

シリーズ：「知識の伝承」をサイエンスする

第1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1）

井口 幸弘

放射線管理の世界だけでなく組織体の中では、労働者間の意思の疎通は大変重要なことである。ベテラン主任者が退職し、次の世代へと代替わりしていく中で、放射線施設の安全管理技術やノウハウの継承において個人の暗黙知を組織の形式知へと醸成していくことは喫緊の課題である。

この企画は2018～2019年のシリーズ「放射線施設・設備に関する知識の伝承」*の第2部として、経験を持つ方々に執筆を依頼している。最初の2回で原子力施設の廃止措置における知識マネジメントについて、3～4回で放射線施設を廃止する際の具体例を放射線管理者側からと業者側から紹介し、5～6回で放射線施設での「知識の伝承」の実践について具体例を掲載する予定である。

*2018年10月号～2019年12月号（4月号を除く）にて掲載。

（放射線安全取扱部会 企画専門委員会）

1. はじめに

原子力の平和利用が始まってから70年近くが経過している。以来、多くの研究開発が実施され、関連の原子力施設も多数建設されたが、古い施設は役目を終え、既に解体されたものもある。

更に、1970年代以降には、大型の原子力発電所が多数建設されたが、これらについても寿命、経済性及び政治的な理由で停止され、その多くがいわゆる廃止措置を迎えている。

これらの施設の操業で得られた多くの知識、知見は後続の活動で適切に活用されるべきである。また、合理的な廃止措置を実施するためには、運転中の必要なデータや情報、あるいは廃止措置そのもののノウハウ等の知識を適切に次世代に継承していく必要がある。

これらの活動において、経営工学の分野でも重要視されている知識マネジメントの手法を活用することが有用である。

2. 原子力における知識マネジメント

2.1. 国際原子力機関（IAEA）での活動

IAEAは、2002年の総会における文書¹⁾で、原子力知識の重要性を指摘し、2004年には知識マネジ

メントを取り扱う組織改編を実施、同年にはフランス・サクレでIAEAの主催による第1回の「原子力知識の管理（NKM）に関する国際会議－戦略と情報管理、人材養成」を開催し、原子力知識マネジメントに関する基本的な考えと戦略、取組みの現状、原子力情報の管理、原子力部門における人材育成・活用、人材育成のためのネットワーク活動等について意見交換を行った²⁾。

また、その後、IAEAは専属のセクション（原子力エネルギー局原子力知識管理課）を組織し、20以上の知識マネジメントに関連する文書類を発行している他、知識マネジメントの実践として重要な教育支援活動、e-Learningシステムの開発と公開を積極的に行っている。

IAEAはその後にも知識マネジメントに関する国際会議を何度か開催しており、2016年の会議には筆者も参加し、報告等を行った³⁾。

その際にも指摘されているが、知識マネジメントは、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。

IAEAの文書によれば、知識マネジメントとは、「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、システムのアプローチ。」とされている⁴⁾。

特に、知識マネジメントでは、形式知 (explicit knowledge) だけではなく、暗黙知 (tacit knowledge) が重要とされるが、後者は、それを保持する個人の勘や直感、個人的洞察、経験や認識に基づく知であり、簡単に表現できない主観のないしは身体的なものとされる。

原子力界では、携わる人員の高齢化、世代交代が加速している。原子力技術には、高度な専門的知識と経験が必要であり、これらを将来の世代に適切に引き継いでいく必要がある。このためには、単なる知識マネジメントの手法を採り入れるだけでなく、教育訓練を含めた実践的な取組みが必要である。

なお、原子力の技術そのものは、世界的な交流と共通な基盤を持つことから、IAEAが主導的な立場で、知識マネジメントについても取組みを行い、必要に応じて各国の支援も行っている。

2.2. 国内での原子力知識マネジメントの状況

原子力分野における情報や知識の蓄積や利用に関する取組みは、国際動向にかかわらず、かねてから国内でも重要視されてきたところである。IAEAの取組みを踏まえ、この分野の重要性について改めて強く認識されたことから、2006年には原子力知識マネジメントに係わる国内外の活動・動向について紹介し、関係者間の情報共有、認識の向上に資するためのワークショップが開催され、様々なセクターからの講演が行われた⁵⁾。この中では、規制当局や電力事業者の取組みが紹介され、運転経験の活用、教育・訓練、人材育成といった分野が主に強調されている。また、東京電力福島第一原子力発電所事故後は、廃止措置の分野においても人材育成の観点で様々な取組みが実施されてきているが、いずれも「知識マネジメント」という特定の視点での取組みではなく、より幅広いものである。

3. 廃止措置における知識マネジメント

3.1. 廃止措置の国内外の状況

廃止措置とは、一般に原子力関連施設の放射性物

質等を取り除いて合理的なレベルまで低減し、規制解除を行うことを言い、原子炉については、廃炉とも呼ばれている。国内では、原子炉等規制法において、廃止措置の行為として、施設の解体、核燃料物質の譲渡、汚染の除去及び汚染物の廃棄の4つがあげられている。

2020年9月末日現在、世界では、189基の原子力発電所（初期の実験用発電炉も含む）が停止して廃止措置段階に移行しており、このうち17基が放射線管理の必要な施設等を完全に撤去したいわゆる「サイト解放」に至る廃止措置を完了している⁶⁾。

日本での発電炉の廃止措置経験は、旧日本原子力研究所の動力試験炉 (JPDR) が最初であり、1986年から1996年に廃止措置作業が行われ、完了している。その後、日本原子力発電(株)の東海発電所が2001年から、原子力機構の新型転換炉ふげん発電所が2008年から、中部電力(株)の浜岡発電所が2009年から廃止措置を開始している。表1に示すように、2020年10月末現在、国内では16基が廃止措置中で、その他、廃止措置計画審査中の福島第二及び廃止措置に至る前の特定原子力施設である福島第一を含め合計26基が廃止措置対象である。

また、発電炉以外の核燃料施設や放射線施設についての廃止措置及び施設の解体は、国内外で数多く完了し、多くの経験が蓄積されている。したがって、基本的に、廃止措置は技術的に実施可能であり、い

表1 国内における原子力発電所の廃止措置状況

No.	略称、号機、型式	閉鎖 ^{*1}	開始 ^{*2}	廃止措置現況
1	動力試験炉 BWR	1976.3	1986.5	1996.3 完了
2	東海 GCR	1998.3	2001.12	実施中 (~2030)
3	ふげん ATR	2003.3	2008.2	実施中 (~2033)
4	浜岡 1, 2 BWR	2009.1	2009.11	実施中 (~2036)
5	福島第一 1-4 BWR	2011.5	未	特定原子力施設
6	福島第一 5-6 BWR	2013.12	未	特定原子力施設
7	敦賀 1 BWR	2015.4	2017.4	実施中 (~2039)
8	美浜 1, 2 PWR	2015.4	2017.4	実施中 (~2045)
9	島根 1 BWR	2015.4	2017.4	実施中 (~2045)
10	玄海 1 PWR	2015.4	2017.4	実施中 (~2054)
11	伊方 1 PWR	2016.5	2017.6	実施中 (~2056)
12	もんじゅ FBR	2016.12	2018.3	実施中 (~2047)
13	大飯 1, 2 PWR	2018.3	2019.12	実施中 (~2048)
14	伊方 2 PWR	2018.5	2020.10	実施中 (~2059)
15	女川 1 BWR	2018.12	2020.3	実施中 (~2053)
16	玄海 2 PWR	2019.2	2020.3	実施中 (~2054)
17	福島第二 1-4 BWR	2019.9	未	計画審査中

※1 電気事業法による廃止届等正式な手続による、廃止、停止

※2 解体届、または廃止措置計画の認可

かに合理的かつ安全に実施するかが、課題と言える。この意味でも、廃止措置はプロジェクトマネジメントが重要であり、マネジメント及び実施のための知識の取扱いがキーになると考えられる。

3.2. 廃止措置における知識マネジメントの議論

前述のように、IAEAにおいて知識マネジメントの検討がなされてきたが、主に建設、運転分野であり、廃止措置の分野の検討は不足していた。このため、2010年代になり、廃止措置に特有の知識マネジメントの検討を開始している。筆者の出席した2014年のIAEAの会合では、知識マネジメント戦略、知識伝達の確立、教育、情報システム、3次元CAD等の先進技術、IAEAの役割といった廃止措置に係る多面的な報告と検討がなされた⁷⁾。

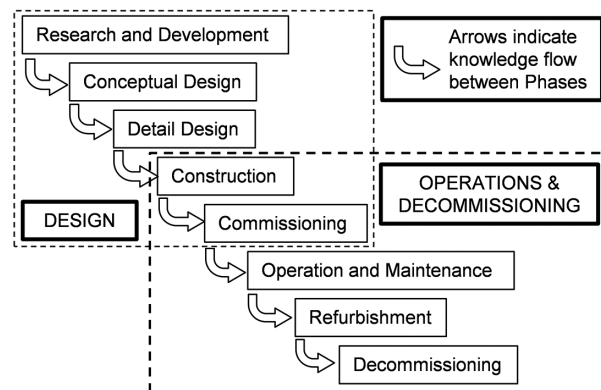
具体的には、廃止措置段階の原子力施設の数が増加していることを踏まえ、廃止措置、廃棄物管理及びサイト修復における知識、教訓及び良好事例を集めて共有する必要性、施設設計知識の保存、歴史的な記録の保存と次世代への知識転移、廃止措置活動にかかわる人員の力量の保証、施設の職員及び契約者の知識管理政策等が議論された。

特に、知識マネジメントの戦略として以下のような点が指摘されている。

- 廃止措置等の知識マネジメントは、プロジェクトが長期であり、知識が消滅していく可能性がある
- 設計、建設、運転、トラブル等の情報の保持のために知識マネジメントが必要
- 職員が過去の知識を持っている間は、知識の保存や継承は比較的容易であるが、退職によって知識が失われがち
- プロジェクトに必要な情報と知識は、業務を通じて保持し、定期的なレビュー、技術開発等の努力で更新すべき
- 廃止措置であっても高レベルの教育訓練が必要

3.3. 廃止措置の知識マネジメントの要諦

原子力施設に必要な知識は、運転に関わるものであれば、研究開発に始まる設計段階から建設を経て順に移転される必要がある。図1に示すように、これは廃止措置においても同様であり、最終的には廃止措置の完了まで知識が移転される。更に、運転中の情報や知識が、放射性廃棄物処分後の管理まで引



Knowledge transfer through the phases of a NPP life cycle (IAEA TECDOC-1510)

図1 ライフサイクルを通じた知識の移転⁸⁾

き継がれることもあり得る。

廃止措置に必要とされる「知識」は、建設、運転時とは異なる以下のような特徴を有すると考えられる。

- 廃止措置には、設計時、運転時の知識を用いる必要があるが、そのすべてが必要な訳ではない
 - 廃止措置開始までに既に数十年の期間が経過している。また、廃止措置は長期に渡るため、世代間で確実に知識を引き継いでいく必要がある
 - 廃止措置は個別のプラントにとっては一度だけの作業であり、運転を継続し、起動、停止等を繰り返す状況とは異なる。このため、同じ設計情報でも使い方が異なり、解体を想定した知識マネジメントが要求される
 - 仮に、他に類似性がないプロジェクトで、知識を再利用しないのであれば、多大なコストを用いて知識を整理・獲得する必要はないかもしれない
 - ただし、プロジェクト内での作業の繰り返し、他の施設の廃止措置に知見を反映する等での知識の再利用が想定される
 - 一方、他の施設の廃止措置に知見を反映するためには、属人的な知識のままでは、人の移転が必要となり、必ずしも合理的ではない
 - 過酷事故を起こしていない通常の施設の廃止措置は、既存技術の組み合わせによって達成できるが、合理的に（低リスク、低コスト、短期間）実現するための「ノウハウ」（知見や経験といった知識）が重要
- 上記のような廃止措置における知識の特徴を考慮

し、廃止措置全体のプロジェクトマネジメントの中で、適切に管理（マネジメント）していく必要がある。この際、合理的な廃止措置のため、知識マネジメントそのものの最適化も必要となる。

3.4. 廃止措置の知識マネジメントの具体的手法

ここまで、「知識」に焦点をあてて述べてきたが、当然のこととして、対象施設に関するデータや情報は基盤として必要不可欠なものである。したがって、知識を掘り出して整理し、理解できる形で次世代に引き継ぐためには、これらのデータや情報も適切に取り扱っていく必要がある⁹⁾。

更に、廃止措置に関する国際的な研究開発の成果、指針等の文書類、国内外の他施設の廃止措置経験、実績等の情報が文書として多く存在している。この形式知も適切に取り入れていく必要がある。

すなわち、これらの情報等の中で、重要なものを選択し、当該施設の経験者の知見を加えつつ、高度な知識として抽出、明示化、共有化し、更に教育・訓練等の手段も用いて伝承していくことが必要である。このためには、この取組みを支援するシステム（単なる計算機による支援システムにとどまらず、管理手法、実践方法等も含む）の構築が必要となる。

例えば、具体的には以下の3ステップが考えられる¹⁰⁾。

①必要となる知識の抽出手法の確立

廃止措置に必要な知識を、設計、建設、運転、保守時における膨大なデータや情報、国内外の廃止措置の研究成果や実際の廃止措置現場の情報等を明示的な情報として整理し、組織化、体系化する。現状、廃止措置を実施している施設に対しては、法令を始め、多くの規則や手順書等が整備されていると共に、各種の業務支援システムの中に大量の情報が格納されている。これらの膨大な情報等から、廃止措置に必要な記録や情報を同定し、有効かつ本質的な知識を抽出する効率的な手法を確立する。

②経験者等の知識を引き出す手法の構築

廃止措置においては、設計、建設、運転、保守に従事した職員等の知識、また、廃止措置の計画や実際の解体作業等に携わった経験者の知見やノウハウといった知識を再利用することが必須である。このために職員や経験者から効率的に知識を引き出す手法を構築する。

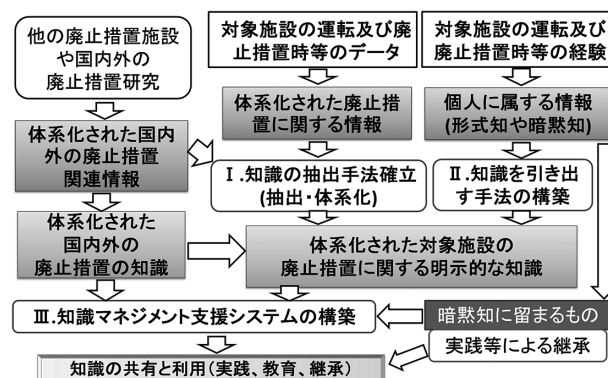


図2 知識マネジメントシステムの構築の流れ

③知識マネジメントを支援するシステムの構築

上記の取組みによって抽出された知識は、実際の廃止措置に有効に活用する必要がある。このため、廃止措置における知識マネジメントを効率的に支援するシステムを構築する。

以上のような取組みをまとめると図2のような流れになると考えられる。

4. まとめ

以上のように、廃止措置における知識マネジメントは有用な概念であり、効率的に実施できれば、廃止措置の安全性の向上及び合理化につながる取組みと考えられる。

一方、廃止措置の長期化による知識継承は必須であり、プロジェクトに必要なデータ、情報、知識をどのように残して伝えていくかが重要となる。そのためのシステム化、ルール化が必要となる。

また、属人的な知識（形式知、暗黙知）を効率的に引き出して、可能な限り形式知とすると共に、どうしても形式知にできない暗黙知の継承のために、教育・訓練とも組み合わせた取組みも必要である。

更に、具体的な手法として、例えば、3次元CAD等を用いた先進的な情報システムも有効と考えられる。

今回は、現在も実際の廃止措置作業を実施している新型転換炉原型炉ふげんでの知識マネジメントに関する具体的な取組み例について紹介する。

参考文献

- 1) IAEA, GC (46) /RES/11, Sep. (2002)
- 2) 柳澤和章, 原子力知識マネジメントとはなにか?

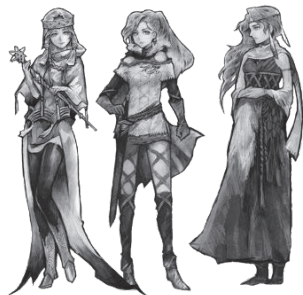
その現状と課題, 原子力学会誌, **48**(2)(2006)

- 3) IAEA, Nuclear Knowledge Management Challenges and Approaches, Vienna, Austria, 7-11 November (2016)
- 4) IAEA, Safety Glossary (2007)
- 5) JAEA, 原子力知識マネジメントその現状と展望講演資料集, JAEA-Review 2007-020
- 6) 原子力デコミッショニング研究会 HP, <http://www.decomiken.org/worlddb/index.html> (2020年10月閲覧)
- 7) 原子力デコミッショニング研究会 HP, http://www.decomiken.org/aboutus/IAEA_Consultancy.html (2020年10月閲覧)
- 8) IAEA, Knowledge Management for Nuclear Industry Operating Organizations, TECDOC -1510 (2006)
- 9) IAEA, Long Term Preservation of Information for Decommissioning, Technical Report Series No.467 (2008)
- 10) Y. Iguchi and S. Yanagihara, *Mechanical Engineering Journal, JSME*, **3**(3) (2016)

((国研)日本原子力研究開発機構 敦賀廃止措置実証本部)

放射線を正しく知るロールプレイングゲームアプリ“Ri”

世界でも例のない放射線をメインテーマにしたファンタジーRPGを開発！
物語を進めることで放射線の知識を学ぶことができます。



【Android版】



【iOS版】



放射線の知識を正しく伝え、科学人材育成を意義とするため、
完全無料での公開となっています。

主任者コーナーの編集は、放射線安全取扱部会広報専門委員会が担当しています。

【広報専門委員】

柴田理尋 (委員長), 井原智美, 片岡隆浩, 出路静彦, 福島芳子, 藤淵俊王