

平成15年度 I M S 国際共同研究プロジェクト  
国内研究開発企画

プロジェクトコード IMS0363

宇宙構造物の設計・製造技術の地球建築への  
効果的な応用に関する研究開発（略称 SATE）

に関する研究成果報告書  
（要約版）

2004年3月

幹事会社：清水建設株式会社

（財）製造科学技術センター

IMSセンター

SATE 研究担当者名簿

役割	氏名	企業名・役職等
幹事会社	川島実	(清水建設株式会社) 技術研究所 施設基盤技術センター 設備技術グループ グループ長
	野崎健次	〃 主任研究員
	鈴木道哉	〃 主任研究員
	鈴木令	〃 研究員
	三浦靖弘	〃 研究員
	栗原隆	〃 研究員
	大塚俊裕	〃 研究員
共同研究企業	梶 泰将	(株式会社 INAX) 技術統括部 空間デザイン研究所 チーフ研究員
	小栗 健	研究員
	山田浩之	研究員
委託研究機関	松村秀一	(東京大学) 大学院工学系研究科建築学専攻 助教授
委託研究機関	池田靖史	(慶応義塾大学) SFC 研究所大学院政策・メディア研究科 助教授

## 要約版目次

1.	研究開発の全体概要 .....	1
1.1	研究開発の目標 .....	1
1.2	全体研究開発計画 .....	1
1.3	上記目標の設定理由 .....	1
1.4	全体研究開発計画 .....	2
1.5	研究開発がもたらす効果 .....	3
2.	本年度の研究の内容 .....	4
2.1	H15年度の研究開発計画 .....	4
3.	各参加団体（者）各々の本年度の担当分野及びその内容詳細 .....	5
3.1	共同研究先・委託先の役割分担 .....	5
4.	本年度の研究実施手法 .....	5
4.1	本年度の研究実施作業方法 .....	5
4.2	研究開発の実施場所 .....	5
5.	研究成果の詳細 .....	6
5.1	重点的に実施した事項 .....	6
5.2	本研究開発のシナリオ .....	9
6.	今後の展開 .....	10
6.1	国際プロジェクトの全体概要 .....	10
6.2	研究開発の内容 .....	10
6.3	国際プロジェクト進捗状況 .....	11

## 1. 研究開発の全体概要

### 1.1 研究開発の目標

厳しく制約された環境下での持続可能な居住が最重要課題となる宇宙ステーションや火星基地、月面基地等の有人宇宙建築の建設・運用に関する過去の研究においては、居住環境の持続可能性に関連する多くの技術が開発されている。これらの中には、地球上の居住施設建設に関わる環境問題、資源問題の解決に大きく役立つと思われる技術が多く含まれている。例えば、居住施設の極限環境でのインテグレーション技法、閉鎖生態系生命維持システム（CELSS）、アSEMBル作業向けのロボティクス、リモートセンシング、インフォマティクス、限られた資源取得可能性の中での建築材料製造技術、独立系廃物処理技術、通信技術、ナビゲーション技術等である。本研究開発は、そうした宇宙構造物の研究に従事してきた研究者、民間企業と、地球上での新しい建築生産技術の開発に従事してきた研究者、民間企業が国際的に共同することで、持続可能な生産システムの実現、更には持続可能な居住環境の実現を目指す。

### 1.2 全体研究開発計画

本研究開発は、以下の4課題を順次実践し成果を挙げることを想定している。

- ① 地球上の居住施設建設に応用可能な宇宙構造物関連技術の抽出・評価、
- ② 地球上での建設に効果的に応用するための条件の見極め、
- ③ 以上の成果に基づき地球上で応用可能な形への各技術の改良、
- ④ それらの技術を統合した地球上での居住施設建設・運用システムの提案(大都市に立地する高層住宅を主たる対象とする)、

### 1.3 上記目標の設定理由

厳しい環境条件の中での建設と継続的な居住を実現しようとする宇宙構造物の技術開発の中に、地球上での持続可能な居住施設の建設・運用を実現する上でブレークスルーすべき複数の課題の解決に効果的に応用できる成果があることは、一部の宇宙開発関係者の間で認識されてきた。しかし、それを具体的に地球上の居住施設の建設・運用に結び付け得る研究開発の機会は殆どなかった。その主たる原因は、宇宙開発が優れて国家/国際的な場で行われてきたのに対して、地球上の居住施設の問題への取り組みは極めて地域内的な場で進

められてきたこと、また両分野の間に人的にも組織的にも殆ど交流がなかったことである。従って、これまで見逃されてきたこの技術展開上の可能性を現実のものとし、持続可能な生産システムの実現、更には持続可能な居住環境の実現に大きく貢献するためには、両分野の研究者が共通の目標の下に国際的に協力して研究開発を行うプロジェクトが是非とも必要である。

日本の本プロジェクトが中心となり、欧米の航空宇宙メーカーや建設会社等と共同でカテゴリAのフルプロジェクトを組織する。このプロジェクトが国際共同研究に発展することにより、NASAを始めとする米国及び欧州の進んだ宇宙居住分野の技術を日本の産業分野に導入できる。又、欧米の建設会社にはない独立した技術研究機関を持った日本の建設会社は、その独自のインテグレーション能力を活かしてこの様な技術移転を効果的に推進できることから、日本が中心的役割を果たすことが期待される。

#### 1.4 全体研究開発計画

本研究開発は、宇宙構造物の研究に従事してきた研究者、民間企業と、地球上での新しい建築生産技術の開発に従事してきた研究者、民間企業が国際的に共同することで、上記の4つの課題、即ち、

- ① 地球上の居住施設建設に応用可能な宇宙構造物関連技術の抽出・評価、
  - ② 地球上での建設に効果的に応用するための条件の見極め、
  - ③ 以上の成果に基づき地球上で応用可能な形への各技術の改良、
  - ④ それらの技術を統合した地球上での居住施設建設・運用システムの提案、
- を順次実践し成果を挙げることを想定している。

従って、国内プロジェクト全体としての最終成果物としては：

- ・地球上の居住施設建設に応用可能な形に改良された宇宙構造物関連技術の抽出・評価、
  - ・それらの技術を統合した、地球上での居住施設の提案
- を想定している。

## 1.5 研究開発がもたらす効果

### 1.5.1 経済的・社会的効果、製造技術分野への技術的・学問的貢献

#### (1) 経済・社会的効果

本研究開発では、上記の技術群を相互に関係付けながら適用することで、超高層集合住宅の建設・運営の分野において統合的な効果を上げる方法を提示することを具体的な目標とする。そしてそれらの技術群を総合的な適用によって以下の効果が見込まれる。

- ・都市インフラ整備にかかる費用の軽減
- ・運用時の CO<sub>2</sub> 排出量、エネルギー消費量、コストの削減
- ・効果的なメンテナンスによる耐用性の向上
- ・建設段階、メンテナンス段階のコストの削減

#### (2) 技術的・学問的貢献

第一に、上述のような新しい技術の応用可能な形での提示によって、持続可能性の高い居住施設や生産施設の建設に関する建設産業、関連製造業全般の技術開発に大きな刺激を与えるものと考えられる。

第二に、この成果が地球環境問題と深いかかわりを持ちながら、国際的に広く応用できるものであるため、同分野における日本の先導的立場を、産業分野、学術分野の双方において形成することに大きく寄与するものと考えられる。

第三に、これまで殆ど交流のなかった宇宙工学分野と建築学分野が、共通の目標の下に専門的な知見や発想を交換する研究の場が、本研究プロジェクトを通じて形成されることで、双方の学問上の進展はもとより新たな学問分野の創出にも寄与できるものと考えられる。

### 1.5.2 研究開発成果の活用方法

(1)宇宙構造物の設計・製造技術を地球建築に効果的に応用できる形に改良した各要素技術に関しては、専門的な製造業等による実用化を促進する。

(2)開発した各要素技術の効果的な統合に関しては、実際の建築物の設計・施工・運用実験を通して効果の検証を行い、モデル現場等の形でその成果を広く公開するとともに、統合的設計・製造技術マニュアルの形にとりまとめ、国際的にも活用を促進する。

## 2. 本年度の研究の内容

### 2.1 H15 年度の研究開発計画

H15 年度では、上記の内「① 地球上の居住施設建設に応用可能な宇宙構造物関連技術の抽出・評価」に関して、技術分野毎に、その応用する技術の詳細な抽出・評価作業、それらに応用した地球上での居住施設建設・運用システムの提案等を行うワークパッケージを設け、参加企業、大学、団体、個人の専門性に応じて分担した。全体の研究開発の枠組みと取りまとめに関しては、横断型の研究開発連絡会を設けて行った。

具体的には、以下である。

WP1：研究開発連絡会（研究開発の枠組みと取りまとめ）

WP2：エネルギー供給、利用技術の応用研究と開発

WP3：水供給、利用、排水関連技術の応用研究と開発

WP4：構工法技術の応用研究と開発

WP5：安全確保技術の応用研究と開発

WP6：情報システム技術の応用研究と開発

WP7：物資搬入・廃棄物処理技術の応用研究と開発

WP8：室内環境制御技術の応用研究と開発

WP9：宇宙人間工学とデザイン技術の応用研究と開発

初年度（研究期間として平成 15 年 8 月～翌 3 月）は、以下のスケジュールで研究開発を行った。

8 月：WP1 による研究開発の枠組みの確定

8 月～10 月：WP2～9 による宇宙構造物分野における対象技術の詳細な内容に関する情報収集と国際共同研究企画の立案

11 月～2 月：WP2～9 による宇宙構造物分野における対象技術の地球上建築分野での適用性、適用効果に関する評価

2 月～ 3 月：WP1 による研究開発の取りまとめと国際共同研究の実現に向けた各国企業・研究機関との最終調整

### 3. 各参加団体（者）各々の本年度の担当分野及びその内容詳細

#### 3.1 共同研究先・委託先の役割分担

##### 3.1.1 共同研究先の役割分担

- (1) 株式会社 INAX：WP3（水供給、利用、排水関連技術）に係わる日本及び世界の宇宙居住関連及び地上居住技術に関する技術情報の収集、取り纏めを行う。

##### 3.1.2 委託研究先の役割分担

- (1) 東京大学大学院工学系研究科建設学専攻～WP4（構工法技術）、WP9（宇宙人間工学、デザイン技術）等に係わる日本及び世界の宇宙居住及び地上居住関連技術に関する技術情報の収集、取り纏めを行う。
  
- (2) 慶応義塾大学 大学院政策・メディア研究科～WP4（構工法技術）の内モジュール技術、WP7（物資搬入、廃棄物処理技術）等に係わる日本及び世界の宇宙居住及び地上居住関連技術に関する技術情報の収集、取り纏めを行う。

### 4. 本年度の研究実施手法

#### 4.1 本年度の研究実施作業方法

H15 年度では、上記の内「① 地球上の居住施設建設に応用可能な宇宙構造物関連技術の抽出・評価」に関して、技術分野毎に、その応用する技術の詳細な抽出・評価作業、それらを応用した地球上での居住施設建設・運用システムの提案等を行うワークパッケージを設け、参加企業、大学、団体、個人の専門性に応じて分担する。全体の研究開発の枠組みと取りまとめに関しては、横断型の研究開発連絡会を設けて行う。

#### 4.2 研究開発の実施場所

清水建設株式会社 技術研究所：〒135-8530 東京都江東区越中島 3 丁目 4-17



株式会社 INAX：〒479-8588 愛知県常滑市港町 3-77

東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科：〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

## 5. 研究成果の詳細

### 5.1 重点的に実施した事項

宇宙構造物関係で開発・適用されている技術に関して、広範な調査を実施した。その中から、地上建築への技術移転が期待できる技術を抽出し、更に、近い将来において効果的に適用することが可能と考えられる主要な技術を上記の H15 年度研究開発計画に基づき、各ワークパッケージ毎に分担して以下のように選定した。

#### WP2：エネルギー供給、利用技術の応用研究と開発

・再生型燃料電池（月面探査）～将来の月面探査用の夜間電力確保の為に再生型燃料電池システムが開発されてきた。これは太陽電池等の余剰電力を利用し、水の電気分解を行い水素・酸素を発生させ、必要時にこの生成水素・酸素を使用し、燃料電池発電を行う方式である。この技術は近未来において実用化が可能であり、建物単位或いは各階単位での太陽光発電システム等と、各階単位或いは住戸単位で設置される再生型燃料電池を組み合わせることで、飛躍的な炭酸ガス発生抑制を達成することが期待される。

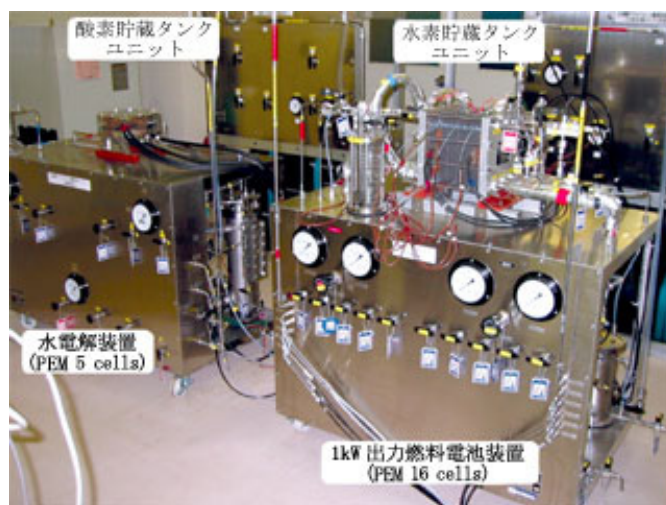


図5.1.1 再生型燃料電池の試作モデル ©JAXA

### WP3：水供給、利用、排水関連技術の応用研究と開発

・植物を用いた生活排水再利用システム（宇宙基地）～将来の宇宙基地に用いる為の植物による水の浄化作用を利用する生活排水再利用システムで、水の使用量、排水量等を大幅に削減することが期待される。

### WP4：構工法技術の応用研究と開発

・設備統合型ドッキング技術（国際宇宙ステーション ISS）～国際宇宙ステーションの建設に於いて、地球から一度に輸送できる構造物の大きさが限られているために、個々の単位構造物毎の自律性が確保できる一方で、単位構造物が相互にドッキングした場合でも、空間、設備両面において新たな単位を構成し得る、等の高度なモジュール化が実現されている。この高度なモジュール化を支える技術群と基本的な設計思想は、超高層集合住宅の問題、殊に高度な設備の新設や更新に関わる困難を克服することに大きく寄与すると考えられる。

・作業環境・作業難易度等に基づくメンテナンス法（ISS）～宇宙構造物の分野は、予め様々な劣化現象や不測の事態を想定した上で、そのそれぞれに対して効率的に対処する方法を計画しておくことが必要であり、そのための計画手法が発達している。このメンテナンスに関する計画手法を応用すれば、超高層集合住宅の LCC はかなり削減できるものと考えられる。

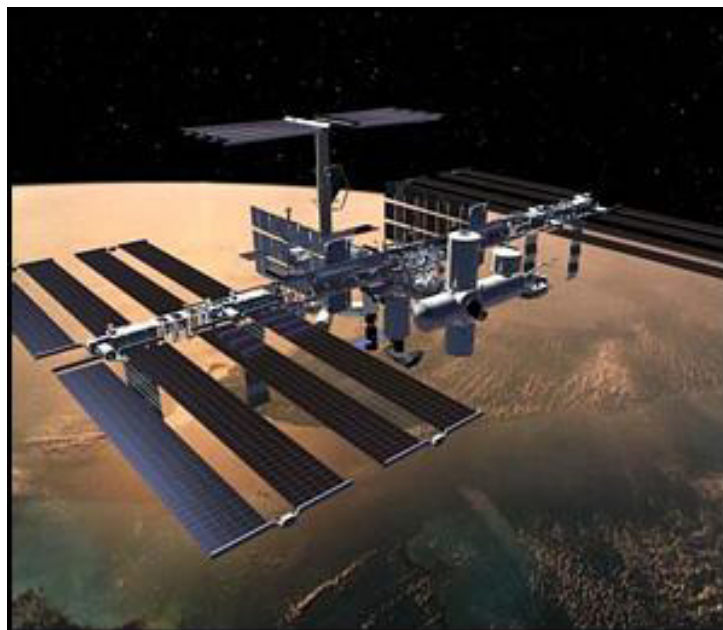


図 5.1.2 国際宇宙ステーション ©JAXA

#### WP5：安全確保技術の応用研究と開発

・危険検知・修理技術体系 FDIR (ISS) ～有人の宇宙構造物では、各部分の劣化や故障が、即座に人命に関わる大事故に繋がる危険が存在する。また、その劣化や故障には当該部分へのアクセスの難易度の大きな違いが存在し、そのことを前提とした周到な安全管理・維持保全システムが実現されている。一般建築よりも厳格な安全管理、維持保全が求められる超高層集合住宅も、宇宙構造物分野で発展している周到な安全管理・維持保全システムの考え方やそれを支える技術群は、大きく貢献するものと考えられる。

#### WP6：情報システム技術の応用研究と開発

・自立式ランデブ・ドッキングシステム (人工衛星など) ～上記「設備統合型ドッキング技術」の一環として、宇宙船や人工衛星で用いられているランデブ・ドッキング技術を用いる。

・宇宙作業用ロボット Robonaut(ISS)～人間の上半身の形をした双腕の作業用ロボットで、国際宇宙ステーションの外部の点検・修理を行う。クレーンやロボットアームの先端に取り付け、遠隔操作や自律機能によって、人間による宇宙船外活動の負荷を低減する。超高層集合住宅では、例えば高層部の施工や外壁のメンテナンスのように、危険な場所での作業が多く発生する。それを軽減するために、現状では足場の設置等、多大な仮設工事費を費やしているが、宇宙作業ロボットが応用できれば、これらを大幅に低減することが可能になる。

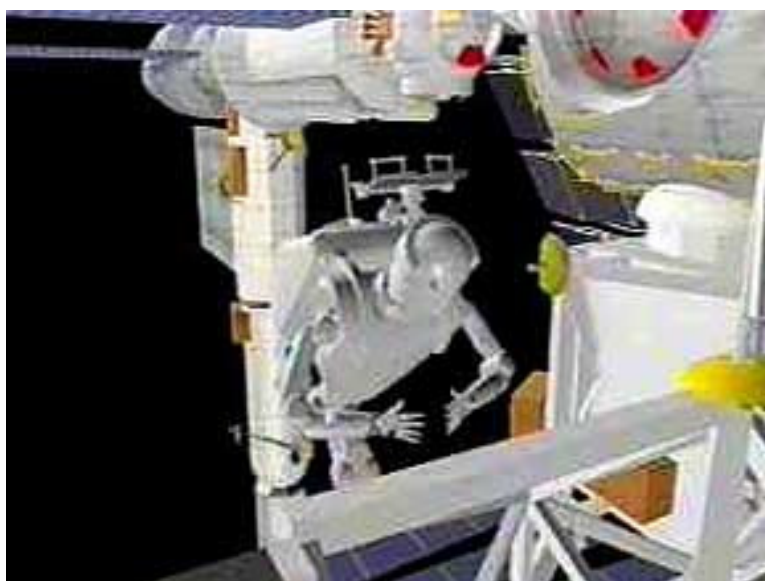


図 5.1.3 Robonaut の想像図 ©NASA

## WP 7/8：廃棄物処理・室内環境制御技術の応用研究と開発

・自己完結型空調システム～インフラ設備のない宇宙空間に居住空間を実現するために、極めて自律性の高い環境制御技術が開発されている。その要素技術としては、酸素発生、二酸化炭素除去、汚染物質除去、気圧調整などがある。これらの技術の中には、必然的に、超高層集合住宅の運営段階における地球環境に対する負荷の削減に大きく寄与する技術が存在する。

上述の技術を適用する建物種類としては、主として以下が考えられる。

- A. 都市のインフラに少なからぬ影響を与える超高層集合住宅
- B. インフラ整備の遅れている地域に立地する研究施設、生産施設
- C. 人口問題を抱える発展途上国等での居住施設

この内、本研究開発では、日本での実現が最も期待されること、また最も多くの技術が適用可能であることから、A.超高層集合住宅を適用対象建物種類として選定した。

### 5.2 本研究開発のシナリオ

有望な技術であるとは言え、単純なシーズン型で既存の超高層集合住宅の建設・運用に取り込むのは、有効な方法とは言い難い。そこで、本研究開発においては、宇宙構造物の分野から移転可能性のある技術の全体像の把握と並行して、現在の超高層集合住宅の問題点に関する検討を行った。その結果、超高層集合住宅は少なくとも100年以上もつということを前提に設計されていない。特に、超高層集合住宅は、他の中層集合住宅に比べて設備への依存度が高く、100年以上という長期間の存続を前提とすれば、その維持・保全、更新には多大なコストがかかる。また、その期間における省エネルギー関連技術等の進展を考慮すると、効果的な設備の更新方法が考えられていない現状の超高層集合住宅は、たちまち陳腐化し、将来、極端にエネルギー効率の悪い居住空間になってしまう恐れがある。一方で、超高層集合住宅の維持・保全、各部更新等の作業は、それが超高層であるがために、通常よりも困難であり、そのことへの対応を容易にする技術が強く求められる。以上のような観点から、新築時のみならず運用時にも幅広く適用できる技術の開発が重要である。

本研究開発では、上記の技術を相互に関係付けながら適用することで、超高層集合住宅

の建設・運営の分野において統合的な効果を上げる方法を提示することを具体的な目標とする。そして、その統合化された全体を「自律分散型居住空間形成・運営システム」と呼ぶこととする。これは、部分的な新設や更新が困難な建物内インフラ設備に、過度に依存している従来の設計思想、技術体系自体が、超高層集合住宅の今後に様々な問題を引き起こす恐れがあるとの認識に基づいたものであり、それらに代わるものとして、部分部分の自律的な環境制御と自在な相互連結性を前提とした新しい超高層集合住宅の設計思想及び技術体系を形作ろうという意図を表している。

## 6. 今後の展開

### 6.1 国際プロジェクトの全体概要

H15年度はカテゴリーCであったが、下記のように次年度以降国際プロジェクトとしての展開を目指した。

### 6.2 研究開発の内容

#### (1) 研究開発計画

本プロジェクトの参加メンバーの多くはAIAA(米国航空宇宙学会)のメンバーであり、欧米の「宇宙建築」関係者との連携を密にとっている。H14年度に同じメンバーが中心となって実施した「IMS プロジェクト創出のための調査研究」において、上記の繋がりを活用し、最終段階としてのカテゴリーA(フルプロジェクト)を目指し、欧米のメーカーや大学と接触を図り、多くの団体から前向きな回答を得ている。これまでに接触した主な団体は、米国航空宇宙局(NASA)エームズ研究所、米国航空宇宙局(NASA)ジョンソン宇宙センター、米国航空宇宙局(NASA)ケネディー宇宙センター、米国航空宇宙局(NASA)マーシャル宇宙飛行センター、プラグインクリエーション社(米国)、ロッキードマーチン社(米国)、ミラノ工科大学(伊)、ミュンヘン工科大学(独)等である。

#### (2) 研究開発分担

日本の本プロジェクトが中心となり、欧米の航空宇宙メーカーや建設会社等と共同でカ

テゴリー A のフルプロジェクトを組織する。

このプロジェクトが国際共同研究に発展することにより、NASA を始めとする米国及び欧州の進んだ宇宙居住分野の技術を日本の産業分野に導入できる。又、欧米の建設会社にはない独立した技術研究機関を持った日本の建設会社は、その独自のインテグレーション能力を活かしてこの様な技術移転を効果的に推進できることから、日本が中心的役割を果たすことが期待される。

### (3) 国際プロジェクトとの関連性

現在はなし。

## 6.3 国際プロジェクト進捗状況

### (1) 前年度までの研究開発概要

今回の申請者である清水建設、委託研究者である東京大学大学院工学系研究科建築学専攻松村研究室、慶応大学大学院政策・メディア研究科池田研究室は、他のメンバーとともに「IMS プロジェクト創出のための調査研究」を、H14 年度に実施し、将来の国際共同研究の実現可能性に関して、海外の企業、大学等研究機関との協議を行った経緯があり、複数の機関から研究開発の主旨への賛同と将来の国際プロジェクトへの参加に対する前向きな反応を得ている。

### (2) 申請年度の研究開発内容

本年度はカテゴリーC での申請であり、国際プロジェクトに関しては、準備作業を行った。上記の欧米組織との間で以下のような国際化推進を実施した。

- ・ 8 月～11 月：メール等によるプロジェクトへの参加要請と各国カウンターパートによる実施体制の可能性検討
- ・ 12～2 月：上記結果を踏まえ、日本側先行プロジェクトの成果等紹介及び次年度の国際プロジェクトの計画策定のための現地訪問。具体的には 1 月に米国 NASA の上記 4 宇宙センター訪問及び 3 月のドイツミュンヘン工科大学等訪問を実施した。

又、IMS 米国事務局とコンタクトを取り、プラグインクリエーション社が、本プロジェクトがカテゴリーA になった時に、米国の代表になることに問題が無いことを確認した。

I M S 国際共同研究プログラム

国内開発研究企画

I M S 0 3 6 3 「宇宙構造物の設計・製造技術の地球建築への効果的な応用に  
関する研究開発」に関する研究成果報告書（要約版）

発行年月日 2004年3月

発 行 者 財団法人 製造科学技術センター

I M S センター

〒105-0002 東京都港区愛宕1-2-2 第9森ビル7F

TEL 03 (5733) 3331

どのような方法であっても、発行者に無断で  
全部もしくは一部の複写・転記載を禁止します。