

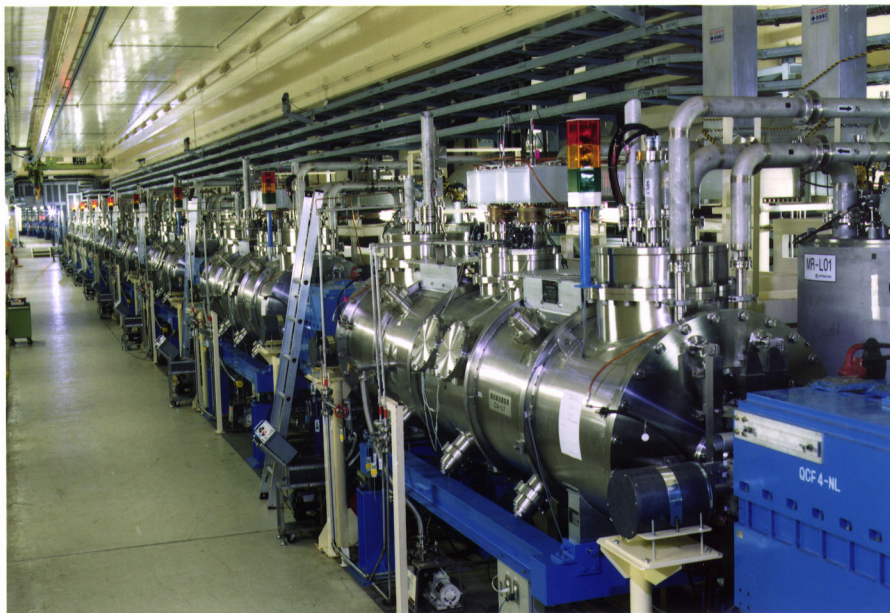
KEK 応用超伝導加速器センターが 目指す加速器の産業利用



2019.10.11 アルカディア市ヶ谷
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
山口誠哉

センター設立の背景

- 加速器の産業等への利用応用が世界的に増大してきている。
- 大強度のビームが必要 → 超伝導加速器
- KEKは超伝導加速器の長い経験。
- 加速器の応用を推進する。（KEKの中目，中計，ロードマップ）
- 2019.4.1に加速器研究施設を改組し，
応用超伝導加速器センターを設置。



TRISTAN超伝導加速システム
(世界初の大規模超伝導加速システム)

KEKB

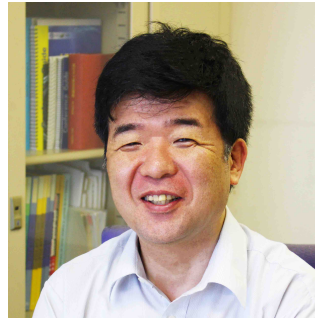
SuperKEKB

STF

cERL

センターの体制

教員 18人
技術職員 5人



センター長
道園 真一郎

STF
cERL
CFF
COI
AR東



超伝導空洞グループ
グループリーダー 加古 永治



ATF

ナノビーム開発グループ
グループリーダー 照沼 信浩



cERL
STF
COI
AR東

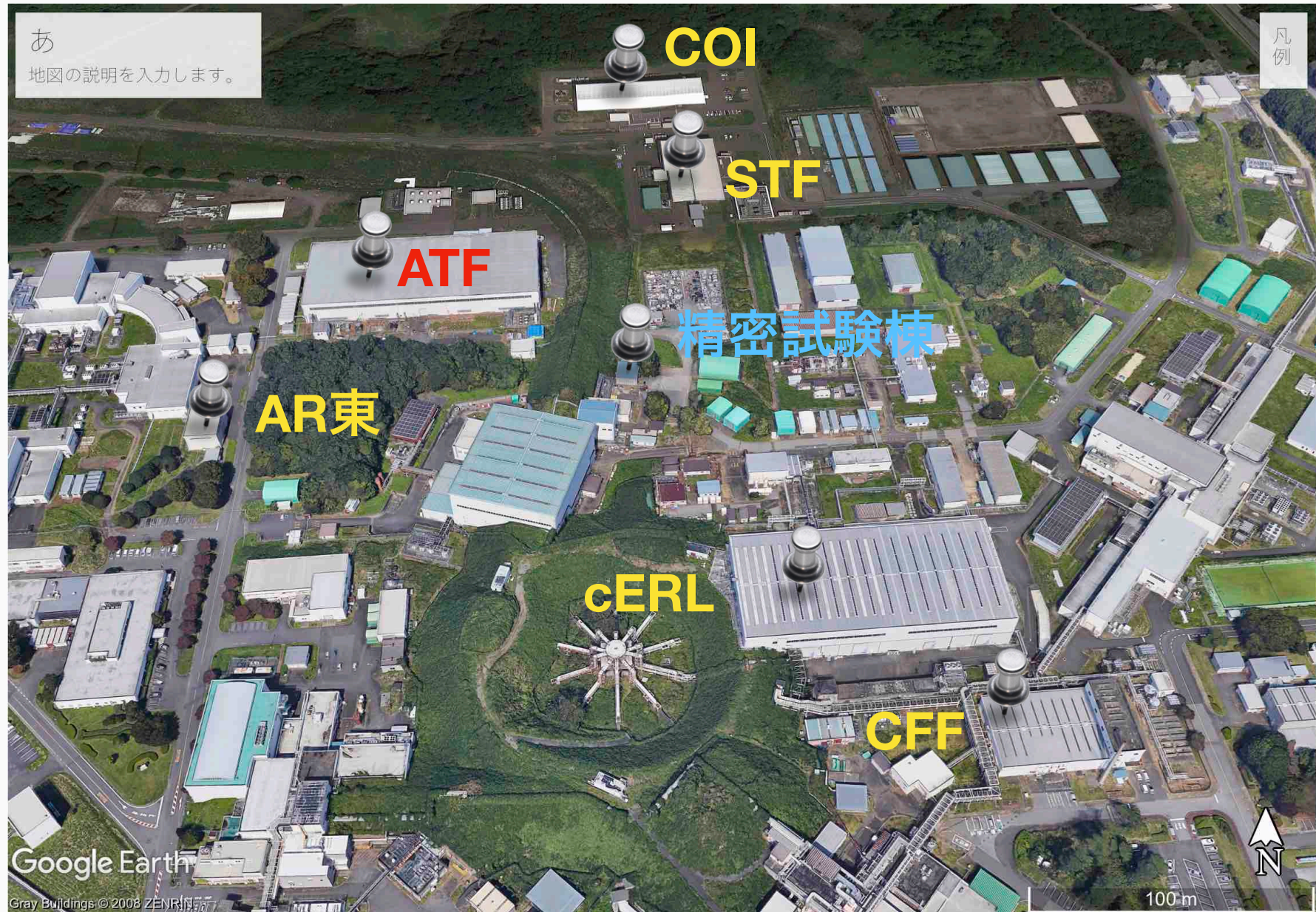
超伝導加速器利用推進グループ
グループリーダー 阪井 寛志

CFF



超伝導空洞製造グループ
グループリーダー 文殊四郎 秀昭

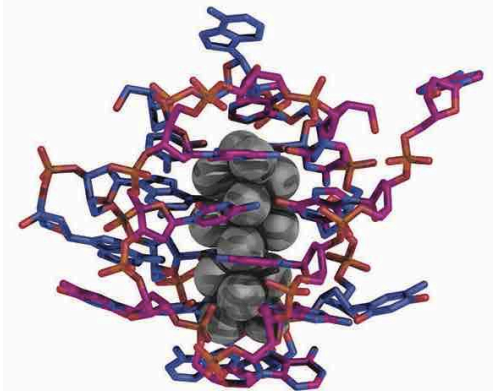
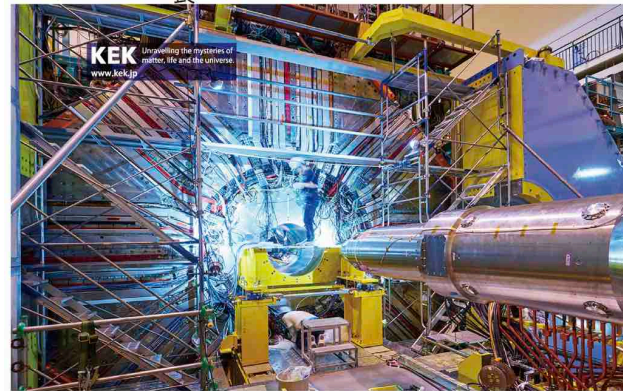
センターの関連施設



加速器の用途

■ 基礎科学の研究

- 素粒子・原子核の研究
- 物質・生命科学の研究

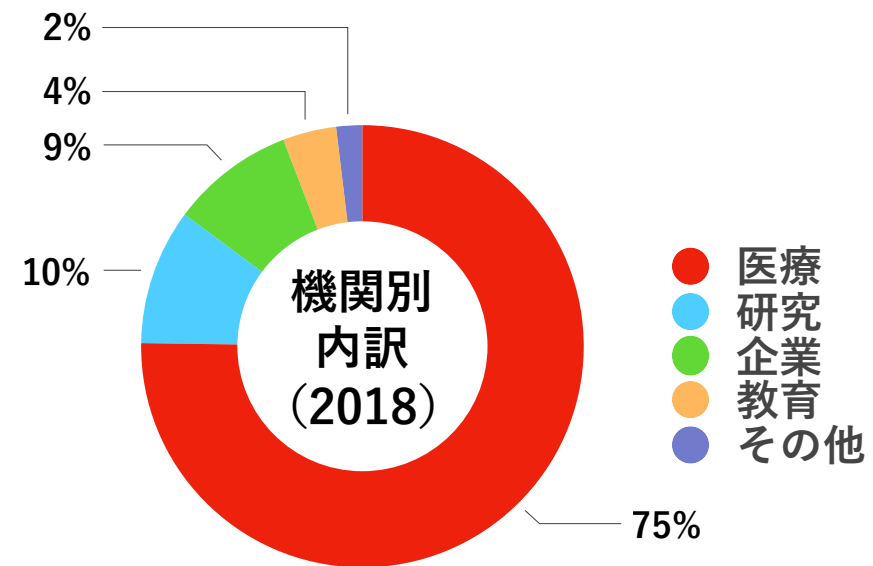
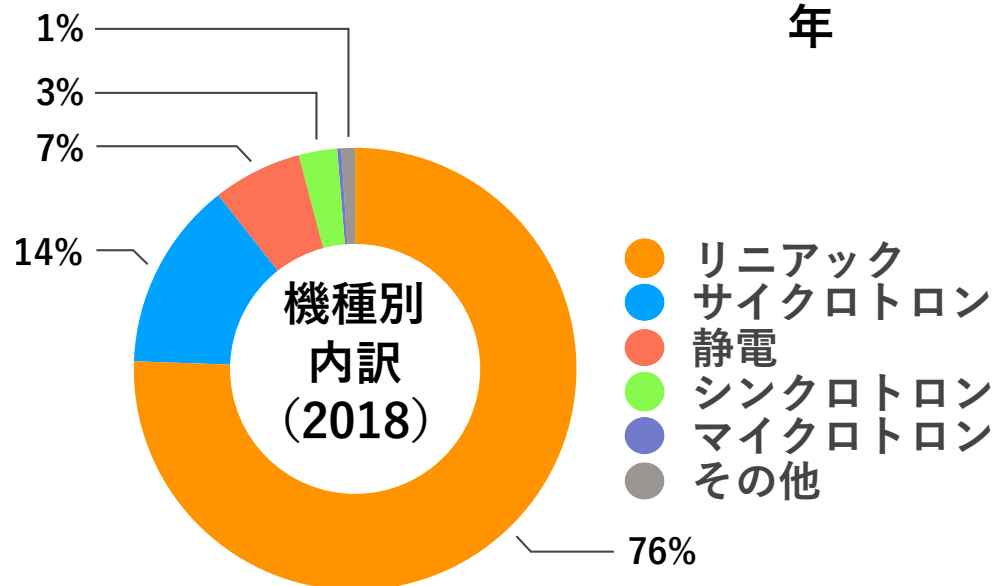
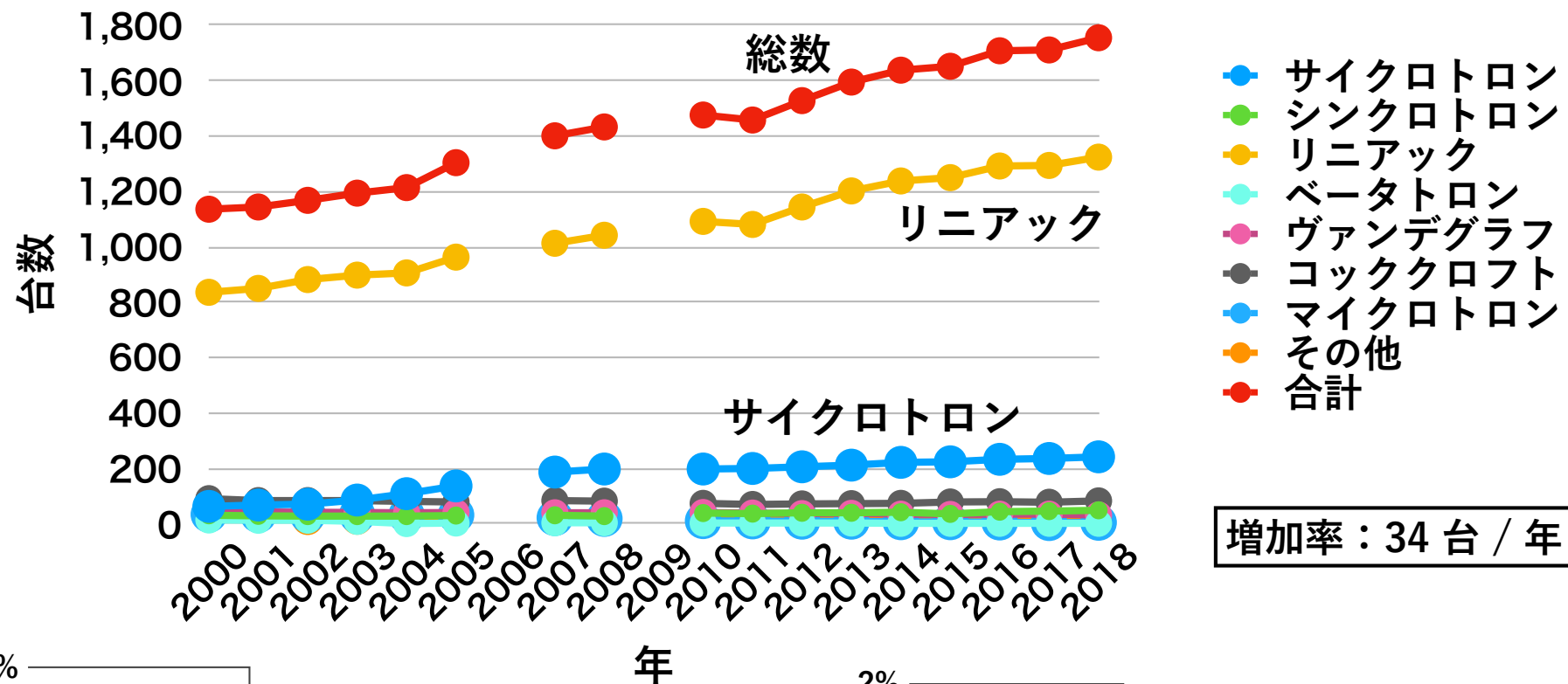


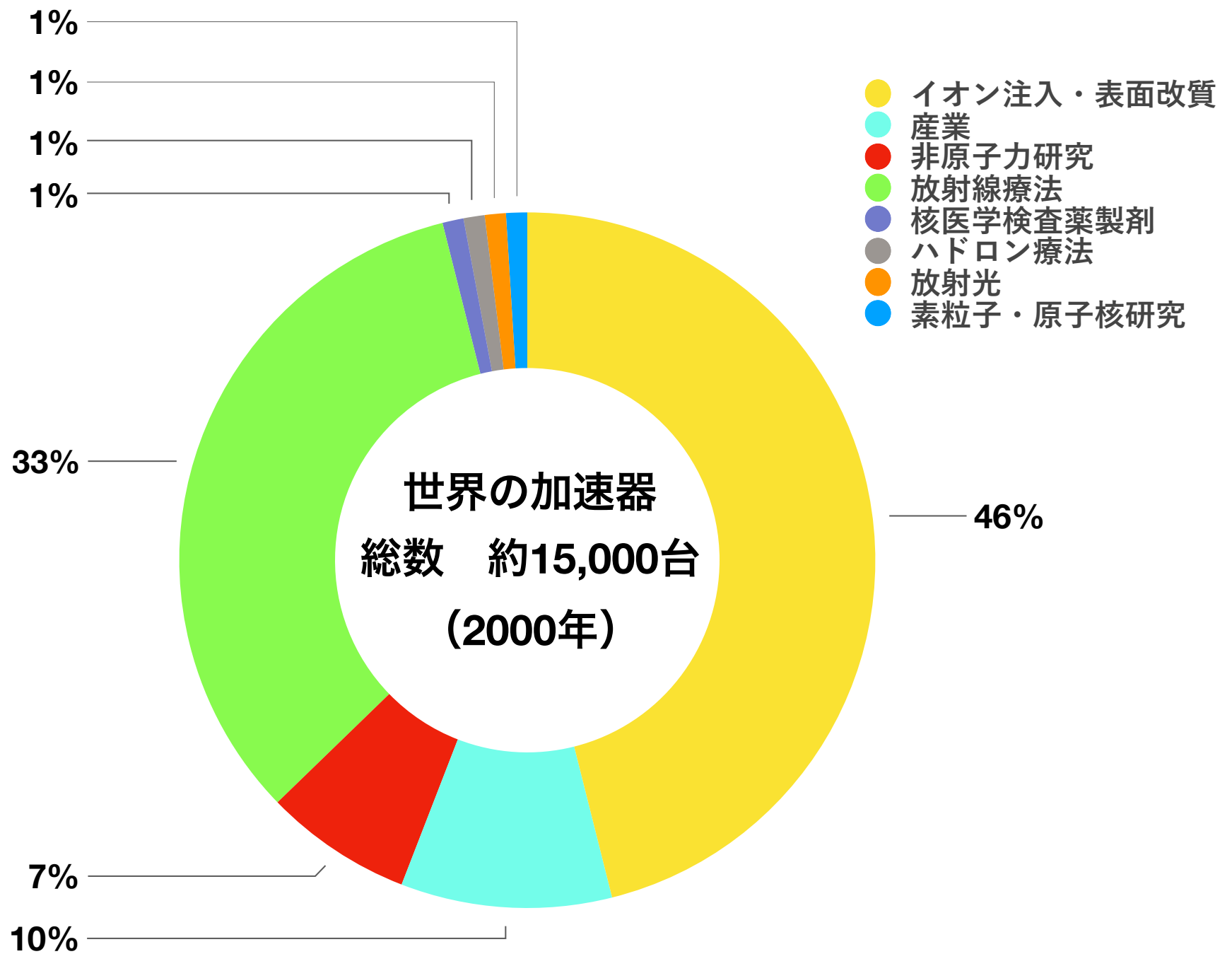
■ 応用

- 医療（がん治療等）
- 産業（半導体リソグラフィー）
- 環境浄化（排煙・排水浄化）
- 国土強靱化（老朽インフラの診断・長寿命化）
- 原子力（核廃棄物の処理，核融合炉材料の照射損傷試験）
- その他（年代測定，ほか）



日本の加速器（放射線発生装置）の台数



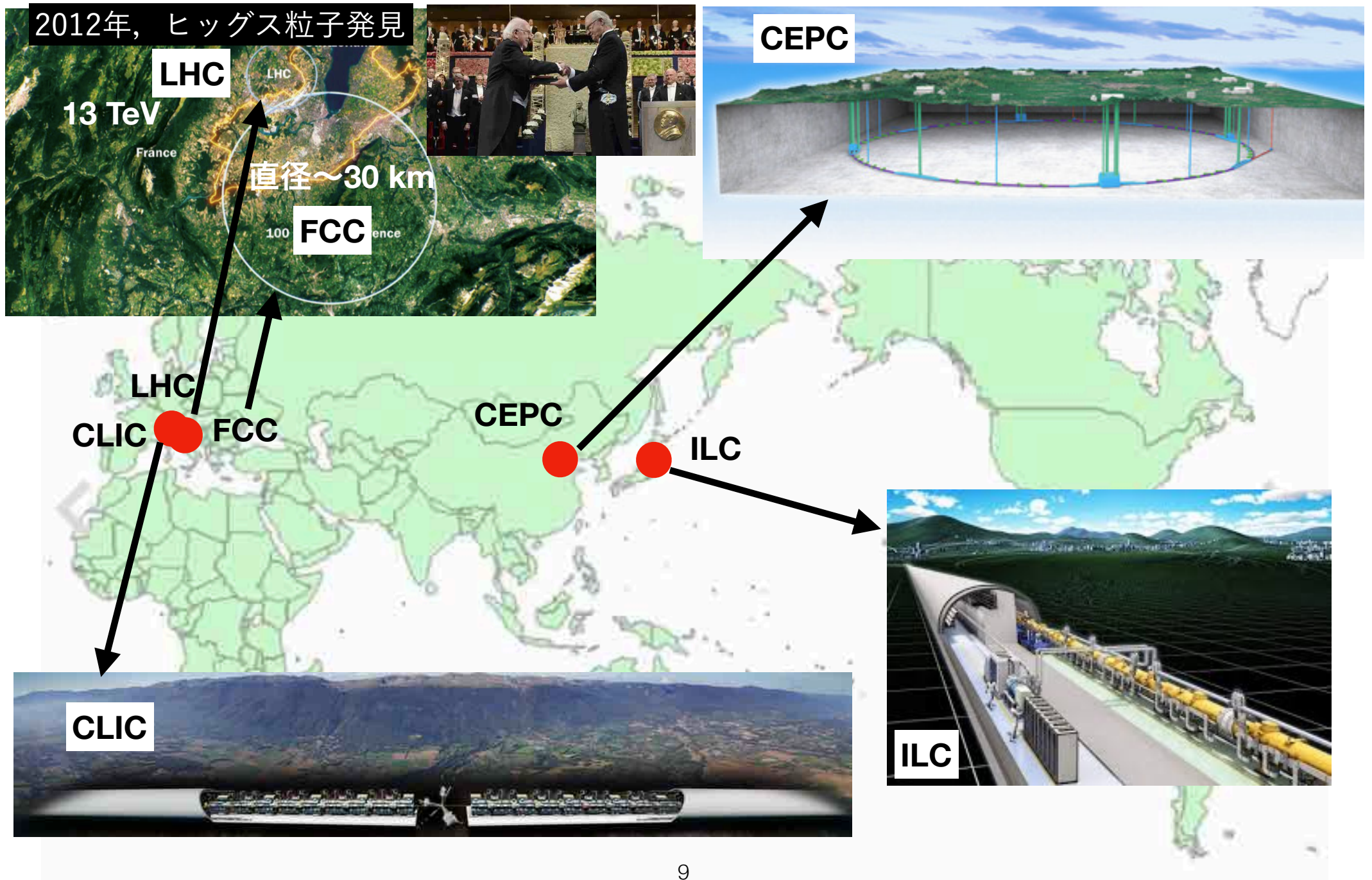


World wide inventory of accelerators, in total 15,000. The data have been collected by W. Scarf and W. Wieszczycka (See U. Amaldi Europhysics News, June 31, 2000)

基礎科学の研究のための加速器

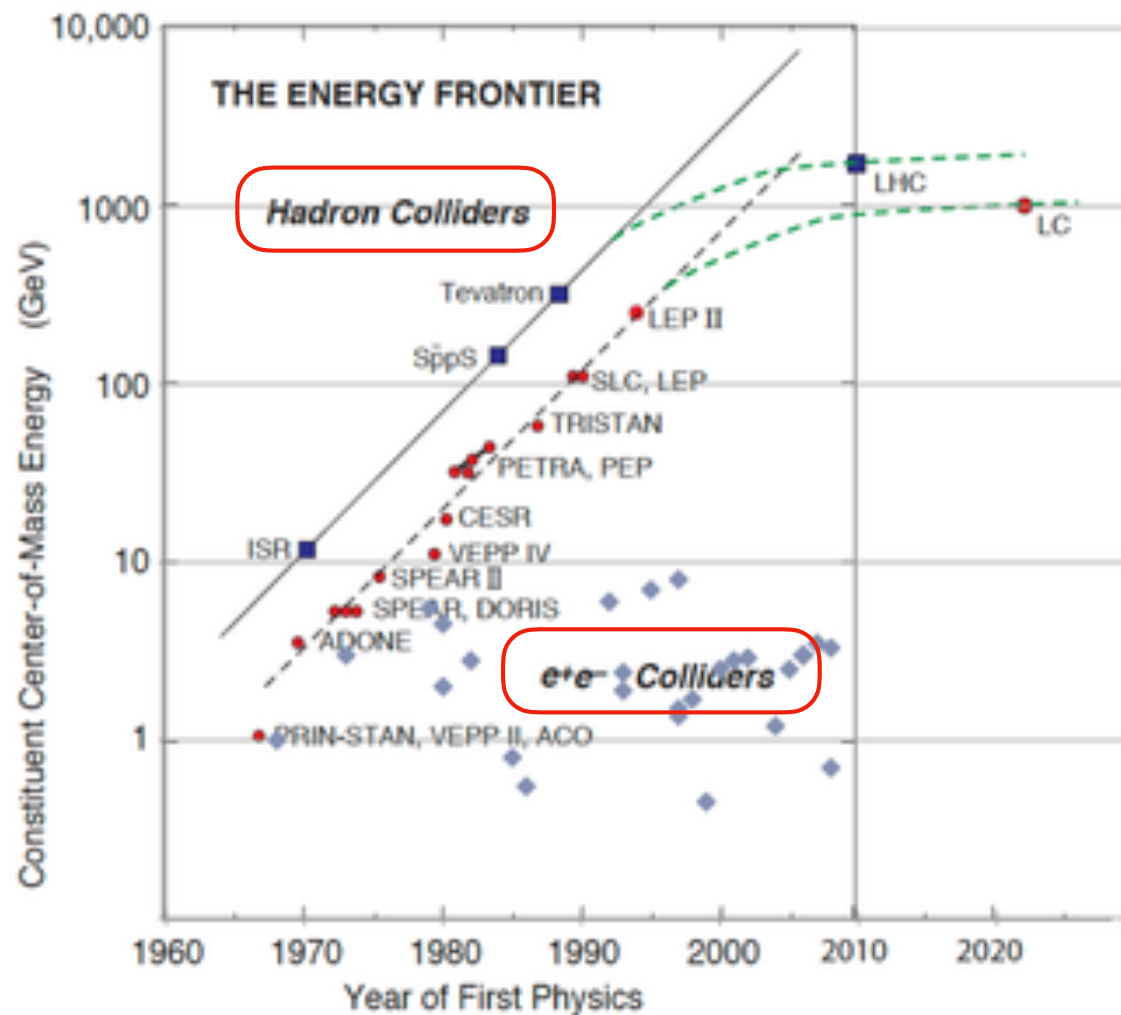
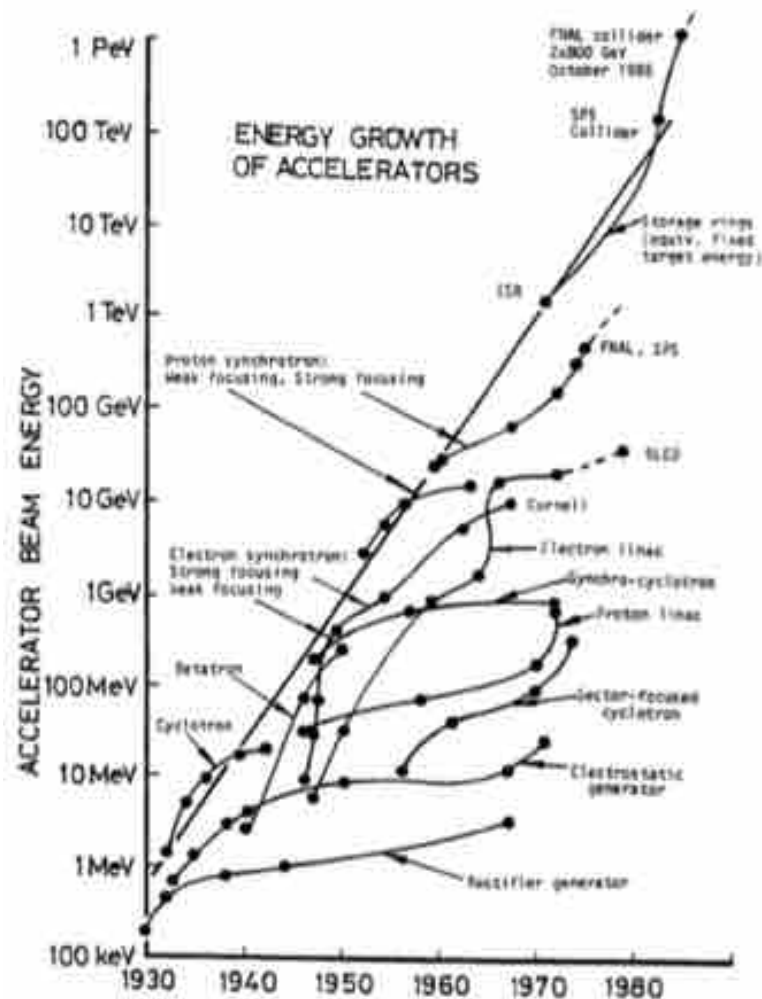
- **Energy frontier**
- **Intensity frontier**
- **Luminosity frontier**
- **Brightness frontier**

Energy frontier



Livingston Chart

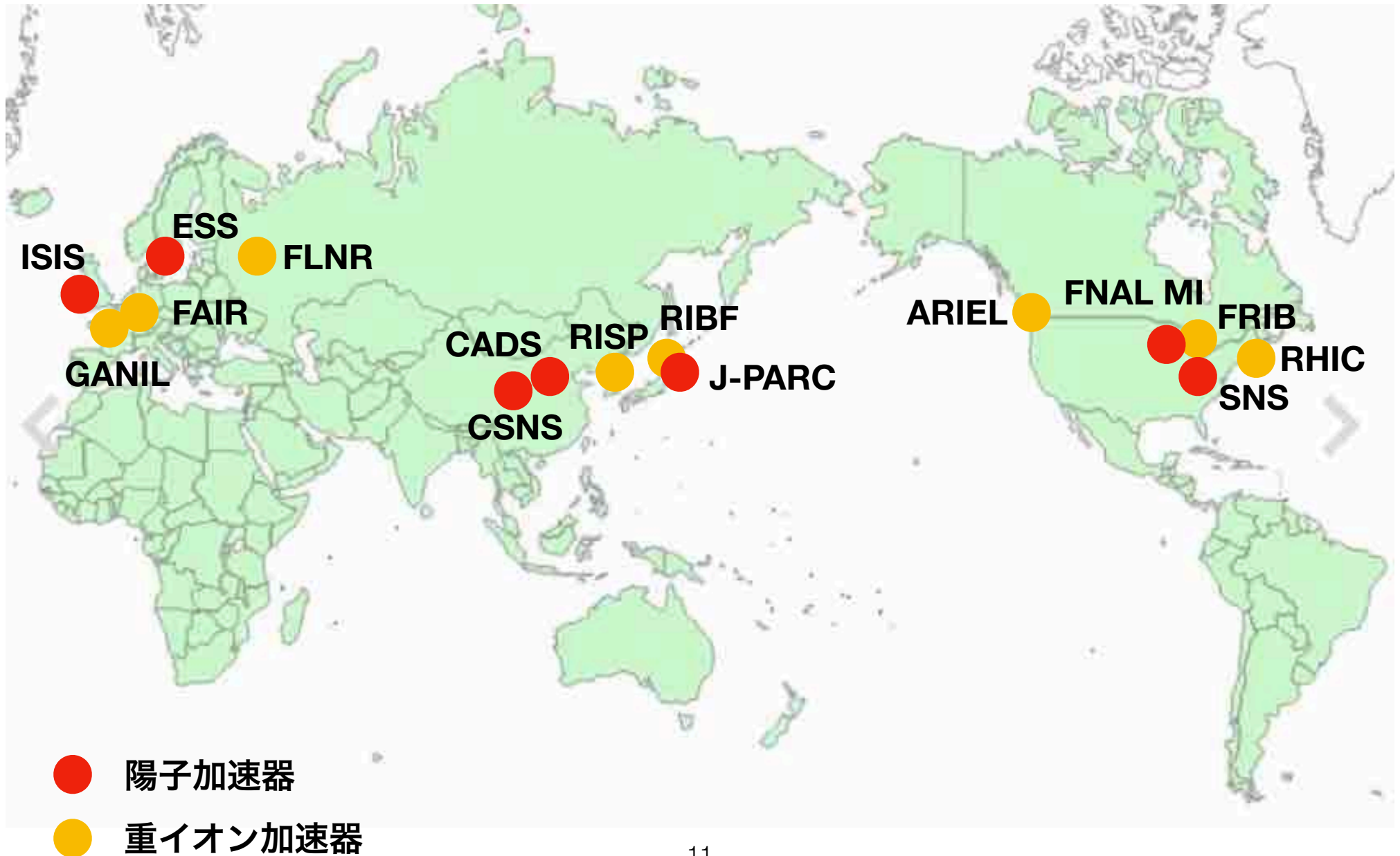
1930 ~ 1980



ビームエネルギーは10年で約50倍に。

近年、傾きがややにぶってきた。
飽和？

Intensity frontier



大強度化

測定時間の短縮

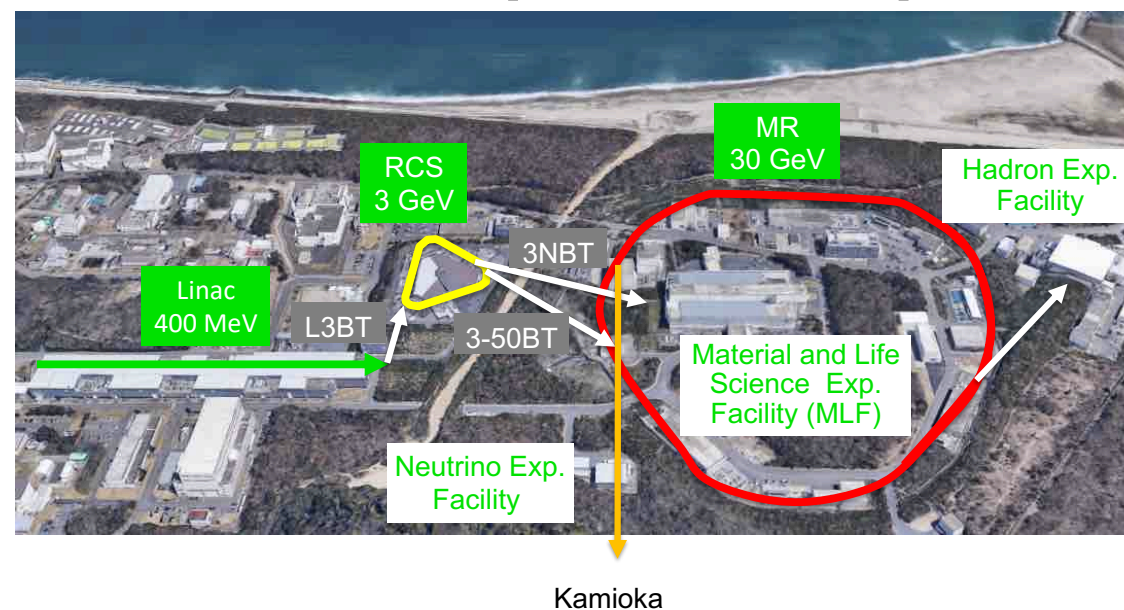
新発見

大強度 → 機器の放射化 → 保守の障害
と環境への影響

大強度加速器は、ビームロスとの戦い。

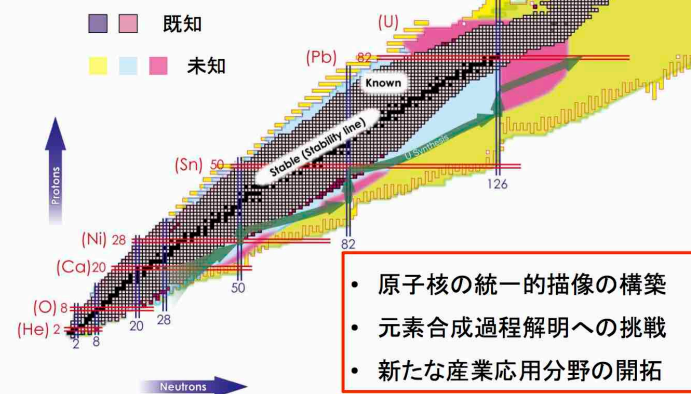
● 陽子加速器

J-PARC (KEK&JAEA)



● 重イオン加速器
RIBF (理研)

核図表の拡大



Nhの生成断面積

= 22 fb

1 イベント/200 日

→ 大強度化が必須

→ リニアックの超伝導化

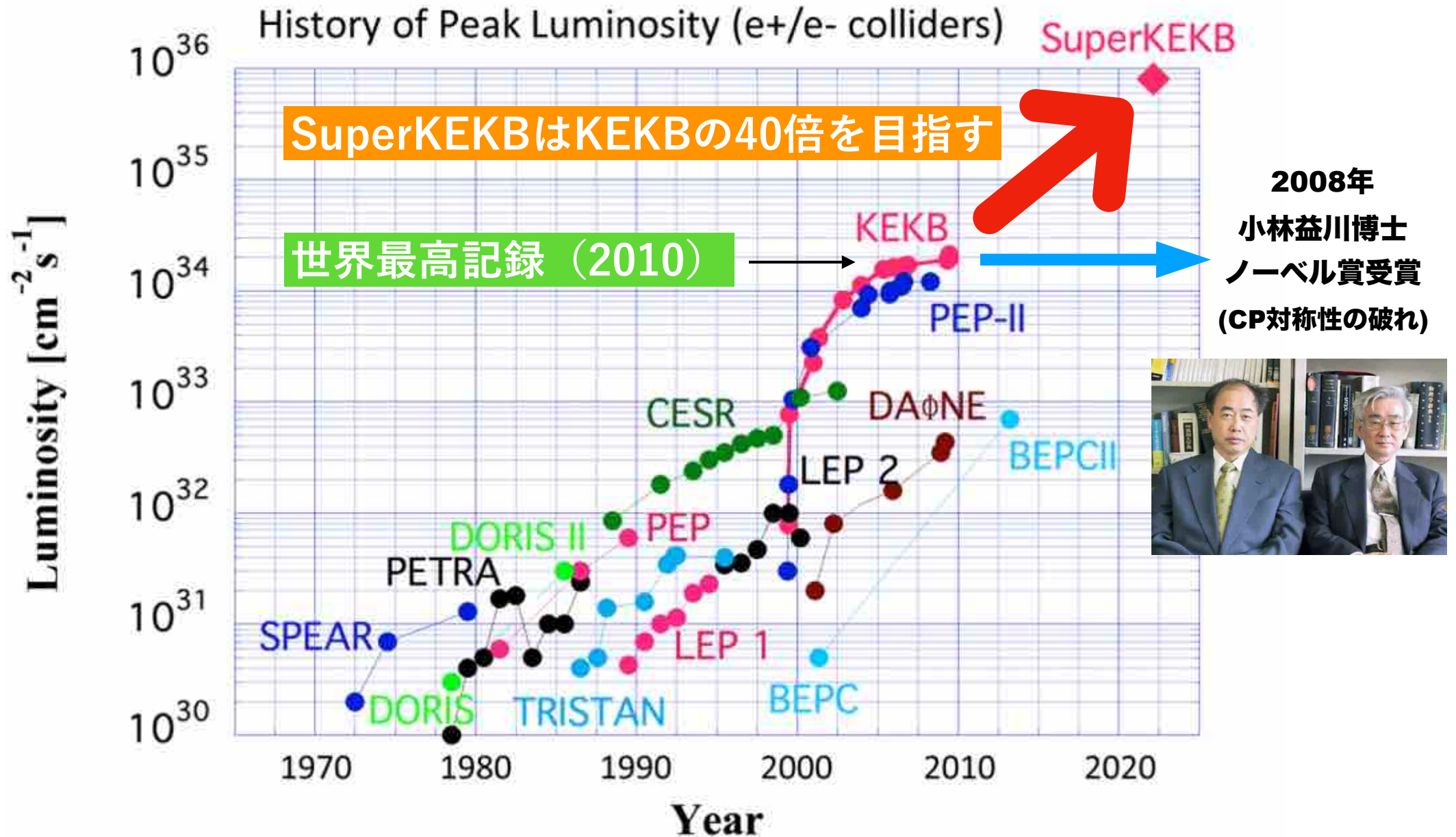
→ 超重元素 (>118) の発見



理研&KEK&MHI

Luminosity frontier

世界の電子陽電子衝突型加速器のルミノシティー





2018年

1.23 陽電子ダンピングリング運転開始

3.19 Phase2 運転開始

4.26 Belle IIが初衝突を観測

6.28 初衝突記念式典

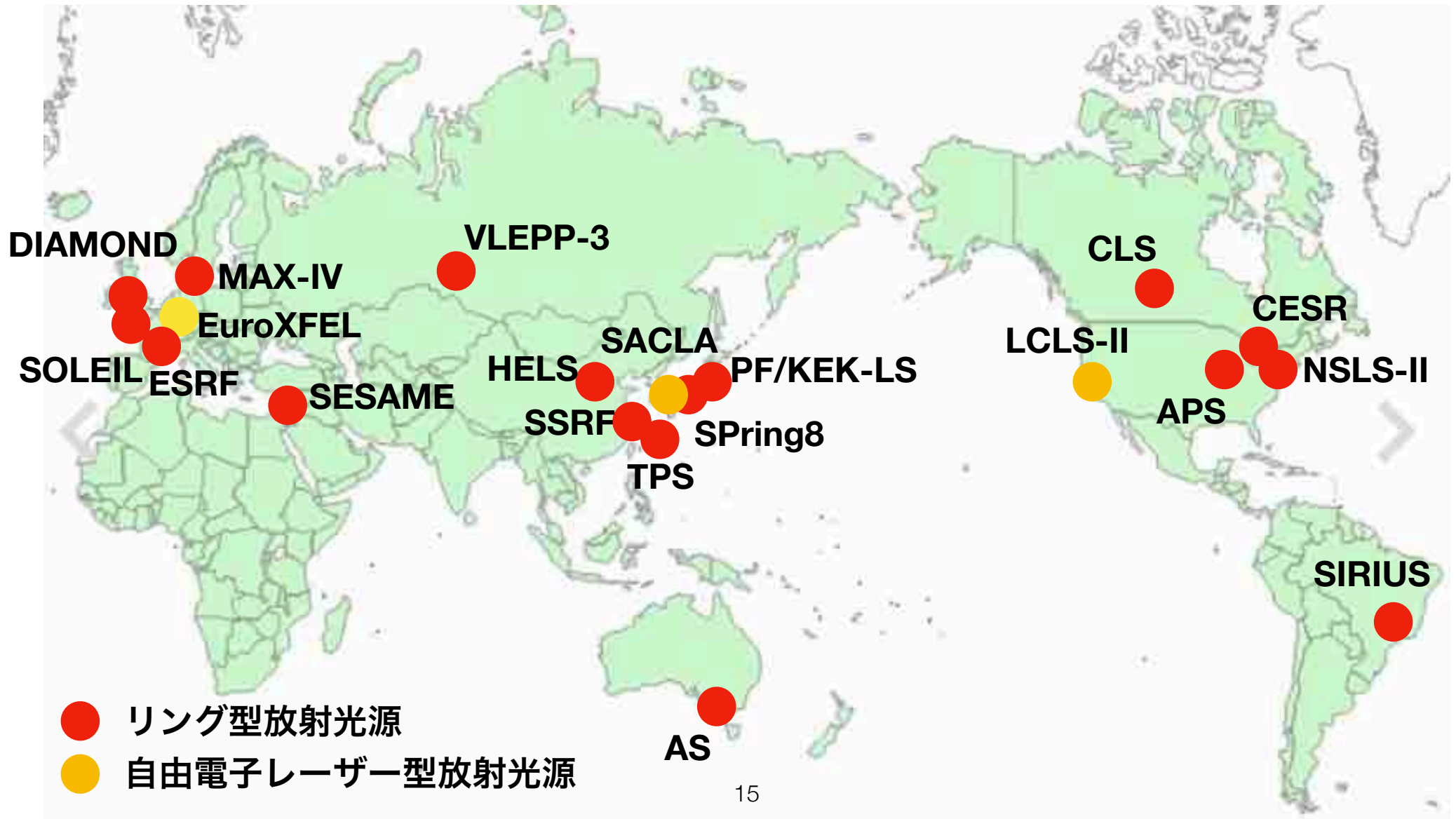
2019年

3.11 Phase 3運転開始



Brightness frontier (放射光)

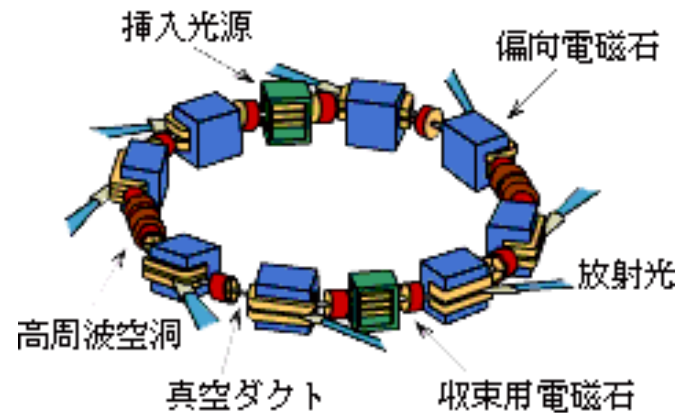
- 施設数が多い
- 先端性（高輝度）と汎用性が求められる。



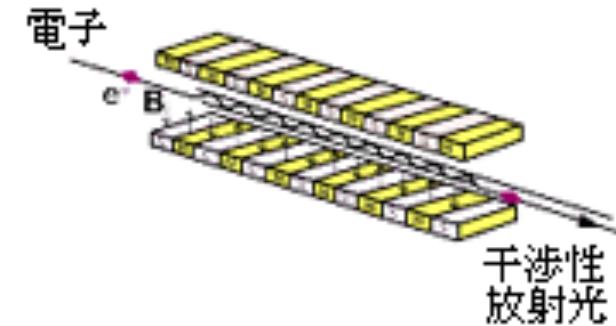
● リング型放射光源

シンクロトロン放射

電子ストレージングと放射光発生の様子

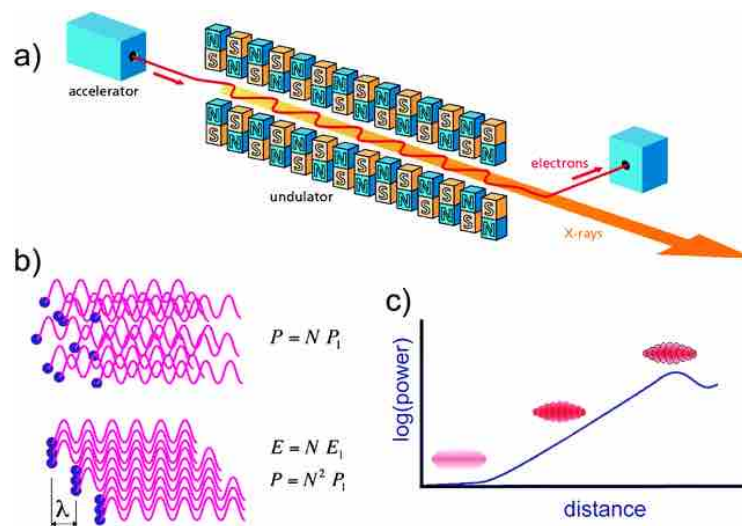


挿入光源（アンジュレーター，ウィグラー）



PF, SPring8, APS, ESRF, MAX-IV

● 自由電子レーザー型放射光源



SACLA, Euro-XFEL, LCLS-II

加速器の応用

医療

放射線（粒子線）治療
核医学検査薬製剤
ホウ素中性子捕獲療法(BNCT)

産業

イオン注入，半導体リソグラフィー用光源

環境

汚染水，排煙の浄化

国土強靱化

老朽インフラ（橋梁・道路・トンネル）の診断，長寿命化

安全

危険物探知

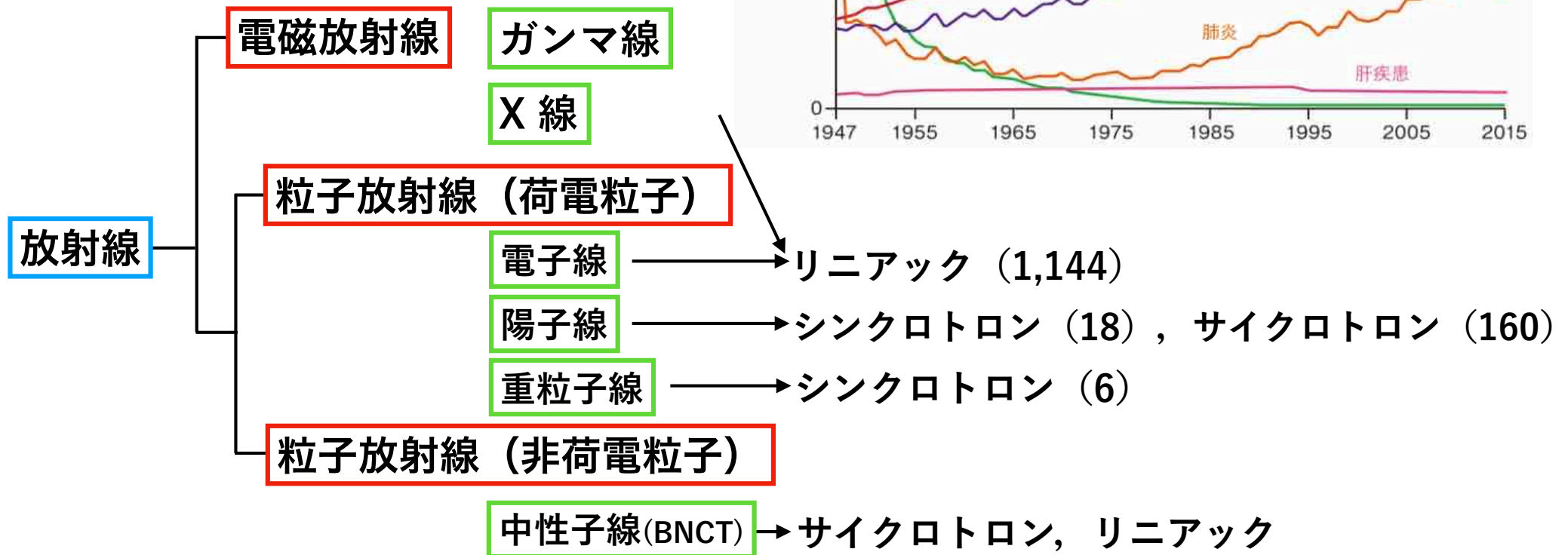
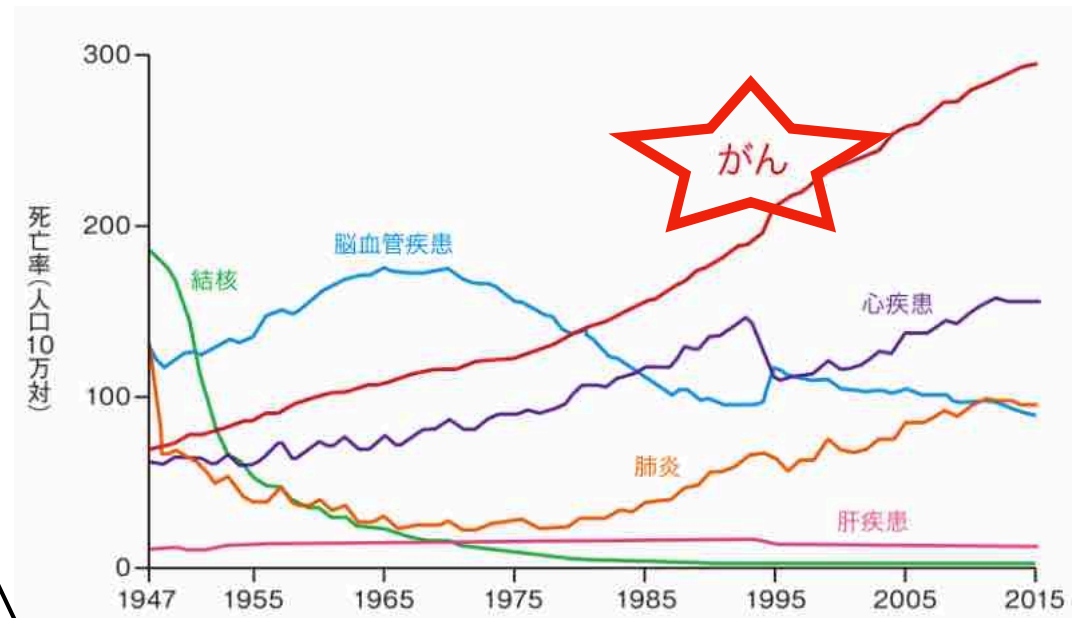
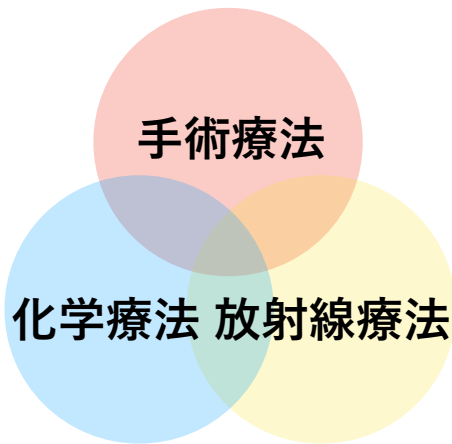
原子力

核変換（ADS）
核融合炉材料照射試験
慣性核融合炉用ドライバー

その他

年代測定，宇宙開発ほか

放射線（粒子線）治療用加速器



- ・括弧内は2018年現在の台数
- ・1930年代は、コッククロフト、1970年代までは、ベータトロンも使われた。

医療用リニアック

1,144台 (2018 年)



秋田大学医学部の医療用加速器 (VARIAN製)



電子線, X 線

回転ガントリー付きリニアック

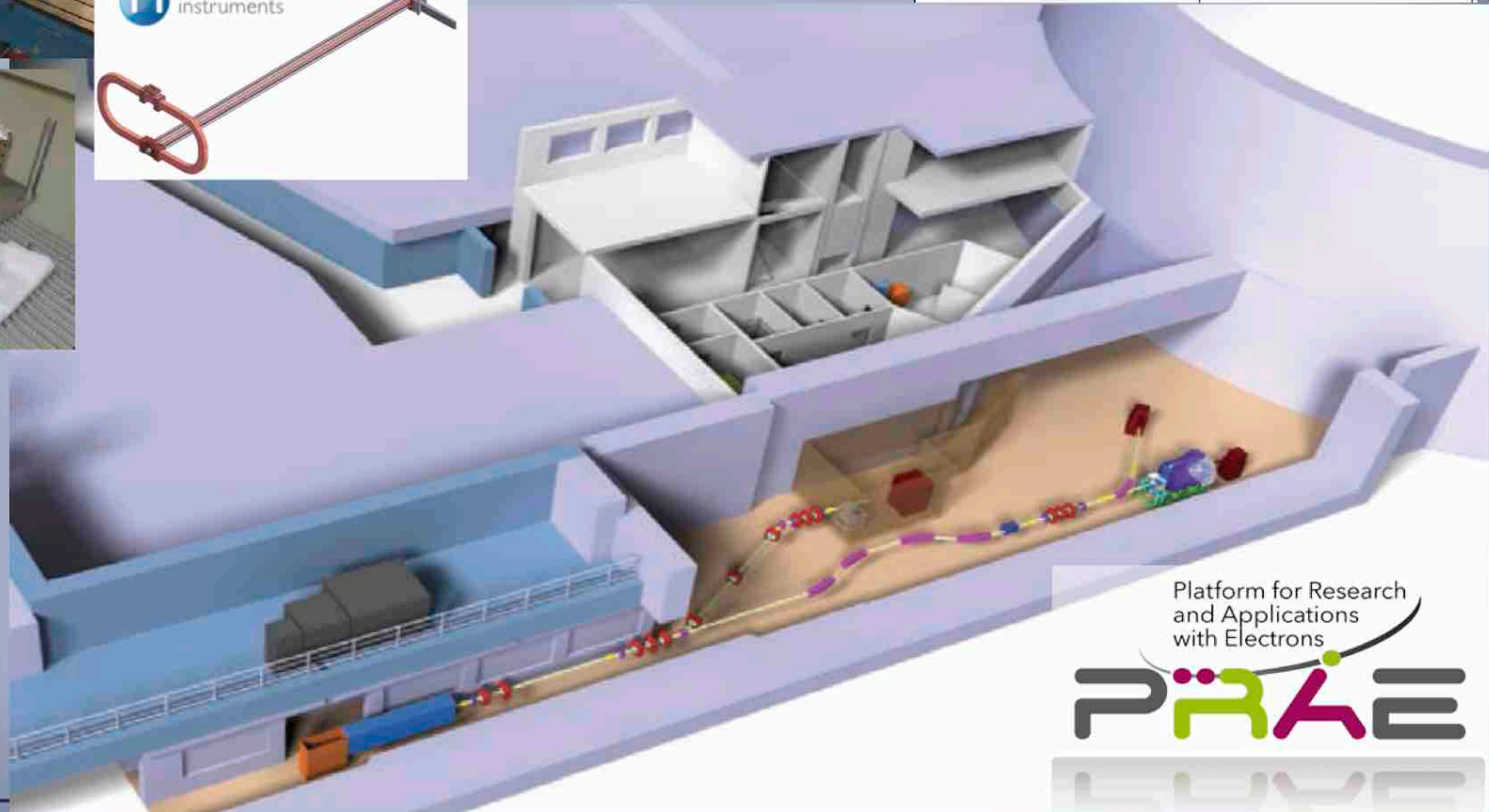
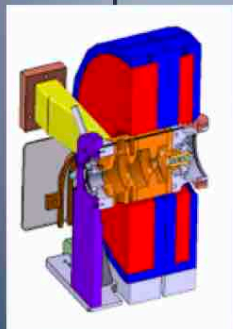


ACCELERATORS FOR VHEE

Accelerators for FLASH-RT: high-energy e^-

➤ S-band: RF gun+ Linac (HG)

Parameters	
Energy	70 – 140 [MeV]
Charge (variable)	0.00005 – 2 [nC]
Normalized emittance	3-10 [mm mrad]
RF frequency	3.0 [GHz]
Repetition rate	50 [Hz]
Bunch length, rms	< 10 [psec]
Energy spread, rms	< 0.2 %
Bunches per pulse	1



Platform for Research
and Applications
with Electrons

PRAE

高エネルギー (100-200 MeV) , 短時間 (< 500 ms) , 高線量 (60-200 Gy/s)

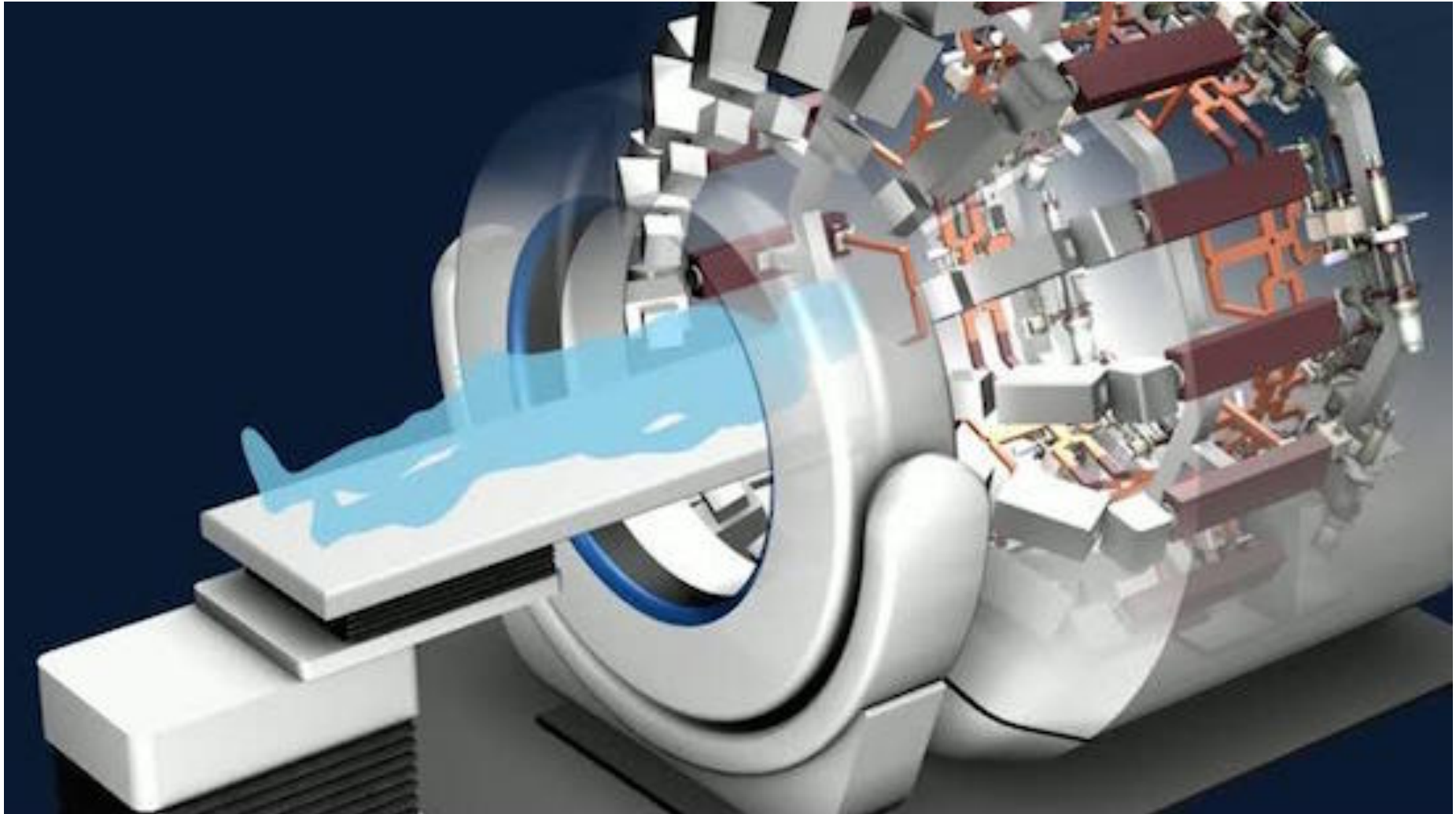
FUTURE PERSPECTIVES

Accelerators for FLASH-RT



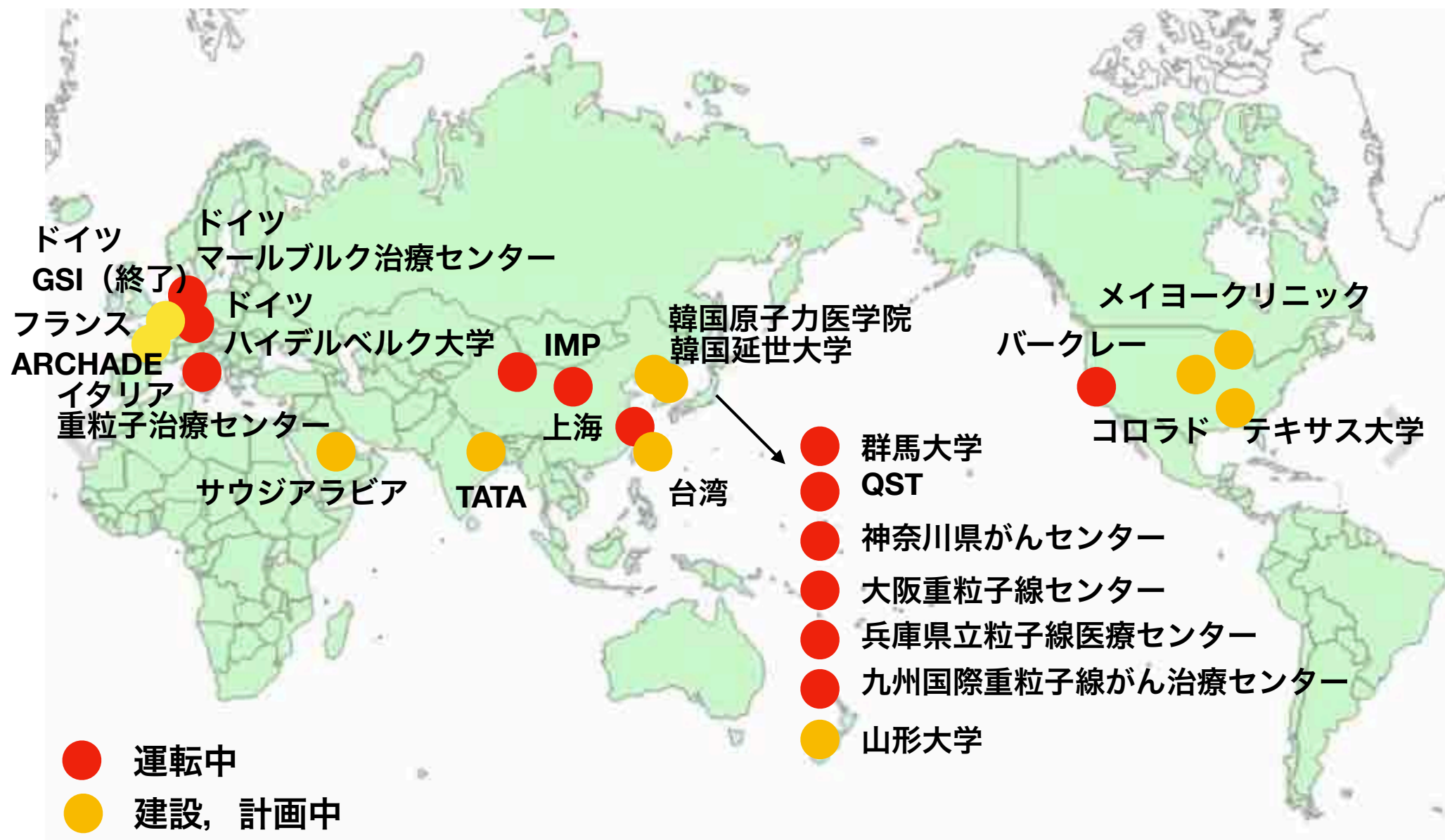
FLASH	Dose rate	Volume	Use
FLASH e-			
Kinetron Curie 4.4 MeV	0.1-300 Gy/s	10x10 cm ²	Preclinical studies Clinical studies for superficial tumours
Oriatron CHUV 5.5 MeV	0.1-1000 Gy/s	10x10 cm ²	Preclinical studies Clinical studies for superficial tumours
Modified linac Stanford 20 MeV	0.1-250 Gy/s	10x10 cm ²	Preclinical studies
Modified linac Lund 20 MeV	0.1-250 Gy/s	10x10 cm ²	Preclinical studies
FLASH p			
RARAF 4,5 MeV	0.05-1000 Gy/s	Round 11 mm	Biological studies
CPO-Orsay 130-198 MeV	40 Gy/s	12x12 mm ²	Preclinical studies
FLASH ¹²C ????			
RAON 310 MeV/u	0.03-33.3 Gy/s	20x20 cm ²	Under study

16方位同時X線照射用リニアック

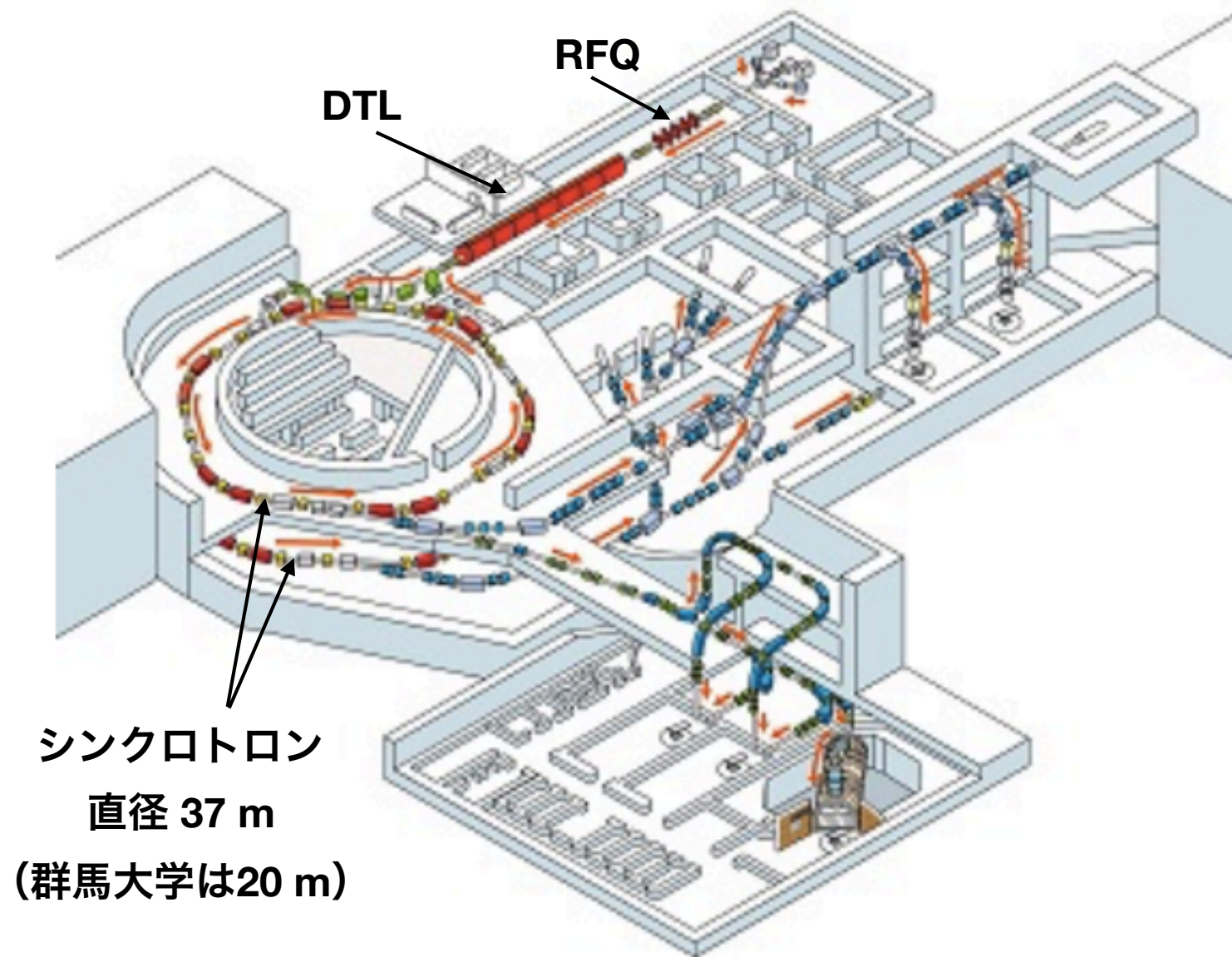


Credit: SLAC/Stanford University

重粒子線治療施設

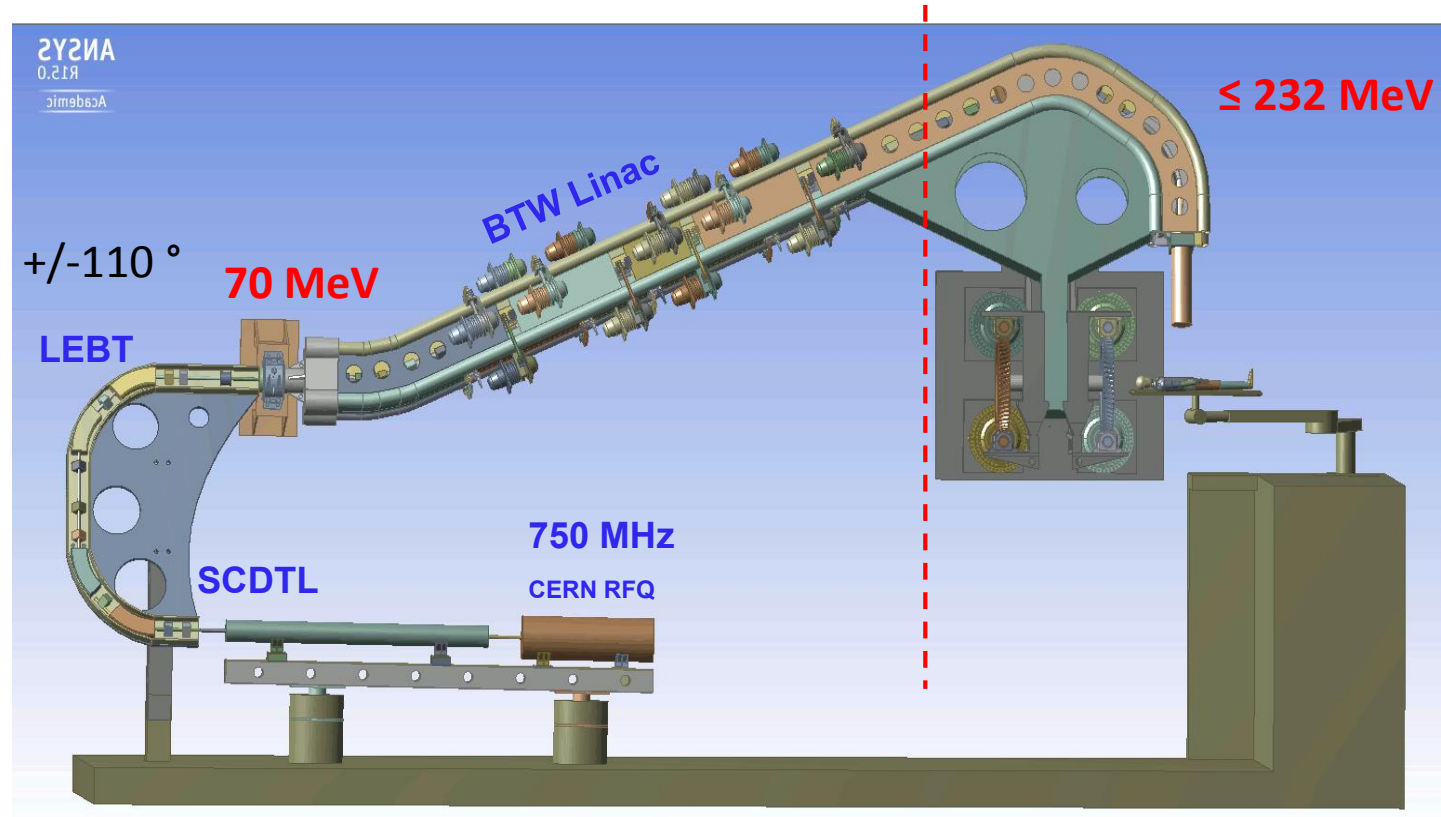


HIMAC (QST)



Beam production and transport system

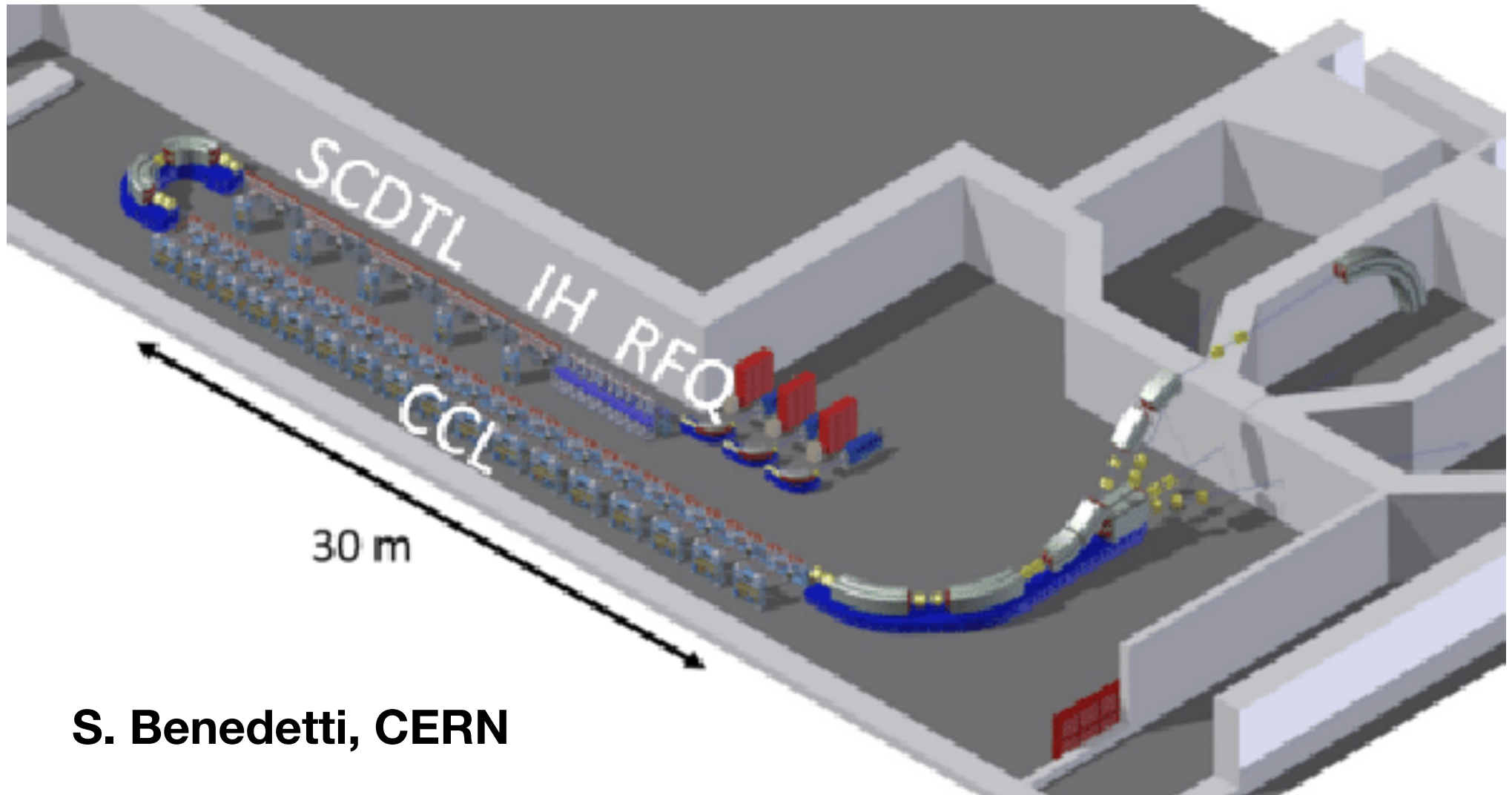
Beam application system



RFQ, DTL	
HIMAC	100 MHz
群馬大学	200 MHz

S. Benedetti, A. Grudiev, A. Latina, High Gradient LINACS for Protontherapy
[PhysRevAccelBeams 20 040101 2017](https://arxiv.org/abs/2004.0101)

New Trends in Proton, Carbon Therapy Linacs



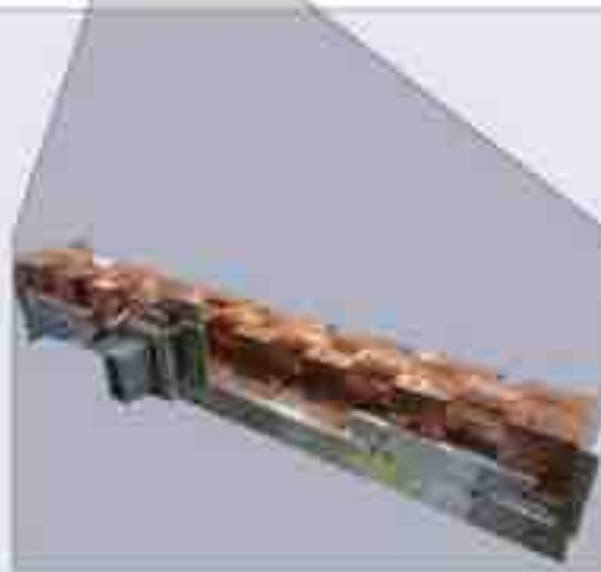
S. Benedetti, CERN

ADAM-LIGHT

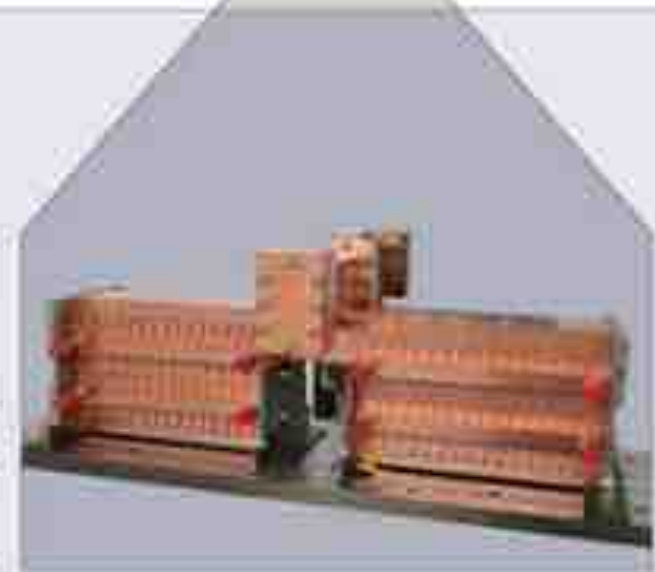
全長 25 m



radiofrequency
quadrupole (RFQ)
750 MHz



side-coupled drift-
tube linac (SCDTL)
3 GHz



coupled-cavity
linac (CCL)

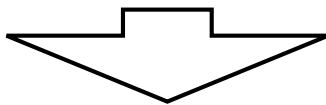
ホウ素中性子捕捉療法

Boron Neutron Capture Therapy

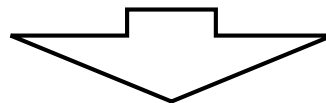
1. がん患者に ^{10}B を含む薬剤を投与し，がん細胞に送達する。
2. 中性子を ^{10}B に衝突させ，核反応により発生するアルファ粒子と ^7Li 線により，がん細胞のみ選択的に破壊する。

原子炉では多くの実績があるが，

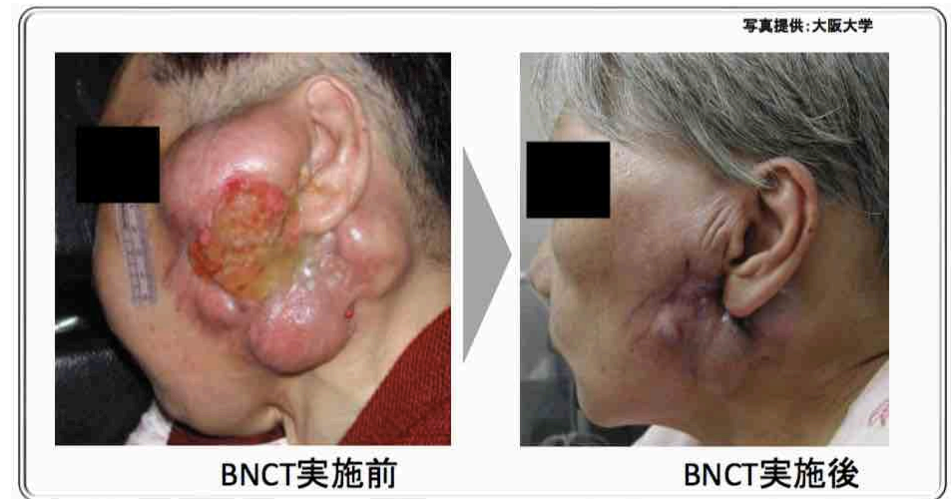
- ・病院に設置不能
- ・低稼働率

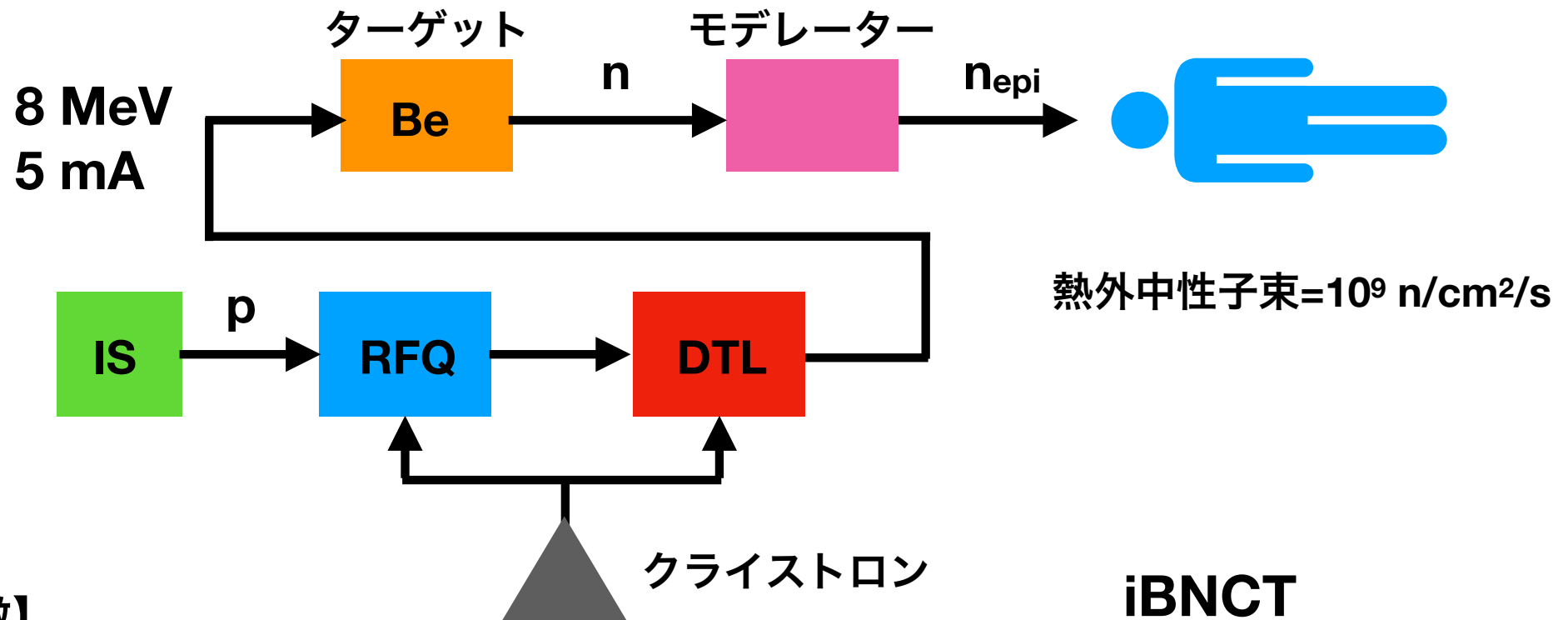


加速器ベースのBNCTが必要。

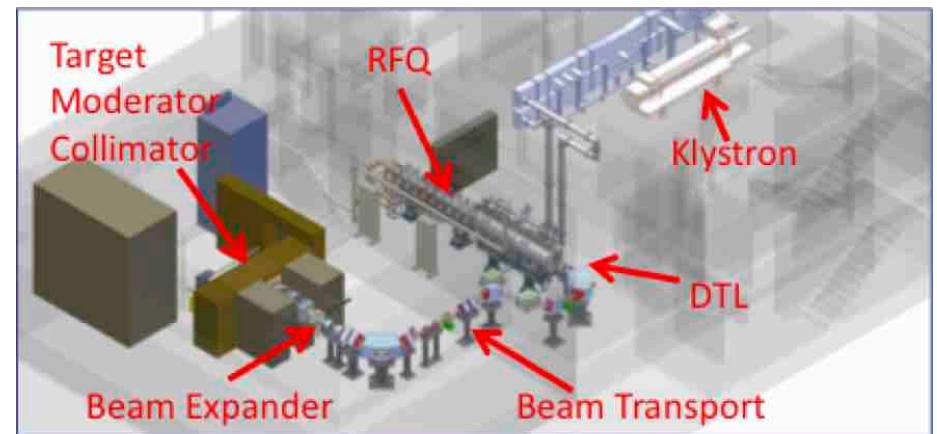


KEKは，2011年，リニアックベースのBNCT開発に着手。
ほぼ，要求性能を達成。





iBNCT



- 【特徴】
- 空洞は、ほぼJ-PARCリニアックのコピー。
 - ただし、2 空洞を1クライストロンで駆動、Duty が J-PARC より約 1 桁高い。
 - 共振周波数・チューナー・冷却水温度の制御を統合して実現。
 - 世界で最もインテリジェントなRF制御システムか。
 - 先行するサイクロトロン方式に比べて、低放射化、被ばく低減、停止期間短縮、デコミ費用削減。

Schematic Figure of Superconducting BNCT System

R. Katayama (KEK)

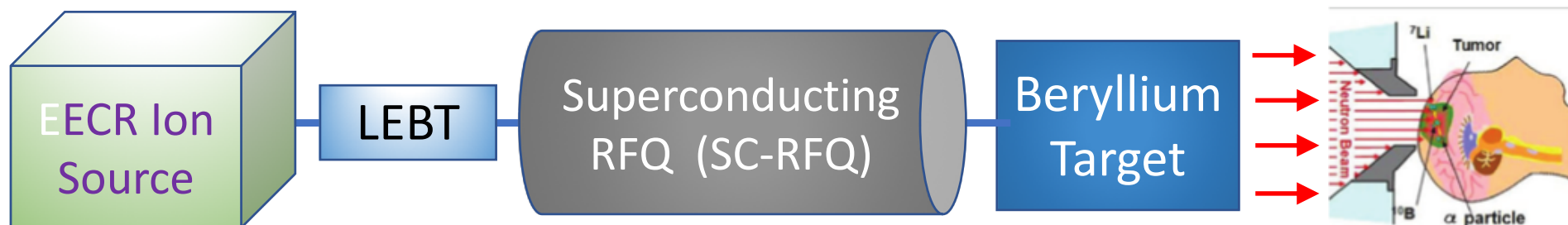


Fig.1 Proposal Layout of Superconducting BNCT System of KEK (The image is cited from [1] and partially changed.)

Specification of SC-RFQ

Operated Frequency: 162.5 MHz
Accelerated Particle: Deuteron or Proton
CW Current: >20 mA
Particle Energy: 5 MeV
Operation Temperature: 4.2 K
Accelerated Length: < 5 m
Material: Niobium
Transmission Rate: > 99%

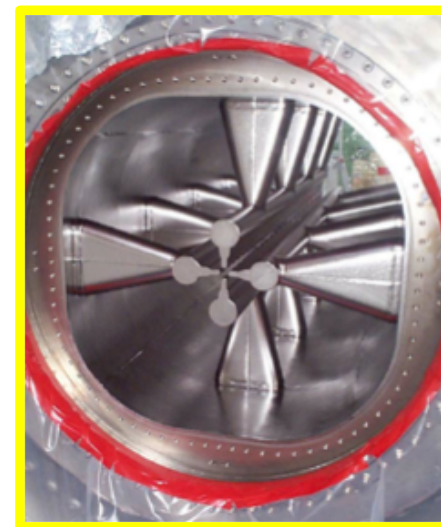


Fig2. Superconducting RFQ (81 MHz) operated at INFN-LNL [2]

Reference: [1] Optimization of Neutron Collimator in The Thermal Column of Kartini Research Reactor for in vitro and in vivo Trials Facility of Boron Neutron Capture Therapy using MCNP-X Simulator [2] Superconducting RFQ's ready For Ion Beam Operation at INFN-LNL, G. Bisoffi *et.al*, Proceedings of EPAC 2002, Paris, France

核医学検査薬 (^{99m}Tc) の製剤

- ・ 核医学検査薬の利用は年間100万件。
- ・ その内, 60 % が ^{99m}Tc . 親核種, ^{99}Mo の製剤が必要。
- ・ ^{99}Mo :100% 海外から輸入.原子炉で製造。
- ・ 供給が不安定。



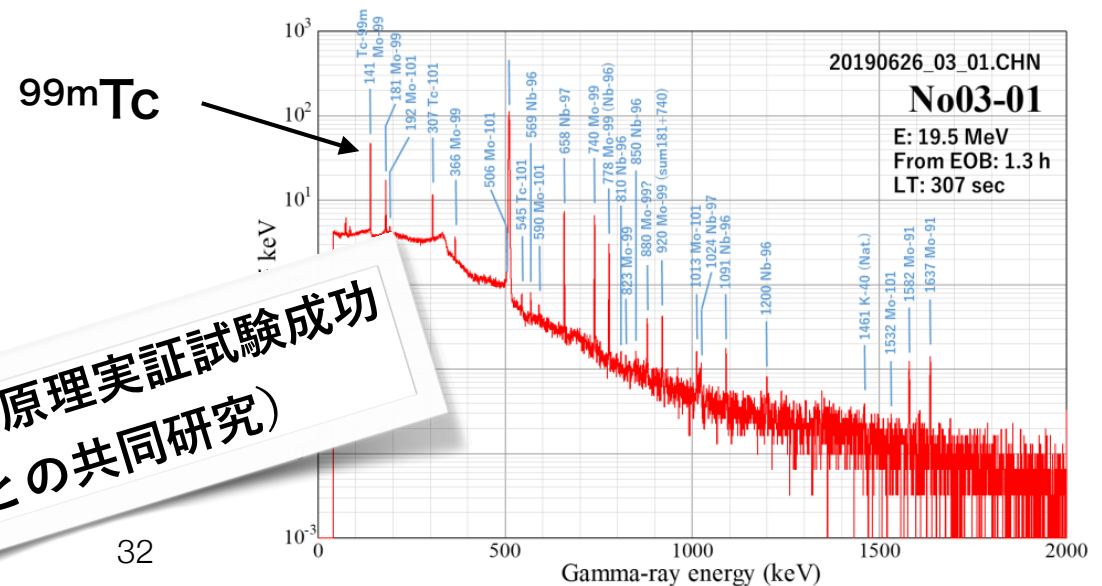
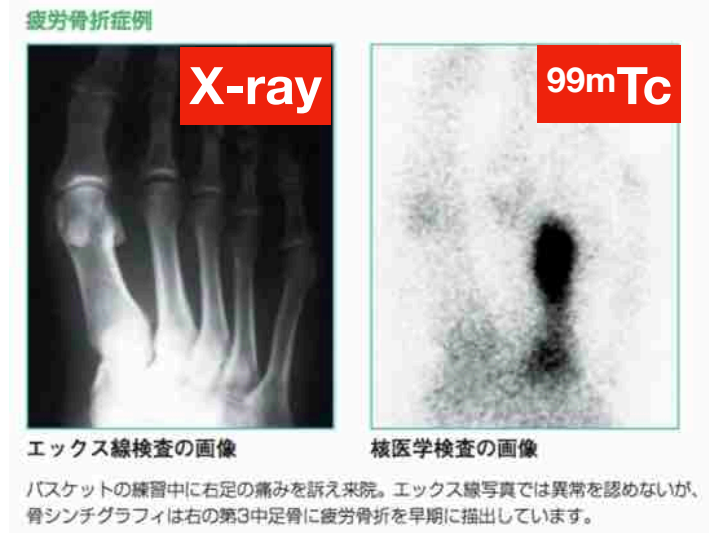
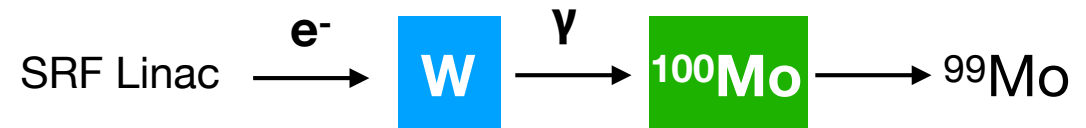
- ・ 加速器ベースの製剤が求められている。
- ・ $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ が最も有望。



- ・ cERLで原理実証試験を実施。



2019年6月 原理実証試験成功
(企業との共同研究)



医療用RIの製造

RI需要の現状と今後の予測 (3) α 核種利用

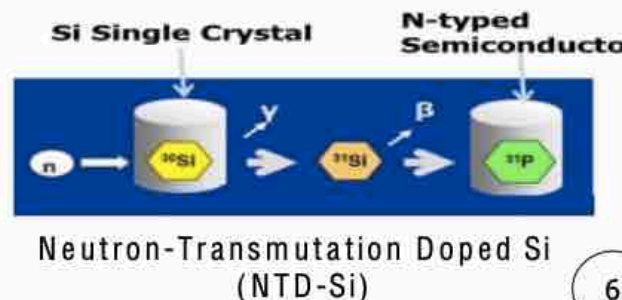
- ◆ β 線よりも飛程が短い α 線が利用できるようになれば、強力に細胞内のDNAを破壊し、正常組織に対する放射線影響も最小限に抑えられるため、現在よりも腫瘍だけを集中的に攻撃する効果的な治療が期待される。
- ◆ 2016年から、 α 線核種 (^{223}Ra)を用いた治療が国内でも開始され、うなぎのぼりの増大傾向にある。

Si半導体の製造 ^{30}Si を照射して ^{31}P を製造

- ◆ NTD-Si以外のガスドーピング法による代替品の開発により、これまでは減少傾向にあったが、ここ数年は上記レベルを維持している。
- ◆ 今後の傾向としては、パワー半導体利用の急成長が予想されるため、業界全体で需要予測検討を開始した。

核種	半減期	製造方法
^{223}Ra	ラジウム	11.4d 原子炉
^{211}At	アスタチン	7.21h 原子炉 サイクロトロン
^{212}Bi	ビスマス	60.6d 原子炉
^{225}Ac	アクチニウム	10.0d 原子炉
^{213}Bi	ビスマス	45.6m 原子炉
^{149}Tb	テルビウム	4.15h 原子炉 シンクロトロン

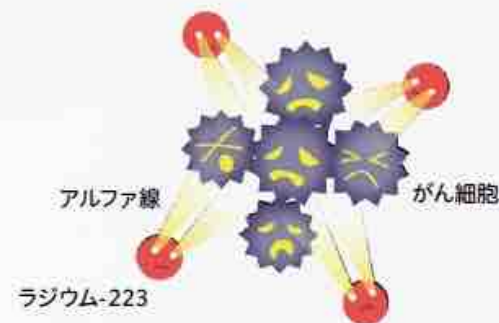
β 線の飛程 2~10mm、 α 線の飛程 $<0.1\text{mm}$



- 1 放射性物質のラジウム-223が、代謝が活発になっている骨の転移巣に集まります。



- 2 ラジウム-223から放出されるアルファ線の力によって、骨に転移したがん細胞を直接攻撃します。



加速器で医療用RI（特に α 粒子放出核種）の製造を.

Ra-223, Ac-225, Bi-213, At-211

半導体リソグラフィー用加速器

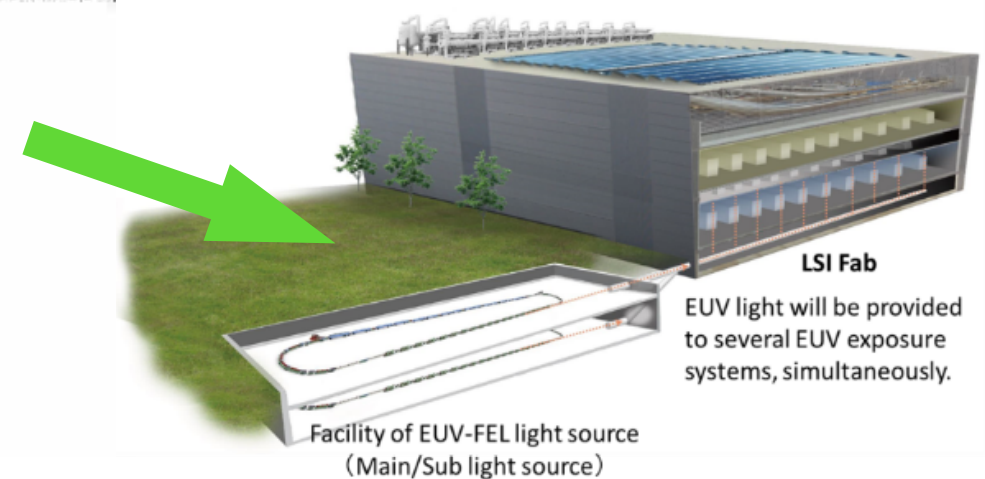
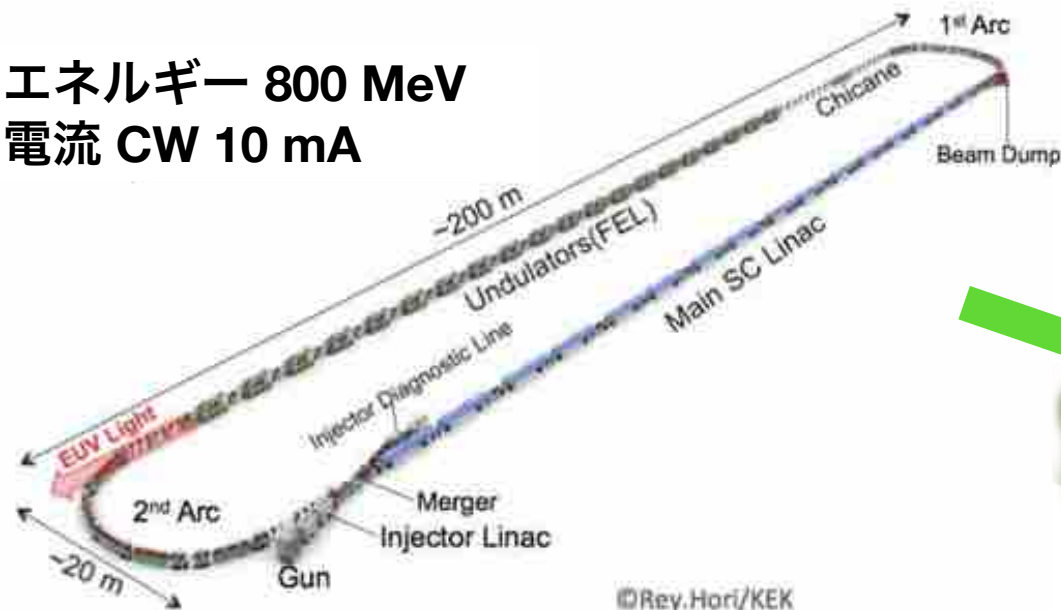
半導体リソグラフィー用の光源

微細化 → 短波長化 EUV光 ($\lambda=13.5$ nm)

EUV光源 : LPP (~ 250 W) → FEL (10 kW)

エネルギー 800 MeV

電流 CW 10 mA

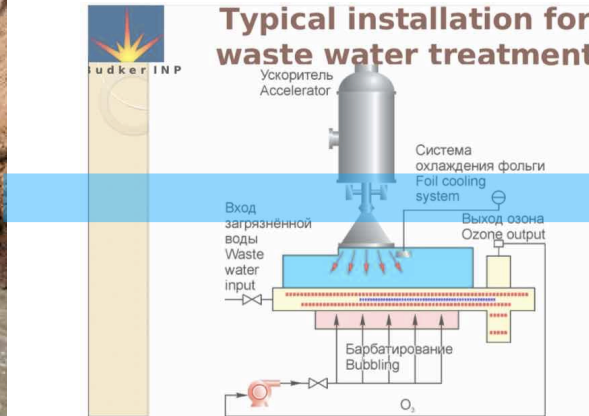


ERL (Energy Recovery Linac)
で培われた技術を転用し, EUV-FEL加速器の実証試験.
開発要素: 電子銃, 超伝導空洞, ビーム制御, etc.

ERL

- ・一旦加速されたビームを周回させ, 減速させてから捨てる. 大きなビームダンプが不要.
- ・良質 (低エミッタンス) なビーム.

環境浄化（排水処理）



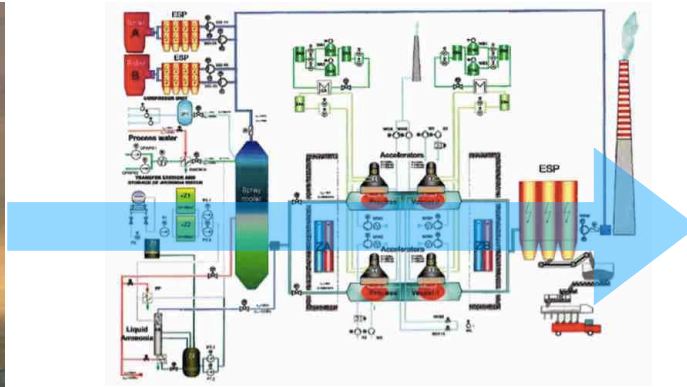
目的 排水の浄化（微生物等有毒廃棄物の殺菌）

方法 汚染水に電子ビームを照射： $e^- + H_2O \rightarrow H:\ddot{O}\cdot \rightarrow$ 殺菌
水（4mm程度の厚さ）の供給システムがポイント。

現状 ロシア・韓国・日本などで 500 kW クラスのものが実用化または，実証試験中。

課題 安定性，経済性（大規模プラント：60 MW）遮蔽，コストダウン
1 MeV，1 A，1 MWの安定な加速器が必要。
小型かつ大強度 → 超伝導加速器（4 Kで駆動）

環境浄化（排煙処理）



目的 ・ 排煙の脱硫, 脱硝 (大気の浄化)
・ 肥料の生産

方法 NOx 硫酸 硫安 (NH₄)₂SO₄
SOx 硝酸 硝安 NH₄NO₃
↑
電子ビーム + アンモニア



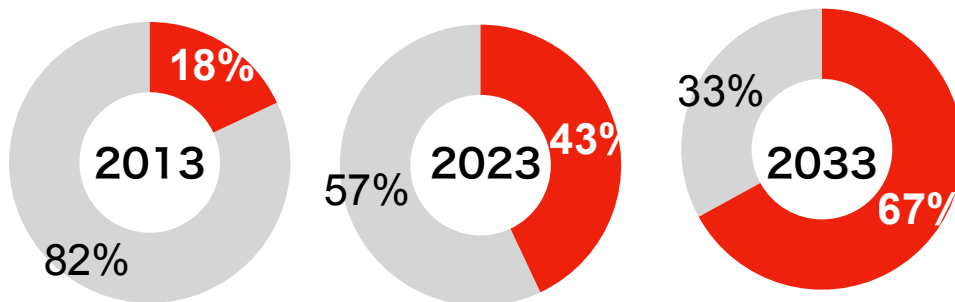
現状 数百keV, 数百mA, 数百kW（低エネルギー大強度加速器），ポーランドなどでパイロットプラントが稼働中。

課題 安定性, 経済性 (大出力化)
1 MeV, 1 A, 1 MWの安定な加速器が必要.

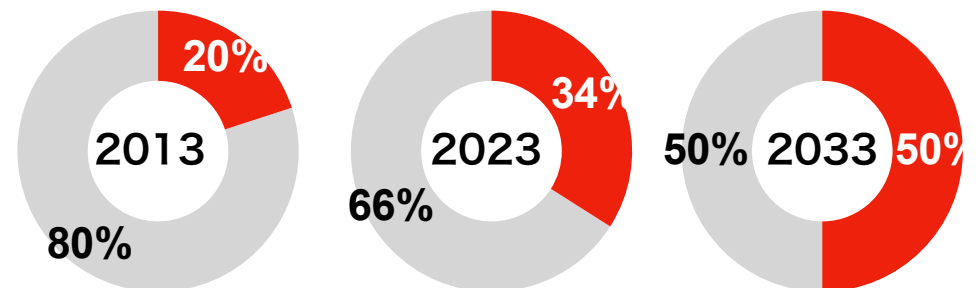
老朽化したインフラの診断

背景

- ・ インフラ（橋、トンネルなど）の老朽化は急速に進行中。
- ・ 強度の非破壊検査・可視化が求められている。



高年齢（50歳以上）橋梁の割合



高年齢（50歳以上）トンネルの割合



方法

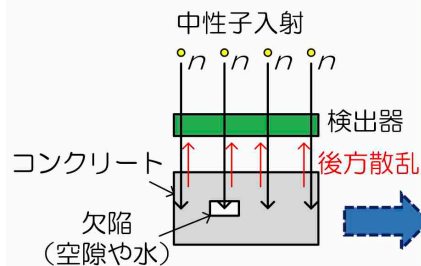
- ・車載型加速器で中性子/X線を発生，老朽化所を見つける（反射/透過）。

陽子 → **Be** → 中性子

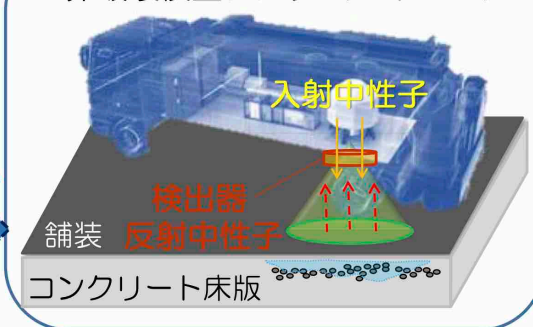
電子 → **W** → X線

舗装の下を見たい！

反射測定法の開発



非破壊検査システムのイメージ



小型中性子源の開発

(RANS : Riken Accelerator-driven Neutron Source)



2016/12/27 KUR研究発表

さらなる小型化、
可搬型へ

33



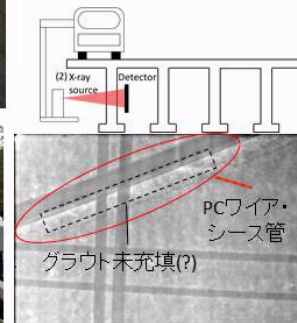
理研 Y. Otake

実橋梁試験

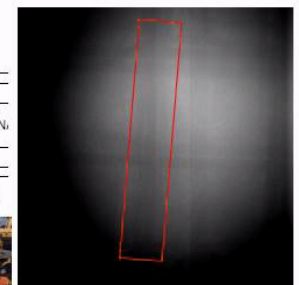
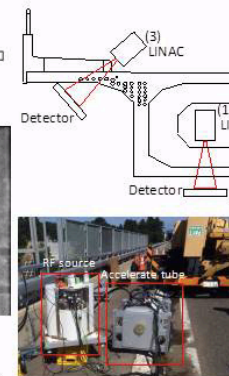
NEX



実験風景



T型橋梁試験の結果



箱型橋梁試験の結果(400 mm厚, FPD 39 sec × 2枚積算画像)

- ・ 300 kV X線管を利用(電源相性がマッチしなかったため)
- ・ 日本初の実橋梁トモシンセシス試験を実施
- ・ グラウト未充填疑いが発見された
→ 表面のコンクリート溶出が原因と考えられる

- ・ 950 keV適用限界とされる400 mm厚の撮像に成功
- ・ 高解像度化には3.95 MeVを利用する方が望ましい

東大 M. Uesaka

インフラの改質

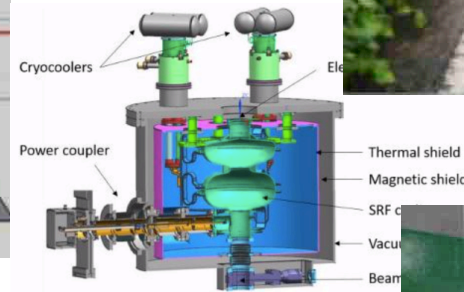
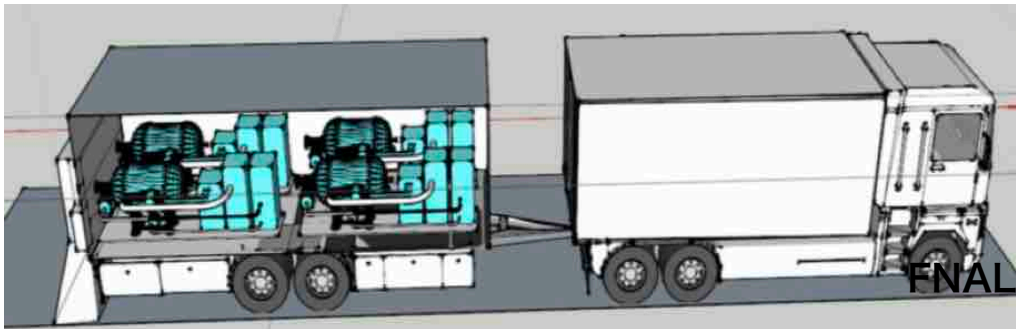
(アスファルトの長寿命化)

背景

- ・劣化したアスファルトの修理には莫大な費用がかかる。
- ・長寿命化が求められている。

方法

- ・スファルトに電子ビームを照射し、硬化させる。



- ・必要な線量は、約 200 kGy
- ・10 MeV, 50 mA, 500 kW.
- ・課題：小型冷凍機（クライオクーラー+伝導冷却），大電流電子銃, SRF 空洞.

原理実証試験

- ・cERLでアスファルトの試験片に電子線を照射.



エネルギー ≤ 1MeVの放射線の産業利用

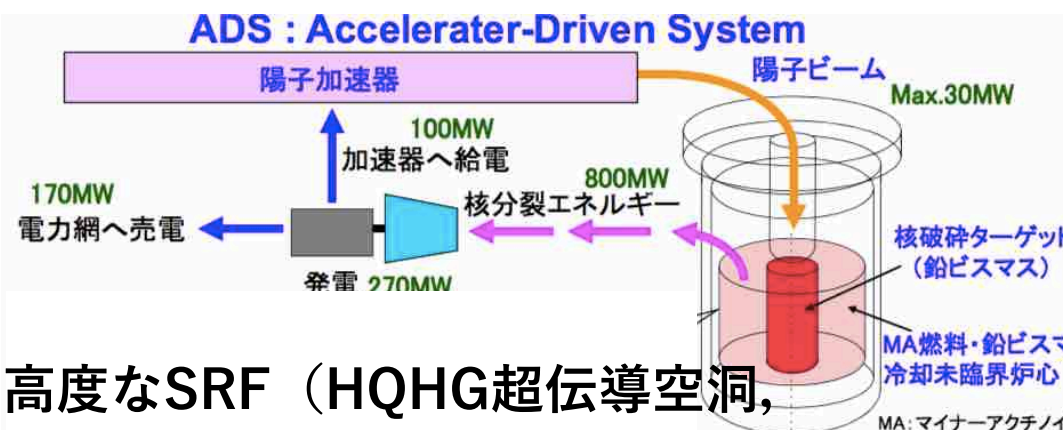
- 強度増強
 - ラジアルタイヤ
 - ポリエチレン
 - 炭化ケイ素繊維
- 滅菌
 - 医療用品
 - PETボトル
- 新素材
- (食品照射)

ADS（加速器駆動核変換システム）

原子炉で発生する高レベル核廃棄物の処理方法

- ① 地層処分。
- ② 高速炉で長半減期の核種を短半減期の核種に変換する。
- ③ ADSで長半減期の核種を短半減期の核種に変換する。

大強度（1 GeV, 30 mA CW, 30 MW）の陽子加速器（J-PARC Linac は 0.6 MW）



- 高度なSRF（HQHG超伝導空洞，クライオモジュール，カプラー）技術，ビーム制御技術が必要。
- ベルギー（MYRRHA），中国（C-ADS）がプロト機を開発中。
- J-PARCでも検討中。

分離変換技術の実現に向けた研究開発(将来計画)：

J-PARCにおける核変換実験施設(検討中)



ADSターゲット試験施設 (TEF-T)
LBE核破砕ターゲットの工学的課題解決
ADS構造材の照射データベースの構築
二次粒子の多目的利用

- ・ 陽子ビーム強度: 400MeV-250kW
- ・ LBE運転温度: 500 °C_{max}
- ・ LBE中酸素濃度を制御し、腐食抑制
- ・ PIE試料作製のためのセルを設置

核変換物理実験施設 (TEF-P)

ADS・MA装荷炉の核特性の解明

- ・ 陽子ビーム強度: 400MeV-10W
- ・ 水平2分割型臨界集合体を設置
- ・ MA含有燃料を用いた炉物理実験を実施



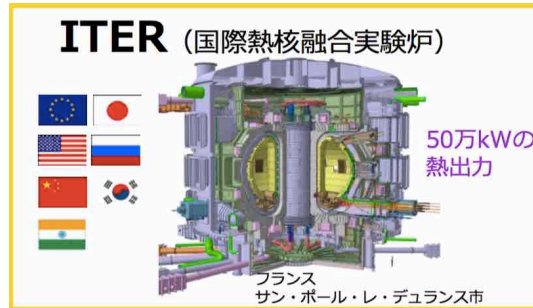
第7回 高エネルギー加速器科学奨励会研究特別講演会²⁸

辻本 和文氏 (JAEA) の資料より

核融合炉材料照射損傷試験用加速器

実験炉

D-T 燃焼



高速中性子による照射
損傷の試験が必須.

-> IFMIF

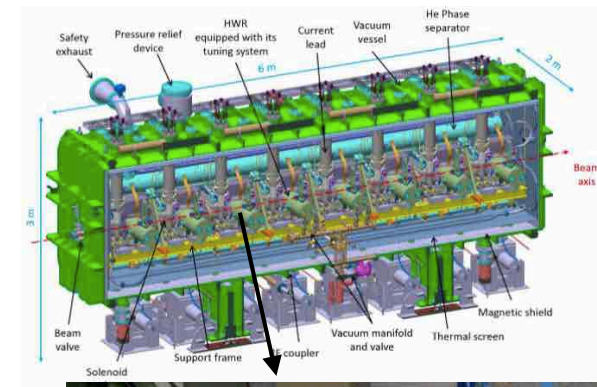
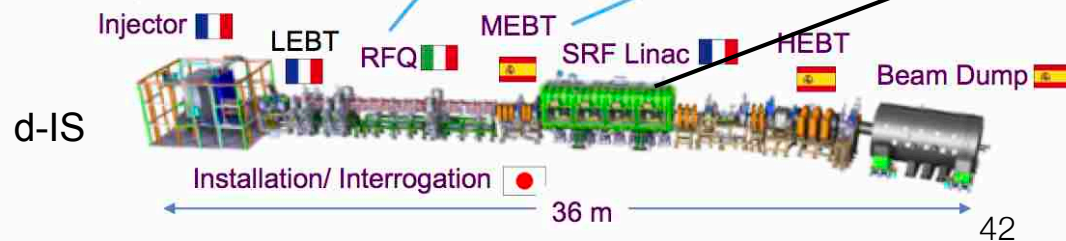
International Fusion Material Irradiation Facility

実証炉

発電



- IFMIF : 40 MeV X 125 mA CW x 2 = 10 MW
- LIPAc (IFMIFの試験加速器) : 9 MeV X 125 mA CW = 1.125 MW
- QST, F4E (EU) の共同事業. KEKも協力.



175 MHz
HWR



世界最高強度の重陽子ビーム加速に成功 ～日欧合同チームが加速器開発の未到のマイルストーンを達成～

掲載日：2019年8月6日更新

発表のポイント

- 日欧合同チームは、世界最長の高周波四重極線形加速器(RFQ)¹⁾を用いて、世界最高強度の重陽子ビーム加速（125ミリアンペア、エネルギー500万電子ボルト、従来の記録²⁾は45ミリアンペア、エネルギー200万電子ボルト）に成功し、前人未到のマイルストーンを達成。
- 本結果は、核融合炉で生じる高速中性子が炉の材料に与える影響を調べるために必要な大強度中性子源のみならず、医療や農業、工業分野への幅広い中性子応用利用の実現に見通しを与える。

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（理事長 平野俊夫。以下「量研」という。）は、欧州核融合エネルギー合同事業体（フュージョンフォーエネルギー。以下「F4E」という。）とともに、イタリア国立核物理学研究所（INFN）、スペインエネルギー・環境技術研究センター（CIEMAT）、フランス原子力・代替エネルギー庁（CEA）サクレ研究所の協力の下、大強度の核融合中性子源の実現に向け高周波四重極線形加速器（RFQ）¹⁾を開発し、このたび重陽子ビーム加速の実証試験により、前人未到のマイルストーン（電流125ミリアンペア、エネルギー500万電子ボルト）に達する重陽子ビームの加速に成功しました。重陽子とは、水素の原子核である陽子に中性子1個が結合した粒子です。

この実証試験は、核融合エネルギーの早期実現を目指す幅広いアプローチ（BA）活動³⁾の下で行われる、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）事業⁴⁾の一環として行われたものです。

これまで、RFQを用いて500万電子ボルトで125ミリアンペアという極めて大強度の重陽子ビームの加速を行った実績は世界になく、このために、世界最大電流の重水素イオンを生成する入射器、世界最長のRFQ及びそのRFQに世界最大パワーを注入する高周波加速器システムを新たに開発しました。特に大電流ビームの加速においては、大電流のビーム自身のプラス電荷でビームが拡がらないように集束させ、かつ、徐々に所定の速度に加速することが鍵です。今回、日欧合同チームは、RFQの前段にある入射器で、大強度重陽子ビームを速度のバラツキが少ない状態で集束させRFQへ入射でき、RFQ内に重陽子イオンビームの密度に応じた大電力高周波電場を立てることで、RFQで重陽子イオンビームを安定に集束・加速することに成功し、今回の成果を得ることができました。

本成果は、核融合原型炉の炉内中性子環境を模擬し、原型炉建設への移行判断に必要な材料データの取得を行うための中性子源A-FNS⁵⁾の実現へ向け、大きなステップとなるもので、さらに、これで得られる大強度かつ連続の中性子を用いて、がん治療や検査薬のための医療用アイソトープ製造、農業、半導体製造などの工業分野への応用、医学・科学研究応用など、幅広い利用に道を開くものと期待されます。

課題：入力カプラー，ビームロス対策，ほか

その他

- 分析
 - 質量分析 (AMS)
 - 励起X線分析 (PIXE)
 - イオンビームによる物質分析 (RBS, ERDA)
 - 高分解能イオンビーム表面分析
- 重イオン照射加工
- 放射線耐性試験
- 年代測定

以上は、静電加速器を使用。

- 超伝導リニアックによるバイオエタノール，セルロース
ナノファイバーの製造，産総研と共同研究

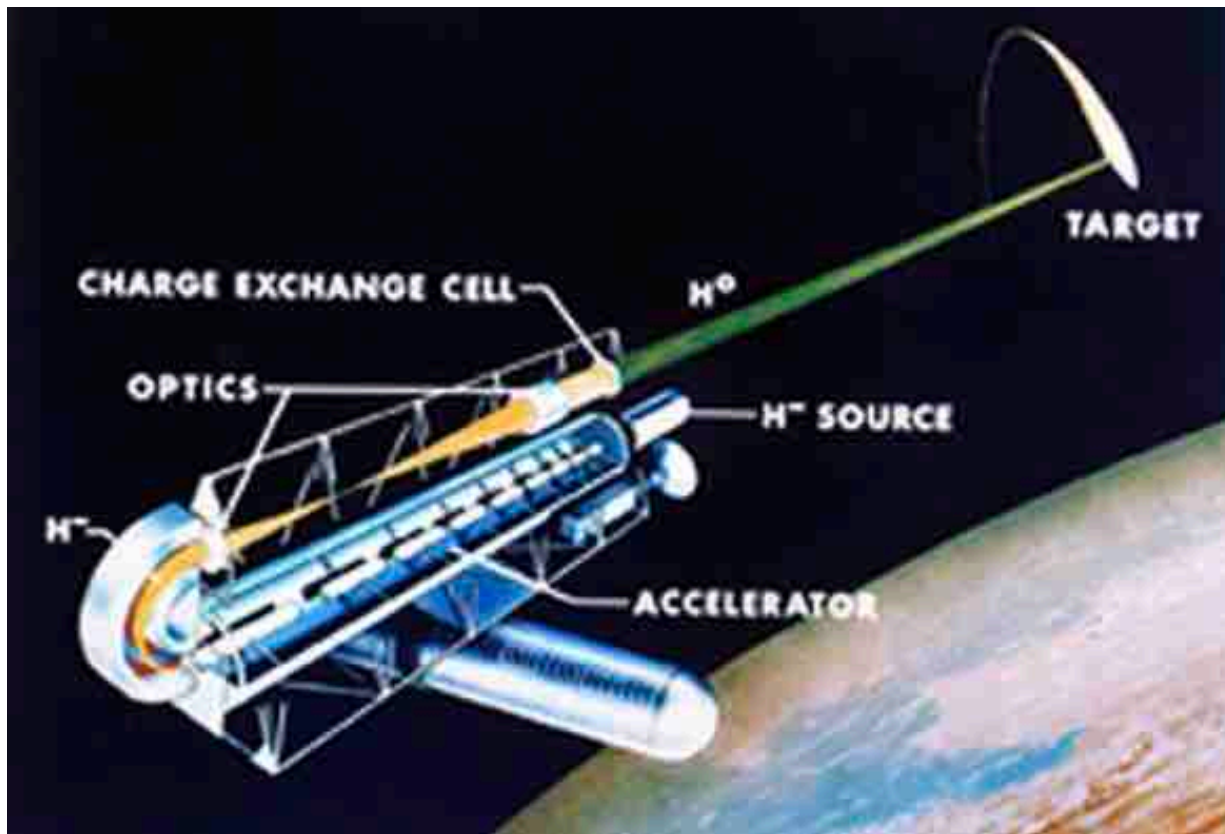
AMS Accelerator Mass Spectrometry

PIXE Particle Induced X-ray Emission

RBS Rutherford Backscattering Spectrometry

ERDA Elastic Recoil Detection Analysis

衛星搭載用加速器



月面資源探索



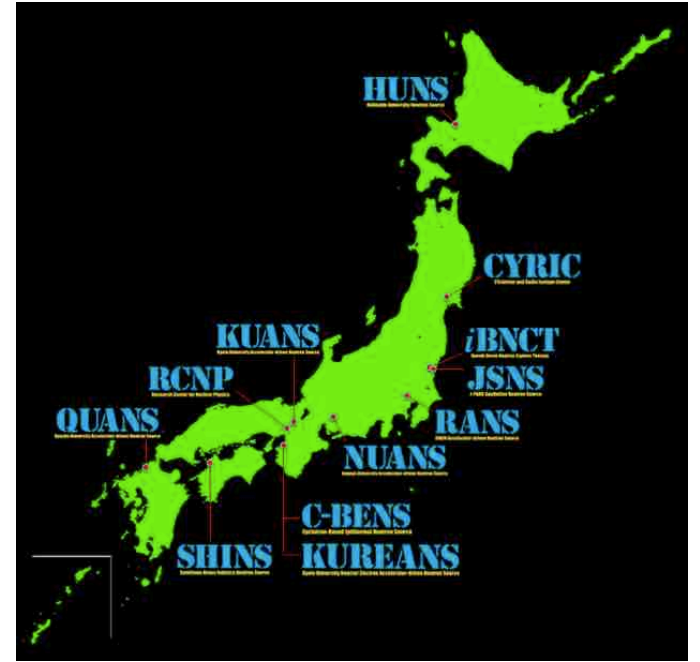
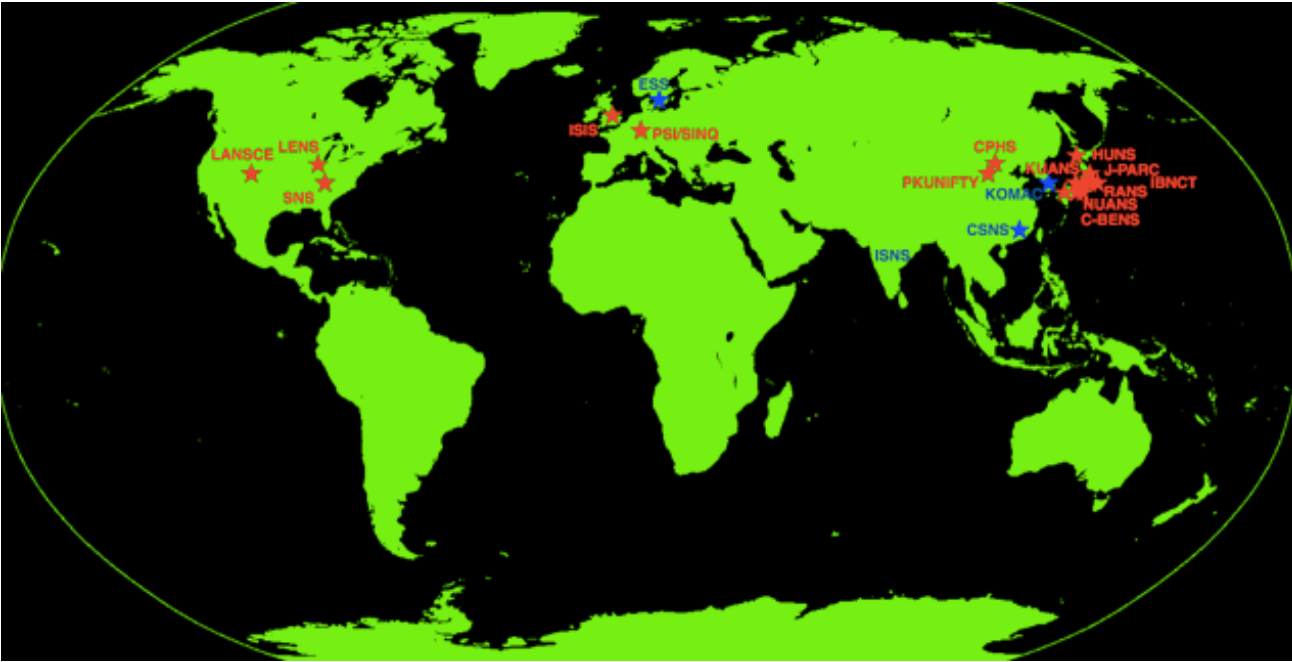
n → PGA
p → PIXE



宇宙デブリ除去

小型中性子源

- ・中性子科学（物性，基礎物理，産業利用等）のためのツール.
- ・高機動性が特徴. 「試験は小型加速器で，本格実験はJ-PARCで」



国内の主な小型中性子源

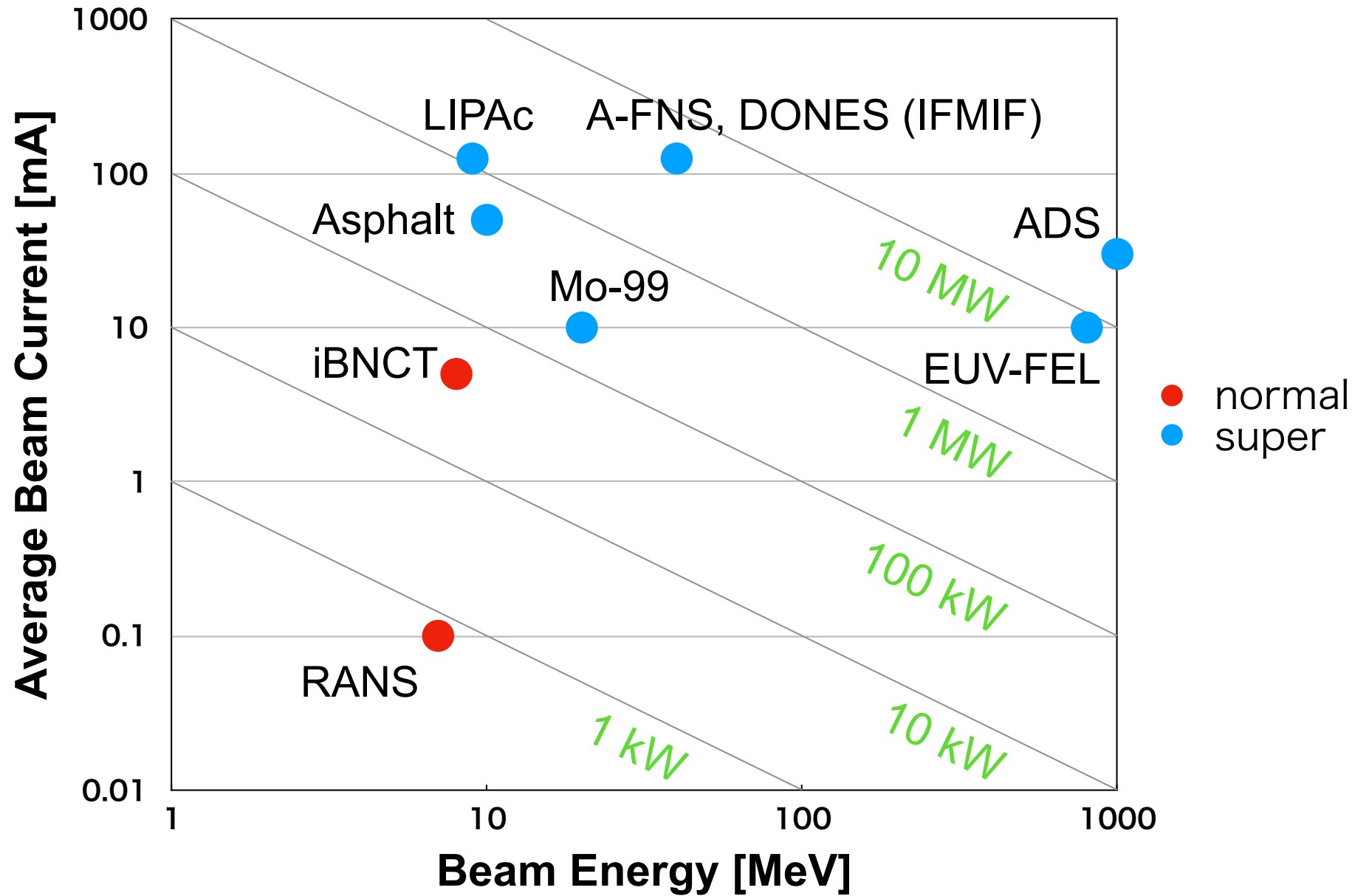
	RANS	RANS2	HUNS	NUANS	KUANS	iBNCT	中型
加速粒子	p	p	e ⁻	p	p	p	p
加速器	RFQ, DTL	RFQ	S-band disk-loaded	Dynamitron	RFQ	RFQ, DTL	?
エネルギー [MeV]	7	2.49	45	2.8	3.5	8	13
平均電流 [μ A]	100	100	< 140	15,000	100	5,000	1000
パワー [W]	700	250	1,000	42,000	350	40,000	13,000
パルス幅 [μ s]	10~180		0.01-3	CW	30 - 120	1,000	10-500
繰返し [Hz]	20-200		< 200		20 - 120	< 200	80
ターゲット	⁹ Be	⁷ Li	Pb	⁹ Be	⁹ Be	⁹ Be	⁹ Be
中性子発生量 [/s]	10 ¹²	10 ¹¹	1.6x10 ¹²	10 ¹²	10 ¹¹	10 ¹⁴	4x10 ¹³
用途	研究・応用	研究・応用	研究・応用	研究・BNCT	研究・応用	BNCT	研究・応用

小型中性子源の課題

- 加速器の設計（小型，低コスト，省エネ）
- 標的，減速材，反射体の設計
- 遮蔽（特に車載型の場合）

常伝導加速器と超伝導加速器の比較

	常伝導	超伝導	コメント
材料	無酸素銅 Cu	高純度ニオブ Nb	超伝導空洞の組み立て、運転は要クリーン環境。 材料費：無酸素銅 1円/g, ニオブ 70 円/g.
加速粒子	電子・イオン	電子・イオン	CW(連続波)の加速器では、損失の大きい常伝導空洞は使えず、超伝導空洞が使われる。
電力損失	大きい ($Q \sim 10^4$)	小さい ($Q \sim 10^{10-11}$)	超伝導空洞は、空洞の電力損失は小さいが、低温にするための冷凍機が必要。
周波数	0.1~10 GHz	0.5~1.5 GHz	直線加速器の場合、加速勾配が同じであれば、全体の長さは常伝導の方が短くできる。
最大加速勾配	100~200 MV/m	50~100 MV/m	加速勾配を制限する主な因子：常伝導空洞では、絶縁破壊、超伝導空洞では、磁場による局所的な発熱
アライメント 許容誤差	~100 μm	~300 μm	超伝導空洞は、周波数が低く、寸法が大きいため、アライメントの許容誤差が大きい。



本センターと関連組織との関係



大学加速器連携協議会

http://www2.kek.jp/accl/KEK_University/index.html

設立趣旨

- (1) 情報共有 加速器施設カタログの発行
- (2) 相互扶助 モジュール類の配布
- (3) 人材育成 インターンシップ、加速器実習の案内
- (4) 加速器科学の新展開に関する検討

協議会開催

2017.4.14 準備会開催

2017.7.31 第1回協議会開催（北大）

2018.8.8 第2回協議会開催（長岡技科大）

2019.8.3 第3回協議会開催（京都大）

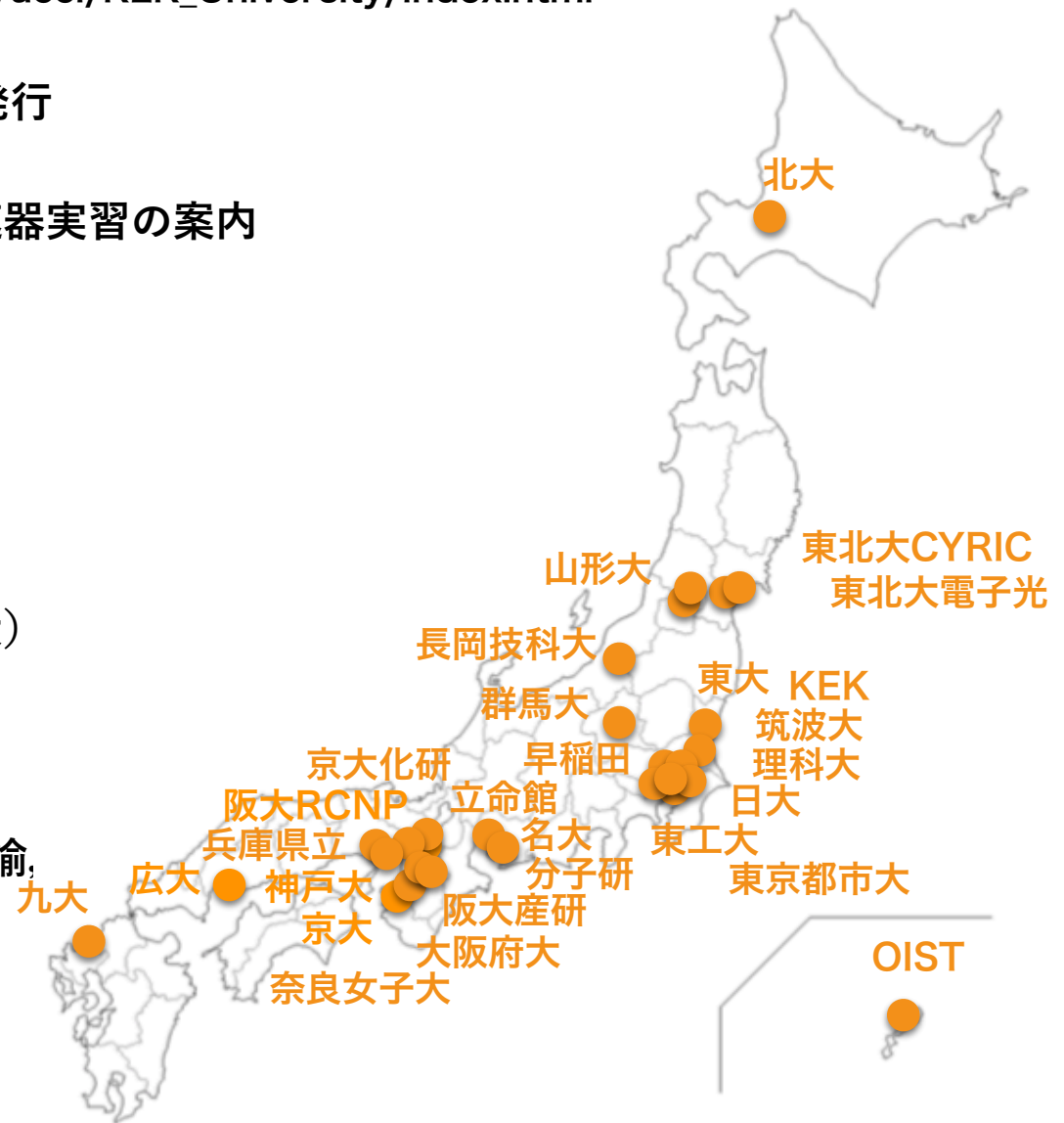
加速器のすゝめ（講演会，見学会）

対象：大学・高専教職員，学生，高校教諭，
企業，自治体職員など

2018.3.21 筑波大学

2018.7.12 長岡技科大

2019.10.5 群馬大学



2019.7.31現在、全国の43大学・大学共同利用機関加速器施設が参加

1. コンソーシアムの役割

- ・ 加速器応用のニーズ・シーズの調査・分析
- ・ 研究開発戦略の策定・展開
- ・ 連携の促進
- ・ 情報収集・情報発信

2. コンソーシアムの構成

- ・ 企業
- ・ 大学加速器施設
- ・ 研究機関
- ・ 応用超伝導加速器センター



応用超伝導加速器コンソーシアム

<https://www.kek.jp/srfconsor/>



応用超伝導加速器 コンソーシアム設立 記念シンポジウム

超伝導加速器で代表される先端加速器を用いた
イノベーション創出を目指して



web 申込先

申込み締切
8月19日(月)



<https://conference-indico.kek.jp/indico/event/85/>

開催場所

日本大学理工学部
駿河台校舎 1 号館
7 階 171 教室



<https://www.cst.nihon-u.ac.jp/campus/surugadai/>

お問合せ



高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
応用超伝導加速器センター 事務局

E-mail: srfconsor@ml.post.kek.jp
Tel. 029-879-6208

Program

- 来賓あいさつ
応用超伝導加速器コンソーシアムの設立について
道園 真一郎 (KEK)
- 次世代半導体微細加工に向けた超伝導加速器による EUV-FEL 光源
河田 洋 (KEK)
- 先端的小型加速器技術の医学 (BNCT) 分野への応用
熊田 博明 (筑波大学)
- 産総研加速器施設における光・量子ビーム技術の産業利用への
取組みと超伝導加速器への期待
黒田 隆之助 (産総研)
- 日大 PXR 線源で可能な先端 X 線イメージングとその応用
早川 恭史 (日本大学)

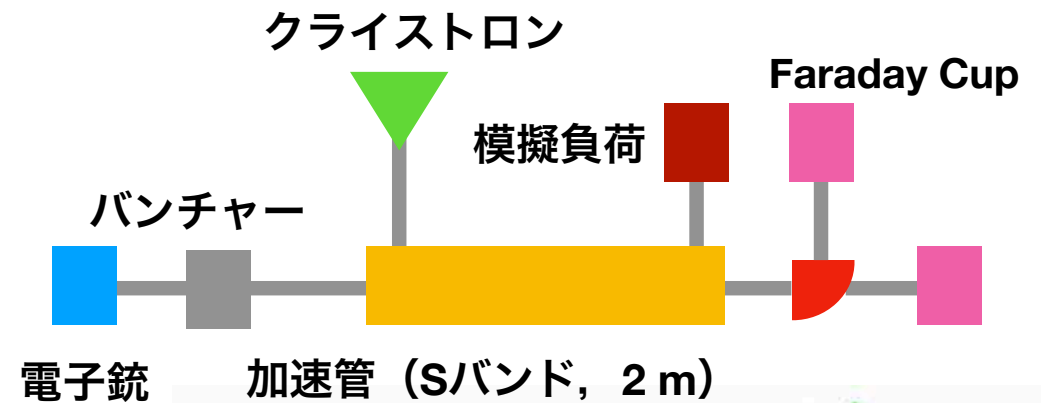


会員向けセミナー等を年数回程度行なう。

教育用小型加速器

小型電子加速器（エネルギー約 20 MeV）を建設し，ビーム運転まで行なう．対象は，学生・研究者・企業等の技術者．

1. 講義・シミュレーション
2. 実習（RF特性測定）
3. 建設・運転



産業用加速器に求められる性能

- ・ 大強度
- ・ 高効率
- ・ 小型
- ・ 低価格
- ・ 低放射線

産業用加速器の世界的動向

The Beam Business



Well-established Commercial Applications

Electron and Photon Cancer Therapy (~\$1,800 M)
Ion Implantation - semiconductors and materials (~\$1,600 M)
Radioisotope Production (~\$170 M)
Electron Beam Material Processing (~\$180 M)
Electron Beam Materials Irradiators (~\$160 M)

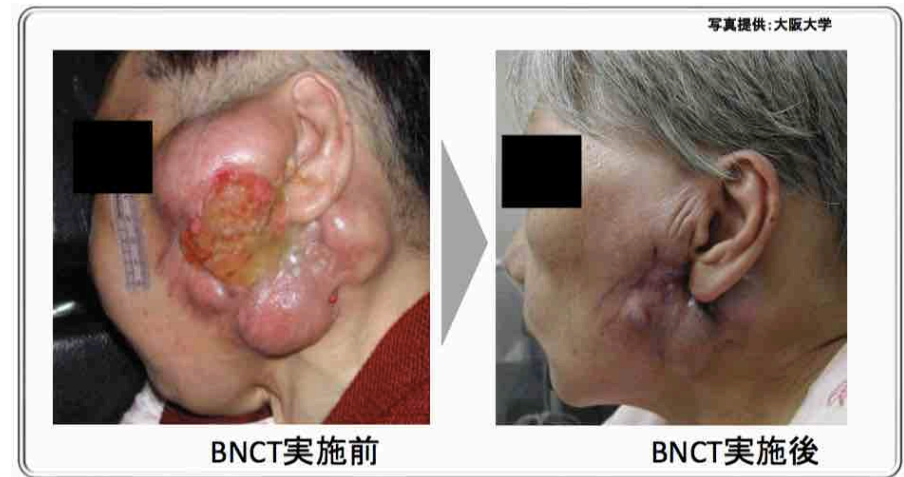
Developing Commercial Applications

Proton and Ion Cancer Therapy (~\$800 M)
Neutron Generators (~\$50 M)
Non-destructive Testing & Inspection Linacs (~\$160 M)
Ion Beam Analysis (~\$50 M)
Synchrotron Radiation (?)

- Estimate > 100 commercial accelerator vendors worldwide
- Estimate > \$5,000 M in sales/year

R&M Technical Enterprises, Inc.

まとめ



加 速 器

**応用超伝導加速器センター
をよろしくお願いします。**

ご静聴ありがとうございました。