

調 査 研 究 要 旨 集

—令和3年度研究成果—

令和4年12月



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

この要旨集は、当研究所の令和3年度の調査研究活動等の成果としてとりまとめられたものの要旨と報告書の目次を収録したものです。令和2年度以前にとりまとめられたものについては、バックナンバーをご覧ください。

本要旨集が関係各位のご参考になるとともに、当研究所の事業に対するご理解の一助となれば幸いです。

目 次

1. エネルギー技術全般	4
(ア) 地球規模でのエネルギーシステムに関する調査研究	5
1.1 正味ゼロ排出に向けたカーボンリサイクル技術イノベーションシナリオ分析	6
1.2 新型コロナウイルス感染症対策がエネルギー需要に与える影響分析	7
(イ) エネルギー技術に関する国際協力	8
1.3 国際エネルギー機関 研究開発プライオリティセッティング専門家会合の活動支援	9
(ウ) その他	10
1.4 エネルギーに関する公衆の意識調査	11
2. 新エネルギー・省エネルギー・電力システム関連	12
(ア) 次世代電力システムに関する調査研究	13
2.1 次世代電力ネットワーク研究会の運営	14
(イ) 再生可能エネルギーに関する調査研究	15
2.2 令和3年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業 (地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証)	16
2.3 蓄熱システムに関わる技術開発調査	17
2.4 電力ピークシフトをJEPXおよび蓄熱発電を利用して実現するビジネスモデル	18
2.5 子供の科学NEXT	19
3. 水素エネルギー関連	20
(ア) エネルギーキャリアとしての水素に関する調査研究	21
3.1 CO2フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究	22
3.2 エネルギーモデルを用いた世界と日本の水素需要量の分析	23
3.3 Sustainability Assessment of Harmonised Hydrogen Energy Systems: Guidelines for Life Cycle Sustainability Assessment and Prospective Benchmarking	24
4. 炭素循環エネルギー関連	25
(ア) 炭素有効利用・循環技術等のエネルギーシステムに関する研究	26
4.1 CO2分離回収技術に関する動向調査	27
5. 原子力関連	28
(ア) 福島第一原子力発電所事故関連	29
5.1 原子力の安全性向上に資する技術開発	30
(イ) 原子力全般	31
5.2 原子炉等施設に係る国際原子力機関の安全基準の動向調査	32
(ウ) 原子炉廃止措置に関する調査研究	33
5.3 原子力施設の廃止措置を統括するグローバル人材の育成に係る助勢	34
5.4 廃止措置に係る講義資料の作成	35
5.5 廃止措置に係る研修の実施	36
5.6 原子炉施設等の廃止措置準備作業における放射能インベントリ評価関連の技術支援	37
6. 国際標準関連	38
6.1 CCS標準化活動に関する支援	39

1. エネルギー技術全般

(ア) 地球規模でのエネルギーシステムに関する調査研究

1.1 正味ゼロ排出に向けたカーボンリサイクル技術イノベーションシナリオ分析

(プロジェクト名) 正味ゼロ排出に向けたカーボンリサイクル技術イノベーションシナリオ分析

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

2015 年に国際社会が合意したパリ協定では長期的な地球温暖化の気温目標として、1.5 度または 2 度より十分に低い水準に、気温上昇を抑えることが掲げられた。これを受けて、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は 2018 年 10 月に 1.5 度の地球温暖化に関する特別報告書を公表し、1.5 度または 2 度目標の達成のためにはそれぞれ 2050 年、2070 年ごろまでに CO₂ 排出実質ゼロを達成する必要性を示した。日本政府も 2019 年にパリ協定の下での長期戦略を提出し、21 世紀後半のできるだけ早い時期に正味で CO₂ 排出をゼロとする目標を謳ったが、定量的な分析は限られている。

そこで、正味排出ゼロ社会に向けたカーボンリサイクル関連技術のイノベーションに関する知見を整理し、エネルギーシステムモデルに反映することで、イノベーションの可能性と不確実性についてシナリオ分析を実施した。これによりカーボンリサイクル関連技術の日本への導入必要量とそれによる CO₂ 排出削減効果を定量的に明らかにし、社会実装の実現に向けた知見を生み出すことを目的として分析評価を実施した。

カーボンリサイクル技術の具体事例として、回収した CO₂ を利用しメタンを合成するメタネーションとメタノール製造を分析対象とした。これら技術の文献情報整理し、エネルギー投入量と CO₂ 利用量、および製品製造量のパラメータをまとめ、それら技術の導入可能性についてエネルギーシステムモデルによる検討と、シナリオと整合的なプロセスの LCA 評価を行った。LCA の結果、これらカーボンリサイクル技術プロセスは、シナリオで計算された 2040 年以降の電力 CO₂ 排出原単位において、有効な技術となることが示された。

また、正味ゼロ排出に向け、産業部門や長距離輸送などの排出削減が難しい部門からの CO₂ 排出をオフセットする形での負の排出技術の必要性も考慮し、バイオマス発電と CCS 組み合わせたバイオマス CCS(BECCS)と、大気中の CO₂ を直接回収し貯留する技術(DACCS)に関する導入可能性について詳細な分析を行った。2050 年に日本国内において正味 CO₂ 排出ゼロを達成可能な技術オプションとして、ネガティブエミッションを含む CCS による CO₂ 貯留量が 2050 年において少なくとも年間 150MtCO₂ 程度必要であり、その中での BECCS と DACCS の重要性が明らかになった。カーボンリサイクル技術としてメタネーションとメタノール合成に関して、2040 年ごろでは化石燃料起源 CO₂ の回収が有効であり、その後の 2050 年正味 CO₂ 排出ゼロに向け、DAC による CO₂ 利用が年間 5~30MtCO₂ のレベルで必要となることが明らかになった。

1.2 新型コロナウイルス感染症対策がエネルギー需要に与える影響分析

(プロジェクト名) 新型コロナウイルス感染症対策がエネルギー需要に与える影響分析

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

2020 年に世界的に広がった新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) に対する感染拡大対策としての人の移動や企業活動の制限は、社会経済活動に大きな変化をもたらした。移動制限から交通量が激減し、経済活動も停滞した。特に、人が集まる店舗・施設、観光や娯楽のサービス産業といった特定業種の活動が著しく制限された。他方、テレワーク・オンライン会議等による勤務場所の変更、オンライン購入による E コマース市場の拡大など、新たな社会活動の形態も促進されている。

エネルギー需要は社会経済活動と密接に関係しており、2020 年のエネルギー需要の変化は、働き方の変化、社会経済活動量の変化を反映している。本研究では、人流データや経済指標などの社会経済活動のデータを用いた日本のエネルギー需要データの分析し、COVID-19 対策による社会経済活動影響およびエネルギー需要の変化要因について考察した。

COVID-19 対策に伴い社会経済活動は急激な変化を示した。日本では自粛要請によって 2020 年 5 月には人出は前年比 50～75%にまで減少し、在宅時間は 10～30%増加した。その後も人出は 30～50%減少し、在宅時間は 2～10%増加している。地域による影響の差が大きく、都市と観光地における影響が大きい。エネルギー需要は 2020 年 3 月以降大幅に減少し、特に第 1 回緊急事態宣言の影響が大きく、5 月には電力、都市ガス、石油はそれぞれ 9%、16%、19%減少した。移動に伴う運輸旅客の減少はジェット燃料 84%減、ガソリン 25%減であった。一方、軽油は 5%減と運輸貨物に対する影響は軽微であり、宅配業では増加傾向を示した。これは、在宅の増加に伴うネット販売の増加から E コマース市場が拡大した影響と推定される。宿泊・飲食・娯楽・観光業等のサービス業に対する影響は大きく、エネルギー需要変化の寄与度の半分を占める。エネルギー消費の大きい製造業の活動停滞の要因も大きく、エネルギー需要変化の寄与度の残り半分は鉄鋼・機械製造業であった。また、製造業はエネルギー需要の回復に 2～3 か月遅れることも特徴としてみられた。2020 年 5 月に経済活動指数が増加したのは通信産業、医療、宅配業であったが、エネルギー需要変化の寄与度は 1 ポイント未満と軽微であった。在宅時間の増加から、家庭部門のエネルギー需要が増大しており、特に気温変化の大きい季節の需要変化が大きい。在宅勤務による活動地域が分散することにより、冷暖房をより多く使う時期に、エネルギー需要の増加が顕著に表れる。これらの成果は学会発表・講演・季報の形式で外部に発信した。

(イ)エネルギー技術に関する国際協力

1.3 国際エネルギー機関 研究開発プライオリティセッティング専門家会合の活動支援

(プロジェクト名) 国際エネルギー機関 研究開発プライオリティセッティング専門家会合の活動支援

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

ウェビナー形式で数回開催されたワークショップの活動においてプログラム作成、セッション座長などの支援を実施した。ワークショップのテーマは、循環経済、研究開発とそのインパクト評価、水素であった。会合をホストした水素ワークショップは、政策、実証プロジェクト、研究開発の方向性とプライオリティについて議論を行い、当所から水素エネルギーシステム分析が研究開発の優先順位付けに貢献できることをアルカリ水電解とエネルギーキャリアの長距離輸送の分析事例を用いて紹介した。水素当たりのコスト構造やその感度分析からコスト低減可能な費目を見出したり、大規模化によって大規模なサプライチェーンがコスト低減できることを説明し、技術開発には、効率向上、大規模化、量産化による学習効果など複数の観点があることを指摘した。

(ウ)その他

1.4 エネルギーに関する公衆の意識調査

(プロジェクト名) エネルギーに関する公衆の意識調査

(報告書名) 令和3年度エネルギーに関する公衆の意識調査報告書

(報告書番号) IAE-2121709

(発行年月) 2022年 3月

(要旨)

令和3年度は11月8日～11月21日にインターネット調査を実施した。それまでと同様、対象を首都圏(東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県)の満20歳以上の男女、調査数を男女500名(男性248名、女性252名)、抽出法を割当法(2015年国勢調査による首都圏における性別・年代別人口構成に合わせ、回収数を割当てて方法。年代の区分は、20代、30代、40代、50代、60歳以上で実施)とした。調査項目は、意識の「変化」を比較するために、前回の調査と同様の質問を用いた。質問数は、(1)社会や生活に関する意識、(2)エネルギー問題に関する意識、(3)原子力発電に関する意識、(4)東電福島第一原子力発電所事故(以下「東電福一事故」という。)に関する意識、(5)回答者の分類(性別、年齢、職業)の5区分について、合計49問とした。

本年度(令和3年)の結果と過去に同様の方法で実施した調査(東電福一事故前の平成22年10月、事故後の平成23年10月、平成24年11月、平成25年11月、平成26年11月、平成27年11月、平成28年11月、平成29年11月、平成30年11月、令和元年11月、令和2年11月)の結果を比較し、首都圏住民の意識変化から、事故が与えた影響を考察した。

東電福一事故に対する関心度は、減少傾向はみられるものの8割を超える人たちが、現在も関心を持っている。その中で、原子力発電の利用、有用性および安全性などに関する意見は大きく否定的方向に変化し、調査時点でも大きな変化は見られなかった。特に、原子力発電の利用や安全性については、否定的な意見が5割前後という状況が続いている。原子力発電所の再稼働については、肯定的な意見は3割に満たない現状に変化はないが、否定的な意見が今回初めて4割を下回った。この否定的な意見は、男性よりも女性の方が多い傾向にあった。

(目次)

第1章 アンケート調査の概要

1.1 調査目的

1.2 調査設計

1.3 調査内容

第2章 アンケート調査の結果

2.1 公衆のエネルギー全般に関する意識

2.2 公衆の原子力発電に関する意識

結論

2. 新エネルギー・省エネルギー・電力システム関連

(ア)次世代電力システムに関する調査研究

2.1 次世代電力ネットワーク研究会

(プロジェクト名) 次世代電力ネットワーク研究会

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

令和3年度は、計6回の検討会を開催した。検討会のテーマは、至近の動向を考慮し、「地域新電力の地域エネルギープラットフォーム構築への取組」、「風力発電の最新動向と今後の課題」、「カーボンニュートラルに向けた海外の電気事業および我が国の途上国への支援」、「電動化社会をリードするパナソニックのリチウムイオン電池」、「大学・高専研究者による研究紹介およびディスカッション」、「脱炭素社会＝電化社会にむけて 電力システムを再考する」とした。見学会は新型コロナウイルスの感染状況を考慮して現地での開催を見送ったが、Web 見学会として、工場の生産ラインのビデオ見学と講演を合わせた検討会を実施した。シンポジウムは、テーマを「2050年の再生可能エネルギーの大量導入に向けた次世代電力ネットワークシステムの課題と展望」とし、第6次エネルギー基本計画における再エネ導入目標の実現、再エネ大量導入に必要とされる技術開発の国内外の課題、一般送配電事業者の立場からの電力ネットワークの方向性、EVの充電規格の日欧の競合を踏まえたEV普及の可能性などについて、ご講演いただいた。ニュースレターは、12回発行し、国内外の政策や事業、企業等の動向に関する情報を提供した。新規会員の獲得に努めた結果、法人3社、個人3名が新規会員となった。

本研究会の詳細はこちらを参照下さい。

<https://www.iae.or.jp/apnet/>

(イ)再生可能エネルギーに関する調査研究

2.2 令和3年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証)

(プロジェクト名) 令和3年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(地域バイオマスの利活用による清掃工場の持続可能な運用システムの実証)

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

令和3年度(2021年度)は以下に述べる4つの検討項目について成果が得られた。

「原料調達の検討」については、将来における清掃工場の安定運用に必要な調達バイオマス量を検討し、それに見合う地域のバイオマス賦存量が存在することを確認した。また、地域のバイオマスの内、農業残渣であると林業残渣であるバークについての利用可能性を検討し、バイオマス発生箇所における情報収集と整理を行った。さらに、清掃工場においてこれまで受け入れていなかったバイオマスを受け入れるための法規制について調査し、情報を整理した。

加えて、後述する実証試験を実施するにあたり、地域のカントリーエレベーターやバーク発生箇所からそれぞれバークを実証用原料として調達した。

「バイオマス混焼による実証試験」では、前記実証用原料バイオマスを清掃工場において試験的に受け入れ、ごみと混合して焼却炉に導入する実証試験を実施した。また、混合割合や混焼時間などの実証試験の条件設定を行い、混合処理における清掃工場の運転パラメータの変化や処理後の灰分などを確認することによって安定的な実証試験を行う前段階としての確認などを行った。

さらに、清掃工場におけるスートブロワの方式を蒸気式から圧力波式へ変更することによって、今後の熱回収量をアップする(創エネ)ことを目指し、圧力波式スートブロワの製作を行った(設置による実証は次年度に実施予定)。

「熱供給方法の検討」では、清掃工場の2019、2020年度のエネルギー回収、利用状況等について実績値を集約し、現状における熱供給の情報を収集・整理した。また、現在温水や蒸気を供給している2件の熱需要家へのヒアリングを行うことにより、現状の熱供給に関する課題や需要家のニーズを把握した。さらに、清掃工場近隣の工場、商業施設、施設園芸など将来の熱需要家候補

となる施設を調査した。これらの情報を踏まえ、今後の熱供給の拡大に向けた設備投資と熱供給計画の方向性を検討した。

「システム全体の検討」では、エネルギー分野における地域循環共生圏モデルの全体イメージを構成し、エネルギーの面的展開として山間部と都市部の再生エネルギー利用を視野に入れた「Saga Energy Factory Vision」を構想した。さらに、本構想を具体化するための検討を行い、清掃工場の排熱を効率よく周辺に供給するための複合拠点(ベース熱供給に加えて変動対応熱供給施設)を新たに設け、地域としての面的展開を拡大する方策の必要性を見出した。

清掃工場を中心としたエネルギー供給システム全体として、水冷復水器採用による低温熱の拡大利用を目指し、補助加熱は再生エネルギー利用や蓄エネルギーも検討し、元の構想をアップデートした「Saga Energy Factory Vision+」を検討した。

2.3 蓄熱システムに関わる技術開発調査

(プロジェクト名) 蓄熱システムに関わる技術開発調査

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

二酸化炭素排出量削減へ向けて、太陽光や風力などの再生可能エネルギーの大幅増加が見込まれるが、これらは天候や時間帯で発電量が大きく変動するため、安定的に電力供給を可能とすることが課題となる。このためには、負荷変動に対応して発電することを可能とする蓄エネルギー技術の開発・活用が重要と考えられる。蓄エネルギー技術としては、蓄電池等のほかに「熱」によって蓄える蓄熱技術が注目されている。

現状、世界で溶融塩蓄熱システムの運転実績があるのは、太陽熱発電プラントである。昨年度までに、米国 DOE の Sandia 国立研究所による Solar Two の報告書類などをもとに、実証プラントの実施例を調査した。本年度は商用プラントを中心に、先行事例調査と国内での実用化に向けた課題整理、およびその対応策を検討した。

蓄熱システムの構成及び運用方法については、Andasol、Gemasolar などに関する論文や学会発表の資料と NREL の最新レポートを基に、商用プラントの状況を考慮したうえで整理した。溶融塩による腐食は不純物の濃度に大きく依存することと、使用温度によるタンクの材料選択について整理した。タンク基礎は、強度、熱膨張に対応しつつ、コストを抑えることが重要となる。ヒートトレースについては、実証プロジェクトのヒートトレースシステムは高価であるため、商業プロジェクトでは配管、バルブ本体、およびバルブボンネットを別々のゾーンとしてトレースする方法を採用した。また、極力低コストとなるよう仕様についても工夫がされている。ポンプ、配管、バルブ、計装機器などは、各機器や支持方法などが、高温に対応する仕様であることが重要となる。各機器の代表的なベンダーについても調査した。蒸気発生システムは、実証プロジェクトではケトル式ボイラーが多く採用されていたが、商用プロジェクトでは、強制循環式蒸気発生器が推奨されている。

蓄熱システムの国内適用に向けた課題については、硝酸塩系溶融塩は一般的な取り扱いにおいては高温であることを除けば安全上特に問題が無いと考えられるが、酸化剤であるため、発火すると火災を拡大させる。したがって、これらの硝酸塩は木の床に保管するべきではなく、貯蔵庫は耐火性とすべきである。また、貯蔵、輸送、消防についての手順などについて整理した。商用プラントのデベロッパーや EPC コントラクターについては Appendix にまとめた。

2.4 電力ピークシフトをJEPXおよび蓄熱発電を利用して実現するビジネスモデル

(プロジェクト名) 電力ピークシフトを JEPX および蓄熱発電を利用して実現するビジネスモデル

(報告書名) 電力ピークシフトを JEPX および蓄熱発電を利用して実現するビジネスモデル

(報告書番号) IAE-2111918

(発行年月) 2022 年 1 月

(要旨)

電力自由化で日本卸電力市場 JEPX が設立されたが、再エネの導入拡大に伴い、価格の乱高下が始まった。2020 年度には 0.01 円/kWh の時間もあれば、250 円/kWh の時間もあった。この乱高下を抑えるためには蓄エネルギー設備が必要である。揚水発電がその役を担うが、今後さらなる再エネの導入には設備容量が足りない。そこで別の蓄エネルギー設備として蓄熱発電および蓄電池を導入した場合の経済性を検討した。安値の間に蓄電し、高騰時に発電するものである。試算の結果、蓄熱発電であれば 10 年程度、蓄電池は 20 年程度で投資回収が可能と見込まれた。

(目次)

- ・ビジネスモデル概要
- ・蓄熱発電の概要
- ・JEPX(日本卸電力取引所)の仕組み
- ・2020 結果ありきの手動試算
- ・蓄熱の売買判断例
- ・蓄電池の売買判断例
- ・検討したケース
- ・試算結果
- ・試算結果(月別)
- ・揚水発電の活用は可能か
- ・考察すべき事
- ・まとめ

2.5 子供の科学NEXT

(プロジェクト名) 子供の科学 NEXT

(報告書名)

(報告書番号)

(発行年月)

(要旨)

誠文堂新光社より2022年1月に出版された「見てわかる！エネルギー革命 子供の科学サイエンスブックNEXT」の執筆を行った。

詳細はこちらを参照下さい。

https://www.iae.or.jp/2022/01/27/20220125seibundo_shinkosha/

3. 水素エネルギー関連

(ア) エネルギーキャリアとしての水素に関する調査研究

3.1 CO2フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究

(プロジェクト名) CO2 フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究

(報告書名) CO2 フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究 2021 年度 報告書

(報告書番号) https://www.iae.or.jp/report/list/renewable_energy/action_plan/#04

(発行年月) 2022 年 3 月

(要旨)

『CO2 フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究』を開始した本年度は、2050 年における国際市場と国内市場のゼロエミ水素ビジョンのイメージの共有化、水素需要推算、及び国内外の水素関連動向調査を実施した。

ゼロエミ水素ビジョンでは、国際市場は、世界の水素需給量、水素貿易量等の検討案を議論し、国内市場は、2020 年度に総括したシナリオ研究での工程別展開の改訂案、輸入水素の一次エネルギーやゼロエミ電源に占める割合等の検討案を議論し、イメージの共有化を図った。

水素需要推算では、日本対象の TIMES-Japan モデルと世界対象の GRAPE モデルをソフトリンクし、世界全体でカーボンニュートラルとなる時期を 2050 年・2060 年・2070 年の 3 ケースとして世界と日本の水素需要量等を分析した。一例であるが、世界の水素需要量は 2050 年に向けて急増し、2060 年には約 1 億トンとなり、3～4 割程度は地域外から供給される。日本の 2060 年の水素需要量は、主に発電・運輸・製鉄での利用により 1,560 万トンとなり、多くを輸入する必要があることが示された。

国内外の水素関連動向では、主に欧州・ドイツの水素戦略と関連インフラ整備を調査した。欧州では、2050 年ネットゼロの実現に向けて化石エネルギーから水素エネルギーへの産業構造の転換を進めている。2022 年初には投資対象に関するタクソミーに天然ガス、原子力等を含める方針としたことや、ロシア・ウクライナの紛争による影響など、継続的な動向調査の必要性が示された。

(目次)

- 1 はじめに
- 2 ゼロエミ水素ビジョン研のメンバー
- 3 主要成果
 - 3.1 ゼロエミ水素ビジョン研
 - 3.2 ゼロエミ水素ビジョン
 - 3.3 水素需要推算
 - 3.4 欧州・ドイツの水素戦略と関連インフラ整備
 - 3.5 各国の動向

<添付資料>

- 【添付1】 ゼロエミ水素ビジョン研のメンバー
- 【添付2】 第1回ゼロエミ水素ビジョン研の総括
- 【添付3】 第2回ゼロエミ水素ビジョン研の総括
- 【添付4】 国際市場のゼロエミ水素ビジョン @2050 (イメージ)
- 【添付5】 国内市場のゼロエミ水素ビジョン @2050 (イメージ)
- 【添付6】 水素需要推算
- 【添付7】 欧州・ドイツの水素戦略と関連インフラ整備
- 【添付8】 各国の動向

3.2 エネルギーモデルを用いた世界と日本の水素需要量の分析

(プロジェクト名) エネルギーモデルを用いた世界と日本の水素需要量の分析

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

本分析では、水素が我が国のエネルギー供給の 3E+S に果たしうる貢献を探索するこれまでの目的は継続しつつ、様々な国や地域のカーボンニュートラルの条件を精緻化し、水素需要量やエネルギー需要量、導入されるエネルギー技術へ与える影響を中心に分析した。

具体的には、分析対象をそれぞれ世界、日本とする当研究所の GRAPE モデルと TIMES-Japan モデルをソフトリンクさせ、2050、2060、2070 年にそれぞれカーボンニュートラルを達成する条件において日本を含めた世界の水素需要量を分析した。

カーボンニュートラルの動きを考慮した水素需給分析の精緻化を行うために様々な国や地域のカーボンニュートラル等の条件の追加、カーボンニュートラルへ寄与する技術の追加を実施した。

様々な国や地域のカーボンニュートラル等の条件の追加として、2020 年度では、主に日本、EU、中国のカーボンニュートラルの条件を考慮したが、米国は、パリ協定に復帰し、カーボンニュートラルにも言及している。これらの状況をふまえ、米国を含む様々な地域の CO₂ 削減への動きをモデルの条件に反映した。その他の条件設定についても、適宜見直しを行い、より妥当と考えられる試算を実施した。

カーボンニュートラルへ寄与する技術について、これまでに考慮していた技術に加え、エネルギー転換、エネルギー需要技術を追加した。追加した技術は、主に欧州で研究が進められている e-fuel と呼ばれる CO₂ と電解水素からの合成燃料、石炭混焼や船舶燃料としての代替燃料としてのアンモニアである。また、必要に応じて、発電、エネルギー変換、エネルギー需要の技術オプションの設定の更新を行った。

需要部門において、水素は主に運輸部門で用いられ、発電等の他の部門でも用いられる。水素輸送の観点では、日本は期によって異なるものの必要な水素の多くを輸入している。また、水素の多くは需要される地域内で製造されるが、世界全体の需要量の 3～4 割程度は地域外から供給される。水素は、主に風力や天然ガス、水力、低品位炭から製造される。さらに、世界全体がカーボンニュートラルを達成する期限を前倒しすると水素需要量が大きく増加する可能性があることがわかった。

3.3 Sustainability Assessment of Harmonised Hydrogen Energy Systems: Guidelines for Life Cycle

Sustainability Assessment and Prospective Benchmarking

(プロジェクト名) Sustainability Assessment of Harmonised Hydrogen Energy Systems: Guidelines for Life Cycle

Sustainability Assessment and Prospective Benchmarking

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

当研究所は、EU の Clean Hydrogen Partnership にて実施されているプロジェクトにおいて、燃料電池・水素のシステムのライフサイクルにおける持続可能性評価(LCSA)のガイドラインの開発に参画している。本プロジェクトにおいて、持続可能性の指標は、環境性(LCA)、経済性、社会性の指標から構成されている。

FCH(燃料電池水素)システムのライフサイクル分析(LCA)の文献レビュー、ガイドライン作成、LCA のための材料のクリティカルティ指標の作成、LCC (Life Cycle Costing)と LCSA のガイドライン作成と統合、LCA,LCC、SLCA(Social LCA)の LCSA への統合、作成したガイドラインの適用、ベンチマーク(競合との比較)、有効性の確認が予定されている。

本年度は、FCH 製品のライフサイクルコストリングのガイドライン作成のための文献レビューを行った。文献データベースから FCH 製品のライフサイクルコストリングの査読付き論文を約 300 報抽出し、レビュー対象として約 150 報を特定した。2010 年から 2021 年にかけて文献数は時間とともに増加しており、研究者の本分野への寄与が増加していることがわかる。今後は、コスト分析手法の共通点、相違点などの分析を進める予定である。

4. 炭素循環エネルギー関連

(ア)炭素有効利用・循環技術等のエネルギーシステムに関する研究

4.1 CO₂分離回収技術に関する動向調査

(プロジェクト名) CO₂ 分離回収技術に関する動向調査

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

2050年にカーボンニュートラルを実現するには、高濃度排出源だけでなく、低濃度排出源や大気までを対象としてCO₂を分離回収することが不可欠である。排出源のCO₂濃度や処理量等の特性は多岐に渡るため、排出源の特性に応じたCO₂分離回収技術を選択することは、技術の社会実装を進めるうえで肝要である。1980年代に確立されたアミン水溶液を用いる化学吸収法の商用化が進む一方で、近年は、多様なCO₂分離材料及びCO₂分離回収プロセスの研究開発が国内外で活発に実施されている。CO₂分離回収技術の選択肢は多数あるが、どの技術がどの排出源に適しているかは必ずしも明確ではない。

そのため、CO₂分離回収技術を広く調査して適性を整理し、技術を実装する際のボトルネックについて明確化するために、本調査では吸収法、吸着法、膜分離法を中心として、多様なCO₂分離回収技術に関する最近5年程度の論文、特許、国内外の研究プロジェクト推進状況等に関する動向調査を実施した。この調査によりCO₂分離回収技術の現状を把握し、社会実装を進める際の課題を明らかにすることができた。

5. 原子力関連

(ア)福島第一原子力発電所事故関連

5.1 原子力の安全性向上に資する技術開発

(プロジェクト名) 原子力の安全性向上に資する技術開発

(報告書名) -

(報告書番号) -

(発行年月) -

(要旨)

原子力の安全性向上に資する技術開発は、福島第一事故を踏まえ、深層防護の観点から安全性向上に資する技術を開発することにより、我が国における原子力発電技術の水準の向上を図り、もって発電用原子炉施設の利用促進等を図ることを目的とするものである。なお、要素技術開発は、プラントメーカ 3 社が主体的に実施し、当研究所は、プロジェクトの着実な管理を実施した。

令和 3 年度の成果の概要は、以下の通りである。

(1) 要素技術開発

下記の 2 つの要素技術開発を継続実施した。

- ・希ガスフィルターシステムの開発
- ・先進建設工法の開発

(2) プロジェクト推進

プロジェクト推進は、プロジェクトの推進に係る会議体の運営や関係機関との連絡調整等を通して、効率的かつ計画的に本プロジェクトを推進するものである。

プロジェクトの着実な管理として、「運営会議」においてプロジェクト全体に係る計画や技術開発の進捗状況を確認するとともに、開発課題への対応を図り、円滑かつ効率的な技術開発を推進した。また、「運営会議(幹事会)」では技術開発の具体的な計画策定、進捗フォローと調整を行い、具体的かつきめ細かな進捗管理を行った。

(イ)原子力全般

5.2 原子炉等施設に係る国際原子力機関の安全基準の動向調査

(プロジェクト名) 原子炉等施設に係る国際原子力機関の安全基準の動向調査

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

我が国の原子炉等施設に係る安全基準の策定に際し、国際原子力機関(IAEA)等の国際機関における安全基準文書に係る動向を把握し、それらとの整合性などに配慮する必要がある。本事業では、原子力規制庁が実施する IAEA の安全基準文書に係る検討作業及び我が国の規制への反映に係る検討作業について、支援業務を実施した。

IAEA の原子力安全基準委員会(以下、NUSSC)で検討される安全基準文書等のドラフト(安全基準ドラフト)への対応のための情報収集、整理及び仮訳の作成を行った。NUSSC などの委員会で審議するドラフトについて、他の安全基準文書との整合性の整理、変更点の確認を行うとともに、文書の仮訳を作成した。さらに、技術的かつ専門的な見地からコメント案を作成し、原子力規制庁に提出した。その際、その分野に熟知した外部の複数の専門家から意見聴取を行った。また、ドラフトに対して NUSSC 参加国等から提示されたコメントへの処理表及び改定文書の変更箇所について、確認及び整理を行った。

加盟国に対する意見照会用のドラフトについても、仮訳の作成、ドラフトの内容及び変更箇所の確認を行うとともに、NUSSC 会合におけるドラフトの審議状況を勘案した上で、外部専門家からの意見をまとめ、コメント案を作成し、原子力規制庁に提出した。

上記コメント案の作成に関する外部専門家からの意見聴取に際しては、各分野の専門家 10 名からなる調査会を設置し、第 51 回、第 52 回 NUSSC 会合の前にそれぞれ 1 回ずつ、合計 2 回調査会を開催した。そこから得られた意見などを原子力規制庁に提出するコメント案に反映した。

(ウ)原子炉廃止措置に関する調査研究

5.3 原子力施設の廃止措置を統括するグローバル人材の育成に係る助勢

(プロジェクト名) 原子力施設の廃止措置を統括するグローバル人材の育成に係る助勢

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

我が国では、原子力発電所だけでなく核燃料取扱施設、再処理施設などの多くの原子力施設の廃止措置が行われようとしている。しかしながら実績という点では欧米には及ばない。技術的な側面だけでなく、戦略的な側面、すなわち、廃止措置に係る工学分野だけでなく社会科学分野についても今後多くのことを欧米から吸収していかねばならない。このために、工学分野と社会科学分野の両面で、自分たちの抱える課題を整理し、欧米の技術者との議論を通して良好事例を学び、それを国内の廃止措置に反映させていくスキルが不可欠である。このような人材の育成に対して社会からの強い要請があるが、このような人材の育成はこれまで十分になされていない。

原子力施設の廃止措置は、30 から 40 年(場合によっては 80 年から 100 年)にわたる長期のプロジェクトである。このような長期間を通して要求される安全性及び事業の品質を維持していくためには、廃止措置の対象なる施設(以下、“対象施設”という。)の特徴、廃止措置を取り巻く環境(自然環境及び社会環境の両面を指す。)及び投入可能なリソースに対する俯瞰的な分析(以下、これら3事項をそれぞれ“特徴分析”、“環境分析”及び“リソース分析”と呼ぶ)に基づき策定された戦略が不可欠である。さらに、これらの3項目の分析結果は廃止措置の期間を通して変化していくものであり、戦略には要求される安全性及び事業の品質を維持するための施策も、このような変化に適合させていく配慮がなされていなければならない。法令が要求する廃止措置の計画(炉規制法の定める廃止措置計画認可申請)は、主として技術的な事項であり、廃止措置の遂行に係る必要条件を求めているに過ぎない。長期にわたる廃止措置のプロジェクト管理を確実にし、目標とする状態を達成し、廃止措置を完遂するためには、戦略的観点を持ってこれに取り組むことのできる人材が不可欠である。このような人材及び彼らの構築する戦略は、法令の要求する廃止措置の計画と合わさって、プロジェクトとしての廃止措置の必要十分条件を満たすことになる。上記を踏まえ、本事業では講義及び実習並び現地視察を備えた人材育成プログラムを構築し、実施した。

5.4 廃止措置に係る講義資料の作成

(プロジェクト名) 廃止措置に係る講義資料の作成

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

国立研究開発法人日本原子力開発機構が実施する廃止措置講座に対して、廃止措置に係る講義資料の作成を実施した。作成した講義資料は、a)廃止措置の概要、b)廃止措置に係るプロジェクトマネジメント及びc)事前及び事後課題からなる。廃止措置の概要として、廃止措置に係る要求事項、国内の商業用原子力発電所の廃止措置及び海外の原子力施設の廃止措置の実施状況の講義資料を作成した。また、プロジェクトマネジメントの概要として、ISO21500 に準拠したプロジェクトマネジメントのポイントについての解説、すなわち、スコープ定義、資源見積もり、工程設計・進捗管理、不確実性等の考え方等の講義資料を作成した。廃止措置におけるプロジェクトマネジメント(プロジェクト管理)としては、廃止措置にプロジェクトマネジメントの手法をあてはめた場合のスコープ定義、資源見積もり、工程設計・進捗管理、プロジェクトの最適化の考え方等の講義資料を作成した。さらに、講義の実施に当たって前提となる知識の事前学習用の課題の設定及び講義実施後の理解の深化に用いる課題とし、講義項目に合わせた事前及び事後課題を設定した。研修生に課した。提出された課題は添削をして返却した。

5.5 廃止措置に係る研修の実施

(プロジェクト名) 廃止措置に係る研修の実施

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

国立研究開発法人日本原子力開発機構が実施する廃止措置講座に対して、別件名で作成した廃止措置に係る講義資料を用いて次の研修を実施した。

① 国内の廃止措置の概要

国内の原子力発電所の廃止措置の概要を講義する。講義の内容は次の通りとする。

(ア) 廃止措置の目的

(原子力発電所の場合)廃止措置は何のために、何を目的して実施するものであるかの解説をおこなう。ここでは、IAEA の定める目的及び原子力学会標準委員会が定める目的について、その背景(考え方など)を踏まえて解説するものである。

(イ) 廃止措置の計画の策定

廃止措置対象施設の特性を把握したうえで、廃止措置の方策(strategy)を策定し、これに基づき計画を策定していくことになる。計画の策定手順は、i)施設の特性評価(残留放射能分布の評価及び施設の特性調査)、ii)廃止措置工事(除染工事、解体工事及び解体撤去物の処理(放射性廃棄物、クリアランス物及び産業廃棄物)の計画立案(工程計画を含む)、iii)廃止措置の安全評価及び iv)費用評価について解説する。

(ウ) 廃止措置の実施

廃止措置工事の実施について国内の実施事例(原子力発電所の例)の紹介を行う

② 海外の廃止措置の状況

海外の廃止措置の状況を講義する。講義の内容は次の通りとする。

(ア) 全体としての取り組み

日本に先行して廃止措置を実施している米国、フランス、ドイツ及び英国などについて、それぞれの国として全体的な仕組みとして、国(政府及び規制当局)並びに民間(事業者)の役割、資金に関すること、法令の枠組みなどの各国の取り組みを講義する。

(イ) 個別の情報

全体の取り組みの解説を行なった国について、個別の情報を講義する。各国の原子力施設の廃止措置の取組状況を解説する。

③ 廃止措置の安全

廃止措置で考慮すべき基本的な安全要求事項の解説を行う。内容は策定中の原子力学会標準“基本安全基準”に準ずるものとする。

廃止措置期間における安全確保の考え方を確実に理解することは、廃止措置プロジェクトの効率的に推進する必須要因である。安全確保の考え方への理解が、適正なグレーデッドアプローチの適用を可能にするものである。グレーデッドアプローチの適正な適用は、廃止措置に投入する資源の適正な配分を可能にし、安全性を向上させるものであるとともに、廃止措置の効果的な推進を実現するものである。

④ プロジェクト管理

ISO21500 に準拠するプロジェクトマネジメントについて解説する。特に、“プロジェクトマネジメントの3つの視点”と言われている「目標の設定」、「計画」、

「実行」について重点的に講義する。また、プロジェクト管理における「目的」と「目標」の違いについて講義する。また、「計画」と「実行」については WBS の適用についての解説も行う。

これらに加え、プロジェクト管理の観点におけるステークホルダーとの関わりについても解説する。

⑤ 廃止措置のプロジェクト管理

“廃止措置というプロジェクト”に ISO21500 のプロジェクトマネジメントを適用していく場合の要点を解説する。特に、“3つの視点”の廃止措置への適用について重点的に講義する。また、「目的」と「目標」の違いは、「戦略(strategy)」の策定に関わる事項であり、廃止措置対象施設及びその周辺環境に関する事実に基づく目標の設定と目的の明確化、それを実現していくための道筋としての戦略のあり方について解説する。また、プロジェクトの最適化の考え方についても講義を行う。

5.6 原子炉施設等の廃止措置準備作業における放射能インベントリ評価関連の技術支援

(プロジェクト名) 原子炉施設等の廃止措置準備作業における放射能インベントリ評価関連の技術支援

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

安全かつ合理的な原子炉施設等の廃止措置(又は運転中廃棄物の処理・処分)の計画立案には、第一に施設に残存する放射能の性状、分布及び量を把握する必要がある、放射能インベントリ評価が必要である。上述の分野の解析業務に必要な技術知見及び情報の提供等を提供することを目的として、原電エンジニアリング株式会社殿に対して原子炉施設等の廃止措置準備作業における放射能インベントリ評価関連の次の技術支援を実施した。

(1) 放射化放射能評価の不確かさについて

規制庁では、廃止措置における放射能インベントリ評価に限らず、原子力施設の施設と活動に伴う放射性被ばくの評価では評価結果(計算結果)には不確かさを合わせて表示することを求めるとすることの検討を進め、一部でそれを要求することになっている。

ここでいう不確かさとは、従来用いてきた測定誤差又は計算誤差のことではなく、JCGM(the Joint Committee for Guides in Metrology)が提示する考え方に基づくものであり、また、ISO が発行する放射線測定の不確かさに関するレポートに基づくものである。ここでは、不確かさに係る動向を説明するとともに、ASME V&V の概要について取りまとめた。

(2) 放射能インベントリ評価の V&V について

原子力学会 放射線工学部会では解析コードを用いた放射線被ばく評価の手法に関する V&V のあり方について検討を開始している。

V&V の考え方は、ASME によって提唱され、その考え方が整理されてきた。

ここでは、放射線工学部会が取り扱おうとする放射線被ばく評価の V&V に関連させ、廃止措置の放射能インベントリ評価の V&V に係る考え方を纏めた。

(3) レベル区分別物量設定の手順について

放射能インベントリ評価実施の目的の一つには、廃止措置で発生する放射性廃棄物の物量を見積守ることにある。ここでは、最初に機器汚染密度及び処分レベル別物量設定手順のフロー図を示し、2次の汚染における評価及び放射化汚染における評価のフローを示している。

(4) 廃止措置における2次の汚染評価

2次の汚染によるものの評価では、核分裂生成物や放射化生成物の施設内における拡散のメカニズムを評価に取り込む必要があるものの、核分裂生成物や放射化生成物の生成量の計算手順は放射化汚染と同じである。放射化汚染の計算は、施設構造物材料の照射中性子束を算出する中性子束分布計算と核分裂生成物と放射化生成物を計算する放射化計算に分けられる。原子力発電内(BWR の場合)における放射化汚染と2次の汚染の分布は次のようになる。

炉心から原子炉圧力容器の範囲は放射化汚染が支配的であり、格納容器内では両者はほぼ同程度となり(このような状態の汚染を「混在汚染」と呼んでいる。)、格納容器(生体遮蔽壁(BSW))の外側では2次の汚染が支配的となる。放射化汚染が支配的な領域では主に L1 相当の放射能レベルの高い放射性廃棄物が発生するが、物量は少ない。一方、2次の汚染が支配的になる範囲では L3 相当の放射性廃棄物又はクリアランス(CL)物といった放射能レベルの低いものが大量に発生する。ここでは、BWR の場合に着目し、2次の汚染の評価の要点を纏めた。

その他技術知見及び情報の提供として、放射能インベントリ評価に関し、次の 2 種類の技術知見及び情報を提供した。

(1) 評価に用いられる計算コードや解析手法

(2) 評価に関する産官学(事業者、原子力規制庁、学協会・有識者等)の動向

6. 国際標準関連

6.1 CCS標準化活動に関する支援

(プロジェクト名) CCS標準化活動に関する支援

(報告書名) —

(報告書番号) —

(発行年月) —

(要旨)

MRS 2021 Fall Meeting & Exhibit で開催されたシンポジウム “EN13: Climate Change Mitigation Technologies” に参加し、CCS およびネガティブエミッション技術に関連するエネルギーシステムモデルによるシナリオ研究成果を発表するとともに、気候変動緩和技術に関する最新状況を収集した。膜技術による CO₂ 直接空気回収、米国ナショナルアカデミー報告書、回収 CO₂ の結晶化、米国 DOE の研究開発動向など、最新動向に関する議論を行った。