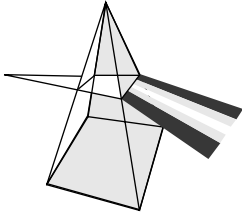


【技術報告】

廃止措置エンジニアリング支援システムの構築



井口 幸弘 兼平 宜紀 中條 雅博*
藤長 佳紀*

敦賀本部 新型転換炉ふげん発電所
*敦賀原子力サービス

資料番号：10 - 7

Development of a Decommissioning Engineering Support System

Yukihiro IGUCHI Yoshiki KANEHIRA Masahiro CHUJOU*
Yoshinori FUJINAGA*

Fugen Nuclear Power Station, Tsuruga Head Office

*Tsuruga Atomic Service

新型転換炉ふげん発電所では、現在廃止措置の準備を進めているが、合理的な解体計画を策定するため、3次元CAD、バーチャルリアリティ等の最新の計算機技術を利用した、廃止措置エンジニアリング支援システムの開発を行っている。

本システムは、廃棄物の物量評価作業に成果を上げているほか、放射能量の可視化、解体シミュレーション等、廃止措置計画の最適化のために利用している。また、PA用としても活用可能なほか、将来は、解体作業の教育・訓練、遠隔装置との結合など多面的な活用が期待できる。

Preparations are underway to decommission Fugen nuclear power station. An engineering system to support the decommissioning is being developed to create a dismantling plan using state-of-the-art software such as 3-dimensional (3D) CAD and virtual reality.

The system will be used to quantify radioactive waste, to visualize radioactive inventory, to simulate dismantling and to optimize the decommissioning schedule. The system will also be useful to gain public acceptance and has promise for various other purposes such as training in dismantling and to link with remote dismantling machines.

キーワード

廃止措置，支援システム，3次元CAD，バーチャルリアリティ，可視化
Decommissioning, Support System, 3D-CAD, Virtual Reality, Visualization



井口 幸弘



兼平 宜紀



中條 雅博



藤長 佳紀

1. はじめに

新型転換炉ふげん発電所(以下、「ふげん」)は、2003年に運転を停止し、廃止措置に移行する予定である。現在は、その準備作業として、物量評価、放射能インベントリの調査、解体方法の検討等の作業を進めている^{1),2)}。この廃止措置を進めていく上では、既存技術の徹底活用等によって安全かつ合理的な廃止措置計画を立案することが必要である。

特に原子炉施設のように膨大な物量の機器や構造物の解体計画の立案については、作業工数、被ばく、廃棄物発生量等を考慮して、手順や工法等を選定し、最適化を図るシステムエンジニアリングの手法が有効である。

したがって、この手法に基づき、事前の評価作業を効率的かつ精度よく行うため、3次元形状データ(3D-CAD)及び仮想現実(VR: Virtual Reality)・可視化技術等の最新の計算機技術を利用した、廃止措置エンジニアリング支援システムの開発を進めることとした。

2. システムの概要

廃止措置エンジニアリング支援システムは、図1に示すように、3D-CADデータ、物量データ、放射能インベントリデータなどの「データベースシステム」、コスト、被ばく線量、廃棄物量などを評価する「計画評価システム」、放射能量の可視化、解体工程のシミュレーション等を行い、計画評価に反映する「VR・可視化システム」及び

実際の解体時の廃棄物や工程など動的なデータを収集管理する「情報管理システム」から成る。

本システムについては、1998年より開発を開始し、CADデータの構築をはじめとして、物量や放射能インベントリのデータ等の整備、解体計画の検討に基づく解体作業シミュレーションシステムの構築などを順次進めている。第1段階として、2003年度までに、廃止措置の計画策定段階における評価を対象とした支援システムを構築する予定である(開発工程について、図2を参照)。

現在、原子炉建屋から周辺設備までの「ふげん」全般の設備について、3次元形状データと設備情報データの整備を終了し、放射能インベントリのデータも順次反映している。

また、計画評価システムとしては、1999年度に日本原子力研究所よりCOSMARDを導入し、各種データを用いて「ふげん」の廃止措置計画の評価作業を現在実施している。

VR・可視化システムについては、CADデータを可視化するソフトウェアを整備しているほか、VR技術を利用した、解体作業シミュレーションシステムの開発を1999年度より行っている。

また、本システムの開発は、廃止措置の特徴等から考えて以下の点に留意している。

廃止措置に係るエンジニア、作業員が容易にアクセスでき、使いやすいユーザインターフェースであること。

システムの運用が容易であること。

基本となるデータを共用できること。

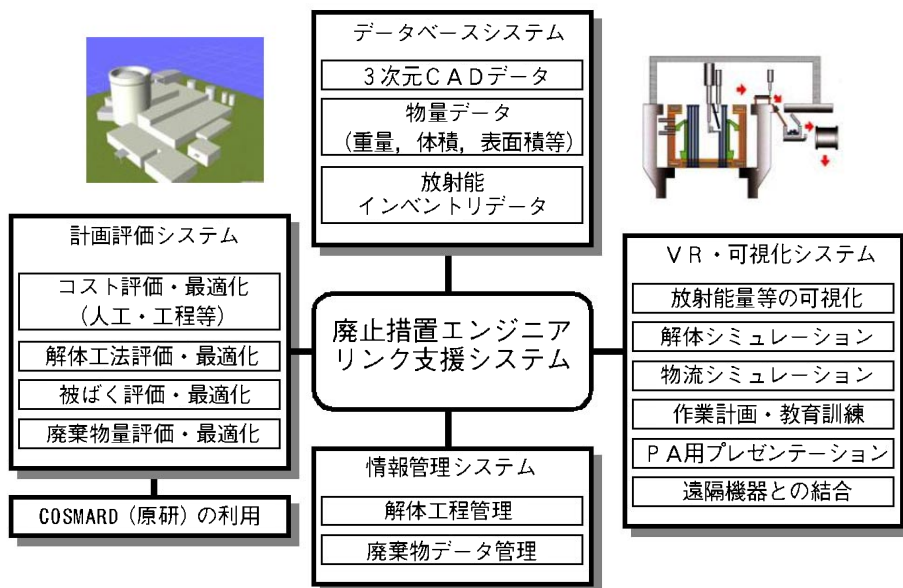


図1 システムの概念図

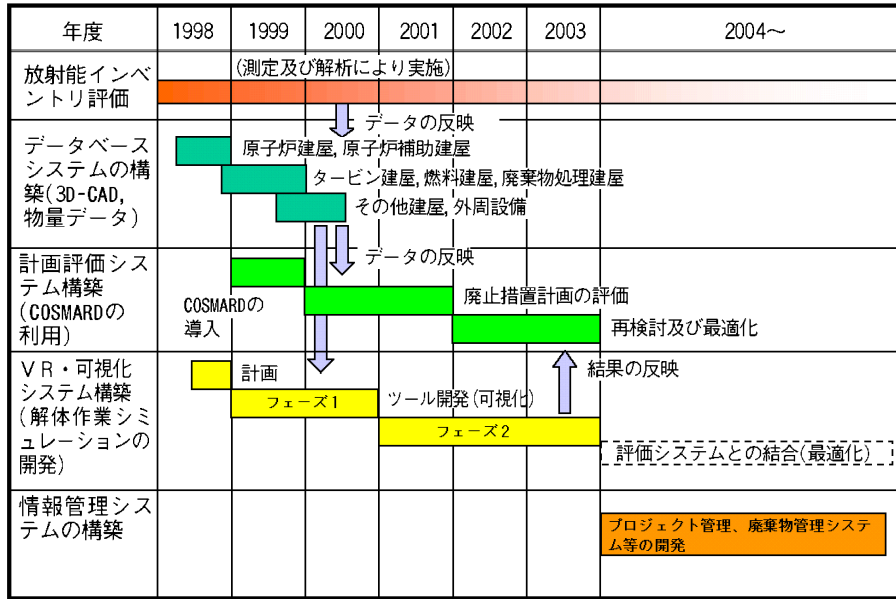


図2 システムの開発工程

開発コスト，運用コストが経済的であること。
将来の計算機技術の発展にも十分に対応できること。

上記の観点から，システムは基本的にはパーソナルコンピュータを用いることとし，ネットワーク及びインターネットでの利用も考えて，WWW技術にも配慮したものとしている。

なお，今後は，これらのシステム開発を受けて，各システムの連携を図るとともに，解体計画の最適化や解体時の管理システムの構築に比重を移していく予定である。

以下，現在構築を進めている各システムの開発状況を述べる。

3. 各システムの開発状況

3.1 データベースシステムの構築

廃止措置計画の策定のため，重要なデータを収集し，データベースシステムとして多種多様な要求に答えられるように，データ及びシステムの整備を実施している(図3参照)。

廃止措置計画策定に関連するデータの特徴として，設備の物量，線量率，放射能インベントリといったデータは各機器や配管などの大きさや長さ，また空間配置に密接に結びついていることが挙げられる。また，データとして大量となり，入力の労力が多くなるが，解体作業の詳細検討や可視化という観点で，機能や将来性を考慮すれば空間情報の構築に利点がある。以上の理由で，プラント全体の3D-CADデータを作成し，廃止措置

計画策定に活用することとした。

このため，「ふげん」の設計・製作時の配置・配管図，製作図，アイソメ図などを収集・整理し，3D-CADデータベースに順次入力した。

ただし，入力の目的はあくまでも廃止措置であり，膨大な設備を細かい部分まで入力することは合理的ではないため，比較的大きな機器，構造物，配管，また放射性物質を内包しているか，汚染の可能性のあるものを基準に選定し，入力を行った。

3D-CADデータの入力に伴い，配管長や重量，表面積といった有用なデータも自動的に集計されることになり，全体の物量把握が可能となる。

また，特に機器類については形状だけでなく，重量，仕様，材料などのデータが有用である。このため「ふげん」で利用している保守管理システ

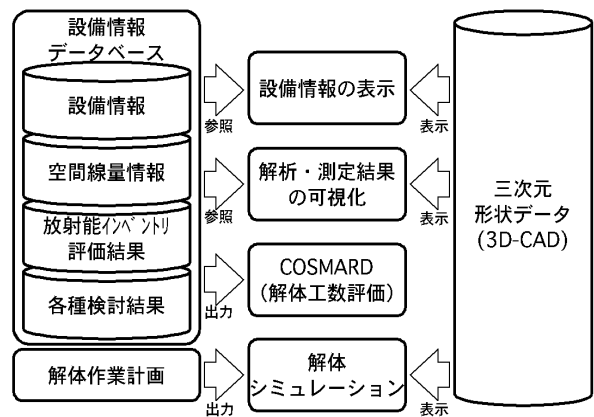


図3 システムのデータベースの概要

ム³⁾の設備台帳データを拡張し、整備している。

廃棄物の分類や解体方法の策定上重要なデータとしては、放射能インベントリがある。これは、核種、放射化放射エネルギー、汚染放射エネルギー、所在、性状などのデータであり、これを明らかにするためコンクリートなどのサンプリング、中性子束の測定、コードによる解析などの評価作業を実施している。評価されたデータは、データベースに反映するとともに、3D-CADのデータと結合している。

その他、作業評価を実施するために必要なデータとして、空間線量率があり、暫定的に運転停止時の線量率を3D-CADの座標を用いてデータベースに反映している。実際の解体計画策定においては、作業時の線量率を別途評価し、用いる必要がある。

以上のように、データベースを構築した結果、廃棄物の区分などに注目した物量の評価等が、汎用のデータベースソフトウェアによって効率的かつ柔軟に行えるようになったほか、設備台帳の表示、別途構築している計画評価システム(COSMARD)との接続、3D-CADと接続することによる解析・測定結果の可視化など、多面的な評価に利用できるようになった。

なお、現在入力されている設備数は約34,000配管長は約70km、総重量はコンクリートも含めて、約37万トンに達しているほか、3D-CADのデータは約2ギガバイト、350ファイルとなっている。

3.2 データの可視化

3D-CADについては、「ふげん」の設備全体の入力整備が終了している。また、このデータを可視化するためのソフトウェアを整備し、解体計画策定のための設備の把握が容易になった。

図4は、「ふげん」の概観と原子炉建屋内主要

機器の3D-CADの可視化例、図5(左)は、ダクトやケーブルトレイ、図5(右)は支持構造物や歩廊を表示したものである。このように、機器の種類別あるいは系統別に3次元表示が可能である。可視化ソフトウェアは、PC上で稼動するが、例に示すような主要機器の表示においては、十分な速度を有し、視点の変更や拡大・縮小も容易である。

また、図6に示すように、3D-CADとデータベースを接続することによって、設備情報をCADデータから連携させて表示することができ、設備名称、設備仕様などの詳細情報を画面上で参照できる。

さらに、データベースに格納した放射能インベントリ等の解析・測定結果を3D-CADと接続する事により、レベルごとに色分けして可視化することも可能である(図7参照)。これによって、被ばく低減を図るための具体的な作業方法の検討等に反映できると考えられる。

3.3 解体計画評価システムの構築

合理的な解体計画立案に資するシステムとしてJPDRの解体経験をもとに開発されたCOSMARD⁴⁾(Code System for Management of Reactor Decommissioning)を、日本原子力研究所より「ふげん」に導入した。

本システムは、図8に示すように、解体作業における、作業工数、被ばく線量、廃棄物の発生量、解体工程などを評価するものである。入力データとしては、上記のデータベースより、物量評価の結果、放射能インベントリ及び放射線量率のデータを自動的に入力データとして変換する。

現在は、試験的にシステムを稼動させて基本的な機能を確認する作業を進めている。また、後述

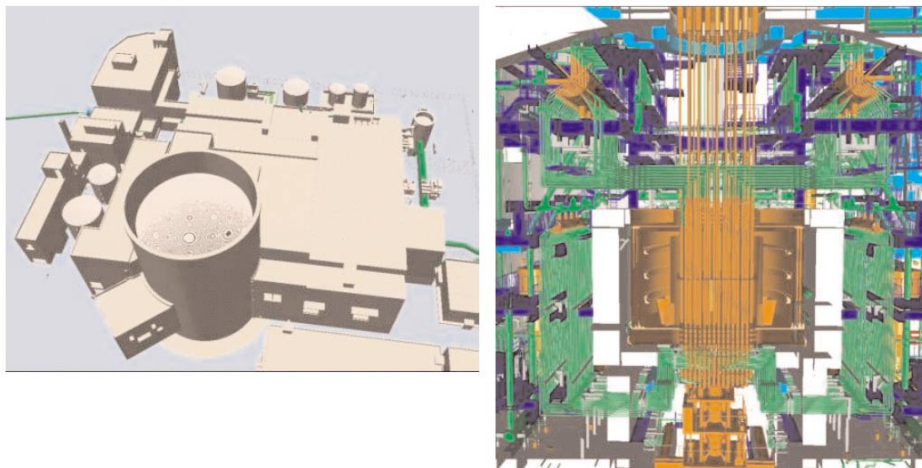


図4 3D-CADの可視化例(1)

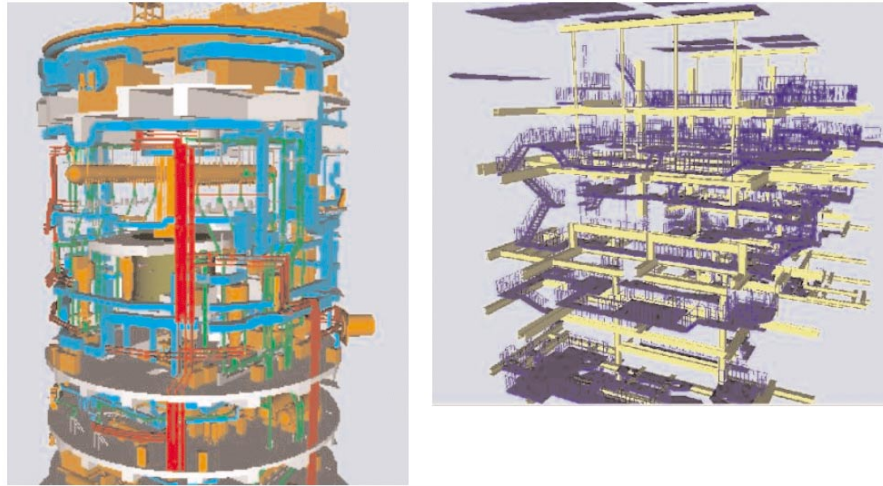
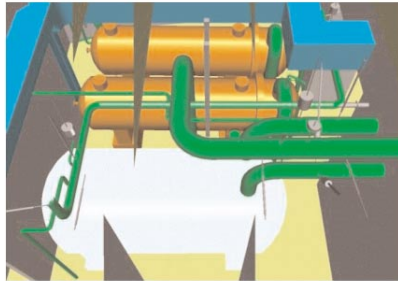


図5 3D-CADの可視化例(2)



設備機器管理システム			
廃止措置D/B 設備台帳テーブル情報			
形状データ情報			
機器番号_CAD			
C311			
機器番号_機種	機器番号_系統	機器番号_デバイス	機器名称
TANK	001	1	重水冷却系重水タンク
計装ループ区分_機種	計装ループ区分_系統	計装ループ区分_デバイス	
型式	製造者名		製造番号
日立 エンワ	SHI		
製造年月	据付者コード	据付年月	重量
1986/7/8	SM3	1989/1/5	13000
設置場所通称	設置場所コード	設置場所通称	
Y5	RA	Y3	
設置場所通称V座標	外形寸法_高さ	外形寸法_幅	外形寸法_奥行
3250	6266	2736	
規格	主要材	シークランス番号	
	ステンレス鋼		
電源仕様	関与図面番号	系統図番号	
AVHZ	AC1361	JB700J	
流体種別コード	流体種別コード	重量区分	
その他主要仕様			
内容積32.6m ³ 、内面保護方式単、遊雷針無、最高使用圧力5kg/cm ² 、最高使用温度117℃、設置場所(R/B)/流体種別(D1)/外形寸法(2700*6266)			
備考			
設備担当者コード	登録日	更新日	処理日
	1986/7/8	1989/1/5	1999/3/1
廃棄物分類コード	供給電源コード		
1			

図6 設備情報データとの接続

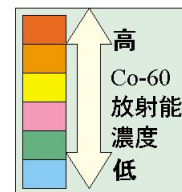
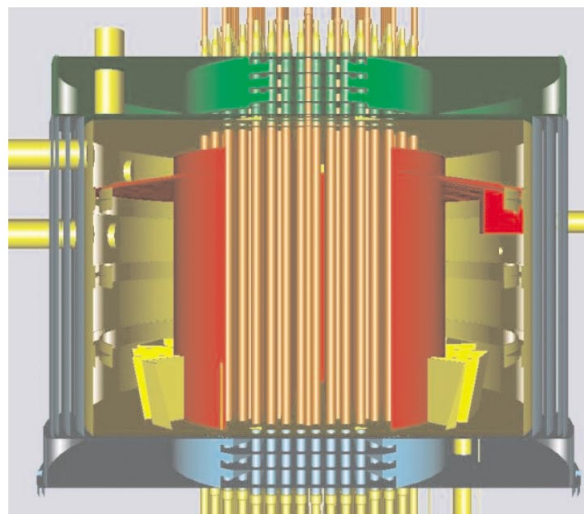


図7 放射能濃度の表示

© COSMARDによる評価作業は、
日本原子力研究所殿との共同作業で
実施中

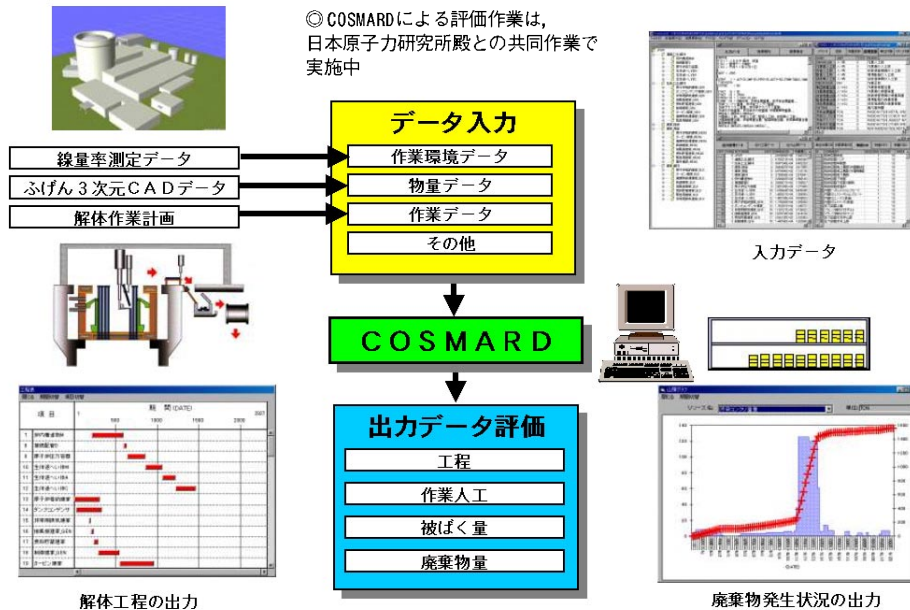


図8 解体計画評価システムの概念図

する解体作業シミュレーションシステム，工程管理システム等とも連携し，最終的には解体コストを評価して，効率的かつ合理的な計画の策定に活用する予定である。

3.4 解体工程の可視化

3 D-CADと市販のソフトウェアを組み合わせることにより，あらかじめ作成した解体工程によるシミュレーションを行うことが可能である。

まず，機器の撤去のスケジュールを汎用の工程管理ソフトウェアで作成し，これをシミュレーションソフトウェアと接続することにより，スケジュールに従って，現場から機器が消去される様子を見ることができる（スケジュールシミュレーション）。

図9の例では，部屋の中に熱交換器が2台そして，タンクが1台設置してあり，解体スケジュールを3 D-CADに接続することにより，任意の時間の現場状況を再現できることを示している。なお，作業中の機器については，色を変えて表示している。

また，より詳細なシミュレーションとして，機器の空間での動きも含めて可視化することもできる（アニメーション）。

すなわち，機器の撤去・搬出計画において，物理的な干渉の有無や移動経路を事前に評価することを目的に用いる。図10は，タンクと熱交換器の移動順の検討例であり，CASE-1でタンクを先に搬出する場合，干渉が発生していることが分かる。

このように，工程管理ソフトウェアによって解

体工程を作成した上で，スケジュールシミュレーションとアニメーション機能を組み合わせることにより，合理的に機器の解体・撤去計画の詳細を立案し，可視化して工程の妥当性を評価することが可能である。

3.5 解体作業シミュレーションシステムの開発

解体作業においては，高濃度に放射化している炉心部分を除けば，人的作業が主体であり，解体計画においては，効率的な作業手順を作成するため，作業量及び被ばく線量の事前の評価が不可欠である。

一般の機器についての作業量等の評価については，国内外の廃止措置の経験を用いることによってCOSMARDで評価することができるが，「ふげん」に特有な設備の解体作業については，別途評価を行う必要がある。

また，実際の解体時には，安全性の向上，被ばく線量の低減，作業量の合理化のため，モックアップ施設等による作業員の教育が必要であるが，これを計算機システムによって代替することも考えられる。

このため，VR技術による解体作業のシミュレーションシステムの開発を進めている。1999年度は，放射線環境下における作業員の移動をシミュレーションし，被ばく線量，作業工数を評価するシステムを構築した。

これは，3 D-CADデータを変換したVR空間上で，人間の動きとしての作業シナリオを作成し，

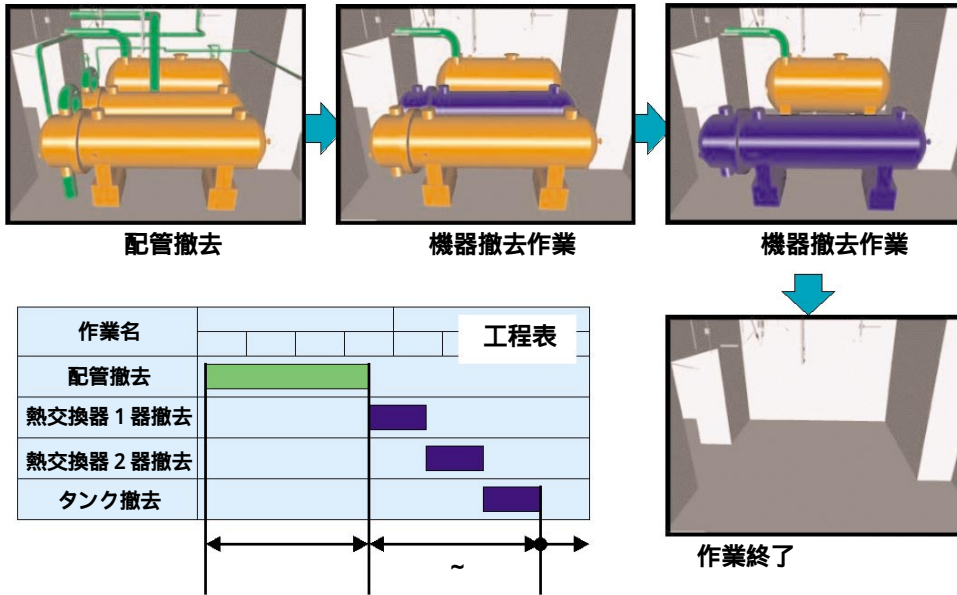


図9 スケジュールシミュレーション

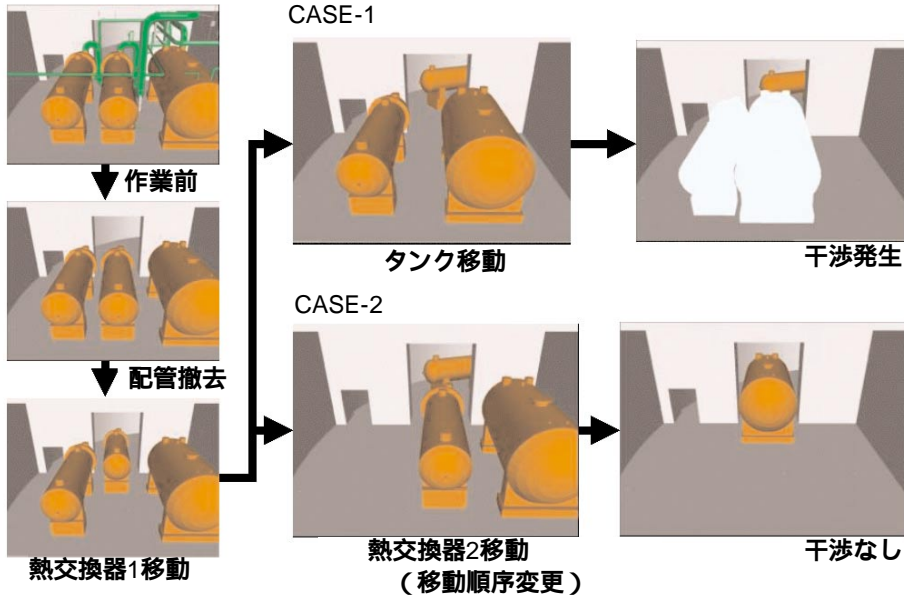


図10 アニメーション

同時に、作業空間内に線量当量率のデータを持たせることによって、作業時間及び被ばく線量を算出し、作業の妥当性を評価するものである。

図11に本システムの表示例を示す。左上の画面において、作業員の作業等を記録、表示させる。また、空間内に線量率データが離散的に当てはめられており、任意の箇所の線量率は補完によって算出する。図11に示すように、高線量の箇所は、3次元及び2次元のマップで色を変えて表示している。

作業員の動きに従って、滞在場所の線量率も変化するため、その履歴が移動距離または時間軸で

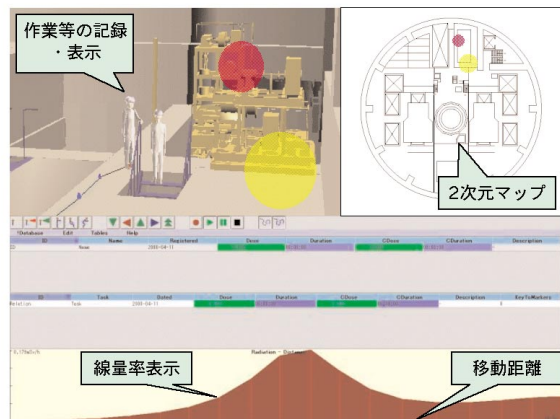


図11 シミュレーションシステムの表示例

表示されるとともに、積算線量も評価することができる。また、作業員の動きや線量率などのデータは、データベースに記録され、任意のデータを再現することができる。

なお、本システムは、形状モデルについて、VRML (Virtual Reality Modeling Language)、プログラム言語として JAVA を、さらに、3次元の API (Application Program Interface) として JAVA-3D を採用している。したがって、PC 上で容易に 3次元モデルを閲覧することが可能である。

このシミュレーションシステムの開発によって、COSMARD で計算する作業量の評価について精度向上が図れるとともに、解体手順の検討に関するモックアップの省略、解体作業員の事前訓練による作業量や被ばく線量の低減など、解体作業の合理化並びに安全性の向上に大きな効果が期待できる。現在、上記の目的で、複数の人員が利用できる、作業計画立案、教育・訓練用の VR 設備の設置を検討しているところである。

また、本システムについては、ノルウェーの国立エネルギー技術研究所(ハルデン炉プロジェクト)と連携した開発を進めている。具体的には、同所で、原子力施設等を対象として、国際的なプロジェクトとして研究開発が行われている先進的なマンマシンシステムや VR 応用技術の成果を本システムに反映している。

4. まとめ

以上のように、3次元 CAD データを基盤として「ふげん」の廃止措置計画の立案、並びに実施に資するべく、エンジニアリング支援システムの構築を行っている。

この結果、廃棄物量の評価精度向上に成果が得られたほか、解体のシミュレーション、可視化など、データの多様な利用が可能となった。

さらに、VR 技術を用いることによって、より

高度な評価手法、教育・訓練といった将来の利用方法にも見通しが得られた。

5. おわりに

現在、国内外で原子力施設の廃止措置の実施例が増えている。廃止措置の実施で重要なのは、定められた期間に、いかに要領よくかつ低コストで解体を実行するかにある。このためには、内外の例を参考にするとともに、事前の調査及び計画が重要である。

現在、計算機の手数や技術は、PC 上で大規模な 3次元データを扱えるレベルに達してきており、3D-CAD を利用した計画・評価システムも十分に合理的に利用できるようになってきている。

「ふげん」としては、当面は、本システムを廃止措置計画の策定の支援システムとして運用する予定であり、データベースの充実をはじめとして、VR システムなどの整備を図っていく。

また、将来は、計画策定段階のシステムにとどまらず、作業訓練設備での利用、遠隔解体装置との結合、実際の解体や廃止措置工程全体を管理する情報管理システムの開発に発展させていく予定である。

なお、本システムの主目的は、「ふげん」の廃止措置計画の合理的な遂行であるが、併せて廃止措置計画のビジュアル化によって、廃止措置業務に対する、関係者はもとより一般の方々への理解の促進にも役立つものとしていく。

参考文献

- 1) 西村 弘, 渋谷 進 他: “「ふげん」の今後の活用”, サイクル機構技報, No.1, p.19 ~ 29 (1998).
- 2) 柳澤 務: “「ふげん」の廃止措置への取り組み”, デコミッションング技報, No.21, p.2 ~ 11 (2000).
- 3) 磯村和利, 岡田彦造 他: “新型転換炉ふげん発電所の保守管理システムの開発と実績”, 動燃技報, No.74, p.20 ~ 42 (1990).
- 4) S. Yanagihara: “COSMARD”: Code System for Management of JPDR Decommissioning ” J. Nucl. Sci. Technol., Vol.30(9), p.890 (1993).