

月レーザー測距用ホロー型逆反射板の材料選定及び重力・熱変形計算

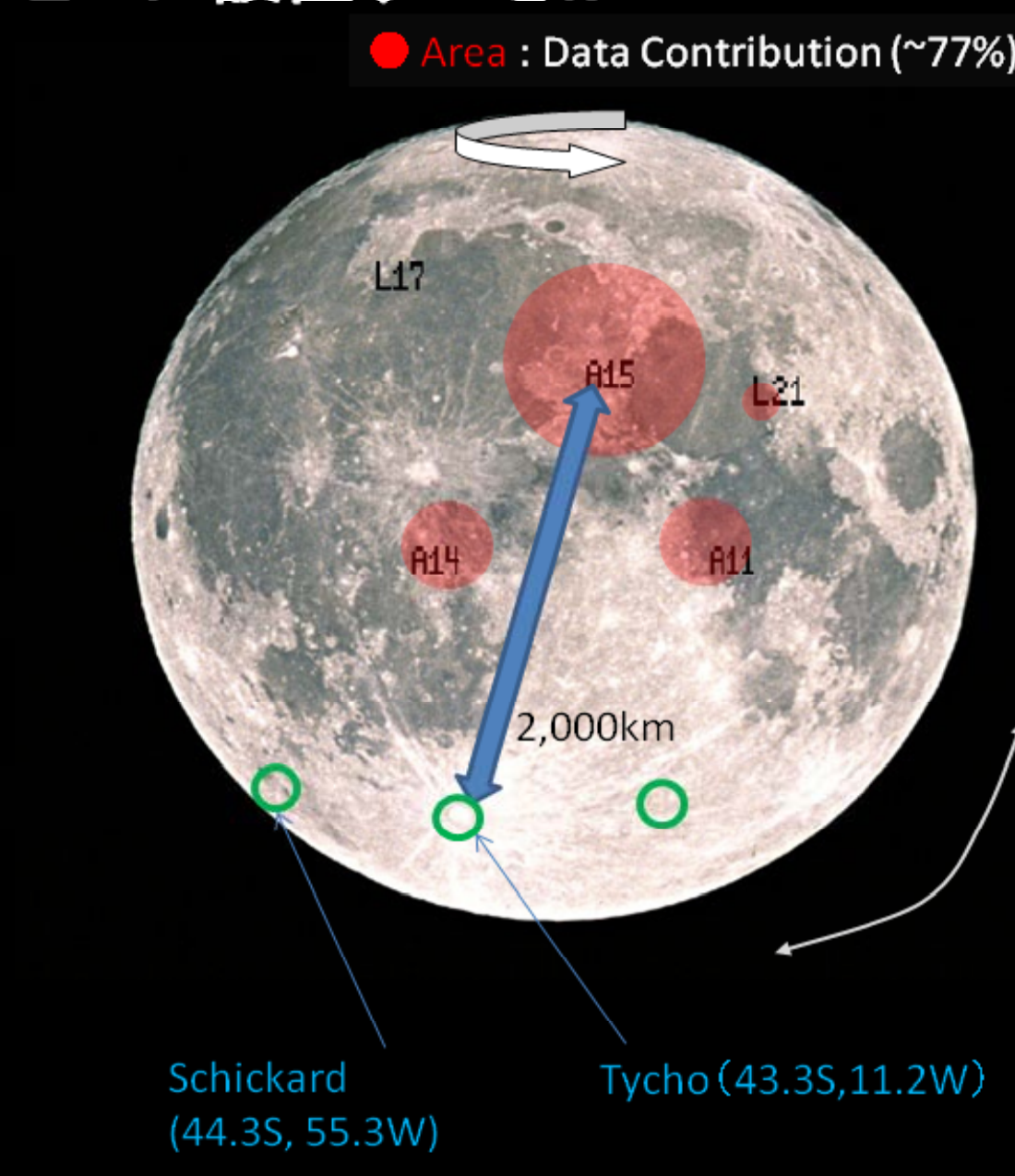
荒木博志¹⁾、鹿島伸悟¹⁾、野田寛大¹⁾、國森裕生²⁾、大坪俊通³⁾、宇都宮真⁴⁾、丹羽佳人¹⁾、増子仁美⁵⁾、船崎健一⁵⁾

¹⁾国立天文台, ²⁾情報通信研究機構, ³⁾一橋大学, ⁴⁾宇宙科学研究所, ⁵⁾岩手大学

新規LLR用反射板(CCR)

- 場所: 測月的にはA15からなるべく遠い所
- 方式: 性能上、大口径単一素子。
アポロCCRを凌ぐには口径20cm以上。
必然的にホロー型。
- 2面角(DAO): 大口径化で重要になる。
- 材質: 力学&熱変形が微小。変形計算と評価。
- 製作法: DAOの精度要求(0.1秒角)を満たせる手法。

どこに設置すべきか？

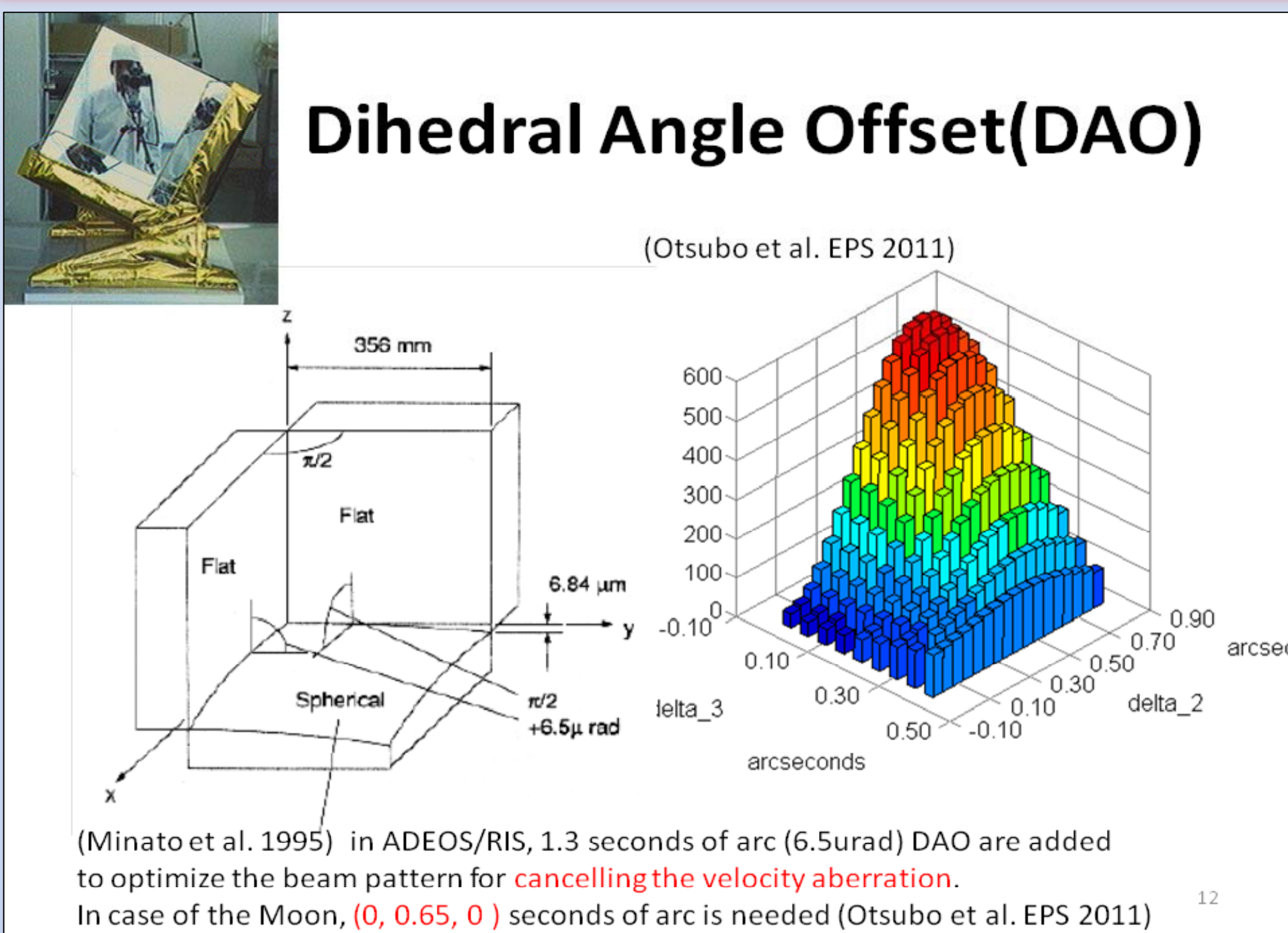
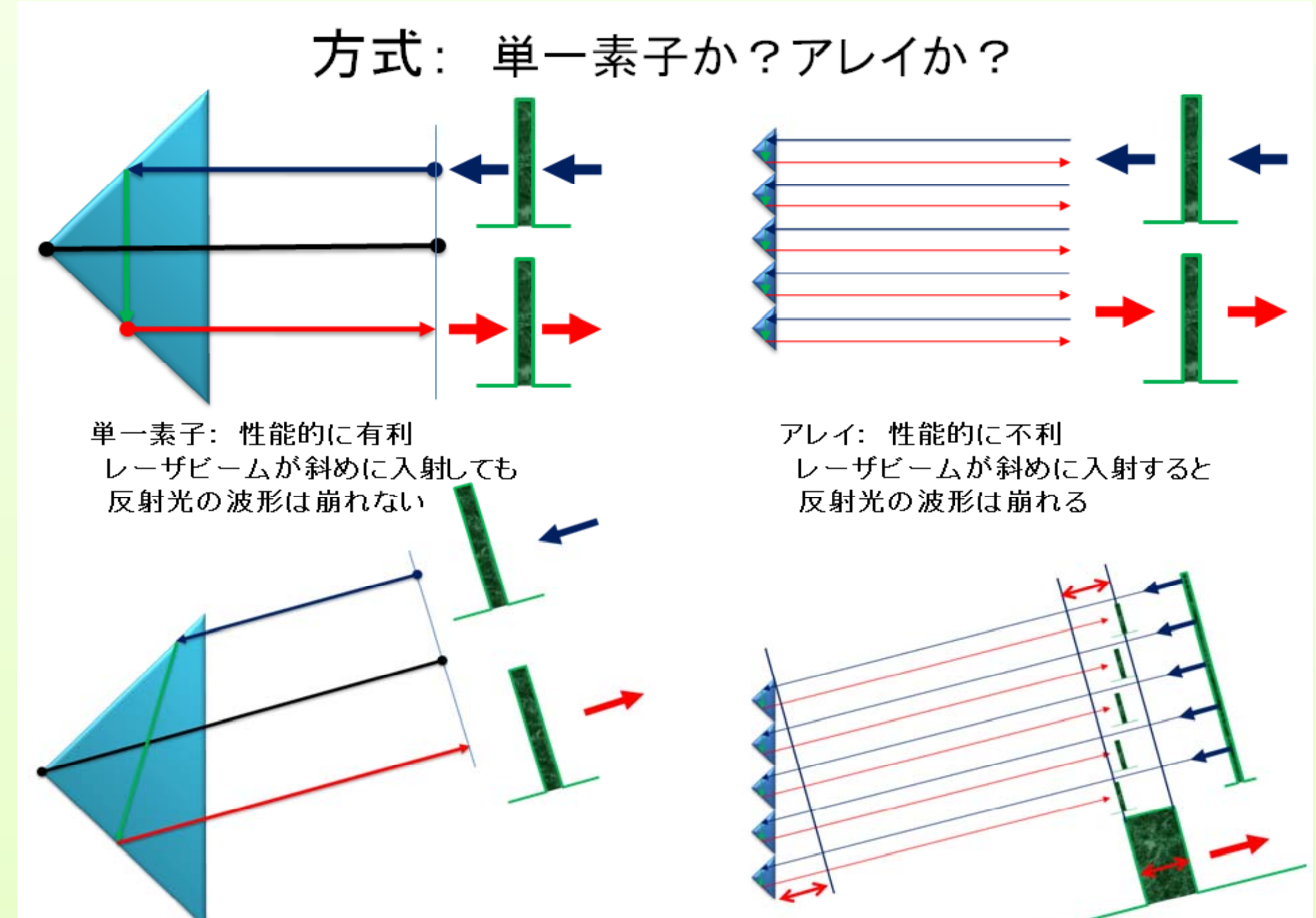


物理秤動の消散項
→核の半径・状態

経度方向 (回転方向)	[mas]
$\Delta\tau$ (206)	-1.0 ± 1.6
$\Delta\tau$ (365)	4.1 ± 1.8
$\Delta\tau$ (1095)	-26.7 ± 5.9

緯度方向	[mas]
$\Delta\sigma$ (27.6)	7.5 ± 1.0
$\Delta\sigma$ (cnst)	-264 ± 5.0

物理秤動決定のため:
A15からなるべく離れた
地点が良い



口径：アポロ11, 15を上回る反射効率

光学断面積:

σ_{cc} : Optical Cross Section
 ρ : Reflectivity
 A_{cc} : CCR Aperture Area
 λ : Wavelength
 n : -3 (taking into account Earth-Moon "aberration")
 q (relative velocity = 0)

$$\sigma_{cc} = \frac{4\pi\rho A_{cc}^n}{\lambda^2}$$

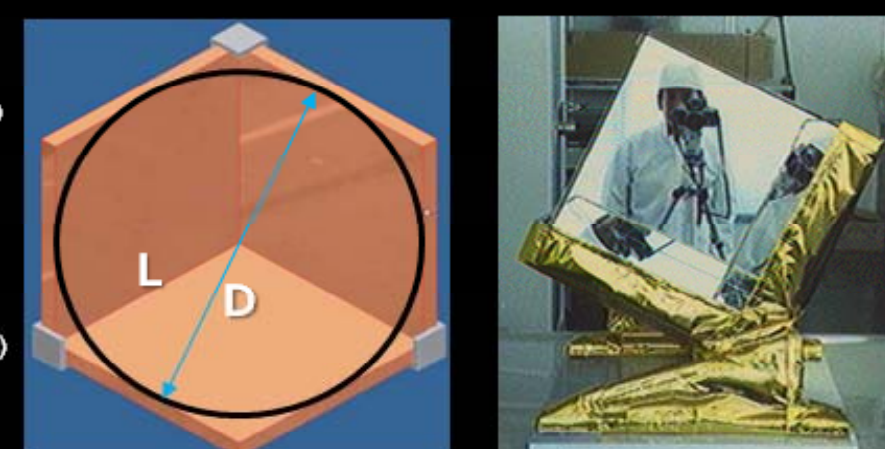
CCR等価断面積

A11 アレイ: D=17.64cm (L=12.5 cm)

100 $\sigma_{cc}(D=3.8cm) = \sigma_{cc}(D=17.64cm)$

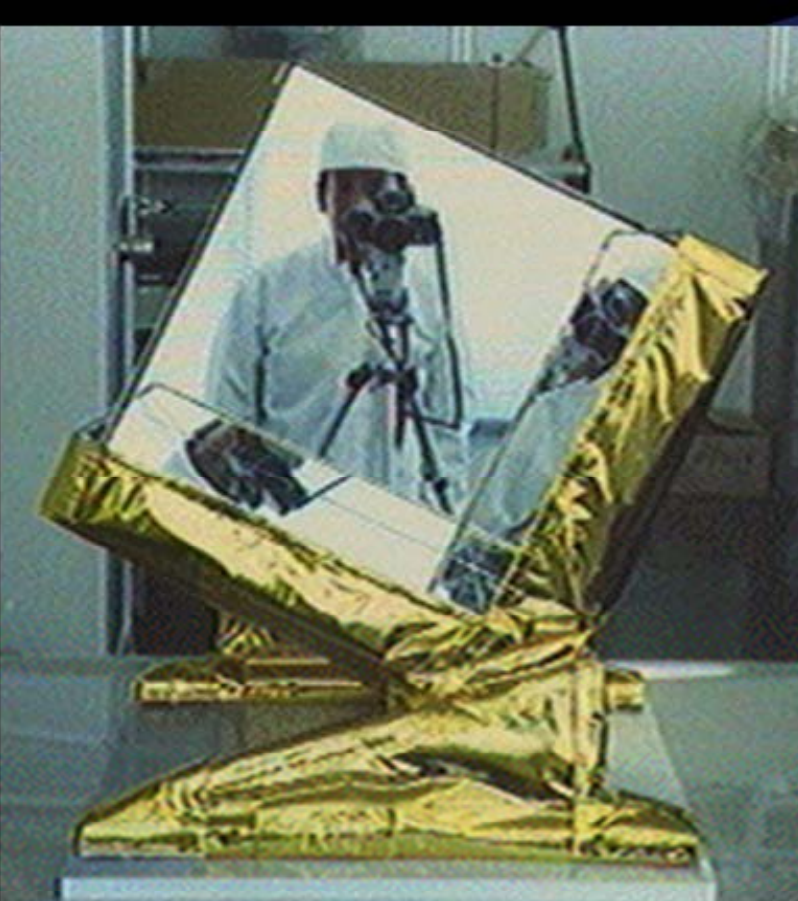
A15 アレイ: D=25.44cm (L=18.0 cm)

300 $\sigma_{cc}(D=3.8cm) = \sigma_{cc}(D=25.44cm)$



「みどり」搭載のCCR, JAXA

方式[2]: ホロー型かプリズムか？



(photo by Currie et al., 2011)

口径10cm プリズム
高精度だが、材質の均質性や重量
制約から口径は10cm程度まで。

e.g. ADEOS / RIS (1994) 口径50cm ホロー型
大口径で比較的高精度

CCR用ミラー材質の検討

【Thermal Stability Index; TSI】

◇CCR用ミラー材質として適切な熱的性質は・・・:

- 「1」熱膨張率が小さいこと(α)
- 「2」熱拡散率が大いこと(κ)

◆ Thermal Stability Index (TSI) $\equiv [|\alpha/\kappa|; (\text{sec.}/\text{m}^2\text{K})]$:

所定の温度場に対する膨張率が小さいこと;

TSI $\approx$ Specific thermal deformation for a temperature variation

【Specific Young Modulus; SYM】

◇CCR用ミラー材質として適切な力学的性質は・・・:

- 「1」低密度であること(ρ)
- 「2」弾性係数 (剛性) 大いこと(E)

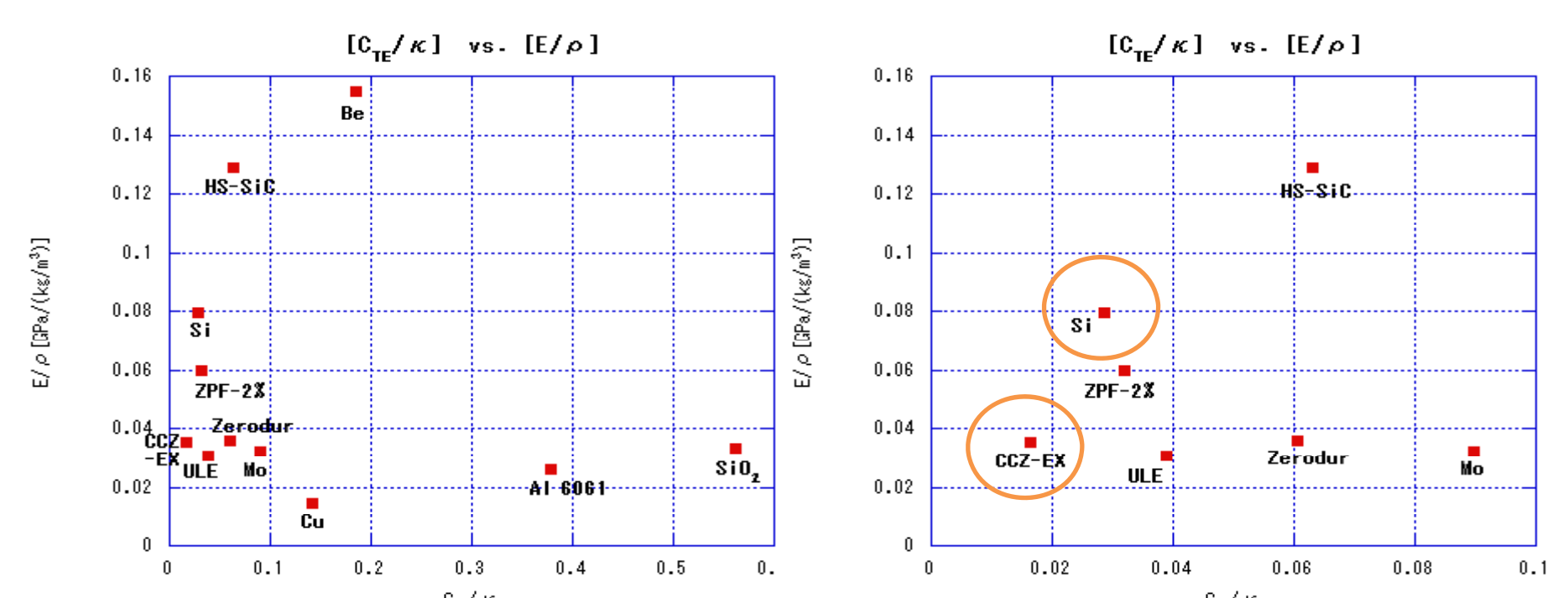
◆ Specific Young Modulus (SYM) $\equiv [E/\rho; (\text{GPa}/(\text{kg}/\text{m}^3))]$

Large SYM $\approx$ Light weight and stiff material.

■ TSI & SYM プロットは有用

TSI & SYM プロット

室温条件における文献値



CCZ-EX (OHARA)

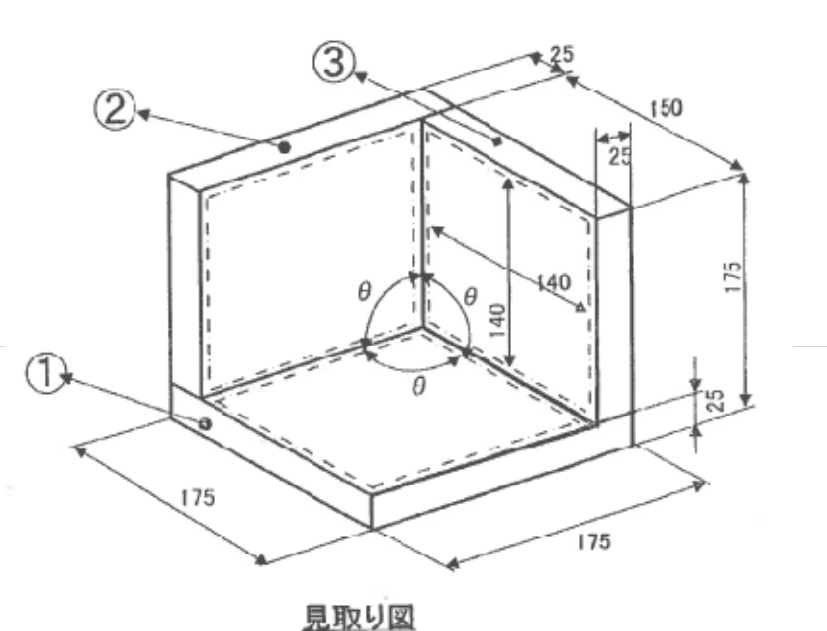


ZPF (NIHON Ceratec)

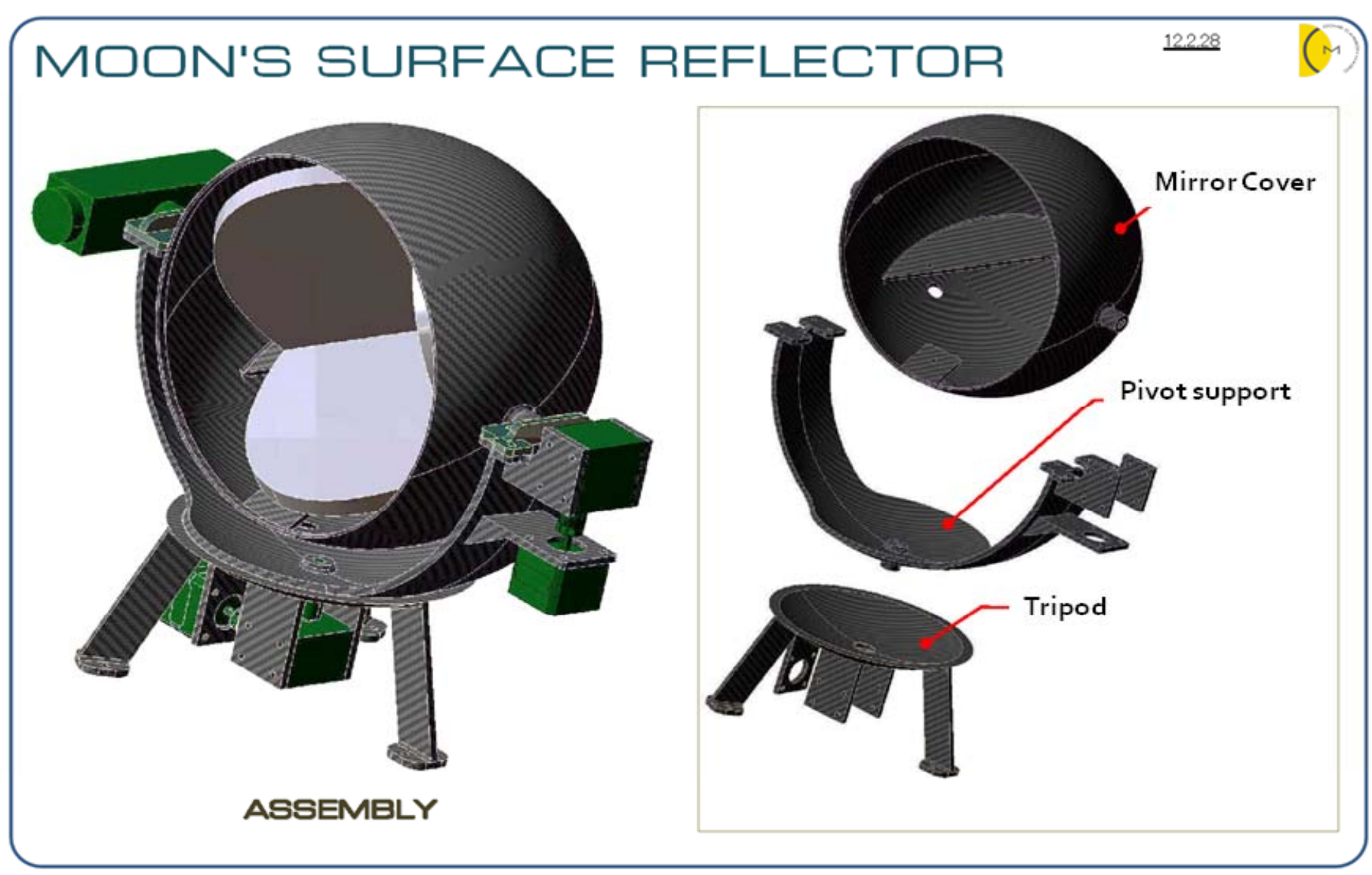
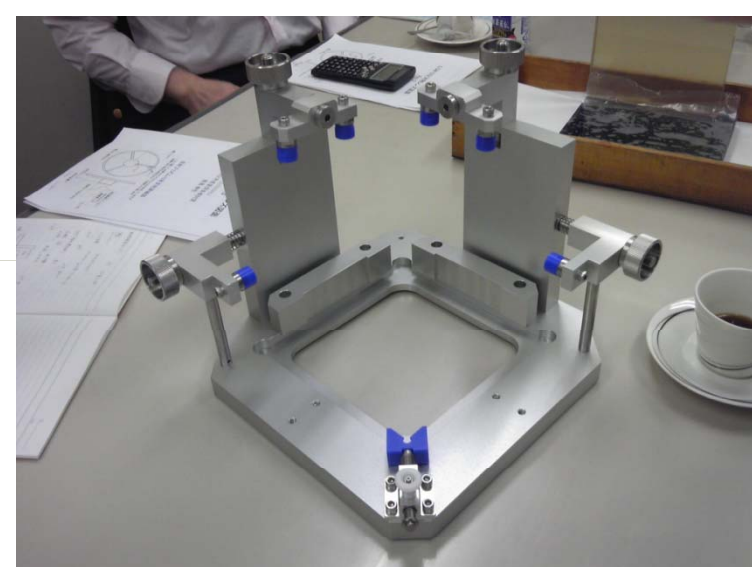
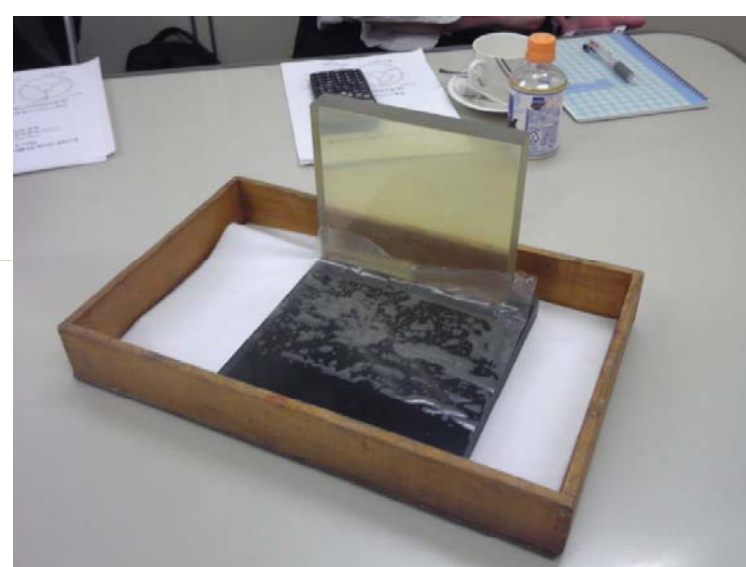


Single Crystal Si

オプティカルコンタクトによるCCR試作



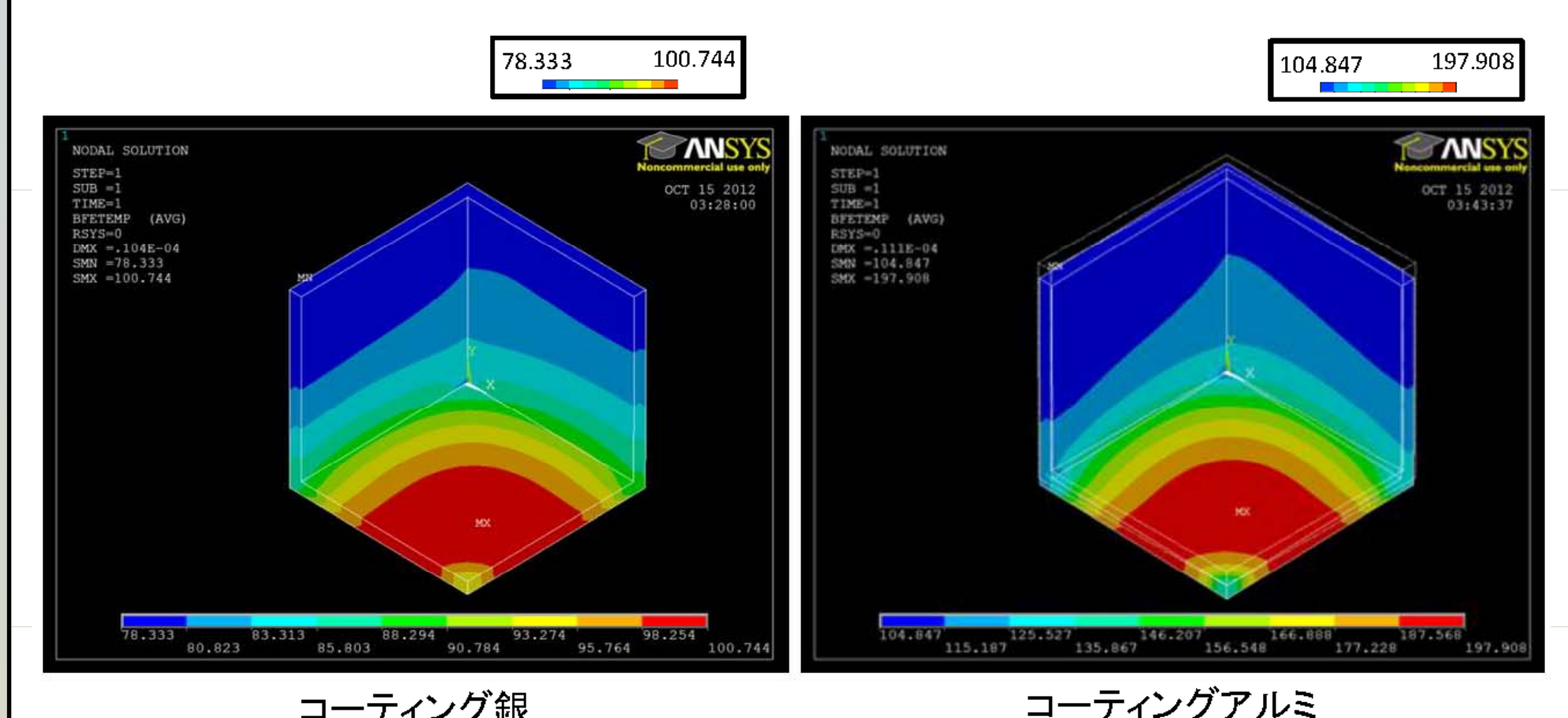
- 面角を0.1秒程度に制御可能か？
一辺(内り) 15cm
板厚 25mm ← 重量対策必要
今回はDAO=0°
- 岡本光学加工所にて試作中



(株)童夢

CCR温度分布 (クリアセラム-EX)

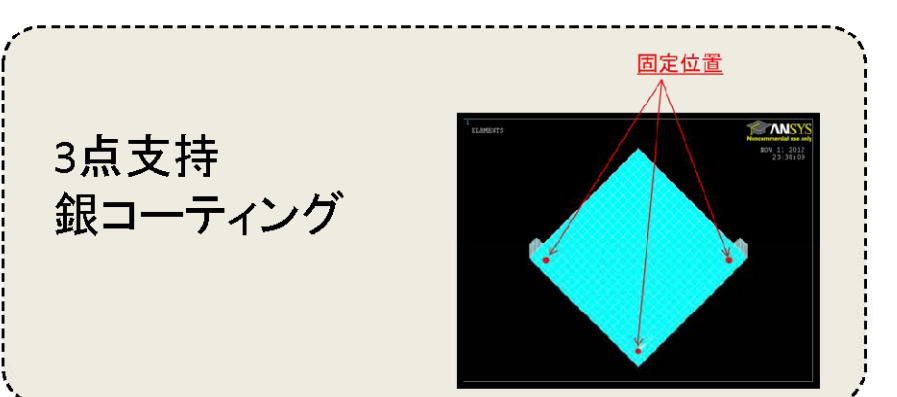
南中時...屋の最も高温な状態



コーティング銀

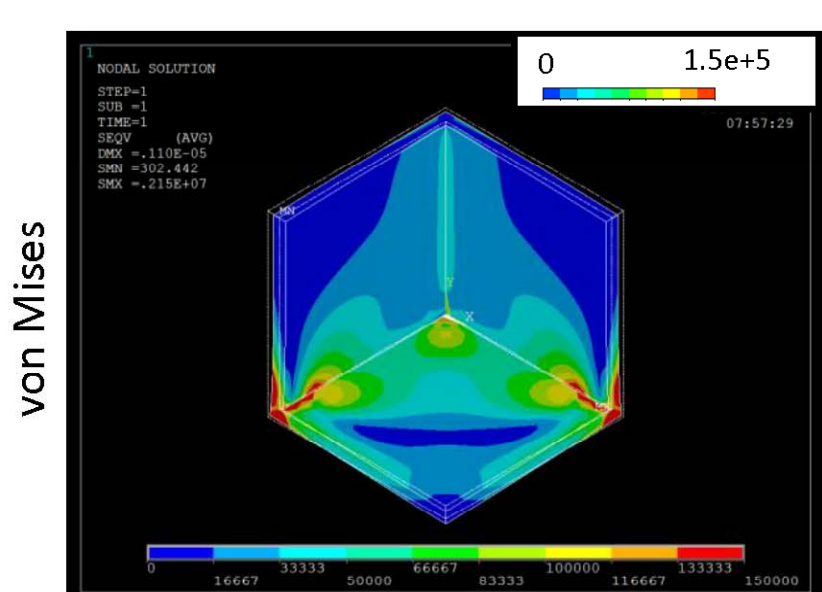
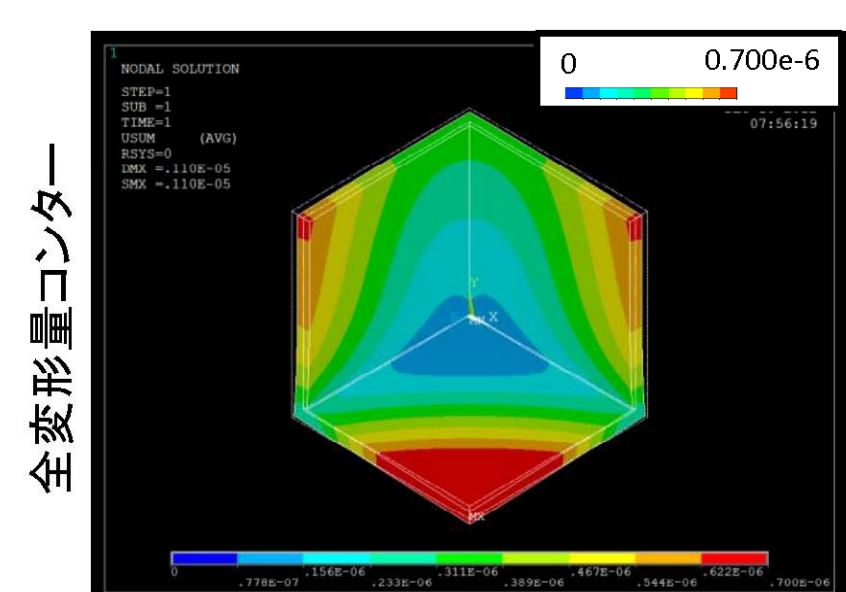
コーティングアルミ

ティコクレータ内に設置
光軸は地球方向

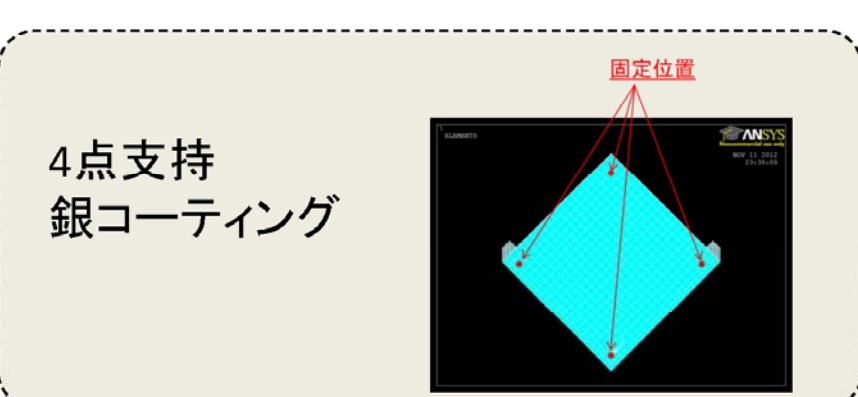


3点支持
銀コーティング

ティコクレータ内に設置
光軸は地球方向

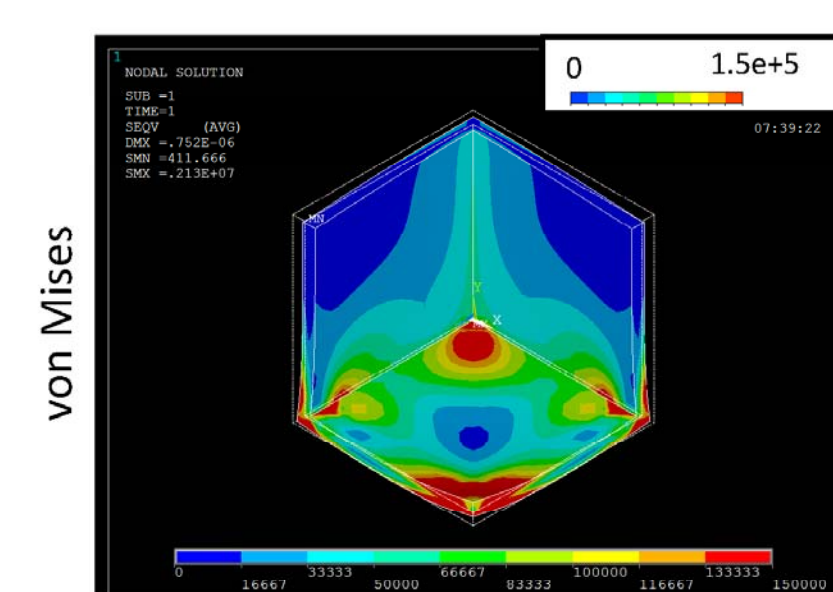
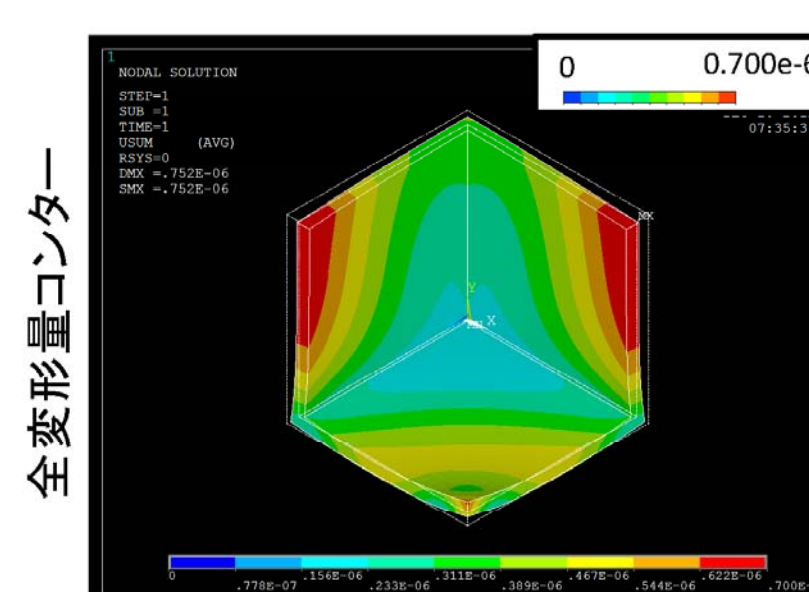


傾き		X座標[m]	Y座標[m]	Z座標[m]	全変形量[m]
11.7°	(141,141,0) xy平面	-0.24883E-06	-0.33067E-06	0.48353E-06	0.63644E-06
	(0,141,141) yz平面	0.49387E-06	-0.31241E-06	-0.25267E-06	0.63667E-06
	(141,0,141) xz平面	-0.34301E-06	-0.97948E-06	-0.35171E-06	0.10958E-05



4点支持
銀コーティング

ティコクレータ内に設置
光軸は地球方向



傾き		X座標[m]	Y座標[m]	Z座標[m]	全変形量[m]
11.7°	(141,141,0) xy平面	-0.20087E-06	-0.32129E-06	0.64126E-06	0.74485E-06
	(0,141,141) yz平面	0.63729E-06	-0.30378E-06	-0.20348E-06	0.73473E-06
	(141,0,141) xz平面	-0.32049E-06	0.46907E-06	-0.32539E-06	0.65469E-06

新規LLR用反射板候補

「1」クリアセラム-EX(CCZ-EX)

「2」単結晶シリコン(Si)

◆変形(熱変形+重力変形): クリアセラム-EX

一辺 14.2cm (内り)、厚さ 1.0cm

ティコクレータ内に設置、光軸地球方向

3点支持+銀コート --- 最大全変形量[1.10μm]

4点支持+銀コート --- 最大全変形量[0.74μm]

◆課題:

単結晶Siの変形計算

変形の光学性能評価(CCZ-EX, Si)

肉抜き的手法検討及びその性能評価

コーティング検討「APC(Ag-Pd-Cu合金)フルヤ金属」他