

スタートアップが導く光の時代： ハイパワーレーザー技術を 活用した宇宙産業の展開



EX-Fusion
代表取締役社長
松尾 一輝

1. ハイパワーレーザー：エネルギー変換技術の進化と宇宙産業への応用

ハイパワーレーザーは、きわめて高いエネルギーをもったレーザービームを発生させる技術です。このレーザーは、短いパルスで非常に大きなエネルギーを放出することが特徴で、科学研究、産業加工、医療、そして最近では宇宙産業においても重要な役割を果たしています。ハイパワーレーザーの技術的な進歩により、非接触で物質を加工したり、遠距離からの精密測定が可能になったりするなど、多岐にわたる応用が展開されています。

2. レーザー溶接と月面建造：宇宙に人が住む時代に向けて

月面での建造活動において、ハイパワーレーザー技術は中心的な役割を担っています。レーザーを用いて月のレガリス（月の表面の砂や岩石からなる細かな粒子）を溶融し、固化させることにより、持続可能な建造物を作り出すプロセスは、地球外での人類の恒久的な居住可能性を広げる鍵となります。この技術が宇宙構築においてどのように利用されているかを掘り下げます。

3. レーザーによる宇宙デブリの捕捉除去：安全で持続可能な宇宙利用のために

宇宙デブリは、使われなくなった衛星やロケットの破片など、軌道上に存在する多くの物体です。これが増え続けることは、新たな宇宙ミッションにとって大きなリスクをもたらします。ハイパワーレーザー技術は、この宇宙デブリを安全に除去するための有望な

手段として注目されています。強力なレーザービームをデブリに照射することで、その軌道を変えることが可能です。この技術により、宇宙空間をより安全で持続可能な場所へと変えることができるのです。

4. レーザー核融合ロケットと宇宙探査：より遠くへ、宇宙探査の可能性を広げる

レーザー核融合は、強力なレーザーを用いて軽い原子核を高温高压状態で融合させ、莫大なエネルギーを生成する技術です。このプロセスは、クリーンで効率的なエネルギー源として地球上でのエネルギー問題を解決する可能性を秘めています。特に、レーザー核融合を利用した宇宙船の推進システム（レーザー核融合ロケット）は、従来のロケット技術に比べてはるかに効率的で、遠い宇宙への旅も現実的なものに変えるかもしれません。レーザー核融合によって生成されたエネルギーを推進力として使用することで、宇宙探査の新時代が開かれることでしょう。

5. 事業化への課題と戦略的アプローチの必要性

ハイパワーレーザー技術の事業化には、技術的、経済的、規制上の多くの課題が伴います。特に、EX-Fusionという国内のスタートアップから見た事業化への課題について述べます。

概要

この記事では、EX-Fusionの有するハイパワーレーザー技術がいかにして宇宙産業を形作り、拡張しうる可能性があるかを探ります。技術の進化から、月面での建造技術、宇宙デブリの捕捉除去、さらにはレーザー核融合ロケットによる宇宙探査まで、広範な応用と今後の事業展開の可能性について詳述します。

ハイパワーレーザー：エネルギー変換技術の進化と宇宙産業への応用

人類の歴史は、ある意味でエネルギー変換技術の歴史ともいえます。火の発見に始まり、熱の利用、蒸気エンジンの革命的な登場、そして電気の普及によって、私たちの社会は劇的な変化を遂げてきました。これらの技術進化は、力学的なものから電磁的なエネルギーへと移行し、現代では技術の発展とともに、光エネルギーの扱いが技術革新の最前線に立つようになりました。光は、その速度と汎用性の高さから、照明やセンサーなど、私たちの現代生活に欠くことのできないものとしてあらゆる場面で利用されています。本稿では、人類がこれまでに制御したなかで最も強力な光の形態として際立っている存在となるEX-Fusionの有するハイパワーレーザー技術について、その宇宙分野での応用を概説します。ハイパワーレーザーはエネルギーを光という形で束ね、一点に集中させることにより光で物体に熱や圧力を加える応用が可能です。

レーザーとは「光の誘導放出による増幅」を意味し、特定の媒質にエネルギーを供給して励起させ、その結果として放出される光を増幅させる技術です。レーザー光の特有の性質、つまりその単色性や指向性により、精密加工から医療、通信に至るまで幅広い応用が実現しています。ハイパワーレーザーは、初期のルビーレーザーから進化を遂げ、固体、ガス、半導体レーザーといった多様な形態が登場し、出力や効率の面で大幅な改良が施されてきました。

ハイパワーレーザーの応用に際して重要なパラメーターには、波長、パルス幅、ピーク出力、平均出力などがあります。これらはレーザーの用途に応じて最適化され、たとえば短いパルス幅をもつレーザーは、材料の精密加工や医療応用での細やかな作業にも適しています。ピーク出力が高いレーザーは、非常に短い時間で高エネルギーを提供できるため、より速度を重視したような加工での利用にも有用です。

ハイパワーレーザー技術の進化は、宇宙建築、宇宙

探査、および宇宙状況監視といった宇宙分野でも大きな期待を集めています。特に注目されているのは、レーザー核融合ロケットの開発です。この技術では、強力なレーザーを使用して核融合反応を誘発し、大量のエネルギーを生成します。これにより、従来の化学燃料を使用したロケットよりもはるかに高い効率で宇宙船を推進することが可能です。レーザー核融合ロケットは、その高出力と効率のよさから、火星やその他の遠隔地への有人探査ミッションでの旅行時間の大幅な短縮と持続可能なエネルギー供給が期待されています。さらに、EX-Fusionの有するハイパワーレーザー技術は宇宙デブリの除去という新たな課題に対しても解決策を提供しています。宇宙空間を漂う廃棄された衛星やロケットの破片は、現在および将来の宇宙ミッションにとって大きなリスクとなっています。ハイパワーレーザーを使用することで、これらのデブリに微細な衝撃を与え、その軌道を変更することが可能です。これにより、デブリを安全な軌道へ移動させ、衝突リスクを減らし、より安全な宇宙環境の維持に貢献します。また、ハイパワーレーザーは地球外天体の採掘技術に革命をもたらす可能性があります。小惑星や月の表面に豊富に存在する鉱物資源を、レーザーを用いて効率よく採掘し、地球への回送をせずにその場で建造材料や燃料として利用する技術が検討されています。この技術が成熟すれば、地球の資源を節約し、持続可能な宇宙開発が実現可能になるでしょう。

これらの進歩は、EX-Fusionの有するハイパワーレーザー技術が宇宙探査の新たな可能性を切り開き、人類の宇宙活動の範囲を大幅に拡大することを示唆しています。レーザーによるエネルギー変換技術の進化は、宇宙での活動をより効率的かつ持続可能なものに変えることで、未来の宇宙産業の発展に不可欠な基盤を築くことに寄与するでしょう。

レーザー溶接と月面建造：宇宙に人が住む時代に向けて

宇宙開発の新たなフロンティアとして、EX-Fusionのハイパワーレーザー技術を利用した月面での建造物の構築が注目されています。月の環境は地球と大きく異なり、大気がなく、厳しい温度変動があるため、通常の建築材料や方法では対応が困難です。ここで、ハイパワーレーザーの応用が革新的な可能性をもちます。

月面のレガリスを利用した建造技術は、持続可能な宇宙活動の基盤を築く鍵となります。ハイパワーレー

レーザーを用いて、このレガリスを直接溶融し、固化させることで構造物を形成する方法が研究されています。このプロセスでは、レーザーが高エネルギー密度を利用して局所的に材料を溶融し、瞬時に冷却することで固体の壁や支持構造を作り出します。この技術は、特に熱影響ゾーンが小さく、周囲の未加工のレガリスに損傷を与えず、高精度での建造が可能です。また、地球から建材を運ぶ必要がないため、コストとエネルギーの大幅な削減が見込まれます。

さらにEX-Fusionのハイパワーレーザー技術は、3Dプリンティング技術、特に選択的レーザー溶解(SLS)技術と組み合わせられ、月面基地の構築に革命をもたらす可能性があります。このプロセスでは、レーザーが粉末状のレガリスを層ごとに溶融・固化させ、複雑な形状の建造物を精密に製造します。これにより、設計の自由度が大幅に増加し、月面でのさまざまな機能をもつ施設の建設が可能になります。

月面での建造活動は、地球の資源を消費することなく、宇宙環境に適した自給自足型の生活基盤を提供することを目指しています。レーザー技術は、その高いエネルギー効率と低い環境負荷で、この目標達成に不可欠です。さらに、レーザー加工に必要なエネルギーは太陽光を利用しても供給することができるため、持続可能なエネルギーソリューションとしても機能します。このように、ハイパワーレーザー技術は月面での持続可能な基地建設を現実のものとするための重要な技術であり、未来の宇宙構築において中心的な役割を果たすことが期待されています。これらの技術革新が進むにつれて、人類の宇宙での恒久的な居住の可能性がますます広がるでしょう。

写真：レーザー加工の様子



レーザーによる宇宙デブリの捕捉除去：安全で持続可能な宇宙利用のために

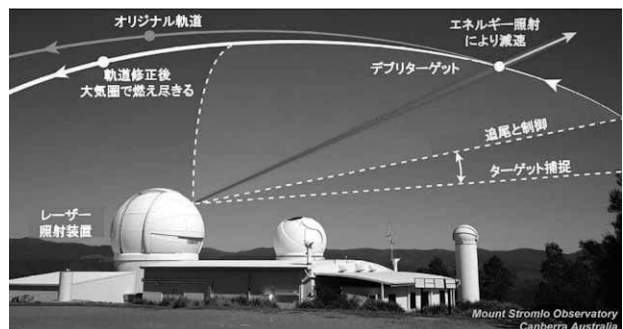
現代の宇宙探査は、人類にとって未知の領域への突入という興奮とともに、新たな課題をもたらしています。そのひとつが、宇宙空間に漂うデブリ、つまり宇宙ゴミの問題です。この宇宙デブリは、宇宙探査機や人工衛星に重大な損傷を与える可能性をもち、宇宙の持続可能性に深刻な影響を及ぼす恐れがあります。そこで注目されるのが、EX-Fusionのハイパワーレーザー技術を用いた宇宙デブリの除去技術です。

この技術は、ハイパワーパルスレーザーを使用して宇宙デブリからの反射光を計測し、デブリの位置や軌道を正確に捕捉します。その後、デブリに向けて短時間の高エネルギーを照射し、微小な推進力を与えます。この微細な力が重要な役割を果たし、デブリの軌道を徐々に変更し、最終的には地球の大気圏へと誘導します。大気圏に入ると、デブリは摩擦熱により燃え尽き、人工の流れ星になることで宇宙空間の安全性を確保することが可能になります。

この技術の最大の利点は、物理的な接触を必要としないことです。従来のデブリ除去方法と比較して、リスクが著しく低減され、より効率的かつ安全に実施することが可能です。また、レーザーの照射を制御することで、複数のデブリに対して同時に、あるいは順序立てて対応することができます。これは、宇宙空間に散乱する無数のデブリに対処する際に非常に有効な手段といえます。

さらに、EX-Fusionのこの技術は宇宙の持続可能性への取り組みにおいても重要な役割を果たします。宇宙デブリの問題は単なる物理的な障害に留まらず、将来の宇宙探査や衛星通信の安全性を脅かすものとなっています。EX-Fusionのハイパワーレーザーによる除去技術は、これらのリスクを軽減し、安全かつ効果的な宇宙活動の基盤を築くことに貢献することで

写真：宇宙デブリの捕捉除去について



しょう。

総じて、ハイパワーレーザーによる宇宙デブリの捕捉除去は、宇宙の安全保障および持続可能性に向けた新たな道を切り開いています。この技術は、人類が宇宙をより深く、より安全に探索するための重要なステップとなるでしょう。今後の技術開発と実用化の進展により、宇宙探査の新たな時代が開けることに期待が高まっています

レーザー核融合ロケットと宇宙探査：より遠くへ、宇宙探査の可能性を広げる

NASAを中心に進行するアルテミス計画は、有人火星探査の前段階として月探査を計画していますが、現在のロケット技術では火星往復に1年以上を要し、長期間の閉鎖空間での滞在は宇宙飛行士に重大な精神的および肉体的影響を及ぼすため、より効率的な推進技術の開発が求められています。この問題への有効な解決策として、EX-Fusionのハイパワーレーザー技術に応用したレーザー核融合ロケット技術が注目を集めています。

レーザー核融合は、強力なレーザーを用いて軽い原子核を高温高压状態で融合させ、莫大なエネルギーを生成する技術です。このプロセスは、クリーンで効率的なエネルギー源として地球上でのエネルギー問題を解決する可能性を秘めています。宇宙産業においても革新的な応用が考えられます。特に、レーザー核融合を利用した宇宙船の推進システム（レーザー核融合ロケット）は、従来のロケット技術に比べてはるかに効率的で、遠い宇宙への旅も現実的なものに変えるかもしれません。レーザー核融合によって生成されたエネルギーを推進力として使用することで、宇宙探査の新たな時代が開かれると期待されています。

レーザー核融合ロケットは、核融合反応を利用して大量のエネルギーを生成し、そのエネルギーを効率的に推進力に変換します。使用される燃料は、主に水素の同位体である重水素と三重水素で、これらをレーザーで加熱・圧縮して核融合を促進します。このプロセスで発生する高温のプラズマは、物理的な固体壁ではなく、磁場を用いて閉じ込められ、磁気圧によって特定の方向に排出されることで推進力を得ます。この方式により、単位質量あたりで従来のロケット燃料と比較して約7桁大きいエネルギーを発生させることが可能です。結果として、レーザー核融合ロケットは、非常に高い排出速度と低燃費を同時に実現し、劇的に飛行時間を短縮することができます。具体的には、従

来の化学ロケットで予想される4万トンの燃料を要する火星往復が、わずか240トンの燃料、片道90日での火星往復が実現可能となります。

このレーザー核融合ロケットの開発は、宇宙探査のみならず、小惑星からのレアメタル採掘など新たな資源確保の方法としても大きな可能性を秘めています。また、これにより人類の活動範囲は火星を超え、木星の衛星エウロパまで拡大することが期待されています。この技術の成功は、人類の現実的な宇宙探査方法を確立し、新たなコスモポリタニズムへと道を開くことにもつながるかもしれません。

事業化への課題と戦略的アプローチの必要性

EX-Fusionの有するハイパワーレーザー技術の応用は、月面建造、宇宙デブリの捕捉除去、レーザー核融合ロケットなど、宇宙分野で革新的な解決策を提供する可能性がある一方で、事業化に向けては技術的成熟度の確保、経済的実現可能性の検証、および適切な法的枠組みの整備という共通の課題に直面しています。

技術的成熟度の面では、レーザー技術は非常に高度な技術であり、特に宇宙での応用では、きわめて厳しい条件下での高性能が求められます。宇宙での利用には、厳しい環境条件（真空、極低温、放射線など）での高性能が求められるため、各アプリケーションにおいては環境の違いへの適応能力が特に重要です。たとえば、レーザーを用いた月面材料の溶接や加工においては、真空中での熱伝導や反射率が地球上の条件と異なるため、これに適した設計と調整が必須です。また、レーザー核融合ロケットにおいては、高エネルギー核融合反応を安定して制御するための技術開発が重要な課題となっています。

このような技術的ハードルを乗り越えるためには、地上での実績を積みながら技術を磨いていく段階的なアプローチが効果的です。具体的には、すでに市場が形成されているレーザー加工技術を月面建造技術に応用することや、宇宙デブリの捕捉除去においてはレーザー測距技術を活用するなど、地上での実用化を通じて技術的成熟度を高め、実績と信頼性を構築することが重要です。これにより、宇宙空間におけるさらに高度な応用に向けた強固な技術基盤を築くことができます。

この段階的なアプローチは、新しい技術のリスクを低減し、実用化への道をより確実なものにします。地上での応用から始めることで、技術の確実性を高め、その後の宇宙での応用に向けた投資や開発がより合理

的な基盤の上に進められるようになります。このプロセスを通じて、宇宙産業におけるレーザー技術の事業化が現実のものとなり、新たな市場の創出と宇宙探査の拡大に寄与することが期待されています。

また宇宙産業でのレーザー技術の応用は、特に初期段階で巨額の投資を要求します。これらの初期投資を正当化するためには、スタートアップ企業と既存の大企業間の戦略的な連携が非常に効果的です。このような連携により、イノベーションの促進が期待されると同時に、リスクの分散が可能となります。スタートアップが新しいアイデアや革新的な技術をもたらし、大企業がそのアイデアを市場に適應させるための資金力や経験を提供することで、双方が互いの強みを活かすことができます。これにより、技術開発が加速され、経済的な実現可能性が向上する可能性があります。

宇宙活動は国際法や複数の国の法律によって規制されています。レーザー技術の応用は、新たな法的課題を引き起こす可能性があります。たとえば、レーザーによる宇宙デブリ除去は、デブリを所有する国の許可や国際協調が必要です。これらの技術が国際社会に広く受け入れられるためには、透明性を保ちながら効果的な国際的なガイドラインと規制の枠組みを確立することが不可欠です。

このように、EX-Fusionのレーザー技術の宇宙産業への応用は、技術的な課題の克服、経済的なビジネスモデルの確立、そして国際的な法的枠組みの整備を通じて、新たな市場の創出と宇宙産業の持続可能な発展を目指す必要があります。これらの戦略的アプローチがうまく実行されれば、レーザー技術は宇宙探査の新たな可能性を切り開き、人類の宇宙活動の範囲を大幅に拡大することに貢献するでしょう。

(筆者略歴)

松尾 一輝 (まつお・かずき)

EX-Fusion CEO 代表取締役社長

2020年大阪大学大学院理学研究科修了、物理学博士号取得。

在学中に同大レーザー科学研究所の藤岡慎介教授の指導のもと、高速点火方式の核融合プラズマ加熱の研究に取り組み、レーザー核融合の実現に貢献した。

カリフォルニア大学サンディエゴ校での勤務を経て、帰国後の2021年にEX-Fusionを設立。

写真 EX-Fusionが開発している技術実証実験用のレーザー核融合炉

