

ロシアサービスモジュールを利用した 3次元フォトニック結晶生成宇宙実験の 実施結果について

平成18年6月28日

宇宙航空研究開発機構
宇宙基幹システム本部
宇宙環境利用センター
小林 智之



国際宇宙ステーション(ISS)のロシアサービスモジュールで実施した、3次元フォトニック結晶生成宇宙実験について、実験結果の解析状況を報告する。

本宇宙実験は、合計2回のシリーズで、今回は初回フライトとなる。

第1回宇宙実験で取得した実験試料を詳細に分析し、現在検討中の、結晶を大型化する技術と合わせて、第2回宇宙実験に臨む予定。

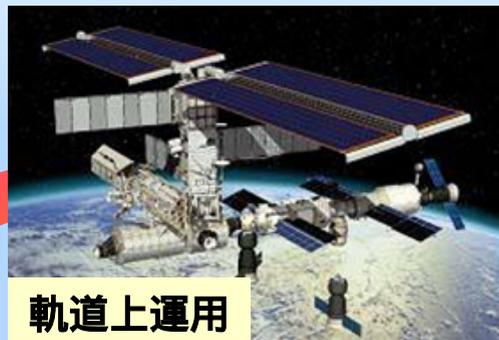
宇宙実験運用実績

平成17年12月22日
3時38分(日本時間)



打上

プログレス補給船(20P)

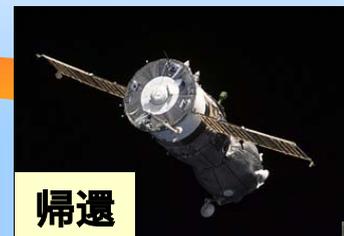


軌道上運用

ISSロシアサービスモジュール内に搭載
(約3ヶ月間)



フォトニック結晶実験装置



帰還

ソユーズ宇宙船
(11S)

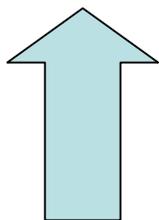


装置
回収

平成18年4月9日
8時47分(日本時間)

我が国の高精度ものづくり技術の今後を支える

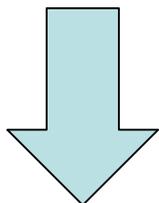
高輝度レーザー加工装置を使い易くする



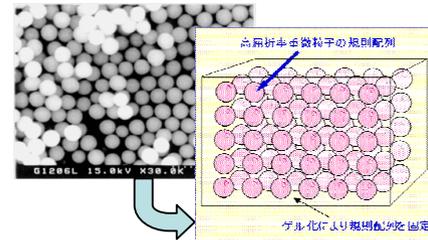
- 現行の回折格子を使用した光制御システムを3DPCで置き換える
- ・ 1 / 100以下にコンパクト化
 - ・ 光損傷閾値が回折格子に比べ100倍以上高い(高耐性)
 - ・ 光学軸が安定(複数の回折格子間の機械的調整不要)
 - ・ 高価な輸入技術である大型回折格子から、安価な国産技術へ

設備が大型になる要素の一つである光制御システムを代替する新しい産業用素材

cmサイズの均一な3次元フォトニック結晶(3DPC)の作製



高屈折率の粒ぞろいな微粒子を
微小重力下で均一に自己配列し
cmサイズに大型化してゲルで固定



ここで得られる3DPCは、光の閉じ込め、光信号の振り分けなど、IT産業、レーザー産業、エネルギー産業などの分野への技術イノベーションの鍵となりうる素材。

フォトニック結晶: 光の波長程度の周期で屈折率が変化する人工結晶であり、光の伝搬を制御することが可能。



宇宙実験のポイント



地上の3次元フォトニック結晶(3DPC)作製技術では、数十 μm サイズが限界。世界的にも実現できていない1cmサイズの3DPCの作製には、微粒子の自己配列によるコロイド結晶生成の技術が有力。

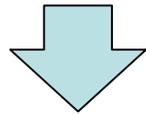
2回の宇宙実験を通じ、

粒径が**200nm**の高屈折率微粒子である**シリカコート酸化ガドリニウム微粒子**を用いた**格子間隔の均一な1cm角のコロイド結晶**

の生成技術の開発を目指す。

< 第1回宇宙実験 >

- ・ 宇宙でコロイド結晶を生成し、ゲル固定できる**実験システム**の開発・運用
- ・ 地上では実現できない粒径200nmの微粒子を用いた、**格子間隔の均一な結晶粒**の取得
- ・ 第2回宇宙実験に向けた**結晶化条件の絞込みに必要なデータの取得**



< 第2回宇宙実験 >

- ・ 結晶の**大型化(cmサイズ)技術**の確認
- ・ **シリカコート酸化ガドリニウム微粒子**による**1cm角の均一結晶**の取得



産学官の連携と役割分担



産業ニーズに応えるフォトニック結晶の取得(実用化)と、コロイド微粒子の結晶化研究(基礎研究)を宇宙実験で繋ぐ、産学官の連携体制で推進。

富山大学大学院	伊藤研策 助教授(代表研究者)	結晶成長モデル化、結晶化条件検討
名古屋市立大学大学院	山中淳平 助教授	結晶化条件検討、ゲル化条件検討
名古屋工業大学大学院	岡本茂 助教授	結晶成長制御技術
浜松ホトニクス(株)	瀧口義浩	結晶の光学的評価、応用研究
富士化学(株)	内田文生	微粒子の開発と結晶化
(独)物質・材料研究機構	澤田勉	結晶の構造的、機能的評価
(独)宇宙航空研究開発機構	小林智之	宇宙実験の実施、実験装置開発、全体とりまとめ

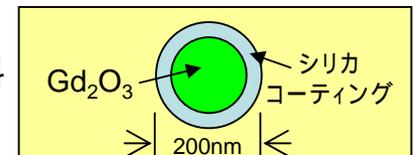
回収した実験サンプルを、結晶生成セル外部から評価したところ、以下を確認。

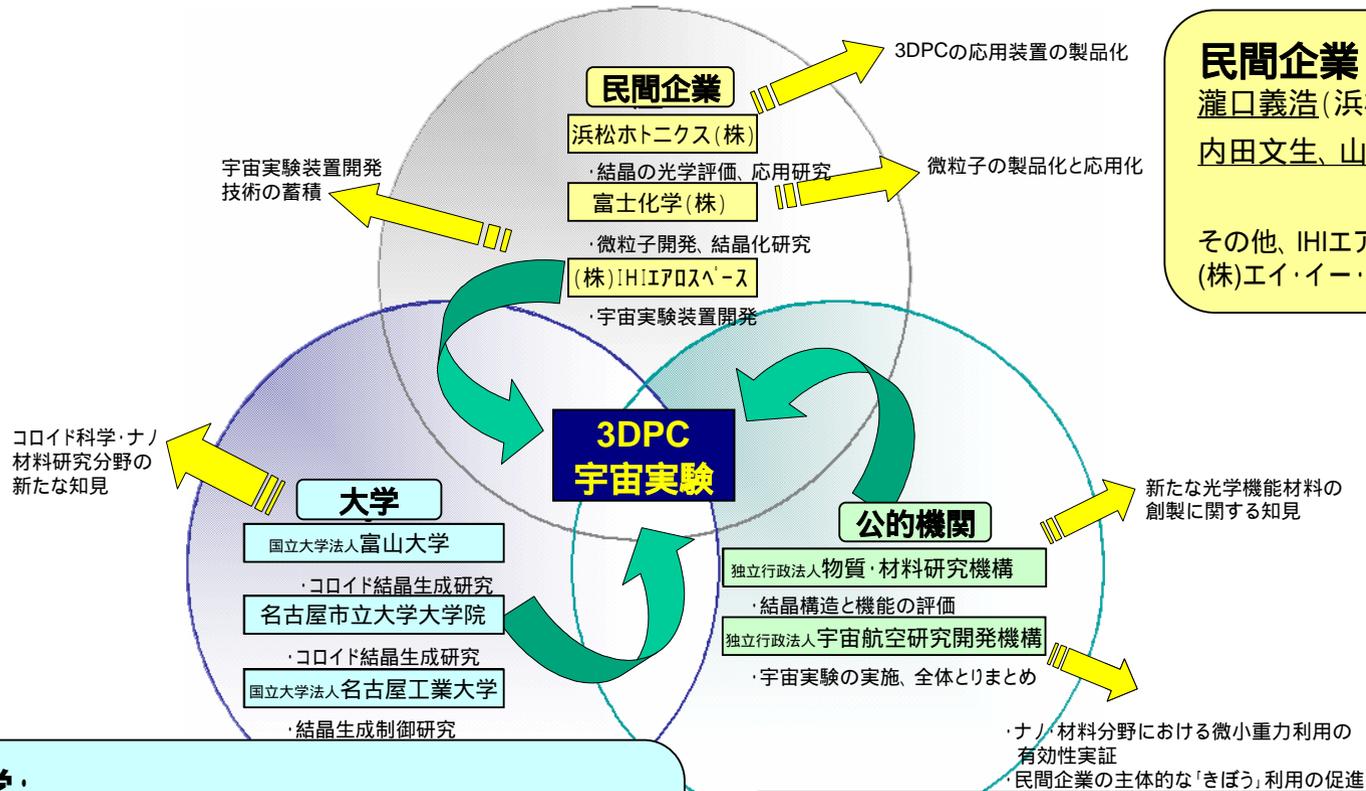
- 実験装置は正常に動作し、宇宙実験サンプルは全てゲルで固定して詳細評価に供される状態で帰還。結晶化からゲル化に至るまでのプロセス制御技術を含め、実験システムの実現性を確認した。
- 地上では実現困難な200nmサイズのシリカ⁽¹⁾微粒子による均一結晶が生成した。
- 微粒子のサイズ、種類、結晶化の方法等の異なる複数の実験サンプルを取得し、実験データを解析中。
シリカコート酸化ガドリニウム⁽²⁾微粒子による結晶は確認できていないが、シリカコートの表面特性の影響と推定され、2回目の宇宙実験に向け改善策を検討中。

(1) シリカ: SiO_2 = 二酸化ケイ素。ガラス、水晶の主成分。100nmサイズのシリカは地上でのコロイド結晶化のデータが豊富であることから、**第1回宇宙実験の評価のための標準サンプル**として採用。**200nmサイズのもの**は重い⁽¹⁾ため、地上では重力沈降の影響を受け、均一な結晶は生成困難。

(2) シリカコート酸化ガドリニウム:

希土類の酸化物 (Gd_2O_3) にシリカのコーティングを施したもの (右図参照)。屈折率がより大きい。レーザー加工装置への応用に繋がる材料であり、**第2回宇宙実験でcmサイズの結晶化を目指す**。





民間企業:
 瀧口義浩(浜松ホトニクス(株))
 内田文生、山田浩司、尾崎宙志
 (富士化学(株))
 その他、IHIエアロスペース(株)、
 (株)エイ・イー・エス、日揮(株)など

大学:
 伊藤研策 助教授(富山大学 工学部)
 山中淳平 助教授(名古屋市立大学大学院 薬学研究科)
 岡本 茂 助教授(名古屋工業大学 工学研究科)
 及び、各研究室の学生、研究員

公的機関:
 澤田 勉(物質・材料研究機構)
 小林智之、池田俊民、大木芳正、加納剛(宇宙航空研究開発機構)



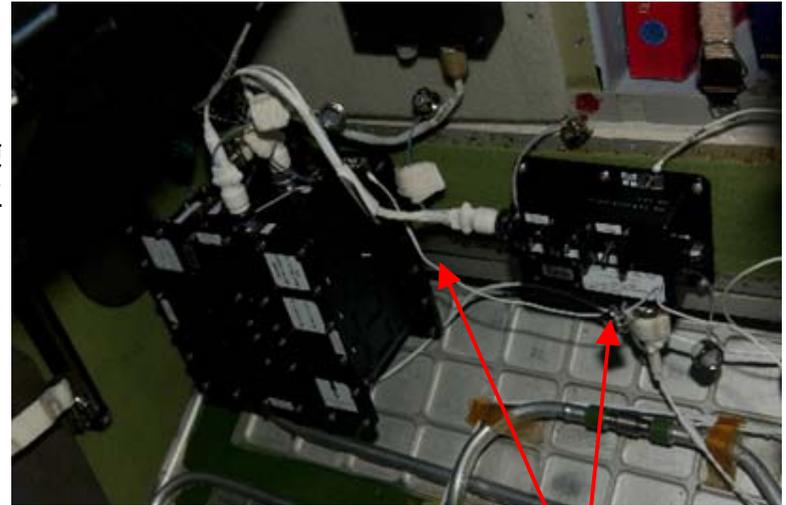
結晶生成セル



結晶生成セルの
入ったセルユニッ
トを二つ搭載。

3次元フォトニック結晶生成装置
メインユニット

サービスモジュール内で実験
中の3次元フォトニック結晶生
成実験装置の様子



サービスモジュール壁面
にベルクロで設置。





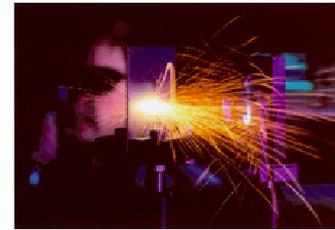
参考資料(3) 高精度ものづくり技術の今後を支える高輝度レーザー加工装置の特徴とフォトニック結晶



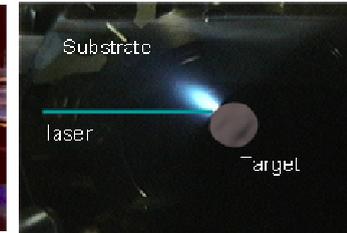
従来のYAGレーザーや紫外線エキシマレーザーに比べ、

- ・高輝度 メガW、ギガW級 テラW級
- ・超短パルス幅 ナノ(10^{-9})秒、ピコ(10^{-12})秒 フェムト(10^{-15})秒
- ・非熱加工(高精度で損傷のない優れた加工)が可能
- ・生体治療に有効(光源が近赤外。細胞破壊を引き起こさない)
- ・極微細加工($0.1 \mu\text{m}$ 程度の構造作成)が可能
- ・瞬時プラズマ化によりマイクロデブリが減少

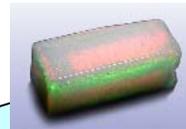
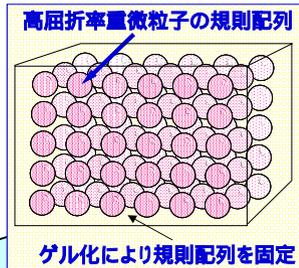
従来のレーザー加工



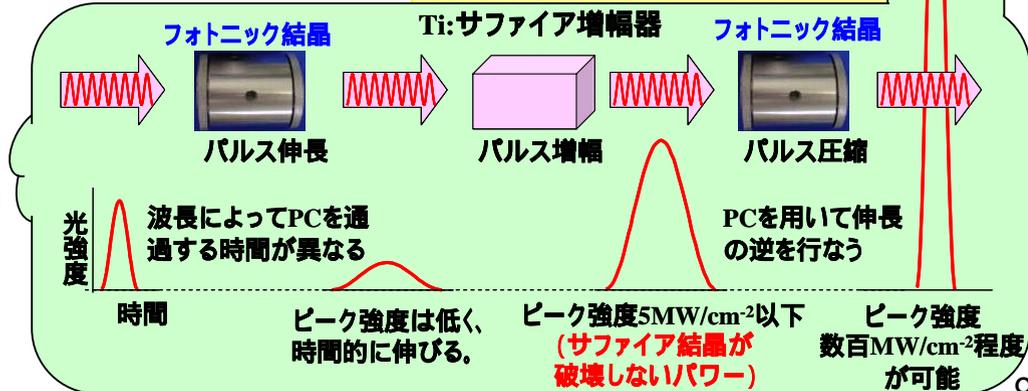
高輝度レーザー加工



宇宙でできたコロイド結晶を、紫外線照射によりゲル固定し、**フォトニック結晶**として利用



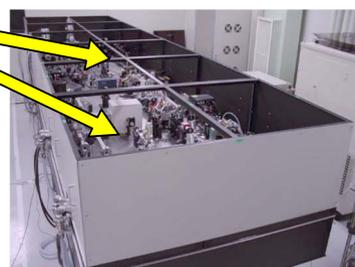
フォトニック結晶とチタンサファイア増幅器を用いたパルス増幅



フォトニック結晶を使用した素子でパルス圧縮・伸長装置を置き換えることにより、レーザー設備の小型化を実現



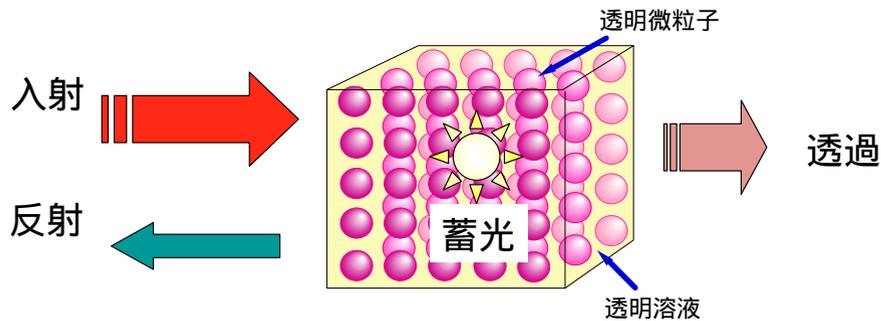
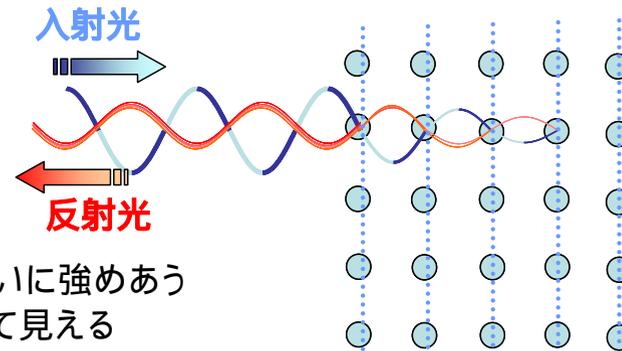
フォトニック結晶



光の波長 = 格子の周期の半分

入射した光は格子面で
いくらかずつ反射する

反射した光が重なり合いお互いに強めあう
ある波長(色)光だけが反射して見える



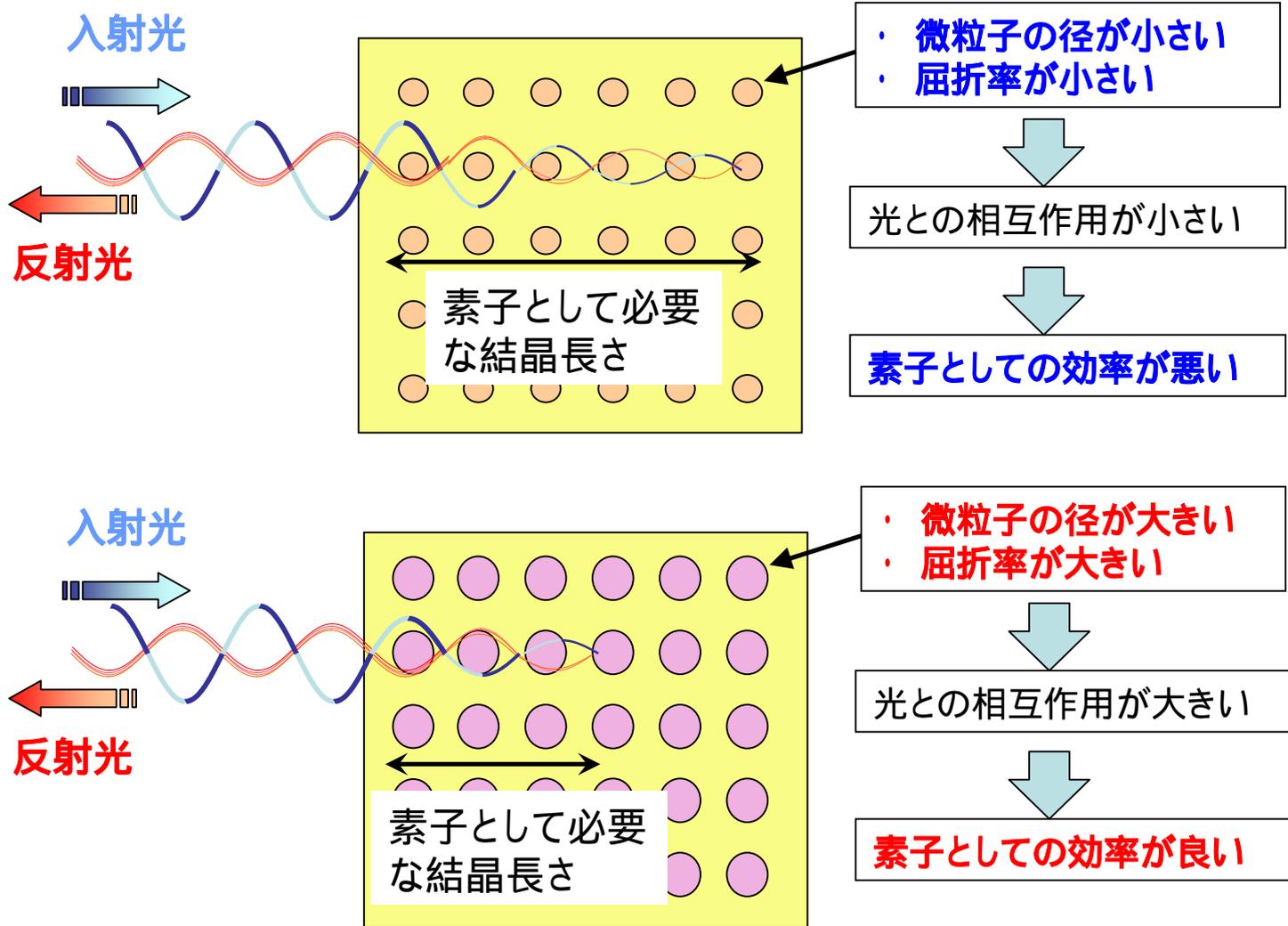
- 分野を越えた新たな材料
 - 波長分散素子：回折格子、光遅延素子
 - レーザー産業
 - IT産業
 - エネルギー産業
 - 宝飾
 - 芸術



- 光の3次元ミラー・光の色フィルター。
- 光の波形を変える。
- 光をゆっくり伝える。
- 光を蓄える。
- 内包させた材料の光特性を制御。
 - 光に対する応答速度を速く、あるいは遅く。

日本独自産業
のキー素材

半導体などの原子結晶は、電子技術を変えた。
フォトニック結晶は、光の技術を変える。



産業応用上、**200nm**の**シリカコート酸化ガドリニウム**であれば、 $1\text{cm}^2 \times$ 数cmで実用化可能