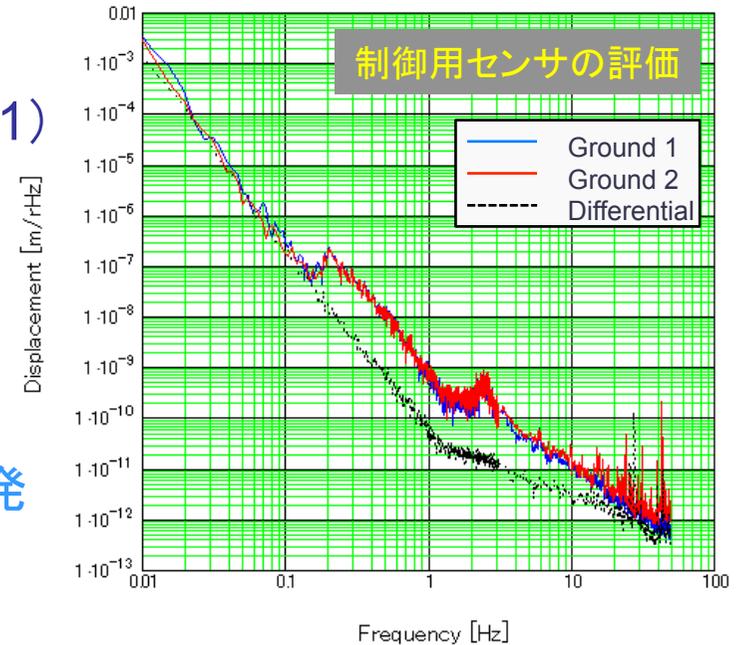
2010年度の計画

デザイン

- 積み残し項目の検討
- 最終的に制御も含めたシミュレーションを行う

R&D

- Geophoneを用いたIPの制御(3mプロトタイプを使用)
- Payloadの設計・試作とテスト(人員、体制未定)
- SAS実機相当の製作(大きな予算が付いた場合)



RSE ~ 検討部会の結論/課題

(宮川・宗宮・麻生・安東・川村、その他)

• 干渉計帯域幅会議

- 最終形態は帯域可変型RSEに決定
- 帯域が広めなDRSEで観測開始、中性子連星の感度でAdLIGOに匹敵
- その後の判断でさらに帯域の広いBRSEに移行し、幅広い重力波源を狙う
- 移行期間は2ヶ月以内、制御系の変更のみで対応する

• 制御部会

- 9MHzと45MHzの二重変調方式
- 帯域可変と制御雑音増加のトレードオフをシミュレーションで検討
- 変調周波数には最適化の余地があるが、この方式で制御雑音が感度を制限しないことを確認済み
- 位相変調、強度変調、シングルサイドバンドを比較検討中

- 角度制御はほぼ何も決まっていない
- AdLIGOのようにリサイクリングキャビティ内にテレスコープを導入するかどうかも未定
- 第三の非共振サイドバンドの必要性も指摘されている

“RSE”の中に含まれる課題

• RSEの課題

- 角度制御 ~制御雑音の定量的計算
- 角度制御 ~R&D実験での制御のデモンストレーション

• ハイパワー干渉計の課題

- 輻射圧による角度不安定性、鏡の共振モードによる不安定性
- グリーンレーザーなどによる補助ロックシステムの開発

• デジタル制御の課題

- 多自由度間スイッチング、線形化などの処理、ノイズハンティング、自動化

• 量子雑音の課題

- オプティカルスプリングによる真空場のスクイーズは未検出
- 量子的輻射圧雑音そのものが未検出
- DC readoutによる輻射圧雑音の相殺も未検出

R&Dリスト

- 長さ制御デモ実験は日本の4mと米国の40mで完了
 - 長さ制御の制御雑音シミュレーションは完成
 - 角度制御デモ実験→40mはやらない/TAMA?/4年後にはAdLIGOが導入済
 - 角度制御の制御雑音シミュレーション→日本では未完成、米国ではほぼ完成

 - デチューニングによる信号増幅は米国の40mなどで確認済み
 - デチューニングによるスキューズは未確認/MIT実験で確認される可能性あり

 - デジタルはCLIOで開発予定

 - 輻射圧雑音検出、
 - DC readoutによる輻射圧雑音の相殺、
 - 標準量子限界を超える感度の実現、
- これらはほぼ同意である。世界各地で小型マスを用いて実験が行われているが、LCGT本体で初検出される可能性もある

海外で日本人が行なったもの(行なうもの)、海外で海外の人が行なうもの、LCGT本体でないと実現が厳しいもの、も含まざるをえないだろう

TAMA RSE (辰巳)

目標:

RSE configuration における alignment sensing/control
の原理実証実験

現状:

- High Gain Recycling Mirror での PR-FPMI 干涉計のロックに成功。
TAMA RSE では $G_{\text{power-recycling}} = 9$, $G_{\text{SB}} = 4$ が設計値。
- 2009年度は CLIO 開発を最優先とし、主に RF 系再構築のための準備を行った。
- 位相変調器2台を並列に挿入する Mach-Zehnder 干涉計の導入準備終了。

実験予定:

- RSE に向けた変調システムの変更 (2010年3月末)
- RSE 用 RF PD/Demodulator installation (2010年9月末)
- RSE mirror installation (2011年1月初め)
- RSE length sensing/alignment sensing のテスト (2011年度)

議論:

- LCGT で採用される帯域可変型 RSE と TAMA の相違点
(length sensing も含む)
- 輻射圧が支配的な状況での alignment control

要望:

- LCGT 建設時の戦力確保のためにも人材を供給して欲しい。

SPI (麻生)

Recommendation

- LCGTにはSPIを導入しない
- SPIで得られると考えられていた利点を得るための代替技術のR&Dを推進する (低温能動防振、多段コントロール、オフセットロック、グリーンロック)
- 将来の拡張性を担保するために、真空チューブの直径は1mを維持する

観測帯域の雑音に関して

- シミュレーションの結果、LCGTにおけるヒートリンクからの振動混入は縦方向の振動成分が支配的である。これはSPIでは抑えられないので、導入のメリットが無い。
- 質点近似のシミュレーションによると、現在のデザインではヒートリンクからの雑音はLCGTの感度を制限しない。(ただし、これには注意が必要(後述))

RMS振動に関して

- RMSは(1)運転中の安定度、と(2)ロックの容易さ、という二つの問題に関係する
- (1)については、振り子の上段を用いた多段コントロールを行うことで、SPIと同様の効果を得ることができる。
- (2)については、オフセットロックやグリーンレーザーによる補助ロックを使えばSPIは不要になる。
- RSEのロックにはオフセットロック等の技術がいずれにしる必要となる

今後必要なR&D

ヒートリンク防振

- 麻生が行っている有限要素法によるヒートリンクの防振性能評価では、質点近似よりもかなり悪い結果が出ている(まだPreliminaryな結果だが)
- SPIを入れてもヒートリンク防振はできない(縦方向が支配的だから)
- 低温能動防振のR&Dを行う必要がある

多段アクチュエーション

- SASの上段にもアクチュエータを組み込む必要がある。
- 多段のアクチュエータを一体のアクチュエータとして見せるようなデジタル制御技術を開発する必要がある

ロック

- オフセットロックはTAMAで試験済み?
- グリーンレーザー補助ロックはCaltech40mで日本人がやっているからいい?
- 日本でも実験をするべきか?

Cryostat and Refrigerator (鈴木)

- 主鏡懸架

- サファイア製懸架：ダミー鏡でもまだ吊った例はない

- 強度
- 伝熱
- 損失

- Cryo-300K連結

- 温度分布のある材料、特性の温度変化
- 中間質量へのヒートリンク

- 300K超高真空対応クライオスタット

- シールド表面放射率： $\varepsilon < 0.02$? 安定か? —> ICRR共同利用研究へ申請

- シールド温度分布：温度均一化、軽量化

- シールド冷凍機のリンク、防振：ヒートリンクと支持

- シールド振動：剛性、支持、層数の実用限界

まだアイデア段階。検討は早急に進めるが、プロトタイプ製作は必須。
そこに至るための工学的設計はできていない。

- 冷凍機

- 冷凍能力: 既存のパルス管では1.5W at 4Kが最大(Cryomech PT415) → 12台
- 法律、保守: 外国製品の場合問題になる場合あり。: 科学の問題ではないが、装置を作る上で厄介なことになる可能性。
 - 国産では1W at 4Kが最大だが、CLIO方式の防振が使えない。
- 防振: CLIO冷凍機と同じ方式で十分か？
 - VRS剛性、100Hz以上の音響、
 - 接触熱抵抗
- 排熱: 11kW圧縮機12台(上記1.5W機として)
 - トンネル環境の優位性を損なう事はないか？

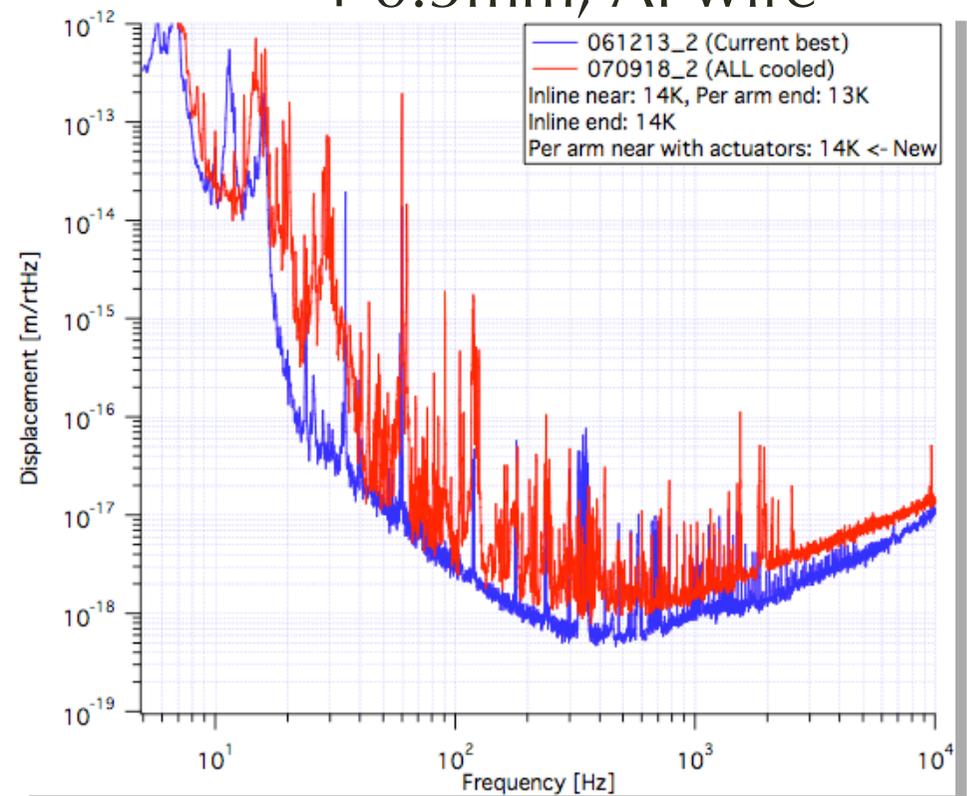
- 鏡汚染
 - 発生源、汚染物質の同定、抑制対策
 - 効率的回復法
- ダクトシールド
 - 最適化：長さ、口径、内面、バッフル表面と配置
 - 対残留ガス対策としてのクライオポンプ化？
- 熱スイッチ
 - 使い物になる例はあるか？
 - ガス伝導の積極利用は可能か？
 - 凝縮温度の違いによる段階的ON/OFF
 - OFF時に十分な断熱が可能か？

CLIO低温化 (内山・三代木)

2007年の冷却

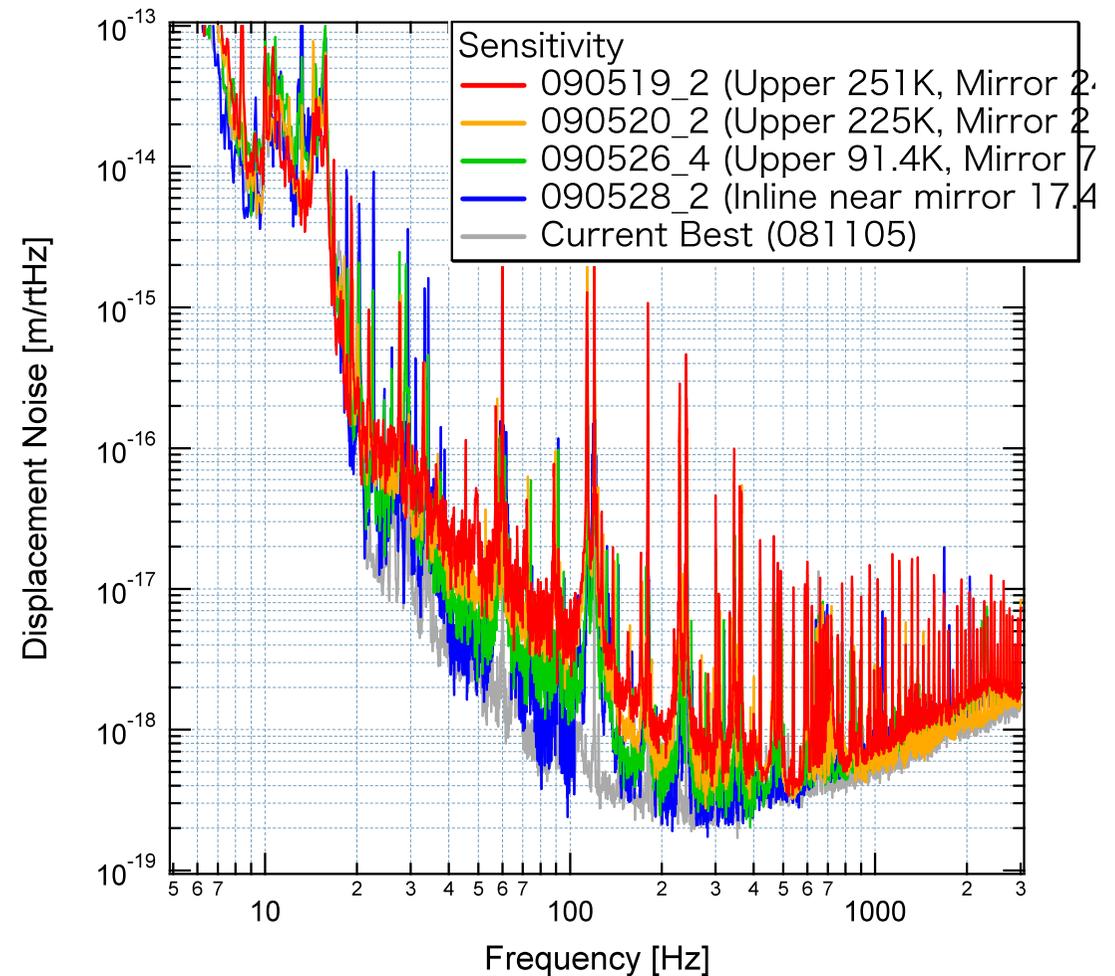
- 全ての鏡の「冷却」と「感度測定」は出来たが、低温特有の課題も多く判明した。
- 非常に多いラインノイズ。
- ビームセンタリング
 - 冷却によるミラー位置変化(約2mm)。
 - ミラー位置をいかに把握するか。
- ダンピング
 - 鏡が揺れてロック出来ず実験できなくなる。

All suspension
 $\Phi 0.5\text{mm}$, Al wire



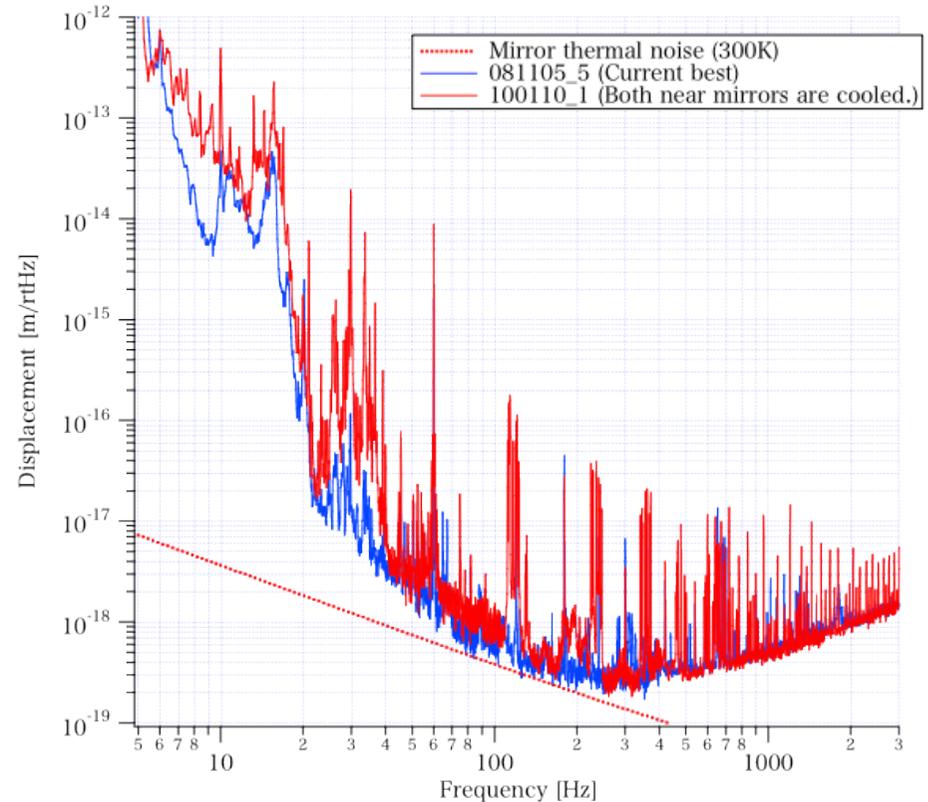
2009年の冷却(1)

- アルミワイヤーでの懸架(鏡1個)
 - アルミワイヤーの振り子関係の熱雑音が顕著に見えた。
 - 低温化と共に、その雑音が低減していくのが見え、15Kまで冷えた段階で、ほぼ常温ベストに一致した。



2009年の冷却(2)

- ラインノイズ
 - 干渉計全体に渡る散乱光対策。
 - 最低数のヒートリンク、温度計。
 - アクチュエーターコイルの線材の変更。
 - **ラインノイズの低減に成功。**
- ビームセンタリング
 - ミラーに取り付けたコイルアクチュエーターの利用。
 - **ミラー中心とビームの相対位置が評価可能になった。**
- ダンピング
 - アクティブ制御方式のLSPIの開発。(効果確認)
 - マグネットダンピング用磁石力の最適化。
 - **ロック引き込みが改善。**
- 感度
 - **後、面の皮1枚まで来ている。**
 - **雑音源探索中。**



サファイア基材 (三尾)

- 鏡の吸収計測実験装置稼働中(三尾研)
 - ・ 日本製(信光社)とCS社で比較
- 2010年度宇宙線共同利用研究でさらに推進(予算を付ける)
- サファイア結晶メーカー探索中

グラウンド・電源・環境(三代木)

- グラウンド
 - 導電性コンクリートの導入。
 - CLIOと違い、各ステーションが外から近いので、各場所で、しっかりグラウンドをとる。他の実験グループ施設との共有はしない。
- 電源
 - 各ステーションで、ノイズカットAVR導入(外かアクセス坑道途中に設置)
 - AC->DC電源の冷却ファン音が大きいので、防音との兼ね合いで対策必要。(ファンレス化?)
 - DCコンセントみたいなものも考えられるが、グラウンドループが問題。
- クリーン・環境(予算との兼ね合いもあるが・・・)
 - 清浄乾燥空気の外部での生成と送風。低周波音に注意。常に、ステーション=>坑道の風の流れになるように与圧。
 - 局所クリーン環境(レーザー、検出器(恒久的)、鏡周り(一時的))の徹底・ルール化。
 - 防音設備(レーザー・検出器周り)
 - 3km坑道は、真空のベーキングの時に、一緒にコンクリートも熱せられないか?
 - 3km坑道排水溝の音対策。