

国内外加速器（放射線発生装置）の 利用実態に関する調査

2002年10月21日

株式会社 三菱総合研究所

目 次

- はじめに
- 国内における加速器の保有・利用実態
- 欧米諸国における加速器利用の現状
- アジア諸国における加速器利用の現状
- 今後の加速器開発・利用における課題整理と対応のあり方検討

はじめに

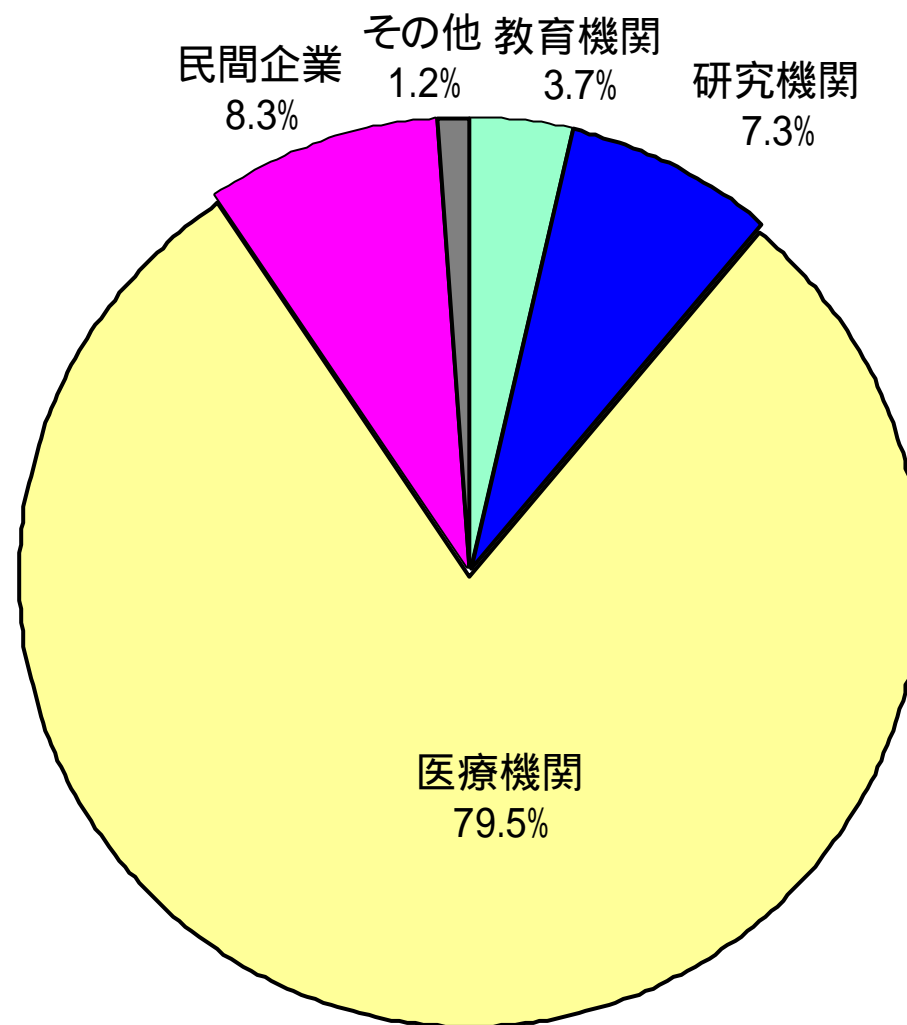
- 原子力委員会では研究開発専門部会に加速器検討会を設け、我が国全体の加速器の現状、及び利用実態を把握し、長期的視野に立った加速器開発・利用のあり方について検討を行うこととしている。
- 本調査では国内の加速器については把握しうる全ての施設に対しアンケート調査を行うことで、施設概要、利用実態（利用目的、利用頻度等）、ニーズ等を把握、分析し、データベース化を図ることで前記検討会での議論の基礎データに資することを目的に実施した。
- 参考としての位置づけにおいて、国外の主要な加速器についても文献調査等によりその実態把握を行った。

国内における加速器の 保有・利用実態

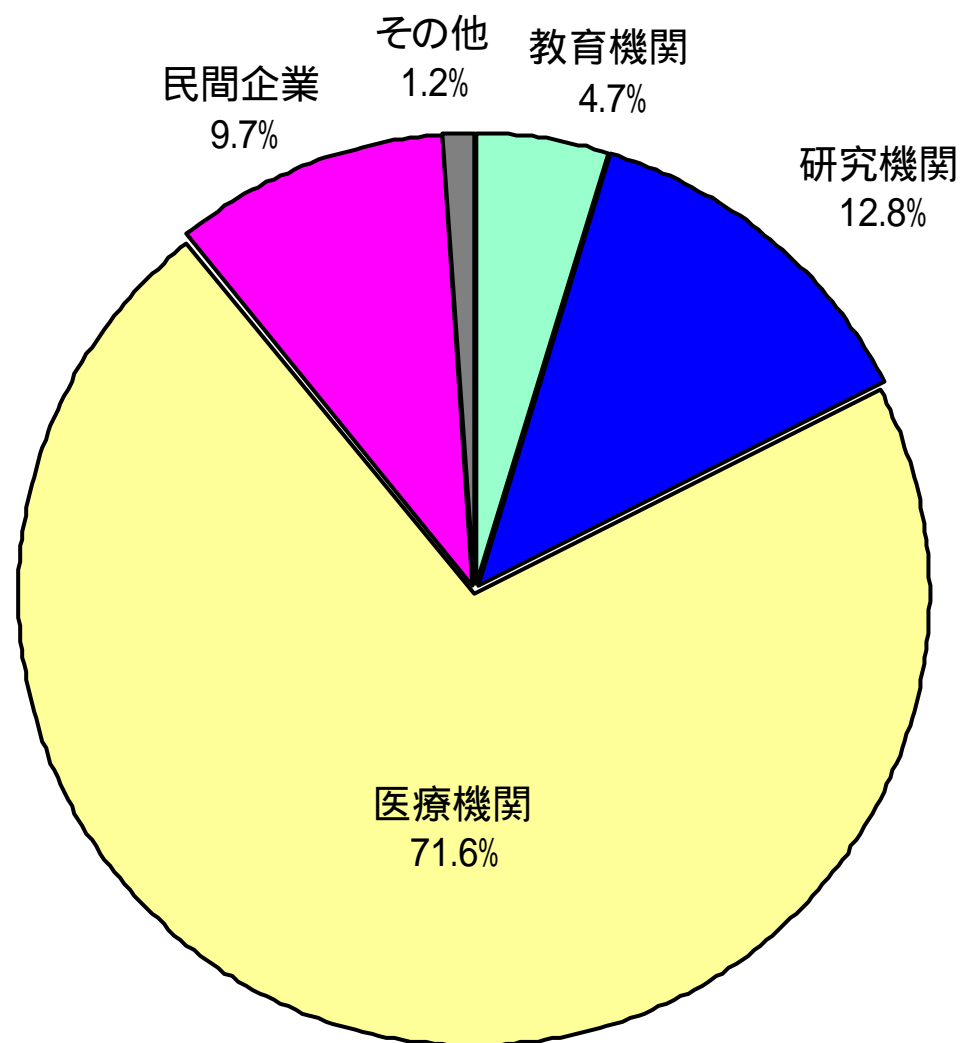
アンケート対象及び有効回答数

- アンケート調査の発送先は国内の加速器保有機関853機関であり、これらには公立・民間の医療機関、大学等の教育機関、国等の公立研究機関（独立行政法人含む）、民間企業等を含んでいる。
- アンケート調査を実施するにあたっては、文部科学省放射線規制室が保有する放射線発生装置設置に係る認可手続き、届け出手続き関連データを活用した。これらデータに基づき、関連機関853ヶ所を抽出（加速器複数台保有も含む）し、アンケート票を作成し郵送にて送付した。
- 回収された調査票から、有効な回答を得られた全機関数はN=672であった。

加速器所有機関の属性（機関数N=672）



加速器所有機関の属性（装置数：n=868）



加速器の形式

		調査数	サイクロトロン	シンクロトロン	シンクロサイクロトロン	ライナック	ベータトロン	ファン・デ・グラーフ加速装置	コッククロフト・ワルトン加速装置	変圧器型加速装置	マイクロトロン	プラズマ発生装置	蓄積リング	入射器	その他
実数	全 体	814	44	14	1	633	1	29	49	5	19	-	11	2	6
	教育機関	39	-	-	1	9	-	10	11	1	3	-	3	-	1
	研究機関	96	12	8	-	26	-	18	20	1	1	-	6	-	4
	医療機関	597	22	2	-	556	1	-	-	-	15	-	-	-	1
	民間企業	74	9	4	-	38	-	-	16	3	-	-	2	2	-
	その他	8	1	-	-	4	-	1	2	-	-	-	-	-	-

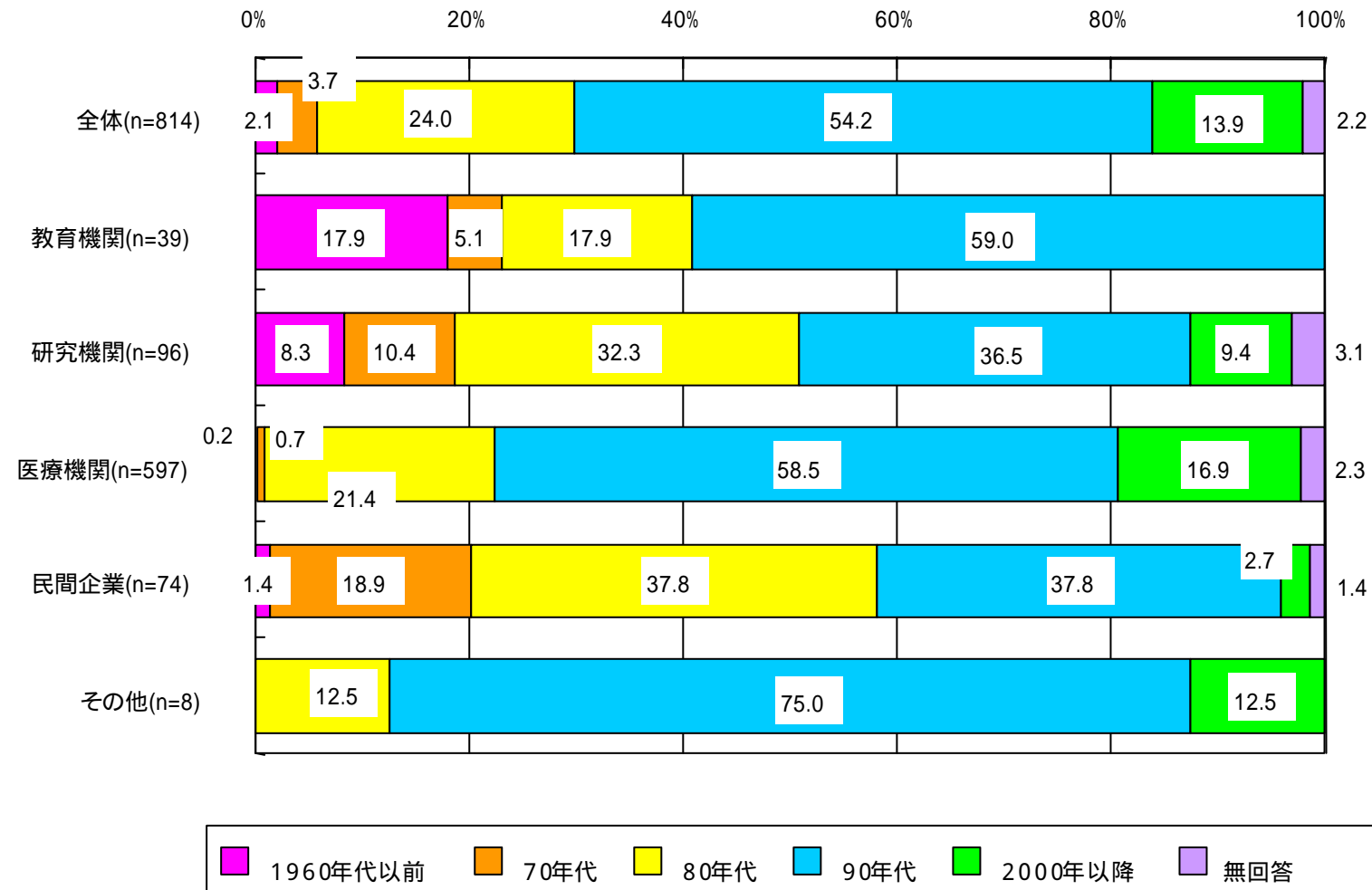
横集計 %	全 体	100.0	5.4	1.7	0.1	77.8	0.1	3.6	6.0	0.6	2.3	-	1.4	0.2	0.7
	教育機関	100.0	-	-	2.6	23.1	-	25.6	28.2	2.6	7.7	-	7.7	-	2.6
	研究機関	100.0	12.5	8.3	-	27.1	-	18.8	20.8	1.0	1.0	-	6.3	-	4.2
	医療機関	100.0	3.7	0.3	-	93.1	0.2	-	-	-	2.5	-	-	-	0.2
	民間企業	100.0	12.2	5.4	-	51.4	-	-	21.6	4.1	-	-	2.7	2.7	-
	その他	100.0	12.5	-	-	50.0	-	12.5	25.0	-	-	-	-	-	-

縦集計 %	全 体	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-	100.0	100.0	100.0
	教育機関	4.8	-	-	100.0	1.4	-	34.5	22.4	20.0	15.8	-	27.3	-	16.7
	研究機関	11.8	27.3	57.1	-	4.1	-	62.1	40.8	20.0	5.3	-	54.5	-	66.7
	医療機関	73.3	50.0	14.3	-	87.8	100.0	-	-	-	78.9	-	-	-	16.7
	民間企業	9.1	20.5	28.6	-	6.0	-	-	32.7	60.0	-	-	18.2	100.0	-
	その他	1.0	2.3	-	-	0.6	-	3.4	4.1	-	-	-	-	-	-

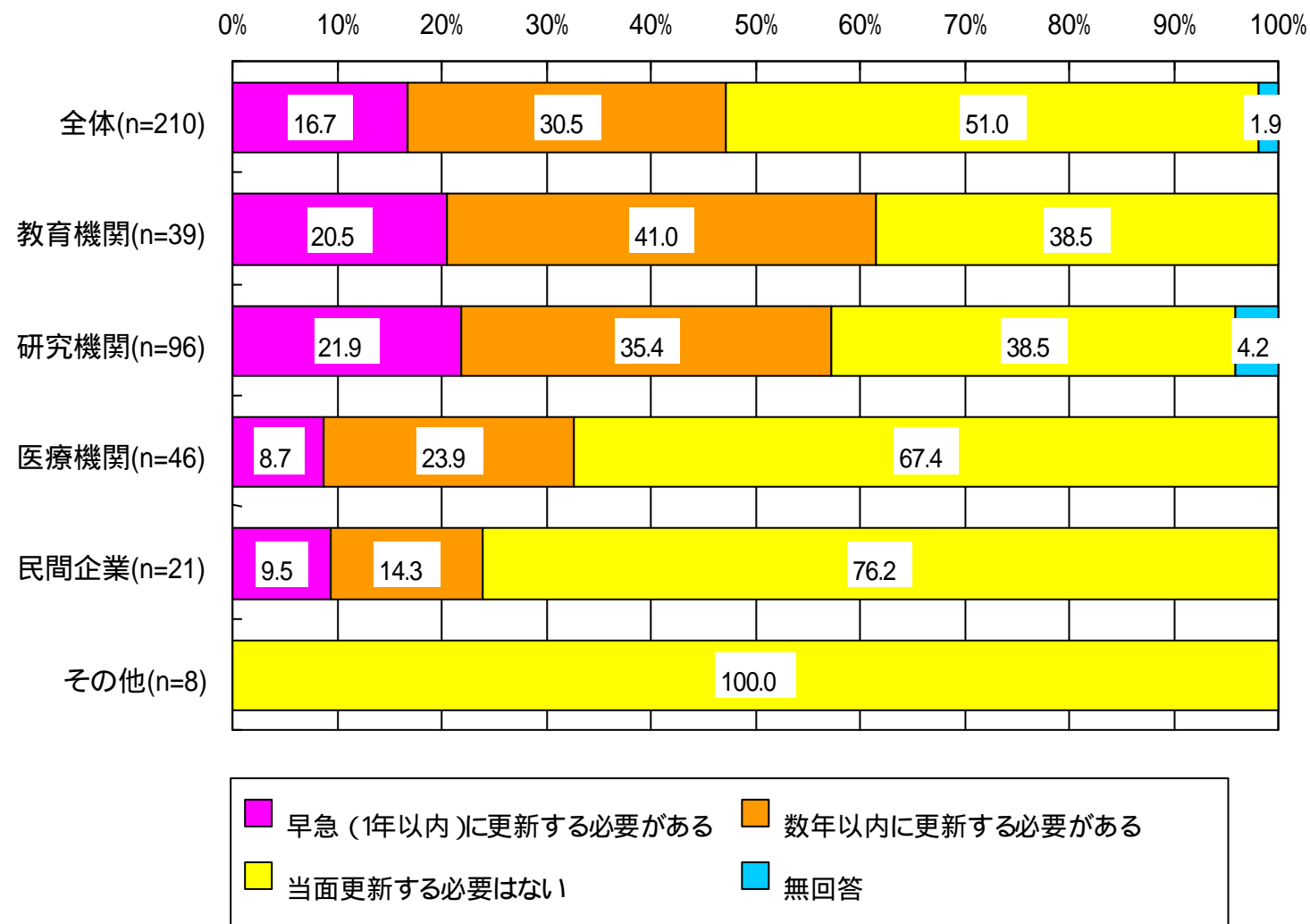
利用目的

		調査数	【基礎】 高エネルギー物理学	原子核物理学	原子・分子物理学	物質・材料科学	エネルギー科学	放射線化学	加速器開発	自由電子レーザー	フェムト秒現象解析	医療（研究）	生命科学	教育・訓練	【応用】 表面解析	微量元素分析	年代測定	医療（診断）	医療（治療）	ラジオグラフィ	非破壊検査	放射線加工	アイソトープ製造	その他	無回答
実数	全 体	814	11	23	39	70	21	25	49	11	6	86	24	37	38	40	11	22	567	18	35	28	27	32	13
	教育機関	39	6	9	11	19	9	6	8	5	1	3	5	14	6	13	4	-	2	1	1	1	-	-	4
	研究機関	96	4	14	27	44	12	15	31	6	3	17	19	15	26	22	6	5	4	6	4	13	8	13	6
	医療機関	597	1	-	-	-	-	-	4	-	-	65	-	7	-	-	-	16	560	5	-	-	10	1	3
	民間企業	74	-	-	1	5	-	4	6	-	2	1	-	-	4	4	-	-	1	5	28	14	8	17	-
	その他	8	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	1	-	1	2	-	1	1	-
横集計 %	全 体	100.0	1.4	2.8	4.8	8.6	2.6	3.1	6.0	1.4	0.7	10.6	2.9	4.5	4.7	4.9	1.4	2.7	69.7	2.2	4.3	3.4	3.3	3.9	1.6
	教育機関	100.0	15.4	23.1	28.2	48.7	23.1	15.4	20.5	12.8	2.6	7.7	12.8	35.9	15.4	33.3	10.3	-	5.1	2.6	2.6	2.6	-	-	10.3
	研究機関	100.0	4.2	14.6	28.1	45.8	12.5	15.6	32.3	6.3	3.1	17.7	19.8	15.6	27.1	22.9	6.3	5.2	4.2	6.3	4.2	13.5	8.3	13.5	6.3
	医療機関	100.0	0.2	-	-	-	-	-	0.7	-	-	10.9	-	1.2	-	-	-	2.7	93.8	0.8	-	-	1.7	0.2	0.5
	民間企業	100.0	-	-	1.4	6.8	-	5.4	8.1	-	2.7	1.4	-	-	5.4	5.4	-	-	1.4	6.8	37.8	18.9	10.8	23.0	-
	その他	100.0	-	-	-	25.0	-	-	-	-	-	-	-	12.5	25.0	12.5	12.5	12.5	-	12.5	25.0	-	12.5	12.5	-
縦集計 %	全 体	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	教育機関	4.8	54.5	39.1	28.2	27.1	42.9	24.0	16.3	45.5	16.7	3.5	20.8	37.8	15.8	32.5	36.4	-	0.4	5.6	2.9	3.6	-	-	30.8
	研究機関	11.8	36.4	60.9	69.2	62.9	57.1	60.0	63.3	54.5	50.0	19.8	79.2	40.5	68.4	55.0	54.5	22.7	0.7	33.3	11.4	46.4	29.6	40.6	46.2
	医療機関	73.3	9.1	-	-	-	-	-	8.2	-	-	75.6	-	18.9	-	-	-	72.7	98.8	27.8	-	-	37.0	3.1	23.1
	民間企業	9.1	-	-	2.6	7.1	-	16.0	12.2	-	33.3	1.2	-	-	10.5	10.0	-	-	0.2	27.8	80.0	50.0	29.6	53.1	-
	その他	1.0	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	2.7	5.3	2.5	9.1	4.5	-	5.6	5.7	-	3.7	3.1	-

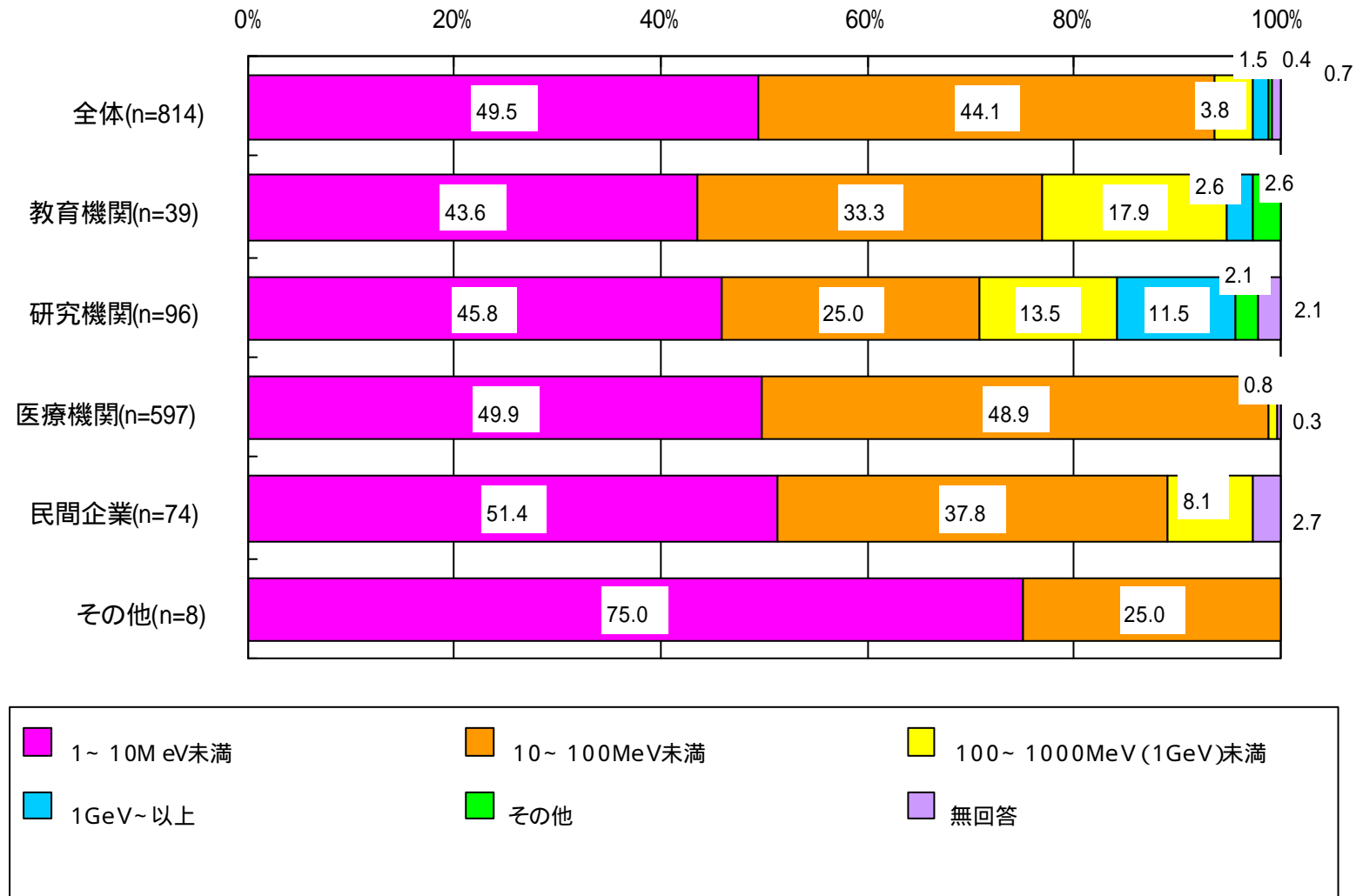
設置年月



更新・改良の必要性



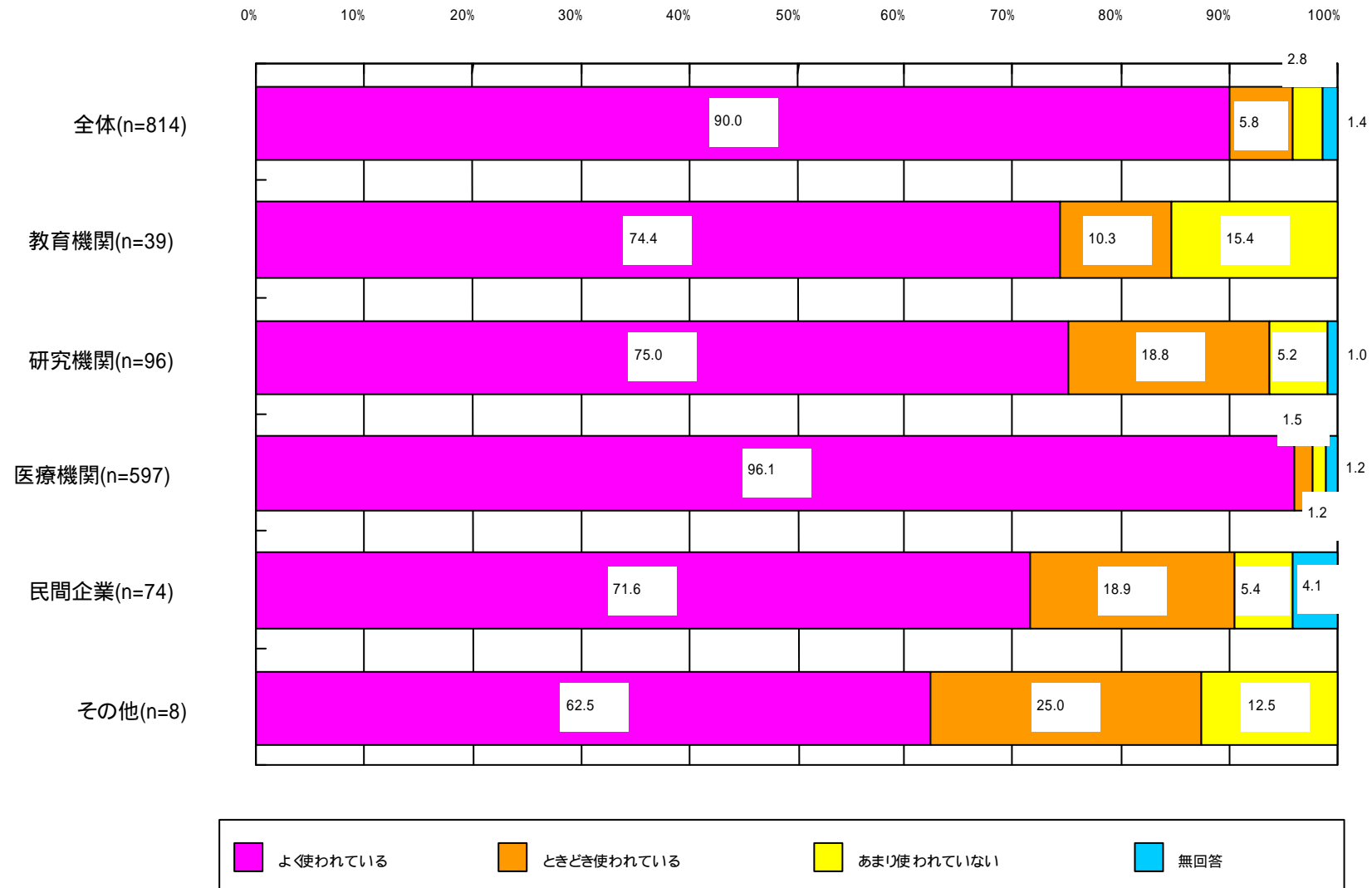
最大ビームエネルギー



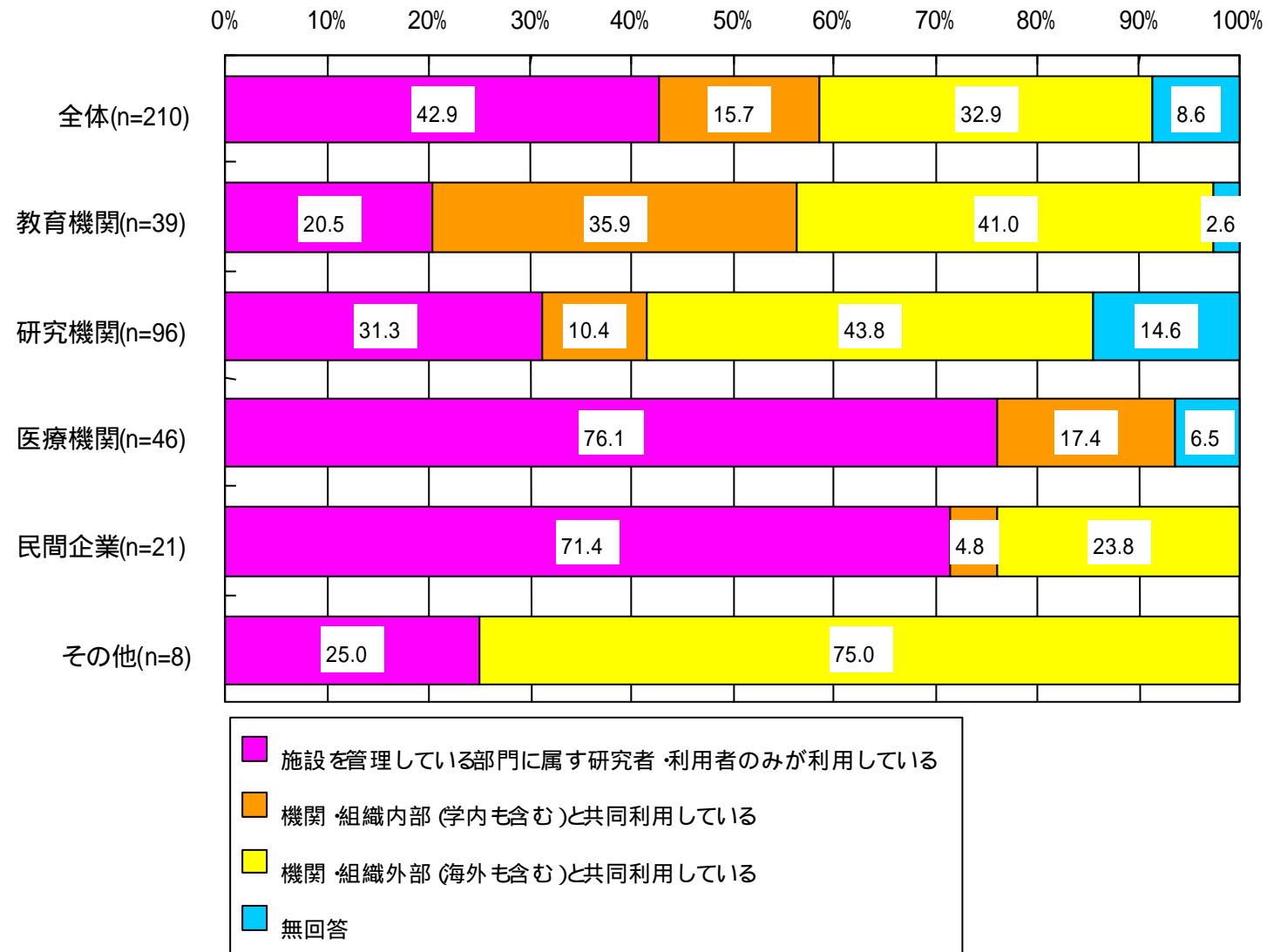
加速粒子

		調査数	【一次粒子】 電子（線）	陽電子	陽子	重陽子	ヘリウム3	ヘリウム4	イオン	その他	【二次粒子】 中性子	X線	ニュートリノ	イオン	その他	無回答
実数	全 体	814	640	9	90	59	29	41	55	5	56	609	-	5	19	9
	教育機関	39	18	-	13	11	6	10	11	1	9	13	-	-	3	-
	研究機関	96	36	6	38	28	17	28	33	2	15	9	-	5	9	2
	医療機関	597	525	2	28	16	1	-	6	-	27	530	-	-	6	5
	民間企業	74	58	1	10	3	5	3	2	1	5	52	-	-	1	2
	その他	8	3	-	1	1	-	-	3	1	-	5	-	-	-	-
横集計 %	全 体	100.0	78.6	1.1	11.1	7.2	3.6	5.0	6.8	0.6	6.9	74.8	-	0.6	2.3	1.1
	教育機関	100.0	46.2	-	33.3	28.2	15.4	25.6	28.2	2.6	23.1	33.3	-	-	7.7	-
	研究機関	100.0	37.5	6.3	39.6	29.2	17.7	29.2	34.4	2.1	15.6	9.4	-	5.2	9.4	2.1
	医療機関	100.0	87.9	0.3	4.7	2.7	0.2	-	1.0	-	4.5	88.8	-	-	1.0	0.8
	民間企業	100.0	78.4	1.4	13.5	4.1	6.8	4.1	2.7	1.4	6.8	70.3	-	-	1.4	2.7
	その他	100.0	37.5	-	12.5	12.5	-	-	37.5	12.5	-	62.5	-	-	-	-
縦集計 %	全 体	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-	100.0	100.0	100.0
	教育機関	4.8	2.8	-	14.4	18.6	20.7	24.4	20.0	20.0	16.1	2.1	-	-	15.8	-
	研究機関	11.8	5.6	66.7	42.2	47.5	58.6	68.3	60.0	40.0	26.8	1.5	-	100.0	47.4	22.2
	医療機関	73.3	82.0	22.2	31.1	27.1	3.4	-	10.9	-	48.2	87.0	-	-	31.6	55.6
	民間企業	9.1	9.1	11.1	11.1	5.1	17.2	7.3	3.6	20.0	8.9	8.5	-	-	5.3	22.2
	その他	1.0	0.5	-	1.1	1.7	-	-	5.5	20.0	-	0.8	-	-	-	-

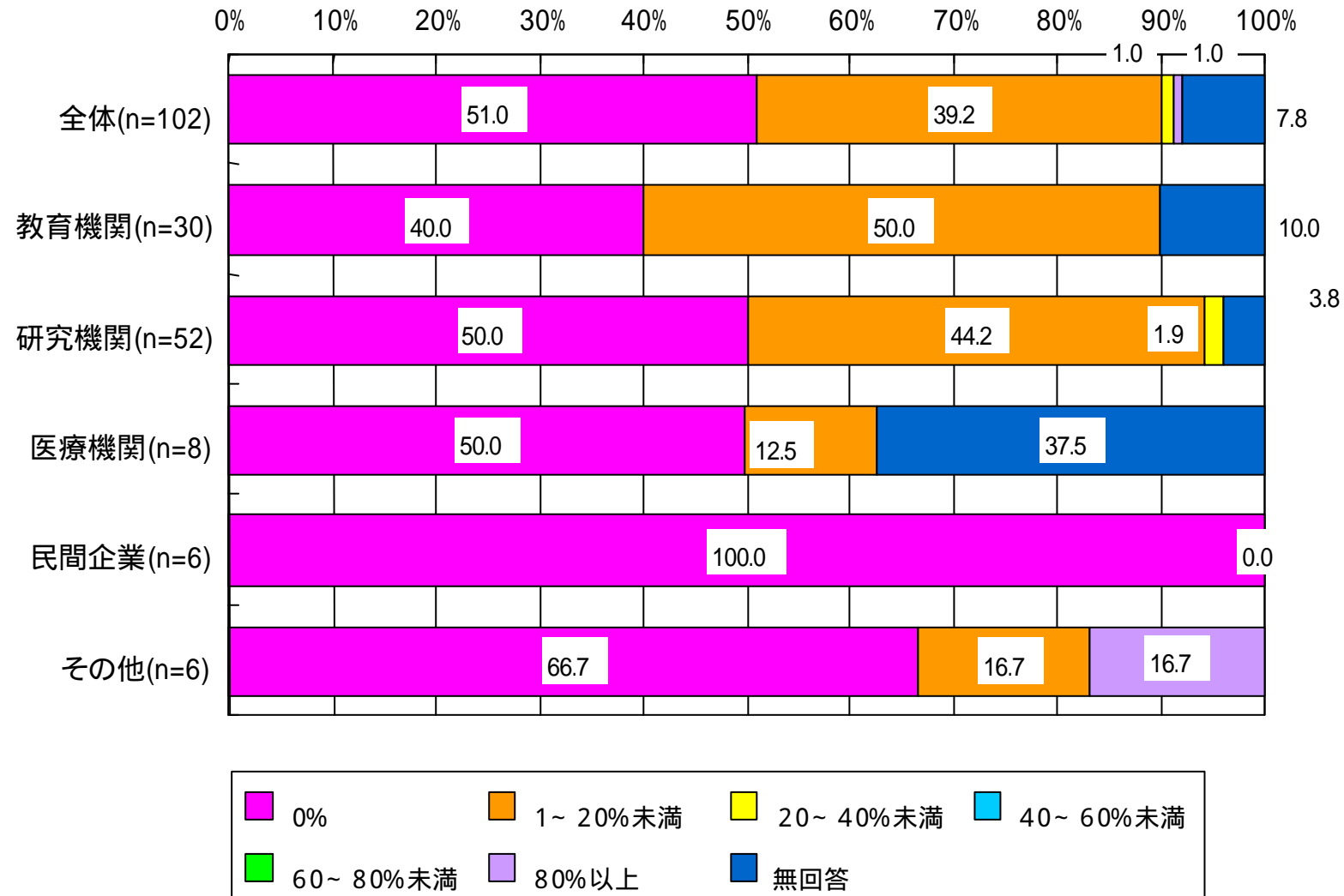
稼動状況



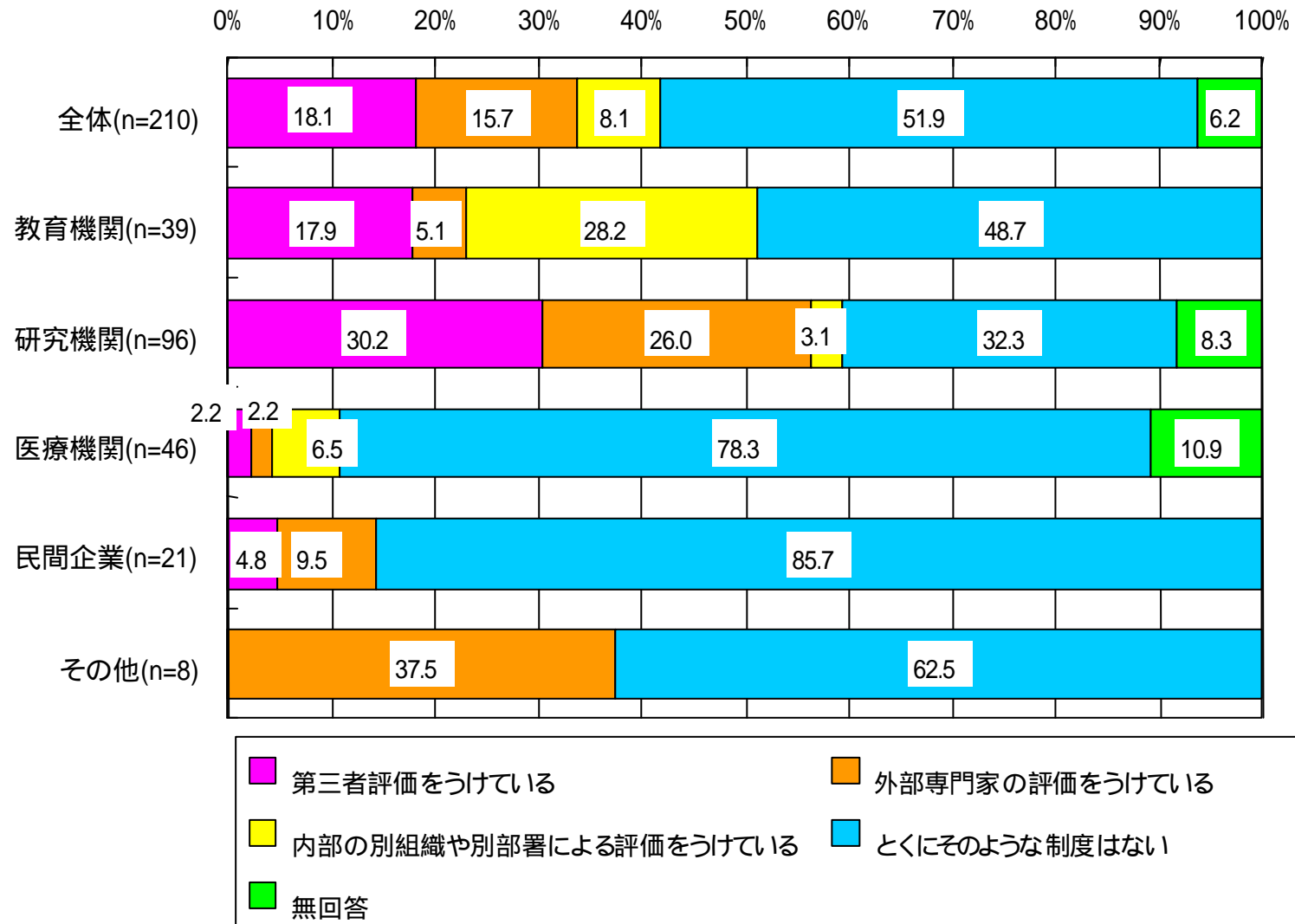
共同利用



海外機関・組織との共同利用



第三者評価 外部評価



アンケート調査のまとめ

(1)加速器を所有する機関・組織および目的

- 我が国の加速器の約 7割が医療機関に設置されている
- 教育機関・研究機関が所有する比率はそれぞれ4.8%、12.7% (装置ベース)
 - 加速器の開発・利用の最先端を担うべき機関が所有する加速器は、両機関属性を合わせても17%程度に過ぎない
 - これらの機関では、加速器科学、原子・分子物理学、物質・材料科学の基礎研究分野から、表面解析や微量元素分析などの応用分野まで広範囲にわたって加速器が利用されている
 - 古い年代 (60年代以前)に設置された加速器が多く、最先端研究を引き続きリードしていくためには、全面的または部分的にも大規模な改修または更新を求められている加速器が多い

(2)加速器の仕様

- **加速器の型式**

- 我が国の加速器の8割弱がライナックである (医療用加速器の分野ではライナックが主流であることが要因)

- **加速粒子**

- 医学利用の立場から電子 (線)、X線が極めて多く扱われている
- 基礎研究や医学利用の立場から陽子、(重)イオン等も多く加速されている
- 基礎科学の分野では、陽子エネルギー1GeVの大強度陽子ビーム加速器の建設が検討されている
- 医学利用の分野では250MeV前後の陽子ビームを利用した陽子線治療センター等の建設が計画され、実施され始めている

- **加速器のビームエネルギー**

- 数百MeVまでは主に医療 (治療) 利用が主である
- 100MeV以上の加速器は、原子・分子物理学、物質・材料科学、加速器開発などの基礎研究・開発に利用されている

(3)加速器の利用・管理

- **稼動状況**

- 我が国の加速器の9割は活発に利用されている
- 研究・教育機関で使用されている加速器の一部で設備・施設の老朽化が進んでいるため、稼動状況が低下し、更新・改修が必要

- **共同利用**

- 基礎科学では、原子核物理学、原子・分子物理学、物質・材料科学、エネルギー科学、放射線化学、加速器開発、医療（研究）、生命科学、教育訓練等の分野で共同利用が活発に行われている
- 応用分野では、表面解析、微量元素分析、医療（治療）の分野で共同利用が活発に行われている
- 民間企業では受託測定事業があり、加速器を自ら持たない組織・機関においても加速器を利用した測定・分析法を試みることができる

- **第三者評価 外部評価制度**

- 教育機関、研究機関が所有する加速器の5割は、何らかの第三者評価・外部評価を1年から数年に一度以上の頻度で受けている

欧米諸国における加速器利用の現状(#1)

- **衝突型加速器**

- 陽子の衝突型加速器は、CERNにおいて周長28 kmのLHC (Large Hadron Collider)が建設中。
- 電子は周回軌道では放射光によるエネルギー損失の為、衝突型加速器では加速されるエネルギーに限界が生じる(周長28 kmのCERNのLEPで104.5 GeV)。そこで対向する2台の長い直線加速器により、反対方向に加速された電子を衝突させるリニアークライダーの開発が、米国、ドイツ、スイスと日本で進められている。

- **放射光施設**

- 6～8GeVと言う最も高いエネルギー領域の放射光施設が、米国、フランス、日本にある。

- **パルス中性子線源**

- 最も強力な施設はイギリスにある。米国ではローレンス・バークレー国立研究所、ロス・アラモス国立研究所、アルゴンヌ国立研究所、ブルックヘブン国立研究所が協同して、オークリッジ国立研究所に強力な中性子線源SNSを建設中である

欧米諸国における加速器利用の現状(#2)

- **医療目的サイクロトロン**

- パルス中性子源の加速器よりはビーム強度は遥かに低いけれども、エネルギーでは大差のない加速器が、がんの重粒子線治療に使われている。陽子線を用いる医療施設は、米国に2ヶ所、フランスに1ヶ所ある。後者では原子核研究用シンクロサイクロトロンを医療専用に転用した。スイスでは超伝導サイクロトロンを導入する医療専用施設が建設中である。

- **RI製造**

- 寿命の長いRI製造には中型サイクロトロンが使われ、PET診断用短寿命のRI製造用の小型サイクロトロンは病院に設置されている。この中にはイギリスから輸入された超伝導サイクロトロンがあり、米国、イタリア、オランダには研究用の大型の超伝導サイクロトロンがある

アジア諸国における加速器利用の現状

- 中国、マレーシア、韓国、ベトナム、インドネシア、インドについて調査
- 自国での加速器利用と日本との共同研究推進の必要性
 - 医療用、産業利用加速器等が設置されてきており、基礎科学から応用科学の諸分野での活発な利用。
 - 一方で、大型加速器、放射光源等は日本との共同研究として、我が国での研究開発拠点整備に対する期待も大きい。

今後の加速器開発・利用における課題整理と対応のあり方検討

(1)我が国における加速器利用の現状

- **我が国に設置されている加速器の約 7割が医療機関にある**
 - ガン治療などへの加速器の臨床応用は確実に広がってきている
- **約1割の加速器が民間企業において活用されている**
 - 加速器を線源とした放射線照射の工業利用も進展している
- **教育機関・研究機関が所有する加速器はそれぞれ4.8%、12.7%**
 - 加速器の開発・利用の最先端を担うべき機関が所有する加速器は、両機関属性を合わせても17%程度に過ぎない
 - これらの機関では、基礎研究分野から応用分野まで広範囲にわたって加速器が利用されている
 - 古い年代に設置された加速器が多く、最先端研究を引き続きリードしていくためには、全面的または部分的にも大規模な改修または更新を求められている

我が国の加速器利用の現状は、医療機関における治療用途が大多数を占めており、最先端の加速器科学の研究や人材育成を担う教育機関、および研究機関における加速器の実質的な台数は十分で有るとは言い難い

(2)加速器の管理・保守・共同利用

- **稼動状況**
 - 加速器の9割は活発に利用されている
- **古い年代に設置された加速器**
 - 稼動状況が低下し、更新・改修の必要性が高まっている。しかしながら、更新・改修費用負担の見込みのたっていない組織・機関が多く、加速器の設置に伴う費用の助成だけでなく、継続的な運転・保守コストへの費用助成を求める声も大きい。
- **共同利用**
 - 原子核物理学、原子・分子物理学、物質・材料科学、エネルギー科学、放射線化学、加速器開発、医療（研究）、生命科学、教育訓練等の分野で海外も含めた共同利用が活発に行われている

我が国に対しては、特に国際的な共同利用の仕組みの確立と推進は、アジア諸国で大型加速器を自ら持たない国の研究機関から求める声も高まっており、アジアのCERNのような役割を担っていくことが求められている。

(3)我が国における加速器開発・利用の推進に 求められていること

- 研究機関、教育機関

最先端の加速器科学研究レベルの維持、人材育成の観点、本分野における我が国のリーダーシップ発揮のためには、

- ・加速器利用基礎研究への支援（運転 保守コストへの支援含む）
- ・人材育成に係る体制整備
- ・大型プロジェクトの着実かつ効率的な推進
- ・アジアを含む国際共同利用の推進

が必要である

- 医療機関、民間企業

大型加速器とは区別して設置・廃止手続きの簡素化、加速器の規制エネルギー（現行1MeV以上）の緩和等、一段の規制緩和が望まれる