

## [様式 2]

提案書	
技術分野	⑥地下水等の挙動把握
提案件名	ConnectFlow 地下水流・物質伝播コンピュータ・プログラムおよびその原発サイトでの汚染地下水管理への応用における専門的知見
提案者	AMEC
<p>1. 技術等の概要（特徴、仕様、性能、保有者など）</p> <p><b>アプローチ</b></p> <p>提案は、福島周辺の地下水流と放射性物質の挙動把握の向上に関する。この挙動把握を向上させる一つの方法は、下記要素に基づき、福島サイトおよびその周辺において優れた地下水流と物質伝播モデルを開発することである：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• AMEC が保有し開発した ConnectFlow コンピュータ・プログラム。詳細は <a href="http://www.connectflow.co.uk/">http://www.connectflow.co.uk/</a>を参照のこと。</li> <li>• 英国における同様のプロジェクトにおける AMEC の原発に関する把握と実証された専門的知見</li> <li>• 日本における広範な水資源モデリング・プロジェクトから導出された地質学および水文地質学的な把握における専門的知見。効率的な技術の実装のため、国際航業株式会社や国際環境ソリューションズ株式会社のような日本企業との連携を提案する。</li> </ul> <p>AMEC が提案する技術と専門的知見は、下記にいずれかの形態で発揮されると考えられる：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本の機関により、現在、福島に対して実施されている地下水流と放射性核種伝播のモデリング業務についての独自の評価、または</li> <li>• 福島サイトと周辺地域における地下水流と放射性核種の挙動を把握するための主担当のモデリング・プロジェクト</li> </ul> <p>いずれの場合でも、提案業務の主たる目的は以下の通りである：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 福島とその周辺地域における地下の把握について確信を持つこと</li> <li>• 地下水中の重要な放射性核種の挙動を把握すること</li> <li>• 汚染された岩盤や地下水の量の変化を定量化すること</li> <li>• 既存の対策および可能な今後の軽減対策を評価し最適化すること（上流側および下流側の遮水壁、ポンプ用掘削孔等）</li> <li>• 汚染地下水からのリスクを定量化すること。</li> </ul> <p>これらの目的を達成するため、最初に、福島サイトとその周辺における地下の最も良い把握を記述する校正された地下水モデルを開発する。ここで、以下の機能を有する参照モデルを使用する：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• サイトと周辺地域に対する水収支を計算する。</li> <li>• 汚染源から地下水流路と地下水の移動時間を計算する。</li> <li>• 地下水中の放射性核種の伝播を計算する（ConnectFlow において反応を伴う伝播モデリングを使用：Phreeqc ライブラリーの収容と並列化）。</li> <li>• 時間の関数として重要な地点での放射性核種の凝縮を計算する。必要なら線量アセスメントを実行する。</li> <li>• 可能な今後軽減対策の性能を計算する（上流側および下流側の遮水壁、ポンプ用掘削孔等）。他の日本の機関と連携して、軽減対策についての設計、位置等を最適化する参照モデルを使用する。適宜、地下水管理に関するオプション検討に貢献する。</li> </ul>	

- 地下水流と時放射性核種の伝播を、さらに向上させるため、サイトの特性調査の対象とすべき重要なパラメタや位置の特定を通して、重要なサイトの必要な特性データの決定を伝達する。

そして、代替となる地質学および水文地質学的な概念化や放射線核種の移行や既存および提案される今後の軽減対策の性能についての不確定性検討の結果を探究するべく、いくつか変形されたモデルが開発される。これらの変形されたモデルや下記の計算を用いる：

- 代替となる概念化とサイトでの水収支、地下水流路、汚染源からの地下水移動時間および放射性核種の移動時間についての不確定性の影響を計算する。必要なら線量のアセスメントを実施する
- 代替となる概念化と可能な今後の軽減対策（上流側および下流側の遮水壁、ポンプ用掘削孔等）の性能についての不確定性の影響を計算する。軽減対策のロバスト性を探究するために、この情報を使用する。他の日本の機関と連携して、軽減対策の設計、位置等を最適化するため、この把握を使用する。適宜、地下水管理としてのオプション検討にも貢献する。
- サイトからの放射性核種の漏洩についての重大な影響を持つような代替となる概念化/不確定性を構築するか除外するかに必要なとされる重要な付加的なサイト特性データについての決定を伝達する。

概念モデルは、改善されたモニタリングデータについての付加的なサイト特性情報に対応して定期的に更新され改良される（たとえば、サイトと地域的な地下水の高さや放射性核種の凝縮）。適宜、改善され更新されたサイトの記述を伴う付加的な計算が実行される)

#### 当該技術

ConnectFlow は連続的な多孔性媒体 (CPM)、離散的な亀裂ネットワーク (DFN)およびそれらの組み合わせ (DFN および CPM)モデルの概念を含む AMEC の一連の地下水モデリング・ソフトウェアである。ソフトウェアにより、先進的な解決手段を用いて、種々の条件に対して地下水流と伝播を計算する詳細モデルを構築することができる。モデルおよび ConnectFlow からの出力は多目的な統合可視化パッケージを用いて見ることができる。

ConnectFlow は ISO 9001 および TickIT に適合する厳しい品質管理システムのもとで AMEC により開発されてきた。

ConnectFlow に対しては、次のような資料が入手可能、<http://www.connectflow.co.uk/>で見ることができる：

- ConnectFlow の技術的な要約資料;
- NAMMU 技術的な要約資料
- NAPSAC 技術的な要約資料

ConnectFlow ソフトウェアは、解析的なソリューションや他の独立したソフトウェアに対して実証されてきた。ConnectFlow の実証資料は、<http://www.connectflow.co.uk/>で入手することができ、ConnectFlow に対して実施された実証試験の詳細を記述している。

とくに、SKB、Posiva、Nagra、大林組を含む機関は、AMEC とともに、iConnect club を創設した。このクラブは、年 2 回、ConnectFlow を使用した経験に関する情報を交換したり、将来、いかに ConnectFlow を開発すべきかについてのアイデアを集約したりするために会合を持っている。

## 2. 備考

- 開発・実用化の状況 (原子力産業に限らない、多くの産業の応用に対する時間配列表等、応用ケースを含む)

コンピュータ・プログラム、関連する把握状況、および実証された専門的知見の技術適用可能レベルは TRL9 (ミッション運用を通じての「ミッション証明」された実システム：運用するハードウェア/ソフトウェアシステムと十分に統合されている。実システムは、運用環境において完全に実証されテストされてきた。全資料は完成。成功した運用経験)。

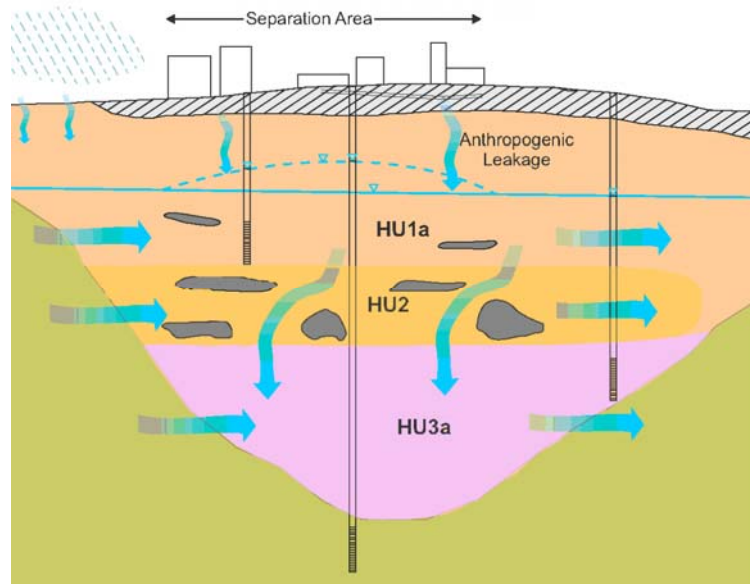
英国において、AMEC は、原子力産業に対するサイト特性調査、地下モデリングおよびアセスメントサービスの先導的なプロバイダである。ここでは、2つのケースが要約されている。最初は、Sellafield Ltd のために担当した Sellafield 汚染地および地下水管理プロジェクト (£14M、3.5年のプロジェクト)。2番目は、低レベル廃棄物処分 (LLWR)のための環境安全ケースを生成するのに担当した業務の一部。この安全ケースは、貯蔵施設における今後の低レベル放射性廃棄物を処分する応用を支持する。両方のケーススタディは、東京の英国大使館での英日原子力対話/廃止措置ワークショップにおける AMEC Nick Jefferies 博士による発表：「汚染地下水管理：英国原子力産業からのケーススタディ」の中で技術されている。

### Sellafield 汚染地および地下水管理プロジェクト

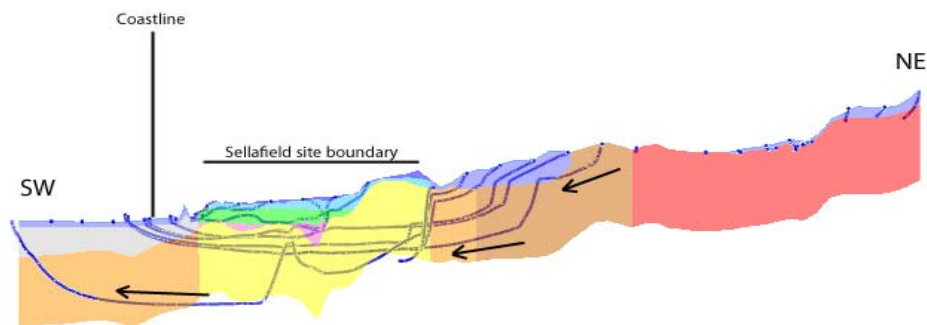
Sellafield 汚染地および地下水管理プロジェクトの第一の目的は、Sellafield サイト (英国で最も放射能で汚染された地域)の中央で最も汚染された部分の下の地面と地下水の特性を調査し、汚染状況と拡がり特定することであった。第二の目的は、地面や地下水中の放射性核種の将来の挙動を把握することであった。とくに、要件は、放射性核種で汚染された地面と地下水の量における将来の変化を推定することであった。最後の目的は、環境および人の健康についての汚染された土地への影響を予測することであった。

サイト特性調査の設計は、概して掘削孔調査に基づいていた。掘削を高速化し廃棄物が減少する革新的な掘削技術 (超音波掘削)を用いて 60 m までの深さの約 130 個の掘削孔を掘った。サイトの地質を特定するのに、これらの掘削孔からのコアを記録した。放射性核種や他の汚染物質の凝集を特定するため、掘削孔からの土壌と地下水サンプルを解析した。完了後、ルーティンの地下水モニタリングプログラムの一部として今も Sellafield Ltd によって使用されている掘削孔での水力学的試験のプログラムを実施した。

サイト特性調査は、Sellafield サイトの地下の把握を大きく向上させた。この把握を、重要な特徴、イベントおよび、地下での放射性核種と他の汚染物質の挙動に関係のあるプロセスを記述したサイト概念モデル中に開発した。構成成分となるモデルは、汚染源、サイト (下図参照)地下の地質および水文地質および放射性核種の挙動のモデルであった。



概念モデルが、ConnectFlow の中で数値モデルを開発するのに使用された。Sellafield 汚染地プロジェクトに対しては、地域からと Sellafield サイトからの地下水標高データを使用して ConnectFlow モデルを校正した。隔離領域 (下図参照)を通しての水の挙動を把握するのに、このモデル (参照モデル)を用いた。それとは別に、GoldSim コンピュータ・プログラムを用いてサイトでの主要な汚染源のモデルを開発した；また、汚染源からの地下水への放射性核種の時間依存の解放を記述する、これらの GoldSim モデルを使用した。その上で、地下水中の放射性核種の伝播を計算する ConnectFlow を使用した。また、トリチウム、テクニシウム 99 およびストロンチウム 90 の振る舞いを検討した。これらの放射性核種は、地下水プルームの重要な成分である。代替となる概念モデルとパラメタの不確定性の結果が調査できる一連の変形したモデルも開発した。



Sellafield 汚染地および地下水管理プロジェクトでの業務以来、汚染地下水のプルームが伸びる割合を決定するため、施設からの放射性核種の仮説的な漏洩をモデル化した。Sellafield Ltd が、地下水中の放射性核種の挙動を制御するのに、どのような対策を展開する必要があるかにおける時間枠を把握するのに重要である。

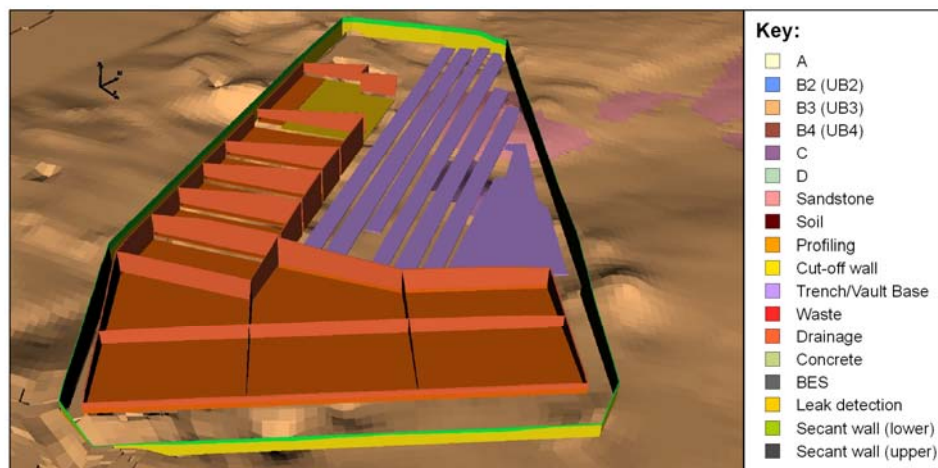
現在のところ、Sellafield Ltd が Sellafield サイトで現在から、広域のフロントでの廃止措置の開始が計画されている 2040 年までの期間で放射能汚染された地下水を管理するための最善のアプローチを特定するべ

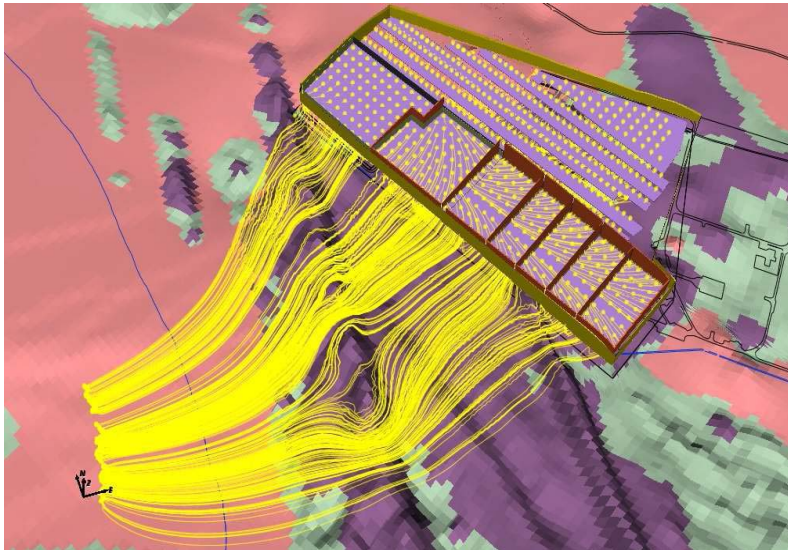
く支援を提供している。地下水 BAT (世界最先端の技術)アセスメントには、一連の基準に対して、それぞれの潜在的な戦略を評価することを伴う。たとえば、戦略は将来の地下水ブルームの成長にいかに関与するか? どれくらいの廃棄物が生成されるか? 目的を達成するのに、どれくらい確信が持てるか?他のサイトの活動にどのように影響するか?等。

#### LLWR Ltd 環境安全ケース

このプロジェクトに対する活動の一つとして LLWR サイトにおける詳細な地下水流モデリングを実施した。2 つの広範な目的があった。第一はアセスメントモデリングを支援するための情報を把握の提供である。第二は貯蔵施設における土木壁の設計の最適化を支援することである。

まず、LLWR サイトでの地質および水文地質に関する概念モデルの開発を支援し、ConnectFlow にて、これらの概念モデルを実装して、サイトについての最善の把握を表現する校正した参照モデルを生成した。次に、ConnectFlow を用いて不確定性の結果を探究した。低レベル廃棄物処分場での土木壁の設計を最適化を支援するのに対しても地下水流モデリングを使用した。ConnectFlow の中で既存および計画した土木壁の詳細モデルを実装した。既存および計画された遮水壁、既存のトレンチおよび地下貯蔵施設と計画された将来の地下貯蔵施設を示す下図を参照のこと。トレンチや地下貯蔵施設を通しての水流をモデル化するのに ConnectFlow を使用し、土木壁がどのように機能するか、また、それらがどのように最適化され得るかを示した。さらにその下の図は、海岸に向かっての処分場からの計算された地下水流路を示す。





最近の活動には以下のようなものがある：

- SKB (the Swedish Radioactive Waste Disposal Agency)向けサイトの記述および安全性アセスメントモデリング。最近のレポートは、<http://www.connectflow.co.uk/>のコンサルティングのページで見ることができる。
- Posiva 向けサイトの記述および安全性アセスメントモデリング。最近のレポートは、<http://www.connectflow.co.uk/>のコンサルティングのページで見ることができる。
- 逆解析方法の開発
- DFN モデルにおける流れと密度可変の溶質伝播とを結合させてモデル化する ConnectFlow の開発
- 先進の可視化ツールの開発
- 熱、水力、機械および化学的プロセスを結合したプロセスに対する研究

- 開発・実用化に向けた課題・留意点

課題・留意点は技術 (ConnectFlow)そのものに関してではない。その代わりに、ConnectFlow モデルを開発し試験するために使用可能なサイト情報を最大限活用することにある。また、広範囲のサイトや応用に対する ConnectFlow モデリング・プロジェクトからの広範な経験を有している；たとえば、放射性廃棄物処分場に対する潜在的なサイトの特性調査やアセスメントや放射性物質で汚染された原子力サイトの特性調査やアセスメント。

- その他 (特許等を保有している場合の参照情報等)

さらなる情報には <http://www.connectflow.co.uk/> 参照のこと。