

# Heavy Ion Facility, Present and Future

성균관대학교  
채종서

1. Status of Ion Beam Facility in Korea
2. Future of Ion Beam Facility in Korea

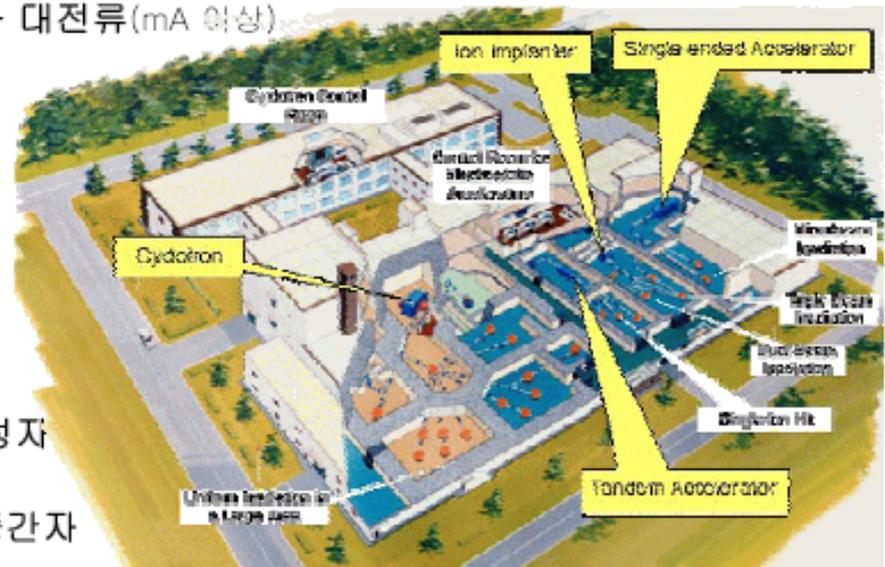
# 중이온 가속기란?

## □ 중입자 (중이온)가속기(Heavy Ion Accelerator) 란?

- He, C, N, O --- U 등 원소의 이온을 가속하는 장치
- 중입자 가속기 종류 :
  - 의료용 : Cyclotron, Synchrotron - 소전류 ( $\mu\text{A}$  이하)
  - 분석용 : Tandem, Van de Graaff - 소전류 ( $\mu\text{A}$  이하)
  - 산업용 : 선형가속기, 직류형가속기 - 대전류( $\text{mA}$  이상)

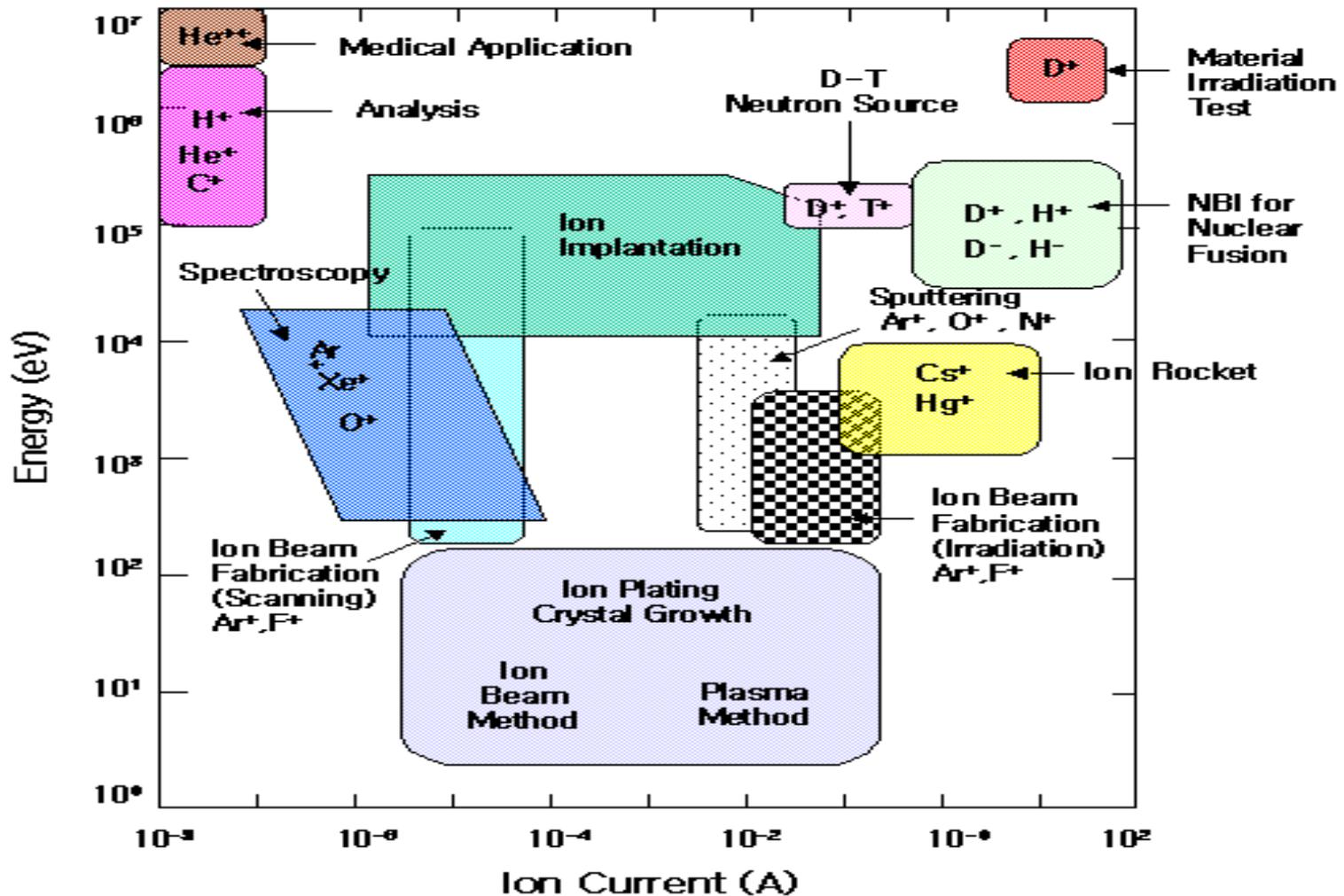
## □ 중입자 가속기의 역할

- RT 분야의 방사선 발생장치로서 중요한 부분 담당
- 방사선 발생장치의 분류
  - 방사성 동위원소 : 감마선, 전자, 알파선( $\text{He}^{++}$ ), 중성자
  - 전자가속기 : 전자, X-선
  - 양성자가속기 : 양성자, 중성자, 중간자 (핵자 이하의 입자)
  - 중입자가속기 : He, C, N, O --- U



JAERI의 중입자가속기 종합시설

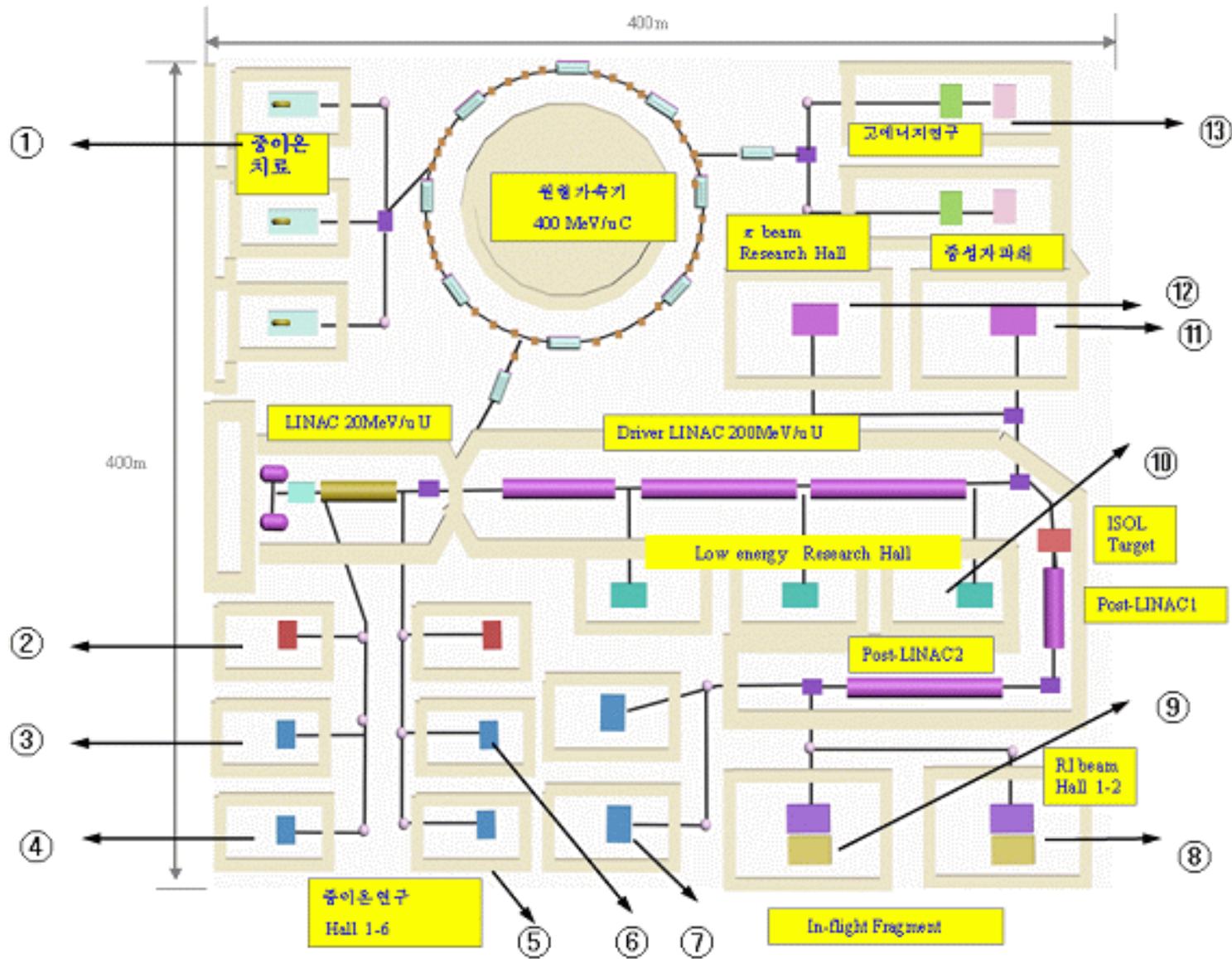
# 중이온 가속기의 응용



1. 포항가속기(Pohang Accelerator Lab.:PAL)  
2.5 GeV Linac, Storage Ring Light Source
2. 원자력의학원(KIRAMS)  
50 MeV cyclotron , 30 MeV cyclotron , 13 MeV cyclotron  
Nuclear Science research, RI productions
3. 한국지질자원연구소(KIGAM)  
2 MeV Van de Graaf Element Analysis
4. 서울대학교 공동기기원 질량분석가속기(AMS)  
2.5 MeV High Voltage Accelerator Accelerator Mass Spectroscopy
5. 양성자가속기 (KAERI / PEFP)  
20 MeV Linac
6. KAERI / RSRI  
30 MeV cyclotron
7. 국립암센터(National Cancer Center)  
235 MeV cyclotron

# 필요성

- 가속기는 인류의 가장 큰 지식인 우주의 비밀과 생명의 구조를 풀 수 있는 열쇠
- 우리나라는 가속기 장치 및 연구의 부재로 최근 10년간 관련 과학자 공동화
- 기초지식은 응용지식을 파생하고 응용지식은 산업을 창출하므로 국민 소득 3만 불 시대에 혁신 산업을 위하여 지식 과학자 양성과 장치의 건설을 더 이상 늦출 수 없음
- 중이온 가속기는 가장 지식을 산업화 할 수 있는 인프라 임



# 1. 중이온(탄소)치료

- 예상 치료 환자 수 1200 명 /년
- 예상 수입 : 20,000 천원 \* 1200 명 = 24,000,000 천원 /년
- 파급효과 : 재발 암 환자, 간암, 폐암 등 수술이 어려운 환자 등
- 기존의 방법으로 치료 어려운 환자 적용 가능

# Cancer Treatment

- Surgical operation
- Anti-cancer medicine ; chemotherapy
  - » immunotherapy

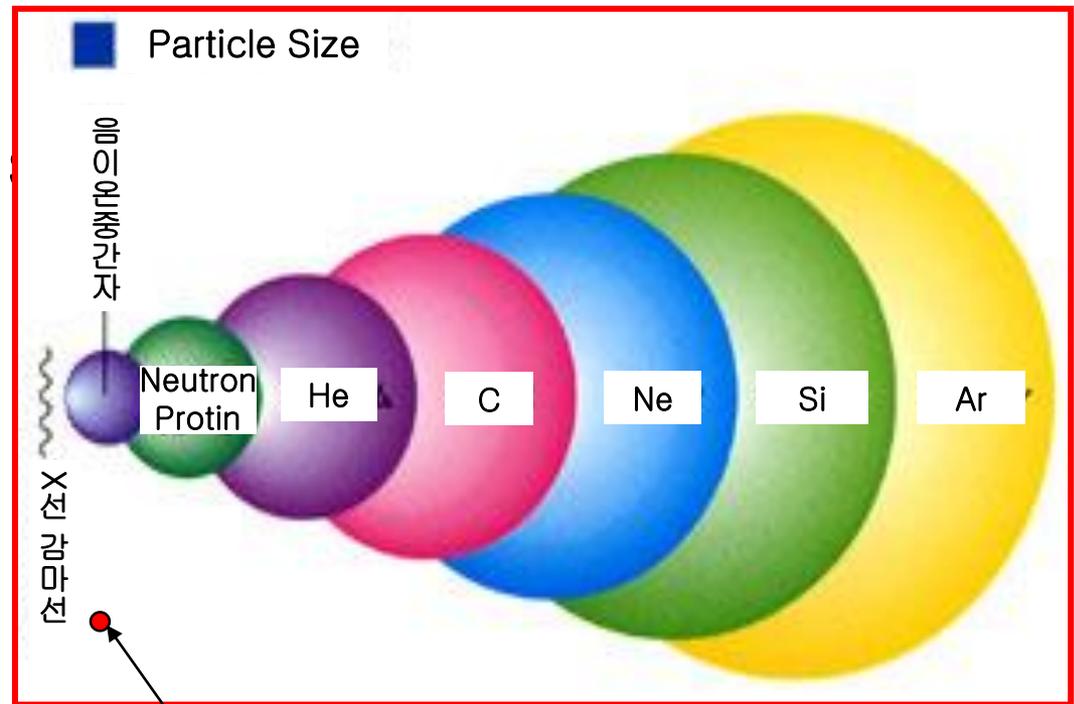
- Radiotherapy

X-ray,  $\gamma$ -ray, electron

Fast Neutron,

Proton, (R. Wilson )

Heavy Ion ;  $\text{He}^4$ ,  $\text{C}^{12}$ ,  $\text{Ne}^{20}$ ,



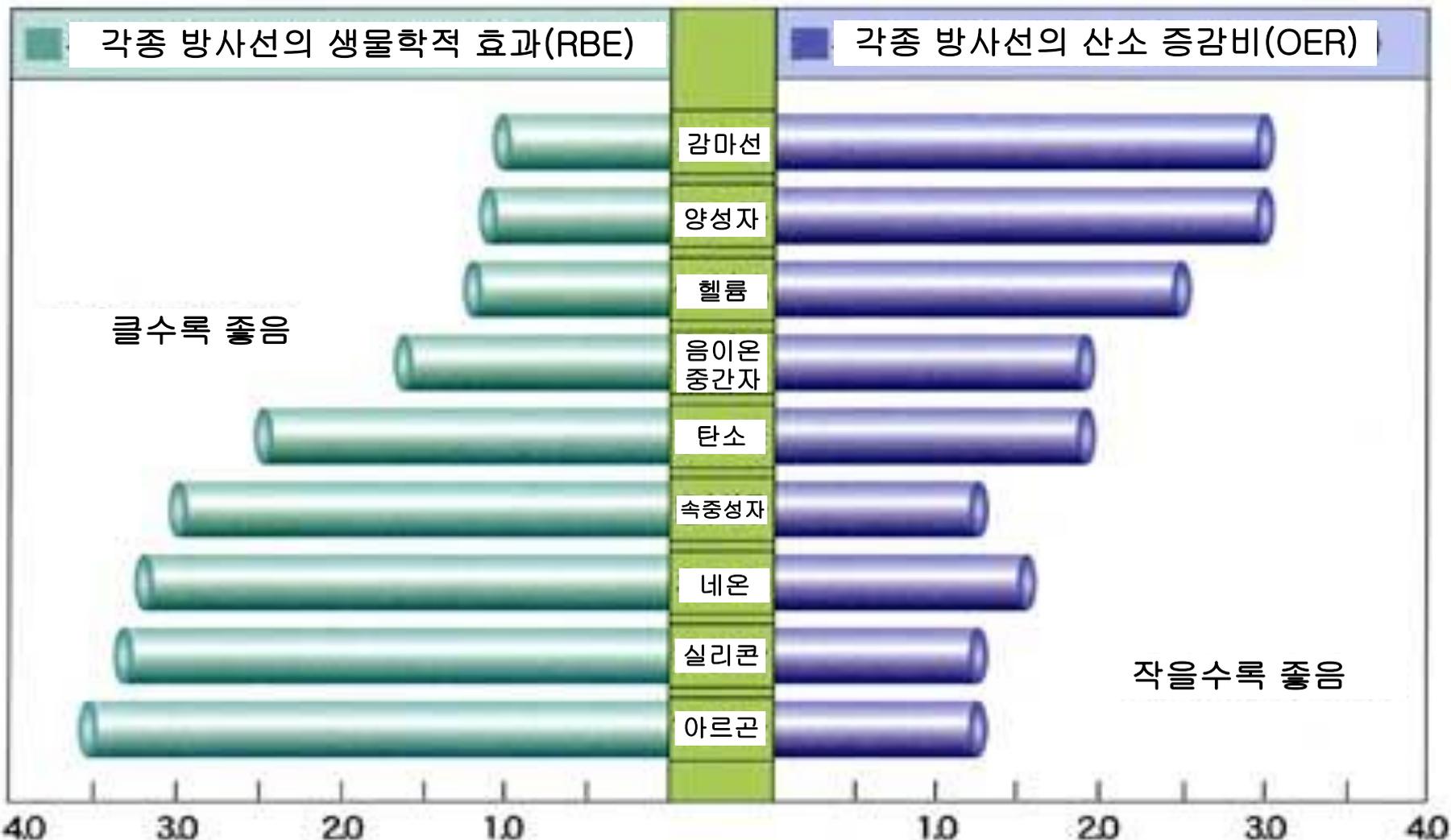
# 중입자선 치료의 특색 - 생물효과

## 생물효과(RBE)

질량이 큰 중입자는 전하도 크고 조직에 부여하는 에너지도 많다.

## (산소효과)OER

산소 증감비 (OER: Oxygen enhancement ratio)가 X선보다 낮다



(높은 생물 효과비, RBE) 방사선 손상을 받은 세포의 회복을 방해한다.

# Features of Carbon Therapy

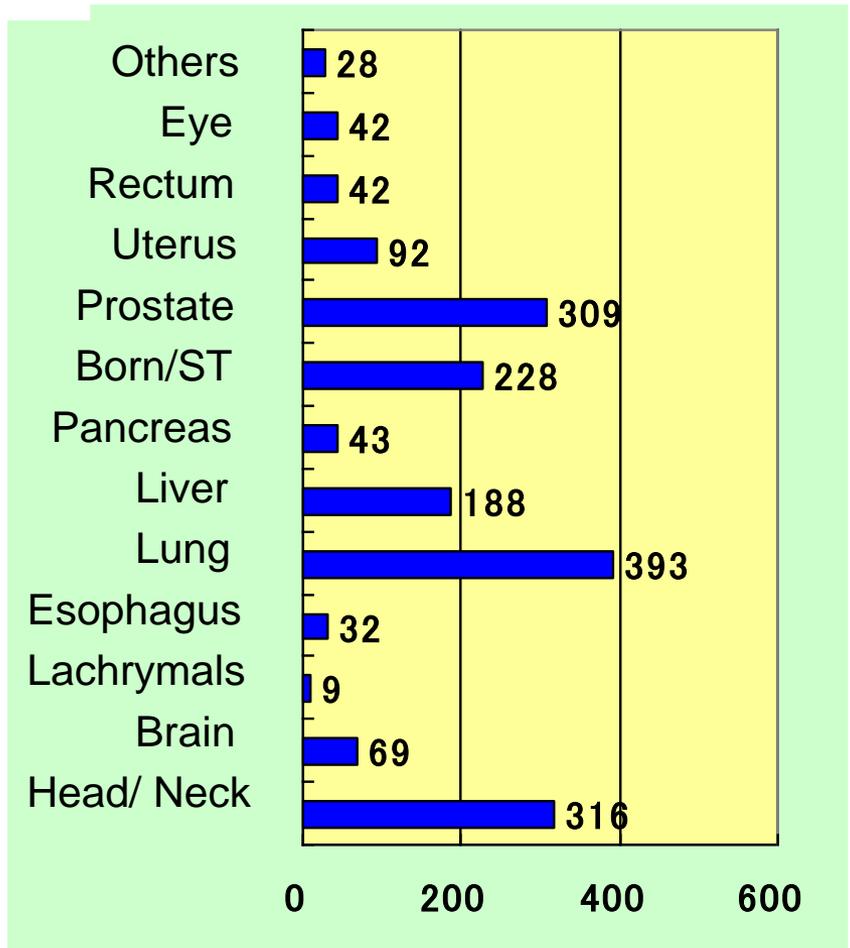
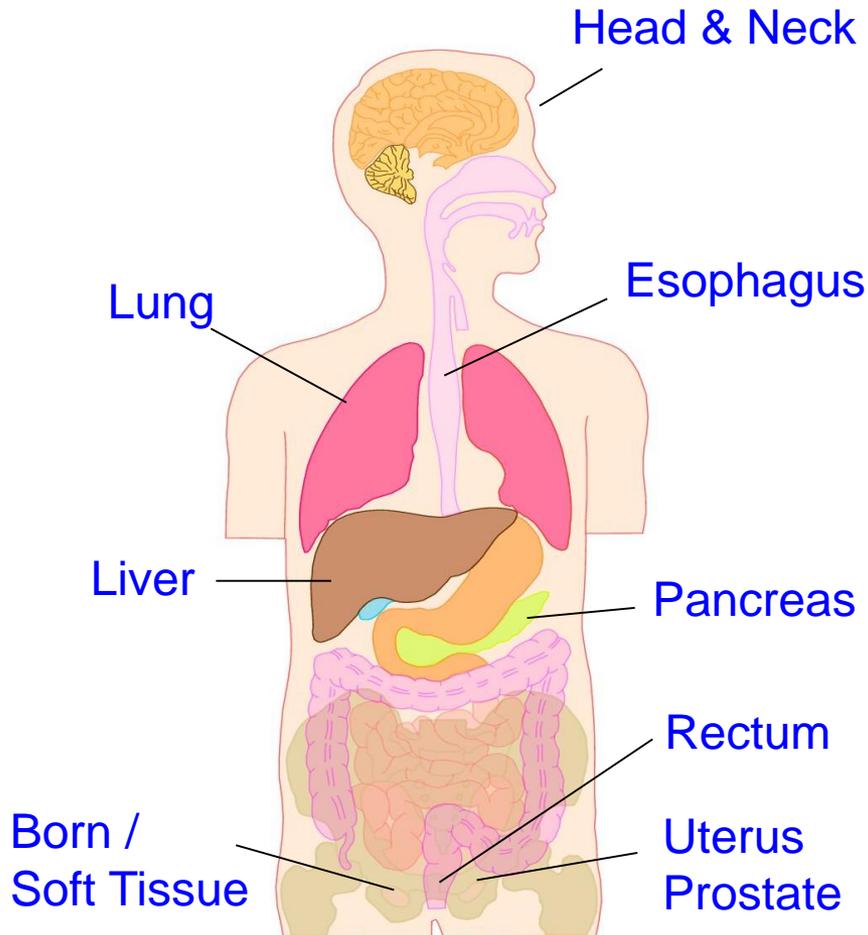
- Excellent dose localization
- No serious side effects
- Small numbers of fractional treatments required (typically one day treatment of lung cancers)
- Effective for radiation resistive tumors such as brain and soft tissue cancer, malignant melanoma, etc.

# Reduction of size/cost of facility

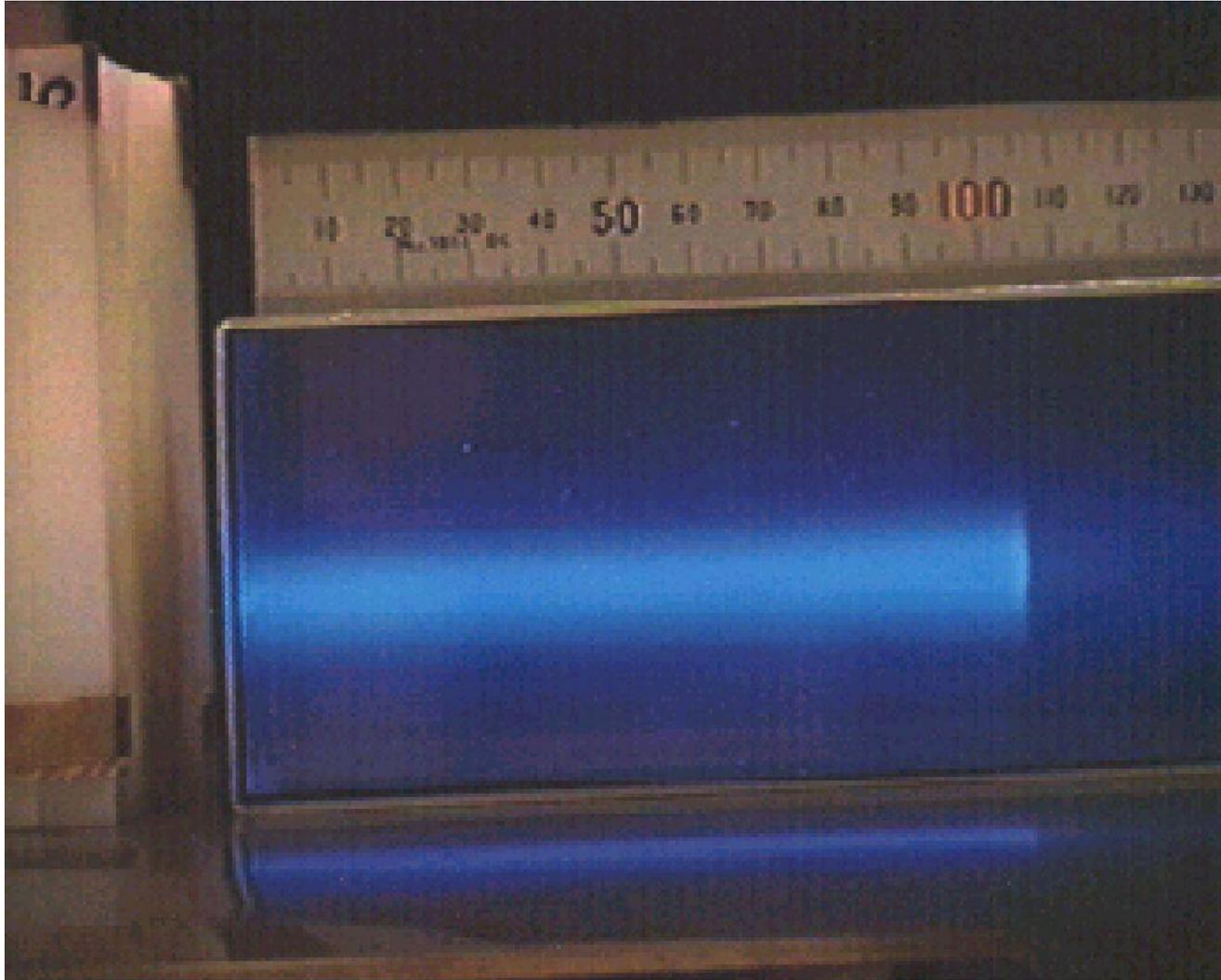
- Number of Japanese patients of cancer is estimated to be about 890,000 in 2015.
- Particle therapy should be applied to about 60,000 (6.5%) cancer patients.
- At most, only 1,000 patients can be treated per year at one particle therapy facility.
- More than 60 facilities will be required in 2015 in Japan.
- Reduction of size and cost of therapy facility is desired to meet these requirements

# Cancers treated with HIMAC

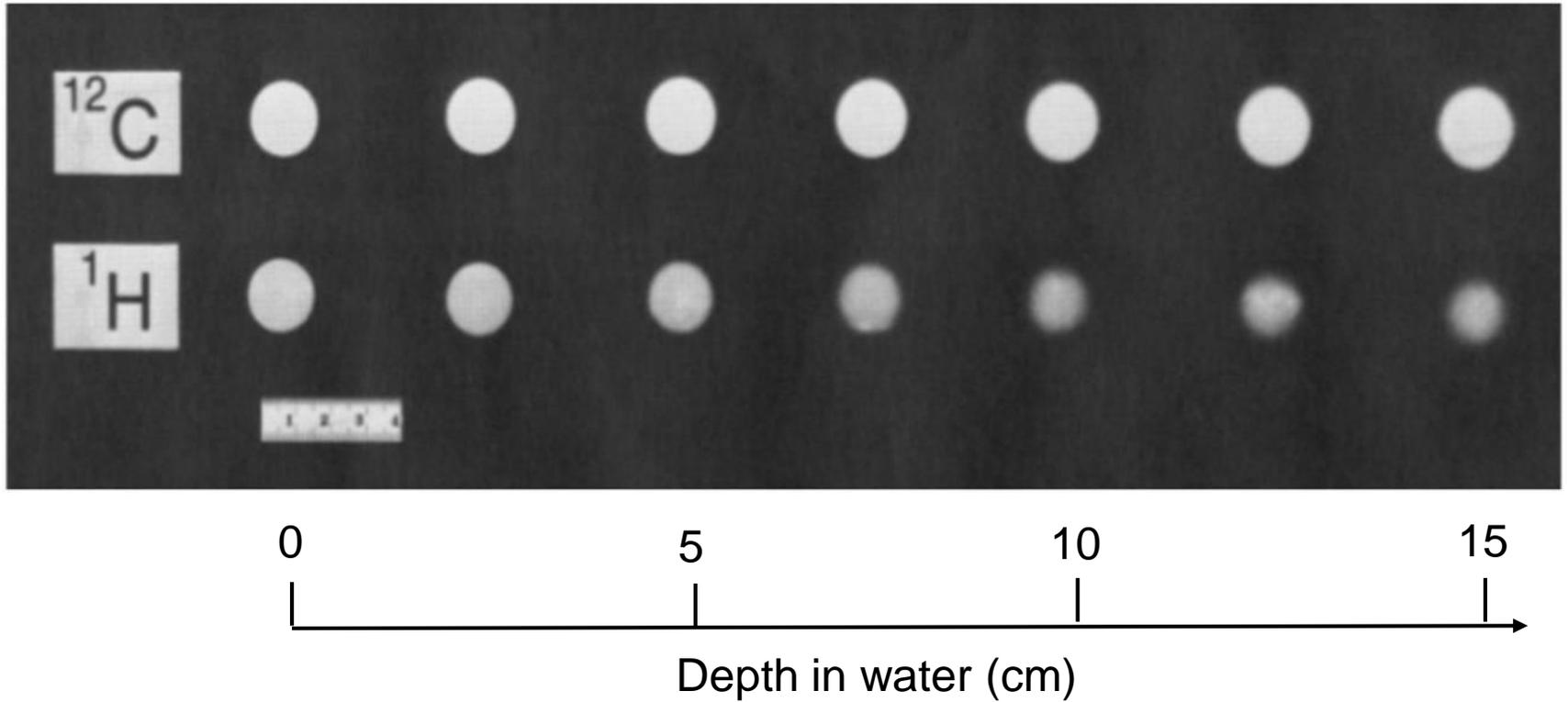
June 1994~ Mar. 2004, 1,791 Patients



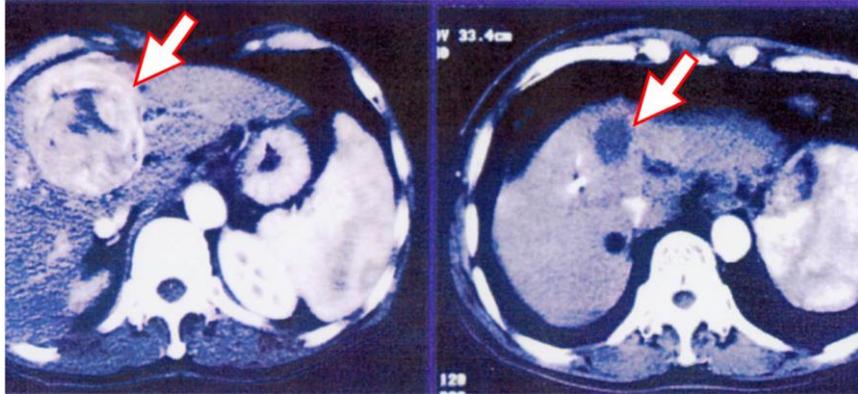
# Track of carbon beam in a scintillator block



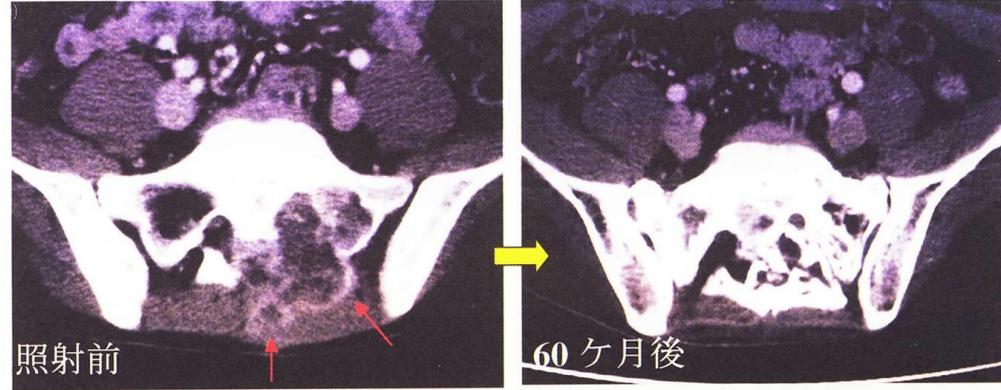
# Comparison of beam boundary



# Examples of treatments at HIMAC



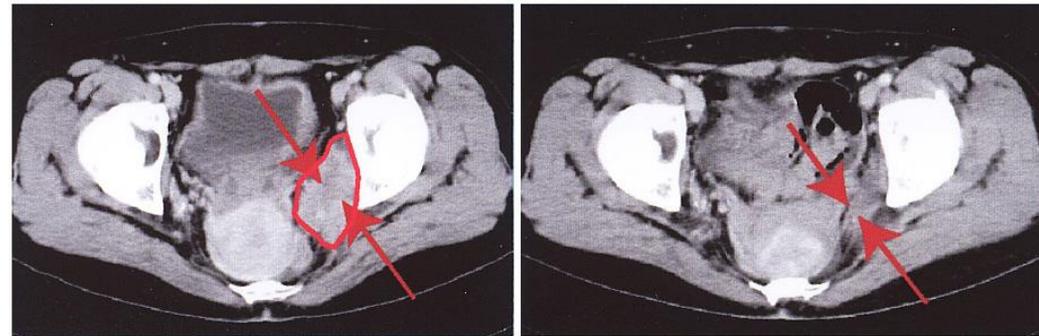
Liver cancer



Born and Soft tissue



Malignant melanoma of tongue



Rectal cancer (recurred after surgery)

## 2. 이온빔 기술을 이용한 에너지 환경분야

- PIXE/PIGE를 이용한 대량신속 분석법이용 황사현상뿐 아니라 일반적으로 공해배출로 인한 오염을 감시자로부품(연료봉피복재료 등)의 이온주입에 의한 내마모성 및 내식성 향상기술 개발
- 이온주입에 의한 광전지, 태양전지의 에너지 저장 효율 향상기술 개발
- 이온주입에 의한 유리 코팅 기술 개발 (단열효과로 에너지 절약)
- 예상 파급 경제 효과 : 2 조원

### 3. 이온빔 소재 분야

이온주입에 의한 스테인레스 및 금속재료의 세라믹코팅 기술 개발

- 이온주입에 의한 구리합금의 스테인레스화 기술 개발

## 4. 기계 분야

- 절삭공구의 이온빔 코팅에 의한 내마모성 향상  
기술 개발
- 기계부품(금형, 캠, 기어 등)의 이온빔 질화에 의한 내마모성 향상기술 개발
- 각종 산업기계 (냉동기용 피스톤, 사출성형용 스크류, 터빈블레이드 등)의 이온주입에 의한 내마모 및 내식성 향상기술 개발
- 플라스틱 금형 및 정밀금형(렌즈, IC몰드 등)의 이온주입에 의한 내마모성 향상기술 개발

- 자동차부품(피스톤링 등)의 이온주입에 의한 내마모성 향상기술 개발
- 자동차용 유리의 이온주입에 의한 적외선 차단기술 개발
- 항공기 및 로켓부품(기어 등)의 이온주입에 의한 내식, 내열, 내마모성 향상기술 개발

## 5. 전기 전자부품 반도체 분야

- 이온빔 도핑에 의한 반도체 디바이스, LSI, 액정판넬 제조기술 개발
- 이온빔 도핑에 의한 고성능 자성박막제조기술 개발
- 전자제품용 정밀구동부품(VTR 드럼 등)의 이온주입에 의한 내마모성 향상기술 개발

이온주입에 의한 flexible 기판의 밀착성 향상기술 개발

이온주입에 의한 액정용 유리의 보호막 제조기술 개발

이온주입에 의한 스피커진동판의 고음역 주파수특성 개선기술 개발

이온빔에 의한 조명용 반사경의 반사율 향상기술 개발

광학 응용분야로는 광학 박막기술 분야로 기존의 증착기와 이온원을 장착하여 무반사 코팅, 컬러 필터, 간섭 필터 등의 제품을 생산하는 분야.

# 6. 재료 및 신소재 개발 연구

- 결정 결함, 마모 및 비파괴 검사, 원자로 재료개발
- 합금 신소재 개발, 이온주입, 이온빔가공 (lithography), 이온빔 증착(IBAD), 이온빔 스퍼터링,
- 기계.금속, 폴리머 재료에 붕소, 질소, 탄소, 티타늄 등의 조사를 통한 고경도 표면층을 형성함으로써 재료의 내마모성, 마찰저항 감소, 내 부식, 산화 방지 및 피로수명 향상 등.
- 예상 파급 경제 효과 : 5 조원

# 7. 이온빔 화학 고분자 세라믹 분야

- 이온빔에 의한 고해상도의 flexible 기판 제조기술 개발
- 이온빔에 의한 가정용 디지털 VTR용 DLC 증착테이프 제조기술 개발
- 이온빔에 의한 포장필름의 전기전도성 향상기술 개발

# 7 - 10. 물리분야

핵반응을 통한 기초물질의 현상연구

원자 및 핵과학 연구

순수 방사성 동위원소의 이온 주입에 의한 물성 연구

핵합성과 물질 조성의 기원에 관한 천체 물리학 연구

레이저 냉각과 이온 trap을 이용한 질량모멘트의 정밀측정

지구과학 (기후학, 우주화학, 빙하학, 수문학, 해양학, 퇴적학, 화산학 및 광물탐사),

11. 중성자 파쇄를 이용한 신 원자력에너지 개발
12. uSR 이용 빔 시설
13. 우주항공산업: single-event upset, 우주항공  
소자의 방사성 손상
14. 가속기 자체 파생기술

자기장 전자석	초전도 전자석기술
이온원 및 진공장치	고진공 장치 기술, 저전류 고효율 플라즈마 기술
고주파공동공진기	초전도 고주파 공진 기술
빔인출장치, 빔진단장치	고전압기술, 정밀제어기술 전자기 계측 기술, 고감도 및 원격 센서 기술
빔수송장치	빔광학기술
RF 증폭 및 신호처리장치	초고주파 증폭 및 장비 기술 산업
대전류 고정밀 DC전원공급장치	초정밀 대전류 DC전원 장치기술
통합 컴퓨터 제어 및 S/W	임베디드 제어 기술 개발
고속 데이터 전송	대량 데이터 처리 S/W 기술
통신기술	대전력 디지털통신
고속신호 변환 및 처리기 기술	고속 데이터 및 신호처리 전기자기장 잡음 저감 기술
선형가속기	초소형 선형가속기 기술
X-band modulator	초소형 X-band 급 고주파 기술
로봇 암	로봇 기술
레이저 추적장치	레이저 광학 기술, 레이저 추적 기술 초고속 신호 전송 및 변환기술

## □ 성능 및 규모

- 에너지 : 핵자당 2억2천만 전자볼트 (우라늄의 경우)
- 규모 : 400 미터 x 400 미터
- 성능 : 세계 최고의 이온빔 전류 (U ; 2 e $\mu$ A)  
세계 최고의 정밀 중이온 암치료 빔 에미턴스 (0.5 mmm $\pi$ rad)  
세계 최고의 방사성 핵종 빔 생산  
세계 5대  $\mu$ SR 시설 및 물성연구시설

## □ 주요시설

- 빔가속장치 : 선형가속기 및 부스터 싱크로트론, 초전도 선형가속기
- 중이온 치료장치, 방사성 핵종 빔 생산장치
- 빔라인 : 12 개의 방사성 빔 및 중이온 실험 시설

## □ 기대효과

- 중이온 이용 암치료 (무통, 무혈, 난치성 암치료)
- 방사성이온빔 이용 신물질 개발, 물성/천체/핵물리 등 기초과학연구
- 방사선, 원자력, 신소재, 물질 정밀 분석 산업 응용

## □ 설치계획

- 2009년 전반기 설계, 2009년 후반기 착공,
- 2012년 1단계완공/시운전