

次期磁気圏観測衛星検討WG SCOPE計画

-SCOPE衛星搭載に向けたフラックスゲート磁力計の開発-

Oguchi, K^{1,2}, Matsuoka, A², Fujimoto, A² [1] Grad.Univ.Advanced Studies, [2] ISAS/JAXA

1. SCOPE計画 Scale COupling in the Plasma universE

フラックスゲート磁力計の役割
 ▶ 磁気圏の構造を解明する。
 ▶ 電子の時間スケール (10 msec) で磁場を測定し、粒子の加速、加熱過程やリコネクションの発生、発達する過程を解明する。

Table 1. Requirement

Required performance characteristics	
Dynamic range	≒0.096 nT
Resolution	8 pT@20 bits
Noise	10 pT/√Hz @1Hz
Loop response	0~128 Hz
Linearity	0.005% (=0.4 nT)
Mass	350 g
Power	1 W

探査領域: ショック
リコネクション
境界層
観測手法: マルチスケール
同時多点観測

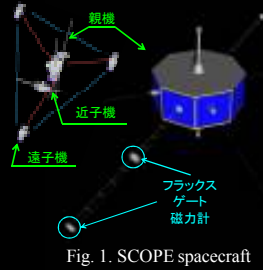


Fig. 1. SCOPE spacecraft

2. デジタル方式フラックスゲート磁力計

2.1 ネガティブフィードバック系

- フィードバックシステムにより線形性が向上する。
- フィードバック磁場の誤差が磁力計の誤差に直結する。
- 従来方式ではシステム全体がアナログ回路で構成されている。

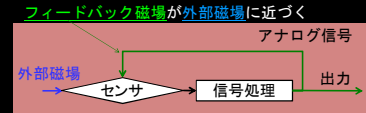


Fig. 2. Block diagram of the fluxgate

2.2 デジタル化の特徴

長所	課題
小型、軽量、省電力	既存の部品では、要求される磁場分解能を達成出来ない。
高磁場分解能、高い線形性	既存の宇宙用DAC (12ビット)
新規DAC素子の開発が不要	<SCOPE衛星の観測要求 (20ビット)>

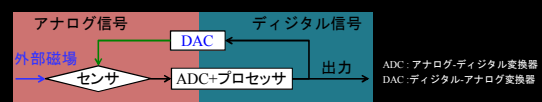


Fig. 3. Block diagram of the digital fluxgate

研究内容: 20ビットの高精度DACを開発し、磁場分解能を向上させる。

3. デルタシグマ デジタル-アナログ変換器

ΔΣ変調技術は高精度、高分解能DACに用いられる技術である。変調器はデジタル入力値 (Fig. 4のx) をパルス密度変調信号 (Fig. 4のy) に変換する。変調信号はアナログローパスフィルタを通してアナログ値に変換される。

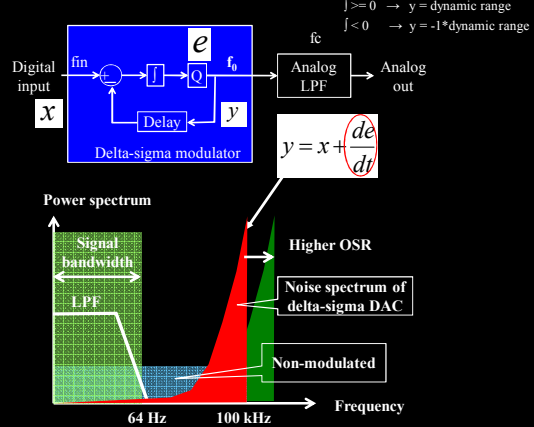


Fig. 4. Delta-sigma modulation techniques

- Parameters of delta-sigma modulator
- Number of Integrator
 - Over Sampling Ratio(OSR) $\dots f_s/(2 \cdot f_c)$
 - Order of Analog LPF
- Advantage
- Low noise DAC at low frequency
 - Simple system
- DAC parameter based on simulation
- Order : 2nd order ΔΣDAC
 - OSR (Over Sampling ratio) $f_s/(2 \cdot f_c) : 676$
 - 4th order 1w pass filter (Cutoff frequency : 64 Hz)

4. デジタル磁力計開発の流れ

STEP1 ΔΣDAC (試作モデル) の開発と性能評価
 STEP2 ΔΣDACを組み込んだフラックスゲート磁力計の開発 (フライトモデル)

	観測ロケット	SCOPE
打ち上げ年	2011年	2020年
磁場分解能	16ビット 2 nT@±65000 nT	20ビット 8 pT@±4000 nT
非線形性	0.005% (=6.6 nT)	0.005% (=0.4 nT)

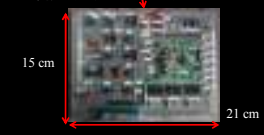


Fig. 4. Delta-sigma DAC test model

5. S310-40号機搭載用デジタル方式フラックスゲート磁力計

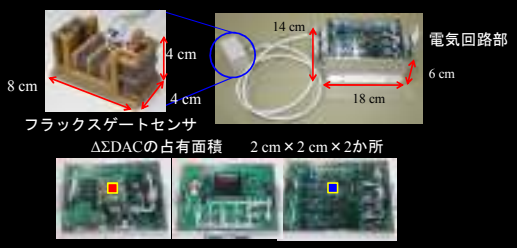


Fig. 5. Developed digital fluxgate onboard S310-40

6. ΔΣDAC (試作モデル) の性能評価

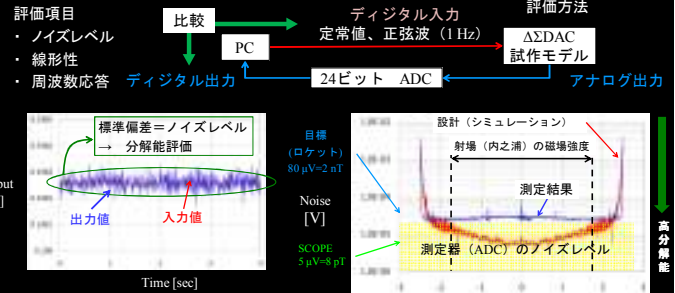


Fig. 6. Measurement data

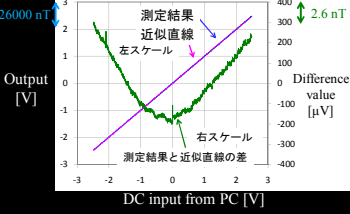


Fig. 7. Input vs. Output and Difference value

AC特性 (1 Hz 正弦波入力、振幅を変化)

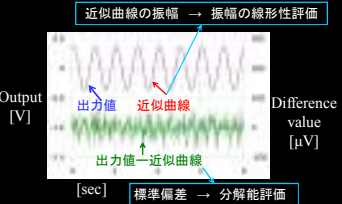


Fig. 9. Measurement data

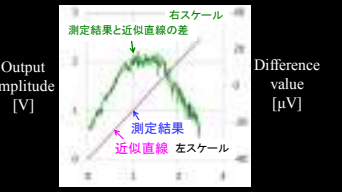


Fig. 10. Input vs. Output and Difference value

振幅の非線形性 0.0016% (観測ロケット: 1 nT, SCOPE: 0.07 nT)
 → 線形性の要求値 0.005% を満足している

周波数応答

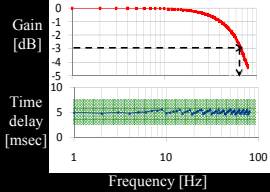


Fig. 12. Frequency Response

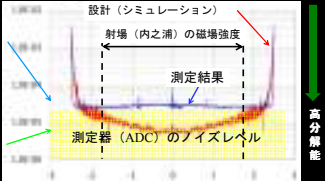


Fig. 8. Noise level of DAC

DC input from PC [V]
 時系列データ (Fig. 6)
 入力値を2 nT (=80 μV) 毎に変え、
 入出力特性を取得 → 非線形評価
 非線形性 (Fig. 7)
 目標値: 0.005%
 測定値: 0.006% (目標とほぼ同等)
 分解能 (Fig. 8)
 目標値: 80 μV ≈ 2 nT
 測定値: 約40 μV ≈ 1 nT = 17ビット

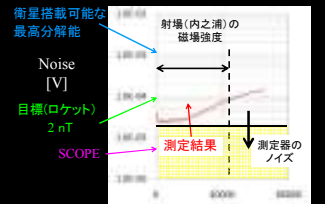


Fig. 11. Noise level of DAC

時系列データ (Fig. 9)
 入力振幅を128 nTステップで変化させる。
 取得したデータにフィッティングをかけ、
 振幅とノイズレベルを計算する
 非線形性 (Fig. 10)
 目標値: 16 bit = 80 μV ≈ 2 nT
 測定値: 射場における磁場強度以下では、
 ノイズレベルを目標値以下に抑えることができた。

時間遅れ
 設計値 5.0 msec (アナログフィルタによる時間遅れ)
 時間遅れの変動
 要求値 ±2.5 msec以内
 位相応答から計算した時間遅れ 4.6~5.4 msec

5. 今後の検討内容と予定

これまでに得られた成果
 ΔΣDACの性能評価を行った。
 分解能: 2 nT (16ビット)
 非線形性: 0.006%以下 (測定系込み)
 周波数応答: カットオフ67 Hz@-3 dB
 時間遅れ 5 msec
 → 目標性能を達成
 S310-40号機磁力計を製作した。

今後の予定
 2010年 1月 性能評価実験
 (感度、オフセット、線形性、ノイズレベル、周波数応答測定)
 2011年 3月以降 組みあわせ試験
 2011年 12月ごろ 打ち上げ