

公開講座

テンセグリティ

細胞と建築をむすぶ骨組み

東京大学 生産技術研究所

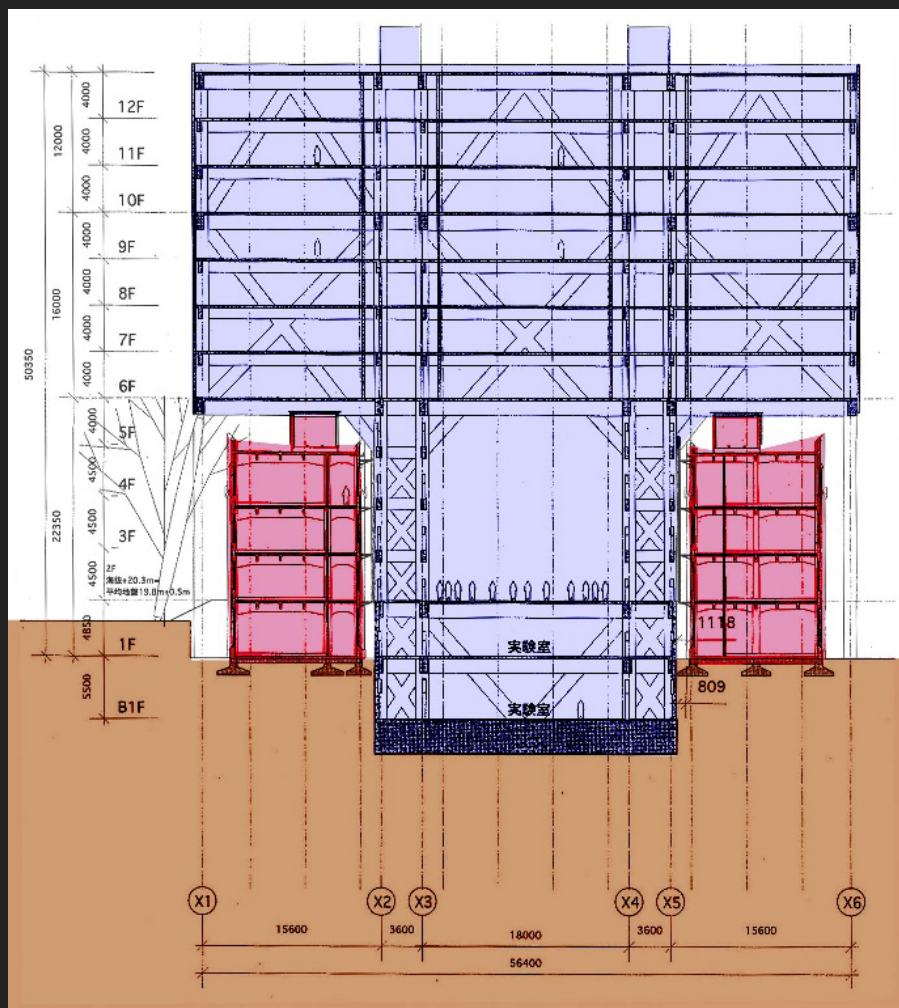
川口健一

‡:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

東京大学 工学部2号館



東京大学 工学部2号館



意匠計画：岸田省吾研究室

K. Kawaguchi

東京大学 工学部2号館



意匠計画：岸田省吾研究室

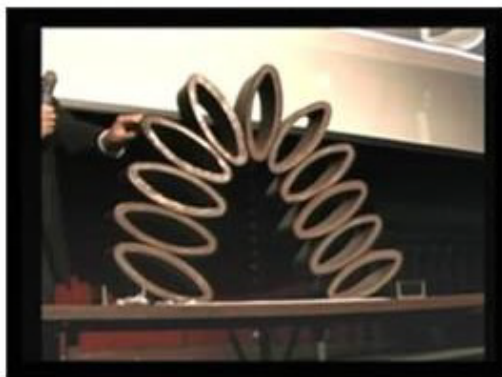
K. Kawaguchi

TODAI TV

東京大学公開講座「力」 「ちからと建築デザイン」

東京大学公開講座「力」

TODAI.TVトップ > コンテンツリスト > 東京大学公開講座「力」



東京大学公開講座「力」

ちからと建築デザイン

講師：
川口 健一 教授

対象者：
成人一般・大学生・高
校生

講義実施日：
2007年10月6日

講義資料

▶ Chapter 1 / 3 (16:46)

▶ Chapter 2 / 3 (17:59)

▶ Chapter 3 / 3 (15:36)

▶ 講義全体を続けて見る
(50:21)

授業について

「建築」とは、人類が雨露をしのぎながら活動していくための身近で大きな「いれもの」で、1. 安全性、2. 機能性・快適性、3. 美しさ、4. 経済性、5. 低環境負荷、など様々な要求項目に対して応えるようにデザインされて作られます。従って、その設計の過程はさまざまな因子の影響を受けています。

建築の構造とはさまざまな「ちから」に対して建築を支える骨組みのことです。建物を安全に設計するには重力や地震力といったさまざまな「ちから」を考慮しなければなりません。その結果が建築のかたちにも表れます。

本講座では、様々な「ちから」が建築デザインに対して与える影響について話します。

▶ シラバス

今回のテーマを深めたい人のための参考文献

川口 健一「ビジュアル版建築入門9『建築と
工学』 第13章「構造形態論」 pp.108-115
「応用力学シリーズ5『構造形態の解析と創
生』

彰国社
日本建築学会

公開講座

テンセグリティ

細胞と建築をむすぶ骨組み

東京大学 生産技術研究所

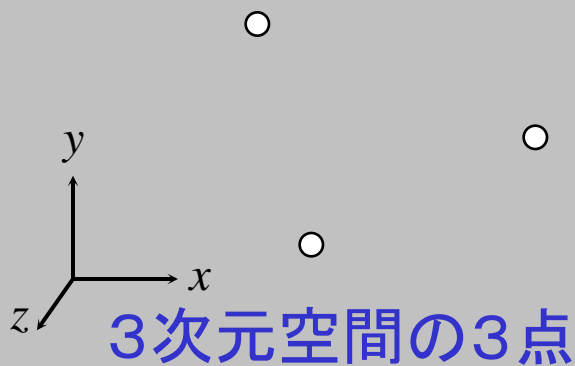
川口健一

スカイツリーの骨組み

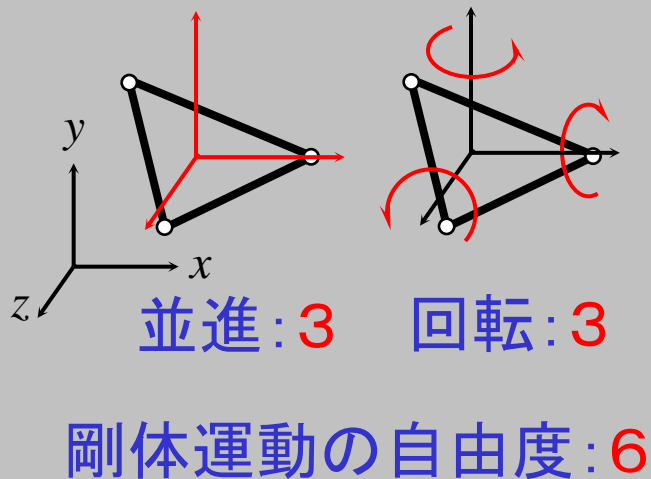
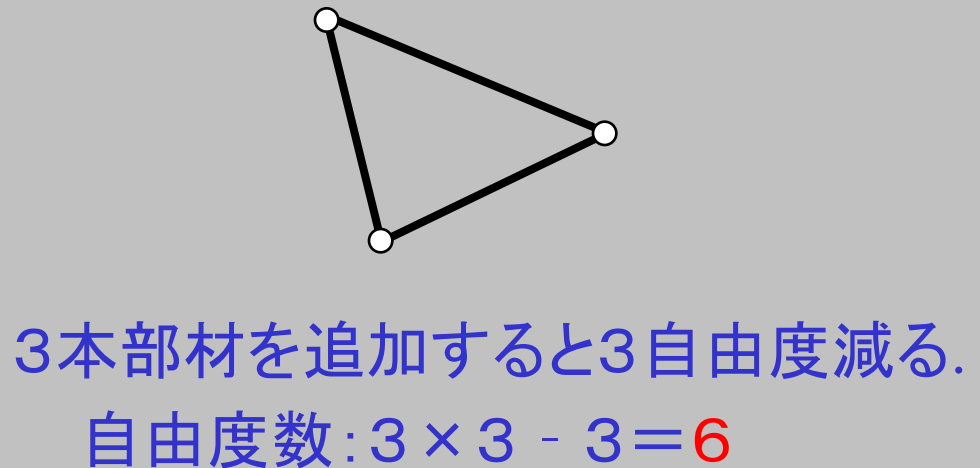
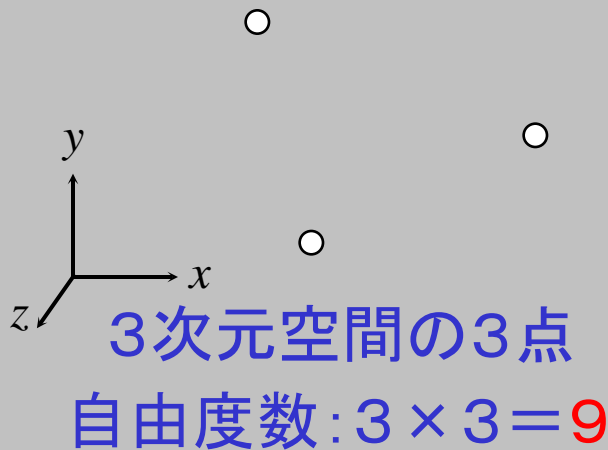


Photo by Yuji Ozawa

安定な骨組みの公式



Maxwell の公式

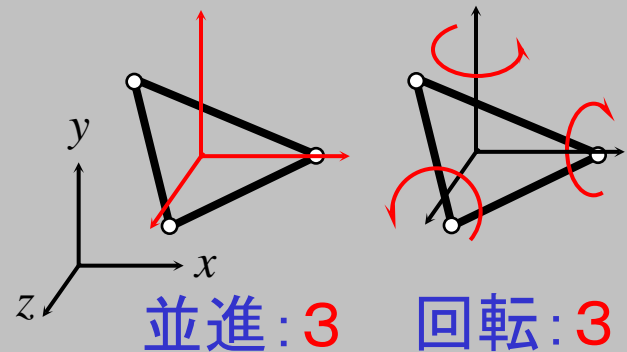


形が変わらない
「安定」
な骨組み

Maxwell の公式

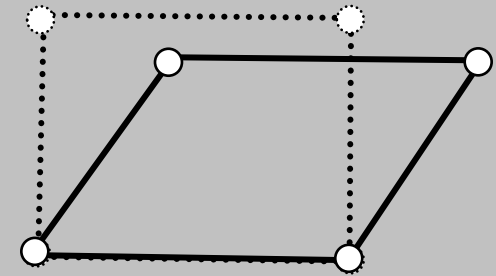
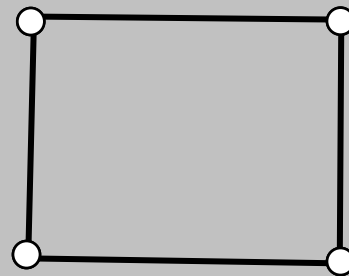
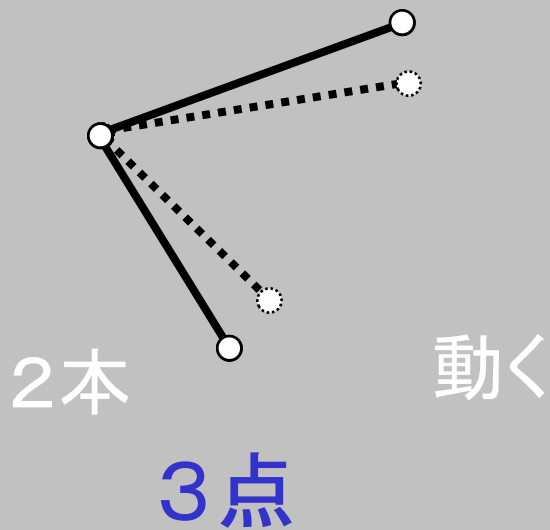
逆にたどると...

骨組みが「安定」であるための
必要部材数 = 節点数 \times 3 - 6



剛体運動の自由度: 6

Maxwell の公式に満たない場合



$$3 \times 3 - 6 = 3$$

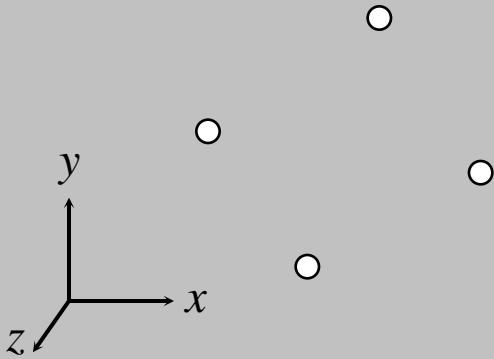
必要部材数: 3

$$3 \times 4 - 6 = 6$$

必要部材数: 6

自由度が余って | 不安定な骨組み

3次元空間の4点

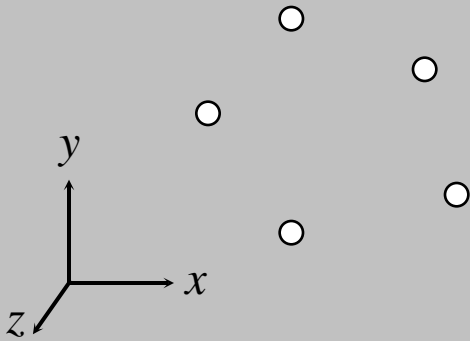


3次元空間の4点

Maxwell の公式
構造が「安定」であるための
必要部材数 = 節点数 \times 3 - 6

$$\text{必要部材数} : 4 \times 3 - 6 = 6$$

3次元空間の5点



3次元空間の5点

Maxwell の公式
構造が「安定」であるための
必要部材数 = 節点数 \times 3 - 6

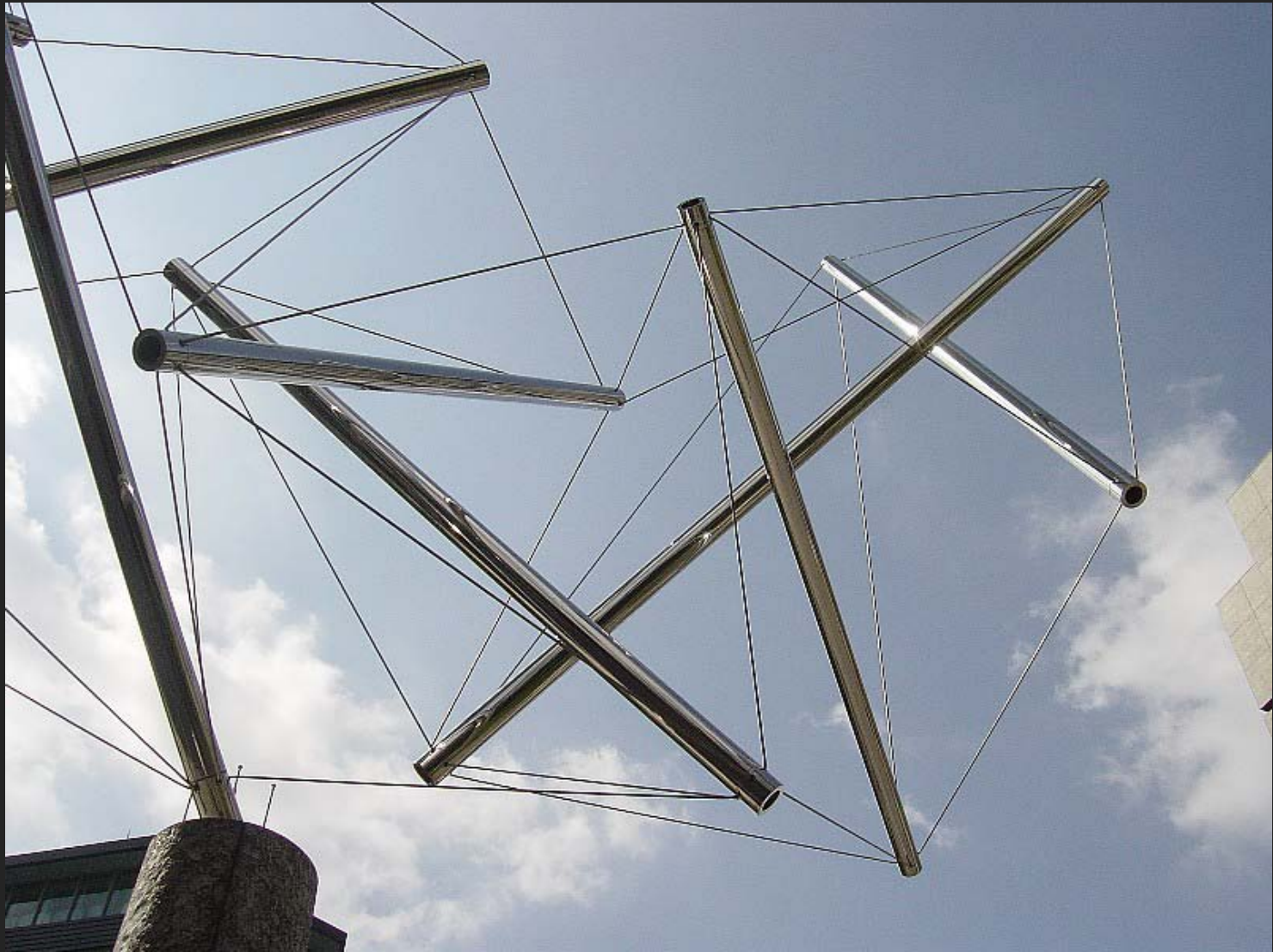
$$\text{必要部材数} : 5 \times 3 - 6 = 9$$

三角形でできた骨組み＝トラス



Photo by Yuji Ozawa

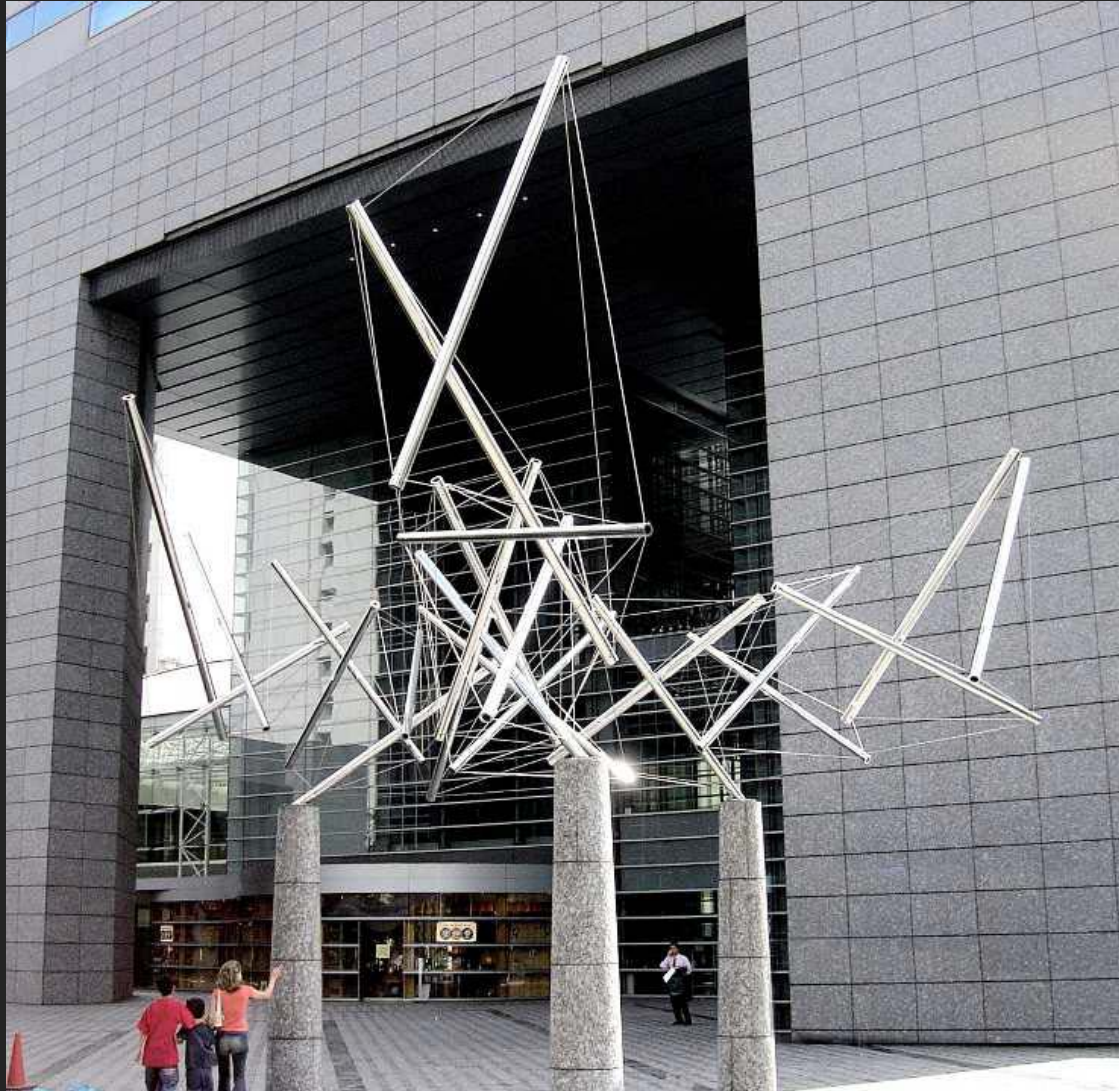
テンセグリティ構造



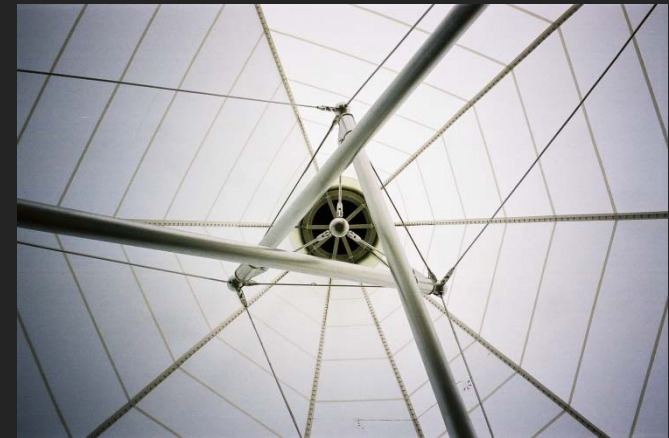
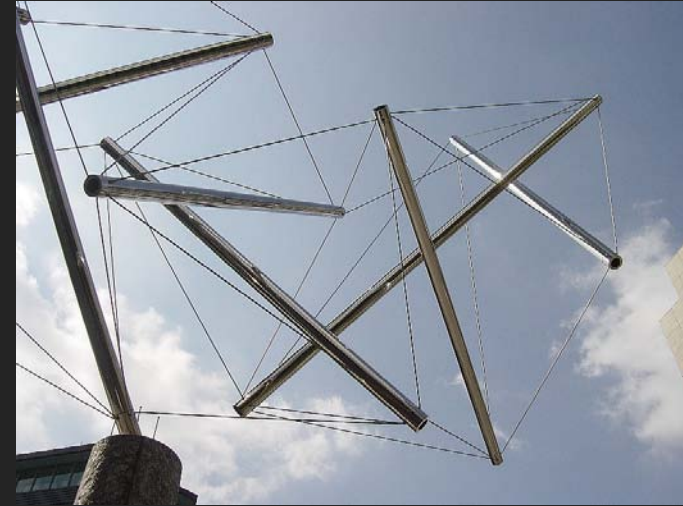
K.Snelson のストリートアート

ちからの釣り合いが見えない骨組み

テンセグリティアート



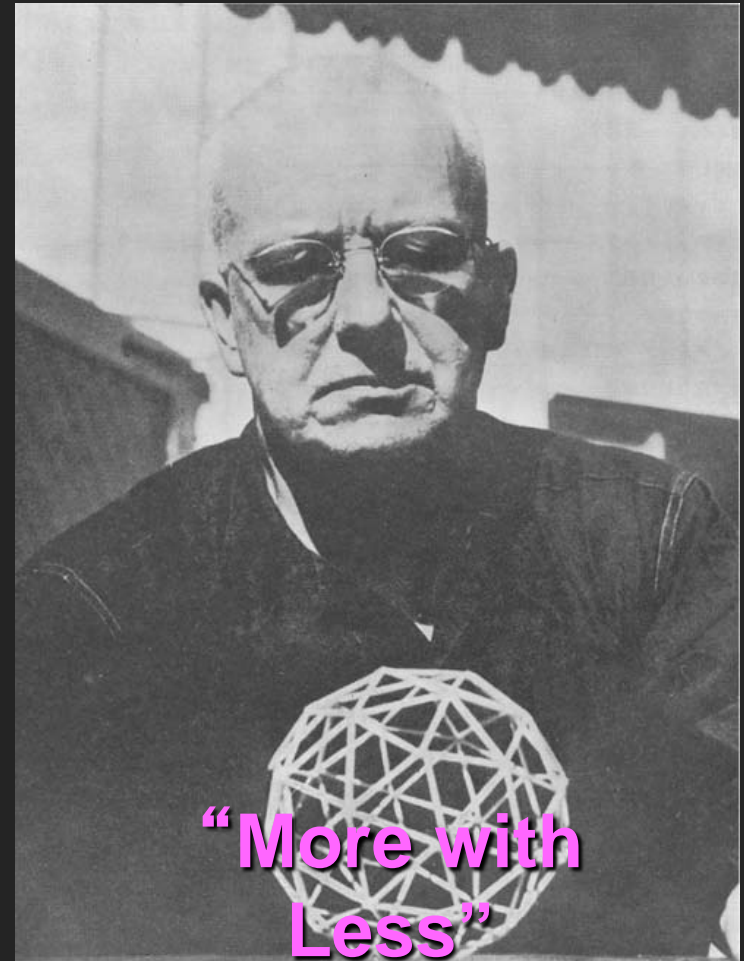
K.Snelson のストリートアート



ちからの釣り合いが
見えない骨組み

Tensegrity と Buckminster Fuller

著作権上の都合により
ここに挿入されていた図表は
削除致しました

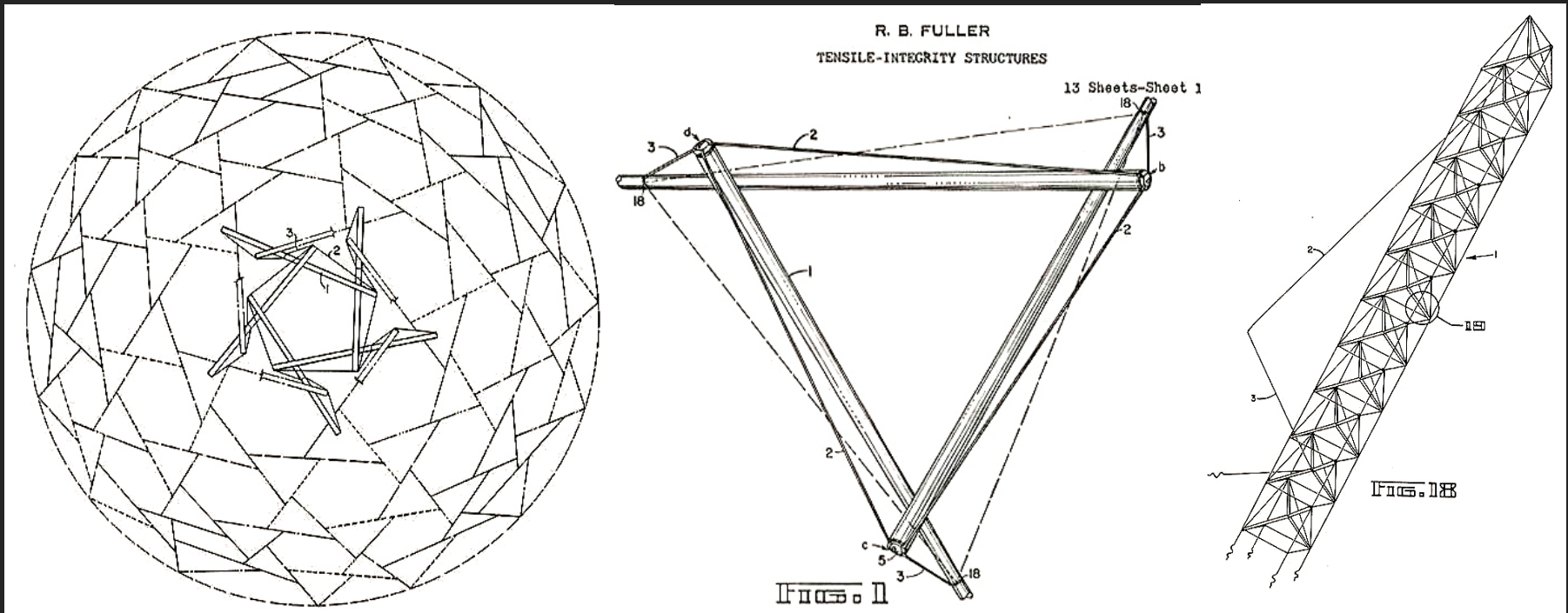


Kurt Ackermann 著 Building for Industry
Watermark社, 1991年, ISBN 1 873200 12 9 pp.146

Tensegrityの特許より

‡ US Pat. 3,063,521, "Tensile-Integrity Structures" Patented Nov.13, 1962, Filed Aug.31, 1959

Tensegrity= Tensile(張力) + Integrity(完全体)

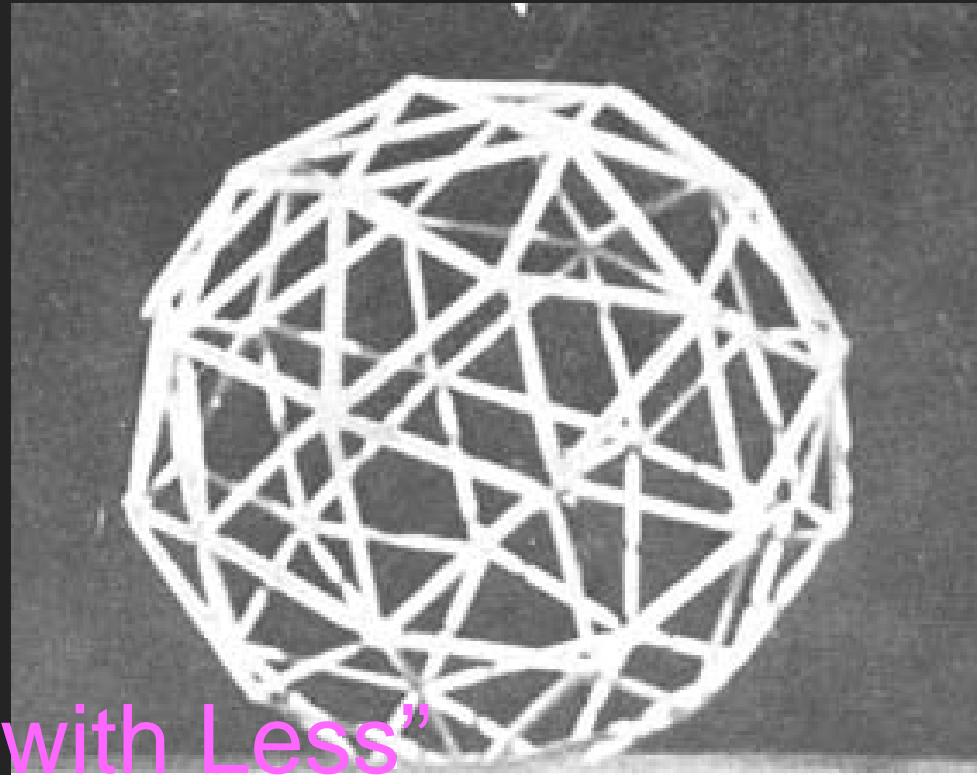
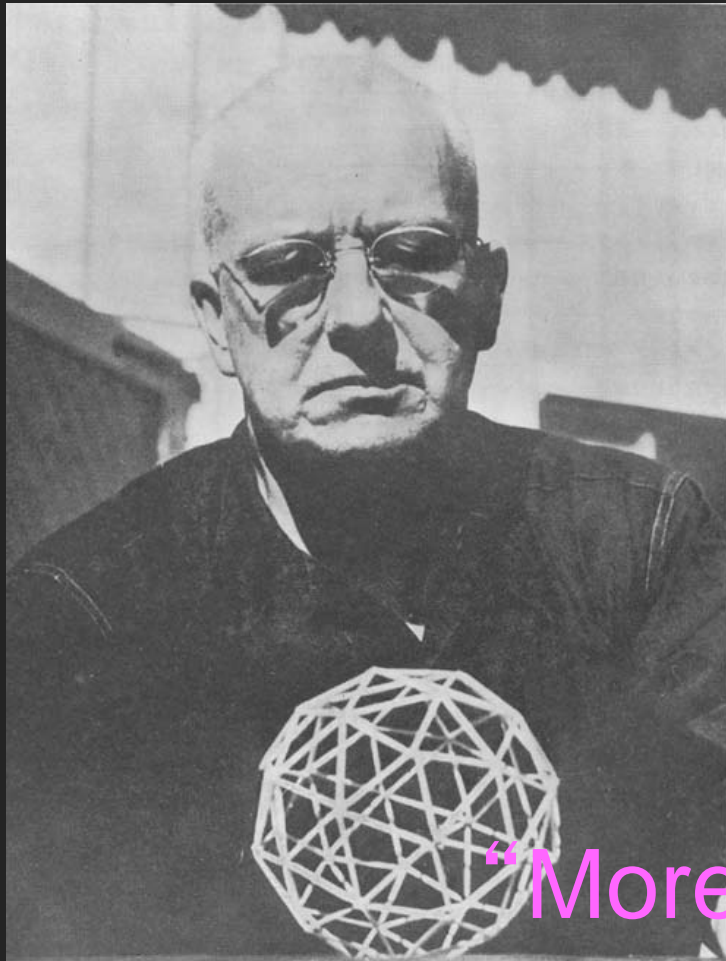


・R.B.Fuller

「至る所張力の海に圧縮材の小島が浮かんだ構造」

「魚が魚網を押し広げるような構造」

フラワーとジオデシック・ドーム



“More with Less”

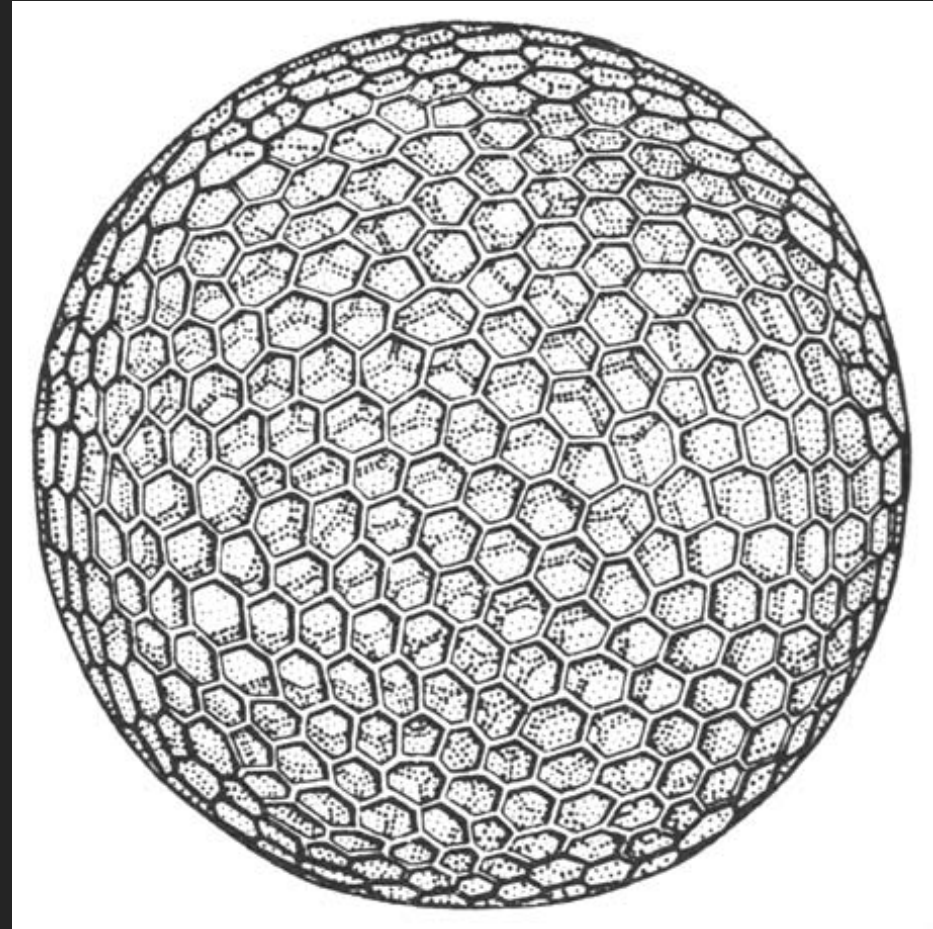
Kurt Ackermann著 Building for Industry
Watermark社,1991年, ISBN 1 873200 12 9 pp.146

ジオデシック・ドーム建築



旧東京よみうりカントリークラブクラブハウス

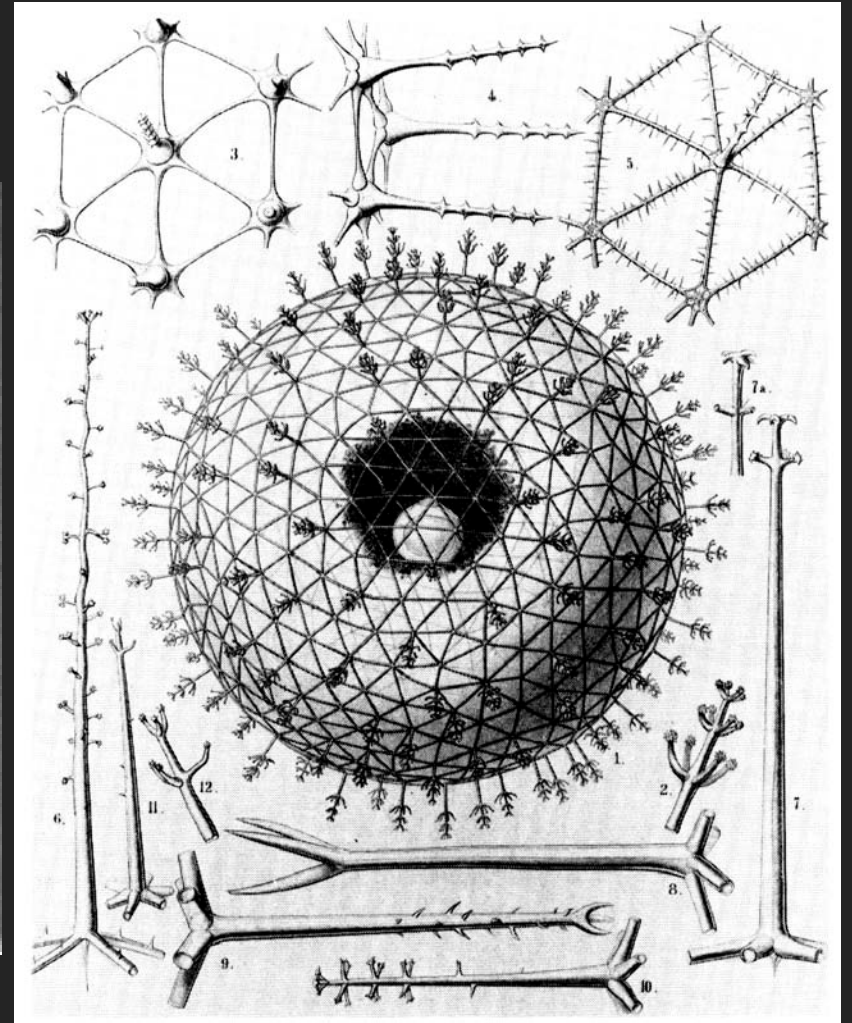
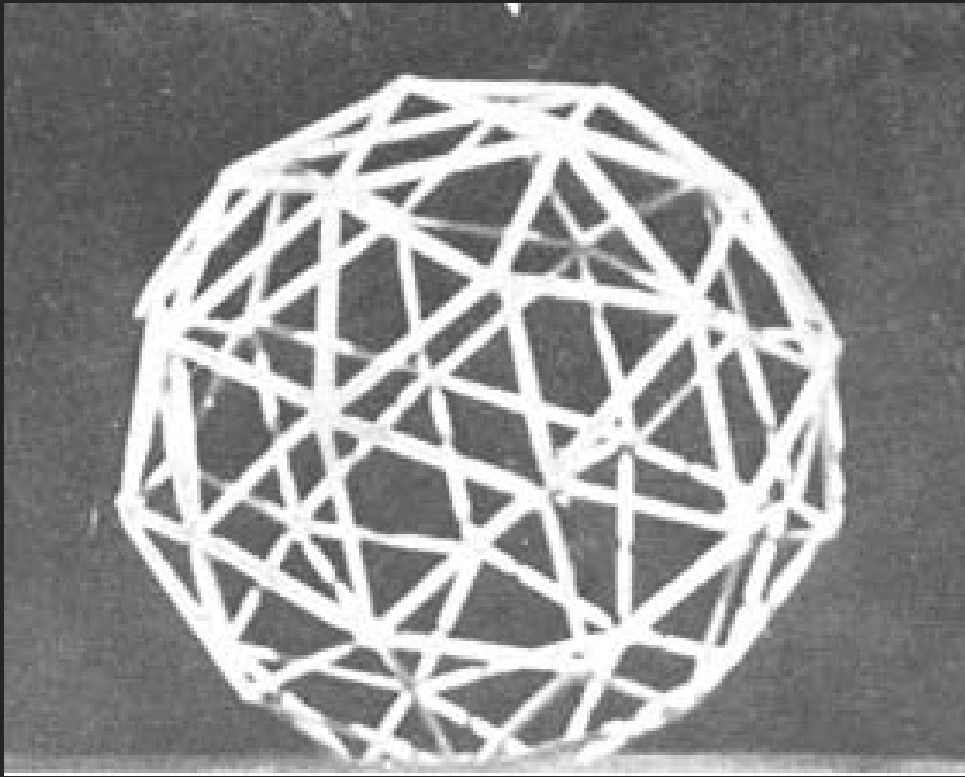
ジオデシック・ドーム



巨大な構造物の為の骨組み

ヘッケルによる放散虫のスケッチ

ジオデシック・ドーム

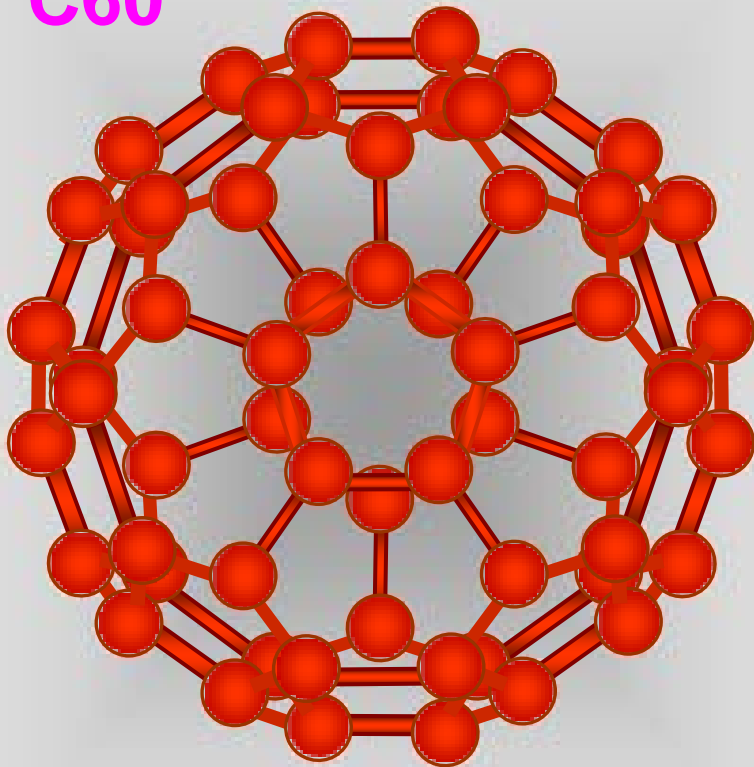


Kurt Ackermann著 Building for Industry
Watermark社,1991年, ISBN 1 873200 12 9 pp.146

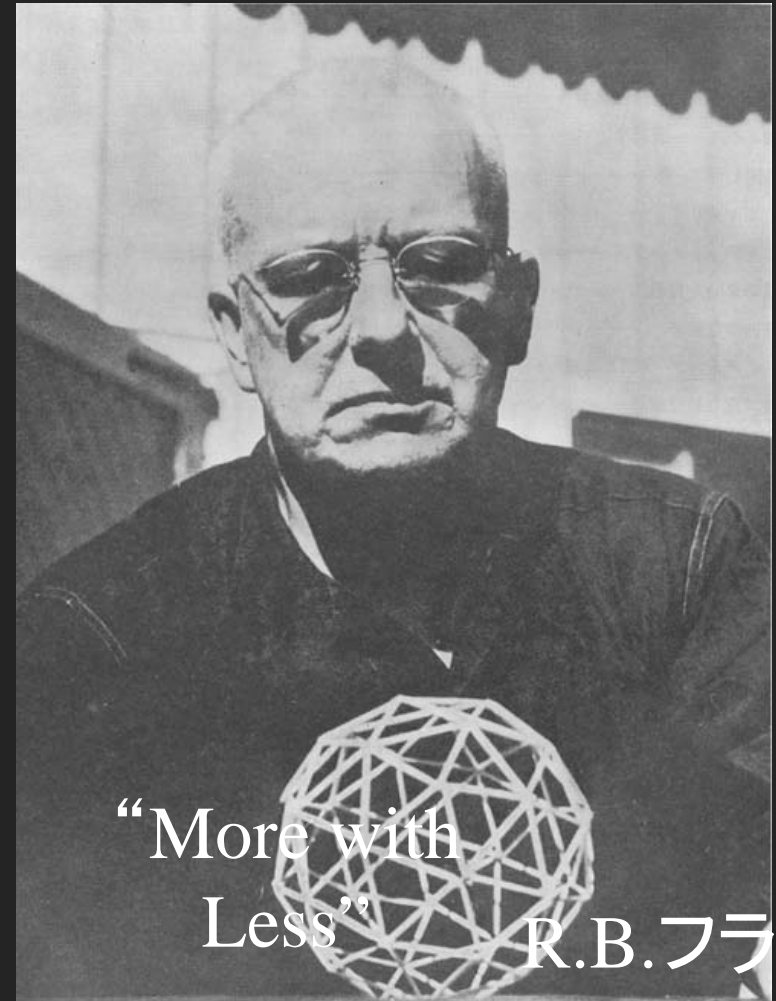
ヘッケルによる放散虫のスケッチ

炭素元素の同素体：フラーレン

C60



フラーレン



“More with
Less” R.B. フラー

Black Mountain College, July 1949



*<http://www.grunch.net/snelson/snelpix1.html>
Black Mountain College, 1949*

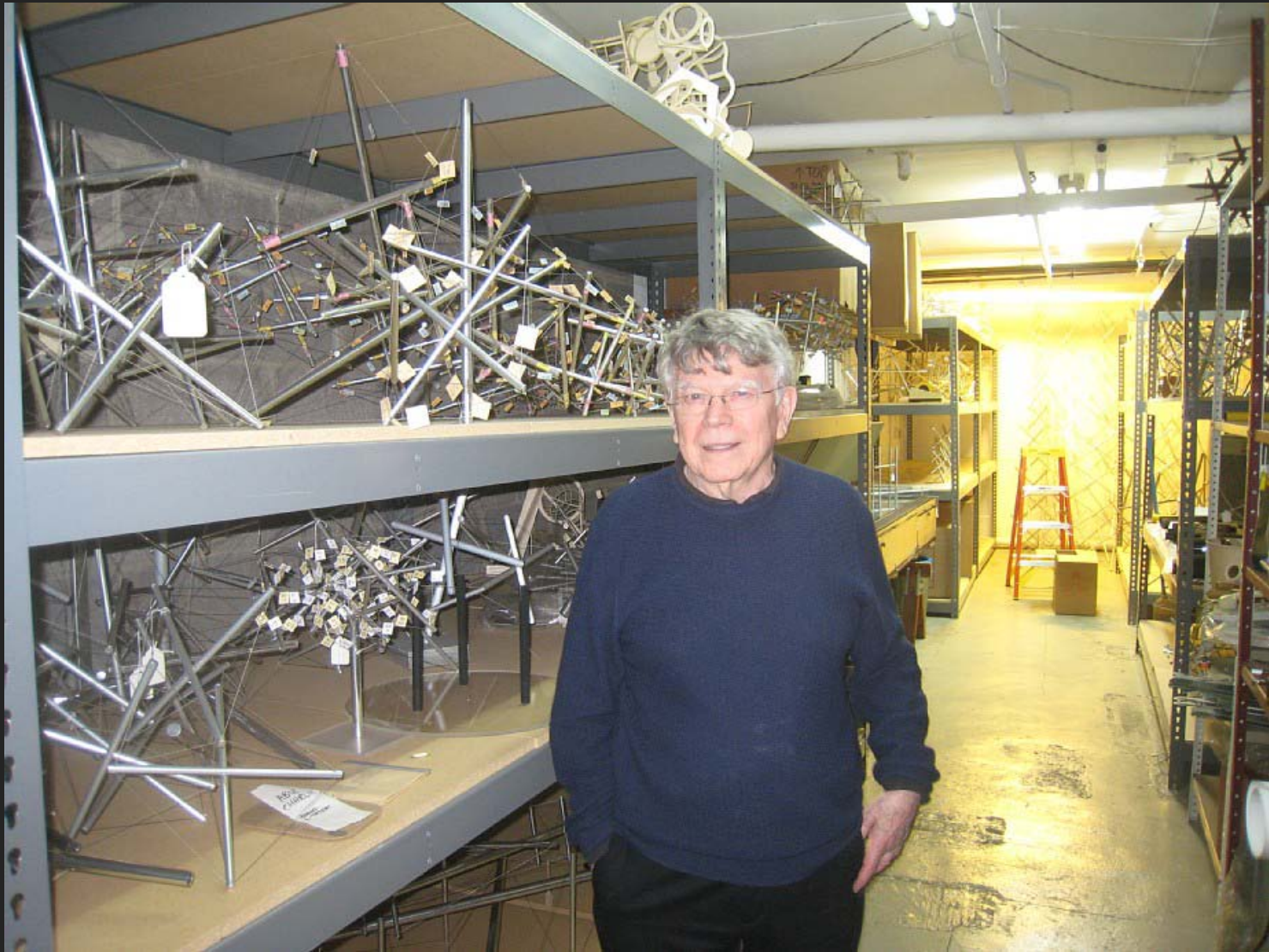
ケネス・スネルソン氏



N.Y. Soho地区, Snelson氏のスタジオにて

K.Kawaguchi

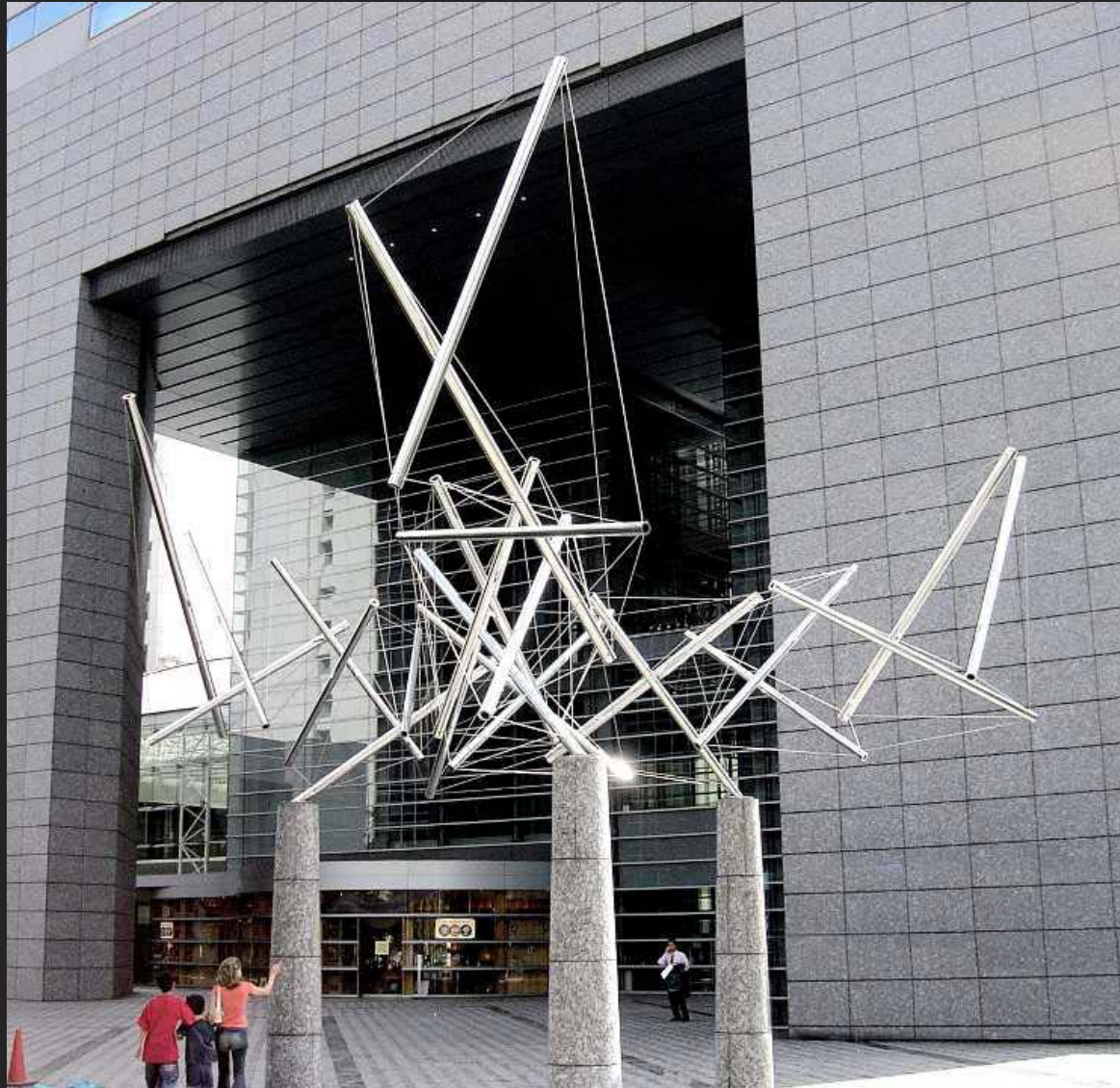
Mr. Kenneth Snelson



N.Y. Soho地区, Snelson氏のスタジオにて

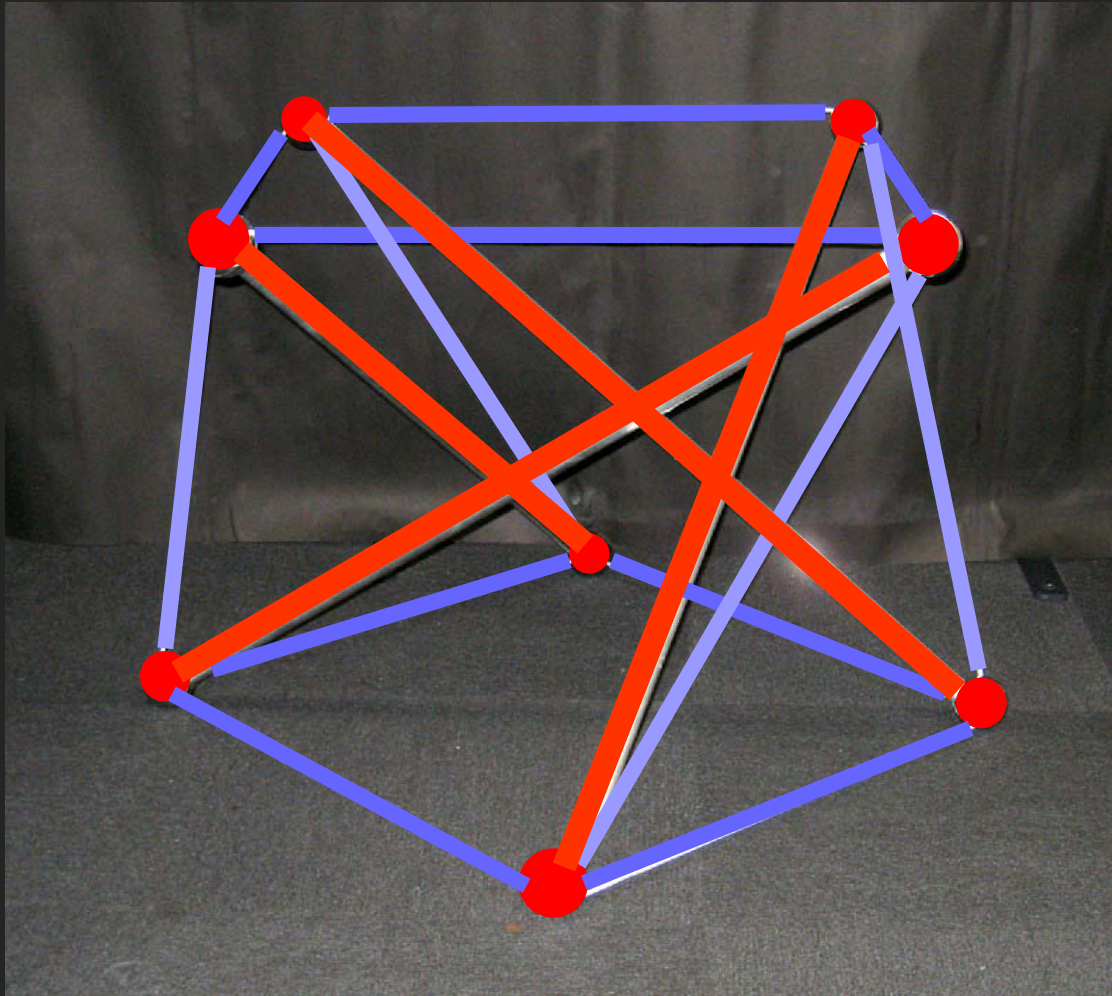
K. Kawaguchi

スネルソンのテンセグリティアート



Street Monuments (by Snelson)

四角柱テンセグリティ



節点数: 8

必要部材数:

$$8 \times 3 - 6 = 18 \text{本}$$

実際の部材数:

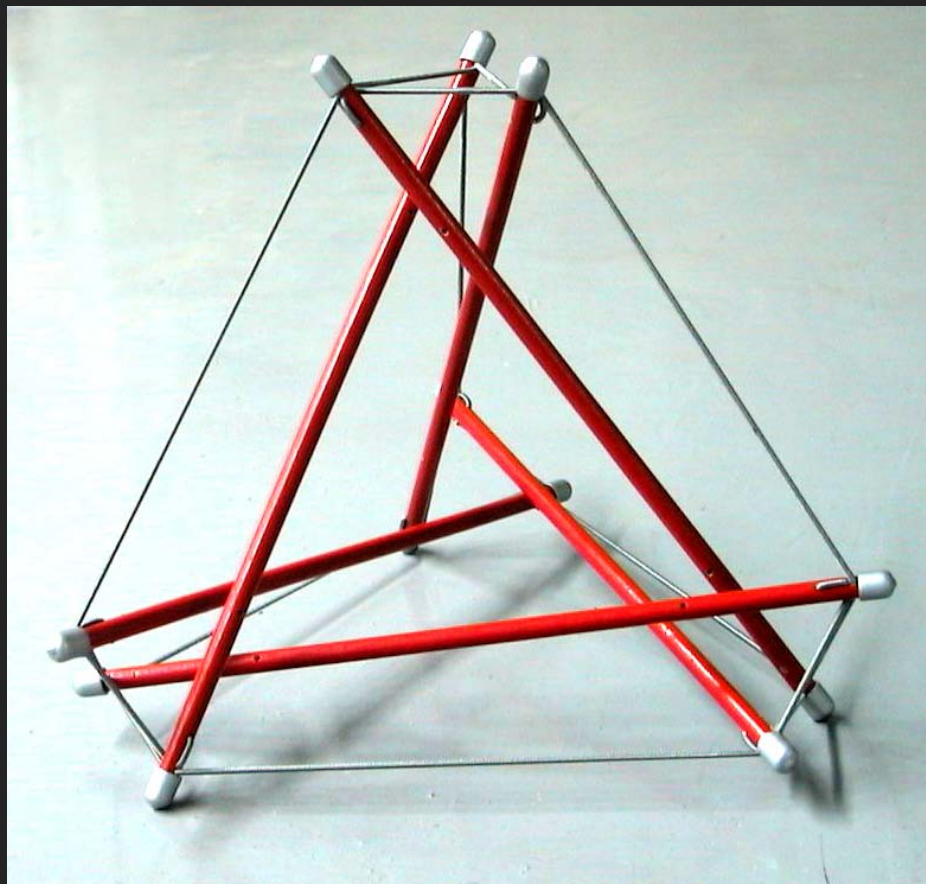
張力材:

$$4 + 4 + 4 = 12 \text{本}$$

圧縮材: 4本

計: 16本

テンセグリティ骨組の部材数



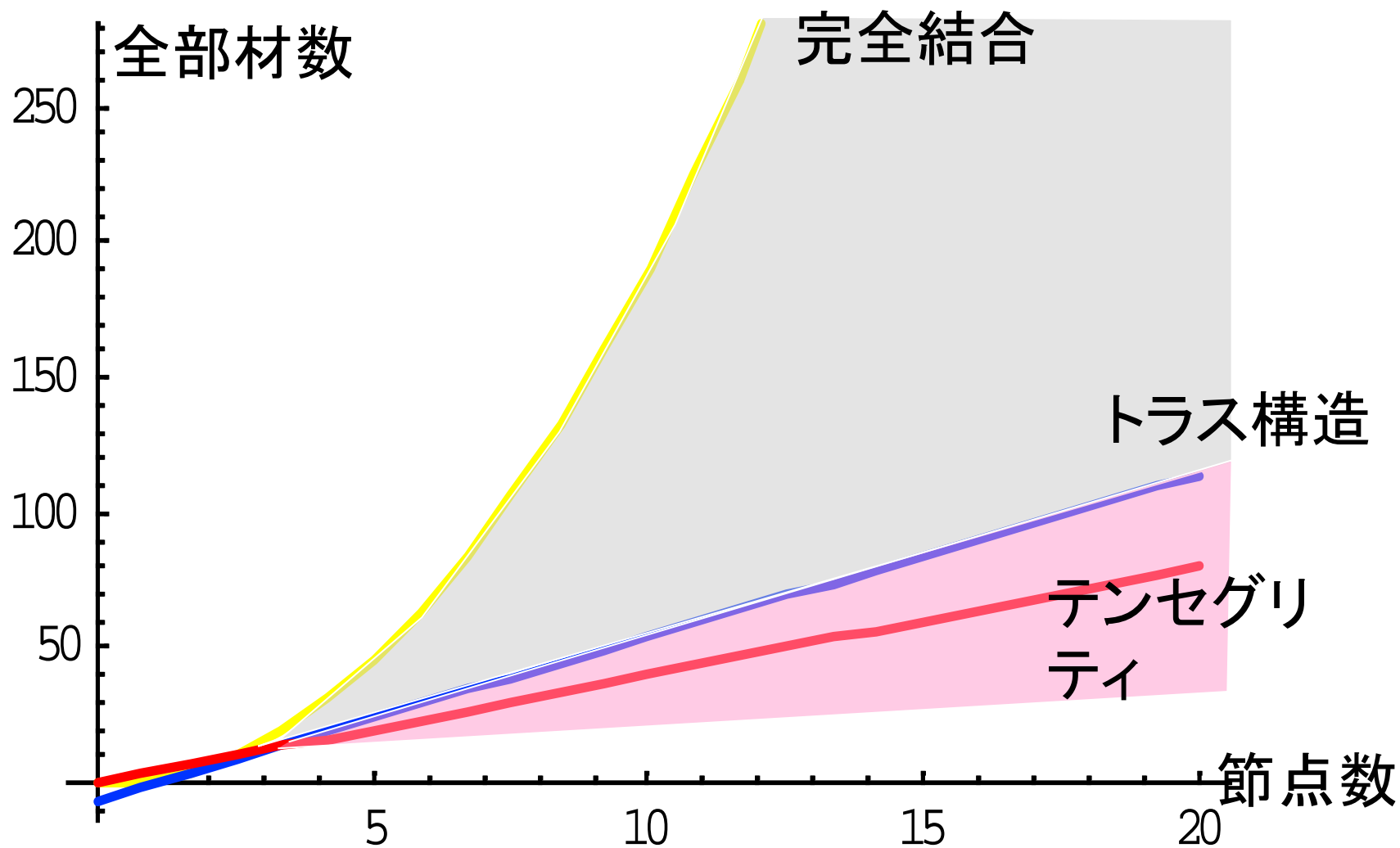
切頭四面体テンセグリティ
トラスなら：30本必要。
実際：24本



174本少ない。
67パーセント

K. Kawaguchi

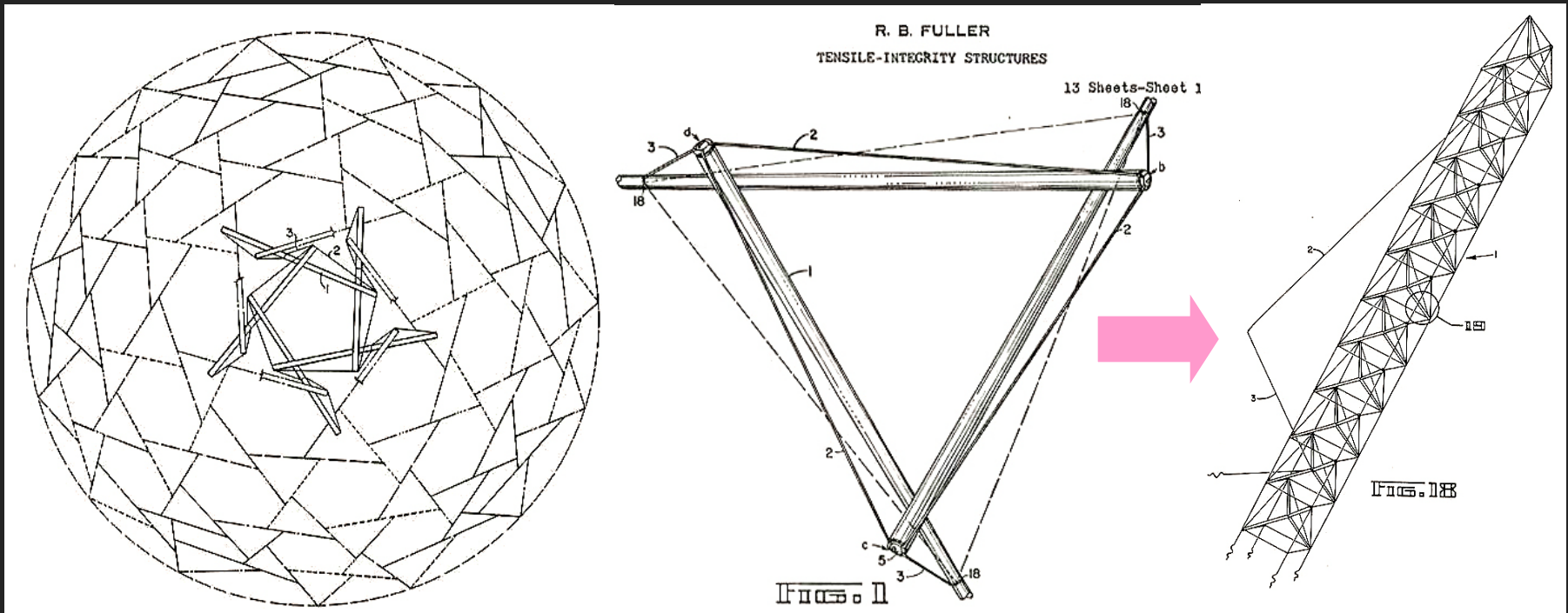
通常の骨組みとテンセグリティの比較



Tensegrityの特許より

† US Pat. 3,063,521, “Tensile-Integrity Structures” Patented Nov.13, 1962, Filed Aug.31, 1959

Tensegrity= Tensile(張力) + Integrity(完全体)



・R.B.Fuller

テンセグリティの一本一本の圧縮材をさらにテンセグリティでつくることでより軽量の構造が作れる。

K.Kawaguchi

テンセグリティ構造の問題点

1. 大変位を生じる.
2. 自己釣り合い応力分布が複雑であり、張力分布の把握とその制御が難しい.

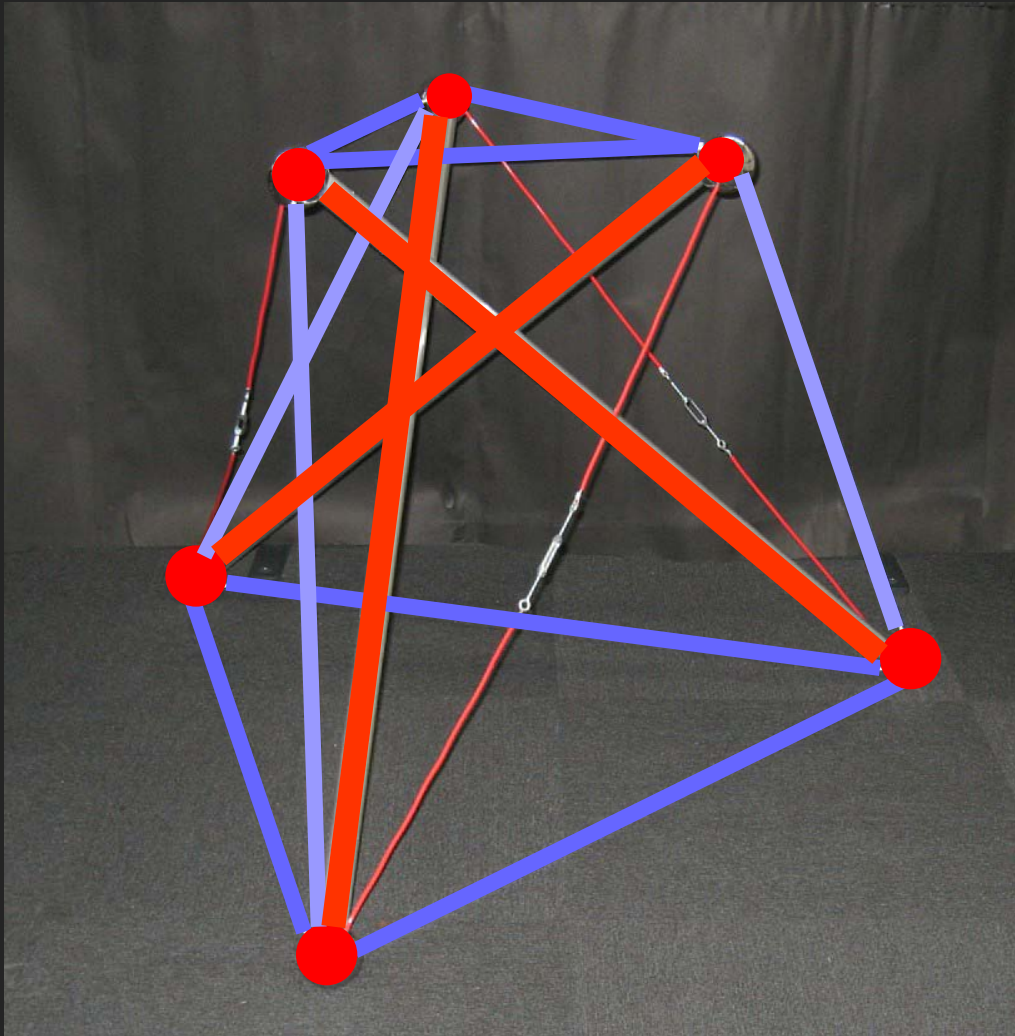
テンセグリティ構造の問題点

1. 大変位を生じる.
2. 自己釣り合い応力分布が複雑であり、張力分布の把握とその制御が難しい.

テンセグリティ構造の問題点

1. 大変位を生じる.
2. 自己釣り合い応力分布が複雑であり、張力分布の把握とその制御が難しい.

シンプレックス・テンセグリティ



節点数: 6

必要部材数:

$$6 \times 3 - 6 = 12 \text{本}$$

実際の部材数:

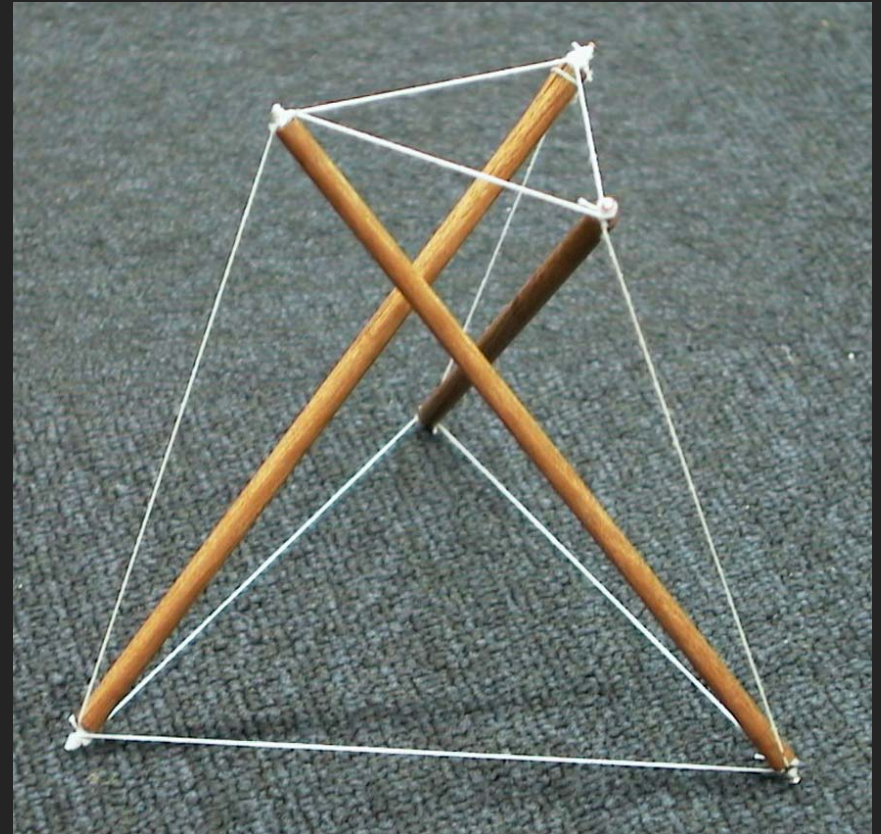
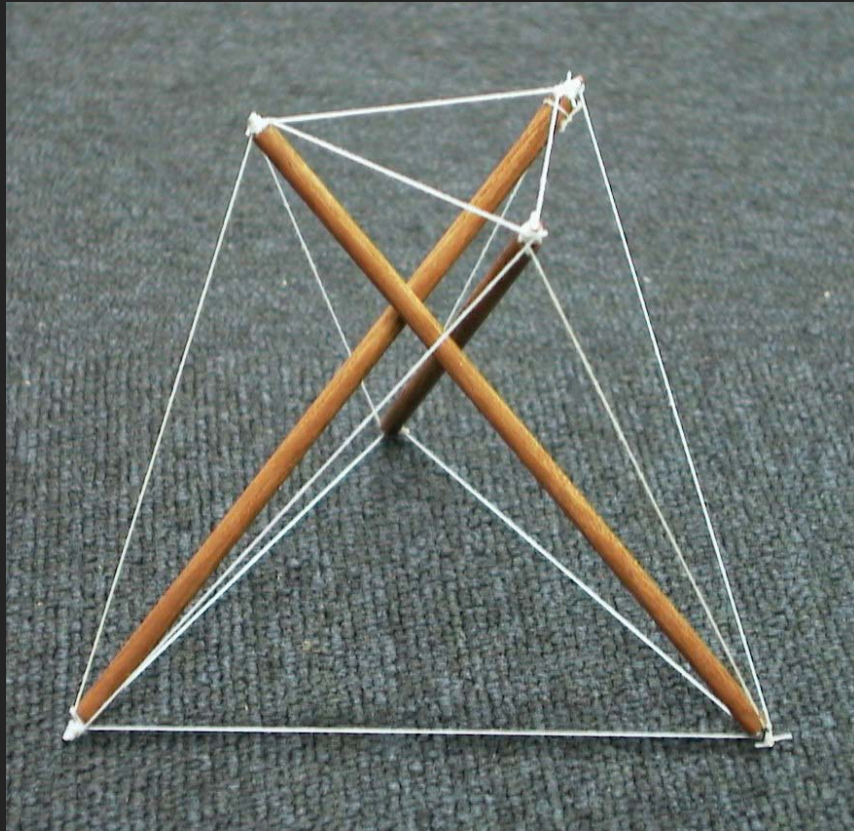
張力材:

$$3 + 3 + 3 = 9 \text{本}$$

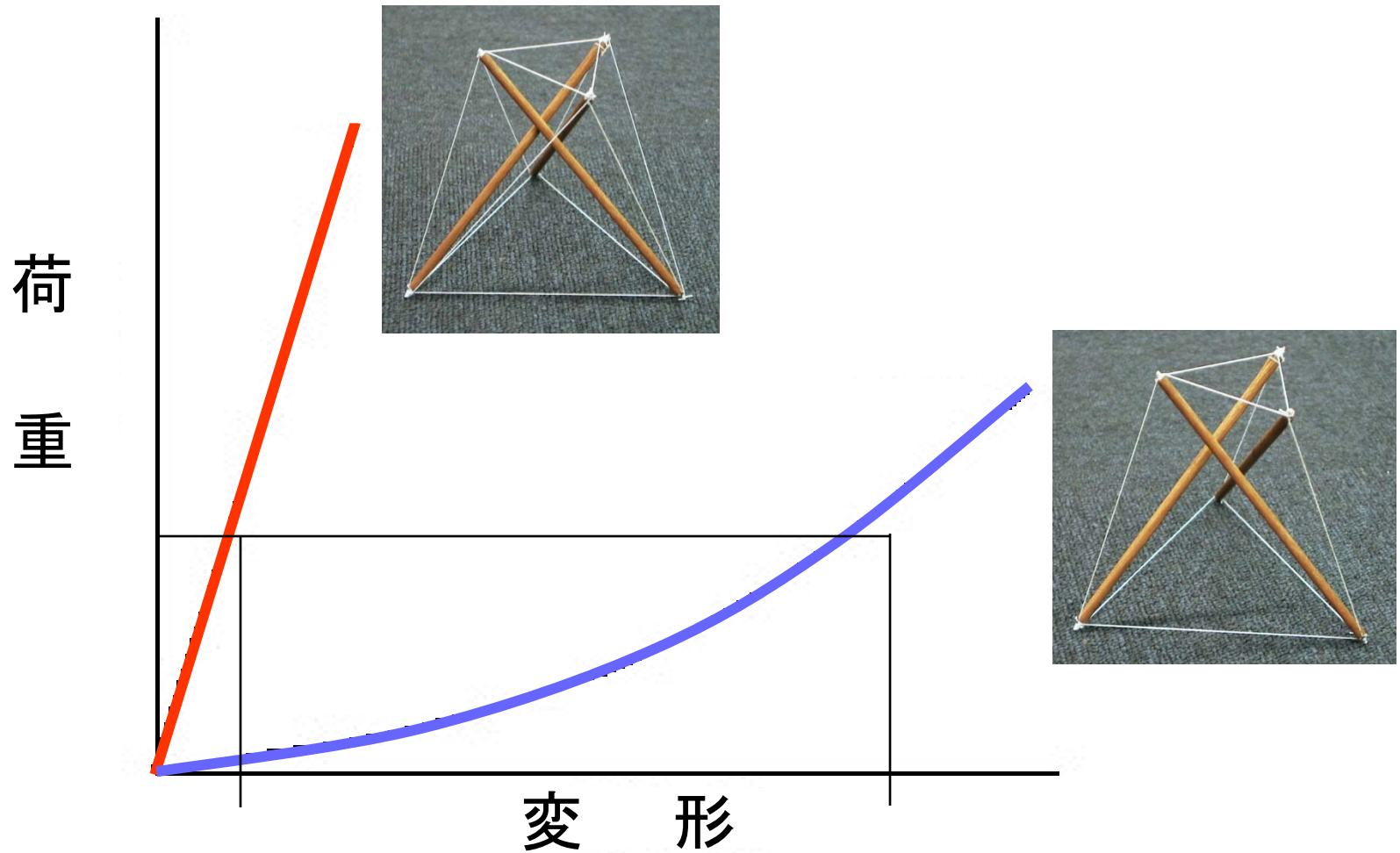
圧縮材: 3本

計: 12本

2つのテンセグリティの剛性の比較



2つのテンセグリティの剛性の比較



テンセグリティ・ドームの建設

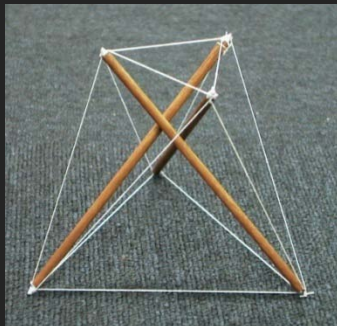


K. Kawaguchi

モックアップ(実大)モデル組み立て



Model 1



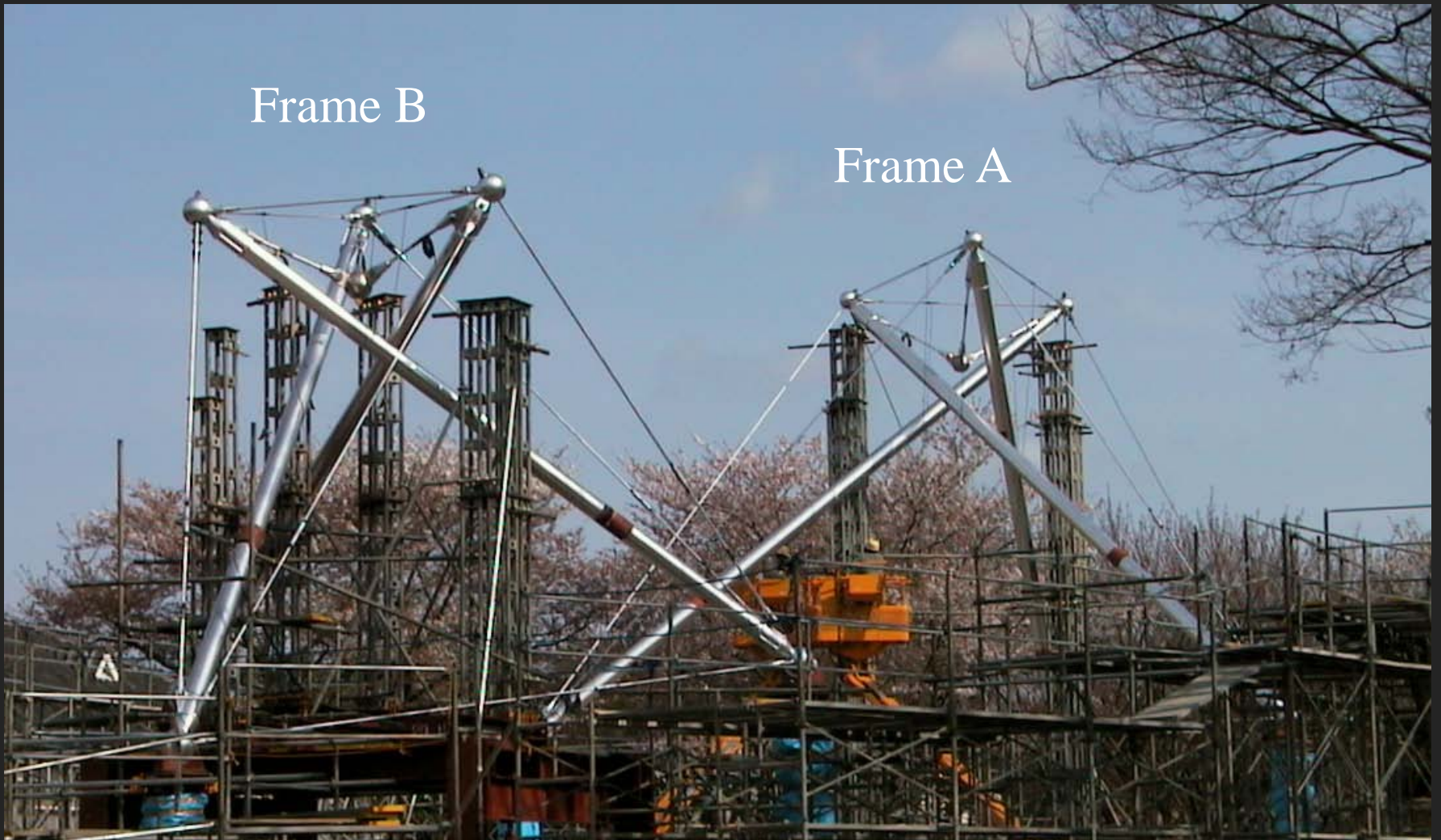
Model 3



モックアップモデルの組み立て

Frame B

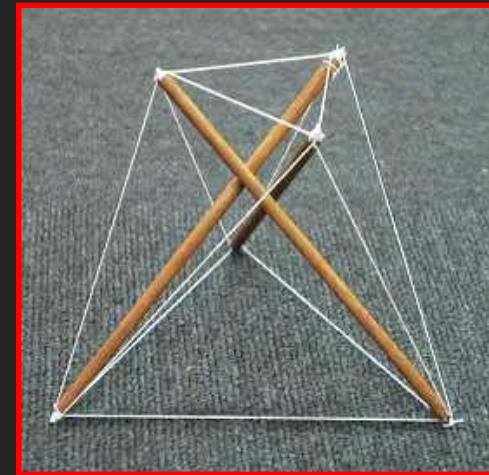
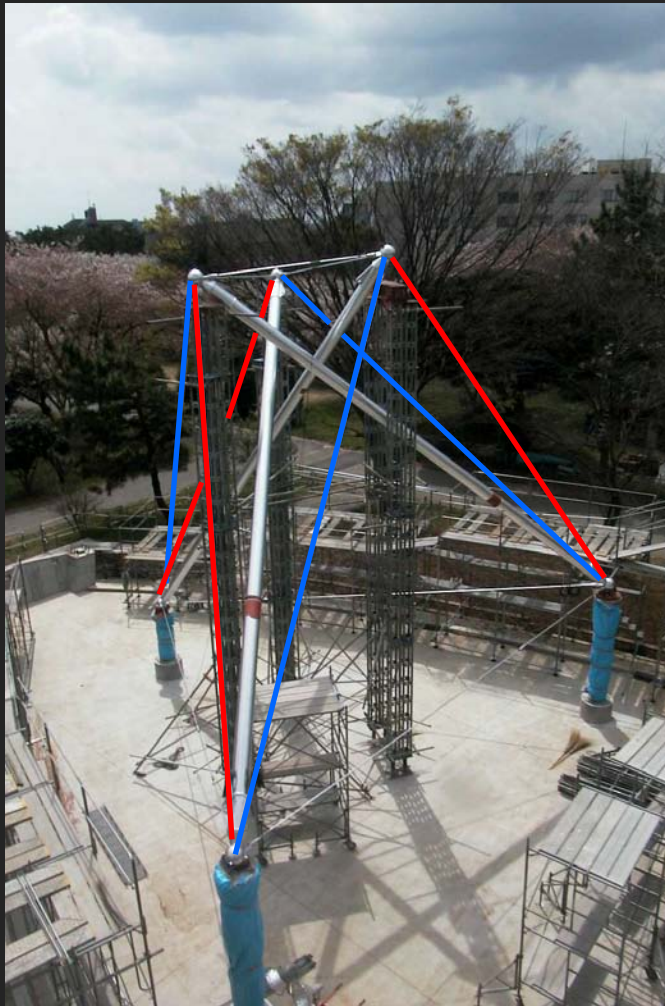
Frame A



建設中の2つのテンセグリティ骨組み

K. Kawaguchi

Construction of the Tensegrity Frame



Non-
linear

White Rhino の内観



世界ではじめて建築骨組に実用化されたテンセグリティ架構

K. Kawaguchi

2つのテンセグリティ骨組みと 膜屋根を突き上げる独立ポスト



意匠計画：藤井明研究室



構造計画：川口研究室



意匠計画：藤井明研究室

構造計画：川口研究室

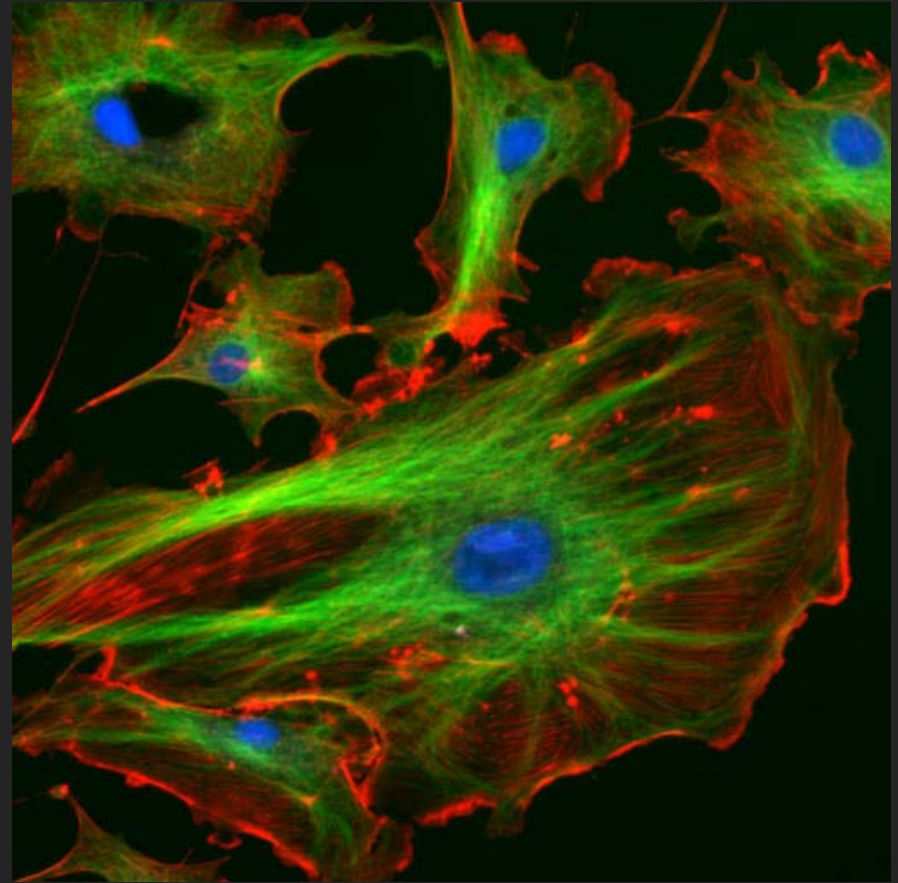
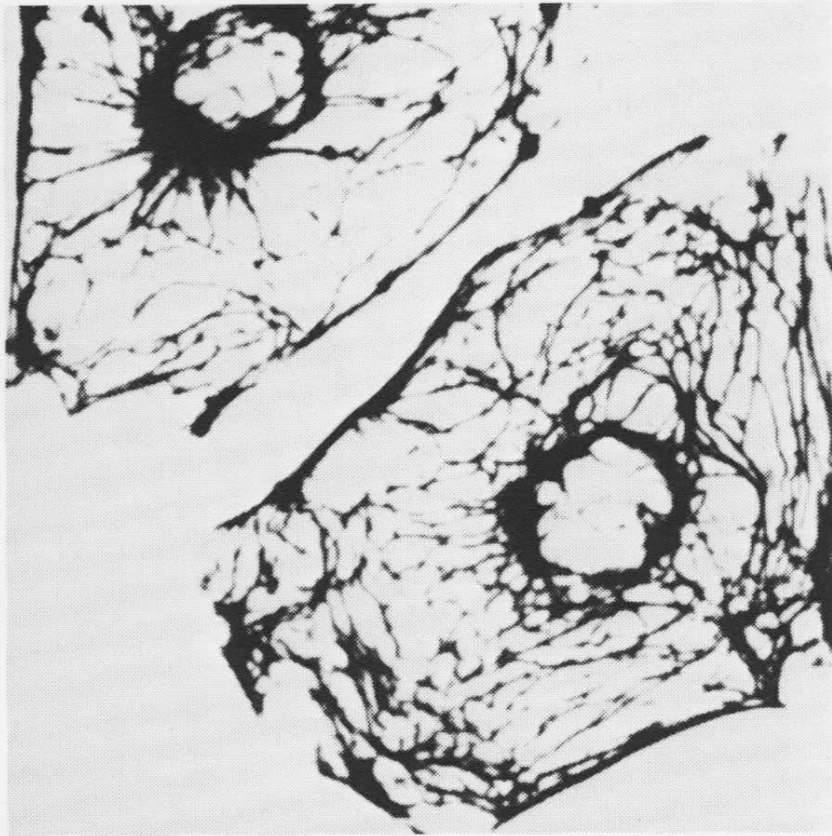
テンセグリティと生体



出典：
Unknown
Leonardo
(Abradale
Books)
[Hardcover]
Ladislao Reti
(Editor)

骨格は動く 骨組み=不安定な骨組み

細胞にも骨がある＝細胞骨格



from Wikipedia HP

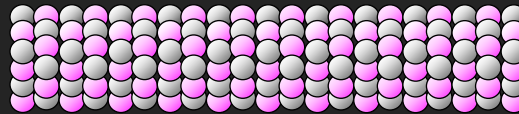
生体とテンセグリティ

細胞内外の微細組織が張力材と圧縮材によるネット構造を構成している。

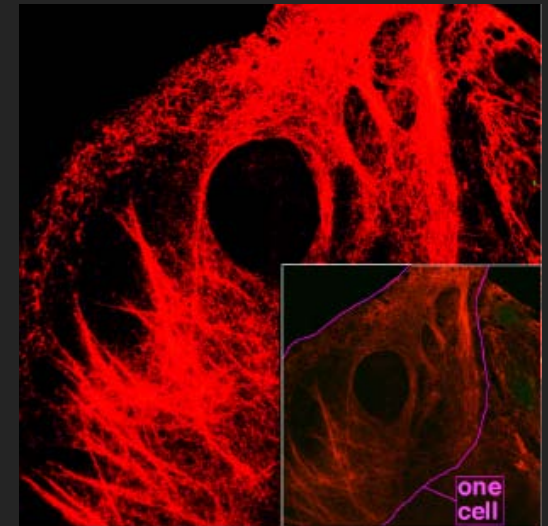
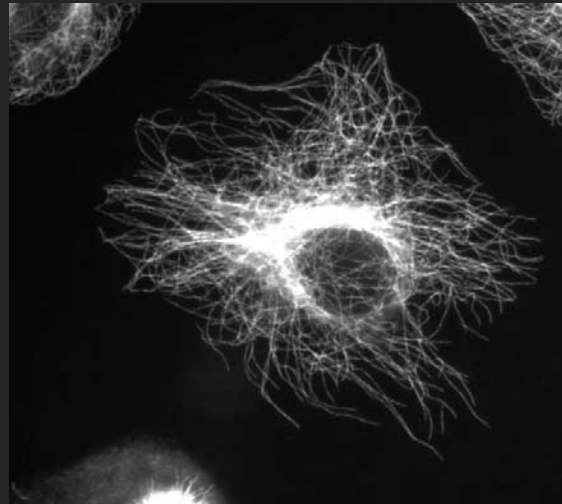
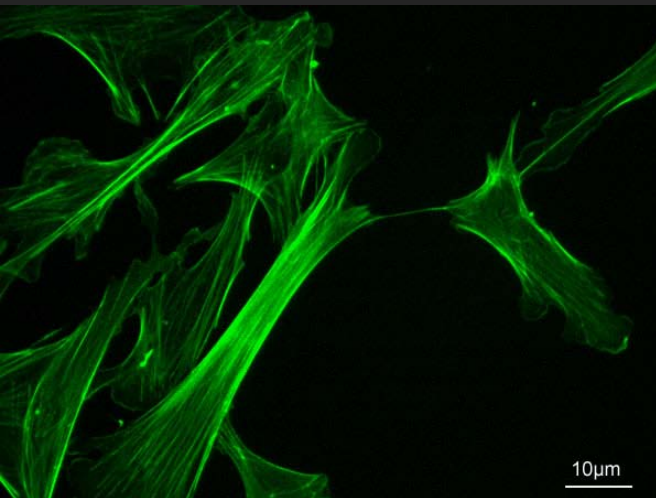
アクチンフィラメント



微小管



中間径フィラメント

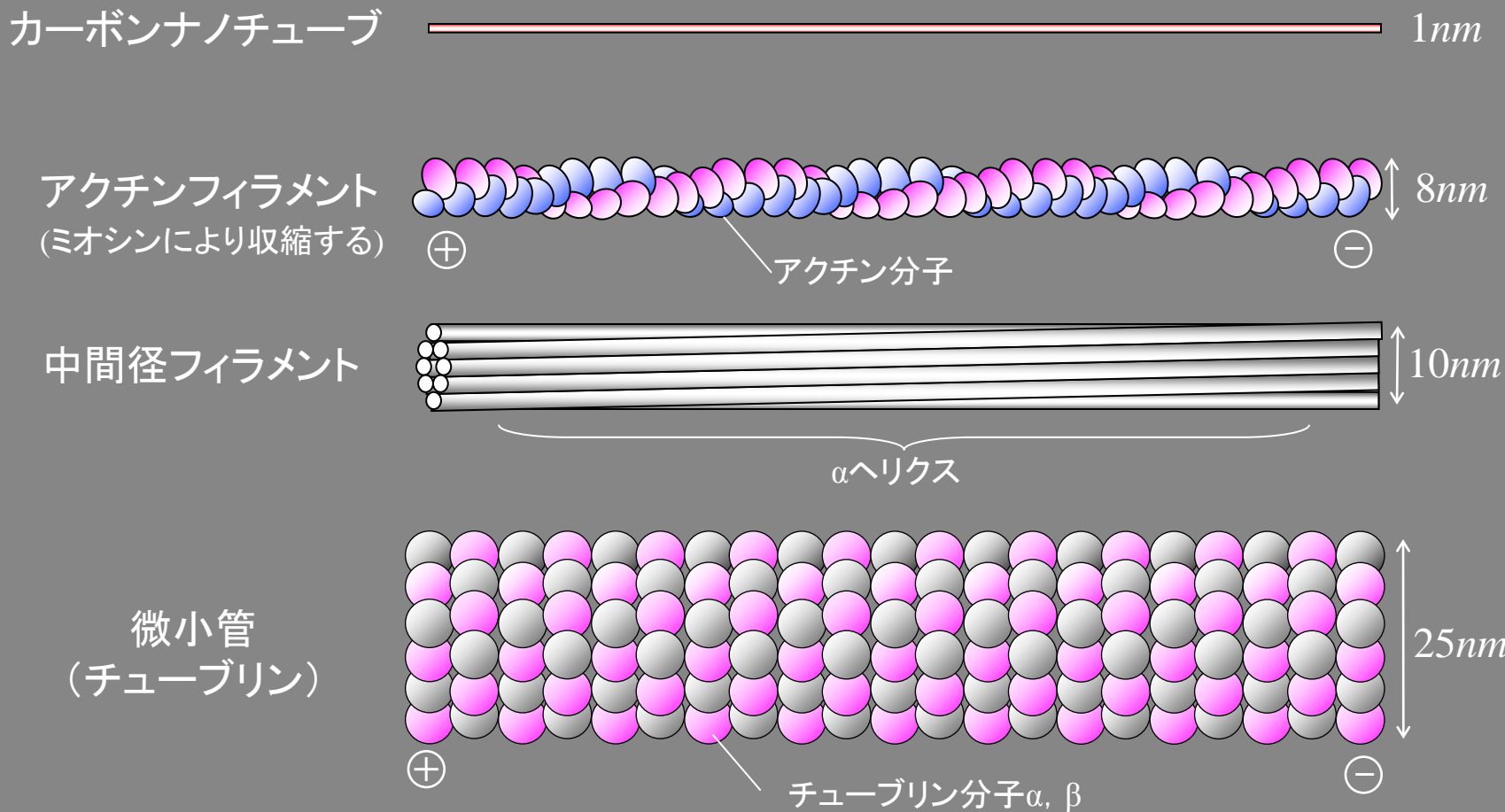


張力材

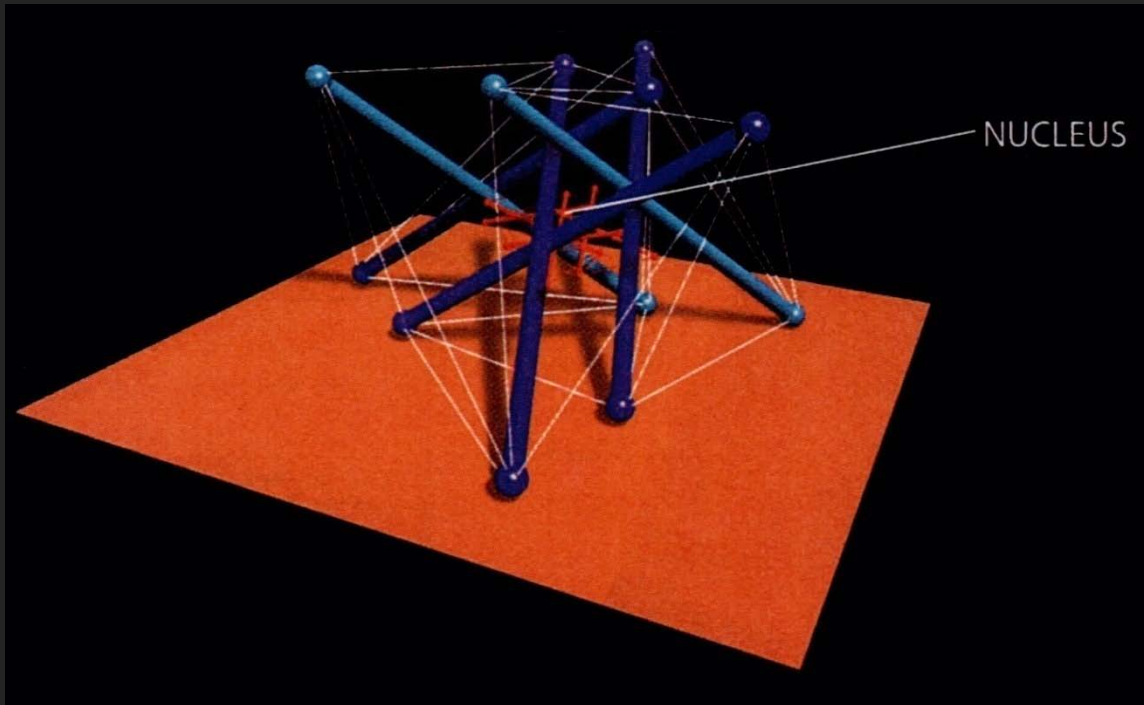
圧縮材

つなぎ材

細胞骨格のタンパク質繊維



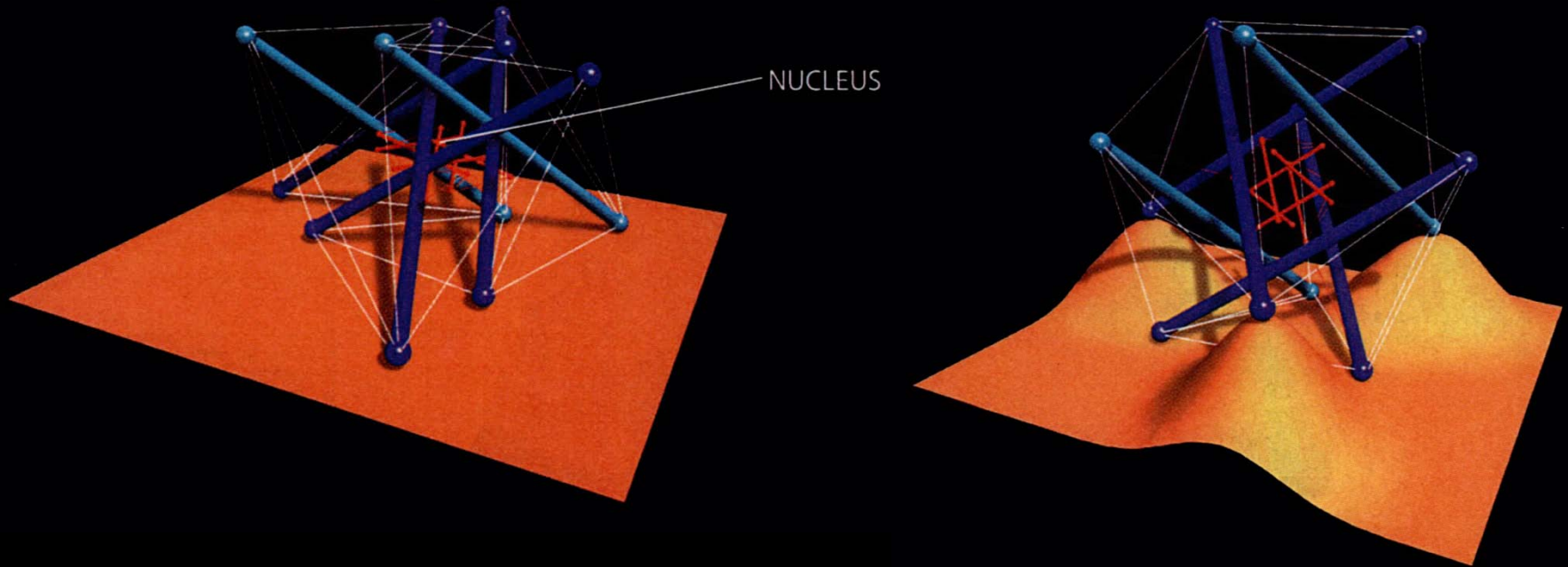
Ingber の Tensegrity モデル



著作権上の都合により
ここに挿入されていた図表は
削除致しました

<http://www.scientificamerican.com/>

生体とテンセグリティ



細胞は硬い表面上
に置かれると平たく
なる。(器壁依存性)

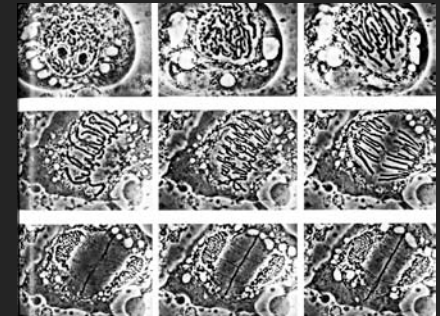
ゴムのような柔らかな表面に
置かれると周りを引っ張り上
げながら球状になる。

細胞の形状が細胞の増殖を制御する mechanotransduction

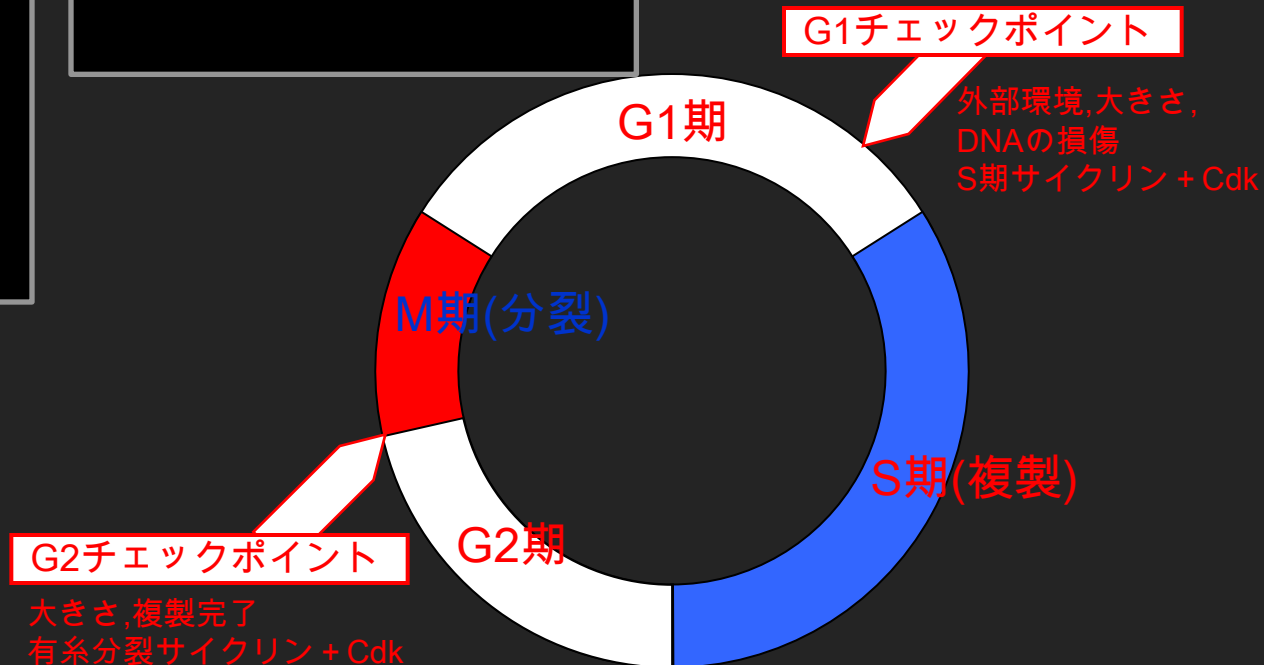
Information of the Institute
for lightweight structures
University of Stuttgart,
No.19, 1979, Growing and
dividing pneus pp.69

著作権上の都合により
ここに挿入されていた図表は
削除致しました

著作権上の都合により
ここに挿入されていた図表は
削除致しました



✂



刺激を与え続けると骨は太くなる



出典: Unknown Leonardo (Abradale) [Hardcover]
Ladislao Reti (Editor)

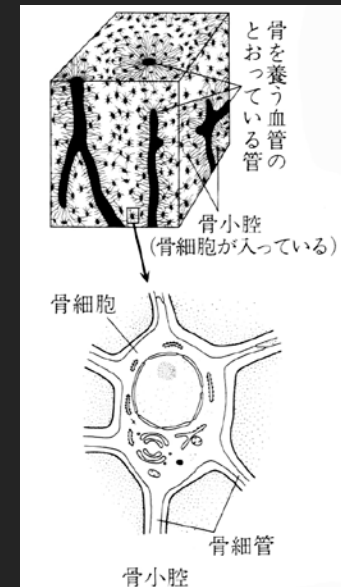
細胞は重力を如何にして感じるか

無重力状態における宇宙飛行士の身体的変化

- 骨の再吸収（カルシウム分の減少）
- 赤血球の形状変化、量の減少
- 免疫機能の低下、リンパ球の減少
- 筋力の低下
- 丸みとむくみ



ムーンフェイス状態



神谷敏郎著「骨と骨組のはなし」
岩波ジュニア新書

細胞内外の力学的な情報伝達

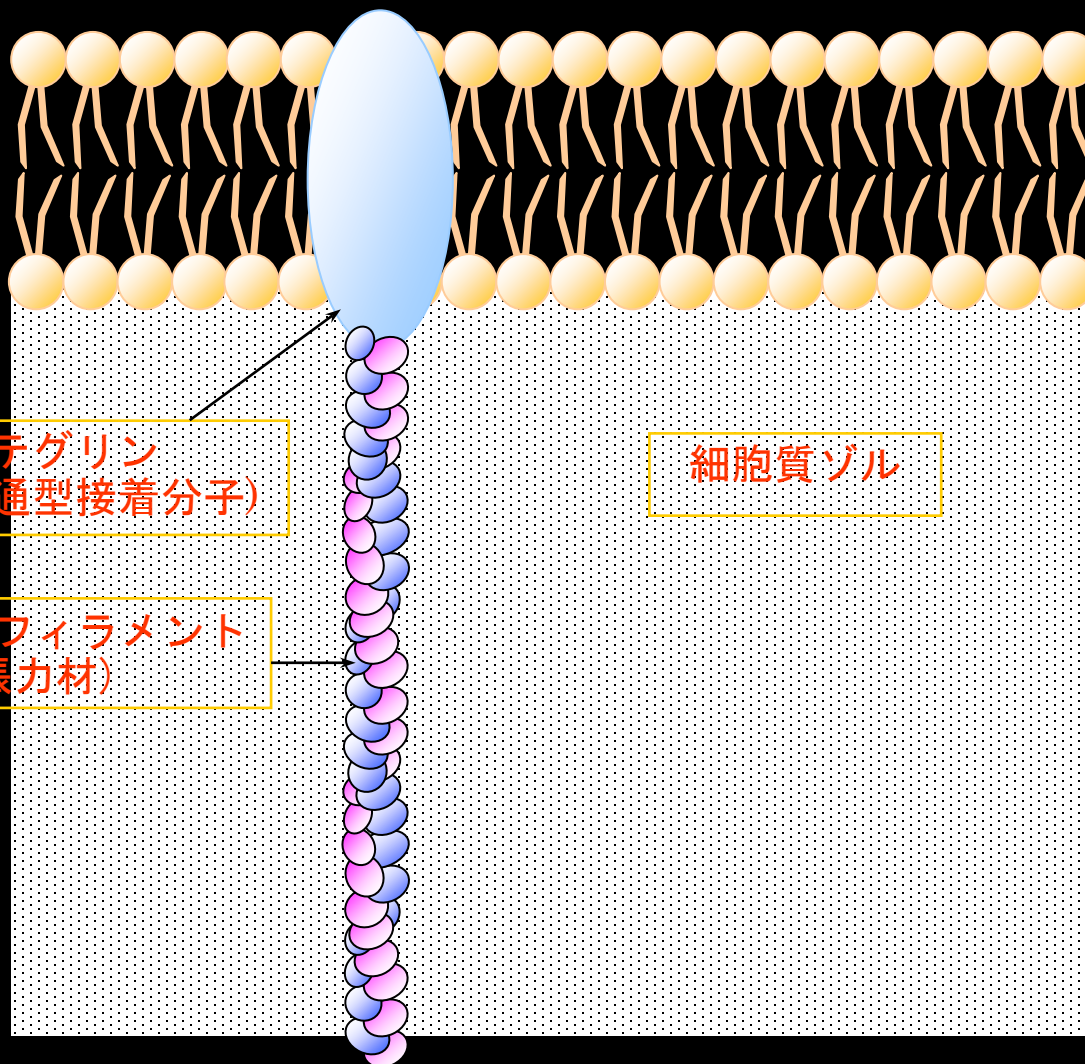
細胞膜

リン脂質
2重層

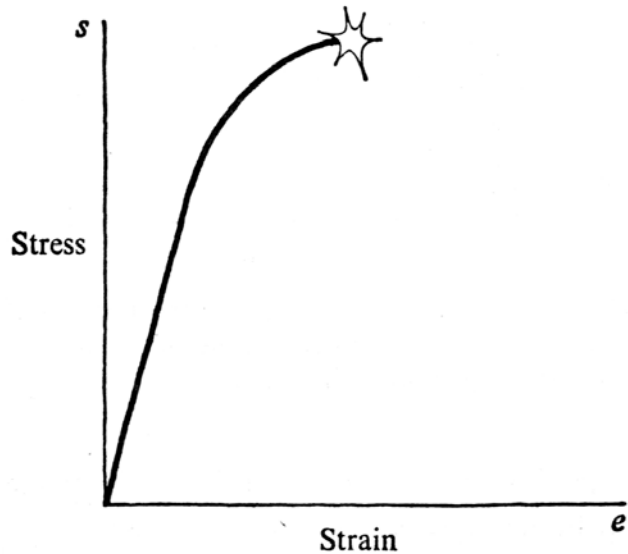
インテグリン
(細胞膜貫通型接着分子)

アクチンフィラメント
(張力材)

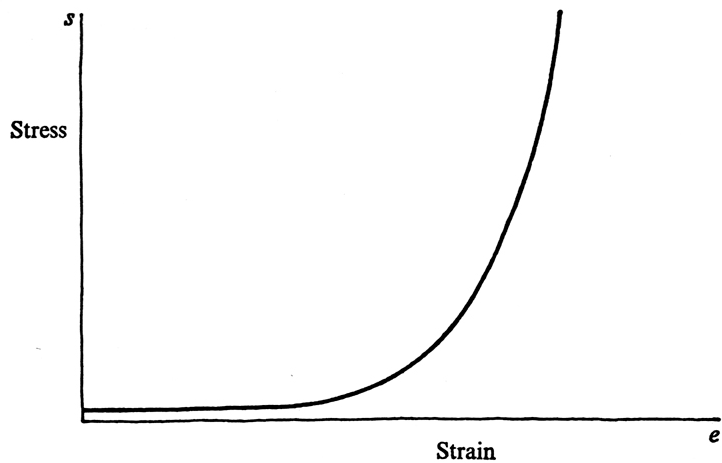
細胞質ゾル



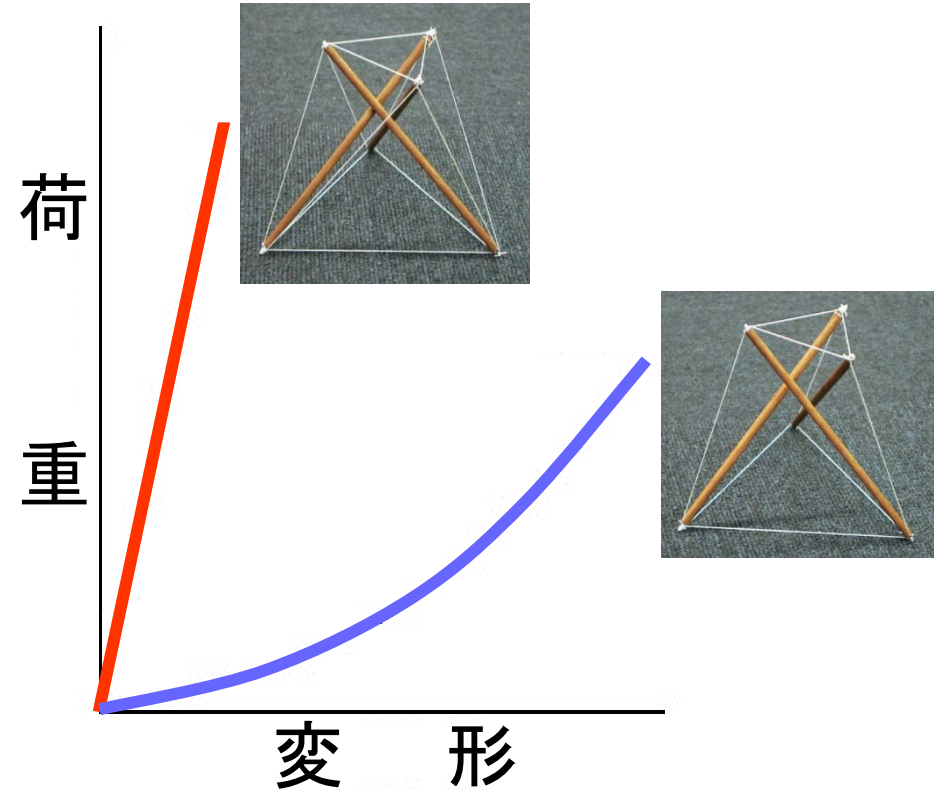
構造材料の剛性と生体材料の剛性



構造材料の剛性

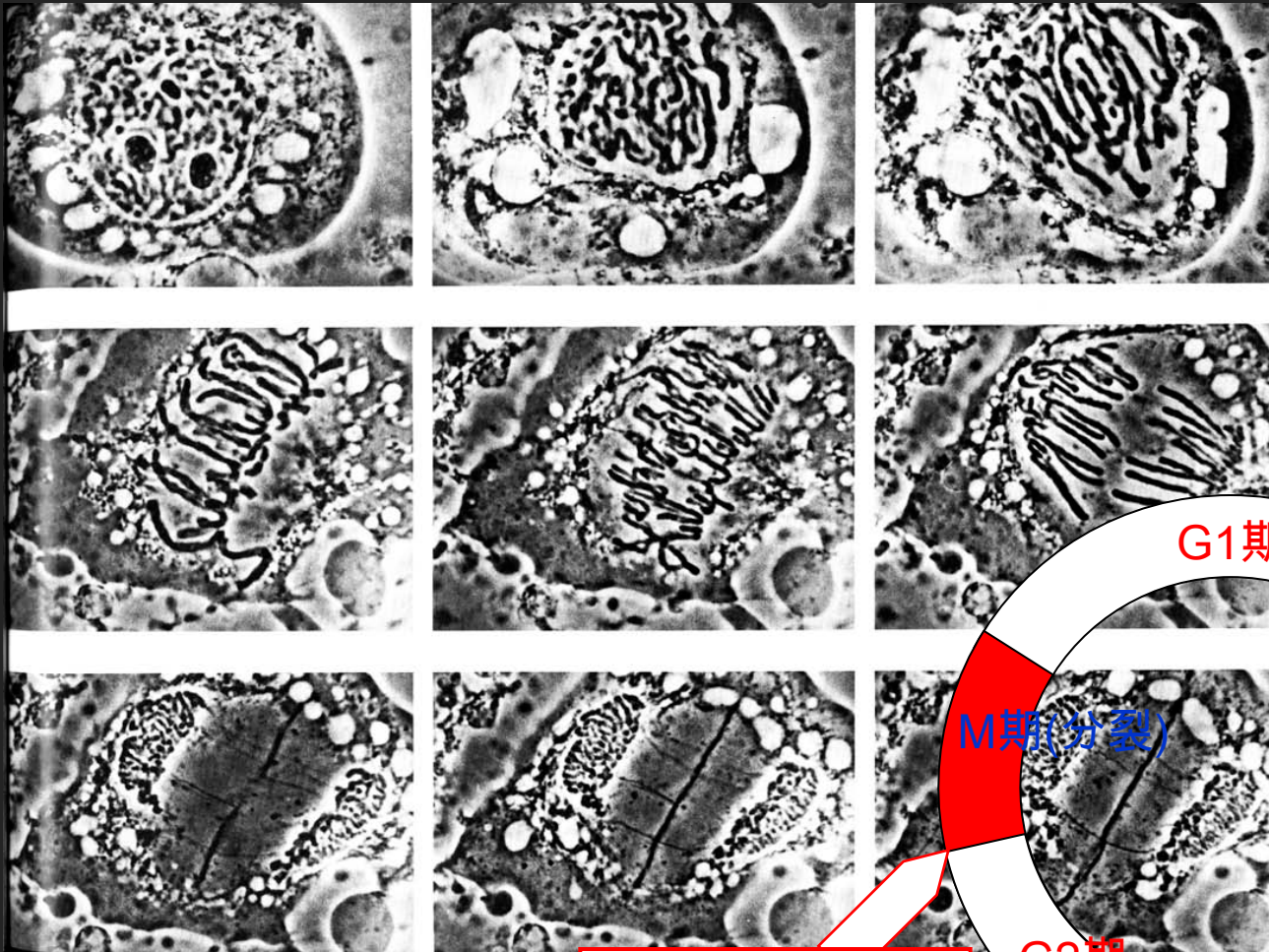


生体材料の剛性



J.E.Gordon "Structures"より

細胞分裂と細胞骨格のスクラップアンドビルド



+

Information of the Institute
for lightweight structures
University of Stuttgart,
No.19, 1979, Growing and
dividing pneum pp.69

G1チェックポイント

外部環境, 大きさ,
DNAの損傷
S期サイクリン + Cdk

G1期

M期(分裂)

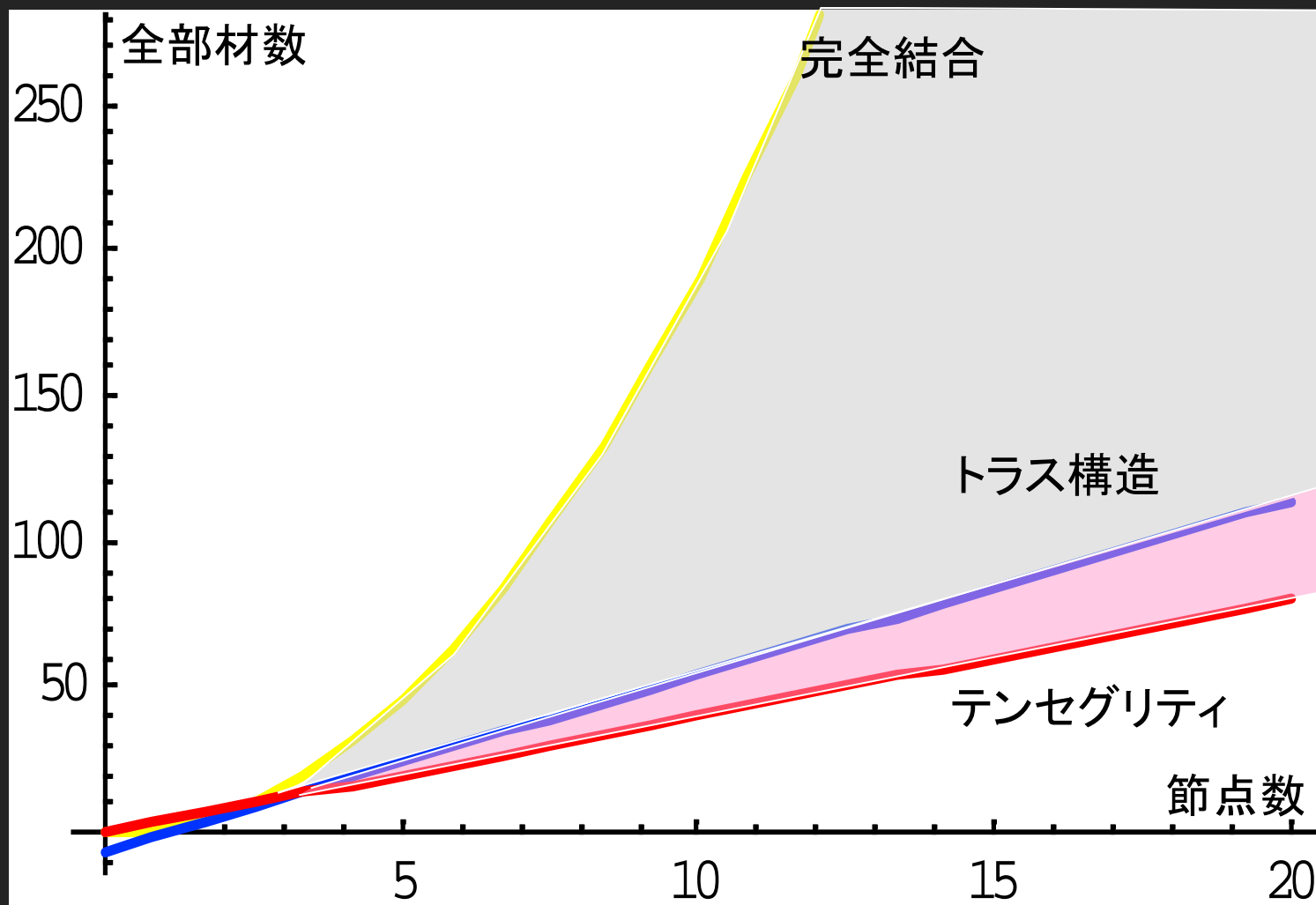
S期(複製)

G2チェックポイント

大きさ, 複製完了
有糸分裂サイクリン + Cdk

G2期

トラス骨組みとテンセグリティの比較



Dr. Donald Ingber



Wyss 研究所にて

K. Kawaguchi

ユニバソロジーの世界観



スペースシャトルでは数多くの宇宙実験を行いました。その一つに「細胞」の撮影を毎日繰り返すという実験がありました。ある日、目が疲れ、あくびをしながら体を伸ばしていると、スペースラボの窓から地球の景色が目に入ってきました。アフリカの砂丘や、シベリアへ向かう途中の畑や湖……。

その時、顕微鏡をのぞいて細胞を見ているのとほとんど同じような感覚におそわれたのです。これはとても不思議な感覚でしたが、ものの形や大きさは連続的なものだという、とてもリアルな実感でもありました。地球全体がさまざまなスケールで構成される「一つの生き物」のように感じられたのです。このような体験が、私たち一人ひとり(個)と地球(全体)の関係を考える「ユニバソロジー」と名付けた思想へと発展しました。(毛利衛)

生体組織と宇宙から見た地球

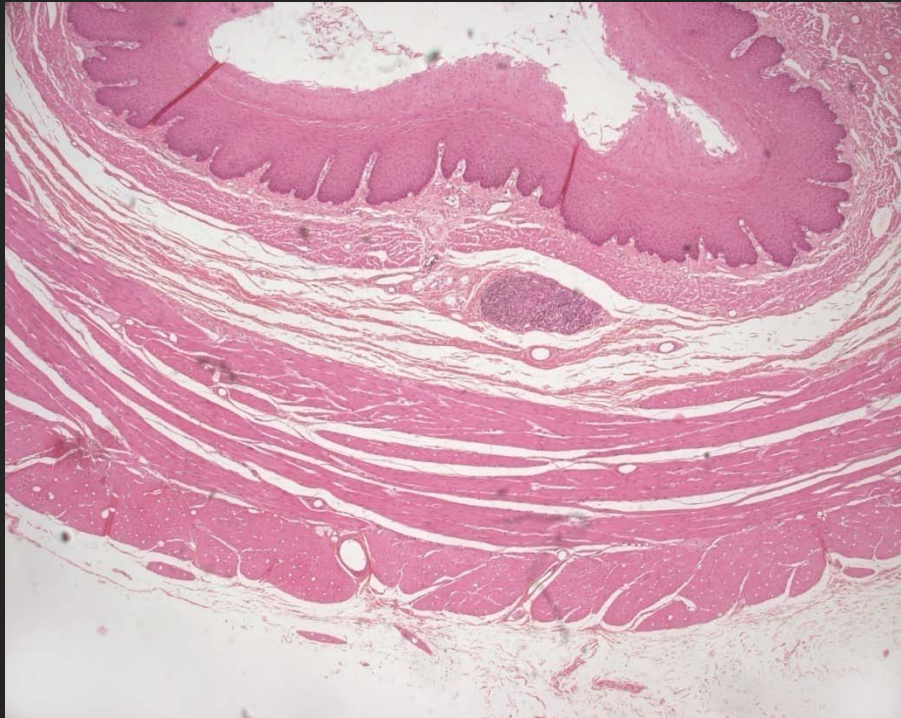


オーストラリアの川

NASA HP より

生体組織と宇宙から見た地球

+

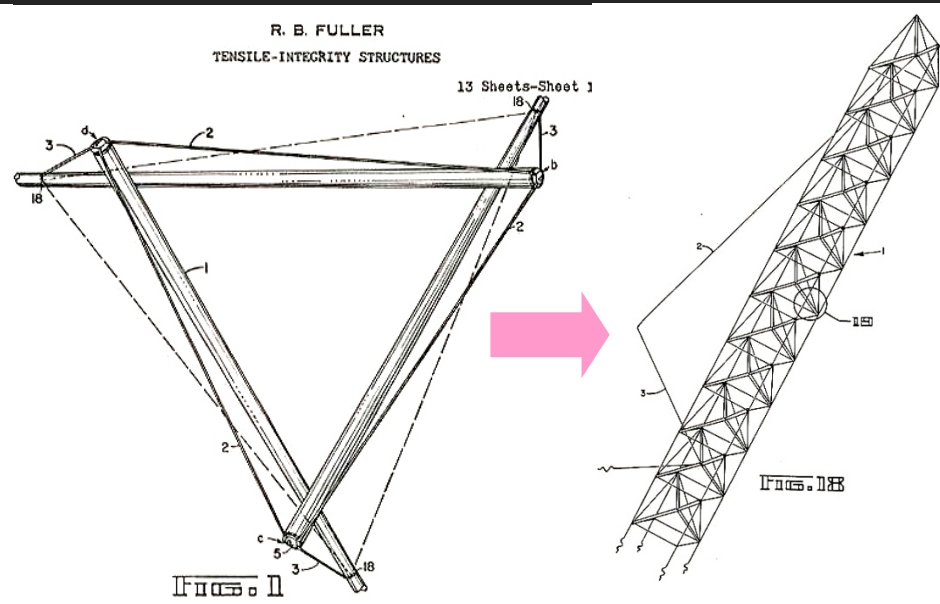
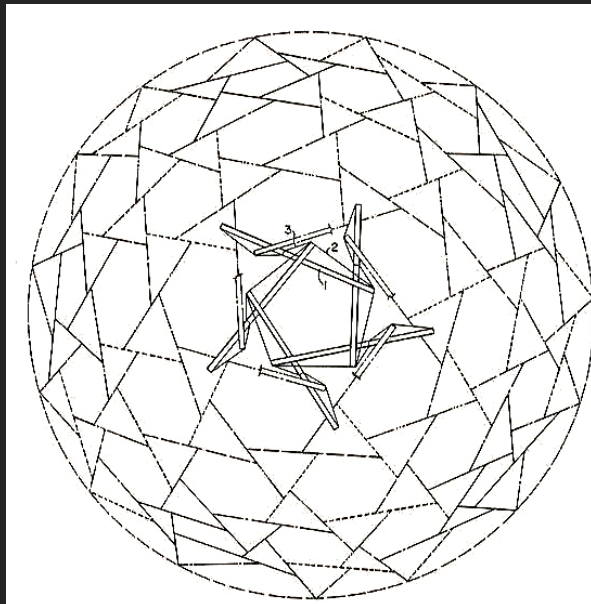
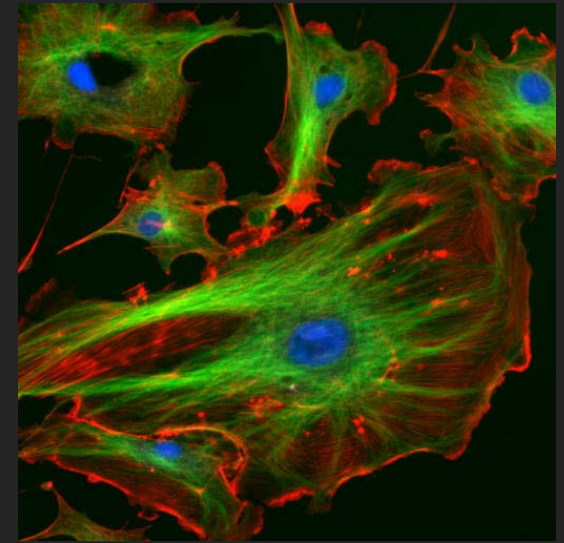
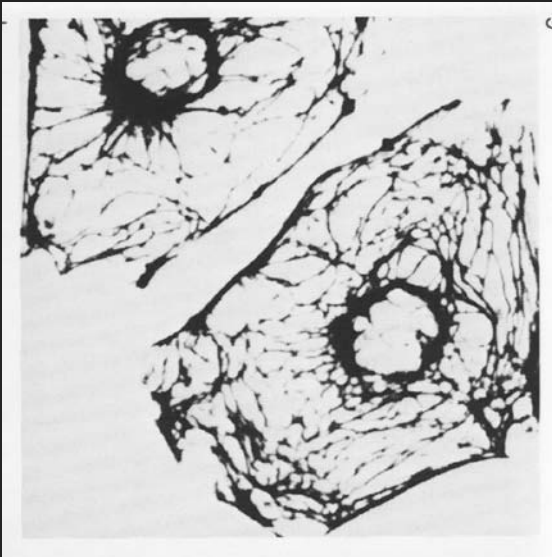
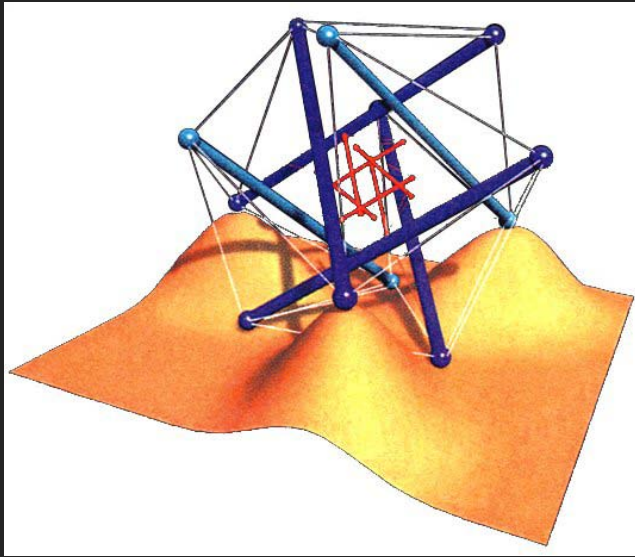


サルの食道



エジプトの山

スケールを越えて成り立つ構造原理



テンセグリティ～細胞と建築をむすぶ骨組み まとめ

安定な骨組みを表すMaxwell公式について学んだ。

概形を保つだけならMaxwell公式に満たない部材数でも力学安定な構造が出来る。→ テンセグリティ

テンセグリティ構造の基本的な性質について学んだ。部材数はMaxwell公式を満たす構造に比べ3分の2になる。

テンセグリティ架構の性質と生物分野での理論との関連について述べた。



ご清聴ありがとうございました。



White Rhino 意匠計画：藤井明研究室

構造計画：川口研究室

バイオに学ぶ

The Way Technological Minds Explore Biomechanisms

バイオを超える

工学からバイオへのアプローチ

渡辺 正 編著 | 東京大学生産技術研究所「工学とバイオ」研究グループ



生き物の精妙この上ない
「つくり」と「わざ」は35億年かけてできた。

生命の仕組みを解き明かし、産業や暮らしに役立て、
さらには生体をまねた「ものづくり」を目指す。

「バイオに学び、バイオを超えたい」と願う東京大学生産技術研究所
「工学とバイオ」研究グループの仕事を紹介。

日本評論社

参考図書：日本評論社
東大 生産技術研究所
「工学とバイオ研究グループ」