

# 平成 28 年度報告書

## 航空輸送による加速度の測定

一般社団法人日本海事検定協会  
(検査第一サービスセンター)

# 目 次

1. 調査の概要	… 2
2. 計測輸送区間と計測器の選定	… 2
3. 予備計測	
3-1 4回の予備計測	… 2
3-2 予備計測より設定条件の決定	… 5
4. 航空輸送中の加速度本計測	
4-1 計測器のセットアップ	… 6
5. 解析	
5-1 RMS 値と PSD	… 20
6. 輸送中の加速度	… 21
7. まとめ	… 33

## 1. 調査の概要

本事業の目的は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する加速度を一定期間に渡って計測・収集し、その結果を取り纏めた上でデータベース化して公表するものである。本年度は、航空輸送中(離陸から着陸間)の航空機への積載貨物に及ぼす加速度の影響に着目し、実際の航空輸送工程における加速度発生状況を調査すると共に、積載貨物に及ぼす影響を調査した。計測は航空機の貨物室に計測器を格納したダミーボックスを設置して調査を実施した。調査で回収した加速度データは、米国 Lansmont 社製解析ソフトウェアの SaverXware を用いて、解析処理の実施を行った。

## 2. 計測輸送区間と計測器の選定

航空輸送工程における加速度データ収集にあたり、航空会社の協力を頂き調査を開始した。

各輸送機関の平均輸送距離を考察すると、航空輸送の輸送距離が最も長距離の為、約 800 km 以上である輸送区間のデータ取得を目標とした。

計測器は、継続的に多くのデータを取得したい事、並びに取得データの解析性能を考慮して米国 Lansmont 社製 SAVER 3D15 を使用して計測する事とした。

## 3. 予備計測

本計測と同区間の予備計測を平成 27 年度中期に実施して計測器の設定等を確認した。

### 3-1 4回の予備計測

貨物室に SAVER 3D15 を格納したダミーボックスを 1 箱、ランダムに設置して、約 800 km 以上である輸送区間の加速度計測を実施した。

カートン\*Fig. 1(サイズ 32(W) x 43(L) x 25(H) cm)内に SAVER 3D15 を設置した木箱\*Fig. 2 を格納した。格納したダミーボックス 1 個の重量は約 5 kg である。

ダミーボックス内部に SAVER 3D15 の固定位置と計測器の軸方向を設定した。

計測軸方向は前後振動を X 軸、左右振動を Y 軸、上下振動を Z 軸としたが、蔵置場所はランダムの為、機体の軸方向とは異なる。計測器のセットアップは 500Hz 以下の振動と予測し、1,000 Sample/Sec, 2,048 Sample/Size とした。



Fig. 1 だミーボックス

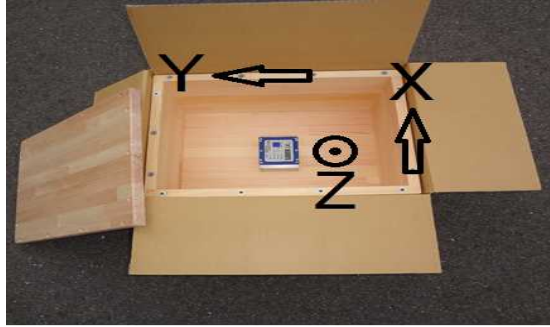


Fig. 2 内装木箱

計測の結果、下記が判明した。

- PSDの結果からおおむね予想通り、0.5Hz から 500Hz 上限の PSD で、適当と思われた。
- ダンボール箱と内装木箱は形が不均一である為、共振に関与する振動周波数を特定することは難しく、振動周波数及び加速度と共振との関連については今後さらに詳細な検討が必要である。

PSD Data :

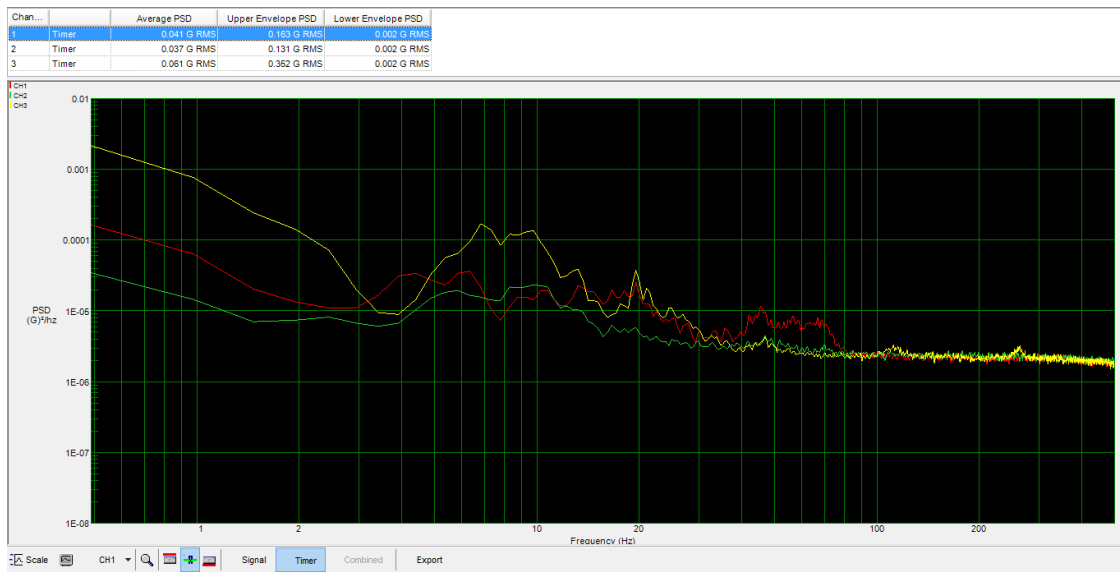


Fig. 3 1st 予備計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

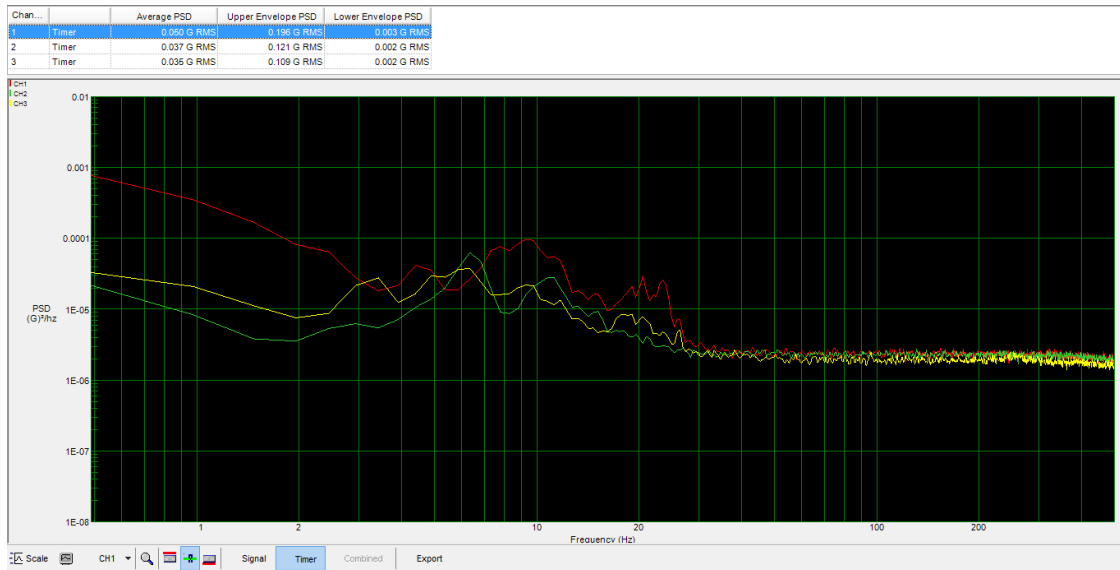


Fig. 4 2nd 予備計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

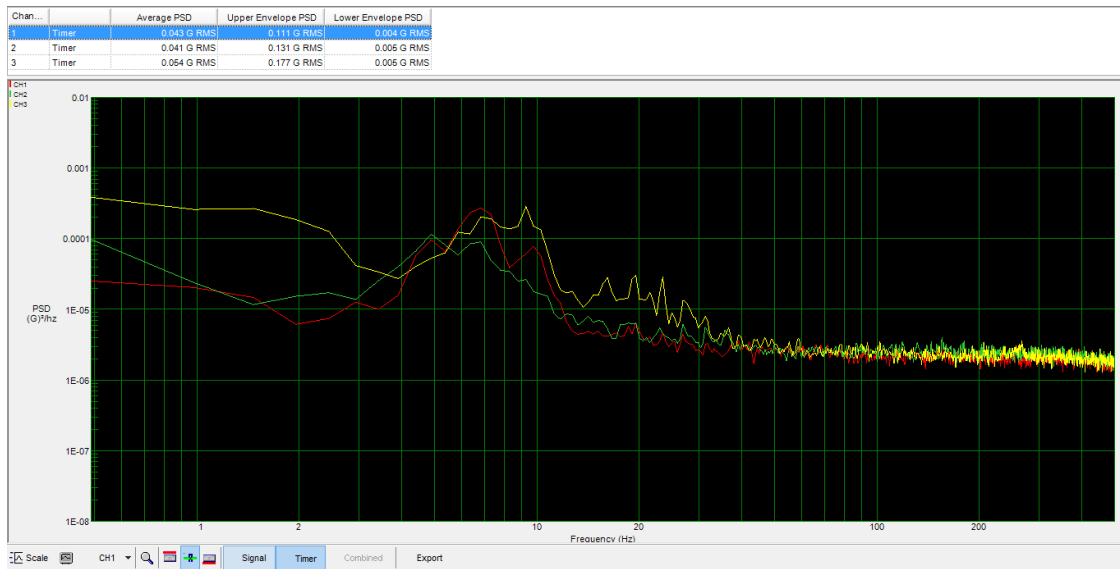


Fig. 5 3rd 予備計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

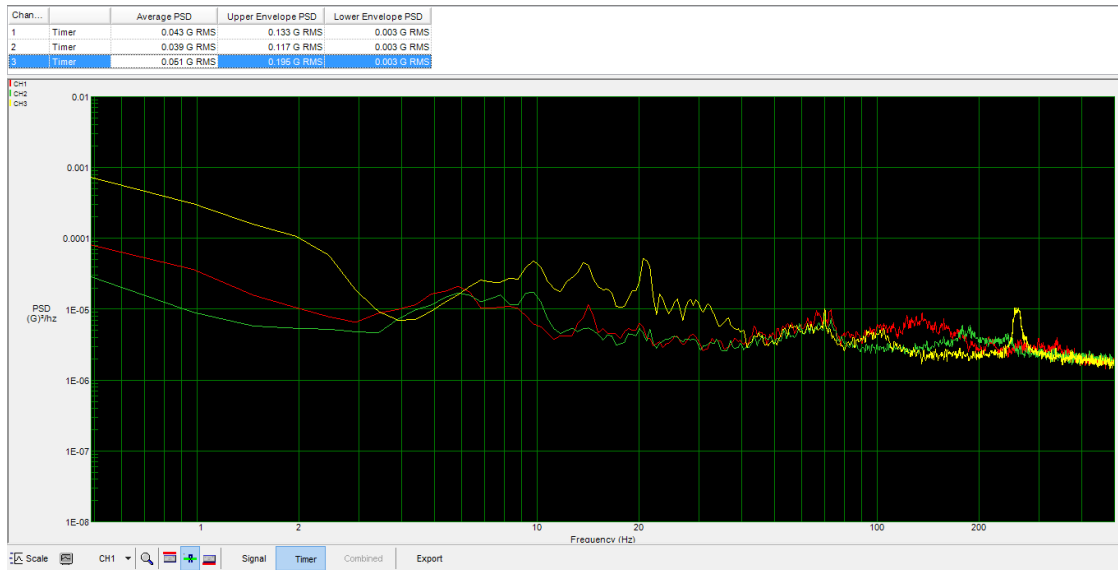


Fig. 6 4th 予備計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

### 3-2 予備計測より設定条件の決定

以上の予備計測より、設定条件を以下の通りとした。

設定条件：1,000 Sample/Sec, 2,048 Sample/Size

設置場所：通常の手荷物同様、ランダムに蔵置(機体の X, Y, Z 軸とは各々異なる)

計測器を格納したダミーボックスの設置場所は、ランダムに蔵置される為、計測器の特定の方向が航空機の進行方向とは一致しないものとする。通常の手荷物に加えられると考える加速度の採取を試みた。

## 4. 航空輸送中の加速度計測

平成 27 年度下期から、計 10 日間にかけて、輸送距離約 800 km 以上を航空輸送した際に、航空機への積載貨物に発生する加速度を調査した。なお、飛行中に受ける航空機の荷重は、気象状況や機長による運転技術等の条件によって左右される為、影響度は一概に言及し難いものがある。

#### 4-1 計測器のセットアップ

採取した20データファイルの計測設定条件を下記に示す。

The screenshot shows the configuration interface for the instrument. It is divided into two main sections: 'Memory Storage Partitions' and 'Channel Information'.

**Memory Storage Partitions:**

- Signal Triggered Data:**
  - Record Time: 1.024 sec
  - Samples / Sec: 1000
  - Sample Size: 1024
  - Signal PreTrigger: 25 %
  - External Trigger: OFF - Disable
  - Data Retention Mode: Max Overwrite
  - Memory Allocation: 563 events
- Timer Triggered Data:**
  - Record Time: 2.048 sec
  - Samples / Sec: 1000
  - Sample Size: 2048
  - Wakeup Interval: 3 Seconds
  - Time to Fill: 7.9 hours
  - Data Retention Mode: Max Overwrite
  - Memory Allocation: 9512 events
- Alarms and Alerts:**
  - Disable PushButton On/Off (Requires Computer to Stop Acquisition)
  - LED Alarm:
    - Temperature Alarm: 100 °F
    - Humidity Alarm: 97 % RH
    - Acceleration Alarm: 5.0 G's
  - Cell Phone Alarm:
    - SMS Alarm Alerts: Target Phone Number
  - GPS Tracking:
    - GPS Enable

**Channel Information:**

CH	Active In Signal Partition	Active In Timer Partition	Channel Description	Full Scale	Trigger	Trigger Level	Filter	Ext Sensitivity	Input Source
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Channel 1	50.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	2.00 G	500 Hz	---	Charge Amp
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Channel 2	50.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	2.00 G	500 Hz	---	Charge Amp
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Channel 3	50.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	2.00 G	500 Hz	---	Charge Amp

• **Signal Triggered Data:** 衝撃的なデータを記録

- トリガ・レベル : 2G (XYZ 軸共)
- 最大計測加速度 : 50G (XYZ 軸共)
- サンプリングスピード : 1,000 samples/sec
- サンプル・サイズ : 1,024 point
- レコーディング・タイム : 1.024 sec
- 記録可能データ数 : 563 データ

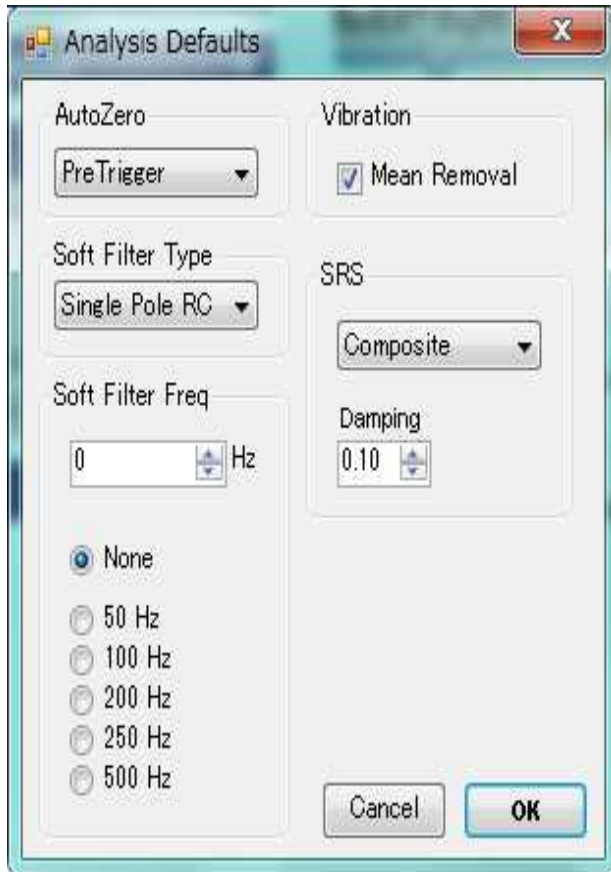
• **Time Triggered Data:** 振動データを記録

- 最大計測加速度 : 50G (XYZ 軸共)
- トリガ間隔 : 3 sec
- サンプリングスピード : 1,000 samples/sec
- サンプル・サイズ : 2,048 point
- レコーディング・タイム : 2.048 sec
- 記録可能データ数 : 9,512 データ

## 5. 解析

計測データファイルの解析は SaverXware を用いて実施した。

解析に使用したフィルター条件を下記に示す。



図より、解析にソフトフィルターを使用せず、全ての解析に同じ条件である。この条件にて解析を行い、それぞれの回数毎から解析し、全体の振動評価を総括する。

解析にかけることにより、加速度計で計測した振動のイベントが発生した毎に計測される。まず、時系列の振動がどの振動数にどれくらい集中しているかを把握する。

PSD ファイル毎、ファイル合成並びに ASTM 4169 air を下記に示す。



PSD Data :

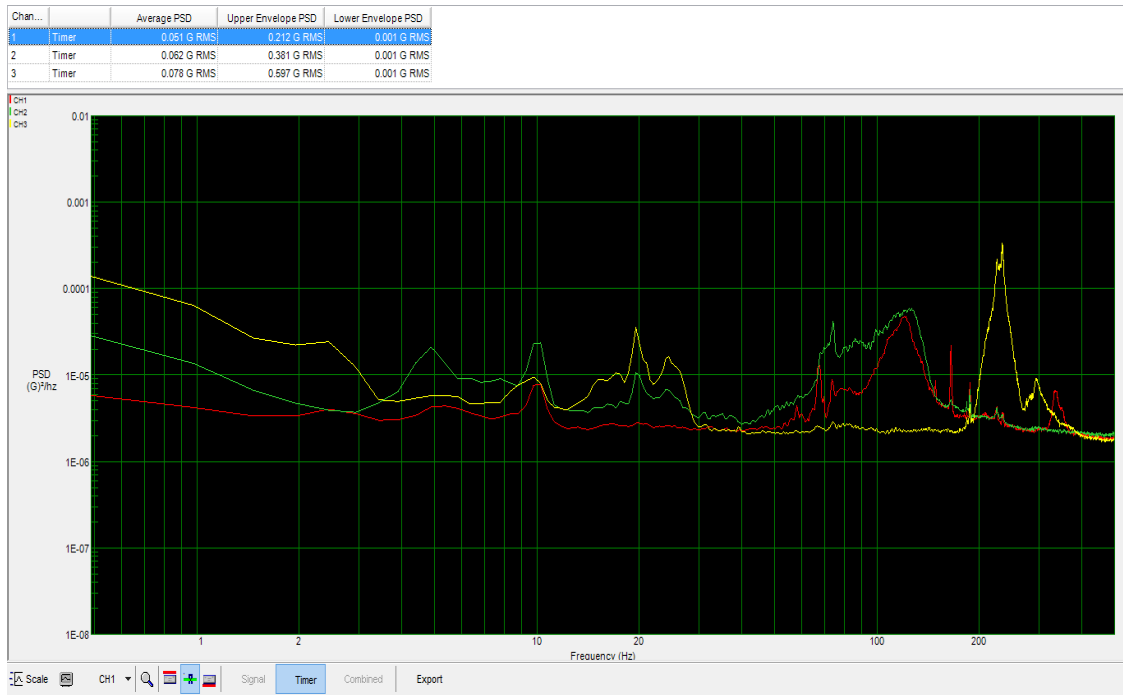


Fig. 7 1st 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

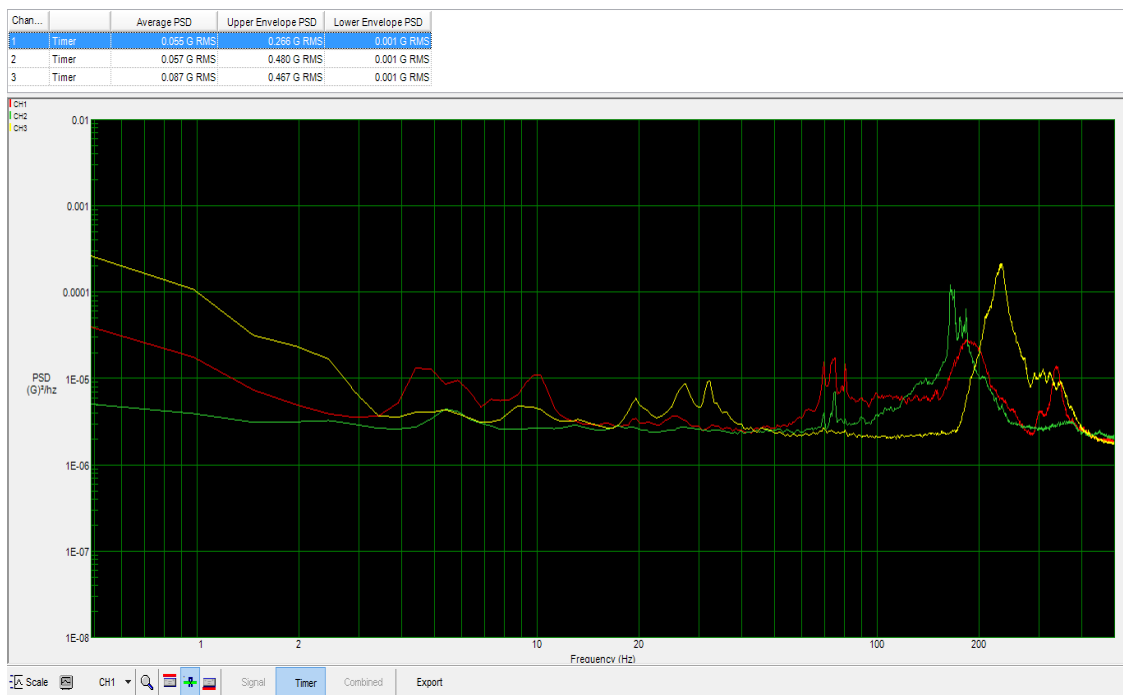


Fig. 8 2nd 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

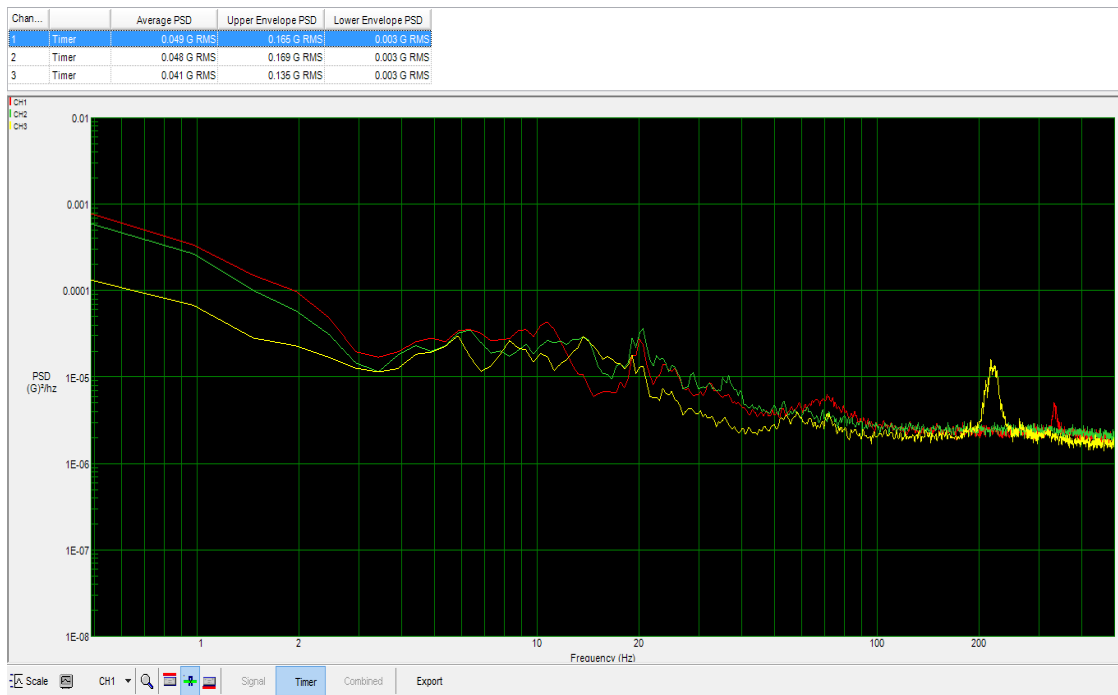


Fig. 9 3rd 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

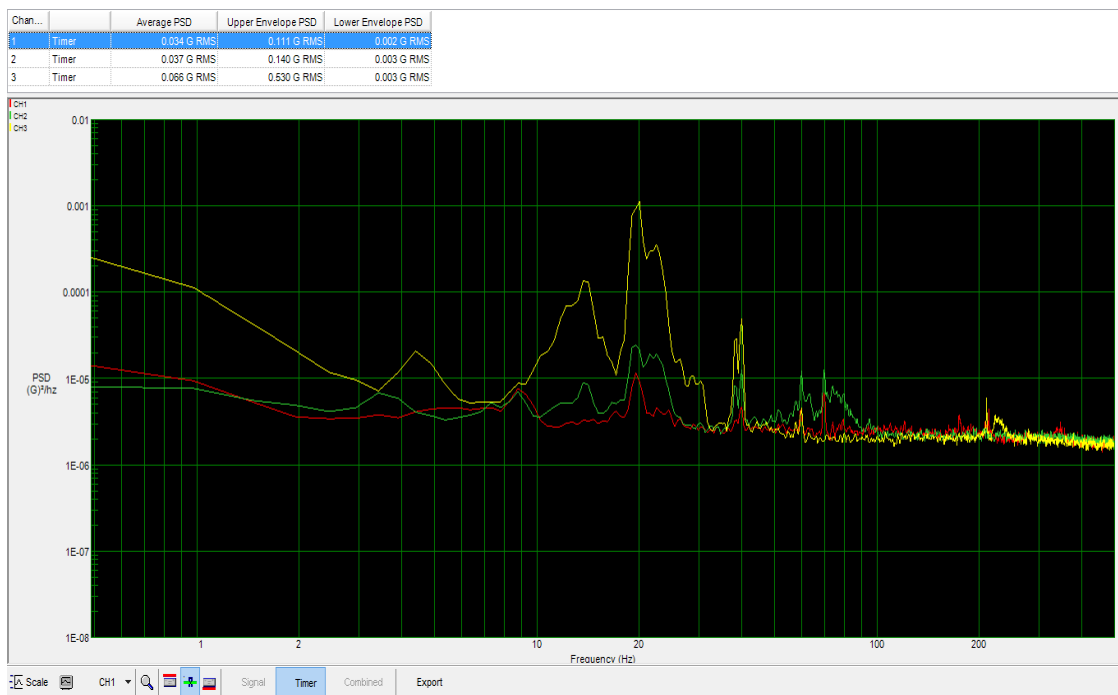


Fig. 10 4th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

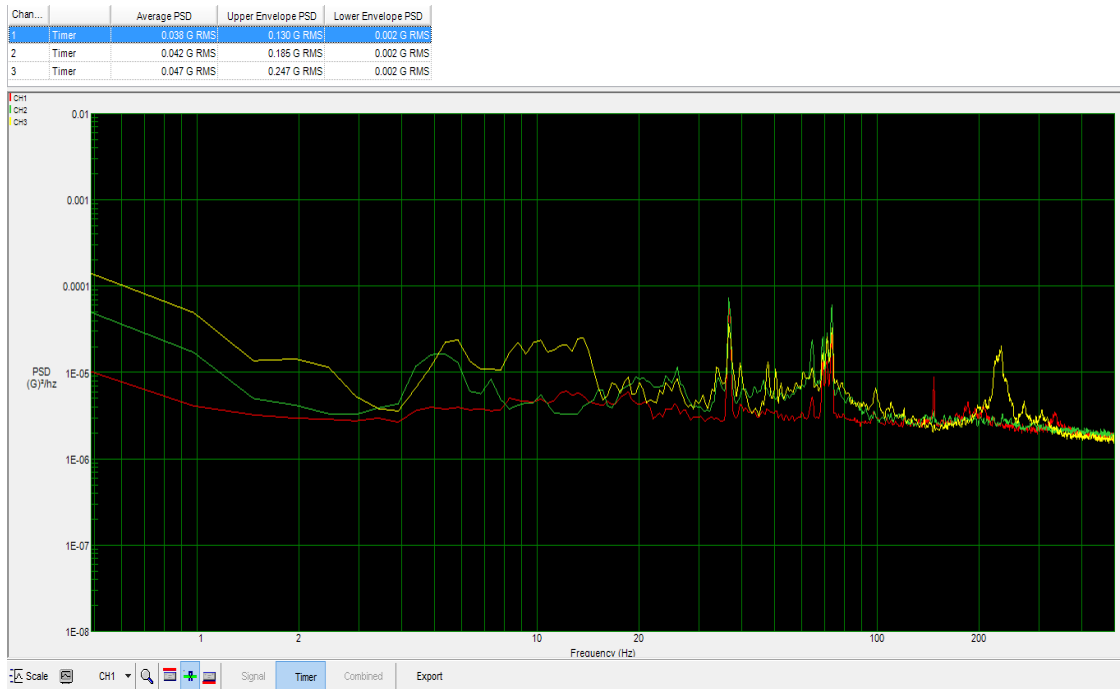


Fig. 11 5th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

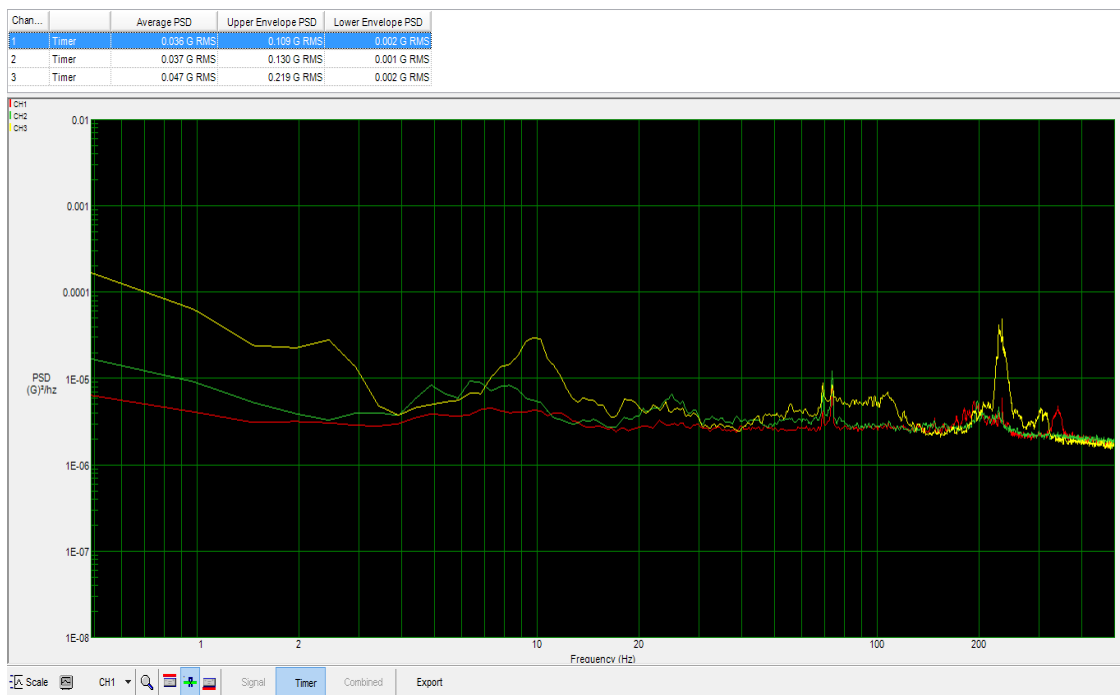


Fig. 12 6th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

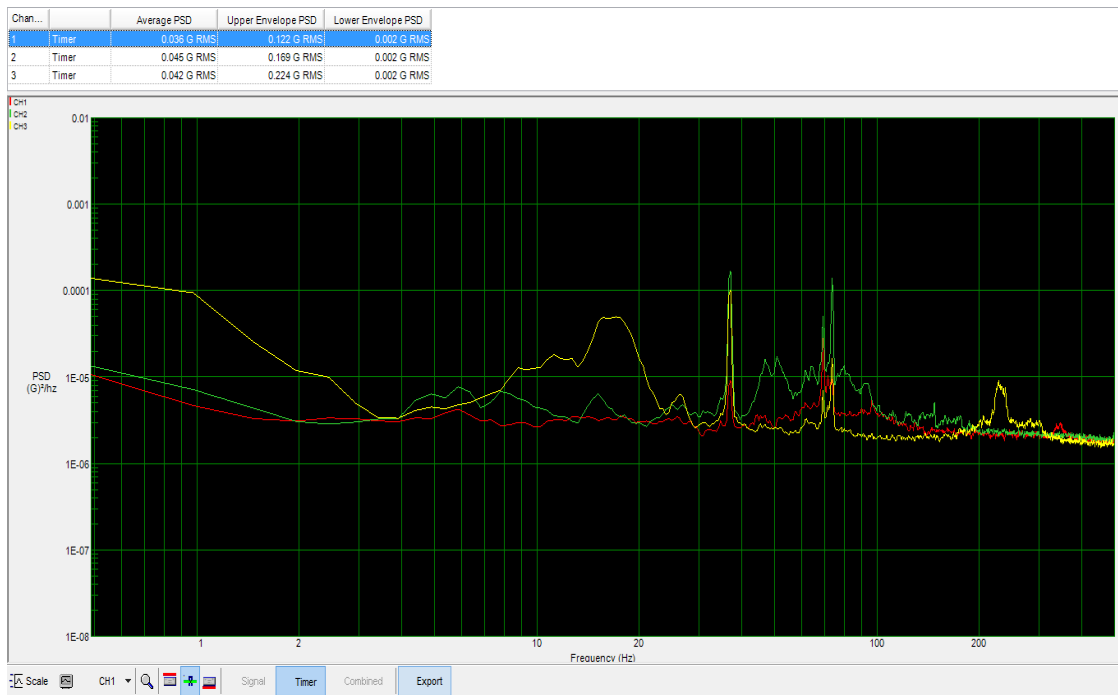


Fig. 13 7th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

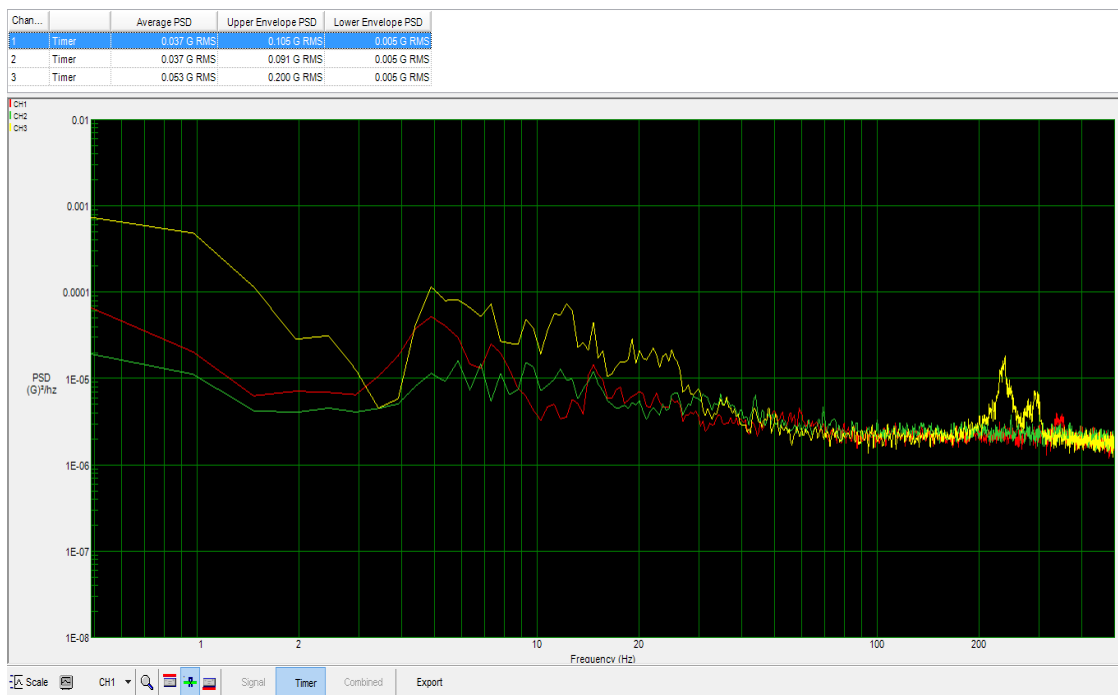


Fig. 14 8th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

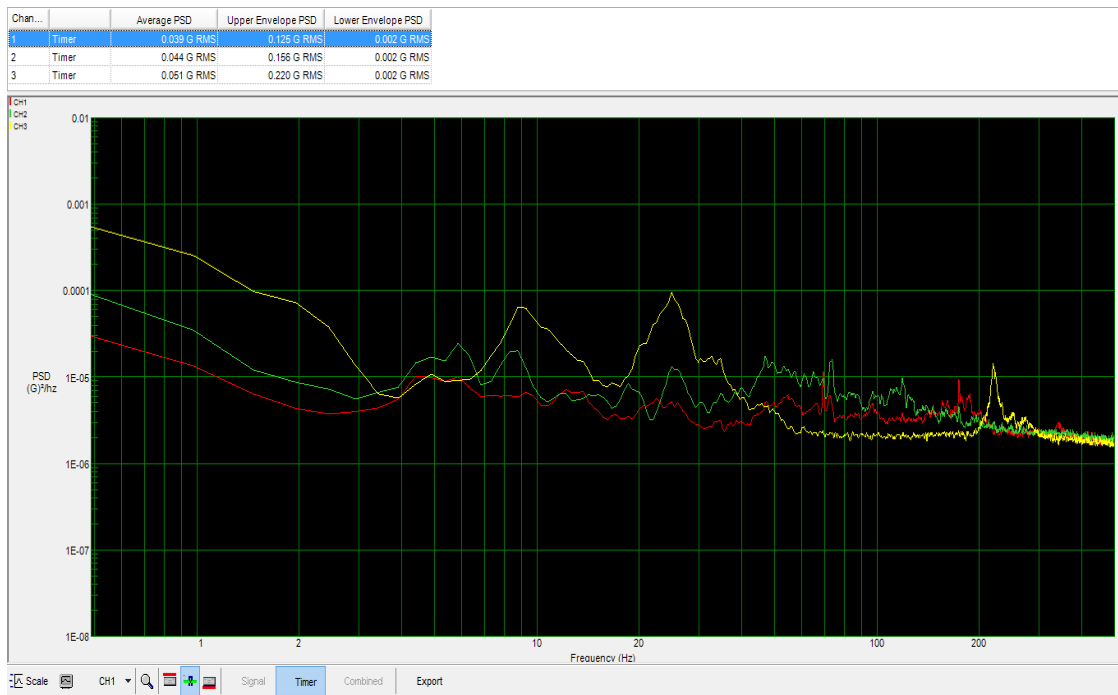


Fig. 15 9th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

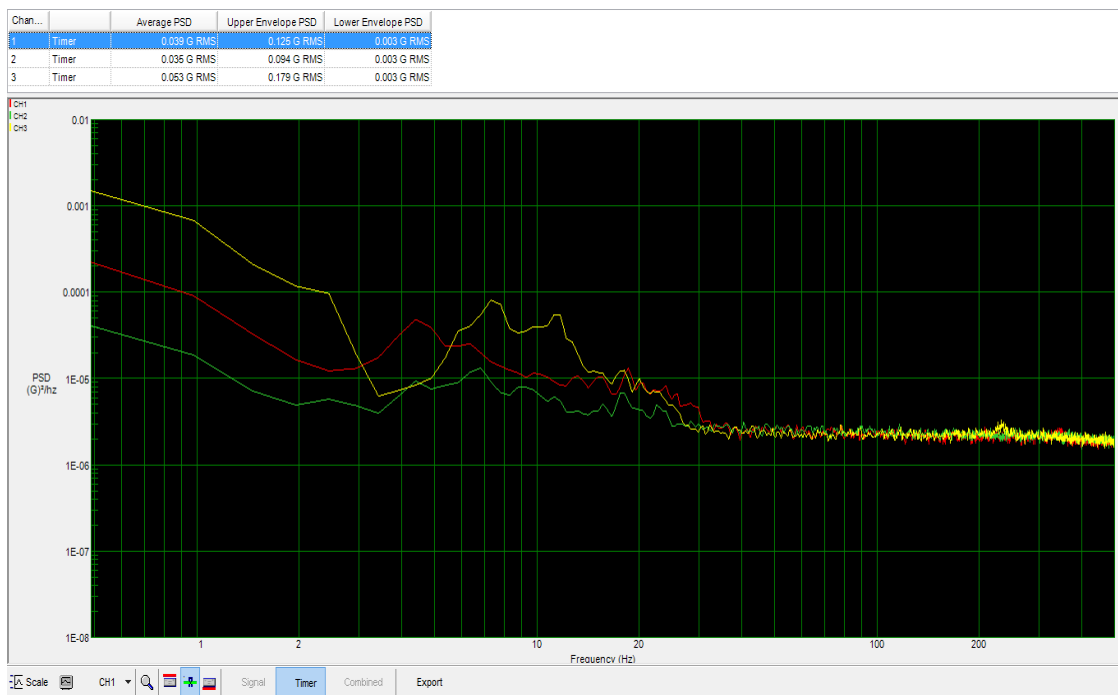


Fig. 16 10th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

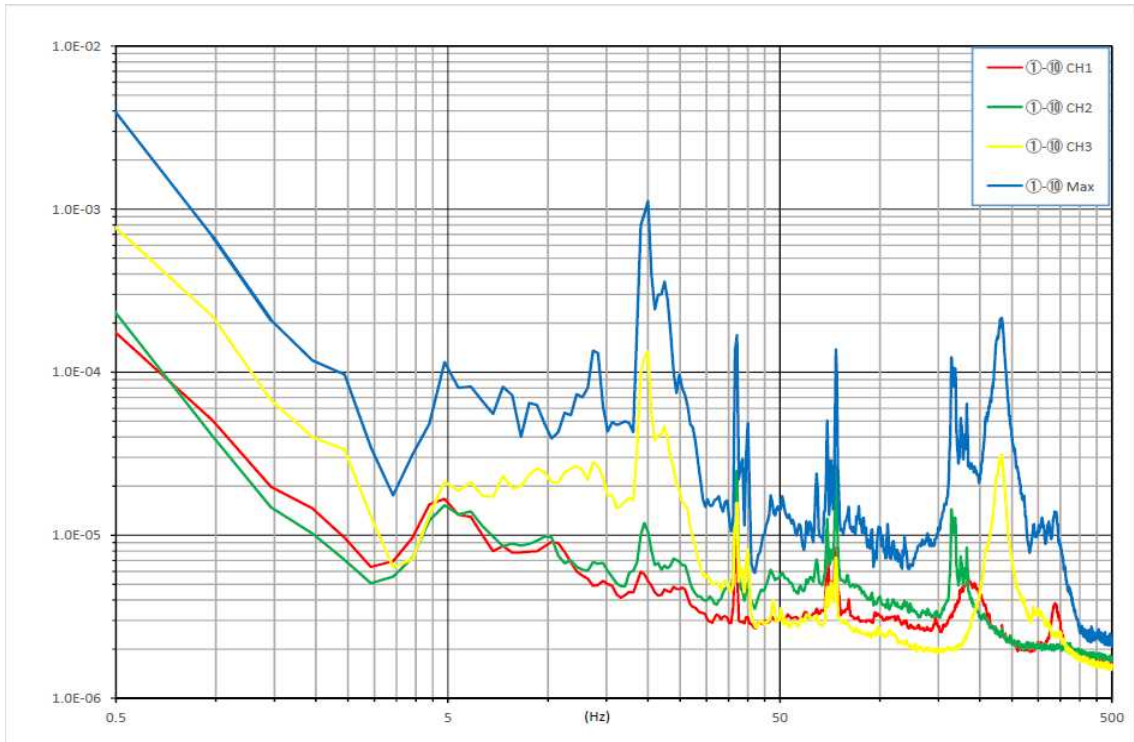


Fig. 17 上記計 10 データ 平均 PSD と最大 PSD 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

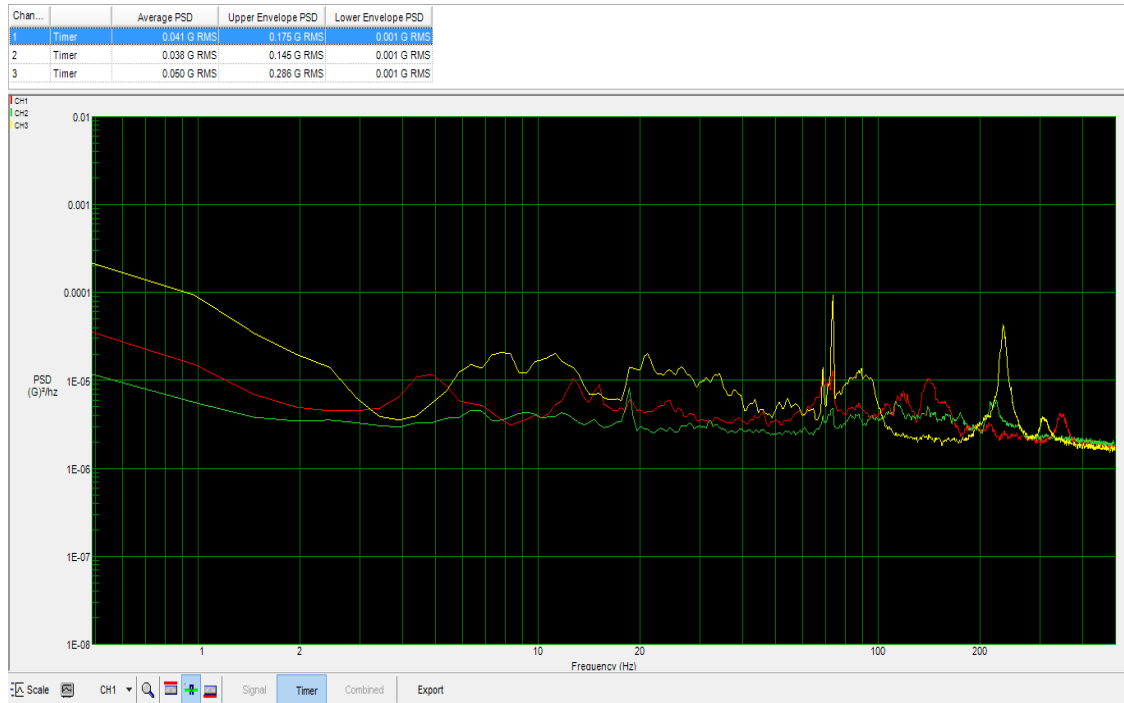


Fig. 18 11th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

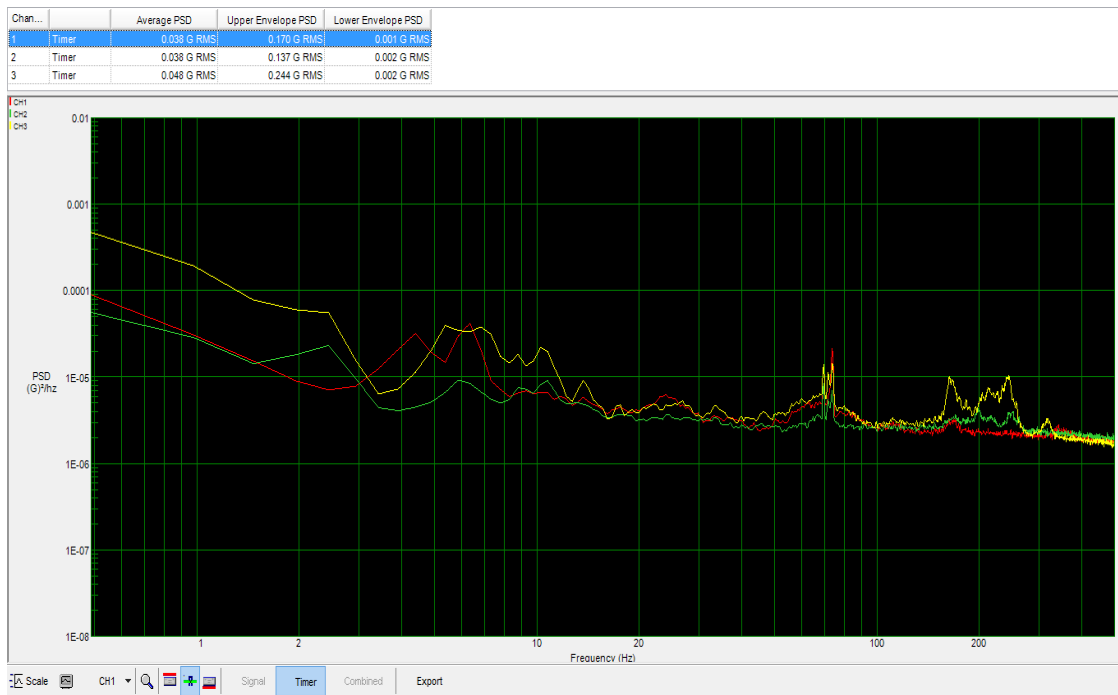


Fig. 19 12th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

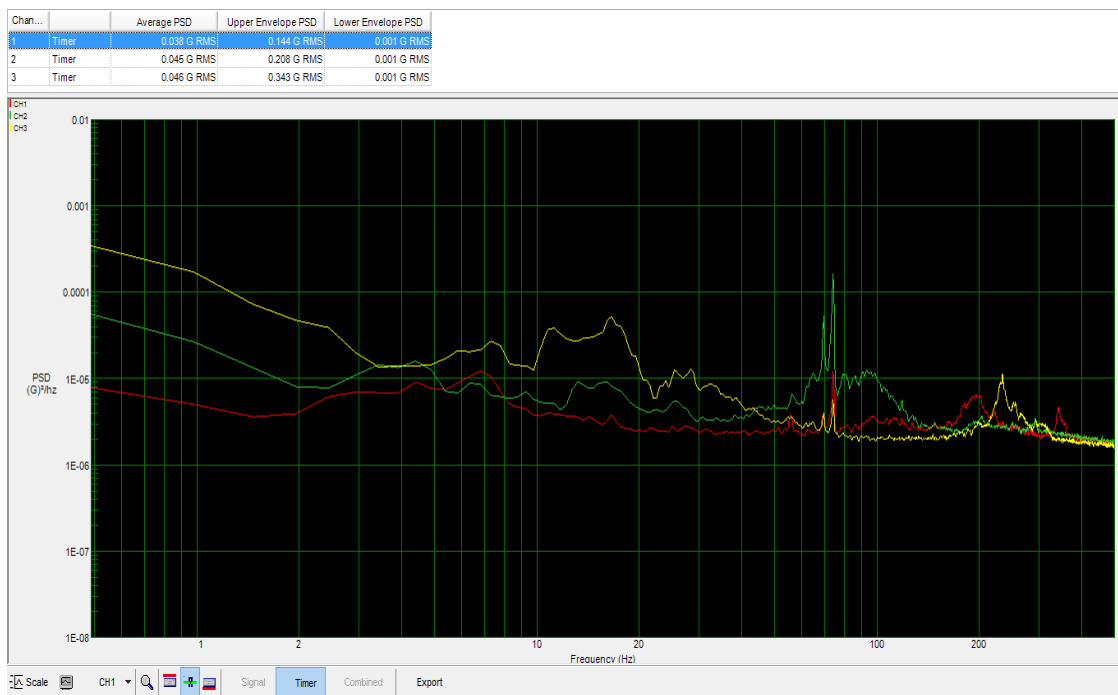


Fig. 20 13th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

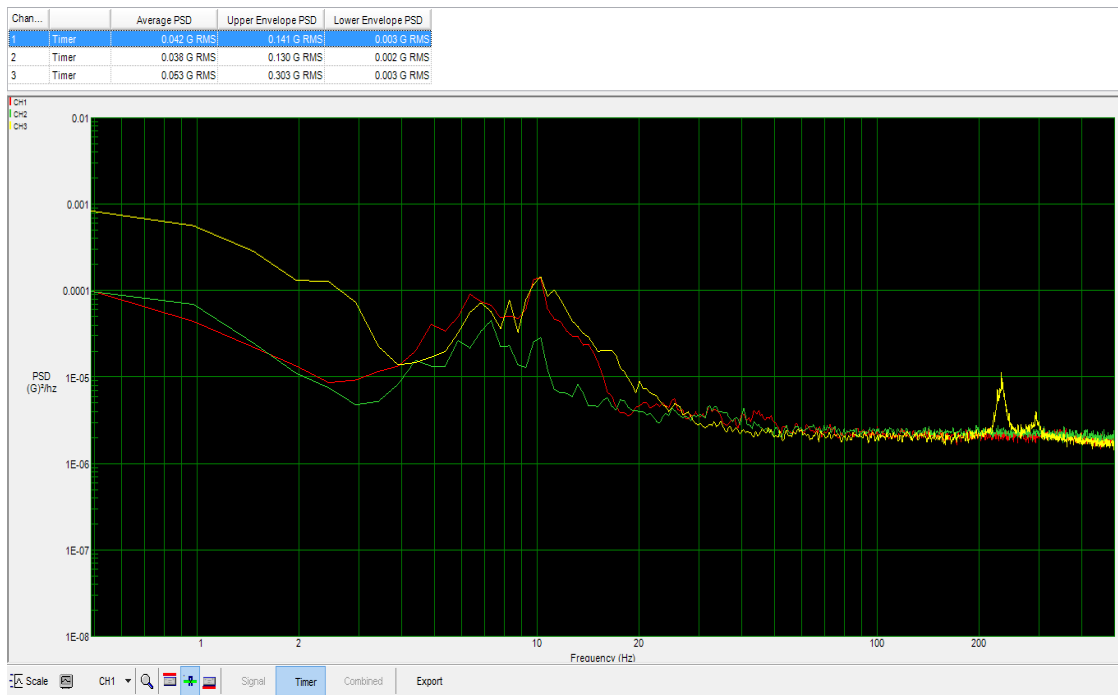


Fig. 21 14th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

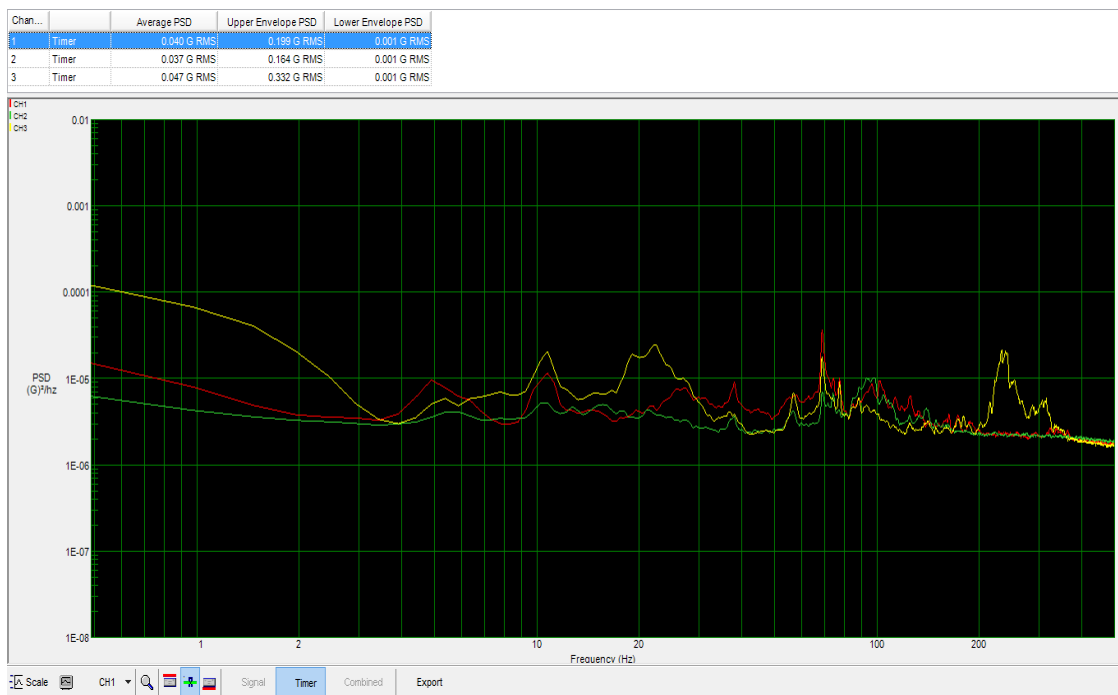


Fig. 22 15th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz



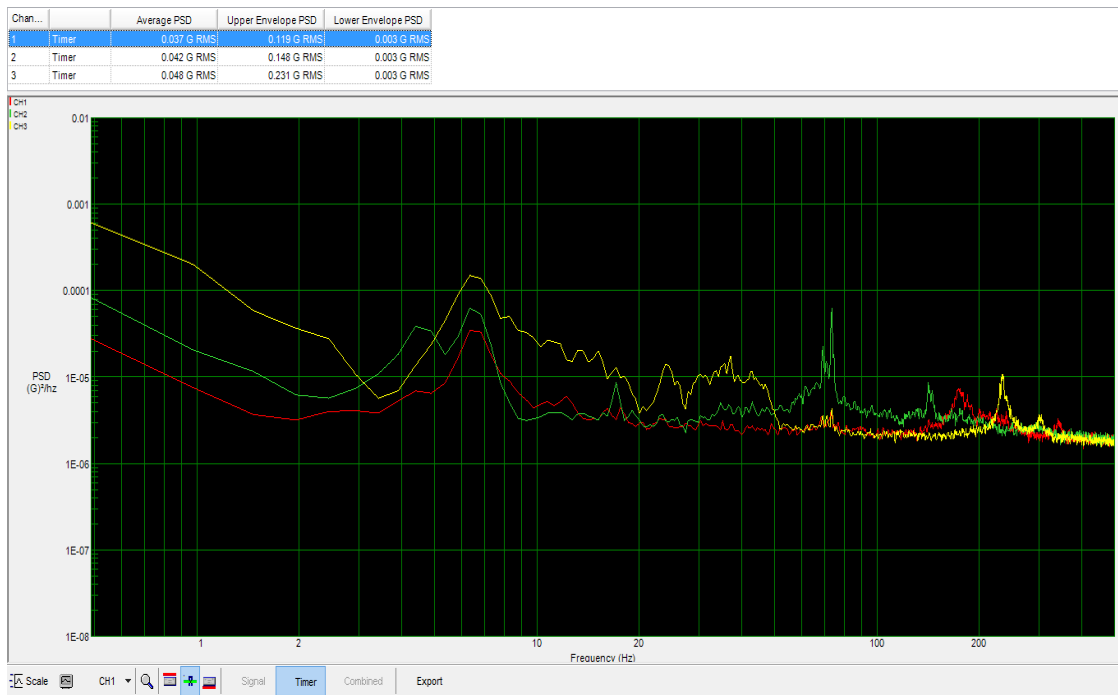


Fig. 23 16th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

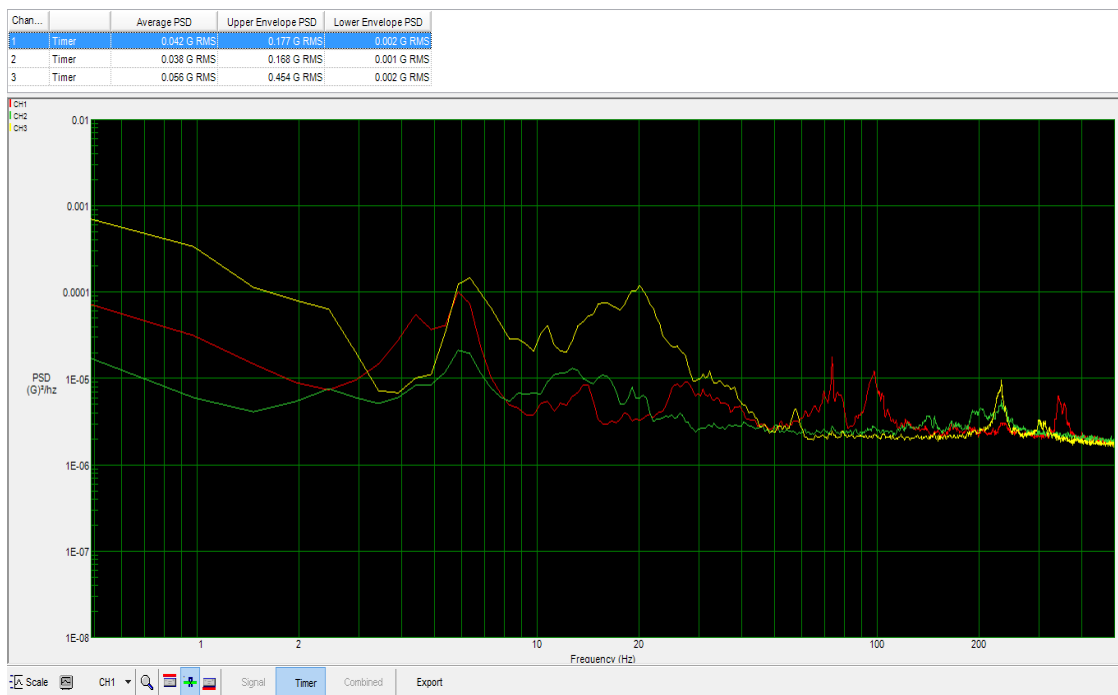


Fig. 24 17th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

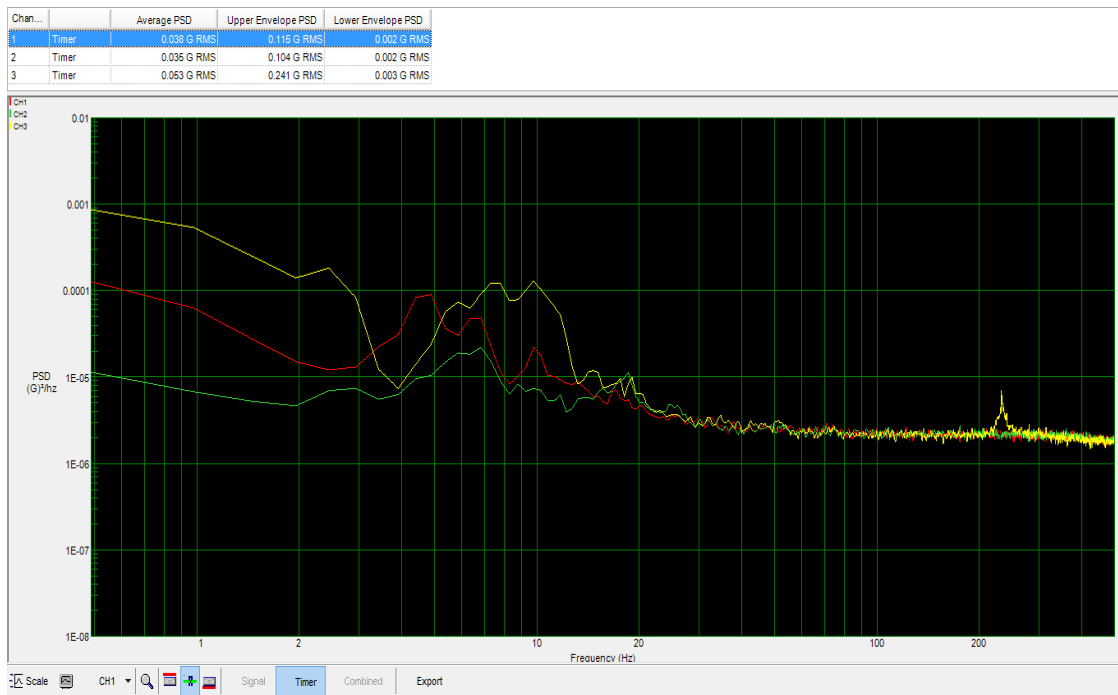


Fig. 25 18th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

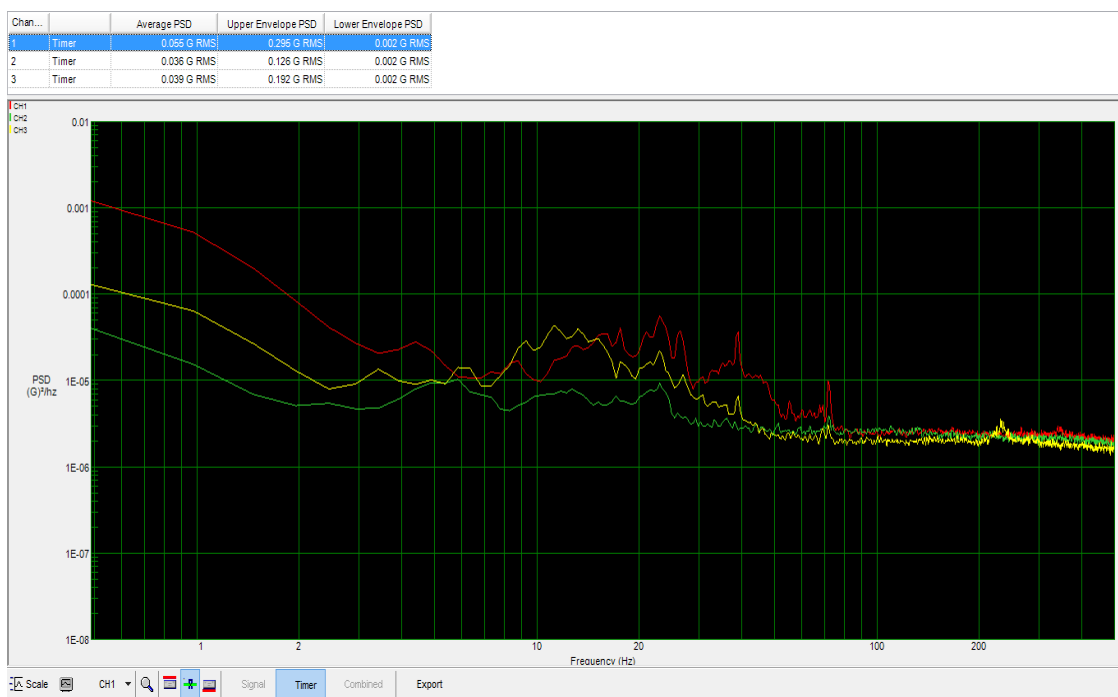


Fig. 26 19th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

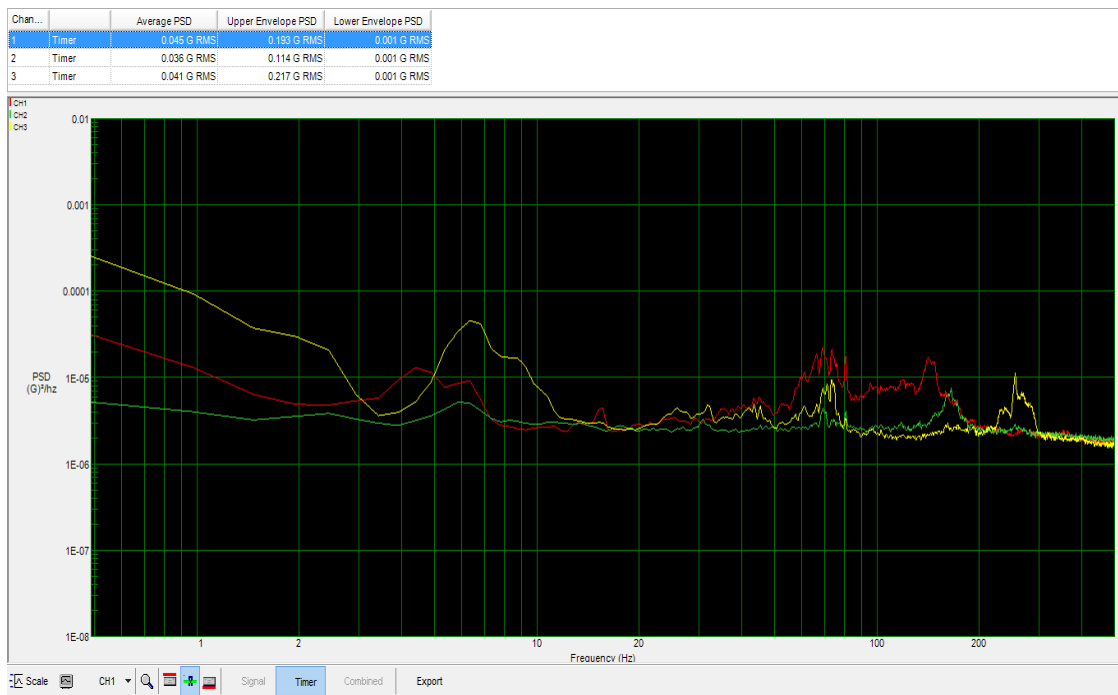


Fig. 27 20th 本計測 (輸送距離 約 800 km) 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

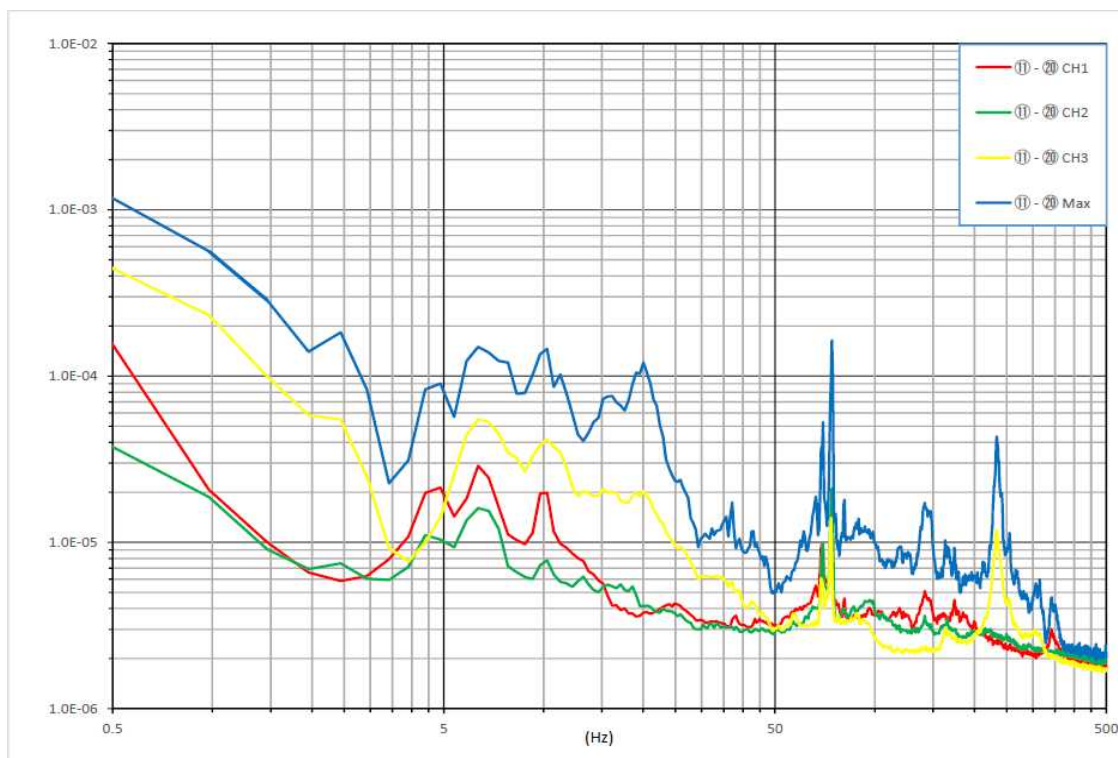


Fig. 28 上記計 10 データ 平均 PSD と最大 PSD 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

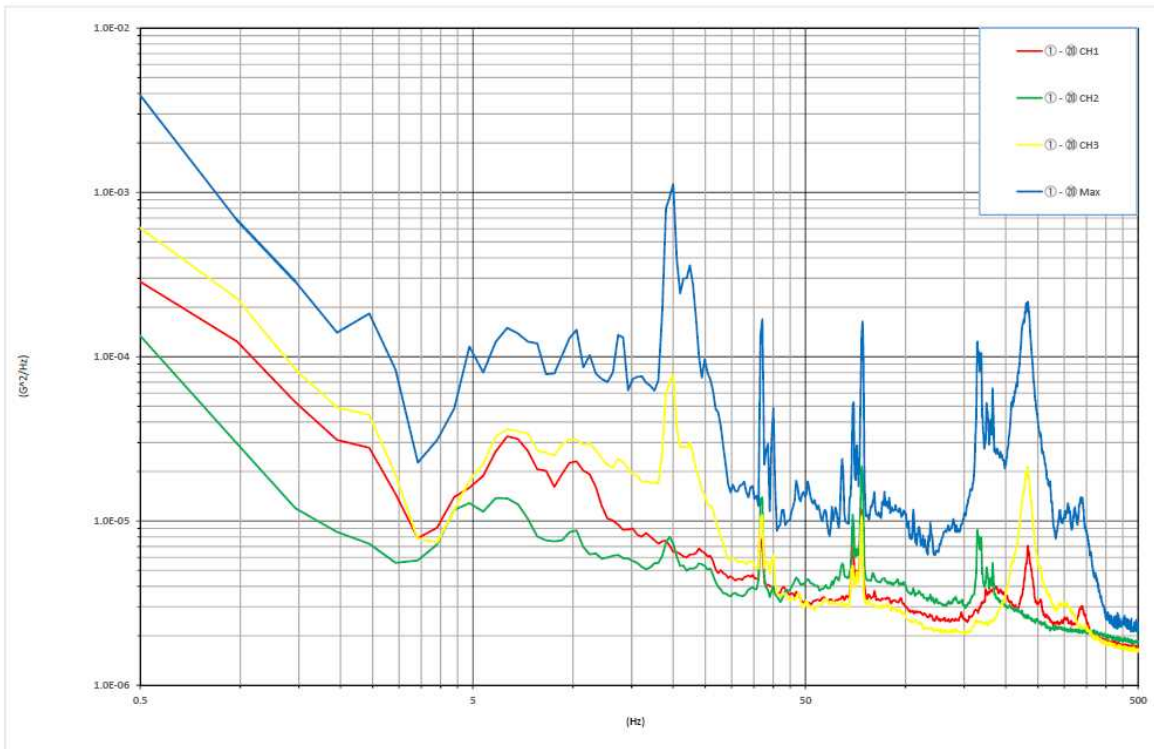


Fig. 29 上記計 20 データ 平均 PSD と最大 PSD 周波数範囲 0.5Hz~500Hz

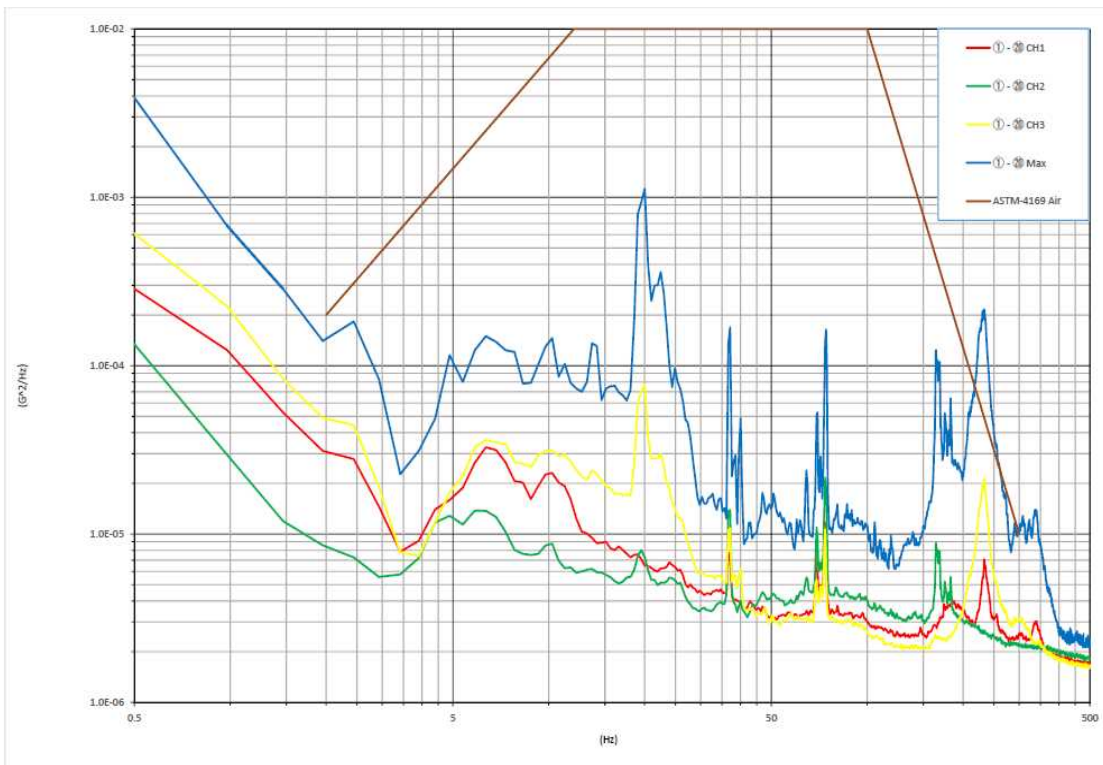


Fig. 30 ASTM 4169 air との比較

計測の結果、下記が判明した。

- ・ 全体に加速度スペクトラム範囲は  $10^{-3}$ あたりから  $10^{-6}G^2/Hz$  までと低く、外力の影響がほとんどないことが考えられる。
- ・ 200Hz を超える高周波域で加速度スペクトラム範囲が  $10^{-4}$ を超えるのは、機体が長時間強風で煽られている影響であるとする。
- ・ ダミーボックスを通常の手荷物同様、貨物室に固縛せず、ランダムに蔵置した為、どの方向からの振動を受けているかを把握することが難しい。

### 5-1 RMS 値と PSD

本報告書には GRMS 値と PSD が示されている。

RMS (root mean square) 値が採られるのは：

輸送環境で発生するのはランダム振動(ピーク値が一定ではなく振動数も異なる正弦波の合成波)であるから、ピーク値に代わる値として実効値(RMS 値)が採られる。

下記の正弦波形で考えると

$$\text{実効値(RMS 値)} = \text{ピーク値(振幅)} \div \sqrt{2}$$

RMS: ROOT Mean Square(二乗平均の平方根)

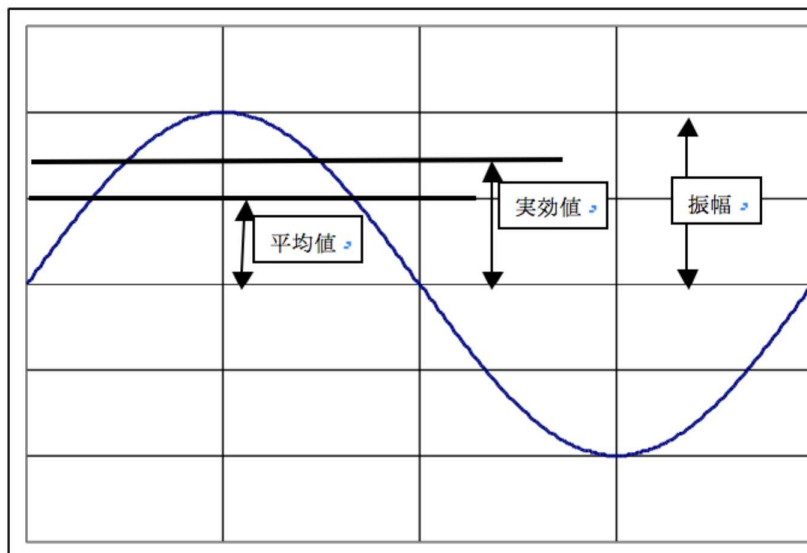


Fig. 31 正弦波形

PSD は :

PSD(Power Spectrum Density)解析とは時系列の振動がどの振動数にどれくらい集中しているかを知ることができ、判断できる。スペクトル密度の曲線の面積は、信号の振幅の自乗すなわち全エネルギーの面積に等しい。図はその分布となる。

ランダム振動はパワースペクトル密度(PSD)で表示され、輸送環境の厳しさを表す指標として使用される。単位は縦軸  $G^2/Hz$ , 横軸は Hz で表される。

## 6. 輸送中の加速度

5-1 RMS 値と PSD 項に記載の通り、輸送環境で発生するのはランダム振動である事より、ピーク値に代わる値として実効値(RMS 値)が採られるが、輸送環境を把握する上で、ピーク値である最大加速度がどれくらいであるかもまた重要なことである。

計測された加速度を製解析ソフトウェアの SaverXware を用いて、解析し、3次元方向の加速度を合成することにより、ダミーボックスに生じた最大の加速度を算出した。

加速度&分布グラフを考察すると横目盛り最大が 1G のグラフが大半である。

本レポートの結果から航空輸送中の加速度は以下の通りと思科される。

方向	平均(G)	最大(G)
X (前後)方向	0.14	0.7
Y (左右)方向	0.14	0.7
Z (上下)方向	0.16	1.2

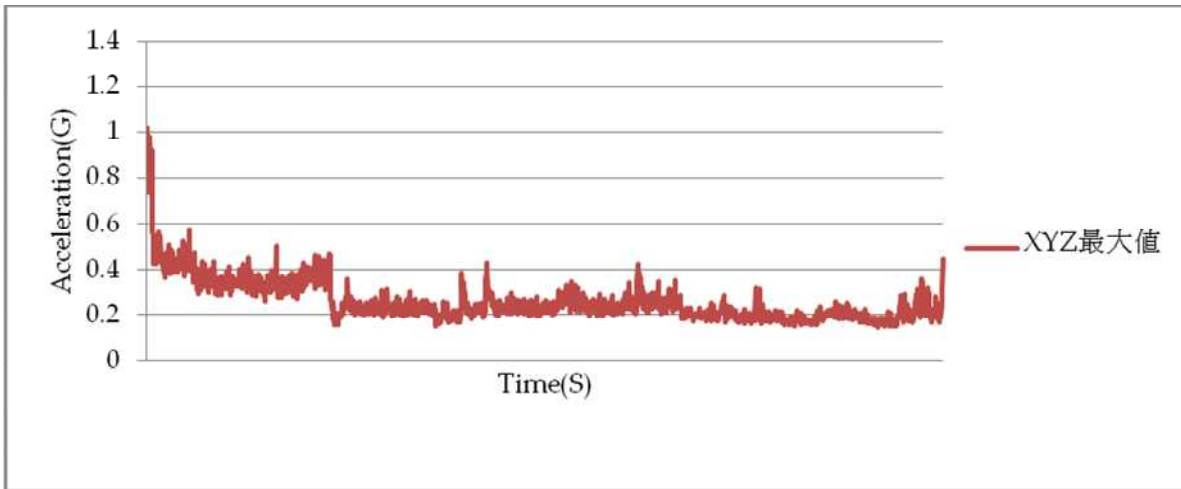


Fig. 32 加速度変化(本計測 1st) 輸送距離 約 800 km

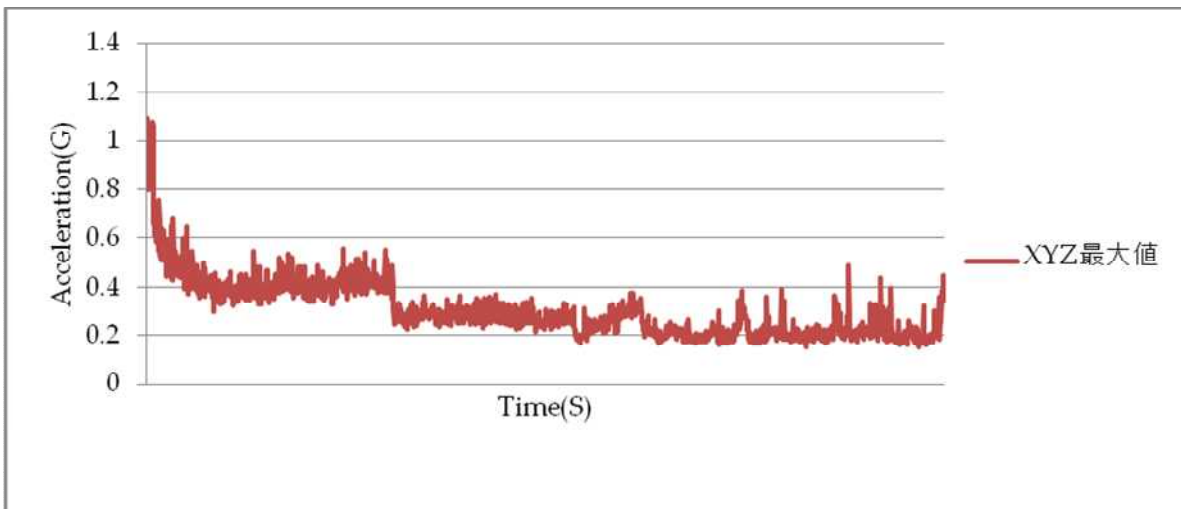


Fig. 33 加速度変化(本計測 2nd) 輸送距離 約 800 km

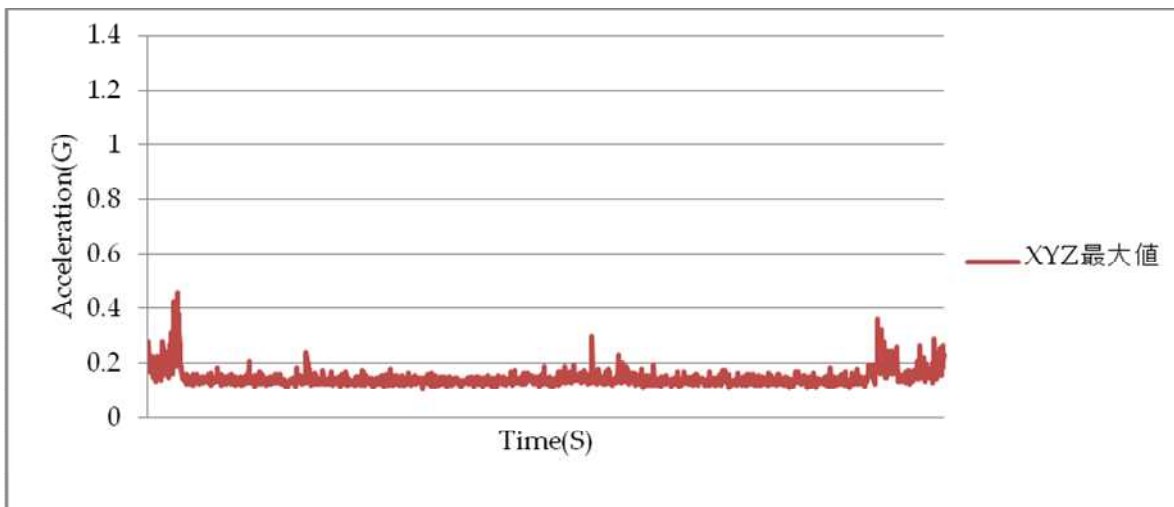


Fig. 34 加速度変化(本計測 3rd) 輸送距離 約 800 km

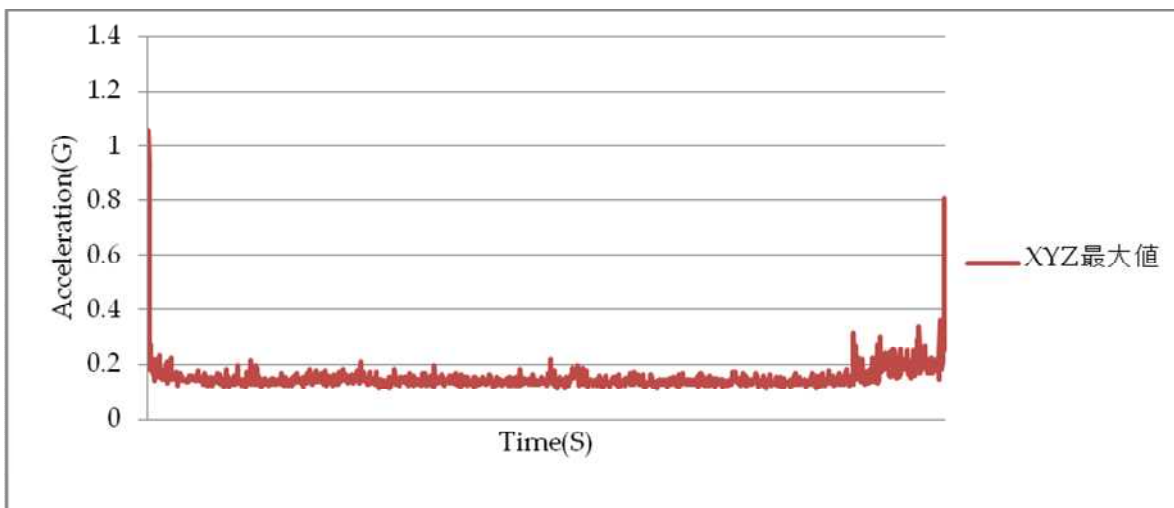


Fig. 35 加速度変化(本計測 4 th) 輸送距離 約 800 km



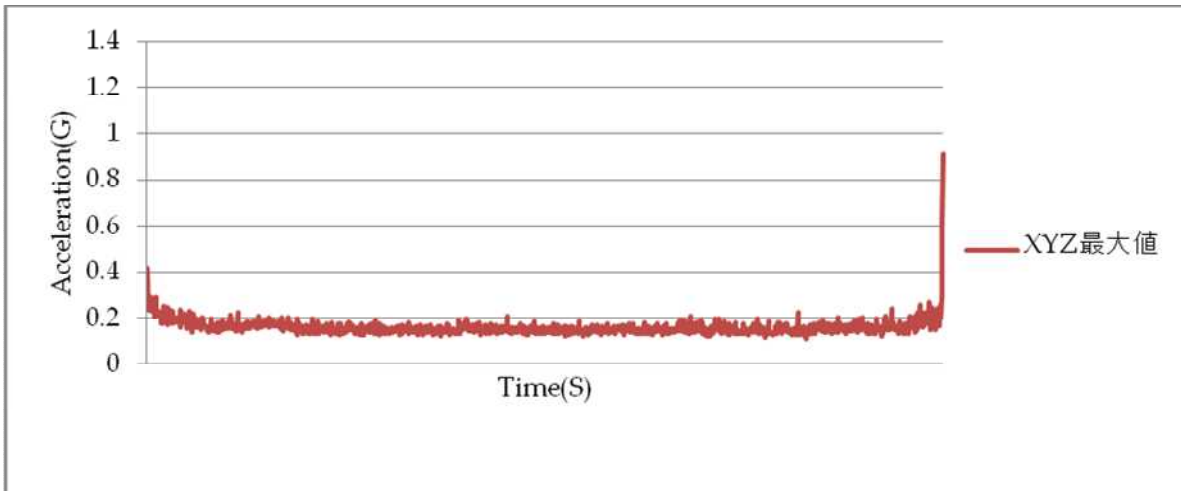


Fig. 36 加速度変化(本計測 5 th) 輸送距離 約 800 km

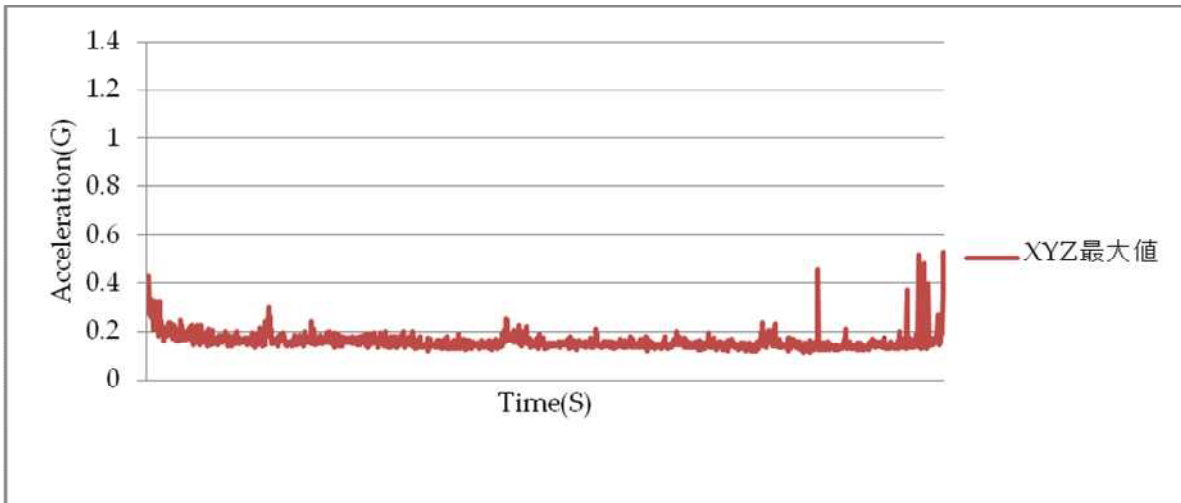


Fig. 37 加速度変化(本計測 6 th) 輸送距離 約 800 km

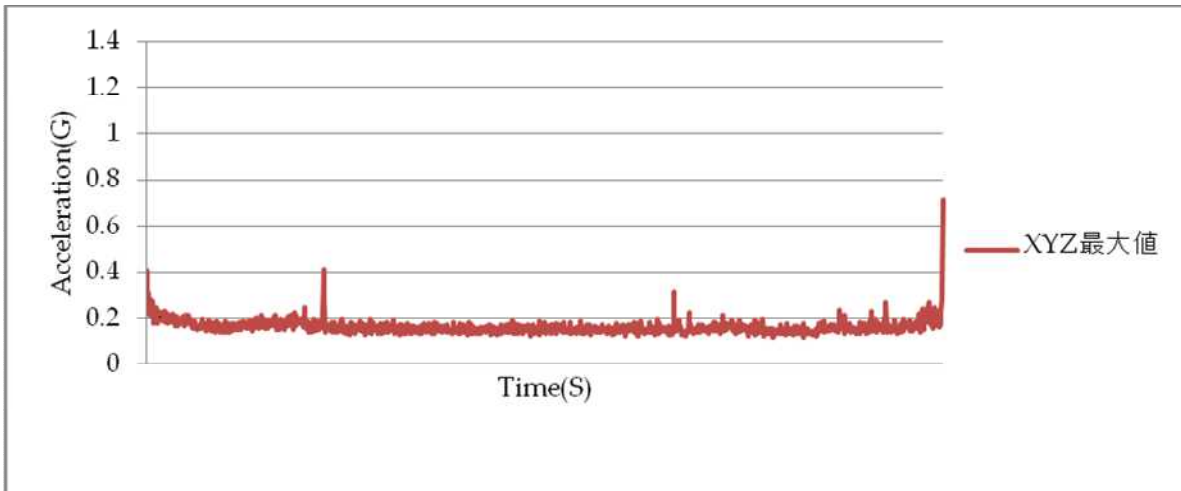


Fig. 38 加速度変化(本計測 7th) 輸送距離 約 800 km

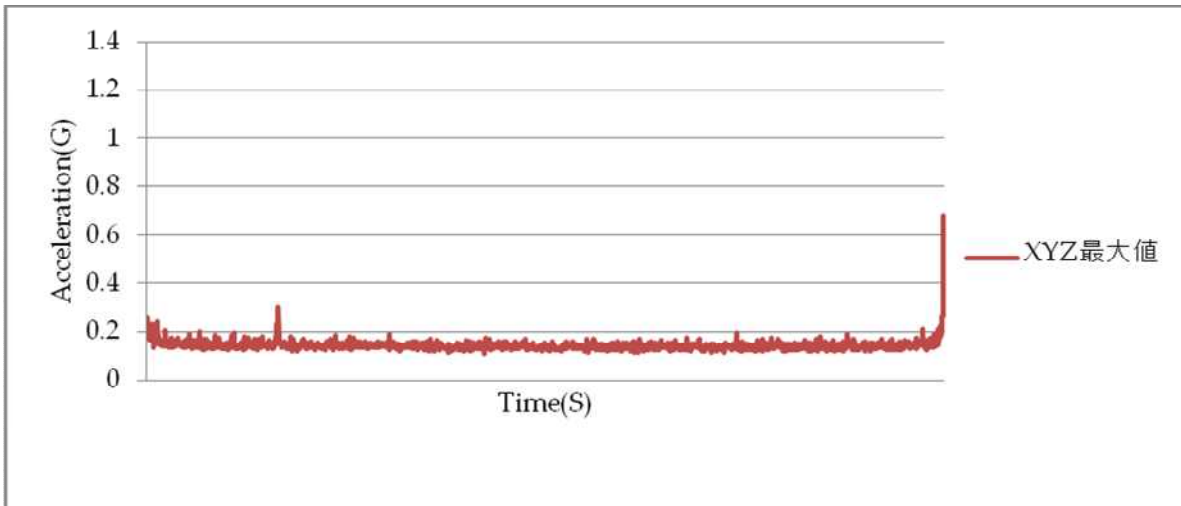


Fig. 39 加速度変化(本計測 8th) 輸送距離 約 800 km

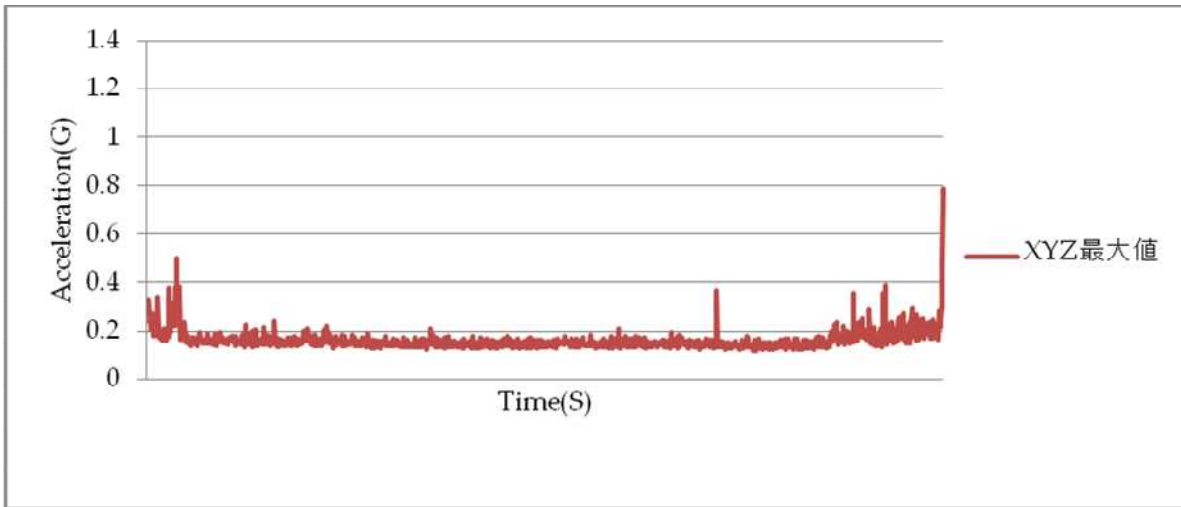


Fig. 40 加速度変化(本計測 9th) 輸送距離 約 800 km

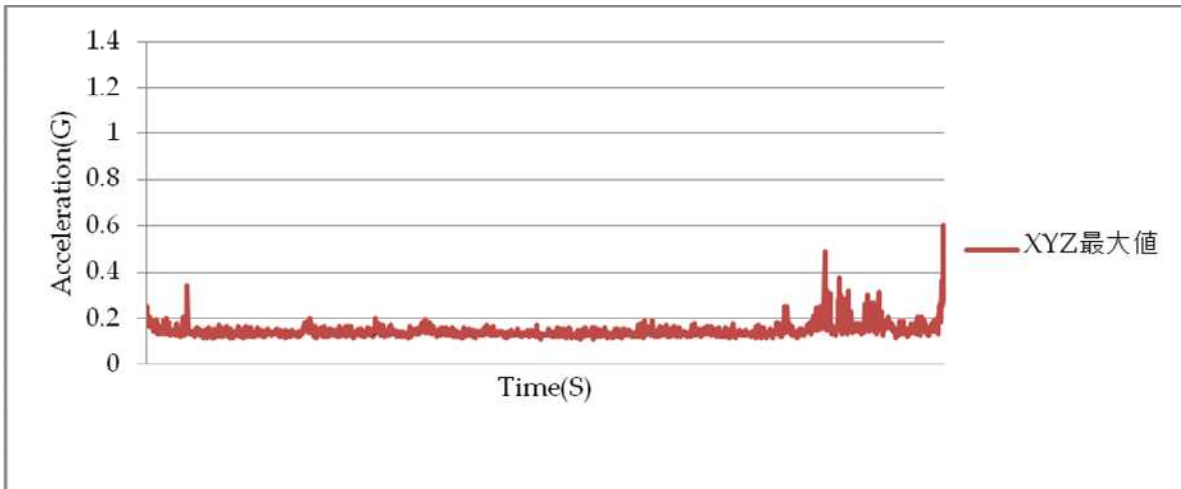


Fig. 41 加速度変化(本計測 10th) 輸送距離 約 800 km

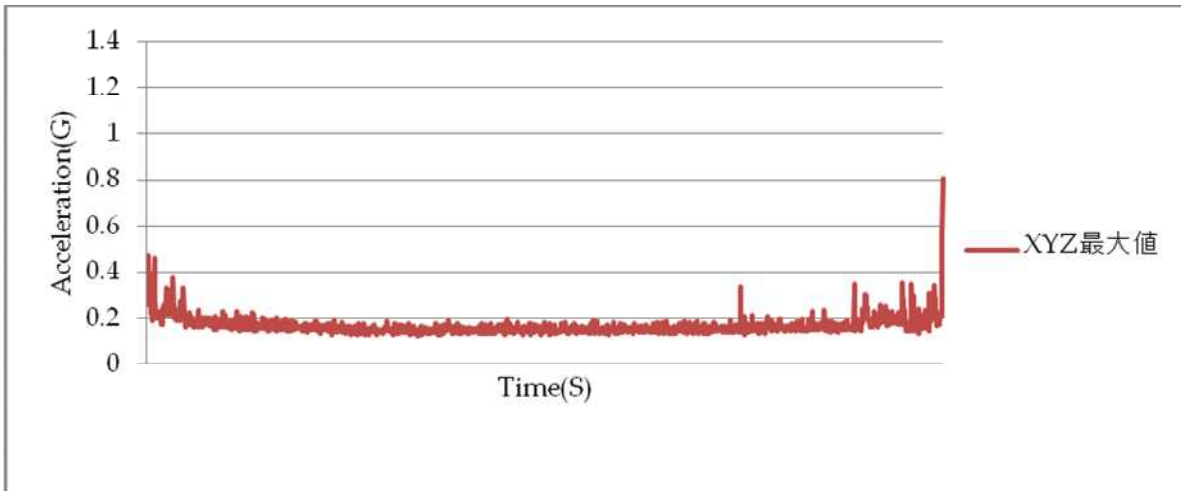


Fig. 42 加速度変化(本計測 11th) 輸送距離 約 800 km

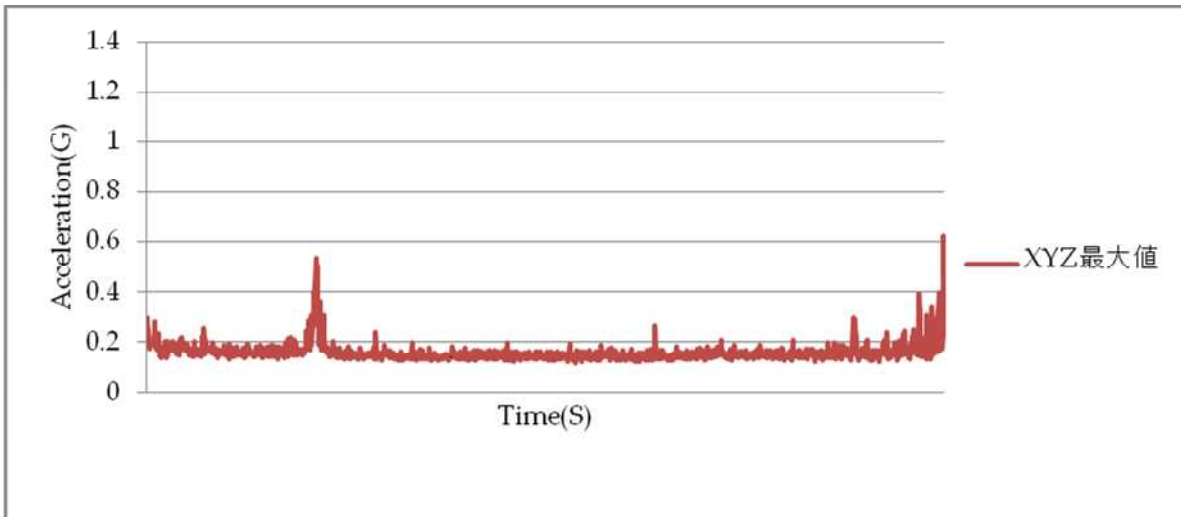


Fig. 43 加速度変化(本計測 12th) 輸送距離 約 800 km

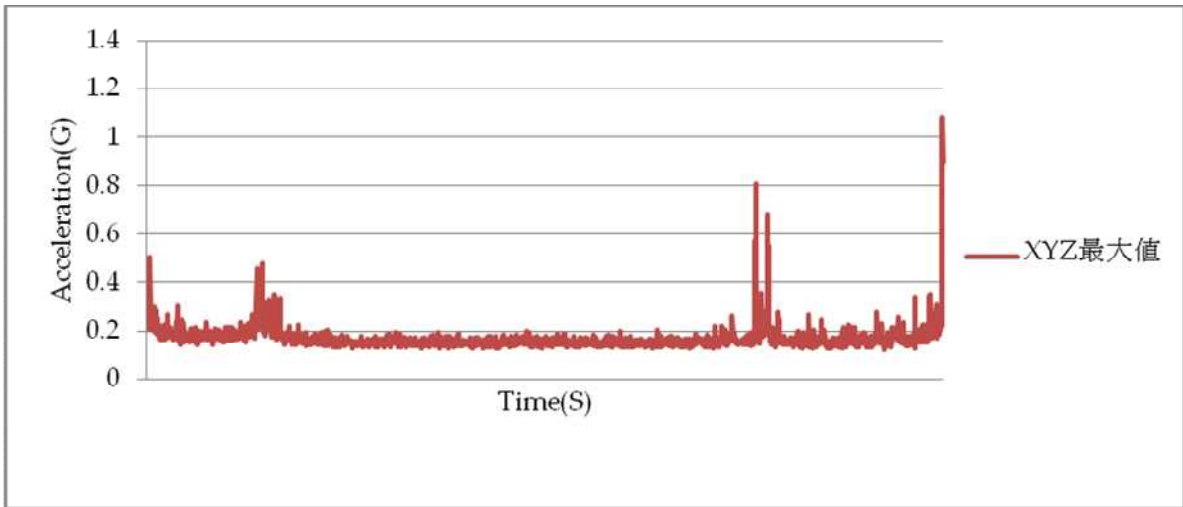


Fig. 44 加速度変化(本計測 13th) 輸送距離 約 800 km

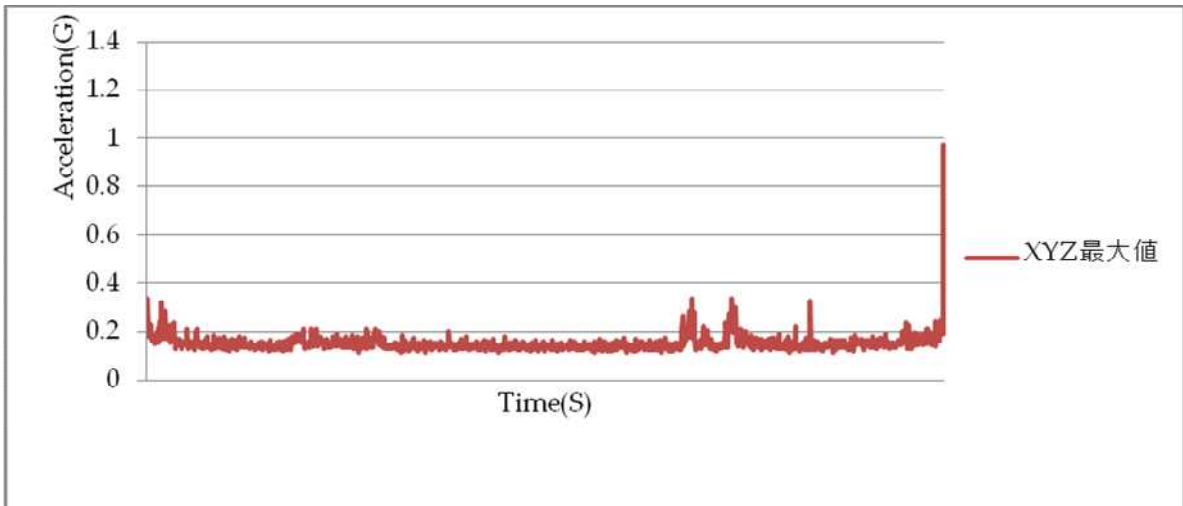


Fig. 45 加速度変化(本計測 14th) 輸送距離 約 800 km

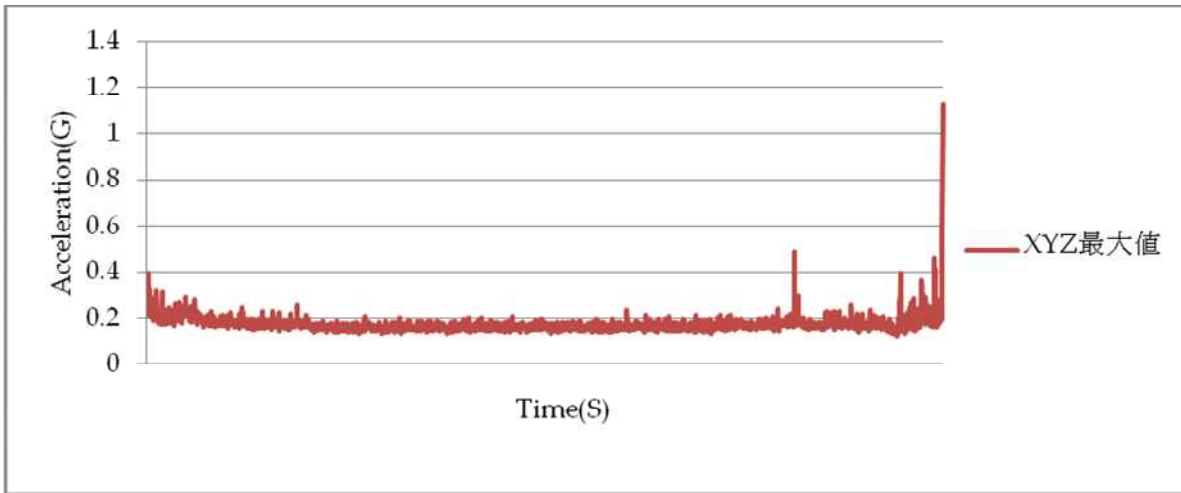


Fig. 46 加速度変化(本計測 15th) 輸送距離 約 800 km

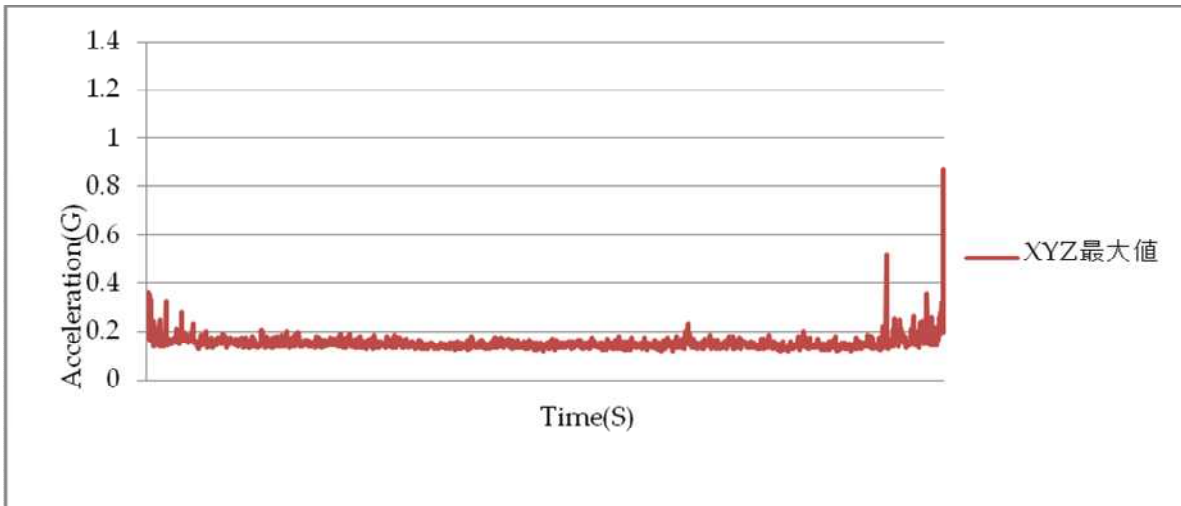


Fig. 47 加速度変化(本計測 16th) 輸送距離 約 800 km

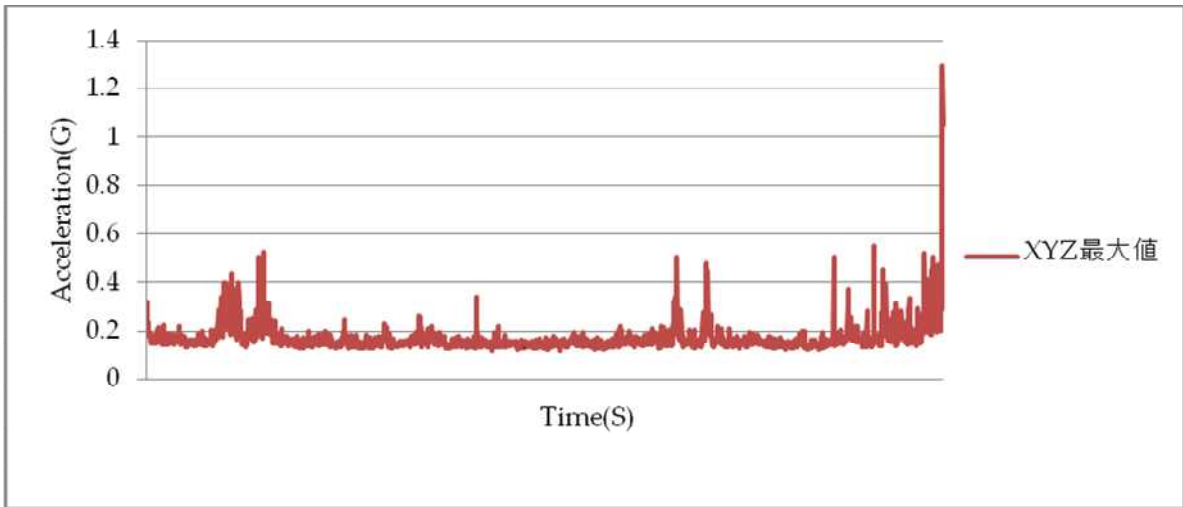


Fig. 48 加速度変化(本計測 17th) 輸送距離 約 800 km

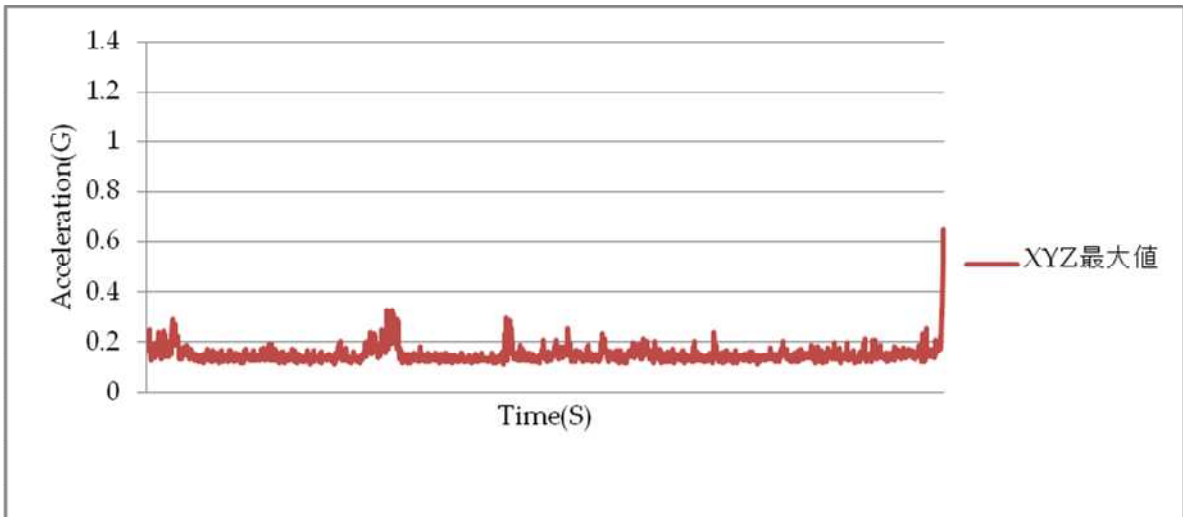


Fig. 49 加速度変化(本計測 18th) 輸送距離 約 800 km

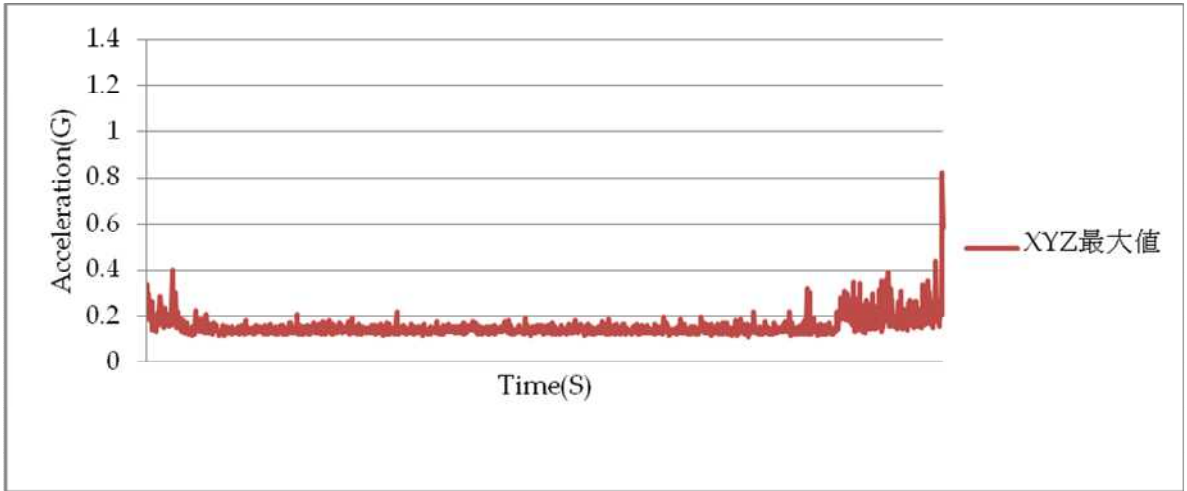


Fig. 50 加速度変化(本計測 19th) 輸送距離 約 800 km

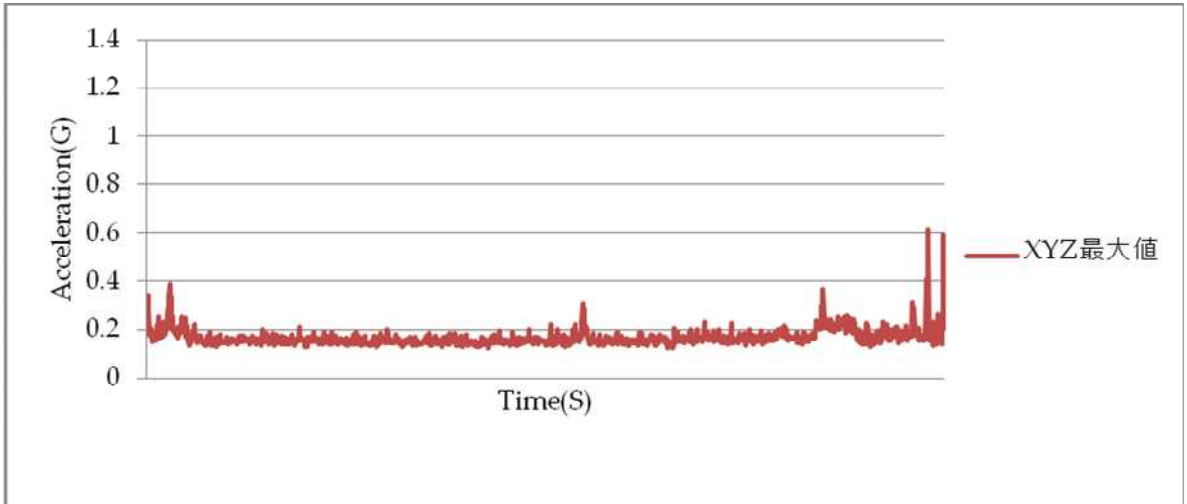


Fig. 51 加速度変化(本計測 20th) 輸送距離 約 800 km



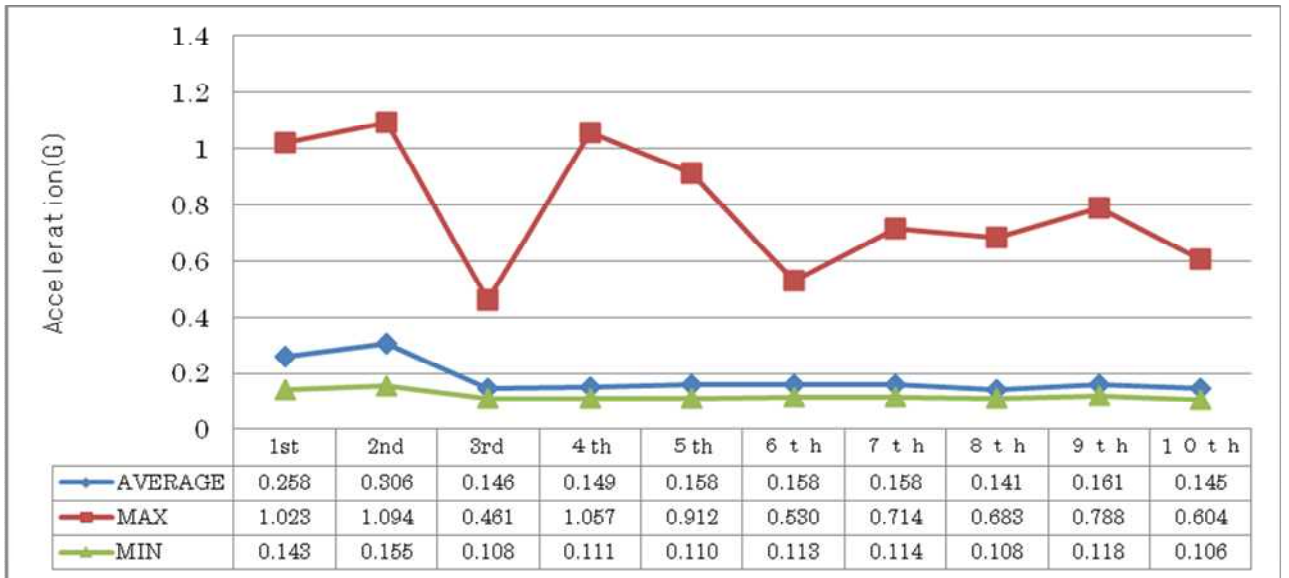


Fig. 52 加速度の総覧(本計測 1st~10th)

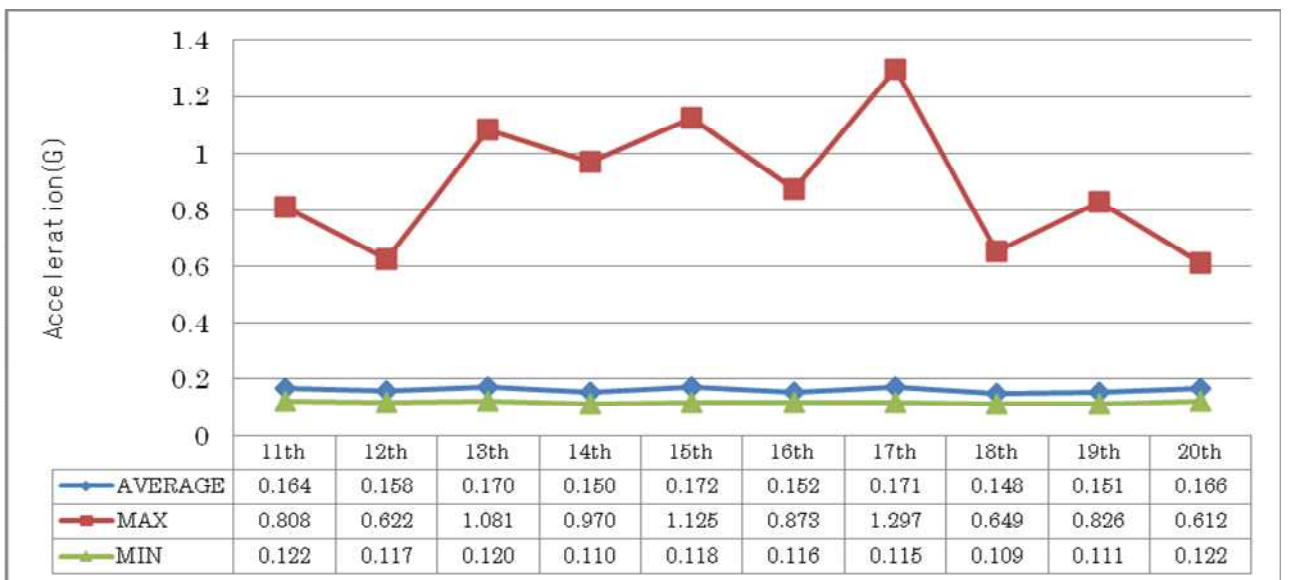


Fig. 53 加速度の総覧(本計測 11th~20th)

## 7. まとめ

本年度実施した航空輸送中の加速度計測は、航空機の貨物室に計測器を格納したダミーボックスを通常の手荷物同様、ランダムに設置して調査を実施した。

航空輸送中に想定される加速度を計測・収集し、その結果を取り纏めた上でデータベース化を行う為に、航空輸送工程における加速度を加速度記録計により調査し、それらが貨物に及ぼす影響を調査した。

輸送距離は約 800 km 以上であり、実施回数は計 20 回である。データ解析は SaverXware を用いて、前半 10 回及び後半 10 回別と計測 20 回全体の 3 部構成で実施した。

個々の輸送については、航空機の貨物室内の貨物積載率、貨物室内のダミーボックス蔵置箇所等で相違が出てくるが、3 部構成で実施したデータ解析により航空輸送状況の以下の結論を得た。

- ① データ分布量が判明できる加速度は、Z 方向で 1.2G 以下、Y 方向で 0.7G 以下、X 方向で 0.7G 以下である。
- ② RMS 値の平均は、Z 方向で 0.05G RMS、Y 方向で 0.04G RMS、X 方向で 0.04G RMS である。
- ③ PSD より、X は 0.5Hz、Y は 0.5Hz、Z は 0.5Hz においてピークがあるが、XYZ 共高周波帯の 20Hz、35Hz、75Hz、230Hz 近辺にもピークを有する。
- ④ 低加速度レベルの小さい振動の発生が突出して多く確認された。
- ⑤ 1.0G 以下の低レベルの振動においても、振動周波数によりダミーボックスへの損傷程度は異なるものとする。これは、木箱もしくは格納されている計測器と木箱との間の共振現象によるものと推察する。
- ⑥ ダミーボックスへの損傷程度は振動方向によって異なり、ダミーボックスの蔵置箇所、貨物室の積載率にも多大に影響すると考える。また、離陸時における航空機の前面が上向きになる事、着陸時には航空機の前面が下向きになる事も振動方向に起因するものと推察する。
- ⑦ 今回の計測は機体にかかる加速度ではなく、貨物にかかる加速度の試験であることにより、身体に感じる加速度及び航空機そのものにかかる加速度と絶対的に異なる。
- ⑧ 航空輸送による輸送環境は、損傷の危険が少なく、相対的に高い輸送品質が確保されている。
- ⑨ 適切な緩衝包装設計を行うことで、流通ロスの低減、過剰包装の回避によるコスト及び環境負荷の低減が可能である。