

# 折畳缶に関する検討



明治大学 先端数理科学インスティテュート 崎谷明恵 萩原一郎  
明星大学 寺田耕輔

河川研究室にてメコンデルタの洪水氾濫軽減策に関して研究、景観研究室にて江戸城下町における神社の配置とその原理について研究し、その後ランドスケープや建築の設計デザインの仕事に従事、2018年より明治大学にて研究員となり現在に至る。

近年、エコロジー、サステイナブル、エシカルなどが叫ばれている。そのためアルミ製のビール缶なども折畳めることが期待されるがこれまで得られていない。ここで反転螺旋折り紙構造など折り紙構造の折畳特性の利用が考えられる。これに近いものとして吉村パターンを利用したダイヤモンドカット缶がある。アルミの場合、線を深くすることは耐久性に影響があるため吉村パターンを示す線は非常に浅いものでありこのままでは折り畳むことはできない。実際に折畳むにはダイヤモンドカット線を爪などで薄くして折畳むことになる。

そこで本研究では、まず現行のダイヤモンドカット缶を軸方向に押し潰すのにどれだけの荷重が必要か、実験とシミュレーションで行い、通常缶と共に確認する。そして今後の新しい折り畳み可能な缶を提案し、実現に繋げる事を目指す。

# 1. 研究の背景

エコロジー  
ecology

サステナブル  
sustainable

エシカル  
ethical



具体例



エコバッグ  
→小さく畳める



ペットボトル  
→潰すのが簡単



## ラベルレスペットボトル

折り紙工学の技術の活用の可能性

# 2. 既往研究

- ・ペットボトルー折紙工学援用による折り畳みペットボトルに関する検討(2019)  
→ 折り畳み可能でスプリングバックしないペットボトルの研究
- ・アルミ缶ー二枚貼り折りによるアルミ缶適用に関する検討 (2017)  
→ 缶に適用できるかどうかの検討段階



商品化までには至っていない

# 3. 本研究の目的

一般に広く流通している折り紙工学が生み出した  
吉村パターンが施されたダイヤカット缶

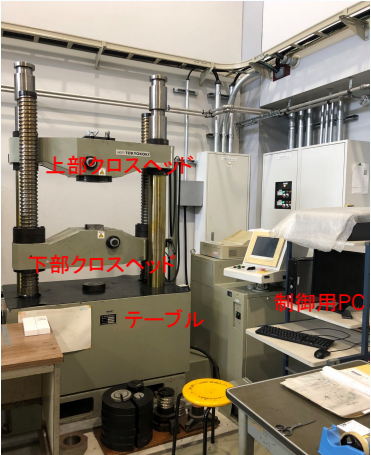


折り畳み構造ではない



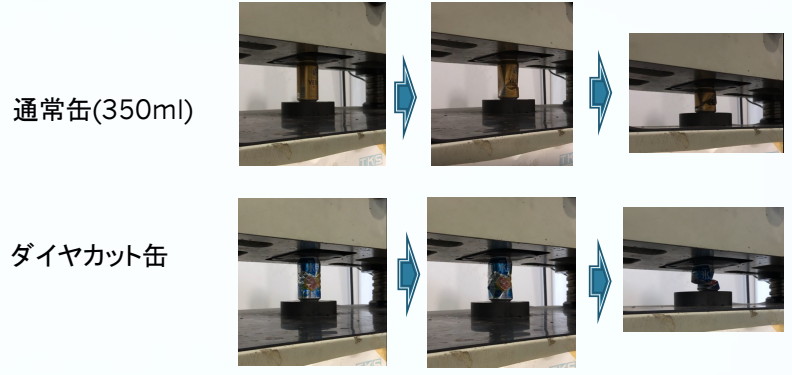
ダイヤカット缶と通常缶を比較し特徴を捉えることにより  
これからの社会のニーズに合った  
折り畳める缶、圧縮しやすい缶の構造の開発につなげたい

# 4. 実験

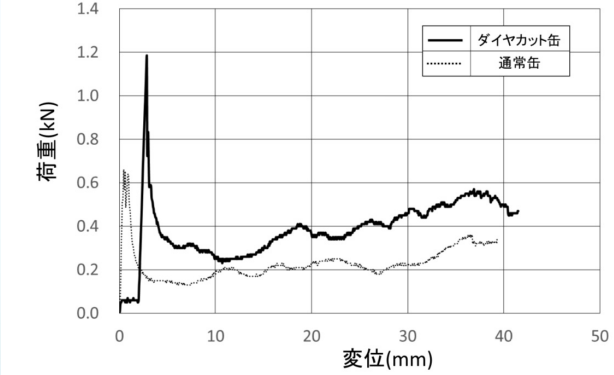


- 圧壊試験に使用した荷重試験機
- ・万能試験機
  - ・荷重: 最大1000kN
  - ・6段階切替 (1000,500,200,100,50,20)
  - ・サイズ: 2510×800×2730mm
  - ・下部クロスヘッドとテーブル間隔: 圧縮最大高さ935mm
  - ・引張間隔: 最大965mm
  - ・圧縮盤直径: 160mm

## 4.1 実験の様子



圧壊試験測定結果 荷重制御条



	初期ピーク荷重	平均荷重
通常缶	650N	200N
ダイヤモンド缶	1200N	400N

## 4.2 実験結果

ダイヤモンド缶は荷重が作用すると全体的に亀裂が走り缶上部に破断面が生じる。他方、通常缶は荷重が作用すると缶下部に折れが生じて缶下部に破断面が生じる。通常缶はダイヤモンド缶の約半分程度の荷重で圧潰が進行する。初期ピーク荷重は約1.8倍、平均荷重は約2倍ダイヤモンド缶の方の数値が高い。

## 4.3 缶の板厚の測定



通常缶、ダイヤモンド缶共に数値にばらつきはあるが、通常缶の板厚は平均0.133mm、ダイヤモンド缶の板厚は平均0.131mmという結果が得られた。

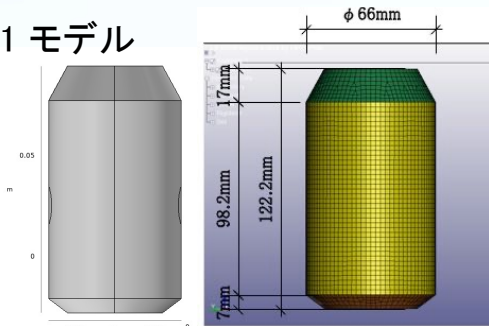
## 4.4 缶の板厚と実験結果のまとめ

ダイヤモンド缶の方が、板厚が若干薄いにも関わらず初期荷重と平均荷重共に高いことを確認した。

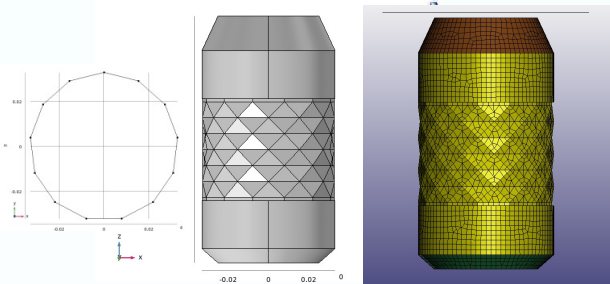
荷重が高い事は圧潰し難いということになり、ダイヤモンド缶は軸方向での折り畳みにはこのままでは適さない構造の可能性はある。

# 5. シミュレーション

## 5.1 モデル



通常缶 (節点7157,要素数7084)



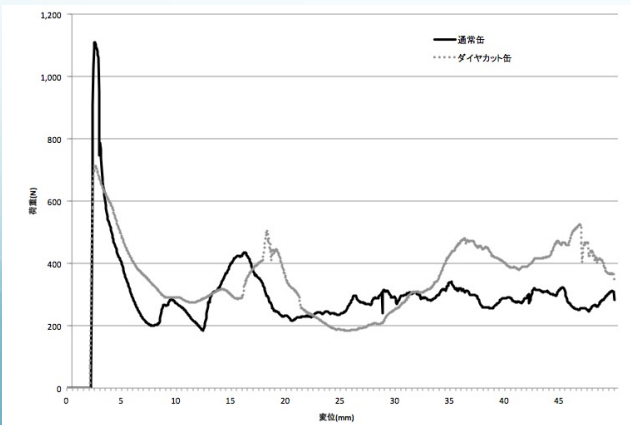
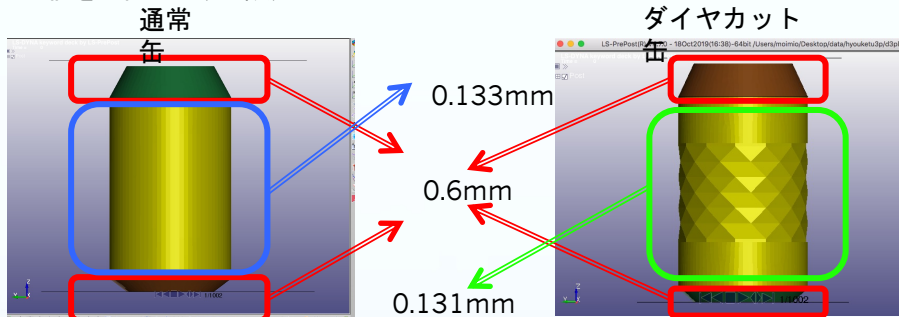
ダイヤカット缶 (節点7157,要素数7084)

## 5.2 LS-DYNAによる圧潰シミュレーション

拘束条件として底面を完全固定とし、荷重条件として上面に剛体壁を作成、剛体壁を速度250mm/sで構造体を圧縮する条件とした。接触条件としてはモデルと剛体壁間に接触面を定義し、また、モデル自体の接触も設定する。板厚は実験で測定した値を下記のように設定した。

### アルミニウムの特性

- ヤング率 70 GPa
- ポワソン比 0.33
- 密度  $2.7 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>
- 降伏応力 100 MPa
- 接線係数 280 MPa



通常缶とダイヤカット缶の圧潰解析 荷重一変位

	初期ピーク荷重	平均荷重
通常缶	1112N	283N
ダイヤカット缶	712N	341N

通常缶とダイヤカット缶の解析による荷重

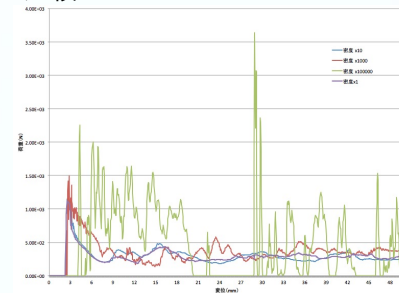
## 5.3 計算結果の検証

～今回は膨大な量のデータと時間を節約するために圧壊する剛体壁の時速を早く決定した事に関する検証～

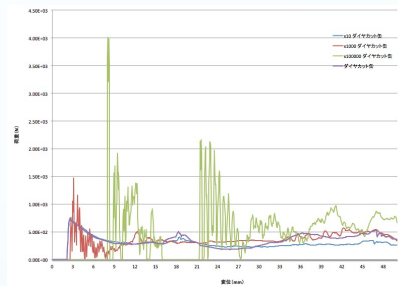
準静的大変形問題の動的陽解法有限要素法に関する基礎検討(1998 津田、萩原)

→ 軸方向圧壊問題のような座屈を生じる問題では **マスケーリング法**が適用可能

→ 構造体の密度を10倍、1000倍、10000倍にした計算との比較



↑通常缶の密度を変えた場合の荷重一変位



↑ダイヤカット缶の密度を変えた場合の荷重一変位

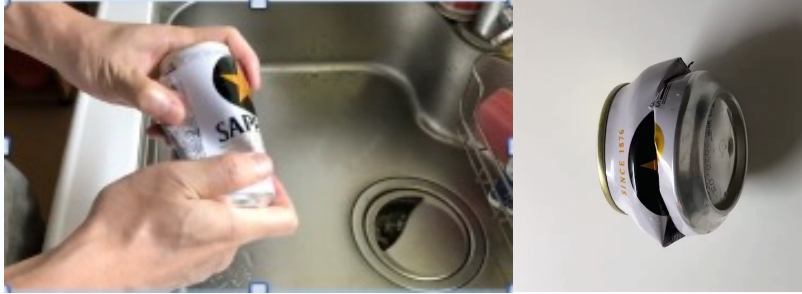
マスケーリング法で計算した結果の変化の説明はまだできていないので今後の課題とする。ただ、密度を10倍1000倍10000倍とすることにより、1000倍の時に実験とシミュレーションの結果の傾向を近付けることを確認した。

～実験とシミュレーションの比較～

初期ピーク荷重は通常缶とダイヤカット缶の関係が異なる結果が出たが、マスケーリング法により、改善した。計算ではΔtが小さいので、時間の間隔を少し長く取ることでも実験と近づく可能性もあると考えられる。

## 6. 折畳缶のシミュレーション

### 6.1 折り畳むための方法



↑螺旋状に谷線を入れて潰す方法

### 6.2 折り畳み可能な構造

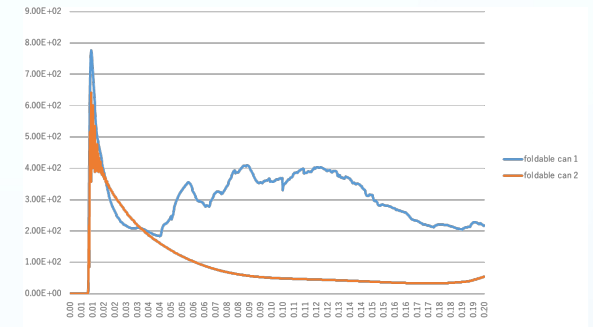
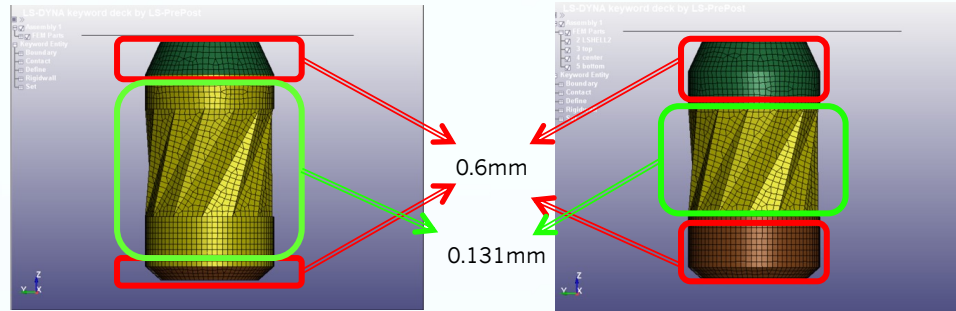


吉村パターンを折畳可能な構造にしたもの

折畳可能な螺旋構造を入れたもの

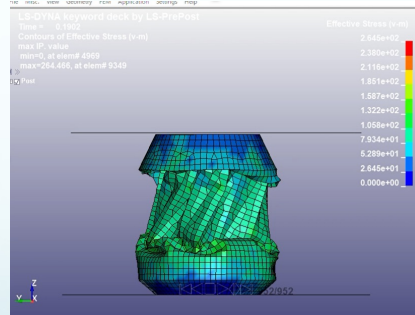
### 6.3 折畳み缶のシミュレーション～今回はペットボトルの折りたたみに成功した螺旋構造を入れたモデル～

拘束条件として底面を完全固定とし、荷重条件として上面に剛体壁を作成、剛体壁を速度1150mm/sで構造体を圧縮する条件とした。接触条件としてはモデルと剛体壁間に接触面を定義し、また、モデル自体の接触も設定する。

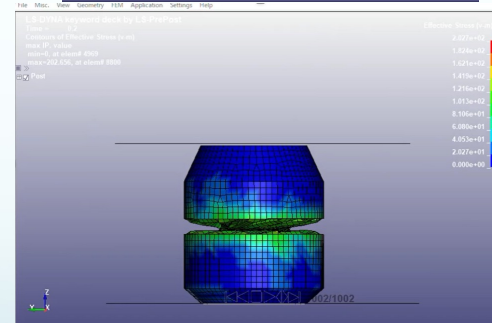


#### アルミニウムの特性

ヤング率 70 GPa  
 ポワソン比 0.33  
 密度  $2.7 \times 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>  
 降伏応力 100 MPa  
 接線係数 280 MPa



折畳み缶 1



折畳み缶 2

	初期ピーク荷重	平均荷重
折畳み缶1	776 N	294N
折畳み缶2	642 N	93N

初期ピーク荷重、平均荷重共に折畳み缶2の方が低い事を確認、押し潰し可能な荷重の140Nに平均荷重なら達成している

→折畳缶には綺麗に折り畳められることが重要

## 7. まとめと今後の展開

- ・現行のダイヤカット缶では実験などから潰しにくい事が確認された。しかし折畳可能な構造を缶に取り入れる事により、シミュレーションを行なった結果では潰しにくさが改善される事を確認した。
- ・今後は、缶の板厚により綺麗に折り畳む事が難しくなるが、折線部を薄くする事で誘導も可能だと考えられるので、モデルを作成しシミュレーションして実現可能な構造を検討する。
- ・更に様々な折り畳み構造で同様の検討を行い、最適な折り畳み構造の創出を図る。実現可能な構造にするため、鋭角部分を減らすサブディビジョンを取り入れることも検討している。