- 25(2) (1978), pp. 95-106.
- 6) Glazer, B. G.: GPS Receiver Operation, Navigation, 25(2) (1978), pp. 173-178.
- 7) Tanabe, T., Harigae, M. and Koyama, H.: Autonomous GNP-INS-STAR Integrated Navigation System Concept for Maneuvering Spacecraft, IAF-84-375 (1984).
- 8) NASA: Space Station Reference Configuration Description, JSC-19989 (1984).
- 9) NASA-GSFC: Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS) User's Guide Revision 3, STDN No. 101.2 (1978).
- 10) 村田正秋: 全世界測位衛星システム NAVSTAR/GPS, 計測と制御, 21(2) (1982), pp. 49-54.
- 11) Wooden, W. H., Jr. and Teles, J.: The LANDSAT-D/Global Positioning System Experiment, AIAA-80-1678 (1980).
- 12) Kuriki, K., Nagatomo, M. and Obara, H.: Space Energetics and Environment Laboratory (SEEL): Overview of Its Facilities, IAF-84-54 (1984).

—特 集—

スペースステーションの利用とスペースコロニー^{*1}

新 田 慶 治^{*2}

Key Words: Space Station Utilization, Future Technology, CELSS, Closed Mining

1. は じ め に

スペース・ステーション (以下ステーションと略記) 計画も 1984 年のレーガン大統領の年頭教書によって正式にゴーがかかり、次世代の宇宙活動に一步を踏み入れることとなった。この計画はすでによく知られているように、国際協力によって進められることになっており、21 世紀までの活動プログラムを盛り込むことが大きな課題となっている。

1985 年 4 月現在、日米政府間で、ステーション計画参加についての覚書の草案が検討されている模様であるが、本誌が出版される頃には、正式に発効していると思われる。

21 世紀までの宇宙活動をステーション利用計画に盛り込むためには、ステーション計画に続く次の計画

のシナリオがあり、このシナリオを満たすための技術研究開発戦略が盛り込めるような検討が必要である。

わが国の宇宙開発政策は、これまで比較的短期の技術研究開発シナリオに基づいて決められてきており、ステーション計画の次の計画を考慮した上でステーション利用計画を考えるには、あまりにもギャップが大きすぎる。しかしステーション計画に参加するからには、このようなギャップを乗り越えなければ実のある参加とはならないであろう。

このような状況にあるためか、宇宙航行部門委員会から、第 28 回宇宙科学技術連合講演会で、「将来の宇宙科学技術研究開発につながる夢のある話をせよ」とのご託宣があり、「スペースコロニーを目指して」という演題で若干の問題提起を試みた。その要旨を簡単に述べることにする。

2. 日米のナショナルコンセンサスの違い

わが国の宇宙開発は、気象、通信・放送・地球観測などの実用衛星を打ち上げる科学技術庁と、科学観測衛星を打ち上げる文部省との二つの省庁を軸として進められてきた。多額の経費を要することと、公共性が高く、技術開発リスクが大きいということで、わが国では大部分の費用が政府出資によってまかなわれており、その下に宇宙産業界が形成されている。

産業の規模としては第 1 図に示すように、1,200 ～ 1,300 億円程度のものであり、現在低迷が続けている鉱業などに比べても 1/5～1/6 といった小規模のものである。この理由は、これまでの宇宙技術が他の産業に転用しにくいとか、宇宙研究開発の費用対効果

著 者 紹 介

新田 慶治 (正会員)

昭和 9 年生。昭和 33 年早稲田大学第一理工学部応用物理学卒業。同年科学技術庁航空技術研究所入所。現在に至る。航空機飛行実験計測、ロケットの誘導制御技術、宇宙船内環境制御技術等の研究に従事。計測自動制御学会、マイクログラビティ学会各会員。

^{*1} 昭和 59 年 10 月 25 日、第 28 回宇宙科学技術連合講演会にて講演。昭和 60 年 4 月 2 日原稿受理 Space Station Utilization and Space Colony

^{*2} 航空宇宙技術研究所 Keiji NITTA

が、あまり明確にできていないことなどのためなかなか国民的なコンセンサスが得られないところにあると思われる。

第2図に定性的であるが、宇宙研究開発を支える日米のコンセンサスの違いを示す。

米国では、アポロ計画やシャトル開発計画にみられるように、西側のリーダーとしての地位を維持するためには、国家の威信をかけてでも宇宙研究開発を推進しなければならないという考え方が非常に強い（ナショナルプレステージ）。

また、かつては隆盛をきわめた米国の製鉄や自動車産業の地盤沈下にもなう経済力の低下を支えるためには、バーゲーニングパワーとして世界をリードできる航空・宇宙産業の育成が大切であるとの認識がある（総合安全保障）。

また、これまで世界のリーダーとして、他国では、実現しえなかった新しいプロジェクトを実施し、実現してきた。このような新しいプロジェクトを実施するため目的に沿った先端技術が開発され、宇宙以外の産業にも十分な波及効果をもたらしているという認識がある（先端技術開発）。

商業利用についてはすでに企業内のデータ通信と

して実用化されている多数の衛星があり、宇宙での無重力環境を利用し地球上では得られにくい材料精製や薬品製造に関しての企業化なども企画され、米国政府や議会筋もこの動きを援助しようとしている。

一方、これに対し、わが国では、国家威信や総合安全保障のため宇宙研究開発が必要であるという認識は薄い。製鉄や自動車産業のように、貿易摩擦を引き起こすまでに成長し、世界をリードしている分野もあれば、半導体、コンピュータのように、現在日米間でしのぎを削って技術開発競争を行っている分野もある。このような状況の下で、宇宙研究開発で勝負に出る必要が本当にあるのかというのが国民的なコンセンサスであろう。

さらに先端技術開発という観点からみた場合、科学観測など学問分野を除けば、これまで実施されてきた気象・通信・放送などの衛星プロジェクトは、国として実用化するというもので、技術的にみて真新しい分野ではなく、米国や欧州で開発された技術を導入するとか、導入できないものについては自主開発するとか、要求に応じて性能向上のための改良を行うとかして対応してきている。このため、世界的にみて新規のプロジェクトを実施し、そのなかで先端技術の研究開発を実施し、他産業分野にまで波及効果を及ぼしたというような実績に乏しいので、この点での国民的なコンセンサスも低いと考えてもよいであろう。

一方、商業利用については、これまで述べてきた状況とは若干異なるように見える。電々の民営化にともなう衛星通信の商業化など、商業利用に対するコンセンサスは高まりつつある。またシャトルやステーション

第1図 わが国産業界の規模

第2図 宇宙開発に対する日米のコンセンサスの違い

ンを利用し、新材料製造や、医薬品開発を行い企業化しようとする動きも出てきており、商業利用に対するコンセンサスは、相当高いと考えてもさしつかえないだろう。

3. 直面する問題点

2章で述べたように商業利用という一部のコンセンサスを除いては、残念ながら宇宙研究開発に対する国民的支持は薄い。

現在進められつつあるステーションの要素開発に関する参加では、米国がこれに費やす費用の10～15%程度の額を日本が分担することを希望している。米国は1992年度に運用段階となる初期ステーション開発に80億ドル（2兆円程度）の支出を考えており、したがって、2,000～3,000億円の支出をわが国に期待していることになる。すでにわが国としては、国内開発計画として2トン級の静止衛星を打ち上げられる能力をもつ大型ロケット（H-II）の開発に着手しているところであり、国としての財政負担は限度にきているように見える。米国の希望に沿うような形で参加をするためには、宇宙開発関連予算枠を拡げることが必要になるであろう。

予算枠を拡げるためには、これから検討していかなければならない課題がいくつかあるが、いまが絶好の機会かもしれない。すでに述べたように2000年までのステーション利用計画を国際協力で実施しようとしている。米国はステーション計画の後続として月面基地や有人火星飛行計画を明らかに指向しており、この後続計画を実施するのに解決しておかなければならない技術をステーションを利用して宇宙実験を進めることになる。

これまでのわが国の宇宙開発で要求されてきた技術は、どちらかといえば宇宙専用技術であり、他産業への移転はそれほどなかったが、月基地や有人火星飛行計画を実施するためには広範囲の技術内容が要求されることは明らかである。そのためこれらの技術のなかには、他産業に容易に移転できる先端技術が含まれることになる。他産業に移転できるものであれば、当然企業としても先行投資がしやすくなり民間活力の導入が可能となるであろう。従来わが国宇宙産業は最も民間投資の少ない産業であると見なされ、それがゆえに、活力のない産業として国民から大きな支持が得られなかったきらいがある。

当面の問題としては、いかにして先行投資のしやすい先端技術を発掘するかにある。

残念ながら、わが国の宇宙開発シナリオには、このような長期にわたる戦略は記されていない。しかし、

シナリオがないからこそ、21世紀のわが国宇宙産業がどうあるべきかを自由に考え、必要に応じて長期シナリオ作りに参加できるのではないと思われる。

米国が月面基地や火星有人飛行を狙っているのであれば、日本は、太陽発電所やコロニーを狙うほうがよいのか、その場合の産業界のメリット、デメリットは何なのか、米国と国際協力によって月面基地や火星有人飛行を狙うほうが得策なのか、もし得策であるとすればわが国産業界にとって最もメリットのある先端技術開発課題は何なのか、その技術を開発するには、どのような困難があり、どのような対策を講じたらよいのか。また、技術研究開発を実施しそれを検証するには、シャトルを利用したほうがよいのか、ステーションを利用したほうがよいのかなど多くの検討が必要であろう。

幸いにして、ステーション計画参加問題を機に、国公立研究機関や大学などで、幾つかのステーション利用のための研究会が開催されるようになった。一企業でこのような問題を検討することは困難であろうし、また企業を超えた問題の検討も必要になる。できうる限り、国公立研究機関や大学等で開催される研究会に、企業側から積極的に参加し、よりよい長期シナリオを作ることが当面の課題となろう。

4. 社会的要求とステーション利用計画

ステーション利用に関しても、ナショナルプレステージや総合安全保障という観点から国民の支持をえようとするのはむずかしい。商業利用の観点から支持を得るにしても、いずれは企業間の競争となる問題に、国としてどれほど投資できるかが問題となろう。したがって、国としての技術レベルを上げ、その先端宇宙技術で社会的要請に答えていくということが重要になる。シャトル利用でのFMPTの流れや、初期段階のステーション建設では、わが国が実験モジュールの一つを開発するという流れもあり、宇宙での新材料精製や薬品の製造実験といった商業利用につながる利用計画がフィーバーし始めており、当分の間この新しい波は続くであろう。もちろんこの利用計画は、宇宙開発の波及効果を高めるという点からみて重要な分野であることに間違いはない。しかしステーション利用がこれのみに終始することになれば大変危険である。2000年代の世界の宇宙研究開発の形をある幅をもって想定し、これに従った先端宇宙技術の研究をステーションを利用して実施しておかないと、米欧との間にますます大きな格差が生じ、国際協力を求められたとき対応できなくなるであろう。商業利用につながる研究開発と、将来のための先端宇宙技術の研究開発とを、うま

くバランスさせることである。

過去2カ年にわたり、わが国ではステーション利用テーマが公募され、学問別分野に分類され、7分野・38テーマに整理統合されている。

いずれこれからのテーマを基にして、ステーション利用計画が固められていくであろう。

どのような方法で、どのような判断基準にしたがって各テーマが利用計画に組み込まれていくのかは、現在のところ明確にはなっていないが、次の三つの項目は当然考慮されることになろう。

- ① 2000年代のわが国の宇宙開発にキーとなる先端宇宙技術か否か。
- ② 社会的要求を満たす波及効果が期待できるか否か。
- ③ 他産業に技術転移が可能なものか否か。

①については、わが国の技術レベルを国際的レベルに維持し、有利な国際協力を進めていくためには不可欠の要因であろう。

②については、なかなか考えるのがむずかしいかもしれないが、科学技術庁が1976-1977年に実施した「未来技術予測」のデータは参考になろう。これによれば2000年までに、国民が要望している達成すべき技術開発の内容は、第1表のとおりである。宇宙研究開発には、それが国内的なものであっても、国際協力で実施すべきものであっても、多額の経費が必要であり、当然、政府資金を期待するのであれば、国民の要望すなわち社会的要求を満たす技術であることが要求されよう。

③についてはすでにふれているが、宇宙以外の産業にも研究結果が適用可能であれば、研究開発のリスクがそれだけ減ることになるので、民間の先行初期投資が容易となり、民間活力の導入が期待できる。

5. 期待する先端宇宙技術研究の一例

1992年から初期のステーションの運用が開始され、発展段階のステーション開発も2000年には終結することになる。1985年現在から15年間の期間である。この時点で、日米欧の宇宙開発の協力関係がどうなっているかを予測することは、ステーションを利用してどのような先端宇宙技術の研究開発を進めたらよいのかを考えるのに役立つであろう。

現在、商業化を目指して、材料精製や薬剤製造に關して、多数の宇宙実験が進められている。このうち、商業化までに漕ぎつけ、宇宙工場で製造する段階に至るものは、よくいって1~2割程度のものと考えられる。企業内研究所で実施している研究で製品化に至るものは通常1~2割といわれているからである。

第1表 進展する社会技術の実例

技術の実例
国家的セキュリティ、資源貯蔵技術、海外諸国への適応型技術、国防・安全保障技術、技術協力、資源取得システム
土壌復元技術、食料保存技術、人工たんぱく、安全農業、成長抑制剤、養殖システム、酵素利用技術、回収再利用技術、食品加工システム
老人・身障福祉機器、自動診断装置、無人養殖システム、物療機器、新種薬品、人工臓器・器官、義肢、クリーン・ルーム、生体適応材料、リハビリテーション・システム
廃棄物回収・処理、資源化、下水再処理技術、監視システム、汚染センサー（感知用）、クロズド・システム、放射性廃棄物処理、生分解メカニズム
交通制御、パイプ輸送、デュアル・モード技術、無騒音車両、物流センター、パッケージング技術、大型タンカー安全技術、無人改札駅
低廉量産住宅、ユニット化、建物破壊技術、廃却工法、騒音防止技術、災害防止技術、断熱設計、大型架橋、高速道路、河川利用技術

宇宙環境という厳しい条件下でのプロセッシングであり、また、宇宙輸送という高いコストに見合うだけの商品価値のあるものでなければならない。このような条件を考えると、1~2割の歩どまりは高過ぎるかもしれない。いずれにしても企業化に成功したものについては、フリーフライヤを使った宇宙工場がステーションの近傍を飛行し、OMVなどが工場とステーション間をサービスのため行き来しているであろう。一方、米国は、今回のステーション計画にみられるように、月面基地計画を国際協力で進めるため、日本や欧州に参加協力を要請しているにちがいない。月面基地建设には、ステーション計画に要する経費の少なくとも数倍は必要になり、米国内でも現在実現化に疑問をもつ人々はいるが、西側諸国を巻き込んで米国のリーダーシップを維持するためには絶好の対象となるからである。計画が大きくなるだけ、日・欧に期待される分担量も増大することとなろう。

日本がどのような要素を開発することによって参加するのは現在では予想もできないが、多分ここ15年間のステーションを利用して実施される宇宙先端技術の研究、開発によって決まってくると考えられる。産業基盤のそう強くないわが国の宇宙産業にとって、何を選択するかは大きな問題であろう。

他産業を巻き込み、また研究開発成果が、他産業に転用される可能性のある先端宇宙技術に目を向けることが必要であろう。

現在、日本国民が、2000年代の技術開発として何を期待しているかを要約したものが第3図と考えてもよいであろう。このなかには、多数の回収再生利用技

術が含まれている。もともと国土が狭く資源の乏しい日本にとっては必須の技術であり、宇宙の先端技術研究として実施していくことも一つの手段であろう。

月面基地計画やコロニー計画ともなれば、輸送コストの面から、幅広い回収再生利用技術が要求されるようになる。以下、この回収再生利用技術の分野として、二つの研究課題を取り上げてみることにする。

6. 閉鎖系生命維持システム

この関連の研究はすでにステーション利用ミッションのデータシートにも記されており、ステーションの発展段階(2000年頃)には実用化が期待されている技術である。わが国でも、著者らが中心となり、この技術の問題点や、宇宙実験を進める場合の実験計画が検討されてきた。この技術は、宇宙で人間が生活するための物資輸送の問題を軽減させるため、限られた物資を循環させながら、人間が生きていける環境を作り出そうというものである。具体的には、第3図に示すようなシステムを構成し、人間の生理代謝に必要な物質循環を保とうとするものである。人間の必要とする食糧と酸素は、植物・藻類の光合成作用により生産し、一方、人間や動物の排泄物は、化学的に酸化分解し、植物や藻類の肥料を得ようとするものである。またこの酸化分解によって生ずる炭酸ガスと人間・動物が排気する炭酸ガスは、すべて植物や藻類の光合成原料にまわされるようになる。このためにガス循環装置、水浄化再生循環装置、排泄物処理装置などの総合的環境制御装置が必要になり、現在、これらの環境制御装置

をどのように作動させれば、安定に、人間や植物・藻類が生存していけるかの検討が進められている。

人間が1日に必要とする物質は第2表に示すように、約30kgの物質が必要であり、1年間で11トン、10年間では110トンという莫大な量となる。現在のシャトルでは、一飛行当たり、地上に持ち帰ることのできる重量は約15トンであり、輸送量は200億円である(現在は180億円といわれているが、近々200億円に値上げされる)。したがってすべての人間の生活物資を地上から運び、排泄物を持ち帰るとすれば、1人10年間では、 $110 \times 200 / 15 \approx 1,500$ 億円の費用が必要になる。このコスト推定は、あくまで、地球回りの低軌道での値であり、月面基地を考えるならその数倍の値になるであろう。

この閉鎖系の生命維持技術が実用化されれば、初期段階で運び込んだ生活物資だけで、以後は、食糧、酸素、水などを補給することも、排泄物を地上に持ち帰る必要もなくなる。輸送コストの高い月面基地の運用には必須のものとなる。

またこの技術は、宇宙基地や月面基地にとって必要なだけでなく、無菌、無農薬、無肥料の農業が可能となるので地上農業に対するインパクトは非常に大きい。

7. クローズド・マイニング

月面基地を建設するにしても、コロニーを建設するにしても、当然建材が必要となる。どこから建材を調達するかは、建材の製産コストと輸送コストのかね合いで決まる。オニールはスペースコロニー建設のため

第3図 閉鎖生態系システムの概要

第2表 物質平衡			
人間一人当たりの物質平衡 (グラム)			
供給物質		排せつ物質	
食糧	567	大便	68
水		水蒸気	
食糧中の水分	227	汗	803
飲料水	1868	呼吸	349
		水分	
		小便	1,200
シャワー等	25,000	大便	150
酸素	907	シャワー等	25,000
		炭酸ガス	999
合計	28,569	合計	28,569

月資源をL₅点まで運び、そこで建材の製造を行うことを考えたが、月面基地建設にも同様のことがいえよう。月面基地が小型のものであれば地球から建材を調達したほうが安い、月面基地を大型化するためには、現地調達ができればそれだけ有利となる。

月面の土や岩石の組成、成分はすでにアポロ計画で明らかにされている。第4図にその結果を示すが、アルミ、チタン、珪素など建材を作るために必要な鉱物資源は酸化物の形で大量に存在していることがわかる。

問題はいかに精錬するかであり、現在のところわが国で検討を進めているとは聞いていないので、米国での検討例を簡単に示しておく。

7.1 チタンの精錬 月面のチタンはFeTiO₃の形で存在しており、磁化されている。機械的、磁気的選鉱によりFeTiO₃を取り出す。1,273°Cで水素処理をし、TiO₂を生成させ、硫酸でFeを追い出す。次に炭素と混合し700°Cで塩素ガスを反応させTiCl₄を得る。その後2,000°Cに加熱しMgを投入し脱塩素化し溶融チタンを得る(第5図参照)。

7.2 アルミの精錬 月面のアルミはブラジオクレーズと呼ばれる複雑な組成をしており、これまでのアルミ精錬法では経済的に精製することがむずかしく、米国鉱山局で特別の検討が加えられた。それによると、鉱石を砕き1,700°Cで加熱溶解し、水で100°Cまで冷却し、多孔質の固りを作り再び砕石する。これに100°Cの硫酸を加えアルミを浸出させ、遠心分離法やフィルタで珪化物を取り除く。次にNaSO₄を加えオートクレーブで200°Cに加熱しNaSO₄・3Al₂O₃・4SO₄・9H₂Oを得る。これを900°Cで熱分解しアルミナと硫酸ナトリウムの混合物にする。その後硫酸ナトリウムを洗い流し乾燥させ、炭素と混合し加熱しながら塩素ガスを反応させ、塩化アルミを得る。これを電気分解し純アルミを得る(第6図参照)。

7.3 ガラスの精製 通常のガラスは71~73%の酸化珪素、12~14%のソーダ、12~14%の酸化カルシウムからなっている。月の土には40~50%の酸化珪素が含まれていることは第5図からもわかるであろう。月で作るガラスは珪素ガラスが主なものとなる。精製法としては月の土に必要なに応じ微量の添加物に加え、硫酸で不用成分を溶出させた後、1,500~1,700°Cで溶解し、圧延冷却すればよい。

以上、米国の例にみられるように月鉱石からの建材精製の研究はまだ初歩的なものであり、月面基地建設のための実用化レベルには至ってはいない。これらの精錬プロセスでは、水素、硫酸、炭素、塩素など地上では容易に得られるが、月には存在しない物質が必要になる。これらの物質を回収再生し再使用できるようにしなければ、経済的に月面で建材を調達することは不可能であろう。このクローズド・マイニング技術は、大型月面基地やコロニー建設にとって不可欠のものとなるだけでなく、低迷を続ける地上の鉱業にも大きな

第4図 月の岩石および土壌分析結果

第5図 チタンの精錬過程

第6図 アルミの精錬過程

インパクトを与えるであろう。

8. おわりに

ステーション計画参加の問題は、わが国の宇宙研究開発の流れに大きなインパクトを与えつつある。これまで国内計画が主で行われてきたわが国の宇宙開発も国際的なレベルで実施せざるをえない状況にいたったと見るべきであろう。ステーション計画に参加することは、後続の米欧の計画にも参加することを意味する。一方ではわが国の宇宙産業は規模も小さく、かつ旧来の国内宇宙開発計画にのみ存在してきた体質が濃

厚であり、このような新しい流れに適合するには、いささかの時間を要すると思われる。できるだけ早く適合するためには、宇宙産業の現状認識と2000年代の国際的な宇宙研究開発の流れを把握することが重要と思われる。このような理由から、独断と若干の偏見を含めて、今後重要になるとと思われる宇宙新技術についてふれてみた。ここで述べた話はすべて宇宙技術だけに限定したものであり、宇宙科学の研究という点からはまったく別の考え方があるであろう。残念ながら著者の能力外の問題である。

一特 集一

宇宙におけるエネルギー利用の展開^{*1}

長 友 信 人^{*2}

Key Words: Space Industrialization, Space Station, Energy

1. 序 文

エネルギー利用の歴史は人類の歴史の有力な側面である。

空気と大地、そしてそこにそそぐ日光の恩恵をうけて人類はエネルギーに関しては差し迫った危機もなく長い歴史を歩んできた。この間、人が簡単に制御できるエネルギーは物を燃やして得られる熱エネルギーと、水の流れや動物などを利用した機械的なエネルギーだけであった。

熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する方法として熱サイクルエンジンが発明されたためにエネルギ

ーの需要は急速に高まって、いわゆる産業革命が起こり交通手段によって人類は機動性をもった動物となった。

電気エネルギーの発明と利用によってこの傾向はいちだんと急速に加速され、今日のあらゆる先端技術分野の基礎ができた。原子力エネルギーの開発は遂に空気中の酸素に依存しないエネルギー源を作り出し、さらに人工の太陽といわれる制御された核融合反応を目指している所である。

この急激な変化が起こったのは最近のわずか200年余りの短期間であり、原子力が確実な熱源として利用されるようになったのは30年前のことである。そしてこの間に人間は宇宙飛行技術を一通りマスターして月を探検してきたのである。

このような大きな流れの中で見ると、人類は宇宙技術を現在の通信・観測のような情報の分野だけではなく、エネルギーと資源の分野にも応用していくと予想される。その未来像はピーター・グレイザーによる太陽発電衛星¹⁾や、ジェラルド・オニールのスペース・コロニー²⁾によって描き出されている。

ここではこの大きな流れの示す将来を受け容れ、これを現在とどう結びつけたらいいのか？という観点から一つの見方を示そうと思う。

著者紹介

長友 信人 (正会員)

昭和12年生。昭和35年東京大学工学部航空学科卒業。昭和40年同大学院博士課程修了。昭和42年工博。昭和47年東大助教授宇宙航空研究所。昭和56年宇宙科学研究所教授(宇宙エネルギー工学)。現在に至る。宇宙ロケット推進、環境シミュレータ、宇宙エネルギーシステム等の研究に従事。

^{*1} 昭和59年10月25日、第28回宇宙科学技術連合講演会にて講演。昭和60年5月11日原稿受理 Evolution of Space Energy Utilization

^{*2} 宇宙科学研究所 Makoto NAGATOMO

2. 宇宙動力の需要予測

宇宙飛行技術のなかで宇宙用電源は重要なサブシス