

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 (JAEA)
放射線高度利用施設部
神谷富裕





内容



- 計画の概要
- 成果
 - －技術開発
 - －利用研究
- まとめ
- 展望



Quantum Beam
Technology Program

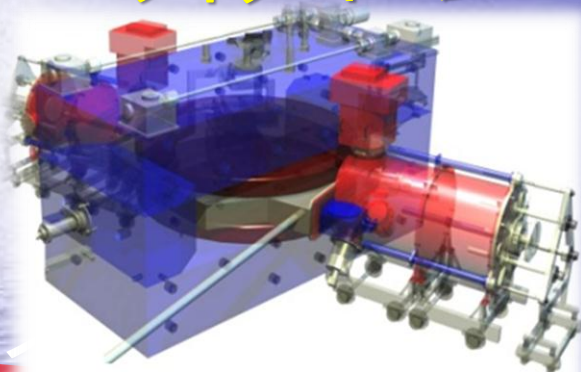
多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発

計画の狙い



3

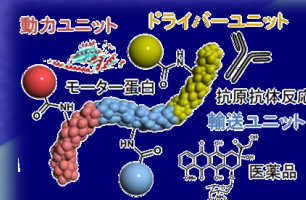
サイクロトロン



数百MeV級重イオンビーム

多様な
相互作用

材料加工

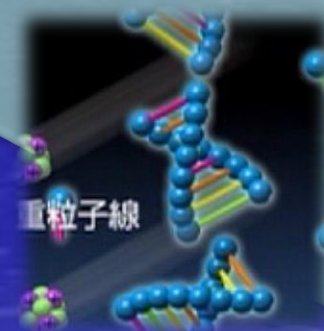


半導体
評価



高い
制御性

生体影響
評価



シングルイオンヒット



研究開発課題



技術開発

サイクロトロン

ビーム条件切替
短時間化

- ・サイクロトロン磁場計測・制御技術開発
- ・等時性磁場形成技術開発
- ・カクテルビーム高品質化

- ・ビーム条件切替時間:
40分以内
- ・M/Q分解能: 1/10000

マイクロビーム

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位置計測技術開発

シングルイオンヒット位置実
時間計測: 検出効率90%

利用研究

イオンビームナノ加工

新規な概念に基づく単一粒子ナノ加工(SPNT)ターゲット材の開発・応用法の高度化

DDS、バイオセンサ、
半導体、触媒

半導体耐放射線性評価技術

パワーデバイスの破局故障
確率評価実証

大規模宇宙機システムの
信頼性向上

マイクロビーム生物効果解析

細胞集団放射線応答のダイ
ナミクスを明らかにする

- ・放射線リスク評価
- ・重粒子線治療
- ・イオンビーム育種



研究体制



研究推進協議会

日本原子力研究開発機構

(幹事機関)

研究責任者 神谷

研究推進協議会事務局

放射線高度利用施設部
TIARA

量子ビーム応用研究部門
高崎地区

横田

吉川

大島

小林

技術開発

利用研究

大阪大学
福田

大阪大学
関、佐伯

宇宙航空機構
久保山、丸

放医研
古澤、鈴木

研究の年次展開



6

20	21	22	23	24
サイクロトロン磁場計測・制御技術開発			等時性磁場形成技術開発	
			カクテルビーム高品質化	
シングルイオンヒット位置計測技術開発				性能評価試験
ターゲット材料試作	新規な概念に基づく単一粒子ナノ加工 (SPNT) ターゲット材の開発・応用法の高度化			ナノ構造化実証
			パワーデバイス評価システム開発	
			バイスタンダー効果解析	

ビーム条件切換
短時間化

シングルイオン
ヒット技術の高
度化

イオンビームナノ
加工

半導体耐放射線
性評価技術

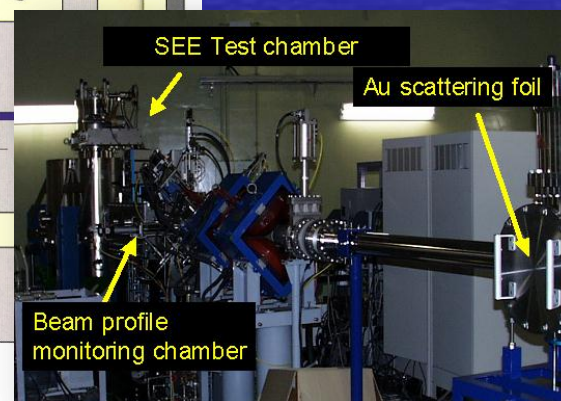
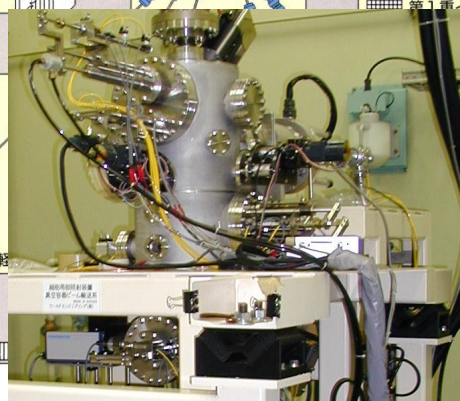
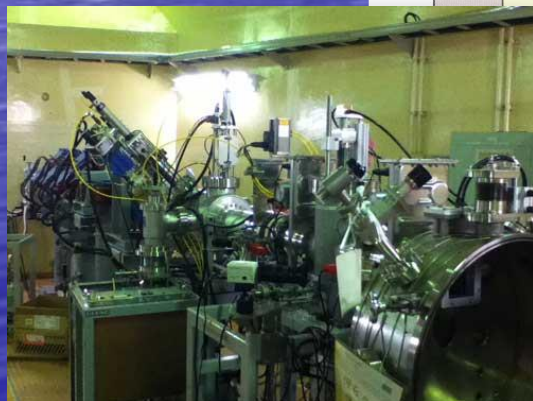
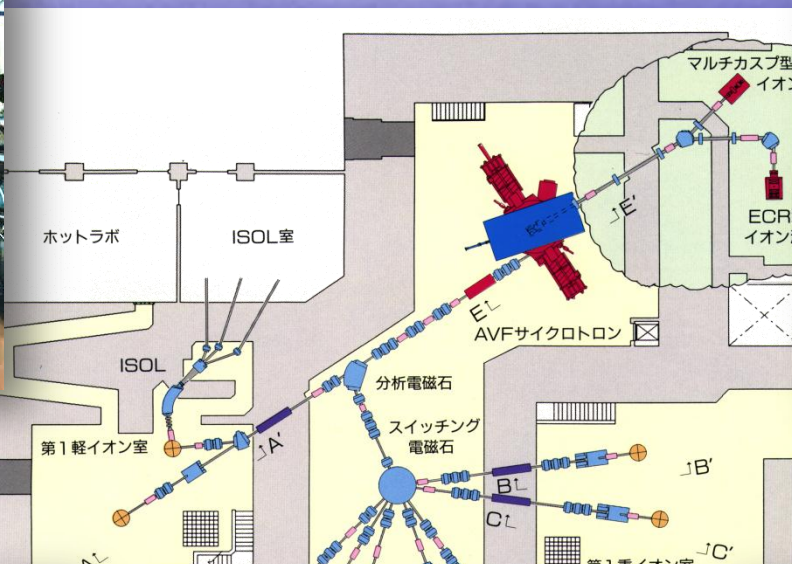
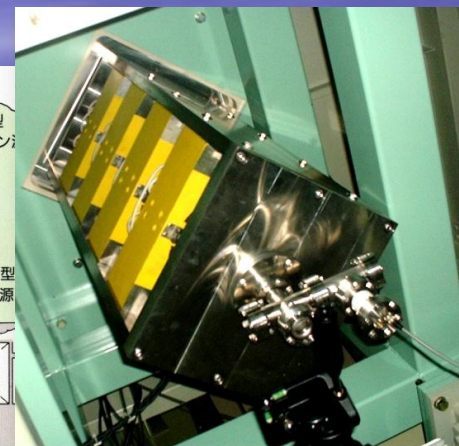
マイクロビーム生
物効果解析

TIARAにおける実験装置

サイクロトロン



マイクロビーム



イオンビームナノ加工照射

生物細胞照射

宇宙用半導体照射



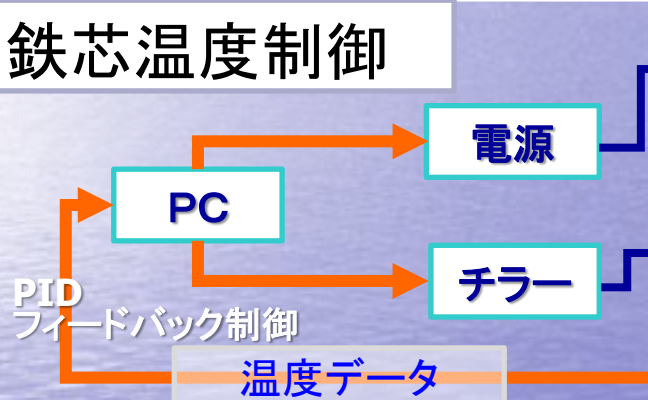
ビーム条件切換短時間化



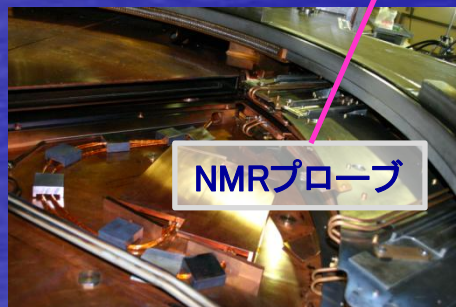
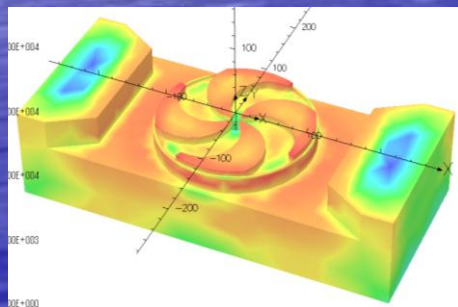
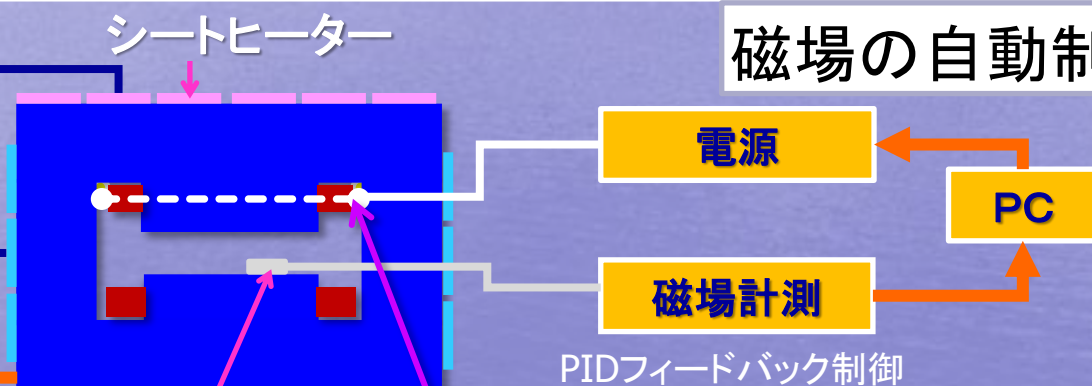
● サイクロトロン磁場計測制御技術開発

- 主磁場形成の迅速化技術の開発(JAEA)
- 磁場・熱構造・渦電流解析(大阪大)

鉄芯温度制御



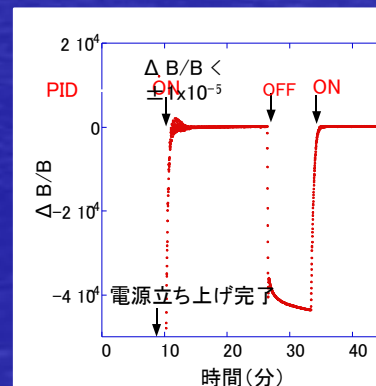
磁場の自動制御



NMRプローブ



補正コイル: 5ターン
× 20A(max.)
~10⁻⁴の磁場補正



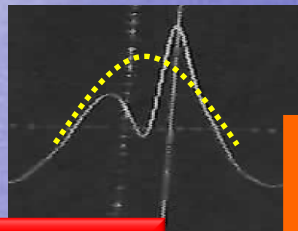
主磁場迅速形成技術を確立(20分以内)



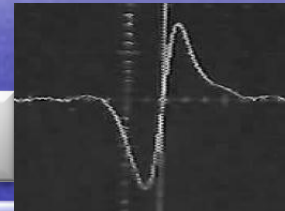
ビーム条件切換短時間化



- 等時性磁場迅速形成技術の開発
- カクテルビーム高品質化:M/Q分解能向上(システムの構築完了)



オシロスコープ



位相プローブ

基準信号

ロックインアンプ

PC

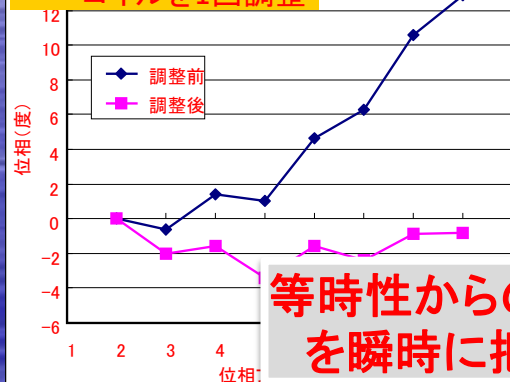


磁場が全体的に高い
→コイルを1回調整

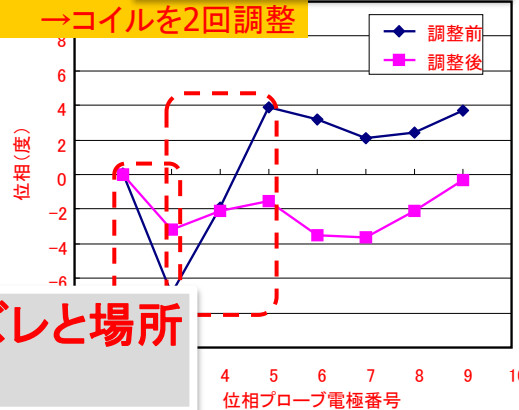
260MeV Ne

断層2箇
→コイルを2回調整

Ne



等時性からのズレと場所
を瞬時に把握



調整が必要なトリムコイルが一目瞭然

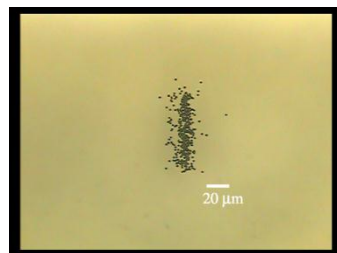
1~2回の調整で5度以内の等時性磁場を形成

(従来は全てのトリムコイルを調整
(30分))

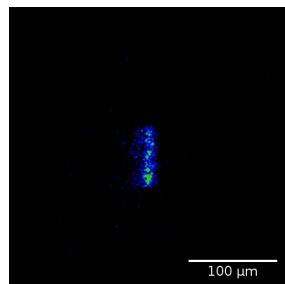
40分以内のビーム迅速切換え技術を確立

シングルイオンヒット実時間計測技術の開発

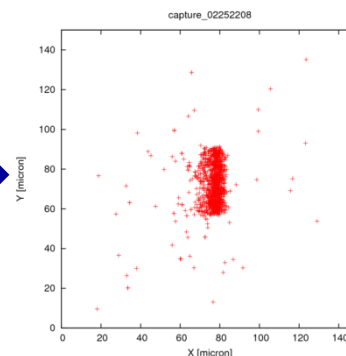
大気中生物細胞照射の高精度化を目指して



CR-39上のエッチピット
の顕微鏡写真



光の検出で得られたヒット位置

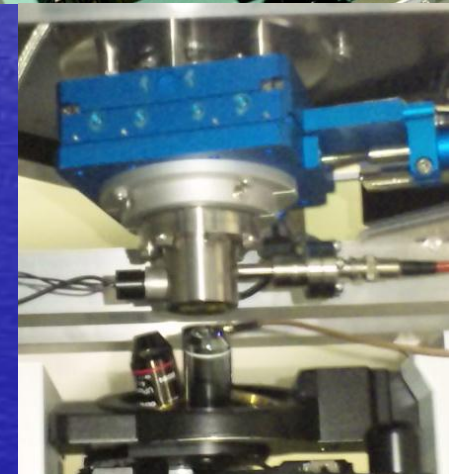
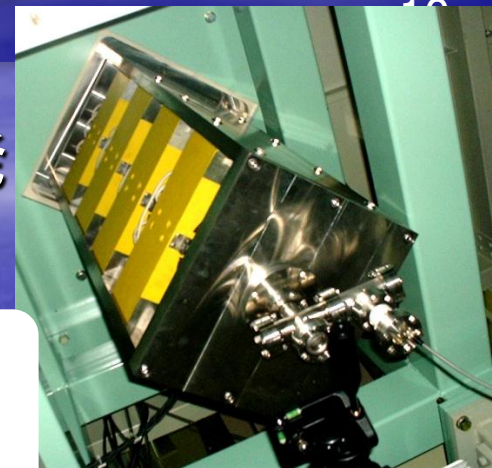


発光位置と、CR-39上のエッチピットを比較

検出個数: 60秒で315hits

半導体検出器: 360 hits/60秒

検出効率: 88%



発光によるシングルイオンヒットリアルタイム照射位置検出技術を開発

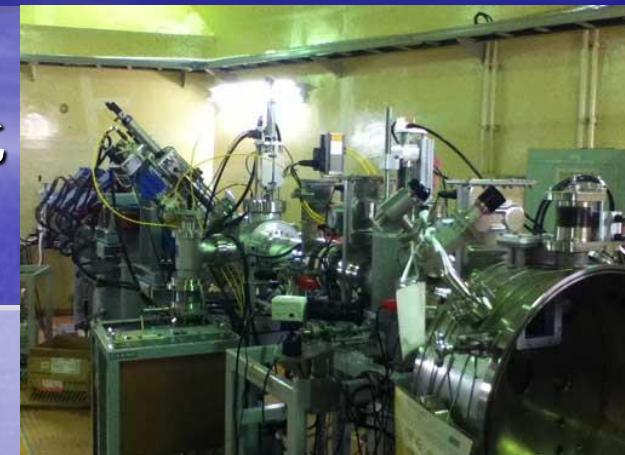
イオンビームナノ加工



11

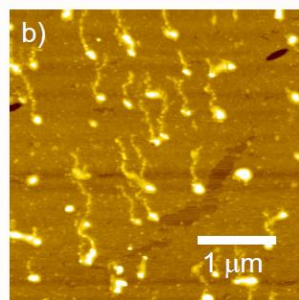
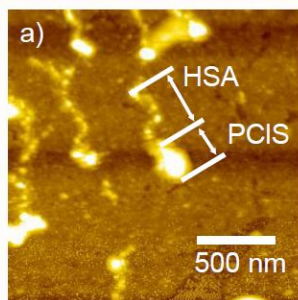
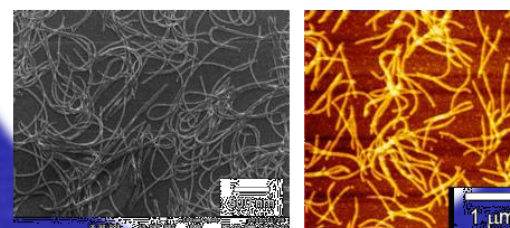
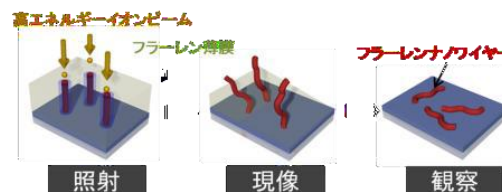
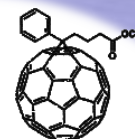
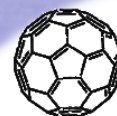
新規な概念に基づく単一粒子ナノ加工
(**SPNT**) ターゲット材の開発・応用法の高度化

イオン(ビーム)の新たな可能性を創出



確認された加工の可能性

- あらゆる高分子材料の加工
 - 生体高分子、フラーレン、その他
- 形状(長さ、太さ)、生成密度制御の任意性
- 膜の重ね合わせ
 - ナノワイヤの繋ぎ合わせ、機能の組合せ自在
- 生成ワイヤの凝集効果



(a), (b) HSA + Poly(4-chlorostyrene): PCIS

高効率
有機薄膜
太陽電池
に応用



SEE Test chamber

Au scattering foil

Beam profile monitoring chamber

- **ビーム条件短時間切換利用可能**
 - **照射装置の自動化⇒照射の効率化**
 - **△E+Eビーム計測系の導入
⇒ビーム条件(コンタミ成分)
の高精度評価**
- 高精度ビーム計測・制御系の完成**

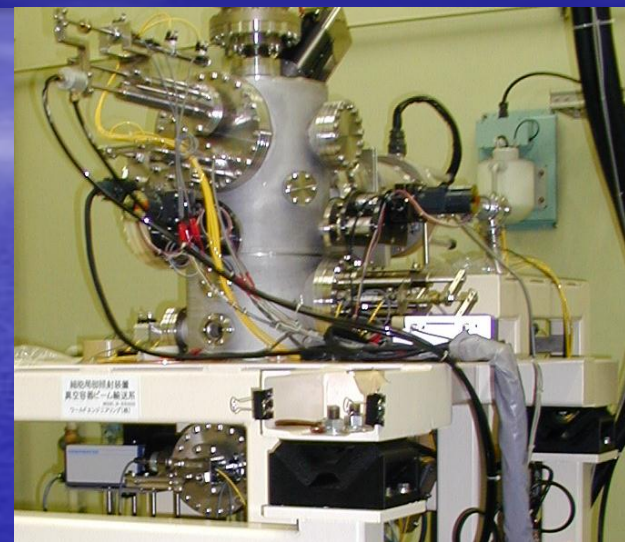
半導体宇宙用デバイス評価システムの構築



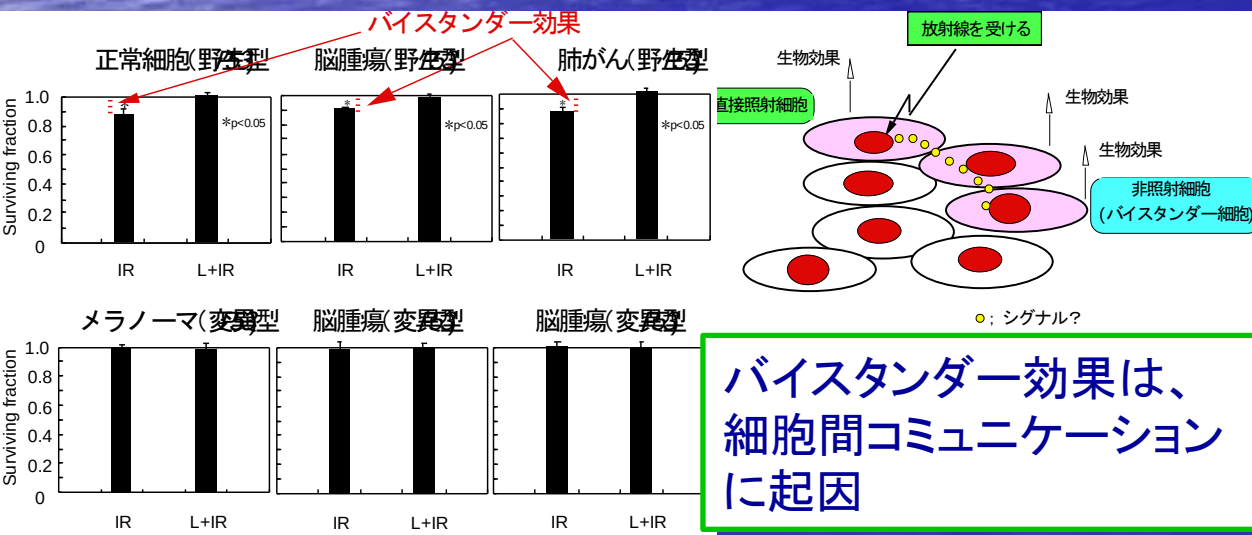
マイクロビーム生物効果 解析



細胞集団放射線応答のダイナミクス (バースタンダー効果)の解明



- 炭素イオンマイクロビームを用いてヒトがん細胞の細胞致死に対するバースタンダー効果を検証
- ガン抑制遺伝子p53遺伝子
 - 野生型:バースタンダー効果発現
 - 変異型:バースタンダー効果発現阻害
- ギャップジャンクションを介した信号伝達の阻害



- がん治療の飛躍的な高度化
- 原発事故に起因する低線量(率)放射線長期被ばくの人体影響リスク評価



まとめ

14

- 多様なイオンによる高精度自在な照射技術の達成
 - ー サイクロトロンビーム条件切換短時間化を達成。従来の3分の1 40分以内
 - ー シングルイオンヒット、光検出により90%程度の検出効率を達成。
- 具体的な利用研究の進展
 - ー イオンビームナノ加工の可能性拡大
 - ー 宇宙用デバイスの重イオン照射効果の評価に必要なシステムの完成
 - ー 生物細胞バイスタンダー効果解明の進展



展望



- 利用の普及・拡充
 - － 科学技術のツールとして
 - － 社会、産業への具体的な貢献
- 人材の育成
 - － 産学からの人材の受け入れ・育成
- 基盤技術整備
 - － 新しいニーズに対応できる技術開発力

機能し発展する量子ビーム拠点として
連携・交流(人材・技術・情報)の促進