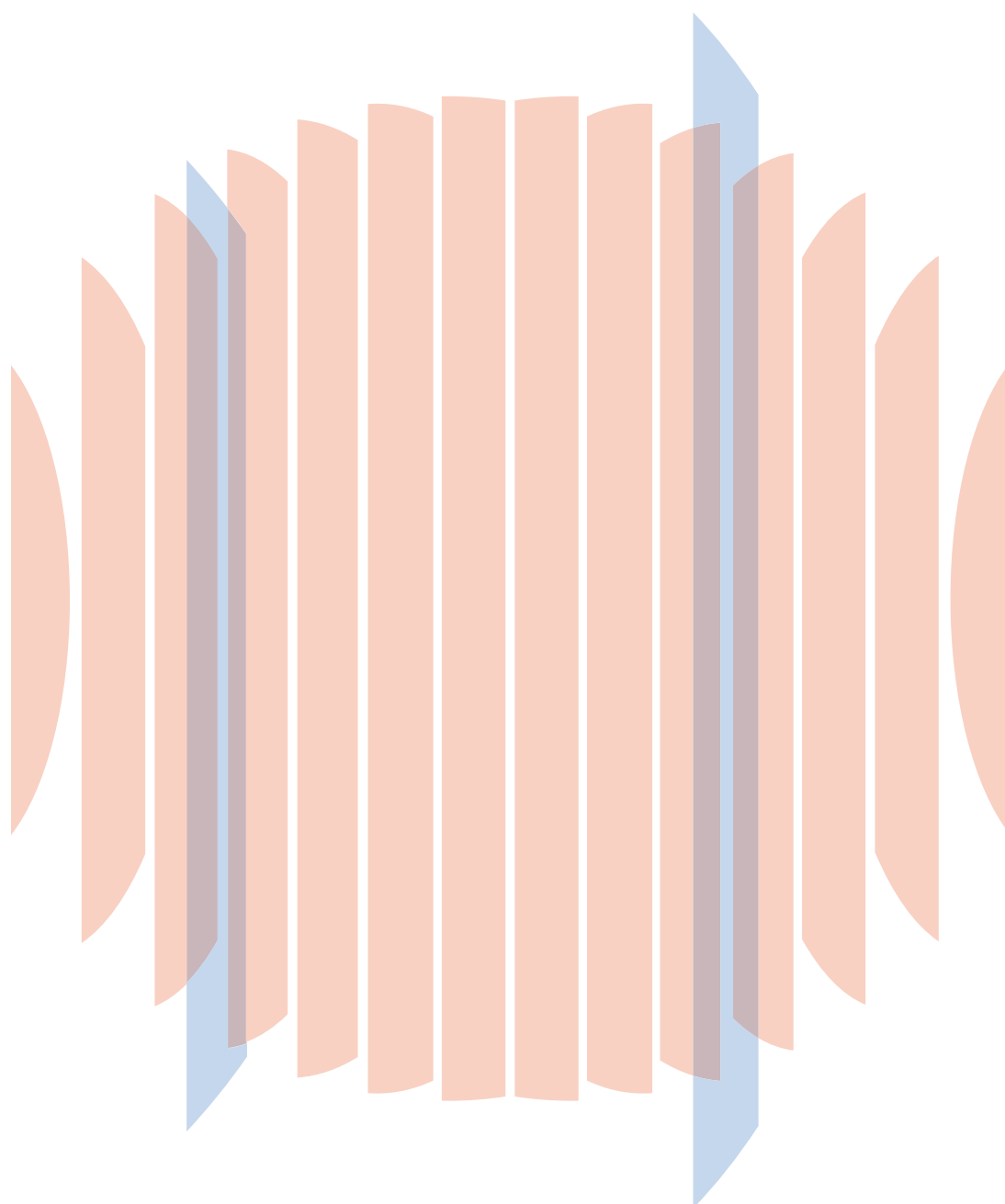


季報 エネルギー総合工学

Vol. 43 No. 1 2020. 4



一般財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

【調査研究報告】

令和元年台風 15 号による千葉の停電事象および
地域エネルギー活用について

プロジェクト試験研究部 参事 炭谷 一郎 ……………1

【調査研究報告】

地方創生を目指した地域エネルギー利用について

プロジェクト試験研究部 副部長 森山 亮 …………… 13

【調査研究報告】

安全解析チームの数値シミュレーションに対する取組み
～原子炉隔離時冷却系（RCIC）の研究を例に～

原子力技術センター 安全解析チーム 主管研究員 都築 宣嘉
原子力技術センター 安全解析チーム 主任研究員 鈴木 博之 ……………23

【事業計画】

令和2年度 事業計画 (一財)エネルギー総合工学研究所 …………… 38

【研究所のうごき】 ……………47

【第 42 巻通巻目次】 …………… 48

【編集後記】 …………… 52

令和元年台風 15 号による千葉の停電事象および 地域エネルギー活用について

炭谷 一郎（プロジェクト試験研究部
参事）



1. はじめに

令和元年（2019 年）9 月に上陸した台風 15 号および 10 月に上陸した台風 19 号は、強風や豪雨により各地に大きな被害をもたらした。特に、関東を直撃した台風として過去最大規模の台風 15 号は、千葉県を中心に甚大な被害をもたらし、長時間の停電により社会および経済活動に大きな影響を与えた。

台風 15 号による長時間停電は、広範囲な被害および復旧に 2 週間以上の期間を要したことが、これまでの台風による停電と全く様相が異なり、その後の台風 19 号に伴う被害とともに、電力設備の供給信頼度および地域での電源確保に対する関心を高める契機となった。

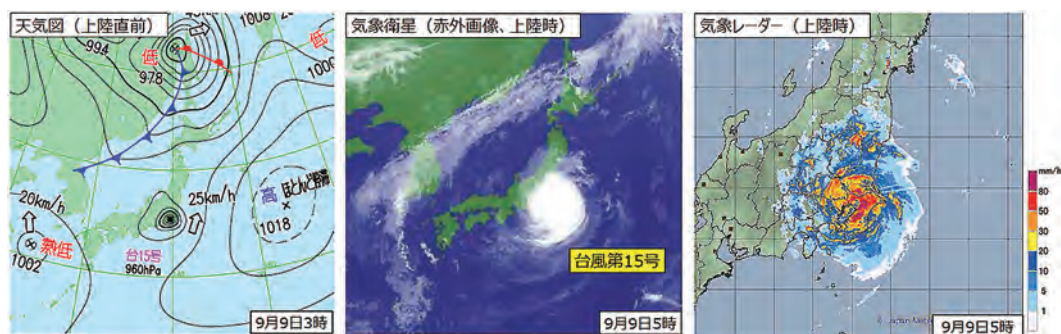
本稿では、台風 15 号による電力設備の被害、停電が社会に与えた影響、停電からの復旧活動について概説した後、日本の電力供給の信頼度レベルの状況を整理する。さらに、台風 15 号に伴い論点となった課題およびレジリエンス強化としても注目を集める地域エネルギーの活用について考察を行う。

2. 台風 15 号による電力設備の被害・ 停電、復旧活動の状況

（1）台風 15 号の概要

2019 年 9 月 5 日（木）に南鳥島付近で発生した台風 15 号は、7 日（土）午後には強い勢力で小笠原諸島に接近した後、8 日（日）午後には非常に強い勢力となって伊豆諸島に接近し、9 日（月）の 3 時頃に三浦半島を通過し、強い勢力を保ったまま 9 日（月）の早朝 5 時に千葉市付近に上陸した。図 1 に台風 15 号の上陸時の様相を示す。

台風 15 号の最大風速は、神津島村で 43.4m/s を観測するなど伊豆諸島と関東地方南部の 6 地点で最大風速 30 m/s 以上の猛烈な風を観測し、関東地方を中心に 19 地点で最大風速の観測史上 1 位の記録を更新した。最大瞬間風速は、過去の記録では東京が 46.7m/s（1938/9/1）、千葉が 48.6m/s（1985/7/1）、横浜が 48.7m/s（1939/9/1）と 50m/s 以上の風は観測されていなかったが、台風 15 号により千葉で 57.5m/s と記録を更新するなど、最大



（出所：気象庁「台風第 15 号について」）

図 1 台風 15 号上陸時の様相

瞬間風速においても関東地方を中心に19地点で観測史上1位の記録を更新した⁽¹⁾。

これにより、関東地方を中心に、広範囲で記録的な暴風雨により、建物の全・半壊やがけ崩れなどの甚大な被害を与えた。特に台風の進路の右側となった千葉県の被害が大きくなった。

(2) 電力設備の被害状況

東京電力の供給エリアでは、千葉県を中心に甚大な被害が発生し、送電鉄塔2基が倒壊、電柱1,996本が折損した。

①送電鉄塔の被害

9月9日(月)2時20分から2時55分にかけて、千葉県君津市の木内線・内房線・小糸川線(各66kV)6回線が併架している木内線No.78およびNo.79鉄塔2基が倒壊し、配電用変電所9カ所が停止し約11万軒が停電し

た。事故箇所の切り離し、仮復旧は10日16時17分に完了した⁽²⁾。図2に倒壊した木内線No.78の鉄塔を示す。



図2 鉄塔の被害様相(66kV 木内線 No.78)⁽¹⁾

②配電設備の被害

配電設備は、東京電力管内で合計1,996本、その内、千葉県では1,750本の電柱が折損・倒壊などの被害を受けた。図3に電柱の折損・倒壊(赤字)および傾斜(青字)の分布を示す。

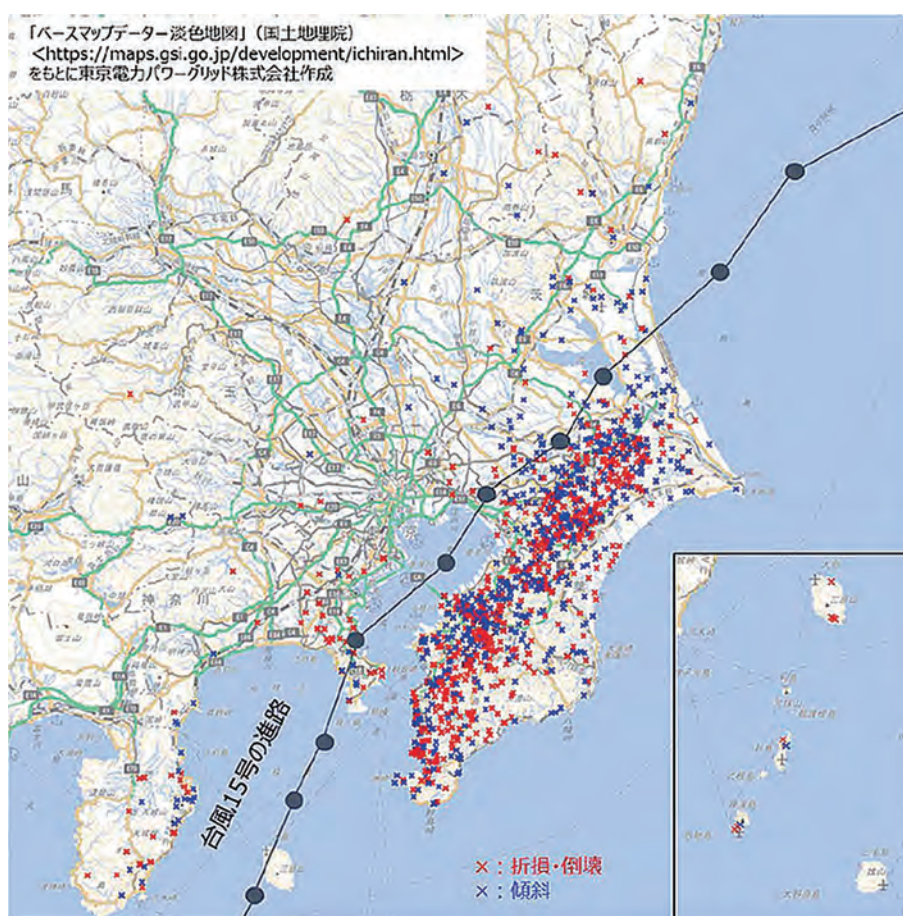


図3 台風15号の影響による電柱の被害発生状況(分布図)⁽²⁾

電柱の被害要因は、倒木や建物の倒壊が1,477本、飛来物が283本、土砂崩れなどの地盤影響が236本となっており、二次的な要因による被害が多いのが今回の台風15号の特徴である⁽²⁾。図4に電柱の被害の様相を示す。

③ 再生可能エネルギー設備の被害

台風15号は再生可能エネルギー設備にも大きな被害を与えた。千葉縣市原市の山倉ダムで2018年3月に運転を開始した千葉・山倉水上メガソーラー発電所は、出力13.7MWの水上市置型では国内最大規模の太陽光発電所であるが、2019年9月9日午後、台風の強風でフロート架台が押し流されつつ損壊し、複数箇所から発火した。

近年、再生可能エネルギー設備、特に急増している太陽光発電設備については、事故件

数・事故率ともに増加しており、再生可能エネルギー設備の安全性に対する社会的な関心が高まっている。

(3) 停電の発生および復旧状況

台風15号による停電は、9月9日（月）7時50分時点で東京電力管内において約93万軒の最大停電軒数となった。この内、千葉県が約64万軒、神奈川県が約14万軒、茨城県が約10万軒であった。

図5に示すように、2018年9月30日に近畿地方に大きな被害をもたらした台風21号の最大約240万軒に軒数では及ばないものの千葉県を中心に停電が長期化した。停電の復旧（停電軒数がピーク時と比較して99%解消）に約280時間（11.7日間）を要し、近年の台風による被害の中では突出して長時間となった。



図4 電柱の飛来物、倒木、建物倒壊による被害状況⁽²⁾

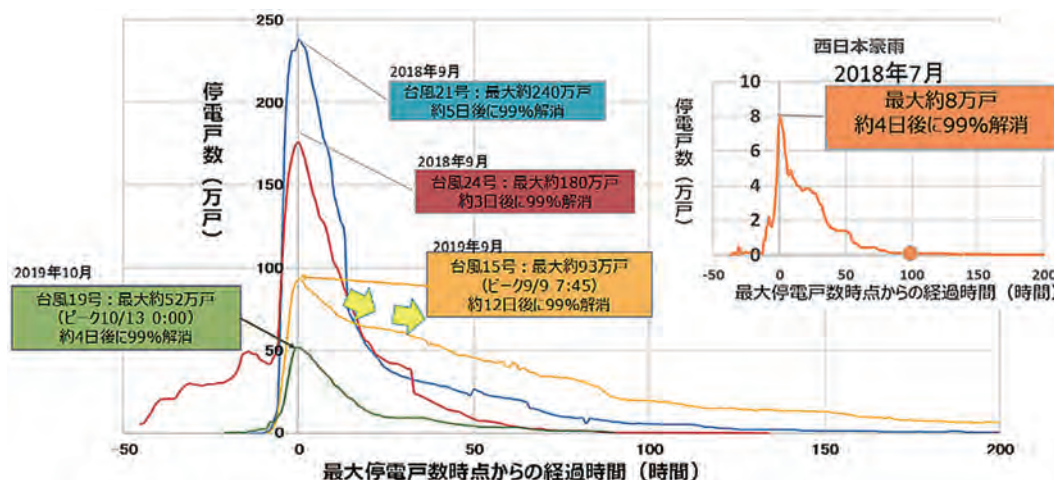


図5 最近の台風被害における停電件数の推移⁽³⁾

東京、神奈川、埼玉、茨城、栃木、静岡の各都県では9月11日までに概ね停電が復旧した一方、千葉県は配電設備の被害が大きく、10日以上経過した9月21日に停電軒数が1万戸以下となり、大規模な倒木や土砂崩れ等により復旧作業が長期化している地域や低圧線や引込線上の障害が残っている一部の家庭以外の復旧が完了したのは9月24日であった⁽²⁾。

(4) 停電の社会への影響

台風15号による停電は、社会に大きな影響を与えた。停電により電気が使えない不便さに加えて、水道の供給が停止して千葉県では長時間の断水が続いた。9月の高温期でエアコンが使えないことから熱中症による救急搬送が増加した。学校の休校、ガソリンスタンドの営業停止、店舗や飲食店の休業、観光地への来客の激減、冷凍設備の停止による水産業の被害、牛乳の廃棄や豚の衰弱など、停電の長期化に伴い大きな影響を与えた。

停電は通信インフラにも大きな影響を与えた。電話局設備および携帯基地局の停止により、固定電話、携帯電話およびインターネットが長時間の停止となった。また、地域の防災行政無線の一部も非常用バッテリーが切れたり、アンテナが壊れたりして機能しないものもあった。

(5) 停電への対応・復旧活動などの状況

① 経済産業省の対応

電力会社を所管する経済産業省では、9月9日に職員を東京電力本社に、翌日以後に被災自治体に連絡員を派遣するとともに、現地ニーズに合わせた電源車派遣の調整、物資調達・供給などの対応を行った。

停電復旧後は、台風15号の停電復旧対応等に係る課題について、2019年10月から「電力安全小委員会 合同 電力レジリエンスワーキンググループ」にて検証を行い、翌1月に検証結果⁽³⁾をとりまとめた。また、

2019年11月に設置した「令和元年台風15号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ」にて、原因の調査・分析、技術基準の見直しなどについて検討を行い、翌1月に中間報告書⁽¹⁾をとりまとめた。

② 東京電力などの復旧対応

東京電力は、台風襲来前夜の9月8日には約2,300名で第1非常態勢を発令し、千葉に上陸した直後の9月9日6時に第2非常態勢へ移行し、9月13日には他電力からの応援約3,500名を含む最大約16,000名の態勢で、昼夜を問わず懸命な復旧活動を行った⁽⁴⁾。

千葉県では、短時間にこれまでにない広範囲の配電線事故が発生したため、当該事業所の要員では対応しきれず、被害状況の全容把握に長時間を要した。車両や徒歩で進入可能な被害現場から巡視要員を優先的に投入し、9月21日以降は、倒木等による進入困難箇所においてドローンを活用した。

東京電力は、台風15号が上陸した9月9日に他電力会社に支援要請を行い、沖縄を含む9電力会社から、請負工事会社を含めて延べ約8,000人の派遣とともに、高圧・低圧を合わせて合計195台の電源車の支援を受けた。

電源車は、発災当初から、停電の長期化を想定して、市役所、避難所、病院、高齢者施設、上下水道施設などの緊急性の高い施設への配備が行われた。停電が長期化したことにより、電源車の延べ配備数は過去の災害と比べて最大となり、高圧発電機車が238台（内他電力174台）、低圧発電機車が122台（内他電力21台）となった。

各電力会社から応援された電源車は、当初は受け入れ側の東京電力が電源車の要請・派遣状況を一元的に管理できておらず、配置先の決定に長時間を要すなどにより稼働率が低く推移したが、9月11日以後は電源車支援チームを設置し、図6に示すように、高所作業車などの電源車運用に必要な体制を一体として派遣したことから稼働率は向上した。



電源車

+



高所作業車, 技術者

(出所: 経済産業省, 電力レジリエンスワーキンググループ, 中間論点整理(2019年11月6日))

図6 電源車, 作業車, 技術者のセットの派遣

自衛隊は、9月11日に千葉県知事からの災害派遣要請を受け、倒木処理、伐採活動に従事した。9月15日に東京電力と自衛隊の共同調整所を設置したことにより、直接現場での連携が可能となり、伐採作業が加速した。図7に自衛隊による倒木処理の様子を示す。



図7 自衛隊による倒木処理 (2)

停電復旧の見通しについては、東京電力は過去の台風被害時の復旧実績を踏まえ、最大限の要員投入を前提に復旧見通しを策定して9月10日に公表した。しかし、現場の確認が進む中、事故点が当初の予想以上に多数あることが判明したため、停電復旧見込みが数回訂正され、千葉県全体の復旧見通しの概要が公表されたのは停電から4日後の9月13日となった。

東京電力は、ホームページや公式ツイッターにて停電の発生状況や復旧作業の様子を随時

発信していた。その一方、ホームページの停電状況は、システムから取得する高圧配電線の復旧状況をもとに作成されており、システムから取得できない低圧線および各家庭への引込線の停電情報は反映されなかった。そのため、停電が解消されていないにも係わらず解消したとされた「隠れ停電」が頻発した。

今後は、スマートメーターの活用により、各家庭などの末端までの停電検出による情報収集が可能となることが期待されており、スマートメーターの導入は、東京電力が2020年度末、全電力では2024年度末までに完了予定である。

(6) 停電が長期化した理由

台風15号による停電長期化の理由は、様々な要因が重なったことによると考えられる。

配電線の停電状況はシステムにより事業所から把握できるが、設備の被害状況は、現場で確認しないと分からない。しかし、千葉県では配電線事故が最大約560回線、停電軒数が約64万軒に対して、巡視要員が当初は不足していた。

さらに、倒木や土砂崩れなどにより道路交通が遮断されて、現場への到達に長時間を有した。現場に辿り着いても、通信回線の停止により事業所への連絡ができない箇所が多く、情報の集約が進まなかった。そもそも、道路に電柱

を立てられる状況にない箇所が多かった。

電線に覆いかぶさった倒木の除去は、重心バランスを保ちながらの危険で高度な技術が必要な作業で、複数の作業車による慎重な作業が求められ、1カ所の倒木の処理にも長時間がかかった。

通常、1配電線あたりの事故点は1から2カ所であるが、今回は10カ所以上発生したところもあった。そのため、設備の復旧工事が一旦完了した後も、巡視で発見できなかった軽微な事故点（碍子のひび、電線被覆のはがれなど）が多数残り、通電前の確認試験を繰り返す必要があり送電に時間を要した。

また、山間部が多く、地形的制約などにより、配電線の切り替えによる送電ができない箇所もあった。

3. 電力の供給信頼度と台風15号による課題の整理

2018年9月の台風21号による関西大規模停電など、2019年にかけて、次々と日本に上陸して長時間の停電をもたらした台風や豪雨が続いたことから、社会の基盤インフラである電力の供給信頼度への関心が急速に高まってきている。

そこで、電力の供給信頼度について、評価指標および日本の状況について述べた後、台風15号により明らかになった電力供給信頼度の確保に関する課題について概説を行う。

(1) 電力の供給信頼度および日本の状況

① 供給信頼度の定義

電力の供給信頼度は、「供給支障（停電）」により評価される。供給支障とは、電力設備の破損事故や誤操作などにより、電気の供給が停止または電気の使用が緊急に制限されることをいう。ただし、配電自動化システムなどにより、短時間の間に復旧した場合は含まない⁽⁵⁾。

停電の原因は大きく分けて3種類ある。1番目は電力供給力不足である。供給力が需要

より少ない場合に発生し、東日本大震災の際の原子力発電所などの停止による計画停電がこれにあたる。発展途上国では、供給力不足により輪番停電が実施されるところもある。2番目は事故停電で、風雨、雷、鳥獣の接触などの自然現象、設備の欠陥や施工不良、作業者の操作ミス、火災や他建設工事の影響などにより発生する。3番目は作業停電で、設備の建設・維持などのために、電力会社が計画的に供給を停止するものである。

② 供給信頼度の指標

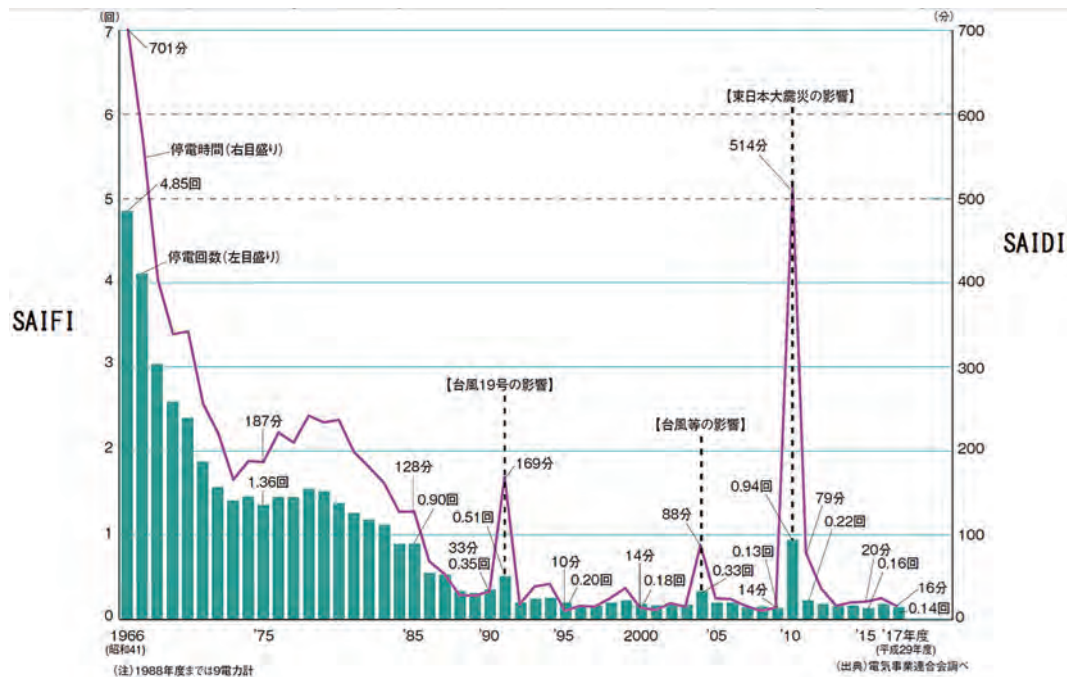
供給支障（停電）の指標として、「事故発生箇所別供給支障件数」がある。これは、供給支障が、設備種別のどの箇所で何件発生したかを示すものである。電力広域的運用推進機関の統計⁽⁵⁾によると、2013年から2017年の5年間の平均で、全国の電力流通（送配電）設備で年間12,233件の事故が発生しているが、この内11,552件（約94%）が配電線の事故である。東京電力管内においても、年平均事故2,488件の約93%の2,310件が配電線の事故である。

また、一般家庭などの低圧電灯需要家の停電実績の指標として、事故停電および作業停電が一需要家あたり年間どの程度発生したかを示す2つの指標がある。これは、世界的にもSAIFI（System Average Interruption Frequency Index）、SAIDI（System Average Interruption Duration Index）として広く用いられる指標で、以下のように定義される。

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{停電低圧電灯需要家口数}}{\text{1 需要家当たり年間停電回数 (回)}} = \frac{\text{期首低圧電灯需要家口数}}{\text{期首低圧電灯需要家口数}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{停電時間 (分)} \times \text{停電低圧電灯需要家口数}}{\text{1 需要家当たり年間停電時間 (分)}} = \frac{\text{期首低圧電灯需要家口数}}{\text{期首低圧電灯需要家口数}}$$

電力広域的運用推進機関の統計⁽⁵⁾によると、2013年から2017年の5年間の平均で、全国平均のSAIFIは0.15回/年、SAIDIは20分/年である。東京電力管内では、同じくSAIFIが0.11回/年、SAIDIが8分/年である。図8に示すように、1966年の全国平均のSAIFIは4.85回/年、SAIDIは701分/年



(出所：電気事業連合会、「電気事業のデータベース 2018 年」に筆者が一部加筆)

図 8 需要家 1 軒当たりの SAIFI と SAIDI の全国平均値の推移 (1966 年～ 2017 年)

であったが、その後は 1988 年頃までは減少が続き、台風や地震などの大きな災害があった年を除けば、近年は SAIFI が 0.2 回 / 年、SAIDI が 15 分 / 年程度で推移している。

これは、欧米先進国と比較しても優れた数値であり、日本の電力供給信頼度は世界で最高水準にあると言える。

③ 日本の高い電力供給信頼度の理由

日本の停電が少なく高い電力供給信頼度の理由として、以下の 3 点があげられる。

第 1 は設備形成の工夫である。送電系統はネットワーク化されており、事故が発生した際、事故区間を瞬時に切り離して他ルートから健全区間を送電することを可能としている。また、送電線、変電設備などは多重化され、高度な電力系統の運用・監視・制御が実現されている。さらに、電力独自の通信ネットワーク網の構築、高信頼度機器の採用が信頼度を支えている。配電系統においては、電線の被覆化、無停電工法による工事停電の回避、多分割多連系の系統構成と配電自動化による事故点の極小化・早期復旧があげられる。

第 2 は適切な設備保全で、計画的な設備の保守および適切な修繕が実施されている。

第 3 は災害・事故対応能力である。災害、事故を想定した復旧体制の整備および復旧訓練の適切な実施、緊急時における電力会社相互の応援体制の整備などである。

④ 過去の大規模・長時間停電の事例

このように、日本の電力供給信頼度は世界で最高レベルにあるが、過去には大規模で長時間の停電も発生している。

1960 年代には電力需要の急速な増加に伴い、電力系統の高電圧化、ループ系統化などが急速に進んだが、1965 年に日本と米国で大停電が発生した。御母衣事故による関西大停電とニューヨーク大停電である。御母衣事故は、その後の系統保護・制御に大きな影響を与えた。

首都圏では、1987 年 7 月 23 日に約 280 万軒が最大約 3 時間停電した。原因は、電力消費量が発電所の能力を超えて急増して電圧低下が発生したため負荷制限を行ったものである。首都圏では、1999 年 11 月 22 日にも多摩、埼玉などの約 80 万軒が最大約 3 時間停電し

た。原因は、自衛隊機が墜落して 275kV 送電線が 2 回線断線したことである。

最近では、2018 年 9 月 6 日の北海道大停電が記憶に新しい。これは、北海道胆振東部地震により震源近くの苫東厚真火力発電所が停止し、送電線故障に伴う水力発電所の停止も重なり、最大で道内全域の約 295 万戸が停電したものである。2 日後には約 99% が復旧したが、国内初のエリア全域停電（ブラックアウト）となった。

（２）台風 15 号による課題

台風 15 号により、千葉県では広範囲にわたり長時間の停電が発生し、初期段階での停電箇所の把握や復旧の見通しの公表、他電力会社や自衛隊の応援との効率的な連携、電源車の有効活用、低圧線以下の停電（隠れ停電）の検知、自家用需要家への送電に際しての保安協会との協力体制など、さまざまな課題が提起された。

これらに対して、東京電力および経済産業省が、原因調査および今後の対策についての検討を進め、その結果を公表している⁽²⁾⁽³⁾。

それらの検討結果も踏まえ、本稿では電力ネットワーク設備のレジリエンス強化の観点からの「鉄塔・電柱の強度」および「無電柱化」とともに、「設備老朽化・設備投資抑制の影響」の 3 点を取りあげる。

① 鉄塔・電柱の強度

台風 15 号では、鉄塔 2 基の倒壊ともに 1,996 本の電柱（うち千葉県は 1,750 本）が広範囲に倒壊したことが長時間停電の要因となった。

鉄塔と電柱の損壊事故に対する原因調査および技術基準の見直しの必要性の検討が、経済産業省により実施されている。2020 年 1 月の中間報告書⁽¹⁾によると、鉄塔は技術基準に基づく設計および保安規程に基づく巡視・点検は適切に実施されていたが、特殊な地形により急斜面で台風による風が著しく増速して鉄塔の設計強度を大きく上回る荷重が発生

し、隣接する鉄塔を引き倒しながら倒壊したものと推定されている。

電柱についても、同中間報告書によると、技術基準による規定の安全率を満たすように設計されていると推定され、巡視・点検はマニュアル等に基づき実施されていた。電柱倒壊の原因は、東京電力の調査によると、倒木や建物の倒壊によるもの約 74%、看板等の飛来物によるもの約 14%、土砂崩れ等の地盤影響によるもの約 12%で、二次被害が原因と推定されるものが大半であった⁽²⁾。

現在、鉄塔、電柱ともに、技術基準の見直しの必要性について検討が進められている。鉄塔については、「現行の基準風速 40m/s を維持するとともに、40m/s について [10 分間平均] を明確化する」、「地域の実情を踏まえた基準風速を適用する」、「特殊箇所を考慮する」の 3 点の見直しの検討が進んでいる⁽¹⁾。

電柱については、鉄塔と同様に「鉄柱にも地域別の基準風速（地域風速）を適用する」、「電柱の中で損壊率が高い木柱の安全率をコンクリート柱並に引き上げる（1.2 ～ 1.5 から 2.0 へ）」、「民間の配電規程で定められている [電柱の連鎖倒壊防止] 対策を技術基準で規定する」の 3 点の見直しの検討が進められている⁽¹⁾。

② 無電柱化

台風などの自然災害による電柱倒壊を避けるために、電線を地中に埋設する「無電柱化」が有効な手段の 1 つと考えられる。ロンドン、パリ、シンガポールの無電柱化率は 100% である。

日本でも計画的な電線地中化を進めてきたが、国土交通省の調査⁽⁶⁾によると、2017 年度末の無電柱化率は東京 23 区が 8%、大阪市が 6% と低い数値となっている。ここで、東京都区内の無電柱化率は 8% であるが、電線地中化率は 47% と大きな違いがあることに注意が必要である。これは、無電柱化率は道路に電柱がない割合を示すが、電線地中化率は「（地中ケーブル延長）／（架空線こう長＋地中線ケー

ブル延長)」で定義され、同一箇所に複数のケーブルが敷設されることが多いことから電線地中化率の数値が無電柱化率の数倍高くなる。

電線地中化は、景観向上、道路通行の円滑化、災害時の電柱倒壊の回避などのメリットもある一方、電線共同溝方式の場合、約 5.3 億円 / km の建設費用⁽⁷⁾が必要で、電力会社の負担は架空線の約十倍となる。

また、「道路（歩道）幅が狭いと変圧器、開閉器などの地上機器が設置できない」、「関係者間の調整および工事に長期間を要する」、「電柱がないので強風には強いが、水害および地震による液状化には弱い」、「事故時の復旧は、道路掘削が必要で架空線に比較して長時間が必要となる」などのデメリットもある。

今後は、ケーブルの浅層埋設、直接埋設などによるコストダウンおよび狭隘な道路への敷設など、官民の連携による推進が期待される。

③設備老朽化・設備投資抑制の影響

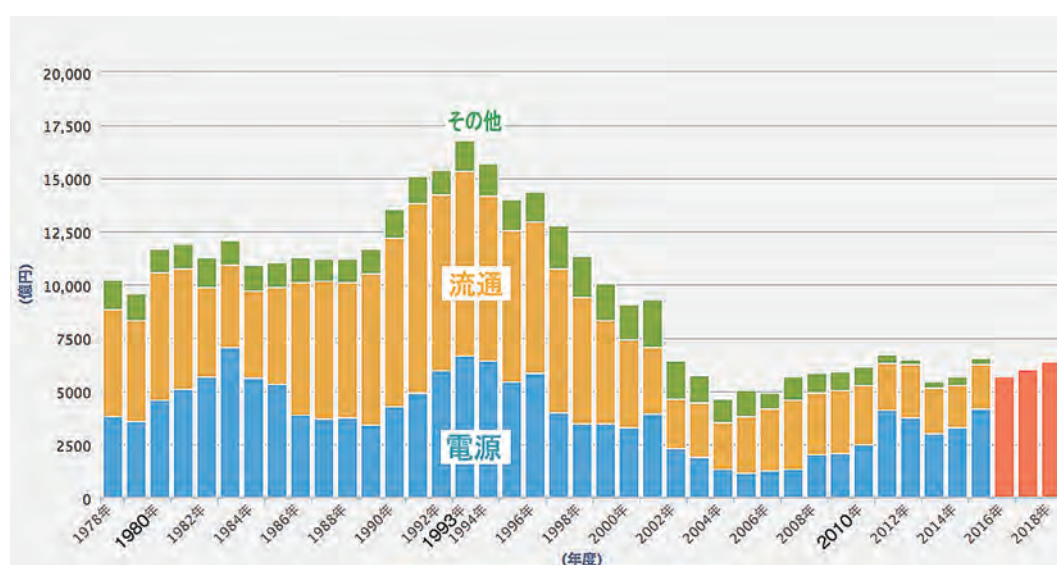
台風 15 号の被害の原因として、鉄塔・電柱などの設備が老朽化し、必要な設備投資が行われていないのではないという論調が見受けられた。

東京電力の送配電設備では、建設から 40 年以上を経過した設備は、送電鉄塔が 51%、大

型変圧器が 34%、電柱が 19% となっている⁽⁸⁾。このように、1960 年代から 1980 年頃にかけて、高度経済成長、首都圏人口の急増などに対応して建設した設備が 40 年以上を経過し、電力インフラ老朽化への対応が課題となっている。

図 9 に示すように、東京電力の設備投資額はピーク時の約 3 割に減少している。これは、経済成長の鈍化や省エネ機器の普及などにより、最大電力需要は 1990 年頃から飽和状況にあり、発電所、送変電設備の新增設の投資が減少したことが要因である。流通（送変電）設備の投資額も 1991 年をピークに減少したが、設備の新增設への投資が減少したことによるもので、設備の更新への投資額は 2010 年度 1,547 億円に対して 2018 年度 1,529 億円とほとんど減っていない。さらに、設備更新対策時期の細分化などにより、合理的な延命化、アセットマネジメントの精度向上などの対策が進められている。

電力設備は、多額の設備投資と長期間にわたる適切なメンテナンスを必要とする。無電柱化や設備強化、多重化などを進めてもリスクがゼロになることはない。再生可能エネルギーの一層の普及に伴う電力システムの今後のあり方、災害に対するレジリエンス強化を踏まえた一層の議論が求められる。



（出所：東京電力ホールディングス、「数表で見る東京電力 2018 年」に筆者が一部加筆）

図 9 東京電力の設備投資額の推移（1978 年度～2018 年度）

4. 地域エネルギー有効活用の検討

ここまで台風15号による長時間停電の様相・対応・課題などについて述べてきたが、このような近年の台風、集中豪雨、地震などの自然災害による想定を越える長時間停電の増加に対して、電力会社側の対策に加えて、各地域にあるエネルギーを活用した地域分散型グリッドによる災害へのレジリエンス強化が注目を集めている。

そこで、台風15号における地域エネルギーの活用事例を紹介するとともに、現在進められている地域エネルギー有効活用の取り組み、今後の方向性についての考察を行う。

(1) 台風15号における地域エネルギーの活用

① 分散型電源の活用

台風15号による長時間停電では、各家庭などに設置された太陽光発電やコジェネ・エネファームなどの分散型電源が活用された。住宅用太陽光発電は、停電時の自立運転機能により約8割の家庭が利用でき、蓄電システムも併設した家庭では昼夜ともに電気を利用できた。また、病院や保育園、事業所などでは、コジェネを稼働して数時間から数日間電力利用を継続できた⁽⁹⁾。

電気自動車は、太陽光発電と組み合わせた蓄電池として、あるいは移動可能な蓄電池として、避難所の灯火確保や携帯電話充電に活躍した。一方、電気自動車から非常時に給電できることが十分に認識されておらず、今後は自治体や事業者が保有する電気自動車を非常時に有効活用する仕組みの一層の整備が必要と考えられる。

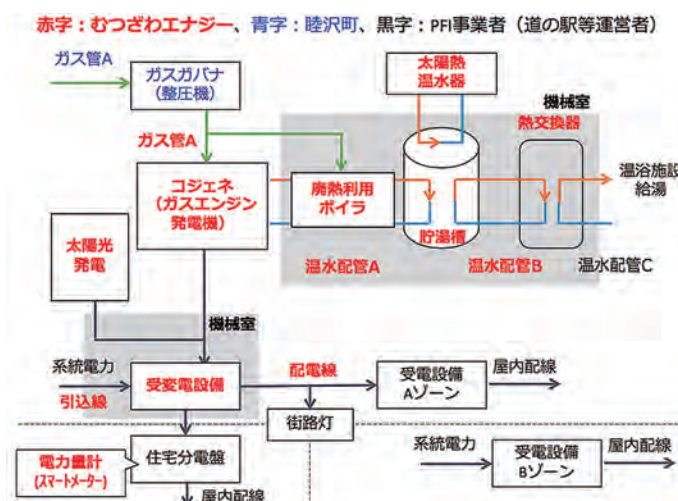
② 地域分散型グリッドの活用

台風15号による長時間停電では、地域での分散型グリッドも活用された。

千葉県睦沢市の「むつざわスマートウェルネスタウン」では、町内で産出される天然ガスを燃料とするガスエンジンと太陽光で発電した電力を地中化された自営線で住宅と道の駅に供給する。

図10に設備構成を示すとおり、常時は電力会社の系統と連系しているが、台風15号による系統電源喪失時には、ガスエンジンにより電力供給を継続するとともに、エンジンの廃熱による温水を活用して道の駅で周辺住民に無料で温水シャワーを提供するなど、エネルギーの地産地消が有効に機能した⁽¹⁰⁾。

また、船橋市の北部清掃工場は、バイオマス（一般廃棄物）発電設備を導入しているが、



（出所：低炭素投資促進機構、㈱CHIBA むつざわエナジー）

図10 むつざわスマートウェルネスタウンのエネルギー設備構成

台風 15 号による停電の際、系統電源から切り離し自立運転に切り替えてごみ処理を継続するとともに、併設された温浴施設に電気を継続して供給し、温浴施設は通常通り利用できた⁽⁹⁾。

(2) 地域分散型グリッド活用に関する取組みの一考察

地域エネルギー活用の一例として、災害に強い「地域分散型グリッド」の構築がある。図 11 に示すように、常時は電力会社の系統と連系し、災害時には系統から切り離すことにより独立したネットワークとして運営することが可能となる。これにより、電力会社の送配電事故からの復旧時間短縮も期待される。

地域エネルギーとしては、各地域の特性を踏まえ、良好な日射条件を活用する太陽光発電、森林資源や廃棄物を活用するバイオマス発電、小水力発電、地熱発電などの再生可能エネルギーおよび地元産出のガスなどを活用したコジェネが期待される。

これを実現するためには、一定の要件を満たす系統を独立化し、系統運用と小売供給を一体的に行う新たな仕組みが必要となる。現在、特定の地域において、一般送配電事業者（電力会社）から譲渡または貸与された配電系統を維持・運用し、託送供給及び電力量調整供給を行う事業を配電事業として位置付け、新たなプレーヤーによる参入を促すための制度の導入が経済産業省にて進められている⁽¹²⁾。

配電事業の制度化を含む「強靱かつ持続可能な電気供給体制の確立を図るための電気事

業法等の一部を改正する法律」が国会にて審議されている。(2020 年 4 月 2 日現在)

地域分散型グリッドの実現には、法令などの制度面の整備に加えて、技術的および事業性に関する課題をクリアする必要がある。地域分散型グリッドは、一般送配電事業者（電力会社）が所有する配電設備と接続する場合が多いと想定されるが、分散型グリッド内の配電設備の所有権、電力の需要と供給のバランス、配電設備の運用・保守について、誰がどのように実施するのかという課題を解決する必要がある。

事業性については、地域分散型グリッドに関する追加コストの負担を誰が担うのか、収益をどのように確保するのかの課題がある。

地域のリソースを有効に活用し、地域内で資金を循環し、自治体、電力会社と運営事業者が一体となって協力し、新たなビジネスモデルを構築することが期待される。

5. まとめ

2018 年 9 月の台風 21 号による関西圏での大規模停電、2019 年 9 月の台風 15 号による停電、同年 10 月の台風 19 号による東日本での豪雨による甚大な被害など、「数十年に一度」と言われる想定を超える大規模災害が立て続けに起こり、それに伴い各地で長時間停電が発生した。

現在の社会は、電気がなくなると水道、通信、交通、金融機関などのインフラが停止し、市民生活とともに、経済活動も完全に停止す

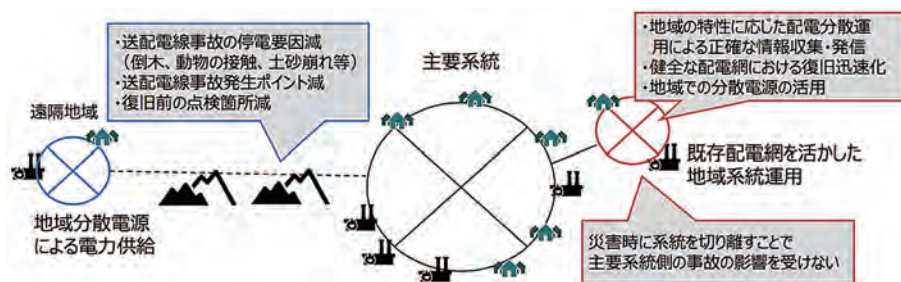


図 11 災害に強い地域分散型グリッド⁽¹¹⁾

る恐れがある。災害は誰にでも日常的に発生するものとして備えることが必要となっており、電力会社および行政の対応力強化とともに、地域における対応力を向上することが極めて有効な方策と考えられる。

弊所では、これまで進めてきた再生可能エネルギーの導入促進、電力設備のレジリエンスに関する調査・研究の成果を踏まえ、地域エネルギーの有効活用についての調査・研究を積極的に進めていく所存である。

参考文献

- (1) 経済産業省 「令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ<中間報告書>」 2020 年 1 月 21 日
- (2) 東京電力ホールディングス株式会社 「台風 15 号対応検証委員会報告書（最終報告）」2020 年 1 月 16 日
- (3) 経済産業省 電力安全小委員会 合同 電力レジリエンスワーキンググループ「台風 15 号の停電復旧対応等に係る検証結果取りまとめ」 2020 年 1 月
- (4) 東京電力ホールディングス株式会社 東京電力パワーグリッド株式会社「台風 15 号に伴う停電復旧対応の振り返り（中間整理）」 2019 年 10 月 31 日
- (5) 電力広域的運用推進機関 「電気の質に関する報告書 2017 年度実績」
- (6) 国土交通省「無電柱化の整備状況（国内、海外）」
国土交通省 HP
- (7) 国土交通省「無電柱化の現状」 無電柱化推進のあり方検討委員会 第 1 回 資料 3 2017 年 1 月 26 日
- (8) 東京電力パワーグリッド株式会社 「次世代技術を活用した送配電事業の変革について」（首相官邸 産官協議会 次世代インフラ 第 3 回 資料 1） 2019 年 3 月 5 日
- (9) 資源エネルギー庁 「地域活用電源に係る制度のあり方」 再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 第 3 回 資料 1 2019 年 10 月 28 日
- (10) CHIBA むつざわエナジー プレスリリース 2019 年 9 月 12 日「台風 15 号の影響で町内および周辺地域が停電する中、むつざわスマートウェルネスタウンに電力と温水を供給しました」
- (11) 経済産業省「個別の論点に係る検討について」 電力安全小委員会 合同 電力レジリエンスワーキンググループ 第 7 回 資料 4 2019 年 10 月 31 日
- (12) 資源エネルギー庁「電力システムのレジリエンス強化に向けた論点」総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 持続可能な電力システム構築小委員会 第 2 回 2019 年 11 月 20 日

地方創生を目指した地域エネルギー利用について

森山 亮 (プロジェクト試験研究部 副部長)



1. はじめに

2008年から始まった日本の人口減少は経済社会にとって大きな重荷となっており、東京圏への人口の集中が日本全体の人口減少に結び付いている⁽¹⁾。

このような課題を解決するため、東京一極集中を是正し、地方の人口減少に歯止めをかけ、日本全体の活力を上げることを目的とした一連の政策である「地方創生」が2014年9月3日の第2次安倍改造内閣発足後の総理大臣記者会見で発表された。

同年12月には日本の人口の現状と将来の姿を示し、人口問題に関する国民の認識の共有を目指すとともに、今後、取り組むべき将来の方向を提示する「まち・ひと・しごと創生

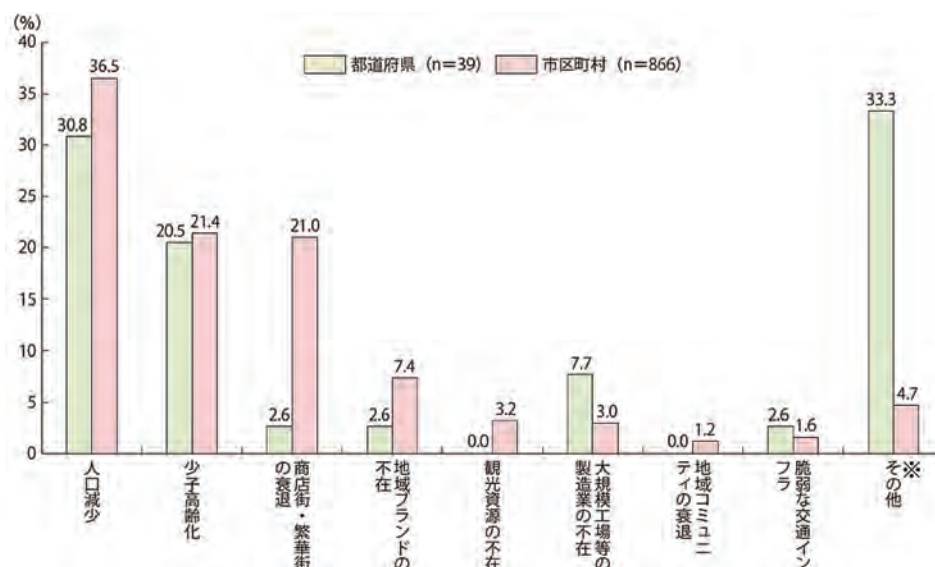
長期ビジョン」と「長期ビジョン」を踏まえ、2015年度を初年度とする5カ年の政策目標や施策の基本的方向、具体的な施策をまとめた「まち・ひと・しごと創生総合戦略」が閣議決定され、様々な施策が行われている。

本報告では、「地方創生」を実現するための1つの方策である地域エネルギー利用に着目し、その課題や事例を解説し、将来への期待を述べる。

2. 地域が抱える問題

前述の通り日本全体の人口が減少しているが、地域における人口減少は東京圏への転出によってさらに拍車がかかっている。

図1に中小企業庁が実施した自治体へのア



※「その他」には、「震災からの産業復興」、「内外経済環境の変化」、「製造品出荷額の減少」、「県内就職率が低い、県外での消費が多い」、「ものづくり産業の空洞化」、「県民所得低迷」等が含まれる。

図1 自治体が抱える課題～アンケート結果～⁽²⁾

ンケート結果を示す。都道府県や市町村が抱える問題として、人口減少や少子高齢化が大きな割合を占めている。

図2は日本創成会議（座長・増田寛也氏）が2014年に指摘した「消滅可能性都市」の分布図である。消滅可能性都市の定義は「2010年から2040年にかけて、20～39歳の若年女性人口が5割以下に減少する市区町村」であり、全国の市区町村1,799の内、約半数の896がこれらに該当すると推計されている。

さらに本図では消滅可能性都市の内、523の市区町村が2040年には人口1万人未満になるということを示している⁽³⁾。

こうした地方自治体では、人口の減少や少子

高齢化に伴う税収減少の中で持続可能な将来のまちづくりを行うことが難しくなっている。

さらに、地域から域外に支払われるエネルギー費用が大きいことも問題となっている。図3に地域内総生産に対するエネルギー代金の収支とその比率を示すが、全国の自治体の内、9割が域内で発生するエネルギーよりも域外から購入するエネルギーの方が多い、すなわちエネルギー代金の収支が赤字となっている（図中暖色系の塗りつぶし）。さらに、7割の自治体が地域内総生産に占めるエネルギー代金支出の割合が5%以上（図中オレンジと赤色）、151の自治体では10%以上（図中赤色）となっている。

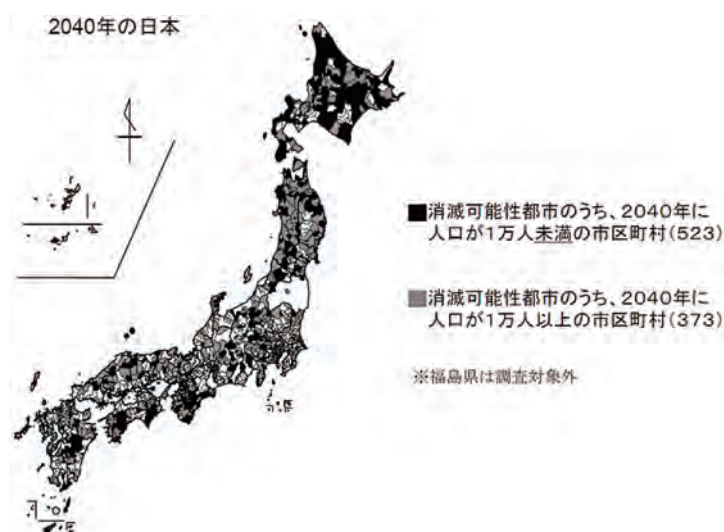


図2 全国の「消滅可能性都市」の分布⁽³⁾

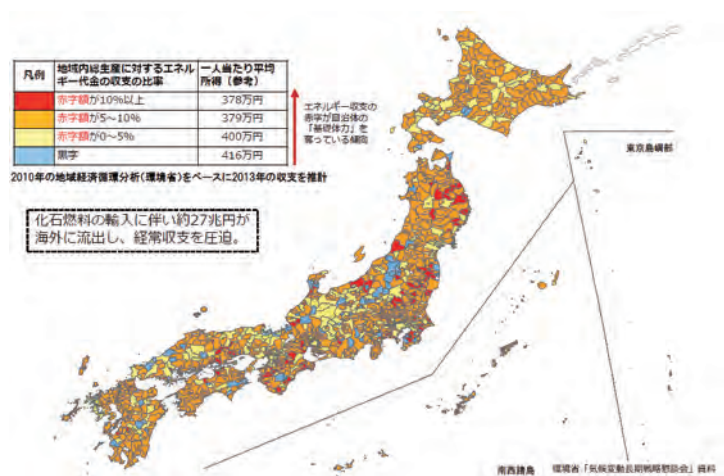


図3 地域内総生産に対するエネルギー代金の収支比率⁽⁴⁾

3. 地方創生に関する政策

これらの課題を解決するために、各省庁では「地方創生」に関わる様々な施策を実施している。

総務省では自治体を中心とした地域経済の循環を推進するプロジェクトを実施しており、経済産業省、農林水産省、環境省などではそれぞれ、再生可能エネルギー（再エネ）の導入、農村地区の産業創出、温室効果ガスの削減を目的とした施策を進めている。

総務省では、地域に「雇用」を生みだし、「為替変動にも強い地域経済構造」を構築するため、「地域経済好循環推進プロジェクト」⁽⁵⁾を推進し、以下の事業を実施している。

● チャレンジ・ふるさとワーク

若者などが、一定期間働きながら地域での暮らしを学ぶ「ふるさとワーキングホリデー」や地域特性を活かしたサテライトオフィスの誘致戦略を策定する「お試しサテライトオフィス」をはじめとする諸施策を展開し、地域への「ヒト・情報」の流れを創出

- ローカル10,000プロジェクト

産学金官の連携により、地域の資源と資金を活用して、雇用吸収力の大きい地域密着型事業の立ち上げを支援

- 分散型エネルギーインフラプロジェクト

地方公共団体を核として、需要家、地域エネルギー会社及び金融機関等、地域の総力を挙げて、バイオマス、廃棄物等の地域資源を活用した地域エネルギー事業を立ち上げるマスタープランの策定を支援

- 地域経済グローバル循環創造事業

日本貿易振興機構(JETRO)等との連携による「地域経済グローバル循環創造ポータルサイト」を活用し、魅力ある地域産品の海外への販路開拓や対日投資を促進

上記の一例として、図4に示す「分散型エネルギーインフラプロジェクト」⁽⁶⁾では平成30年度に計46の団体が地域のエネルギーを利活用するマスタープランを策定した。

その他にも各省庁で地域エネルギーの有効利用を推進するために、以下に示すような施策がとられている。

- 環境省「再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業」⁽⁷⁾

自家消費型・地産地消型の再生可能エネルギーの自立的な普及を促進するため、事業化に向けた検討や設備の導入に係る費用の一部を補助

●農水省「バイオマス産業都市」⁽⁸⁾

原料の収集・運搬から製造・利用までの経済性が確保された一貫システムを構築し、バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりを目指すバイオマス産業都市を選定

- 経済産業省「地域の系統線を活用したエネルギー面的利用事業費補助金」⁽⁹⁾

地域に存在する再生可能エネルギーを活用し、平常時は下位系統の潮流を把握・制御し、災害等による大規模停電時には自立して電力を供給できる「地域マイクログリッド」の構築を支援



図4 総務省「分散型エネルギーインフラプロジェクト」の概要⁽⁶⁾

● NEDO「バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業」⁽¹⁰⁾

バイオマスエネルギー利用に係る設備機器の技術指針、システムとしての導入要件を策定し、これらにもとづいた地域自立システムの実証を実施

4. 分散型エネルギーシステムにおける地域エネルギーの位置づけ

東日本大震災以後の2014年、政府は「第4次エネルギー基本計画」を策定し、原発依存度の低減、化石資源依存度の低減、再エネの拡大を打ち出した。さらにその4年後の2018年に策定した「第5次エネルギー基本計画」にはパリ協定の発効を受けた2050年を見据えた対応、より長期には化石資源枯渇に備えた超長期の対応、変化するエネルギー情勢への対応などが盛り込まれている。

「第5次エネルギー基本計画」では、2030年に向けた主な施策として、再エネの主力電源化への布石、および水素／蓄電／分散型エネルギーの推進、2050年に向けた主な方向として、再エネは経済的に自立し脱炭素化した主力電源化、および分散型エネルギーシステムと地域開発を目指すことが示されている。

わが国における従来のエネルギー需給構造は電力、ガス、石油といった大規模エネルギー供給会社が海外から化石燃料を大量に輸入し、効率よくそれらを最終エネルギーに転換し、需要に合わせて供給する集中型エネルギーシステムの形態を取っていた（図5左側）。

これに対し、分散型エネルギーシステムは小規模にエネルギー転換と供給を行う。分散型エネルギーシステムにおけるエネルギー供給には、再エネによる発電、コジェネレーション、排熱利用などが存在する。このシステムが導入されれば、従来の集中型エネルギーシステムから需要家へのエネルギー供給は少なくなり、時間帯によっては、分散型エネルギーシステムの余剰エネルギーを集中型エネルギーシステムが受け取るような双方向型の需給システムになると考えられる（図5右側）。

このような分散型エネルギーシステムの導入に対し、エネルギーインフラの費用対効果を考えることも重要である。図6に内閣府の年次経済財政報告で示されている配電費用と需要者密度の関係を示す。配電費用（平均費用）は固定費（減価償却費、人件費等）と変動費（燃料費等）を含んだ費用を電力需要で除すことにより算出し、需要者密度は電灯電力契約口数を可住地面積で除すことにより算出している。

図6から、需要者密度が高ければ高いほど平均費用は安く、需要者密度が低いほど平均費用が高くなっていることがわかる。特に消滅可能性都市のような人口減少や人口密度の低下が著しい地域において分散型エネルギーシステムを導入する場合には、家庭向け、事業向けを問わず、配電費用の高まりが懸念される。

地域エネルギーの内、再エネによる発電に注目すると、太陽光、風力、バイオマス、地熱、水力などは地域に賦存するエネルギーであり、

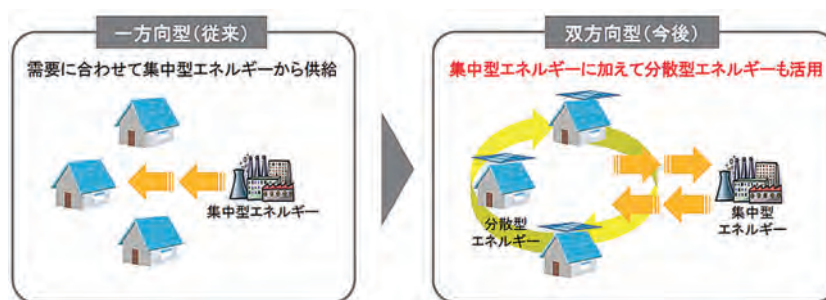


図5 集中型エネルギーシステムと分散型エネルギーシステム ⁽¹¹⁾

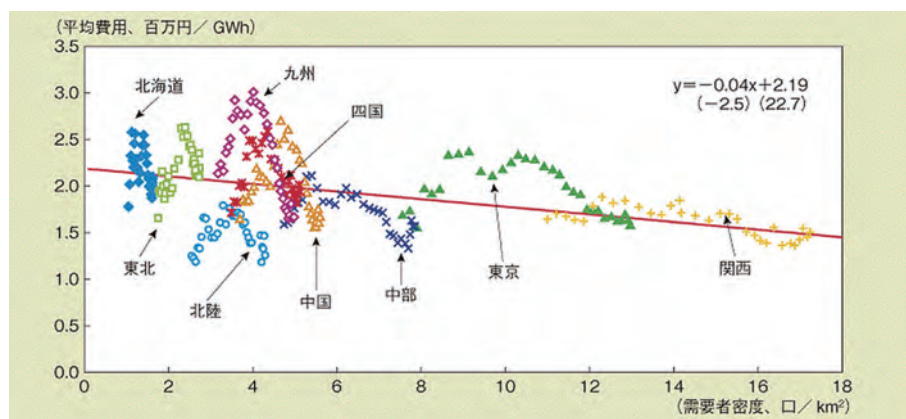


図6 配電費用と需要者密度の関係 (12)



(出所：参考文献 (13) に追記)

図7 再生可能エネルギーの分類

これらを有効活用することによって、自治体等地域内のエネルギー需給の一部を賄うことができ、地域経済に与えるエネルギー費用の課題解決に貢献することが期待される。

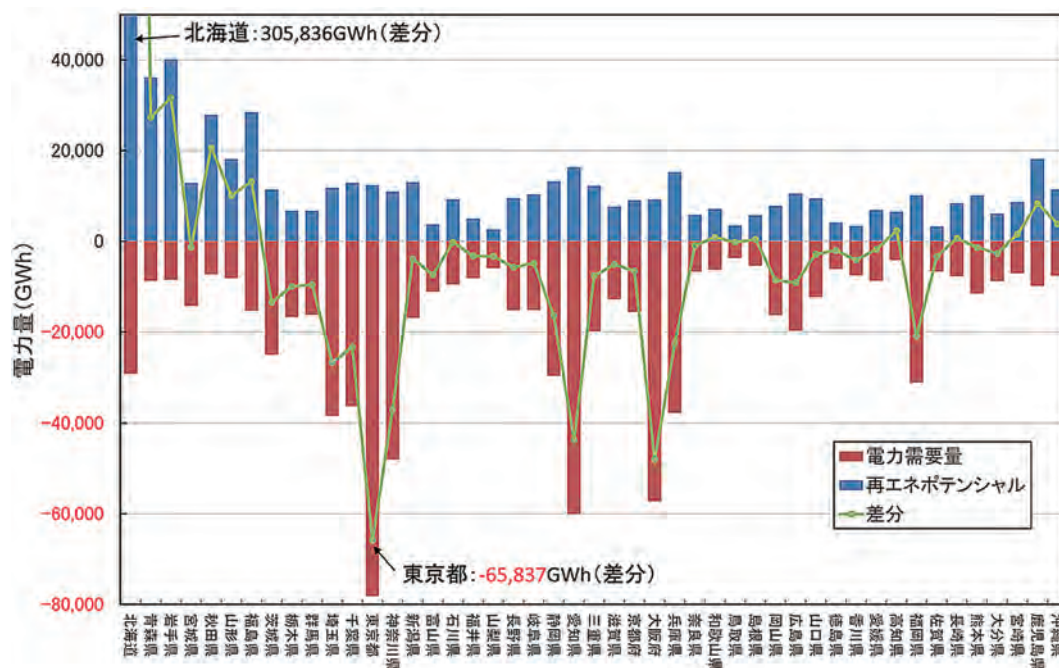
図7に再エネの分類を示す。再エネには様々な種類のエネルギーがあり、電力の固定価格買取制度で注目されている太陽光、風力、バイオマス、地熱、水力に加え、太陽熱や海洋エネルギーなども含まれる。これらを大別すると、太陽光・風力のように気候、気象などの要因によって出力が大きく変化する自然変動エネルギーと、バイオマス・地熱・水力のように一定の出力を得たり、出力を調整することができるエネルギーに大別できる。

自然変動エネルギーの出力はエネルギーの需要とは無関係に変化するため、需給のギャップを埋める必要がある。

集中型エネルギーシステムの場合、大規模エネルギー供給会社によって自然変動エネ

ギーの出力と需要のギャップを火力発電の出力調整などで埋める努力がなされているところであるが、分散型エネルギーシステムの場合は集中型エネルギーシステムからのエネルギーの受け渡しが必要であったり、完全に独立したシステムを目指す場合には自身で出力調整が可能な電源や蓄エネルギー設備などを導入する必要がある。

図8に地域エネルギー需給の可能性を概算した分析結果を示す。本図では環境省が調査した再エネの導入ポテンシャル⁽¹⁴⁾の内、自然変動エネルギーである太陽光発電と陸上風力発電を合計したものを青い棒グラフで、資源エネルギー庁が発表している2018年度の電力需要実績⁽¹⁵⁾を赤い棒グラフで示し、それらの差分を折れ線グラフで示している。差分が正の値を示している場合はその都道府県における再エネのポテンシャルが電力需要を上回っていることを意味する。



(出所：参考文献(16)を用いて電力量に換算)

図8 都道府県別再エネ（太陽光＋陸上風力）導入ポテンシャルと電力需要の比較

北海道は再エネの導入ポテンシャルが他の都府県と比較して格段に高く、電力需要量を引いた差分が最も大きい30万GWhと計算された。その他にも岩手県の差分は3万GWh、秋田県の差分は2万GWhと大きな域外へのエネルギー供給可能性が示唆される。

一方、東京都は差分が最も低く、6.6万GWhのマイナスとなった。他にも東京近郊の埼玉、千葉、神奈川県や愛知県、大阪府、福岡県などの大都市圏では差分が小さく、現在の電力需要量を再エネだけでは賄いきれず、集中型エネルギーシステムのような大規模エ

ネルギー供給が必要となることがわかる。

これらの結果は概算であり、市町村別の分析や太陽光・風力以外の再エネの分析などによって地域独自性なども見えてくると考えられる。

このように、地域に賦存するエネルギー資源を有効活用し、エネルギーの自給自足を進めることによって、地域の歳出に占めるエネルギー費用を少なくしたり、地域で興るエネルギー産業によって、雇用を増やし、人口流出を食い止めたりするという効果が期待される。そのイメージを図9に示す。



図9 地域エネルギー利用の効果イメージ

5. 地域エネルギーの利活用事例

これまで述べてきた地域エネルギーの利活用による効果や、さらに地域エネルギーの導入による防災の観点を加えて、分散型エネルギーシステムの導入検討事例が増えている。宮城県東松島市では、「東松島市スマート防災エコタウン」と称して、環境省の「自立・分散型低炭素エネルギー社会構築推進事業」において平成26年度（2014年度）から国内初の地産地消型マイクログリッドを導入した。

図10左側のように、発電源として太陽光発電とバイオディーゼル非常用発電機を備え、既存電力網からの電力を受けながら、病院、公共施設、公営住宅への電力を供給する。さらに、エネルギー需給を調整するために、蓄電池も組み合わせて運用している。

災害などの非常時には図10右側のように、病院や防災拠点への電力供給ができるような対応が可能となっている。

分散型エネルギーシステムの導入についてはこのように、単なるエネルギー供給ビジネスの視点に加え、地域住民が安心して暮らす

ことができる防災・減災インフラとしての観点も必要である。

また、地域エネルギーの中でもバイオマスに着目して利活用を進め、域外から収入を得る地産他消の取り組みとして、岡山県真庭市を紹介する。

真庭市では地域の事業者が主体となり、林業・木材産業関連者や真庭市などの地域関係団体の連携のもと、「真庭バイオマス発電株式会社」を設立し、2015年4月には10MWの発電能力を有する真庭バイオマス発電所を運転開始した。発電した電力は全量を固定価格買取制度で売電している。

真庭市の取組みで特徴的な点は、複数の関連事業者が連携し地域協議会を立ち上げ、発電用燃料購入費の内、山林所有者へ500円/トンの利益還元を行っている点にある。一般的な発電事業者は、利益をあげるために少しでも木質バイオマス原料を安く購入したいと考えるが、このような取組みによって、図11に示すように、原料を供給する山林所有者にも地域のバイオマス利活用事業の恩恵を享受できるようになる。

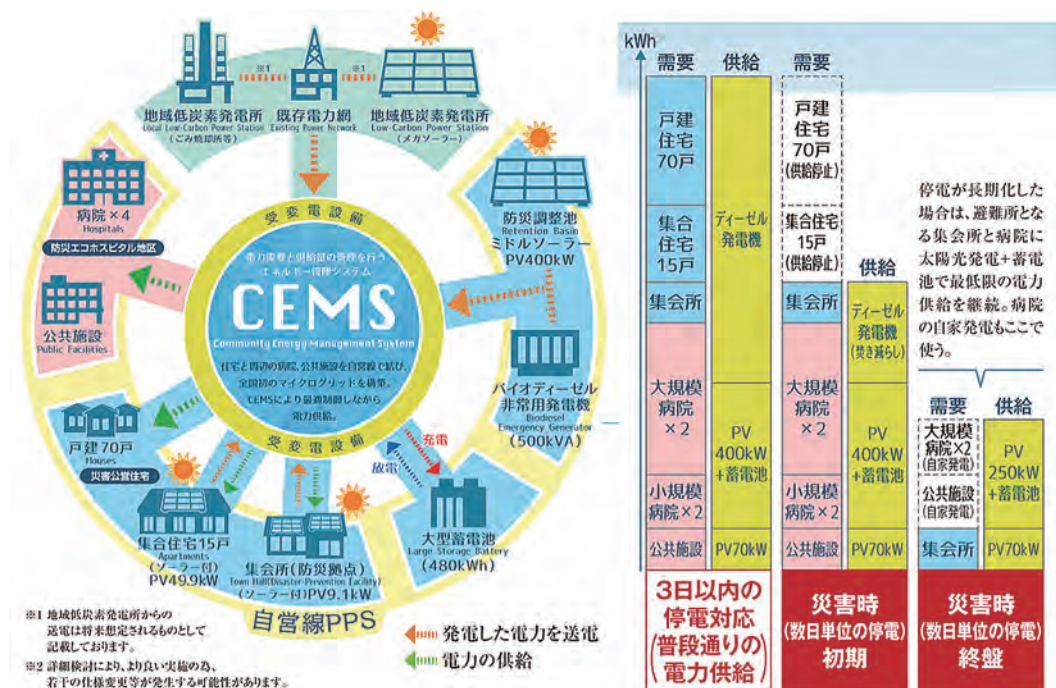


図10 東松山市スマート防災エコタウンのシステム概念図（左）と非常時電力供給の考え方（右）⁽¹⁷⁾

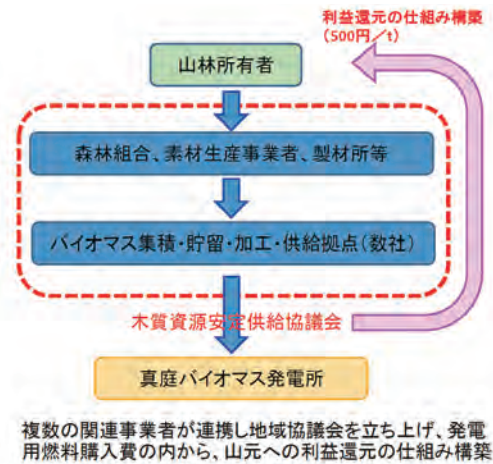


図 11 真庭バイオマス発電所の実施体制 ⁽¹⁸⁾

6. 将来の分散型エネルギーシステムへの期待

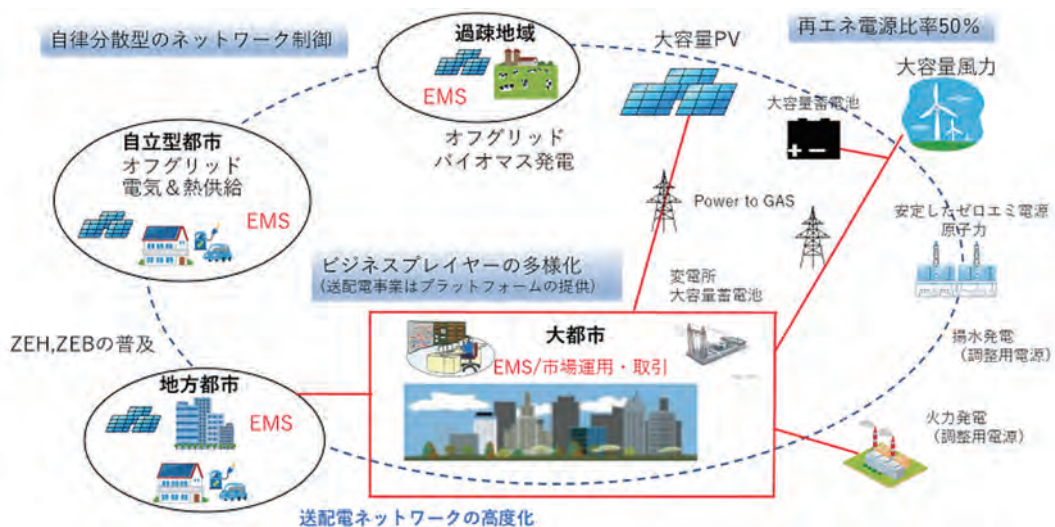
これまでに「地方創生」を実現するための1つの方策である地域エネルギー利用について課題や事例を概説し、将来の地域エネルギーを利活用した分散型エネルギーシステムの役割について述べてきた。

弊所では、2050年に向けたエネルギー技術展望について幅広く検討を実施し、2050年超に向けた3つのエネルギーシステムのメガトレンドを想定したIAE「中長期ビジョン」⁽¹⁹⁾を発表した。また、図12に示すようにメガ

トレンドの内、“電力化・蓄エネルギーシステム”では、再エネ電源が大量に導入され、主力電源化することにより、従来の電力供給に依存しないオフグリッド地域が増加し、送配電システムのあり方も、多様に変化していくイメージを描いている。

図中、過疎地域、自立型都市、地方都市と記載した部分は、規模の差はあるものの、分散型エネルギーシステムを導入している範囲を表している。

このような分散型エネルギーシステムは、地域の特性や需要の形態等に合わせて様々な構成があり、



(2050年における3つのエネルギーシステムのメガトレンドの内、電力化・蓄エネルギーシステム)

図 12 2050年の電力供給システムイメージ ⁽¹⁹⁾

- 太陽光、風力、バイオマスなど発電設備の種類
- 電気のみならず、熱などのエネルギー供給形態
- エネルギーマネジメントシステム
- 需給のギャップを埋めるための蓄エネルギー機器の利用

などを詳細に検討することによって具現化することが期待できる。

また、このような分散型エネルギーシステムの運営に当たっては、自治体が大きく関与する「地域新電力」の取り組みが多くなっている。海外では幅広い公共サービスの提供と共に実施されているドイツの「シュタットベルケ」という例もある。

自治体が運営する分散型エネルギーシステムは、地域の経済循環への貢献、エネルギー以外の公共サービスとの相乗効果などが期待される反面、既存エネルギー会社との価格/品質競争力不足や自治体の過度な出資が困難であることがデメリットとして考えられる。

一方で、近年水道事業など公共事業の運営権を民間に任せる「コンセッション方式」による民営化も注目されている。これは、自治体の歳出削減、固定資産税、法人税等税収向上といったメリットに対し、株主の意向や経済的効率が優先、事業撤退リスク、長期的な人材育成の不足などが考えられる。

地域の人口減少といった課題への対策を含め、自治体の将来ビジョンをどのように描き、エネルギーインフラをどのように考えるかといった計画策定にあたっては自治体が果たす役割が大きいといえる。

7. まとめ

地域エネルギーを利活用した分散型エネルギーシステムの導入に際しては、自然変動エネルギーの出力変動に対応する調整電源、エネルギーマネジメントシステム、蓄エネルギー設備の導入など需給調整に関わる技術的な要件を検討する必要がある。

また、初期費用および運用におけるコストダ

ウンの努力はもちろん、効果としては現れにくい防災インフラとしての役割、再エネの安定供給をアピールすることによる産業誘致、バイオマスの場合、地域の林業や廃棄物処理への副次的効果など自治体の将来ビジョンに合わせ、地方創生に貢献することが期待される。

弊所ではこのようなエネルギーインフラに関する調査研究を通じて、今後の地方創生の一助になるような情報発信に努めていきたいと考えている。

参考文献

- (1) まち・ひと・しごと創生本部, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/sousei/info/#an6>
- (2) 中小企業庁, 中小企業白書 (2014 年版)
- (3) 増田 寛也, 「地域消滅時代」を見据えた今後の国土交通戦略のあり方について, 国土交通政策研究所「政策課題勉強会」(2014)
- (4) 環境省, 地域経済循環分析とは, 「地域経済循環分析用データ」の提供開始について (お知らせ) (2015), <https://www.env.go.jp/press/101755.html>
- (5) 総務省, 地域経済好循環推進プロジェクト, https://www.chiikinogennki.soumu.go.jp/chiiki/chiiki_genki.html
- (6) 総務省, 分散型エネルギーインフラプロジェクト, <https://www.chiikinogennki.soumu.go.jp/chiiki/files/2019100111.pdf>
- (7) (公財) 日本環境協会, 再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業, <http://www.jeas.or.jp/saiene/>
- (8) 農林水産省, バイオマス産業都市の取組, https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_sangyo_toshi/b_sangyo_toshi.html
- (9) 経済産業省, 地域の系統線を活用したエネルギー面的利用事業費補助金, https://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2020/pr/en/shoshin_taka_07.pdf
- (10) NEDO, バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業, https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100084.html
- (11) 資源エネルギー庁, 分散型エネルギーについて, 長期エネルギー需給見通し小委員会 (第 6 回会合) 資料 1 (2015)
- (12) 内閣府, 平成 25 年度 年次経済財政報告
- (13) NEDO, 再生可能エネルギー技術白書第二版 (2014)
- (14) 環境省, 再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ (平成 28 年度更新版)
- (15) 資源エネルギー庁, 電力調査統計表 都道府県別電力需要実績 2018 年度 (平成 30 年度)

- (16) 資源エネルギー庁, 電源種別 (太陽光・風力) のコスト動向等について, 第 25 回 調達価格等算定委員会 資料 1 (2016)
- (17) 東松島市, <http://www.city.higashimatsushima.miyagi.jp/index.cfm/22,746,c.html/746/bousaieco.pdf>
- (18) 農林水産省, 地域への利益還元を実現した木質バイオマス発電, https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_jirei/pdf/maniwa.pdf
- (19) IAE, 中長期ビジョン～ 2050 年に向けたエネルギー技術展望～ (2019), <http://www.iae.or.jp/2019/01/23/vision2019/>

[調査研究報告]

安全解析チームの数値シミュレーションに対する
取組み～原子炉隔離時冷却系（RCIC）の研究を例に～

都築 宣嘉[※]（原子力技術センター 安全解析
チーム 主管研究員）

鈴木 博之^{※※}（原子力技術センター 安全解析
チーム 主任研究員）



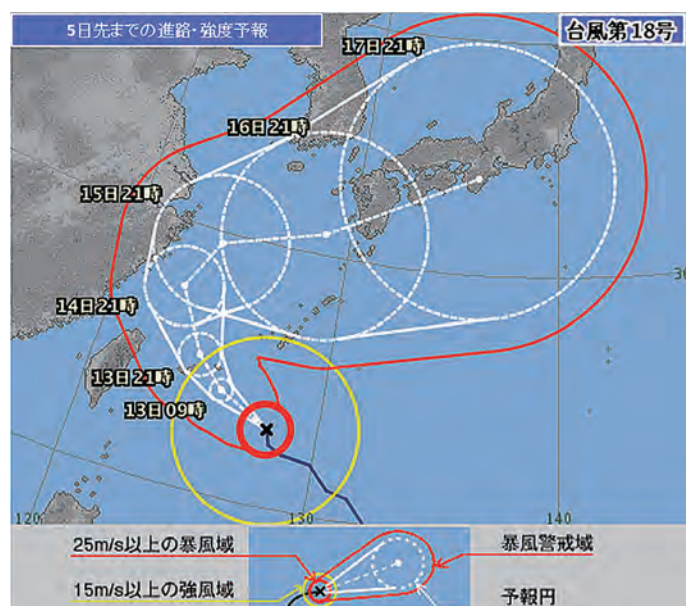
1. 技術開発における数値シミュレーション

近年のコンピュータ性能の向上によって、コンピュータを用いて自然界に起こる現象を再現・予測しようという「数値シミュレーション」を用いる試みが広がってきている。

日常生活にまで馴染んでいる、コンピュータを用いた現象予測と言えば、なんと言っても天気予報だろう。今や雨（降水）の有無に関しては90%近い的中率を誇る気象庁の天気予報だが、その予報のために、過去の膨大

なデータの蓄積と、世界トップクラスとなる約18 PFLOPS（ペタフロップス）の総理論計算性能を誇るスーパーコンピュータを用いた数値シミュレーションを行っている⁽¹⁾。18PFLOPSとは、1秒間に浮動小数点計算を1.8京回行える理論性能である。

シミュレーションによる「数値予報」を基に、最終的には専門知識を持った予報官の判断を加えて、公報する天気予報としている。天気予報は、外出時の雨傘の要・不要のような日常的なことから、図1のような豪雨の雨量予測や台風の進路予測等、災害による被害発生を最小



出所：気象庁ホームページ（<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/typhoon/7-1.html>）

図1 台風情報の例

限に防ぐことまで、幅広く役立っている。

では、技術開発において数値シミュレーションを用いると、どのように役立つだろうか。開発に数値シミュレーションを用いている一番有名な例は、自動車の空力性能予測だろう。

最近では、自家用車では特に燃費性能が重要視されることもあり、車体形状を新規開発する際には、三次元の数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）コード（ソフトウェア）による計算を行い、図2に示すように、設計中の車体形状での周囲の空気流動挙動を予測している。

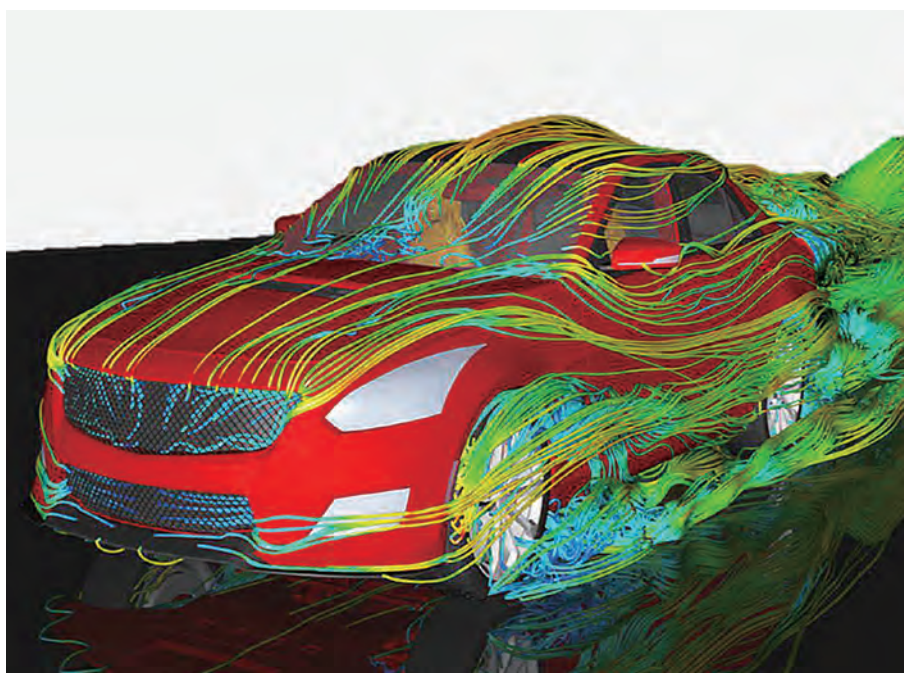
風洞実験等で形状周りの空気の流動挙動を三次元的に計測するのは大変だが、数値シミュレーションを用いれば、形状のどの位置においても、その周囲の空気の流れの予測結果を詳細に見ることができる。また、形状周りの流動挙動だけではなく、自動車の場合、例えばエンジンに関しても、CFDコードを用いて、吸気、排気、あるいはガソリンと空気の混合の様子、そしてエンジン内部での燃焼の様子も計算予測できる。

エンジン内部は高温・高圧となるので、実際

に計測するには手間がかかる。高温高圧であるため、試験用とはいえ透明な樹脂等の材料を用いてエンジン内部での流れを可視化するのはほぼ不可能であろう。さらに、燃焼反応は非常に速いので、エンジン内部での爆発的な燃焼反応の様子を実験的に捉えるのは困難であるが、数値シミュレーションでの予測であれば、初期のコンピュータとソフトの導入費用、そして電気代のみで行うことができる。

最近ではエンジンに代わって、バッテリーとモーターで動く電気自動車（EV）も販売されている。EVにはエンジンはないが、CFDコードを用いて、搭載するバッテリーについて、使用に伴う内部での化学的な挙動を予測しているらしく、やはり開発研究に色々と数値シミュレーションを用いているとのことである。

このように、自動車業界では、技術開発において数値シミュレーションが大きな役割を占めている。例えば、可視化しにくい空気の流れを三次元に捉える手助けや、高温高圧といった実験が難しい環境の再現、瞬時の燃焼反応のような可視化しにくい化学反応の把握などに用いられている。



（出所：シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェア）

図2 自動車空力性能解析の例

もっと直接的に一般人でも触れられるシミュレーションと言えば、コンピュータによる試着サービスであろう。客の写真を撮り、それに眼鏡・服などの商品の画像を合成することで、コンピュータ内で試着した時の客の姿を「シミュレート」するサービスが広がっている。コンピュータによる合成なので、色やサイズなどは、客の要望に応じて様々に、そして瞬時に変えられる。極端に言えば、コンピュータでの試着サービスにはコンピュータ1台あればいいので、実際の試着のように、倉庫に試着用サンプルを置き、客の求めに応じてわざわざ取りに行く、という手間が軽減される。様々な環境を簡単に再現できるというのもまた、数値シミュレーションの利点であろう。

このように、今日の社会において、数値シミュレーションは身近なものとなってきており、様々な分野で用いられている。また、用いられることで精度が確認され、技術者たちの信頼を得てきており、数値シミュレーションが技術開発・商品開発などで色々と役立てられている。

2. 原子力分野での安全性評価における数値シミュレーションの役割

では、原子力分野ではどうだろう。原子力分野では、例えば、原子炉炉心に関する実験を行おうとした時、放射性物質を用いなければならない可能性もあるが、現在は使用規制が厳しく、放射性物質を用いる実験を行うのは容易ではない。また、たとえ放射性物質を

用いない模擬実験や周辺機器への実験であっても、例えば沸騰水型原子炉（BWR）では炉心が通常運転時に約270℃、7 MPa（約70気圧）という高温高压で動いており、周辺機器もそのあたりの条件で動いてので、その高温高压の運転条件を実験室で再現するのが難しい場合もある。

このように、原子力分野では、特に現状、実験の実施自体が困難な場合がある。そういった中、上述のようにコンピュータによる数値シミュレーションが信頼を得てきている状況を踏まえ、実験は実施が容易な範囲だけとし、残りは数値シミュレーションを用いて予測する形をとることが多い。つまり、実験で検証のためのデータを得、その実験と同じ条件を用いた数値シミュレーションを行い、数値シミュレーションの精度を保証する。そして、数値シミュレーションを用いて、他の拡張された条件（過酷な条件となる場合が多い）に関する結果を予測する。原子力分野では、このような形で研究開発することが多くなっている。

ここで、安全解析チーム（以下、当チーム）に関して少し紹介する。当チームは、原子力技術センターの中で、特に、コンピュータによる数値シミュレーションを中心に業務を行っているチームである。原子力分野にとどまらず、様々な分野で数値シミュレーションを実施してきた。商用のCFDコードを用いた解析事業も受託しているが、当チームの開発したコードを計算解析に用いることもある。当チームで開発してきたコードの例を表1に

表1 安全解析チームの所有するソフトウェア

ソフトウェア名	解析対象
SAMPSON	原子力発電プラントの重大事故解析
CAPE	燃料集合体内特性解析
VESUVIUS	水蒸気爆発の解析
DDOC	水素燃焼（爆燃・爆轟）の解析
HYNA	水素濃度分布の3次元解析
FLAVOR	流動振動解析
DRAWTREE	流動加速腐食による配管減肉解析

示す。この中には専門性が高いために適用可能範囲が狭いコードもある。しかし、当チームの開発したコードは、自由にカスタマイズでき、たとえ専門的で適用可能範囲が狭いコードでも、ある程度のカスタマイズで適用可能範囲を広げれば、他の事例にも適応できると考え、現在もコードの整備を行っている。

3. シビアアクシデント解析コード(SAMPSON)の開発

原子力分野で数値シミュレーションが担っている大きな役割の1つに、原子力関係施設での事故の解析がある。原子力分野の事故は、放射性物質放出の可能性等を考えても、解析目的のために実際に発生させて良いものでない。そのため、専門の解析コードを用いて事故時の挙動を予測していく。そういった予測をするコードは、シビアアクシデント（過酷事故）解析コード（Severe accident Analysis code：SAコード）と呼ばれる。有名などころでは、アメリカで開発されたMAAP、MELCORといったコードがあり、世界中で広く用いられている。

一方、これらの計算コードには原子力プラントの実データが含まれており、いわば知的財産の塊である。知的財産の保護に関して、近年は取り扱いがより厳密になってきている。例えば、アメリカは現在、中国に対して知的財産の保護を世界水準で行うように働きかけており、そのことが両国間の外交問題にもなっている。

日本はアメリカにとって親密な国であるため、知的財産を含むもののアメリカからの日本への輸出に関しても、最も許認可が得られやすい国である。しかし、今の世界的な知的財産保護の流れを受けて、アメリカで開発された計算コードに関して、たとえ日本の団体がコードの使用許諾を受けたとしても、その計算コードの元となるソースコードが原則的に公開されないような流れになってきている。ソースコードが公開されないために、コードの中でどのよ

うに数値処理がなされているか分からない（ブラックボックス化）ので、コードが学術的研究にそぐわなくなったり、自分達で修正・改良できなくなったりすることがある。

また、アメリカ製SAコードは、当然ながら、アメリカで多用されている原子力プラントの状況を解析することに対して最適化されている。一方、日本メーカーが作った日本にある原子炉では、アメリカの原子炉で用いているものがそのまま使われてはいない。例えば、部品に日本メーカー製の同等品を用いている場合もある。アメリカ製コードで日本の原子力プラントの状況を解析しようとする場合、アメリカと日本とで違う部品を用いている箇所があれば、それを計算解析する場合には、当然ながら実際に用いられているものに合わせて計算条件を調整すべきである。パラメータとしてソフト上で調整できるものは良いが、そうできないものに関しては、コードの調整が必要となる場合もある。そのような場合、従来は、ソースコードの修正で対応できていたが、ソースコードが非公開となれば、パラメータで調整できる範囲以外の調整はできなくなってしまう。ソフトの開発元に依頼して、調整したバージョンを作成してもらう方法もあるが、往々にして多大な費用が掛かり、費用面で成り行かなくなる可能性が高い。ソースコードの非公開化には、上記のような問題がある。

このまま知的財産保護の厳格化が続けば、極端な話として、現在は許可され、日本でも原子力プラントの安全審査に用いられているアメリカ製SAコードさえ使用禁止になる可能性がある。そのアメリカ製SAコードの使用が禁止となった場合、どう対応するか。その答えの1つとして、当チームは、国産のコード開発に力を入れるべきだと考えている。

現在、当チームで開発している計算コードの中に、SAコード「SAMPSON」がある。SAMPSONは、原子炉内で発生する様々な事象を、それぞれの現象に特化したモジュールを用いて解析し、それらモジュール類を管理モ

ジュールによって統合して計算するソフトである。それぞれのモジュールを単体で計算させることも可能であるが、それらモジュールを連携させて、原子力プラント内で発生している幅広い事象に関して計算できるのが特徴となっている。そして、SAMPSON は、当チームが開発中のコードであるため、無論日本のプラント独自の事象に関するコード調整が可能である。

SAMPSON は、既にデータが公開されている各種検証実験や国際ベンチマーキング問題を利用した、計算精度の検証も行っている。一方、原子力関係施設というものは、想定可能な事故に関しては何らかの装置・システムでその進行を食い止めることになっている。それを越えて発生する過酷事故は、当然想定できないものとなる。例えば、東京電力ホールディングス社は、福島第一原子力発電所事故（福島事故）に関する未解明事項を、5 回にわたる報告書『福島原子力事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果』で挙げている。第 5 回(2017 年 12 月報告)⁽²⁾の段階では、未解明事項として 52 個の項目が挙げられている。その中には、当研究所の『季報エネルギー総合工学・第 42 巻第 2 号』（2019 年 7 月発行）で取り上げた、原子炉隔離時冷却系（RCIC：Reactor Core Isolation Cooling）の稼働状態に関することも、未解明事項として「2 号機制御電源喪失後の RCIC 流量について」で報告されている。それほど、過酷事故は予想することが難しい。そのため、過酷事故に関して解析する SA コードは、常に最新の知見を入れて改良し、その精度を向上させていかなければならない。

4. RCIC の設計条件外における検証実験プロジェクト

（1）原子炉隔離時冷却系（RCIC）

本章では、原子力分野における数値シミュレーションを用いた研究の具体例として、RCIC 関連研究に関して触れたい。

RCIC は原子炉炉心を非常時に冷却するシステムとして、沸騰水型炉（BWR：Boiling Water Reactor）の型式で言えば BWR-4 以降の炉に設置されている。原子炉内では運転中、核分裂反応を連鎖的に発生させる（臨界状態を維持する）ことで膨大な熱を得て、その熱で大量の蒸気を発生させている。そして、臨界状態を制御棒によって停止させたとしても、核分裂反応の余波として「残留熱」という形で熱の発生が続く。残留熱は、原子炉の臨界状態の停止直後（1 分後）には約 4 % にまで急減少し、以降も下がり続ける。しかし、原子炉内で発生していた元の熱量が膨大であるため、残留熱もそれなりに大きい。発生し続ける残留熱を放置すれば、燃料溶融等の事故に繋がる可能性があるため、原子炉の停止後も継続して燃料を冷やすシステムが必要となる。その 1 つが RCIC なのである。

RCIC では、炉心内部で発生した蒸気で専用タービンを回し、それを駆動力にポンプを動かして炉心に冷却水を注入する。電動ポンプは用いないため、原子力発電プラント全体で全電源喪失が発生しても、継続的に用いることができる。実際に、福島事故の際も、地震時に運転中だった 2 号機・3 号機において、RCIC が設計稼働時間の 8 時間を遥かに超える時間（3 号機で約 20 時間、2 号機で 70 時間近く）働いて、事故の進展を抑えるのに寄与したと言われている。図 3 にその様子を示す。従来の評価では、RCIC の動作が保証されるのは設計稼働時間の 8 時間だけという位置づけであったが、福島第一原子力発電所での例を見る限り、それ以上の時間有効に使うことができる潜在的な安全性を持っていると推測された。

一方、その RCIC が持つ潜在的な安全性を最大限有効に生かして長時間の稼働を保証するためには、実際に RCIC が確実に稼働する時間を確認しなければならない。稼働時間の確認のためには、実験的な手段と理論的な手段との両方が用いられることになる。実験的

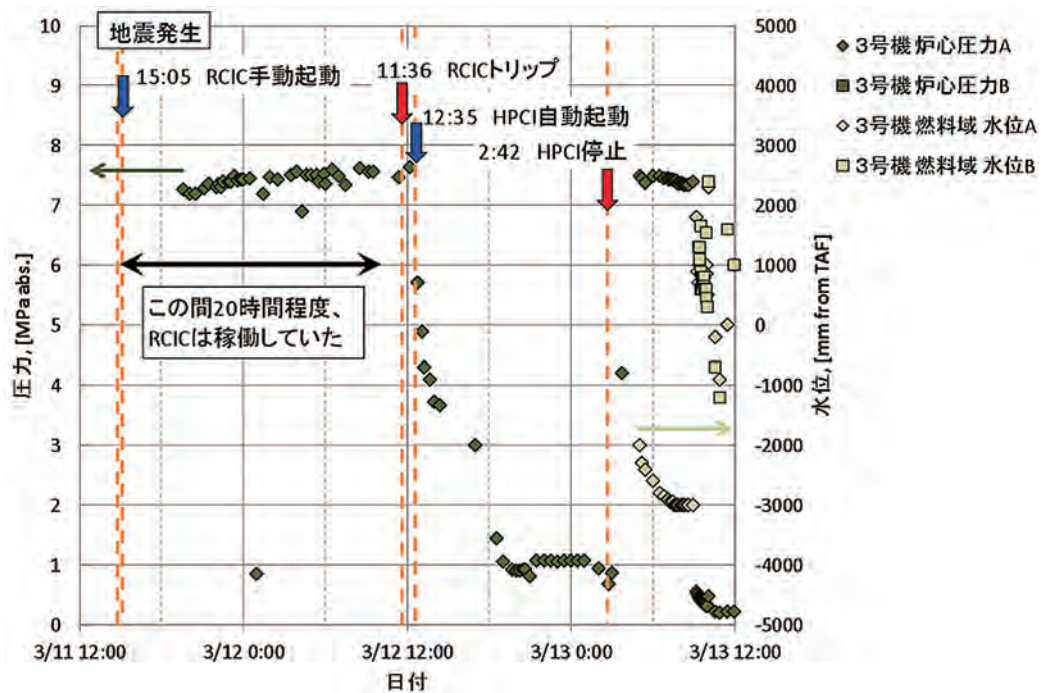


図3 福島事故時における炉心圧力と燃料域推移挙動（2号機の例）

手段としては、実際の RCIC の装置を用いて実機条件で運転し、稼働停止するまで運転し続けることが一番明快で分かりやすい。理論的手段としては、各種部品の安全性を議論してから総合的な安全性を議論することの他に、現在はコンピュータシミュレーションを用いた安全性の推測も行われる。特に、RCIC は、福島事故時に設計時間を遥かに超える長時間にわたって作動したが、稼働停止した際の理由が明らかになっていない。装置としての総合的な安全性を保証するには、稼働停止の具体的な理由も明らかにしておくことが望ましく、そのためにも理論的な安全性の検討が重要となる。

以上を念頭に、当チームは、経済産業省の「原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業」の中で、RCIC が潜在的に持つ安全性を明らかにする日米共同事業「過酷事故条件下における原子炉隔離時冷却系の挙動に関する研究」（以下、本事業）を立ち上げた。本事業の付随的な目的として、RCIC 部分に関する SA コードの改良、実験による RCIC 性能の把握とそのモデル化、既存 SA

コードへの組み込みがあった。なお、事業の背景や意義に関しては、季報 第 42 巻第 2 号で詳述してあるので、本事業にご興味のある方はそちらも参照して頂きたい。

図 4 に RCIC 周辺の系統図を示す。RCIC はタービンとポンプの組み合わせで構成されている。BWR の通常運転時、原子炉压力容器（RPV：Reactor Pressure Vessel）内では発電所の主タービンを回すための大量の蒸気を発生させている。蒸気は、通常運転時は、主蒸気ラインを通して発電用の主タービンへ行く。地震などで主蒸気ラインが閉じた場合は、原子炉では制御棒が挿入され、大量の蒸気を生み出すための核分裂反応は停止される（スクラム）。しかし、核分裂反応の余波のような発熱反応が継続的に続いて、残留熱が発生している。前述のように、この残留熱を放置すると、燃料や容器が溶融破損してしまう可能性がある。そこで、核分裂反応の停止後も炉心の冷却を行わなければならない。RCIC は、そのための装置である。

RPV 内で残留熱により発生した蒸気を、主蒸気ラインから分岐したラインを通じて RCIC

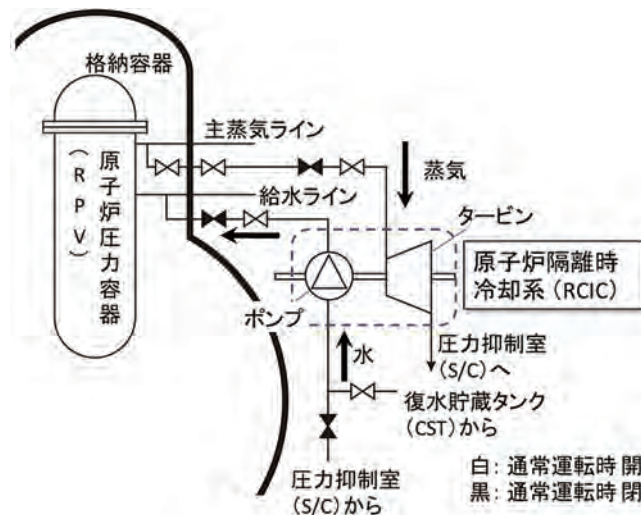


図4 RCIC周辺の系統図

に導いて、RCICのタービンを回す。そのタービンとシャフトでつながっているポンプは、復水貯蔵タンク（CST：Condensate Storage Tank、）あるいは圧力抑制プール（S/P：Suppression Pool）を水源として、その中の冷却用水をRPVに注入する。RCICは、このような働きをする装置である。非常にシンプルな装置であるため丈夫で、原子炉の非常用設備として用いるのに非常に的を射ていると言える。

ところで、従来、原子力プラントで発生する事故への対応時間の目安は8時間であった。RCICもそれに従い、設計稼働時間を8時間に設定し、メーカーが8時間分の動作を保証している。一方、実際に福島事故では、前述の通り、RCICの潜在的な安全性は、目安となる8時間を超えたところにあると推測されている。実際に、RCICが機能停止するまでにどれくらいの時間が必要なのかは今まで計測されずにいた。それを実験的、理論的に、RCICのもつ潜在的な安全性を明らかにするのが本事業の目的となる。

なお、ポンプは設計条件で70時間程度運転したとしても破損するとは考えにくいので、RCICが稼働停止したのはタービン側に原因があるとする向きが強い。従って、本事業では、主にRCICのタービンに関して実験と解析を行っている。

（2）SAMPSONでのRCICに関する解析

続いて、SAMPSONでのRCICの解析に関して説明する。

SAMPSONはSAコードであり、原子力プラントの過酷事故における幅広い事象に対して解析するコードである。コンピュータで計算するには、計算対象を有限の大きさを持ったパーツに分割し、そのパーツ内では様々なパラメータが一様であるとしてまとめる必要がある。パーツ同士のパラメータを比較することで、次の状態を予測していくのが、コンピュータシミュレーションのやり方である。コンピュータの容量に限界があるため、幅広い事象に対して計算するには、比較的大きな範囲を1つのパーツにまとめないといけない。SAMPSONにおいて、炉心付近での熱水力現象は、例えばタービンのような比較的大きなものでも1つのパーツ（ノード）としてまとめて計算できるノード・ジャンクション法を使う。図5はSAMPSONでのRCIC関連機器に関する概念図である。RCICのタービン、ポンプにあたるノードがあり、現在通常版のSAMPSONでは、①RPVで発生した蒸気が主蒸気ラインから分岐し、2つのバルブを通過してRCICタービンのノードを通り、S/Pに排気されるラインと、②RCICポンプにあたるノードを通過してCSTあるいはS/Pを水源と

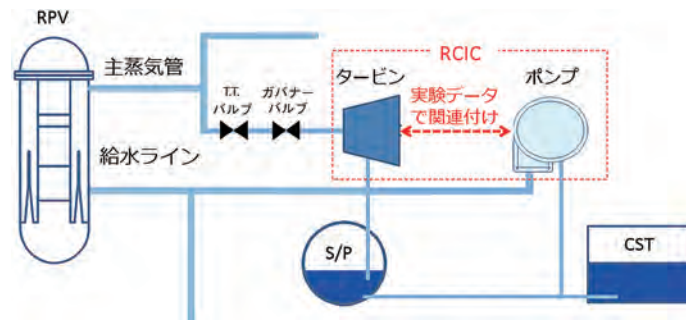


図5 SAMPSONの熱水力モジュール内でのRCIC周辺の概念図

するラインから炉心に注水するラインがあり、2つのラインが独立した設定としている。

現在、SAMPSONは、福島事故の再現解析に用いられることが多いが、福島事故時の挙動に関しては不明な点がまだ多数ある。その状態で再現計算をするには、挙動に関する様々な仮定や推測をする必要があるが、その際、関連付けをせずに様々な事象が独立して動かせるほうが計算しやすい。そのために、熱水モジュール内での2つのラインを独立した設定にしているのである。

例えば、福島事故時の計測結果を最大限再現するように炉心への注水量を調整して計算すると、図6のような結果が出る。図6で示したのは原子炉圧力だが、事故当時の状況をよく再現できている。ここから、実際の炉心への注水量もここで仮定したものに近いと推測できる。このように、仮定や推測を用いて、実際に得られたデータを再現する計算は、事

故の全容を明らかにするための重要な手段の1つとなっている。

一方、こういったパラメータ調整をした計算は、計測結果がなければ不可能である。「仮にこのような事故が発生した場合」という「仮想事故」に関しては、このような方法は採れないのである。これを、RCICタービンでの蒸気の流動条件と、RCICポンプによる炉心への注水量を関連付けることで、仮定を1つ減らすことができる。福島事故では、蒸気だけでなく水もRCICタービンに流入することで、RCICの効率が変化していたと考えられる。従来、RCICタービンの入口に水が流入する場合のタービンの効率は計測されていなかったため、本事業では、その条件でのRCICタービンの効率を計測している。さらに、作成したモデルをSAMPSONに取り込むことも本事業の重要な目的の1つである。

そのRCICタービンの効率に関する最初の

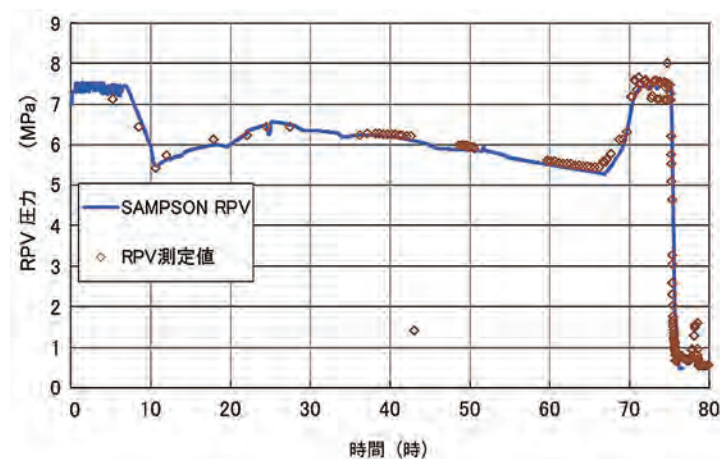


図6 福島事故時に計測された炉心内圧力と炉心注水量を最適化した計算結果の比較

検討は、RCIC タービンに入る流体の条件を、水と空気の割合、あるいは、圧力を変化させて、そしてそのタービンを通しての間は周囲との熱の出入りがないと仮定して行った。その結果を図 7 に示す。ここで用いている実験値は、米国テキサス A&M 大学で行った実験で得た値である。1 MPa (約 10 気圧) 以下という条件での実験で、7 MPa という実際の原子炉の圧力とは異なる。そこで、低圧力での実験で得られた傾向から、原子炉運転圧力付近での挙動を推測する形で、タービン効率をモデル化した。実験結果から求めたタービンの等エントロピー効率が図 7 中に点で示されており、それらの点から推測してモデル化した今回の原子炉圧力 7.0 MPa 付近での効率予測を同じ図 7 中に曲線で示した。このモデ

ル化した効率を用いて、タービンでの条件とポンプ出力とを関連させた SAMPSON の試作バージョンを作成し、それで福島事故の再現を試みた計算の結果が図 8 である。事故の状況から最適な RCIC ポンプ流量を求めて計算した図 6 に比べると、再現度は当然及ばないが、一定の傾向はつかめる結果となっている。

これは結果の一例であるが、このように、色々な事業で得られた結果を有効活用して、当所の SA コード SAMPSON の研究開発に用いている。

(3) RCIC に関するアメリカでの実験

前述のような SA コードの改良を目的に、テキサス A&M 大学で RCIC に関する基礎実験が行われた。その概要は季報第 42 巻第 2 号で既

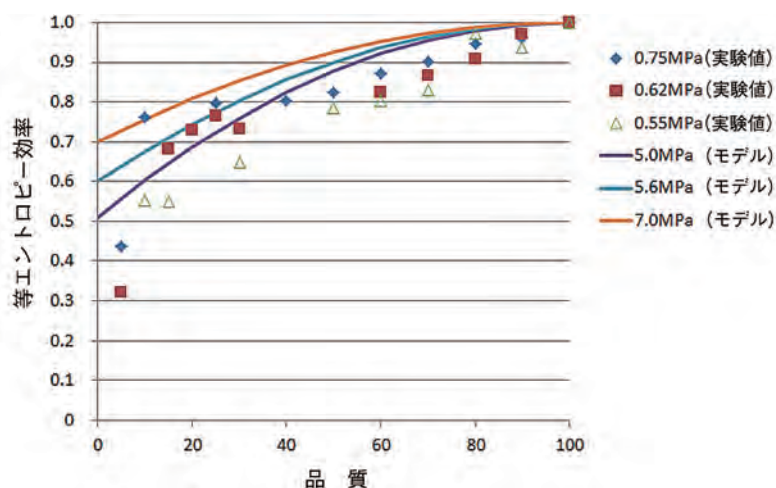


図 7 実験値とそのモデル化

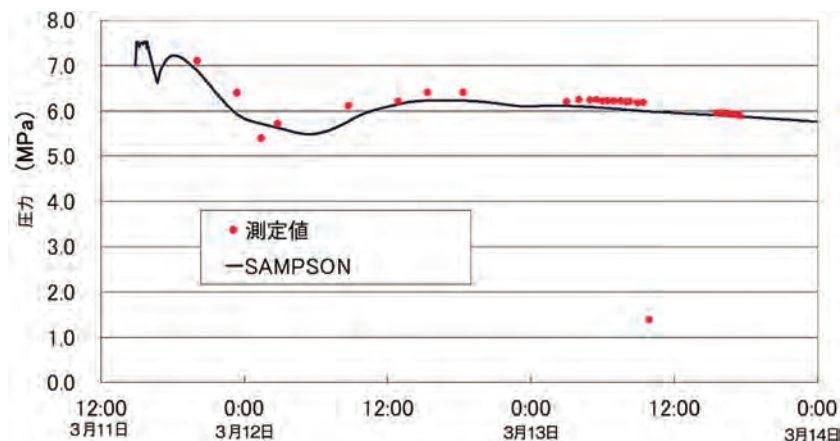


図 8 RCIC タービンの実験結果からモデル作成したバージョンでの計算

に報告したが、今回はその実験で RCIC に関してどのようなことが明らかになるか、実験データをどう活用するかに主眼を置いて解説する。

さて、テキサス A&M 大学で行った実験は、主に次の4つである。

- ノズル噴出流動実験
- バルブ実験
- 潤滑油・ベアリング高温耐久試験
- タービン単体試験

① タービンノズル噴流実験

RCIC タービンの外観を図9に示す。一般的に、原子力発電所で用いられているタービンとは異なり、円盤を立てたような形をしている。その内部は、図10のような構造になっている。立てた円盤の内側にホイールがあり、そのホイールには半月状のバケットが刻まれている。そこに外側に設置されているノズルから蒸気を噴きつけ、その衝撃でホイールを回すようになっている。ノズルの形状を図11に示す。

ノズルは、高速の蒸気を生み出して、ホイールに吹き付ける役割を有しており、特に、ホイールでの流動挙動などをコンピュータシミュレーションする際の境界条件として重要となる。また、バケットとバケットの間には壁があるが、ホイールの回転によって、ノズ

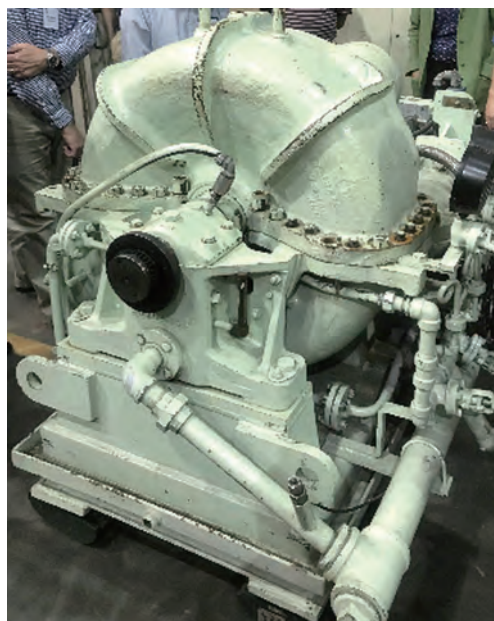
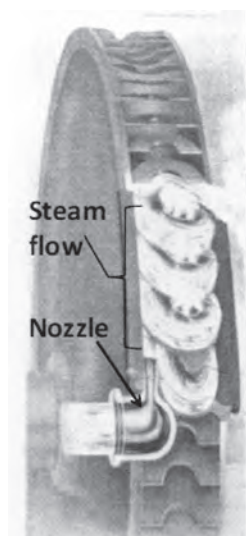


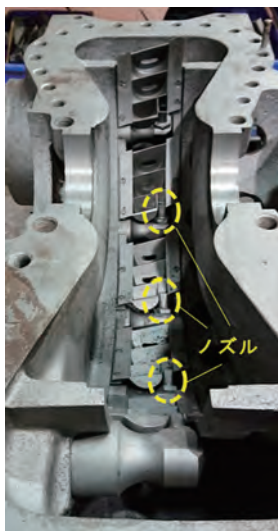
図9 RCIC タービン (GS-2型)

ルから出る蒸気のジェットがバケット間の壁を直撃するタイミングもあり、その壁での跳ね返り挙動も重要となる。それを見るために、図12に示す装置を作成し、ノズルから出るジェットの挙動、ジェットの壁面での跳ね返り挙動を見ることとした。

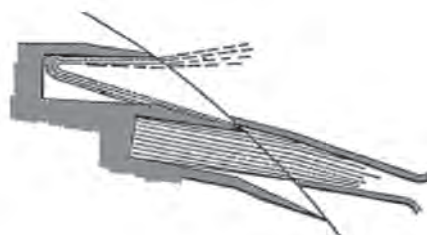
ノズルからの流動挙動の計測には粒子画像流速分布計測 (PIV: Particle Image Velocimetry) 法を用いたが、詳細は季報第42巻第2号を参照願いたい。



(a) ノズルとタービンホイール⁽³⁾



(b) ホイールを除いた本体側



(c) ホイールの主軸方向からの断面図⁽⁴⁾

図10 テリータービン内部

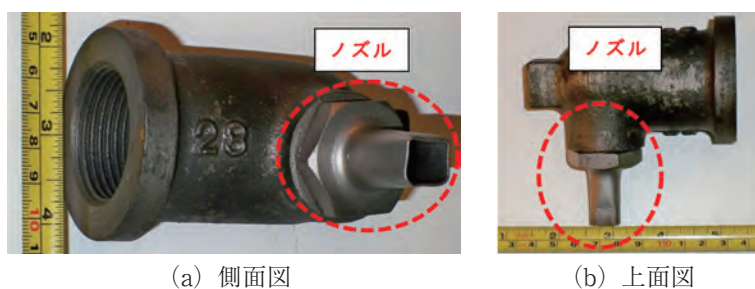


図 11 ノズルの拡大写真と受け具

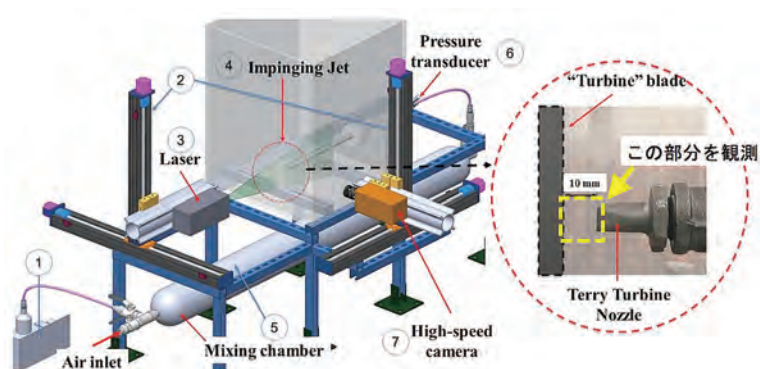


図 12 PIV 実験装置

タービンノズル噴流実験でノズルから噴出した流体の流速分布が得られる。その一例を図 13 の左側に示す。図 13 の右端がノズルの出口であり、そこからほぼ均等に出た流れが、広がるにつれて徐々に流速が落ち、図の左端で壁に衝突して流速がほぼゼロになる様子がとらえられている。

こういったノズルからの流速分布は、コンピュータシミュレーションの入口条件として用いられる。この流れの様子を商用の CFD コード「STAR-CCM+」を用いて解析したところ、図 13 左側の条件に対応する解析結果は、図 13 右側のようにになった。解析結果では、実験での観測範囲よりも広い部分に対する流

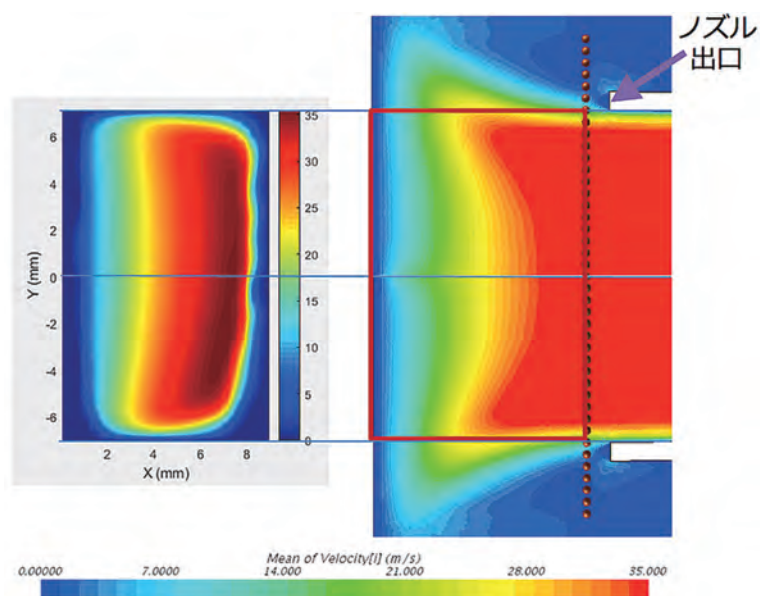


図 13 RCIC タービンノズルからの噴流の実験観測結果（PIV）と計算解析結果（CFD）の比較

速分布が示されている。計算結果でも、流れの広がりにつれた流速の低下や壁面付近での流速の低下など、定性的には実験結果と一致した傾向が示されている。タービン全体での流速分布解析を目的とすると、RCIC タービンノズルからの噴出流に関して十分な精度で解析ができると考えている。

ノズルからの流動をシミュレートできることが確認できれば、次はその条件を用いて RCIC タービンの中での流動挙動の予測を行うことになる。図 14 は、当チームと同じく RCIC 特性の解明事業に参加しているサンディア国立研究所が行った数値解析の例である。ノズルからの噴出流が RCIC タービンの中でどのように流れているかが示されている。このようなタービン内部の流動挙動を、CFD コードを用いて、設計条件外を含めた幅広い稼働条件に対して計算を行い、その結果から、RCIC タービン内部での流動の特性を推測する。可能であれば、タービン内部での流動挙動から、福島事故で RCIC が稼働停止した原因の推測や RCIC の改良点の示唆などに繋げていくことが本事業の目的となる。

② 弁に関する実験（バルブ実験）

図 5 中「▶◀」で示した、RCIC タービンの

上流には、トリップ・スロットル弁（T/T 弁：Trip/Throttle Valve）とガバナー弁（Governor Valve）がある。それらの弁の流動特性の解明も本事業に含まれている。

RCIC は、原子炉で発生した蒸気の力で炉心に冷却水を送り込む機器なので電気を必要とせず、原子力プラントが全電源を喪失した状態でも用いることができる。一方、RCIC タービンのラインに設置されている 2 つの弁は、通常は電動モーターで開閉する大きな弁である。プラントが停電状態となりモーターで開閉できなくなった場合、手動で開閉させることもできるが、原子炉から来た非常な高温高压である蒸気を、まだ室温で大気圧程度の RCIC に大量に送り込んでしまうと、熱応力等でタービンが機械的に損傷してしまう可能性がある。また、大量に蒸気を送ってタービンのホイールの回転数が一定以上になると、安全装置が働いて T/T 弁が機械的に閉じてしまう。すなわち、プラントが全電源を喪失した状態で RCIC を手動で用いたい場合は、タービンに急に大量の蒸気が入らないように、ゆっくり弁を開いていく必要がある。従来、そのような操作法はマニュアル化されていなかったが、福島事故での RCIC の稼働状態を見て、全電源喪失状態からの起動に関しても整理してマニュアル化するべきだと

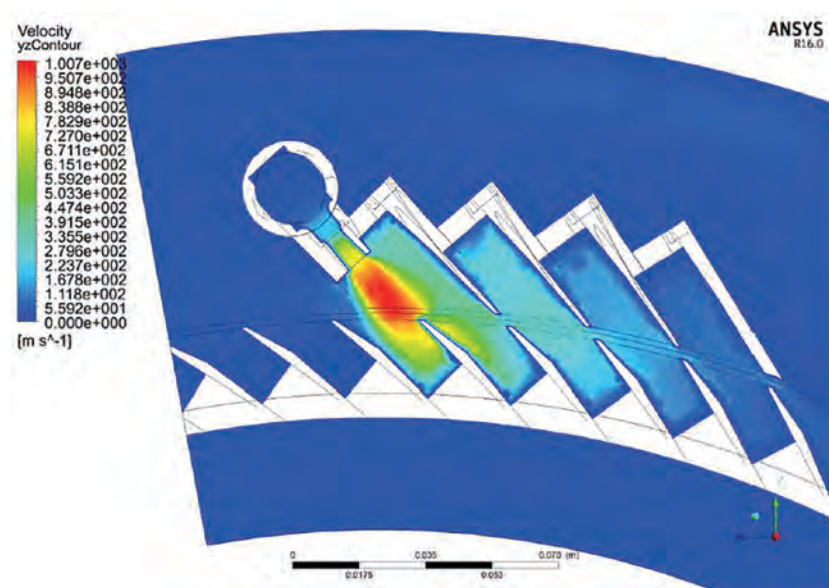


図 14 CFD を用いた RCIC タービン中でのノズルからの噴流挙動例 (5)

いう意見が上がり、弁の開度と流量との関係性を調べる必要性が出てきた。

弁の性能評価に関しては、古くから研究がなされている。単相（気相のみ、あるいは液相のみ）の状態であれば、研究者の間でおおむね正しいとされている性能評価式がある。しかし、RCICを含む二相流の状態では、評価が難しく、いまだ正しいとの共通認識に至っている弁の性能評価式がない。特に水－蒸気の二相流に関しては、弁を通過している最中に相変化することもあり、古典的な式での評価は困難であると考えられている。

CFDコードによる性能評価でも、二相流の計算は難しく、計算精度の評価も単相の場合ほど行われていない。しかし、二相流計算は、現在CFDコード開発者が最も力を入れている分野であり、その計算精度も日々で向上してきている。

そこで、本事業では、特に二相流状態での弁の性能評価を補完するものとして、弁に関

するCFD計算を行っている。CFDコード「STAR-CCM+」を用いた解析結果を図15に示す。Gimpel社のトリップ・スロットル弁に関しては、相対誤差18%程度で評価できることを確認している。なお、図16に示すように、実験からは、トリップ・スロットル弁の開度に対する特性の結果が二段階の直線になっており、トリップ・スロットル弁内部にもう一段の小弁構造があることが示唆されている。図15に示した計算結果では、詳細が不明な小弁構造は考慮していない。そのあたりが誤差の原因の1つであるとも考えられる。

将来的には、ここで得た弁の特性をモデル化して、開発中のSAコードSAMPSONに取り込み、SAMPSONの改良に用いることが期待される。

③ 潤滑油・ベアリング高温耐久試験

福島事故で、RCICは設計時間（8時間）を遥かに超えて稼働したが、最終的には停止

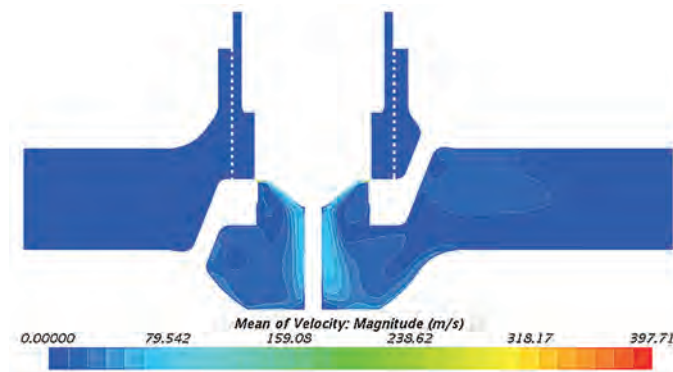


図15 Gimpel社のトリップ・スロットル弁に対するCFD解析の例

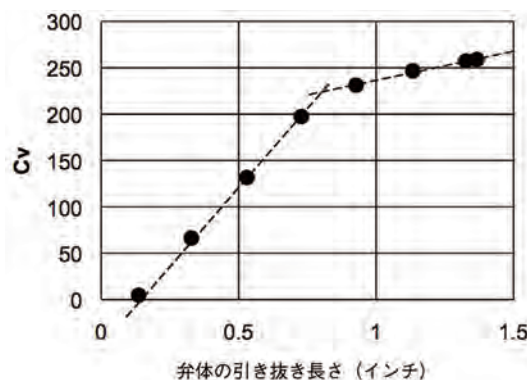


図16 Gimpel社のトリップ・スロットル弁における弁容量係数（Cv）

した。特に、2号機では、RCIC がなぜ止まったか未だに解明できておらず、議論の対象となっている。その原因として、配管の破損や閉塞、弁の誤動作等とともに挙げられているのが、タービンの潤滑油やベアリングの劣化である。これらに関しては要素試験として実施できるため、タービンノズルや弁単体での要素試験と同様に、テキサス A&M 大学で試験を行った。

実機の潤滑油をヒーターで約 120° C (250° F) に加熱して 72 時間保持し、その間の温度・粘性を連続的に計測した。その後室温に戻し、粘性の変化を記録した。粘性は温度が室温に戻るとほぼ元に戻った。その後、その潤滑油の赤外線吸収スペクトル、および核磁気共鳴 (¹H-NMR : Nuclear Magnetic Resonance) スペクトルによる成分分析を行った。その結果、加熱前と加熱後とで化学分析的にも組成にはほぼ変化が認められないことが明らかになった。なお、本件について前回掲載した季報第 42 巻第 2 号では潤滑油の加熱前・加熱後における色の变化をお見せできなかったため、その写真を図 17 に再度示す。これだけ色の变化があったが、化学分析の結果から考えるに、潤滑油やベアリングに関し、72 時間程度の加熱条件では、RCIC の稼働停止につながるほどの劣化はないと結論付けて、ほぼ問題ないであろう。

④ タービン単体実験

RCIC のタービンに関しても、アメリカのテキサス A&M 大学で試験を行っている。既に季報第 42 巻第 2 号で詳述したが、タービンの性能把握という面が強いため、シミュレーションに関する本稿では、その実験の詳細は割愛する。

実験ではタービンの入口条件に対するトルクや仕事効率などを計測しているが、その結果はまとめられてモデル化され、日本側では当チームが開発する SA コード SAMPSON の改良に、アメリカ側では別の SA コードの改良に用いられることとなる。また、「タービンノズル噴流実験」の箇所でも述べた通り、RCIC タービン内部の流れを CFD 解析することになった場合、このタービン試験の結果を用いて検証する可能性もある。

5. 数値シミュレーション技術開発の展望

「過酷事故条件下における原子炉隔離時冷却系の挙動に関する研究」では、RCIC に関する実験検証を行い、得られた新規のデータを活かして、当チームが開発する SA コード「SAMPSON」の研究開発が進められている。SA コードは対象が原子力プラントのシビアアクシデントである。当然ながら、シビアアクシデントの先例は少なく、関連するデータ



図 17 潤滑油（加熱前：左，加熱後：右）

は模擬実験を含めても十分ではない。そのため、シビアアクシデントを完全に計算コードで再現・予測することは難しい。福島事故でも、従来想定されていなかったような事象が数多く起こったと考えられるが、その一方で事故に関するデータも得られた。それらのデータを活かして、また、起こったとされる様々な事象に関して確認して、国産 SA コード SAMPSON の開発に役立て、ひいては原子力安全への寄与を目指したい。

また、コンピュータ技術の発展を見ても、数値シミュレーションはより多くの分野で活かされ、より幅広い用途に用いられて行くだろう。特に、量子コンピュータを用いた大規模シミュレーションが可能になれば、その用途は格段に広がるかも知れない。その中で、当チームも数値シミュレーションの適用先を広く広げていくべきだと考えている。

本稿では、SAMPSON の中で RCIC 関連項目の改良のみを述べたが、SAMPSON では、より予測精度の良いコードを目指して、放射性物質の大量放出や長期間にわたる挙動の評価など、他の項目でも改良を行い、開発研究を続けている。また、当チームが所有する他のコードに関しても、鋭意改良を試みている。

ところで、計算コードの改良というのは、計算精度の向上によるものだけではない。例えば、計算コードの適用範囲の拡大や、使いやすさの向上も改良につながるだろう。特に、最近の計算コードでは、見た目の分かりやすさなども重要視されている。例えば、汎用的な計算コードである CFD を始めとする大規模な商用コードでは、年に幾度もバージョンアップし、そのたびに説明会を行ってユーザーに周知し、使いやすさを保とうとしている。当チームでもそういった「ユーザーフレンドリー」という視点も大事にして、より良いコードの開発に邁進していきたい。

また、当チームの開発したコードを既に使って下さっているユーザーの方々には、些細なことでもコメントを頂けるとありがたい。

さらに、本稿で紹介したコードを使ってみたと思われた方々、興味を持たれた方々は、是非、当チームまでご連絡頂けますよう、よろしくお願いいたします。

〔謝辞〕

本稿では、経済産業省公募の原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業「過酷事故条件下における原子炉隔離時冷却系の挙動に関する研究」において、当研究所が行った実証試験の評価・検証の一部を用いています。

参考文献

- (1) 気象庁ホームページ, (https://www.jma.go.jp/jma/press/1805/16b/20180516_hpc_renewal.html)
- (2) 東京電力ホールディングス㈱, 「福島原子力事故における未確認・未解明事項の調査・検討結果報告」 (http://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_unconfirmed/)
- (3) W. J. Goudie, Steam Turbines, 2nd ed., Longmans, Green, 1922, p. 28.
- (4) H. Ohashi, "Development Study of Impulse Type Oil Turbine," Bull. JSME, 8 (1965), No. 31, pp. 397-405.
- (5) J. Cordoni et al., "Terry Turbine Expanded Operating Band: Sandia National Laboratories Analytical Efforts," Sandia National Laboratory report, 2018.

令和2年度 事業計画

(一財) エネルギー総合工学研究所

1. 基本的な考え方

当研究所は、わが国のエネルギー工学分野の中心的な調査研究機関として、産・学・官のエネルギー技術に関する専門的な知見・経験を相互に結び付け、「総合工学」の視点に立脚して調査、研究、評価、成果の普及等に努めてきた。技術は、わが国が国際社会で優位性を維持・向上する上で不可欠な資産であり、将来のリスクに対応し得る強靱なエネルギー戦略の構築・実現に貢献するものである。

当研究所は、今後とも「エネルギーの未来を拓くのは技術である」との認識の下、俯瞰的、長期的な視座をもって、エネルギー技術に関する調査、研究、評価、成果の普及等に取り組んでいく。

令和元年度に発生した、受託事業に係る労務費の不適切計上事案について深く反省するとともに、二度とこのような事案を起こさないよう再発防止を徹底する。

本事案のようなコンプライアンス違反は、当研究所の社会的な信頼を大きく失墜させ、その経営を根本から揺るがす重大な非違行為であり、コンプライアンスは収支均衡や利益追求に優先することを全役職員で共有する。

2. 最近の情勢

世界のエネルギー情勢は、中国やインドをはじめ世界経済の成長が減速する一方、中東の地政学的リスクや米中間などにおける貿易分野の緊張、OPEC プラスの協調減産枠組みの崩壊による原油価格の下落、さらには新型コロナウイルスの影響など、国際政治・社会経済に対する

不透明感が増す中、米シェールオイル・ガスの増産、原子力の中国等での規模の拡大や小型モジュール炉をはじめとする次世代原子炉開発の動き、世界規模での再生可能エネルギーの導入促進、新興国における経済成長に伴うエネルギー需要の拡大や電化の進展等と相まって、急激に変化している。

一方で、昨年12月にマドリッドにおいて開催された国連気候変動枠組条約第25回締約国会議(COP25)においては、パリ協定の実施のための詳細ルール策定作業が進展し、市場メカニズム関連部分等を除いて運用のためのルールブックが定まりつつある。また、多角的な視点からの国際目標である持続可能な開発目標(SDGs)などの動きもあり、エネルギー技術立国を目指すわが国としては、これらの諸課題に的確に対応していくことが求められている。

わが国のエネルギー情勢に関しては、まずエネルギーの供給面では、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進む中、大量導入時の出力変動の吸収や火力発電の稼働率低下による調整力不足等が課題となっており、制度面での検討とともに蓄エネルギー技術やデジタル技術を用いた系統運用に係る技術開発等が進められている。

① 原子力については、平成23年3月の東日本大震災に伴い発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下、福島第一原発事故)に関し、住民の方々の帰還に向けた取り組みや事故炉の廃炉・汚染水対策が進められている。また、福島第一原発事故後の原子力発電所の状況については、本年1月の四国電力(株)伊方発電所3号機の運転差止仮処分命令等により、3月末現在では

6基が稼働中であり、新規制基準への適合性確認審査については、本年2月に東北電力(株)女川原子力発電所2号機の原子炉設置変更許可がなされた。一方、東北電力(株)女川原子力発電所1号機、九州電力(株)玄海原子力発電所2号機の廃止措置の決定がなされるとともに、東京電力(株)福島第二原子力発電所1～4号機の廃止措置が公表され、合計24基の廃止措置が見込まれている。

② エネルギー需要面では、エネルギー利用のスマート化を目指したスマートグリッドやデジタル化、エネルギーマネジメントシステム等に関する技術開発のほか、燃料電池自動車等の次世代自動車に関する研究開発が進められている。また、省エネルギー技術の研究開発及び普及を推進するために策定された「省エネルギー技術戦略2016」について、第5次エネルギー基本計画等を踏まえ、重点的に取り組むべき技術の改定がなされた。さらに、エネルギーの貯蔵・輸送・最終利用媒体として、水素が大きな注目を集め、未来の水素社会の到来を目指した取り組みが精力的に進められている。

③ また、エネルギーに関する制度面では、電気事業制度改革の第3段階である本年4月の送配電部門の法的分離に続き、需給バランスを調整するための調整力を広域的に取引する需給調整市場の2021年4月開設に向けた検討が進められている。

3. 令和2年度の事業

(1) エネルギー技術の俯瞰的評価

このような状況の下、当研究所は、エネルギーを取り巻く種々の問題の解決に向けて技術の可能性と重要性を認識し、将来のエネルギー需給のあり方についてエネルギー技術の観点から調査・分析を行ってきている。今後も、中立的な立場から、広範なエネルギー技術分野を俯瞰し、3E+S（安定供給、経済効率性の向上、環境へ

の適合、安全性）という考え方にに基づき、グローバルかつ倫理的な視点も併せ、エネルギー技術に係る知見の最新化や昨今の内外情勢を踏まえたエネルギー技術開発のあり方について調査、研究及び評価を行い、今後のエネルギー・環境に関する問題の解決に向けたエネルギービジョンや提言を発信し、国民経済の発展に貢献していく。

また、当研究所では平成31年1月、当研究所が有するエネルギー環境シミュレーションモデルを用いたエネルギー需給構成等の分析を行うとともに、エネルギー技術の現状と課題を整理し、国内外の有識者や産業界の意見を聴きつつ2050年に向けたエネルギー技術展望をとりまとめた。国内外の関係者がエネルギー・地球環境問題について議論する際の素材として活用されることを期待するとともに、当研究所として実施すべき技術課題の検討を着実に進める。

(2) エネルギーシステムや幅広いエネルギー技術分野での取り組み

当研究所の地球環境統合評価モデル（GRAPE）等の機能強化を図るとともに、同モデルを用いたエネルギーシステムや地球環境問題に関する分析を行う。

また、原子力、太陽・風力・バイオマス等の新エネルギー、クリーンコールテクノロジー（CCT）等による化石燃料の利用や次世代電力システムに係る最新技術の国内外における調査研究に加え、CO₂削減に資する先導的エネルギー技術開発にも幅広く取り組んでいくこととする。

特に、エネルギーの貯蔵・輸送・最終利用媒体としての水素や、CO₂有効利用技術（CCU）等を加味した新たなエネルギー供給システムの構築に注力する。

さらに、変動電源である太陽光・風力発電導入に伴う系統連系に係る要件の課題、再生可能エネルギーの蓄熱技術適用によるエネルギー貯蔵・利用に係る研究開発など、再生可能エネルギー大量導入時における対策技術に関する研究を行うこととする。

(3) 原子力に関する取組み

原子力は、世界的に脱炭素化の選択肢として評価されており、当研究所としては、国内外の動向を踏まえ、エネルギーシステムにおける原子力の寄与や、革新的原子力システムの研究開発動向等の調査を行う。また、東日本大震災を契機に、安全は国民が広く希求する普遍的な価値として一層重視されてきており、当研究所としても、原子力の安全性向上に有効な要素技術開発を引き続き進める。

さらに、エネルギーを取り巻く状況の変化や電力システム改革の進展等に伴い重要性が一層高まりつつある軽水炉の廃止措置について、有識者により構成される検討委員会において第三者的な立場から、円滑な廃止措置の実施に向け、工程、技術、制度に関する調査及び課題への対応策の検討を進めるとともに、廃止措置に係る標準整備に向けた調査研究、人材育成事業等を行う。

(4) エネルギー需要に関する取組み

省エネルギーに対する社会的な要請も大きくなる中、需要機器の制御によって電力需給調整に貢献するデマンドレスポンス技術やエネルギーマネジメントシステムに関する調査研究の実施、当研究所がその策定を支援した省エネルギー技術戦略に基づき、CO₂削減効果の見込める蓄熱等技術をはじめとするエネルギー利用効率向上に関する技術調査に取り組んでいく。

また、エネルギーマネジメントシステムに係る国際規格である ISO50001 の普及を引き続き推進する。

(5) 標準化に関する取組み

標準化は、多くの技術について、その将来の開発や普及に大きな役割を果たしている。当研究所としても、エネルギーマネジメントや CCS (CO₂ 回収・貯留)、太陽熱利用等に係る国際規格の開発に精力的に取り組むとともに、国際標準化機構 (ISO) や国際電気標準会議 (IEC) での国際標準化活動に貢献していくこととする。

(6) エネルギー技術分野におけるプラットフォーム機能の強化

次世代電力ネットワーク、原子炉廃止措置、太陽熱、CO₂ 有効利用技術等の重要な技術分野について、関係企業や大学等の専門家による研究会や委員会を設置し、当該技術に関する情報収集、調査分析、プロジェクト企画提案等を行う。

また、エネルギー・環境分野をはじめ経済社会の多くの分野で、新たな価値の創造、事業の更なる発展を図るため、産学官の協働を通じたイノベーションへの取組みが活発化している。賛助会員の皆様の取組みをご支援するため、ベンチャー支援機関と連携して、スタートアップス、大学等による技術シーズ紹介の場として「IAE イノベーションフォーラム」を試行的に開催する。

(7) 情報発信・提供等賛助会員サービスの向上

賛助会員等のステークホルダーや関係機関等に向け、当研究所の調査研究成果や、エネルギー技術、気候変動等に係る重要なテーマに関し、産・学・官の連携、国際的な広がりを図りつつ、月例研究会や個別分野研究会等を開催し、情報発信やエネルギー技術開発に係るプロジェクト提案を行う。また、最新の技術に関する「情報」と「評価」を、賛助会員企業をはじめとする関係各位に提供するため、エネルギー技術情報プラットフォームや季報、メールマガジン、ウェブサイトの更なる充実化・活用を進めていくこととする。

4. 事業を進めるに当たって

今般の受託事業に係る労務費の不適切計上事案に対する深い反省を踏まえ、高い法令順守規律を確保・維持することを優先するとともに、調査研究等事業の品質向上に努め、数年後を目途に公的機関、民間企業等からの受託事業収益によるバランスのとれたポートフォリオを構築し、結果として健全な事業・組織の運営を達成することを目指す。

上記の方針の下、令和2年度においては、公的機関からの調査研究事業の受託が困難であ

り、また、これまでの事業収益が公的機関からの受託に過度に依存している構造を是正していくため、以下のように、民間企業からの調査研究事業の受託に注力するとともに、賛助会員サービスの向上と相俟った会費収入の維持・増加に尽力する。

① 民間企業からの調査研究事業等の受託増への取組み

- 所内各研究グループ、研究グループ間連携での個別提案活動
- コンサルティング事業等への取組み

② 個別分野研究会での活動

- 次世代電力ネットワークシステム研究会 (APNet)
- 集光型太陽熱利用研究会
- ACC (Anthropogenic Carbon Cycle, 人為的炭素循環) 技術研究会

③ 情報発信・提供等賛助会員サービスの向上への取組み

- 月例研究会の運営改善、配布資料の充実
- メールマガジン (IAE Newsletter) の充実・発行
- ベンチャー支援機関と連携し、賛助会員とスタートアップスとの協業支援
- 技術相談、技術交流サービスの強化

また、二度と上記のような事案を起こさないよう、以下を柱とする再発防止策を徹底するとともに、外部組織のモニタリングにより実施状況及び実効性を確認する。

＜再発防止策の柱＞

- ① 公的事業のマネジメント体制の刷新
- ② 収益構造の見直し
- ③ ガバナンス改革
- ④ コンプライアンス意識・風土の醸成

以上に加え、ICT 技術の活用等を通じたスマートワークの実現に向けた取組みを進めることにより、生産性の向上、新たな付加価値の創造を図るとともに、働き方に対するニーズの多様化やワークライフバランスの満足度の向上に対応していく。

5. 各エネルギー分野における調査研究等のテーマ

(1) エネルギー技術全般

(ア) エネルギー技術開発戦略に関する調査研究

環境・エネルギーを巡る状況を見ると、国際的には、スペイン・マドリッドで開催された COP25 ではパリ協定の実施指針に関するルールが市場メカニズムの運用等を除いてほぼ固まり、また平成 27 年の国連サミットで採択された、エネルギーや気候変動を含む SDGs (持続可能な開発目標) を目指した取組みが進められる一方、米国では、トランプ大統領のパリ協定脱退意向を受けて、国連気候変動枠組条約事務局に脱退文書を送付するなど、環境・エネルギー情勢が大きく変動している。国内では、平成 30 年に新たなエネルギー基本計画が決定され、さらに、2050 年の視点からエネルギー政策を含めた成長戦略を検討する「パリ協定長期成長戦略懇談会」での議論が進められ、令和元年 6 月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」としてまとめられた。その内容は、本年度の G20 サミット議長国として、環境と経済成長との好循環を実現し、世界のエネルギー転換・脱炭素化を牽引する決意の下での、パリ協定に基づく温室効果ガスの低排出型の経済・社会の発展のための長期戦略を含むものである。

環境・エネルギー情勢の先行きが不透明な時代に、安全性を確保し、エネルギーの安定供給・セキュリティ、環境保全、経済性など様々な要因を考慮しつつ、わが国の将来を中長期的な観点から見据えた、革新的なエネルギー技術戦略策定に関する調査研究、及び国際的動向を踏まえた、新しいエネルギー・環境技術について広範な調査を行う。

(イ) 地球規模でのエネルギーシステムに関する調査研究

発展途上国・地域の経済発展を主な要因として、世界全体の温室効果ガス排出量は増加を続けている。これに対し、COP21 において合意さ

れたパリ協定により、産業革命前からの世界平均温度上昇を2℃とする目標に向けて、各国は自主的な削減の取組について報告し、相互にレビューを行うことを基本とした仕組みが整備された。また、世界全体でその取組を集約し、2℃目標の達成を加速としている。

令和2年度においては、当研究所が運用する地球環境システム分析評価ツールであり、原子力、新エネルギー、化石燃料、水素、気候工学の各分野における分析にも用いてきた GRAPE モデルを活用し、2℃目標の実現可能性の分析を行うとともに、当研究所が実施する各種の調査研究プロジェクトにおいて、地球環境の観点からの評価研究を実施する。また、日本の長期エネルギー需給を詳細分析するツールである TIMES-Japan を用いて、2050 年 CO₂ 大幅削減の実現可能性を評価する。

①統合評価モデル GRAPE による世界長期分析

②エネルギーモデル TIMES-Japan を用いた日本のエネルギーシステム分析

(2) 新エネルギー・電力システム関連

太陽、風力、地熱、バイオマス、小水力等の再生可能エネルギーの導入・普及を目的として平成24年7月から開始された固定価格買取制度について、昨年11月以降、順次買取期間の満了を迎える中、電力卸売市場での再生可能エネルギー電気の取引に向けた FIP (Feed In Premium) 制度の検討が進められている。また、平成28年4月からは電力システム改革の第2段階として小売全面自由化がスタートし、本年4月に予定されている改革の第3段階である発電部門と送配電部門の法的分離に向けた準備が進められている。

再生可能エネルギーが大量に導入された場合、電圧や周波数への影響及び余剰電力の発生が懸念され、それに対応するため電力貯蔵を含む様々な調整力装置やバックアップ電源の適切な配置と運用が必要となる。また、再生可能エネルギー電源の出力制御や需要側機器の制御による電力需給調整への貢献も検討の対象となる。スマートグリッ

ドは、分散型電源の導入拡大等に対応して電力の安定的かつ効率的な供給を可能とする技術として期待されており、わが国のエネルギー・電力事情に適切に対応したシステムとなるよう技術開発を推進することが必要である。

令和2年度においては、次世代の電力ネットワークのあり方、変動電源である太陽光発電や風力発電等の系統連系に係る要件、ディマンドレスポンス等について調査研究を行う。また、再生可能エネルギーの大量導入に向けた活動については、バイオマス利用技術や集光型太陽熱発電 (CSP) 等の調査研究に加え、エネルギーの地域自立モデルの検討も含めて行う計画である。さらに、再生可能エネルギー等の電力を熱に変換して貯蔵し、需要に合わせて発電することにより電力需給バランスの確保を行う蓄熱発電が近年急速に注目されていることから、本技術についての調査研究を行う。

このような観点から当研究所では、「次世代電力ネットワーク研究会」を2009年9月に設立し、大学での研究と連携しつつ、電力会社、分散型電源メーカー・設置者、関係研究機関、一般需要家など関係者が情報交換を行い、考え方を共有するとともに、必要な技術開発についての提言や、次世代ネットワークへの移行シナリオの研究が重要であるとの考えの下、活動を進めている。

(ア) スマートグリッドに関する調査研究

- ① 次世代電力ネットワークに関する調査研究及び研究会の開催
- ② 再生可能エネルギー発電の電力系統への影響と対策技術に関する研究
- ③ ディマンドレスポンスに関する調査研究
- ④ エネルギー貯蔵技術に関する調査研究

(イ) 再生可能エネルギーに関する調査研究

- ① バイオマス利用技術に関する調査研究
- ② 風力及び太陽エネルギーの熱変換利用技術に関する研究開発
- ③ CSP 技術開発に係るシミュレーションや評価に関する調査研究

④ 再生可能エネルギー利用の地域自立モデルに関する研究開発

(3) 水素エネルギー関連

水素エネルギーの導入普及については、平成29年12月に再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議において「水素基本戦略」が取りまとめられた。また、平成30年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画においても、エネルギーの安全保障と温室効果ガスの排出削減を同時並行で解決する脱炭素化したエネルギーの新たな選択肢として、水素への期待とともに、「水素社会の実現に向けた取組の抜本強化」が掲げられている。

水素は、①多様な一次エネルギーから製造可能、②電力との相互変換が可能、③貯蔵・輸送が可能、④利用時にCO₂を排出しない、との特徴がある。これらの特徴から、水素は、将来のエネルギー社会の中で、以下の2つの役割を果たすことが期待されている。1つは、再生可能エネルギーやCCSの適地からCO₂フリーのエネルギーを国内に供給する「エネルギーキャリア」としての役割。もう1つは、国内の再生可能エネルギー（変動性電源）を最大限活用するための「蓄エネルギー手段」としての役割である。この両面の調査研究に取り組むとともに、それらのベースとなる水素の製造技術や利用技術の高度化に関する調査研究にも取り組む。

CO₂フリーの水素は、カーボンリサイクルを進める上でも必要不可欠であり、また、水素はCO₂フリーの「燃料」であることから、火力発電の低炭素化やこれまで低炭素化が難しいとされていた産業分野の熱需要の低炭素化にも寄与できる可能性がある。

このように、水素は将来のエネルギー社会の中で大きな役割を果たす可能性があるが、その実現には、水素に関する個別の技術の高度化に加えて、製造から輸送・貯蔵・利用に至るまでのサプライチェーン全体にわたる多くのステークホルダーや技術分野の協調と協力が必要である。このような観点から当研究所では、自主研

究会として「CO₂フリー水素普及シナリオ研究会」を2011年から運営し、30社・団体・大学のメンバーからなる産官学の関係者に自由な意見交換の場を提供するとともに、その成果をホームページや学会等で広く公表してきた。令和2年度は、本研究会10年目の節目の年として、これまでの10年間の研究会活動の集大成を行うとともに、令和3年度以降の次のフェーズに向けて、研究会活動を発展させていく。

(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及び研究会の開催
- ② 種々の条件における水素需要量（世界、国内）に関する調査研究
- ③ 種々の条件におけるエネルギーキャリア（液化水素、有機ハイドライド、アンモニア、メタン等）の経済性・環境性に関する調査研究
- ④ 水素エネルギーキャリアを活用した発電所や製鉄所の低炭素化に関する調査研究

(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生可能エネルギーの有効活用に関する調査研究

(ウ) 水素の製造・利用技術に関する調査研究

- ① 水素燃焼タービン発電に関する調査研究
- ② 液化水素の製造技術に関する調査研究

(4) 炭素循環エネルギー関連

化石燃料は、一次エネルギーとして重要なエネルギー源であり、温室効果ガス排出量の削減を図りつつ、その安定的、効率的な利用が重要である。近年、再生可能エネルギーのコストが大幅に低下し、CO₂は排出するが安定電源である火力とCO₂は排出しないが変動電源である再生可能エネルギーの相互の利点を活かしたわが国独自のエネルギー供給インフラの構築が重要になりつつある。かかる観点から、原油や天然ガス、

石炭の供給から転換、利用、さらにCO₂の分離・回収に留まらず、再生可能エネルギーを用いてCO₂を有効利用するエネルギーシステムの調査研究に取り組んでいく。

このため、当研究所では、昨年「ACC 技術研究会」を発足させ、火力発電等からのCO₂回収／輸送技術及びCO₂有効利用技術の調査・検討を行うとともに、再生可能エネルギーから得られた水素とCO₂より燃料を合成するエネルギーシステムの可能性等の調査研究を進めている。

令和2年度においては、CO₂有効利用技術開発の分野では、カーボンリサイクルを意識し国内外の火力発電等からのCO₂の有効利用法について検討を進めていく。また、再生可能エネルギー利用分野では、太陽熱を利用したメタノール合成による炭素循環エネルギーシステムの可能性調査を実施するほか、気候変動対策に係る技術の市場性調査やCO₂削減効果の検討にも取り組んでいく。

(ア) CO₂の有効利用技術の検討

- ① 火力発電から回収したCO₂の各種回収・有効利用技術及びシステムの検討
- ② 安価な再生可能エネルギーが入手可能な地域で製造した水素を用いたCO₂の燃料転換法の検討
- ③ CO₂の固定化に関する革新的な研究の調査

(イ) CO₂削減に資する先導的エネルギー技術・システムの開発

- ① 再エネ（太陽熱）利用CO₂再燃料化システムの検討
- ② 気候変動対策技術に係る調査

(5) 原子力関連

原子力は、世界的に、エネルギーの安定供給及び地球環境問題への対応を図る上で重要な役割を担うと評価され、福島第一原発事故後においても、多くの国々が開発利用推進の方針を維持している。当研究所としては、パリ協定への対応や電力システム改革の進展など国内外の動

向を踏まえ、原子力利用に伴う様々な課題について継続的な検討を行うこととし、令和2年度も、原子力技術に関するこれまでの研究や評価の経験を生かし、エネルギーシステムにおける原子力の寄与や、国内外の安全規制、革新的原子力システムに関する研究開発に係る動向等に関する調査研究を進める。また、福島第一原発事故の教訓を踏まえ、原子力の安全性向上に資する要素技術開発を継続するとともに、福島第一原発事故に関連する国際共同研究プロジェクトに参画する。

一方、エネルギーを巡る環境の変化や電力自由化による競争の進展等により、廃止措置を選択する原子力発電所が増加しており、廃止措置の重要性は今後一層高まると予想される。このため、有識者により構成される検討委員会において第三者的な立場から、円滑な廃止措置の実施のための課題解決に向け、廃止措置に係る工程や技術、制度に関する調査に基づき課題を把握するとともに対応策を検討する。また、廃止措置に係る標準整備に向けた調査研究を引き続き進めるとともに、廃止措置に向けた準備作業を効率的・効果的に実施するための調査研究や廃止措置に必要となる人材の育成事業を行う。

(ア) 福島第一事故関連の調査研究

- ① 原子力の安全性向上に資する技術開発の調査・検討
- ② 過酷事故条件下における原子炉隔離時冷却系の挙動に関する研究

(イ) 原子力分野全般に係る調査研究

- ① 国内外の原子力開発利用動向に関する調査研究
- ② 国内外の原子力安全規制動向に関する調査研究
- ③ エネルギーシステムにおける原子力の役割に関する調査研究
- ④ 原子力の社会受容性に関する調査研究

(ウ) 原子力プラント技術に係る調査研究

- ① 新型軽水炉に係る技術課題の調査研究
- ② 革新的原子力システム開発の国際動向に関する調査研究

(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、制度に関する調査及び課題への対応策の検討
- ② 廃止措置に関する民間規格基準整備への支援
- ③ 廃止措置に向けた準備作業を効率的・効果的に実施するための調査研究
- ④ 廃止措置を担う人材育成のための教材開発及び研修システムの構築

(オ) 放射性廃棄物の処理・処分に係る調査検討

- ① 放射性廃棄物の処理・処分に係る海外動向調査

6. 最新技術情報の発信、賛助会員サービスの向上

賛助会員をはじめとするステークホルダーや関係機関に向け、当研究所の調査研究事業で得られた成果のうち、技術情報として有用度の高いものについて情報提供を行う。これらの調査研究に係る活動内容や成果は、寄稿・投稿、講演会、学会発表、ホームページへの掲載等により公表するとともに、新たなプロジェクトの提案に供することとする。

当研究所では、下記の手法により情報発信を行ってきており、令和元年度に新たな検討体制を設け、より効果的な情報発信の方法等について検討を行いつつこれらの情報発信を進めている。例えば、月例研究会については、講師や聴衆間の意見交換及びネットワーキングの活発化、賛助会員サービスの向上等の観点から、レイアウト変更等の会場運営の変更、講演資料のデジタル化及び賛助会員限定ウェブサイトへの事前掲載などの運営方法の変更

を行ってきており、その結果、参加者数に増加傾向が見られる。

- ① 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行
 - 本年4月号よりカラー化を実施
- ② 月例研究会の開催
 - 昨年より、会場運営形態の変更、講演資料のデジタル化及び賛助会員への事前提供等を実施
- ③ エネルギー技術情報プラットフォームの整備及び運用
 - セキュリティの向上
- ③ メールマガジン（IAE Newsletter）の発行
 - 本年1月号より、研究員コラムの新設、月例研究会や個別研究会の概要掲載など、コンテンツを充実

7. ISO センターの事業

当研究所のISOセンターは、平成23年6月、ISO50001（エネルギーマネジメントシステム）の発行と同時に発足して以来、その普及・促進のための活動を行ってきており、令和2年度も引き続き下記事業を行う。

- ① 入門～実践研修、内部監査員研修の開催
- ② ISO50001の構築・運用、認証取得、継続的改善に資するコンサルティングの実施

8. その他

(1) エネルギーに関するアンケート調査

エネルギーに係る一般公衆の意識調査は、東日本大震災以前より実施してきており、引き続き同様のアンケート調査を実施し、その経年的な意識変化等の動向を分析する。

(2) エネルギー技術に関する国際標準化の調査研究

ISOやIECにおける、下記分野での国際標準化に係る事業を行う。

- ① エネルギーマネジメント及び省エネルギー

の評価・検証関連, 並びに日本提案の規格
案の推進

② CCS の CO₂ 削減量定量化・検証, 及び
横断的事項関連

研究所のうごき

(令和2年1月1日～4月1日)

◇ 第21回理事会

(書面および電磁的記録による決議)

決議があったとみなされた日：1月29日(水)

議 題：

- 第一号議案 労務費の不適切計上による受託
事業費の自主返還について

◇ 賛助会員説明会

日 時：2月20日(木) 13:30～14:30

2月27日(木) 13:30～14:30

場 所：経団連会館(9階) 901 会議室

議 題：

- 第一号議案 受託事業に係る労務費の不適切
計上事案について

- 第二号議案 最近の調査研究事業、賛助会員
サービスへの取組みについて

◇ 第22回理事会

日 時：3月30日(月) 11:35～12:30

場 所：(一財)エネルギー総合工学研究所(7階)
702 会議室

議 題：

- 第一号議案 受託事業に係る労務費の不適切
計上事案について

- 第二号議案 役員退職金の支給について

- 第三号議案 令和2年度事業計画案、令和2年
度収支予算案について

- 第四号議案 指定正味財産の振り替えについて

- 第五号議案 令和2年度事業計画案、令和2年
度収支予算案について

- 報告事項 臨時評議員会の開催について
その他

◇ 月例研究会

第397回月例研究会

日 時：1月10日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階 501 会議室

テーマ：

1. 原子力分野における数値シミュレーション
((一財)エネルギー総合工学研究所 原子力

技術センター 安全解析チーム 主任研究員
鈴木博之)

2. RCICに係る研究

((一財)エネルギー総合工学研究所 原子力
技術センター 安全解析チーム 主管研究員
都築宣嘉)

第398回月例研究会

日 時：2月14日(金)

研究会 14:00～16:00

場 所：航空会館5階 501・502 会議室

テーマ：「将来を担う廃止措置技術者の育成事業」

1. 廃止措置技術者育成カリキュラムの整備、
実施とその成果
(原子力工学センター 耐震・廃止措置グルー
プ 参事 田中健一)
2. 廃止措置海外研修の意義と成果
(原子力工学センター 耐震・廃止措置グルー
プ 特任参事 林道 寛)

(2月、3月は休会)

◇ 外部発表

[学会発表]

発表者：加藤悦史、黒沢厚志

テーマ：

1. ネット・ゼロ排出に向けたエネルギーシ
ステム分析－DAC システムの評価
2. ARPA-E における先端エネルギー技術研究
開発

発表先：第36回エネルギーシステム・経済・環境
コンファレンス(於東京大学先端技術研
究所)

日 時：1月29日

[寄稿]

寄稿者：(一財)エネルギー総合工学研究所

テーマ：エネルギー総合工学研究所における研究
開発の状況

寄稿先：『電気評論』(2月号)

第 42 卷 通 卷 目 次

VOL. 42, No. 1 (2019.4)

【巻頭言】

エネルギーの未来

東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻 教授 岡本 孝司 …………… 1

【寄稿】

高温ガス炉の研究開発の現状

(国研) 日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門 炉設計部
高温ガス炉設計グループ リーダー 大橋 弘史 …………… 3

【寄稿】

水素燃料電池システムの船舶分野への適用と研究開発事例

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 環境・動力系 系長 平田 宏一 …………… 16

【調査研究報告】

液式デシカントと水冷媒ヒートポンプの組合せによる

高効率空調システムの開発

プロジェクト試験研究部 主任研究員 松岡 成樹 …………… 23

【調査研究報告】

次々世代における蓄エネ技術を用いた配電系統および

技術開発動向の調査・検討～太陽光発電大量導入に伴って～

プロジェクト試験研究部 主任研究員 石原 正浩 …………… 32

【事業計画】

平成 31 年度 事業計画 (一財)エネルギー総合工学研究所 …………… 44

【研究所のうごき】 …………… 52

【第 41 巻通巻目次】 …………… 55

【編集後記】 …………… 59

VOL. 42, No. 2 (2019.7)

【巻頭言】

令和時代のエネルギー政策～ Beautifully Harmonized Energy ～

一般社団法人 日本電機工業会 専務理事 高本 学 …………… 1

【座談会】

気候変動対策における環境管理規格

～ ISO14000 ファミリーの役割と開発の課題～

(一財) 日本エネルギー経済研究所 理事 工藤 拓毅
(国研) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター
広域影響・対策モデル研究室 室長 高橋 潔
筑波大学大学院 人文社会科学部 国際日本研究専攻
ISO エキスパート 福村 佳美
司会： (一財) エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長 副主席研究員 黒沢 厚志 …………… 3

【寄稿】

シェール・ガス革命, シェール・オイル革命の新たな動きと挑戦

和光大学 経済経営学部 教授 岩間 剛一 …………… 23

【調査研究報告】

海外の高速炉の廃止措置の取り組み状況

原子力工学センター 特任参事 林道 寛 …………… 40

【調査研究報告】

過酷事故条件下における

原子炉隔離時冷却系 (RCIC) の挙動に関する研究

原子力工学センター 主管研究員 都築 宣嘉 …………… 52

【事業報告】

平成 30 年度 事業報告の概要 (一財) エネルギー総合工学研究所 …………… 64

【研究所のうごき】 …………… 66

【編集後記】 …………… 68

VOL. 42, No. 3 (2019.10)

【調査研究報告】

電力システムコスト：OECD/NEA の研究

(一財) エネルギー総合工学研究所 研究顧問 松井 一秋1

【調査研究報告】

原子力の安全、経済性などに関する国際的取り組みの紹介

企画部 部長 茶木 雅夫 8

【調査研究報告】

2050 年 CO₂ 大幅削減に向けた

日本の新しいエネルギーシステム構築について

プロジェクト試験研究部 部長 橋崎 克雄 20

【調査研究報告】

カーボンリサイクル技術とその CO₂ 削減効果について

プロジェクト試験研究部 副部長 酒井 奨 30

【研究所のうごき】 43

【編集後記】 45

【調査研究報告】

エネルギー分野の革新的技術研究開発とアメリカの ARPA-E

(一財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長 副主席研究員 黒沢 厚志 …………… 1

【調査研究報告】

大気中 CO₂ を除去するネガティブエミッション技術の動向
～パリ協定の長期目標達成のために～

プロジェクト試験研究部 副部長 加藤 悦史 …………… 6

【調査研究報告】

低炭素社会に向けた
水素エネルギー導入の意義とわが国の普及政策
プロジェクト試験研究部 特任参事

坂田 興 …………… 12

【調査研究報告】

外部電源供給可能な燃料電池自動車
山間地マイクログリッド運用に及ぼす効果

プロジェクト試験研究部 主任研究員 水野 有智 …………… 23

【研究所のうごき】 …………… 32

【編集後記】 …………… 34

編集後記

本季報では、当研究所の調査研究から、地域エネルギー関係2件、数値シミュレーション関係1件の計3件の報告を取り上げている。

地域エネルギー関係では、わが国では高齢社会が進展する中、人口減少に歯止めをかけつつ「地方創生」を実現するための1つの方策としての観点、また、昨年の台風15号などの自然災害による電力設備被害等への対応策としての観点から、バイオマスその他の地域エネルギー利用について考えようとするものである。

数値シミュレーション関係については、

自動車の新車開発における空力性能予測などに用いられる数値流体力学による数値シミュレーションなどが有名であるが、ここでは当研究所の開発によるシビアアクシデント解析コードSAMPSONを紹介するとともに、同コードを用いた福島第一原子力発電所事故に係る解析の事例について述べている。

エネルギー・環境を巡る内外の情勢が絶えず変化する中、今後の事業活動に関する検討等のご参考となれば幸いである。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第43巻第1号

令和2年4月20日発行

編集発行

一般財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル（6F）

電話（03）3508-8891

FAX（03）3501-1735

<http://www.iae.or.jp/>

（印刷）株式会社 吉田コンピュータサービス

※ 無断転載を禁じます。