

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

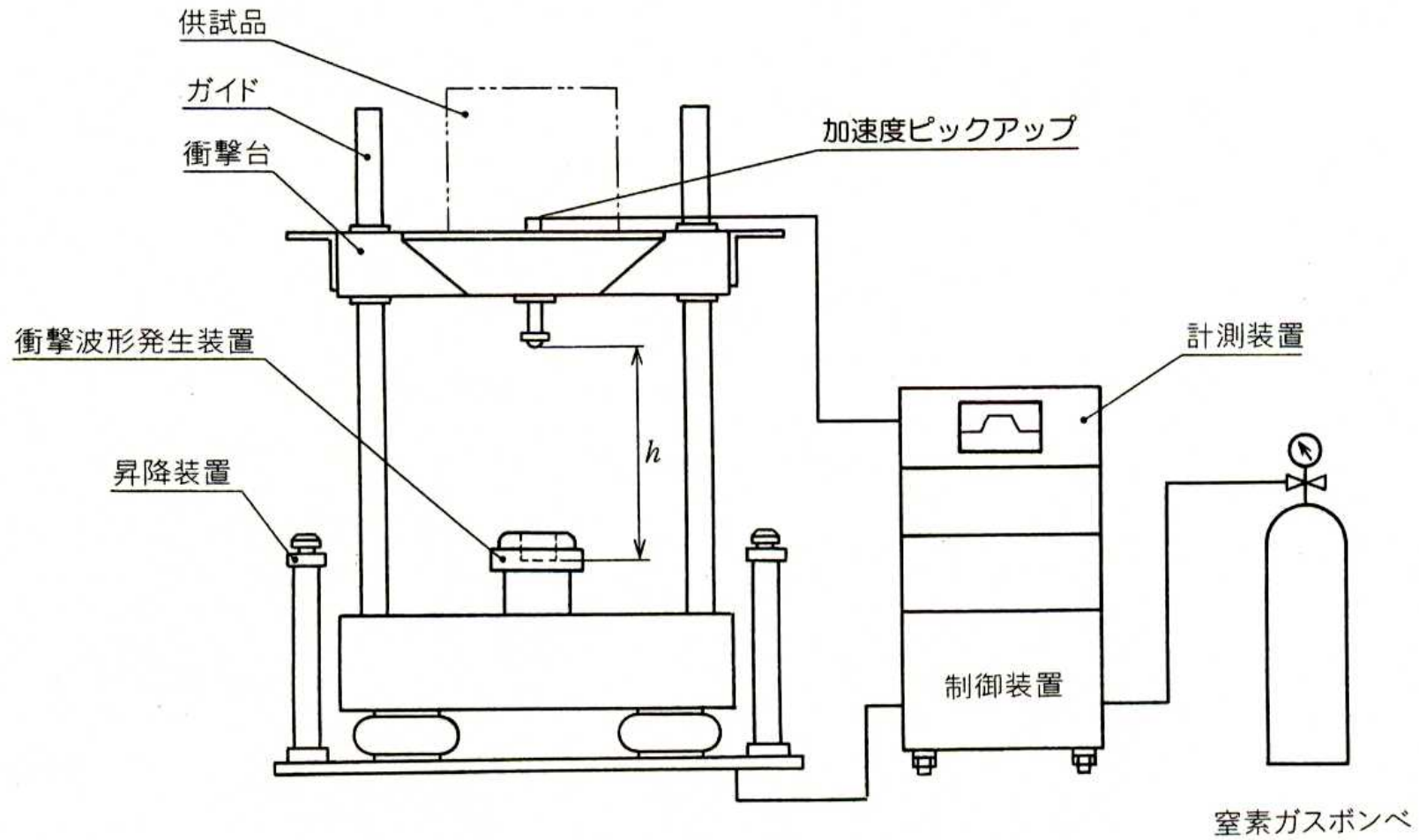
衝撃試験の新たな取組み
～ JIS、ISO化をめざして ～

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

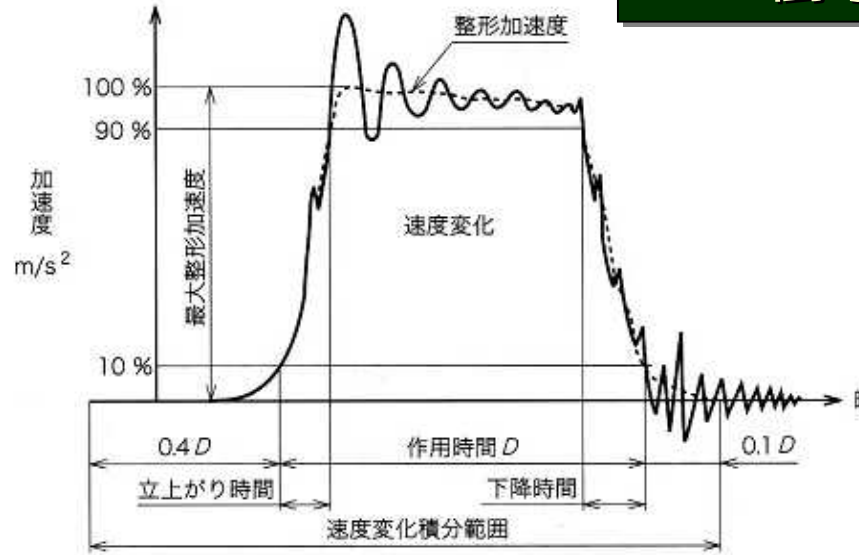


図2 台形波衝撃パルス

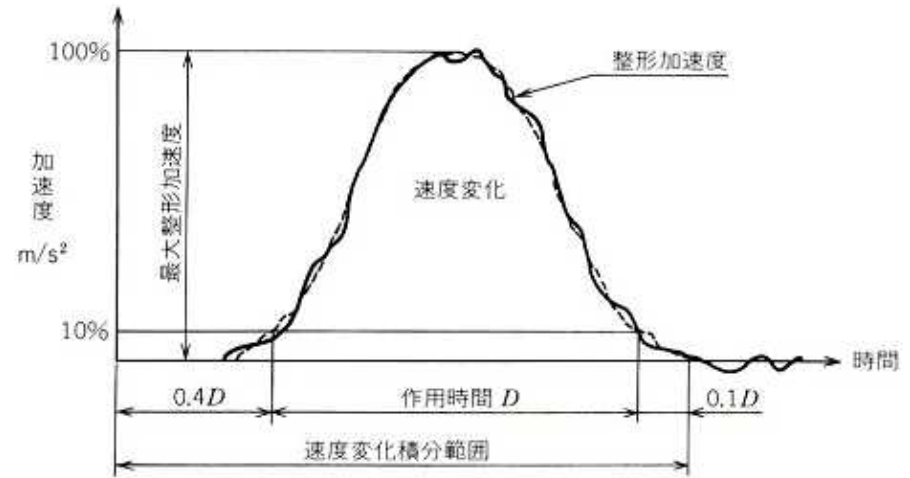


図1 正弦半波衝撃パルス

図3 台形波パルス

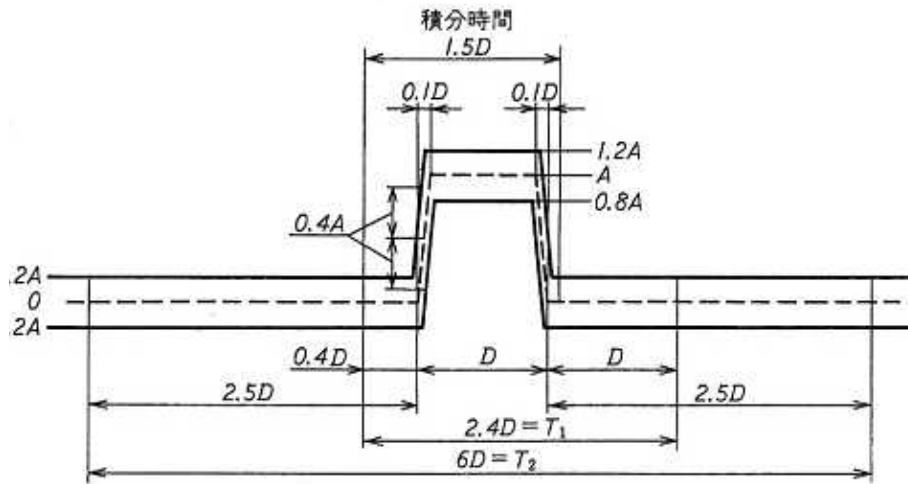
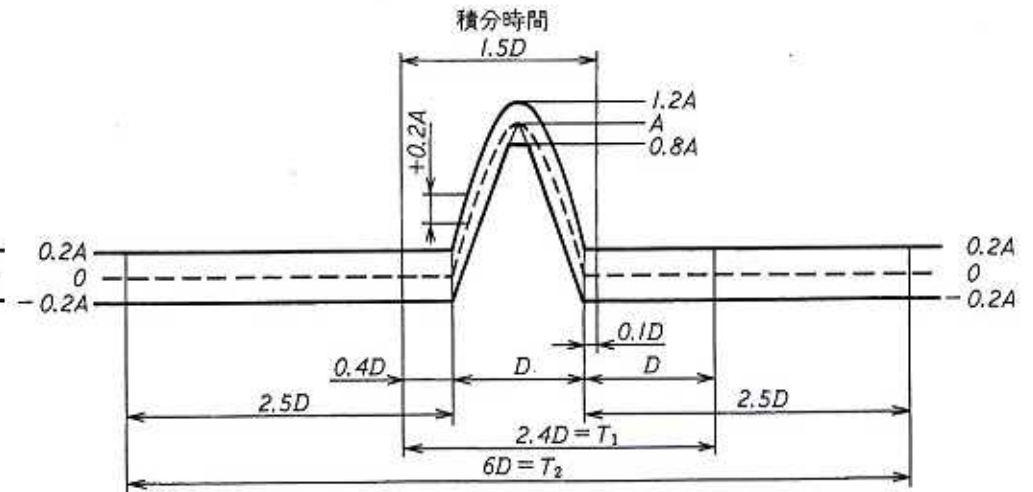


図2 正弦半波パルス



- 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⁵⁾

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

「電気・電子」試験 と 「包装及び製品」試験 (JIS C 60068-2-27 JIS Z 0119)

500m/s²、11ms
(JIS C 60068-2-27 1995)

これを包装設計に活用したら

損傷境界曲線
DBC (Damage Boundary Curve)

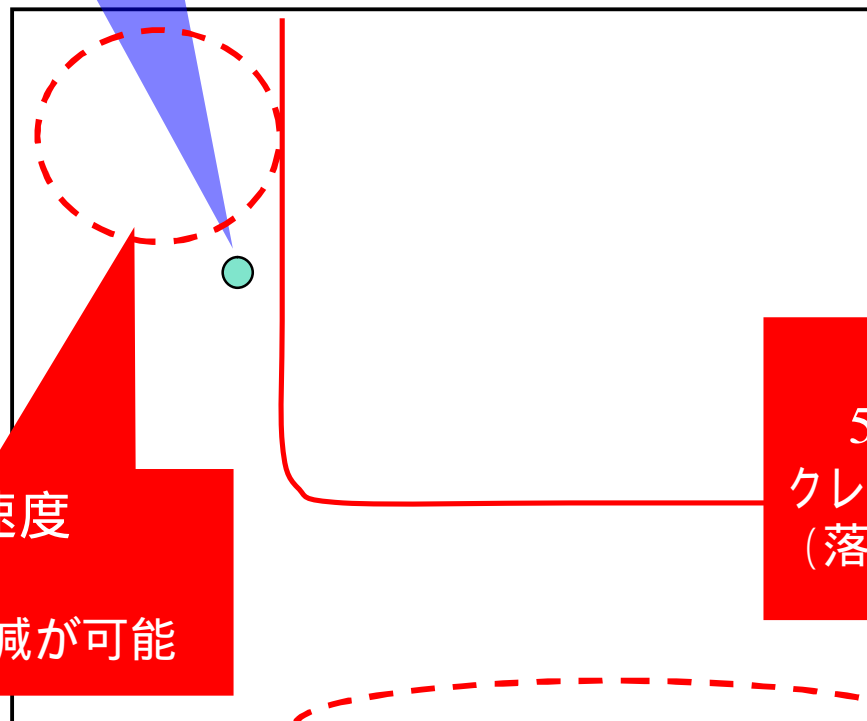
加速度 A

DBC
(JIS Z 0119 2002)

許容加速度
500m/s²
大幅に包装削減が可能

許容加速度
500m/s² 250m/s²
クレーム発生の危険性がある
(落下試験で想定外の破損)

速度変化 V
落下高さ



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。

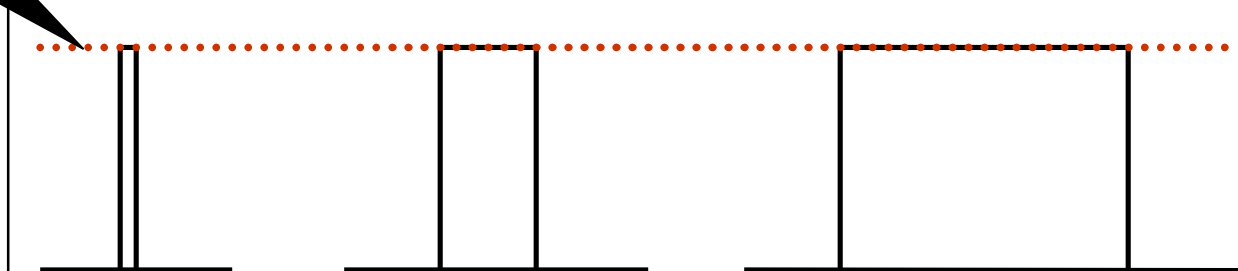
衝撃パルス作用時間が

極短い

短い

長い

加速度



時間

衝突速度が非常に遅い。
Ex. 落下高さ5cm

衝突速度が遅い。
Ex. 落下高さ20cm

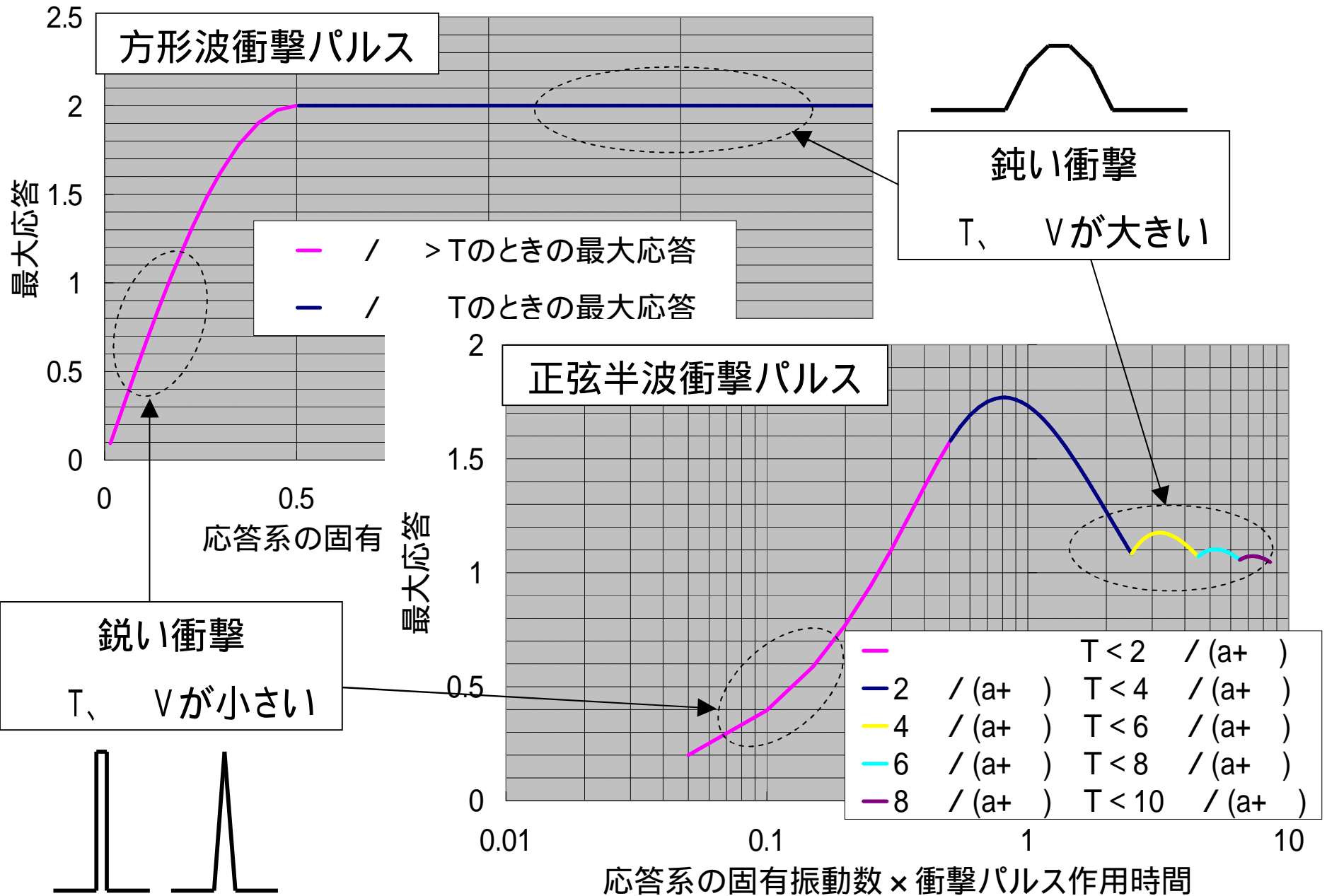
衝突速度が速い。
Ex. 落下高さ60cm

異常なし

異常なし

損傷

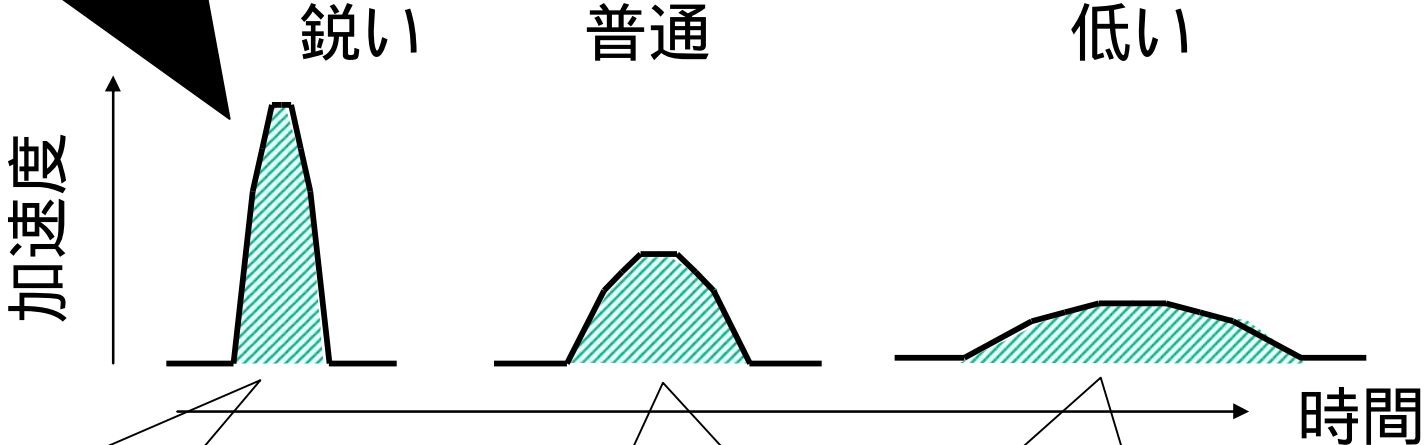
さまざまな衝撃パルスの伝わり方



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

↓

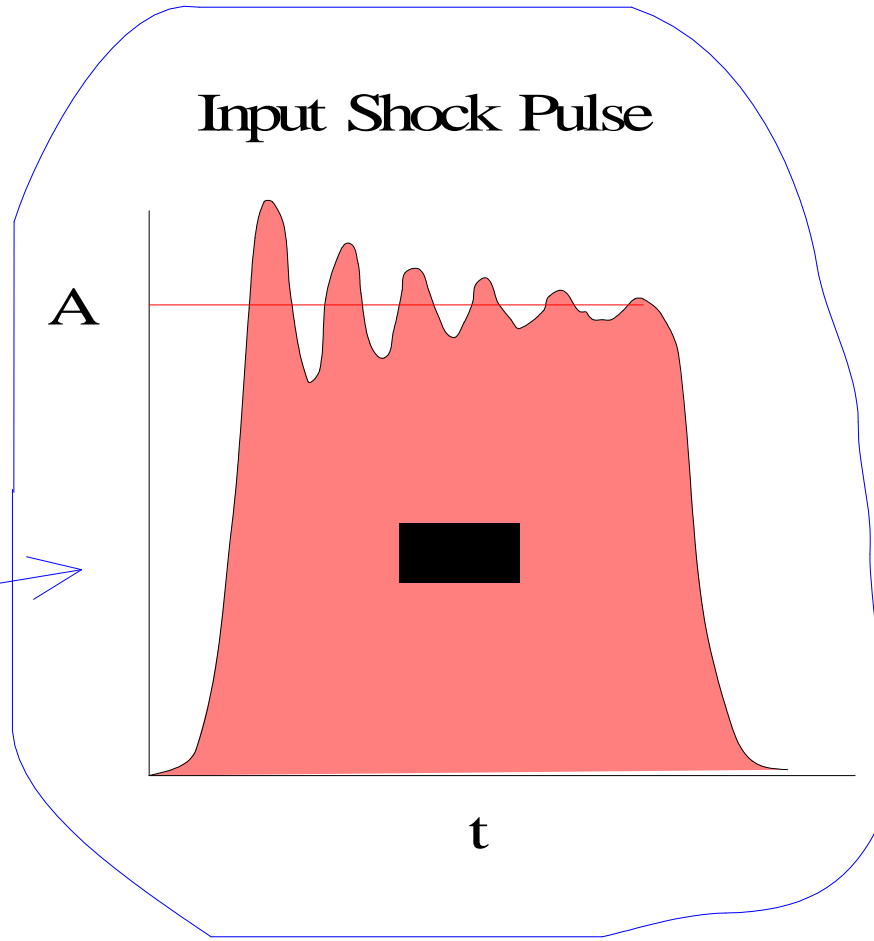
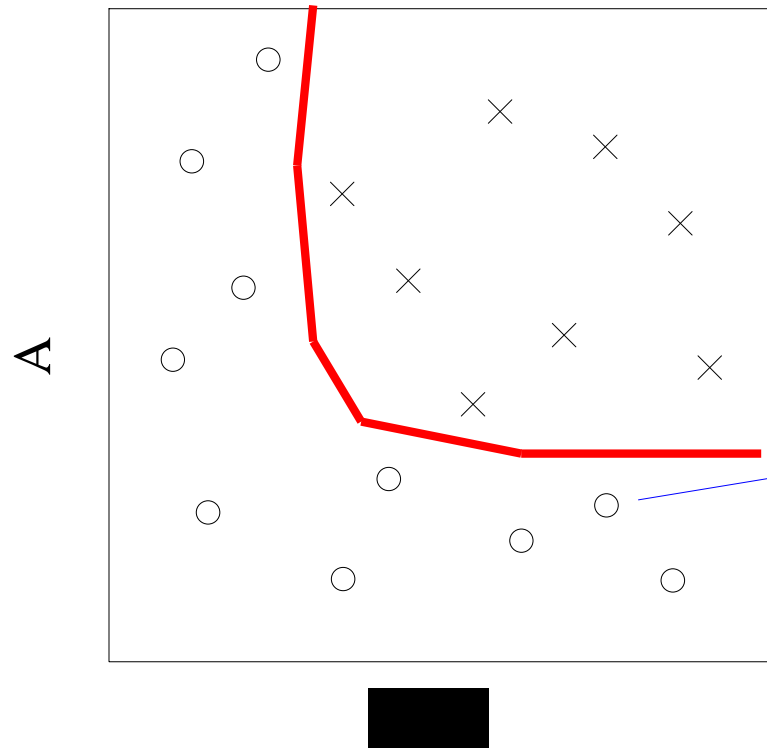
異常なし

↓

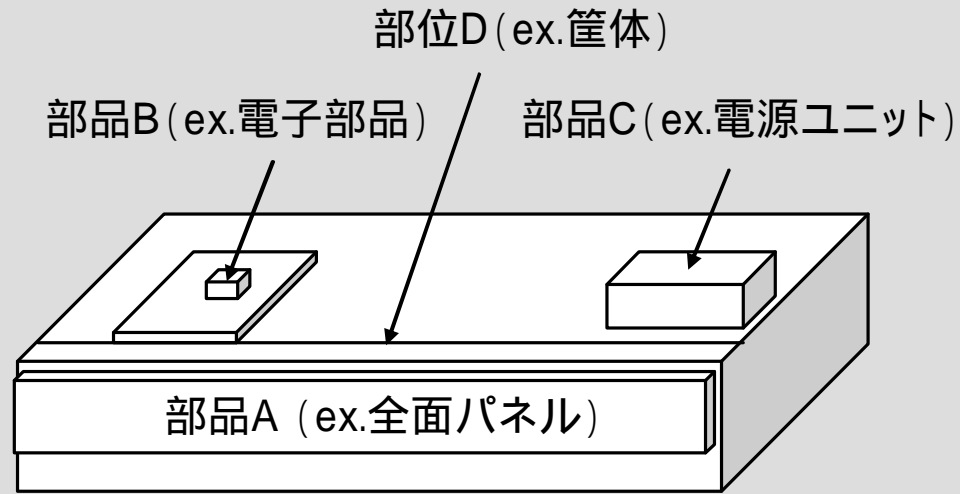
異常なし

損傷境界曲線 (DBC) とは...

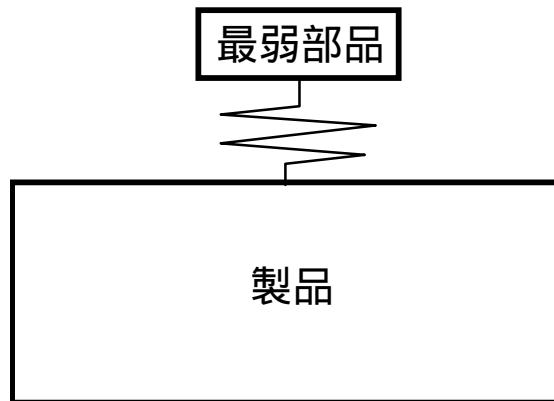
- Non-damage
- × Damage



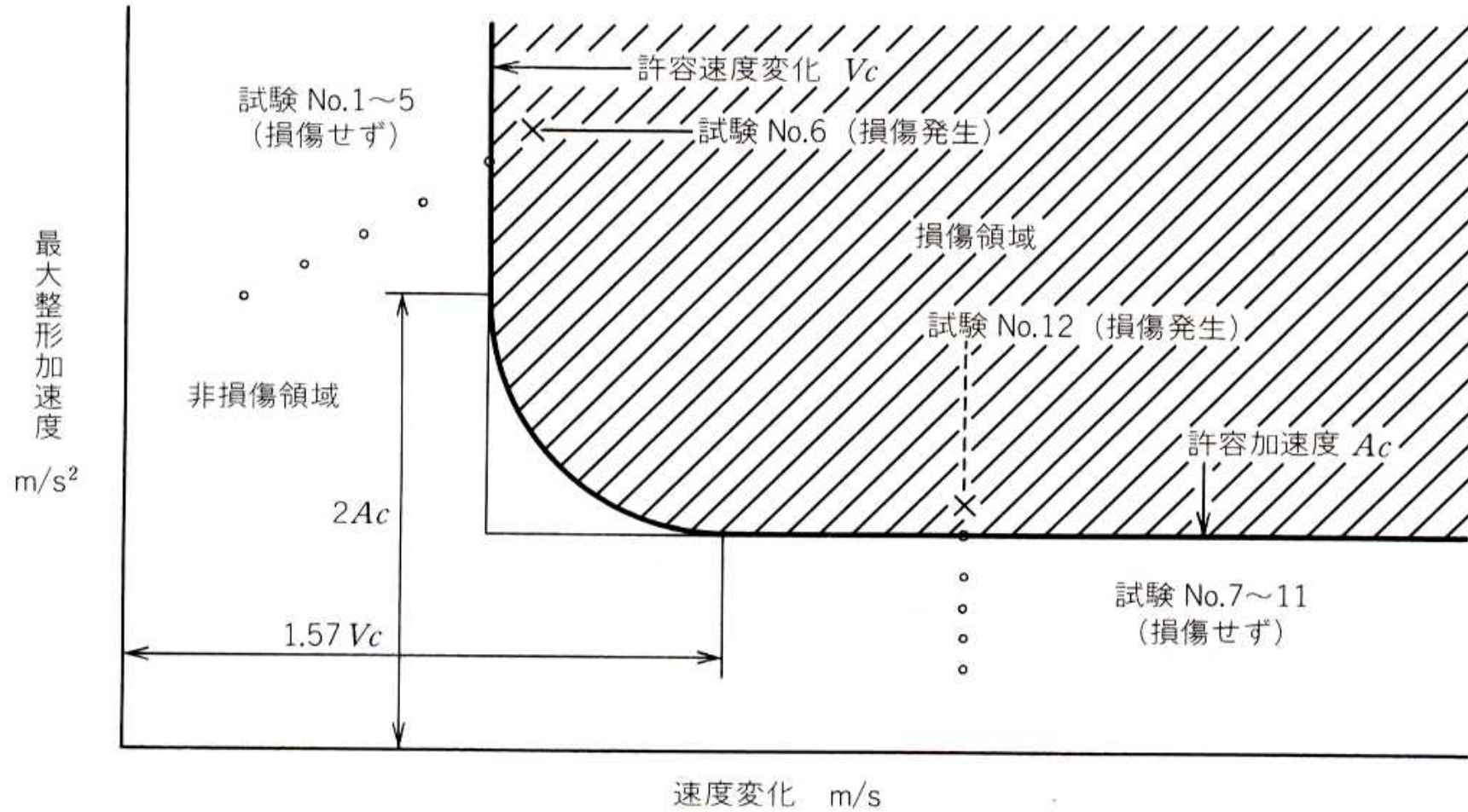
< 供試品 >



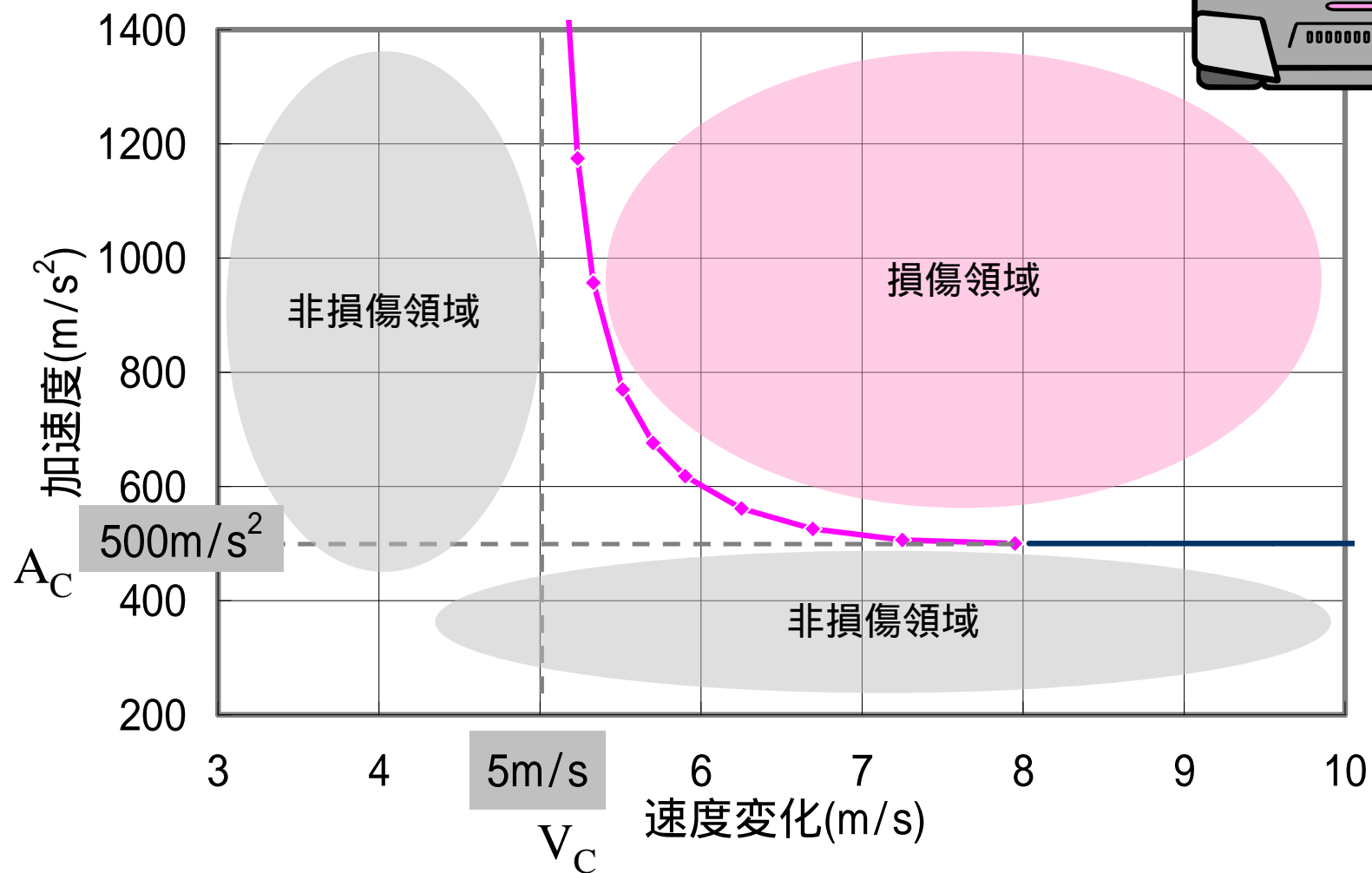
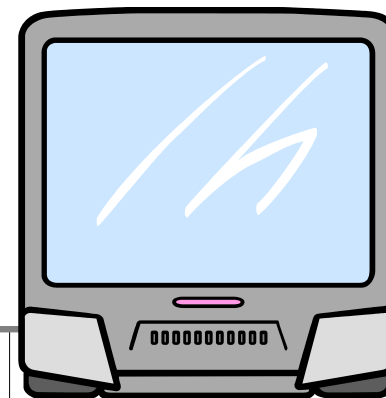
R. E. Newton の衝撃応答解析モデル



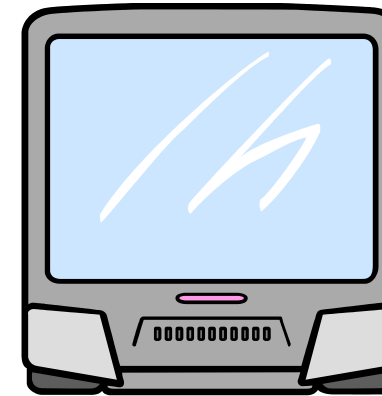
JIS Z 0119試験方法 (R.E.Newton)



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
 c_f : 流通過程で被る速度変化 とすると、

$c_c > c_f$ のとき、緩衝包装は不必要！
 $c_c < c_f$ 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 / s²)

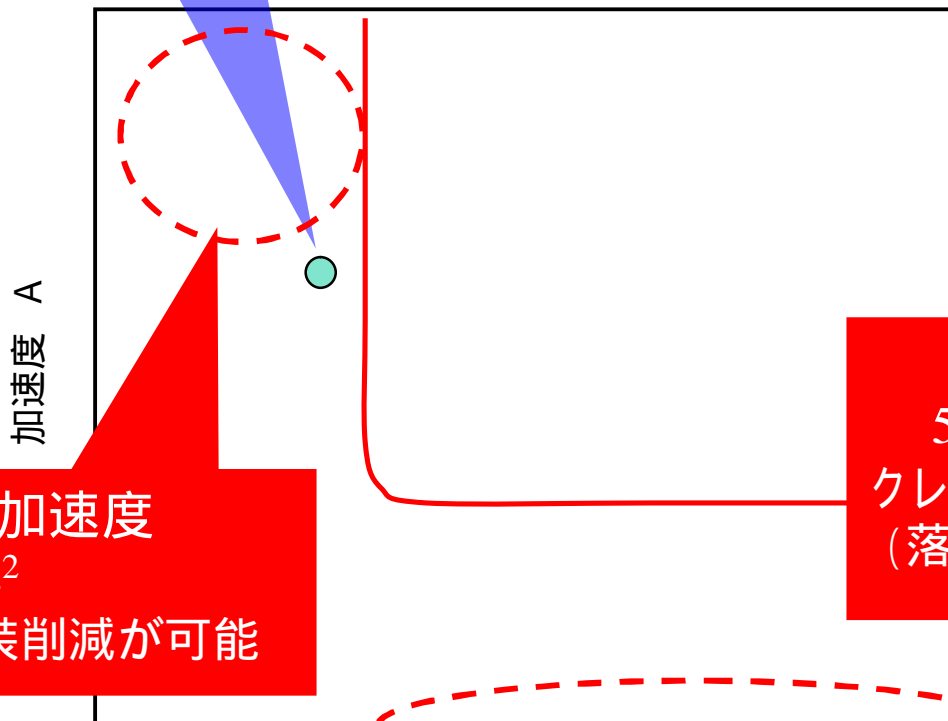
(結論) $V > V_C$ となり、本製品は緩衝包装が必要である！

「電気・電子」試験 と 「包装及び製品」試験
(JIS C 60068-2-27 JIS Z 0119)

500m/s²、11ms
(JIS C 60068-2-27 1995)

これを包装設計に活用したら

損傷境界曲線
DBC (Damage Boundary Curve)



DBC
(JIS Z 0119 2002)

許容加速度
500m/s²
大幅に包装削減が可能

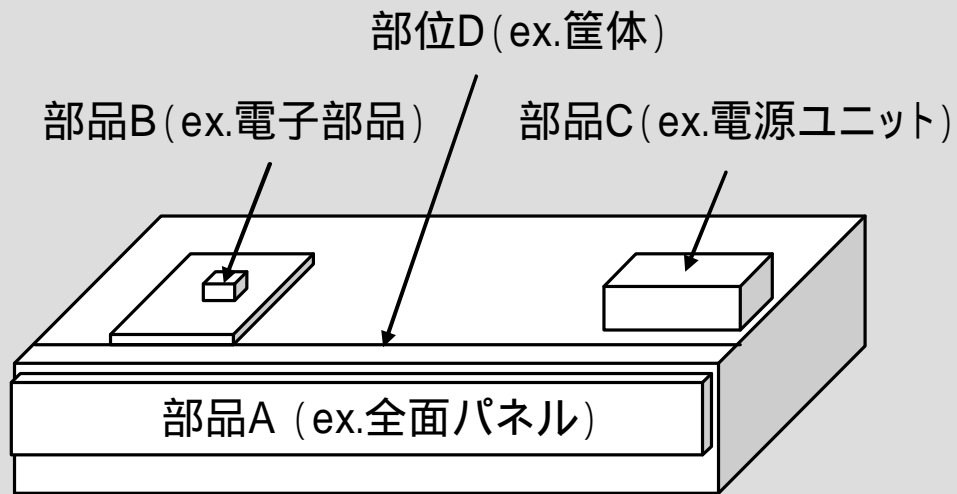
許容加速度
500m/s² 250m/s²
クレーム発生危険性がある
(落下試験で想定外の破損)

速度変化 V
落下高さ

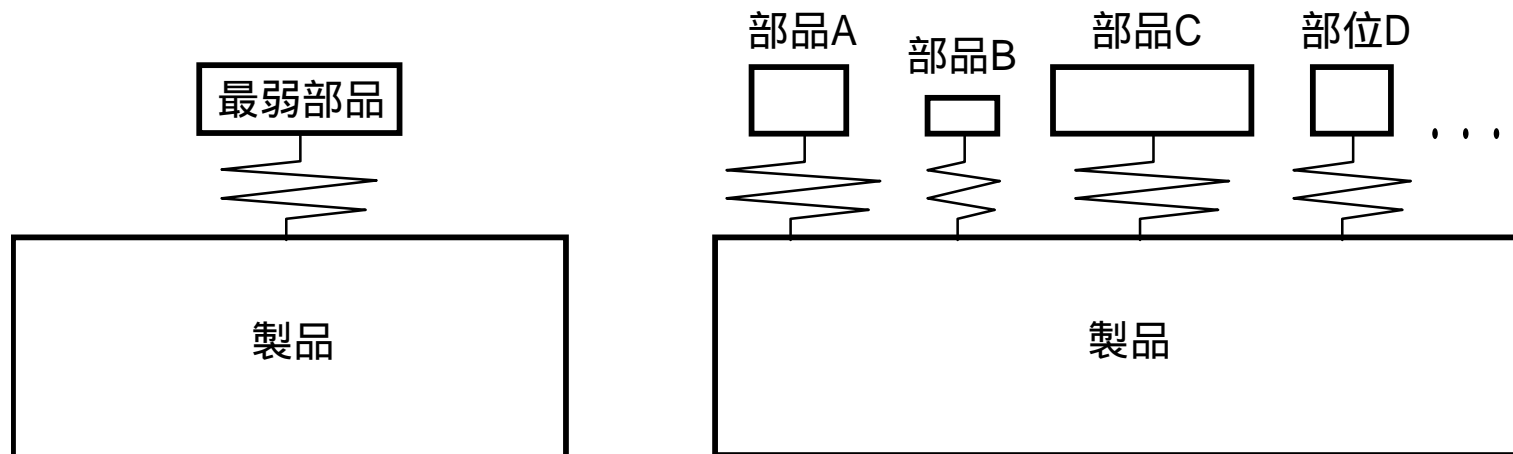
目次

- ・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

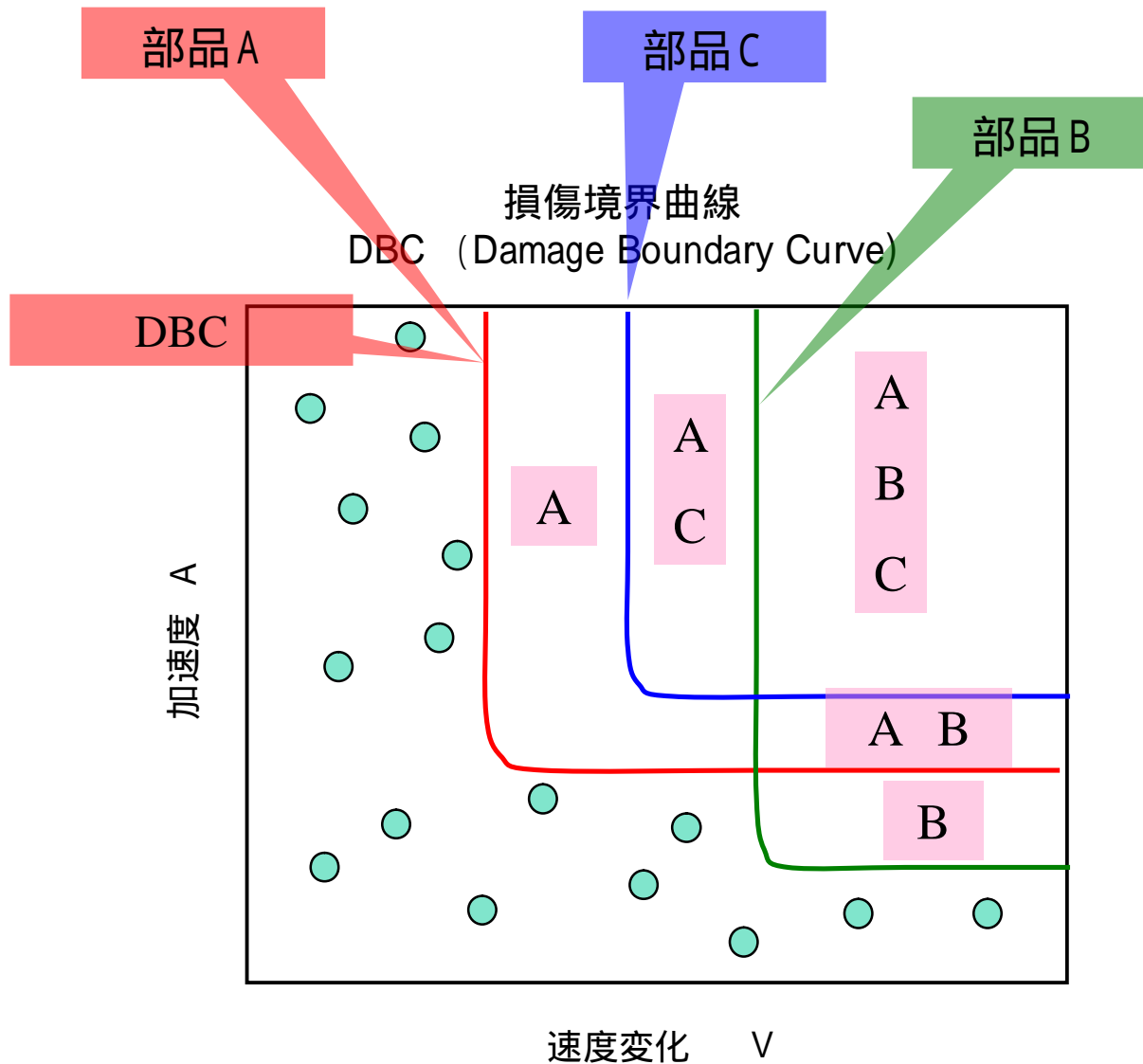
< 供試品 >



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)



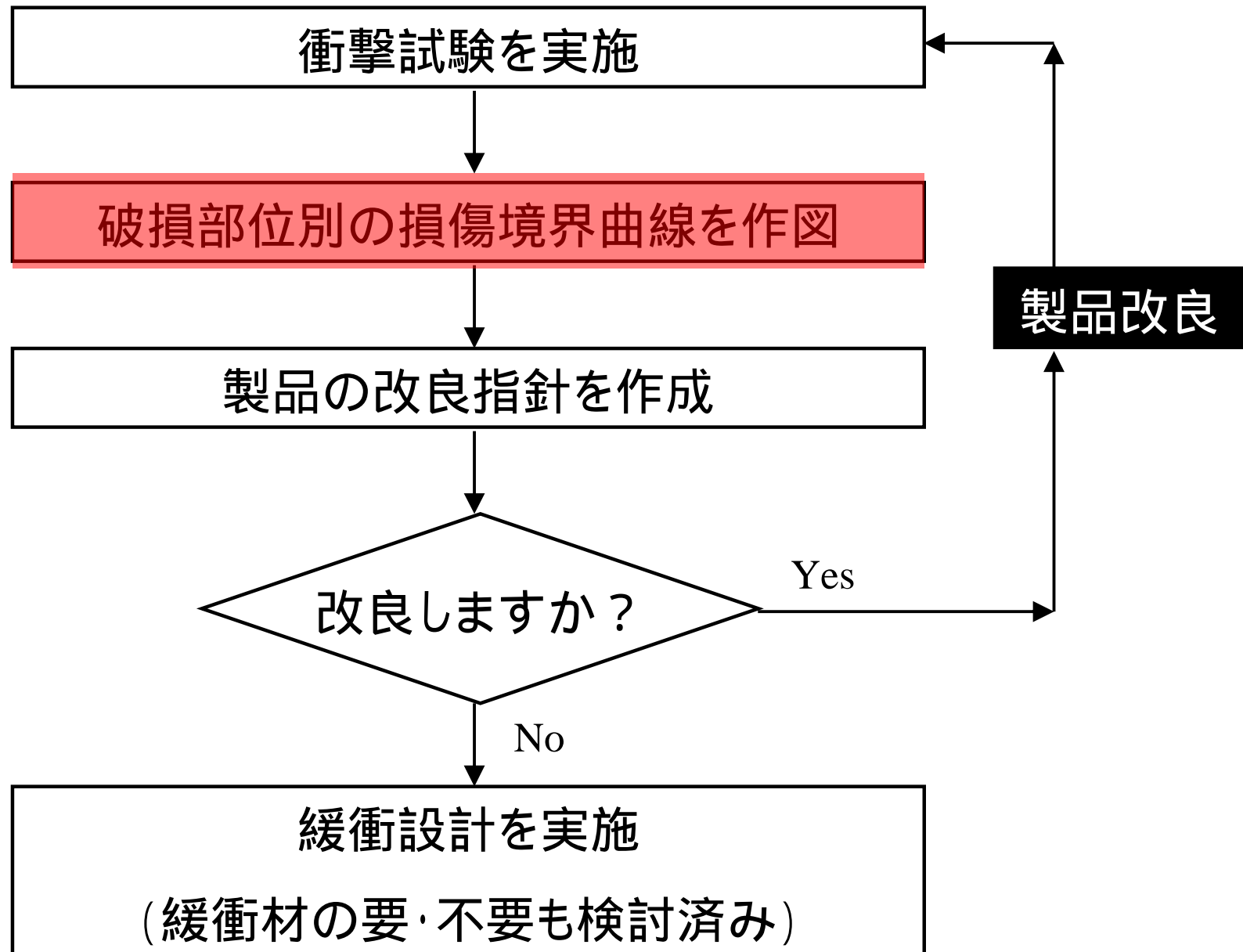
ある製品 (機) の衝撃試験結果

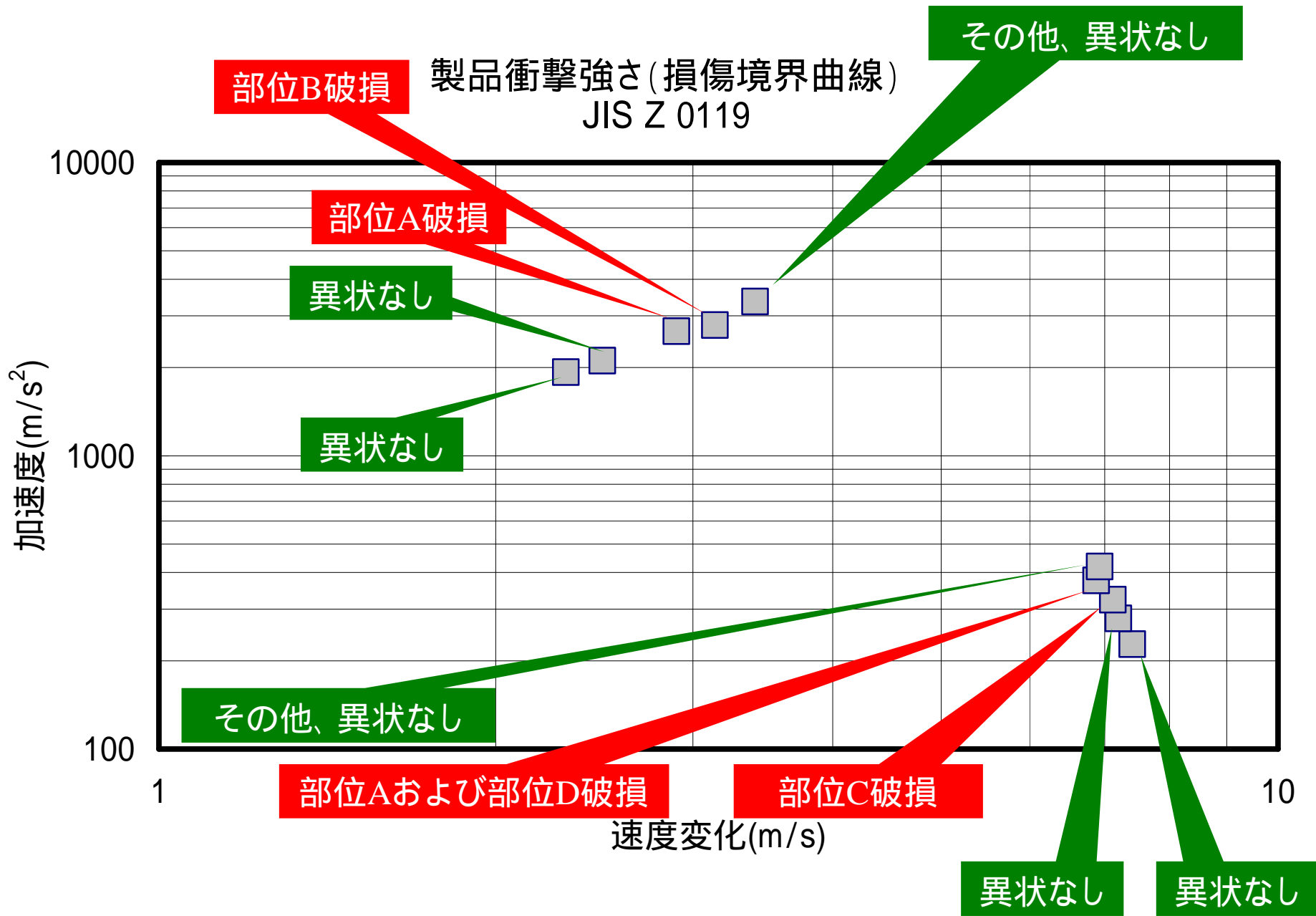
試験 No.	加速度 m/s ²	速度変化 m/s	作用時間 ms	観 察 結 果	方 法
1	1930	2.31	2.01	異常なし。	許容 速度 変化 試験
2	2110	2.49	1.98	異常なし。	
3	2660	2.90	1.94	部位Aが変形。	
4	2790	3.14	1.59	上記の他、部位Bが変形。	
5	3360	3.41	1.50	部位A,Bの他、異常なし。	

ある製品(機)の衝撃試験結果

試験 No.	加速度 m/s ²	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



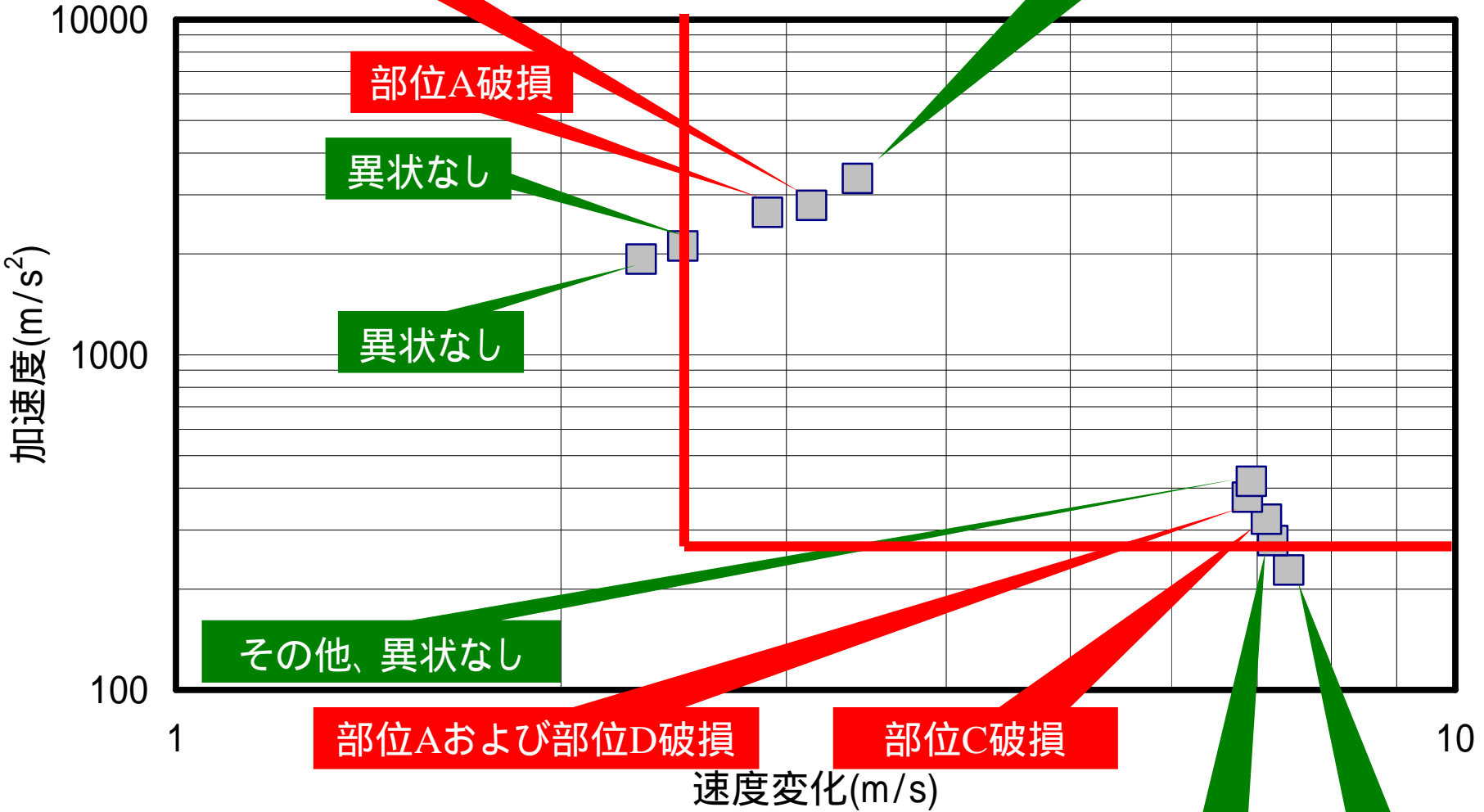


JIS法

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



部位A破損

異状なし

異状なし

その他、異状なし

部位Aおよび部位D破損

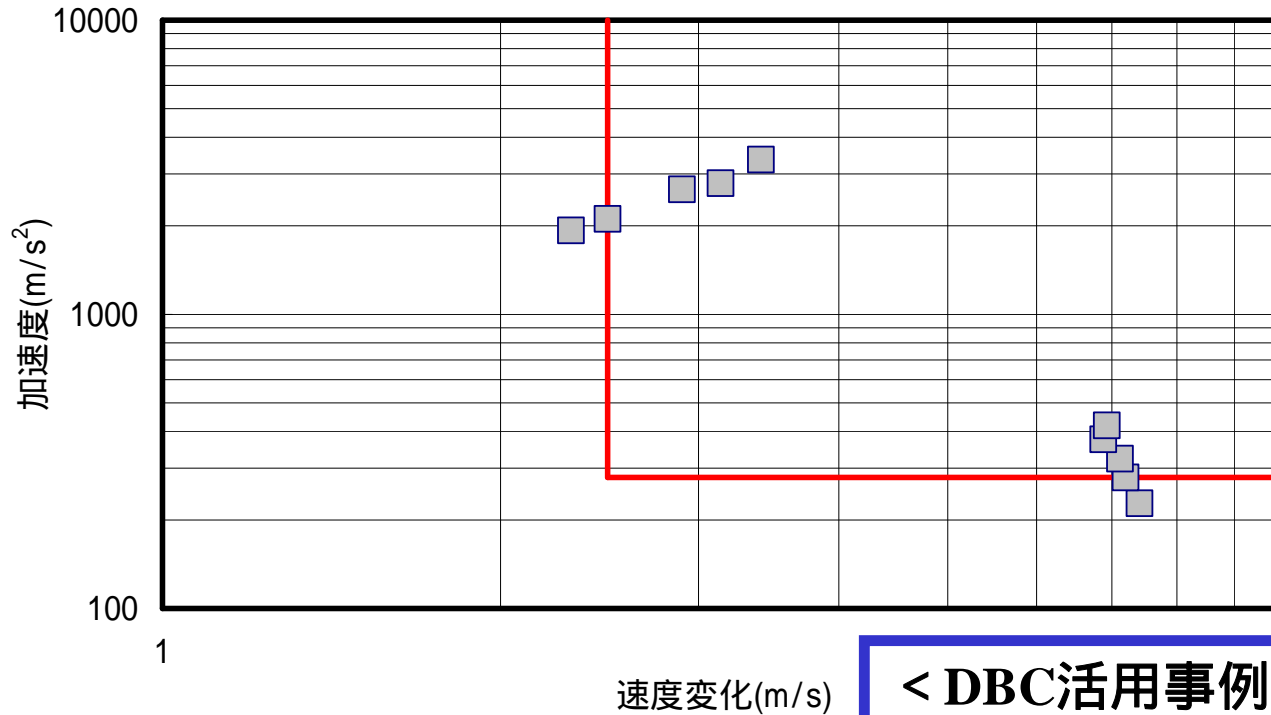
部位C破損

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/s²

許容速度変化 V_c : 2.49m/s

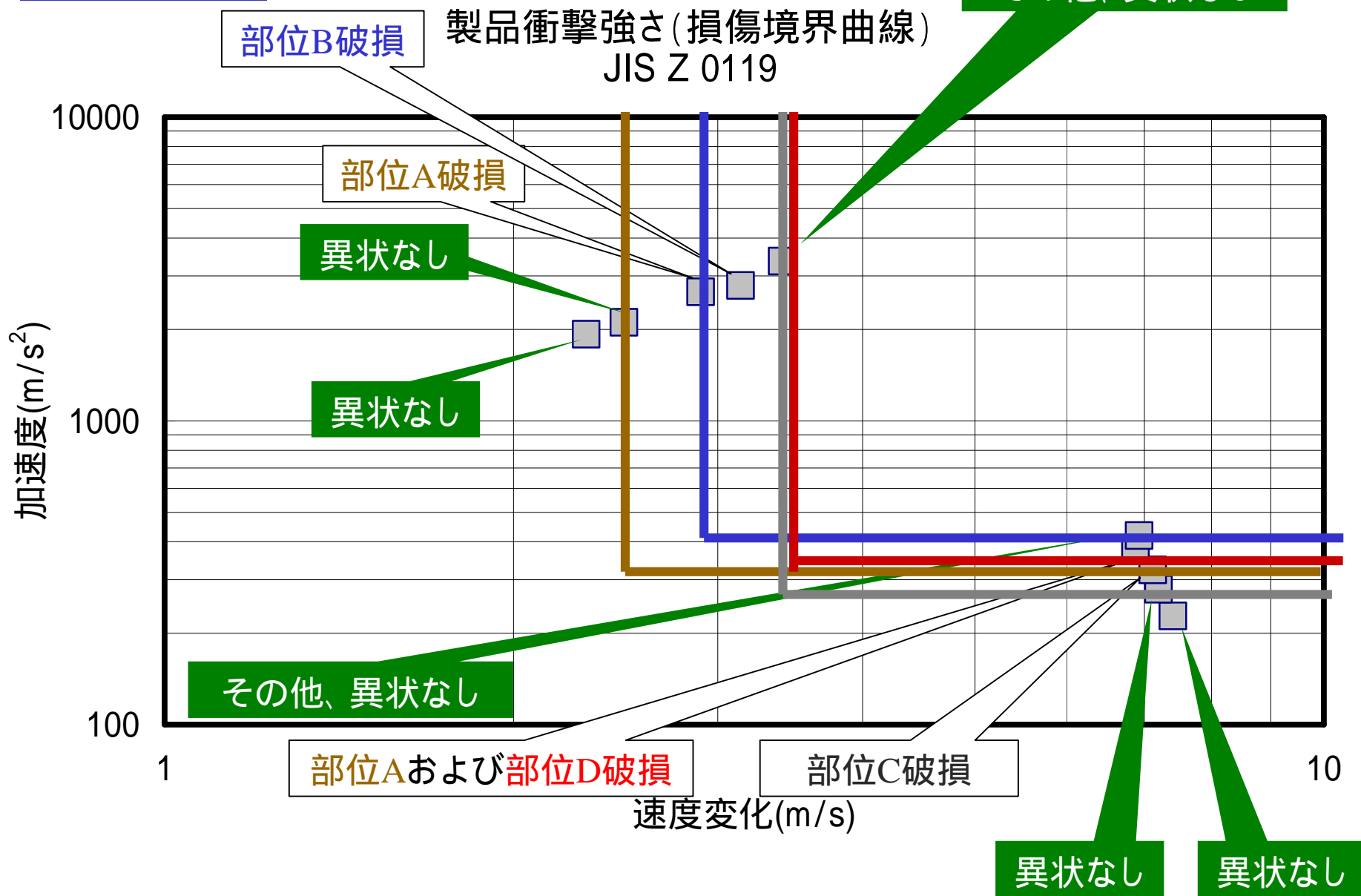
反発係数を設定 : $e=0.3$

緩衝不要な最大落下高さ H を算出 :

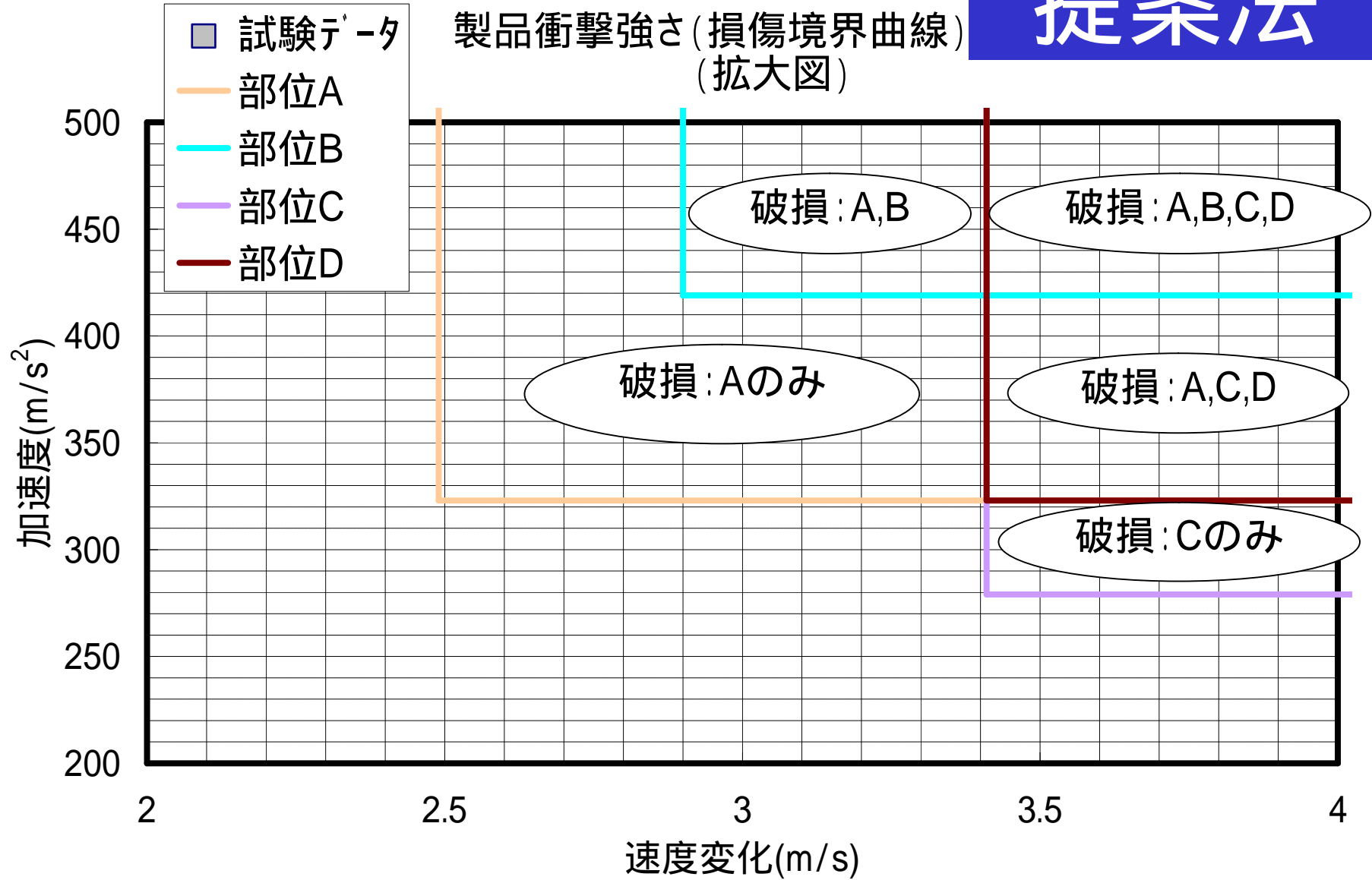
$$H = \{V_c / (1+e)\}^2 / (2g) = 19(\text{cm})$$

落下高さ19(cm)未満	緩衝包装不要
19(cm)以上	必要

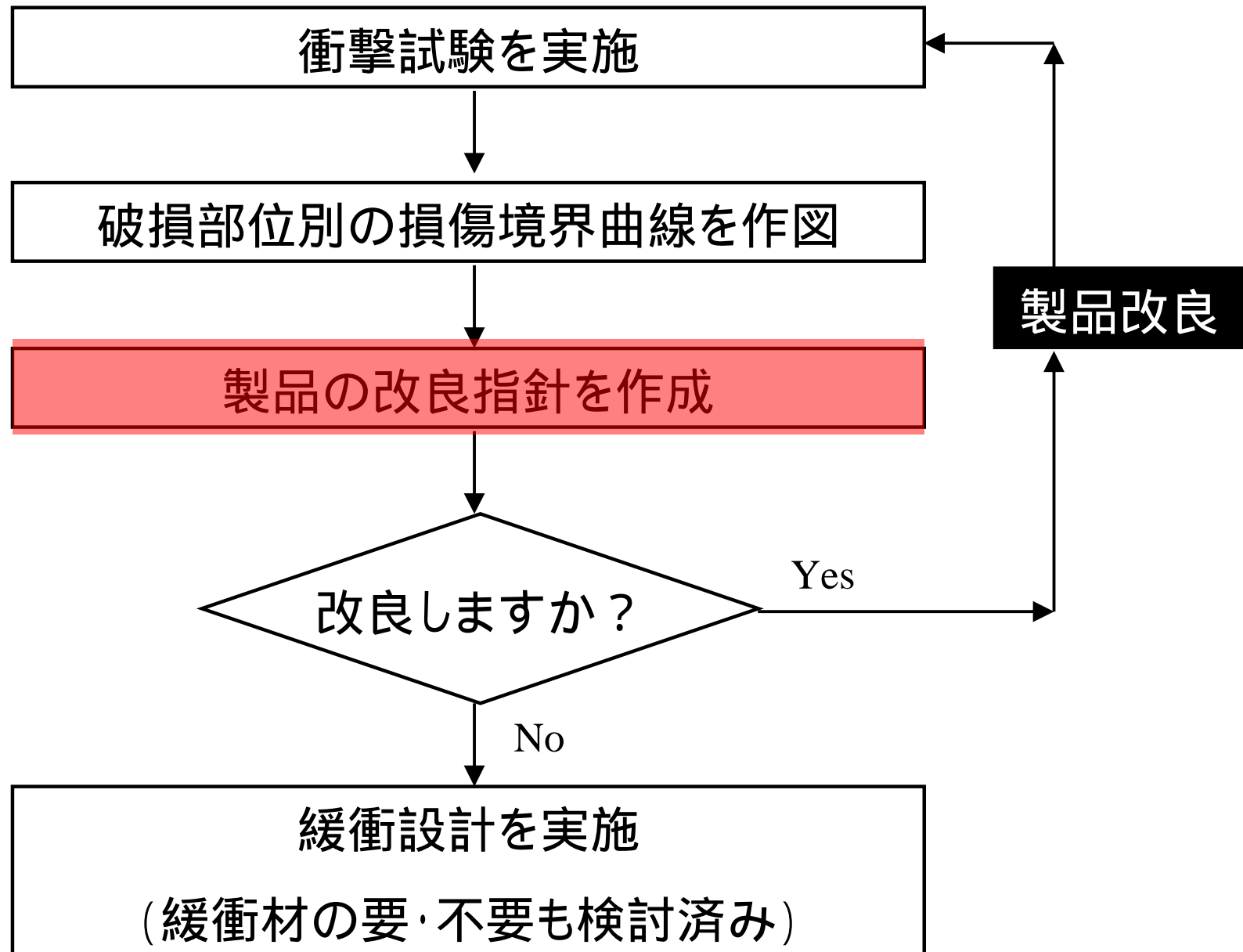
提案法



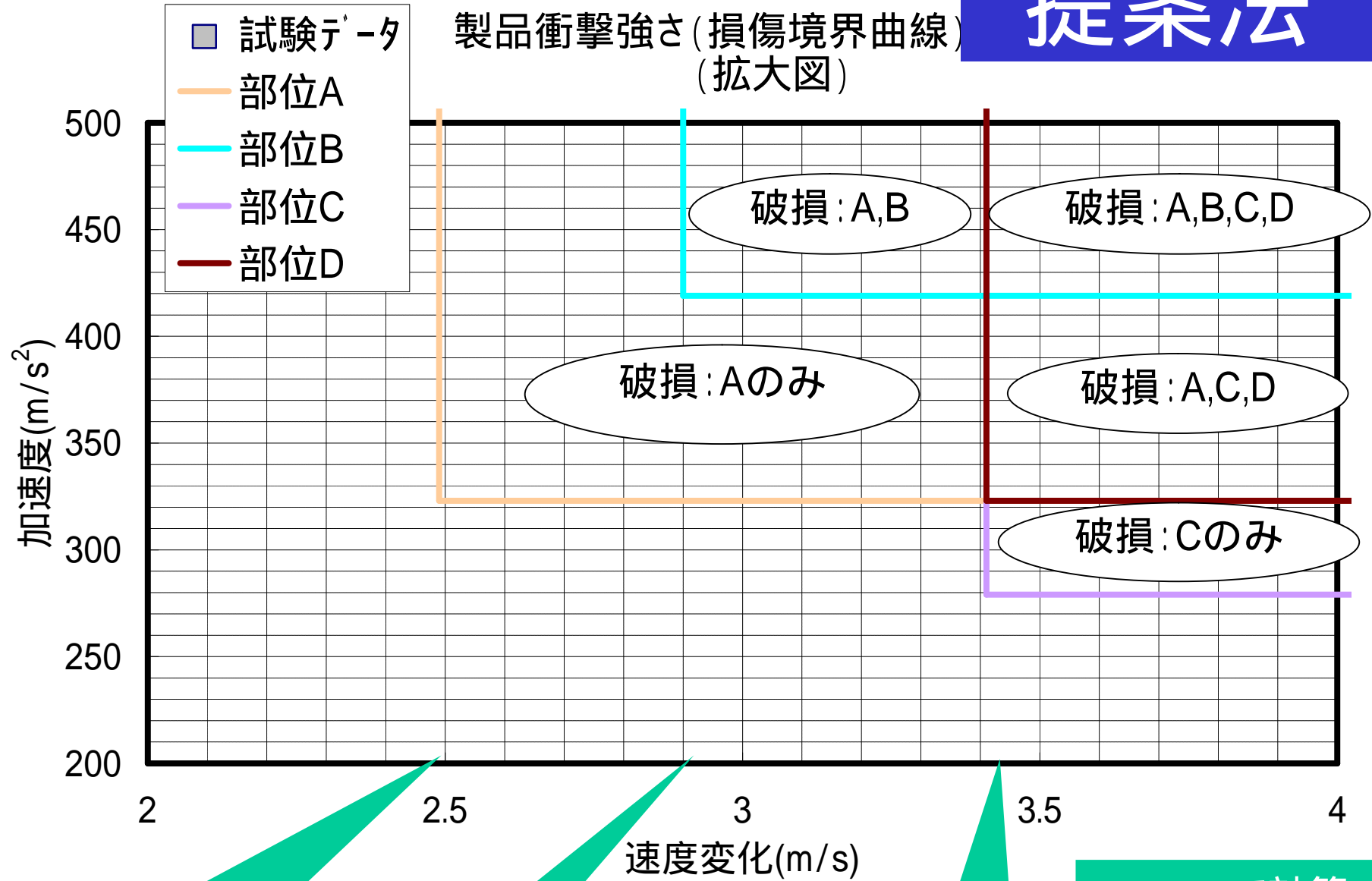
提案法



提案法のフロー



提案法



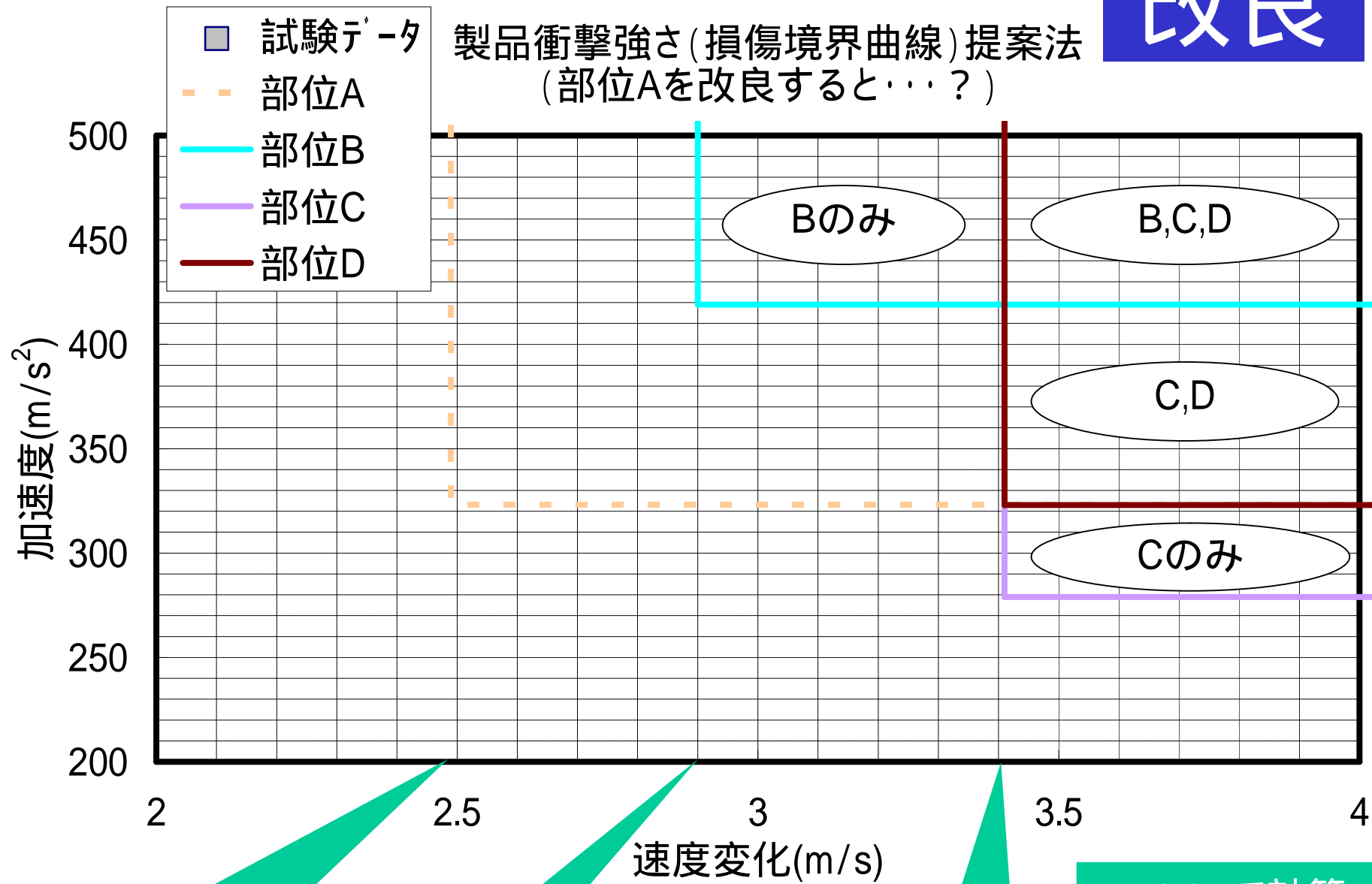
等価落下高さ: 19cm

25.5cm

35cm

e=0.3 で計算

改良



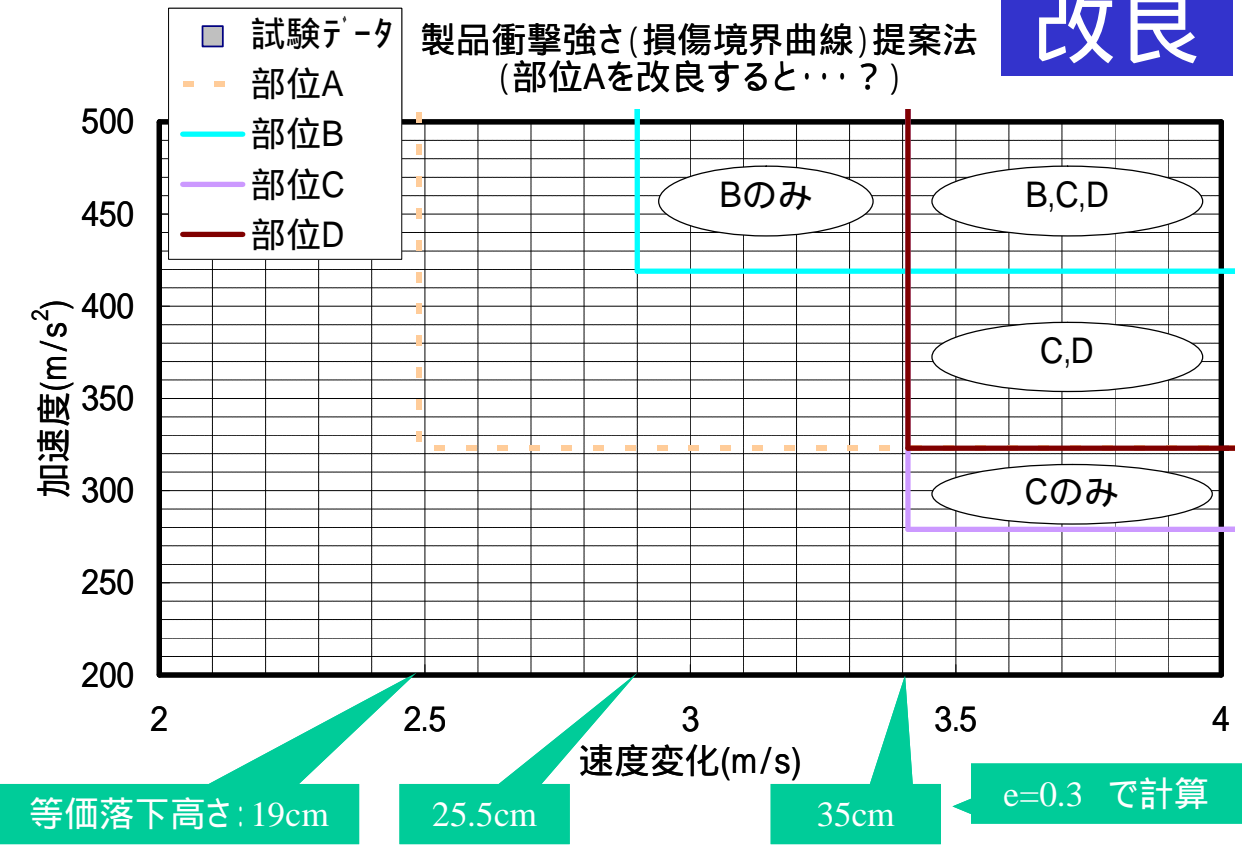
等価落下高さ: 19cm

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

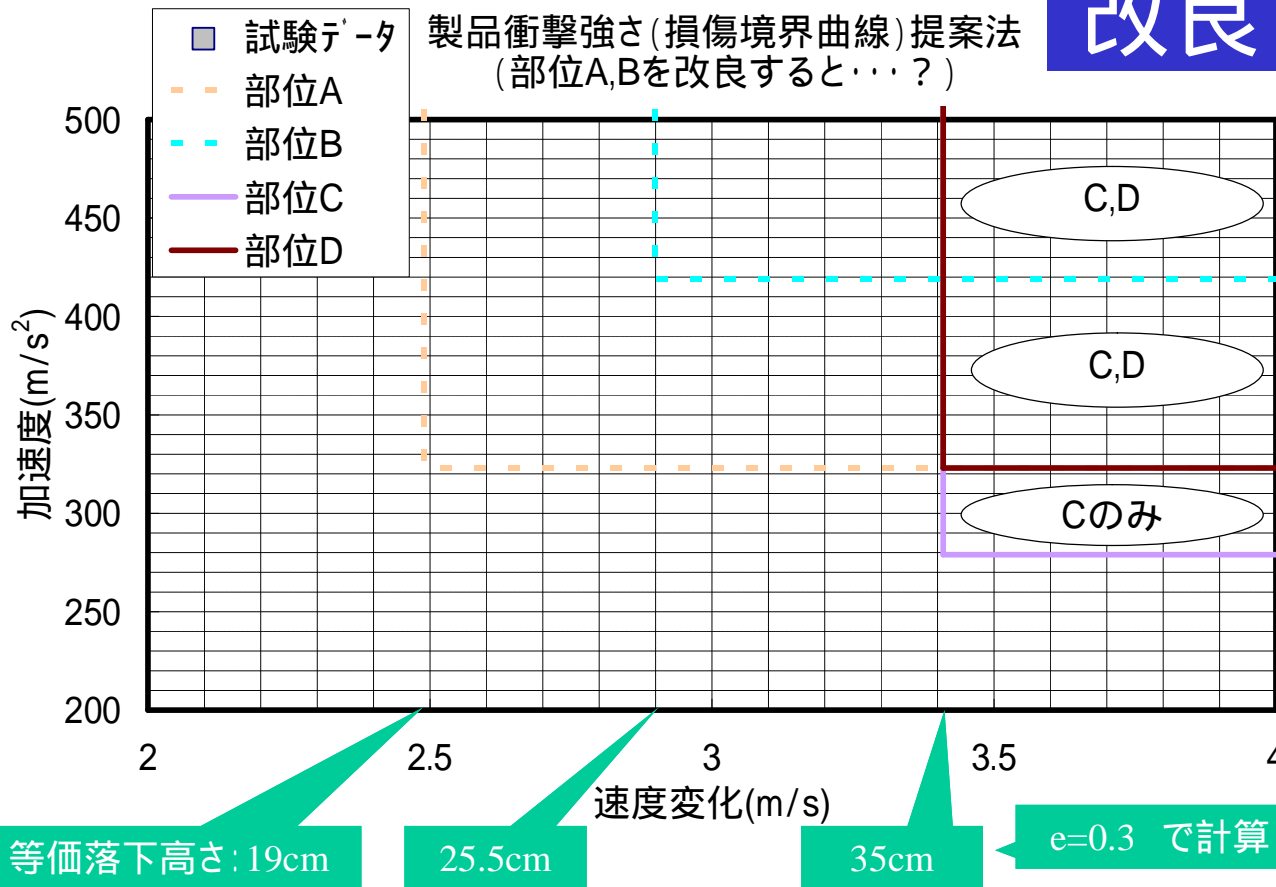
改良前:323m/s² 改良後:419m/s² となる。

「輸送中の落下高さ」が40cmの場合、

効果:なし

変化なし。 279m/s²

改良



例えば、「輸送中の落下高さ」が 30cm の場合、

改良前: 323m/s² 改良後:

となる。

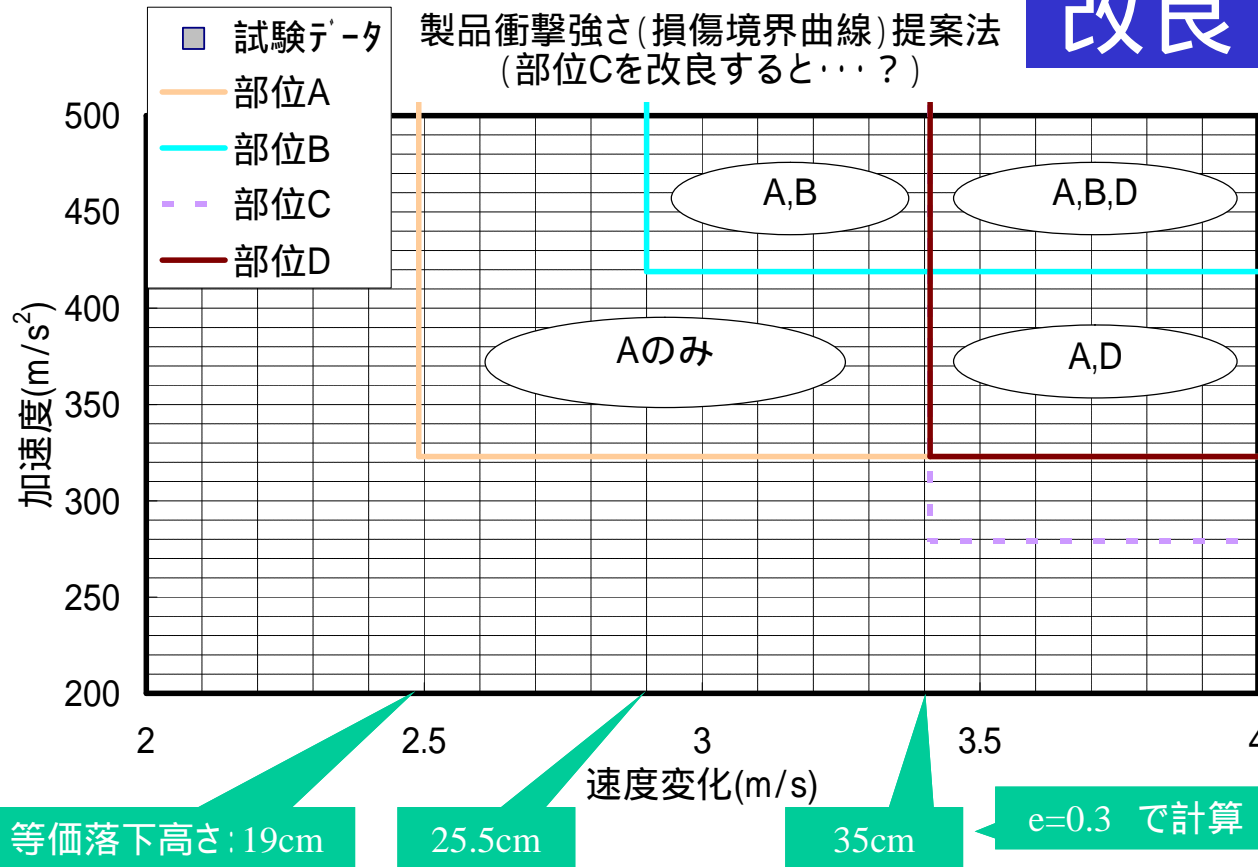
成果: 大

「輸送中の落下高さ」が 40cm の場合、

変化なし。 279m/s²

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。

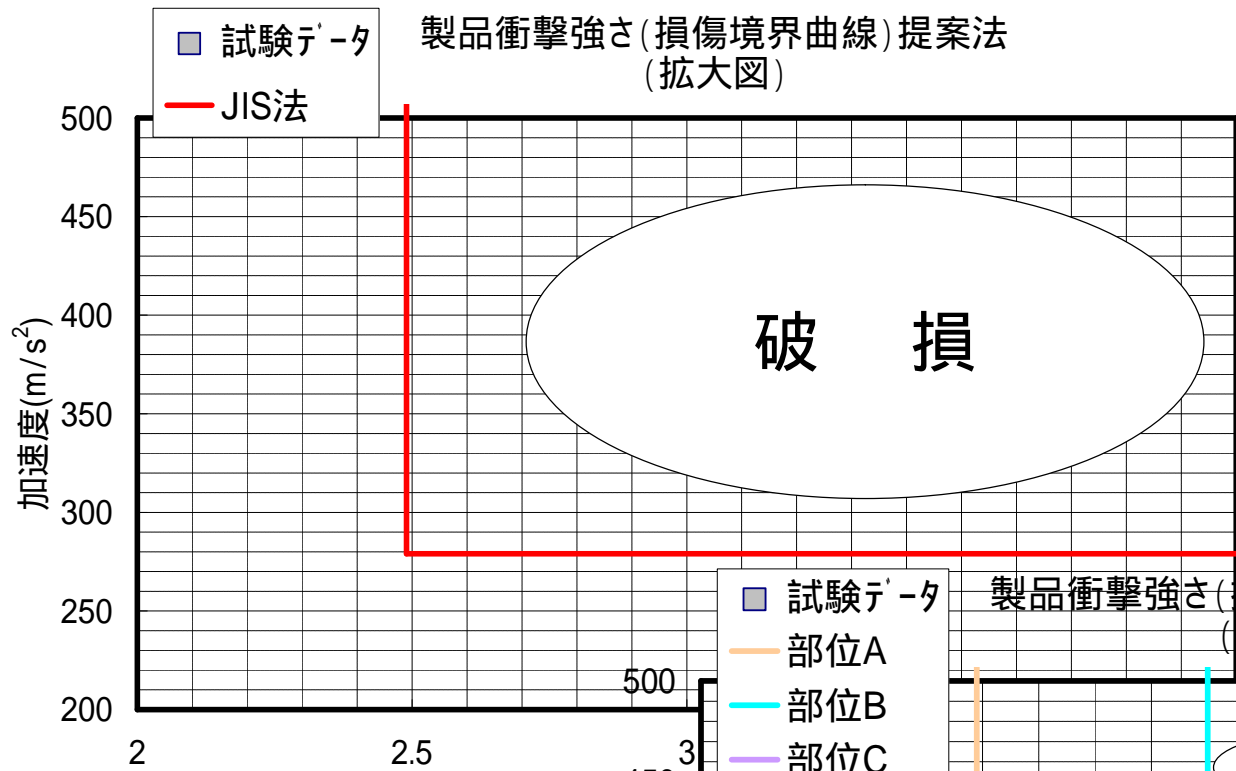
~ ポイント ~

**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。**

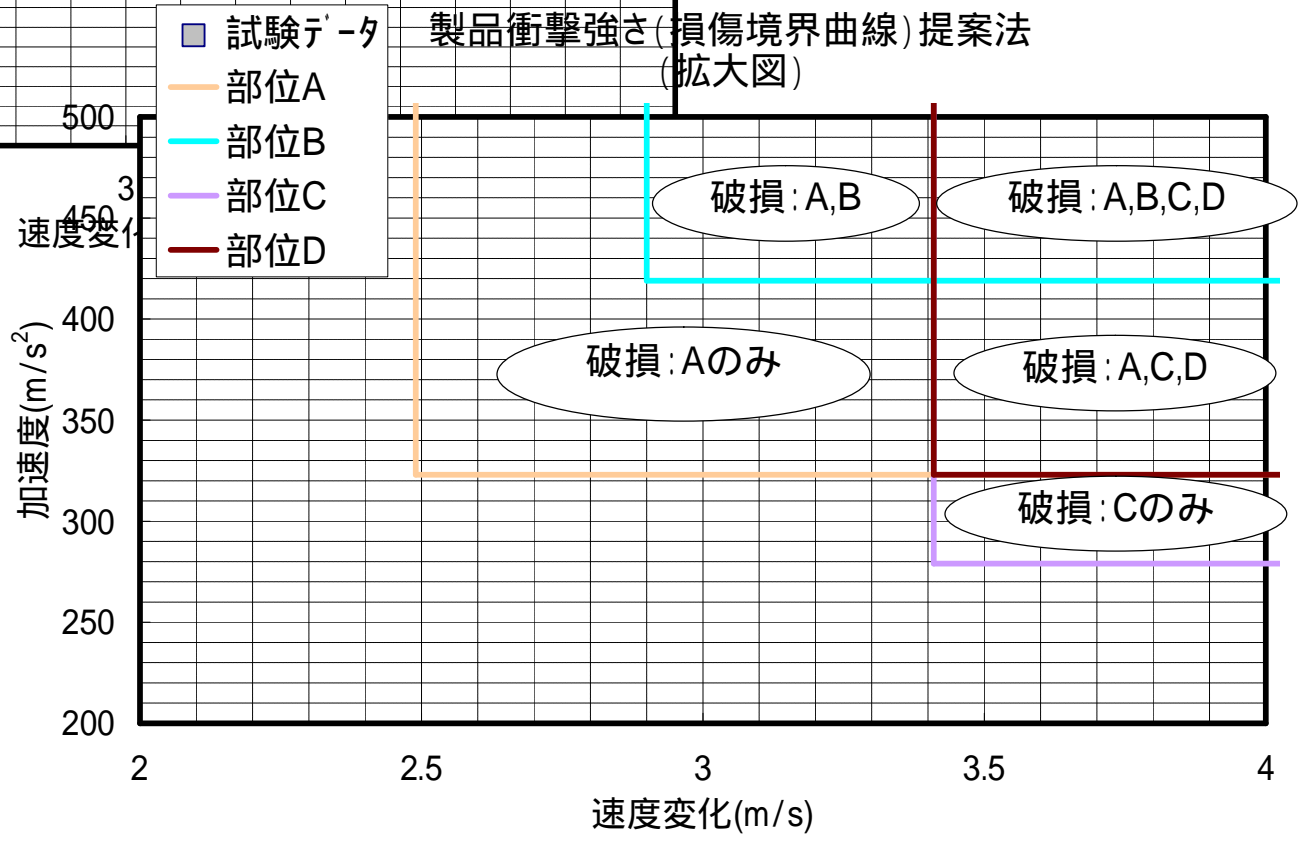
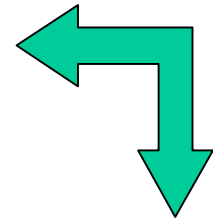
Ex.

**H=30cmなら、部位Aを改良
or 部位AとBを改良**

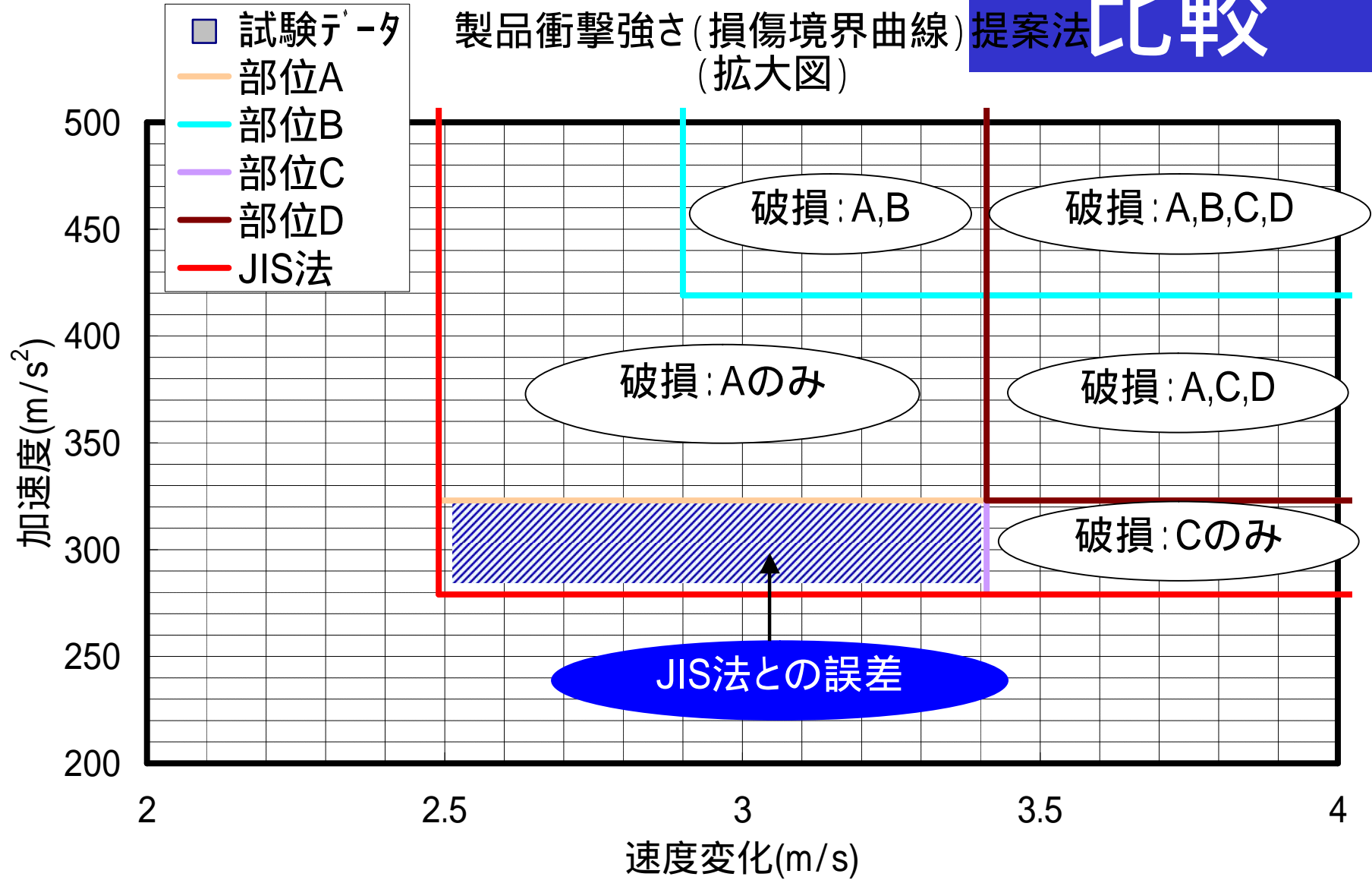
**H=40cmなら、改良しない
or 部位Cを改良**



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、 279m/s^2

提案法では、 323m/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)

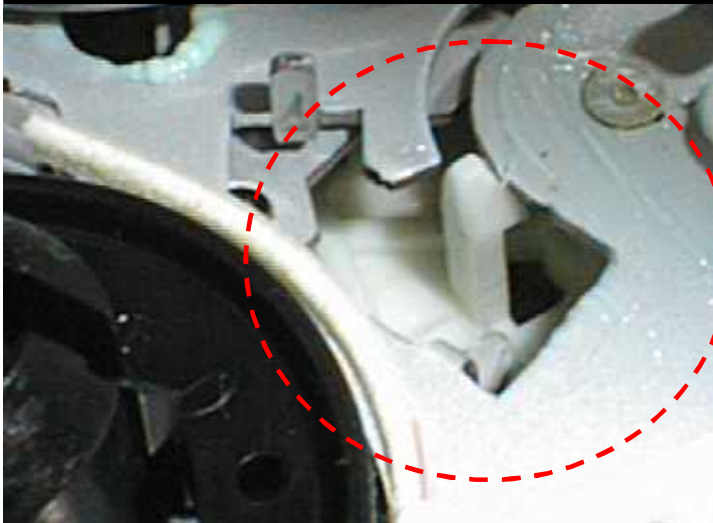
条件3: 部位Bについては、コストあるいは技術的な面から改良が難しい。
(コスト換算: + 100円 / 個)

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)

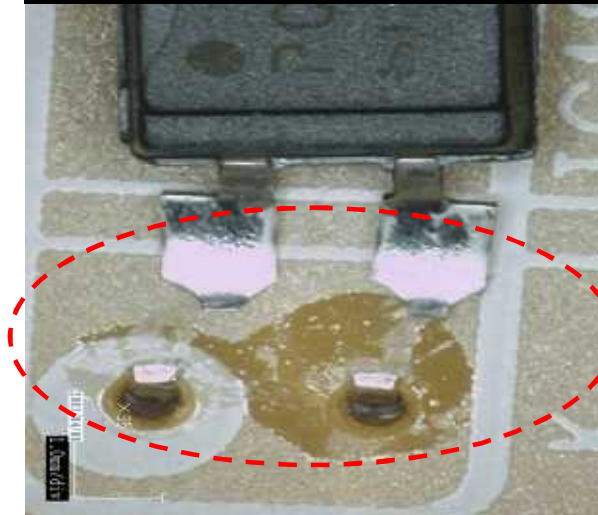
製品 (改良部位)	物流(落下高さ)	包装 (許容加速度)	備考	優先 順位
改良しない	19cm未満 +300円/個	-100円/個	特別な輸送業者の選定必要 緩衝包装を大幅に削減可 コスト換算：+200円/個	
	19cm ~ 25cm +200円/個	320m/s ²	特別な輸送業者の選定必要 コスト換算：+200円/個	
	25cm ~ 35cm +50円/個	320m/s ²	コスト換算：+50円/個	
	35cm ~ 75cm ±0円/個	280m/s ²	コスト換算：±0円/個	
部位A,C,D	19cm未満 +300円/個	-100円/個		-
	19cm ~ 25cm +200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



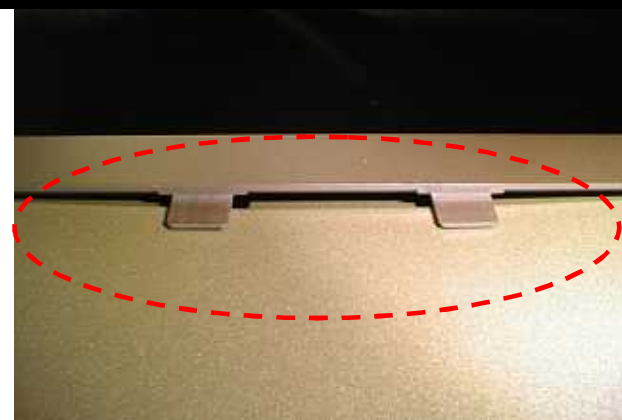
カプラーの脚折れ



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 ²	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、 500m/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。