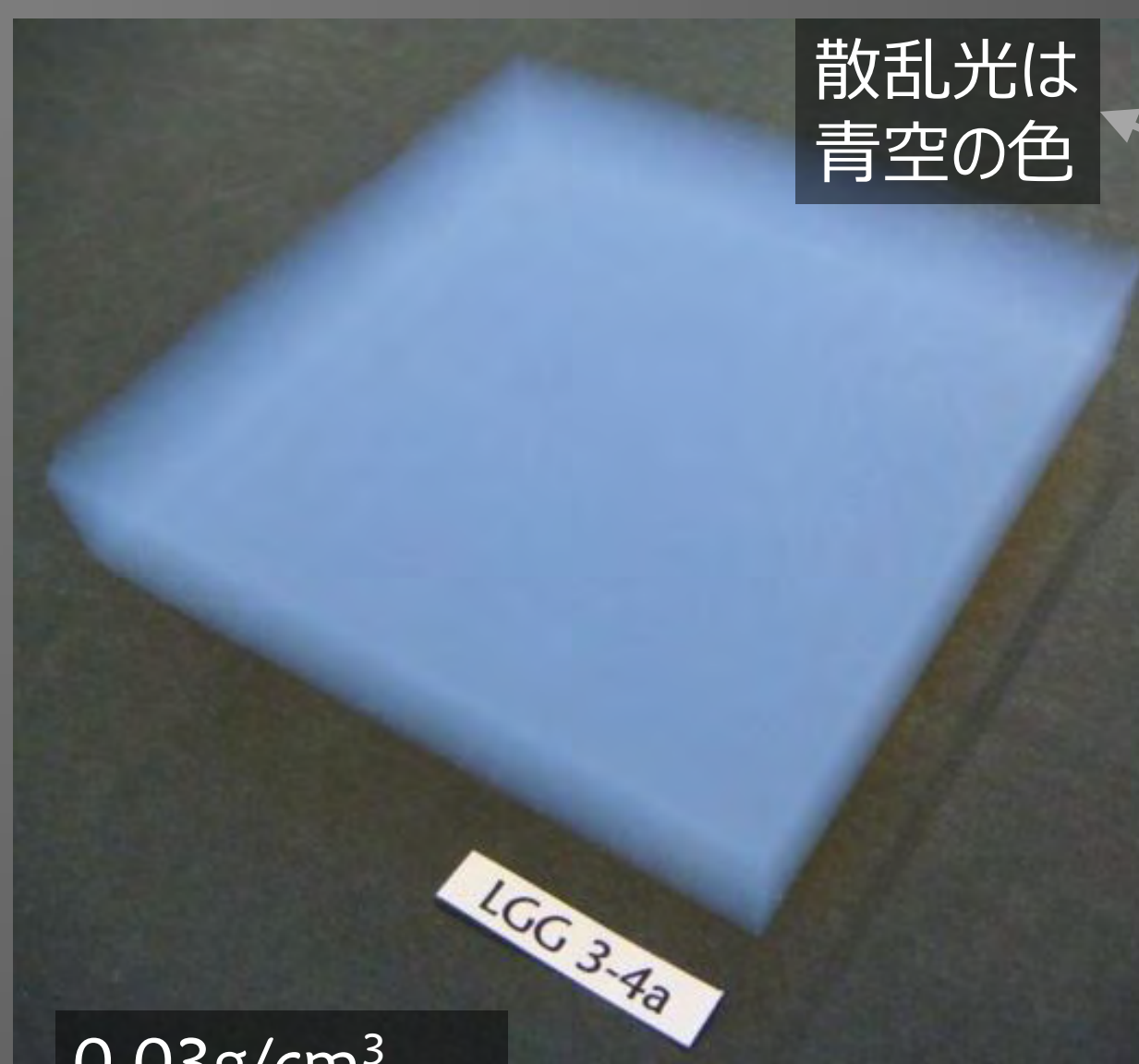


田端 誠^{1,2}, 河合 秀幸², 足立 一郎³, 山岸 明彦⁴, たんぽぽプロジェクトチーム and Belle II A-RICH グループ

¹宇宙航空研究開発機構(JAXA), ²千葉大学, ³高エネルギー加速器研究機構(KEK), ⁴東京薬科大学

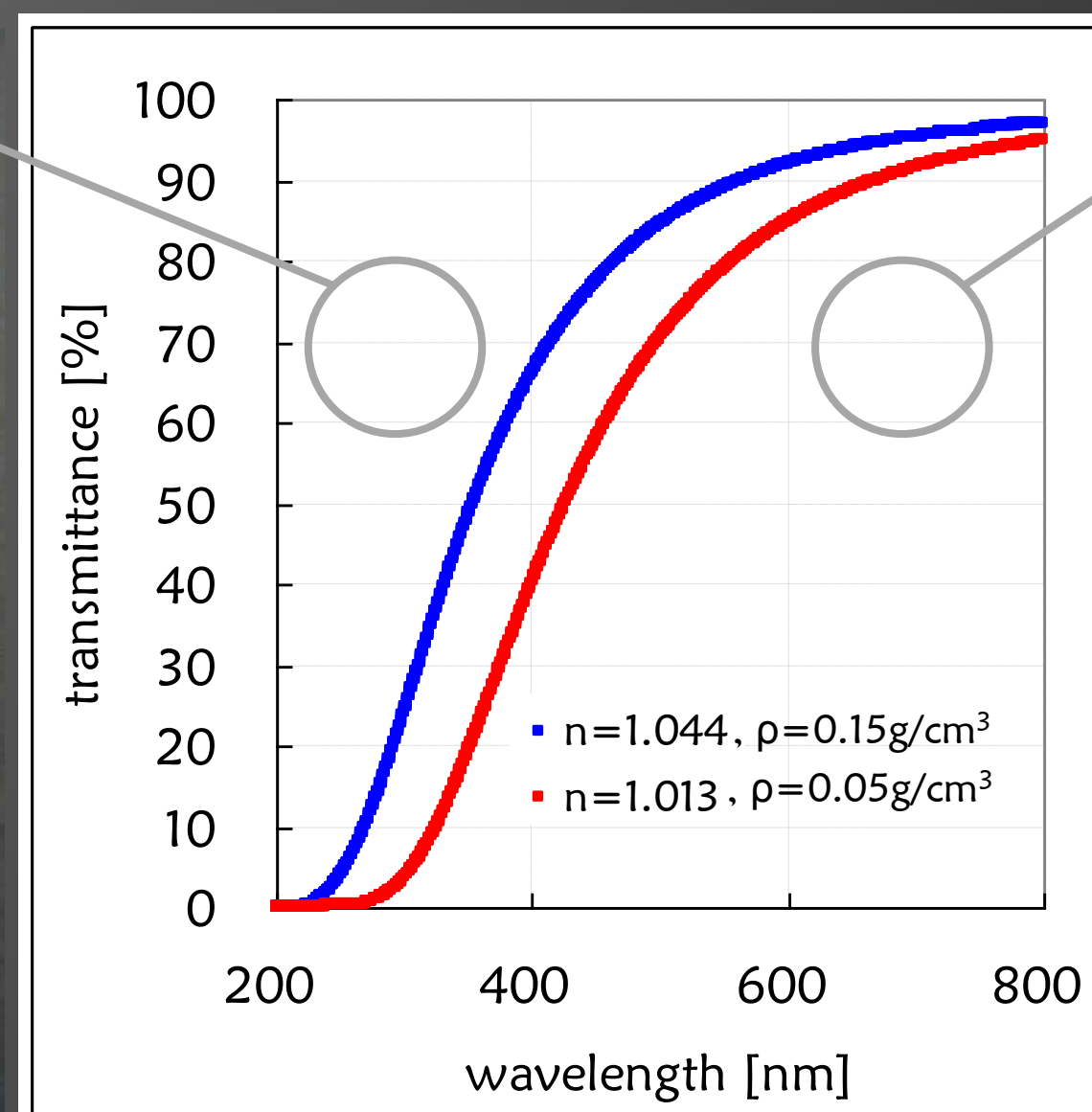
シリカエアロゲルとは

- シリカエアロゲルは、シリカ(SiO_2)粒子で3次元ネットワークを形成し、構造間に含有する分散媒(アルコール等)を超臨界乾燥により空気に置換することにより得られる。
- 無色透明で軽量であり、断熱性に優れる。真空中や磁場中でも安定。放射線耐性もある。
- 低密度であるため、超高速($\sim \text{km/s}$)で衝突してくる宇宙塵の非破壊捕集材として利用されている。
- 密度 ρ と屈折率 n の間には、 $n=1+\alpha\rho$ の関係があり、低密度=低屈折率である。 $(\alpha=0.25\text{-}0.30\text{cm}^3/\text{g})$

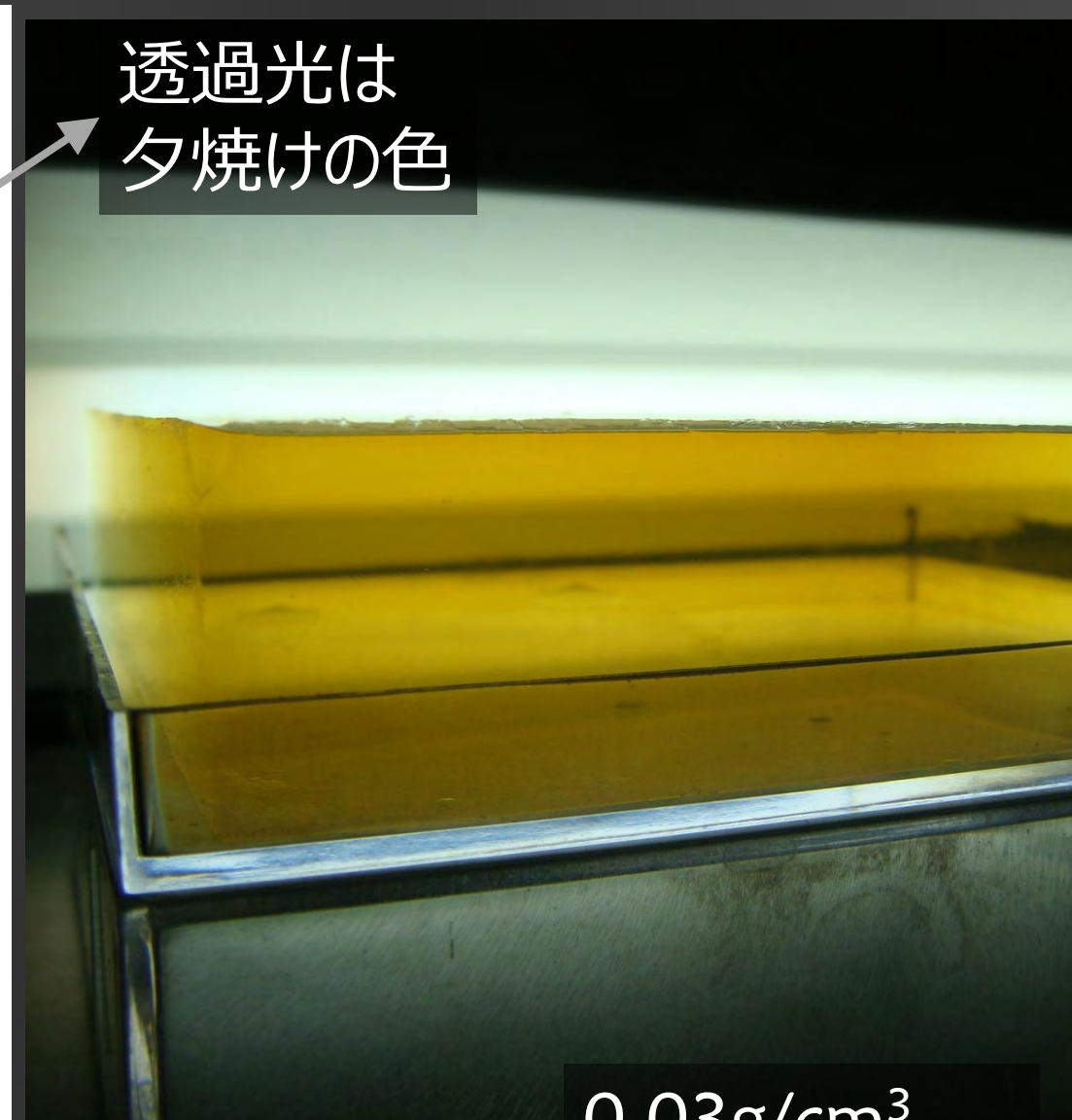


0.03g/cm³
シリカエアロゲル
11×11×2cm³

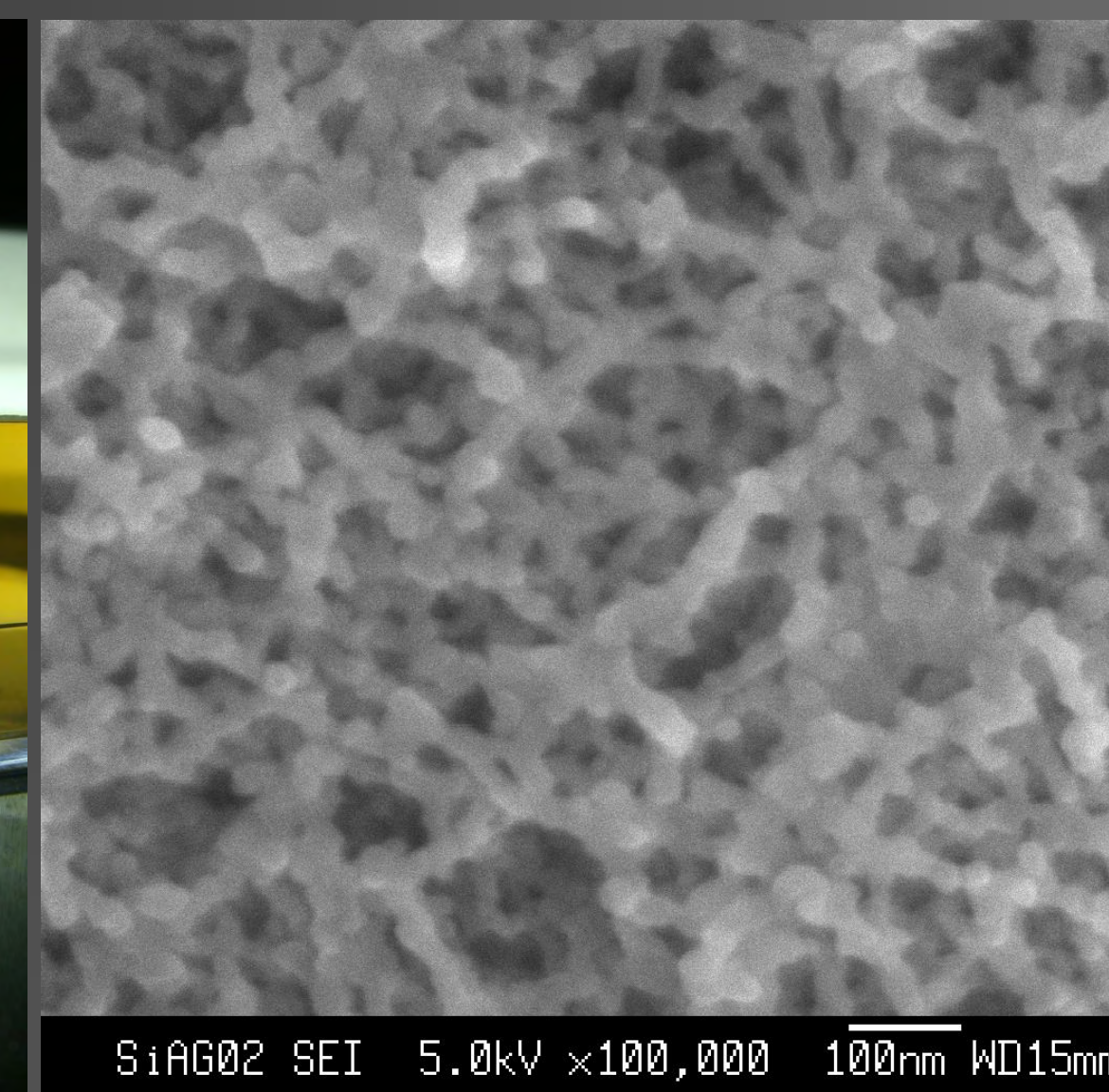
散乱光は
青空の色



波長ごとの可視光の透過率



0.03g/cm³
シリカエアロゲル



0.01g/cm³シリカエアロゲルの
走査型電子顕微鏡画像

シリカエアロゲルの製法(KEK法)

開発の歴史

- Single-step法、Two-step法に続くシリカエアロゲルの第3製法として、1990年代にKEKとパナソニック(松下)電工がKEK法を共同開発。標準的なメタノール溶媒に替えて、エタノール溶媒を利用することにより、シリカエアロゲルの低屈折率化($n=1.01\text{-}1.03$)に成功。
- 2004年に新溶媒ジメチルホルムアミド(DMF)を導入し、高屈折率シリカエアロゲル($n=1.04\text{-}1.06$)の高透明度化に成功(千葉大学、KEK、パナソニック電工)。
- 2005年にフレーム構造法(異なる密度のアルコゲルを積層する手法)により、超低密度シリカエアロゲル($\rho=0.01\text{g/cm}^3$)の開発に成功(千葉大学)。
- 2005年に、高屈折率シリカエアロゲルの第4製法となるピンホール乾燥(PD)法により、超高屈折率シリカエアロゲル($n=1.22$)の開発に初めて成功(千葉大学)。
- 2007年にKEK法により、超低密度シリカエアロゲル($\rho=0.01\text{g/cm}^3$, $n=1.0026$)の単層での製作に成功(千葉大学)。
- 現在、 $n=1.0026\text{-}1.26$ の範囲で任意の屈折率のシリカエアロゲルを製作可能。



KEK法 - 日本におけるシリカエアロゲルの標準製法 -

(全工程で約1ヵ月を要する)

1. 湿潤ゲル合成

目的とするシリカエアロゲルに応じてデザインされたレシピに従って、原料薬品を調合する。主反応はテトラメトキシシランと蒸留水による縮重合反応(ゾル-ゲル反応)。



溶媒として、エタノール、メタノール、ジメチルホルムアミドを使い分け、触媒としてアンモニア水を添加する。テトラメトキシシランに相当する化学薬品として、市販のメチルシリケート51を利用し、湿潤ゲル合成を簡略化したことがKEK法の特徴である。

2. 熟成・前洗浄

鋳型のまま熟成させることによりゲル構造を強固にする。この段階で湿潤ゲルの形状が確定する。その後、エタノールに浸漬し、分散媒をエタノールに置換する。鋳型から外し易くする効果もある。

3. 疎水化

日本製のシリカエアロゲルの特徴である撥水加工を施すため、疎水化剤ヘキサメチルジシラザンを分散媒エタノールに添加する。



4. 後洗浄

湿潤ゲルを新しいエタノールに複数回浸漬し、疎水化で発生したアンモニアを取り除く。

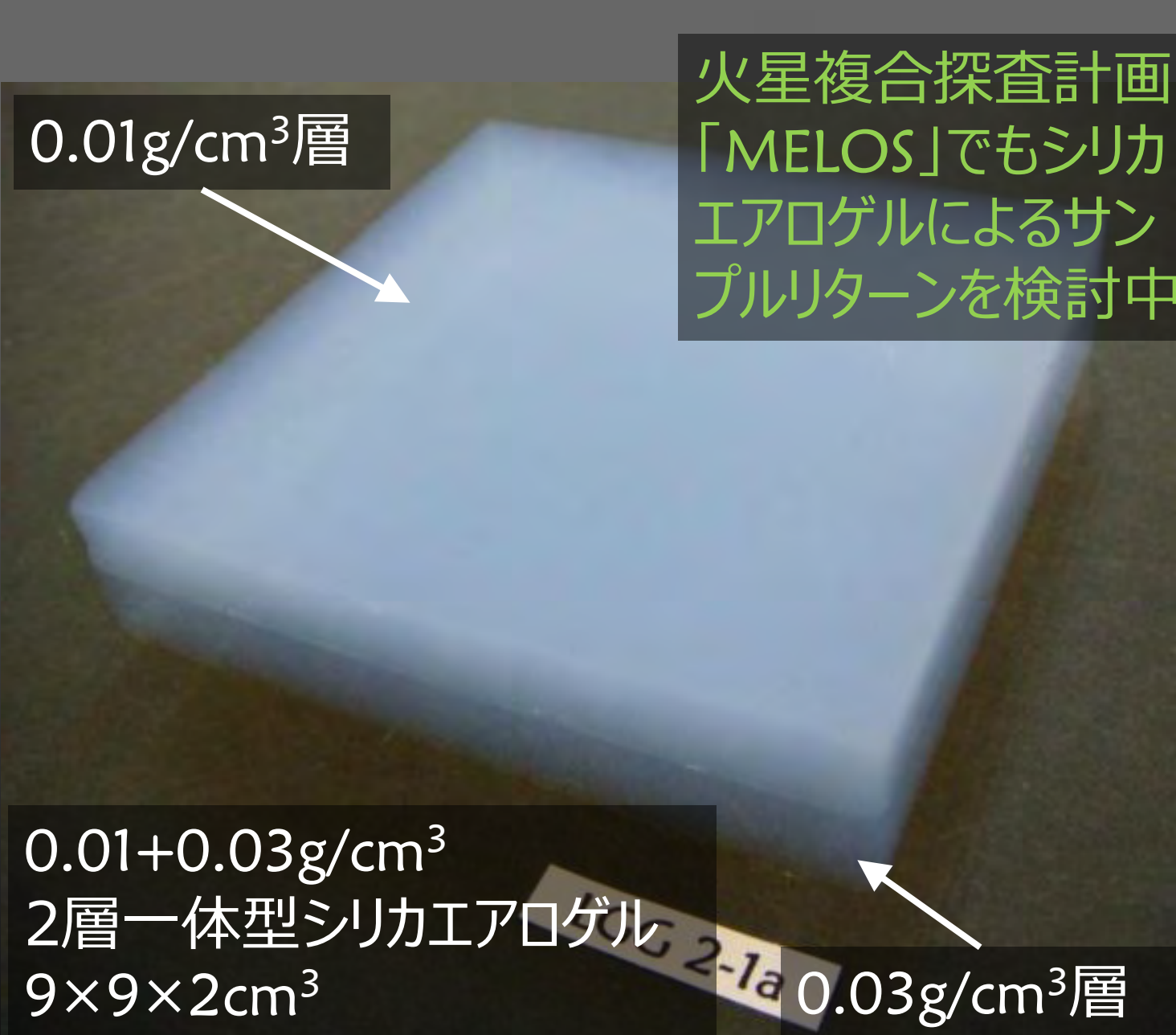
5. 超臨界乾燥(分散媒抽出)

蒸気圧曲線の終点である臨界点を迂回するように温度・圧力を変化させ、ゲル構造を壊さずに分散媒を抽出する。分散媒エタノールを直接抽出する装置(オートクレーブ)と、液化炭酸に置換してから抽出する装置がある。

「たんぽぽ」プロジェクト

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームを利用するアストロバイオロジー実験 (HTVによる打ち上げ目標: 2013年)

- 地球周回軌道上の宇宙塵捕集材として、超低密度シリカエアロゲルを曝露。
- 0.01g/cm³+0.03g/cm³の2層一体型のシリカエアロゲルを開発。
→ 第1層を低密度化することにより、捕集性能が向上
→ 第2層を高密度にすることにより、耐久性が向上
- 宇宙塵試料を地上に回収して分析する。



火星複合探査計画「MELOS」でもシリカエアロゲルによるサンプルリターンを検討中

科学目標

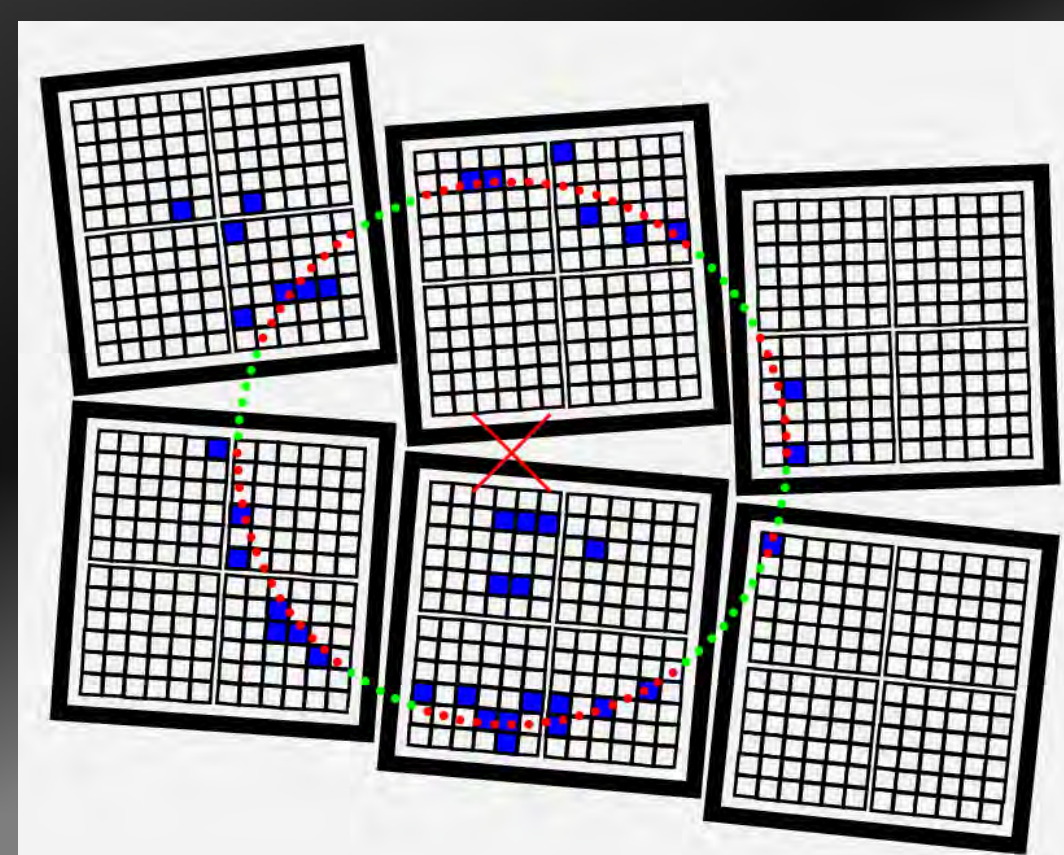
- 地球を脱出する可能性のある微生物の検出・培養。
- 地球に飛来する複雑有機物の検出。
→ 地球-宇宙間の生命の双方向伝播の可能性の検証
→ 微生物・アミノ酸汚染を低減した高純度シリカエアロゲルを開発中
- スペースデブリの環境調査。



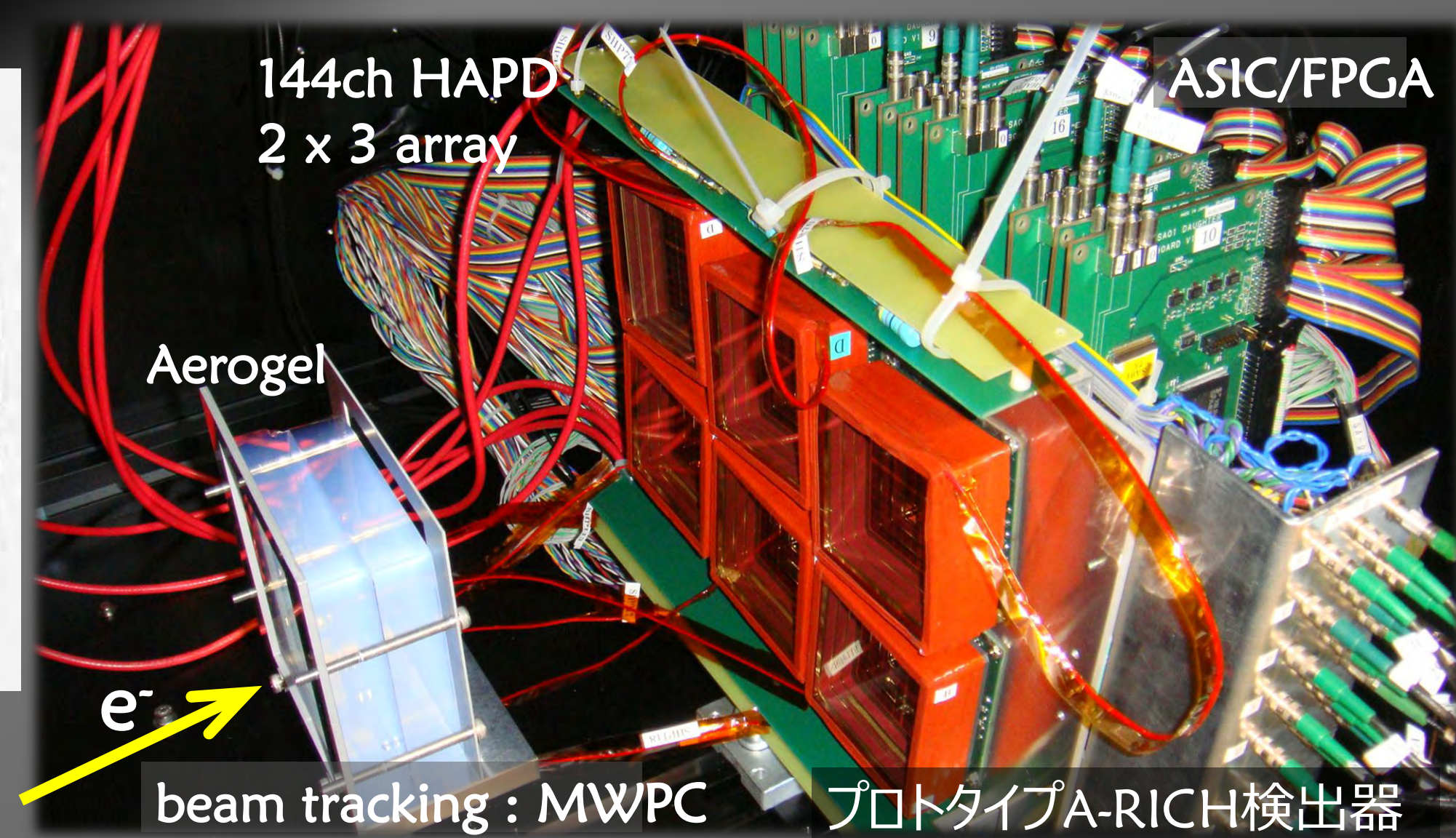
「Belle II」プロジェクト

KEKB加速器+Belle検出器をアップグレードするSuper KEBK加速器+Belle II検出器によるスーパーBファクトリー実験 (2014年実験開始予定)

- B中間子・D中間子・ τ 粒子系において、標準理論を超える新物理を探索する。
- エンドキャップ部の粒子識別装置として、近接フォーカシングエアロゲルリングイメージングチェレンコフ検出器(A-RICH)を導入。
- チェレンコフ輻射体として、 $n=1.05+1.06$ の2層フォーカシングのシリカエアロゲルを、光検出器として、ハイブリッドアバランシェフォトディテクター(HAPD)を開発中。
- 4GeV/cの運動量領域で、 4σ 以上の π/K 中間子識別能を設計目標とする。



A-RICH イベントディスプレイ



まとめ

- 千葉大学、KEK、パナソニック電工の共同で、日本独自の疎水性シリカエアロゲルの開発が進められている。
- 日本の宇宙塵捕集ミッションに向けて、0.01-0.06g/cm³の低密度シリカエアロゲルが開発された。
- 幅広い範囲の屈折率の高透明度シリカエアロゲルが、素粒子・原子核実験で利用される見込みである。

参考文献

- M. Tabata, et al., Proc. Nucl. Sci. Symp. IEEE 2005, p.816.
- M. Tabata, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 623 (2010) 339.
- A. Yamagishi, et al., Biol. Sci. Space 21 (2007) 67.