

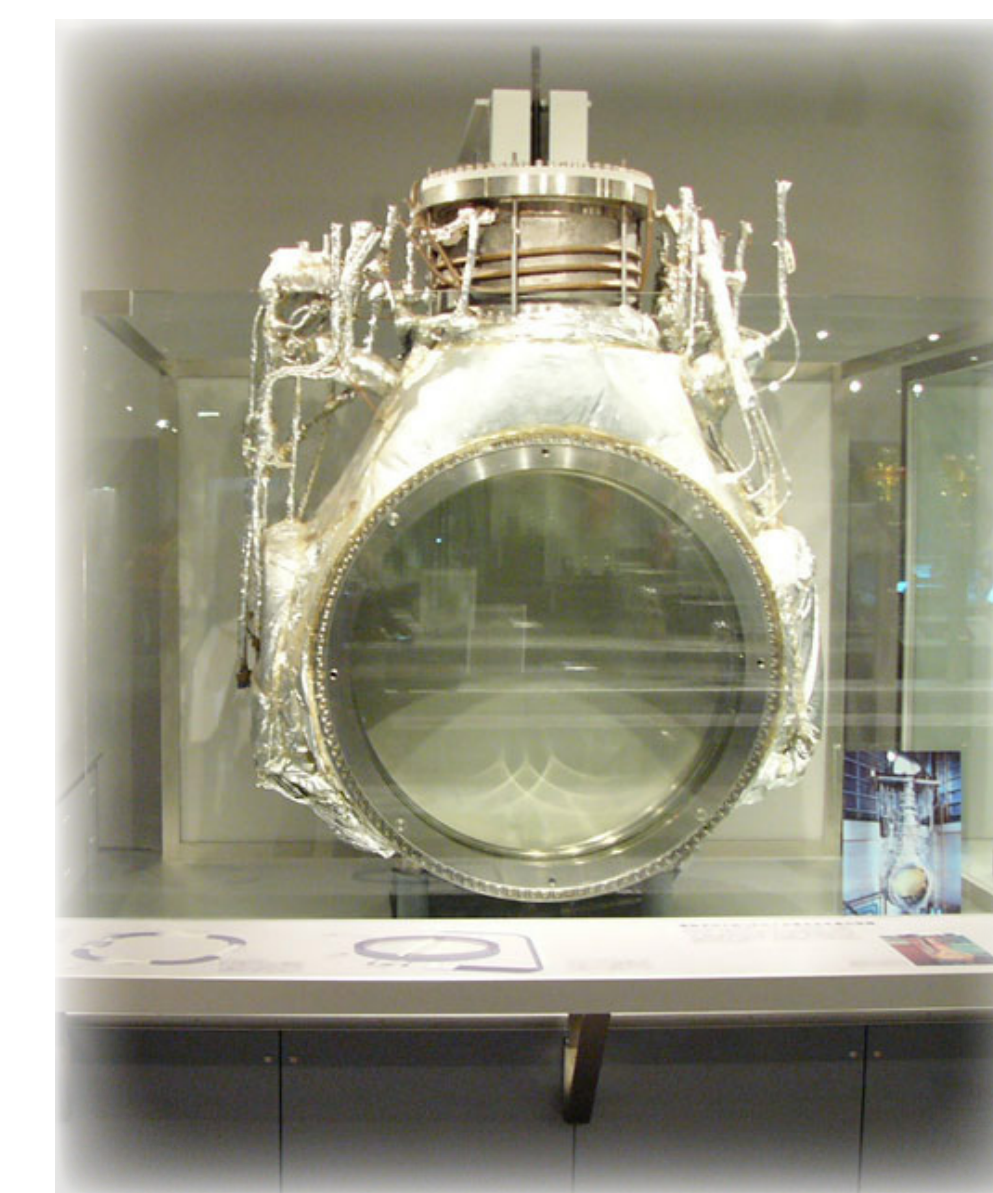
1

素粒子をみる？

この展示では、泡箱(あわばこ)測定器の仕組みと歴史、いまでも形を変えて活用されている研究手法を紹介するよ



KEK の大きな研究テーマである素粒子は極めて小さなものです。顕微鏡でも直接見ることはできません。泡箱は、そこで開発された素粒子測定装置の代表選手です。1960～70 年代に大活躍し、KEK でも稼働していました (図1-1)



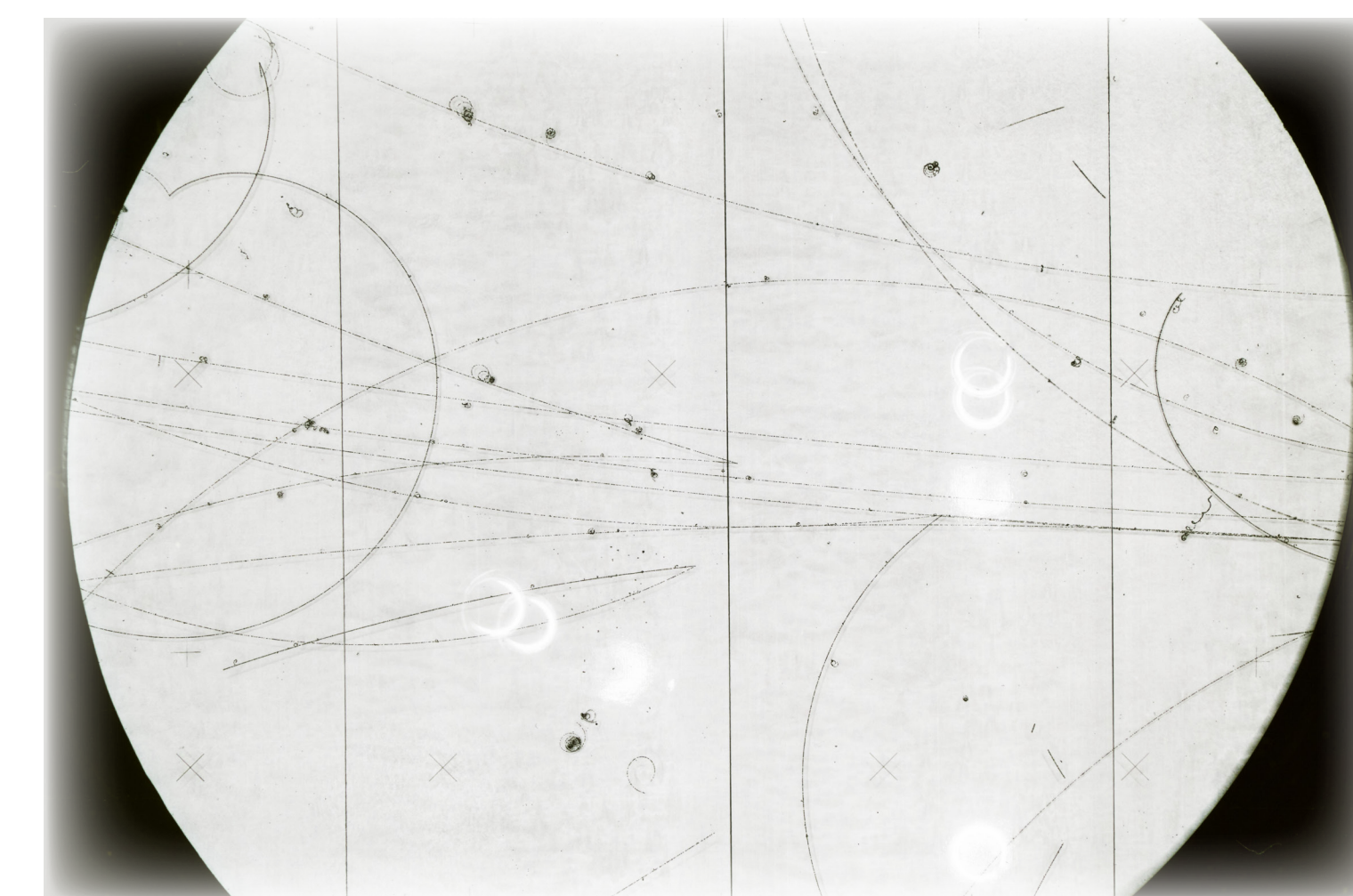
【図1-1】現在は、国立科学博物館に展示されている KEK 1m 泡箱



【図 1-2】飛行機雲は、上空(高度約 1 万メートル)の気温が非常に低く(マイナス40度以下)、エンジンの排気ガスに含まれる水蒸気が冷やされて氷の粒となり発生します。

泡箱は、液体水素などの透明な液体で満たされたタンクです。うまく条件を調整したタンクのなかを高速の素粒子が通過すると、ちょうど飛行機雲のように素粒子の飛跡が現れます (図1-2)

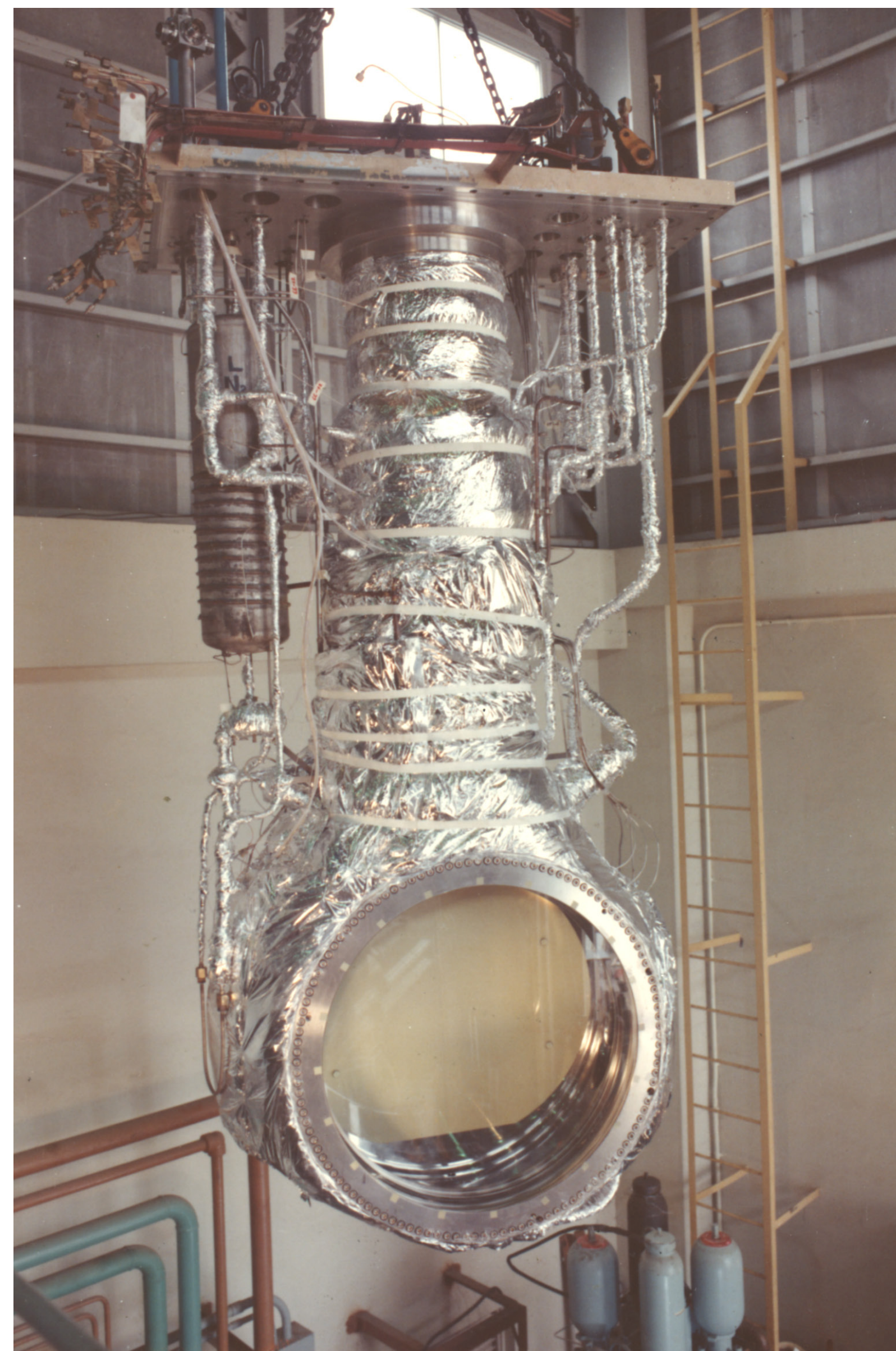
ときには、通過する素粒子が液体水素のなかの水素原子(陽子)と素粒子反応を起こします。そこで二次粒子が発生すれば、その飛跡も現れますから、一緒に調べることができます (図1-3)



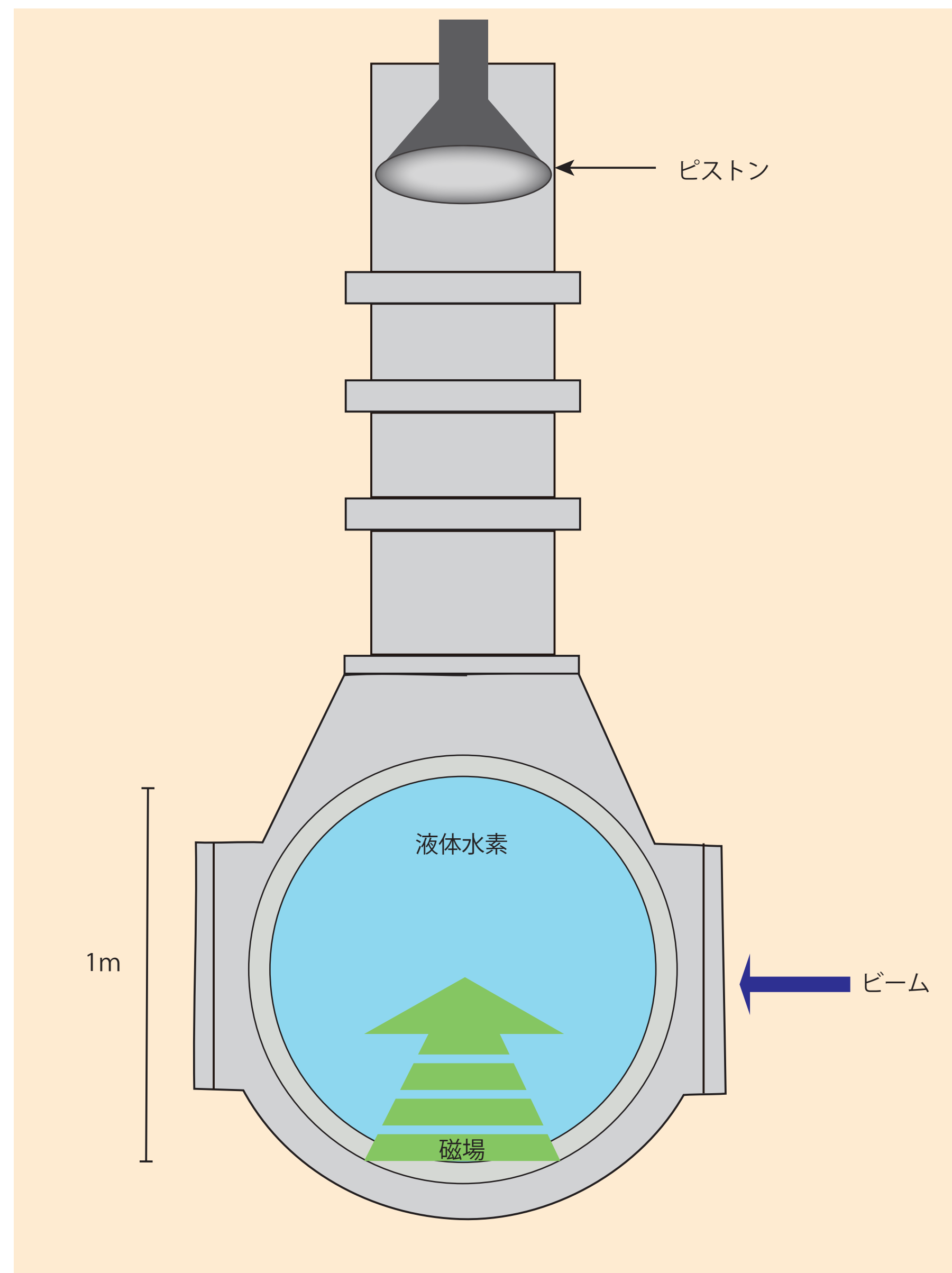
【図 1-3】KEK の泡箱で撮影した素粒子の飛跡

2

泡箱の動作



外観写真



概念図

- 1 外観写真と概念図を示します。泡箱測定器の中には、マイナス 250℃ に冷やされた液体水素が入っています。
- 2 加速器からの粒子(陽子や π 中間子など)を受け取る直前に、泡箱のピストンを引いて液体水素を気化しやすくしておきます。液体水素の圧力は、100 分の 1 秒の間に、約 5 気圧から約 2 気圧まで下がります。
- 3 粒子が通過した途端に液体水素の気化が始まり、水素の泡ができ始めます。
- 4 タイミング良くピストンを押し込めば、この気化が少しだけ起きたところで止まり、粒子の飛跡を見ることができます。同時にカメラのフラッシュを光らせれば、その瞬間を撮影できます。
- 5 泡箱全体を強い磁場の中においておけば、陽子など電荷をもつ粒子の運動量を測ることができます。



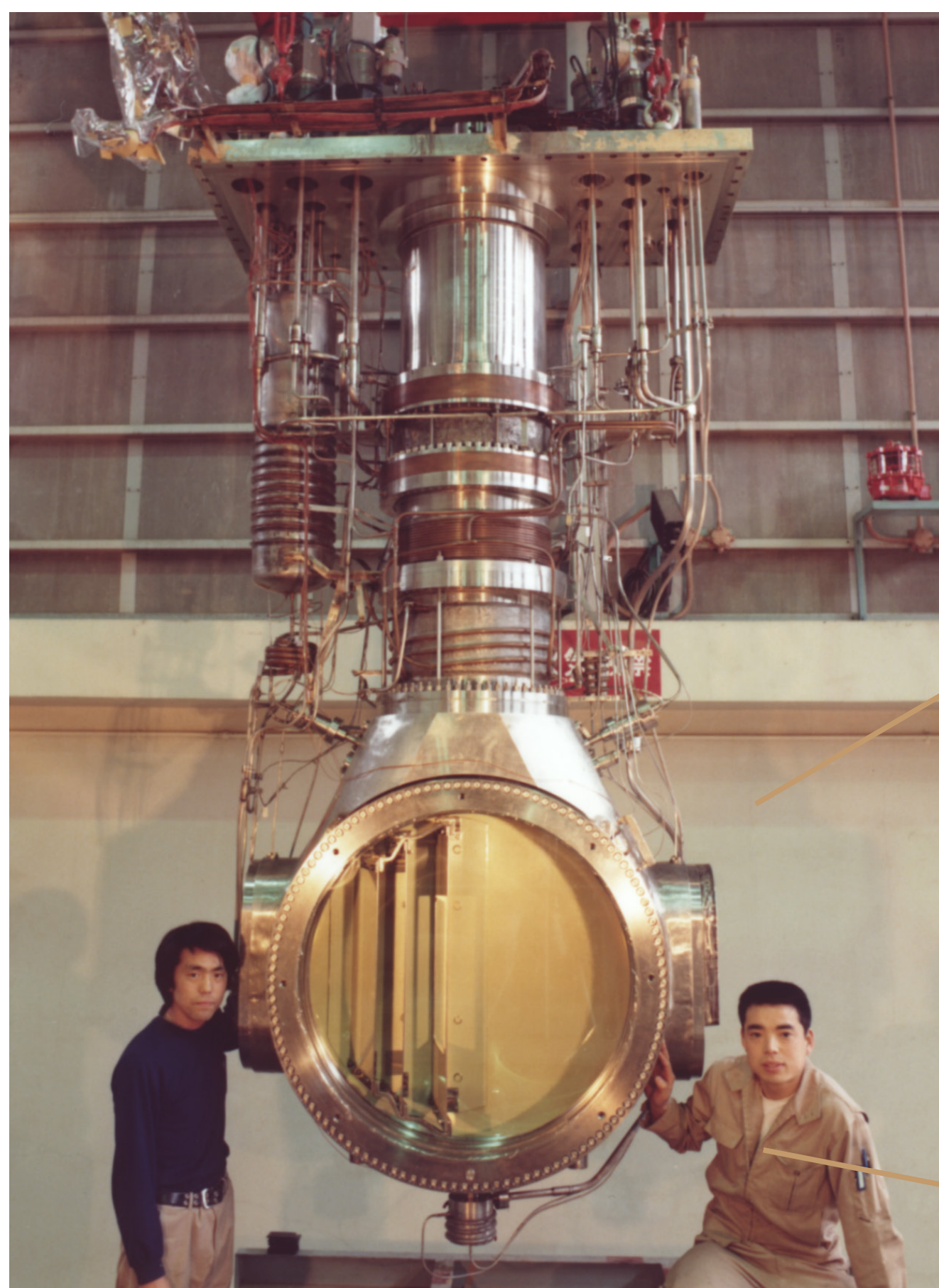
泡箱に液体水素を使うときには、陽子と加速器から受け取る粒子との反応を調べることになります。液体重水素を使えば、陽子もしくは中性子と加速器からの粒子との反応です。データを比べることで、陽子と中性子の性質の違いも調べることができます。

KEKの泡箱

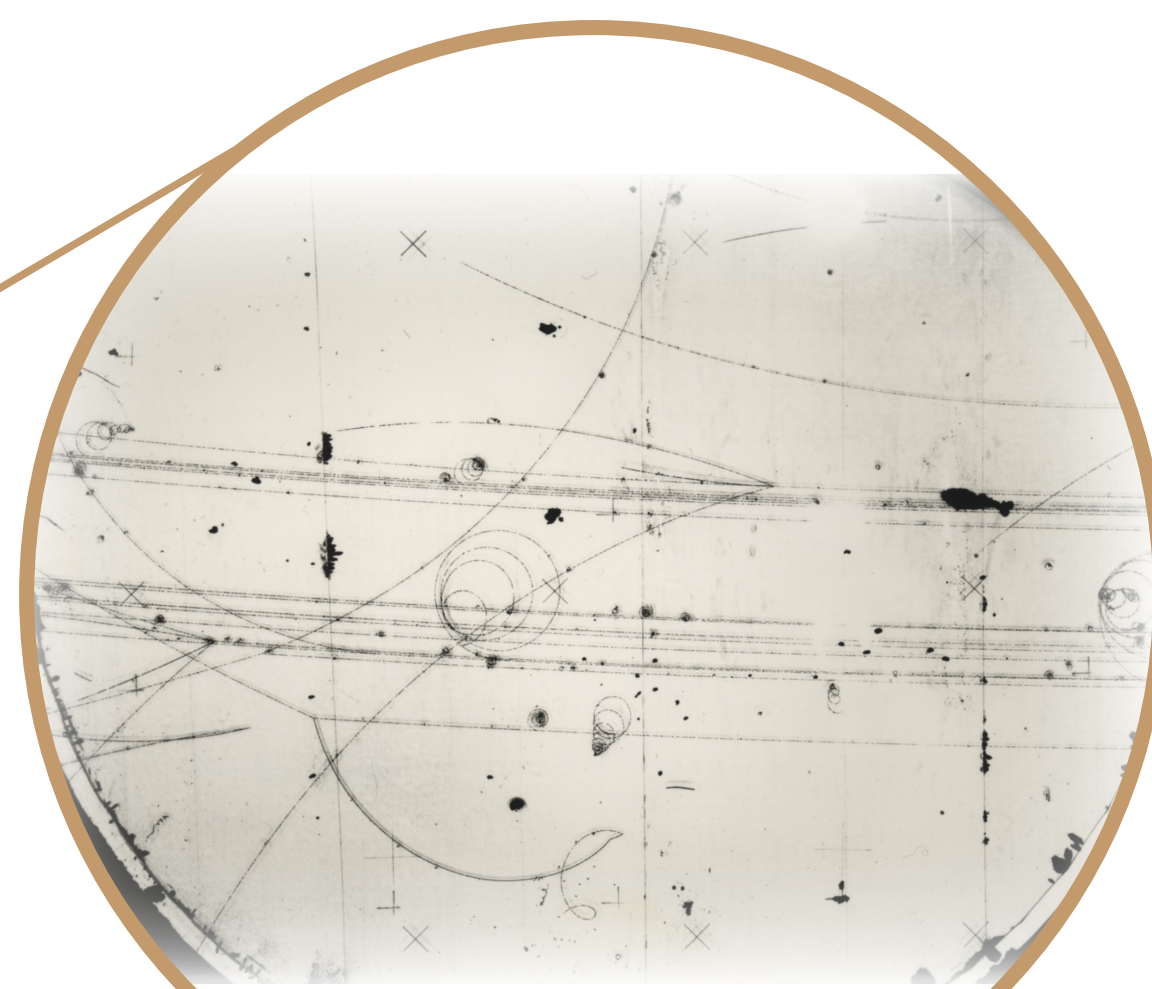
KEKでは1970年代後半から、素粒子と原子核の反応を詳しく調べるために陽子シンクロトロンを泡箱で観測する共同利用実験が始まりました。

右下の図3-2は、1977年の12月に撮影されたパイマイナス(π^-)中間子と陽子の反応を1 m 水素泡箱で捉えた時のものです。30万枚におよぶ写真撮影を一気に行い、KEKにおける共同実験が本格化したのです。

(現在この1 m 水素泡箱は、国立科学博物館に展示されています)



【図3-1】KEK 1m 泡箱本体 (1980年9月撮影)
KEK史料室所蔵資料



【図3-2】6 GeV/c π^- ビーム入射による1m水素泡箱写真(1977年12月撮影)
KEK史料室所蔵資料

KEKでの泡箱解析の特徴は、二重偏向型ブラウン管を採用した自動解析装置、KAMA (KEK Automatic Measuring Apparatus)(図3-3)の開発とその利用にあります。画面上の粒子の反応点の座標を自動的に読み取れるようになり、解析の効率が飛躍的に向上しました。

また、水素泡箱用の低温技術は、KEKの現在の基幹技術のひとつである超伝導磁石技術へとつながっていきます。



【図3-3】KEK泡箱写真自動解析装置 KAMA (KEK Automatic Measuring Apparatus) (1981年撮影)
KEK史料室所蔵資料





アメリカの物理学者ルイス・ウォルター・アルバレス（Luis W. Alvarez）は、粒子の相互作用を何百万枚も撮影し、これらの相互作用を測定および分析するための複雑なコンピュータシステムを開発し、新しい粒子と共鳴粒子と呼ばれる一群の粒子を発見することができました。この研究により、1968年にノーベル賞を受賞しました。

1964年には、アメリカのブルックヘブン国立研究所（BNL）の泡箱実験で、 Ω^- （オメガマイナス）粒子が発見されました。この発見は、当時提唱されたクォーク模型の信頼性を格段に向上させました。

弱い相互作用を仲立ちする粒子には電気を帯びたものがあることは以前からわかっていましたが、電気をもたない（中性）な粒子もあるという理論が出ました。この理論を確かめるため、1973年にCERNのニュートリノビームを用いた泡箱実験が行われ、この中性粒子によって引き起こされる反応がみつかりました。これが、現在の「素粒子物理の標準理論」の根幹の一つになっています。

ブルックヘブン国立研究所（BNL）

名称：Brookhaven 80-Inch Chamber
稼働年：1963～1970年代中頃

フェルミ国立加速器研究所（Fermilab）

名称：Fermilab 15-Foot Chamber
稼働年：1973～1988年

ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）

名称：Alvarez 72-Inch Chamber
稼働年：1959～1970年代中頃

欧州合同原子核研究機関（CERN）

名称：Gargamelle（ガーガメル）
稼働年：1970～1979年

名称：BEBC（Big European Bubble Chamber）
稼働年：1973～1984年

高エネルギー加速器研究機構（KEK）

名称：KEK 1m 水素泡箱
稼働年：1976～1981年

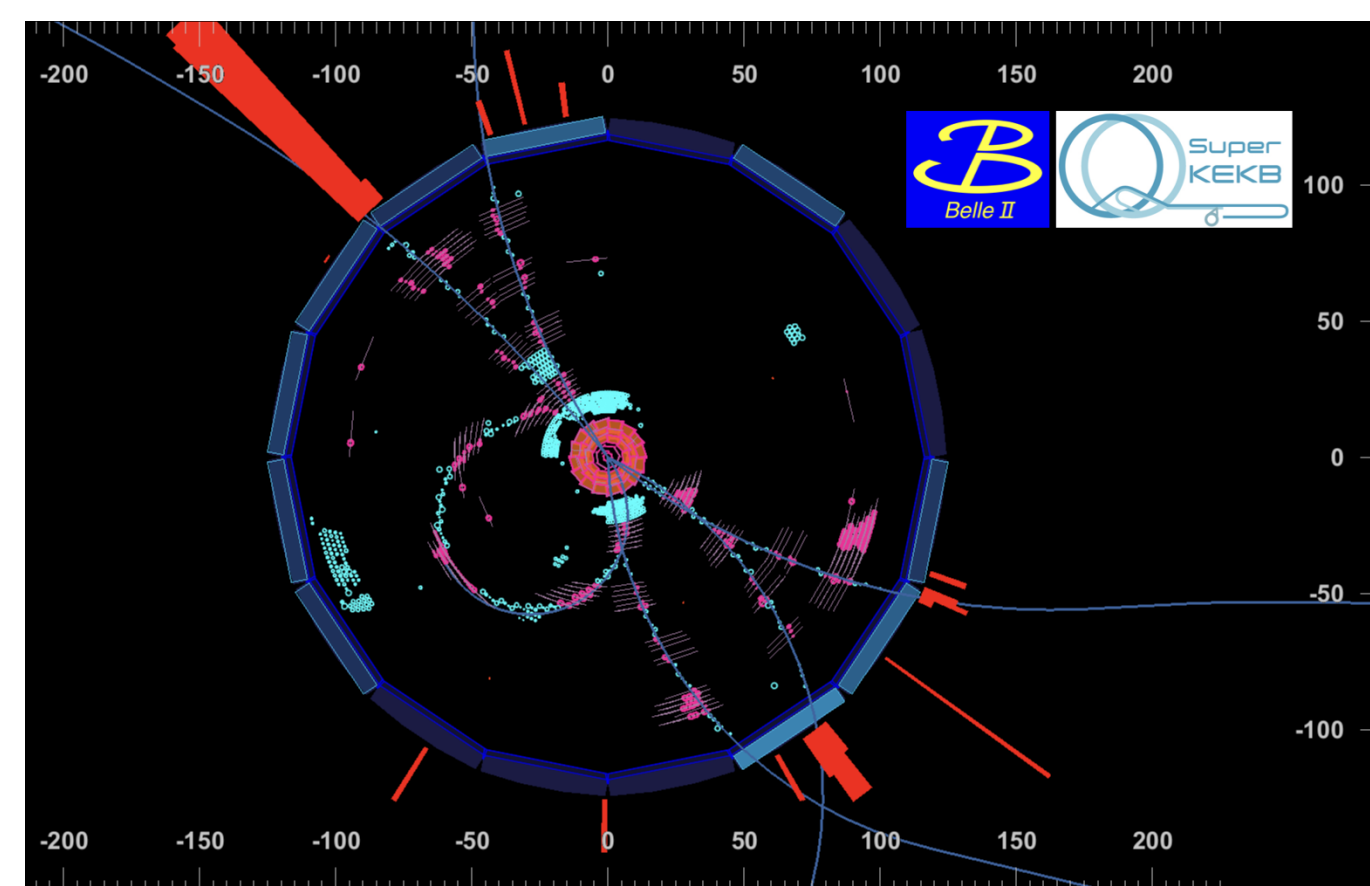


【主要な泡箱分布図】

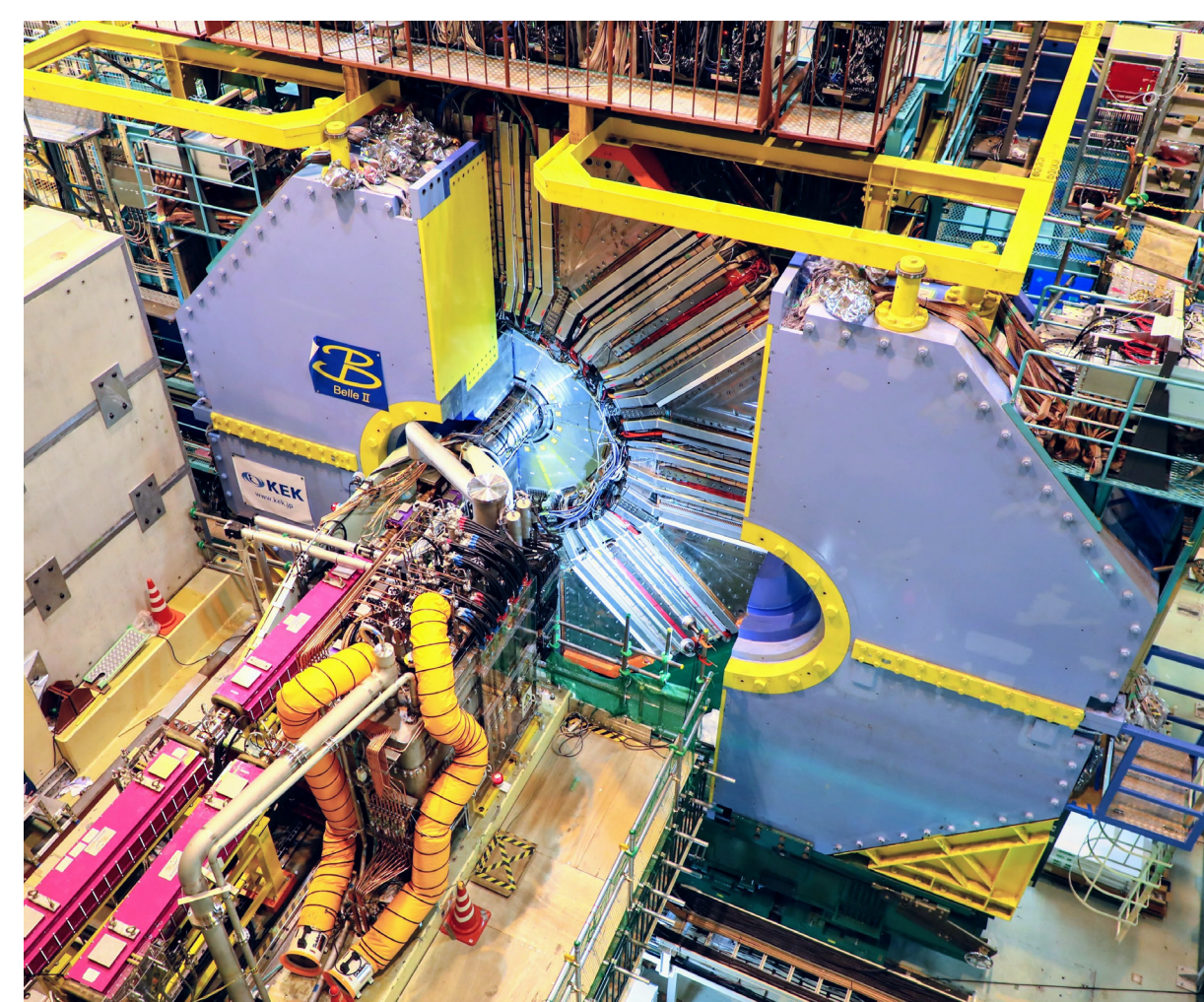


1960～70年代に素粒子物理学実験で大活躍した「泡箱」と並行して、1960年代の最初には「スパークチェンバー」、1960年代の終わりには「多芯式比例計数管 (MWPC)」などの装置が発明され、はじめから電氣的に粒子の位置データを得ることができるため、主流の測定器になっていきました。

大規模な実験 (LHC、SuperKEKBなど) では、そうした泡箱とは別種の測定器が使われています。このような新しい測定器でも、粒子の位置データから軌道を再構成し、起こっている素粒子反応を詳しく解析する作業では、泡箱の時代に確立した様々な計算手法が今も活かされています。



【図 5-1】Belle II で観測されたハドロンイベント
© Belle II / KEK



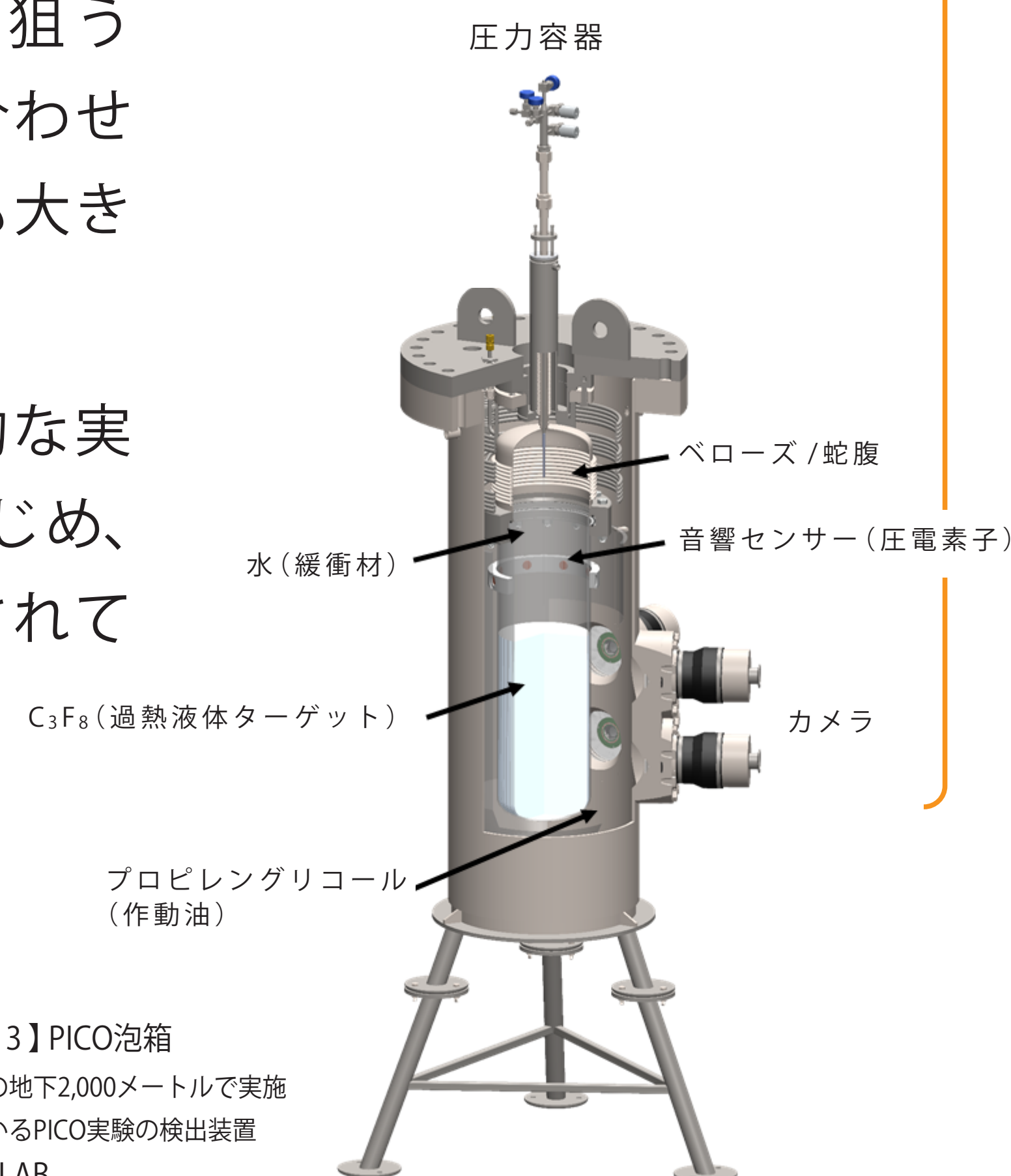
【図 5-2】SuperKEKB 加速器内に設置された Belle II 測定器
© KEK / Shota Takahashi

また近年、泡箱は液体水素の代わりに C_3F_8 (ハフッ化プロパン) を使うことで、最新のダークマター検出実験に転用され、再び大きな注目を集めています。

天然に存在する「フッ素19」は特異な原子核構造を持っており、まだ見ぬダークマター候補と、原子核内の陽子との間で起こる「スピン(自転のような性質)」が関わる相互作用を、極めて鋭敏に捉えることができます。

化合物に含まれる割合(組み合わせ)を変えることで、狙うダークマターの質量に合わせて感度を調整できるのも大きな強みです。

現在、このような画期的な実験がカナダや日本をはじめ、世界各地で実施・構想されています。



【図 5-3】PICO泡箱
カナダの地下2,000メートルで実施されているPICO実験の検出装置
© SNOLAB