

日本物理学会 第72回年次大会

講演番号: 19pK33-1

# Belle II 実験 ARICH 検出器のための 量産シリカエアロゲル輻射体の 光学的評価と構造体への組み込み



田端 誠 (千葉大学)



Belle II ARICH グループ



2017年3月17-20日, 大阪大学 豊中キャンパス

- **イントロダクション**
  - Belle II 実験と ARICH 検出器
  - チェレンコフ輻射体・シリカエアロゲルへの要求
- **エアロゲル開発の結果**
  - 光学的特性
  - 成形加工
  - 構造体への組み込み
- **まとめ**

## 共著者

田端 誠<sup>A</sup>, 足立一郎<sup>B</sup>, 河合秀幸<sup>A</sup>,  
西田昌平<sup>B</sup>, 住吉孝行<sup>C</sup>,  
他 Belle II ARICH グループ

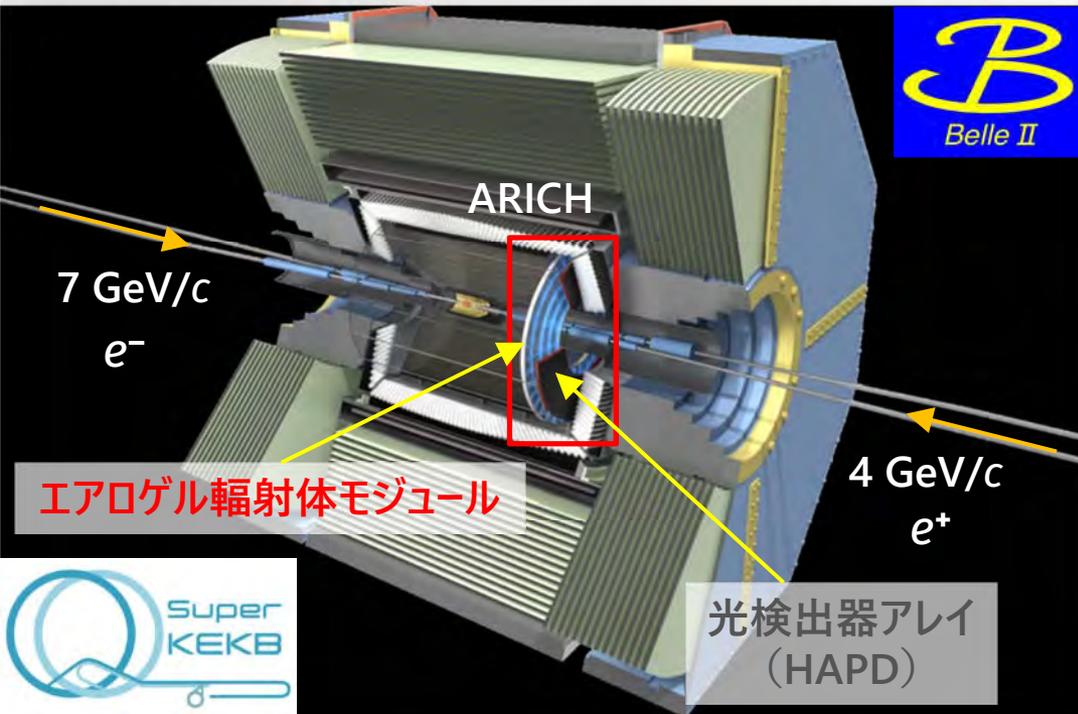
千葉大学<sup>A</sup>, KEK<sup>B</sup>, 首都大学東京<sup>C</sup>



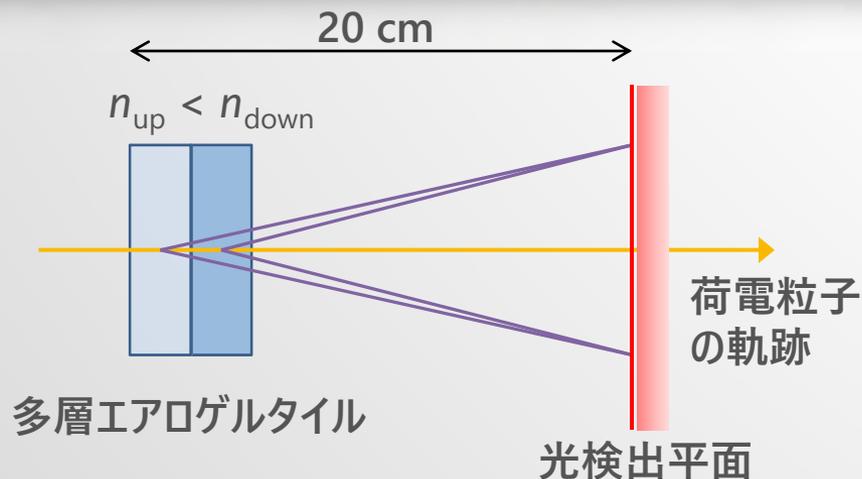
# イントロダクション

# Belle II 実験の ARICH 検出器

4/16



- スーパーBファクトリー実験 Belle II  
→ 測定器のアップグレード中
- 前方エンドキャップの粒子識別装置  
→ 閾値型エアロゲルチェレンコフカウンター (ACC) から  
エアロゲル・リングイメージングチェレンコフカウンター (ARICH)  
へのアップグレード
- 設計目標  
→ 最大運動量 3.5 GeV/c において  
 $\pi/K$  中間子識別能が  $4\sigma$  以上
- 前提条件として, ARICH 検出器の  
奥行は約 30 cm  
→ ミラーを用いない, 近接フォーカ  
シング RICH
- 角度分解能を悪化させることなく,  
検出光電子数を増やす  
→ 多層フォーカシング放射体  
スキームを考案・採用



# シリカエアロゲルへの設計要求

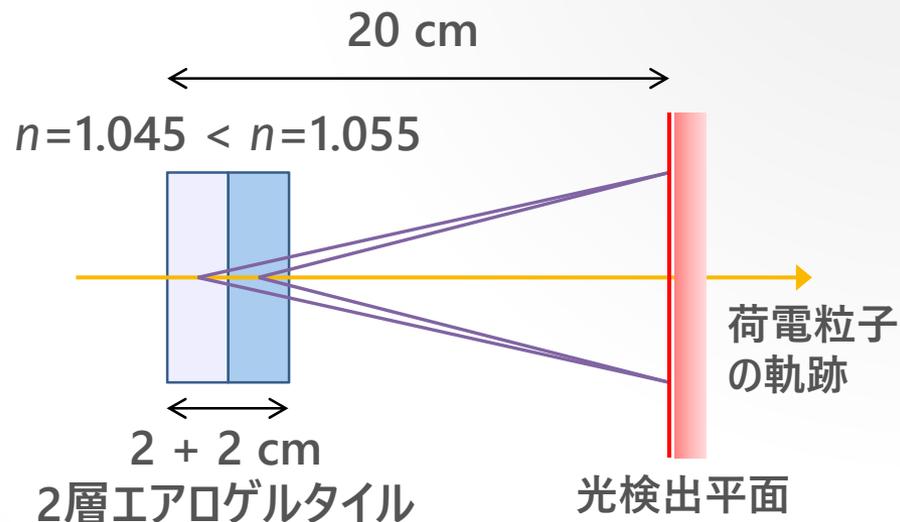
5/16

## 基本要件

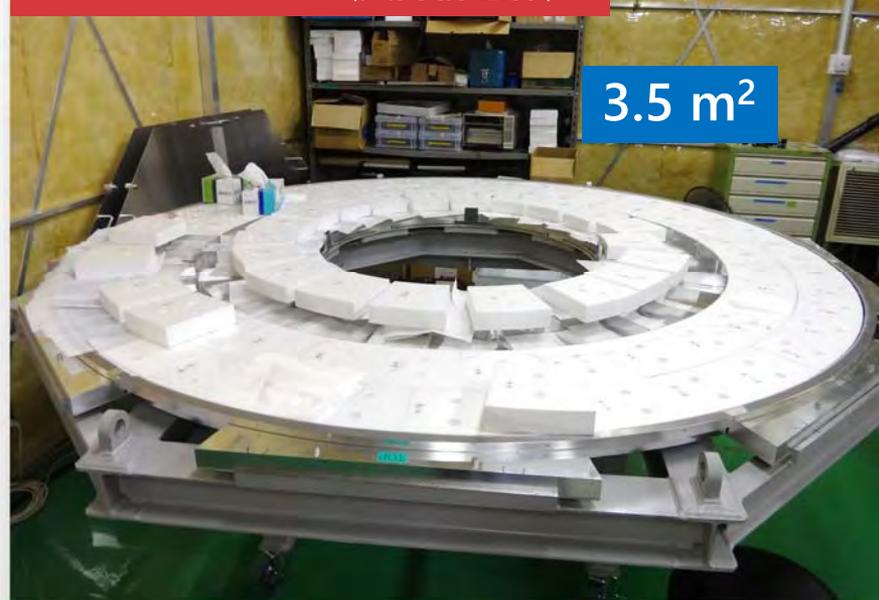
- 屈折率が  $n \sim 1.05$  であること
- 透過長が  $\Lambda = 40$  mm 程度であること  
(波長 400 nm において)
- タイル境界を減らすために、**大面積タイル**であること、**ひび割れがない**こと
- ウォータージェット成形加工と、経年劣化防止のために、**疎水性**であること
- 多層フォーカシング輻射体を構成すること

## 詳細設計

- 上流・下流の2層タイル式
- $n_{\text{up}} \ \& \ n_{\text{down}} = 1.045 \ \& \ 1.055$  ( $\pm 0.002$ )
- $n_{\text{down}} - n_{\text{up}} = 0.01$  ( $\pm 0.002$ )
- $\Lambda_{\text{up}} > 40$  mm,  $\Lambda_{\text{down}} > 30$  mm
- タイルサイズと厚み: **18 cm × 18 cm × 2 cm**



エアロゲルモジュール (支持構造体)





# シリカエアロゲルの開発結果

2016年までにエアロゲルの開発・量産を終え、  
構造体への組み込み準備完了

I. Adachi et al.,  
NIMA 553 (2005) 146.

M. Tabata et al.,  
Phys. Proc. 37 (2012) 642.

2004年  
小型タイルで  
高透明度化  
に成功

2011年  
大型タイルの  
開発に成功

2013年  
量産法の確立と  
エアロゲルの仕様  
の決定

2013-2014年  
ファイン  
セラミックス  
センターで量産

2015-2016年  
辰巳鍛工で  
成形加工

M. Tabata et al., J. Supercrit. Fluids 110 (2016) 183.  
M. Tabata et al., NIMA 766 (2014) 212.

# エアロゲルの量産・良品率

ファーストタイル (n=1.045)



18 cm

量産前の見込み:

ひび割れに対する歩留まり率=80%

→ 結果は88%

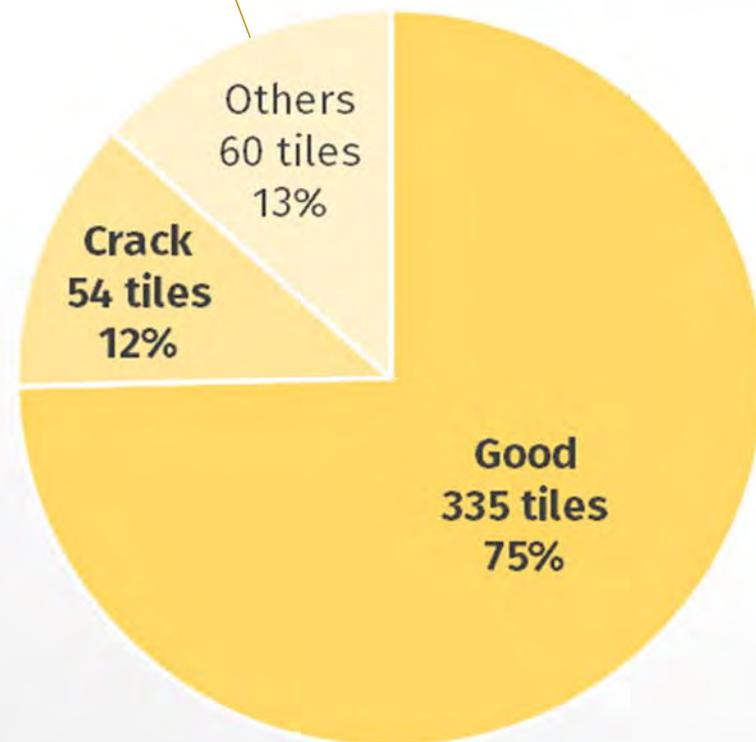
ただし、その他の理由で13%が使用不可  
(量産特有の難しさ)

十分な数の健全なタイルを確保

2013年9月開始, 2014年5月完了

全449枚製造

化学合成のエラーによる白濁など



# 屈折率の測定結果

実機にインストールしたタイル  
上流・下流層それぞれ124枚ずつ

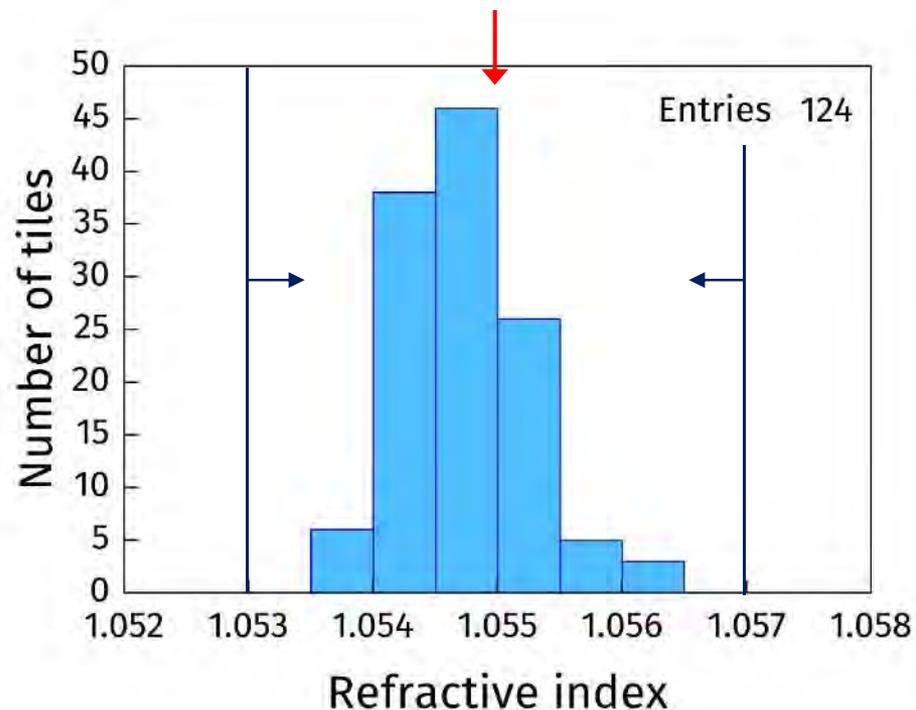
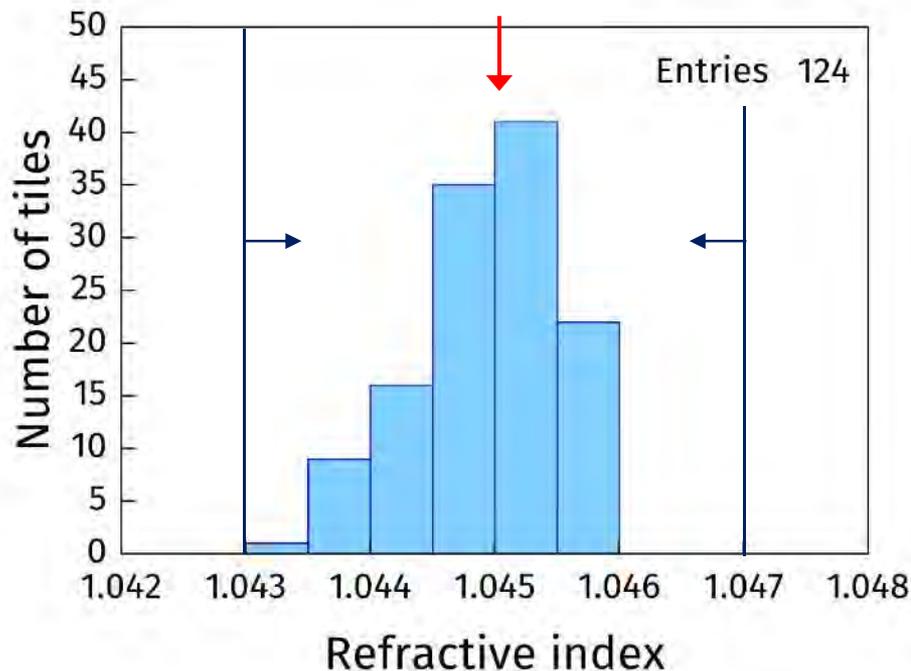
上流・下流層タイルとも、屈折率をうまく  
制御できている

上流層 ( $n=1.045$ )

目標:  $1.043 < n < 1.047$

下流層 ( $n=1.055$ )

目標:  $1.053 < n < 1.057$



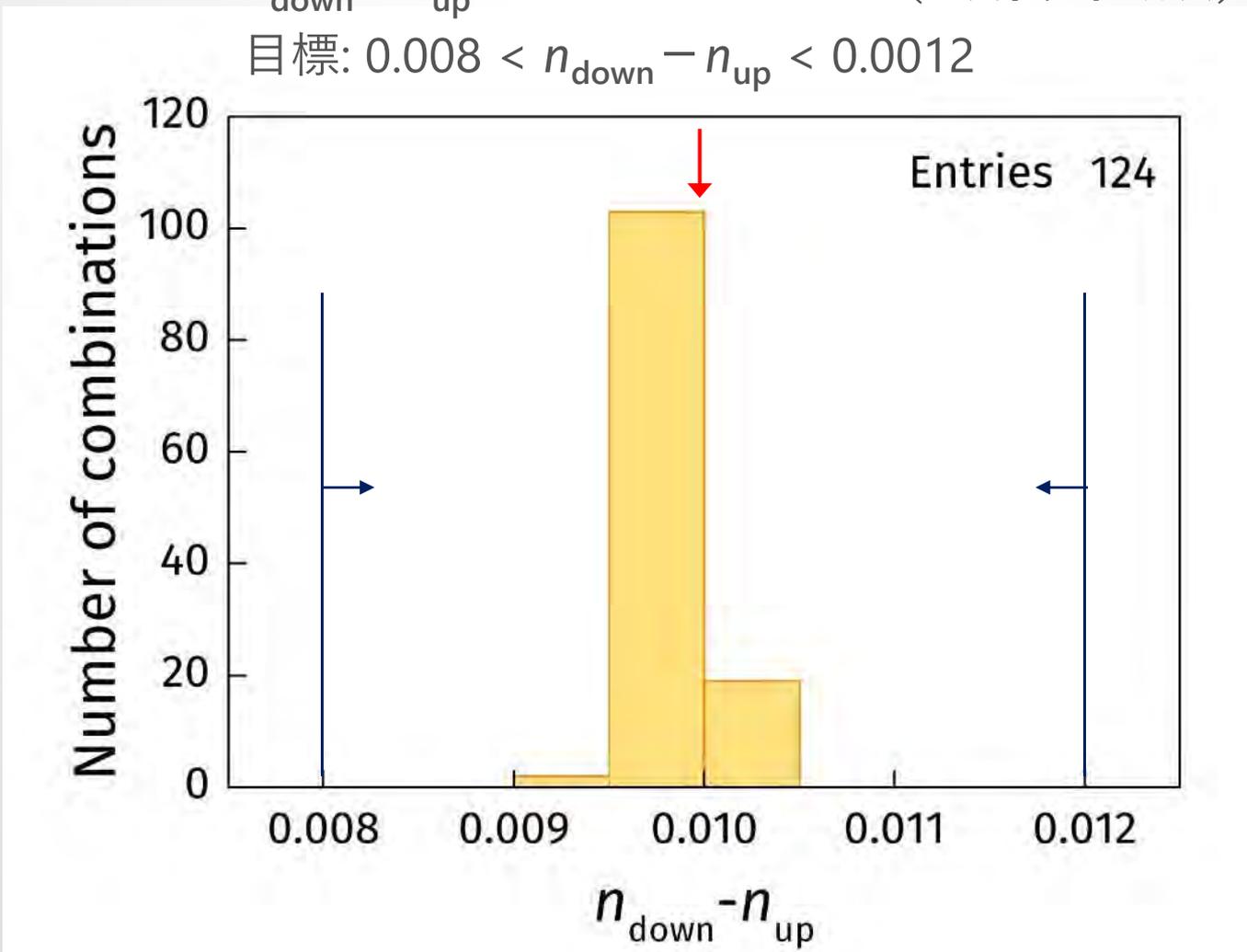
# 上流・下流層の屈折率の組み合わせ結果

実機にインストールしたタイル  
124組

上流・下流層タイルの屈折率の組み合わせは良好

$$n_{\text{down}} - n_{\text{up}} = 1.055 - 1.045 = 0.01 \quad (\text{ベストフォーカス})$$

$$\text{目標: } 0.008 < n_{\text{down}} - n_{\text{up}} < 0.0012$$



# 透過長の測定結果

実機にインストールしたタイル  
上流・下流層それぞれ124枚ずつ

上流・下流層タイルとも、透明度は良好

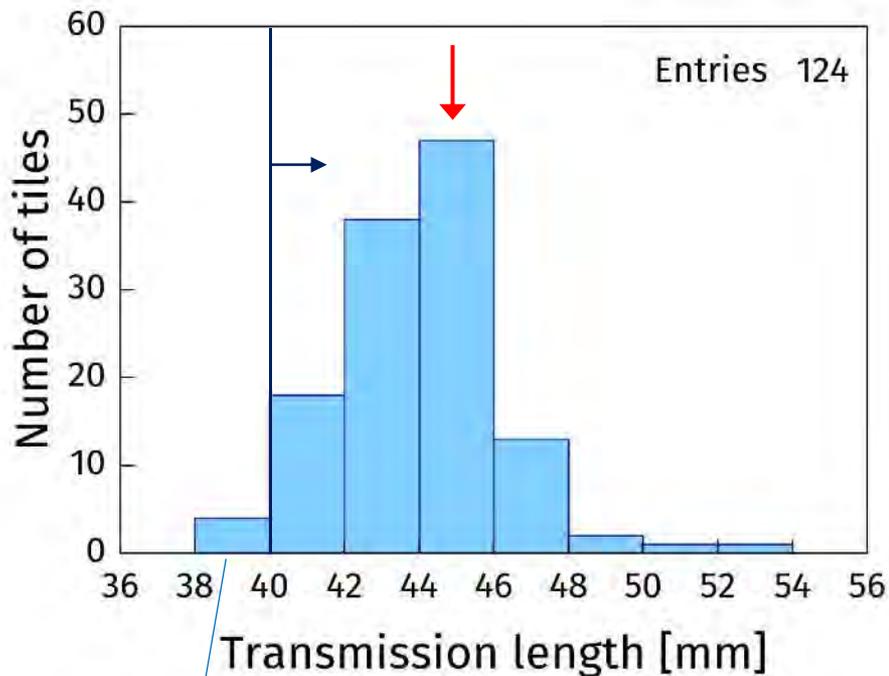
透過率はタイルの特定の3カ所で測定して平均  
透過長の平均値が短いタイルは、表面の部分的な擦れ傷が原因

## 上流層 (n=1.045)

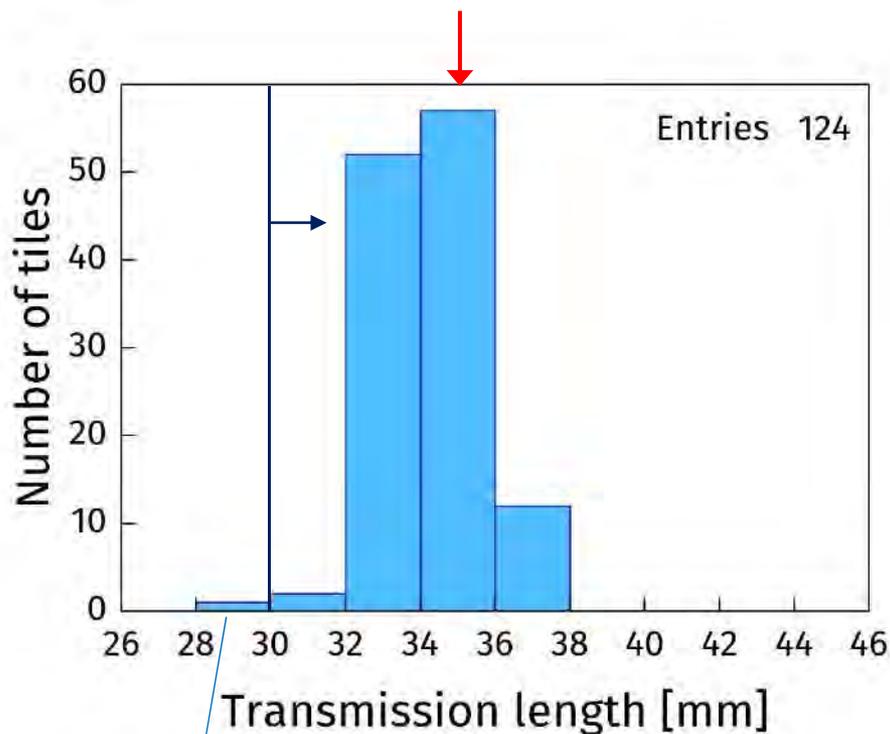
目標: 40 mm以上 (期待値は45 mm) @400 nm

## 下流層 (n=1.055)

目標: 30 mm以上 (期待値は35 mm) @400 nm



最上流側の表面の部分的な擦れ傷  
→ 光子の伝播に影響なし



上流側の表面の部分的な擦れ傷  
→ 屈折率の組み合わせの良さを優先

# ウォータージェット成形加工

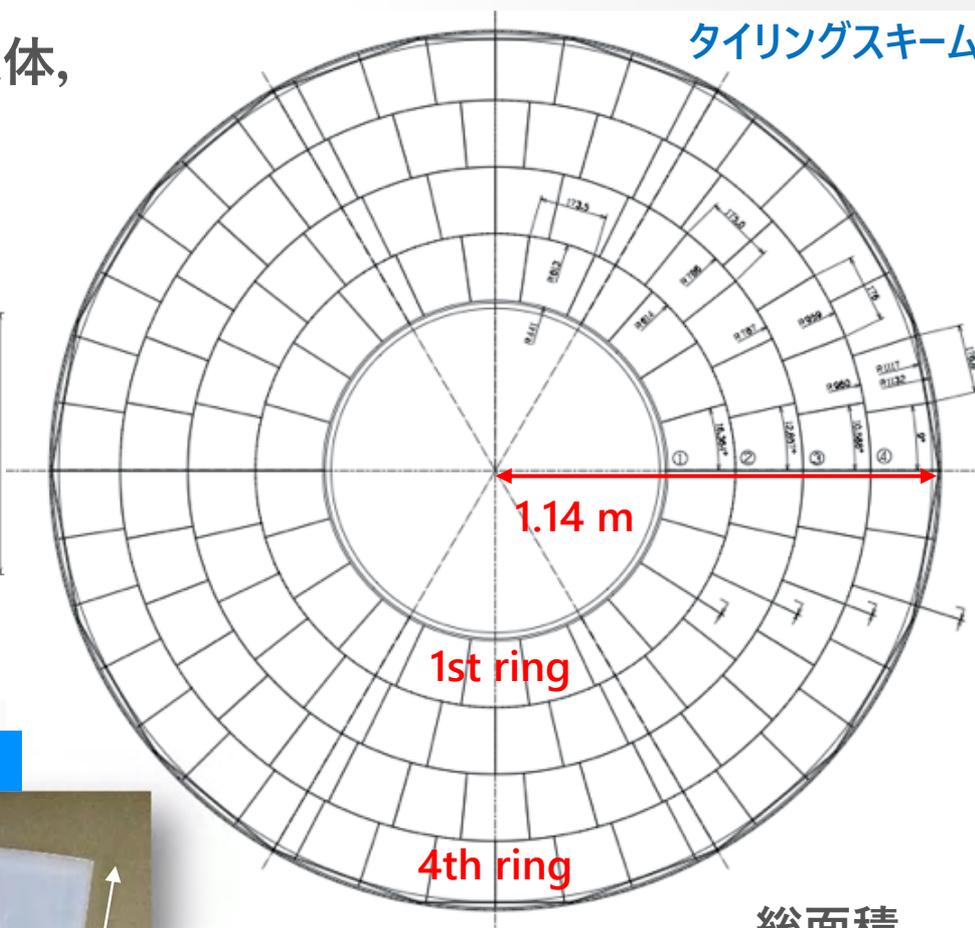
124のセルから成るエアゲルの支持構造体、  
4重のリングそれぞれのセル形状に加工

タイルングスキーム

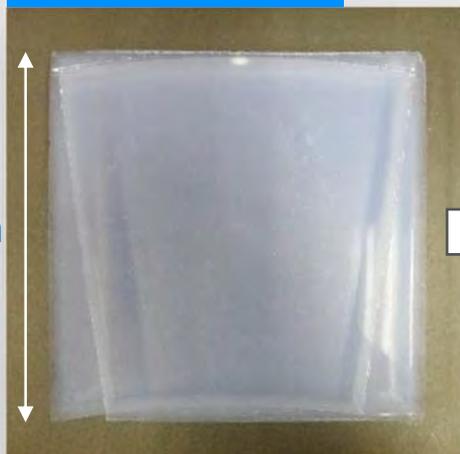
アルミ製のセル



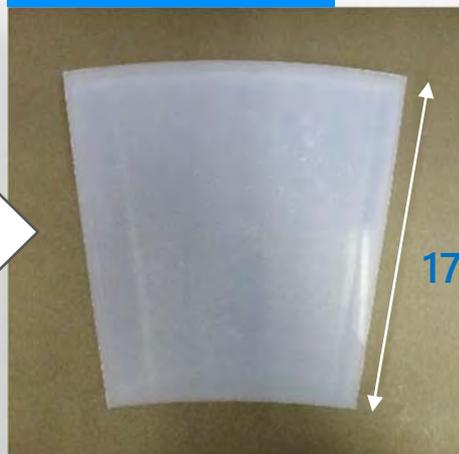
CAD図面



加工後の納品状態



使用する扇形部分



総面積  
約3.5 m<sup>2</sup>

2015年12月から順次加工

# ウォータージェット加工の歩留まり率

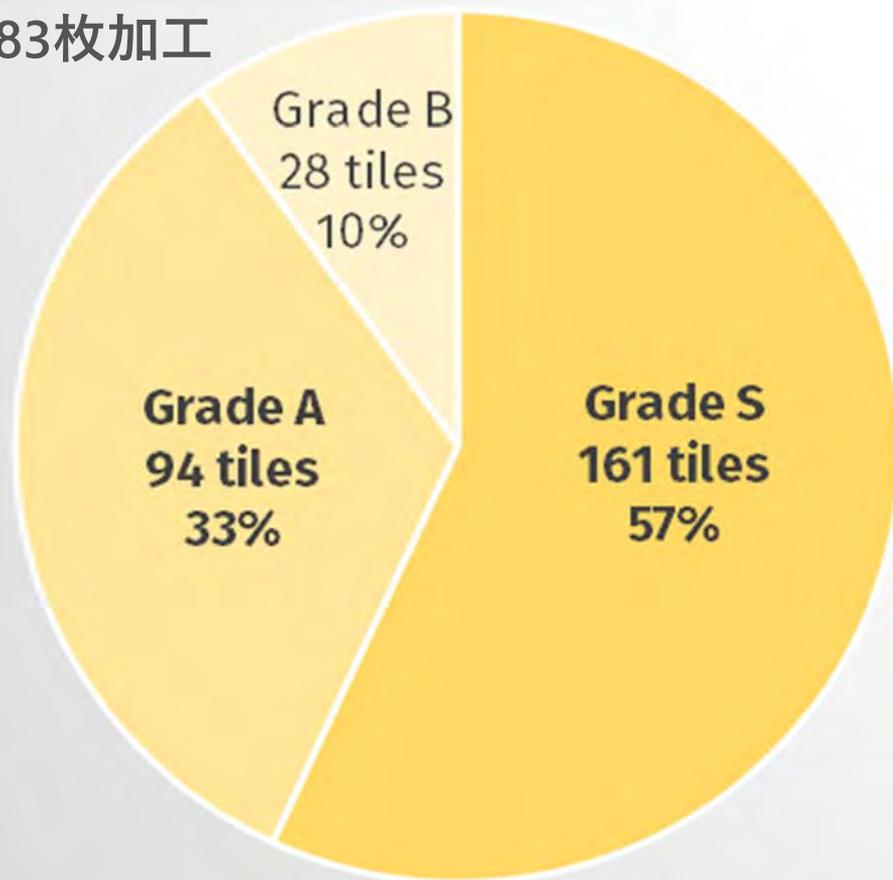
グレード S: 目立つ欠けなし

グレード A: 欠けがあるが許容範囲 ( $\leq 1 \text{ cm}^2$ )

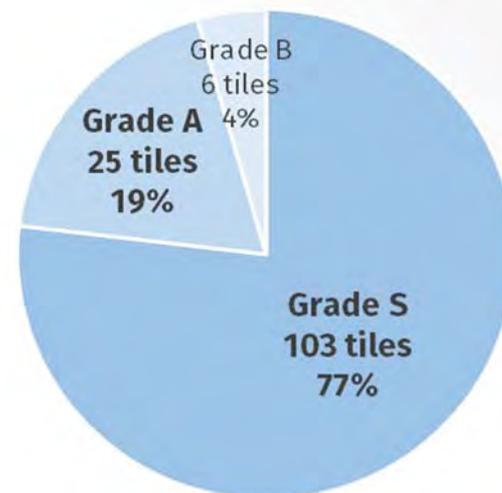
グレード B: 欠けが大きく使用不可

**全タイルの歩留まり率: 90%**

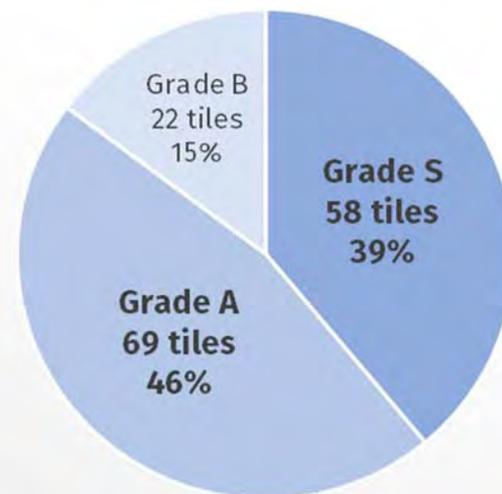
283枚加工



上流層タイル ( $n=1.045$ ) の歩留まり率: 96%  
134枚加工, 128枚使用可 (124枚必要)



下流層タイル ( $n=1.055$ ) の歩留まり率: 85%  
149枚加工, 127枚使用可 (124枚必要)

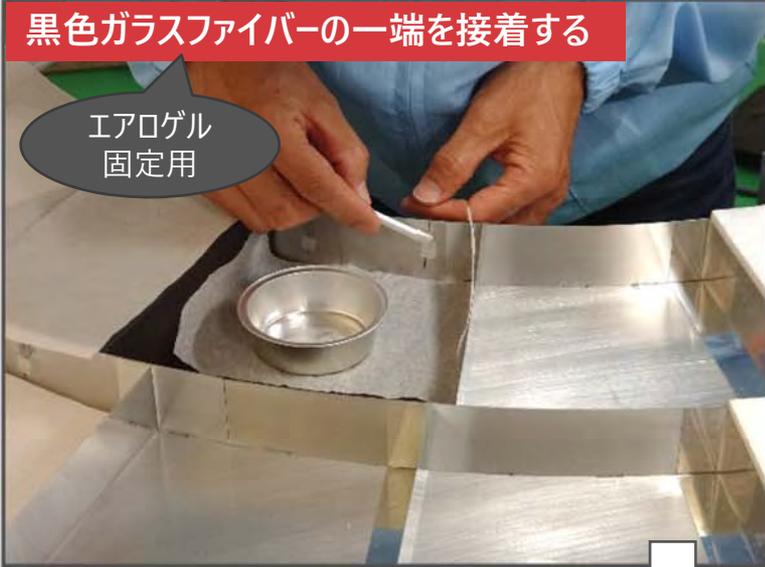


# 構造体への組み込み

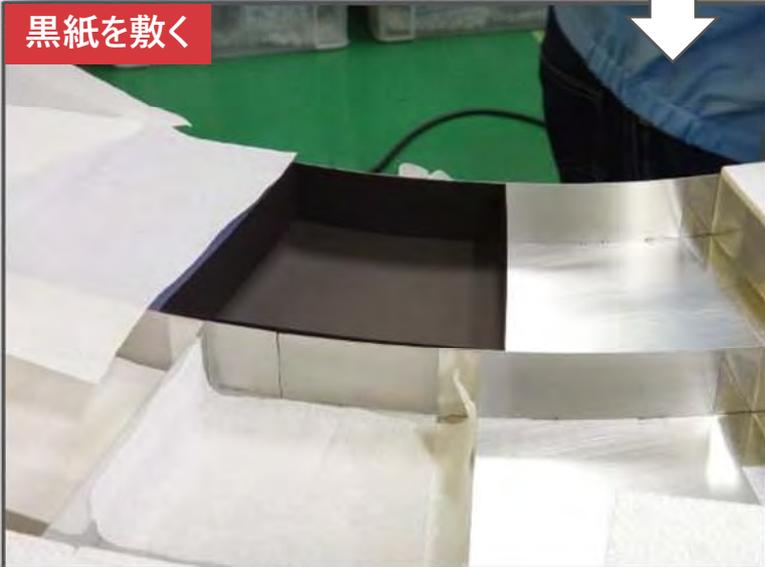
2016年5月開始

黒色ガラスファイバーの一端を接着する

エアロゲル  
固定用



黒紙を敷く



エアロゲルをクリーンアップする



2枚のエアロゲルを組み込む



ガラスファイバーの反対端を接着する



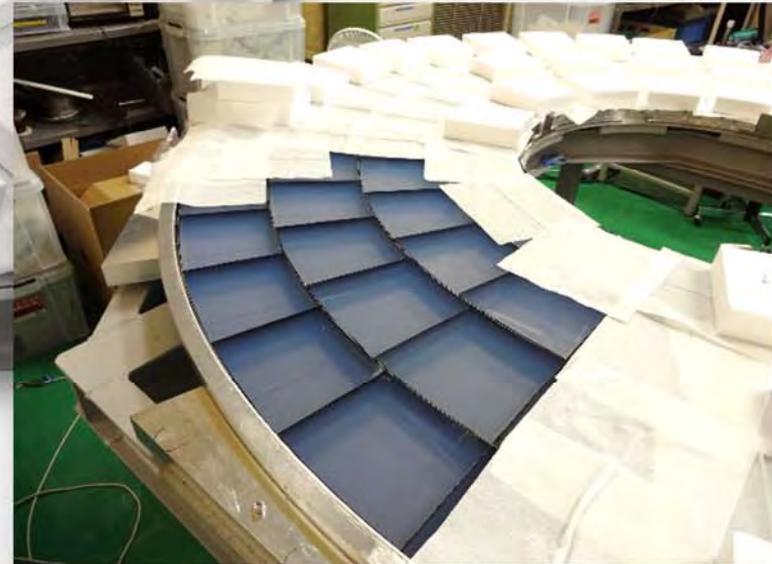
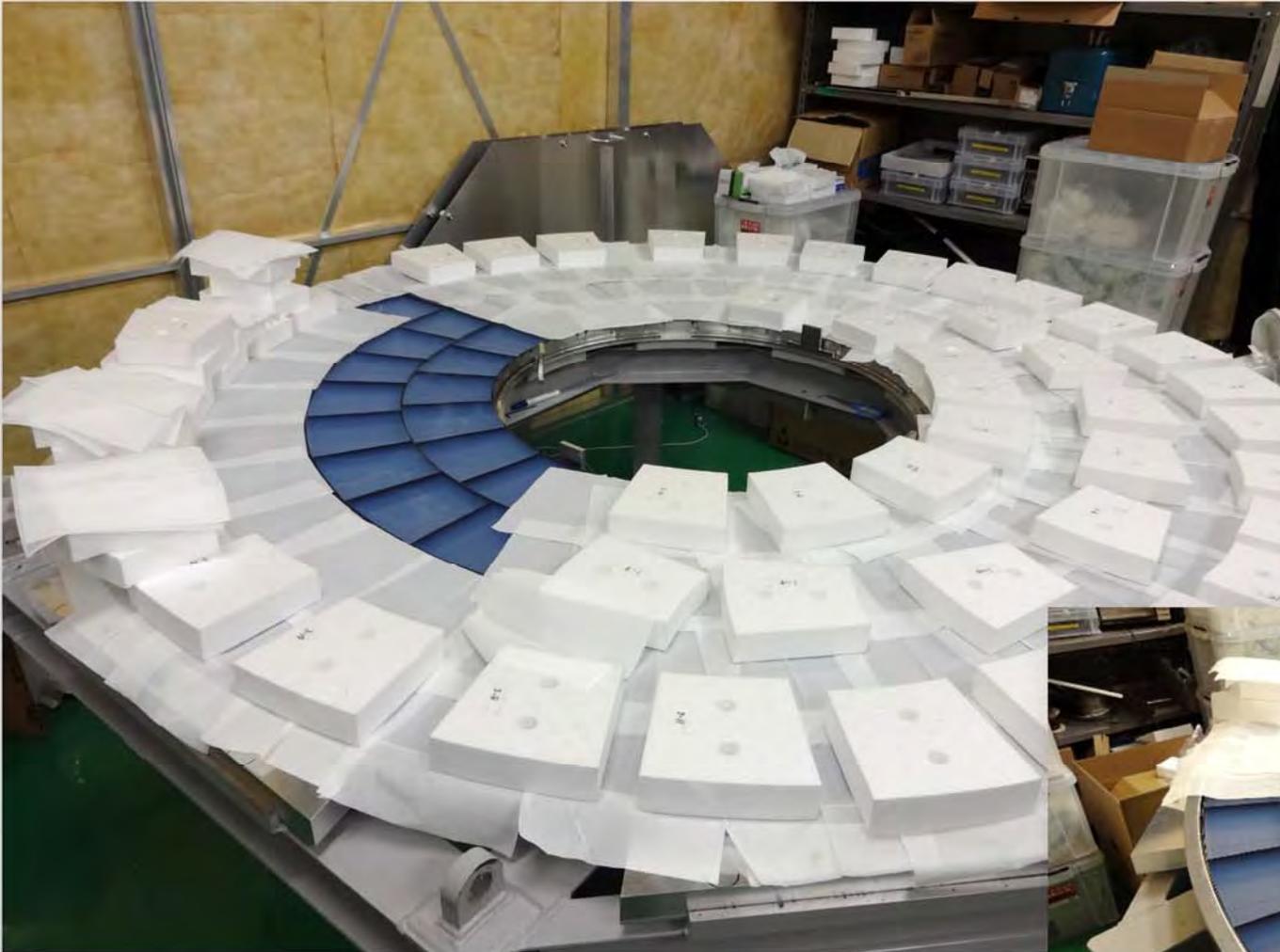
# 構造体への組み込み

15/16

全248枚のタイルの組み込み完了

全124セル

2016年12月完了



- チェレンコフ輻射体として、シリカエアロゲルを開発— Belle II 測定器の前方エンドキャップにおける粒子識別用 ARICH 検出器のため
- 高屈折率，高透明度，大面積の疎水性エアロゲルの量産に成功
- 要求された光学的特性を満たすことを確認
- 構造体への組み込みを完了