

気球搭載型 GAPS 測定器の方向制御システムの開発

坂東信尚、福家英之、莊司泰弘 (ISAS/JAXA)

GAPS WG では下記の宇宙線反粒子探索計画を進めている。

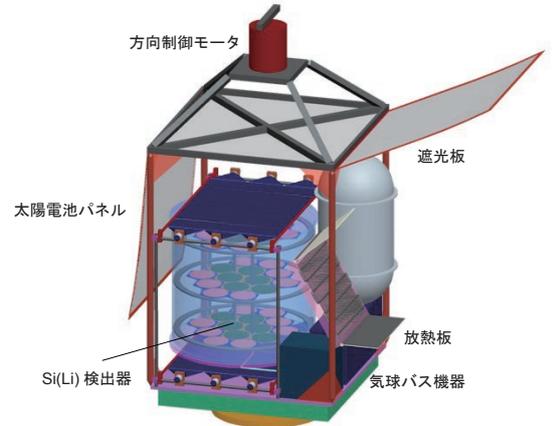
GAPS:
General Anti-Particle Spectrometer

目的:

宇宙線の反粒子の観測による、初期宇宙に関する未知の現象の探索を目的とする。特に、未発見の反重陽子 (antideuteron) を sub-GeV エネルギー領域に探索することで、ダークマター等の反粒子起源を探索する。併せて反陽子なども超高感度で観測し、原始ブラックホール等の反粒子起源も探る。

計画スケジュール (予定):

- 2011 年に技術実証を目的とする気球実験
@大樹町 (JAXA の大気球を使用)。
- 2014 ~ 2019 年に計 3 回 (のべ 300 日間) の超長時間気球による観測
@南極マクマード基地 (NASA の大気球を使用)。



GAPS プロトタイプ測定器概念図

~ GAPS 方向制御に要求される事項 ~

- ・ 2t ほどのゴンドラ重量 (とそれにとまう慣性モーメント) を制御できる制御系構成であること
- ・ ゴンドラのアジマス方向 (吊り紐軸周りの 1 軸) に数度オーダの制御精度を持つこと (主に観測器への熱入力と太陽電池パネルへの太陽入射に依る)
- ・ シンプルな制御系構成であること
- ・ 南極での超長時間 (about 100days) の観測に耐えられる機器構成と姿勢決定系をもつこと



以上の要求事項から、右で示されるゴンドラ方向制御構成から、左図で示される方向制御モータのみでゴンドラを制御する手法を採用予定。大樹町での実験についても南極での運用を想定し、主に GPS コンパスにより姿勢決定を行う (極域では地磁場が安定しないこと、白夜により STT が使用しづらいこと、アルベドの影響で太陽センサも使用しづらいことによる)。

~ 方向制御モータのみでのゴンドラ制御 ~

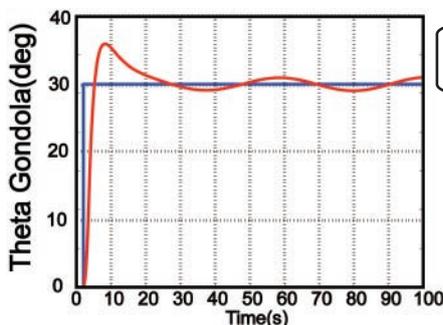
方向制御モータによってゴンドラを回転させるには以下の方法がある。

- ① 吊り紐にねじれトルクを発生させてゴンドラを回転させる (粗動)。
(方向制御モータにフィードフォワード的にインパルス指令を与える)
- ② 方向制御モータによりゴンドラを回転させる (微動)。
(絶対姿勢方向を使ってフィードバック制御を行う)

ゴンドラ方向制御を行う際に、①によりゴンドラ方向を粗く制御した後に、②によりゴンドラ方向を精度良く制御する方法を行う。また、②の制御中にねじれトルクが蓄積した場合には、再度①に戻り、インパルス指令を与えることで吊り紐のねじれトルクを解消する。以上の動作をオンボードで自動的に移行する、もしくは地上からのコマンドにより移行するようなシステムを構築予定。

~ ②による微動フィードバックの制御シミュレーション ~

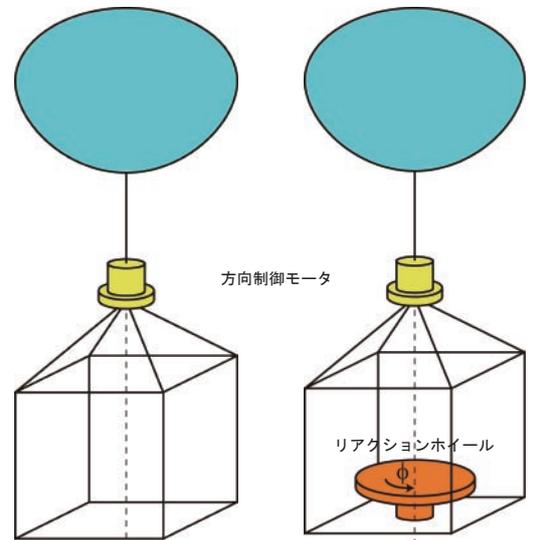
右図で示されるブロック線図によるゴンドラアジマス方向の制御シミュレーション結果を示す。



②の制御方式によりフィードバック制御した場合のゴンドラ方向の時系列

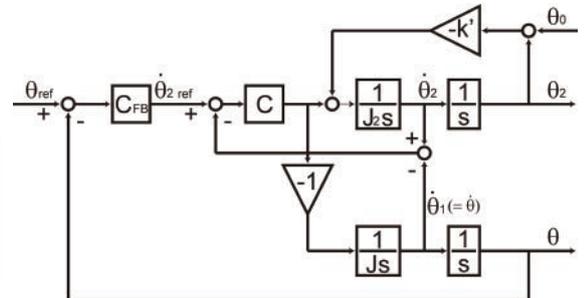
青線: ゴンドラ方向指令値 θ_{ref}
赤線: ゴンドラ方向 θ

θ_{ref} : ゴンドラ方向指令値
 θ : ゴンドラ方向
 $\dot{\theta}_2$: 方向制御モータ角速度指令値
 $\dot{\theta}_2$: 方向制御モータ角速度
 θ_2 : 方向制御モータ角度
 θ_0 : 気球尾部角度



通常考えられる気球ゴンドラ方向制御の制御系構成

左図) ゴンドラと気球吊り紐間の方向制御モータにより、ゴンドラ方向を制御する方式。シンプルな構成であるが、気球挙動に依る吊り紐ねじれトルクや外乱を一つのモータで制御しなくてはならない。
右図) 左図の構成に加え、リアクションホイールを搭載した方式。ゴンドラ指向制御精度は向上するが、ゴンドラ内における姿勢制御系の占める割合が増加し、制御系構成が増えてしまう。リアクションホイールの飽和を注意する必要がある。



②の制御方式によりフィードバック制御を行う場合のブロック線図

~ 課題とこれからの予定 ~

- ・ 実際に既存のゴンドラを用いた方向制御モータの制御試験 (モータの仕様決定)
- ・ 上述した粗動、微動制御を利用したゴンドラ方向制御システムの開発と試験 (制御機能確認)
- ・ 実験と同様の OBC を用いたシステム開発 (ソフトウェア開発)

参考文献

- ・ “宇宙線反粒子探索計画 GAPS のプロトタイプ気球実験計画”: 福家 英之他, 平成 22 年大気球シンポジウム (2010).
- ・ “より戻しモータを用いた気球ゴンドラ方向制御の一検討”: 坂東 信尚他, 平成 22 年大気球シンポジウム (2010).
- ・ “宇宙線反粒子探索計画 GAPS の現状と計画”: 福家 英之他, 第 10 回宇宙科学シンポジウム (2010).