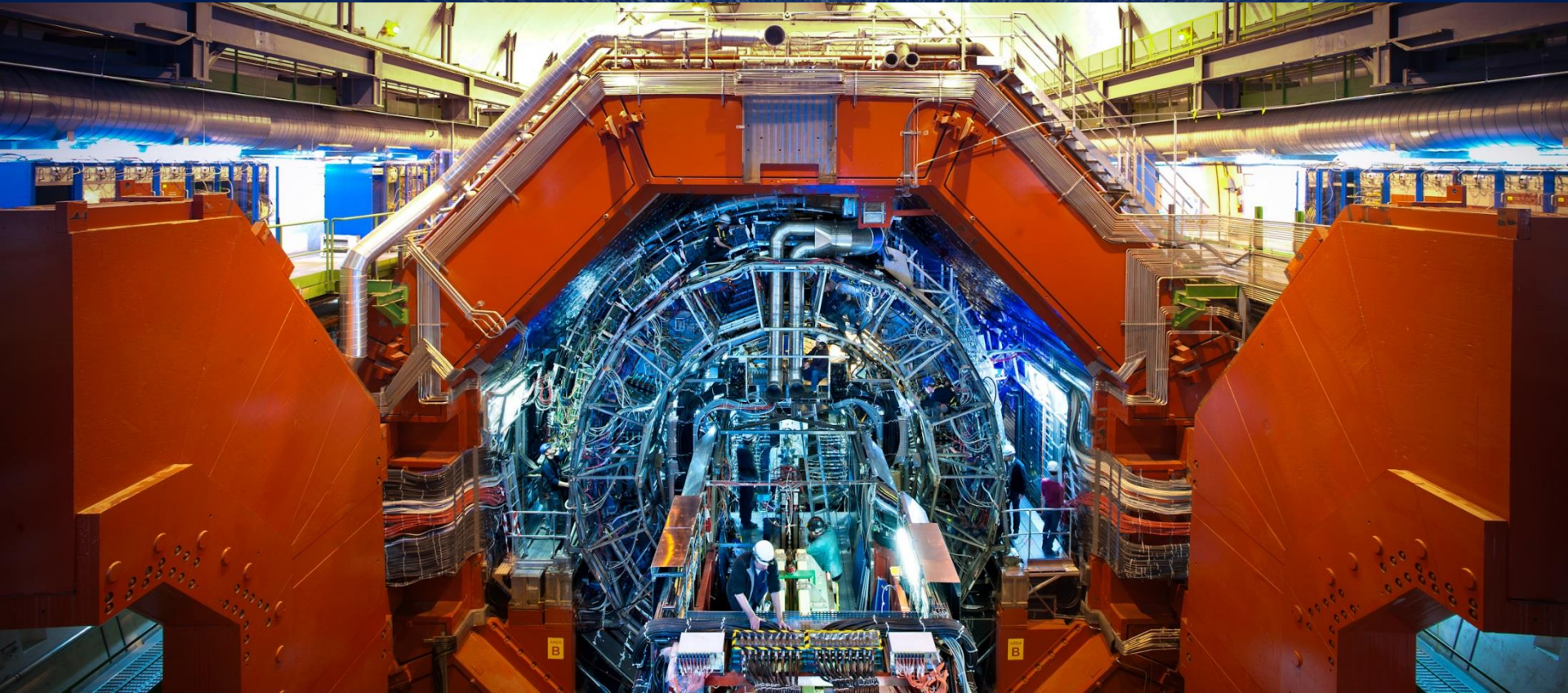


NIAS's vision for European-Japan international scientific collaboration ~ALICE experiment at CERN~



KEN OYAMA

NAGASAKI INSTITUTE OF APPLIED SCIENCE

MAR. 21, 2017 INTERNATIONAL SEMINAR AT NIAS

NIAS joins CERN/LHC project

Alice



CERN

Founded: 1954

Member states: 20 (not Japan)

Annual budget: $\sim 1000 \times 10^8$ JPY

staff: ~ 2500

users: ~ 10000

(famous as WWW invented place)

LHC

Circumference: 27 km

experiments: 4 (ATLAS, ALICE, CMS, LHCb)

Depth: 50 ~ 170 m (average 100 m)

Total cost: $\sim 10000 \times 10^8$ JPY (140×10^8 from Japan)

Construction period: 15y

(approved: 1994, complete: 2008)



Why is Nagasaki related to LHC?

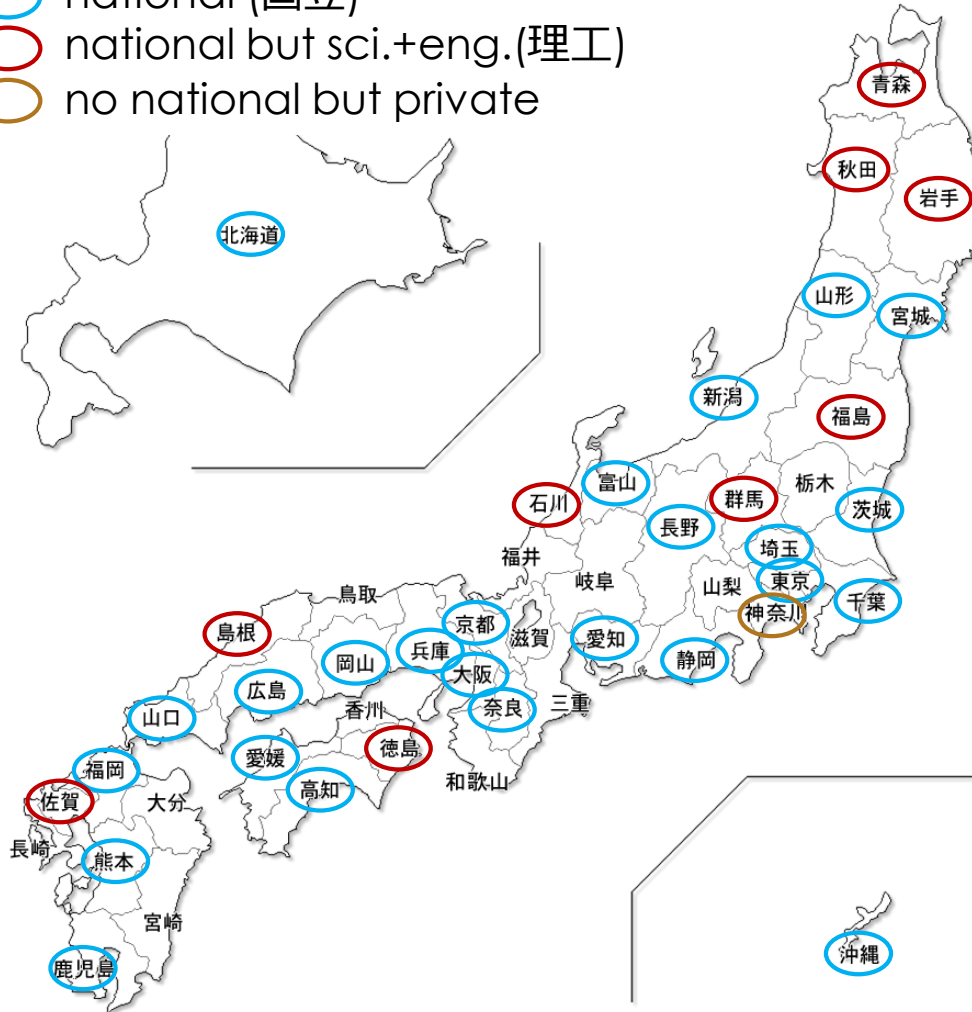


- ▶ Why not
- ▶ There are historical and other reasons
- ▶ Then we may find also our future directions

- ▶ Universities in Nagasaki prefecture (in arbitrary order)
 - ▶ Nagasaki University (長崎大)
 - ▶ Kwassui Women's University (活水女子大)
 - ▶ Nagasaki Wesleyan University (長崎ウエスレヤン大)
 - ▶ Nagasaki University of Foreign Studies (長崎外国語大)
 - ▶ University of Nagasaki (長崎県立大)
 - ▶ Nagasaki International University (長崎国際大)
 - ▶ Nagasaki Junshin Catholic University (長崎純心大)
 - ▶ Nagasaki Institute of Applied Science (NIAS, 長崎総合科学大)
- ▶ In how many of these institutes one can study fundamental physics? (w/o including material/bio sciences)
 - ▶ **only 1 at NIAS**
 - ▶ doesn't mean others should but they all have their nice specialties
 - ▶ NIAS still not as "faculty of science (理学部)"

Universities with science faculty

- national (国立)
- national but sci.+eng.(理工)
- no national but private



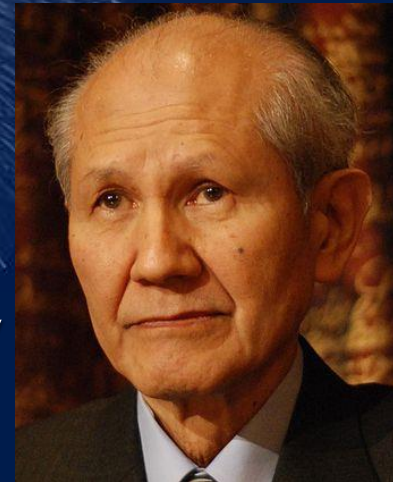
- ▶ 75 % prefectures with science faculty and physics study
- ▶ Mostly in national universities
- ▶ Quite rare in private schools
- ▶ **There is none in Nagasaki**, and unpopular in Kyusyu region

Physicists in Nagasaki?

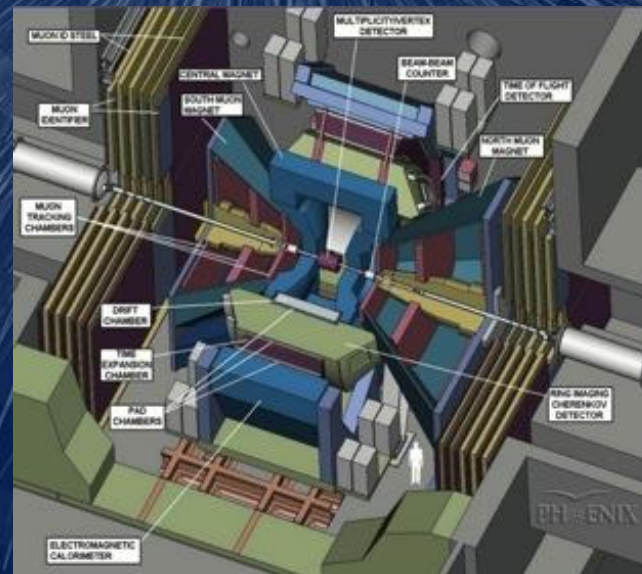
- ▶ YES there was (and are)
 - ▶ Hantaro Nagaoka (長岡半太郎)
 - ▶ 1865 – 1950
 - ▶ born in Omura (大村生まれ)
 - ▶ 1904 saturnian model of the atom
 - ▶ no quantum theory yet
 - ▶ partially confirmed by Rutherford (1911)
 - ▶ Nagaoka coefficient (electronics)
 - ▶ 2nd world war, GHQ destroyed all accelerators, etc
 - ▶ In other scientific fields?
 - ▶ Osamu Shimomura graduated Nagasaki University
 - ▶ Nobel prize in chemistry in 2008
 - ▶ **But for physics, not appeared in history for ~100 years**



photos from Wikipedia



- ▶ Pioneering work started by Y. Tanaka in 1997
- ▶ Collaboration with Tokyo University
 - ▶ H. Hamagaki, K. Oyama (as a student) et al.
- ▶ probably **the first fundamental physics** study in Nagasaki (AFAIK), that was
 - ▶ PHENIX experiment at Brookhaven, New York



- ▶ This is high a energy nuclear physics ... 高エネルギー原子核実験
- ▶ People here today were playing major roles in major experiments

- ▶ AGS, BNL:
J. Stachel
P. Braun-Munzinger
H. Hamagaki

- ▶ SPS CERN:
J. Stachel,
P. Braun-Munzinger

- ▶ RHIC, BNL:
H. Hamagaki
Y. Tanaka joined later
M. Shimomura (as a student), K. Oyama (as a student) joined later



Why NIAS joined?

- ▶ What is the background?
- ▶ In fundamental physics study, especially for top particle and nuclear physics
 - ▶ going higher energy
 - ▶ higher sizes, complexity, and speed
 - ▶ requires **much more advanced electronics engineering**
- **collaboration consists only with physicists can't handle anymore**

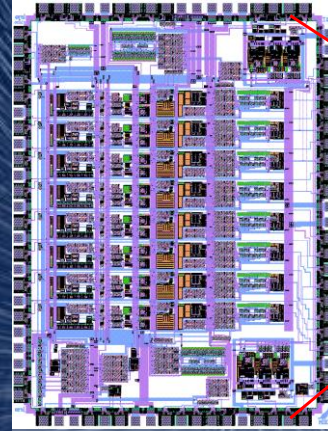
end-90th is about the time many people realized that
synergy is important

NIAS developed DAQ for PHENIX

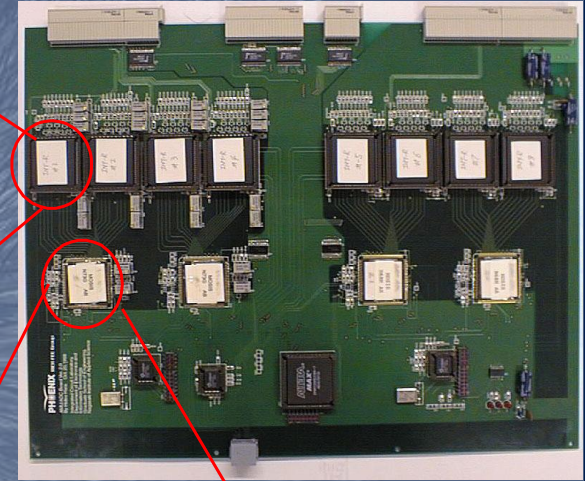
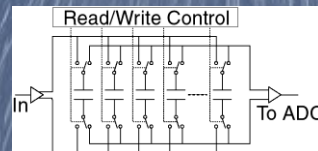


- ▶ Very good example of directly applying modern technology (ASIC, FPGA, source common clocking, etc) to physics, contrary from “traditional physicists methods”

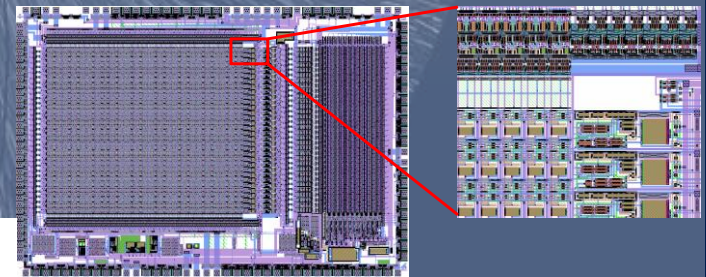
- ▶ This was really powerful and did work after 3 years development



- Orbit 1.2u CMOS
3.5mm x 4.5mm
84pin PLCC
- MOSIS SCMOS
- TAC 8ch
- Integrator 8ch
- Trigger sum 2ch

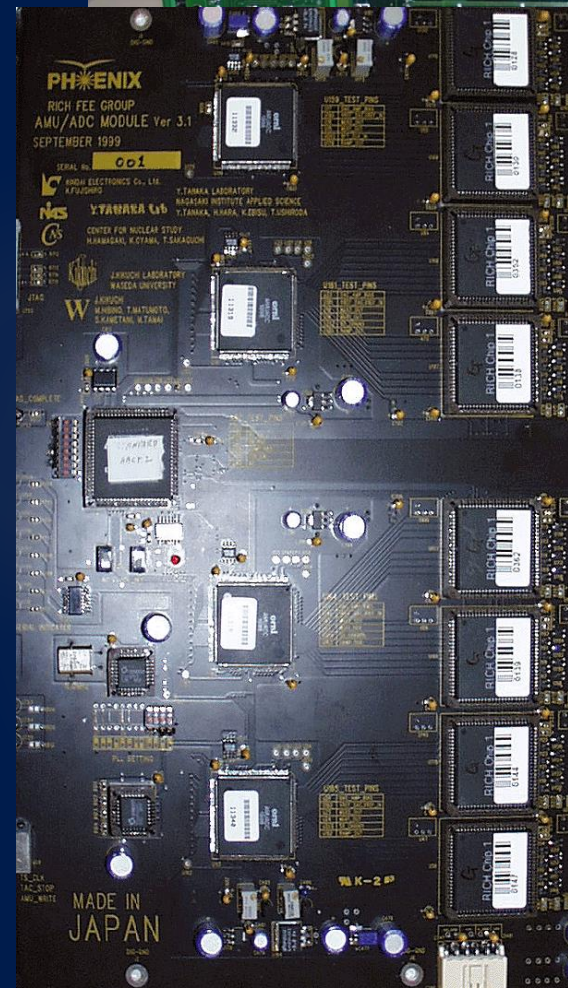
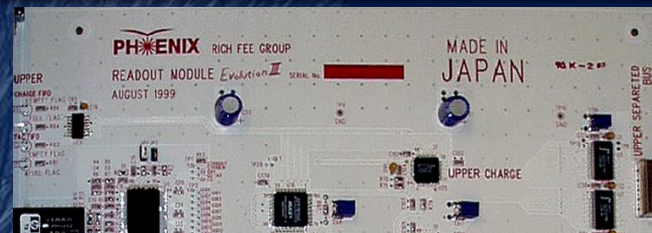
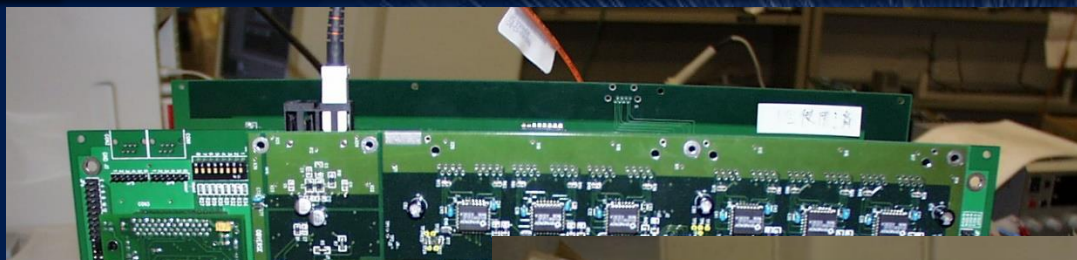


9U Custom-made Module



AMU		ADC	
MAX writing rate	12MHz	ADC type	Wilkinson型
MIN writing time	40ns(12bit)	Range	9~12 bits
Dynamic range	0.5~4.5V	MAX clock	230MHz
Droop time	100mV/s		(Double edge)

11 PHENIX RICH FEE



UPPER SEPARATED BUS
LOWER SEPARATED BUS

2005年(平成17年)4月19日(火曜日)

12版

社 会 38

「宇宙、最初は液体だった」

今から約百四十億―百五十億年前、ビッグバンが起きた直後の宇宙は液体の状態だった―。東京大学、米ブルックヘブン国立研究所(ニューヨーク州)などの日米共同研究チームは十八日、宇宙の始まりは気体

東大など新説

の状態だったとする従来の説を覆す新説を米物理学会で発表した。宇宙誕生の謎を解明する手掛かりとなりそうだ。

東大理学系研究科の浜垣秀樹助教授らは米ブルックヘブン研の加速器を使っ

日米で模擬実験 一瞬で気体に

て、ビッグバンから百万分の一秒後の宇宙を模擬した状態を作った。

この中で光に近い速度まで加速した金の原子核同士を正面衝突させ、セ氏二兆度前後の高温中に「クォーク」などの素粒子を存在させ、飛び出してくる粒子を観測した。

その結果、内部は素粒子が自由に動ける気体ではなく、ひと固まりになって一定の方向へ動く液体のようだったと予測できた。

液体の時期はほんの一瞬で終わる。その後すぐに宇宙は気体になったと研究チームはみている。

豪雨対策、市街地優先

国交省「一律に整備」見

<http://www.nias.jp/lovetech/>

下島真

総合情報学部総合情報学科 知能情報コース 教授

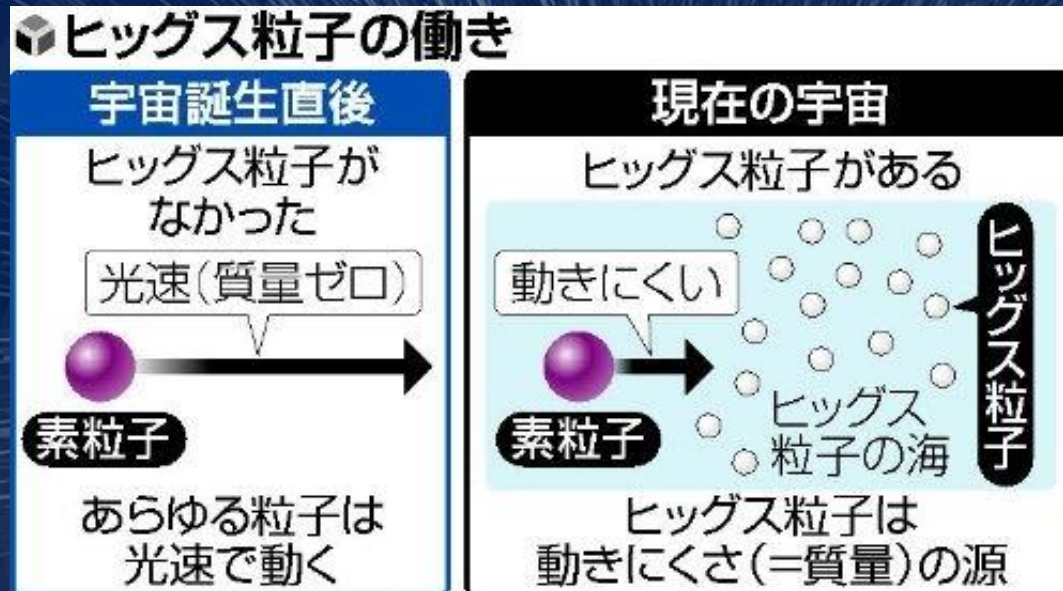
MAKOTO
SHIMOJIMA

Click!
宇宙と人の
心理を探索
Read more

Profile & Answers

筑波大学大学院 物理学研究科 博士課程修了。博士(理学)。2001年より本学。
欧州のATLAS実験メンバーとして活動中。2015年に全国優勝を果たしたETロボコンチームの顧問。

①オーケストラの演奏指揮(オーボエ担当) ②「中工の著作」
③「数学ガールの秘密ノート」シリーズ、「Harry Potter」series 翻訳、Richard Feynman books(原著) ④学校の先生 ⑤好奇心と物の上手なれ



- ▶ The “GOD” particle giving mass to the matter, prediction in 1964
- ▶ Hint observed July, 2012
- ▶ Discovery Mar. 14, 2013, **after 48 years of quests!!**
- ▶ by over thousands of physicists, **engineers, and many people from many fields**
- ▶ Englert and Higgs awarded the Nobel Prize, 2013

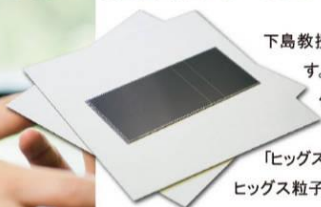
\ TEXT ZOOM  / クリックで拡大表示するよ /


厚さ0.3ミリの魔法の板で ノーベル賞受賞にも貢献!

「ヒッグス粒子」という言葉を聞いたことがありますか？ ヒッグス粒子は、もし存在しなければ、宇宙を構成するすべての星や生命が誕生しなかったであろうことから「神の粒子」とも呼ばれています。2012年、このヒッグス粒子とみられる新粒子が発見され、その翌年、ヒッグス粒子の存在を理論的に予言したフランソワ・アンゲレール氏とピーター・ヒッグス氏がノーベル物理学賞を受賞しました。

実はこの世紀の大発見の陰には、多くの研究者たちの協力がありました。日本でも17の機関から100名以上が参加しており、今回紹介する下島真教授もその一人です。

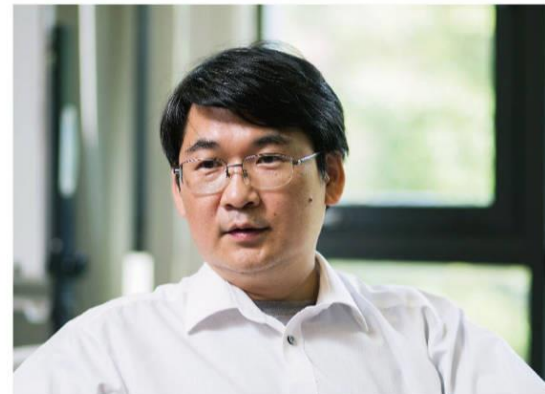
"Research" is to explore the truth in the universe and in human beings.



下島教授は「素粒子実験物理学」を専門に研究しています。素粒子とは物質を構成する最小単位のこと。現代物理学の基礎となっている標準理論では素粒子は17種類あるとされており、今回発見された「ヒッグス粒子」は、その最後の1つというわけです。

ヒッグス粒子は50年ほど前にその存在が予測されていたが、なかなか発見には至りませんでした。ヒッグス粒子はとても小さく、空間に密集して存在しているため、空間からヒッグス粒子をはじき出すためには、とてつもなく大きなエネルギーが必要になるのです。

これにチャレンジしたのがLHCアトラス実験グループです。世界中から約3000人の物理学者が協力し、14年の歳月をかけて、スイスに史上最高のエネルギーを生み出す装置を作り上げました。それが加速器と呼ばれる装置で、円周27kmにも及ぶトンネルの中で陽子と陽子を衝突させ、その様子を観察するというもの。下島教授はこの陽子同士がぶつかる瞬間を記録し続けるシリコン検出器を作る分野を担当していました。シリコン検出器は粒子の精密な飛跡を検出するという重要な役割を担っています。

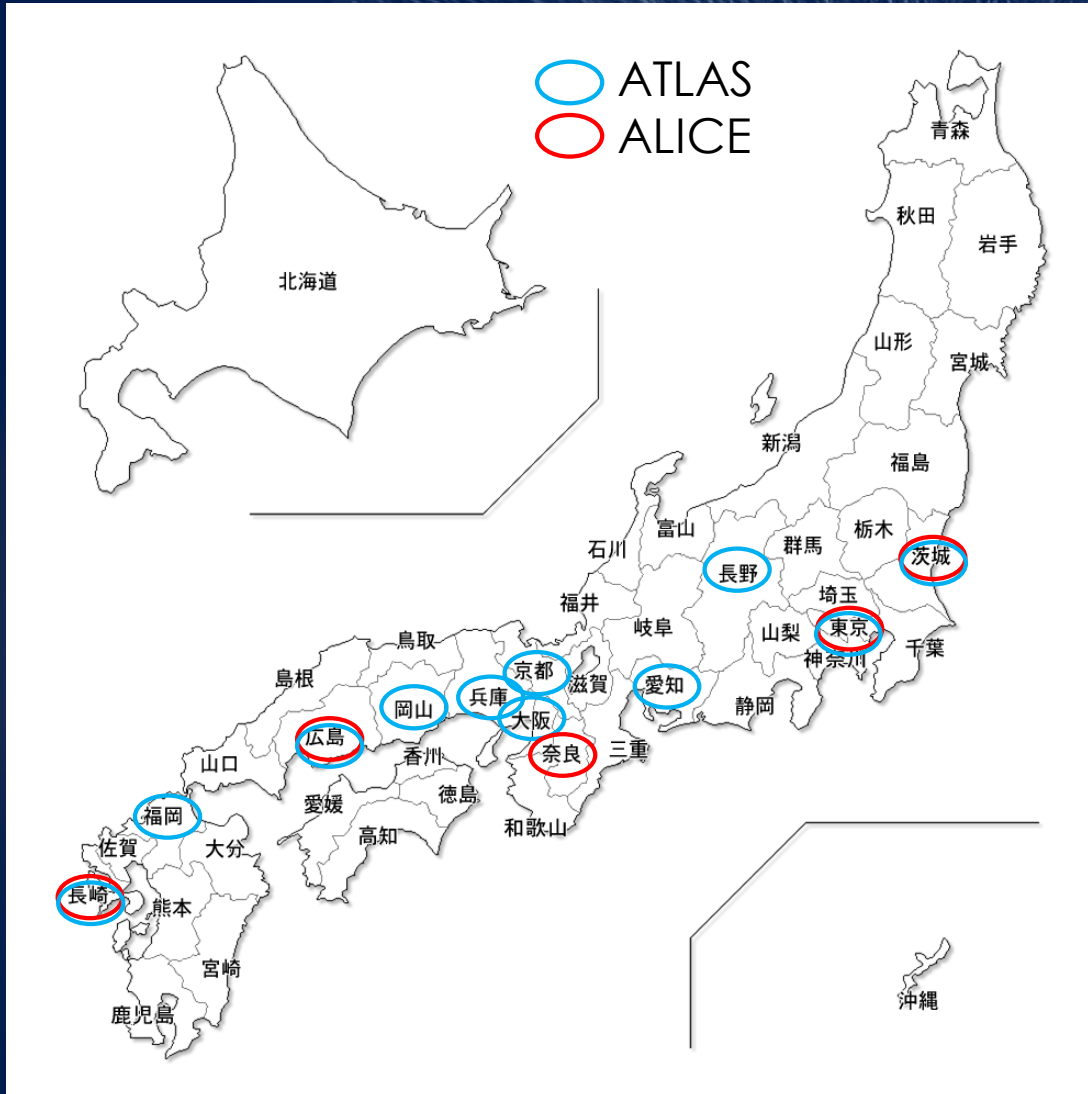


「本物ですよ」と下島教授が見せてくださったのは、ベラベラと薄い、鏡のようなもの。このようなセンサーがシリコン検出器だそうで、想像とはだいぶ違います。ヒッグス粒子を発見したアトラス検出器にはこういったセンサーが数えきれないほど多く取り付けられているといいます。厚さわずか0.3ミリのこんなにも薄い板のようなものが、膨大な量の情報をすばやく正確に検出できるという技術の高さには驚かされます。

下島教授は素粒子研究の魅力を「人間が作ったものではないものと向き合い、どうしてそうなっているのか解明していくのはとても楽しい」と話します。素粒子研究は宇宙の真理、人間の真理を探究する学問なのかもしれません。



NIAS doing two LHC Exp.



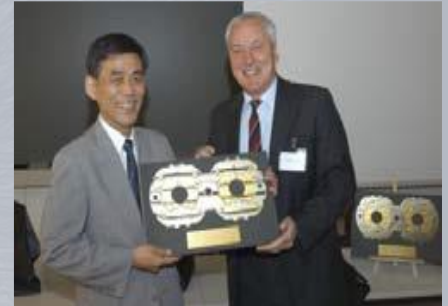
- ▶ NIAS is only the private university joining 2 big LHC experiment!

17 Japan in big science



Many Japanese technology used in many accelerators and experiments in the world

- ▶ accelerator
 - ▶ material engineering
 - ▶ electronics
- ▶ detector
 - ▶ micro-pattern engineering
 - ▶ electronics, LSI
- ▶ computer
 - ▶ high performance computing
 - ▶ big-data analysis technology



LHC superconducting magnets (超伝導磁石) by TOSHIBA, Furukawa(古河電気) and many
[photos from ATLAS-Japan group]

Hamamatsu Photonics
(浜松フォトニクス)
for Super-Kamiokande

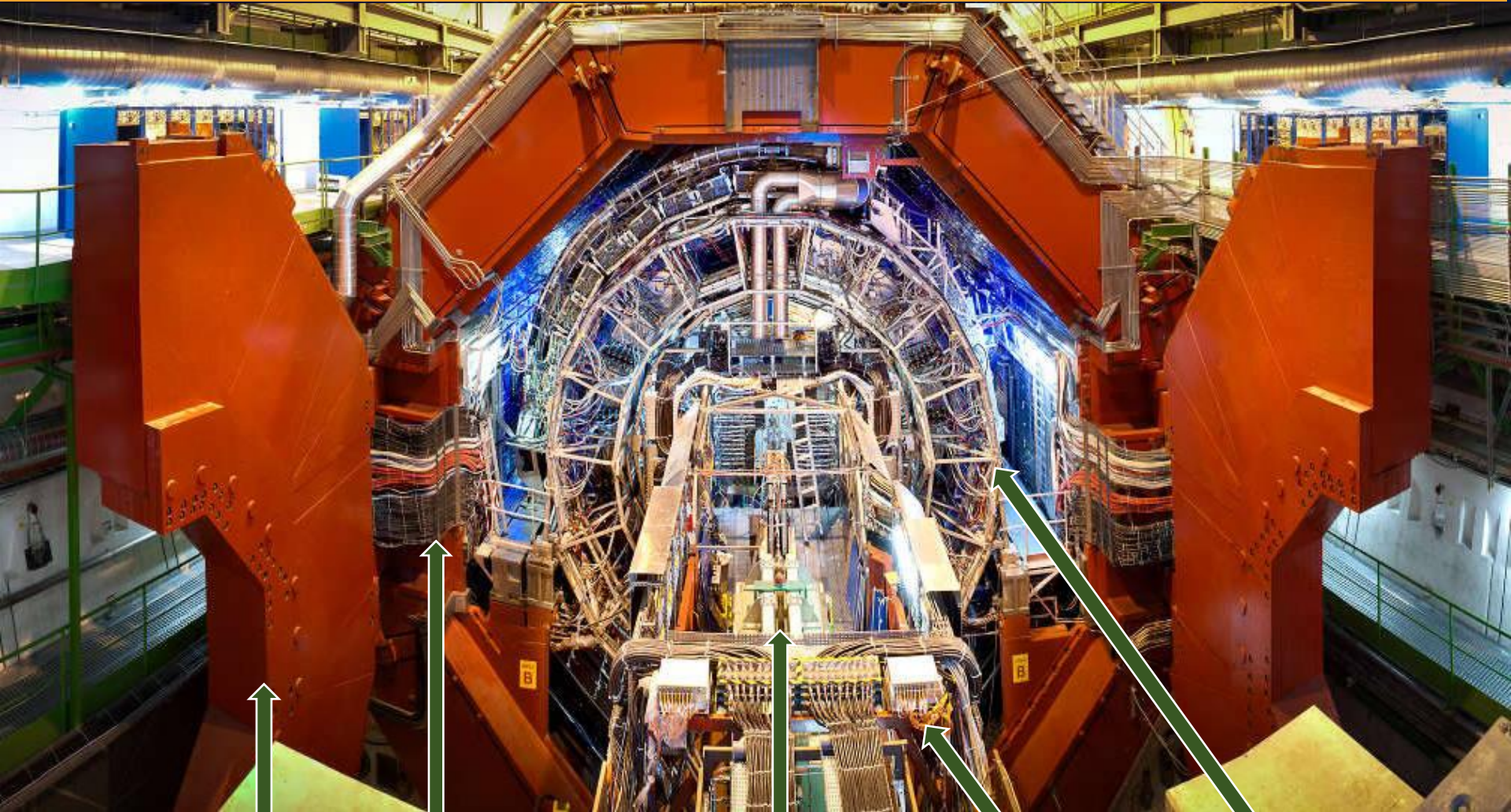
detecting single photon

Nobel prize of Koshiba

[photos from Tokyo Univ.
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/>]



18 ALICE, how it looks like



Magnet door

power lines

vacuum beam pipe (LHC)

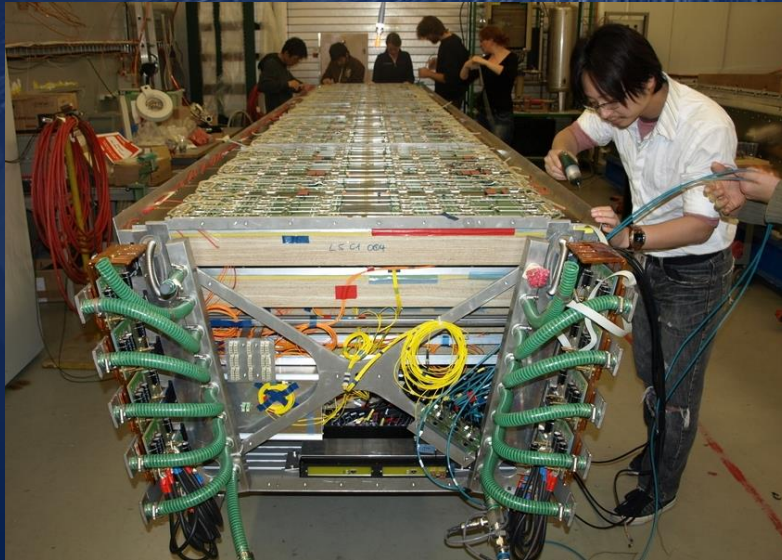
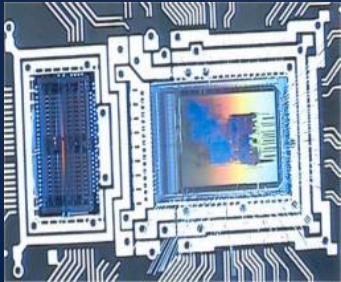
readout fibers

detectors

TRD as one of the largest projects



- ▶ Started and lead by J. Stachel and P. Braun-Munzinger
- ▶ I moved to Heidelberg Univ. Physics Institute (物理学部) to join (2003)
- ▶ Perfect synergy of variety of technologies
 - ▶ material, mechanics, electronics ...
 - ▶ institute for **electronics/IT science FOR PHYSICS**
 - ▶ in-house technicians and engineers exclusively work for a project → **never seen in Japan**



Kirchhoff-Institut für Physik
<http://www.kip.uni-heidelberg.de>

>10 years work for completion

- ▶ Many Japanese people including students joined

2014 Nov. full completion

odule completion





スロバキア イタリアx2



ドイツ 日本 ロシア ドイツ イタリア 日本人



- ▶ Everyone from professors to students join operations with 24h/7d shifts
 - ▶ Everyone has right to use the data! → very efficient paper production
- **20 ~ 40 papers every year**

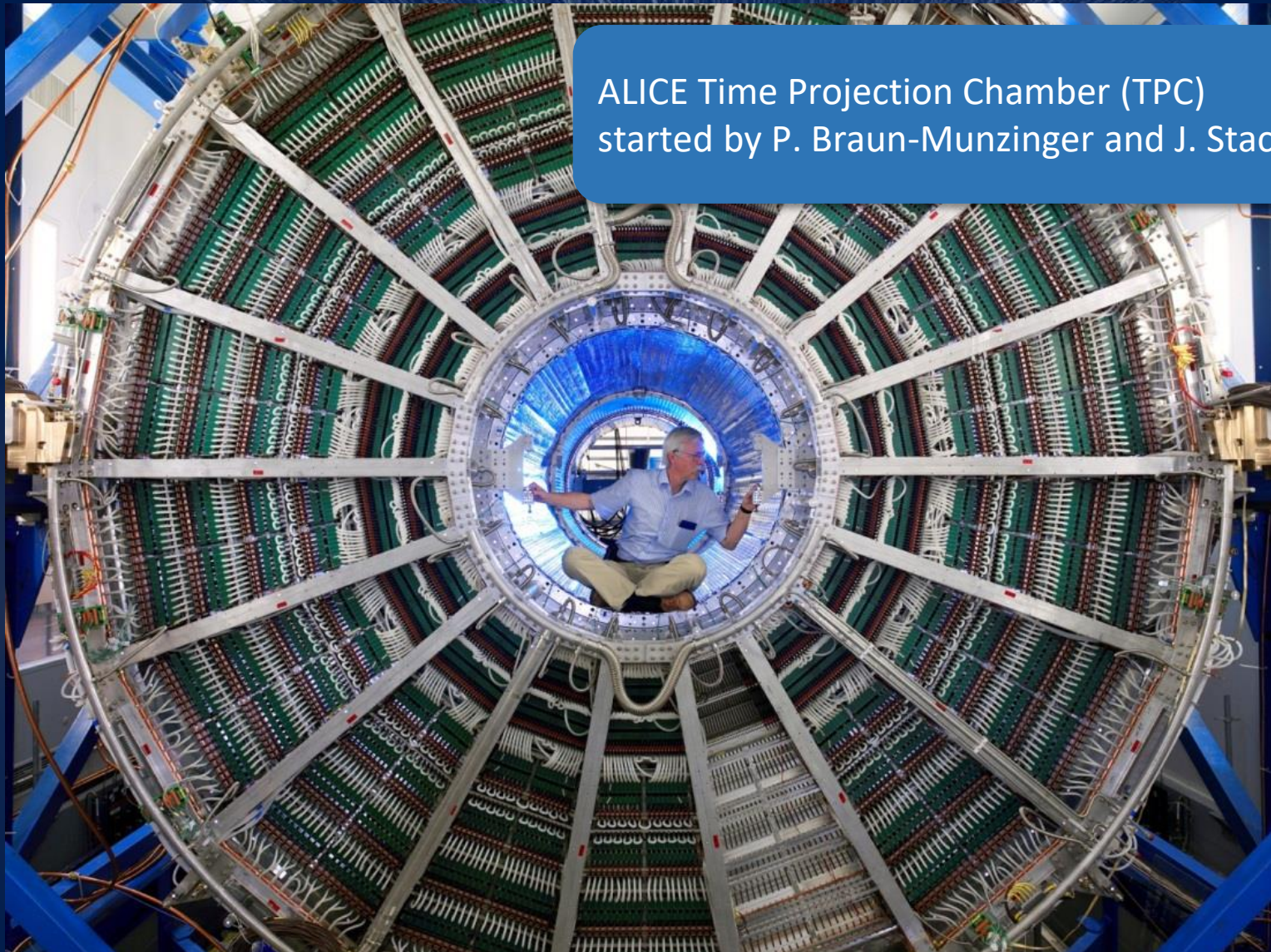
So far

- ▶ NIAS is a rare private university where unique physics is on going
- ▶ quite nice and tight relationships with European people built in last >10 years

Next?

- ▶ we have good basis of engineering and technology
- ▶ why not develop this further with top physic projects?
- ▶ and even applying for “non physics fields” (we are “applied science” university)

TPC Ugrade project



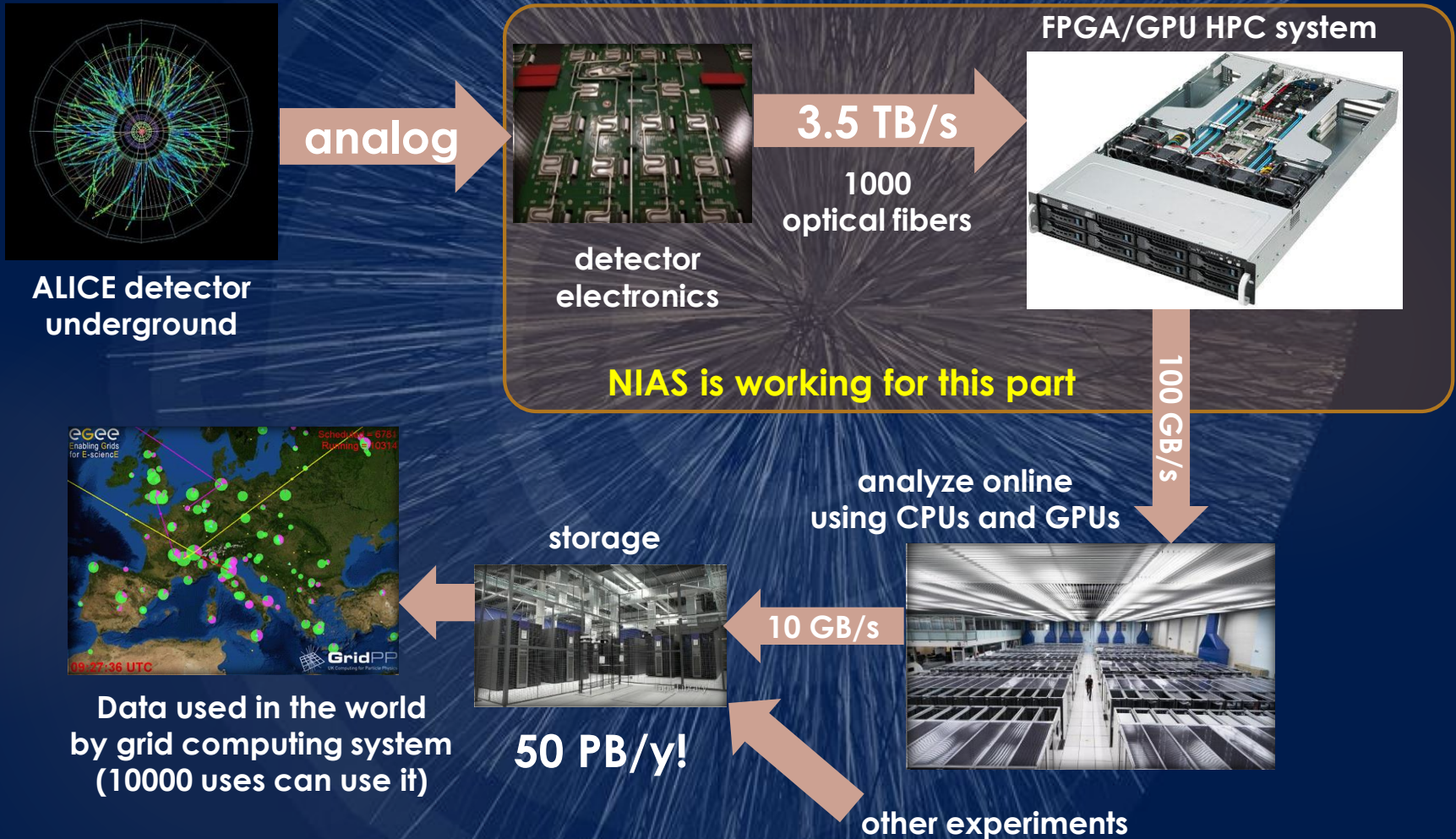
ALICE Time Projection Chamber (TPC)
started by P. Braun-Munzinger and J. Stachel

The data taking technology of this TPC is the next key issue

- ▶ NIAS joined ALICE in 2015
 - 2015: K. Oyama (from Heidelberg University)
 - 2017: H. Hamagaki (from Tokyo University)
 - 2 graduate students
- ▶ **It was near impossible if we were complete new comer**
- ▶ **with help of GSI, Heidelberg, Frankfurt and European institute' backup**
- ▶ Target: developing new high performance data acquisition system using FPGA
 - ▶ 1000x10⁸ JPY PC cluster system to be replaced by FPGA/GPU High-Performance computing system

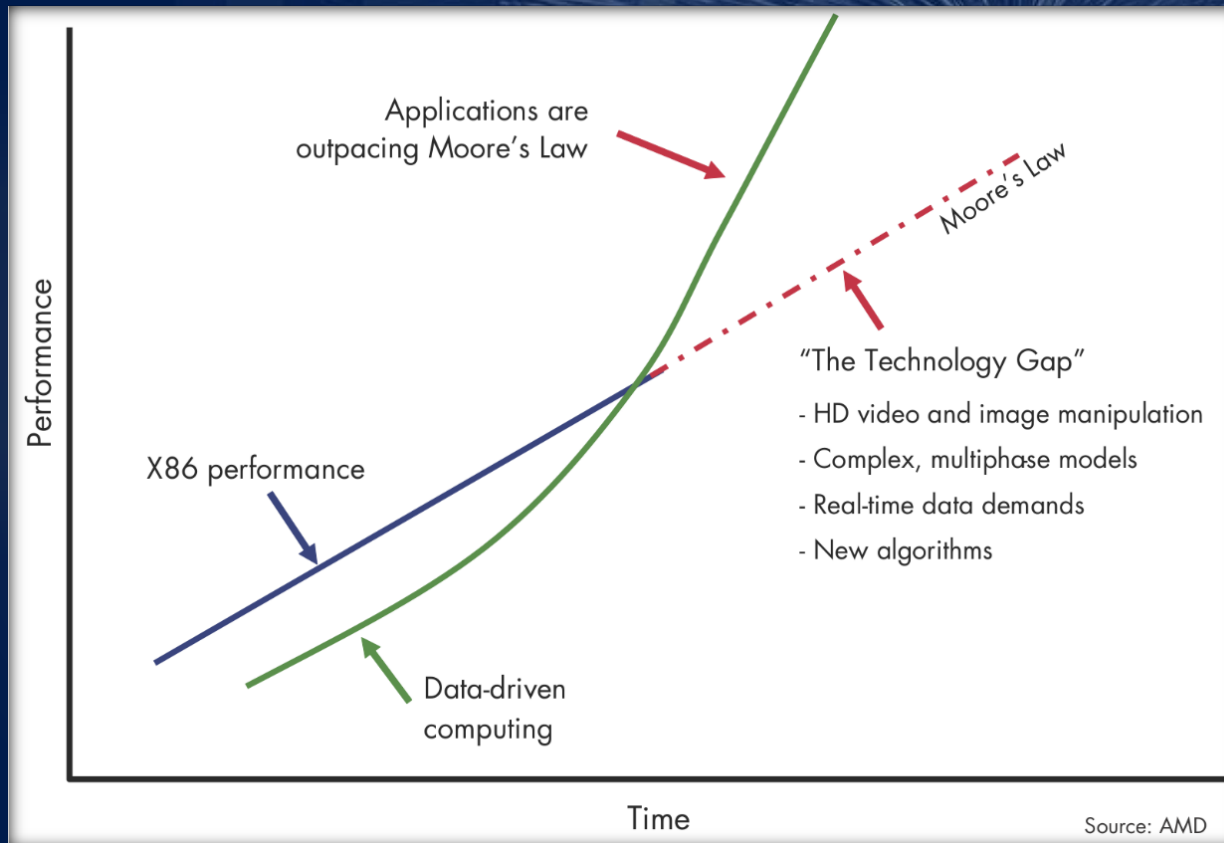


LHC is a “big-data” generator



- ▶ **The technology to be developed here will also be effective to public society problem of developing IoT and M2M**

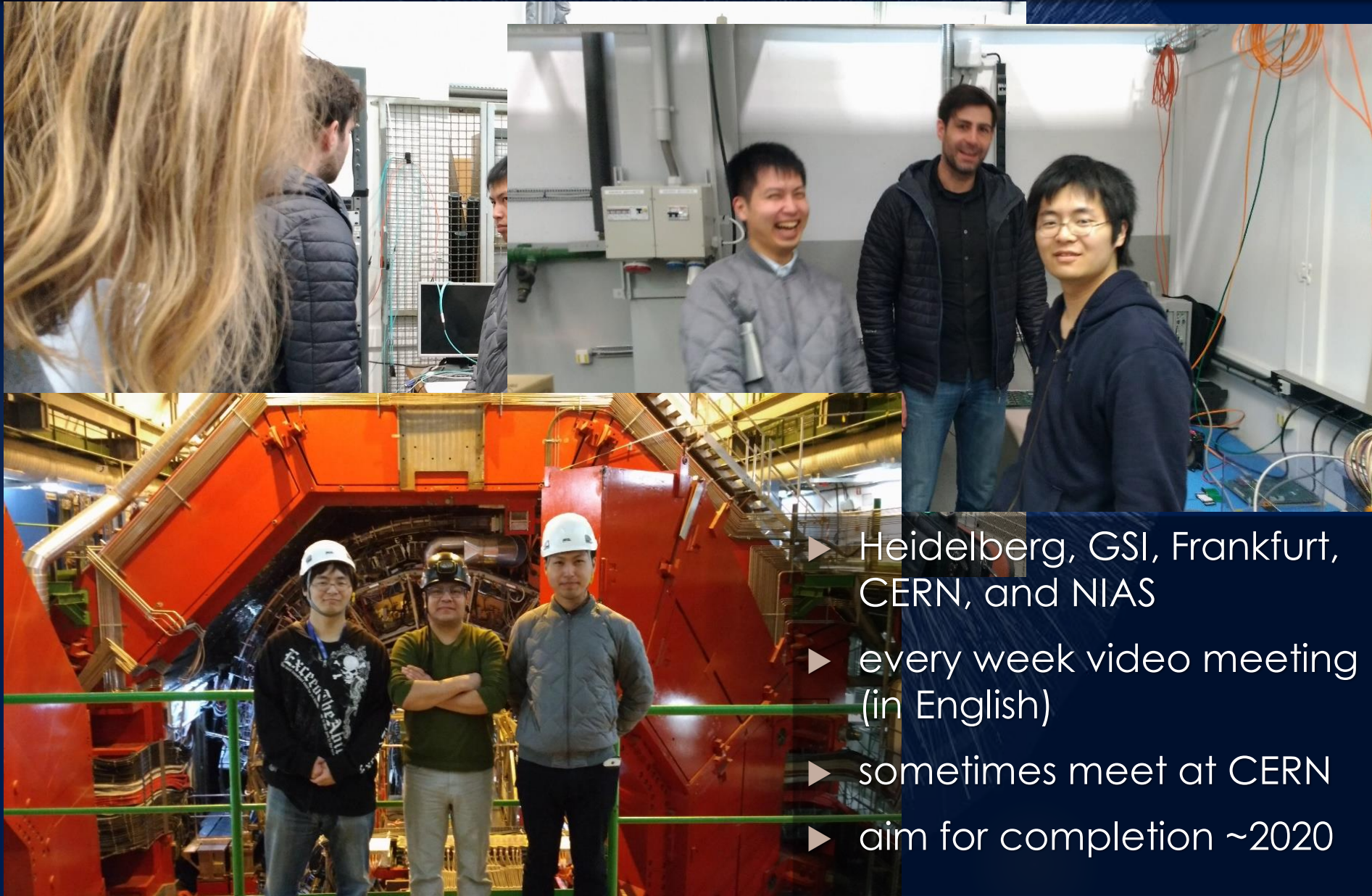
- ▶ Real-time processing of TB/s class data is an common issue in the world, not only for top physics
- ▶ High Performance Computing (HPC): is the key



Data amount develops faster than CPU power develop



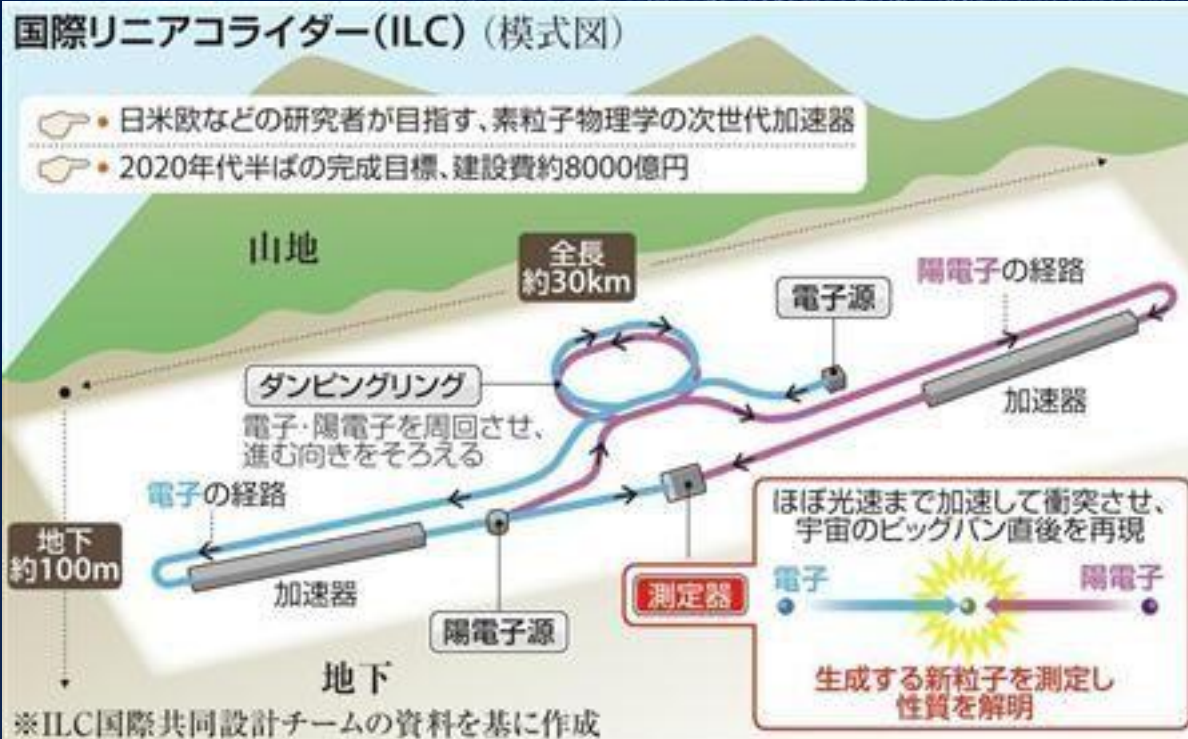
**= the real big data
(真のビッグデータ)**



- ▶ Nowadays, it is a “common understanding in the world” that fundamental science and high level engineering can not be separated
- ▶ The fundamental science study is on going in NIAS
- ▶ In our long history, we established super-good relationships, with European people and institutes
 - ▶ makes us unique
 - ▶ must continue
 - ▶ new work has started (ALICE TPC upgrade)
- ▶ Additionally
 - ▶ this synergy has non-negligible side-effects with technology feedback (big-data technology, IoT, M2M)
 - ▶ even may energize economy



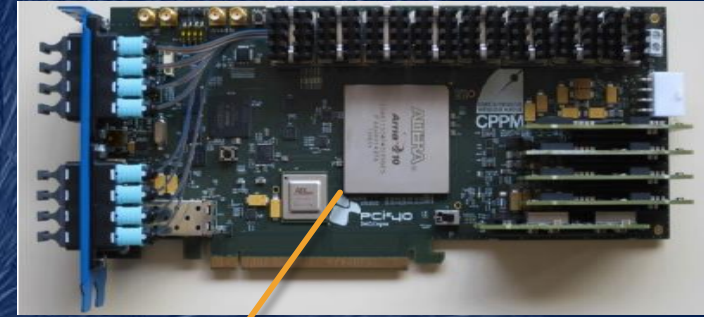
backup



- ▶ 30 km length linear electron-positron collider
- ▶ May be realized in Japan?
- ▶ NIAS joins ILC too (although no real study started yet for DAQ yet)

▶ **FPGA** = **F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray

▶ 現場で回路変更可能な論理回路配列

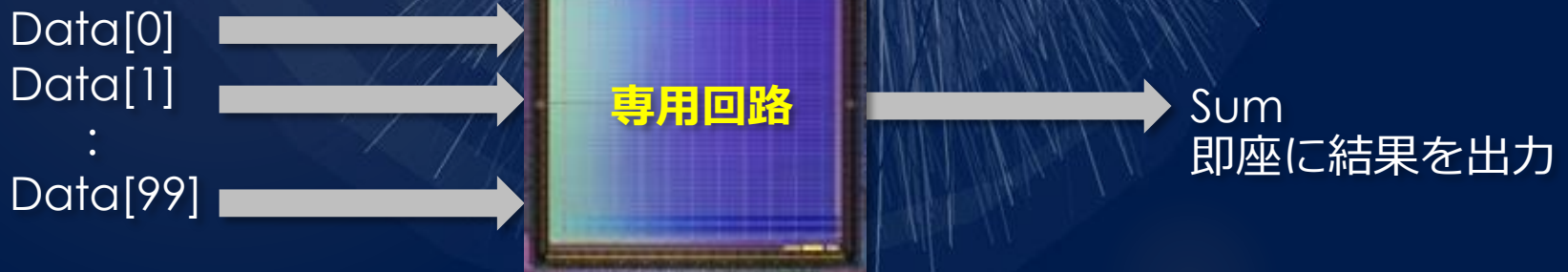


▶ **CPU(普通のPC)**: プログラム命令を逐次実行

```
for( i=0; i<100; i++) { Sum += Data[i]*Data[i]; }
```

つまり一個一個足していく

▶ **FPGA**: ハードウェアで直接処理(全部同時に足す)



これまでの普通のコンピュータ



検出器ひとつ



データ記録センター

- 同時には検出器ひとつのデータしか処理できない



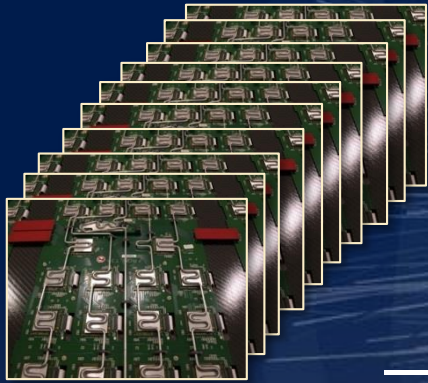
- すべてのデータは取りきれない
- 全て取るには10万台の高性能PCが必要

無理！



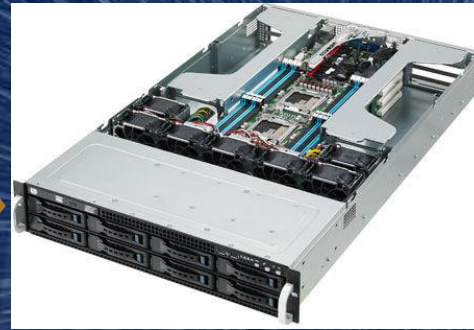
1千億円

FPGAを使った新型コンピュータ

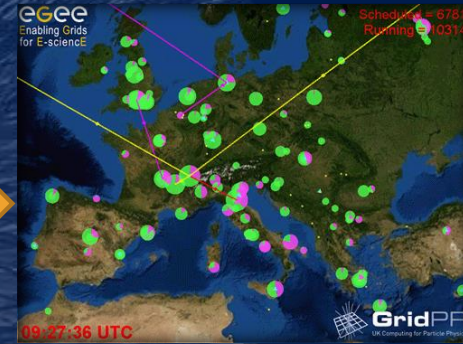


検出器 x48

1 TB/s



50 PB/年



一度に多くの検出器
データを同時処理
→ **聖徳太子型 新型PC**

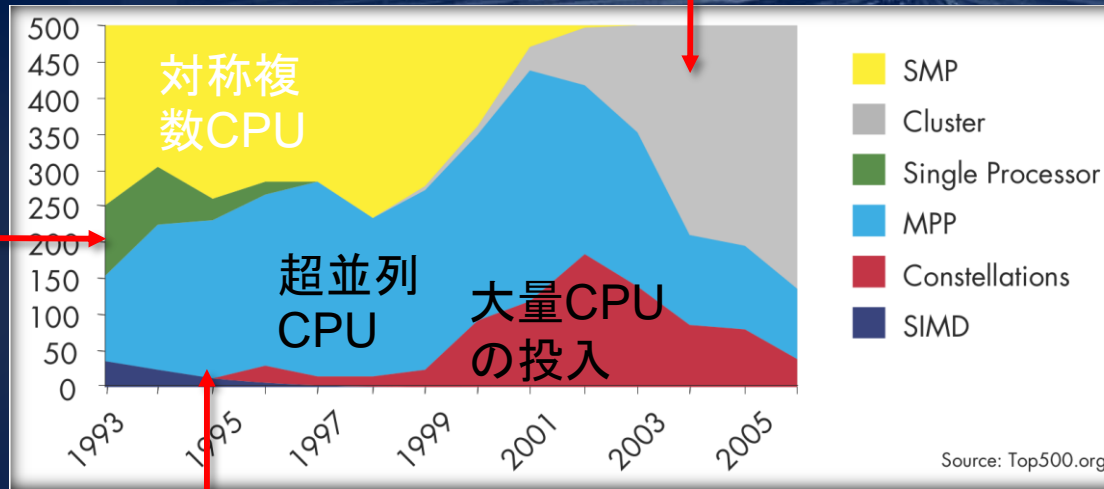
世界へネットワークで分散
(**グリッドシステム**)
→ 世界の1000人以上の人が
同時に解析
長崎でも解析中

- 普通のパソコンの**ディスクが1秒で消費**されるデータ量
- それをFPGAコンピュータが瞬時圧縮
- 1年にパソコンディスク5万個ぶんのデータを世界に配信

スーパーコンピュータ+世界規模分散処理システム

- 超並列で CPU, GPU を超えはじめ → **ビッグデータに最適**
- CPUは現在テクノロジー限界に到達

クラスタコンピューティング
(FPGA, GPU)



理研京 ~ 1000億円



開発中のFPGAボード

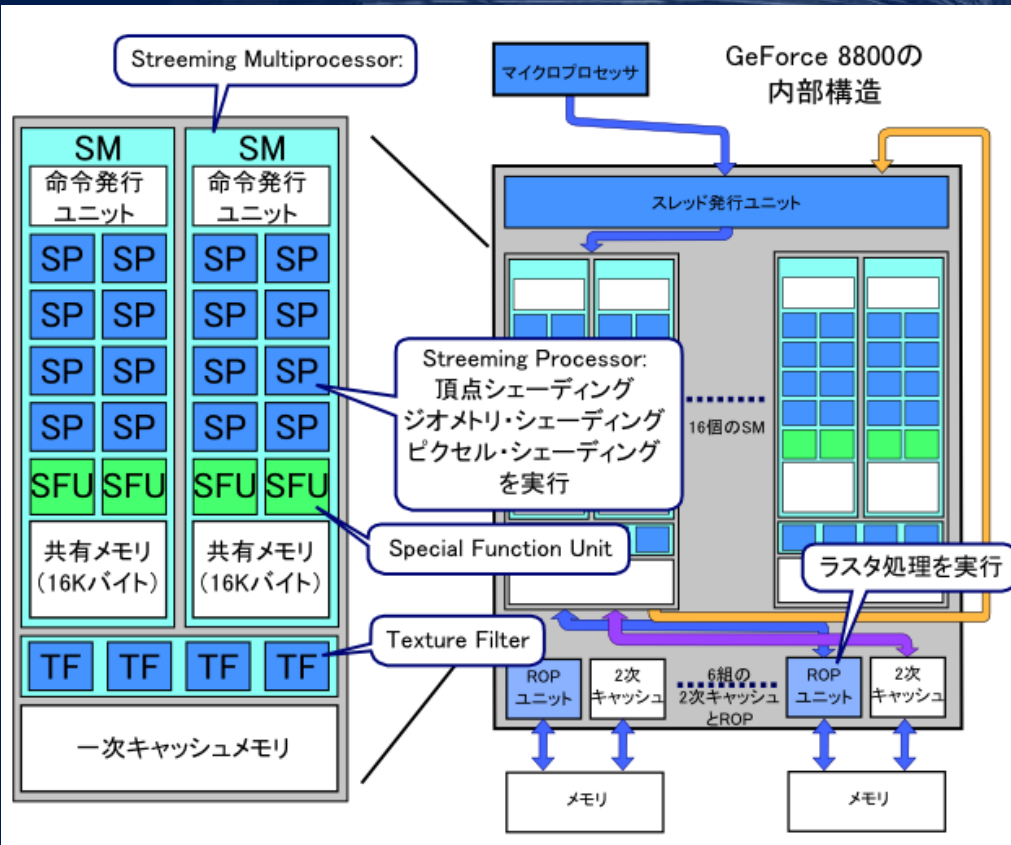
CPU/GPU/System	周波数	コア数	FLOPS
ENIAC (1946)			300 FLOPS
Pentium (1993)	300 MHz	1	300 MFLOPS
ARM11 (2007)	700 MHz	1	700 MFLOPS
ARM Cortex A-15 (2012)	2 GHz	4	16 GFLOPS
京 (2012)	2 GHz	705024	10500000 GFLOPS (~1京)
Core i7 Haswell (2013)	3 GHz	8	384 GFLOPS
NVIDIA GeForce GTX TITAN X (2015)	1 GHz	3072	7000 GFLOPS

- **Moore's law**: 集積回路密度は1.5年で倍になる(実際は現在2年で倍の速度)
- GPU, FPGAの進化はこれを覆す可能性を秘める
- 実際に、現在では1000億円の「京」と同じ計算パワーを10万円のグラフィックカード1500個でまかなえる
→ **約1.5億円、これなら物理実験でも買える**
- このままいけば2019年には「京」の性能は20万円で買える

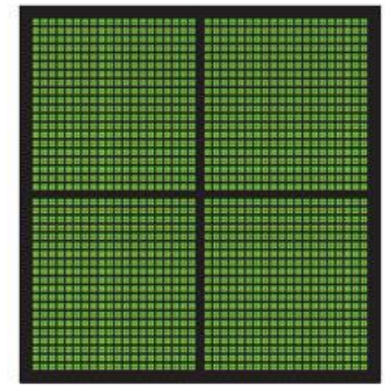


nVidia GeForce GTX 1080

- ▶ これまではパソコン・ゲーム機などでグラフィック処理を担当するものであった
- ▶ 最近は科学計算、大規模並列計算にも使用
→ **GPUコンピューティング** (代表的な開発環境: CUDA)



CPU
MULTIPLE CORES



GPU
THOUSANDS OF CORES

多数の小さなマイクロプロセッサの塊
物によっては1000個以上プロセッサで並列実行

超高温だと陽子も中性子も溶けて、クォークとグルーオンからできた、水みたいなプラズマ物質になるよ
 クォークグルーオンプラズマと呼ぼう、QGPだ

実際に見たのか

証明になんない

どんだけ温度あ

ひえー、どうや

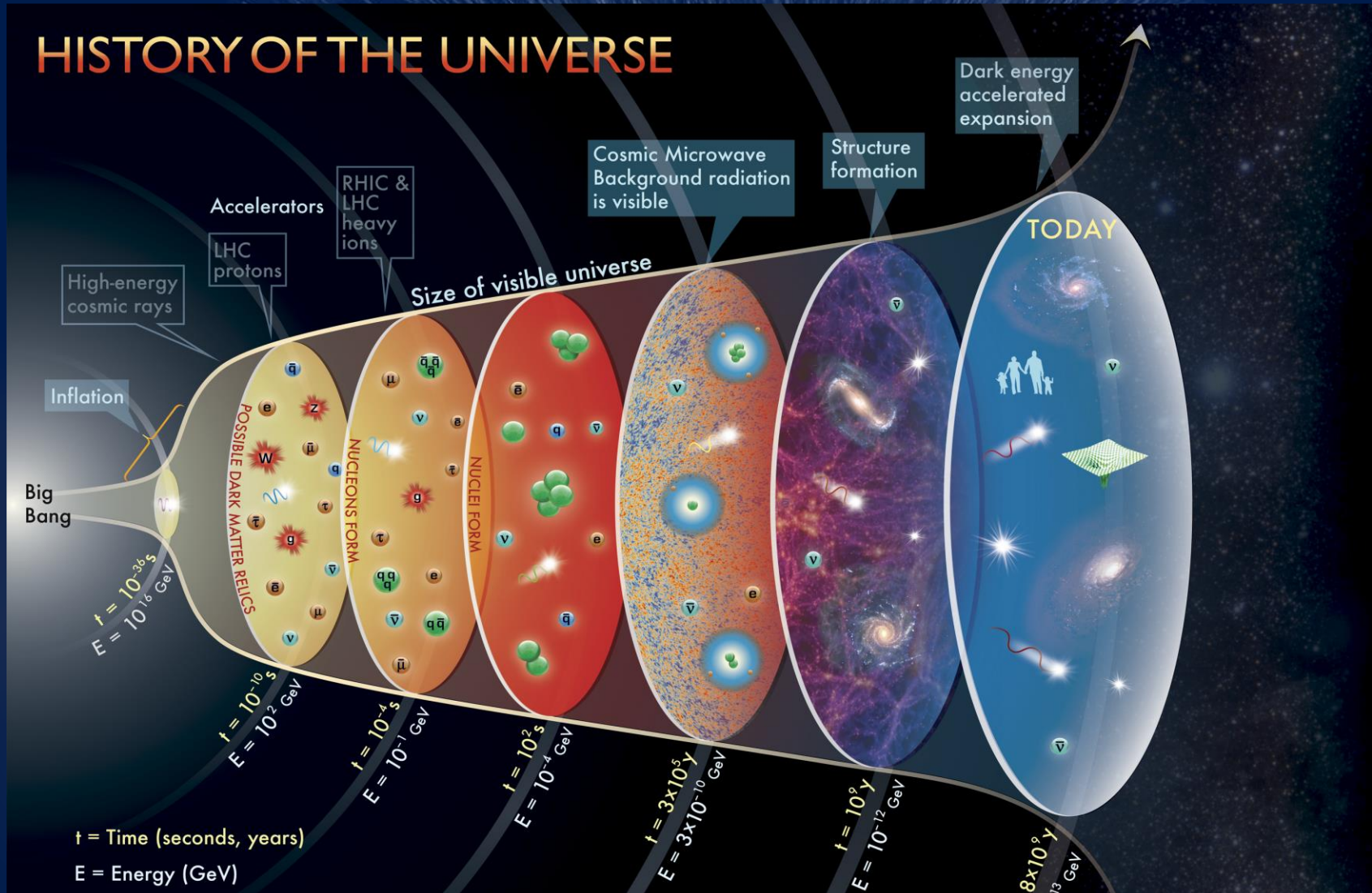


太陽中心(1500万度)のさらに20万倍

加速器でできないかな～

ず
 そうだった

ソケーなはず



► understanding everything from the big-bang to today

高エネルギー重イオン衝突実験の歴史



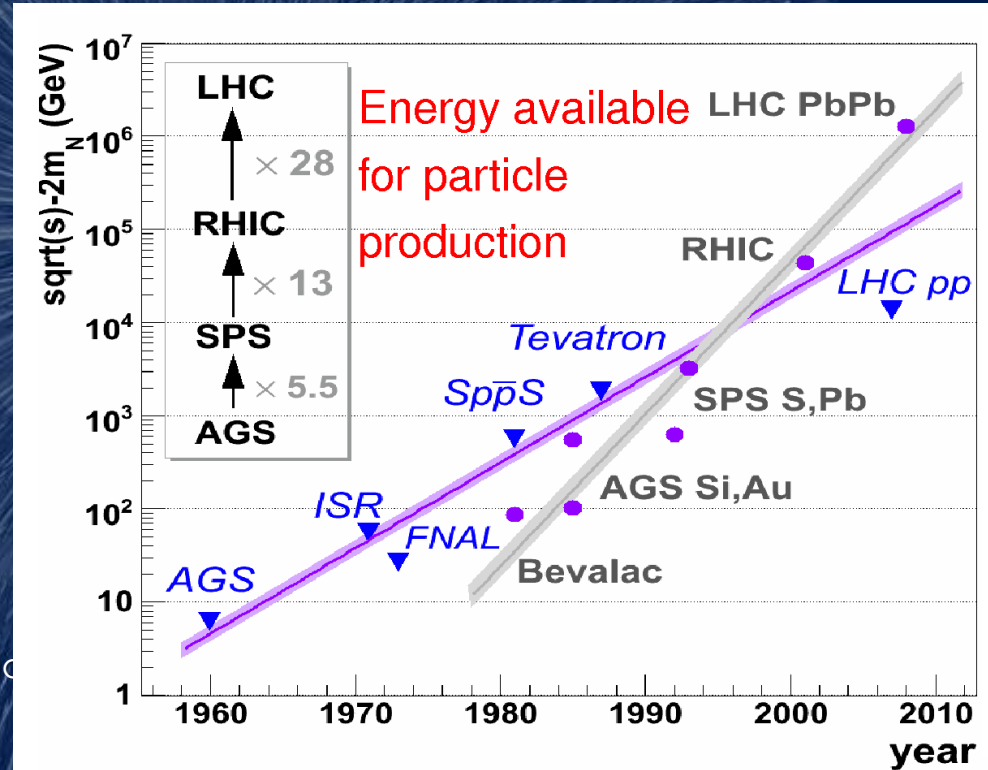
Fixed target (ビームを標的に当てる実験)

- ▶ **Bevalac** (LBL) $\sqrt{s} < 2.4$ GeV
- ▶ **SIS** (GSI) $\sqrt{s} < 2.7$ GeV
- ▶ **AGS** (BNL) $\sqrt{s} < 5$ GeV
- ▶ **SPS** (CERN) $\sqrt{s} < 20$ GeV
 - ▶ 2000: Discovery of «new state of matter»
- ▶ **FAIR** (GSI) $\sqrt{s} < 9$ GeV

Collider(衝突型: ビーム同士を衝突する実験)

- ▶ **RHIC** (BNL) $\sqrt{s} < 200$ GeV
 - ▶ 2005: Appears to be more like liquid
- ▶ **LHC** (CERN) $\sqrt{s} < 5500$ GeV

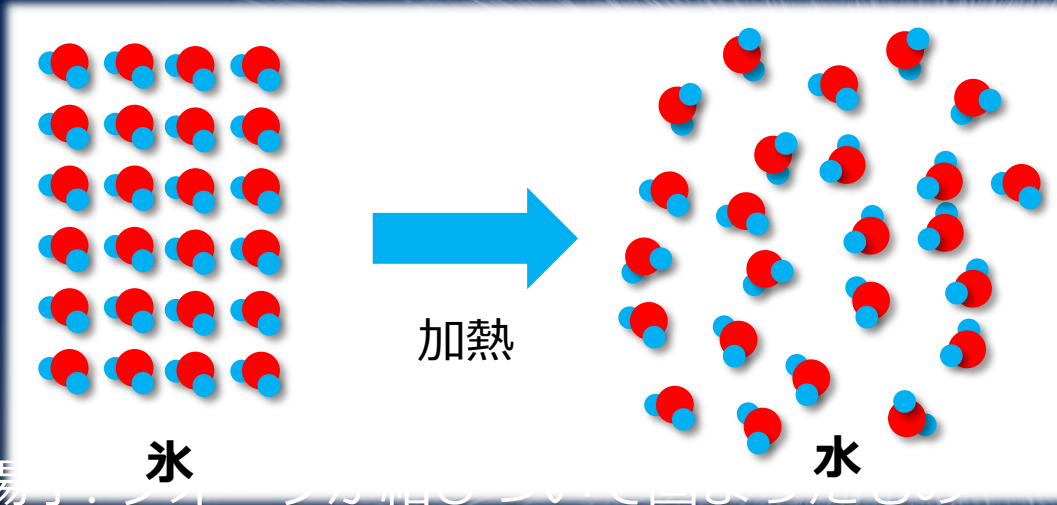
J. Schukraft – arXiv:nucl-ex/0602014



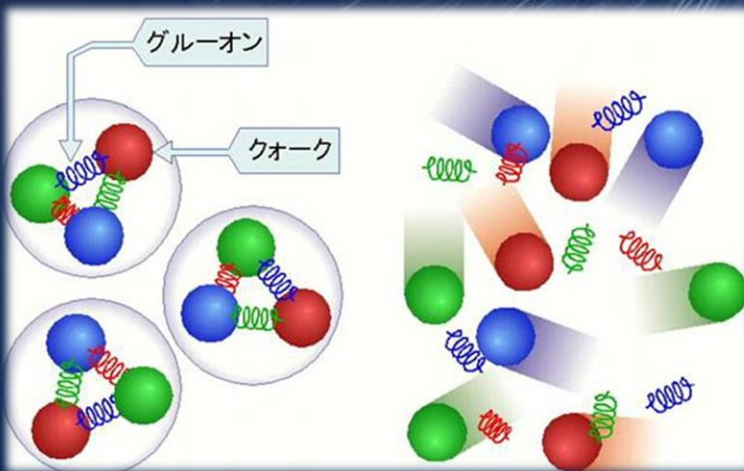
pp ~4 年で倍
A-A ~1.7 年で倍

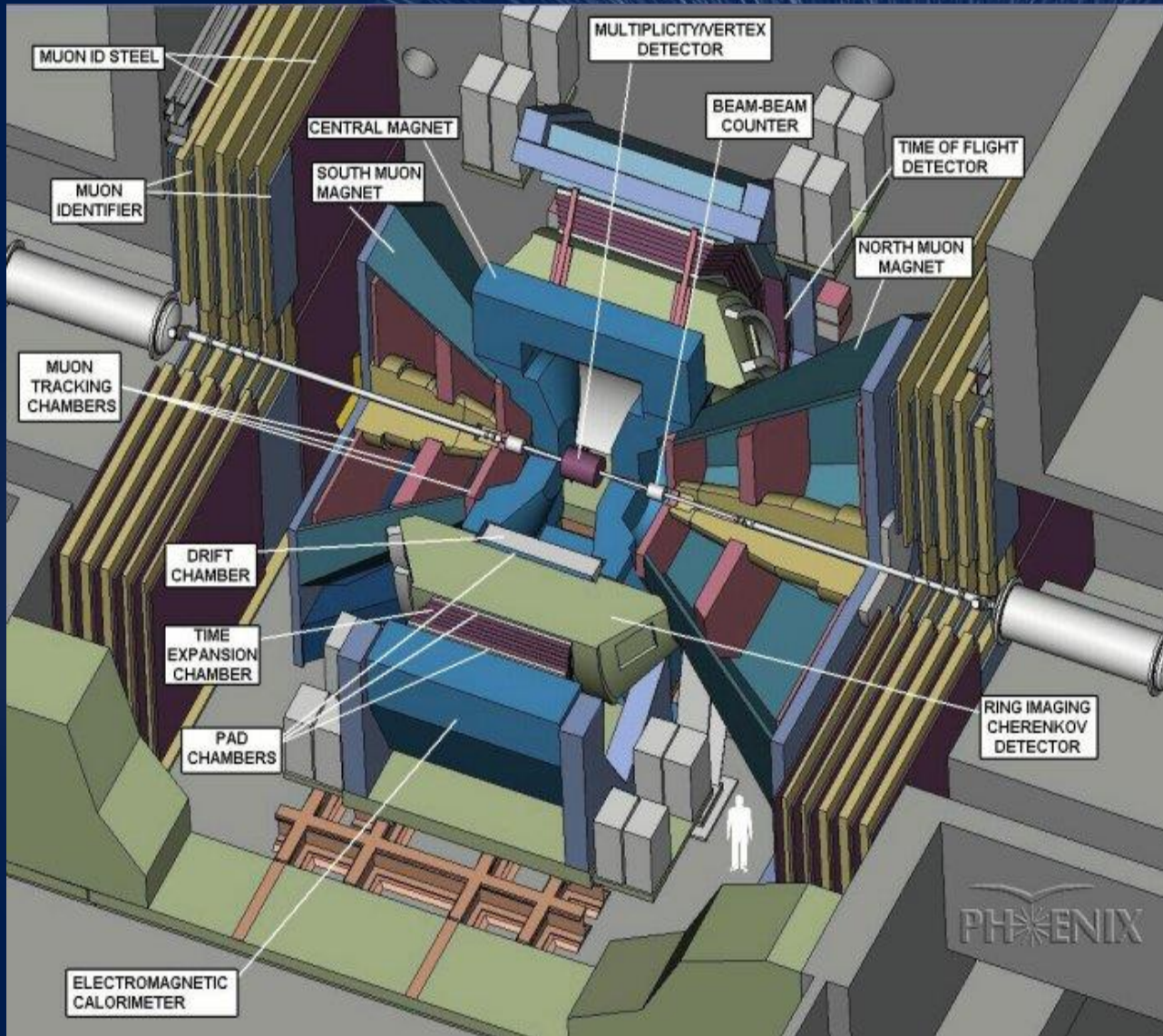
クォークの水が存在するかも

- ▶ 氷: 水分子が結びついて固まったもの



- ▶ 陽子: 陽子が結合して原子核を形成する

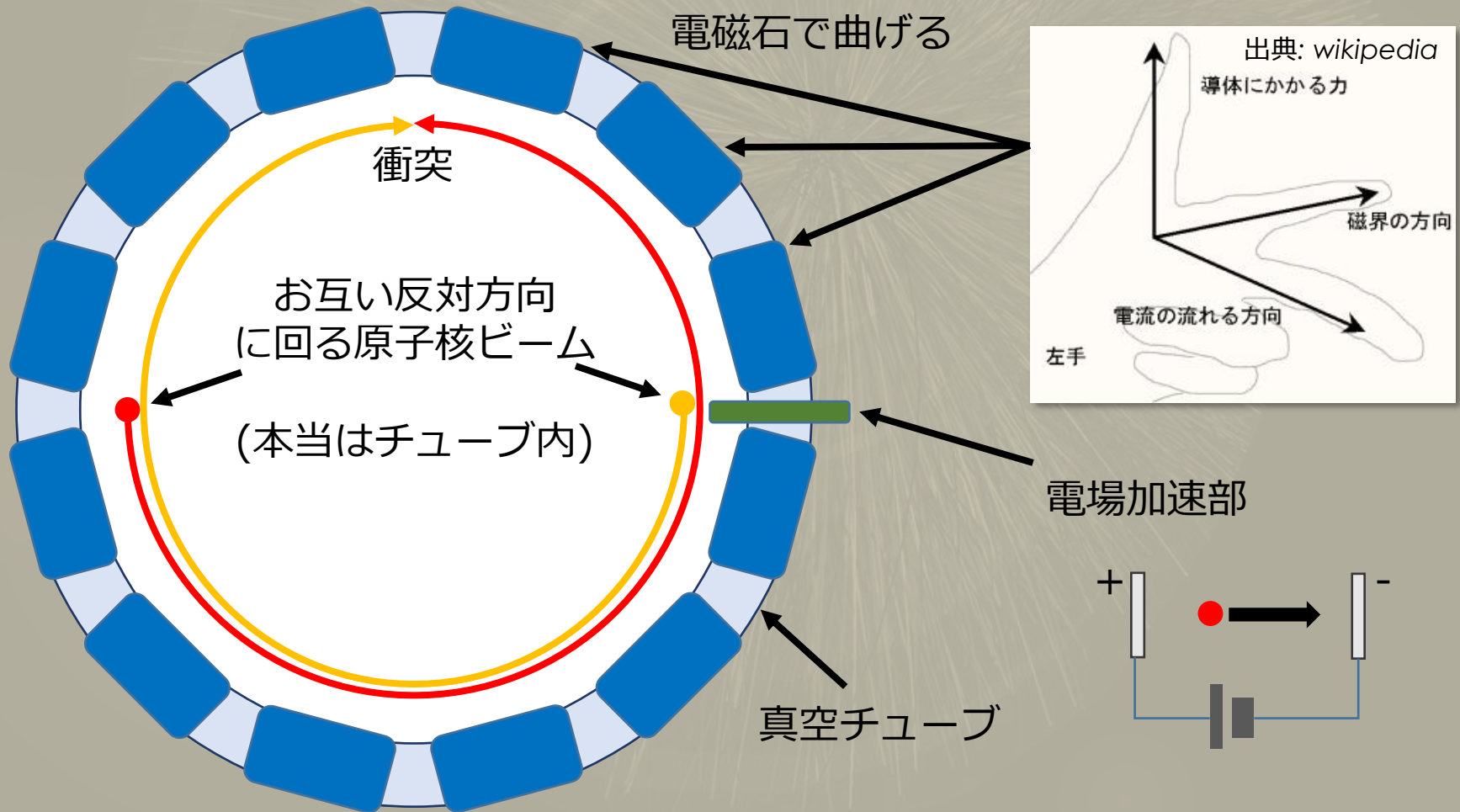




- PHENIX実験
BNL(米国)
- 宇宙の始まりの
物質状態の研究
- 2000年実験開始
- 研究者約400名
- 日本の参加機関
東京大学、筑波大学
京都大学、広島大学、
高エネルギー研究所、
東京農工大、東工大
理研、早稲田大学、
長崎総合科学大学

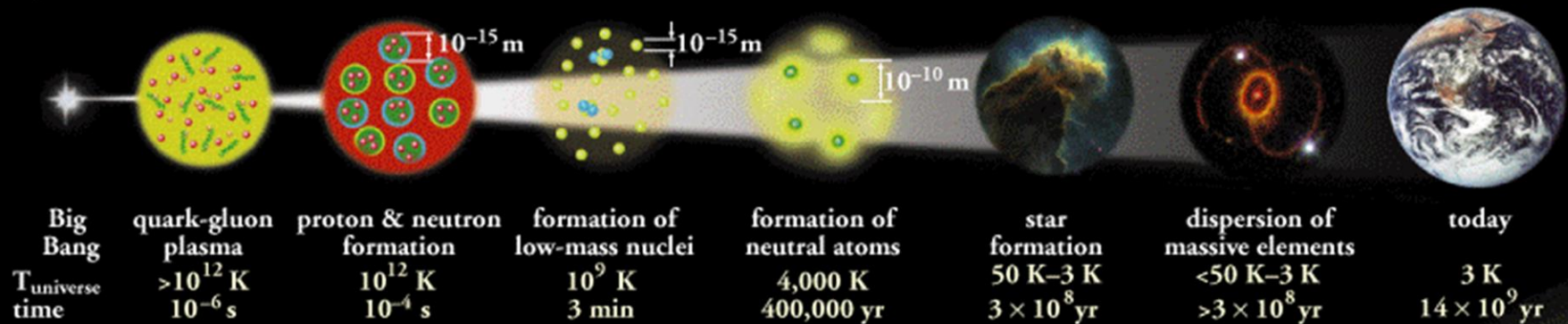
円形衝突型加速器(コライダー)

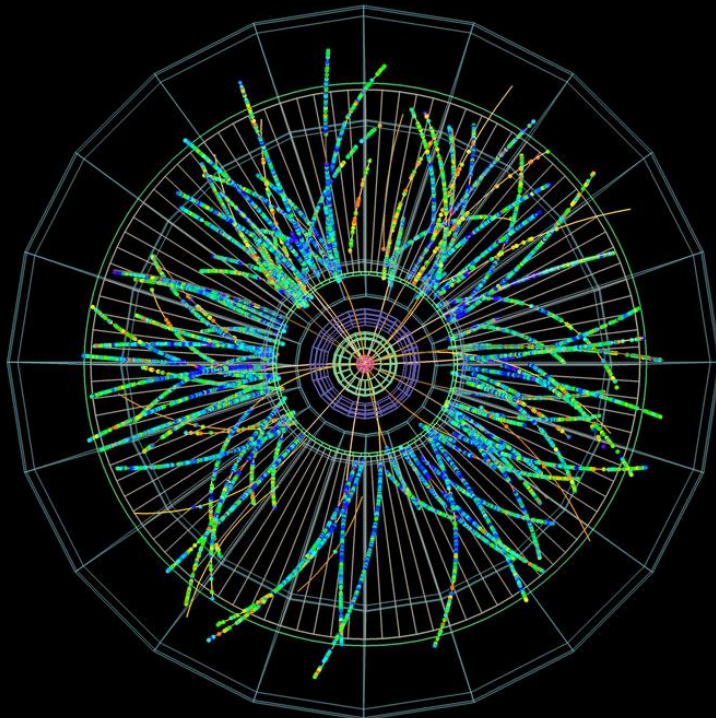
- ▶ **磁場**で粒子を曲げて「円運動」させ、**電場**で「何度も加速」
- ▶ 二本のビームを衝突



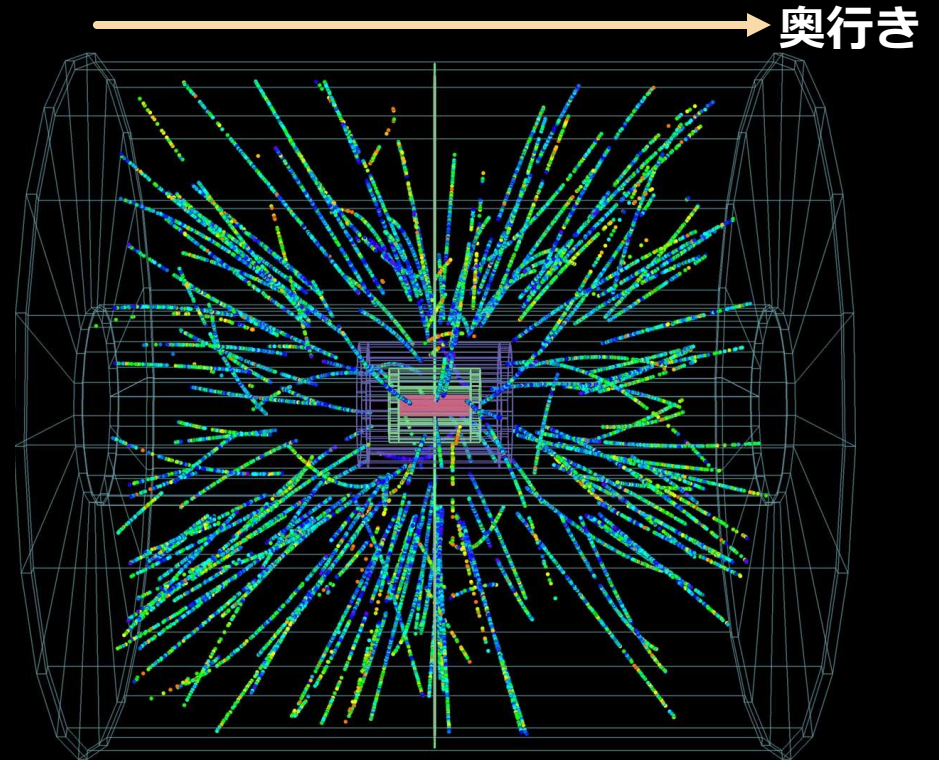
Expansion of the Universe

After the Big Bang, the universe expanded and cooled. At about 10^{-6} second, the universe consisted of a soup of quarks, gluons, electrons, and neutrinos. When the temperature of the Universe, T_{universe} , cooled to about 10^{12} K, this soup coalesced into protons, neutrons, and electrons. As time progressed, some of the protons and neutrons formed deuterium, helium, and lithium nuclei. Still later, electrons combined with protons and these low-mass nuclei to form neutral atoms. Due to gravity, clouds of atoms contracted into stars, where hydrogen and helium fused into more massive chemical elements. Exploding stars (supernovae) form the most massive elements and disperse them into space. Our earth was formed from supernova debris.





検出面から見た図



シグナル到着時刻をもとに奥行きを再現

- ▶ 現在: 6億画素(普通のデジカメの60倍)、毎秒1000枚の3Dカメラ
- ▶ 聖徳太子型コンピュータの導入で毎秒50万枚まで撮影

極限状態物質の詳細調査中

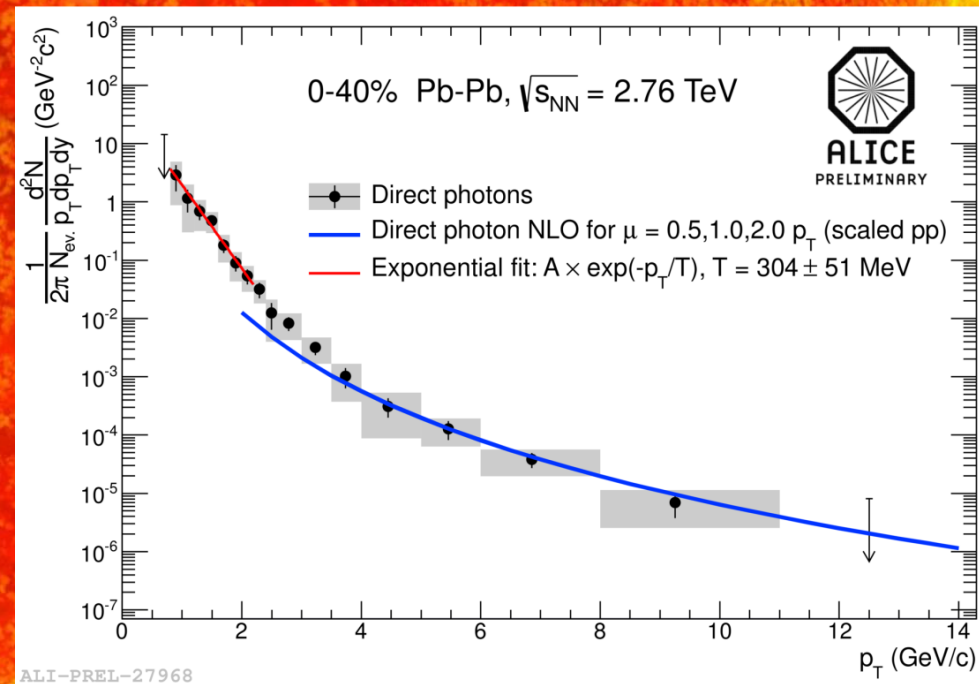


温度 > 5 兆度

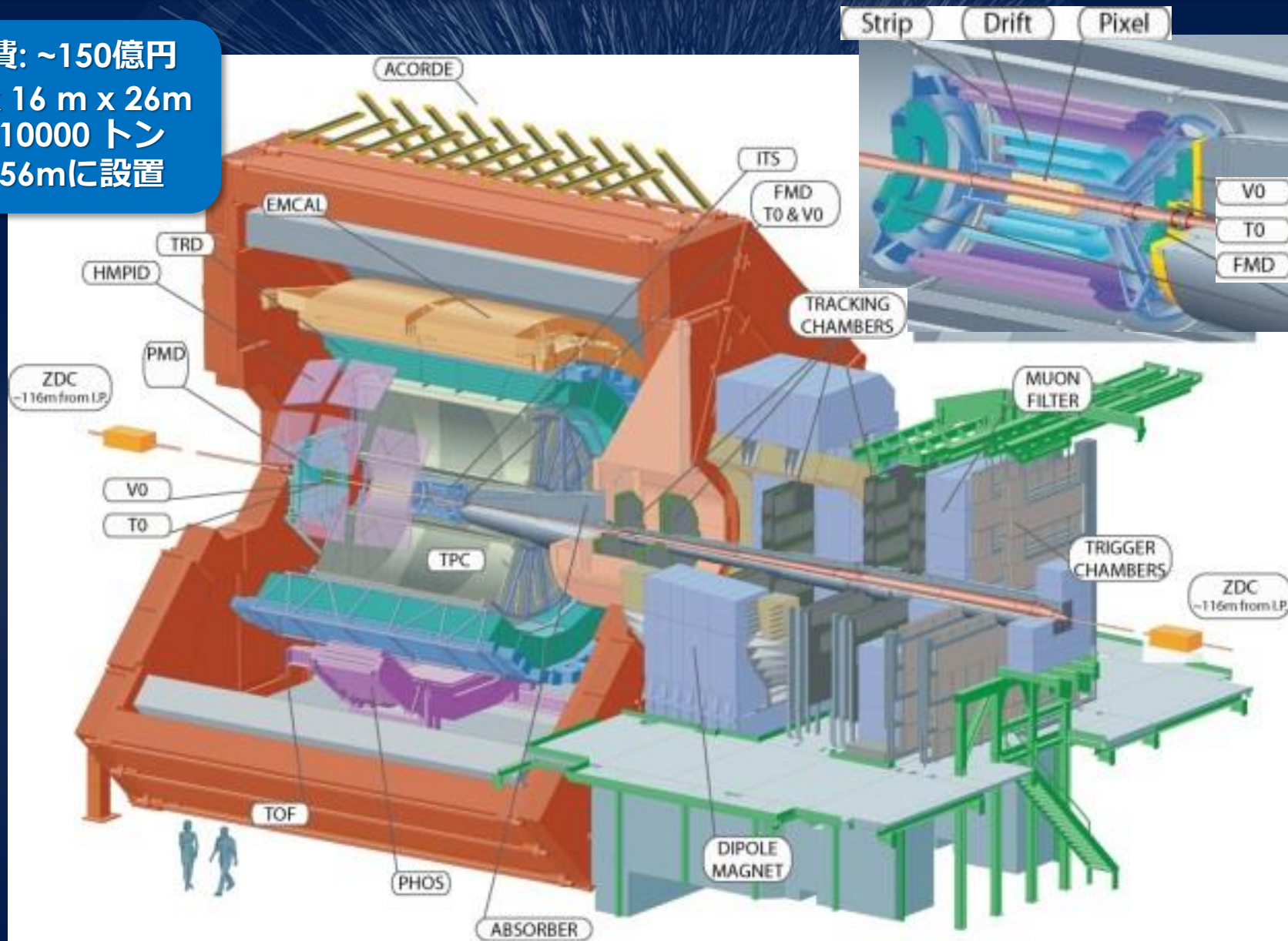
太陽の中心温度 (1500 万度) の25万倍

理想的な粘性のない
液体のような状態

現在、毎年数十億回
宇宙初期状態を「日常的に」
生成し、
観測しています

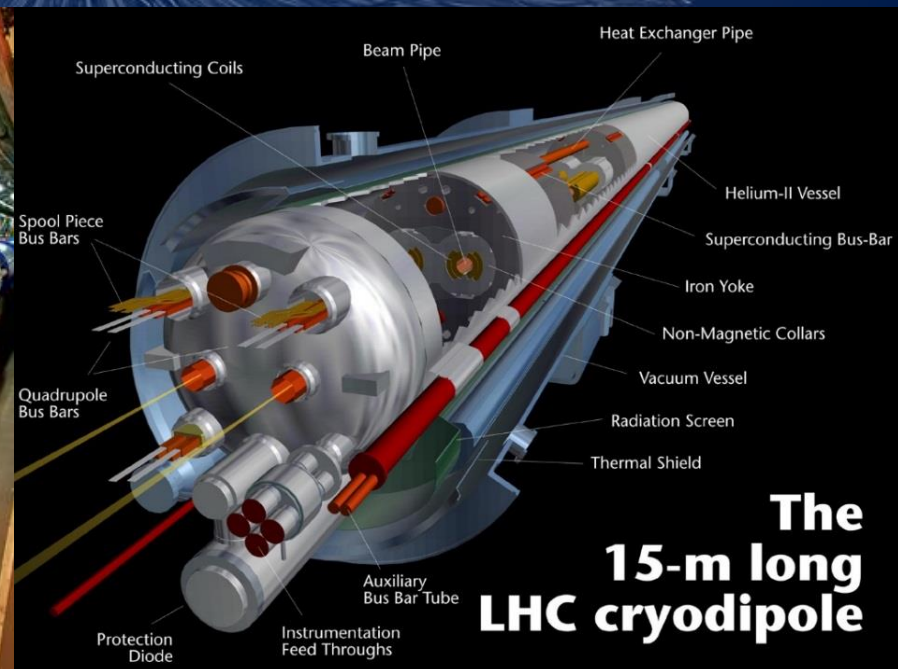


建設費: ~150億円
 16m x 16 m x 26m
 重量10000 トン
 地下56mに設置



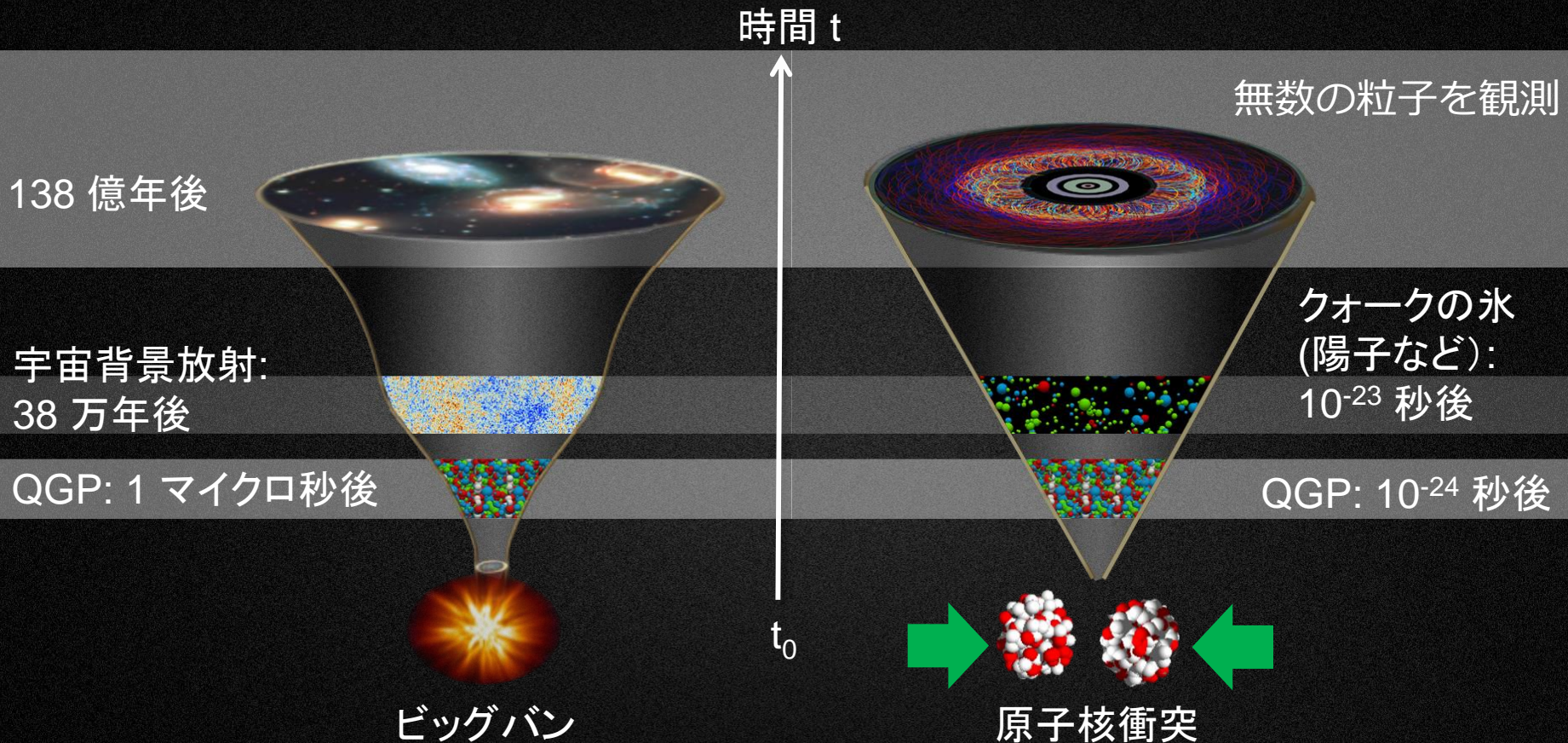
What LHC does

- ▶ Accelerate nuclei to the speed almost speed of light
- ▶ Have two rings like that
- ▶ Focus two beams into 0.1mm diameter, then collide
- ▶ Can change what type of nuclei, according to physics focus (Higgs? QGP?, etc?)



Why accelerator physics?

Collide two nuclei by accelerator
 → Recreate space right after big-bang
at temperature 5×10^{12} K (5兆度)





Japanese institutes
Tsukuba, Tokyo,
Hiroshima, Nara W.U.,
and NIAS

- ▶ 通常、クォークは核子内に閉じ込められている
- ▶ 量子色力学(QCD)の理論計算からの予測 「超高温または超高密度の条件下では、クォークやグルーオンが自由に動き回るような、物質の新しい「相」が存在」
- ▶ これを調べると自然の様々な謎が解けるかも(質量の起源、物質・宇宙の成り立ち、など)

クォークを陽子から取り出そうとすると空間が「千切れて」別の粒子ができる
 → クォークは決して物質から出てこない
 → 「クォークの閉じ込め」

