

(社)日本原子力学会「水化学部会」第6回定例研究会  
開催日時:平成21年3月9日(月)13:30~17:00  
開催場所:日本原子力発電株式会社本店2階第1会議室

# 電子線照射施設を利用した 研究技術開発について ～電子ビームテクノロジー利用～

平成21年3月9日

関西電子ビーム株式会社

専務取締役 隅谷 尚一

# 電子線照射とは

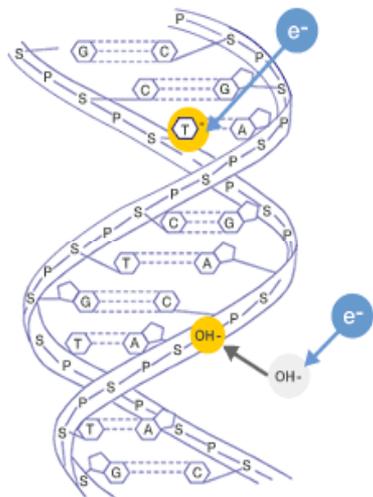
## 電子線照射

電子に高い電圧をかけ、エネルギーを与えて物質に照射すると、物質内を通過するときに電子の持つエネルギーが物質に作用する働きを利用した技術です。

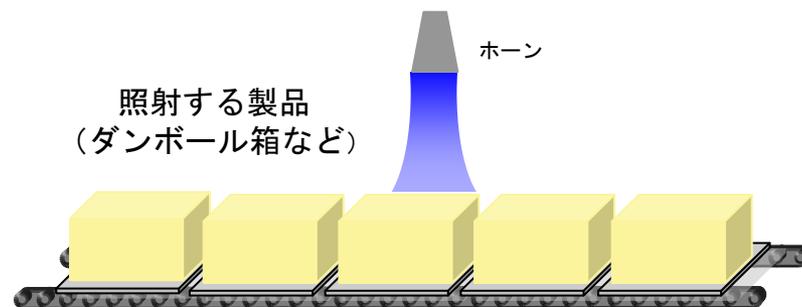
原理的には、テレビのブラウン管とほぼ同じで、電子線発生のための放射性物質等は使用しません。電子線は段ボール箱や包装などを透過するため、箱詰めのまま照射して、**滅菌**や**材料の改質**を行うことが可能です。

## 滅菌の原理

電子線の照射により、微生物の遺伝子(DNA)または細胞がダメージを受けることで微生物は死滅します。



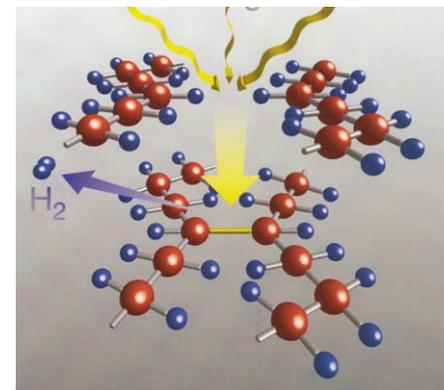
## 電子線照射設備 (電子加速器)



## 材料の改質原理

(例:プラスチックなどの高分子材料の架橋)

細かく分離している分子に電子線が当たると分子同士が結合(架橋)し、高性能の材料を製造することができます。



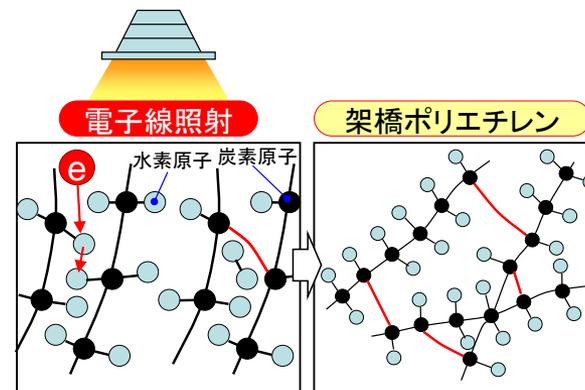
# 電子線照射（電子ビームテクノロジー）利用分野

## 材料改質分野

電子線照射により、高分子材料の架橋、重合、硬化などの反応・処理加工や無機質材料である半導体の特性改善を行います。

### 材料改質（例）

- ・ 耐熱性プラスチックの製造
- ・ 繊維類の高機能化
- ・ 半導体の特性改善



## 滅菌分野

箱詰や包装した製品にそのまま電子線を照射し、滅菌を行います。

### 箱に納められた対象物の滅菌（例）

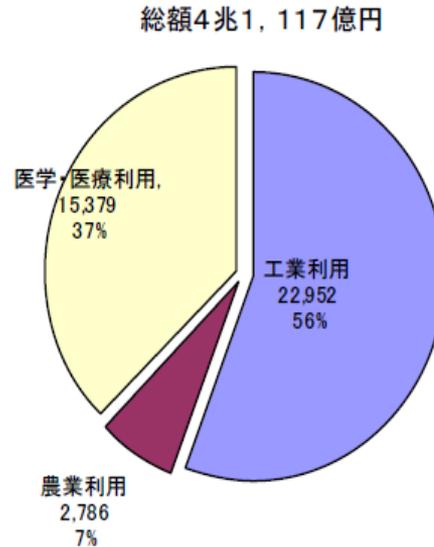
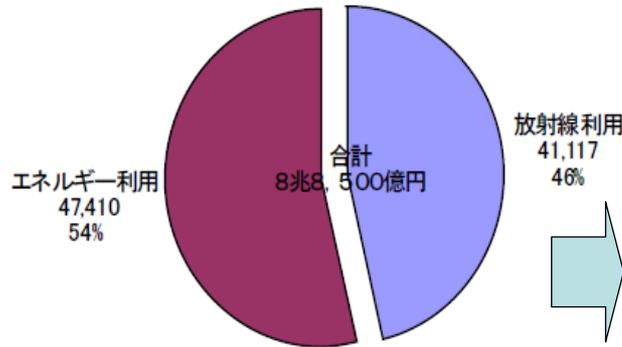
- ・ 注射器、カテーテルなど医療機器、点眼薬・洗眼薬容器など医薬品容器
- ・ ガーゼ、絆創膏など衛生用品、ペットボトル栓、ヨーグルト容器など食品容器



身近な製品の滅菌・殺菌や半導体・プラスチック・繊維等の性能向上に利用されています。

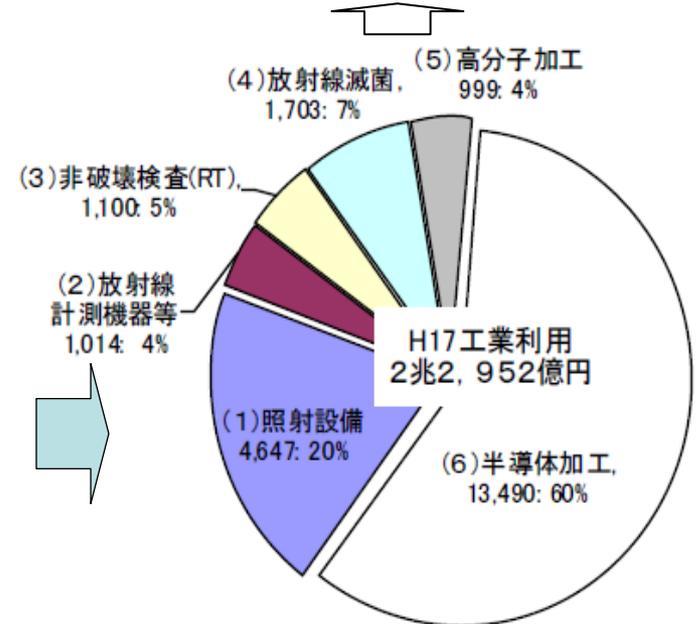
# 放射線利用の経済規模

放射線利用(工業+農業+医学医療)と原子力エネルギー利用(電力需要端+機器輸出)



放射線利用

滅菌と改質で約2,702億円の規模



工業分野利用

内閣府委託事業「平成19年度 放射線利用の経済規模に関する調査」より

## 電子線滅菌とその他滅菌方法の比較

項 目	<u>電子線滅菌</u>	ガンマ線滅菌	酸化エチレンガス (EOG)滅菌
滅菌方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電子加速器により加速された電子線を対象物に照射し、滅菌。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・線源より放射されたガンマ線を対象物に照射し、滅菌。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物を容器内に入れ、EOGを注入し、滅菌。</li> </ul>
対象物の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・透過性が強いため、包装の上から滅菌が可能。</li> <li>・樹脂の変色等はガンマ線より少ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・透過性が強いため、包装の上から滅菌が可能。</li> <li>・樹脂は変色等が発生しやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特殊な包装材料以外、包装の上からの滅菌は不可。</li> <li>・大型品等に対応。</li> </ul>
処理時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数秒から数十秒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・十数時間</li> </ul>
滅菌コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安価</li> </ul>
後処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱ガス処理が必要。</li> <li>・無菌検査が必要。</li> </ul>
その他 (問題点等)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射性物質である線源の処理が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発がん性物質であるEOGの排出規制あり。</li> </ul>

内閣府委託事業「平成19年度 放射線利用の経済規模に関する調査」によると、平成9年電子線滅菌(約143億円)から、平成17年電子線滅菌(約297億円)と、電子線滅菌の市場は増加している。

# 福井県エネルギー研究開発拠点化計画

福井県では、地域と原子力の自立的な連携を目指して、平成17年3月に「エネルギー研究開発拠点化計画」を策定されました。この計画では、「1. 安全・安心の確保」、「2. 研究開発機能の強化」、「3. 人材の育成・交流」、「4. 産業の創出・育成」の4つの観点から、さまざまな施策が展開されています。

電子線照射施設の整備については、「2. 研究開発機能の強化」の取り組みの一つとして、関西電力(株)が主体となり、進めてきたものであり、平成20年11月の推進会議において、以下のとおり今後の推進方針を示しております。

## エネルギー研究開発拠点化推進方針＜平成21年度＞抜粋(平成20年11月8日)

### 2. 研究開発機能の強化

#### (4) 関西・中京圏を含めた県内外の大学や研究機関との連携の促進

##### 【関西電力】

#### ○「関西電子ビーム株式会社」が、電子線照射施設の整備

電子線照射により、耐熱性に優れた繊維やプラスチックなどの素材の改質や滅菌等を行う施設

(施設機能) 研究開発機能：大学や県内企業の研究への活用

事業展開機能：素材の改質や滅菌等の事業化

(規模) 4, 000m<sup>2</sup>程度

(設備) 電子加速器(出力：10MeV(商業用としては国内最大規模の出力))

(スケジュール)

平成21年度 工事

平成22年度 運用開始(社員数：10人程度)

# 関西電子ビーム株式会社の概要

- 設立日 : 平成20年3月17日
- 資本金 : 3億1千5百万円 (操業までに順次増資する予定)
- 株主 : 関西電力株式会社 (98.3%)、原子燃料工業株式会社 (1.7%)
- 本店所在地 : 大阪市北区中之島三丁目6番16号 (関西電力本店内)
- 事業所場所 : 福井県三方郡美浜町松原1号東河原3番3  
(美浜町松原産業団地内)
- 設備 : 電子線照射装置 : 10MeV (商業用として国内最大)
- 代表取締役 : 豊松 秀己〔関西電力(株)執行役員〕
- 体制 : 取締役3名、従業員2名 (平成21年3月現在)
- 事業概要 : (1) 電子線による滅菌処理および材料の改質処理  
(2) 上記に関連する研究技術開発、その他顧客支援サービス
- ホームページ : <http://www.kbeam.co.jp> (平成21年3月11日公開予定)

## ○共同出資会社(原子燃料工業株式会社)の概要

- ・設立 : 昭和47年7月
- ・所在地 : 東京都港区三田3丁目14番10号
- ・代表者 : 社長 岩田 善輔
- ・事業概要 : ウラン燃料の設計・製造  
原子燃料サイクル関連技術開発  
電子線による滅菌処理等によるサービス

# 10MeV電子線の特徴

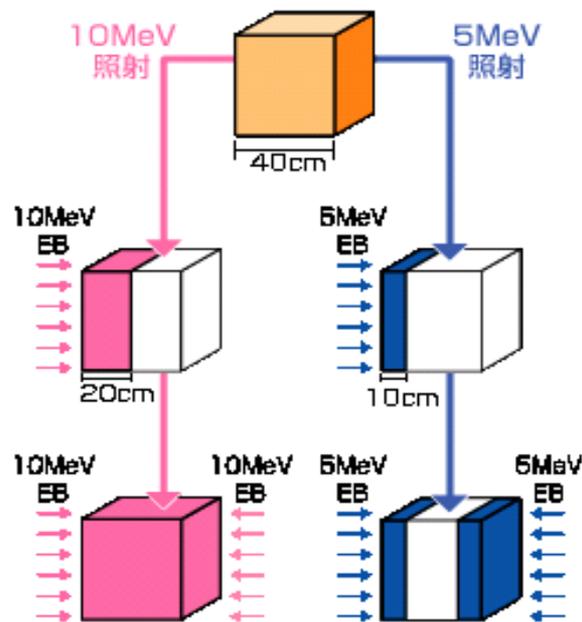
## ●高透過性

透過能力は電子線照射サービス会社の中で国内最高であり、両面からの照射によりガンマ線照射と同等の透過性能があります。

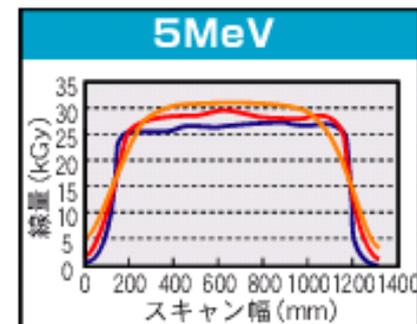
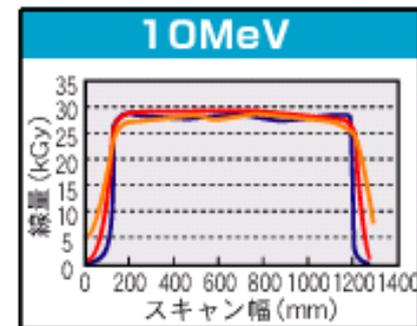
また、10MeV電子線は空気による散乱の影響が少ないため、均一な線量分布(透過性)が得られます。5MeV電子線に比べ、上下方向・横方向の線量分布(透過性)が均一で優れています。

従来不可能であった製品も電子線照射が**可能**に！

密度=0.2g/cm<sup>3</sup>  
(ディスポ医療機器の代表的梱包密度)



ホーンからの距離



滅菌

改質



目薬



プレフィルドシリンジ  
(注射器)

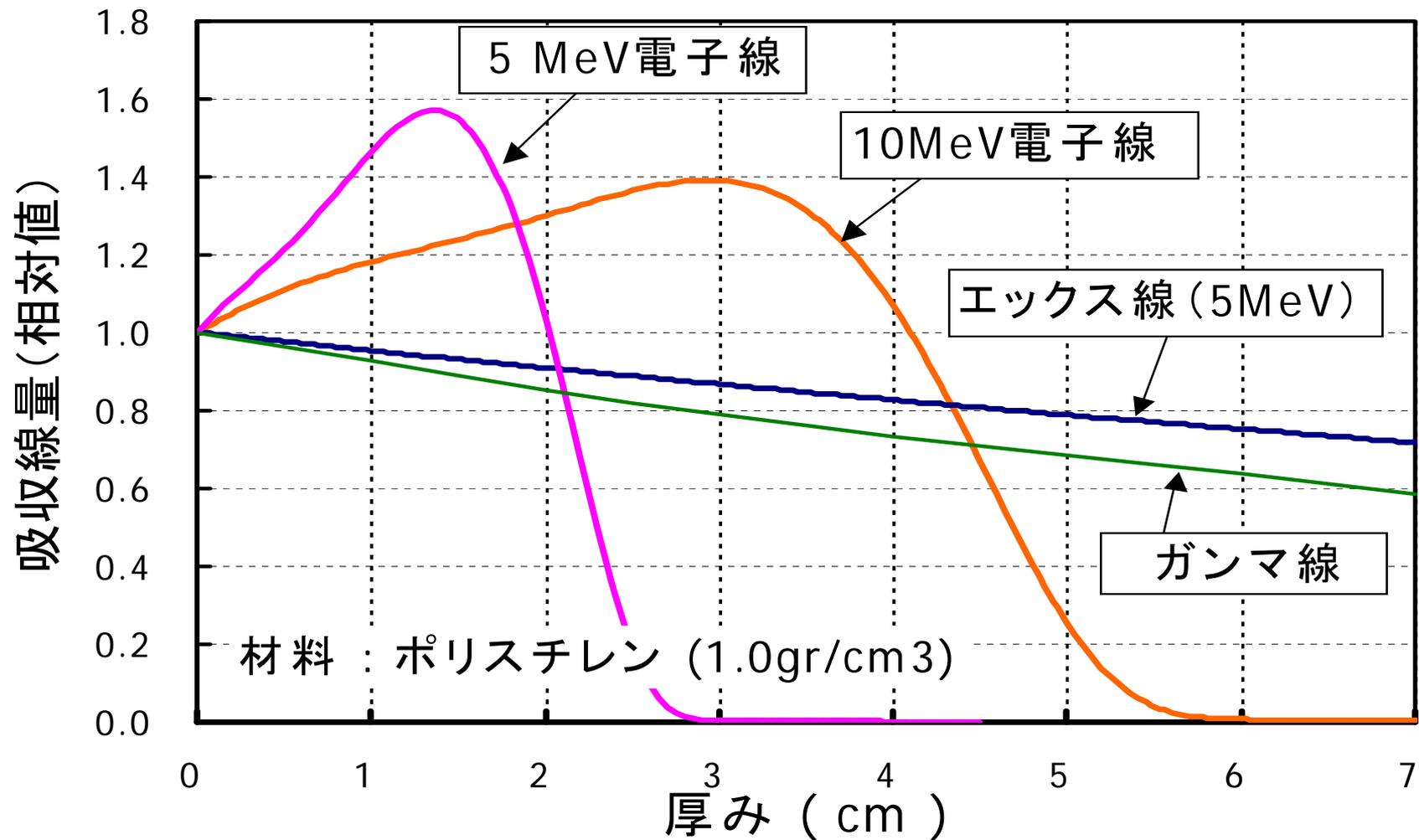


ダイライザー  
(人工腎臓)



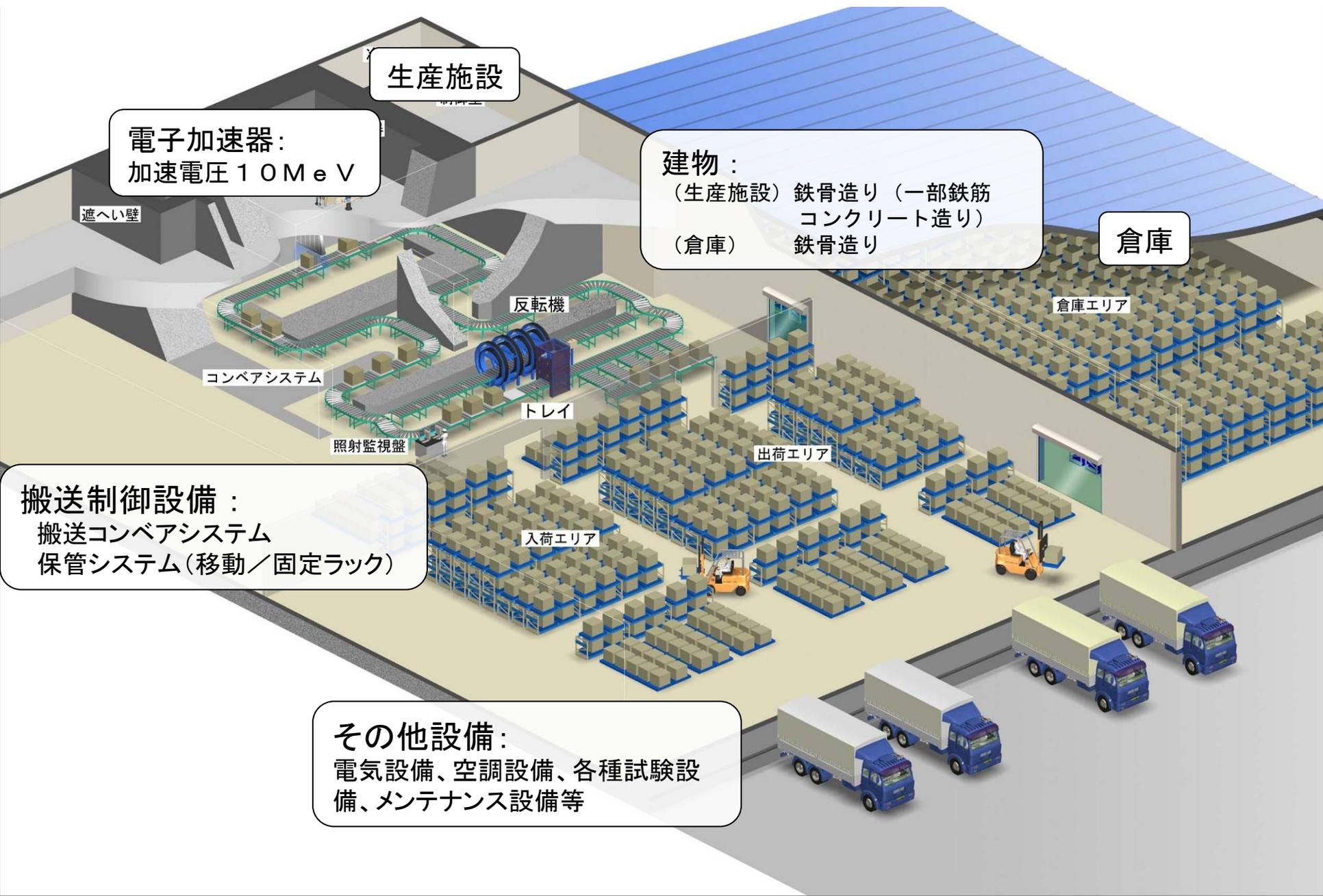
炭素繊維複合材料

# 電子線等による透過厚みにおける吸収線量



10MeV電子線は5MeV電子線と比べ、透過厚みの差(2倍)がある他に、吸収線量のばらつきが小さく、均質性にも優れている。

# 電子線照射施設の概要



生産施設

電子加速器：  
加速電圧 10 MeV

遮へい壁

コンベアシステム

反転機

トレイ

照射監視盤

入荷エリア

出荷エリア

倉庫

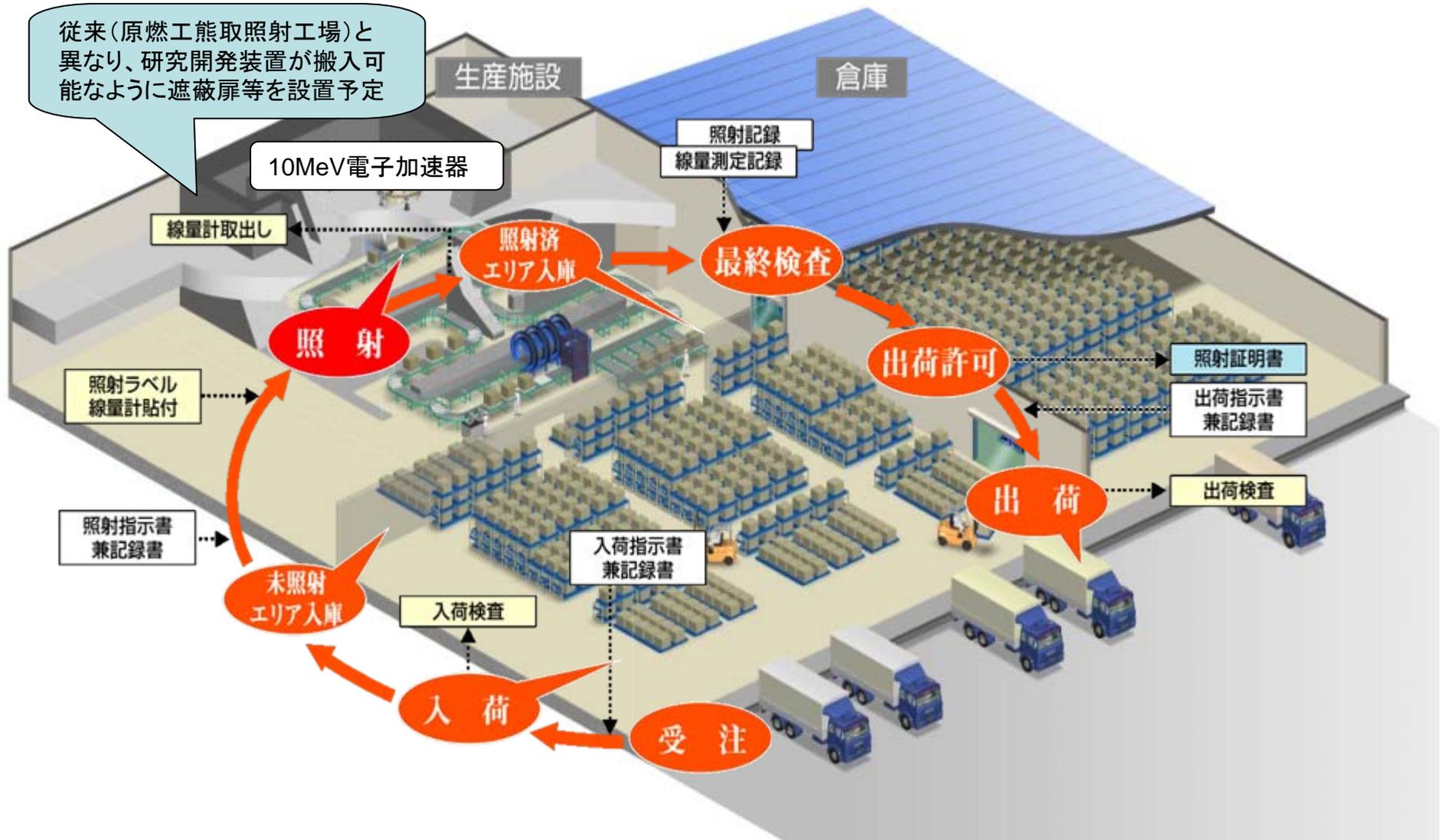
倉庫エリア

搬送制御設備：  
搬送コンベアシステム  
保管システム(移動/固定ラック)

その他設備：  
電気設備、空調設備、各種試験設  
備、メンテナンス設備等

建物：  
(生産施設) 鉄骨造り (一部鉄筋  
コンクリート造り)  
(倉庫) 鉄骨造り

# 電子線照射工程フロー（受注～出荷までの物流）



# 電子線照射施設の事業所場所

## 福井県三方郡美浜町松原1号東河原3番3 (美浜町松原産業団地内)



### 交通のご案内

- 車
    - ・北陸自動車道 敦賀I.C.から約20分  
(2014年開通予定の舞鶴若狭自動車道 美浜I.C.から約5分)
    - ・舞鶴若狭自動車道 小浜西I.C.から約50分
  - 電車
    - ・JR美浜駅から車で約2分(約1.5km)
- ・JR京都駅からJR美浜駅まで約70分
  - ・JR名古屋駅からJR美浜駅まで約110分
  - ・JR金沢駅からJR美浜駅まで約100分
- 船舶
    - ・敦賀港から車で約30分



## 今後の操業開始までのスケジュール(予定)

用地取得：平成21年3月予定

(産業団地計画に従って取得。)

工事着工：平成21年夏頃

(建築確認申請等の手続き完了後、  
建屋工事を着工)

竣工：平成22年秋頃

(工事着工後、約1年強で竣工)

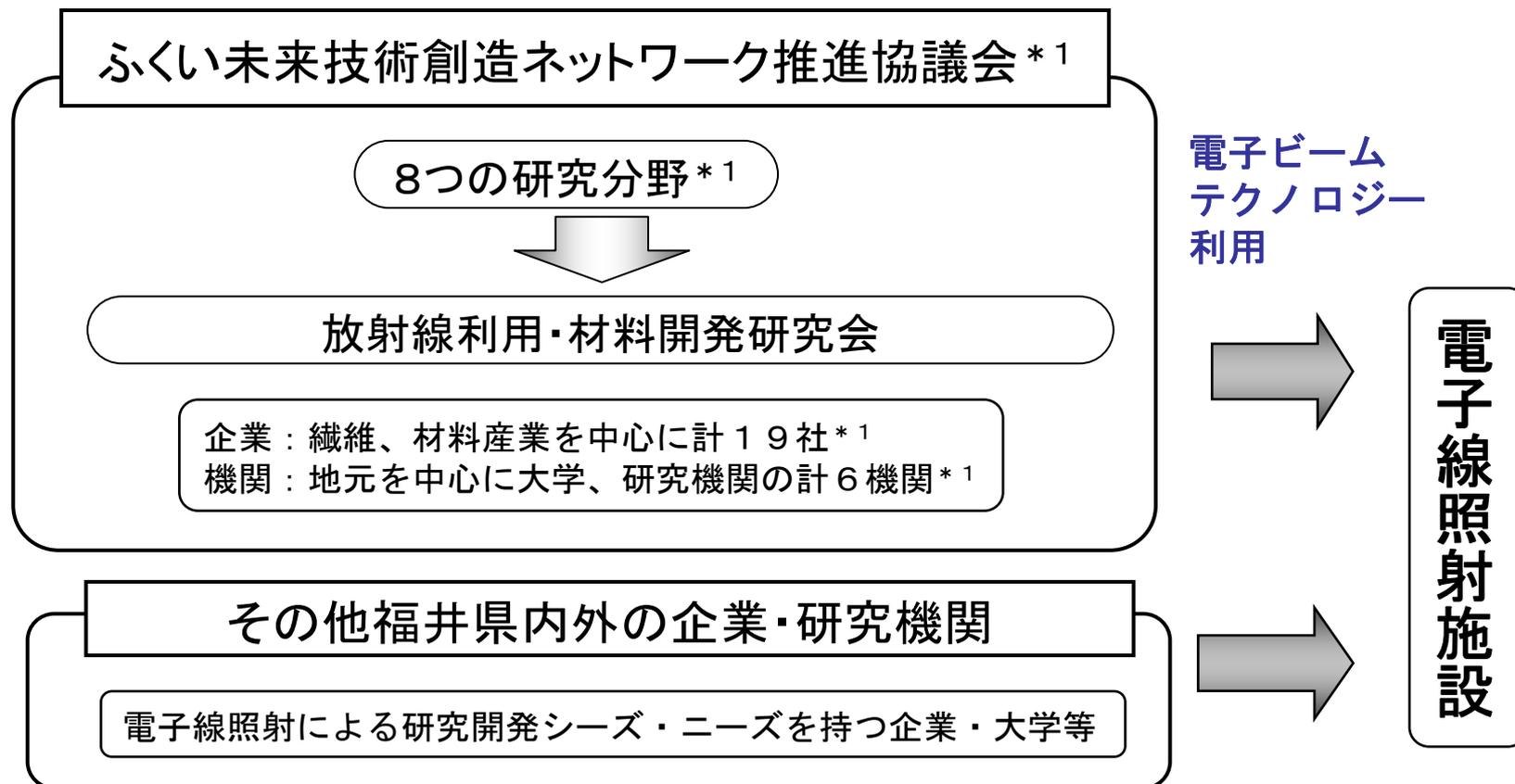
操業開始：平成22年冬頃

(試運転実施後、操業開始)

上記スケジュールは、平成21年3月時点における予定です。今後変更があり得るものであり、確定したものではありません。

## 研究開発機能(電子ビームテクノロジー)利用

福井県内外の企業や大学の研究開発のサポートを行います。



\*<sup>1</sup>：平成20年7月に推進協議会を新たにスタートさせた。研究会のメンバーは平成21年2月末現在での参加メンバー。

なお、研究会は、「放射線利用・材料開発研究会」、「環境適合性材料・エネルギー開発研究会」、「保守技術・検査技術開発研究会」、「海洋資源・生物資源活用研究会」、「先端マテリアル創生・加工技術研究会」、「チタン・マグネシウム加工技術研究会」、「レーザー高度利用技術研究会」、「バイオテクノロジー研究会」がある。

# 放射線利用(量子ビームテクノロジー)



◆従来と比較して強度が強く、目的にあった質の高い粒子線や電磁波の発生が可能に  
 ◆利用技術の高度化と多様化が進展

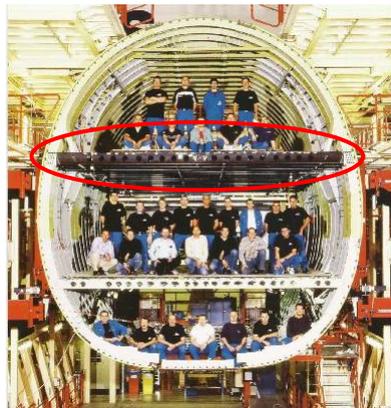
## 今後の進め方

- ・国は、大強度陽子加速器といった世界最先端の量子ビーム施設・設備を基幹的な共通科学技術インフラとして整備を継続的に取り組むべき。
- ・上記の施設・設備が、産官学が連携して活用できる環境の整備や研究者及び開発者にとって利用しやすい柔軟性に富んだ共用・支援体制の整備等に取り組むべき。

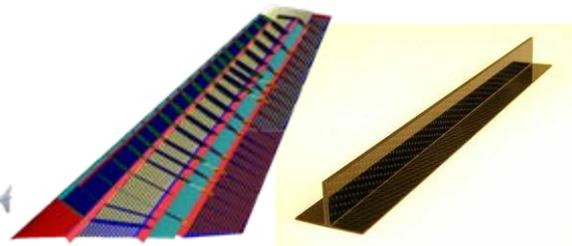
# 研究開発例:炭素繊維複合材の電子線硬化研究(原燃工)

(経済産業省「民間航空機基盤技術プログラム」の「次世代航空機用構造部材創製・加工技術開発」プロジェクトの「複合材料非加熱成形技術開発」(平成15~19年度に実施))

背景:機体の大型化/軽量化で、一定断面の長尺CFRP (炭素繊維複合材料)一次構造部材が増加



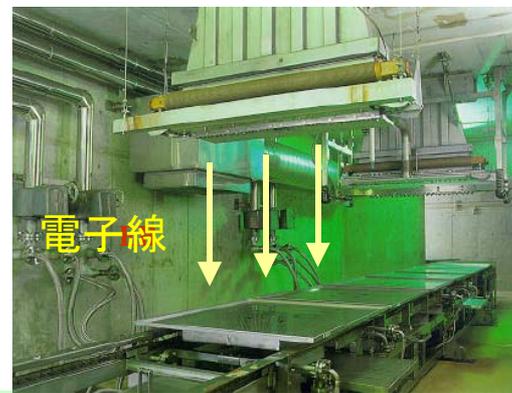
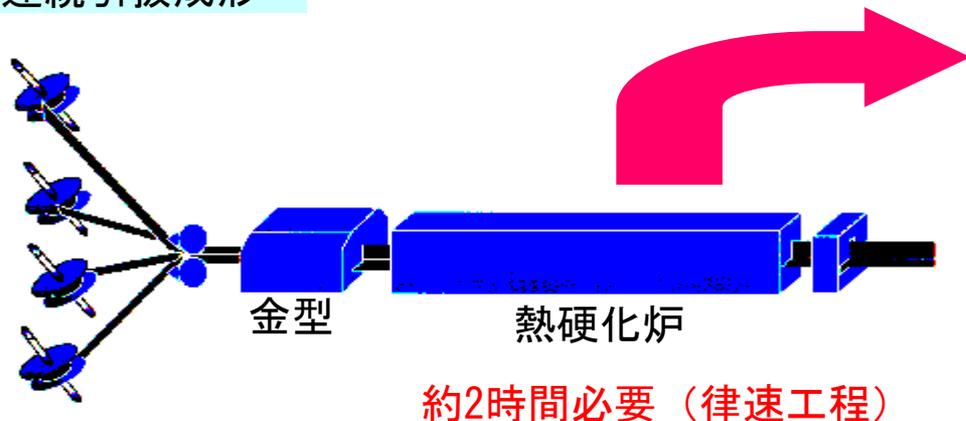
フロアビーム



外板補強ストリング(主翼、尾翼)

目的:電子線硬化で、高速/低コスト化(従来熱硬化と比べて40%コスト削減)

## 連続引抜成形



電子線硬化 (EBC)  
(数秒で硬化)

**「電子加速器を利用した研究開発のご提案」  
水化学施設、金属材料試験について**

# 電子加速器を利用した水化学施設のメリット、特徴等

## 【電子加速器を利用するメリット】

費用、期間、許認可手続き、放射化、放射性廃棄物等の問題で実機の原子炉や実験用原子炉を使用して実施できない研究(水化学研究など)に対応できる。  
水化学研究の目的は、線量低減(被ばく低減)、構成材料及び燃料健全性の維持・向上ならびに放射性廃棄物発生量低減のための技術開発に資するため。

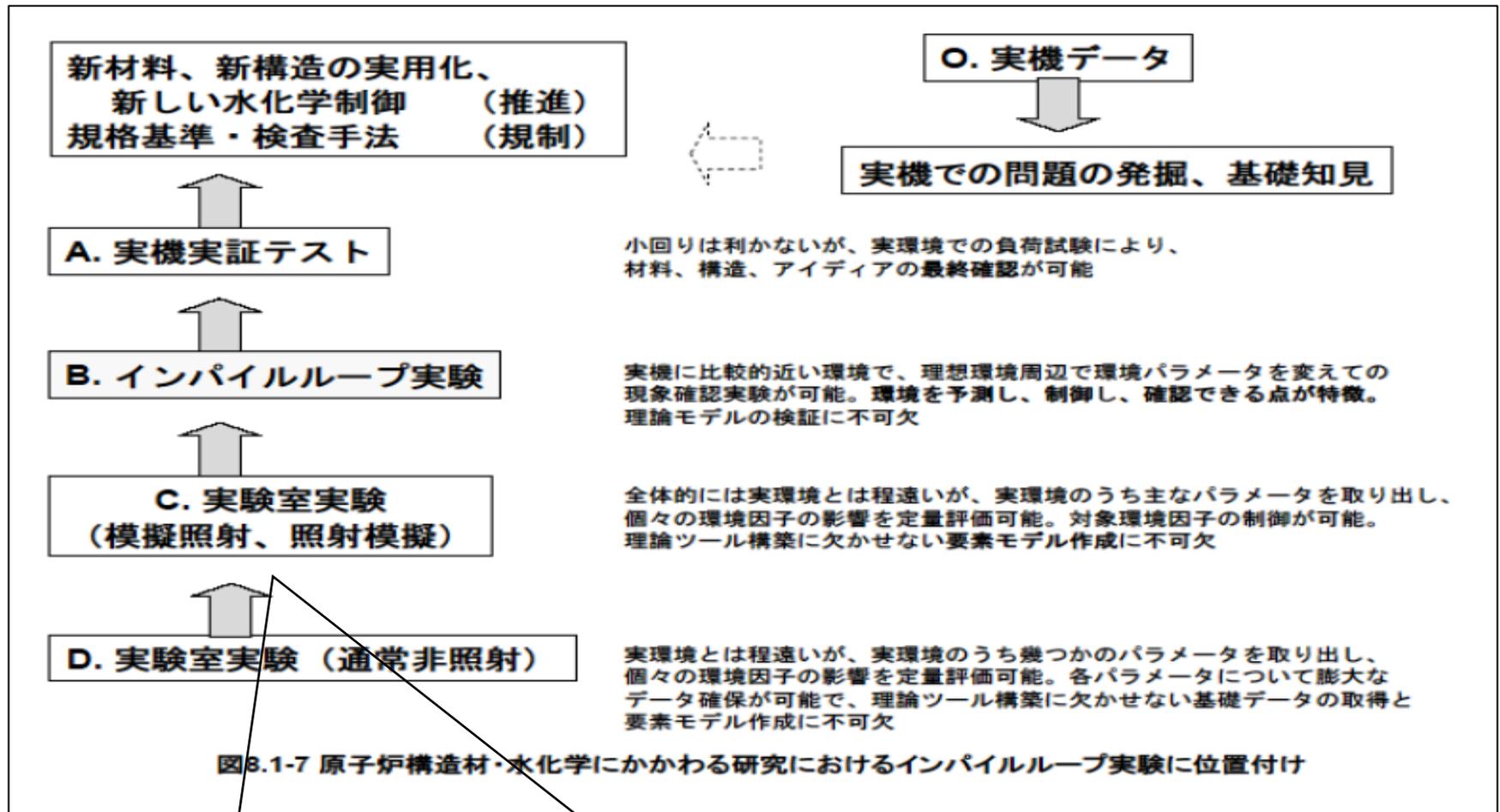
## 【電子加速器実験の特徴】

- ・線量率が高い(10kGy/s,min)、オン・オフ簡単、・複数ループ設置可能。  
なお、ガンマ線照射の場合は、線量が低く、オン・オフが遅い。
- ・10MeV電子線加速器の特徴として、10MeV、80kWの装置を仮定すると、80kW(80kJ/s)であり10ccの水に照射した場合、 $8 \times 10^6 \text{J/kg/s} = 8 \times 10^2 \text{kGy/s}$  であり、原子炉炉心での線量( $\sim 10 \text{kGy/s}$ )は十分満足できる環境が模擬可能。

## 【実験実施項目】

1. 放射線分解と環境変化(ラジオリシス制御:BWRのH<sub>2</sub>注入)
  - ・線量と[H<sub>2</sub>]、[O<sub>2</sub>]、[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]の変化、線量率と腐食電位(ECP)変化、実験とシュミレーション
2. 放射線場下での材料腐食試験
  - ・腐食挙動変化;重量変化、SEM等、生成酸化物の種類、形成量変化等
  - ・in-situ測定;溶解度、Raman分析等、腐食計
  - ・直接効果と間接効果/界面反応
3. 実験パラメータ
  - ・温度、圧力、線量率、流量

## 電子加速器を利用した水化学試験の位置付け



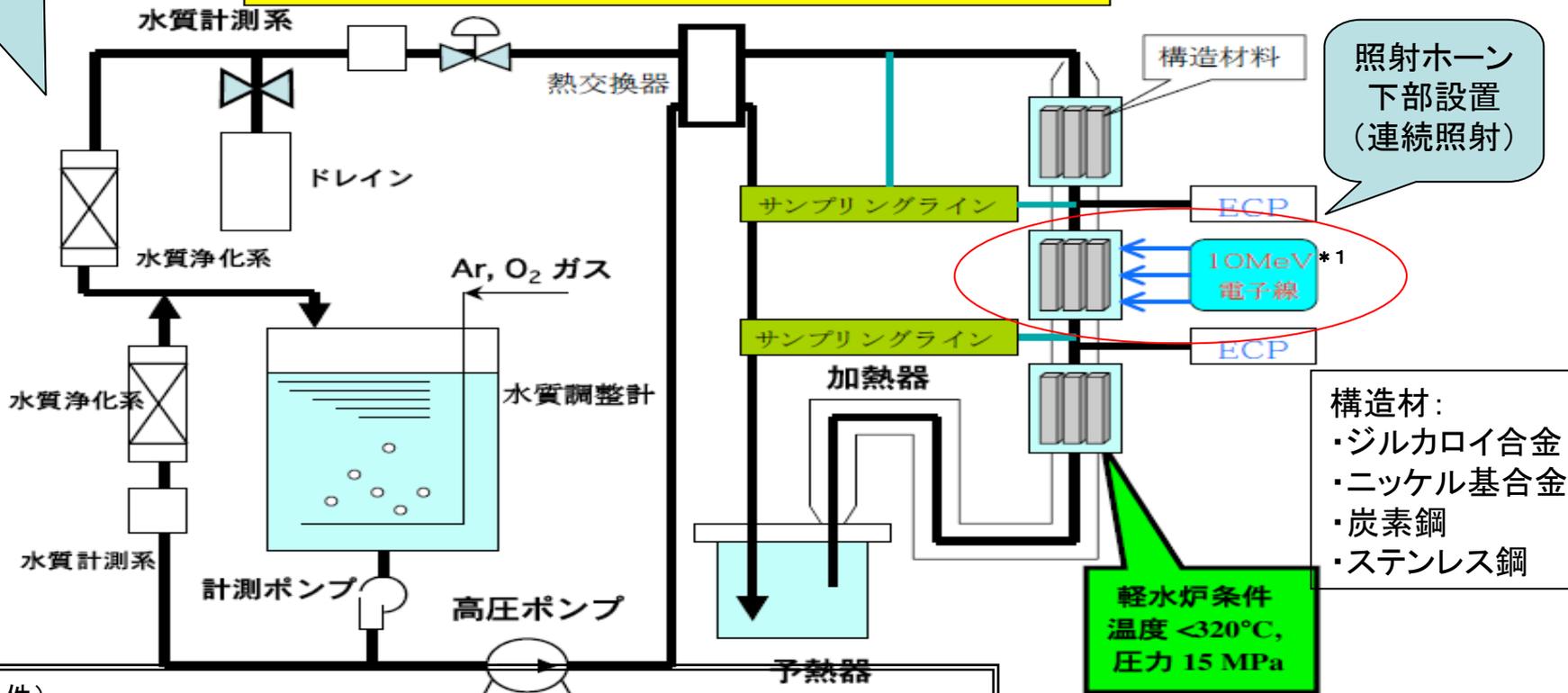
実験室実験から実機実証テストするまでの期間に、実験原子炉(JMTR等)の代替として、電子加速器による試験が有効活用できる。

【適用(例)】BWR被ばく低減水質制御技術の高度化、PWRの1次系低溶存水素濃度管理等に利用可能。

# 電子加速器を利用した水化学施設(試験方法等)について

照射用材料部以外の設備は照射室外に配置。(弊社施設は原燃工熊取と異なり、遮蔽扉等があり設置可能)

## 電子線照射システム



(水質条件)

- ・PWR1次系: 310°C、13.4MPa、pH;6.8~7.4(B-Li)制御
- ・BWR; 285°C、6.7MPa、pH;5.6~8.6
- ・被ばく低減のための水質制御技術の高度化(BWR)、低溶存水素濃度管理(PWR)等

\*1: 10MeV電子線の代わりに、変換X線照射を照射する方法もある。

# 電子加速器を利用した原子炉施設の金属材料試験 (これまで実績例)

「電子線照射による低合金鋼のマイクロ組織変化」(INSSジャーナル、2003)

## 1. 実施機関

(株)原子力安全システム研究所、東北大学金属材料研究所、(独)物質・材料研究機構

## 2. 実施場所

原子燃料工業(株)熊取NFI照射サービス室

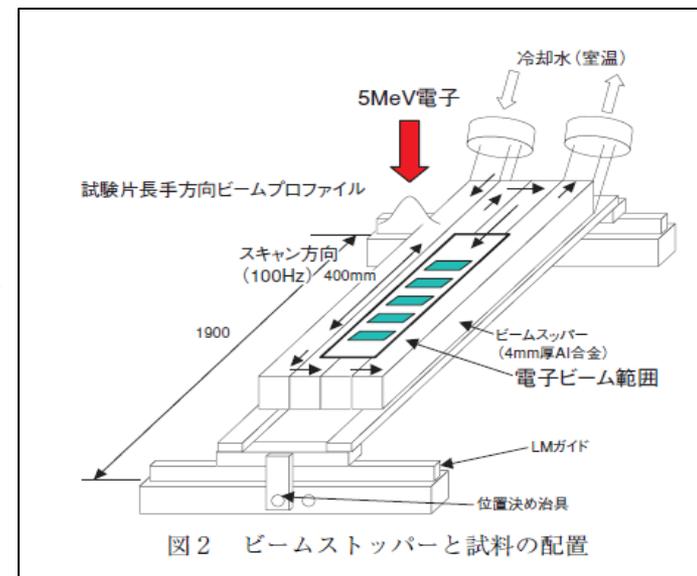
## 3. 研究目的

原子炉容器鋼材(A533B)の脆化評価のデータ取得が目的。

- ・試料片厚さは1mm(Cu量の異なる試験片)
- ・照射温度は230~290°C(制御範囲で±20°C)
- ・照射領域は300mm,幅約50mm。

## 4. 結果(概要)

- ・Cuリッチ析出物の体積率により照射硬化をほぼ説明できる。
- ・損傷量で整理すると電子線照射と中性子照射に伴う硬さの増加には明確な違いはない。



注:本試験は5MeV電子ビームで実施されているが、同様の試験を10MeV電子ビームで実施した実績あり。