

## 付録D 執筆者リスト

章	節	著者
第1章		中川貴雄、村上浩
第2章	2.1	田村元秀*、松本敏雄
	2.2, 2.3	今西昌俊、上田佳宏、大内正己、大向一行、児玉忠恭、須佐 元、中川貴雄、西 亮一、松原英雄*、松本敏雄、山田 亨*、吉田直紀
	2.4	相川祐里、岡本美子、釜谷秀幸、田村元秀*、長田哲也、林 正彦、表泰秀
	2.5	井田 茂、北村良実、小久保英一郎、田村元秀*、平尾孝憲、本田充彦
	2.6, 2.7	泉浦秀行*、尾中 敬、川端弘治、中島 紀、宮田隆志、山村一誠
	2.8	大坪貴文、春日敏測、河北秀世、佐藤祐介、関口朋彦、長谷川 直、古荘玲子、渡部潤一*
第3章		中川貴雄、村上浩
第4章		小松敬治、斉藤宏文、中川貴雄、野田篤司、村上浩 (執筆協力 1)
第5章	5.1	塩谷圭吾、片壘宏一
	5.2	岡田陽子、尾中敬、片壘宏一*、酒向重行*、左近樹、高橋英則、藤代尚文、宮田隆志、度會英教
	5.3	Lyu Abe, 泉浦秀行、塩谷圭吾*、岡本美子、田中深一郎、田村元秀、本田充彦
	5.4	塩谷圭吾、川田光伸*、松浦周二、ヨーロッパ SPICA Consortium
	5.5	松原英雄*、米 BLISS team
第6章		塩谷圭吾、尾中敬、金田英宏*、油井由香利 (執筆協力 1, 2, 3)
第7章		岡本 篤、小川博之、杉田寛之*、永井大樹 (執筆協力 2)
第8章		小川 亮、小川博之、紀伊恒男、小松敬治、斉藤宏文、中川貴雄、野田篤司、橋本樹明、村上浩 (執筆協力 1, 4)
第9章		中川貴雄、村上浩 (執筆協力 1, 2)
第10章		村上浩、(執筆協力 1, 2, 4)
第11章		塩谷圭吾、中川貴雄
第12章		小川 亮、中川貴雄
第13章		塩谷圭吾、油井由香利*
第14章		中川貴雄、油井由香利
第15章		塩谷圭吾、中川貴雄、村上浩
第16章		片壘宏一、芝井広、中川貴雄*、松原英雄

### 注釈

- 上記\* は、該当章または節のとりまとめメンバーを示す。
- ヨーロッパ SPICA Consortium メンバーおよび米 BLISS team メンバーについては、15章を参照。

- 執筆協力

1. NEC 東芝スペースシステム株式会社
2. 住友重機株式会社
3. 三菱電機株式会社
4. NEC 航空宇宙システム株式会社

## 付録E コミュニティからのサポート

SPICA 計画は、国内外より強い関心を呼んでいる。ここでは、実際に既に進んでいる国際協力も含めて、国内外のコミュニティからの SPICA 計画に対するサポート・レターを掲載する。

### 1. 国内からのサポート

- (a) 「2010 年代の光赤外天文学: 将来計画検討報告書」(光赤外天文学将来計画検討会・編)より「序章」

### 2. 国際的サポート

- (a) アメリカ
  - i. BLISS team
  - ii. JPL (chief scientist)
- (b) ヨーロッパ
  - i. イギリス
  - ii. オランダ
  - iii. フランス
  - iv. ドイツ
- (c) 韓国
  - i. 赤外線ワーキンググループ
  - ii. 韓国天文台と宇宙科学研究本部との間の LOA

## 目次

1.1	SPICA の概念図	3
1.2	太陽-地球系のラグランジュ点	4
1.3	21 世紀初頭に計画されている赤外線天文衛星ミッションの測光感度の比較。SPICA は、中間・遠赤外線領域において、他のミッションよりも 2 桁以上優れた感度を有する。	4
1.4	SPICA の分光感度 (長波長部分のみ)。同口径の Herschel と比べても 2 桁以上の感度向上が期待される。一部の波長では ALMA の感度すら上回る。	5
2.1	(左) 可視光で見たオリオン座と、(右) 遠赤外線で見たとオリオン座の比較。遠赤外線では、可視光線を吸収していた星間物質 (ダスト) が観測可能となる。これにより、星生成領域の分布が明確に描き出されている。	10
2.2	種族 III の星の生成期に期待される水素分子輝線。実際には、これらの輝線が大きく赤方偏移して観測される。	11
2.3	ASTRO-F (IRC : 500 秒および一万秒 ; FIS : 全天サーベイ) と SPICA (1 時間、ただし遠赤外は銀河コンフュージョン限界) の 5 シグマ点源検出限界と、 $z = 2.4$ においた Arp220 の SED とを比較した。	12
2.4	低質量星の進化の模式図	13
2.5	赤外線領域に存在する数多くの氷の feature (van Dishoeck & Blake 1998)	13
2.6	原始ガスからの第一世代星形成時に放出される主要な水素分子輝線強度の時間進化。時間の原点は、中心での原始星形成時である。一番下の実線と点線はそれぞれ静止系における波長が $2.34\mu\text{m}$ と $2.69\mu\text{m}$ の振動遷移輝線を示し、その上の点線と薄い実線はそれぞれ $8.27\mu\text{m}$ と $10.03\mu\text{m}$ の純回転遷移輝線を示す。どちらの種類輝線も質量降着期 ( $t > 0$ ) において最大強度になる。また、コア収縮期 ( $t < 0$ ) においては、回転遷移輝線のほうがより強いが質量降着期においては、振動遷移輝線のほうが強くなる。	16
2.7	輝線比 $F(\text{Ly}\alpha)/F(\text{H}\alpha)$ を赤方偏移の関数として表したものの。2 つのモデルが描かれており、 $\dot{M}_* = 1 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ and $\Delta v = 10 \text{ km/s}$ の場合、 $\dot{M}_* = 10 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ and $\Delta v = 300 \text{ km/s}$ の場合である。	18
2.8	M82 の ISO-SWS スペクトル Schreiber et al. (2001)	21
2.9	種族 III の星の超新星爆発の際に生成されるダスト質量 (Nozawa et al. 2003)。横軸が爆発した星の質量。	22
2.10	HDF-N 中の $z < 2$ $M_V < -20$ 銀河のうち、円盤銀河と分類されるものの形態 (Kajisawa and Yamada 2001)	24
2.11	準解析的な階層的銀河形成モデルの予想する銀河の星質量関数の進化 (Baugh et al. 2002)。CDM 仮説に従う銀河形成モデルでは、遠方で重い銀河が激減する (see also Kauffmann & Charlot 1998)。	25

- 2.12 口径 3.5m のスペース望遠鏡で回折限界に達した場合の限界到達光度を、検出できる星質量で表したもの。  $z = 20$  で一度に星が生まれたというモデルを採用し、その後の受動的進化を仮定している (Kodama et al. 1998)。点源の場合  $z = 10$  まで  $2 \times 10^9 M_{\odot}$  の銀河 (構成単位天体) まで検出できる。 . . . . . 26
- 2.13 遠方ライマン・ブレイク銀河 (LBG, filled symbols) およびライマン輝線銀河 (LAE, open circle) の密集度合 (相関長,  $r_0$ ) とダークマター分布に対する銀河分布のバイアス・パラメータ ( $b$ ) の進化 (Ouchi et al. 2003)。破線はダークマターの密集の強さを表す。 . . . . . 27
- 2.14 CDM モデルを用いて推測された、高赤方偏移銀河を持つダークハローが  $z = 0$  でなす質量関数 (Ouchi et al. 2003)。丸はライマン・ブレイク銀河 (LBG)、三角は近赤外線を選んだ赤い銀河 (FIRES)、星印は遠赤外線を選んだ銀河 (SCUBA) を意味する。また、丸、三角、星印につけられた青、黒、赤の 3 つの色はこれらの銀河が検出された赤方偏移を意味し、それぞれ  $z \sim 3$ ,  $z \sim 4$ ,  $z \sim 5$  である。太線は  $z = 4$  にあるライマン・ブレイク銀河の質量関数の最尤関数を進化させたもの。ここでは銀河の合体は考慮しない。点線は 2dFGRS 銀河の質量関数 (van den Boush et al. 2003)。細線はモデルが予言する  $z = 0$  の全ダークハローの質量関数。 . . . . . 29
- 2.15  $5\text{--}10\mu\text{m}$  バンドでの銀河の色進化トラック (Kodama & Arimoto 1998 を使用)。銀河の色は赤方偏移に対して鋭敏に反応し、さらに波長が長いいため星形成活動の程度やダスト吸収などの影響は小さく、しかも、赤方偏移による色変化の方向と異なる。これらの色だけの情報から遠方銀河の赤方偏移を比較的精度良く決定することが可能である . . . . . 29
- 2.16 COBE ( , , ), IRTS ( ) によって観測された近赤外宇宙背景放射。 は HST による可視域での背景放射。 、実線は銀河を重ね合わせた光を示す。 . . . . . 30
- 2.17 (近) 赤外背景放射強度。  $z > 10$  に形成された種族 III 星からの寄与 (左) とクエーサーからの寄与 (右)。  $10$  ミクロン以上の波長域で両者の強度は大きく異なり、多波長での観測により寄与の大きいソースを特定できる可能性がある。シンボルはこれまでの観測により得られた測定値および上限値。 . . . . . 31
- 2.18 遠赤外・サブミリ波領域での宇宙背景放射。 DIRBE/COBE によるデータを塗りつぶしたシンボルで、 FIRAS/COBE のデータを実線・破線で示した。 は SCUBA で観測された銀河による背景放射への寄与を、 は ISO の観測にもとづくモデルによる予想値、 は Spitzer が観測した銀河を重ね合わせて得られたデータを示す。 32
- 2.19 全 Compton thin AGN ( $N_{\text{H}} < 10^{24} \text{ cm}^{-2}$ ) に対する吸収された AGN ( $N_{\text{H}} > 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ ) の割合を、 X 線光度の関数としてプロットしたもの。 . . . . . 32
- 2.20 空間数密度の赤方偏移パラメータ依存性。上から：低光度 AGN、中光度 AGN、大光度 AGN (図中に硬 X 線光度の範囲を示す)。線はベストフィットモデル。 . . . . . 33
- 2.21 巨大ブラックホール成長曲線 (共動座標でのブラックホールの質量密度を赤方偏移パラメータの関数として表したもの)。点線は光度関数を外挿して計算した部分。青は Compton thick AGN の寄与も含めた場合。 . . . . . 33

2.22 2.8–4.1  $\mu\text{m}$  スペクトル中の、3.3  $\mu\text{m}$  PAH 放射、及び、ダスト吸収フィーチャーを用いた、ULIRGs のエネルギー源の分光診断法 (Imanishi & Dudley 2000; Imanishi & Maloney 2003)。 (a): スターバーストに支配された ULIRG (Arp 220) のスペクトル。定義上、等価幅はスターバーストのダスト吸収によらないため、スターバーストに支配された銀河では、等価幅の大きな ( $EW \sim 100 \text{ nm}$ ) 3.3  $\mu\text{m}$  PAH 放射が、常に観測される。 (b): スターバーストが検出されないほど弱く、埋もれた AGN に支配された ULIRG (IRAS 08572+3915)。3.3  $\mu\text{m}$  PAH 放射は検出されず、3.4  $\mu\text{m}$  に強い (裸の) 炭素系ダストによる吸収が観測される。 (c): エネルギー的に重要な、埋もれた AGN と、検出できるレベルのスターバーストを持つ ULIRG (UGC 5101)。3.3  $\mu\text{m}$  PAH 放射の等価幅と、赤外線光度に対する 3.3  $\mu\text{m}$  PAH 放射光度比は、スターバーストに支配された銀河に比べて、有意に小さい。この ULIRG の場合、ダストのかなりは、アイスに覆われていることがわかり、実線の下、裸のダストによる 3.4  $\mu\text{m}$  吸収に加えて、破線の下、アイスに覆われたダストによる 3.1  $\mu\text{m}$  吸収が検出されている。これらの吸収線の光学的厚さの和は、3–4  $\mu\text{m}$  連続光放射領域までのダストの柱密度を反映する。この天体の場合、3–4  $\mu\text{m}$  スペクトルに基付く、吸収補正後の AGN の光度は、赤外線光度に匹敵するほど大きいことが確認されている。 . . . . . 36

2.23 (左): ダストに比べて中心集中したエネルギー源である、埋もれた AGN の周囲のダストの強い温度勾配の様子。内側のダストほど高温で、外側に行くほど低温になる。3–4  $\mu\text{m}$  の連続光は、一番内側の、ダスト昇華温度に近い、温度にして 800–1000K の高温ダストが支配するため、波長 3–4  $\mu\text{m}$  のデータを用いて求めたダスト吸収量  $A_V(3\mu\text{m})$  は、一番内側までの値を反映する。それに対し、例えば、波長 10  $\mu\text{m}$  のデータを用いて求めた、10  $\mu\text{m}$  連続光放射領域までのダスト吸収量  $A_V(10\mu\text{m})$  は、やや外側の 300K ダストまでの値を反映する。波長 20  $\mu\text{m}$  のデータを用いて求めた、さらに外側の 150K ダストまでの吸収量  $A_V(20\mu\text{m})$  は、さらに小さくなる。従って、埋もれた AGN では、 $A_V(3\mu\text{m}) > A_V(10\mu\text{m}) > A_V(20\mu\text{m})$  の関係が成立する。 (右): 実際の ULIRG (IRAS 08572+3915) への適用例。波長 3–4  $\mu\text{m}$  のスペクトル中のダスト吸収フィーチャーの光学的厚さ  $\tau_3$  から、 $A_V(3\mu\text{m})$  の値が求まる。 $A_V(10\mu\text{m})$ 、及び、 $A_V(20\mu\text{m})$  の値は、シリケート系ダストによる、波長 9.7  $\mu\text{m}$ 、及び、18  $\mu\text{m}$  の吸収フィーチャーの光学的厚さ ( $\tau_{9.7}$ 、及び、 $\tau_{18}$ ) から、それぞれ見積もられる。本天体の場合、 $A_V(3\mu\text{m}) \sim 120 \text{ mag}$ ,  $A_V(10\mu\text{m}) \sim 50 \text{ mag}$ , and  $A_V(20\mu\text{m}) < 20 \text{ mag}$  と見積もられ、埋もれた AGN の場合に期待される、 $A_V(3\mu\text{m}) > A_V(10\mu\text{m}) > A_V(20\mu\text{m})$  の関係が、はっきりと確認された。一方、代表的なスターバースト銀河である M82 において、 $A_V(3\mu\text{m}) \sim A_V(10\mu\text{m}) \sim A_V(20\mu\text{m})$  の関係も確認されている。 . . . . . 37

2.24 若い低質量星の星周構造 . . . . . 39

2.25 Launhardt et al (2002) が、COBE の波長 4.9  $\mu\text{m}$  データとそのスムージング (上図) から deconvolve して求めた、銀河中心部数百 pc の赤外線放射のピーク (下図)。これよりも大きなスケールとは異なり、若い星が数多く含まれると考えられるが、長波長では未だ空間分解されていない。 . . . . . 45

2.26 近傍 (距離 4.1 Mpc) の矮小銀河 NGC 5253 の HST の画像 (Alonso-Herrero et al. 2004 ApJ 612 222)。いくつかの明るいコンパクトな天体が SSC。 . . . . . 49

2.27 オリオン・トラペジウムクラスターの近赤外線 (JHK) 画像 (Muench et al. 2002 より)。 . . . . . 50

2.28	オリオン・トラペジウムクラスターの IMF ( Muench et al. 2002 より ) . . . . .	51
2.29	1.3 mm での Orion KL の干渉系マップ。gray scale は連続波、コントラストは分子輝線。星印は radio source I および SiO メーザーの位置を示す。( van Dishoeck & Blake 1998 ) . . . . .	52
2.30	Spitzer Space Telescope ( 左 ) および JCMT ( 右 ) によるフォーマルハウトの撮像結果と、SPICA 60 $\mu$ m の空間分解能。左図の左上にある白丸が、SPICA 60 $\mu$ m の空間分解能をあらわす。 . . . . .	56
2.31	$\beta$ Pic の放射スペクトルモデルと、SPICA の検出限界。 $\beta$ Pic が 20pc、400pc、4kpc にある時の強度を示した。 $\beta$ Pic の放射スペクトルは、従来の観測値から求めたものである。20pc の距離にある場合のみ、光球からの放射スペクトルをあわせて示した。 . . . . .	57
2.32	実験室で測定したケイ酸塩鉱物のスペクトル。Mg-pure なケイ酸塩鉱物 ( 上 ) に、Fe が含まれていくとピーク波長が長波長側にシフトしていくことが分かる。 . . . . .	58
2.33	10pc においた太陽系のスペクトルモデル ( Traub & Jucks 2002 )。太陽、木星、地球、金星、火星、黄道光が示されている。これらの天体のスペクトルは太陽からの反射光と惑星自らの熱放射の 2 成分から成る。 . . . . .	59
2.34	惑星 ( 質量 $M$ が $13M_J$ 以下 )、褐色矮星 ( $13M_J < M \leq 73M_J$ )、恒星 ( $M > 73M_J$ ) の光度進化。低質量天体は、若いほど高光度であり、また、恒星に対するコントラスト比は小さい。 . . . . .	60
2.35	若い褐色矮星・準褐色矮星のスペクトルとミッションの感度。SPICA は R=1000 で観測したときの連続光感度 ( Natta & Testi 2001 より )。 . . . . .	62
2.36	赤色巨星からの質量放出と宇宙の中でのその位置付け . . . . .	64
2.37	質量放出星の研究の発展 . . . . .	65
2.38	左は実験室での各岩石小天体構成鉱物野分光データである。左図一番上に水の吸収、左図上 4 つは無水鉱物、左図下 2 つが含水鉱物である。このように含水鉱物では鉱物に含まれる水分子の影響で、2.0 $\mu$ m や 2.8 $\mu$ m 付近、それより長波長側に顕著な吸収が現れる ( Emery et al. 2003 )。しかし、その波長領域は地球大気の不透明な部分に重なっており、地上からの観測は困難を極める。 . . . . .	75
2.39	3.5m 径の冷却望遠鏡、検出限界は $5\sigma$ 、熱モデルは ILM(FRM)、1 時間積分を仮定。ここで SPICA についてのプロットは、SPICA の旧称である HII/LII のそれが対応する。 . . . . .	77
2.40	太陽系小天体のスペクトルエネルギー分布 ( SED ) . . . . .	77
2.41	小天体の大きさとアルベドの決定方法 . . . . .	78
2.42	ISO によって検出された彗星からのガス成分 ( 1 ) . . . . .	79
2.43	ISO によって検出された彗星からのガス成分 ( 2 ) . . . . .	80
2.44	彗星コマ中のメタン分子の高分散分光観測。上段は地上で観測したスペクトルで、ガスによる輝線と塵による太陽散乱光を含んでいる。下段は彗星分子による輝線のみ取り出したもの。横軸は波数 ( /cm )、縦軸はフラックスである。地上観測では、地球大気による吸収が邪魔をしており、分子輝線の観測は困難である。彗星と地球との相対運動の結果、彗星メタン分子の輝線が、地球大気中のメタン分子吸収線からわずかに外れているため、観測できている ( しかし、一部の輝線は地球大気中の H <sub>2</sub> O の吸収によって邪魔されてしまっている )。 . . . . .	81
2.45	ISO で得られた HD 100546 ( Young Star ) のスペクトル ( Malfait et al. 1998 ) . . . . .	84
3.1	天体からの信号強度 ( 点線 ) と望遠鏡からの熱放射 ( 実線 ) の比較。 . . . . .	88

3.2	波長 $200\mu\text{m}$ における、天体からの信号強度 (cirrus, 銀河内の塵の放射) と望遠鏡からの熱放射 (実線) の比較。望遠鏡からの熱放射を天体からの信号以下に抑えるためには、望遠鏡を数 K 以下に冷却しなければならないことがわかる。 . . . . .	89
3.3	遠赤外線の point source に対する感度。source confusion が支配的なパラメータである場合を仮定。口径の関数として示す (Dole et al. 2004)。 . . . .	89
3.4	赤外線背景放射が銀河の重ね合わせであるとして、どれくらいの割合が観測的に分解できるかを、望遠鏡の口径の関数として示したもの (Dole et al. 2004)。遠赤外線の代表的波長である $70\mu\text{m}$ において、赤外線背景放射を 90 % 以上分解しようとすると、3m 以上の口径の望遠鏡が必要である。 . . . . .	90
3.5	太陽近傍の主系列星の数。ヒッパルコスカタログから算出。統計的に有意な数 (数十個以上) のサンプルを観測するためには、10pc 程度までの星の観測を行なわなければならない。10pc の距離に星の周り 10AU を公転している系外惑星を波長 $5\mu\text{m}$ で検出するためには、3m クラスの口径が必要である。 . . . . .	91
4.1	SPICA 衛星外観図 . . . . .	95
4.2	H-IIA ロケットフェアリング内の SPICA . . . . .	95
4.3	打ち上げ時コンフィギュレーション . . . . .	98
4.4	軌道上コンフィギュレーション . . . . .	99
4.5	バス部機器配置 . . . . .	100
4.6	SPICA システムブロック図 . . . . .	101
4.7	SPICA 電源系系統図 . . . . .	102
5.1	焦点面観測装置とりつけ空間の外形およびその衛星における位置：焦点面観測装置用は、光学ベンチ上の直径 2500 mm、高さ 500mm の空間に納める必要がある。円柱型のとりつけ空間の軸は、望遠鏡の光軸と一致している。 . . . . .	108
5.2	焦点面の視野分配例：矢印は折曲げ鏡による光束の引出し方向を表す。コロナグラフ観測装置は他の装置より高い波面精度を要求するが、視野が狭いため、焦点面の中心部を割り当てる必要はない。 . . . . .	109
5.3	SPICA 焦点面観測装置における補償光学：コロナグラフ観測装置と中間赤外観測装置は一体化する可能性があるが、ここでは独立した観測装置とした場合について示す。 . . . . .	110
5.4	Image Slicer 構成図 . . . . .	117
5.5	点光源をイメージスライサーで観測するときにおきる回折の効果 . . . . .	118
5.6	点光源をイメージスライサーで観測するときにおきる回折の効果 . . . . .	119
5.7	点源像とスリットの位置関係を $dx$ ( $0$ だと中心、 $1$ だとピークがスリット端) とし、スリット通過後のビームを幾何光学的サイズの $1 \times p$ 倍の矩形領域まで利用する場合に再結像した像のスリット幅に相当する部分に含まれるエネルギーを横軸を $p$ にし、縦軸を最初にスリットに入射するエネルギーに対する比 . . . . .	119
5.8	ファブリ・ペロー分光器の概念図 . . . . .	121
5.9	フーリエ分光器の概念図 . . . . .	124
5.10	SPICA に搭載した場合の中間赤外フーリエ分光器の予想感度 ( $S/N=10$ , 50000 秒積分)。太線が背景放射 (黄道光) による限界を表し、波線が検出器による限界を示す。波長範囲は、検出器 (Si:As と Si:Sb) を想定して分け、一部重複するようにしてある。 . . . . .	125
5.11	Goddard Space Flight Centre で開発中の MSA の写真。 . . . . .	128



5.12	GSFC-MSA で書いた”ESA”の文字列	129
5.13	東大天文センター/生産研で開発中のシャッターアレイ 1 素子分の簡易図	129
5.14	冷却振動鏡による像補正システム概要	131
5.15	冷却振動鏡システム機械設計例：鏡面後ろから見た図(左側) および鏡面前から見た図(右)。	133
5.16	冷却振動鏡を固定ばねで引っ張った場合の鏡面精度解析。この例では最大変位は $0.15\mu\text{m}$ 程度であり全く問題にならない。	134
5.17	Thick multi-spectral CVD ZnS (Cleartran) の中間赤外帯での透過率。厚さ 3.7mm。温度は 300K と 50K (Hawkins et al. 2004)。	137
5.18	同じく ZnSe の中間赤外帯での透過率。	137
5.19	同じく CdTe の中間赤外帯での透過率。	138
5.20	DRS $256\times 256$ Si:As BIB(太線) および $256\times 256$ Si:Sb BIB(点線) の DQE(Detective Quantum Efficiency)。DRS 社測定。SOFIA FORCAST チーム Web サイトより。両検出器は anti-reflection(A/R) コート処理により、量子効率が向上しフリンジ強度が減少することが報告されている (Heter et al. 1998, SPIE 3354, 109)。	138
5.21	試験デュアーにインストールされた JWST 用 Raytheon 1024x1024 Si:As BIB 検出器 (Ennico et al. 2003 SPIE Vol. 4850, 890)。	140
5.22	Si:As/Si:P BIB 検出器の量子効率(計算値) (Hogue et al. 2003 SPIE Vol. 4850, 880)。	140
5.23	太陽および太陽系の惑星を、遠方から観測した場合のそれぞれのスペクトル (Burke et al. 1992)	143
5.24	Lyot 型コロナグラフの原理を示す模式図 (Murakawa et al. 2004)	147
5.25	4 分割位相マスクによるコロナグラフの原理を示す模式図 (Rouran et al. 2000)	147
5.26	様々な瞳マスク(上段)とそれによる PSF(下段)。(Jacquinot & Roizen-Dossier 1964, Spergel 2001, Niesenson & Papaliolios 2001。図は Guyon et al.2003 より)。	148
5.27	副鏡、スパイダーの遮蔽を回避した瞳マスク(左)と、それによる PSF(左からそれぞれ実測、シミュレーションによるもの)。(Debes et al.(2000)	148
5.28	従来型の望遠鏡(上段左)および PIAA(上段右)による結像の特徴。下段は PIAA によって生成される PSF の例。	149
5.29	コロナグラフ観測装置の構成。	152
5.30	波面誤差によるコロナグラフ性能の劣化の計算例。ここでは Lyot 型のコロナグラフについて、焦点面に半径 $r = 3\lambda/D$ のマスク、第 2 瞳面に中心から $0.8 r$ までを完全に透過し、 $0.8 < r < 1.0$ にかけて直線的に透過率が 0 まで減少するアポダイザーを想定している。右上に示したシンボルは、上から順に、1) 焦点面マスク、アポダイザーなし、波面誤差なし、2) 焦点面マスクあり、アポダイザーなし、波面誤差なし、3) 焦点面マスク、アポダイザーあり、波面誤差なし、の場合に対応する。1) および 2) プロットの凹凸が、回折リングに相当する。power spectrum(-2 乗則) で特徴づけられる波面誤差を導入し、RMS が 0.3, 0.6, 1.2 $\mu\text{m}$ とした場合の結像性能を 4) ~ 6) に示す。SPICA 望遠鏡における波面誤差の仕様は 0.35 $\mu\text{m}$ (RMS) なので、可変形鏡が有効であることがわかる。	154
5.31	米国 Xinetics 社で開発中の極低温可変形鏡 (Ealey et al. 2002)。	154
5.32	ASTRO-F/FIS 用検出器：(左)モノリシック Ge:Ga 素子と極低温読み出し回路を In バンプで接合した短波長検出器。(右)5 素子のプレートを 15 段スタックしたコンパクトな圧縮型 Ge:Ga 検出器。(情報通信研究機構/宇宙科学研究所/東京大学)	158

5.33	ASTRO-F/FIS の点源に対する観測限界：各測光バンドの Z 型のラインの上側が全天サーベイでの検出限界に対応し、下側のラインが $4''/\text{sec}$ のスロースキャンでの検出限界に対応する。スロースキャンのピクセルあたりの積分時間は約 10 秒に相当する。 . . . . .	159
5.34	SPICA 望遠鏡での銀河によるコンフュージョンの影響 . . . . .	160
5.35	光導波路型 Ge : Ga 検出器 . . . . .	163
5.36	BIB 検出器のエネルギーバンド構造 . . . . .	163
5.37	Ga : As 検出器の波長感度特性 . . . . .	164
5.38	超電導 フォトン検出器の原理 . . . . .	165
5.39	超電導 TES ボロメータと SQUID 読みだし . . . . .	166
5.40	量子ドットフォトカウンタの原理 (a)、および得られた遠赤外フォトンカウント信号	167
5.41	遠赤外分光器の光学系、望遠鏡/光学ベンチとの位置関係 . . . . .	170
5.42	SPICA 搭載遠赤外サブミリ波分光装置のスペクトル線検出感度と他のスペース・地上の分光装置のそれとの比較。スペースで冷却望遠鏡を用いて観測する SPICA では、圧倒的に高い感度が得られる。 . . . . .	173
5.43	BLISS に用いられる検出器に必要な性能（縦軸は、雑音等価光量 $[\text{W Hz}^{-1/2}]$ ）、暖かい望遠鏡である Herschel（緑線）に比べて超低背景放射環境の SPICA の場合、特に分光分解能 $R=1000$ の場合に、極めて高い検出器性能が要求される。 . . . . .	174
5.44	SPIDER web 型の bolometer . . . . .	175
5.45	TES 型 bolometer で達成された NEP . . . . .	175
5.46	SPICA 搭載遠赤外サブミリ波分光装置 (BLISS) の光学系案 ( 1 )。回折格子を使用するコンセプトに 2 種類あるが、ここでは Waveguide ( 導波路 ) タイプ光学系の場合のデザインを示す。図中の円柱は、焦点面観測装置の取り付けスペースを表しており、そのサイズは 2500 mm, 高さ 500 mm である。 . . . . .	176
5.47	SPICA 搭載遠赤外サブミリ波分光装置 (BLISS) の光学系案 ( 2 )。フーリエ分光案。長波長帯 ( 下段 ) 用と短波長帯用それぞれ独立な分光装置である。図中の円柱は、焦点面観測装置の取り付けスペースを表しており、そのサイズは 2500 mm, 高さ 500 mm である。 . . . . .	177
6.1	結像サイズで表した SPICA 望遠鏡の収差。太線は像面湾曲による収差で、観測装置を最良像面におくことで補正する。細い実線は非点収差を、また破線は波長 $5\mu\text{m}$ での回折限界を表す。 . . . . .	182
6.2	候補となる鏡材の物性値。右上ほど軽量冷却鏡の材料として有利。 . . . . .	183
6.3	C/SiC 複合材料の改善。左図と比較し、右図の材料の一様性が大きく改善されていることが分かる。 . . . . .	185
6.4	C/SiC 複合材 160 mm 球面鏡 ( 第 2 作目; 3 segment 接合 ) とその低温変形を干渉計で測定した結果。 . . . . .	186
6.5	ASTRO-F SiC160 mm 試作球面鏡 ( 第 3 作目 ) の、常温から 6 K までの低温面検の結果 . . . . .	186
6.6	ASTRO-F フライト望遠鏡 . . . . .	187
6.7	Opteon で研磨中の Herschel 望遠鏡 3.5m SiC 主鏡 . . . . .	188
6.8	SiC SPICA 望遠鏡設計外観図 . . . . .	189
6.9	主鏡およびバイポッドの設計 . . . . .	190
6.10	副鏡支持構造と光学ベンチ . . . . .	191
6.11	焦点調整機構 . . . . .	192
6.12	焼結設備 ( 左 ) およびろう付け設備 ( 右 ) . . . . .	194

6.13	Opteon 社研磨設備	194
6.14	Hartmann 試験 Configuration	196
6.15	ペンタプリズム試験の原理	196
6.16	研磨中の 0G 確認	197
6.17	Hindle - Simpson 法による試験 configuration	198
6.18	ペンタプリズムを用いた主鏡 + 副鏡の試験原理	198
6.19	組み立て試験の configuration	199
6.20	ロケットフェアリング内の C/SiC SPICA 望遠鏡概念図	201
6.21	C/SiC SPICA 望遠鏡概念図	201
6.22	C/SiC SPICA 望遠鏡システム概略図	202
6.23	C/SiC 主鏡コンポーネント斜視図 (裏より)	203
6.24	C/SiC 望遠鏡システムの波面誤差	204
6.25	製作中の 700mm BBM 鏡。裏面 (固定点側: 左) および表面 (鏡面側: 右)。	205
6.26	反応焼結型 SiC の CTE 温度依存性	206
6.27	NT-SiC の表面	207
6.28	NT-SiC 研磨後の表面粗さ	207
6.29	NT-SiC 400 mm 軽量化平面鏡	208
6.30	NT-SiC 650 mm 軽量化試作鏡	208
6.31	JAXA 宇宙科学研究本部の液体ヘリウム冷却光学試験チャンバー	209
6.32	ASTRO-F 望遠鏡の低温における光学検査 configuration	210
6.33	JAXA 宇宙利用推進本部の 6 m $\phi$ 放射計スペースチャンバー	211
6.34	50%重複による 2 次元縫い合わせマップ	212
6.35	SPICA 主鏡単体の冷却試験の測定 configuration (案)	214
6.36	SPICA 望遠鏡システムの冷却試験の測定 configuration (案)	215
7.1	SPICA の冷却コンセプト: 従来の冷却望遠鏡衛星では、冷媒タンクおよびクライオスタットが、大きな重量、体積を占めていた (左)。SPICA では放射冷却、機械式冷凍機の利用、warm launch を実現することで、冷媒タンク、クライオスタットを不要にする (冷却方式の革命)。その結果、搭載可能な望遠鏡は画期的に大型になる。	220
7.2	衛星バス部との機械的インタフェース点	222
7.3	SPICA ミッション部の全体構成	225
7.4	SPICA 衛星 (外観図)	226
7.5	軌道上での熱経路概念図	228
7.6	SAP をサンシールド外側で横方向に展開した場合 (Front SAP-I 型)	229
7.7	SAP をサンシールド外側で縦方向に展開した場合 (Front SAP-H 型)	229
7.8	モデル全体形状 (1/4)	232
7.9	モデル全体形状 (2/4)	233
7.10	モデル全体形状 (3/4)	233
7.11	モデル全体形状 (4/4)	237
7.12	熱フロー図	240
7.13	非定常熱解析結果 (1/2)	241
7.14	非定常熱解析結果 (2/2): 30 K 以下詳細	242
7.15	非定常熱解析結果 (1/2): 鏡筒 / パッフル一体化ケース	242
7.16	非定常熱解析結果 (2/2): 鏡筒 / パッフル一体化ケース、30 K 以下詳細	243

7.17	非定常熱解析結果 (1/2): 4K 級冷凍機 2 式搭載	243
7.18	非定常熱解析結果 (2/2): 4K 級冷凍機 2 式搭載、30 K 以下詳細	244
7.19	従来案と定常到達時間短縮案の比較 (冷凍機温度)	244
7.20	構造数学モデル (全体)	246
7.21	構造数学モデル (支持構造トラスと IRT+FPI)	247
7.22	構造数学モデル (サンシールド)	248
7.23	構造数学モデル (シールド#3)	249
7.24	構造数学モデル (バッフル)	250
7.25	構造数学モデル (鏡筒)	251
7.26	モード図 (X 方向 1 次)	254
7.27	モード図 (Y 方向 1 次)	255
7.28	モード図 (Z 方向 1 次)	256
7.29	鏡筒およびバッフル部の形状 (ケース 1: 鏡筒 / バッフル分離)	259
7.30	鏡筒およびバッフル部の形状 (ケース 2: 鏡筒 / バッフル一体)	260
7.31	熱フロー図: 鏡筒 / バッフル一体の場合	262
7.32	2 段スターリング冷凍機 + JT 回路冷凍機 フロー図	265
7.33	1K 級冷凍機試作品 (BBM)	266
7.34	2 段スターリング冷凍機の構造図	268
7.35	1K 級用 JT 圧縮機試作品 (BBM) の構造図 (2K 級: TBD)	269
7.36	4K 級用 JT 圧縮機の構造図	269
7.37	冷凍機ドライバとその周辺機器	272
7.38	冷凍機ドライバのコンポーネント内部構成	273
7.39	冷凍機 / ラジエータのレイアウト検討例	279
7.40	冷却機発熱量とラジエータ温度の相関	280
7.41	熱負荷 / 動作温度 vs. ドライ重量	282
8.1	EPS 機能ブロック図	294
8.2	要求電力とシャント段数の関係 (シャント 1 段当たり最大処理電力 = 300W の場合)	297
8.3	1 段当たり 9A (450W 相当) で合計 5 段の SHNT の発熱プロファイル	298
8.4	1 段当たり 9A (450W 相当) で動作中のシャントタップ及びバス電圧のリプル波形	298
8.5	太陽電池パドル収納状態	302
8.6	太陽電池パドルヨーク展開状態	302
8.7	太陽電池パドル展開状態	302
8.8	パドル収納状態主要寸法	303
8.9	パドル展開状態主要寸法	303
8.10	収納状態 1 次モード図 (45.3 Hz)	304
8.11	開状態 1 次モード図 (0.75 Hz)	305
8.12	ミッションデータ伝送系、TT & C 通信系共通の構成の場合	308
8.13	ミッションデータ伝送系、TT & C 通信系を異なる周波数で独立に構成する場合	308
8.14	ミッションデータ伝送系、TT & C 通信系を共通に構成し、さらに TT & C 通信系を S バンドで構成する場合	308
8.15	通信系の基本構成系統図	309
8.16	TT & C 通信系 (単系) 構成系統図	310
8.17	HGA 形状	311
8.18	HGA 形状	312

8.19	本節における記述対象範囲	329
8.20	姿勢軌道制御系のハードウェア構成	331
8.21	内部擾乱解析のブロック図	338
8.22	許容擾乱量と実際の擾乱との対比	339
8.23	姿勢制御系 / 指向制御系と指向精度の関係	341
8.24	ハイブリッド制御系の性能解析モデル	344
8.25	姿勢角度ステップ変化に対する応答 (1arcsec のステップ的姿勢角変動に対する応答)	346
8.26	衛星本体にホイール擾乱 (周波数 31Hz, 振幅 0.1Nm) を加えた場合の時間応答	346
8.27	解析に用いた冷凍機擾乱 (JT/ST)	347
8.28	冷凍機擾乱による影響	348
8.29	擾乱管理のアーキテクチャ (=周波数に基づく分類)	353
8.30	二次推進系のハードウェア構成	362
8.31	構体系外観図	369
8.32	構体系構成	370
8.33	1次振動数解析結果 (1)	371
8.34	1次振動数解析結果 (2)	371
8.35	高度解析結果 (トラス荷重)	372
8.36	高度解析結果 (-Z パネル主応力)	373
8.37	PAF2360S インタフェース荷重解析結果	373
8.38	バス部基本形状	375
8.39	熱制御ハードウェアの配置概念	378
8.40	冷凍機ドライバの熱制御	380
8.41	ヒートパイプ埋込パネルの事例	380
8.42	バス部とミッション部との断熱設計の概念	381
9.1	Sequence of Events	385
10.1	SPICA 冷却系試験の構成図	390
10.2	焦点面観測装置全体の冷却試験構成図。小型の望遠鏡シミュレーターを含む。軌道上の動作と同様に、冷凍機による冷却シミュレーションも可能とする。	391
11.1	フェーズ A : 冷却システム関連の開発スケジュール	400
11.2	フェーズ A : 望遠鏡開発スケジュール	402
11.3	フェーズ A : 姿勢/指向系制御システムの開発、実証関連のスケジュール	405
12.1	開発マスタースケジュール	408
12.2	フェーズ A	409
12.3	フェーズ B	410
12.4	フェーズ C	411
12.5	フェーズ D	412
12.6	開発要素ごとのスケジュール線表	413
15.1	SPICA 開発体制 : JAXA (宇宙科学研究本部、総合技術研究本部など)、国立天文台、大学および国内外の研究機関が協力して開発をすすめる。	426
B.1	衛星コンフィギュレーション (1/2)	444

---

B.2 衛星コンフィギュレーション (2/2) - 衛星-Z面から見た図 - 矢印はSAP端とサンシールドを結ぶ線。SAP裏面はミッション部シールド#3~鏡筒を見ていない。	445
C.1 背景放射の強度 . . . . .	450
C.2 各種の検出限界によってきまる検出限界 . . . . .	450



# 表目次

1.1	SPICA Mission 仕様 (案) . . . . .	3
2.1	若い星からのアウトフローの概要 . . . . .	43
2.2	SPICA の撮像装置の小惑星の予想検出限界 . . . . .	76
2.3	氷微小天体のアルベドの多様性 . . . . .	78
2.4	これまで太陽系外縁部小天体および氷小天体に対して行なわれた熱観測の全結果 (不確かな結果も含む) . . . . .	79
3.1	科学的目的と達成度。望遠鏡の口径の関数として示す。 . . . .	90
4.1	SPICA 主要諸元 . . . . .	94
4.2	SPICA データ発生レート (Mbps) . . . . .	97
4.3	SPICA 質量電力配分表 . . . . .	103
4.4	電力配分 / 運用モード別消費電力表 . . . . .	104
5.1	現段階での各観測装置の仕様 . . . . .	107
5.2	焦点面観測装置全体への制約 . . . . .	108
5.3	20–50 $\mu\text{m}$ 帯を中心とした分光観測要求 . . . . .	112
5.4	5–50 $\mu\text{m}$ 帯に存在する主なガススペクトル線 . . . . .	113
5.5	0.7–5 $\mu\text{m}$ 帯に存在する主なガススペクトル線 ( $z = 6$ までで、赤方偏移したスペク トル線が 5–50 $\mu\text{m}$ の範囲に入ってくるもののうち、Table 5.4 に含まれないもの) . . . . .	114
5.6	5–50 $\mu\text{m}$ 帯に存在する主なダストフィーチャー . . . . .	114
5.7	SPICA-MIR カメラの諸元 . . . . .	114
5.8	スリット幅に関連するパラメーターの組み合わせ . . . . .	120
5.9	冷却振動鏡システムへの要求仕様 . . . . .	132
5.10	試作中の冷却振動鏡のおもな仕様 . . . . .	133
5.11	N バンド 'Silicate Set' フィルター一覧 . . . . .	135
5.12	Filter Consortium で開発されたフィルター . . . . .	136
5.13	代表的な半導体赤外線検出素子。E:エネルギーギャップ。 $\lambda_c$ :カットオフ波長。T: 典型的な駆動温度。 . . . .	139
5.14	近年に開発された代表的な中間赤外線アレイ。 . . . .	139
5.15	開発中の中間赤外線アレイ。参考文献: (1)Mason et al. 2003 SPIE Vol. 4857, 183 (2)Ennico et al. 2003 SPIE Vol. 4857, 155 (3)Ennico et al. 2003 SPIE Vol. 4850, 890 (4)Hogue et al. 2003 SPIE Vol. 4850, 880 . . . . .	140
5.16	中間赤外線観測装置に関連する技術の成熟度 . . . . .	141
5.17	コロナグラフ観測装置のサイエンステータゲットと、それらの観測に必要な性能 . . . . .	145
5.18	様々な方式のコロナグラフの比較 . . . . .	151
5.19	コロナグラフ観測装置に必要な各技術の成熟度 . . . . .	156



5.20	検出器の主要諸元	158
5.21	国内の遠赤外線検出器開発状況	169
5.22	遠赤外分光器における分光方式の比較表。	169
5.23	これまでに測定された遠赤外線検出器の感度	171
5.24	遠赤外線観測装置に関連する技術の成熟度	172
5.25	サブミリ波観測装置に関連する技術の成熟度	177
6.1	SPICA 望遠鏡システムの基本仕様	180
6.2	各望遠鏡パラメータにおける $5\mu\text{m}$ でのストレール比	181
6.3	候補となる鏡材の物性値などの比較。室温での代表的な値を示す。	182
6.4	焼結 SiC の特性	187
6.5	ろう付け部熱特性	188
6.6	Strehl Ratio 要求値/設計値対比	192
6.7	C/SiC 望遠鏡システムの重量配分	204
6.8	軽量化鏡面母材材料特性	206
6.9	NT-SiC 650 mm 軽量化試作鏡仕様	208
6.10	望遠鏡システムに関連する技術の成熟度	215
6.11	主鏡に関連する技術の成熟度	216
6.12	副鏡部・その他に関連する技術の成熟度	216
6.13	試験方法に関連する技術の成熟度	217
7.1	冷却システムの熱設計条件	221
7.2	冷却システムの機械設計条件	221
7.3	望遠鏡の機械特性諸元 (SiC の場合)	221
7.4	ミッション部の構成および質量	223
7.5	熱解析条件	230
7.6	バス構体の熱伝導結合係数	230
7.7	放射結合係数	231
7.8	冷凍機発熱量	231
7.9	4K 級冷凍機の冷却能力	231
7.10	熱モデル各部詳細 (1/3)	234
7.11	熱モデル各部詳細 (2/3)	235
7.12	熱モデル各部詳細 (3/3)	236
7.13	A6061 熱伝導率	237
7.14	低熱伝導型 CFRP 熱伝導率	237
7.15	マンガン線熱伝導率	238
7.16	定常熱解析結果	239
7.17	構造解析条件	245
7.18	構造数学モデル詳細	252
7.19	固有値解析結果	253
7.20	強度解析結果 (トラス引張荷重)	257
7.21	強度解析結果 (トラス圧縮荷重)	258
7.22	解析条件	259
7.23	解析結果	260
7.24	断熱 / 放射冷却構造の要求仕様	261

7.25	機械式冷凍機への要求仕様	264
7.26	各冷凍機の構成、消費電力、質量	267
7.27	現状性能と搭載可能化に向けた開発課題	271
7.28	1K 級ドライバ回路出力性能	275
7.29	2K 級ドライバ回路出力性能	276
7.30	4K 級ドライバ回路出力性能	276
7.31	20K 級ドライバ回路出力性能	277
7.32	冷凍機ドライバ寸法、質量	277
7.33	SPICA 排熱システムの方式比較	283
7.34	ミッション部冷却システムに関連する技術の成熟度	284
8.1	EPS の機器構成	293
8.2	EPS の主要諸元 (1/2)	295
8.3	EPS の主要諸元 (2/2)	296
8.4	電力制御系に関連する技術の成熟度	300
8.5	太陽電池パドル系に関連する技術の成熟度	305
8.6	通信系構成 (基本案)	309
8.7	オプション案として追加される S バンド T T & C 通信機器	309
8.8	回線検討結果 概要	311
8.9	送信出力電力低下、又はアンテナ利得の低下が生じた場合の処置結果	312
8.10	ミッションデータ伝送系 回線検討表 (変調方式: Q P S K)	313
8.11	コマンド回線結果概要 1	316
8.12	コマンド回線結果概要 2	316
8.13	X バンドアップリンク回線 (T T & C 回線) 計算表	317
8.14	X バンドダウンリンク回線 (T T & C 回線) 計算表	318
8.15	通信系に関連する技術の成熟度	320
8.16	SPICA 観測運用と DR/通信系への要求 下: ダウンリンクレートでソート	325
8.17	SPICA DHS 主要緒元 (1/3)	326
8.18	SPICA DHS 主要緒元 (2/3)	327
8.19	SPICA DHS 主要緒元 (3/3)	328
8.20	信号処理系に関連する技術の成熟度	328
8.21	SPICA の観測要求条件 (姿勢制御系関連項目)	330
8.22	姿勢制御系の要求条件	330
8.23	指向制御系の要求条件	330
8.24	姿勢軌道制御系のコンポーネント一覧	331
8.25	SPICA 姿勢軌道制御系の方式概要	332
8.26	姿勢軌道制御系の主要緒元	335
8.27	姿勢軌道制御系の機能一覧	336
8.28	姿勢制御系の要求条件	336
8.29	SPICA の外乱解析結果	337
8.30	姿勢制御誤差解析結果	343
8.31	指向誤差解析結果	343
8.32	ハイブリッド制御系の方式候補	344
8.33	解析に用いたパラメータ	345
8.34	擾乱抑制性能を実現するために指向制御系に対する要求条件	347

8.35	SPICA 姿勢軌道制御系コンポーネントの主要機能および性能	348
8.36	恒星センサの主要性能	350
8.37	恒星センサの視野配置条件 / 設置条件	350
8.38	SPICA 擾乱管理における擾乱管理対象	352
8.39	SPICA 姿勢軌道制御系に関連する試験計画 (開発段階における試験)	355
8.40	SPICA 姿勢軌道制御系に関連する試験計画 (製造段階における試験)	355
8.41	SPICA 姿勢軌道制御系における信頼性確保方針	357
8.42	姿勢軌道制御系に関連する技術の成熟度	358
8.43	SPICA 姿勢軌道制御系 / 指向制御系に関する今後の要検討項目	359
8.44	SPICA 姿勢軌道制御系における今後の開発項目	360
8.45	SPICA 二次推進系の運用要求条件	360
8.46	SPICA 二次推進系のハードウェア設計要求条件	361
8.47	SPICA 二次推進系の主要諸元	362
8.48	スラストサイジング検討	363
8.49	SPICA 二次推進系スラスト配置検討	364
8.50	2 次推進系に関連する技術の成熟度	365
8.51	SPICA 二次推進系における今後の要検討項目	365
8.52	正弦波振動試験レベル (受入試験レベル)	366
8.53	音響試験レベル (受入試験レベル) 印加時間: 40 秒	367
8.54	質量特性	367
8.55	構造様式トレードオフ	368
8.56	構造系質量	370
8.57	強度解析結果	372
8.58	構造に関連する技術の成熟度	374
8.59	バス部搭載機器の寸法と発熱	376
8.60	熱制御ハードウェアの構成	378
8.61	熱制御系に関連する技術の成熟度	379
8.62	発熱量および熱流束	379
10.1	測定すべき低温物性	389
10.2	SPICA 姿勢軌道制御系に関連する試験計画 (開発段階における試験)	393
10.3	SPICA 姿勢軌道制御系に関連する試験計画 (製造段階における試験)	393
10.4	衛星システム試験に関する技術の成熟度	394
10.5	ミッション部試験に関する技術の成熟度	394
11.1	ミッション部: 現段階で TRL 4 以下の要素技術	398
11.2	バス・システム部: 現段階で TRL 4 以下の要素技術	398
11.3	フェーズ A: 焦点面観測装置関連の開発スケジュール	403
12.1	SPICA マスタースケジュール	407
14.1	国産冷凍機の搭載が決まっているミッション	422
14.2	国産冷凍機の搭載が検討されているミッション	422
15.1	SPICA ワーキンググループおよび検討会メンバー	430
15.2	韓国グループ	431

---

15.3 米国 BLISS チーム . . . . .	432
15.4 ヨーロッパ SPICA コンソーシアム . . . . .	433
16.1 次世代大型ミッションの比較 . . . . .	435
16.2 中間・遠赤外線ミッションの系譜 . . . . .	436
A.1 技術成熟度 (TRL,Technology Readiness Level) . . . . .	441
B.1 衛星コンフィギュレーショントレードオフ . . . . .	446
C.1 検出器・光学系パラメータ . . . . .	449



## 参考文献

- Bachiller, R., & Tafalla, M. 1999, *The Origin of Stars and Planetary Systems*, eds. C. J. Lada & N. D. Kylafis (Kluwer Academic Publishers), 227
- Baugh, C. M., Benson, A. J., Cole, S., Frenk, C. S., Lacey, C., 2002, astro-ph/0203051
- Becker, R. H. et al. 2001, *AJ*, 122, 2850
- Bernstein, M. P., Dworkin, J. P., Sandford, S. A., Cooper, G. W., & Allamandola, L. J. 2002, *Nature*, 416, 401
- Bertoldi, F. et al. 2003, *A& A*, 406, L55
- Bieging, J. H., Cohen, M., & Schwartz, P. R. 1984, *ApJ*, 282, 699
- Bloom, J. S. et al 2002, *ApJ*, 572, L45
- Bond, J. R., Carr, B. J. & Hogan, C. J. 1984, *ApJ*, 277, 445
- Bradford, C.M. et al. 2003, *Proc. SPIE*, 4850, 1137
- Bullock, J. S., Wechsler, R. H., & Somerville, R. S. 2002, *MNRAS*, 329, 246
- Cabrit, S. 2002, *EAS Publications Series*, 3, 147
- Carr, J. S., Tokunaga, A. T., & Najita, J. 2004, *ApJ*, 603, 213
- Cazaux, S., Tielens, A. G. G. M., Ceccarelli, C., Castets, A., Wakelam, V., Caux, E., Parise, B., & Teyssier, D. 2002, *ApJ*, 593, L51
- Cen, R., 2003, *ApJ*, 591, 12
- Chapman, S., et al. , 2003, *Nature*, 422, 695-698
- Cooray, A. & Yoshida, N. 2004, *MNRAS*, 351, L71
- Cowie, L. L., Hu, E. M., 1998, *AJ*, 115, 1319
- Cowie, L. L., Songaila, A., Hu, E. M., Cohen, J. G., 1996, *AJ*, 112, 839
- Crovisier et al. 1997, *Science*, 275, 1904.
- Debes, Ge & Chakraborty 2002, *ApJL*. 572, 165 - 168
- Dickinson, M. 2000, *Building Galaxies; from the Primordial Universe to the Present*, 257
- Dole et al. 2004, *ApJS*, 154, 87

- Dwek, E. & Scalo, J. M. 1980, ApJ, 239, 193
- Ealey et al. 2002, NASA Space Optics Manufacturing Center Tech Days 2002, presentation 08
- Edwards, S., Ray, T., & Mundt, R. 1993, in Protostars and Planets III, eds. E. H. Levy, J. I. Lunine (Tucson: Univ. Ariz. Press), 567
- Emery et al. 2003, Icarus 164 104-121
- Enya, K., et al., 2004, SPIE 5487, 1092
- Fan, X. et al., 2002, AJ, 123, 1247
- Ferrara, A. 2004, ASP conf ser. 309, 331
- Förster Schreiber, N. M., Genzel, R., Lutz, D., Kunze, D., & Sternberg, A. 2001, ApJ, 552, 544
- Geller, M. J. & Huchra, J. P. 1989, Science, 246, 897
- Genzel, R. et al 2003, ApJ, 594, 812
- Gerardy, C. L. et al. 2002, ApJ, 575, 1007
- Gerardy, C. L. et al. 2000, AJ, 119, 2968
- Giavalisco, M., Steidel, C. C., Macchetto, F. D., 1996, ApJ, 470, 189
- Gibb et al. 2002, in *Asteroids, Comets and Meteors* , ESA-SP500, 705.
- Grün et al. 2001, A& A, 377, 1098-1118
- Guyon 2003, A&A 404, 379 - 387
- Haas, M. R. et al. 1990, ApJ, 360, 257
- Haiman, Z. 2002, ApJ, 576, 1
- Hamana, T., Ouchi, M., Shimasaku, K., Kayo, I., & Suto, Y. 2004, MNRAS, 347, 813
- Hartmann, L. 1982, ApJS, 48, 109
- Hasegawa et al. 2003 , GRL, 30, 21
- Heger, A. & Woosley, S. E. 2002, ApJ, 567, 532
- Hirashita, H. & Ferrara, A. 2002, MNRAS, 337, 921
- Honda, M., Kataza, H., Okamoto, Y. K., Miyata, T., Yamashita, T., Sako, S., Takubo, S., & Onaka, K. 2003, ApJ, 585, L59
- Imanishi & Maloney 2003 ApJ 588 165
- Imanishi & Dudley 2000 ApJ 545 701
- Jacquinet & Roizen-Dossier 1964, Prog. Opt. 3 , 29

- Jayawardhana, R. et al. 2003, AJ, 126, 1515
- Kajisawa, M. & Yamada, T. 2004, ApJ, 618, 91
- Kajisawa, M. & Yamada, T. 2001, PASJ, 53, 833
- Kamaya, H., Silk, J., 2002, MNRAS, 332, 251
- Kaneda, H., et al., 2004, ESA SP-554, 699
- Kaneda, H., et al., 2004, SPIE 5487, 991
- Kaneda, H., et al., 2003, Appl. Opt. 42, 708
- Kauffmann, G., Charlot, C., 1998, MNRAS, 297, 23
- Kawakita et al. 2004, ApJ, 601, 1152.
- Kawakita et al. 2003, ApJ, 590, 573.
- Kessler M.F. et al. 1996, A&A, 315, L27
- Klein, R. et al. 2003, ApJ, 593, L57
- Kodama, T., Bower, R. G., 2003, MNRAS, 346, 1
- Kodama, T., et al. , 2004, MNRAS, 350, 1005
- Kodama, T., Smail, I., Nakata, F., Okamura, S., Bower, R. G., 2001, ApJ, 562, L9
- Kodama, T., Arimoto, N., Barger, A. J., Aragón-Salamanca, A., 1998, A&A, 334, 99
- Kozasa, T., Hasegawa, H., & Nomoto, K. 1989, ApJ, 346, L81
- Kozma 1999, astro-ph/9903405
- Lada, C. J., & Lada, E. A. 2003, ARAA, 41, 57
- Launhardt, R. et al 2002 A& A, 384, 112
- Loeb, A., Barkana, R. & Hernquist, L. 2004, astro-ph/0403193
- Lundqvist, P. et al. 1999, A& A, 347, 500
- Madau, P. et al. 2004, ApJ, 604, 484
- Madau, P. & Rees, M. 2000, ApJ, 542, L69
- Martin-Hernandez et al. 2005 A&A 429 449
- Matsuhara et al. 2000, A&A...361..407
- Mezger, P. G. et al 1999, A& A, 348, 457
- Mizusawa, Nishi, R., Omukai, K., 2004, PASJ, 56, 487
- Mizusawa H., Nishi, R., Omukai, K., 2004, in preparation



- Mohanty, S. et al. 2004, ApJ, 609, L33
- Morris, M. & Serabyn, E. 1996, ARAA, 34, 645
- Moseley, S. H. et al. 1989, ApJ, 347, 1119
- Moustakas, L. A. & Somerville, R. S. 2002, ApJ, 577, 1
- Muench et al. 2002, ApJ, 573, 366
- Mumma et al. 2003, Adv. Space Res., 31, 2563.
- Mumma et al. 1997, Science, 272, 1310.
- Mumma et al. 1993, in Protoster and Planets, 1177.
- Mundt, R. 1984, ApJ, 280, 749
- Mundt, R., & Fried, J. W. 1983, ApJ, 274, L83
- Munoz Caro, G. M., Meierhenrich, U. J., Schutte, W. A., Barbier, B., Arcones Segovia, A., Rosenbauer, H., Thiemann, W. H. -P., Brack, A., & Greenberg, J. M. 2002, Nature, 416, 403
- Murakami, H. et al. 1996, PASJ, 48, L41
- Murakawa et al. 2004, PASJ 56, 509 - 519
- Nagata, T. et al 1995, AJ, 109, 1676
- Nakagawa, T., Yui, Y. Y., Doi, Y., Okuda, H., Shibai, H., Mochizuki, K., Nisimura, T., and Low, F. J. 2004, ApJS, 115, 259
- Nakagawa, T. 2004, Advances in Space Research, 34, 645
- Natta, A., & Testi, L. 2001, A& A, 376, L22
- Naylor, B.J., Bradford, C.M. et al. 2003, Proc. SPIE, 4855, 239
- Niesenson & Papaliolios 2001, ApJL 548, 201 - 204
- Notesco, Laufer, & Bar-Nun 1997, Icarus, 125, 471.
- Nozawa, T., Kozasa, T., Umeda, H., Maeda, K., Nomoto, K. 2003, ApJ 598, 785-803
- Oasa, Y., Tamura, M. et al. 2004, in prep.
- Oasa, Y. et al. 1999; ApJ, 526, 336
- Okuda, H. et al 1989, ApJ, 351, 89
- Omukai, K., Nishi, R., 1998, ApJ, 508, 141
- Onaka, T., et al., 2004, ESA SP-554, 297
- Ouchi, M. et al. , 2003, ApJ, 582, 60

- Ozaki, T., et al., 2004, SPIE 5494, 366
- Pettini, M. et al. 1994, ApJ, 426, 79
- Philipp, S. et al 1999, A& A, 348, 768
- Pozzetti, L., et al. , 2003, A&A, 402, 837
- Pyo, T. -S. et al. 2005, ApJ, Jan 10 issue, in press
- Pyo, T. -S. et al. 2004, AAS, 204, 8270
- Pyo, T. -S. et al. 2003, ApJ, 590, 340
- Pyo, T. -S. et al. 2002, ApJ, 570, 724
- Reipurth, B. & Bally, J. 2001, ARAA, 39, 403
- Ripamonti, E. et al., 2002, MNRAS, 334, 401
- Rouan et al. 2000, PASP 112, 1479 - 1486
- Rowland, H.A. 1883, Phil. Mag. 16, 197
- Salpeter, E. E. 1955, ApJ, 121, 161
- Salvaterra, R. & Ferrara, A. 2003, MNRAS, 339, 973
- Salvaterra, R. & Ferrara, A. 2003, MNRAS, 339, 973
- Santos, M. 2004, MNRAS, 349, 1137
- Santos, M. R., Bromm, V., & Kamionkowski, M. 2002, MNRAS, 336, 1082
- Sawicki, M., 2002, AJ, 124, 3050
- Shimasaku, K., et al. , 2003, ApJ, 568, L111
- Shu, F. H., Najita J., Galli, D., Ostriker, E., & Lizano S. 1993, in Protostars and Planets III, eds, E. H. Levy & J. I. Lunine (Tucson: University of Arizona Press), 3
- Sokasian, A., Yoshida, N., Abel, T., Hernquist, L. & Springel, V. 2004, MNRAS, 350, 47
- Spergel, D. N., et al., 2003, ApJS, 148, 175
- Spergel 2001, Astro-ph, 0101142
- Spinoglio, L. & Malkan, M. A. 1992, ApJ, 399, 504
- Stantcheva, T. & Herbst, E. 2004, A& A, 423, 241
- Steidel, C. C., Pettini, M., Hamilton, D., 1995, AJ, 110, 2519
- Susa, H., Umemura, M., 2004, ApJ, 600, 1
- Susa, H., Umemura, M., 2004, ApJ, 610, L5

- Swinyard, B.M., et al. 2003, Proc. SPIE, 4850, 698
- Tafalla, M., Myers, P. C., Caselli, P., Walmsley, C. M., & Comito. C. 2002, ApJ, 569, 815
- Tamura, M. et al. 1998, Science, 282, 1095
- Terzieva, R. & Herbst, E. 1998, ApJ, 501, 207
- Thornley, M. D., Schreiber, N. M. F., Lutz, D., Genzel, R., Spoon, H. W. W., Kunze, D., & Sternberg, A. 2000, ApJ, 539, 641
- Todini, P. & Ferrara, A. 2001, MNRAS, 325, 726
- Toulemont, Y., et al., 2004, SPIE 5487, 1001
- Ueda, Y., Akiyama, M., Ohta, K., Miyaji, T. 2003, ApJ 598, 886
- Velusamy, T. & Langer, W. D. 1998, Nature, 392, 685
- Verde, L. et al. 2002, MNRAS, 335, 432
- Watanabe, N. & Kouchi, A. 2002, ApJ, 571, L173
- Werner M.W. et al. 2004, ApJS Spitzer special issue (astro-ph/0406223)
- White, R.L., Becker, R. H., Fan, X. & Strauss, M. A. 2003, AJ,
- Zijlstra, A. A. 2002, ApJ, 572, 1006
- van Dishoeck, E. F. & Blake, G. A. 1998, ARAA, 36, 317
- van den Bosch, F. C., Yang, X., & Mo, H. J. 2003, MNRAS, 340, 771
- Wada, B. K., 1999, 金田、日本機械学会誌 1999.2, 102, 963, p76
- 尾中ほか、2003年、第3回宇宙科学シンポジウム proceedings、187
- 金田ほか、2001年、第2回宇宙科学シンポジウム proceedings、131

次世代赤外線天文衛星 SPICA ミッション提案書

2005年3月発行

発行 次期赤外線天文衛星ワーキンググループ

誌面編集 中川貴雄、塩谷圭吾、西松久美子