

技術紹介

15

デジタル・ディレクショナル・モジュールの開発

Development of Digital Directional Module

佐藤 秀俊	Hidetoshi Sato	航機事業部 第一設計部	エキスパート
佐藤 靖裕	Yasuhiro Sato	航機事業部 第一設計部	主任
石井 俊介	Shunsuke Ishii	航機事業部 第一設計部	

キーワード： 加速度計、油田開発、磁気測定、地磁気**Keywords :** Accelerometer, Oil development, Magnetic measurement, Earth magnetism

要 旨

今回、3 軸加速度、及び 3 軸磁気を検出しデジタル出力を行うデジタル・ディレクショナル・モジュール (DDM) を試作いたしました。本モジュールは、従来の油田掘削用センサパッケージに、A/D 変換器、CPU 等を付加し、デジタル信号出力機能を付加するとともに内部でのセンサ出力の温度補正等を実現しています。

SUMMARY

We have produced a trial model of digital directional module (DDM) which detects 3 axis acceleration and 3 axis magnetism and outputs digital signal. The module has A/D converter, CPU, etc., which are added to the existing sensor package for oil drilling. By this addition, digital signal output function is provided. Further, the module is designed to perform temperature correction for sensor outputs internally.

1 まえがき

当社ではこれまで油田掘削市場に対して、耐高温および耐高振動・衝撃要求を満足した掘削装置のセンサパッケージを販売してきました。その製品には、掘削ドリルの傾斜を計測するための加速度センサを3軸有する「インクリノメータ・パッケージ¹⁾」、掘削ドリルの磁方位を計測するための地磁気センサを3軸有する「マグネットメータ・パッケージ²⁾」、インクリノメータ・パッケージとマグネットメータ・パッケージ双方の計測機能を持ち合わせた「ディレクショナル・モジュール (DM)」があります。

これらのセンサ信号の出力形態はアナログ信号であり、磁方位角 (Azimuth)、傾斜角 (Inclination) および回転角 (Tool Face) 等の計算はお客様の装置で行われます。そのためパッケージ毎に取得する加速度センサと地磁気センサの補正情報をお客様の装置にパッケージ毎に設定していただく必要があります。そこで、我々はデジタル信号処理部を内蔵しセンサ補正済みのデータをデジタル出力するセンサパッケージとして DDM の開発を進めています。

2 DDM

DDM は図 1 に示すように、地磁気検出用の3軸磁気センサ、傾斜角検出用の3軸加速度センサ、及び、センサ出力補正用に用いる温度センサからなるセンサ部とデジタル信号処理部から成ります。デジタル信号処理部では、センサ部から入力されるアナログ信号を A/D 変換し、汎用 CPU により補正計算を行いシリアル信号として外部出力します。したがって、例えば、DDM 内部でセンサ出力の温度補正計算を実施するなど、お客様からの要求に対して柔軟に対応することが可能です。

図 1 に DDM の基本構成を示します。

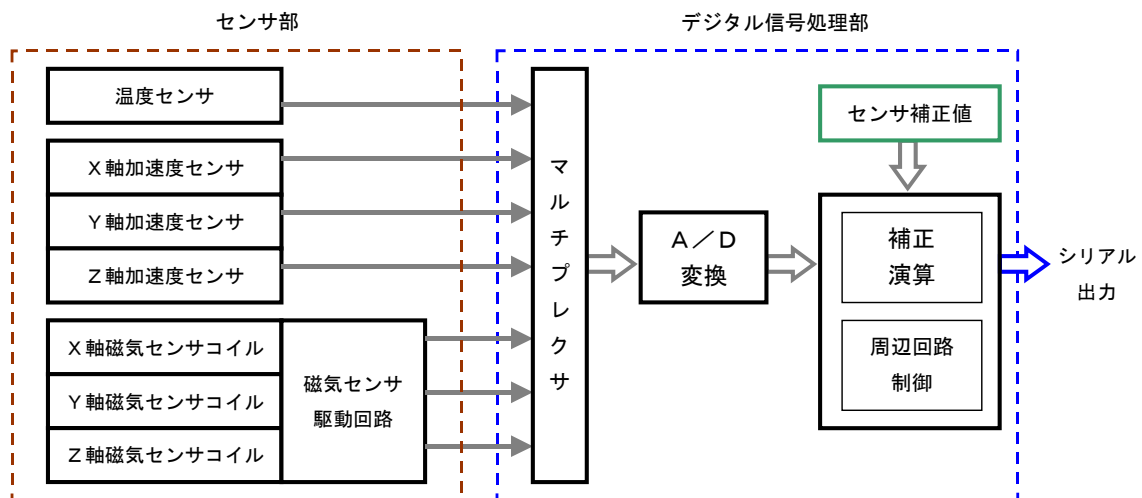


図 1 DDM 構成

3 開発のポイント

本品は加速度センサ、及び地磁気センサ出力をデジタル信号化するため、高温環境において安定に動作するデジタル信号処理回路の開発が重要となります。また、地磁気センサは周囲の磁性体、電流等に影響を受けてしまうため、その影響を極力小さくすることが重要となります。

(1) デジタル信号処理回路

DDM には従来のセンサのアナログ処理回路に加えて、高温で安定動作するデジタル信号処理回路が必要です。そのため、新たに必要となる CPU 等のデジタル IC について温度特性等を考慮した部品選定を行うことが必要です。また、従来から高温で使用していた部品についてもデジタル化を考慮して再選定を行いました。例えば、従来から使用していたオペアンプにつきましても、デジタル化により今まで以上に高速応答性が必要となったため、再選定を行いました。

なお、センサデータの補正および傾斜角等の演算データ算出はデジタル信号処理回路で行っています。

(2) センサ処理回路

従来、磁気センサを動作させるための励磁信号および検出信号は、磁気センサ回路内で構成された発振回路で作成していましたが、DDM ではそれらの回路をデジタル信号処理回路に搭載された部品と共有化して構成することで可能な限り部品点数を減らし、コスト低減および信頼性向上を図っています。

(3) 形状・配置への配慮

磁気センサ回路基板および信号処理回路基板には地磁気センサに影響を与えてしまう部品もあるため、本 DDM ではこの影響を最小限にするよう検出コイルとこれらの部品の位置関係も十分配慮した配置としています。

4 試作品の評価結果

4.1 試作品の仕様

表 1 に試作品の仕様、および外観を写真 1 に示します。

表 1 試作品の仕様

項 目		仕 様
センサ部	加速度センサ	JA-25H200A
	磁気センサ	MAGNETOMETER PACKAGE (KT000513) 相当
インターフェース		シリアル (RS232C)
データ更新レート		100Hz (センサデータ)
動作温度範囲		- 40 ~ + 200℃
電 源		+ 12V、- 12V、+ 5V
寸 法		L : 347.0mm、Φ : 30.0mm
出力信号		センサデータ ・加速度データ (非補正) ・地磁気データ (非補正) ・加速度データ (補正後) ・地磁気データ (補正後) ・温度データ その他 (参考データとして下記演算データを出力) ・Total Gravitational Field ・Total Magnetic Field ・Magnetic Dip Angle ・Inclination Angle ・Azimuth Angle ・Gravitational Toolface Angle ・Magnetic Toolface Angle

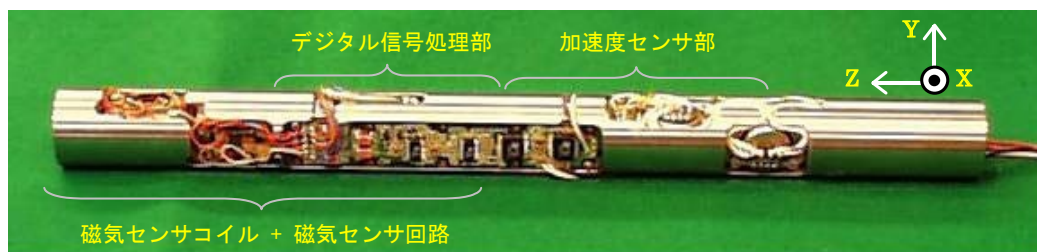


写真 1 DDM 外観

4.2 デジタル信号処理回路部の性能

+25℃から+200℃の温度範囲において、入力として基準電圧を印加してデジタル変換された出力を測定することでデジタル信号処理回路の性能評価を行いました。その結果を表2に示します。感度およびバイアスの+25℃から+200℃における変動量はともにデジタル信号処理回路としての目標値以下であり、デジタル信号処理回路の特性がセンサ性能へ及ぼす影響は十分に小さいことが確認できます。

表2 デジタル信号処理回路の性能

項 目	目標値	評価結果
感度の変動量	0.4% 以下	0.25%
バイアスの変動量	2.0mV 以下	0.8mV

(測定温度：+25～+200℃)

4.3 DDM の性能

表3および図2～5にDDMの性能評価結果を示します。図2～5は+25℃から+200℃における非補正のX軸加速度データおよびX軸地磁気データの温度特性を表として示しています。非補正のデジタルデータと従来の方式で取得したアナログデータに加え、補正後のデータを破線で示します。加速度センサ、地磁気センサともに感度、バイアスのデジタルデータとアナログデータでほぼ同様の傾向を示しており、いずれも従来のアナログデータのディレクショナル・モジュールに対する目標値を満足しています。Y軸、Z軸についても同様に良好な結果であることが確認されており、本DDMはアナログデータのディレクショナル・モジュールと同等の性能をデジタル出力形式で達成することが出来ていると言えます。また、補正後の値はいずれも温度による変動が抑えられており、補正の効果を確認することができます。

表3 DDM の性能

項 目		目標性能	評価結果			備考
			X 軸	Y 軸	Z 軸	
加速度データ	感度 (非補正)	2.375 ～ 2.625 V/G	2.51	2.56	2.48	図2 参照
	感度補正残差	0 ± 600ppm	-576	-308	-356	—
	バイアス (非補正)	0 ± 15mG (@+25℃) 0 ± 30mG (@+200℃)	-1.40 3.96	-5.44 4.38	-2.49 5.50	図3 参照
	バイアス補正残差	0 ± 1.0mG	-0.30	-0.18	-0.31	—
地磁気データ	感度 (非補正)	3.325 ～ 3.675 V/Gs	3.41	3.43	3.43	図4 参照
	感度補正残差	0 ± 1000ppm	606	574	908	—
	バイアス (非補正)	0 ± 0.8mGs (@+25℃) 0 ± 6.8mGs (@+200℃)	0.10 -1.48	-0.33 0.85	-0.02 -3.16	図5 参照
	バイアス補正残差	0 ± 1.0mGs	0.26	0.47	-0.28	—

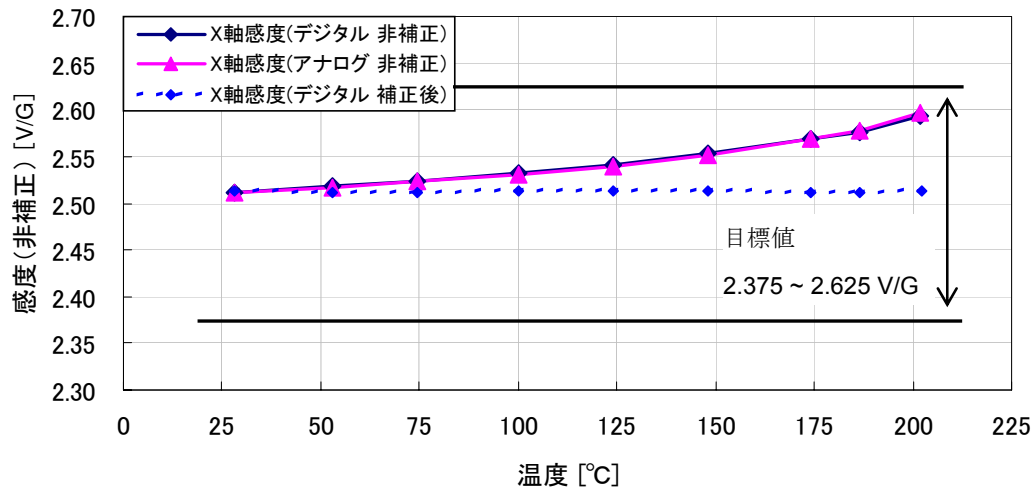


図2 加速度センサ感度温度特性

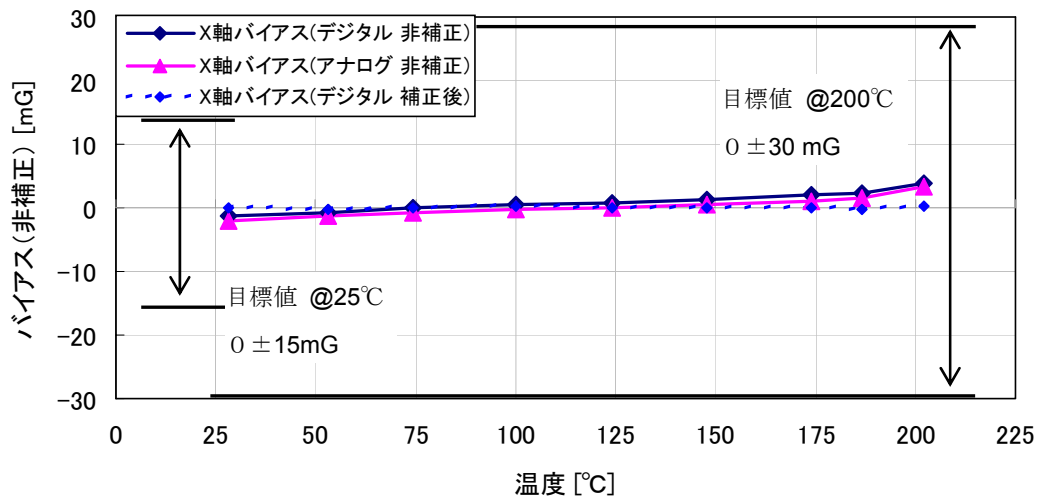


図3 加速度センサ バイアス温度特性

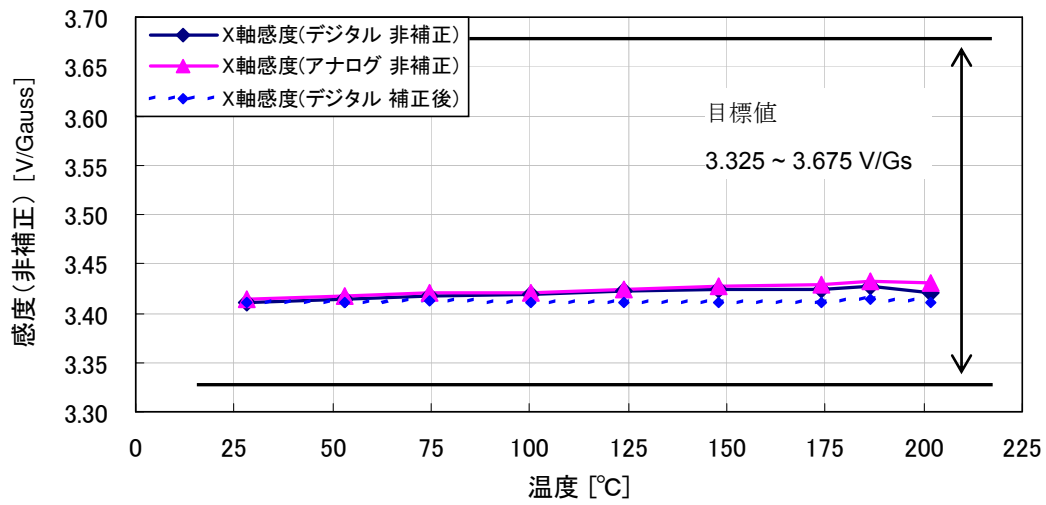


図4 地磁気センサ感度温度特性

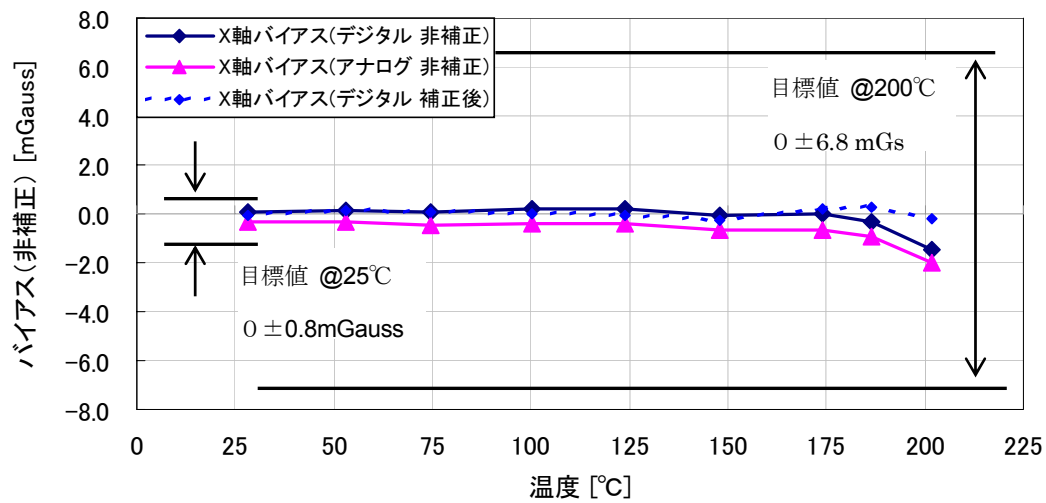


図5 地磁気センサ バイアス温度特性

5 むすび

DDM は試作品による評価を行っているところですが、デジタル信号処理部については高温環境下での動作をほぼ確認することができました。今後、長期安定性などの信頼性評価を実施して、DDM の製品化を進めていきたいと考えています。

【参考文献】

- 1) 安藤芳之：“油田掘削用インクリノメータ・パッケージの開発”，
航空電子技法 ,24 号 (2000)
- 2) 高辻祐輔：“油田掘削用マグネットメータ・パッケージの開発”，
航空電子技法 ,26 号 (2002)