

科学技術の発展は、人間の集合知の蓄積であると同時に、個人の認知における身体性拡張の歴史であった。

自動車は人間の速度をあげ、時間と空間の価値観は刷新された。個人の身体スペックは科学技術によって成長し、それに伴い人間の知覚も変化してきた。

建築はシーンを切り取るフレームであった。世界を観る窓口の一つであった。建築は今まで、我々個人の知覚を更新し続けてきただろう。しかし建築は未だ、我々の手足ではない。

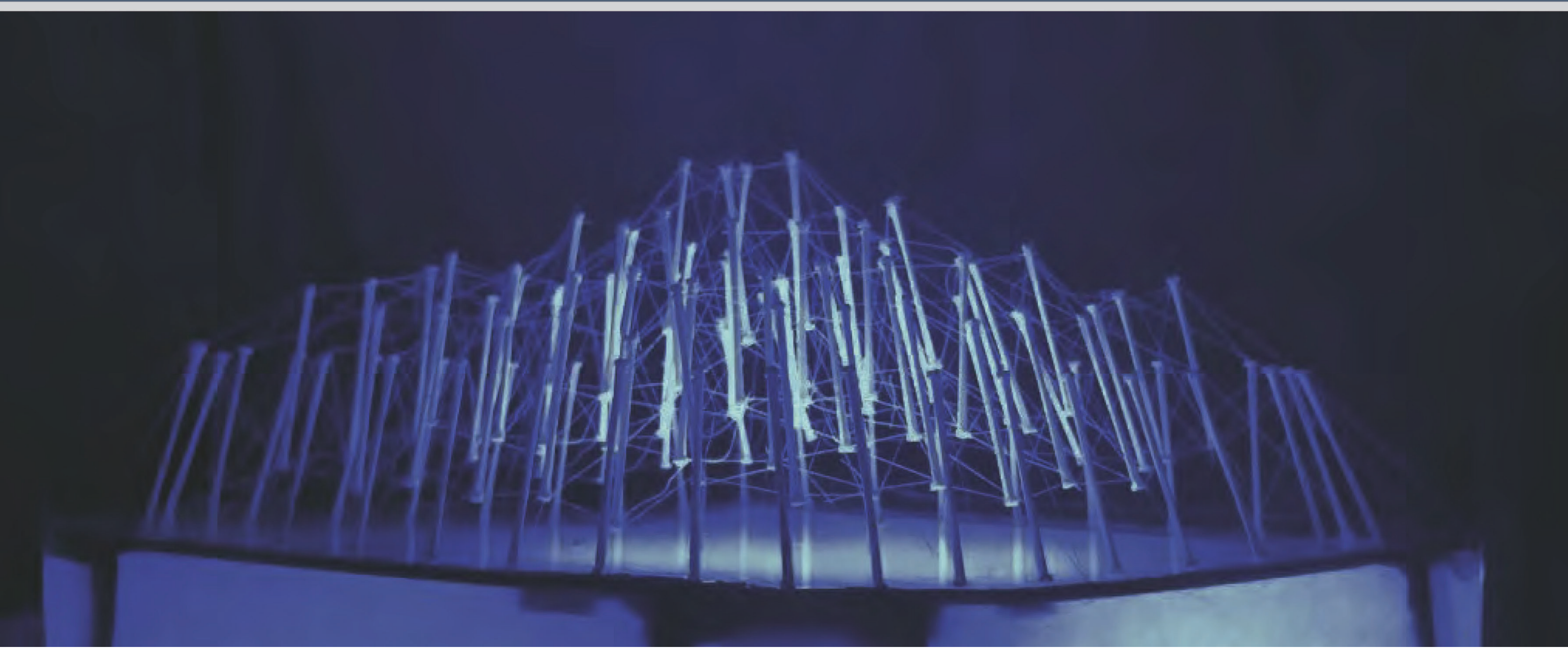
いつか誰しもが魔法使いになって、念じるだけで建築が動くような、そんな神話的な世界への、朴訥とした憧憬がある。可能性の未来を掴み取るための小さな一歩目として、この建築を提案する。

a little myth

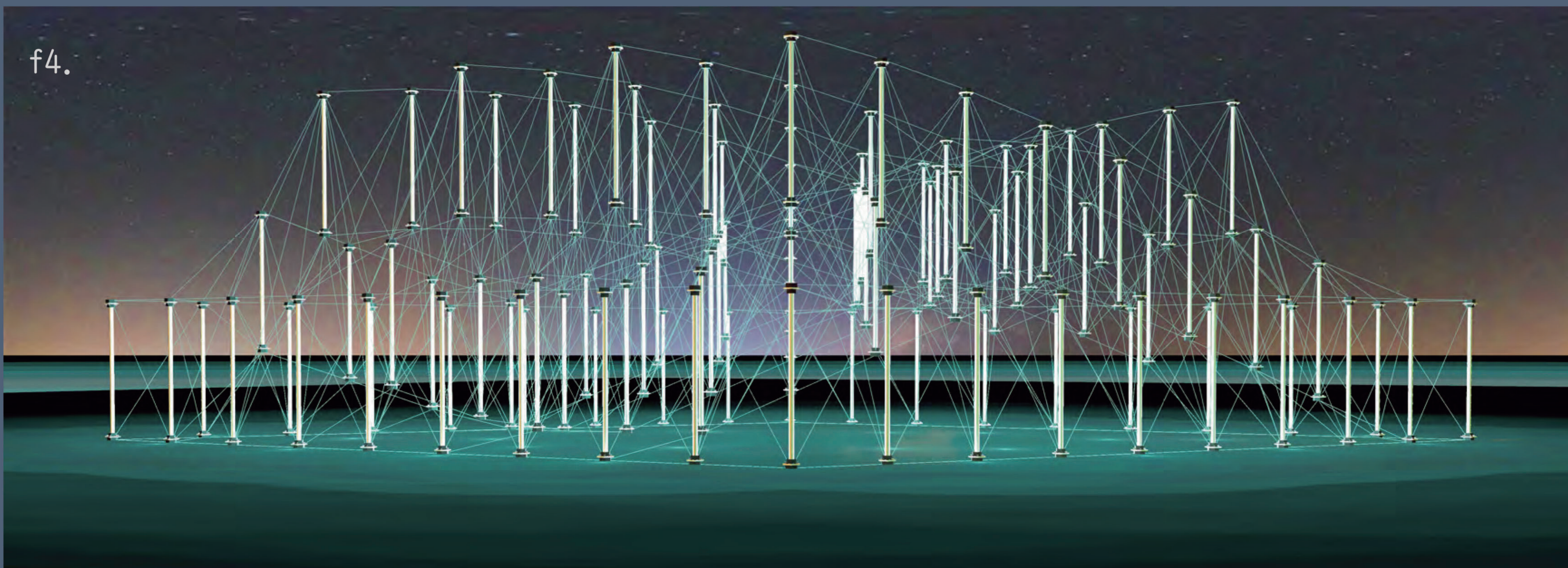


建築の新たな未来像の第一歩として、テンセグリティ構造体が稼働する建築を提案する。

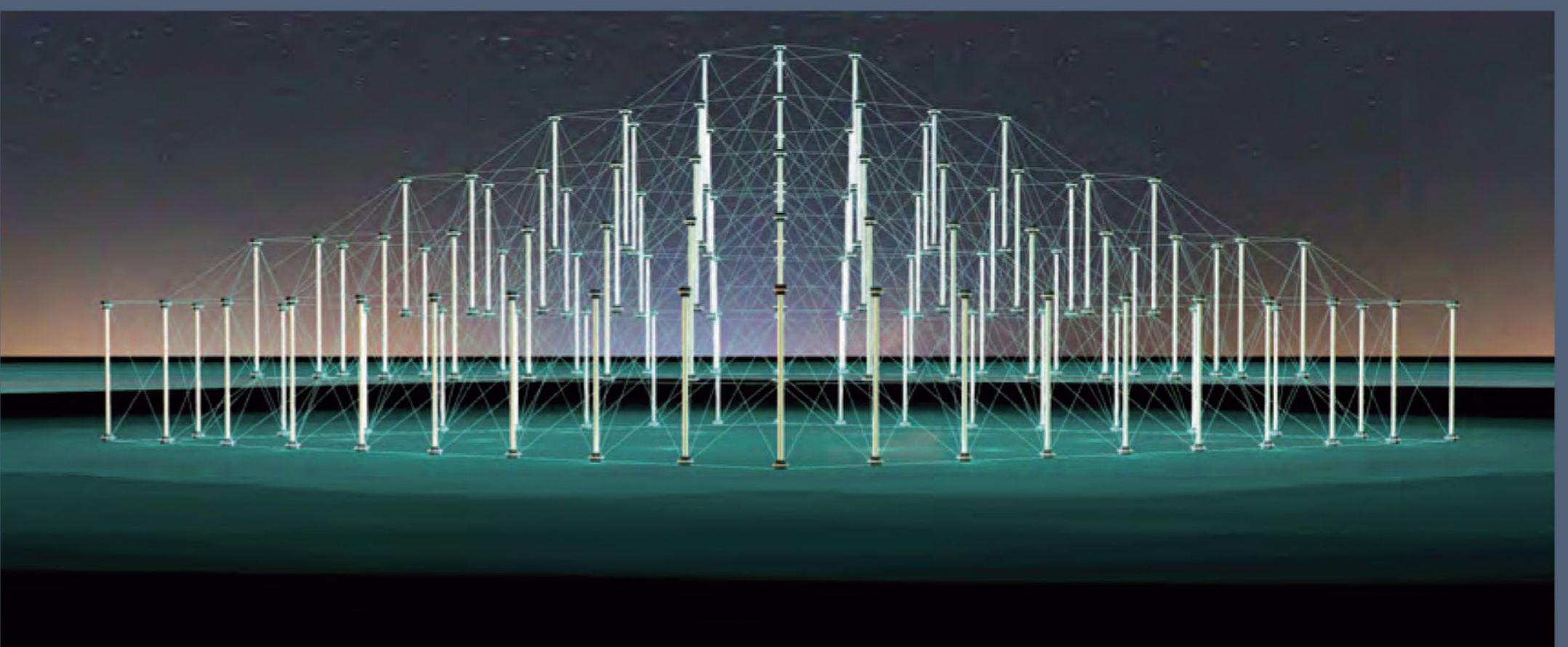
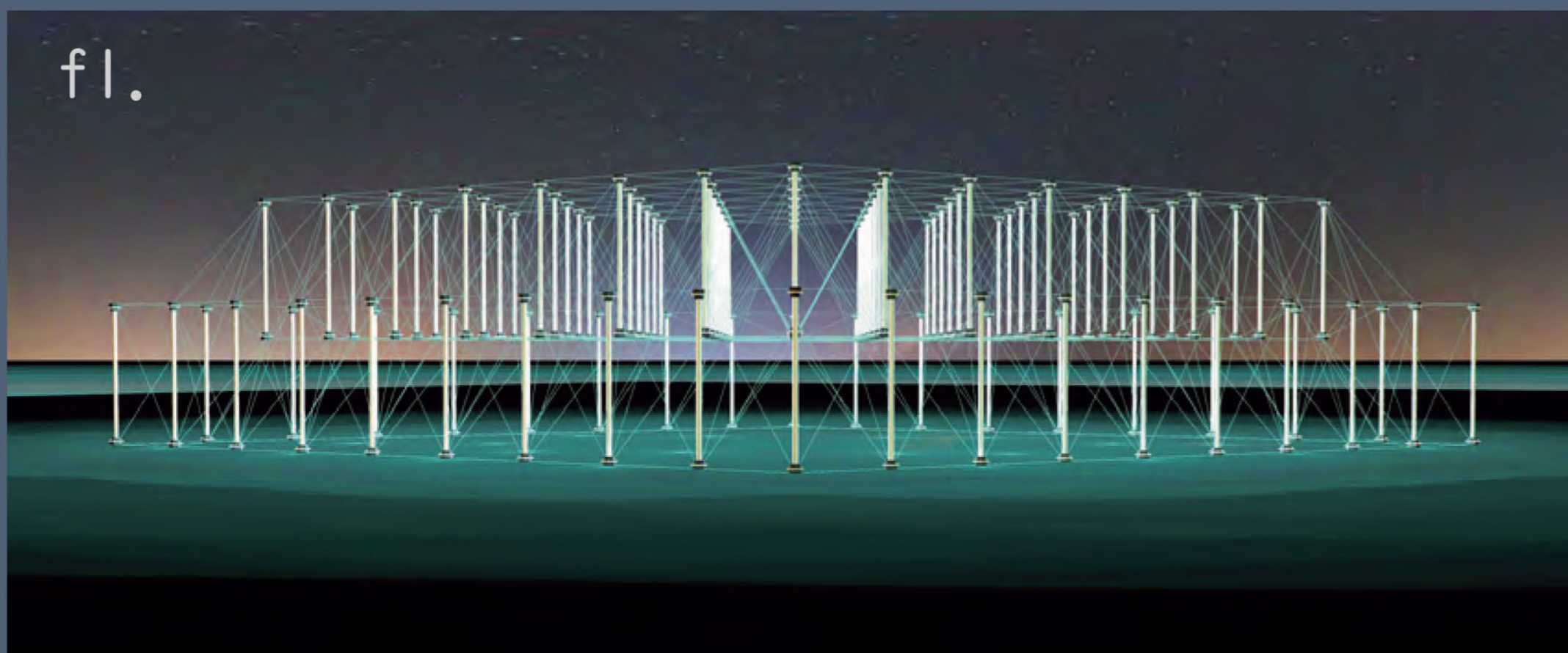
テンセグリティを構成する棒材に引張材の巻き上げ装置を取り付け、各棒材が鉛直な上下移動を行う。相互作用によって建築そのものが変形し、今までにない空間体験が生まれる。



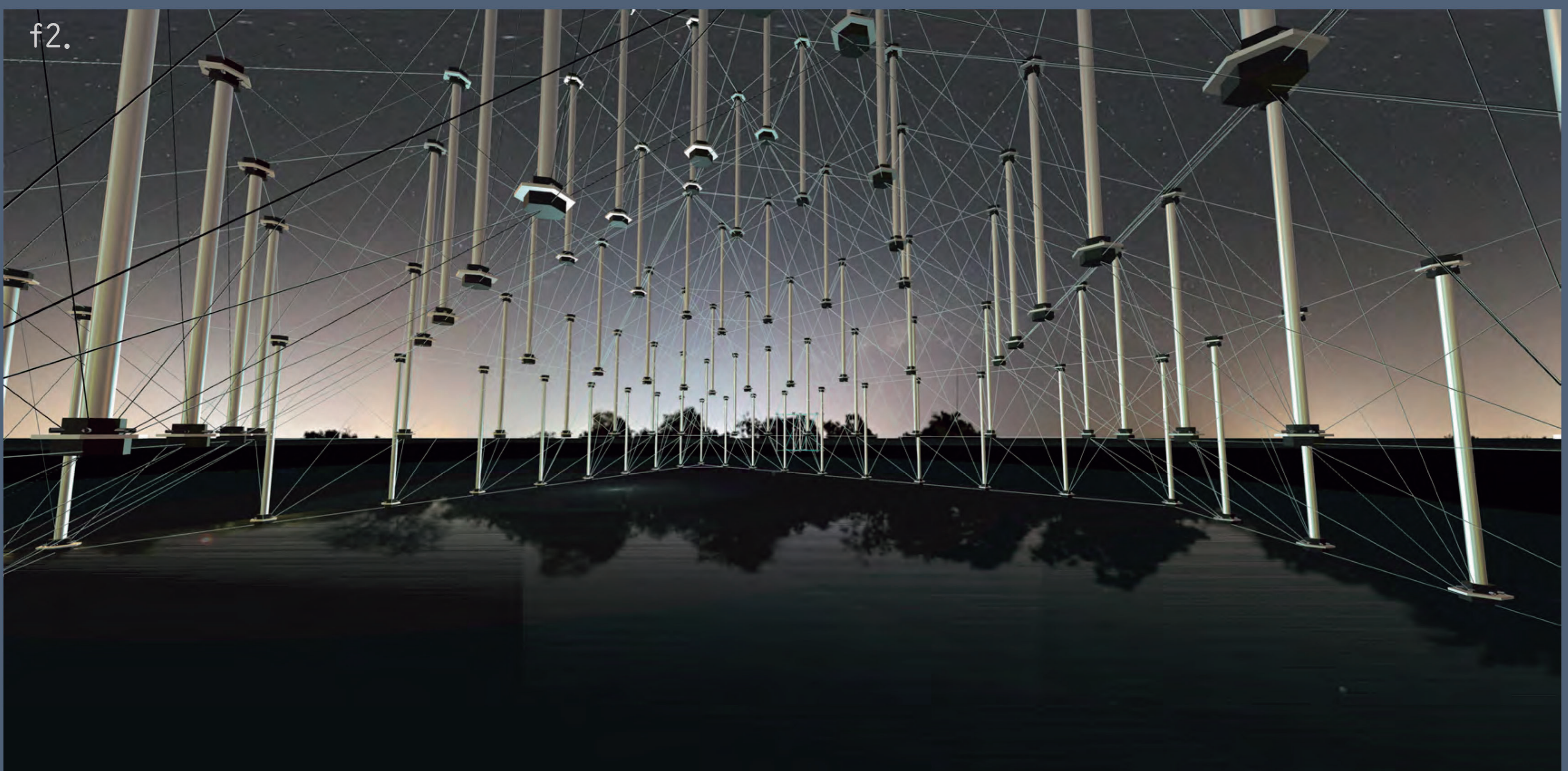
f4.



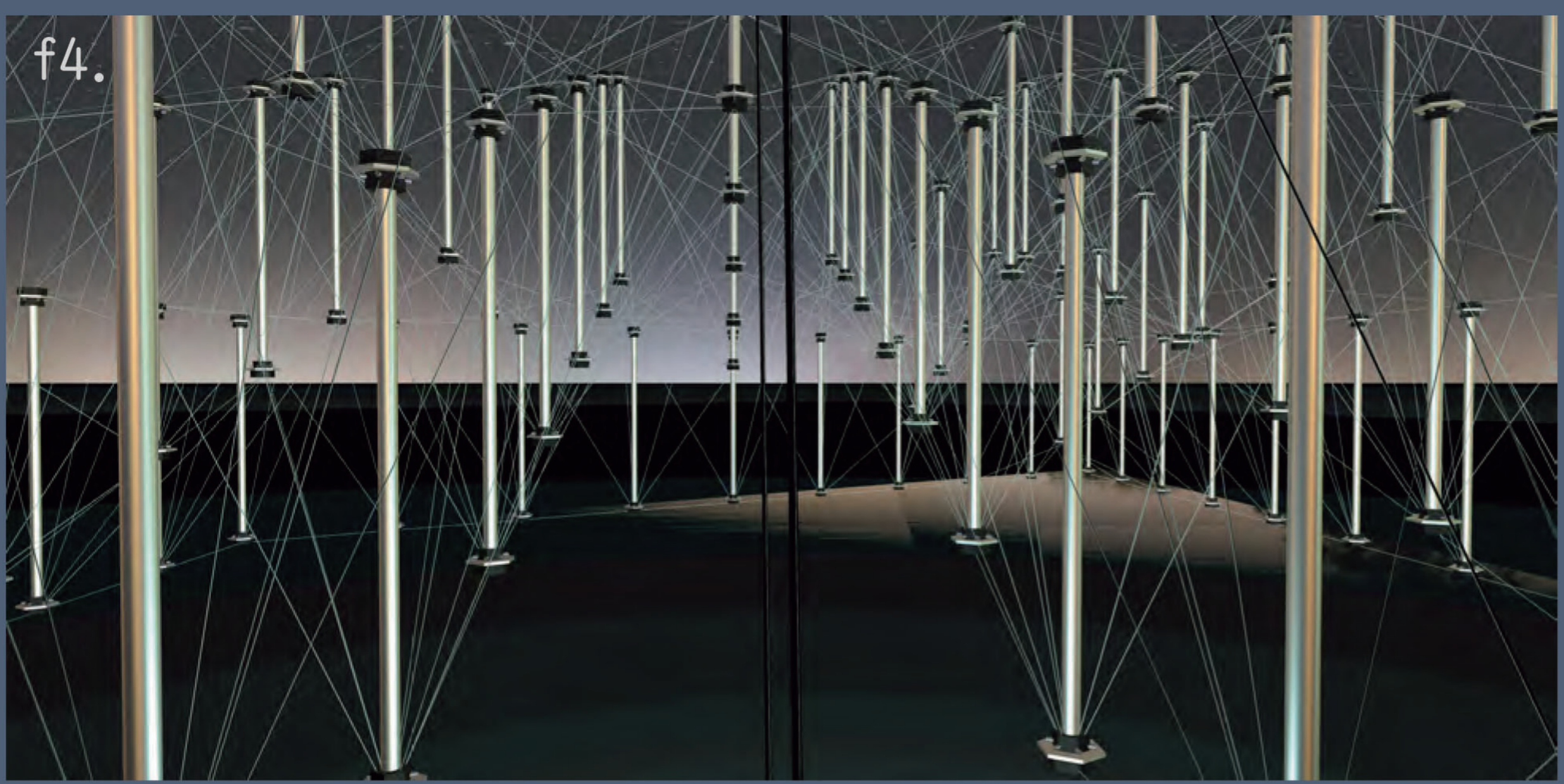
f1.



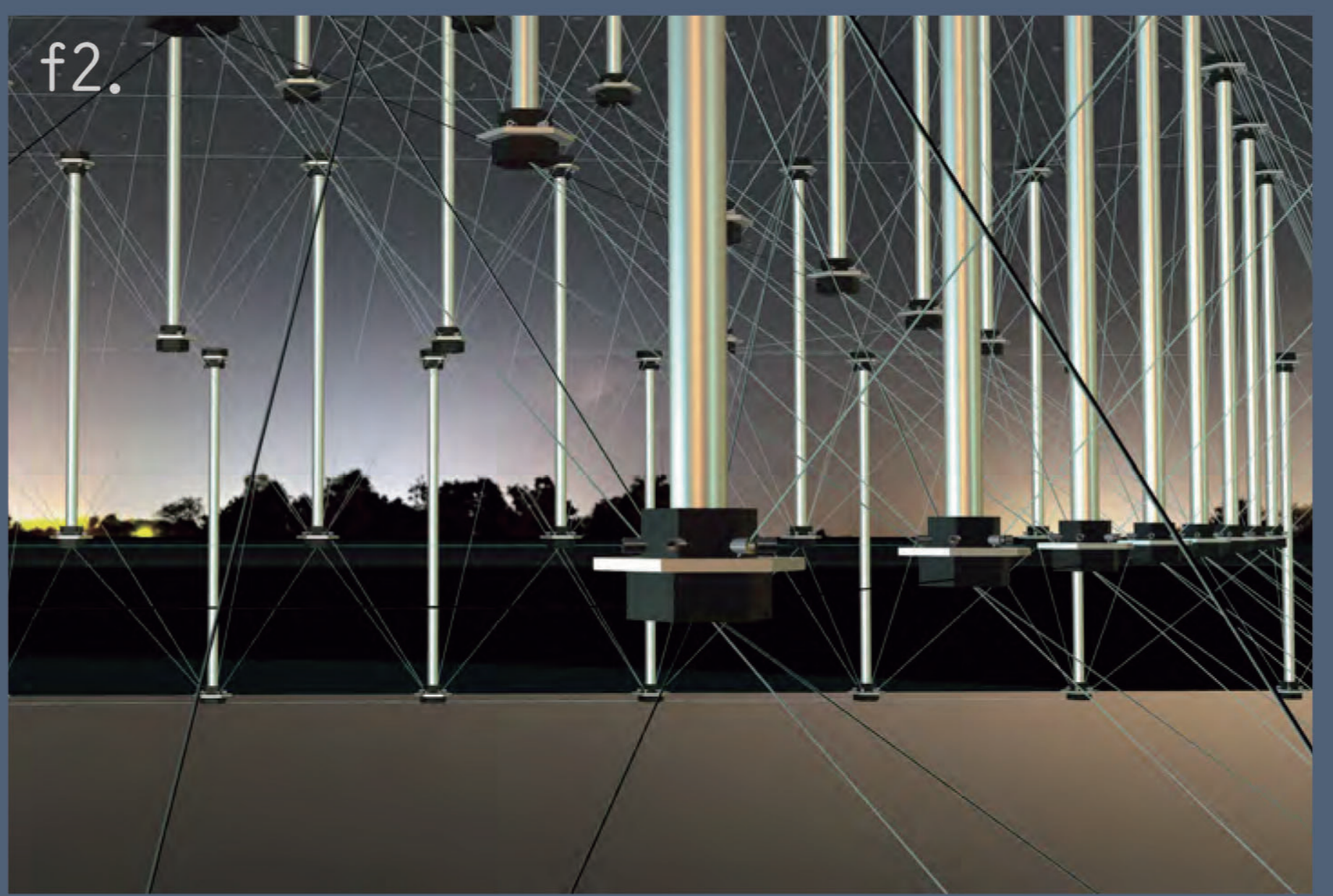
f2.



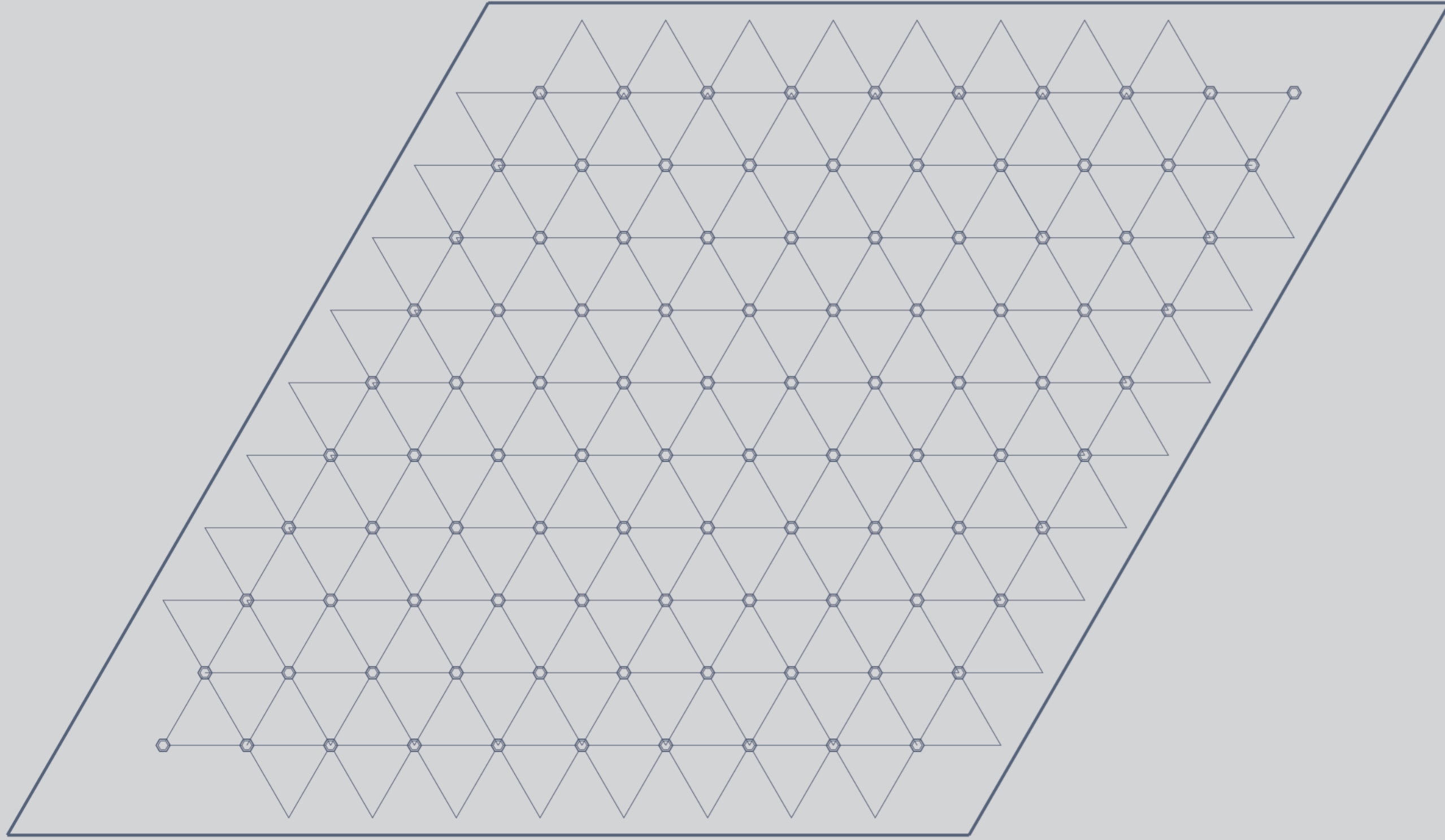
f4.



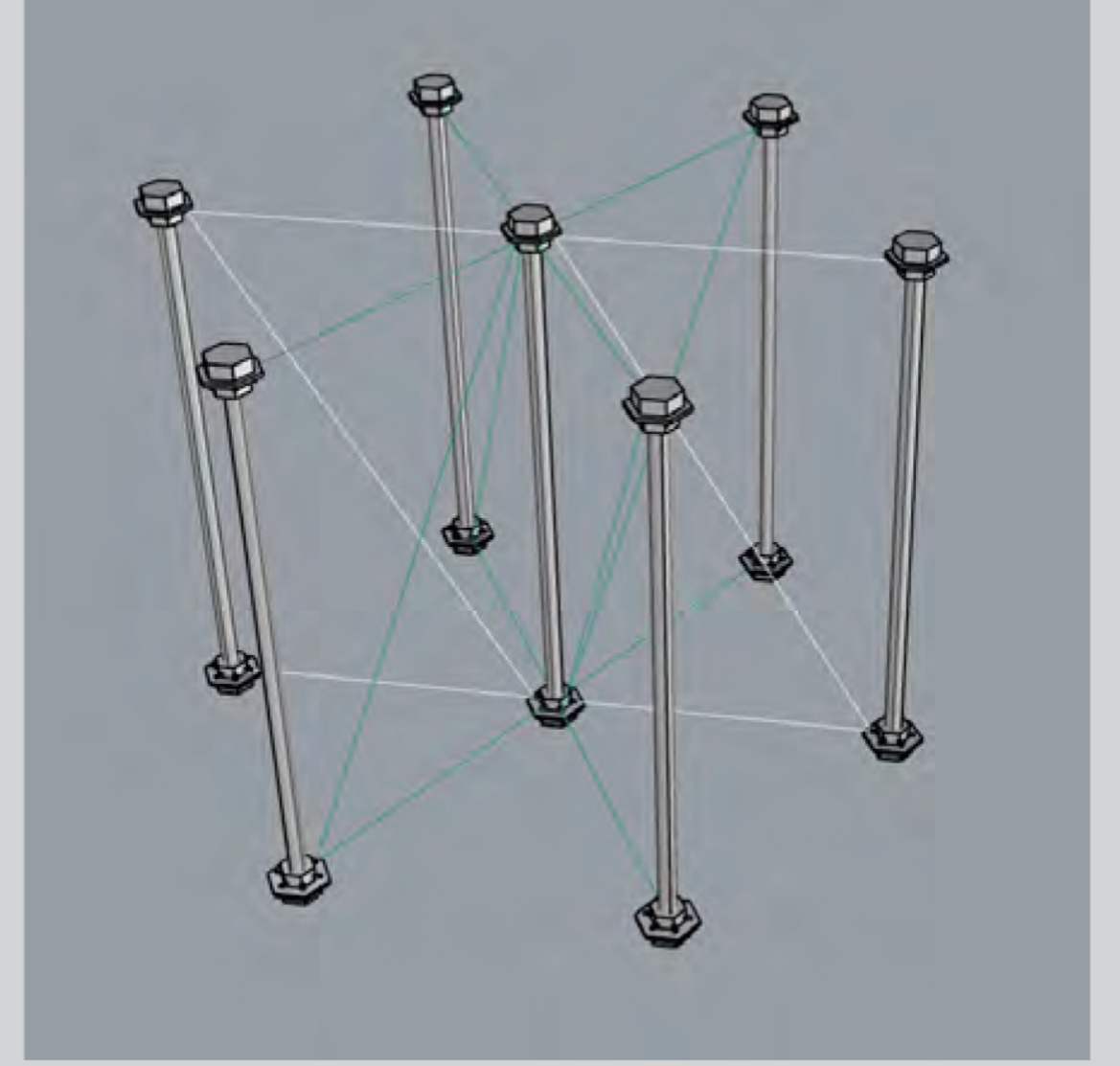
f2.



PLAM $S=1/300$



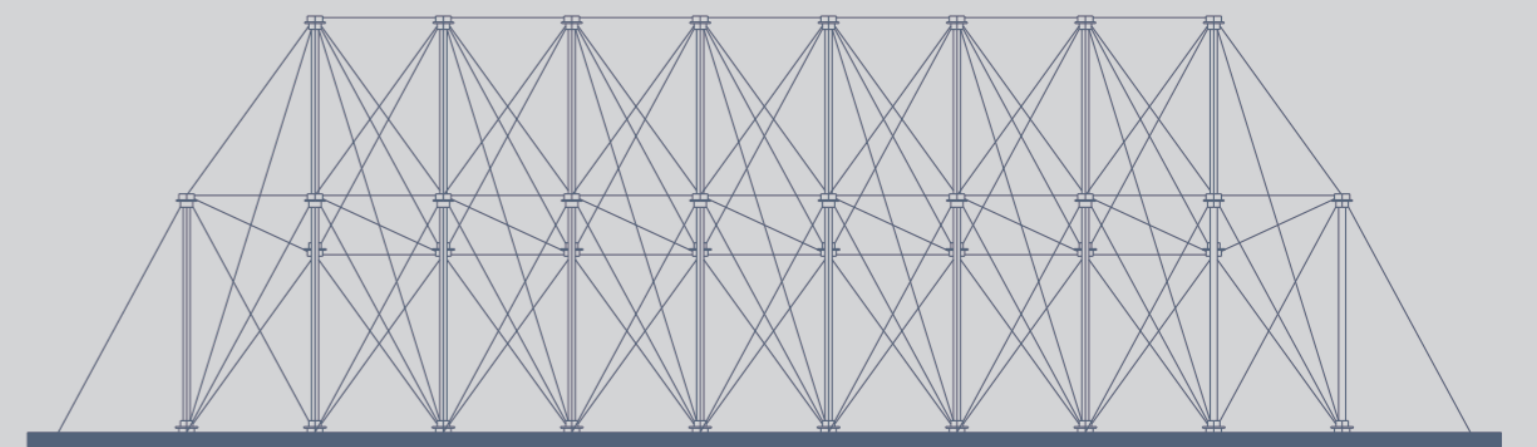
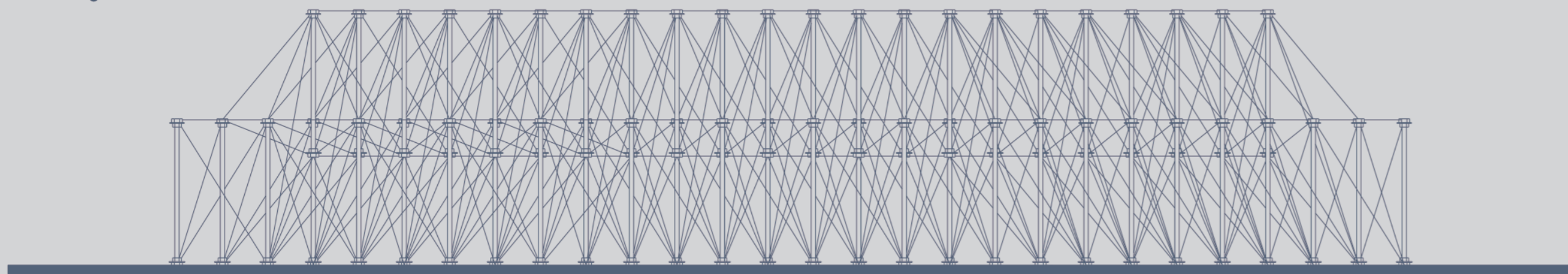
1 ユニット拡大



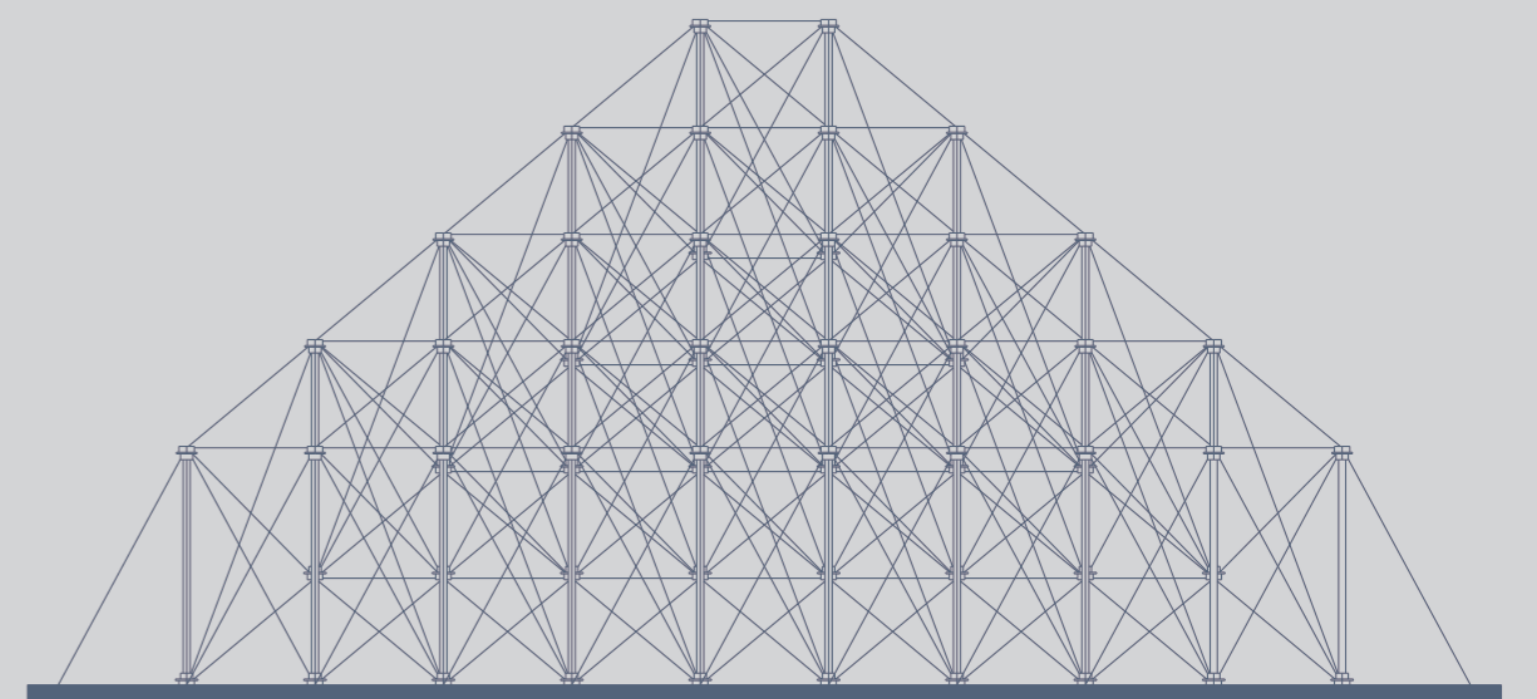
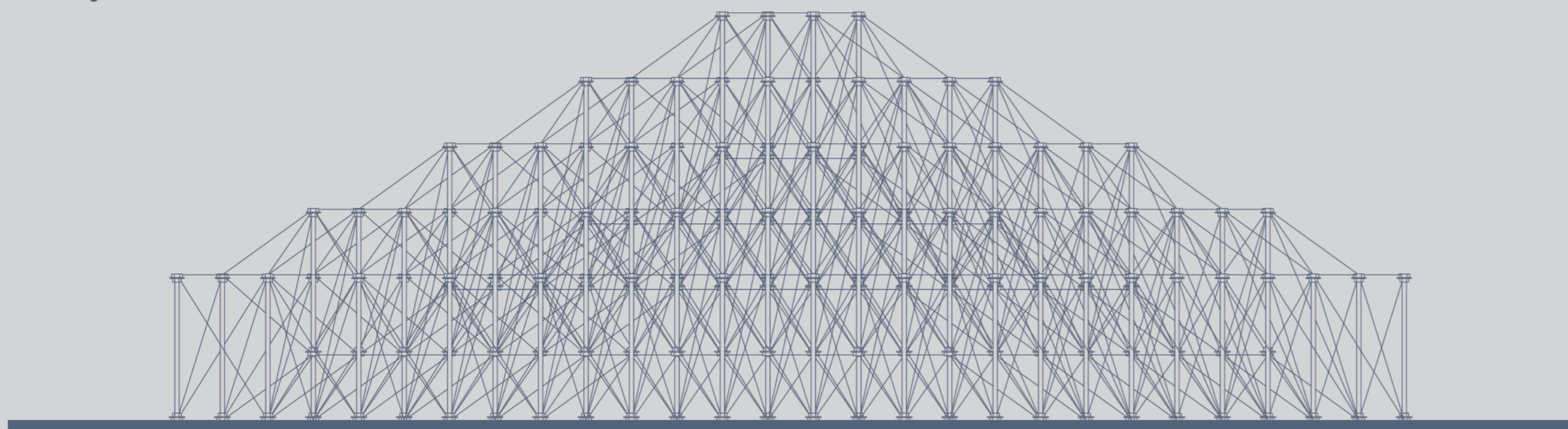
z 字の引張材を 3 列の方向に交差させている。
棒が上下移動しても、引張材が繋ぐユニットの
上端と下端の位置関係が壊れない限り、安定性
が保たれる。

ELEVATION $S=1/300$

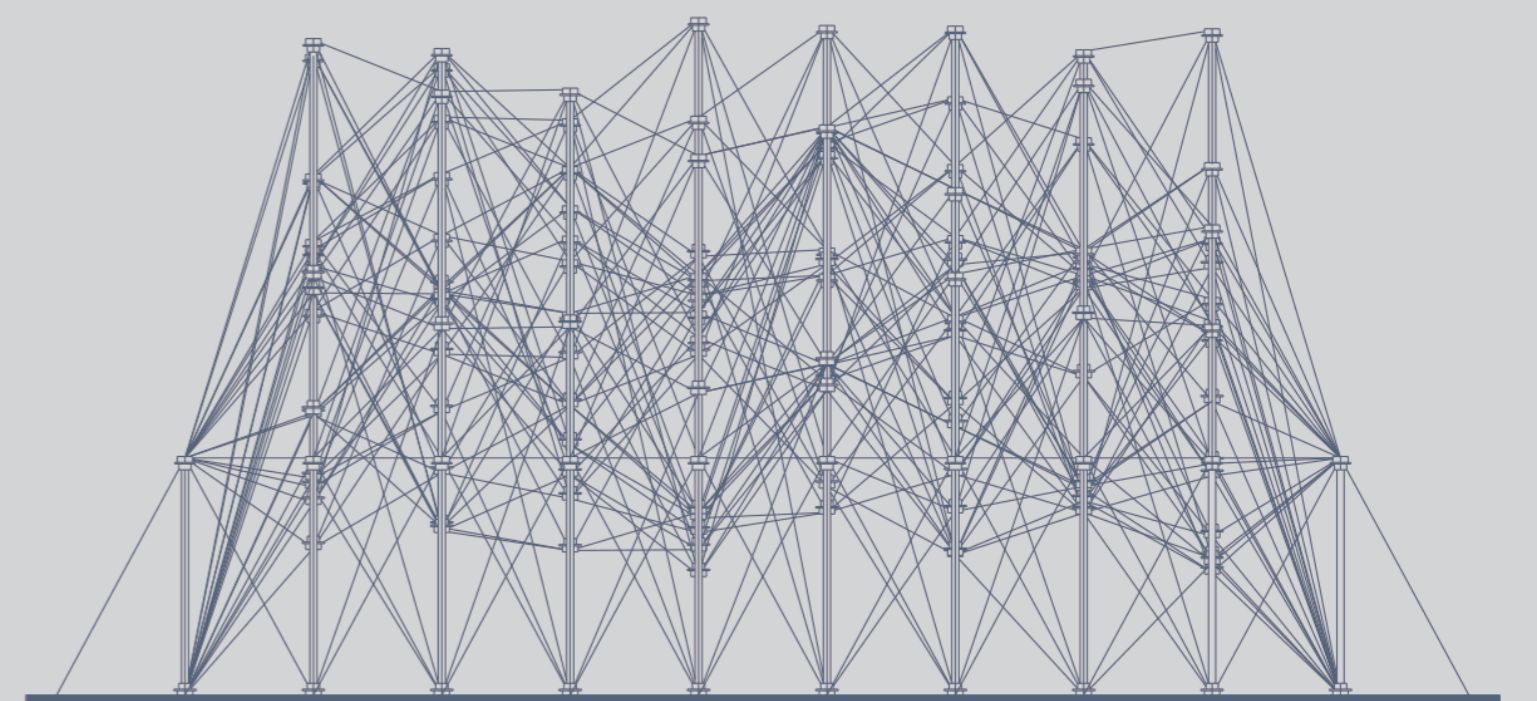
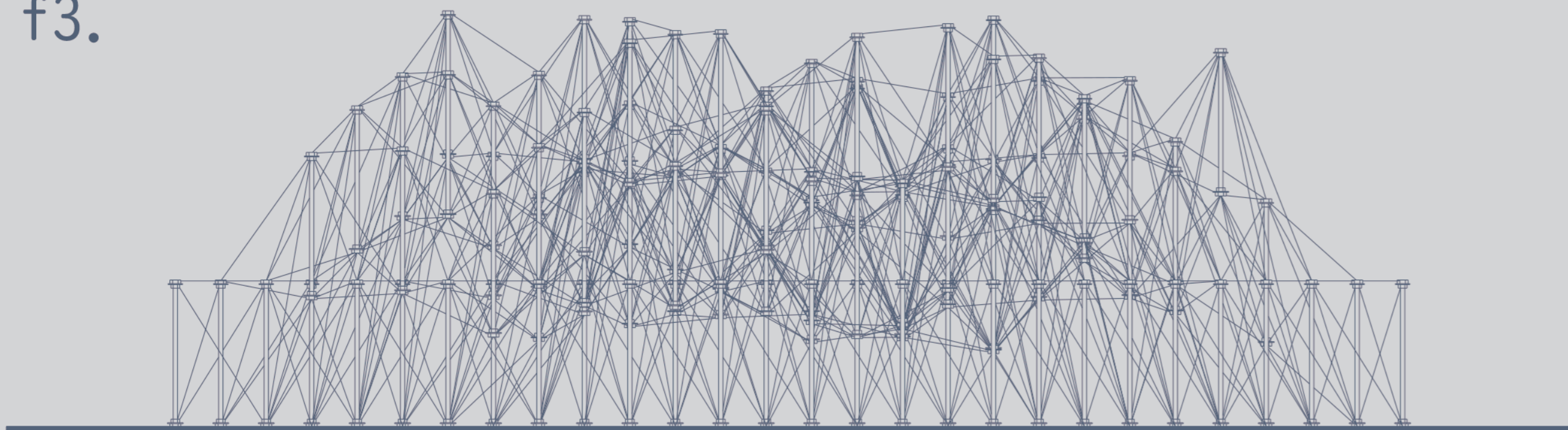
f1.



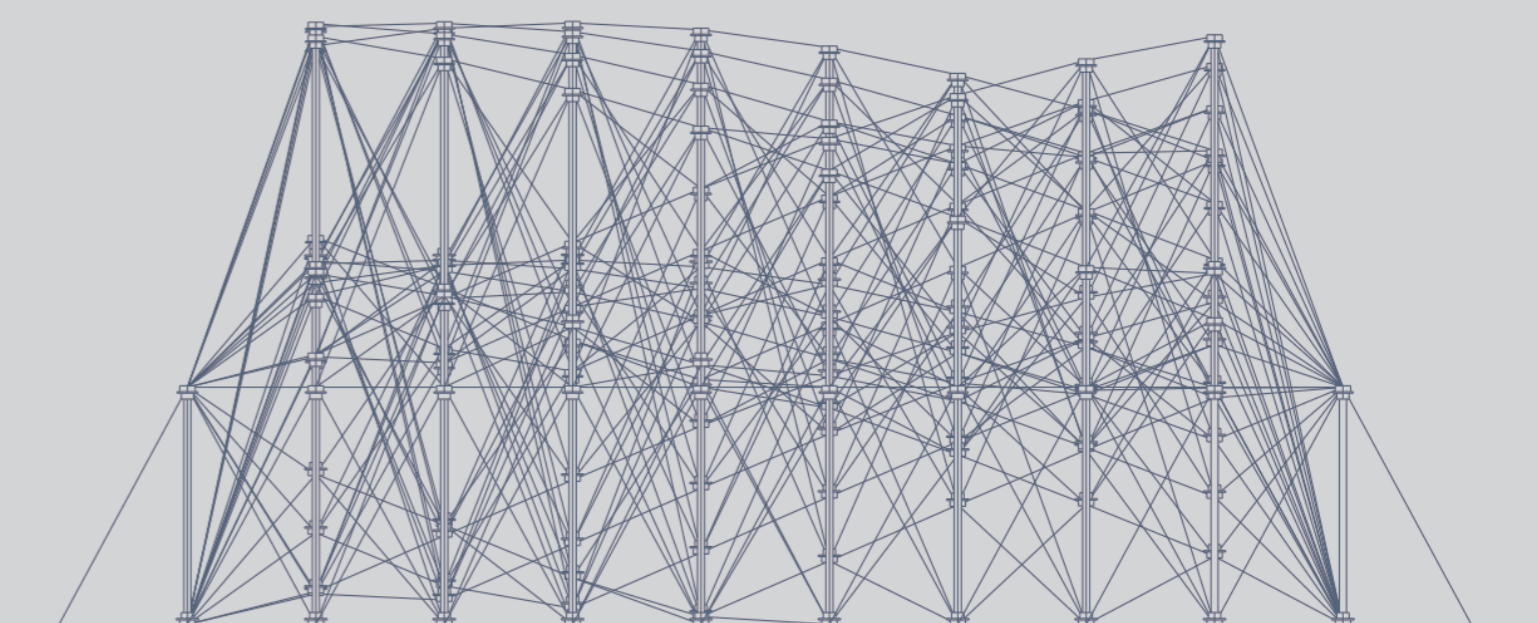
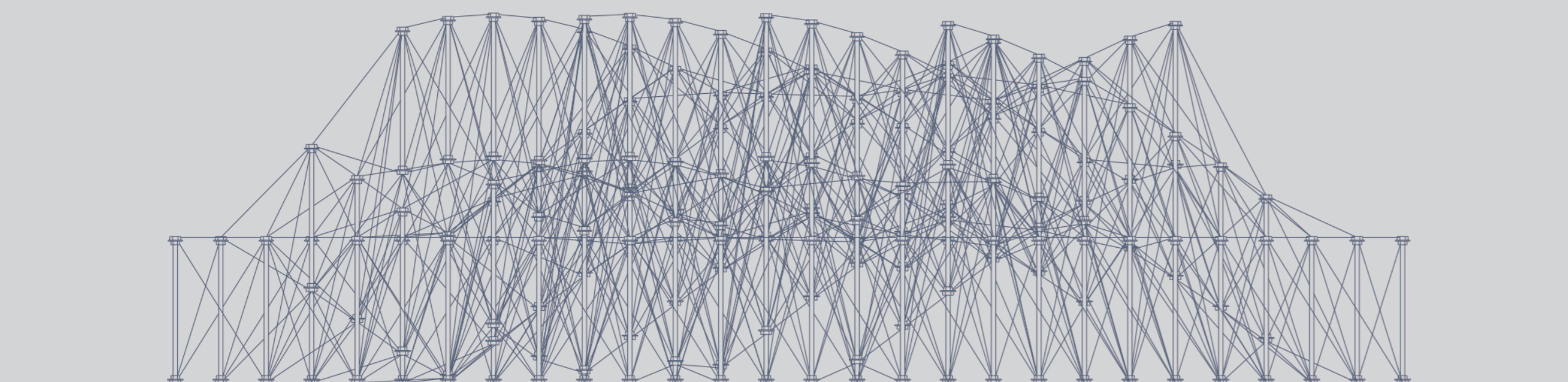
f2.



f3.



f4.



この建築は、時間経過によって変化する。

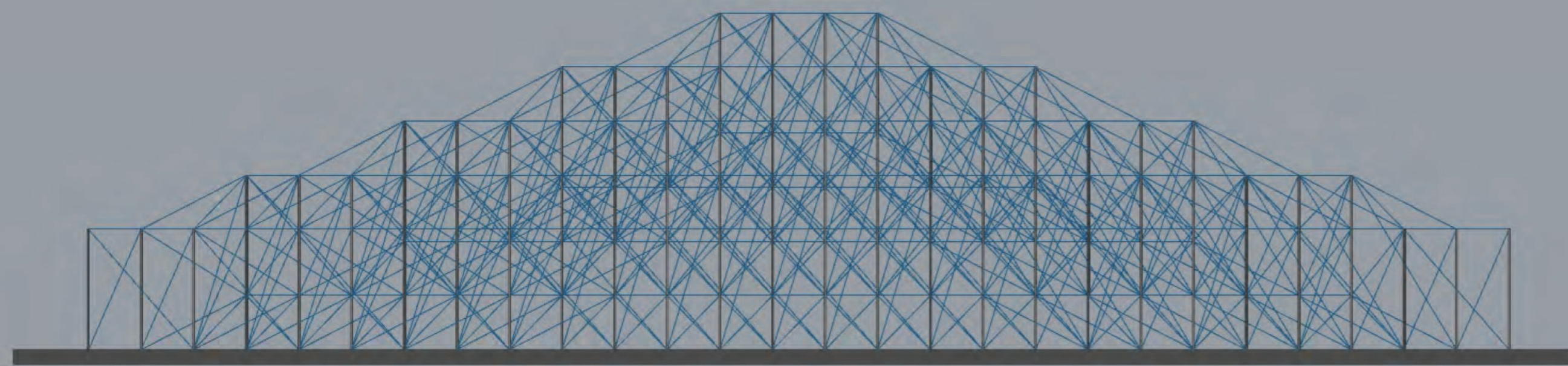
Kangaroo2 による簡易シミュレーション

Rhino Grasshopper 上の物理演算プラグイン Kangaroo2 を用いて簡易的なシミュレーションを行った。引張材として炭素鋼ワイヤーロープを仮定し、ヤング率は $EW=78500$ (N/mm²) とした。

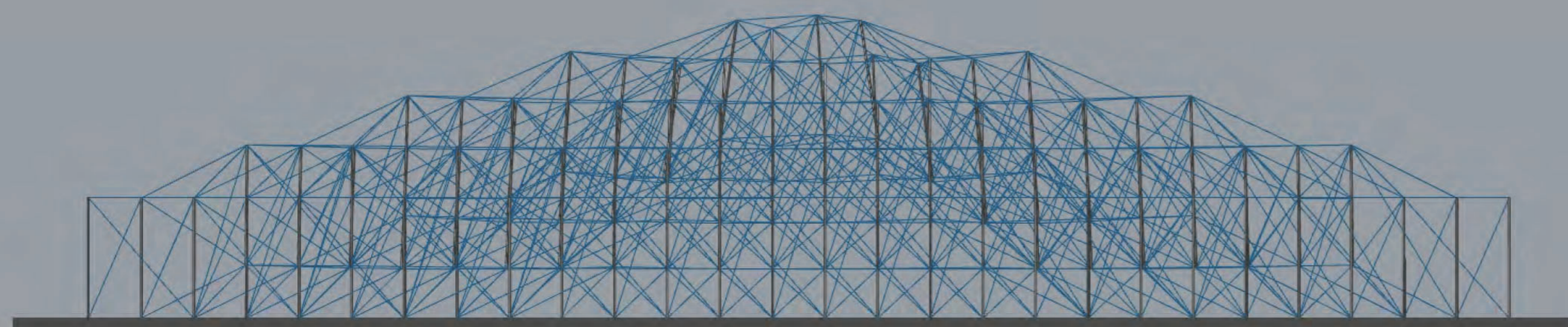
また、巻き上げ装置の自重を含む圧縮材1本あたりの重量として、エレベーターのモーター重量を参考に 800kg と設定した。しかし、稼働するテンセグリティ構造においては、モーターの最大軸荷重の最小化が課題となると考察する。そのため実際には、これほど強い荷重がかかると巻き上げ装置のキャパシティを超過すると予想される。

この簡易シミュレーションは、構造の挙動の理解を深めるために行った。

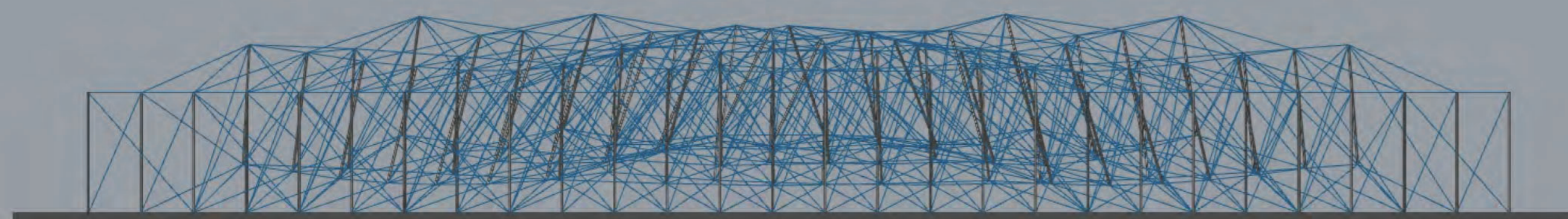
a1. 初期状態 (荷重 0)



a2. ワイヤー径 $\Phi=50$



a3. $\Phi=10$



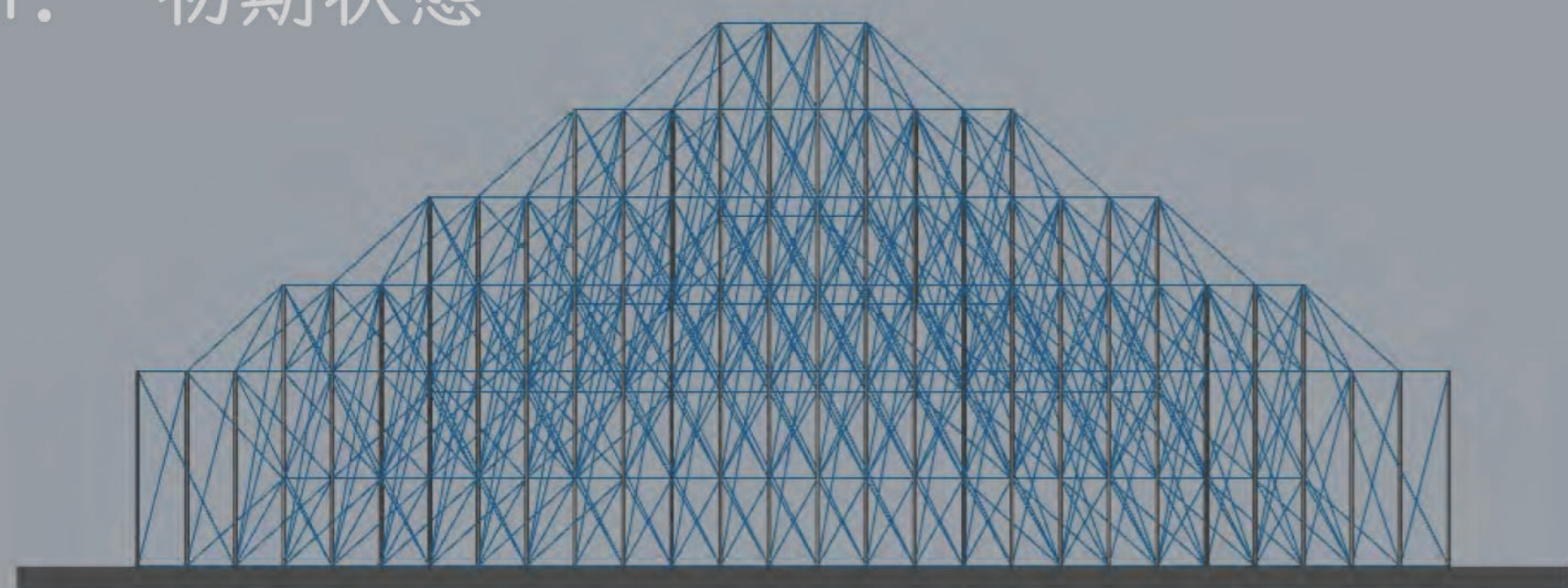
a1-3 において、圧縮材の全長を 2400mm、圧縮材の間隔を 2100mm とした。ワイヤーの伸びは素線合計断面積に比例するため、いくつかの値でシミュレーションを行った。

ワイヤーが z 軸負方向に伸びることで、z 軸方向の主たる支持材が回転し、中心方向に沈み込むように変形している。この変形の様子は、爪楊枝と刺繍糸を用いた構造モデルでも確認された。

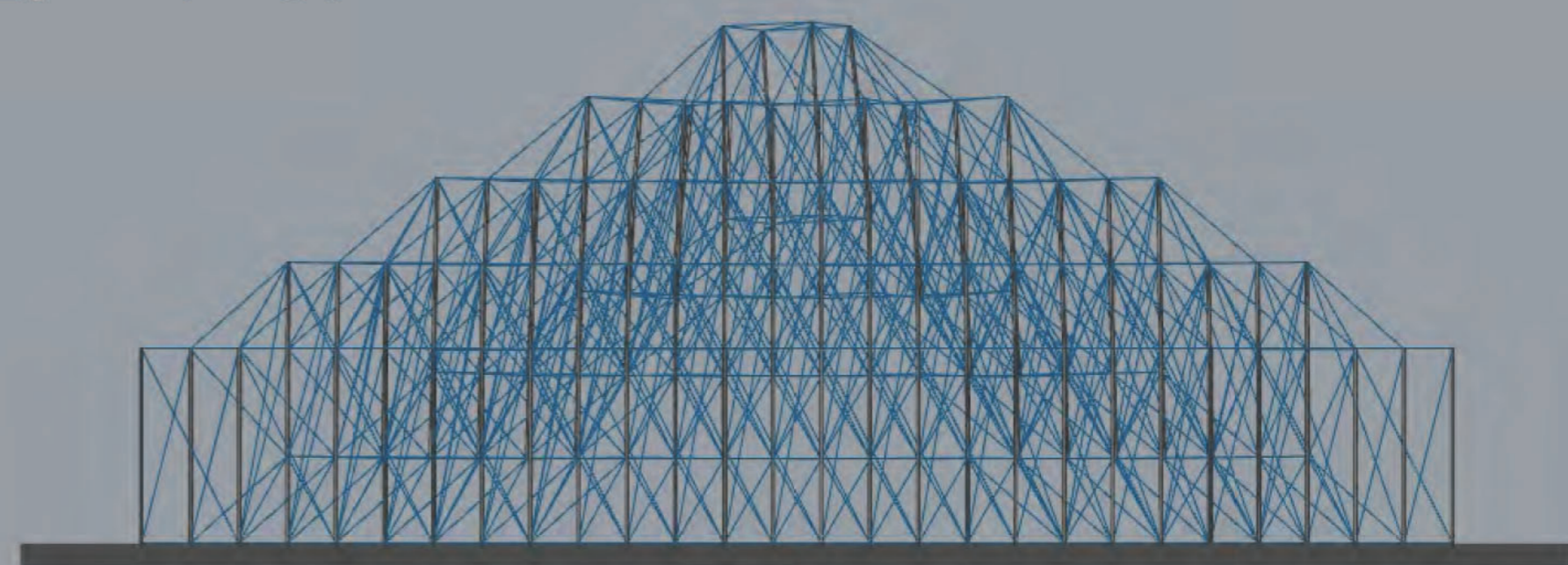
このようなテンセグリティ構造では、引張材が圧縮や回転に対し耐力を発生させないため、小さな変形が積み重なることで線形解析においても大きな変位を生じる。

そのため、引張材の自然長を短く設定し、またモード係数を大きく取るために、圧縮材の間隔を 1200mm まで狭め、b1-3 として再度シミュレーションを行った。

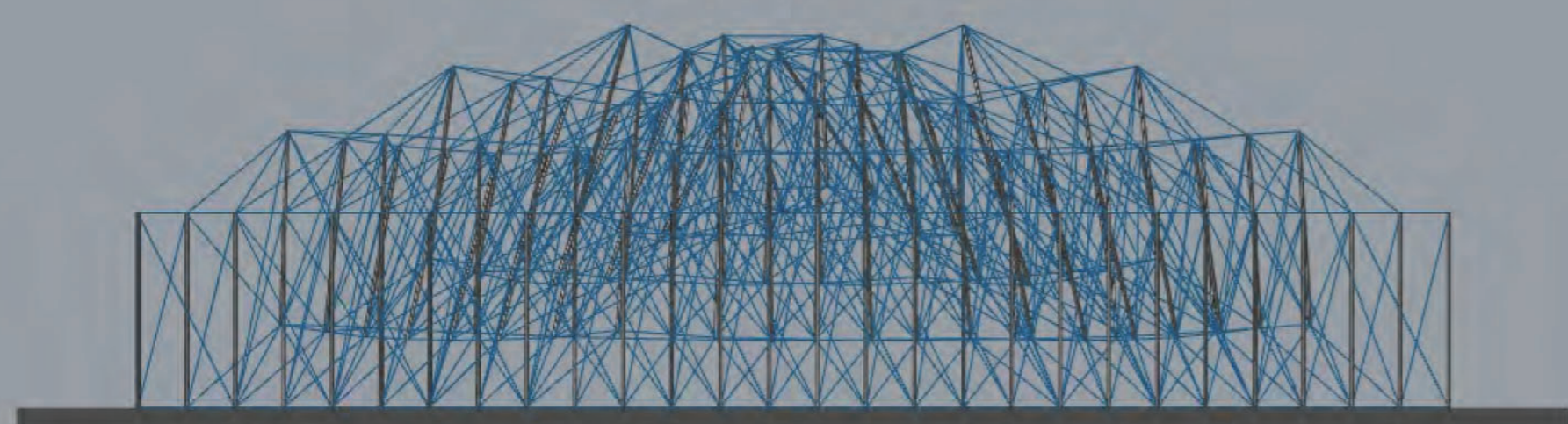
b1. 初期状態



b2. $\Phi=50$



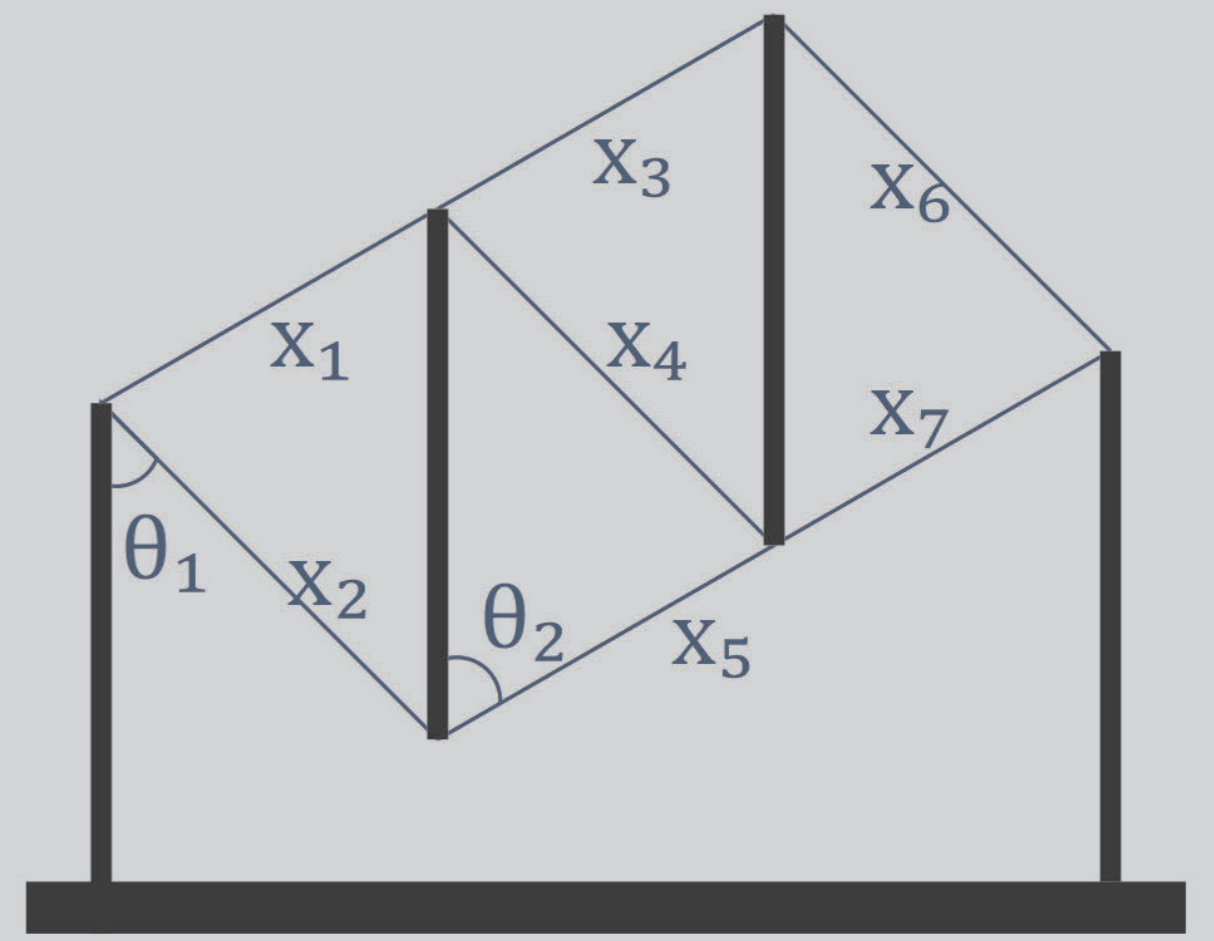
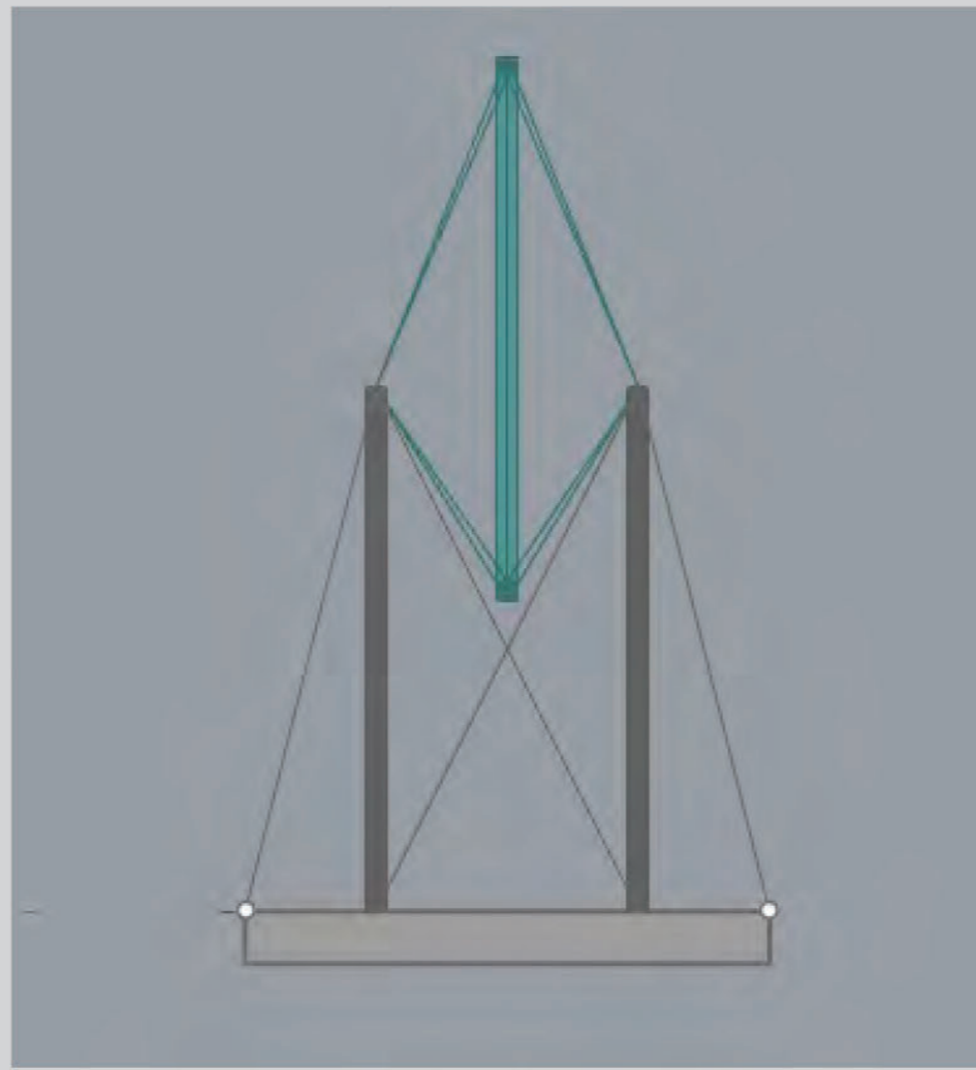
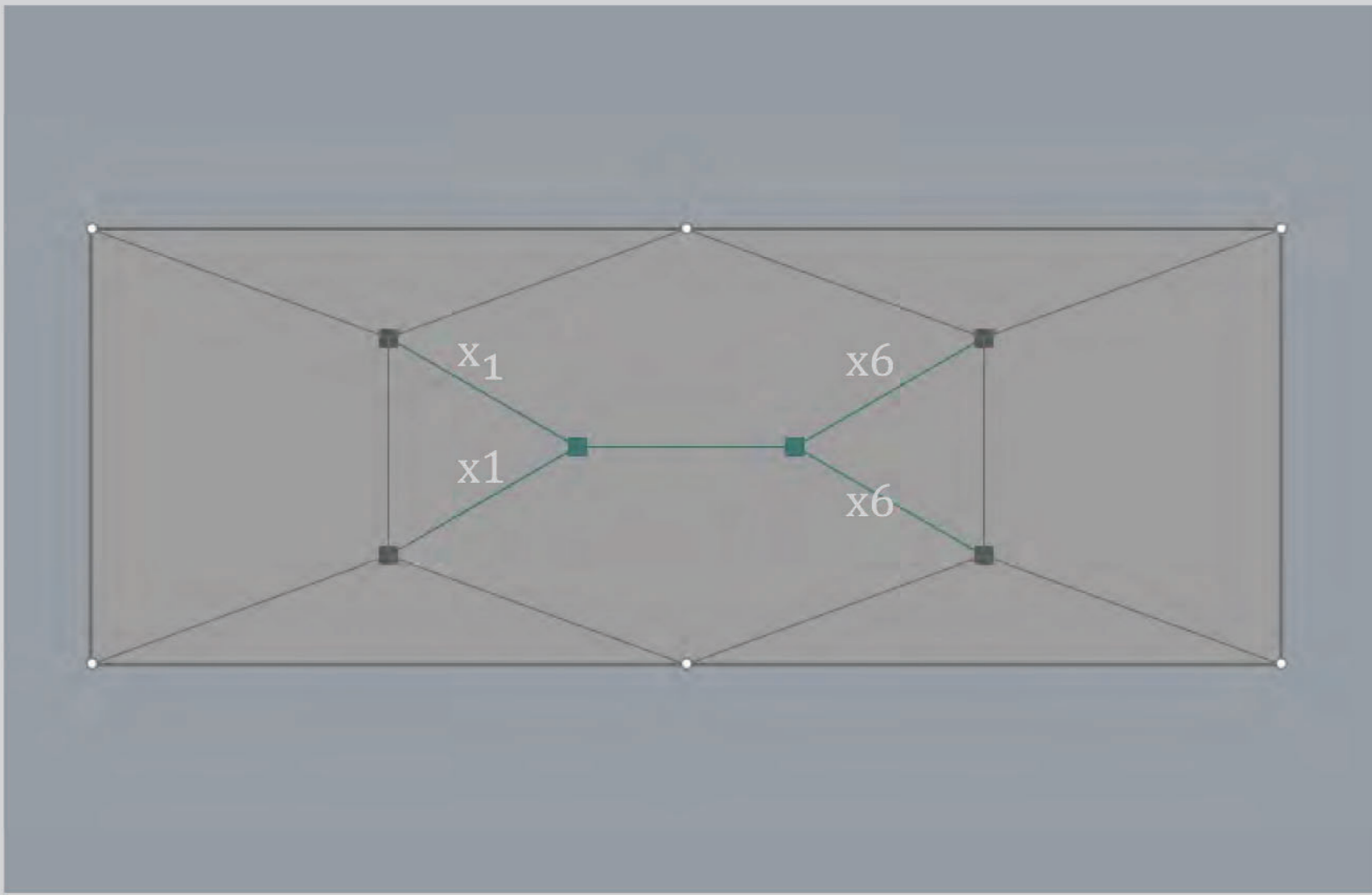
b3. $\Phi=10$



間隔変化による変形の結果の違いを確認できた。

風荷重などを想定し、水平方向の変形も確認したが、自重程度の横向き荷重を加えても大きな変化は生じなかった。それは、下向き荷重を支える引張材に比べ自然長が短く伸びが小さいこと、また張力ベクトルがそのまま水平抗力に反映されるためである。

昇降テスト



2本ユニットでの昇降テストは、上記の構造で行うことにした。配置や引張材の繋ぎ方を変更している。

$\theta_1 = \frac{\pi}{4}, \theta_2 = \frac{\pi}{6}$ として、この状態における力のつり合いを確認する。対称性から4対の張力材を同一視し、その合力において計算を行った。

$$\begin{pmatrix} \sqrt{3} & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{2}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & \frac{-\sqrt{3}}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & -\sqrt{3} & 0 \\ -1 & \sqrt{2} & \frac{1}{2} & \frac{-\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & mg \\ 0 & 0 & \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{-1}{2} & -\sqrt{2} & 1 & mg \end{pmatrix}$$

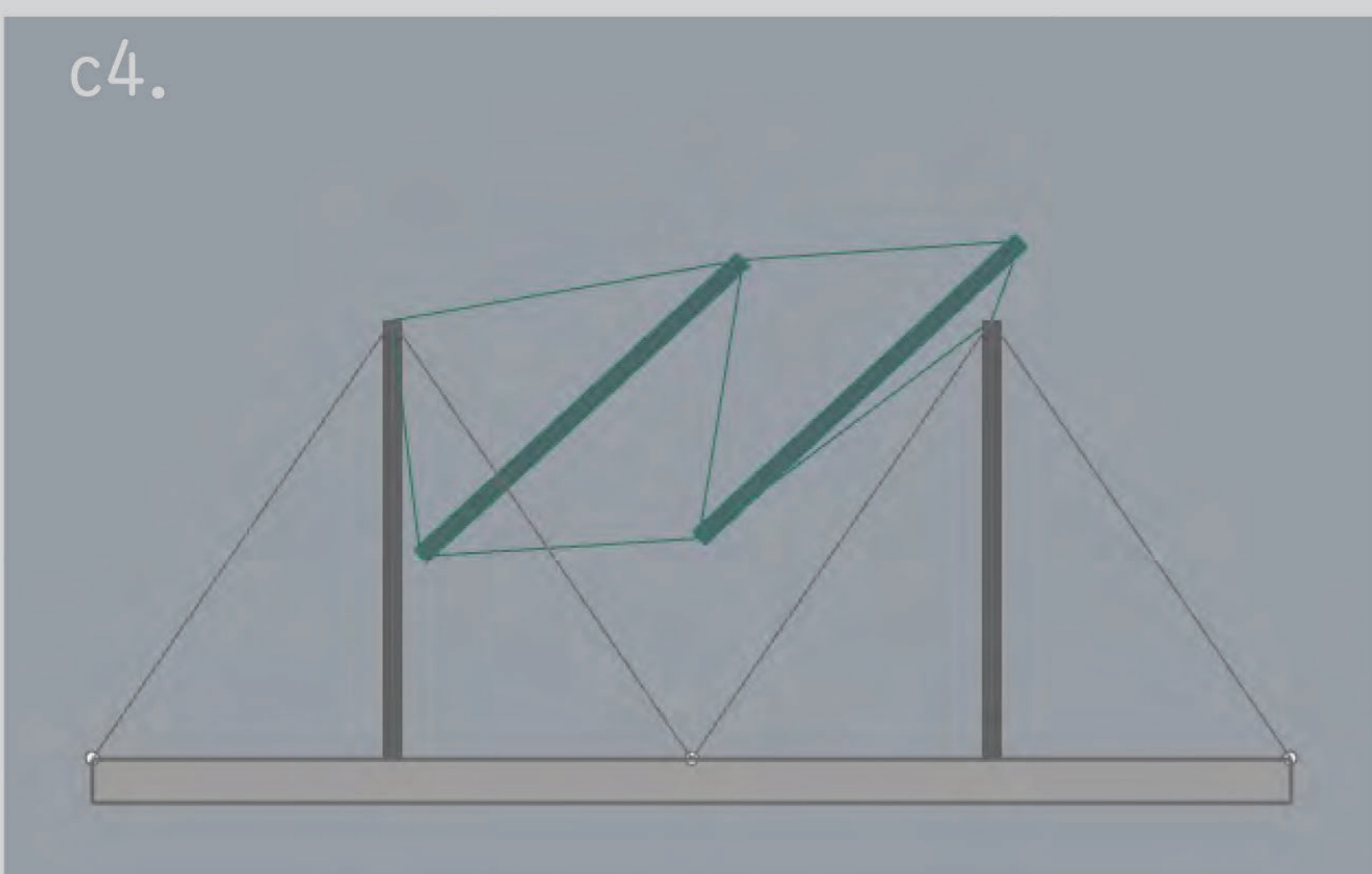
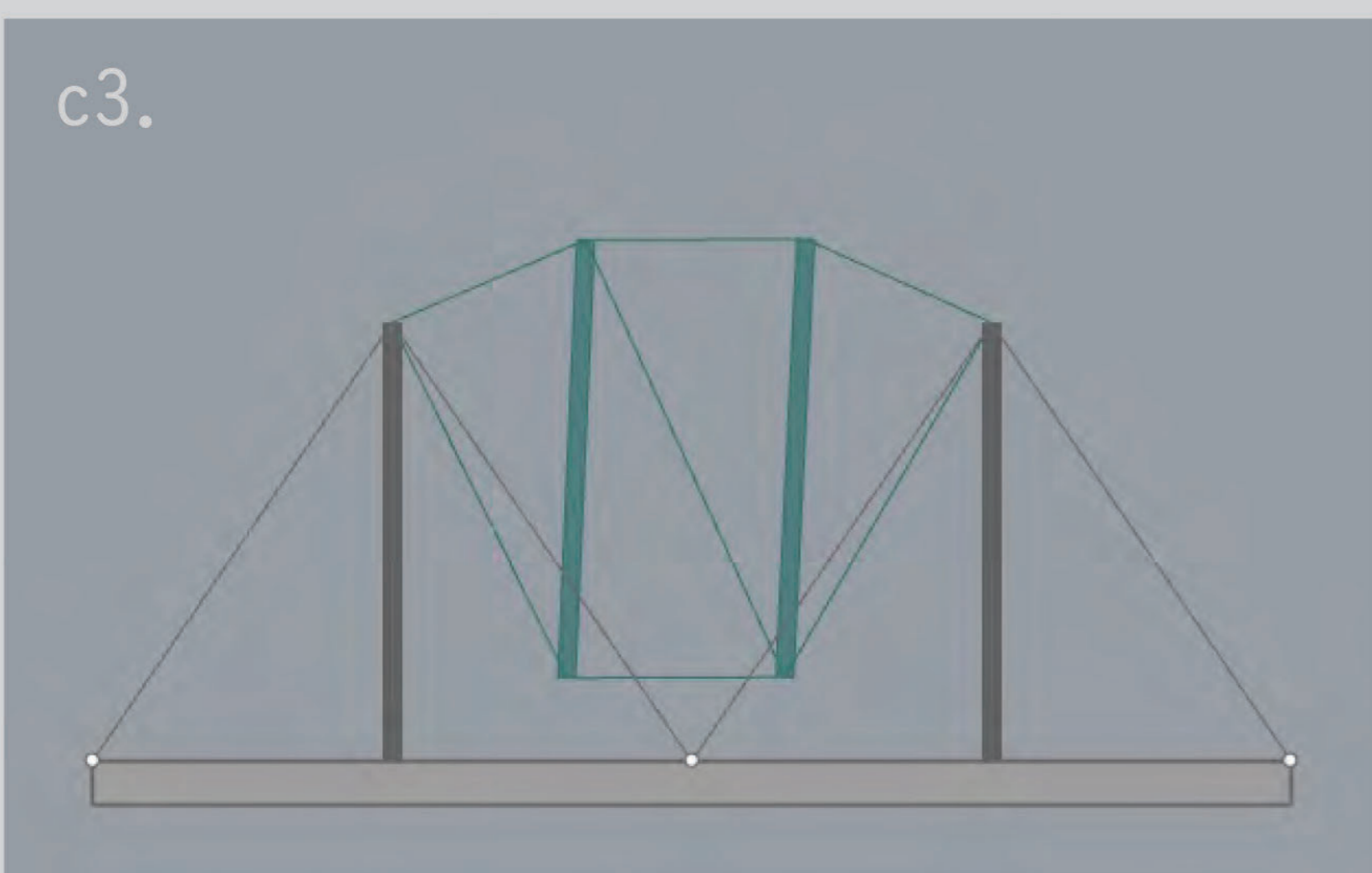
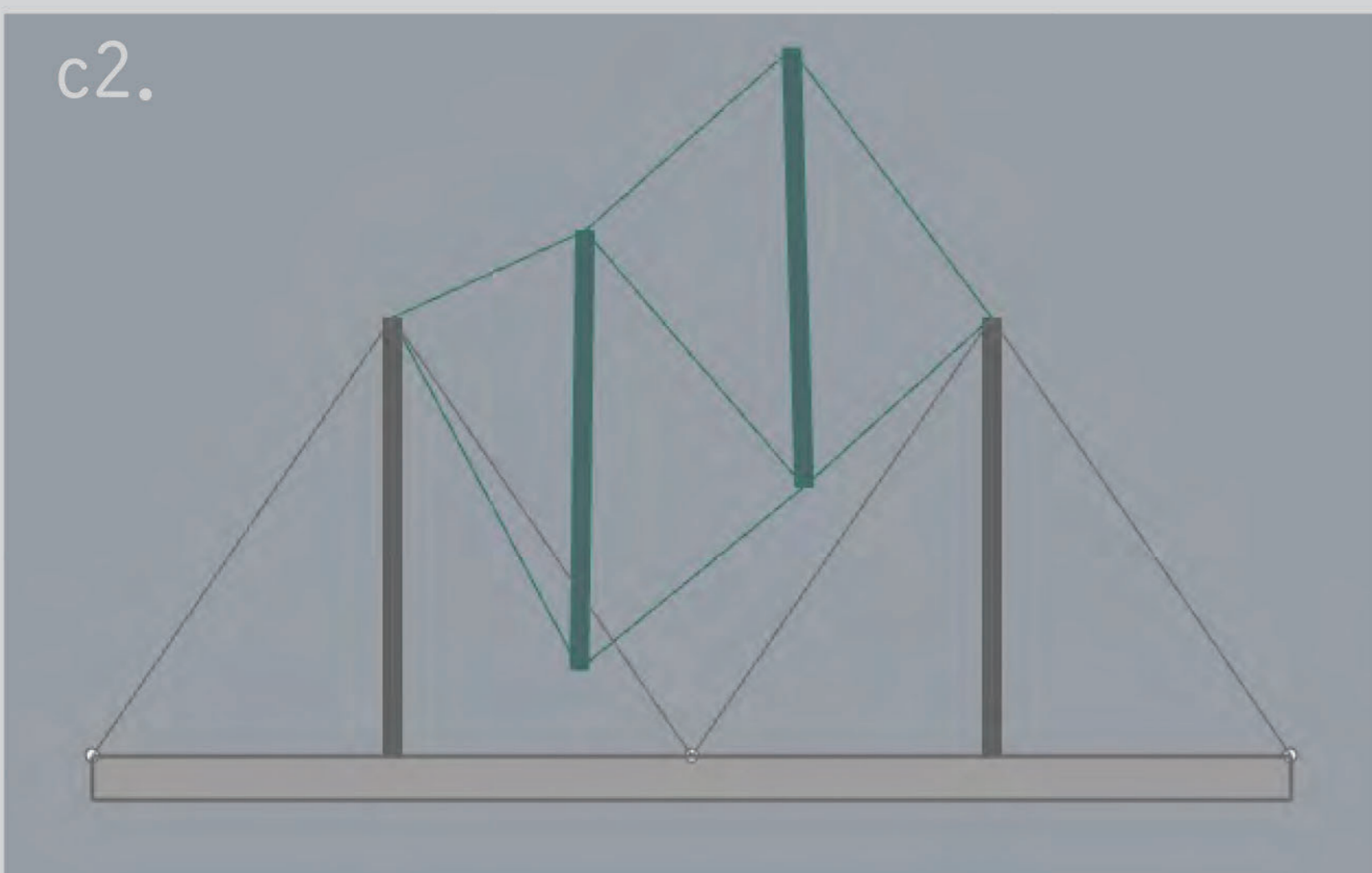
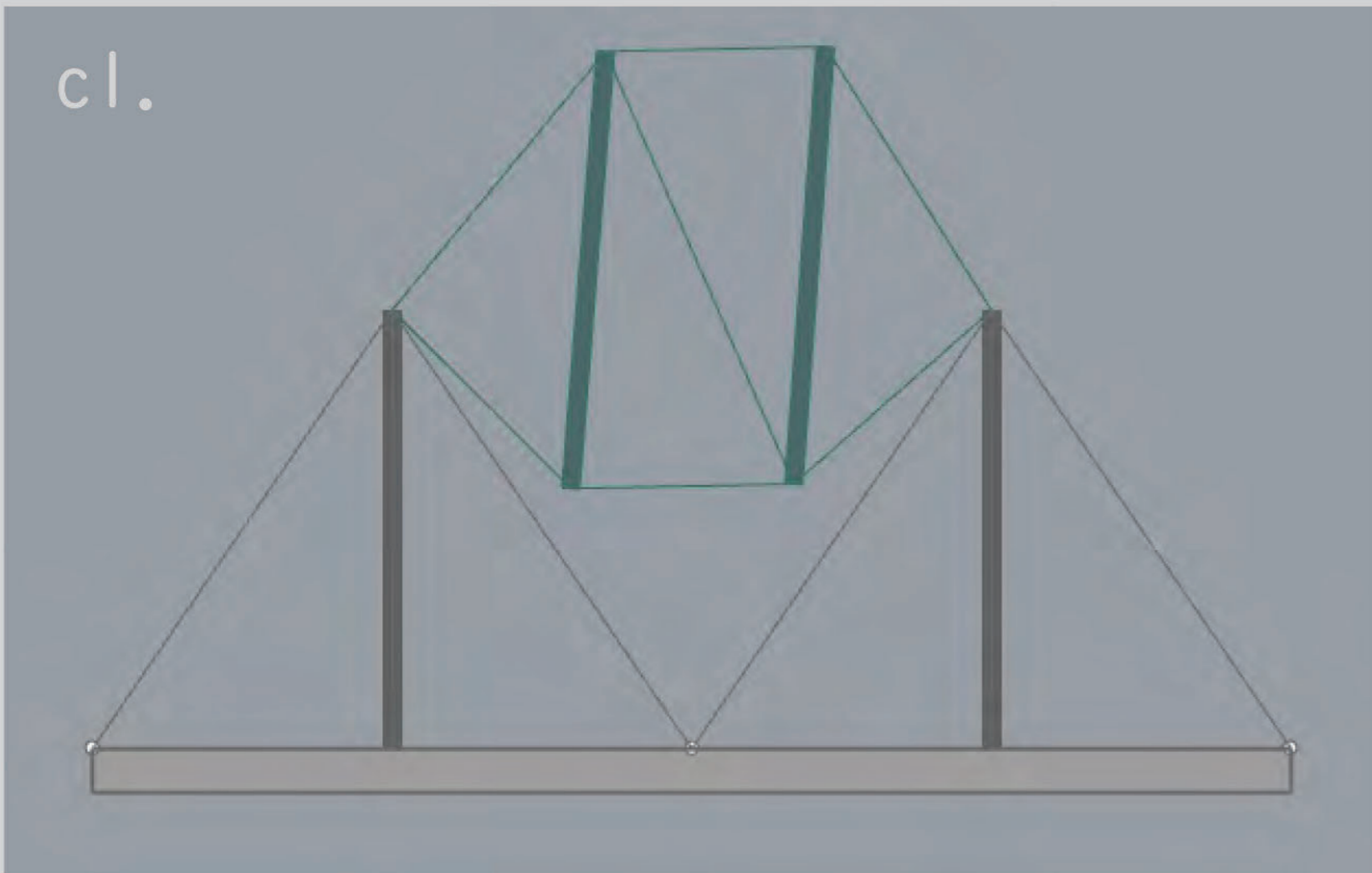
から

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{(1 - \sqrt{3})mg + a}{8} + \frac{\sqrt{6}}{4}a \\ \frac{(3 - 3\sqrt{3})mg}{8} + a \\ \frac{(-3\sqrt{2} + \sqrt{6})mg}{4} + \frac{\sqrt{6}}{2}a \\ \frac{(-1 + \sqrt{3})mg}{2} + a \\ \frac{(-9\sqrt{2} + 3\sqrt{6})mg}{8} + \frac{\sqrt{6}}{4}a \\ a \end{pmatrix}$$

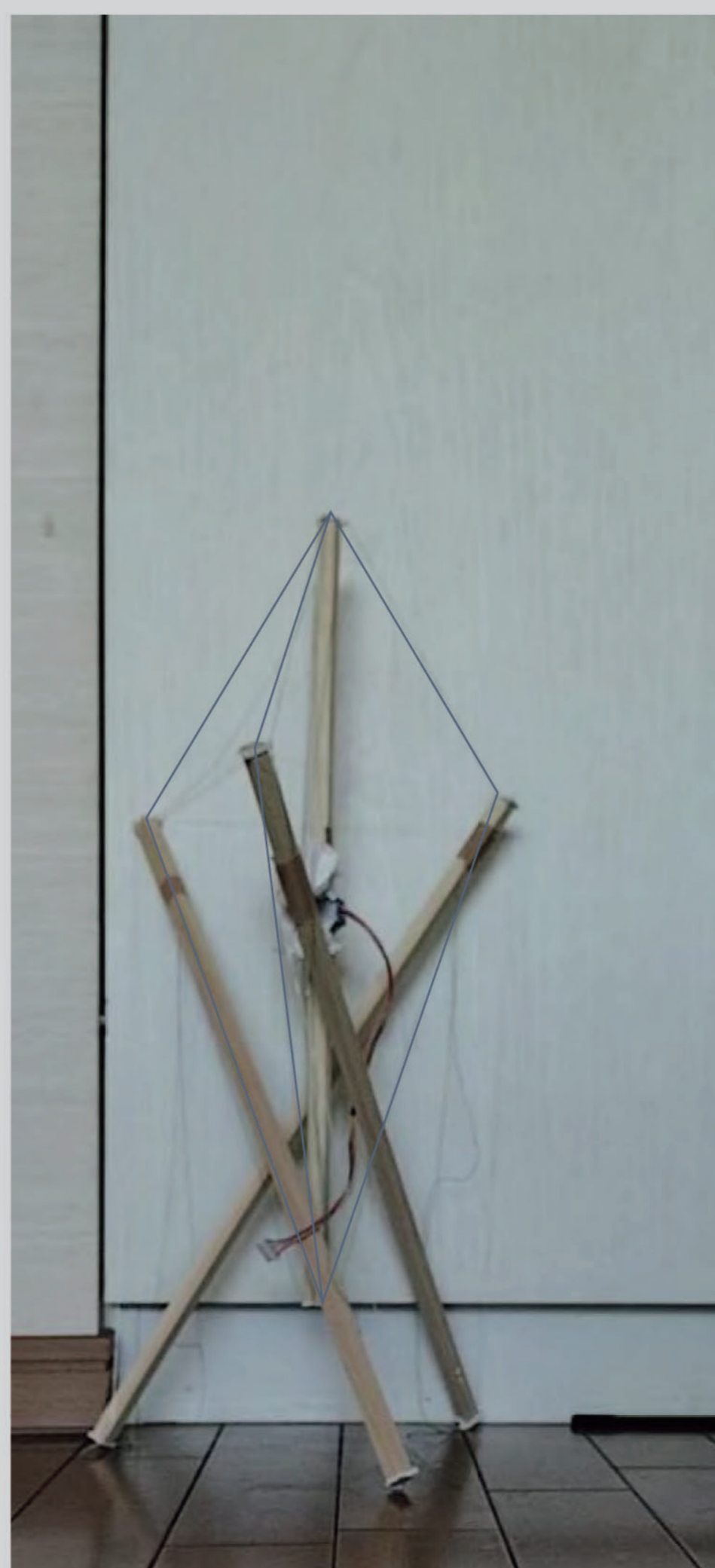
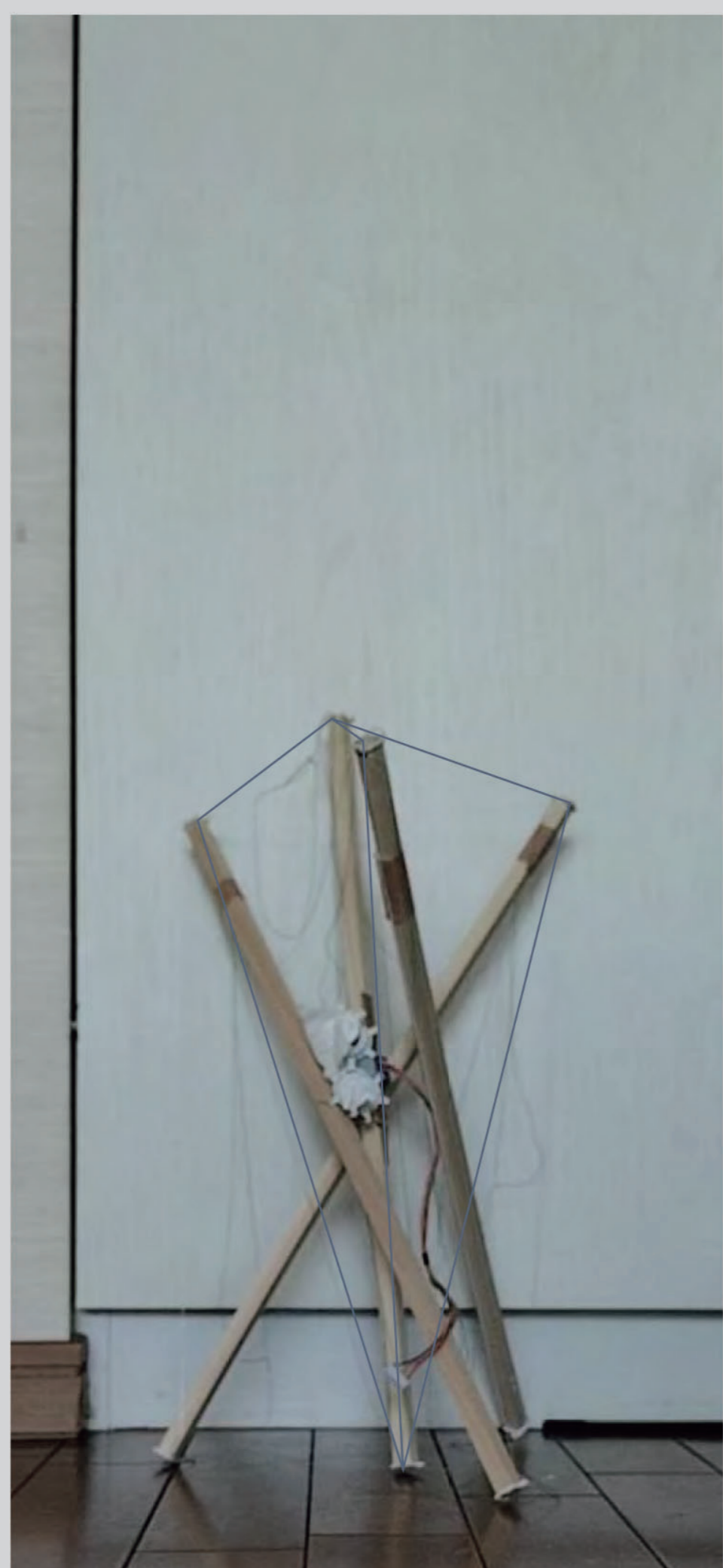
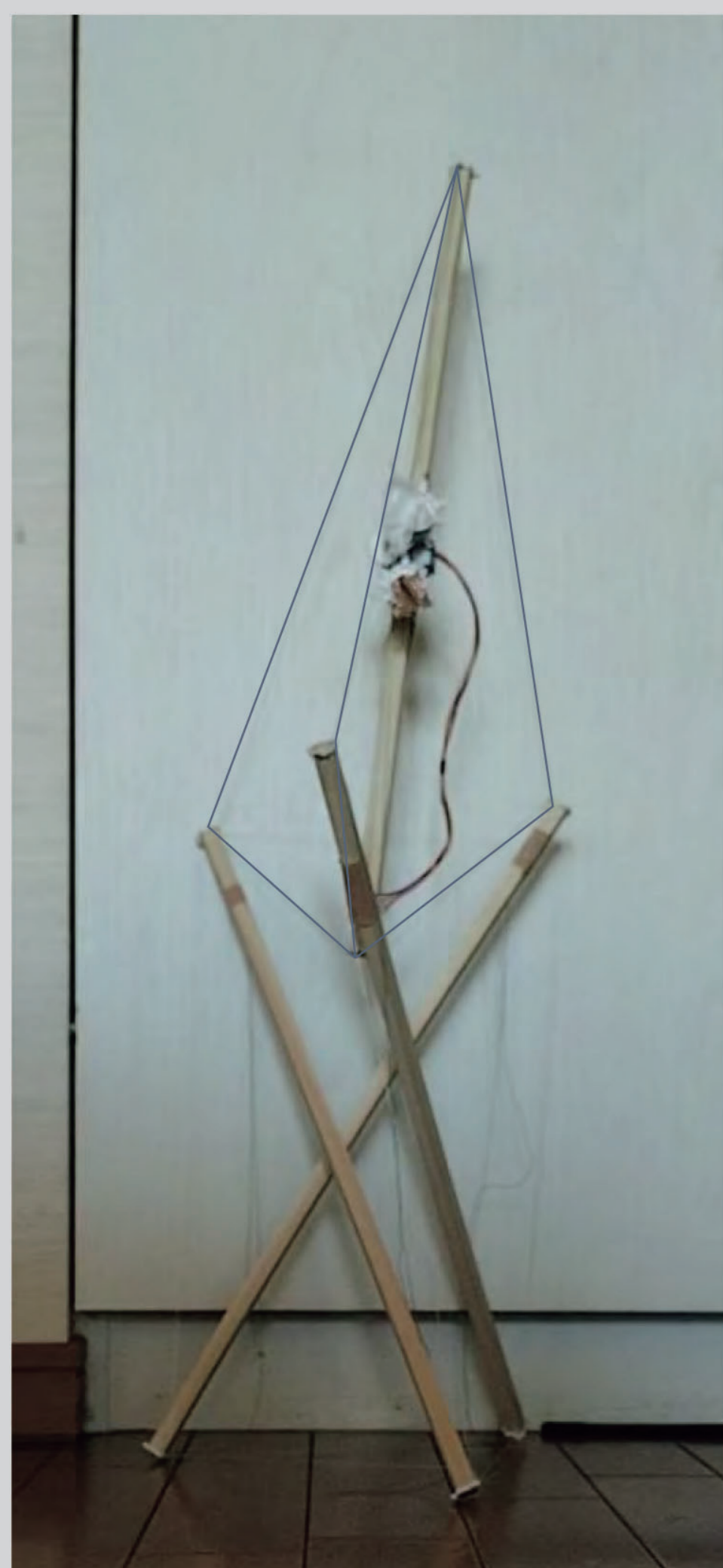
張力 > 0 となる $a > \frac{3(\sqrt{3}-1)}{2}mg$ において安定である。

ここで a の値が増加する場合、すべての張力材がそれに応じ、力を強めることで安定する。張力材の初期伸びによる変形を避けながら張力が発散しないように a の値を調整する必要がある。

kanngaroo2 上で下向き荷重をかけながら変形のシミュレーションを行った。この C4 において、左部材が右部材より高い場合に、左部材の反時計回りの回転に耐力がないため横転する。



昇降テスト



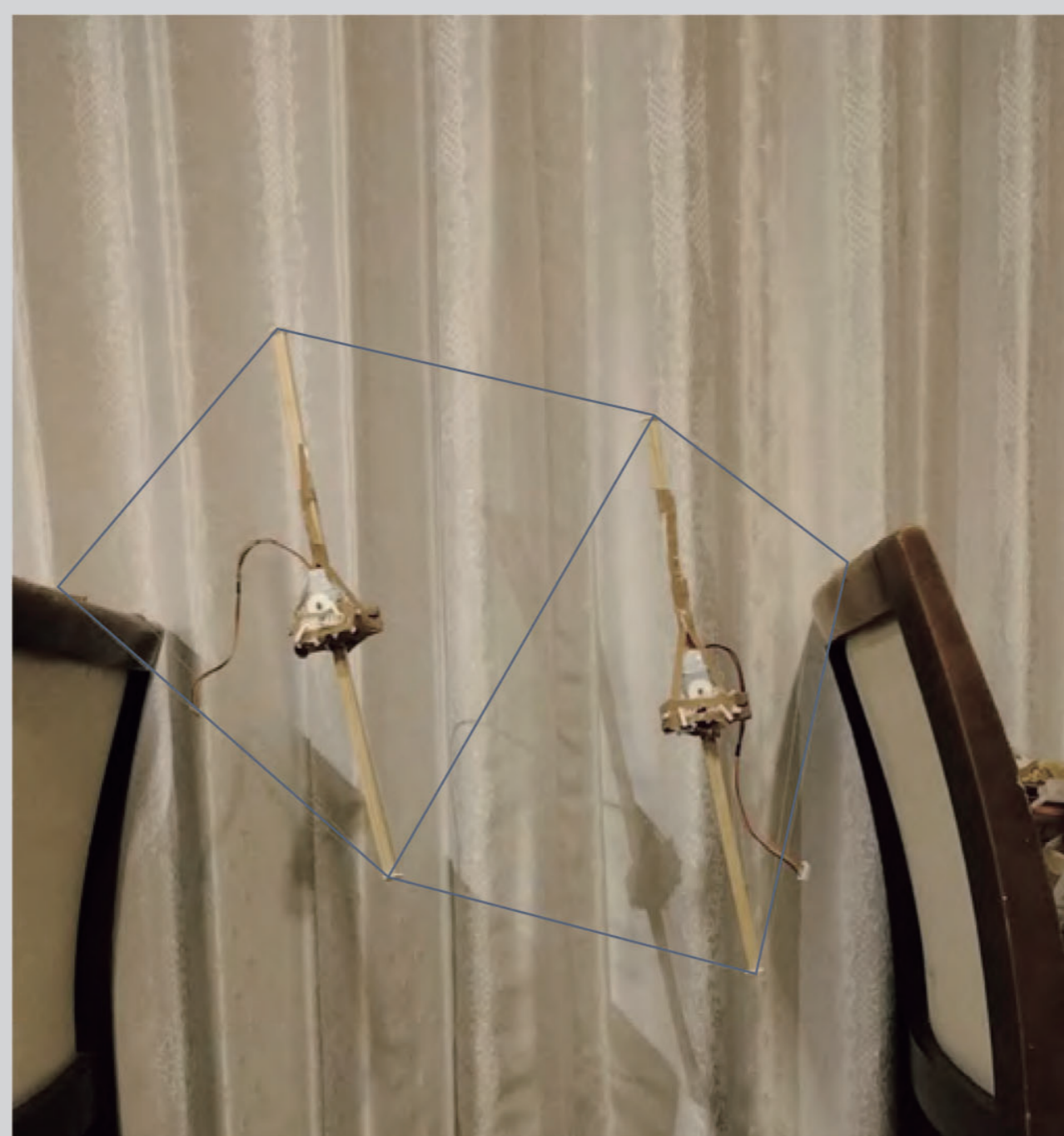
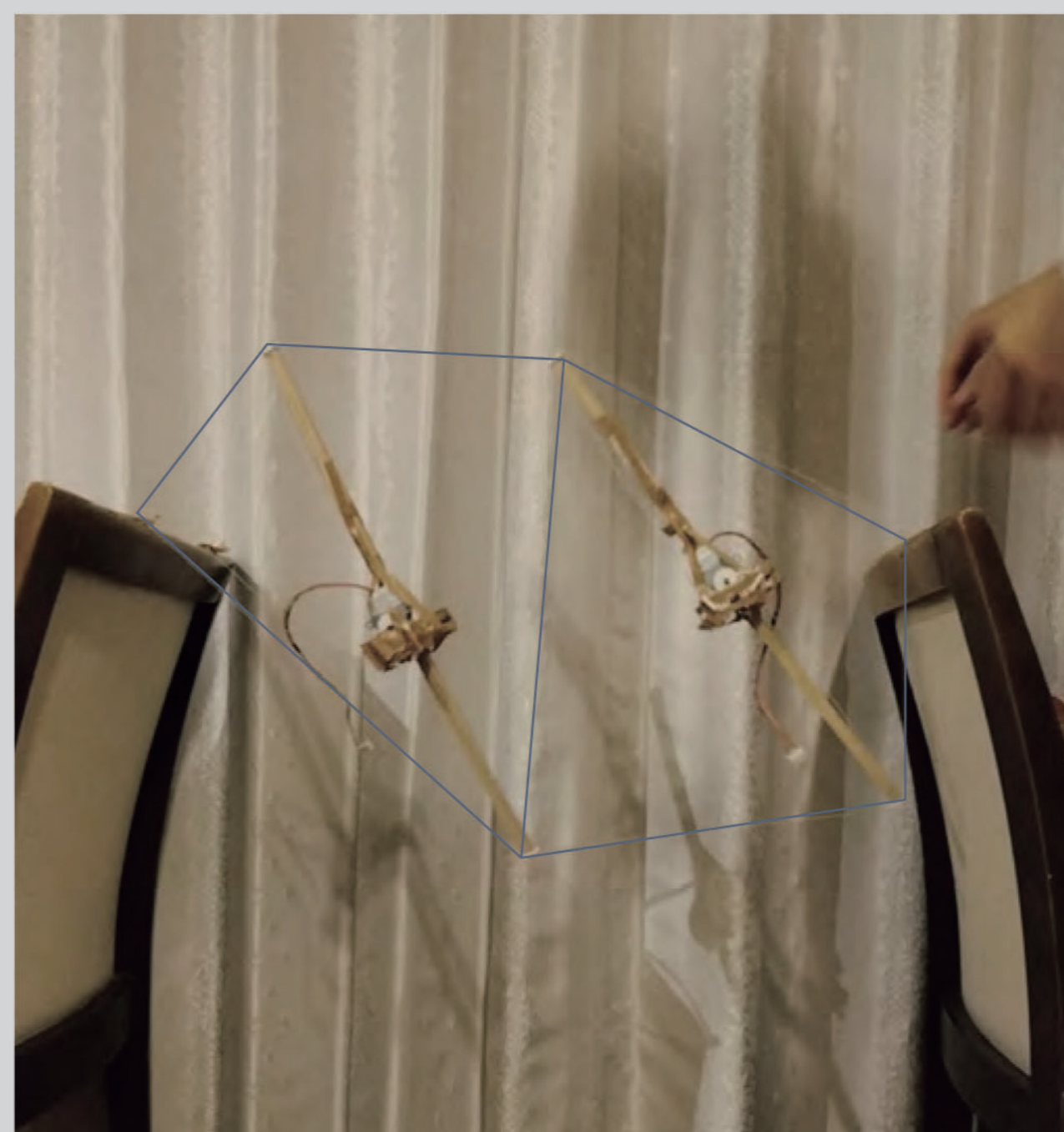
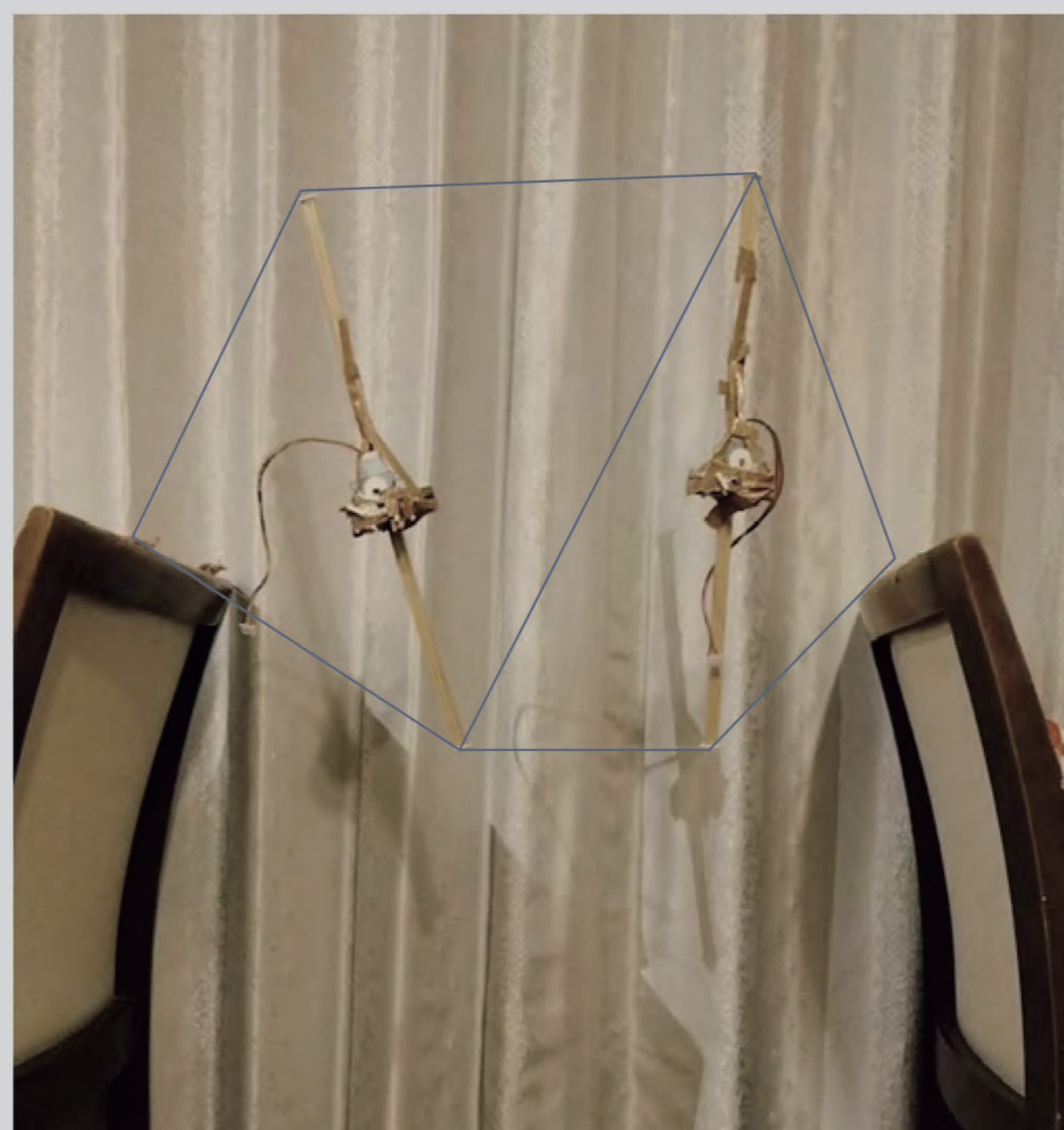
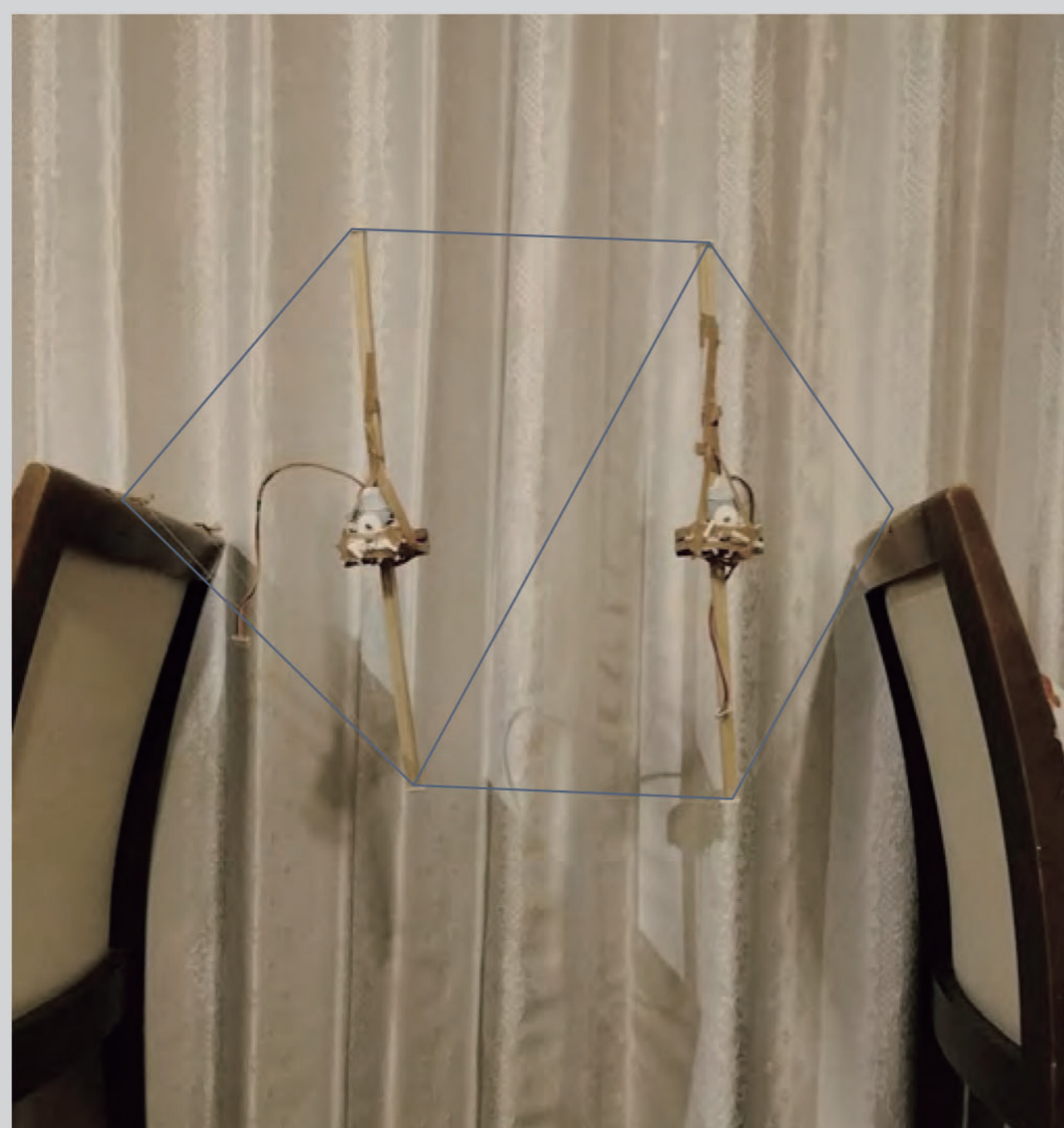
9×9×225の木材とステッピングモーターを用い、昇降テストを行った。

視認性向上のため、引張材を画像上からなぞっている。

■

まずは、テンセグリティ構造体と接合した単一ユニットの昇降テストを行った。

圧縮材の位置変化によって力のつり合いが変わることで、土台であるテンセグリティの微小な変形も確認された。



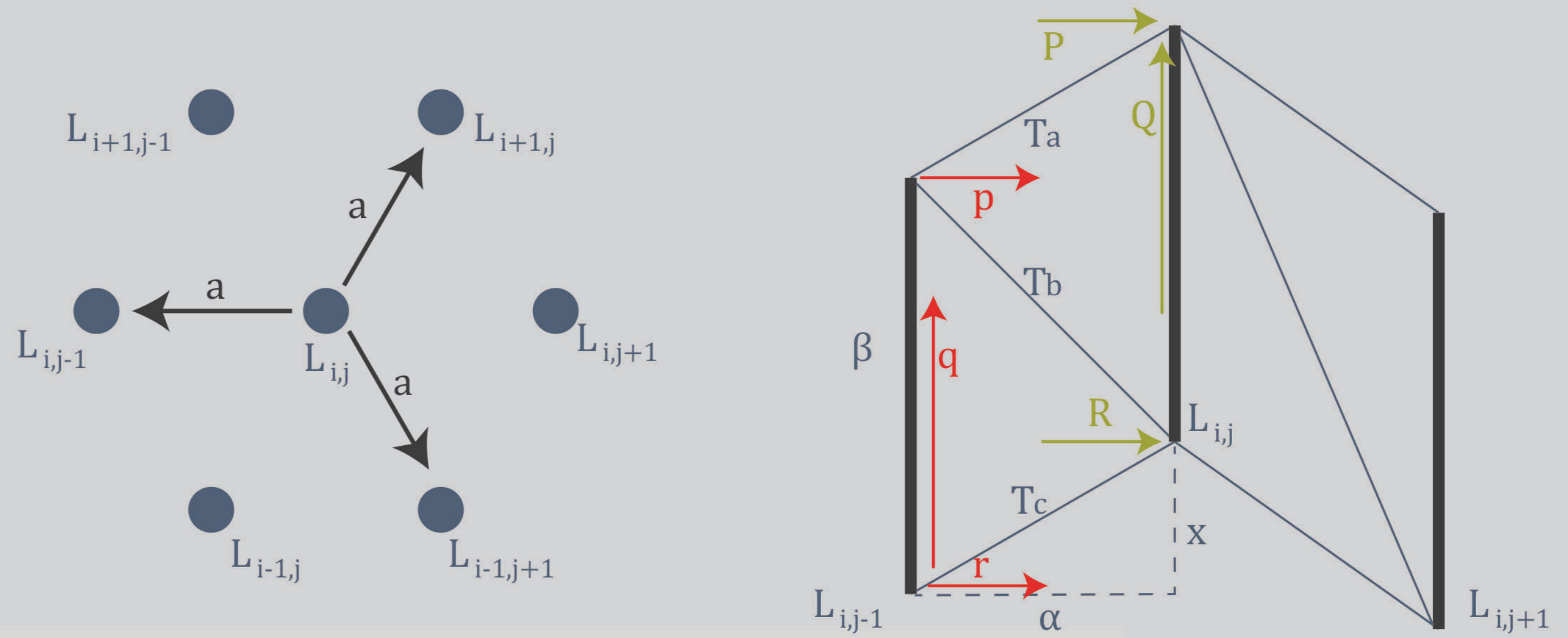
初期状態において引張材の接地点（椅子）を固定し、ユニットの巻き上げ装置の動作による変形を試みた。

t2-3において、c4でみられた崩壊が生じている。場合によってはユニットの上下反転という変位を生じることがあった。複数ユニットの場合、上下反転による変形の連鎖を防ぐための対策が別途必要となる。

2本ユニットでのテストでは、ステッピングモーターによる自動巻き上げが上手く作動しなかった。そのため、手動による補助を行いながら状態を観察した。

主な原因は歯車の接触不良や動力不足であるが、1本ユニットでは機能しているため、装置を頑強に改良することで解決が見込める。一方で、引張材の絡まり事故が発生することがあった。一度紐が絡まると、それを解くためには悠久の年月が必要となる。今回の提案における主労働は、この「解き」の苦役であった。引張材によって圧縮材の端点の位置固定がなされても、圧縮材のz軸中心の回転には弱いため、設計によって改善することが早急の要務である。

構造に関して



提案している構造は非退化である。図のように、2本のユニット同士を繋ぐ3本の引張材を取り出し、上から張力を T_a, T_b, T_c とする。左側のユニットに対し、上端への水平方向へのベクトル、全体の高さ方向のベクトル、下端への水平方向のベクトルをそれぞれ p, q, r とおくと、以下のようになる。

$$p = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+x^2}} T_a + \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+(\beta-x)^2}} T_b, \quad q = \frac{x}{\sqrt{\alpha^2+x^2}} T_a - \frac{\beta-x}{\sqrt{\alpha^2+(\beta-x)^2}} T_b + \frac{x}{\sqrt{\alpha^2+x^2}} T_c, \quad r = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+x^2}} T_c$$

$$\text{よって } T_a = \frac{\sqrt{\alpha^2+x^2}\{(\beta-x)p+\alpha q-xr\}}{\alpha\beta}, \quad T_b = \frac{\sqrt{\alpha^2+(\beta-x)^2}(xp-\alpha q+xr)}{\alpha\beta}, \quad T_c = \frac{\sqrt{\alpha^2+x^2}}{\alpha} r$$

であり、 $\beta > x$ において $p, r > 0, q < 0$ なる p, q, r が与えられたとき、 $(\beta-x)p - xr < \alpha q < xp + xr$ の範囲内で $T_a, T_b, T_c > 0$ に解を持つ。

ここで右側のユニットに対し同様に P, Q, R を定義すると、

$$T_a = -\frac{\sqrt{\alpha^2+x^2}}{\alpha} P, \quad T_b = \frac{\sqrt{\alpha^2+(\beta-x)^2}(-xP+\alpha Q-xR)}{\alpha\beta}, \quad T_c = \frac{\sqrt{\alpha^2+x^2}\{xp-\alpha Q-(\beta-x)R\}}{\alpha\beta}$$

$$\text{よって } P = \frac{-(\beta-x)p-\alpha q+rx}{\beta}, \quad Q = -q, \quad R = \frac{-xp+\alpha q-(\beta+x)r}{\beta}$$

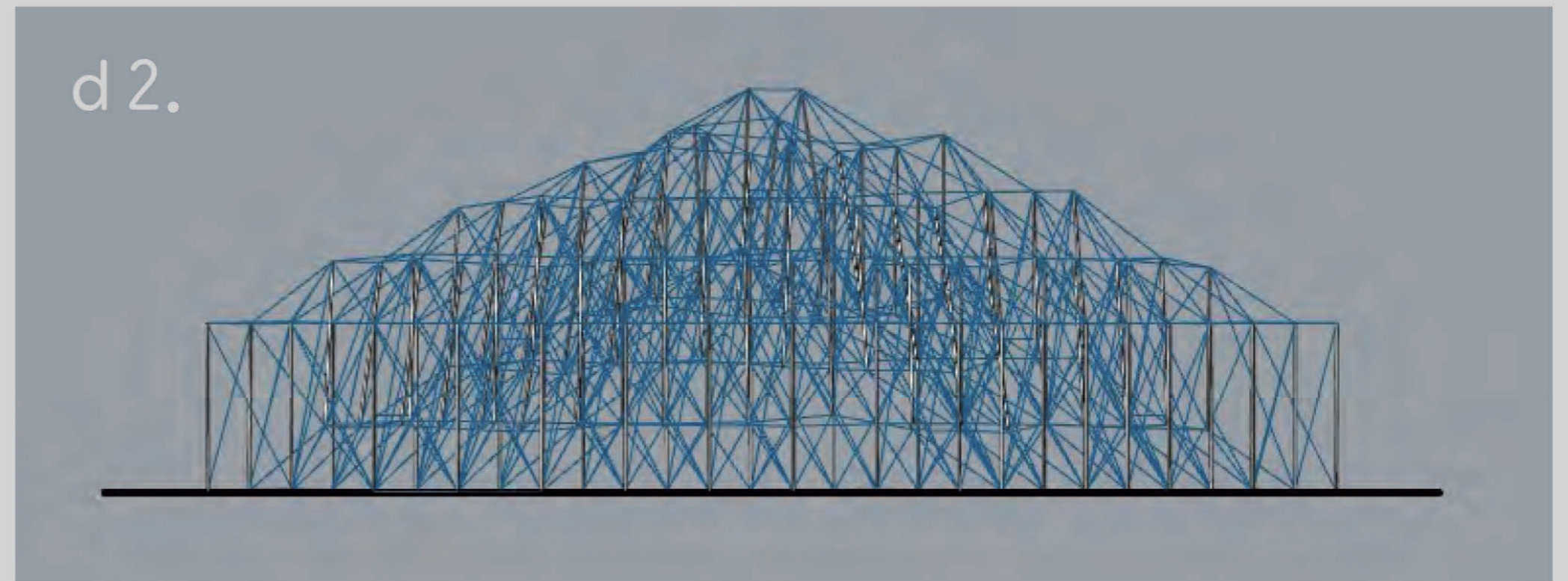
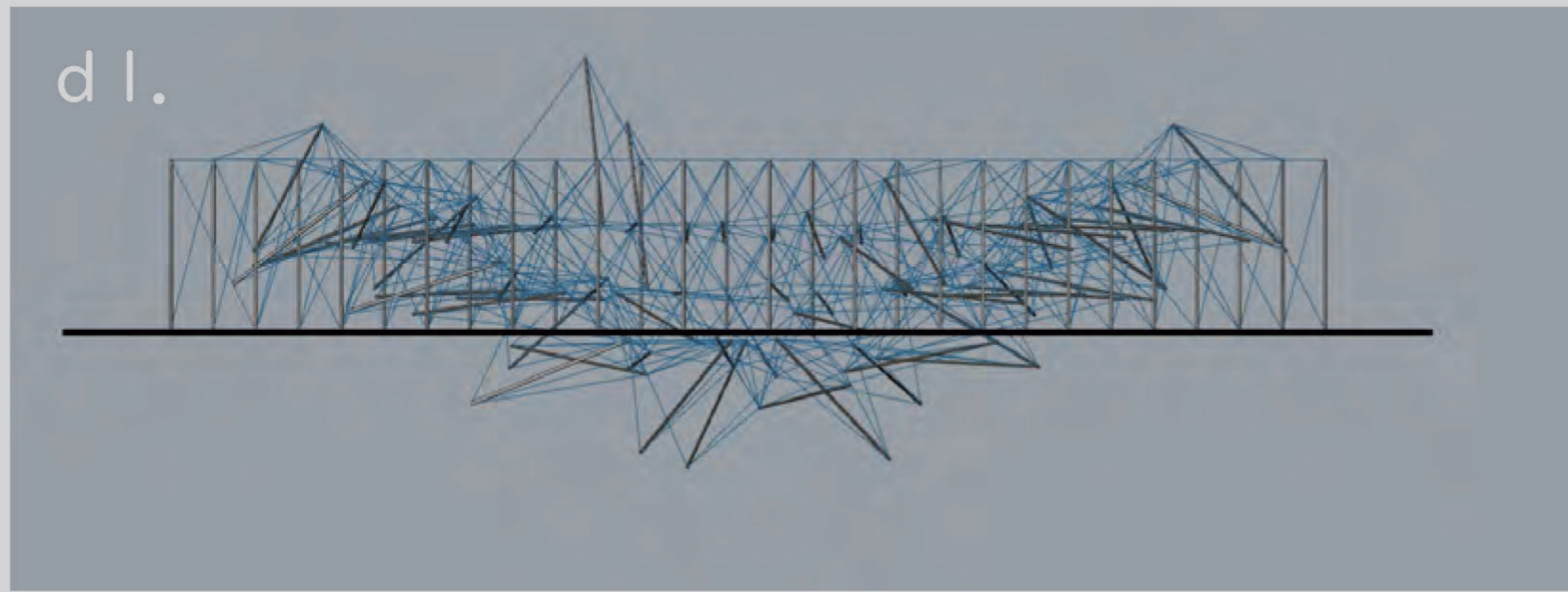
ある p, q, r が与えられたとき、条件の範囲内でそれを満たす T_a, T_b, T_c が定まり P, Q, R が決定する。この時、右側ユニットと、列上の次のユニットを繋ぐ引張材について同様に $T_a', T_b', T_c', p', q', r'$ を定義すると、 $P+p', Q+q, R+r'$ が一定の値にする p', q', r' をとるように T_a', T_b', T_c' が定まる。このように、掃き出されるように張力が決定し、各ユニットについて適切な定数 a, b を設定したとき、3方向について $P+p' = a, R+r' = b$ となり、 $Q+q$ の合計がユニット1本の重量になるように張力が決定する。このように、この構造は明らかな冗長性があり、不静定であるため、この冗長性を削減していく必要がある。

ユニットを $n \times m$ に配置し、 T_a, T_b, T_c を並べたベクトルを $\mathbb{T}\mathbf{a}, \mathbb{T}\mathbf{b}, \mathbb{T}\mathbf{c}$ とすると、 x, y, z 軸方向のつり合いから

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \frac{-\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i-1,j}^2}} & \frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i-1,j+1}^2}} & \dots & \frac{-\alpha}{\sqrt{\alpha^2+x_{i,j-1}^2}} & \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+x_{i,j+1}^2}} & \dots & \frac{-\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i+1,j-1}^2}} & \frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i+1,j}^2}} & \dots & \frac{-\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+(\beta-x_{nm+i-1,j})^2}} & \frac{\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+(\beta-x_{nm+i,j})^2}} & \dots & \frac{-\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+(\beta-x_{nm+i+1,j-1})^2}} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \frac{-\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i-1,j}^2}} & \frac{-\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i-1,j+1}^2}} & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i+1,j-1}^2}} & \frac{\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+x_{i+1,j}^2}} & \dots & \frac{-\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+(\beta-x_{nm+i-1,j})^2}} & \dots & 0 & \dots & \frac{\sqrt{3}\alpha}{2\sqrt{\alpha^2+(\beta-x_{nm+i+1,j-1})^2}} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}$$

として、 $\mathbf{E} \begin{pmatrix} \mathbb{T}\mathbf{a} \\ \mathbb{T}\mathbf{b} \\ \mathbb{T}\mathbf{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \vdots \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{mg} \\ \vdots \\ \mathbf{mg} \end{pmatrix} \begin{matrix} 4nm \\ nm \end{matrix}$ が成立する。 $\text{rank } \mathbb{T}\mathbf{a} = \frac{6nm}{2} + 2(n+m) - 4 + 2$ であり $4nm$ 以上の冗長性がある。

しかし、例えば $\mathbb{T}\mathbf{c}$ を削除して Kangaroo2 によるシミュレーションを行うと、次のように安定性が崩壊する。



d1. 全ての下端-下端引張材(Tc)を削除した結果がd1である。安定性を崩さないために、削除する引張材をいくつかのパターンで選択し、都度シミュレーションを行った。1/7本ほどの引張材を選択し反映した結果がd2である。

アルゴリズムに基づいた最適化を行うことが今後の課題だが、ユニットの上下関係の変化によって重要な引張材が推移するため、稼働させる段階でのアルゴリズムが必要になると予想する。

この建築が実現する空間体験と時間的連続性は、エレベーターなどの建築内部の機構によるシーケンスと全く違うものであり、近代公園の現代的な再構成として位置付けている。

市民のための Public Park は、機械的な社会からの一時的な逃避を寛容する場でもある。近代都市計画に組み込まれた公園は、資本主義的・機能主義的な近代社会を否定しないままに、人々が「人間らしく」在るための機能を有している。自然を模した構成でありながら、どこまでいっても人工物であることも、機能主義批判でも自然崇拜でもない絶妙な「人間らしさ」の形象として現れていると言える。

都市には人間の恣意性の手を離れ、自然的風景と化した人工物があふれている。都市を跨ぐ高速道路や大橋は、人類の力を感じさせながら、人間の意思の所在を感じさせない装置である。一方で公園には、明確な意図を持って設置されたベンチ・排除アートといった、人間的な設計行為による現象が生じる。それらが私たちに好意的なものであるかどうかには関わらず、人間の身体的なスケールを超過して運営される科学社会の中で、過剰な人工物としての公園の役割は確かに存在する。

一方でレトロフューチャー、1980年代に夢想された科学信奉の終着点はずいぶん訪れなかった。科学技術という神話が提示した人類の進歩、明るい未来と更なる幸福への希望は蜃気楼のように霧散した。科学は公害に直面し、超高層ビルの権威的な象徴性は失墜し、社会は有人月面着陸の意義的な空虚に敗北した。

現代日本の多くの人々にとって、社会の生理欲求の消化機能は飽和している。例えば建築において、コンクリートの耐用年数は人間の寿命が要求する閾値を超え、建築設備は既に十分に安心して快適な生活空間を保障している。加え、デジタルデバイスからあふれ出す膨大な情報量は退屈を忘れさせている。今では「レトロフューチャー」というジャンルは、デジタルデバイスと人間のやり取りの中で、記号的な郷愁の性質を付与され、感情の代謝行為の一環として消費されている。ある意味では退屈をすら超克した現代社会は、科学神話の崩壊による虚無に晒されることもない。

社会による恩恵が個人のスケールを逸脱したときに、個人はそれ以上の利便性を要求することは出来ず、それは社会の停滞を意味する。

現代社会にとって重要なのはもはや持続可能性であり、現状維持である。

現代社会は、もう発展を必要としていない。

それでも歩まなくてはならないと、僕は信じている。確かに存在した人類発展への渴望と、それが作りあげた歴史的価値を失わせるわけにはいかない。現代社会の物質的な拡充は、決して人類の未来の終着点ではない。

そのため本提案では、現代社会に批判的でもなく、近代社会に回帰的でもない新たな未来像として、従来にない空間体験と、それを達成する新たな技術促進の効果を目標とした。

幼少の時分からネットワーク環境を有していた我々世代にとって、デジタルデバイスを含めた生活におけるオブジェクトの多くが、人間の恣意性の手が見えない自然的なものである。そこで、かつて科学が提示した未来への力と、人工物に表出する人間の恣意性の接点として、運営者の意図によって人為的に稼働する建築を公園に設置することを提案する。

また場所性の喪失は、情報工学によって生じ、コロナ禍が拍車をかけた。物理的な位置関係の認識の変化は、時間的感覚にも影響している。場所と場所を繋ぐ移動という行為において空間的移動と時間的移動はリンクしていたが、リアルタイムでどこにでも繋がれるインターネットの存在は、社会の定義する時間軸の価値を減衰させた。デジタルデバイスとのやり取りの中では、場所の変化が失われたことで、時間的変化も認識されにくくなる。

空間と時間の破断された関係性を呼び起こし、認知を刷新するきっかけとして、稼働する建築を試みた。