

第19回南極設営シンポジウム

南極30cmサブミリ波望遠鏡 保存のための断熱と保温

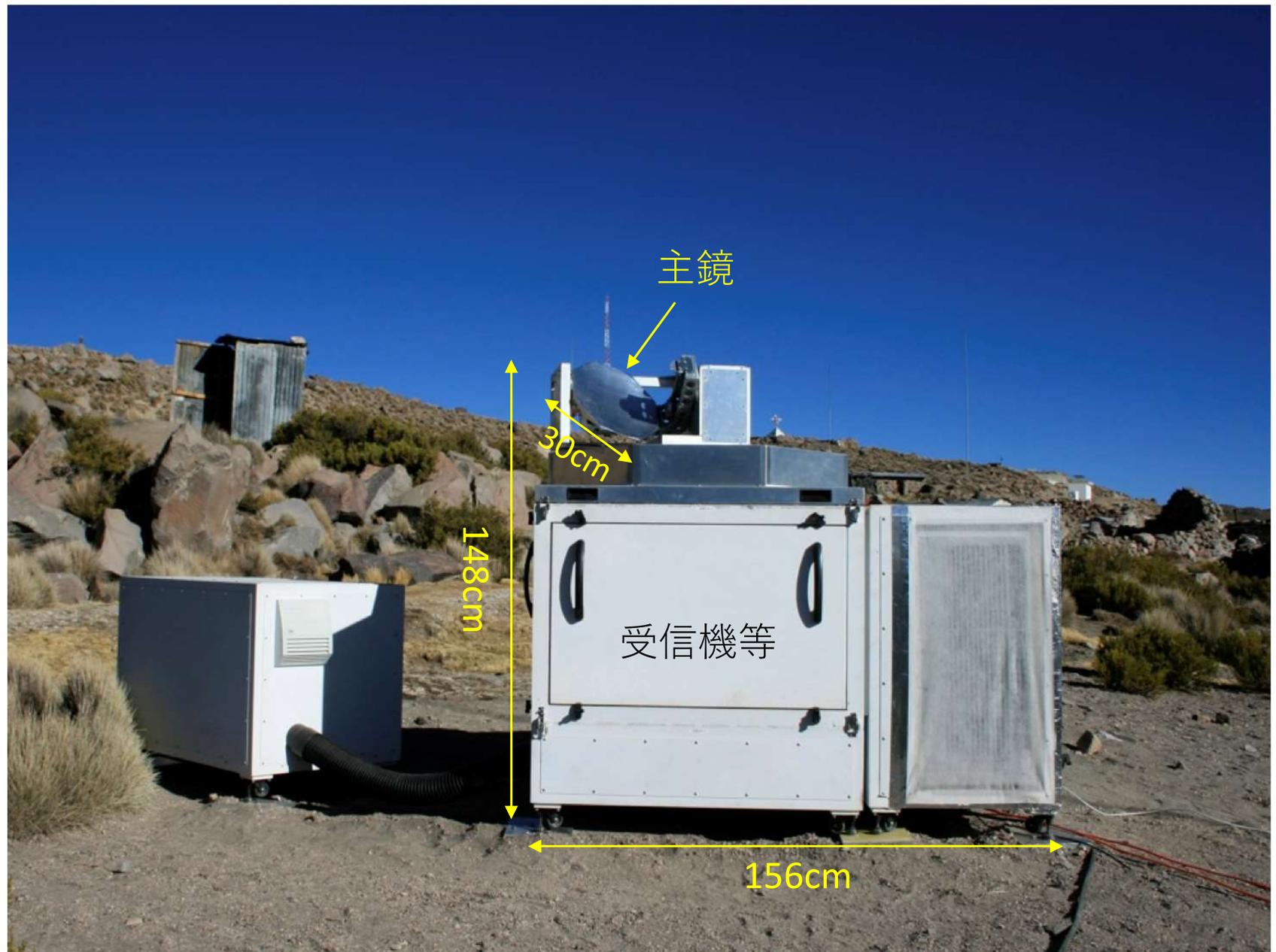
関西学院大学

中井直正、永原大暉、吉田亮平、門傳伸二

南極30cmサブミリ波望遠鏡

天の川掃天
観測
観測周波数
500 GHz

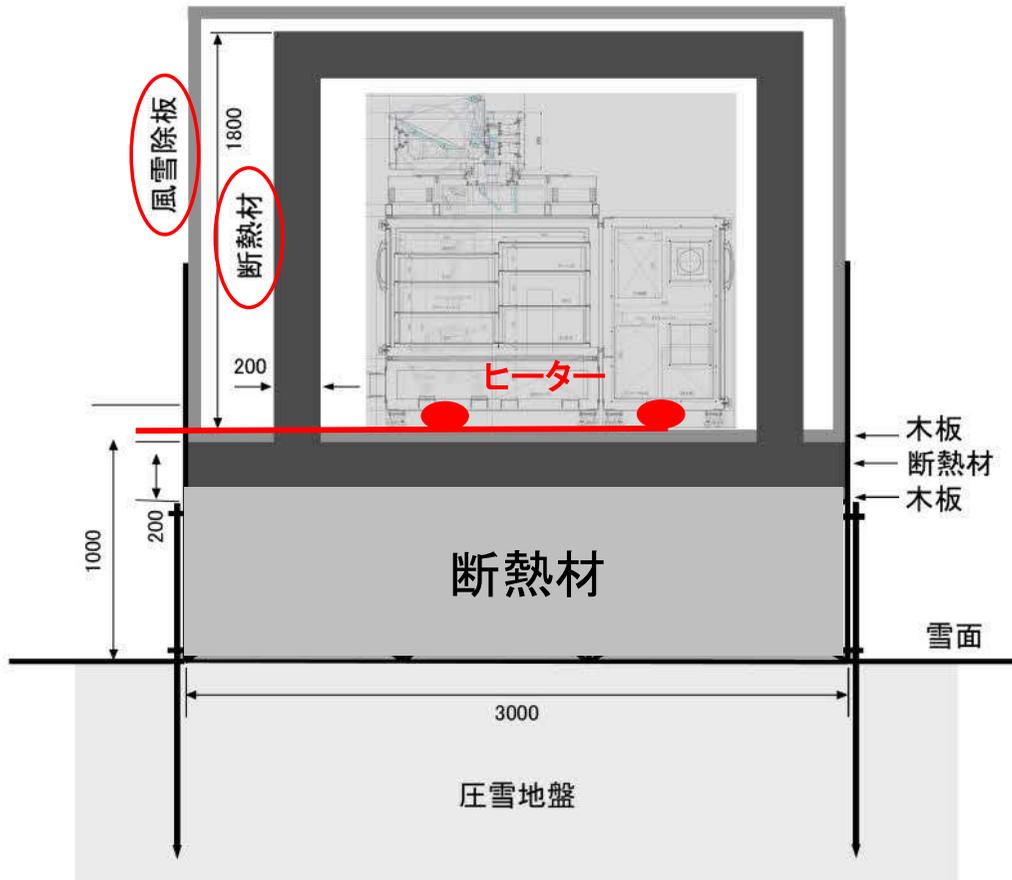
重量
~250 kg
分割輸送



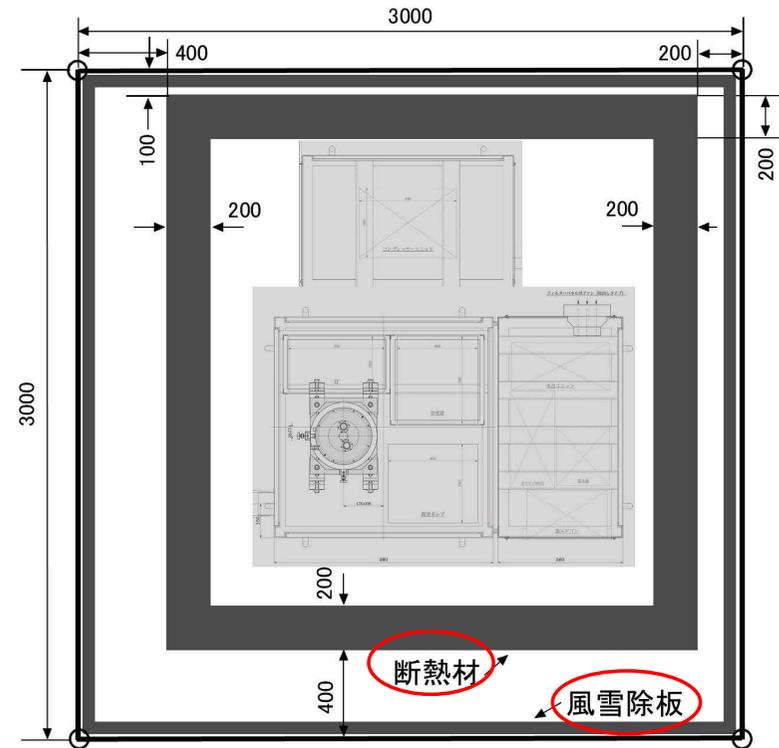
南米チリ北部のアタカマ砂漠の標高4500mで試験観測

望遠鏡冬季保存

望遠鏡台(保存時側面図) (2022.7.20)



望遠鏡台(保存時平面図1) (2021.7.28)



熱計算

理論計算(シミュレーション)

- ◆ 熱・流体シミュレーション 「SOLIDWORKS」
 Q [W] : 伝熱量
 A [m²] : 面積
- ◆ 熱伝導 $Q = -\lambda A \frac{dT}{dx}$ (固体内) λ [W / (m · K)] : 熱伝導率
対流熱伝達 $Q = hA(T_h - T_c)$ (固体-気体間) h [W/(m² · K)] : 熱伝達率
- 熱輻射 $Q = \sigma \varepsilon A (T_1^4 - T_2^4)$ (固体-固体 / 大気)

- ◆ 必要電力(=失われる熱量を補うのに必量な電力)

熱通過(熱損失)

$$Q = KA(T_1 - T_0)$$
$$K = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{h_i}}$$

K [W / (m² · K)] : 熱通過率
 T_1 [K] : 望遠鏡温度
 T_0 [K] : 断熱材温度
 L_j [m] : 長さ

- ◆ 望遠鏡

250kgの鉄(アルミ)

熱容量 アルミ 180 [kJ/K]
鉄 110 [kJ/K]₄

計算の妥当性の検証

(断熱材A)
ホームセンター



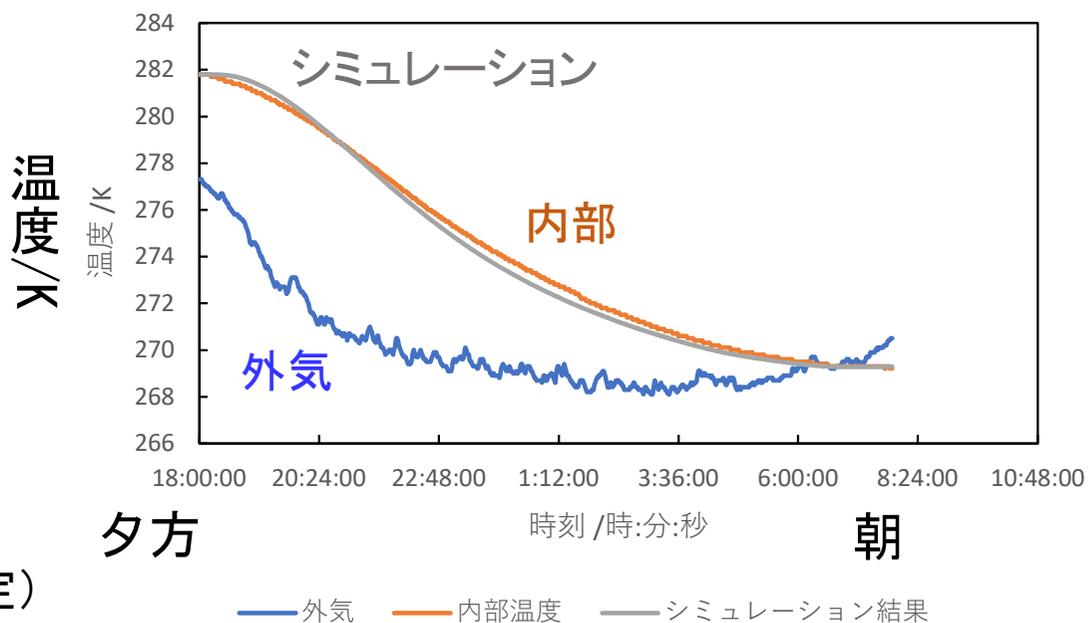
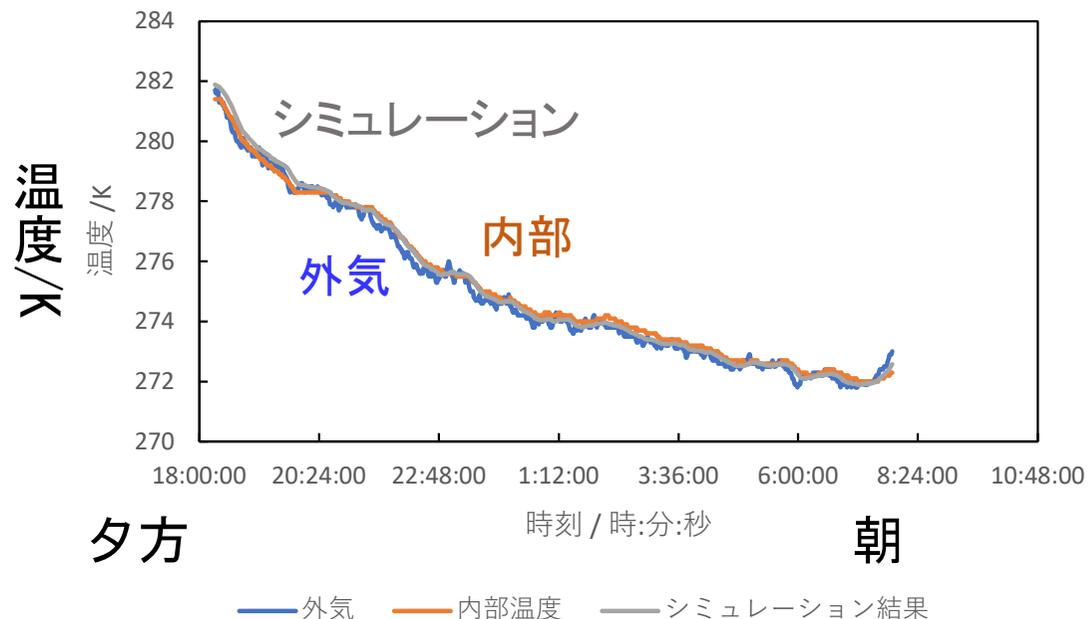
D=48mm, $\rho = 10.5 \text{ kg/m}^3$
熱伝導率=0.04 W/(m K)
内部 55 × 55 × 55 cm

(断熱材B)
ドームハウス用



D=173mm, $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$
熱伝導率=0.04 W/(m K)(仮定)
内部 40 × 40 × 40 cm

冬季屋外における内部温度変化
(2022-23) (ヒーター無)

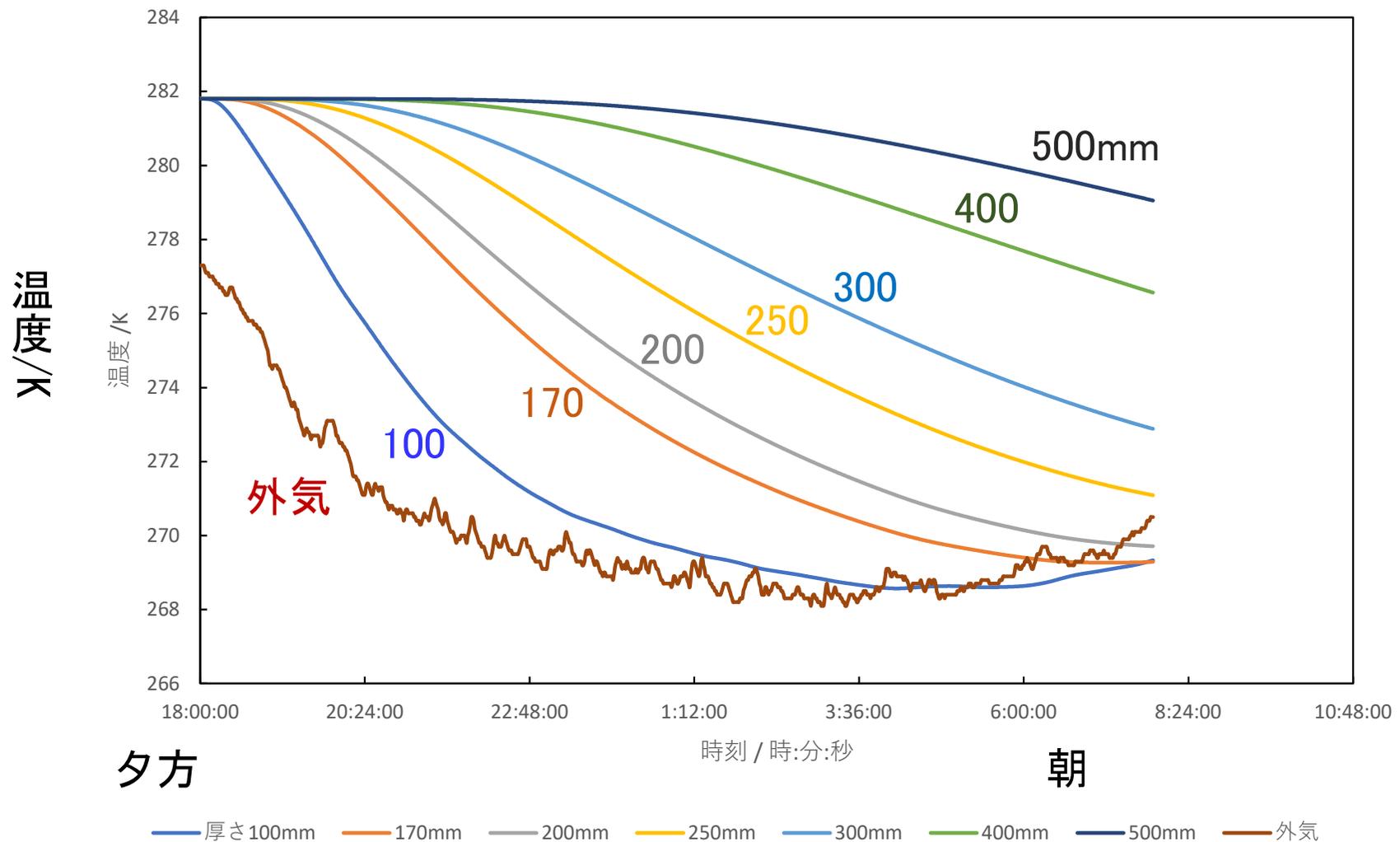


断熱材の厚みによる内部温度の違い

シミュレーション

$D=173\text{mm}$, $\rho=35\text{ kg/m}^3$

熱伝導率 $=0.04\text{ W/(m K)}$ 、内部 $40\times 40\times 40\text{ cm}$



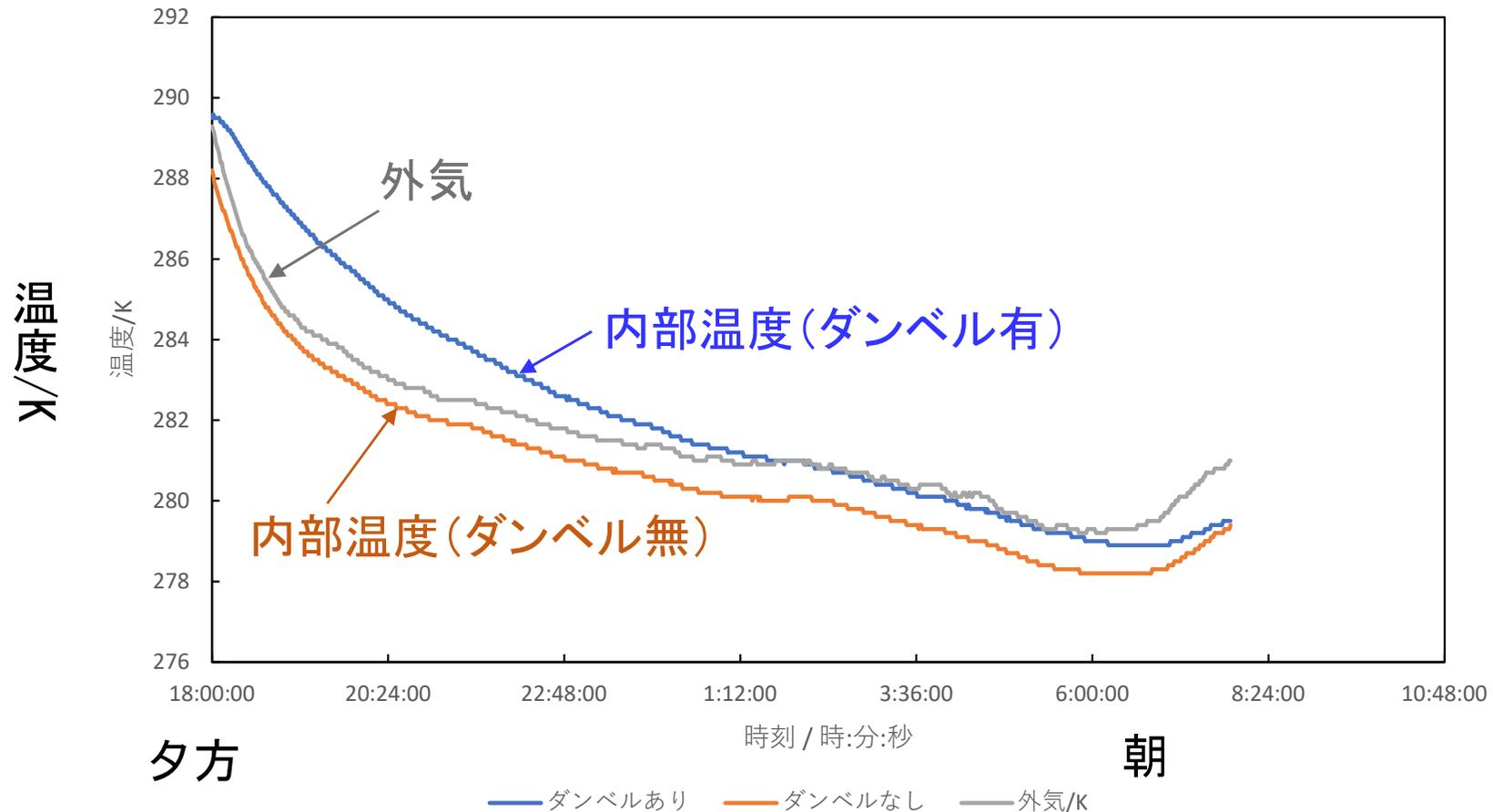
内部金属の熱容量が保温に有効

断熱材: $D=48\text{mm}$, $\rho=10.5\text{ kg/m}^3$

熱伝導率= 0.04 W/(m K) 、内部 $55 \times 55 \times 55\text{ cm}$

内部金属: ダンベル 10kg

測定: 大学学生駐車場



ドームふじ観測拠点の使用気象データ

(国立極地研究所)

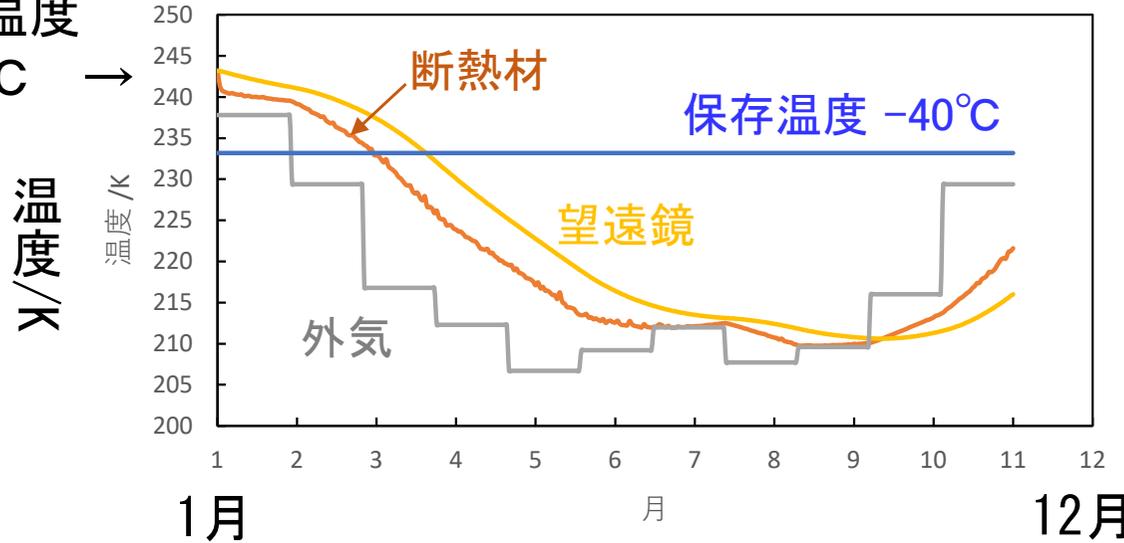
月平均
→

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
気圧(現地) (hPa)	607.0	605.7	596.8	596.2	589.4	597.1	296.1	593.8	591.7	593.3	605.8	608.0	598.4
気温 (°C)	-35.4	-43.8	-56.4	-60.9	-66.5	-64.0	-61.2	-65.5	-63.6	-57.2	-43.8	-33.0	-54.3
風速 (m/s)	4.4	5.0	5.6	6.5	6.0	6.2	6.6	6.5	6.1	5.9	5.6	4.8	5.8
最大風速10m/s 以上15m/s 未満の日数	2.0	1.0	0.0	3.7	1.0	4.0	8.3	4.0	5.0	2.0	2.0	2.7	35.7
最大風速15m/s 以上の日数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
雲量 (1/10)	4.0	3.6	2.5	3.2	2.5	2.2	4.0	2.7	3.2	2.9	3.4	4.6	3.2
平均雲量1.5未満の日数	6.0	8.5	15.0	12.3	13.3	15.0	10.0	15.0	12.7	14.0	11.3	9.0	142.2
平均雲量8.5以上の日数	3.0	2.0	1.3	2.0	0.7	1.0	4.7	1.7	3.0	4.7	3.3	4.7	32.0
全天日射量 (MJ/m ²)	35.3	22.1	9.7	1.2	0.0	0.0	0.0	0.2	5.1	17.3	32.2	39.1	13.5
雪日数	28.5	20.5	27.0	25.0	27.7	28.7	30.0	28.0	28.0	28.0	26.7	26.0	324.0
霧日数	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	4.0
ブリザード回数	0.5	0.5	0.3	1.3	0.7	1.0	3.3	0.7	0.7	1.0	1.3	0.3	11.6
ブリザード日数	1.0	1.0	0.7	2.0	0.7	1.3	5.3	1.3	1.3	2.0	1.3	0.7	18.6
極値	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
最低気圧(現地) (hPa)	597.9	594.2	585.2	578.3	573.7	582.1	574.6	571.1	570.3	574.3	581.7	597.9	570.3
最高気温 (°C)	-18.6	-18.9	-37.4	-36.9	-49.4	-29.2	-38.2	-41.5	-44.1	-38.4	-25.0	-21.1	-18.6
最低気温 (°C)	-48.9	-60.9	-67.9	-75.0	-79.7	-79.6	-79.7	-79.6	-78.3	-72.3	-64.8	-47.2	-79.7
最大風速 (m/s)	11.1	11.3	9.4	12.1	11.8	16.5	18.4	13.0	13.5	14.5	13.5	13.3	18.4
最大瞬間風速 (m/s)	12.6	13.5	10.0	13.8	12.9	19.6	20.2	14.2	14.8	18.1	15.8	16.3	20.2

30cm望遠鏡の冬季保存に必要な電力

シミュレーション: 断熱材(250mm)+木板@ドームふじ

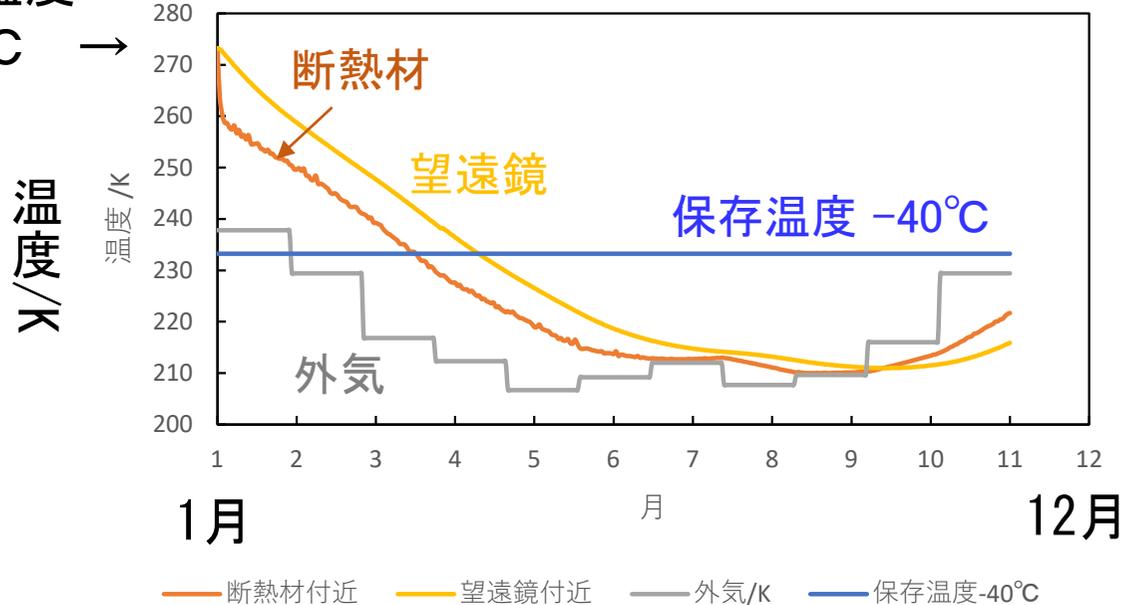
初期温度
-30°C



初期温度 -30°C
空気の層厚さ 10cm

月	必要電力/W
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	28.19
5	35.73
6	32.36
7	28.51
8	34.39
9	31.82
10	23.18
11	5.12
平均	19.94

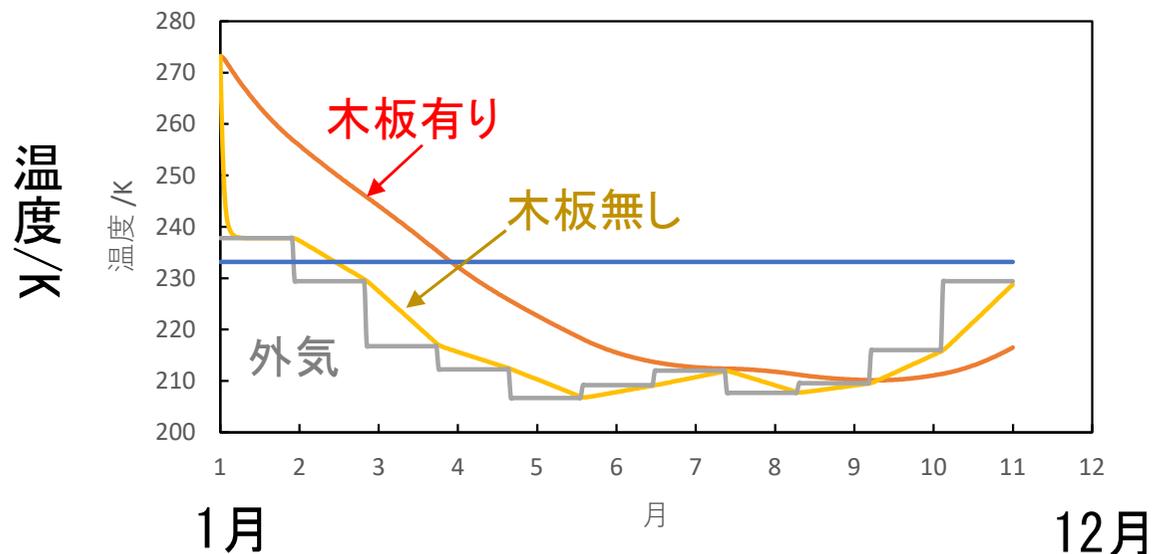
初期温度
0°C



木板と断熱材の間の空気層が有効

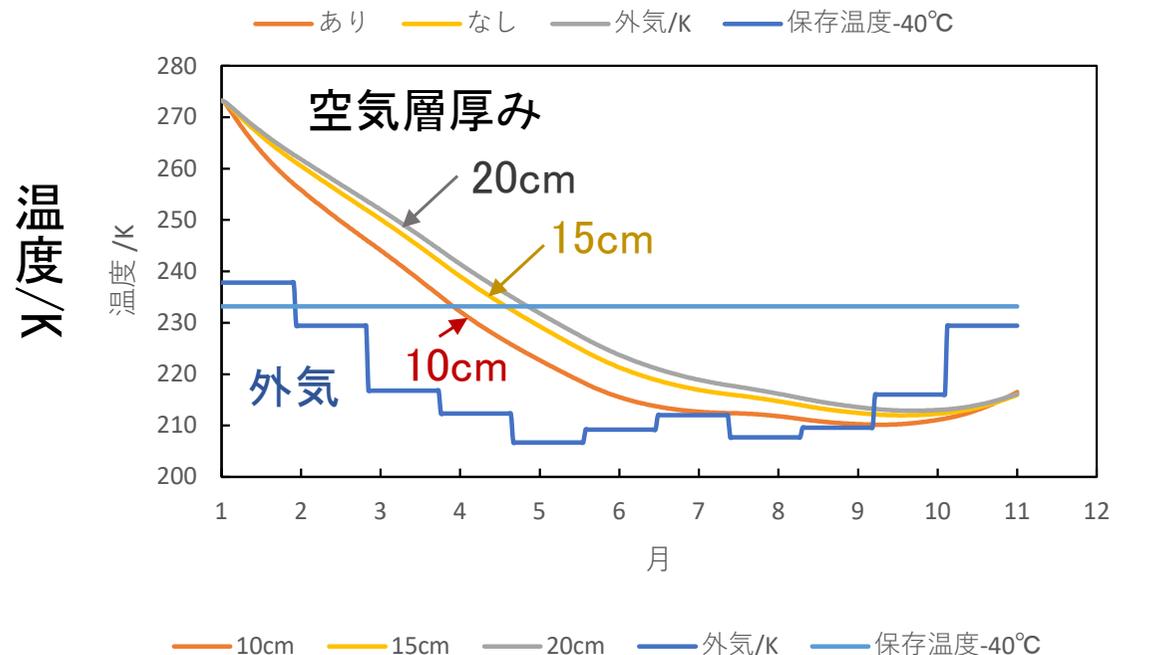
シミュレーション: 断熱材(250mm)+木板@ドームふじ

初期温度 0°C



木板と断熱材の間の空気層が有効

空気層の厚さ 10cm



木板と断熱材の空気層の厚みが効く

必要電力/W

厚み	10cm	15cm	20cm
平均/W	19.9	14.4	12.3

まとめ

- ◆ 熱伝導、対流熱伝達、熱輻射を考慮した熱流体計算を行った。
- ◆ 断熱材は厚いほどよい（伝熱量は厚みの逆数）。
- ◆ 断熱材と外木板の間に空気の層を作るのが極めて有効。
空気層は $D=15\text{ cm}$ 以上
* 外木板がなく断熱材が外気にむき出しだと、内部温度は～1週間で外気温と同じになる。



設計の見直し

- ◆ 内部の初期温度を 0°C にすると -40°C に低下するのに初期温度 -30°C に比べて約1か月遅くなる。
- ◆ 内部を -40°C 以上に保つのに必要な電力は年間平均として
～ 20 W ($D=10\text{ cm}$) , ～ 14 W (15 cm) 、～ 12 W (20 cm) 。

設計変更: 空気層=10cm → 15cm

