

技術紹介

14 低ノイズ加速度計の開発 (JA-40GA)

Development of Low Noise Accelerometer (JA-40GA)

富岡 達也 Tatsuya Tomioka 航機事業部 第二設計部 マネージャー
山本 修一 Shuichi Yamamoto 航機事業部 第二設計部

キーワード：加速度計、振動計測、ノイズ、振り子

Keywords : accelerometer, vibration measurement, noise, pendulum

要 旨

航空電子はこれまで主に国内産業機器市場に対して、各種振動計測等に使われる、高性能・高信頼性の加速度計として JA-5V シリーズ加速度計を提供してきましたが、市場からの“さらなる低ノイズ化”と“低価格化”の要求に応じ、JA-40GA 加速度計を開発し製品化しました。ここでは、JA-40GA 加速度計の開発の概要についてご紹介します。

SUMMARY

JAE is providing the domestic industrial equipment market with the high-performance, high-reliability accelerometer JA-5V series used for a variety of vibration measurement. In reply to the market demand for “lower noise” and “lower cost,” JAE developed the JA-40GA accelerometer and started its sales. In this report, we present the summary of JA-40GA accelerometer.

1 まえがき

航空電子では、これまで培ってきた高精度な JA-5 系サーボ加速度計の技術をベースに、電気回路部の低ノイズ化設計を組み合わせ、従来の基本性能（感度安定性、バイアス安定性）を維持しつつ、自己ノイズをより低減し、微小な振動検出に優れた新しい加速度計の開発を行いました。今回開発した JA-40GA 加速度計は、低ノイズ化に有利な静電容量検出方式を有する振子構造を採用し、弊社製の他の加速度計で実績のある低ノイズ電気回路部を更に改善して、最小感度 $0.3 \mu G_{0-p} / \sqrt{Hz}$ を達成しました。写真 1 に今回開発した JA-40GA 加速度計の外観を示します。



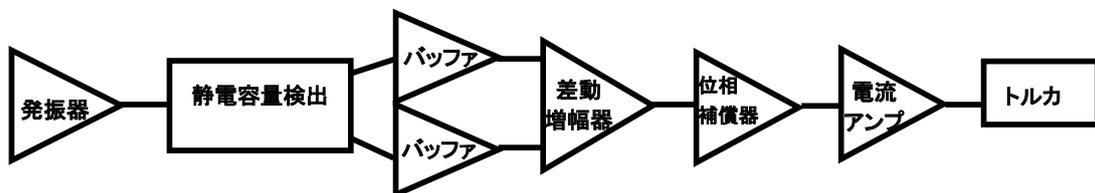
写真 1 JA-40GA 加速度計外観

2 開発のポイント

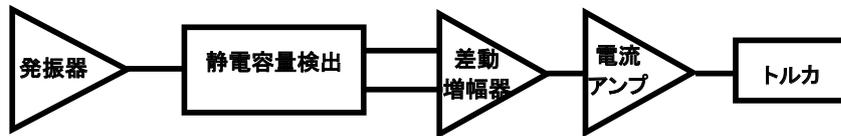
この JA-40GA 加速度計の開発に対する要求は、バイアス安定性や感度安定性について、従来の高精度な JA-5V 加速度計と同等の性能を維持しつつ、自己ノイズを低減した低価格の加速度計を設計することでした。技術的なポイントは下記に示す 3 項目です。

2.1 低ノイズ化

加速度計出力のノイズは主に電気回路で使用している能動素子から発生します。したがって、その能動素子の使用数を極力少なくする回路構成にするとともに、回路基板内の干渉を極力少なくするためにグランド配線を改善して、電気回路部の低ノイズ化を実現しました。加速度計の回路ブロック図を図 1 に示します。



JA-5Vの回路ブロック図



JA-40GA回路ブロック図

図 1 加速度計の回路ブロック図比較

2.2 バイアス温度安定性

JA-5V 加速度計で実績のある石英ガラス製の振子、それを保持する磁気回路構造部の採用により、外部からの温度変化の影響を受け難い、バイアスの温度安定性に優れた加速度計を実現しています。

2.3 低価格化

低価格化に対しては、従来小型化のために使用していたハイブリット IC を SMT 両面実装基板に置き換えること、温度補正をより精度良く実施する為に内蔵していた温度センサをなくすこと、さらに、取付面精度高精度化のために三角型の形状であった取付けフランジ部分を、加工コストの安い丸型に変更することなどにより大幅な低コスト化を実現しました。

3 加速度計の仕様

JA-40GA 加速度計の主な仕様を表 1 に示します。

表 1 JA-40GA 加速度計の仕様 (温度 25℃)

項 目	単 位	仕 様
計測範囲	G	± 4
感度	V / G	2 ± 3%
バイアス	mG	± 10 以内
ケースアライメント	mrad	± 8 以内
感度温度係数	ppm / °C	400 以下
バイアス温度係数	μ G / °C	± 100 以内
周波数特性(± 3dB)	Hz	DC ~ 200 以上
作動温度範囲	°C	- 20 ~ + 70
保管温度範囲(非作動)	°C	- 40 ~ + 85
正弦波振動(非作動)	—	3.10mm _{0-p} (20 ~ 40Hz) 20G (40 ~ 2000Hz)
ランダム振動 (非作動)	Grms	10(20 ~ 2000Hz)
衝撃(非作動)	G	100(11ms、半正弦波)
外観寸法	mm	φ 25.4 × 33.7
質量(1m 標準ケーブル含む)	g	115 以下

(注記) 本文書では、加速度の単位を従来単位系である“G”を用いて表現しています。これは、加速度を表現する手段として重力加速度を用いた方が一般的に理解しやすいためです。ここで、 $1G = 9.80665m/s^2$ (国際度量衡総会で定義された標準重力加速度の値) とします。

4 評価結果

4.1 基本性能

JA-40GA 加速度計の基本性能評価結果を表 2 に示します。基本性能は、目標とした性能を十分に満足していることがわかります。

表 2 基本性能評価試験結果 (温度 25℃)

	単位	規格	サンプル 1	サンプル 2	サンプル 3
計測範囲	G	±4 以上	±5.9	±5.9	±5.8
感度	V/G	1.94~2.06	1.996	1.987	2.002
バイアス	mG	±10 以内	0.747	1.920	-0.010
ケースアライメント	mrad	±8 以内	-0.30	-0.09	-1.50
感度温度係数	ppm/℃	400 以下	74	72	79
バイアス温度係数	μG/℃	±100 以内	8	-3	5
周波数特性(±3dB)	Hz	200 以上	345	299	299
作動温度範囲	℃	-20~+70	-20~+70℃の温度範囲で加速度計の基本性能(感度、バイアス、温度係数)を確認 :結果 良好		
保管温度範囲(非作動)	℃	-40~+85	-40~+85℃のヒートサイクルを3サイクル印加し、ヒートサイクル印加前後の基本性能を確認 :結果 良好		
正弦波振動(非作動)	3.10mm _{0-P} (20~40Hz) 20G(40~2000Hz)		3軸方向に各軸左記正弦波振動を印加し、振動印加前後の基本性能を確認 :結果 良好		
ランダム振動(非作動)	10Grms(20~2000Hz)		3軸方向に各軸左記ランダム振動を印加し、振動印加前後の基本性能を確認 :結果 良好		
衝撃(非作動)	100G(11ms、半正弦波)		3軸+/-計6方向に左記衝撃を各3回印加し、衝撃印加前後の基本性能を確認 :結果 良好		

4.2 自己ノイズと最小感度

検出する振動加速度レベルが $0.1 \mu\text{G}$ オーダーになると、入力レベルが非常に小さくなることから、加速度計の自己ノイズと最小感度の正確な評価が非常に難しくなります。また最小感度の評価においては、振動試験機等により人工的に $0.1 \mu\text{G}$ 相当の振動加速度を作り出そうとすると、周波数 0.1Hz の場合でも片振幅が $2.5 \mu\text{m}$ となり、その正確な振動制御が困難なため現実的な方法ではありません。

そこで、JA-40GA 加速度計の自己ノイズと最小感度の評価については、床や除振台の振動を加速度計で検出し、その振動スペクトルから性能を判定することにしました。以下にその結果を示します。

4.2.1 自己ノイズ

まず、JA-40GA 加速度計の自己ノイズの評価については、地動ノイズの非常に小さい地盤上に JA-40GA 加速度計を 2 台設置し、鉛直方向の振動を計測して各加速度計の振動スペクトルを評価することで、JA-40GA 加速度計の性能を判定しました。図 2 に今回開発した JA-40GA 加速度計 2 台の振動スペクトルを示します。図 2 から明らかのように、 $1\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ の周波数帯域において JA-40GA 加速度計の振動スペクトルは $0.1 \mu\text{G}_{\text{O-P}}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度を示していることから、自己ノイズの実力値として $0.1 \mu\text{G}_{\text{O-P}}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下であると推測しています。

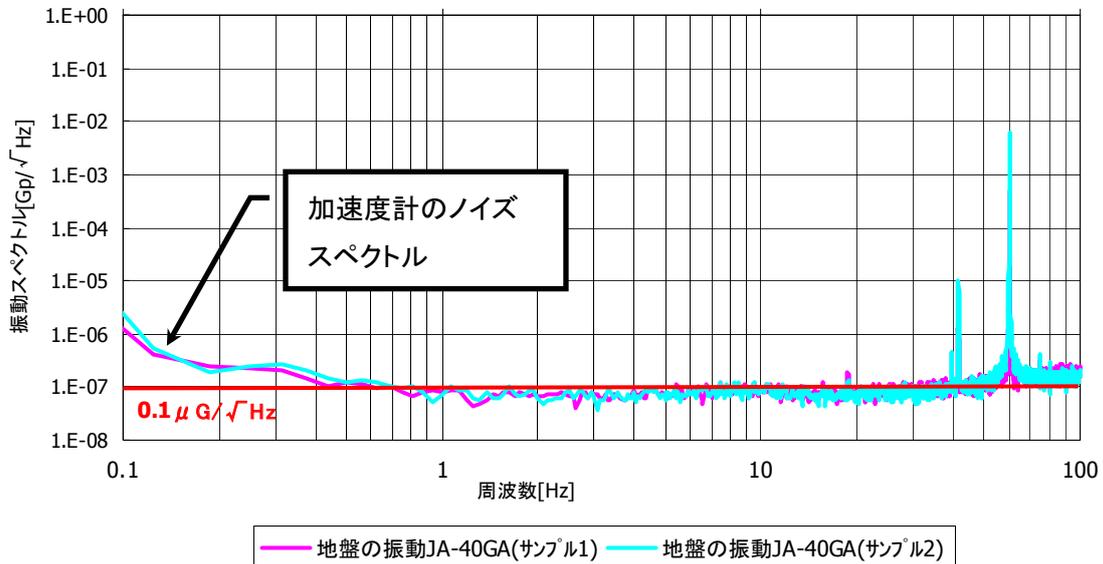


図 2 JA-40GA 加速度計の振動スペクトル計測結果

4.2.2 最小感度

次に最小感度の評価については、JA-40GA 加速度計を 2 台使用して同時に除振台上に載せ振動を計測し、お互いの出力信号の相関関係から判定するコヒーレンス特性を用いました。図 3 に計測結果を示します。コヒーレンス特性は、2 台の加速度計の出力信号の相関性を示したものであり、その値は 0 ~ 1 の間の値となり、このコヒーレンス値が 1 に近いほど 2 台の加速度計の出力信号は相関性があると判定します。図 3 の場合、2 台の加速度計で検出した除振台上の振動特性は、1Hz 以上の周波数帯域で一致しているため、コヒーレンス特性は良好であるという結果が得られているのがわかります。このコヒーレンス特性から見て、検出された除振台上の振動レベルがほぼ $0.3 \mu G_{0-P} / \sqrt{\text{Hz}}$ 以上であると、コヒーレンス値は 0.9 以上になることから、JA-40GA 加速度計は、 $0.3 \mu G_{0-P} / \sqrt{\text{Hz}}$ の振動を検出できる能力を持っていると判断しました。

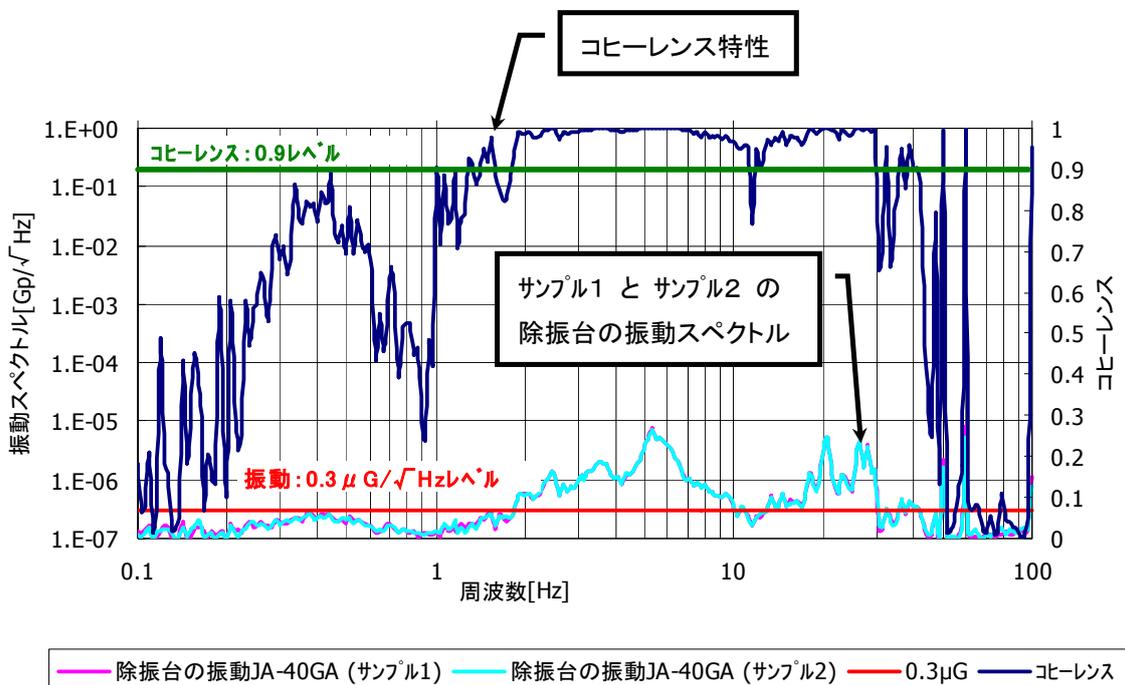


図 3 JA-40GA 加速度計コヒーレンス特性

4.3 温度特性

今回開発した JA-40GA 加速度計の感度、バイアスおよびケースアライメントの各温度特性を図 4 に示します。図 4 から明らかなように、広い温度範囲に対して各特性とも温度再現性がありヒステリシスのない安定した温度特性を有していることが確認されました。特にバイアスの温度特性は余裕をもって目標仕様を満たしていることが実証されました。

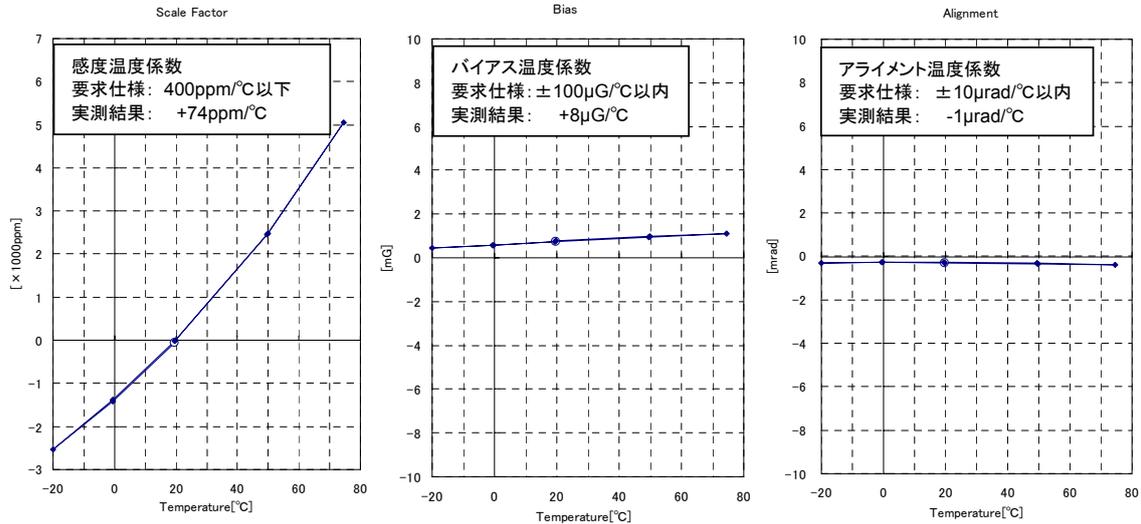


図 4 JA-40GA 加速度計の温度特性

5 むすび

このたび開発した JA-40GA 加速度計は、低ノイズでバイアス温度安定性に優れた性能を得ることができたことから、地震計測や振動計測などの分野での活躍が期待されます。

既に製品として 1,500 台以上を市場に投入しておりますが、今後は、より利用範囲の広いサーボ加速度計として、お客様のニーズに応えてゆきたいと考えております。