

## ハニカムテーパ型折り紙構造を応用した車椅子設計に関する研究

### Study of Design for Wheelchair Applied Honeycomb Taper Shaped Origami Structure

竹澤 聡 \*

Satoshi Takezawa

#### Abstract

The origami is popular all over the world recently as a universal play activity involving folding a sheet of paper. There are a lot of traditional foldings descended from forerunners. On the other hand, origami has been a target of mathematical researchers. As the result, now we have the knowledge to design such complicated origami works that we could not a few decades ago. We adopted an ordered tapered honeycomb structure for wheelchair with the wheel deployment and shrinkage methods. Techniques for making new figures by folding a single sheet of paper have been explored by many origamists even now. Proposal of origami structure for wheelchair structure has not ever seen and the design and discession for possibilities and problems of realization is very usefull. In this research, we focused on the problems that occur when using a wheelchair having a folded paper structure. In this research, it is important to use a wheelchair having a folded paper structure and evaluate the passenger's ride comfort including rigidity. Finally, We point out to overcome in safe running performance, high functionality, and light weight advantages and disadvantages.

#### 1. 序論

近年、少子高齢化社会が進んでいる。平成29年9月15日現在において総人口に占める高齢者人口の割合は27.7%と、過去最高となっている。一方で高齢化だけでなく先天的な障がいや不慮の事故などにより若くして車椅子の利用を余儀なくされる人もいる。身体障がいにもいくつか種類があるが、車椅子利用者は主に肢体不自由に分類されており、身体障がい者の約半数を占めるという統計もある。これらの状況から、現在車椅子を利用しているまたはこれから利用する可能性のある人が増加することが懸念される。しかし高齢化社会の進行及び介護職員の人手不足などにより車椅子を使用者本人が取り扱わなければならない状況が発生することも予想される。現存の車椅子ではその大きさや重量から一人で取り扱う際に持ち運びや収納などに対して制限が発生することも多く、一人で行動する際に不便なことも多いと考えられる。

車椅子の車両搭載に際し、車の室内に収納したり、車室外の天井に収納するなどして、利用者の利便性向上を目指したコンパクト化の研究は進められているが、利用者のさらなる車椅子のモビリティ向上を進めたりするための重要な技術の一つとして、車椅子自体の収納・展開の技術が挙げられる。

利用者が活動範囲を拡張するためには、自家用車との車椅子とがマッチアップして、省スペース化された車椅子が車庫空間内に運搬される必要がある。現状では車椅子車輪のコンパクト化は実現に至っておらず、当初のリング構造を保った体積のまま収納されているのが現状である。また、先行研究<sup>(1)</sup>では、室外屋上にリフトアップして収納するにしても重量制限があるために、車両搭載前にできるだけ軽量で小さく折り畳んで収納し、目的地到着後は元の大きさに拡張のできる、収納と展開の技術が見られる程度である。軽量化問題のトレードオフとして車椅子の構造物には安全性の面からさまざまな厳しい耐荷重性への要求が存在する。たとえば、現在、収納について注目すべき展開構造の著しい研究開発がすすめられている、古谷ら<sup>(2)</sup>が進める、宇宙空間におけるソーラーセイル展開膜構造の研究は微小重力環境であることと、荷重条件が地上に比べて厳しくないことから、環境的好条件を利用した成果に結びつけているが、その考え方は、車椅子のコンパクト化について大きなヒントを付与し、柔軟で展開可能な構造物を実現するための考え方に共通する部分がある。とくに平面状あるいは曲面状の構造を構築するための技術は、折り紙の考え方と密接な関係がある。本

\* 北海道科学大学工学部機械工学科

論文では、今まで実現されていない、車椅子車輪の展開・収縮の方法を秩序だったテーパ型ハニカム構造を取り入れた折り紙型構造物を提案し、その実現化の可能性と問題点について明らかにすることを目的とする。あわせて、本研究において、折紙構造を有する車椅子を利用する際に重要となる剛性を含めた搭乗者の『乗り心地』を評価する。これにより、安全走行性や高機能化、軽量化において克服すべきポイントを明らかにする。

## 2. ハニカムコア理論

ここでは、齊藤ら<sup>(3, 4, 5)</sup>が提案する凸型ハニカムコア理論を拡張した薄型円盤ハニカムコアについて整理する。図 1(a)において、 $\alpha_1 > \alpha_2, \beta_1 > \beta_2$  の場合、単位セルの断面形状は外側に膨らんだ凸形となる。この場合の単位セルを図 1(b)、及び展開図を図 1(c)に示す。 $\alpha'_1 > \alpha'_2$  より、エッジ BHGE と BCDE の間に隙間 (disposal area) 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は図 2 に示される。ここで断面の上下の曲線はを図 1(b) に示した  $C/2$  ごとに等分割され、16 個の台形として近似されている。この手法で車椅子車輪を図 2(b) の下弦部分を上弦部分の曲率に近づければ理論的な設計に基づいた折紙構造車輪が実現できる。

ただし、この場合は、発生する disposal area が存在すること、円盤形状をキープするために剛性は増すが、その耐力はハニカムの軸対象幾何構造のため均一性に欠けるなど、解決すべき課題<sup>(6, 7)</sup>のあることが我々の事前調査にて示された。

そこで、本研究は、軸対称ハニカムテーパ型コアを提案する。最初に、展開図の設計方法について述べる。ここでは、車椅子車輪ラバー部についての折り紙構造を検討する。図 3 に示す構造を連続的に展開する。これを構造化する数式は以下のとおりである。

平面を 1 周 (角度で  $2\pi$ ) するために必要な個数を  $n$  とすると、式 (1) より  $n$  が計算される。この結果を用いて最終的に式 (2) より図 3 に示された角度  $\alpha$  を得る。

$$2\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \times n = 2\pi \quad (1)$$

これを  $n$  について整理すると

$$\alpha = \frac{(2+n)}{2n}\pi \quad (2)$$

となる。

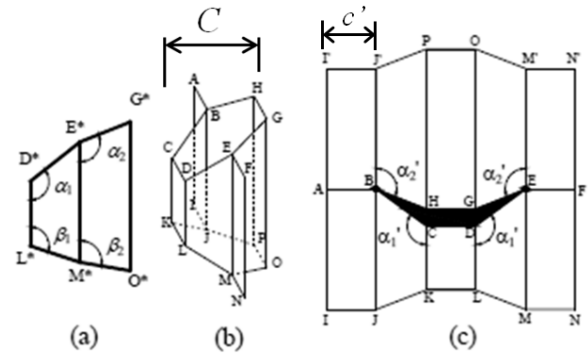


図 1 Convex-curve unit cell and its folding line diagram<sup>(5)</sup>

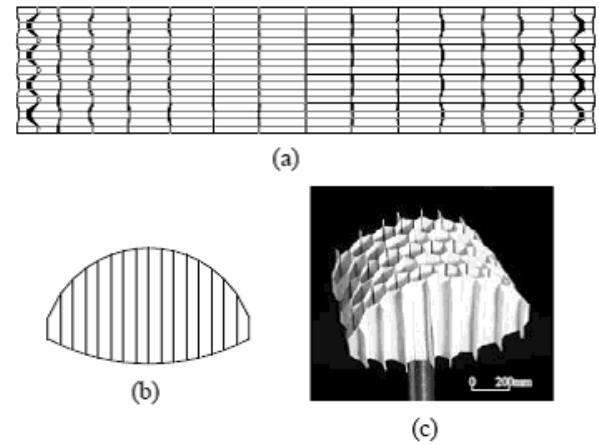


図 2 Convex-curve honeycomb core (a) Folding line diagram. Black lines: Slits. Gray lines: Folding. (b) Cross section. (c) Paper sample ( $C = 10$  [mm]).<sup>(5)</sup>

## 3. 展開図の設計法

前節までの議論を基に、図 3 のような 3D ハニカムコアにおいて任意断面を製作するための展開図設計法を一般化する。まず、展開図を数理的に表現するため、折線、スリットの位置を表す数列を定義する。周期性、対称性から図 4 のような帯状の領域を展開図から切り取り、原点及び座標軸  $l, w$  を定める。 $c' < l < 2c'$  の領域に着目し、左端から頂点  $A_0, A_1, A_2, \dots, B_0, B_1, B_2, \dots$  を順番に定め、それぞれの  $w$  座標を  $a_0, a_1, a_2, \dots, b_0, b_1, b_2, \dots$  としていくと、展開図の周期性から  $A_{3m}, B_{3m+1}$  は折線、 $A_{3m+1}, B_{3m}$  はスリット左端、 $A_{3m+2}, B_{3m-1}$  はスリット右端にそれぞれ位置する ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )。任意断面ハニカムの展開図を描くためには、これらの数列  $a_i, b_i$  及び  $l$  方向の折線の幅  $c'$  (セルサイズによって決定される) が必要となる。図 1 に示した

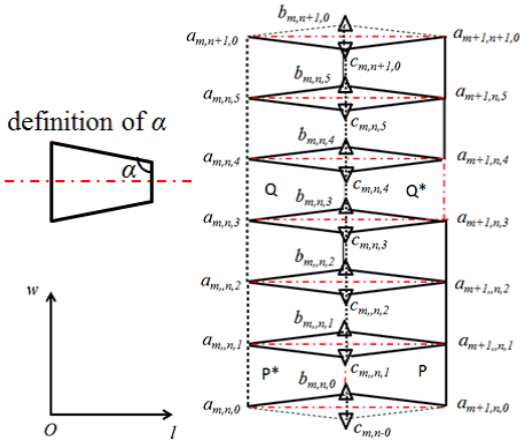


図3 Taperd honeycomb pattern diagram

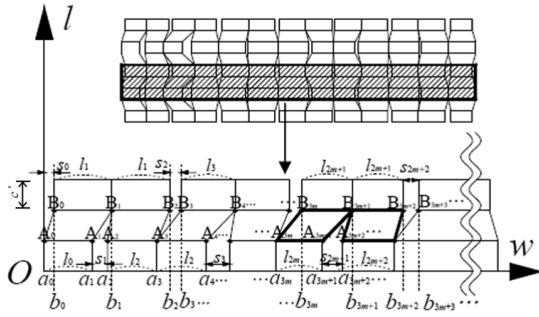


図4 Definition of the sequences  $a_i$  and  $b_i$  representing a folding line diagram.

ように、立体化後に貼り合わされる4角形(単位セルにおける四角形ABJIとABJ'I', EFNМとEFN'M'は合同であるため、 $a_i, b_i$ に関して以下の関係が成り立つ。

$$a_{3m+1} - a_{3m} = a_{3m} - a_{3m-1} = l_{2m} \quad (3)$$

$$b_{3m-1} - b_{3m-2} = b_{3m-2} - b_{3m-3} = l_{2m-1} \quad (4)$$

$$(m = 1, 2, 3, \dots)$$

ここで、 $l_i$ は立体化後のセル壁の高さと等しい( $l_0 = a_1 - a_0$ )。また、スリット幅 $s_i$ を以下のように定義する。

$$s_0 = b_0 - a_0 \quad (5)$$

$$s_{2m} = b_{3m} - b_{3m-1} \quad (6)$$

$$s_{2m-1} = a_{3m-1} - a_{3m-2} \quad (7)$$

$$(m = 1, 2, 3, \dots)$$

これらの $s_i, l_i$ で $a_i$ を表すことを考えると、図4より以下の関係が成り立つ。

$$a_{3m} = (l_0 + s_1 + l_2) + (l_2 + s_3 + l_4) + \dots + (l_{2m-2} + s_{2m-1} + l_{2m})$$

$$= \sum_{i=0}^{m-1} \{l_{2i} + l_{2i+2} + s_{2i+1}\} \quad (8)$$

次に、立体化後の断面形状を表す数列を定義する。図4の紙片を立体化した後、 $LWZ$ 空間において頂点 $A_i, B_i$ がどのように配列されるかを図5に示す。ここで、断面を $WZ$ 平面へ投影した際の上側の境界を示す点を $T_0, T_1, T_2, \dots$ 下側の境界を示す点を $U_0, U_1, U_2, \dots$ と定め、それぞれの点の $Z$ 座標を $t_0, t_1, t_2, \dots, u_0, u_1, u_2, \dots$ とする。周期性から、上下の境界は $C/2$ ごとに傾きが変わる曲線となり、それぞれの頂点の $WZ$ 座標は以下のように表される。

$$T_i : (iC/2, t_i) \quad (9)$$

$$U_i : (iC/2, u_i) \quad (10)$$

#### 4. 展開図数列の計算法

今、ハニカムコアの断面形状として数列 $t_i, u_i$ が与えられたとき、その展開図を描くための数列 $a_i, b_i$ を求めるを考える。まず、立体化後の $LWZ$ 座標系において、点 $A_i, B_i$ の $Z$ 座標を $\{A_i\}_z, \{B_i\}_z$ と表すとき、周期性から以下の関係が成り立つ(図5参照)。

$$\{A_{3m}\}_z = u_{2m}, \quad (11)$$

$$\{A_{3m+1}\}_z = t_{2m}, \quad (12)$$

$$\{A_{3m+2}\}_z = t_{2m+2} \quad (13)$$

$$\{B_{3m}\}_z = u_{2m+1}, \quad (14)$$

$$\{B_{3m+1}\}_z = t_{2m+1}, \quad (15)$$

$$\{B_{3m+2}\}_z = u_{2m+1} \quad (16)$$

ここで、セル壁の高さ $l_i$ に対し、

$$l_{2m} = \{A_{3m+1}\}_z - \{A_{3m}\}_z = t_{2m} - u_{2m} \quad (17)$$

$$l_{2m+1} = \{B_{3m+1}\}_z - \{B_{3m}\}_z = t_{2m+1} - u_{2m+1} \quad (18)$$

となる。また、図5中の太線で示した台形 $B_{3m+1}A_{3m+1}A_{3m}B_{3m}$ に着目すると、立体化後の $Z$ 方向が展開図上の $w$ 方向と一致することから、

以下の式が成り立つ.

$$\begin{aligned} u_{2m+1} - u_{2m} &= \{B_{3m}\}z - \{A_{3m}\}z \\ &= b_{3m} - a_{3m} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} l_{2m+1} - l_{2m} &= \{B_{3m+1}\}z - \{B_{3m+1}\}z \\ &= b_{3m+1} - a_{3m+1} \end{aligned} \quad (20)$$

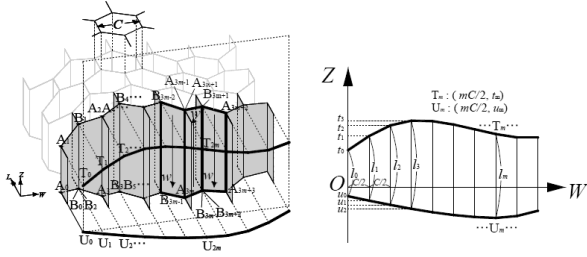


図5 Definition of the sequences  $t_i$  and  $u_i$  representing a cross section.

## 5. 実験方法

折り紙設計支援ソフト Ori-revo を用いて 1 枚の紙から簡易的なタイヤを作成し構造を理解する. 図 6 は, 設計図の正面図と平面図であり, 正面図は展開図に相当する. この図に示すとおり 12 角形をベースとして初期設計では近似円を計画したが, 可能な限り円形に近づけるために構造確認のため 3D プリンターを用いて部分造形した. 今回は, 3D プリンター IGUAZU 社 Cube3 を用いてリムホイール部を造形し組み立てホイールを作成した. その結果, 造形精度限界ピッチである 0.254mm ピッチの 10 倍値において 114 個のハニカムテーパ型コアの連結で 1 輪のリムホイールを作成した. STL から二次元展開図を生成する方式はいくつか報告されている<sup>(8)</sup>が, 本研究では数学的に正しく実物を再現する方式を選択している. たとえば, 各セグメントをストリップと呼び, 三角形要素を一列に接続したような構造に分解し, 各ストリップを, 三角形要素の形状を維持しながら 2D の平面に写像する手法がある. また, 写像する際, ストリップ同士が交差する可能性が考えられるが, 交差を判定し, 交差が生じた場合は, 適宜ストリップを分割する. ストリップの構造を制御することにより, 展開図の各パーツの数が増えすぎないようにすることができる. 紙でタイヤを作るのに対し 3D プリンターを用いて試作する理由としては, 一般的に紙製のホ

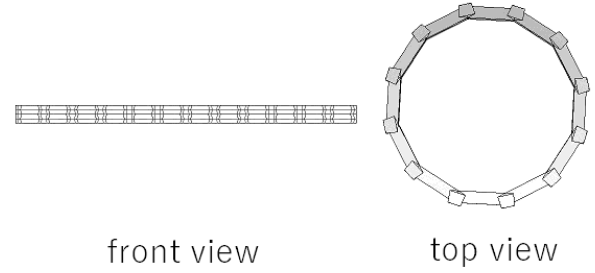


図6 Development by ori-revo

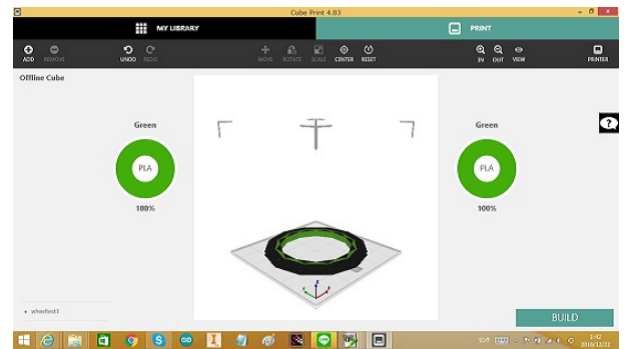


図7 3D model

イールでは強度不足が懸念され実証走行が困難なことが想像される. ただし, 次節で述べるが, ハニカムコアの面どうしが隣接する部分は, 対称 2 枚貼り折り紙となることから, 強度不足の解決が図られることになる. そこで, PLA 材を用いて構造と強度を検証するものとした. 折紙工法は金属等へも可能ですで文献<sup>(9, 10, 11)</sup>のグループで検討されている. 器用さの点で人間より劣るロボットでも折曲げ加工中心で構造物を構築すべく二次元型紙に木構造を得るように工夫されている<sup>(12)</sup>. 本研究でも, 剛性素材による組み立て走行実験を想定しており, 将来的に実機で強度, 安定性を調べる予定である. 実験後は走行時に発生した問題の考察及び改善を行うと同時に折り紙構造を持つタイヤにハニカム構造を組み込むことが可能か考察を行い, 本研究を終了とし, 実際の折り方や材質などについては今後の課題とする.

## 6. 実験結果及び考察

本実験においてリムホイールを作成するにあたり, Ori-revo を用いて形状の設計パラメータを決定した. 作成するリムホイールの形状の決定後, 図 7

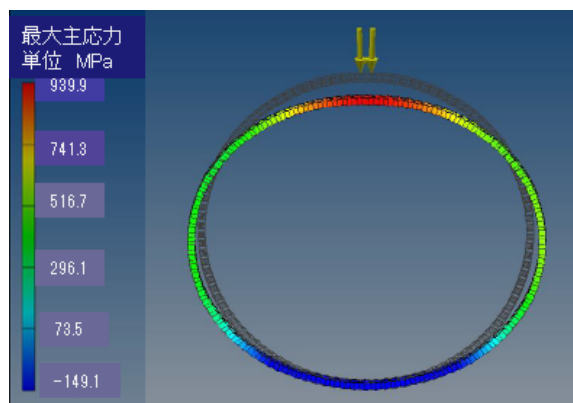


図 8 Design of whole wheel

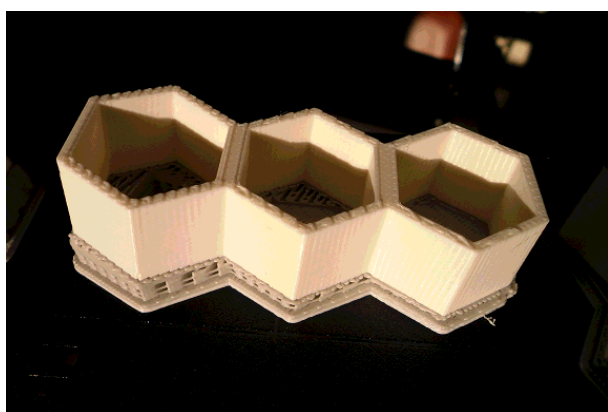


図 9 Output of 3D model

は Ori-revo より 3D モデルの拡張子 obj データを拡張子 cube3 へコンバートした結果である。この結果を利用して、その後 3D プリンターにて造形を行う。図 6 から図 7 への一連の設計および造形が本研究でスムーズに実現できるようになった。材料特性による問題は、剛体折り、厚さを考慮した折りたたみ法として研究が進められている。一方、製作過程の複雑さに関しては、系統的な研究が行われてこなかった。むしろ、より複雑な折り方を研究する傾向がある。そこで、この点に焦点を当て、複雑な折り線を簡素化することで、実際のものづくりへの道を開く方法として、「対称 2 枚貼り折り紙」が考案されている<sup>(13, 14, 15)</sup>。本研究では、この新しい折り型である、「対称 2 枚貼り折り紙」を採用する。これは同じ折り線図からなる展開図を 2 枚対称に貼り合わせて立体を作る折り紙手法であり、貼り合わせ部においては自動的に折り畳み条件が成り立っているため、面倒な折り畳み条件を考慮する必要がないという点が、大きな特徴である。

図 8 は、114 個のシングルテーパ型ハニカム構造

で一周が形成された。車輪一輪の応力解析の出力結果である。荷重 800N で安全率 5 を想定し、高級鋼板（フェライト ベイナイト熱延鋼板：神戸製鋼：引張強さが 440～780 MPa）を用いて応力解析した結果である。使用した設計支援ソフトは MathWorks 社 Matlab2017 である。図 9 は対称 2 枚貼り折り紙のハニカム基本構造で車輪モデルの弧の一部を造形した結果である。

なお、造形モデルの精度は、積層溶融型特有の段付き  $\pm 20\mu\text{m}$  の誤差が当研究室の機器では発生するが、走行上には問題とはならない範囲と考える。また、構造の単純・複雑の差に関係なくどの造形でも同様の現象が見られたため原因として考えられるのは Ori-revo と造形用ソフトウェアとの間にデータの互換性についても今後検証が必要とされる。現状、車椅子 CFRP ホイールは十分に軽量かつ高剛性となっているが、車椅子利用者には円背のある人の座位姿勢や仙骨座りによって身体に負荷がかかり、サイズの適切な車椅子への変更が解決策の一つとして提案されるなど、さらなる車椅子の軽量化やホイールサイズ自在変更およびコンパクト化が必要とされている。今後も材料の歩留まり性が高く、折り紙構造の折り返し（糊代）部による強度補償性を利用する研究を推進させることで実用化につなげたい。

## 7. 感性評価シミュレーション

ここでは、車椅子搭乗の際の感性評価をシミュレーションした結果を示す。本研究では、先行研究<sup>(16)</sup>で行われた『乗り心地』に対する官能評価実験で用いられた SD 法（semantic differential method）を採用した。SD 法とは、もともと心理学における手法であり、刺激の質的变化に対応する「快－不快」などの心理的評価の構造を探るために用いられる。具体的には、ある刺激に対する印象を評価する際、反対語になった形容詞を対に位置づけた評価尺度を用いている。シミュレーションは鉛直方向に対する振動加振を想定した。使用したソフトウェアは Mathworks 社 Matlab2017 を用いて変位制御による加振を行い、振動数範囲は 1～5000Hz、最大加振力 1470 N、最大変位 25 mmp-p、重量 100（人体＋車椅子）kg である。シミュレーションは軽量車椅子（NAVIS 製 NWC－100AL、重量 12.1 kg、車輪直径 24 インチ、ホイール材質ポリマータイプ）を用いて図 10 に対して図 11 の人間



が搭乗者する場合を想定した振動シミュレーションを行った。人体モデルはJIS規格(L4004,L4005)に基づいて、CADソフトSOLIDWORKSの座位(sitting)コンフィギュレーションによって【50パーセントァイル】男性：167.0cmを採用した。振動に対する人間の感性部位を評価するために30秒間加振を行い、その入力振動に対する評価を行った。加振を必要としない路面走行実験を予備実験として行った結果から低周波数帯と20～30Hz間にパワースペクトルのピークが確認できたため、1～30Hz間を計測対象とし、入力周波数は2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30Hzの15水準とした。2～8Hzを低周波数帯、10～30Hzを高周波数帯とした。入力振動は低周波数帯としたヒューマンモデルの人体各部の伝達関数に対する周波数応答の結果を図12に示す。図12の縦軸は伝達関数、横軸は周波数をそれぞれ示す。図12から5.0Hz付近に1次ピーク、7.0Hz付近に2次ピーク、13.0Hz付近に3次ピーク、17.0Hz付近に4次ピークが確認できる。1次ピークは胸部の伝達関数が高いことと頭部にピークが確認できることから人体の上半身には共振が発生することが考えられる。また、2次ピークは大腿部と下腿部に確認できることから人体の下半身の共振と考えられる。3次ピークは下腿部のみに確認できる。4次ピークは胸部のみに確認できる。先行研究から胸部と大腿部、下腿部の1次ピークと2次ピークはおおよそ一致したが、頭部の共振周波数は先行研究より低周波数帯によっていた。この頭部の共振周波数のずれについては、先行研究ではヘッドスレスがついた椅子を使用した。本シミュレーションの車椅子はヘッドレストがついていない。このヘッドレストの有無によって共振周波数にずれが生じたと考えられる。また、本シミュレーションから確認できた3次ピークと4次ピークが確認できなかったことから、3次ピークと4次ピークは人体-車椅子系の固有のピークだと考えられる。この固有周波数のずれおよび共振が、感覚としての『速さ』はただ単純にスピードだけではなく、危険や不安、不快などの感性評価が加味され、実測より速く感じているとの『乗り心地』に影響を与えていると考えられる。

SD法による官能評価の結果を得点化して、各評価語間の相関関係をまとめた相関行列を表1に示す。表1より、「安定-快」「安全-安心」「安定-



図10 CAD model



図11 Wheel chair with passenger

安心」で高い相関が見られ、「遅い」だけが他の項目との相関が低いことがわかる。表2より、主成分1において、「安定」「安心」「快」「安全」の4項目の主成分1に対する寄与が大きいことから主成分1は主にこの4項目から成り立っており、『乗り心地』を表していることがわかる。主成分2は「遅い」の寄与が大きく、『速さ』を表していることがわかる。

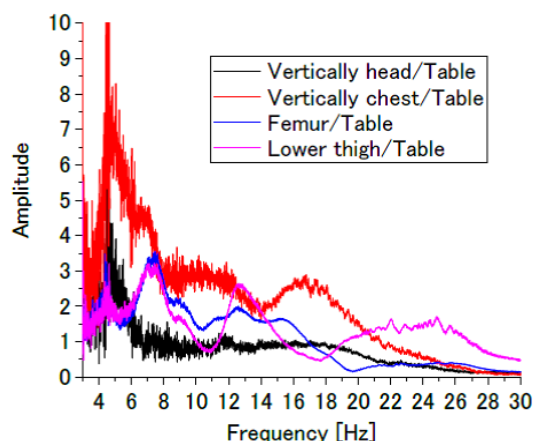


図 12 Amplitude of transfer function

表 1 Covariance matrix

	遅い	安全	安定	快	安心
遅い	1	0.4193	-0.0284	-0.2168	0.2402
安全	0.4193	1	0.8956	0.7954	0.9820
安定	-0.0284	0.8956	1	0.9820	0.9635
快	-0.2168	0.7954	0.9820	1	0.8956
安心	0.2402	0.9820	0.9635	0.8956	1

表 2 Eigen vector

	主成分 1	主成分 2
遅い	0.0763	-0.8934
安全	0.4941	-0.2530
安定	0.5066	0.1593
快	0.4804	0.3244
安心	0.5124	-0.0846

## 8. 結論

車椅子車輪に対するハニカム構造への 2 枚貼り折りの導入は、立体化 (折りプロセス)、非接着に関してさらなる検討が必要であるが、スリット導入、折り曲げ、接着の一連の過程を自動化できれば、任意の断面形状を同一のシステムで製造することが可能となり、形状に合わせた型、治具を製作する必要がないことから、大幅なコストカットが期待される。また、立体化の際コルゲートさせるプロセスとスリットを入れてジグザグに折り曲げるプロセスを独立に行えることから、金属製ハニカムコアに関しては十分既存技術で対応できるものと考えられ、本研究を基にした新しいハニカムコアの連続生成技術を開発できる可能性がある。また、



図 13 Wheelchair model in future

近年その需要が著しく拡大している先進複合材の利用に関しても研究が進められており、現在、本手法を応用した CFRP 製ハニカムコアが試作されている。図 13 は、材料、重量、強度的に本研究で目指す理想の車椅子である。そのためには、従来の方法のように困難かつ高価な曲げ、切削等の加工工程を必要とせず、必要な 3D 形状を直接立体化できる本研究の究極の目標から創出される廃材ゼロの環境負荷低減の大きなメリットを活用すべきである。

20 世紀に得られた少品種大量生産方式の柱となる鋳造、鍛造、圧造の三大製法のなかで折り紙構造においては圧造への対応はより困難である。この実用化には折紙工法を実現する折紙ロボットが欠かせない。ただし、基本的には硬い材料にも適用可能であるためには、ロボット自体に強度を付与する必要がある。今後一刻も早く様々な材料に対する折り紙構造が、車椅子コンパクト化がきっかけとなり産業界で有用なものとなるよう検討を続けたい。

## 参考文献

- (1) ユニバーサルデザイン研究会：ユニバーサルデザイン超高齢化社会に向けたモノづくり，日本工業出版会，pp.14-16,1913.
- (2) 古谷寛，宮崎陽子，竹内啓泰：ソーラーセイル展開膜面の折り目パターンと基本展開特性，日本航空宇宙学会，第 44 回構造強度に関する講演会，pp.119-121,2002
- (3) Forbes W.T.M.:The Wing Folding Pattern of the Coleoptera, J N Y Entomol Soc, vol.24, pp.42-68, 1926.
- (4) Brackenbury J.H.:Wing Folding and Free Flight

Kinematics in Coleoptera (Insecta), A Comparative Study, J. Zool. (Lond.) Vol.232, pp.253-283,1994.

校紀要,vol.39,pp.81-85,2004.

- (5) 齊藤一哉:折紙と展開構造, 応用数理, Vol.25,No1, pp.9-14,2016.
- (6) 楊陽・趙希祿・戸倉直・萩原一郎:トラスコアパネルからなる軽量化構造の衝突エネルギー吸収性能向上, 日本機械学会論文集, Vol.80,No.815,2014.
- (7) Saito K., Tsukahara A. and Okabe Y.:Designing of Self-Deploying Origami Structures using Geometrically Misaligned Crease Patterns, Proceedings A, Vol.472,2016.
- (8) 北岡裕子:やまごころでサイエンス, 呼吸器画像で4次元を理解する(連載第2回), 断層映像研究会雑誌, Vol.41,No.1, pp.15-19,2014.
- (9) 萩原一郎:積層型3次元プリンターを凌駕する折紙式3次元プリンターを目指して, 応用数理招待論文, Vol.26,No.1,pp.22-28,2016.
- (10) グエンタイ・タット・ホアン・寺田耕輔・戸倉直・萩原一郎:トラスコアの設計自由度を高めるための折紙工法の開発, 日本機械学会論文集, Vol.80,No.819,pp.1-10,2014.
- (11) Nguyen H., Phuong T., Yu B. and Hagiwara I., Bending Sheet Metal of Aluminum Alloy by Mimicking Origami Folding of Human Hand, Proceedings of ASME 2015 Symposium on Origami- Based Engineering Design, 2015-8.
- (12) 篠田淳一, ディアゴ・ルイス, サブチェンコ・マリア, ロメロ・ジュリアン, 萩原一郎: 折紙式3次元プリンタと折紙ロボット, <特集>折り紙の数理的・バイオミメテックス的展開と産業への応用, 日本機械学会誌, Vol.119, No.1175号 pp.562-563,2016.
- (13) 杉山文子:ものづくりのための2枚貼り折り紙, <特集>折り紙の数理的・バイオミメテックス的展開と産業への応用, 日本機械学会誌, Vol.119, No.1175, pp.552-553,2016.
- (14) 野島武敏:ものづくりのための立体折紙, 日本折紙協会,2016.
- (15) 野島武敏・杉山文子:ものづくりのための立体折紙練習帳, 日本折紙協会,2016.
- (16) 澤田知之・小島洋一郎・近藤崇・古崎毅:車椅子操作と乗車者の乗り心地に関する感性評価への基礎的研究, 苫小牧工業高等専門学校