

# 理研RIビームファクトリー(RIBF)計画の現状



独立行政法人理化学研究所和光研究所  
フロンティア研究システム重イオン加速器科学研究プログラム  
プログラムディレクター 矢野 安重

RIビームファクトリー  
RIBF建屋完成



RIBF研究棟

RIBF加速器棟(地下)  
(2003年3月竣工)

RIBF実験棟(地下)  
(2005年5月23日竣工)



# RIビームファクトリー RIBFのRIビーム発生施設の建設

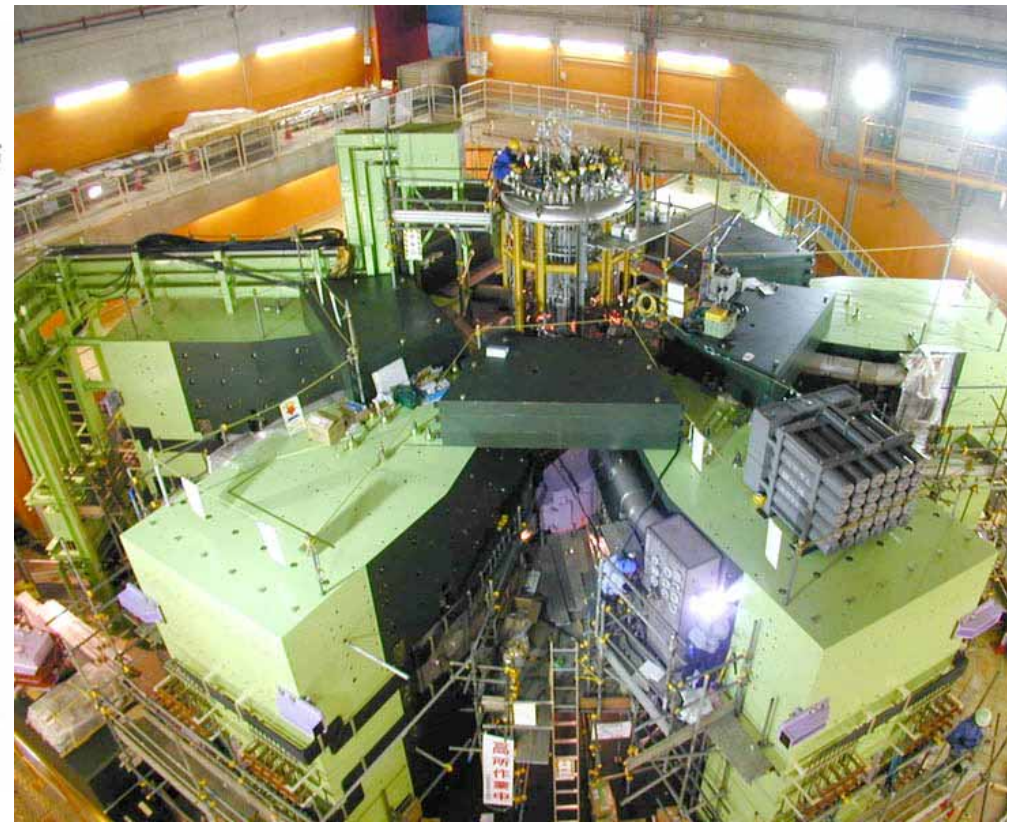
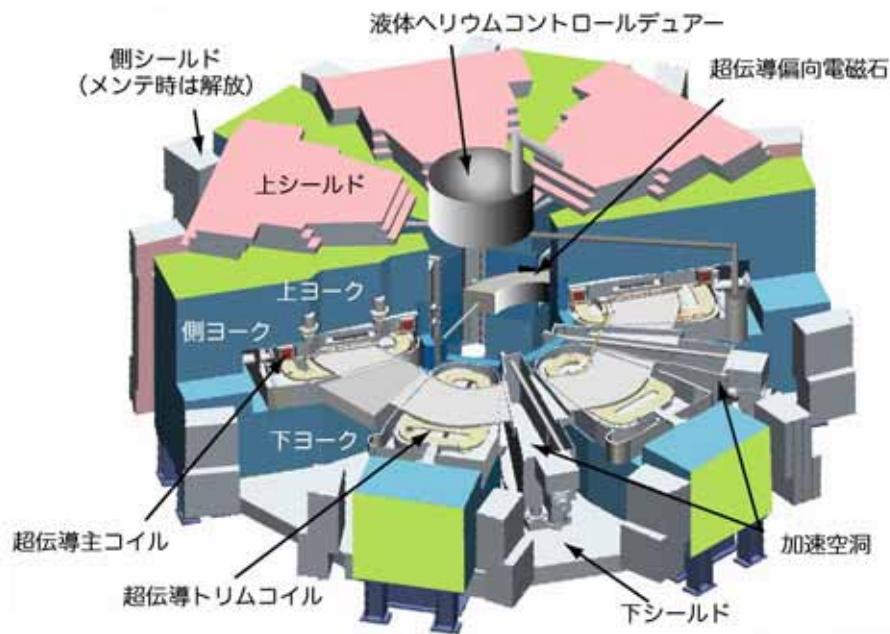
**AVF (AVFサイクロトロン)**  
**RRC (理研リングサイクロトロン)**  
**RILAC (理研重イオン線型加速器)**

**fIRC (固定周波数型リングサイクロトロン)**  
**IRC (中間段リングサイクロトロン)**  
**SRC (超伝導リングサイクロトロン)**  
**BigRIPS (超伝導RIビーム生成分離装置)**



# 超伝導リングサイクロトロン(SRC)世界初

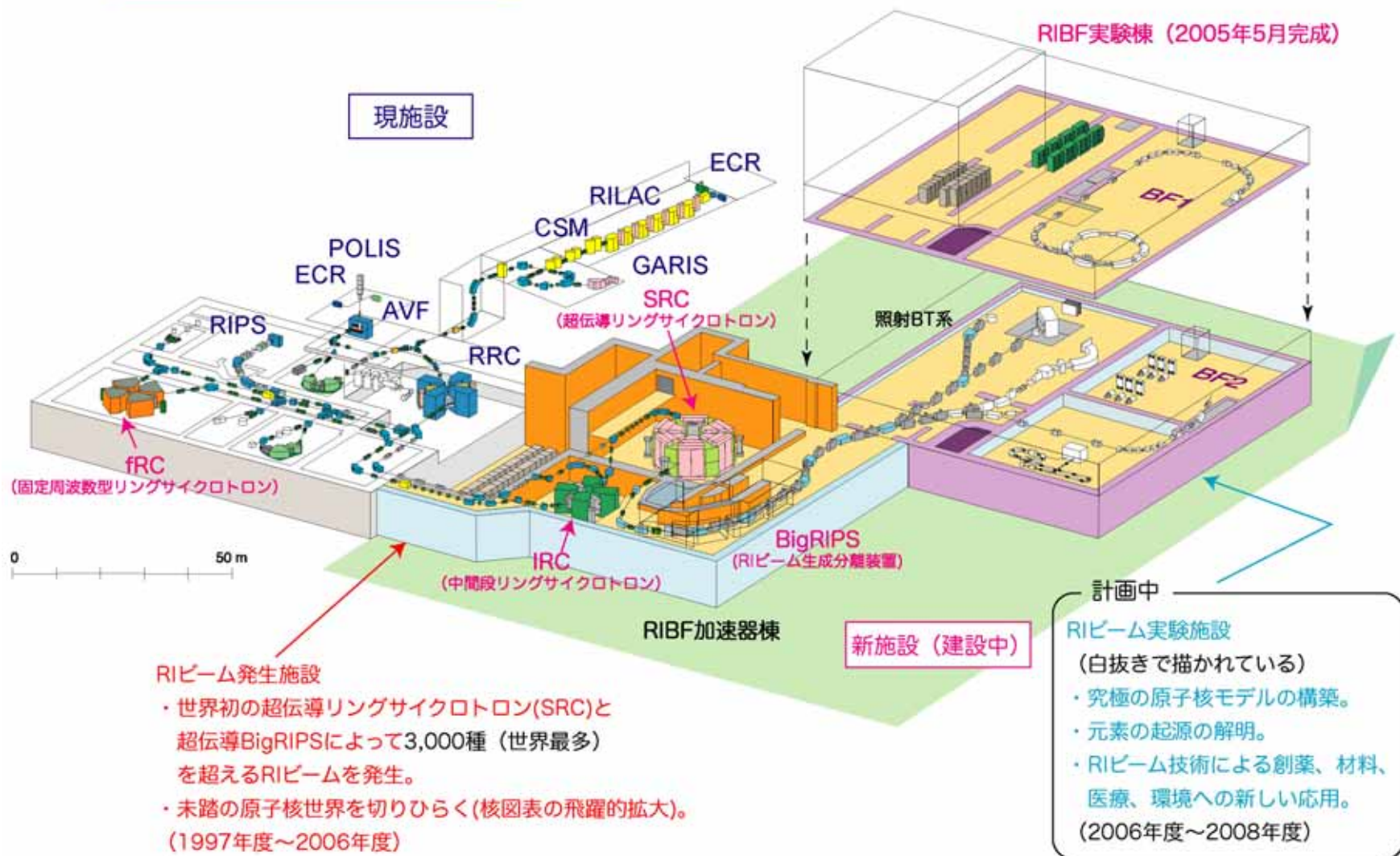
SRCは全体が純鉄のシールドで覆われた、総重量8300トンの「鉄の塊」タイプです。この構造を採用することによって「**史上最強のイオンビーム偏向能力**」(8Tm)を実現できるばかりか、**自己漏えい磁気遮蔽、自己漏えい放射線遮蔽**の機能を付加しています。



2005年5月撮影

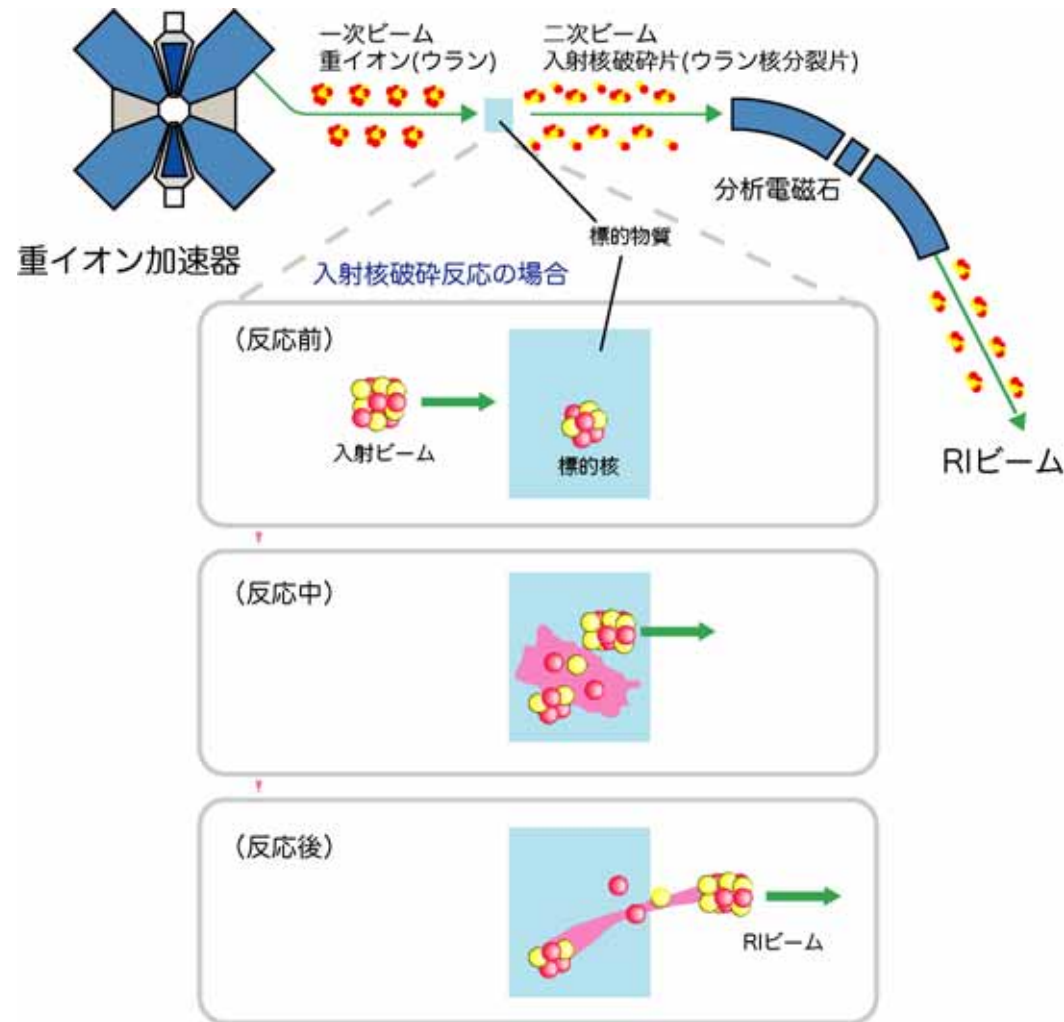
# RIビームファクトリー RIBF計画の概要

## RIビームファクトリー計画





# RIビームの発生



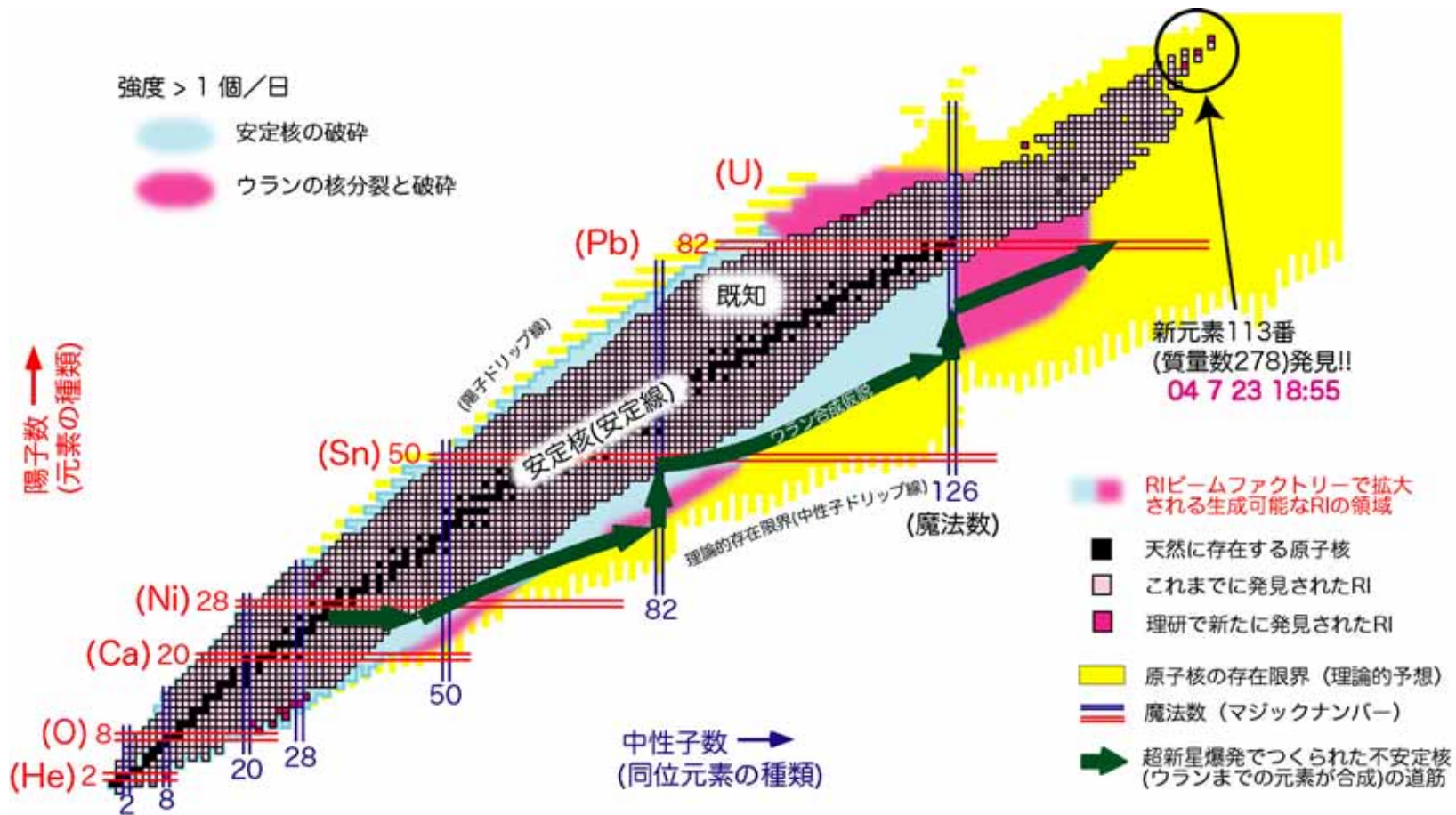
RIビームは、高エネルギー重イオンビームから「入射核破砕反応」によって発生します。また、質量数80および130の近傍のRIビームの発生には、さらに生成効率のよい「ウラン238の核分裂反応」を使います。

高エネルギー重イオン(入射核)を標的中の原子核と衝突させると、その一部が削り取られて種々のRIが生成されます(入射核破砕反応)。そのなかから種類のRIを電磁分離しビームとして利用します。この反応を用いて効率よくRIビームを生成するには、**重イオンビームは核子あたり100MeV(光速の約40%)以上のエネルギーをもつ必要があります。**

ウランの核分裂反応では、ウラン238が標的中の原子核の強い電場や核力によって質量数80と130近傍の原子核に効率よく分裂する現象を利用します。この反応を用いるには**ウランビームは核子あたり約400MeV(光速の約70%)のエネルギーが必要です。**

ポイント:両方とも、これ以上エネルギーを上げて生成効率はさほど上がりません。

# RIBFで得られる新同位元素(理論的予想)

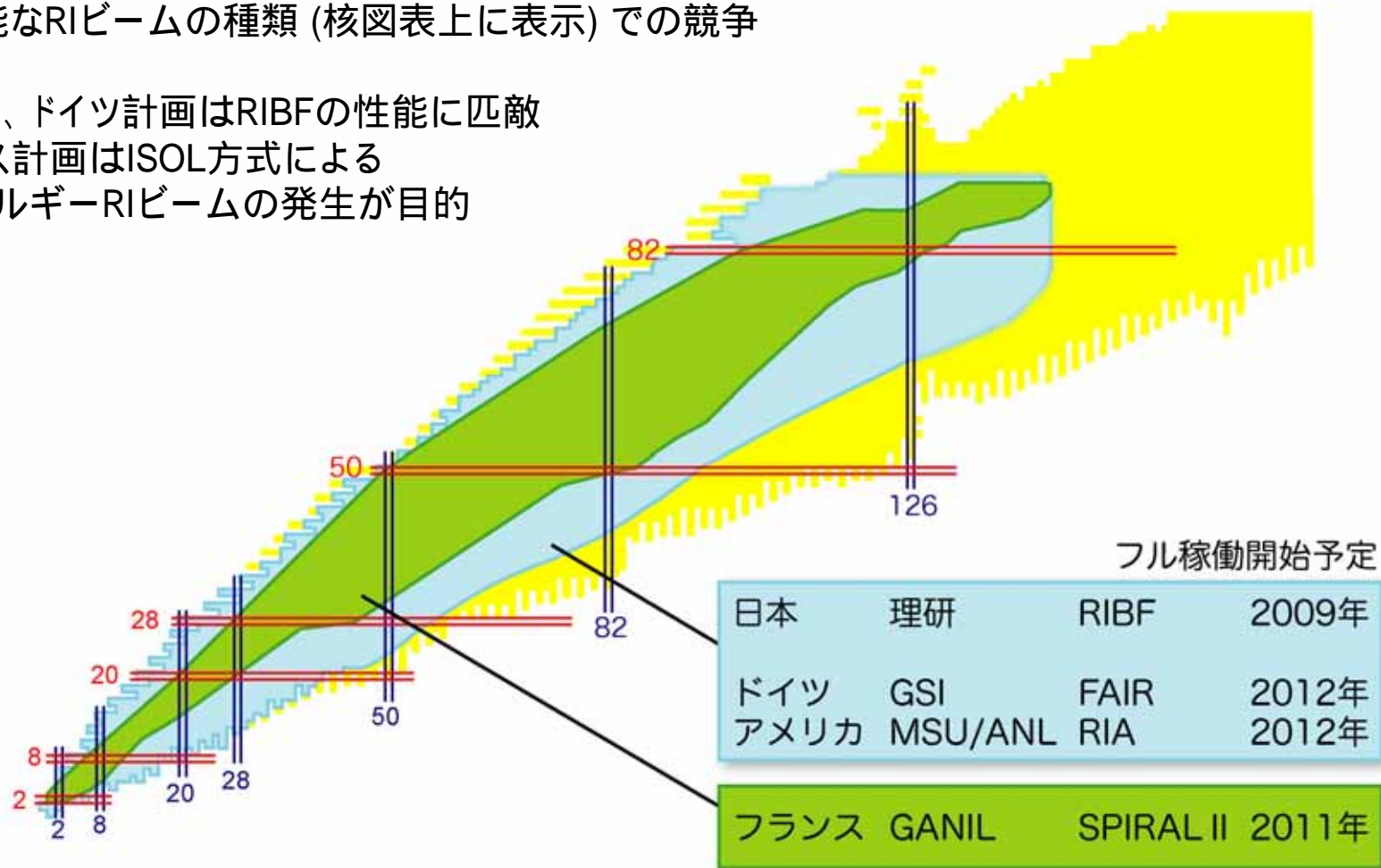


# RIBFの世界における位置付け

## アメリカ、ドイツ、フランスとの国際競争

発生可能なRIビームの種類 (核図表上に表示) での競争

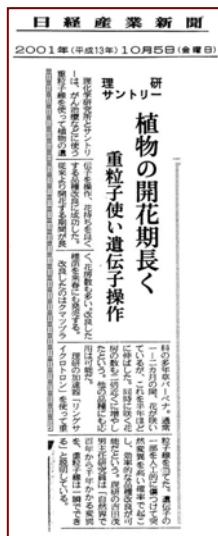
アメリカ、ドイツ計画はRIBFの性能に匹敵  
 フランス計画はISOL方式による  
 低エネルギーRIビームの発生が目的





# 現加速器施設での成果のハイライト

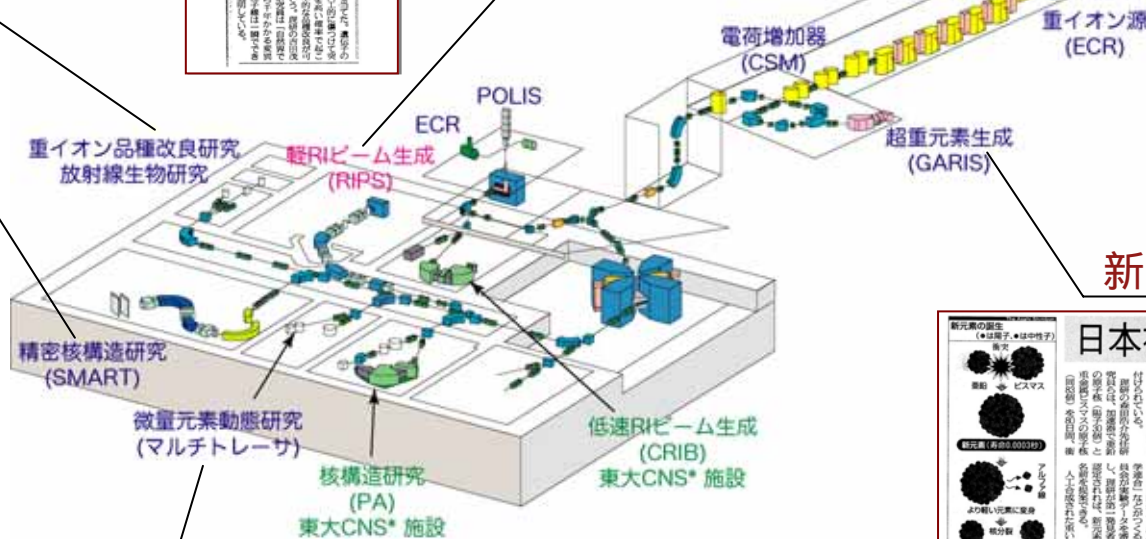
重イオンビームがん治療の開発  
重イオン品種改良法の発明



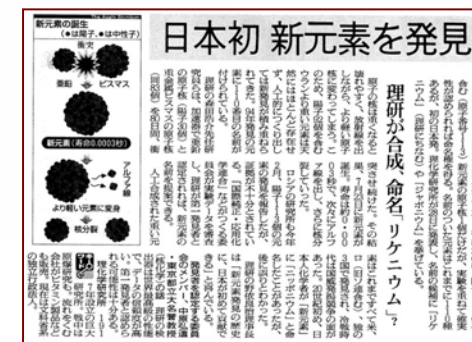
新同位元素の発見  
異常な核現象の発見



核内三体力の発見



新元素の発見



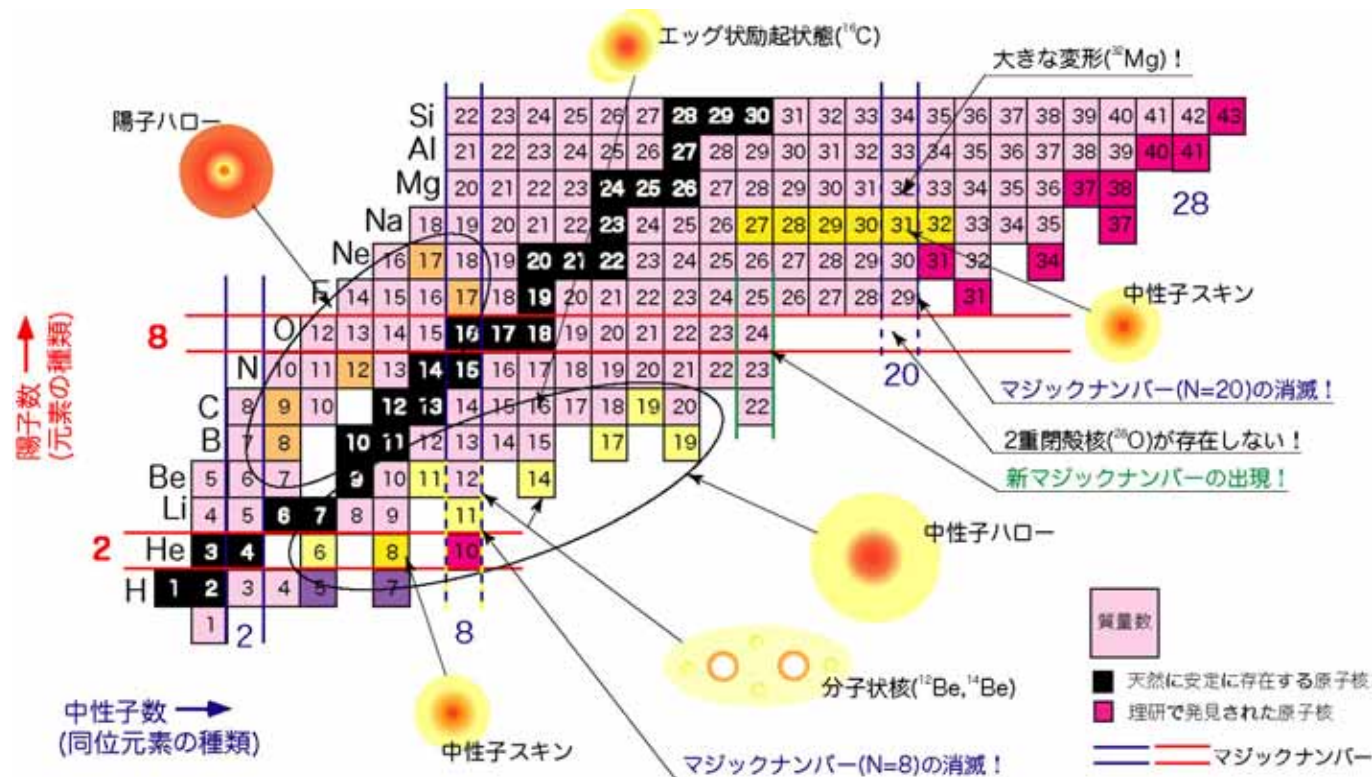
マルチトレーサ科学の開拓

科学技術庁長官賞(研究功績賞)受賞

大学との共同研究促進

# 現施設のRRCとRIPSによる異常な原子核構造の発見

最近の理研の研究で、中性子の過剰な中性子ドリップラインに近い領域には、中性子ハローや中性子スキンといった異常な核構造をもつ原子核が数多く存在することがわかってきました。また、この領域になるとマジックナンバー20が魔法性を失っている[球形のはずの原子核が変形していたり、存在するはずのものが存在しなかったりする]こともはじめてわかってきました。これらの現象はこれまでの原子核像[マジックナンバーの存在、マジックナンバーから離れると原子核は変形、陽子と中性子の核内分布形状は同じ—1950年代の3つのノーベル賞研究で確立: 1.殻モデル理論 2.集団運動モデル理論 3.電荷分布測定実験]からは想像できないものばかりです。





## 理研RIBF計画の使命

理研RIBF計画の使命は現在の世界水準を遙かに凌ぐRIビーム生成能力(RIビーム発生施設)と革新的な実験設備(RIビーム実験施設)によって

- 1) 究極の原子核モデルの構築、
- 2) 元素の起源の解明に挑戦。

さらに

- 3) 新しい産業利用を開拓する。

# RIBFの使命を果たすための実験設備

## 戻しビームライン ● 産

・品種改良 / 材料解析+RIBF実験同時利用

## 新入射器 ● 極

・新元素+RIBF実験同時利用

## 偏極RIビーム工房 ● 産

・材料解析(内部電場磁場測定)

## BigRIPSの産業利用 ● 産

・マルチトレーサ製造(がん診断・微量元素分析)  
・RIビームがん治療の開発

## 稀少RIリング ● 起

・ウラン合成核種の精密質量測定

## SHARAQ ● 極

・新奇励起モードの発見

## SAMURAI ● 極 ● 起

・エキゾチックな集団運動の探索  
・元素合成核反応実験

## ゼロ度スペクトロメータ ● 極 ● 起

・新同位元素の基本量(質量・寿命・形状)測定

## SCRIT ● 極

・精密陽子分布測定

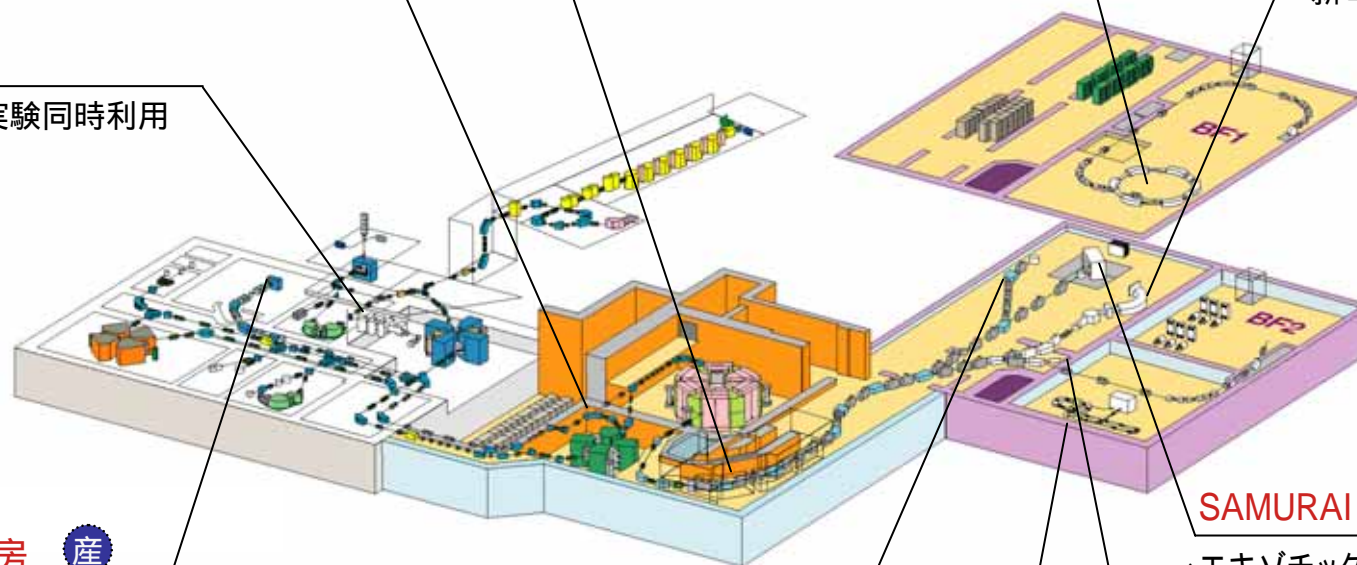
## SLOWRI ● 極

・精密電磁モーメント測定

● 極 究極の原子核モデルの構築

● 起 元素の起源の解明

● 産 産業創出





# 評価

## 報告書の概要

1) RIBFのRIビーム発生システムへの入射系として働くことになる現重イオン加速器システムのアップグレード計画が順調に進んでいる。また、**入射用線形加速器の新たな整備は実験の効率を格段に向上させるものである。**

2) RIBF建設状況であるが、IRCとSRCは製作が終了し現在加速器棟内で据付けが行われており運転開始と**ファーストビームは予定どおり2006年の後半に実現するであろう。**

3) 初期実験計画としては、新同位元素探索実験、全相互作用断面積測定から核半径を決める実験、クーロン励起を用いる研究、イオンビームガンマ線分光などの実施が妥当である。

4) **基幹実験設備建設計画へのさらなる投資はより本質的な要件であり、委員会は提案されている計画の全てが、世界の先頭を切るこの施設の潜在的な能力を徹底的に活用するために実現されるべき、重要かつ必要なものであると強く感じている。**

委員会は和光研究所長の傘下に直に、**加速器研究センター(RARC)を新たに設置しようという提案を支持する。**

## 委員

- S.Gales (CNRS: 国立科学研究センター, フランス)
- J.Nolen (ANL: アルゴン国立研究所, アメリカ)
- J.R.Beene (ORN: オークリッジ国立研究所, アメリカ)
- M.Lewitowicz (GANIL: 国立重イオン加速器研究所, フランス)
- Yu. Ts. Oganessian (JINR: ドブナ原子核共同研究所, ロシア)
- J. P. Schiffer (ANL: アルゴン国立研究所, アメリカ)
- J.Äystö (JYFU: ユバスキラ大学, フィンランド)
- M.N.Harakeh (KVI: グローニンゲン大学KVI, オランダ)
- W.Q.Shen (CAS: 中国科学院, 中国)
- H.Toki (大阪大学, 日本)
- S.Nagamiya (KEK: 高エネルギー加速器研究機構, 日本)
- W.Henning (GSI: 重イオン科学研究所, ドイツ)
- H. H. Bertschat (HMI: ハーンマイトナー研究所, ドイツ)

委員長



## 參考 / 資料



# RIBF計画に関する評価について

## 平成6年9月 第1回国際諮問委員会(IAC)

理研の概要と複合加速器系の説明、現在理研で行われている研究の説明、  
RIビームファクトリーにおける施設計画、実験計画について  
「国際的な方針(policy)委員会の他に、PACとTACを持つのが慣例で、利用者との相互の意見交換のための準備をすべきである。」(報告書より)

## 平成9年11月 第1回国際技術検討委員会(TAC)

前段加速器としての既存施設を含めたRIビームファクトリー計画全体の各加速器施設に関する技術的検討について

## 平成10年5月 第2回国際技術検討委員会(TAC)

超伝導リングサイクロトロンのためのセクター電磁石の設計に関する検討について

## 平成11年5月 第2回国際諮問委員会(IAC)

RIBF計画におけるRIビーム発生系施設の進捗状況を評価し、RIビーム実験系施設(多角的利用実験蓄積リング、MUSES計画)について科学的及び技術的な再評価ならびに助言を行う

## 平成11年5月 第3回国際技術検討委員会(TAC)

超伝導リングサイクロトロンのためのセクター電磁石の設計に関する検討について

## 平成12年11月 第4回国際技術検討委員会(TAC)

RIBF計画におけるMUSES計画とAccumulator Cooler Ring(ACR)の技術的検討について

## 平成16年11月 第3回国際諮問委員会(IAC)

これまでの各施設に対する再検討と、今後の施設計画及び実験計画について  
「提案されている計画のすべてが、世界の先頭を切るこの施設の潜在的能力を徹底的に活用するために実現されるべき、重要かつ必要なものである」(報告書より)

## 平成17年11月 第5回国際技術検討委員会(TAC)予定

第3回IACの指摘事項(加速器とBigRIPSの運転のための技術的事項の詳細評価)に対する対応

## 平成18年3月 第4回国際諮問委員会(IAC)予定

理研アドバイザリーカウンシルへの対応として

## 平成19年3月 第5回国際諮問委員会(IAC)予定

ファーストビームと初期実験、基幹実験設備について

## 平成21年3月 第6回国際諮問委員会(IAC)予定

研究の進捗と基幹実験設備について

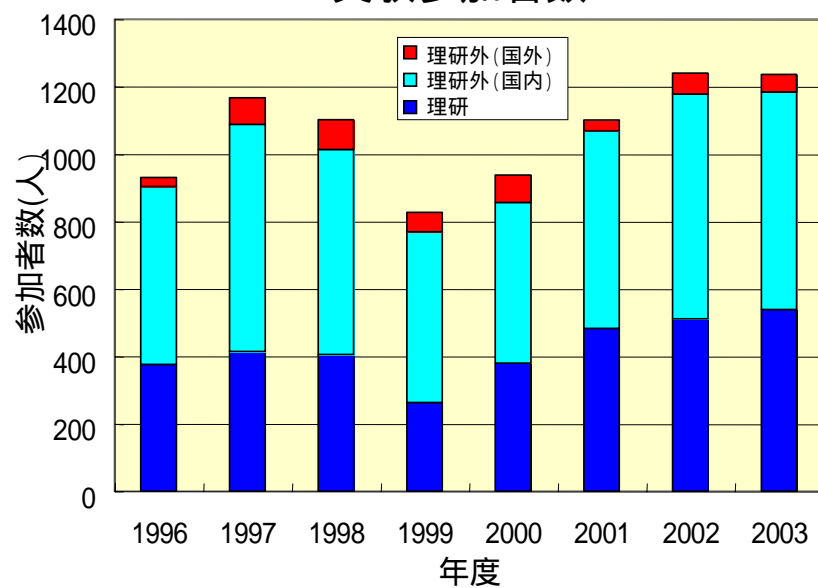
### <参考>

平成13年6月 国際核物理研究計画検討委員会(INPAC)

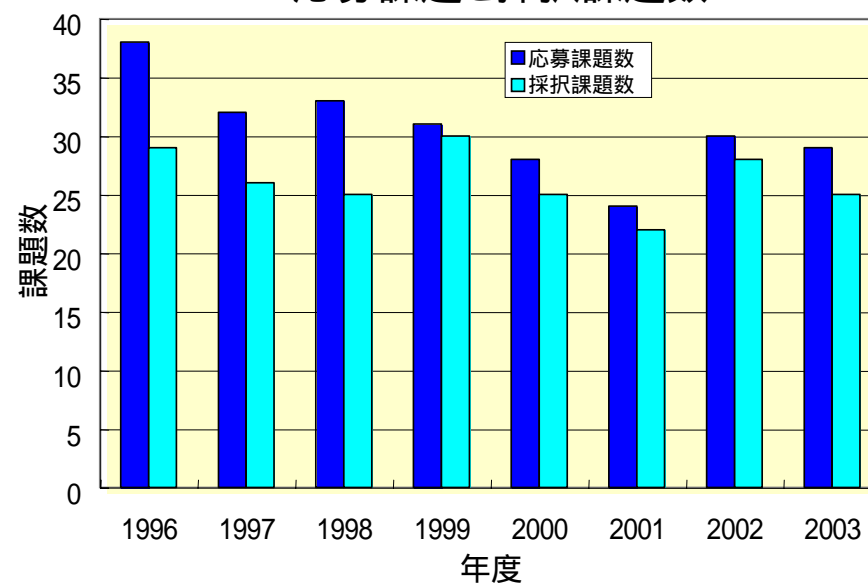
RIBF計画における実験計画に関する検討について

# 理研加速器利用状況

## 実験参加者数

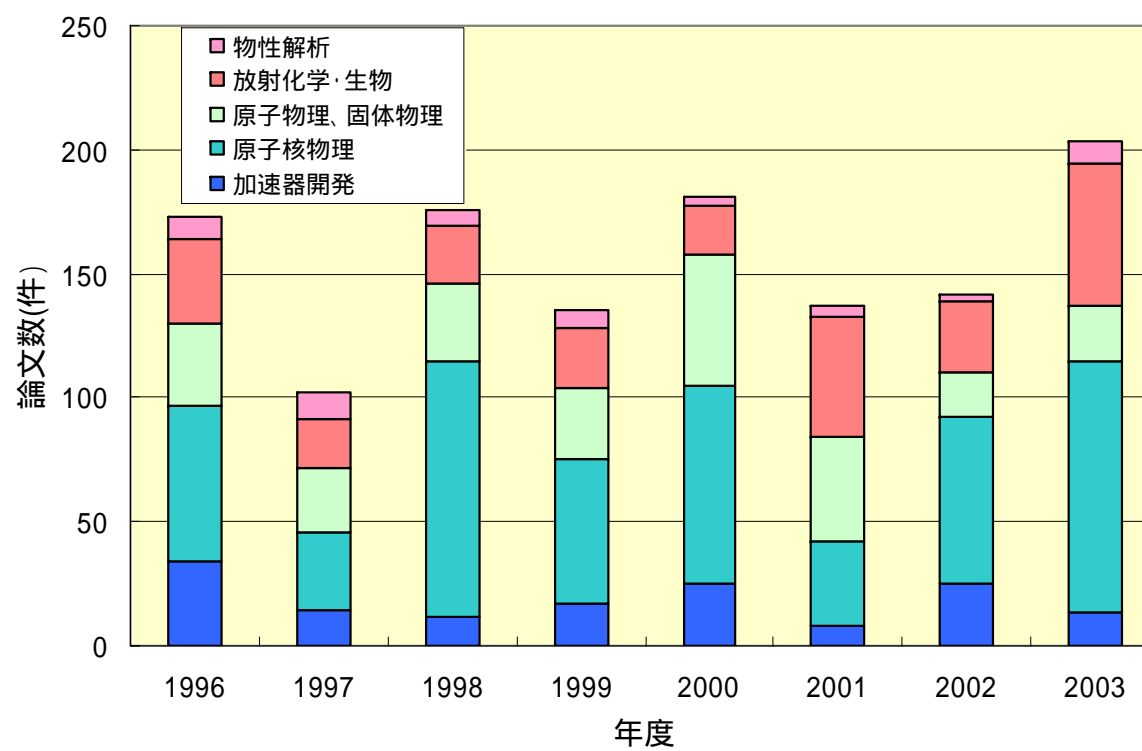


## 応募課題と採択課題数



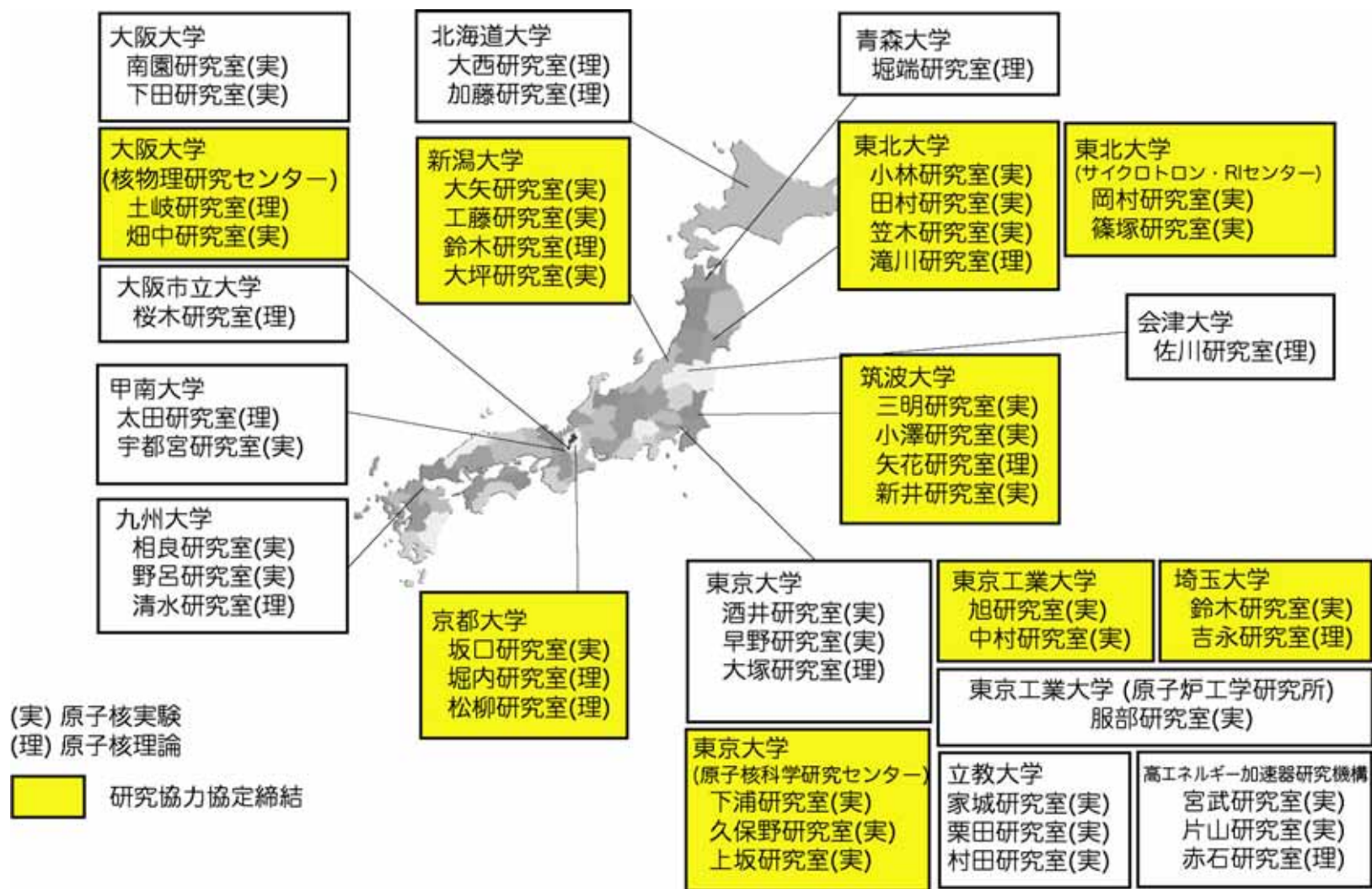
# 理研加速器研究成果

## 論文数

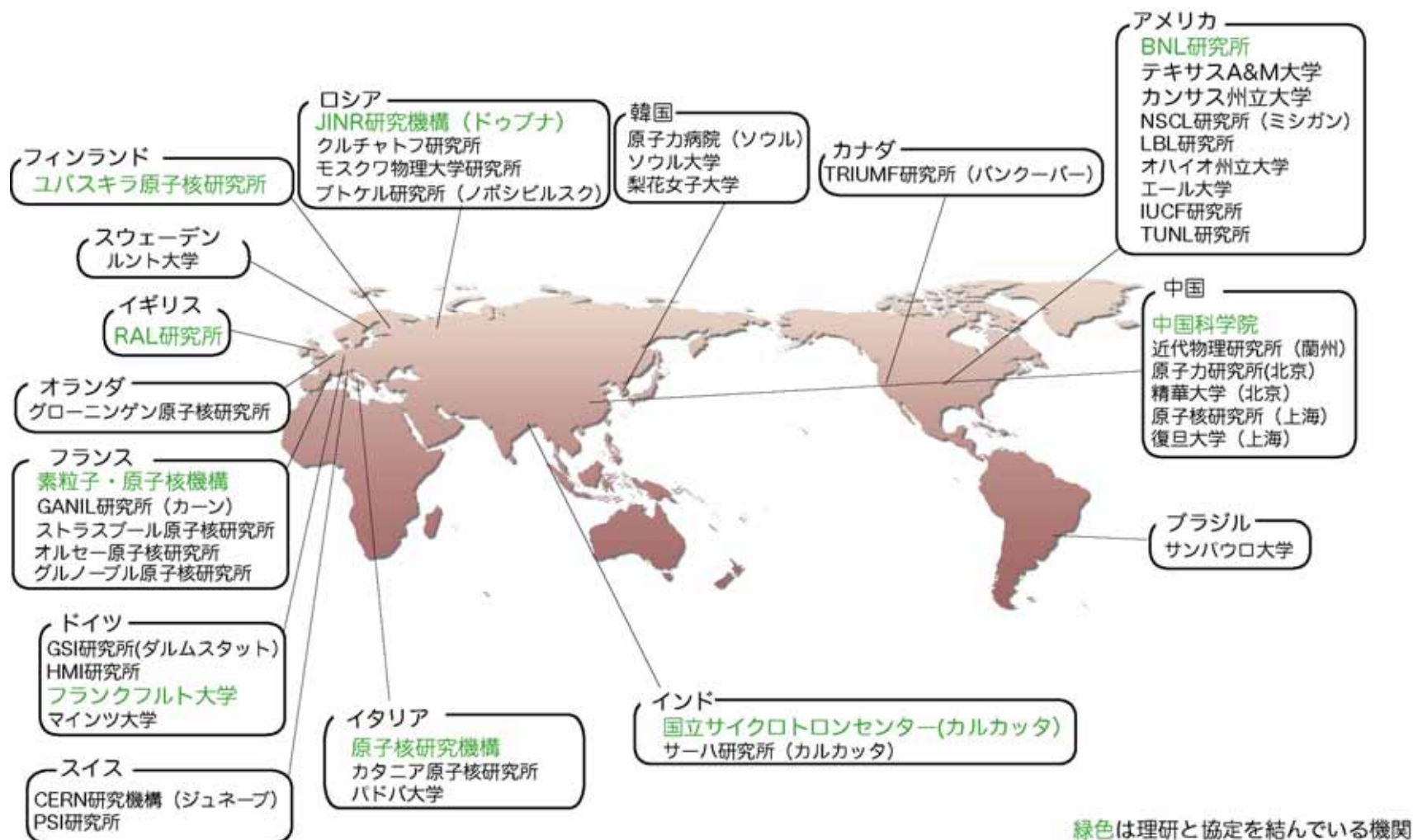




# 原子核のユーザ(国内)



# 原子核のユーザ(世界)



# 品種改良 ユーザリスト

企業等・機関名	
1	サントリーフラワーズ(株)
2	理研ビタミン(株)
3	ミヨシ(株)
4	日本たばこ(株)
5	第一園芸(株)
6	タキイ種苗(株)
7	北興化学(株)
8	(株)マクランサ
9	(株)トーホク
10	(株)ジャパン・ターフグラス
11	日産化学(株)
12	(株)北海道グリーンバイオ
13	(株)向山蘭園
14	(法)堂ヶ島洋らんセンター
15	(有)日高蘭園
16	(有)四季青社
17	王子製紙(株)
18	スズキ(株)
19	トキタ種苗(株)
20	ハウス食品(株)
21	東京ガス(株)
22	石井農場
23	吉松蘭園
24	北島園芸
25	ちえの木
26	(有)精興園 26社

大学等・機関名	
1	基礎生物学研究所:シロイヌナズナ
2	鳥取大学:小麦、セダム
3	福井県立大学:小麦
4	秋田県立大学:イネ、ラン
5	岩手大学農学部:ナタネ、シロイヌナズナ、リンドウ
6	東北大学:アスパラガス、ナタネ、大麦、唐辛子、線虫
7	新潟大学:ホトギス、イネ、スギ
8	石川農業短期大学:サツマイモ、シラン、サギソウ
9	茨城大学:ロシアタバコ、イネ
10	筑波大学生物科学系:タバコ、イネ、アッケシソウ、アサガオ
11	千葉大学園芸学部:ラン、スミレ
12	東京都立大学:シダ
13	日本大学生物資源科学部:ミヤコグサ
14	東京農業大学:シクラメン、ハクサイ
15	明治大学農学部:三つ葉、ゼラニウム、シバ
16	京都大学農学部:タバコ、小麦
17	奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科:タバコ、イネ
18	広島大学:メイトビ、ケナフ、ギシギシ
19	岡山大学資生研:イネ
20	九州東海大学:シバ、ニラ
21	宮崎大学:チガヤ、ミヤコグサ
22	埼玉大学理工学部:アカパンカビ
23	大阪府立大学:シナガワハギ、ミヤコグサ
24	琉球大学:ギンネム
25	筑波大附属坂戸高校:アサガオ 25大学等

地方試験場等・機関名	
1	幌延町農林課:ブルーポピー
2	北海道立花・野菜技術センター:ユリ
3	秋田県農業試験場:カーネーション
4	岩手県生物工学研究所:竜胆、スターチス、イネ
5	岩手県園芸試験場:リンドウ
6	山形県立園芸試験場:食用キク、オウトウ、サトイモ、西洋ナシ
7	福島県農業試験場:リンドウ、ヒメサユリ
8	群馬県園芸試験場:ウド、ニラ、ネギ
9	茨城県農業総合センター:センリョウ、キク
10	千葉県農業総合研究センター:ペゴニア、サトイモ、イネ、イヌマキ、モクレン
11	神奈川県農業技術センター:バラ、アジサイ、デージー、シクラメン、スイトピー
12	東京都農業試験場:シバ
13	静岡県柑橘試験場:ミカン
14	長野県野菜花き試験場:ブロッコリー、ケール、キャベツ、レタス、エノキタケ、 ブナシメジ、エリンギ、トルコギキョウ
15	長野県農業総合試験場:ナシ、ケナフ
16	長野県中信農業試験場:ソバ、トモロコシ、アワ、キビ
17	富山県中央植物園:センノウ、ペゴニア
18	福井県農業試験場:キク、ウマノアシガタ
19	岐阜県農業技術研究所:バラ、シクラメン、スパティフィラム
20	岐阜県中山間農業技術研究所:イネ
21	(財)広島市農林振興センター:ダリア
22	高知県農業技術センター:イネ、酒米、グロリオサ
23	愛媛県農業試験場:サトイモ
24	鹿児島県バイオテクノロジー研究所:キク、イチゴ
25	鹿児島県果樹試験場:ミカン、ピロ
26	熊本県農業研究センター:カラー
27	佐賀県農業試験研究センター:キク、ホオズキ
28	宮崎県総合農業試験場:カーネーション
29	和光市さつき会:サツキ 29地方試験場等

国立試験場等・機関名	
1	独立法人 農業・生物系特定産業技術機構 花き研:キク
2	同果樹研:ミカン、ナシ
3	同北海道農業研究センター:シーベリー、アロニア、イネ
4	同野菜茶業研:レタス、ピーマン
5	同九州沖縄農業研究センター:バンジー
6	生物資源研:キク、チャ、リンゴ、ナシ、トレニア、ソバ
7	酒類総合研究所:酵母
8	国立環境研究所:ゼブラフィッシュ 8試験場等

海外・機関名	
	韓国
	高麗大学:コムギ
	順天大学:ユリ、ラン、バラ
	New Soul Seed Ltd:白菜、唐辛子

理 研	
	理研植物機能:栽培タバコ、野生タバコ、アサ、シロイヌナズナ、イネ、ミヤコグサ、アサガオ
	理研植物科学研究所:シロイヌナズナ



新聞折り込みチラシより



# マルチトレーサ ユーザリスト

機 関 名	
1	北海道大学大学院医学研究科
2	東北大学大学院薬学研究科
3	東北大学サイクロトロラジオアイソトープセンター
4	北里大学獣医畜産学部
5	筑波大学研究基盤総合センター(アイソトープ部門)
6	千葉大学大学院薬学研究院
7	千葉大学園芸学部
8	千葉大学アイソトープ総合センター
9	千葉大学大学院医学研究院
10	東京大学大学院農学生命科学研究科
11	東京大学大学院理学系研究科
12	東京大学アイソトープ総合センター
13	東京農工大学農学部
14	東京工業大学大学院理工学研究科
15	武蔵大学人文学部
16	北里大学薬学部
17	北里研究所
18	慶応義塾大学理工学部
19	昭和薬科大学薬学部
20	東京薬科大学
21	明治薬科大学薬学部
22	昭和女子大学生活科学部
23	日本女子大学家政学部(食物学科)
24	大妻女子大学
25	東京理科大学理学部
26	御茶ノ水女子大学理学部
27	法政大学工学部
28	東邦大学理学部
29	人間総合科学大学
30	日本大学文理学部
31	日本大学生物資源科学部
32	麻布大学獣医学部

機 関 名	
33	岐阜女子大学
34	静岡大学理学部
35	静岡県立大学薬学部
36	新潟薬科大学薬学部
37	京都大学原子炉実験所
38	京都大学化学研究所
39	京都薬科大学薬学部
40	大阪大学大学院理学研究科
41	摂南大学薬学部
42	大阪府立大学農学部
43	大阪市立大学生活科学部
44	奈良県立医科大学医学部
45	近畿大学理工学部
46	新潟大学医学部
47	金沢大学医学部
48	金沢大学大学院自然科学研究科
49	金沢大学理学部
50	金沢工業大学工学部
51	福井大学医学部
52	広島大学大学院理学研究科
53	徳島文理大学薬学部
54	九州大学理学部
55	長崎大学薬学部
56	熊本県立大学環境共生学部
57	放射線医学総合研究所(重粒子医科学センター)
58	放射線医学総合研究所(放射線安全研究センター 比較環境影響研究グループ)
59	放射線医学総合研究所(放射線安全研究センター 那珂湊支所)
60	国立水俣病総合研究センター
61	国立健康・栄養研究所
62	日本原子力研究所
63	国立科学博物館
64	(財)環境科学技術研究所

# RIBFによる新世代トレーサー

RIビーム実験中にBigRIPSのビームダンプで同時にマルチトレーサーを製造したり、BigRIPSで大強度RIビームを生成してシングルトレーサーを製造することによって新世代のトレーサーを供給します。それらは(1)周期表上のすべての元素について、利用目的に最適な寿命や壊変特性を有するRIが利用可能(2)従来の加速器や原子炉で生産されるRIと比較して極めて多彩かつ高純度(3)物理的手法によるRI分離により化学的手法によるRIの精製がほとんど不要(シングルトレーサー)、といった特長を持っています。

## 環境分野への応用

RIビームファクトリーから供給されるマルチトレーサー/シングルトレーサーを活用することによって、環境物質の循環過程の解明や、ファイトレメディエーション(植物等利用による環境修復)研究など環境分野への貢献が期待されます。

## 医療分野での応用

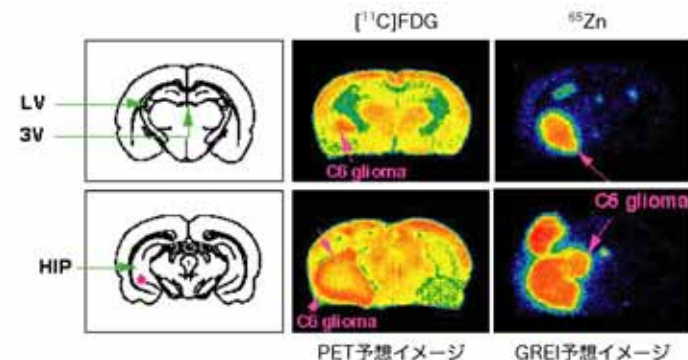
理研では、コンプトンカメラを応用した新方式の高分解能、高感度、位置精度に優れた臨床医学用ガンマ線イメージング装置 GREIの開発研究を行っています。

まず、RIビームファクトリーで生成したさまざまな核種のうちから、好病巣トレーサー(RI)を探索します。それを生体内に投与した後、病巣に到達集積したRIが発するガンマ線を検出し、病巣位置を特定します。GREIは、PETでは利用できない陽電子崩壊核種以外での放射性医薬品(RI)にも対応可能で新診断法への応用が期待されます。

### GREIによるがん診断



C6 Glioma(癌)のあるRATの脳の切片のイメージングプレート像  
(マルチトレーサーを使った研究でZnの集積を確認しました。)



# 原子物理・核化学・放射線生物 ユーザリスト

国内機関名	
1	日本原子力研究所
2	大阪府立大学
3	岡山大学
4	首都大学東京（東京都立大学）
5	東京大学
6	KEK
7	電気通信大学
8	上智大学
9	東北大学
10	京都大学
11	大阪大学
12	東京工業大学
13	東京理科大学
14	国際基督教大学
15	早稲田大学
16	宇宙航空研究開発機構（JAXA）
17	放射線医学総合研究所
18	国立埼玉病院

国外機関名	
1	Texas A&M 大学
2	Oak Ridge 国立研究所
3	CERN
4	Stockholm 大学
5	オーストラリア国立大学