

杉本先生を偲ぶ会シンポジウム

SHI 2

小型医療用加速器の開発

住友重機械工業株式会社
産業機器事業部

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

住友重機械の製造拠点

SHI 2

新居浜工場
-量子機器事業部 製造拠点-

岡山製造所
(倉敷市玉島)

田無製造所

千葉製造所

本社(東京)

西条工場

名古屋製造所

横須賀製造所

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

本社: 東京都品川区大崎2-1-1
(ThinkPark Tower)
創業: 明治21年11月20日
設立: 昭和9年11月1日
資本金: 308億7,165万円
従業員数: 15,463名
売上高: 516,165百万円
グループ: 三井住友銀行株
住友商事株
住友金属工業株
住友化学工業株
アサヒビール株、など

大阪大学AVFサイクロトロン

SHI 2

- ◆ 関西にサイクロトロンを
...東大核研に対抗する西の阪大核研設立計画
- ◆ 仁科研の技術を受け継いだ重電4社
...東芝/三菱電機阪大計画に参画
- ◆ 1970年文部省予算下りるも東芝/三菱ともに受注辞退
...阪大窮地に立つ
- ◆ 『阪大を救え!』
伏見康治氏→日方斉氏→住友商事→「住友機械で何とかならんか」
阪大名誉教授 住金社長

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

阪大AVFサイクロトロン製作風景

SHI 2

世界最大のプラノミラーでヨークを加工中

完成したメインコイル

組立・検査中のRF空洞

炉から取出されたトリム・バレーコイル

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

研究用加速器



分離セクター型サイクロトロン(540MeV)



電子シンクロトロン (700MeV)



110MeV サイクロトロン



70MeV サイクロトロン

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

5

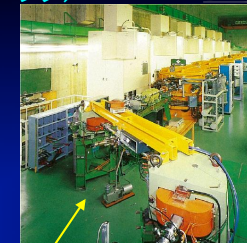
研究用加速器(重イオンライナック)



放医研重イオンライナック

理研重イオンライナック

兵庫県粒子線治療センター入射器



◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

6

加速器の原理



◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

7

加速器の種類



代表的な加速器

加速器の種類	加速電場	ビーム軌道
コッククロフト・ウォルトン型加速器	静電場	直線
バンデグラフ型加速器	静電場	直線
サイクロトロン	高周波	螺旋
ベータトロン	高周波	円
シンクロトロン	高周波	円
線形加速器	高周波	直線

◆ Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

8

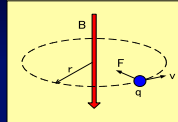
サイクロトロン



Ernest Orlando Lawrence
1939年、ノーベル物理学賞
「サイクロトロンの開発および人工
放射性元素の研究」



世界初のサイクロトン
1931年1月



$$F = -qv \times B$$

$$F = qvB$$

遠心力とローレンツ力が釣り合う

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

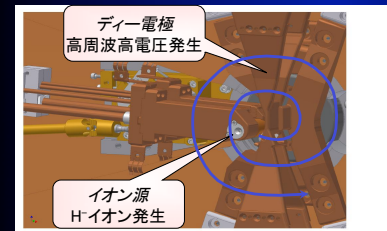
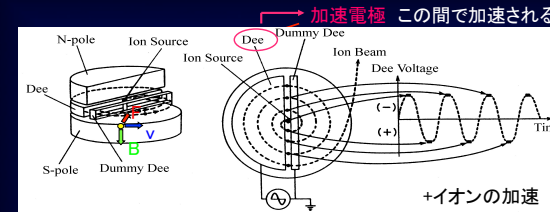
一様な磁場中では荷電粒子の回転周波数は、粒子の速さによらず一定(等時性)

加速電圧の周波数(RF周波数)を ω に合わせれば、粒子を連続して繰り返し加速できる。
→ サイクロトン

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

9

サイクロトロン



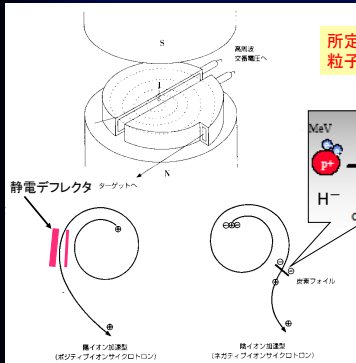
中心領域
高周波電界部の材質は銅

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

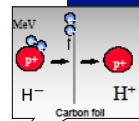
10

サイクロトロン

「加速イオンの取り出し」



所定のエネルギー(速度=半径)に到達した粒子を加速器の外に引き出す仕組みが必要



→ 粒子の場合、薄いフォイルを通過させると電子がはぎ取られ+粒子となる。
→ 曲がる方向が逆になり、外に出てくる。

+粒子(イオン)の場合、電場で軌道を変える

取り出し方法
Sの裏の面がデュー Deeである

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

11

加速器の利用



Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

12

加速器の医療技術への応用

SHI

がん診断

PET システム

サイクロトロン

放射性薬剤合成装置

自動投与器

研究

小動物PETカメラ

陽子線がん治療装置

がん治療

重粒子がん治療設備入射器

BNCT

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

13

SHI

PET薬剤製造システム

PET Radio-Tracer Production System

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

14

医療用小型サイクロトロン1号機

京都大学病院納

PET用小型サイクロトロン『CYPRIS325型』

完成: 1980年

K値=15

陽子を15MeV 重陽子を8MeV まで加速。

CGR-MeV社(仏)共同開発。

重量は15トン。

CYPRIS

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

15

SHI

陰イオン型サイクロトロン

ターゲット

取束チャネル

静電デフレクタ

高周波加速電極

最外周軌道

+陽子

高周波加速電極

ターゲット

ストリッパフォイルB

ストリッパフォイルA

+陽子

-水素イオン

最外周軌道

ターゲットB

陰イオン型サイクロトロン

- ・静電デフレクタの効率が60%程度⇒残留放射能の問題
- ・最大引き出し電流は50 μ A程度
- ・ビームスポットサイズが大きく、ターゲットサイズが大きくなる

陰イオン型サイクロトロン

- ・引出しフォイル効率ほぼ100%
- ・最大引き出し電流は100 μ A程度
- ・ビームスポットサイズが小さく、ターゲットサイズを小さく出来る
- ・2ポート同時照射で大収量。同時に異なる核種も作れる。

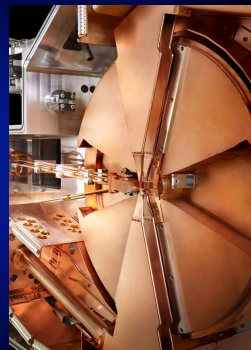
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

16

PET用小型AVFサイクロトン(12MeV)



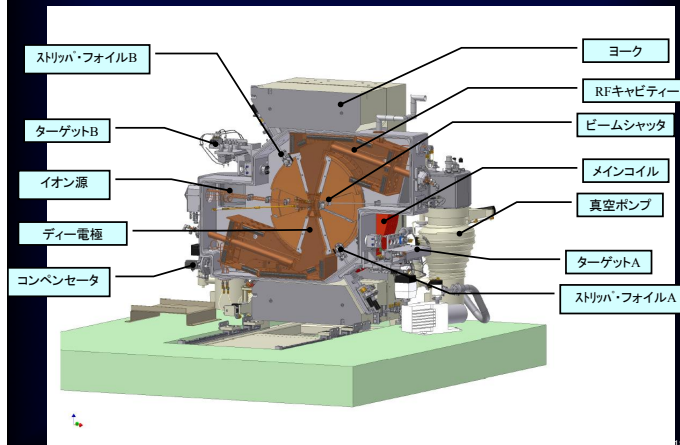
『CYPRIS-HM12S』(自己シールドタイプ)



K値=12 陽子を12MeV、重陽子を6MeVまで加速。全重量は60トン

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 17

サイクロトンの構成

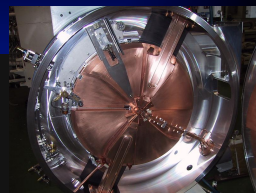
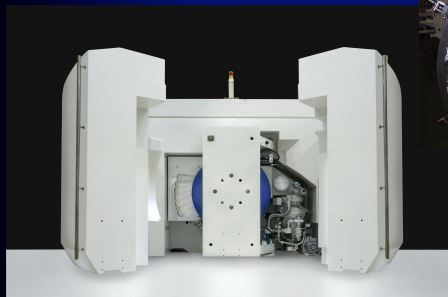


18

PET用小型AVFサイクロトン



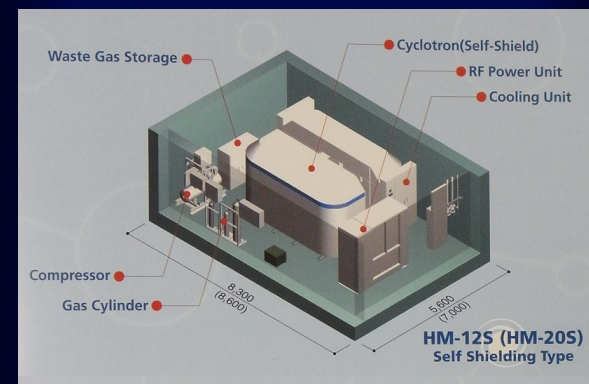
PET用小型AVFサイクロトン
『CYPRIS-HM10』



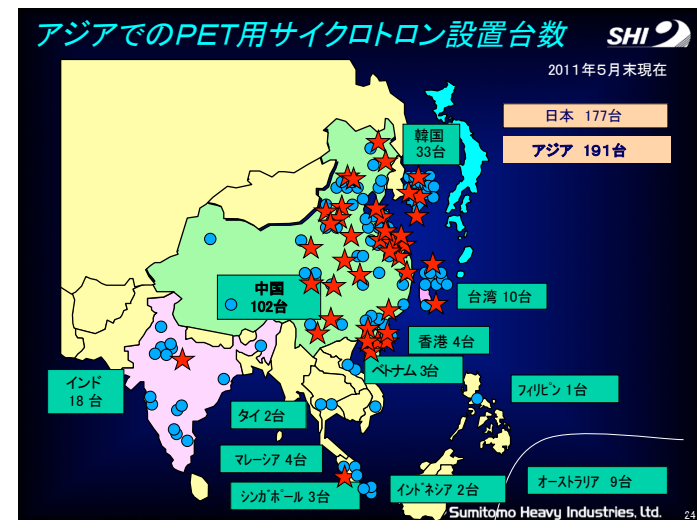
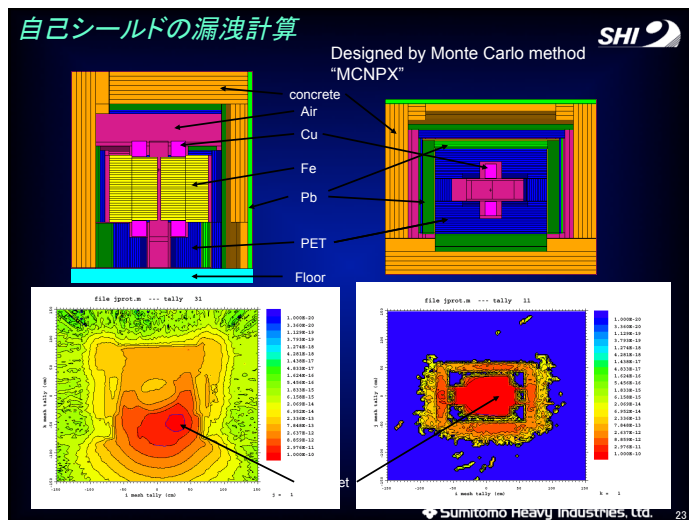
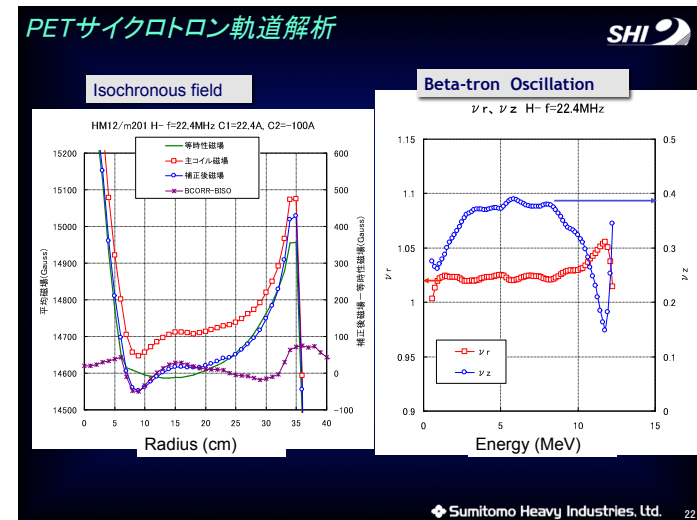
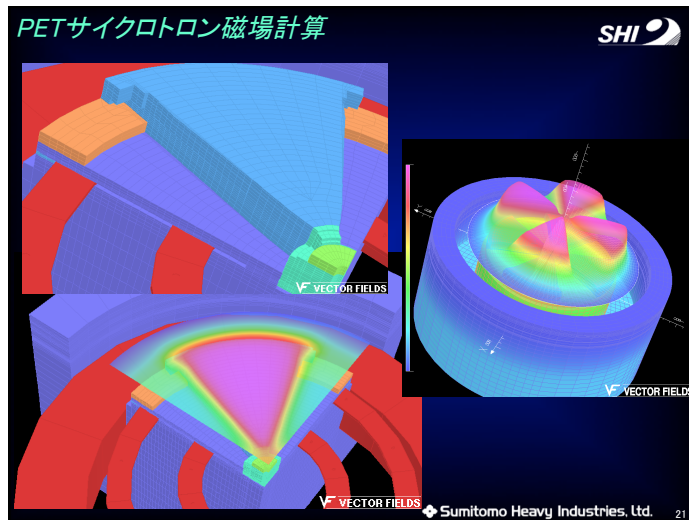
K値=10 陽子を10MeVまで加速。重量は50トン

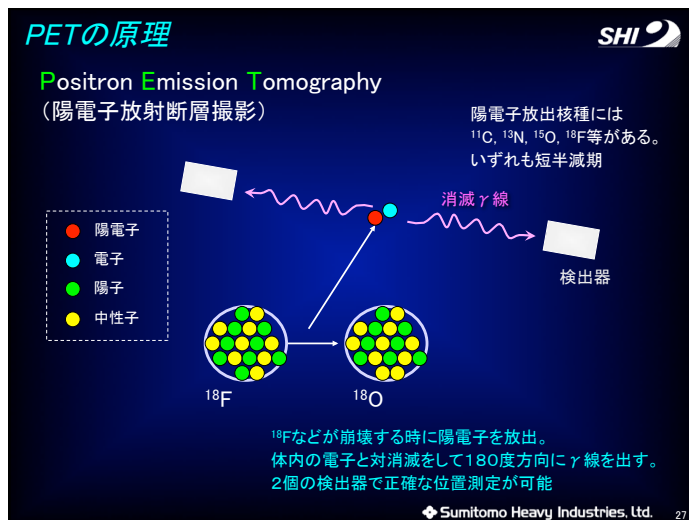
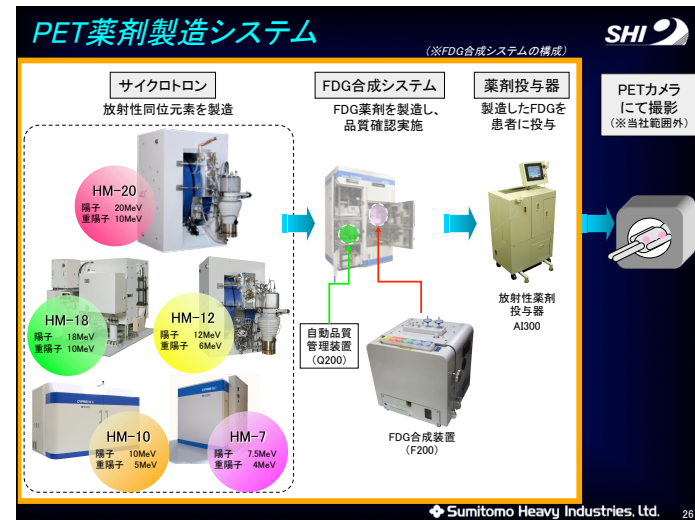
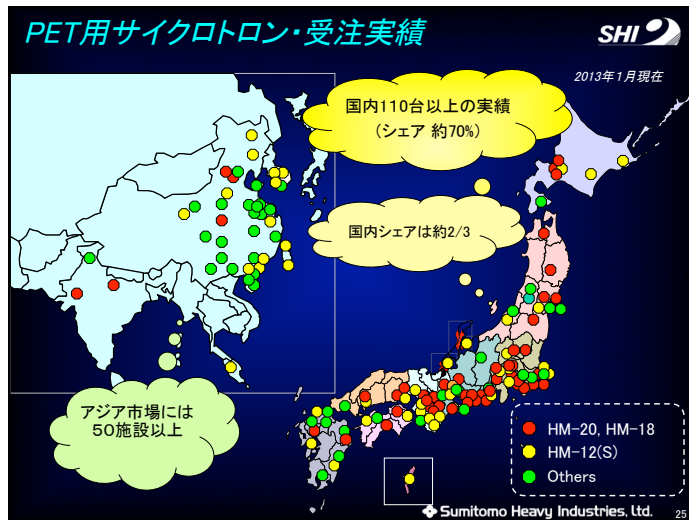
Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 19

自己シールドの効果(省スペース)



Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 20





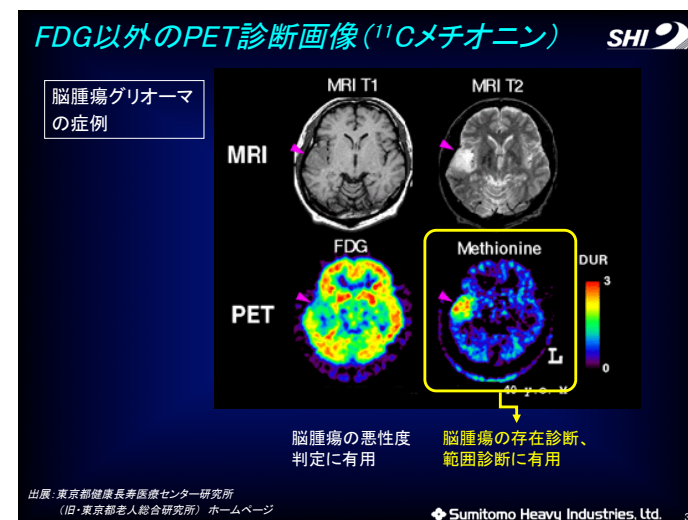
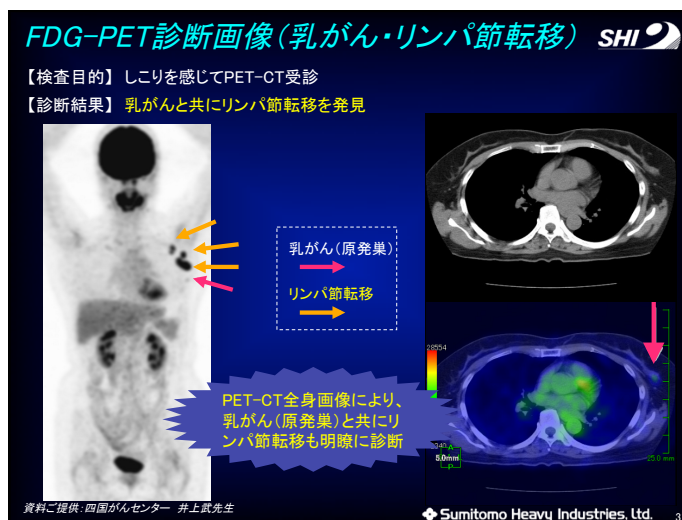
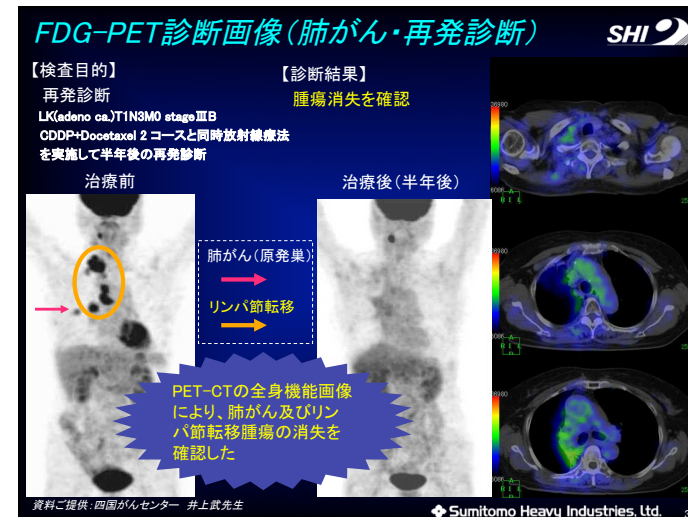
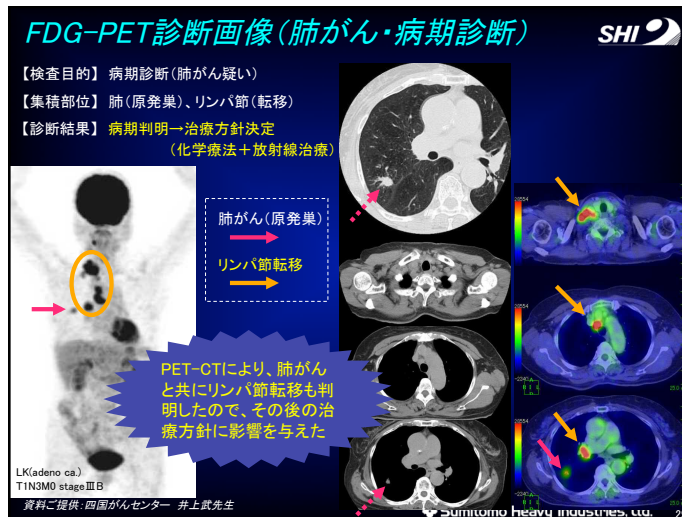
PET検査で使用する放射性薬剤

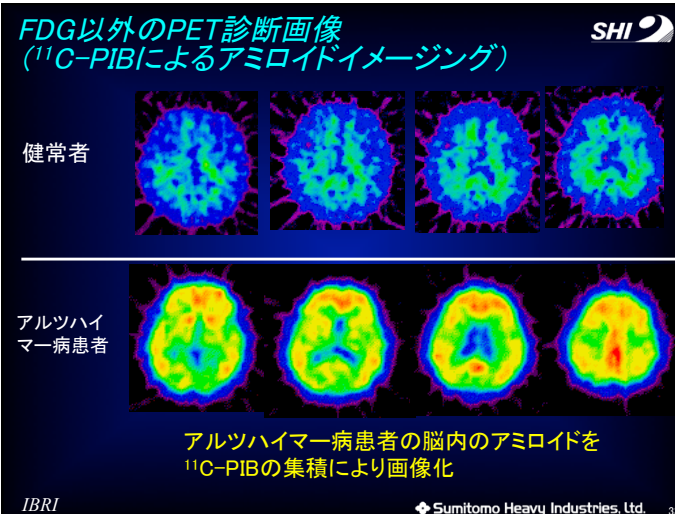
SHI 2

保険適応

対象疾患	測定対象	使用核種			
		^{18}F (半減期110分)	^{11}C (半減期20分)	^{15}O (半減期2分)	^{13}N (半減期10分)
腫瘍	ブドウ糖代謝	FDG			
	アミノ酸代謝	FMT	メチオニン		
	核酸代謝	FLT			
	低酸素領域	FMISO			
	コリン代謝		コリン		
骨	Hydroxyapatite	NaF			
脳	認知機能	FDG, AV45	PIB		
脳・心臓	血流量			CO , CO_2 , H_2O	
	酸素代謝			O_2	
心臓	心筋血流				アンモニア
	心筋好気性代謝		酢酸		
神経疾患	ドーパミン代謝	FDOPA			
	D2レセプター	ラクトブライド、メチルスピペロ ン			

Sumitomo Heavy Industries, Ltd.



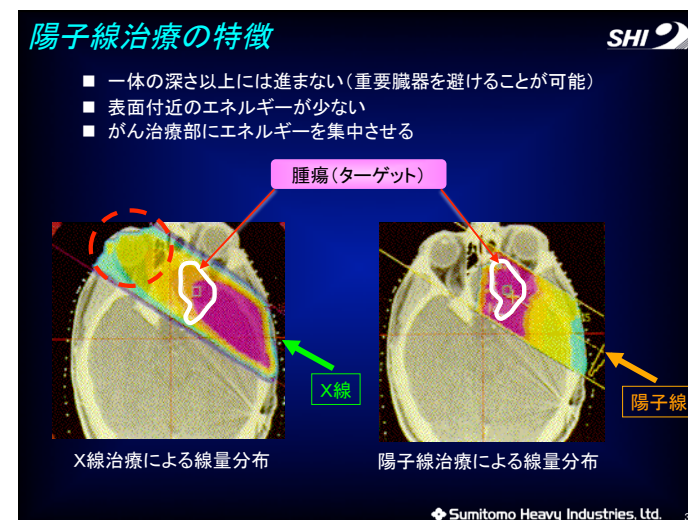
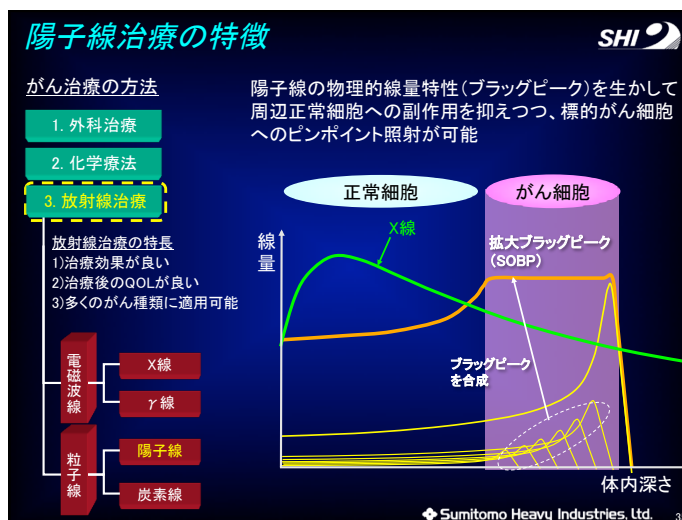


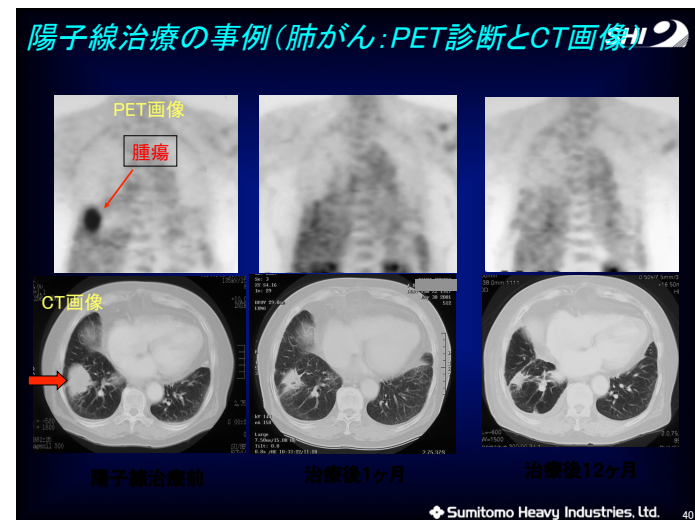
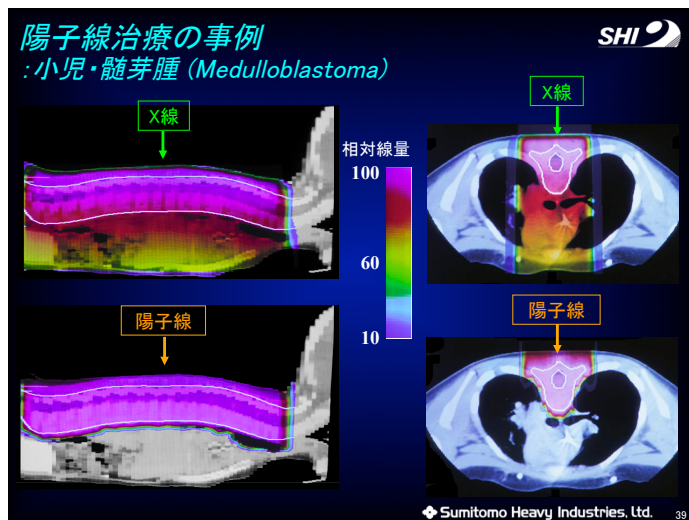
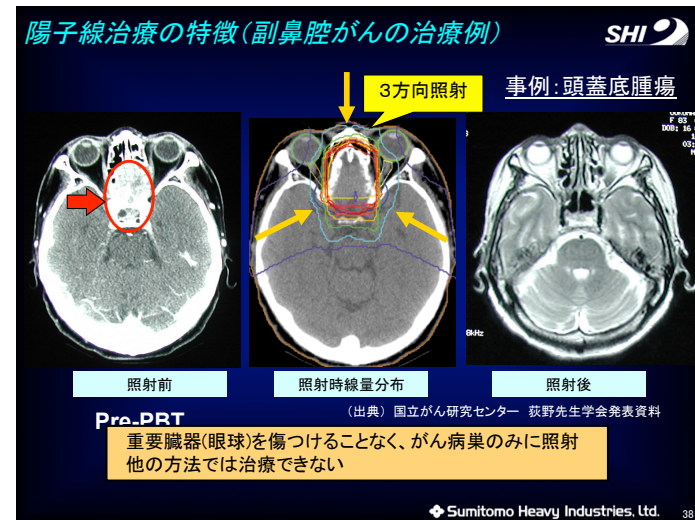
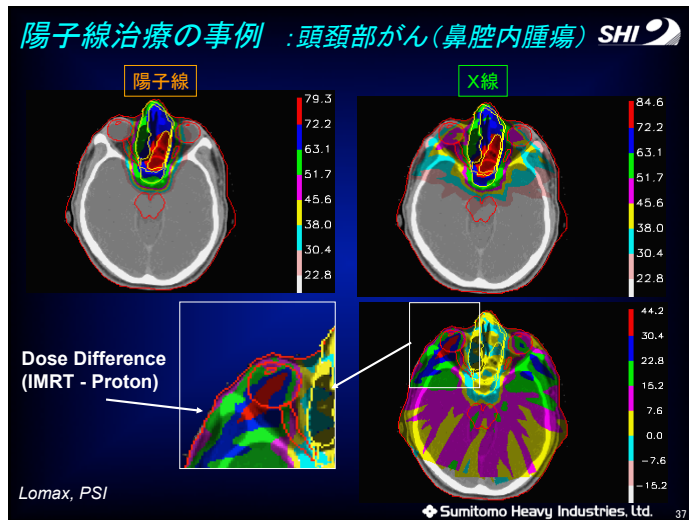
SHI 2

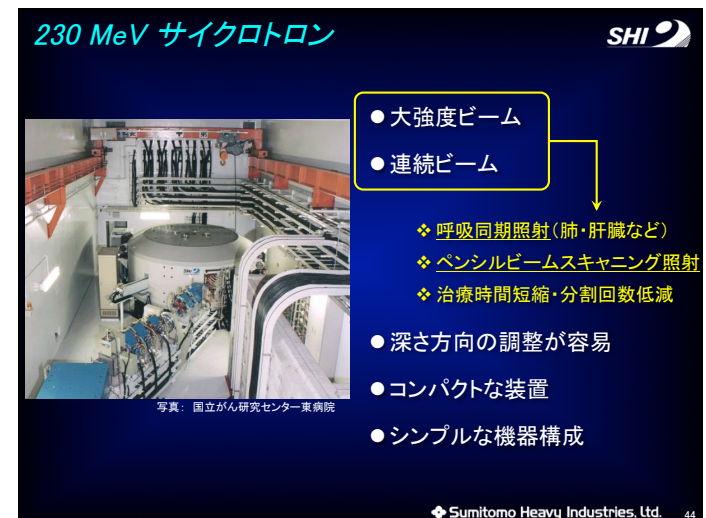
陽子線がん治療システム

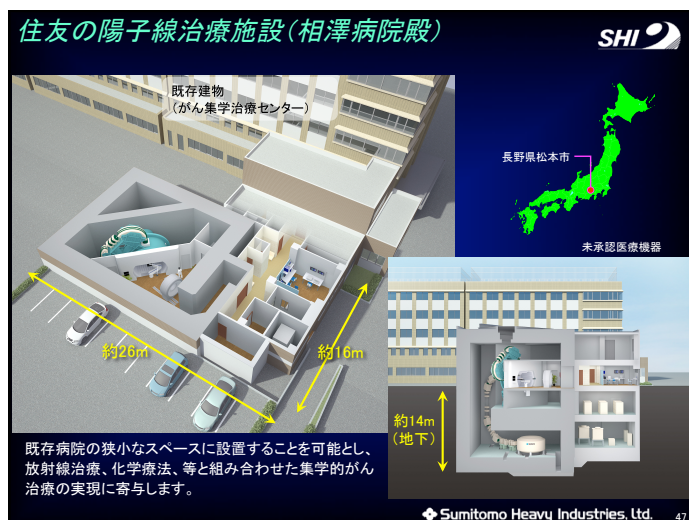
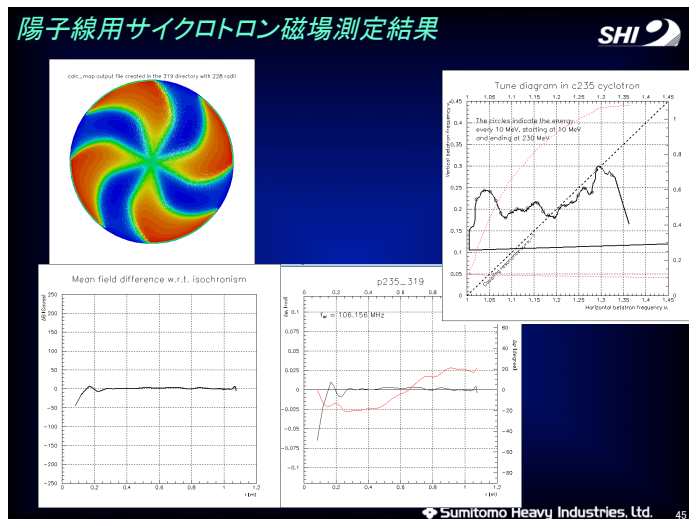
Proton Therapy System

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 34







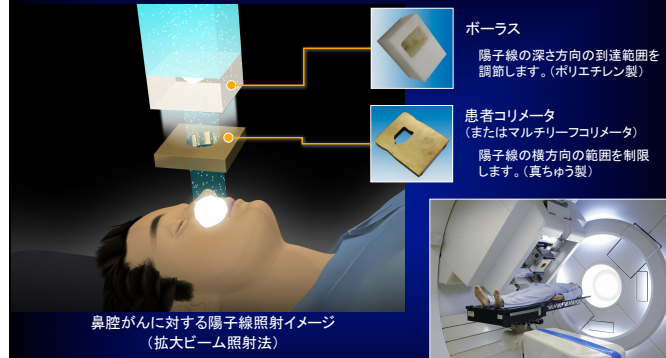


住友の陽子線治療施設(相澤病院殿)



Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 49

陽子線照射イメージ(照射野成形方法)



鼻腔がんに対する陽子線照射イメージ
(拡大ビーム照射法)

均一に広げた陽子線をコリメータ、ボアラスにより
標的がん細胞の形状に合わせて照射します。

陽子線照射時の体勢

写真: 国立がん研究センター東病院

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 50

陽子線照射イメージ(照射野成形方法)



(拡大ビーム照射法)



(3次元ペンシルビーム
照射法)



陽子線照射時の体勢

写真: 国立がん研究センター東病院

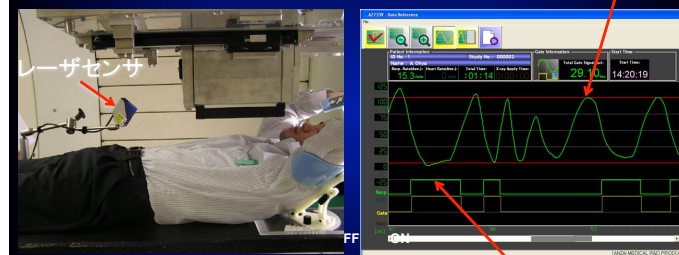
Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 51

呼吸で動く臓器への照射法(呼吸同期照射)



肺、肝臓など、体幹部に存在するがんは、
呼吸性移動を考慮し、ビームON/OFFする必要あり

呼吸波形




ビームゲート信号

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 52

呼吸で動く臓器への照射法(呼吸同期照射) SHI 2

呼吸同期システムにより体表面の動きをレーザーセンサーにて呼吸信号に変換し、一定の呼吸位相時のみに照射します。



サイクロトロン連続かつ大線量のビーム特性により、呼吸で動く臓器に対しても短時間で正確な照射を行うことが可能（1門あたり照射時間：1～3分程度）

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 53

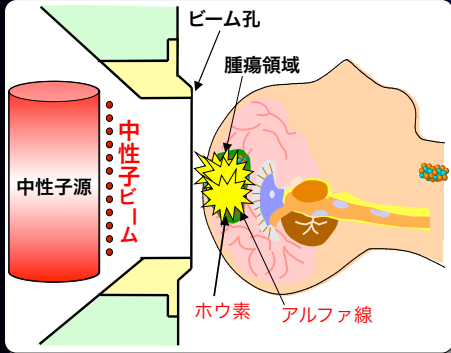
**ホウ素中性子捕獲療法
(BNCT)**

SHI 2

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 54

ホウ素中性子捕獲療法(BNCT)
BNCT...Boron Neutron Capture Therapy SHI 2

資料ご提供：筑波大学人間総合科学研究科 熊田 博明先生



ビーム孔
腫瘍領域
中性子源
中性子ビーム
ホウ素
アルファ線

放出されたアルファ線がガン細胞だけを破壊

正常細胞 ガン細胞
ホウ素
アルファ線
細胞レベルの様子

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 55

BNCT実施症例(再発耳下腺がん) SHI 2



Prior to BNCT Prior to 2nd BNCT 2 weeks after 3rd BNCT

Drastic shrinkage of the mass. Normal skin was preserved.

資料ご提供：京都大学原子炉実験所 小野公二先生

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. 56

