

2015 年度 外国語電子教材成果報告書  
地球システム設計論  
鳴川肇 政策・メディア研究科 准教授

**教材がダウンロードできる URL**

**<http://narukawa-lab.jp/archives/#tesd2015>**

**概要**

地球環境を理解し、サステイナブルな地球システムを設計するには、今までの世界地図や建築技術を根本から改善する必要があります。その先駆的な試みはバックミンスター・フラーという人物によって既に 60 年代に行われていました。しかしこの試みの中核をなす技術には、通常の座学を通して、つまり言葉やスライド（写真）では理解ができない特殊な形状が用いられていました。そこで下記に、これらの技術の構造模型を短時間で組立てる事ができ、立体的考察ができるモデリングキットを教材として開発します。必要に応じてこれを直接デジタルファブの加工機械に入力することができるデータ集として公開します。さらにはこれを外国語により製作する事で、真にこの技術が必要な国々に技術伝搬が可能となることを目指します。

**背景**

バックミンスター・フラーは地球を「非常に良くデザインされた巨大宇宙船」と捉えました。この「宇宙船」がこのままだと故障してしまうという問題提起しました。そこで彼は地球とそこに住む人間が持続して生存できる技術を開発してきましたが、重要なのは彼がこのように地球問題を提唱した思想家であるだけでなく、それを解決するために具体的な技術提示を行っているところにあります。その製作活動を通してフラーは独自の幾何学を用いたデザイン理論を作り上げました。それは、普段我々が使っているもののデザインを大きく刷新する可能性を秘めた、独創性ある設計の道具でした。

## 目的

フラーの世界観や発明の数々は多くの出版物で紹介されています。しかし上述の発明は独特な幾何学によって成り立っているため、これらの出版物を読破してもその技術を学ぶ事はほとんどできません。これらの発明の真髄を学ぶために、ペーパークラフトなどの模型キットを設計作成します。その主旨、目的は以下です、

- モデリング（模型を作る作業）は文章や写真に変わる言語である。
- 立体的に複雑に見えるこれらの発明はコンピュータグラフィックス等で表現しても理解できない。
- これらを 3D プリンターで、再現する事も有効だが、製作過程を経験することで構法につながるエンジニアリングを理解できる。この事はコンピュータを用いた設計の否定ではなく、上記を理解した上でコンピュータを活用する事でデザインとエンジニアの大きな刷新を目指す事を意味している。
- 一見複雑に見えるこれらの発明は、実は構法に発明の真髄が隠されているため、実際に組み立てる事で実は驚く程製作が簡単である事を理解できる。

以上の観点から本教材を作成する重要性があると判断しました。

## 手法

これらの教材は PDF 形式で提供しますが、以下 2 通りの方法で使用できるように工夫を加えます。

1. PDF を汎用の印刷機で紙に印刷して、はさみとセロテープで気軽に工作+学習できます。
2. 同時に illustlator 形式でも提供します。illustlator 形式においてはカットライン、折り目のラインを特定できる機能があり、この形式のデータを直接、レーザーカッターやカッティングマシンに流し込むことができます。そのため部材加工までを機械で行うことができ、ハサミを用いなくても授業内で組立てることができます。

## ダウンロード可能なモデリングアイテム

### ダイマキシオンマップ

参考 URL: <http://ja.wikipedia.org/wiki/ダイマクシオン地図>

我々が抱く”歪んだ世界観”は、地図が歪んでいたからだった、という問題提起からフラーが1946年に発明した世界地図を学ぶ教材を製作します。この地図のベースとなる正二十面体の地球儀を組み立てたり、それを切り開いて世界地図を作る作業を短時間に実践できるペーパークラフトです。

期待できる成果：

- メルカトル図法（1569年）によって流通している歪んだ世界観よりも正確な世界のレイアウトを学べます。こうして進化するグローバル社会の全体像を把握することができます。
- 全ての多面体には頂点数+面数-辺数=2（オイラーの多面体公式）が成り立つ事を直感的に学べます。
- 全ての多面体には{360度-(各頂点の内角の合計)} X 頂点の数=720度が成り立つ事を直感的に学べます。

### オーサグラフ

参考 URL: <https://vimeo.com/15432252>

ダイマキシオンマップをさらに改善し、海も陸地も途切れず四角形に表示できる世界地図について学ぶ教材を製作します。地球を長方形に描き写す複雑な投影のステップを学べるペーパークラフトです。

期待できる成果：

- 南極など、任意の地域を中心にして世界地図をレイアウトでき、G5がG20になったように世界が多中心化する状況を手を動かしながら学べます。
- 海も途切れない特徴から海洋資源問題のように陸だけでなく海上にも各国の思惑が錯綜している状況を手を動かしながら学べます。
- 正二十面体、正四面体をはじめとする正多面体の特性を直感的に学べます。
- 鳥と魚が絡み合うエッシャーの絵画と共通する幾何学のルールを直感的に学べます。

### ジオデシックドーム

参考 URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Geodesic\\_dome](http://en.wikipedia.org/wiki/Geodesic_dome)

建設に半年もかかり、重さも 100t もある今の住宅（コンクリートの場合）の技術を刷新する為に考案されたドーム構造を学ぶ教材を製作します。一人で 1 日で組み立てられる住宅として開発された軽量構造体の理論と組み立てて手順を学べるペーパークラフトです。

期待できる成果：

- 球面を均等に分割する数学とそれにより何種類の部材をどう配列すれば球体構造を効率よく構成できるかを直感的に学べます。
- このドームを手で押ししたり、引いたりして、その強度を直感的に学べます。

### 新型ジオデシックドーム

参考 URL: <https://www.miraikan.jst.go.jp/exhibition/tsunagari/geo-cosmos.html>

上記ドーム技術は 60 年代に一躍有名になりましたが、その後はあまり進歩しませんでした。このドームの球面分割を改善した新型ジオデシックドームを学ぶ教材を製作します。正八面体を均等に分割することで考案した最新のジオデシックドームを学べるペーパークラフトです。

期待できる成果：

- このドーム構造を用いて球面ディスプレイを合理的に設計できるしくみを直感的に学べます。
- 球面を均等に分割する数学とそれにより何種類の部材をどう配列すれば球体構造を効率よく構成できるかを直感的に学べます。

### カーボンナノチューブ

参考 URL: <http://ja.wikipedia.org/wiki/カーボンナノチューブ>

ジオデシックドームの最新の事例を高分子材料学の分野から取り上げます。宇宙エレベーターによって地球を俯瞰する技術の主構造を学ぶ教材を製作します。

期待できる成果：

- 過去のジオデシックドームが支える現代の微小技術の幾何学を直感的に学べます。

### テンセグリティ構造

参考 URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tensegrity>

史上最軽量とうたわれたテンセグリティ構造を学ぶ教材を製作します。テンセグリティ構造は構造的には優れているものの幾何学的にも施工手順的にも非常に難解でもありました。この技術の幾何学と構造力学を学べるレーザーカットを用いたモデリングキットを教材として製作します。

期待できる成果：

- この構造はワイヤーと棒が立体的に編まれて形をなしている複雑な形をしています。その幾何学を直感的に学ぶことができます。
- 同時に棒同士が繋がりがあっていないのになぜバスケットボールのような硬さをもった構造になるのかを直感的に学ぶことができます。

### オクテットトラス

参考 URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_frame](http://en.wikipedia.org/wiki/Space_frame)

スペースフレームとも呼ばれる構造を学ぶ教材を製作します。大阪万博お祭り広場にも用いられたこの大空間構造の理論と仕組みを学べるペーパークラフトです。

期待できる成果：

- この構造が正四面体と正八面体が交互に組み合っ形成している構成を直感的に学ぶことができます。
- この建築構造が分子構造（格子）と共通した幾何学を持つことを直感的に学ぶことができます。

### HP 曲面とスペースフレーム

上記スペースフレームをトポロジカルに改造した構造体を学ぶ教材を製作します。曲面を用いて空間を等分割する建築空間を学べるペーパークラフトです。

- この構造は上記のスペースフレーム（線材）を面に置換してできあがる構造ですが、このように線を面に置き換えたり，面を点に置き換える数学，位相幾何学を直感的に学ぶことができます。
- この構造では双曲面（hyperbolic paraboloid）という曲面を用いますが図ではわかりづらいこのような幾何学を直感的に学ぶことができます。

以上8つの教材は2015年4月から7月の3ヶ月間の授業内で全履修学生分を本実施者により準備し、学生による実際の製作作業が行われた。その結果をふまえて同年9月からブラッシュアップかつ外国語（英語）翻訳が行われ、完成版を上記 URL にアップロードし、その URL から無料配布できるようになっている。

URL 先のレイアウト例を以下のページに記載する。

## THEORY OF EARTH SYSTEM DESIGN 2015

TESD2015



### What you need to start the subject

very basic knowledge on high school mathematics, science, sociology and fine art.

### This class is recommended to students who

- wants to be a designer in a future
- are interested in visualizing global issues
- and are interested in design and engineering

### Summary

The class introduces Buckminster Fuller and his inventions for solving global issues. The class is a subject between design and engineering. The class introduces Fuller's thought on global issue too. But this class forces you to learn by practicing his design. The class demonstrates the essence of the technologies by model making.

### Objectives and Teaching method

Buckminster Fuller regarded the earth as an well-designed spaceship. He have invented a series of technologies to sustain our biosphere according to his argument that how to deal with problems that may damage the spaceship's mechanism. His unique achievements lies in his design and engineering rather than his thought on global issues. To practice these, he develop his original design theory. The theory is based on his original geometry. And the geometry is not based on difficult mathematical formula. And we can learn the geometry by model making. This class aims at learning the practical design tool. By demonstrating and exercising model making participants are able to acquire the tool and to develop an idea that is free from any conventions and prejudices.

### Advice

The class is a design and engineering class. I need all participants to remind that the class requires extra works and extra expense for your productions.

### Class Schedule

1. spaceship earth- lecture: introduction on Fuller's rendition of our planet.
2. dymaxion map- lecture and small workshop on Fuller's invention in cartography
3. authagraph map- lecture and small workshop on the lecturer's invention in cartography
4. geopalette- lecture and small workshop on a world map archive utilizing AuthaGraph map
5. geopalette- presentation by participants on his/her world map production by using the geopalette
6. geodesic dome- lecture and small workshop on Fuller's invention in light weight dome structure
7. geocosmos- lecture and small workshop on lecturer's production, large digital globe using the latest geodesic dome
8. fulleren- lecture and small workshop on a discovery in polymer physics
9. tensegrity- lecture and small workshop on Fuller's invention in the lightest structure
10. tensegrity modeling manual- workshop: construction of tensegrity's structural model
11. geoscope- lecture and small workshop on lecturer's production, display furniture for a museum by using tensegrity.
12. octet truss- lecture and small workshop on Fuller's invention in space frame structure system
13. HP membrane truss- lecture and small workshop on lecturer's design proposal using new octet truss, HP membrane truss
14. tetra-truss- lecture and small workshop on lecturer's production using new octet truss, tetra-truss

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#) [Pinterest](#) [Email](#)



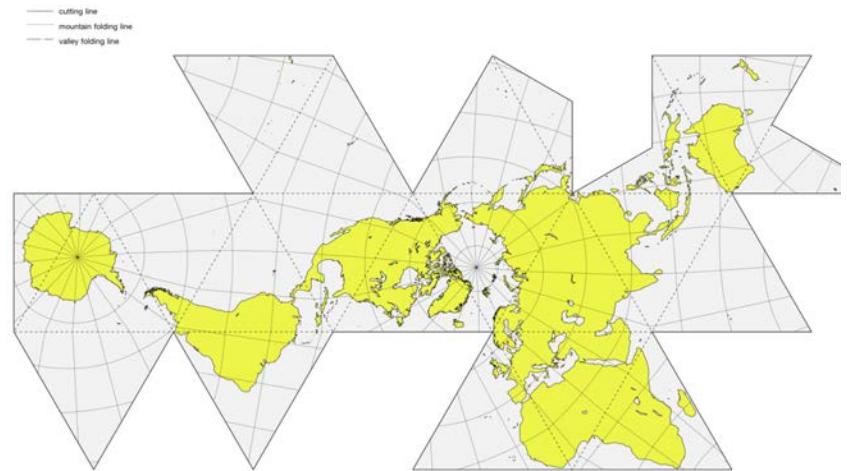
## Dymaxion Map

Theory of Earth System Design 2015

Dymaxion Map is a projection of a world map onto the surface of an icosahedron, a polyhedron with 20 faces. It was invented by Buckminster Fuller and patented in 1946.

This allows less distortion of relative size and shape of areas.

Fuller intended for the map to be unfolded in different ways. Peeling the triangle one way shows an almost contiguous land while peeling it in a different way shows connected oceans surrounded by land.



Courtesy of Buckminster Fuller Institute

### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## AuthaGraph Map

Theory of Earth System Design 2015

Authagraph is an equal-area type world map projection that was invented by Japanese architect Hajime Narukawa in 1999. While conceptually in the category of an equal-area projection, it would require further subdivision to qualify as an actual equal-area map.

The map keeps sizes of all continents and oceans while it reduces the distortions of their shapes like a Dymaxion map does. This map can be tiled in any direction without seams. The map projection tries to reflect an infinite perspective of the world.

Authagraph mapping projection was selected by the Japanese National Museum of Emerging Science and innovation (Miraikan) as its official mapping tool and is used in official Japanese high school text books.



### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## Geodesic Dome

Theory of Earth System Design 2015

Geodesic Dome is an invention in the field of building construction, in particular, light weight dome structure. It was invented by Buckminster Fuller and patented in 1954.

The dome distributes load on the structure evenly by placing structural members evenly on a spherical surface of the dome.

The structural members are arranged so as to equally divide the spherical surface while minimizing the number of types of structural member's.

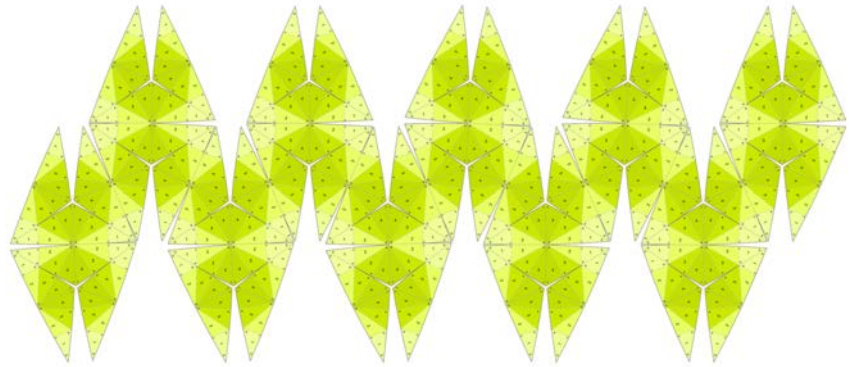
All lines of the structural members are arranged along a great circle, so called geodesic line.

The divisions are made by subdividing an icosahedron, a platonic solid with 20 regular triangles.

There are two different methods of subdivision. One is called 'tricaonta' and another is called 'alternate'.

Both dividing methods can be demonstrated by the paper model.

— cutting line  
— mountain folding line  
— valley folding line



### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## Octa-geodesic Dome

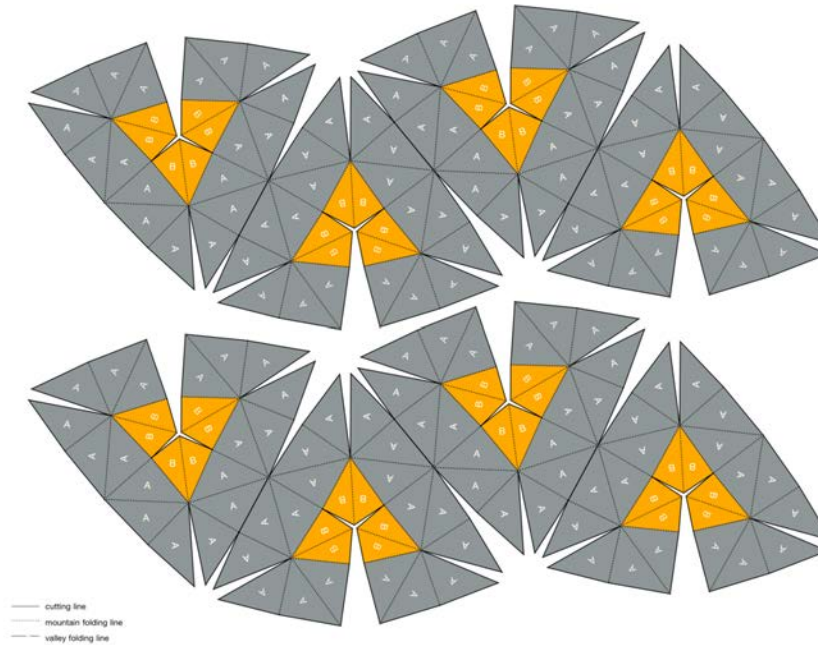
Theory of Earth System Design 2015

Octa-geodesic Dome is a type of dome structure.

It is a type of geodesic dome Buckminster Fuller did not design.

This geodesic dome has structural network made of subdivided octahedrons.

Geocosmos, a 6 meter-digital globe installed in Miraikan, National Museum of Emerging Science and Innovation in 2011 is one of the latest and finest construction made of this Octa-geodesic dome, in this case as a full sphere.



### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## Tensegrity

Theory of Earth System Design 2015

Tensegrity is a structural principle based on the use of isolated components in compression inside continuous tension.

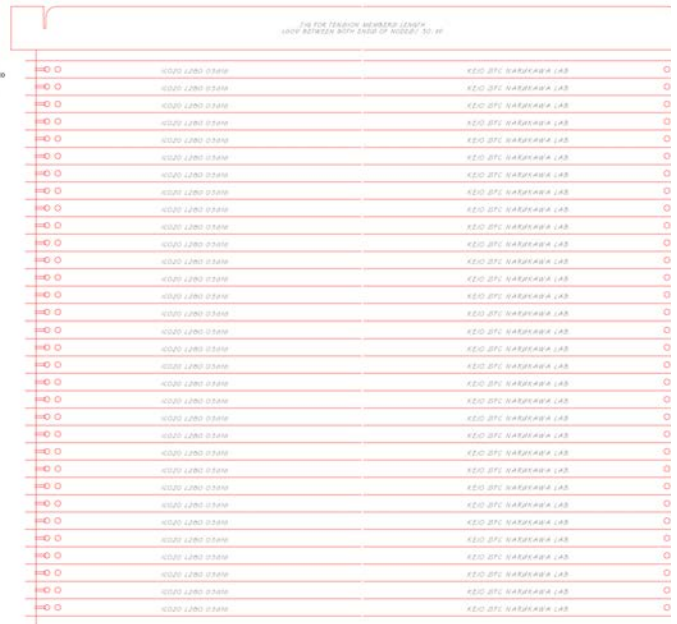
It was invented by Buckminster Fuller and patented in 1962.

The tensegrity structure has been known as the largest and strongest structure per pound of structural material employed.

However it has been difficult to understand tensegrity structure only with texts and graphics for they can not express its 3D geometry nor the flow of forces.

This paper model however enables anyone to model it within one day and experience the unique characters of the structure.

This file is a cutting pattern for tensegrity 3D struts model. Use thin-thick-wooden board to cut out the tensegrity model parts. It is designed to fabricate by means of laser cutter.



### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

[Instruction Manual \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)



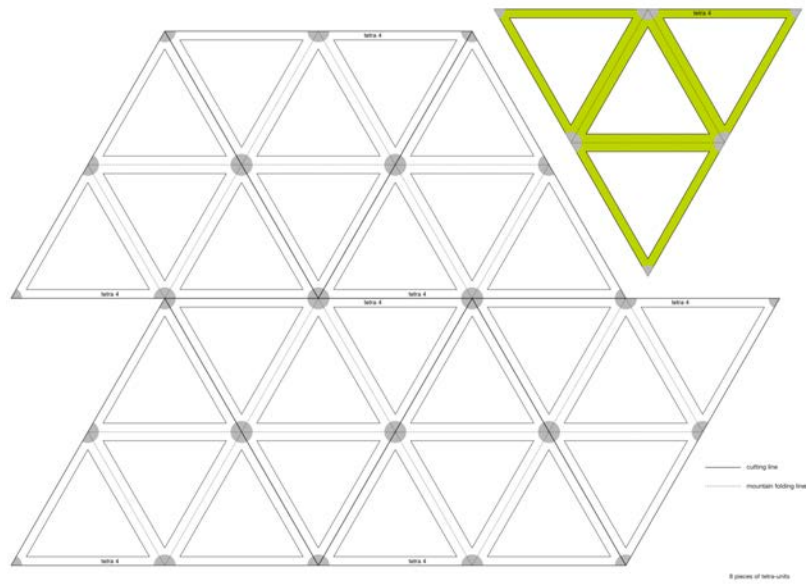
## Octet Truss / tetra-units

Theory of Earth System Design 2015

Octet Truss is a space frame of space structure for lightweight rigid structure.

It was invented by Alexander Graham Bell around 1900 and Buckminster Fuller in the 1950s. Bell was primarily using them to make rigid frames for aeronautical engineering while Fuller was focused on building architectural structures.

The largest structure to apply octet truss was the Space frame roof of the Festival Plaza, during the Osaka Expo in 1970. The Space frame roof was designed as a temporary structure and was dismantled in 1979.



### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## Octet Truss / octa-units

Theory of Earth System Design 2015

Octet Truss is a space frame of space structure for lightweight rigid structure.

It was invented by Alexander Graham Bell around 1900 and Buckminster Fuller in the 1950s. Bell was primarily using them to make rigid frames for aeronautical engineering while Fuller was focused on building architectural structures.

The largest structure to apply octet truss was the Space frame roof of the Festival Plaza, during the Osaka Expo in 1970. The Space frame roof was designed as a temporary structure and was dismantled in 1979.

### Downloads

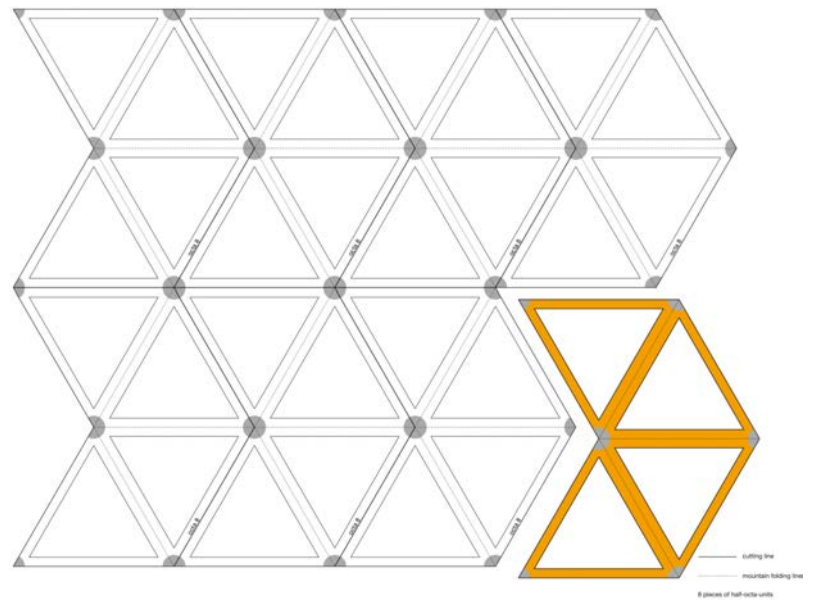
[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)





## HP membrane truss

Theory of Earth System Design 2015

Hyperbolic Paraboloid (HP) membrane truss is an idea in the field of architectural design, engineering and building construction.

It is a construction of elements carrying only shear force and compression with least bending force. Most often used as a roof, as they can economically and attractively span large distances.

Felix Candera, a Spanish-Mexican architect is one of the most successful architect and structure designer who utilized the HP membrane.

He constructed the geometry of HP with reinforced concrete.

Besides the structural advantage, it allows the creation of continuous curved surface.

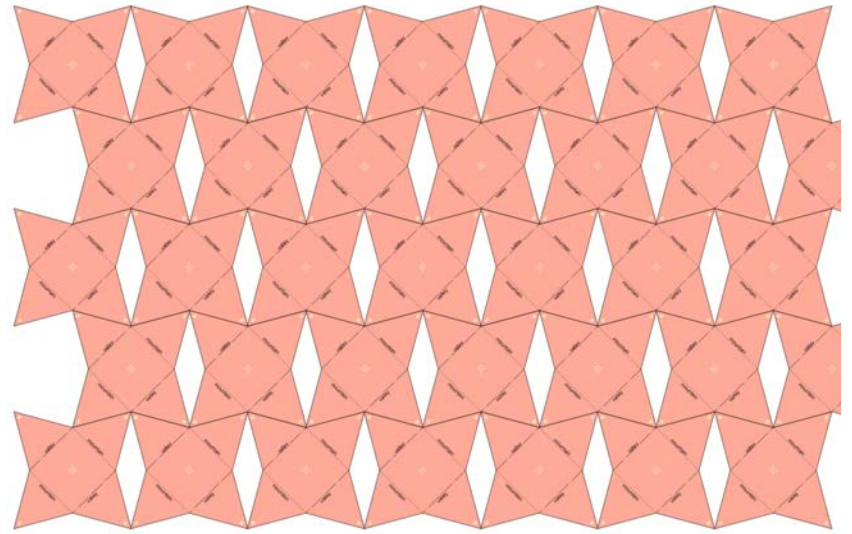
A plurality of the HP membrane modules composes the HP membrane truss.

The membrane truss is obtained by topological conversion from the ordinary octet-truss, therefore structurally advanced.

Besides the structural advantage, the biggest architectural feature can be found in that the membrane truss create continuous curved surface.

And the continuous surface equally divides a mass of space into two spaces. One space in the mass perfectly separated from another space by the curved surface but three dimensionally adjacent to another space.

One of the clear architectural visions was presented in a project, Halfwag recreation, done by Studio MO, Marion Regitko, Hajime Narukawa and Nophadon Chatnatapon, one of four finalist of Prix de Rome 2000, Amsterdam.



— out  
— in  
— up  
— down  
25 hp-membr

### Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

### Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)

## Tetruss

Theory of Earth System Design 2015

Tetruss is an invention in the field of building construction in particular, light weight structure.

A single tetrahedral module composes this structural system.

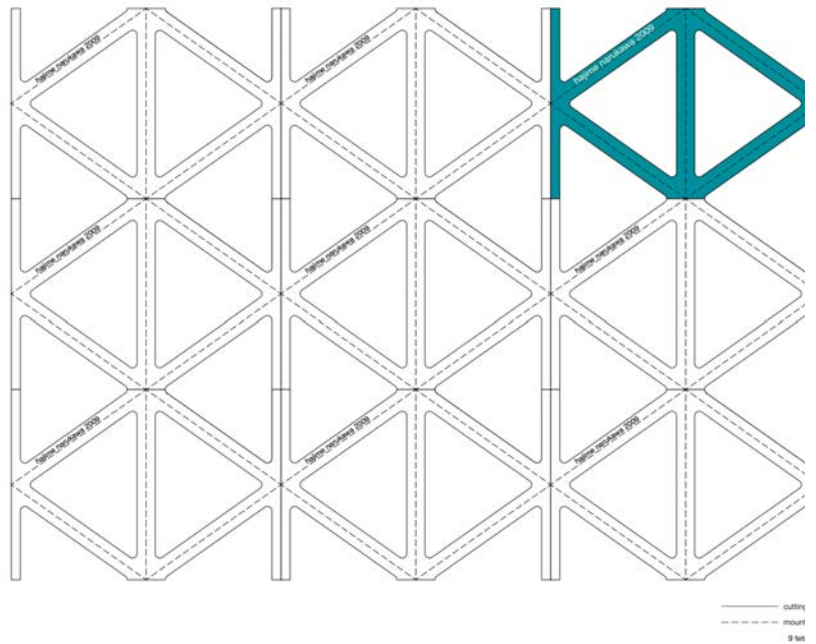
It is known that octahedral unit and tetrahedral unit compose a widely used space frame system, called octet truss.

Tetruss succeeded in omitting one unit type, octahedral. The tetrahedron used in the truss module is not regular tetrahedron.

It has been known that this type of tetrahedron is one of the few space-filling polyhedras for a long time.

However it was rarely used as a structural element.

Two persons-chair installed in Miraikan, National Museum of Emerging Science and Innovation is one of the latest product out of tetruss.



## Downloads

[Drawing Sheet \(.ai\)](#)

[Drawing Sheet \(.pdf\)](#)

## Share

[Facebook](#) [Twitter](#)

[Pinterest](#) [Email](#)