

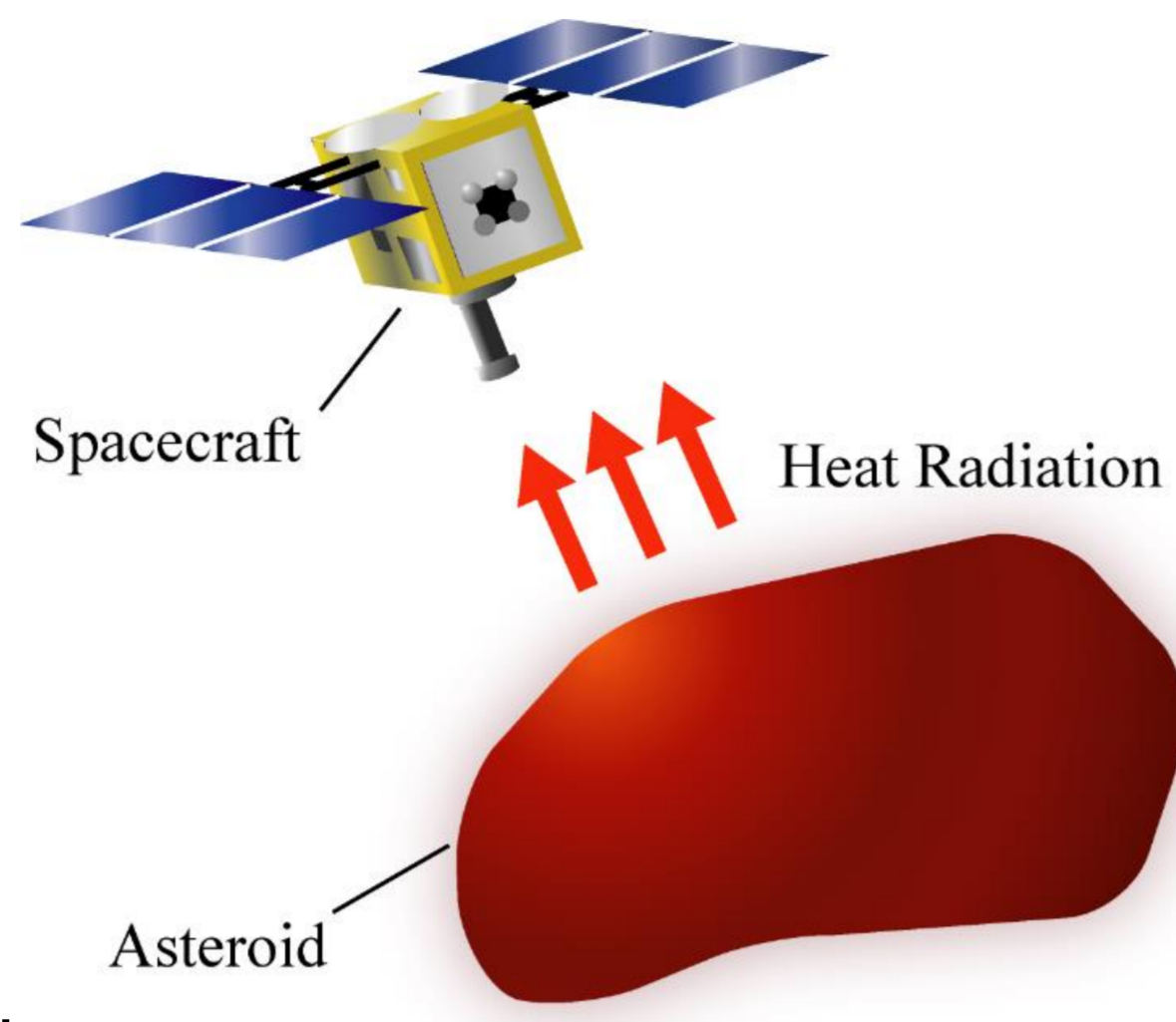
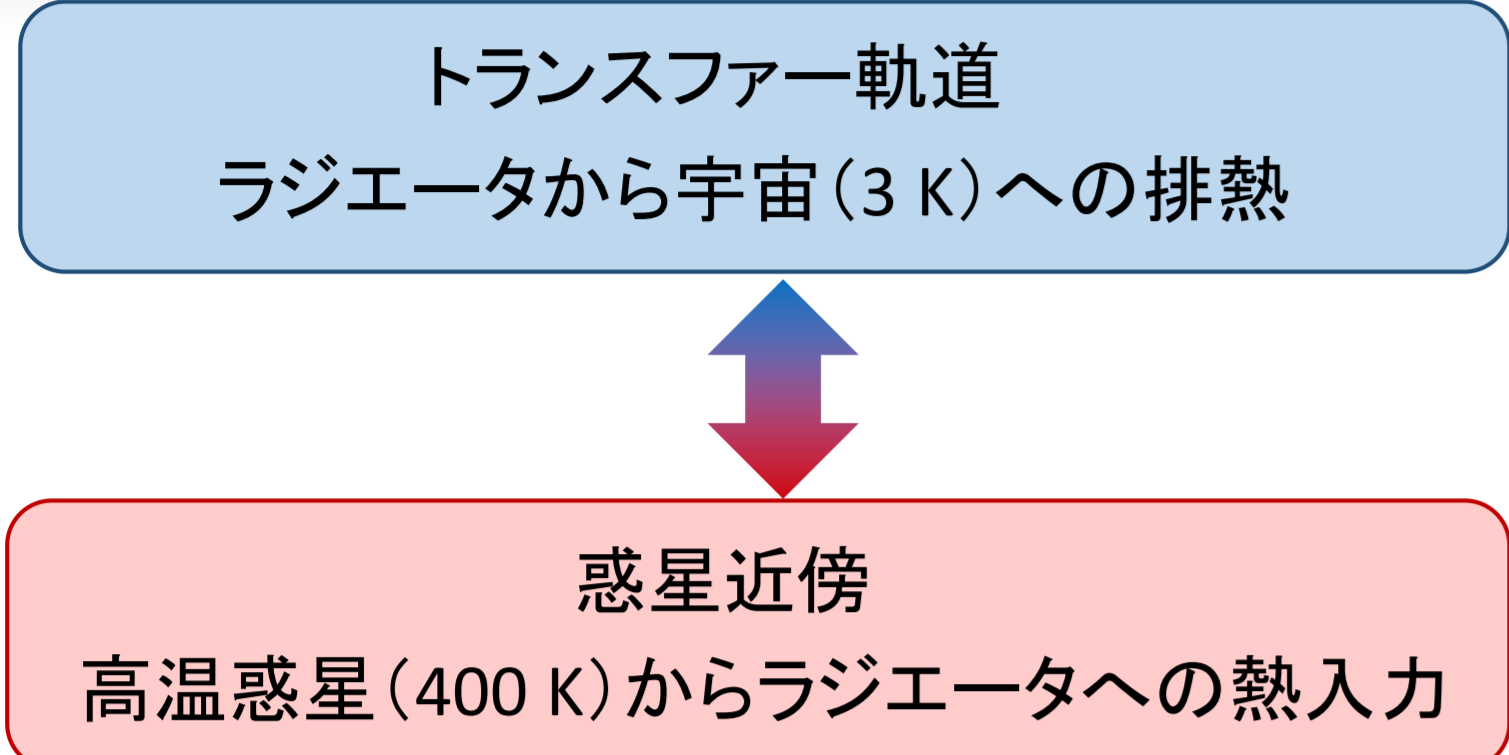
惑星探査機用指向性ラジエータに関する研究 — 熱放射特性の測定 —

○山本早伽(東理大理) 畑真尋(東理大理) 太刀川純孝(JAXA) 大川万里生(東理大理) 齋藤智彦(東理大理)

研究背景・目的

[研究背景]

惑星探査ミッションでは、熱環境が長期に渡って大きく変化するという特徴があり、その変化に対応するための熱制御デバイスが必要となる。



惑星表面から放射される赤外輻射をラジエータから吸収し、機体の温度が上昇する。
⇒タッチダウンシーケンスの自由度を低下させる。

[研究目的]

惑星表面からの赤外放射を遮断し、同時に宇宙機内部で発生する熱を宇宙空間に放射できるような指向性を持ったラジエータを開発すること。

(過去の研究)

10 mmオーダーのパラボラ形状を持つラジエータ(パラボララジエータ1)の設計、試作を行い、熱放射特性を測定した。

従来のラジエータ(フラットラジエータ)に対するパラボララジエータ1の性能(実験結果)

性能	パラボララジエータ1	フラットラジエータ
排熱性能	最大60.8%	-40℃のとき
指向性能	13.1%	斜め45°に設置したIRパネルから吸収した赤外放射量

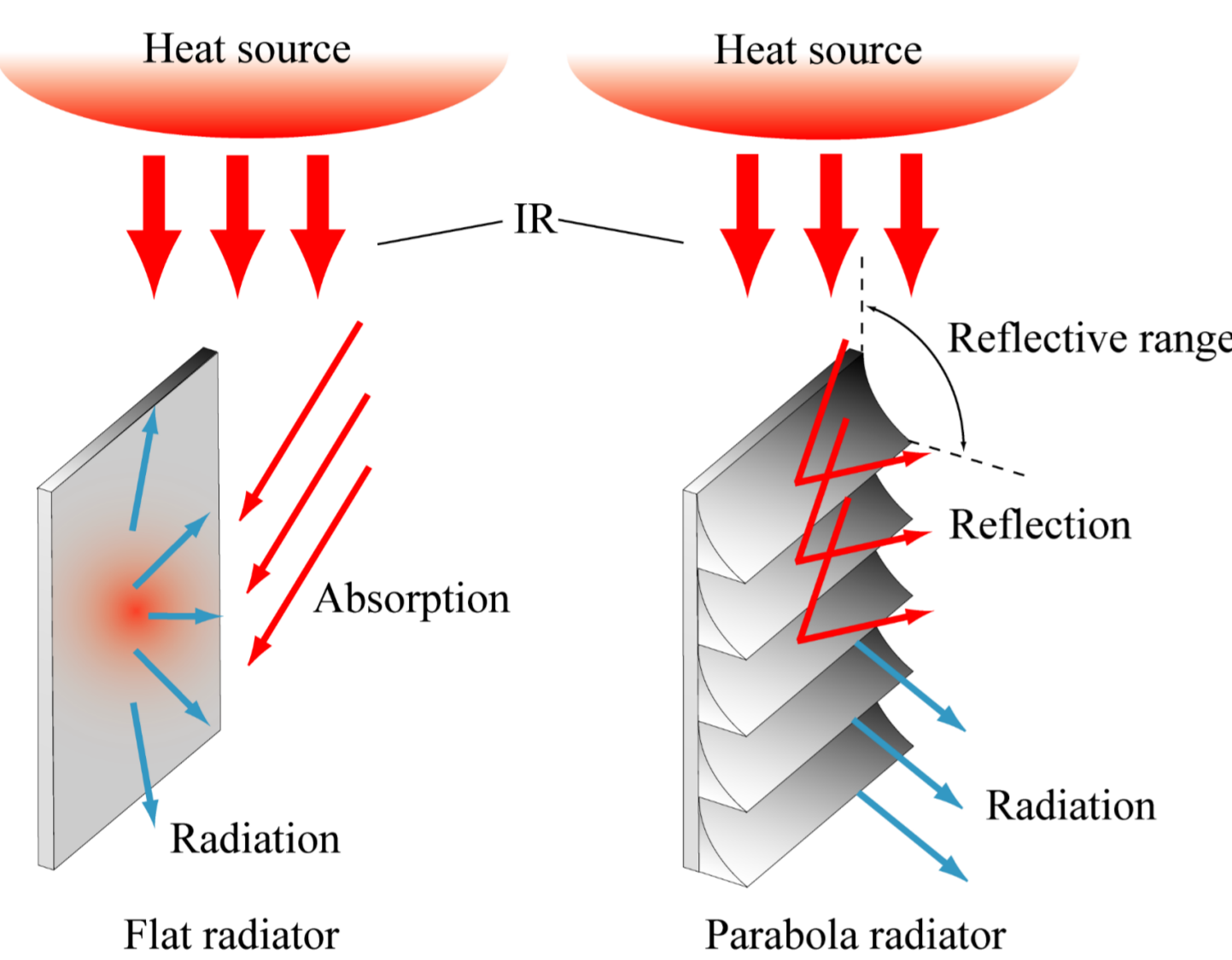
S. Yamamoto, et al., Proc. 60th Space Science and Tech. Conf., (2016).

(今回の研究)

- 軽量化を目的として、表面形状を微細化(1 mmオーダーのパラボラ形状)したラジエータの設計、試作を行う。
- 熱放射特性の測定を行い、フラットラジエータ及びパラボララジエータ1との性能比較を行う。
- 惑星探査機用ラジエータとしての有用性を熱解析によって確認する。

指向性ラジエータの原理・形状設計

通常のラジエータは表面が平面であるため全半球方向に赤外放射の指向性を持っている(下左図)が、本研究により提案する「パラボララジエータ」はパラボラの反射面と平面の放射面によって構成され、下右図のような指向性を備えている。



設計したパラボラ形状の関数 : $y = \frac{1}{2a}x^2$
a : 1つのパラボラの横幅の長さ

(パラボララジエータ1)

a = 20 [mm]

$$y = \frac{1}{40}x^2$$

パラボラ形状が□100 mm基板に5列

(パラボララジエータ2)

a = 2 [mm]

$$y = \frac{1}{4}x^2$$

パラボラ形状が□100 mm基板に50列

S. Yamamoto, et al., Proc. 60th Space Science and Tech. Conf., (2016).

測定試料・実験方法

[測定試料]

パラボララジエータ2(材質: Al, 100 mm × 100 mm, 放射面: Z306, 反射面: Al素地)

[実験方法](測定環境: シュラウド温度 < 90 K, 真空度 < 5.0 × 10⁻⁶ Torr, 内壁塗装 Z306)

(排熱性能測定)

-40~40℃の温度範囲で定常法を用いてラジエータからの熱放射量を測定。

$$Q = P = IV$$

Q : 熱放射量, P : ヒータ電力

I : ヒータ電流, V : ヒータ電圧

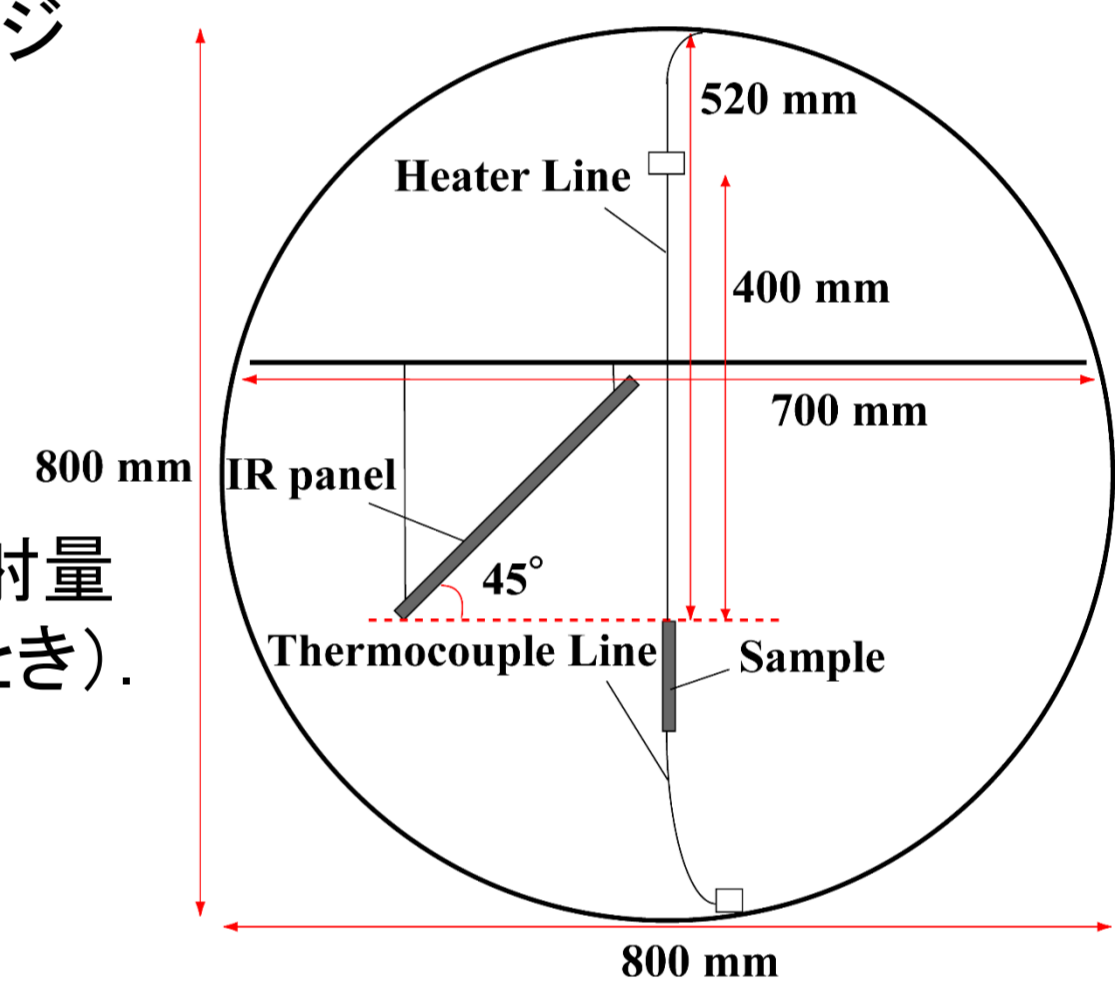
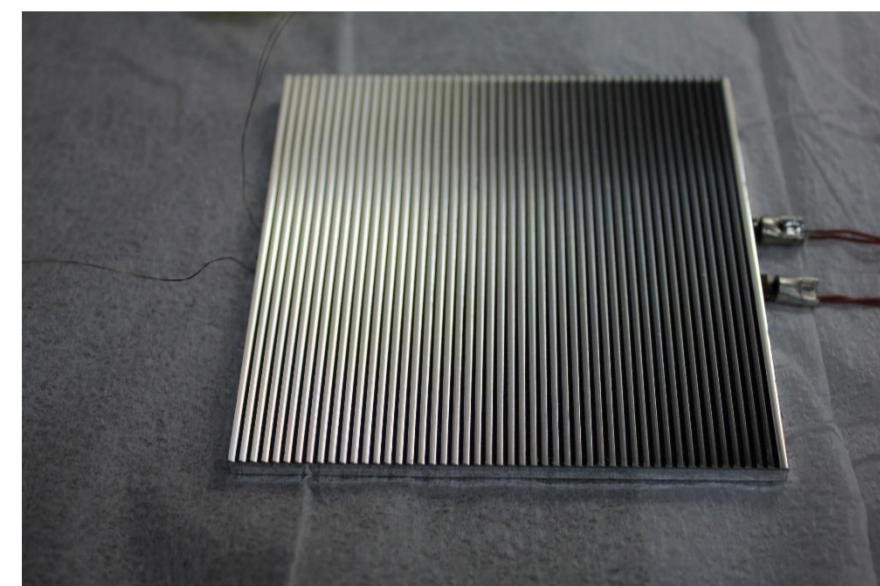
(指向性能測定)

ラジエータがIRパネルから吸収した赤外放射量 Q_{IR} をヒータ電力の減少量から算出(0℃のとき)。

$$Q_{IR} = P_{off} - P_{on}$$

P_{off} : IRパネルOFFのときのヒータ電力

P_{on} : IRパネルONのときのヒータ電力



実験結果・考察

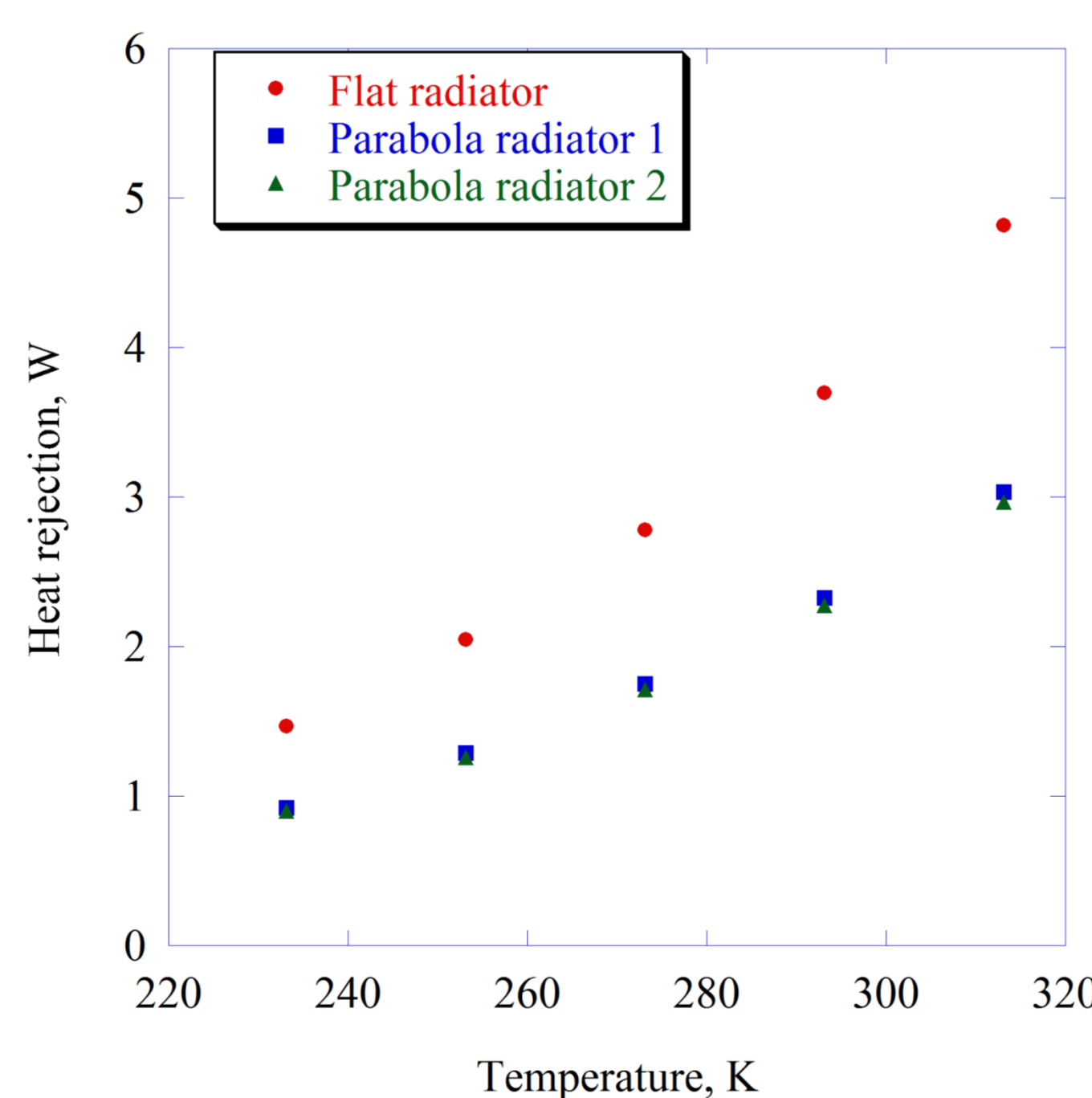
(1) 各ラジエータの解析値の比較

解析条件: 放射面(Z306), 反射面及びその他の面(Al film), IRパネル(303 K(ON時), 放射面(Ag/Teflon))

[解析結果]

- パラボラ形状を小さくしたことによる熱放射特性の変化はない。
- パラボララジエータの排熱性能はフラットラジエータの62%程度。
- パラボララジエータの Q_{IR} はフラットラジエータの10%程度。

ラジエータ	Q_{IR} [W]
Flat radiator (Analysis)	0.91
Parabola radiator 1 (Analysis)	0.10
Parabola radiator 2 (Analysis)	0.09



(2) パラボララジエータ2の実験結果と解析結果の比較

解析条件: 放射面(Z306), 反射面及びパラボラ側面(Al素地), その他の面(Al film), IRパネル(303 K(ON時), 放射面(Ag/Teflon))

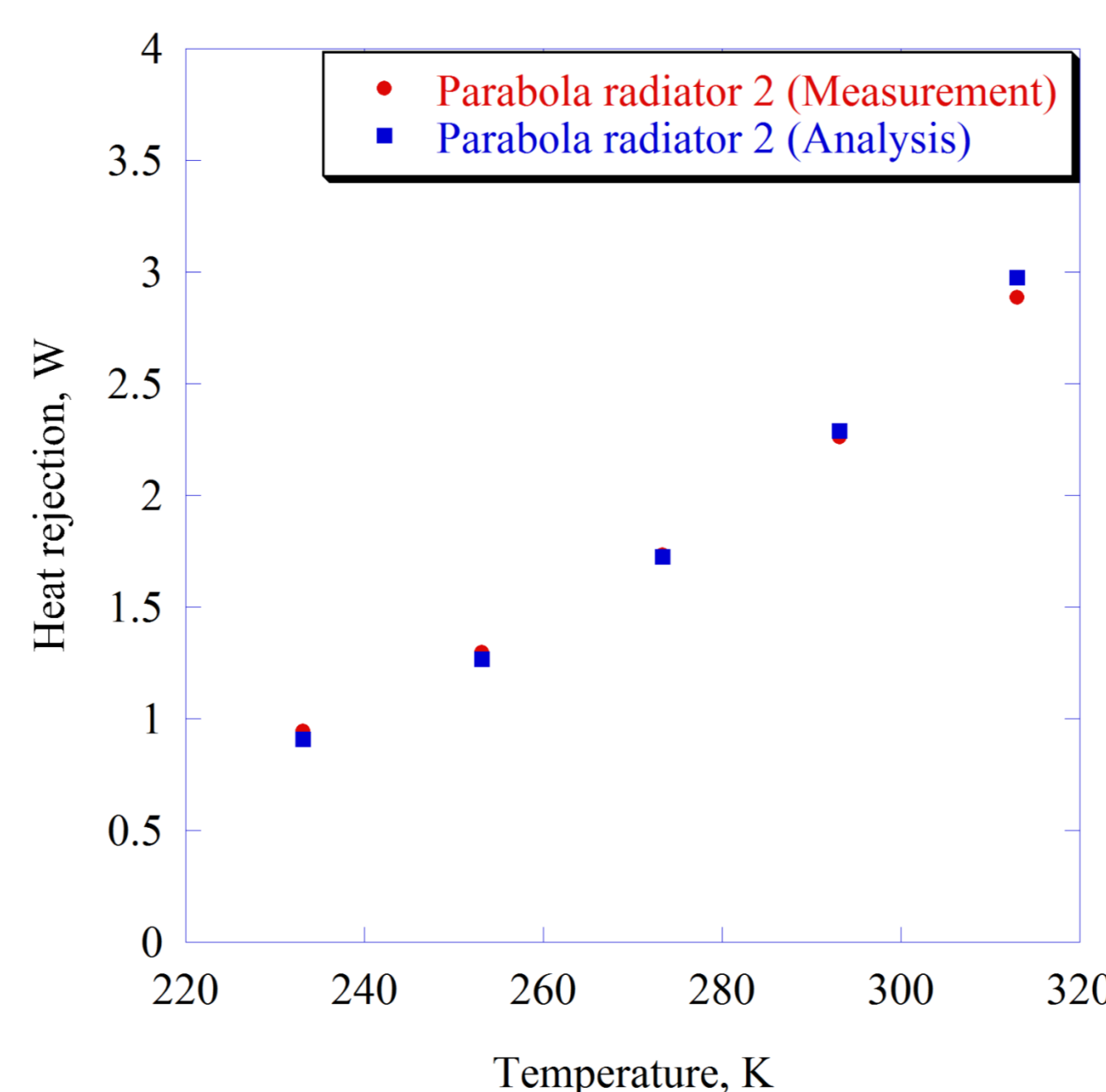
[排熱性能]

- 測定値と解析値はおおよそ一致し、設計通りの排熱能力が確認できた。

[指向性能]

- Q_{IR} の測定値は、解析値の1.39倍と予想より大きくなった。
- 測定と解析での Q_{IR} のずれは、設計値どおりにパラボラ形状が作成できていなかったため、放射面への赤外入射光が増えたことが原因であると考えられる。

ラジエータ	Q_{IR} [W]
Parabola radiator 2 (Analysis)	0.135
Parabola radiator 2 (Measurement)	0.188



解析手法・結果

● タッチダウンシミュレーション

[解析概要]

- 探査機を小惑星(高温熱源)へ降下させた時のラジエータ温度を計算し、探査機用ラジエータとしての有用性を確認する。

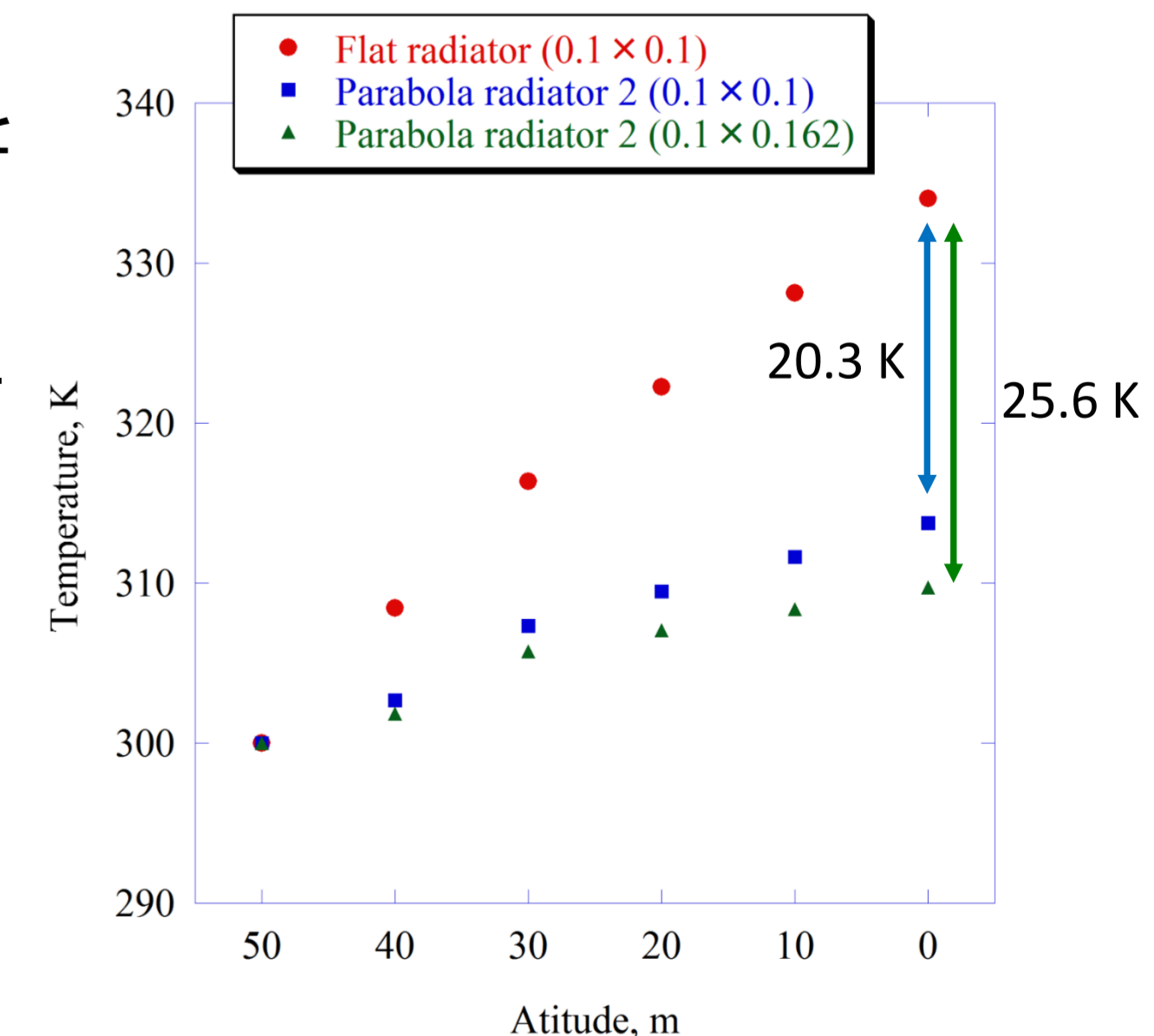
[解析条件]

- 搭載ラジエータ: ①フラットラジエータ(0.1 m × 0.1 m) パラボララジエータ2(②0.1 m × 0.1 m, ③0.1 m × 0.162 m) フラットラジエータと排熱性能を同等にしたモデル

- ラジエータ裏面機器からの発熱: 3 W
- 高温熱源: 1 km四方, 400 K, $\epsilon = 1.0$
- タッチダウンシーケンス: 高度50 mから0.1 m/sで高度0 mまで降下
- ラジエータ初期温度($t = 0$ でのラジエータ温度): 300 K

[解析結果]

高度0 mでのラジエータ温度は、①と②を比較すると20.3 K, ①と③を比較すると25.6 K, フラットラジエータに比べてパラボララジエータ2の方が低い。



探査機にパラボララジエータ2を搭載することで、タッチダウン時のラジエータの温度上昇を効果的に低減でき、その結果タッチダウンシーケンスの自由度が大幅に向上できる。

結論・今後の課題

[結論]

- 表面形状が1 mmオーダーのパラボララジエータ2の設計、試作を行った。
- パラボララジエータ2の熱放射特性の測定を行い、排熱性能及び指向性能を確認した。
- パラボララジエータ2を採用することにより、高温天体接近時の温度上昇を効果的に低減できることが分かった。

[今後の課題]

- 100 μmオーダーのパラボラ形状を持つラジエータの製作。
- パラボラ以外の形状をもつ指向性ラジエータについても検討。