

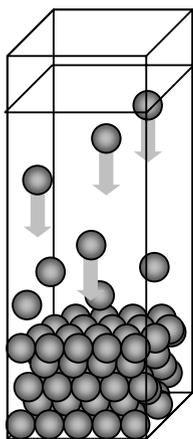
宇宙に於けるフォトニック結晶の 作製について

富山大学大学院 伊藤研策
名古屋市立大学大学院 山中淳平

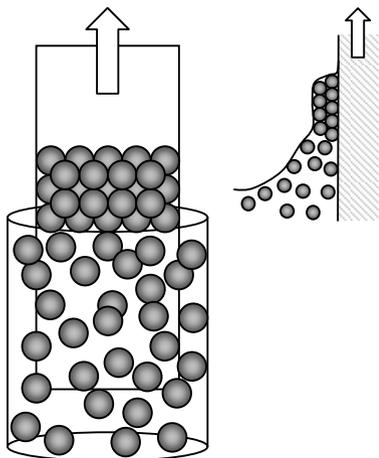
コロイド結晶の分類

- 堆積型

沈降法

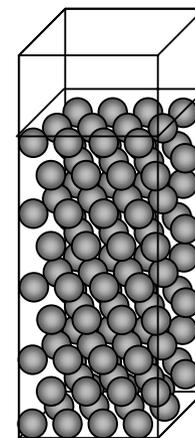
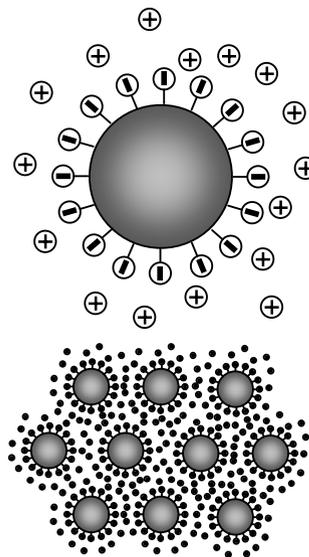


引き上げ法



液体乾燥時に配列

- 静電相互作用型
(本宇宙実験で採用)

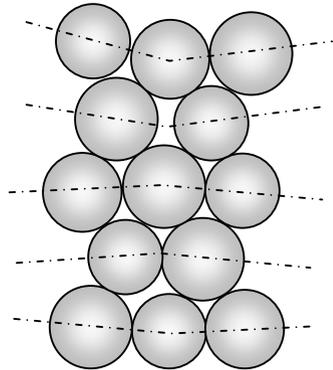


純水中で電氣的
反発力により配列

コロイド結晶の特徴

●堆積型

粒子直径により格子定数が
が決まる

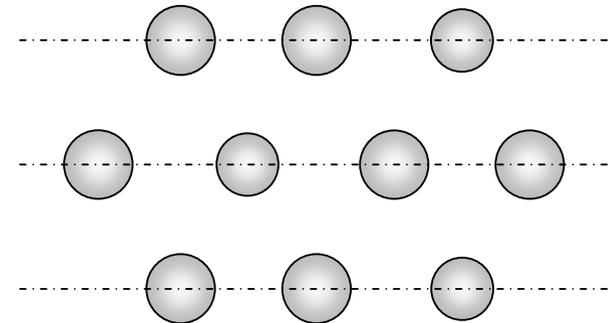
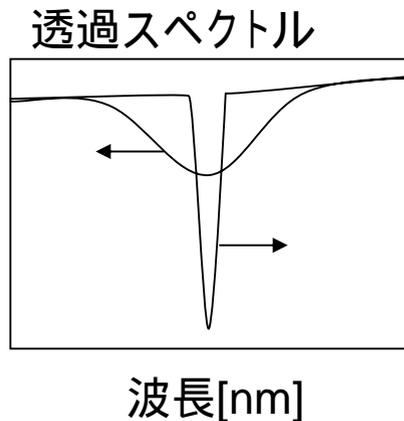


粒径のばらつき 10%

最大10層程度

●静電相互作用型

周辺複数粒子との相互作用
で格子定数が決まる



粒径のばらつき 10%

100層以上積層可

大型単結晶化に最適

静電相互作用型コロイド結晶

- 利点

分散液中の結晶

結晶化方法が多い

格子定数の調節が容易

熟成可

ゲル固定化結晶

格子定数の変調可

- 欠点

分散液中の結晶

イオン性不純物に弱い

大気中CO₂の溶解で壊れる

微弱な相互作用により形成

僅かな振動で壊れる

熱対流で壊れる

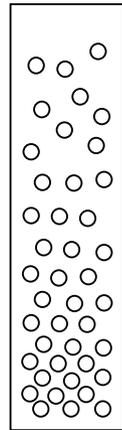
自重で歪む

重力の影響

cmサイズの単結晶作製は地上では困難



宇宙実験



コロイド結晶研究と宇宙(1)

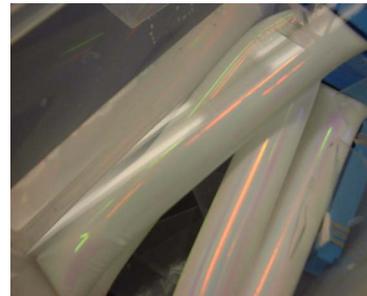
- 単分散微粒子の合成 (直径数100nm)

乾燥による配列 (堆積型)

精製過程における配列 (相互作用型)



粉体



分散媒中で
粒子が浮遊

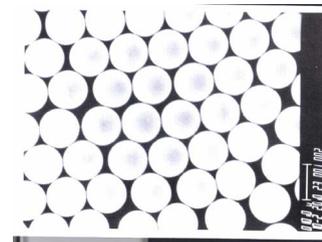
虹彩色の発現

コロイド結晶の発見

- 大粒径単分散微粒子の合成

宇宙実験(1982,83)

直径10 μm の粒子を合成



John Vanderhoff, Lehigh University,
Space Shuttle Flight STS-3,6

<http://nvl.nist.gov/pub/nistpubs/sp958-lide/371-374.pdf>

コロイド結晶研究と宇宙(2)

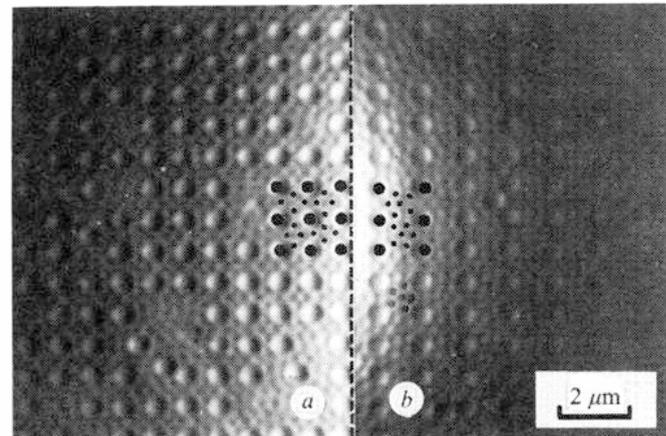
- 構造解析

光回折法(堆積型、相互作用型)

光学顕微鏡観察法(相互作用型) (日本発の技術)

結晶格子・結晶欠陥の可視化

fcc、bcc、合金構造



S. Hachisu and S. Yoshimura, *Nature* **283**, 188 (1980)

コロイド結晶研究と宇宙(3)

- 結晶形成過程の解明(相互作用型)
粒子間相互作用と相図の関係

微弱相互作用

熱対流・沈降の影響

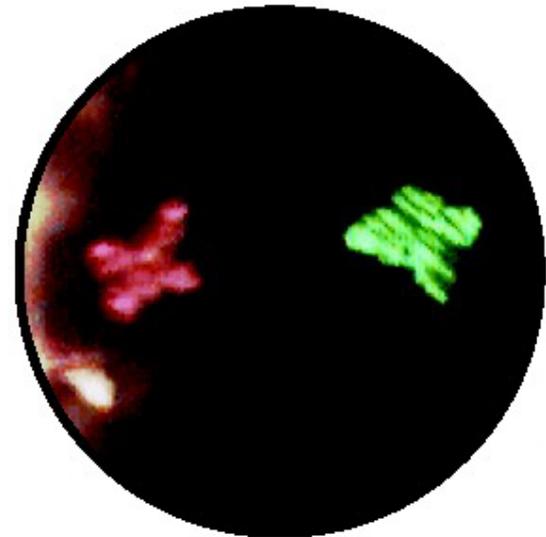
結晶欠陥の発生

結晶格子種の限定

宇宙実験(1995)

樹脂状結晶の形成

基礎研究が目的

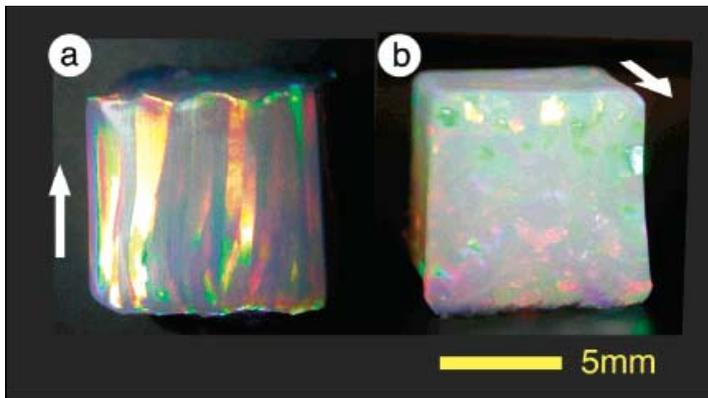


credit: Paul Chaikin

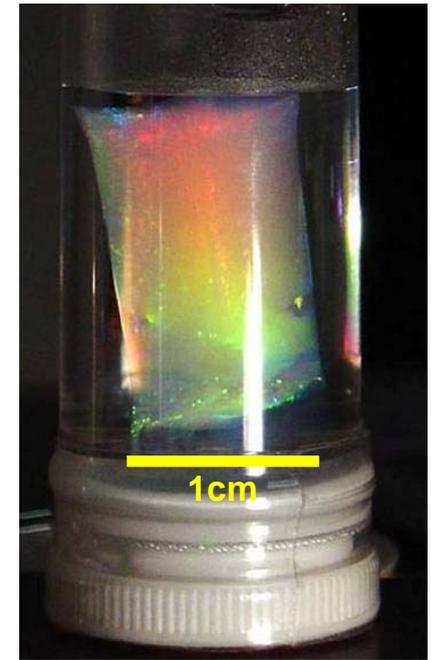
http://exploration.nasa.gov/articles/physicalsciences_06-2002.html
Jixiang Zhu et al. Nature 387, 883 (1997)
Space shuttle flight STS-73

コロイド結晶研究と宇宙(4)

- 結晶欠陥の減少技術の追求(相互作用型)
大型(cmサイズ)単結晶の作製(研究者のこだわり)
薄膜型コロイド結晶作製法
柱状結晶成長法(日本発の技術)



Junpei Yamanaka et al., J. AM. CHEM. SOC., 126, 7156-7157(2004)



世界最大のコロイド単結晶

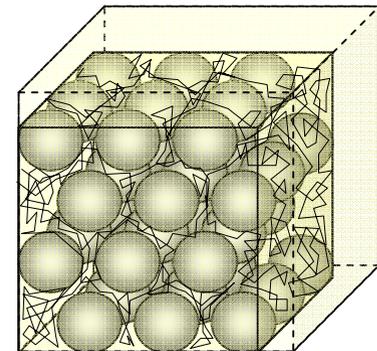
産業界とコロイド結晶(1)

- 人工オパール・人工真珠(堆積型)
京セラ、Gilson



<http://www.kyocera.co.jp/prdct/jwely/cv/fireopal.html>

- イオン・分子センサー(相互作用型)
高分子ゲルで固定化
イオン・分子を吸収 ゲルの膨潤
nmオーダーの格子定数変化を検出



J. H. Holtz and S. A. Asher, Nature 389, 829-832 (1997)
特許多数

産業界とコロイド結晶(2)

- 3次元フォトニック結晶

光回路 数 $100 \mu\text{m}^3$

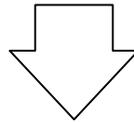
光遅延素子 数 cm^3

大型(cmサイズ)単結晶

大粒径、高屈折率

} (産業界の要求)

研究者のこだわり = 産業界の要求



今回の宇宙実験

静電相互作用型コロイド結晶 作製方法(1)

- 結晶形成原理

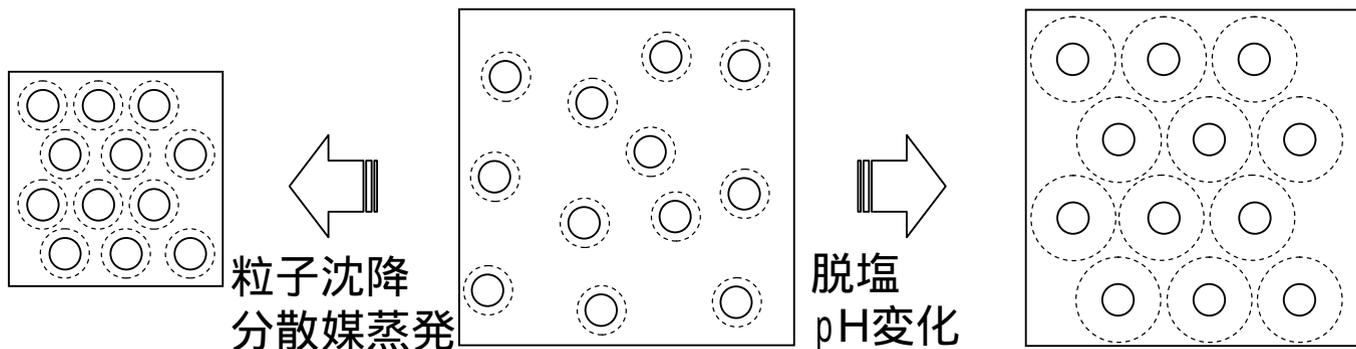
粒子間静電反発力を強化

粒子の運動を制限

- 反発力強化法

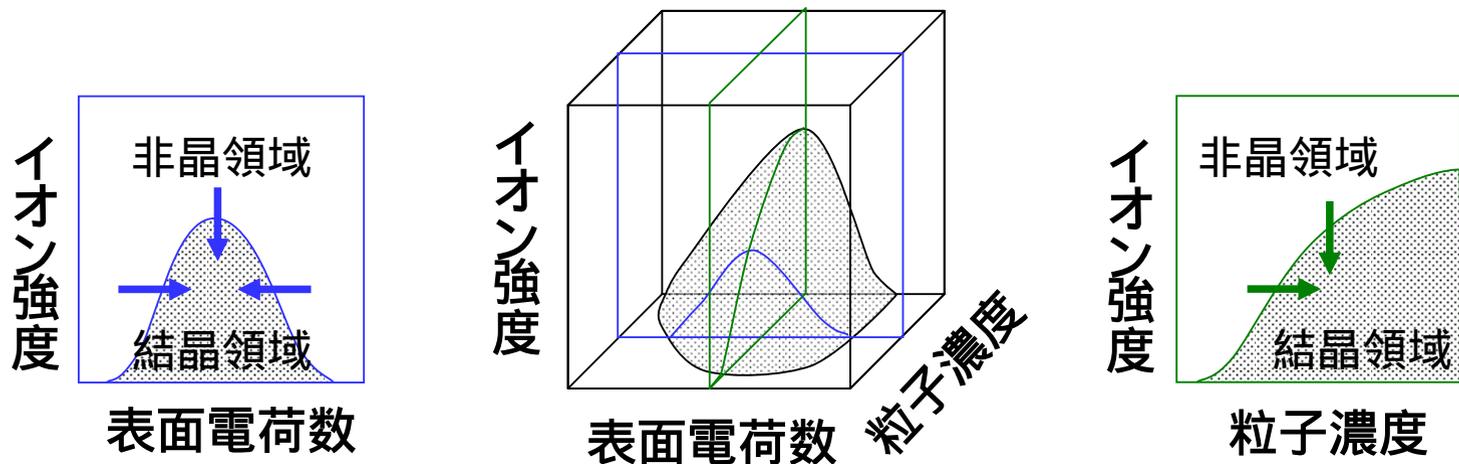
粒子濃度増加

イオン強度減少
表面電荷数増加



静電相互作用型コロイド結晶 作製方法(2)

- 相図

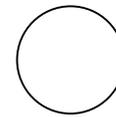


大型単結晶化のポイント : 境界近傍で育てる

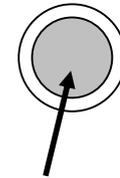
宇宙実験方法(1)

- 試料

材質	直径(nm)
シリカ	100,150,200
シリカコート 酸化ガドリニウム	200



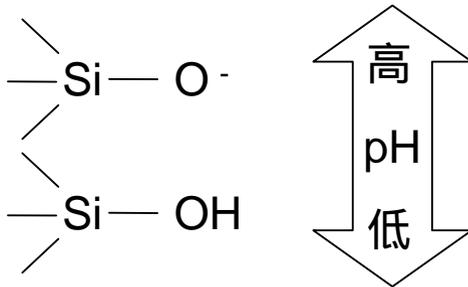
シリカ
 SiO_2



酸化ガドリニウム
 Gd_2O_3

シリカ

シリカ表面の解離基

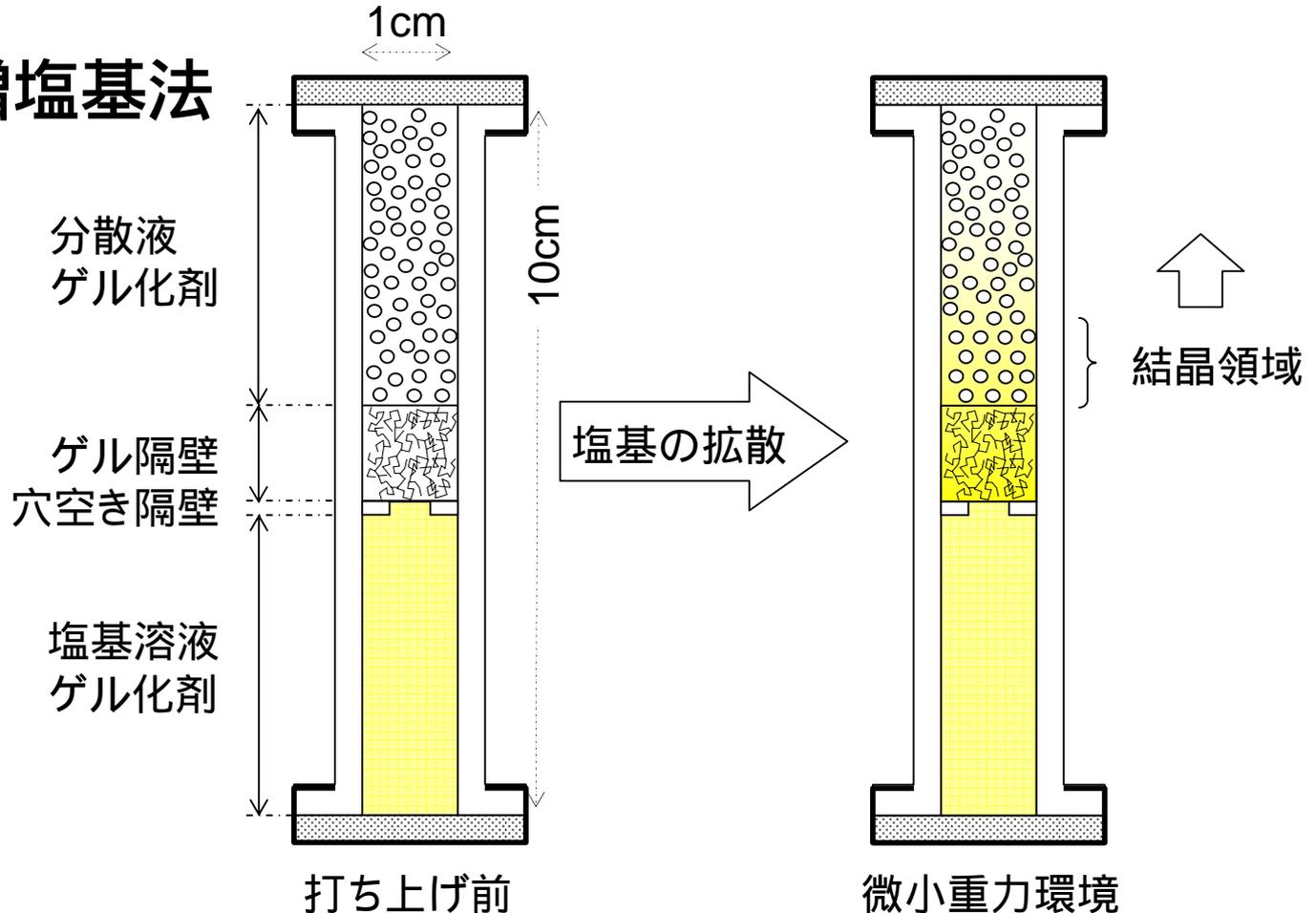


pH(塩基濃度)によって表面電荷量が変化

	塩基濃度	電荷数
増塩基法	増加	増加
減塩基法	減少	減少

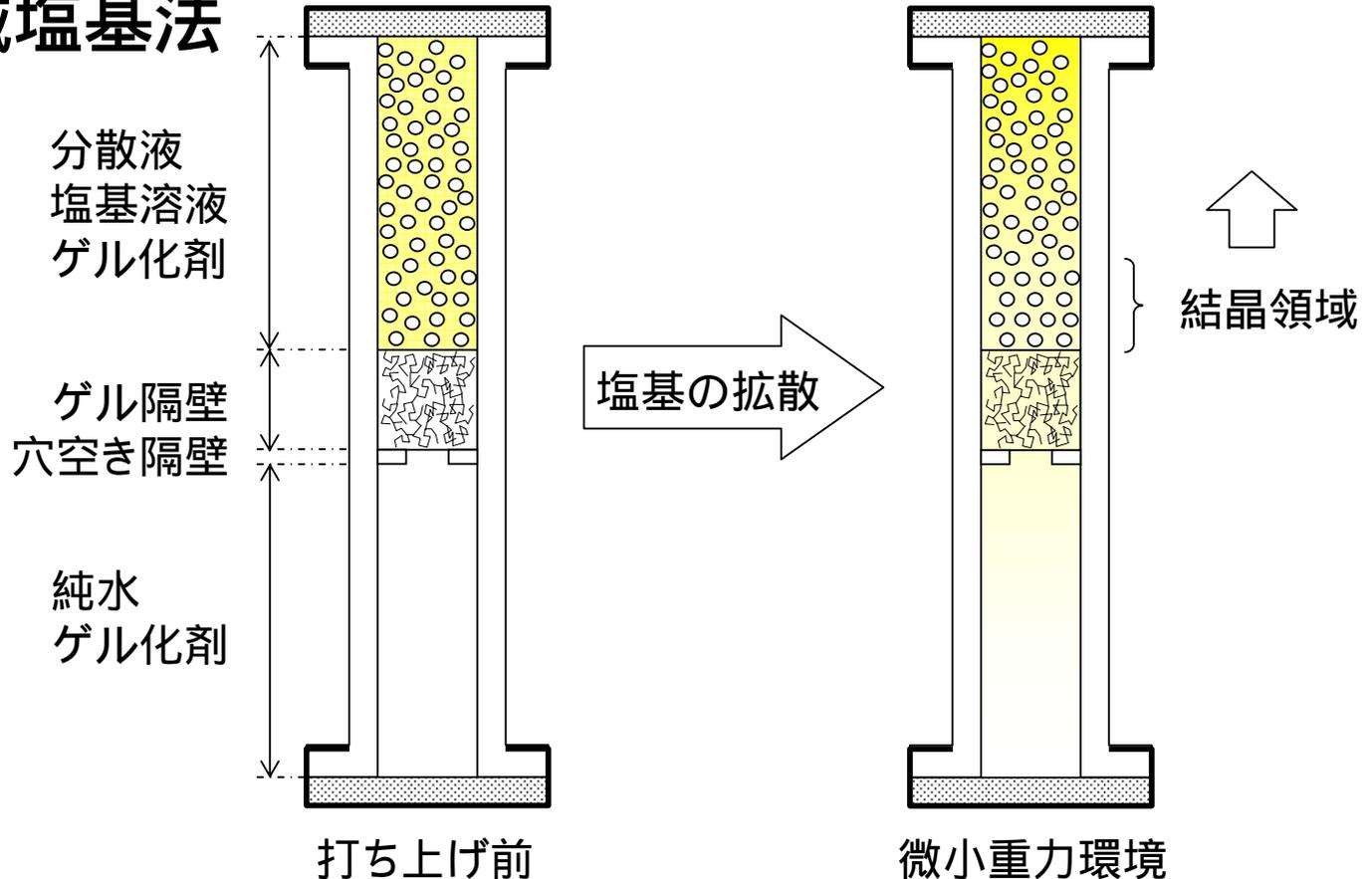
宇宙実験方法(2)

- 増塩基法



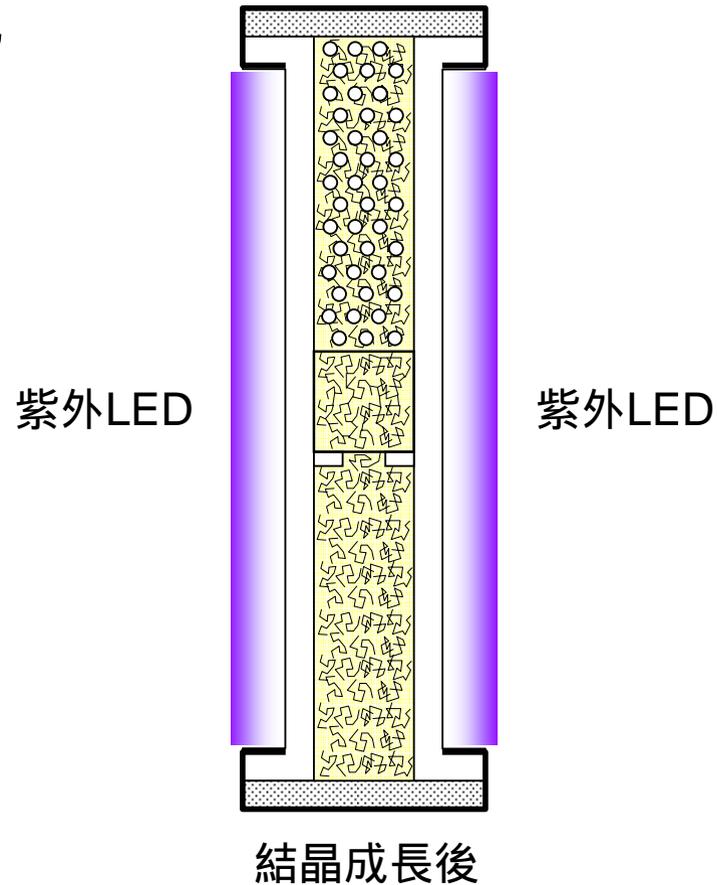
宇宙実験方法(3)

- 減塩基法



宇宙実験方法(4)

- ゲル固定化



宇宙実験実施前の検討事項(1)

- 塩基拡散制御

隔壁穴サイズ・形状・個数の最適化、ゲル隔壁の高さの最適化、塩基濃度の最適化、ゲル隔壁の洗浄

- 気泡の発生・混入

キャップの密閉性確保、溶存気体の除去、反応性試薬濃度の最適化

- 反応性試薬の選定

反応に伴うイオン性不純物発生量・気体発生量の少ない試薬の探索、溶存酸素の除去

宇宙実験実施前の検討事項(2)

- 打ち上げ前の沈降

人手による振とう・打ち上げ時の振動による攪拌効果の調査、打ち上げ直後の粒子濃度分布の測定

- 打ち上げ後の振動の影響

結晶成長後の宇宙ステーション内外の要因による振動

- 温度変化の影響

ゲル化用紫外光源による温度変化や宇宙ステーション内温度変化による気泡の発生

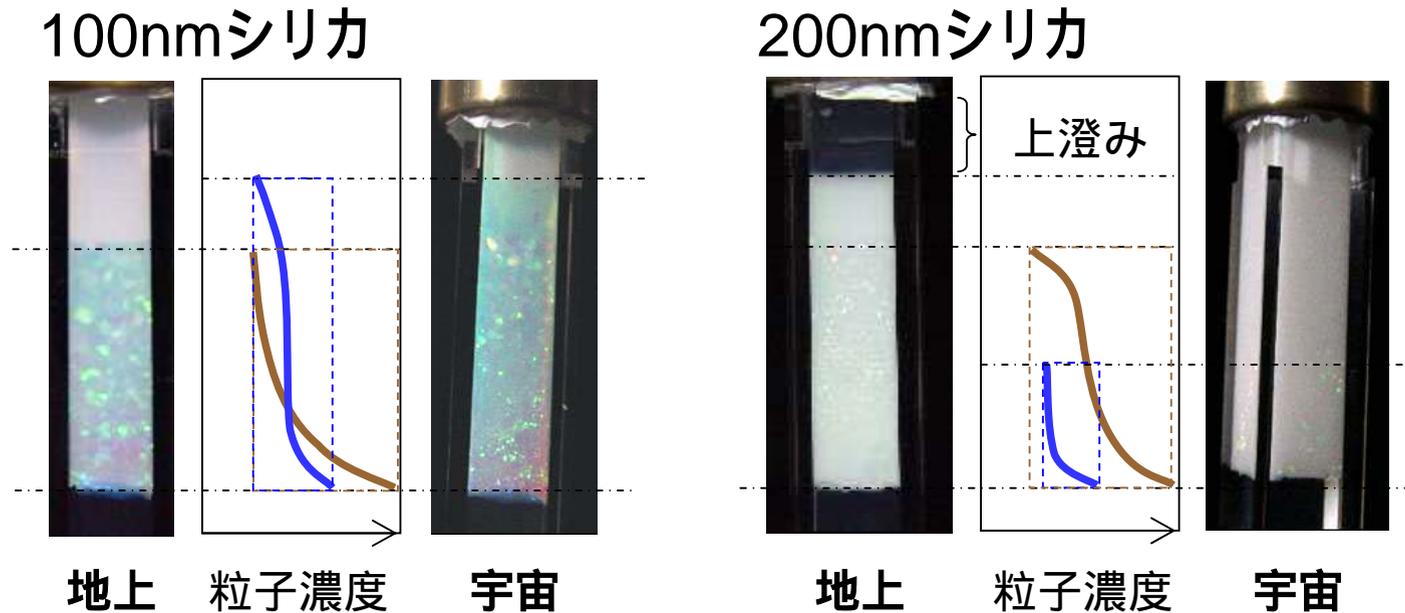
第1回宇宙実験の成果(1)



ゲル固定化コロイド結晶 (made in space)

第1回宇宙実験の成果(2)

- 微小重力による均一化の確認



宇宙到達直後の粒子濃度分布 : 解析中

第2回宇宙実験

- 目的

シリカコート酸化ガドリニウムの大型単結晶化技術の確立

- 課題

表面シリカコート層の均質化(表面電荷数、化学的安定性)
初期粒子濃度の均一化など

