

# 放射線の工業・環境利用の展開

東京大学 石樽 顕吉

## 内容

- 歴史的経緯
- 放射線利用の現状
  - 利用分野
  - 線源
  - 経済規模
- 今後の展望
- 産業利用推進上の問題点

# 歴史的経緯

## 原子力の利用

エネルギー利用

+

放射線利用

開発初期：車の両輪

1932 Cockcroft-Walton による  
加速器を用いた核変換実験

1953 Atoms for peace

1952 Charlesby ポリエチレン架かけ  
(原子炉利用)

1956 日本原子力研究所発足

1956 日本放射線高分子協会発足 (民間)

1963 JPDR 発電開始

1961 日本でポリエチレン照射電線生産

1964 原研高崎研究所開所

1968 低電圧・大電流加速器の開発

1970 敦賀-1 発電開始

1971 排煙処理研究開始 (民間)

1973 石油危機

1973 じゃがいも照射開始

1979 スリーマイル事故

1986 チェルノブイリ事故

1995 「もんじゅ」ナトリウム漏れ

1991 TIARA 稼動開始

1997 柏崎刈羽 7 運転開始 (LWR50 基)

1994 HIMAC 稼動開始

1999 JCO 事故

1998 Spring-8 利用開始

# 放射線の工業利用の変遷

| 年代  | 材 料                                 | 滅 菌      | 環 境                                                                 | R・I 利用 |
|-----|-------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|--------|
| '50 |                                     | 米国で実用化   |                                                                     | 日本で実用化 |
| '60 | 日本で照射電線実用化<br>熱収縮材<br>発泡材<br>自動車タイヤ | 日本で実用開始  | EB キュアリング<br>研究開発開始                                                 | 急速成長   |
| '70 | 塗装（厚鋼板など）<br>半導体ドーピング日本で開始          | 停滞       | 排煙処理試験開始                                                            | 停滞     |
| '80 | 半導体産業へ浸透                            | ガンマ線施設拡大 | EB キュアリング<br>（多様な利用）                                                | 漸減     |
| '90 | 炭化ケイ素繊維                             | 電子線滅菌    | 石炭火力パイロット<br>プラント<br><br>石炭火力プラント<br>（成都）<br><br>重油燃焼火力プラント<br>（日本） |        |

# 歴史的経緯—まとめ

## 1 エネルギー利用と放射線利用

- 1950年代スタート

エネルギー利用 官主導、放射線利用 民主導

- 車の両輪('60年代)→片輪('70~'80年代)→アンバランス是正('90年代)?

## 2 放射線利用

- ①電子加速器
  - 高分子関連利用拡大('60~'70年代)→伸び悩み('80~)
  - 半導体産業への浸透('80~'90年代)
  - 環境分野の話題('90年代)
- ②ガンマ線
  - 滅菌分野の低成長('70年代)→拡大('80年代)
  - 電子線滅菌の拡大('90年代)
- ③大型加速器
  - 大型施設の建設('90年代)【官主導】

## 3 エネルギー利用

- 軽水炉
  - 石油危機契機に拡大('70~'80年代)【民間】
  - 技術の定着と成熟期('80年代)
  - 新規立地の困難('90年代)

# 放射線の工業利用の分野

## ● 照射利用

### 1. 材料を高機能化・創製する技術

#### 1) 高分子系材料

- 照射電線
- 熱収縮材
- 発泡材（独自開発）
- 自動車タイヤ
- 炭化ケイ素繊維（独自開発）
- イオン交換膜（独自開発）

#### 2) 半導体

- ドーピング（NTD）
- 微細加工
- イオン注入

### 2. 環境を保全する技術

- 排煙処理
- EB 硬化プロセス
- 不妊虫放飼法

### 3. 健康を守る技術

- 放射線滅菌
- 食品・農産物の殺菌・殺虫

## ● RI 利用

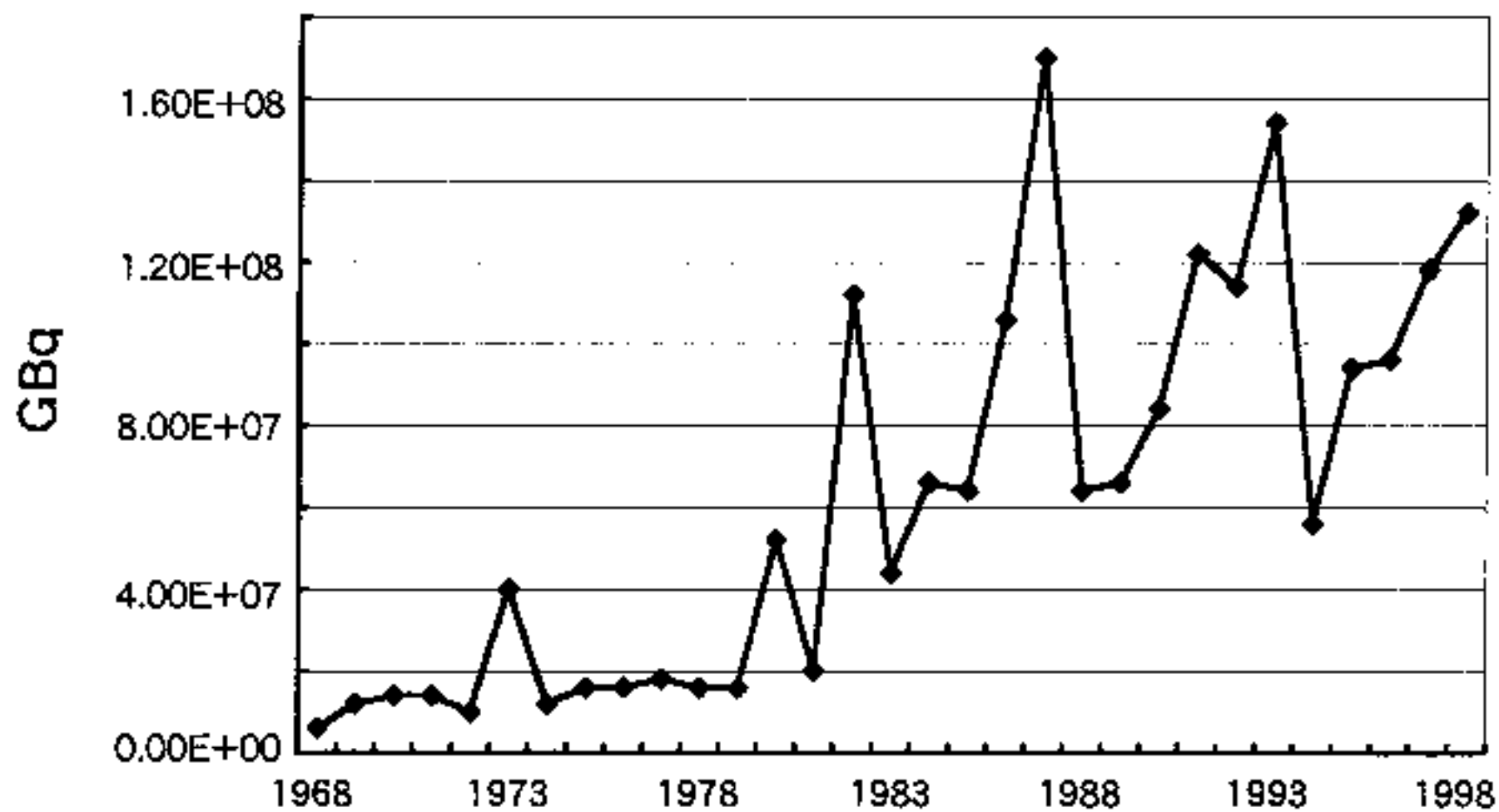
工程管理——厚さ計、密度計、レベル計 etc.

## 自動車産業と放射線利用

- EB キュアリング —— 塗料硬化  
自動車用開発（Ford Mo. 現在中止）
- タイヤ用ゴムシートへの照射
- 自動車用電線の照射
- 内装用発泡プラスチックの製造

# 工業用電子加速器の利用分野及び 国内設置台数（推定）

| 利用分野   | ～300<br>kV | 300k<br>～3MV | 3MV～ | 合計  |
|--------|------------|--------------|------|-----|
| 研究開発   | 112        | 2            | 1    | 115 |
| 電線ケーブル | 1          | 50           | —    | 51  |
| 発泡材    | 2          | 12           | —    | 14  |
| 熱収縮材   | 10         | 17           | 1    | 28  |
| タイヤ    | 3          | 20           | —    | 23  |
| キュアリング | 44         | 2            | —    | 46  |
| 殺菌・滅菌  | 3          | 2            | 6    | 11  |
| 排煙・環境  | —          | 4            | —    | 4   |
| 照射サービス | 3          | 10           | 3    | 16  |
| 合計     | 178        | 119          | 11   | 308 |



$^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線源の販売数量

# 放射線工業利用の経済規模

1997 年度（単位：億円）

| 分 野          |            |                | 出荷高    | 小計     |
|--------------|------------|----------------|--------|--------|
| 照射設備         | 工業用        | アイソトープ         | 304    | 4,175  |
|              |            | 放射線発生装置        | 178    |        |
|              | 医学用        | 診断用 X 線装置      | 2,051  |        |
|              |            | 画像診断用医学装置      | 102    |        |
|              |            | 検査用核医学装置       | 2      |        |
|              |            | 放射性同位元素治療装置    | 18     |        |
|              |            | 医療用密封同位元素      | 4      |        |
|              |            | 治療用粒子加速器       | 107    |        |
|              |            | 医療放射線関連装置及び製品  | 1,409  |        |
| RI 放射線応用計測機器 |            | 放射線測定器・RI 装備機器 | 217    | 1,428  |
|              |            | その他            | 1,211  |        |
| 非破壊検査（RT）    |            |                |        | 312    |
| 放射線滅菌        | γ 線<br>電子線 |                | 2,647  | 2,841  |
|              |            |                | 194    |        |
| 放射線加工        | 橋かけ        | タイヤ            | 10,146 | 10,973 |
|              |            | 電線・ケーブル        | 450    |        |
|              |            | 発泡体            | 170    |        |
|              |            | 熱収縮チューブ・フィルム   | 160    |        |
|              |            | その他            | 2      |        |
|              | 分解         | PTFE           | 5      |        |
|              | 硬化         | 塗装、表面加工、磁性材料   | 30     |        |
|              | グラフト       | 電池隔膜、吸着材       | 10     |        |
| 合 計          |            |                |        | 19,729 |

|     |  |  |  |        |
|-----|--|--|--|--------|
| 半導体 |  |  |  | 53,559 |
|-----|--|--|--|--------|

## 経済規模評価の前提条件

- ① 照射設備
  - 工業用 H9 年度 原産報告書  
(半導体関係機器入っていない可能性?)
  - 医学用 H9 年度 薬事工業生産動態年報
- ② RI 放射線応用計測機器 H9 原産報告書
- ③ 非破壊検査 会社売り上げ×24.6%
- ④ 滅菌 ディスポーザル医療器具の売り上げ×58.8% γ線  
×4.3% 電子線
- ⑤ 放射線加工
  - 電線・ケーブル H9 電子機器配線用電線の売り上げ×20%
  - タイヤゴム タイヤ生産金額×93.5% (ラジアルタイヤ)
- ⑥ 半導体 半導体デバイス製造過程で複数回にわたる放射線照射  
————→ 全生産額

## 経済規模の比較

億円

|          |        |
|----------|--------|
| ●放射線工業利用 |        |
| 照射利用     | 19,729 |
| 半導体利用    | 53,559 |
| ●医学・医療利用 | 11,900 |
| ●農業利用    | 176    |
| ●エネルギー利用 |        |
| 発電収益     | 56,613 |
| 原子力機器等   | 16,130 |

(RI・放射線機器を除く)

## 工業利用の展望

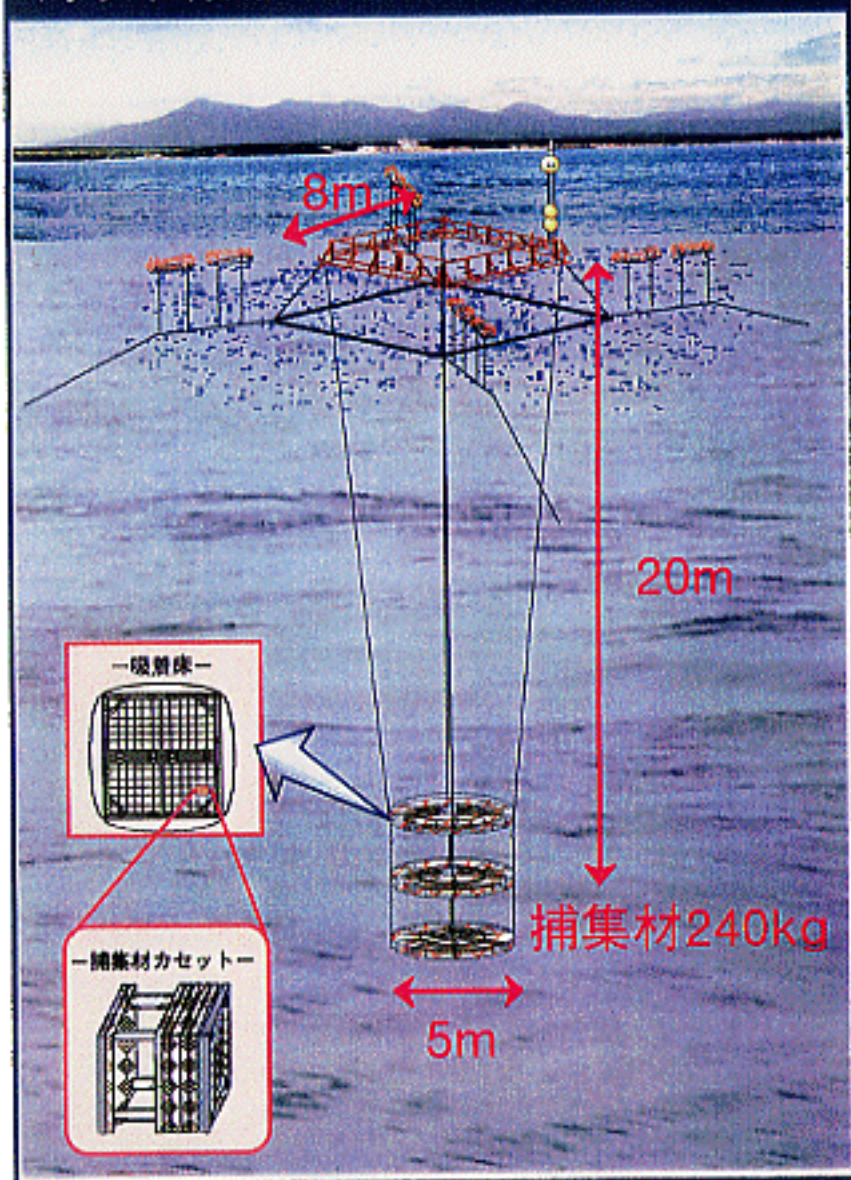
- ① 高分子材料の照射—比較的古い技術  
高付加価値製品
- ② ビームの高度利用  
イオンビーム：物質流、高密度励起  
放 射 光：単色ビーム、高品質ビーム
- ③ 社会的ニーズに応える技術への利用  
環境保全：排水処理  
有害物質の除去  
資源の有効利用：有用資源の採取・再利用

### トピックス

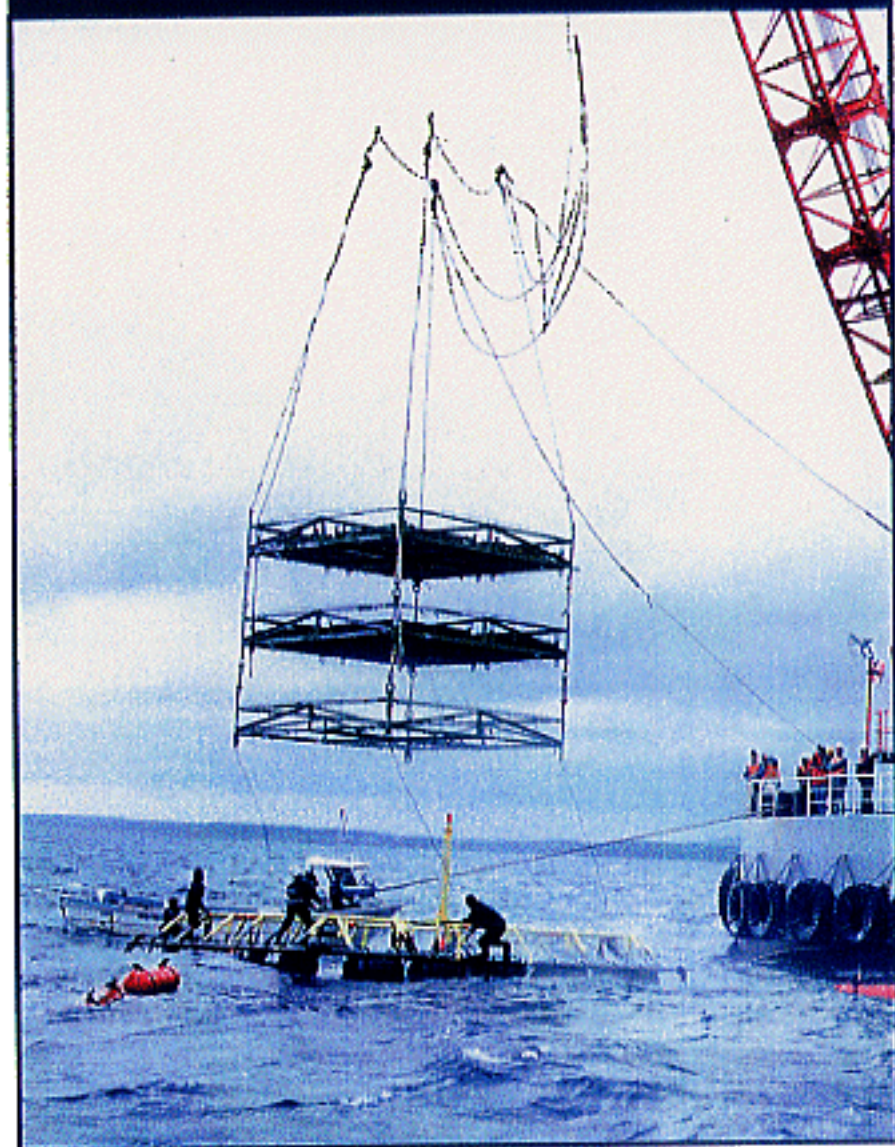
- 例   ● 海水ウランの捕集技術
- リガ (LIGA) プロセス→マイクロマシン技術

# 実海域捕集試験

海水中有用金属捕集材実海域試験装置



吸着床引き上げ作業



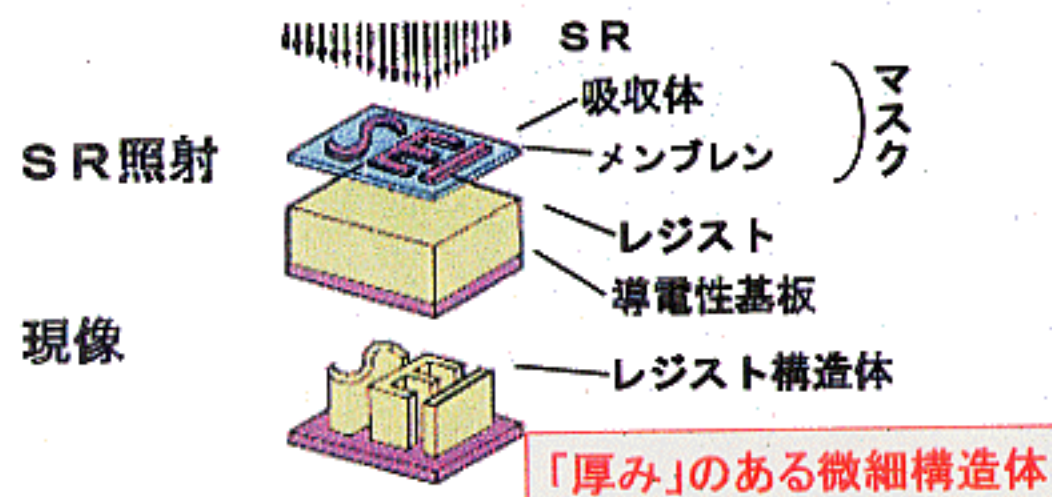
## 海水より有用資源の捕集

### ウラン

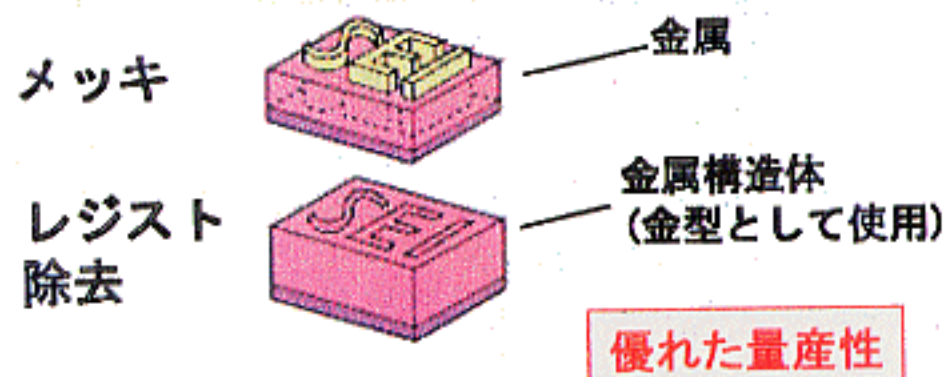
- 海水中 U 3.3 mg / ton  
黒潮の運ぶ量 520 万 ton / 年
- 埋蔵量（可採） 463.3 万 ton (OECD / NEA)  
可採年数 1997  
~70 年
- 経済性  
有用希少金属 V, Co, Ti etc.

# LIGAプロセス

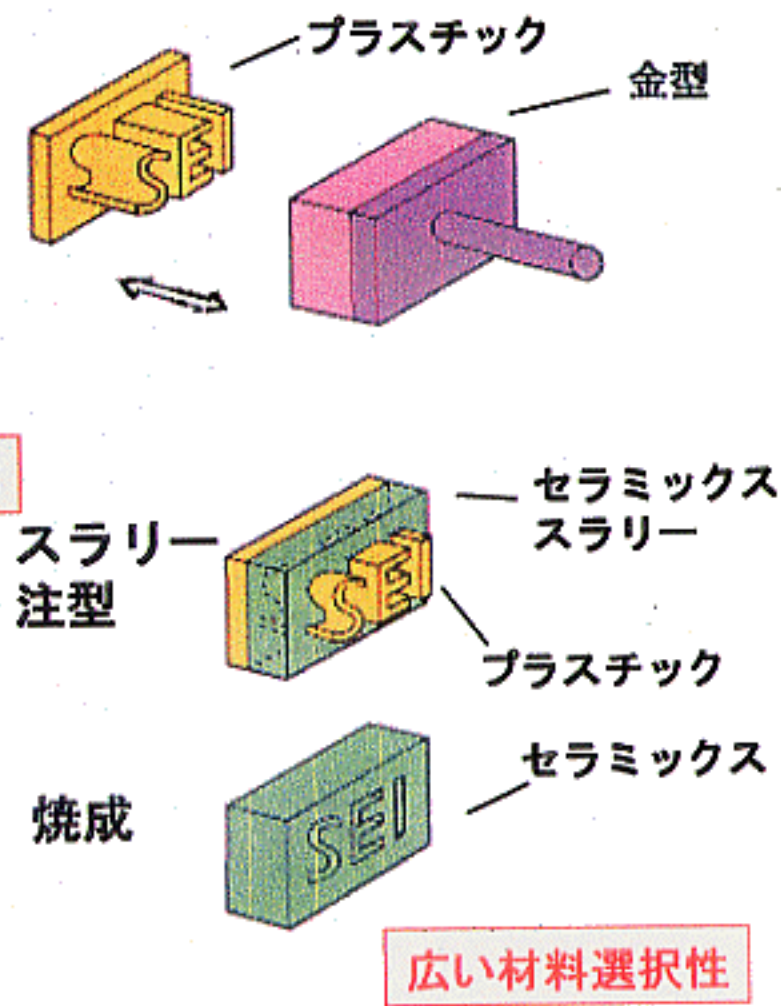
## 1. リソグラフィ (Lithographie)



## 2. メッキ (Galvanoformung)



## 3. モールド (Abformung)



# 放射線利用推進上の問題点

## ① 法規制

障害防止法

## ② 放射性廃棄物の処理・処分

クリアランス・レベル

費用負担

## ③ 基準等の整備

トレーサビリティ（工業用線量）

## ④ PA

情報公開

放射線教育

## ⑤ 産業コミュニティの形成

多様化した産業

# トレーサビリティ制度

通 商 産 業 大 臣

- 1 国家計量標準の研究開発
- 2 国家計量標準の設定、供給
- 3 特定標準器及び特定標準物質の指定
- 4 校正機関・事業者の指定又は認定

国際比較・  
相互承認

各国標準研究機関

指導・助言

指定校正機関  
(公益法人等)

国際比較・  
相互承認

特殊標準器による校正等  
校正証明書の発行

認 定 事 業 者  
(校正実施機関及び企業等)

計量器の校正等  
校正証明書の発行

校正等の依頼

一 般 ユ ー ザ ー  
(企業、試験所、大学、研究所等)

## 放射線利用のまとめ

- ① エネルギー利用とほぼ同時期にスタートし、民間主導で進展。
- ② 生活を便利にし、健康を守り、環境を保全する技術として広く浸透。半導体、自動車産業など重要な産業技術と密接な関わり。
- ③ 種々の製品やプロセスを放射線利用として明確に区分するのは困難。  
評価の仕方によってはエネルギー利用と同等の経済規模。
- ④ 今後は高付加価値製品を生む高度な利用と社会のニーズに応える技術として展開。