

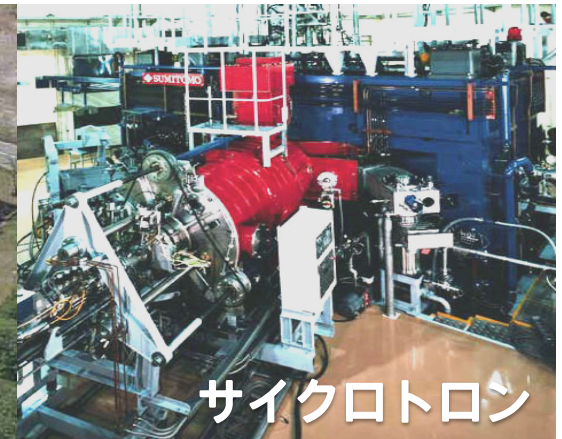
多様なイオンによる高精度自在な 照射技術の開発

日本原子力研究開発機構
大阪大学

背景



TIARA



サイクロトロン

◆ TIARA:材料・ バイオ研究に特化した世界初のイオン照射研究施設 (1991 ~)

- ・ イオンビーム利用研究
- ・ イオンビーム技術開発

機構内外の研究者・ 技術者の有機的な連携により先進的な研究成果とともに、幅広い研究ニーズに基づく、あるいは研究を先導する世界先端の加速器・ ビーム技術を生み出し、世界をリード。

◆ サイクロトロン：利用者の多様なニーズに対応するため世界に類のない高度化を推進

- ・ 磁場高安定化
- ・ フラットトップ加速
- ・ カクテルビーム

その結果世界に類のない先端的ビーム技術を開発

- ・ マイクロビーム・ シングルイオンヒット
- ・ 拡大均一ビーム

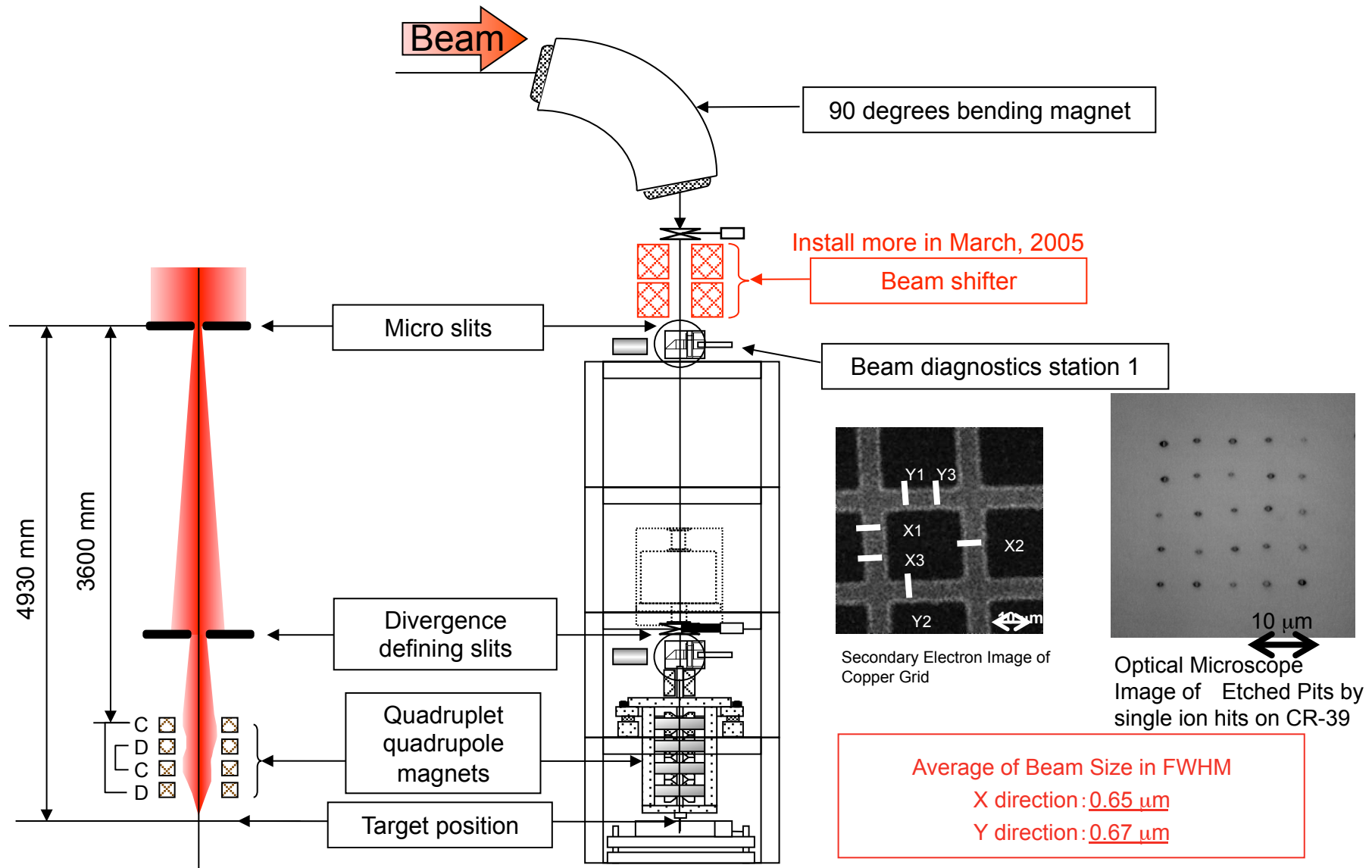
◆ 利用研究からの更なる多様なニーズ

- ・ 利用条件の拡大 (イオン種、エネルギー)
- ・ 切換時間の短縮 (同一マシンタイムでの多条件切換え)

TIARAならではの、サイクロトロン利用の概念を一変させるもの

本計画の動機

高エネルギー重イオンマイクロビーム装置

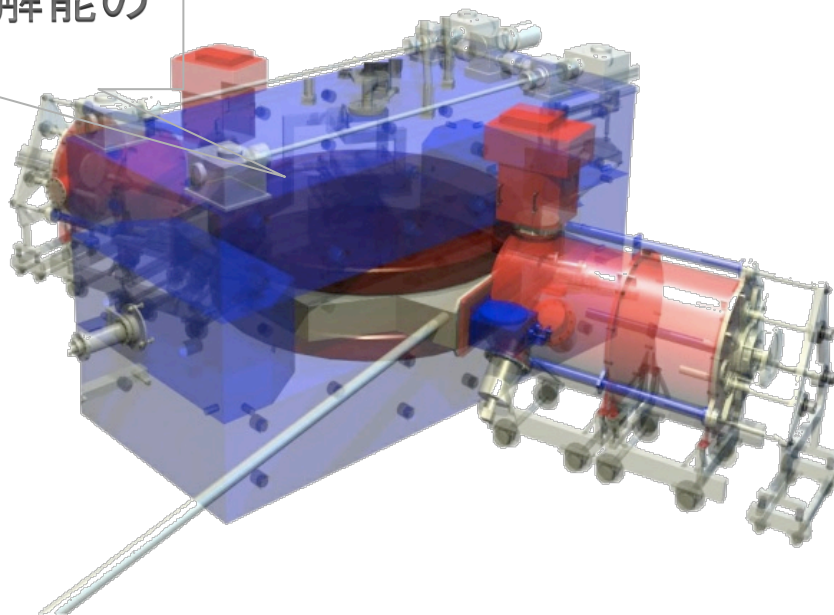


ビームラインの概念図とビーム計測実験

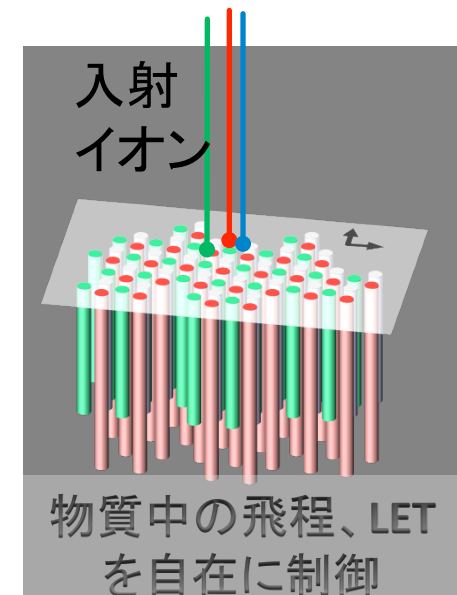
多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発

サイクロトロン内部磁場分布高精度計測・高速制御
ビーム条件切換短時間化・M/Q分解能の向上

AVFサイクロトロン



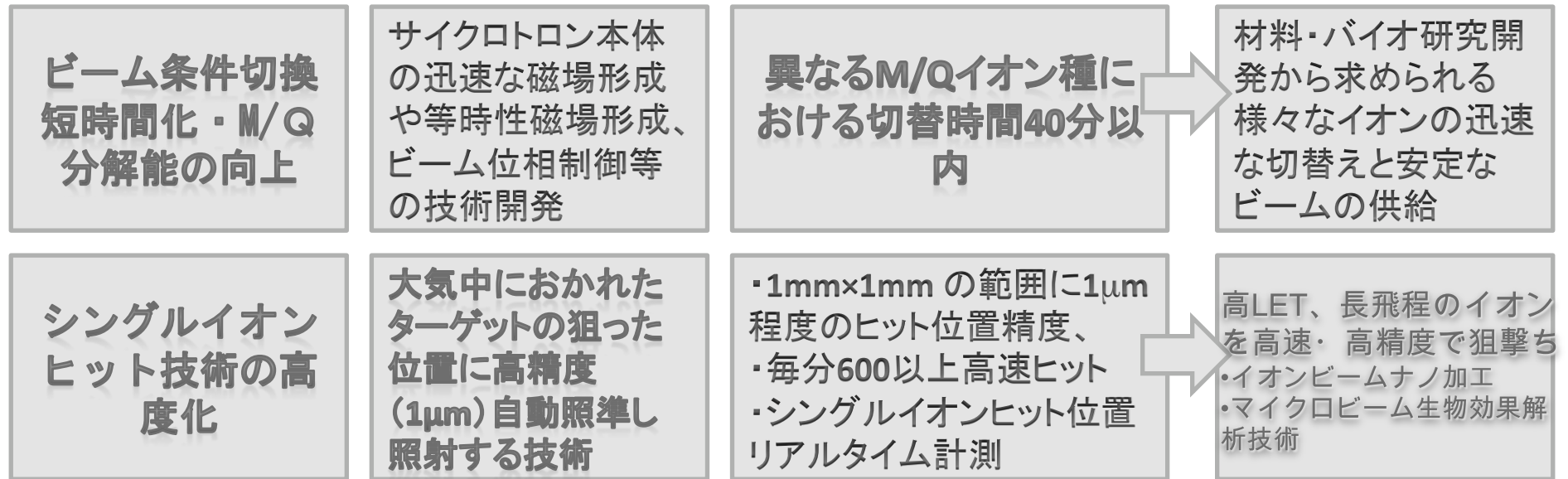
概要



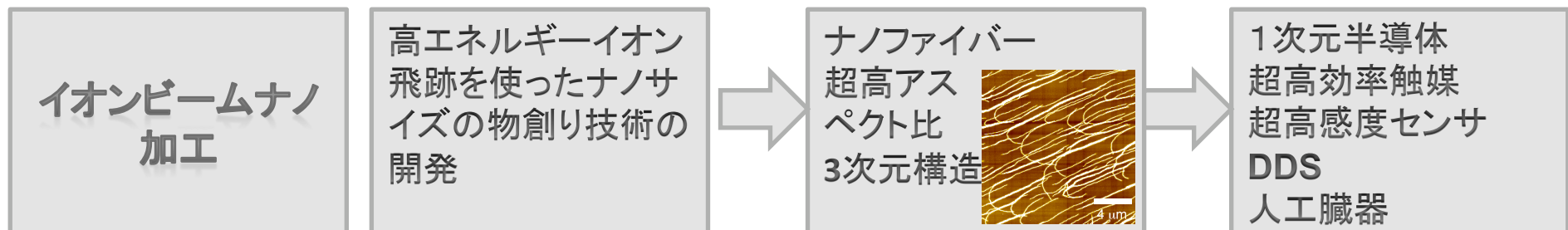
高精度自在なイオン照射を実現
シングルイオンヒット
カクテルマイクロビーム

TIARAのAVFサイクロトロン的高度化により、イオン種・エネルギーのビーム条件の切換え時間の大幅短縮を実現する。さらに、これらのビームを用いるシングルイオンヒット等先進的イオンビーム技術の更なる高度化を行い、数百MeV以上の高エネルギーイオンの照射タイミング、水平方向照射位置及び深さを自在に変更可能な高精度イオンビーム制御技術を開発する。これにより、イオンビームマイクロ・ナノ加工などの利用研究をこれまでより一段と加速し、技術革新に繋げる。

技術開発



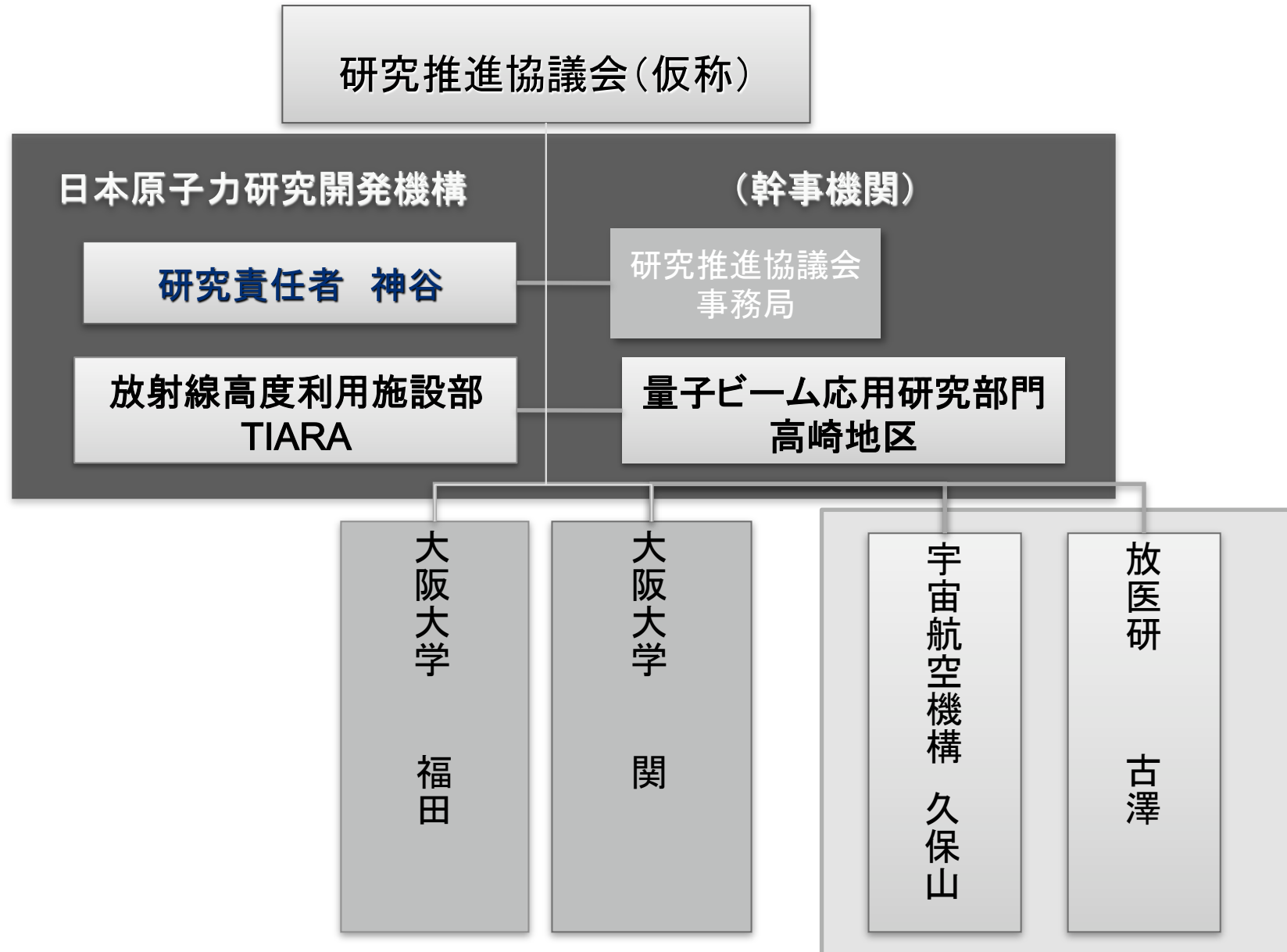
利用研究



年次計画(案)

	20	21	22	23	24
ビーム条件切替短時間化・M/Q分解能の向上	AVFサイクロロン磁場計測制御システム開発				ビーム高速切替試験
			ビーム位相制御技術開発		
シングルイオンヒット技術の高度化	シングルイオンヒットリアルタイム位置計測技術開発				性能評価試験
			カクテルシングルイオンヒット		
イオンビームナノ加工	ターゲット材料試作	ナノ構造化試験			ナノ構造化実証
半導体耐放射線性評価技術					
マイクロビーム生物効果解析					

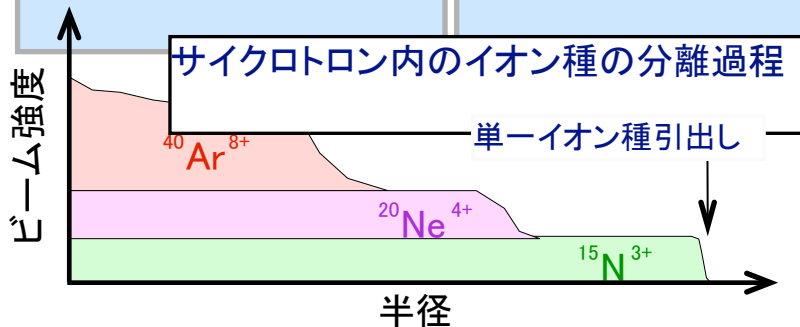
研究体制



補足説明資料

技術開発:ビーム条件切換短時間化・M/Q分解能の向上

技術開発テーマ	現在の性能	目標性能	国内外の動向
1)NMRによる非均一磁場の高精度測定技術 2)高再現性主磁場形成の迅速化技術 3)(非)等時性磁場の迅速形成技術 3-1)ビーム位相自動測定 3-2)トリムコイル磁場自動設定技術 4)中心領域での位相制御技術	1)最高磁場(1.6T)付近で測定可能 2)約60分 3)約60分 4)M/Q分解能 ~ 1/3000	1)0.3~1.6Tで実現 2)約10分 (精度=1×10⁻⁵) 3)約10分 2)+3) イオン種・エネルギー、異なるM/Qを約20分で切替 4)M/Q分解能 < 1/10000 ↓ カクテル加速の異種イオン混合の低減と純粋イオン種の拡大	1)狭い磁場範囲で実現 2)約60分 3)約60分 ビーム位相測定の自動化は既存 4)M/Q分解能 ~ 1/3000 (位相制御によるM/Q向上技術は未開発)



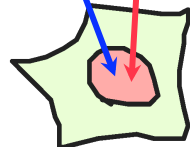
技術開発: シングルイオンヒット技術の高度化

技術開発テーマ	現在の性能	目標性能	国内外の動向
1)大気中ターゲットの高精度・高速照準 シングルイオンヒット技術	1)真空中で 照準領域=1mm×1mm 照準精度=1μm ヒット速度>600ヒット/秒	1)大気中で 照準領域=1mm×1mm 照準精度=1μm ヒット速度>600ヒット/秒	1)サイクロトロンの数百MeV重イオンではTIARAのみ
2)ヒット位置のリアルタイム計測技術	2)約60分 (CR-39に照射、エッチング・光学顕微鏡観察)	2)1個のイオンのヒット位置をリアルタイム計測 →測定下の位置調整 →確実な照準	2)低エネルギーマイクロビームではTIARAにおいて開発中
3)カクテル・マイクロビーム形成技術	3)NeとArで実績	3)あらゆるマクロビームのイオン種を約20分で切替	3) TIARAのみ

C

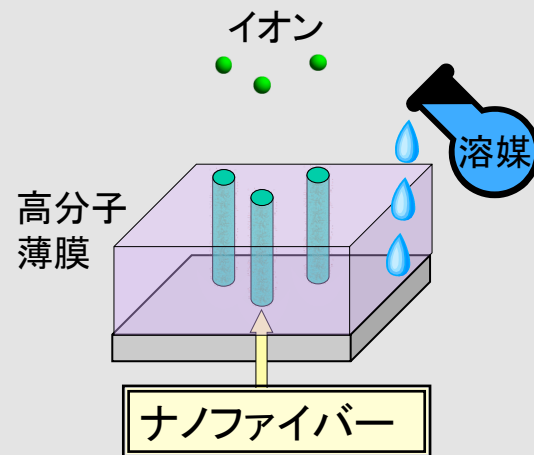
Ar

細胞が生きている内に2種類のイオンで核をヒット

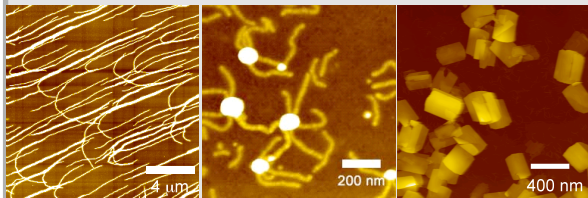


利用研究: イオンビームナノ加工

世界で一番細いビーム
“たった一つの粒子(原子)”を制御し、設計通りに直接ナノ材料を創り出す技術。

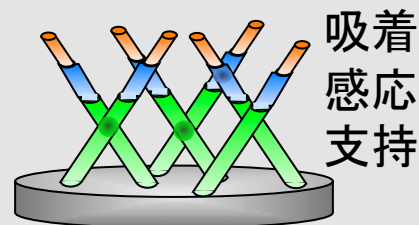


伸ばす 繋ぐ 並べる



ナノ加工

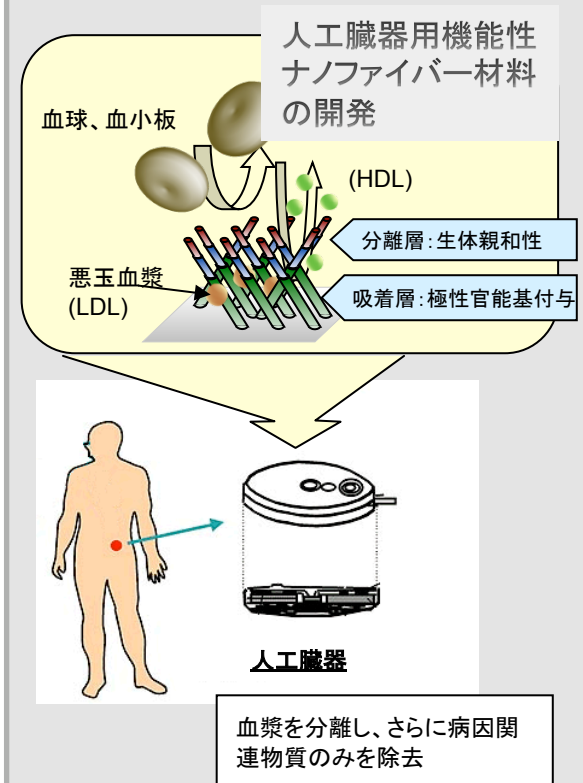
- ・直線状に繋ぐ
1次元ナノダイオード・トランジスタ
- ・星形に繋ぐ+機能付与
ナノ粒子・DDS等
- ・並べる
超微細光学材料
- ・表面加工技術
細胞培地



特定の物質を吸着し、感応する材料を支持体ファイバーに順に接続してナノファブリックを作る

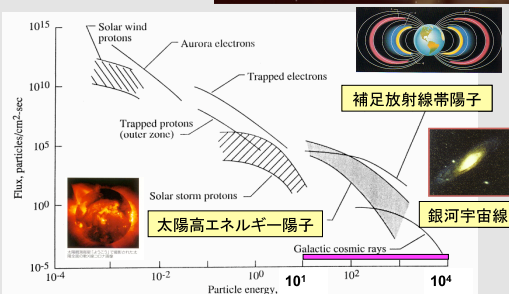
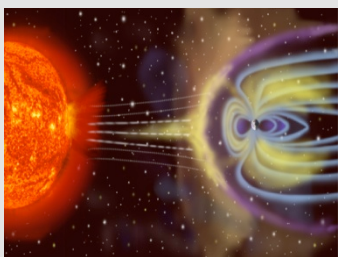
「人に」・「物に」・「安全に」

例えば・・・
体内埋込型人工臓器

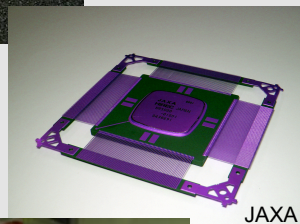
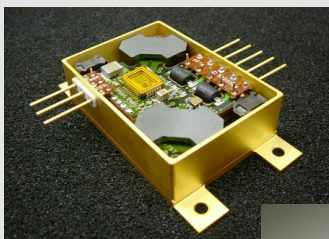


(参考)利用研究:半導体耐放射線性評価技術

宇宙で遭遇することが想定される最大 LETは $120\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 程度であるが、遭遇する頻度はきわめて低く、デバイス自体の偶発故障確率よりも低くなる。従って、実用的な故障確率を考慮すると、LET $100\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 程度の重イオンに耐えられるパワーデバイスを実現することが大切となる。そこで、LET $100\text{MeV}/(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 、半導体デバイス中での飛程が $100\mu\text{m}$ 程度以上の各種イオンを用いることで、銀河宇宙線として飛来する重イオンを模擬したパワーデバイスのシングルイベント効果を評価する。



利用できるビーム条件が拡大し、ビーム切換え時間も短縮されることを最大限に活かした「パワーデバイスのシングルイベント現象評価技術」を開発し、この評価技術を用いることで、銀河宇宙線として飛来する重イオンによるパワーデバイスの破局故障発生の可能性が評価できることを実証する。



- ・大量にパワーデバイスを搭載する大規模な宇宙機システムの信頼性向上が図られる。
- ・材料技術・加工技術の進歩により次々と高性能なデバイスが開発されているが、それらのデバイスの照射試験技術の開発に役立つ。
- ・加工技術の微細化により、パワーデバイスの高性能化が進んでいるが、一方で放射線に対する感受性も上昇し、地上用パワーデバイスでも中性子による破壊現象が無視できないレベルになっている。本研究によって得られる放射線によるパワーデバイスの破局故障のメカニズム、さらには回避策を活用することにより、これらの問題を未然に防ぐことが可能となる。

(参考)利用研究:マイクロビーム生物効果影響解析

研究開発内容

- 加速イオン種やエネルギー領域の拡大の優先順位を決定する為の予備実験
- シングリオンを大気中に取出して多数の放射線標的部位に瞬時にミクロンの精度で照射するための専用真空チェンバーの形状や大気取出し窓の材質および細胞照射容器などの仕様決定
- 試験的な細胞照射実験と性能評価、本格的な細胞照射実験の開始

実現すること

- 従来は不可能だった高エネルギー陽子からXeにいたる広範なビームを用いた照射効果のイオン種依存性の解析
- 特定の細胞を任意の時間差で照射することによる、細胞集団全体としての放射線応答ダイナミクスの解析
- 個々の細胞内の放射線標的部位、細胞内小器官の狙い撃ち照射
- 細胞内・細胞間情報伝達の分子機構の解析

波及効果

- 治療用重粒子線や銀河宇宙線を含めたイオンビームの生物影響に関する系統的な知見の獲得
- バイスタンダー効果や放射線適応応答、遺伝的不安定性、ホルミシス効果などの解明
- 放射線影響メカニズム解明に基づく低線量放射線リスクの推定
- 極低線量・極低線量率領域に適した新規の放射線影響指標の提案