

# Eagle Search を利用した廃止措置情報可視化の取り組み

樽田泰宜<sup>1</sup>, 井口幸弘<sup>1</sup>, 北村高一<sup>1</sup>, 手塚将志<sup>1</sup>, 香田有哉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

要旨 原子力発電施設の廃止措置では、様々な技術や工法を使いながら解体される。これまで日本では JPDR という原子力発電の動力試験炉の廃止措置事例がある。ここでは、既存の分類を参考にした解体工法の体系化としてイーグルサーチを活用した方法について検討し、情報の可視化に関して議論する。

## 1.はじめに

近年、世界的な傾向として原子力施設等の廃止措置が進んでいる。現在の原子力施設等の廃止措置では炉型や国の法律、廃止措置に取り組む企業の考え方などにより様々な方法や方式が採用されている。しかし、原子力発電施設の廃止措置は比較的若い分野で、世界的にも完了した例は 20 事例にも満たない。日本初の商業用原子力発電所の東海発電所(日本原電, 1966 年に運転開始)を始めとして敦賀発電所 1 号機(日本原電)や美浜発電所 1 号機(関西電力)(共に 1970 年運転開始)などは黎明期の原子力発電施設として続々と廃止措置に移行している。現在、商用発電炉では 10 基が廃止措置に移行している(事故炉を除く)[1]。

廃止措置の事例に関しては、国際原子力機関(IAEA)が世界の廃止措置事例の情報を共有する試み[2]を行っている。日本では、日本原子力学会が中心となり廃止措置に関する基本工法や技術に関して冊子[3]として編さんされているものがあるが、体系化された状態で公開されている事例集などはない。

他方、製造に目を向けると産業技術総合研究所(産総研)が加工技術データベースというものを公開している。このデータベースでは、鍛造、切削、研磨、溶接などの技術情報を体系化している。特に、国内の機械部品関連の中小製造業などを対象とした情報化、技

術力向上、技能継承を目的としたデータベースである。

原子力分野でも物理特性や原子炉の振る舞いなどの様々な計算コードやデータベースは存在しているが、廃止措置に関しては体系化の余地は多く残されている。そこで、本研究では、既存の情報体系化手法を参考に日本原子力学会が編さんしている廃止措置情報を対象に情報を再構成すること、実際の解体事例を対象に可視化し、これらの取り組みから今後の廃止措置情報の利用に関して論じることを目的とする。

## 2.情報の体系化事例

廃止措置に関する情報を体系的に取りまとめている事例として IAEA がプロジェクトメンバー間に限定公開しているものがある[2]。IAEA は原子力の平和利用の促進を主目的とする国際連合の自治機関であり、IDN-WIKI と呼ばれる廃止措置に関する情報をまとめたウェブサイトメンバーのみに限定公開している。IDN とは International Decommissioning Network のことであり、廃止措置に関する国際的な協力体制に関する IAEA の持つ組織またはプロジェクトの一つである。ここでいう WIKI とは、廃止措置事例をまとめたデータ集という意味である。この WIKI は 2013 年から開始され廃止措置に関する知識・情報管理に関して活動を行っている[4]。同 WIKI では、廃止措置事例、廃止措置の方法・技術、効果的な管理

方法、組織・人・場所等の情報を選択式で指定し、それに合致するデータを返すシステムである（図1）。

### Case Studies Portal

The screenshot shows the 'Case Studies Portal' interface. It features a search filter section with checkboxes for 'Country' (Bangladesh, Denmark, Hungary, Russian Federation, Switzerland, Belgium, Estonia, Italy, Serbia, Ukraine, Bulgaria, Finland, Japan, Slovakia, United Kingdom, Canada, France, Malaysia, Slovenia, United States) and 'Facility' (Fuel Cycle Facility, Research Reactor, Hot Cells, Storage Facility, Nuclear Laboratory, Waste Treatment Facility, Other). Below the filters is a table with columns for Case Study Name, Country, Facility, and Type of Facility.

Case Study Name	Country	Facility	Type of Facility
Early Decommissioning Plan of Research Reactor	Bangladesh	Atomic Energy Research Establishment (AERE)	Research Reactor
Description of the COORD process used in BR3 Appendix 2	Belgium	BR3	Power Reactor
Decommissioning of Units 1-4 at Kozloduy NPP, Bulgaria	Bulgaria	Kozloduy-1 Kozloduy-2 Kozloduy-3	Power Reactor

図1. IDN-WIKI (出典：IAEA のウェブサイト)

例えば、ケーススタディは166事例、論文等は350編ほどがあるが限定公開のために一般の利用者は中身を知ることはできない[4]。

一方、日本では「世界の原子力発電所の廃止措置最新情報」が原子力バックエンド推進センター (RANDEC) から公開されている[5]。IDN-WIKIでの廃止措置事例の部分に該当するようなものであり、世界の廃止措置状況の一覧を公開している。これによると2018年1月末現在で、恒久停止している原子力発電施設は170基であり、廃止措置が終了しているのは世界で17事例である。原子力に関するデータベースという観点では、高度情報科学技術研究機構が公開している原子力の百科事典であるATOMICA[6]、日本原子力研究開発機構の福島原子力事故関連情報アーカイブ[7]などもある。

他方、廃止措置に関しては一般的に入手可能な資料として書籍「原子炉解体-廃炉への道-」[8]や専門書としては、日本原子力学会が学会標準の“原子力施設の廃止措置の計画と実施(2006)”，実用発電用原子炉施設等の廃止措置の計画(2011)，原子力施設の廃止措置の実施(2014)がある[3]。これらの内容は、除染や解体方法・工法や技術がまとめられている。学会標準では主に先行事例等を元に編さんされているが、日本の廃止措置の完了事例は、旧日本原子力研究所のJPDRという原子力発電の動力試験炉の事例のみで

ある。JPDRは日本初の試験用原子力発電施設として1963年に初臨界と運転開始がされた後、いくつか改修工事がされて1976年に運転が終了している。そして、廃止措置は1986年から開始されて、1996年に終了している。電気出力は1.25万kWと小規模であるものの日本初の動力試験炉として多くの有用な知見を残している。

このような状況もあり、廃止措置技術等については一般的に閲覧可能な状態で公開されている情報やデータベースは非常に少ない。技術的な点に関してはノウハウも多分に含まれるために公開が制限されることも考えられるが、データの閲覧性も考慮した体系化は重要な課題である。

ところで、多くのデータとそれを処理する大規模システムから構成されているデータベースをヘビーウェイトとするならば、これとは逆に、少ないデータ数や比較的小規模のシステムで構成されるものはライトウェイトデータベースとも呼べる。廃止措置業務に関しては多くの情報やデータを必要とするが、「原子力施設の廃止措置の実施」の解体・除染工法にのみ注目すると34事例を挙げており、これらを対象とするならばライトウェイトデータベースが相当する。

### 3.可視化手法

本研究では、可視化手法として大谷らや、古川の事例[9][10]を参考にイーグルサーチというシステムを活用する[11]。最初に述べたが、産業技術総合研究所(産総研)では、加工技術データベースにイーグルサーチというシステムを活用し、技術情報を公開している(図2)。加工技術データベースとは産総研の旧デジタルものづくり研究センターのプロジェクトである。イーグルサーチとはRyabovらが提案するインタラクティブな情報可視化のアプリケーションである[11]。同アプリはWebブラウザ上のGUIであり、JavaScriptで動作するテーブル構造のデータベース可視化アプリケーションである。あらかじめ検索対象となる項目・語句を決定し選択肢としてタブ化し、検索条件にあうタブをクリックすると、それらに適合しな

い項目がグレーアウトする。同時に検索条件に合致するデータ数と対象となるデータを瞬時に表示するというインタラクティブなシステムである。

図 2. イーグルサーチ利用例[10]

大谷ら[8]はこのイーグルサーチを活用するメリットとして、網羅的な項目の組み合わせデータを集められない母集団に対する検索に本 GUI が有用であると述べている。例えば、通常のデータベース検索では、複数ある選択肢を選んで検索実行しても空集合、つまり検索結果が表示されないことがあるが、イーグルサーチでは毎回選択肢のフィードバックを行うため空集合になることはない。特に、加工事例の場合、条件の組み合わせによっては加工を実行できない場合もあり、これは空集合になる。同様に廃止措置技術や工法においても組み合わせにより空集合となることは十分にあり得る。

#### 4.廃止措置情報の体系化と可視化

本研究では、まず既存の廃止措置技術の資料である学会標準[3]で示される解体技術に対してイーグルサーチを活用しデータベースを作成する。公開情報を対象としたデータの可視化のプレテストでもある。次に、そこで実際の体系化例として学会標準で示される解体工法を参考にイーグルサーチで情報を再構築する(図 3)。

学会標準では解体工法例として、大分類、小分類を設けた解体撤去工法として 34 例を示している。なお、

個別の工法は、概要や留意点、実績、参考文献などが各 A4 一枚でまとめられている。

#### 解体工法例

図 3.解体工法のイーグルサーチ

#### 解体工法例

図 4.イーグルサーチ検索例

次に、イーグルサーチでの検索例を示す(図 4)。例えば、大分類で「金属解体工法」を選択し、小分類で「機械的解体」を選択すると、対象材料は「金属」、「金属・コンクリート」、環境は「気中」、「気中・水中」、遠隔操作は「可能(実用化のみ)」に関するデータがあることが分かる。これに該当するデータは 9 件である。その他の選択肢はグレーアウトされて選択できない(該当するデータがない)ことも分かる。一覧を選択すると該当するデータが示される。データはマ

ウスオーバーで強調表示され、閲覧したい情報をクリックするとリンクしたドキュメントファイルやHTMLなどを表示させる仕組みとした。

次に、日本原子力研究開発機構が廃止措置を進める福井県敦賀市にある新型転換炉原型炉ふげん（「ふげん」）での廃止措置に関する解体と除染に関するイーグルサーチ利用例を示す（図5）。「ふげん」では2003年に運転が終了して2008年から廃止措置に移行している。そこで各解体工法や除染方法と対象となる施設などを選択条件として該当する解体や除染に関する情報を可視化できる仕組みとしてイーグルサーチを用いる。なお、図5はダミーデータを挿入している。

ふげん廃止措置技術体系化

条件選択	<a href="#">課</a> <a href="#">管理課</a> <a href="#">安全管理課</a> <a href="#">品質保証課</a> <a href="#">施設保安課</a> <a href="#">設備保全課</a> <a href="#">施設管理課</a> <a href="#">計画管理課</a> <a href="#">技術開発課</a>
作業項目	<a href="#">解体</a> <a href="#">除染</a> <a href="#">廃棄物</a>
除染方法	<a href="#">機械的除染</a> <a href="#">電気的除染</a> <a href="#">化学的除染</a>
機械的除染方式	<a href="#">ブラッシング</a> <a href="#">水ジェット</a> <a href="#">超音波洗浄</a> <a href="#">プラスト除染</a> <a href="#">洗剤洗</a> <a href="#">洗剤洗</a>
電気的除染方式	<a href="#">電解法</a>
化学的除染方式	<a href="#">遠赤外線除染</a> <a href="#">還元剤除染法</a> <a href="#">酸化剤除染法</a> <a href="#">酸化剤除染法</a> <a href="#">酸化還元剤除染法</a> <a href="#">コーティング法</a>
解体方法	<a href="#">電気エネルギー切断</a> <a href="#">ガス切断</a> <a href="#">物理的切断</a> <a href="#">機械的切断</a> <a href="#">レーザー切断</a> <a href="#">破砕</a> <a href="#">研削</a> <a href="#">圧砕</a> <a href="#">電磁圧</a>
電気エネルギー	<a href="#">プラズマアーク</a> <a href="#">アークアーク</a> <a href="#">TIGアーク</a> <a href="#">各種ワイヤーアーク</a> <a href="#">アークカウチング切断法</a>
ガス切断	<a href="#">酸素ガス</a> <a href="#">引火ガス</a> <a href="#">酸素ガス</a> <a href="#">酸素ガス</a>
物理的切断	<a href="#">ディスクカッター</a> <a href="#">機械的切断</a>
機械的切断	<a href="#">破砕機</a> <a href="#">研削機</a>
レーザー切断	<a href="#">レーザー切断法</a>
対象	<a href="#">原子炉建屋</a> <a href="#">原子炉建屋</a> <a href="#">タービン建屋</a> <a href="#">プール建屋</a> <a href="#">廃棄物処理建屋</a>
年	<a href="#">2008</a> <a href="#">2009</a> <a href="#">2010</a> <a href="#">2011</a> <a href="#">2012</a> <a href="#">2013</a> <a href="#">2014</a> <a href="#">2015</a> <a href="#">2016</a> <a href="#">2017</a> <a href="#">2018</a>
HREF	

図5. 廃止措置技術体系化例

ここでは、作業担当課名、作業項目、除染方法、解体方法、対象施設、実施年度などを情報として構築した。これにより、過去の解体等のデータをインタラクティブに俯瞰視してアクセスできる仕組みとしている。なお、ダミーデータのためここでは一覧データは表示しない。

## 5. 結果と考察

結果として既存の廃止措置情報と解体事例を対象にウェブ上に再構築し直すことができた。ウェブの閲覧性、検索・探索性の利便性は紙面上を上回るが、イーグルサーチを活用することで俯瞰視できる形で情報を可視化することができた。例えば、図4の解体工法では、既存の分類表では、大分類や小分類と解体工法名は知ることができるが、解体対象や気中や水中という情報は直接、紙面を閲覧する必要がある。ここでは、それらも検索対象とすることで必要となる情報にアクセスしやすくするというメリットがある。さらに、

イーグルサーチの特徴である全体を俯瞰視して認識することと、そこから部分に注目して情報にアクセスするということが可能となる。また、検索例では、「金属解体工法」「機械的解体」には今現在は、水中切断はないことが分かる。

こうした点は、大谷らも指摘するように技術は組み合わせにより空集合となることもあるためインタラクティブに検索条件を指定することができる方法はその点では非常に有用であると言える。空集合であるということは、現在の技術的課題や該当する情報を収集するための指令にも使える。また、ベテラン職員やその分野に詳しい人にとっては、組み合わせのありなしの知識を持っているが、そうでない初学者にとっては体系的な知識を獲得していないために適切な検索語句や探索には労力がかかるが、同システムを活用すると部分集合や包含関係も自明であり、適切な知識や情報の伝授にも活用が可能である考えられる。

図5の廃止措置技術の体系化例では、既知の解体と除染に関する技術をまとめてある。除染に関しては、さらに細かな除染名称もあるが今回は、大分類となるものだけを対象としてある。実績データを元にすればより実態に即したデータベースになる。

## 6. 議論

最初に、図3で示した難削材切削加工データでは被削性や工具材などが体系的にまとめられている。廃止措置においても解体工法では対象の材質等や場所により適切な解体工法が選択されており、現場のノウハウは蓄積されている。本研究で検討したイーグルサーチのテーブルデータは、基本指針として既存の資料の分類に従っている。分類指針は、対象の切り取り方や観察の仕方、立ち位置に関する問題を含んでいる。既存の廃止措置の解体技術分類では、解体対象が金属かコンクリートか、解体は、機械的に解体するのか熱的に解体するのか、といった分類である。データをどのようにまとめたいのか、どのように利用したいのか、といった視点も当然、分類指針の作成には必要である。これには、多様な分類や論理的整合性を加味し、且つ、



廃止措置の実情に応じた体系化（タクソノミー）も必要といえる。

例えば、一般的な解体において、被解体物の物理特性、被削性に応じた適切な解体工法は提示しやすいが、原子力発電施設の解体には考慮すべき特異なパラメーターも多く存在する。廃止措置の解体では一般の建築物等の解体のように大型重機等を使って一気に解体することは基本的には行われず、運転に応じて発生した汚染状況に依存し、施設や機器を維持管理しつつ対象を徐々に分離したり切断したりすることが作業のひとつとなる。当然、作業速度や経済性は重要な指標である。また、対象材の汚染の有無によって作業内容は制限される。そして、作業員の安全性や作業性、他にも解体場所の作業スペースの広さや解体撤去物の置き場所も検討する必要がある。さらに、狭隘部も多くあり選択できる工法が限定されることも多く、汚染の有無により粉塵やドロスに対しては飛散防止対策等の徹底が求められる。

こうした点をどこまで考慮に入れてデータ検索を実装するのかが一つの課題である。全てのパラメーターに対応するのか、それとも代表的なパラメーターを対象として詳細は一覧情報に委ねる方法もある。

イーグルサーチというアプリケーションの本来の目的や特性は全体を俯瞰的に捉えて、事前に提示された選択肢から任意の条件を選択することでインタラクティブに情報を取得することが主眼である。多くのパラメーターを考慮したクエリへの対処は本来の目的の範囲外となる。

ただし、過去の事例から作業工法の確認や解体切断に関する諸情報や諸条件を獲得するための俯瞰視可能なデータベースは作成可能である。例えば、「ふげん」において既存の切断工法の比較データとして復水器解体に関する一部の切断データを整理する（図 6、図 7）。パラメーターとして、解体対象、工法、切断速度、コスト、（被解体対象）金属厚などとし、速度とコストは定性的な「高、中、低」という値で示す。例えば、「ふげん」では復水器の解体においてガソリン（酸素）切断機を活用した。イーグルサーチでこの切

断機をクリックした場合は、作業実績やその速度等を即時に俯瞰的に知ることができる（図 6）。

#### 切断工法比較データ

図 6.ガソリン切断機における解体事例

#### 切断工法比較データ

図 7.切断速度「高」の解体事例

また、対パイプ切断速度の速い工法を知りたい場合は、「高」をクリックすると、復水器の冷却管での実績とダイヤモンドワイヤーソーという工法を知ることができる（図 7）。

さらに、一覧の実データには実際の解体実績やそのときの注意点等、選択理由や獲得した知見を追加情報で示すことでシンプルに情報にアクセスが可能となる。このとき、付加情報にはいくつかの知見を盛り込むことで同様の解体事例が発生した際の技術等の継承資料の作成と適切な参照の仕組みを作ることにも可能である。これは、イーグルサーチの特性として全体の傾向を俯瞰的に獲得するという本来の目的に合致するものであり、イントラネットなどの限定された場ではさらに詳しい情報を付加することで情報共有も図ることができる。

非選択データが 30 事例ほどであれば、情報の取捨選択には大きな労力は与えないと思われるが、様々な要件に合致する情報の獲得を念頭に置くと、多くのパラメーターを考慮した推論機構等も必要となると考えられる。例えば、廃止措置をタスクとして解体オントロジーを構築し、上位概念からの分類指針の検討が考えられる。現在は、オントロジーとイーグルサーチ

の分類を連携の試作段階であるが、オントロジー的な知識の体系化に従うと解体工法の選定に関する推論に貢献することも可能であると考えている。例えば、切断技術の種類として電気エネルギー切断であるプラズマアークソー切断法とガス切断である酸素ガス切断法がある。両者ともに動力や仕組みはことなるものの、対象金属を高温状態、酸化状態にし、溶融させて、溶融部をガスにより吹き飛ばすことで切断しているという点では似通っているまたは類似の概念上に付置できると表現できる(単に溶融するだけの場合もある)。このようにオントロジーを構築し活用すると解体対象をどのように解体したいのかを検討する際にオントロジーを用意することでより正確な類推にも貢献できると思われる。このためには解体技術データベースオントロジーが必要である。これらの点は今後の課題である。

## 7.まとめ

公開情報や実際の解体を対象にしてイーグルサーチを活用した廃止措置情報の可視化を行うことができた。情報の可視化は技術等の継承において、当事者は当然のように理解している内容でも、被教育者等にとっては体系的、俯瞰的に情報を獲得できる手法は重要である。また、イーグルサーチでのデータベースの作成のハードルも高くなく、IT技術の専門家を介さずに、即応的に構築する可能な点も特徴である。

一方、情報の拡充や分類指針のより精緻化も必要である。客観的な分類指針の選択や指標の作成は、今後、情報量が増加することを考慮すると検討すべき点でもある。今後は、実際の解体データを活用し、組織内での情報共有と情報の再利用という観点でデータベースを整備し、論理的整合性があり、今後のデータ拡充も念頭において情報の体系化と可視化を目指したい。

## Acknowledgements

本研究はJSPS (JP17H07354) の助成を受けて実施した。

## 参考文献

- [1] 原子力安全推進協会, 原子力施設新規規制基準適合性審査状況, <http://www.genanshin.jp/facility/map/>, 2018年11月12日閲覧
- [2] IAEA, IDN Wiki Introduction, <https://nucleus.iaea.org/sites/connect/IDNpublic/Pages/IDN-Wiki-Introduction.aspx>, 2018年11月12日閲覧
- [3] 日本原子力学会, 2014, 原子力施設の廃止措置の実施: 2014, 日本原子力学会標準
- [4] John Day, 2017, IDN Wiki Project Activities, IDN Annual Forum 2017
- [5] 原子力バックエンド推進センター, 2018, RANDEC ニュース, No108
- [6] 高度情報科学技術研究機構, 原子力百科事典 ATOMICA, <http://www.rist.or.jp/atomica/index.html>, 2018年11月12日閲覧
- [7] 日本原子力研究開発機構, 福島原子力事故関連情報アーカイブ, <https://f-archive.jaea.go.jp/index.php>, 2018年11月12日閲覧
- [8] 石川迪夫(編著) 原子炉解体 廃炉への道, 1993, 講談社
- [9] 大谷成子, 綿貫啓一他, 2012, 加工事例の画像検索に基づく加工支援システム, 第17回知識・技術・技能の伝承支援研究会, SIG-KST-2012-02-06
- [10] 古川慈之, 2014, 知識・技術・技能の伝承支援に関する考察, 第22回知識・技術・技能の伝承支援研究会, SIG-KST-2014-01-04
- [11] O. Ryabov, S. Imamura, et al, 2002, DB Navigation by an Eagle View User Interface, 精密工学会学術講演会講演論文集, 2002年度秋季大会 N81, 2002.
- [12] 産業技術総合研究所, 加工技術データベース”, <http://www.monozukuri.org/db-dmrc/index.html>, 2018年11月12日閲覧