ATOMOΣ 日本原子力学会誌 2022.3

巻頭言

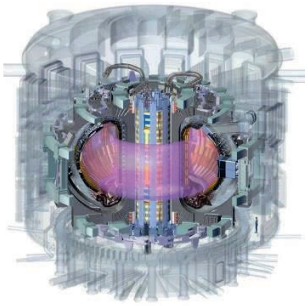
1 富岡町の復興・帰還の現状と課題
山本育男

解説シリーズ 理化学研究所ほか 最先端の研究開発（2）

26 第一原理シミュレーションで挑む核燃焼プラズマ閉じ込めの物理

核融合プラズマの閉じ込め性能予測においては粒子，運動量，熱の輸送を担う物理過程の理解が重要だ。「富岳」を用いたシミュレーションにより，それが明らかとなってきた。

渡邉智彦，井戸村泰宏，藤堂 泰，本多 充



ITER 装置（画像提供 :ITER Organization）

特集 福島第一原子力発電所の今とこれから

11 福島第一原子力発電所 ー事故後 10 年の歩み

東京電力によるこれまでの廃炉作業の取り組みと今，そしてこれからについて紹介する。

佐藤 学，川崎晋平

時論

2 グリーントランジションに向けた SMR 開発
久持康平

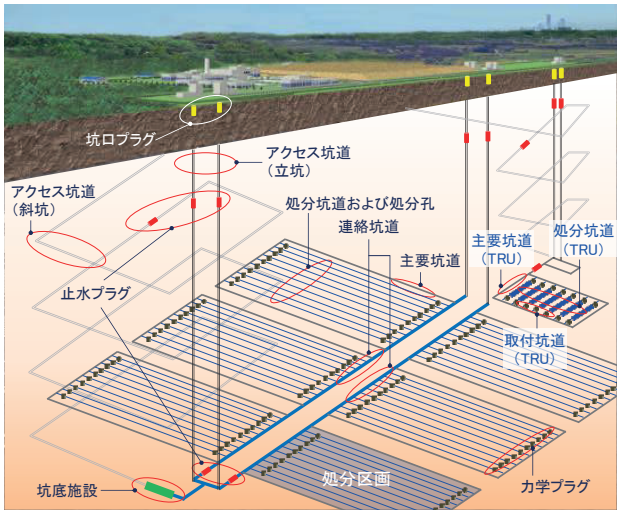
4 これまでの双葉町のあゆみとこれから
橋本靖治

連載講座 オールジャパンでとりくむ地層処分のいま（4）

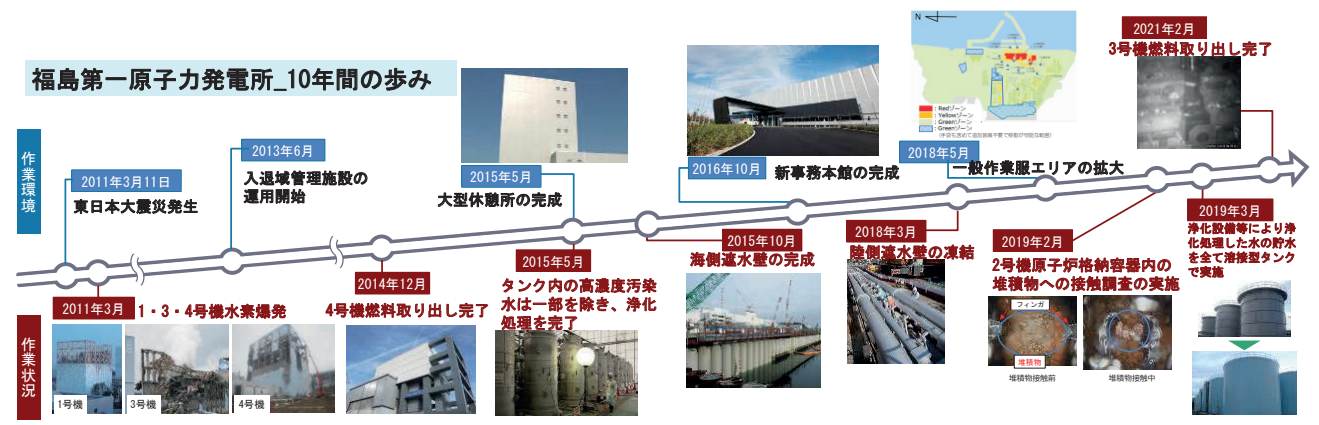
37 処分場の設計と工学技術（その2）

前回に続き，処分場の設計と建設・操業を実現するための地下施設の建設技術，処分場閉鎖後の水みちを防止する技術，廃棄体の回収技術，および閉鎖前の処分場の安全性を評価する技術について紹介する。

本島貴之ほか



処分場地下施設のイメージ（NUMO-TR-20-03, 2021）

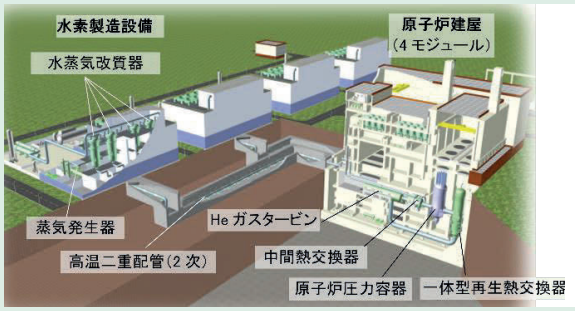


シリーズ特集２　原子力イノベーションを支える最新の新型炉開発の状況

19　炉心溶融のない高温ガス炉コジェネプラント

三菱重工業は，炉心溶融がなく水素を大量かつ安定的に供給でき，発電量と水素製造量の調整によって再エネ大量導入時の電力負荷変動に対応できる高温ガス炉コジェネプラントの開発を進めている。

須山和昌ほか

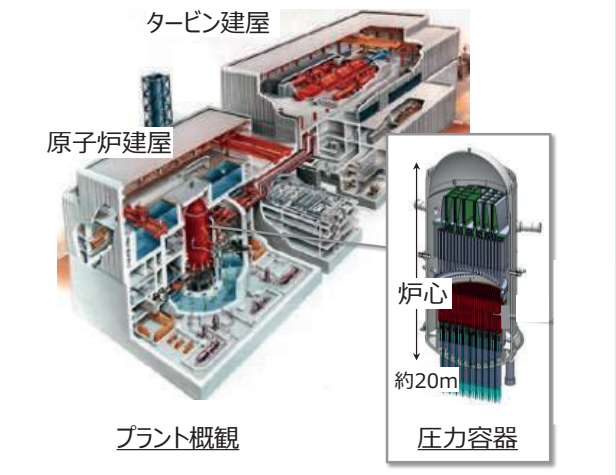


高温ガス炉コジェネプラントの鳥瞰図

23　国内燃料サイクル柔軟性拡大へ寄与する軽水冷却高速炉

現行の BWR をベースに，プルトニウム利用の促進，プルサーマルによる使用済 MOX 燃料の削減，高速炉サイクルへの移行時の負担軽減を図った軽水冷却高速炉の開発を進めている。

日野哲士，土屋暁之，曽根田秀夫



RBWR の概要

視点　社会を心理学から読み解く（２）

51　内集団と外集団　秋保亮太

理事会だより

52　教育委員会の活動について　池田伸夫

シリーズ解説　技術継承私塾　軽水炉用構造材料の高経年化と軽水炉の安全性・信頼性評価　１－３

31　加圧水型軽水炉用構造材料の高経年化と炉の安全性・信頼性評価（その３）ステンレス鋼，炭素鋼，低合金鋼の高経年化に伴う環境助長割れ感受性・き裂進展速度増大等の可能性について

米澤利夫

私の主張

45　リスクコミュニケーション不全

西澤真理子

Short Report

47　双葉の復興をこの目で見て

鈴木早苗

FOCUS　倫理規程制定 20 年を迎えて（４）

50　水は水，どこまでも水，完全に自由

山本章夫

42　Column

学生連絡会での活動の振返りと今後について　岡村知拓

情報化社会で生きるための適切な判断力　西川亜佑美

福島とフクシマの距離　服部杏菜

湯川博士の贈り物　坂東昌子

持続可能な放射線教育を目指して　山口克彦

6　News

44　From　Editors

53　会告　新役員候補者ご推薦のお願い

54　会報　原子力関係会議案内，人事公募，新入会一覧，「2022 年春の年会」オンライン展示会のご案内，「原子力学生国際交流事業」派遣学生次年度のご案内について，英文論文誌（Vol.59,No.3）目次，和文論文誌（Vol.21,No.1）目次，主要会務，編集後記，編集関係者一覧

55　追悼「住田健二先生のご逝去を悼む」　宮﨑慶次

58　Vol.64（2022），No.3 J-STAGE 閲覧 ID・パスワード

学会誌ホームページはこちら
https://www.aesj.net/publish/aesj_atomos

富岡町の復興・帰還の現状と課題

巻頭言

福島県 富岡町長

山本 育男（やまもと・いくお）

東京農業大学卒。富岡町議会議員，同副議長，富岡町商工会会長を歴任し，2021 年 8 月から現職。

東日本大震災および原発事故から 11 年目を迎えようとしております。この間，全国各地より心温まるご支援とご協力を賜り，着実に復興が進んでおりますことに厚く御礼を申し上げます。

一部地域の避難指示解除より 5 年近くが経過する中，JR 常磐線全線再開通に伴い特定復興再生拠点区域内の一部で避難指示が解除されるなど，復興・再生に向けて着実に歩みを進めております。これらの取組みによって，昨年 12 月 1 日現在，1,263 世帯，1,803 人が町内に居住し，本格復興の息吹を感じられる地域もありますが，未だに除染が行われず平成 23 年 3 月から時が止まった地域もあり，復興はまだまだ道半ばであります。

当町では現在，特定復興再生拠点区域において，今年 1 月から立入規制の緩和，春から準備宿泊の開始が予定されており，令和 5 年春を目途とする避難指示の解除に向け，取組を進めているところです。拠点区域とならなかった小良ヶ浜地区，深谷地区においても外縁除染の実施が予定されており，昨年 8 月に特定復興再生拠点区域外に係る政府方針が示されたことから，帰還に向けた道筋がようやく見えてきたところです。

町政においては，「医療・福祉の充実」「魅力ある教育の実践」「多様な交流の促進」「多面的な産業の集積による雇用の創出」「新たな地域コミュニティの創造」の 5 点を重点的に取り組むこととしております。昨年は，地域の歴史とともに震災・原子力災害の経験を伝承する「とみおかアーカイブ・ミュージアム」を開所しました。避難している町民だけでなく，多くの方々に御来訪いただき，交流人口の拡大やにぎわいの復活にむけて大きな一歩を踏み出しました。本年も，特別養護老人ホーム桜の園とトータルサポートセンターとみおかの開所，放課後児童クラブの開設，農業の再興に向けた取組，相談窓口の設置をはじめとする移住定住の促進などの施策を着実に積み重ね，魅力的で活力あるまちづくりを進めてまいります。

また，町の未来に向けて，最も重要と考えるのは居住人口の増加と将来を担う人づくりです。一部避難指示解除までの 6 年という歳月は，避難先に生活拠点を形成せざるを得ない時間となり，帰還を逡巡させる大きな要因となりました。町に戻りたい町民の皆さまのご希望がかなうよう，さらには若い世代を中心とする新たな移住定住を積極的に受け入れるため，生活環境の整備を進めるとともに，子育て支援と特色ある教育の充実を図っていく考えです。

加えて，農林水産業の振興，町内での事業再開や起業に向けた支援，産業団地等における雇用の確保，交流人口の拡大等に積極的に取り組み，双葉郡の中枢拠点として賑わいの復活と活力の創出を目指し，町外で生活している町民の皆さまとの絆を大切にしながら，「希望と笑顔あふれるまち」の実現に向け努めてまいります。

こうしたさまざまな課題を乗り越えていくにあたり，福島第一，第二原子力発電所の安全かつ確実な廃炉を進めていくことが欠かせません。

廃炉と環境回復，そして福島の復興は表裏一体であります。現在，復興庁が中心となり福島の復興をリードする知の拠点として『浜通りの国際教育研究拠点』の具体化に向けた検討が進められております。町は，双葉郡，浜通り，引いては福島県全体の創造的復興を推し進めるために欠かすことができないこの『国際教育研究拠点』の整備に全面的に協力していく考えです。

（2021 年 12 月 21 日 記）

時論

グリーントランジションに向けたSMR開発

久持康平（ひさもち・こうへい）
日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役副社長兼 Chief Lumada Business Officer
九州大学応用原子核工学研究科卒業。1993年日立製作所入社，安全設計，PSAに従事。2019年原子力生産本部長，2020年4月より現職。

近年，革新的な安全設計，モジュール生産，初期投資抑制等を特長とした小型炉（Small Modular Reactor）の開発が進められている。2021年12月には，カナダのオンタリオ州営電力（OPG社：Ontario Power Generation）は，ダーリントン原子力発電所に建設するSMRとしてBWRX-300を選定したことを発表した。本稿では，このBWRX-300の特長とグリーントランジション（環境配慮や持続可能性のある社会への移行）との関係性を述べる。

Ⅰ．BWRX-300の特長

米国のGE Hitachi Nuclear Energy,Ltd.と日立GEニュークリア・エナジー株式会社は，電気出力300 MWe級の小型軽水炉としてBWRX-300を開発しており，静的な安全システムと原子炉システムを単純化した特長により，高度な安全性，高経済性の確立をめざしている。

原子炉は自然循環型の冷却メカニズムを持ち，単純な原子炉構成としている。加えて，原子炉一次冷却材圧力バウンダリの信頼性を高め，代表的な事故であるLOCA（Loss of Coolant Accident：冷却材喪失事故）の発生確率を徹底的に低減する概念を持つ。事故時には，交流電源と運転員操作無しで，原子炉を隔離し非常用復水器により，原子炉の冷却を継続できる設計となっている。この結果，安全性を高めつつ，非常用炉心冷却系ポンプなどの大型の動的機器を削減するとともに，原子炉建屋および原子炉格納容器を小型化し，システムの単純化とあいまって機器点数の削減を図っている。また，原子炉格納容器の大部分を地下に埋設（図1）することで，テロなどを含む外的事象への耐性を強化している。さらに，燃料および原子炉系のほとんどの機器を，原子力発電所にて採用実績のある技術を採用することで，開発リスクを最小化する。

BWRX-300は，米国にて設計型式認証（Design Certification）を取得したESBWR（Economic Simplified BWR）をベースにし，主要な設計変更部分をライセンシングトピカルレポートにて米国規制当局（NRC）の審査を受けている（一部認可済）。使用する燃料も米国とその他の国にて認可済の実績のある燃料設計を活用する。このように，審査実績のある技術を活用して，許認可性の確保を図っている。

近年の大型炉建設プロジェクトにて見られた長期間の建設工事による初期費用の増加に対しては，工場完成型一体据付建設手法，先進的な一般産業技術等による建設工期の短縮，建設費低減を実現する技術を採用する。さらに，先に述べたシステムの単純化との組合せにより，出力当たりの投資効率に優れた構成をめざしている。

BWRX-300は，革新的な安全性と経済性（初期投資抑制および投資効率）に特長を持つが，これらに加え，実績のある技術の活用という点はグリーントランジションにおいて重要な役割を果たすと考えられる。

Ⅱ．グリーントランジションと新型炉開発

再生可能エネルギーによる発電技術，火力発電とCCUS（Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage）の組合せ技術に加え，運転中に二酸化炭素を発生しない原子力発電技術は，電源の脱炭素化を進めていく上で有用な技術と期待されている。電源の構成比は，技術の進化や社会的背景により，長期的に変化していくことが想定されるため，各電源は，状況の変化に応じた導入のしやすさと，カーボンニュートラル社会に適合する環境負荷特性を持つことが必要となる。

原子力の開発において，導入のしやすさは，高いレベルの安全設計，初期投資抑制による柔軟な事業戦略への適合等である。環境負荷特性については，放射性廃棄物削減の対策を進めるものであり，有害度低減の対策も含

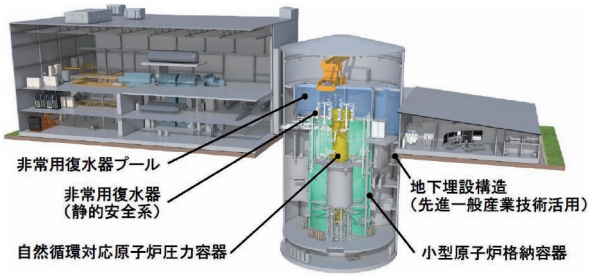


図1　次世代小型軽水炉BWRX-300の概略図

まれる。

これらを実現する新型炉の例として，前章のBWRX-300に加え，軽水冷却高速炉RBWR（Resource-Renewable BWR：資源再利用型BWR），小型液体金属冷却高速炉PRISM（Power Reactor Innovative Small Module：革新的小型モジュール原子炉）を紹介する。

RBWRは，資源の有効利用と使用済み燃料の環境負荷低減に寄与することを意図した原子炉である。燃料棒を密に配置（稠密燃料）するとともに，冷却水が沸騰するBWRの特長を活用し，冷却水との衝突による中性子の減速を抑制した高速中性子によって，使用済み燃料に含まれるプルトニウムやマイナーアクチニドなどの超ウラン元素を燃料として燃焼する。この炉心技術により，発生する放射性廃棄物の有害度低減をめざす。RBWRはベースがBWRであり，あらゆるBWR（ABWRやBWRX-300など）への応用を意図している。RBWRの稠密燃料を現行BWRに適用し，高いエネルギーの中性子利用を段階的に実証することなど，核燃料サイクルにおける再処理技術および燃料加工技術の進展に合わせた段階的な開発ができる。

PRISMは，電気出力は単一モジュール当たり311 MWeの金属燃料を採用した小型モジュール型のナトリウム冷却高速炉である。高速炉技術により燃料である核分裂性物質を消費しながら，燃料となる核分裂性物質を生成することができる。また，外部の空気の自然循環を活用した受動的安全系RVACS（Reactor Vessel Auxiliary Cooling System：原子炉容器補助冷却システム）を持ち，事故時に電源および運転員操作無しで崩壊熱を除去する。

原子力が長期的な安定電源としての役割を果たすためには，これまで蓄積してきた軽水炉技術と核燃料サイクル技術を活用した開発が不可欠である。一方，近年の諸外国の原子炉建設プロジェクトの動向をみると，これまでの蓄積技術だけでは対応できない初期投資の抑制が課題となっている。更に，産業全体の脱炭素化，環境価値の向上の点では，有害度低減の取組みが重要となる。このような背景を踏まえると，グリーントランジションにおいて，柔軟に導入可能な革新炉の導入，有害度低減としての放射性廃棄物削減の取り組みに加え，原子力に関連した実績のある産業インフラの活用性も重要な要素となりうる。特に最後の点では，現在の軽水炉の国内サプライチェーンを活用しつつ，環境負荷を低減するシナリオとして，現行の建設・運転実績のある大型炉ABWRの安全対策の強化により安全性を高めつつ，RBWRの適用を考える流れがベースに考えられる。電源構成と産業のエネルギーインフラが変化する過程で柔軟に新型炉を導入する点では，初期投資を抑制できるBWRX-300を，使われ方を見極めながら導入しつつ，RBWRの適用（BWRX-300の炉心に稠密燃料を採用）を図ることが考えられる。BWRX-300は，現行の実績ある技術を活用する特性を持つことから，トランジションにおいて有効な手段である。つまり，グリーントランジションにおいて，大型で安定的な電源を供給するABWRに加え，次世代小型軽水炉BWRX-300は，スムーズな産業インフラの活用の側面を持ってクリーンエネルギーの供給を果たすことができる。

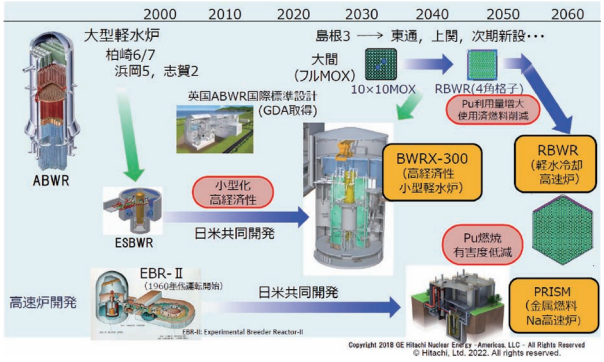


図2　日立の原子力ビジョンと開発の流れ

日立では，図2のような新型炉開発の流れを構想し，BWR建設経験と核燃料サイクル技術を基に，ABWRの安全性強化，新型炉開発において，初期投資の抑制，長期的な安定電源の確保，放射性廃棄物の有害度低減を実現することをめざしている。グリーントランジションにおいては，環境負荷低減と産業インフラの活用という革新技術と成熟技術の組合せが重要である。

Ⅲ．おわりに

OPG社によれば，ダーリントン原子力発電所のプロジェクトは，オンタリオ州内で広範囲に増加が見込まれる電力需要に対してクリーンエネルギー源を提供するものであり，脱炭素の効果としては，300 MWeのSMRにより，年間30万トンから200万トンの二酸化炭素排出抑制の効果（代替される電源にもよる）があるとしている。オンタリオ州では，クリーンエネルギーとして軽水炉技術をベースとしたBWRX-300に期待されている。BWRX-300は，革新的な安全設計，初期投資の抑制，実績のある技術の活用との特性を持つことから，脱炭素化，グリーントランジションを軌道に乗せるのに重要な役割を担うことになる。推進にあたっては，確実な許認可の推進，確度の高い建設工程とその実現が最重要であり，意図した安全性，経済性を確実に実現することが重要である。

このようにグリーントランジションに向けて，革新的な安全設計，初期投資の抑制による柔軟な事業戦略への適合を，既存の信頼性の高いサプライチェーンを活用して次世代軽水炉で実現しつつ，さらにその先の環境負荷低減に取り組んでいきたい。

（2022年1月10日 記）

時論

これまでの双葉町のあゆみとこれから

橋本靖治（はしもと・やすはる）
双葉町秘書広報課　課長
福島県双葉町出身。平成12年に役場職員となり，東日本大震災時は企画課（現在は復興推進課に課名変更）に所属し，震災後は復興まちづくり計画の策定などを担当。令和3年4月から現職。

Ⅰ．これまでの双葉町のあゆみ

平成23年3月11日に発生した東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故から間もなく11年を迎えようとしている。震災から10年も経過すると震災当時の体験や記憶が風化してしまい，人々の記憶から当時のことが忘れ去られてしまうことを懸念している。私は震災当時のことを町内視察案内や講演の際に説明する機会が多いので，日常生活の中で繰り返し震災当時のことを思い出しているため，まだ記憶の中に鮮明に残っているが，大抵の方は時間の経過とともに震災の記憶が少しずつ薄れているのではないだろうか。

そのため，双葉町が経験したこれまでの経過を，私自身の体験を踏まえて，私の目線から改めて整理してみる。

双葉町は平成23年3月11日，午後2時46分，震度6強の地震に襲われた。それは私が経験したことが無いほどの揺れで，目の前で建物やブロック塀が損壊するなど大きな被害があった。しかし，この時点では私は大津波が来ることは想像しておらず，地震に襲われた瞬間は「明日からの復旧作業は大変なことになるだろうな」程度にしか感じていなかった。まさか町から避難することになろうとは，このとき考えもしなかった。地震から約50分後には町内の沿岸部を大津波が襲い，役場庁舎から見える沿岸部の風景は津波被害により一変していた。役場職員は手分けして町内の被害状況を確認するほか，午後5時頃から町内で避難所となった公共施設に配置され，避難する町民の方などの対応に追われた。

3月12日の朝，原子力発電所が危険な状態であることから，双葉町から20 km以上離れた場所へ避難するよう避難指示が発令された。私は同じ避難所にいた職員3人と双葉町から北西に約70 km離れた福島県川俣町へ向かった。このときは，原子力発電所が危険な状態であるから「念のため」避難するだけで，2，3日経てば町へ戻れるだろうと楽観的に考えていた。町民のほとんどは自家用車で避難したため，川俣町へ向かった方もいれば，双葉町から避難先となる目的地が分からないまま避難した方も多く，県内外へ各自が避難することになった。約7,000人の町民はここで分断されてしまった。

川俣町に到着した12日の午後，職員は避難所となった公共施設に配置され，双葉町から避難してくる町民の受入を行い，避難所運営を行っていた。

3月12日，午後3時36分，福島第一原子力発電所1号機が水素爆発する映像がテレビで放映され，このとき初めて「これは大変なことになってしまった」と感じた。3月19日には川俣町を離れ，埼玉県のさいたまスーパーアリーナへ向かい，その後，3月30日，31日から旧騎西高校（埼玉県加須市）で長期の避難生活を過ごすことになる。この時点で町民は全国各地に分散してしまっており，その後，相当な時間を掛けて町民の安否や避難先を確認することになる。

双葉町民は3月11日から避難生活が始まり，はじめは直ぐに何とかなるだろうといった感覚があったと思われるが，その感覚は原発事故によって覆され，時間の経過とともに「いつまでこの避難生活が続くのか」，「いつになったら自宅へ戻れるのか」といった先が見えない不安や憤りを抱えながら避難生活を強いられることになった。私は，この双葉町民の気持ちを多くの方に共感していただきたいと思っている。同情ではなく，平穏な日常生活が震災や原発事故により失われ，強制的に長期的な避難生活を強いられることになったこの感情を，この気持ちを多くの方に理解していただきたい。

震災から1年以上が過ぎた平成24年7月から「双葉町復興まちづくり計画（第一次）」の策定を開始した。このときの大きな課題は，「いつになったら双葉町へ戻れるのか分からない」という状況におかれたまま計画を策定しなければならないということだった。

町では，町民主体の計画を策定することを目標としていたので，計画の策定を進める中で町民の皆さんから意見集約するため「7,000人の復興会議」と称した意見聴取の取り組みを始めた。全国各地へ避難する双葉町民から，各地で開催する座談会や自分の思いを記す記録ノー

ト(日記)，インターネットなどを通じて，町民の方の意見や考え，町の復興への思いをとにかく集約することに取り組んだ。はじめは，町の復興に関する希望に満ちた意見が寄せられるだろうと安易な気持ちで取り組んでいたが，その思いは意見聴取を進めるうちに否定されることになる。このときは，「皆さんは双葉町をどのような町にしたいですか？」と問うと，「いつ帰れるのか分からず，この避難生活が今後どうなるのかも分からないのに，どんな町にしたいかなんて分かるわけがないだろう」というお叱りの言葉を多くいただいた。町民の方の気持ちになって考えれば，お叱りの言葉はもっともだ。長期的な避難生活が続く中で将来に希望が見出せず，自宅がある故郷へいつ戻れるかも分からない状況の中で，町の復興について意見してくださいと言われても困惑するだろう。中には建設的な意見をいただいたが，町の復興がどのようになるのか先が見えない混沌とした状況の中で計画策定を行ったことを理解していただきたい。

平成25年6月に策定できた「双葉町復興まちづくり計画(第一次)」は，“町民一人一人の復興”と“町の復興”というサブタイトルにして，町民主体の復興を基本としながら，町民の生活再建と町の復興に向けて町が取り組むべき施策を明らかにすることにした。

その後，町では「双葉町復興まちづくり長期ビジョン(平成27年3月策定)」，「双葉町津波被災地域復旧・復興事業計画(平成27年3月策定)」，「双葉町復興まちづくり計画(第二次)(平成28年12月策定)」といった復興関連の計画を策定した。具体的に何ができるのかといった状況を判断しながら，町民の方や有識者などからのご意見を参考にして一つひとつ丁寧に策定した。町民の方からは「復興のスピードが他の自治体と比較しても遅すぎる。行政は何をしているのか」といった声も寄せられたが，帰還困難区域を多く抱える町では一つの計画策定にも多くの時間を要することになった。

町は復興・復旧へ向けて動き出そうとするとき，必ず「除染」という作業が必要になる。これは放射性物質を取り除く作業で，多くの人手と時間を要する。除染作業が完了してからようやく復旧作業を進めることができるため，津波被災地域と比べると復旧のスピードに大きな差が出てくる。これが復興・復旧に時間が掛かる原子力被災地域特有の原因だと言えるだろう。

平成29年9月に「双葉町特定復興再生拠点区域復興再生計画」が国の認可を受け，ここから本格的な双葉町の復興が目に見える形でスタートすることになった。

Ⅱ．これからの双葉町

町の特定復興再生拠点区域の除染が進むにつれ放射線量が下がり，令和2年3月4日にようやく避難指示解除準備区域と駅周辺の一部の避難指示が解除され，3月7日には常磐自動車道 常磐双葉インターチェンジが開通，3月14日にはJR常磐線が全線再開し，復興するために必要な公共交通アクセスが復旧した。また，特定復興再生拠点区域内の立入規制が緩和されたことにより，町内への主要部分には許可証が無くても自由に立入することができるようになり便利になった。町沿岸部の地域には「東日本大震災・原子力災害伝承館」や「双葉町産業交流センター」，産業団地が整備され，多くの観光客や事業者の皆さんにより賑わいを取り戻している。しかしながら，町内は生活インフラが完全復旧しておらず，立入が自由になった区域があるものの未だ生活することはできない。

町は，令和4年6月以降の特定復興再生拠点区域(町全体の約10％の区域)の避難指示解除を目指している。8月末にはいわき事務所から役場の本体機能を双葉町内に整備する仮設庁舎へ移転させる予定としている。令和4年度は，双葉町の主要部分の避難指示が解除され，ようやく町内で生活できる状況になる。これは大きな前進である。

毎年，町民を対象に実施している今年度の住民意向調査では，将来町へ「戻りたいと考えている」方が11.3％，「戻らないと決めている」方が60.5％という結果が報告された。その中にあっても，最近町民の方から語られるのは，町へ「戻りたいけど，戻れないから戻らない」という言葉である。双葉町とは何らかのつながりを続けたいけれども，避難先での生活があるため，もう双葉町へは戻って生活することはできない。それでも年に数回は墓参りや知人，親戚などに会うために双葉町へ帰りたい。それぞれの家庭状況によって事情は異なる。戻りたい町民が少ないのだから，町の復興に予算を掛けるべきではないという意見も聞く。だが単純に戻りたい人が多い，少ないで町の復興を判断するわけにはいかないと私は思う。双葉町を少しずつでも復興させなければならない。まずは歴史ある双葉町を残すことに取り組むことが今の時代を生きるわれわれの責務であると考えている。

(令和4年1月18日 記)