

防衛装備庁技術シンポジウム

レーザー推進による衛星の運動制御の ための宇宙用レーザーの開発

国立研究開発法人理化学研究所
光量子工学センター 光量子制御技術開発チーム

チームディレクター 和田智之

2025年11月11日

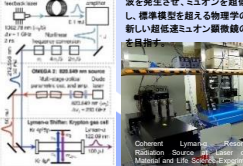
光量子制御技術開発チーム

光量子

コヒーレントライマン α 共鳴放射

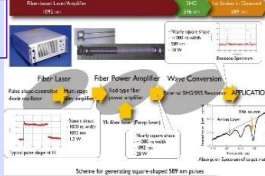
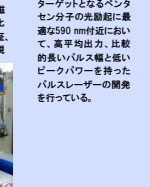
素粒子の光量子化: 物質創成の探求

画期的な素粒子プロセスの実現に向けて



陽子偏極励起用 589 nm レーザー

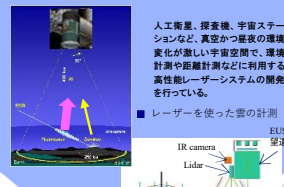
ターゲットとなるペタ電子分子の光励起に最適な 589 nm 付近において、高出力、比較的高いピークパワーを持ったパルスレーザーの開発を行っている。



宇宙

衛星・ISS搭載用高機能レーザー

EUSO プロジェクト



エネルギー

革新的エネルギー利用のための
高効率太陽光励起レーザー



環境

ナトリウムライダー

地球と宇宙の界面に生じる太陽起因のダイナミクス



中赤外電子波長可変レーザーを用いた化学剤の遠隔検出

地球外領域に存在する化学剤の吸収スペクトルに調和させた波長の赤外光を射出し、その散乱光を検出することで化学剤の同定、濃度計測を行う。



中赤外波長可変レーザーを用いた極微量ガス成分計測

自動車の排気ガス、大気、火山活動などの環境汚染物質の計測

疾患を早期に発見する呼吸器診断

災害時に互いに離れた生存者を迅速に発見する呼吸器診断

計画

低エミッションエンジン開発時の燃焼ガスモニタリング

半導体プロセスガスの濃度制御、クリーンルームモニタ

環境汚染物質の濃度測定

中赤外波長可変レーザー

マルチパスセル

自動車の排気ガス、大気、火山活動などの環境汚染物質の計測

疾患を早期に発見する呼吸器診断

災害時に互いに離れた生存者を迅速に発見する呼吸器診断

計画

低エミッションエンジン開発時の燃焼ガスモニタリング

半導体プロセスガスの濃度制御、クリーンルームモニタ

環境汚染物質の濃度測定

中赤外波長可変レーザー

マルチパスセル

インフラ

トンネル内壁の非接触・高精度形状計測技術及び高速表面欠陥検出技術

社会インフラ老朽化による事故を未然に防ぐレーザー誘起音響測

定基盤

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

産業等を用いたレーザーを用いた形状計測技術

材料科学

材料育成法の探求

フローティングゾーン結晶育成法

フローティングゾーン法 従来法

るつぼを使用する必要がある

育成雰囲気に制限がない

材料の不純物として混入

均質結晶の実現

材料の不純物

Furnace for the FZ Method

Seed Crystal

Melting Zone (Floating Zone)

Feed Rod

Grown Crystal

Halogen Lamp (Infrared Light)

新しいレーザー媒質・非線形光学結晶

A-axis

Nd: YAG

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

1.06

光制御

光源基本要素

固体レーザー

ファイバーレーザー

半導体レーザー

非線形光学結晶

Laser guide star adaptive optics

Subaru telescope on the summit of Mt. Mauna Kea in Hawaii

Fiber laser technology

構成・要素技術

新しい光学材料の導入

共振器設計

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

波長精密制御

時間変形・光パルス制御

出力エネルギー・出力パワー

繰り返し速度

波面・ビームプロファイル

制御項目

基幹要素

新しいコヒーレント光源と光計測法の提案と実現

自然科学研究・科学応用のブレークスルー

農業

電子制御波長可変レーザーを用いた糖度の非破壊計測

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

農業等を用いたレーザーを用いた糖度計測技術

次世代歯科治療用レーザー

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

2.94 μ m近赤外の波長で歯肉を切除する中赤外レーザーは水や生体組織に高い吸収を持つため、歯科治療に有効なレーザーである。我々は、次世代に歯科治療に必要とされる新しいレーザーの開発、レーザーの出力パラメータの最適化に伴う治療効果の向上の科学的検証を進めている。

ヒト呼吸成分の微量分析システム

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

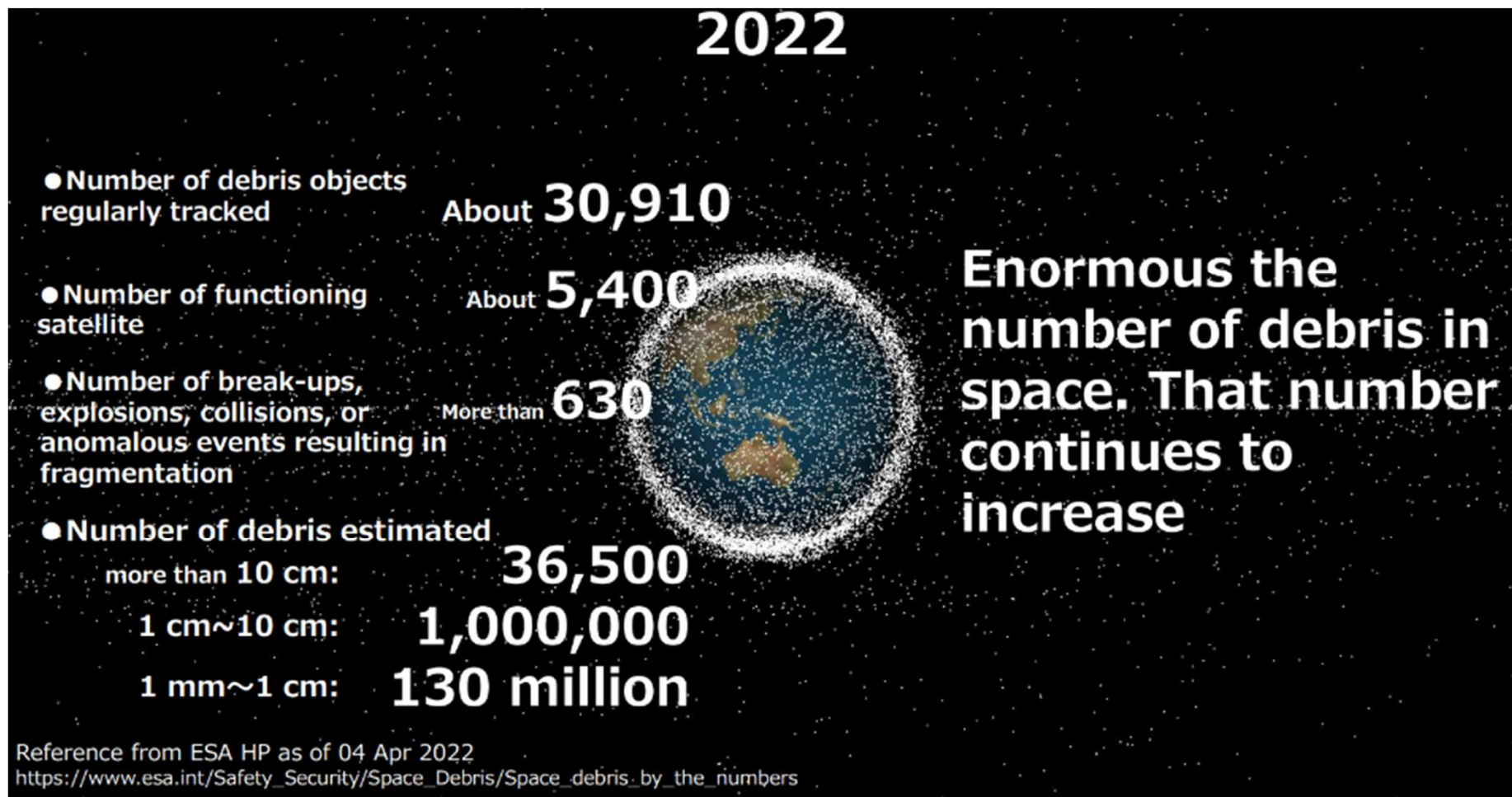
ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

ヒトの呼吸中の揮発性有機化合物の成分と疾患の間には因果関係があることが見出されている。我々は、呼吸中のガス成分をモニタリングし健康状態を診断する装置を開発している。

宇宙デブリの脅威



5G, 6G, GPSといった経済活動に伴う衛星が急増する

これまで提案されている方式

機械的方法による捕獲

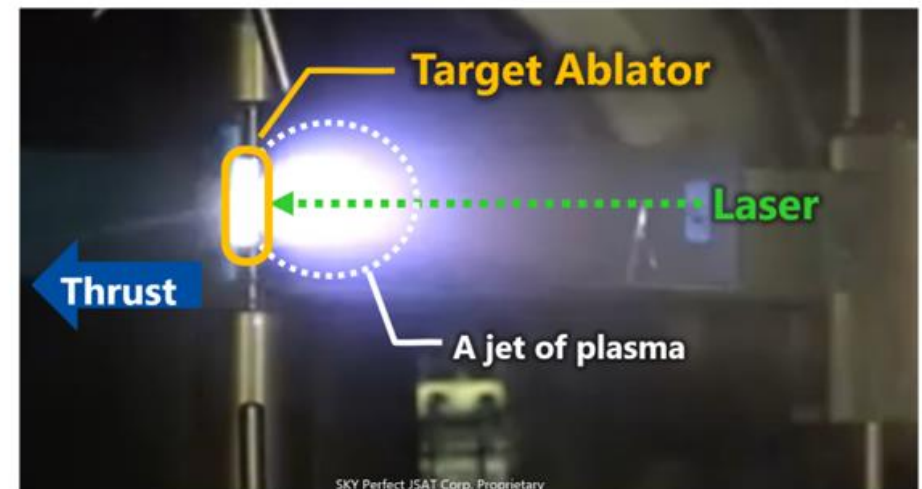
詳細：

- ・ ロボットアームによる方式（米国、欧州）
- ・ 実用的なネットによる方式（欧州）
- ・ ハープーンによる方式（欧州）
- ・ 磁石による方式（日本）

捕獲された衛星は高度を下げ、
大気圏に突入して処分される。

非接触方式（本提案）

レーザーアブレーションにより生じる反作用インパルスを利用して、デブリの速度を制御し、軌道を変更する。



本手法の利点は 非接触 であること。

レーザーアブレーション法の特徴

①高い安全性

- ・ 物理的接触を伴わずに、機能を失った衛星の速度を低下させることができる。

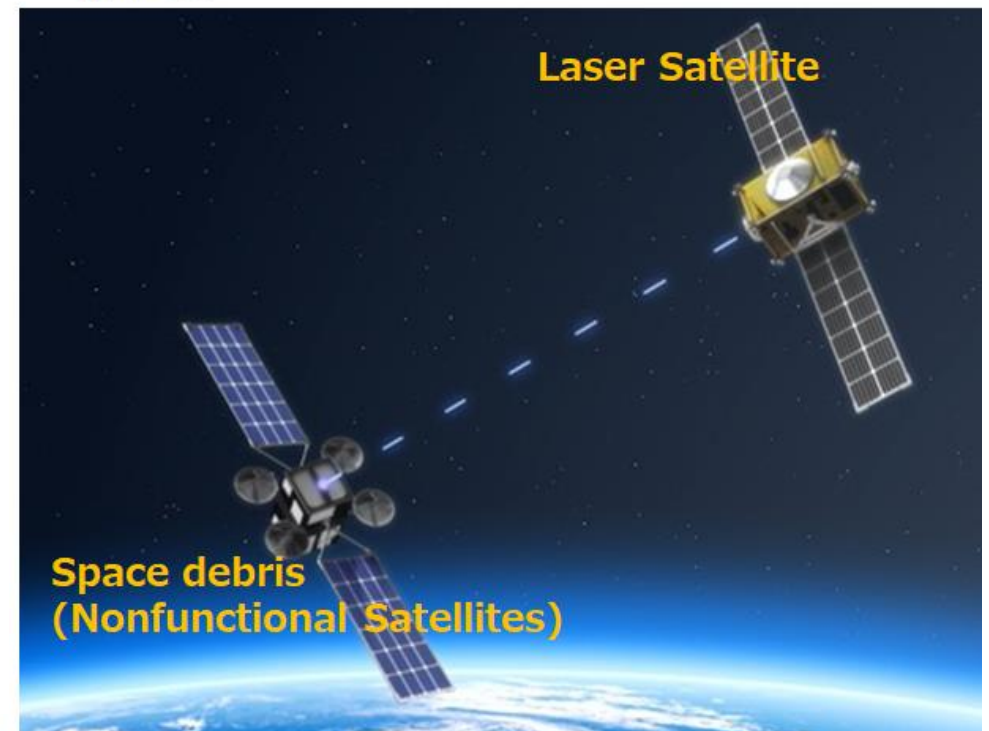
②適応性

- ・ 照射位置とタイミングを選択することで、目標物の回転を停止させることができる。

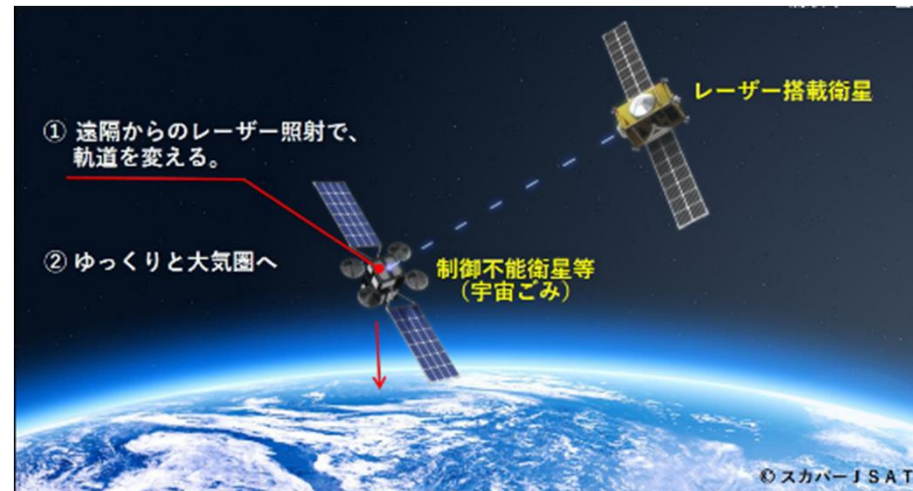
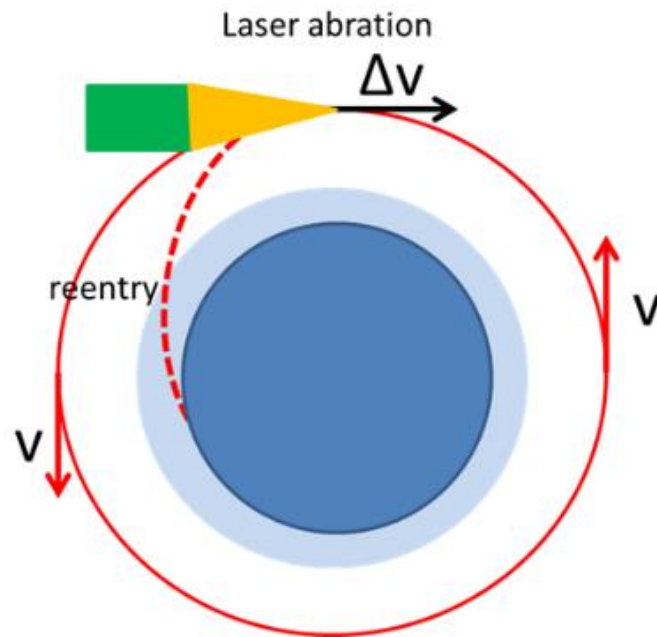
③高い経済性

- ・ レーザー衛星は、機能を失った衛星に対応するための追加燃料を搭載する必要がない。
- ・ 顧客の衛星に、把持用ハンドルなど特別な追加仕様を設ける必要がない

デブリの高度が下がるのに合わせレーザー衛星もイオンスラスターで高度を下げながら追跡する。

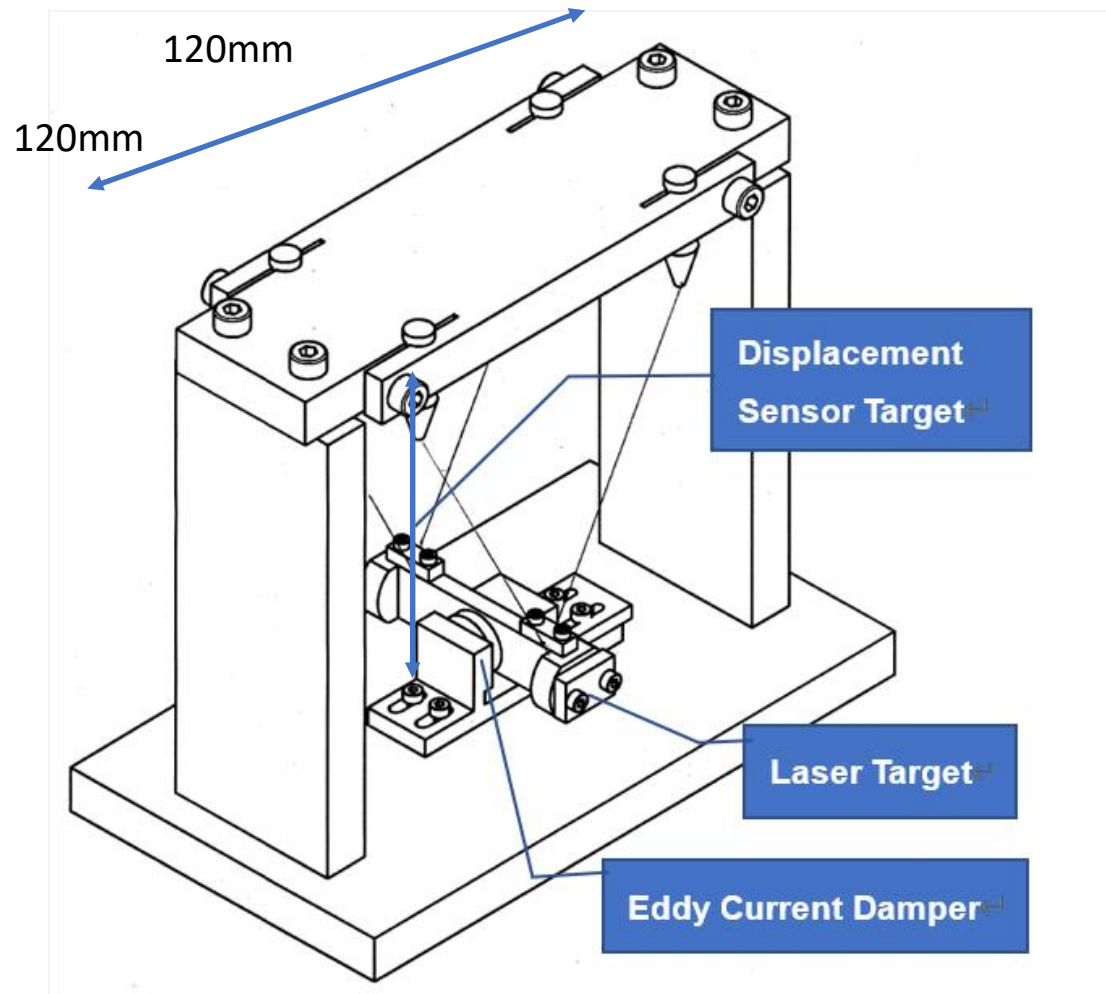


レーザーアブレーションにより発生する力積によりデブリの速度を減速させ、軌道を制御

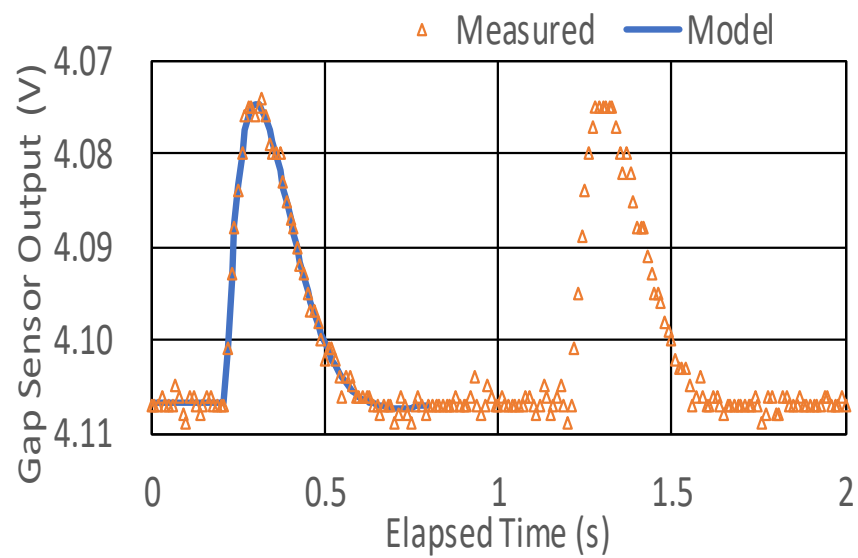
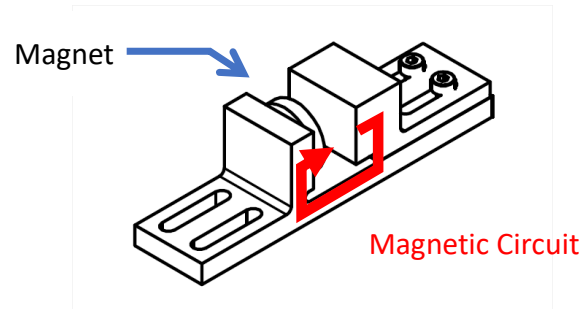
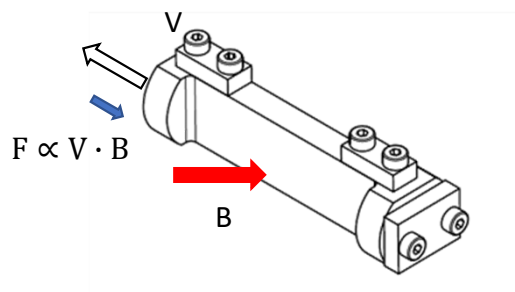
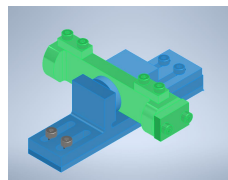


ロボットアームで捕まえる方法などが提案されているが、回転しているデブリ衛星の捕獲は危険である。レーザーアブレーションによる手法はこうした危険性がない。

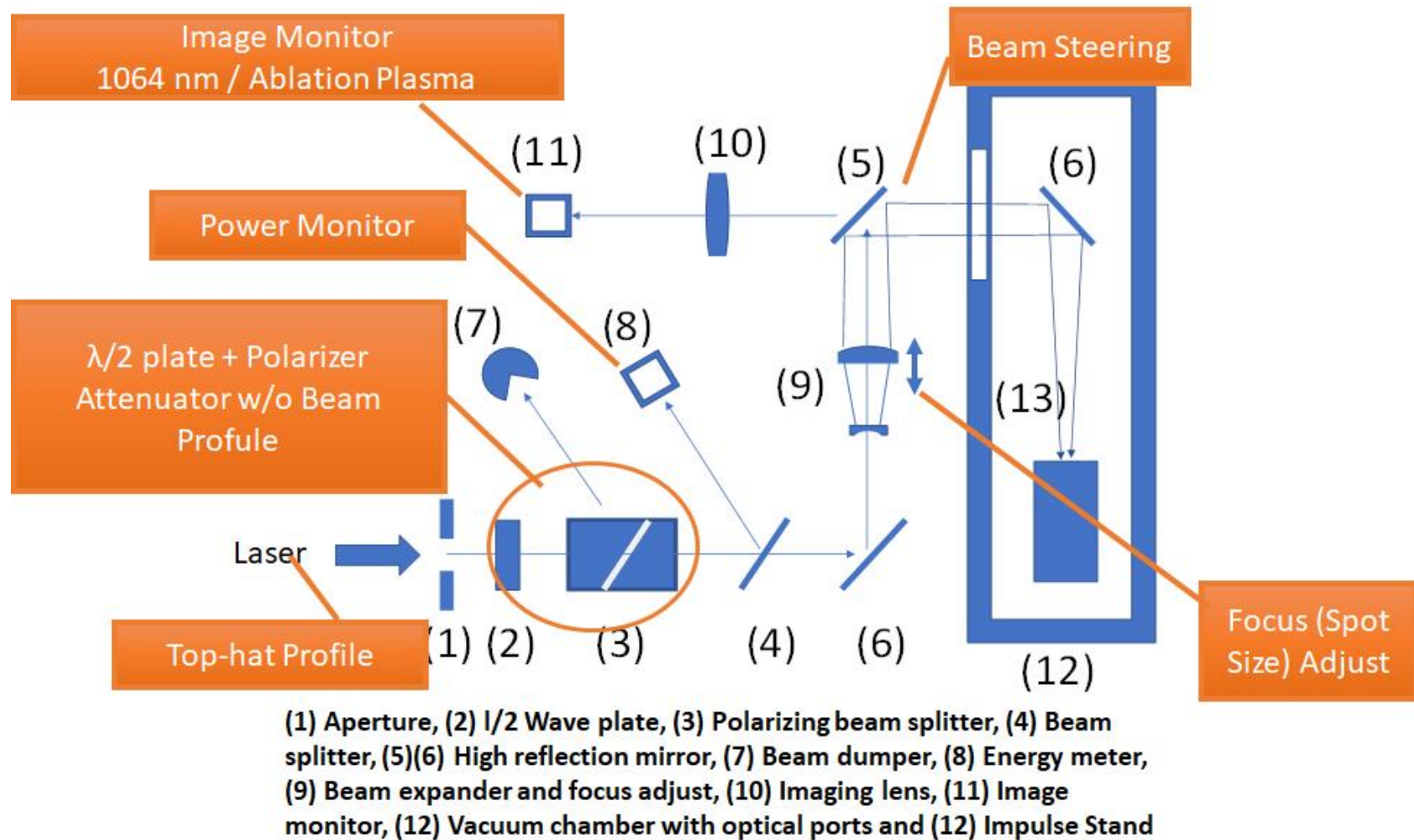
2重振り子による力積の計測



エディークレントによるダンパー



計測装置の概略



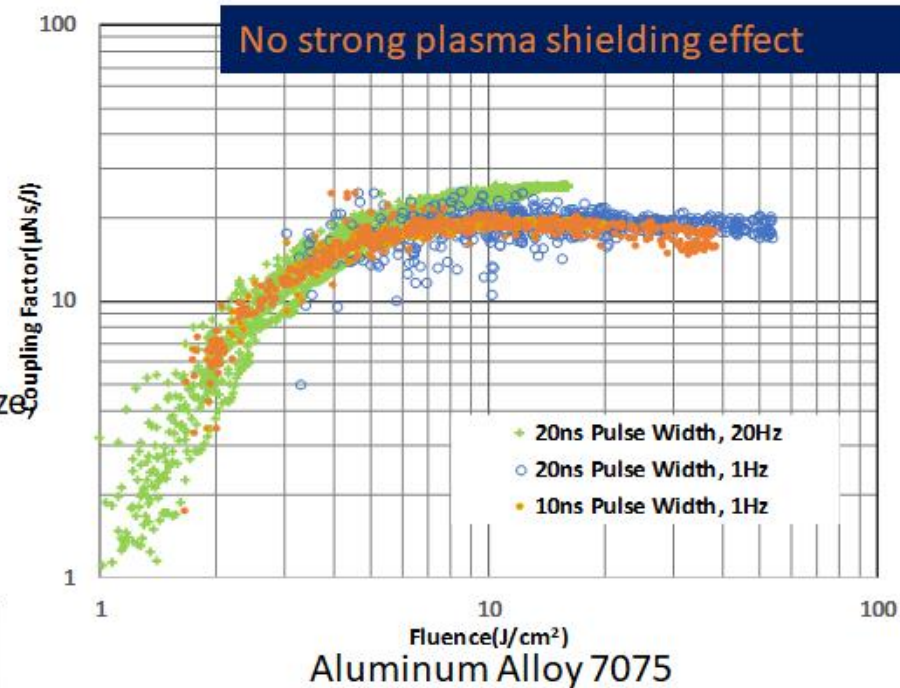
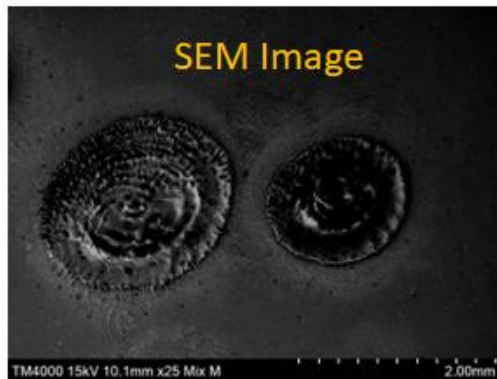
計測結果

Laser: GCR-230,SPECTRA-PHYSICS

- Nd:YAG (1064nm)
- Pulse width: 10~25ns
- Maximum energy: 1J
- Maximum frequency: 25Hz

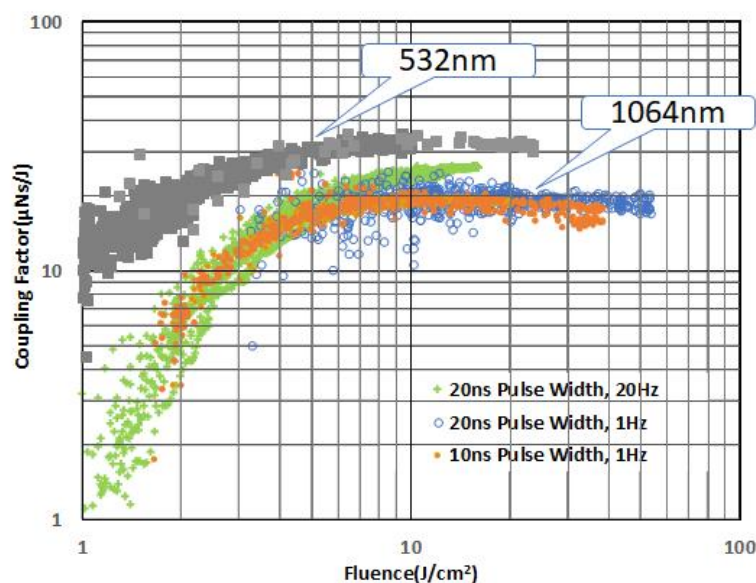
Impulse measurement for various laser fluence.

- Tuning laser for specific operating condition, pulse rate, pulse width.
- Focusing adjust for specific focus size, typically 4 focus size.
- Scanning power level by the polarizer attenuator



- 1Hz pulse rate:
Direct impulse measurement
- 20Hz pulse rate:
Impulse measured by average force.

高効率化に向けて



Introduction of SHG

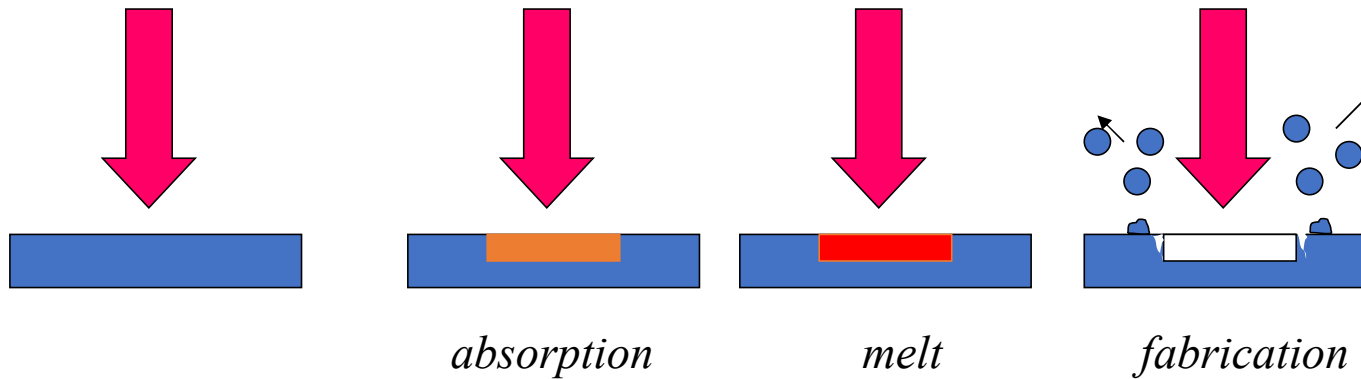
- Efficiency increase by 1.5 times
- Realization of impulse generation at low fluence

These results show by using the laser, we realize the removal of the 150kg class satellite within several months and stop the rotation within several days..

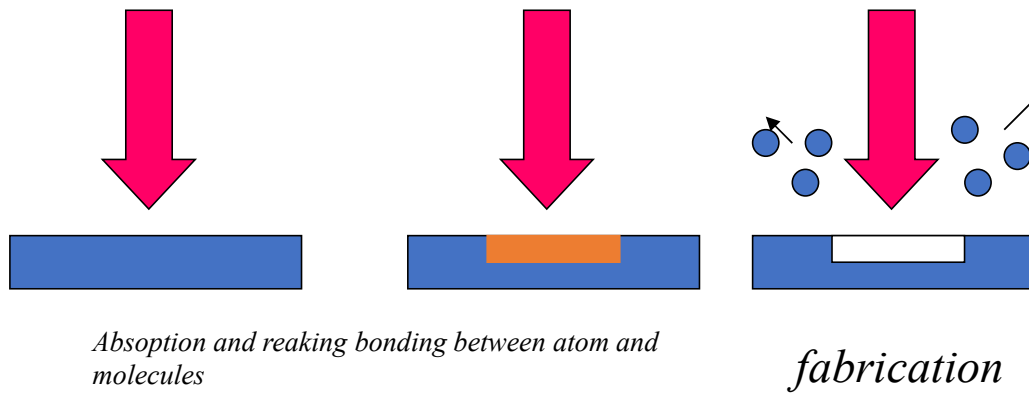
ターゲット: アルミ合金A7075

レーザーアブレーションによる加工

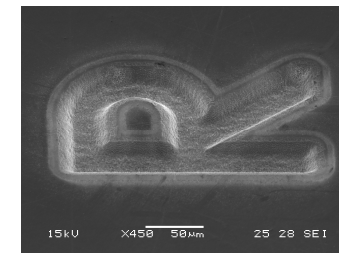
ナノ秒レーザー（熱効果が残る）



ピコ秒、フェムト秒レーザー（比熱加工）

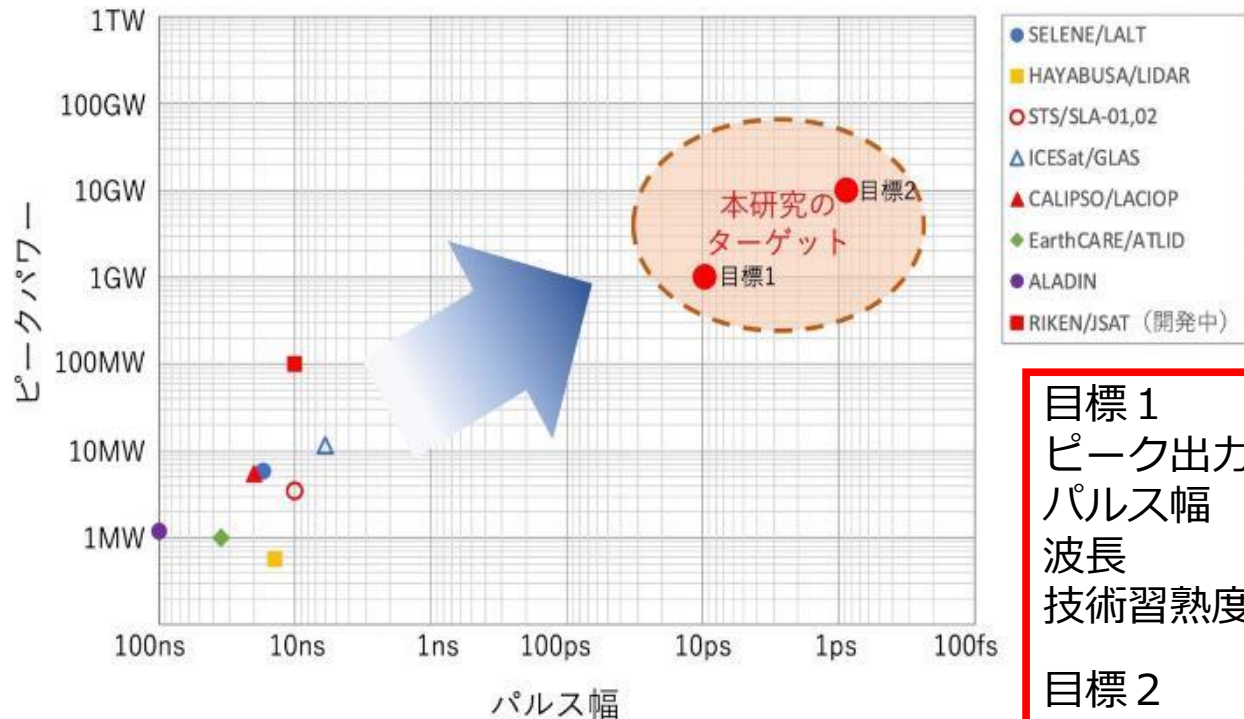


Absorption and reaking bonding between atom and molecules
原子と分子間における吸収および結合の切断



（研究代表者の研究室で実施）

宇宙用大出力パルスレーザーの現状と本開発の目標



本方式は、代表研究者の研究室で開発された独自の技術に基づいている。

目標 1
ピーク出力 >1GW
パルス幅 $1\text{ns} > \tau > 20\text{ps}$
波長 1064 nm
技術習熟度 TRL6

目標 2
ピーク出力 >1GW
パルス幅 $\tau < 1\text{ps}$
波長 1064nm
技術習熟度 TRL4

宇宙用大出力レーザーシステム構想

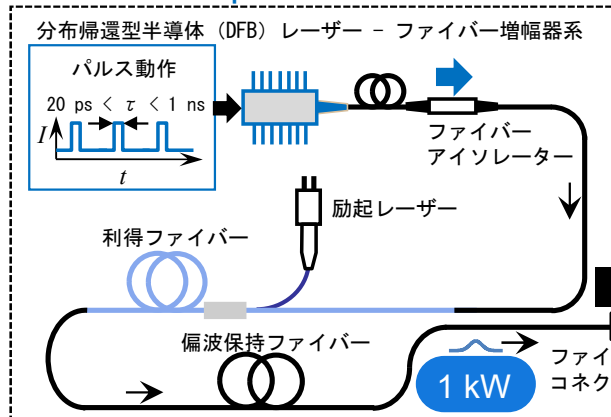
分布帰還型半導体
(DFB) レーザー

ファイバー増幅器

再生増幅器

固体増幅器

ピコ秒 ($20 \text{ ps} < \tau < 1 \text{ ns}$) 発振器

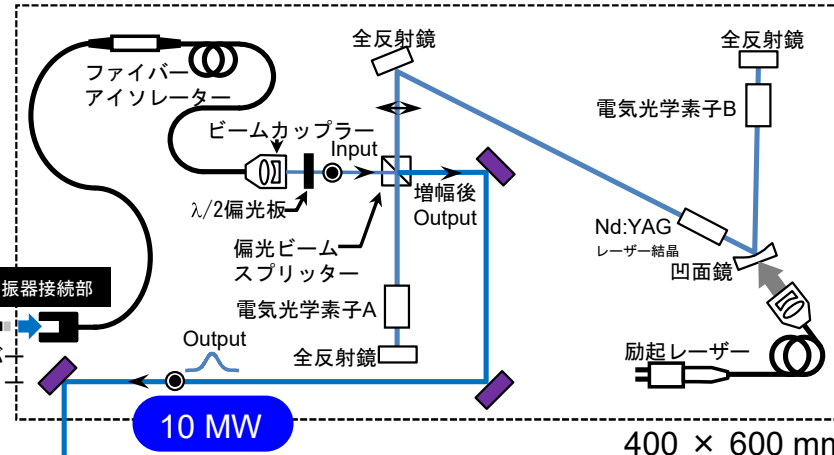


19 inch × 19 inch

特徴・利点

- 環境温度や振動に影響を受けづらい分布帰還型半導体 (DFB) レーザーをパルス電源で駆動させて、安定なパルス動作とパルス幅 ($20 \text{ ps} - 1 \text{ ns}$) 制御の実現
- 光ファイバー接続による光伝送の安定化
- ファイバーアンプ、再生増幅器を連動させて、発振器の出力条件を維持したまま高出力レベルの増幅が可能なパルスを生成
- $> 1 \text{ GW}$ のスケラブルなパワーを達成可能
- 宇宙環境での使用を見据えて、環境の温度変化、振動に影響されず、小型化・軽量化をも実現するための材料の導入

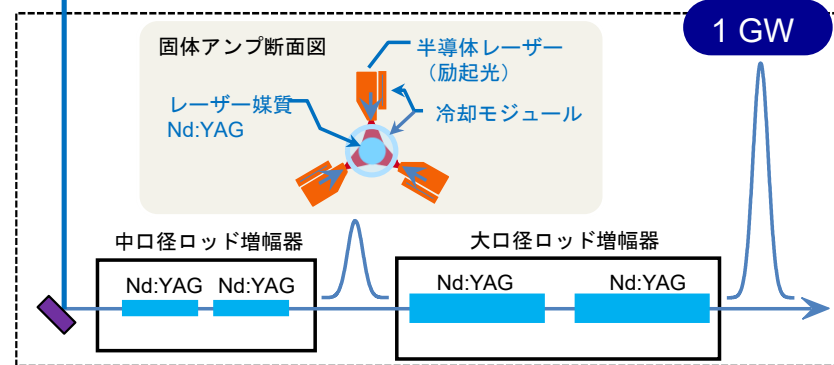
再生増幅器



400 × 600 mm

固体増幅器(スケラブル)

0.5 J, 500 ps

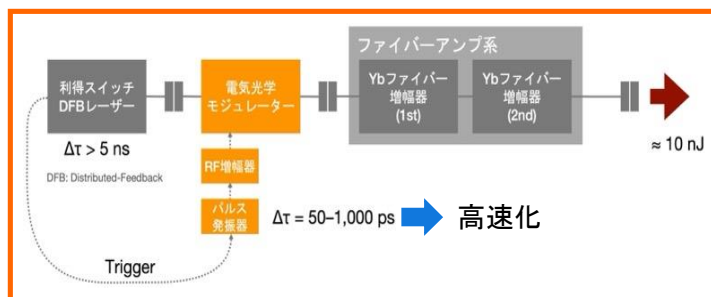


400 × 600 mm

ピコ秒発振器：システムと出力特性

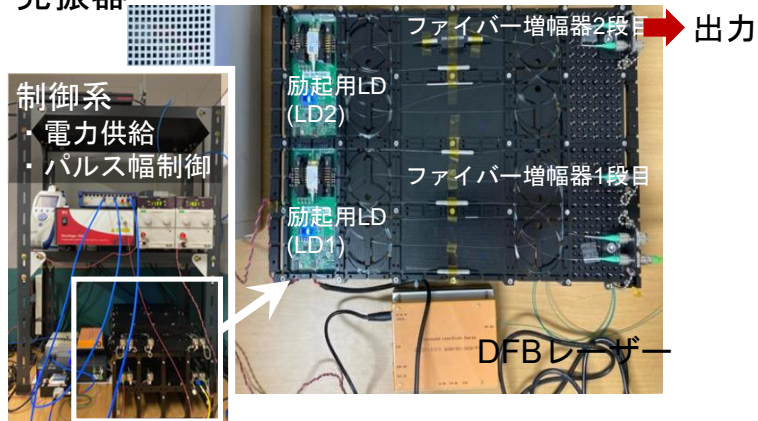
■ ピコ秒発振器の構成

分布帰還型半導体（DFB）レーザー+ファイバー増幅器



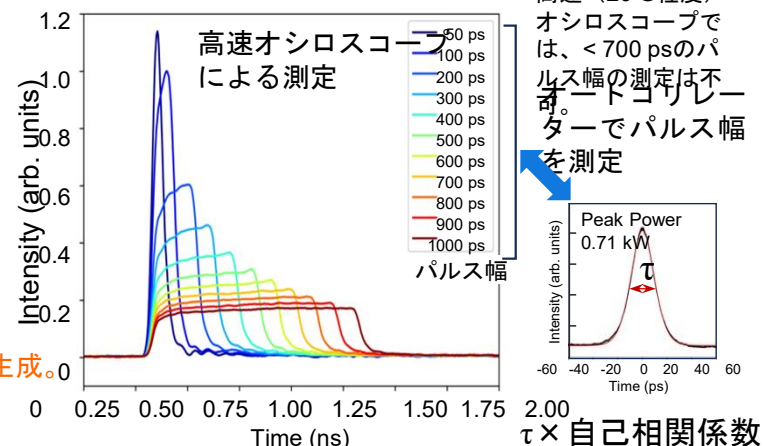
5 ns/パルスに電気光学的変調を施し、より短い時間幅のパルスを生成。

発振器

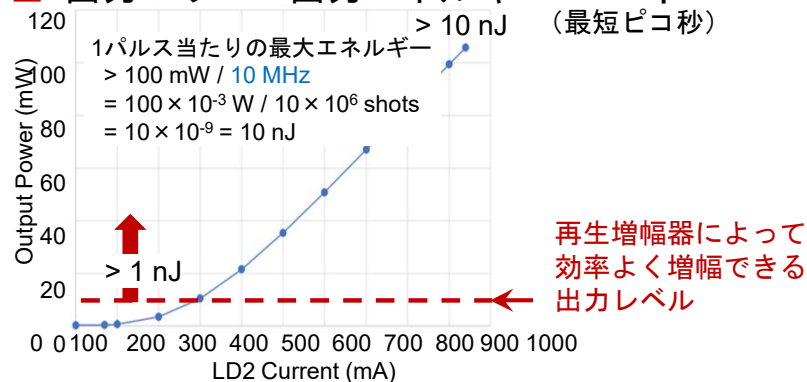


オール光ファイバー光伝送方式
安定、堅牢、軽量、小型（超小型化が可能）

■ パルス幅制御



■ 出力パワー・出力エネルギー = 14 ps

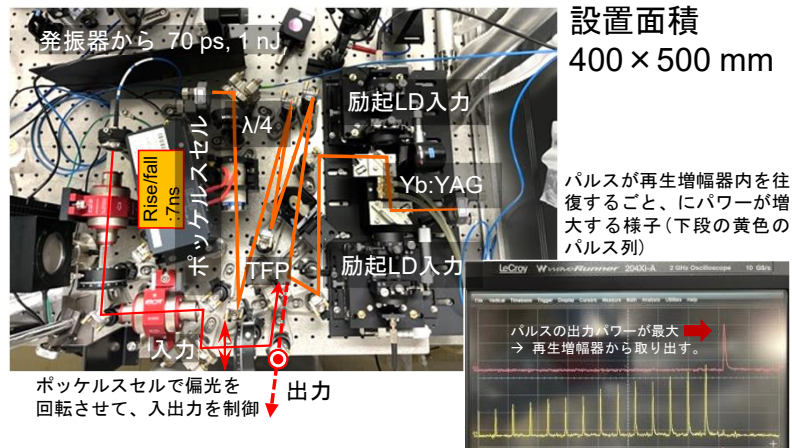
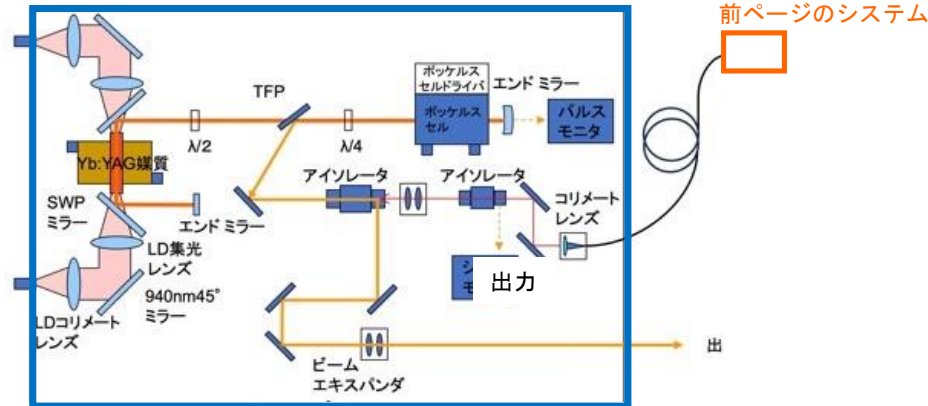


PC制御より、20 ps – 1 ns領域で
高速かつ任意に変更可能（世界初）

*本パルス幅制御方式は2025年1月末特許出願

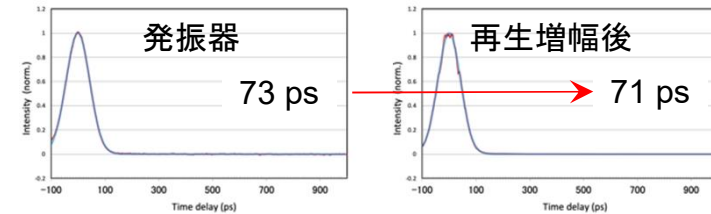
再生増幅器：システムと出力特性

■ 再生増幅器の構成

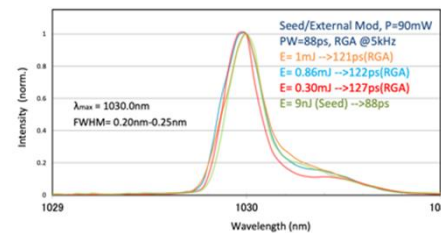


600 × 900 mm (開発開始時) から
400 × 500 mmへと小型化が実現

■ 発振器、再生増幅後のパルス幅の比較



■ 再生増幅後のスペクトル・増幅倍率



再生増幅後
Spectrum width $\approx 0.2\text{ nm}$

増幅倍率 $\approx 10^5$
9 nJ \rightarrow 1 mJ for $\approx 120\text{ ps}$

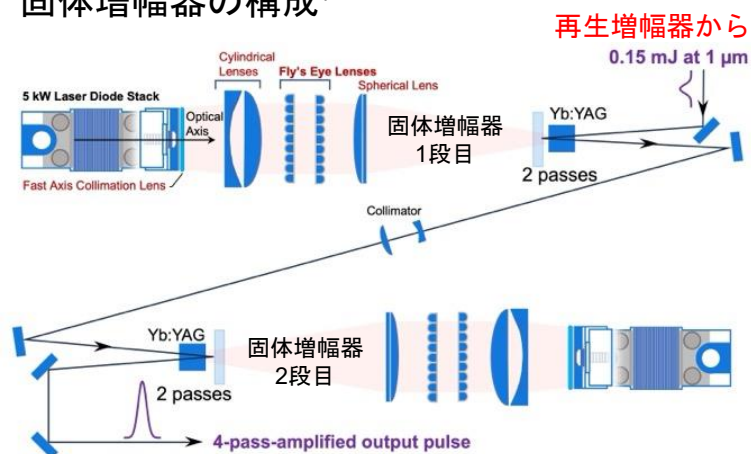
■ 再生増幅器の出力特性

	Input	Output
Repetition rate	10 MHz	5 kHz
Energy	9 nJ	0.8 mJ
Pulse duration	73 ps	71 ps
P_{peak}	70 psでの実験データ (一例)	11 MW

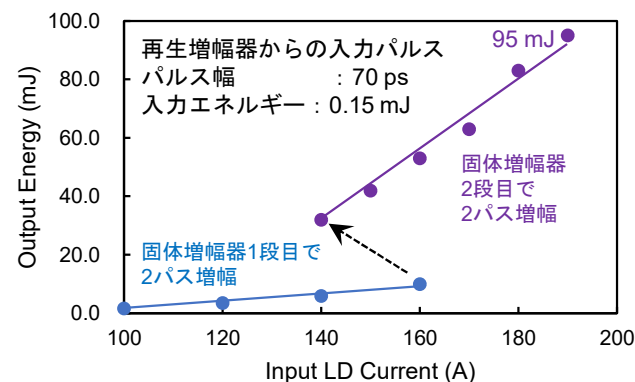
発振器から出力された超短パルスを
> 10 MW (1 mJクラス) まで再生増幅可能
次段の固体増幅器で効率よい増幅が可能

固体増幅器：システムと出力特性～レーザー全システムの実現

■ 固体増幅器の構成*

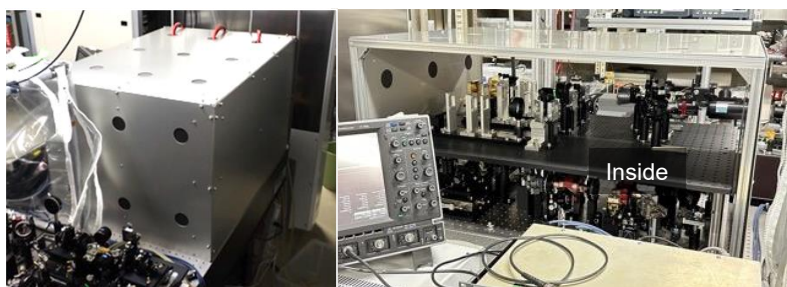


■ 固体増幅器の出力特性



$$95 \times 10^{-3} \text{ J} / (70 \times 10^{-12} \text{ s}) \approx 1.36 \text{ GW}$$

■ ピコ秒レーザーエンジニアリングモデル



次世代のLDビームの強度均質化及び集光法の確立

本成果は、従来の高出力レーザー限界を突破する技術となる。

■ 成果・今後の見通し

ピコ秒レーザー成果

- ・ 中間評価時の目標性能を達成した。
- ・ 固体増幅器の増幅倍率630倍によって、レーザーを用いた宇宙開発は > 1 GWを視野に入れた取り組みへ展開
- ・ エンジニアリングモデル (EGM) が完成

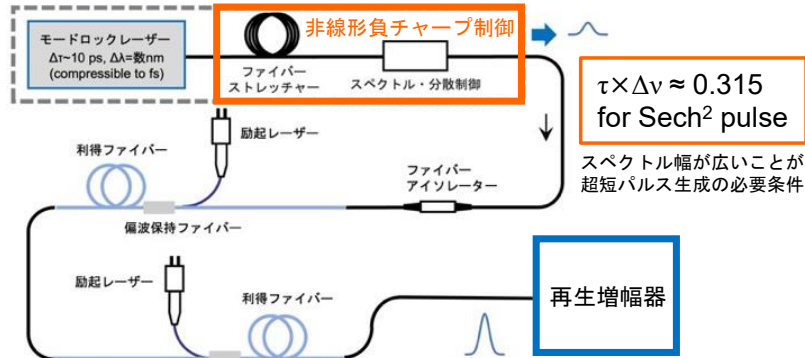
現在の開発展開

- ・ 中間評価後、EGM用いた性能評価、安定化開発へと展開
- ・ 次年度 (R7) から実施予定の地上応用による実証試験の準備を前倒しで開始する。

*本固体増幅の方式は2025年2月中旬特許出願予定

フェムト秒システム：システムと出力特性

■ フェムト秒発振器の構成（安定化過程の1例）



フェムト秒システムの基本系（従来に比べ、高い安定性が望める）
= ピコ秒発振器 + 再生増幅器 + パルス圧縮光学系

この方法の当初の問題点

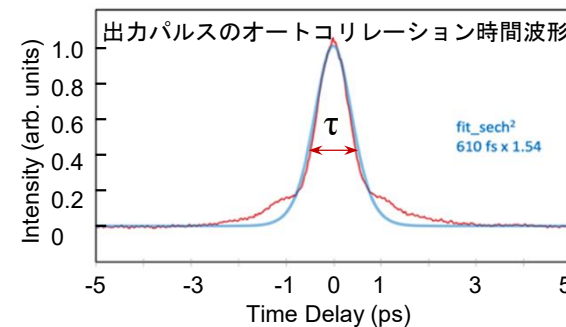
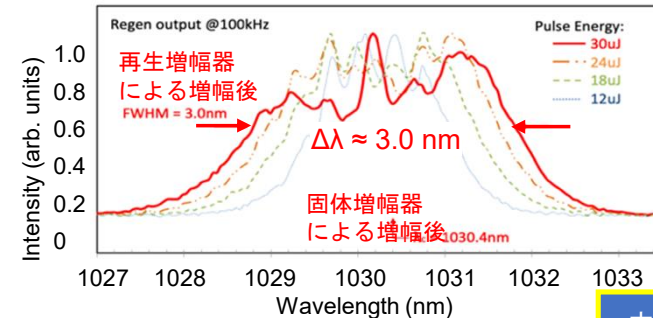
- 再生増幅器内の増幅時に実効利得幅が減少
→ レーザー光のスペクトル線幅の減少 ($\Delta\lambda = 10 \text{ nm} \rightarrow 1.6 \text{ nm}$)
→ フェムト秒の維持が困難

問題点の解決、フェムト秒出力を実現

- (a) スペクトルプロファイル及び非線形負チャープ制御による入力パルスの短パルス化
- (b) (a)の短パルス化により、再生増幅器内におけるパルス強度の増大
- (c) 自己位相変調（SPM）を誘導 → スペクトル線幅の減少量の低減
- (d) (a)-(c)の方法 + パルス圧縮によりフェムト秒パルスを出力
10 MW級（固体増幅器で十分に増幅できる）のピークパワーを実現

従来式から再生増幅法を進化「レーザースペクトル線幅拡張増幅」へ
(a)+(b)+(c)+(d)+固体増幅器による増幅+パルス圧縮によりフェムト秒化実現

■ 拡張スペクトル線幅、フェムト秒発生



中間評価時（10月29日）
 $\tau \times$ 自己相関係数
= 903 fs

中間評価後
= 610 fs
まで短パルス化が可能
パルス幅のプログラマブル制御の技術視野を新たに獲得。

■ フェムト秒システム出力特性（1例）

	発振器	再生増幅器	パルス圧縮	固体増幅器
Rep. rate	10 MHz	100 kHz	100 kHz	10 Hz
Energy	100 pJ	30 μJ	30 μJ	> 1 mJ
Pulse Width	10 ps	3.4 ps	610 fs	900 fs*
P_{peak}	10 W	9 MW	33.3 MW	1.1 GW

*固体増幅器内における利得幅減衰

達成目標と状況

達成目標（計画書）と達成状況

宇宙用大出力パルスレーザーの開発のうち、ピコ秒パルスレーザーは、宇宙用レーザーとしてのTRL4（宇宙用）レベルを、フェムト秒パルスレーザーは、ピーク出力、パルス幅、波長の目標を達成する。

中間評価時における達成目標				出力特性	状況
目標1	ピーク出力	> 1 GW		1.36 GW	○
	パルス幅(τ)	ピコ秒領域	$20 \text{ ps} < \tau < 1 \text{ ns}$	70 ps	○
	波長	1 μm		1.03 μm	○
	技術習熟度	TRL4（宇宙用）		TRL 4: Engineering model	○
目標2	ピーク出力	> 1 GW		1.20 GW	○
	パルス幅(τ)	フェムト秒領域	$\tau < 1 \text{ ps}$	840 fs	○
	波長	1 μm		1.03 μm	○
	技術習熟度	上述出力特性の達成		光学定盤上実証系	○

技術成熟度レベル(Technology readiness levels, TRL) は、宇宙機の開発において技術の成熟度の指標を示す。

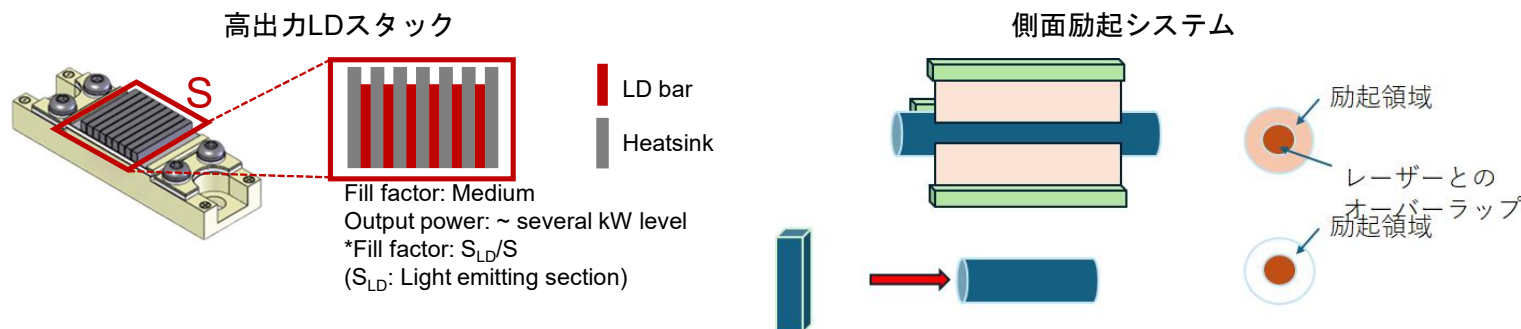
TRL4は「ラボレベルでの実証」、TRL6は「地上でのシステムとしての技術成立性の確認」を表している。

参考URL : https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level

本研究によるレーザー成果とその将来の発展性について

■ LDスタック限界集光法の実現

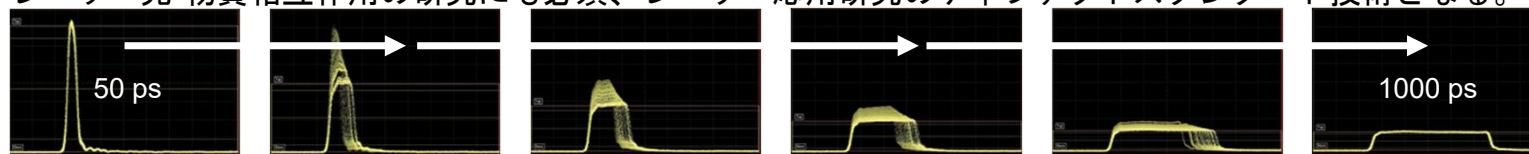
高エネルギーパルス動作のLDは、角形のエミッターが一列に並ぶLDバーを複数使ったスタック構造となっている。出力されるビームは角型で、しかもビーム整形の自由度が極めて低い。そのため、従来、その使用は側面励起法に制限されていた。本研究の成果により、高効率に、熱レンズを飛躍的に低減できるオーバーラップの優れた励起法、端面励起法（レーザーの発振軸上を励起する方法）が可能となった。この方法は、レーザーの出力を大幅に引き上げる技術である。高出力エネルギーレーザーの必須方法として、リソグラフィー用のレーザー、核融合用のレーザーなどの実現へと波及していく。



■ AIレーザーの実現

IT、AIのそれぞれの技術とともに、高速、連続、ランダムにパルス幅を変更しながら、最適なレーザー照射条件を機械学習、ディープラーニングとともに学習していくAIレーザーが実現。

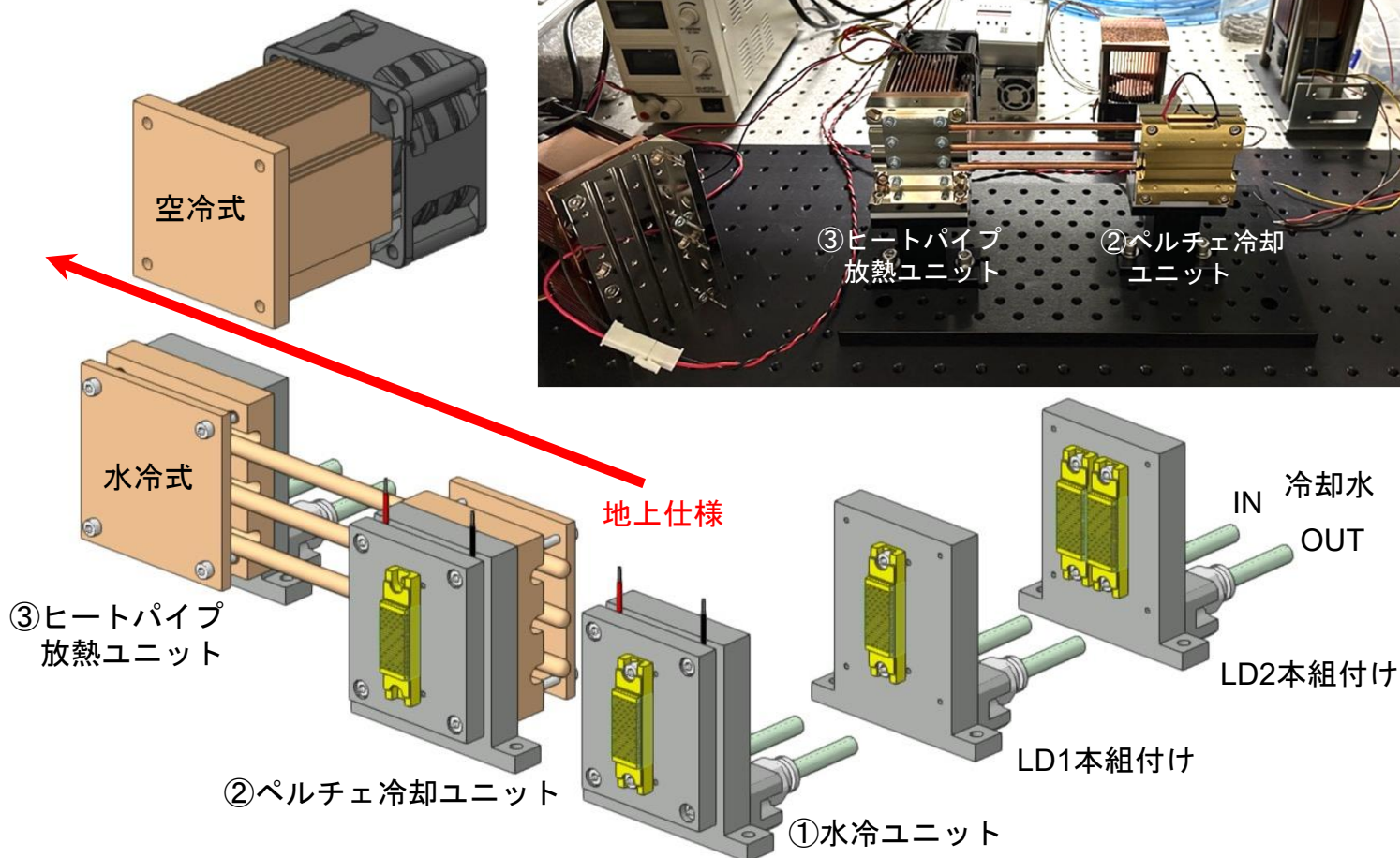
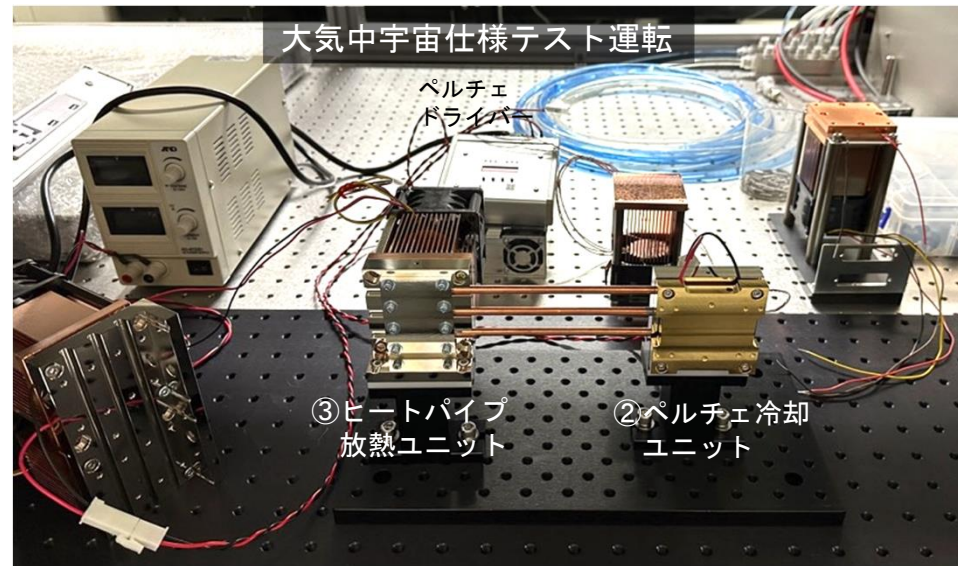
レーザー衛星運動制御・デブリ除去の「究極の微調整」が可能になる。レーザー加工、レーザー治療他、レーザー光-物質相互作用の研究にも必須、レーザー応用研究のデファクトスタンダード技術となる。



図は、レーザーのパルス幅の自動変更のさま（説明時は動画を紹介）。出力エネルギーを一定にすることができる。この技術をAI化することにより、「レーザーを照射する必要のある」各種研究・開発において、パルス幅の最適条件をレーザーが見つかる時代が到来する。

今後の取り組み

固体増幅器 排熱原理試験 進行中



LD (2 - 5kW等) の性能と放熱方法などを調査する基礎実験

ユニット

①水冷ユニット (基準の排熱係数: η_w)

水冷ユニットはチラーを用いて温度制御を行いまたLDを1本又は2本とる付けることが可能

LDの性能評価、発熱量、温度変化による出力と波長依存性、許容範囲などを調査に用いる。

②ペルチェ冷却ユニット (η_p / η_w)

水冷ユニットにサーモモジュールを取り付けた構造

サーモモジュールによる温度安定性と電氣的容量 (minimum値) などの調査用

③ヒートパイプ放熱ユニット (η_{HP} / η_w)

水冷式: さまざまなヒートパイプの性能評価

空冷式: レーザー筐体 (あるいは衛星筐体) を介した排熱の性能評価²²

熱真空試験システムの開発・試験準備



性能

- (1) 寸法：内部に500 mm × 600 mm × 300 mmのレーザー筐体を収容
- (2) 圧力領域： 10^{-5} Pa ~ 大気圧（放電危険領域を含む： 1.33 Pa – 1.33×10^{-3} Pa）
- (3) 排気能率： > 650 L/s
- (4) 封入分子種類：Air、 O_2 、 N_2 、He
- (5) リーク量検出分解能： $> 1.0 \times 10^{-11}$ Pa
- (6) 輻射流入温度：40℃まで（上限）
- (7) 温度制御方法：太陽光スペクトルに類似したスペクトルを有する電磁波放射等も検討

まとめ

- レーザーアブレーションを利用した宇宙デブリ除去のための宇宙用レーザーの開発を進めている。
- 目的の出力レベルが達成され、熱のヒートパイプによる輸送など宇宙機の対応を進めている。

謝 辞

- 本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596の支援を受けたものである。