テンセグリティと多面体との関係
Relations with Tensegrity and the polyhedron

土居　雅大　　古沢　侑也
DOI Masahiro　FURUSAWA Yuya

Abstract

テンセグリティ構造を製作しその表面にできる図形を調べることによって図形の数と圧縮材の本数との関係式を導いた。それをもとに多面体とテンセグリティの関係を考察したところ、いくつかのテンセグリティが多面体に対応していることがわかった。

1. テンセグリティとは

構造の名称で“tension”（張力）と“integrity” (統合)を組み合わせた造語。

軽量で丈夫な構造として注目されるが、張力の扱いが難しいため建築に用いられた例はあまりなく、その独特な形状から主に芸術作品に用いられてきた。

2. 研究目的

先行研究では、主にテンセグリティにかかる張力の分析などを行っていたので、私たちはテンセグリティを図形的に調べ、その規則性と多面体との関係を探ることを目的とした。

3. 研究方法

①文献や経験からテンセグリティを製作し、規則性の予想をする。
②規則性を証明する。
③テンセグリティが多面体に対応していることを調べる。

4. 研究内容

Ⅰ.テンセグリティの製作

まず、私たちはテンセグリティの規則性を予想するために、インターネットの情報を参考にいくつかのテンセグリティを製作した。

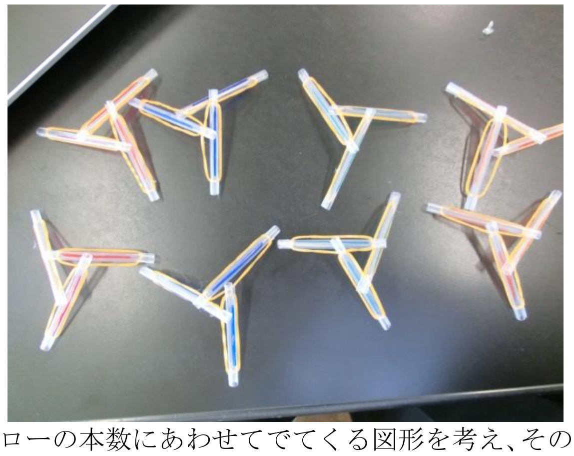
3 本、6 本、12 本、30 本はインターネットの情報を参考にし、その他の本数は試行錯誤しながら製作した。

＜テンセグリティの製作方法＞

ⅰ圧縮材となるストローと引張材となる輪ゴムを用意する。
ⅱストローを均等な長さに切り、その両端に切れ目を入れる。
ⅲストローの一端に輪ゴムが二本ずつかかるように組み立てる。

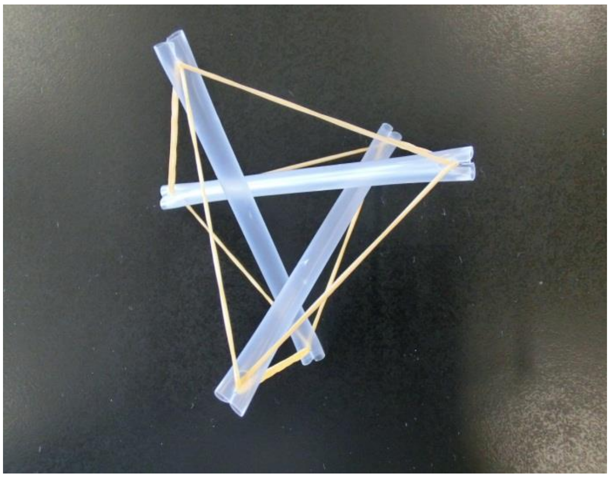
[組み立て方法（情報が得られなかったテンセグリティについて）]

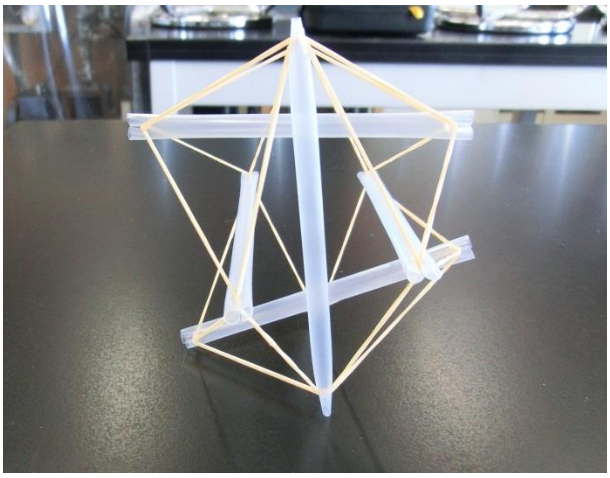
・組み立て方法の情報のなかったものについてはこれまでに製作したテンセグリティの組み立て方法の経験をもとに製作したものがほとんどであり、厳密な製作方法は確立できていないが、おおまかな製作の道筋の例を紹介する。
・3 本のストローを組み合わせて三角形を作る。

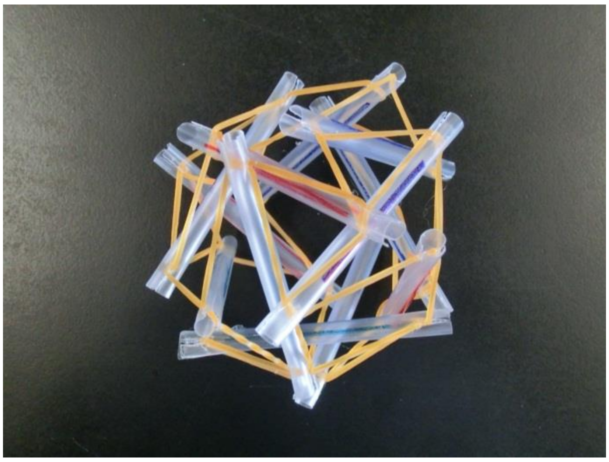


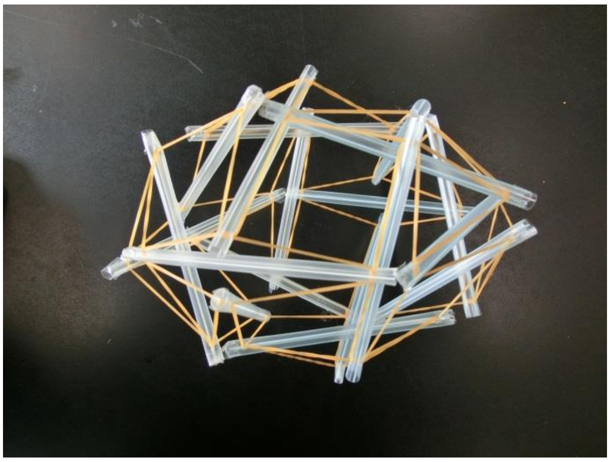
・ストローの本数にあわせてでてくる図形を考え、その図形になるように三角形の部品同士を組み合わせる。
・立体になるように残ったストローと輪ゴムを組み合わせる。

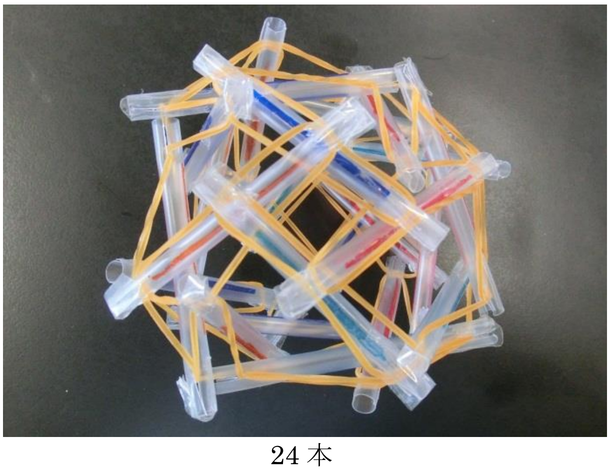
以下の写真は実際に製作したテンセグリティである。
写真の下の数字はストローの本数を示している。また、同じ本数で形が異なるものについては①②という区別をした。

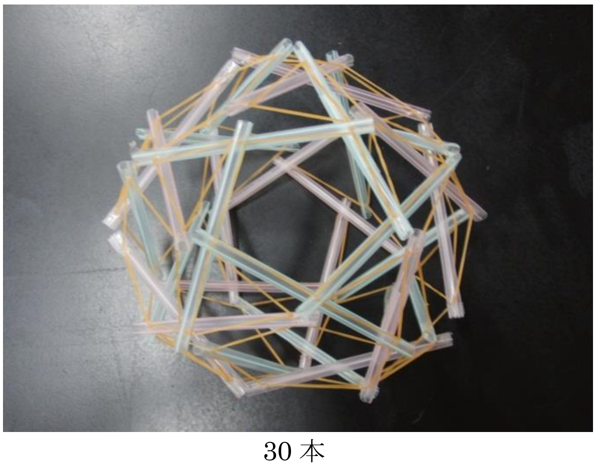

3 本

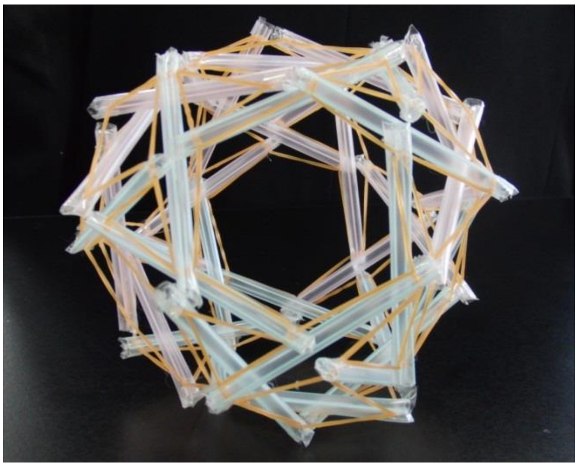

6 本


12 本

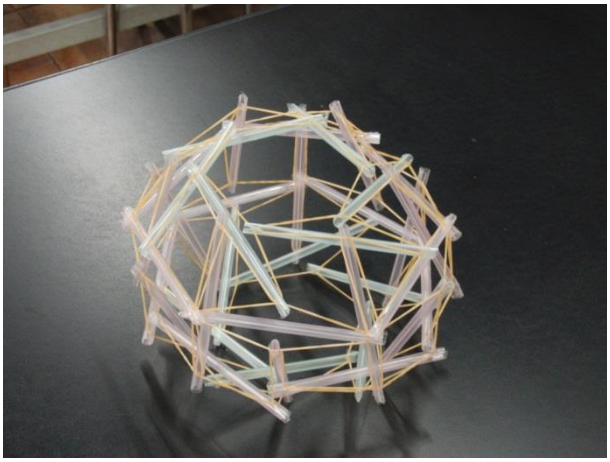

18 本


24 本

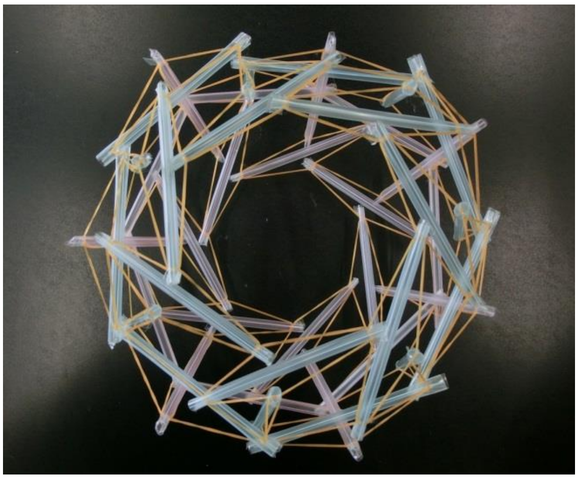

30 本



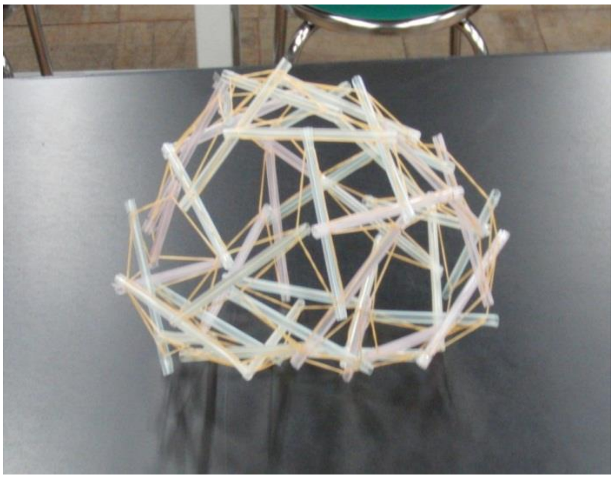
36 本①



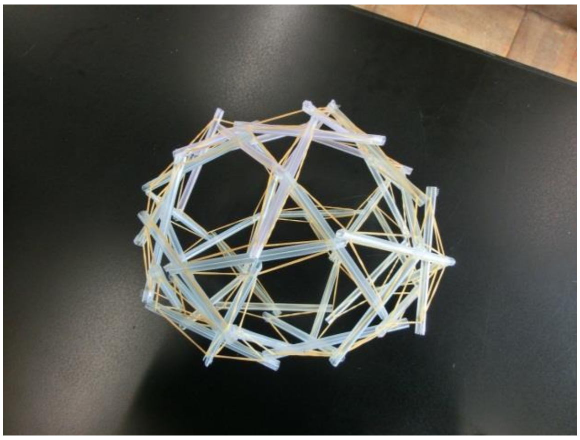
36 本②



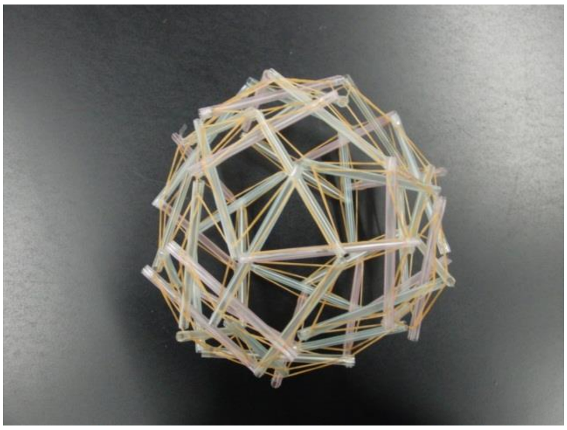
42 本①



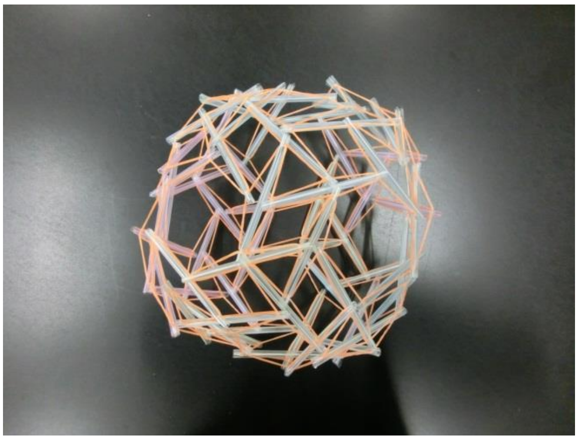
42 本②



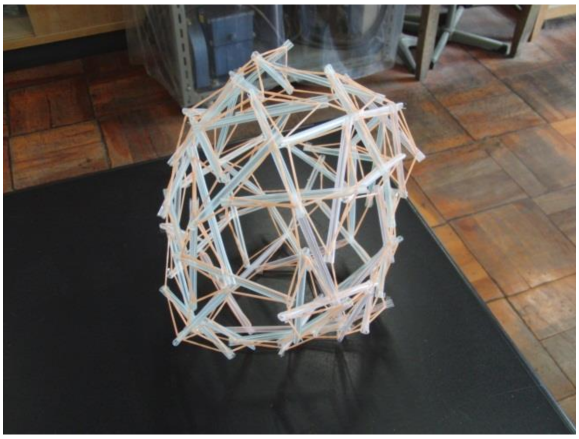
45 本



48 本



60 本



66 本

Ⅱ　規則性の予想

テンセグリティの表面に構成される図形の数を数える。

ただし、ストロー1 本の左右に一個ずつ構成される三角形は数えない。

（ストローの本数に比例して増加するため規則性とは無関係と考えたため）

表：ストローの本数とその表面に構成される図形の数の和

本数	三角形	四角形	五角形	六角形	七角形
3	2	0	0	0	0
6	8	0	0	0	0
12	8	6	0	0	0
18	8	12	0	0	0
24	8	18	0	0	0
30	20	0	12	0	0
36①	24	6	0	8	0
36②	12	24	0	2	0
42①	14	28	0	0	2
42②	20	16	6	0	2
45	30	6	0	11	0
48	16	30	0	4	0
60	20	34	4	4	0
66	32	22	4	10	0

表から私たちは次の規則性を予想した。

（ストローの本数）＝（テンセグリティの表面に構成される図形の数の和）－2

この規則性はストローの本数が 3 本以外のどのテンセグリティにも当てはまることがわかった。

ストローが 3 本のとき成り立たない理由は二本の輪ゴムが重なってしまう部分があるためと考えた。

Ⅲ.規則性の証明

証明に取り組んでいた際に、テンセグリティは凹多面体の一種とみなすことができると気づいたため、凹多面体にも適用することのできるオイラーの多面体定理を用いて規則性を証明することにした。

まず、オイラーの多面体定理とは

（頂点の数）＋（面の数）－（辺の数）＝2

という関係が多面体において成り立つという定理で、テンセグリティに当てはめるためにストローの本数をn本、そして表面に構成される図形の和をx個とおくと、頂点の数は$2n$（ストローの両端がそれぞれ頂点となるため)、面の数は$2n+x$（凹多面体とみなす際にストローの左右にできる三角形も面と数えたため)、辺の数は$5n$（一本のストローから辺となる輪ゴムは四本ずつ出ていて、凹多面体とみなす際にストロー自身も一辺として数えたため$4n+n=5n$）

これらをオイラーの多面体定理に当てはめると・・・

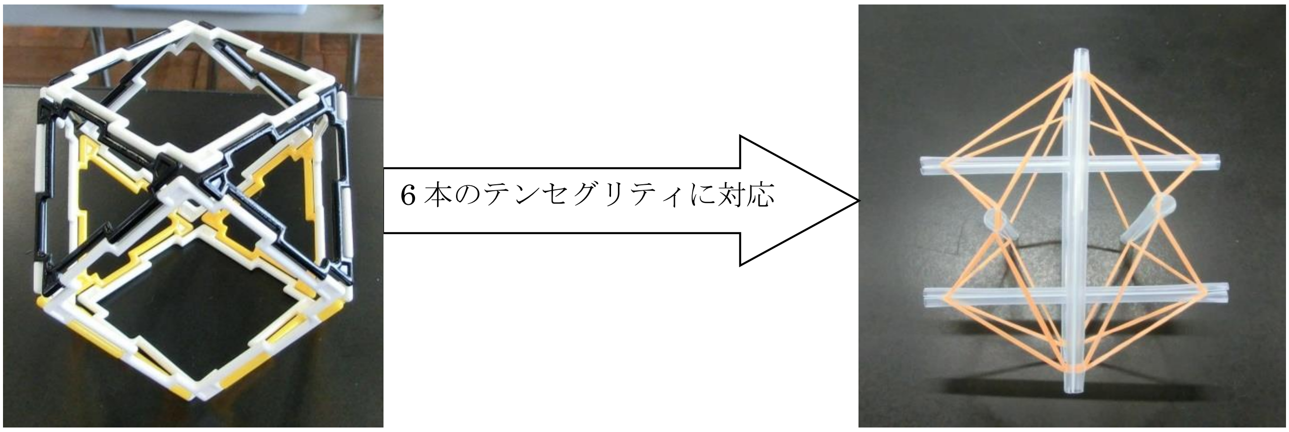
$$2n+(2n+x)-5n=2$$

$$x=n+2$$

よって予想した規則性は正しいものであると証明することができた。

Ⅳ.多面体との関係

規則性の証明の過程で、6本のテンセグリティ（下図右）は正六面体の頂点をその頂点からでる辺の各中点を結んだ線分から切り取った図形（下図左）と対応していることがわかったので、テンセグリティにはそれぞれに対応する多面体が存在するのではないかと考えた。



その他の正多面体についても正六面体と同様に頂点を切り取った図形について考えてみた。

その結果、正四面体→正八面体（中点から切り取ると正八面体となる）→6本のテンセグリティ

正八面体→6本のテンセグリティ

正十二面体→30本のテンセグリティ

正二十面体→30本のテンセグリティ

にそれぞれ対応していることがわかった

※正六面体と正八面体また正十二面体と正二十面体は双対な図形であるため、各頂点を中点から切り取った図形は同じものであるので、対応するテンセグリティも同じである。

5.考察

テンセグリティは凹多面体の一種であり、またいくつかの正多面体から対応するテンセグリティを製作出来たためテンセグリティは凸多面体と対応していると考えられる。

そのため、テンセグリティは多面体と密接に関係していると言える。

6.今後の展望

現段階では正多面体とそれに対応するテンセグリティは確認できているが、その他の多面体においても対応するテンセグリティが存在することを確かめる予定である。

また、それに関連してさまざまな本数のテンセグリティを製作することが必要なので、現在の技術を発展させてテンセグリティの製作方法を確立していきたい。

7.御協力・参考文献

香川大学工学部　松島学教授

アーキニアリング・デザイン展　　（日本建築学会）