

シリーズ：「知識の伝承」をサイエンスする

第2回 原子力施設の廃止措置における知識マネジメント（その2）



樽田 泰宜

1. 緒言

シリーズの第1回目は、主に廃止措置における知識マネジメント（KM）について定義や概念を含めた要諦として紹介した。今回は、それらを踏まえた取組みを概略として紹介する。最初に前回の振返りとして廃止措置におけるKMについて概要を述べる。続いて、廃止措置におけるKMの基本的なアイデアとして、多くの知識や情報を分類するための指針であるタクソノミーやオントロジーの概念について述べる。その後、それらを活用した廃止措置のIT化の取組みについて触れる。

KMは、原子力施設の設計、建設、運転、廃止措置、廃棄物処分を含めて、施設のライフサイクル全体に関わる重要なものであり、当然ながら、施設の利用及び研究開発等の活動にも重要な概念である。KMの定義としてIAEAは、「組織の知識を特定、管理及び共有化し、組織目的の達成に役立つように、人の集団に新しい知識を共同で創造させることができるようにする、総合的、システム的なアプローチ」としている¹⁾。KMは原子力分野特有のものではなく、経営学、組織学、情報学、システム科学や哲学等複数の分野で相互補完的に発展してきた学問領域であるためである。また、一般的に、「マネジメント」は「管理」と日本語訳されるが、単に知識や情報を何らかの形で管理するものではない。「総合的、システム的なアプローチ」により、新しい知識の創造を目指すという点が重要な意味を持つ²⁾。

原子力業界では、2002年にIAEAが原子力における知識とその管理の重要性を指摘している³⁾。この背景には原子力業界の世界的な傾向として、1990年以降の原子力施設の新設の滞り、大学等での原子力関連学部の閉鎖及び統合等による学ぶ機会の減少、それに伴い原子力業界に新しい人が入ってこないことによる人材流動の悪化等がある⁴⁾。これらは、原

子力業界で知識や技術の継承に関する課題が重要になってきている証左でもある⁵⁾。そこで、国際的動向としてIAEAは原子力分野におけるKMの重要性から、組織力の強化も含めて計画、情報、知識の管理に関するディビジョン（部に相当）と、その下に原子力知識管理セクションを設置している。

一方、国際的に進む廃止措置は、プラント運転とは目的も内容も違うため異なる業務であると言われているが、運転時代の経験、知識、技術、各種情報は、廃止措置を合理的に進めるため重要なリソースである。実際の廃止措置においても、プラント運転時代の汚染状況や施設や系統の管理状況等の情報や知識を適切に利用し、合理的に進める等創意工夫をしている。

しかし、原子力発電所の運転から廃止措置の完了まで半世紀近く又はそれを越える期間を要する等業務従事者の世代交代は確実に発生する。これは、既往のプロジェクトに類を見ない長期間にわたるものである。そのため、より安全で、より合理的な業務に向けて、知識等を適切に伝承すべく、既存知見やKMの学術的・実務的な成果を効率的に取り入れて行くことが必要になってくる。つまり、適切な「伝承」又は「継承」はKMのキーコンセプトとしても重要な観点である⁶⁾。これらは、伝承の技術的方法や知的生産の成果の伝承等様々な観点からも取り組まれている⁷⁾。

更に、長期間の廃止措置では、運転時代を含めて使用頻度が少ない知識や技術もあるが、それが将来的に重要になってくることも考えられる。そこで、現時点又はその当時の基準では（保存等の）優先順位が高くないものについても効果的な管理と将来的な活用方法を準備することの重要性も指摘されている⁸⁾。

こうした背景のもと、これまでの取組みにおいて、パイロット的にいくつかの試みを実施しており、今

回は、そのなかでも廃止措置における KM の取組みとして重要な設計の部分にフォーカスを当て、タクソノミーやオントロジーを利用した KM の仕組みについて紹介する⁹⁾。特に Wikipedia の駆動エンジンとなっている Mediawiki を廃止措置フェーズにて適応した廃止措置 Wiki について述べる。

2. 「新型転換炉原型炉ふげん」について

今回紹介する内容は、(国研)日本原子力研究開発機構の新型転換炉原型炉ふげん(以下「ふげん」)の事例を中心に述べる。「ふげん」は日本の原子力技術の国産化を目指したナショナルプロジェクトとして開発された炉である。新型転換炉「ATR」と呼ばれる压力管型の原子炉で、炉心で発生する蒸気をそのままタービンに導いて発電機を回す方式を採用しており、蒸気タービン、給復水系等は压力容器型の軽水炉「BWR」に類似している。この開発と運転の歴史は国の原子力開発とも平行しており、廃止措置における KM には、「ふげん」の開発、運転等の歴史も重要な知的資源となる^{8,9)}。「ふげん」は、1970 年に着工し、1978 年 3 月に最小臨界、同年 7 月には初送電を達成し、1979 年 3 月に運転を開始した。最小臨界から 2003 年 3 月までの 25 年間にわたり安定運転を継続してきた。その後、5 年間の廃止措置準備期間を経て、2008 年に廃止措置計画の認可を受け、廃止措置のフェーズに入っている⁸⁾。

ここに至る背景として原子力委員会は、動力試験炉 JPDR が発電を開始した 1963 年に「国産動力炉の開発の進め方」を決定し、1964 年に「動力炉開発懇談会」を発足させた。日本初の商用原発東海発電所が開通した 1966 年には、動力炉開発の基本方針として、高速増殖炉と新型転換炉の開発を決定し、ナショナルプロジェクトがスタートした。そこで日本のプラントメーカー大手 5 社が協力し、それぞれが原子力発電に係わる重要な機器の国産化を目指して進められる等、日本の原子力開発や技術の国産化の一翼を担うものであった。「ふげん」の廃止措置に関しては、旧日本原子力研究所の動力試験炉 JPDR、日本原子力発電(株)の東海発電所に次いで、国内 3 例目となっている。

3. 廃止措置における KM のキーコンセプト

前回の(その 1)では、廃止措置の KM には必要

となる知識の抽出手法の確立、経験者等の知識を引き出す手法の構築、知識マネジメントを支援するシステムの構築というフローを紹介した。KM の観点からは、単なる情報管理だけではなく知識、技術、技能、情報等の様々な形態の形式知や暗黙知を獲得していき、これらを必要な時に必要な形に加工し、利用者が活用することが大切である。特に廃止措置に特化した KM のシステムアプローチがキーコンセプトになる¹⁰⁾。

これを進めるためのフレームワークには、多種多様で膨大な量の情報を最適な形で保存又は分類する必要がある。そのためのアイデアとして、タクソノミーやオントロジーと呼ばれる概念を活用している。タクソノミー(taxonomy)とは、分類又は分類学のことを指す。階層構造やグルーピング等がタクソノミーの例である。SNS で使われる # (ハッシュタグ) 等もタクソノミー(分類)の一種と言える。一方、オントロジー(ontology)は「複数人の間で共有される合意内容」¹¹⁾又は「対象とする世界の構築過程、基本概念、概念間の関係を表現したもの」¹²⁾である。やや難解であるが、対象の概念を一意に定義してそれを階層化する等して示したものになる。簡単な例を図 1 に示す。発電所に関して単純な階層概念としてタクソノミー化したものでは、化石燃料、核燃料、水力、再生可能エネルギー等の種類があることが分かる。一方、オントロジーでは、発電所がもつ概念を階層構造として種類、機能、属性、構成物、送電システムとして示している。この時、タク

分類(タクソノミー)

単純な階層概念

発電所

- 化石燃料
 - ・火力
 - ・石炭
 - ・天然ガス
- 核燃料
 - ・原子力
 - ・核融合
- 水力(位置エネルギー)
 - ・ダム
- 再生可能エネルギー
 - ・太陽光
 - ・風力
- カミナリ?
- ポータブル発電機?

オントロジー

対象の概念を階層構造

発電所

- 種類
 - 蒸気(汽力)
 - 位置エネルギー
 - 再生可能エネルギー
- 機能
 - 発電する
 - 送電する
- 属性
 - 出力
 - 大きさ
- 構成物
 - 発電部
 - 送電部
- 送電システム
 - 変電所
 - 変圧器

図 1 タクソノミーとオントロジーの例

(出典：溝口¹²⁾の自動車の例を参考に編集した)

ソノミーは、分類の指針や根拠が非明示的又は属人的、主観的になってしまうことがある。極端な例として、カミナリやポータブル発電機は発電所ではないことは人間にとって自明である。しかし、図示したタクソノミーだけでは言語体系が異なるものへの説明は困難であり、計算機の検索又は判断において電気を起こす、発生するという意味においてそれらを排除できない。タクソノミー例の分類を増やすことも1つの方法であるが、オントロジーでは、発電所には電力網を通じた発送電や出力という要素があり、カミナリやポータブル発電機は発電所ではないことが明示化されるのである。こうした点から、オントロジーをうまく活用することで発電所のもつ概念を表すことが可能になる。

4. 具体例

4.1 パイロットモデル例

先に述べたオントロジーを基本アイデアとして、「ふげん」廃止措置 KM では、廃止措置に関する領域（ドメイン）に関する知識、情報等を特定することを目的にドメインオントロジーと呼ばれるものと廃止措置、解体、除染等各業務（タスク）に関するタスクオントロジーのパイロットモデルを構築した。また、システムには、異なるグループで利用されている既存情報（又はデータベース）として持っているものを総合的に階層構造化すること、検索性を向上させることと、より高度な検索の実現に向けたオントロジー概念の適応を試みている。そして、オントロジーの概念をベースにカテゴリカル検索を実装した（図 2）。既存の機器類等のデータベースや各種資料を活用し、そこに廃止措置における代表的な項目に対して、オントロジーで重要となる階層概念（又はリンク構造）として上下関係の is-a、部分関係の part-of 等に区分してデータの再構築を実施した。例えば、廃止措置タスクの下位に、廃棄物処理タスク、解体タスク、除染タスク等を is-a 概念として用意し、更にその下位に関係するタスクを配置するものである。これにより、復水器の解体に関する情報を検索した場合は、廃止措置タスク＞解体タスク＞復水器の解体というように各階層又はカテゴリ単位で検索結果を取得できる（図 3）¹³⁾。また、検索結果には、復水器に関する各種文章だけでなく関連するキーワードも表示している。

ふげん知識マネジメントシステム

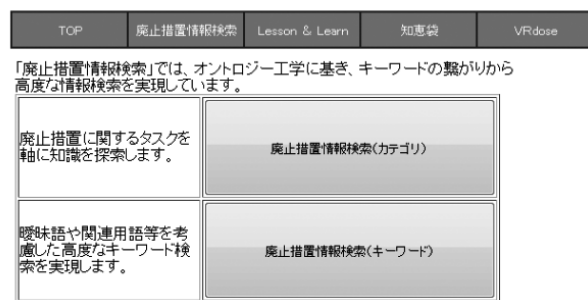


図2 KMシステム（パイロットモデル）

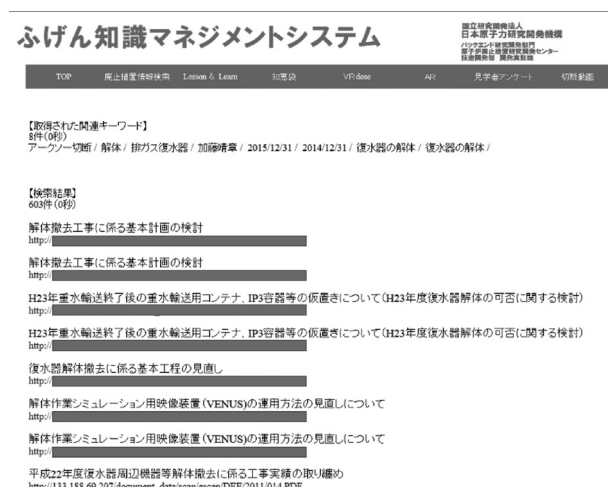


図3 復水器解体の検索結果例

次のステップとしてこれらの成果を活用し、廃止措置 KM の一環として廃止措置業務のルーティーンに組み込むべくデータベースの構築と情報の検索性の向上等を目的としたデータベースシステムの構築を進めている¹⁴⁾。これは Mediawiki という Wikipedia を駆動させているアプリケーションエンジンを活用したものである。Mediawiki は世界最大のデータベースでもあり、原子力分野の膨大な情報を扱うことも可能である。また、多くの企業やプロジェクトでも活用事例があり、機能面でも多くの追加ソフトウェアが開発される等している。

4.2 Wiki システム例

廃止措置には多くの業務があることは既に述べたが、この wiki システムでは、パイロットモデルで示したように対象を事前に階層化するのではなく、記述された知識や情報、文章に対してカテゴリやタグを付加する作業を行う。 4 にリンク例を示す。これはセマンティックウェブというオントロジーの

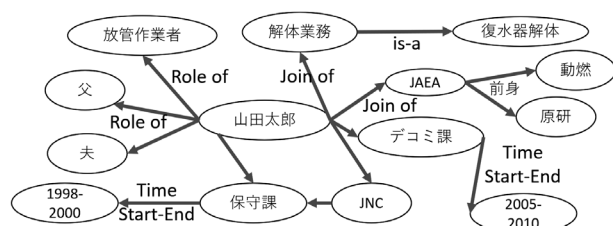


図4 オントロジーのリンク構築例

考え方をもとにしている。今回は深く言及しないが、セマンティックとは「意味」や「意味論」というものである。先ほど述べたオントロジーは概念を構造化するものであり、異なる言語間での共通語彙の構築やその一環として計算機が対象の意味を理解することを目指している等、セマンティックウェブはオントロジーの実用化の側面の1つを担っている。つまり、各ページや情報単位間に上下関係や部分関係のリンクを貼ることでオントロジー的な構造を任意のwiki（データベース）内に構築するものである。先ほどの例では、廃止措置タスク、解体タスク、復水器の解体という上下関係を示したが、これらをそれぞれのコンテンツとして用意して、それらの関係性のリンクをデータとして挿入すればパイロットモデルと同じような検索やデータ構造の実現であったり、関係者、工事担当者等の情報も付加できたりする（図4）。パイロットモデルでは情報の追加や編集にはいくつかの工程が必要であったが、Mediawikiではそれらの作業が大幅に軽減され、知識や情報は逐次追加可能である。

5. 結言

知識の伝承のサイエンスとして全般的なコンセプトやアイデアについて述べたが、KMは、原子力施設のライフサイクル全般において重要なものであり、記録や記憶も正しく保存、保管し、活用できる形にすることが大切である。そのためには管理の方法だけでなく、知識と情報を適宜アップデートすることやその履歴と変更内容を残すことも必要である。一方、知識や情報には複数の形があり、それらに対して個別にデータベースやシステムを構築することはコストや時間がかかり効率的ではない。そこで、既存のシステムも活用しつつ、原子力という膨大な情報量にも耐えうるシステムを目指してR&Dを進めている。そこには、形式知として既存のデー

タの抽出、加工、それぞれの業務に合う形に変換するだけでなく、暗黙知と言われる部分でも特にベテランの経験やこれまでの気づき等ヒアリング等をもとにスクリプト化、言語化、文章化して取り込んでいくことも含まれている。今回は詳しく説明できなかったが、今後の予定として図4に示すようなリンク構造の型を工夫しながらタスクオントロジーという切り口で廃止措置に関する様々な形態の知識、情報、技術を扱うための理論や方法についても更に研究を進めていく。

参考文献

- 1) IAEA, IAEA Safety Glossary -Terminology used in nuclear safety and protection 2007 edition- (2007)
- 2) 野中郁次郎, 紺野登, 知識創造の方法論－ナレッジワーカーの作法－, 東洋経済新報社 (2003)
- 3) IAEA, Strengthening the agency's activities related to nuclear science, technology and applications, IAEA general conference, 46, 19 (2002)
- 4) IAEA, Record keeping for the decommissioning of nuclear facilities: guidelines and expectations, Technical reports series, 411 (2002)
- 5) IAEA, The Nuclear Power Industry's Ageing Workforce Transfer of Knowledge to the Next Generation, IAEA TECDOC 1399 (2004)
- 6) 樽田泰宜 他, 知識共創, 8, S2, 1-12 (2018)
- 7) 樽田泰宜 他, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察, 人工知能学会第32回全国大会, 2B3-OS-19b-04, 1-4 (2018)
- 8) 樽田泰宜 他, 新型転換炉ふげんに対する知の同定, 人工知能学会合同研究会, SIG-KST-032-03, 1-6 (2017)
- 9) 樽田泰宜 他, 新型転換炉ふげんにおける知の継承と体系化に対するオントロジーの活用, 人工知能学会第31回, SIG-KST-031-02, 1-6 (2017)
- 10) Taruta, Y., et al., Proceedings of 26th International Conference on Nuclear Engineering, 1-6 (2018)
- 11) Gruber, R., Knowledge Acquisition, 5, 2, 199-220 (2003)
- 12) 溝口理一郎, オントロジー工学, オーム社 (2005)
- 13) 樽田泰宜 他, 原子力施設廃止措置における知識マネジメント支援システムの構築 (8) 知識マネジメント支援システムのこれまでの取り組み成果, 日本原子力学会 2017 年秋の大会 (2017)
- 14) 樽田泰宜 他, 廃止措置知識マネジメントにおける知識表現—意味ネットワーク—, 日本原子力学会 2019 年秋の大会 (2019)

(日本原子力研究開発機構 敦賀廃止措置実証部門 新型転換炉原型炉ふげん)