

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18760101  
 研究課題名（和文）  
 高エネルギー吸収特性を有する金属中空球超軽量多孔質材料の開発研究  
 研究課題名（英文）  
 Development of a new ultra light porous material bundling strings of metallic hollow sphere having high performance of compressive and bending energy absorption  
 研究代表者  
 吉村 英徳（YOSHIMURA HIDENORI）  
 香川大学・工学部・准教授  
 研究者番号：30314412

## 研究成果の概要：

小径極薄の金属管からバルジ加工することによって高精度の串団子状の金属中空体を作り、それを積層・固化成形することによって均質な高信頼性超軽量ポーラス金属を安価かつ大量に製造する技術を開発した。また、作られた成形体の圧縮や曲げ試験を実施して機械特性を調査し、自動車の軽量化、高剛性、高衝突エネルギー吸収性を有することを確認し、製造面・性能面の両面から粉末冶金法等従来法に比べ大きく実用化に貢献した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	240,000	3,840,000

研究分野：塑性加工，塑性力学，加工シミュレーション

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：管，バルジ加工，中空金属球，ポーラス金属，軽量化，エネルギー吸収材

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化を抑制するため、代表的温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出量の削減が求められている。この排出量の約20%が自動車からであり、その抑制のため更なる燃費向上が図られている。燃費向上には車体重の軽量化が最も効果があるが、一方で衝突安全性の向上も重要であり、その安全部品の装備のため重量は増加傾向にある。したがって、剛性や衝突吸収性を維持もしくは向上しながらも、軽量化を可能にするための技術が強く要望されている。

自動車の軽量化策の一つとして新材料技

術に超軽量ポーラス金属があるが、従来法では、不均質による低信頼性や低性能制御性、高コスト、引張変形に弱いなどの問題があり、実用化に至っていない。

## 2. 研究の目的

均質で高信頼性、材料や密度分布等の高い制御性、引張変形に伴う曲げにも強い新超軽量ポーラス金属材料の安価な製造方法を開発するため、小径極薄管から塑性加工によって中空金属球が並んだ串団子状中空体を作り、それを積層および固化成形する技術を確認する。また、成形体の圧縮および曲げ部材としてエネルギー吸収性能を有するか確認

する。

### 3. 研究の方法

小径極薄管からのバルジ加工によって目標寸法の串団子状中空体が高精度に成形できるか調べる。管材の初期寸法やバルジ加工の型形状、シーリング方法などを検討する。また作成した中空体を積層して接着固化などで成形体を作成し、単体や成形体の圧縮試験や曲げ試験を行って機械特性を調査する。

### 4. 研究成果

小径薄肉管から図1のような型内バルジ加工によって、図2のような串団子状中空体が製造できた。現在は管両端をシーリングして油圧で最大300mm長さ程度まで比較的容易に大量に製作できている。焼結による固化成形は現在継続調査中であるが、接着固化などにより図3のような相対密度0.1以下の均質な高い信頼性を持つ超軽量ポーラス金属を作製できるようになった。

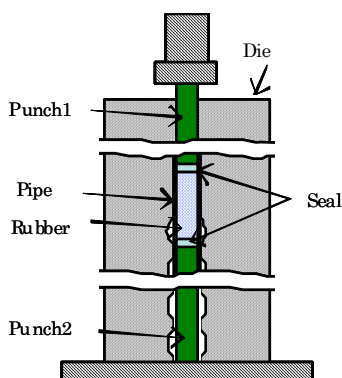


図1 串団子状中空構造体簡易バルジ加工



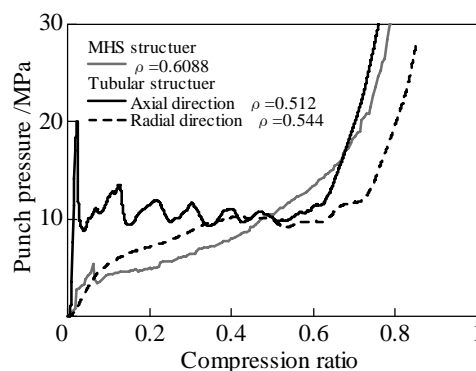
図2 串団子状中空構造体



図3 串団子状中空構造体成形体

作製した成形体の機械特性試験によって、図4のような圧縮特性が得られた。串団子状中空体は半径方向と軸方向で異方性があり、積層方向の向きによる違いも試験した。超軽量ポーラス金属特有のプラトー領域が見られ、圧縮エネルギー吸収材として適用できることが分かった。従来法では圧下率約60%で緻密化による応力の急上昇が表れているが、半径方向圧縮では80%近くまでプラトー応力が見られるなど、従来法と同等もしくはそれ以上の圧縮エネルギー吸収性能を持っている。バルジ加工後のため材料の加工硬化が顕著となり、プラトー応力の増加傾向が見られるが、熱処理を行うことでプラトー応力を低減できるなど、材質や熱処理によっても対人・対物など用途に合わせて性能をコントロールできることも分かっている。管軸方向では、パイプが座屈しながら変形するため、初期に大きな尖頭応力が発生するが、半径方向よりも抵抗が大きく、プラトー応力がほぼ一定のため、積層の向きによって、尖頭応力を低減したりしてこれを利用することも考えられる。

図4 串団子状中空球成形体の圧縮試験



球サイズや球間隔、串団子状中空体の積層方向や間隔が容易に変えられるため、材質、密度や異方性などユーザーニーズを満足する強度性能を容易に満たすものが作れることを確認した。図5のように積層した低密度成形体で、図3の積層よりもプラトー応力が低下している(図6)。



図5 積層例

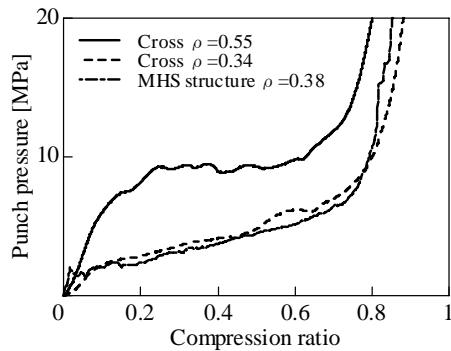


図6 低密度成形体の圧縮試験

焼結などにより中空体同士を接合して性能を確認する必要があるが、まずは図6のように束ねた試験片で曲げ試験を行い、曲げ部材としてのエネルギー吸収性についても確認した。従来の粉末冶金法による中空金属球成形体では球同士が点接触のため、引張・曲げ強度が極めて低く、最大荷重点までのストロークが数 mm と極めて小さく、全く使用に適さないのに対し、当成形体は曲げ強度が大きく、ピラー等側面衝突部材にも適用できる。図7は素材となるパイプと串団子状中空体についてそれぞれ束ねたものを比較した結果であるが、パイプでは曲げジグ直下の管断面が屈服して最大荷重点を超えると荷重が低下するのに対し、本成形体ではプラトー荷重が表れており、曲げ部材としてもエネルギー吸収性を有することが分かった。これらの性能は、実験だけでなく FEM による変形挙動解析によりその発現理由を明らかにしている。



図6 曲げ試験片

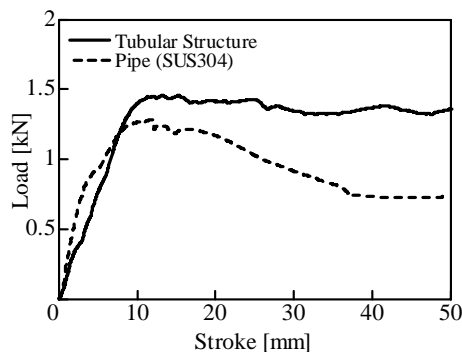


図7 曲げ試験結果

実生産を行うには、高温エアバルジ成形、

串団子状中空体の固化技術などの検討が残されているが、基礎的な製造法や材料の性能確認は終了し、塑性加工による大量生産および低コスト化が図れることから、CO<sub>2</sub>排出量削減のための軽量化新材料として極めて実用化に近づけたと言える。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 5 件)

- ①石川達也, 三原豊, 吉村英徳, MHSの変形挙動が成形体の圧縮特性に及ぼす影響, 第59回塑性加工連合講演会, 2008年11月9日, 広島大学.
- ②堀川雅史, 三原豊, 品川一成, 吉村英徳, MHSの変形挙動が成形体の圧縮特性に及ぼす影響, 第59回塑性加工連合講演会, 2008年11月9日, 広島大学.
- ③吉村英徳, 三原豊, 品川一成, Effects of sphere size and material on performance of metallic hollow spheres structures, CELMET2008, 2008年10月10日, IFAMドレスデン(ドイツ)
- ④吉村英徳, 石川達也, 三原豊, New porous metal with high bending strength -tubular structure with string of metallic hollow spheres-, CELMET2008, 2008年10月10日, IFAMドレスデン(ドイツ)
- ⑤石川達也, 三原豊, 吉村英徳, 串団子状の中空金属集合体の製造法, 第58回塑性加工連合講演大会, 2007年10月26日, 北海道大学.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 鈴型中空金属球, その製造法および衝撃吸収用構造材

発明者: 吉村英徳, 三原豊 他

権利者: 香川大学

種類: 特願

番号: 2008-162841

出願年月日: H20年6月23日

国内外の別: 国内

名称: 中空構造体およびその製造方法

発明者: 吉村英徳, 三原豊 他

権利者: 香川大学

種類: 特願

番号: 2008-76243

出願年月日: H20年4月4日

国内外の別: 国内

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

吉村 英徳 (YOSHIMURA HIDENORI)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号：30314412