

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：30108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13901

研究課題名(和文) 筒状折り畳み構造モデルを用いた車椅子コンパクト化設計支援の研究

研究課題名(英文) Research of Support Design for Compact Wheelchair with Structure Model
Cylindrical Molding

研究代表者

竹澤 聡 (TAKEZAWA, SATOSHI)

北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号：70305902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、タイヤ構造に対して折り紙によるハニカムテーパ構造(honeycomb taper structure)を適用し、一定の曲率で円を形成するとともに安定的な強度を得ることを目的とした。ハニカムテーパ構造は断面を正六角形とするが、その断面は相似で面積比が異なるため、その理由により一定の曲率で円を形成することができる。本研究の特徴は、セルの接合面同志が背中合わせになることで、車椅子車輪化構造を任意の個数で設計できる点である。また、ハニカムテーパ構造の重要な開き角 α は、1輪のハニカムテーパセルの個数を m とすると $\alpha = (2+m)/(2m)$ の関係があることも証明された。

研究成果の概要(英文)：[The purpose of this research was to apply a honeycomb taper structure by using origami to imitate the tire structure, to form a circle with a constant curvature and obtain the stable strength. The cross section of the honeycomb tapered structure is a regular hexagon, its cross section is similar but the area ratio is different, therefore the circle can be formed with a constant curvature for this reason. The feature of this research is that the joining surfaces of the cells are back-to-back connected, making it possible to design wheelchair wheeling structures in any arbitrary orders. Furthermore, the important opening part of angle α , it was proved to have a structure relationship of $\alpha = (2+m)/(2m)$, where m is the number of honeycomb taper cells to one wheel.

研究分野：ロボティクス

キーワード：折紙構造 モバイルロボット 形状記憶 ハニカム

1. 研究開始当初の背景

竹澤ら¹⁾は、自走電動車椅子の機能向上を目指すセンシングに関する研究(2006年～2008年)、電動車椅子危険回避システム迅速回路設計に関する研究(2009年～2011年)、電動車椅子の操作性機能化に関する研究(2012年～)を継続的に行い、その成果を機械学会論文などに投稿してきた。2013年には、多発性硬化症、脊髄髄内出血症例を持つ対麻痺患者が利用する車椅子のコンパクト化についての相談を受け、その負担軽減に向けた研究に着手し始めた。一方、国外では、WANGら²⁾は多自由度、作業性を満たした上で収納機構を備えた軽量で作業性のよい・リスクフリーな車椅子搭載型ロボットアームの開発にあたっている。円筒折りの手法はすでに萩原ら³⁾によって一般化されており、図1に示す螺旋角 β と底面の形状によって円筒全体の形状はほぼ決められる。これに図2に示すような折り線部に適度な曲率 R を付けることで圧潰開始荷重が大きくなる可能性があるため、曲率をパラメータに加えた形状の最適化が検討された。

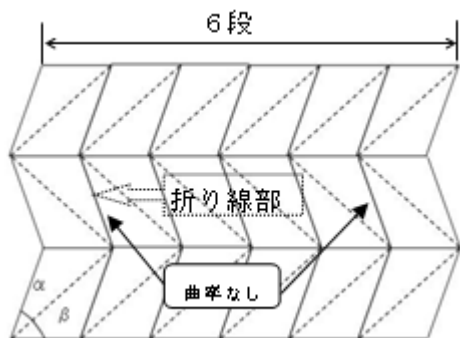


図1 六角形上下面を持つ円筒展開図

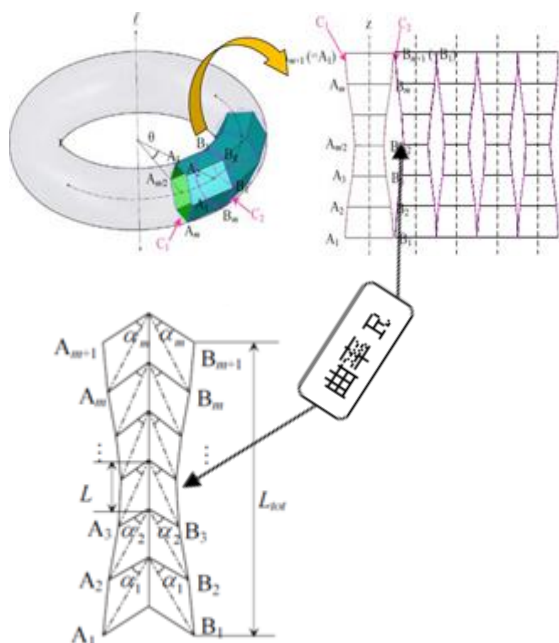


図2 ドーナツ構造の円筒折りと曲率 R

2. 研究の目的

車椅子の収納性能向上・コンパクト化は、まだまだ不十分であり、その改善改良がもたらす効果は利用者のみならず人口減少による介護・介助者不足の解決、高齢化社会に求められる健康増進と自律支援に寄与することは間違いない。

2002年に提唱された折紙工学は、近年俄かに注目され、多岐に亘る産業分野から多くのニーズが寄せられている。特に、どのように曲がった筒であっても折り畳むことができる新理論は、デザインの多様性およびコンパクトな収納可能性が大いに期待されている。そこで本研究では、車椅子を自動車に搭載可能な折り畳み設計を提案することを目的として、強度・剛性の最適構造とされる反転型の展開収縮可能な円筒折り紙構造体(Reversed Spiral Cylindrical Model:RSC)について応用の検討と提案を試みた。

3. 研究の方法

従来の折り畳み可能な筒構造は、円筒や円錐といった“真っ直ぐな”筒の折り畳みではなく、形状ヴァリエーションが少なかったため、応用先が限られていた。しかし、折り線部に曲率 R をつけることで成形加工が容易になるといった利点があることが近年判明し、これを樹脂金属一体成型材を用いて検証する。ハニカムコアは、曲面化が難しいのに対し、トラスコアはそれが可能である。更に我々は、トラスコア、インフレータブル型の高剛性軽量コア、展開収縮可能な円筒折りコア、円形膜折りコア、振れ多面体コアの他、立体折り、剛体折りなどラインナップが充実している。構造体を強度部とフレキシブル部に分け、フレキシブル部は展開・収縮が可能な概念で折り紙スマート構造の新しい学問体系構築の足掛かりとする。そして車椅子車輪コンパクト構造化および車輪以外のその他の部位の収縮化を検討した。

4. 研究成果

<<平成27年度の研究成果>>

図3で表されるような凸形断面を持つ単位セルの場合 $\alpha_1 > \alpha_2$, $\beta_1 > \beta_2$ の場合、単位セルの断面は外側に膨らんだ凸形の形状となる。この場合の単位セル、及び展開図を図4に示す。 $\alpha_1' > \alpha_2'$ より、エッジBHGEとBCDEの間に隙間ができ、スリットは非凸六角形の切り抜きとなる。このような単位セルを連続的に繋いで製作した凸曲面コアの例を図5に示す。ここで断面の上下の曲線は $C/2$ ごとに等分割され、16個の台形として近似されている。しかし、これでは、 α_1 , α_2 との関係性において最終形状である円盤形状の縁での関係性を維持するには非常に厳しい。

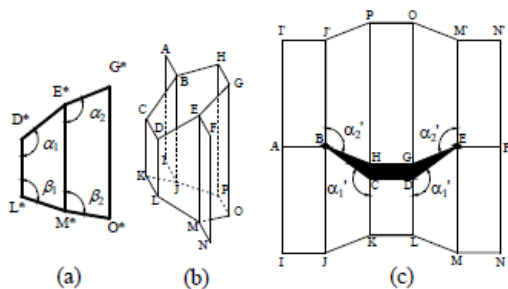


図3 凸形断面を持つ単位セル場合

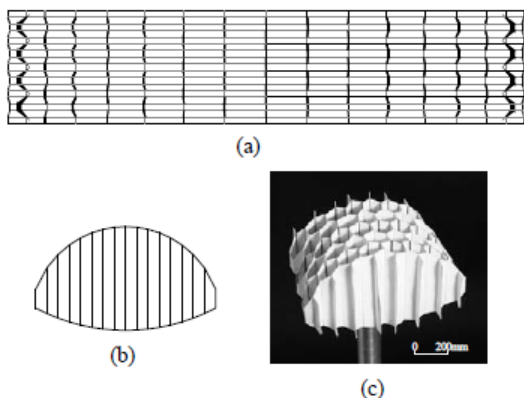


図4 凸形断面セルの展開図と実体

<<平成28年度の研究成果>>

図5に、立体化に必要な断面形状を表す数列を定義するための頂点の関係を示す。 $a_{m,n,0}$ において添え字の m は車輪円周方向の任意の座標値、添え字の n は車輪半径方向の任意の座標値を表し、3番目の添え字は六角形テーパ構造を構築する周期的な6組の頂点ナンバーを表す。

このルールを守ると図6に示すテーパ型ハニカム構造で車輪一回りを構築できる。

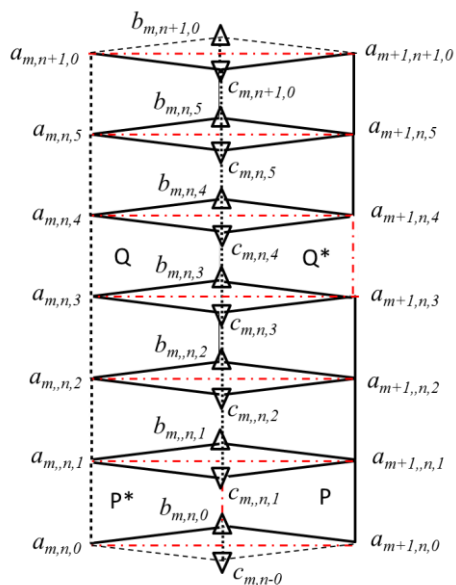


図5 立体化に必要な頂点の数列の定義

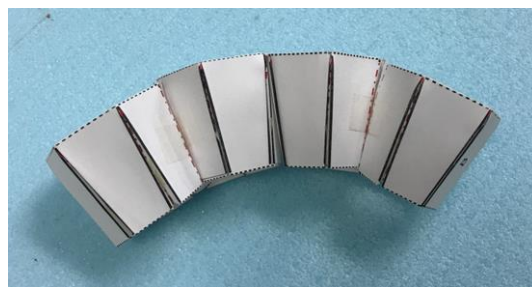


図6 テーパ型ハニカム構造の実証

5. 今後の予定

樹脂金属一体材による立体強度の迅速検証である。反転型の展開収縮可能なテーパ型ハニカム折り紙構造体を検討する。具体的にはRSCを多段に重ねたものをCAD化し、樹脂金属一体材で試作・検証する。その際に角部で破断が生じるので、サブディビジョンをかけることによる強度向上、美観化とともに成形性の向上を目指す。設計の迅速化は、既に本学に配備済みのABS材型(図7)および、研究連携機関北海道産業技術研究機構に所在する金属粉末レーザー焼結型3Dプリンター(LUMEX Advanced-25(株)松浦機械製作所)を活用する。

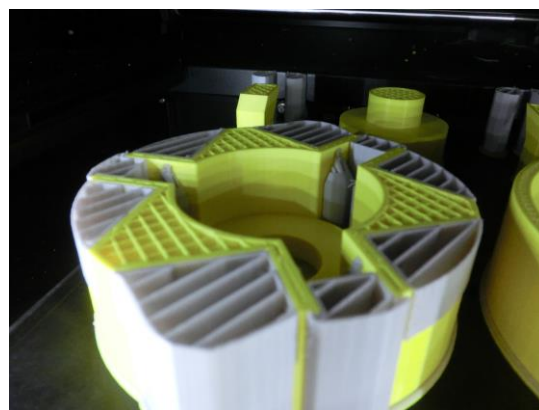


図7 3Dプリンターによるハニカム造形

<引用文献>

- 1) 竹澤 聡ほか2名, 自走電動車椅子の機能向上を目指すセンシングに関する実験的研究, 日本機械学会北海道支部講演会, (2007-11), pp. 216-231.
- 2) Wei WANG, et al, "Intuitive Operation of A Wheelchair Mounted Robotic Arm for The Upper Limb Disabled: The Mouth-only Approach", Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO'12), pp.1733-1740, 2012
- 3) 萩原一郎ほか4名, 包装機械における成形型の設計の検証, 日本機械学会論文集C編, 76巻765号(2010-5), pp. 1316-1322.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 竹澤 聡, 山田 孝公, 針灸技術修得を支援する教材の開発におけるバイアススプリング付き BMF アクチュエータの応用、日本機械学会論文集, [DOI:10.1299/transjsme.15-00250], Vol. 82, No. 835, p. 15-00250, 2016/3

[学会発表] (計 5 件)

- ① 山田 孝公, 竹澤 聡, 高島 昭彦, リムレスホイール受動歩行における完全非弾性衝突現象の考察、一般社団法人日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017/9
- ② 竹澤 聡, 山田 孝公, 高島 昭彦, 長松 昌男, FAV フォーマットにおける 3D モデルデータを活用した設計手法の検討、日本機械学会技術と社会部門 2016 年講演会, 仙台, 16-19, 2016/11
- ③ 山田孝公, 竹澤聡, 高島昭彦, 長松昌男, 中村香恵子, 位相振動子を付加した準受動四足ロボットの歩行パターン制御、一般社団法人日本機械学会: 2016 年度年次大会講演会, 福岡, G1500406, 2016/9
- ④ 山田 孝公, 竹澤 聡, 尾部運動振動子を付加した準受動四足ロボットの歩行パターン制御—速度状態フィードバックによる最適化法の検証、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, 横浜, 16-2, 1A2-06b5, 45, 2016/6
- ⑤ 竹澤 聡, 車椅子の折り紙構造化と車載収納機構に向けた実験的研究、日本機械学会 (シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015), 222-228, 2015/11

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹澤 聡 (TAKEZAWA Satoshi)
北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号: 70305902

(2) 研究分担者

春名 弘一 (HARUNA Hirokazu)
北海道科学大学・保健医療学部・講師

研究者番号: 00712168

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()