

貨物輸送中の衝撃値（加速度）に関するデータベースの作成

〈貨物の損害防止・輸送の安全に関する調査・資料収集〉

平成 29 年度報告書

一般社団法人 日本海事検定協会
検定サービスセンター

目次

目次	..1 ページ
1. はじめに	..2 ページ
2. 調査の目的	..2 ページ
3. トレードレーンの選定	..3~4 ページ
4. 予備計測について	
4-1 計測機器の選定	..5 ページ
4-2 計測機器の設定	..6 ページ
4-3 使用コンテナとトレーラー	..7 ページ
4-4 計測機器の取り付け方法	..8 ページ
4-5 計測機器の設置箇所	..9~10 ページ
4-6 予備計測の結果	..11~17 ページ
5. 考察	..18 ページ
6. まとめ	..18 ページ

1. はじめに

現在の国際輸送は陸上、海上ともに国際海上コンテナを活用した複合輸送が主流となっている。

国際海上コンテナ輸送においては様々な輸送手段(船舶・鉄道・トラック等)を活用しエンドユーザーに貨物を提供する事から、国際輸送に従事される関係者は国際海上コンテナ内の貨物の積み付け、貨物の固縛等を行い事故防止に努めている。しかし、海上・陸上輸送における事故等は増加傾向にあり、輸送経路および輸送手段によって生じた上下・前後・左右の加速度の影響によって事故が発生していると推察する。

このことから、輸送経路や輸送手段によって加速度が及ぼす影響度に着目、輸送環境毎に最適な計測機器を選定しデータの収集、分析を行い国際海上コンテナ輸送の貨物の事故防止に寄与することとした。

2. 調査の目的

本事業は、船舶・鉄道・トラック等で輸送時に発生する加速度を一定期間に渡って収集、分析を行い輸送手段別にデータベース化し公表するものである。本年度は民間物流会社のご協力を得て、主流となっている複合輸送における輸送環境データの収集、分析を実施した。

本事業の成果は、多くの関係者にとって、輸送中の安全及び貨物の損害防止、危険回避策の構築等の為に有用な情報となると考える。

3. トレードレーンの選定

調査の目的は、海上・陸上輸送における輸送環境のデータを収集、分析する事である。トレードレーンの選定もコンテナが海上輸送で揚港に到着後、目的地周辺まで鉄道輸送が頻繁に行われている米国向けを予定していたが、計測機器の設定条件等を検討する為に、輸送距離が短いトレードレーンを選定し予備計測を実施した。

以下のトレードレーンにおいて予備計測を実施した。

- ・ 神戸港→香港

- * 天候、陸上輸送中の道路状況、コンテナヤードでの蔵置場所、船舶での積載箇所等を限定せずに計測を実施した。

上記トレードレーンにおける予備計測のスケジュール表(Table1)を記す。

Table1. 予備計測スケジュール

年月日時分秒	場所	概要
2017/9/21 10:41:03	国内物流倉庫	バンニング
2017/9/21 10:44:18	国内物流倉庫	コンテナ出発 (計測開始)
2017/9/21 11:49:33	神戸港	ヤード搬入終了
2017/9/27 10:34:18	神戸港	本船荷役 開始
2017/9/27 11:01:33		本船荷役 終了
2017/9/27 14:20:00	神戸港	本船出港
2017/10/5 9:00:00	香港港	本船入港
2017/10/5 13:52:18	香港港	本船荷役 開始
2017/10/5 14:55:33		本船荷役 終了
2017/10/9 9:51:49	香港港	ヤード搬出 開始
2017/10/9 10:44:48	香港物流倉庫	搬入先到着
2017/10/9 12:42:00	香港物流倉庫	デバンニング (計測終了)

4. 予備計測について

4-1 計測機器の選定

計測機器は、揮発式メモリへの記録ではデータが消滅してしまう可能性がある為、非揮発性メモリへのデータ格納が可能な点、また今回の計測計画の輸送期間が長期に渡る事から長期連続計測が可能な点を考慮して、米国ランスモン
ト社製 Saver3X90 を使用して計測する事とした。過去にも本計測機器の計測性能実験が実施され、様々な輸送環境下で実施される貨物輸送中の加速度及び周波数特性を計測した実績がある。



Saver3X90

【仕様】

寸法	95 x 74 x 43 (mm)	加速度センサー	3軸ピエゾ型
体積	302 cm ³	加速度レンジ	5, 10, 20, 50, 100, 200G (可変 F/S)
材質	6061-T6 アルミ材	サンプリング レート	50, 100, 200, 250, 500, 1000, 2500, 5000 サンプル/秒
質量	473g	計測精度	±5% (一般的な温度、周波数変動の 場合)
取付方法	#6(M3) ネジ用通し穴 x 4	メモリ	128MB 不揮発性フラッシュメモリ
電源	9V アルカリ 又は リチウム乾電池 2 個	温度計測精度	-40℃~+60℃ (-40° ~ +140°F) ±1.0℃ (+5° ~ +40℃) ±1.5℃ (-40° ~ +60℃)
連続駆動時間	90 日 (リチウム電池) 45 日 (アルカリ電池) 180 日 (外部電池使用時)	湿度計測精度	5%~95%RH (結露なし) ±4%(5% ~ 95% RH @25℃)

4-2 計測機器の設定

記憶容量制限がある為、記憶容量から計測インターバルを設定した。

Memory Storage Partitions

Signal Triggered Data

Record Time: 1 sec
 Samples / Sec: 1000, Sample Size: 1000
 Signal PreTrigger: 20 %
 External Trigger: OFF - Disable
 Data Retention Mode: Max Overwrite
 Memory Allocation: 1696 events

Timer Triggered Data

Record Time: 1.024 sec
 Samples / Sec: 1000, Sample Size: 1024
 Wakeup Interval: 15 Seconds
 Time to Fill: 3 days
 Data Retention Mode: Max Overwrite
 Memory Allocation: 17161 events

LED Alarm

Temperature Alarm
 38 °C
 0 °C

Humidity Alarm
 97 % RH
 10 % RH

Acceleration Alarm
 100.0 G's

LED Heartbeat

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 SAVER X	20.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00 G	500 Hz	---	Charge Amp
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Channel 2 SAVER Y	20.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00 G	500 Hz	---	Charge Amp
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Channel 3 SAVER Z	20.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00 G	500 Hz	---	Charge Amp

- Signal Triggered Data: 衝撃的なデータを記録
 - トリガ・レベル : 1G (XYZ 軸共)
 - 最大計測加速度 : 20G (XYZ 軸共)
 - サンプリングスピード : 1000 samples/sec
 - サンプル・サイズ : 1000 point
 - レコーディング・タイム : 1 sec
 - 記録可能データ数 : 1696 データ
- Time Triggered Data: 振動データを記録
 - 最大計測加速度 : 20G (XYZ 軸共)
 - トリガ間隔 : 15 sec
 - サンプリングスピード : 1000 samples/sec
 - サンプル・サイズ : 1024 point
 - レコーディング・タイム : 1.024 sec
 - 記録可能データ数 : 17161 データ

4-3 使用コンテナとトレーラー

国際海上コンテナには用途に応じて様々な種類・サイズがあるが、予備計測では、積載貨物の容量及び重量を考慮し、最も代表的なドライコンテナ且つサイズは20フィートで計測を実施した。また、20フィートのドライコンテナは、貨物重量にコンテナ自重を加えたコンテナ総重量約24トンまでであれば、2軸のトレーラーが使用されるのが一般的である事も考慮し、予備計測では2軸トレーラーを使用した。

Fig1. 使用した20フィートのドライコンテナ及び2軸トレーラー



4-4 計測機器の取り付け方法

計測機器の取り付けは輸送時に計測機器が外れる事がない方法を考慮した結果、合板材の固定ベースを作成し、固定ベースの上に計測機器をネジにて固定、コンテナ床面に釘打ちをして取り付けを行った。計測機器の設置方向、X 軸 (Channel:1)、Y 軸 (Channel:2)、Z 軸 (Channel:3) と進行方向との関係は下記の通りである。

Fig2. Saver3X90 取り付け



4-5 計測機器の設置箇所

計測機器の設置箇所は輸送中に発生する加速度が積載貨物に影響する数値に可能な限り近い数値を収集したい点を考慮し、積載貨物に隣接する箇所とした。

積載した輸出貨物は貨物の重量及び数量を考慮し下記の通り積み付けを行った。また、コンテナと貨物を積載したプラスチックパレットの固縛には合板材を使用し、貨物間の隙間にはエアバックを挿入した。

Fig3. バンニングプラン

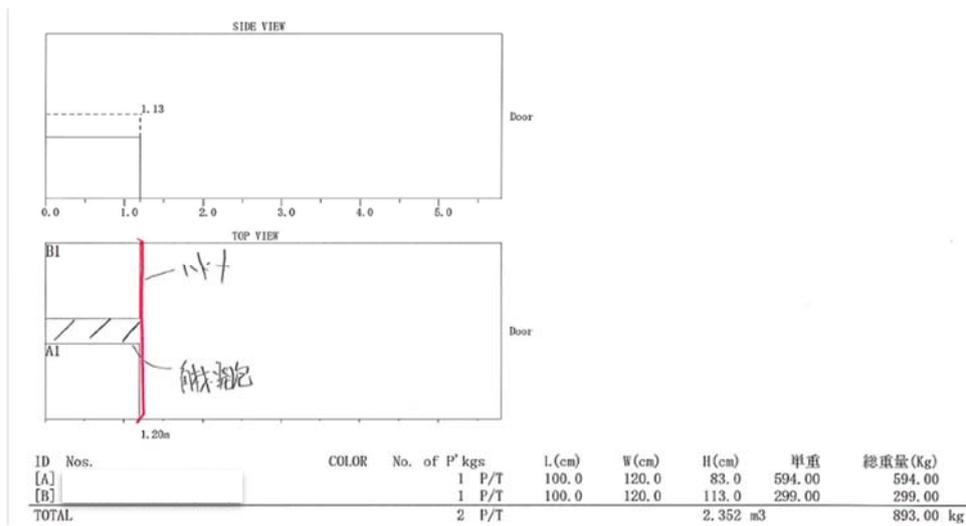
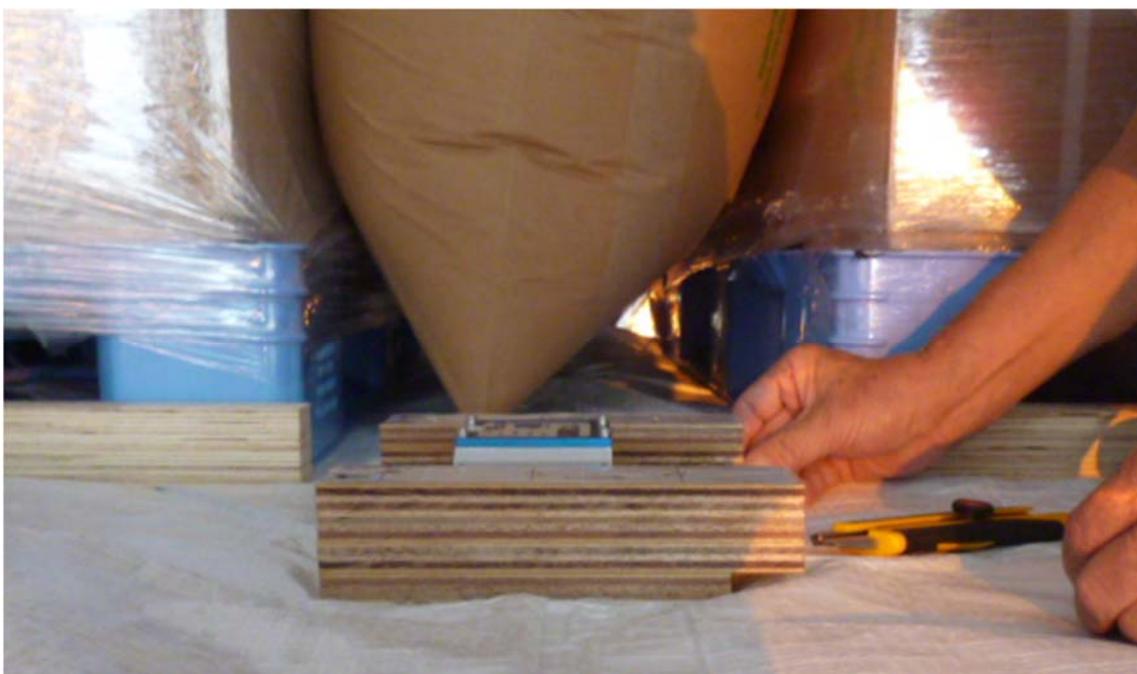


Fig4. コンテナ内部 Part1



Fig5. コンテナ内部 Part2



4-6 予備計測の結果

コンテナの外観上は傷、凹み等は確認されず、予備計測における海上・陸上輸送共に外部からは危険を伴うとされるような衝撃を受ける事なく、スムーズな輸送が行われたものと推察する。

予備計測の結果について述べる。*PSD データ X 軸(Channel:1)、Y 軸(Channel:2)、Z 軸(Channel:3)、振動加速度(*G RMS)の平均値と最大平均値を以下に示す。

*PSD(Power Spectrum Density)

振動エネルギーが特定の振動数にどのくらい集中しているかを示す解析線図であり、予備計測に使用したソフトフィルタは 500Hz である。

単位：G²/Hz

横軸：周波数

縦軸：振動エネルギー

*G RMS (RMS:ROOT Mean Square)

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)の為、ピーク値に代わる値として実効値(RMS 値)が重要と認識されている。

計算式=ピーク値(振幅)÷ $\sqrt{2}$

Fig6. 正弦波形

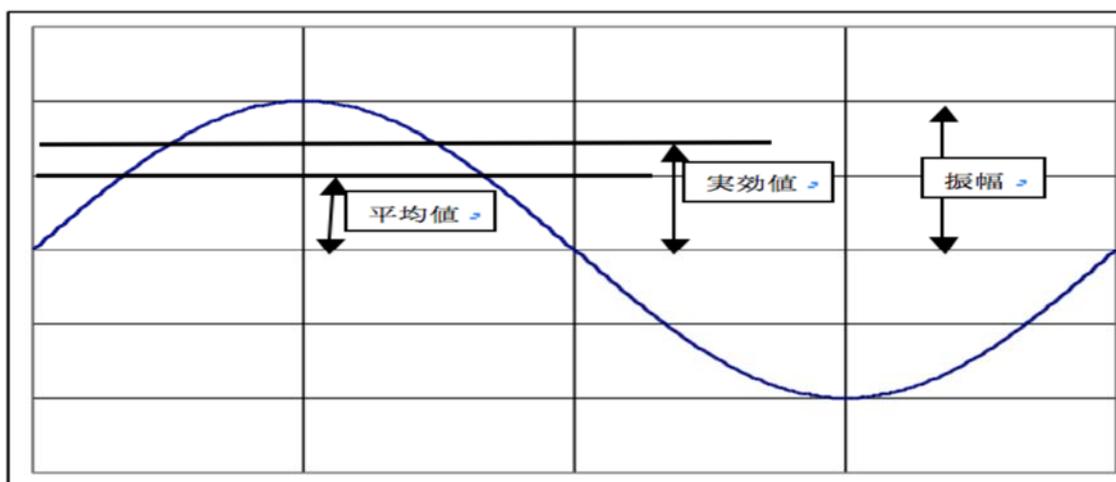
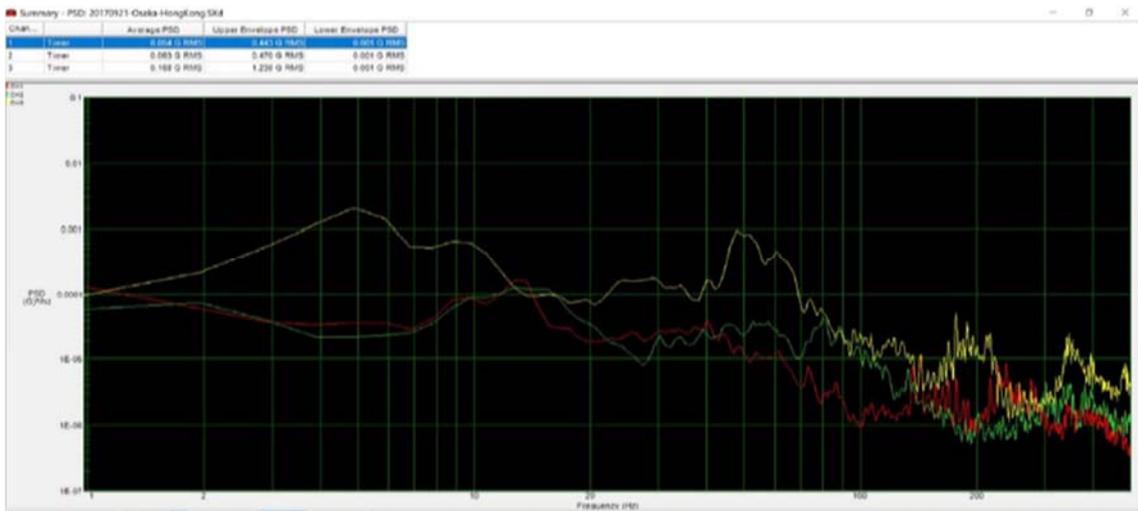


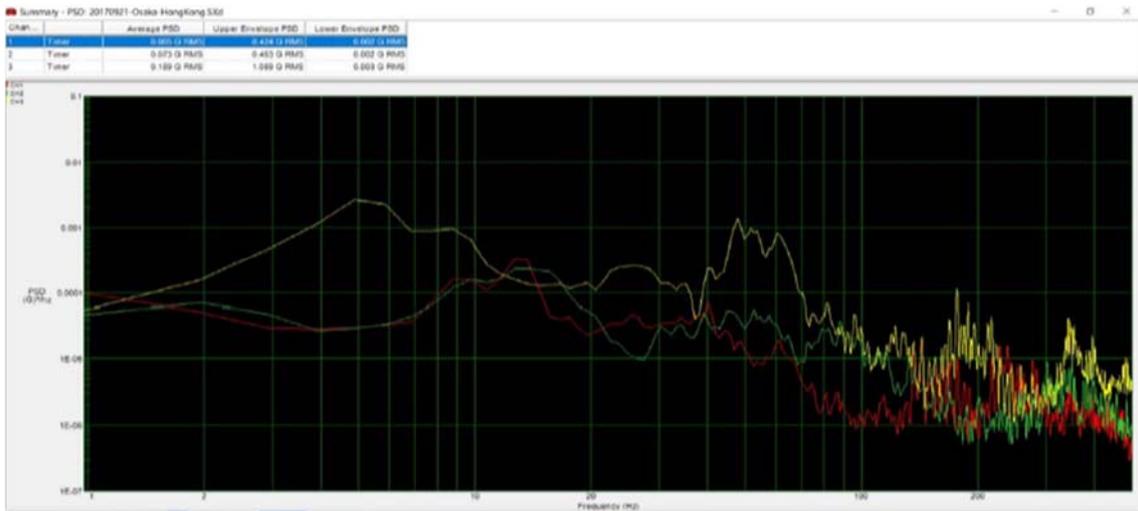
Fig7 : 国内物流倉庫-香港 (全体) PSD



PSD より Z 軸は 5Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。X 軸及び Y 軸は 14Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。全体的に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。何れにせよ、環境要因による衝撃ではないと推察する。

方向	平均(G RMS)	最大値平均(G RMS)
X 軸(左右)方向	0.016	0.440
Y 軸(進行)方向	0.017	0.470
Z 軸(上下)方向	0.039	1.237

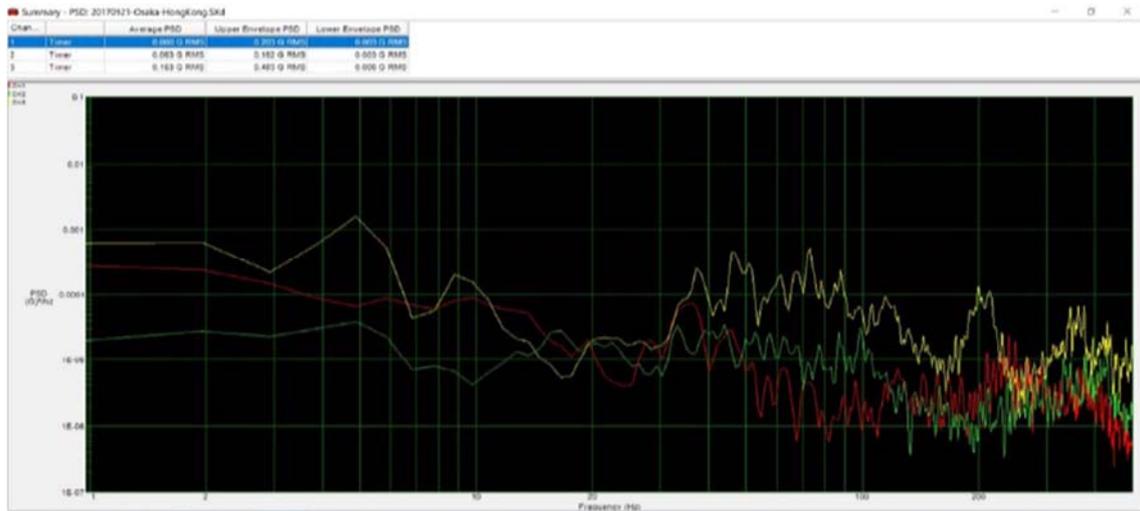
Fig8 : 国内物流倉庫-神戸港 (陸上輸送) PSD



PSD より Z 軸は 5Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。X 軸及び Y 軸は 14Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。特に Z 軸方向が顕著に発生しており、Z 軸方向にかかるヨーイングによる衝撃がコンテナ床面に伝わっていることが判る。これらの衝撃は大きさの差こそあれ、道路の継ぎ目や道路の補修跡等を通過する際に発生する衝撃が大きい振動エネルギーの要因ではないかと想定できる。

方向	平均 (G RMS)	最大値平均 (G RMS)
X 軸(左右)方向	0.061	0.266
Y 軸(進行)方向	0.072	0.401
Z 軸(上下)方向	0.181	0.753

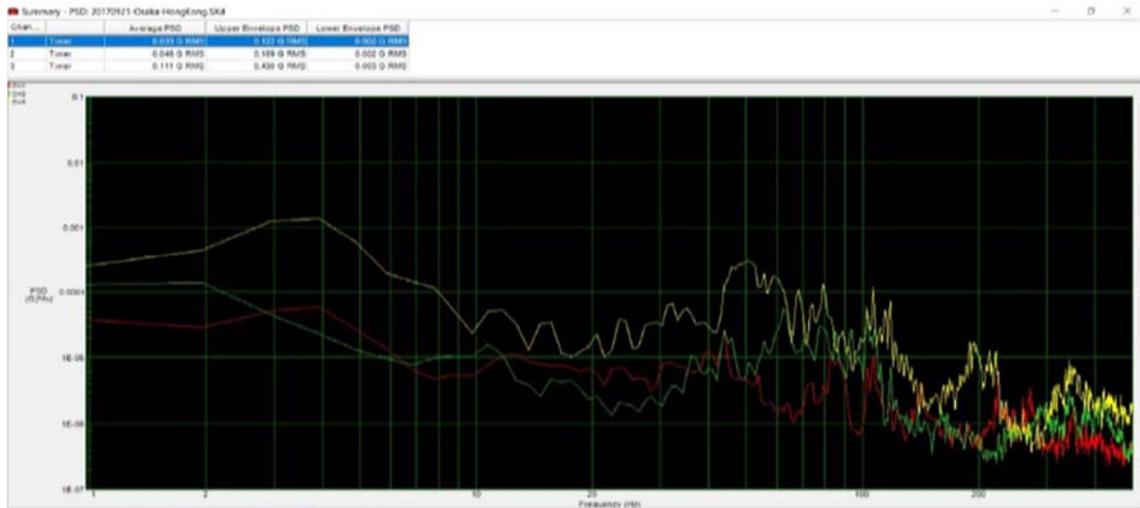
Fig9 : 神戸港(荷役)PSD



PSD より Z 軸は 5Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。X 軸は 1Hz から 2Hz、Y 軸は 5Hz、17Hz、32Hz、44Hz、98Hz 付近に卓越したスペクトルが散見される。神戸港でのガントリークレーンによる船舶へのコンテナ積卸し作業中は上下・左右にコンテナを並行移動させる為、振動、偏りのリスクは小さいものがあるが、他のコンテナと接触する際の影響がダイレクトに表れた形ではないかと想定できる。

方向	平均(G RMS)	最大値平均(G RMS)
X 軸(左右)方向	0.041	0.370
Y 軸(進行)方向	0.036	0.296
Z 軸(上下)方向	0.102	0.978

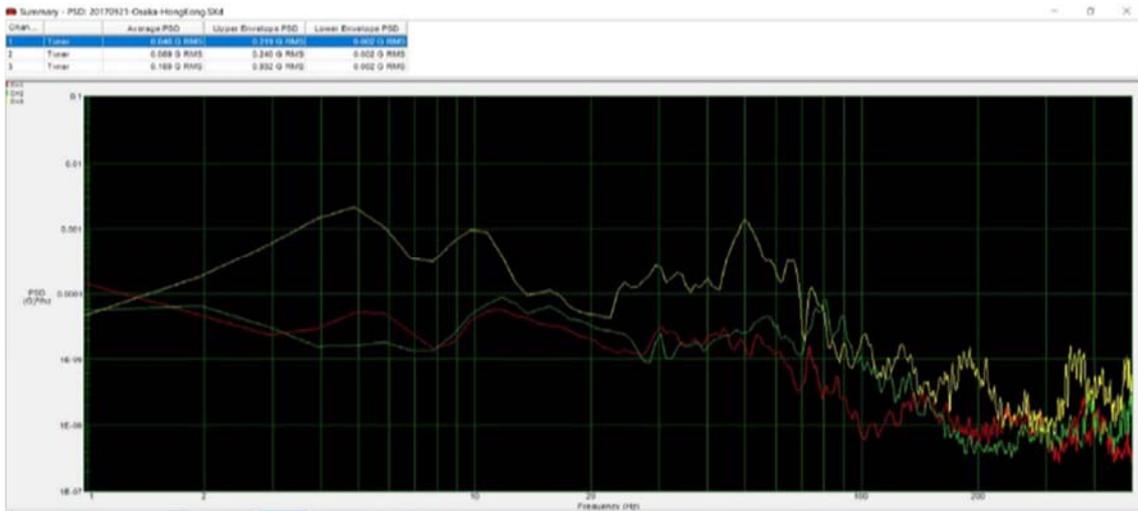
Fig10 : 香港港(荷役)PSD



PSD より Z 軸は 4Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。X 軸は 4Hz 付近、Y 軸は 1Hz から 2Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。神戸港での荷役 PSD (Fig. 9) と比較しても、X、Y、Z それぞれの軸方向に大きく特徴的な加速度の変化は観察されず、両港での荷役作業は高い作業品質が確保されているのではないかと想定できる。

方向	平均 (G RMS)	最大値平均 (G RMS)
X 軸(左右)方向	0.011	0.140
Y 軸(進行)方向	0.011	0.194
Z 軸(上下)方向	0.016	0.463

Fig11 : 香港港-デバンニング PSD



PSD より Z 軸は 5Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。X 軸及び Y 軸は 12Hz 付近に卓越したスペクトルが見られる。国内物流倉庫～神戸港の陸上輸送 PSD (Fig. 8) と比較しても、周波数ピーク域も近似しており、Z 軸方向にかかるヨーイング現象だけでなく、X 軸方向にかかるローリング、Y 軸方向にかかるピッチングによる衝撃が異なるドライバーによる運転操作でも共通しているのではないかと想定できる。

方向	平均 (G RMS)	最大値平均 (G RMS)
X 軸 (左右) 方向	0.032	0.218
Y 軸 (進行) 方向	0.042	0.239
Z 軸 (上下) 方向	0.116	0.929

Fig12 : 陸上輸送の PSD データ

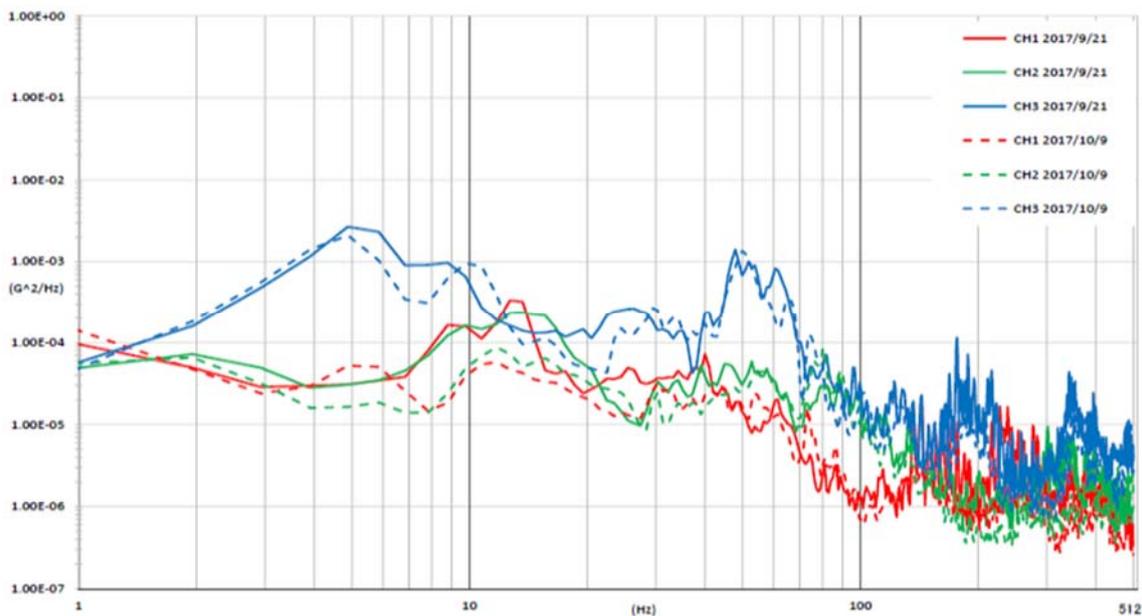
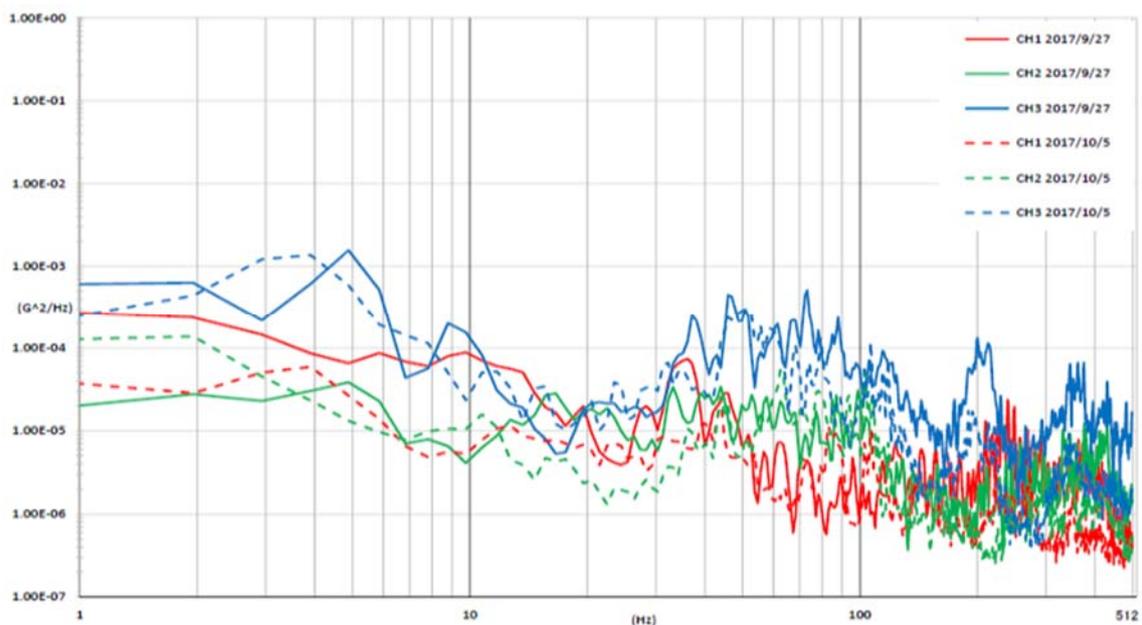


Fig13 : ヤード荷役の PSD データ



- 陸上輸送とヤード荷役に大きな差は確認されなかった。
- 3 軸方向はいずれのデータにおいても加速度に一定の増減の値が観察されたが、特記する変化の大きさではないと判断できる。
- 全体的に加速度スペクトラム範囲は $10^{-3} G^2/Hz$ 付近から $10^{-7} G^2/Hz$ までと低く、外力の影響がほとんどないと推察される。

5. 考察

- ・ PSDの結果から周波数域の設定は0.5Hzから500Hz上限で、適当と推察する。
- ・ 輸送中、コンテナ床面上において発生する加速度(GRMS)はZ軸方向が一番大きく、X軸及びY軸方向の値は近似している。
- ・ 海上輸送中(神戸港～香港港)の衝撃に値するデータは、記録されなかった。
- * 理由として、加速度トリガーとタイマートリガーに割り当てられた領域がそれぞれ一杯になってしまい、測定可能な最大加速度値の割合に対し、低数値の加速度値が順次、上書きされてしまった為である。
- ・ 海上輸送中に発生すると考えられる加速度は、船舶動揺の固有振動周期で正弦的に変動する加速度及びパンチングなどによって衝撃的に変動する加速度があるが、両加速度共に、激しい加速度の変化は皆無に等しいと推察する。
- ・ 陸上輸送中に収集される加速度データは路面の凹凸による振動がトレーラーのタイヤ、サスペンションを経由してコンテナ床面に伝わると推察する。

6. まとめ

本年度は本計測の実施には至らなかった為、輸送手段ごとの傾向性を今回の予備計測で把握できたとは言い難く、有効なデータベースを作成するには、まだまだ計測回数が不足している。本事業の目的は多くの関係者にとって、輸送中の安全及び貨物の損害防止、危険回避策の構築等に有用な情報を開示することである。来年度も引き続き、民間物流会社にご協力頂き、本計測である米国向けの計測を実施していく予定である。