

令和3年度 事業報告の概要

(一財) エネルギー総合工学研究所

1. 概況

(1) 当研究所は、昭和53年4月の設立以来、「エネルギーの未来を開くのは技術である」との認識の下、時々のエネルギー情勢を踏まえつつ俯瞰的長期的な視座を持って、産学官の連携を図りながら、エネルギー技術に関する調査、研究、評価、普及に取り組んできた。このような中、令和2年8月の「受託事業等の労務費計上に係る不適切事案」に関する経済産業省などによる補助金交付等停止措置を踏まえ、再発防止策を実施し、令和3年9月には第三者によるモニタリングにおいて概ね妥当との評価を頂いた。これに甘んずることなく、引き続き、モニタリング結果のフォローアップを通じ、コンプライアンス意識の維持・向上に努めていく。

(2) 令和3年度においては、上記補助金交付等停止措置もあり、調査研究については民間企業などからの受託事業および将来の研究能力向上などのための自主研究を中心に取り組んだ。具体的には、世界的なカーボンニュートラルへ向けた動きを踏まえ、国内外のエネルギー情勢、気候変動問題への対応、次世代電力ネットワーク、蓄熱システムに関わる技術開発、カーボンリサイクル技術を中心とした二酸化炭素(CO₂)有効利用技術、水素の製造・輸送・利用などに関する調査研究などを実施した。また、現在の軽水炉の安全性向上に資するための技術開発を継続するとともに、原子力開発を巡

る国内外の動向調査、廃止措置に関し、技術・制度などに関する調査、課題への対応策の検討、人材育成の支援なども進めた。さらに、個別分野研究会として、次世代電力ネットワーク(APNet)研究会、人為的カーボンサイクル(ACC: Anthropogenic Carbon Cycle)技術研究会など、受託事業の運営として、CO₂フリー水素普及ネットゼロエミッション研究会、原子力発電所廃止措置調査検討委員会などにおいて、検討会の開催、技術動向の情報共有など所定の活動を行った。

(3) 調査研究に加え、我々の諸活動を支えて頂いている賛助会員へのサービス向上の観点から、月例研究会のオンライン開催など運営改善、ニュースレターの内容充実に加え、会員の協業支援の観点からマッチング事業のような新しい取り組みも令和2年度に引き続き実施した。また、賛助会員への情報発信を主目的に9月に賛助会員会議を、12月にエネルギー総合工学シンポジウムをオンラインで開催した。当研究所内では、コンプライアンスファースト月間などの再発防止の取組、在宅およびオフィスでのハイブリッド勤務に係る規程整備など働きやすい環境を整備するとともに、情報およびサイバーセキュリティ対策としてハード面、ソフト面からの取組みを強化した。

(4) 上記のような事業活動の状況により、令和3年度決算については令和2年度決算から改善したものの事業収支がマイナスとなった。今

後については、向こう数年間で健全な事業収支を達成できるよう、令和4年度事業計画に基づき、研究内容に見合った人員、フリーアドレス化などによるコスト削減、国、民間企業などからの受託事業の強化、賛助会員様へのサービスの強化など、精力的な取組みを進めていく。また、コンプライアンスの遵守徹底を図るとともに、新型コロナウイルスへの対応も含め、より働きやすい環境の整備を目指す。引き続き、関係者の皆様のご理解とご支援をよろしくお願い申し上げる次第である。

2. 各エネルギー分野における主な調査研究プロジェクトの概要

令和3年度に実施した主な調査研究プロジェクトの概要は以下のとおりである。

(1) エネルギー技術全般

国内外の地球温暖化に対する緩和策にとって重要な技術情報に関する調査全般を実施した。具体的には世界的なカーボンニュートラルへ向けた動きを踏まえ、長期的な地球温暖化対策を反映した温室効果ガス排出経路とネガティブエミッションの基礎的評価、および新型コロナウイルス感染症拡大がエネルギー需要に与える影響の評価を行った。加えて、国際エネルギー機関での会合を通じたエネルギー関連技術の海外情報調査を行った。また、エネルギーに関する最新の技術情報および評価を提供するエネルギー技術情報プラットフォームの更なる内容の充実、エネルギーに関する公衆の意識調査を実施した。

(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 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

正味ゼロ排出に向けて特に重要となる燃料製造に関わるカーボンリサイクル技術のインプット・アウトプットデータを整理し、それら

の情報を統合したエネルギーシステムモデルを構築し、正味排出ゼロとなる社会における技術群の重要性を分析した。分析により、エネルギーシステムに関連する各カーボンリサイクル技術の導入時期、導入ポテンシャル、そのCO₂源について整理を行った。また、エネルギーシナリオと統合的なシステムにおけるメタノールおよびメタネーション技術、およびセメントのライフサイクル評価を試行した。

② 直近の社会情勢変化がエネルギー需要に与える影響に関する研究

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。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て日本のエネルギー需要データを分析した。また、電力需要データを用いてCOVID-19対策による社会経済活動影響評価し、エネルギー需要の変化寄与度を推計して変化要因を評価した。

③ カーボンニュートラルに向けた脱炭素技術評価

パリ協定を受け、今世紀半ばでのカーボンニュートラル社会の実現に向けてエネルギーにも大きな変革が求められている。その中でも水素については、電化が難しい需要に対応する新しいエネルギーキャリアとしての期待が高まっている。また、熱需要のうち、特に高温熱需要は、従来は化石燃料燃焼に依存してきたが、経済面から電化が困難な場合が多い。また、発電コストについても、多数の将来見通しが公表されているが、その不確実性が大きい。このような背景を踏まえ、水素エネルギーキャリア、産業部門の高温熱需要技術、発電技術といった、カーボンニュートラルの実現にあたっ

て重要となる技術群について、将来見通しの参考になるデータを整理した。

④ 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

国際エネルギー機関のエネルギー研究技術委員会（CERT：Committee on Energy Research and Technology）の下で活動を行っている、研究開発プライオリティ設定に関する専門家会合（EGRD：Expert Group on R&D Priority Settings and Evaluation）の活動支援を実施した。

⑤ 世界の CCS 動向調査

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、CO₂ 回収・貯留（CCS）およびネガティブエミッション技術に関連する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。

（イ）その他

① エネルギー技術情報プラットフォームの運用・整備

資源制約および環境制約の克服に資する有望な技術について、関連情報の収集・整理、分析・評価、関係機関・企業への情報提供を行うエネルギー技術情報プラットフォームを運用しており、国内外の情報を継続的に掲載するとともに、ホームページの一部配置変更含め、見やすさ、分かり易さを含めた情報の充実などを図った。

② エネルギーに関する公衆の意識調査

2003 年から継続的に調査を実施しており、令和 3 年度も引き続きインターネット調査を実施し、過去との比較を行った。福島第一原子力発電所事故については、現在も関心度は 8 割を超えている。事故以降、原子力発電の利用、有用性および安全性に関する意見は否定的方向に変化し、ここ 5 年は反対意見が 40% 台前

半で漸減傾向であったが、令和 3 年 11 月の調査では、事故後初めて反対が約 36% になるとともに、賛成が約 24% から約 29% へ増加した。

（2）新エネルギー・電力システム関連

電力システム分野では、再生可能エネルギー（再エネ）主力電源化およびカーボンニュートラル達成を見据えた次世代電力ネットワークの調査検討を進めるとともに、電力システム改革に伴う、電力取引市場、需給調整市場における需要家資源の活用、マイクログリッドへの直流技術の適用、自家発電設備の融通スキームなどの調査・検討を行った。

また、再エネ分野では集光型太陽熱発電（CSP）や蓄熱を活用した発電技術の調査研究および検討、洋上風力発電やバイオ燃料に関わる技術動向調査、廃棄物エネルギーの有効活用方法を検討した。

（ア）次世代電力システムに関する調査研究

① 次世代電力ネットワーク研究会の運営

本研究会は、国内外の情報収集および会員相互の意見交換に基づき、次世代電力ネットワークのあり方およびその実現に向けた方策の検討を行うことを目的として 2009 年に設立された。令和 3 年度の検討会およびシンポジウムは、新型コロナウイルスの感染状況を考慮して全てオンライン形式で開催したが、会員の利便性が向上して出席者が増加するとともに、遠隔地の講師を招くことが可能となった。特に、東京大学と共催したシンポジウムは、「2050 年の再エネ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」をテーマに各界を代表する講師を招き、500 名を超える参加者を得た。また、国内外の政策、新技術、ビジネスなどの動向を紹介するニュースレターを毎月発行し、注目を集める電力取引市場などの分析記事を掲載した。

② 電力システム改革に関する調査研究

2011 年の東日本大震災および福島第一原子

力発電所の事故を契機に始まった電力システム改革は、2015年の電力広域的運営推進機関（広域機関）創設による広域系統運用の拡大、2016年の小売完全自由化、2020年の送配電部門法的分離の3つの柱に加えて、再エネの主力電源化およびエネルギーの自立分散化を見据え、容量市場、需給調整市場などの新たな取引市場設立、配電事業制度導入など、様々な施策が進められている。これらは、今後の電力システムの基盤となるものであり、令和3年度は経済産業省、広域機関の委員会などでの審議情報の収集・分析とともに、下記テーマに関する調査研究などを行った。

(a) 需給調整市場における需要家資源活用の調査研究

出力が安定しない再エネの導入拡大に伴い、需給調整力の確保が重要になっている。調整力の調達は、従来は一般送配電事業者の公募により行われていたが、2021年度からは段階的に新設される需給調整市場で行われることになった。調整力は応答・継続時間により区分され、特に高速な調整力は価格が高く新たなビジネスチャンスとしても注目されている。また、調整力の資源は、大規模発電所に加えて需要家設備の活用に関心が集まっている。そこで、既の実績がある海外アグリゲーターの事例および国内の電化ポテンシャルや需要家資源の調査・分析を行い、今後の活用について検討し、取りまとめた。

(b) マイクログリッドへの直流技術適用の調査研究

再エネなどの分散型電源の導入拡大によりエネルギーの地産地消が注目され、マイクログリッドの実証事業が進められている。また、情報機器など多くの機器は直流で動作すること、太陽光などは直流出力であることから、需要地系統での直流配電導入に関する研究開発が国内外で進められている。そこで、2030年代を見据えて、直流を含むマイクログリッ

ドの国内外での政策・開発・実装状況の調査・検討、蓄電池などマイクログリッド実現に必要な基幹デバイスの調査・検討を行った。さらに5Gなどの高速・低遅延・大容量通信技術が、直流を含むマイクログリッドに将来的にどのように活用されるかについて展望した。

(c) 事業者間の自家発電設備の融通スキームの調査研究

2050年のカーボンニュートラルの達成のためには、産業部門でのエネルギー利用の効率化を図る必要がある。そこで、大規模なコンビナートを対象として、全体の電力需給を最適化するため、自家発電設備を所有する事業所が他事業所に発電電力を融通する際に適用可能となるスキームを検討した。その際、電気事業法などの法令の規制、必要な設備、実現に向けた課題などを明らかにした。

(d) 電力システムへの通信新技術適用の調査研究

従来、電気事業の通信設備は、系統保護・運用、業務設備、社内情報システムなどの基幹システムが主な用途であったが、近年のIoT技術の急速な進歩・低コスト化により、発電所の保全業務などへの新技術適用が急速に進んでいる。そこで、保全業務などにIoT・デジタル技術を活用する、通信以外の部門においても、通信インフラの構成要素と各要素間の関係を理解することが重要となっている。一方では、電力分野の通信設備・技術を体系的に整理したものは極めて少ないため、電力の通信インフラおよび関連するデジタル技術を分かりやすく取りまとめるとともに、今後の動向を展望し、課題を抽出した。

(イ) 再エネに関する調査研究

① 太陽熱・蓄熱技術研究会

太陽熱・蓄熱技術研究会は、集光型太陽熱発電（CSP）、高温太陽熱による水素・燃料製造および工業用として100℃～600℃程度の熱

を供給する集光型太陽熱利用に関する研究会であり、2012年6月14日に設立された。また、昨今は再エネ大量導入における電力平準化や、CO₂削減策の1つとして、熱による蓄エネルギー技術（蓄熱技術）に対する関心が高まっていることから、令和2年度から本技術についても積極的な検討対象とすることとした。令和3年度の5回の研究会では、毎年秋に行われるCSPの国際会議であるSolarPACESの紹介を行うとともに、カーボンニュートラル、太陽熱によるメタン熱分解、溶融塩、企業の取り組み、化学蓄熱などの最新技術動向および国際動向について講演会を実施した。本研究会は産学の連携を取り持つ場を提供し、本分野の国内産業への技術力向上、普及を促進する役割を担っている。

② 蓄熱システムに関わる技術開発の動向調査

CO₂排出量削減へ向けて、太陽光や風力などの再エネ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・活用が考えられる。蓄熱エネルギー技術としては、蓄電池のほかに「熱」によって蓄える蓄熱技術が注目されている。令和2年度までに、蓄熱システムについて、公開情報ベースでの国内外の技術開発動向を整理および国外実証機での運用方法などを調査した。令和3年度は、蓄熱システムの先行事例調査と国内での実用化に向けた課題整理とその対応策を検討した。

③ 蓄熱発電の経済成立性の検討

自前の蓄エネルギー設備を持ち、JEPX市場（日本卸電力取引所）にて蓄電・放電を繰り返すことで経済性が得られるかどうかを試算・検討した。近年のJEPX市場価格が乱高下する状況であれば、蓄熱発電は、10年程度で投資回収ができる見込みとなった。

④ 圧縮・液化空気エネルギー貯蔵技術の動向調査

変動性再エネが、主力電源として機能するためには、需要に合わせた出力の調整が必要であり、デマンドレスポンスなどの需給調整方法に加えて、電力のエネルギー貯蔵技術が有用と考えられる。現状で、代表的な電力エネルギー貯蔵技術は蓄電池だが、それ以外のオプションとして、比較的高出力、大容量の用途に向く、圧縮空気エネルギー貯蔵技術（CAES）および液化空気エネルギー貯蔵技術（LAES）について、その開発状況を調査した。将来の変動性再エネ大量投入時代においては、これらの技術を適材適所で配置し、電力システム全体の安定性の向上に貢献することが確認できた。

⑤ 地域エネルギー・廃棄物エネルギー利活用調査

清掃工場におけるごみ処理量の減少や可燃ごみ中のプラスチックごみが減少することによる発熱量減少の課題と地域のバイオマス処理における課題を同時に解決する方策として、地域資源である未利用のバイオマスを清掃工場の燃料として利活用すること、および清掃工場の安定運用によって得られた熱エネルギーを地域に供給することを実証し、持続可能な清掃工場運用システムの構築に向けた検討を実施した。

（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

① CO₂フリー水素普及シナリオに関する調査研究および研究会の開催

「CO₂フリー水素普及シナリオ研究会」を自主研究会として開催し、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、およ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、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、下記②の日本および世界の水素需要量の分析結果を用いた。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が、継続的な動向調査の必要性が示された。

研究会の成果を「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」としてとりまとめ、当研究所のホームページに公開した。

② エネルギーモデルを用いた将来の水素需要量に関する調査研究

分析対象をそれぞれ世界、日本とする当研究所の地球環境統合評価モデル（GRAPE モデル）と TIMES-Japan モデルをソフトリンクさせ、2050 年、2060 年、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。

需要部門において、水素は主に運輸部門で用いられ、発電などの他の部門でも用いられる。水素輸送の観点では、日本は時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、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。

結果を「CO₂フリー水素普及ネットゼロエミビジョン研究会」に示し、議論するとともに、成果を上述の報告書として公開した。

③ 水素エネルギーキャリアの経済性・環境性に関する調査研究

エネルギーシステムの低炭素化に貢献するため、再エネなどから製造した水素を様々な

エネルギーキャリアに変換して輸送し、需要地で利用するサプライチェーンの経済性と環境性の分析を継続して実施している。水素エネルギーキャリアには、それぞれ特徴があり、その経済性・環境性は、水素の製造場所・生産規模・輸送方法・輸送距離・利用場所・最終利用形態など、想定するサプライチェーンによって変動し、また利用時期（技術進展をどの程度見込むか）によっても大きく影響を受ける。主要な水素エネルギーキャリアについて、種々のサプライチェーンを想定した経済性・環境性の分析を実施するとともに、海外での製造ポテンシャルや製造適地の分析、法規制などの制度面の課題などを調査分析した。

④ 水素エネルギーに関する海外動向の調査研究

世界各国において脱炭素に向けた取り組みが加速しており、再エネの導入普及とともに水素エネルギーの利用拡大に向けた研究開発や実証事業が活発化している。水素エネルギーに関する世界各国の動向について、国家戦略（水素戦略）、規制、水素サプライチェーンの重点領域、研究開発や実証プロジェクトの実施状況などについて、継続して調査を実施している。欧州や米国に加え、南米、中東、アジア、オセアニアなどの主要国について調査を実施した。

（イ）蓄エネルギー手段としての水素に関する調査研究

① 水素を用いた国内再エネの有効活用に関する調査研究

変動性電源である太陽光発電や風力発電などの再エネの大量導入をはかるためには、余剰電力の有効活用が 1 つのポイントとなる。国内特定地域に変動性再エネが大量に導入されたときに発生する余剰電力の活用方法として、蓄電池による電力貯蔵や水の電気分解による水素製造とその利用（Power-to-Gas）

を想定し、種々の条件での経済性・環境性の調査研究を継続して実施した。

② 国内外の PtG プロジェクトに関する動向の調査研究

CO₂ 排出量削減を目的に、再エネから水電解水素製造による PtG (Power-to-Gas) のプロジェクトが、世界各国で進行している。国内外の主要 PtG プロジェクトについて、そのシステム構成や規模、運転制御の方法、国・自治体からのファンドの状況や制度などについて調査を行うとともに、水素導管供給時の技術的な課題や法整備の状況などについて調査した。

(ウ) 水素を支える個別技術分野に関する調査研究

① 水素の製造技術に関する調査研究

CO₂ フリーの水素の製造技術として、再エネで発電した電力による水の電気分解技術が注目され、国内外において、基礎研究からシステム実証まで、電解効率の向上、機器の大型化、耐久性・負荷追従性の向上、コストダウンなど、様々な観点での研究開発が行われている。アルカリ形水電解、プロトン交換膜形水電解、アニオン交換膜形水電解、高温固体電解質形水電解など、種々の方式の水電解技術の特徴と国内外の開発動向の調査分析を継続して実施するとともに、水電解設備を運用するに際しての課題の分析などを実施した。

② 水素エネルギーキャリアの製造・利用技術に関する調査研究

再エネなどから製造した水素を様々なエネルギーキャリアに変換して輸送し、需要地で利用するサプライチェーンの検討が活発に行われている。近年、注目が集まっているアンモニアについて、製造技術および利用時の分解技術などについて現状と技術面の課題を調査した。

③ 水素・燃料電池システムの持続可能性評価ガイドラインの開発研究

当研究所は、欧州連合 (EU) の Clean Hydrogen Partnership で実施されているプロジェクトにおいて、FCH (燃料電池・水素) システムのライフサイクルにおける持続可能性評価のガイドラインの開発に参画している。

令和 3 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った。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

脱炭素化・炭素有効利用・循環技術を核としたエネルギーシステム研究に関して、CO₂ 分離・回収 (CCS) 技術の開発状況調査、海外再エネ利用 CO₂ フリー燃料の経済性検討、廃熱の有効利用による CO₂ 排出量削減ポテンシャルの調査などを行うとともに、炭素を活用する CO₂ 有効利用 (CCU) 技術について積極的に ACC 技術研究会 (後述) の場において議論、意見交換を行った。

(ア) 炭素有効利用・循環技術などのエネルギーシステムに関する研究

① CO₂ 分離・回収技術開発状況調査

現在、世界中で取り組まれている脱炭素化について、CO₂ 分離・回収技術の開発状況、実証試験動向の調査を行った。海外の進捗状況については、地中貯留が昨今活発になっており、特に化石燃料からの水素製造時に発生する CO₂ の分離・貯蔵の動きが活発になりつつある。また、産業分野においても、CO₂ の削減が困難な分野から CO₂ を回収して、同じく CCS で隔離しようとする動きも出始めてい

る。主に、まずは既存のインフラを活用しながら早期にCO₂削減を図ろうとする現実解を求めている結果から始まっている動きのように観察される。

また、直接空気回収（DAC）についても回収箇所がCO₂排出場所に限定されることないことなどで注目が集まりつつあり、開発状況や技術情報について調査・検討を行った。

② 海外再エネ利用 CO₂ フリー燃料の経済性検討

海外の再エネによる発電単価は低下してきており、わが国の再エネだけでは賄えない一次エネルギー源分については、この海外の安い再エネの活用を考えることは有用である。温室効果ガスの1つであるCO₂を排出することなく、3E + Sを堅持すべく海外の太陽熱エネルギーをはじめとする再エネを活用し、安定的にCO₂フリー燃料（水素、アンモニア、メタン、メタノール）を製造し、国内に輸入することは、その目的に資する1つの解決策として期待される。

そこで、国内で分離・回収したCO₂、あるいはDACなどにより海外で回収したCO₂と、海外の太陽熱などを活用し製造した再エネ水素を用いて合成した各種CO₂フリー燃料経済性について、検討・評価を行った。

③ 廃熱の有効利用による CO₂ 排出量削減ポテンシャルの調査

産業分野では、製造プロセスに未だ多くの廃熱が存在しており、一工場のみならず周辺工場とこれらを融通し合うことにより、工業団地や化学コンビナートなどの多くの工場群でCO₂削減効果が期待できる。このポテンシャルを評価するために、特定地域における各企業に具体的にエネルギー消費形態のアンケート調査を行い、廃熱を蒸気供給に転換し融通し合った場合のCO₂削減効果について調査・評価を行った。また、当該地域における廃棄物焼却熱を活用した場合のCO₂削減効果

や、その実現可能性の評価、技術課題を抽出し、対策の整理を行った。

④ ACC（Anthropogenic Carbon Cycle）技術研究会

ACC技術研究会は、将来の低炭素／脱炭素化に向けたCO₂排出量のマネジメントの重要性に鑑み、CCU技術の中でも大量にCO₂を処理することが可能なエネルギーシステムの構築を目的として、2019年2月に設立された。

わが国の新しいエネルギー供給システムの構築のため、必要なCCU技術の調査・研究、開発・実証・検証などの実施を目指し、会員との技術情報交換、国への調査・実証研究の提案、必要な要素技術開発やシステム開発に関する提言などの発信を行い、産官学協力の下、新しいエネルギーシステムの早期社会実証・実装に向けた議論を深める場の提供を継続した。

（５）原子力関連

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、さらに高い水準の安全確保を図るため、原子力の安全性向上に資する技術開発プロジェクトの支援を実施したほか、過酷事故解析コードを活用した福島第一原子力発電所の事故進展およびFP挙動評価を進めた。また、SMR開発の状況など、原子力をめぐる最新動向の分析と今後の原子力の役割に関する調査などを行った。原子力プラント技術では、浮体式原子力発電所に関する検討に参画した。国内廃止措置を円滑に進めるため、大型機器を含む放射性廃棄物の処理・処分に関する調査検討を含め、関連する工程、技術、制度に関する調査・提案、廃止措置を担う人材育成のための教材開発および研修システムの構築、民間規格基準整備への支援、および放射能インベントリ評価用コードおよび基盤データ整備に関する調査研究を行った。

(ア) 福島第一原子力発電所事故関連

① 安全対策高度化技術開発「プラント安全性高度化」支援

本技術開発は、福島第一原子力発電所事故を踏まえ、深層防護の観点から原子力の安全性向上に資する技術開発を選定し、国の支援の下、プラントメーカーおよび電気事業者と協力して進めるプロジェクトである。2テーマの要素技術開発（希ガスフィルターシステムの開発、先進建設工法の開発）は、プラントメーカー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ている。

② SAMPSON コードによる福島第一原発事故解析

福島第一原子力発電所事故進展および現在のデブリ・FPの状態を推定するため、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）におけるBSAFの後継プロジェクトARC-Fに参加し、BSAFの経験を基に改良したシビアアクシデント解析コードSAMPSONを用いて、福島第一原発1～3号機の事故進展シナリオを構築した。また、同コードの解析結果をベースに、炉内から建屋や環境に放出された放射性核種の移行・沈着挙動を評価し、放射性核種による炉内・環境の汚染メカニズムを検討した。

(イ) 原子力全般

① SMR 開発の現状と今後の展望に関する調査・分析

近年、アメリカ、イギリス、カナダなどを中心に活発に開発が進められている小型モジュール炉（SMR）について、その開発の現状を調査し、今後の展望を分析した。開発中の炉型の特徴を幅広く分析するとともに、主要なプラント、主要なサイト候補地について、その最新動向を調査した。開発者や事業者から、2030年前に運転を開始するといった楽観的な計画が示される一方、現実には、設置に向けた課題を抱え、計画が遅延しているという状況も示した。

② 英国の原子力研究開発の最近の動向について

近年原子力、特にSMRについて積極的な原子力研究開発を進めている英国について、これまでの原子力研究政策の変遷も含めて調査した。原子力政策のベースとなる、気候変動対策や原子力産業の維持に関する考え方を整理の上、具体的な支援策についても整理した。イギリスではこの10年で2回政権交代があり、それに応じて政府の原子力政策や支援政策も変更されてはいるものの、原子力を積極的に推進していくという方針とその役割と重要性に対する認識は一貫して変わっていないということを示した。

③ 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

原子力規制庁が実施する国際原子力機関（IAEA）の安全基準文書に係る検討作業およびわ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で検討される安全基準文書などのドラフト（安全基準ドラフト）に関して、その対応のための情報収集、整理および仮訳の作成や、各国コメントの整理、コメント処理表および改定文書の変更箇所についての確認および整理、安全基準ドラフトに対するコメント案の作成を実施した。コメント案作成に際しては、専門家の意見を聴取するための調査会の開催などを行った。

(ウ) 原子力プラント技術

① 浮体式原子力発電所の揺動時BWR熱水力挙動評価および安全系設備の検討

産業競争力懇談会（COCN）の浮体式原子力発電検討会に参画し、沸騰水型原子炉（BWR）を炉型として採用した場合の揺動時熱水力評価および安全系設備検討のワーキンググループメンバーとして活動した。ワーキンググループ全体の成果として、揺動の影響を考慮した高温高压条件下での実験計画の策定を目的に、過去に実施された同種の実験に対する文献調査

を行うとともに、許認可における審査内容において揺動場の影響を考慮すべき項目を抽出し、許認可で使用する解析コードに揺動の影響を取り込むための方法論を検討した。これらの調査検討内容を踏まえ、実験で取得すべき熱水力パラメータを絞り込み、浮体揺動下での成立性を示すための実験計画を策定した。

安全系区分分離では、運用実績を有する既設炉（ABWR）をベースケースとして検討を行った。レイアウトでは、多様性、多重性の強化を検討し、区分分離オプションを提示した。また、冷却システムでは、ABWRよりも安全性を向上するため、静的な崩壊熱除去システムおよび溶融炉心冷却システムについて、浮体式の周囲に無限にある海水を利用することにより、長期間稼働可能な静的システムを検討し、冷却システムのオプションを提示した。

（エ）原子炉廃止措置等に関する調査研究

① 廃止措置に係る工程、技術、制度に関する調査および課題への対応策の検討

廃止措置分野の学識経験者による検討委員会を開催し、通常炉の廃止措置状況や課題などについて検討を行うとともに、最近の国内外の廃止措置の実施状況に関する情報の共有を行った。また、課題解決策について関係機関の理解獲得のために社会へ提言を行う資料として、本年度は原子力発電所廃止措置時に発生する極低レベル放射性廃棄物の処分推進に関する技術レポートを作成した。

② 廃止措置を担う人材育成のための教材開発および研修システムの構築

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。このような人材およ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。このよう

な要件を満たす技術者として、海外実施事例を参考に国際的な視野を持った、人材を育成することを目的とする事業の支援を行った。

また、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進められていることから、これまでに当研究所で培ってきた廃止措置に関する計画、実施にかかる人材育成の知見、経験、並びに最新動向をもとに、廃止措置を担う人材育成のための教材を開発するとともに研修システムを構築して事業化に取り組んだ。

③ 廃止措置に係る放射能インベントリ評価用コードおよび基盤データ整備に関する調査研究

安全かつ合理的な原子力発電所などの廃止措置や運転中廃棄物の処理・処分の計画立案に当たって必要となる、施設に残存する放射能の性状、分布および量を把握する放射能インベントリ評価に関し、同評価に用いる中性子輸送計算および放射化計算に係る不確かさなどの技術的知見の提供などを実施した。

④ 原子力施設の廃止措置へのデジタルトランスフォーメーション適用に係る勉強会

世界では、原子力発電プラント（研究炉も含む）17基が廃止措置を完了しており、現在も約180基の原子力発電プラントの廃止措置が進められている。このようななかで欧米では、第4次産業革命といわれるデジタルトランスフォーメーション（DX）の廃止措置分野への導入を進めており、安全性向上、作業期間の短縮、被ばく線量の低減、放射性廃棄物量の低減、費用低減を推進している。

一方、わが国でも18基の商業用原子力発電プラント（福島第一原子力発電所を除く）が廃止措置段階（約30年から50年かけて実施）にあり、このうち、現在、原子炉周辺設備を解体する第2段階にあるのは、4基であり、原子炉などを解体する第3段階は、2020年代半ば以降に本格化する見通しであるが、廃止措置分野でのDX導入が進んでいない。この

ため、廃止措置を安全かつ効果的、効率的に進めていくためには、欧米と同様の取り組みが必要であるとともに、併せて人材・技術の維持・強化も不可欠である。

以上の状況を鑑み、わが国では、原子力施設の廃止措置への DX の適用については至近の課題と考えられることから、勉強会を設立し、この活動を通じて、原子力施設の廃止措置への DX に関する基礎情報を収集するとともに、廃止措置分野でのネットワークを形成し、効果的、効率的な廃止措置を推進する計画の議論を継続している。

(オ) 放射性廃棄物の処理・処分にに関する調査検討

① 循環経済における放射性物質／放射性廃棄物管理に関する海外動向調査

わが国でも、原子力発電所の廃止措置が本格解体段階へ移行すると放射性廃棄物の発生量が増加することから、これらを適切に処理・処分することが必要となる。このうち、量的に多いものは放射能レベルの極めて低い放射性廃棄物（VLLW）であり、これを適切に処理処分できるかどうかにより、解体時期、方法、それらに伴う費用などが影響される。

このような状況を踏まえ、わが国の原子力発電所廃止措置の円滑な推進に資することを目的として、IAEA の基準および欧米諸国での取り組みなど、海外の先行実績を参考に、国内の原子力発電所から発生する放射性廃棄物のうち、量的にも大部分を占める VLLW の処分推進の在り方などについて評価を行った。

(六) 国際標準関連

① エネルギーマネジメント・省エネルギーに関する国際規格開発

「エネルギーマネジメント・省エネルギー量評価」分野の国際規格の開発に際して、わが国の意見を適切に反映させることを目的として、ISO/TC301（エネルギーマネジメント・省エネルギー量）が実施する国際規格開発に

参画している。

令和 3 年度は、日本の 2 番目の提案に基づく ISO 50011「エネルギーマネジメント進展度の評価」の規格開発（令和 3 年 2 月に規格開発開始）を中心に実施した。国内での規格検討体制は、国内審議委員会および同 WG を組織して、産業界、学識経験者、省エネルギー専門家などに参加いただき、課題を検討して国際規格案への対処案を作成した。さらに基本規格 ISO50001 を始めとする同分野の国際規格に影響を与えうる国際的動向について継続的に情報収集を実施した。

3. 情報発信・広報事業

(1) 定期刊行物の出版

当研究所の調査研究活動の紹介および重要なエネルギー技術開発の動向の周知を目的として、毎年、四半期毎に『季報エネルギー総合工学』を作成しており、令和 3 年度も表 1 に示すとおり 4 号（第 44 巻第 1 号～第 4 号）を発行した。（発行部数各約 1,000 部）

(2) 月例研究会の開催

当研究所の賛助会員などを対象に、研究所の調査研究成果の報告および時宜を得た情報の提供を目的とした「月例研究会」を 1983 年度から開催しており、令和 3 年度も引き続き、表 2 に示すとおり計 10 回開催した。

新型コロナウイルス感染症の影響により令和 3 年度においても前年度から引き続き全てオンラインでの開催となった。講演資料のデジタル化および賛助会員限定ウェブサイトへの事前掲載を継続したことに加え、オンラインで遠方からの参加も容易となったこと、配信範囲の拡大などから、参加者数は全体的に増加傾向である。今後は新型コロナウイルス感染症の状況や参加者からのアンケート結果を踏まえつつ、オンラインのみでなく会場とオンラインのハイブリッド開催も検討することとしている。

表1 季報エネルギー総合工学の報告テーマ

号	寄稿・調査研究報告のテーマ名
第44巻第1号 (令和3年4月)	●カーボンニュートラルに向けた世界の動きと日本の対応～サーキュラー・エコノミー構築で「資源大国・日本」へ～ ●OECD/NEAの最新動向とポストコロナ時代を見据えた取り組み ●廃止措置で発生する低レベル放射性物質／放射性廃棄物管理の最適化～OECD/NEAの取り組み～
第44巻第2号 (令和3年7月)	●自動車用燃料の低炭素化に関する取り組み ～運輸部門のカーボンニュートラル化に向けたバイオ燃料の寄与～ ●非効率石炭火力のフェードアウトに関する考察 ●原子力発電所から発生する大型機器の処理について ●英国の脱炭素化政策と原子力研究開発の最近の動向について
第44巻第3号 (令和3年10月)	●バイデン新政権の誕生、脱炭酸ガスへの動きと米国のシェール・ガス革命、シェール・オイル革命の最新動向 ●COVID-19対策に伴う社会経済活動の変化とそのエネルギー需要への影響 ●2050年カーボンニュートラルを目指す欧州連合のエネルギー戦略とCCUS取り組み状況 ●多様性を増す蓄エネルギー技術～再エネ大量導入時代の選択肢～
第44巻第4号 (令和4年1月)	特集 第34回エネルギー総合工学シンポジウム ～総合学的視点からの2050年カーボンニュートラル～ ●開会挨拶 ●カーボンニュートラルの背景と国際動向 ●再生可能エネルギーのポテンシャル ●原子力の役割 ●カーボンリサイクル ●変わる電力システム ●水素エネルギーへの期待 ●ネガティブエミッションの役割 ●質疑応答：総合学的視点からの2050年カーボンニュートラル ●閉会挨拶 ●東京電力福島第一原子力発電所事故進展シナリオの推定

表2 月例研究会の報告テーマ

開催年月	報告題目
令和3年4月	原子力発電所から発生する大型機器のリサイクル処理について ～原子力発電所廃止措置調査検討委員会の取り組み～
令和3年5月	発電事業のゼロエミッションに向けて
令和3年6月	バイデン新政権の誕生、脱炭酸ガスへの動きと、シェール・ガス革命、シェール・オイル革命の最新動向
令和3年7月	2021年度 供給計画の取りまとめの概要（今後の設備形成の動向なども交えて）
令和3年9月	圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）装置の紹介
令和3年10月	高レベル放射性廃棄物の地層処分安全確保の考え方 国際基準と海外事例の紹介
令和3年11月	EUはグリーンになれるか？ ～2050年カーボンニュートラルを目指す欧州連合のエネルギー戦略とCCUS取り組み状況～
令和4年1月	ENEOSの水素社会実現への取り組み ----- 関西電力の水素社会実現に向けた取り組み ----- カーボンニュートラルに向けた世界及び日本のエネルギーシステムにおける水素の寄与
令和4年2月	COVID-19対策に伴う社会経済活動の変化とそのエネルギー需要への影響 ----- ナッジによるエネルギー消費行動変容と脱炭素化方策
令和4年3月	日本原子力研究開発機構のバックエンド対策に関するIAEA ARTEMISレビューの結果について

（3）メールマガジン（IAE Newsletter）の発行
エネルギー・環境分野の内外動向を賛助会員にタイムリーに発信するため、毎月メールにて発信している。具体的には当研究所の研究員によるコラムや月例研究会の開催概要や

今後の予定、個別研究会の動向、当研究所研究員の外部発表紹介を掲載するなど、コンテンツの充実を図っている。また、見やすさの改善と合わせて、賛助会員専用ホームページにPDFファイルで保存し閲覧しやすくする工

夫などを継続した。

(4) エネルギー・環境分野の本の出版と講演の実施

当研究所では、これまで行ってきた研究部門の幅広い知見を総括して情報発信することを意図した社会貢献を行うため、令和2年に出版した『図解でわかるカーボンリサイクル』に続き、令和3年9月に『図解でわかるカーボンニュートラル』を技術評論社から、令和4年1月に『子供の科学サイエンスブックスNEXT 見てわかる！ エネルギー革命気候変動から再生可能エネルギー、カーボンニュートラルまで』を誠文堂新光社から出版した。

前者は、カーボンニュートラル実現技術の現状と将来展望、およびその背景について、幅広い読者を対象として解説したものである。世界や主要国のカーボンニュートラル目標を概説し、エネルギー供給として再エネ、原子力、炭素資源利用について述べるとともに、エネルギーキャリアやシステムの視点からは、電力システム、水素、エネルギー貯蔵、ネガティブエミッションについて触れた。また、運輸・民生・産業のエネルギー需要についても解説した。

後者は身近にあるエネルギーの種類や歴史、注目されている再生可能エネルギーなどを小中学生向けに、写真や図解とともにくわしく紹介したものです。将来を担う小中学生がこの本を読むことで、エネルギーの特徴や問題を理解し、将来のエネルギーや環境問題について1つでも自分なりの考えをもってもらうことを目的に出版しました。

また、『図解でわかるカーボンリサイクル』および『図解でわかるカーボンニュートラル』の出版もあり、当研究所へ多くの機関からこれらの本の内容に関連する講演依頼を頂き、数多くの機関などで当研究所員が講演を行った。

(5) スタートアップスとの連携支援事業

近年、社会経済を巡る情勢や産業構造が変化し、企業を取り巻く競争環境がより厳しさ

を増す中、スタートアップス（ベンチャー企業）、大学などとの協働を通じたイノベーションへの取り組みが活発化している。この取り組みを賛助会員の関心の高いエネルギー分野を中心に拡大するため、ベンチャー支援機関のケーエスピー社と連携し、ベンチャー企業、大学などによる事業紹介・講演の場として、「IAE オープンイノベーションフォーラム」を令和3年7月にフルオンライン開催した。その結果、個別面談が22件成立したことから令和4年度も第3回を開催予定である。