

超短パルス光を丁寧にクリーニングする パルス整形技術

量子科学技術研究開発機構
量子ビーム科学部門
関西光科学研究所・光量子科学研究部
上席研究員 森 道昭

2021年7月13日

アウトライン

- 背景
 - 連続波レーザーとパルスレーザー
 - 超短パルスレーザーの特徴と応用
 - 不要光(サテライトパルス)について
- 本技術の概要
 - サテライトパルス低減(パルスクリーニング)技術と課題
 - クリーニングされたパルスの出力エネルギーの安定化

(ていねいにクリーニング)技術の概要
- 企業さまへの期待
 - 応用例・実用化に向けた課題
 - 企業さまへの期待

✓高出力連続波レーザー

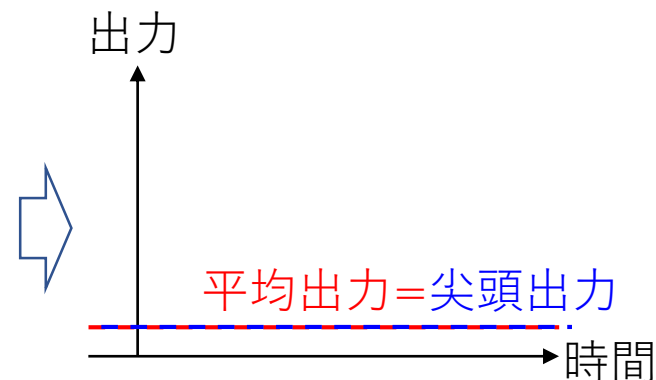
(尖頭出力=平均出力)

(レーザー光の及ばない奥まで伝熱により加熱)

応用:レーザー加工機・溶接機など



プリント基板用CO2レーザドリル
レーザシステム | 住友重機械工業株式会社
<https://www.shi-mechatronics.jp/products/laser/standard>
(R3/6/15閲覧)

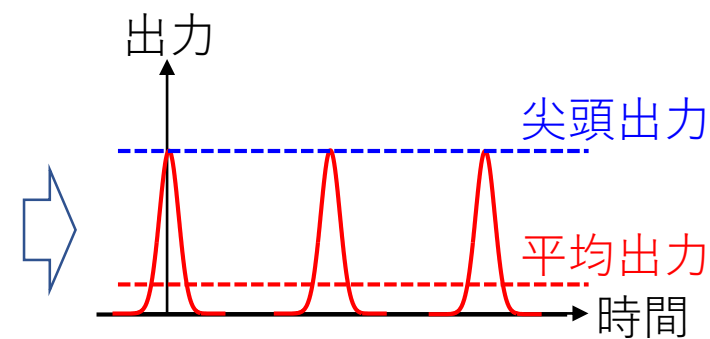


✓高出力パルスレーザー

(尖頭出力>平均出力)

(連続波レーザーに比べ表層部に熱が集中)

応用:パルスレーザー加工(微細加工)、医療(皮膚)、...



更に超短パルスレーザー (パルス幅: ピコ秒~フェムト秒) は物質の表面に集中的にエネルギーを伝達し表面のみを効率的に加熱可能

✓ フェムト秒白内障手術

- レーザー光で角膜などを切開
- 切開部以外への影響が少ない
- 人工レンズを埋め込む手術道具

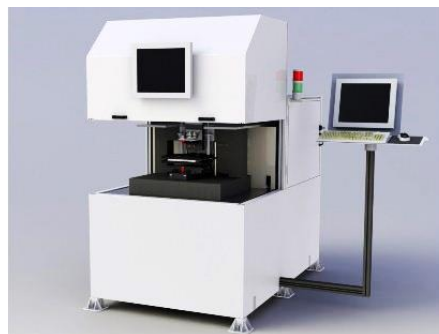
小島 "フェムト秒レーザー白内障手術の成績と今後の課題" 日本白内障学会誌, 2016年 28 66-68



LENSX® Laser System (Alcon社)
<https://professional.myalcon.com/jp/jaJP/lensx/#>
 (R3/6/15閲覧)

✓ フェムト秒レーザー加工

- 表面以外への影響が少ない
- 熱的な損傷が少なくきれいな切断面
- 精密加工・非熱加工のツール

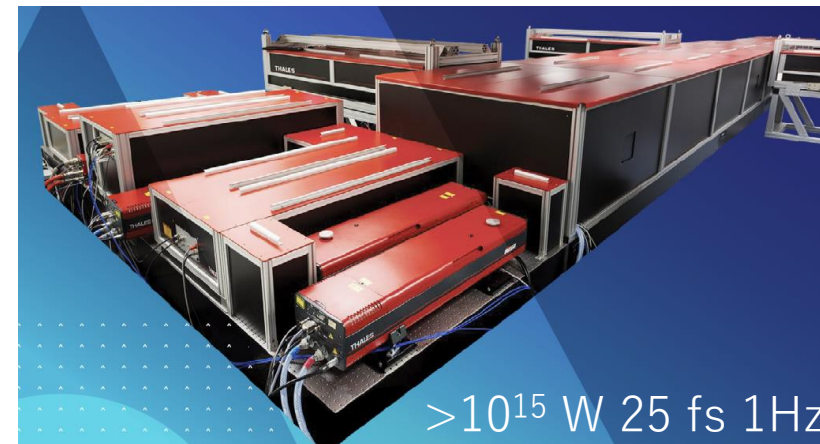


産業用フェムト秒レーザー加工装置：サンインストルメント株式会社
<http://www.sun-ins.com/lineup3/wop/femtofab.html>
 (R3/6/15閲覧)

✓ 超高強度光科学研究 (基礎科学・極限光)

- 物質を瞬間的に超高温に加熱・励起
- 光子密度が非常に高く、通常では起こらないさまざまな現象が発現
- 研究分野の拡大に繋がるツール

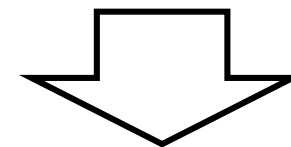
QUARK 1000 TeraWatt system | Thales Group
<https://www.thalesgroup.com/en/quark-1000-terawatt-system>
 (R3/6/15閲覧)



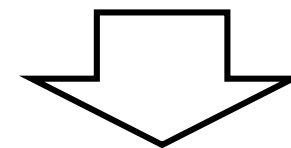
>10¹⁵ W 25 fs 1Hz

超短パルスレーザーではレーザー光増幅の過程でサテライトパルスが発生

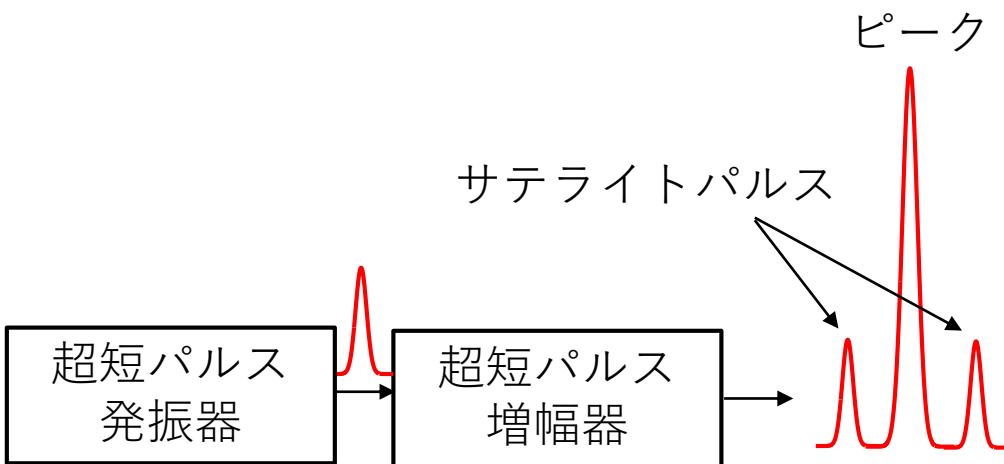
強度の高い超短パルスレーザー光の生成には超短パルスレーザー光の増幅が必要

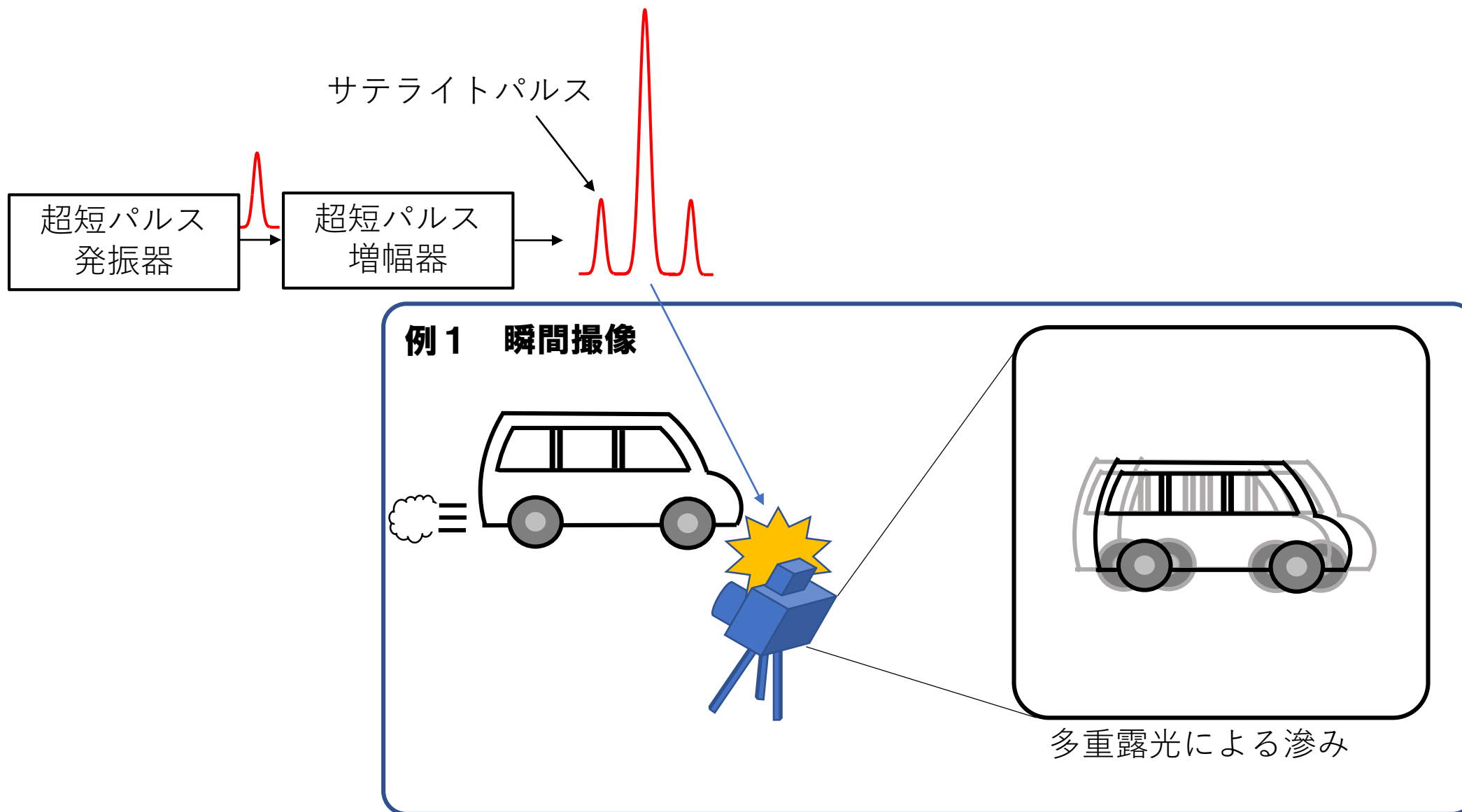


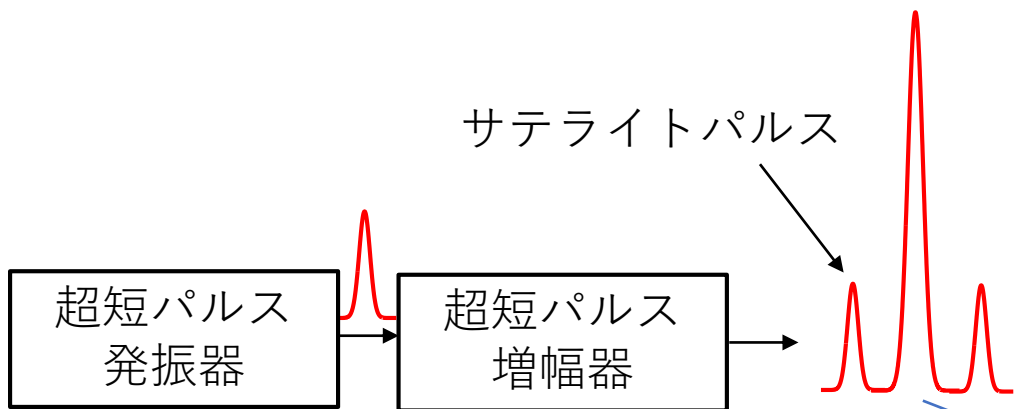
増幅の際に多重露光的な滲みをもたらすサテライトパルスが副次的に発生(ピーク近傍に混入)



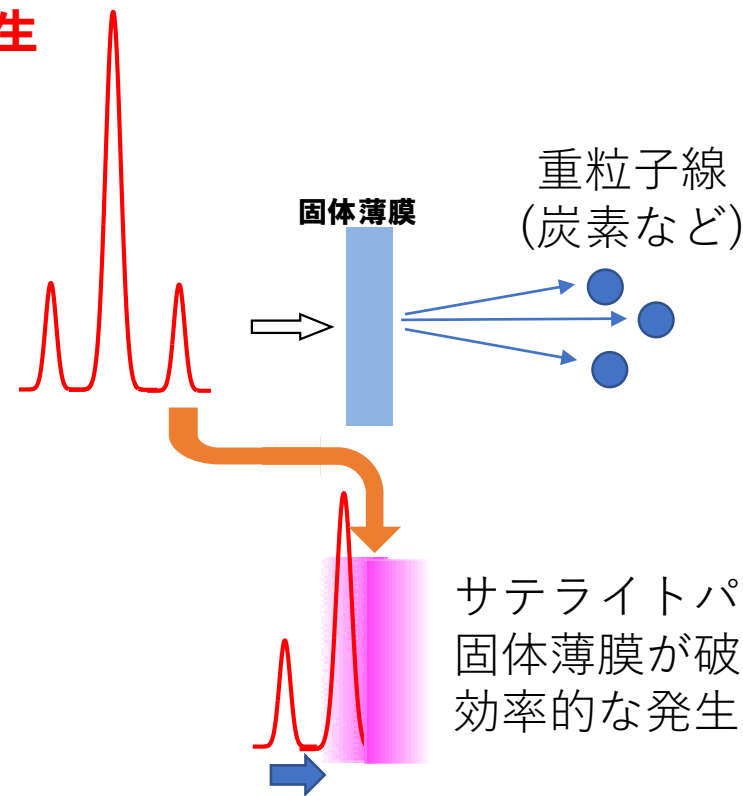
パルス幅が短く超強力な超短パルスレーザー光の特徴を活かした応用を阻害(不要な光)



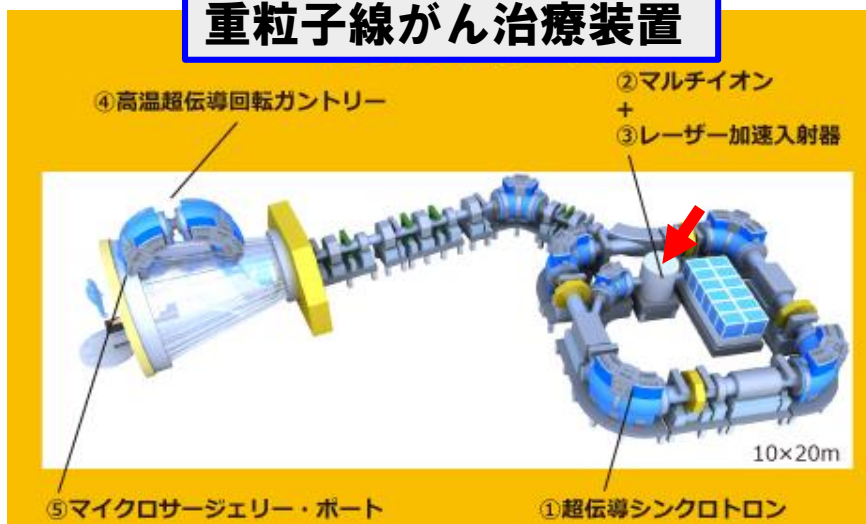




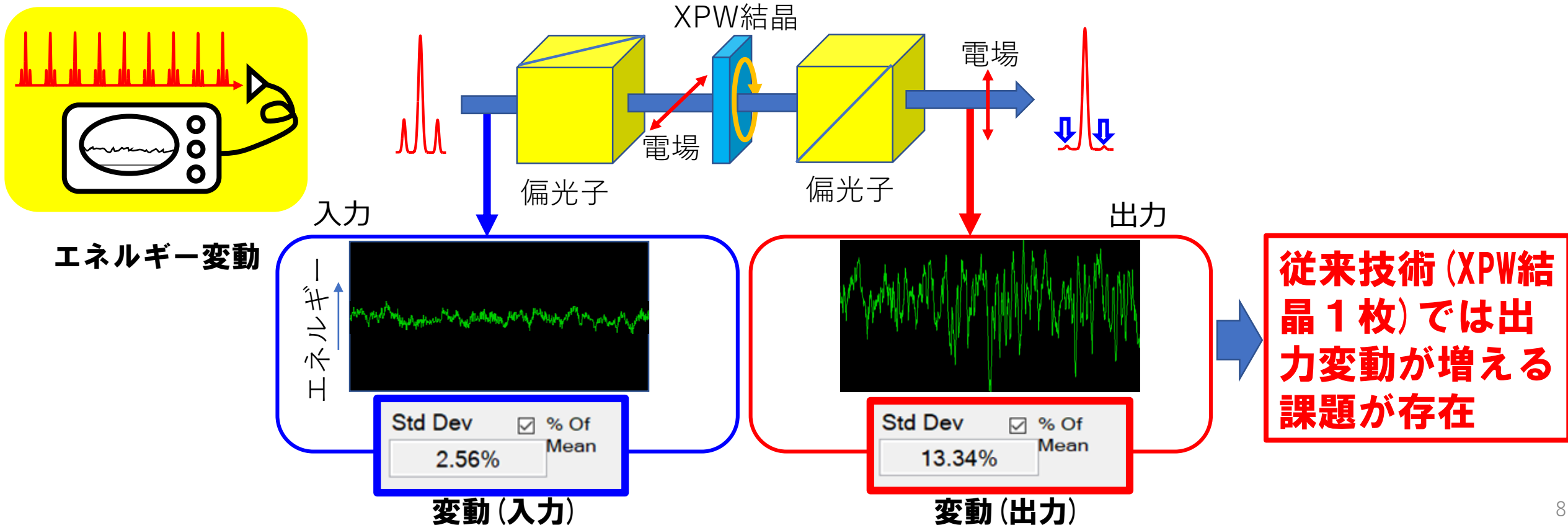
例2 重粒子線発生



重粒子線がん治療装置

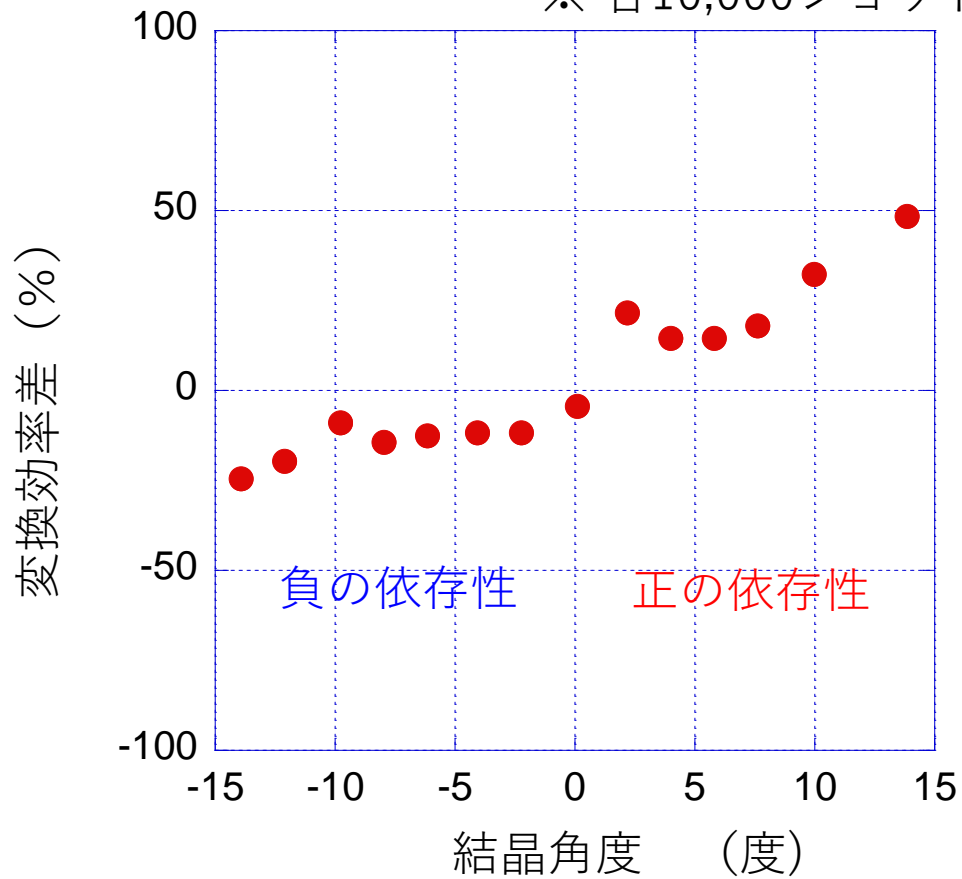


- 超短パルスレーザーの出射部に設置して使用
- 非線形光学効果により入射光と直交する偏光光(XPW (Cross polarized wave)光)が発生(\propto 入射強度の3乗)
- 2つの直交する偏光子の間にXPW結晶(1枚・従来)を挟む形でクリーニングされたパルス(XPW光)を抽出
- XPW結晶の回転で出力エネルギーを調整



XPWの変換効率に負のエネルギー依存性となる条件を発見 (本技術のきっかけ)

※ 各10,000ショットで取得



結晶角を変えると、
変換効率の励起エネルギー依存性が変化



のみならず

エネルギー ↑ で変換効率 ↓
エネルギー ↓ で変換効率 ↑
(負の依存性)

となる条件を発見
(通常は正の依存性)

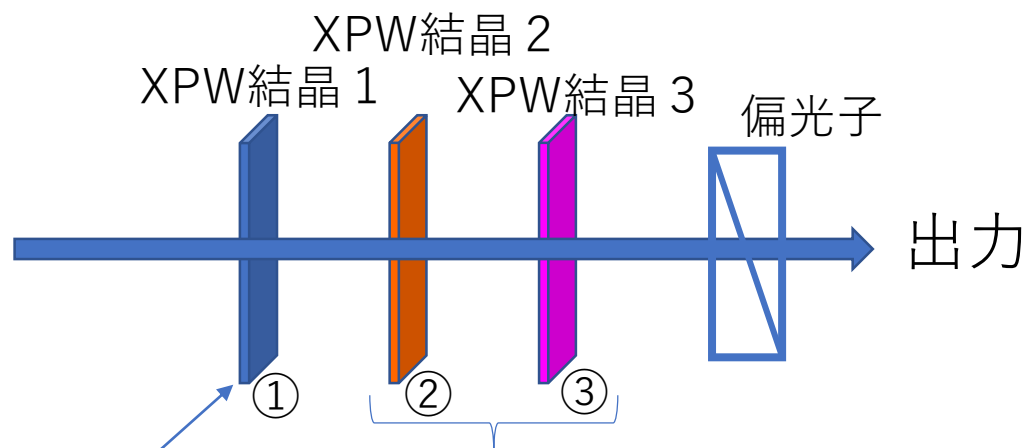
変換効率差の一例

(レーザーエネルギー100%:75%での変換効率の差)

複数枚のXPW結晶を組み合わせ、ていねいなパルスクリーニングで出力を平滑化する手法を提案

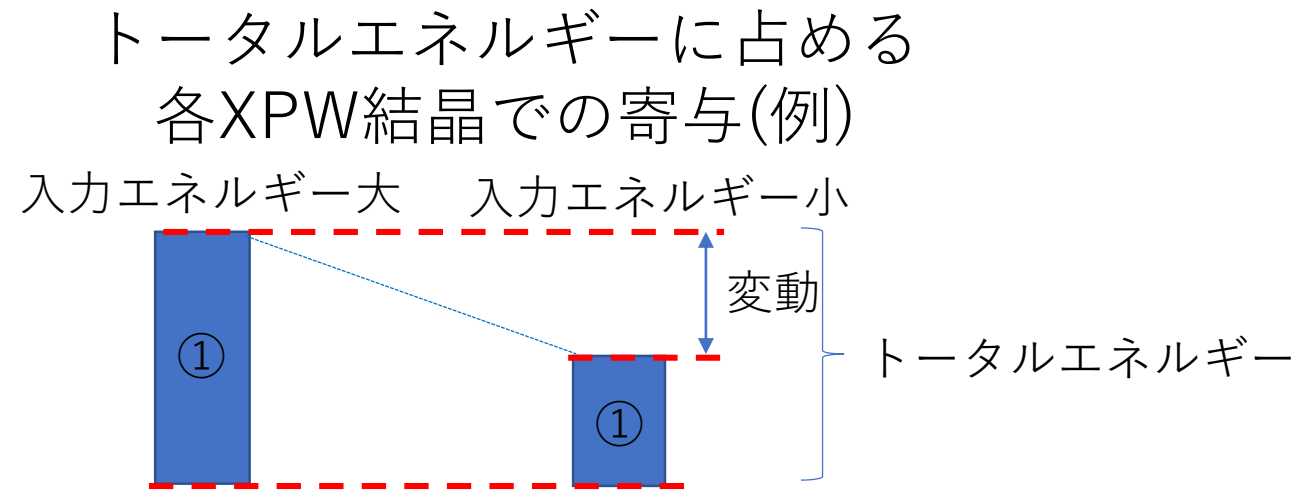
ねらい

1枚目の結晶の変換効率の変動を変換効率の負のエネルギー依存性を利用し後段の結晶の組み合わせで補償



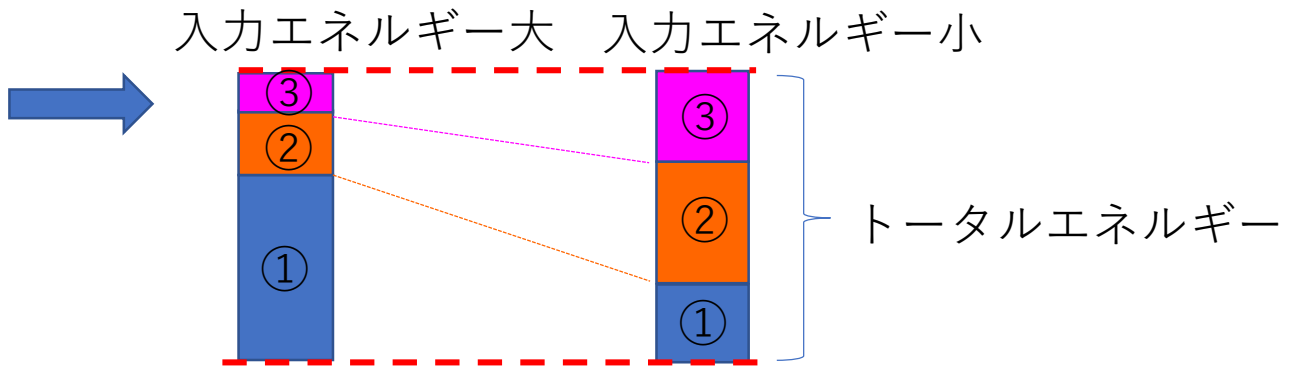
高変換効率
エネルギー↑で変換効率↑
エネルギー↓で変換効率↓

変動を吸収
エネルギー↑で変換効率↓
エネルギー↓で変換効率↑
(負のエネルギー依存性)



従来例

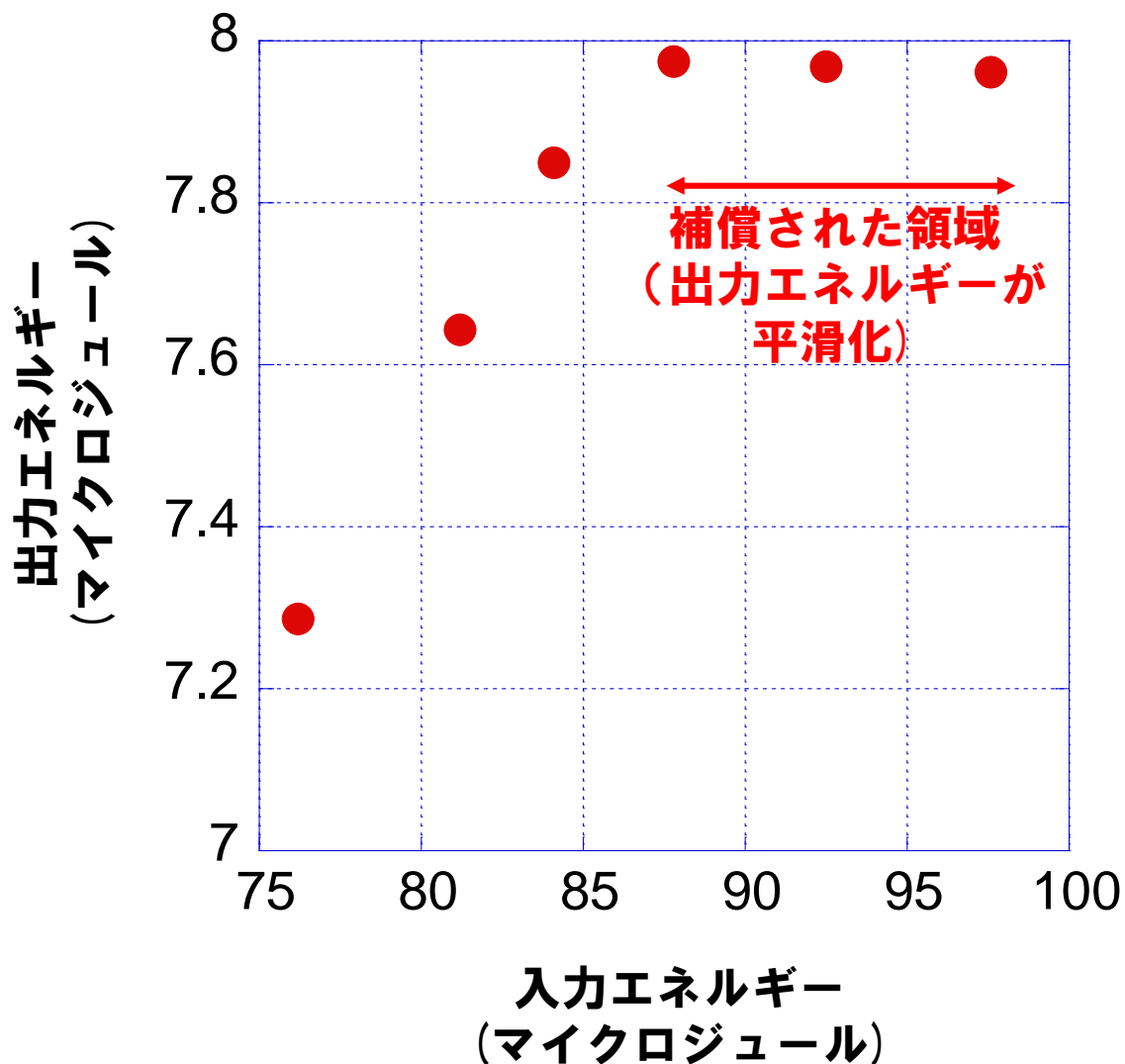
(変換効率がエネルギー依存性を有するため変動)



本技術

(入力エネルギーの変動に対しトータルエネルギーが一定になるように構成)

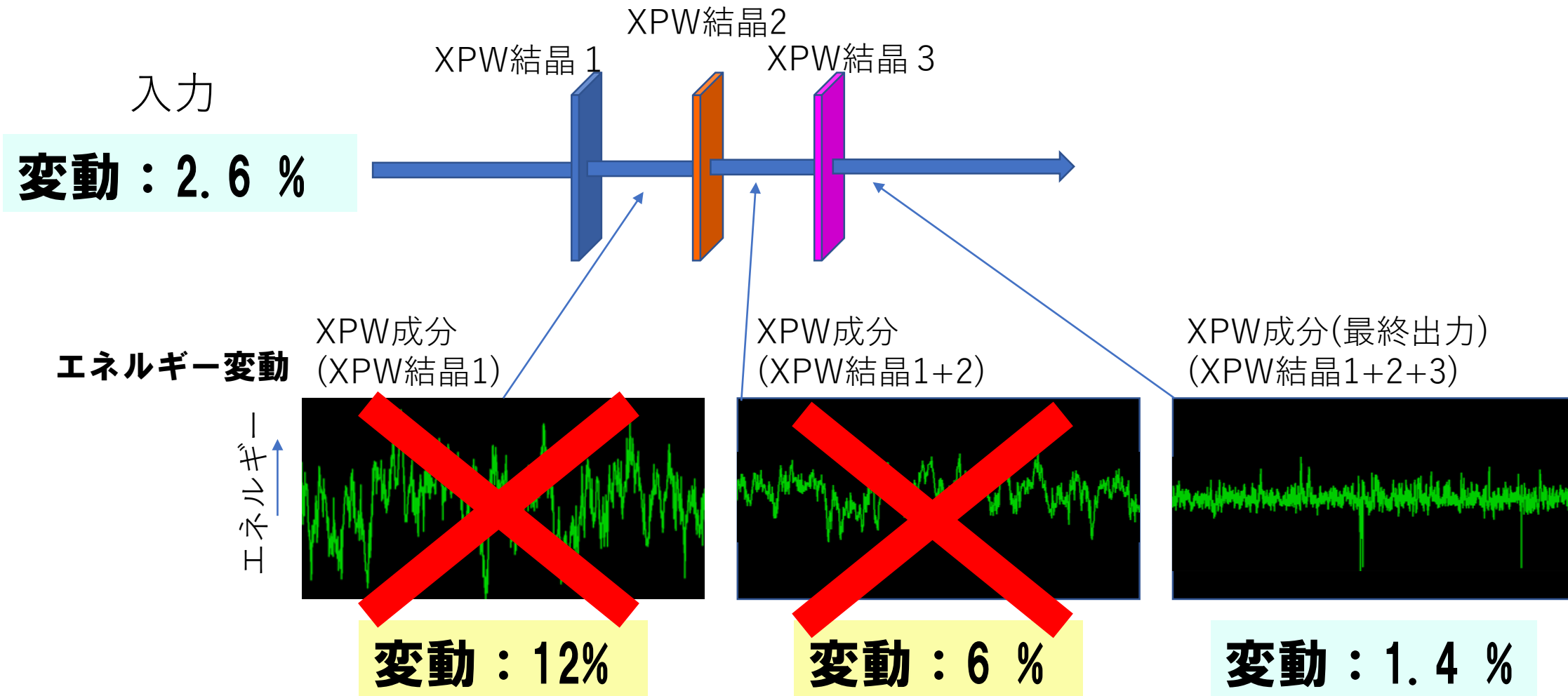
3枚のXPW結晶による出力エネルギーの補償効果を確認



3枚のXPW結晶で入力エネルギーに対する出力エネルギーの依存性をほぼゼロにすることに成功

→出力エネルギーの平滑化を証明

※ 各10,000ショットで取得



出力エネルギーの安定化を実証

一連の結果から考察される 本技術の特徴・利点

- 非線形光学結晶(XPW)の性質を応用したシステム
 - レーザー波長・エネルギーなど様々なレーザーパラメーターに対応可能
 - 既存のパルスクリナーシステムに置き換えが可能
- 受動的な補償
 - 1パルス夫々に対し直接的に制御
 - 本質的に安定(暴走の問題が無い)
 - 外部制御機構が不要(低コスト・コンパクト)

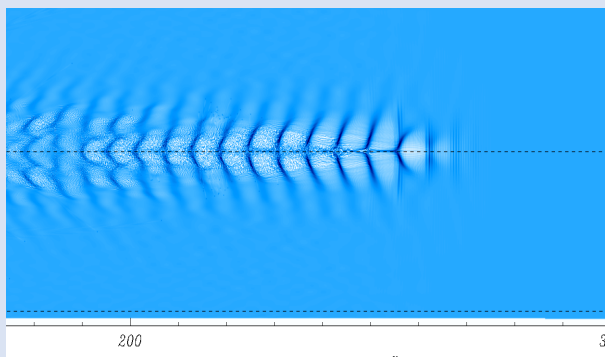
超高速顕微鏡

実験結果

一例: プラズマの動きの観測
(フラッシュ時間 10^{-14} 秒)



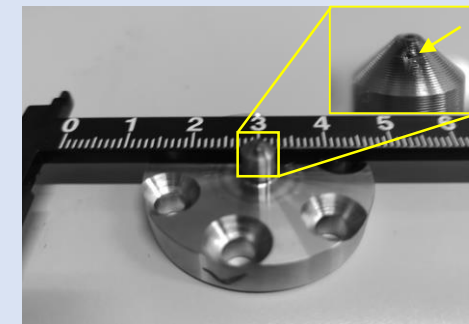
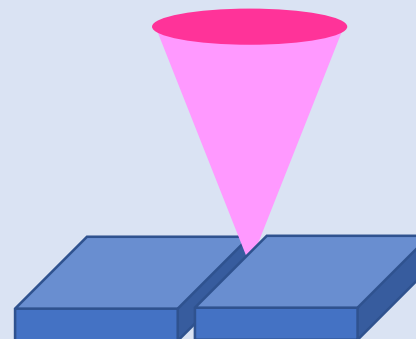
コンピューターシミュレーション



多重露光によるブレが無い安定した
光量による撮像

パルスレーザー加工

レーザー光



レーザー加工の一例
(穴あけ)

アブレーション加工における
加工面の均一性向上

ナノ構造形成

Si単結晶へのナノ構造形成

Head: 多結晶構造

Tail: 非晶質構造

形成されるナノ
構造の安定化



幅広い応用 (実用) には、輝度を更に高めることが重要

実用化に向けた課題

- 強いレーザー光入射による光学素子の損傷を避けるため、変換効率を抑えて検証 (**10~20%**)



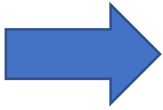
さまざまな改良で変換効率↑が可能

- 結晶の高純度化や欠陥の抑制で変換効率・耐性↑
- 検証ではフッ化バリウム(BaF_2)結晶を使用、セレン化亜鉛(ZnSe)など候補の素子は多数あり。耐久性・変換効率の高い材料を選ぶことで変換効率↑

企業さま・研究所さまへの期待

- 特に、以下のシーズをお持ちの企業さま・研究所さまからのご協力を期待いたします。

- 高純度結晶育成(耐力性向上・変換効率向上)
- 光学研磨(〃)
- 光学コート(光学コート→耐力性向上・光学損失低減に直結。フッ化バリウムは光学コートが困難な理由から現状では無コートで使用中心。)

 開発にご賛同・ご参加いただける企業さま及び研究所さまを募集しております(共同開発)

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 パルス整形装置およびパルス整形方法
- 特許番号(国際出願) : PCT/JP2020/044173
- 出願人 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
- 発明者 錦野将元、森道昭、チンタンフン、
小島完興、長谷川登、近藤公伯、北村俊幸

お問い合わせ先

量子科学技術研究開発機構

イノベーションセンターまでお願いいたします。

TEL 043-206-3146（共同研究）

043-206-3027（ライセンス）

FAX 043-206-4061

e-mail innov-prom1@qst.go.jp（共同研究）

chizai@qst.go.jp（ライセンス）