

(参考)

宇宙環境利用の当面の推進方策について
(素案)

目 次

はじめに	1
第1章 宇宙環境利用の分野と意義	3
1. 1 宇宙環境利用の主な分野	3
1. 2 宇宙環境利用の意義	4
第2章 宇宙環境利用の推進の考え方	6
2. 1 これまでの宇宙環境利用と我が国の現状	6
2. 2 宇宙環境利用の推進にあたっての考慮事項	8
2. 3 宇宙環境利用の当面の推進の考え方	12
第3章 当面の宇宙環境利用推進方策	16
3. 1 公募により研究を推進するシステムの整備	16
3. 2 J E M利用に向けた効果的推進のための体制整備	17
第4章 J E M利用テーマの選定	18
4. 1 J E M利用計画の策定	18
4. 2 J E M利用テーマの評価・選定の基準	18
4. 3 汎用的・共通的な実験装置等の整備	19
4. 4 J E M利用テーマの選定方法	19
4. 5 J E M利用テーマの選定後の作業	20
第5章 今後検討すべき課題	21
別添1 宇宙環境利用が有効な研究領域	
別添2 十分な準備期間が確保できる時期における J E M利用テーマ選定の考え方等	

はじめに

約46億年前に宇宙に地球が誕生し、その地球上に生命が生まれて以来、生命は地球の環境と関わり合いながら進化してきた。やがて、生物は海から陸上へと進出し、重力等に適応しながら、人類が誕生した。地球上で育まれてきた人類は、科学技術を発展させつつその活動領域を拡大し、宇宙へと進出する能力を有するまでになった。そして今、人類は、地球環境の束縛を離れ、宇宙環境の中で、さまざまな研究や実験、観測などを行い得る時代を迎えている。このような宇宙環境を利用した研究や開発等は、物質科学や生命科学等に関する新たな知見や知識をもたらし、人類の知的フロンティアの拡大を図るものとして期待されるとともに、新材料や医薬品の創製等の新たな産業の鍵となる技術の創出などに大きく寄与するものと期待されている。

宇宙環境利用は、これまで、宇宙開発の歴史とともに展開してきた。宇宙環境での研究や実験は、米国ではアポロ計画やスカイラブ計画等により、また、旧ソ連では「サリュート」宇宙船等により、1970年代に開始され、それぞれ、スペースシャトル及び「ミール」宇宙船に引き継がれて行われてきた。しかし、これらの取組みでは、米国は西側諸国と、旧ソ連は東側諸国とそれぞれ協力を進めるなど、東西冷戦構造の時代を反映した国家威信をかけた競争といった側面を色濃く持っていた。冷戦の終結に伴い、世界的に宇宙開発の位置づけと方向性が見直される中、国際協力や民生利用の重視といった方向性を象徴する動きとして、日本、米国、欧州及びカナダによる宇宙ステーション計画にロシアがパートナーとして参加しようとしている。宇宙ステーション計画は、来年にも軌道上での組立が開始され21世紀初頭からは本格的な運用利用が開始される予定であるなど、すでに間近に迫ってきている。このような状況の下、宇宙ステーションを大きな活動の場とする宇宙環境利用についても、新たな位置づけとそれに対応した推進が求められている。

このような宇宙環境利用に対して、我が国では、昭和54年6月、宇宙開発委員会第二部会において「スペースシャトルの利用の推進」として報告書を取りまとめ、以来、第一次材料実験（FMPT）や第二次国際微小重力実験室（IML-2）等のスペースシャトルによる宇宙環境利用を進めるとともに、宇宙実験・観測フリーフライヤ（SFU）等の独自の実験手段の開発・整備を進めてきた。また、昭和62年7月には、宇宙開発委員会宇宙基地特別部会において「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」として報告書を取りまとめ、宇宙ステーション計画への参加及び日本の実験棟（JEM）の開発を進めてきた。さらに、平成4年5月には、宇宙開発委員会宇宙ステーション部会において「宇宙ステーション取付型実験モジュール（JEM）の利用の基本方針」を取りまとめ、JEM利用テーマの公募等を進めてきた。

一方、宇宙開発をめぐる内外の大きな情勢変化を踏まえ、宇宙開発委員会では、

今後10年程度の間における我が国の宇宙開発に係わる活動の方向と枠組みを明らかにするため、平成8年1月に、宇宙開発政策大綱を改訂した。新たな宇宙開発政策大綱では、JEMを我が国初の「軌道上研究所」と位置づけるとともに、この「軌道上研究所」を中核として、宇宙と地上における研究活動とが密接に連携した総合的な研究活動を構築するなどにより、宇宙環境利用活動の充実を図ることを宇宙開発の重点課題の一つとして掲げている。

これらの状況において、本部会は、我が国の宇宙環境利用を効果的に推進し有効な成果をもたらすため、平成7年9月、宇宙開発委員会の下に設置され、以来、宇宙環境利用の総合的な推進方策について調査審議を行ってきた。調査審議においては、これまでの報告書の内容等について宇宙環境利用の経験の蓄積やさまざまな情勢の変化に対応した見直しを行うなどにより、新たな時代に向けた推進方策として改めてとりまとめることを目指した。今般、宇宙環境利用を総合的に推進するにあたり、速やかに対処すべきものについて、当面の推進方策としてとりまとめたのでここに報告する。

宇宙環境利用は、これまでの知見の蓄積や実験手段の充実等が進み、新たな可能性が広がっている分野である。従って、今後とも、その研究の進展、国際的な調整や協力による研究環境等の変化など、さまざまな要因を考慮して推進が図られるべきである。本報告の内容についても、そのような進展等に応じて見直すことが必要であるが、現時点で新たな時代を見据えた宇宙環境利用の進め方として、本報告の内容が広く理解を得られるとともに、新たな宇宙開発政策の策定等に活用されることを期待するものである。

第1章 宇宙環境利用の分野と意義

1. 1 宇宙環境利用の主な分野

宇宙環境利用は、微小重力、高真空等の地上では得ることのできない宇宙空間の特徴を活かして、さまざまな研究や実験、観測等を行うものである。その対象としては、新材料創製等にも繋がる物質科学、微小重力下での物理・化学現象の解明等の微小重力科学、宇宙生物学や微小重力を利用したバイオテクノロジー等のライフサイエンス、宇宙医学等を含む有人宇宙技術、さらには、宇宙ステーションの日本の実験棟（J E M）の曝露部での理工学・通信分野の研究、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発など、極めて広範な分野にわたる。

特に、宇宙環境の大きな特徴の一つである微小重力を利用した物質科学や物理・化学現象の解明、ライフサイエンス等は、人類が宇宙に活動領域を拡張、重力を温度や圧力等と同様のパラメータとして利用し得る時代が到来したことにより生まれた新たな研究領域である。すなわち、微小重力という新たな環境やその環境下でのさまざまな状態を用いた研究や実験は、地球上の環境に隠されていた現象の発見や解明など、新たな科学技術の展開をもたらすものであり、この意味で、人類の新たな知的資産の有望な鉱脈ともいえるものである。

また、宇宙環境の特徴を活かしたライフサイエンスや宇宙医学研究等は、宇宙という特殊な環境を通して生命と環境との関係を探究するという新たな視点を人類にもたらす。このような視点から、地球上で誕生し、地球環境と相互に関わり合いながら進化してきた人類をはじめとする地球生命体と重力等の地球環境との関係を改めて問い直し、生命現象を解明し、宇宙的スケールで生命の可能性を探究する、といった人類の根源的な課題に対する知的な挑戦を可能とするものである。

さらに、このような研究から生み出されるさまざまな知見や知識は、人類の知的ストックを充実するとともに知的フロンティアを拡大し、新たな生命観・地球観・宇宙観を生み出していくことに貢献するばかりでなく、新材料や医薬品の創製、新たな医療法の開発、新しい産業の鍵となる技術の創出など、社会の発展や生活の向上にも大きく寄与することが期待されるものである。

一方、J E Mの曝露部を利用した理工学・通信分野の研究、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発等においては、J E M曝露部の特徴を活かしつつ広範な分野からの多様な利用を進めることにより、宇宙の開発利用の新たな展開が可能となる。

J E M曝露部は、宇宙空間に曝露された利用空間としてJ E Mの特長であ

るとともに、宇宙ステーション全体としても貴重なものである。また、JEMは地球低軌道における有人の拠点であることから、実験機器の交換や回収が定期的に可能であることや搭乗員の支援を受けられることなど、通常の衛星にはない利点を有している。

このような特徴を活かし、JEM曝露部では、通常的人工衛星では困難な研究や技術開発を行うとともに、JEM曝露部を技術実証のためのプラットフォームとして捉え、短い開発期間・低コストの実験機器を順次搭載することにより、より多くの可能性を探求し、より有意義なミッションの実現を可能にすることなどが期待される。従って、JEM曝露部利用についても、より多くの研究者の参画の下に、これまで個別の衛星としては実現が困難だったミッションや、定期的な輸送能力を活かした柔軟かつ機動性あるミッションなどにも挑戦していくことが期待される。加えて、宇宙ステーションだからこそ実現する国際協力の展開も可能となる。

1. 2 宇宙環境利用の意義

人類にとって宇宙環境とは、物質科学やライフサイエンス等の科学研究や新材料・医薬品の創製等の技術開発を進める上で新たな研究環境を提供するばかりでなく、人類をはじめとする地球生命体と宇宙や地球との関係を見つめ直し、人類と環境との調和を考える新たな視点を与えるものであり、さらには、次なる世紀に向けて幾世代にもわたる人類の新たな活動を展開するための場でもある。このような宇宙環境を利用した活動を進めていくことで、宇宙開発のみならず人類のさまざまな活動にとって大きな成果をもたらすことが期待されるが、当面の宇宙環境利用を展望した時、その意義は、次のように整理される。

(1) 新たな科学的な知見や知識の獲得

宇宙環境を利用して地球上の環境に隠されていた物理・化学現象を発見するとともにその解明により新たな理論を構築すること、宇宙環境下での生命現象の研究等によって地球環境で育まれてきた生命の普遍的原理を解明すること、宇宙ステーションがこれまでにない新しい研究の場を提供することで地球科学や宇宙科学等の進展をもたらすことなどにより、人類共通の知的資産となる新たな科学的な知見や知識の獲得が図れる。

(2) 地上における研究活動・生産活動の高度化や創出

宇宙環境を利用した研究・実験により得られた知見や技術を、地上での研究、開発、生産活動等へ反映することによって、技術革新を促進する。さらに、地上では得られない高付加価値の新材料・医薬品等の研究開発により、新たな産業の鍵となる技術の創出や、新たな生産活動等の実現をも

たらず。

(3) 宇宙技術をはじめとした広範な技術の高度化等の促進

宇宙環境利用を進めることにより、宇宙インフラストラクチャや関連技術等の宇宙技術の高度化をもたらすとともに、宇宙での人間の滞在や実験実施や宇宙環境を利用した研究等を通じて、有人宇宙技術の基盤の構築が図れる。さらに、極限環境での実験実施に必要となる高度な実験技術、限られた実験機会を効果的に利用する効率的な実験手法、ロボティクスやテレサイエンス、閉鎖生態系等の実験支援技術など、さまざまな技術の研究開発により、一般の科学技術の革新に繋がる広範な技術の発展をもたらす。

(4) 人類の活動領域の拡大

有限な地球の中で人類が持続的に発展していくためには地球環境との調和を図る必要があること、そのような持続的な発展のためには自然科学的な知識や技術だけでなく人の心の問題等を含めた総合的な科学技術の在り方が求められていることなど、人類は、今、その歴史の中で、新たな認識を持つべき時代に生きている。宇宙から見た地球は、このような認識形成に対して大きな役割を果たしたと言われている。宇宙環境を利用した活動を通じて、地球環境の貴重さやその中で育まれてきた地球生命体の機能や生存の可能性に関する具体的な実感やさまざまな情報により、このような地球規模の視点や人類史的な視点からの認識をより一層深めていくことは、人類の持続的な発展に向けて人々の意識を高めるとともに、長期的には、科学技術の発展と相まって人類の活動領域を拡大していくことになる。

(5) 活力ある社会の実現及び国際社会の安定への貢献

宇宙は、古来より人々の夢とロマンの対象であり、多くの人は子供の頃宇宙を舞台にした科学小説や映画等に熱中した経験があるように、宇宙に対する人々の潜在的な関心は高い。宇宙環境利用を有効に進めることにより、その活動や成果に関する情報を通じて、そのような潜在的な関心を出発点として、例えば、科学技術や国際協力等の創造的・建設的な活動に対する具体的な関心が高まっていくことが期待され、活力ある社会の実現等に貢献する。また、宇宙ステーションの運用や利用をはじめとして、宇宙環境利用における国際協力を通じて、国際社会の安定と発展に貢献する。

第2章 宇宙環境利用の推進の考え方

2. 1 これまでの宇宙環境利用と我が国の現状

(1) これまでの宇宙環境利用

宇宙環境を利用した物質科学や新材料創製、物理・化学現象の解明等の研究に関する宇宙実験が始められてから、ほぼ四半世紀が経過し、微小重力下での合金や複合材料、半導体等の製造実験をはじめとして、さまざまな実験が行われてきた。現在までに実施された実験はまだまだ少ないが、これらの実験により、微小重力下では、材料組織の均質性等が向上することが確認されるなど、一応の成果が挙がってきている。しかし、当初期待された新材料の創製といった面では、宇宙環境で顕在化する現象等により、ごく限られた例を除き定量的に評価し得る成果が得られるまでは至っていない。むしろ、材料研究等のために流体现象の解明等の研究を微小重力下で行うことが有効であるとの認識が深まるとともに、地上での材料製造や実験に役立つ知見や技術の芽を宇宙で見いだそうとする取組みや、宇宙での実験にあたりシミュレーション等を含め地上で十分な研究を行うことが重要視されつつある。このため、近年の宇宙実験では、高精度な計測や精密な観察による現象の把握やモデル化といった研究が行われ、これらの研究を踏まえて、複合した現象の解明や、新材料創製などの応用的な研究に進展していくといった傾向がある。

宇宙環境下でのライフサイエンスや宇宙医学等の研究については、有人宇宙飛行の実現に向けた基礎的な研究として、第二次世界大戦終了直後より米ソの競争の中で行われてきた。その後、有人宇宙飛行のためだけでなく、科学的な研究としても実験が行われるようになり、多くの生物について分子、細胞、個体等の各レベルにわたり、発生、分化、成長等の重要な生命現象に関する宇宙環境の影響等が研究されてきた。これらの研究により、遺伝子の発現に関しても重力が影響している可能性があることなど、生命現象の本質に迫るさまざまな知見が得られつつある。また、電気泳動法による生体物質の分離精製、蛋白質結晶成長、細胞培養など、バイオテクノロジーに関しても、微小重力利用の有効性が確認されている。さらに、有人宇宙活動に関して、人間の宇宙滞在に伴うさまざまな医学的な問題が明らかになるとともに、1年程度の宇宙滞在は可能となっている。しかし、一方、これまでの研究は、現象論的アプローチが主体であり、体系的な理解や理論的な解明にまでは至っていないという面も指摘されている。

また、宇宙飛行士による支援や機器の回収といった通常の人工衛星にはない特徴を活かした技術開発や地球観測・宇宙観測等については、これまで、米国ではスペースシャトル等を、また、ロシアでは、ミール宇宙船等を利用して、宇宙環境の計測・観察、先端的な宇宙技術や地球観測センサの開発、宇宙観測など、さまざまなミッションが行われてきている。

(2) 我が国の現状

我が国では、これまで、第一次材料実験 (F M P T) や第2次国際微小重力実験室 (I M L - 2) 等のスペースシャトルを利用した計画や宇宙実験・観測フリーフライヤ (S F U) により宇宙実験の技術や経験の蓄積を図ってきた。

特に、微小重力に関わる物質科学や物理・化学現象の解明等の研究については、1990年代になって整備された落下施設、航空機、小型ロケット等の短時間の微小重力実験施設を利用した研究が精力的に進められつつある。これら短時間の微小重力実験では、結晶成長現象のその場観察や燃焼現象の精密な計測などにおいて、国際的にも高い評価の研究が行われてきている。また、我が国の宇宙ステーション用の共通実験装置には、高度な観察系が装備されており、国際的にも期待されている。一方、欧米で注目されている蛋白質の構造解明のための大型・良質の結晶成長に関する研究や、新材料創製等で大きな可能性が期待されている無容器処理技術を用いた研究などについては、F M P Tで実験を行ったものの、欧米に比して実際の宇宙実験機会が限られていることなどから、思うように研究が進捗していない状況となっている。このような面からも、宇宙ステーションでの研究や実験によって、これらの研究が一層推進されることが期待される。

また、宇宙環境下でのライフサイエンス等に関する研究については、我が国はこれまで、独自の本格的な研究手段をほとんど持っておらず、F M P T や I M L - 2 等の限られた経験の中で、宇宙放射線の生物影響や宇宙環境下での人の骨代謝の研究等で成果を挙げてきた。このような我が国にとって、宇宙ステーションは、宇宙環境下でのライフサイエンス等の研究を主体的かつ本格的に推進するための重要な場を提供するものとなる。特に、ライフサイエンス等の研究においては、分子レベル・細胞レベルでの実験・解析など、地上での研究手法が近年目覚ましく発展しており、我が国は宇宙での研究経験こそ少ないものの、地上での研究では高い研究ポテンシャルを有している研究分野も少なくない。これらの研究手法や研究ポテンシャルを宇宙での研究に積極的に活用していくことで、我が国の特徴ある研究の推進が図られるとともに、有意義な成果を挙げていくことが期待される。

さらに、宇宙技術開発や地球観測・宇宙観測等についても、個別の技術試験衛星、観測衛星を開発し、利用して実験を行ってきているほか、宇宙実験・観測フリーフライヤ (S F U) やスペースシャトルを利用した実験など、いくつかの実験の経験はあるものの、J E M曝露部の利用による本格的な推進が期待されている。

2. 2 宇宙環境利用の推進にあたっての考慮事項

以上のような現状等を踏まえ、今後、宇宙環境利用を推進していくにあたっては、以下の事項を考慮していくことが必要である。

(1) 宇宙ステーション時代に向けた取組み

宇宙ステーション計画では、従来の宇宙環境利用プロジェクトとは異なり、長期にわたり継続的にその運用利用が行われ、しかも、多国間での国際協力と国際調整のもとで利用が進められる。宇宙ステーション計画により、宇宙での実験機会も飛躍的に増大する一方で、広範な分野からの多様な利用について、バランスのとれた利用を図ることが求められる。今後の宇宙環境利用の推進にあたっては、このような宇宙ステーション時代に対応し、より効果的な利用を図ることによって有意義な成果をもたらすよう進めることが重要である。

(2) 宇宙実験の特殊性の克服

特に材料分野・ライフサイエンス分野に関する宇宙実験においては、実験実施までに長い準備期間を要すること、広範囲な知識・技術・経験の集約を必要とすること、実験機会や実験装置が限られていること、安全性・適合性の確保やリソースの有効活用、搭乗員の操作性の確保等の特別の技術・知識を要することなど、研究を推進する上で障害となるさまざまな特殊性がある。宇宙環境利用の推進にあたっては、これまでの宇宙実験の経験を十分反映し、これらの特殊性を克服できるよう進めることが重要である。

(3) 宇宙実験の成果をあげるために不可欠な地上研究への取組み

宇宙での実験によってより有効な成果をあげるためには、宇宙実験の実施に先立って、地上において十分な研究や実験、理論的な検討、シミュレーション等を行うことが必要である。さらに、宇宙でしか確認し得ないことに焦点を絞って宇宙で実験することや、宇宙実験で得られた成果を地上での研究や技術革新に反映することなどのためには、地上研究の取組みの中で、宇宙で実験すべき項目や宇宙実験の成果の活用方法を位置づけていくことが重要である。従って、今後の宇宙環境利用においては、地上研究への取組みを含めた総合的な視点から推進方策を考えることが必要である。

(4) 実験手段の整備を踏まえその特長を活かす計画的な研究の推進

宇宙環境利用、特に微小重力利用に関する実験手段については、我が国においても、落下施設、航空機、小型ロケット等の整備がなされてきた。また、我が国のSFUをはじめとする回収型衛星の開発・整備や、スペースシャトルを利用した国際協力プロジェクト等が進められているとともに、宇宙ステーションの利用についても間近に迫ってきている。宇宙環境利用の推進にあたっては、これらの実験手段について、さらに、実験装置の活用を図るなど

により実験環境を改善したり、より多くの実験機会を継続的に確保するなどの取り組みを進めるとともに、微小重力のレベルや時間など、それぞれの実験手段の有する特長を活かすよう計画的に進めていくことが重要である。

(5) より多くの研究者の参画による有望なアイデアやシーズ発掘の重要性

これまでは、宇宙環境利用の機会が希少であったこともあり、ややもすると宇宙で実験を実施すること自体に価値をおくきらいもあった。しかし、宇宙環境利用の研究経験が蓄積されてきたことを踏まえ、今後の宇宙環境利用の推進にあたっては、貴重な実験機会を有効に活用し有意義な成果を得るために、研究の内容を吟味しつつその質的向上を図っていくことが重要である。

宇宙環境を利用した物質科学やライフサイエンス等の研究は、極めて広範な研究領域にわたり、新たな現象の発見やメカニズムの解明といった大きな可能性を秘めている。このため、独創的な視点からの研究や地上での高い研究ポテンシャルを活かした新たな視点からの研究など、さまざまな研究を進めていくことが重要である。また、JEM曝露部の利用にあたっては、JEMの特長を最大限活かした特徴ある研究や開発の実施、先端的なアイデアの実現等の観点から、より多くの研究者からのアイデアを幅広く募り、それを具体的な実験の提案や実現に繋げていくことが重要である。

従って、宇宙環境利用の有する潜在的な可能性を引き出し、有意義な成果を挙げ、将来にわたってより一層の発展をもたらすために、従来の専門領域の枠を越えて、より多くの研究者の参画を得て、有望なアイデアや新たな技術シーズを発掘し、さまざまな視点からの研究を研究者の自主性・主体性を尊重しつつ進めることが必要である。

(6) 宇宙環境利用の共通的・基礎的な知見や技術基盤の整備

宇宙環境利用を効果的に推進していくためには、宇宙環境で顕在化するさまざまな現象に関する共通的・基礎的な知見や宇宙実験に特有の実験技術の蓄積を図り、体系的に整備することが重要である。また、安全性・適合性の確保、リソースの有効活用、搭乗員の操作性の確保等に関する特別の知識や技術についても、宇宙実験を効果的に実施するために、体系的に整備することが重要である。

(7) 産学官の研究者や多分野の研究者の協力による総合的な研究体制の構築

宇宙環境を利用した物質科学等の研究については、物理現象の解明といった基礎的な研究から新たな産業の鍵となる新材料の創製といった応用的な研究まで、また、宇宙環境を利用したライフサイエンス等の研究についても、生命の起源といった基本的な問題から医薬品等の創製や新たな医療法の開発といったものまで、その対象が極めて広範囲にわたる。このような宇宙環境利用の推進においては、その成果を積み重ね、基礎的な研究を具体的な応用の狙いを持った研究に繋げていけるよう、産学官の研究者の協力のもとに進

めていくことが重要である。

さらに、宇宙環境を利用した実験では、例えば材料製造実験といえども、有効な実験を行うためには、物性、流体、シミュレーション、物理現象、さらには地上では考えるに及ばない宇宙での特殊な現象等に関する知識や知見等が必要であり、さまざまな分野の研究者の協力により進める必要がある。

これらの観点から、宇宙環境利用の推進にあたっては、産学官の研究者や多くの分野の研究者の協力等により総合的な研究体制を構築していくことが重要である。

(8) 積極的・主体的な国際協力の推進

宇宙環境利用の推進においては、その意義やこれまでの国際協力の実績を踏まえ、今後とも、積極的に国際協力を進めることが重要である。

特に、宇宙ステーションの利用に向けて、最近各国とも、実験装置の分担開発や共同利用をはじめとして、さまざまな協力の検討が行われるようになってきている。我が国としても、このような国際的な動向に的確に対応するとともに、さらに踏み込んで、積極的・主体的な国際協力を展開し得るよう、研究体制等の構築を図ることが重要である。

(9) 研究の進捗に応じた適切な評価の実施

宇宙環境利用の推進にあたっては、宇宙で実験する研究テーマの選定にあたっての評価だけでなく、宇宙実験終了後にその成果を次の実験に繋げていくための事後評価などを含め、研究の進捗に応じて、適切な評価を行うことが重要である。その際、評価の公正さを確保することは当然のことであるが、研究の推進方策や推進主体等に応じた評価体制とすることが重要である。また、特に、宇宙で実験する研究テーマについては、適当な場合には、宇宙実験に向けた有望なアイデアを募り、それに基づく地上での研究の進捗を踏まえ、宇宙実験のテーマとして選定するといったような段階的な研究提案の評価を考えていくことも重要である。

(10) 長期的観点に立った宇宙環境利用の推進

宇宙環境を利用した物質科学やライフサイエンス等の研究は、人類が手にした新たな研究領域であり、人類の知的フロンティアを拡大し、知的資産の形成に貢献するものとして、長期的観点に立って推進を図ることが必要である。また、我が国は、宇宙ステーション計画への参加により、有人宇宙活動の経験の蓄積と基盤技術の修得等を行うこととしており、宇宙環境を利用した宇宙医学等の研究の推進にあたっては、このような長期的観点から進めていくことが重要である。さらに、J E M曝露部を利用した研究や実験においても、それらが新たなミッションの創出や宇宙インフラストラクチャの整備に向けてどのように繋がるかといった宇宙開発全体としての長期的視点から考えていくことが重要である。

(11) 宇宙環境利用に係る人材育成と国民の理解

宇宙環境利用を継続的に推進し、将来にわたる発展をもたらすためには、研究を実施し、また、研究を支援する人材の育成と確保が必要不可欠である。このため、例えばさまざまな学会等の場で宇宙環境利用の現状と成果を発表し幅広くアピールすることにより若手の研究者をはじめとする多くの研究者の関心を高めるよう努めることや、多くの青少年が宇宙環境利用の研究や実験などに直接接する機会を多く設けることなど、宇宙環境利用の推進にあたり、人材育成に繋がる活動を併せて進めることが重要である。

また、宇宙環境利用の推進にあたり、国民の理解と協力を得るよう務めることが必要不可欠である。このため、宇宙環境利用の目的や意義、成果等を分かりやすく伝える努力を行うことが重要である。

(12) 宇宙環境と人類の活動との調和

宇宙環境利用を推進して行くにあたっては、宇宙ステーションでの活動をはじめとして、長期的には多様な宇宙活動に発展して行くことが想定される。この際、スペースデブリ（宇宙ゴミ）を極力増加させない配慮等により宇宙環境の保全を図るなど、宇宙環境と人類の活動との調和を図りつつ、推進して行くことが重要である。

2. 3 宇宙環境利用の当面の推進の考え方

以上のような考慮事項及び第1章の意義等を踏まえ、今後の宇宙環境利用の推進にあたっては、宇宙ステーション時代に向けた総合的な推進体制、研究体制を構築することが必要となる。すなわち、地上研究と宇宙実験との連携、独創的な視点からの研究を含むさまざまな研究の実施や実験技術の体系的・計画的蓄積、実験手段の効果的な活用、産学官や多分野にわたる研究者の協力、段階的な研究提案の評価を含む研究テーマの評価・選定、国際的な協力、人材育成や国民の理解など、さまざまな観点からの活動が、互いに有機的かつ密接に連携し、全体的に整合が図られ、宇宙での実験に向けて統合されて行き、その成果が広がりをもって活用されていくといったシステムの構築を図ることが必要となる。さらに、そのような活動が我が国全体として進められるだけでなく、米国、ロシア、欧州、カナダをはじめとする世界各国にわたって連携が図られるとともに、軌道上の研究所である宇宙ステーションを中核として進められる。いわば、全地球とその軌道上を周回する宇宙ステーションとを一体とした広大な空間に、あたかも一つの姿無き研究所が存在するかのようなイメージを持って、我が国及び国際的な研究システムの構築に取り組んで行く必要がある。

このような観点に基づき、宇宙実験の特殊性を克服を図りつつ、当面の宇宙環境利用を推進するため、速やかに取り組むべき方策については、以下の考え方に基づき進めることが適当である。

(1) 計画的、効果的な宇宙環境利用のとりまとめ

宇宙環境利用の推進は、我が国全体として、計画的、効果的に取り組むことが重要であるとともに、当面の宇宙環境利用については、宇宙ステーションの利用をはじめとした21世紀の本格的な宇宙利用時代に向けた活動として取り組むことが重要である。このため、宇宙開発委員会において、我が国全体の宇宙環境利用のとりまとめを行うことが適当である。

特に、JEM利用に向けた宇宙環境利用に関しては、上に述べた総合的な研究体制の構築の観点に基づき、従来の各機関毎の利用要求のとりまとめ等を改め、総合的に利用要求をとりまとめる専門的組織を新たに設置することが適当である。

このJEM利用に向けて総合的に利用要求をとりまとめる専門的組織では、本報告を含めて宇宙開発委員会が定める方針等に基づき、JEM利用に向けた具体的な研究課題等の設定、JEM利用テーマの評価・選定等を行い、宇宙開発委員会に報告する。この役割に鑑み、この専門的組織は、産学官の研究者から構成することが適当である。また、その運営については、JEM利用の円滑な実施の観点から、専門的組織の自主性を最大限尊重することとした上で、宇宙開発事業団が行うことが適当である。

さらに、今後、国際的な調整等により、宇宙開発事業団がスペースシャトル等を利用した新たな軌道上での宇宙環境利用の機会を確保した場合にも、基本的には、具体的な研究課題の設定や研究テーマの選定について、上記の専門的組織において行うこととする。

(2) 宇宙環境利用研究の推進の考え方

宇宙環境利用の推進のためには、もとより、大学、国立試験研究機関及び民間等の各利用機関・研究機関における宇宙環境利用に係る研究のより一層の拡充を図ることが重要である。

一方、宇宙環境利用の有する大きな可能性を十分に引き出していくためには、より多くの研究者の参画を得てさまざまな視点からの研究を進めることが必要であるとともに、併せて産学官の研究者やこれまでの専門分野を越えた研究者の協力が図られるよう進めることが重要である。このため、今後、このような観点から体制を整備し、研究を進めていくことが必要である。

さらに、特に間近に迫ったJ E Mの利用に向けて、宇宙環境利用を効果的に推進するためには、宇宙環境利用の共通的・基礎的な知見や基盤的な技術の蓄積や具体的な成果の早期の創出を目指す研究等を計画的に進めることが重要である。また、国内の研究動向を踏まえた国際的な協力の促進や、宇宙環境利用研究を支援する技術やデータ等の幅広い提供、人材育成や国民の理解を得るための活動などを行う支援体制を整備することが重要である。このため、今後、このような観点から、J E M利用に向けた効果的な研究推進のための中核的な役割を担う組織を整備することが必要である。

(3) J E M利用テーマの選定の考え方

J E Mについては、より多くの研究者による継続的な利用がなされること、広範な分野からの多様な利用が期待されていることなどから、我が国の研究者及び適当な場合には他国の研究者に対して広く利用機会を確保することを基本として、研究分野や研究テーマに応じて適切に利用テーマを募集し、選定することが重要である。

宇宙環境を利用した物質科学やライフサイエンス等の研究については、今後、より多くの研究者の参画を得てさまざまな視点からの研究を進めることなどにより、J E Mを利用する有望な研究テーマがさらに生み出されていくことが期待される。また、一般の材料分野やライフサイエンス分野における研究の進展や実験技術の革新等を踏まえた研究テーマをタイムリーに実施していくようJ E Mの利用を進めることも重要である。

従って、これらの研究分野においてJ E Mを利用する研究テーマを選定するにあたっては、広く研究テーマを募集し、選定後可能な限り短い期間で宇

宙実験が実施できるようにすることが重要である。その際、利用者の要望等を踏まえつつ汎用的・共通的な実験装置・支援装置の利用機会を他国との協力も含めて確保するなど、さまざまな実験が実施できる研究環境を整備するよう進めることが重要である。

他方、宇宙環境利用の推進にあたっては、国民の理解やより多くの研究者の協力を得つつ進めることが重要である。このため、特にJ E Mの利用を進めるにあたり、その意義・目的等を明確にするとともに、期待される成果を挙げ得るよう計画的に進めることが重要である。また、物質科学やライフサイエンス等の研究をJ E Mにおいて効果的に行うためには、さまざまな実験装置や支援装置が必要になるとともに、各国の宇宙飛行士や研究者との連携も重要となる。このため、実験装置の分担や相互利用、研究の協力・分担等に関する国際的な調整と協力の場においては、これらの分野の研究を進めるにあたっての我が国としての考え方や狙いを持って臨むことが重要である。さらに、汎用的・共通的な実験装置等では実施できない研究であっても、重要な研究については、固有の実験装置を開発して実施することを考える必要がある。

従って、これらの分野においてJ E Mを利用する研究テーマを選定するにあたっては、汎用的・共通的な実験装置を利用した研究テーマのタイムリーな選定の他に、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期に研究テーマを選定することが必要である。

一方、J E M曝露部の利用テーマについては、基本的に、固有の実験装置の開発が必要になるため、選定の考え方や選定方法を明確にした上で、十分な開発期間が確保されるよう選定することが必要である。その上で、それら固有の実験装置の活用や実験・観測データの利用等については、適切な時期に別途募集し、選定することが適当である。

(4) 宇宙環境利用に係る国際協力の推進の考え方

宇宙環境利用の推進にあたっては、積極的・主体的な国際協力の推進が重要である。宇宙環境利用に関しては、装置開発、研究推進、運用利用など、さまざまな国際的な関係があり、それぞれ、以下のとおり考えていくことが適当である。

①実験装置開発、実験機会確保等に関する国際協力

宇宙ステーションでの実験装置の開発分担や相互利用については、最近各国で検討が進められており、我が国としても、宇宙ステーションの利用をより有効に進めるために、積極的に国際協力を進める。特に、物質科学等の研究やライフサイエンス等の研究については、これまでも国際協力により進めてきており、今後とも、実験装置の重複を極力回避し、国際パートナー間で開発を分担した上で共同利用を図るなどにより、国際的な調整

と協力を進めていく。この際、我が国の研究者が、より多様・多数の実験機会に参加できるように進めることが重要である。

また、宇宙ステーション以外の宇宙実験機会の確保についても、我が国の宇宙環境利用の推進の観点から、国際協力等により積極的に進めていくことが重要である。

②研究実施面における国際協力

宇宙環境利用研究の実施にあたって、積極的・主体的に国際協力を進めていくことが重要であることに鑑み、国際共同研究の推進や、外国研究者の受け入れを推進するとともに、J E M利用テーマ募集に関して、国際パートナーの動向や双務性を踏まえた上で外国研究者からの研究提案を受け入れていくことが重要である。

また、我が国における宇宙環境利用研究の推進に併せて、我が国が主体的に進める課題に関する国際シンポジウムを開催し、積極的な国際協力を働きかけるなどの取組みも進めていくことが重要である。

③宇宙ステーションの運用利用に関する国際調整

宇宙ステーションの運用利用は、国際パートナー間の協力と調整により進められる。このため、宇宙ステーションの利用をより有効に進めていくためには、利用者にとってより利用しやすいシステムになるよう国際パートナーが足並みを揃えて努力する必要がある。この観点から、特に、実験準備期間の短縮や柔軟な利用計画の策定等に関して、より利用者本位のシステムになるよう、我が国としても積極的に国際調整を進めていくことが重要である。

(5) 民間利用の促進の考え方

宇宙環境利用の活動をより広範・有効なものとするとともに、その成果を地上の研究開発や生産活動に反映していくためには、民間による利用促進を図ることが重要である。一方、宇宙環境利用の研究については、当面は、基礎的な研究が中心となることが考えられ、民間による商業的な利用については、これら基礎的な研究の成果を踏まえて具体化していくことが期待される。

従って、当面の宇宙環境利用の推進にあたっては、宇宙開発事業団等における共同研究や招聘研究員制度等の活用により、民間研究者の参加を促し、長期的な視点に立って、民間による商業利用につながる環境を醸成していくことが重要である。

これら民間研究者の参加の促進にあたっては、宇宙環境利用に関する成果や技術情報を積極的に提供することが重要である。また、研究内容について、最終的な実験成果の公表を前提としつつ、研究段階や評価・選定における一定の秘密保持の配慮等を考えることも重要である。

第3章 当面の宇宙環境利用推進方策

3.1 公募により研究を推進するシステムの整備

第2章に示す宇宙環境利用の推進の考え方に基づき、今後、広範な分野に及ぶ数多くの研究者の参加の下に研究を推進する体制を整備することが適当である。その際、以下の点に留意することが重要である。

- (1) より多くの研究者の参画を得てさまざまな視点からの研究を進めることにより、優れた宇宙実験の提案がなされ、ひいては有意義な成果が生み出されることを目標とする。
- (2) 我が国の研究者及び適当な場合には外国の研究者からも研究提案を公募することにより、多くの研究者に対して広く参加の機会を確保する。
- (3) 研究提案の公募にあたっては、宇宙環境利用の推進の観点から、別添1に示す宇宙環境利用が有効な研究領域を設定する。
- (4) 独創的な視点を含むさまざまな視点からの研究が行い得るよう、研究者の自主性・主体性を尊重する。
- (5) 有効な宇宙実験の提案に向けて産学官の研究者やこれまでの分野を越えた研究者の協力が図れるよう情報の提供をはじめとした支援等を行う。
- (6) 特に微小重力利用研究に関しては、一定の評価等に基づき、落下施設、航空機、小型ロケット等を利用した実験機会を確保する。
- (7) 国際共同研究の推進、民間研究者の参画の促進等についても積極的に進める。
- (8) 運用にあたっては、研究者の主体性や研究の創造性が十分に発揮できるよう研究者・利用者サイドに立った体制の構築を図る。また、研究テーマの選定あたっての評価だけでなく、宇宙実験の提案に向けて研究の進捗に応じた適切な評価を行っていくため、本システムにおいて適切な評価体制を確立する。

3. 2 J E M利用に向けた効果的推進のための体制整備

第2章に示す宇宙環境利用の推進の考え方に基づき、特にJ E M利用に向けた宇宙環境利用の効果的研究推進のための中核的な役割を担う組織として、宇宙開発事業団に、以下の機能を有する研究センターを整備することが適当である。

- (1) J E M利用テーマの選定に向けて宇宙実験を提案するため、宇宙環境利用の共通的・基礎的な知見や技術を効率的に蓄積することや具体的な成果の早期の創出を目指すことなどをはじめとした我が国の宇宙環境利用の推進の牽引力となる研究について、自ら計画的に研究を進める。
- (2) J E M利用テーマとして選定された研究テーマについて、提案した研究機関や研究者等と協力して、宇宙で実験し成果を得るまでの一連の研究や開発を実施する。
- (3) 宇宙実験に関わる技術や情報等の幅広い提供、国内の研究動向を踏まえた国際的な協力の促進、宇宙実験成果の集積・提供、宇宙環境利用に係る広報活動をはじめとした人材育成や国民の理解を得るための活動など、宇宙環境利用の推進のためのさまざまな支援を行う。また、このために必要となる施設設備、データベースや情報ネットワーク等の整備を行う。

また、研究センターの事業の実施にあたっては、以下に示すように、外部に開かれた運営を確保することが重要である。

- (4) 研究の指導・統括を行う責任者等に外部研究者を招聘するとともに、研究センターで実施する研究テーマのリーダーや研究者についても、研究テーマに応じて外部研究者を招聘する。また、これら研究者の主体性が確保されるような運営を行う。さらに、研究の実施場所についても、研究テーマに応じて分散して設けるなど、柔軟な対応を図る。
- (5) 研究センターで自ら計画的に進める研究のテーマ選定及び評価については、外部研究者からなる専門的組織の意見を踏まえて行う。

第4章 JEM利用テーマの選定

JEM利用テーマの選定にあたっては、第2章に示す宇宙環境利用の推進の考え方に基づき、我が国の研究者及び適当な場合には他国の研究者に対して広く利用機会を確保することを基本として、研究分野や研究テーマに応じて適切に利用テーマを募集し、選定する。また、その際、汎用的・共通的な実験装置を利用した研究テーマのタイムリーな選定方法とともに、計画的な研究の推進、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期に研究テーマを選定する方法を確保する。

JEM利用テーマの選定に関するさらに具体的な進め方については、以下に示す考え方等に沿って行うことが適当である。

4.1 JEM利用計画の策定

JEMの利用計画の策定は、宇宙ステーション計画における全体的な運用利用計画の国際調整及び策定と整合をとって進める必要がある。宇宙ステーション全体の運用利用計画は、現状の枠組みでは、運用利用の実施年の5年前に、輸送能力や電力等のリソース配分を中心とした統合運用利用計画（C O U P）を策定することと、実施年の2年程度前に、実験の実施時期等を含む具体的な運用利用計画を策定することの2段階を経て策定される。また、C O U P作成に係る国際調整に必要となる国内利用計画（P U P）を実験実施の6年程度前に策定することが必要となる。これらの作業については、宇宙基地協力協定等の国際的な枠組みに基づき、国内関係機関等との所要の調整の上、科学技術庁及び宇宙開発事業団で行い、適宜、宇宙開発委員会の了承を得る。また、これらの計画策定に必要となるJEM利用テーマについては、本章で定める選定方法に基づき選定される。

なお、これらの宇宙ステーション全体の運用利用計画の策定については、運用利用の準備の進捗や経験の蓄積等に応じて、より有効な宇宙ステーションの利用が可能となるよう、国際調整に基づき見直していくことが重要である。

4.2 JEM利用テーマの評価・選定の基準

当面のJEM利用テーマを選定する際の評価については、JEMの「軌道上研究所」としての位置づけに鑑み、実現性等に問題がないことを前提として、科学技術上の意義を基準とする。なお、評価にあたっては、宇宙環境利用の基盤的共通技術の開発に寄与することや、民間利用の促進に寄与すること、宇宙環境利用に係る人材育成や普及啓発に寄与することなど、我が国の宇宙環境利用の推進の観点を考慮する。

4. 3 汎用的・共通的な実験装置等の整備

J E M利用テーマの選定にあたっては、汎用的・共通的な実験装置や支援装置を利用した研究テーマについて、地上研究等の進捗を踏まえて、選定から可能な限り短い期間で実験が実施できるような選定方法を確保する。

そのような研究テーマが有効に実施できるよう、宇宙環境利用に関する汎用的・共通的な実験装置や支援装置については、国内外の利用動向や利用機関・研究機関の要望等を踏まえて、宇宙開発事業団がJ E M運用利用の一環として整備することが適当と考えられる。その際、宇宙ステーションの他の国際パートナーとの分担開発、共同利用等に関する調整を積極的に進めることにより、宇宙ステーション全体としてより効率的な研究環境を確保するとともに、我が国の研究者が、より多く、より多様な実験機会を利用できるよう進めることが重要である。

4. 4 J E M利用テーマの選定方法

汎用的・共通的な実験装置等の実験機会をタイムリーに利用するテーマについては、宇宙ステーションの国際パートナーとの運用利用に関する調整を踏まえて、科学技術庁及び宇宙開発事業団が、対象となる実験機会及び配分可能な利用資源等を設定するとともに、その実験機会等に関して、我が国の研究者及び適当な場合には外国の研究者に対して、利用テーマの募集を行う。

また、計画的な研究の推進、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期におけるJ E M利用テーマについては、科学技術庁及び宇宙開発事業団が、別添2に示す各分野毎のこれら利用テーマ選定の考え方や課題等に基づき、我が国の研究者及び適当な場合には外国の研究者に対して、利用テーマの募集を行う。

提案された利用テーマの評価及び選定は、宇宙開発事業団が行う搭載性・実現性等の技術評価を踏まえて、第2章に示すJ E M利用に向けて総合的に利用要求をとりまとめる専門的組織の下に設置する各分野毎の選定委員会において行う。選定された利用テーマは、宇宙開発委員会に報告する。

利用テーマの募集・選定にあたり、汎用的・共通的な実験装置等の実験機会をタイムリーに利用するテーマについては、安全性や実験装置との適合性に関するデータ等が十分な場合には、テーマ選定から2年程度後に実験が実施できることを目途とする。また、利用テーマの募集及び選定は、原則として毎年実施する。

また、計画的な研究の推進、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期におけるJ E M利用テーマの選定方法については、選定から3～6年程度後に宇宙での実験ができることを目途とする。

また、利用テーマの募集は、関連する研究の進捗や課題の具体化等に応じて、J E M利用に向けて総合的に利用要求をとりまとめる専門的組織において定める。

4. 5 J E M利用テーマの選定後の作業

J E M利用テーマとして選定された研究テーマについては、第3章に示す研究センターと協力して研究を進める。

特に、J E M曝露部利用をはじめとして固有の実験装置の開発が必要となる利用テーマについては、その実現に向けて、第3章に示す研究センターと提案した研究機関・研究者等とが、既存の体制にとらわれない新たな体制をきめ細かくかつ柔軟に考えていくことなどにより、密接に連携した体制を構築することが重要である。

なお、選定された研究テーマについても、具体的な実施時期を確定するなど、J E M利用計画として搭載を決定するにあたっては、当初の評価に沿った研究進捗がなされているか等の観点から、評価することが必要である。

第5章 今後検討すべき課題

当面の宇宙環境利用については、以上の推進方策により進めていくことが必要であるが、宇宙環境利用を総合的に推進していくためには、以下のような課題について、今後引き続き検討することが必要である。

(1) 宇宙ステーションのより有効な利用のための運用利用の在り方の検討

宇宙ステーションは、多国間の協力と調整によりその運用利用が行われるものであり、世界的にも初めての試みといえる。このような宇宙ステーションをより有効に利用していき、人類に有益な多くの成果をもたらすためには、その運用準備や利用準備等に関する国際調整を通じて、絶えずより良い運用利用の在り方を検討していく必要がある。特に、宇宙ステーションの利用が間近に迫った現在、各国際パートナー間や国際的な利用者コミュニティにおいて、国際的な研究システムや研究テーマ募集など、さまざまな議論が進められている。我が国としても、宇宙環境利用を推進するにあたり、このような視点からの検討を進めるとともに国際的な議論に積極的に参加し、より良い運用利用システムの構築に協力していくことが重要である。

また、宇宙ステーションの利用に係る費用負担の考え方についても、国際的な運用利用の在り方と密接に関連するものであり、併せて検討することが必要である。

さらに、宇宙ステーションの運用利用の在り方やその中での我が国の役割等を検討するにあたり、必要に応じて、このような視点からの戦略的な検討体制を整備することも考えることが重要である。

(2) 共通実験装置の更新等を含む中・長期的な実験装置の開発・整備計画

宇宙環境利用に関する研究は、宇宙で利用可能な実験装置・支援装置等と密接な関係を有する。これまで汎用的・共通的な実験装置については、JEM開発の一環として開発・整備してきているが、今後は、国際的な調整に基づく実験装置の分担開発・相互利用や新たな実験装置開発が必要な利用テーマの提案が想定されるとともに、利用動向等を踏まえたさらなる共通実験装置の開発が必要となることも考えられる。これらの状況の中で、宇宙環境利用が継続的・系統的に発展し、効率的な利用が図れるよう、中・長期的な計画に基づき、実験装置を開発・整備していくことが重要である。

(3) 宇宙ステーション以外の軌道上での宇宙環境利用の機会に対する取組み

多くの研究者が継続的に利用可能な軌道上での宇宙環境利用の機会は、当面、宇宙ステーションのみであるが、将来的に、無人の低中高度プラットフォーム型衛星等が具体化する場合には、より効率的に宇宙環境利用の実験を行うための取組について検討を行う必要がある。

(4) 宇宙環境利用を契機とした宇宙に関わる文化、人文・社会科学等の推進

宇宙開発を推進するにあたり、国民の理解と協力を得るよう普及啓発に努めることは当然である。その中でも特に、宇宙ステーションの運用利用をはじめとする宇宙環境利用の推進にあたっては、宇宙と人間との関係がより身近なものに感じられる文化、芸術、人文科学等に係る活動の実施を検討することが適当である。併せて、これらの活動に関わる人材の育成に努めることが重要である。

(5) アジア太平洋地域との国際協力の拡大

宇宙環境利用に関するこれまでの国際協力は、欧米など、主に宇宙ステーションの国際パートナー等との間で行われてきた。今後、特に、アジア・太平洋地域に対して、我が国はその一員として、また、この地域から唯一の宇宙ステーション計画への参加国として、宇宙環境利用の分野におけるこれらの地域の宇宙開発に対する期待と需要を踏まえながら、宇宙での研究・実証機会の提供、共同プロジェクト、共同研究、人材交流等、多様な方法により協力を拡大する方策を検討することが重要である。

(6) 青少年や若手研究者が宇宙環境利用に参画する具体的方策

宇宙環境利用の推進にあたって人材を質及び量の両面において充実させることが不可欠であるが、特に、将来の宇宙環境利用を担う青少年や大学生等を含む若手研究者に対して、宇宙環境利用の実験機会や航空機による無重量体験機会を提供するなど、宇宙環境利用をより身近に感じるような取り組みを検討することが重要である。

宇宙環境利用が有効な研究領域の概要

1. 宇宙環境を利用した物質科学、新材料創製、物理・化学現象の解明等に関する研究領域

宇宙環境を利用した物質科学、新材料創製、物理・化学現象の解明等（以下、物質科学等という）に関する研究領域としては、これまでに実績のある研究や新たな研究、基礎的な研究から具体的な応用の狙いを有する研究、独創的な研究など、さまざまな研究提案に広がりを持って柔軟に対応可能であるとともに、これらの研究が宇宙環境利用の効果との関係の観点から体系化が図られるよう、以下のとおりの研究領域を考える。

○熱・物質の移動に関する重力に依存した現象の解明と制御

○微小重力下での系の均質混合と粒子位置制御を利用した現象の解明と新材料創製

○微小重力下で自重や静水圧効果が除去されることを利用した現象の解明

○無容器処理による現象の解明と新材料創製

○宇宙での超高真空環境の実現と材料研究への利用に関する研究

(1) 熱・物質の移動に関する重力に依存した現象の解明と制御

材料製造に関わる現象や化学反応現象などでは、温度や濃度等の勾配が存在するため、重力の影響により、密度の違いに伴う対流が発生する。このように、さまざまな現象における熱や物質の移動には、重力が大きく関与する。微小重力を利用するあるいは特殊な環境を設定するなど、重力の影響を変化させることによって、これら現象の熱・物質の移動を制御したり、新たな現象を解明することが可能となる。

熱・物質の輸送における重力による対流の抑制は、輸送現象そのものの精密な解析に有効である。拡散係数等の熱物性値の計測やマランゴニ対流といった現象においては、地上では重力による対流のために精度の良い計測や観察が阻害されるが、微小重力下ではそういう外乱がなくなり、高精度で計測・観察することが可能になる。これらの計測や観察により得られる熱物性値や流体モデル等を用いることにより、より高品質な半導体結晶等を製造するために必要となるシミュレーションの高度化が図られ、製造

技術の改善等に大きく寄与することが期待されている。

複雑な現象のモデル化という点でも、微小重力は有効である。結晶成長、凝固といった材料生成過程や燃焼等の化学反応などの現象における熱・物質の輸送は、地上では、ほとんど拡散と対流の複合として現れる。対流による熱・物質の輸送は、非線形性が強く、複雑な場合には解析的な取扱いが不可能に近くなるため、対象とする現象の実態を正確に把握することは極めて困難になる。微小重力下では、純粋な拡散による熱・物質の輸送が実現されるため、複雑な現象が単純化され、現象の実態を把握・解析することが容易となり、現象のモデル化が図られる。

例えば、燃焼現象では、燃焼に伴い大きな温度勾配が発生する。地上では著しい対流により燃焼現象そのものを観察・測定することは不可能であるが、微小重力下では、火炎伝播挙動等の精度良い計測が可能となる。このような研究によりエンジン等の燃焼効率の改善が図られれば、省エネルギーの効果など、大きな経済的なメリットが期待される。また、沸騰現象では、気液界面での大きな密度差のため、地上では沸騰核の生成と共に生成気泡の加熱面からの剥離が生じ、沸騰核の発生挙動等の観察・計測は不可能であるが、微小重力下では、その解明が可能となる。さらに、結晶成長においては、固液界面への物質輸送や界面での物質の取込みが結晶の質に大きく影響する。地上においては、結晶成長によって生じる濃度勾配や温度勾配、組成変化等に伴う対流が発生し、結晶成長過程や結晶の質に影響を与える。微小重力下では、このような対流の抑制により、結晶成長メカニズムの解明や高品質結晶の育成条件の把握など、結晶成長過程の理解・解明が可能となるとともに、高品質な半導体結晶等の育成が可能となり、地上での半導体製造等に大きく寄与することが期待される。

これらの研究のための実験技術としては、さまざまな輸送現象を3次元的に観察し、解析する技術や、シミュレーション技術、結晶成長表面の観察技術等が必要である。これらの技術は地上での実験、研究の高度化にも寄与すると期待される。

(2) 微小重力下での系の均質混合と粒子位置制御を利用した現象の解明と新材料創製

互いに混じり合わない液体と液体、気体と液体、個体と液体等の間においては、地上では、密度差により浮遊や沈降が生じ、互いに分離する。微小重力下では、このような系において、微細粒の分散状態を達成でき、長時間維持できる。このような微小重力の効果を利用することにより、新たな現象の解明や新材料の創製が図られる。

このような効果を利用することによって大きく進展すると考えられる研究の一つは、相分離現象の解明である。地上では、相分離の初期に、密度差に起因した相の移動が生じ、これに伴い凝集メカニズムが働くために、重力に依存しない相分離のメカニズムを実験的に検証することはほとんど

不可能である。微小重力下では、重力に影響されない相分離の過程を連続的に観察可能であり、そのメカニズムの解明が期待される。

また、結晶の周りの環境を対称的に維持できることで、結晶成長に有効であることが考えられる。タンパク質結晶などの核発生や成長過程においては、地上では、重力による沈降・浮遊作用が成長する核の周りの拡散場の対称性を乱し、成長界面の過飽和度を大きくするなどの影響により、良質な結晶の育成を阻害する。微小重力下では、成長核周囲の対称性を確保することができるため、大型・良質のタンパク質結晶の成長が期待される。大型・良質のタンパク質結晶の育成により、これまで解明されていなかった結晶構造の解明が可能となり、タンパク質の構造と機能との関係の研究を促進し、タンパク合成による新たな医薬品等の創製に大きく貢献することが期待されている。

また、材料製造においても、密度の異なる複数の成分を巨視的に均一に分散した状態を維持できることを利用して、均一組成の粒子分散合金、偏晶合金等の新たな材料を製造することが考えられる。これらの研究・実験については、均一分散に必要な条件が整理されつつあり、これまでの宇宙実験から得られた知見に基づく高品質材料の創製が期待されるとともに、これら新材料の特性把握を通じて、地上における高強度複合材料の実用化への波及が期待される。

これらの研究のための実験技術としては、熔融・凝固の試料温度を直接測定する技術や温度の安定性・均一性を高精度に制御する技術、熔融試料中の気泡を除去する技術、相分離過程や凝固界面形状を観察する技術等が必要であり、これらの技術は、従来の宇宙実験の高度化を促し、宇宙における新材料創製の基盤を形成していくものと期待される。

(3) 微小重力下で自重や静水圧効果等が除去されることを利用した現象の解明

地上においては、物質には重力方向に自重が作用し、流体等ではこの静水圧の効果により、厳密には、物質の密度は高さの関数になる。静水圧は、自由表面が存在する系や、圧縮率が大きい系では特に影響が大きいことから、静水圧効果等を除去する必要がある研究や実験では、微小重力の利用が期待される。

静水圧除去効果の有効性を示す例として、臨界点近傍の流体挙動が挙げられる。物質は、臨界点付近では、気体とも液体ともつかない性質を持つようになり、圧縮率が大きくなる。地上では、微小な位置の差による静水圧によって、臨界流体の圧縮の程度が変化し、系内を一樣な状態に維持することができないため、正確な物性値を計測することができない。微小重力下では、静水圧効果が無く、系を一樣な状態に維持することが可能であり、臨界点での物性の高精度な計測が期待される。

また、自重や静水圧の効果除去することの特徴として、大型液体ブリッジを安定に生成可能であることが挙げられる。地上よりも遥かに大きな

液体ブリッジが維持できることから、マランゴニ対流や濡れ性の実験などの格好の実験環境が得られる。また、浮遊帯域熔融法等での液体ブリッジを利用した高品質な結晶の育成にも有効であり、地上では実現不可能な大きさの単結晶を得ることができる。

有機物等においては、極めて柔らかい物質がある。このような物質については、地上では、製造段階で自重により変形が生じるため、大型結晶の成長は困難であるが、微小重力下では、自重や静水圧効果が無いため、このような柔らかい物質でも製造可能となる。過去、地上では困難であったヨウ化水銀の大型結晶の成長が微小重力実験によりはじめて成功している。このような材料の中には計測素子として期待されるものもあり、新たな材料の創製や先端技術の発展に寄与することが期待される。

これらの研究のための実験技術としては、特に、臨界現象等の観察・測定では、極めて高度な温度制御及び計測を必要とするとともに、現象観察と温度制御とを対応させて実験を行う必要からテレサイエンス技術が必要となる。テレサイエンス技術は、本研究領域のみならず宇宙実験に広く重要かつ必要な技術であり、宇宙実験の高度化に寄与するものと期待される。

(4) 無容器処理による現象の解明と新材料創製

微小重力環境では、高温に加熱した流体を、空間に浮遊させ、維持し、処理する無容器処理が可能である。これは、微小重力環境の特徴を活かせる実験技術であり、基礎、応用研究ともに、地上の技術では困難なさまざまな革新が期待されている。

無容器処理の最大の特徴は、容器との界面除去効果である。容器界面における不均一核生成が抑制されるため、大きな過冷却が実現可能となり、地上では通常出現しない準安定相を作り出すことが可能となる。準安定相では、通常得られない特異な電氣的・磁氣的な機能・性質が発現する可能性があると期待されており、微小重力下での実験によりはじめて新材料が得られる可能性がある。

坩堝からの不純物の混合防止も、極めて大きな利点となる。一般に、高付加価値材料は、坩堝との反応性が大きく、地上では高純度結晶を得ることはできない。無容器処理により、高純度の材料を製造することが可能となる。例えば、光ファイバー等の光学素材には、坩堝との反応性が大きいものがあり、高機能の材料の製造が期待される。

無容器処理は、高品質結晶の成長を行うためにも有効である。容器と接して結晶が成長するとき、容器と結晶の間に発生する歪みのため多くの欠陥が発生する。浮遊状態で結晶を成長させれば、このような歪みを受けることなく、高完全性の結晶を得ることが可能となる。

無容器処理は、物性計測にも有効である。微小重力環境では、液滴球の真球度が良好になることもあり、通常の物性計測法では困難な過冷却状態での物性計測、高反応性物質の物性計測等の高精度化が可能となる。

無容器処理を利用した微小重力実験は緒についたばかりであり、浮遊体の位置制御方法、加熱方法など、多くの技術開発課題があるが、その克服と相俟って、飛躍的な科学技術上の成果の創出が期待できる。

(5) 宇宙での超高真空環境の実現と材料研究への利用に関する研究

宇宙空間は無限の排気能力を持つ広大な空間であり、地上では実現不可能な大規模の高真空が実現できる。熔融状態からの高純度物質の製造によって、雰囲気からの不純物の混入が大きな問題である。宇宙環境利用の特徴である浮遊状態の達成と高真空を利用し、地上では実現困難な熔融状態からの高純度物質の製造が達成できると期待される。

半導体の製造では、素子動作の信頼性のために清浄な結晶が必要とされ、混入する不純物の制御がデバイスの進歩とともにますます重要となっている。特に、エピタキシャル成長においては、ハイドロカーボンや僅かな炭素等の不純物ガス原子の成長相内への取込みが問題となっている。宇宙空間では、ウェーク（航跡）の利用による清浄な高真空状態を実現することにより、地上では得られない高品質な物質の製造が可能になることが考えられており、半導体デバイス製造等に用いることが期待されている。

さらに長期的には、高真空に加え、宇宙の広大な空間、浮遊状態の実現を利用することにより、宇宙での大規模な材料製造プロセスなどの発展の可能性も秘めている。

2. 宇宙環境を利用したライフサイエンス、宇宙医学、有人宇宙技術等の研究に関する研究領域

宇宙環境を利用したライフサイエンス、宇宙医学、有人宇宙技術等（以下、ライフサイエンス等という）の研究に関する研究領域については、宇宙環境と生物・人間との関わり合いの観点に基づき、現在広く注目されている研究から新しい視点からの研究、基礎的な知見の獲得を目指した研究から応用的な研究など、さまざまな研究提案に柔軟に対応可能であるとともに、新たな研究手法の研究や共通基盤的な研究を促し、数理・工学的アプローチや実験技術の研究開発に積極的に対応していくものとして、以下のとおりの研究領域を考える。

○生物の構造・機能に対する重力の影響の解明

○宇宙・地球環境での生物の適応性と生態系に関する研究

○宇宙放射線の物理的効果と生物・人への影響に関する研究

- 宇宙環境が人体及び精神に与える影響とその対策に関する医学や人間工学の研究
- 宇宙環境を利用した生物工学の研究と実験技術の研究開発

(1) 生物の構造・機能に対する重力の影響の解明

地球上のほとんどの生物が重力環境に依存し、長い進化の過程からきわめて多様な種固有の構造と機能を獲得してきた。これら地球上での生物が有する重力に依存した構造と機能の必然性について理解することは、生命の本質を解明する上で重要な知見を与えることが期待できる。

宇宙環境においては、地上の重力に束縛されず任意に重力レベルを設定することから、生物が重力によって受ける影響を、より明確かつ詳細に研究することが可能となる。

この研究領域においては、生物の発生・分化及び成長、植物の重力感受・応答、動物の重力感受とシグナル伝達、重力に依存する遺伝子発現と調節など、分子、細胞、器官、個体など、異なったレベルの特徴的な現象に着目し研究を行い、重力に依存する生物特有の素過程を支配しているメカニズムを解明することを目的とする。

(2) 宇宙環境での生物の適応性と生態系に関する研究

地球生命環境の特徴である遺伝子、種及び生態系の多様性が、人工的な環境によって大きな影響を受け始め、生物と環境の相互作用や生態系維持のための研究が重要な課題となっている。地球上の極限環境にも存在する様々な生物が獲得した環境適応能力の解明やその進化過程についての研究も、生物が本来有する環境適応能力を解明する上で重要である。これらの研究は、地球生命がおかれた現状を理解し未来を予測する上で必要なだけでなく、生命の起源と進化に関し新たな知見を与えることが期待できる。

この研究領域では、生物と環境の相互作用のうち、重力、太陽紫外線、真空、電磁場、温度、放射線など、生物系にとって重要なさまざまな環境因子に着目し、これまで進化の過程で獲得してきた環境適応能力が、遺伝子、個体、あるいは生態系としてどのような影響を受けるかについて理解することが目的となる。また、環境を制御する技術に関しても、生物・生態学及び物理・化学の両方の側面からの研究を行うとともに、宇宙環境など、特異な閉鎖環境に長期間滞在する生物によって構成される生態系が受ける変化や影響についても、ライフスパンを超えて研究し、明らかにしていくことをねらう。

さらに、宇宙ステーションの曝露部などを利用し、月や火星などの「圏外環境」での生命の生存可能性や地球外生命の存在可能性を探究することは、原始地球やオゾン層が減少した地球環境などのシミュレーションとして生命の起源や適応限界について新たな知見を与えることが期待される。

(3) 宇宙放射線の物理的効果と生物・人への影響に関する研究

宇宙に存在する放射線は、バンアレン帯を構成する電子やプロトンの他、地球上ではほとんど存在しない高エネルギー粒子などがあり、そのレベルは軌道上での位置や太陽活動によって大きく変動する。これらの宇宙放射線は、長期に宇宙滞在する搭乗員や生物試料に持続的な影響を与えるが、そのメカニズムや線量率効果などは明らかではない。

この研究領域では、宇宙放射線の物理的側面と生物影響のメカニズムの解明をねらい、突然変異や遺伝子修復の変化、微小重力との複合効果、低線量粒子放射線の長期被曝影響などについて研究を行うことが目的である。また、生物や人の長期宇宙滞在時の宇宙放射線の量的及び質的実態を詳細に把握するための宇宙放射線計測、予測技術についても研究を行う。さらに、放射線防護の観点から、線量当量の算出、被曝管理のための計測技術・健康管理技術の開発に関する研究を行う。

(4) 宇宙環境が人体及び精神に与える影響とその対策に関する医学や人間工学の研究

宇宙環境に人が長期滞在する場合に生じる生理的影響と精神科学的な影響については、これまでNASAやロシアにおける宇宙飛行でかなり調べられてきたが、それらの詳細やメカニズムについては、未だ十分理解されていない点が多い。我が国においては、これまでほとんど有人宇宙飛行によるデータが無く、宇宙滞在時に生じる複雑な影響については、今後、国際協力も踏まえたさらに詳細な研究とその対策が重要である。また、人間の宇宙滞在における安全性の向上、作業能率の向上、グループパフォーマンスの向上及び快適性の向上を目的として、有人安全技術や人間工学などの工学分野の研究も重要である。

この研究領域では、有人による長期宇宙滞在時の影響として注目すべき心循環器、骨・カルシウム、筋肉、神経・前庭系、栄養代謝、血液・免疫、精神・心理などの生理学的及び人間科学的影響の把握とそのメカニズムの解明並びに対処手法の研究を行い、人体の生理学的知見の蓄積等により人間に対する理解を広げるとともに、有人宇宙飛行の安全性・作業能率等の向上を図ることを目的とする。また、これらの研究を通じて、地上の医療等への貢献を果たすことを目指す。

(5) 宇宙環境を利用した生物工学の研究と実験技術の研究開発

宇宙という特殊環境において生体システムが引き起こされる順応や適応といった短期的・長期的影響は、宇宙でのライフサイエンス等の研究の重要な課題の一つである。このような宇宙環境での宇宙医学や生物学における問題を詳細かつ体系的に理解するためには、数理・工学モデルによる解析と実験による評価を併せて行うことが必要である。

また、微小重力環境の効果を利用したバイオプロセス技術を活用するこ

とにより、高分子や生体超分子などの物性研究や、タンパク結晶化の詳細観察とメカニズムの解析、さらに、これらの成果に基づくタンパク結晶化の制御などを目標とした研究が可能となる。また、現在広く利用されている遺伝子のクローニングやゲノム解析技術には、遺伝子自身やそのDNAフラグメントなどの巨大分子の分離精製が必要とされており、微小重力環境を利用した効果的な物質分離・分析法についての研究、開発を進めることが有効である。我が国では、宇宙での細胞培養技術に関してこれまで実績があり、細胞生物学の研究とともに、微小重力下の細胞のさまざまな応答や機能が調べられてきた。培養細胞は、動物細胞のみならず、植物の細胞や組織なども今後利用対象にされていくことが期待され、培養技術も微小重力環境でより効果的な方法を開発することが課題である。さらに、細胞培養技術と物質分離、解析技術の複合化による軌道上での効果的なバイオプロセス技術の研究開発についても今後必要と考えられる。

さらに、本研究領域では、宇宙環境を利用したライフサイエンス等の研究をサポートするためのバックグラウンドとして、細胞工学、遺伝子工学、タンパク工学などの専門領域の成果を活用した研究の立案や、研究に必要な分析・解析技術の高度化と技術開発についても進めていくことが必要である。また、軌道上でのライフサイエンス実験や地上でのシミュレーションをサポートするための試料処理、軌道上解析、テレサイエンスといった基盤的な実験支援技術（スペースバイオテクニクス）の研究開発を強化し、軌道上でのライフサイエンスの実験の質を高めることが重要である。これら技術の研究開発の成果は、軌道上実験をサポートするだけでなく、地上の産業技術、分析技術などに広範囲にスピノフすると考えられる。また、本領域を設定することによって、工学系研究者の積極的な参入が期待される。

3. JEM曝露部利用を目指した理工学・通信、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発等

JEM曝露部利用を目指した理工学・通信、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発等については、もともと宇宙での研究や実験を指向したものである。このため、材料・ライフサイエンス分野等とは異なり、公募により研究を推進するシステムで推進すべき領域として、宇宙との複合領域となる新たな研究領域を設定する必要はない。むしろ、以下に示すそれぞれの分野や活動において、宇宙インフラストラクチャ整備のためのJEM曝露部の有効な活用、全体的な観測目的や観測シナリオの中でJEM曝露部の特徴を活かした利用等の視点から具体的な構想をまとめていくことが重要である。

(1) 理工学・通信、技術開発等の分野

宇宙インフラストラクチャは、高度化・多様化する宇宙活動を効率的かつ安定的に展開して行くために必要な共通基盤的なシステムである。JEM曝露部は、宇宙インフラストラクチャの開発・利用に必要な共通的な技術の実証を行う場として有効であるとともに、宇宙環境を理解し、その利用の高度化を図るために必要な技術データの収集・蓄積を行う場として有効であり、最大限の活用を図ることとして、計画的に利用を進める。

①ロボティクス・テレサイエンス関連技術

ロボティクス・テレサイエンス関連技術は、宇宙実験等に係る自動化・自律化、宇宙飛行士の船外活動作業の代行、軌道上宇宙作業ロボットの実現など、将来の宇宙インフラストラクチャの開発・利用に不可欠な共通的な技術領域である。その技術開発は、人間のインテリジェンスと器用さへの挑戦であるとも言え、JEM曝露部は、このような未知かつリスクな実験に最適の場を提供する。

②エネルギー関連技術

エネルギー関連技術は、科学技術立国としての我が国にとって、独自性・自立性を確保すると同時に真の国際貢献を可能とするために発展させるべき重要な技術である。また、今後、宇宙に活動を広げていく際にも必ず必要になるものであり、無線でのエネルギー伝送の技術、太陽熱の利用技術、電力貯蔵技術など、宇宙インフラストラクチャの開発・利用のための鍵となる技術である。さらに、宇宙でのエネルギー関連技術の発展は、地上での基礎工学研究や、プラズマ物理・半導体物理等の理学研究の推進への寄与も期待される。JEM曝露部は、このようなエネルギー関連技術の実証を行うために好都合な条件を数多く備えている。

③通信関連技術

通信関連技術におけるJEM曝露部利用は、以下の意義、必要性があり、これらの技術課題について、JEM曝露部を利用して実証を行うことは極めて有意義である。

- ・ 将来の宇宙インフラストラクチャにおける大容量通信・データ中継システムに必要な技術の実証実験とデータ取得
- ・ 高度情報通信基盤やグローバル・インフォメーション・インフラストラクチャ(GII)構築に必要な超高速衛星通信システム等の実現の鍵となる技術に関する実験実証とデータ取得
- ・ 次世代の高度な衛星通信システムに必要な要素技術における我が国の技術開発能力の向上

④構造物関連技術

21世紀には、宇宙インフラストラクチャとして、各種プラットフォームなどの大規模な宇宙構造物が想定されるが、このためには、軌道上での軽量の構造物の展開・組立等の設計・構築技術の確立、姿勢制御の安定化、衝撃荷重の低減、高度宇宙環境利用のための微小重力環境の改善等が課題となる。これら課題の解決に向けて着実に技術開発を進めるためには、宇宙環境下での材料・機構部品の劣化、熱変形、振動等の諸現象の把握や技術実証方法の研究を行うとともに、地上試験のみでは不十分な要素技術の実証や新しいコンセプトの構造物の研究開発を軌道上で行う必要があり、JEM曝露部はそのための有効な場となる。

⑤熱管理・液体管理関連技術

将来の宇宙インフラストラクチャにおいては、エネルギー需要の増大や温度管理等に関するミッション要求の多様化・高度化、軌道上での燃料の貯蔵・再補給といった新たなニーズなどに応じて、大容量の熱輸送・排熱や極低温冷却といった熱の管理技術及び熱輸送用液体や極低温液体推進剤等の液体の管理技術が重要になってくる。これらの要素技術の実証を行うためには、JEM曝露部は有効な場となる。

⑥宇宙環境計測・影響評価関連技術

JEM曝露部では、宇宙空間に開放された場での宇宙環境の利用が可能となるが、そのためには、利用すべき宇宙環境を十分に理解することが重要である。科学衛星等の観測により、自然科学の立場からの地球周辺の宇宙環境の理解が進んできたものの、宇宙環境利用の立場からのデータの収集や蓄積、宇宙環境が材料や部品に与える影響の理解は依然として十分なものではない。このため、JEM曝露部を利用して、宇宙ステーション周辺／軌道近傍における宇宙放射線、中性ガス、プラズマ、磁界、電界、電磁波、紫外線、スペースデブリ等の宇宙環境を計測しデータを蓄積するとともに、宇宙用の部品・材料に対して宇宙環境が及ぼす影響についてもデータを収集・蓄積する。

⑦その他

これまで我が国では検討が十分ではなかったが、最近米国等においてJEM曝露部利用を目指した研究が進められているものとして、極低温での物理現象など、基礎物理現象の研究が挙げられる。また、重力環境制御、軌道・姿勢制御、宇宙環境計測・スペースデブリ捕獲など、幅広い用途が想定されるテザー技術もJEM曝露部利用の可能性が考えられる。

(2) 地球観測

地球環境を監視し、環境破壊を防ぎ、環境を保護するためには、変化の実

態を把握し、そこで起こっている現象のメカニズムを解明し、モデル化してシミュレーションを行い、将来を予測し、その結果に基づいて対策を立てる、ということが必要である。このためには、地球全体規模での環境の観測、監視が重要であり、宇宙からの地球観測は、その不可欠の手段である。このような地球環境観測を効率的かつ効果的に行うために、長期的な観測シナリオを検討し、これに基づき将来必要となる観測センサや観測システム技術の研究開発を進めることが重要である。JEM曝露部は地球観測として以下の利点を有しており、このような観測シナリオの中で有効に利用していくことが重要である。

- ・ 軌道高度が比較的低高度で、通常の衛星では実現し難い高度を長期にわたって維持できること
- ・ 軌道傾斜角が51.6度で、人間活動の行われる主要な緯度範囲をカバーしていること
- ・ 重量・電力等のリソースの制約が比較的小さいこと
- ・ 機器の構成変更や保守の可能性があるので、開発要素の多い機器による検証実験等にも利用できること

地球観測センサや観測システムに関しては、今後、技術的な難度の高い大気観測を中心としたミッションの実現が課題となっている。上記のJEM曝露部の利点を踏まえ、これらのミッションに対してJEM曝露部が有効な場を提供することが期待される。これまでの検討により、特に初期の利用として、大気中の水蒸気・エアロゾルや風ベクトルの観測に有効なレーザレーダ（ライダー）の搭載実験、大気中の微量気体からのサブミリ波放射の計測の宇宙実証、地球温暖化の現象解明とモデル化に重要な上層雲のレーダによる観測実験、対流圏の大気成分の全地球的な観測などのミッションが提案されている。今後さらに本分野の研究を推進することで、より高度な地球観測ミッションの提案がなされることが期待される。

（３）宇宙観測

人類は、宇宙や太陽系の起源そして構造、地球及び生命体の誕生といったものへの科学的興味を常に探究し続けてきた。この要求に応える宇宙の科学的探究の活動は、ますます重要なものとなっている。これらによって得られる様々な知見や知識は、新しい宇宙観・地球観・生命観を生み出し、新たな思想や文化の創造、知的で成熟した社会の実現に貢献するものと考えられる。

このような宇宙科学、とりわけ宇宙からの天文観測において、JEM曝露部の利用は、姿勢変動や視野、高精度のポインティング、有人システムに伴う安全性要求等の制約があるものの、観測装置の開発期間の短縮や定期的な輸送手段の確保が可能であり、重要な観測イベントの時期に合わせた実験装置の搭載が可能となること、実験装置の回収による実験内容の多様化や技術実証実験が可能となることなどの利点を有している。

このため、宇宙観測の分野においても、科学的に意義があり国内に推進で

きる研究グループがあること、他の宇宙観測衛星や地上での観測と重複せずに相補的であること、曝露部の特徴を生かせることなどの考え方に基づき、JEM曝露部を有効に利用していくことが重要である。

宇宙観測の分野においては、宇宙科学研究所を中心として衛星などを用いた科学観測の成果と経験が積み重ねられている。JEMにおけるミッションでもそれらに対応する高度な観測計画が期待されており、この観点からの検討は既に長期にわたり行われてきた。特に初期の利用においては、制約条件に十分配慮した計画を厳選し、確実な科学的成果を目指すことが重要であるが、そうした条件を満たす計画が既にいくつか提案されている。現在、初期のJEM曝露部の有効な利用に向けて、具体的に提案されている観測分野としては、以下のものがある。

- ・ X線全天モニタ等による高エネルギー天体や突然現象の監視・発見
- ・ 未解明であるガンマ線バースト現象の搜索・研究
- ・ 高エネルギー宇宙線の直接観測による宇宙線の起源の解明
- ・ 太陽の次期活動期に合わせたX線スペクトルなどの活動モニタリング
- ・ 高エネルギー電子の観測による宇宙空間での電子加速などの研究

今後、JEMの環境条件や利用の可能性が明確になるにつれて、さらに、電波や可視・赤外線観測などの分野でも優れた提案がなされることが期待される。

十分な準備期間が確保できる時期における
J E M利用テーマ選定の考え方等

1. 宇宙環境を利用した物質科学等の研究に関する利用テーマ選定に向けての考え方と課題例

宇宙環境を利用した物質科学等に関する研究において、計画的な研究の推進、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期に選定するJ E M利用テーマの考え方及びそれに対応する課題例は、以下のとおりとすることが適当である。

なお、本研究分野においては、今後、各研究機関・利用機関による研究や公募により研究を推進するシステム等により、さまざまな視点からの研究を進め、より重要な課題や有望なテーマがさらに生み出されていくことを期待するものである。このため、以下の考え方、内容及び具体的な課題等については、これら研究の進捗を踏まえて見直すことが適当である。

(1) 国際的に我が国が優れた微小重力研究の実施

微小重力研究は人類にとっての知的資産の形成を目指す新たな研究分野であるとの観点から、J E M利用にあたっては、我が国が国際的に優れた研究に重点を置いて進め、微小重力科学の発展への貢献を果たすことが適当である。

具体的には、結晶成長機構に関する研究、マランゴニ対流のモデル化に向けた研究、燃焼現象に関する研究等について、我が国は、これまでの研究の実績により優れた研究ポテンシャルを有している。

今後、J E M利用に向けて、これらの研究をより一層充実させるとともに、さらに国際的に優れた研究を増やしていくことが重要である。

(2) 先端の実験技術の開発と基礎的データの蓄積

宇宙環境利用の一層の発展のためには、その有するポテンシャルを十分に発揮させる先端的な手法の実験技術の開発を計画的に進めていくことが重要である。また、これまでに得られた知見に基づき、基礎的データを体系的に蓄積し、その成果をより汎用的なものとして役立てていくといった取組を進めていくことも重要である。

具体的には、先端的な実験技術開発としては、準安定相の生成とともに新材料創製に期待されている浮遊処理技術等が挙げられる。また、基礎的データの体系的な蓄積としては、高品質結晶製造のシミュレーション研究等に有用となる拡散係数や熱物性値の高精度計測等が挙げられる。

これらの研究については、J E M利用に向けて、研究者の主体性を尊重しつつ、計画的・体系的に進めていくことが適当である。

(3) 新材料等の創製に向けた先導的プロジェクトの実施

特に、初期のJ E M利用にあたっては、国民の理解を得、より多くの研究者の関心を高めていくとともに、新しい産業の鍵となる技術の創出等の宇宙環境利用の有効性を実証するため、先導的なプロジェクトの実施によって、宇宙環境を利用して有望な新材料等を創製することを目指した取組にも重点をおいて進めることが適当である。

具体的には、化合物半導体の創製、良質のタンパク質結晶の育成、複合材料の創製等の研究が考えられる。

2. ライフサイエンス等の研究に関する利用テーマ選定に向けての考え方

宇宙環境を利用したライフサイエンス等の研究については、我が国は、米国やロシアに比して宇宙での研究経験が少なく、今後、地上での高い研究ポテンシャル等を活かして、我が国として特徴ある研究を発掘し、育成していくべき段階にある。このため、計画的な研究の推進、国際的な調整、実験装置の開発等を行うための十分な準備期間が確保できる時期に選定すべきJ E M利用テーマについては、現段階で具体的な課題を挙げるよりも、当面、以下のとおり、そのような利用テーマの選定に向けての考え方を明確にし、宇宙環境利用の研究等の進捗を踏まえ、それぞれの考え方に応じて具体的な研究テーマを選定していくことが適当である。

(1) 生命と環境の関係の視点から生命に関する根源的な疑問に答える研究の実施

宇宙開発は、本来、国家の枠を越えて協調し、人類の利益のために永続的に取り組むことが望まれる分野である。我が国は、これまで、独自の有人宇宙システムを持たず、平和目的に徹して着実に宇宙開発を進めてきた。このような我が国にとって、宇宙ステーション計画に参加し、それを利用してライフサイエンス等の研究を進めることの大きな目的の一つは、宇宙ステーションを人類共通の財産として最大限に有効活用し、生命や宇宙といった人類の根源的な疑問に答えるような科学研究を進め、共通の利益となる新たな知見や知識を獲得していくことに求められるべきである。

環境と生命との関わり合いの深さは改めて言うまでもない。宇宙環境が生物・人間に与える影響や機構を解明していくことは、地球上の環境で生物・人間が獲得した機能・形質等に関する理解を深め、生命現象を解明するとともに、生命の起源や進化といった疑問に答え、宇宙における地球生命体の生存や時間的・空間的な可能性を探究していくことである。

(2) 宇宙実験成果により人々の生活の向上や環境改善等に役立つ研究の実施

宇宙環境利用を進めるにあたっての重要な視点の一つは、地上での社会生活等との関連であり、宇宙環境利用の成果が広く社会に還元され、より広範囲に利用されるよう進めることが重要である。

宇宙環境を利用したライフサイエンス等の研究から得られた知見や知識は、例えば、老人等の骨粗鬆症への対策や、地球環境での生態系の保護等に役立つ可能性が考えられる。このような波及効果の大きい研究を進めることにより、宇宙環境利用に対する理解が広まるばかりでなく、関心を有する研究者を増やし、さらに有意義な成果をもたらすことが期待される。

(3) 人類の活動領域の拡大に向けた有人宇宙活動の基盤技術の獲得

人類はこれまでも、その長い歴史において活動領域の拡大を図ってきたが、人類がその活動領域を宇宙へと拡大していくことは、人類が永続的に発展、繁栄していくという希望の現れの一つである。地球の有限性についての認識が高まる一方、技術的にかなりの信頼性をもって宇宙へと活動領域を拡大する可能性を有するに至った現在において、人類が宇宙に進出したいと考えることは、自然な欲求であるといえる。この観点から、有人宇宙活動は、人類共通の利益をもたらすとともに、人類史的な意義を持つものであり、国際的な活動として長期にわたって着実かつ継続的に進めることが重要である。

このような重要な意義を有する有人宇宙活動に対して、我が国としては、国際的な枠組みの中で宇宙ステーション計画に参加しつつ、宇宙飛行士の選抜・訓練・健康管理についての経験を十分に積むとともに有人宇宙システムに係る技術の修得を行うこととしており、このような取組を着実に進めていくことが重要である。

また、長期的には、国際的な有人宇宙活動の展開に対して、我が国も積極的な貢献が果たせるよう進めることが重要であり、宇宙ステーションの利用にあたっては、宇宙医学の研究や閉鎖生態系の研究など、先行的・基盤的な研究を進めていくことが重要である。

(4) 我が国として特徴ある研究の実施に向けた先端の実験技術等の研究開発

ライフサイエンス等の研究については、地上における研究手法・実験技術が近年急速に発展している。これらの先端的な研究手法や実験技術を宇宙での実験に適用することにより、これまでの米国及びロシアを中心とした研究では得られなかった新たな知見の獲得が期待されるとともに、我が国として特徴のある新たな宇宙環境利用の可能性が広がっていくものと考えられる。このため、このような視点から我が国として先端的な実験技術や研究手法の研究開発を推進していくことが重要である。

3. JEM曝露部利用の考え方

JEM曝露部を有効に利用していくための考え方としては、以下に示す4つの考え方に整理することが適当であり、これらの考え方に基づいて有意義な利用テーマを選定していくことが適当である。

特に、初期のJEM曝露部利用については、利用の多様性を確保することが重要であり、上記の各考え方に対して、JEM曝露部の各ユニットを割り当てることが適当である。さらに、これらに対応して、それぞれ専門家による選定委員会を設けるとともに、速やかに初期の利用テーマを選定し、計画の実現に向けた具体的準備を進めていくことが適当である。

なお、これらの利用の考え方については、利用提案の具体化や利用の進捗等に応じて、特に有効な分野等を見定めるなどにより、JEM曝露部全体が効率的かつ有効に利用されるよう、その内容やユニットの割り当て等を柔軟かつ適切に見直していくことが適当である。

(1) 曝露部を利用した先端的な科学研究の実施

宇宙ステーションの利用における大きな目的の一つは、宇宙ステーションの特長を活かした科学研究を行い、人類共通の利益となる知見や知識を獲得し、人類の知的フロンティアの拡大を図ることである。この観点から、JEM曝露部の利用にあたっては、その特長を活かした先端的な科学研究を進めることに重点をおいて進めることが重要である。

このため、宇宙の起源・進化・構造を探究するための軌道上からの天文観測、宇宙からのリモートセンシングによる地球科学研究、微小重力を利用した基礎物理現象の研究、材料・ライフサイエンス分野の科学研究など、広範な分野を対象として、その科学的価値から有意義なテーマを選定し、JEM曝露部ならではの科学研究を実施する。

(2) 宇宙インフラストラクチャ構築のための先端的・基盤的技術の開発

宇宙開発は、本来的に、未知なる可能性を秘めた宇宙を、人類共通の財産として、最大限有効に活用していくことを目指している。宇宙インフラストラクチャは、このような宇宙開発を、効率的かつ安定的に展開していくために必要な共通基盤的なシステムであり、その構築に向けて、長期的観点から着実に進めることが重要である。JEM曝露部は、このような宇宙インフラストラクチャ構築のために必要となる先端的・基盤的な技術の開発の場として有効であり、その利用にあたっては、宇宙インフラストラクチャ構築を目指した研究や技術開発に重点をおいて進めることが重要である。

このため、ロボティクス・テレサイエンス、エネルギー、構造物等をはじめとした様々な技術分野を対象として、宇宙インフラストラクチャ構築

に必要なかつ重要な開発項目の観点からテーマを選び、J E M曝露部を最大限活用した技術開発を行う。

(3) 新たな宇宙利用の創出に向けた利用ミッションの実証

宇宙開発の大きな目的の一つが、国民の社会生活等実際に役立つ宇宙利用の創出であることは言うまでもない。宇宙を利用した通信・放送、気象観測といったものは既に国民生活に不可欠となっているが、利用ニーズの高度化や多様化に対応して、新たな宇宙利用ミッションの創出を図ることが重要であり、このためには、独創的なアイデアや技術的難度の高い開発が必要である。J E M曝露部は、このような研究や技術の実証の場として有効であり、その利用にあたっては、新たな宇宙利用の創出に向けた研究や技術開発、ミッションの実証に重点をおいて進めることが重要である。

このため、将来の宇宙利用に繋がる地球観測・通信ミッションの技術実証や個別の衛星で行うには挑戦的な利用ミッションの実施、また、そのクリティカルな要素技術の研究や開発などを対象として、J E M曝露部の有効性を踏まえてテーマを選び、J E M曝露部を利用した研究、技術開発・実証等を幅広く進め、新たな宇宙利用ミッションの創出を図っていく。

(4) 共同利用のプラットフォームとしての多くのニーズへの対応

J E M曝露部に対しては、宇宙環境の理解や利用の高度化を図るために必要な科学データの収集・蓄積、宇宙用部品・材料の高度化・高信頼性化を図るための試験の実施と技術データの蓄積、小型の機器による多くの観測やタイムリーな観測、構成要素レベルでの技術開発など、数多くの利用が期待されている。これらは、それぞれ小型の利用ミッションであり、個別には通常の衛星でも実現できるとも考えられる。しかし、全体として、このような共同利用型の活動は、長期にわたって運用利用される軌道上の拠点の構築によってはじめて可能となるものであり、J E M曝露部利用の大きな特徴といえる。また、このような活動を効果的に展開することで、より多くの研究者の宇宙開発利用への参画やより独創的な研究開発が促されることが考えられ、大きな意義を有する。この観点から、J E M曝露部利用にあたっては、小型の様々な利用テーマに対する共同利用のプラットフォームとしての活動を確保し、数多くの利用ニーズに応えていくことに重点をおいて進めることが重要である。