

HV400による音叉振動測定(その2)

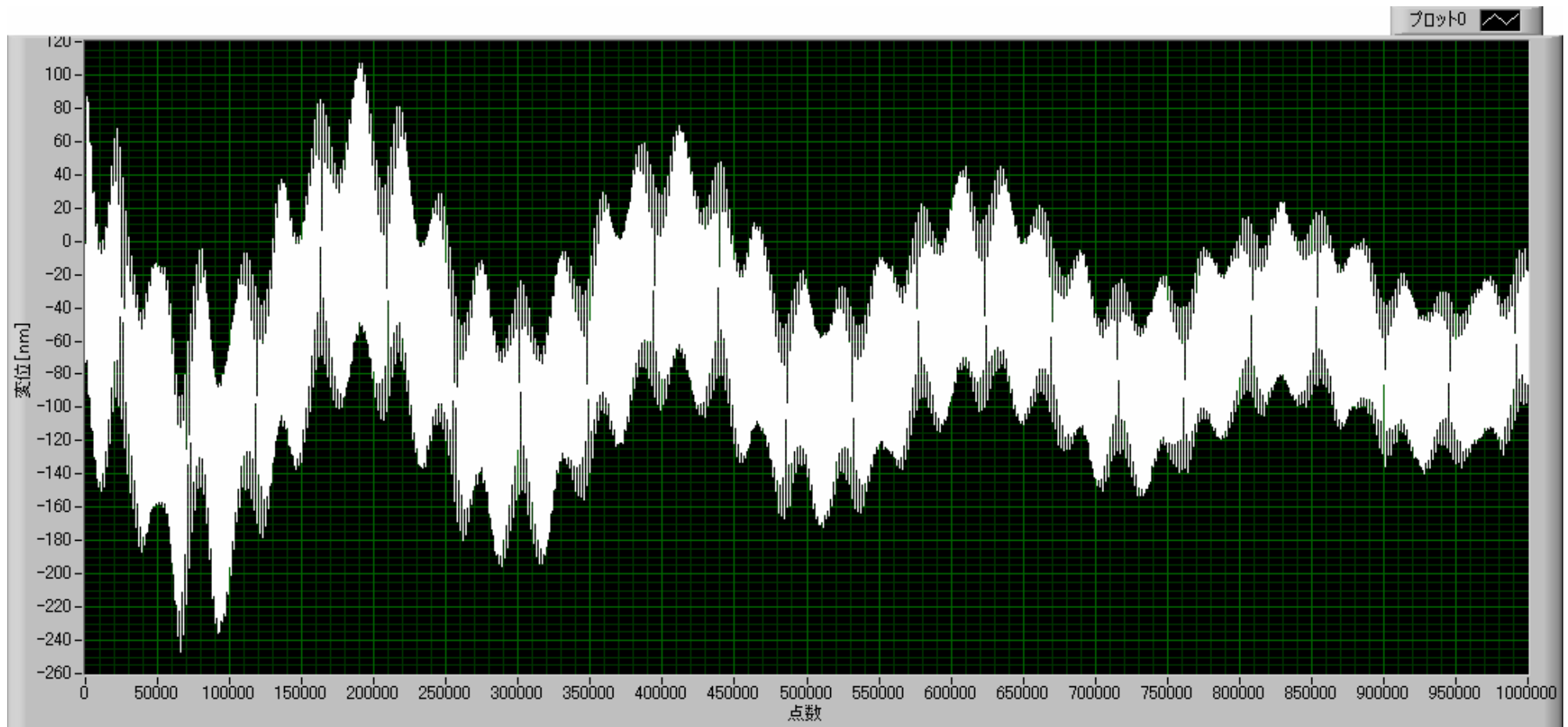
株式会社フォトンプローブ

序

”HV400による音叉振動測定(その1)”において、基本振動以外に、複数の振動の存在を示した。
次に、この複数の振動は、基本振動振幅が小さい場合にも、現れるのだろうか。
その疑問を解くべく、振幅の小さい場合の変動を調べる。

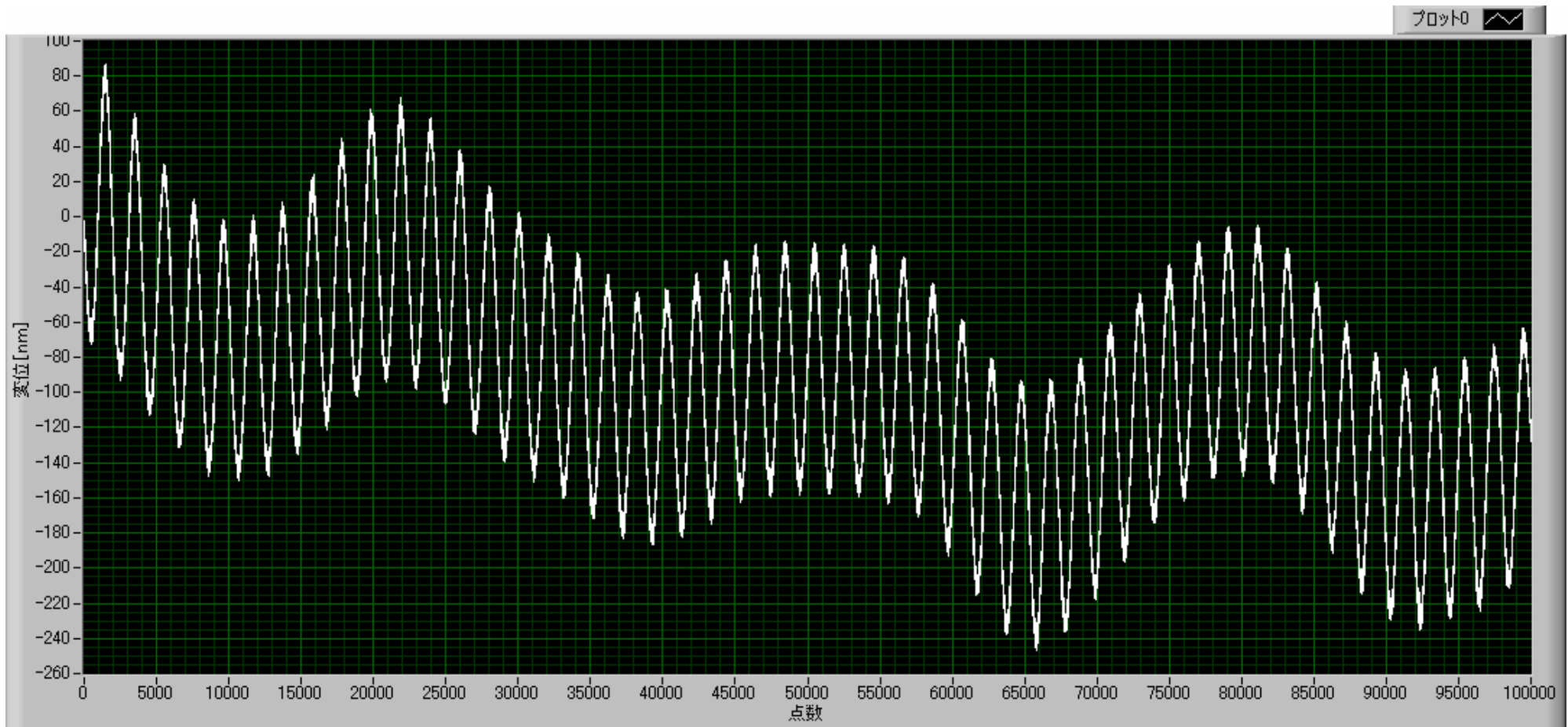
測定結果

その1 1秒間(1 μ sごとに1000k点)計測した。



最大でも、300nmPP、である。

その2 その1と同様に拡大する。0点から100k点まで(0.1秒間)



明らかに2つの信号成分が、基本振動に重畳している

ひとつは 約22000点周期(220ms)

ひとつは 約3000点周期(30ms)

である。

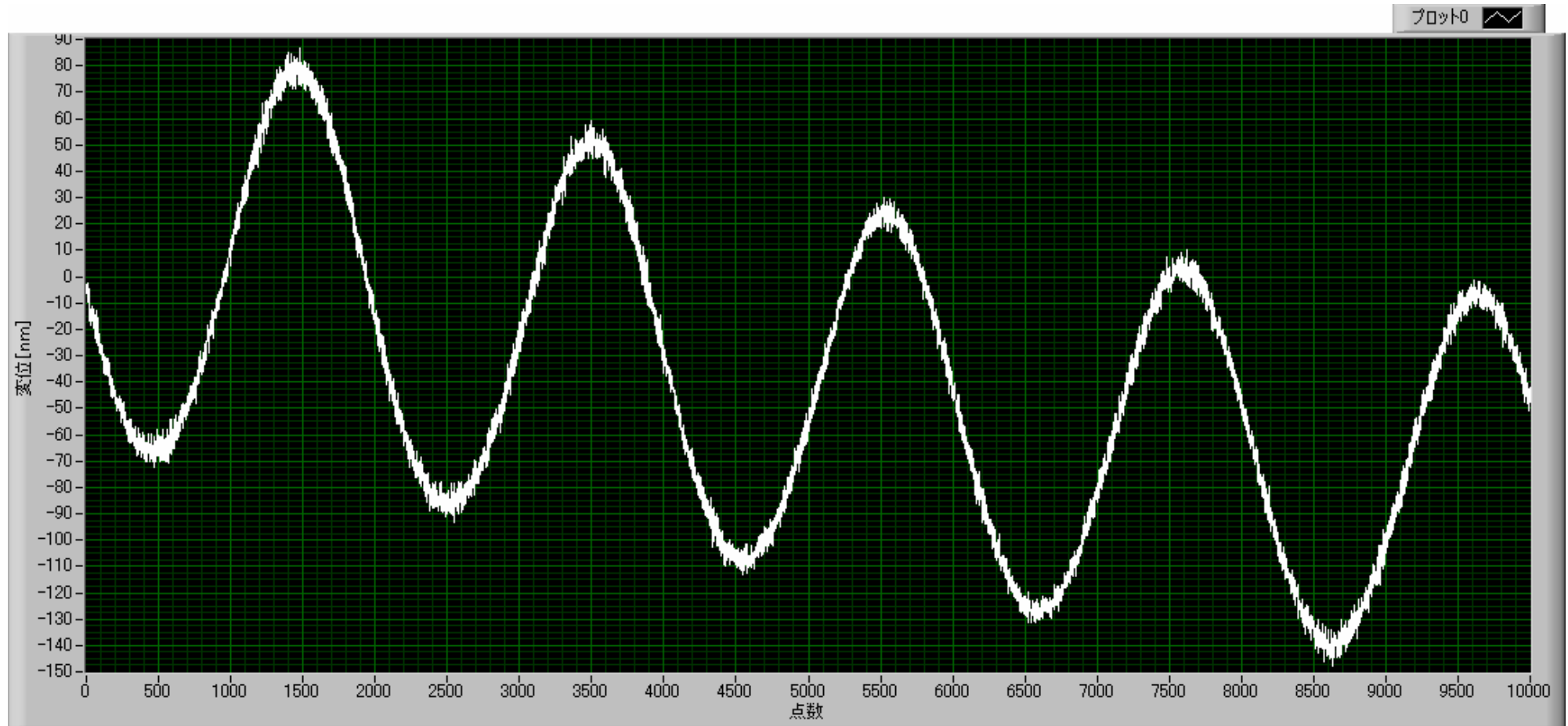
振幅約70nm

振幅約30nm

第2振動と呼ぶ

第3振動と呼ぶ

その3 更に拡大する。 0点から10k点まで(0.01秒間)



上図からも、基本振動に何かしらの振動成分が重畳し、ノイズ成分があることが知れる。

ノイズは標準偏差値で3nm以下であろうと推測できる。

基本振動も減衰しているので、

$$A \cdot \exp(-\gamma t) \cdot \sin(2\pi Ft + \Phi)$$

と仮定し、最も適合した、A、 γ 、 ω 、 Φ 、の値を最小二乗法により求めた。

結果

$$A = 70.471171 \text{ [nm]}$$

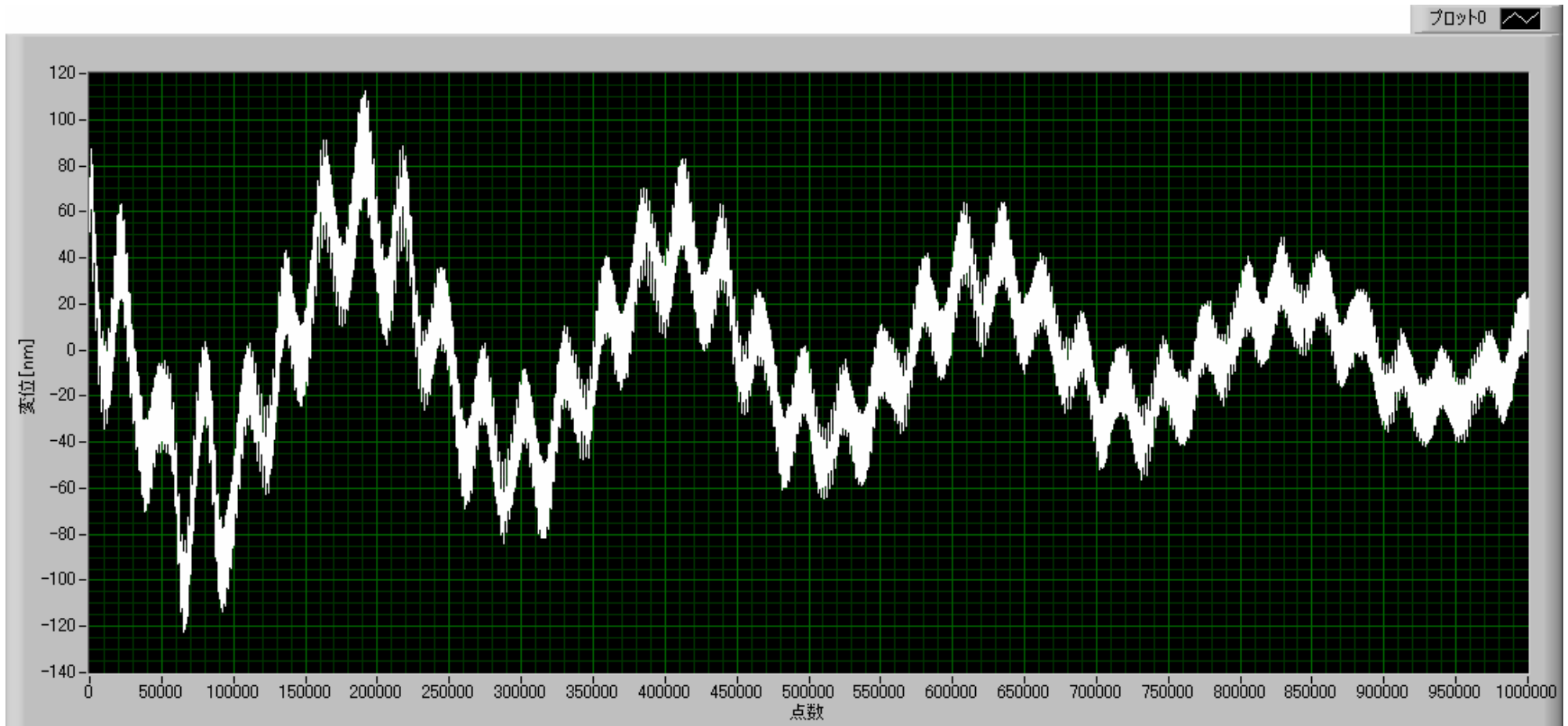
$$\gamma = 0.5996089 \text{ [1/s]}$$

$$F = 0.0020423 \text{ [1/s]}$$

$$\Phi = 1.57283736$$

周波数fで表現すると $f = 489.6304 \text{ Hz}$

その4 この基本振動を取り除くと下図となる。



第2振動および第3振動の2つの振動の存在がより明白になった。

第2振動も減衰しているので、

$$A \cdot \exp(-\gamma t) \cdot \sin(2\pi Ft + \Phi)$$

と仮定し、最も適合した、A、 γ 、 ω 、 Φ 、の値を最小二乗法により求めた。

結果

$$A = 71.536271 \text{ [nm]}$$

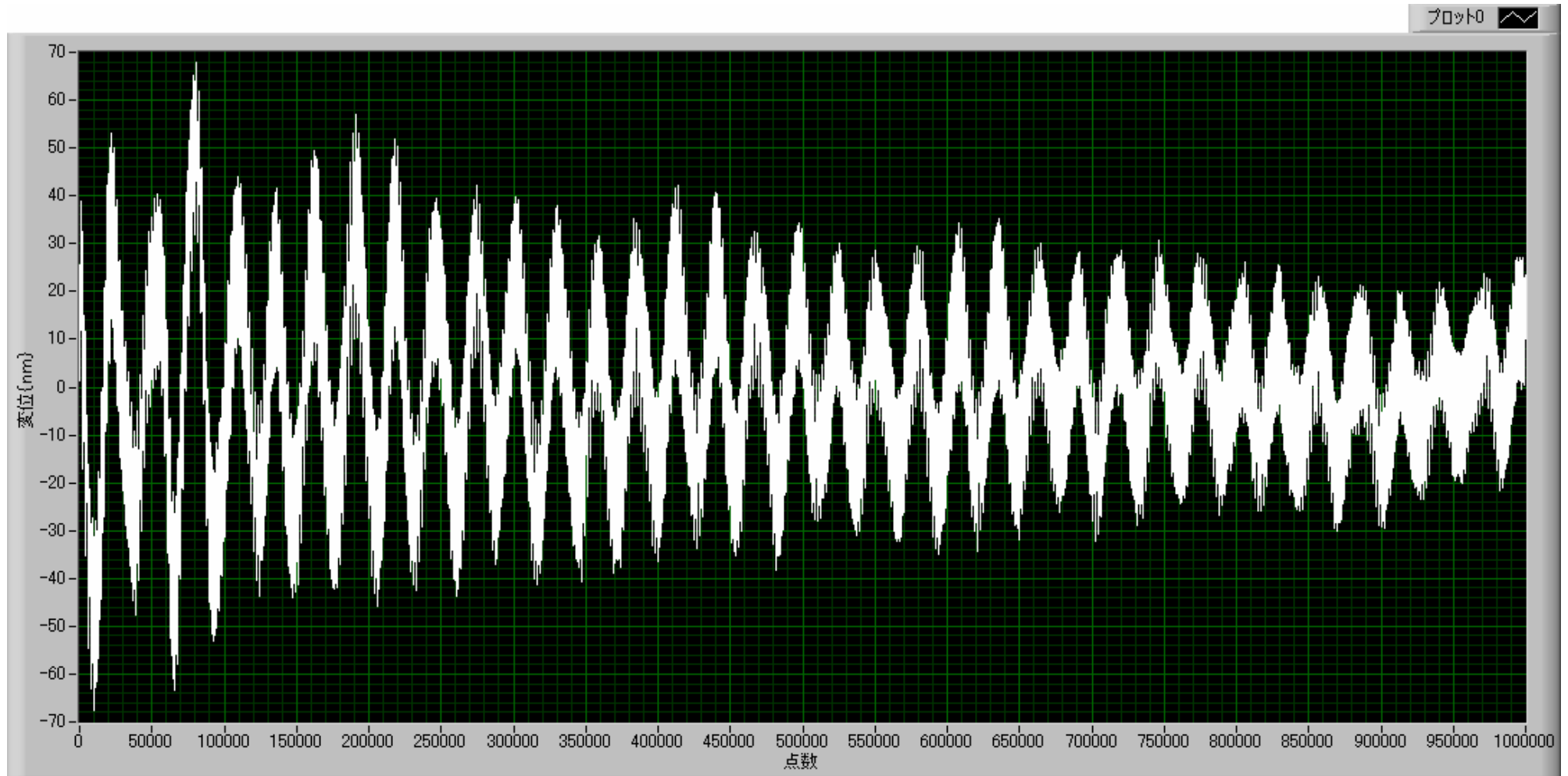
$$\gamma = 1.3065464 \text{ [1/s]}$$

$$F = 0.2165936 \text{ [1/s]}$$

$$\Phi = 0.08145198$$

周波数fで表現すると $f = 4.61694159 \text{ Hz}$

その5 更に第2振動を除く。



第3振動の存在ははっきりしているが、第4振動の存在は明白ではない。
第3振動も減衰しているので、

$$A \cdot \exp(-\gamma t) \cdot \sin(2\pi Ft + \Phi)$$

と仮定し、最も適合した、 A 、 γ 、 ω 、 Φ 、の値を最小二乗法により求めた。

結果

$$A = 35.507018 \text{ [nm]}$$

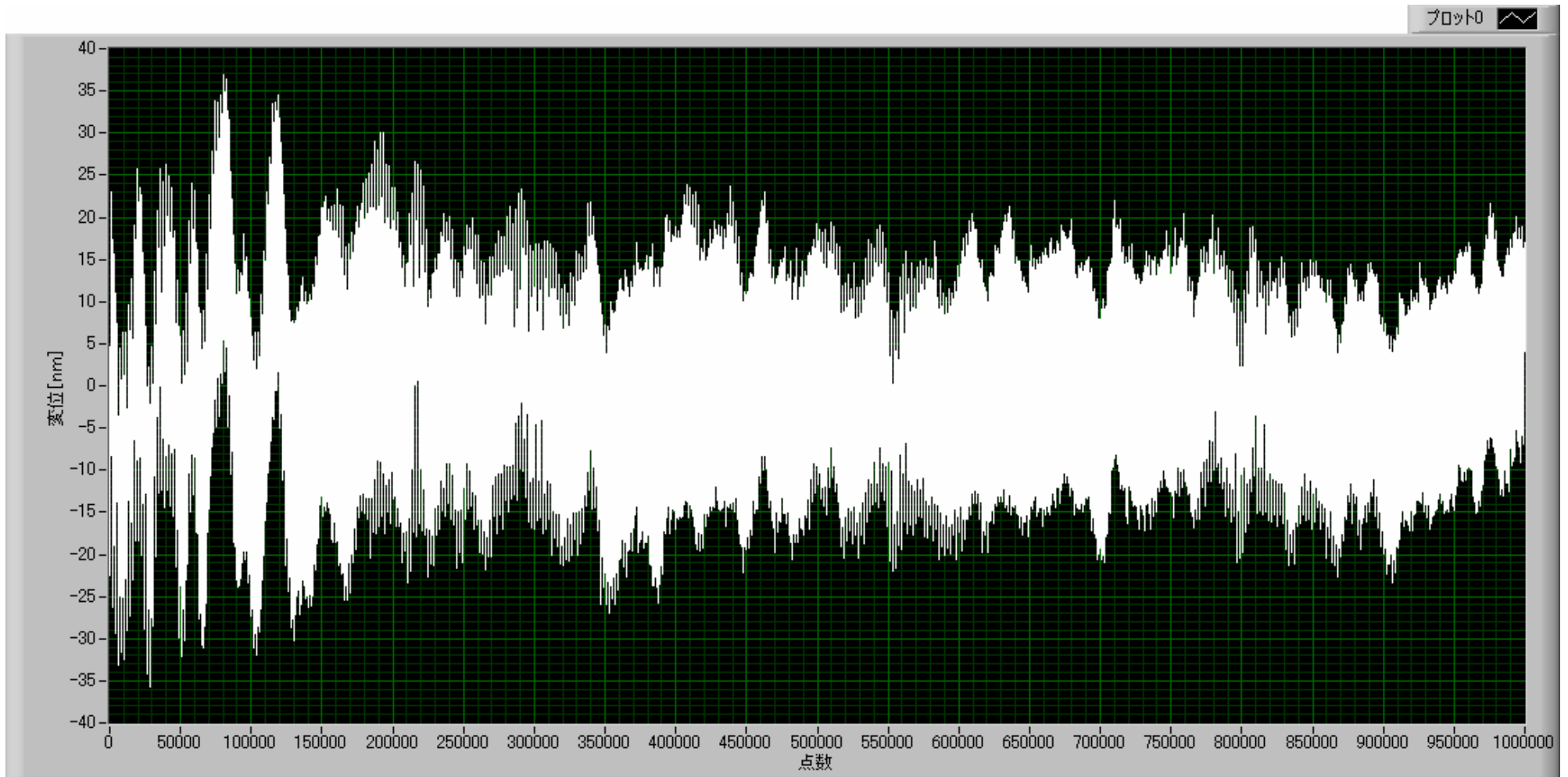
$$\gamma = 1.4311692 \text{ [1/s]}$$

$$F = 0.0277822 \text{ [1/s]}$$

$$\Phi = 1.5675401$$

周波数 f で表現すると $f = 35.994236 \text{ Hz}$

その6 更に、第3振動を除く。



まだ細かい振動成分がありそうであるが、ホワイトノイズと大差ないので、
ここで振動解析を終わらせる。この残余の標準偏差は、5.63nm、である。

3 考察

まずこの結果と、(その1)の結果を比較する

		その1	その2	差	差 / (その1) 値	(その1) / (その2)
基本振動	周期	0.002042386	0.002042357	2.9E-08	1.4199E-05	
	(周波数)	489.623411	489.6303633	-0.006952	-1.42E-05	
	減衰係数	0.59741388	0.5996089	-0.002195	-0.0036742	
	振幅	1211.0837	70.4711714			17.18552
A振動	周期	0.027870702	0.027782226	8.848E-05	0.00317452	
	(周波数)	35.87997174	35.99423603	-0.114264	-0.0031846	
	減衰係数	1.66722252	1.4311692	0.2360533	0.14158477	
	振幅	105.001	35.507018			2.95719
B振動	周期	0.216516068	0.2165936	-7.75E-05	-0.0003581	
	(周波数)	4.618594866	4.61694159	0.0016533	0.00035796	
	減衰係数	0.51026516	1.3065464	-0.796281	-1.5605244	
	振幅	117.372	71.5362714			1.640734

次の点が知れる。

基本振動周波数および減衰率はほぼ一致し、測定対象の音叉の周波数および減衰を示すものである。

A振動およびB振動の周波数はほぼ一致し、振幅に関係なく周波数が決まる。

基本振動周波数との比も当然一致するが、その比率の根拠はこれからの理論的解析により求める予定である。

基本振動振幅が小さくなくても、A振動、B振動共に同程度に小さくならない

これは矛盾を含む。A振動、B振動の振幅が小さくならないなら、減衰率が小さいことが期待されるが、逆に大きい。

今後の検討材料である。

幾つかの検討項目があるものの、次の点は(その1)に引き続き明確となった。

音叉は、モードで説明されるような高調波(高周波側)成分ではなく、低周波側成分を複数含んだ振動が存在する。

そして、どの振動成分も、特定の周波数で生じている。これより、音叉の構造による低周波発生機構が関与しているのであろう。

外部からのノイズや環境からの影響であれば、一定であるはず。ところが、いずれの振動も減衰している。その減衰も指数関数的である。

これは、振幅Kが、 $dK = -cKdt$ 、の式に基づく変化、つまり、その時刻の大きさに比例した変化量があることを示し、音叉内部の構造等に基づく変化であると言える。

これらの解析等は別の機会に報告する。

ご意見は下記までお願いします

株式会社フォトンプローブ
東京都日野市東平山1-6-2
代表取締役 理博 平野雅夫