

添付資料 3 : センサーの仕様検討資料

入力信号: 菊水 418A (低周波発信器)にてDC2.5Vオフセットを加えた電圧を印加する。

入力電圧測定器: ADVANTEST R6441C

測定モード: センサーB (35g)、測定時間1分間

擬似センサー入力			振動合成値	周波数補正	加速度[m/s ²]				
周波数[Hz]	電圧[Vrms]	g (55mV/g (35g))	$\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}$	Wh	計算値	実測値			
						正弦波	誤差[%]	矩形波	誤差[%]
10	0.05	0.909	1.575	0.951	14.685	15.202	3.522		-100.000
	0.10	1.818	3.149	0.951	29.370	29.37	0.001		-100.000
	0.15	2.727	4.724	0.951	44.055	15.202	-65.493		-100.000
	0.20	3.636	6.298	0.951	58.739	15.202	-74.120		-100.000
	0.25	4.545	7.873	0.951	73.424	15.202	-79.296		-100.000
	0.30	5.455	9.448	0.951	88.109	15.202	-82.746		-100.000
	0.35	6.364	11.022	0.951	102.794	15.202	-85.211		-100.000
	0.40	7.273	12.597	0.951	117.479	15.202	-87.060		-100.000
	0.45	8.182	14.171	0.951	132.164	15.202	-88.498		-100.000
	0.50	9.091	15.746	0.951	146.848	15.202	-89.648		-100.000
	0.55	10.000	17.321	0.951	161.533	15.202	-90.589		-100.000
	0.60	10.909	18.895	0.951	176.218	15.202	-91.373		-100.000
	0.65	11.818	20.470	0.951	190.903	15.202	-92.037		-100.000
	0.70	12.727	22.044	0.951	205.588	15.202	-92.606		-100.000
	0.75	13.636	23.619	0.951	220.273	15.202	-93.099		-100.000
	0.80	14.545	25.193	0.951	234.957	15.202	-93.530		-100.000
	0.85	15.455	26.768	0.951	249.642	15.202	-93.910		-100.000
	0.90	16.364	28.343	0.951	264.327	15.202	-94.249		-100.000
0.95	17.273	29.917	0.951	279.012	15.202	-94.551		-100.000	
1.00	18.182	31.492	0.951	293.697	15.202	-94.824		-100.000	

周波数補正特性[センサーF(200G):ピーク5m/s²]

2012.11.14

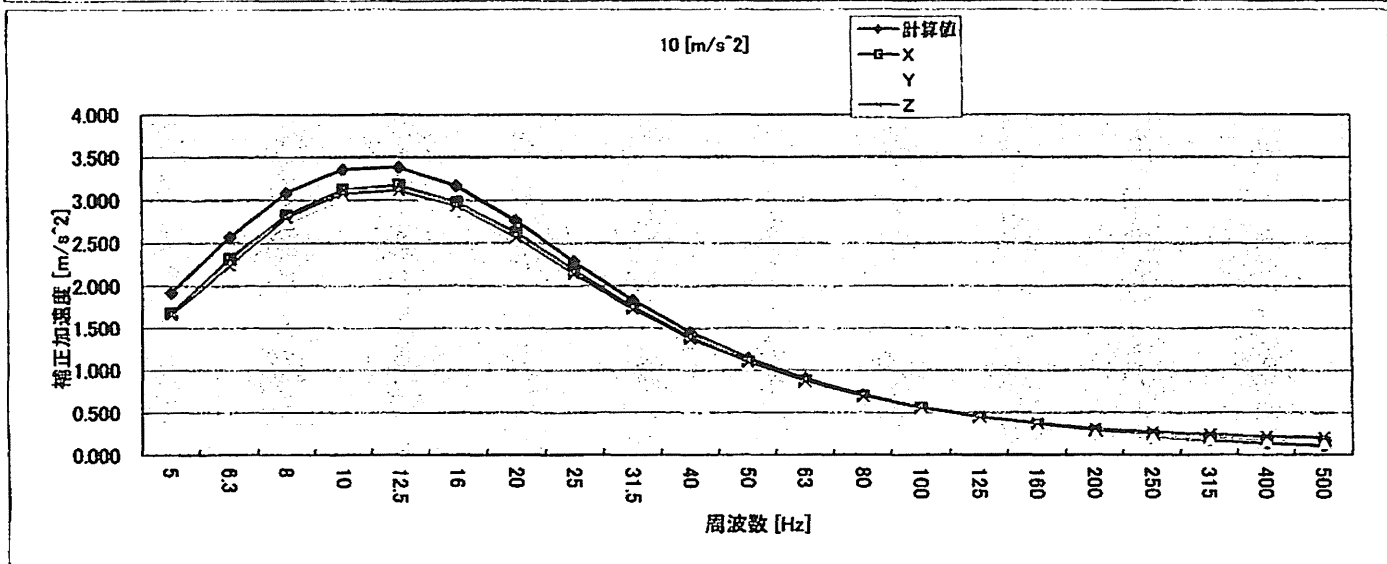
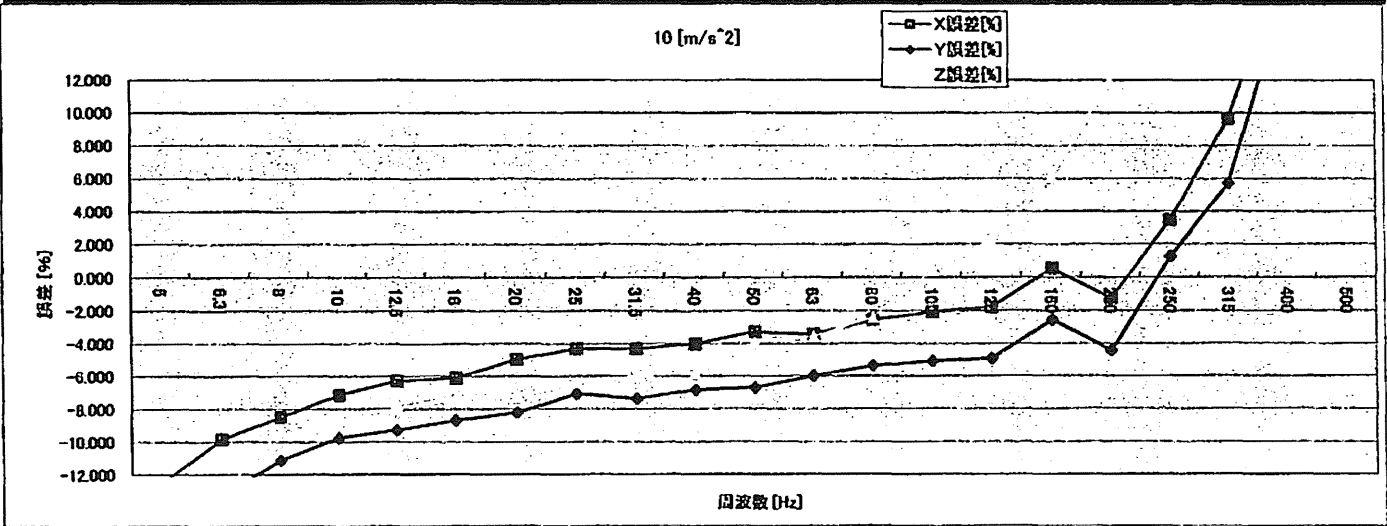
加振入力: 振動発生器J240Sにて正弦波振動を入力する。

基準測定:

測定モード: センサーF(200G)、測定時間5秒

※OOS...Out of Spec

加振入力				周波数補正	計算値	補正加速度[m/s ²]					
バンド	公称値[Hz]	厳密な値[Hz]	加速度[m/s ²]			実測値					
				Wh	X	X誤差[%]	Y	Y誤差[%]	Z	Z誤差[%]	
6	4	3.981	3.54	0.37500	1.326	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
7	5	5.012		0.54500	1.927	1.886	-32.500	1.626	-15.614	1.661	-13.798
8	6.3	6.310		0.72700	2.570	2.318	-9.817	2.231	-13.202	2.235	-13.046
9	8	7.943		0.87300	3.087	2.825	-6.473	2.744	-11.097	2.8	-9.283
10	10	10.000		0.95100	3.362	3.123	-7.117	3.035	-9.734	3.082	-8.336
11	12.5	12.589		0.95800	3.387	3.175	-6.260	3.073	-9.272	3.116	-8.002
12	16	15.849		0.89600	3.168	2.975	-6.067	2.893	-8.676	2.937	-7.287
13	20	19.953		0.78200	2.765	2.628	-4.947	2.538	-8.203	2.565	-7.226
14	25	25.119		0.64700	2.287	2.189	-4.308	2.126	-7.060	2.142	-6.360
15	31.5	31.623		0.51900	1.835	1.756	-4.302	1.7	-7.354	1.725	-5.992
16	40	39.811		0.41100	1.453	1.395	-3.899	1.354	-6.820	1.369	-5.788
17	50	50.119		0.32400	1.146	1.108	-3.275	1.069	-6.679	1.101	-3.886
18	63	63.096		0.25600	0.905	0.874	-3.338	0.851	-5.977	0.873	-3.546
19	80	79.433		0.20200	0.714	0.686	-2.545	0.678	-5.346	0.697	-2.405
20	100	100.000		0.16000	0.568	0.554	-2.066	0.537	-5.071	0.568	0.409
21	125	125.893		0.12700	0.449	0.441	-1.785	0.427	-4.902	0.459	2.224
22	160	158.489		0.10100	0.357	0.359	0.535	0.348	-2.545	0.379	6.136
23	200	199.526		0.07990	0.282	0.279	-1.235	0.27	-4.421	0.316	11.863
24	250	251.189		0.06340	0.224	0.232	3.501	0.227	1.270	0.275	22.684
25	315	316.228		0.05030	0.178	0.195	9.651	0.188	5.715	0.244	37.204
26	400	398.107		0.03980	0.141	0.168	19.381	0.165	17.259	0.22	56.345
27	500	501.187		0.03140	0.111	0.144	28.711	0.143	28.811	0.209	88.262
28	630	630.957		0.02450	0.087	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
29	800	794.328		0.01860	0.066	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
30	1000	1000.000		0.01350	0.048	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
31	1250	1258.925		0.00894	0.032	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
32	1600	1584.893		0.00536	0.019	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
33	2000	1995.262		0.00295	0.010	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!



※コメント: Y軸以外の測定時にY軸に高い計測値が表示されている。

周波数補正特性[センサーF(200G):ピーク10m/s²]

2012.11.14

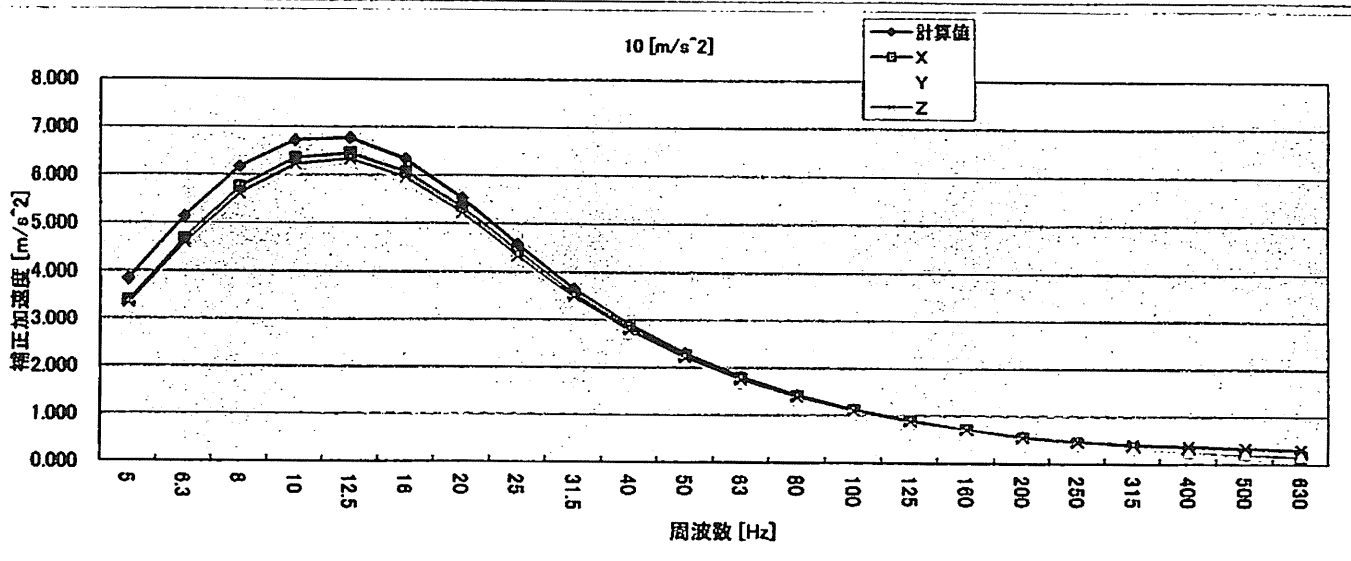
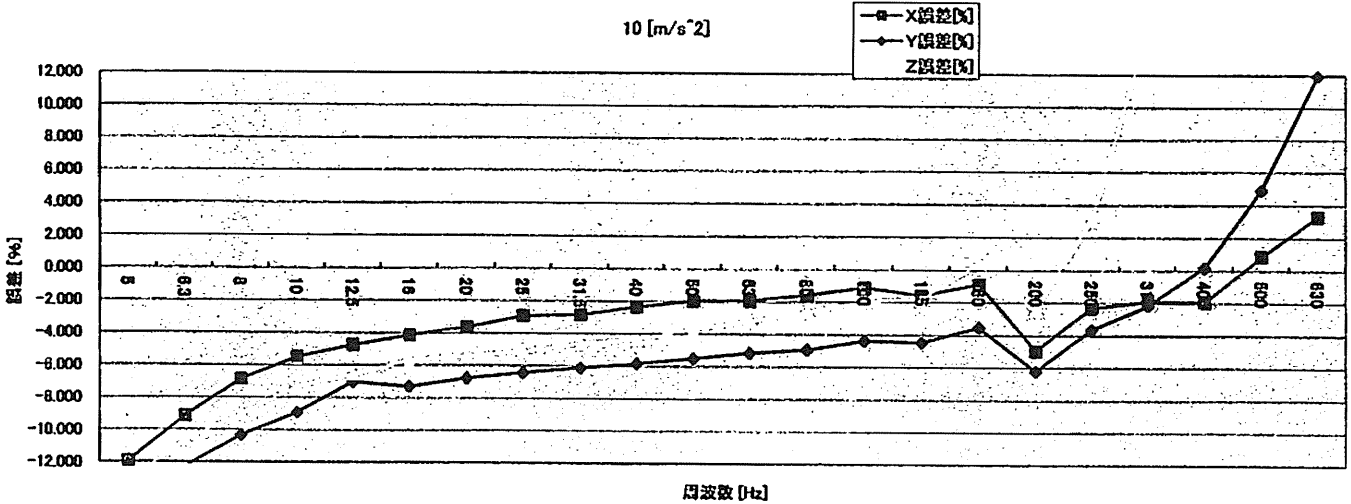
加振入力: 振動発生器J240Sにて正弦波振動を入力する。

基準測定:

測定モード: センサーF(200G)、測定時間5秒

※OOS...Out of Spec

加振入力				周波数補正	補正加速度[m/s ²]							
バンド	公称値[Hz]	厳密な値[Hz]	加速度[m/s ²]		Wh	計算値	実測値					
							X	X誤差[%]	Y	Y誤差[%]	Z	Z誤差[%]
6	4	3.981	7.07	0.37500	2.652	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000	
7	5	5.012		0.54500	3.854	3.365	-11.804	3.282	-14.836	3.347	-13.149	
8	6.3	6.310		0.72700	5.141	4.672	-6.117	4.511	-12.249	4.593	-10.654	
9	8	7.943		0.87300	6.173	5.751	-6.837	5.536	-10.320	5.616	-9.024	
10	10	10.000		0.95100	6.725	6.358	-5.481	6.126	-8.901	6.231	-7.340	
11	12.5	12.589		0.95800	6.774	6.453	-4.740	6.299	-7.013	6.328	-6.585	
12	16	15.849		0.89600	6.336	6.074	-4.120	5.874	-7.287	5.974	-5.709	
13	20	19.953		0.78200	5.530	5.328	-3.627	5.156	-6.756	5.231	-5.400	
14	25	25.119		0.64700	4.575	4.442	-2.907	4.282	-6.404	4.34	-5.136	
15	31.5	31.623		0.51900	3.670	3.566	-2.931	3.446	-6.101	3.499	-4.656	
16	40	39.811		0.41100	2.906	2.808	-2.347	2.737	-5.822	2.78	-4.343	
17	50	50.119		0.32400	2.291	2.246	-1.985	2.165	-5.501	2.206	-3.711	
18	63	63.096		0.25600	1.810	1.775	-1.944	1.717	-5.148	1.752	-3.215	
19	80	79.433		0.20200	1.428	1.406	-1.565	1.358	-4.926	1.391	-2.615	
20	100	100.000		0.16000	1.131	1.118	-1.093	1.082	-4.364	1.109	-1.977	
21	125	125.893		0.12700	0.898	0.884	-1.582	0.858	-4.457	0.882	-1.785	
22	160	158.489		0.10100	0.714	0.708	-0.865	0.689	-3.525	0.717	0.395	
23	200	199.526		0.07990	0.565	0.537	-4.952	0.53	-6.191	0.551	-2.474	
24	250	251.189		0.06340	0.448	0.438	-2.298	0.432	-3.637	0.462	3.055	
25	315	316.228		0.05030	0.356	0.346	-1.877	0.348	-2.158	0.408	14.712	
26	400	398.107		0.03980	0.281	0.276	-1.929	0.282	0.203	0.374	32.893	
27	500	501.187		0.03140	0.222	0.224	0.887	0.233	4.940	0.338	52.231	
28	630	630.957		0.02450	0.173	0.179	3.324	0.194	11.983	0.306	76.632	
29	800	794.328		0.01860	0.132	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000	
30	1000	1000.000		0.01350	0.095	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000	
31	1250	1258.925		0.00894	0.063	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000	
32	1600	1584.893		0.00536	0.038	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000	
33	2000	1995.262		0.00295	0.021	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	



※コメント: Y軸以外の測定時にY軸に高い計測値が表示されている。

周波数補正特性[センサーF(200G):RMS10m/s²]

2012.11.14

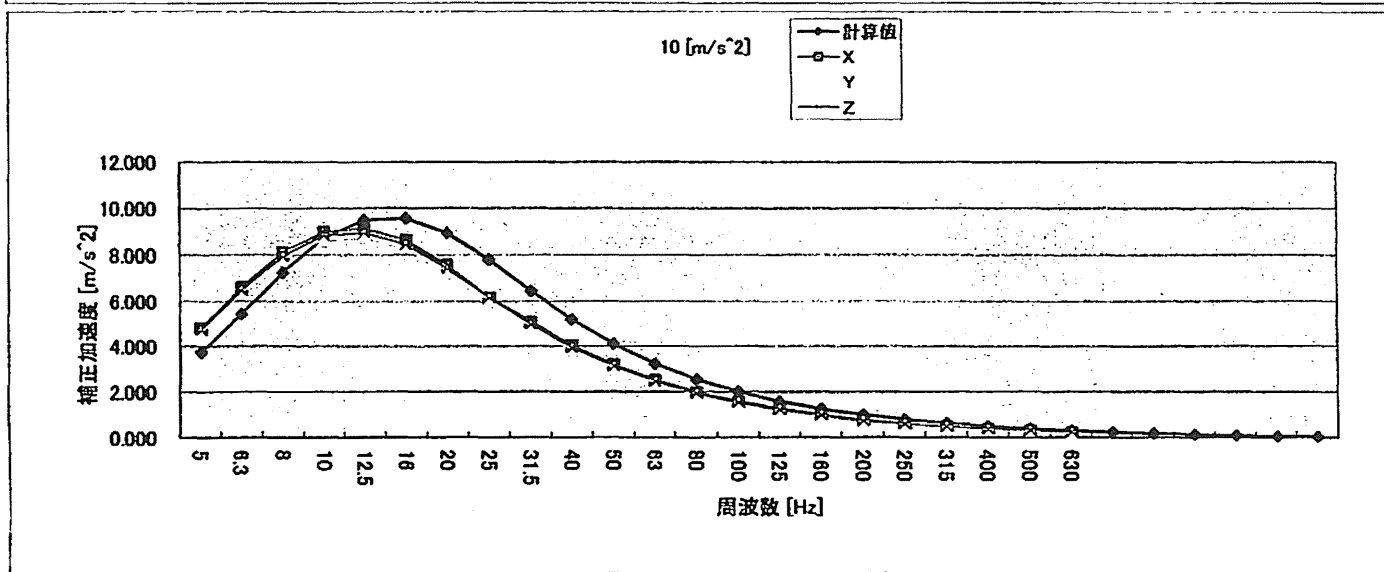
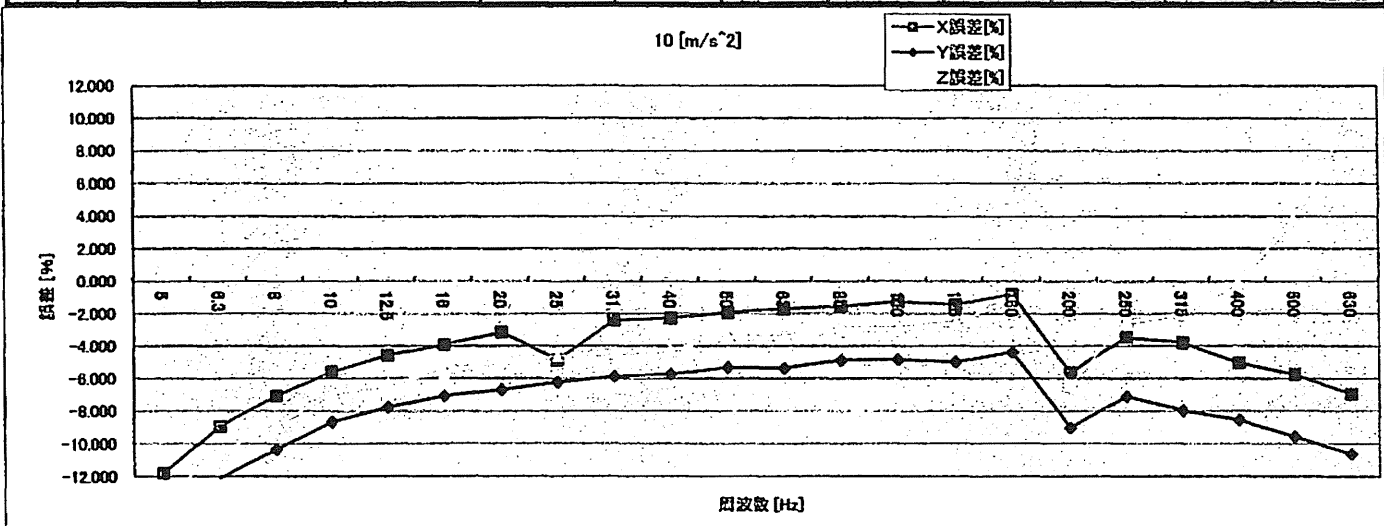
加振入力: 振動発生器J240Sにて正弦波振動を入力する。

基準測定:

測定モード: センサーF(200G)、測定時間5秒

※OOS...Out of Spec

加振入力				周波数補正	補正加速度[m/s ²]						
バンド	公称値[Hz]	厳密な値[Hz]	加速度[m/s ²]		計算値	X		Y		Z	
				Wh		X	X誤差[%]	Y	Y誤差[%]	Z	Z誤差[%]
6	4	3.981	10.00	0.37500	3.750	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
7	5	5.012		0.54500	5.450	4.808	-11.780	4.624	-15.158	4.728	-13.248
8	6.3	6.310		0.72700	7.270	6.621	-9.027	6.393	-12.063	6.502	-10.564
9	8	7.943		0.87300	8.730	8.114	-7.056	7.828	-10.332	7.955	-8.877
10	10	10.000		0.95100	9.510	8.98	-5.573	8.686	-8.665	8.856	-6.877
11	12.5	12.589		0.95800	9.580	9.144	-4.551	8.837	-7.756	8.979	-6.273
12	16	15.849		0.89600	8.960	8.61	-3.806	8.327	-7.085	8.455	-5.636
13	20	19.953		0.78200	7.820	7.575	-3.123	7.298	-6.675	7.439	-4.872
14	25	25.119		0.64700	6.470	6.156	-4.853	6.068	-6.213	6.172	-4.606
15	31.5	31.623		0.51900	5.190	5.066	-2.380	4.886	-5.857	4.983	-4.374
16	40	39.811		0.41100	4.110	4.017	-2.263	3.875	-5.718	3.936	-4.234
17	50	50.119		0.32400	3.240	3.178	-1.914	3.068	-5.309	3.127	-3.488
18	63	63.096		0.25600	2.560	2.517	-1.680	2.423	-5.352	2.471	-3.477
19	80	79.433		0.20200	2.020	1.988	-1.535	1.922	-4.851	1.96	-2.970
20	100	100.000		0.16000	1.600	1.58	-1.250	1.523	-4.813	1.553	-2.938
21	125	125.893		0.12700	1.270	1.252	-1.417	1.207	-4.981	1.237	-2.598
22	160	158.489		0.10100	1.010	1.002	-0.782	0.966	-4.356	0.999	-1.089
23	200	199.526		0.07990	0.799	0.754	-5.632	0.727	-8.011	0.748	-6.383
24	250	251.189		0.06340	0.634	0.612	-3.470	0.589	-7.098	0.618	-2.524
25	315	316.228		0.05030	0.503	0.484	-3.777	0.463	-7.952	0.493	-1.988
26	400	398.107		0.03980	0.398	0.378	-5.025	0.364	-8.543	0.398	0.000
27	500	501.187		0.03140	0.314	0.296	-5.732	0.284	-9.554	0.326	3.822
28	630	630.957		0.02450	0.245	0.228	-6.989	0.219	-10.612	0.269	9.796
29	800	794.328		0.01860	0.186	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
30	1000	1000.000		0.01350	0.135	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
31	1250	1258.925		0.00894	0.089	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
32	1600	1584.893		0.00536	0.054	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
33	2000	1995.262		0.00295	0.030	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!



※コメント: Y軸以外の測定時にY軸に高い計測値が表示されている。

周波数補正特性[センサーF(200G):ピーク78m/s²]

2012.11.14

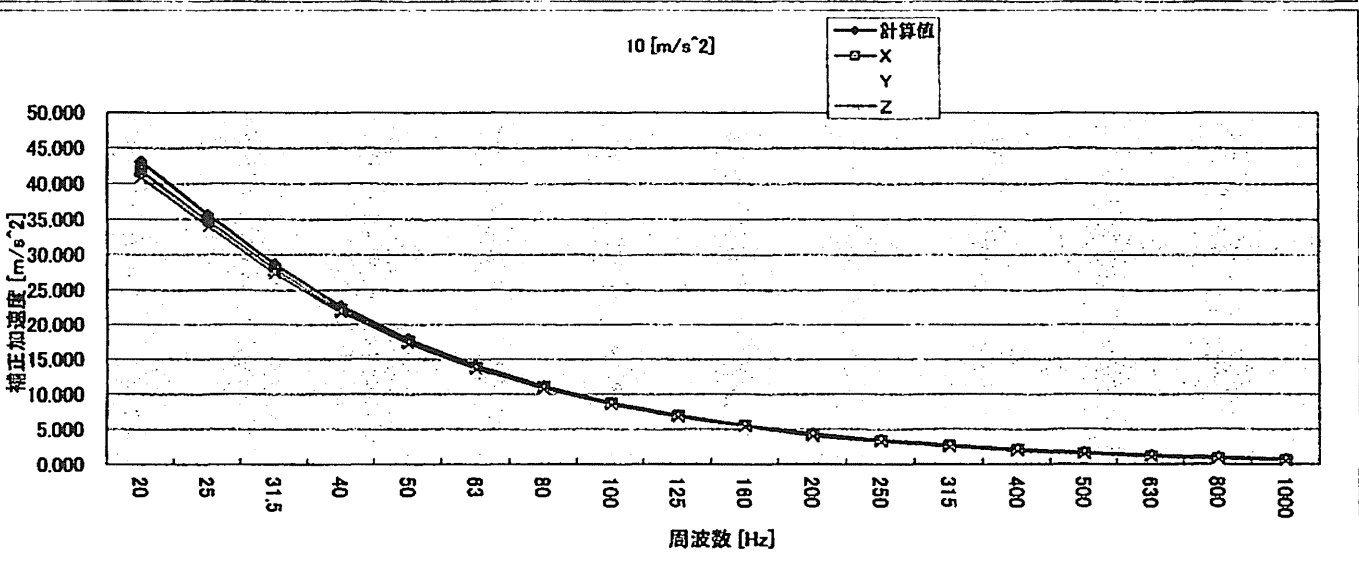
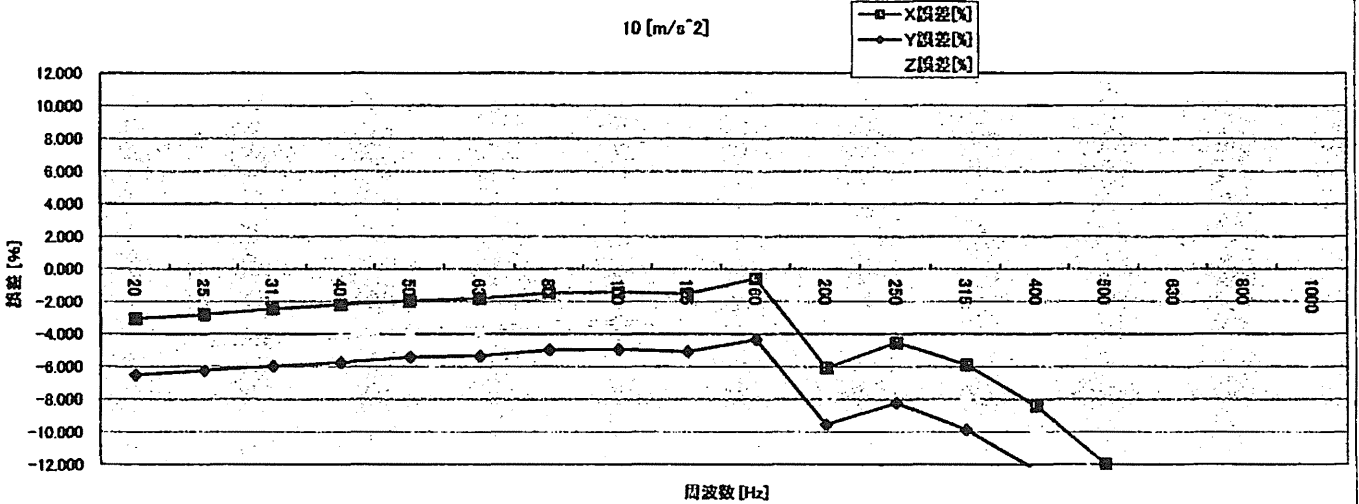
加振入力: 振動発生器J240Sにて正弦波振動を入力する。

基準測定:

測定モード: センサーF(200G)、測定時間5秒

※OOS...Out of Spec

加振入力				周波数補正 Wh	補正加速度[m/s ²]						
バンド	公称値[Hz]	厳密な値[Hz]	加速度[m/s ²]		計算値	実測値					
						X	X誤差[%]	Y	Y誤差[%]	Z	Z誤差[%]
6	4	3.981	55.15	0.37500	20.683	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
7	5	5.012		0.54500	30.059	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
8	6.3	6.310		0.72700	40.097	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
9	8	7.943		0.87300	48.150	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
10	10	10.000		0.95100	52.452	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
11	12.5	12.589		0.95800	52.838	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
12	16	15.849		0.89600	49.418	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
13	20	19.953		0.78200	43.131	41.882	-3.038	40.327	-6.500	40.917	-5.133
14	25	25.119		0.64700	35.685	34.669	-2.788	33.463	-6.226	34.036	-4.621
15	31.5	31.623		0.51900	28.625	27.928	-2.432	26.919	-5.960	27.367	-4.395
16	40	39.811		0.41100	22.668	22.174	-2.187	21.369	-5.732	21.742	-4.087
17	50	50.119		0.32400	17.870	17.522	-1.947	16.904	-5.406	17.189	-3.811
18	63	63.096		0.25600	14.120	13.865	-1.803	13.367	-5.330	13.595	-3.715
19	80	79.433		0.20200	11.141	10.979	-1.456	10.589	-4.956	10.767	-3.358
20	100	100.000		0.18000	8.825	8.7	-1.413	8.39	-4.926	8.536	-3.271
21	125	125.893		0.12700	7.005	6.888	-1.508	6.65	-5.062	6.774	-3.292
22	160	158.489		0.10100	5.571	5.539	-0.567	5.33	-4.319	5.46	-1.985
23	200	199.526		0.07990	4.407	4.138	-6.078	3.987	-9.527	4.045	-8.211
24	250	251.189		0.06340	3.497	3.339	-4.512	3.21	-8.201	3.276	-6.314
25	315	316.228		0.05030	2.774	2.611	-5.885	2.501	-9.850	2.562	-7.651
26	400	398.107		0.03980	2.195	2.011	-8.388	1.924	-12.352	1.983	-9.664
27	500	501.187		0.03140	1.732	1.525	-11.944	1.452	-16.159	1.511	-12.752
28	630	630.957		0.02450	1.351	1.116	-17.412	1.054	-22.000	1.116	-17.412
29	800	794.328		0.01860	1.026	0.772	-24.747	0.723	-29.523	0.786	-23.382
30	1000	1000.000		0.01350	0.745	0.488	-34.460	0.458	-38.489	0.525	-29.491
31	1250	1258.925		0.00894	0.493	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
32	1600	1584.893		0.00536	0.296	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
33	2000	1995.262		0.00295	0.163	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!



※コメント: Y軸以外の測定時にY軸に高い計測値が表示されている。

周波数補正特性[センサーF(200G):ピーク156m/s²]

2012.11.14

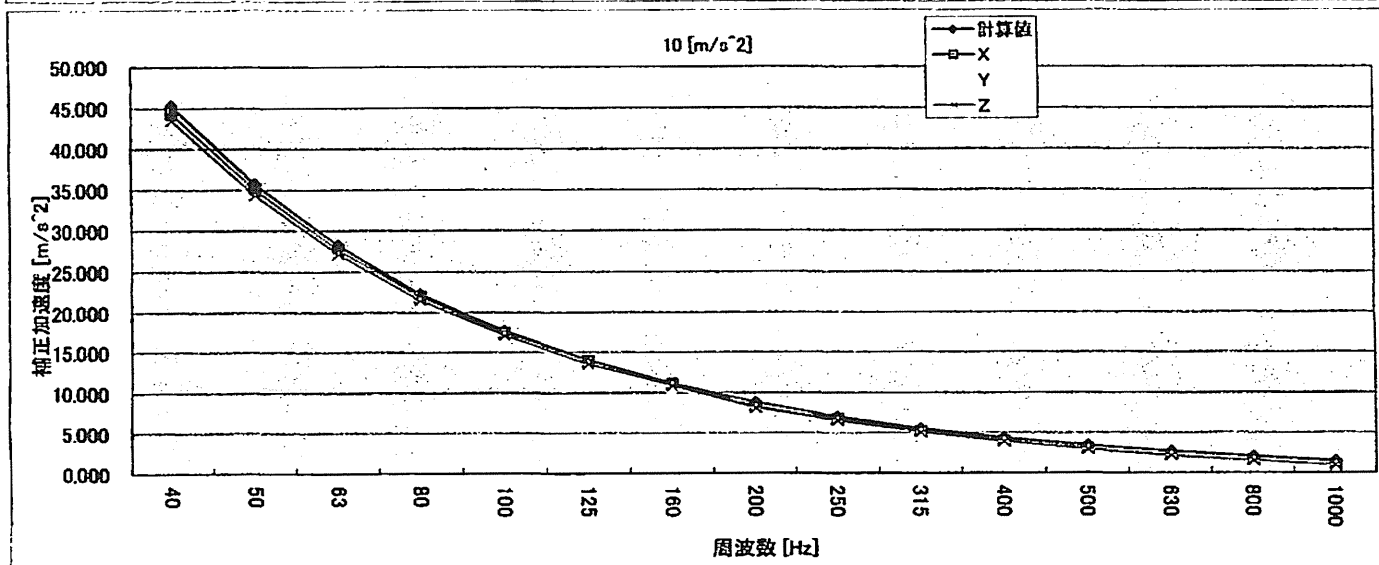
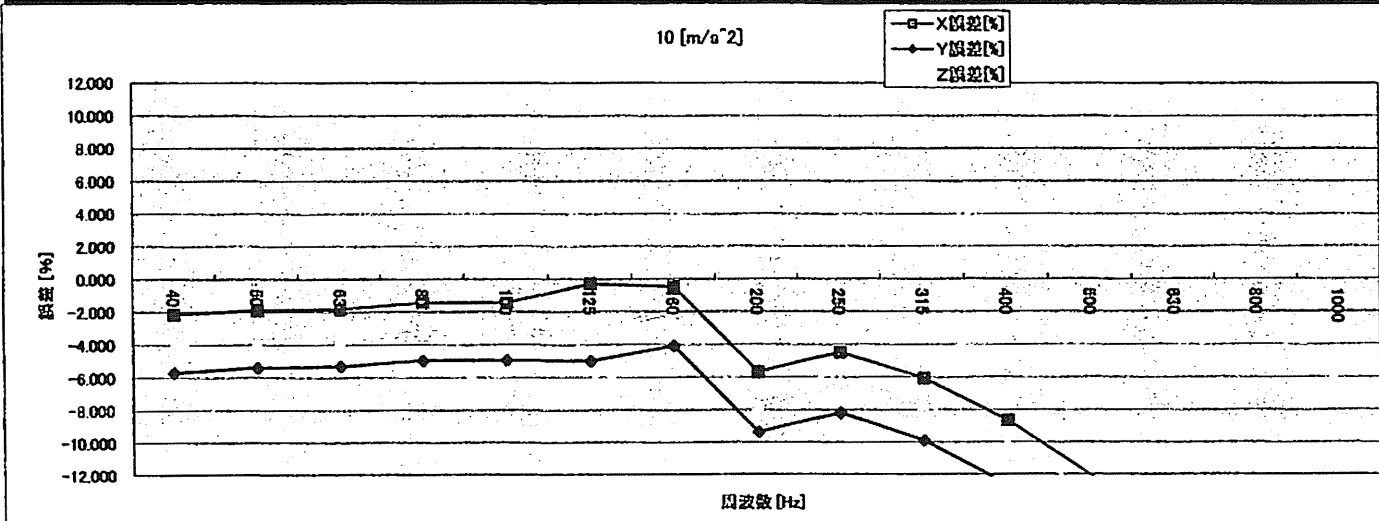
加振入力: 振動発生器J240Siにて正弦波振動を入力する。

基準測定:

測定モード: センサーF(200G)、測定時間5秒

※OOS...Out of Spec

加振入力				周波数補正		補正加速度[m/s ²]					
バンド	公称値[Hz]	厳密な値[Hz]	加速度[m/s ²]	Wh	計算値	実測値					
						X	X誤差[%]	Y	Y誤差[%]	Z	Z誤差[%]
6	4	3.981	110.31	0.37500	41.366	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
7	5	5.012		0.54500	60.118	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
8	6.3	6.310		0.72700	80.194	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
9	8	7.943		0.87300	96.299	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
10	10	10.000		0.95100	104.904	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
11	12.5	12.589		0.95800	105.676	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
12	16	15.849		0.89800	98.837	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
13	20	19.953		0.78200	86.261	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
14	25	25.119		0.64700	71.370	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
15	31.5	31.623		0.51900	57.250	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
16	40	39.811		0.41100	45.337	44.868	-2.198	42.763	-5.677	43.536	-3.972
17	50	50.119		0.32400	35.740	35.088	-1.877	33.821	-5.369	34.394	-3.766
18	63	63.096		0.25600	28.239	27.723	-1.827	26.744	-5.294	27.208	-3.651
19	80	79.433		0.20200	22.282	21.862	-1.438	21.179	-4.952	21.547	-3.300
20	100	100.000		0.16000	17.649	17.393	-1.453	16.78	-4.926	17.08	-3.226
21	125	125.893		0.12700	14.009	13.97	-0.280	13.31	-4.991	13.553	-3.256
22	160	158.489		0.10100	11.141	11.088	-0.468	10.687	-4.077	10.927	-1.922
23	200	199.526		0.07990	8.814	8.814	-5.669	7.989	-9.357	8.134	-7.711
24	250	251.189		0.06340	6.994	6.681	-4.469	6.422	-8.173	6.559	-6.214
25	315	316.228		0.05030	5.549	5.213	-6.047	5	-9.886	5.125	-7.633
26	400	398.107		0.03980	4.390	4.011	-8.639	3.835	-12.648	3.952	-9.983
27	500	501.187		0.03140	3.464	3.044	-12.117	2.896	-16.390	3.005	-13.243
28	630	630.957		0.02450	2.703	2.223	-17.745	2.098	-22.370	2.21	-18.226
29	800	794.328		0.01860	2.052	1.53	-25.429	1.432	-30.206	1.544	-24.747
30	1000	1000.000		0.01350	1.489	0.954	-35.937	0.888	-40.369	0.995	-33.184
31	1250	1258.925		0.00894	0.986	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
32	1600	1584.893		0.00536	0.591	0	-100.000	0	-100.000	0	-100.000
33	2000	1995.262		0.00295	0.325	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!	OOS	#VALUE!



※コメント: Y軸以外の測定時にY軸に高い計測値が表示されている。

添付資料4：アダプターの仕様検討資料

注記

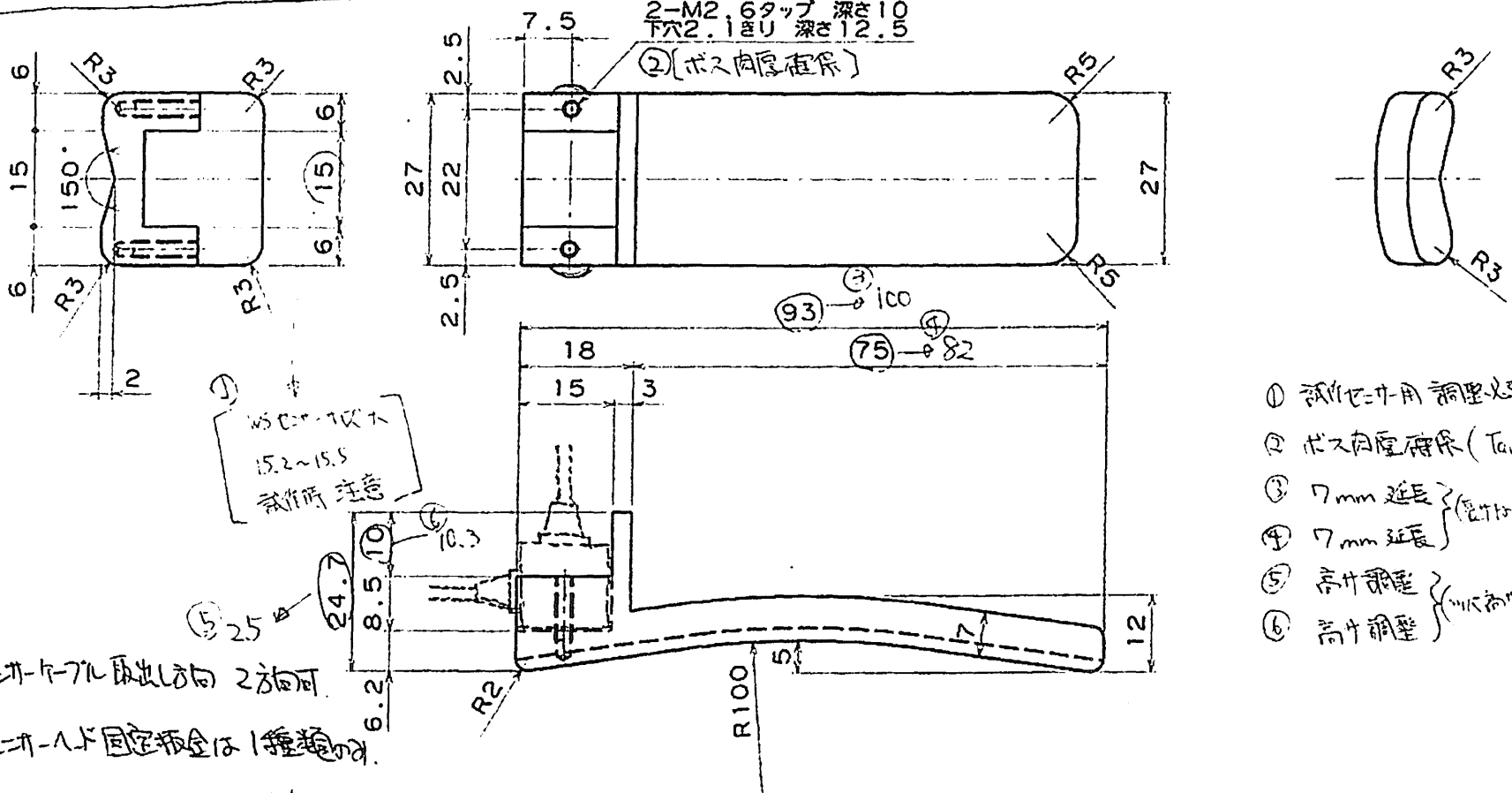
- 1) 作図は第三角法で描くこと
- 2) 指示がない角はC0. 2面取り加工のこと

2012.12.20 DEED-青森県事務所 1/2

※アダプタ素材を樹脂で行う場合は、タップ部分にエンザートが必要と思われます。

2-M2.6タップ 深さ10
下穴2.1mm 深さ12.5

② [ボス肉厚確保]



- ① 副化セキ用 調整必要 (DEED指針)
- ② ボス肉厚確保 (Tairex)
- ③ 7mm 延長 } (指針 Tairex)
- ④ 7mm 延長 } (指針 Tairex)
- ⑤ 高ナ調整 } (指針 Tairex)
- ⑥ 高ナ調整 } (指針 Tairex)

- a) セキ-キ-ル 取出し方向 2方向可.
- b) セキ-キ-ル 固定板金は 1種類のみ.
- c) ≡ ビスを外してはならず、セキ-キ-ル 交換、キ-ル 取出し方向可と同等 金具形状とす.
- d) 成形材料 PPS 同等 硬さ 寸法公差確保 (→ R100方向へは 外 NG.)

⑤	..			一般寸法公差 (切削加工) mm	
④	..			呼び寸法の区分	寸法公差
③	..				中 區
②	..			10以下	±0.1
①	..			4以下	±0.2
年月日		訂正記号	担当者	10以下	±0.3
				0.3以下	±0.5
				250以下	±0.8

表面処理		図面尺度	1:1	製図	SHIMIZU	12.12.19
熱処理		材質		設計	SHIMIZU	12.12.19
熱処理硬度		粗材寸法		検図	SHIMIZU	12.12.19
硬化環さ		粗材重量	g	承認	SHIMIZU	12.12.19

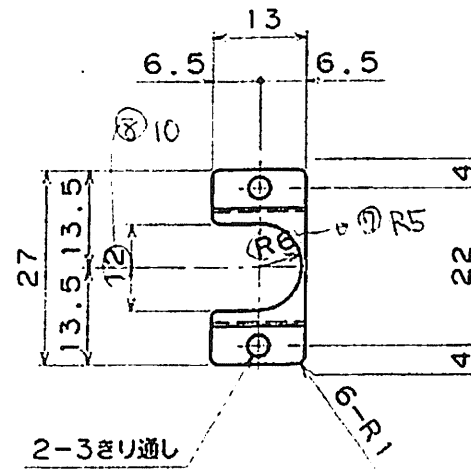
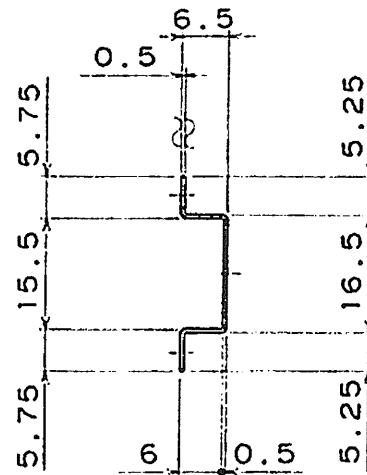
株式会社 DEED	品名	特殊ハンドアームアダプター	図番	PT-003E11-00
-----------	----	---------------	----	--------------

注記

- 1) 作図は第三角法で描くこと
- 2) 指示がない角はC0. 2面取り加工のこと

2/2

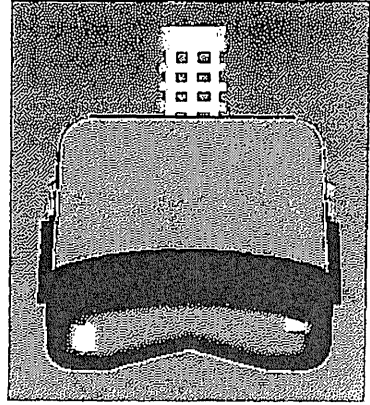
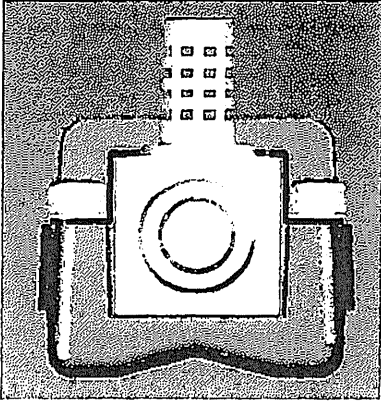
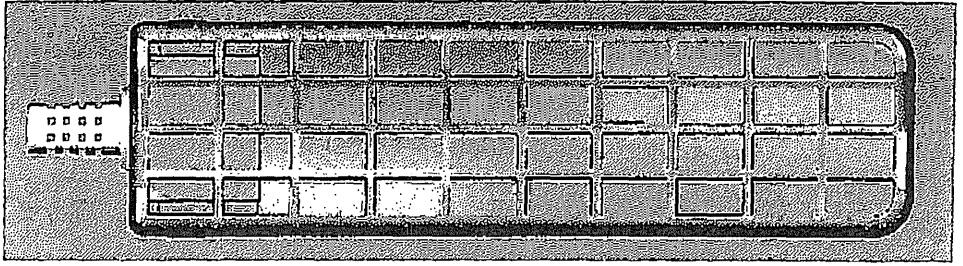
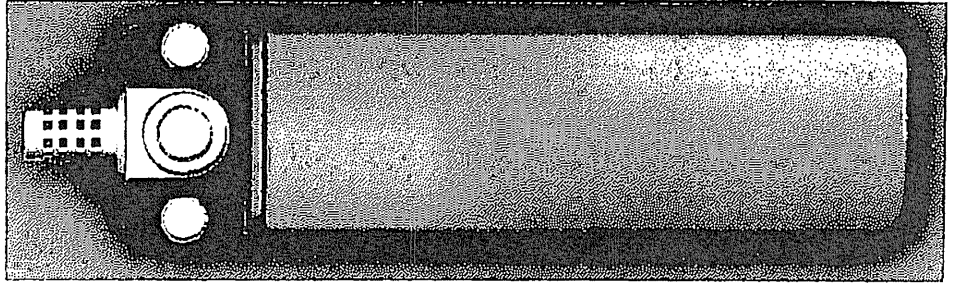
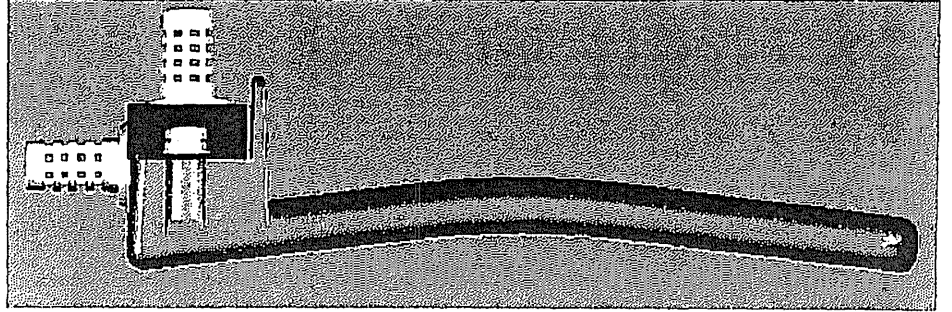
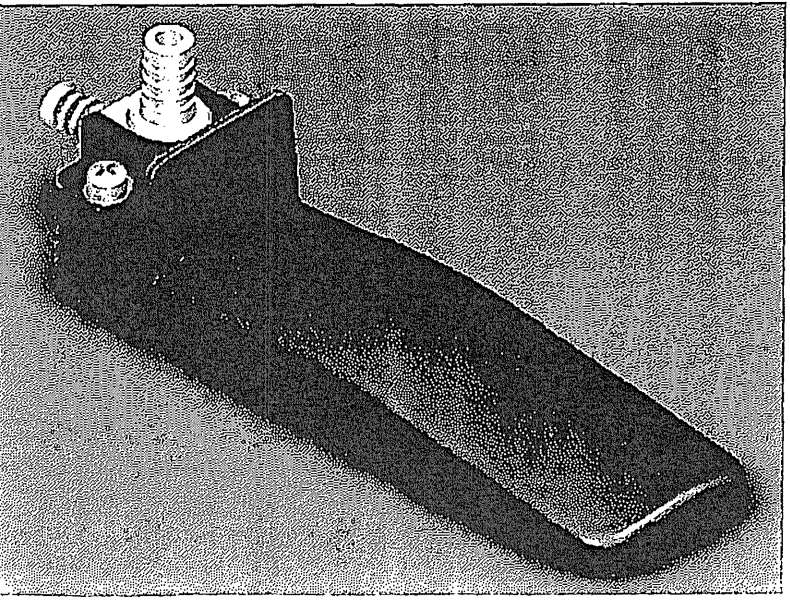
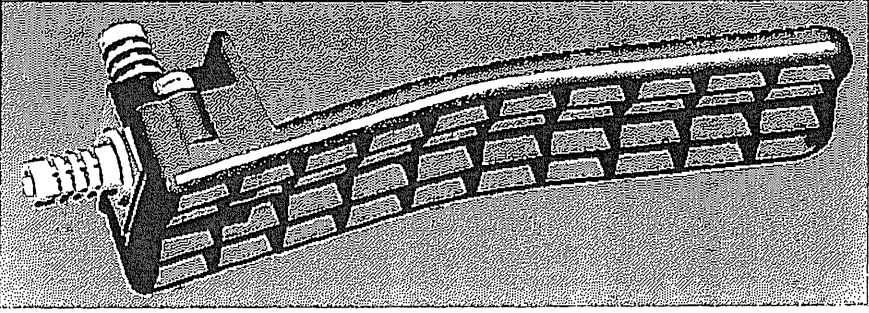
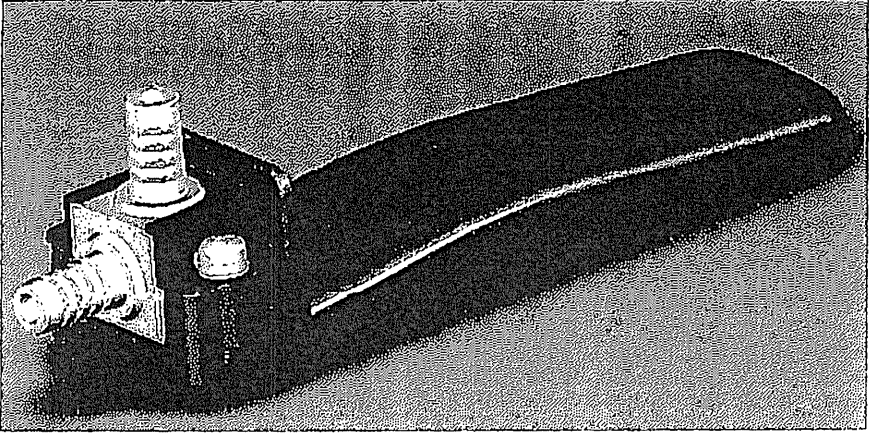
一般寸法公差 (切削加工) mm			
呼び寸法の区分		寸法公差	
①	12以下	4以下	±0.1
②	12以上 40以下	16以下	±0.2
③	40以上 100以下	25以下	±0.3
④	100以上 250以下	40以下	±0.5
⑤	250以上 1000以下	63以下	±0.8



⑦ 7_h=2径研磨 } 研磨部確保
 ⑧ 7_h=3径研磨 }

表面処理	SO	図面尺度	1:1	製図	SHIMIZU	12.12.19
熱処理		材質	SPCC	設計	SHIMIZU	12.12.19
防錆処理		粗材寸法		検図	SHIMIZU	12.12.19
硬化深さ		粗材直径		承認	SHIMIZU	12.12.19

株式会社 DEED	品名	特殊ハンドアームアダプター	図番	PT-003E12-00
-----------	----	---------------	----	--------------

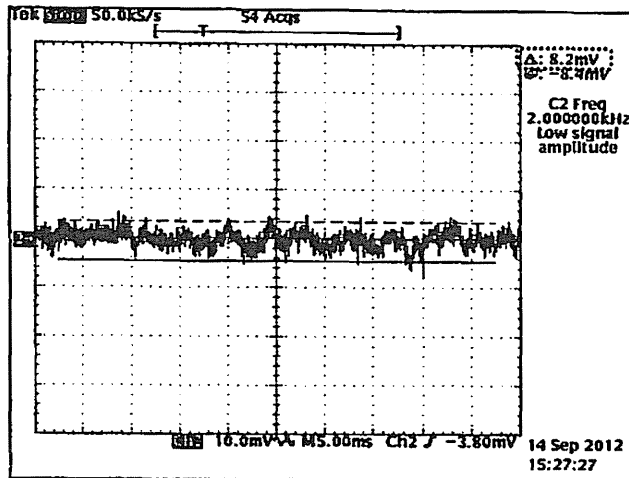


添付資料 5 : 工業技術研究所での試験結果

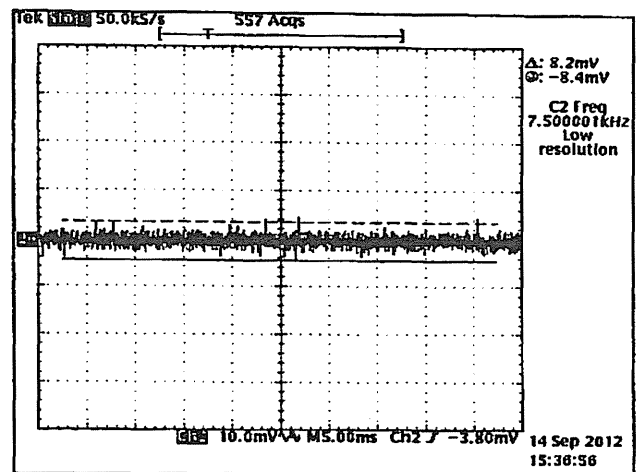
3. 電圧波形

1) 電圧波形

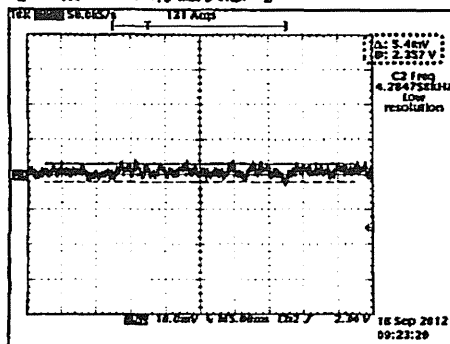
【 各軸センサー出力電圧波形(静止状態) 】



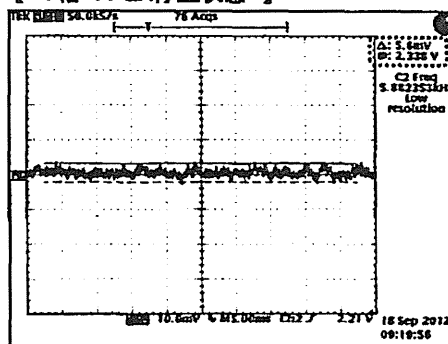
【 センサー取外し Vref=2.5V 直結入力状態 】



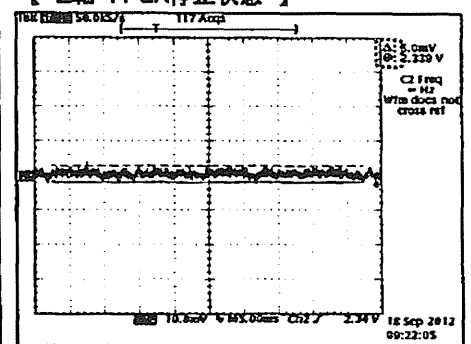
【 X軸 FPGA停止状態 】



【 Y軸 FPGA停止状態 】



【 Z軸 FPGA停止状態 】



※静止状態において、各軸とも4mV(8mV 0-p)以上の電圧ノイズがあり、稀に10mV付近までパルス電圧が確認される。

※センサー無しで、入力を2.5VのVrefと同電位にした場合は、その振幅は小さくなる。

※FPGA停止状態ではノイズ信号レベルが低減されているため、FPGAからのノイズ成分は1.5mV程度含まれている物と推測される。

4. センサー仕様および分解能計算

$$\text{RMSノイズ} = \text{ノイズ密度} \times \sqrt{(\text{帯域幅} \times \pi/2)}$$

項目	単位	ADXL326	ADXL326	AD22279	AD22280	AD22281	AD22282	AD22283	ADXL377	ADXL377
	軸数	3	3	1	1	1	1	1	3	3
	対象軸	x,y	z	x,y,z	x,y,z	x,y,z	x,y,z	x,y,z	x,y	z
Measurement Range	(±)g	16	16	35	50	70	120	250	200	200
SENSITIVITY	mV/g	57.0	57.0	55.0	38.0	27.0	18.0	8.0	6.5	6.5
Noise Density	μg/√Hz rms	300	300	1,100	1,400	1,800	3,000	5,000	2,400	3,600
Bandwidth	Hz	1,600	550	400	400	400	400	400	1,600	1,200
RMS Noise	g	0.015	0.009	0.028	0.035	0.045	0.075	0.125	0.120	0.156
加速度	最小分解能	m/s ²	0.147	0.086	0.270	0.344	0.442	0.737	1.228	1.179
出力電圧	mV	0.857	0.502	1.516	1.333	1.218	1.353	1.002	0.782	1.016
Dynamic Range	dB	60.5	65.2	62.1	63.1	63.8	64.1	66.0	64.4	62.1

※上表より、いずれのセンサーでもノイズレベルを考慮した最小分解能は、1.0mV程度あり。

※周波数帯域はセンサースペック上、JISで謳われている公称周波数(8~1000Hz)を満たせていない。

※RMSノイズは周波数帯域を小さくすれば小さく出来るとされるが、元々JIS要求を満たせていない上に、さらに帯域制限は不可。

※ダイナミックレンジ=20×log10(最大値/最小値)であるため、今回製品では60dB程度。リオン製などは110~120dB程度あり。

5. 考察

- 1) AD22279 (35g)オシロのノイズ波形で±8mVpp程度片側で4mVppの突効値で2.8mVrmsと考えると計算値1.516mVとの差がFPGA等から出る外来ノイズ分と思われる。
FPGAを動作させずDC電源でセンサーのみ動作の場合は、ノイズ波形で±4mVpp程度片側で2mVppの突効値で1.4mVrmsと考えるとほぼ計算通りのノイズとなる。
- 2) 計算結果から、現行品のm/s²の表示については、外来ノイズが1mV程度あるとすると、計算値の最大倍ぐらいの数値になると思われ低gタイプでも小数部無し、高gタイプでは10の位からの表示が正しい値になると思われる。(JIS補正値は考慮せずの場合)
- 3) この振動計では、1~2mV程度の外来ノイズが加わるのと、センサー最小分解能が1mV程度なのでA/Dの分解能は、12~16ビット程度のもので良いと思われる。
※アナデバ含め他社のデジタル出力製品(SPI/I2Cなど)でも、14bit程度が最大であり、そもそもMEMSセンサーで、高分解能のICは存在しないと思われる。
- 4) 3次試作ではA/Dのビット数増加に伴いDSPスライス数確保の為、高価なFPGAへの変更も行われているが、2次試作のビット数と比較し3次試作では取得データの何がどう変わったのか検証の必要が有ると思われる。
- 5) 計算結果から、高gセンサー1個で低g領域から高gまでカバー出来るダイナミックレンジを確保する事は不可能で、センサー数を増やして対応するしか無いように思われる。
- 6) JIS B7761-1要求項目で、「6.5.b(指示機構)」
「指示機構がデジタル表示のものにあっては、表示器の表示桁は5けた以上とし、表示の更新周期は1秒以上とする」
"表示桁数"という表現であるが、表示する以上、有効数字であるべきと考えられる。
しかしながら、今回センサーでは有効数字を5桁表示するほどの精度が得られない為、指示機構の要求を満たせないのではと推測される。

6. まとめ

JIS規格を"準拠"(標準や規格の要請を満たすこと)と云う形は、そもそもMEMSセンサーでは成し得ない内容では無いかと推測される。

JIS規格で要求されている項目を、再度一つ一つチェックし、スペックが満足するかどうか再確認が必要。

参考 アナログデバイセス FAQから引用

- 1) センサーノイズ誤差
慣性センサーはすべてノイズの影響を受けます。一般にノイズは帯域幅に比例するため、使用帯域幅に基づいてノイズの大きさを計算する必要があります。
アナログ・デバイセスの慣性センサーのノイズはガウス・ノイズ(ノイズ・エネルギーが全周波数で同一)です。
単極出力フィルタを使用した場合、センサーのRMSノイズを式で表すと、 $RMSノイズ = \sqrt{ノイズ密度 \times \sqrt{帯域幅 \times \pi/2}}$ となります。
ノイズ密度は、センサーのデータシートに記載されています
- 2) 一般に、慣性センサーの分解能の限界となるのはノイズです。上述したように、RMSノイズを計算してみてください。
通常、RMSノイズのレベルを下回る信号を分解することはできません。
- 3) それ以上の分解能が必要な場合
必ず低ノイズのセンサーを選択してください。それでも駄目な場合は、帯域幅とノイズ密度という2つの方法を試すことができます。
RMSノイズはノイズ密度と帯域幅によって決まります。ユーザはセンサーのノイズ密度を変更できないため、そのアプリケーションで使用する帯域幅を可能な限り小さくしてみてください。
さらに調整が必要な場合は、複数のセンサーからの信号を平均化します。
アナログ・デバイセスの慣性センサーのノイズはランダム(ガウス)ノイズです。
したがって、各センサーのノイズに相関性がないため、N個のセンサーを平均すれば \sqrt{n} のノイズ改善が得られます。

【インパクトレンチ】

製品名	形名	質量 (kg)	振動3軸合成値 (m/s ²)	適用測定規格
コードレスインパクトレンチ	WR14DBAL2	1.4	9.0	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR14DBAL	1.4	9.8	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR14DSL	1.5	7.3	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR14DBDL	1.6	12.8	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR14DSDL	3.2	10.3	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR18DBAL2	1.5	8.7	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR18DBDL	1.7	13.2	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR18DSDL	3.4	9.7	EN60745-2-2
コードレスインパクトレンチ	WR12DM2	1.6	9.4	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR12VE	1.2	14.0	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR12VB	1.4	13.7	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR14VB	2.2	15.9	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR16SA	2.8	17.4	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR16SA(S)	2.8	19.4	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WR22SA	4.8	23.9	EN60745-2-2
インパクトレンチ	WH25	9.0	51.8	EN60745-2-2

【パイプレーションドリル】

振動ドライバドリル	DV14DSL	1.7	12.3	EN60745-2-1
振動ドライバドリル	DV14DBL	2.0	14.5	EN60745-2-1
振動ドライバドリル	DV18DBL	2.2	14.5	EN60745-2-1
振動ドリル	DV12V	1.4	15.4	EN60745-2-1
振動ドリル	DV16V	1.5	17.9	EN60745-2-1
振動ドリル	DV18VA	2.2	17.7	EN60745-2-1
振動ドリル	DV20VE	2.3	16.6	EN60745-2-1
振動ドリル	DV20VB2	2.2	18.4	EN60745-2-1
振動ドリル	VTP-25	3.8	11.3	EN60745-2-1
振動ドリル	DV21V	2.4	19.1	EN60745-2-1
振動ドリル	FDV13VSS	1.4	19.7	EN60745-2-1
振動ドリル	FDV16VB2	1.6	15.1	EN60745-2-1
振動ドリル	FDV18V	1.7	14.7	EN60745-2-1
ロータリハンマドリル	DH14DSL	2.1	10.7	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH18DSL	2.2	12.1	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH25DAL	3.8	16.7	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH36DAL	4.0	18.6	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH18PH	2.1	18.8	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH18PB	1.6	11.8	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH18MB	2.0	14.3	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH22PB	2.3	18.5	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH24PB3	2.3	16.0	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH24PC3	2.4	16.0	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH24PF3	2.4	18.6	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH24PD3	2.8	16.0	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH24PM	2.6	17.3	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH28PC	3.5	14.8	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH28PD	4.7	14.8	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH25PB	3.4	16.1	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	DH30PC2	4.3	19.8	EN60745-2-6
ロータリハンマドリル	FDH22PG	1.9	11.1	EN60745-2-6
ハンマドリル	PR-25B	7.3	23.0	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH35	5.4	16.1	EN60745-2-6
ハンマドリル	PR-38E	7.5	14.5	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH38SS	6.4	19.7	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH40SR	6.5	19.8	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH42	8.0	15.5	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH45SA	9.8	21.0	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH38MS	6.4	19.7	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH40MRY	6.8	9.2	EN60745-2-6
ハンマドリル	DH50MRY	10.5	12.0	EN60745-2-6

【電動ハンマー】

ケレンハンマ	H25PV	3.2	10.7	EN60745-2-6
ハンマ	H41MB	5.1	11.2	EN60745-2-6
ハンマ	H45MR	5.9	12.4	EN60745-2-6
ハンマ	H60MRV	10.5	18.7	EN60745-2-6
ハンマ	PH-40F	5.9	17.1	EN60745-2-6
ハンマ	H41SA	4.8	16.8	EN60745-2-6
ハンマ	H41SA2	4.7	18.7	EN60745-2-6
ハンマ	H45SR	5.9	12.4	EN60745-2-6
ハンマ	H50SA	8.8	21.2	EN60745-2-6
ハンマ	PH-65A	15.0	14.9	EN60745-2-6
ハンマ	H65SB2	16.5	19.9	EN60745-2-6
ハンマ	H70SA	18.0	19.8	EN60745-2-6
ハンマ	H90	30.0	19.6	EN60745-2-6

【 携帯用研削盤 】

製品名	形名	質量 (kg)	振動3軸合成値 (m/s ²)	適用測定規格
電気ディスクグラインダ	G18SP	3.3	6.0	EN60745-2-3
電気ディスクグラインダ	PDH-180C	6.3	3.0	EN60745-2-3
電気ディスクグラインダ	G18SH	4.9	4.5	EN60745-2-3
電気ディスクグラインダ	PDH-205A	6.5	3.9	EN60745-2-3
電子ディスクグラインダ	G18Y1	3.5	6.3	EN60745-2-3
電子ディスクグラインダ	G18YB	4.7	5.2	EN60745-2-3

【 サンダー 】

ミニサンダ	SV12SG	1.1	5.2	EN60745-2-4
ミニサンダ	SV12SH	1.0	6.9	EN60745-2-4
オービタルサンダ	SV12SE	2.6	4.7	EN60745-2-4
オービタルサンダ	SV12SD	2.8	5.1	EN60745-2-4
ランダムサンダ	SV13YB	1.4	7.0	EN60745-2-4
ディスクサンダ	S10SA3	1.6	4.8	EN60745-2-3
ディスクサンダ	S13SA3	1.8	4.2	EN60745-2-3
電子ディスクサンダ	S18V	2.1	4.4	EN60745-2-3
ベルトサンダ	SB8V2	4.3	<2.5	EN60745-2-4
ベルトサンダ	SB10V2	5.2	<2.5	EN60745-2-4
オービタルサンダ	FSV10SA	1.3	4.0	EN60745-2-4
ミニサンダ	FSV12SG	1.1	5.2	EN60745-2-4
ミニサンダ	FSV12SH	1.0	6.9	EN60745-2-4
ランダムサンダ	FSV13YB	1.4	7.0	EN60745-2-4

【 バイブレーションシャワー 】

ニブラ	CN16SA	1.6	10.0	EN60745-2-8
ニブラ	CN23	3.5	5.8	EN60745-2-8
ニブラ	CN32	5.8	10.6	EN60745-2-8
ニブラ	CN60	8.5	11.9	EN60745-2-8
ハンドシャ	CE16SA	1.7	7.2	EN60745-2-8

【 ジグソー 】

コードレスジグソー	CJ14DSL	2.3	6.1	EN60745-2-11
コードレスジグソー	CJ18DSL	2.4	6.6	EN60745-2-11
ジグソー	CJ65SF	1.5	11.7	EN60745-2-11
ジグソー	CJ65VF	1.5	11.7	EN60745-2-11
ジグソー	CJ90VST	2.2	7.0	EN60745-2-11
ジグソー	CJ110M	2.2	3.4	EN60745-2-11
ジグソー	CJ110MV	2.2	3.4	EN60745-2-11
ジグソー	CJ120V	2.3	6.1	EN60745-2-11
ジグソー	FCJ65S3	1.5	17.2	EN60745-2-11
ジグソー	FCJ65V3	1.5	17.2	EN60745-2-11

【 コンクリートバイブレーター 】

コンクリートバイブレータ	UV28M	3.7	16.4	EN60745-2-12
コンクリートバイブレータ	UV32M	3.8	17.5	EN60745-2-12

【 チェンソー 】

エンジンチェンソー	CS33EDTP(S)	3.4	6.1	ISO22867:2004
エンジンチェンソー	CS33EB	4.0	4.7	ISO22867:2004
エンジンチェンソー	CS40EA	4.4	3.2	ISO22867:2004
エンジンチェンソー	CS39E	3.9	5.1	ISO22867:2004
エンジンチェンソー	CS51EAP(50S)	5.2	<2.5	ISO22867:2004
電気チェンソー	CS28	4.0	3.5	EN60745-2-13
電気チェンソー	CS35	4.2	4.9	EN60745-2-13
電気チェンソー	FCS25SA	2.1	4.1	EN60745-2-13
電気チェンソー	FCS30SA	2.2	4.4	EN60745-2-13
電気チェンソー	FCS35SA	2.3	4.6	EN60745-2-13

【 ブッシュクリーナー 】

エンジン刈払機	CG22EASP	4.7	4.4	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG22EASP(A)	4.7	4.4	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG22EASP(S)	4.7	4.4	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG22EASP(AS)	4.8	4.4	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG24EASP(S)	4.9	4.3	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG24EASP(AS)	4.9	4.3	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG24EASP(ASL)	4.6	5.2	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG27EASP(S)	5.1	5.6	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG27EASP(AS)	5.1	5.6	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG25EUS(A)	5.2	3.9	ISO22867:2004
エンジン刈払機	FCG22EASP	4.7	3.3	ISO22867:2004
エンジン刈払機	FCG22EASP(S)	4.8	3.3	ISO22867:2004
エンジン刈払機	FCG24EASP(S)	4.9	5.1	ISO22867:2004
エンジン刈払機	FCG27EASP(S)	5.1	5.6	ISO22867:2004
エンジン刈払機	CG33EASP(AS)	5.7	3.5	ISO22867:2004

1. 目的

振動計のANP入力信号と表示値の相関関係を検査する。

2. 内容

入力信号: 勃水 418A (低周波発信器)にてDC2.5Vオフセットを加えた電圧を印加する。
入力電圧測定器: ADVANTEST R6441C
測定モード: センサーB(35g)、測定時間1分間

擬似センサー入力			振動合成値	周波数補正	Wh	加速度[m/s ²]			
周波数[Hz]	電圧[Vrms]	g (55mV/g (35g))				計算値	正弦波	矩形波	正弦波
10	0.05	0.909	1.575	0.951	14.685	15.202	3.522	13.882	-5.467
100	0.05	0.909	1.575	0.160	2.471	2.384	-4.318	2.189	-12.209
400	0.05	0.909	1.575	0.040	0.615	0.593	-3.510	0.531	-13.598
1000	0.05	0.909	1.575	0.014	0.208	0.207	-0.700	0.191	-8.376
10	0.5	9.091	15.748	0.951	146.848	156.166	6.345	142.282	-3.110
100	0.5	9.091	15.748	0.160	24.706	24.355	-1.422	22.008	-10.922
400	0.5	9.091	15.748	0.040	6.148	5.924	-3.607	5.399	-12.150
1000	0.5	9.091	15.748	0.014	2.085	1.901	-8.807	1.701	-18.402

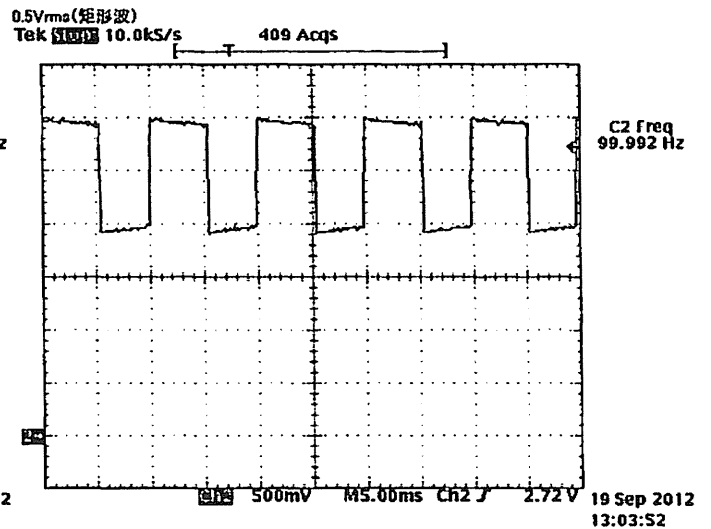
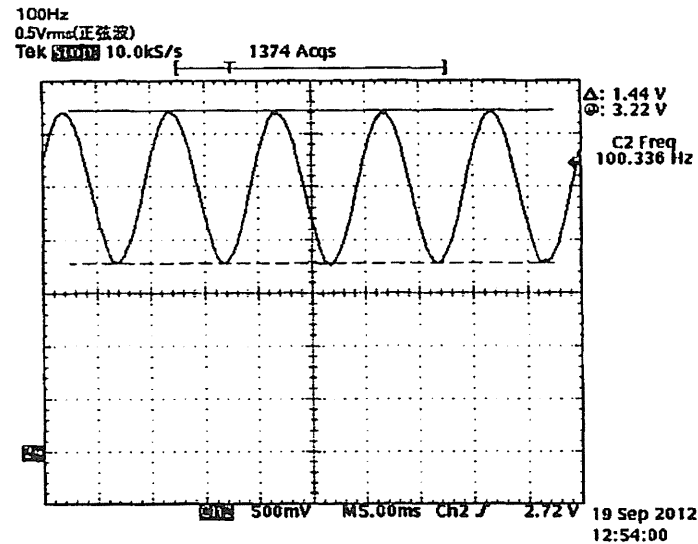
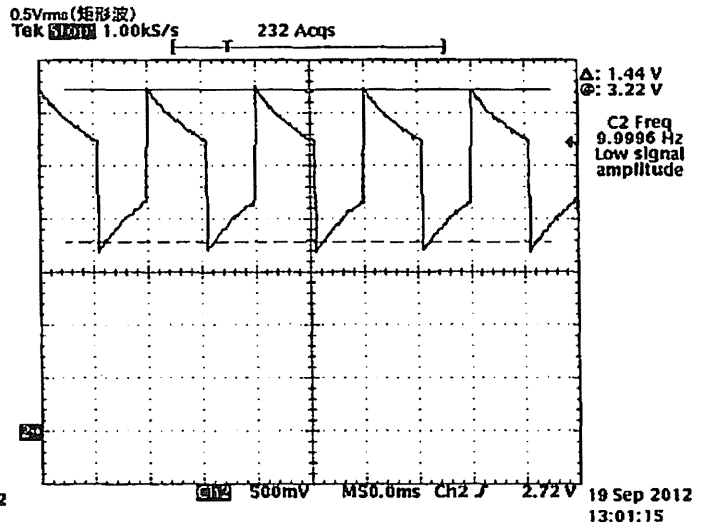
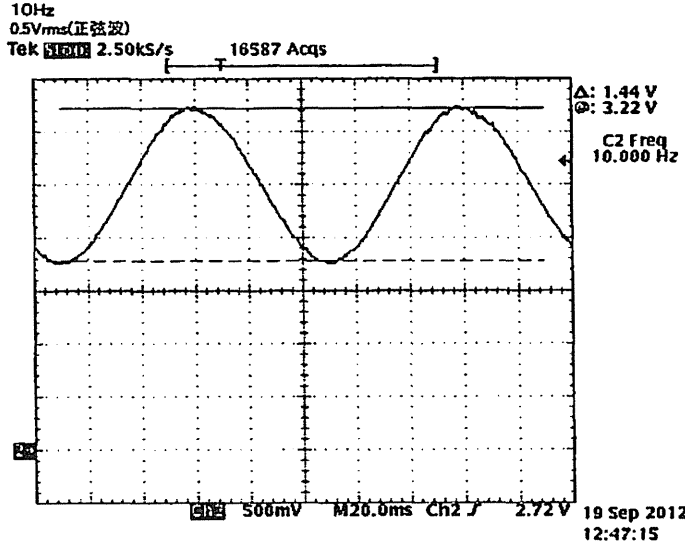
10	1	18.182	31.492	0.951	293.697	313.068	6.598	283.81	-3.434
100	1	18.182	31.492	0.160	49.413	48.689	-1.465	44.257	-10.434
400	1	18.182	31.492	0.040	12.291	12.065	-1.842	10.831	-11.882
1000	1	18.182	31.492	0.014	4.169	3.776	-9.431	3.401	-18.426

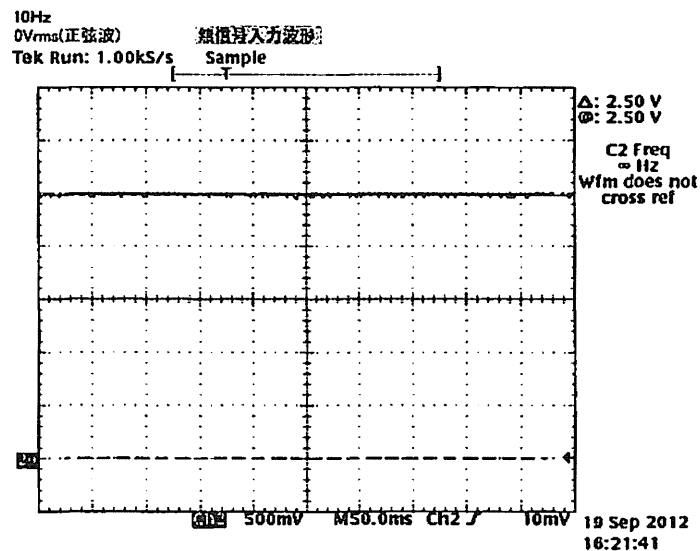
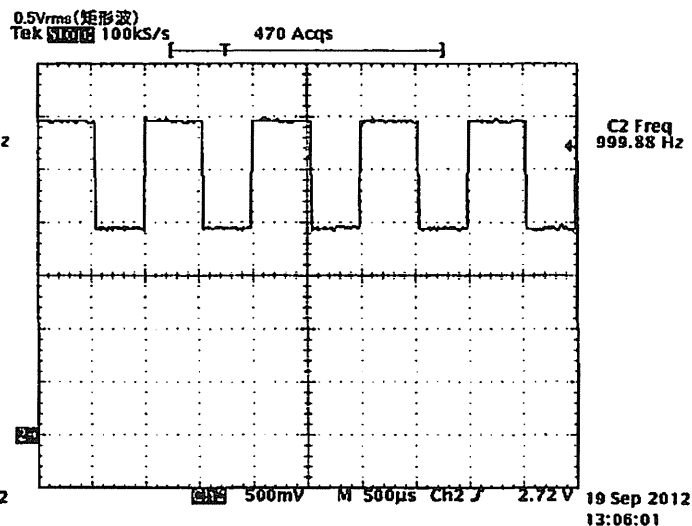
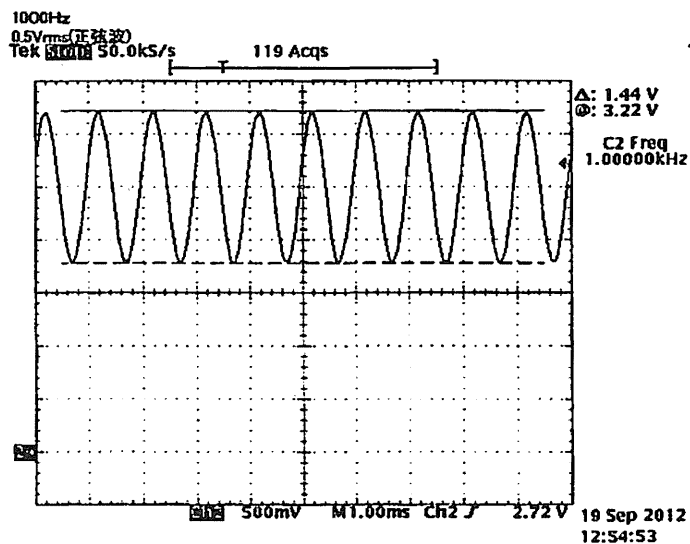
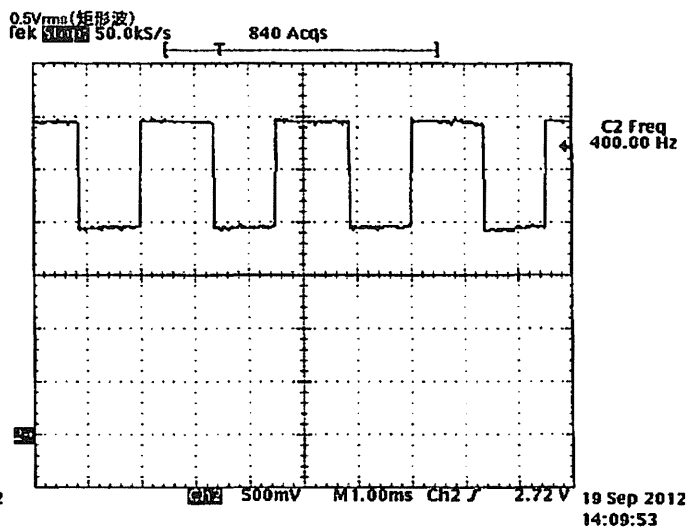
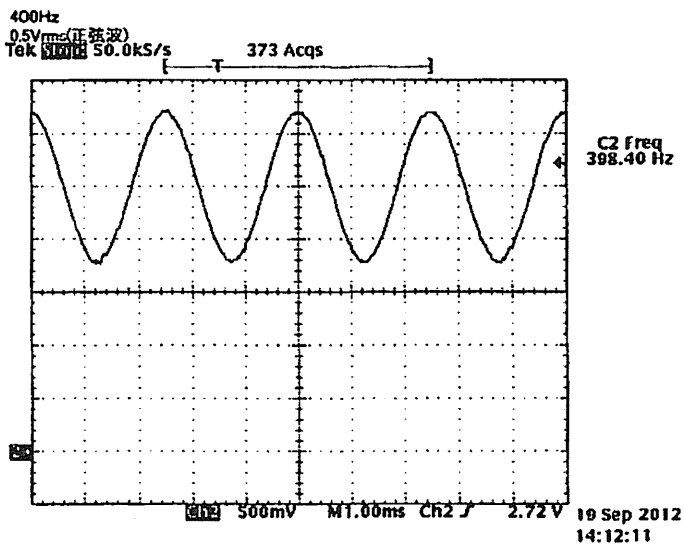
微小電圧入力評価 (周波数は10Hz固定)

10	0	0.000	0.000	0.951	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.002	0.038	0.063	0.951	0.587	0.757	2.874		
10	0.003	0.055	0.094	0.951	0.881	1.002	3.723		
10	0.005	0.091	0.157	0.951	1.488	1.551	5.619		
10	0.01	0.182	0.315	0.951	2.937	3.047	3.748		
10	0.02	0.364	0.630	0.951	5.874	6.057	3.117		

- ・無信号時に値が0にならない
- ・無信号時の値が、歪歪されている?
- ・引いた場合は0.757-0.12=0.637 偏差8.445%
- ・3mVの入力でも、偏差が10%を超えている。

入力波形





3. 考察

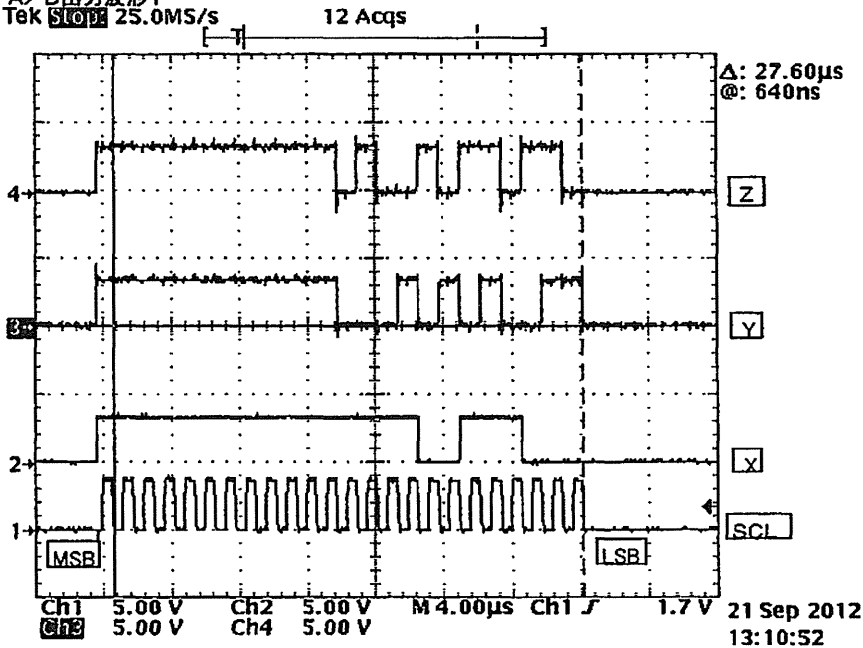
入出力間の周波数特性では、正弦波においてはJISの規格内であるが、矩形波は規格外になる為、さらに高精度の計測器にて検証する必要があると思われる。

又、正弦波においても、測定値は実際センサーの物で無い為、さらにセンサー誤差が加わる事も考えられる。(実際の振動では、正弦波以外の波形も入力される場合があると考えられる為)

5mVrms以下の入力では誤差が大きくなる、これは入力0Vでも出力がある為、この出力分がプラスされている可能性がある。入力0Vでなぜ出力が0m/s²にならないのかの調査が必要と思われる。

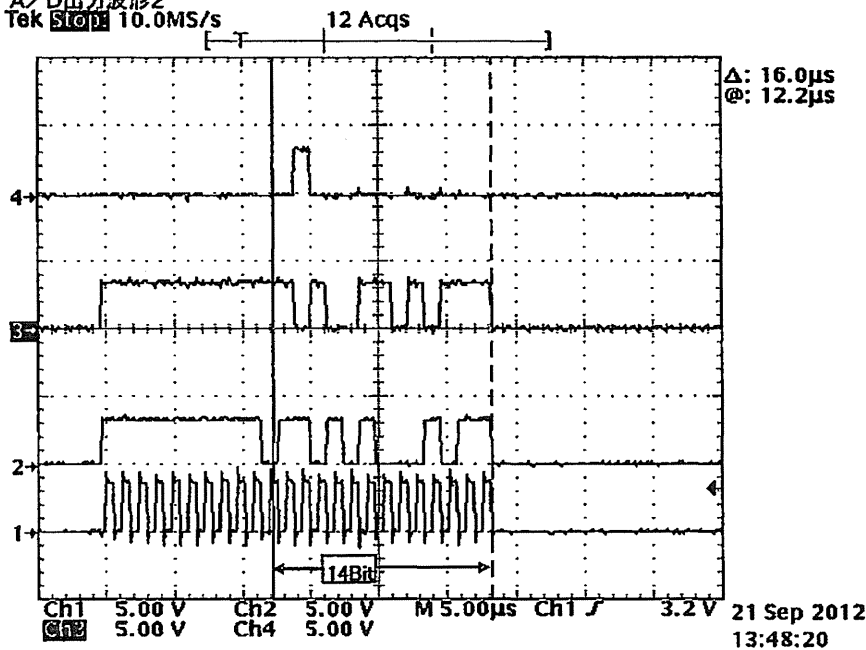
1. 目的
A/Dの出力データを解析しノイズレベルとの関連を調査する。

2. 内容
A/D: ADS1274IPAPT (24Bit AD)
AD22279 35gセンサー接続
無振動時
A/D出力波形1
Tek **STOP** 25.0MS/s



* A/DはSPIインターフェース接続ディスクリートモードで出力する。
SCLKがHi時のXYZの状態がBitに対応し全24Bitシリアル出力される。
出力は±極性付の片側23Bitで分解能は下記になる。
 $2.5V/8388608 = 0.0002980mV$

- AD22279 35gセンサー接続
無振動時
A/D出力波形2
Tek **STOP** 10.0MS/s

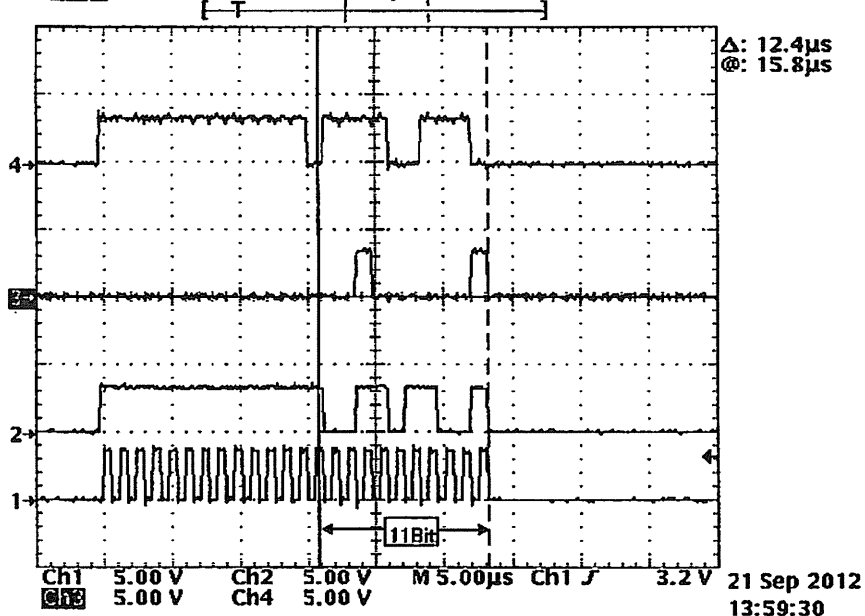


* センサー接続ノイズで下位14Bitが変化する。
14Bitでの最大電圧は下記になる。
 $0.0002980mV \times 16384 = 4.882mV$
この時の振動計XYZ表示はおおよそ下記なる。
X: -0.15~+0.15
Y: -0.15~+0.15
Z: -0.15~+0.15
この表示値はセンサーノイズ+スイッチングノイズ電圧の実効値をgに変じ補正した値と思われる。
(スイッチングノイズ = FPGA, DC/DC等のノイズ)

センサーの代わりにVrefをXYZに接続

A/D出力波形3

Tek 10.0MS/s



* Vref接続ノイズで下位11Bitが変化する。
(センサーを接続していない為センサーノイズは発生しない)
最大の11Bitでの電圧は下記になる。

$$0.0002980\text{mV} \times 2048 = 0.610\text{mV}$$

この時の振動計XYZ表示はおおよそ下記なる

X: $\pm 0.039 \sim 0.061$
Y: $\pm 0.039 \sim 0.061$
Z: $\pm 0.039 \sim 0.061$

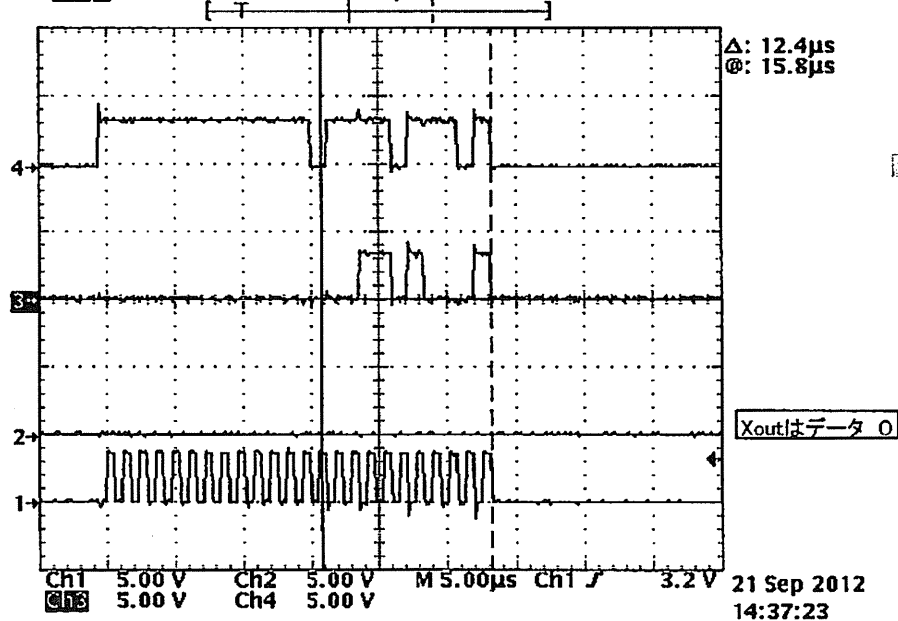
この表示値はスイッチングノイズ電圧の実効値をgに変換し補正した値と思われる。
(センサーノイズは無し)

センサーの代わりにVrefをXYZに接続

FPGAのX入力をGNDに落とす。

A/D出力波形4

Tek 10.0MS/s



* FPGAのX入力をGNDに落とす事で見かけ上A/DのXoutを0Vにする
Xのみgが0となり振動計XYZ表示はおおよそ下記なる。

X: $\pm 0.000 \sim 0.000$
Y: $\pm 0.039 \sim 0.061$
Z: $\pm 0.039 \sim 0.061$

表示がXのみ0.00となり、この事から明らかにスイッチングノイズ成分が表示されていると考えられる。

3. 考察

センサー無振動時における表示のバラツキ及び、センサーの代わりにVrefを入力した場合本来の0.000と表示されない原因は、ノイズ成分を24Bitの高分解能A/Dで変換し表示させている事が原因と思われる。

センサー接続では、A/Dの14Bit目が変化する事から、下位13Bitは全てのBitが立つと思われる。その時の最大電圧は、 $0.0002980\text{mV} \times 8192 = 2.441\text{mV}$ となるので最低2.4mV以上のノイズ成分がある。A/Dの仕様決定に関しては、センサーRMSノイズ + スwitchingノイズから分解能を決めると仕様に適したA/Dは、±極性付の片側13Bitで分解能 0.3mV程度の14BitA/Dが良いと思われる。

センサーの応答周波数帯域を下げる(100Hz以下)とセンサーRMSノイズが1/2以下に減少する為16BitのA/Dの分解能が必要な領域になるが、この場合はスイッチングノイズの影響が問題となりこのノイズ対策が必要と思われる。