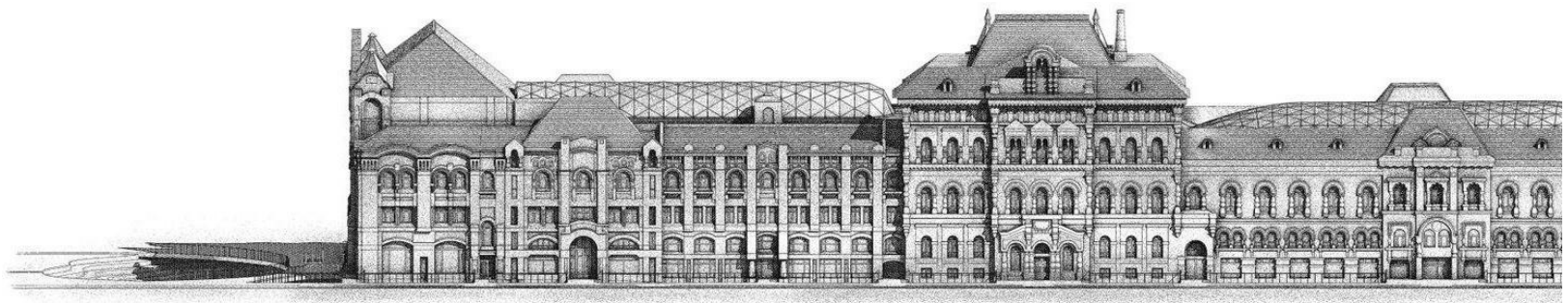


連邦国立予算文化施設「工科博物館」の再建の一環
として、
湾曲した半透明ドームの建設



記

- **はじめに。建築ソリューション**
 - 歴史的情報
 - コンセプト
 - ドームのソリューション
 - 最終バージョン
- **建設的ソリューション**
 - 土台
 - ドーム構造
- **シェル設計モデルの作成**
 - 静的計算
 - 節とロッドの設計
 - 進行性崩壊への抵抗
- **ソリッドプログラミング**
- **構造物の製造と設置**

はじめに。建築ソリューション 歴史的情報

- 1872年 博物館の設立
- 建設は、30年間、以下の3段階で実施された。

1877年 博物館の建物の中央部（建築家I. A. モニゲッティ）

1883～1896年 博物館の建物の右（南）棟（建築家N. A. ショヒン）

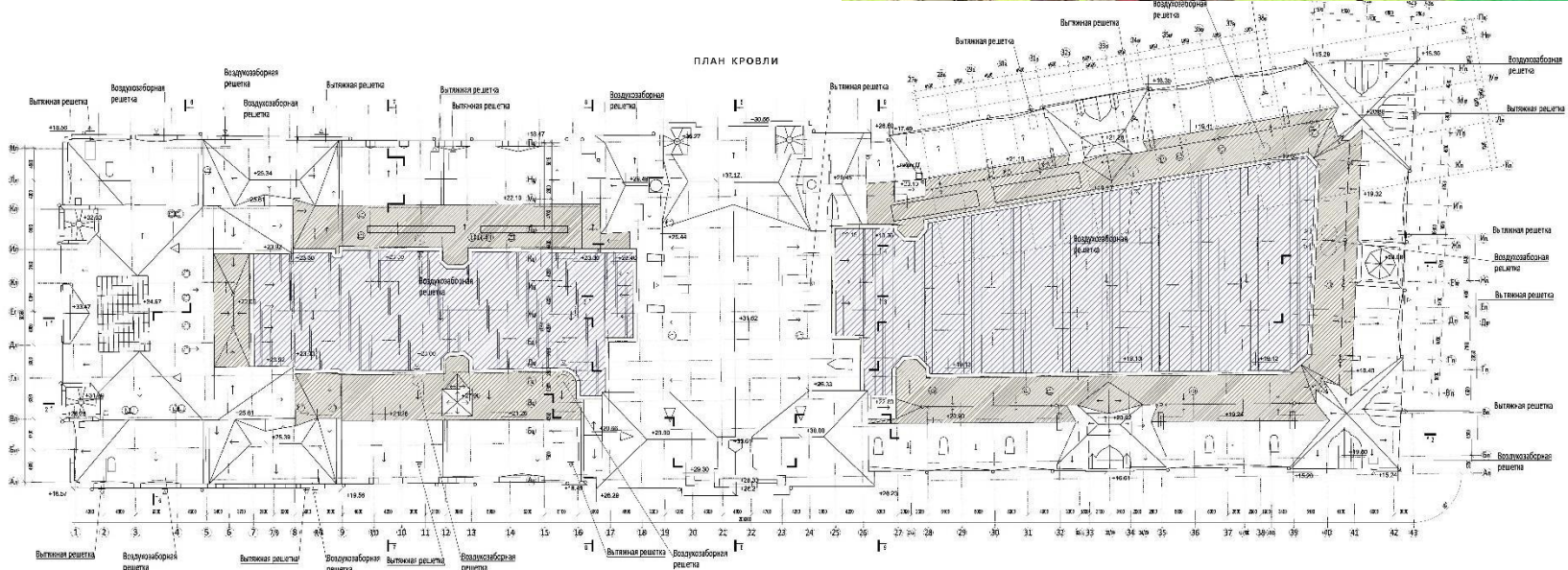
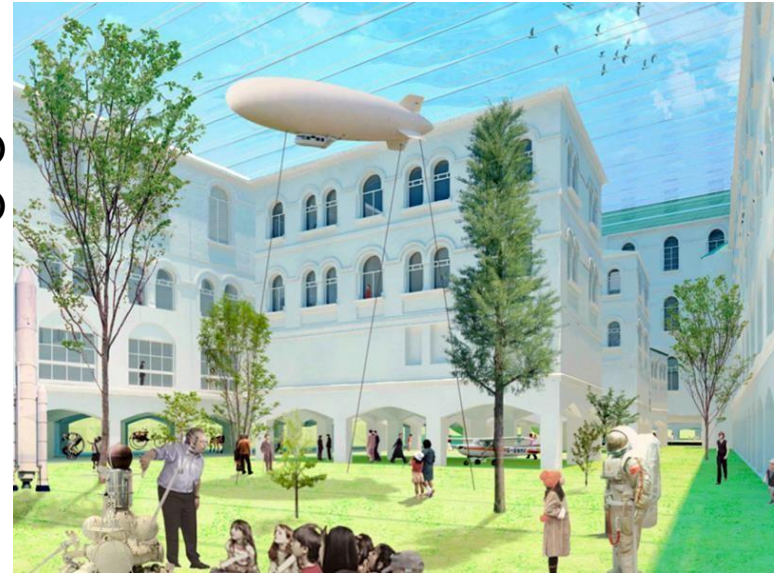
1903～1907年 博物館の建物の左（北）棟（建築家G. I. マカエヴァ）

- 国の遺産の特に貴重な建物のステータス。



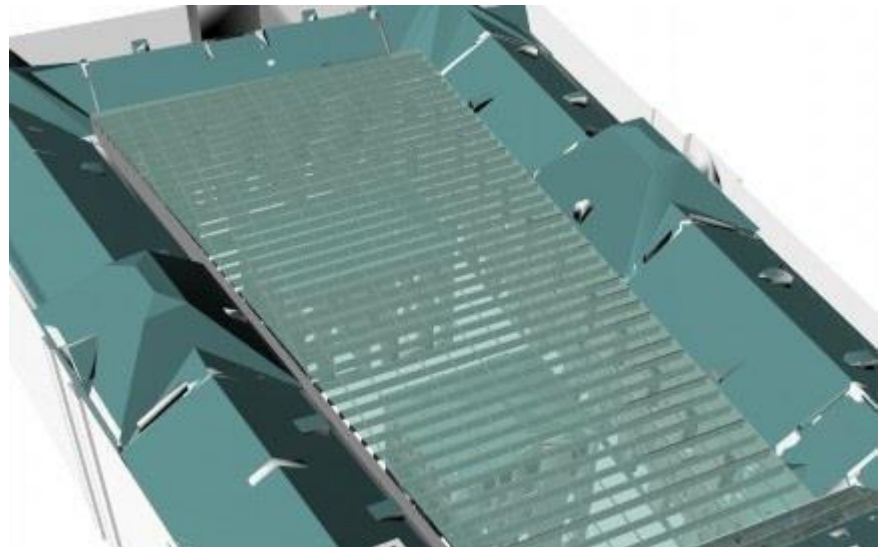
はじめに。建築ソリューション コンセプト

- 2011年 日本の建築家石上純也の
博物館 の再建のための
コンテストに優勝した。
- 中庭に半透明の屋根を作成するプロ
ジェクト。



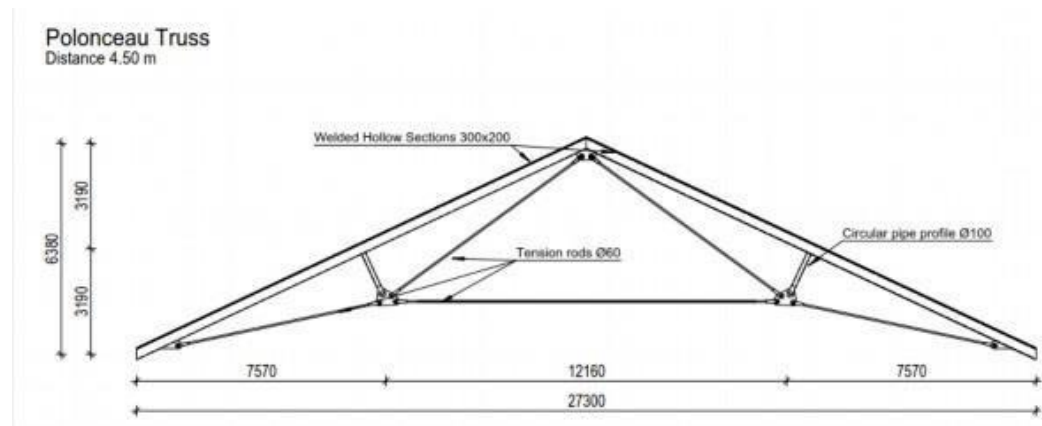
はじめに。建築ソリューション ドームのソリューション

- クロスメイン鋼鉄（横断面800x150 mm）と二次鋼鉄ビームのシステム上の平らなガラス屋根
 - 鋼鉄ビームのオールガラスビームへの交換（最長実現スパン 15.5メートル）
- 欠点：
 - かなりの積雪量
 - 高い金属消費量
 - 見た目で「重い」構造
 - 標準的なソリューション

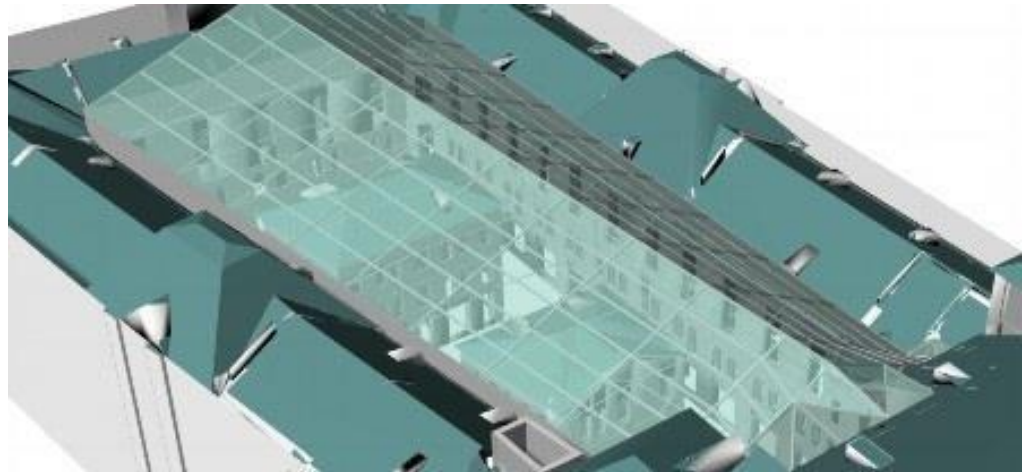


はじめに。建築ソリューション ドームのソリューション

- 断面300x200mmの垂木を備えた拡張トラスシステムの切妻屋根

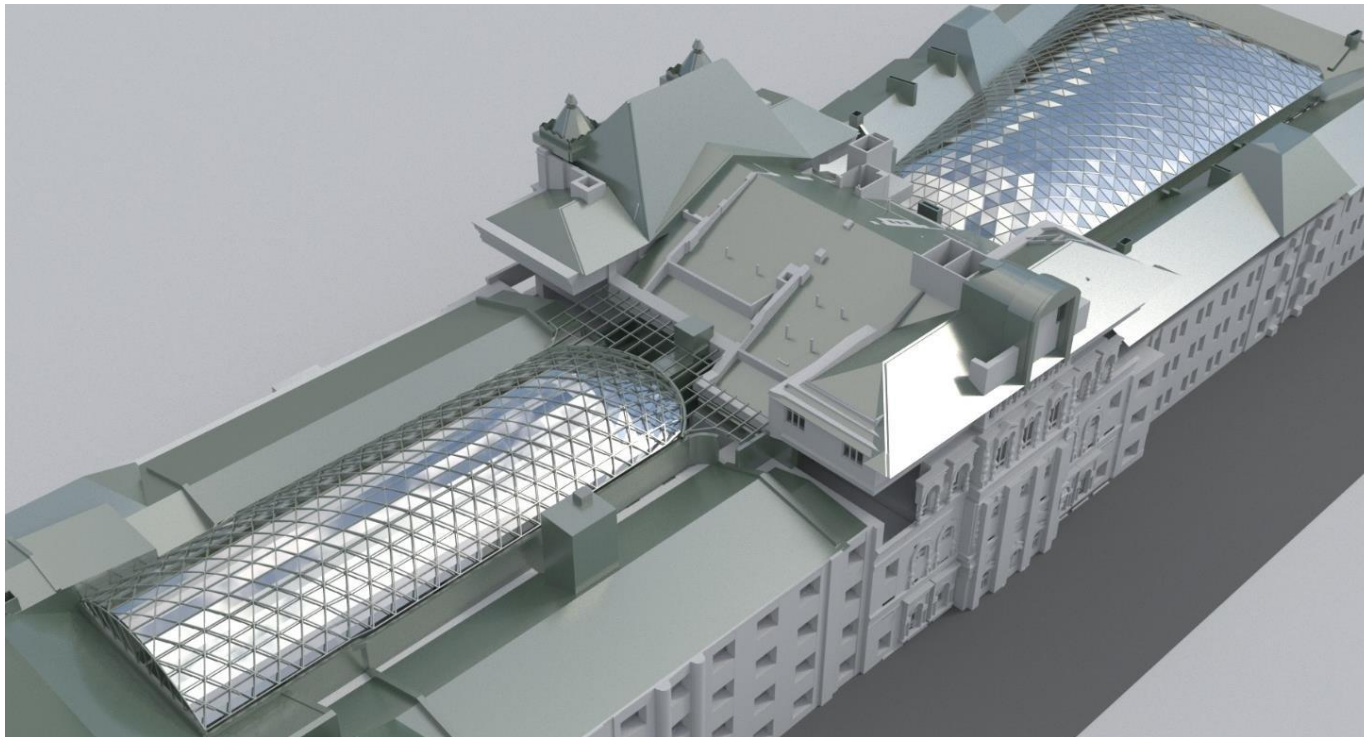


- 欠点 :
 - 平均金属消費量
 - 標準的なソリューション



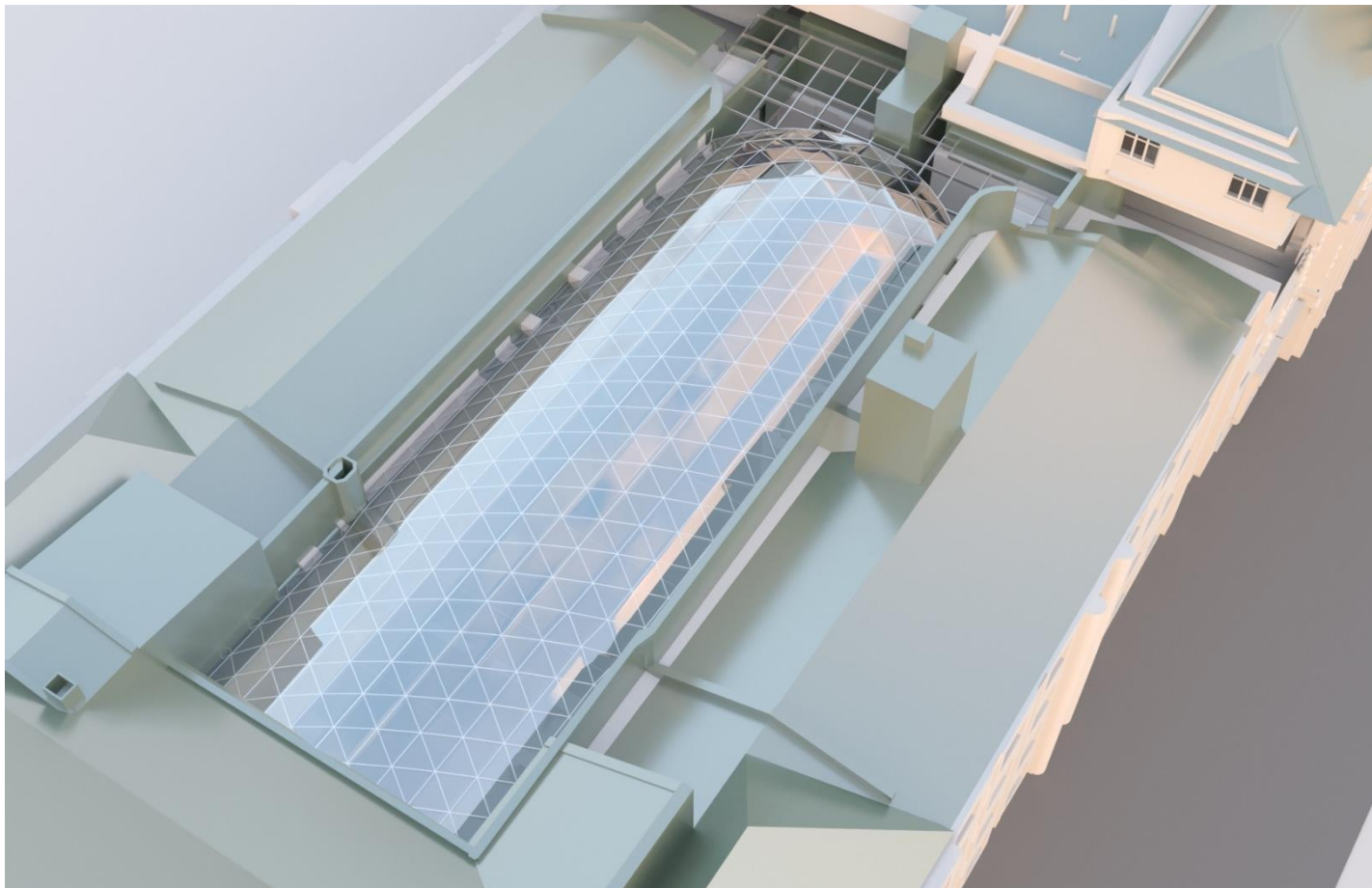
はじめに。建築ソリューション 最終バージョン

- 三角分割グリッドに基づくフリージオメトリのシェル
- 欠点：
 - 建造物の 製造における 品質 管理 に対する 高い 要件
 - そのような建造物を製造および組み立てることができる請負業者の限られた数



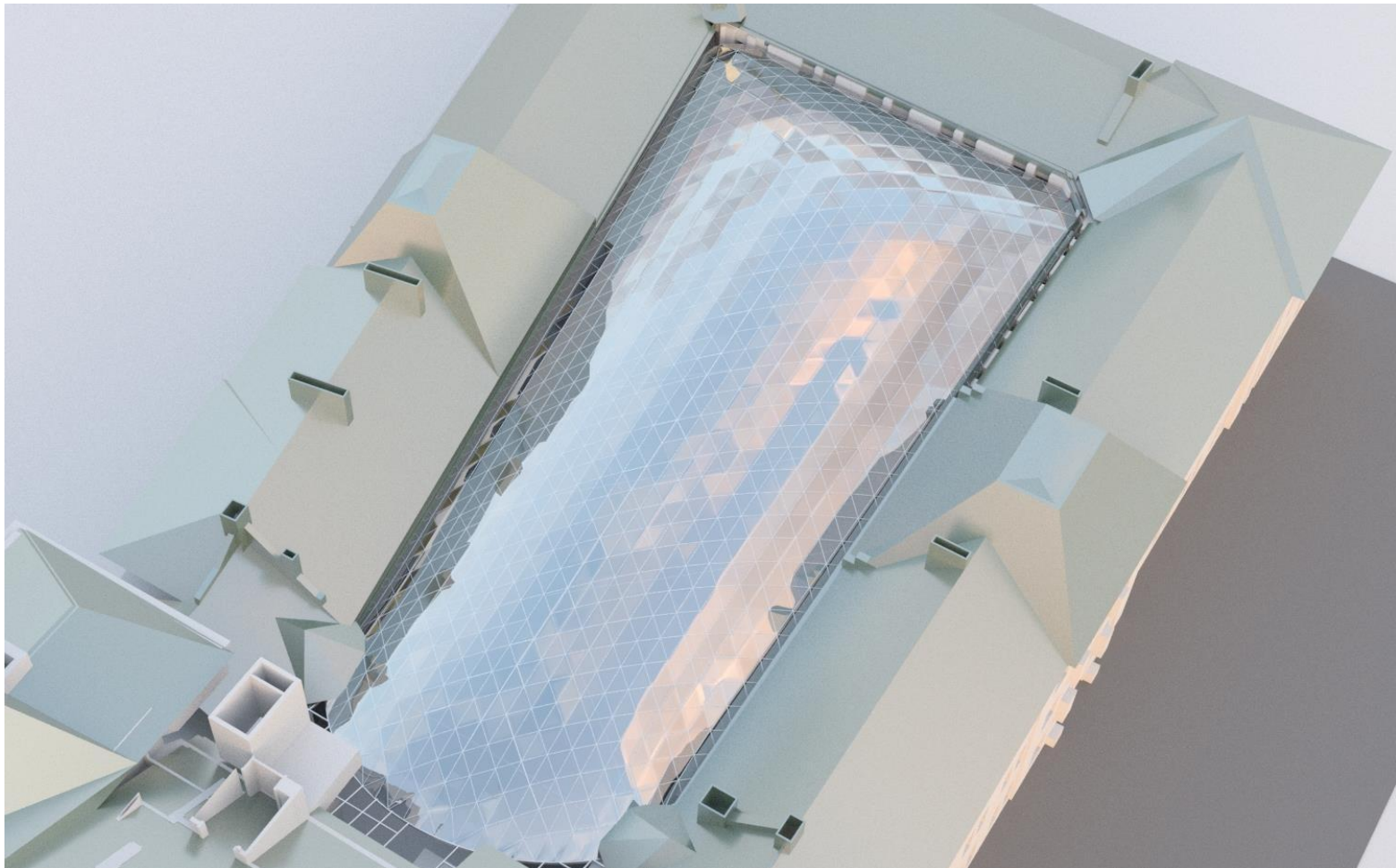
建設的ソリューション

- 北中庭
 - 平面図では20x 50 mの長方形
 - シェル面積は1000平方メートル



建設的ソリューション

- 南中庭
 - 平面図では台形、基部20mおよび35m、側面56mおよび58 m
 - シェルの表面積は2000平方メートル



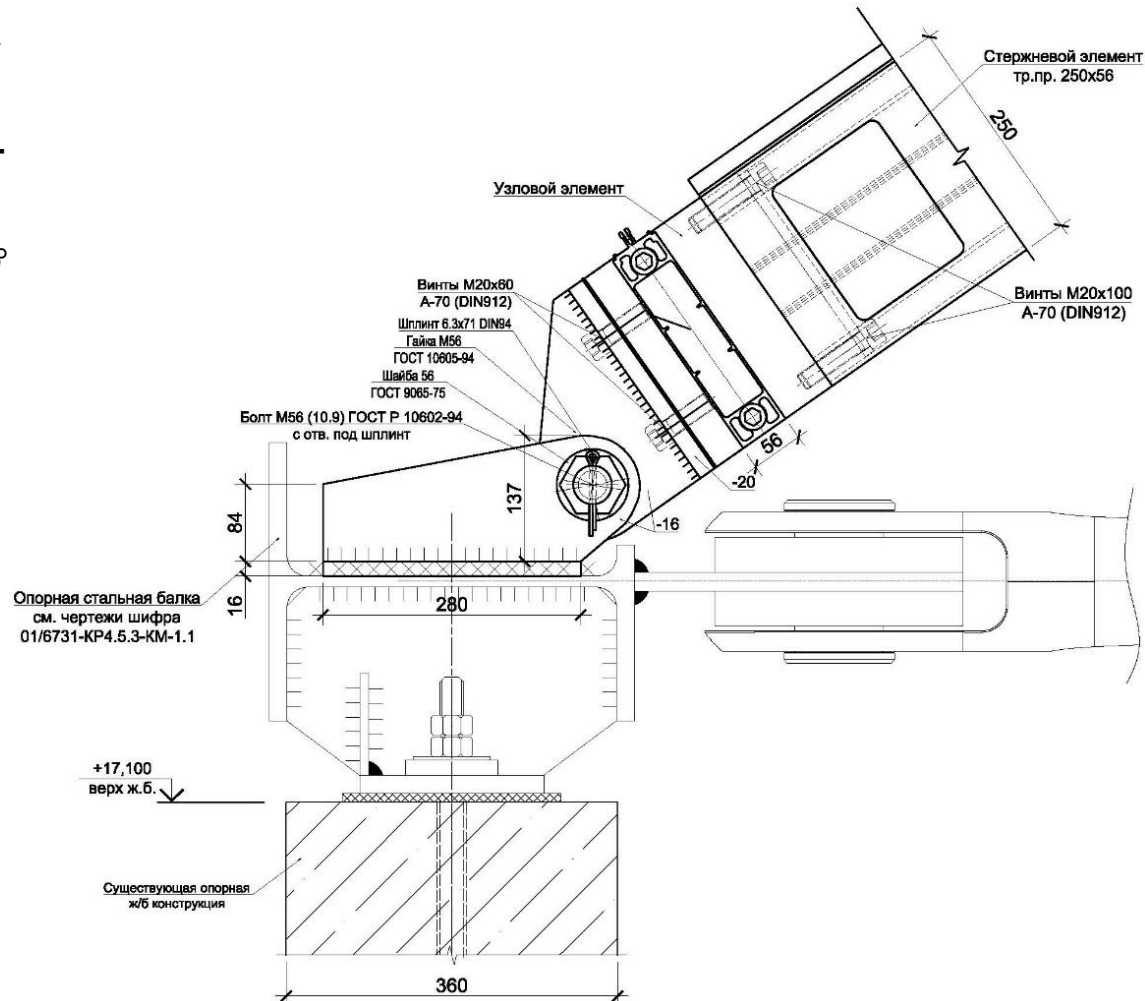
建設的ソリューション 土台

- モノリシック強化コンクリートベルト：
 - 歴史的な 建物とは関係なく、垂直荷重を強化コンクリート柱に伝達する
 - 横方向に（構造の表面から）大きな水平荷重を受けない
- 工型鋼 ビーブ の ベルト：
 - モノリシック強化コンクリートベルトベースにアンカーで固定される
 - 半透明のシェルの土台



建設的ソリューション 土台

- 強化コンクリートベルトは鋼鉄ビームを支える：
 - スライドサポート（サポート部分）使用
 - 低摩擦フッ素樹脂プレート
- 推力の補償としては、ケーブルステイ要素（高強度スチールケーブル）によるスチールベルトの締め付け

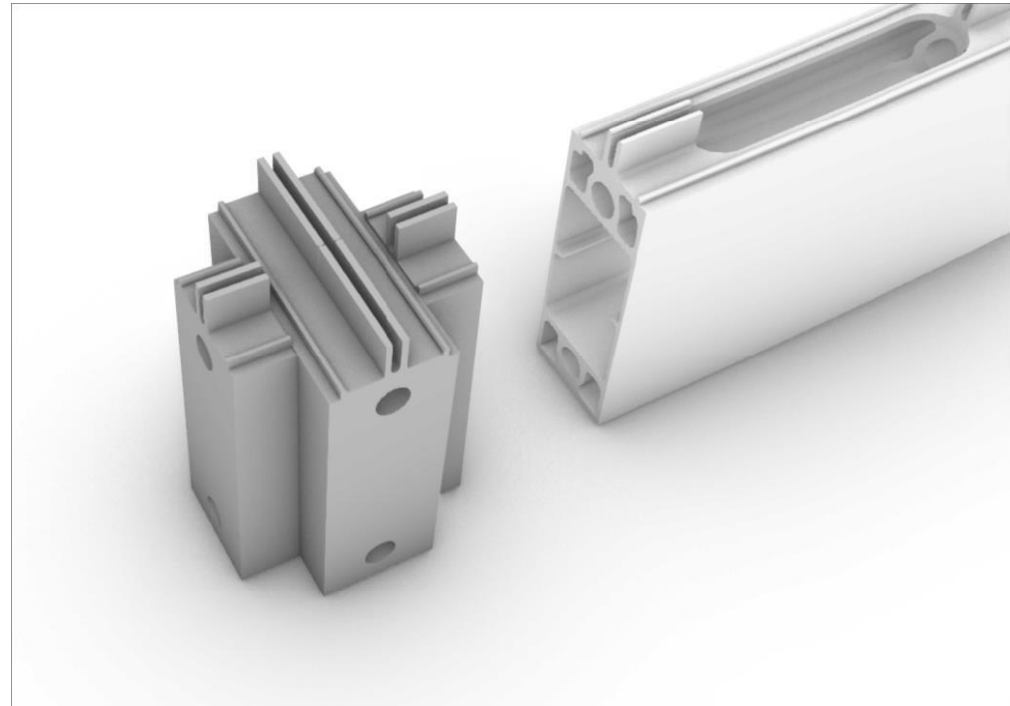
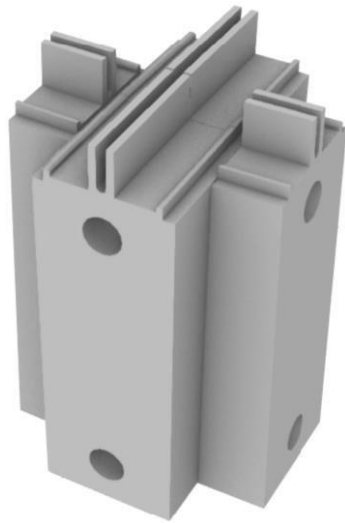


建設的ソリューション 土台



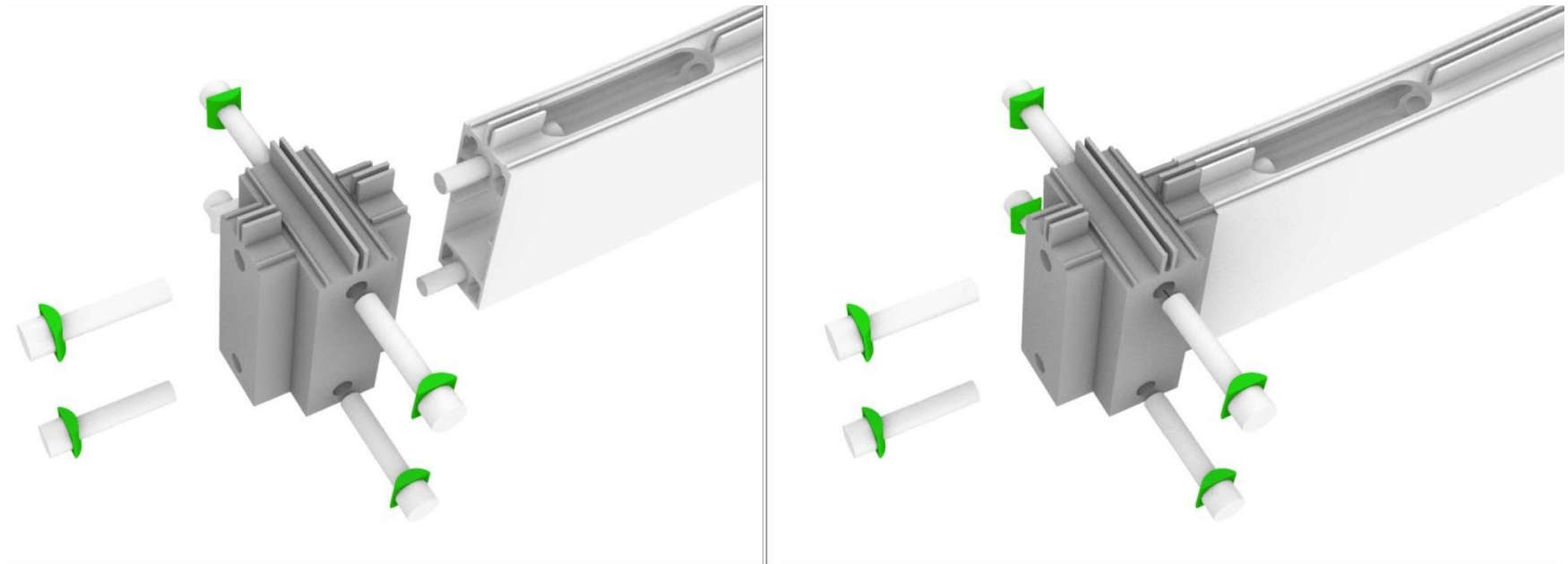
建設的ソリューション ドーム構造

- 「SpaceStructure」 自己支持メッシュ構造
- 材料は、高強度アルミニウム合金AD35T1 (EN AW-6082)



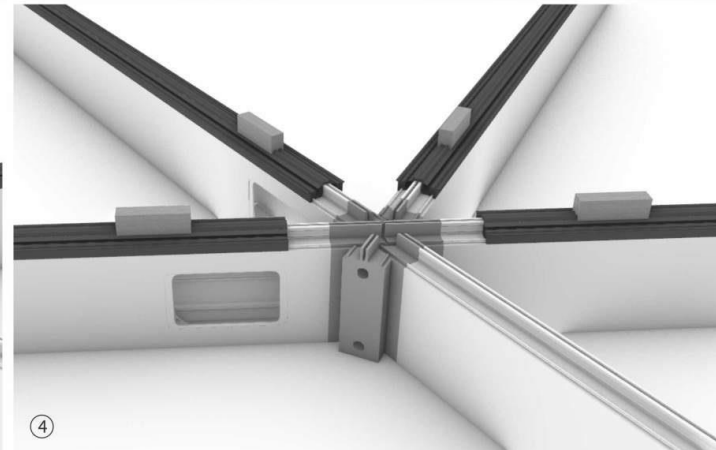
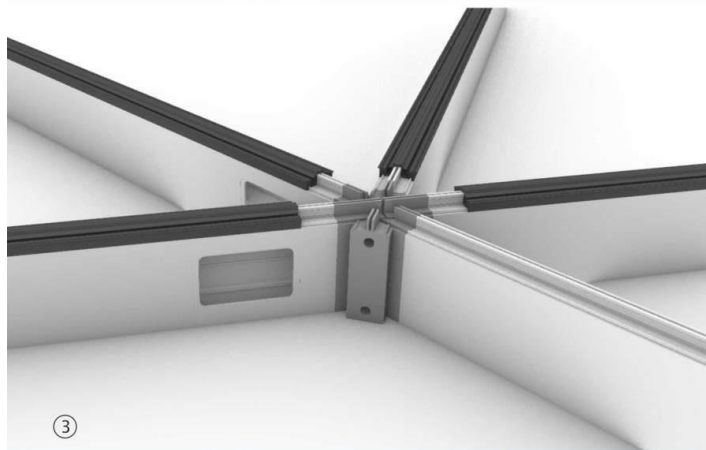
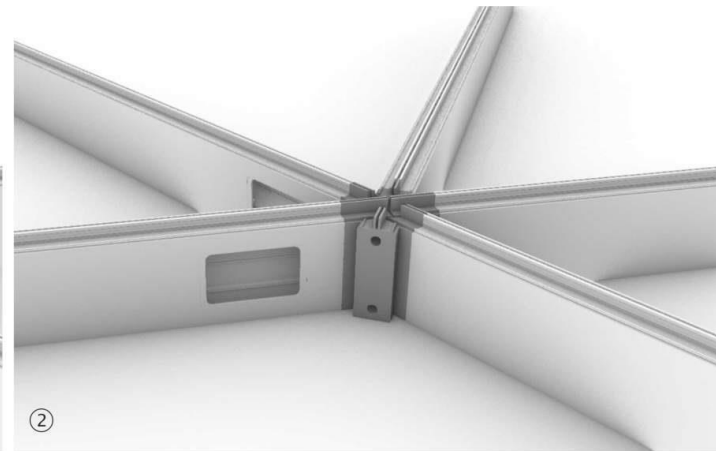
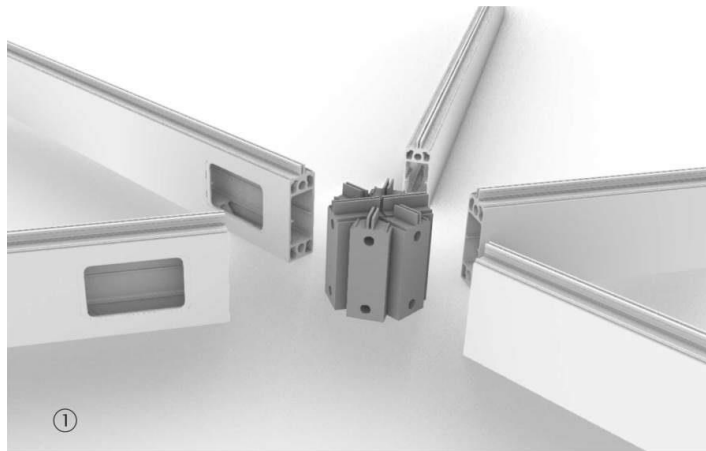
建設的ソリューション ドーム構造

- 「SpaceStructure」 自己支持メッシュ構造
- 材料は、高強度アルミニウム合金AD35T1 (EN AW-6082)



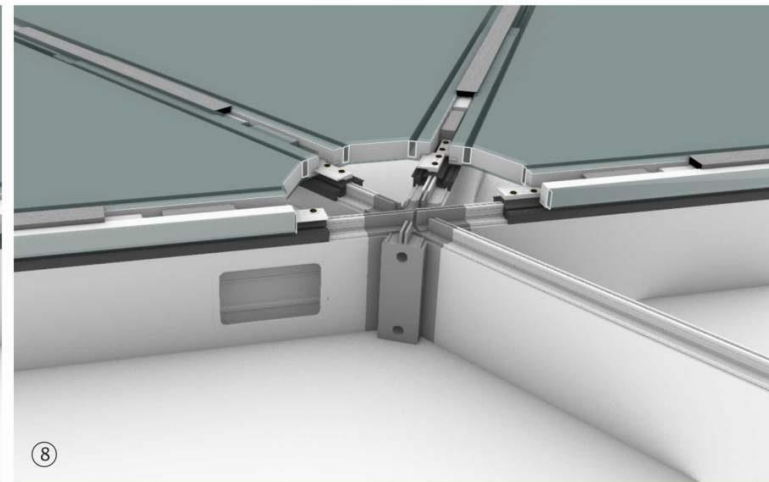
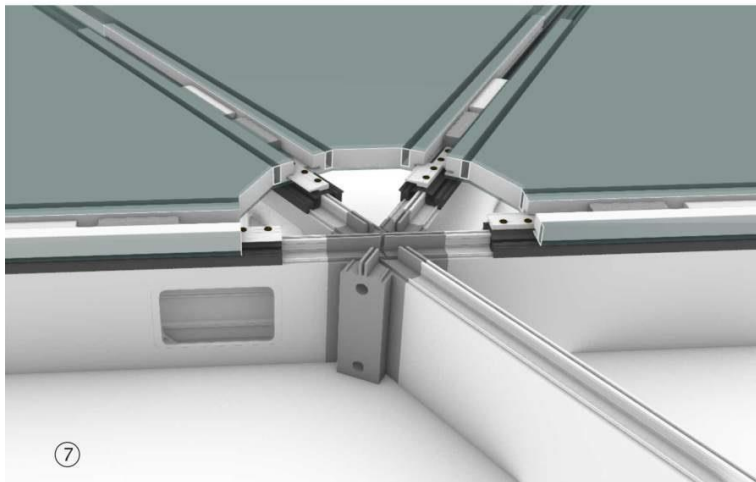
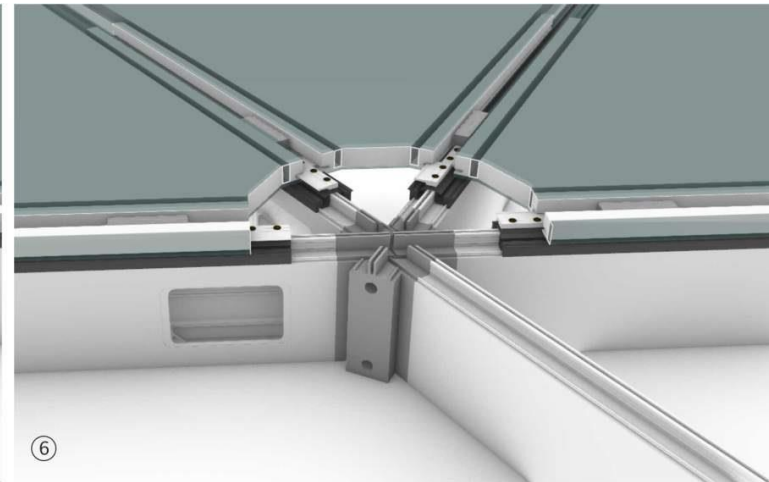
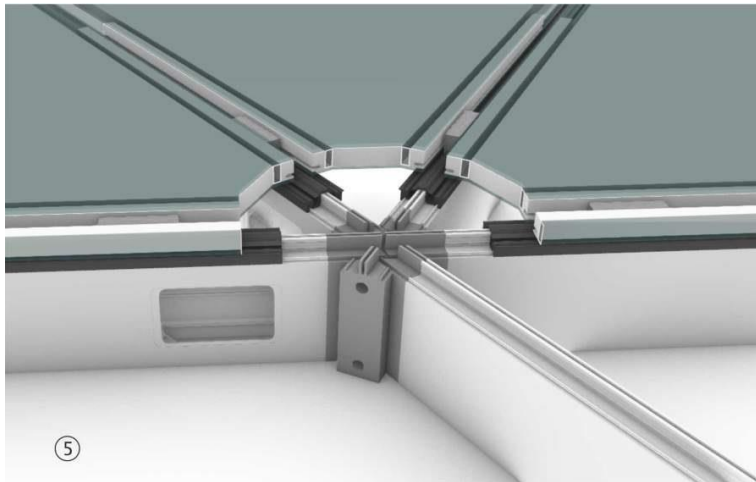
建設的ソリューション ドーム構造

- 「SpaceStructure」 自己支持メッシュ構造
- 材料は、高強度アルミニウム合金AD35T1 (EN AW-6082)



建設的ソリューション ドーム構造

- 「SpaceStructure」 自己支持メッシュ構造
- 材料は、高強度アルミニウム合金AD35T1 (EN AW-6082)



建設的ソリューション ドーム構造

- 「SpaceStructure」自己支持メッシュ構造
- 材料は、高強度アルミニウム合金AD35T1（EN AW-6082）

EN AW-6082 | DATA SHEET

The alloy EN AW-6082 is a high strength alloy for highly loaded structural applications. Typical applications are scaffolding elements, rail coach parts, offshore constructions, containers, machine building and mobile cranes. Due to the fine grained structure this alloy exhibits a good resistance to dynamic loading conditions. EN AW-6082 is certified for use in marine applications.

Chemical composition according to EN573-3 (weight %, remainder Al)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	remarks	others	
0.70 – 1.30	max. 0.50	max. 0.10	0.40 – 1.00	0.60 – 1.20	max. 0.25	max. 0.20	max. 0.10		each max. 0.05	total max. 0.15

Mechanical properties according to EN755-2

Temper*	Wall thickness e***	Yield stress Rp _{0.2} [MPa]	Tensile strength		Elongation		Hardness** HB
			Rm [MPa]	A [%]	A _{50mm} [%]		
T4	e ≤ 25	110	205	14	12	65	
T5	e ≤ 5	230	270	8	6	80	
T6	e ≤ 5	250	290	8	6	95	
	5 < e ≤ 25	260	310	10	8	95	

* Temper designation according to EN515: T4-Naturally aged to a stable condition, T5-cooled from an elevated temperature forming operation and artificially aged, T6-Solution heat treated, quenched and artificially aged [T6 properties can be achieved by press quenching]

** Hardness values are for indication only

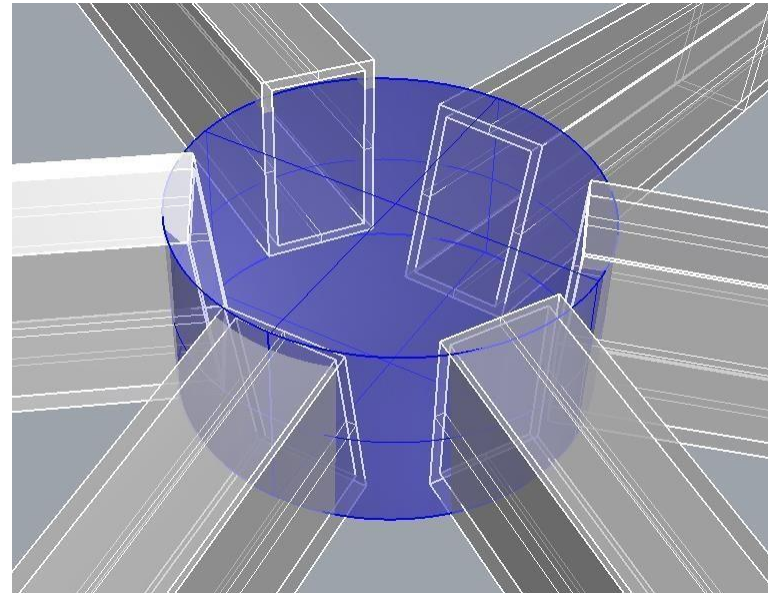
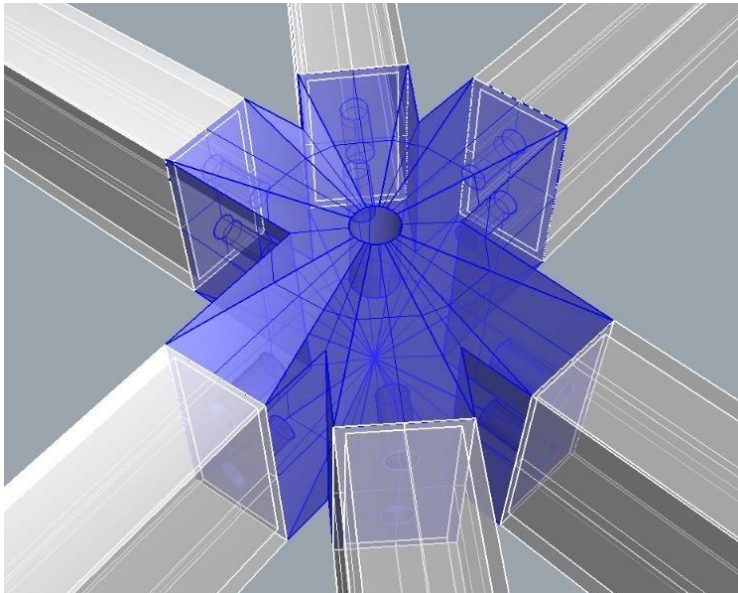
*** For different wall thicknesses within one profile, the lowest specified properties shall be considered as valid for the whole profile cross section

建設的ソリューション

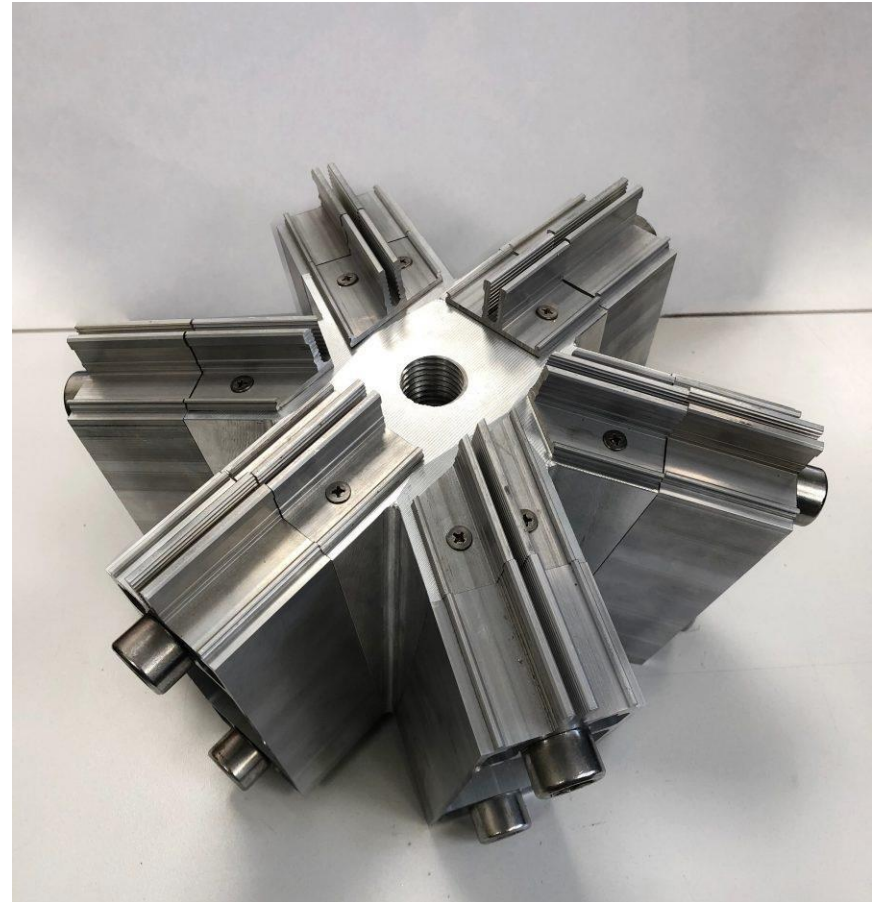
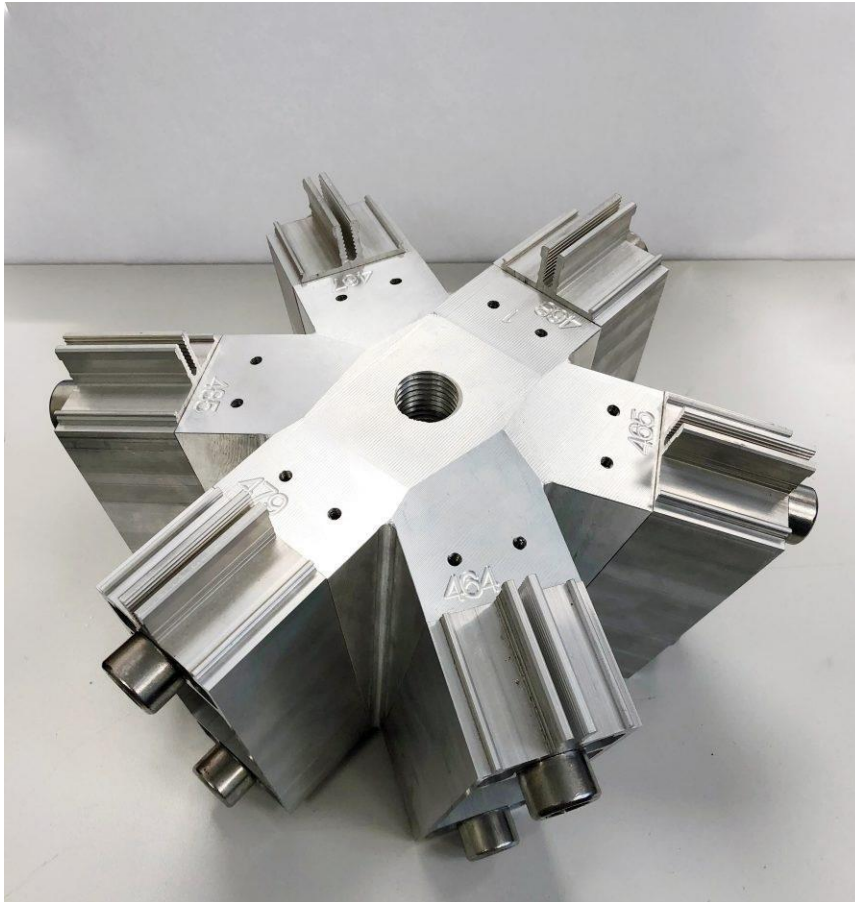
ドーム構造

鋼に対する利点：

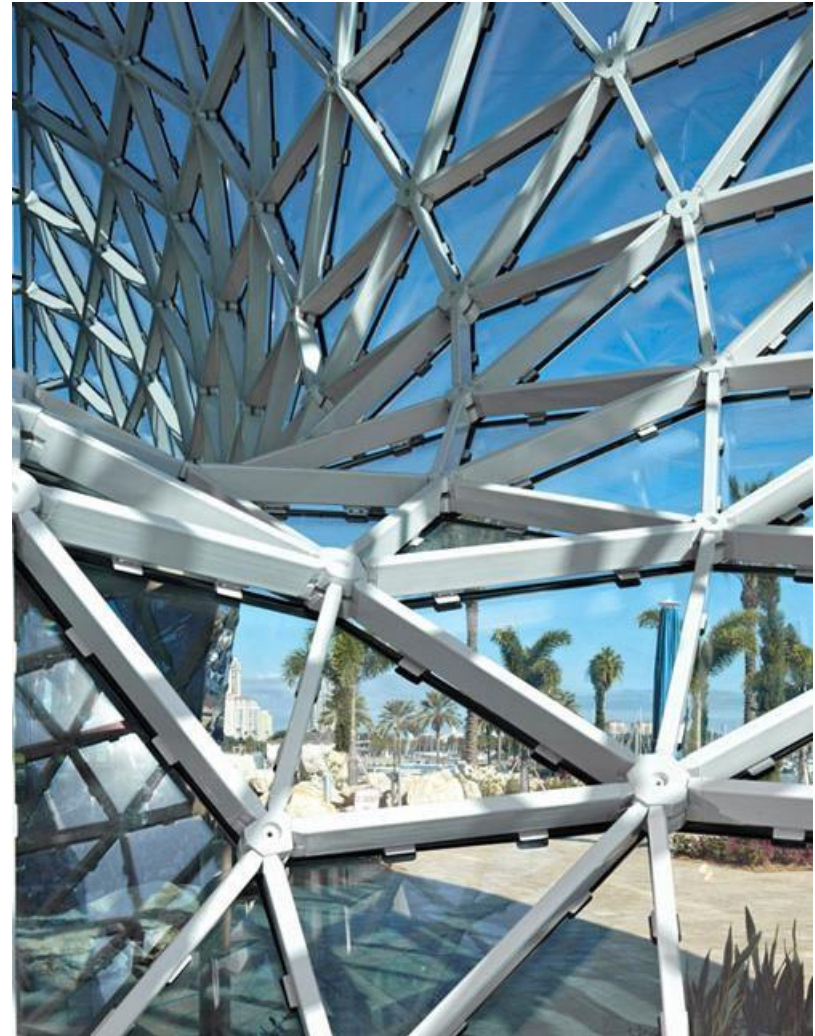
- 材料の高い防食性
- 建物の支持柱への最小負荷（構造物の低自量）
- 高い建築的および美的特性
 - RALに準拠した陽極酸化またはポリマー粉末コーティング
 - スター接続：節要素は軸要素の続きである
 - 接合部に隙間がなく、EPDMシールがしっかりとフィットする



建設的ソリューション ドーム構造



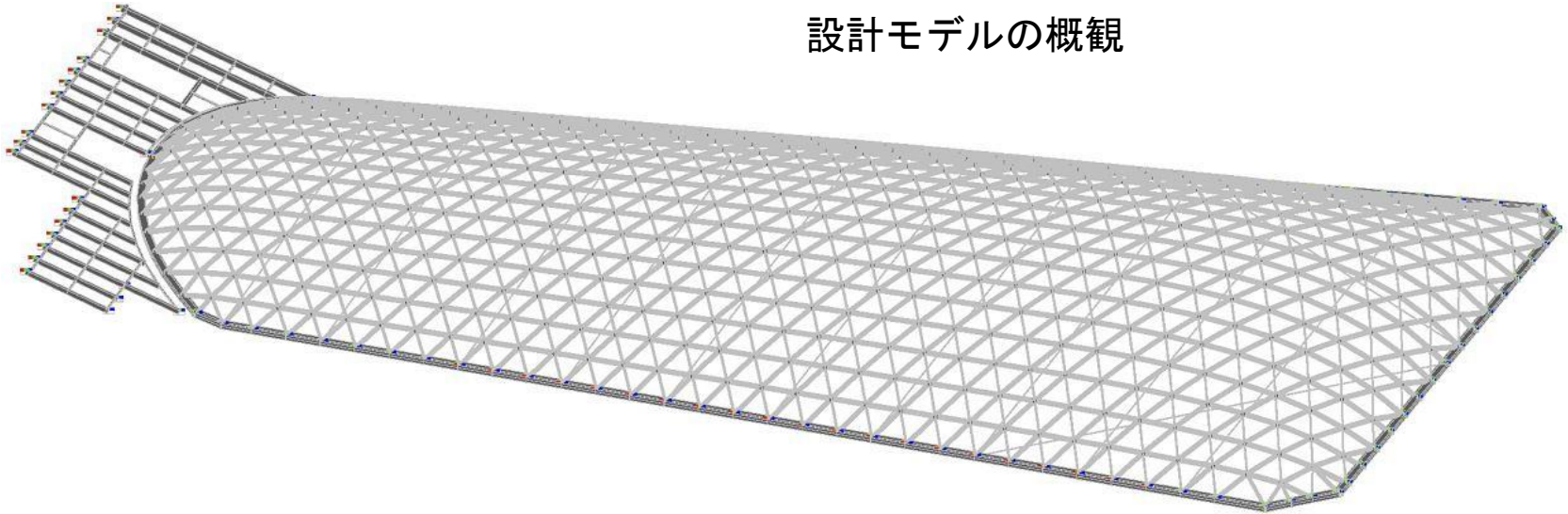
建設的ソリューション ドーム構造



シェル設計モデルの作成

静的計算

設計モデルの概観



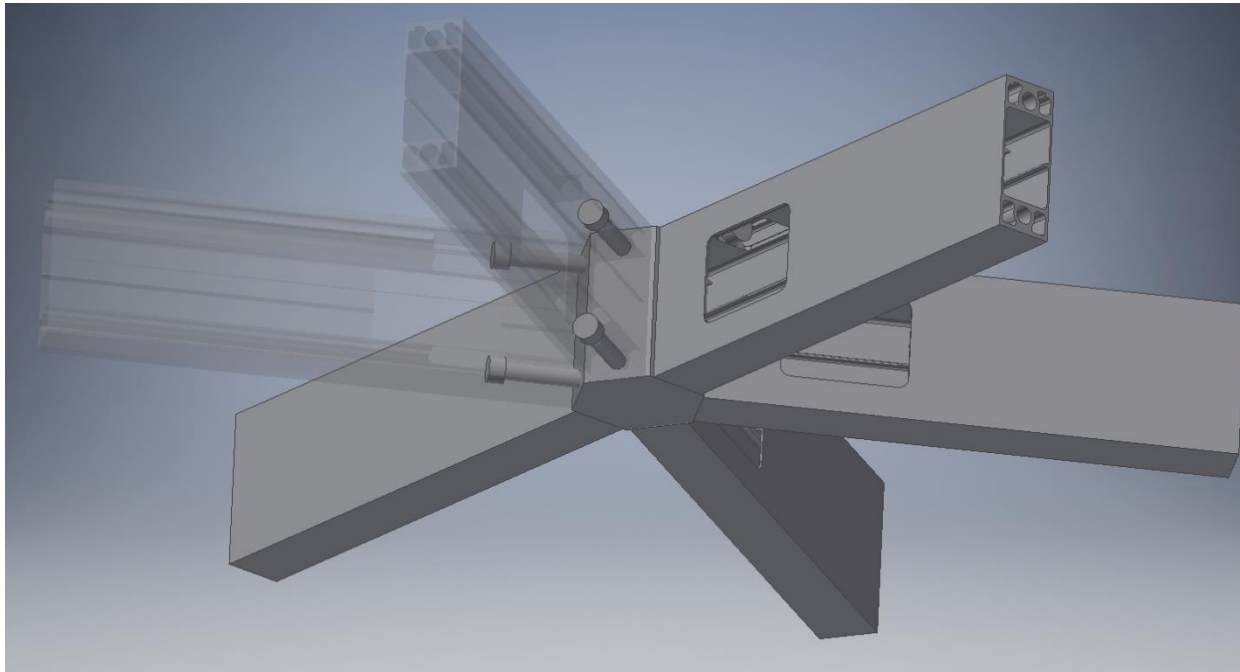
- すべての負荷、要素の剛性、および規制文書の要件を考慮して、実際の寸法に最も近い近似値を持つ建築図面に基づいて3次元の有限要素モデルを構築する
- クチェレンコ建設構造研究所の勧告に従って気候負荷を特定する
- ドームは、限界状態の第1グループ（強度と安定性）と限界状態の第2グループ（垂直および水平変位）の両方の要件を満たす

シェル設計モデルの作成

節要素の設計

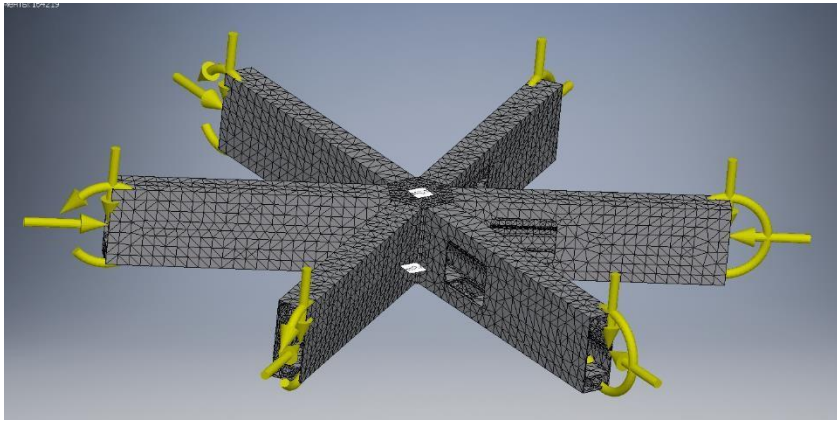
節要素は、6つの軸要素（ロッド）が接合する六角形（コネクタ）である。
 ロッドは、節にパイプの2本のネジを使用してコネクタに取り付けられる。
 断面M20のボルト

計算は、PC SCAD Office 21.1を使用してAD35T1合金製のパイプの非線形計算の結果に基づいて、最も不利な推力の組み合わせに対して行われた。



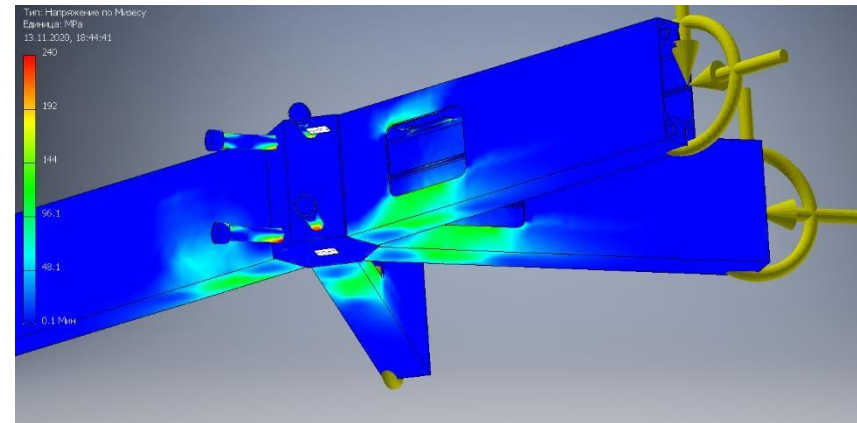
シェル設計モデルの作成 節要素の設計

次に、任意の3次元 モデリング プログラムで 計算した後、
節と形材が受けるべき力の計算値を得る。



節点接続の設計モデル（負荷は
全体プログラムから以前に取得
された）

節要素、ネジ接続、ロッドの応力の
評価。
特定の安定性係数で応力が降伏点を
超えない場合、問題は正しく解決さ
れた。



シェル設計モデルの作成 進行性崩壊への抵抗

- 進行性崩壊の計算は、クチェレンコ建設構造研究所によって開発された計算方法に従って行われた。
- 計算方法によると、次の要素の段階的な削除が考慮される。

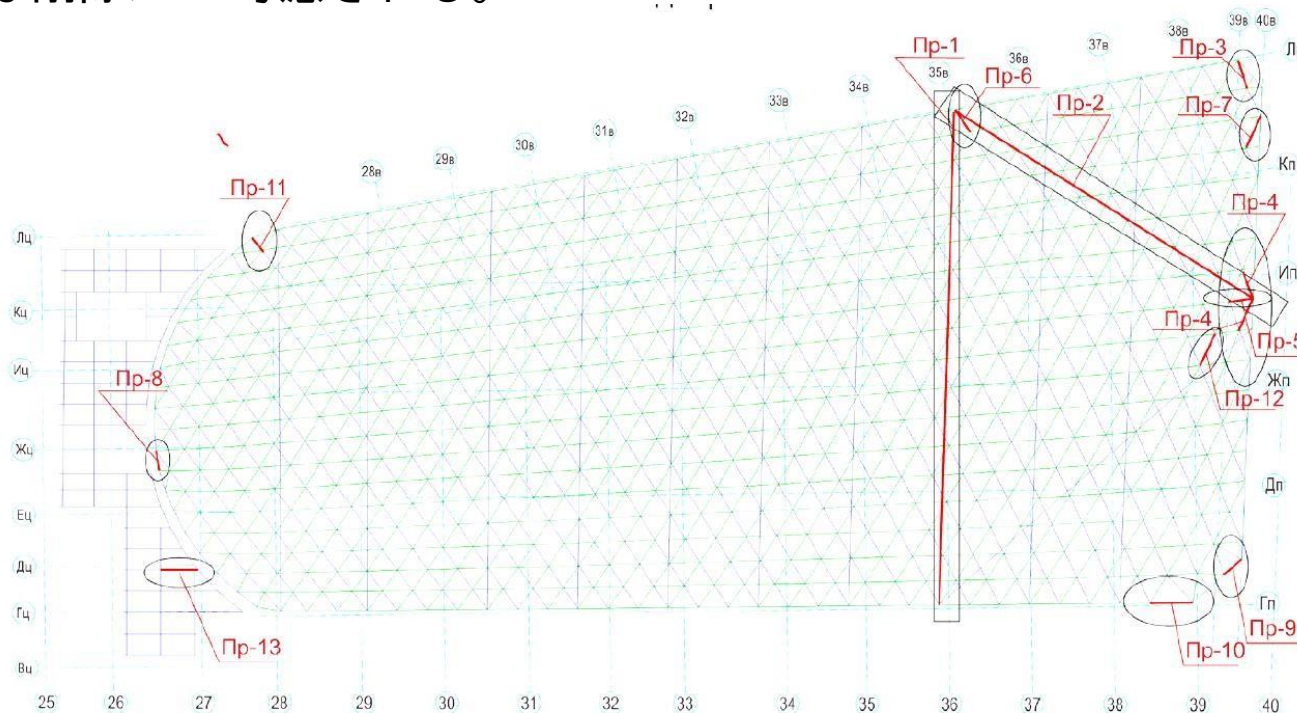
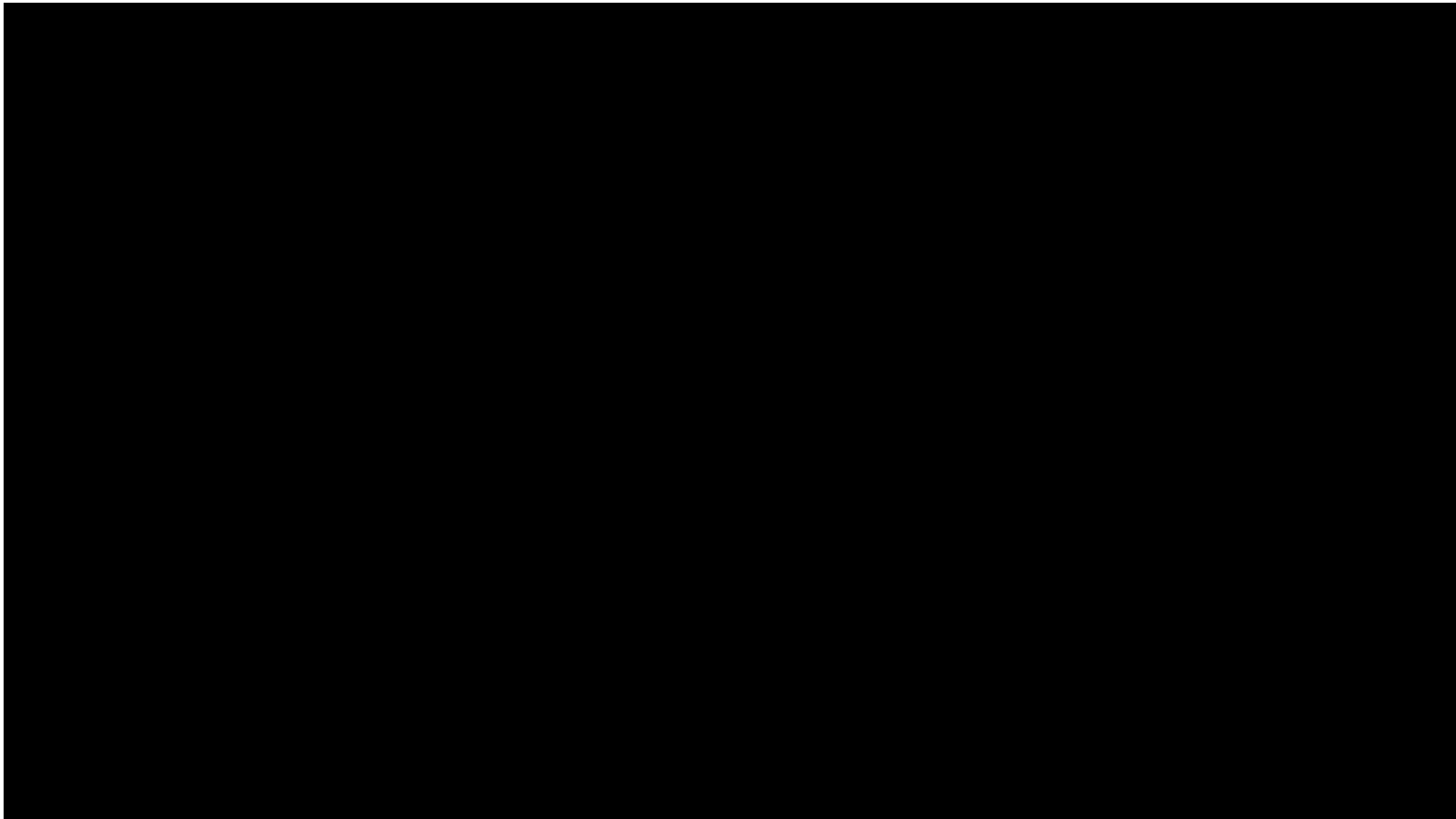


Рис.3.5. Покрытие Южного двора. Удаляемые несущие элементы

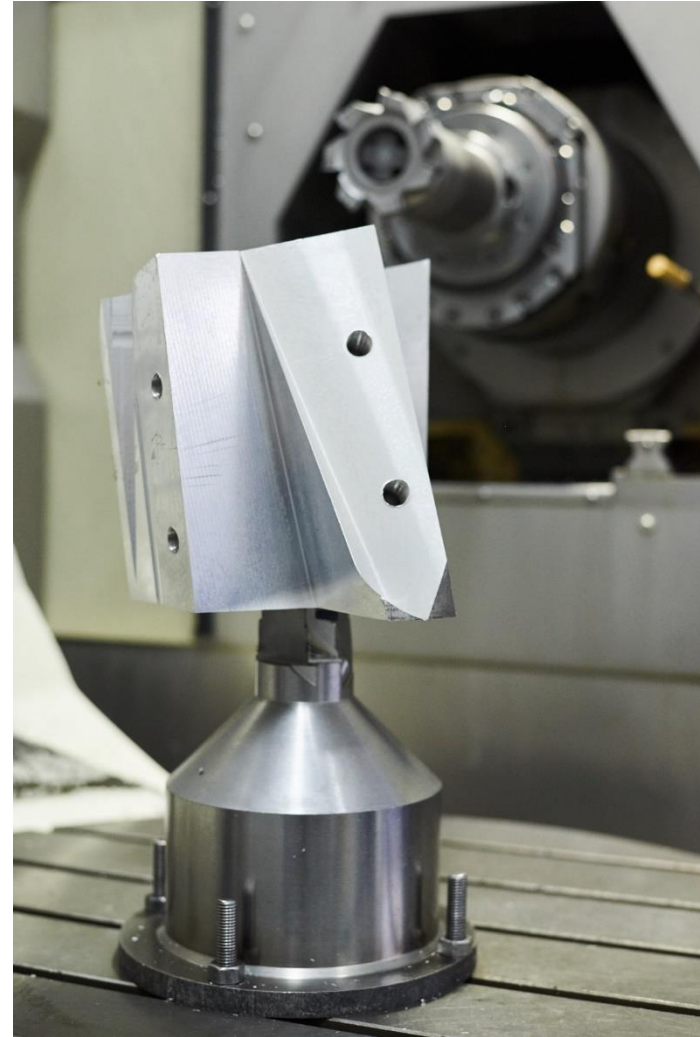
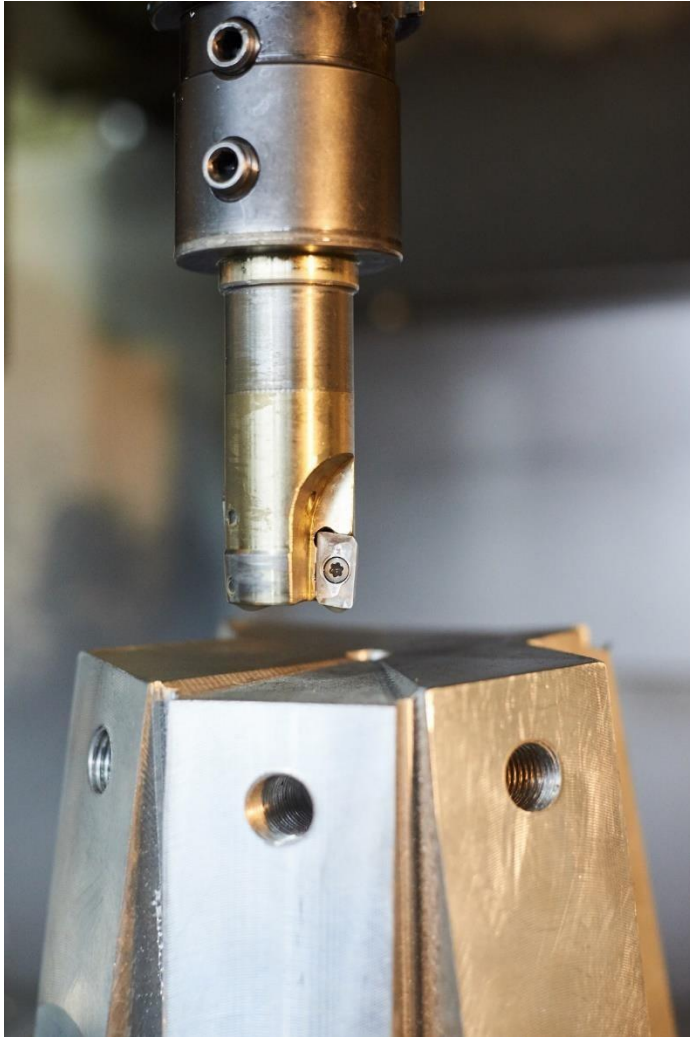


- Rhinoceros / Grasshopperソフトウェアにおけるソリッドモデル
- コードの任意の段階で編集可能なブロックのチェーンを構築する
- 最終モデルは新しいデータと連鎖して作成される

構造物の製造と設置



構造物の製造と設置



構造物の製造と設置

- 製品の品質管理
- 現場に出荷する前に、構造物の完全な確認組み立て。



構造物の製造と設置

- 段階1 輪郭ビームの設置



構造物の製造と設置

- 段階2 ジャックテンショナーの取り付けを伴う一時ケーブルの設置



構造物の製造と設置

- 段階3 空間シェル要素の設置
- 段階4 設計ケーブルの設置



構造物の製造と設置

- 段階3 空間シェル要素の設置
- 段階4 設計ケーブルの設置



構造物の製造と設置

- 段階5 ガラス設置とシーリング

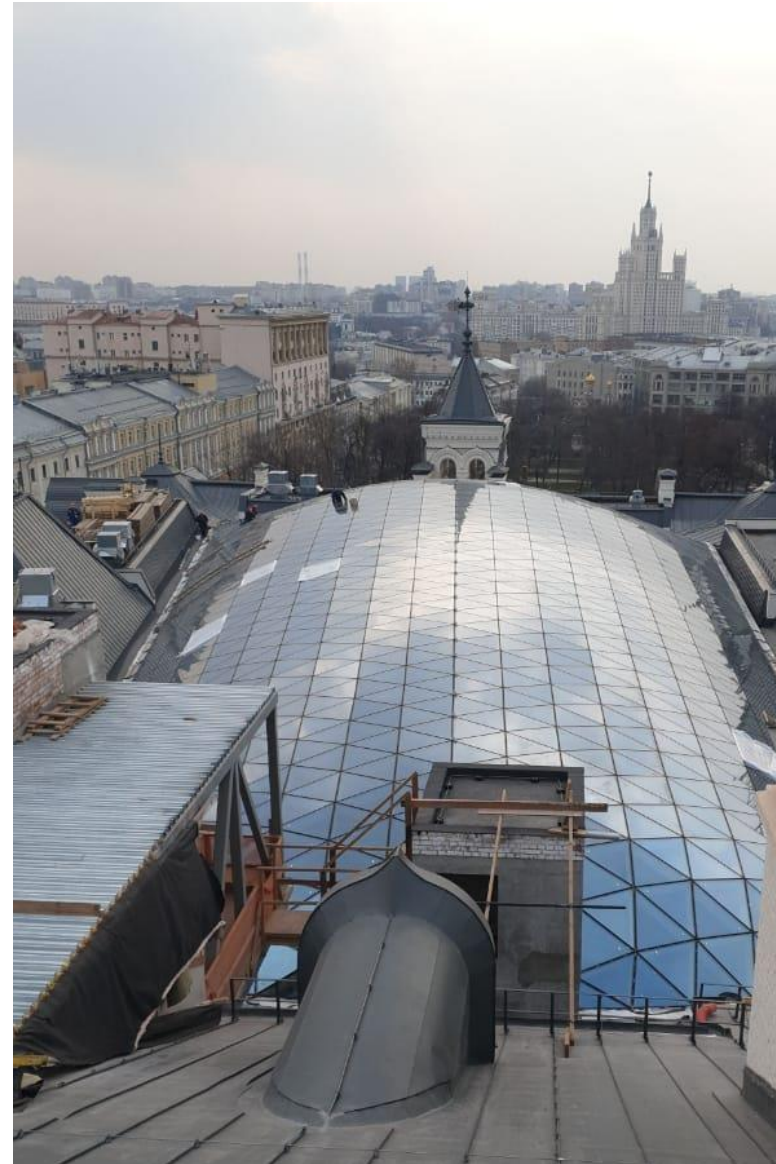


構造物の製造と設置

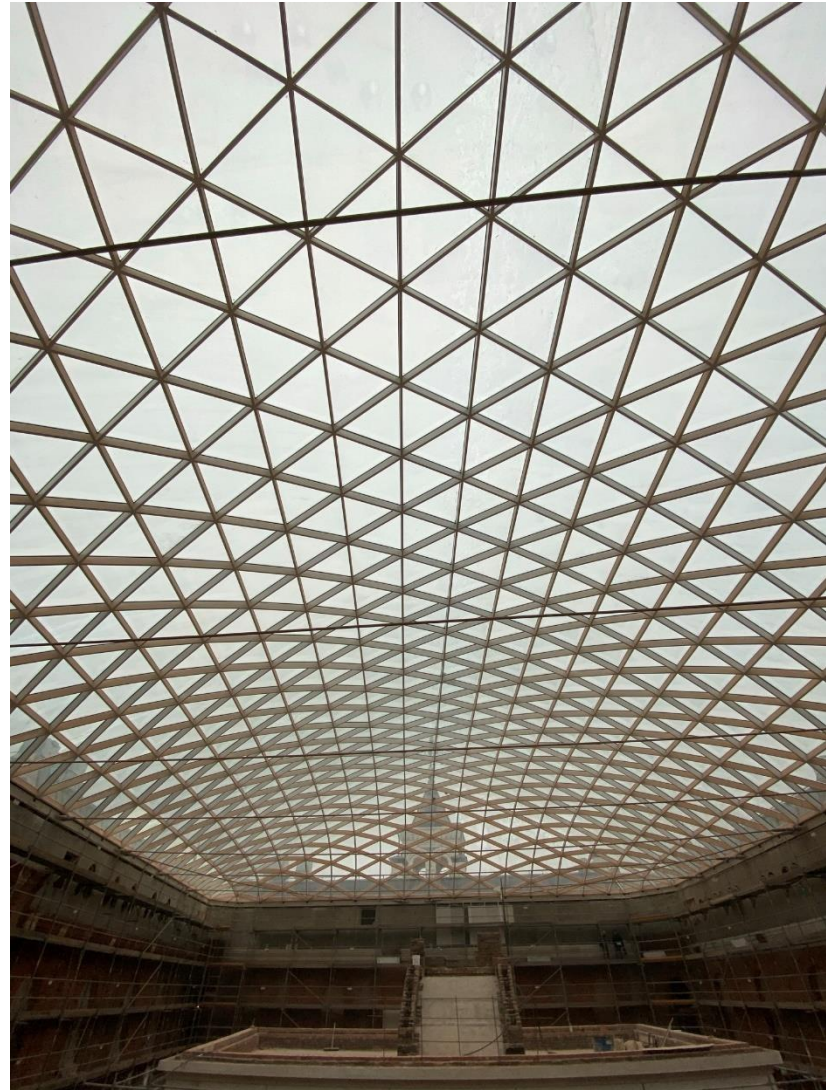
- 段階5 ガラス設置とシーリング



構造物の製造と設置



構造物の製造と設置



以上

