

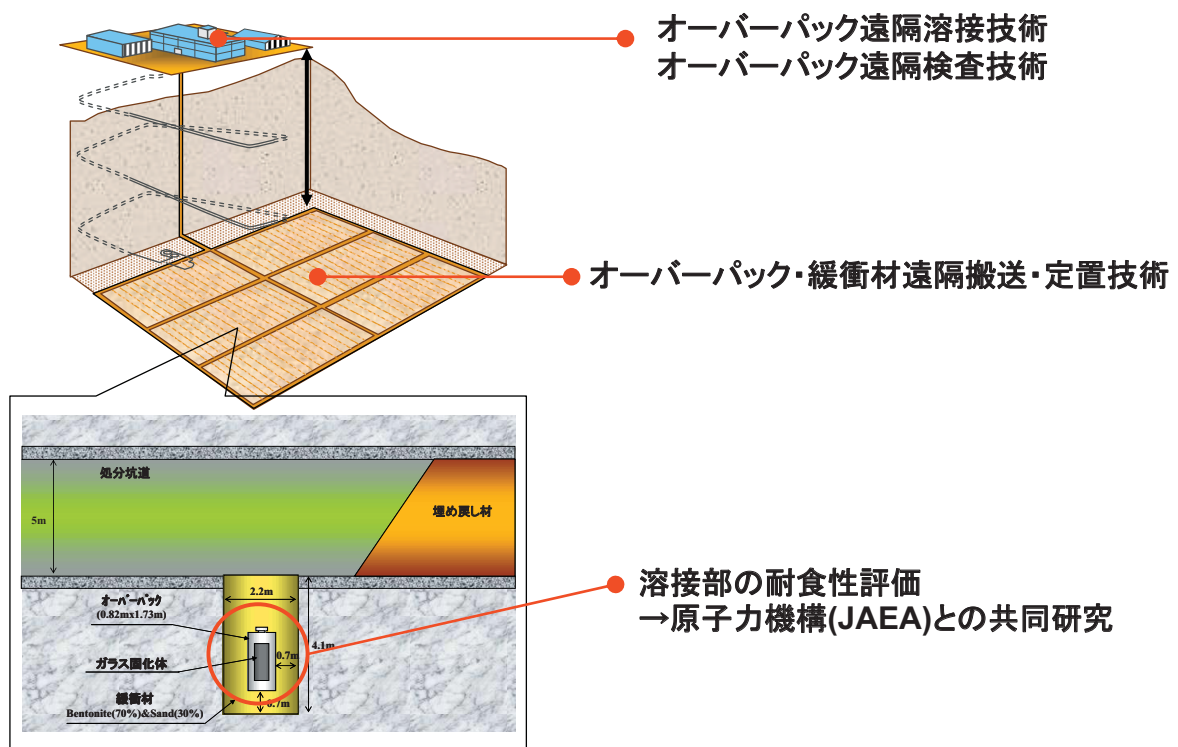
## 遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックスの 溶接・検査～

平成19年3月5日

財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

朝野 英一

## 遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックスの溶接・検査～



# 遠隔操業技術の開発

## ～処分場における搬送・定置とオーバーパックの溶接・検査～

**目的**

- 要素技術の適用性—適用条件、到達度など—の定量的な評価、提示
- 要素技術のシステムとしての成立性の評価、提示
- 製作、施工したオーバーパック、緩衝材の健全性に関する検討、評価



**成果**

- 幅広い技術選択肢
- 操業システムのオプション
- 人工バリアの設計手法、品質確保に関する知見

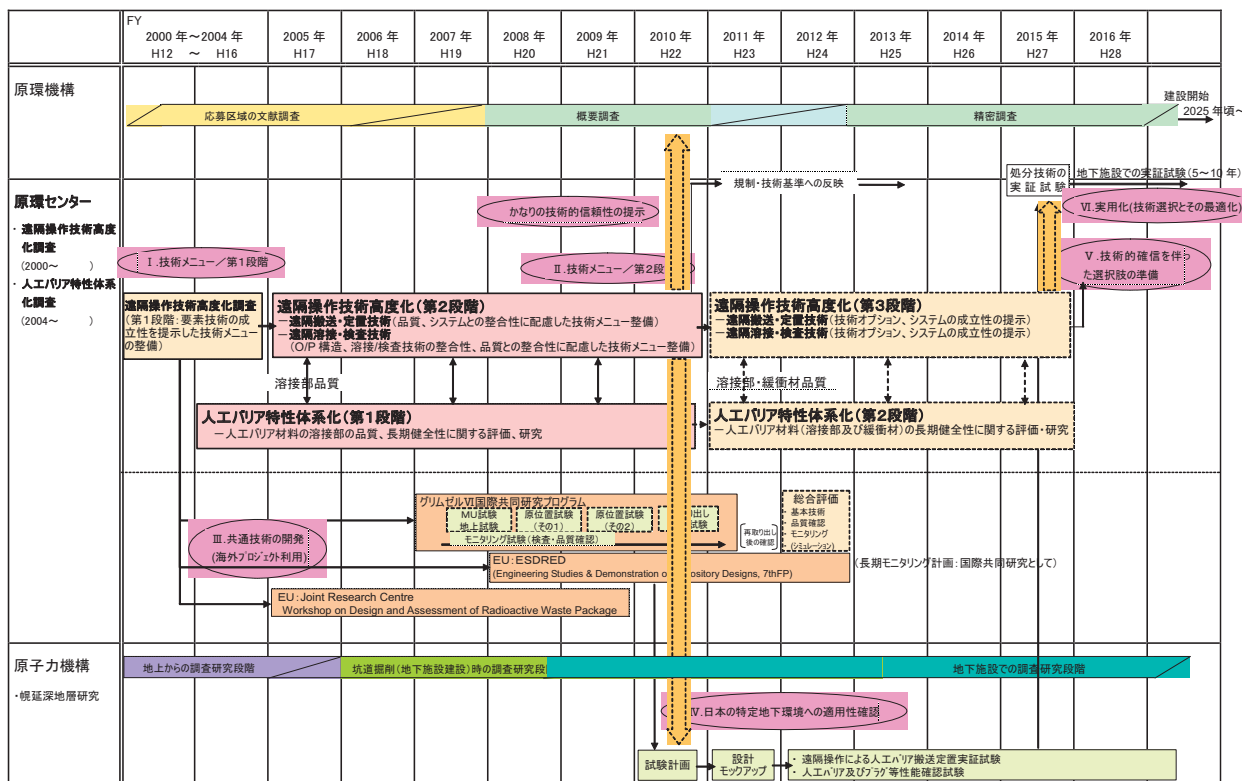
**工学技術**

- ・技術メニュー
- ・データベース
- ・オプション



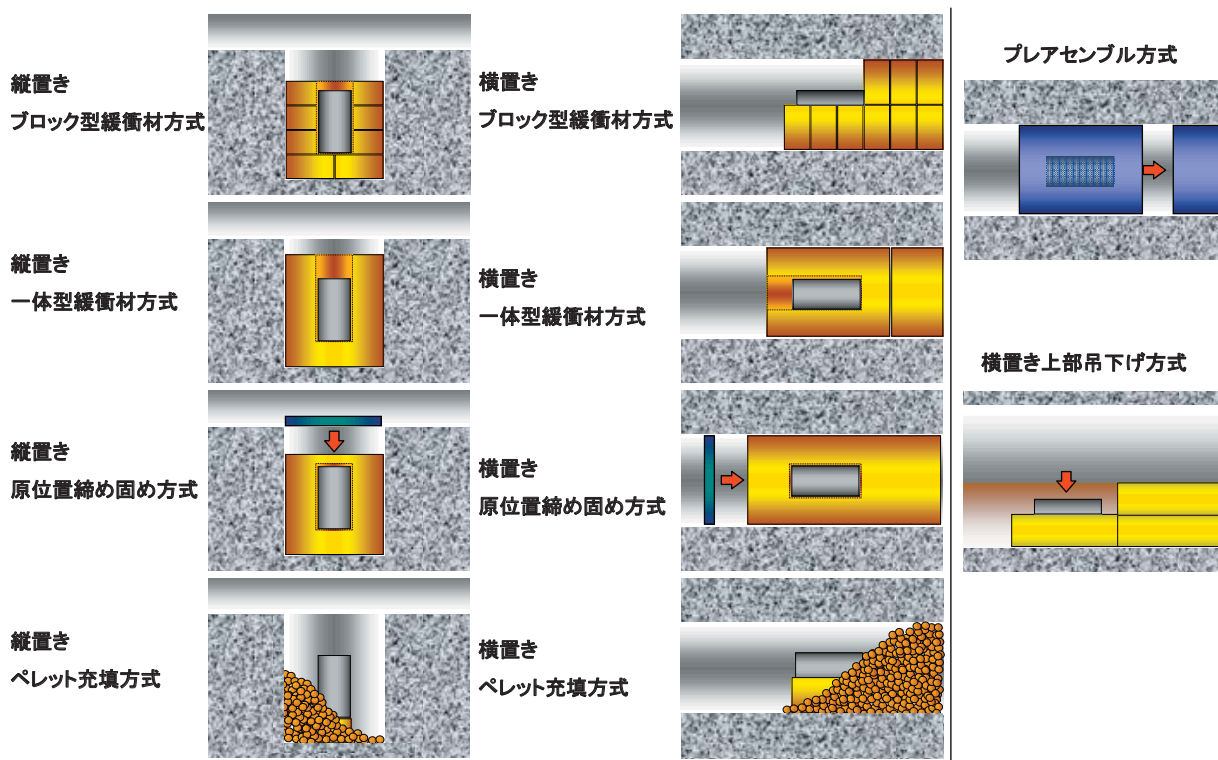
- ◆ 実施主体の技術選択支援 : 透明性、追跡性、説明責任
- ◆ 安全規制への情報提供 : 透明性、信頼性、説明責任

## 遠隔操業技術の開発計画



遠隔搬送・定置技術

検討対象とした定置概念



遠隔搬送・定置技術

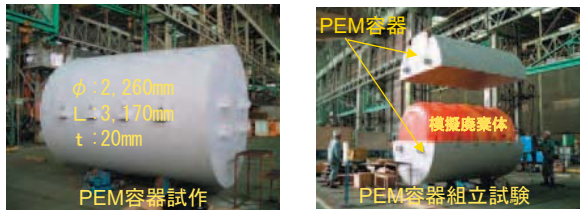

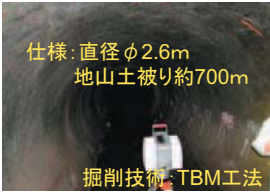
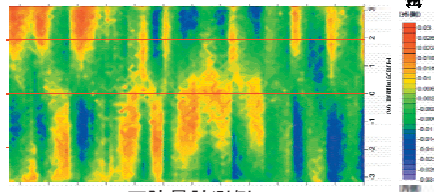
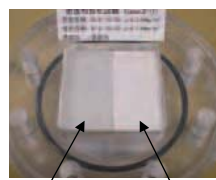
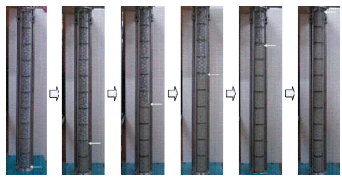
適用性確認試験等の実施例 - 1 -

<p>搬送治具 (真空パット)</p>	<p>外形: 2,272mm 重量: 2.3t</p>	<p>模擬坑道</p> <p>φ: 2.2m 奥行き: 6m</p>	<p>充填状況</p>
<p>実規模ブロック搬送試験</p>	<p>ブロック</p>	<p>ペレット</p>	<p>模擬坑道へのペレット充填試験</p>
<p>実規模衝撃締め固め試験</p>	<p>原位置締め固め</p>	<p>プレアセンブル</p>	<p>模擬廃棄体搬送試験</p>
<p>2.2m</p>	<p>模擬廃棄体: 12t</p> <p>けん引力約40kgでけん引が可能</p> <p>エアリンク</p>		



遠隔搬送・定置技術


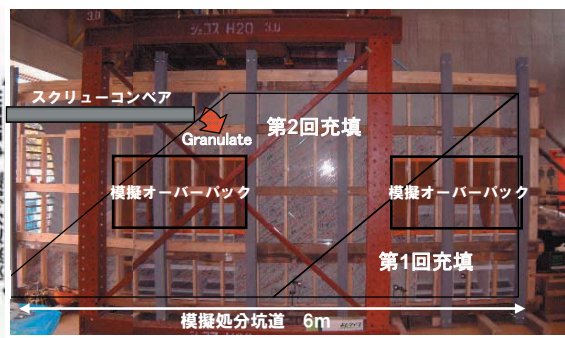
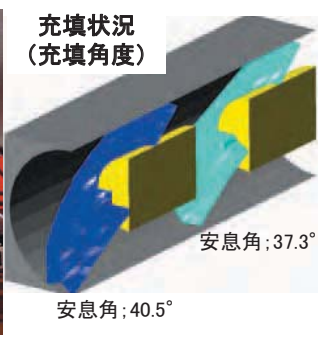

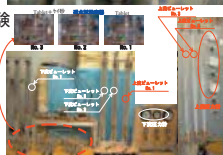
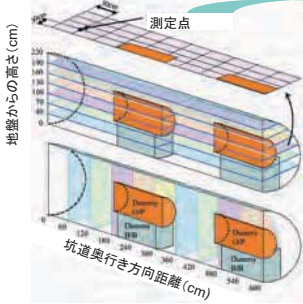
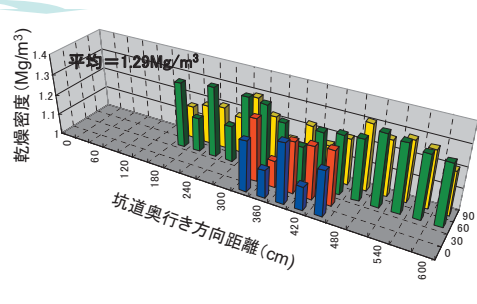
適用性確認試験等の実施例 - 2 -

<p>ケーシング(PEM容器)の試作</p>  <p>PEM容器試作 φ: 2,250mm L: 3,170mm t: 20mm</p> <p>PEM容器組立試験</p> <p>(PEM: Pre-fabricated EBS Module)</p>	<p>模擬処分孔計測試験</p>  <p>センサー昇降機構</p> <p>回転式レーザー距離センサー</p> <p>直径: 2,400mm、高さ: 1,150mm ※ヒューム管で処分孔を模擬</p> <p>計測出力例</p>
<p>既設坑道調査</p>  <p>仕様: 直径φ2.6m 地山土被り約700m</p> <p>掘削技術: TBM工法</p>  <p>不陸量計測例</p>	<p>プレアSEMBル方式</p> <p>遠隔計測</p> <p>緩衝材施工品質</p> <p>密度均質化試験</p>  <p>左側 ρd=1.9Mg/m<sup>3</sup> 右側 ρd=1.4Mg/cm<sup>3</sup></p> <p>ペレット+ベントナイトスラリーによる隙間充てん試験</p>  <p>ペレット: 4mm(30wt%)+15mm(70wt%) ベントナイトスラリー: 0.5Mg/m<sup>3</sup></p>

遠隔搬送・定置技術

横置き定置方式の適用性確認試験の実施例

実規模ベントナイトペレット充填試験

 <p>Granulate</p> <p>模擬オーバーバック φ0.84m</p>	 <p>スクリーコンベア</p> <p>Granulate</p> <p>第2回充填</p> <p>模擬オーバーバック</p> <p>第1回充填</p> <p>模擬処分坑道 6m</p>	<p>充填状況 (充填角度)</p>  <p>安息角: 37.3°</p> <p>安息角: 40.5°</p>
<p>基礎特性試験</p> <p>熱伝導率試験</p>  <p>透水試験</p> 	<p>密度分布測定</p>  <p>測定点</p> <p>地盤からの高さ (cm)</p> <p>坑道奥行き方向距離 (cm)</p>  <p>乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)</p> <p>平均 = 1.29Mg/m<sup>3</sup></p> <p>坑道奥行き方向距離 (cm)</p>	

## 適用性確認試験等の実施例

**TIG 溶接**  
(Tungsten Inert-Gas arc welding)

**施工状況**

**施工後外観 (t:190mm)**

**EBW**  
(Electron Beam Welding)

**施工状況**

**施工後外観 (t:100mm)**

**ビーダ外観**

**MAG 溶接**  
(Metal Active-Gas arc welding)

**施工状況**

**施工後外観 (t:190mm)**

**クリーピングウェーブ法**  
(Creeping Wave)

**探触子**

**検査状況**

## 溶接技術の適用性

1.炭素鋼 オーバーハック ・オーバーハック板厚 = 190mm 耐食性: 腐食代40mm 耐圧性: 耐圧厚さ 110mm (蓋部) 遮へい性 : 必要厚さ190mm	2. 溶接技術	3. 試験結果	溶接深さ (mm)		
			50~100mm 100 mm	100~150 mm 150 mm	190mm 190 mm
①平蓋  ②落とし蓋 	<b>I. TIG溶接</b> ・溶接姿勢: 横向き溶接 ・オーバーハック姿勢: 縦置き 溶接部:  ターンテーブル	<b>I. TIG溶接</b> 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	無欠陥  11.9 h (26層/26パス)	無欠陥  20.0 h (31層/45パス)	無欠陥  24.5 h (38層/54パス) 406 MPa
	<b>II. MAG溶接</b> ・溶接姿勢: 下向き溶接 ・オーバーハック姿勢: 横置き 溶接部:  回転装置	<b>II. MAG溶接</b> 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	50 mm 無欠陥  0.9 h (9層/12パス)	100 mm 無欠陥 銀手表面 (スラグ除去後)  1.7 h (11層/22パス)	190 mm →スラグ巻込み発生 2.4 h (20層/40パス) 380 MPa
	<b>III. EBW</b> ・溶接姿勢: 横向き溶接 ・オーバーハック姿勢: 縦置き (真空室内) 溶接部:  ターンテーブル	<b>III. EBW</b> 溶接後外観 & マクロ組織観察 溶接時間 残留応力	100 mm →始終端部に スパイク発生 スパイクは、耐食性必要 厚さ (40mm) よりも深い 位置に発生。  10min (1層/1パス)	190 mm →始終端部に ポイド発生 裏ビード  26min (1層/1パス) 281 MPa	

## 非破壊検査技術の適用性

### 【探傷条件例Ⅰ】

探触子の操作範囲

- ： 制約条件なし
- 余盛表面仕上げ
- ： 機械加工、又は
- グラインダー仕上げ

### 【探傷条件例Ⅱ】

探触子の操作範囲

- ： 溶接中心より25mm
- 以上～100mm以内
- 余盛表面仕上げ
- ： 機械加工、又は
- グラインダー仕上げ

### 【探傷条件例Ⅲ】

探触子の操作範囲

- ： 溶接中心より25mm
- 以上～100mm以内
- 余盛表面仕上げ
- ： 溶接まま

探傷条件	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	10
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	60	45	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	38~53	20	80	280	380	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ						
余盛	0.5H×5L	○	●	●	●	●	◎
	1H×5L	○	●	●	●	●	◎
	2H×10L	○	◎	◎	◎	◎	◎
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○
	5H×10L	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○
d=70	5H×10L	○	○	○	○	○	○
d=110	1H×10L	○	○	○	○	○	○
	2H×10L	○	○	○	○	○	○
	3H×10L	○	○	○	○	○	○
d=150	1H×10L	○	○	○	○	○	○
d=190	1H×10L	○	○	○	○	○	○
検出性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量						
定量性	◎: 検出+定量						

- ・必要探傷条件
- ： 7条件
- ・検出性
- ： 面状きず1mmH以上
- ・定量性
- ： 面状きず2mmH以上

探傷条件	II-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6	II-7	II-8
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	10	-
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	45	35	25	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	53	60	80	120	140	180	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ							
余盛	0.5H×5L	○	●	●	●	●	◎	◎
	1H×5L	○	●	●	●	●	◎	◎
	2H×10L	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=70	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=110	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=150	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=190	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
検出性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量							
定量性	◎: 検出+定量							

- ・必要探傷条件
- ： 8条件
- ・検出性
- ： 面状きず1mmH以上
- ・定量性
- ： 面状きず3mmH以上
- (一部深さは除く)

探傷条件	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5	III-6	III-7	III-8
① 走査方式	CW*	CW**	CW**	TOFD	TOFD	TOFD	TOFD	ACFM
② 周波数 (MHz)	10	10	10	10	5	5	5	5kHz
③ 振動子 (mm)	20×10	φ3	φ3	φ6	φ12	φ12	10	-
④ 屈折角 (°)	-	-	-	60	45	35	25	-
⑤ 探触子間隔 (mm)	5	53	60	80	120	140	180	-
検出性/定量性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量 d: きずの位置 (深さ), H: きずの高さ, L: きずの長さ							
余盛	0.5H×5L	○	●	●	●	●	◎	◎
	1H×5L	○	●	●	●	●	◎	◎
	2H×10L	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
d=5	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=10	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=20	2H×5L	○	○	○	○	○	○	○
	4H×5L	○	○	○	○	○	○	○
d=30	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=70	5H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=110	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=150	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
d=190	1H×10L	○	○	○	○	○	○	○
検出性	●: 非検出, ○: 検出, ◎: 検出+定量							
定量性	◎: 検出+定量							

- ・必要探傷条件
- ： 8条件
- ・検出性
- ： 面状きず1mmH以上
- ・定量性
- ： 面状きず3mmH以上
- (一部深さは除く)

## 技術メニューの整備

### ① 工程別構成技術表 (各方式毎)

工程	技術項目	適用性	備考
① 溶接	溶接	●	
	溶接後処理	○	
	溶接不良	○	
	溶接欠陥	○	
② 検査	検査	○	
	検査後処理	○	
	検査不良	○	
	検査欠陥	○	

### ② 知見シート管理表

知見ID	知見内容	適用性	備考
知見①	溶接不良	○	
知見②	溶接欠陥	○	
知見③	溶接後処理	○	

### ③ 関連知見シート

知見ID	知見内容	適用性	備考
知見①	溶接不良	○	
知見②	溶接欠陥	○	
知見③	溶接後処理	○	

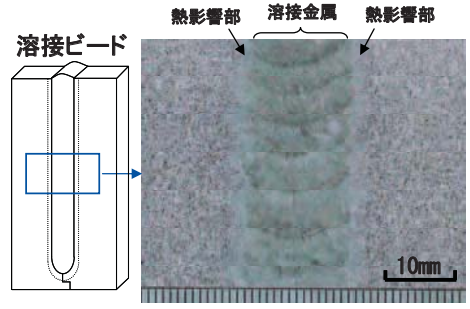
### ④ 遠隔定置に関する要素技術メニュー

要素	技術項目	適用性	備考
① 溶接	溶接	●	
	溶接後処理	○	
	溶接不良	○	
	溶接欠陥	○	
② 検査	検査	○	
	検査後処理	○	
	検査不良	○	
	検査欠陥	○	

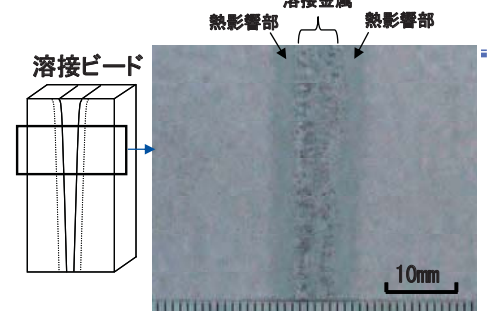


オーバーパック封入部の溶接影響／封入部の健全性と溶接法の妥当性

TIG溶接



電子ビーム溶接 (EBW)



**第2次とりまとめ**  
**【課題】溶接部、熱影響部に対する腐食試験、機械試験、残留応力の評価**  
**→溶接部に要求される品質の定量化**

第2次取りまとめ以降のオーバーパックの腐食研究：**原子力機構 (JAEA)**

遠隔操作技術の開発(H12～)：**原環センター (RWMC)**

●オーバーパックの腐食寿命評価

●オーバーパックの溶接技術の適用性評価

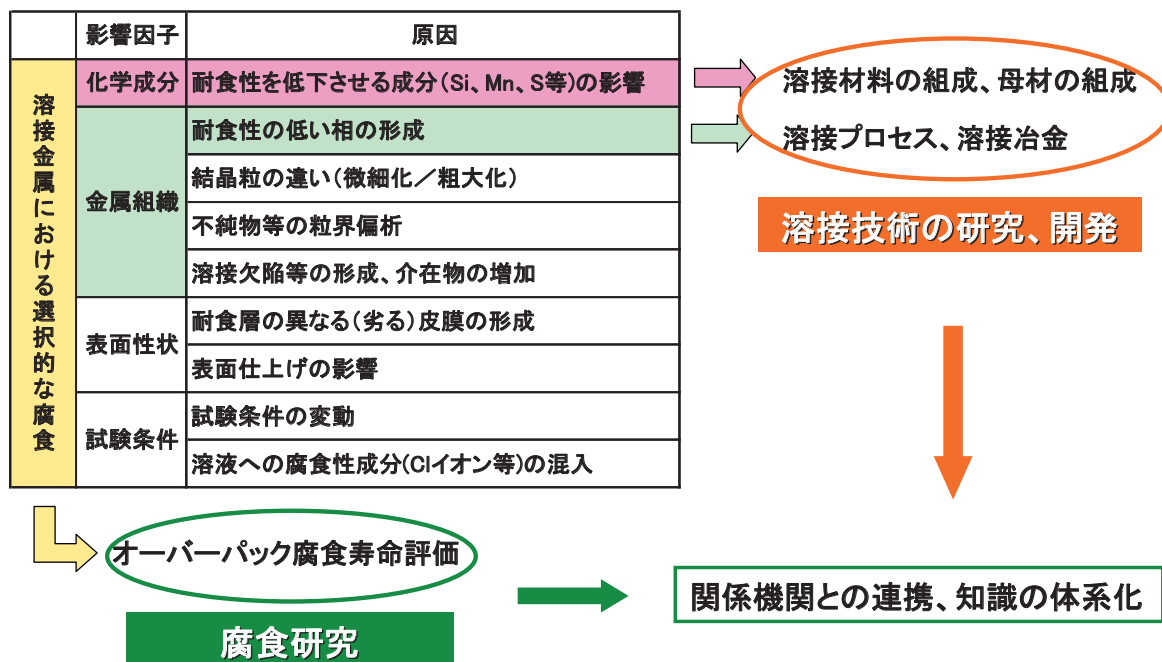
**共同研究**  
**オーバーパック溶接部の耐食性評価に関する研究(H16～)**

炭素鋼溶接部の腐食挙動 (酸化性雰囲気での浸漬試験の短期の結果から)

・浸漬試験後の試験片の腐食状況と減肉分布 (80℃、空気吹き込み、90日間浸漬後)

	TIG溶接	電子ビーム溶接 (EBW)	環境の特徴
人工海水	<p>脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 -0.4mm</p>	<p>脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 -0.4mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均腐食深さが大きい。</li> <li>TIGの溶接金属に選択的な腐食が発生。</li> </ul>
人工海水 + 緩衝材 (ペントナイトスラリー)	<p>脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 -0.2mm</p>	<p>脱スケール後の外観 表面減肉深さ分布 -0.2mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平均腐食深さが小さい。</li> <li>TIGの溶接金属に選択腐食が発生。</li> </ul>
溶接部の腐食挙動	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接金属において選択的な腐食を受けやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接金属の選択的な腐食は受けにくい。</li> </ul>	

## アーク溶接の溶接金属における選択的な腐食：原因、対策への対応



## 遠隔操業技術の開発 ～処分場における搬送・定置とオーバーパックの溶接・検査～

### まとめ

- 遠隔操業技術/コア技術の実証的確認
  - 適用性、成立性、到達度等を確認
  - 技術オプションの提示
- 原環センター/原子力機構の連携
  - 共同研究の実施(溶接部の耐食性評価)

### 今後の展望

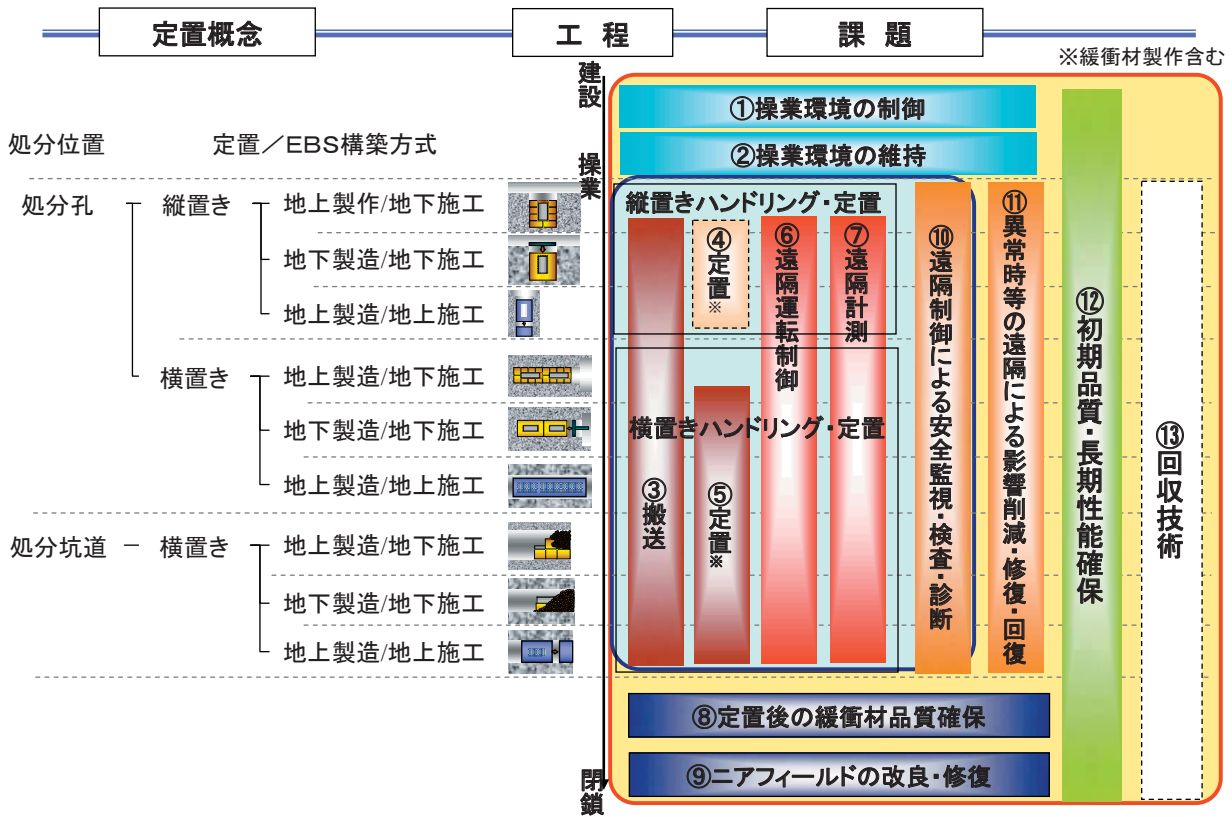
- 科学的知見の拡充
  - 技術オプション整備の継続 : 透明性、信頼性、追跡性、説明責任
- 技術的実現性の提示
  - 工学技術の視点から、現実的環境条件を考慮した施工品質、長期性能の検討
- 先進的新技术の導入
  - 新技术の取り込み、応用・適用範囲の拡大

関係機関との連携、知識の体系化

基盤技術整備/実施主体支援/安全規制への協力



## 定置概念及び工程に基づく課題の整理



## 遠隔溶接・検査技術

## オーバーパック蓋構造に基づく課題の整理（溶接技術）

