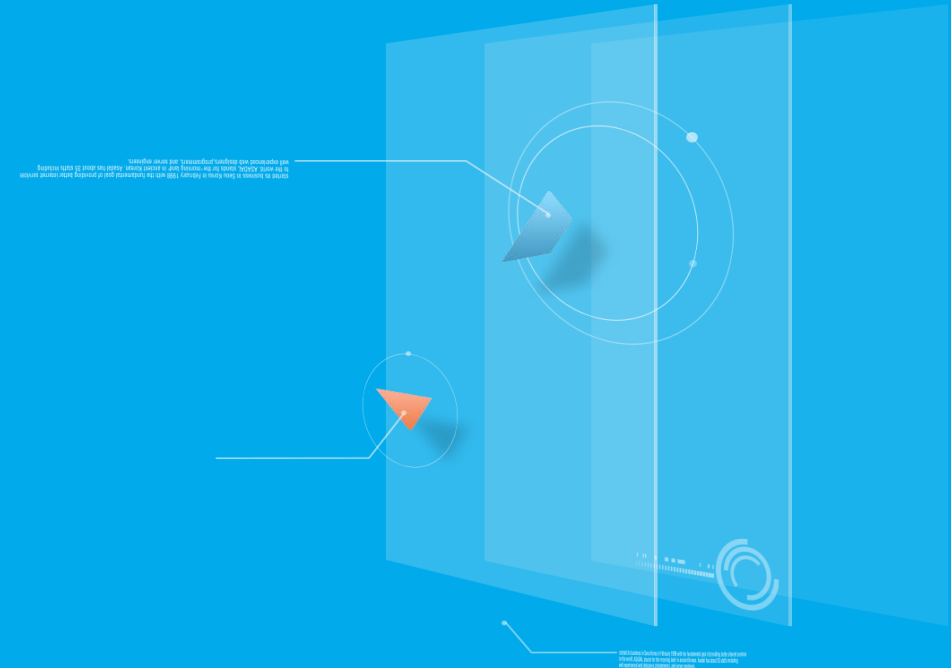


工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

設備預兆診斷技術



機械與機電系統研究所
智慧工廠系統整合技術組
品質智慧檢測應用部

許銘翔 經理

Tel : 03-5912267

E-mail : mh_hsu@itri.org.tw



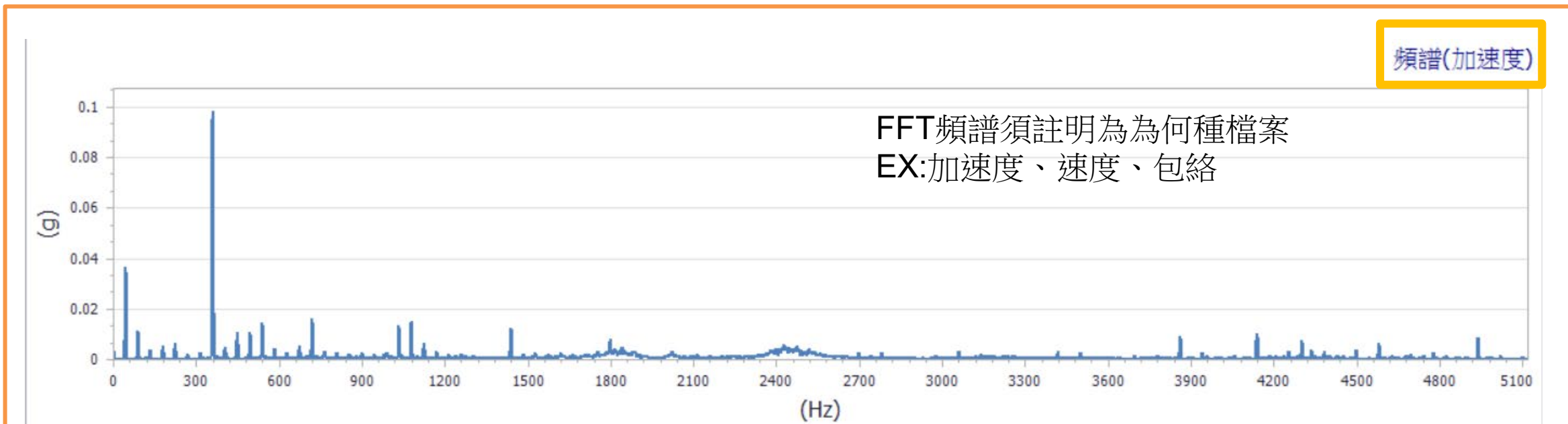
期末小組作業說明

- 主題：針對講師群提供之數據及參數，進行故障的分析判讀，並製作簡報、推派一位組員上台報告
- 不限定用何種工具來輔助分析，Excel、MATLAB、Python、LabVIEW、C#等等皆可，但須可以清楚表達
- 報告日期：2023/12/26(二)，每組報告10分鐘，5分鐘Q&A
- 報告內容須包含：
 1. 檔案來源名稱
 2. 參數說明 (含可用頻寬、頻譜解析度等講師群未提供之資訊)
 3. 故障判讀方法與結果說明
 4. 其他發現分享

期末小組作業範例

- (1) 檔案來源名稱:F_acc_fft.txt
- (2) XX故障
- (3) 參數說明

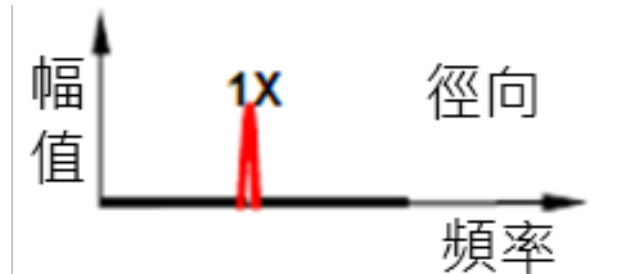
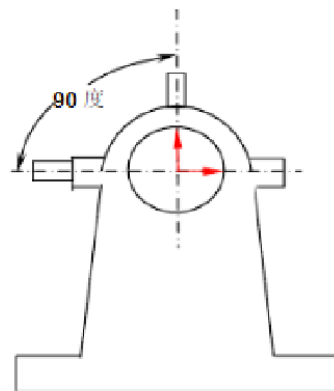
轉速: 1300	低截止頻率1000	接觸角 0
Samplerate:10240	高截止頻率5120	軸承節徑 0.807
Length:8192		滾珠數 8
		滾珠直徑 0.187



故障診斷判斷方法

主軸不平衡

- 振動主頻率等於1X主軸轉速
- 徑向振動相對軸向更明顯

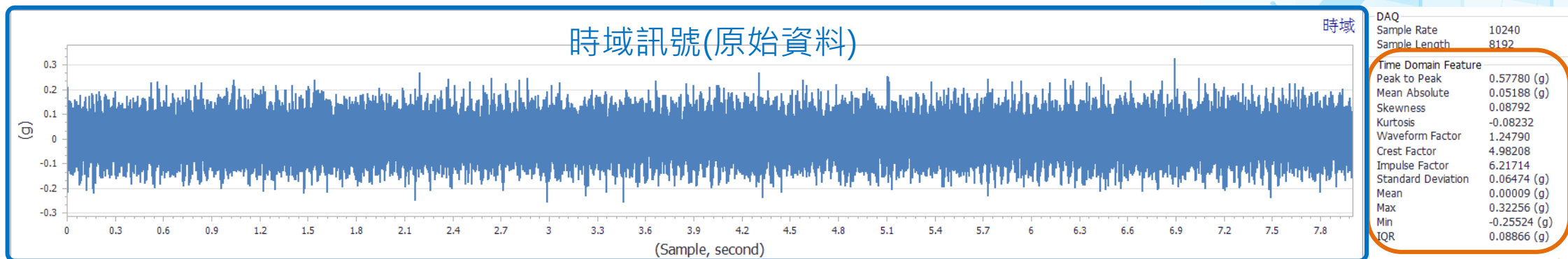




不平衡

限閱

RESTRICTED



健康指標

CV: 0.836

RMS: 0.06475 (g)

Vrms: 1.17292 (mm/s)

RPM: 1425.000

診斷資訊

不平衡: 0.99

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00

外環損傷: 0.00

齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪啮合不良或斷齒: 0.00

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 23.750

Outer: 0.000

Inner: 0.000

Roller: 0.000



不平衡

1000Hz內頻譜



☒ RPM ☐ Gear ☐ Bearing

RPM Frequency		
1X	22.50 Hz	0.01583
2X	46.25 Hz	0.00044
3X	70.00 Hz	0.00022
4X	93.75 Hz	0.00079
5X	120.00 Hz	0.00345
6X	142.50 Hz	0.00040
7X	167.50 Hz	0.00018
8X	188.75 Hz	0.00017

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.836

RMS: 0.06475 (g)

Vrms: 1.17292 (mm/s)

RPM: 1425.000

診斷資訊

不平衡: 0.99

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00

外環損傷: 0.00

齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪啮合不良或斷齒: 0.00

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

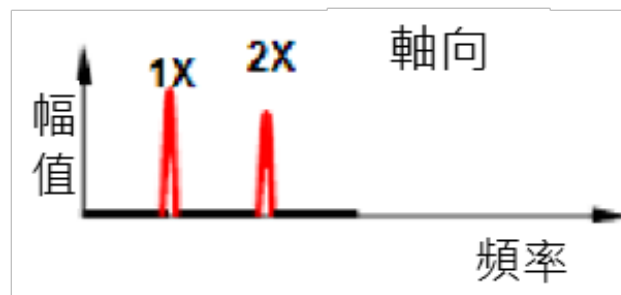
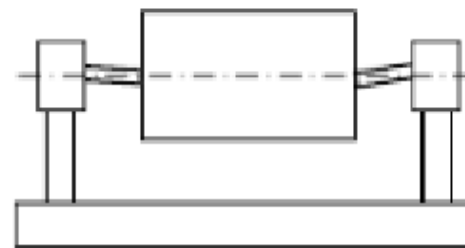
Fa: 23.750 Outer: 0.000

Inner: 0.000 Roller: 0.000

故障診斷判斷方法

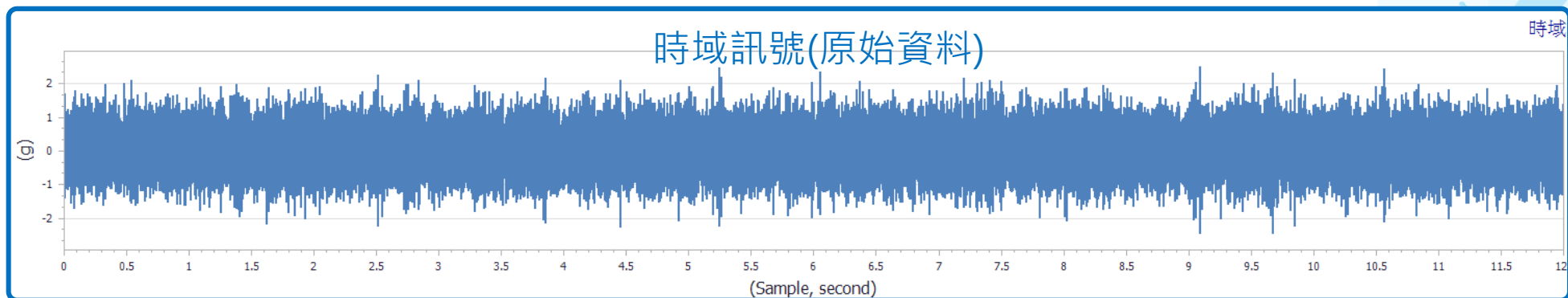
主軸彎曲

- 振動主頻率等於1X、2X主軸轉速
- 若彎曲處接近跨度中心，則1X轉速頻率較明顯，反之亦然
- 軸向振動相對徑向更明顯





軸彎曲



DAQ	
Sample Rate	16384
Sample Length	16384
Time Domain Feature	
Peak to Peak	4.91596 (g)
Mean Absolute	0.41289 (g)
Skewness	0.05926
Kurtosis	0.13371
Waveform Factor	1.26036
Crest Factor	4.74748
Impulse Factor	5.98355
Standard Deviation	0.52035 (g)
Mean	-0.00649 (g)
Max	2.47055 (g)
Min	-2.44541 (g)
IQR	0.69154 (g)



時域特徵

☒ RPM ☐ Gear ☐ Bearing

RPM Frequency		
1X	174.00 Hz	0.04169
2X	347.00 Hz	0.05591
3X	520.00 Hz	0.00851
4X	693.00 Hz	0.00774
5X	865.00 Hz	0.00326
6X	1039.00 Hz	0.00339
7X	1212.00 Hz	0.00410
8X	1385.00 Hz	0.00242

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.855

RMS: 0.52039 (g)

Vrms: 0.99957 (mm/s)

RPM: 10380.000

診斷資訊

不平衡: 0.00

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.99

外環損傷: 0.00

齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪啮合不良或斷齒: 0.00

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 173.000 Outer: 0.000

Inner: 0.000 Roller: 0.000

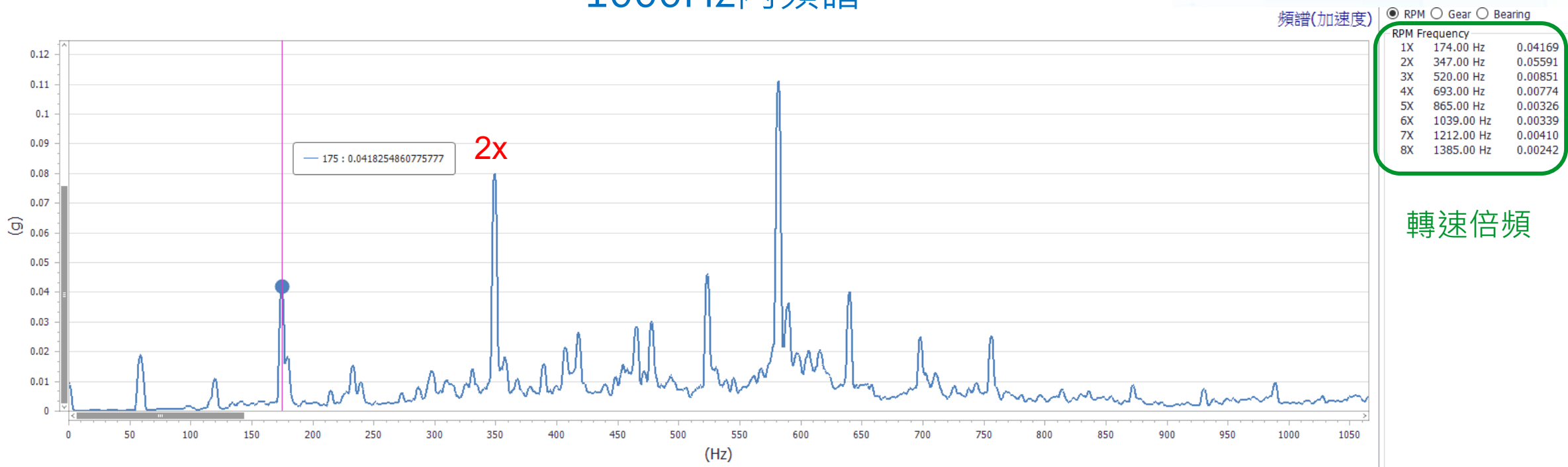


軸彎曲

1000Hz內頻譜

限閱

RESTRICTED



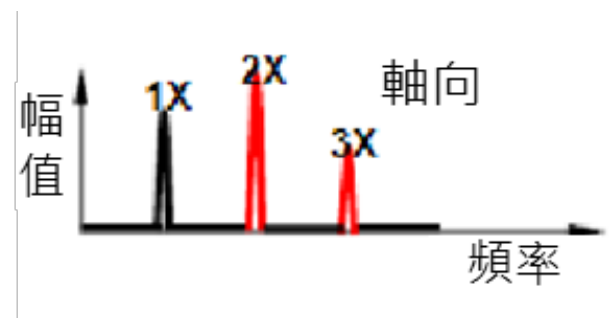
健康指標		CV: 0.855		RMS: 0.52039 (g)		Vrms: 0.99957 (mm/s)		RPM: 10380.000					
診斷資訊										Diagnosis Feature			
不平衡: 0.00	軸彎曲: 0.99	不對中: 0.00	鬆動: 0.00	油膜旋震: 0.00	油膜晃盪: 0.00	Fa: 173.000Outer: 0.000							
內環損傷: 0.00	外環損傷: 0.00	滾珠損傷: 0.00	氣隙不均: 0.00	轉子條斷裂: 0.00	相位問題: 0.00								
齒輪偏心: 0.00	齒輪不對中: 0.00	齒輪啮合不良或斷齒: 0.00	齒輪磨損: 0.00	齒輪軸彎曲: 0.00				Inner: 0.000Roller: 0.000					

故障診斷判斷方法

不對中

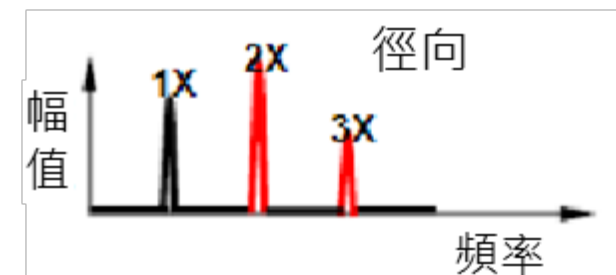
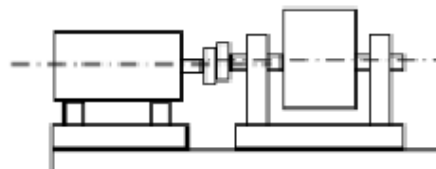
角度不對中

- 振動主頻率等於1X、2X、3X主軸轉速
- 軸向振動相對徑向更明顯
- 通常屬於聯軸器問題



平行不對中

- 振動主頻率等於2X、3X主軸轉速
- 徑向振動相對軸向更明顯
- 2X通常會大於1X轉速頻率
- 通常屬於聯軸器問題

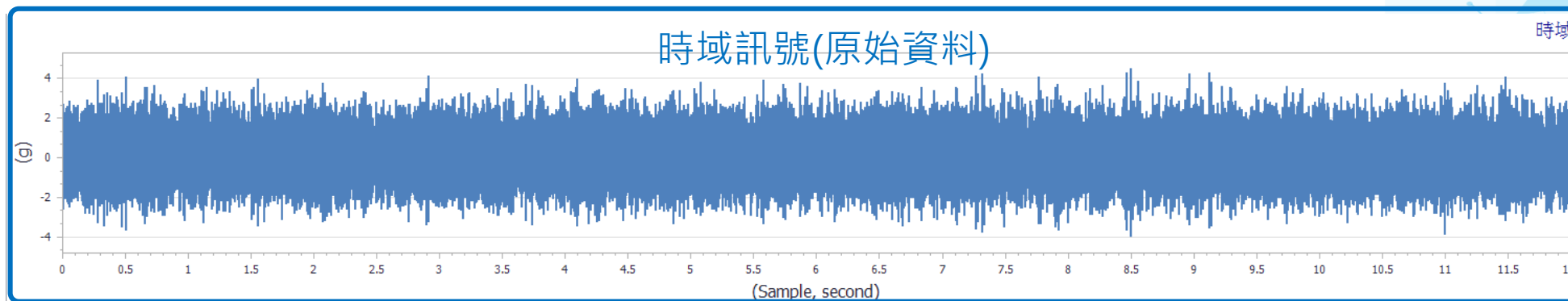




不對中

限閱

RESTRICTED



DAQ	
Sample Rate	16384
Sample Length	16384
Time Domain Feature	
Peak to Peak	8.42160 (g)
Mean Absolute	0.79266 (g)
Skewness	0.09997
Kurtosis	0.04370
Waveform Factor	1.26175
Crest Factor	4.44538
Impulse Factor	5.60895
Standard Deviation	1.00014 (g)
Mean	-0.00059 (g)
Max	4.44599 (g)
Min	-3.97561 (g)
IQR	1.31272 (g)



<input checked="" type="radio"/> RPM <input type="radio"/> Gear <input type="radio"/> Bearing		
RPM Frequency		
1X	174.00 Hz	0.04136
2X	349.00 Hz	0.11173
3X	524.00 Hz	0.04396
4X	701.00 Hz	0.00505
5X	876.00 Hz	0.00518
6X	1049.00 Hz	0.00810
7X	1225.00 Hz	0.00627
8X	1401.00 Hz	0.00167

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.834

RMS: 1.00014 (g)

Vrms: 1.17967 (mm/s)

RPM: 10500.000

診斷資訊

不平衡: 0.00
內環損傷: 0.00
齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00
外環損傷: 0.00
齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.99
滾珠損傷: 0.00
齒輪啮合不良或斷齒: 0.00

鬆動: 0.00
氣隙不均: 0.00
齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00
轉子條斷裂: 0.00
齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00
相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 175.000 Outer: 0.000
Inner: 0.000 Roller: 0.000

不對中

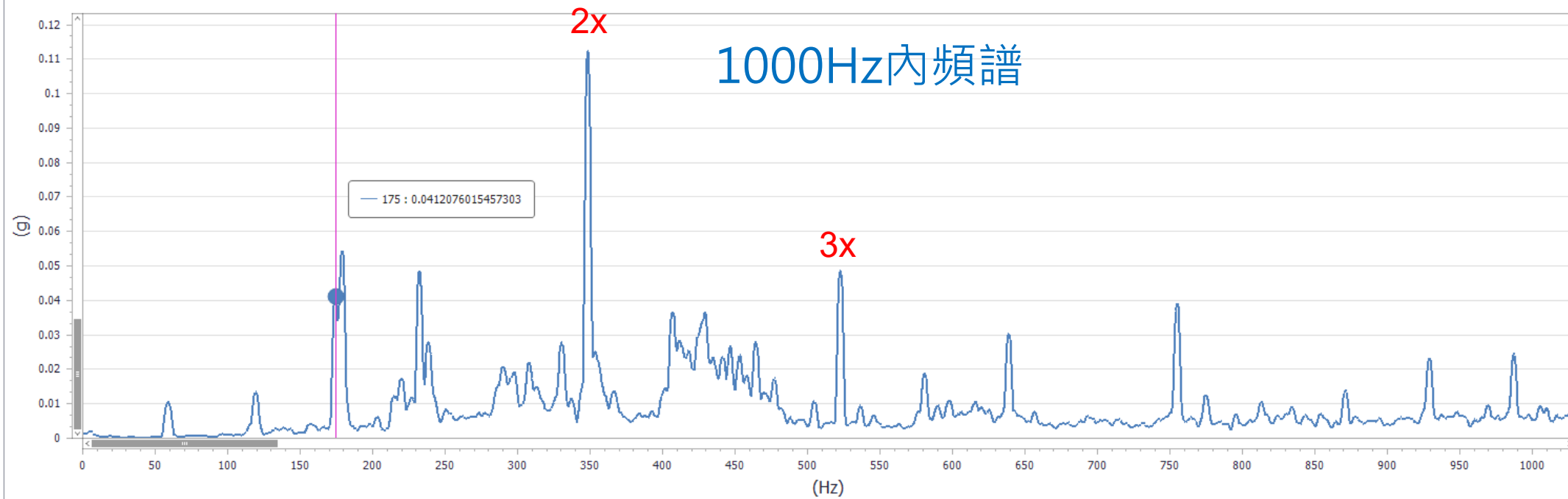
限閱
RESTRICTED

頻譜(加速度)

☒ RPM ☐ Gear ☐ Bearing

RPM Frequency		
1X	174.00 Hz	0.04136
2X	349.00 Hz	0.11173
3X	524.00 Hz	0.04396
4X	701.00 Hz	0.00505
5X	876.00 Hz	0.00518
6X	1049.00 Hz	0.00810
7X	1225.00 Hz	0.00627
8X	1401.00 Hz	0.00167

轉速倍頻



健康指標
CV: 0.834 RMS: 1.00014 (g) Vrms: 1.17967 (mm/s) RPM: 10500.000

診斷資訊

不平衡: 0.00	軸彎曲: 0.00	不對中: 0.99	鬆動: 0.00	油膜旋震: 0.00	油膜晃盪: 0.00
內環損傷: 0.00	外環損傷: 0.00	滾珠損傷: 0.00	氣隙不均: 0.00	轉子條斷裂: 0.00	相位問題: 0.00
齒輪偏心: 0.00	齒輪不對中: 0.00	齒輪啮合不良或斷齒: 0.00	齒輪磨損: 0.00	齒輪軸彎曲: 0.00	

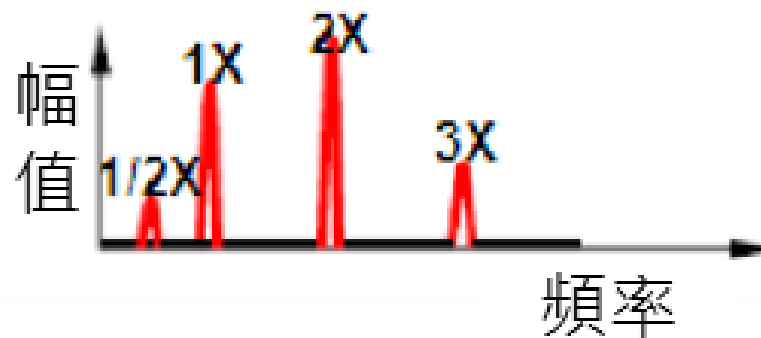
Diagnosis Feature

Fa: 175.000	Outer: 0.000
Inner: 0.000	Roller: 0.000

故障診斷判斷方法

鬆動

- 振動主頻率等於主軸轉速倍頻(可能會到30幾倍)
- 可由時域輔助判斷

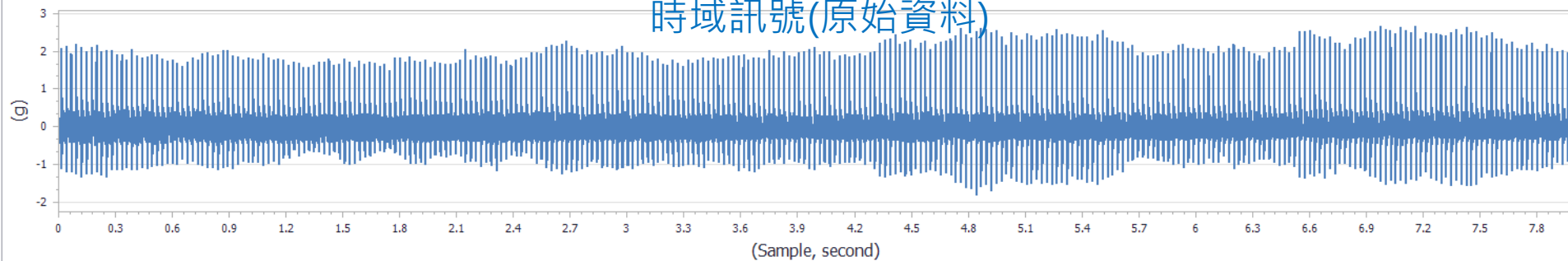




鬆動

時域

時域訊號(原始資料)



DAQ	
Sample Rate	10240
Sample Length	8192
Time Domain Feature	
Peak to Peak	4.44923 (g)
Mean Absolute	0.18602 (g)
Skewness	2.15963
Kurtosis	15.68429
Waveform Factor	1.58012
Crest Factor	8.96057
Impulse Factor	14.15878
Standard Deviation	0.29391 (g)
Mean	0.00426 (g)
Max	2.63386 (g)
Min	-1.81536 (g)
IQR	0.26367 (g)

頻譜(加速度)

加速度頻譜



☒ RPM ☐ Gear ☐ Bearing

時域特徵

RPM Frequency		
1X	37.50 Hz	0.08324
2X	75.00 Hz	0.06478
3X	112.50 Hz	0.03253
4X	150.00 Hz	0.05640
5X	187.50 Hz	0.03093
6X	225.00 Hz	0.05502
7X	262.50 Hz	0.04988
8X	300.00 Hz	0.08749

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.470 RMS: 0.29394 (g) Vrms: 3.88066 (mm/s) RPM: 2250.000

診斷資訊

不平衡: 0.00	軸彎曲: 0.00	不對中: 0.00	鬆動: 1.00	油膜旋震: 0.00	油膜晃盪: 0.00
內環損傷: 0.00	外環損傷: 0.00	滾珠損傷: 0.00	氣隙不均: 0.00	轉子條斷裂: 0.00	相位問題: 0.00
齒輪偏心: 0.00	齒輪不對中: 0.00	齒輪啮合不良或斷齒: 0.00	齒輪磨損: 0.00	齒輪軸彎曲: 0.00	

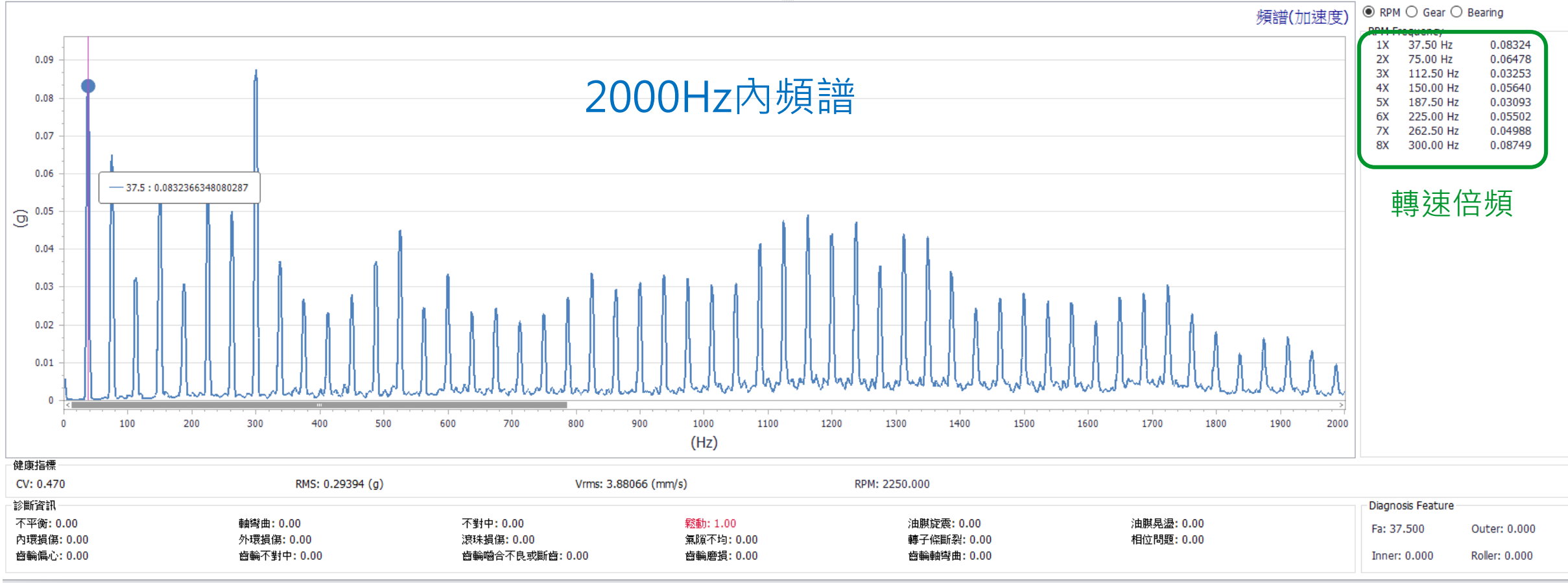
Diagnosis Feature

Fa: 37.500	Outer: 0.000
Inner: 0.000	Roller: 0.000

鬆動

限閱

RESTRICTED



故障診斷判斷方法

軸承損傷

- 由包絡譜判別是否有軸承損傷頻率出現

$$f_{in} = \frac{1}{2} f_a \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha\right) Z$$

$$f_{out} = \frac{1}{2} f_a \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha\right) Z$$

$$f_{roller} = \frac{D}{d} f_a \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \alpha\right)^2\right]$$

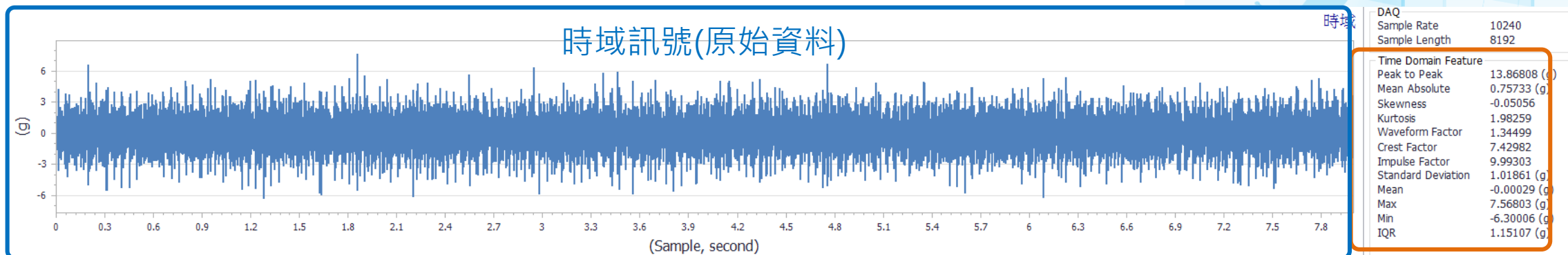
主軸旋轉頻率 f_a 為轉軸旋轉頻率， d 為滾珠直徑， D 為軸承直徑， Z 為滾珠數目， α 為接觸角。



內環損傷

限閱

RESTRICTED



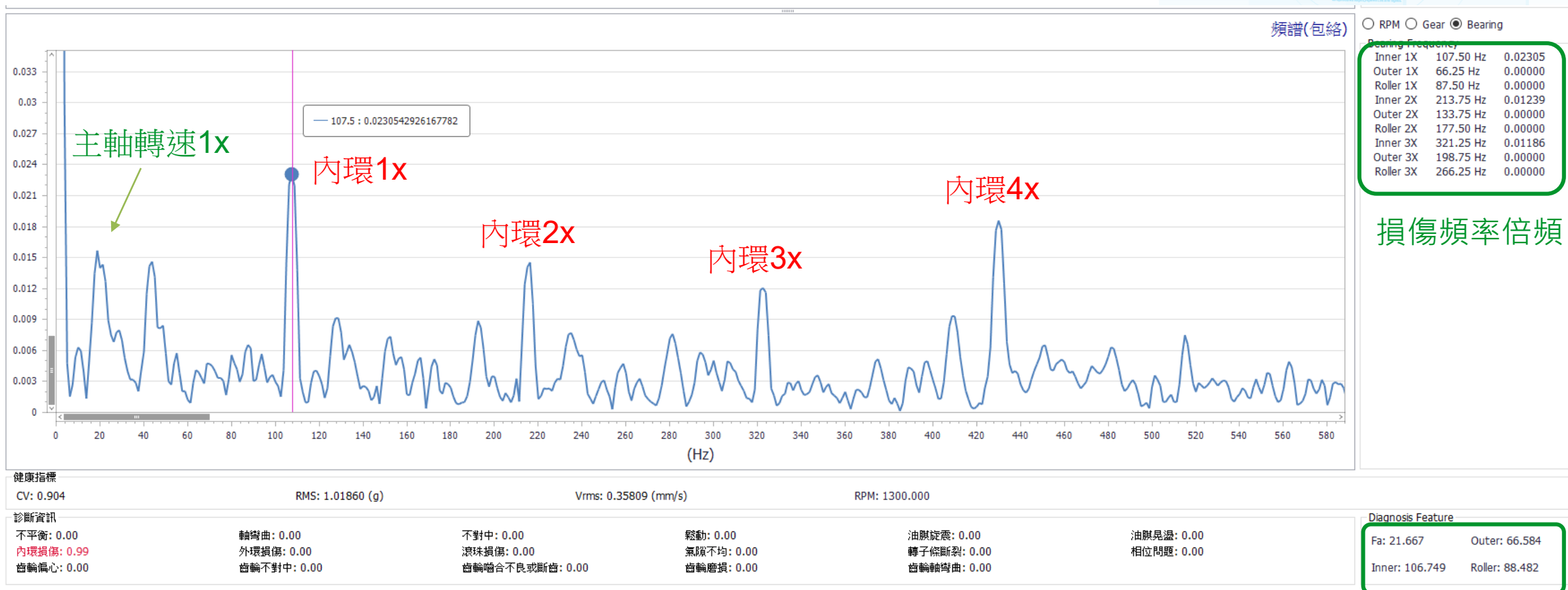
時域特徵

轉速倍頻

健康指標	CV: 0.904		RMS: 1.01860 (g)		Vrms: 0.35809 (mm/s)		RPM: 1300.000	
診斷資訊	不平衡: 0.00	軸彎曲: 0.00	不對中: 0.00	鬆動: 0.00	油膜旋震: 0.00	油膜晃盪: 0.00	Diagnosis Feature	
	內環損傷: 0.99	外環損傷: 0.00	滾珠損傷: 0.00	氣隙不均: 0.00	轉子條斷裂: 0.00	相位問題: 0.00		
	齒輪偏心: 0.00	齒輪不對中: 0.00	齒輪啮合不良或斷齒: 0.00	齒輪磨損: 0.00	齒輪軸彎曲: 0.00			
							Fa: 21.667	Outer: 66.584
							Inner: 106.749	Roller: 88.482

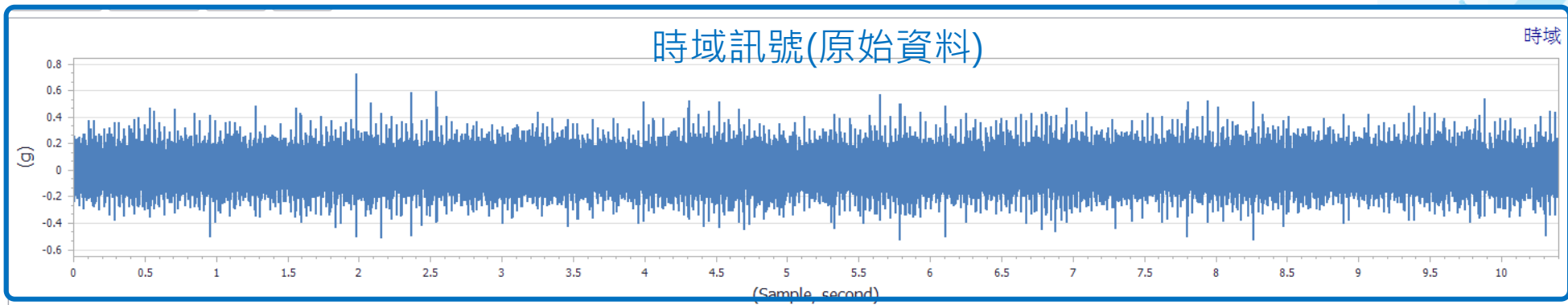


內環損傷





外環損傷



DAQ	
Sample Rate	10240
Sample Length	5192
Time Domain Feature	
Peak to Peak	1.24573 (g)
Mean Absolute	0.07362 (g)
Skewness	0.02429
Kurtosis	1.10524
Waveform Factor	1.29917
Crest Factor	7.52396
Impulse Factor	9.77493
Standard Deviation	0.09561 (g)
Mean	0.00245 (g)
Max	0.71961 (g)
Min	-0.52611 (g)
IQR	0.11882 (g)

時域特徵



RPM Gear Bearing		
RPM Frequency		
1X	28.75 Hz	0.00165
2X	56.25 Hz	0.00201
3X	85.00 Hz	0.00124
4X	113.75 Hz	0.00127
5X	141.25 Hz	0.00682
6X	170.00 Hz	0.00082
7X	198.75 Hz	0.00197
8X	226.25 Hz	0.00544

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.944

RMS: 0.09564 (g)

Vrms: 0.17373 (mm/s)

RPM: 1704.000

診斷資訊

不平衡: 0.00

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00

外環損傷: 0.84

齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪啮合不良或斷齒: 0.00

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 28.400

Outer: 87.276

Inner: 139.924

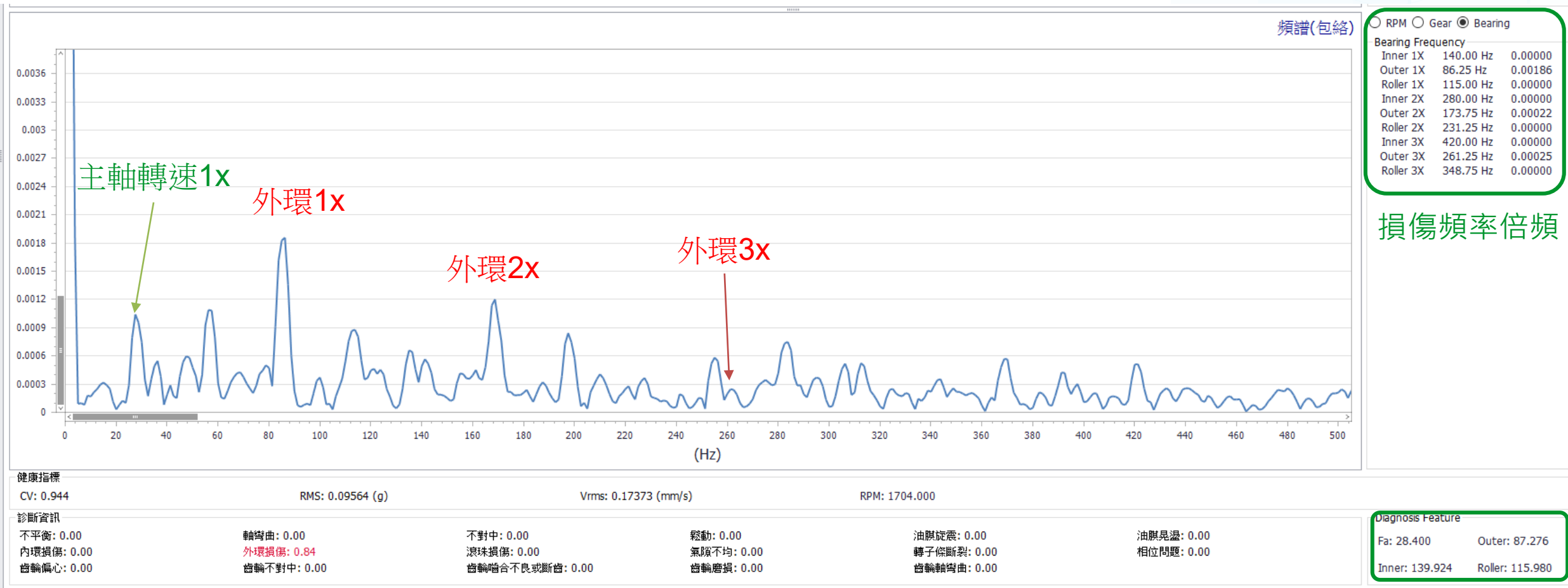
Roller: 115.980



外環損傷

限閱

RESTRICTED



故障診斷判斷方法

齒輪損傷

嚙合不良/齒隙問題

- 嚙合頻率GM倍頻為高低中分布，
GM1X和GM3X會有轉速邊頻

Gear Mesh frequency

嚙合頻率=轉速*齒數

f_p : 齒輪被動轉速

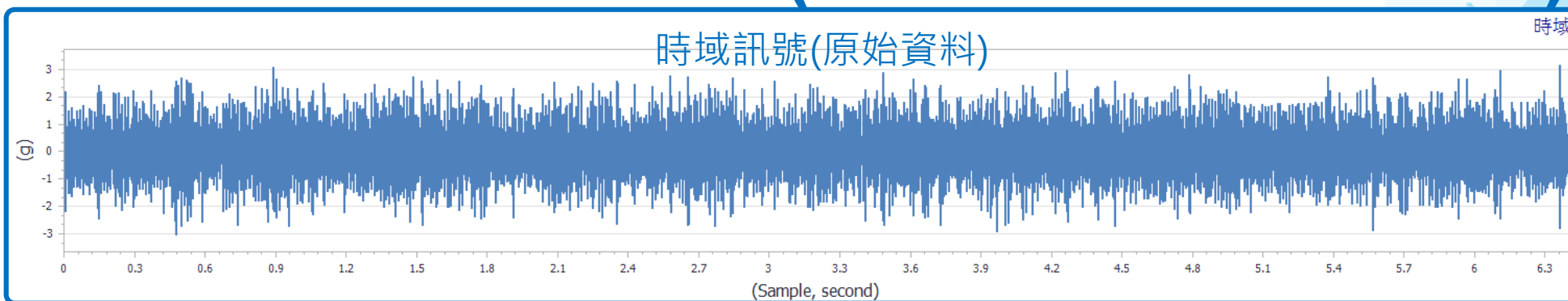
= f_a * 入力齒數 / 出力齒數



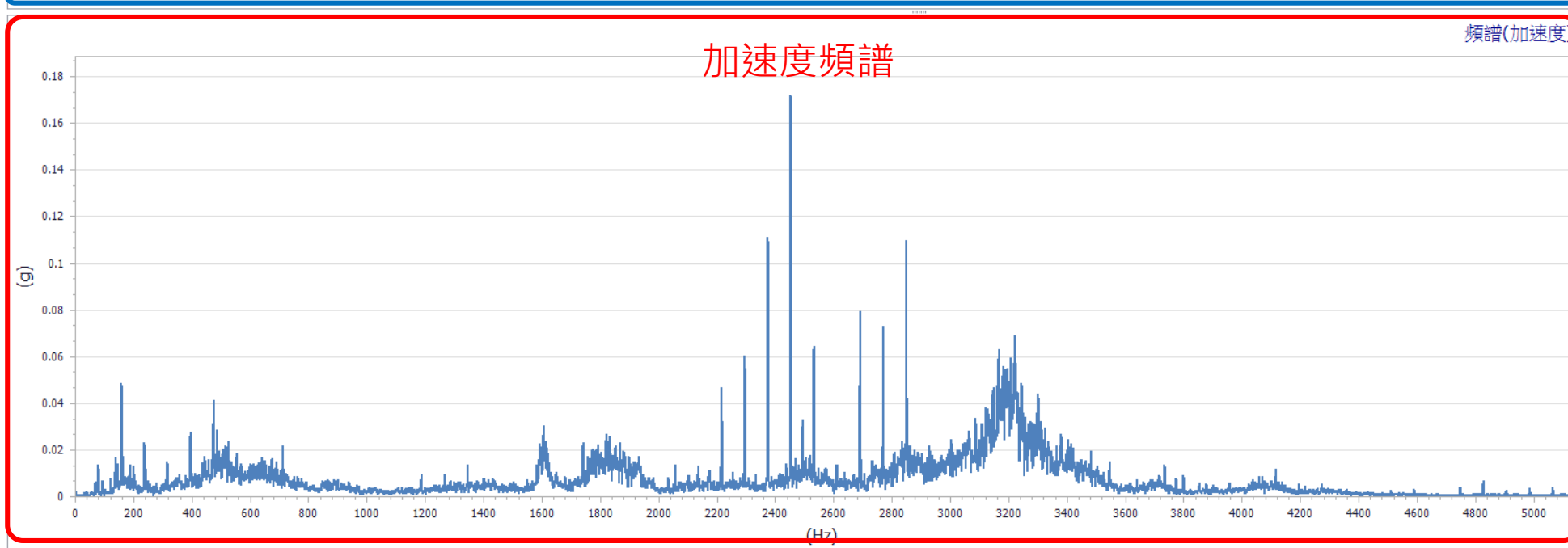
齒輪嚙合不良(入力齒31/出力齒26)

限閱

RESTRICTED



DAQ	
Sample Rate	10240
Sample Length	16384
Time Domain Feature	
Peak to Peak	6.15999 (g)
Mean Absolute	0.44353 (g)
Skewness	0.06287
Kurtosis	1.40935
Waveform Factor	1.33542
Crest Factor	5.26272
Impulse Factor	7.02795
Standard Deviation	0.59230 (g)
Mean	0.00225 (g)
Max	3.11713 (g)
Min	-3.04286 (g)
IQR	0.67678 (g)



時域特徵

<input checked="" type="radio"/> RPM	<input type="radio"/> Gear	<input type="radio"/> Bearing
RPM Frequency		
1X	79.38 Hz	0.01338
2X	158.12 Hz	0.04799
3X	237.50 Hz	0.02250
4X	316.25 Hz	0.01441
5X	395.62 Hz	0.02726
6X	475.00 Hz	0.04105
7X	554.38 Hz	0.01828
8X	633.75 Hz	0.00764

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.858

RMS: 0.59230 (g)

Vrms: 0.91386 (mm/s)

RPM: 4750.000

診斷資訊

不平衡: 0.00
內環損傷: 0.00
齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00
外環損傷: 0.00
齒輪不對中: 0.00

不對中: 0.00
滾珠損傷: 0.00
齒輪嚙合不良或斷齒: 0.95

鬆動: 1.00
氣隙不均: 0.00
齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00
轉子條斷裂: 0.00
齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00
相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 79.167 Outer: 0.000
Inner: 0.000 Roller: 0.000



齒輪嚙合不良

(頻寬不足3倍嚙合頻率)

限閱
RESTRICTED

嚙合頻率1x頻叢

嚙合頻率2x

頻譜(加速度)

☐ RPM ☒ Gear ☐ Bearing

Gear Frequency		
1X	2453.75 Hz	0.17155
2X	4908.12 Hz	0.00214
3X	0.00 Hz	0.00000

嚙合頻率倍頻



健康指標

CV: 0.858 RMS: 0.59230 (g) Vrms: 0.91386 (mm/s) RPM: 4750.000

診斷資訊

不平衡: 0.00	軸彎曲: 0.00	不對中: 0.00	鬆動: 1.00	油膜旋震: 0.00	油膜晃盪: 0.00
內環損傷: 0.00	外環損傷: 0.00	滾珠損傷: 0.00	氣隙不均: 0.00	轉子條斷裂: 0.00	相位問題: 0.00
齒輪偏心: 0.00	齒輪不對中: 0.00	齒輪嚙合不良或斷齒: 0.95	齒輪磨損: 0.00	齒輪軸彎曲: 0.00	

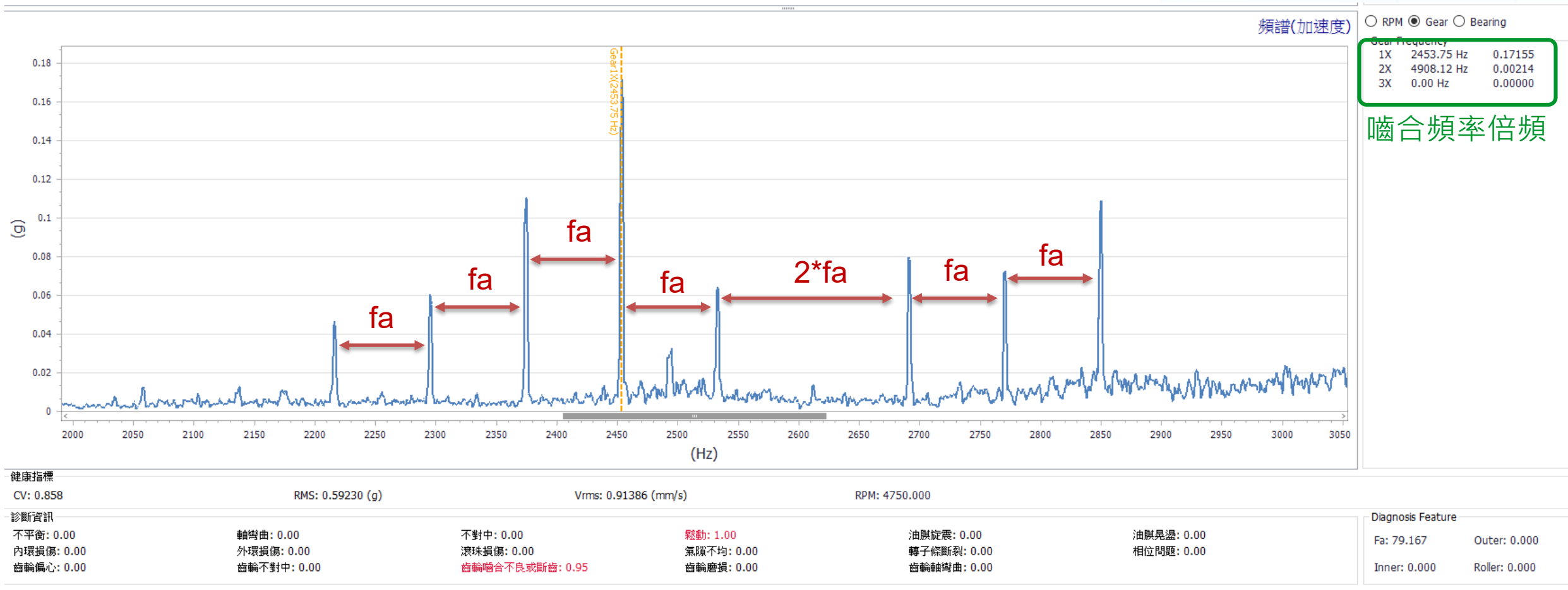
Diagnosis Feature

Fa: 79.167	Outer: 0.000
Inner: 0.000	Roller: 0.000



齒輪嚙合不良

限閱
RESTRICTED



故障診斷判斷方法

齒輪不對中、斷齒

嚙合不對中

- 嚙合頻率GM倍頻為低高低分布，GM2X會有轉速邊頻

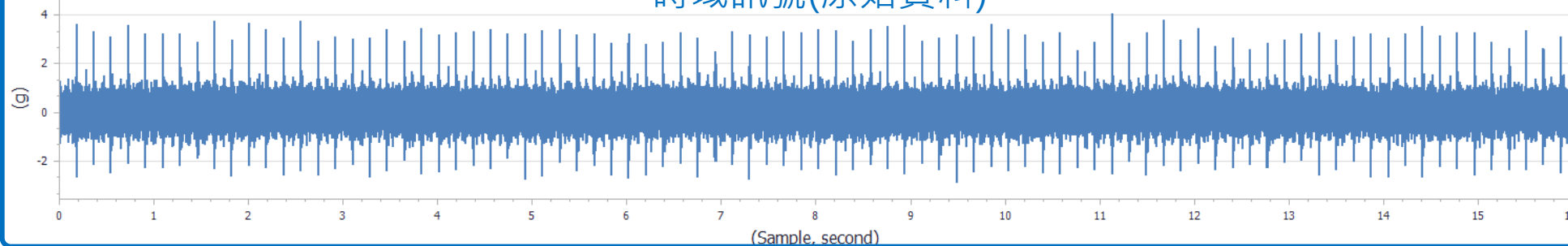
嚙合斷齒

- 以時間波型分析檢測，會出現一根一根的波峰
- GM1~3X都有可能有轉速邊頻，GM2X和GM3X會比較明顯，邊頻主要成分為異常齒輪的轉頻



齒輪嚙合不良 (入力齒8/出力齒40)

時域訊號(原始資料)



DAQ	
Sample Rate	10240
Sample Length	16384
Time Domain Feature	
Peak to Peak	6.88792 (g)
Mean Absolute	0.34317 (g)
Skewness	0.23290
Kurtosis	2.39104
Waveform Factor	1.29897
Crest Factor	9.00558
Impulse Factor	11.69799
Standard Deviation	0.44577 (g)
Mean	0.00010 (g)
Max	4.01439 (g)
Min	-2.87353 (g)
IQR	0.56285 (g)

加速度頻譜



頻譜(加速度)

☒ RPM ☐ Gear ☐ Bearing

RPM Frequency		
1X	27.50 Hz	0.00080
2X	55.00 Hz	0.00241
3X	81.88 Hz	0.00066
4X	110.00 Hz	0.02335
5X	136.88 Hz	0.00397
6X	164.38 Hz	0.00839
7X	191.25 Hz	0.00362
8X	219.38 Hz	0.01080

轉速倍頻

健康指標

CV: 0.851

RMS: 0.44577 (g)

Vrms: 1.10101 (mm/s)

RPM: 1644.000

診斷資訊

不平衡: 0.00

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00

外環損傷: 0.00

齒輪不對中: 0.38

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪嚙合不良或斷齒: 0.79

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

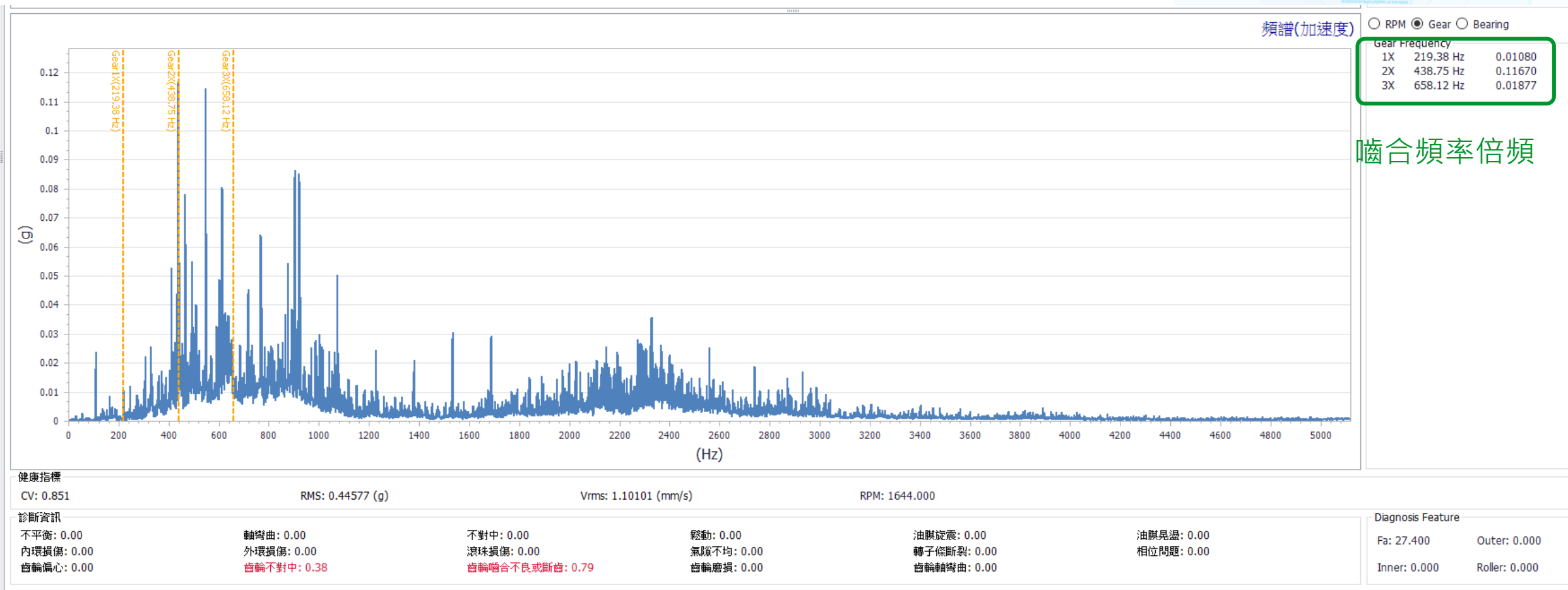
Diagnosis Feature

Fa: 27.400 Outer: 0.000

Inner: 0.000 Roller: 0.000



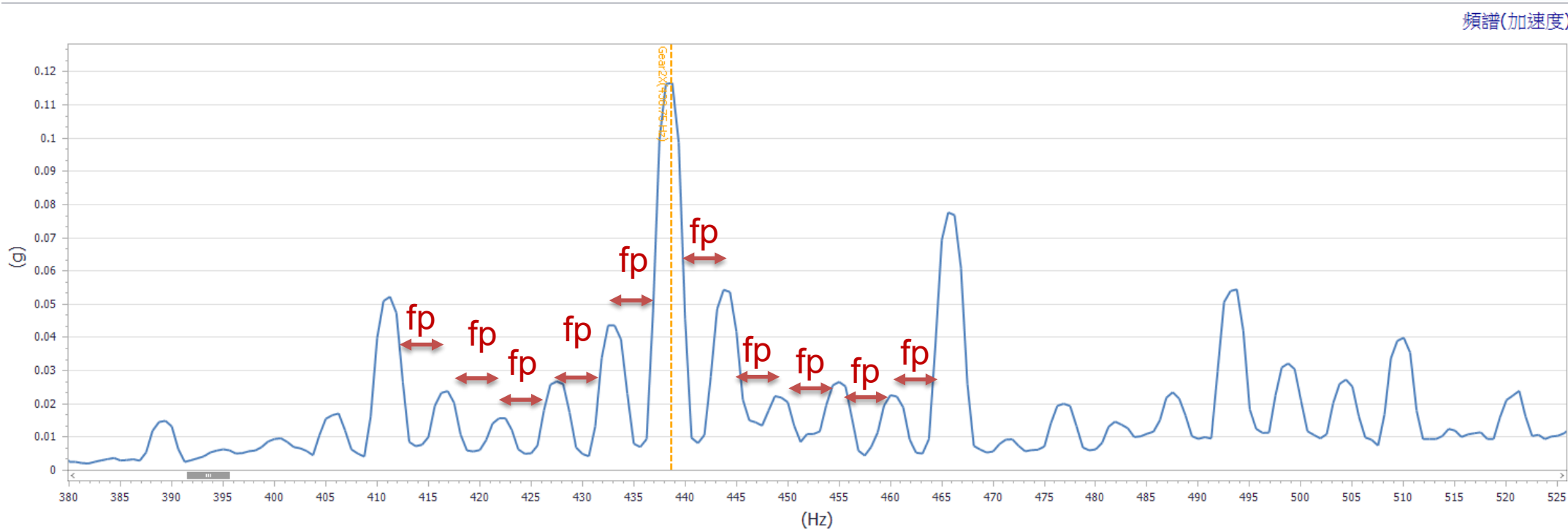
齒輪不對中、斷齒





齒輪不對中、斷齒

嚙合頻率2x頻叢



○ RPM ● Gear ○ Bearing

Gear Frequency		
1X	219.38 Hz	0.01080
2X	438.75 Hz	0.11670
3X	658.12 Hz	0.01877

嚙合頻率倍頻

健康指標

CV: 0.851

RMS: 0.44577 (g)

Vrms: 1.10101 (mm/s)

RPM: 1644.000

診斷資訊

不平衡: 0.00

內環損傷: 0.00

齒輪偏心: 0.00

軸彎曲: 0.00

外環損傷: 0.00

齒輪不對中: 0.38

不對中: 0.00

滾珠損傷: 0.00

齒輪啮合不良或斷齒: 0.79

鬆動: 0.00

氣隙不均: 0.00

齒輪磨損: 0.00

油膜旋震: 0.00

轉子條斷裂: 0.00

齒輪軸彎曲: 0.00

油膜晃盪: 0.00

相位問題: 0.00

Diagnosis Feature

Fa: 27.400

Outer: 0.000

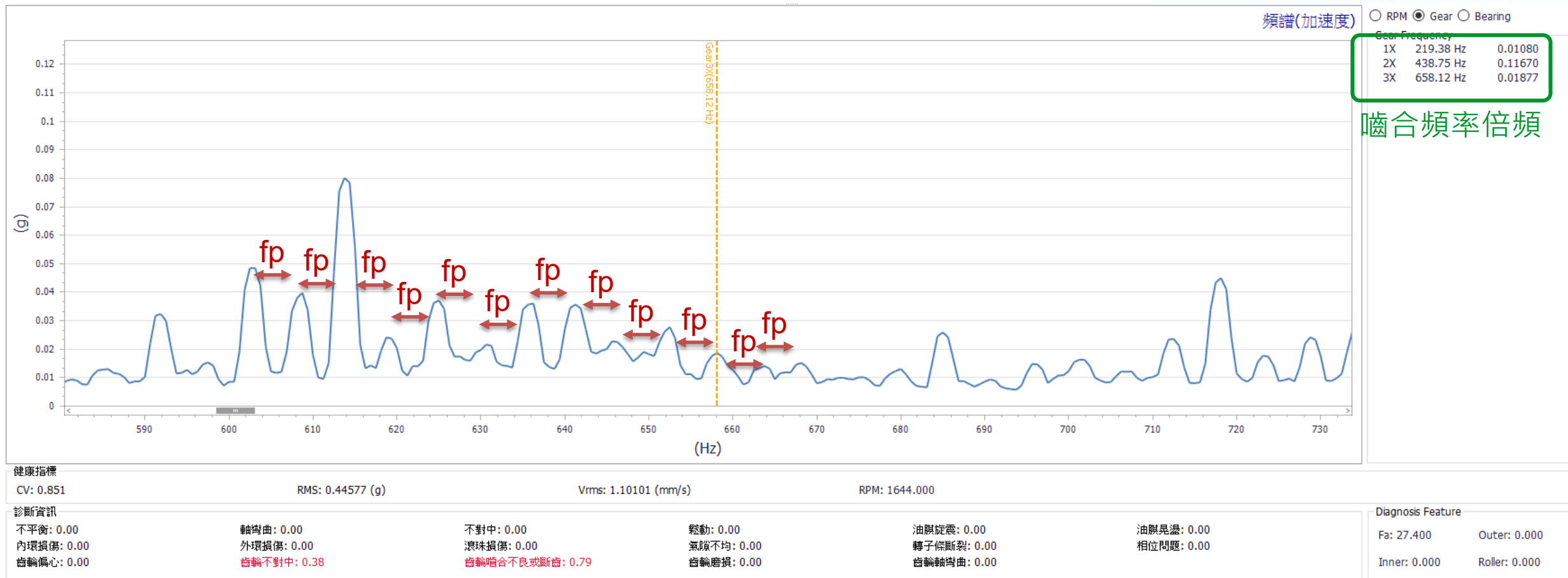
Inner: 0.000

Roller: 0.000



齒輪不對中、斷齒

嚙合頻率3x頻叢





12/19上課注意事項

1. 各組準備的筆電必須有**網路孔**
2. 各組須準備一條**3米以上延長線**、一條**網路線**

