

JPI 第171回 輸送包装研究会 (平成20年4月)

H20.4.10 15:15~17:00

(第二部)

包装試験における問題点と解決策

大阪府立産業技術総合研究所

情報電子部 信頼性・生活科学系 中嶋隆勝

講演内容の目次

1. 包装貨物振動試験

- 蓄積疲労振動試験システムの紹介
- 輸送環境計測データにおける低加速度データの取り扱い指針
- 試験時間短縮が試験精度に及ぼす影響度の評価方法

2. 包装設計のための製品衝撃強さ試験

- 破損部位別に損傷境界曲線を描く重要性
- 台形波ではなく、正弦半波衝撃パルスを利用する利点
- 簡易落下試験機による製品衝撃強さ評価方法

講演内容の目次

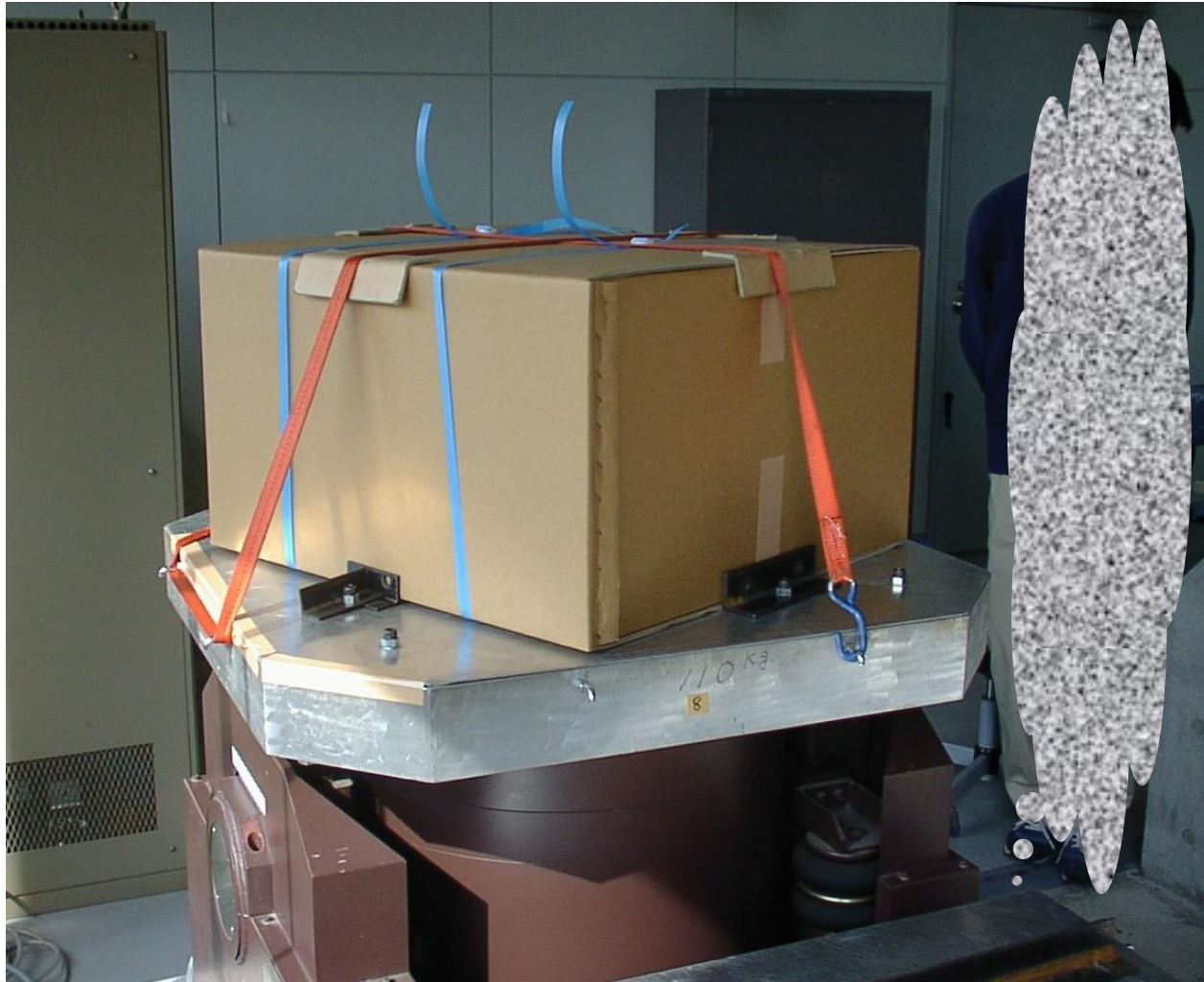
1. 包装貨物振動試験

- 蓄積疲労振動試験システムの紹介
- 輸送環境計測データにおける低加速度データの取り扱い指針
- 試験時間短縮が試験精度に及ぼす影響度の評価方法

2. 包装設計のための製品衝撃強さ試験

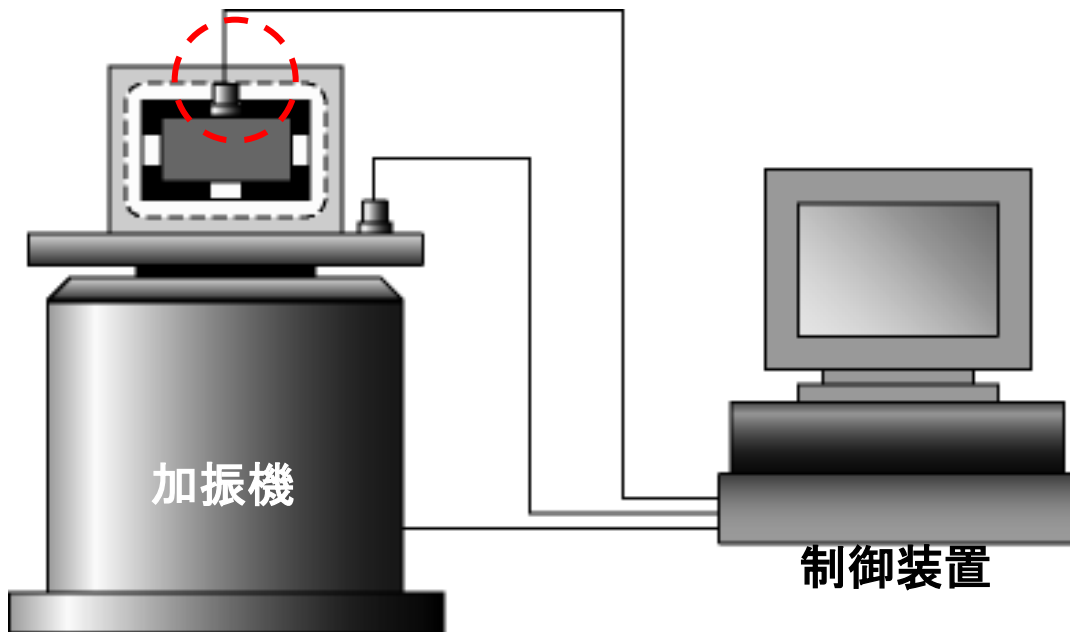
- 破損部位別に損傷境界曲線を描く重要性
- 台形波ではなく、正弦半波衝撃パルスを利用する利点
- 簡易落下試験機による製品衝撃強さ評価方法

<事例1> 段ボール包装貨物

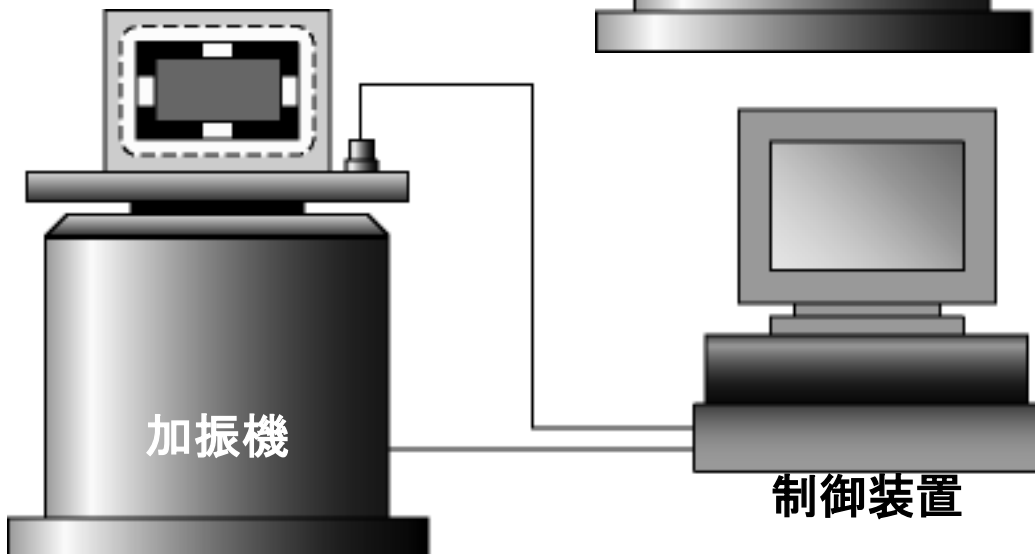


蓄積疲労振動試験システムの特徴①

蓄積疲労用センサ



(従来型) 振動台が基準



特許出願 H15.12.22

蓄積疲労振動試験システムの特徴②

疲労試験と振動試験の相違点

疲労試験： 材料単体での試験

振動試験： 構造体での試験 ⇒ 周波数特性がある

(具体例) 蓄積疲労の比較

	疲労試験	振動試験
100Hz、60sの負荷：	同じ	小
10Hz、600sの負荷：		大

蓄積疲労振動では「蓄積疲労スペクトル」を導入！

蓄積疲労振動試験システムの流れ

Phase 1 : 試験の定義

- ・輸送シナリオを作成
- ・許容市場破損確率、試料数など設定条件を入力

Phase 2 : 予備試験

- ・フィールド振動加振⇒応答計測
- ・本試験での目標蓄積疲労を算出

Phase 3 : プレ本試験

- ・加振条件(振動台PSD)の探索 (探索条件は、設定時間と目標蓄積疲労)

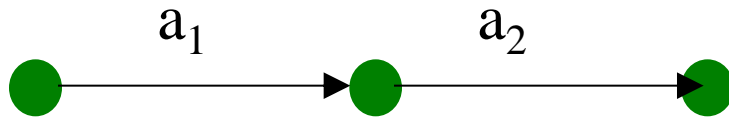
Phase 4 : 本試験

- ・耐久性評価試験(本試験) (上記で得られた試験条件を用いる)

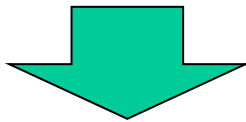
Phase1 試験の定義

輸送シナリオの作成(1)

andによる合成

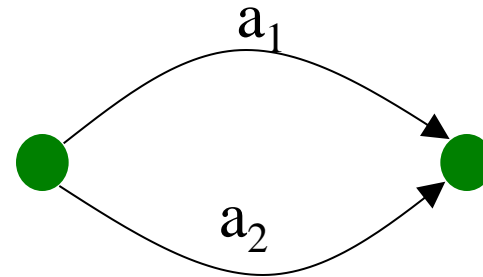


{ a₁ and a₂ }

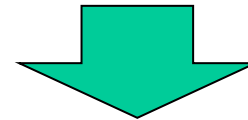


$$X(f_i) = \sum \{ X_{a_1}(f_i), X_{a_2}(f_i) \}$$
$$i = 1, 2, 3, 4, \dots$$

orによる合成



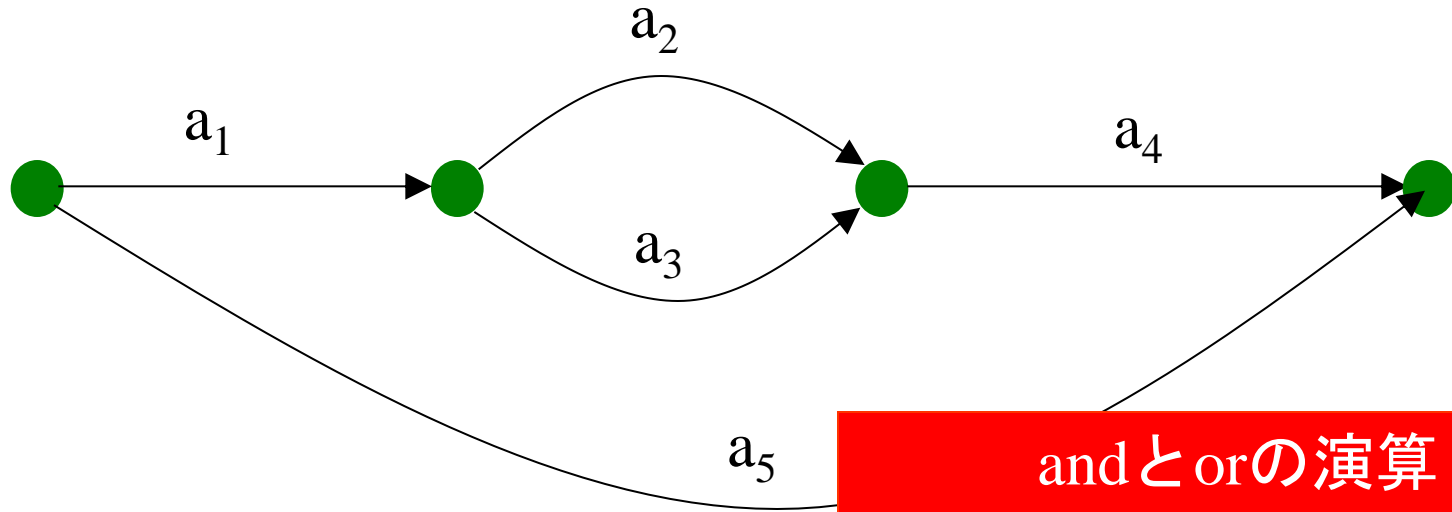
{ a₁ or a₂ }



$$X(f_i) = \max \{ X_{a_1}(f_i), X_{a_2}(f_i) \}$$
$$i = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Phase1 試験の定義

輸送シナリオの作成(2)



$a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_4$

or

$a_1 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4$

or

a_5

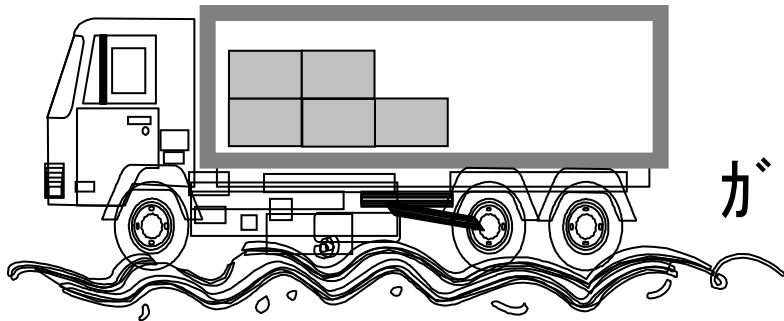
$\{ a_1 \text{ and } (a_2 \text{ or } a_3) \text{ and } a_4 \} \text{ or } a_5$

$$X(f_i) = \max[\text{sum}\{ Xa_1(f_i), \max(Xa_2(f_i), Xa_3(f_i)), Xa_4(f_i) \}, Xa_5(f_i)]$$

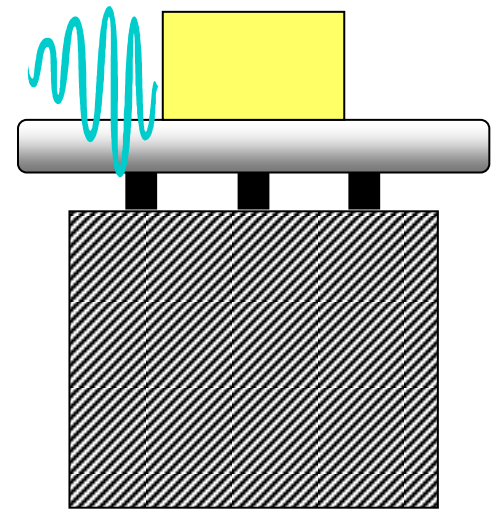
よくある質問

実例. 輸送ルートに適した振動条件を決めるため、
輸送環境データ計測をしたけど... ?

輸送振動データ



ガタガタ...



蓄積疲労振動では、独自のフィールドデータがあれば、
より正確な試験条件が導出できます！

(Dr. Geodecke収集の輸送環境データベースも活用可)

Phase1 試験の定義

入力

- ①市場許容破損確率
- ②試料数
- ③(誤評価の)危険率
- ④耐久性の変動係数

- ⑤加速係数 m

自動出力



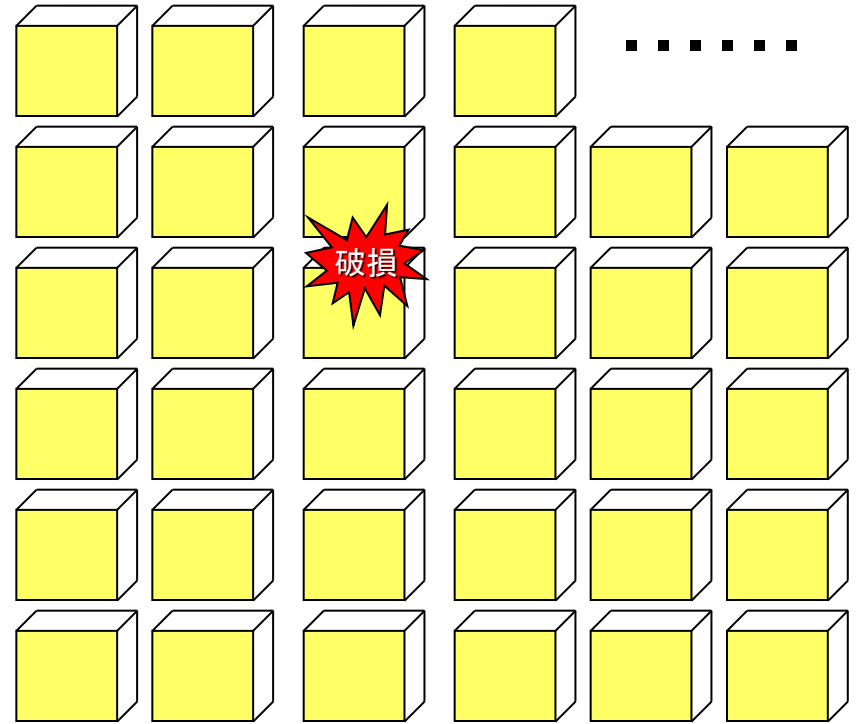
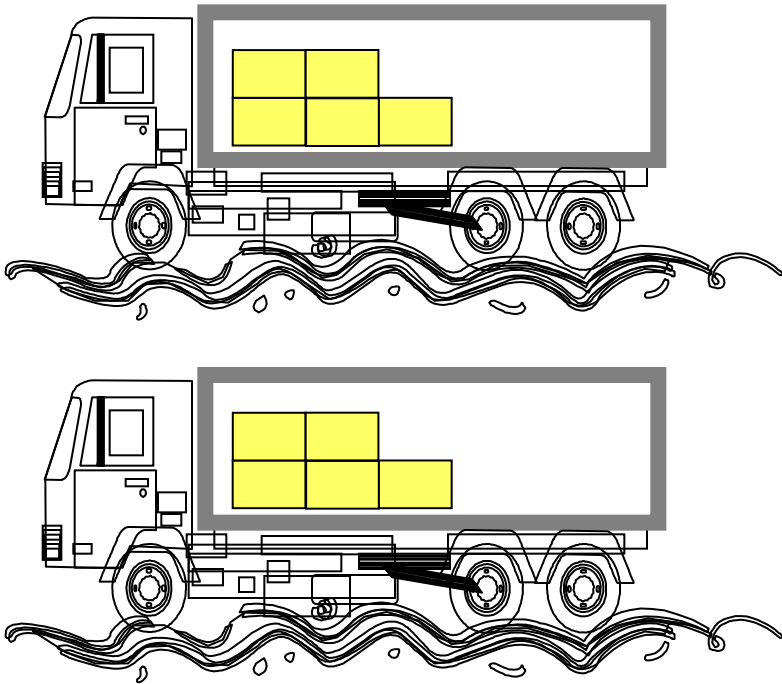
安全係数が決定！

蓄積疲労スペクトルが算出！

振動試験の問題点

出荷後、許容される破損事故の確率

100台に1台 or 1000台に1台？ それともppmオーダー？



蓄積疲労振動では、発生確率の加速も可能！

振動試験の問題点

供試品には、いろいろなものがあります。

たとえば、

1. 無菌包装された医薬品（人命にかかわるもの）
2. 安価で代替の利く消耗品
3. 高価な電気製品



試験条件は同じでいいの・・・？

振動試験の問題点

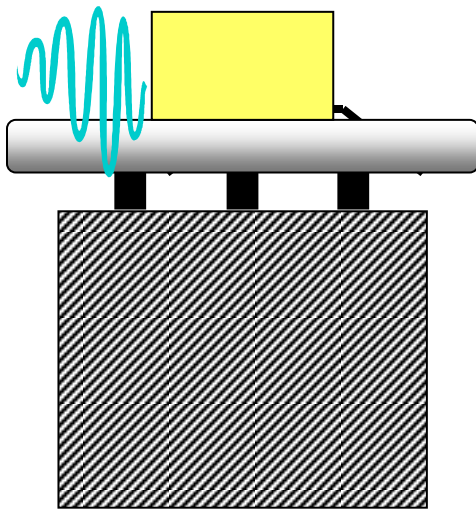
試作品が不足 ⇒ 試料数2
(合否判断)

合格 or 不合格

? ? ? ?

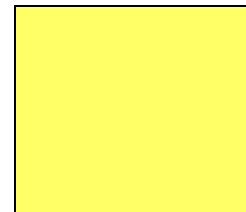


振動試験



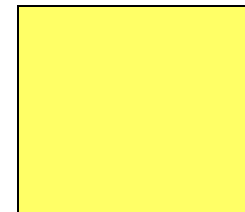
試験の結果

1個目



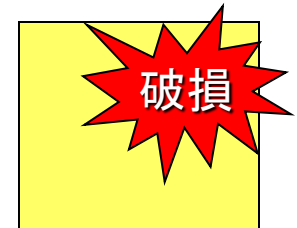
異常なし

2個目



異常なし

3個目

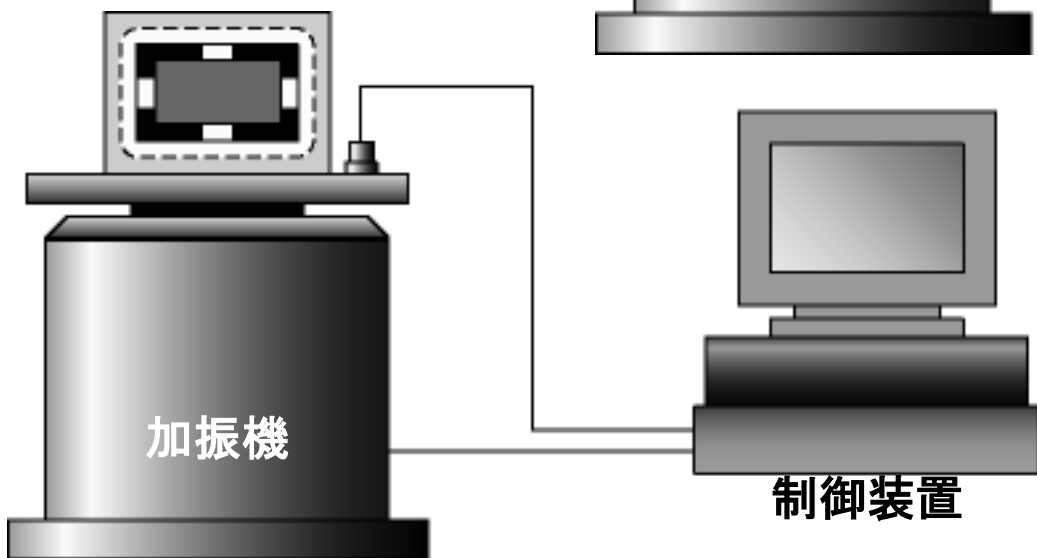
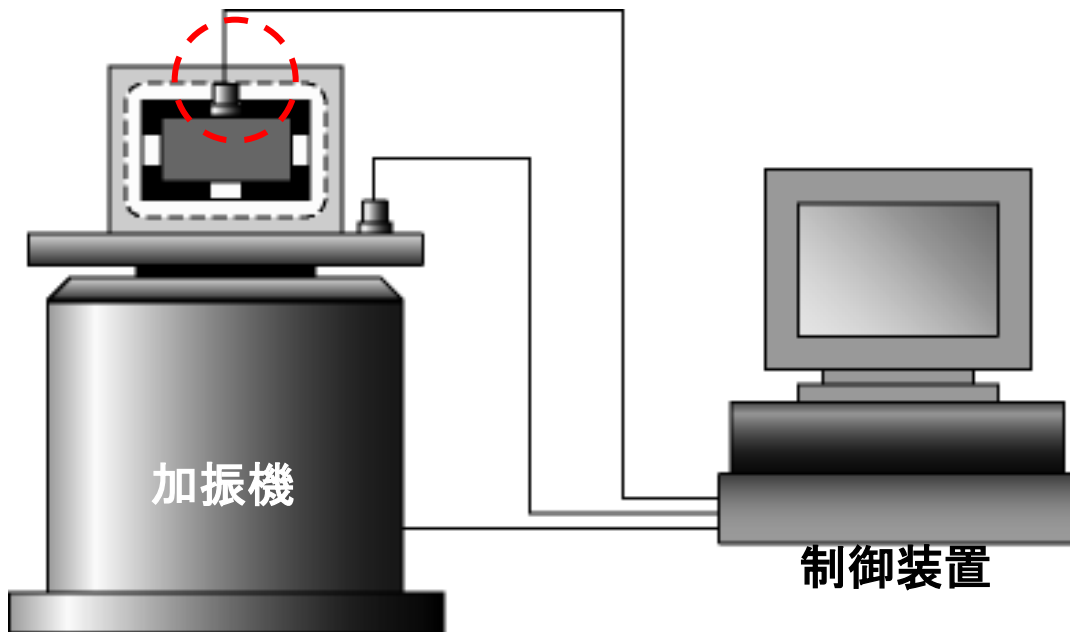


破損

蓄積疲労振動では「試料数」を設定可能!

蓄積疲労振動試験システムの特徴①

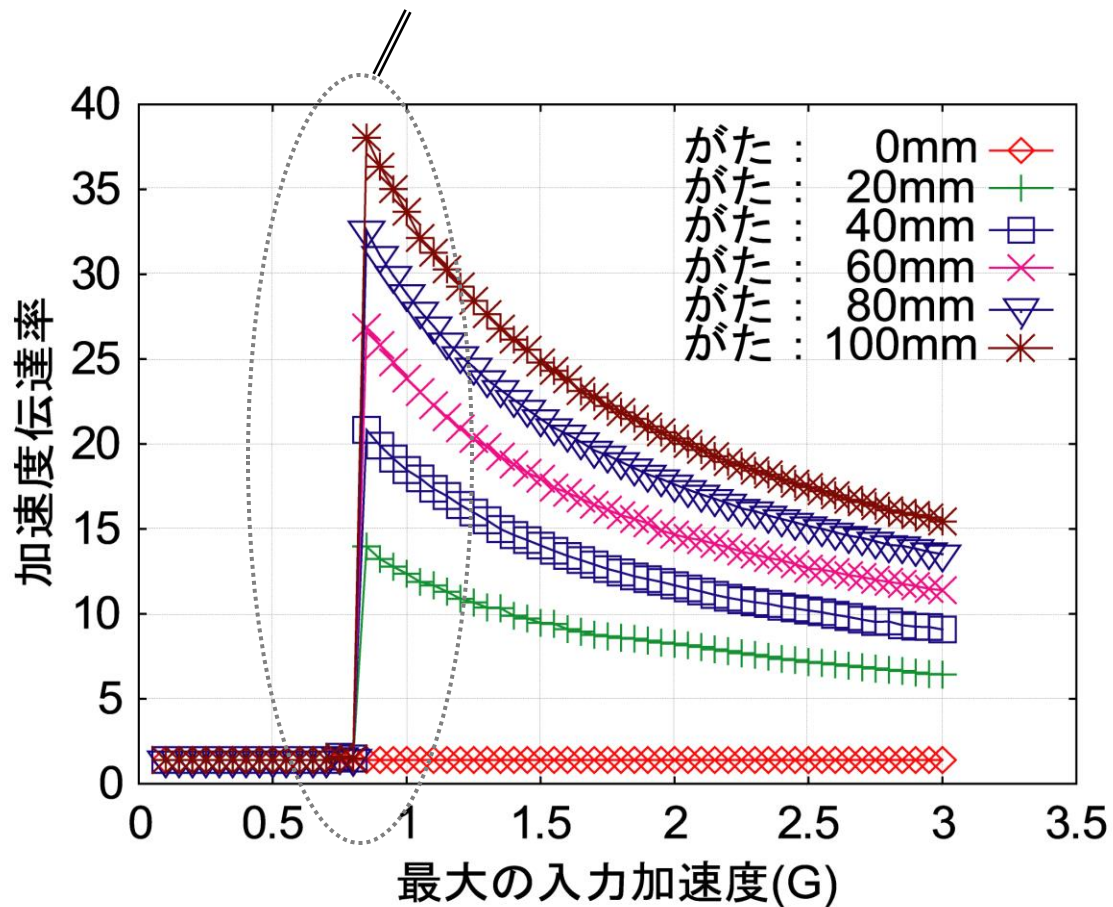
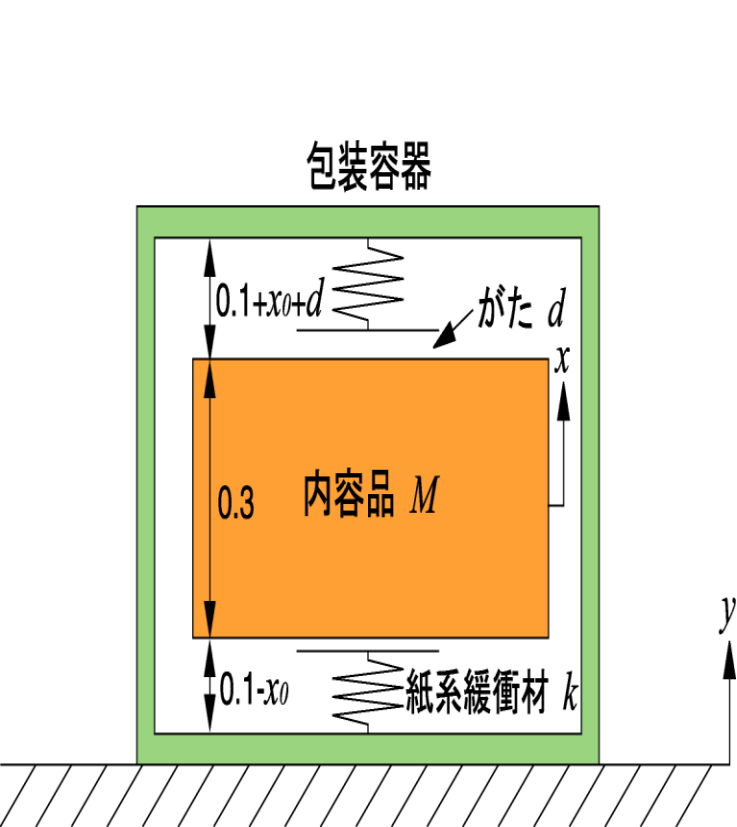
蓄積疲労用センサ



特許出願 H15.12.22

荷台や振動台から内容品への振動伝達

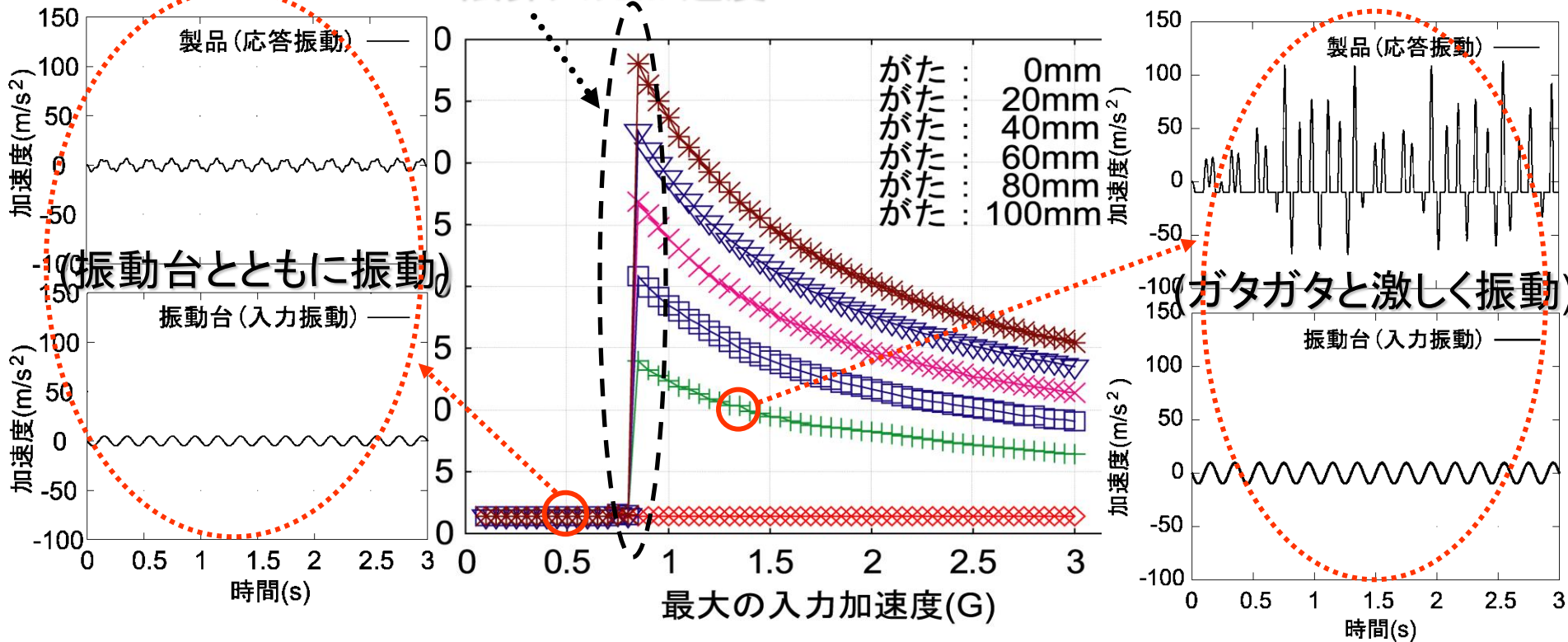
線形ではなく、非線形応答 → 限界入力加速度が存在



(振動周波数: 5 Hzの場合)

振動伝達の非線形性に関する問題点

限界入力加速度



(がたを有する包装貨物に関する数値解析結果)

入力加速度	< 限界入力加速度	→	通常の振動応答
限界入力加速度	< 入力加速度	→	製品が激しく振動 (誤評価の原因)

たまにある事例

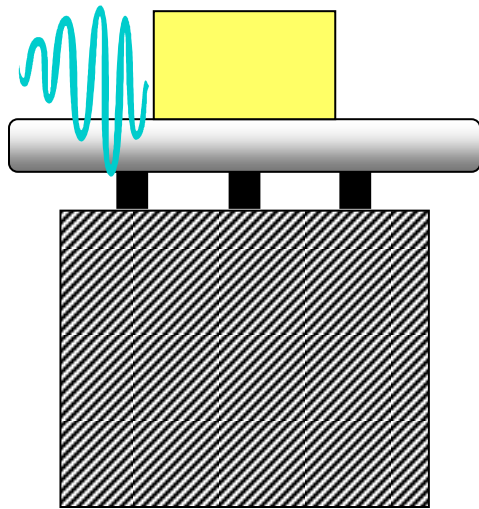
蓄積疲労振動では 個別に試験条件を導出！

実例. ある製品では、試験基準が同じでも
クレームが発生してしまう！？



多くの製品は、
通常の試験に合格 → 市場で問題なし！
(厳しい試験には不合格)

ある製品は、
厳しい試験に合格 → クレーム発生！



(結論)

製品毎に試験基準が必要！

蓄積疲労振動試験システムの特徴②

疲労試験と振動試験の相違点

疲労試験： 材料単体での試験

振動試験： 構造体での試験 ⇒ 周波数特性がある

(具体例) 蓄積疲労の比較

	疲労試験	振動試験
100Hz、60sの負荷：	同じ	小
10Hz、600sの負荷：		大

蓄積疲労振動では「蓄積疲労スペクトル」を導入！

蓄積疲労の定義 (新システム)

マイナー則

破損の発生条件は $\sum_{i=1,2,\dots} \frac{n_i}{N_i} = 1$

S-N曲線

$$N_i \times S_i^\alpha = \beta_C \quad (= \text{一定}) \quad \text{for } i=1,2,\dots$$

この β を
“蓄積疲労”と
呼ぶ

β_i と β を次式とすると、

$$\sum_{i=1,2,\dots} \frac{n_i}{N_i} = \frac{\beta}{\beta_C}$$

$$n_i \times S_i^\alpha = \beta$$

$$\beta = \sum_{i=1,2,\dots} \beta_i$$

となり、破損条件は $\beta \geq \beta_C$ となる。

S_i : 負荷 n_i : 負荷の回数 N_i : 破損に至る「負荷の回数」

β : 蓄積疲労 β_C : 許容蓄積疲労

蓄積疲労スペクトルの定義

狭帯域ランダム振動ピーク値の確率密度関数

$$f_{\text{Rayleigh}}(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

負荷回数 N に相当

狭帯域ランダム振動の蓄積疲労

S^α に相当

$$\beta = (f_0 \cdot T) \times \left\{ \int_0^\infty x^\alpha \cdot f_{\text{Rayleigh}}(x) dx \right\} = f_0 T (\sqrt{2}\sigma)^\alpha \times \Gamma\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)$$

狭帯域から広帯域へ拡張 \Rightarrow 蓄積疲労スペクトル

$$\beta(f) = f \cdot T \left\{ 2 \times \text{PSD}(f) \right\}^{\frac{\alpha}{2}} \times \Gamma\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)$$

x : 加速度 (応答値)

σ : x の標準偏差

f_0 : 周波数

T : 加振時間

β : 蓄積疲労

$\text{PSD}(f)$: パワースペクトル密度

蓄積疲労振動システムの流れ

Phase 1 : テスト定義

- ・ 輸送シナリオを作成
- ・ 試料数など設定条件を入力

Phase 2 : 予備試験

- ・ フィールド振動加振⇒応答計測
- ・ 本試験での目標蓄積疲労を算出

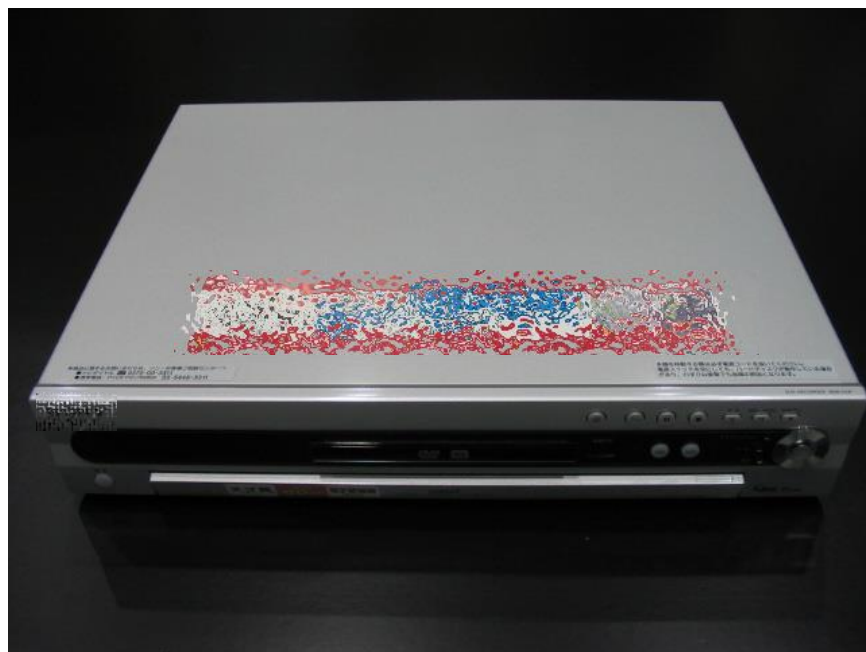
Phase 3 : プレ本試験

- ・ 加振条件(振動台PSD)の探索 (探索条件は、設定時間と目標蓄積疲労)

Phase 4 : 本試験

- ・ 耐久性評価試験(本試験) (上記で得られた試験条件を用いる)

蓄積疲労振動による試験条件の導出 (供試品)



実際のDVDプレーヤー



供試品として用いた
DVDプレーヤー入り段ボール貨物

蓄積疲労振動の事例(包装貨物試験)

Phase 1 : テスト定義

- ・ 輸送シナリオ: 高速道路(7時間) + 一般道路(1時間)
- ・ 許容市場破損確率0.1%、危険率20%、変動係数20%、試料数:3

Phase 2 : 予備試験

- ・ フィールド振動1 高速道路走行時のPSDにて加振 + 応答計測
- ・ フィールド振動2 一般道路走行時のPSDにて加振 + 応答計測
⇒ 目標蓄積疲労スペクトルを算出

Phase 3 : プレ本試験

- ・ 試験時間設定 ⇒ 加振条件(入力PSD)探索 (線形制御、試験機仕様)

Phase 4 : 本試験

- ・ 耐久性評価試験(本試験) (上記で得られた試験条件を用いる)

蓄積疲労振動による試験条件の導出 (Phase 1)

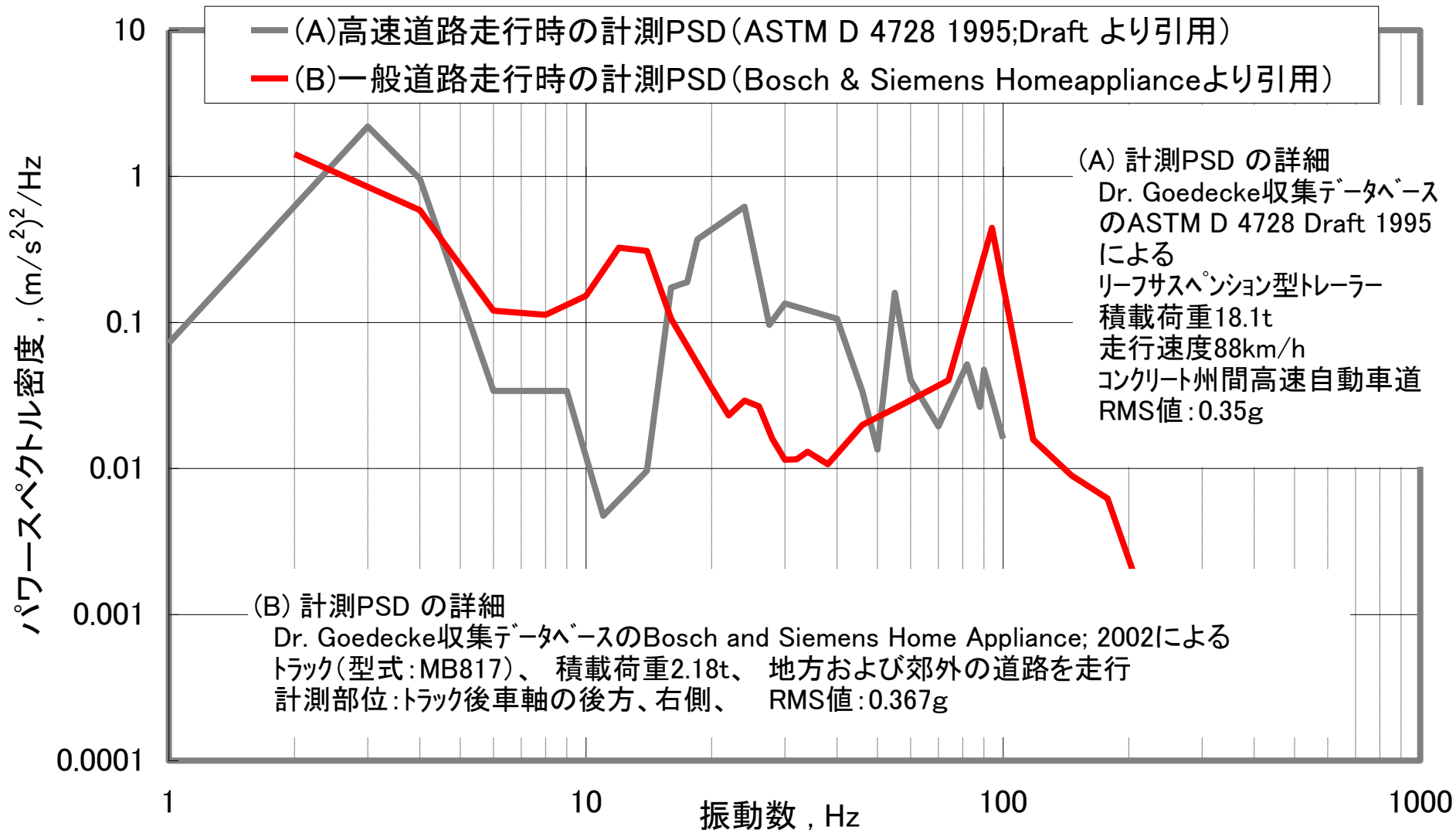


図2 輸送シナリオ作成に用いたフィールド振動データ ((A)高速道路、(B)一般道路)

蓄積疲労振動による試験条件の導出 (Phase3)

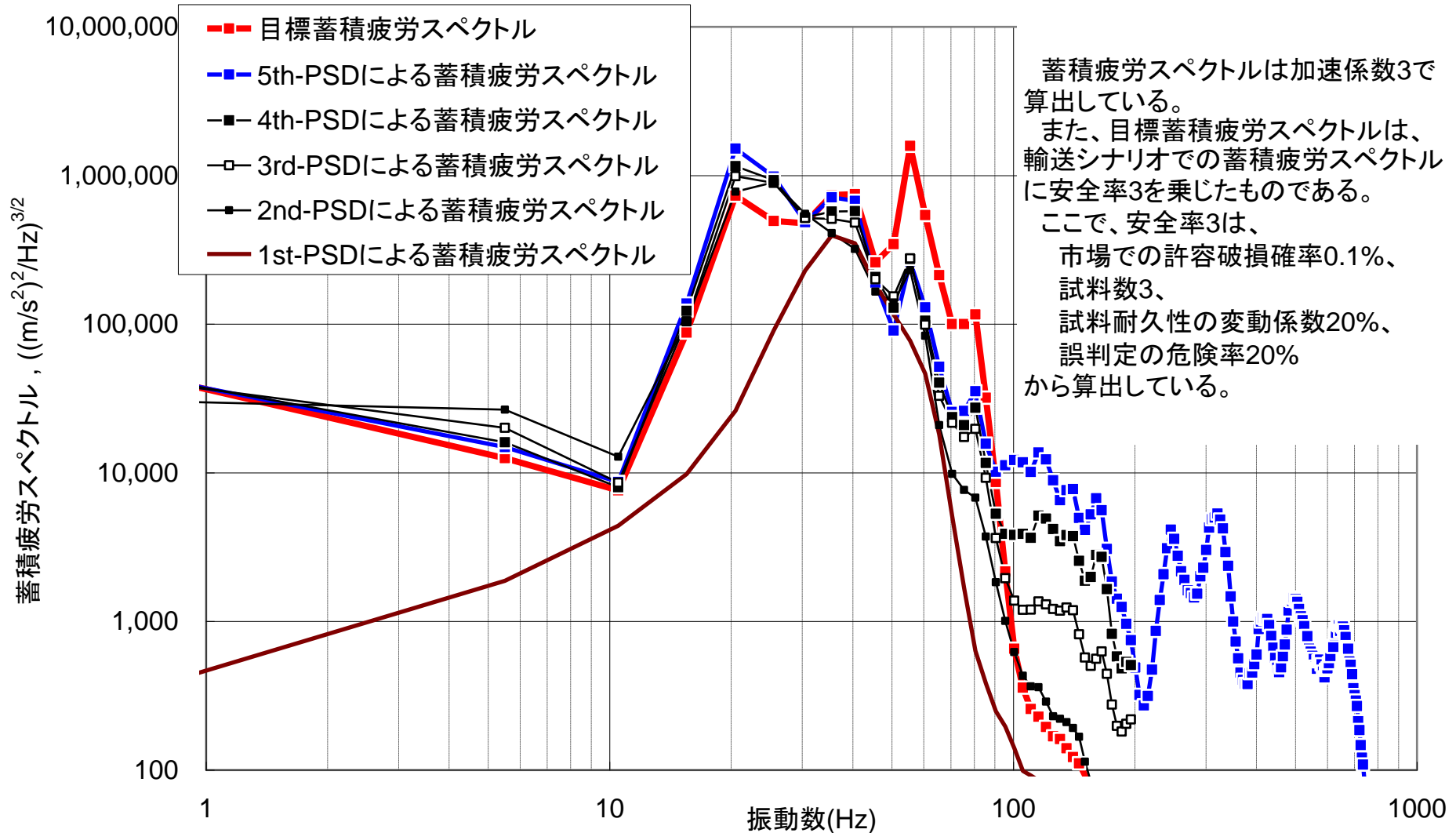


図4(b) 試験条件(PSD)の探索(蓄積疲労スペクトル)

試験条件(PSD)1st~5thにて30分加振した際に与えられる蓄積疲労スペクトル

蓄積疲労振動による試験条件の導出(分析・解析)

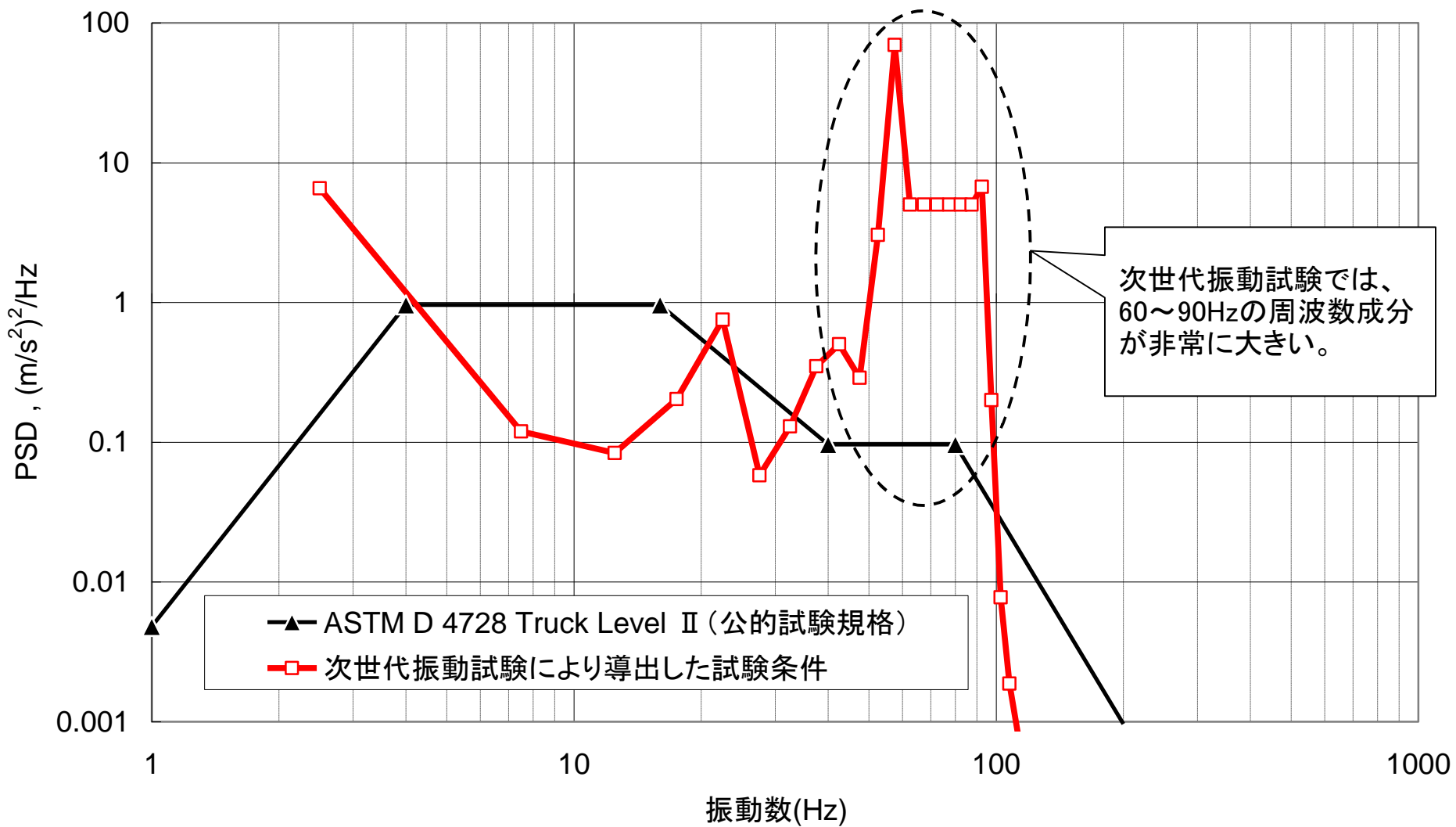


図5(a) 従来法と次世代振動試験の試験条件に関する相違点

蓄積疲労振動による試験条件の導出(分析・解析)

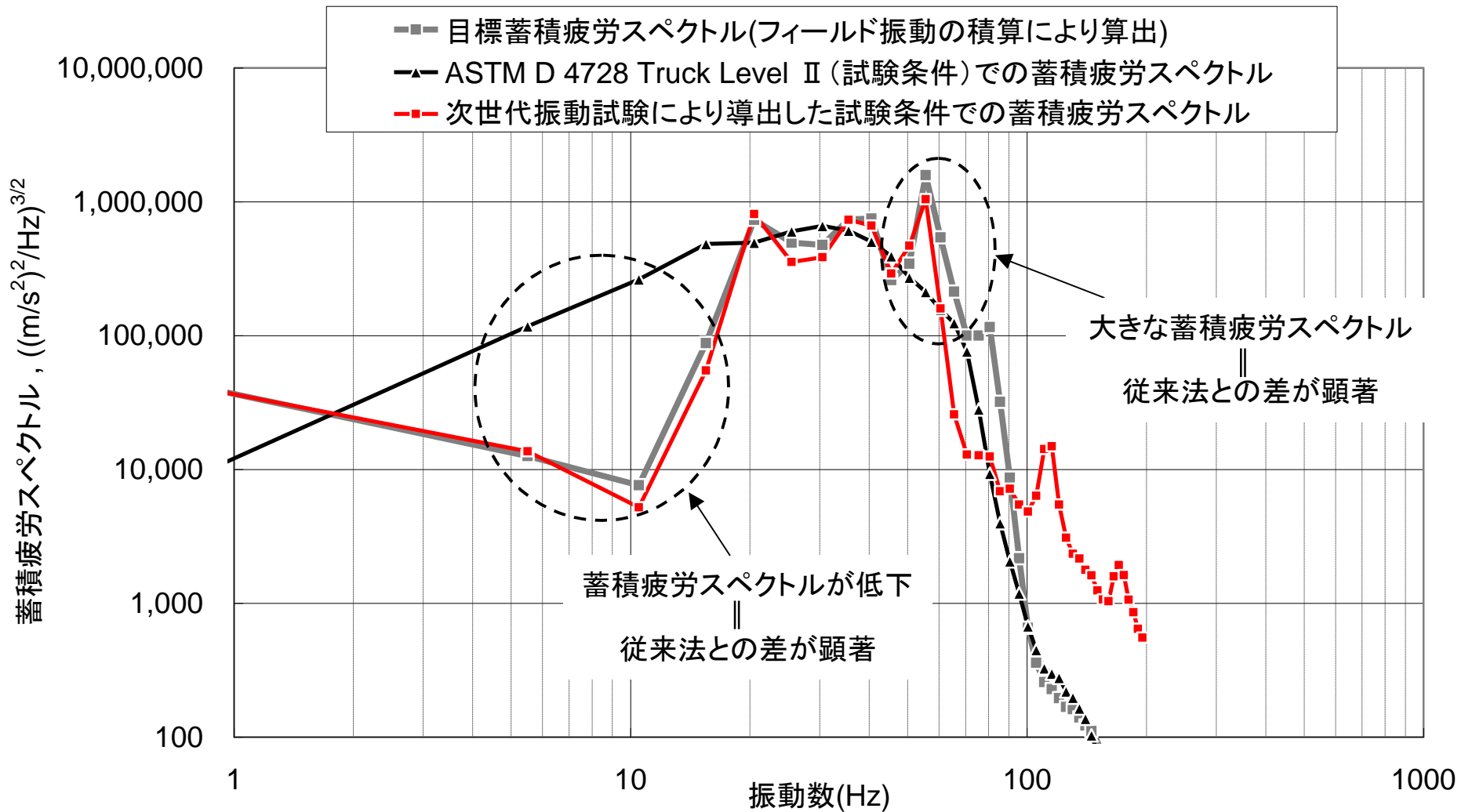


図5(b) 蓄積疲労スペクトルから見た従来型振動試験と次世代振動試験との相違点(性能比較)

蓄積疲労振動による試験条件の導出(分析・解析)

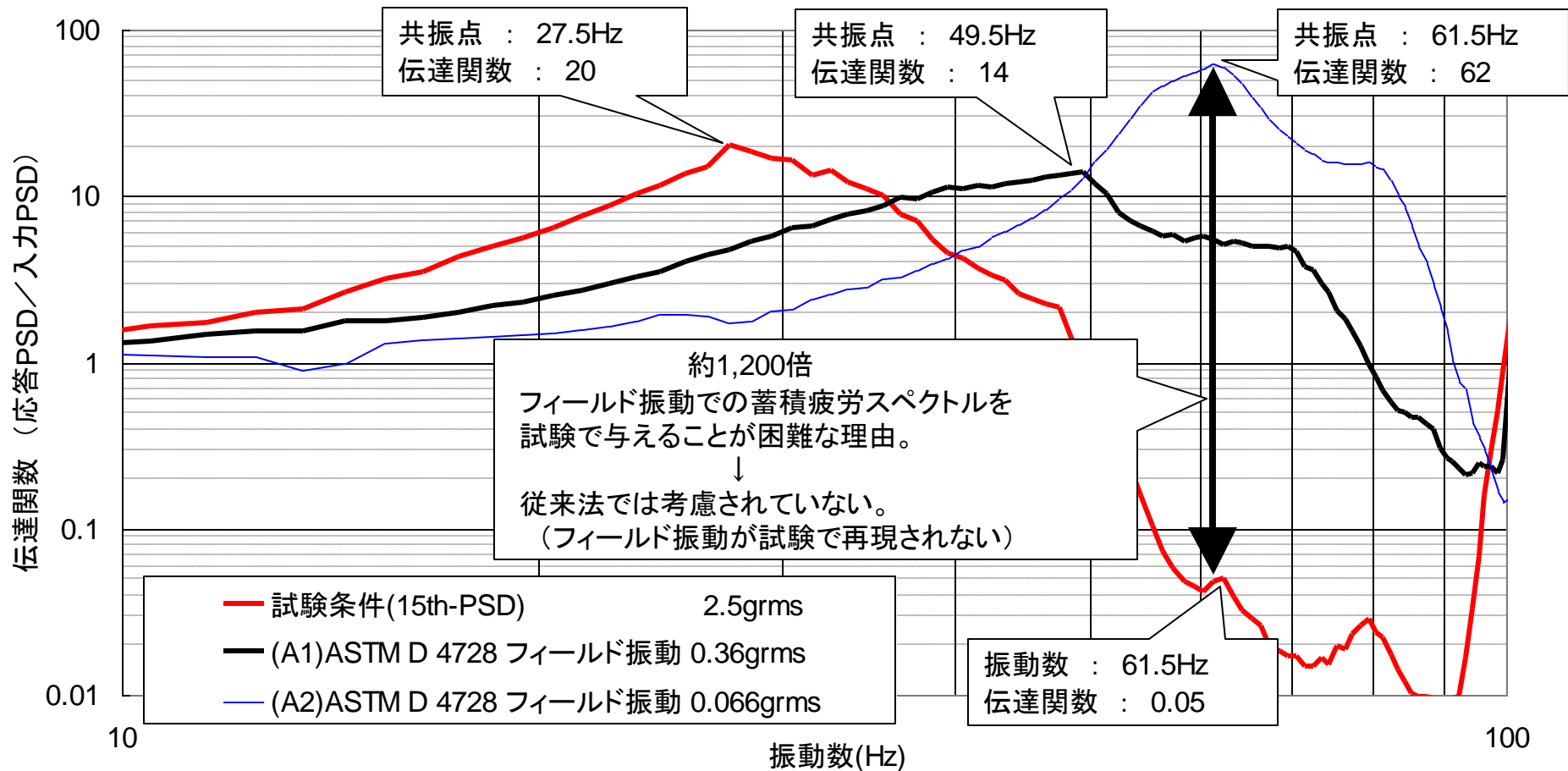


図6 次世代振動試験条件の高周波(60~90Hz)が強い理由についての検討
入力振動(振動台PSD)に対する応答振動(DVDプレーヤー左奥下部PSD)の伝達関数