

# 構造部材の軽量化による 設営活動の効率化に関する検討

第16回南極設営シンポジウム

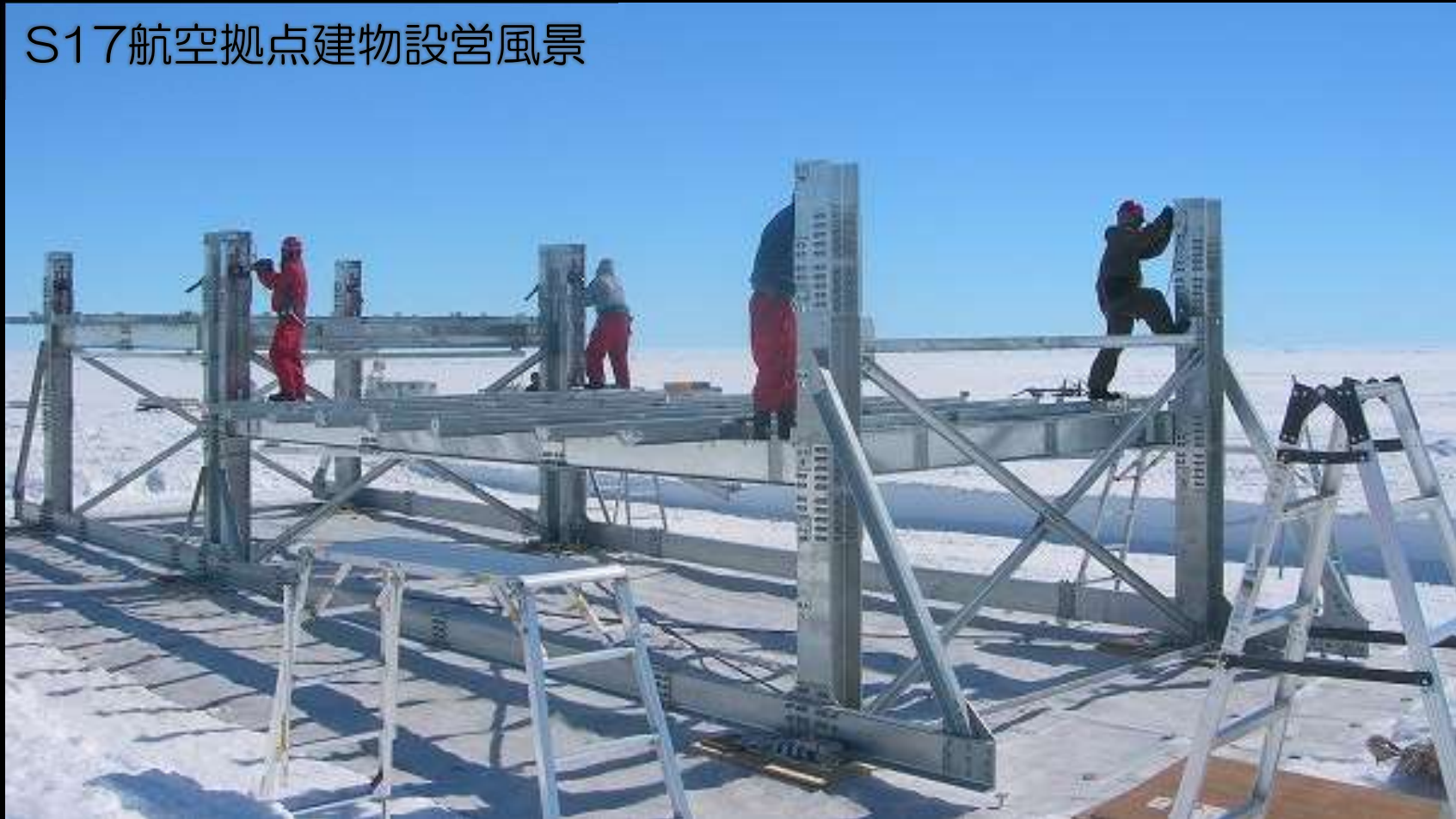
2019年6月3日

竹中工務店 技術研究所 構造部門

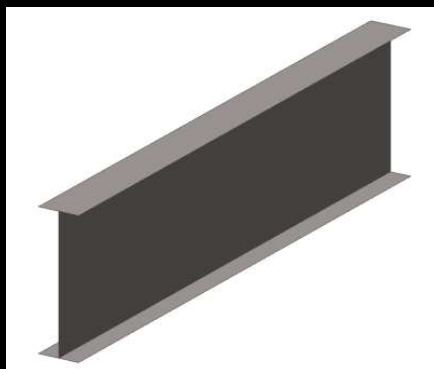
○岡崎智仁, 太田義弘

# はじめに

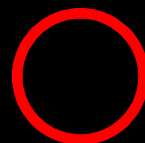
S17航空拠点建物設営風景



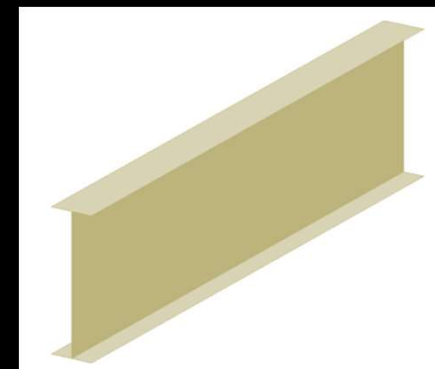
# 施工性のよい部材



大断面

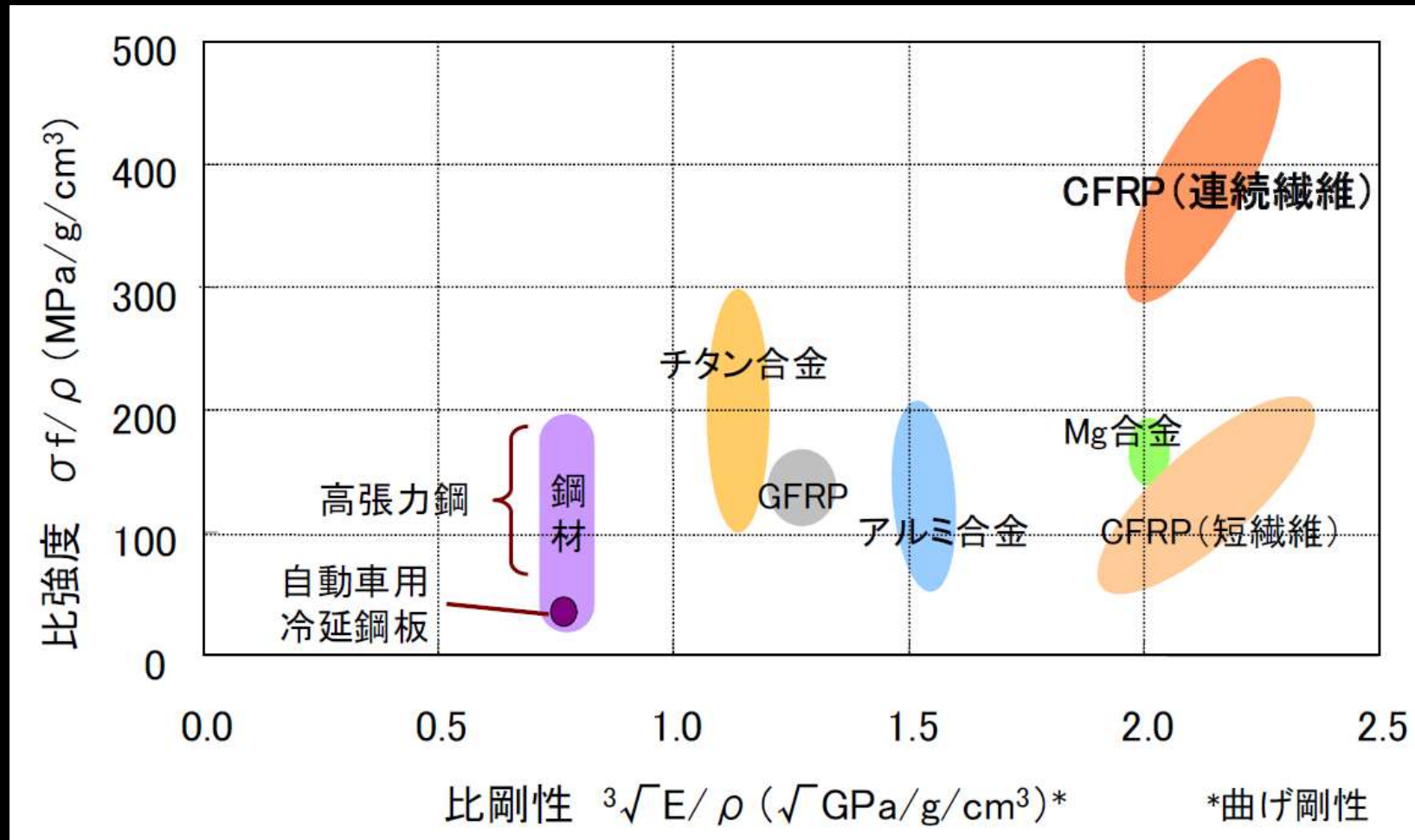


小断面の集合



軽い大断面

# CFRPの材料特性



# CFRP製高圧水素ガス容器（CFRPポール）

サムテック株式会社  
設立：昭和24年  
本社：大阪府柏原市



## 炭素繊維強化プラスチックの特徴


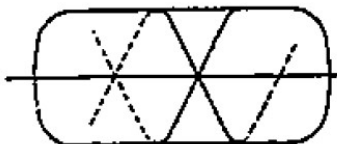
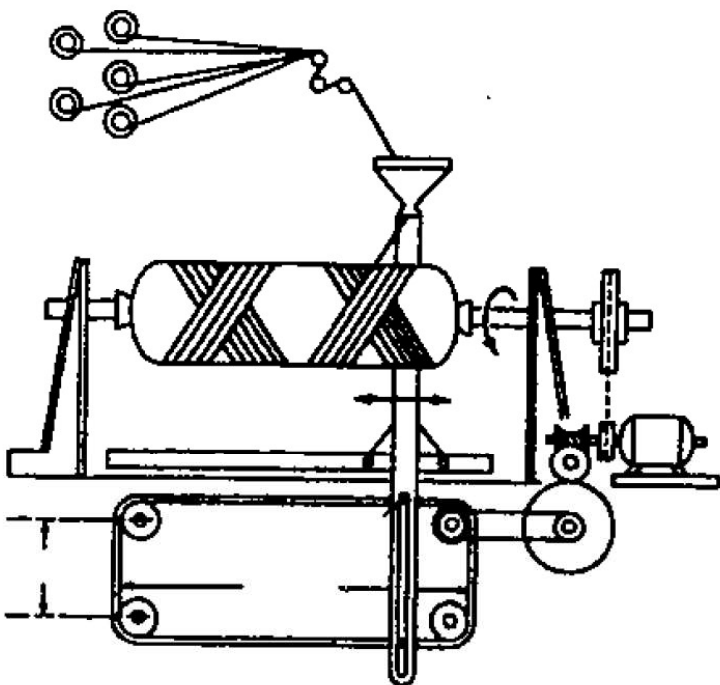
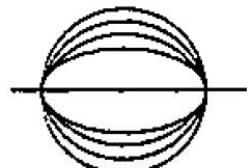
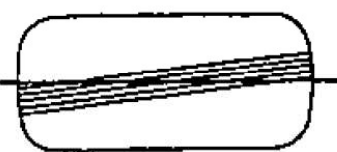
比重：鋼材の1/5程度

鋼材と同等のヤング係数

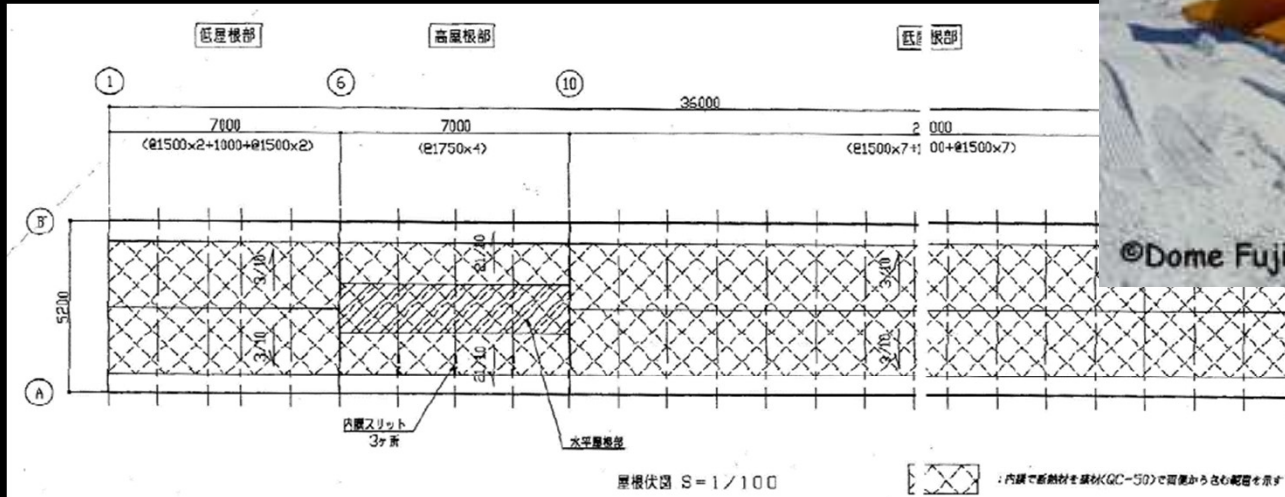
高強度（降伏強度3,000MPa）



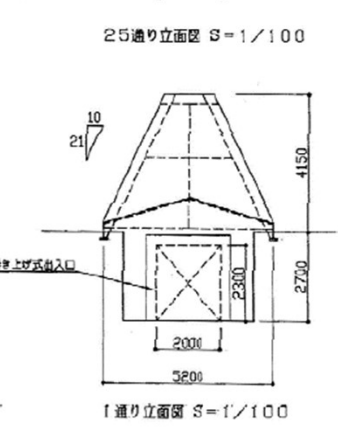
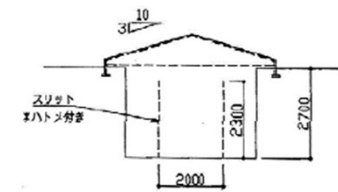
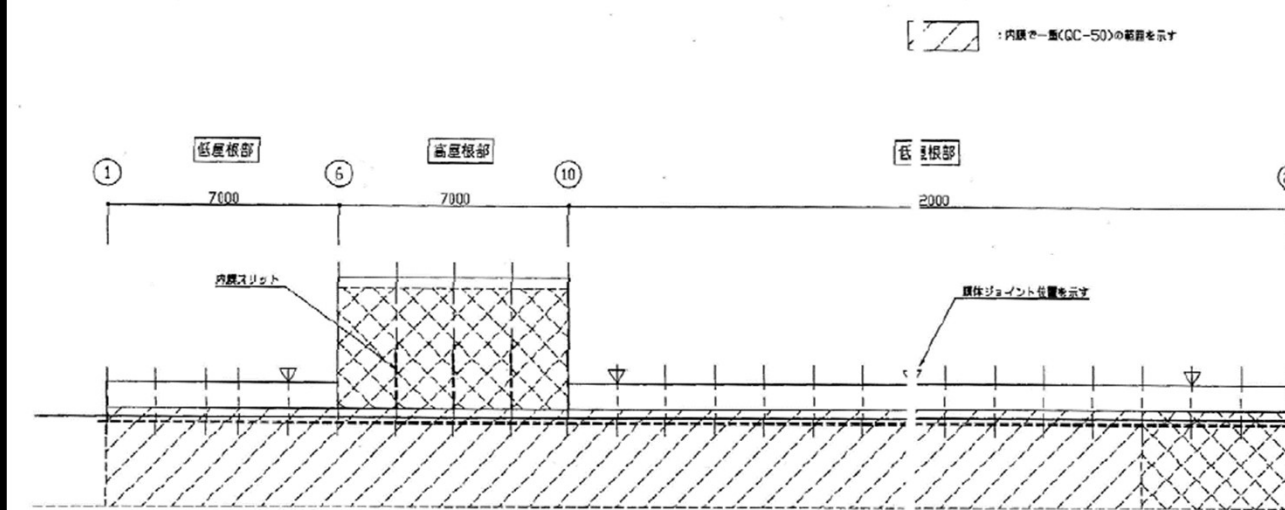
# CFRPの成形方法

原	 パラレル巻 (フニブ巻)	 ヘルカル巻	
	 ボーラー巻	 レベル巻 (インプレーン巻)	
	ワインディングパターン		フィラメントワインディングの概念
理	等速で回転する型 (マンドレル) に、樹脂槽で連続的に樹脂を含浸させたローピングを張力を掛けて回転軸に対して一定の角度をつけて、必要な厚さになるまで巻き付ける。 ローピングの巻き付け速度は通常20~100m/min. で硬化は室温から180°Cの範囲で行う。		

# 検討対象



塗装	鋼材 (JIS K 5503) 1種+仕上げ (JIS K 5510) 1種 - 亜鉛めっき亜鉛ペイント 合成樹脂塗膜ペイント
仮組立	仮組立をおこなう (場所については別途打合せによる)
内装	内装壁 : 断熱材25mm + 鋼材 (GC-50) で断熱処理 断熱材 : 断熱材50mm + 鋼材 (GC-60) で断熱処理
納入場所	別途打合せによる
別注品	温敷、工具 * パイプ木口はフタ (PL-1.6) でふさぐこと



## 掘削場屋根架構

A通り立面図 S=1/100

I通り立面図 S=1/100

## 検討方針

### ➤ 検討に用いたCFRPの材料特性

	弾性係数 (MPa)	降伏強さ (MPa)	せん断強さ (Mpa)	許容軸方向圧縮応力度 (MPa)
CFRP	$1.636 \times 10^5$	3,000	90.5	今後実験により確認

### ➤ 目標性能

部材応力に対する性能：原設計と同程度

架構変形に対する性能：原設計と同程度

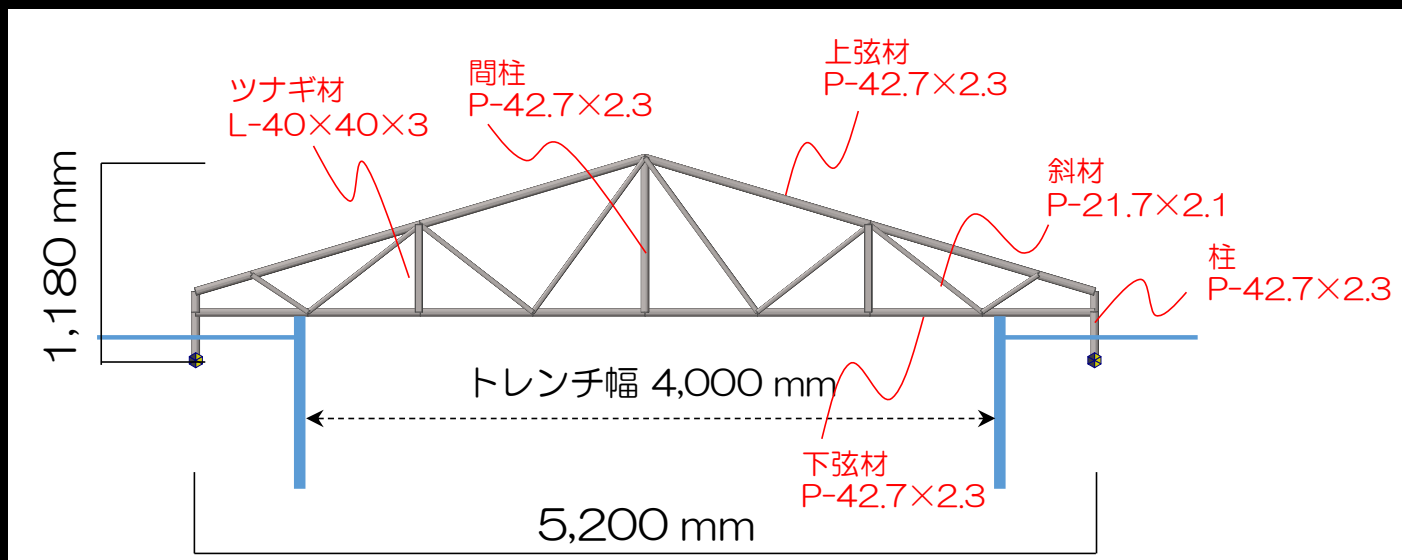
### ➤ 検討ケース

ケース1：架構形式は原設計と同じとし部材材料のみCFRPに置換

ケース2：CFRPポールの製造上の特徴を考慮した合理的な架構



# 現状架構モデルと設計荷重



断面寸法	単位長さ重量 (kg/m)	断面積 ( $\times 10^2 \text{ mm}^2$ )	断面二次モーメント ( $\times 10^4 \text{ mm}^4$ )	断面係数 ( $\times 10^3 \text{ mm}^3$ )
P-42.7×2.3	2.29	2.92	5.97	2.80
P-21.7×2	0.97	1.24	0.61	0.56
L-40×40×3	1.83	2.34	3.53	1.21

鋼材種：400 N/mm<sup>2</sup> 級鋼

積雪荷重：2,574 N/mm (50cmの積雪)



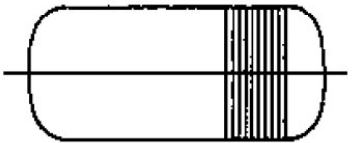
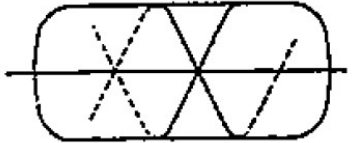
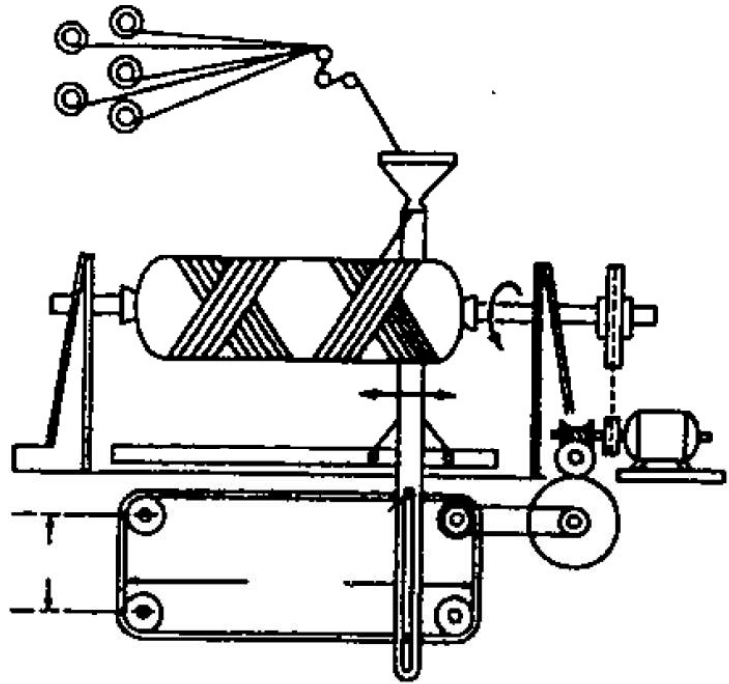
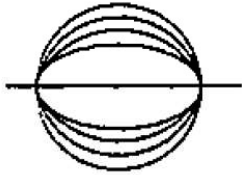

# ケース1\_CFRP置換の効果

部位	断面寸法	〈最大部材長〉 〈最小部材長〉 (m)	部材総長 (m)	単位長さ 重量 (kg/m)	原設計 総重量 (kg)	CFRP置換後 総重量(kg)	断面積 ( $\times 10^2 \text{ mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{ mm}^4$ )	断面係数 ( $\times 10^3 \text{ mm}^3$ )
柱	P-42.7×2.3	0.4 〈→〉	0.8	2.29	1.8	0.4	2.92	5.97	2.80
間柱	P-42.7×2.3	0.9 〈→〉	0.9	2.29	2.1	0.4	2.92	5.97	2.80
上弦材	P-42.7×2.3	2.8 〈→〉	5.4	2.29	12.4	2.4	2.92	5.97	2.80
下弦材	P-42.7×2.3	5.2 〈→〉	5.2	2.29	11.9	2.3	2.92	5.97	2.80
斜材	P-21.7×2.0	1.1 〈0.4〉	6.4	0.97	6.2	1.2	1.24	0.61	0.56
つなぎ材	L-40×40×3	0.5 〈→〉	1.0	1.83	1.8	1.8	2.34	1.46	1.21
合計					36.2	8.4			

低屋根部20フレーム（総重量724kg）のCFRPポール置換により  
556kgの重量減

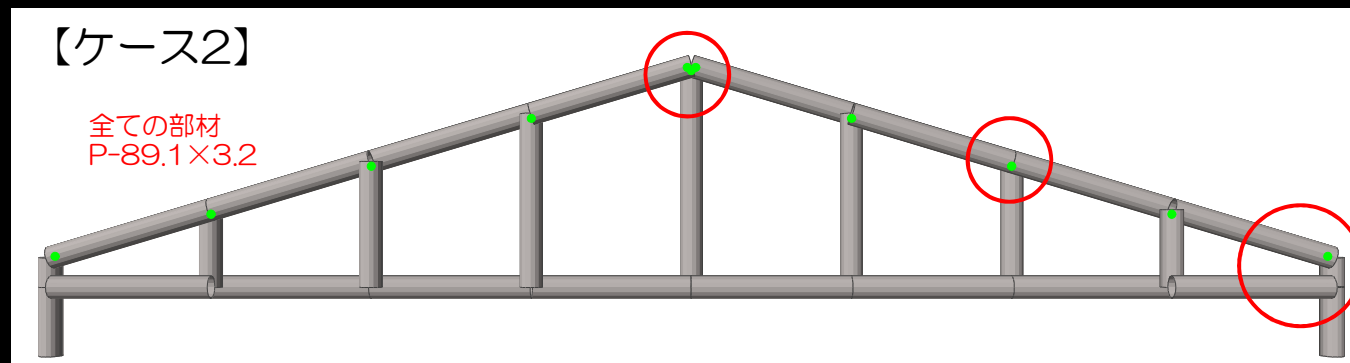
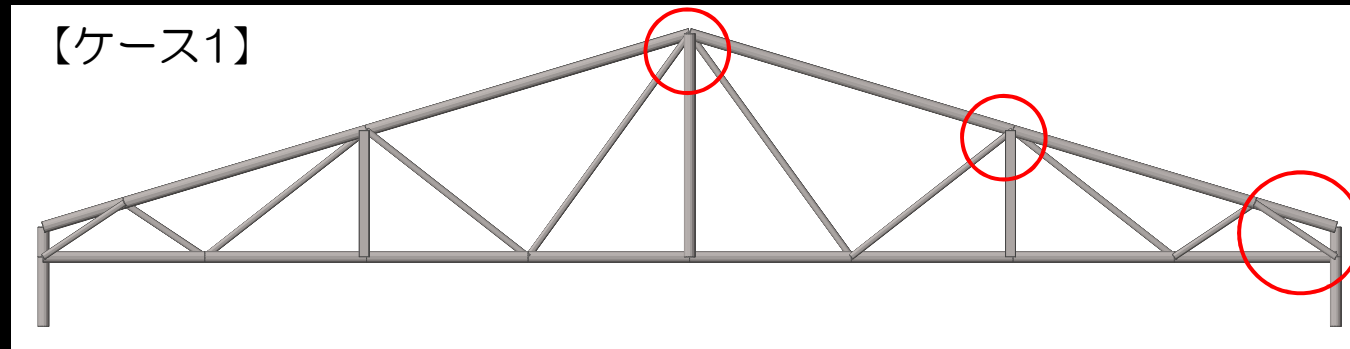
# ケース2\_CFRPポールの成形方法

CFRPポールの製造上の特徴を考慮した合理的な架構

原	 <p>パラレル巻 (フイバ巻)</p>	 <p>ヘルカル巻</p>	
	 <p>ポーラー巻</p>	 <p>レイヤ巻 (インプレーン巻)</p>	
	ワインディングパターン		フィラメントワインディングの概念
理	<p>等速で回転する型 (マンドレル) に、樹脂槽で連続的に樹脂を含浸させたローピングを張力を掛けて回転軸に対して一定の角度をつけて、必要な厚さになるまで巻き付ける。</p> <p>ローピングの巻き付け速度は通常20~100m/min. で硬化は室温から180°Cの範囲で行う。</p>		

## ケース2\_架構の特徴

CFRPポールの製造上の特徴を考慮した合理的な架構

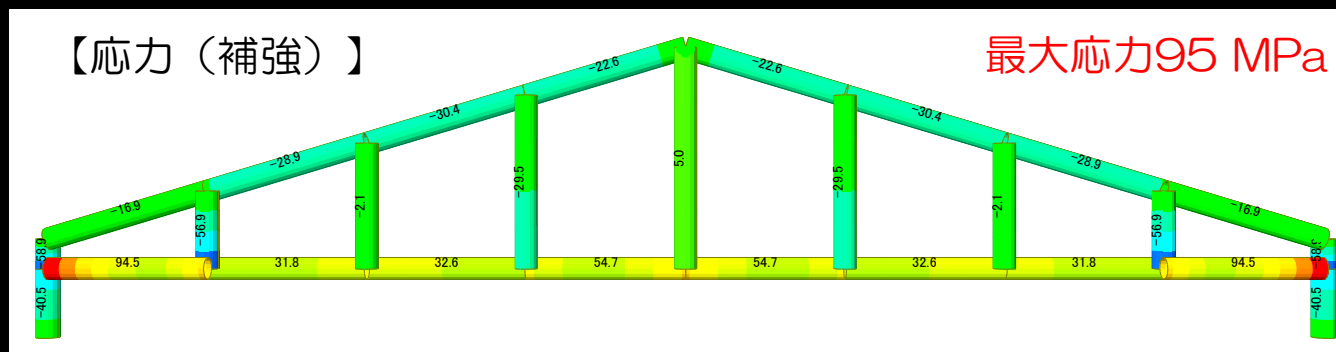
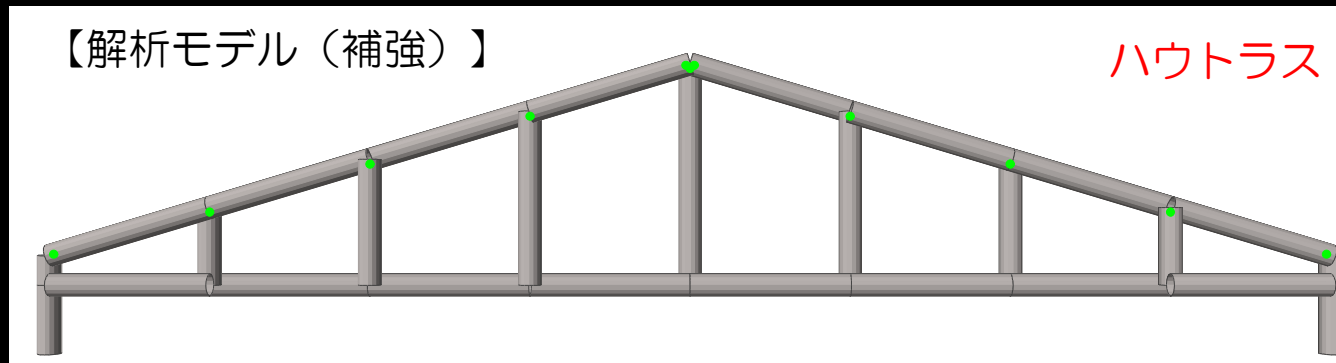


- 接合部での最大部材本数は3本 ⇒ 設営効率の向上
- 全ての部材が同一断面 ⇒ 製造効率の向上（コスト削減）



# ケース2\_解析結果

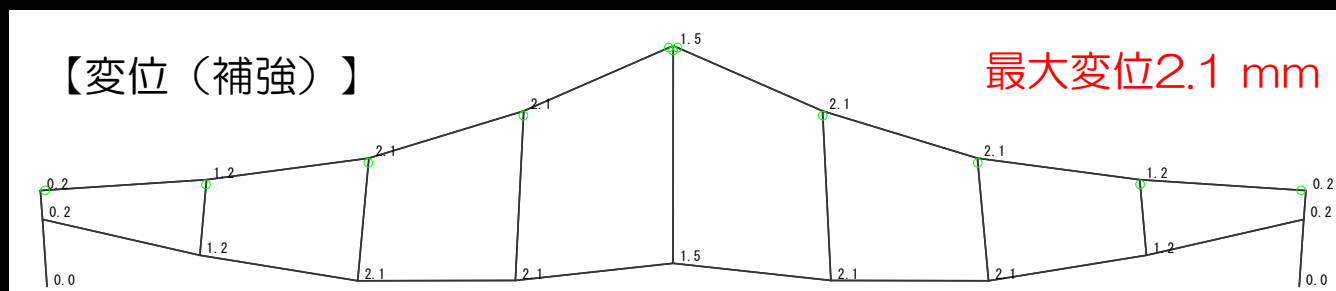
CFRPポールの製造上の特徴を考慮した合理的な架構



midas 1Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM STRESS

組合わせ (Max)

9.45250e+001
8.05769e+001
6.66289e+001
5.26809e+001
3.87328e+001
2.47848e+001
1.08367e+001
0.00000e+000
-1.70593e+001
-3.10074e+001
-4.49554e+001
-5.89035e+001



midas 1Gen  
POST-PROCESSOR  
DEFORMED SHAPE

XYZ-合

X-DIR= 3.025E-001  
NODE= 12

Y-DIR= 0.000E+000  
NODE= 1

Z-DIR= -2.114E+000  
NODE= 12

COMB. = 2.135E+000  
NODE= 12

倍率 = 1.218E+002

# ケース2\_接合部のアイデア

CFRPポールの製造上の特徴を考慮した合理的な架構



## まとめ

既存掘削場屋根をモデルとした構造部材のCFRP置換検討によって以下の知見を得た。

- ◆ 現状の架構形式を変えずに材料のみをCFRPポールに置換した場合、75%程度の架構重量減となり、輸送効率および組立効率の向上が期待できる。
- ◆ CFRPポールの製造上の特徴や材料強度を考慮した場合、ハウトラス形式やボールジョイント接合部など組立効率の良い架構形式が期待できる。

## 今後必要と考える検討項目

- CFRPポールの極低温環境での材料特性の把握
  - 力学特性（材料強度，弾性係数，クリープ，疲労など）
  - 線膨張係数
  - 耐候性（極低温，日射，可能であれば現地暴露試験）
- CFRPポールの極低温環境での部材としての構造性能の把握
  - 座屈性状
  - 異種材料との相性（クリープ，線膨張係数，接触腐食）
- CFRPポールの部材接合方法の検討
  - 接合強度
  - 施工性
  - 架構試設計