

KPI会員フォーラム 特別例会  
～ 関西輸送包装ディスカッション～

日時：H21.9.25 会場：京セラミタ(株)

10:20～10:50

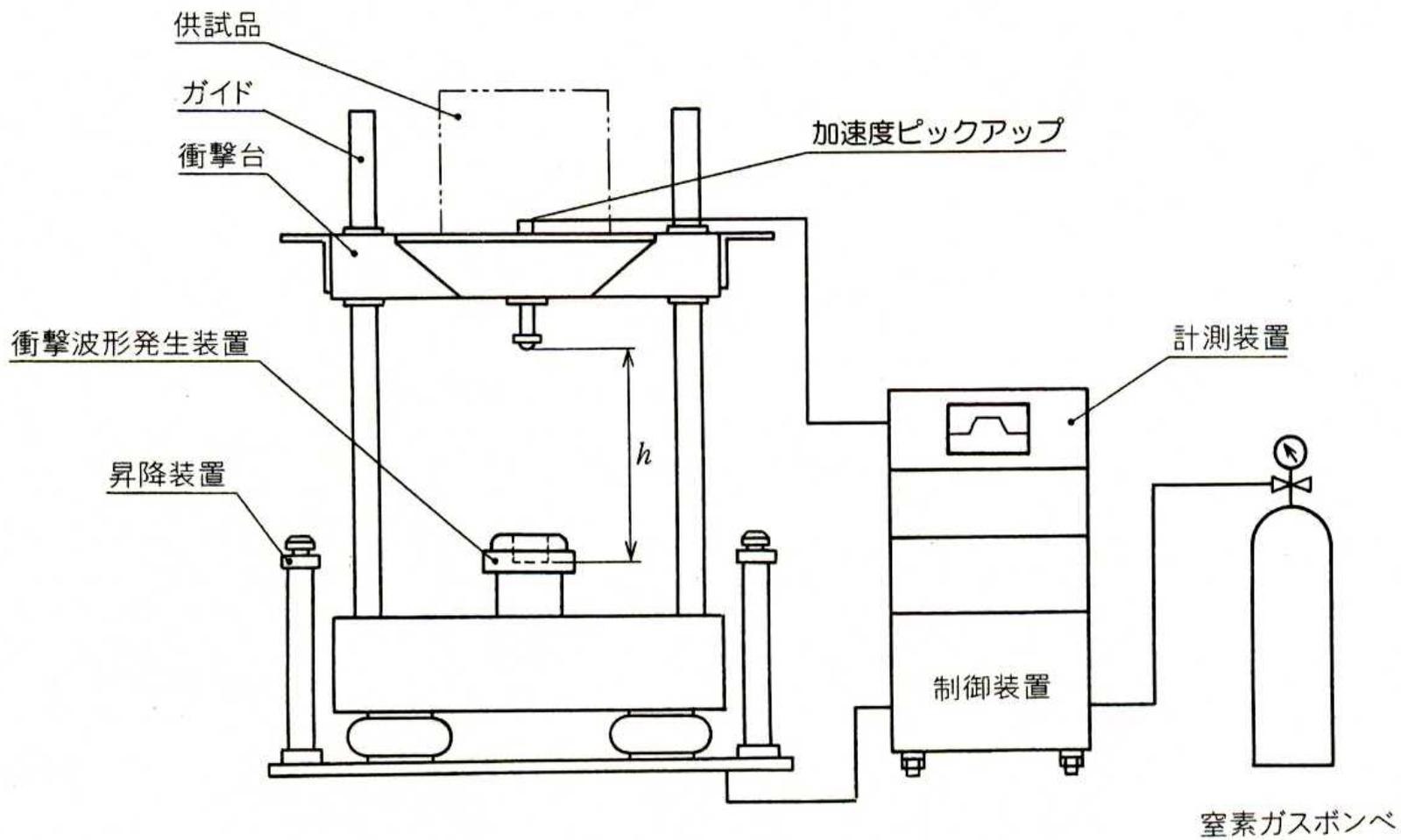
衝撃試験の新たな取組み  
～ JIS、ISO化をめざして ～

大阪府立産業技術総合研究所 中嶋隆勝

# 目次

- ・製品衝撃試験の紹介
- ・損傷境界曲線（DBC）の説明
- ・新しい試験手順および製品改良指針の作成
- ・FEMによる衝撃解析事例の紹介
- ・まとめ

# 製品衝撃強さ試験機



# 衝撃パルスの波形

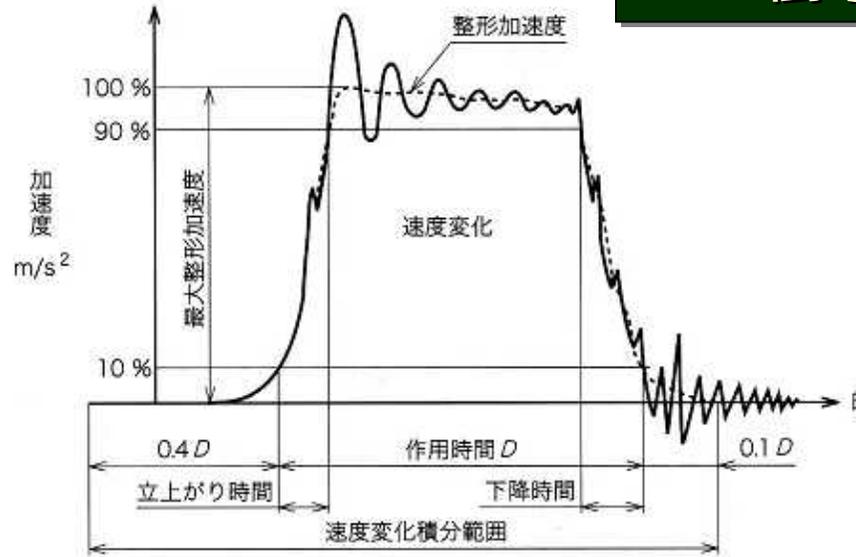


図2 台形波衝撃パルス

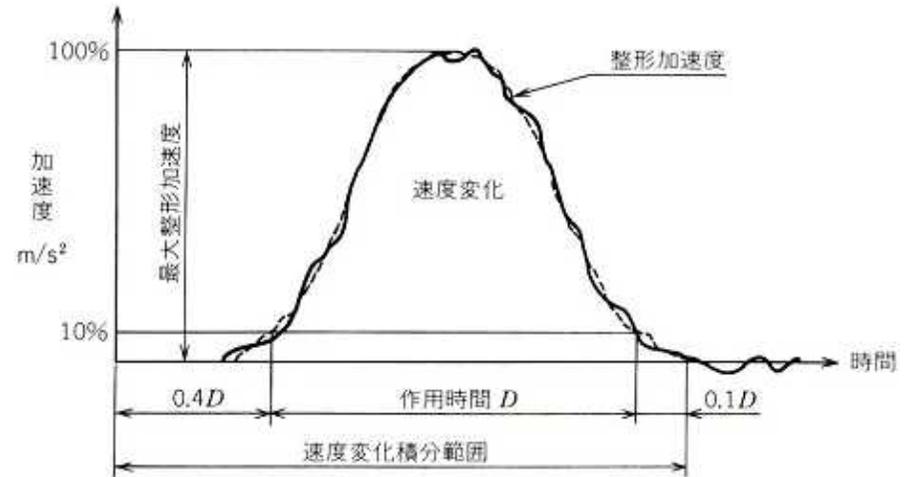


図1 正弦半波衝撃パルス

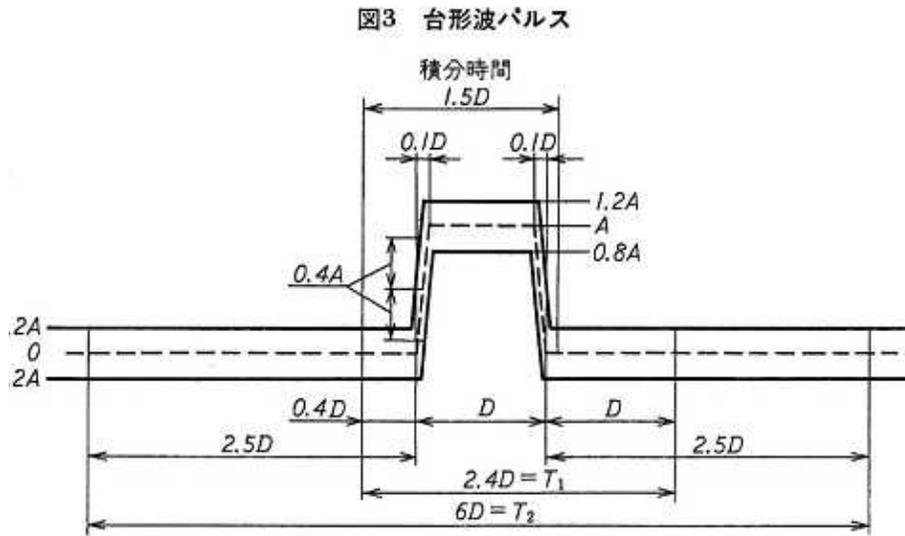


図3 台形波パルス

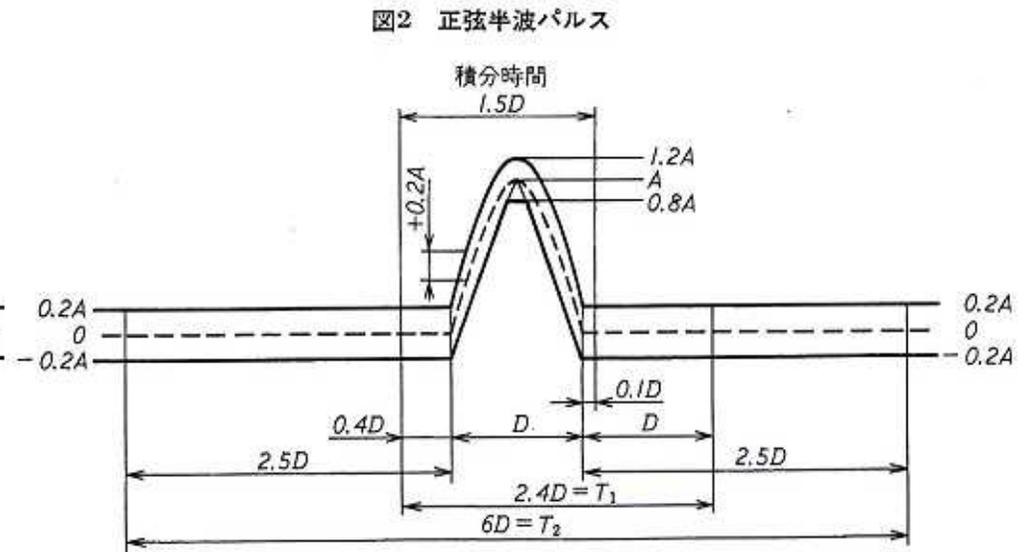


図2 正弦半波パルス

- 包装管理士講座のテキストより抜粋 -

表1 代表的な製品の易損性<sup>5)</sup>

極度に壊れやすい(ミサイル誘導装置、精密試験装置)	15 - 25 (G)
非常に壊れやすい(機械的衝撃台装置、電子機器)	25 - 40
壊れやすい(航空用機器、事務機器、レジスター、ワープロ)	40 - 60
比較的壊れやすい(テレビ、航空用機器)	60 - 85
比較的強い(主要な家庭電気製品)	85 - 115
強い(機械機器)	115以上



参考図 衝撃試験装置

出典: 米国ミシガン州立大学



参考図 発泡スチロール用いた包装モデル

# 現状 包装のムダを作る原因 事例紹介

## 包装のムダの種類

### 1. 緩衝包装設計により生じるムダ

- ・その場限りの包装 落下試験でつぶれなければOK
- ・設計技法が確立されていない(特に、紙系緩衝材 EPSは進んでいる)

### 2. 衝撃強さ評価により生じるムダ

- ・評価していない (適当に衝撃強さを仮定している。)
- ・JIS C 60068-2-27の加速度を衝撃強さとして用いている。
- ・十分な製品の改良が施されていない。(製品の改良指針が必要)

### 3. 輸送環境評価により生じるムダ

- ・落下試験の規格を決めていない
- ・輸送環境評価を行っていない (JIS Z 0200を基準に決めている)
- ・本当は、確率分布と破損による被害の大きさで決定されるべきである



# 目次

- ・ 製品衝撃試験の紹介
- ・ 損傷境界曲線（DBC）の説明
- ・ 新しい試験手順および製品改良指針の作成
- ・ FEMによる衝撃解析事例の紹介
- ・ まとめ

# ・ 損傷境界曲線 (DBC) の説明

1 . 衝撃の伝わり方は、  $T$  と  $f$  で決まる

・ 衝撃応答スペクトル

2 . D B C を単純化すると L 字型

$A_c$  と  $V_c$  で表現できる

・ 許容加速度  $A_c$  とは、

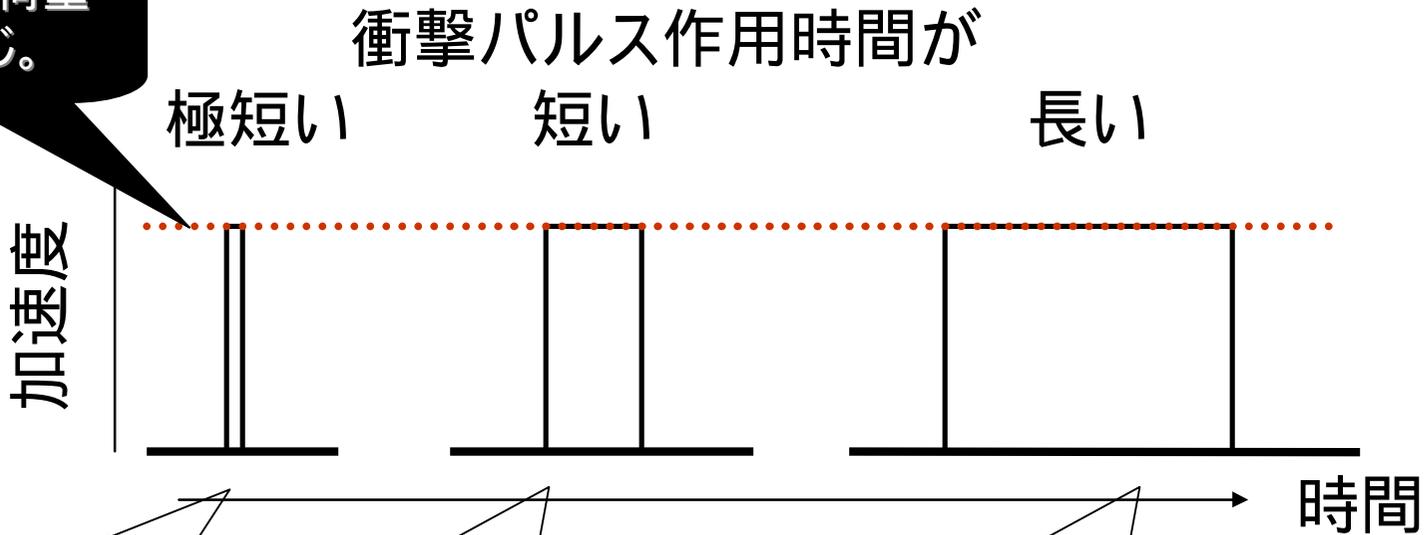
緩衝材がある時の製品衝撃強さ ( $m/s^2$ )

・ 許容速度変化  $V_c$  とは、

緩衝材がない時の製品衝撃強さ ( $m/s$ )

# 速度変化の影響は...

生じる衝撃荷重は全て同じ。



衝突速度が非常に遅い。  
Ex. 落下高さ5cm



異常なし

衝突速度が遅い。  
Ex. 落下高さ20cm



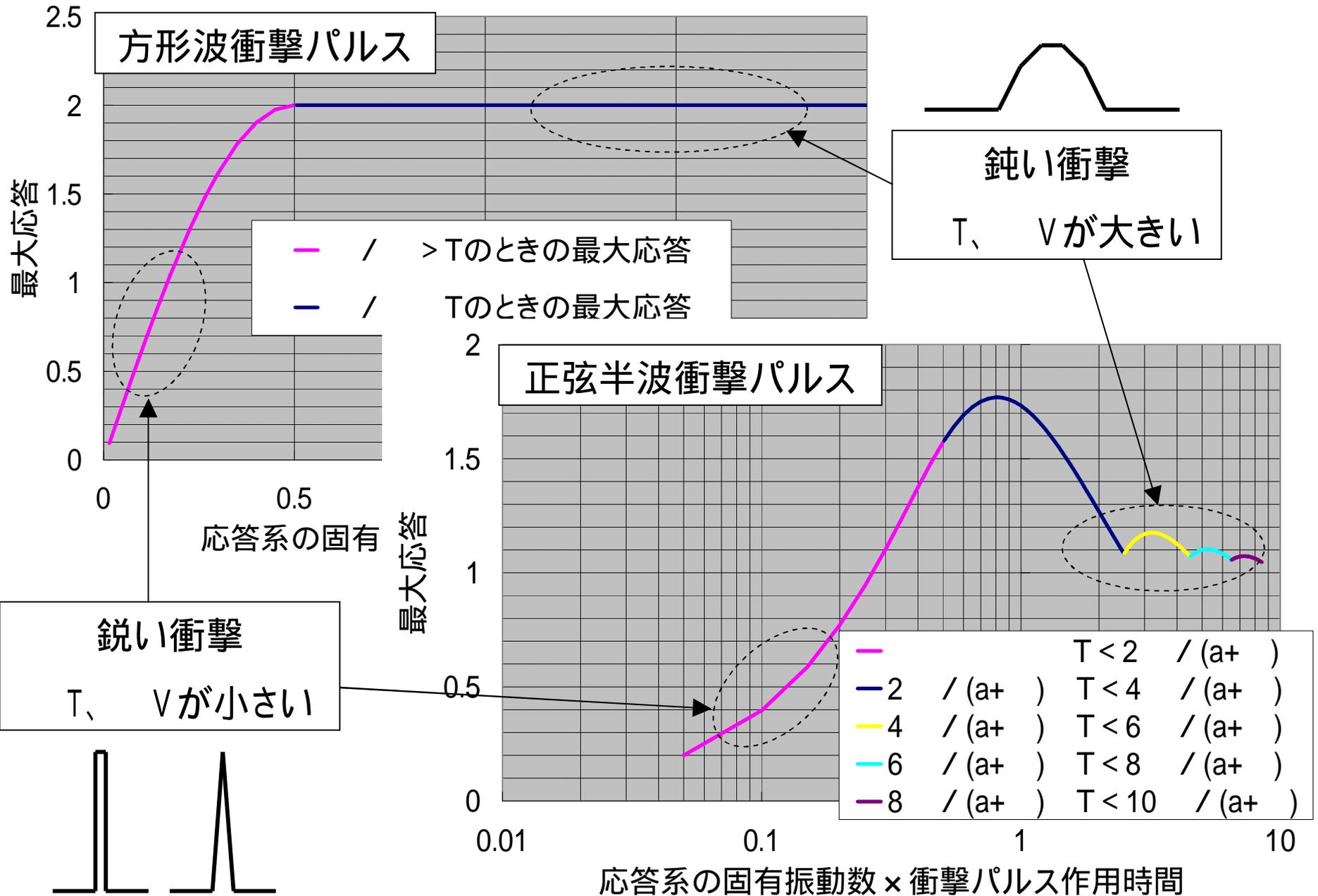
異常なし

衝突速度が速い。  
Ex. 落下高さ60cm



損傷

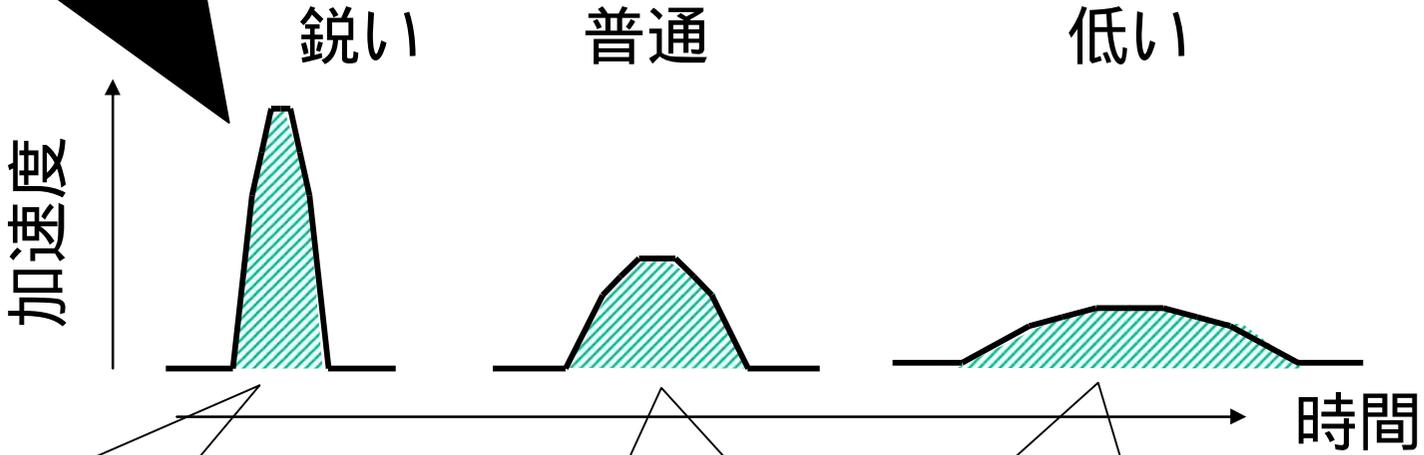
# さまざまな衝撃パルスの伝わり方



# 緩衝材と衝撃パルスの関係は...

落下高さは全て同じ。  
(速度変化)

衝撃パルスの加速度が



悪い緩衝材  
硬い or 底付き

中程度

良い緩衝材  
やわらかい and 分厚い

↓

損傷

↓

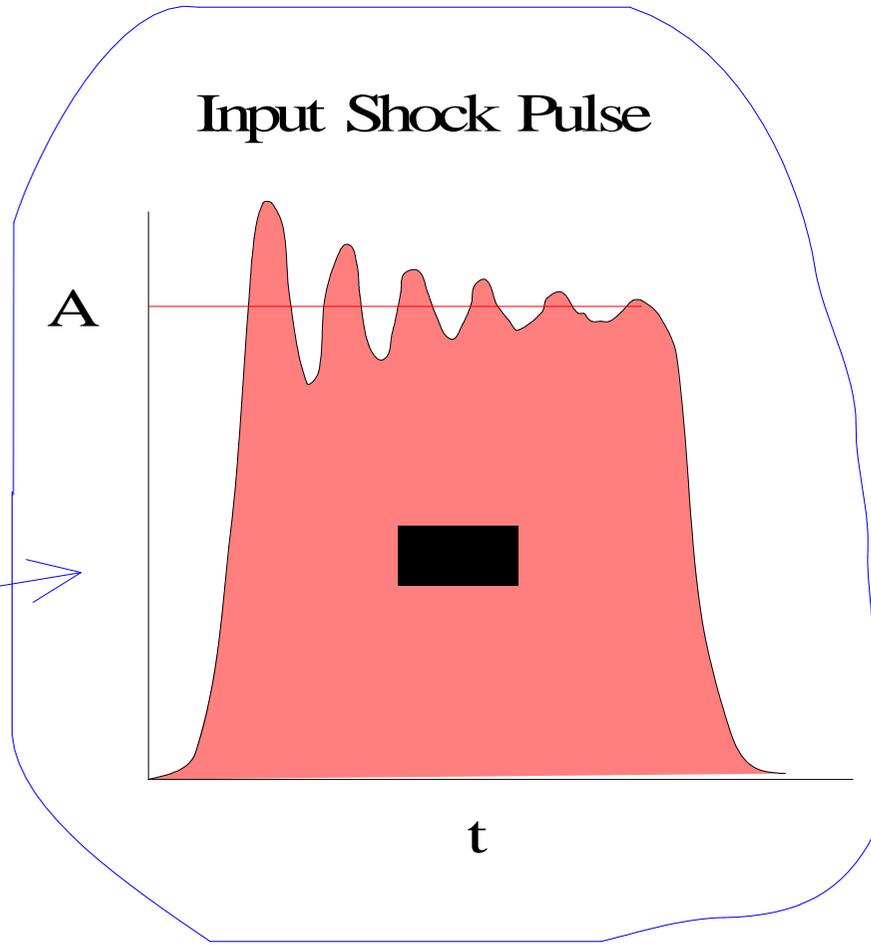
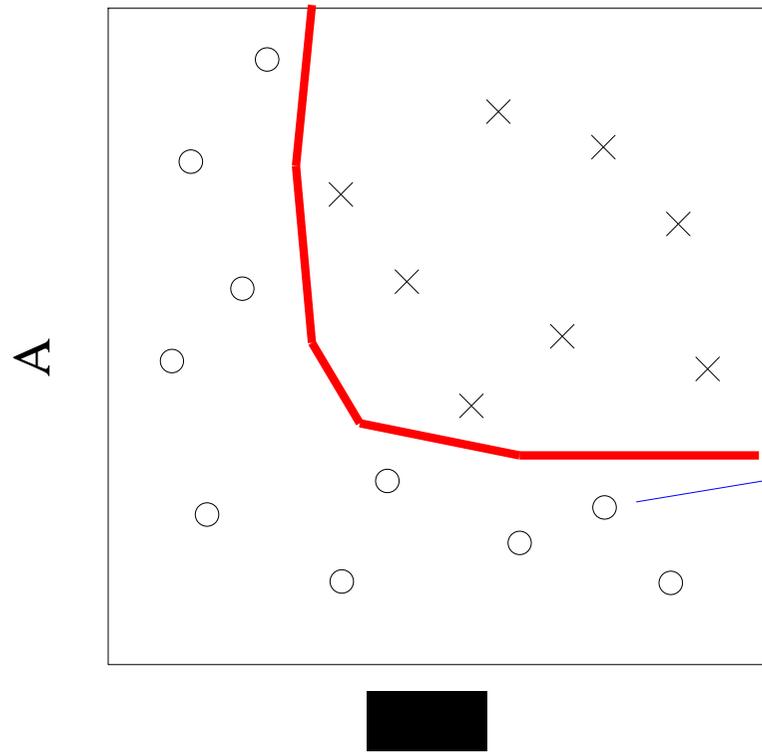
異常なし

↓

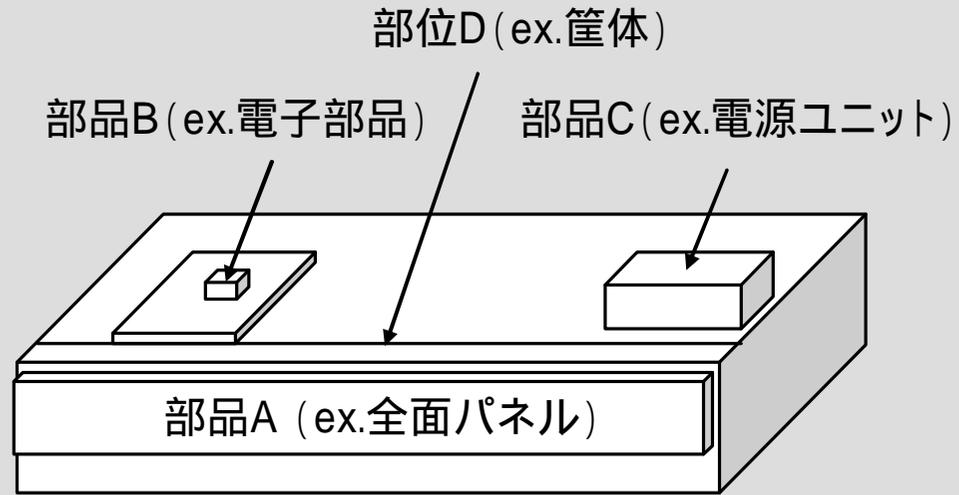
異常なし

# 損傷境界曲線 (DBC) とは...

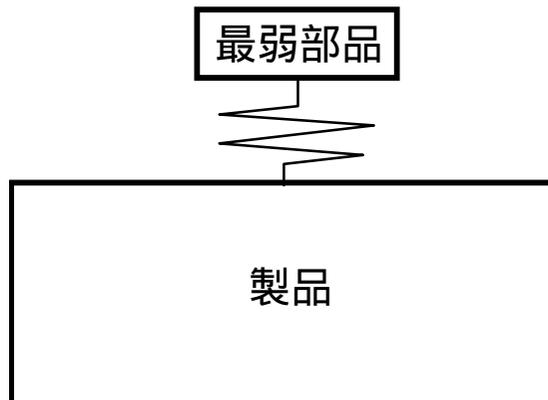
- Non-damage
- × Damage



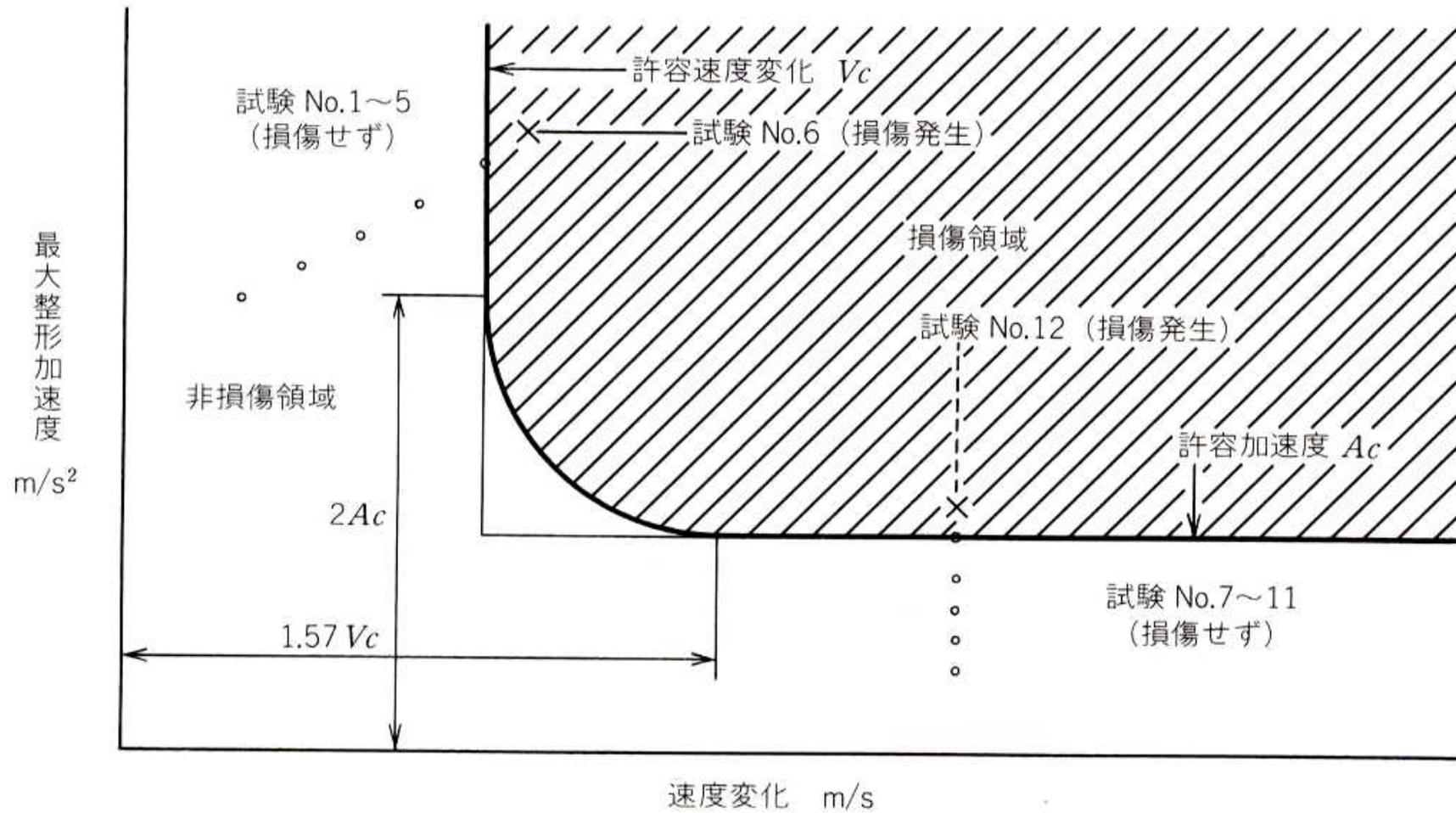
< 供試品 >



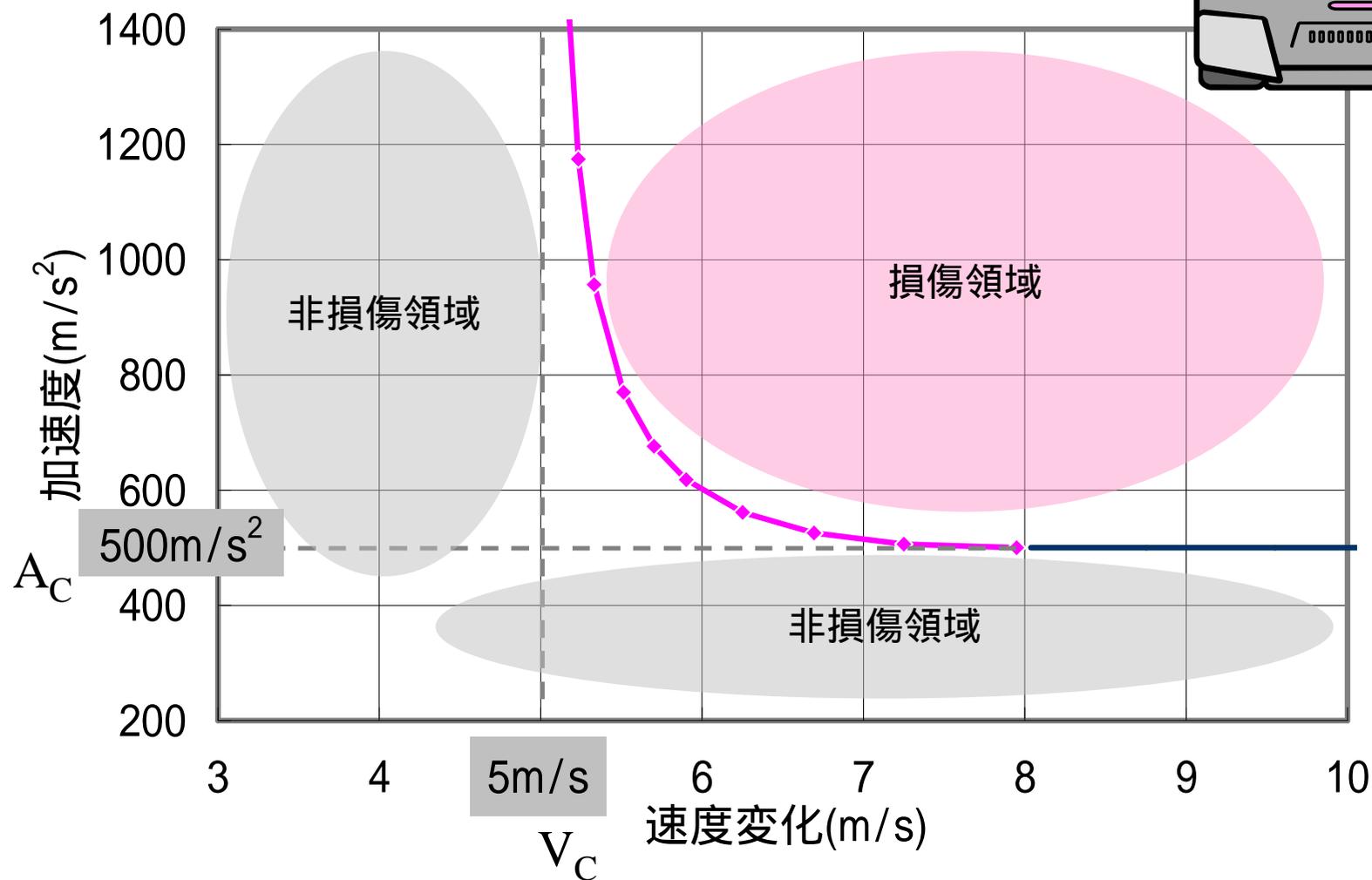
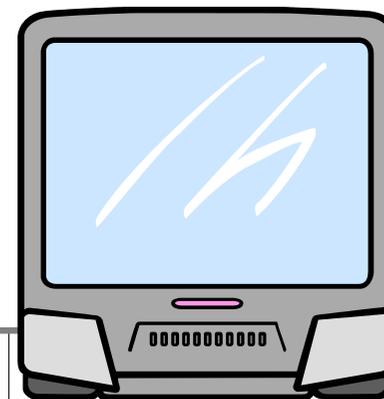
## R. E. Newton の衝撃応答解析モデル



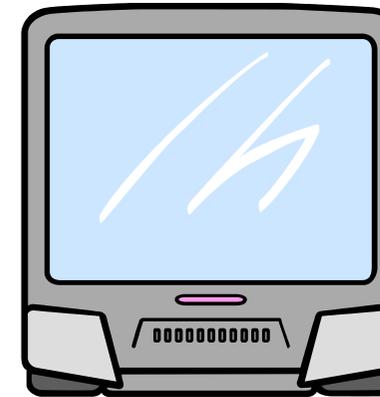
# JIS Z 0119試験方法 (R.E.Newton)



輸送中の落下高さが 60cm の場合、  
緩衝包装は必要か？



輸送中の落下高さが60cmの場合、  
緩衝包装は必要か？



包装の対象品

(1) 緩衝包装の必要性の検討

$c_c$ : 損傷境界曲線の許容速度変化  
: 流通過程で被る速度変化 とすると、

$c_c >$  のとき、緩衝包装は不必要！  
 $c_c <$  のとき、緩衝包装は必要！

輸送中の最大速度変化  $V$  は次式より算出できる

$$V = (1+e)\sqrt{2gH} = (1+0.6)\sqrt{2 \times 9.8 \times 0.6} = 6.86(\text{m/s})$$

$$V_C = 5(\text{m/s})$$

$$V > V_C$$

ここで  $H$ : 輸送中の落下高さ(cm)  
 $e$ : 反発係数  
 $g$ : 重力加速度(980cm / s<sup>2</sup>)

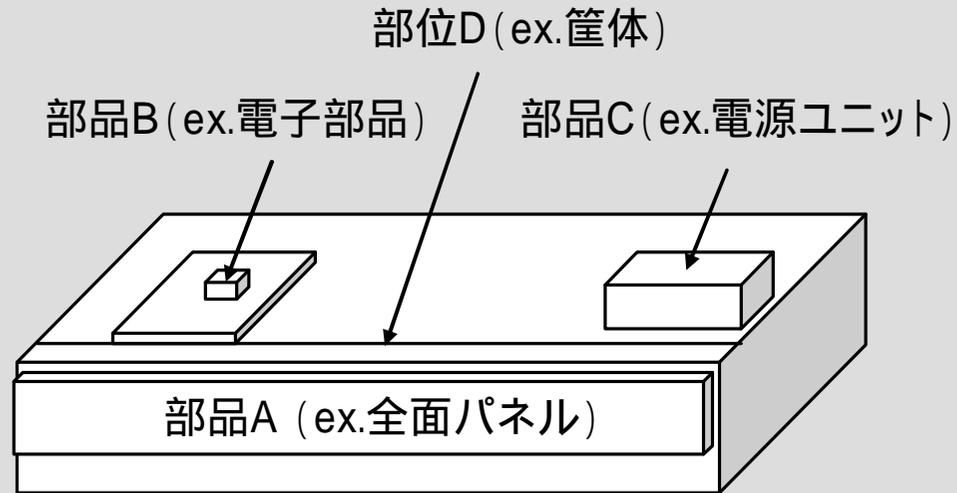
(結論)  $V > V_C$  となり、本製品は緩衝包装が必要である！



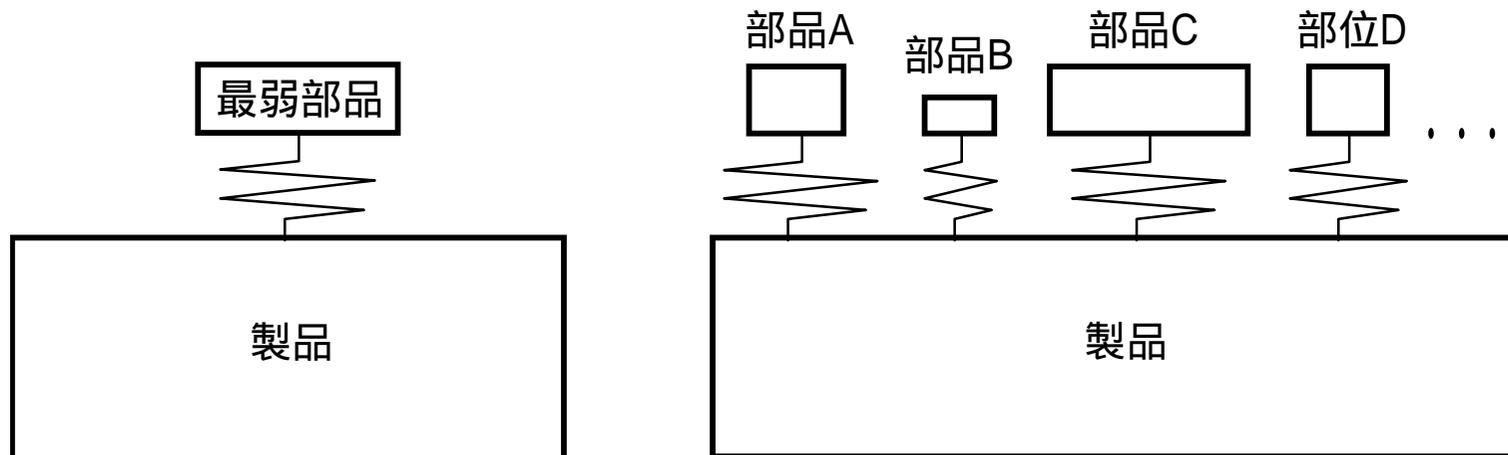
# 目次

- ・製品衝撃試験の紹介
- ・損傷境界曲線（DBC）の説明
- ・新しい試験手順および製品改良指針の作成
- ・FEMによる衝撃解析事例の紹介
- ・まとめ

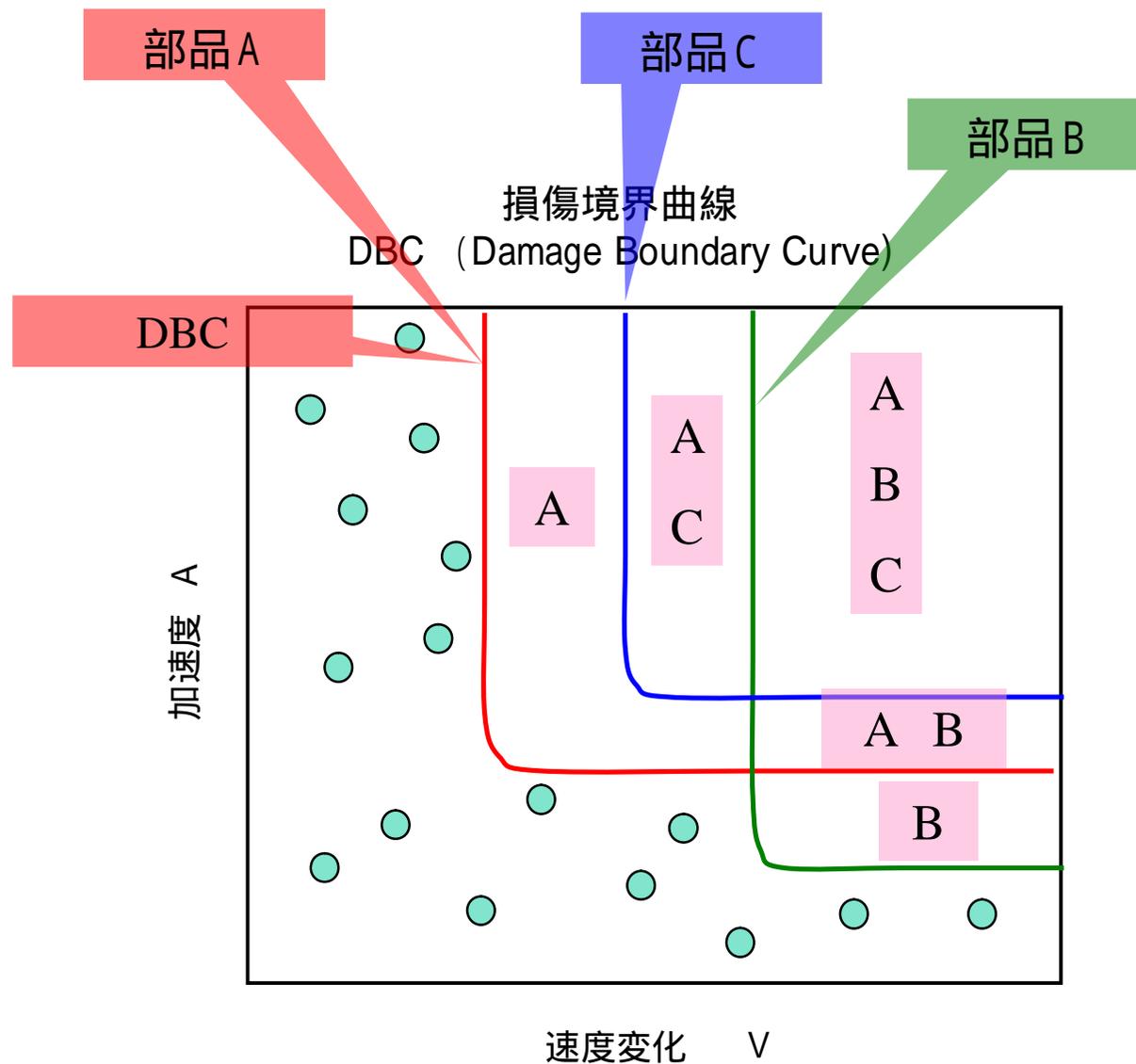
< 供試品 >



## R. E. Newton の衝撃応答解析モデル



「電気・電子」試験，「包装及び製品」試験，部位別DBC  
( JIS C 60068-2-27 JIS Z 0119 検討中 )



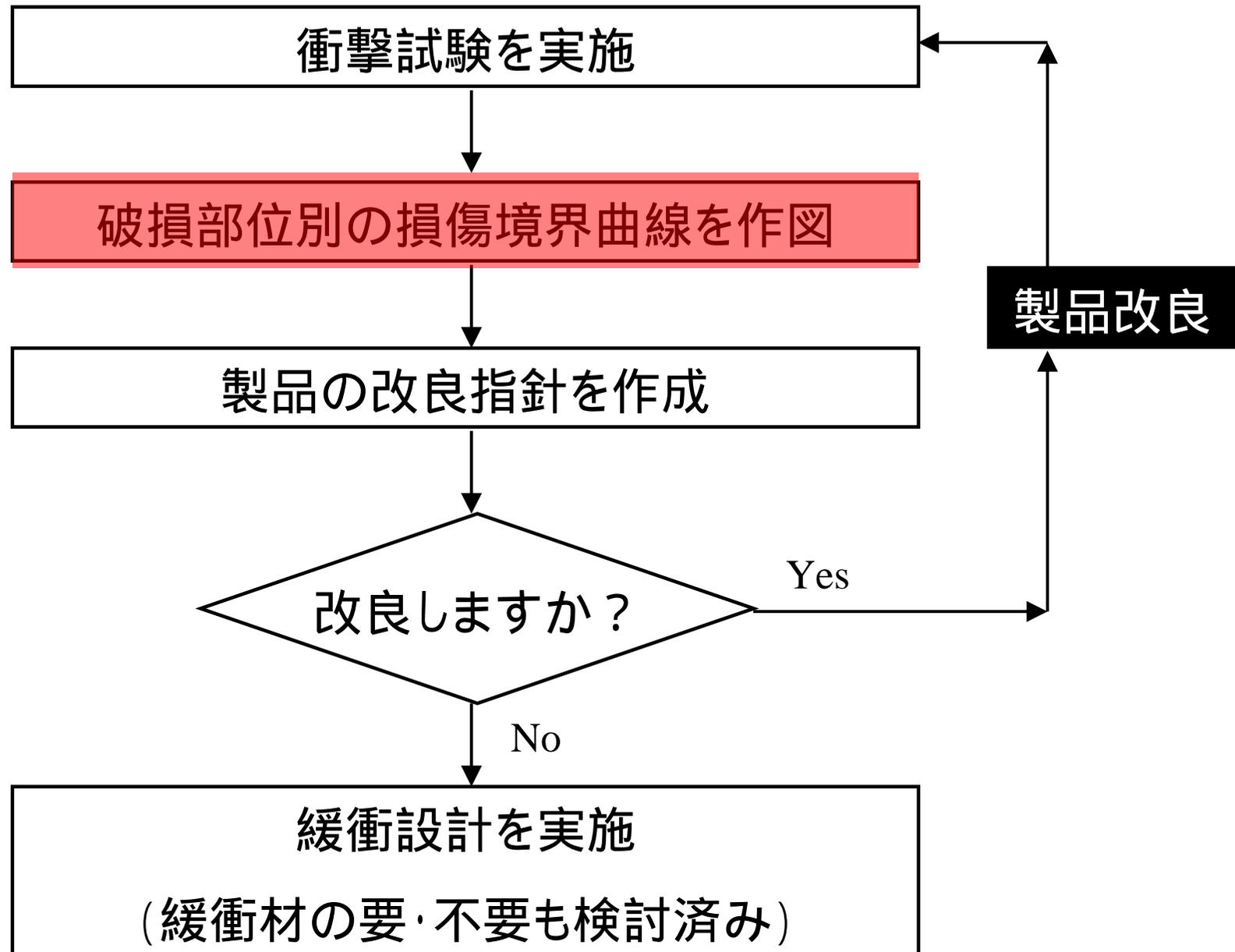
## ある製品 ( 機 ) の衝撃試験結果

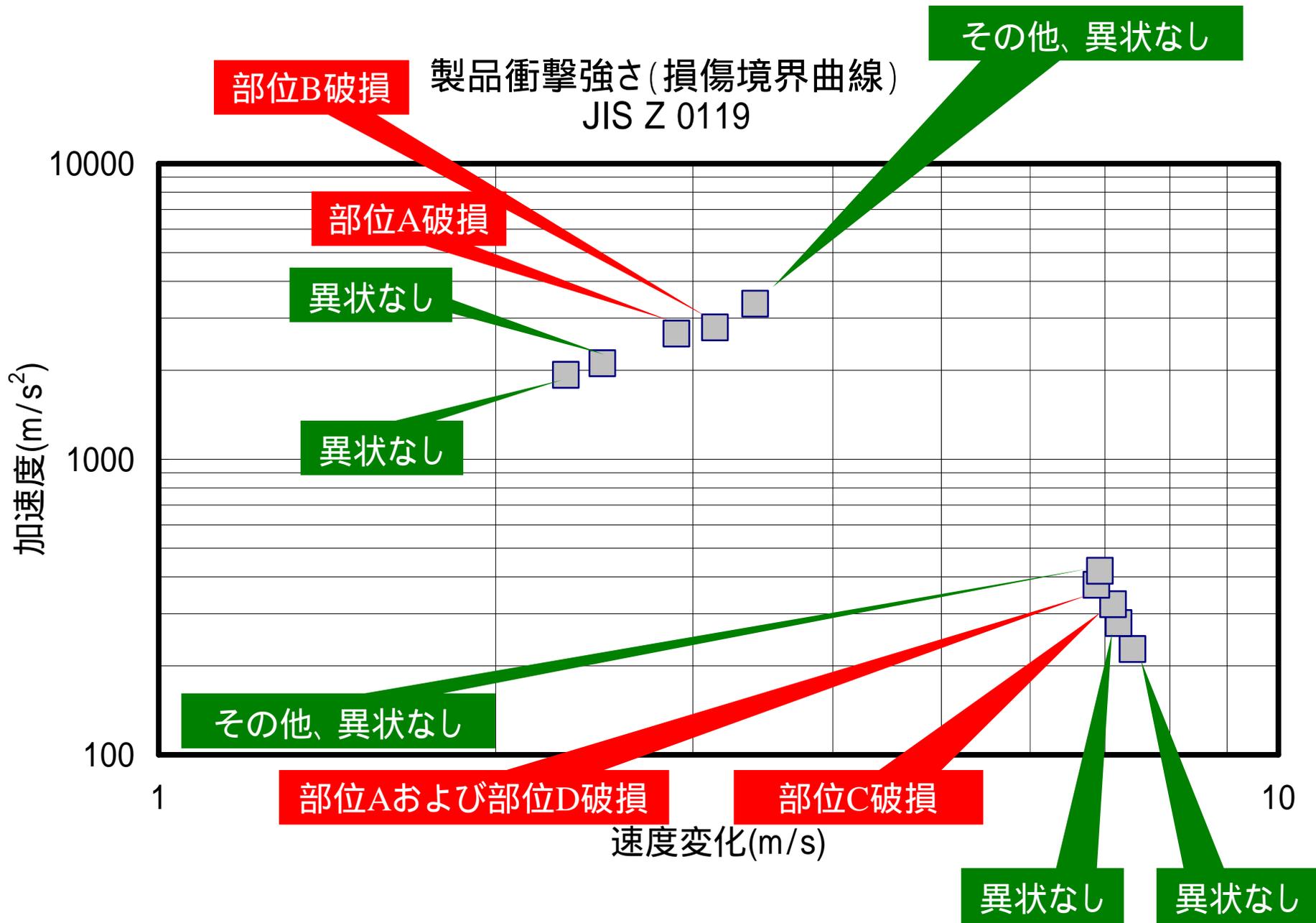
試験 No.	加速度 m/s <sup>2</sup>	速度変化 m/s	作用時間 ms	観察結果	方法
1	1930	2.31	2.01	異常なし。	許容 速度 変化 試験
2	2110	2.49	1.98	異常なし。	
3	2660	2.90	1.94	部位Aが変形。	
4	2790	3.14	1.59	上記の他、部位Bが変形。	
5	3360	3.41	1.50	部位A,Bの他、異常なし。	

## ある製品( 機)の衝撃試験結果

試験 No.	加速度 m/s <sup>2</sup>	速度変化 m/s	作用時間 ms	観察結果	方法
1	1930	2.31	2.01	異常なし。	許容速度変化試験
2	2110	2.49	1.98	異常なし。	
3	2660	2.90	1.94	部位Aが変形。	
4	2790	3.14	1.59	上記の他、部位Bが変形。	
5	3360	3.41	1.50	部位A,Bの他、異常なし。	
6	228	7.41	32.9	異常なし。	許容加速度試験
7	279	7.20	26.1	異常なし。	
8	323	7.12	22.3	部位Cが変形。	
9	376	6.88	18.4	上記の他、 部位Aおよび部位Dが変形。	
10	419	6.93	16.8	部位A,C,Dの他、異常なし。	

# 提案法のフロー



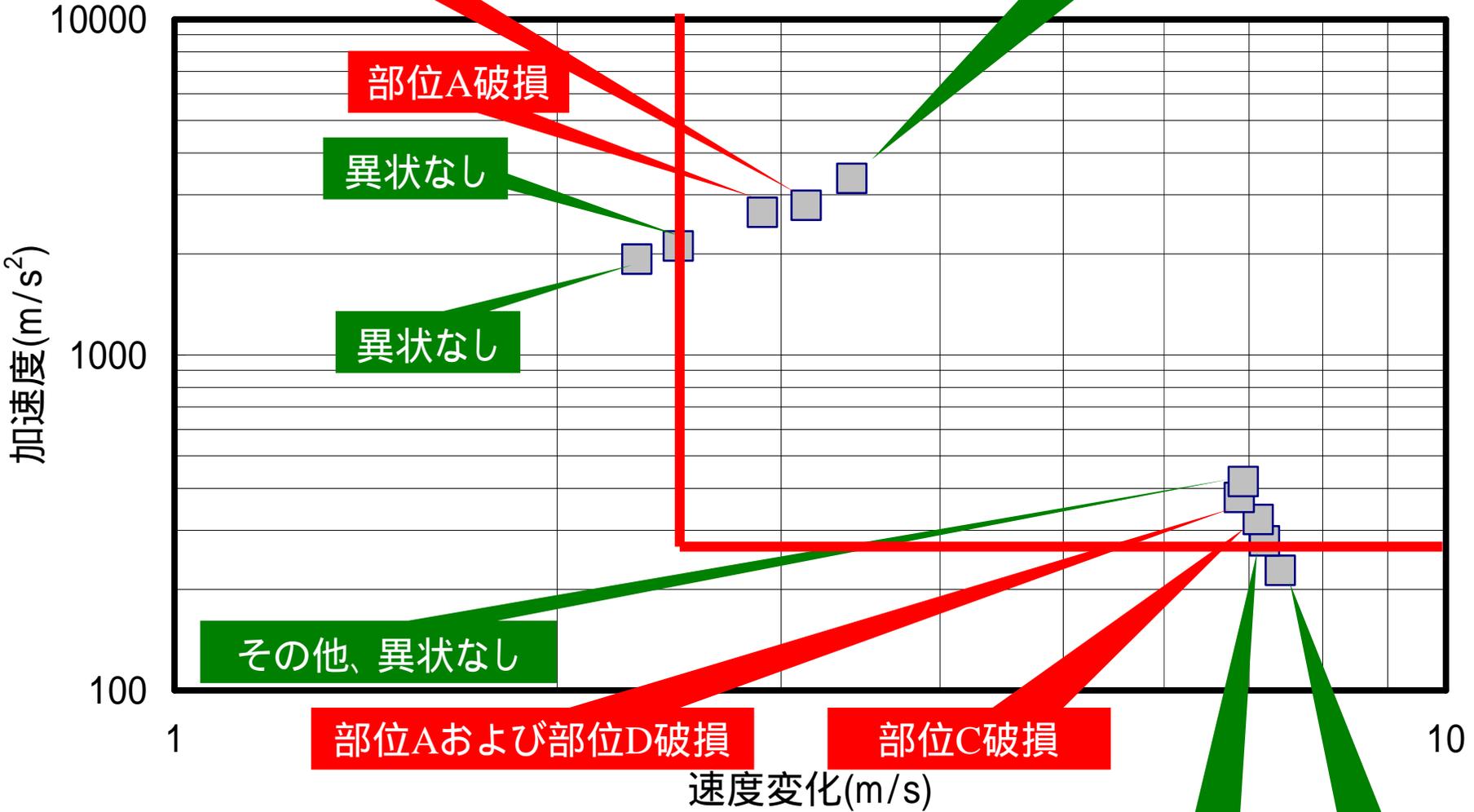


# JIS法

部位B破損

製品衝撃強さ(損傷境界曲線)  
JIS Z 0119

その他、異状なし

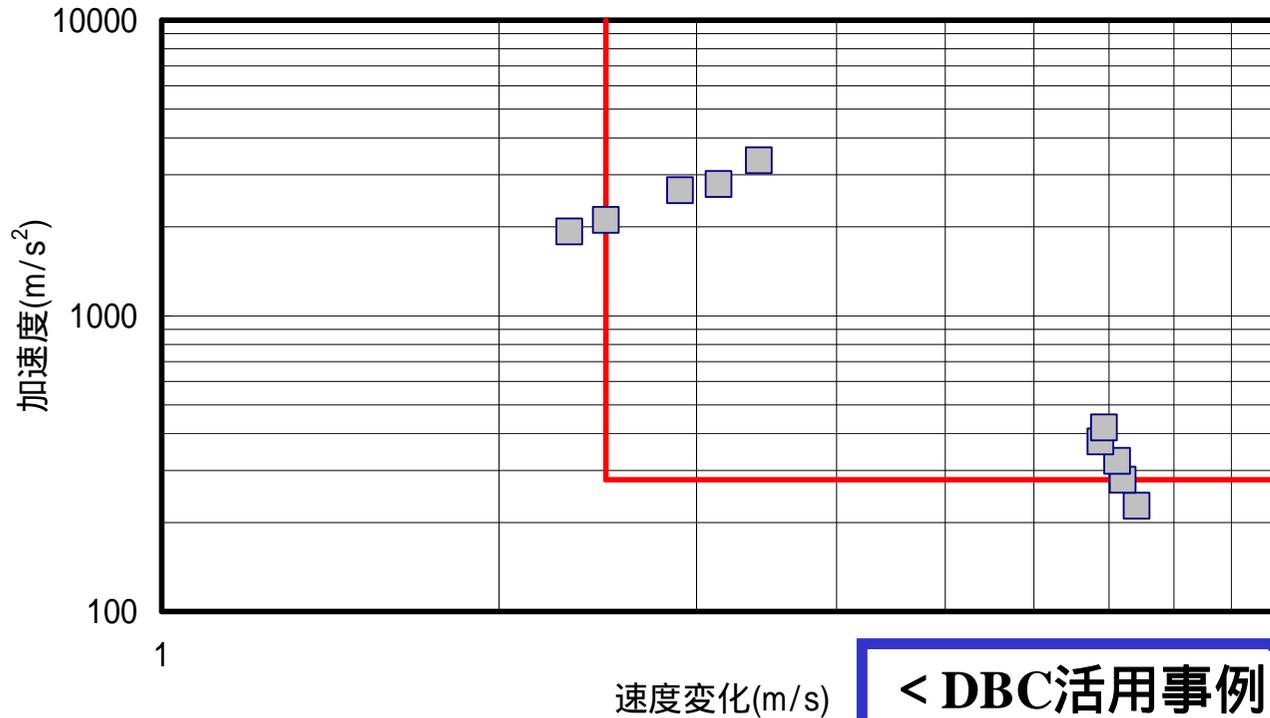


異状なし

異状なし

製品衝撃強さ(損傷境界曲線)  
JIS Z 0119

# JIS法



## < DBC活用事例 >

製品の許容加速度  $A_c$  : 279m/s<sup>2</sup>

許容速度変化  $V_c$  : 2.49m/s

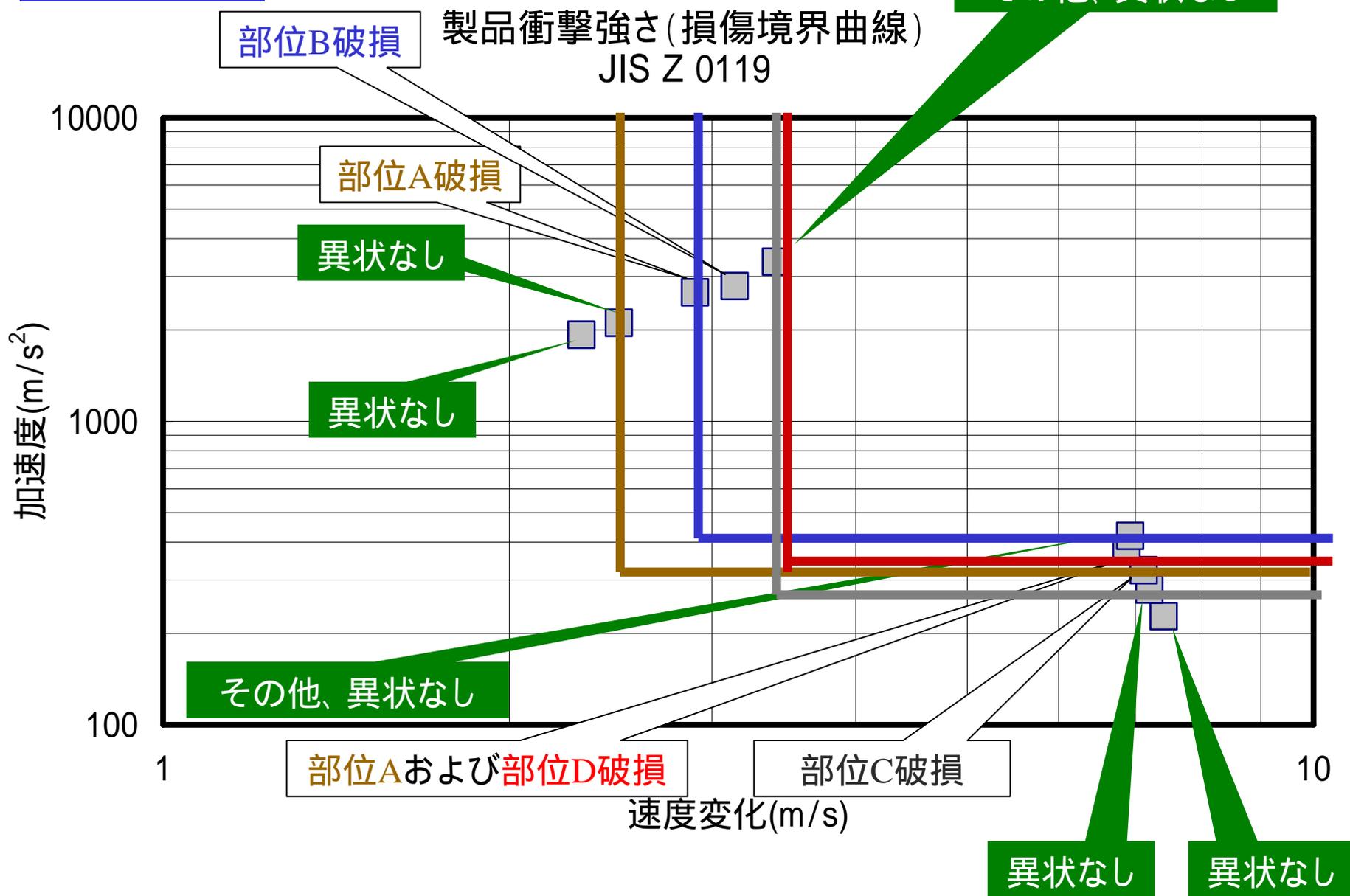
反発係数を設定 :  $e=0.3$

緩衝不要な最大落下高さ  $H$  を算出 :

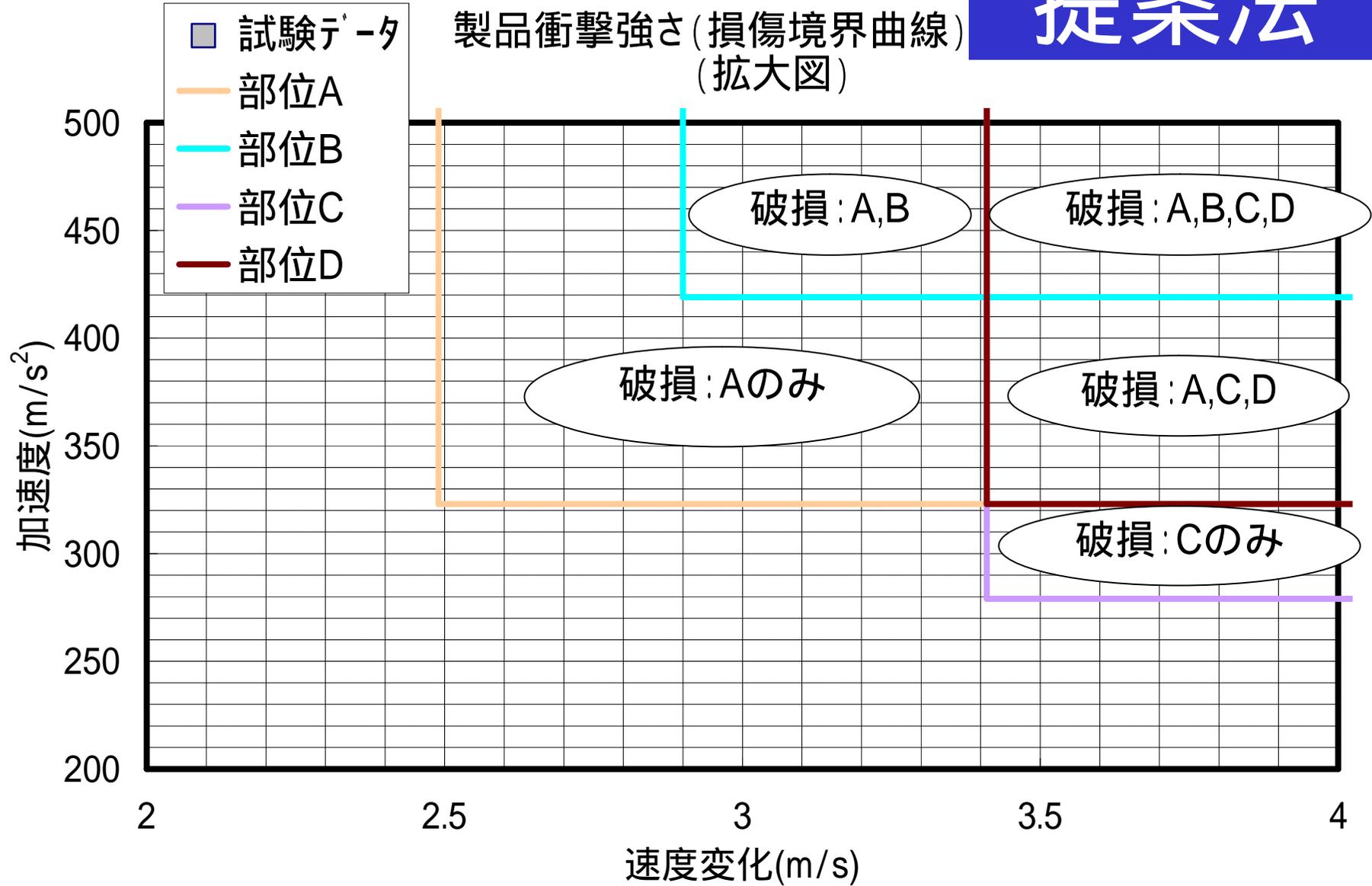
$$H = \{V_c / (1+e)\}^2 / (2g) = 19(\text{cm})$$

落下高さ19(cm)未満	緩衝包装不要
19(cm)以上	必要

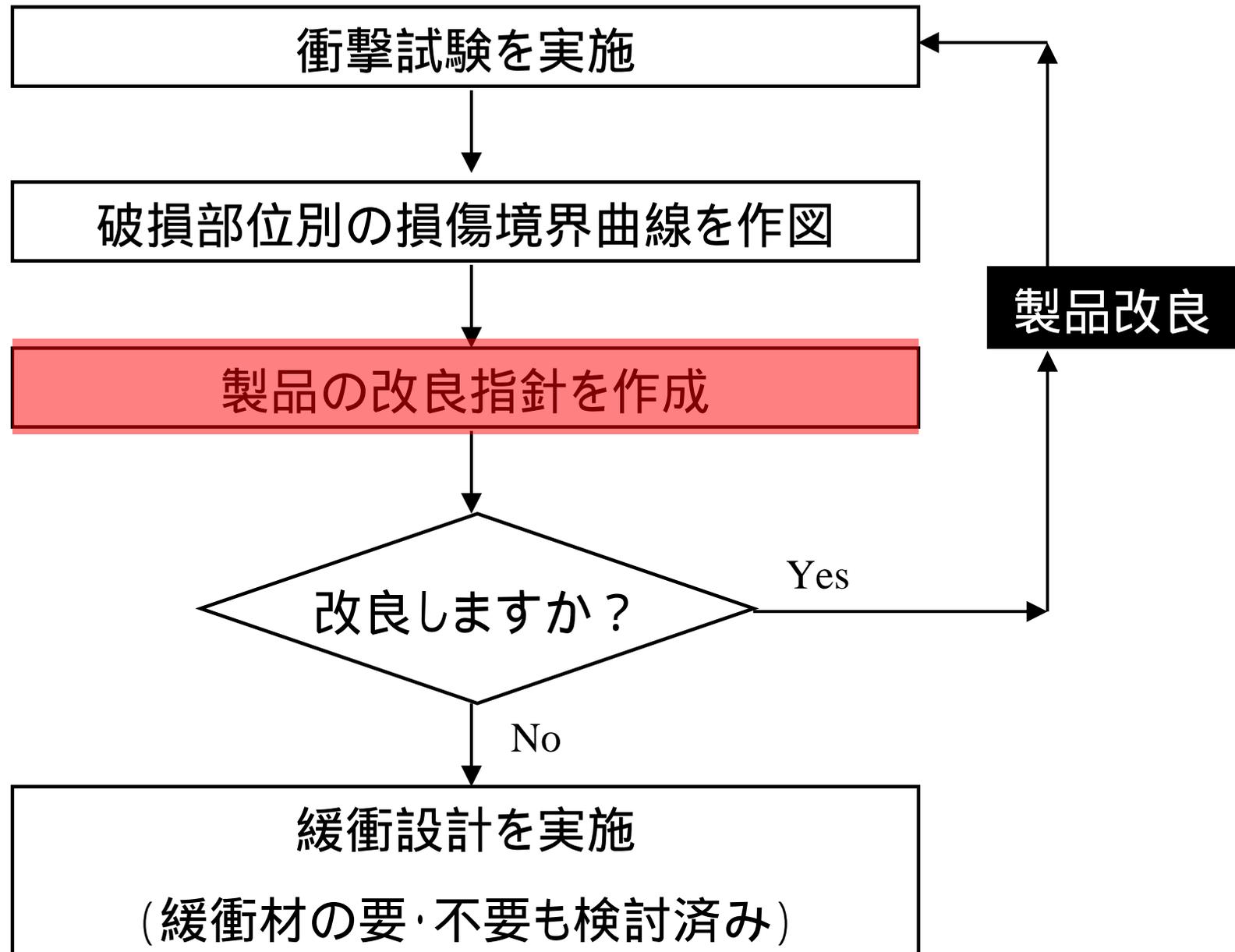
# 提案法



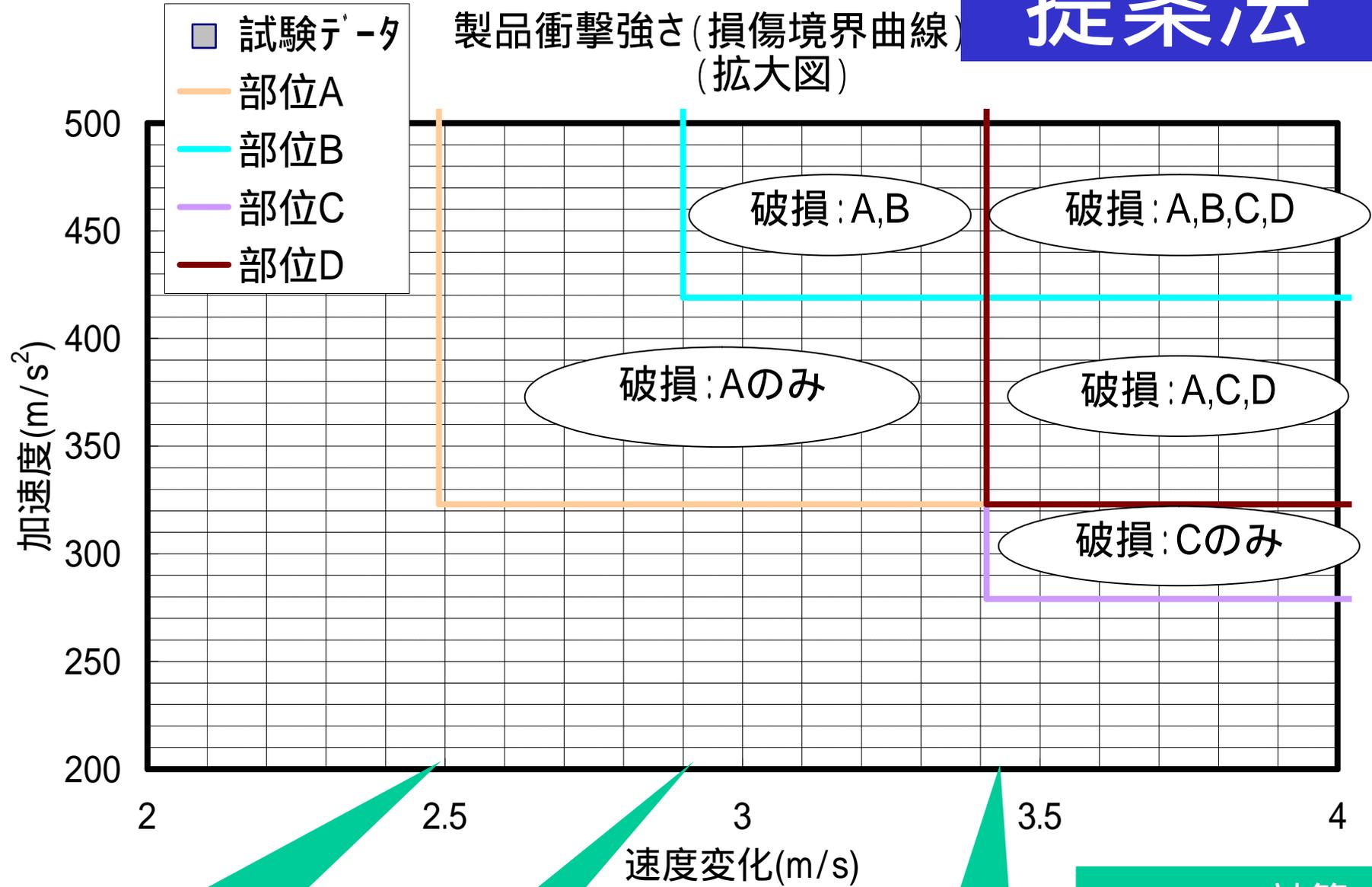
# 提案法



# 提案法のフロー



# 提案法



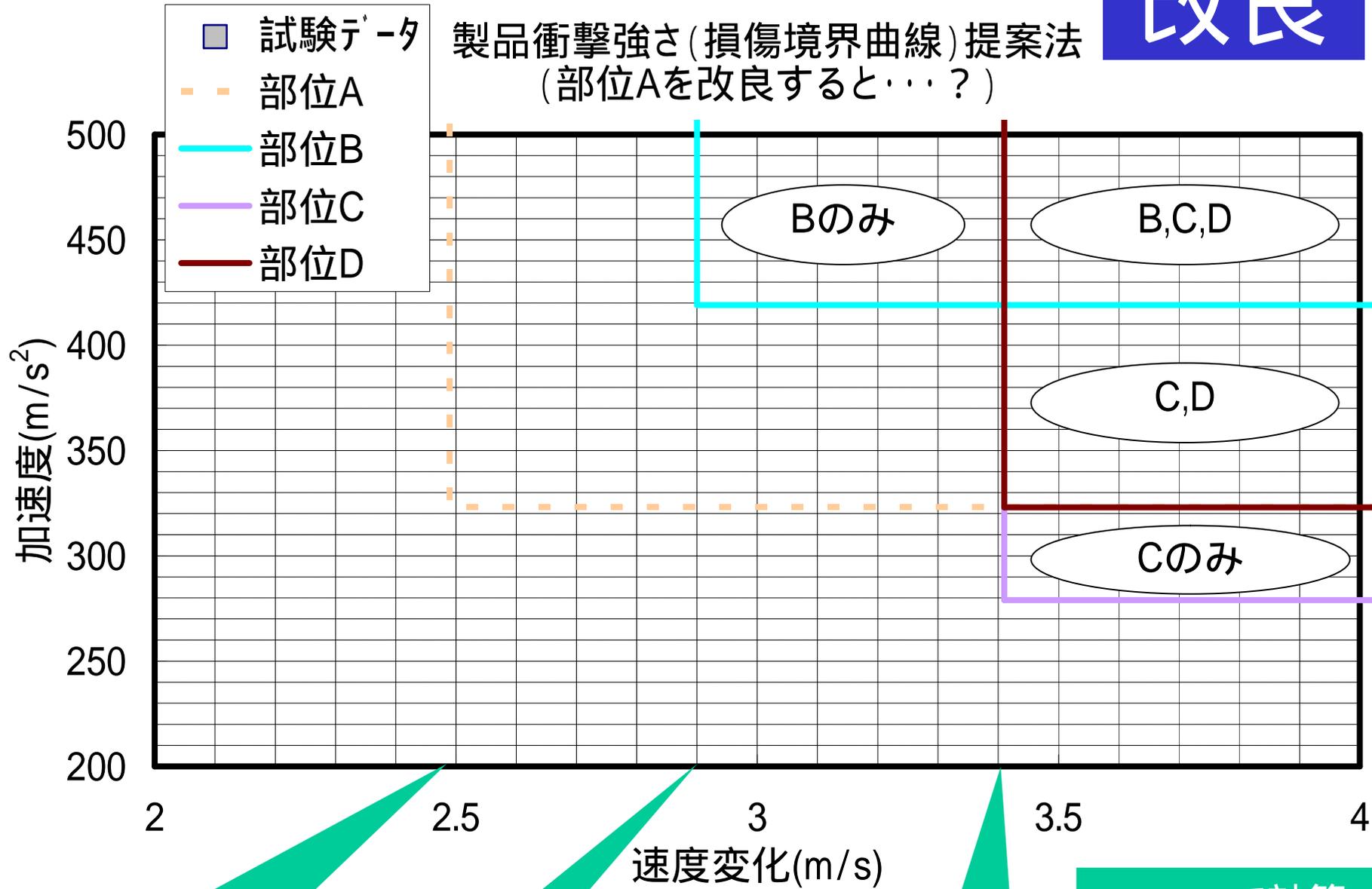
等価落下高さ: 19cm

25.5cm

35cm

e=0.3 で計算

# 改良



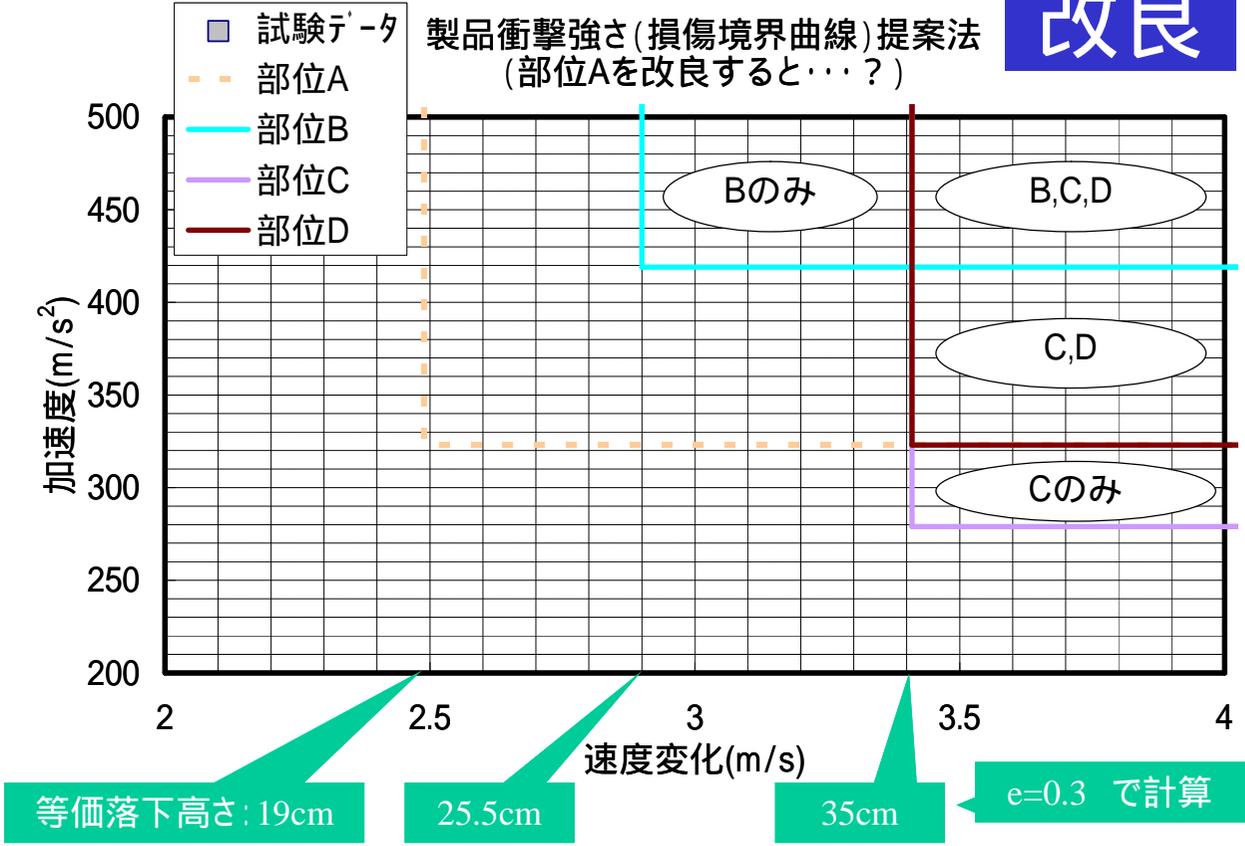
等価落下高さ: 19cm

25.5cm

35cm

e=0.3 で計算

# 改良



例えば、「輸送中の落下高さ」が30cmの場合、

効果:あり

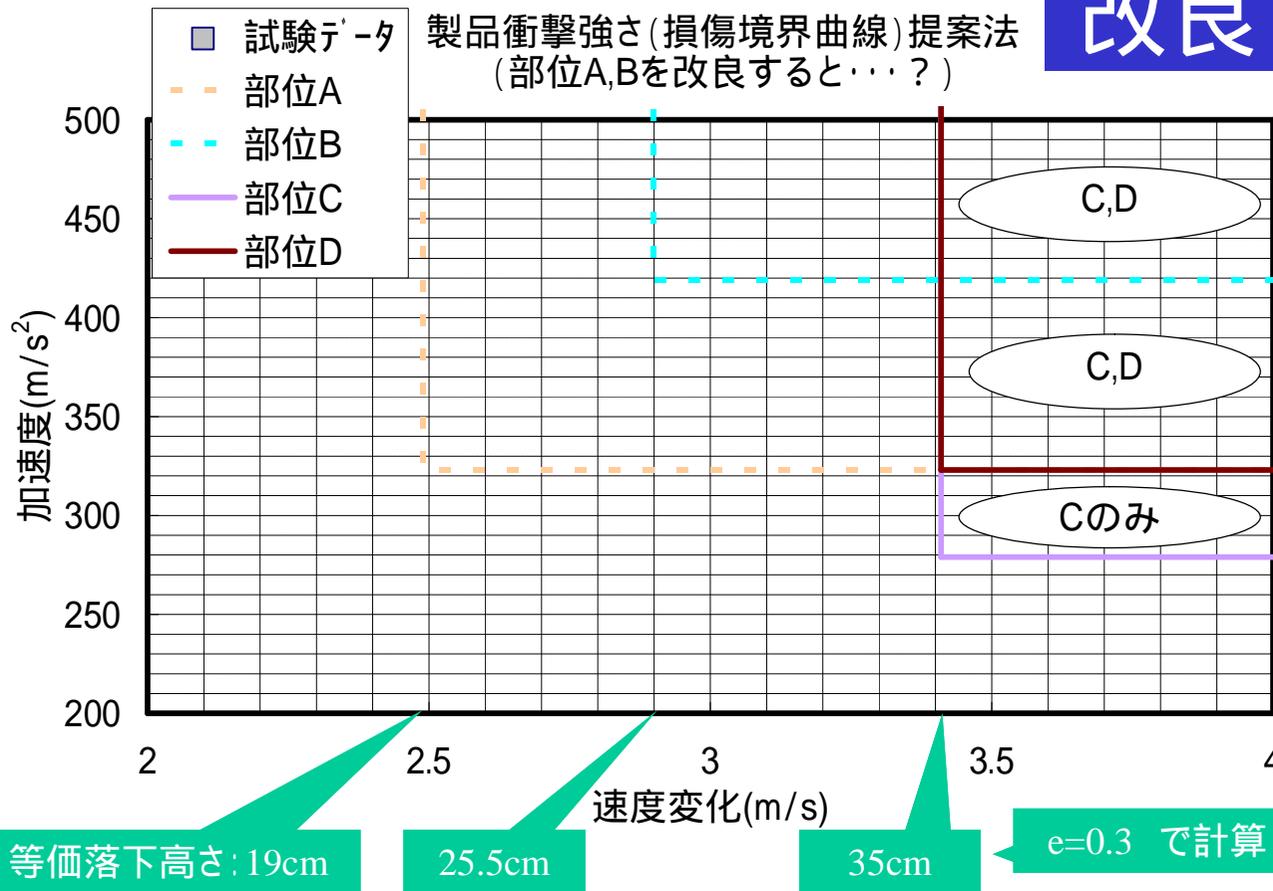
改良前:323 $m/s^2$  改良後:419 $m/s^2$  となる。

「輸送中の落下高さ」が40cmの場合、

効果:なし

変化なし。 279 $m/s^2$

# 改良



例えば、「輸送中の落下高さ」が 30cm の場合、

改良前:  $323m/s^2$     改良後:

となる。

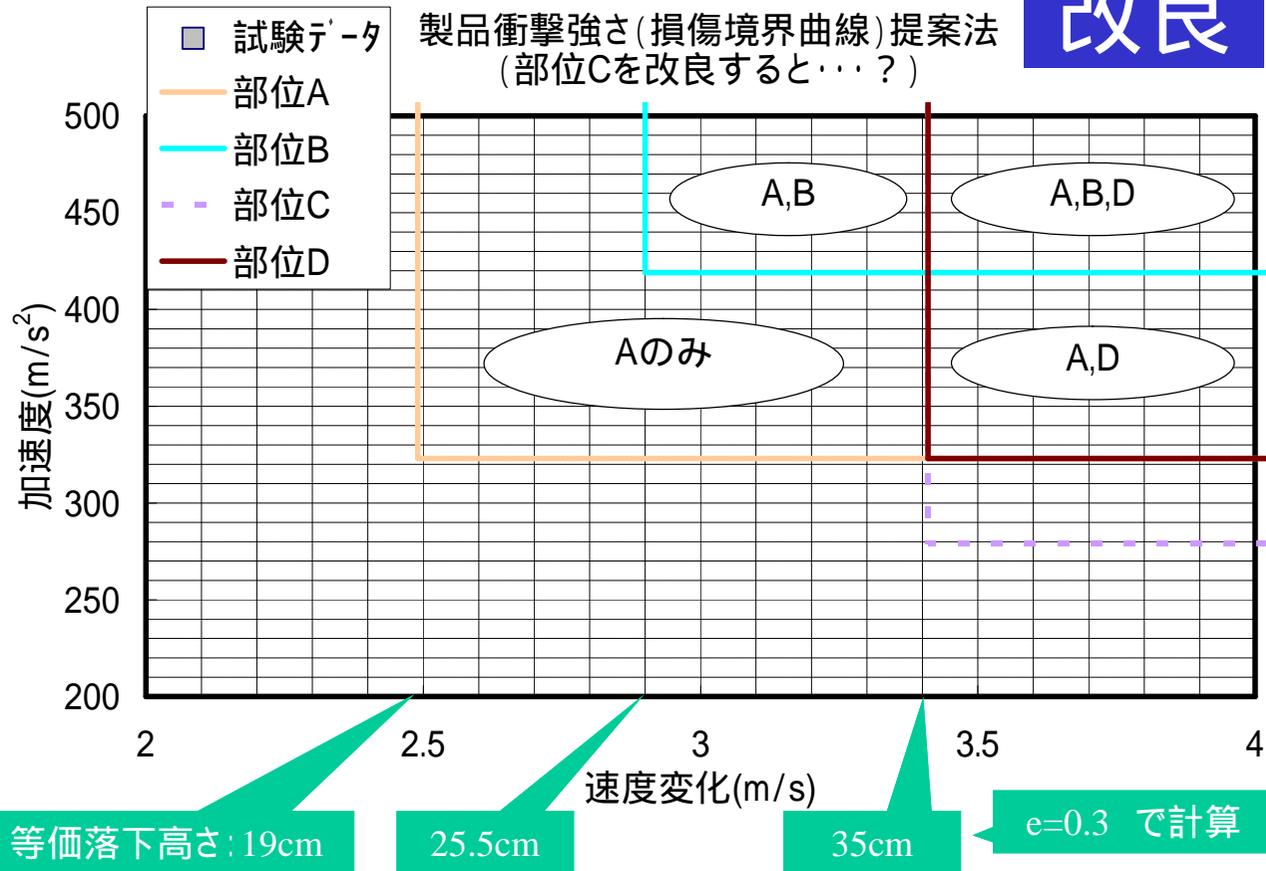
成果: 大

「輸送中の落下高さ」が 40cm の場合、

変化なし。  $279m/s^2$

成果: なし

# 改良



例えば、「輸送中の落下高さ」が30cmの場合、  
変化なし。  $323m/s^2$

効果:なし

「輸送中の落下高さ」が40cmの場合、

効果:あり

改良前:  $279m/s^2$  改良後:  $323m/s^2$  となる。

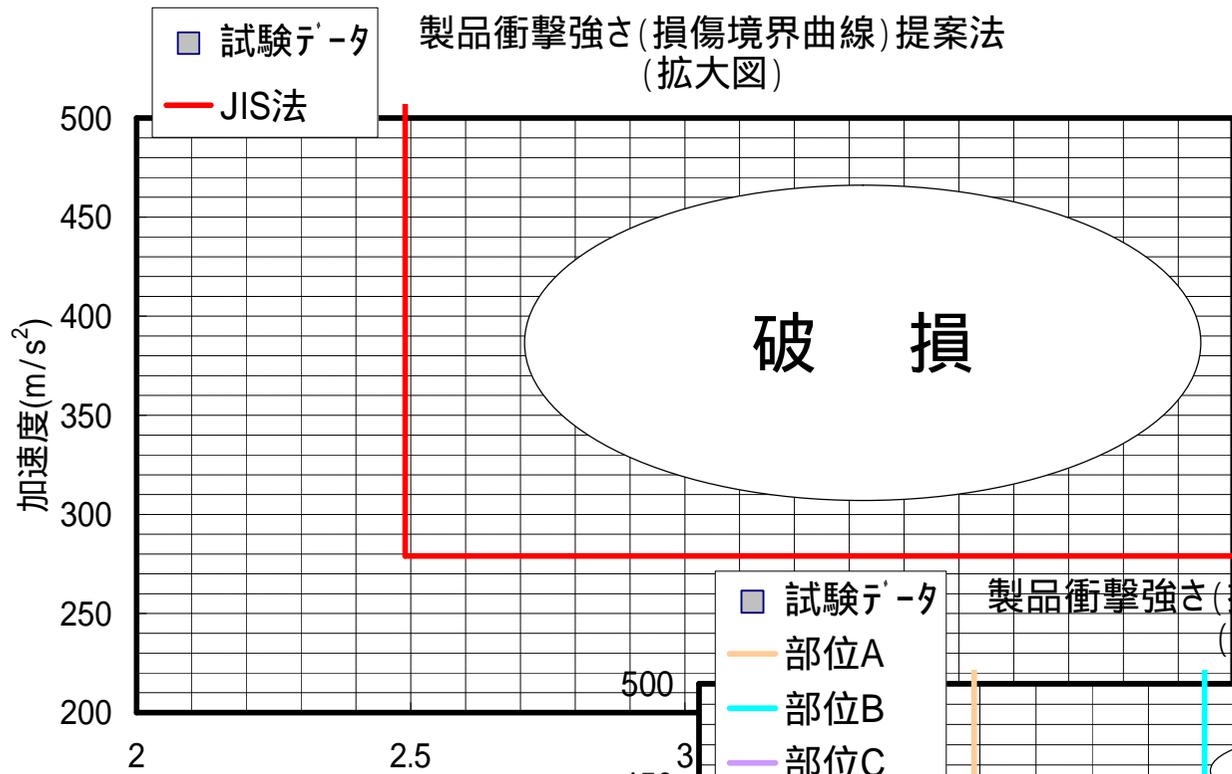
~ ポイント ~

**提案法では、  
包装の削減効果を見越して、  
製品の改良すべき部位がわかる。**

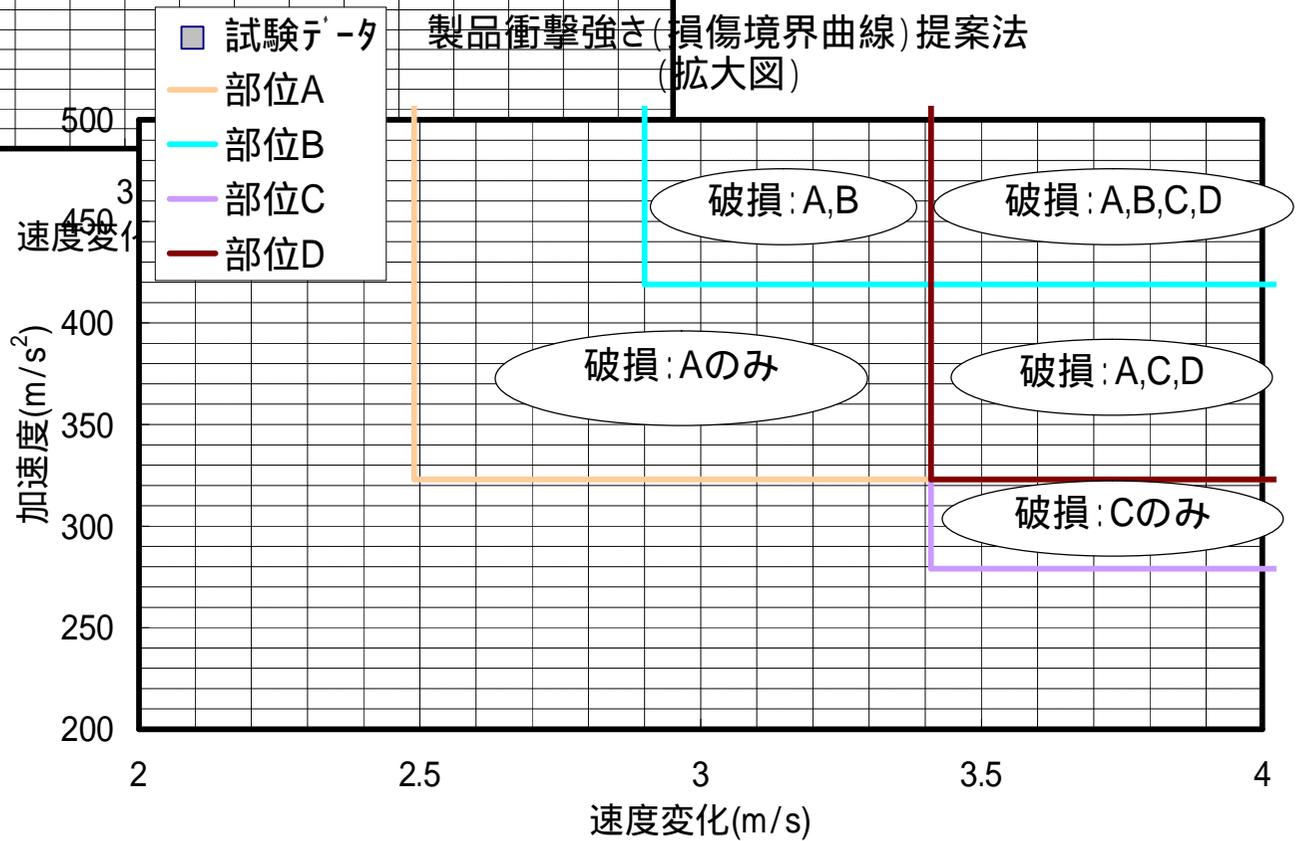
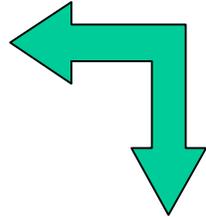
**Ex.**

**H=30cmなら、部位Aを改良  
or 部位AとBを改良**

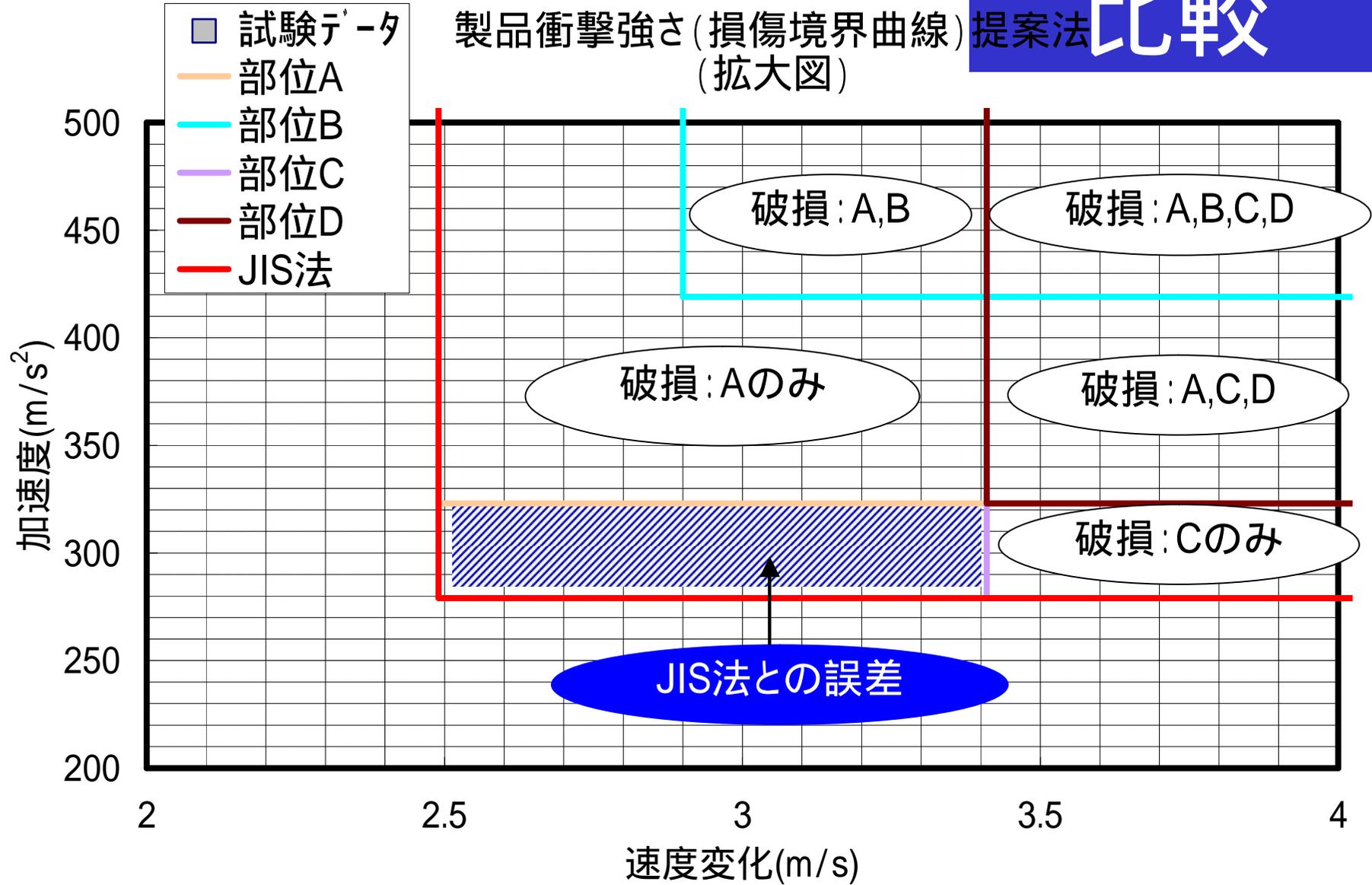
**H=40cmなら、改良しない  
or 部位Cを改良**



比較  
重ね合せ



# 比較



~ ポイント ~

**JIS法に比べて提案法では、  
包装の削減効果が見込める。**

**Ex.**

**H=30cmなら、**

**JIS法では、  $279\text{m/s}^2$**

**提案法では、  $323\text{m/s}^2$  である。**

# 製品の改良指針の具体例 (コスト換算)

**条件1:** 物流での「落下高さ」とクレーム対処による「コストアップ」の関係。

落下高さ	コスト換算
19cm未満	( + 300円 / 個 )
25cm未満	( + 200円 / 個 )
35cm未満	( + 50円 / 個 )
75cm未満	( 0円 / 個 )

**条件2:** 部位A及びC,Dについては、比較的容易に改良が可能である。  
(コスト換算: 0円 / 個)

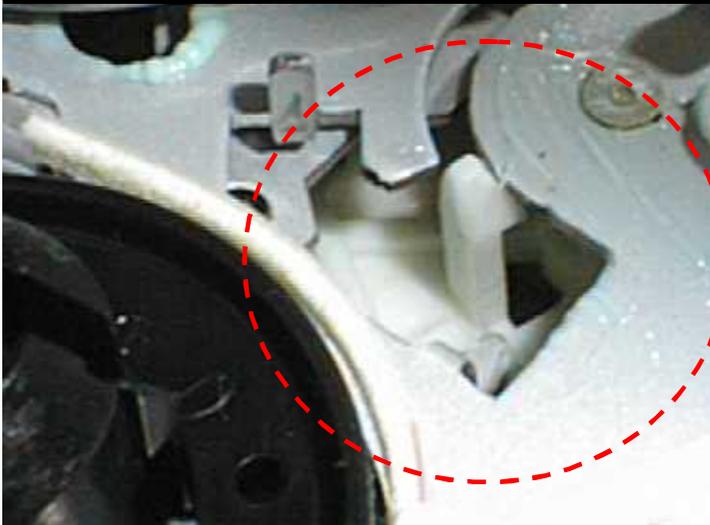
**条件3:** 部位Bについては、コストあるいは技術的な面から改良が難しい。  
(コスト換算: + 100円 / 個)

**条件4:** 許容加速度が の場合、緩衝材を大幅に削減することが可能である。  
(コスト換算: - 100円 / 個)

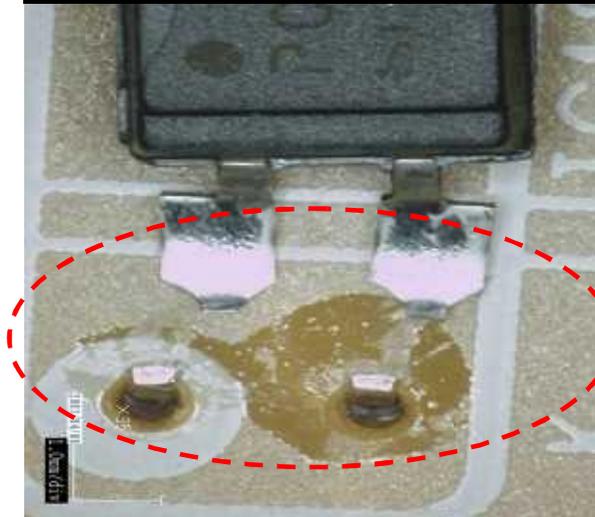
製品 (改良部位)	物流(落下高さ)	包装 (許容加速度)	備考	優先 順位
改良しない	19cm未満 +300円/個	-100円/個	特別な輸送業者の選定必要 緩衝包装を大幅に削減可 コスト換算：+200円/個	
	19cm ~ 25cm +200円/個	320m/s <sup>2</sup>	特別な輸送業者の選定必要 コスト換算：+200円/個	
	25cm ~ 35cm +50円/個	320m/s <sup>2</sup>	コスト換算：+50円/個	
	35cm ~ 75cm ±0円/個	280m/s <sup>2</sup>	コスト換算：±0円/個	
部位A,C,D	19cm未満 +300円/個	-100円/個		-
	19cm ~ 25cm +200円/個	-100円/個	特別な輸送業者の選定必要 緩衝包装を大幅に削減可 コスト換算：+100円/個	3
	25cm ~ 35cm +50円/個	420m/s <sup>2</sup>		-
	35cm ~ 75cm ±0円/個	420m/s <sup>2</sup>	コスト換算：±0円/個	2
部位A,B,C,D	19cm未満 +300円/個	-100円/個		-
	19cm ~ 25cm +200円/個	-100円/個		-
	25cm ~ 35cm +50円/個	-100円/個		-
	35cm ~ 75cm ±0円/個	-100円/個	部位B改良でコストアップ 緩衝包装を大幅に削減可 コスト換算：-100円/個	1

# 別製品(ビデオプレーヤー)の試験結果

ギアのフックはずれ



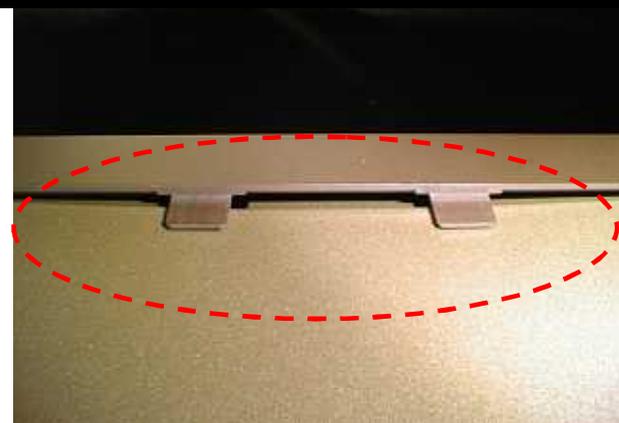
カプラーの脚折れ



前面化粧板の脱落



筐体部(前面天部)のはずれ



## ある製品(ビデオプレーヤー)の衝撃試験結果

試験 No.	加速度 m/s <sup>2</sup>	速度変化 m/s	作用時間 ms	観察結果	方法
1	1180	1.42	2.10	異常なし。	許容 速度 変化 試験
2	1800	2.01	1.95	異常なし。	
3	2280	2.89	2.10	異常なし。	
4	2940	4.09	2.45	異常なし。	
5	4100	4.96	2.05	歯車, カプラー, パネル, 筐体	
6	199	5.51	28.2	異常なし。	許容 加速 度試 験
7	389	5.48	14.5	異常なし。	
8	596	5.39	9.55	異常なし。	
9	772	5.52	7.56	歯車、カプラー	
10	951	5.38	6.16	上記の他、異常なし。	

# 提案法のまとめ

## (結論)

破損部位別のDBCから、  
**製品の改良指針**を導く方法を提案しました。

これにより、製品設計の段階で、  
破損の危険性のある全部位が抽出でき、かつ、  
選択的に改良することが可能となります。

## (導入の効果)

包装設計を意識した製品改良が可能。  
落下試験後、新たな破損部位が見つからないはず。

包装の削減効果が見込める。

(作業量の増加) 特になし。 JIS Z 0119とほぼ同じ。

# 製品の衝撃強さを少しずつ高精度に測ろう！

## 環境試験方法-電気・電子- 衝撃試験方法 (JIS C 60068-2-27-1995)

(概要) たとえば、 $500\text{m/s}^2$  11ms の正弦半波衝撃パルスにて、合否判定

(特徴) シンプル。どんな衝撃で破損するかは不明。

## 包装及び製品設計のための製品衝撃強さ試験方法 (JIS Z 0119 -2002)

(概要) 許容速度変化試験 と 許容加速度試験。

(特徴) DBCの作成により、衝撃強さがわかる。 包装設計ができる。

新提案：破損部位別DBCおよび製品改良指針  
( 今回の講演テーマ )

## 提案中の試験方法

SRSよりDBCを導出      Half-sineにてDBCを導出

簡易落下試験でDBCを導出

# 目次

- ・製品衝撃試験の紹介
- ・損傷境界曲線（DBC）の説明
- ・新しい試験手順および製品改良指針の作成
- ・FEMによる衝撃解析事例の紹介
- ・まとめ

# 技術報告の紹介

富士ゼロックス テクニカルレポート No.18 2008

## 「商品開発における衝撃シミュレーション技術の活用」

モノ作り技術本部 試作部 榎本氏、須藤氏、津田氏、吉田氏

1. 製品・包装設計、落下試験 の流れ (図1参照)
2. 材料物性値の同定 (EPS、筐体用鋼板、摩擦係数など)
3. 製品の衝撃シミュレーション
4. 包装貨物の落下衝撃シミュレーション
5. 包装貨物の落下試験

# 技術報告の紹介

富士ゼロックス テクニカルレポート No.18 2008

## 「商品開発における衝撃シミュレーション技術の活用」

モノ作り技術本部 試作部 榎本氏、須藤氏、津田氏、吉田氏

1. 製品・包装設計、落下試験 の流れ (図1参照)
2. 材料物性値の同定 (EPS、筐体用鋼板、摩擦係数など)  
材料物性値の計測 (EPS、SPCCの応力 ひずみ線図)  
上記以外の物性値・境界条件の仮設定  
(破断応力、摩擦係数、除荷係数、接触係数など)  
ダミー製品によるシミュレーションを実施  
ダミー製品による落下実験・計測 (加速度、緩衝材変形量、割れ)  
と を比較し、仮設定値を修正し、結果を合わせ込む
3. 製品の衝撃シミュレーション
4. 包装貨物の落下衝撃シミュレーション
5. 包装貨物の落下試験

# 技術報告の紹介

富士ゼロックス テクニカルレポート No.18 2008

## 「商品開発における衝撃シミュレーション技術の活用」

モノ作り技術本部 試作部 榎本氏、須藤氏、津田氏、吉田氏

1. 製品・包装設計、落下試験 の流れ (図1参照)
2. 材料物性値の同定 (EPS、筐体用鋼板、摩擦係数など)
3. 製品の衝撃シミュレーション

### 筐体の強度シミュレーション

水平方向が脆弱。 厚みの薄い材料(低コスト化)。

目標強度: 32G          シミュレーションと改善を繰り返す。          目標達成!

### LPH(LEDプリントヘッド)の強度シミュレーション

LPHと感光体ドラムの相対位置関係に注目(画質に影響するため)

LPHのフレーム取り付け箇所に衝撃          発生応力 < 降伏応力

4. 包装貨物の落下衝撃シミュレーション
5. 包装貨物の落下試験

# 技術報告の紹介

富士ゼロックス テクニカルレポート No.18 2008

## 「商品開発における衝撃シミュレーション技術の活用」

モノ作り技術本部 試作部 榎本氏、須藤氏、津田氏、吉田氏

1. 製品・包装設計、落下試験 の流れ (図1参照)
2. 材料物性値の同定 (EPS、筐体用鋼板、摩擦係数など)
3. 製品の衝撃シミュレーション
4. 包装貨物の落下衝撃シミュレーション  
木製パレット、EPS、製品で構成。 底面落下シミュレーション  
確認事項: (1)発生加速度32G以下 (2)緩衝材のひずみ、  
(3)落下時の製品の傾き、 (4)緩衝材の割れ深さ  
結果: 筐体A部に塑性変形 原因を分析し対策  
メリット: 角落下、回転稜落下などが容易に検証可能
5. 包装貨物の落下試験

# 技術報告の紹介

富士ゼロックス テクニカルレポート No.18 2008

## 「商品開発における衝撃シミュレーション技術の活用」

モノ作り技術本部 試作部 榎本氏、須藤氏、津田氏、吉田氏

1. 製品・包装設計、落下試験 の流れ (図1参照)
2. 材料物性値の同定 (EPS、筐体用鋼板、摩擦係数など)
3. 製品の衝撃シミュレーション
4. 包装貨物の落下衝撃シミュレーション
5. 包装貨物の落下試験

結果： 水平衝撃により、筐体の一部に変形。 その他、異状なし。

原因： シミュレーションのモデル化を省略

モデル化率 up 必要時間が増大

結び 現在、すべての商品に本技法を適用

今後、段ボールの物性値の同定技術開発に取り組む。

# 目次

- ・製品衝撃試験の紹介
- ・損傷境界曲線（DBC）の説明
- ・新しい試験手順および製品改良指針の作成
- ・FEMによる衝撃解析事例の紹介
- ・まとめ

## まとめ

- 破損部位別にDBC ( $A_c$ と  $V_c$ ) を把握すれば、製品の改良指針が得られる。
- 現在、衝撃シミュレーションを活用した製品設計および包装設計へと、開発技術が進展している。
- 現実には、製品を改良するのは、設計者のアイデアであり、本提案やシミュレーションを活用するのがBetter。  
製品、包装、物流、すべてを総合的に判断した適切な設計を実現するためには、本提案やシミュレーション技術を活用した工夫や検討が必要である。

# 謝 辞

ご清聴ありがとうございました。

現在、JISおよびISOの改訂をめざして、活動を進めております。

ご意見、ご質問等、今後の参考にさせていただきますので、忌憚なくお聞かせください。