

折紙構造を用いた減音シェードの検討

山崎 桂子¹、橋口 真宜^{1,2}、萩原 一郎¹

¹明治大学, ²計測エンジニアリングシステム株式会社

e-mail: keyyamazaki@meiji.ac.jp

1 概要

生活騒音に関するトラブルが日々話題になっており、防音室ほどの機能までは持たないものの、比較的安価かつ軽量の簡易防音室のニーズが増している^{[1][2]}。そこで、軽量かつ折り畳み収納が可能であり、かつ外部への音の伝播を減らせる「減音シェード」の開発に取り組む。

高周波領域での音圧低減は吸音材を一部用いることで対応し、主として 500Hz 付近以下の周波数領域を折紙構造で対応することを目的として管状の構造をシェードの壁に用いる検討を行った。

2 有限要素法による検討

本研究では、管状の構造として、図 1 の通りひし形断面の筒型構造を検討した。ひし形断面の筒状構造を検討した理由は(1)音波をギザギザの角度をもった壁で乱すことでシェード内の共鳴を抑える働き(2)ひし形断面空間の空気ばねとしての機能及び(3)ひし形部を折畳んでシェード全体をコンパクトに折畳めることである。

シミュレーションは 100dB の球体音源を 1.3m 高さに設置し、シェードの内部音源より 30cm とシェード外 1m に音圧観測面を設置し、それぞれ平均音圧を 50 から 1000Hz まで 50Hz 刻みの周波数で観測した。なお、シミュレーションは多重物理連成の市販ソフトウェア COMSOL Multiphysics^[3]を用い、PML (反射の無い無限に広がった空間) で音響構造連成解析を行った。

シミュレーションの結果を図 2 に示す。図 2(a)上図は 50Hz から 500Hz について音源を中心として蛇腹側観測面から吸音材観測面までの直線上で観測される音圧を示したものである。中央の音源位置で最も音圧が高く、その左側の蛇腹の位置で音圧の急激な変化があり、その外側に向かって音圧がなだらかに低下していることが分かる。その反対側の右側では吸音材壁の位置で音圧が急激に低下し、図 2(a)下図に示す通り、500Hz では 56 dB 近くまで音圧が下がっている様子が分かる。なお、図 2(b)の通り、吸音材側のシェード外側観測面では 200Hz 以上では 60 dB を下回っており、また 50 から 1000Hz における平均でも内部音圧より 21 dB 音圧が低減していることが分かる。

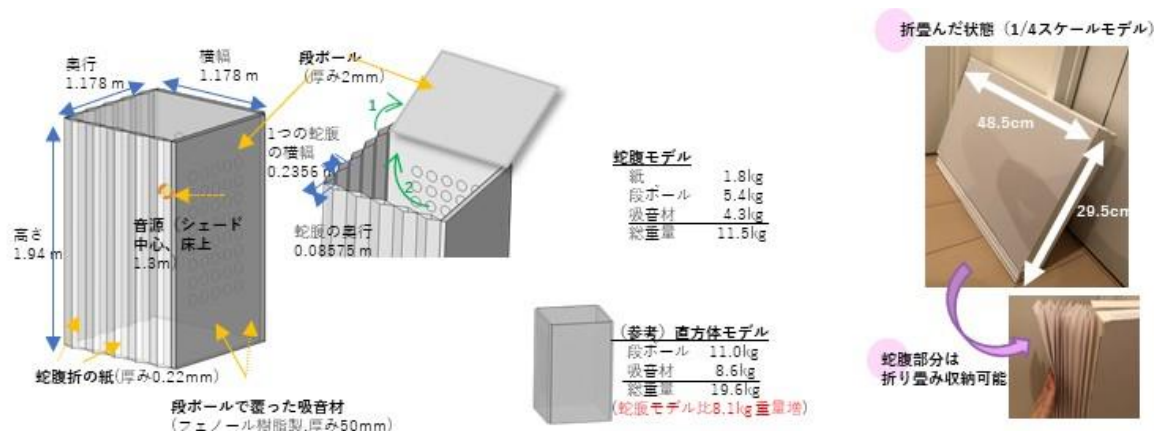
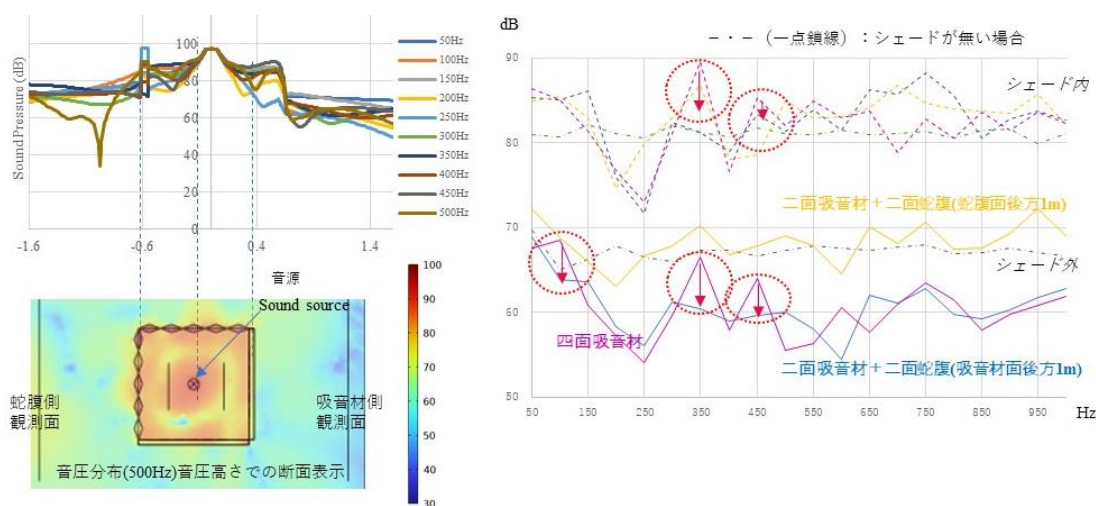


図 1 シェードのサイズ及び形状と折り畳んだ状態



(a)音源位置を中心とした水平方向での観測音圧（上図）と 500Hz での音圧分布（下図）
(b)4 つの壁面が吸音材のモデルと 2 面が蛇腹のモデルの比較

図 2 音圧の状況

4 面の壁面の内蛇腹構造を 2 面に採用したシェード形状では、図 2 (b) の赤い矢印で示した通り、4 面が防音材のシェードの場合に共鳴する 350Hz 及び 450Hz で音圧が下がっており、これは蛇腹の壁が音圧を複雑に反射することが効いていると考える。なお、500Hz や 650Hz では 5 デシベル程度音圧が上がっているところも見られるが 100Hz や 600Hz では同程度音圧が低下しているため、2 面を蛇腹にすることで 8.1kg 軽量化し 11.8kg と非常に軽量のシェードとなっていることを鑑みると、形状による音圧低減が実現できていると考える。

3 結論と今後の課題

本研究で検討するシェード形状では、50 から 1000Hz 間のシェード外 1m の観測音圧が平均して内部音圧より 21 dB 低減できた。蛇腹構造によってシェード外の観測音圧が低下する理由は、①蛇腹壁内側が音源から音波を斜めに受け複雑な反射を起こすこと、②蛇腹内のひし形空間の縦及び横へ音波が進行し内部で反射及び共鳴が複雑に起こること、③管内で空気がばねとして挙動し音のエネルギーが振動エネルギーに変換されること、また④蛇腹内部空間から透過する音波が蛇腹の角度によって複雑な角度及び音圧で外部に伝わっていく等、形状由来の複雑な現象の組み合わせによると考えられる。

今後は、上記に示した音圧低下の原因と考える現象をそれぞれシミュレーションで可視化し、また構造のサイズと音圧低下との関係を定式化する必要がある。

謝辞 本研究は明治大学 MIMS 数理科学共同研究プロジェクトの助成を受け進めさせていただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 株式会社ピアリビング Web Page, <https://www.pialiving.com/>.
- [2] アーチ リテイルズ Web Page, <https://item.rakuten.co.jp/arch-global/kanade/>.
- [3] COMSOL Multiphysics v6.2. www.comsol.com, COMSOL AB, Stockholm, Sweden.

折畳めるお洒落な作業ヘルメットの開発

佐々木 淑恵¹, 戸倉 直², 寺田 耕輔³, 楊 陽¹, 萩原 一郎¹

¹明治大学, ²(株) トクラシミュレーションリサーチ, ³明星大学

e-mail: ihagi@meiji.ac.jp

1 概要

折り畳み、鞆に収納可能で、持ち運びが容易でありながら、着用時の快適性を損なうことなく、窮屈さを感じない、風通しも良い折紙帽子を開発・販売している[1]。開発した帽子は「改良型なまこ折り」という折紙構造である。改良なまこ折りとじゃばら折りを組み合わせた帽子は、多様なデザインが可能となる。これを折畳作業ヘルメットとしても利用すべく、エネルギー吸収材として、ハニカムあるいは、我々独自の ATCP（アッセンブリトラスコアパネル）[2]を取り付けることを考える。これまでの実験では、ATCP では、なだらかに荷重が上がり波形に波がないなど優れた特性を示している。シミュレーションでもこれを確認し、作業ヘルメットとしての評価を行う。

2 帽子の形状

具体的なデザインやその特徴を図1に示す。1列目は、トップとひさしの部分は、じゃばら折り、側面は、なまこ折り、2列目は、側面に1段のなまこ折りとじゃばら折りを、3列目はトップとひさし、側面、全てじゃばら折りのみで構成している。頭から側面にかけて、角張った形状や頭に沿ったまるい曲線形状をじゃばら折りの折角を変えることで実現している。4列目は、ひさしが無いタイプである。じゃばら折りの側面に絵を付ける場合、絵が歪まないように画像変換を行った。素材は、画用紙である。帽子の展開図は同じパターンの繰り返しなので、プログラミング言語 Processing の LINE 命令で描いた。じゃばら折りの角度や帽子の厚さ、なまこ折りの段数や、側面、ひさしの長さを変数とし、さまざまな形の帽子が折れるようにソフトウェア化した。SVG ファイルに保存することで、展開図どおりにカッティングプロッターでカットする。折り線は、点線にカットして折り易くした。

3 ヘルメットへの応用

折紙を使った帽子をヘルメットとして使用するために、帽子の中に衝撃吸収材を装着する。この衝撃吸収材について、実験、シミュレーションの両面から検討を行う。図2(a)は帽子の

ナマコ折り	ナマコ1段+じゃばら折り	じゃばら折り	ひさしなし
			
			

図 1 折紙帽子のデザインと特徴

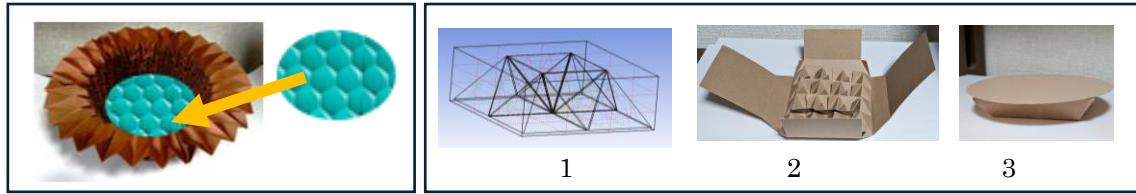


図 2 衝撃吸収材 (a) 帽子にハニカムを装着 (b)空間充填構造 (ATCP) による衝撃吸収材

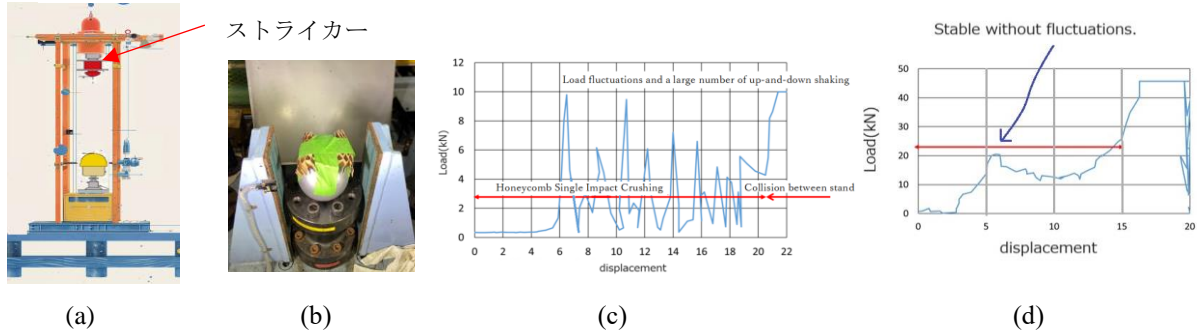


図 3 実験環境 (a) 規格試験概略図 (b)実験装置 (c)ハニカム実験結果 (d) ATCP 実験結果

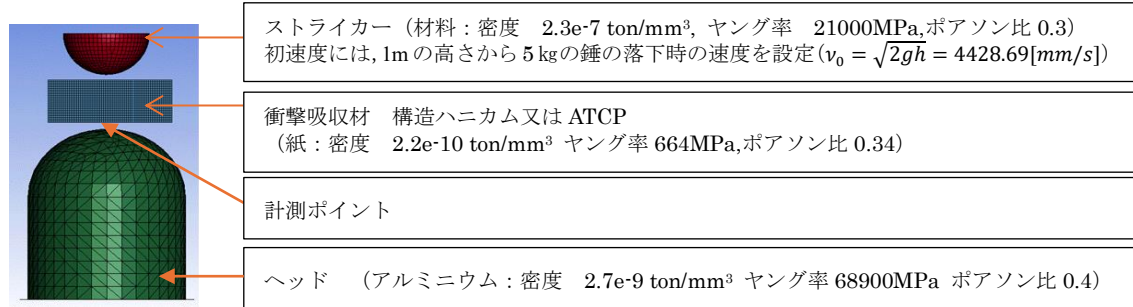


図 4 シミュレーションによる検証モデル

内側にハニカムを装着した様子を示す. 図 2 (b)は空間充填構造体 ATCP を示す. 同図-1 は, 正四面体と正八面体ハーフで隙間のない状態になっており, 同図-2 のように外箱を被せている. 同図-3 のように円形の板を付け帽子に装着する. 衝撃の規格試験は, 図 3 (a)で, ストライカーの重量は 5kg, 高さ 1m から落とした際の衝撃力が 4.9kN 以下であれば規格内である. 但し, 我々が実験できるのは, 図 3 (b)に示すようにダミーヘッドに衝撃吸収体を装着して測定を行う方法であり, 図 3 (c)はハニカム構造, (d)は ATCP の荷重時間曲線を示す実験結果である. シミュレーションモデルは, 図 4 であり, 図 3 (a)についてはシミュレーションのみで検討する. 次に図 3 (b)の実験に合うようにモデリングを検討し, シミュレーションを行う.

4 結語

折り畳みできるおしゃれな折紙帽子を製作した. 安全ヘルメットとして利用するための方策について述べた. 発表時, シミュレーション結果についても述べる.

参考文献

- [1] <https://spacec5.base.shop/>
- [2] 萩原一郎, 寺田耕輔, コアパネルおよび緩衝材, 特許番号: 第 7161180 号 (2022 年 10 月 18 日)

新しい解析技術を用いた折紙構造の遮音・吸音特性の評価

阿部綾¹, 米大海², 萩原一郎¹

¹明治大学, ²計測エンジニアリングシステム

e-mail: aya_abe@meiji.ac.jp

1 概要

有限要素法による新しい音波透過損失計算手法により, これまで実験に頼らざるを得なかった遮音・吸音解析をシミュレーションで簡便に行うことが可能となった. 本研究では, 折り紙遮音板の特性を周波数応答と時刻歴応答の2つの視点から詳細に解析することを目的として, まず音響流線による差異の観点からの検討を報告する. その結果, スピーカや遮音壁などの音響関連製品への有効活用が期待される.

2 折紙遮音板モデルについて

スピーカは情報伝達の重要な手段であり, 家電や自動車など多くの製品に搭載されている. スピーカユニットはアンプからの電流を利用して音を出す仕組みであり, 音質には入出力効率, 周波数応答特性が平坦で歪が少ないこと, 再生周波数帯域の広さが求められる. 既往研究[1]では折紙コアの遮音特性をシミュレーションで調査し, 理論解との一致を図った. また, 折紙コアの吸音効果も検討されている. 今後はスピーカ特性との相関を詳しく検討し, 最適なスピーカ設計を目指す.

遮音板シェル要素と音響管内音場ソリッド要素との結合に関するシステムの開発は, COMSOL Multiphysics により, 図1に示すようなモデルでこれまでに検討されている. ここでは遮音板として検討すべき折紙構造の選択と創出を行い, 折紙構造の遮音/吸音現象を分析することを目的とする. 検討すべき折紙構造として, まず, これまでの研究において1つの垂直コアで 1000Hz 以下といった低周波数域における遮音性能で良好な結果が得られているので, 本研究ではコアの数を増やした場合(等質量条件)に遮音性能にどういった変化が見られるかを検討する. また, 折紙構造として遮音/吸音に効果を期待できそうな形状を Origami Simulator の中から選択し, それぞれについて詳細な分析をすることを考えている.

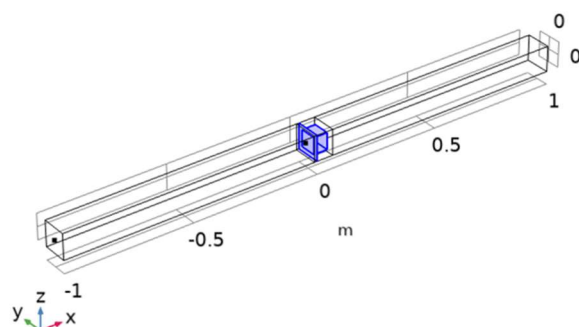


Fig.1 Sound insulation model with a plate with one vertical core (The sound source point is on the leftmost side).

3 シミュレーションによる折紙構造遮音板を用いた評価

垂直コアの数を複数個にしたときの検討について述べる．垂直コアの寸法は，既往研究で用いた通りとする．垂直コアでコア数 $n \times n \times n$ 個としたとき、 $n=1,2,3,5$ のときの比較検討（板厚をそれぞれ $1/n$ 倍とすることで等質量条件を満たす）について述べる． n が各値のときの垂直コアの形状について図 2 に示す．これらはそれぞれ板厚 $t=0.8/n[\text{mm}]$ と設定することで，質量はいずれも $0.15313[\text{kg}]$ としている．各ケースについて透過損失を計算したものを図 3 に示す． $n=1$ では，既往研究でも把握している通り，比較的 low 周波数域の $500 \sim 1000\text{Hz}$ 付近において，遮音性能が高い様子がわかるが，一方それ以上の周波数では $1200 \sim 2300\text{Hz}$ 付近において，他のケースに比べて遮音性能が低い様子が見られる． 1000Hz 付近以上では， $n=5$ の遮音性能が高い領域が最も多いが，時々あるピーク付近では $n=2,3$ の順で高い箇所が見受けられる． 2400Hz 付近以上では $n=2$ の遮音性能の低さが顕著になり，それに準じて $n=3$ でも遮音性能が低い箇所が見られる．全体として， n が大きくなるほど形状として平板に近づいていくことから，遮音性能も平板の質量則に近づくような挙動になるのではないかと考えられる．

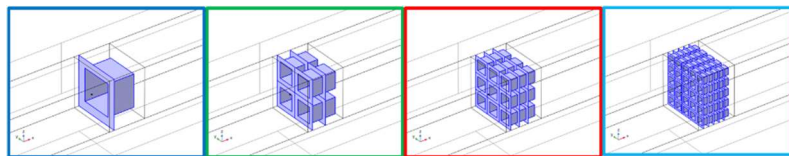


Fig.2 Models of plate with $n \times n \times n$ vertical cores ($n=1,2,3,5$ from left).

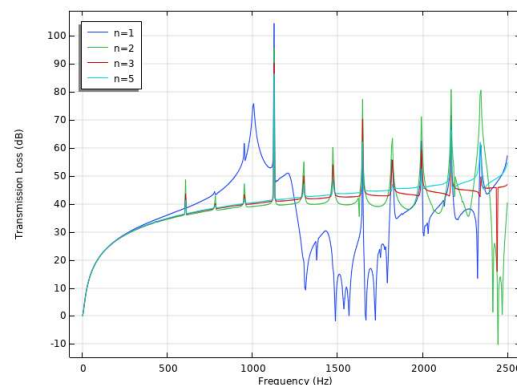


Fig.3 Transmission Loss in case of each model ($n=1,2,3,5$).

4 結語

シミュレーションによる折紙構造遮音板を用いた評価について，垂直コアの数を複数個にしたときの検討を行った．他の例についても同様な検討を続けていくことにする．

参考文献

- [1] Aya Abe, Ichiro Hagiwara, Development of New Sound Insulation Simulation Technology Using Finite Element Method for Efficiency of High Aspect Ratio Core in Low Frequency Range, International Journal of Mechanical Engineering and Applications, Vol.10, No.1(2022-2), pp.7-16, DOI: 10.11648/j.ijmea.20221001.12.

Development of the fan app - OugiBuilder

Diago Luis ^{1,2}, 佐々木 淑恵 ², 山崎 桂子 ², 安達 悠子 ², 武笠 雅子 ², 萩原 一郎 ²

¹ (株) インターローカス, ² 明治大学先端数理科学インスティテュート

e-mail : ldiago@i-locus.com

1 Overview

The use of the Japanese fan as a source to create/visualize stories dates back to the Edo period (1603- 1868 AD) when the famous Japanese painter Hokusai proposed using different projections to show the relationships between characters and their environment inside the paintings [1]. However, it is difficult even today to create character compositions because each 2D point is distorted into 3D (for example, a 2D circle becomes a 3D ellipse). Several authors [2] have tried to describe, model and evaluate the distortions typical of Japanese fans. The compositions on the fans generally exhibit 3 characteristics [3]: radial, curved and progressive characteristics. The latter try to arrange the motifs in the fan in such a way that they express a progression in time and a movement from right to left when it opens. There are no strict rules for painting fans, so they may include various distortions not mentioned above. Recently, Yamazaki [2] developed a formula that allows the distortions studied by Abe[4] to be reproduced without the need to make a transformation into a rectangle. The main construction of [2] is that the distortions are analysed based on the radial location of the points in a sector of the fan. That is, the points closest to the Kaname (from Japanese, a joint pin of the bamboo bones) are grouped together while the furthest points are separated. In this way they can also analyse the influence of the length of the "bones" on the distortions of the fan.

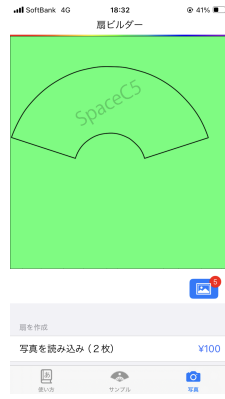
In this work we describe an application called OugiBuilder that uses the equations of [2] to visualize a virtual model of the fan in 3D. In addition to visualizing the model, the system allows you to draw different images in 3D with the aim of creating stories that can be told by the fan looking at it from different angles. The following section describes the general structure of the application. Next, section 3 shows several examples of its use. Section 4 gives the conclusions and future works of the research.

2 OugiBuilder

The application shown in figure 1 was developed for the Apple iOS 17.5 operating system using the XCode 15.4 development environment. Figure 1a shows the input panel to zoom and pan the images to be fitted inside the area of the fan and Figure 1b shows the 3D view of the fan to move zoom and rotate it in the virtual environment.

3 Examples

Figure 2 shows some examples of virtual ougi and its picture. In Figure 2a, a selected photo has been reduced to fit the fan. Figures 2b and 2c show two fan designs obtained from the photo in Figure 2a.

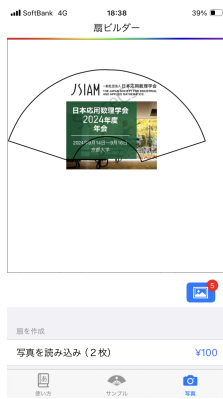


(a) Image Input



(b) 3D View

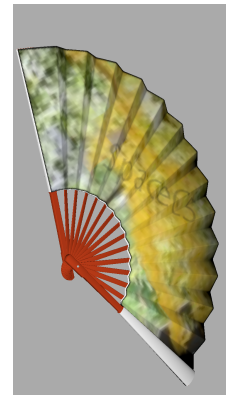
図 1: Main interfaces of OugiBuilder



(a) Photo



(b) All 3D view



(c) Detailed 3D View

図 2: Examples of Virtual Ougi from 1 Photo

4 Conclusions and Future Works

In this work, a new application called OugiBuilder has been developed to project multiple images on an accordion-type surface in such a way that there are no distortions. In addition to avoiding distortions, the application creates stories from combinations of images generated from the fan projections in the developed 3D view. In the future we plan to include the generation of the story videos in the application.

参考文献

- [1] I. Hagiwara, A consideration of scientific-technical and artistic aspects of origami engineering aiming to create a new big industry, SIAM Newletter (1).
- [2] K.Yamazaki,F.Abe,I.Hagiwara,Mathematical Elucidation of the Traditional Japanese Fan Focusing on Its Structure, Vol. Volume 8B: 45th Mechanisms and Robotics Conference (MR) of IDETC-CEC, 2021, p. V08BT08A036.
- [3] H.Mizuo,Senmengakouzu-ron(the composition of japanese fans),Kokka(785)(1957)246248.