

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

平成28年度 研究活動報告書

放射性廃棄物の処理について －廃棄物の減量と将来の課題－

八戸工業大学第二高等学校
科学愛好会(放射線班)

1. はじめに

青森県の下北半島には、核燃料サイクルを構成する多くの核関連施設が存在する。原子力発電所はもとより、それらの運転に伴って生じる使用済み核燃料の再処理施設や放射性廃棄物の貯蔵施設等が稼働・建設中である。そして、全ての施設が完成したとき、青森県内で核燃料サイクルが確立されるかもしれない。ただひとつ、高レベル放射性廃棄物の最終処分地を除いて。

科学愛好会では、これまでに放射性廃棄物の有効活用を目的に「 γ 線を利用した発電」「ガラス固化体の熱を利用した発電」について研究を進めてきたが、利用した後の放射性廃棄物をどうするかという問題については考慮せず、漠然とどこかで地層処分というイメージしか持っていなかった。

多くの核関連施設が青森県に集中しているにもかかわらず、地層処分の最終処分地はまだ決まっていない。高レベル放射性廃棄物の保管を一手に引き受けている青森県に住んでいる以上、避けては通れないテーマと考えた。

2. 活動の内容

①原子力発電の存在意義

放射性廃棄物について考えるとき、そもそも何故原子力発電所が必要なのか考える必要がある。

資源に乏しい日本は1973年の「第一次石油ショック」を経験した。これは、第四次中東戦争をきっかけにして石油価格が高騰し日本経済が大きな打撃を受けた出来事である。

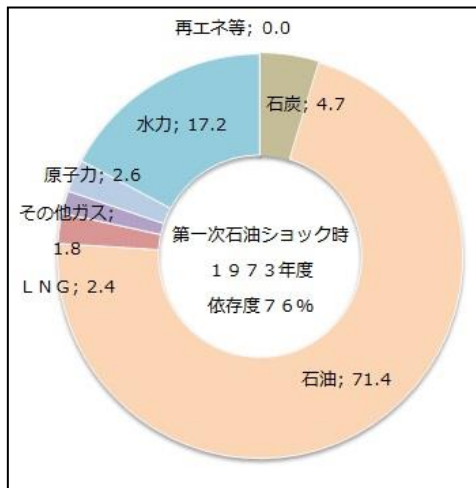


図1 第一次石油ショック時の電源構成

1973年の電源構成を見ると、化石燃料の海外依存度は76%に達し、そのほとんどが石油という状況だった。その後、日本は石油への依存度を減らし、エネルギー源の多様化を図るためベストミ

クスを進める。

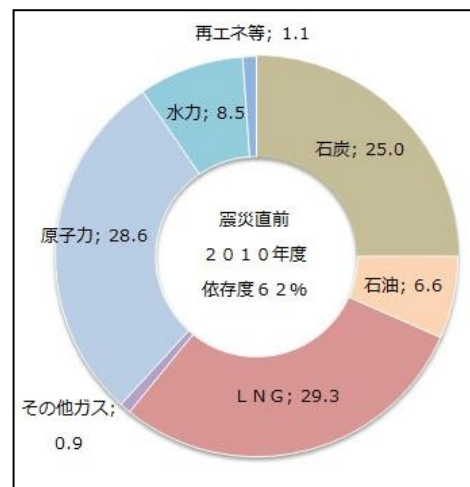


図2 震災直前の電源構成

このため、震災直前の2010年には図2のように海外依存度は62%まで減少し、エネルギー源の多角化が進んだ。

しかし、2011年の震災を経てベストミックスの一翼を担う原子力発電は停止し、石油ショック以上に海外へのエネルギー依存度は高まり2014年は88%となっている(図3)。確かに、化石燃料の石油一点集中は改善されているが、日本国外の政治情勢によってエネルギー源の供給に影響が出ることには変わりはない。

また、震災後に一気に施設が増えた感がある再生可能エネルギー施設だが、天候に左右される点

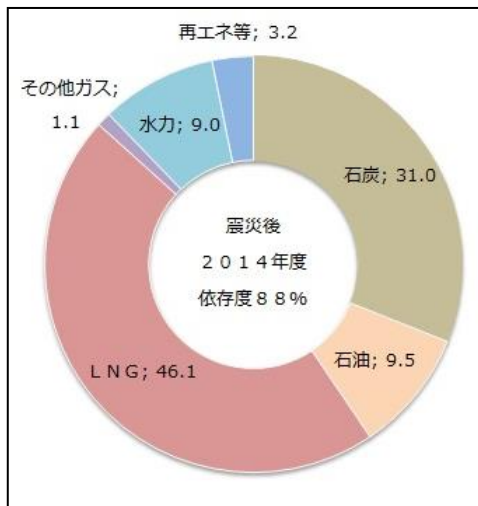


図3 震災後の電源構成

が多く、蓄電設備の充実を待たなければ日本を支えるエネルギー源とは言い難いのではないだろうか。

日本のエネルギー源として原子力発電は重要な要素の1つであり、日本は2030年には原子力発電の割合を20%程度に引き上げることを目指している。ただし、原子力発電が重要であるといえるのは、核燃料サイクルが確立すればエネルギーの自給に貢献できるからである。

②核燃料サイクル(軽水炉)と青森県内施設

核燃料サイクルには、大別して軽水炉サイクルと高速炉サイクルがある。軽水炉サイクルとは、現在ある原子力発電所を活用したものであり、高速炉サイクルとは一層の核燃料の有効活用を目指したものである。「もんじゅ」の廃炉により影響を受けるのは高速炉サイクルである。

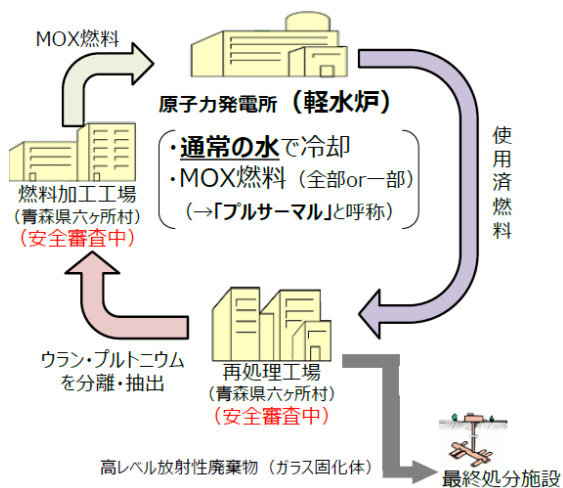


図4 軽水炉サイクル

青森県内には、軽水炉サイクル確立に必要な施設のうち、原子力発電所(軽水炉)・MOX燃料工場・再処理工場・中間貯蔵施設の全てが存在する(建設中含む)。

当然、施設稼働に伴い放射性廃棄物が生じることになる。

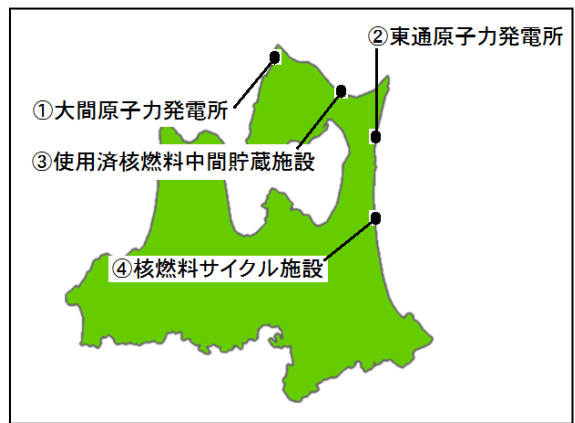


図5 県内の核関連施設

③放射性廃棄物の種類と処分について

放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物の2つに分類されるが、いずれも処分方法は土中に埋める方式である。すでに低レベル放射性廃棄物の一部は六ヶ所村に処分されているが、高レベル放射性廃棄物の処分地は現時点で未定である。

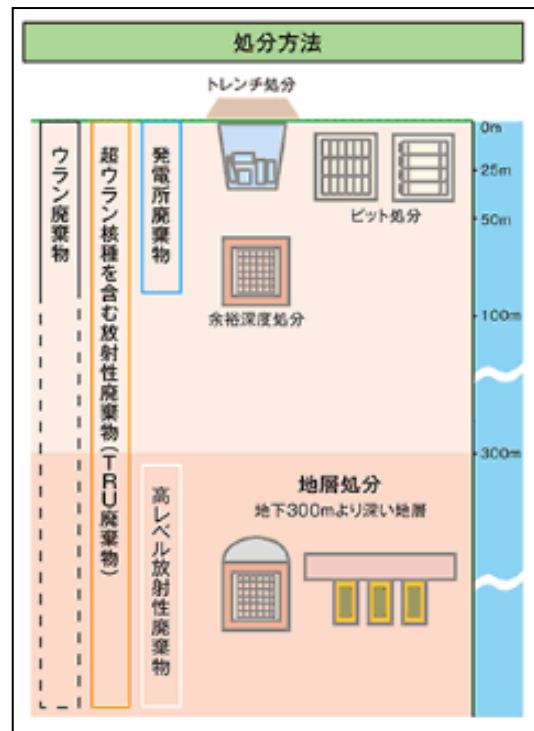


図6 放射性廃棄物の種類と処分方法

廃棄物の量だけを考えると、再処理せずに使用済み核燃料を直接処分の方が少なく済むが、高レベル放射性廃棄物の発生量を考えると、再処理の方が良い。しかし、高レベル放射性廃棄物の処分地が決まっていない状態で青森県でガラス固化体が増え続けることに不安があるし、そもそもガラス固化体を地層処分することが果たして安全なのか、現在どのような取り組みが日本で行われているのか興味を持った。

そこで、日本原子力文化財団様の「地層処分事業推進のための学習の機会提供事業」に応募し、岐阜県瑞浪市の超深地層研究所を見学する機会を得ることができた。

④地層処分について

平成 28 年 7 月 26 日(火)に TKP 名古屋伏見ビジネスセンターで坪谷隆夫先生（日本原子力学会シニアネットワーク連絡会）から地層処分について講義を受けた。



図 7 坪谷先生から講義を受ける

・なぜ地層処分なのか

高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体は、強い放射線を出し、元のウラン鉱石と同レベルの放射線量になるまでに数万年を要する。このような長期間に地表で管理することは事実上無理である。日本で言えば 2 万年前は石器時代である。これから 2 万年先の人類に管理を委ねることは到底不可能である。

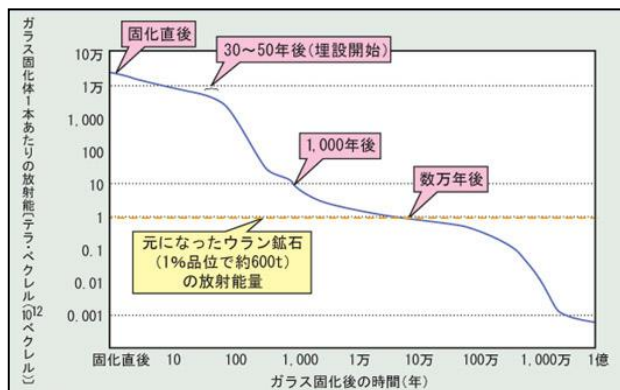


図 8 ガラス固化体の放射能変化

そこで、検討されたのが、人間による管理を必要としない、宇宙処分・海洋底処分・氷床処分・地層処分である。

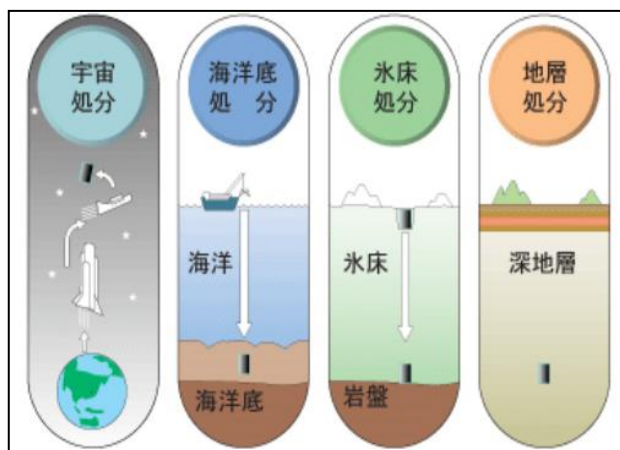


図 9 人間による管理を必要としない方法

宇宙処分には発射に失敗した場合の危険性があり、海洋底処分と氷床処分はそれぞれロンドン条約と南極条約で禁止されており実施は難しいと判断された。

ただ、地層処分については、深い地層の持つ「物を閉じこめる」という性質を利用でき最良な方法であると判断された。

例えば、アフリカのオクロ鉱床は天然原子炉であるが、核反応による地層内の核分裂生成物は 20 億年の間に数センチしか移動していないとのことである。さらに、深い地層内では酸素が少なく化学反応が起こりにくいため金属が腐食されにくいということが分かっている。

また、ガラスにも「物を閉じこめる」性質があり 1000 年以上昔に作られたローマガラスは現代においてもガラス内の色の成分が溶け出すことは無い。



図 10 オクロ鉱床とローマガラス

つまり、高レベル放射性廃棄物をガラス固化体として地層処分する、という日本の方式は最も安全性が高い方式であると言える。

・たゆみない研究開発

また、地層内の人工バリア(ガラス固化体・オーバーパック・緩衝材)の安全性向上のために研究は進んでいる。

茨城県の核燃料サイクル工学研究所の地層処分放射化学研究施設-QUALITY-ではガラス固化体中の放射性廃棄物が地層中に漏れ出た場合の反応について研究を進め、地層処分基盤研究施設-ENTRY-では熱・水・応力・化学連成試験設備(COUPLE)を用いて実際の地中環境をモデル化してデータの蓄積に努めている。

これらの研究により、ガラス固化体を実際に地層処分した場合に、長期間にわたり人間の生活環境から安全に放射性廃棄物を隔離する技術が着実に高まっている。

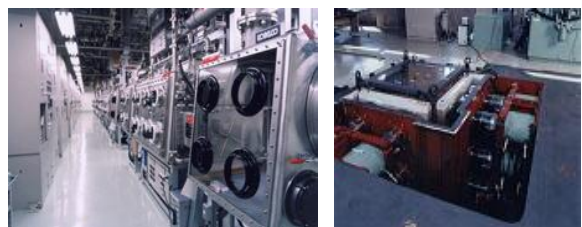


図 11 QUALITY の雰囲気制御がローボックス(左)と ENTRY の COUPLE(右)

・海外事例にみる地層処分

平成 28 年 7 月 27 日(水)には、場所を瑞浪超深地層研究所国際交流館に移し、海外諸国の状況についてお話を伺った。

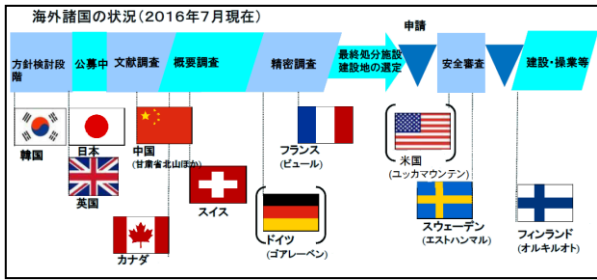


図 1 2 地層処分の諸外国の状況

海外諸国の地層処分進捗状況を図 1 0 に示す。

フィンランドでは、すでにオルキオト島に最終処分地が決定し施設の建設が進められている。また、スウェーデンでもエストハンマルが最終処分地に決定している。

しかし、アメリカでは 2002 年にユッカマウンテンを最終処分地に決定したが、政権交代により計画は中止となった。また、ドイツにおいてもゴアラレーベンを最終処分地にする計画は見直されることとなり議論は振り出しに戻っている。

処分地が決定し建設に動き出す国と、計画が中止に追い込まれる国。これらの違いは、政治主導で最終処分地を決定したとしても、社会が政治に参加する姿勢の違いであると言える。

日本は、処分地の公募中であるが、アメリカやドイツのように処分地決定が中止に追い込まれることが無いように、技術面の準備を進めると同時に社会問題・地域問題として捉えて地域住民との対話を丁寧に進めていかなければならない。更には、国土が狭く 48 都道府県に分割されている状況では、例えどこかの県が最終処分地に名乗りを上げたとしても、隣接する都道府県が反対する場合もある。そのため、広域にわたる意志決定が必要である。

・日本における地層研究

最終処分地決定は、「文献調査」「概要調査」「精密調査」の 3 段階の調査を経て行われる。そのためには、深地層の調査研究が必要である。

現在日本では、超深地層研究所(岐阜県瑞浪市)と幌延深地層研究所(北海道幌延町)で、それぞれ硬岩・淡水系と軟岩・塩水系環境で研究が進められている。

7 月 27 日(水)の坪谷先生の講義後、我々は瑞浪超深地層研究所を訪れ地層研究の最前線を体感することができた。



図 1 3 地下 500m の坑道

地下 500m の世界に降り立った感想は、「蒸し暑い」の一言だった。地熱で温度が高くなるのに加えて地下水の影響で湿度が高いようである。日本で地下坑道を作る際に問題になるのは地下水である。瑞浪の研究所では、この地下水の状態を詳しく研究しており多くのデータとノウハウが蓄積されている。

現在、研究所での研究は第 3 段階(研究坑道を利用した研究段階)に入っており、岩盤中の物質の移動に関する調査研究が進んでいる。この研究の内容は最終処分地の「精密調査」に反映されるものと確信する。

⑤ 地層処分の問題点とその解決に向けて

これまでの調査、講義・見学を通して、高レベル放射性廃棄物の処分において、地層処分が最も適切な方法であり、日本ではそのための研究が進んでいることを詳しく知ることができた。

しかし、どうしても拭えない不安がある。それは高レベル放射性廃棄物の危険性が数千年から数万年にわたり維持され続けるということである。このことが、日本だけでなく世界で高レベル放射性廃棄物の最終処分場が決められない最大の原因である。

この問題を解決するために、廃棄物を分離して長寿命核種を短寿命核種に変換(数千年 → 数百年)し廃棄物の量を減少させる研究が進められている。

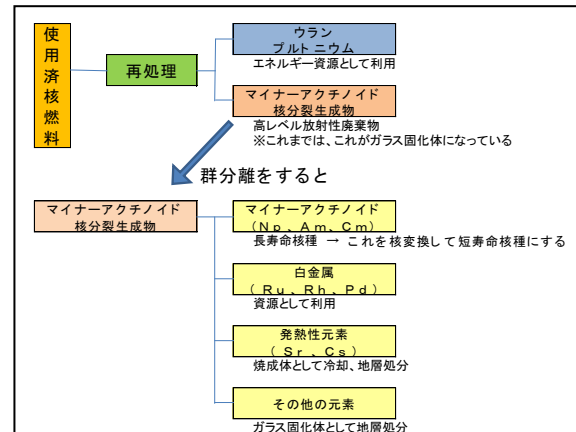


図 1 4 分離・核変換のイメージ

核変換の方法としては、高速炉を用いるものと、加速器を用いるものがある。現在、「もんじゅ」が廃炉となったため、今後は加速器を用いた研究が進展するのではないかと予想する。



図 1 5 J-PARC核変換実験施設

・分離、核変換を体験

平成 28 年 12 月 21 日(水)に東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター六ヶ所分室を訪問し、人見先生から放射線に関する内容、伊藤先生から高レベル放射性廃液の分離に関する内容について講義を受けた。



図 16 人見先生・伊藤先生から講義を受ける

分離研究 高レベル放射性廃液からある特定の物質を取り出す方法の一つとして、放射性廃液に有機溶媒を混ぜて必要な物質を選択的に取り出す方法がある。この方法は、大量に連続した処理に優れているが揮発性・引火性・毒性をもつ有機溶媒を大量に使用するため環境汚染や安全面で問題がある。

伊藤先生は、この問題解決のためにイオン液体の研究を進めている。



図 17 イオン液体

イオン液体とは常温でも液体状のイオン性物質のことであり、有機溶媒とは異なり、難揮発性・難燃性・高い熱的安定性を持っている。また、陽イオンと

陰イオンの組み合わせによって性質を様々に変えることができるため、取り出したい物質に合わせて作りなおすことが可能である。

また、高レベル放射性廃液の分離方法として、多孔性シリカ粒子の利用研究も進んでいることが分かった。この方式は液体から固体に目的物質を取り出すため、分離装置をコンパクトにすることができるメリットがある。



図 18 模擬溶液からパラジウムを分離

核変換 核変換とは、長寿命核種に高速の中性子を衝突させて核分裂を起こし短寿命核種に変える操作である。実際に実験することはできなかったがセシウム 137 の核分裂により放出される γ 線

エネルギーを測定して、模擬的に核変換を確認することができた。

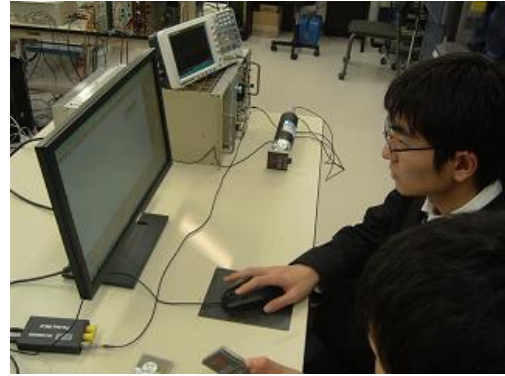


図 19 核分裂で生じる γ 線を測定

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター六ヶ所分室の訪問により、高レベル放射性廃液の分離・核変換(核分裂)を実際に体験することができ、青森県内においても着実に研究が進んでいることを実感することができた。

しかし、地層処分の問題を解決するこれらの研究は、実用化まで数十年の時間がかかることも知ることとなった。

⑥ 人口減少社会

地層処分や高レベル放射性廃棄物の分離・核変換について調査研究を進めていて感じたことは、全てがまだ調査・研究段階であり実用化まで 20～30 年かかるのではないかとことだ(六ヶ所の再処理工場は建設から 20 年以上経った今でも本格稼働していない)。

このため、現在日本が行っている調査・研究を進めながら、「使用済み核燃料の中間貯蔵施設の充実」「計画的な人材育成と将来に向けた予算確保」をしなければ多くの計画に支障が出るのではないかと心配だ。

2040 年の日本は現在よりも人口が 2100 万人減少すると予想されている。この数字は、現在の東北地方・北陸地方・山陰地方・四国地方が無人口化することに等しい。

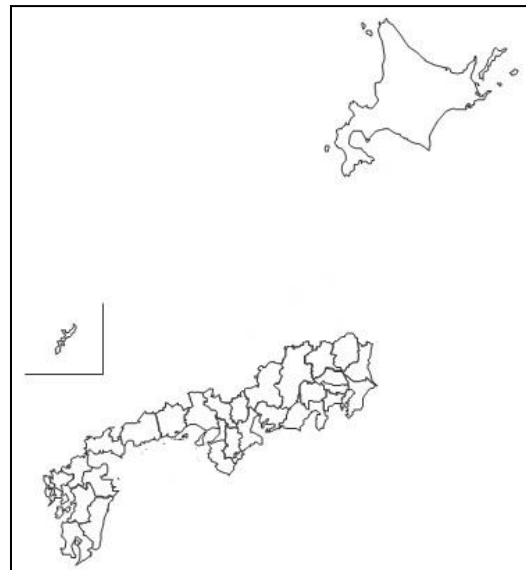


図 20 東北・北陸・山陰・四国が無人口化?

果たして、20～30年後の日本はどうなっているのだろうか。人口が減少すると言うことは、単純に働く人間の数が減る(高齢者の割合は増加)と言うことである。また、研究者の数も減少すれば現在作成した計画通りに物事を進めることが難しくなるはずだ。

他国に左右されないエネルギー源の創造に向けて、現在の47都道府県という日本の枠組みを根本的に編成し直して、各地区ごとに産業と人的資源の選択と集中を行い、より広い視点で核燃料サイクルの完成を目指す必要があると考える。

坪谷先生が話していたように、日本という国土をより広域にとらえ新しい枠組みで未来志向の議論を「社会と政治」が始める時がきているのではないかと思う。

3. 研究の成果

研究成果として、次の6点をあげることができる。

- ・原子力発電の必要性を再認識した
- ・核燃料サイクル(軽水炉)は青森県においてほぼ完成に近づいていると分かった
- ・放射性廃棄物の種類とその処分方法を知ることができた
- ・地層処分に向けた取り組みを知ることができた(日本・海外)
- ・放射性廃棄物の分離や核変換に関する研究が進んでいることが分かった
- ・核燃料サイクル確率にむけた、長期間にわたる研究を支える工夫を社会と政治が一体になって考えることが必要

4. 研究成果の発表

次の日程で成果発表を実施した。

日時：平成29年1月25日(水)
13:50～15:30

場所：八戸工業大学第二高等学校
「スキルアップ発表会」

テーマ：放射性廃棄物の処理について

形態：スライドを用いて発表

対象：本校1年生と2年生全員



図21 スキルアップ発表会

5. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

安全の軽視はあってはならないことだが、社会を構成する私たち一人一人が「何らかのリスク」

を自覚して生きていく必要があるのではないだろうか。特に、国の未来を左右するエネルギー問題においては、「リスクを恐れて現状維持を望む」ことこそ未来へのリスクになってしまうと感じる。

6. 今後の課題

本校生徒に、青森県内にある原子力施設についてどれくらい知っているかを調査した。

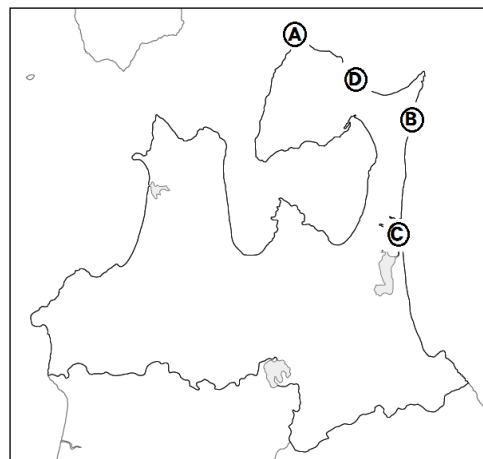
表1 調査項目1と結果

	1. 次の語群から知っているワードに○をつけてください。(複数回答可)							
	1年生 (201人回答)		2年生 (166人回答)		3年生 (234人回答)		全校 (601人回答)	
原子力発電	201	100%	158	95%	234	100%	593	99%
放射線	198	99%	166	100%	228	97%	592	99%
放射能	191	95%	154	93%	211	90%	556	93%
放射性廃棄物	128	64%	125	75%	198	85%	451	75%
ベクレル	85	42%	69	42%	105	45%	259	43%
シーベルト	81	40%	67	40%	122	52%	270	45%
ウラン	141	70%	97	58%	166	71%	404	67%
MOX燃料	9	4%	3	2%	20	9%	32	5%
地層処分	28	14%	22	13%	79	34%	129	21%
もんじゅ	18	9%	8	5%	57	24%	83	14%
核変換	40	20%	21	13%	45	19%	106	18%
NJM0	3	1%	1	1%	7	3%	11	2%
プルニウム	50	25%	49	30%	96	41%	195	32%
ガラス固化体	14	7%	6	4%	42	18%	62	10%

この結果から、「原子力発電所から放射能を持つ廃棄物が出て放射線を出す」という危険な部分の認知度は高いが、核燃料サイクルに関わる用語の認知度が低いことが分かった。選挙権が18歳に変更となり、私たち高校生も国のエネルギー問題について自分の意見持たなければならない。特に青森県に関係が深い原子力については尚更である。

次の調査項目2では、どの場所に原子力関連施設があるかを質問した。

2. 下の図のA～Dの場所にある、原子力に関する施設を下の語群から選んでください。



ア：東通原子力発電所
イ：使用済燃料中間貯蔵施設
ウ：大間原子力発電所
エ：六ヶ所原子燃料サイクル施設

図22 調査項目2

調査項目2の結果を図21に示す。全校で最も正解率が高かったのは、大間原子力発電所である。これは、本州の最北端ということで場所が分かりやすかったためだろう。また、次に正解率が高かったのは六ヶ所原子燃料サイクル施設である。これは、本校で行っている六ヶ所エネルギー施設見学会の効果もあると思う。

表2 調査項目2の結果

1年生 (201人回答)	ア 東通原子力 発電所	イ 使用済燃料 中間貯蔵施設	ウ 大間原子力 発電所	エ 六ヶ所原子燃 料サイクル施設
A	27 13.4%	36 17.9%	112 55.7%	17 8.5%
B	71 35.3%	59 29.4%	24 11.9%	34 16.9%
C	56 27.9%	23 11.4%	18 9.0%	97 48.3%
D	31 15.4%	72 35.8%	31 15.4%	47 23.4%

2年生 (166人回答)	ア 東通原子力 発電所	イ 使用済燃料 中間貯蔵施設	ウ 大間原子力 発電所	エ 六ヶ所原子燃 料サイクル施設
A	27 16.3%	22 13.3%	102 61.4%	16 9.6%
B	91 54.8%	55 33.1%	19 11.4%	13 7.8%
C	50 30.1%	17 10.2%	18 10.8%	102 61.4%
D	71 42.8%	56 33.7%	25 15.1%	31 18.7%

3年生 (234人回答)	ア 東通原子力 発電所	イ 使用済燃料 中間貯蔵施設	ウ 大間原子力 発電所	エ 六ヶ所原子燃 料サイクル施設
A	78 33.3%	46 19.7%	171 73.1%	7 3.0%
B	103 44.0%	78 33.3%	47 20.1%	27 11.5%
C	36 15.4%	26 11.1%	11 4.7%	166 70.9%
D	64 27.4%	110 47.0%	35 15.0%	66 28.2%

全校 (601人回答)	ア 東通原子力 発電所	イ 使用済燃料 中間貯蔵施設	ウ 大間原子力 発電所	エ 六ヶ所原子燃 料サイクル施設
A	132 22.0%	104 17.3%	385 64.1%	40 6.7%
B	265 44.1%	192 31.9%	90 15.0%	74 12.3%
C	142 23.6%	66 11.0%	47 7.8%	365 60.7%
D	166 27.6%	238 39.6%	91 15.1%	144 24.0%

しかし、施設の場所が分からない人もある程度存在し、県内施設の場所について必ずしも正確に把握していないことが分かった。

この事を踏まえて、私たちを含めた若い世代が、青森県の立ち位置を自覚して核関連施設の存在を県の資源と位置づけて今後の研究開発に積極的に関わる意識を持てるようにすることが必要だ。更に、多くの時間と予算を使っている現状に対して、「未来に向けた投資」という認識を多くの人達が共有できる環境作りをこれから進めなければならない。

青森県は、既にこの問題に対して取り組んでおり、原子力関連施設の立地環境を活かした原子力分野の人材育成・研究開発を推進するため、平成29年10月に「青森県原子力人材育成・研究開発拠点施設」が完成予定である。

私たちは、将来の日本がエネルギー的に独立した国であるためにも、多くの人達に原子力・核燃料サイクルに関する正しい知識を伝えることが必要だと考える。そのためにも、今年完成する施設を積極的に利用しながら、自分たちにできることは何かを考えて情報発信活動を展開したい

7. まとめ

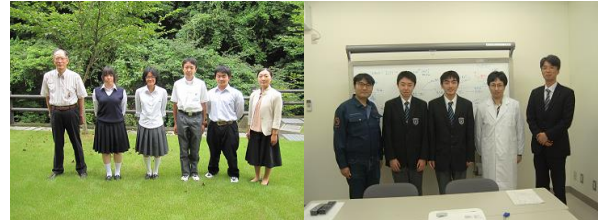
原子力発電や放射性廃棄物の処理について調べる中で、安全で安定したエネルギー供給のために多方面にわたる研究が行われていることを知った。

また、研究が高度になれば実用化まで多くの時間がかかり、それを社会がしっかりと支えていく必要を感じた。

8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、東北大学の渡邊先生から貴重なアドバイスを頂きました。また、日本原子力学会シニアネットワーク連絡会の坪谷隆夫先生、東北大学の人見先生と伊藤先生には、ご多忙中にもかかわらず講義・実験等を快諾していただきました。

協力していただいた皆様への心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。



坪谷先生と

人見先生・伊藤先生と

※参考・引用

青森県原子力人材育成・研究開発拠点計画
 経済産業省資源エネルギー庁
 日本原子力研究開発機構(JAEA)
 原子力発電環境整備機構(NUMO)
 国立社会保障・人口問題研究所

