プラスチック
シンチレーションファイバの開発と工業化

出展：当社ウェブサイト

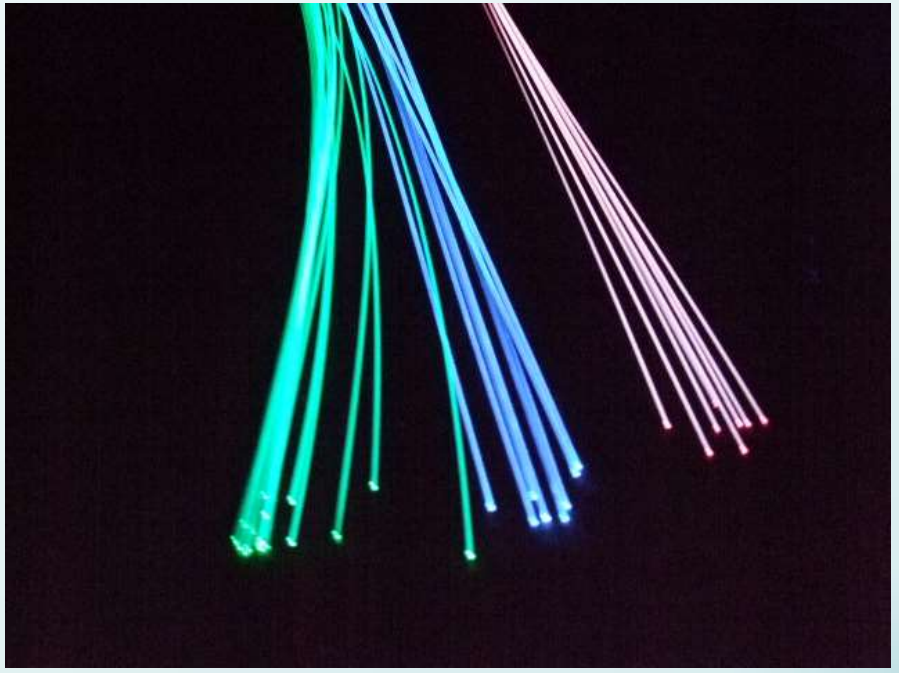
株式会社クラレ

プラスチックシンチレーションファイバの開発と工業化

kuraray

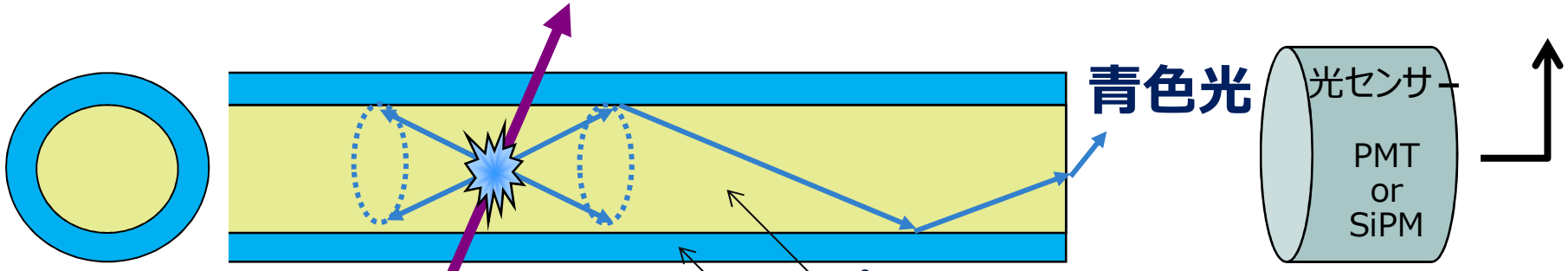
【目次】

１．　ＰＳＦとは
２．　ＰＳＦと素粒子物理学・宇宙物理学
３．クラレＰＳＦの技術の内容
　①特徴
　②製法
　③技術
４．用途展開と今後の開発
　①一般用途事例
　②期待用途
　③今後の開発
５．まとめ

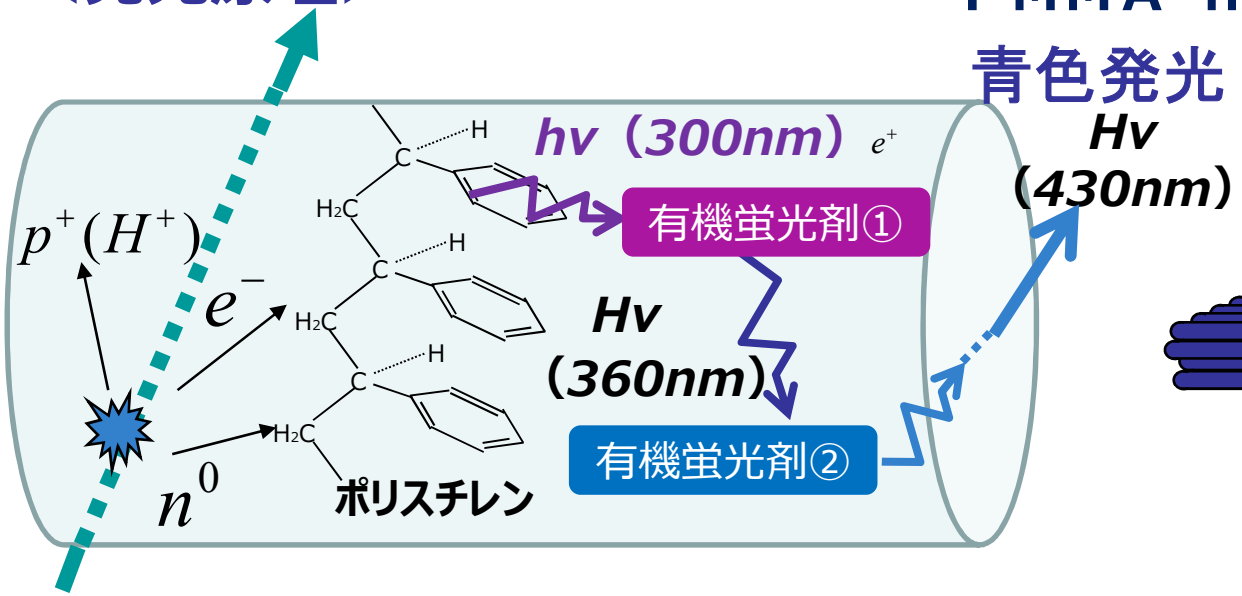


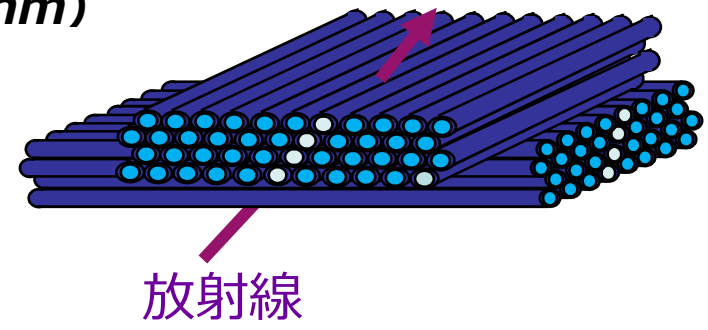
1）PSFとは

プラスチック・シンチレーション・ファイバ（PSF）
＝「放射線を検出・発光するセンサー光ファイバ」



＜発光原理＞





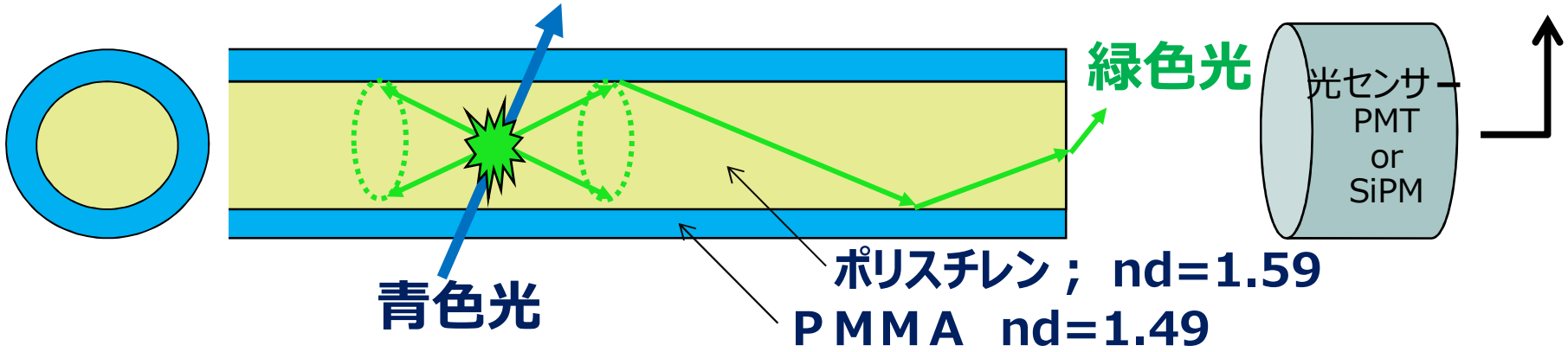
放射線の飛跡検出器

1）PSFとは

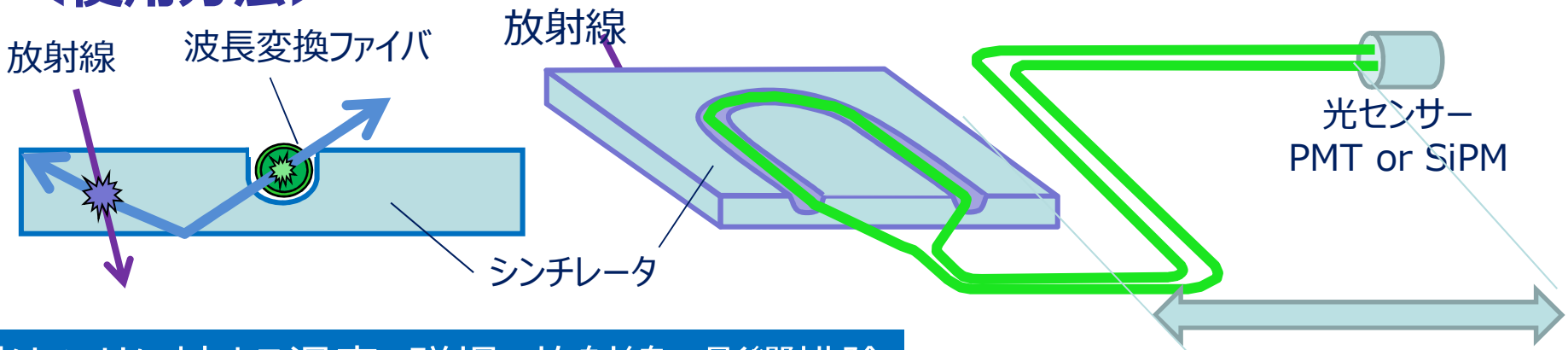
kuraray

波長変換ファイバ　←以下こちらもPSFとします

＝「光の波長を変換し伝送するファイバ」＊シンチレータとセットで使用



＜使用方法＞

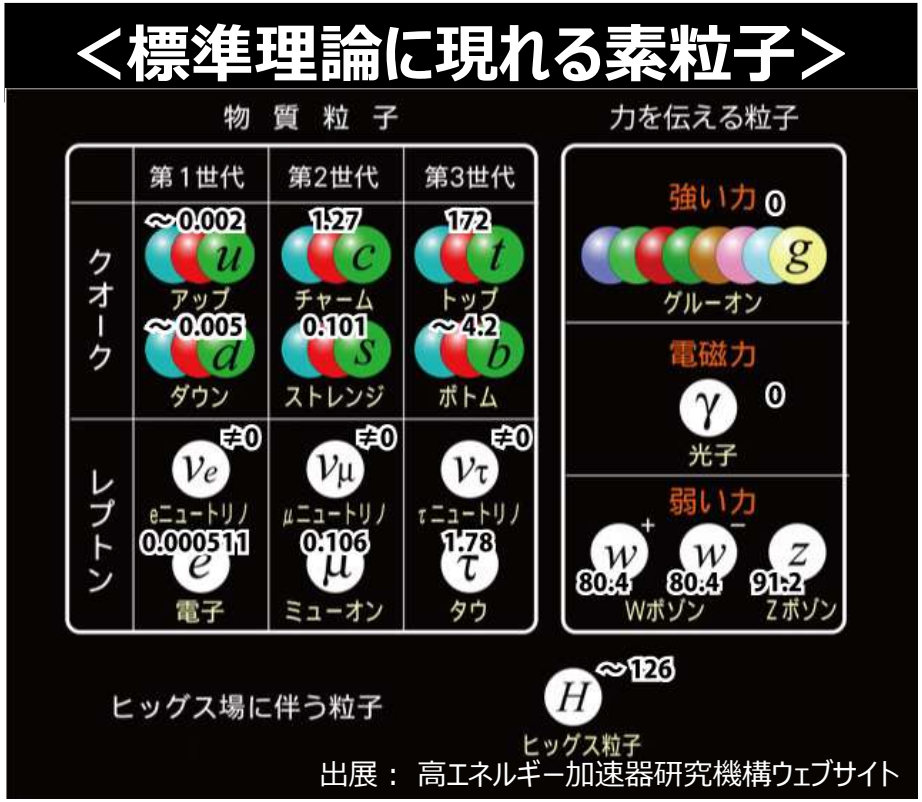


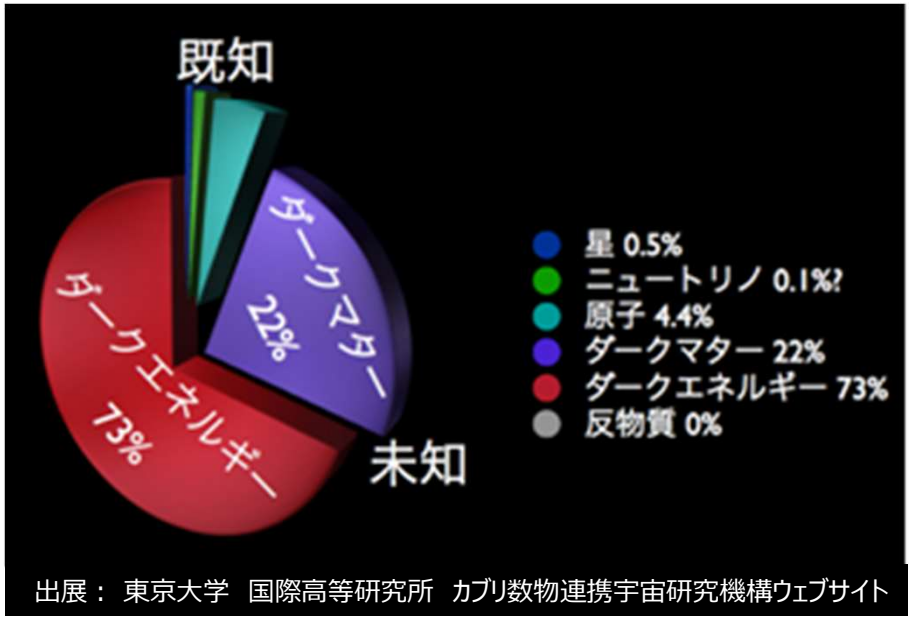
・光センサに対する温度、磁場、放射線の影響排除
・設置スペースの制約解消
⇒検出器設計の自由度UP

波長変換ファイバ使用により
シンチレータ部と光センサ部を
離れた場所に設置可能

2）PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

主な用途；素粒子物理学・宇宙物理学の実験





宇宙の９５%は未知の物質やエネルギーで構成されている

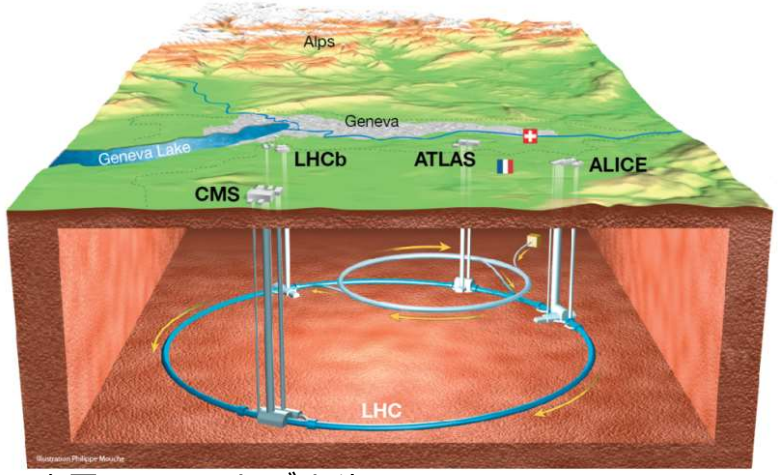
標準理論の検証 ⇒ 標準理論を越える理論構築

（１）加速器を使った素粒子実験

（２）宇宙線の観測（@宇宙、地表）

２） PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

○加速器を使った素粒子実験



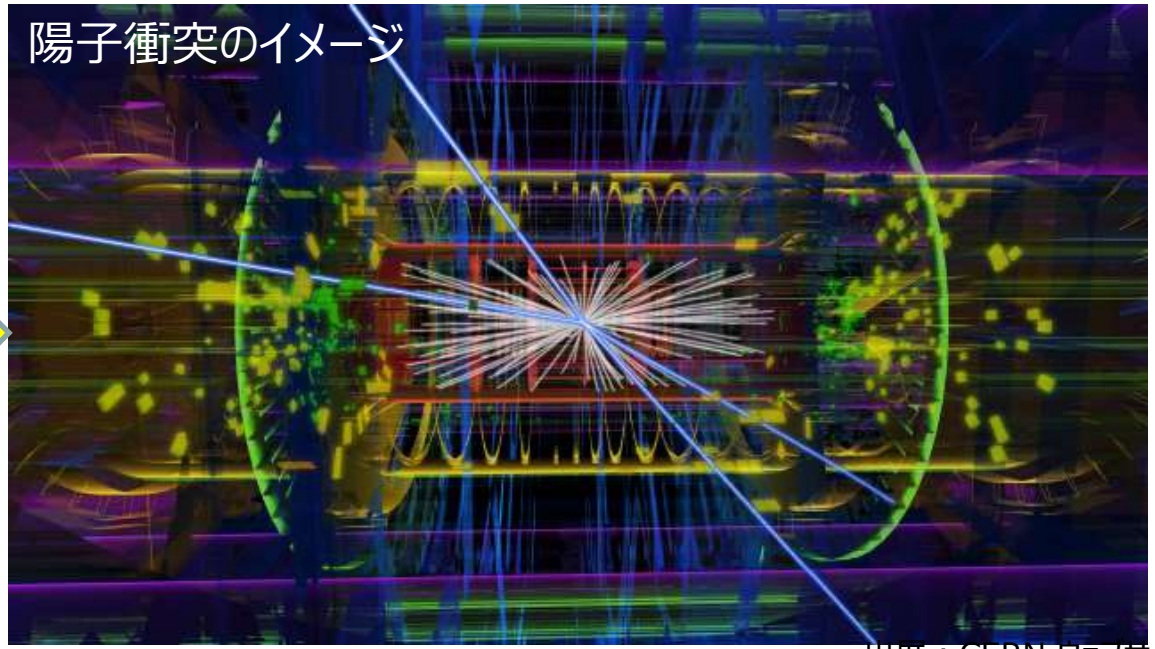
出展：CERN ウェブサイト

CERN LHC（世界最大の加速器）

スイスとフランスの国境の地下１００ｍにある全長２７ｋｍの巨大加速器。陽子を光の速さ近くまで加速、衝突させることで生じる複数の粒子等の挙動を各種検出器で調べる。
CERNには４つのタイプの違う検出器がある。

陽子衝突のイメージ

陽子



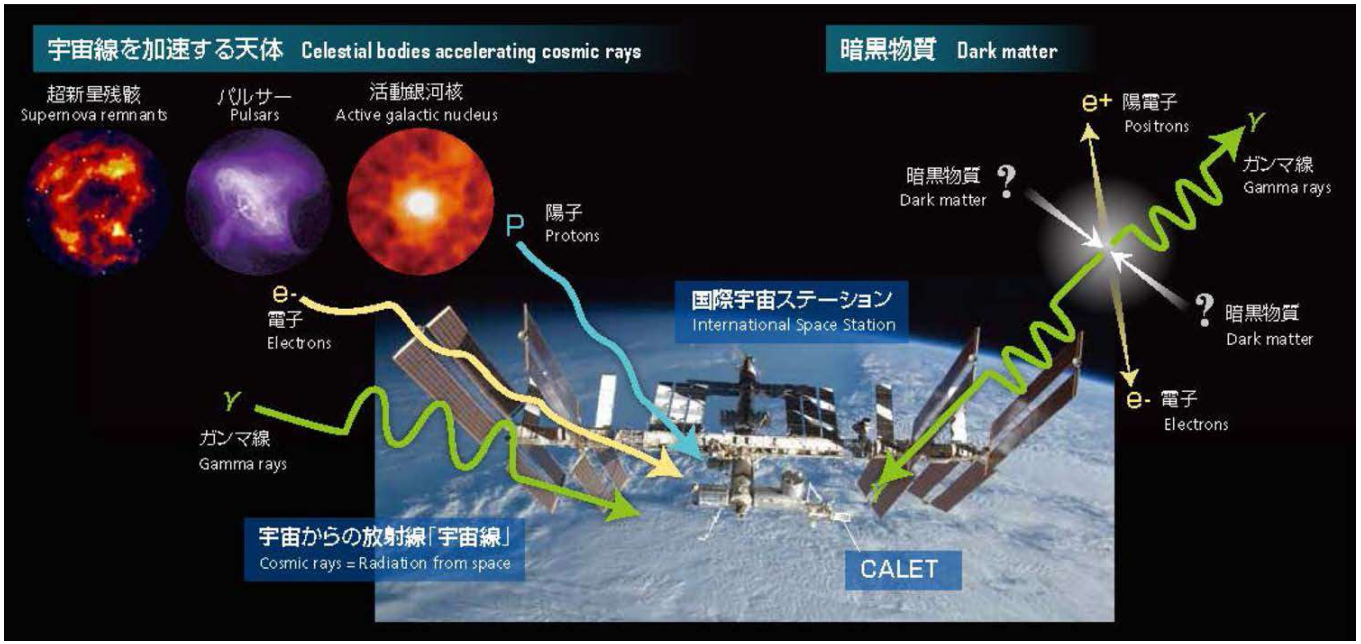
陽子

出展：CERN ウェブサイト

2）PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

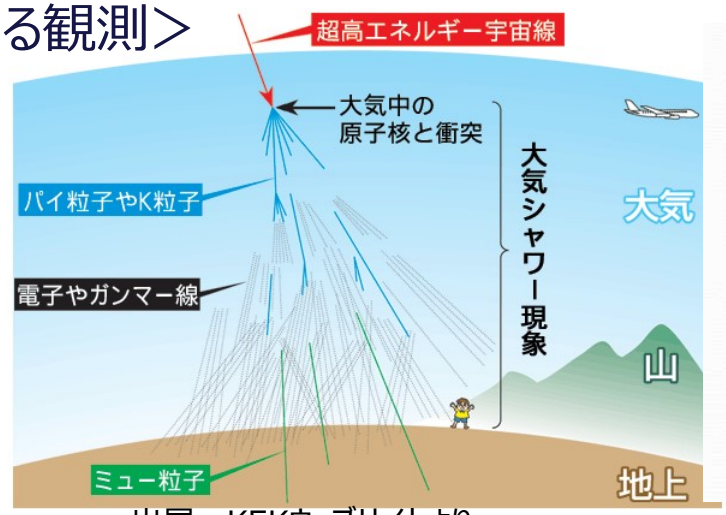
○宇宙線の測定（宇宙空間や地表で観測）

＜直接観測＞

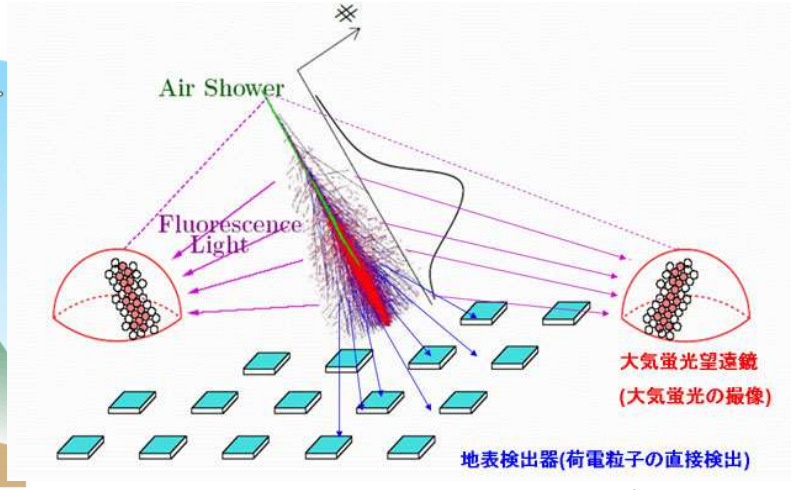


出典：JAXAウェブサイトより

＜大気シャワーによる観測＞



出展：KEKウェブサイトより



出展：東京大学宇宙線研究所ウェブサイト

2）PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

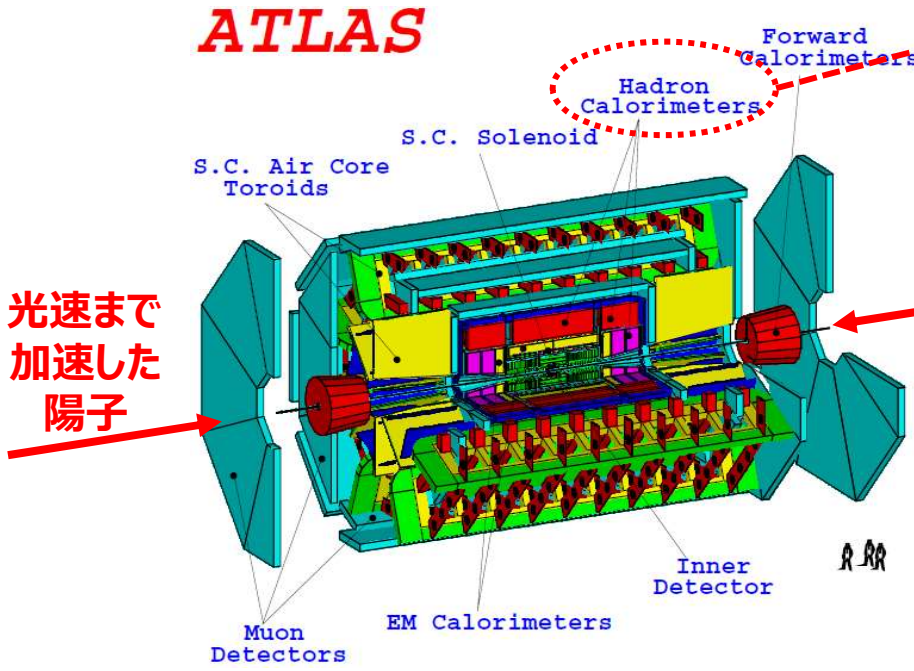
実験名（主な研究対象）	主催機関	納入時期
KLOE（K中間子）	イタリア国立核物理研究所	1994-1995
CHORUS（ニュートリノ）	CERN/名古屋大	1993,1996
K2K（ニュートリノ）	高エネルギー研究所	1997
D0（クォーク）	フェルミ国立加速器研究所（米）	1996-1998
CMS（ヒッグス粒子）	CERN	1998-1999
ATLAS（ヒッグス粒子）	CERN	1999-2000
MINOS（ニュートリノ）	フェルミ国立加速器研究所（米）	2000-2002
STAR-EMC/EEMC（ｸｫｰｸ・ｸﾞﾙｰｵﾝ・ﾌﾟﾗｽﾞﾏ）	ブルックヘブン国立研究所（米）	1999-2003
LHC-b（ｂクォーク）	CERN	2001-2004
OPERA（ニュートリノ）	フランス原子核素粒子物理研究所	2003-2004
GlueX（クォーク）	ジェファーソンラボ（米）	2009-2011
NOvA（ニュートリノ）	フェルミ国立加速器研究所（米）	2009-2012
CALET（宇宙線、ダークマター）	早稲田大＆JAXA	2012
Telescope Array（最高エネルギー宇宙線）	東京大学宇宙線研究所	2014-2017
LHCb upgrade（ｂクォーク）	CERN	2016-2018
Auger Prime（最高エネルギー宇宙線）	カールスルーエ工科大等（独）	2016-2018

世界中の様々な大規模実験に採用されている。

2） PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

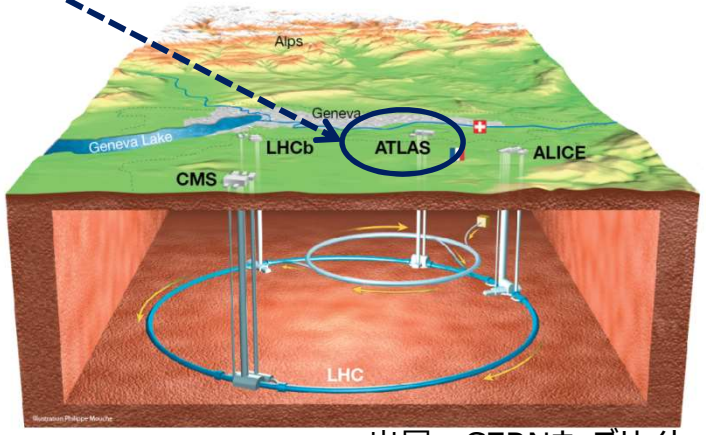
＜採用例１＞CERN（ATLAS実験）
＜目的＞ヒッグス粒子の研究等

ハドロン検出部にクラレ・
波長変換ファイバ1,200Km使用



出展；ATLAS実験グループウェブサイト

出展：ATLAS実験グループウェブサイト

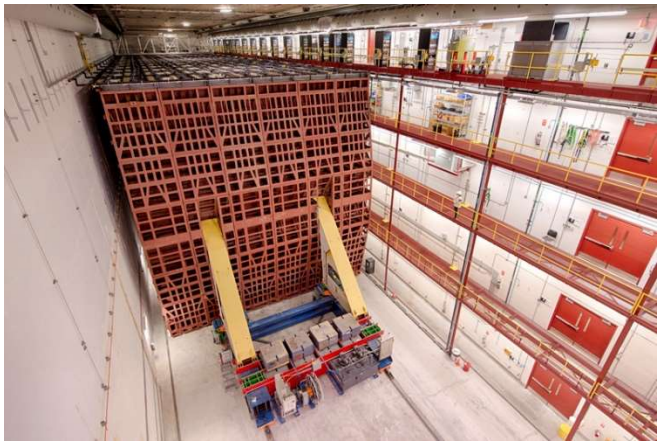


出展；CERNウェブサイト

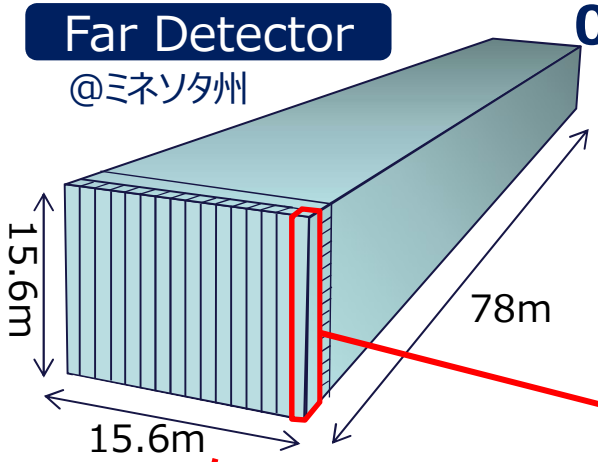
ヒッグス粒子発見（2013年ノーベル物理学賞受賞）にも貢献

2） PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

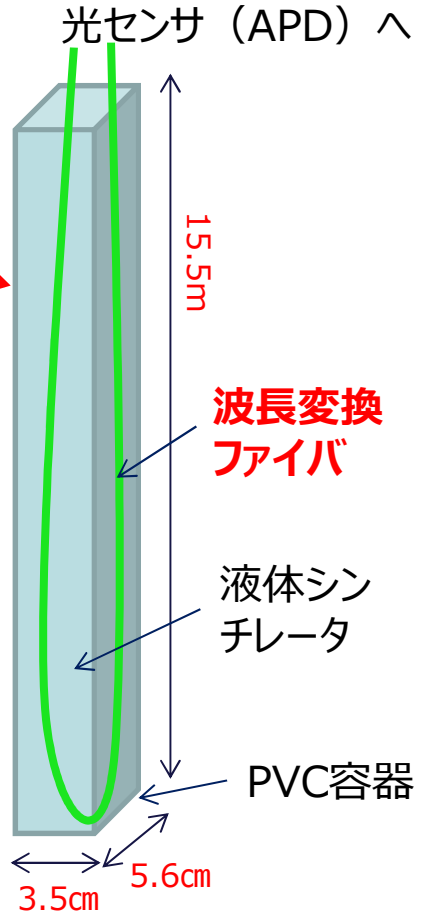
＜採用例２＞（米）Fermi Lab “NOvA実験”
＜目的＞ニュートリノ振動の研究など



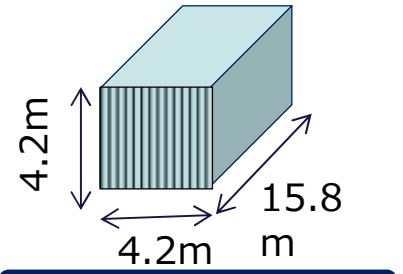
出展：フェルミ研ウェブサイト



0.7mmΦ波長変換ファイバ
約13,000Km納入



フェルミ研（@イリノイ）



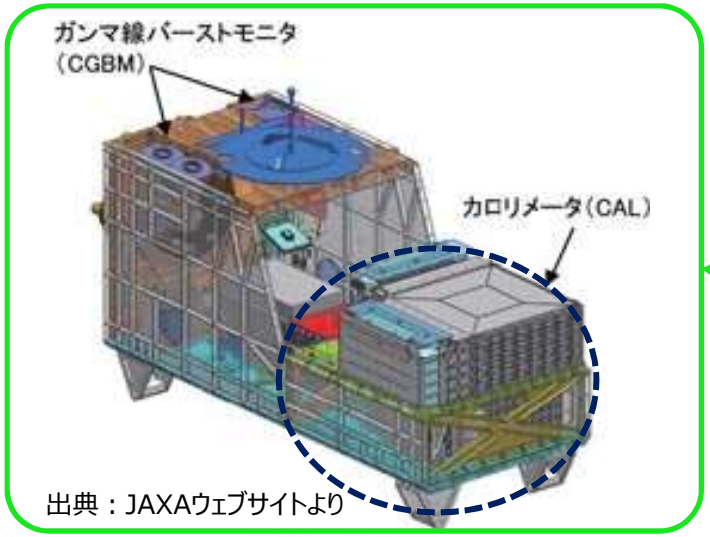
Near Detector

2） PSFと素粒子物理学・宇宙物理学

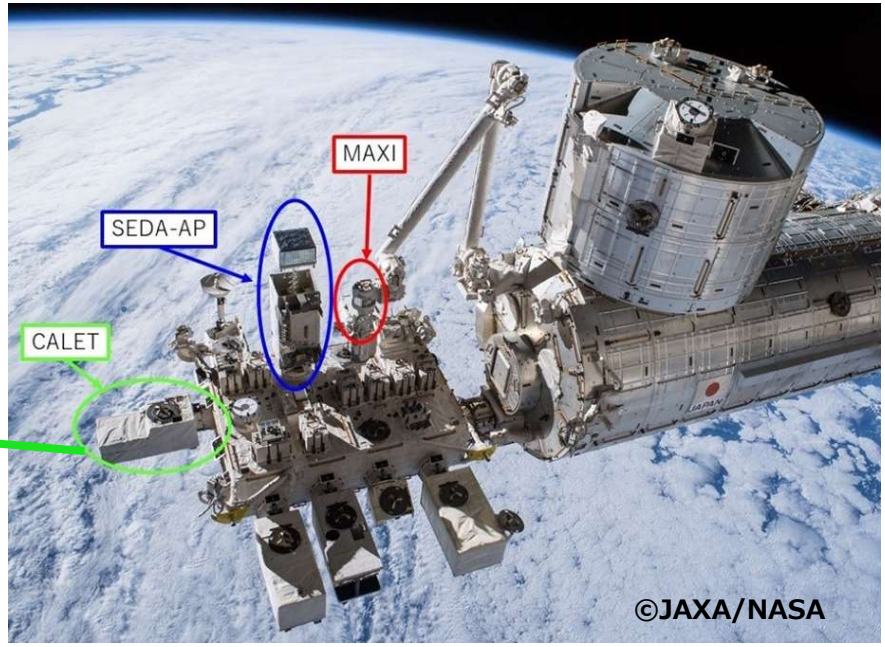
kuraray

＜採用例３＞早稲田大・JAXA “CALET”
＜目的＞宇宙線直接観測によるダークマター研究など

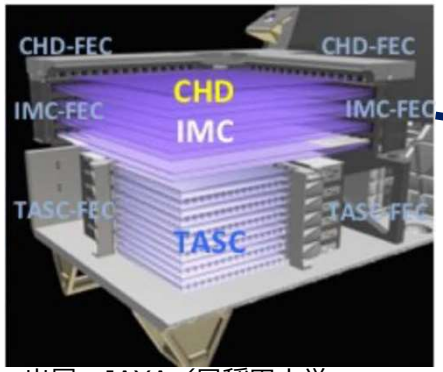
“国際宇宙ステーションで
高エネルギー宇宙の謎に迫る”



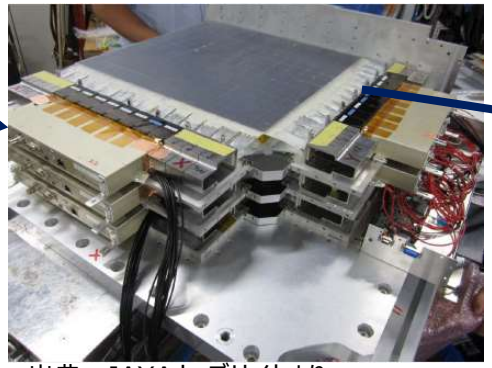
出典：JAXAウェブサイトより



IMC（イメージングカロリメータ；宇宙線の到来方向を調査）



出展：JAXA／早稲田大学

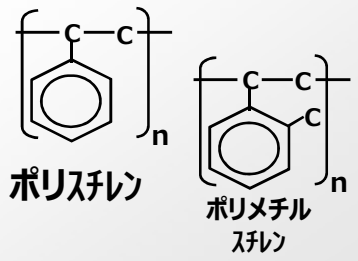

出典：JAXAウェブサイトより

出典：JAXAウェブサイトより

3）クラレPSFの技術の内容　～特徴～

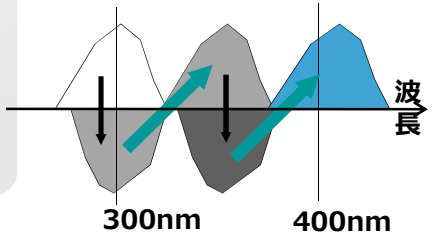
1．高い発光量（多くのフォトンを発生する）

①基材樹脂の発光効率



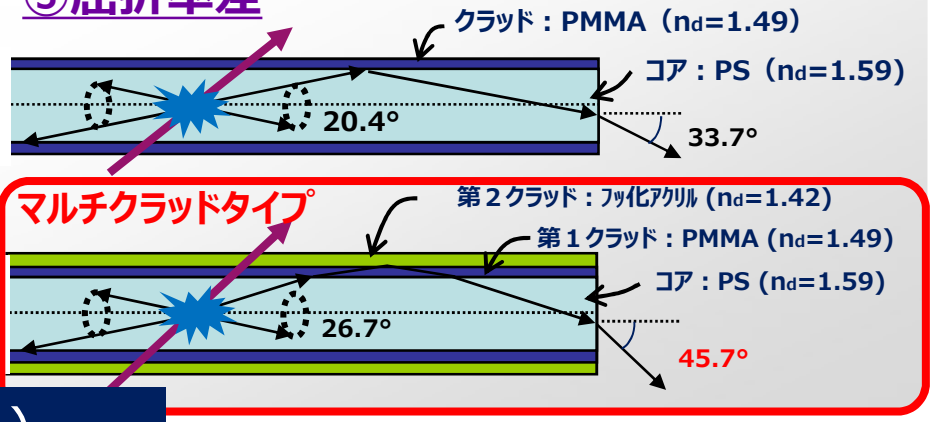
②蛍光剤

組合せ種類×濃度



×

③屈折率差



2．高い透明性（伝送損失が小さい）

①コア材料の純度

1）不純物の除去
（吸収損失）
2）固形異物の除去
（散乱損失）

②蛍光剤純度など

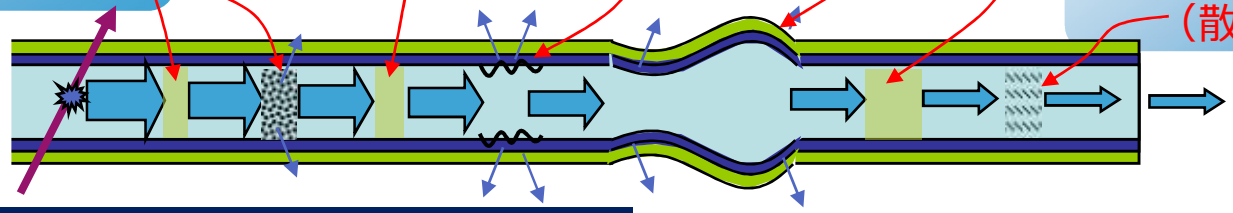
1）純度
2）濃度最適化
（吸収損失）

③クラッド界面

1）界面凹凸
2）密着性
（散乱損失）

④線引きの課題

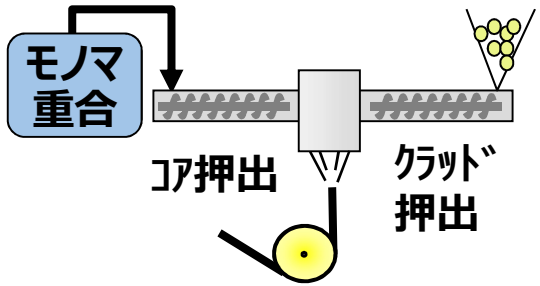
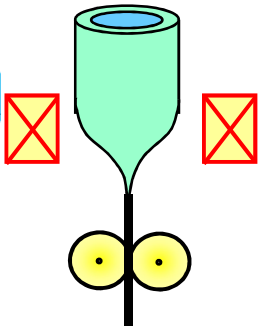
1）線径むら
（散乱損失）
2）熱劣化・着色
（吸収損失）
3）配向複屈折
（散乱損失）

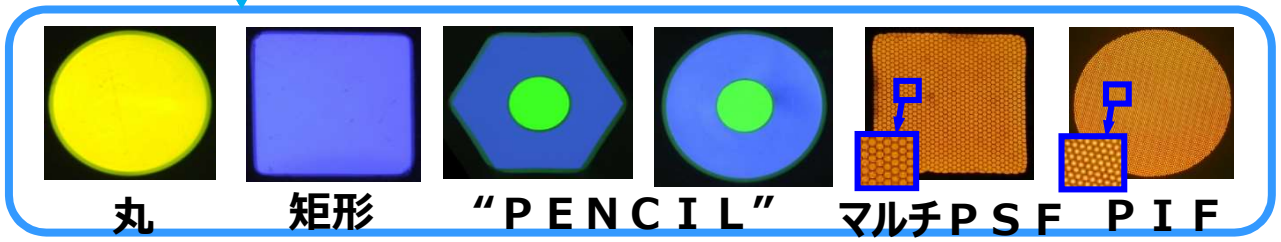


3．高い線径精度

線径ムラ（標準偏差）：σ＝０．３%未満

3）クラレPSFの技術の内容　～製造方法～

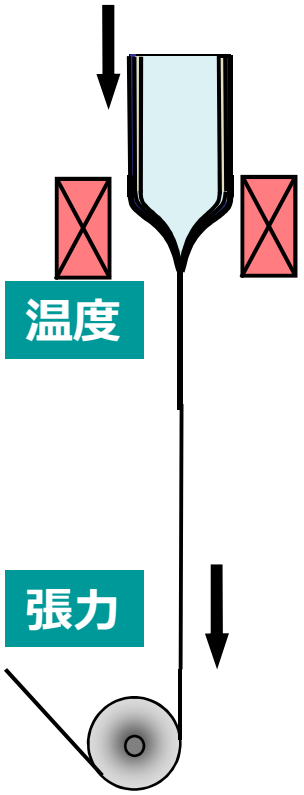
メーカ	製法	特徴	素材	用途
化学 メーカ	連続 ﾊﾞﾙｸ重合 複合押出	量産性、コスト、安定性 	ｺｱ;PMMA ｸﾗｯﾄﾞ;ﾌｯ素樹脂	照明 通信
クラレ	ロッド 線引き	少量多品種 多様な断面形状 低設備コスト 	ｺｱ:PS ｸﾗｯﾄﾞ;PMMA （+ﾌｯ素樹脂）	ｼﾝﾁﾚｰｼｮﾝ

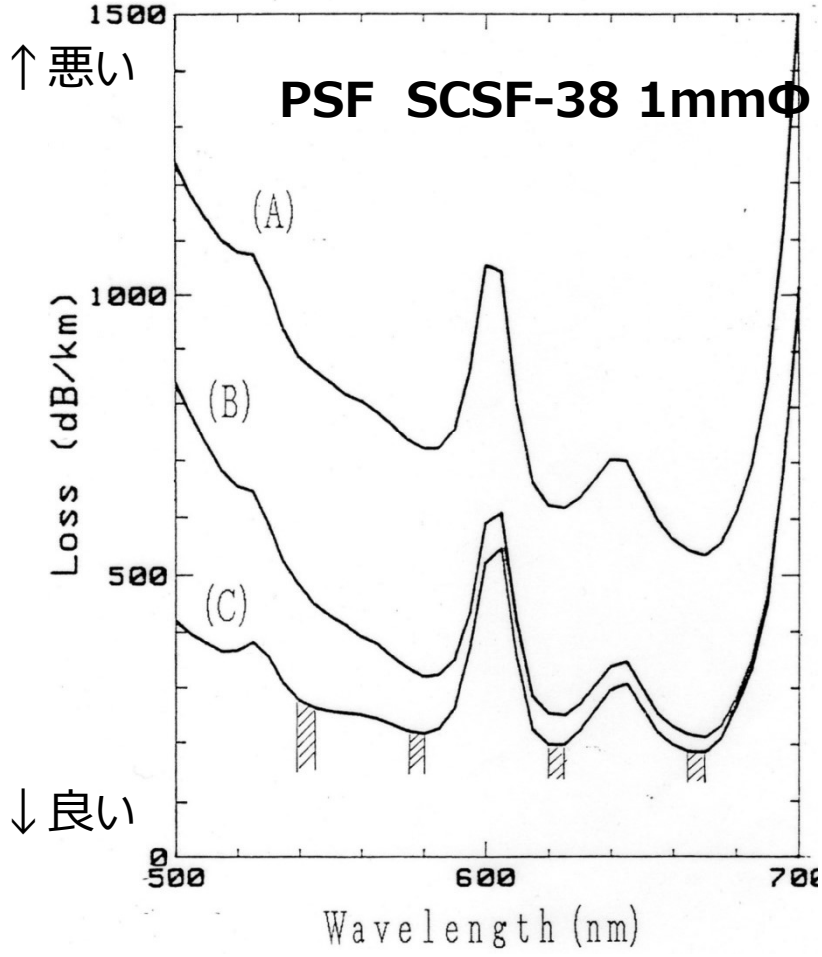


多様なニーズ（蛍光剤種、断面形状、線径）に対応可能な
“**ロッド線引き法**”を選択、今日まで技術を磨いてきた

3）クラレPSFの技術の内容　～技術～

線引き条件（温度、張力など）と光・伝送損失





(A)低温・高張力

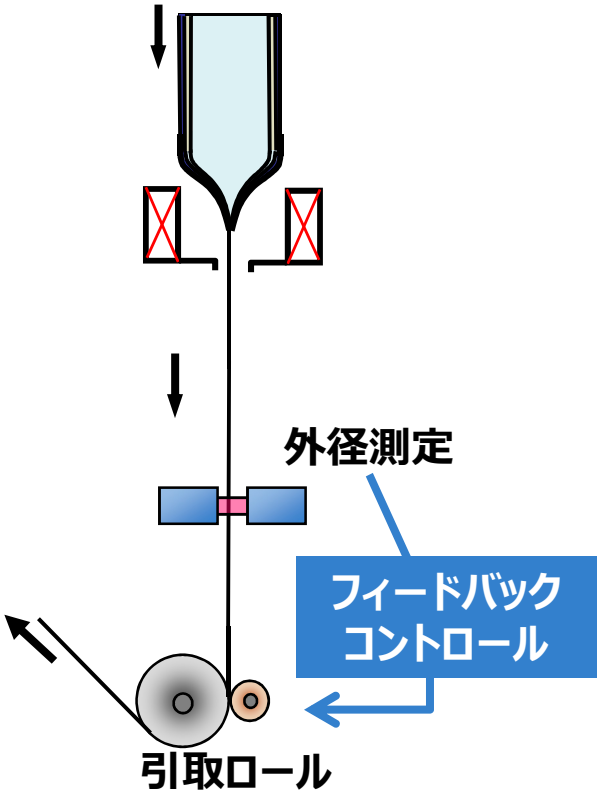
(B)高温・低張力

(C)適度な条件

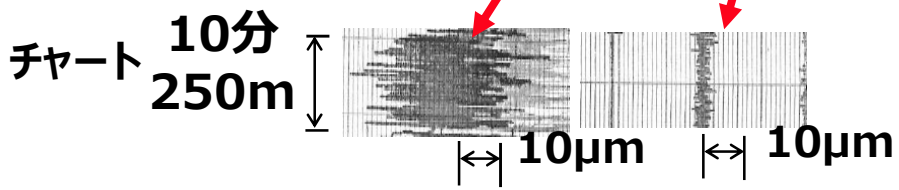
種々の装置改良、ノウハウ蓄積により線引き条件を最適化！
高透明（低伝送損失）を達成 「Only Oneの性能」

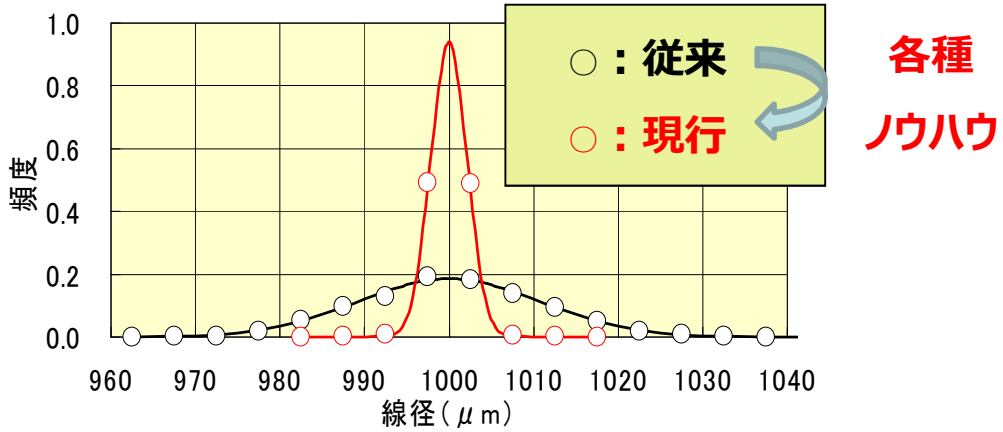
3）クラレPSFの技術の内容　～技術～

加熱・線引き－線径精度（ムラ）の追及



		従来	現行
測定ﾋﾟｯﾁ	p(mm)	5.7	6.9
測定点	-	65,466	233,173
線径平均	Xave（μm）	1,000.10	999.98
標準偏差	σ（μm）	10.79	2.12
	σ/Xave	1.08%	0.21%





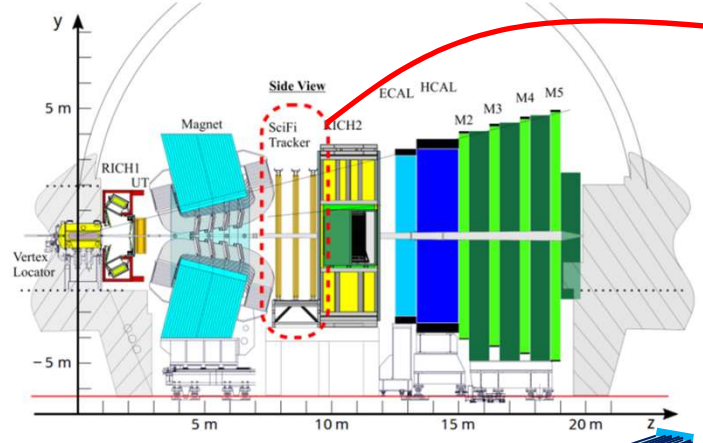
様々な線径制御技術、ノウハウを蓄積
高い線径精度（線径ムラσ＜0.3%）を実現

3）クラレPSFの技術の内容　～技術～

最新の採用例～これまでの集大成としての成果～

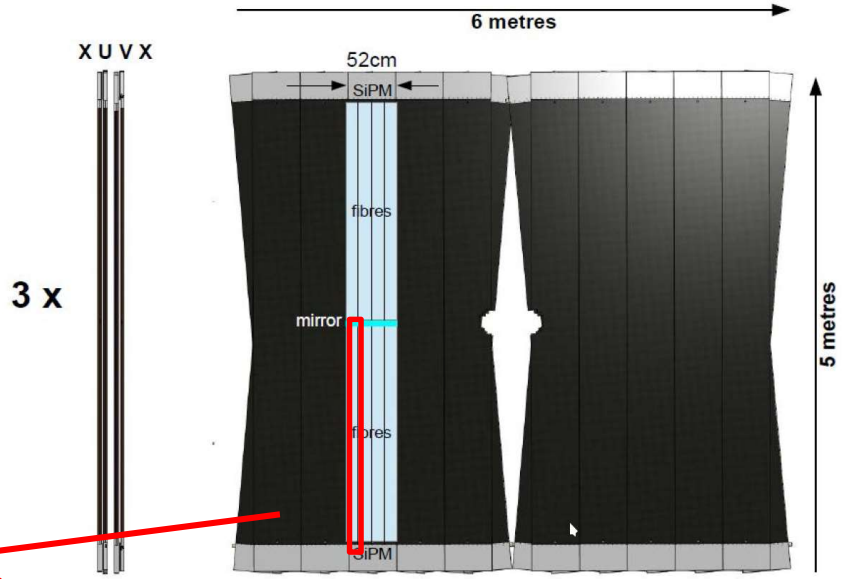
CERN LHCｂ実験（2016～2018納入）

＜目的＞ｂクォークを含む中間体の挙動観測による
CP対称性の乱れ調査等

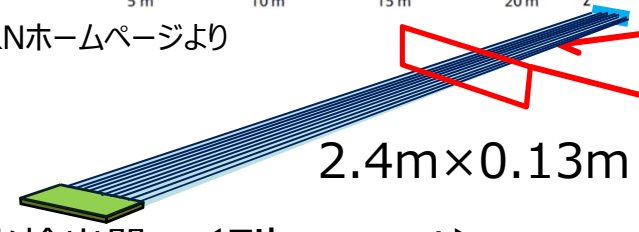


CERNホームページより

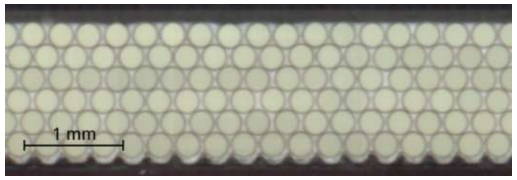
従来より高空間分解能の大面積飛跡検出器



CERNホームページより



光検出器　＜Fiber mat＞



直径250μmのPSFアレイ

CERNホームページより

光学性能、線径精度、低欠陥、生産期間など従来ないレベルの要求
⇒これまでの技術蓄積＋新規技術開発により達成
⇒CERNよりIndustry Awardを受賞（2018年）

4）用途展開と今後の開発　～一般用途事例～

＜一般用途事例１＞γ線線量システム（福島原発事故除染作業用）

2012年5月24日
株式会社テクノエービー
日立GEニュークリア・エナジー株式会社

テクノエービーと日立GEがシンチレーションファイバを利用した
ガンマ線空間線量当量率測定システム「D-phod」の販売で合意

日立GEが特許・技術ノウハウを供与し、テクノエービーがシステム販売を開始

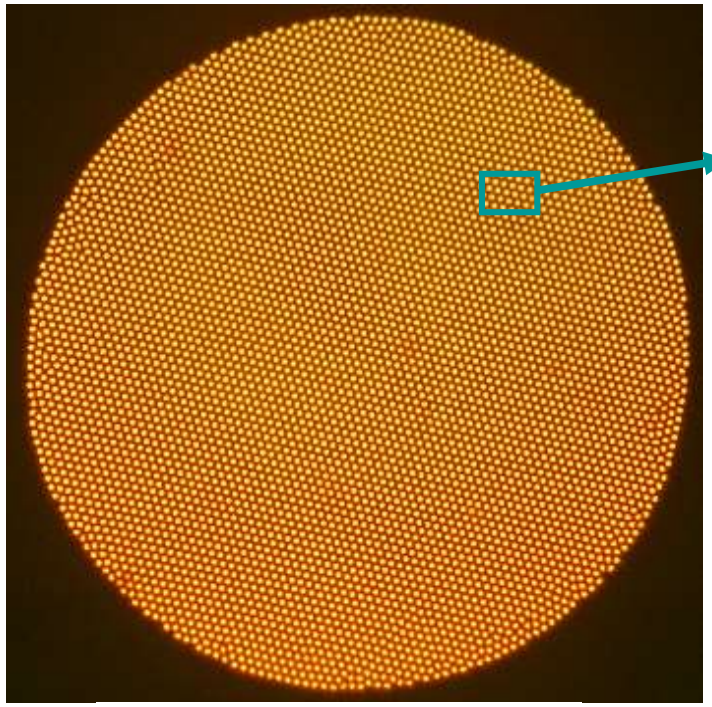
*1 シンチレーションファイバとは、放射線に反応して発光する光ファイバ

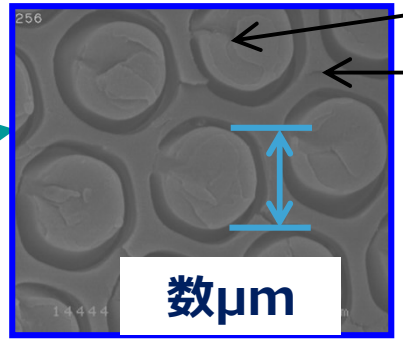
*2 本システムの開発には、日立GEの開発取り纏めのもと、株式会社テクノエービーは信号処理回路等、レモジャパン株式会社はシンチレーションファイバのバンドル化等、株式会社クラレはシンチレーションファイバの供給をそれぞれ担当しています

日立GEニュークリア・エナジー（株）様ホームページより

4）用途展開と今後の開発　～一般用途事例～

＜一般用途事例２＞医療用イメージファイバ





← 300～500μm →

２m画像伝送例

曲がりやすく、折れにくい特性（対ガラス）
⇒画像伝送用として一部医療用途に採用の実績

４）用途展開と今後の開発　～用途展開～

特許＆文献情報から想定される民生用途

想定用途	当社品使用によるメリット
１）医療用PET装置の製造コスト低減 （波長変換ファイバ（アレイ）を使用） 特開2019－82409（国立千葉大学　河合秀幸氏）	高発光量、 高線径精度 （アレイ化に適す）
２）ミューオンを使った地質調査 （シンチレーションファイバを使用） http://enep.ence.kyushu-u.ac.jp/detector_dev/index.html	高発光量など

特許＆文献情報からPSFのさらなる一般用途への展開も期待される。

４）用途展開と今後の開発　～今後の開発～

当社使命
「世のため人のため、他人（ひと）のやれないことをやる」

１）さらなる高性能化の追求

高発光、高透明、時間分解能改善、細径化

２）新規ファイバの開発

従来測定できなかったものを測定可能とする
（α線、低エネルギーβ線など）

Measure what is measurable,
and make measurable what is not so.
（Galileo Galilei）

測れるものは測り　測れないものは測れるようにしよう

５）まとめ

１）クラレPSFは世界中の素粒子物理実験、宇宙物理実験に採用されており、ヒッグス粒子発見（ノーベル物理学賞）にも貢献

２）多種多様な（ドーパント、断面形状）要求に対応すべく“独自のロッド線引き法”を開発。様々な技術開発、ノウハウ蓄積による高発光量、低伝送損失（高透明）、線径精度などが認められ、放射線検出分野でデファクト・スタンダードとなった。

３）今後ますます高度化する実験のため高性能化を進めるとともに、一般用途への展開を進める