

第11章 フェーズ A における開発課題

この章のまとめ

フェーズ A の開発を開始するためには、獲得目標およびそれを達成するための方策が十分に明確化されている必要がある。とくに SPICA のような大型計画を確実に推進するためには、フェーズ A 開始の妥当性、フェーズ A 終了時の見通しについて、従来のミッション以上に系統的に検討する必要がある。本プロポーザルでは、SPICA の開発に必要な要素技術について、技術成熟度 (TRL) の観点から評価してきた。これを利用して、TRL が 4 未満とされた課題を洗い出すことで、フェーズ A での開発における獲得目標を大きく以下の 5 つに定める。

1. ミッション部冷却システムの成立性実証：
これまでの要素開発の成果を発展させ、システムとしての耐久性を実証するとともに、試験方法の確立も目指す。
2. SPICA 望遠鏡の成立性実証：
口径 3.5 m の極低温望遠鏡の成立性を立証する。あわせて試験方法の確立も目標とする。
3. 宇宙望遠鏡用コロナグラフ光学系の実証：
コロナグラフ光学系自体のほか、極低温で動作する補償光学、望遠鏡開発との関係、姿勢制御/擾乱管理との関係を含む。
4. 撮像分光器用要素の大幅な性能改善：
検出器、光学フィルター、極低温読み出しエレクトロニクスの実証などが対象となる。
5. 姿勢/指向系制御システムの開発・実証：
高精度の指向性能を実現するための鍵となる、極低温 Tip-Tilt 鏡を試作し、実際に冷却試験を行い成立性を確認する。ハイブリッド姿勢制御との関係を含む。

フェーズ A では、これらを重点的に推進することで、完了時に SPICA の成立性を立証できていることを目標とする。これらの目標を実現するために必要な具体的な課題についても、あわせて以下に示す。いずれも要素を開発し、それをチャンバーなど運用条件を模擬した環境で実証する方針である。したがって、必要な試験環境の開発も、同様にフェーズ A での課題となる。

現段階で、システムティックな獲得目標の洗い出しと、それを実現するための具体策がリストされており、フェーズ A を開始するにふさわしい準備が出来ている。

11.1 最重要技術項目の洗い出し

フェーズ A での開発を開始し、各要素技術の成立性を立証して PM フェーズに進む根拠を得るためには、「現時点で成立性が立証できていない critical な技術」を洗い出しておく必要がある。とくに SPICA のような大型計画を確実に推進していくためには、フェーズ A 開始の妥当性、フェーズ A 終了時の見通しについて、従来のミッション以上に系統的に吟味、判断していく必要があると考えている。

そのための準備の一貫として、本プロポーザルでは前章までに、各要素技術と関連する開発課題をリストアップし、要素技術についてはその成熟度を Technical readiness level (TRL) で評価してきた。開発計画を PM フェーズに進めるためには、原則的には各要素の TRL が 5 以上となっていることが望ましい¹。

このような背景のもと、フェーズ A で追求すべき課題を洗い出すため、現段階での TRL が 4 以下で、SPICA にて開発が必要な要素技術を抜き出し、あらためて表 11.1 および表 11.2 にまとめた。前者はミッション部に関するもの、後者はシステム部・バス部に関するものである。ここでは、各章で示した TRL リストを集約し、また現段階で TRL レベルが低くても時間の経緯とともに解消することが期待できるものは除くなどして、「実際に行うべき開発課題」に凝縮してある。

これらの 2 つの表を比較すれば明らかなように、成熟度の低い要素技術はその大半がミッション部にある。バス部が明確に関連するのは、姿勢/指向系制御にかかわるもののみであり、そのような課題についても新規に実証が必要なのはミッション部に含まれる極低温 Tip-Tilt 鏡が鍵となる。他方、システム部・バス部においては、ミッション部と比較して開発課題は大幅に少ない。このことは、我々がこれまでに行ってきた構想が、「チャレンジはミッション部で行い、システム部・バス部はできる限り既存の技術で構築する」という妥当な方向にあることを示している。

11.2 獲得目標の設定

以上を踏まえて、フェーズ A 期における開発の目標を、以下のように大きく 5 つにまとめることが出来る。

1. 宇宙望遠鏡用コロナグラフ光学系の実証：

宇宙用に初めて最適化する SPICA のコロナグラフは、大気ゆらぎによる性能限界にしばられることなく、その性能を発揮することができる。このことは、別の見かたをすると「言い訳のきかない、シビアな開発」が要求されることを意味する。コロナグラフ光学系は、波面誤差をはじめとする擾乱要因に極めて敏感である点に、本開発の難しさがある。フェーズ A では、「チェンバー内実験で、点源中心から適当な離隔にて 10^6 のコントラストの結像を実証」することを獲得目標とする。同時に、最終的に全システムのなかで機能させられる目処を得るため、「望遠鏡、衛星指向性制御/擾乱管理への要求事項を確認、確定する」ことも、不可欠な目標となる。この課題は、そのために必要な「試験環境/手法の開発」を含む。

2. 撮像分光器用要素の大幅な性能改善：

中間赤外線観測装置、遠赤外線観測装置では、検出器や光学フィルター、極低温読み出しエレクトロニクスの確立が課題となっている。これらはいずれも、フォーマットの小さいものや、性能の限られたものなら既存のものが存在するので、厳密な意味では critical な要素ではないと見なすことも可能ではある。しかし実際には、これらの要素の改良が出来るかどうか

¹TRL の定義については、第 1 章を参照のこと。各要素技術を、レベル 1 (原理的な可能性が示されている) からレベル 9 (実際のフライトモデルが打ち上げられ、実際のフライトによって性能が確認されている) までの 9 段階に分類して評価するもので、数値が大きいほど成熟度が高い

かが SPICA の観測能力に非常に大きく影響するので、フェーズ A でぜひ開発を進めておくべき課題であると判断する。「各要素を実際にチャンバー内で極低温に冷却し、性能を実証」することをフェーズ A での獲得目標とする。この課題は、そのために必要な「試験環境/手法の開発」を含む。

3. SPICA 望遠鏡の成立性実証：

SPICA で必要な軽量の極低温望遠鏡の成立性を確認するため、材料レベルでの開発、より大型の試作鏡の製作とあわせて、評価システムを確立することも重要な課題となる。フェーズ A では BBM モデルを製作するとともに、ASTRO-F で習得した評価技術を拡張し、「口径 3.5 m の SPICA 望遠鏡の成立性を立証」することが獲得目標となる。この課題は、フェーズ A 以降における、実際の大型鏡の試験方法について目処を得ることを含む。

4. ミッション部冷却システムの成立性実証：

冷媒を用いず、放射冷却と冷凍機を併用する冷却方式は、SPICA で大型望遠鏡を搭載するさいに前提となる技術である。これまでも行ってきた、要素ごとの、実験室レベル程度の実証を開発を発展させる。フェーズ A での獲得目標は、「実際の環境に近い条件化での試験 (TRL 5)、さらにはそれらのシステム化 (TRL 6)」とする。

5. 姿勢/指向系制御システムの開発・実証：

SPICA における観測装置、とくにコロナグラフ観測装置は、極めて高い姿勢/指向性安定性を要求する (~ 0.3 arcsec)。そのために必要となるハイブリッド指向制御に用いる、極低温 Tip-Tilt 鏡を開発、実証する。極低温 Tip-Tilt 鏡はミッション部に含まれるものの、バス部と明確に関連するという点が、上に挙げた課題とは異なっている。現段階では、原理的な成立性には見通しがあるものの、実際の低温条件化での適切な駆動 (ピエゾ素子のストロークは常温時の $1/10$ になってしまう)、冷却にともなう熱歪みの扱い方、耐久性、動作時の発熱、などが確認されていない。フェーズ A では、「試作鏡を製作し、実際に極低温に冷却して、成立性を確認する」ことを獲得目標とする。この課題は、そのために必要な「試験環境/手法の開発」を含む。

11.3 フェーズ A における開発項目およびスケジュール

フェーズ A 期において、獲得目標を確実に達成するためには、できるかぎり現段階で、そのために行うべき開発内容が具体化/明確化されている必要がある。以下では、前節で明らかにしたフェーズ A 期の 5 つの大目標をいかに実現していくのか、これまでの検討・開発をもとに構想している開発項目を示す。いずれも実際に要素を製作し、それをチャンバーなど運用条件を模擬した環境で実証する方針である。したがって、そのために必要な試験環境の開発も、同様にフェーズ A での課題となる。

逆に、システムティックな洗い出しから導かれた以下を遂行することができれば、従来の科学衛星の開発にくらべて、より客観的にフェーズ A (に相当する) 期間の完了を認識することができる。これらのことこそ、本プロポーザルにおいて TRL レベルを導入して、開発課題を評価してきたことの意義である。

そして、前節で設定した獲得目標を実現するための具体策も、以下のように既にリストされているのである。このように、我々はフェーズ A 期に入り次第、能率的に開発を開始し、かつ完了できるための準備が出来ている状況にある。

表 11.1: ミッション部：現段階で TRL 4 以下の要素技術

主な関連箇所		技術項目	現時点での状況	フェーズ A 完了時の見通し
焦点面 観測装置	コロナグラフ	極低温・赤外コロナグラフ光学系	3	7
		極低温可変形鏡	4	6~7
		姿勢制御安定性への要求・関係	3	5
		望遠鏡への要求・関係	4	5
	中間赤外線 観測装置	検出器 5~28 μ m 帯 (大フォーマット)	4	6
		検出器 10~40 μ m 帯 (大フォーマット)	3	5
		波長帯選択フィルター	2	5
		新しい分光方式の試験	3~4	6
	遠赤外線 観測装置	検出器 50 - 110 μ m 帯	3	5
		検出器 110~200 μ m 帯	2	5
		極低温読出し回路	3	5
	試験方法の確立	段階的試験、チェンバー	3	5
	望遠鏡	3.5m 主鏡材料の確立	5	7
分割鏡材の一体化技術		5	7	
研削		5	7	
研磨		3	5	
常温検査		3	5	
低温検査		3	5	
鏡支持機構		3	5	
焦点調整機構		3	5	
ミッション部冷却システム	断熱/放射冷却構造	3	5	
	機械式冷凍機	4	5	
	冷凍機用排熱システム	2	5	
	試験方法の確立 (要素試験からチェンバー整備へ)	3	5	
姿勢/指向系制御システム	極低温 Tip-Tilt 鏡	3~4	6	

表 11.2: バス・システム部：現段階で TRL 4 以下の要素技術

主な関連箇所	技術項目	現時点での状況	フェーズ A 完了時の見通し
姿勢制御系	高精度 (低擾乱) 安定性	4	5
構造系	擾乱伝達が小さい構造の確立	4	5
姿勢系試験方法の確立	ハイブリッド制御の検証から PM の方針決定へ	4	5

11.3.1 ミッション部冷却システムの成立性実証

- 断熱 / 放射冷却構造 SPICA ミッション部冷却システムには、軽量かつ効率的な断熱 / 放射冷却が必要不可欠である。これまでに実施した熱 / 構造解析の結果、ほぼミッション要求を満足し、その基本的な成立性を示すことができたと言える。フェーズ A での課題としては、以下のようなものが挙げられる。
 - － 熱 / 構造の両面における設計マージンの確保。
 - － 鏡筒 / バッフル一体構造化による観測系への影響評価。
 - － さらなるミッション部軽量化の検討。
 - － 熱物性値 / 光学物性値の検証。特に、極低温下での表面放射率や、MLI の断熱性能の定量的な評価が必要。
 - － 軌道上長期運用におけるコンタミネーションや宇宙放射線による断熱 / 放射冷却性能劣化の検証。
 - － 地上における断熱 / 放射冷却構造の性能評価試験方法の検討。特に、望遠鏡 (IRT) を含むミッション部全体の検証方法の検討。
 - － 姿勢 / 軌道制御時の冷却性能へ与える影響の評価。
 - － 鏡筒の開口部カバーに関する検討。(打上げ時の振動やコンタミ対策)
- 機械式冷凍機：

SPICA の特徴である大口径の極低温望遠鏡による長期観測は、機械式冷凍機によって初めて実現すると言っても過言ではない。これまでに、試作試験用モデル (BBM) による開発試験を通じて、要求冷却能力を満足することができた。したがって、今後は冷却能力の向上を図り、十分な熱設計マージンを確保すると同時に、5 年以上の軌道上連続運転に耐えうる高い信頼性を有する冷凍機技術の確立が求められている。フェーズ A での課題としては、以下のようなものが挙げられる。

 - － 圧縮機およびドライバの低消費電力化。
 - － 冷却能力の向上。(特に、蓄冷器の材料および構造の改良、サイズ / 圧力 / 流量等の最適化)
 - － 作動ガスの汚染対策、ガス汚染時の運用方法の検討。
 - － 低温環境下での機構部品 (電磁弁など) の信頼性確保。
 - － 圧縮機の低振動化。
 - － 耐環境性の向上。(打上げ環境、宇宙放射線など)
 - － 信頼性確保の観点からの冗長構成や運用方法の検討。
 - － 寿命評価方法の確立。
 - － 他の冷凍機搭載ミッションとの開発分担。共通基盤技術としての課題抽出。
- 冷凍機用排熱システム：

ミッション部における最大の発熱機器は冷凍機である。よって、冷凍機の発熱部である圧縮機とコールドヘッドから、効率的に冷凍機専用のラジエータへ熱を輸送する必要がある。これまでに、最も搭載実績が豊富で確立された技術と言えるヒートパイプと、臙装性や重量などで点で優れるループヒートパイプとのトレードオフを中心に検討を行ってきた。フェーズ A での課題としては、以下のようなものが挙げられる。

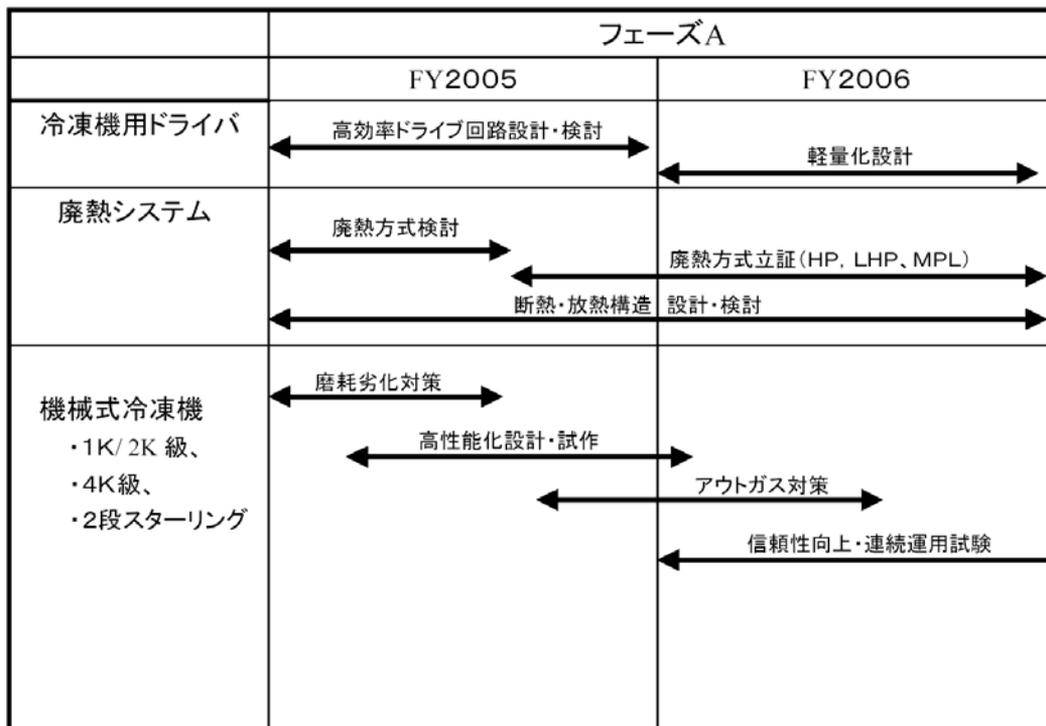


図 11.1: フェーズ A : 冷却システム関連の開発スケジュール

- HP の熱 / 構造システムの成立性の検討。
- 地上における熱制御デバイスの性能評価試験法の検討。
- LHP 用高性能ウィックコアの開発。
- LHP 設計コードの確立。
- 起動性や制御性での利点を有するメカニカルポンプ方式の流体ループの検討。

フェーズ A における、冷却システム関連の開発スケジュールを図 11.1 に示す。

11.3.2 SPICA 望遠鏡の成立性実証

フェーズ A における望遠鏡関連の開発内容を以下に示す。また、開発のスケジュールを、図 11.2 に示す。

- 望遠鏡システム :

提案されている複数の望遠鏡案を評価し、方針を決定する必要がある。そのさいには、固定点の設計、(加工性などをふくめた広い意味での) 鏡材物性の特長、試作鏡を用いた冷却歪みの評価結果が重要な判断基準となる。そのほか、望遠鏡システムに関しては、以下のような検討課題がある。

- 副鏡駆動、アクチュエーター (オプション) 駆動に必要な電力の見積もりと、それらの擾乱に対する望遠鏡の熱応答解析。
- 望遠鏡アライメントを含めた組み立て手法の検討。
- ハンドリング、運搬方法の確立。

- 主鏡関連：

直径が 3.5m と大型の、SPICA の主鏡の成立性を判断するため、試作鏡などを用いて以下を明らかにする。従来、小型の試験片や鏡を用いて行ってきた試験は、測定装置のサイズなどの制約から、そのままでは大型鏡に適用できないものもある。したがって、それらを確立、実証することはフェーズ A での課題である。おもに主鏡に関連して、以下のような課題がある。

 - － 研磨プロセスの確立と面粗度、散乱の定量化
 - － 固定点の成立性の実証
 - － 重力補正方法の実証
 - － 一体化プロセスで製作した鏡の性能の検証
 - － 打ち上げ環境に対する支持構造の強度、剛性設計。
 - － 極低温での支持性能変化の評価。
- 副鏡およびその他副鏡部には、機械的な可動部があるので注意が必要である。そのほか、以下のような課題がある。
 - － 副鏡調整に必要な駆動自由度、ストローク、分解能の定量化。
 - － 打ち上げ環境に対する、副鏡支持構造と光学プレートの強度、剛性設計。
 - － トラス材の一様性の評価。
 - － 光学プレートと焦点面機器とのインターフェース方式の詳細検討。
 - － バッフル設計。
- 大型望遠鏡の試験方法の確立：

フェーズ A では、3.5m 望遠鏡を直接検査することはない。しかし、SPICA 望遠鏡の成立性は、「試験の方法」についても見通しが得られてはじめて結論づけられるものであるから、以下について目処を得ることは獲得目標となる。

 - － SPICA 試験用に改良して使えるような国内既存の装置を確保する。
 - － 試験方法の定量的な検討。
 - － 極低温シュラウドの製作。
 - － 重力補正方法の決定。
 - － 干渉計を含めた測定計システムの構築。
 - － 1 m 超平面鏡の開発。
 - － 100 K で 2.5 m のストロークを稼げる駆動機構の製作。
 - － stitching analysis の確立。

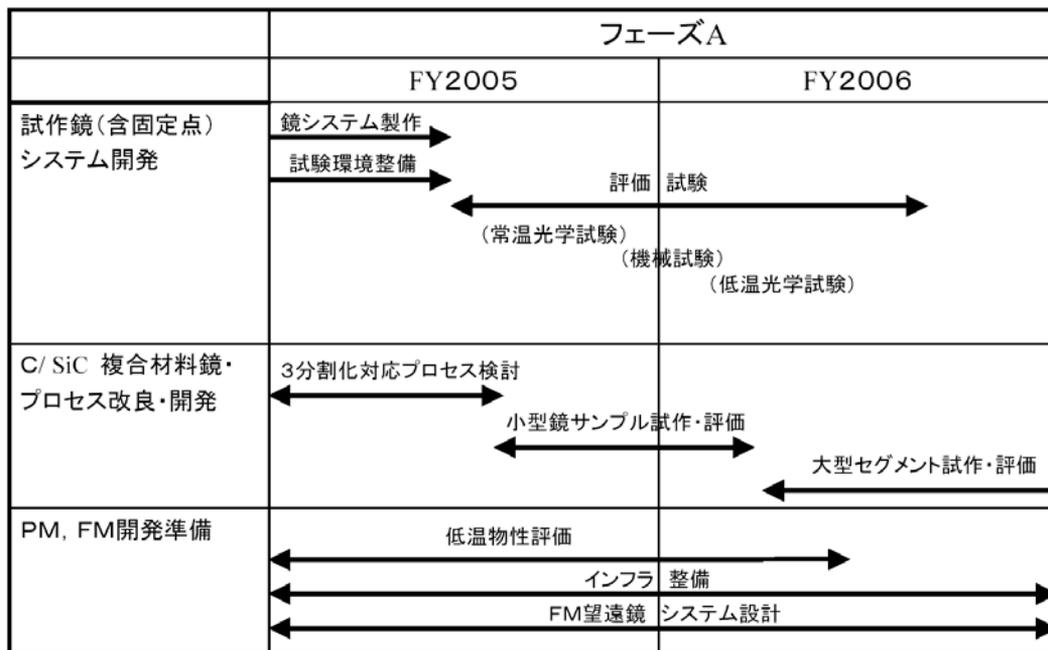


図 11.2: フェーズ A : 望遠鏡開発スケジュール

11.3.3 宇宙望遠鏡用コロナグラフ光学系の実証

- シミュレーション：**
 波面誤差、副鏡および支持機構による遮蔽を考慮したコロナグラフ性能をシミュレーションにて評価する。これまでに、さまざまな方式のコロナグラフが提唱されているが、擾乱要因の影響はあまり調べられていない。他方、実験に要するリソースは大きいので、まずはシミュレーションが必要である。我々はすでに、SPICA 望遠鏡に特化したシミュレーションを開始している。得られた結果をもとに、SPICA で採用するコロナグラフの方式(の候補)を選定する。
- 試験環境の構築：**
 擾乱にたいへん敏感なコロナグラフの開発においては、未知の誤差要因がなく、実際に機能することをトータルで確認することが必須である。そのために、まず、試験環境を構築する。具体的には、まずは常温、大気中での試験からはじめて、最終的には大気による散乱光を除去するためチャンバーを用いる。実験系は、光学定盤、光源関連機器、コロナグラフ光学系、検出器、温度コントロールシステムなどで構成する。また、実験用に、既製品の可変形鏡を用いた、波面補償システムを導入する。
- 実証試験：**
 マスク、アポダイザーなどのコロナグラフのための素子を製作し、実証試験を行う。あわせて、波面誤差の評価法、補償手順の具体化、迷光対策の方法を確立する。この段階で、SPICA で採用するコロナグラフの方式を決定することも目標となる。
- 極低温可変形鏡の開発：**
 コロナグラフが要求する波面精度は、望遠鏡の仕様を大きく上回る。波面補償に用いられる可変形鏡は、SPICA の温度環境では使用できないので、あらたに極低温用のものを開発することが不可欠である。検討レベルでは見通しが得られてる鏡を製作し、低温での動作、面

表 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

	フェーズA	
	FY2005	FY2006
コロナグラフ 観測装置	シミュレーション 低温真空光学チャンバー開発	コロナグラフ評価試験・改良 極低温可変形鏡 評価試験・改良
中間赤外線 観測装置	波長選択フィルター 低温真空光学チャンバー開発 検出器(Si:As) 試作・評価	試作・評価 分光系 試作・評価 検出器(Si:Sb) 試作・評価
遠赤外線 観測装置	波長選択フィルター 検出器(Ge)結晶試作 低温読み出し回路(GaAs)	試作・評価 加工・評価 試作・評価

形状、ストローク、発熱、安定性、耐久性を確認する。主な試験は、冷却用デュワーと干渉計を組み合わせた環境で行う。

- 他の要素との関連：

望遠鏡に要求する光学仕様の詳細を確定する。現状では、望遠鏡の結像性能に関しては、波面精度、表面粗さで仕様が定義されている。これらに加えて、波面誤差の空間周波数、鏡面反射率の一様性、の影響を計算し、望遠鏡への要求事項をより詳細に確定する。また、衛星姿勢制御系、擾乱管理への要求事項を評価、確定する。

フェーズ A の開発スケジュールを、焦点面観測装置一般の課題とあわせて、図 11.3 に示す。

11.3.4 撮像分光器用要素の大幅な性能改善

- 検出器の実証試験：

SPICA の中間赤外線観測装置、および遠赤外線観測装置では、望遠鏡の特性を活かすため、これまでにない大フォーマットの検出器を用いることが非常に有益である。これらを小フォーマットの素子で代替した場合、観測装置の性能が著しく制限されてしまう。特に中間赤外域において、口径で SPICA を上回る宇宙望遠鏡である JWST にたいして視野で優位にたつためにも、大フォーマットの検出器を追求することは、事実上必須である。

具体的には、以下のような複数の検出器が試験の対象になる。短波長域の素子ほど開発が進んでいる傾向があるものの、いずれも実際に冷却しての読みだし、特性試験にかける。

- 5 ~ 28 μm 帯：

大規模フォーマットの素子について、低温環境にてシステムとしての実証モデル試験

- 10 ~ 40 μm 帯：

中規模フォーマットの素子について、低温環境にてシステムとしての実証モデル試験

- 50 ~ 110 μm 帯 :
大フォーマット化可能な素子を、低温環境にて実証試験
- 110 ~ 2000 μm 帯 :
大フォーマット化可能な素子を、低温環境にて実証試験

試験環境となるデューワーおよび読みだしシステムを構築することも、あわせて行う。

- 波長帯選択フィルター :

波長帯選択フィルターは、SPICA ミッションでどのような天文学的データが得られるか、に直接関わる要素である。SPICA 望遠鏡はこれまでになく大型であり、その搭載装置にも多くのフィルターを載せることができる。これはフィルター選定の幅が広がることを意味しており、地上望遠鏡用装置のように多様なフィルターで多様な観測が可能になる。逆に言えば、多様なフィルターを装置開発の一貫として用意する必要があることになる。一方、中間赤外域ではフィルターの開発も容易ではなく、意図した通りのフィルターを入手することはかなりの時間と労力を必要とするのが実状である。したがって、SPICA 望遠鏡の性能装置開発の初期段階からフィルターの開発を行うことが非常に重要である。

フィルターの開発は、とくに、20 μm より長い波長域を対象とするものに課題がある。具体的には、基板の潮解性、柔らかさの問題があり、波長選択コーティングの技術も完成されてはいない。開発課題としては、試験的な素子のセットを製作し、冷却サイクル試験を行い、低温での透過率、素子間のばらつきなどを実測する。そのために必要な環境も、あわせて構築する。

- 分光装置部分の評価これまでにない広視野・高分解能が得られる SPICA 望遠鏡においては、搭載装置の分光ユニットをデザインする際、これらの特徴が最大限に生きる分光方式を採用することが重要である。天文観測で使われる分光方式で代表的なものに、グレーティング(回折格子)分光、ファブリ・ペロー分光、フーリエ分光がある。特にグレーティング分光方式では、スリットを使うことにより生じる空間情報の損失を克服するため、マルチスリット方式やイメージスライス方式が実用化されている。以下のように、これらについて実証試験を行い、SPICA に適用した場合の特性を把握し、採用する方式を絞り込む。

- イメージスライサー分光 :
トレードオフのための実証モデルの試験(レベル5)と SPICA 用の最適設計
- ファブリペロー分光 :
全波長域での実証モデルの試験(レベル5)と SPICA 用の最適設計
- フーリエ分光 :
トレードオフのための実証モデルの試験(レベル5)と SPICA 用の最適設計
- マルチスリット分光 :
トレードオフのための実証モデルの試験(レベル5)と SPICA 用の最適設計

- 極低温読み出し回路 :

低雑音化のための回路設計と検証モデル試験および大規模アレイ化のためのマルチプレクサ等を設計、試作し、極低温環境にて実証する。そのための試験環境を構築することも課題となる。

	フェーズA	
	FY2005	FY2006
FPI センサー 単体実験	設計・検討 低温光学チャンバー開発 光源・光学系開発	センサー評価・部分読み出し最適化
低温Tip-Tilt 鏡 単体実験	設計・検討 試作鏡の製作	試験環境 開発 評価試験・改良
フィードフォワード制御、 閉ループ実証試験	フィードフォワード制御の検討・具体化	閉ループ構築 実証試験

図 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

11.3.5 姿勢/指向系制御システムの開発・実証

SPICA で要求される、高精度の指向性能を実現するための基礎開発である。開発項目は、大きく、FPI センサーの単体試験、低温 Tip-Tilt 鏡の製作および鏡単体試験、閉ループ構築による性能実証試験、に分けることができる。ただし、低温 Tip-Tilt 鏡については焦点面観測装置の開発と重複するので、ここでは FPI センサーおよび閉ループ実証試験について述べる。

これらの開発スケジュールを表 11.3 に示す。

- 試作鏡の製作 :
極低温環境で動作する既製品の Tip-Tilt 鏡は存在しないので、試作鏡はあらたに開発することが必要である。すでに我々は、東大天文センターの研究者と共同で、低温で動作実績のある piezo素子を用いた、極低温用の Tip-Tilt 鏡の開発を開始している。これまでに、計算上、成立する設計解を得ており、ハードウェアの製作をはじめるところである。
- 試験環境の構築 :
しかし、冷却による熱歪み、piezo素子の発熱、ストロークを増幅するために用いているテコの成立性およびそこから発生する誤差、発熱など、計算だけでは把握しきれない要素が試作鏡には多くある。そのため、実証試験は不可欠の課題である。試作鏡、干渉計、デュワー、レーザー光源、ポジションセンサー、駆動エレクトロニクス、温度センサー/コントローラーなどからなる試験環境を、現在、構築しているところである。
- 性能の実証 :
何より、低温で動作すること、熱歪みによる鏡面変形の程度、ストローク、発熱、耐久性、駆動可能速度、などの基本的な特性を評価する。次に、閉ループを組んで像安定化の試験を行い、Tip-Tilt 鏡として制御の精度を評価し、成立性を実証する。上記の基本的な特性に問題があることが判明したさいには、機械設計にフィードバックをかける。