

# 理想的特性を有する衝撃吸収構造を 折紙工学で実現

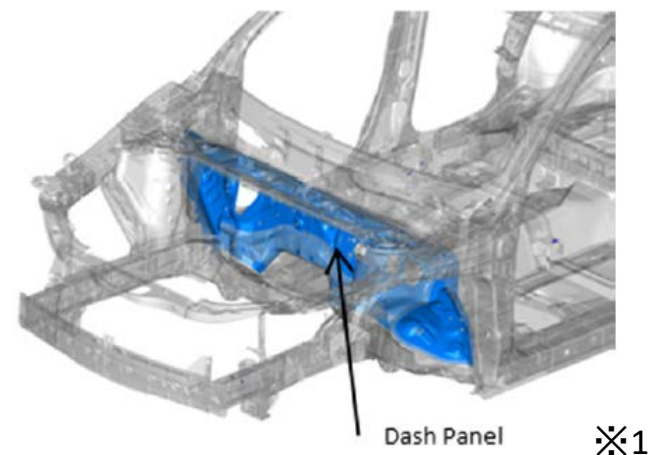
明治大学 研究・知財戦略機構  
先端数理科学インスティテュート  
特任教授 萩原 一郎

2019年12月10日



## ●従来の技術

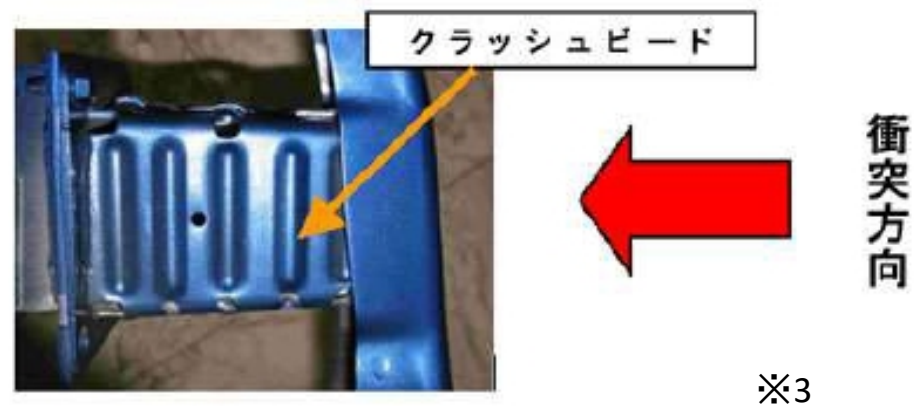
前面衝突エネルギー吸収用  
クラッシュボックス新構造



MAZDA



TOYOTA:新日鐵住金



※1 杉山 豪ほか: 新型CX-5の軽量・高剛性ボディーシェル, マツダ技報, No.34, pp.16 (2017)

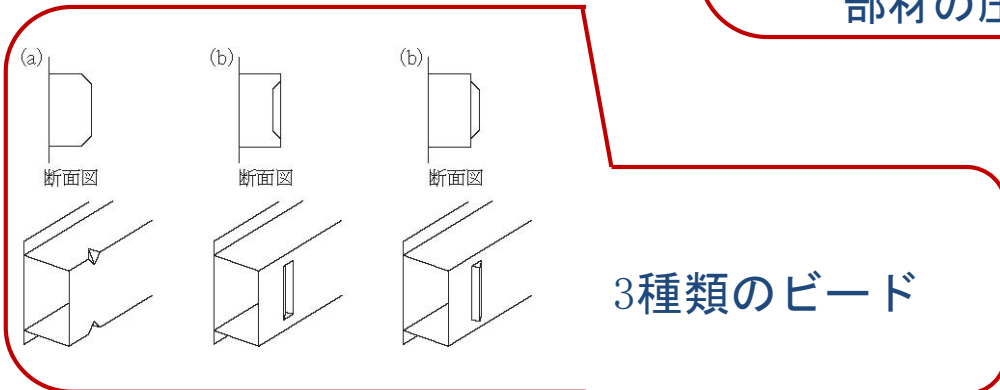
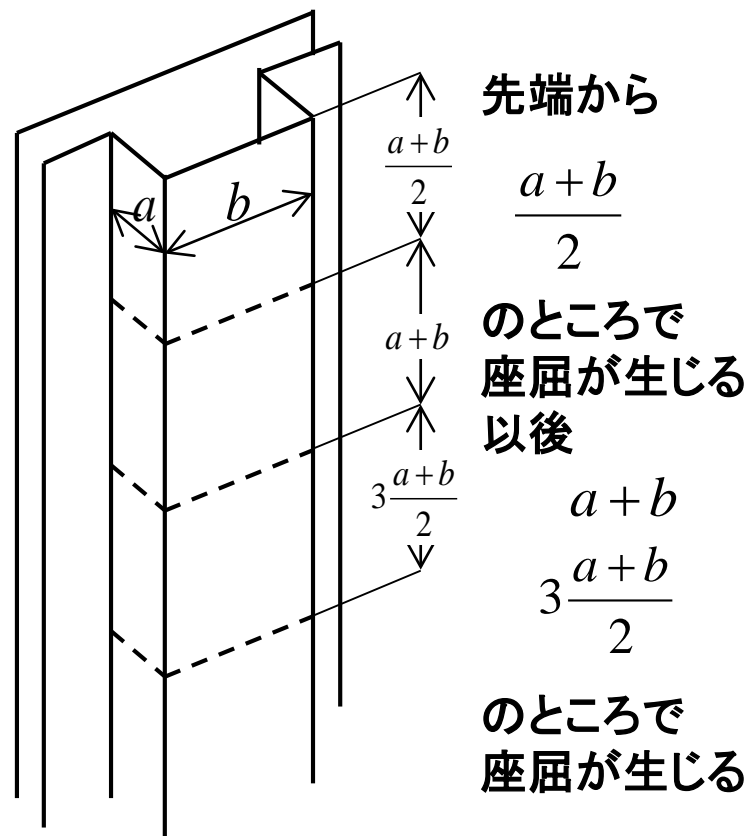
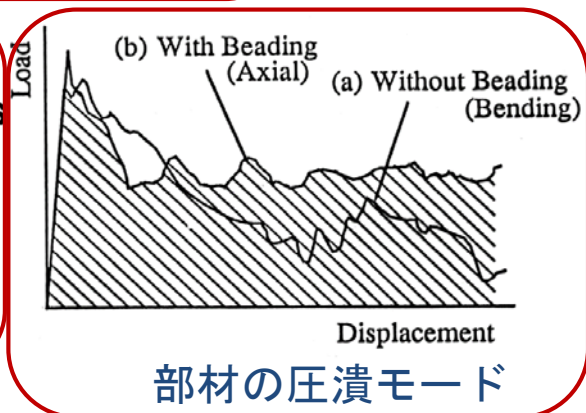
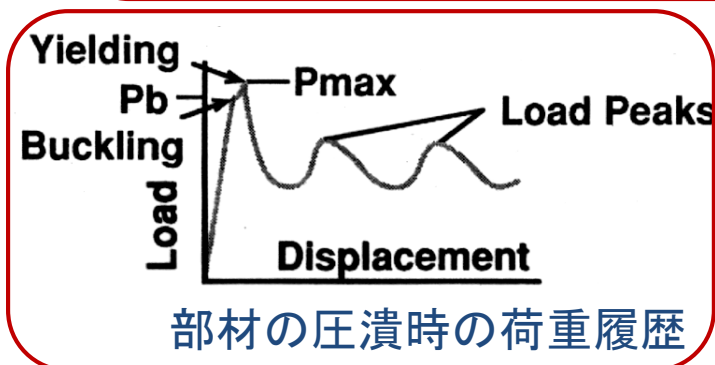
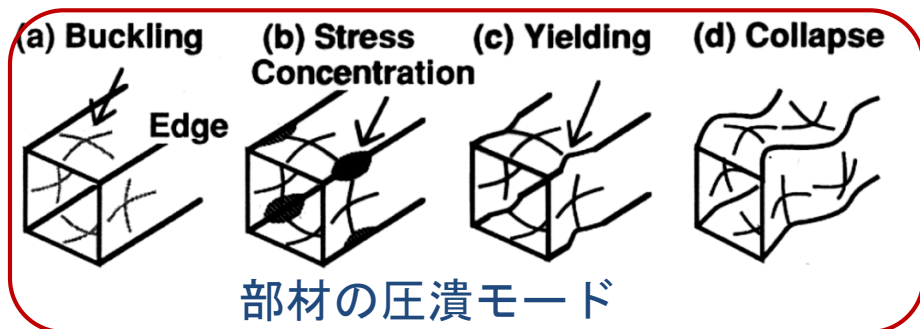
※2 住友金属工業株式会社 プレスリリース  
自動車の燃費向上と衝突安全性向上を可能にする「高効率クラッシュボックスの開発」について 文部科学大臣表彰 科学技術賞を受賞  
[https://www.nipponsteel.com/news/old\\_smi/2009/news2009-04-14-02.html](https://www.nipponsteel.com/news/old_smi/2009/news2009-04-14-02.html)

※3 マツダ公式ブログ: ZOOM-ZOOM BLOG [https://blog.mazda.com/archive/20180322\\_01.html](https://blog.mazda.com/archive/20180322_01.html)

# 従来の技術とその問題点

## ●従来の技術

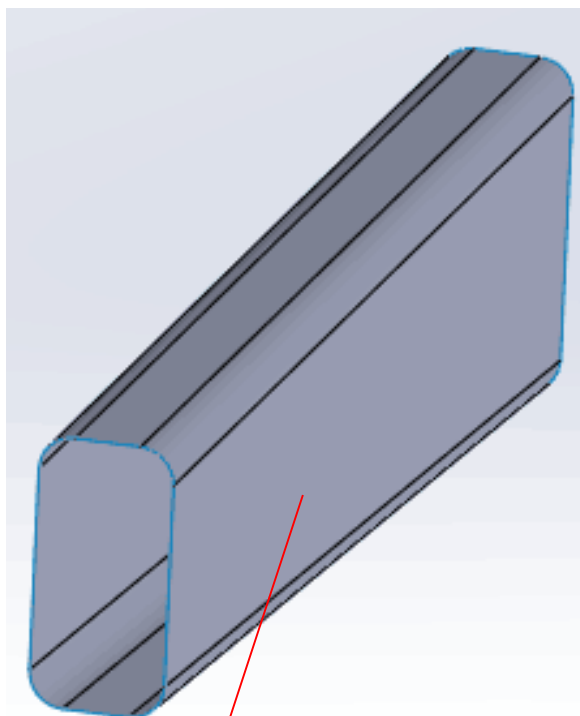
困難であった有限要素法シェルモデルによる衝突シミュレーション  
技術をもとにエネルギー吸収の現象解明:基本特許



エネルギー吸収材の基本特許の取得  
萩原一郎, 津田政明, 北川裕一,  
ビードの配置決定方法, 第2727680号(1991).

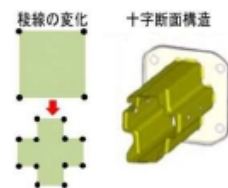
## ●問題点・課題

### 従来のクラッシュボックス

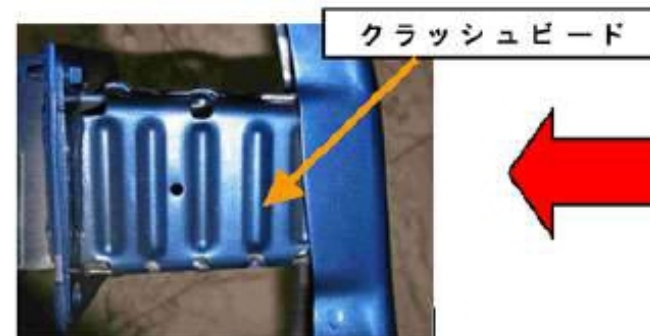


問題点: 側壁にフラート面積が大きく、座屈が生じやすい

### 数々の改善構造が提案されている



※1



※2

衝突方向

問題点: ビードを入れることにより、変形の反力が小さく、衝突エネルギー吸収性能が低くなる

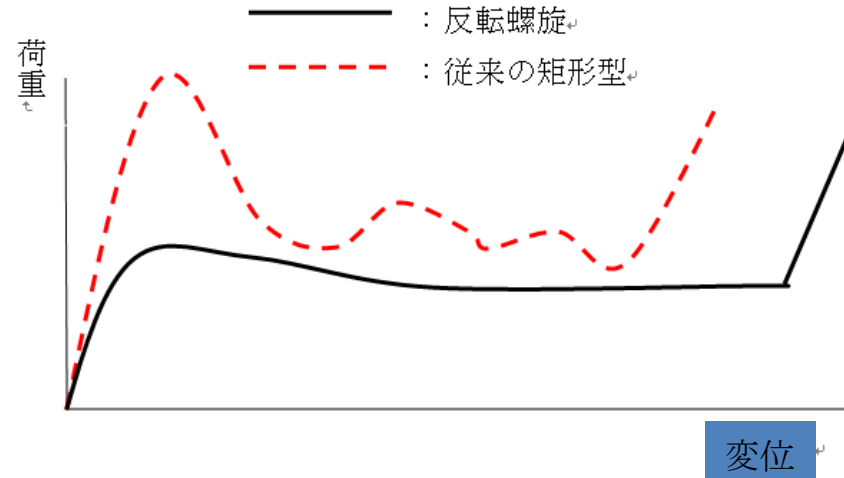
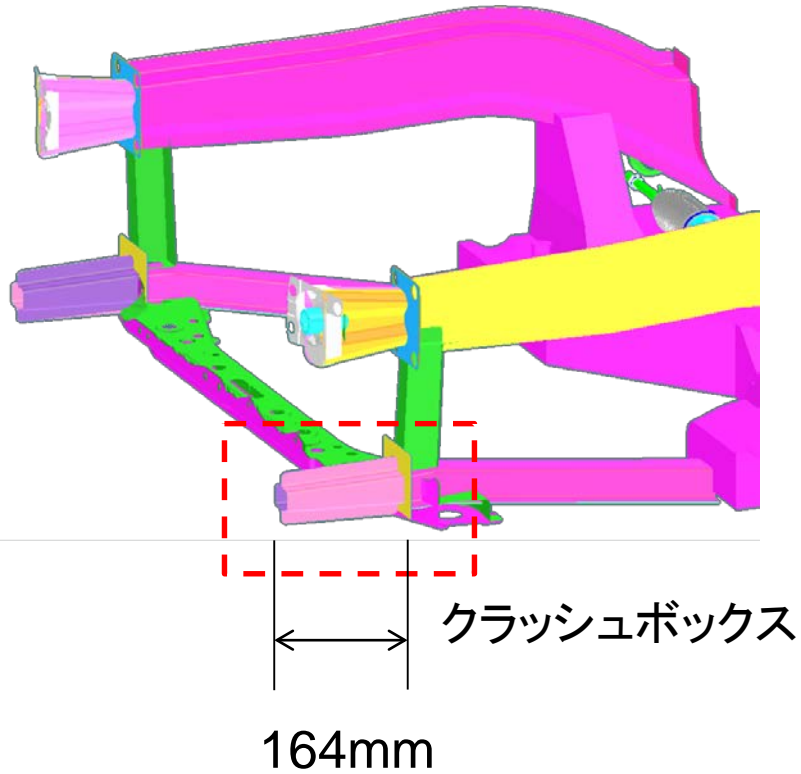
※1 マツダ公式ブログ: ZOOM-ZOOM BLOG [https://blog.mazda.com/archive/20180322\\_01.html](https://blog.mazda.com/archive/20180322_01.html)

※2 住友金属工業株式会社 プレスリリース

自動車の燃費向上と衝突安全性向上を可能にする「高効率クラッシュボックスの開発」について 文部科学大臣表彰 科学技術賞を受賞  
[https://www.nipponsteel.com/news/old\\_smi/2009/news2009-04-14-02.html](https://www.nipponsteel.com/news/old_smi/2009/news2009-04-14-02.html)

# 反転らせん構造物の産業応用例

- 自動車用衝撃吸収バンパー(クラッシュボックス)
- 衝突の際に、**高エネルギーを吸収し、かつ衝撃荷重を抑える**ことが求められる。



従来型

多角柱



提案されたデザイン

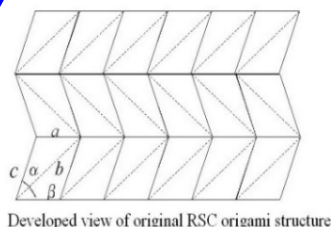
反転らせん型



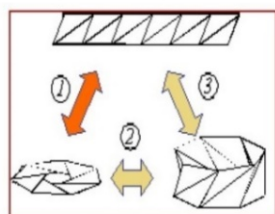
反転らせん併用型



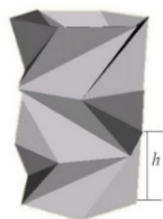
## 反転螺旋円筒構造:RSC



Developed view of original RSC origami structure

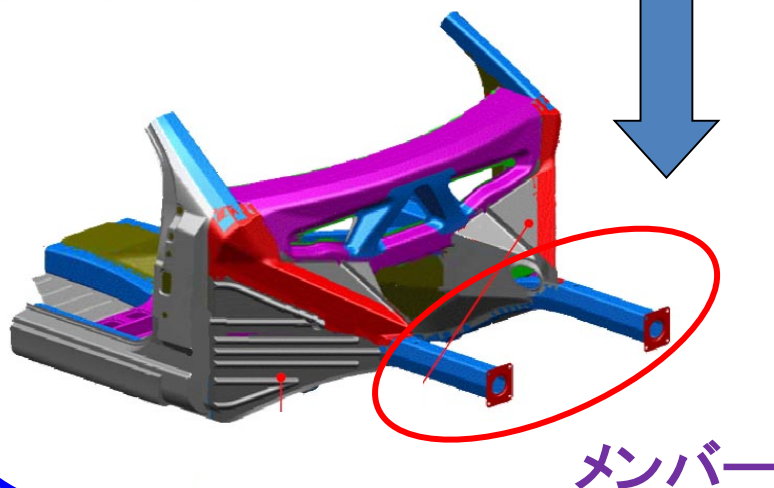
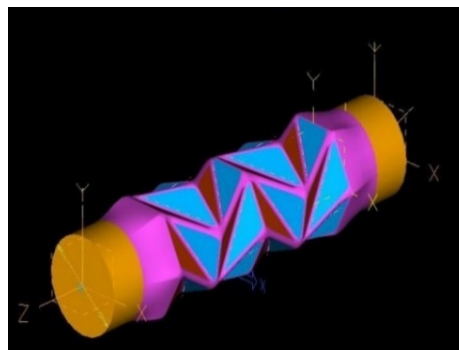


Folding procedure of original RSC origami structure

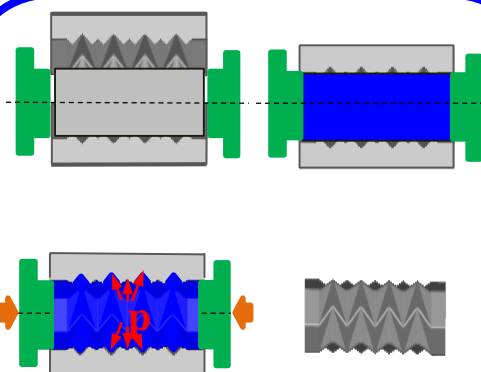


Original RSC origami structure

$$\begin{aligned} m &= 6 & \alpha &= 30^\circ \\ a &= 30\text{mm} & \beta &= 38.39^\circ \\ h &= 30\text{mm} \end{aligned}$$



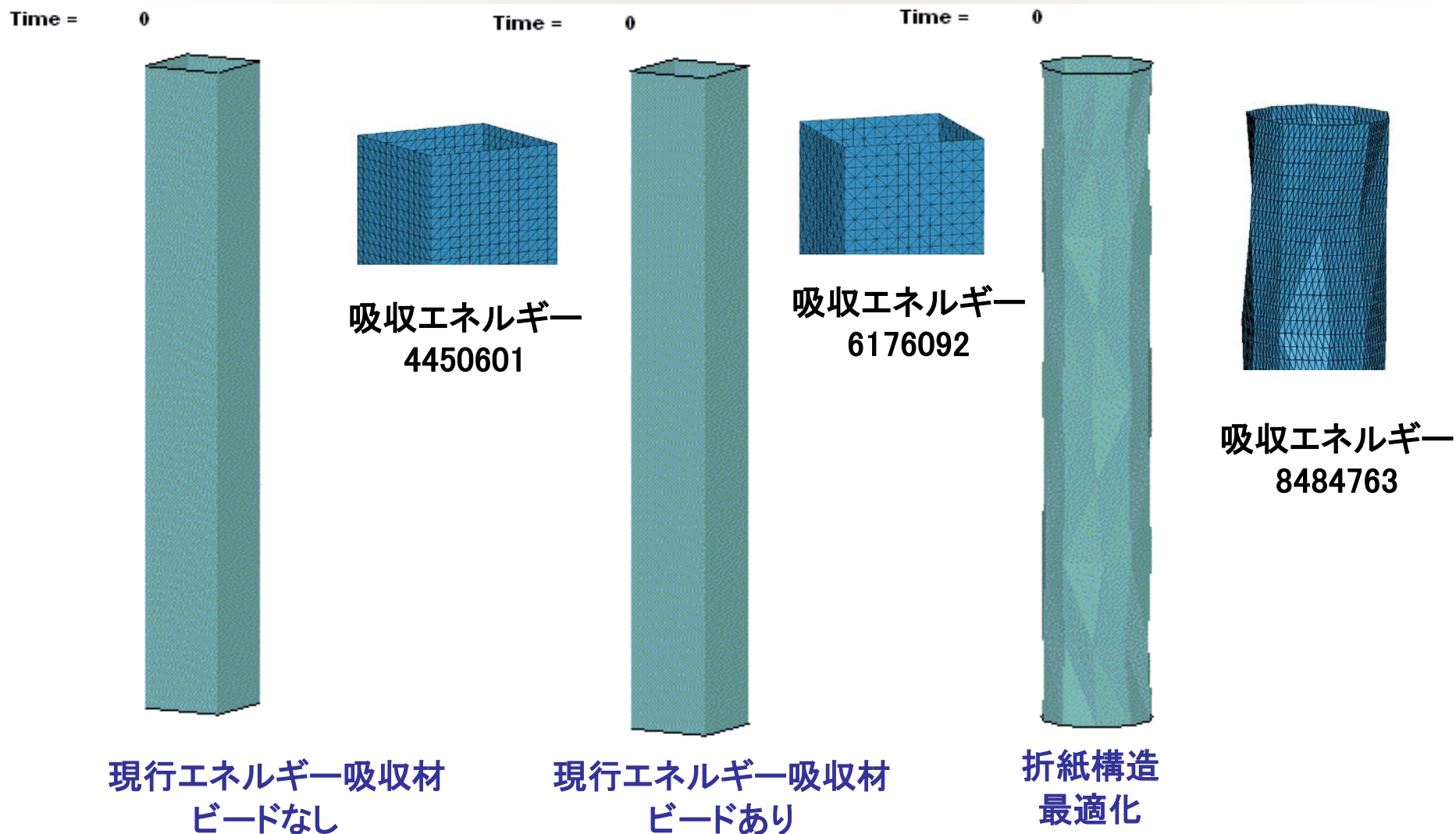
メンバー



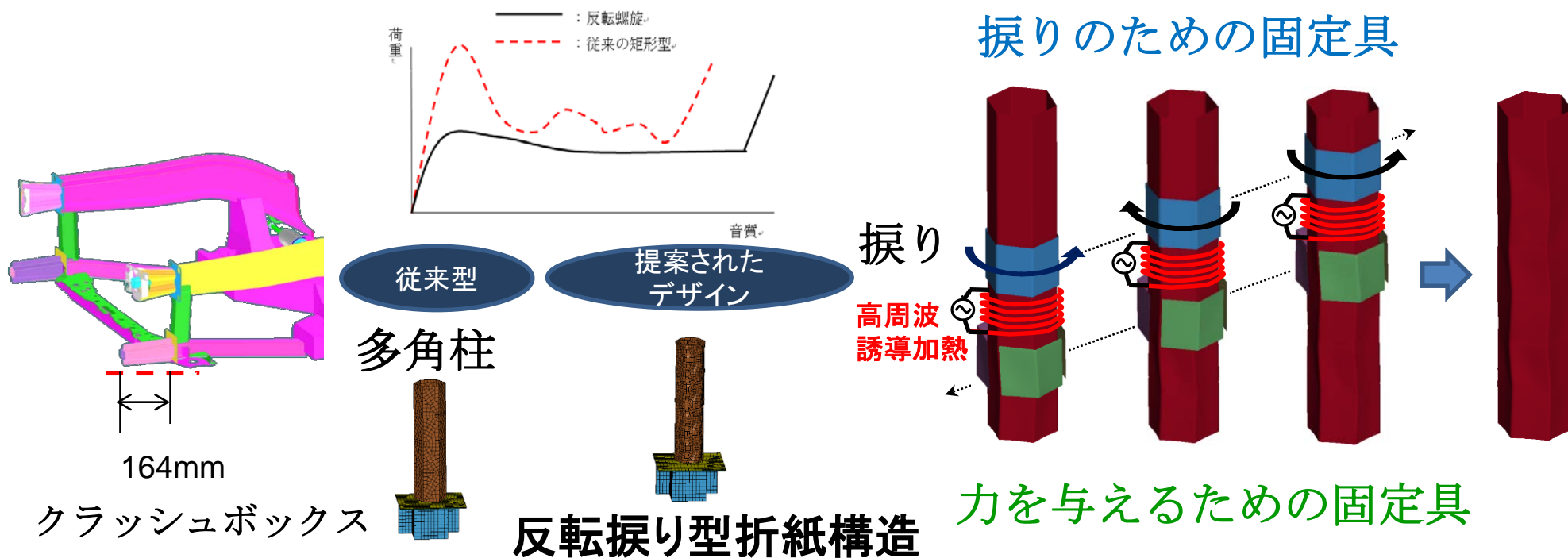
ハイドロフォーミング

反転らせん折紙構造物で二つの欠点解消:エネルギー吸収量も1.4倍。  
しかし、製造コストが高い。

## 軸圧潰モード及びエネルギー吸収量比較



## 新しいエネルギー吸収材／反転捩り型折紙構造

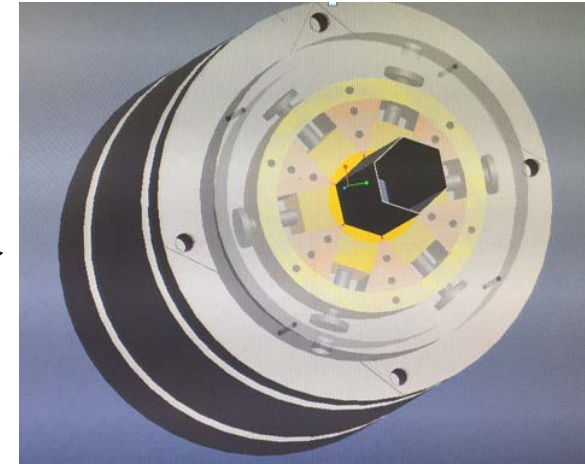
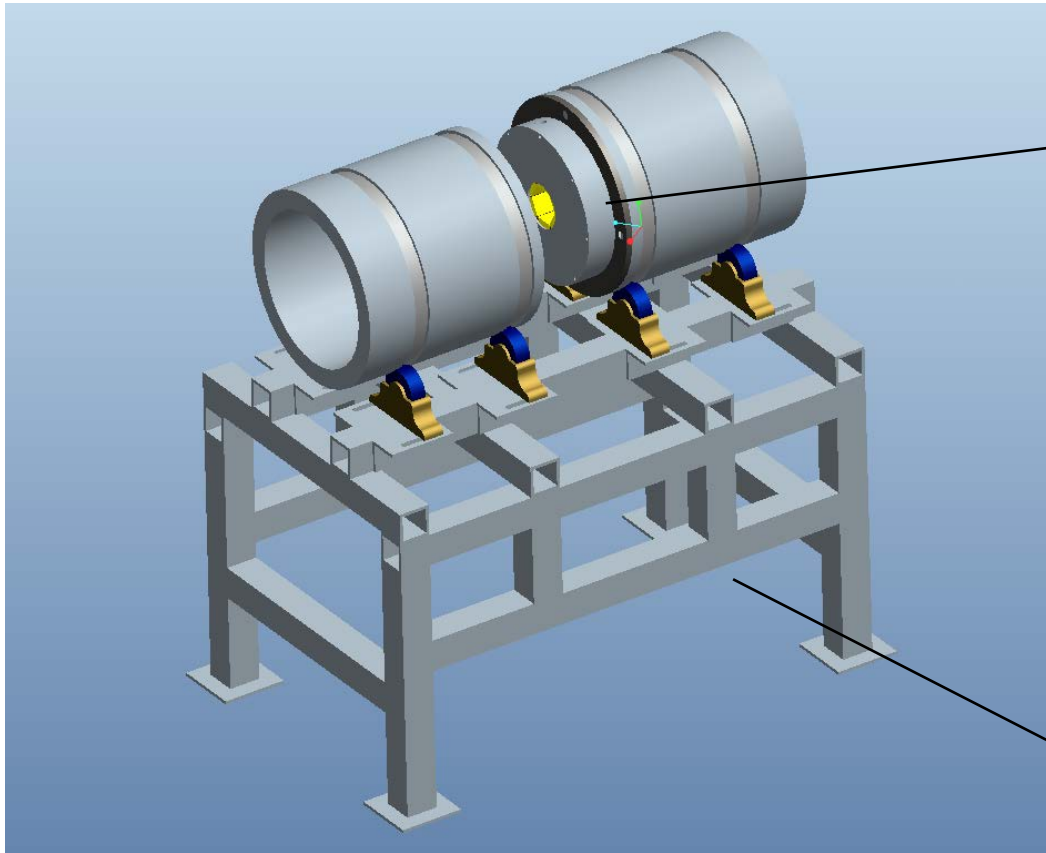


○自動車用衝撃吸収バンパー(クラッシュボックス):衝突の際の、**高エネルギー**を吸収し、かつ**衝撃荷重を抑える**ことが可能

○現行の中空ハット型断面構造より安価に製造可能

萩原一郎、趙希祿、衝撃吸収体の製造装置および衝撃吸収体の製造方法、特願2017-089216  
(平成29年4月28日)





ねじり成形金型

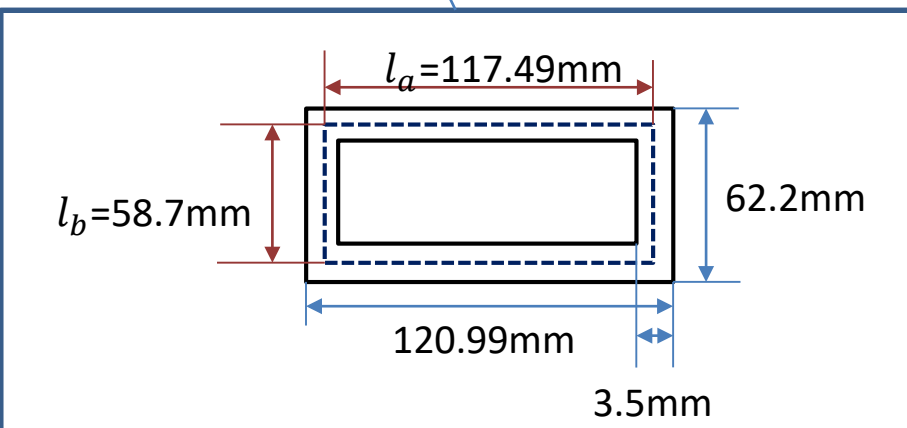
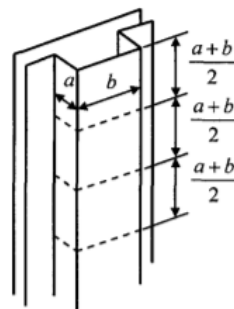
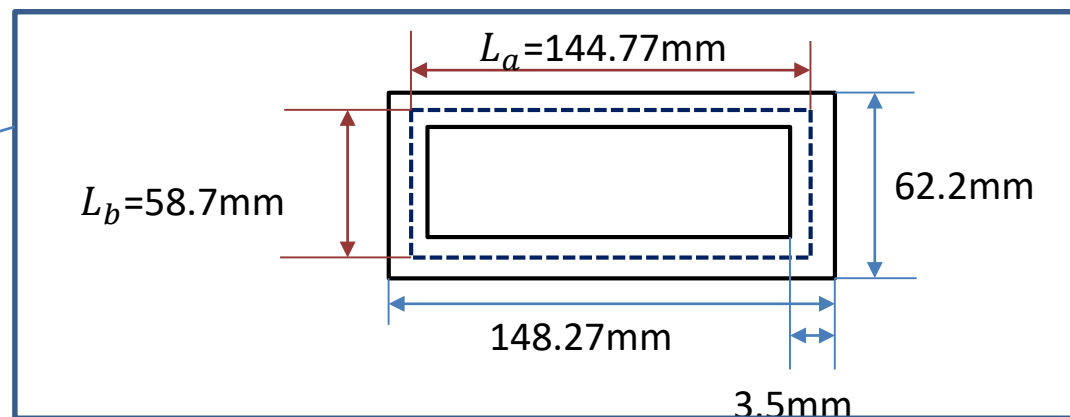
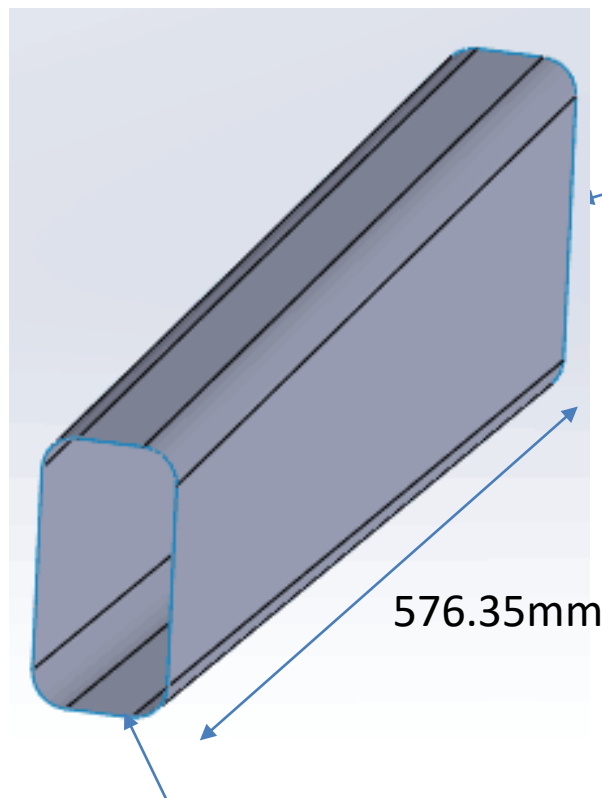


一部完成した実験装置

部分加熱回転成形の実験装置

今後の機会で、成形結果を報告します

# クラッシュボックス構造形状と寸法



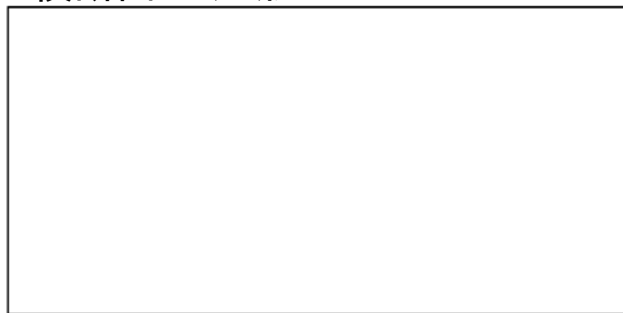
(前端の周長) + (後端の周長)

$$= \frac{(l_a + l_b) \times 2 + (L_a + L_b) \times 2}{4} = \frac{352.38 + 406.94}{4} = \frac{759.32}{4} = 189.83$$

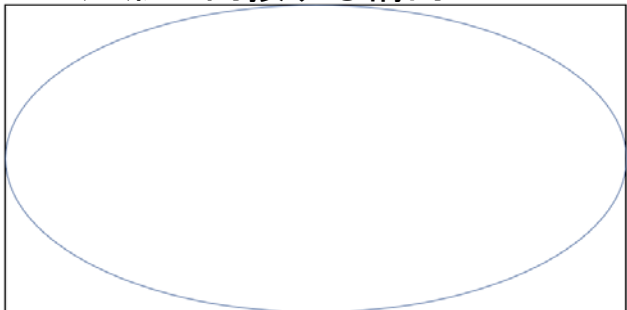
$$N = \frac{\text{構造の長さ}}{189.83} = \frac{576.35}{189.83} \approx 3$$

# 折紙型クラッシュボックス構造

## 1.横断面:四辺形

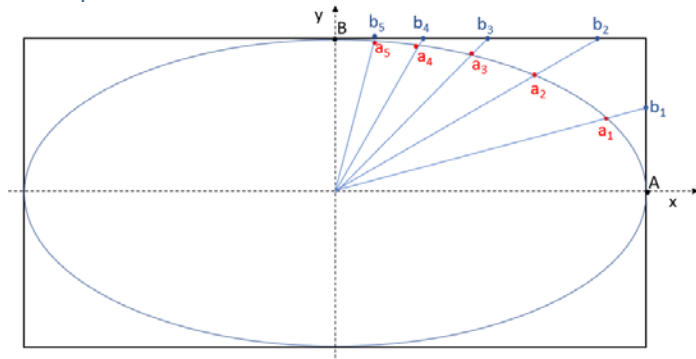


## 2.四辺形に内接する楕円

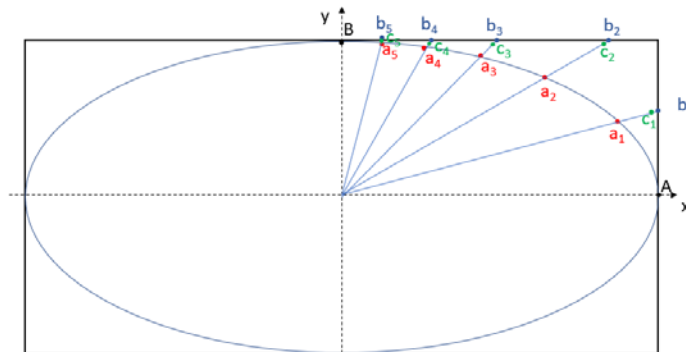


3

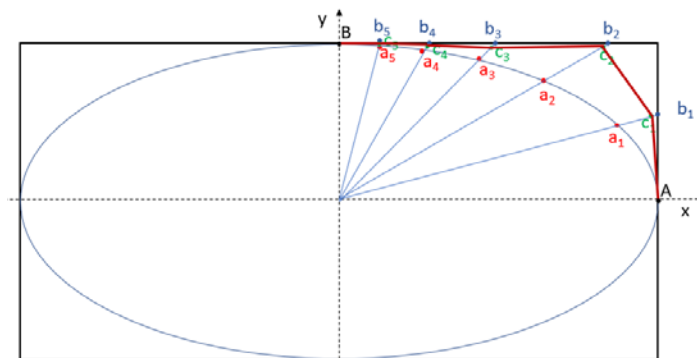
- ①横断面はx軸、y軸対称で、その四分の一の中心角を6等分する
- ②節点A、Bは四辺形と内接楕円の接点
- ③  $a_i (i=1\sim5)$ は内接楕円に沿って①から6等分した節点
- ④  $b_i$ は四辺形に沿って①から6等分した節点



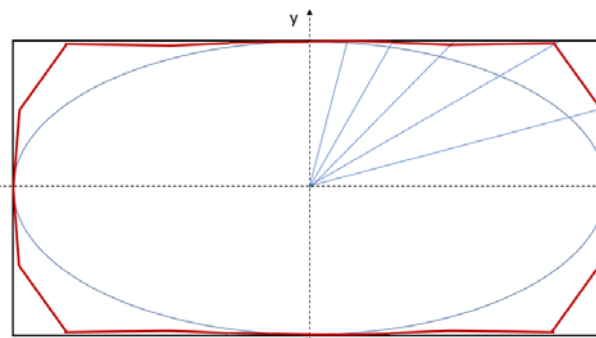
4 それぞれ節点 $a_i$ と節点 $b_i$ の接続線に、 $b_i$ から $\frac{|a_i b_i|}{20}$ の所に節点 $c_i$ が得られる



5 節点Aから節点 $c_i$ と順番的に接続し、最後節点Bも接続する線(赤い線)が得られる

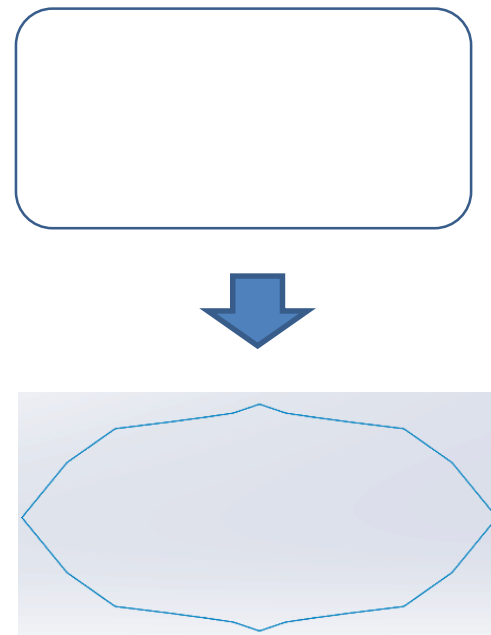
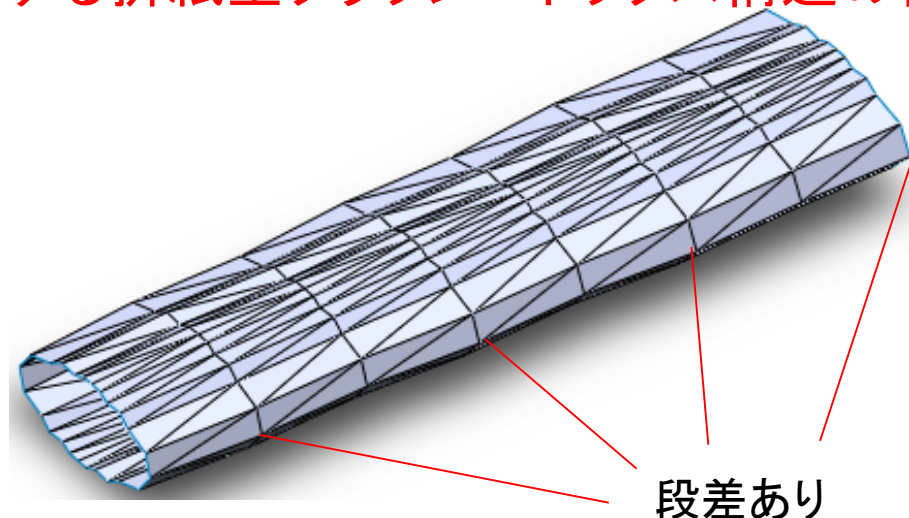


6 対称性により、横断面の多角形(赤い線)が得られる



四辺形の周長: 352.38mm  
 多角形の周長: 326.08mm  
 $\frac{\text{多角形の周長}}{\text{四辺形の周長}} = 92.5\%$

## 提案する折紙型クラッシュボックス構造の優位点



(1)従来のクラッシュボックスの断面形状と比べ、大きなフラットな平坦面ではなく、円周方向に沿って、折り角を均等に多く配置することにより、圧潰変形に抵抗する反力が大きくなる結果、反力と変形量の積で表す衝突エネルギー吸収量も多くなることが判る。

(2)偶数段に一律に段差を設けることによって、圧潰変形される時、クラッシュボックスの横へ倒れるオイラー座屈変形を避ける機能があり、さらに皺形状を有利な方向にコントロールすることができる。具体的に言えば、側壁面に沿って、ただ1つ大きな皺が生じるパターンは最も悪く、出来るだけ均等に側壁面に沿って皺が生じるパターンは衝突エネルギー吸収性能向上にとって理想的なパターンと思われる。

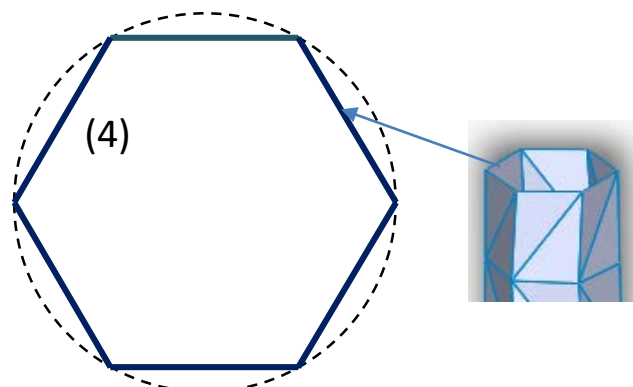
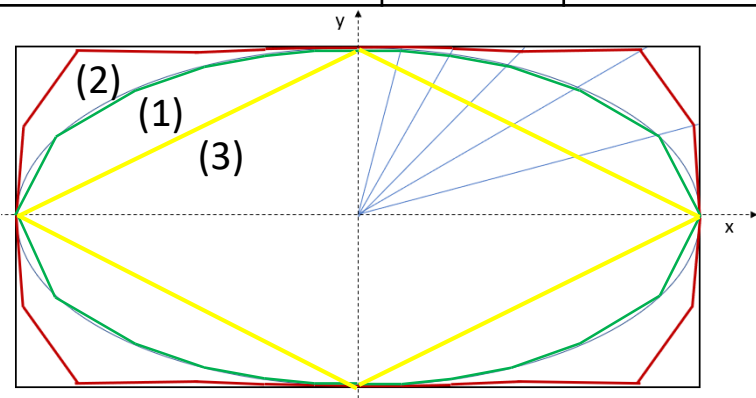
(3)クラッシュボックスの軸方向に沿って、断面の形状が少しずつ大きくなることで、圧潰変形する時に、皺が前面から後方へ順番に生じて積み重ねて行く変形パターンとなることが衝突エネルギー吸収性能向上に有利と思われる。

# 衝突解析シミュレーション結果

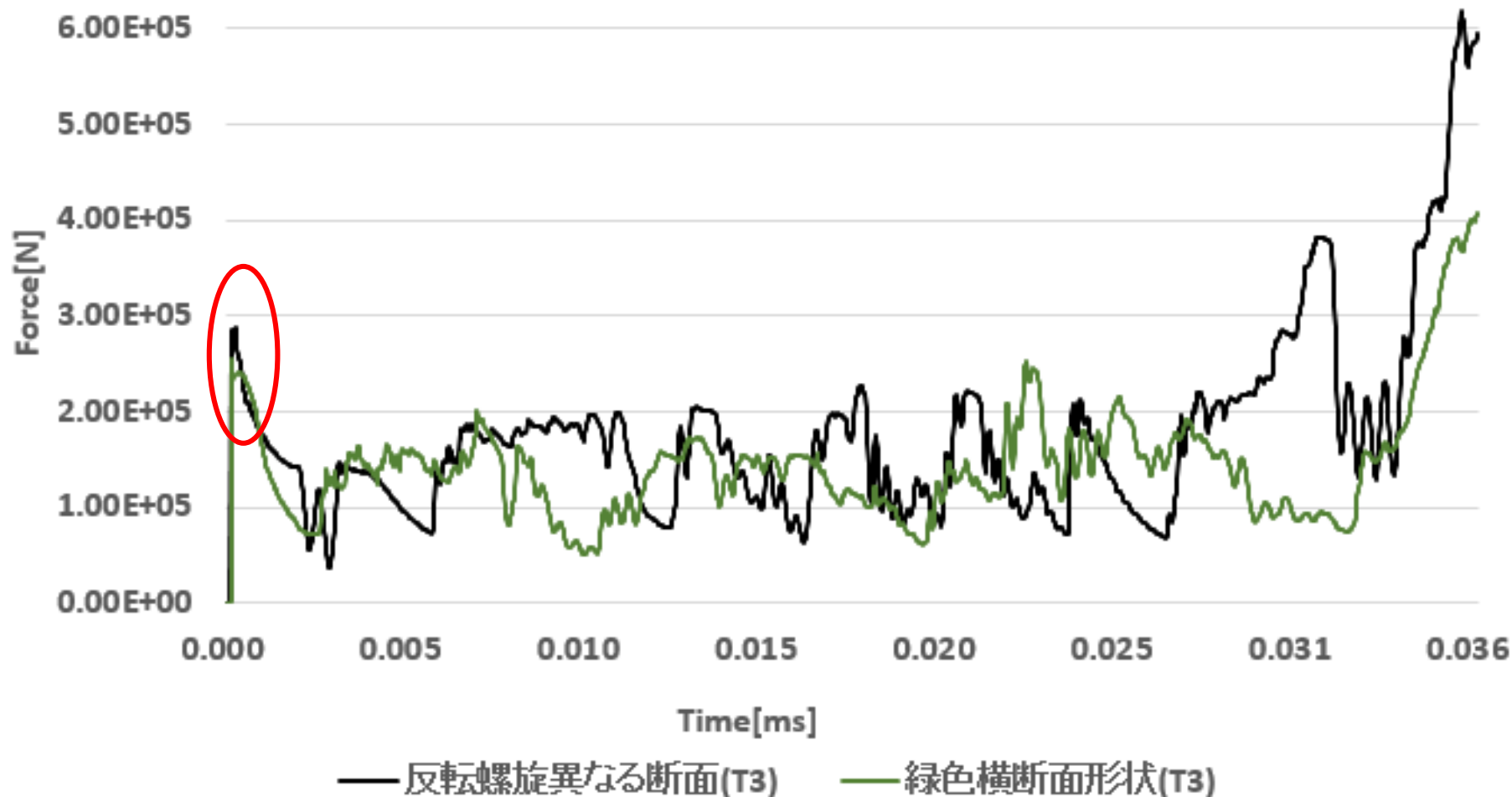
## 目的

エネルギー吸収 $\geq 70$  KJ; 質量 $\leq 5.09$ kg

構造	板厚 (mm)	圧潰モード (先端から順)	重量 (kg)	ピーク荷重(kN)	エネルギー吸収量 (KJ) t=0.0358s	エネルギー吸収量 (KJ/kg)
元構造	3.5	○	5.6	313	75	13.39
(1)緑色横断面形状 周長率:80%	3.5	○	4.8	298	86.4	18
(1)緑色横断面形状 周長率:80%	3	○	4.1	255	71	17.3
(2)赤色横断面形状 周長率:92.5%	3	○	4.76	290	71	14.8
(3)黄色横断面形状 周長率:60.5%	3	○	4.0	240	68	17
(4)反転らせん折紙構造 周長率:95%	3	×	4.94	275	85	17.2

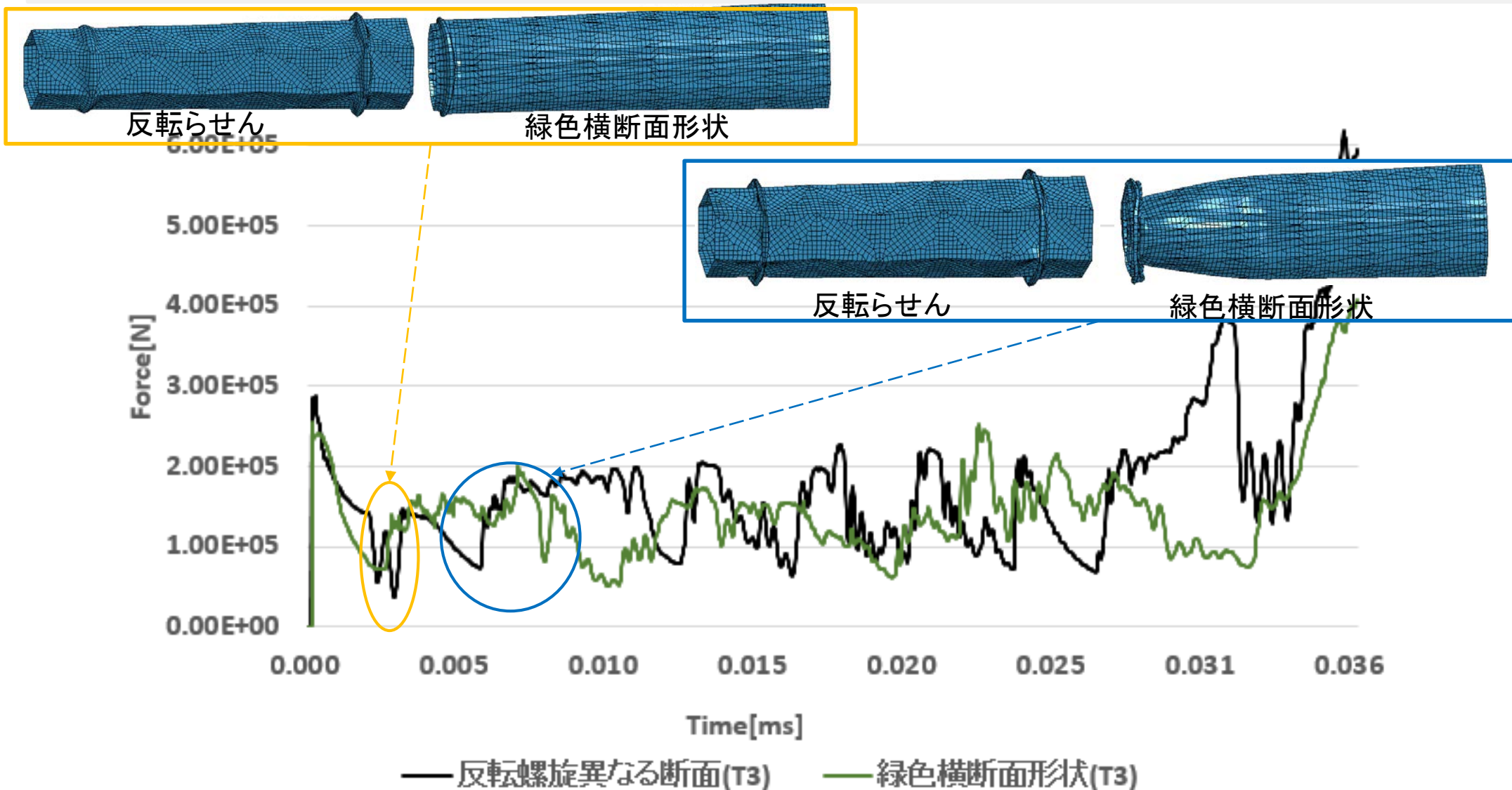


ピーク荷重: 緑色横断面形状 < 反転らせん構造



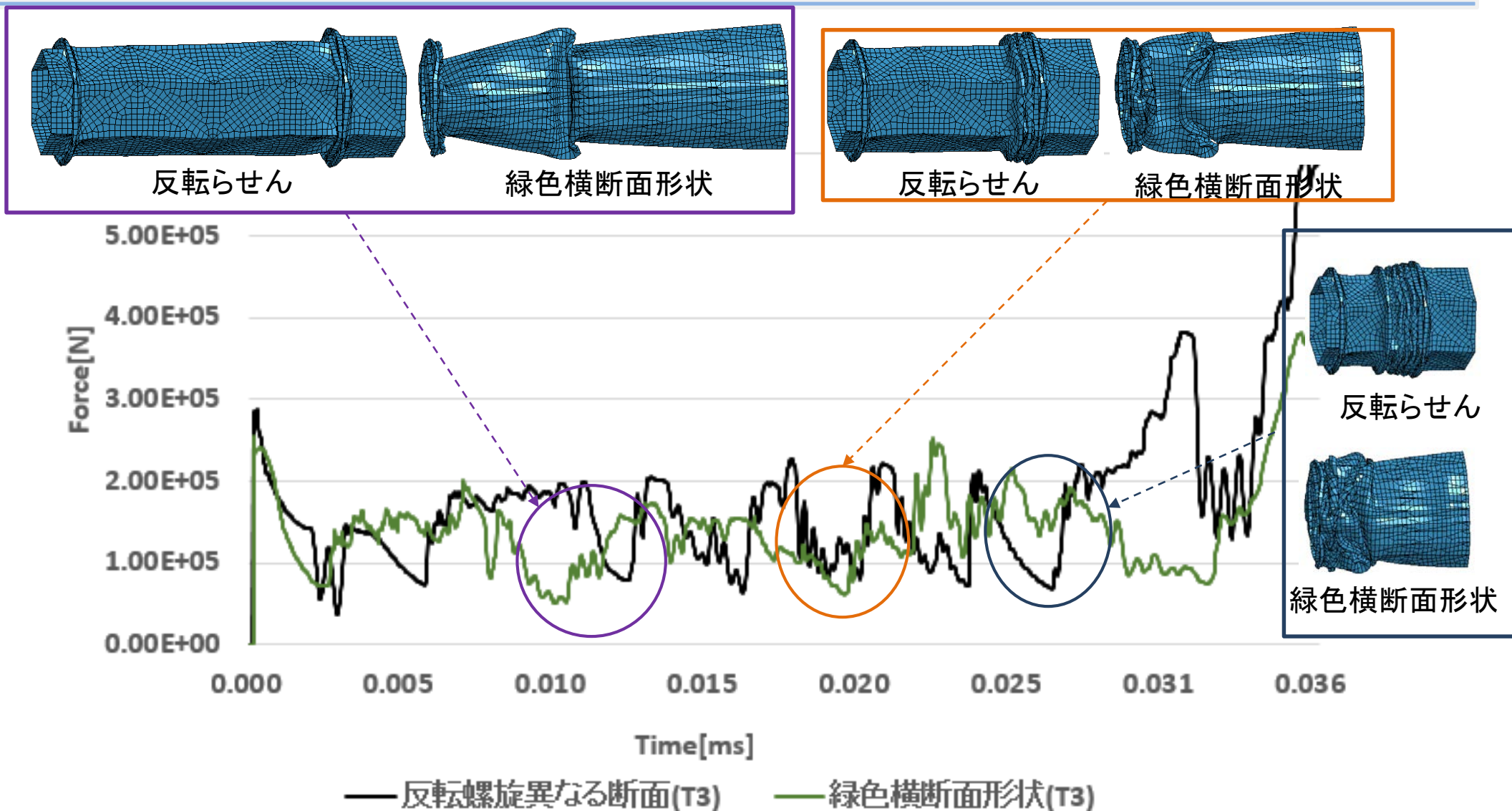
(1) 緑色横断面形状と(4) 反転らせん折紙構造の荷重—時間図

# 衝突解析シミュレーション結果



(1) 緑色横断面形状と(4)反転らせん折紙構造の荷重—時間図と変形モード

# 衝突解析シミュレーション結果



(1) 綠色横断面形状と(4) 反転らせん折紙構造の荷重—時間図と変形モード

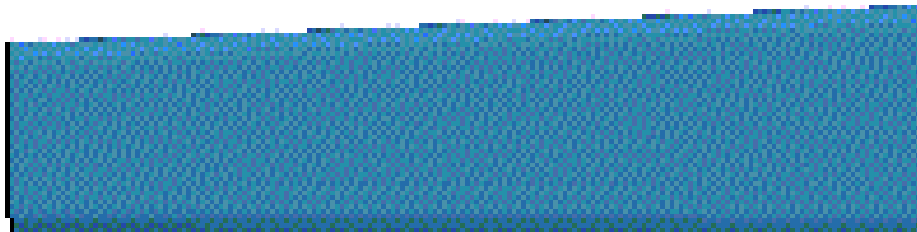


# 衝突解析シミュレーション結果

LS-DYNA keyword deck by LS-Prepost

Time = 0

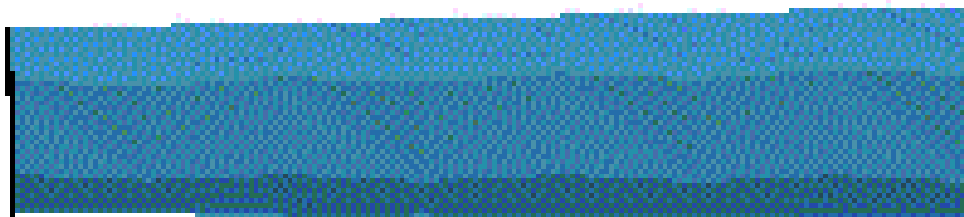
現行構造



LS-DYNA keyword deck by LS-Prepost

Time = 0

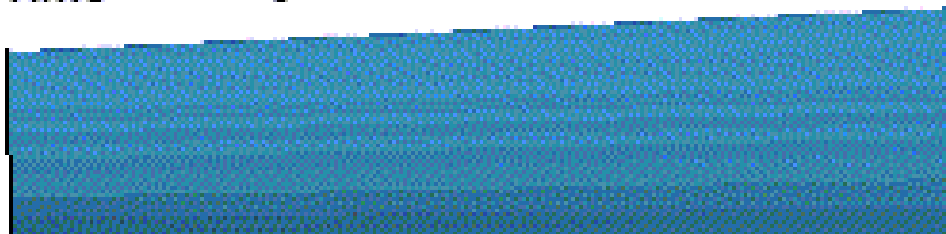
反転らせん構造



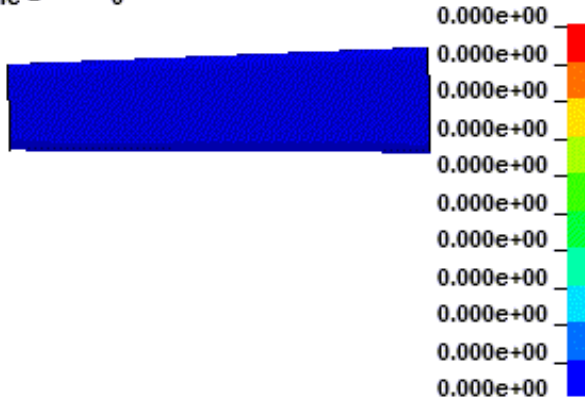
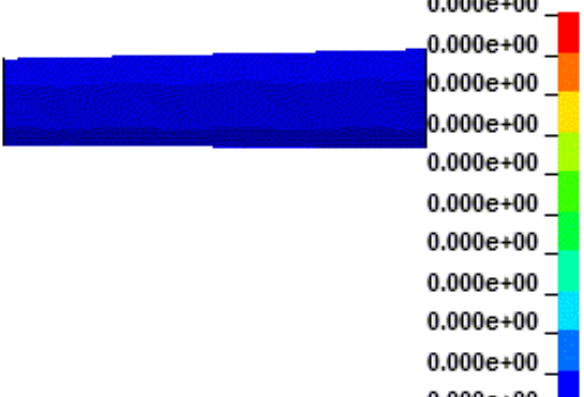
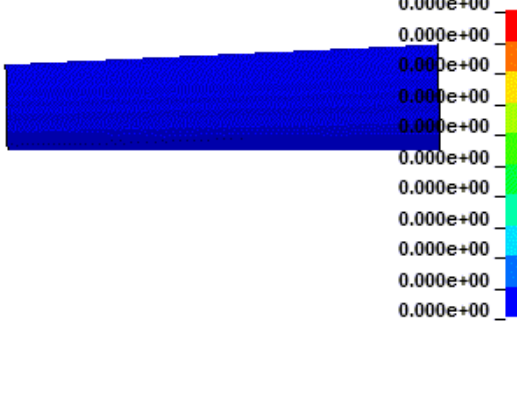
LS-DYNA keyword deck by LS-Prepost

Time = 0

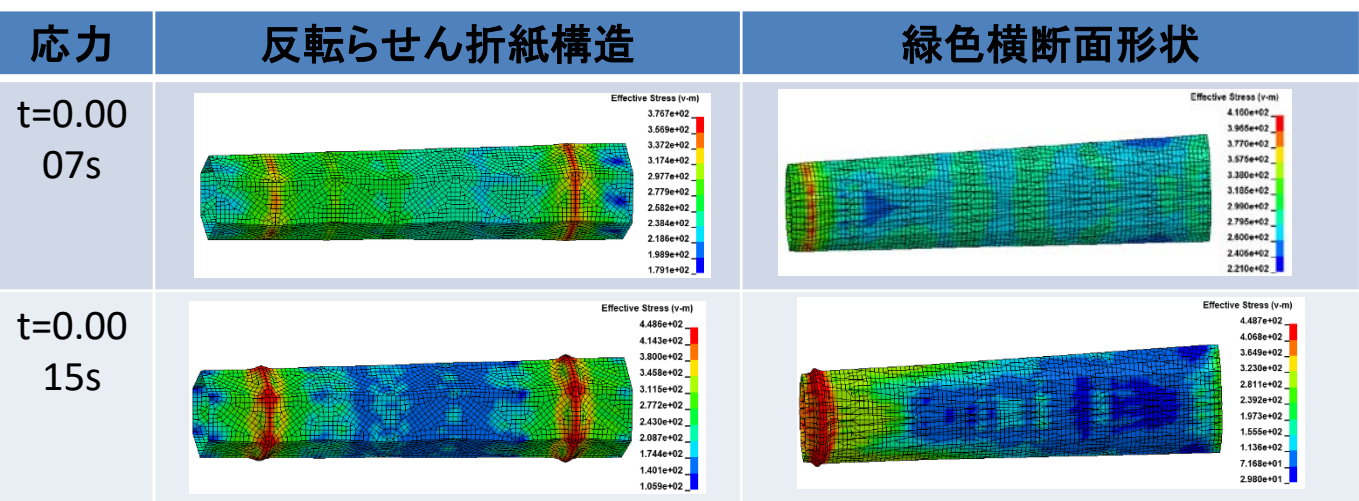
全割構造



# 衝突解析シミュレーション結果

現行構造	反転らせん構造	全割構造
<p>Time = 0</p> <p>Effective Plastic Strain</p> 	<p>Time = 0</p> <p>Effective Plastic Strain</p> 	<p>Time = 0</p> <p>Effective Stress (v-m)</p> 

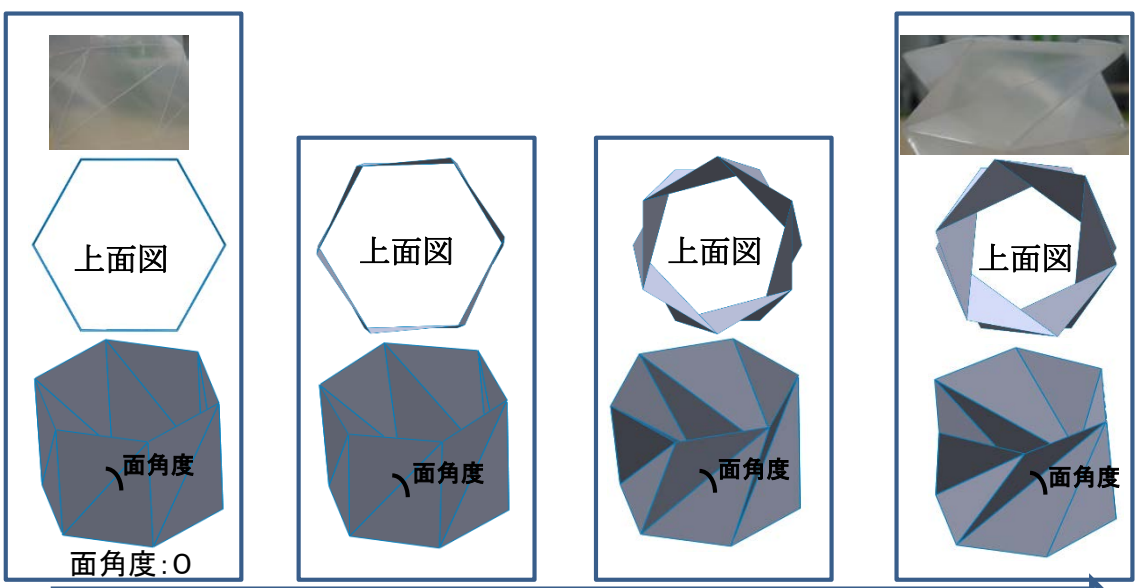
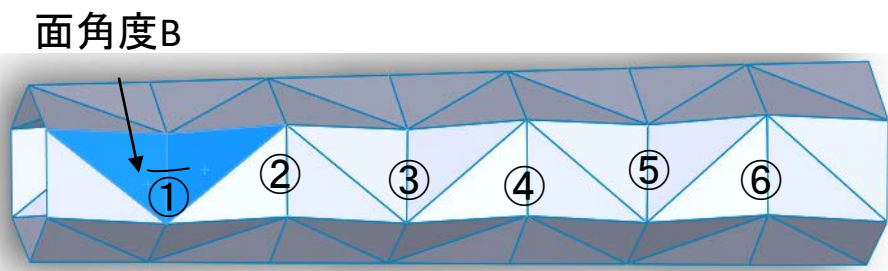
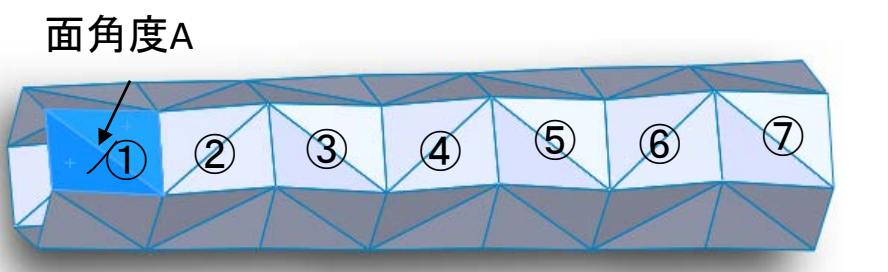
# 衝突解析シミュレーション結果



● 緑色横断面形状: 断面の周長が小さいほど、応力が大きくなるので、変形しやすくなる。

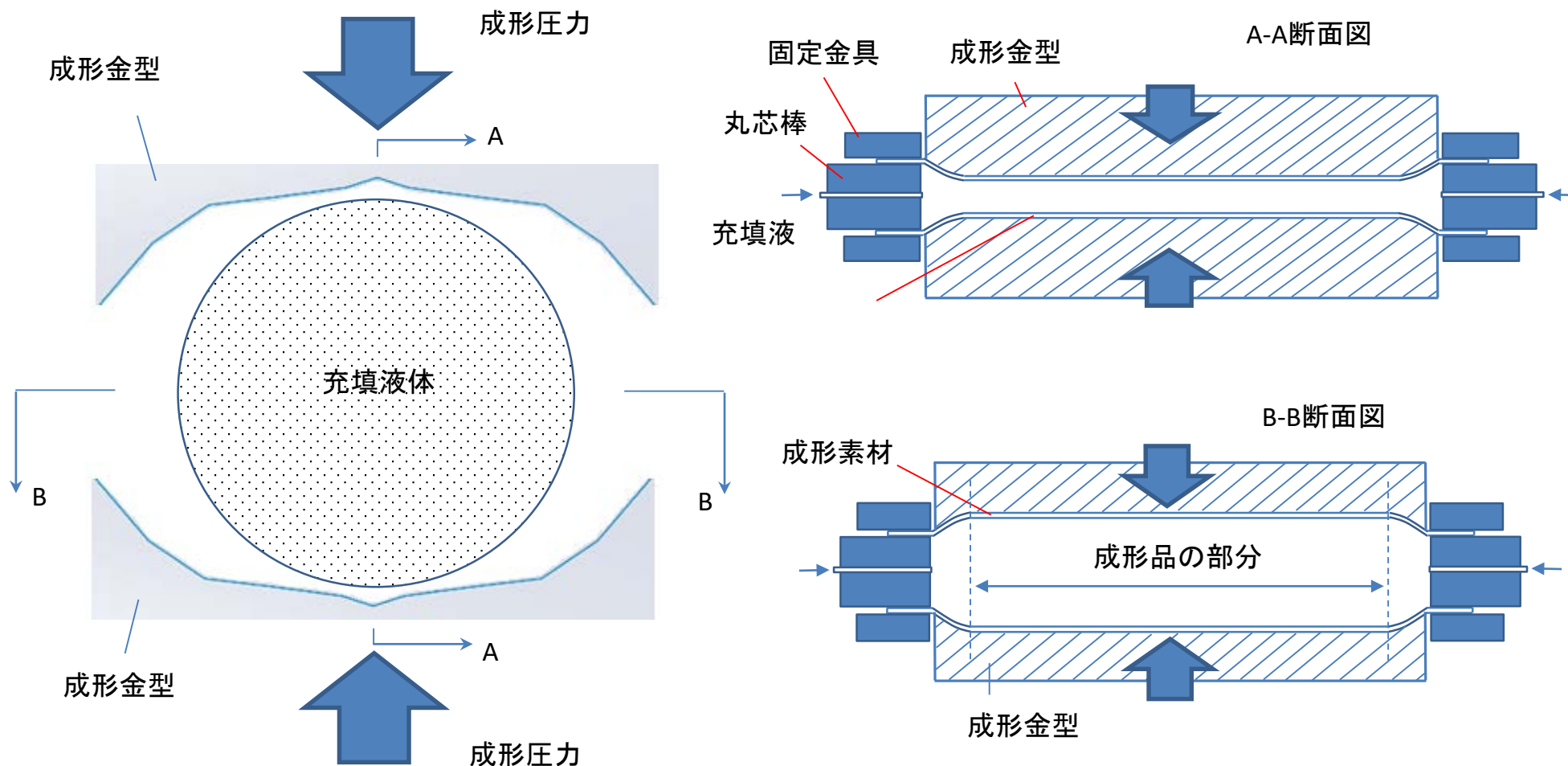
● 反転らせん折紙構造: 段の高さは同一、ねじ角度は同一、断面の周長が大きいほど、面角度Aと面角度Bが大きくなる。これによって、変形が誘導されると考えられる。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
面角度A[°]	6.21	6.26	6.31	6.36	6.41	6.46	6.51
面角度B[°]	3.73	3.82	3.89	3.98	4.05	4.14	



面角度は0から大きくなる

# 提案② クラッシュボックスの充液プレス加工法



- (1) 円筒素材を両端に丸芯棒と固定金具で閉じて、丸芯棒の中心穴を通して、円筒素材の中に液体を充填する。
- (2) 液体を充填した円筒素材を金型に投入して、プレス荷重を加えることで成形していく。
- (3) 金型を開き、成形した部品を取り出し、中の液体を外へ出しておく。
- (4) 最後に、成形品の両端の不要部分をカットして、中央部のクラッシュボックス構造が得られる。

# さらなる応用と課題

- 1 自動車のクラッシュボックスへの利用
- 2 自動車のサイドメンバーへの利用
- 3 落石防護柵への適用
- 4 地震エネルギー吸収構造への適用
- 5 列車・船舶・航空機エネルギー吸収構造への適用

# 本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 衝撃吸収材および撃吸収材の製造方法
- ・ 出願人 : 学校法人明治大学
- ・ 発明者 : 萩原一郎、趙希祿、楊陽

# お問い合わせ先

明治大学

研究推進部 生田研究知財事務室

T E L 044-934-7639

F A X 044-934-7917

e-mail [tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp](mailto:tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp)