

恐るべし TRI x AI（テーマ：福島第一原発の廃炉およびデブリ・汚染水等の無害化）

人類史上最も困難な課題の一つに対して、TRIZ と AI によるシステムティックなアプローチを適用し、アイデアを構造化しました。現状の「時間（短期間順）」と「技術的ハードルの低さ（実現可能順）」のトレードオフを考慮し、【短期・高実現性】（今すぐ強化できる手段）から【長期・根本解決】（究極の無害化・システム転換）の 3 段階に分類して提案しました。

1. 【短期・高実現性】現状リソースの最大活用と空間の隔離（1～3 年スパン）

まずは既存の負のリソースを反転させ、現状のシステム（マクロ）を変更せずに遮断・安定化するアプローチです。

① 「自己修復型」水インフラへの転換（物質・場分析/発明原理 25:セルフサービス）

- **課題：** 冷却水循環系の配管や格納容器の経年劣化、微小な漏洩リスク。
- **アイデア：** 冷却水中に、特定の放射線や温度変化に反応して微小な亀裂を自律的に埋める「流動性自己修復材（吸着性高分子や微細セラミック粒子）」を混入させる。
- **TRIZ 解説：** 漏洩という「有害な作用」に対し、物質（水）自体に機能を持たせることで、外部からの補修アクセスを不要にする（セルフサービス）。

② 動的ゼオライトカーテンによる局所吸着（リソースの活用/発明原理 35:特性変化）

- **課題：** 建屋地下への地下水流入と、それに伴う汚染水の増大。
- **アイデア：** 凍土壁（静的バリア）の内側に、透過性と高い選択的放射性セシウム/ストロンチウム吸着能を持つ「流動性ゼオライトスラリー」を充填した動的トレンチ（溝）を配置。地下水を物理的に止めるのではなく、通しながら「無害な水」に変えて外へ流す。
- **TRIZ 解説：** 物質の「相（個体から流体）」や「透過性」という特性を変化させ、自然エネルギー（地下水の水頭圧）を原動力として利用する。

③ 柔軟性マイクロローラによるデブリ特性の「事前サンプリング」（発明原理 15:可動性/進化トレンド:セグメンテーション）

- **課題：** 炉内の状況、デブリの硬度や臨界リスクの把握不足による作業遅延。
- **アイデア：** 1 つの大きなロボットアームを投入するのではなく、超小型・高耐放射線の「数珠繋ぎ型（セグメント化された）群ロボット」を投入。隙間から侵入させ、デブリ表面に接触させて熱伝導度や組成を非破壊でマッピングする。
- **TRIZ 解説：** 剛体から柔軟体、さらには「粉体・群（マルチエージェント）」へと進化させることで、未知の障害物だらけの環境への適応性を極大化する。

2. 【中期・中実現性】デブリ取り出しと過渡的安定化（3～10 年スパン）

システムの一部を変更し、有害な作用（放射線・再臨界リスク）を中和・制御しながら、安全に固体物質を取り出すフェーズです。

④ 重質液体（流体スタッフィング）による「水中」レーザー探掘（物質・場分析/発明原理 39:不活性環境）

- **課題：** デブリ切削時の放射性微粉末（チリ）の飛散と、気中作業による遮蔽不足。
- **アイデア：** 格納容器内を「純水」ではなく、チリの浮遊を抑え、かつ中性子遮蔽能が極めて高い「重質流体（ギ酸セシウム水溶液や特殊不活性ゲル）」で満たす。この流体越しに高出力光ファイバーレーザーでデブリをアブレーション（切削）し、チリは流体ごとフィルターで全量回収する。
- **TRIZ 解説：** 有害な「デブリ粉塵」と「作業環境」の間に、遮蔽・トラップ機能を持つ中間物質（場を仲介する第 3 の物質）を導入し、有害作用を遮断する。

⑤ 相変化型マトリックスによるデブリの「現場包埋(キャスティング)」(発明原理 36: 相変化/発明標準解: 有害作用の廃棄)

- 課題: デブリをそのまま掴もうとすると、崩落や臨界の危険がある。
- アイデア: 取り出し対象のデブリ周辺に、中性子吸収材(ホウ素等)を含有した「低融点合金」または「特殊流動性ガラス」を流し込み、現場で一体固化(包埋)させる。固まったブロックごと「安全な製品」として切り出す。
- TRIZ 解説: 液状(流動性)で隙間に入り込み、固化(相変化)させることで、不安定な対象物を安定なマトリックスへと変換・拘束する。

⑥ 熱電変換(Seebeck effect)による「熱リソース」の自己消費(リソースの活用/発明原理 19: 周期的作用)

- 課題: デブリが発する崩壊熱の冷却にエネルギーと水を消費し続けている。
- アイデア: デブリに接触、または近傍に配置する隔離コンテナの外殻に、高効率な放射線対応型熱電変換素子(セラルーツ等)を組み込む。崩壊熱をその場で電力に変換し、自らの冷却ファンや監視センサーの駆動電源として「自己消費」させる。
- TRIZ 解説: 処理すべき厄介者である「崩壊熱(不要なエネルギー)」を、システムを維持するための「内部リソース(電源)」に反転させる。

3. 【長期・根本解決】物質の究極的「無害化」とシステム転換(10 年～それ以降)

物質そのものの性質を変換する、あるいはマクロな構造を変革する、TRIZ の進化トレンドの到達点となるアイデアです。

⑦ 加速器駆動システム(ADS)による長寿命核種の短寿命化(物質・場分析: 場の変換/発明原理 2: 分離)

- 課題: デブリや廃棄物の放射能が減衰するまでに数万年単位の時間がかかる。
- アイデア: 取り出したデブリから、特に寿命の長いマイナーアクチノイド(MA)などを化学的に分離。敷地内または近隣に小型の「陽子加速器駆動臨界前システム(ADS)」を構築し、高エネルギー中性子を照射して、寿命が極めて短い、あるいは安定した非放射性核種へと「核変換(消滅処理)」する。
- TRIZ 解説: 熱や力学的アプローチ(マクロ)から、原子核レベル(ミクロ/場の変換)へと進化させる。時間(半減期)というパラメーターを、外的な「場(中性子束)」によってコントロールする。

⑧ 構造のマイクロカプセル化と地層「調和」処分(進化トレンド: モノ⇒バイ⇒マルチ)

- 課題: 最終処分場の選定難航と、超長期の漏洩リスク。
- アイデア: 核変換を経た、あるいは残る残渣を、ナノレベルの人工シンロック(岩石模倣セラミックス)で結晶構造内部に閉じ込め、さらにそれを幾重もの炭化ケイ素(SiC)層でマイクロカプセル化する。これを既存の自然岩盤と同等の特性を持つマトリックスに分散させる。
- TRIZ 解説: 「巨大なコンクリート構造物(モノ)」で守るのではなく、「無数の微小カプセル(マルチ)」に分散・統合することで、地球の地質学的サイクル(リソース)にシステムを調和させる。

まとめ: アプローチの選択

短期間・実現性重視であれば、①・②のように「今ある水やトレンチに特性変化を与える」ことで汚染リスクを最小化できます。一方で、根本的な「無害化」を達成するには、⑦の「場の変換(核変換)」への移行が不可欠です。デブリの「形態(固体⇒粉体⇒溶液⇒カプセル)」をフェーズごとに TRIZ の進化トレンドに沿って変化させていくロードマップが、最も合理的な道筋を示してくれます。