

第2款 地球軌道における宇宙環境の使用

第6章 理工学実験分野の展望

1. 意義

宇宙の極限状態及び空間は、理工学実験にとってすばらしい実験の場を提供してくれる。

従来、宇宙空間そのものを観測する実験は、多数行われてきているが、無重力状態、無限の真空等の宇宙空間特性を活用し、地上の実験室と同様な物理・化学・工学実験を実施することは、あまり行われていない。しかし、スカイラブ実験の結果から、宇宙空間を活用した理工学実験により、基礎・応用の物理・化学・工学分野において新しい実験現象の把握、新しい科学領域が生まれてくることが、ほぼ確実であるとされている。これからスペース・シャトル／ラブ時代、宇宙ステーション時代に向けて、宇宙の極限状態を利用した理工学実験が本格化してくると予想される。当初は他の実験と混載で実験することが多いであろうが、将来重要な実験は、単独で搭載し実験する場合もでてこよう。宇宙の無重量、高真空、広範囲の温度、放射線等の特性を利用した宇宙実験は、原因が複雑にからみあって生じる地上現象について原因と結果の関係を単純化して表現してくれるとともに、地上で得られない極限原因を与えてくれるので、全く新しい知見を得る機会が多くなり、科学者、技術者にとって新しい実験の場となろう。

また、理工学分野のこれからの実験は、大型化、常時化、国際化し、スペース・シャトル／ラブ、宇宙ステーションを活用して行う実験が多くなってこよう。

理工学実験の意義・有用性として次のものがあげられる。

- (1) 特定の分野の地上で解明しえない現象、理論、仮説を宇宙という極限状態を利用することにより、解明・立証できる可能性があるので、科学技術のより高度な発展及び新しい科学技術分野の展開に貢献する。最近地上における先端科学技術も飽和し大きな進歩がみられない傾向がでてきているが、宇宙空間における物理、化学、基礎工学等の実験研究は、これらの科学技術の新展開を開拓してくれるであろう。
- (2) 宇宙空間における理工学分野の成果は、我が国の宇宙活動をより発展させ広範なものとしてくれる。
- (3) 将来、宇宙空間において得られたこれらの分野の成果が、我が国の地上の技術及び産業の発展を促すことも十分考えられる。
- (4) 宇宙空間を利用して太陽エネルギーから電力をつくりだし、宇宙活動、そして更に将来は地上活動に電力を供給できる可能性が考えられ我が国のエネルギー問題を緩和してくれる可能性もある。

2. 内外の動向

(1) 日本の動向

試験衛星及び技術試験衛星という形でロケット及び衛星関係の工学実験を行ってきたものの、本格的な宇宙空間特性を活用したこの分野の実験は行っていないといえよう。

(2) 外国の動向

米国においては1973年のスカイラブ宇宙船、1975年のアポロ・ソユーズ宇宙船等において、この分野の実験を試みている。1973年のスカイラブ実験においては、3回にわたって宇宙飛行士が宇宙船に移乗し、宇宙技術

実験を含む90種に達する各種実験を行った。本格的な宇宙空間を活用する理工学実験は1980年から始まるスペース・シャトル/ラブ計画、それに続くスペース・ステーション計画で行われようとしている。また、米国においては宇宙空間における大電力発電所の建設に関するゲース・スタディが行われている他、原子炉から廃出される放射性廃棄物の宇宙空間への投棄も考えられている。更に、宇宙空間に大型構造物をつくる基礎工法実験も地上で行われている。一方、ソ連は、ソユーズ、サリュート、アポロ・ソユーズ宇宙船等において、多方面の理工学実験を行っている。

3. 実地課題

この分野の主な実施課題としては、次のものがあげられるが、将来研究開発の進展に伴いこれ以外の課題も現われてこよう。

(1) 物理実験（基礎物理性実験を除く）

ア 重力波の検出

重力波は、アインシュタインの一般相対論に基づき予言されているが、ウェーバー以後の検出実験はノイズ等が高く十分なものではない。このため、低ノイズである無重力場において天体起源の重力波を振動子又は干渉計を用いて検出する。

イ 相対論関係

(ア) 電磁波の波数の重力偏移

一般相対論の帰結である重力場による電磁波スペクトル線の偏移を、宇宙空間の飛しょう体に搭載した原子時計又はレーザー発射器から発射される電磁波又はレーザー光のビートを利用して検出する。

(イ) 重力場による電磁波の屈折

太陽を横ぎる光又は電磁波を、大気のない宇宙空間から観察し、これが太陽の重力場により屈折することを検証する。

(ウ) 質点の軌道の精密測定

衛星を太陽を回る近軌道に乗せ、その運動をレーダで精密追尾することにより、質点の楕円軌道が変わっていくという一般相対論の効果が現われるか否かを検証する。

(エ) 重力場による電磁波の速度変化

一般相対論では、重力場により電磁波の速度は変化し、太陽の横を通過する光は約 $200 \mu\text{sec}$ 遅れるといわれているが、この現象を宇宙空間から精密に測定することにより、一般相対論と他の相対論との当否を検証する。

(オ) 精密時計の国際比較

宇宙空間の飛しょう体に原子時計を搭載して地球を巡らせ、地上局の時計と順次比較することによって、 $0.1 \mu\text{sec}$ 精度の国際的な基準精密時系を地球全体で完結させ、あわせて一般相対論的な時系のずれを検出する。この課題は、国際協力により行うのが望ましい。

(2) 化学実験

ア. 宇宙空間における物理化学

地上から宇宙空間に物質をもちこみ、宇宙空間の無重力、高真空を活用して、物質の凝集と接着、コロイド分散系の安定性、エアロゾル機構、電析、電気分解、力学物性・強度に関する研究を行う。

イ. 宇宙空間における化学反応

宇宙空間の無重力を活用して、非沈降系の反応、分子の衝突と反応速度、非対流系での燃焼その他気体反応、触媒反応に関する研究を行う。

ウ. 高真空及び強紫外線の利用

宇宙空間の高真空及び強紫外線を活用して、気相における重合反応及び紫外線反応・分解に関する研究を行う。

(3) 物性基礎実験

ア. 表面及び界面の特性に関する研究

低重力状態においては、表面張力が液体の形状決定に重要な働きをするようになるとともに、固体と固体、固体と液体、固体と気体の間の界面の状況が地球上とは異なってくる。これらに関連し、表面張力、流体表面、毛管現象、表面波、あわ形成とその安定性 などについて研究する。

イ. 流体の挙動に関する研究

低重力場を利用し液体及び気体の混合、対流と重力の関係、流れの状態などに関する研究を行うことができる。これらに関連し無重力機構と対流、液体解散、物質の混合、液体の流動、粘性測定などについて研究する。

ウ. 相転移に関する研究

低重力下では、物質の相図も地上の相図と異なることが予想され、また、相の転移も地球上とは異なった状況で行われると考えられる。これらに関連し相図の測定、沸とう現象、臨界点現象などについて研究する。

エ. 放射線の利用に関する研究

宇宙空間の強紫外線を含む各種放射線を利用して、物性に関する研究を行うことができる。これらに関連し、放射線による物質の構造、物理的特性、電気的特性の変化などを研究する。

オ. その他

結晶成長機構、拡散現象などの研究を行う。

(4) 工学実験

次の実験を宇宙空間において行う。

ア、自動化に関する工学実験

(ア) 人工衛星の修理・検査、宇宙船・宇宙ステーションの組立を行う自力航行・マニピュレータ機能付き宇宙船を開発するため、ステレオTV、マニピュレータ、ランデブ・ドッキング等の基本技術の開発実験を行う。

(イ) 地上からの管制を離れ、自動軌道保持、自動故障発見、自動修理等ができる自律長寿命型人工衛星を開発するため、自律航法誘導システム実験、自律制御システム実験等人工衛星の自立運用に必要な工学実験を行う。

イ、大型構造物の建設及び運用のための工学実験

(ア) 深宇宙との通信用、大型電波望遠鏡用、超高分解能地球センサ用の、直径100m以上のパラボラアンテナ又は大型平面アンテナ並びに夜間照明用、農作物用の宇宙鏡について、これらの運搬実験及び建設実験を行う。具体的には、運搬容易な構造、展開機構、材料、有人操作又は自動による組立、溶接・溶断・圧着等に関する実験を行う。また、これら大型構造物の姿勢制御に関する実験を行う。

(イ) 宇宙船、宇宙ステーション及び宇宙工場の建設並びに運用のため、材料、構造、施行方法等の建築・土木技術に関する実験を行う。

ウ、各種推進システムの工学実験

太陽電気推進モジュール、レーザ推進モジュール等宇宙航行用各種推進システムの開発試験を行う。

エ、各種計測技術の工学実験

有人による宇宙ステーションの建設、機器の補修等に用いる各種の宇宙用計測技術の開発試験を行い、実用化を図る。

(5) 宇宙空間理工学実験所の建設

当面はスペース・シャトル／ラブの使用等により実験を進めるが、将来はよ

り高度の宇宙技術の開発実験、物理・化学・工学実験のため、米国又は数カ国の建設になる宇宙ステーションにおける共同理工学実験所の設置、又は宇宙空間における我が国独自の理工学実験所の建設も考えられる。

(6) エネルギー関連技術

エネルギー関連技術は、大別してア、宇宙における太陽エネルギーからの大電力の発生技術、イ、宇宙より地表又は宇宙ステーションへの送電技術、ウ、衛星中継による地上の遠隔地間の送電技術等に分けられる。

ア、太陽光を太陽電池素子によって電気エネルギーに変換するものであり、電力量は受光面積に比例するため、ある程度の電力を得るためには広い面積を必要とする。一例として4000MWを得るためには約5km四方の太陽電池構造物が必要とされるが、このような地上の一生活圏に必要な電力を宇宙空間において得ることは我が国においては当分の間、実現困難と思われる。しかし、2000年頃には少なくとも小規模の宇宙ステーションの運用等に必要な電力として1MW程度の電力(約80m四方)が必要とされるため、これらの構造物の建設、集電技術の開発等が必要となろう。

イ、現在米国などで提案されている方法は、地表への電力輸送をマイクロ波により行うものであり、その可能性について種々検討されているが、技術的可能性はあってもエネルギー輸送等に伴う環境問題があり、我が国においては当分の間実現困難と思われる。しかし、宇宙ステーションへの送電技術は、マイクロ波等の利用により十分可能と考えられるので、2000年頃には、宇宙発電衛星より各宇宙ステーションへの送電技術について各種の技術開発及び実験を行う必要がある。

ウ、米国等で試案が出されている現状で、3600マイル以上離れた地上の2地点間の電力送電には、一度電力をマイクロ波に変換し衛星に向けて発射

し、反射体を持った衛星により地上の他の地点へ電力を伝送するシステムが有利とされているが、我が国においては種々の条件を考慮すると、2000年頃までの実現は極めて困難であろう。

4. 開発技術

(1) 有人実験船（宇宙船）の開発

理工学実験を行うには、機器・試料の精密調整、実験の観察、データの記録、複雑な実験操作をするため、有人が必要となる場合が多い。このため、実験を効率良く行えるよう有人実験船を開発しておく必要がある。また、古い実験船を使い捨て、新たな実験船を打ち上げるよりも、実験船の保守及び修理を有人で行う方が経済的である。

この有人実験船の技術とともに、地上と飛しょう体上の実験を結び、各種の実験のための連絡、観察及び指示ができるよう、テレメトリー・通信管制施設を整備しておく必要がある。

(2) 大型実験設備及び実験室打上げ用ロケットの開発

理工学実験の中には、大型・大重量の実験設備で実験するもの、将来理工学実験所及び宇宙発電所を建設する可能性もあるので、これらを打ち上げられる大型ロケットの開発が必要となつてこよう。

(3) 搭載機器の開発

打上げの際生じる加速度、振動に耐え、かつ高精度の実験が行えるよう、高精度化、高信頼度化、安全性に配慮したミッション用実験機器、共通実験機器、サポート設備を開発しておく必要がある。特に宇宙空間における工学実験に備え、マニピュレータ等の基本作業機器を開発しておく必要がある。

(4) 地上実験施設設備の整備

特定の理工学実験分野については、いまだ地上実験施設設備が整っていないものがあるので、宇宙実験に先立ち、これらを整備しておく必要がある。

(5) エネルギー関連の支援技術の開発

宇宙空間を利用しエネルギーの発生及び中継を行うには、大構造物を宇宙空間に運搬し、組立てる必要があるので、運搬用大型ロケットの技術と同時に、宇宙空間用の運搬及び組立技術を開発しておく必要がある。また、人間が宇宙空間において長期間、大構造物の建設に従事できるように医学面の研究を進めておく必要がある。この他、エネルギー伝送に伴う環境問題及びエネルギー変換技術も解決しておく必要がある。

5. 自主開発／国際協力

理工学実験分野の実施課題の中には国際協力によって進めることが望ましい課題が多い。従って当分の間は、我が国の衛星によって行う部分もあるが国際協力に重点を置いて理工学実験を進めるものとする。国際協力を行うに際しては、計画の準備、立案等のできる限り早い時期から計画に参加していくことが研究を効率的に進める上で重要である。当面、具体的な国際協力としては、スペース・シャトル／ラブの利用が考えられるが、スペース・シャトル／ラブを利用して行う実験は、実験できる期間は限られるが、比較的短期間に準備ができ、かつ大型・大重量の実験設備を搭載して、有人で複雑な実験をできる点が有利である。このスペース・シャトル／ラブを利用して実験を行う場合には、スペース・シャトル／ラブを借り切つて、これに我が国の実験機器を搭載して行う方法及び米国等の諸外国の計画に参加して行う方法が考えられる。

1990年代に入つて我が国の有人実験船（宇宙船）が開発された以降は、

我が国の実験船を使って実験を行うことも可能となるが、この場合でも、大規模な実験計画は、計画の一部を我が国が受けもつという形の国際協力が望ましい。また、精密時計の国際比較等の実験のように、本質的に国際協力によって行うことが望ましいテーマもある。

6. 解決すべき問題点

(1) この分野の研究については、未だ我が国において本格的に実施したことはないが、その学問的・技術的意義の重要性を考慮して、できる限り早期から研究を開始しておく必要がある。

(2) 国際協力により研究を行う場合には、事前に我が国の研究能力を高め、できる限り対等の条件で国際協力を行えるようにする必要がある。また、この場合、研究を自ら実施する研究者の他に、国際協力計画の準備、立案、実施、調整及び渉外を専ら行う機能を十分整備しておく必要がある。

(3) 宇宙実験を行うに際しては、事前に地上及び小型ロケットで準備研究を十分行っておくことが望ましい。また、有人実験に備え、安全に十分配慮することとし、有人飛行訓練を行うとともに、地上管制施設設備を高度化し充実しておく必要がある。

(4) 特定の分野については、宇宙空間におけるより高度な実験を支えるため、その理論研究を早期に始め、充実しておく必要がある。

(5) 宇宙実験に備え、シュミレータ施設等地上施設設備の整備が必要である。特に我が国において着手されたことのない実験分野については、第一に地上実験施設設備を整備する必要がある。

(6) 宇宙におけるエネルギー関連技術の開発に当たっては、技術的検討だけにとどまらず、この技術の経済的効果、社会に与える影響等を事前に十分総合

的に検討の上、計画を進める必要がある。

(7) 理工学実験の、より具体的な長期計画をたてる必要がある。

スケジュール表

事 項	年	1980 年	1990 年	2000 年
(1) 物理実験				
ア 重力波の検出				
イ 相対論関係				
(ア) 電磁波の波数の重力偏移				
(イ) 重力場による電磁波の屈折				
(ウ) 質点の軌道の精密測定				
(エ) 重力場による電磁波の速度変化				
(オ) 精密時計の国際比較				
(2) 化学実験				
ア 宇宙空間における物理化学				
イ 宇宙空間における化学反応				
ウ 高真空及び強紫外線の利用				
(3) 物性基礎実験				
ア 表面及び界面の特性に関する研究				
イ 流体の挙動に関する研究				
ウ 相転移に関する研究				
エ 放射線の利用に関する研究				
オ その他				
(4) 工学実験				
ア 自動化に関する工学実験				
(ア) 自力航行・マニピュレータ機能付き宇宙船関係				
(イ) 自律長寿命型人工衛星関係				
イ 大型構造物の建設及び運用のための工学実験				
(ア) 大型アンテナ及び宇宙鏡関係				
(イ) 宇宙船、宇宙ステーション及び宇宙工場の建設並びに運用関係				
ウ 各種推進システムの工学実験				
エ 各種計測技術の工学実験				
(5) 宇宙空間理工学実験所の建設				
(6) エネルギー関連技術				
ア 小規模宇宙ステーション用電力発生技術				
イ 宇宙ステーションへの送電技術				