

原子力分野における知識マネジメントの適応

Adaptation for knowledge management to nuclear research fields

樽田 泰宜¹⁾²⁾, 柳原 敏¹⁾, 井口 幸弘¹⁾²⁾, 手塚 将志²⁾, 北村 高一²⁾, 香田 有哉²⁾
TARUTA Yasuyoshi¹⁾²⁾, YANAGIHARA Satoshi¹⁾, IGUCHI Yukihiro¹⁾²⁾,
TEZUKA Masashi²⁾, KITAMURA Kouichi²⁾, KOUDA Yuya²⁾
y-taruta@u-fukui.ac.jp, yana511@u-fukui.ac.jp, iguchi.yukihiro@jaea.go.jp,
tezuka.masashi@jaea.go.jp, kitamura.koichi@jaea.go.jp, kouda.yuya@jaea.go.jp

1) 福井大学, 2) 日本原子力研究開発機構
1) University of Fukui, 2) Japan Atomic Energy Agency

【要約】 近年、原子分野では原子力知識マネジメントという新しい領域が発展中である。これは、原子力分野の強化と原子力に関する膨大な知見を収集して後世や次世代に伝えていこうとする試みである。特に、原子力を知識マネジメントという視点で発展させることが含まれている。しかし、現時点では、知識や情報の管理が主体となっており、知識の創造といった知識マネジメントの特徴が十分には活かされていない。そこで、本研究では、原子力分野に対して知識マネジメントを適応させていくにはどういった視点が必要であるかについて論じる。

【キーワード】 知識マネジメント, 原子力知識マネジメント, システム科学

1. 緒言

原子力分野では近年の世界的な傾向として、原子炉施設等の廃止措置という流れがある。廃止措置とは、原子炉施設等の解体プロジェクトのことである。原子炉施設はその運転を終了すると廃止措置計画を政府（所管省庁など）に申請し、認可を受ける必要がある。廃止措置には、原子炉の廃炉や解体と放射性廃棄物の処理・処分までが含まれている。他方、原子力の分野では、原子力知識マネジメント (Nuclear Knowledge Management: NKM) という新しい概念が提案されている (IAEA 2004a)。これは、2002 年に国際原子力機関 (International atomic energy agency: IAEA) が自らの組織強化の必要性と共に“原子力知識”の重要性を勧告したことから始まる取り組みである (IAEA 2002)。背景には、原子力の黎明期に建設された原子力発電所や原子炉の計画運転期間などが完了または終了していることがある。併せて、原子力関連施設の新設がなく、発電所などで活躍していた職員が退職したり、新しく入社する若い職員が関わったりする現場とその機会が減少している。更に 1990 年代の後半からは、大学等での原子力を学ぶ学部なども減少し、就職や雇用の機会も減少傾向にある。こうした点に対して同分野・産業等に係る職員の定年退職により、彼ら彼女らが持っている知識・技術等が失われるのではないかと懸念もあり、NKM には注目が集まっている (Iguchi et al 2016)。こうした大きな流れのもと 2004 年頃からは“原子力知識マネジメント”という経営分野の知見である“知識マネジメント” (Knowledge management: KM) のアイデアを加味した考え方が提案され、国際学会などが開催されるなどし、新しい研究領域ができていく (IAEA 2004b)。NKM とは、原子力に対する知識マネジメントであり、知識の特定、取得から保存や活用に役立つものであると IAEA は説明している (IAEA 2006)。

さて、IAEA は原子力の平和利用に関して技術や安全の世界的な標準化などを行う国連組織であり、当然ながら、各国に大きな影響を与える機関である。その IAEA では、2004 年に組織改編があり、国際原子力情報システム課 (International Nuclear Information System: INIS) が、INIS と NKM が合わさった部署・課になっている。現在は、NKM 課として独立したセクションである。国際学会の開催など研究分野の活性化と共に、原子力業界としても NKM の位置づけや重要性が高まっている証左である。既存の研究理論では、原子力に関する知識・技術の継承という文脈で、SECI モデルを用いた KM 理論の応用が期待されている。SECI モデルとは組織や集団の知識創造モデルである (Nonaka et al 1995)。しかし、IAEA の提案する NKM に対しては理論的な側面は十分に検討されていない点や、主要な概念や手法などが十分に定義されておらず科学的な一貫性が欠如しているという指摘がある (Kanke 2016)。また、SECI モデル等の理論では、単に“暗黙知を形式知に変換する手法として活用する”というようにモデルの本質である創造的企業の特徴の写像 (理論化) という部分が十分に反映されていない点もみられる。

現在の NKM 研究の主流は、データベース (Databases: DB) としての知識管理や原子力分野の分類として事象事例の管理、大学向けの教育などが大きな位置を占めている状況である (Yanagisawa et al 2008)。

原子炉の新設は、新しい技術や研究の応用事例であり、商業や社会への成果還元とも見ることができるが新設が控えられている中、原子力分野の大きな流れは廃止措置へと目が向けられている。この廃止措置は、原子炉施設のライフサイクルの最後のフェーズに相当する。原子炉のライフサイクルは (概念) 設計、建設、運転、廃止 (措置) と 4 段階ある。それぞれの過程で、研究や技術開発、実務など様々な活動があり、単純に NKM というアイデアの活用を考えると、炉の情報・歴史の保存、次世代炉で過去の情報・知識の活用、廃止措置段階で過去情報へのアクセス、各フェーズでの課題解決と新しい知識の創造といった側面での機能が期待できる。しかしながら、現時点の NKM は情報や知識の管理が中心である。ことの始まりとされる 2002 年の IAEA の指摘を詳しく見ると、当初が掲げていたのは“原子力知識”の強化という文脈であった。そのため、知識や情報のマネジメントは、管理としてのマネジメントであり、単に Management という文脈を付加する、または応用するだけでは、KM の利点が十分に活かすことは難しい。さらに、Kanke が指摘するように理論的側面には議論の余地が多く残されている。NKM の重要性は指摘されるものの全体を包含するような視点での研究や体系的な理解といった側面で考察すべき点も多くあるといえる。

単に KM 理論を応用するだけであれば、部分的に KM 理論を利用することで達成されと考えられる。しかしながら、部分的な最適化を継続するだけでは、原子力という社会的にも大きな影響のある分野に対して十分な効果を得ることは考えにくい。そこで、本来の問題・課題に立ち返り、ベテランやエキスパートの知識や技術、知見を後世に伝えたり、新しい知識を創造したりしていくためには、原子力分野で KM 理論をうまく適応することが重要であると着想する。本研究では原子力分野における NKM を発展させることを目標に、NKM と KM の関係性やその位置づけを明確化することを目的とする。

2. 原子力の背景

2.1 原子力の背景

最初に原子力の歴史と政策について概要を簡単に述べる。原子・アトムに関しては古代ギリシャまで遡れるであろうが、近代科学以降の 1911 年のラザフォードや 1913 年のボーアによる原子構造のモデルといった近代物理の発展に端を見ることができる。また、1895 年のレントゲンによる X 線の発見や 1986 年のベクレルによるウラン化合物の暗所での発光、写真乾板の黒化やキュリー夫人によるベクレル線の発見も重要である。このような科学の発展から、原子固有の性質として不安定な (放射性のある) 原子は放射線を出し安定な原子になってくことが解明されていった。1919 年にはラザフォードによって原子核の人工的な変換が確認された。これはポロニウム の α 線を利用して窒素原子を衝突させると酸素原子核と陽子ができることの確認である。その後、より重たい原子 (原子番号の大きな原子) では大きな (あるいは莫大な) エネルギーが発生することも分かってきた。

こうした原子の持つ大きなエネルギーの活用は、フェルミらが関わりシカゴ大学に作られたシカゴ原子炉 1 号またはシカゴ・パイル 1 号 (Chicago Pile 1 : CP-1) が知られている。CP-1 は 1942 年 12 月 2 日に臨界に達して核分裂の連鎖反応が起こり、12 月 12 日には出力が 200W に達したという。この炉は研究炉であり発電設備は有していない。現在の形式で言えば黒鉛減速空気冷却炉というものである。これは非動力炉と呼ばれ、発電等で原子力を利用する場合は動力利用と呼称される。動力利用には、実用炉・開発試験炉があり、実用炉には、発電用・推進用・熱源用などがある。また、研究試験炉は実験炉や原型炉に区分される。非動力利用には、研究炉として一般研究・材料試験・医療・農業・生物などへの利用があり、生産炉として原子燃料製造やラジオアイソトープ製造などがある。

1953 年には国連総会でアイゼンハワー米国大統領が Atoms for Peace に関する演説で、原子力の平和利用を訴えた。それを契機とし、1954 年に国連で IAEA 憲章草案のための協議が開始され、1957 年に IAEA は発足した。2016 年時点で 167 カ国が加盟している。また、世界初の原子力発電は 1951 年に臨界を迎えたアメリカの Experimental Breeder Reactor No.1 (出力約 1kw) である。その後、1950 年代から 1960 年代には多くの原子炉が建設され運転された。日本では、1955 年に原子力基本法が成立し、1963 年には JPDR という動力試験炉が日本初の原子力発電を達成している。商用利用では 1965 年に東海発電所がイギリスから輸入した黒鉛ガス炉で臨界を達成し、翌年 1966 年に運転を開始している。日本での廃止措置経験はこの JPDR が最初であり、完了事例もこの JPDR 一件のみである。

なお、廃止措置も廃炉も同じことを示しているが、近年、明確な指示があるわけではないが、どちら

かといえは廃止措置は「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（炉規法）の規制の下で運転をしていた原子力施設（原子炉や燃料サイクル施設等）がその運転を永久に停止し機能を停止させ、安全な状態に置かれるための措置のことをいう。一方、廃炉は事故炉に対して使われることが多くなってきている。

現在、世界に 164 基の閉鎖した原子炉があり、廃止措置中は 147 基、廃止措置完了例は 17 基ある（原子力デコミッショニング研究会ウェブサイト）。日本は 17 基が廃止措置に移行しており、廃止措置の完了は 1 基（JPDR）である。日本の法律では廃止措置を「（1）原子力発電所の発電設備の解体、（2）所有する核燃料物質の移転、（3）核燃料物質による汚染の除去、核燃料物質で汚染された物質を処分などとしている。廃止措置は世界的にも事例が少なく今後も継続した技術開発などが必要であるが、廃止措置は（商用）運転とは違い、この事業では利益をほとんど生まないという点にも注意を払う必要がある。

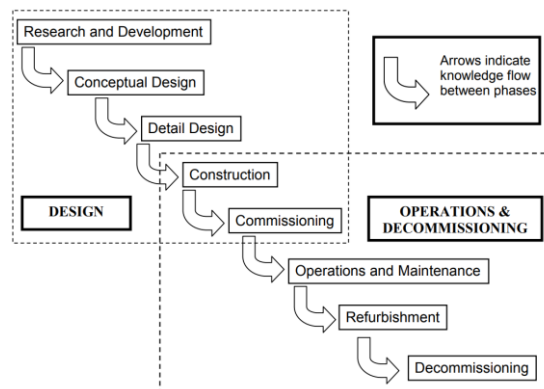


図 1. Knowledge transfer through the phases of a NPP life cycle (IAEA 2006)

2.2 原子力知識マネジメントに関連した研究

原子力知識マネジメント（Nuclear Knowledge Management: NKM）の重要性は共通した研究課題であると認識されているものの研究事例は多くはない。NKM への注目は 2002 年の IAEA の General conference に起因する。このとき、IAEA は”Strengthening the agency's activities related to nuclear science, technology and applications”というタイトルで 4 点の重要性を勧告した。勧告は、タイトルにあるように（A）原子力科学・技術・応用に関する組織活動強化、（B）原子力知識（Nuclear knowledge）、（C）イノベーティブな原子力技術の開発における組織活動（Agency activities in the development of innovative nuclear technology）、（D）アフリカ睡眠病の撲滅キャンペーン（Support to the African union's pan African tsetse and trypanosomosis eradication campaign）である。特に原子力知識に関しては、それらの理解を深め、保存と強化するために管理が必要であるとしている。また、（D）のアフリカ睡眠病であるが、IAEA は世界中に加盟各国があり新興国などの原子力の平和利用に関する科学や技術を今後、高めていき利用を検討する国が多く存在する。一方、経済協力開発機構／原子力機関（OECD／NEA）では、主に原子力発電所を有するような先進国が中心となり組織されている。OECD／NEA は現在、33 カ国が加盟している（OECD 日本政府代表部ウェブサイト）。

IAEA は原子力に関して世界的な標準化やルール作りも業務の一つであり IAEA Safety Glossary を発行している（IAEA 2007）。これは世界的な安全標準や安全に関した文章や関連情報に関係した定義や説明集である。その中で、マネジメント（management）は放射性物資の管理という文脈で定義しており、放射性物質の製造や供給から保守、リサイクルまたは処分に関与する行政および運営活動における管理であると説明している。マネジメントシステム（management system）は、政策と目標を確立し、それらを効率的、効果的に達成できる要素の集まりであるとし、構成する要素には組織構造、リソース、組織プロセスが含まれ、これらは ISO 9000 で定義されている（IAEA 2004a）。一方、KM は、統合され体系的なアプローチとして組織の知識を明らかにし、管理し、共有して、組織の目標達成を助けることを集団の新しい知識の創造から可能にするものであるとしている。特にマネジメントシステムという文脈において、KM は組織の洞察を獲得し、自らの経験からその理解や知識の獲得、記録、保存と利用を助けるものであるとしている。また、形式知（explicit knowledge）と暗黙知（tacit knowledge）については、形式

知とは文書、図、計算、設計、データベース、手順、マニュアルなどに含まれる知識であり、暗黙知とは人の精神・心（mind）に保持されておりどのような形でも捉えられたり伝達されたりできないものであるとしている。この文脈では、知識と情報とは区別され、データは情報をもたらし、知識は情報の取得、理解、解釈によって得られると定義している。このように、IAEA Safety Glossary では各用語を定義しているが、他の IAEA の報告書では定義ではなく用語説明であるとされている(IAEA 2006)(IAEA 2016a)。例えば、2006 年の IAEA のレポートでは原子炉発電施設（Nuclear power plant: NPP）の知識の転送モデルを概念図で示している。これは、設計と運転・廃止措置のそれぞれのフェーズから知識が送られる概念を示している(IAEA 2006)。

さて、NKM の研究が始まった背景には、原子炉発電施設（Nuclear power plant: NPP）のスタッフの高齢化や退職者の問題の重要性が指摘されていることはすでに述べた(IAEA 2002)(IAEA 2008)。これ以前にも 1996 年には、NPP の構成員の教育をどのように効果的に実施するのかといった課題に対して研究がなされてきてガイドブックが発行されている(IAEA 1996)。この種の課題は、国際的な問題であり、1950 年代から 60 年代行に多く建設された初期の商用炉や研究炉の多くが 1990 年代から続々と廃炉や廃止措置に移行することも関係している。日本でも、NPP 以外の業種でも 2007 年問題として、多くの技術者等の大量退職による知識、技術、技能の伝承（知識等の伝承）に関する問題が提起されている（高木 2008）。同様に、国際的にも関心が高く比較的新しい研究分野であるため、十分な知見が蓄積されているとはいいがたい。また、日本で叫ばれていた 2007 年問題は根本的には解決されておらず、定年退職者を嘱託職員として雇用するなどして乗り切ったという（高木 2008）。

このため NKM 研究も開発段階にある。特に、廃止措置では、解体や廃炉といったこれまでの発電運転とは異なる業務であり、過去の情報や知識をうまく活用しながら事業を進めることが求められている(Iguchi et al 2016)。廃炉段階には様々な視点があるため、各々の研究アプローチは異なっており、様々な側面で捉える必要がある。そのためには NKM といった包括的な視点や、全体を通じた知識や情報の管理が重要になってくる。例えば、知識管理の重要性は原子力施設のライフサイクルの初期段階、つまり設計時点から指摘されているが、それらは十分に対応されていないという(Laria 2017)。こうした中でも特に研究に比重がおかれているのが、当然、原子力の技術的側面である。廃止措置でも同様に、除染することで放射している部分を除去したり、廃棄物を減容化したりする技術は重要な研究課題であるの点は、廃止措置の初期から変化していない(Smith et al 1978)。こうした分野を体系的に研究する取り組みも見られるが、社会に与える影響に関しては十分に検討されていないという指摘もある(Invernizzi et al 2017)。

一方、知識マネジメント（KM）という考え方は、原子力システムの研究の枠組みとしても利用されている(Yanagisawa et al 2008)が、この研究では、経営学の KM ではなく原子力エネルギーの将来予測としてのシナリオ分析の側面で捉えている。KM の知識管理の側面では、IT アプリケーションを利用した KM 研究も見られる(Wang et al 2017) (Gardan et al 2017)。こうした研究は主に情報科学の領域が中心である。例えば、原子力のデジタル環境（INDE）の開発といった文脈でも NKM または KM という用語は用いられている(Patterson 2016)。この種の研究は、大量にデータを収集することや保存することで適切に管理・処理し、原子力科学の開発期間の短縮、コスト削減、信頼性、操作性、信頼性、安全性につなげることも期待されている。

さらに、近年では、原子力の事故に関連した分類に関しても研究がなされている(IAEA 2016b)。これは、IAEA が中心となり、チェルノブイリやスリーマイル、福島での事故を教訓に、事故に関する研究や様々な知見をまとめるための指針である。日本でもこの分類指針が活用され、福島事故のアーカイブに関する情報が体系的に整理されている（権田ら 2014）。

いくつかの研究をレビューしたが、Knake の指摘するように理論的な研究はほとんど行われておらず、情報科学や知識工学としての KM を応用する研究が多くある。

3. NKM 研究のためのフレームワーク

そもそも原子力分野の問題点のひとつは、ベテランやエキスパートの持つ多くの知識、高い技術、確かな技能などを有効に引き出して、それを後世や他者に引き継ぐことであった。引き出した際には、データベース化したり、共有化したりし、使いやすい形で保存することが求められる。原子力に関する多くのデータを共有化したり、共通の技術標準化を進めたりすることは開発コストの低減化、研究を活性化、安全性の向上などが期待できる。例えば、原子力分野ではないが、水力発電所でもベテランの知識

等の継承が課題となっており、IT を使った取り組みで解決できないか検討がされている（柳澤雅彦 2007）。特に、原子力は総合科学であり様々な分野の知見が組み合わさっている。原子力発電などは既存のタービンを使った発電技術だけでなく原子力に関する物理、数学といった基礎的な学問から、電気、機械、建築、材料、情報などの応用学問まで幅広い分野の知見が必要である。同時に、プラントに関する運転や安全に関する実践的な領域も必要である。KM の持つ組織論的側面は、それらのプロセスをよりよく進めるための方法である。しかし、現時点ではデータベースの構築やそうした分野で行っている取り組みが原子力分野の KM 研究として提案されている。これは KM の持つ側面の一つに過ぎない。ここでは対象となる知識がこういった種類の知識であるのか、つまり、“簡単に引き出すことが出来るものか” “そうでないものか” の議論はほとんどなされていない。例えば、すでに文章化されている知識や情報は、知識工学の分野を応用すれば体系化は可能である。しかし、例えば日本では、熟年した労働者の高齢化や生産拠点の海外進出を指摘することで、「技」が喪失していることが指摘されている（森 2005）。先ほど例に挙げた水力発電所の技術的な課題だけでなく原子力分野でも同様に、文章化された知識以外にもそうでない知識を有効に引き出し、体系化したり、類型化したりして、次の知識を生み出すための仕組みが必要である。

そこで、NKM 研究を発展させるための視点として、収集や保存された原子力に関する情報や知識をどのように扱っていくのか、NKM を一歩進める形での NKM 研究のフレームワークとなるコンセプトを考える。まず、知識の種類について原子力のグロッサリーと同様に、我々が語ることでないような属人的な知識や身体的な知識は暗黙知 (tacit knowledge) であり、文章や言語で語ることの出来るものは形式知とする (Polanyi 1962)(Polanyi 1966)。図 1 に概念図を示し、さらに、NPP のライフサイクルを暗黙知と形式知の側面から捉え直す (図 2)。ここで原子力のライフサイクルに着目する理由として、先進国では、原子力施設の新設が控えられている。これは単に原子力発電所だけでなく、発電設備を持たないような研究のための原子炉 (実験炉、研究炉) でも同様である。この結果、実際の実機や大型機器を使用した実験や研究する機会も減少するとことになる。既存の設備が更新されない場合は法律上の規定や安全上の観点から廃止する必要がある。福島事故以降、より厳しい安全性が求められるようになり、商用炉では設計時には想定していないような大幅な改修が必要になる場合もある。そのため、経済上の観点からも継続した運転を断念するようなケースもある。そうした様々な理由により、原子力の黎明期以降、多く建設された炉の計画運転期間等の終了に伴い今後は廃止措置が主流にならざるを得なくなっている。つまり、廃止措置は、今後の原子力分野の研究の主流になり、各フェーズに関して理解を深めることは大切になってくる。そこで、NPP のライフサイクル (t_n) には、設計(t_1)、建設(t_2)、運転(t_3)、廃止措置(t_4)と 4 つのフェーズに分割した。そこで働く構成員によりそれらの知識は徐々に蓄えられて増加すると仮定し、NPP の暗黙知と形式知の概念図を考える (図 2)。

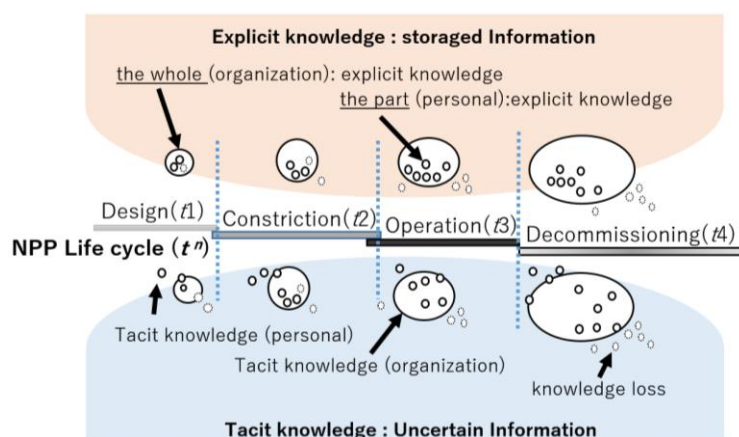


図 2. NPP の知識の増加と喪失の概念図

図 2 の上部は形式知を下部は暗黙知の領域を示す。各フェーズは右に行くにつれて、時間軸が増大方向に移動する。右の廃止措置に移行するにつれて、それぞれの知識が増加していくと考える。図に示す大きな円は、組織あるいは集団が持っている知識であり、小さい円はそれよりも小さな集団や個人が持っている知識である。それらが、様々な形態で保存されていることを概念的に示している。NPP に関

わる構成員の相互作用により知識は徐々に蓄積されていく一方で、個人が持つ情報は、個人が所有したまま、離職したりすると知識が喪失してしまう。図の下部は、暗黙知という不確かな情報や知識である。ここで不確かであると表現したのは、個人や組織が暗黙的な知識は確かに有しているが、それを外からは観測することができないからである。ポランニーは、外在化されている暗黙知を観察により個人が内在化できるとしているが、自分が内在化している知識と外在化していた暗黙知が一致しているかどうかは、表出化ができない限り確かめることができない。

この概念図では、形式知は組織にストックされているが、組織や集団が持つ暗黙知は個人が持つ暗黙的な認識の集合体である。例えば、構成員が多ければ多いほど暗黙的な認識は存在し、そこで文化や歴史が長く続いていけば、暗黙知も多い・大きいものであると捉えることが出来る。また、組織に人格がない限り、暗黙知は個人が所有する知識である。しかし、暗黙知は個人がもつ知識であるために、個人に依存し、不在になれば、簡単に喪失してしまう。最初の概念設計や建設段階の知識でも特に暗黙知は、運転機関が長期間になればなるほど、すでに喪失していたりして保存することが困難になっていくといえる。失われた知識はすでに存在しないためにそれを伺い知ることは出来ない。そのため、原子力分野以外でもこうした知識を如何にして抽出して保存するのか、そして継承、伝承するのか課題を抱えている。一方で、ノウハウや明文化されていないルールも考えられるが、厳密には明文化されていないルールは、言語化できるため形式知である。明文化されていないということは、個人の中に潜在的に持っている知識であり、仮に潜在知と呼ぶ。

4. NKM 分野のための概念モデル

次に、知識等を伝承するための概念モデルを検討する。これは、構成員の増減や時間とともに徐々に増加、蓄積あるいは消失したりする知識を保存したり伝承するためのフレームの検討である。樽田は、古川の研究を発展させる形で知識等の伝承に関する概念モデルを提案している（樽田 2018）。古川は、知識・技術・技能の伝承に関する研究としてそれらの構成や概念を図3のモデルで切り取っている（古川 2014a）（古川 2014b）（古川 2015）。

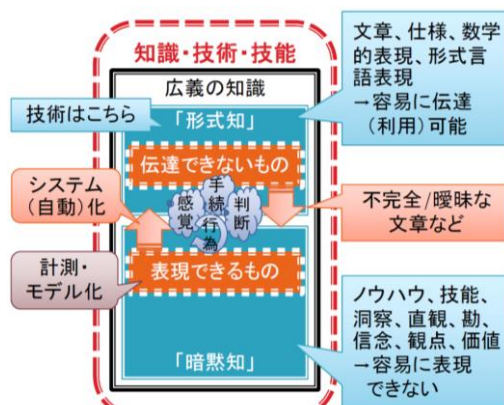


図3 知識・技術・技能の構成

これは、ポランニーに関する知識の定義を参照し、広義の知識として形式知と暗黙知、技術などの構成を考えるものである。例えば、形式知には技術、文章、仕様、数学的表現、形式言語表現などがあり、これらは容易に伝達（利用）可能であるとし、暗黙知には、ノウハウ、技能、洞察、直感、観、信念、観点、価値があり、これらは容易に表現できないものと考えている。このモデルは、伝達可能な部分とそうでない部分の境界が不明確な形で示されている。古川は、暗黙知と形式知の境界領域が曖昧であるため、明確にすることが難しいとしている。しかし、境界領域にあるような曖昧な知識は、何が伝承できて何が伝承できないかを考える上で重要である。そこで、暗黙知の原義であるポランニーに従い暗黙知を言語化できない知識であると捉えて、曖昧な部分を排除し“可能・不可能”、“できる・できない”としたモデルを考える。暗黙知に関しては「言語化していない知識」は「言語化できない知識」とは異なり、単に外に表現・表出されていないだけでありと指摘されている（大西 2007）。つまり、言語化されていない暗黙知は、言語化・表出化・表現化されていない形式知である。そうして、「言語化できる・できない」と「表現化（表出化）できる・できない」という要素に対して知識の表現を提案した。

ただし、野中らも指摘するように、形式知の背後には多くの暗黙知があり、暗黙知と形式知は対立するものではない。相互補完的な関係にある（野中ら 2003）。

そして新しい概念モデルとして知の表現を考える（図 4）。図では、横軸に言語化を、縦軸に表現化・表出化とする。各象限について説明する。まず、第一象限は言語化できる・表現できるものである。ここは形式知や潜在知が付置される。潜在知では、言語化や表現化を単にしていないものは、「できる」と捉え、「難しい」中で「できる」部分は形式知であり「できない」部分は暗黙知である。そして、形式知の定義に含まれる文章、仕様、数値など表現できて、言語化も文章化もできるものが形式知として付置される。技術もここに付置されるとした。なお、森は「技」を技術と技能の側面から整理している（森 1996）（森 2005）。技術は方法や手段であり、技能は行為や能力であると定義している。そして、技術は流通が容易であり、客観的なもの、例えば、マニュアルや仕様によって伝播するのに対して、技能は流通が困難で人間を通じて伝承すると定義している。例えば、技術に関する映像を記録として残しても、カンやコツといったものを流通させるのは困難であると説明している。

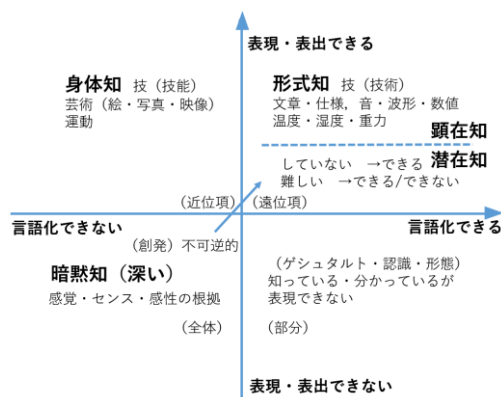


図 4 知の表現モデル

第二象限は、言語化できないが表現できる身体知や技能が含まれる。第三象限は、言語化も表出化もできない暗黙知が付置される。第四象限は、さらに考察が必要であるものの、暫定的に言語化はできるが、表出化できない形態や認知に関するものが付置されるとした。なお、第三象限では、感覚や感性といった五感に関するものが考えられる。そうしたものは数値化できたり相対的に評価可能ではあるが、感じたり考えたりする根拠は表出化ができないものである。また、第四象限は、逐行的言語のように言語化ができれば表現や表出化は可能であると考えられるが、適切な事例を見つけることはできない。しかし、人の顔の認知やその判断など知っている・分かっているが表現できないものがあると考えられる。つまり、部分を認識したり理解したり表現することはできる。目や鼻や口の位置である。しかし、全体としてそれを認識し、人間の顔、男性、女性であるという判断の結果と根拠は、表現できなくなり、深い暗黙知との関係性が生じると考えられる。

5. 議論

5.1 知識の表現モデル議論

図 4 に示したモデルで、これまでの NKM の取り組みは、各象限から第一象限へと知識を変換することが一つの目標であるといえる。ここで示したモデルでは、個人、集団、組織といった枠を定めていないが、有する知識の対象を問わず学術的に扱うためには何らかの形で表出化する必要がある。また、第一象限内で潜在化している潜在知を顕在化する点も知識等を次世代に伝承するために必要なプロセスの一つである。例えば、ベテランやエキスパートが持っている知識などは、これまで語られていなかった点に関しては、第一象限にあり、それらを文章化する試みである。原子力施設では、様々な日報や汚染データが存在しているが、安全措置が取られたり、改修されたりして、過去の状況と異なる状況になることも考えられる。その時に、語られていない情報や知識をなるべくなくすような試みは必要である。一方、エキスパートが持つ判断や身体的な動きに関しては第二象限にある知識が対象となり、それを第一象限へと変換する研究や取り組みが必要である。

ここで、表出化したものを体系化するためには、研究課題として、(1) 情報や知識を引き出すこと、

(2) 引き出されたものを加工がしやすく長期的に保存すること、(3) 保存された知識等を利用すること、の3点が考えられる。これまでの NKM の研究では、すでに存在している属人的ではない情報や知識に対して (1) (2) の点に関して研究が取り組まれてきた。KM を適応させるためには、(3) の利用に関して、より知識が創造されやすい環境や方策を検討や、イノベーションにつなげるための場を創出したりなど、本来の KM の研究知見が十分に活かせるはずである。そのためには、属人的であったり、局所的に保存や潜在化していたりするこれまでに顕在化、形式知化されていないような知識などを明示化することがまずは必要である。特にこれは (1) の情報や知識を引き出す部分の研究課題とも関連する。(2) は情報科学分野が得意とする課題であるが (1) ~ (3) の課題とのつながりを考慮すると単なるデータベースを作成するのではなく、より知識を生み出しやすいデータ構造や標準化技術といった新しい視点を提供するはずである。(3) の研究課題では、知識を汎化したり、体系化や概念化したりして、それらを他の人が利用することが考えられる。例えば、マニュアルや教材としての利用も考えられるし、ベテラン技師の技術を計算機や機械でシミュレーションするなどの利用形態も考えられる。また、暗黙知から形式知に変換することが難しい部分は、これまで、原子力分野の研究では、KM の理論を活用するというように、具体的な手法に関しては明言されてこなかった。OJT での教育の実施というように表現される場合も多くあったが、このモデルを通じてその対象をより具体的に示唆することも可能になると考える。つまり、OJT で対応できる部分はそれで行い、逆にそれ以外は、テキスト化や OFF・JT や e-learning を検討することで資源をより効率的に配分するのである。

5.2 知識等の伝承プロセスの議論

これまでの NKM ではベテランの知識などは SECI モデルを活用した抽出が検討されていた。しかしながら、SECI モデルを使用して、暗黙知を形式知に変換するというのは、やや、正しくない部分がある。SECI モデルは、創造的な企業の特徴を理論化し、これまで不確かだった知識の創造の過程を明示化したものである。これは決して知識を変換するものではない。つまり、単に人が集まって議論するだけでは新しい知識は生まれない。例えば、言語化できない暗黙知は、観測者が外から暗黙知を持っている人の近位項（近接項）ではなく遠位項しか観測できない。それを何度も観測したり、ともに体や頭を働かしたりしながら内面化（dwell in）する必要がある。しかし、SECI モデルは、共同化・表出化、共有化、内面化という各フェーズ知識が連続的に創造されるというプロセスは重要な知見を与えている。

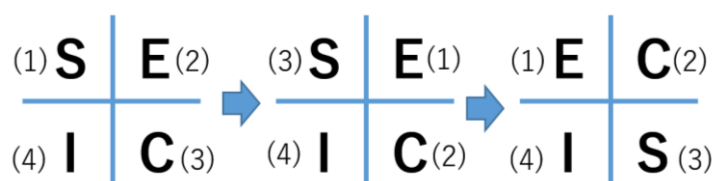


図5 知識マネジメントのプロセスモデル

新しく提案した知の表現モデルから KM を考えた場合に、従来の SECI モデルを参考にした知識等の伝承、継承や変換の理論ではなく、新たな伝承・創造の形態が考えられる。その際に、最初に、個人や集団、組織が持っている潜在知、身体知、技能を表出化（Externalization）する必要がある。これは、知の表現モデルの (1) 情報や知識を引き出すことと対応している。次に、それを対象から得られた知識以外の知見も合わせて一つの新しい知識へと連結化（Combination）していく過程がある。そこでは、単に情報を引き出すだけでなく、引き出した結果と他での知見も加味した複合的、または総合的な知識にする必要がある。これは、情報に文脈を付加するということでもある。そうして加工された知識は他者が利用できる形態へと変換する過程として共同化（Socialization）または、一般化、モデル化、類型化・体系化という広く利用可能な公共財的（public knowledge）な知への変換である。例えば、レポートや論文にしたり、広く周知できる状態にするのである。最後は、それを利用し、個人などがまた新たな暗黙知を獲得し内面化（Internalization）する過程である。

6. まとめ

本研究では、原子力知識マネジメント（NKM）を発展させるために知識マネジメントの適応に関して論じた。これまで NKM はその重要性が認識されるものの、KM という文脈を単に管理するためのもの

として利用やデータベースの作成など個別課題への応用方法として利用していた。例えば、データベースは、大量にある原子力に関連した情報を体系化するには非常に有効的な手段であるが、原子力に関連する知識等の伝承やそもそもそれらをどのように引き出すのか、といった課題には対応していない。一方、情報システムは単なる計算機システムでなく、人間活動システムとして見る必要があるという (Checkland 1981)。つまり、我々の活動には、コンピューター技術により、サポートされるケースとそうでないケースがある。これまで NKM は、知識マネジメントでも情報管理を中心に扱ってきた。これは、膨大な情報を整理するためには重要な研究である。この膨大な情報を人間が適切に扱うには、それ以外の、つまり、技術マネジメントや知識マネジメントが重要になってくる。そのためには、既存の研究をよく理解することが大切である。NKM を発展させるためには、原子力の特徴である、様々な分野の集合体、統合された科学分野である線形的な発展と、そこで従事する人に着目した非線形な問題の取り扱いを合わせて議論する必要がある。しかし、廃止措置に関しては、それ自体を俯瞰視するような研究はほとんどなされていない。NKM 研究を発展させるためには、どの部分の知識をマネジメントしているのかを明確にし、問題解決するためには、どういった分野の知見を、なぜ、どのように原子力に用いるのかといった点を明示化する必要がある。本研究では、NKM に対して概念的に論じてきた。本研究の限界として、原子力分野を網羅的に扱うことができないという点にある。それは、原子力分野が余りにも対象が広いことがある。また、廃止措置に関して述べたが、NKM を活用した理論に関しては十分な議論は尽くされていない。しかし、これまで NKM の枠組みを論じた研究は少なくその点では、今後の NKM 研究を発展させるためのひとつの視点の提供となっている。今後は、部分的な課題と全体的な課題など様々な視点から研究することで、より具体的な課題に対応していきたい。

謝辞

本研究を進めるに際して、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門 原子炉廃止措置研究開発センターの職員のアドバイスと協力に感謝する。なお、本研究は科研費 (JP17H07354) の助成を受けたものである。

参考文献

- Checkland, P., 1981, Systems thinking, systems practice, J. Wiley
- 福島原子力事故関連情報アーカイブ, <http://f-archive.jaea.go.jp/about.php>, <2018 年 2 月 3 日閲覧>
- 古川慈之, 2014a, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 22, SIG-KST-2014-01-04
- 古川慈之, 2014b, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察—SIG-KST 講演内容の分類—, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 23, SIG-KST-2014-02-04
- 古川慈之, 2015, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察—暗黙知と形式知との関係—, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 24, SIG-KST-2014-03-03
- Gardan, J., and Matta, N., 2017, "Enhancing Knowledge Management into Systems Engineering through New Models in SysML," Procedia CIRP, 60, 169-174
- 原子力デコミッショニング研究会, <http://www.decomiken.org/worlddb/index.html>, <2018 年 2 月 3 日閲覧>
- 権田真幸, 池田貴儀, 長屋俊, 2014, 日本原子力研究開発機構図書館における福島原子力事故関連情報アーカイブ化への道のり, 情報の科学と技術, 64, 9, 357-360
- International Atomic Energy Agency, 1996, Nuclear Power Plant Personnel Training and its Evaluation A Guidebook, 380
- International Atomic Energy Agency, 2002, Record keeping for the decommissioning of nuclear facilities: guidelines and expectations, Technical reports series, 411
- International Atomic Energy Agency, 2004a, The Nuclear Power Industrys Ageing Workforce Transfer of Knowledge to the Next Generation
- International Atomic Energy Agency, 2004b, International Conference on Managing Nuclear Knowledge Strategies and Human Resources Development
- International Atomic Energy Agency, 2006, Knowledge Management for Nuclear Industry Operating Organizations IAEA TECDOC No. 1510
- International Atomic Energy Agency, 2007, IAEA Safety Glossary, International atomic energy agency
- International Atomic Energy Agency, 2008, Long term preservation of information for decommissioning projects, Technical Reports Series, 467.
- International Atomic Energy Agency, 2016a, Knowledge Management and Its Implementation in Nuclear Organizations IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-6.10
- International Atomic Energy Agency, 2016b, Nuclear Accident Knowledge Taxonomy, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-6.8
- Invernizzi, D. C., Locatelli, G., Brookes, N. J., 2017, Managing social challenges in the nuclear decommissioning industry: a responsible approach towards better performance, International Journal of Project Management
- Iguchi, Y., Yanagihara, S., 2016, Integration of knowledge management system for the decommissioning of nuclear facilities, Mechanical Engineering Journal, 3, 3, 515-518

- Kanke, V. A., 2016, The metascientific foundations of nuclear knowledge management, Nuclear Energy and Technology, 2, 4, 267-271
- 森和夫, 1996, 「技能」と「技術」に関する 93 人の定義, 技能と技術誌, 2, 59-64
- 森和夫, 2005, 技術・技能伝承ハンドブック, JIPM ソリューション
- Nonaka, I., Takeuchi, H., 1995, the knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation, Oxford university press
- 野中郁次郎, 紺野登, 2003, 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
- Laria, M., 2017, Advances and Innovations in Nuclear Decommissioning, Woodhead Publishing
- 高木朋代, 2008, 2007 年問題, 日本労働研究雑誌, 609, 38-41
- OECD 日本政府代表部, http://www.oecd.emb-japan.go.jp/itpr_ja/00_000211.html, <2018 年 2 月 19 日閲覧>
- 大西幹弘, 2007, 暗黙知とは何か(1), 日本ナレッジ・マネジメント学会東海部会季報, 3, 1-7
- Patterson, E. A., Taylor, R. J., and Bankhead, M., 2016, "A framework for an integrated nuclear digital environment," Progress in Nuclear Energy, 87, 97-103
- Polanyi, M., 1962, Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy, University of Chicago Press
- Polanyi, M., 1966, the tacit dimension, University of Chicago press
- マイケル・ポラニー, 佐藤敬三訳, 1980, 暗黙知の次元, 紀伊國屋書店
- Smith, R. I., Konzek, G. J., Kennedy Jr, W. 1978, Technology, safety, and costs of decommissioning a reference pressurized water reactor power station. NUREG/CR-0130, 2
- 樽田泰宜, 2018, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察—暗黙知と形式知との関係—, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 33, SIG-KST-2018-03-05(2018 年 3 月 5 日発表予定)
- Yanagisawa, K., Bezdek, R. H., Sawada, T., 2008, Long-term nuclear knowledge management (NKM) of innovative nuclear energy systems (INES)—A case study of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), Progress in Nuclear Energy, 50, 2, 683-687
- 柳澤雅彦, 2007, 水力発電所の現場技術・技能継承を IT の活用により組織的に展開する取組み, 人工知能学会誌, 22, 4, 491-500
- Wang, M., Zheng, M., Tian, L., Qiu, Z., and Li, X., 2017, A full life cycle nuclear knowledge management framework based on digital system, Annals of Nuclear Energy, 108, 386-393

連絡先

住所: 〒914-8510 福井県敦賀市明神町 3 番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門
原子炉廃止措置研究開発センター「ふげん」
名前: 樽田泰宜
E-mail: taruta.yasuyoshi@jaea.go.jp