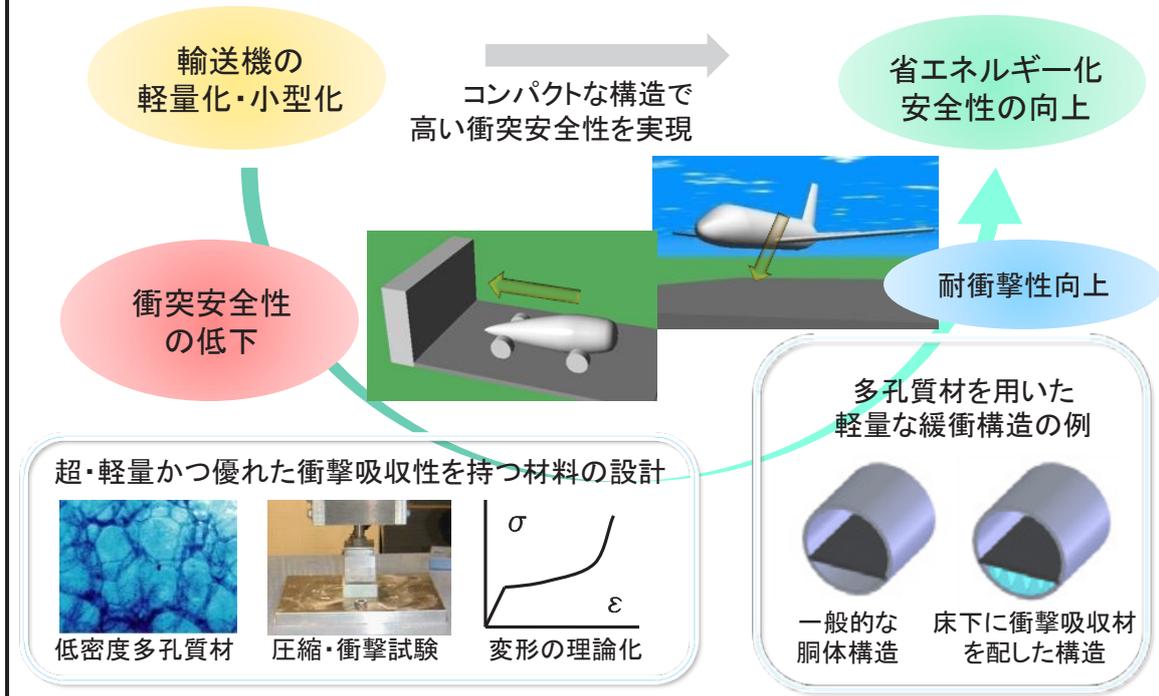


生体組織の流動変形の特性解析と 鳥衝突試験用ファントム開発

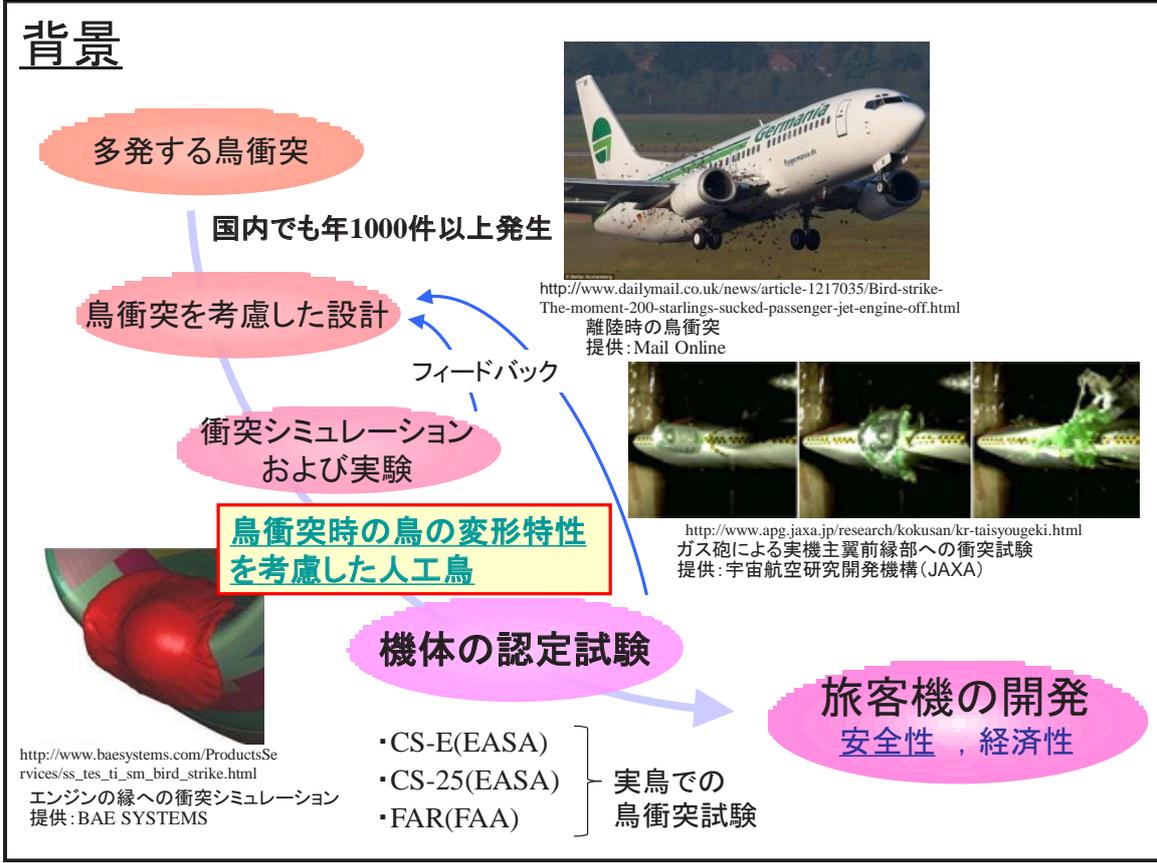
佐久間 淳(農工大)



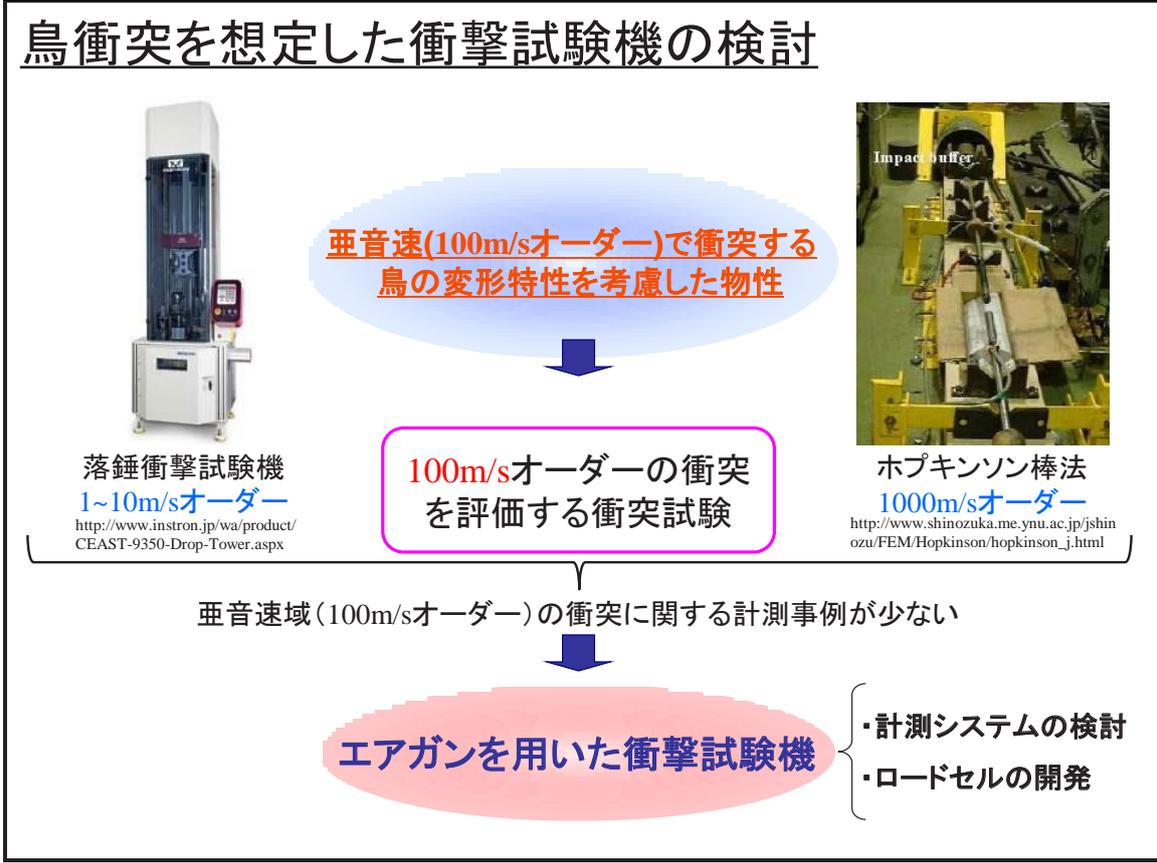
地球と人に優しい 輸送機器の超軽量構造の開発



背景



鳥衝突を想定した衝撃試験機の検討

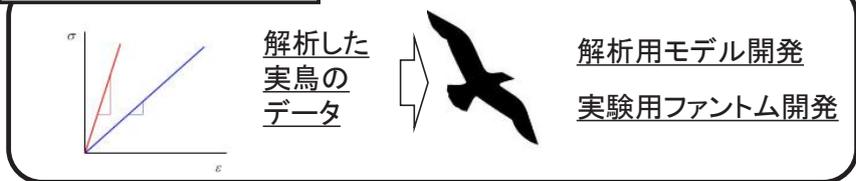


エアガンを用いた衝突試験

変形特性の解析



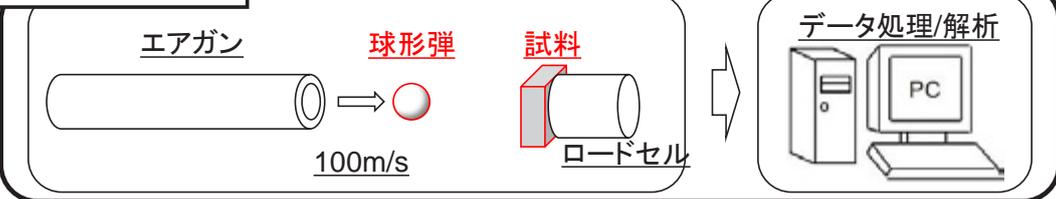
モデル/ファントム開発



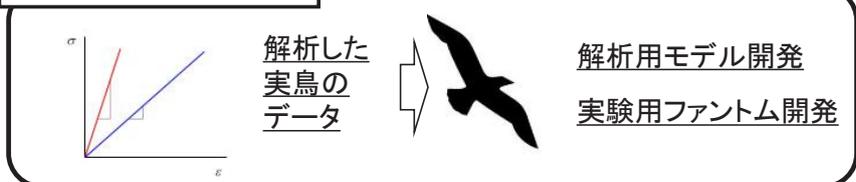
実鳥のデータを基に、解析・実験の高信頼性を図る

エアガンを用いた衝突試験

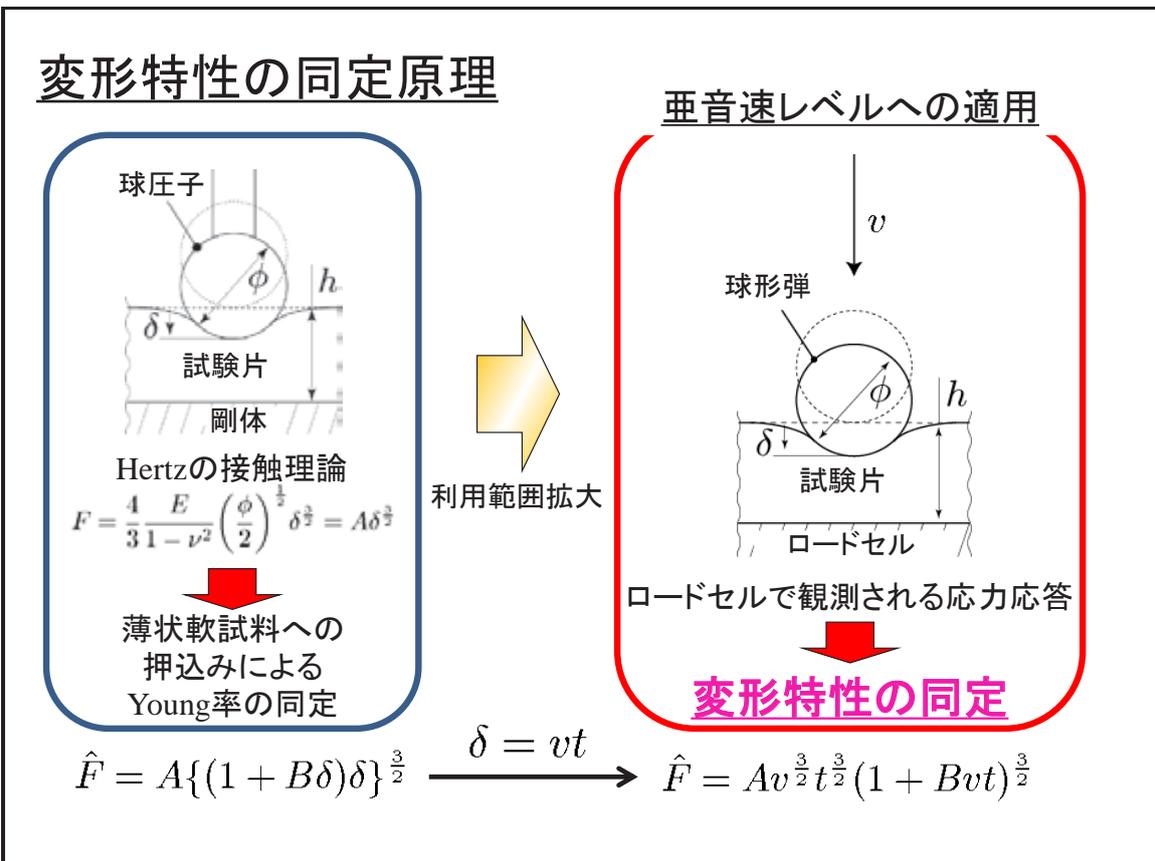
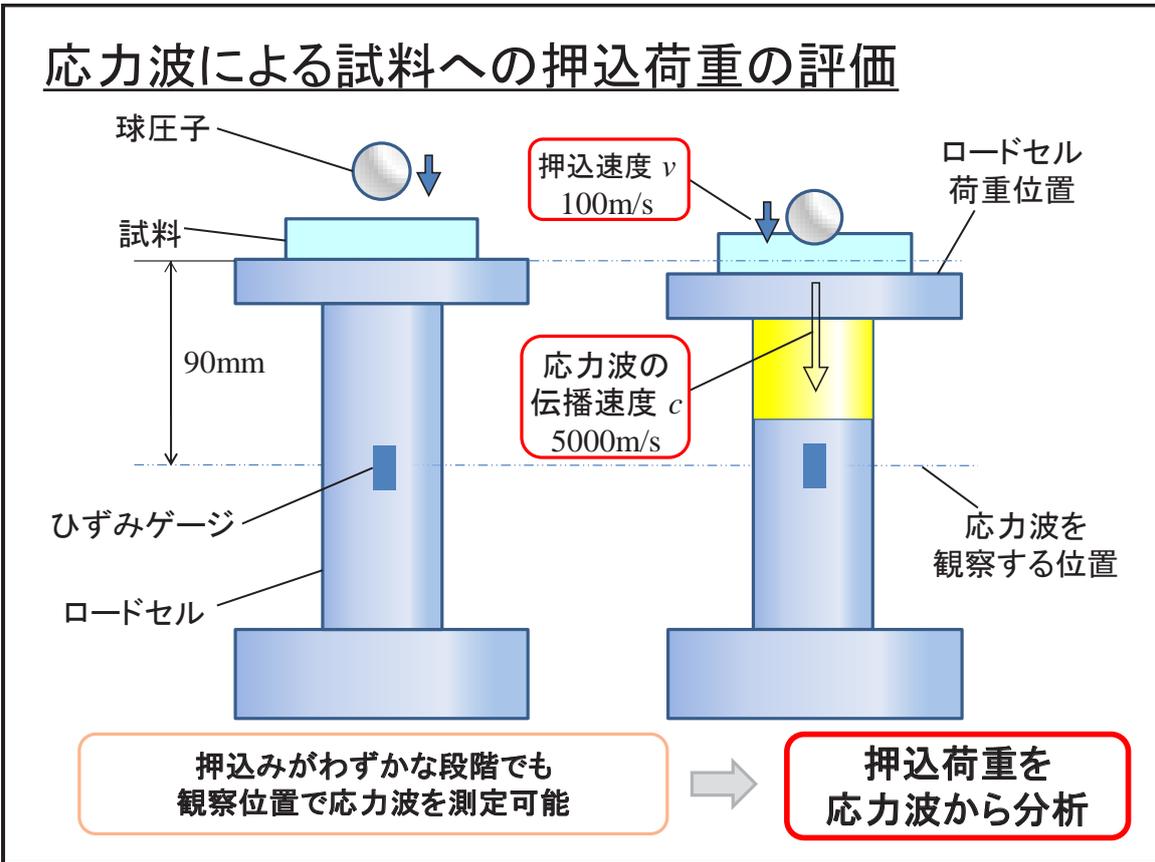
変形特性の解析



モデル/ファントム開発



実鳥のデータを基に、解析・実験の高信頼性を図る



ロードセル中の応力波

固体中を伝わる応力波は波動方程式を満たす

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

速度 v_0 の球形弾の衝突を考える

$$\hat{F} = A\{(1 + B\delta)\delta\}^{\frac{3}{2}} \xrightarrow{\delta = vt} \hat{F} = Av^{\frac{3}{2}}t^{\frac{3}{2}}(1 + Bvt)^{\frac{3}{2}}$$

ロードセルの境界条件

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{Av^{\frac{3}{2}}}{E_s S} t^{\frac{3}{2}} (1 + Bvt)^{\frac{3}{2}}$$

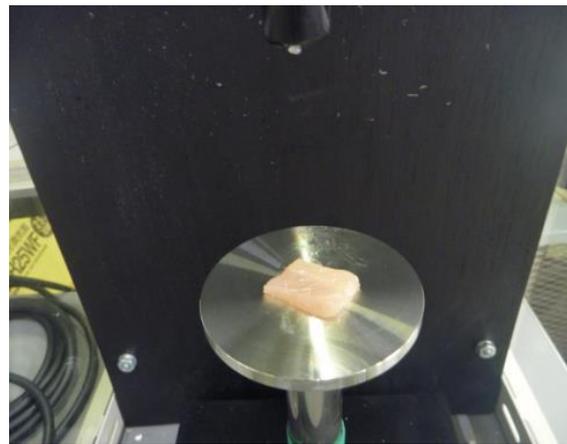
波の関数

$$u(x, t) = a \left\{ 3 \log \left\{ \sqrt{1 + b(ct - x)} + \sqrt{b(ct - x)} \right\} + \sqrt{b(ct - x)} \left\{ 1 + b(ct - x) \right\} \right. \\ \left. \left\{ 16b^3(ct - x)^3 + 24b^2(ct - x)^2 + 2b(ct - x) - 3 \right\} \right\}$$

$$\hat{F} = E_s S \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X_g} \\ = -6Ab^{\frac{3}{2}} E_s S (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}} \\ = A \left(\frac{v}{c}\right)^{\frac{3}{2}} (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}}$$

Fとtの関係式となり, 応力波第一波の立ち上がりを表すことができる.

亜音速レベルにおける衝撃試験システム



・動ひずみ計

型番 : LPC-320724
 応答周波数 : 500kHz

・A/D変換ボード

最高サンプリング周波数 : 1.536MHz

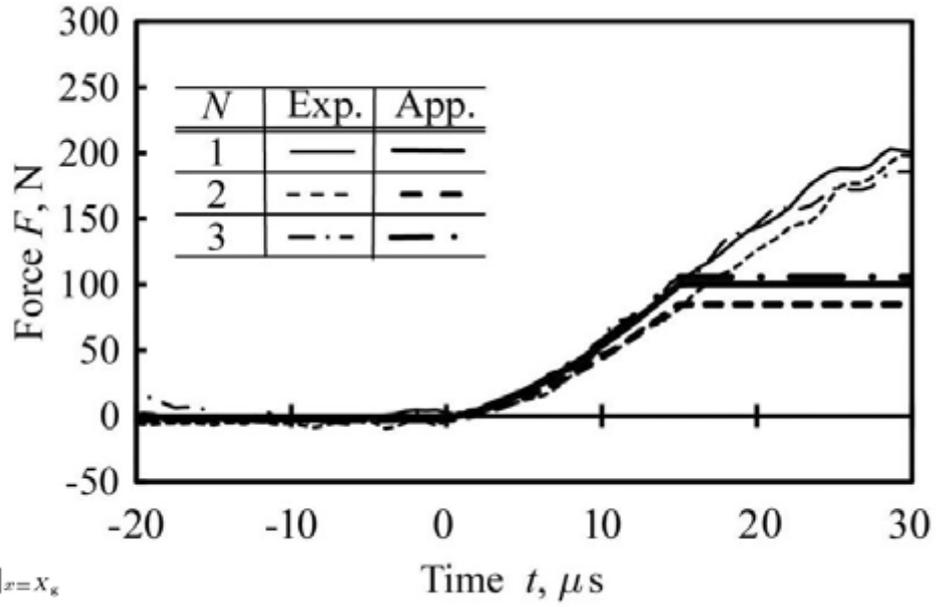
・圧子射出装置

製品 : M14 wood stock (東京マルイ社製)
 撃込み速度 : 93 m/s

・球形圧子

材質 : ポリスチレン樹脂, 石灰
 直径 : 6mm

シリコンゴムの衝撃応力波形

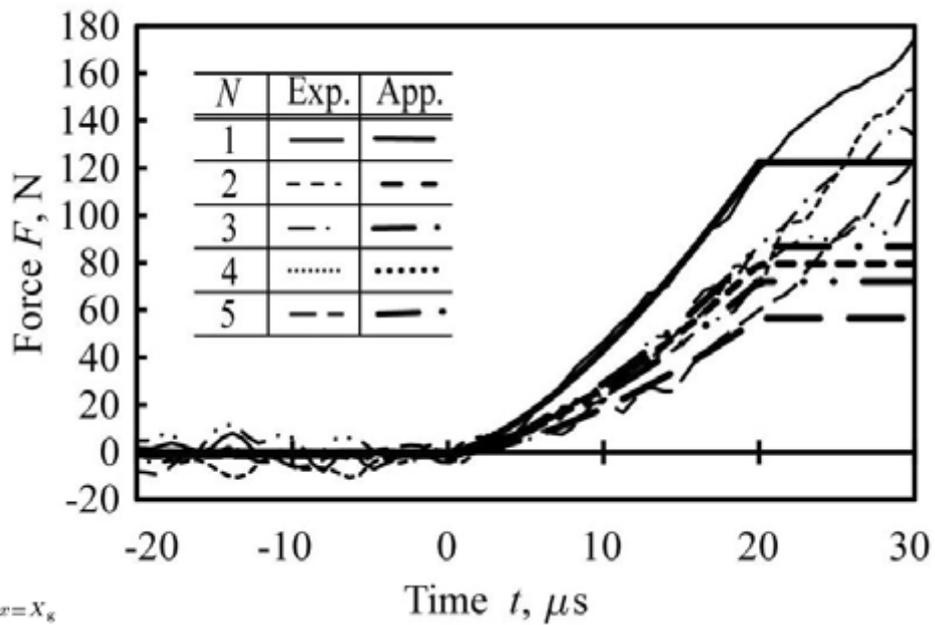


$$\hat{F} = E_s S \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X_g}$$

$$= -64ab^{\frac{3}{2}} E_s S (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}}$$

$$= A \left(\frac{v}{c}\right)^{\frac{3}{2}} (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}}$$

胸肉の衝撃応力波形

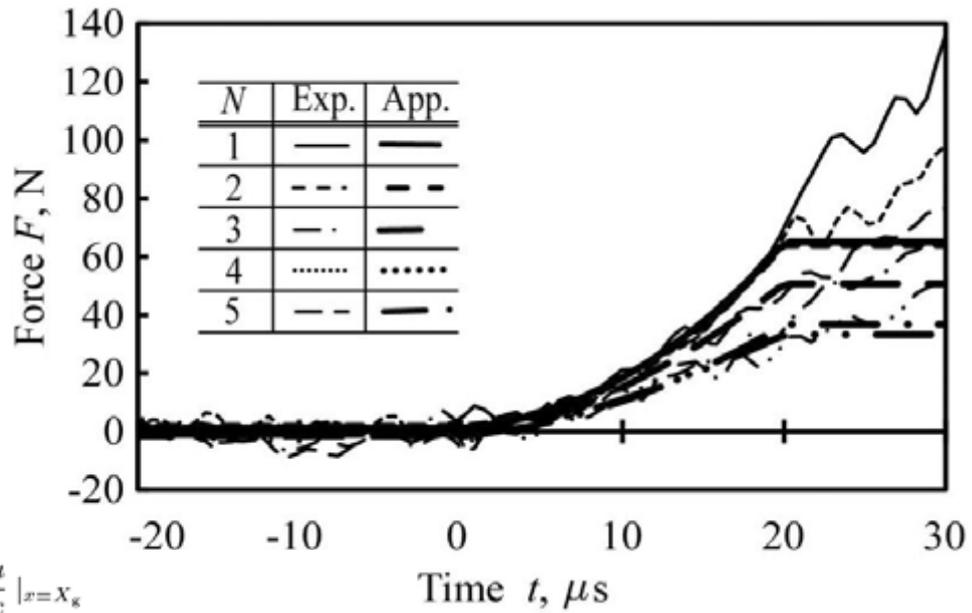


$$\hat{F} = E_s S \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X_g}$$

$$= -64ab^{\frac{3}{2}} E_s S (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}}$$

$$= A \left(\frac{v}{c}\right)^{\frac{3}{2}} (ct - X_g)^{\frac{3}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{3}{2}}$$

ささみ肉の衝撃応力波形

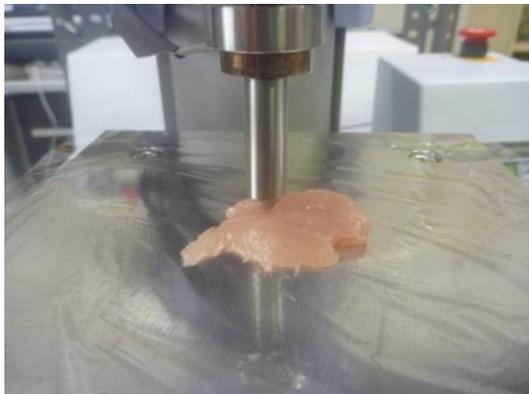


$$\hat{F} = E_s S \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=X_g}$$

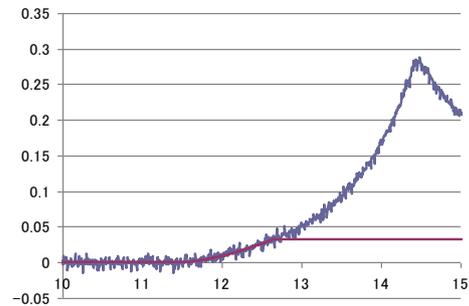
$$= -64ab^{\frac{5}{2}} E_s S (ct - X_g)^{\frac{5}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{5}{2}}$$

$$= A \left(\frac{v}{c}\right)^{\frac{5}{2}} (ct - X_g)^{\frac{5}{2}} \{1 + b(ct - X_g)\}^{\frac{5}{2}}$$

深胸筋(ささみ)の柔さ計測



押し込み変位(mm)-荷重(N)の関係

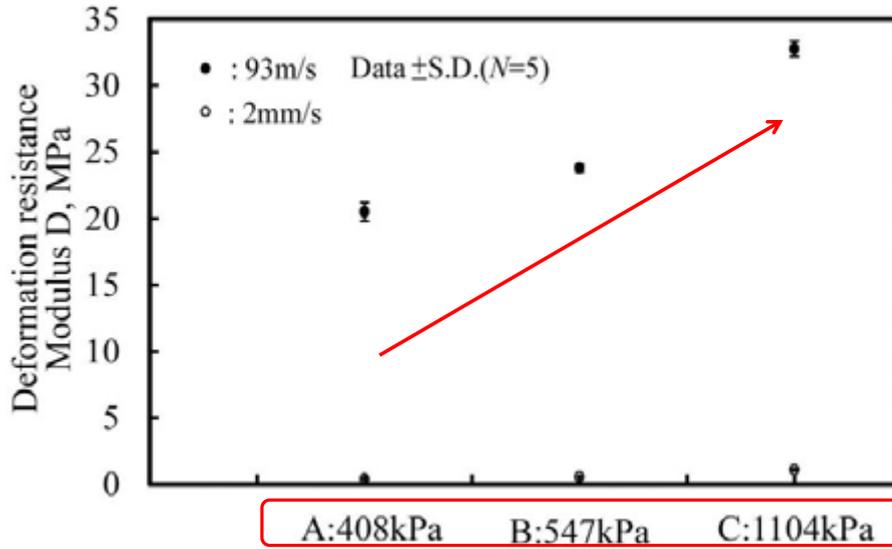


試験条件

Young率
8.03kPa

押し込み速度	2 mm/s
圧子径	5 mm
試験力	0.2 N

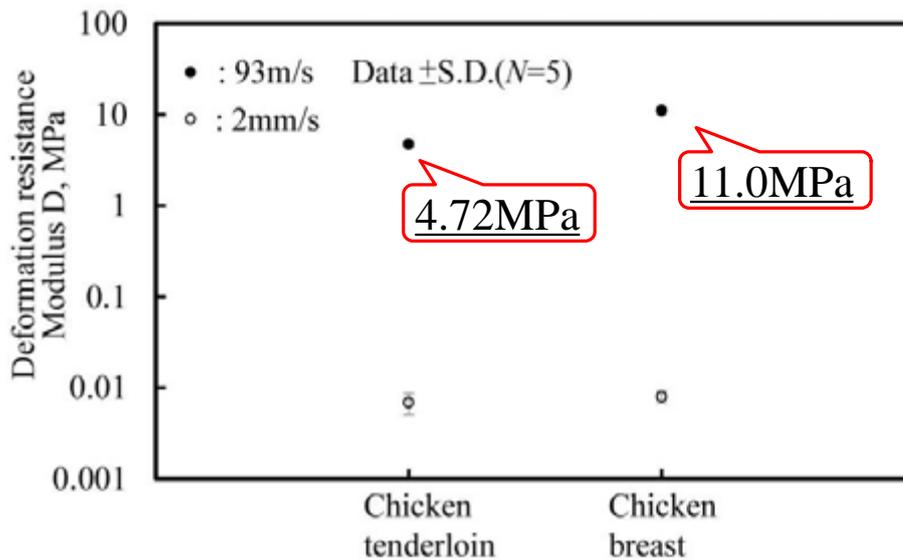
衝撃の効果(シリコンゴム)



荷重と押し込み量 $\frac{1}{2}$ \longrightarrow 荷重と時間 $\frac{1}{2}$

$$\underline{E = \frac{3}{4} A(1-\nu^2) \left(\frac{\phi}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}} \longrightarrow \underline{D = \frac{3}{4} A(1-\nu^2) \left(\frac{\phi}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}}$$

衝撃の効果(ささみ肉, 胸肉)



荷重と押し込み量 $\frac{1}{2}$ \longrightarrow 荷重と時間 $\frac{1}{2}$

$$\underline{E = \frac{3}{4} A(1-\nu^2) \left(\frac{\phi}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}} \longrightarrow \underline{D = \frac{3}{4} A(1-\nu^2) \left(\frac{\phi}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}}$$

ファントムに用いる材料の選定

必要な要件

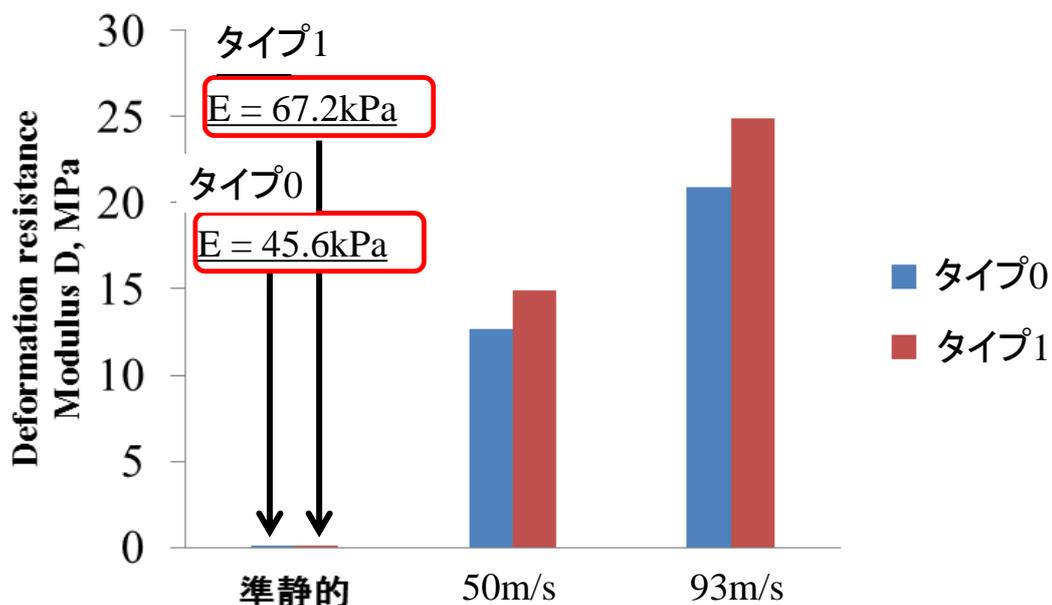
- ・ 実鳥と同様の変形抵抗を衝突レベルでも呈すること
- ・ 破壊形態が実鳥と同等とみなせる挙動を示すこと

一般に用いられている疑似生体材料

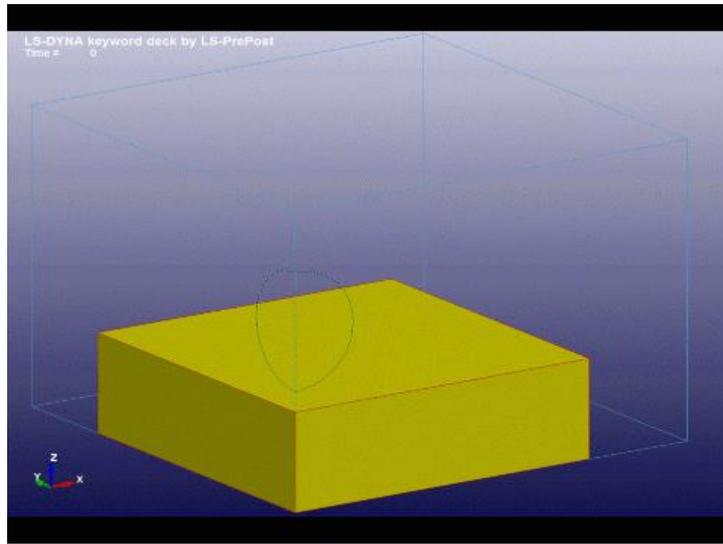
- ・ シリコーンゴム: 物性安定、柔いもの難、速度依存性低
- ・ ゼラチン: 速度依存性良好、柔いもの容易、物性不安定
- ・ PVAゲル: 速度依存性良好、柔いもの容易、製造が難

特に、破壊形態の制御が可能なものはない

開発した材料(エポキシ系)の特性



模擬試料への球体の衝突シミュレーション



まとめ

エアガンを用いた亜音速レベルの衝撃材料試験法を開発

- ・ シリコンゴムでは準静的なYoung率に応じて変形抵抗が上昇
- ・ 生体細胞ではシリコンゴムより速度依存性が高いことを確認

疑似鳥材料の創成と鳥衝突用ファントム開発

- ・ 変形特性が生体に近く、破壊形態制御ができる材料を開発
- ・ ファントム開発のためのシミュレーション環境を構築

