

加速器の研究開発と利用について

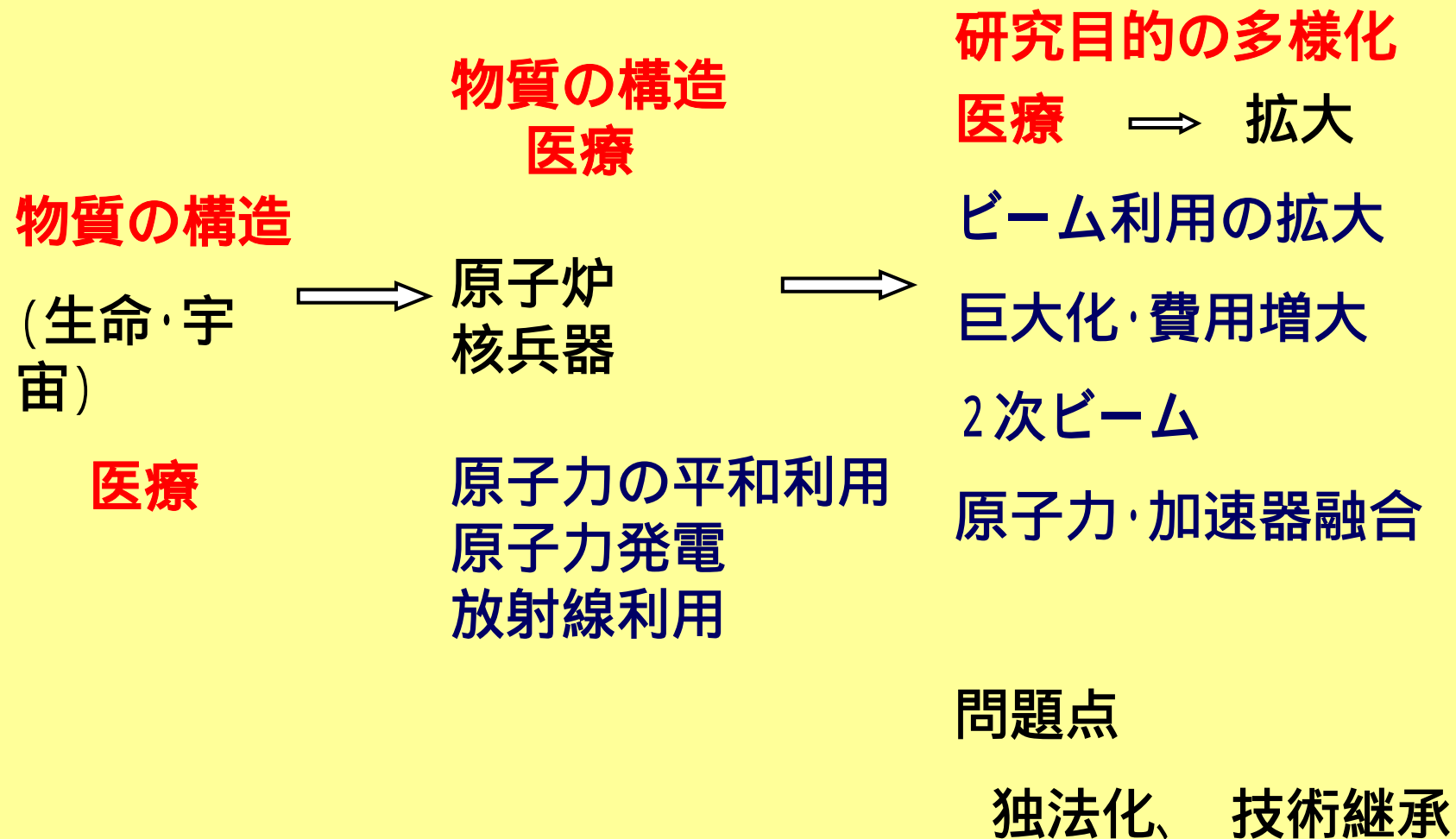
大阪大学
産業科学研究所
田川精一

第3回原子力委員会加速器検討会

平成15年4月21日(月)

中央合同庁舎第4号館 4階 共用第2特別会議室

放射線・加速器利用の流れ



研究動機: 人間(知・体)、恩恵
判断基準: 経済性、代替手段

人間の知的活動の多様化

- 科学のパラダイムの変化

従来:物質構造・力の起源 より小さく、要素科学へ
拡大:ライフサイエンス、ナノテクノロジーなどの多様化

- 要素科学は万能か？ 要素科学から統合科学へ

部品を組み上げれば生命は誕生するか？

要素が分かれば、すべてが分かるか？

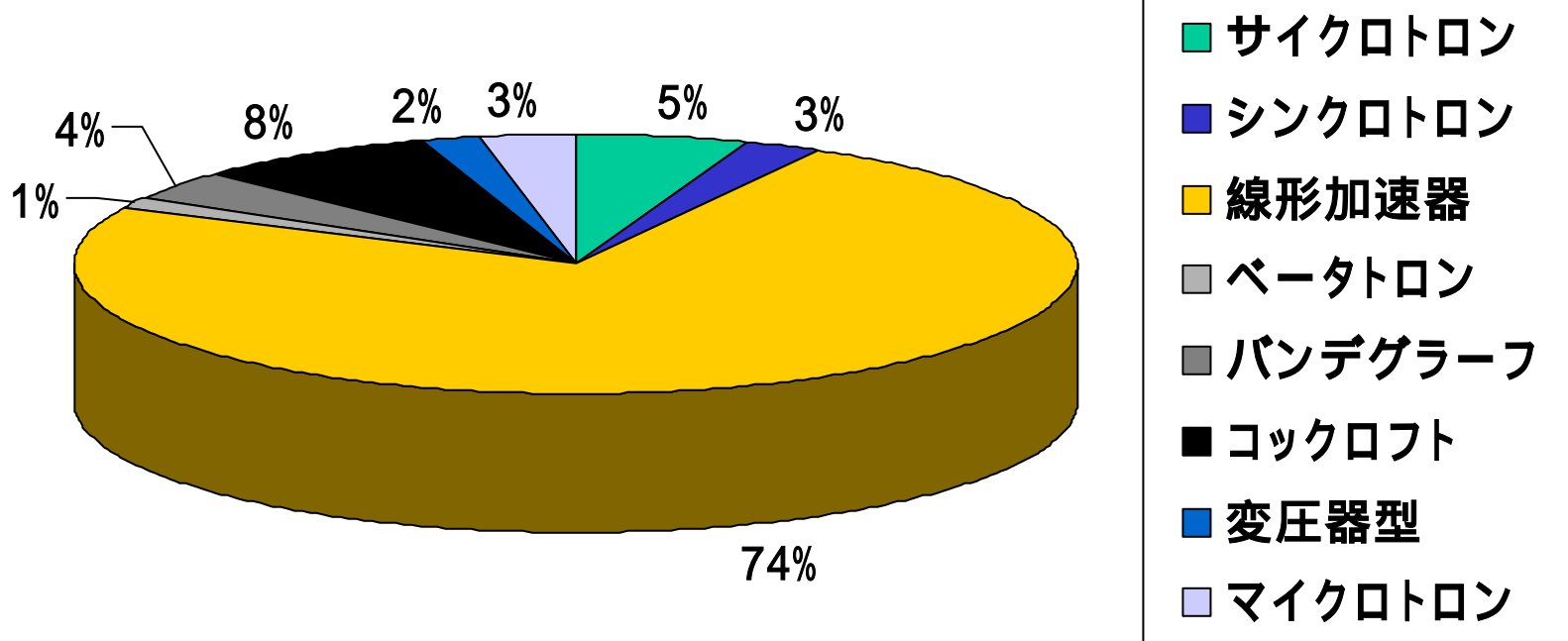
- 科学者和社会のかかわり

真理探究、原理的研究のみでなく、社会への波及・貢献
も重視

- 要素科学と統合科学の融合

要素科学と統合科学とのキャッチボールと融合

放射線発生装置の使用許可台数（総数 1 1 3 6 台）



総数 1 1 3 6 の放射線発生装置の内、8 3 6 台の線形加速器が最多数で、その内の 7 0 8 台が医療機関でがん治療に使用されている。1MeV未満の産業用の低エネルギー加速器は含まれていない。

加速器のカテゴリー

大型加速器

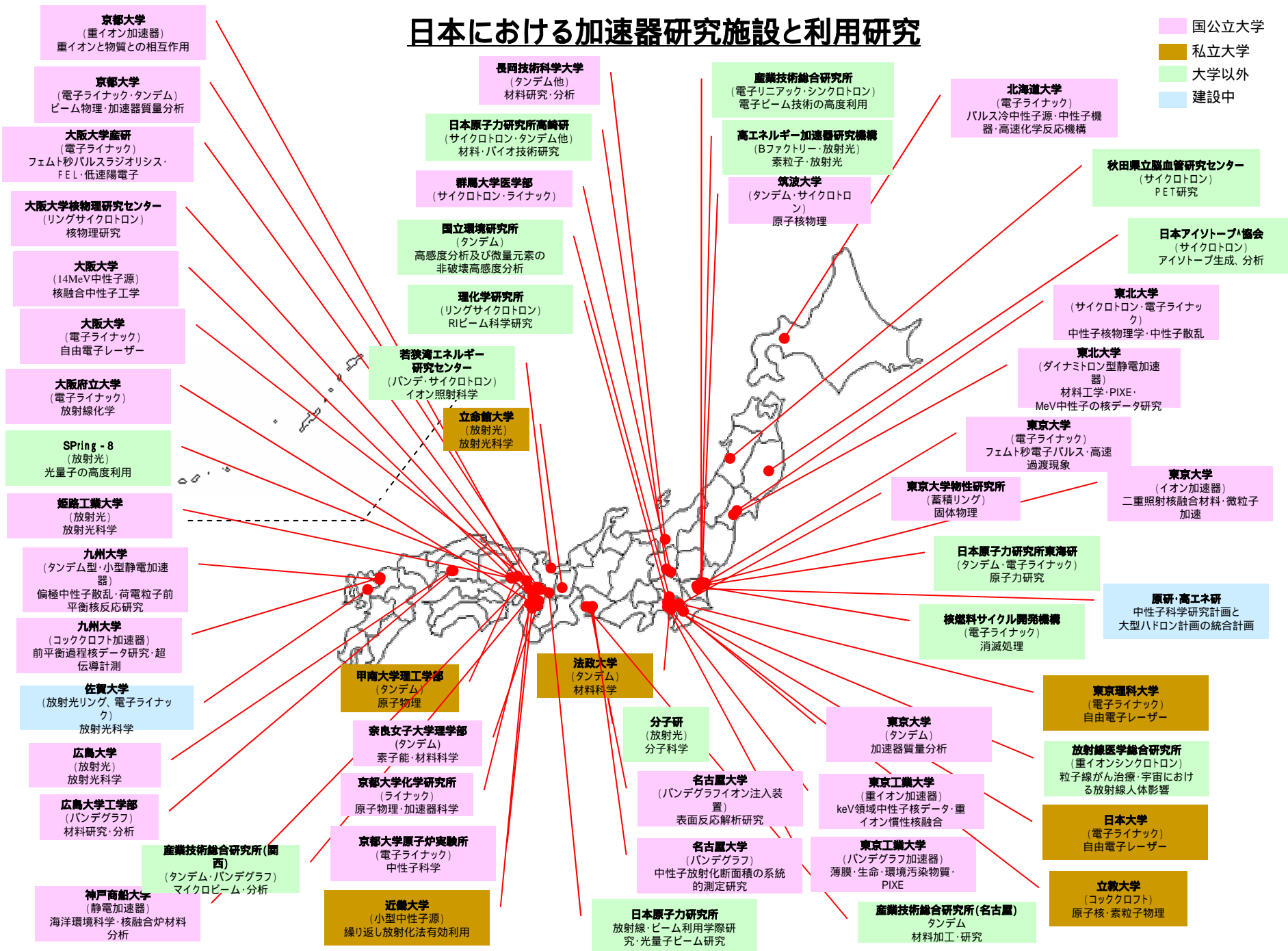
大学・研究所
中・小加速器

企業の加速器

医療用加速器

日本における加速器研究施設と利用研究

- 国公立大学
- 私立大学
- 大学以外
- 建設中



大型加速器

単目的:物質・力の根源 \Longrightarrow 多様化:物質科学、生命科学

人間の知的探求の多様化(夢の多様化)

加速器の巨大化:費用の増大

国民のコンセンサス、ユーザーの拡大

最近のプロ
ジェクト

ニュートリーノ振動

HIMAC

RIビーム

大強度陽子加速器

TIARA

Spring-8

単目的



多様化

大学・研究所の中小加速器

- 特徴のある研究、世界をリードできる研究
- 内外の多様な研究に対応できる
- 教育・若手の育成

- 問題点

独法化

技術継承

原子力教育体制の変化

我が国の放射線利用経済規模(平成9年度)

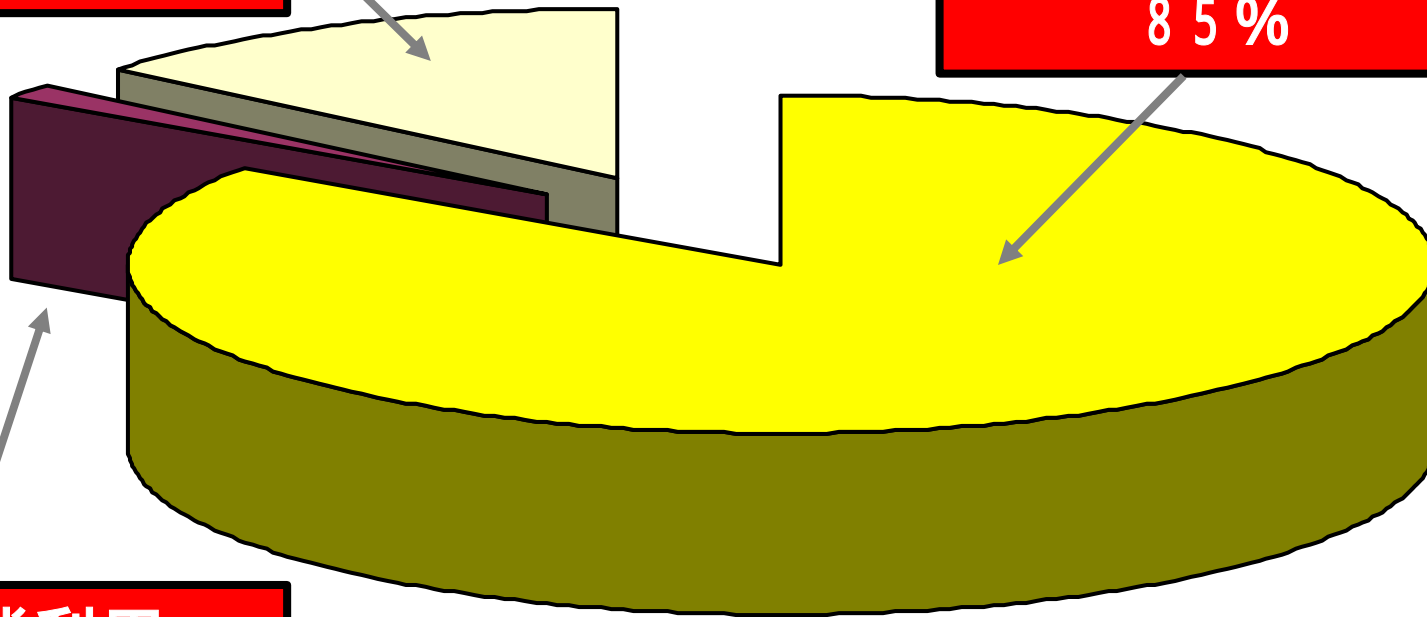
- 各分野の割合 -

医学・医療利用
(1兆2千億円)
14%

工業利用
(7兆3千億円)
85%

農業利用
(1,167億円)
1%

約8兆6千億円(GDPの1.7%)



電子加速器

工業用電子加速器		
分類	台数	
	米国(推定値)	日本
電線	50	51
発泡体	10	14
熱収縮	20	28
タイヤ	20	23
放射線硬化		46
排煙処理		4
滅菌・食品包装材	100	11
受託その他	20	16
研究開発		115
合計	220	308
出典：日本データは昨年の調査結果に基づく。		
米国データはWG推定値		

米国には未調査項目があるので、数値が判明している項目のみの比較では、米国220台に対して日本は143台となる。米国は滅菌・食品関連の台数が多い。

放射線の工業利用の拡がりと環境利用への期待

分野	目的	対象	利用例	(*:開発中)
工業利用	放射線加工	高分子材料の加工処理	電線ケーブル、熱収縮チューブ、断熱材、パッキング、緩衝材、ラジアルタイヤ、天然ゴム製品、耐熱セラミック繊維、テフロン微粉末、磁気テープ、塗装、ボタン型電池隔膜、純水製造用フィルター、脱臭吸着材等	
		半導体素子製造	半導体へのイオン打込み、電子線によるマスク・LSI製造、照射によるデバイスの抵抗制御、中性子照射ドーピング等	
	放射線滅菌	医療用器具	注射器、点滴用具、血液タンク、縫合糸、メス・ピンセット類、人工透析フィルター等	
		実験動物用飼料	ウサギ、モルモット等の飼料等	
	工業計測	センサー	紙・鋼板等の厚さ制御、オイルタンク等のレベル計、密度計、火災検知機、たばこ量目制御等	
		非破壊検査	溶接検査、圧力容器、パイプ内部、空港での検査等	
環境保全利用	環境浄化	排煙等の処理	火力発電所排煙処理(硫黄・窒素酸化物除去) 化学プロセス廃ガス中の有機塩素化合物除去*、 廃液中重金属除去* 等	
	害虫駆除等	殺菌 不妊化処理	汚泥殺菌・堆肥化*、下水放流水の殺菌*等 ウリミバエ、ミカンコバエ等の根絶等	

農業利用

保存のための食品照射(じゃがいも)

病害虫の駆除

植物の種子やカルスに対する

放射線照射による

突然変異の誘発を利用した植物育種

農業利用

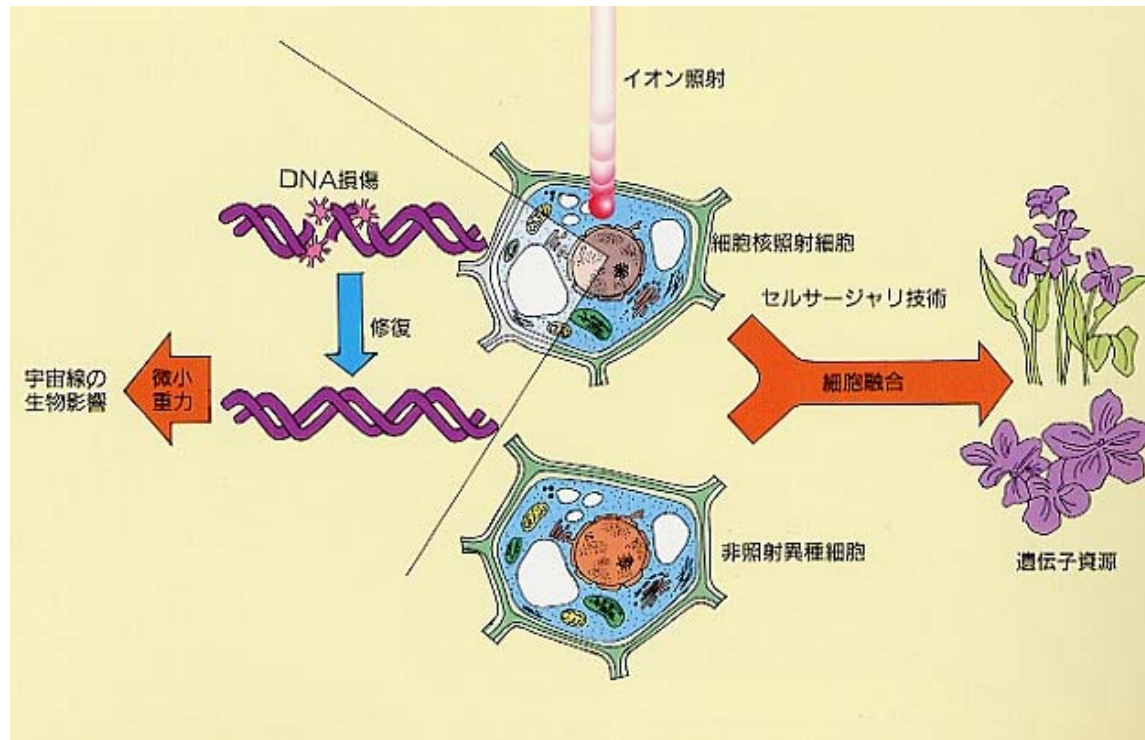
イオンビームの生物応用

局所的に大きなエネルギーの付与

線やX線とは異なる生物影響

収束性、深度制御性が良好

細胞加工・微細操作技術



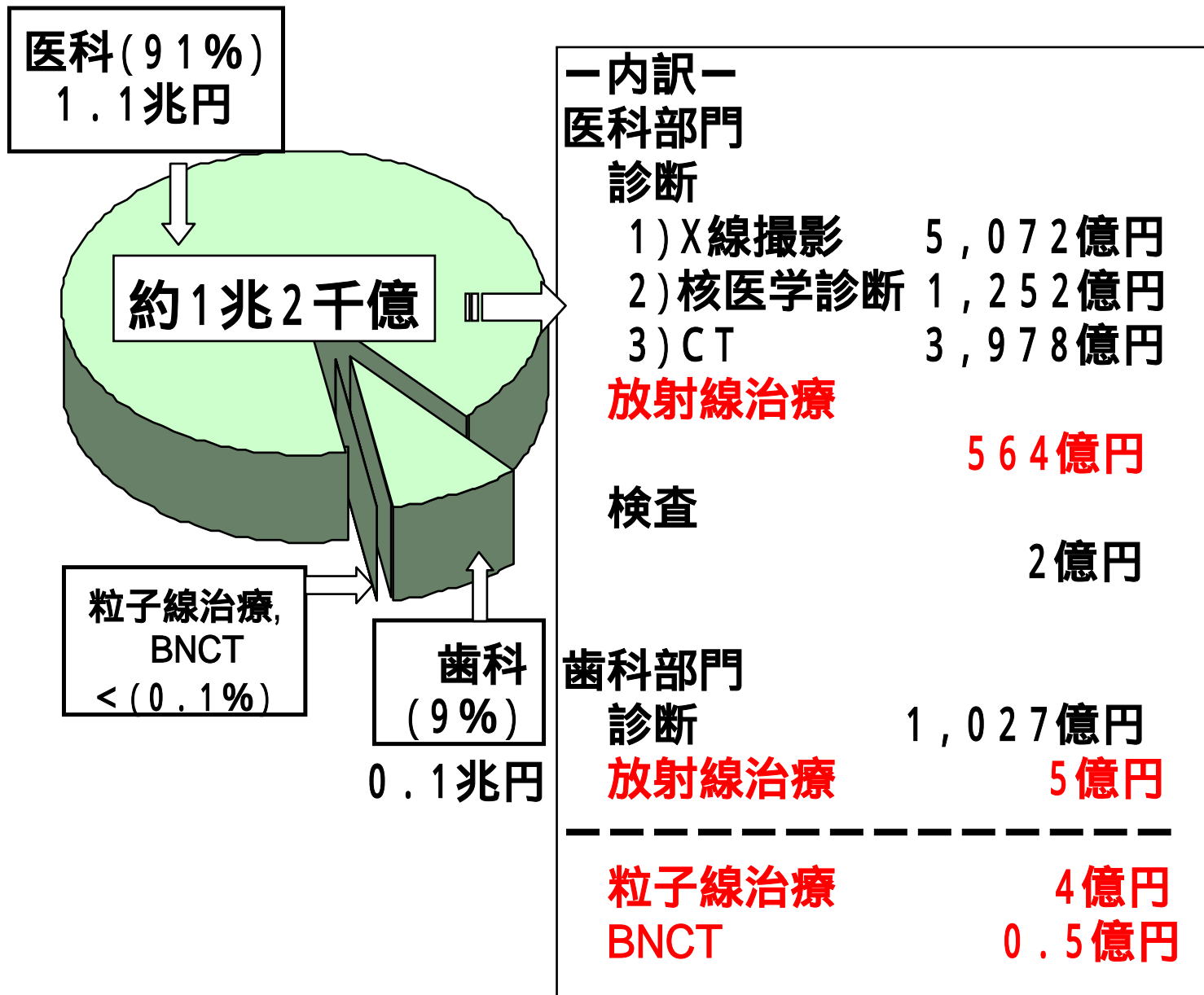
イオンビーム育種の例

炭素イオンビーム
照射で作られ
た様々な品種

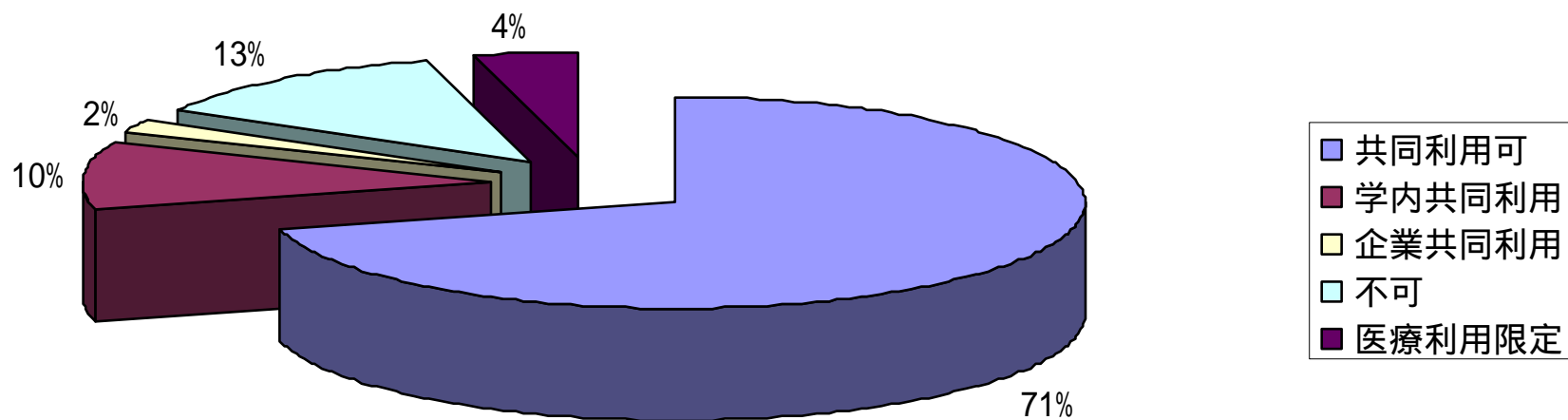
左上が原品種



医学・医療利用



各加速器施設の共同利用の可否



ユーザーからの共同利用への要望

(ユーザーの要望で、加速器を持つ各機関からの意見を取り入れていない)

加速器の共同利用体制の提案

(1)

共同利用加速器管理機構
ユーザーとの窓口
共同利用の成果のみで評価
実体的な機関

共同利用の
加速器の
運営・管理
の移管

大型加速器を持つ各機関

加速器の共同利用体制の提案

(2)

加速器の共同利用に関する
一括管理機構
ユーザーとの窓口
共同利用の成果のみで評価
バーチャルな機関

共同利用のユー
ザー
に対する
窓口の運営・

大学・研究所の中小加速器
を持つ各機関

放射線の産業への利用

既に定着した技術の特徴

透過性を利用

工業計測、放射線滅菌

電離・励起作用を利用

切断と橋架けの利用、有機化学反応の利用

低い線量で効果の現れる高分子材料が対象

加速器利用の今後の発展についての課題

既存利用技術の展開

新しい利用分野の開拓

加速器の小型化(利用に必要な十分な性能)

適切な規制

新しい利用技術の開発

新しい利用技術を開発するための仕組みが極端に脆弱

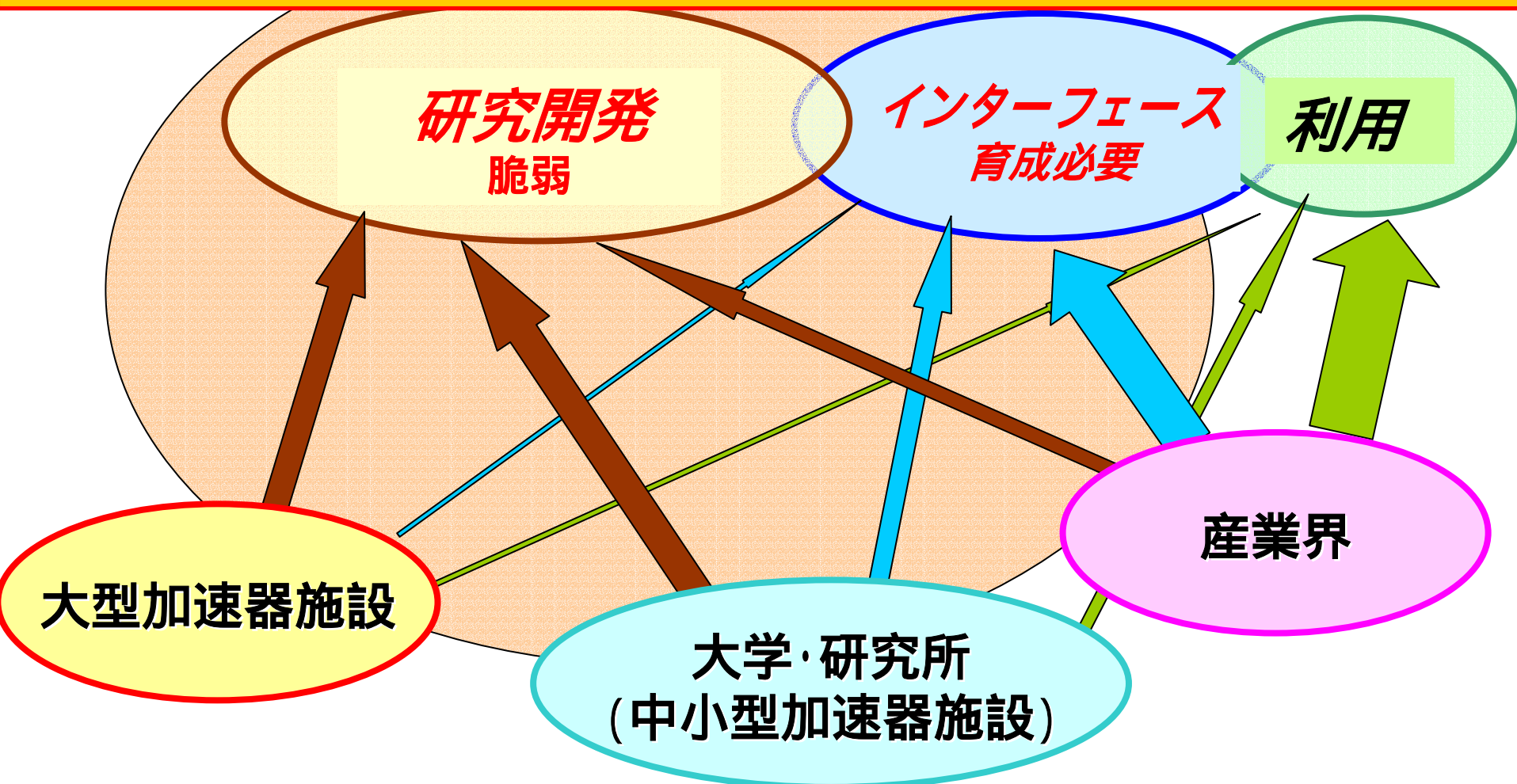
加速器・放射線の産業利用の特徴

- **放射線利用技術の拡大**: 放射線の経済規模の拡大 (GDP の 1.7%) 及び国民生活への寄与が広い分野で定着
- **基盤技術**: 放射線利用の基盤技術、特に新しい放射線利用技術開発の仕組みが極端に脆弱
さらに、後継者難で技術継承が困難になってきている。
- **代替技術への転換**: 化学プロセスなどでは放射線で開発し、他プロセスで実用化 (フッ素樹脂など) された例が多い。
- **代替技術への転換が困難な例**: 放射線との物質との相互作用、放射線の透過性、放射線の波長が短いことなどの放射線自身の本質的な性質を利用しているもの

加速器利用の基盤技術研究開発と産業界への技術移転

加速器研究開発利用推進機構(実体、バーチャル)

企画推進 長期的視野に立った個別と全体計画立案、研究の組織化と推進
評価システムの構築 基礎基盤研究の長期的視野に立った評価、個別評価とともに全体への貢献の評価、代替手段への移行までの評価



次期加速器への要望

- 大型加速器施設**：大きなテーマ（物質構造、力、宇宙の起源）で世界一の研究、多様なユーザー、国民のコンセンサス
- **大学・研究所の中小型加速器**：特徴あるテーマで世界一（世界で最も高い時間分解能で放射線化学反応を見る。）もしくは国として重要性のある研究、多様な研究者の要望にも対応、教育・研究者育成
 - **産業界**：小型、汎用でなく専用、新しい加速器の開発：用途に必要な十分な機能、経済性、空間性、安全性
（問題：新しい産業分野の育成の仕組みと脆弱な放射線利用技術開発体制の創成、技術継承、適切な規制）
 - **医療**：小型化と専用化：イオン（治療・PET）、電子・X線変換（治療、診断）（問題：専用小型加速器のみでなく、治療では全体システム、人材育成などの整備が急務）

将来のナノ加工の研究体制：次世代リソグラフィとナノテクノロジー

電子線・X線誘起反応の解析とナノ加工用材料創成・プロセス開発の融合は不可欠

リソグラフィのロードマップ : $k_1 \cdot \lambda / NA$ ITRS2001 (Sc3.7) Edition

Year	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Technology Node	130			90			65			45		
Lithography Solution	248nm			193nm			157nm			EUV (X線縮小露光)		
							EPL (電子線一括露光)					

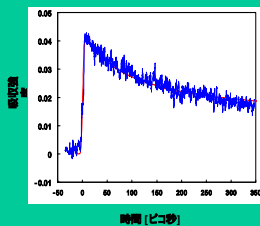
調べる

作る

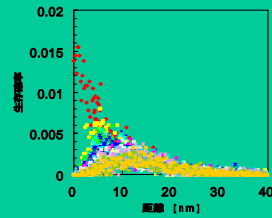
フェムト秒・ナノ空間反応解析



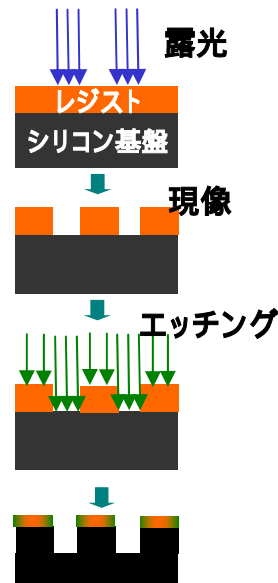
電子線形加速器
(ライナック)



時間



空間



高性能ナノファブリケーション開発



電子線露光機

現像装置



リアクティブ
イオン エッチング

陽子・重イオン治療

特長

陽子、炭素イオンなど荷電粒子は止まる寸前に、電離・励起作用がピークになる（ブラッグピーク）

がん細胞周辺の正常細胞の損傷がきわめて少ない

今後の課題

1. 運転・維持が楽で、がん治療に必要な十分な性能の専用の小型加速器の開発
2. ヒューマンインターフェースの開発とそのための開発要素の研究
3. 粒子線加速器（重粒子線及び陽子線）のがん治療における顕著な成果を普及させていくのに必要な橋渡しの研究（トランスレーショナル・リサーチ）の充実
4. 医療利用の分野においては大規模な設備である加速器を、実用の場に整備していく枠組みの構築

加速器研究開発への国立大学法人化と原子力2法人統合の 長期的な視野から見た緊急の問題点

(1) 放射線・加速器の必要性

- 放射線を用いた研究: 多くのノーベル賞受賞者、強力な自然探求手段、最先端の科学への貢献
- 放射線・アイソトープを利用: 診断・計測・加工などの科学技術は広範な科学技術研究、医療、産業に深く浸透。科学技術と国民生活を支える不可欠な基盤技術。
- 放射線・アイソトープを利用した科学技術の高度化: 加速器が必須
- 原子力エネルギー研究: 基礎・基盤研究及び人材教育の面で、加速器は広く利用。加速器駆動炉などの加速器とエネルギー(中性子)発生研究が融合した例もある。

(2) 国立大学法人化に伴う加速器・放射線・アイソトープ関連施設と人材の維持の難しさ

- 国立大学法人化: 責任の国から大学への移行及び設備維持・安全管理・教育の費用の個々の施設から大学本部への移行は、個々の大学の加速器を全国の研究者が使用するという研究に個々の大学が責任と費用を負えるかという問題がある。国立大学法人化後、大学・研究所の加速器施設と国立大学にいる4万人以上の放射線・アイソトープの利用者の急激な減少の危惧がある。(同様に、大学では、既に大きく変質している原子力教育が更に弱体化する危惧はある。)
- 原子力2法人統合: 放射線・加速器研究開発と外部との連携・協力のあり方は重要な課題であるが、日本全体の放射線・加速器研究の施設の基盤と人材教育を確保する上でも影響は甚大である。

(3) 対策

- 国立大学法人化に伴って、一度止めると修復が困難な放射線・アイソトープの研究施設及び人材教育の基盤が大学から激減した時の科学全般、医療等の国民生活への影響を正確に調査、評価して、文部科学省や原子力委員会などが長期的に国全体の観点から対策を検討すべきである。
- 原子力2法人統合後も国全体のことを考えて、加速器設備等の原子力の基礎基盤研究設備の維持と大学・産業界と連携・協力を推進してゆくことを新法人の設置目的に明示すべきである。
- 原子力委員会の大学の研究への直接関与は文部科学省との関係で慎重に検討すべき点もあると思うが、原子力委員会が推進している大型加速器施設と放射線利用振興に支障が出るとされる放射線・アイソトープの研究施設や人材教育の基盤喪失への危惧については関与すべきである。資金面での原子力委員会の加速器への寄与の大きさを考えると、一般的な問題にも広い視点に立って適切な意見を発信してゆく必要があると思う。

結論

- **長期的な視野からの国家戦略**

我が国として加速器開発のあるべき方向性を出すことが必要

利用の多様性を考慮し、原子力委員会など個々の機関で適切な原案(大学関係者も含む広い視点からの検討?)を作成し、総合科学技術会議など適切な調整機関で調整することが必要では?

- **大学では個々の特徴を活かした夢のある研究推進の仕組みの創設**

競争資金等、夢のある研究を活性化させる仕組みを検討が重要

- **共同利用:効率的な運営方式の創設**

利用者と共同利用施設側の両者が協力して効率的な運営方式を創設することが重要

- **産業利用・医療の推進**

現状では脆弱な新しい利用技術の開発ができる仕組みの創設、利用目的に必要な性能を持つ運用・安全管理が容易な小型専用加速器の開発、人材育成の仕組みの創設

- **独法化、技術継承への対処**

長期的に国全体の観点から加速器の役割を評価して、時期的に緊急を要する一度止めると修復が困難な研究施設及び人材教育の基盤の喪失の対策が重要

- **大型施設への要望:開かれたり利用を担保(設置目的に明示)**

巨額の予算を用いた大型設備の有効利用を効率的に行なえるシステムの創設と産官学の連携・協力の推進を設置目的に明示することが重要