



新たな知の探究を加速する道具の完成

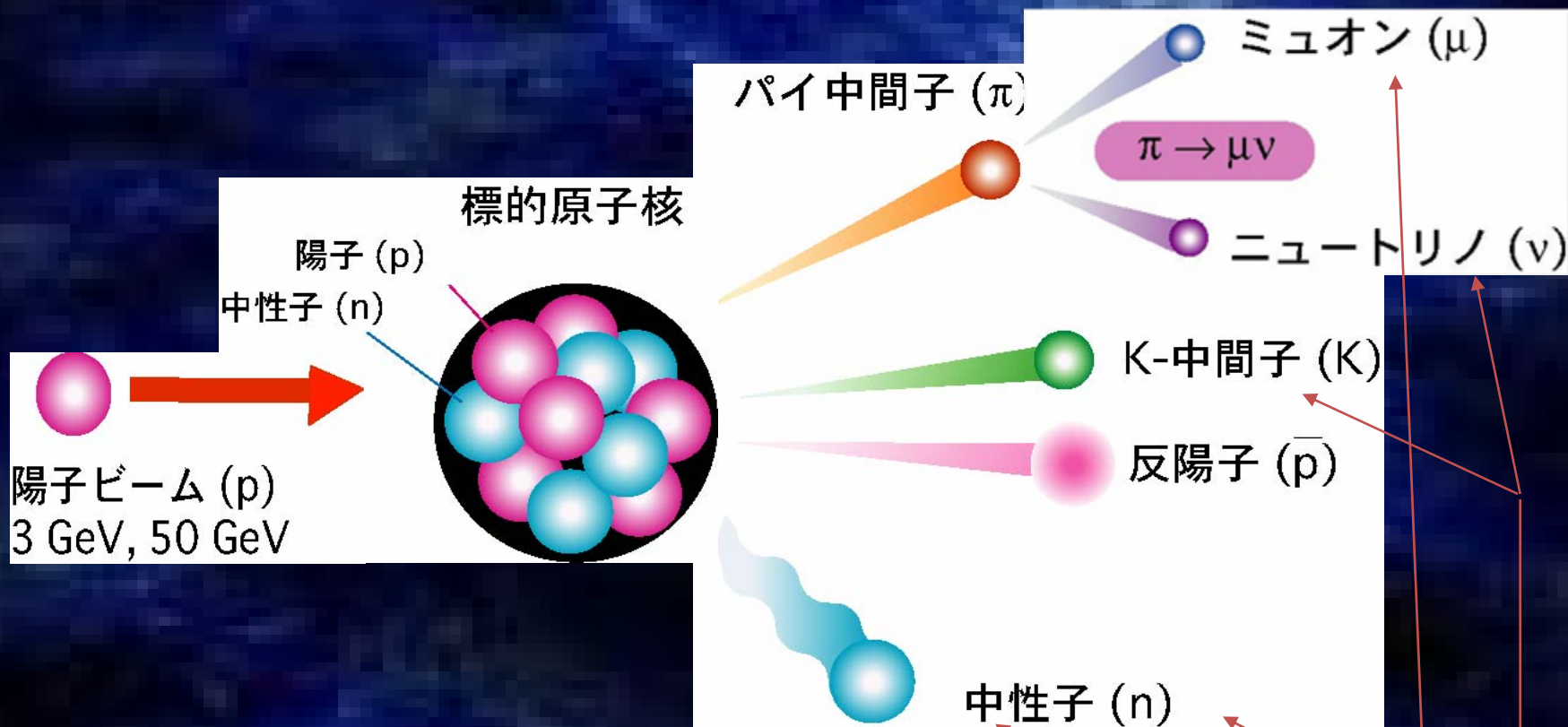
J-PARC パルス中性子源の開発

近未来への招待状
～ナイスステップな研究者2008からのメッセージ～

J-PARCセンター（日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究開発機構）

池田裕二郎
長谷川和男
金正倫計

陽子を作る多彩な2次粒子と J-PARCのサイエンスゴール

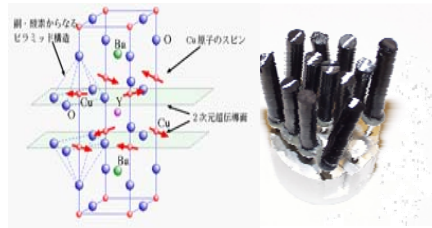


世界最大パワーのMW陽子
ビーム！

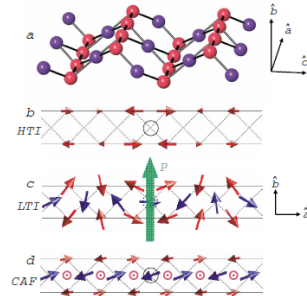
3 GeV における物質生命科学
50 GeV における原子核素粒子科学
0.6 GeV における核変換開発研究

中性子で観測できる物質・生命科学における対象例

早い
 ↑
 時間スケール
 (energy scale)
 ↓
 遅い

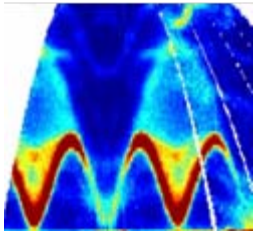


高温超電導物質
巨大磁気抵抗物質

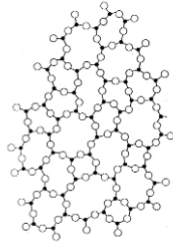


量子スピン系

非常に広い時間・空間をカバー
 原子サイズ ~ 実物サイズ
 1000兆分の1秒 ~ 実時間



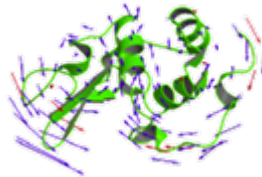
Spin dynamics



Glass



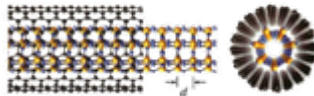
ミセル



たんぱく質



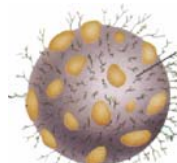
エンジン、工業製品



ナノチューブ



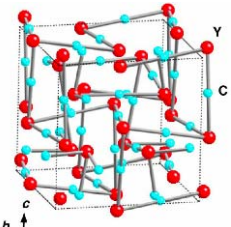
高分子



ウイルス

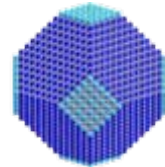


建築物、惑星

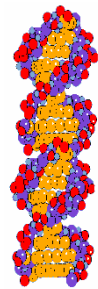


結晶構造

燃料電池



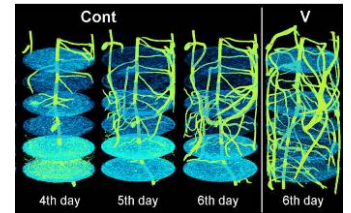
ナノ結晶



DNA



医薬品



植物、農業

微視的サイズ

空間スケール

実物サイズ

J-PARCパルス中性子源:

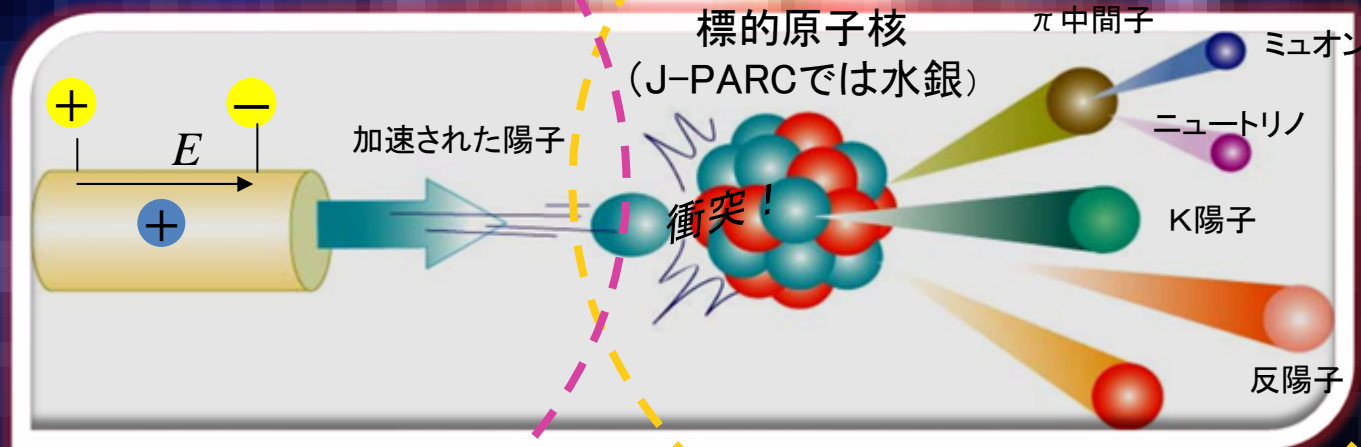
加速器とターゲットが2大要素

核破砕反応

高エネルギーの陽子で
原子核が揺すられて
いろいろな粒子
が飛び出す

J-PARC加速器

中性子源ターゲット



400MeVリニアック 324MHz RF

3GeV シンクロトロンから

25Hz:1秒間に25パルス

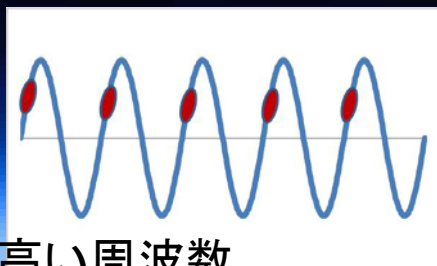
パルスあたり 8×10^{13} 個の陽子の固まり

3GeVの陽子1個あたり水銀から

約60個の中性子が発生

①リニアック(直線加速器); J-PARCの初段部 加速と制御技術課題克服への挑戦

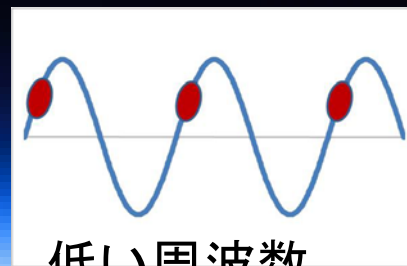
1. リニアックの周波数選択に対する矛盾する要求



高い周波数

- ・塊あたりの電荷数が少ない
→ 良好なビーム収束
- ・クライストロンという安定な高周波源が使える

ビーム収束性大強度対応両者
特性を兼ね備えた加速器技術

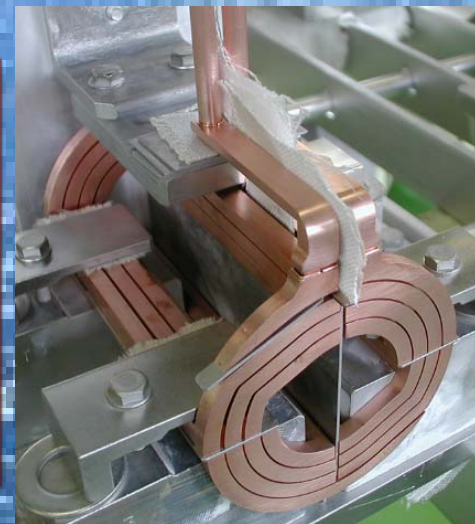


低い周波数

- ・大きいため電磁石が使える
→ 大強度のビームに最適な軌道に調整できる



- ・これまでの陽子リニアックの常識(200MHz以下、または350MHz以上の周波数)を覆す324MHzという新しい周波数を開拓
- ・低周波数と高周波数のメリットを取り込む形のリニアックシステムとして完成させた



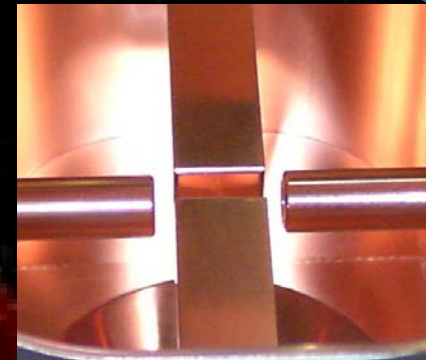
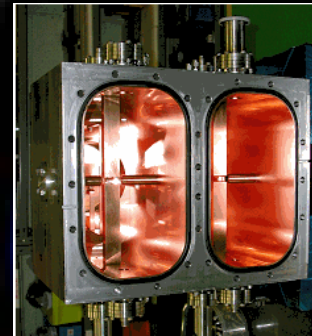
2. 高い品質のビームを供給するための工夫

シンクロトロンでビームをこぼさないために

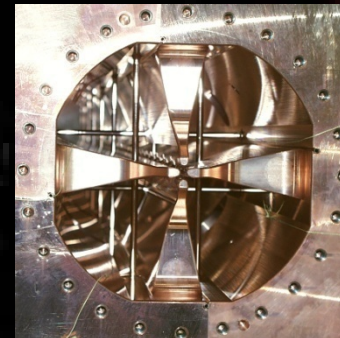
- シンクロトロンでは何万回もビームが周回するため、一旦不安定状態が生じると増幅してしまい、ビームがダクト中心から外れてこぼれ始める。
- こぼれたビームは加速器を放射化するので、これを如何に除くかが最大の課題。

シンクロトロンで加速中にこぼれると予測できるビームは、リニアックの段階で除いてしまう

リニアックに世界初の高周波ビームチョッパー（不良ビームの除去装置）を装着



低エネルギー一部の加速を行うRFQと呼ぶ加速構造に、ビームを横に振る力を抑制するための機構の開発で



②3GeVシンクロトロン:パルス陽子出射器

速い繰り返し(25Hz)、MW陽子パワー

ハードな技術要件

ビームロスを抑え(100万分の1以下)

大電流安定ビーム制御(パルスあたり 8×10^{13} 個)

1. 加速方式の選択

リングに蓄積する陽子数は少ないに限る！！

蓄積リング方式に比べてRCS方式がビームロスの許容の観点で10倍優れている

- 3GeV-1MW RCSは技術的に難しい！

⇒「原理的には」克服可能！我々はあえてRCSを選択！！

- 5MW級の中性子源も視野に入ってくる

□ 1MWのビーム出力でAR方式とRCS方式の比較

- AR方式:4kWは1MWの0.4%
- RCS方式:400MeV入射、3GeV出射の場合
ビームロスは400MeV:3%まで容認

(4kWは133kWの3%)

400MeVで133kWを3GeVまで加速すると1MWとなる。

2. 3 GeVシンクロトロン開発の挑戦

■ 速い加速

- 高勾配高周波加速空洞
→25kV/m以上の加速勾配(これまでの2倍以上)



高周波
加速空洞

■ 速い繰り返し→渦電流効果の低減

- コイルにストランド線を使用した電磁石
- セラミックス真空ダクト

■ 大強度

- 大口径電磁石、高出力電源
- 煩雑な入射部



■ ロス低減

- 加速中のロス低減
高いトランジションエネルギーのラティス設計
- ロスの局在化: コリメータシステム

- 2007/10/31: 3GeV加速成功
- 2007/12/25: 運転時検査合格
- 2008/09/18
: 210kW-70秒連続運転
(ビームダンプの容量で運転制限)
: 310kW-1ショット運転(25Hz換算)
- 2008/12/09: 100kW-1時間連続運転
- 2008/12/23: ユーザー運転開始(20kW)



セラミック
チェンバー
真空機器

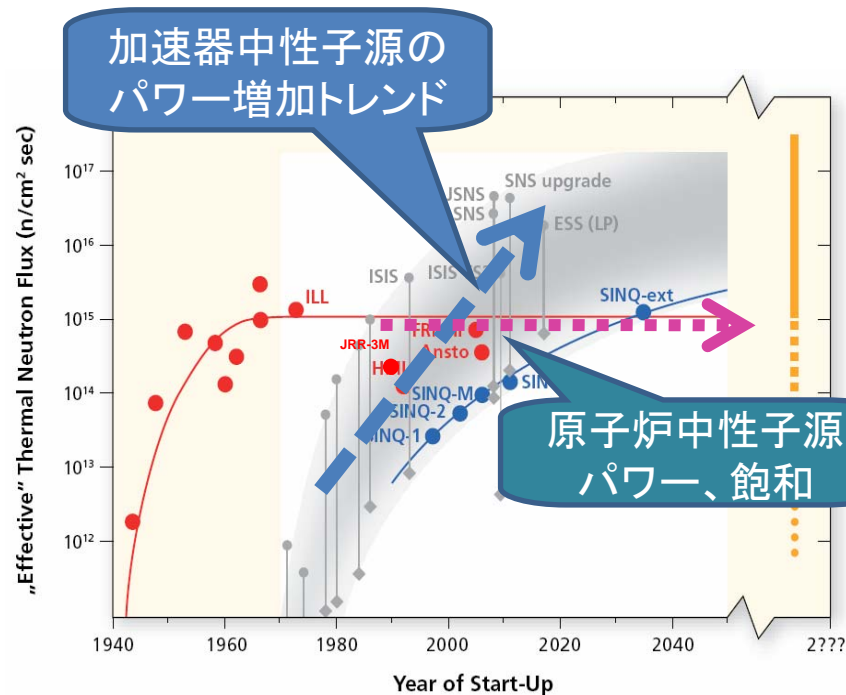
③ターゲット:パルス中性子発生とビームの供給部

世界最高性能(時間平均積分強度、パルスのピーク強度、パルスの時間分解能)大強度で安定した中性子の発生と利用に適した最適中性子ビームの提供

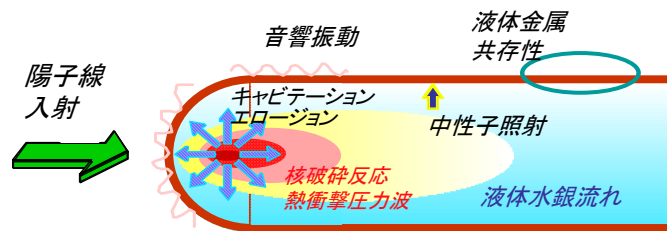
- 加速器中性子源の選択:**
 原子炉中性子源は燃料の発熱密度の制限
 GeV陽子加速器駆動は効率が良い
 パルス源で対象エネルギーが広がる
 繰り返し周波数:25Hzが現状最適
- ターゲット材料の選択:**
 核破碎反応で中性子発生量の大きい高い原子番号物質
 MWパルス入射時の固体材料の熱応力の緩和
 MW熱入力の除熱 → 水銀の循環

新たな課題 → 熱膨張の圧力波への耐久性

- ターゲットハンドリングと容器寿命



世界の中性子源の発展



核破碎中性子源水銀ターゲットの負荷と環境

1. 大強度陽子線を受け止める水銀ターゲット

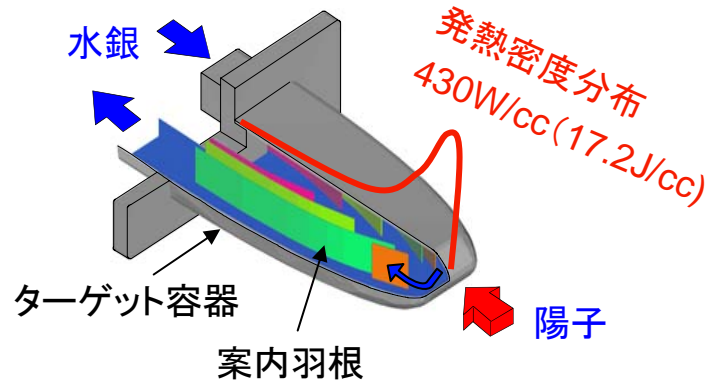
世界最高クラスのパワーをもつ陽子線を受け止め、
これまでにない世界最高ピーク強度の中性子線を作り出す！

大強度陽子入射による発熱と放射線損傷が大きな課題

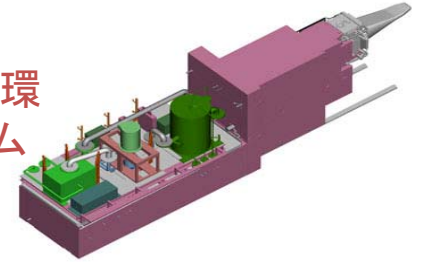
冷却材としての機能を有し、放射線損傷がない
水銀ターゲット材の選定

- ・発熱密度分布に応じた流量配分
- ・熱により発生する応力の低減

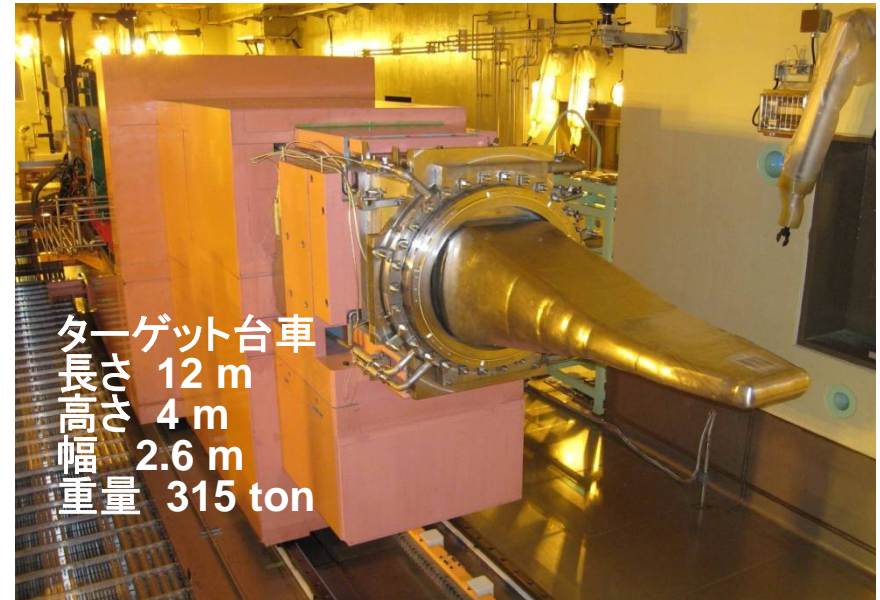
クロスフロー型水銀容器の開発



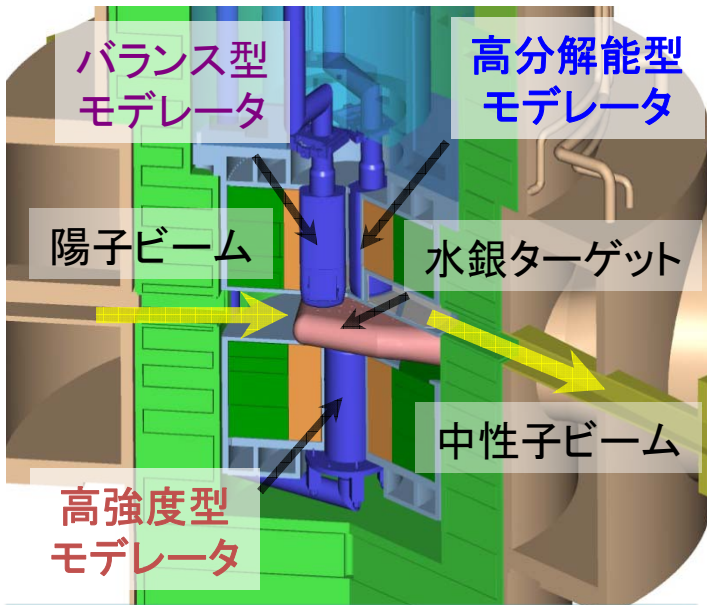
水銀循環
システム



磁力で水銀を流す循環システムの開発
重量20トンの水銀を最大約1m/sで流すことで、
効率よく熱を取り除きながら、中性子を発生

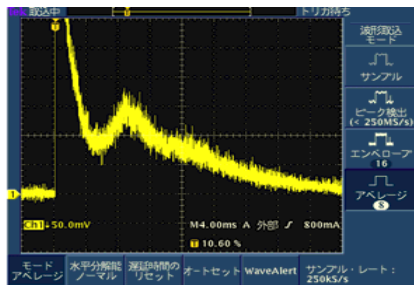


2. 斬新な技術導入で世界最高の中性子性能の実現



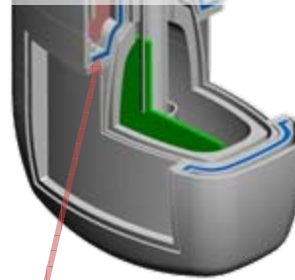
モデレータ

生まれたての熱い中性子
(1,000億°C相当)を、実験に適した温度
(-253°C)にまで極低温水素で冷やす。

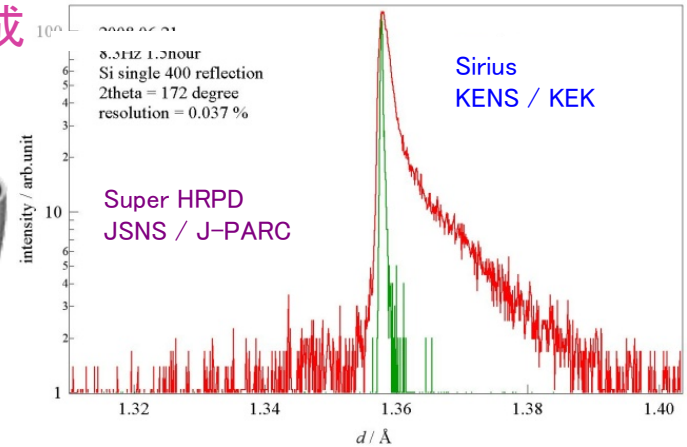


2008年5月
初じめての中性子発生

世界記録の分解能
0.035% 達成

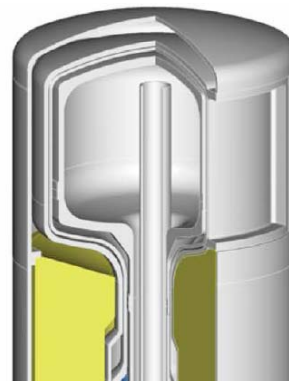


Ag-In-Cd合金



- ・ 新しい中性子吸収材 Ag-In-Cd合金の開発
- ・ 合金とアルミ母材とのHIP接合技術
- ・ 3次元湾曲形状加工・成形技術

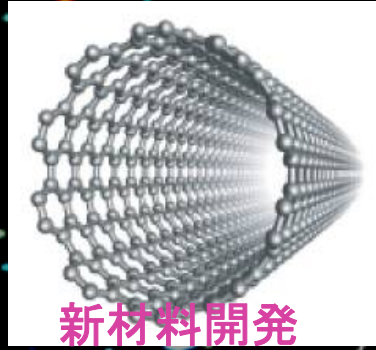
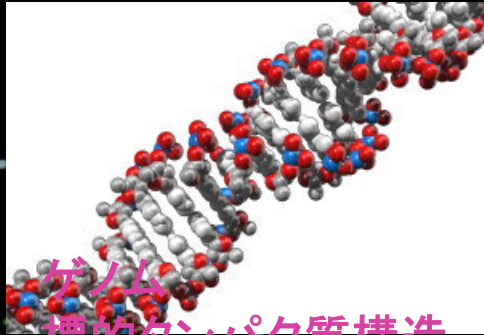
高強度型



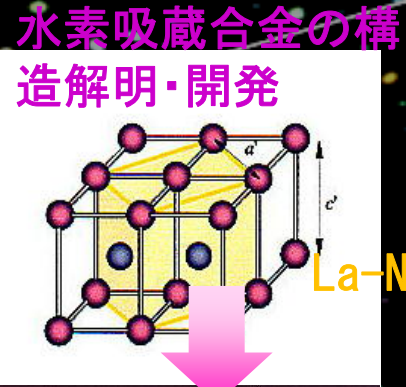
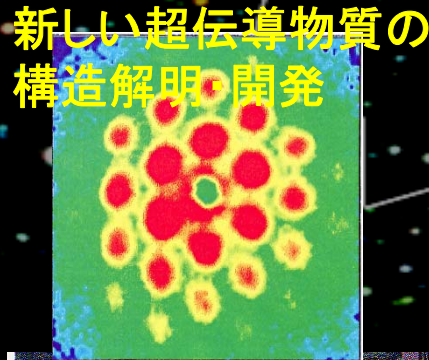
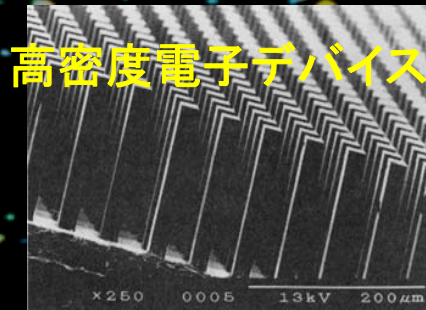
世界最高強度の中性子パルスを供給
米国 SNS施設の 約4倍
⇒ より短時間で実験可能

- ・ 詳細な最適化計算による材料・配置決定
- ・ **パラ水素の特長に着目した形状の工夫**

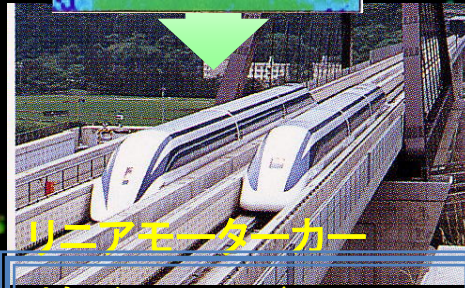
おわりに



2001年から8年の歳月をかけて完成
2008年12月から利用を開始
国際公共財として
学術、産業界まで幅広い分野
社会に貢献する成果の創生を加速する
パルス中性子の誕生



IT(情報技術)問題



輸送・エネルギー問題



環境問題

J-PARCパルス中性子源建設のご支援に改めて感謝いたします。
ご清聴ありがとうございました。