

産技研 技術フォーラム

H19.4.26 2:30~4:30

振動試験の基礎から応用まで

～次世代振動耐久性評価装置・システムを製品化しました～

大阪府立産業技術総合研究所 中嶋隆勝

講演の流れ

I 専門用語の説明

- ・ 加速度とは・・・
- ・ ランダム振動とは・・・
- ・ 非線形振動とは・・・

II 試験方法と注意事項

- ・ 包装貨物(JIS Z 0232)
- ・ 自動車部品(JIS D 1601)
- ・ 家具(JIS S 1018)

III 次世代振動試験

- ・ 従来法の問題点
- ・ 解決方法
- ・ 次世代振動試験機とシステム

IV その他(開発研究の紹介)

- ・ 音響計測による振動特性把握手法
- ・ 地震転倒防止装置

開発の経緯

(次世代振動耐久性評価装置およびシステム)

- 長年、振動試験と技術指導を実施 ⇒ 多くの問題に遭遇
- ⇒ 「ガタ振動」を研究テーマに！ ⇒ 原因の一つが解明
- ⇒ 「新試験方法」を考案し特許出願！ ⇒ 実施企業を探索

ある営業マン(営業所長さん)に相談

- ⇒ 「実用化指導」制度により開発スタート！
- ⇒ 「池田銀行の研究基金」に申請し、採択される！
- ⇒ 「新機能」について特許共同出願 ⇒ 製品化に成功！

振動試験

関連業界

包装・自動車・鉄道・電気・航空・宇宙など

重要性

振動による破損事例は多い。「安全と安心」

将来性

(包装関連) 環境対策、eコマース⇒宅配、生産拠点を海外

(車載関連) 車両のIT化、精密機器の搭載

本講演では、包装貨物を対象として説明しますが、その他の業種でも活用できるシステムです。

開発品の概要

(次世代振動耐久性評価装置およびシステム)

新概念

- ・ 非線形対応型（応答振動に基づく評価）
- ・ 蓄積疲労スペクトル

新機能

- ・ 輸送シナリオ作成機能
- ・ 市場許容破損確率の設定機能
- ・ 試験条件の自動導出機能
- ・ 振動応答の異状監視機能

次世代振動システムの流れ

Phase 1 : テスト定義

- ・ 輸送環境のシナリオを作成
- ・ 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)

非常によくある質問

実例. 振動試験の条件は
どうしたらいいのですか？



初めて、振動試験に取り組む人から、
長年、取り組んできた人まで

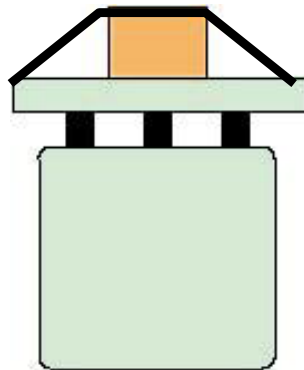
多くの方々が色々と悩んでいるのが実情です。

よくある質問

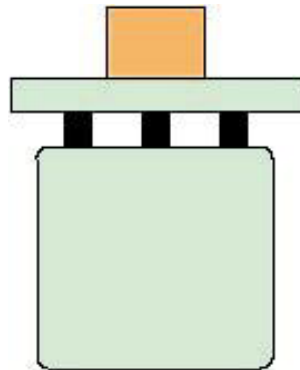
実例. 貨物を振動台に固定?、フリー?
跳上り振動試験は必要?



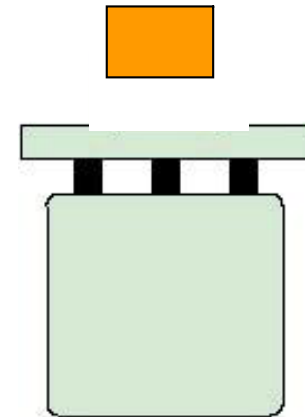
固定



フリー



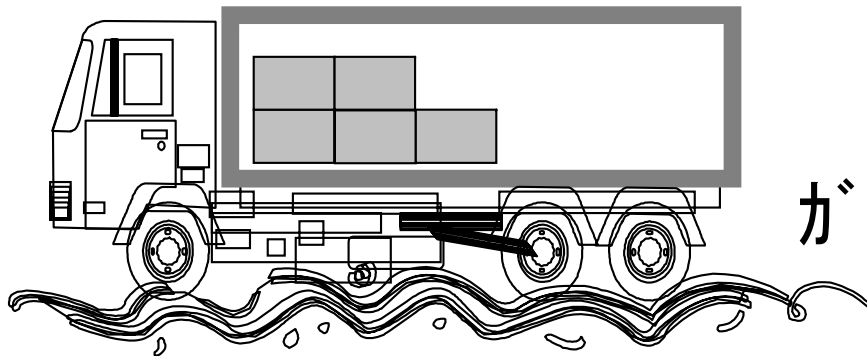
跳上り振動



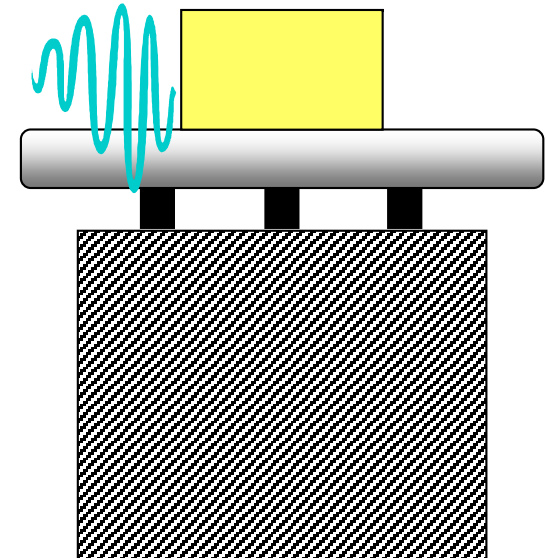
よくある質問

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

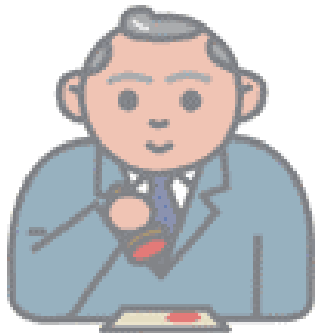


ガタガタ...



ときどきある困った事例

実例. 試験結果が実地での振動を再現しない
(市場クレームの非再現性)

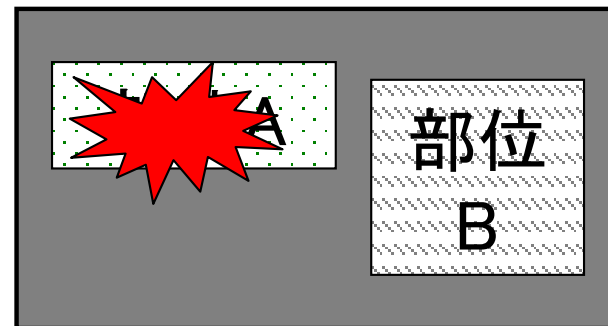


承認

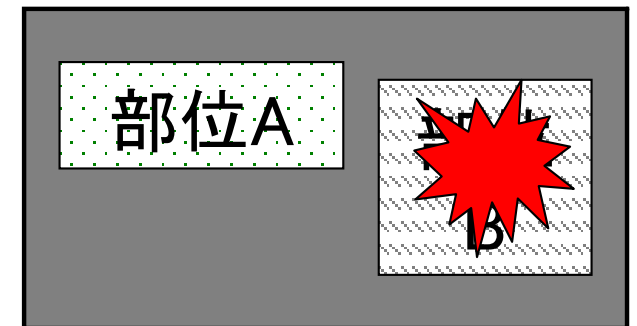
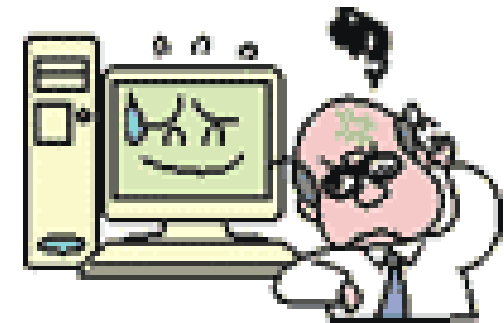
製品設計
包装設計



試験合格



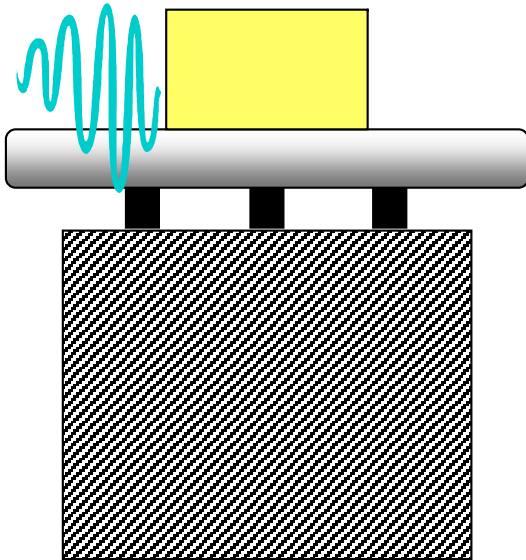
(出荷後)



(再現実験)

たまにある事例

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！

(本提案で解決できる) 問題点を整理!

1. 破損確率 (試験時と出荷後)

2. 輸送シナリオの作成と

プラント等の場合、「稼動後」

「予想使用環境」

試験条件の導出

3. 非線形振動への対応

4. 疲労試験と振動試験の相違点

5. 論理的な改良方法

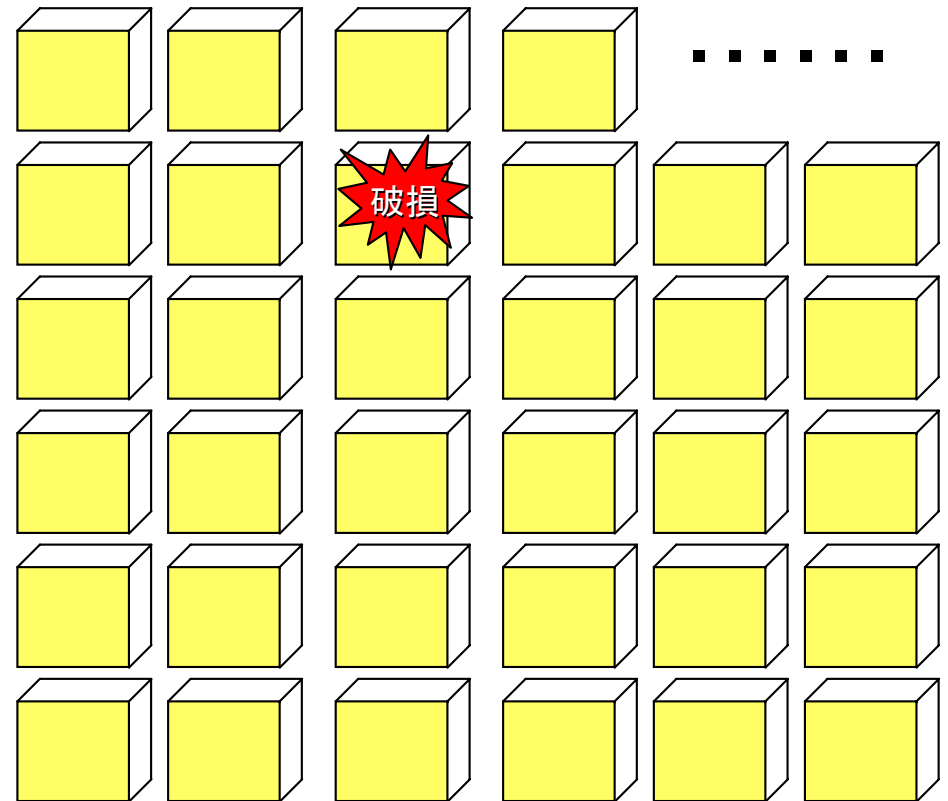
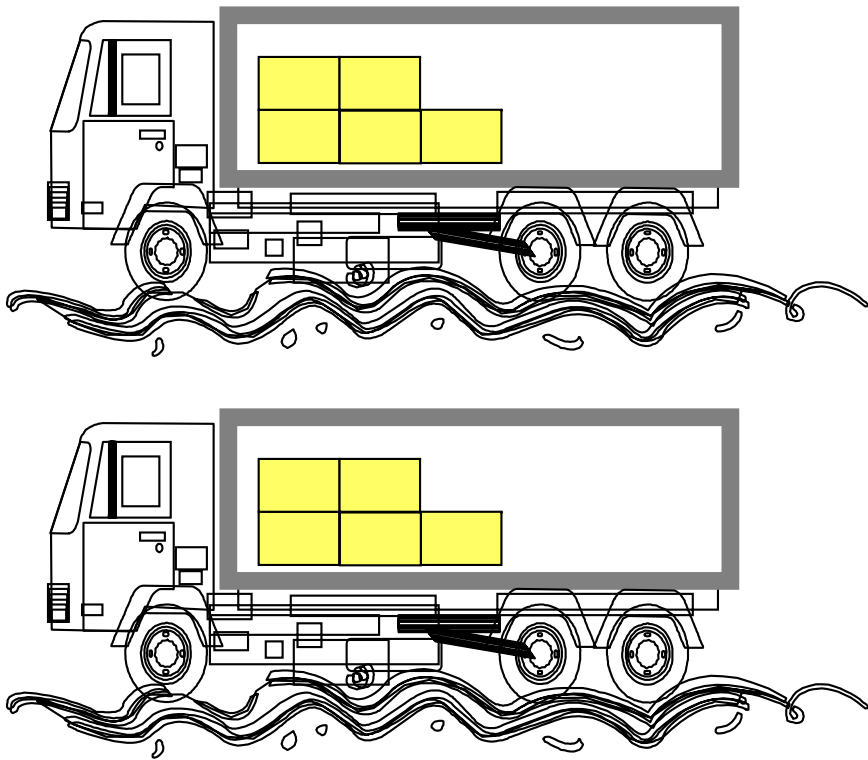
振動試験の問題点

1. 破損確率(試験時と出荷後)

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？



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・・・？

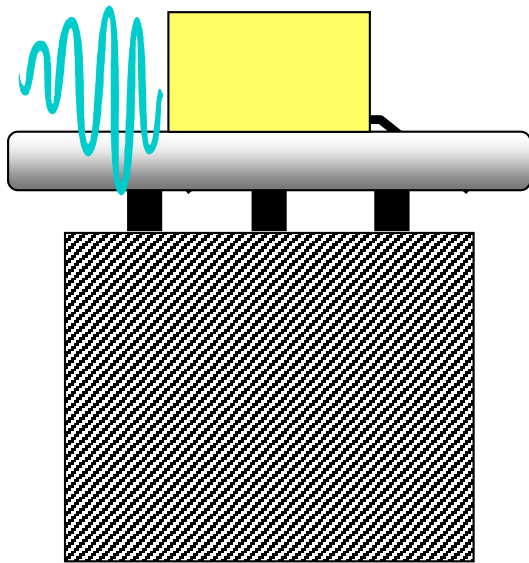
振動試験の問題点

試料数3で試験 ⇒ 1個だけ破損
(可否判断)

合格 or 不合格

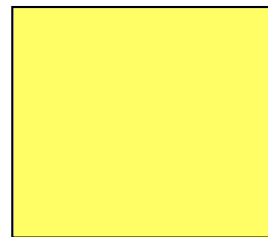


振動試験



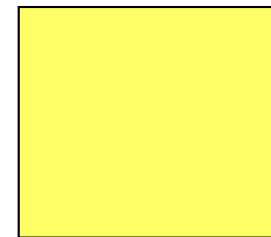
試験の結果

1個目



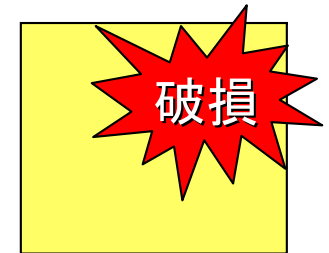
異常なし

2個目



異常なし

3個目



破損

振動試験の問題点

1. 破損確率(試験時と出荷後)



(解決方法) 次世代システムでは・・・

設定項目

- ①市場許容破損確率
- ②試料数
- ③(統計的)危険率



安全係数が決定!

蓄積疲労設定



蓄積疲労の条件 | 予備試験の条件 | 本試験の条件

蓄積疲労の Δf	10.00	Hz
α (被輸送品の固有の値)	4.00	
耐久性のばらつき	標準	60.00 %
市場での許容破損確率	1.0	%
試験での希望破損確率	15.0	%
試料料	20	
安全率	4.99	%
危険率	3.88	%

参照

登録

OK

キャンセル

振動試験の問題点

2. 輸送シナリオの作成と

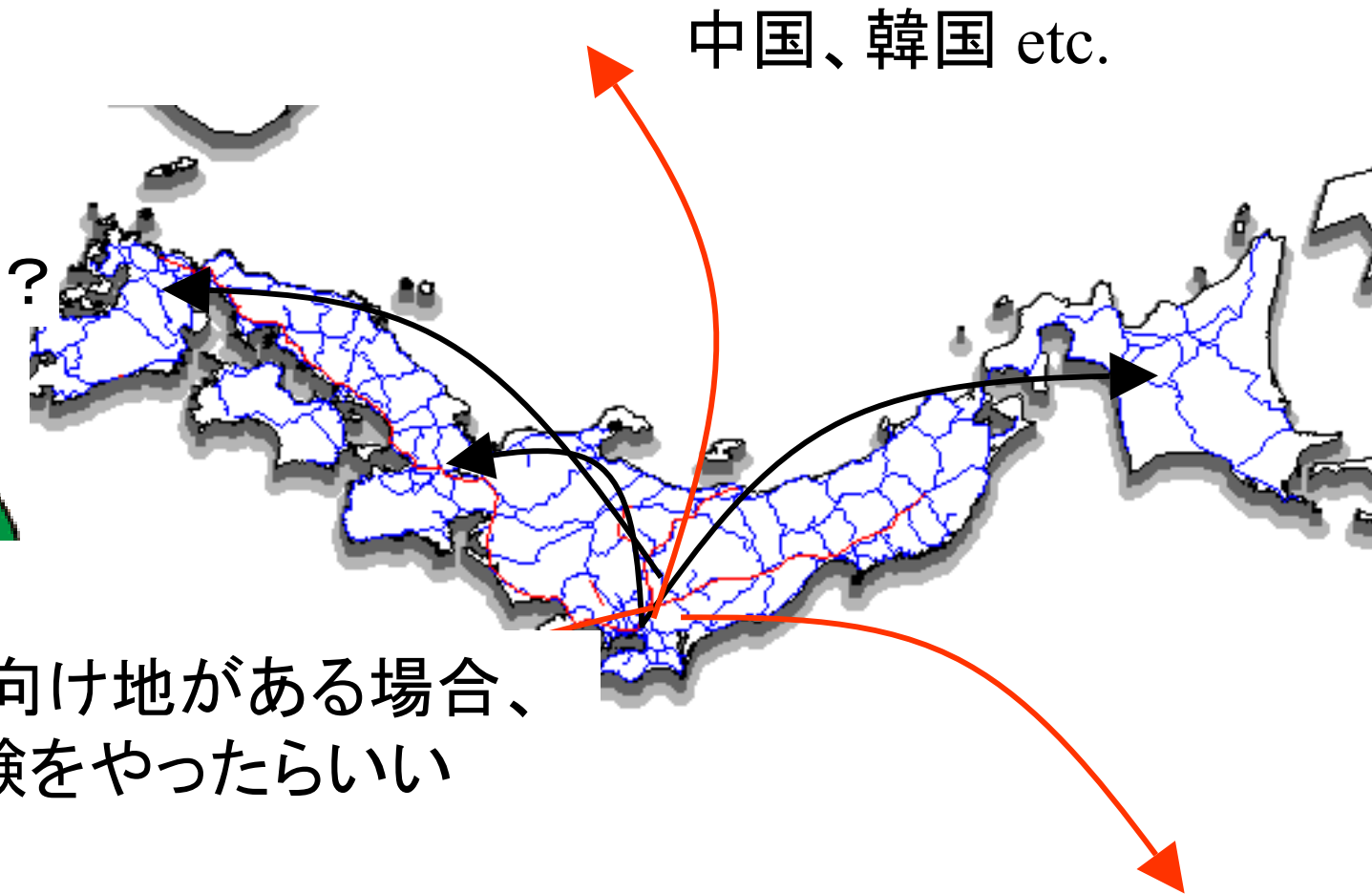
振動条件の導出

振動試験条件の導出の問題点

- **輸送環境の調査** に時間・コストがかかる
(計測機器の準備、実車輸送実験、膨大なデータ整理)
- **輸送シナリオ** が一つじゃない！
(リーフサスとエアサス、飛行機と船舶、高速道路と一般道)
- **試験条件導出** に難しい理論が必要
(テーラリング、細かな処理の方法に個人差がある)

⇒ 前任者からの引継ぎが困難！

振動試験の問題点



複数の仕向け地がある場合、
どんな試験をやったらい
いの…？

米国、中南米 etc.

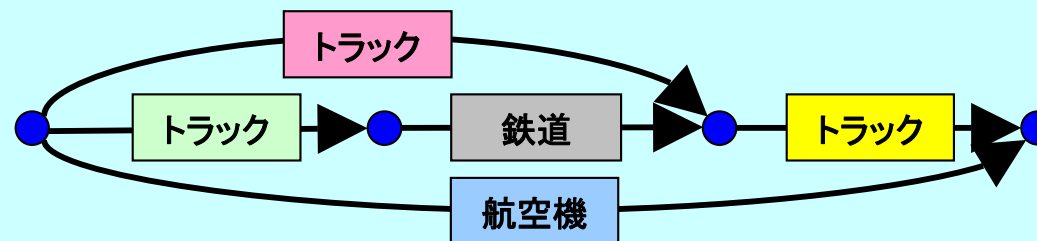
欧州 etc.

振動試験の問題点



同じ仕向地でも複数のルートがある場合、どんな試験をやったらいいの…？

想定される輸送ルート

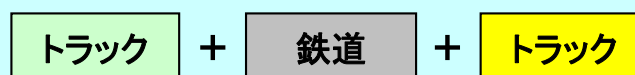


次世代システムでは…

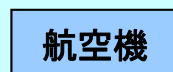
ルート1での蓄積疲労 =



ルート2での蓄積疲労 =



ルート3での蓄積疲労 =



ルート項目

(試験基準)

必要最小な蓄積疲労

振動試験の問題点

2. 輸送シナリオの作成と

振動条件の導出



(解決方法) 次世代システムでは...

支援システム

- ①輸送振動データベース
- ②代表的な輸送シナリオ
- ③上記の修正も可能



輸送シナリオが
簡単に決定できる！

シナリオ編集



- シナリオ一覧
 - 3.国内トラック輸送(整備された1000Km程度)
 - 1.大阪-東京
 - 1.[トラック高速道路] [リーフサス]_0:01:40
 - 2.[トラック一般道路] [リーフサス]_0:00:50
 - 3.[トラック悪路] [リーフサス]_0:01:20
 - 2.東京-仙台
 - 1.[トラック高速道路] [スプリングサス]_0:01:30
 - 2.[トラック一般道路] [リーフサス]_0:01:40
 - 3.[トラック高速道路] [リーフサス]_0:01:40
 - 3.仙台-青森
 - 1.[トラック悪路] [リーフサス]_0:01:10
 - 2.[トラック一般道路] [リーフサス]_0:00:30
 - 4.国内トラック輸送(整備されていない1500Km程度)
 - 1.大阪-奈良
 - 1.[トラック悪路] [リーフサス]_0:01:30
 - 2.[トラック悪路] [スプリングサス]_0:00:40
 - 2.奈良-三重
 - 1.[トラック悪路] [リーフサス]_0:01:20

シナリオ

追加

修正

削除

ルート:

ルート項目:

サブシナリオ編集

OK

キャンセル

振動試験の問題点

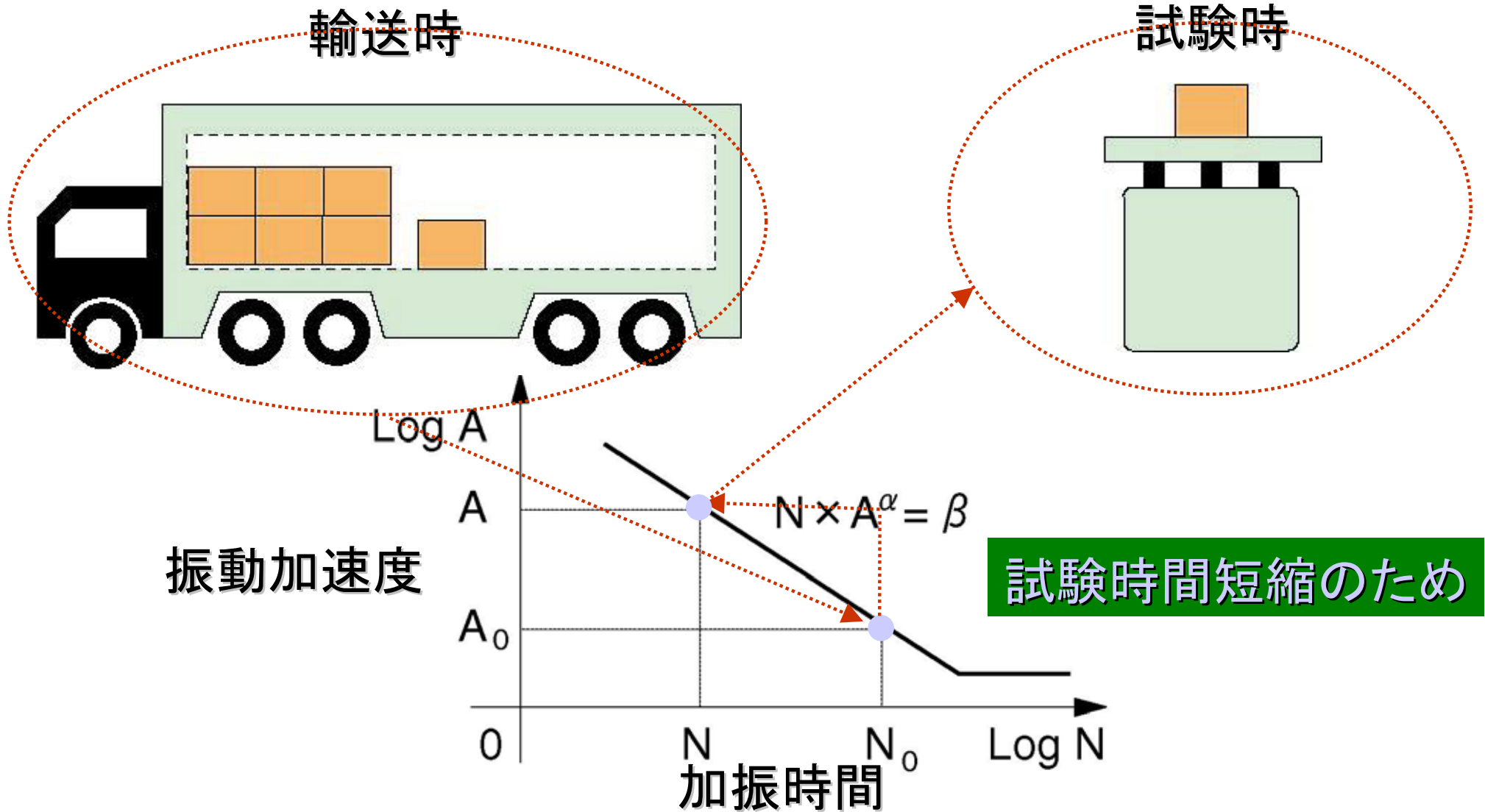
3. 非線形振動発生による

誤った耐久性評価

段ボール包装貨物における非線形性

- 緩衝材の非線形性
- 貨物内のガタ
- 製品や部品間の叩き合い
- 液体、粒状体など流動体入り容器

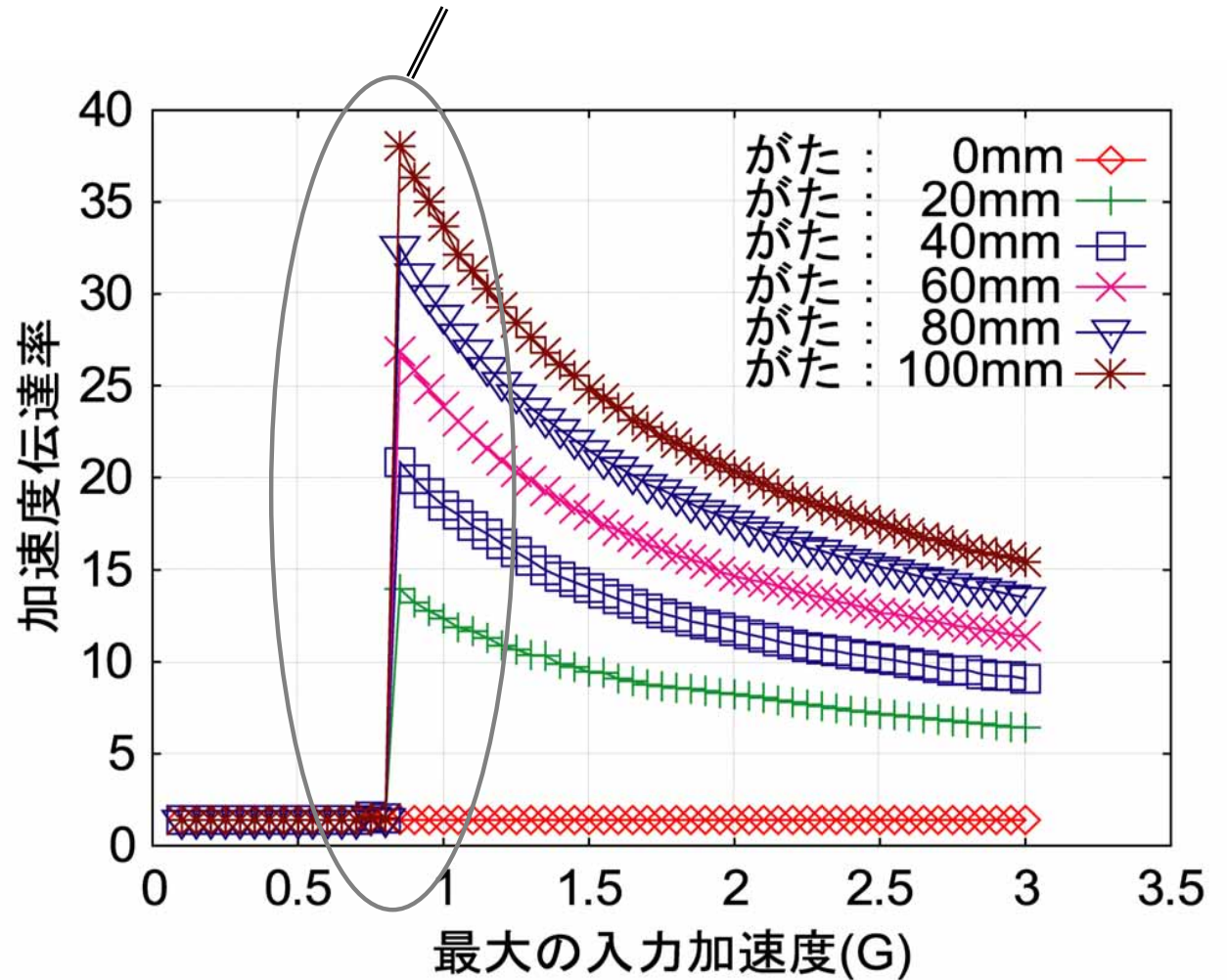
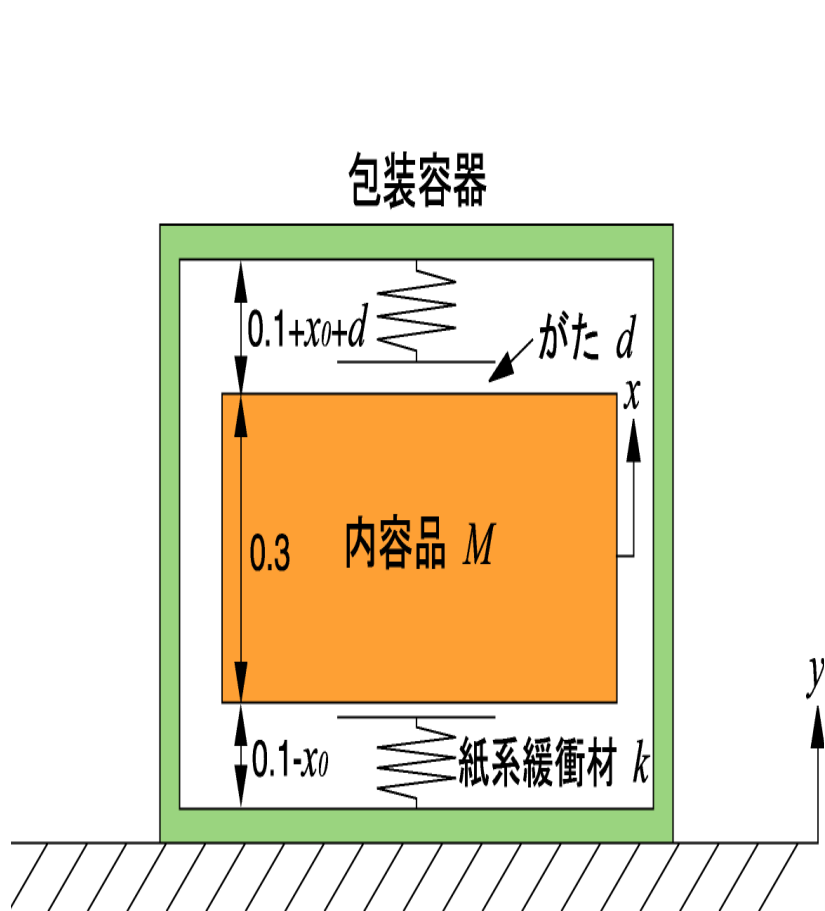
現在の振動試験条件作成方法



試験条件の決定のためにS-N曲線を利用

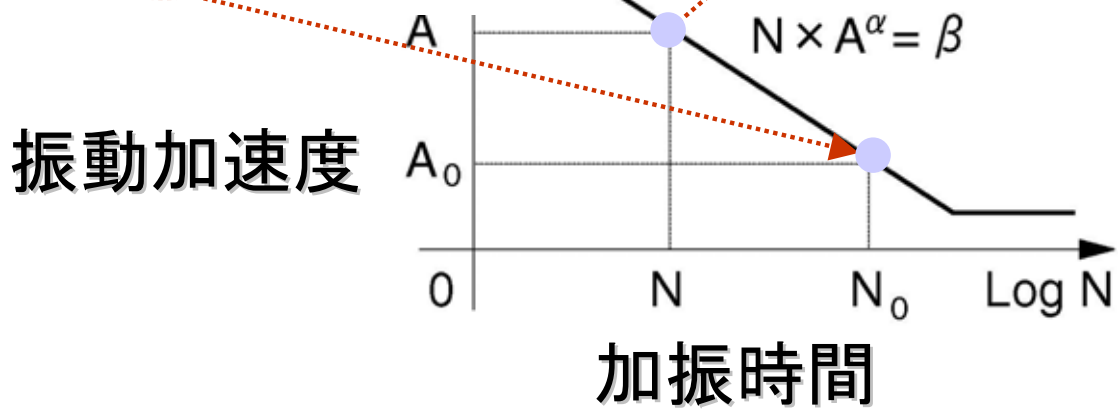
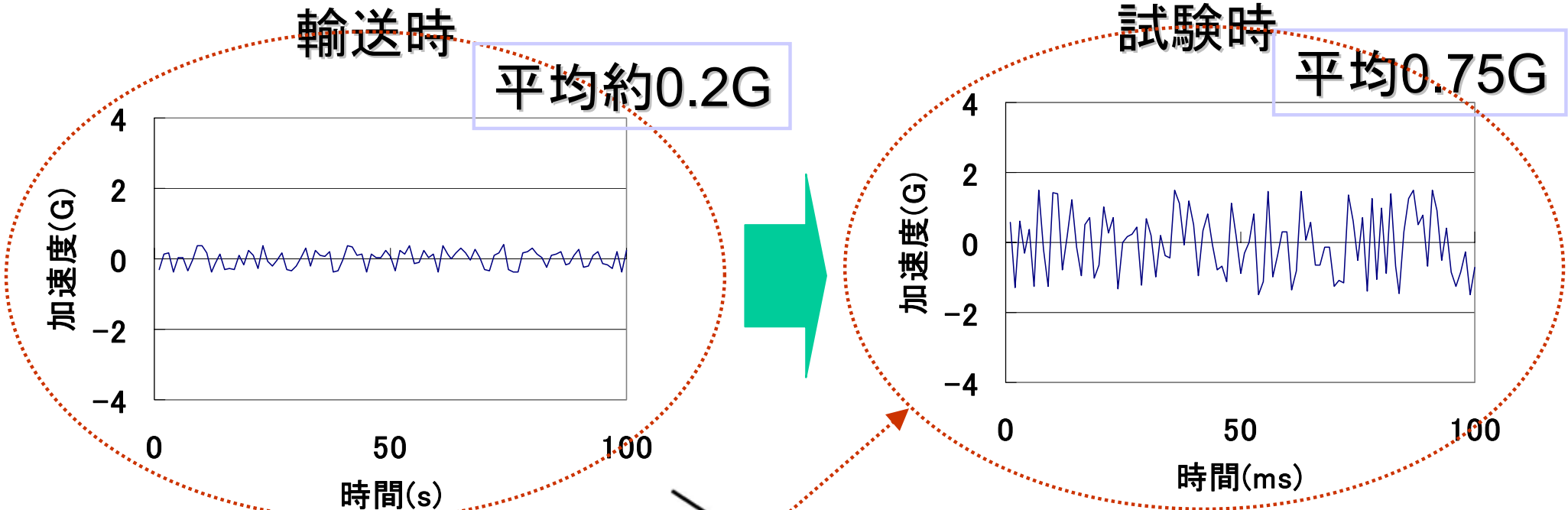
荷台や振動台から内容品への振動伝達

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)

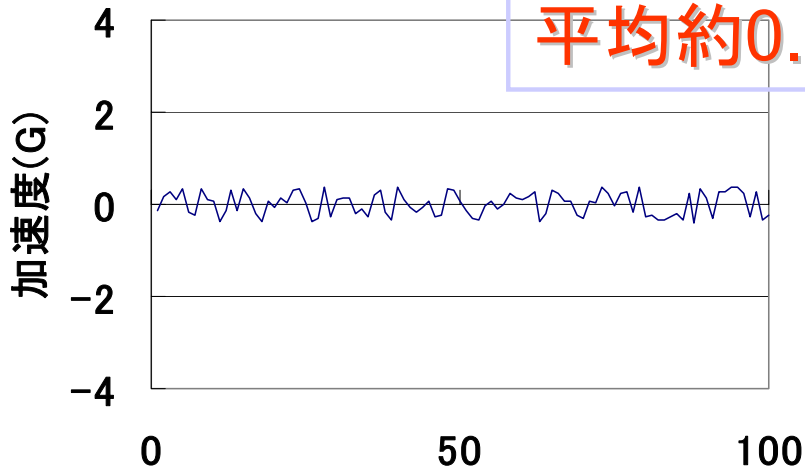
トラック荷台や振動台の振動レベルで評価



それぞれの振動波形

輸送時

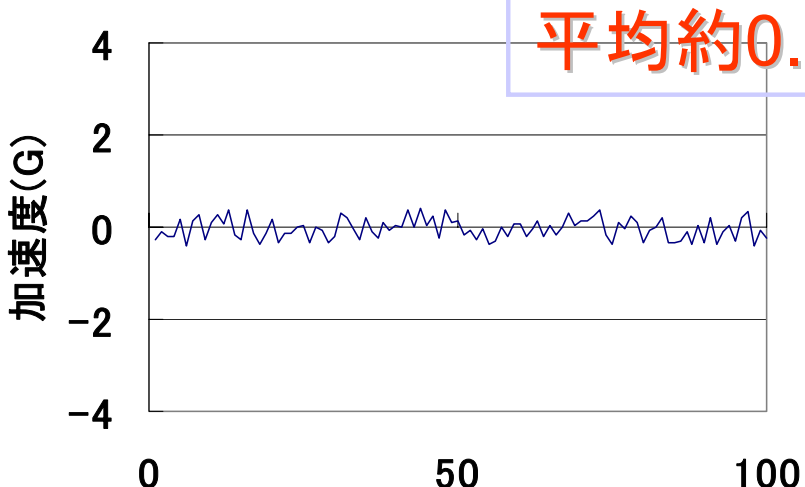
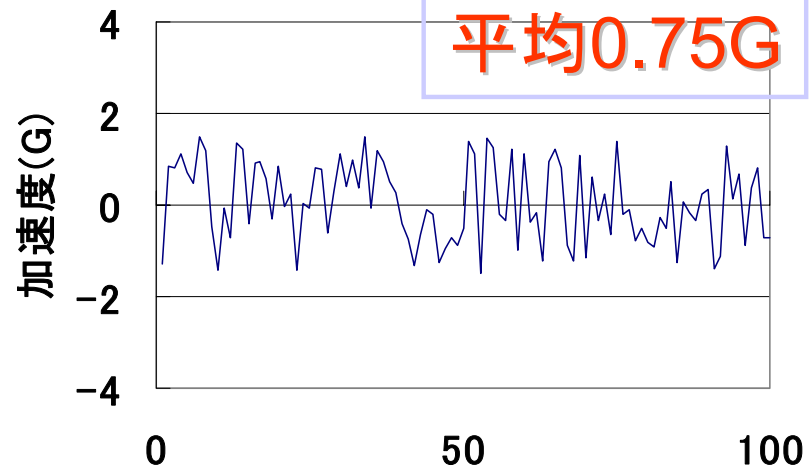
トラック荷台



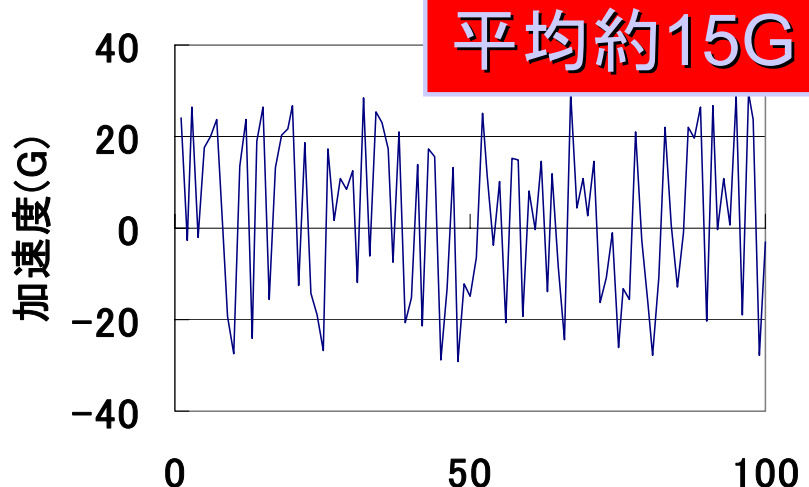
予想
約4倍

試験時

振動台



実際
約75倍



トラック荷台上の貨物内の製品

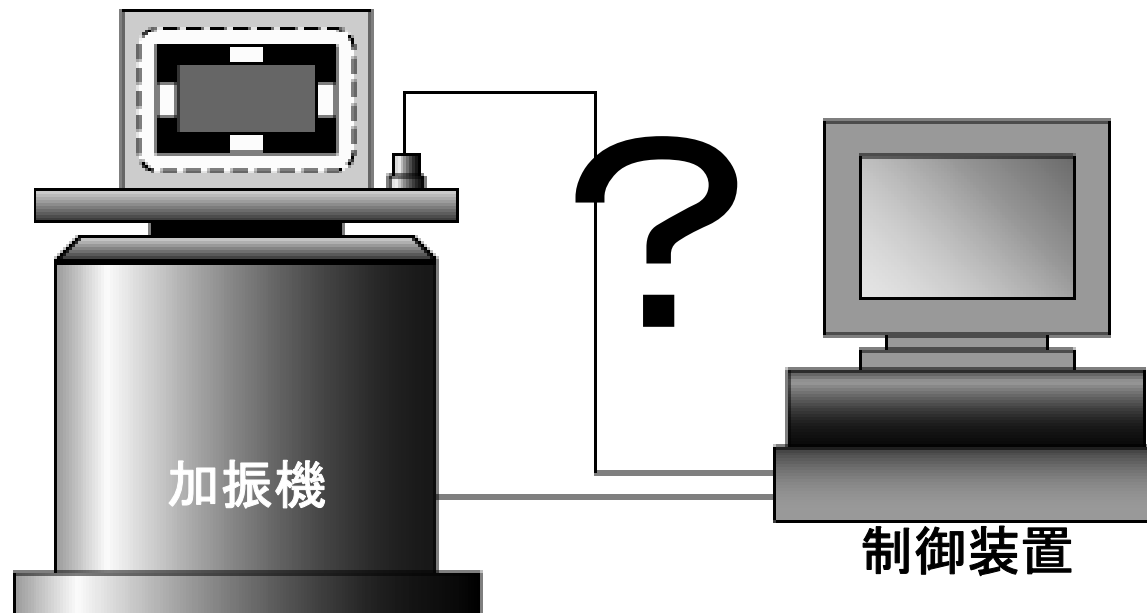
振動台上の貨物内の製品

振動試験の問題点

3. 非線形振動による誤った耐久性評価

(解決方法) 次世代システムでは...

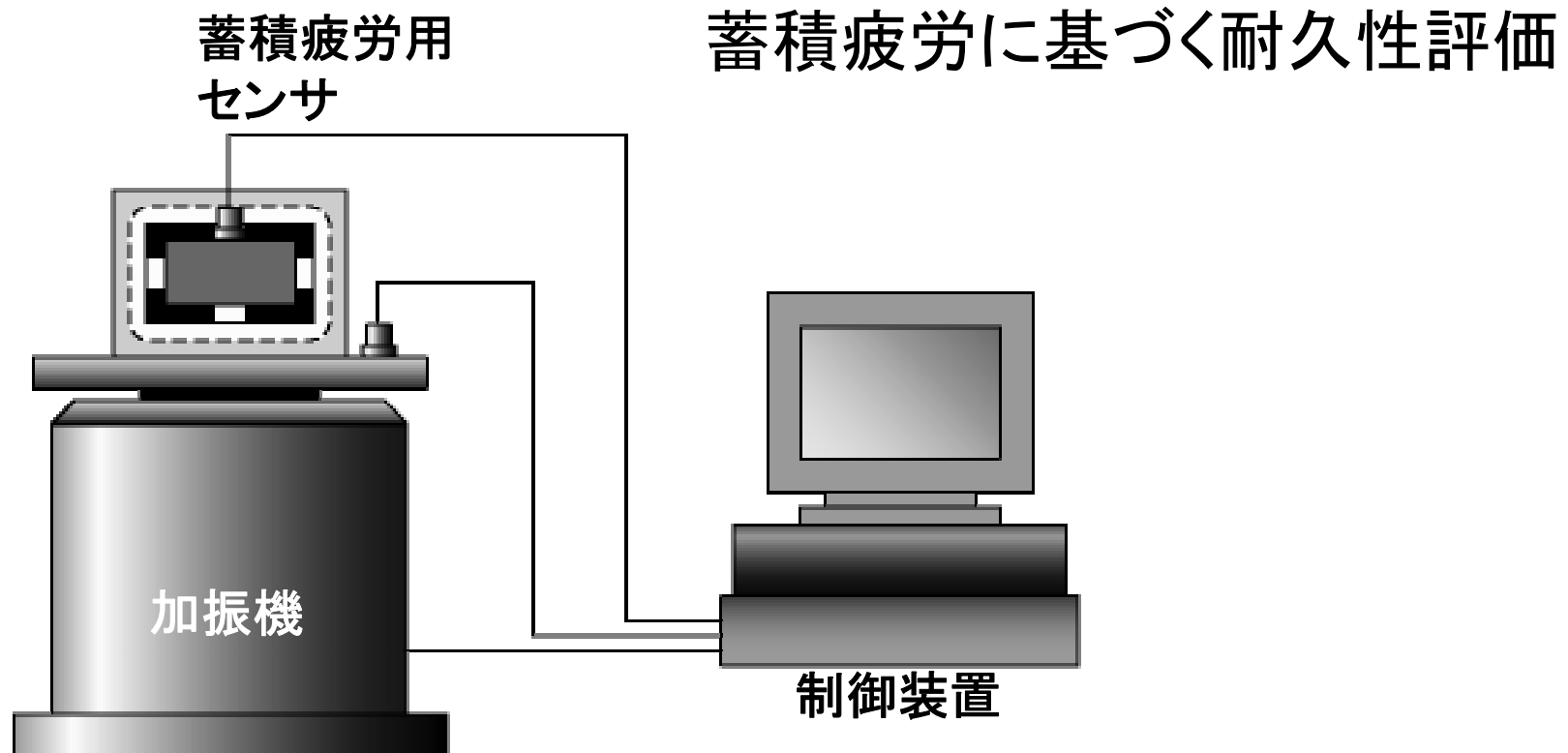
(従来型) 振動台が基準



振動試験の問題点

3. 非線形振動による誤った耐久性評価

(解決方法) 次世代システムでは...



振動試験の問題点

4. 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

蓄積疲労の定義

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、 $n_i \times S_i^\alpha = \beta_i$ $\beta = \sum_{i=1,2,\dots} \beta_i$

$$\sum_{i=1,2,\dots} \frac{n_i}{N_i} = \frac{\beta}{\beta_c} \quad \text{となり、破損条件は } \beta \geq \beta_c \text{ となる。}$$

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

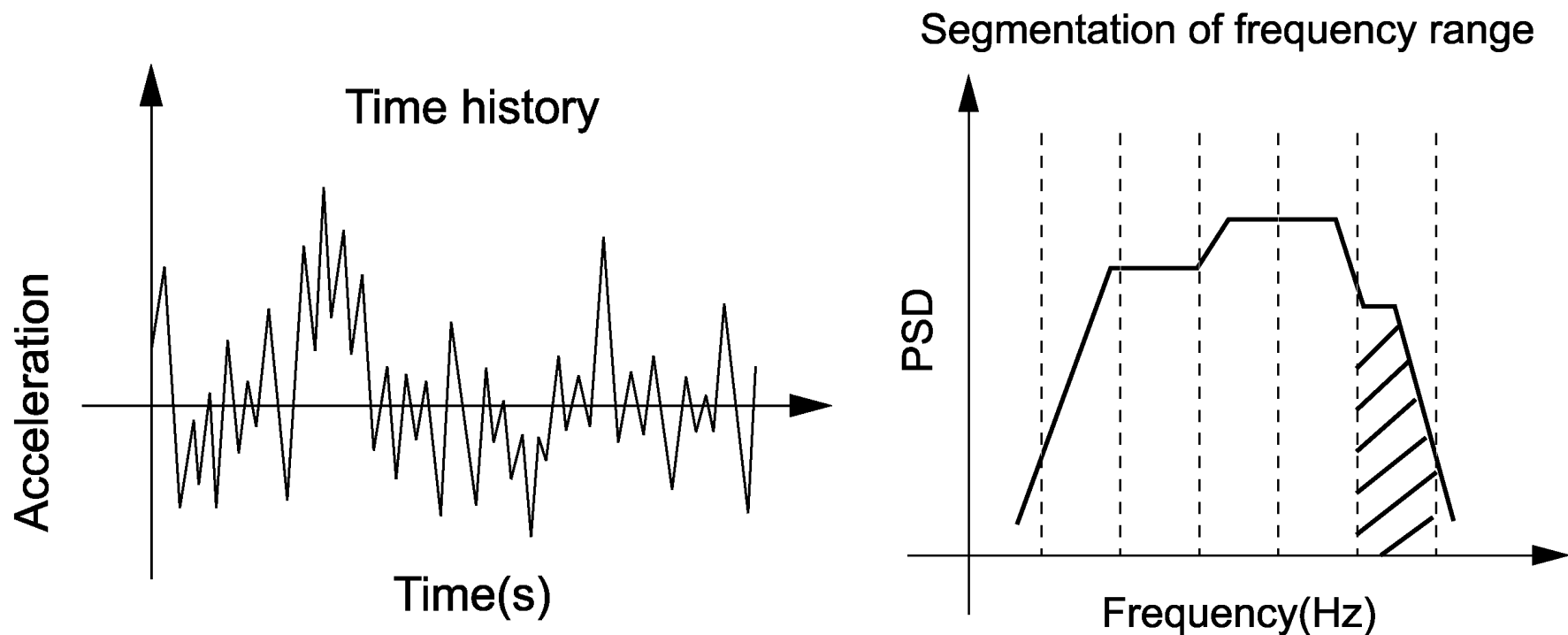
$\text{PSD}(f)$: パワースペクトル密度

蓄積疲労スペクトルの算出方法

Step 1: 振動計測を行う

Step 2: 振動データをPSD解析し、 Δf 毎に分割する

Step 3: 定義式に従って蓄積疲労スペクトルを算出する



$$\beta(f) = f_0 T (\sqrt{2}\sigma)^\alpha \Gamma\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)$$

振動試験の問題点

4. 疲労試験と振動試験の相違点

材料単体 ⇔ 構造体(周波数特性がある)



(解決方法) 次世代システムでは・・・

「蓄積疲労スペクトル」
を考案！



周波数ごとの蓄積疲労
が評価可能になる。

振動試験の問題点

5. 論理的な改良方法

どのルートで疲労が多く蓄積するのか？

どの部位に疲労が多く蓄積するのか？

振動伝達(ガタの発生など)に異状はないか？

振動試験の問題点

5. 論理的な改良方法

- ・ どのルートで疲労が多く蓄積するのか？
- ・ どの部位に疲労が多く蓄積するのか？
- ・ 振動伝達(ガタの発生など)に異状はないか？



(解決方法) 次世代システムでは・・・

- ・ 予備試験で各ルートの振動を再現し、蓄積疲労速度を計測
- ・ 各部位にセンサーを貼付し、蓄積疲労を計測
- ・ 本試験中、常時、振動伝達の異状を監視

次世代振動システムの流れ

Phase 1 : テスト定義

- ・ 輸送環境のシナリオを作成
- ・ 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

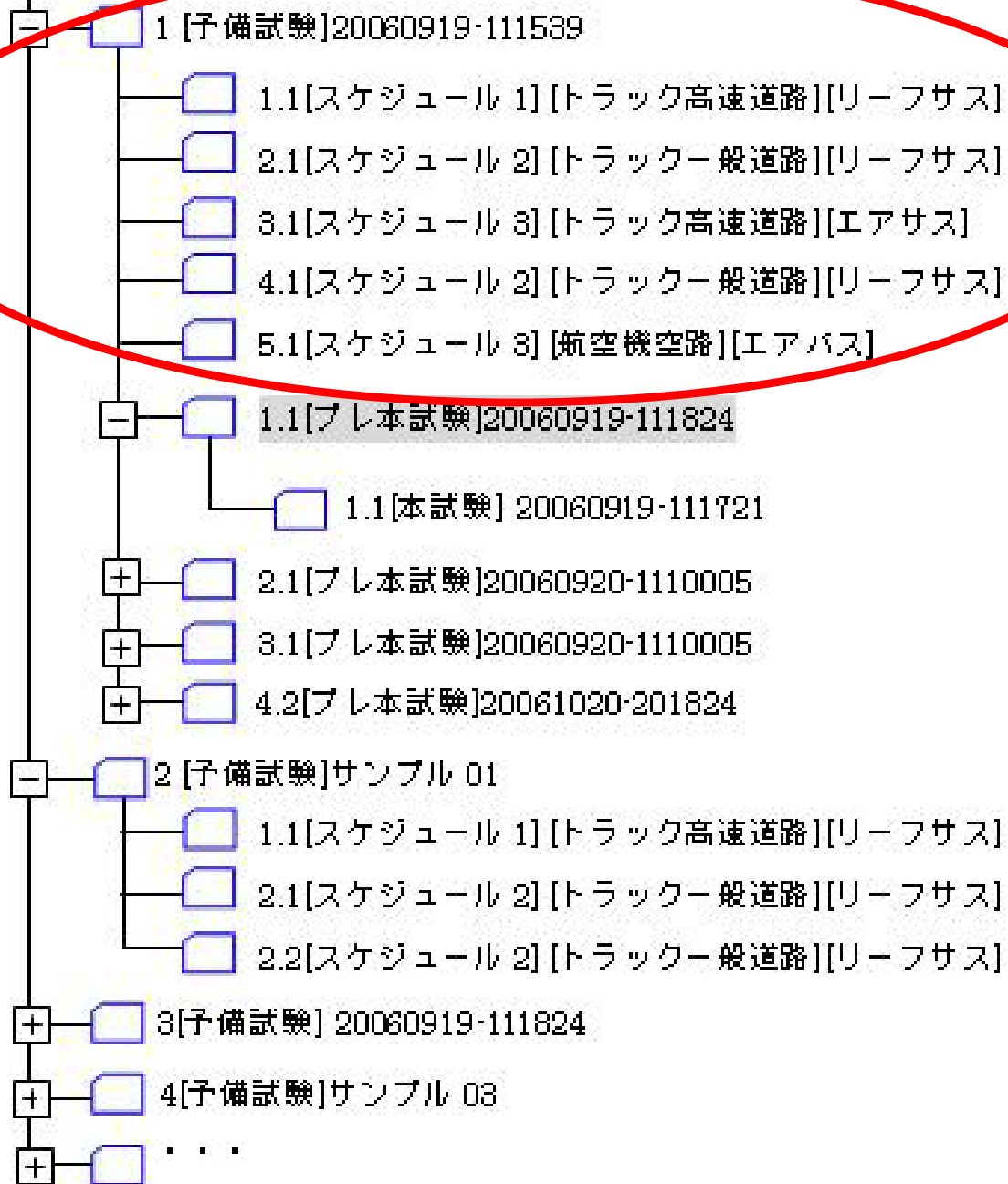
Phase 3 : プレ本試験

- ・ 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)

[テスト定義]テスト 001



まとめ

(次世代振動耐久性評価装置およびシステム)

新概念

- ・ 非線形対応型（応答振動に基づく評価）
- ・ 蓄積疲労スペクトル

新機能

- ・ 輸送シナリオ作成機能
- ・ 市場許容破損確率の設定機能
- ・ 試験条件の自動導出機能
- ・ 振動応答の異常監視機能

期待される効果

- ・ クレームの削減 と 過剰品質の是正
- ・ 論理的な振動対策
- ・ 試験条件の導出根拠の明瞭化