

小型高輝度マイクロトロンで実現する ラボサイズEB滅菌・殺菌装置

長谷川大祐²、山田廣成¹²³、山田貴典³、林太一²、尾崎健人²
D. Hasegawa²、H. Yamada¹²³、T. Yamada³、T. Hayashi²、K. Ozaki²

¹立命館大学

Ritsumeikan Univ.

²株式会社みらくるセンター

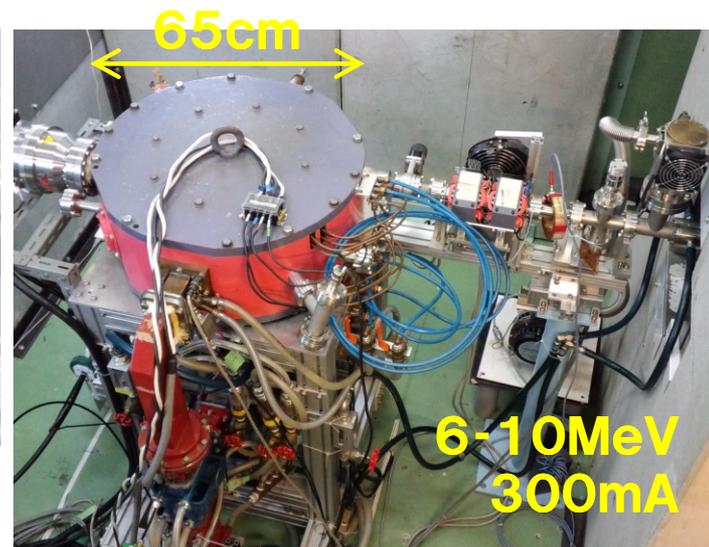
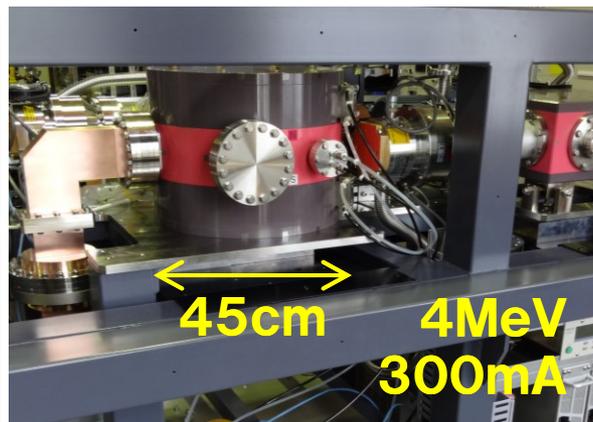
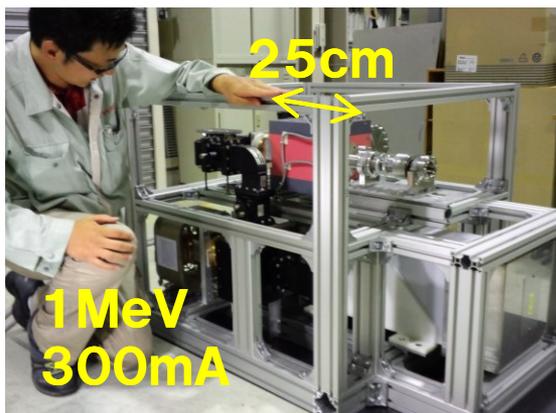
MIRRORCLE Center Ltd.

³株式会社光子発生技術研究所

Photon Production Lab. Ltd.

高品質電子ビーム発生装置マイクロトン(MIC)

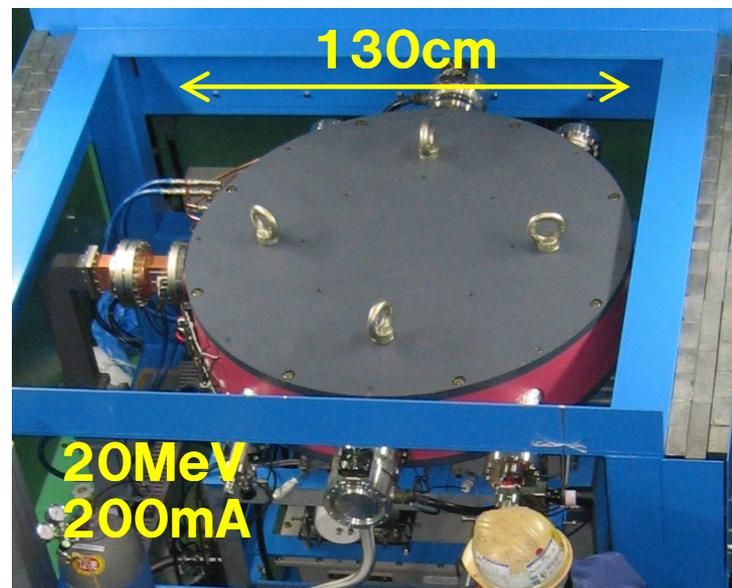
ビーム電流300mA小型マイクロトンの開発・販売の実績



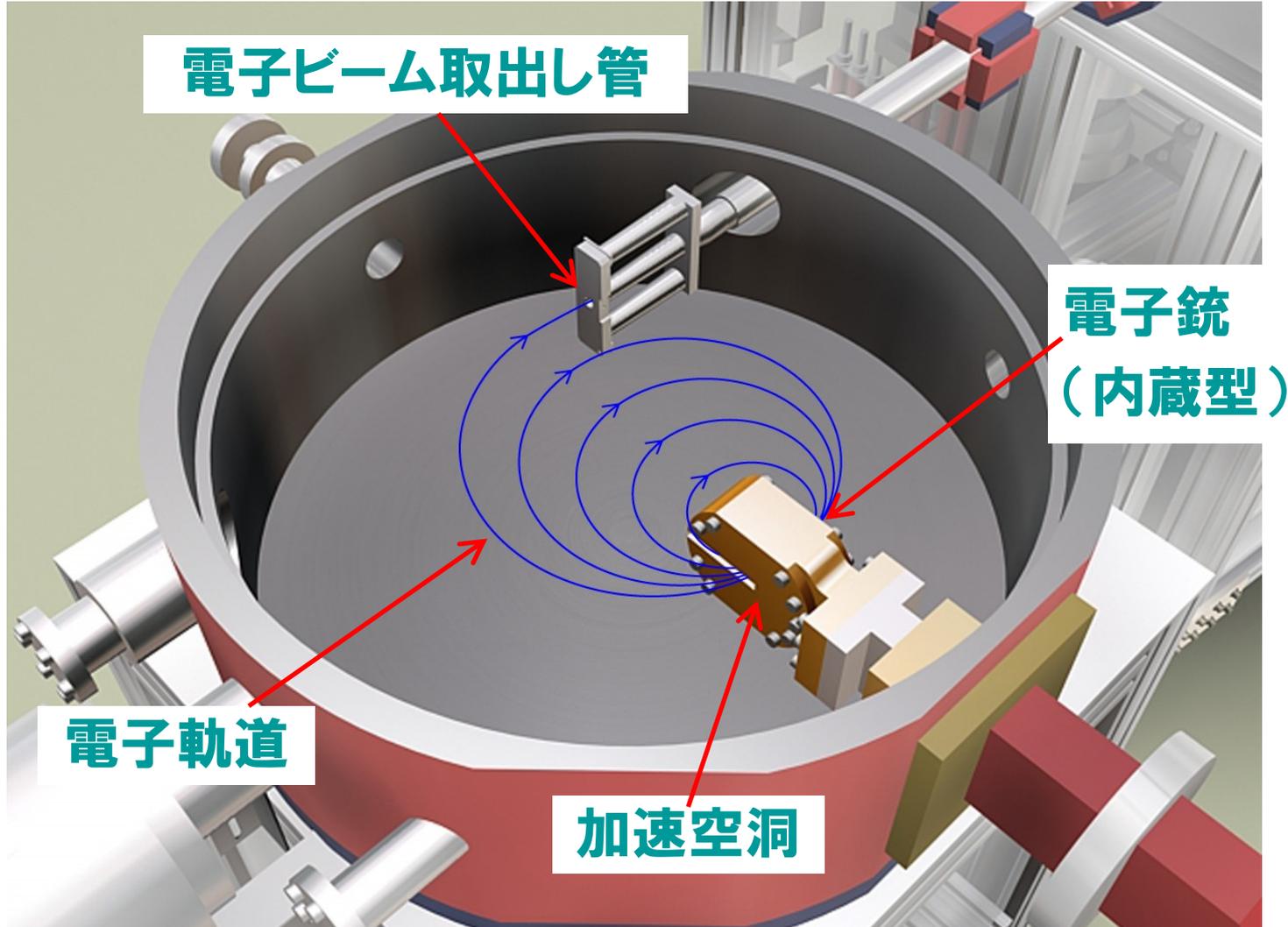
特徴

高エネルギーで
低エネルギー分散
小型で大出力
サブミリ焦点

CT検査・非破壊検査で実績
滅菌・殺菌での産業利用



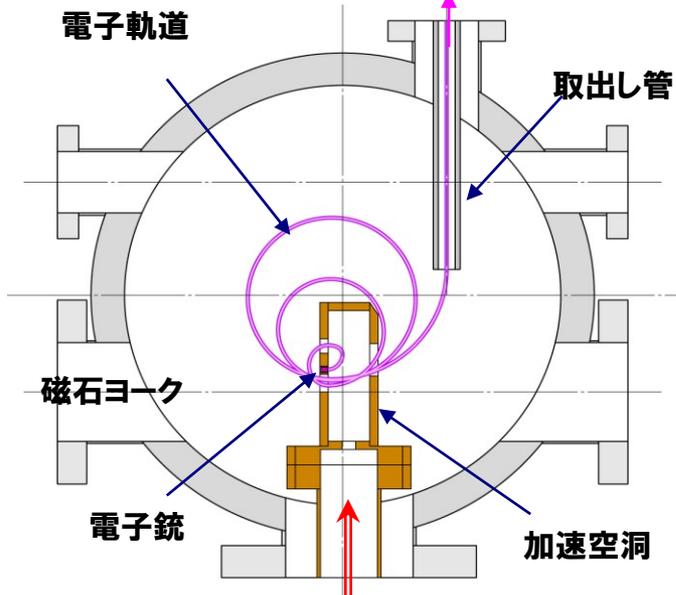
円型マイクロトロン(Kapitza type)の内部



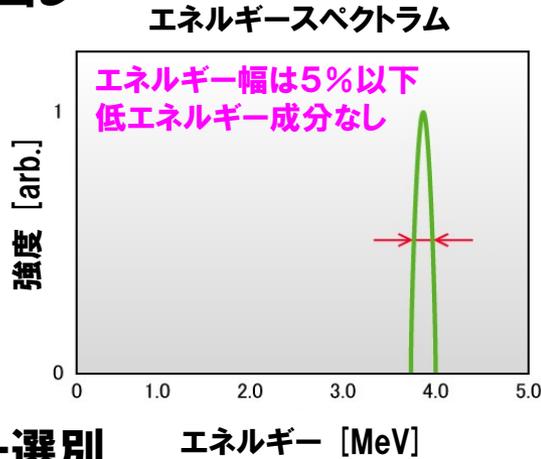
電子は一定磁場中を周回し、加速空洞で加速、所定のエネルギーに達すると取り出される。

エネルギー分散の比較

4MeV マイクロトロン ビーム出力

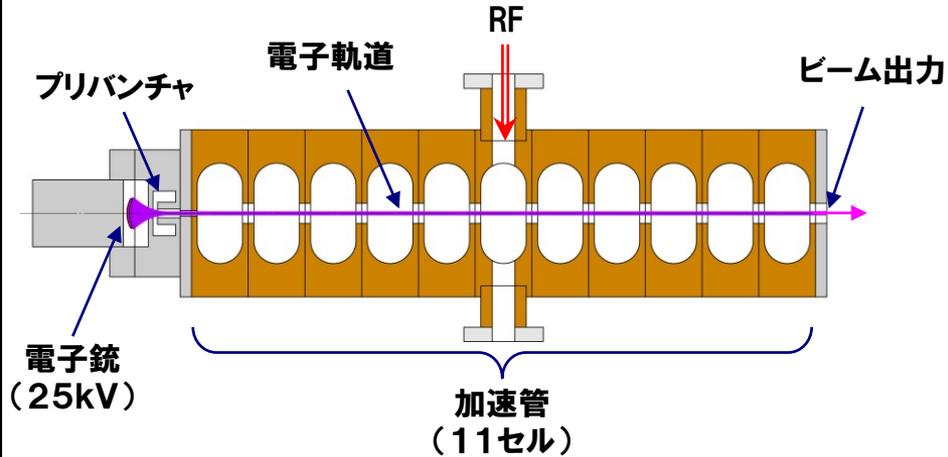


磁場で電子を周回し
RF空洞で加速

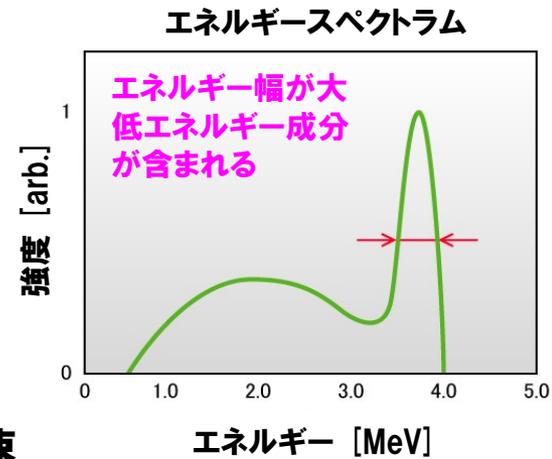


磁場でエネルギー選別
目的の電子エネルギーのみ加速

4MeV リニアク



RF空洞を多数並べて加速



全電子を加速
選別機能が無くブロード

加速空洞内電子軌道 (TM₀₁₀)

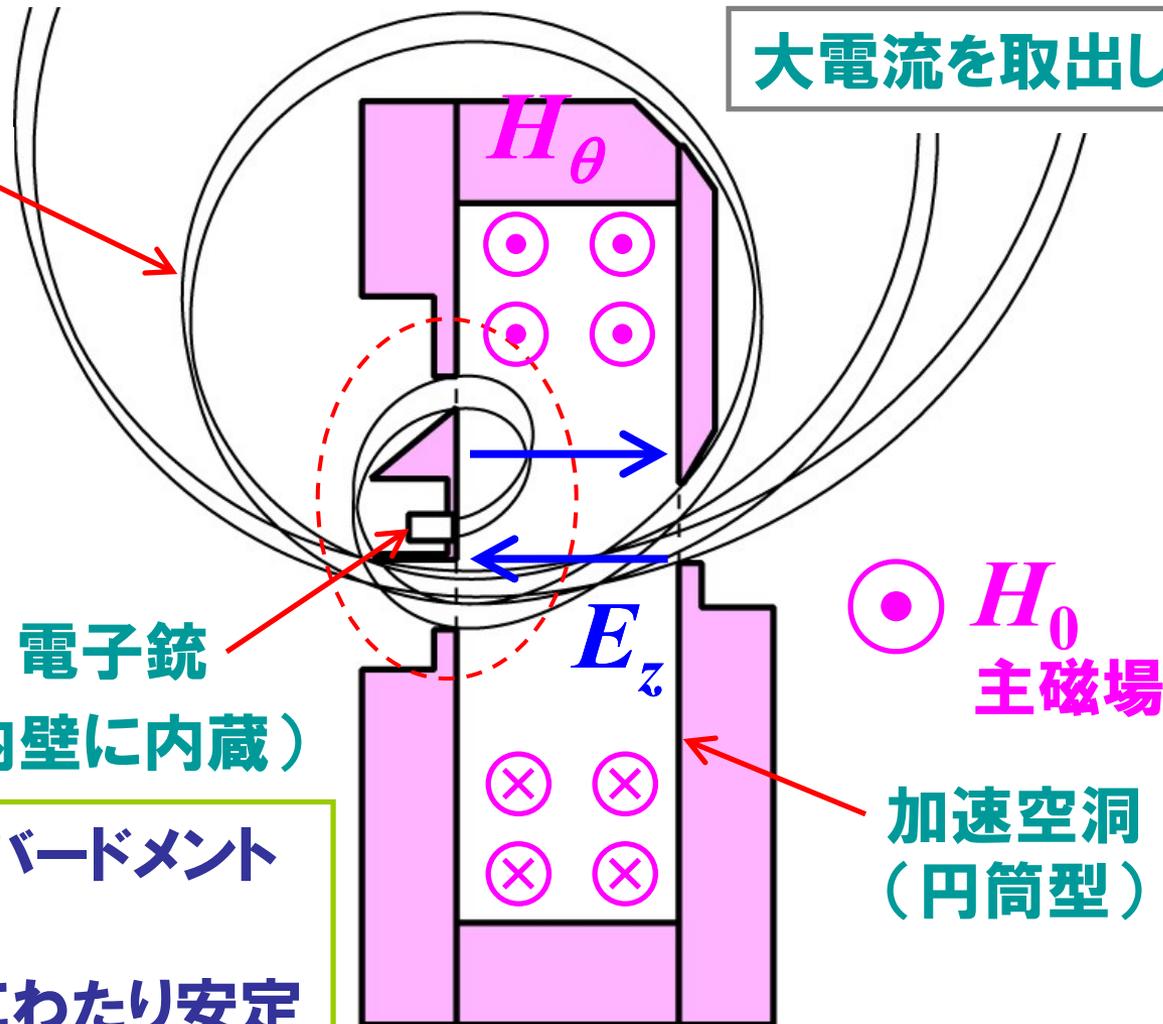
電磁場 H_θ で空洞内の電子軌道を補正

大電流を取出し

電子軌道

電子銃
(内壁に内蔵)

バックバンナードメント
が少ない
⇒ 数 μs にわたり安定



H_0
主磁場

加速空洞
(円筒型)

電子銃の電子引き出しの条件

電子銃のカソードは単結晶LaB₆, 直径φ3mm, 長さ5mm,

$$\varepsilon_{n, RMS} = r/2(kT/mc^2)^{1/2} \quad \text{から}$$

$$T = 1800 \text{ K}, \quad \varepsilon_{n, RMS} = 0.41 \text{ } \pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$$

熱電子の放出電流密度Richardson-Dushmanの式

$$j_{th} = AT^2 \exp(-\phi / kT) \quad \text{から}$$

$$\phi = 2.6 \text{ eV}, \quad j_{th} = 15.3 \text{ A/cm}^2, \quad I_e = 1.1 \text{ A}, \quad (A = 120)$$

空間電荷制限電流密度Child-Langmuirの式

$$j_{sc} = 2.33 \times 10^{-6} (V^{3/2}/d^2) \quad \text{から}$$

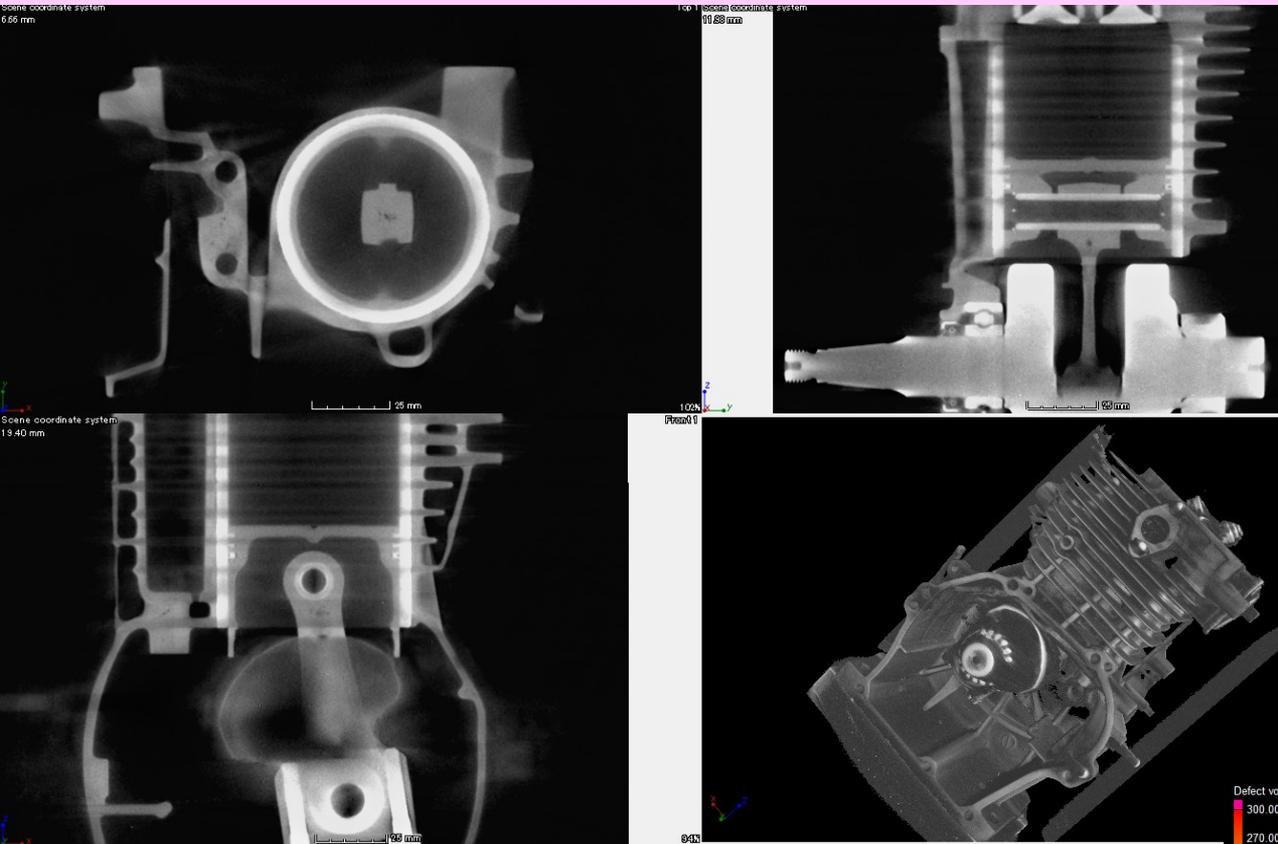
$$d = 2.5 \text{ cm}, \quad j_{th} = 15.3 \text{ A/cm}^2, \quad V = 120 \text{ kV}$$

$$V = 1 \text{ MV}, \quad j_{sc} = 373 \text{ A/cm}^2$$

実際には $V = 1 \text{ MV}$
十分な引き出し電流
低エミッタンス

大出力でサブミリの焦点サイズを達成

構造物の高精度CT検査装置

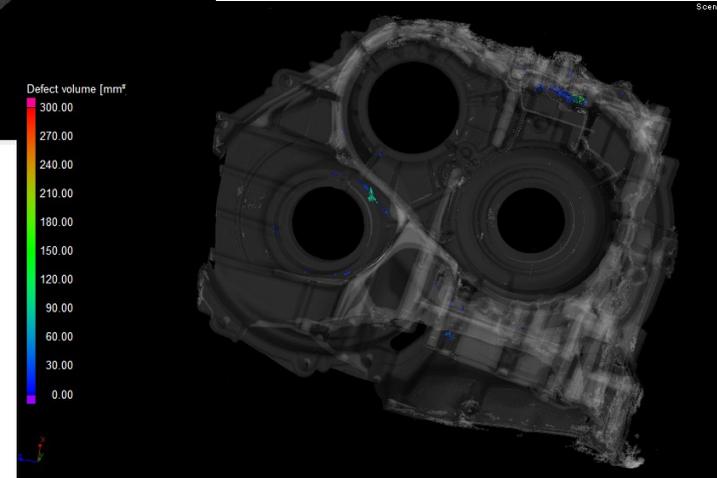


構造物の欠陥解析

CADデータ化で
リバースエンジニアリング

受託分析で高い評価
CT検査装置の販売実績

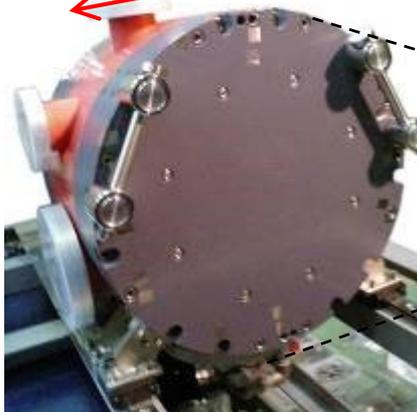
マイクロロンをハイパワー化
ラボサイズのEB装置を開発



EB照射装置の比較

マイクロトン(光子研)

30cm



4MV、300mA、5KW

小型・軽量で
低コスト電子照射装置

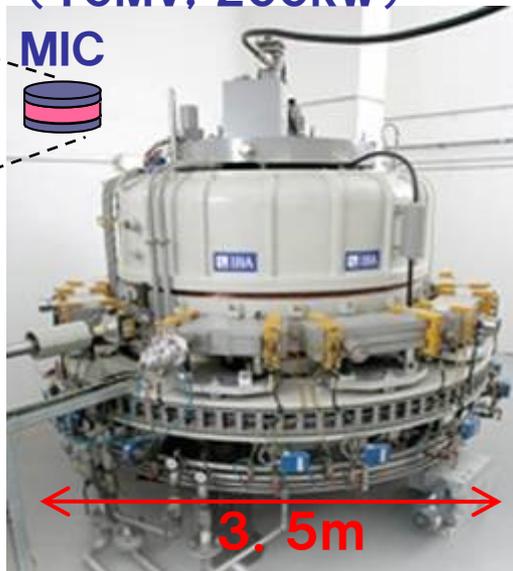
必要な時に必要な量を
処理する

導入コスト:2億円
(遮蔽込み)

従来の装置

導入コスト装置のみ:10億円以上(遮蔽施設別)

ロードトン(IBA)
(10MV, 200kW)



MIC



3.5m

EPS(NHV)
(5MV, 200kW)



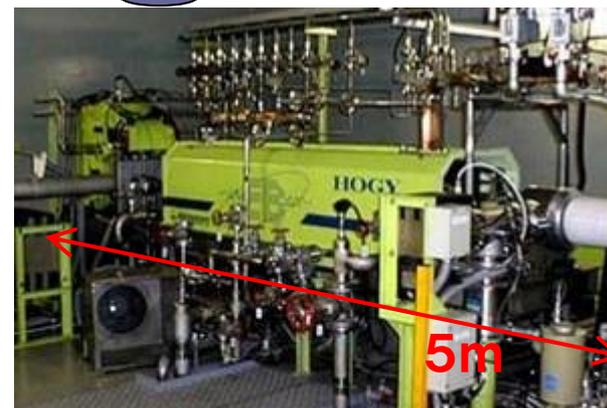
6m

MIC



 :4MV MICサイズ

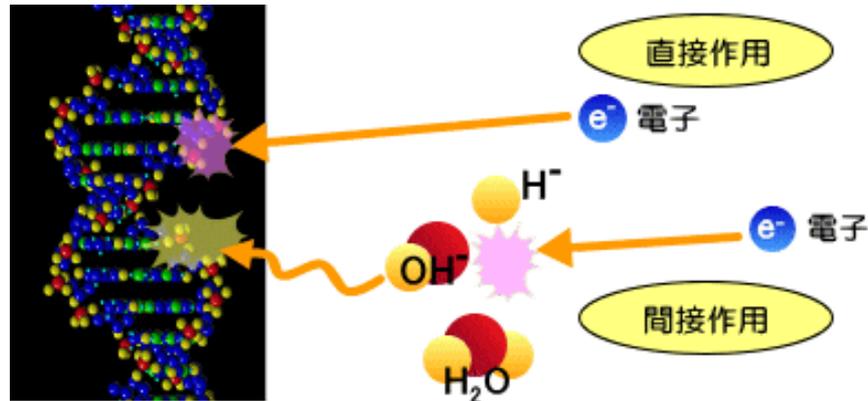
ライナック(三菱)
(10MV, 6kW)



5m

電子線(EB)滅菌について

電子線で微生物を殺滅（電離作用）



生物のDNAを直接切断
（直接作用）

周囲の水分子等を電離、フリー
ラジカルで損傷を引き起こす
（間接作用）

出典: http://www.ebis.jp/cont1.html#cont1_1

電子線滅菌の特徴

- 加速器を用い電氣的に電子を発生
- 放射性物質（放射能）は使用しない
- 複雑な形状や閉塞部の滅菌処理が可能
- 処理後の残留物の心配がない

他の滅菌方法との比較

方 法	電子線滅菌	ガンマ線滅菌	酸化エチレンガス滅菌(EOG滅菌)	高圧蒸気滅菌
装 置	電子加速器	放射線源の露出装置	ガス滅菌釜	蒸気滅菌釜
主要因子	線量(電流・電圧・搬送速度)	線量(線源強度・線源配置・時間)	時間・温度・圧力・湿度・ガス濃度	時間・温度・圧力
透過性	あり	高い	なし	なし
処理時間	数秒～分	数時間	10数時間	数時間
材 料	耐放射線性	耐放射線性	特定せず	耐熱性
包装材料	耐放射線性	耐放射線性	ガス透過性	ガス透過性 耐熱耐圧性
処理方法	連続式	連続式	パッチ式	パッチ式
後処理	不 要	不 要	エアレーション	乾 燥
環境問題	なし スイッチオフで放射線オフ	大量の放射性同位元素を使用 廃棄物処理	発ガン性物質 排出規制強化	

電子線滅菌へ移行

滅菌処理の事例

高圧蒸気・酸化エチレンガス・ガンマ線(放射能)・電子線 を用いて微生物を殺滅する処理

医療機器

- ・注射器
- ・カテーテル
- ・手術用手袋
- ・救急絆創膏
- ・綿棒・スワブ
- ・鉗子…他



不織布・衛生材料

- ・各種手袋
- ・ウェア
- ・消臭剤
- ・マスク
- ・ガーゼ
- ・包帯…他



理化学・臨床検査器材

- ・シャーレ
- ・ゴム栓・キャップ
- ・各種滅菌バッグ
- ・健康診断用検査器材
- ・牛血清(冷凍)…他



各種容器(医薬・化粧品等)

- ・目薬・点眼容器
- ・薬瓶
- ・マスカラ
- ・各種医薬品容器
- ・アンプル…他



食品包材

- ・マーガリン容器
- ・ペットボトル・キャップ
- ・加工肉用ネット・綿布
- ・ヨーグルトカップ
- ・ワイン(コルク)栓
- ・包装紙…他



医薬・化粧品・生薬原料

- ・ポリグルタミン酸
- ・ヒアルロン酸
- ・コラーゲン
- ・医薬品原薬
- ・生薬…他

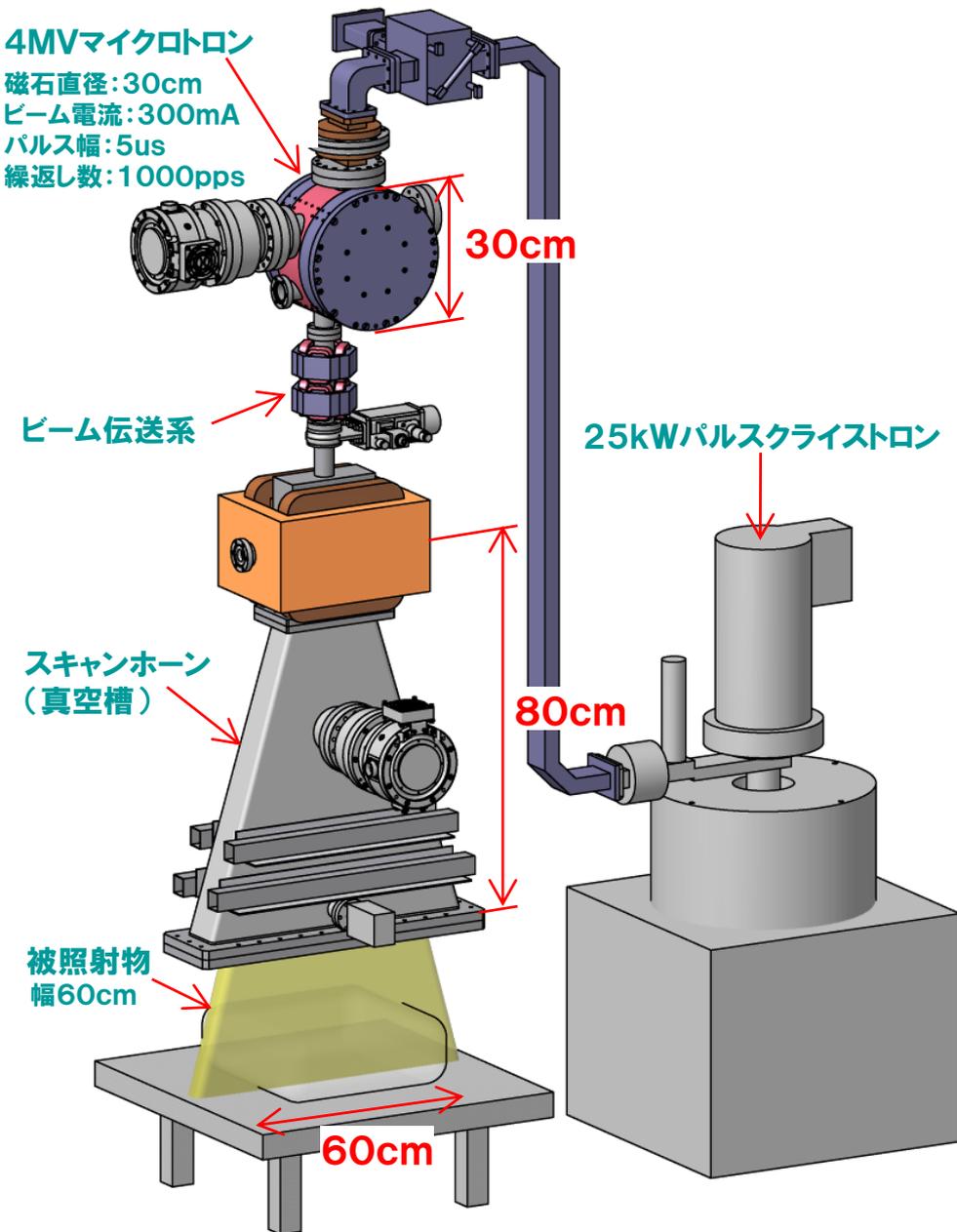


実験動物・農畜産関連

- ・動物用医療機器
- ・実験動物用飼料
- ・マウスケージ
- ・床敷き
- ・紙タオル…他



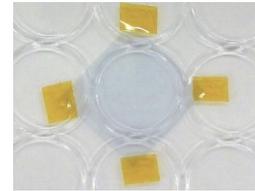
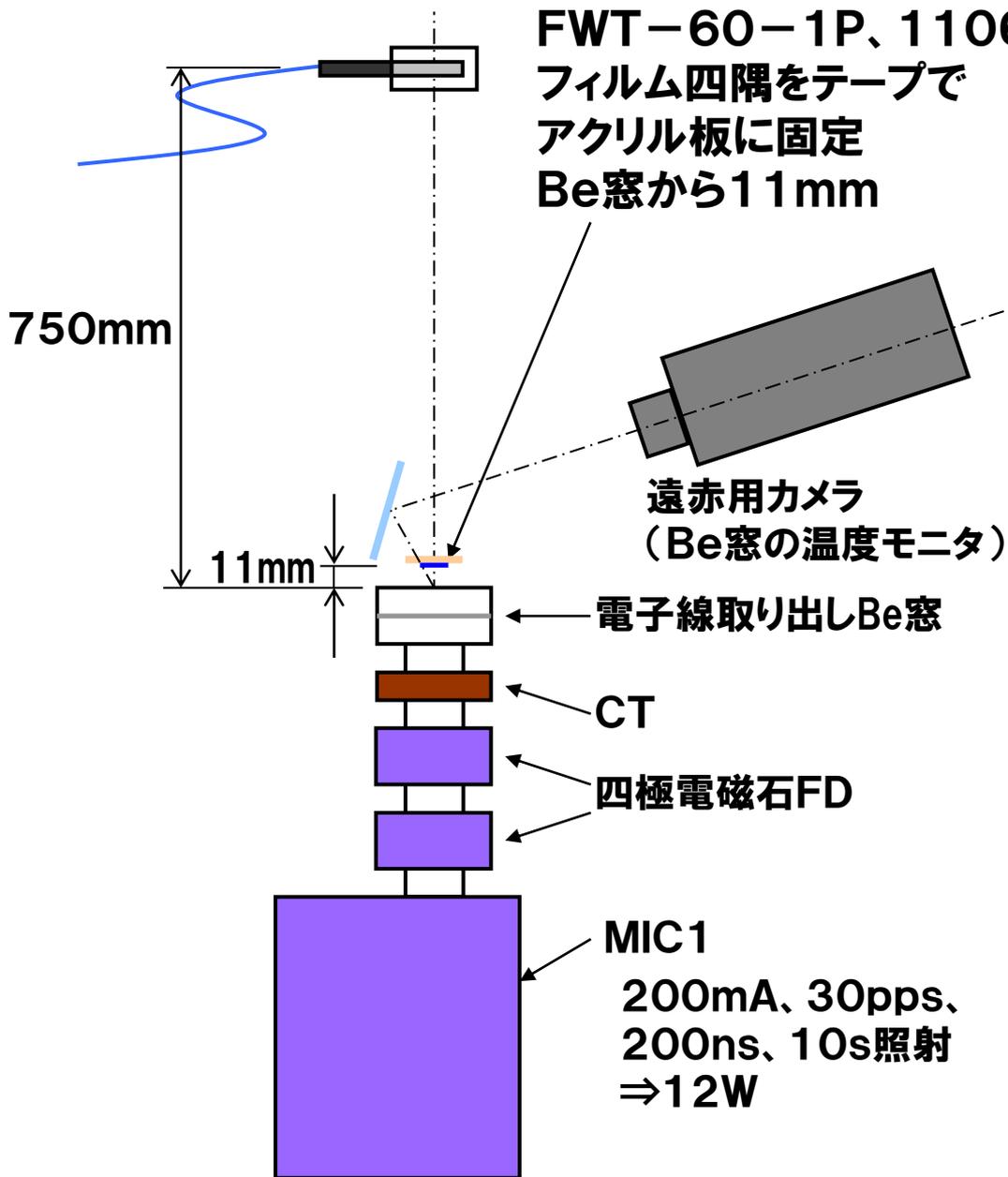
5kW - 4MeVマイクロトン



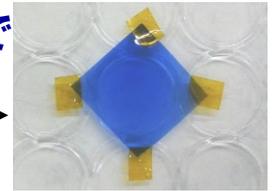
基本仕様

加速エネルギー	4MV
ビーム電流	300mA(パルス)
パルス幅	5us
繰返し数	1,000pps
平均ビーム電流	1.5mA
平均ビームパワー	5kW
磁石寸法	直径30cm
加速周波数	2,856MHz
クライストロン出力	3MW
クライストロン平均出力	18kW
所要電源容量	50kVA以下
EB平坦度	±5%以下
処理量目安	100箱/時

MIC1(1MV) EB照射線量測定

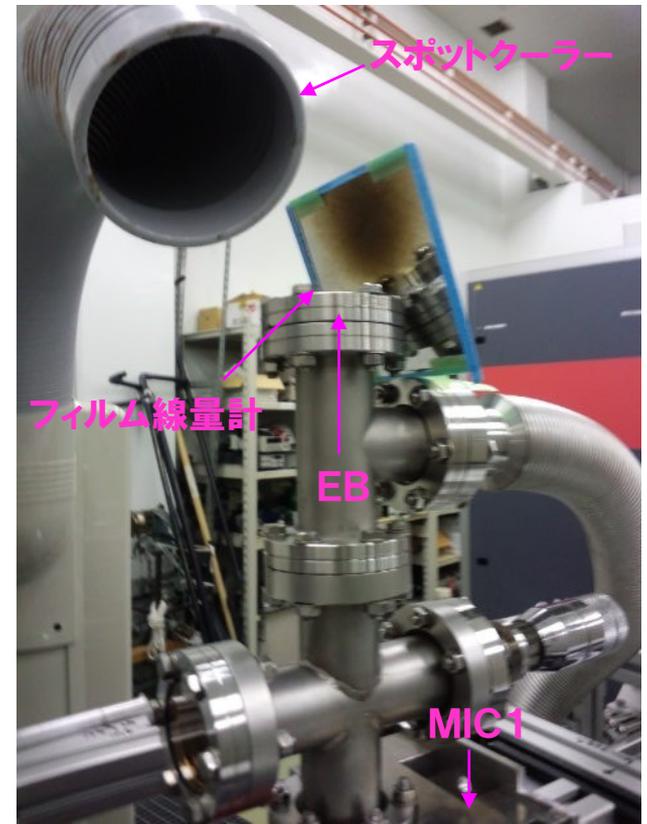


EB照射で
変色



照射前の吸光度 A_i
605nm: 0.136
600nm: 0.135

照射後の吸光度 A_f
605nm: 1.305
600nm: 1.268



照射線量・搬送速度の計算

照射前の吸光度 A_i

605nm: 0.136

600nm: 0.135

照射後の吸光度 A_f

605nm: 1.305

600nm: 1.268

照射前後の吸収率と
フィルムの厚さ44.5 μm
から特性吸光度を求め、
フィルムのデータシートから
補間により線量 Q を求めると

$$Q_{605} = \underline{18.83\text{kGy}}$$

$$Q_{600} = \underline{18.74\text{kGy}}$$

$Q = 18\text{kGy}$ として 1kW に換算すると
 $18\text{kGy} \times 1\text{kW} \div 12\text{W} = \underline{1.5\text{MGy}}$

200mA、30pps、
200ns、10s照射 \Rightarrow 12W

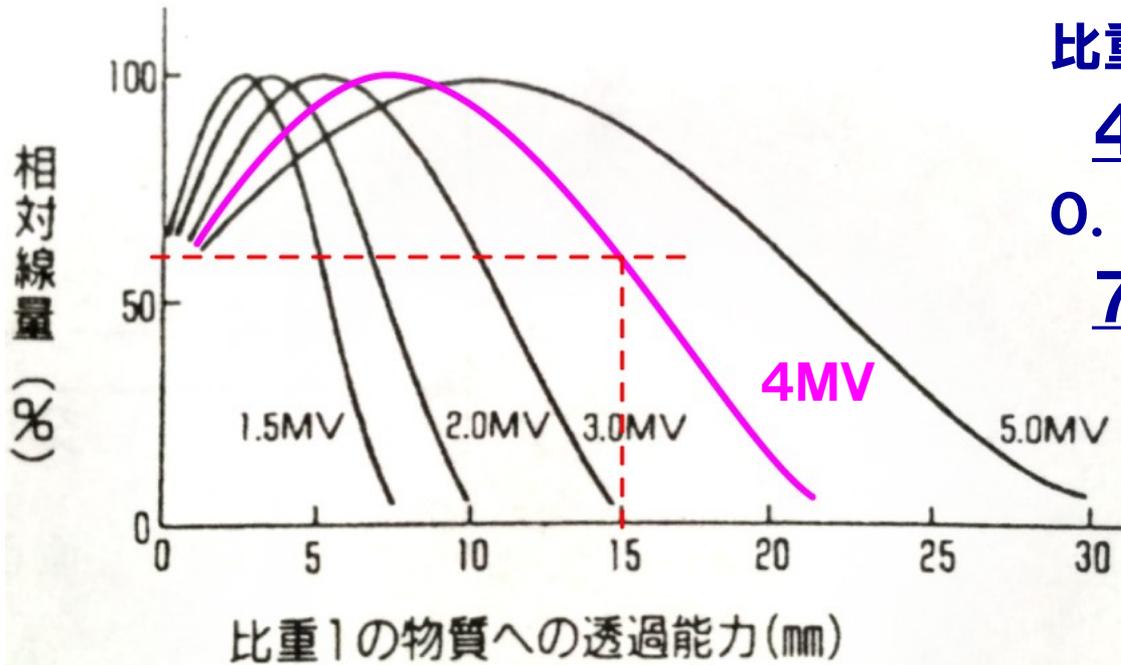
200mA、1000pps、
5 μs 、1s \Rightarrow 1kW

60cm幅にスキャンした場合、1cmあたり
 $1.5\text{MGy} \div 60 = \underline{25\text{kGy}}$

EB滅菌に必要な25kGyの照射で

コンベヤ搬送速度: $1\text{cm/s} = \underline{60\text{cm/min}}$ (1kW装置)

5kW - 4MV MICの処理量の見積り



比重 1g/cm^3 の物質へのEB透過厚

4MV \Rightarrow 1.5cm

0.2g/cm^3 の医療器具等に対して

7.5cm

上下両面からEB照射すると

15cm

出典: 鷲尾方一監修、「低エネルギー電子線照射の技術と応用」、シーエムシー出版

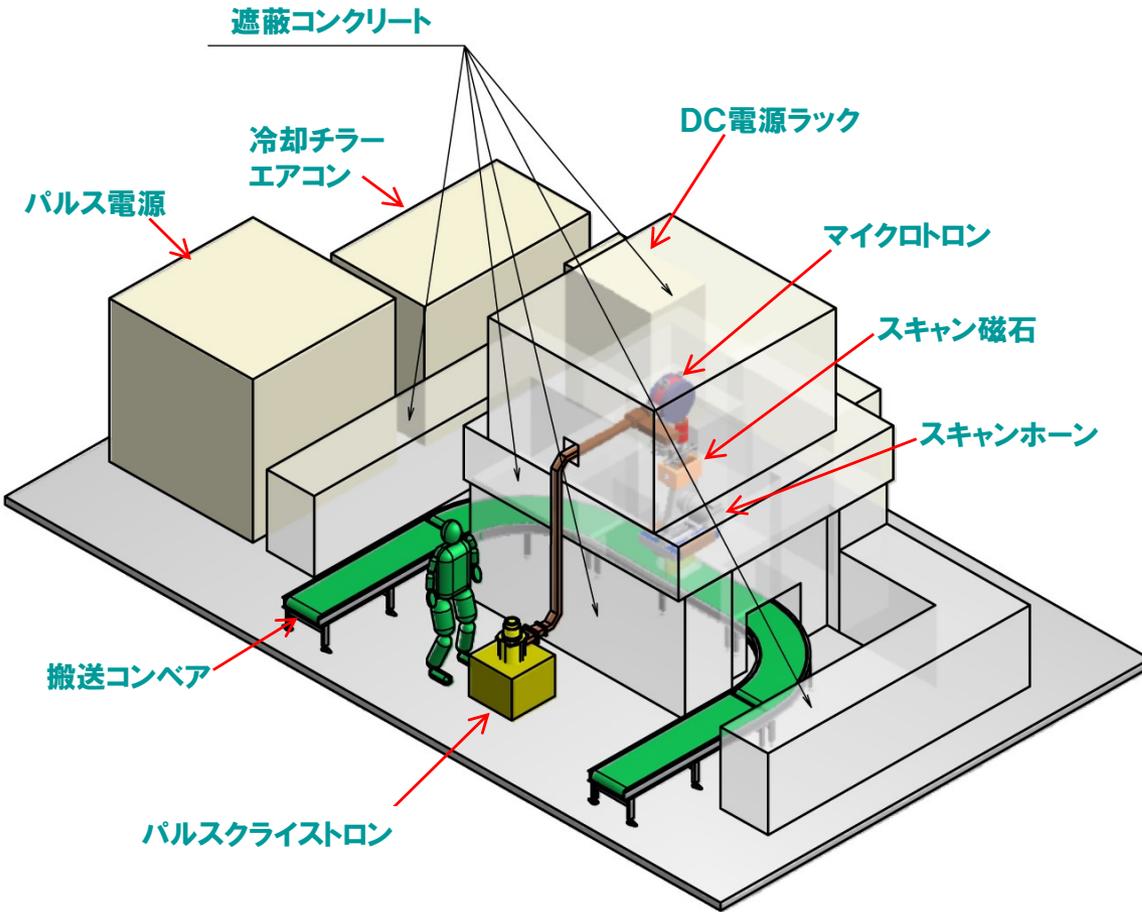
5kW装置でのコンベヤ搬送速度: 300cm/min

W60×H30×D40cmのパッケージの場合、

300cm ÷ 40cm ÷ 2(両面) ÷ 2(15cmに分けて)

1.8箱/min \Rightarrow 約100箱/hr (5kW-MIC4)

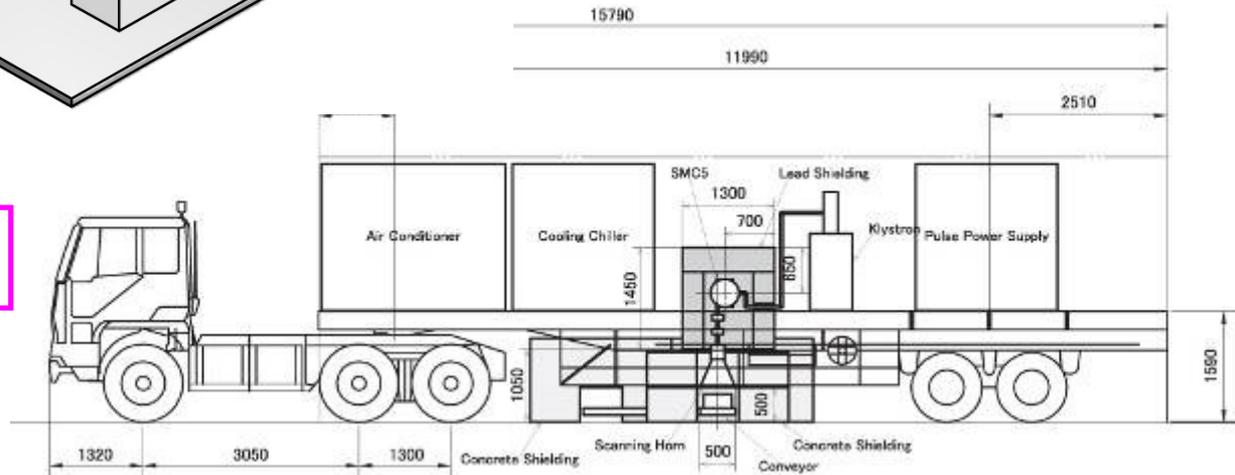
小型EB照射装置の利用例



インライン・ラボサイズ
EB照射装置

装置が小型なので
遮蔽がコンパクト

移動式EB照射装置



まとめ

- **マイクロトロンの高輝度化
みらくるの入射器として開発**
 - ➡ **CT検査装置の販売実績・受託分析で高評価**
- **ビーム出力5kWのラボサイズEB装置開発を計画
EB照射試験で5kW-4MeV装置の有用性を示した。**
- **冷却を強化した加速空洞**
- **スキャンホーン
の製作を進める。**