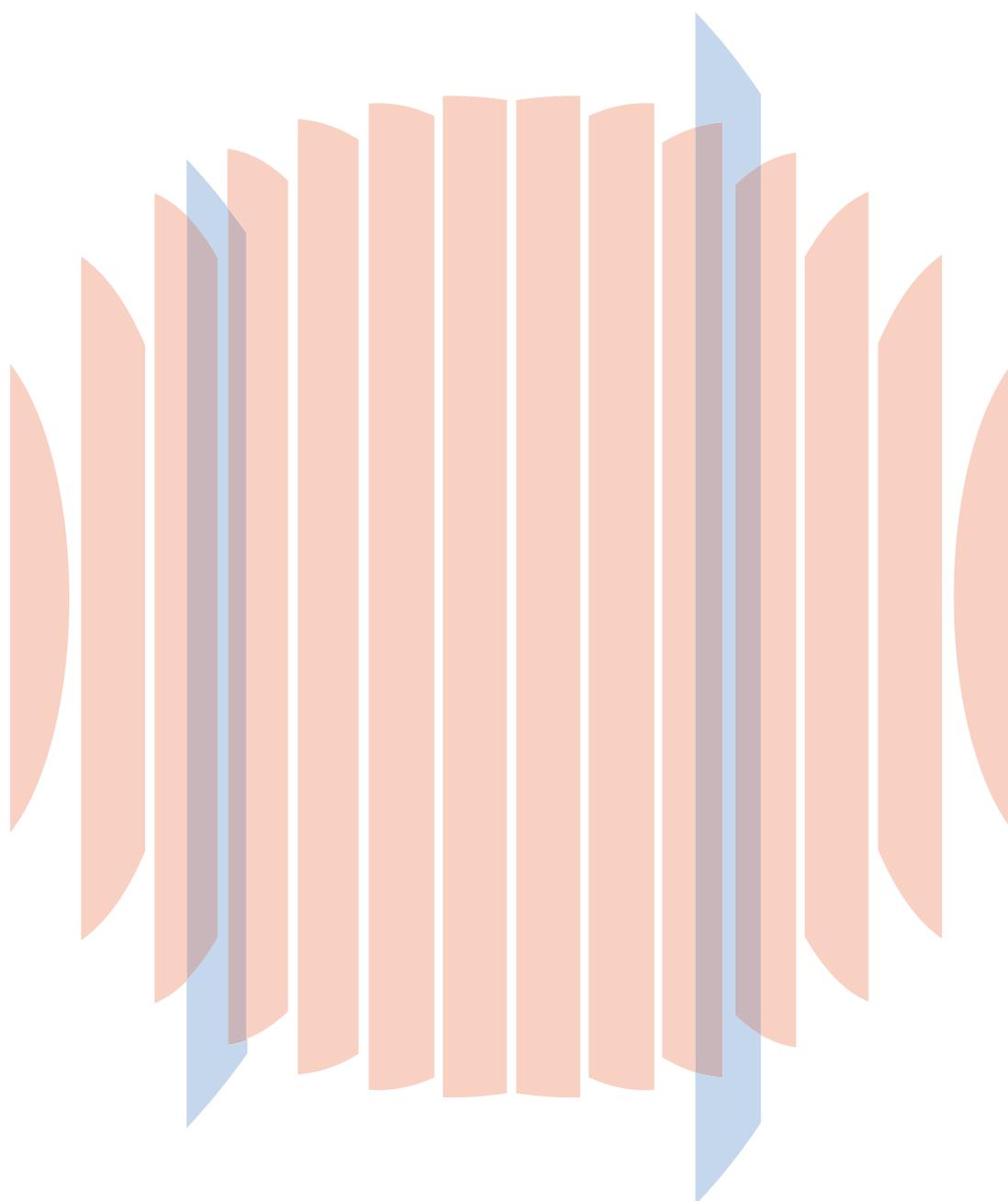


季報 エネルギー総合工学

Vol. 42 No. 1 2019. 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

【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

巻頭言

エネルギーの未来

岡本 孝司 (東京大学大学院 工学系研究科
原子力専攻 教授)



21世紀に生きる我々が、過去の人類と大きく違うのは、極めて大量のエネルギーを使っていることにある。今から100年前は、ちょうど大正時代である。その頃の日本人は、幸せに暮らしていたと思うが、今の日本人とは比べ物にならないくらい、エネルギーを使っていない。

国力を表すGDPと、その国のエネルギー使用量には、強い相関がある。両方を人口で割り算して、1人当たりのGDPと1人当たりのエネルギー使用量をプロットしたものが、原子力文化振興財団のホームページ (<https://www.ene100.jp/zumen/1-1-5>) に掲載されている。

インドやブラジルといった国々が、左下の値の小さい場所に集中する。真ん中に日本や、イギリスなどのいわゆる西欧諸国が並び、右上の値の大きいところにアメリカがプロットされる。おそらく、大正時代の日本は、原点に近い位置になる。この100年の間に、日本は徐々に右上の方向に動いてきて、戦後、一気に西欧諸国と肩を並べた。

中国は近年の発展が目覚ましいが、それでも西欧諸国の半分くらいの位置にある。次の50年を考えると、インド、中国などの人口が多い国々が、どんどん右上に動いてくる。世界の100億人が日本と同じ生活を送ることになれば、1億人いる日本の100倍エネルギーを使うことになる。

日本が世界の中で存在し、国力を維持し続けるためには、今と同程度のエネルギーを使い続けなくてはならない。今、1人当たり3トンの石油換算エネルギーを使っている日本人がどのように節約しようと頑張っても、それを半分に減らすことなどできない。ましてや、大正時代に戻るなど不可能である。日本がエネルギーを使わないとしても、中国やイ

ンドは、勝手に発展していき、エネルギーを大量消費する。有限のエネルギー資源のなかから、日本が使うエネルギーをどのように確保するかが、日本が50年後に生き残るためのカギなのである。不確実性の高い世の中であって、エネルギーが足りなくなることは、極めて確実性が高い未来である。残念ながら、水素社会が来るだの、イノベーションで蓄電池が安価になるなど、バラ色の未来が成功する確率は、あまり高くない。しかしながら、日本の人口が大幅に減ることと、日本に輸入できるエネルギーが足りなくなることは、ほぼ確実な未来なのである。50年後という近い将来、今の赤ん坊が社会で活躍する時代に対して、現在を生きる日本人は責任を負っている。

エネルギー資源の争奪戦は既に始まっている。国力を維持するためには、日本が現在使っているエネルギーを、継続的に確保していかなければならない。中国は、太陽光も石炭も原子力も、全てのエネルギーオプションを活用しようとしている。このような中国と戦うことが必要なのであるが、不思議なことに、日本は、わざわざ進んでいる原子力技術や石炭技術を使わないという、両手足を縛った状態にしている。もちろん、イノベーションに期待することも必要である。一方で、将来の日本人のためには、今の日本人は、宝くじに期待するのではなく、確実にエネルギーが確保できる、原子力や石炭なども排除せずに、積極的な戦略を展開しないとイケない。中長期的戦略をもって、日本の技術的に優位な地位をより発展させていくこととともに、原子力を含めた、全てのオプションを積極的に推進しなければならない。

[寄稿]

高温ガス炉の研究開発の現状

大橋 弘史 (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



1. はじめに

第四世代原子炉の1つである高温ガス炉は950℃の高温の熱を供給可能な原子炉であり、発電効率約50%の高効率発電に加え、水素製造、化学・石油プラントでの熱利用、低温排熱を利用した海水淡水化、地域暖房など、多目的かつ高効率の熱利用が期待されている。また、電源や冷却材が喪失するような過酷な状況においても炉心溶融しない優れた安全性を有している。近年、欧米で導入検討が進められている小型モジュール炉(SMR)の1つとして、海外でも研究開発が活発化している。

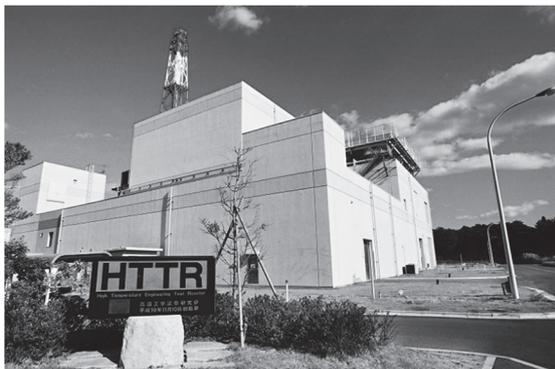


図1 高温工学試験研究炉 (HTTR)

日本原子力研究開発機構(原子力機構)では、図1に示すわが国唯一の高温ガス炉である高温工学試験研究炉(HTTR)を用いて高温ガス炉の安全性を実証するとともに、高温ガス炉熱利用の実証に向けた研究開発を推進している。また、産学官が連携してわが国の高温ガス炉技術の国際展開に向けた活動を実施している。本報では、高温ガス炉の特長や国内外における研究開発の現状について紹介する。

2. 高温ガス炉の概要

(1) 高温ガス炉とは

高温ガス炉と軽水炉との比較を表1に示す。両者ともに熱中性子炉であるが、原子炉の基本構成要素である燃料、減速材および冷却材が異なる。燃料については、軽水炉では二酸化ウランを焼き固めたペレットを被覆管に収納しており、被覆管で核分裂生成物(FP)を閉じ込めている。一方、高温ガス炉では二酸化ウラン燃料核をセラミックスで被覆した直径約1mmの粒子状燃料(被覆燃料粒子)を用いており、被覆燃料粒子のセラミックス被

表1 高温ガス炉と軽水炉の比較

項目	高温ガス炉	軽水炉
燃料	セラミックス被覆(被覆燃料粒子)	金属被覆(ペレット)
減速材	黒鉛	軽水
冷却材	ヘリウムガス	軽水
原子炉出口冷却材温度	700～950℃	290～340℃
用途	熱利用(水素製造、蒸気供給、海水淡水化、地域暖房) 発電(ガスタービン、蒸気タービン)	発電(蒸気タービン)

覆がFP閉じ込めの役目を担っている。減速材については、高温ガス炉では黒鉛が用いられるのに対し、軽水炉では軽水が用いられる。冷却材については、高温ガス炉ではヘリウムガスが用いられるのに対し、軽水炉では軽水が減速材と兼ねて用いられる。原子炉出口冷却材温度、即ち原子炉から取り出して利用できる熱の温度は、軽水炉の約300℃に対して、高温ガス炉では950℃と著しく高温である。この特長から、軽水炉の主な用途が蒸気タービン発電であるのに対し、水素製造などの熱利用やガスタービン発電など幅広い用途に利用可能である。

(2) 高温ガス炉の構造

高温ガス炉の炉型は、炉心に装荷する燃料体の形状の違いによりブロック型（プリズマティック型とも呼ばれる）とペブルベッド型の2つに大別できる。わが国が開発を進めているブロック型高温ガス炉の例として、HTTRの原子炉および燃料構造を図2に示す。被覆燃料粒子は直径約0.6mmの燃料核を低密度熱分解炭素、高密度熱分解炭素および炭化ケイ素で4層に被覆した構造である。この被覆燃料粒子を黒鉛粉末と混合して円筒状に焼結した燃料コンパクトを黒鉛製の燃料棒に格納し、六角柱状の黒鉛製ブロックに装荷して燃料体

が構成される。冷却材であるヘリウムガスは、燃料棒と燃料ブロックとの間の環状流路を流れて燃料を冷却する。炉心は、黒鉛製ブロック（燃料ブロック（燃料体）、制御棒案内ブロック、照射ブロックおよび可動反射体ブロック）を円柱状に積み上げたものであり、炉心の周囲は黒鉛製の固定反射体で囲まれる。炉心は、鋼製の原子炉压力容器（RPV）の中に収められている。冷却材は二重管からRPVに入った後、炉側部を上昇して上部プレナムに至り、そこで反転して炉心を下降する。炉心で加熱されて高温となった冷却材は二重管の内管を通過してRPV外部へ取り出される。

なお、ペブルベッド型高温ガス炉では、被覆燃料粒子を黒鉛粉末と混合して球形に焼結して、その表面を黒鉛層で包んで球形の燃料体とし、これを黒鉛製の固定反射体内に装荷して炉心を構成している。

(3) 高温ガス炉の特長

① 優れた安全性

高温ガス炉は、原子炉の基本構成要素である燃料、減速材と冷却材の特徴およびこれを最大限に活用した設計によって、優れた固有の安全性を有する。セラミックスで被覆した被覆燃料粒子は耐熱性が高く1600℃を超える高温まで破損せず、FPを被覆燃料粒子内に閉じ込める

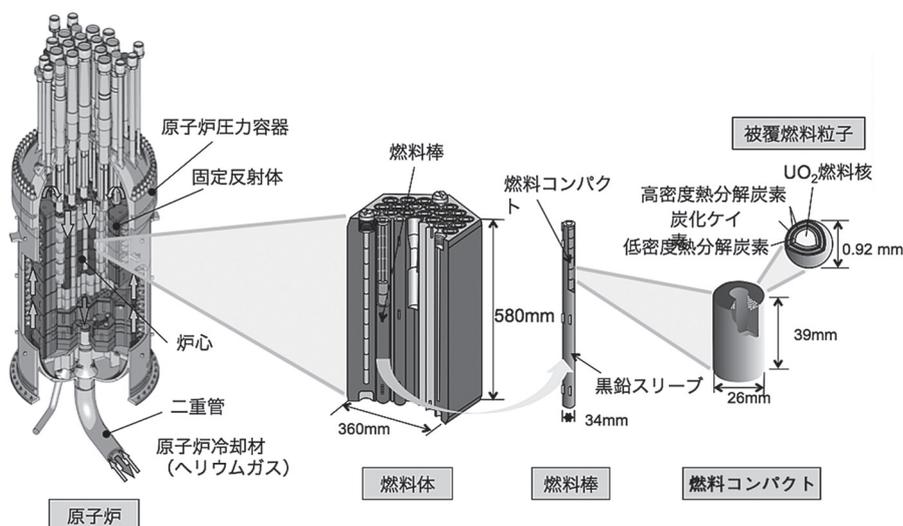


図2 HTTRの原子炉および燃料構造

ことができる。炉内構造物として用いる黒鉛（原子力級黒鉛）は、耐熱性が高く 2,500℃程度までは強度の低下がなく、燃料の制限温度よりも高温においても構造健全性を維持することができる。黒鉛を構造物として用いた炉心は、発熱密度に比して大きな熱容量を有し、出力の過渡変化および冷却能力の異常な低下に対する炉心構成要素の温度変化は小さく、かつ、緩慢にできる。黒鉛は熱伝導が高いことも特長である。なお、高度に構造化され、高密度、高純度で耐食性に優れた原子炉級黒鉛（graphite）は、石炭（coal）および木炭（charcoal）とは別の材料であって、自己燃焼しない。冷却材のヘリウムは、化学的に不活性で放射化しないため、燃料、構造物および事故時に関与する可能性がある化学物質（酸素、水蒸気、水素、一酸化炭素、二酸化炭素など）との化学反応や核反応を起こさず、軽水炉で課題となる材料腐食および放射性副生成物の蓄積に係わる問題を低減できる。また、ヘリウムは使用条件下では気体であり相変化しないため、水・蒸気の二相流で問題とされる反応度および温度制御に関する影響がない。

原子炉の基本安全機能である、「止める（反応度の制御）」、「冷やす（炉心からの熱除去）」および「閉じ込める（放射性物質閉じ込め）」に関する安全設計思想（安全確保の考え方）を図3に示す。「止める」については、安全設備である制御棒によって緊急停止（原子炉スクラム）を行うが、万一、原子炉スクラムに失敗したような場合、たとえ冷却材が喪失しても、炉心の大きな熱容量により温度変化は小さく、かつ、緩慢である。そして、温度上昇に伴い、負の温度係数によって炉心に負のフィードバック反応度が添加され原子炉出力は自然に低下し未臨界となる。その後、蓄積したキセノンが崩壊し原子炉は再び臨界になり、炉心の温度上昇による負の反応度とつり合った微小出力で安定するが、燃料温度が制限温度を超えない設計が可能である。

「冷やす」については、冷却材が喪失した場合においても、① 炉心黒鉛の熱容量とあいまって炉心の温度変化を小さく、かつ、緩慢にするための出力密度、② RPV 外表面からの放熱を容易にするための長尺形状を採用した炉心設計により、炉内黒鉛構造物の熱伝導、RPV

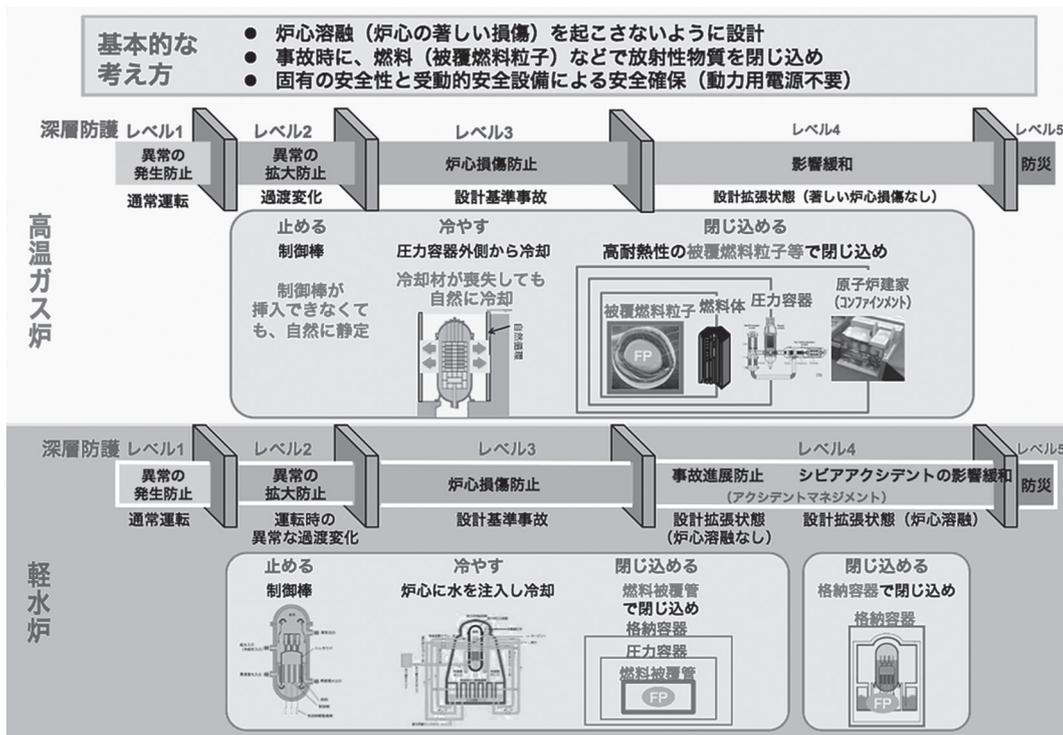


図3 高温ガス炉における安全確保の考え方

外表面からの熱放射およびRPV周りの大気
 の自然対流によって、燃料制限温度を超えるこ
 となく炉心から崩壊熱の放散が図れる。すな
 わち、軽水炉のような炉心への冷却水注入は
 不要である。安全設備としては、RPVからの
 放散熱を大気等の最終ヒートシンクへ輸送す
 る炉容器冷却設備をRPVまわりに設置する。
 実用炉においては、空気あるいは水の自然循
 環による受動的な設計が採用されており、動
 力用電源は不要である。また、万一、炉容器
 冷却設備が機能喪失した場合においても、出
 力密度を適切に設定することにより、燃料温
 度が制限値を超えないような設計が可能であ
 る。すなわち炉心溶融が起こらない。「閉じ込
 める」については、軽水炉のように炉心溶融
 を想定して原子炉格納容器のみで放射性物質
 を閉じ込めるのではなく、設計拡張状態を含
 む事故時においても燃料温度が制限温度を超
 えないように「止める」と「冷やす」を達成
 できるようにプラントを設計し、燃料とその
 他の物理的障壁（原子炉建家（コンファイン
 メント）など）との組み合わせによって「閉
 じ込める」の達成を図っている。

② エネルギーの多目的利用

高温ガス炉は、耐熱性の高いセラミックス
 製被覆燃料粒子や黒鉛減速材、不活性ヘリウ
 ム冷却材の特長を活用することで、高温熱を
 原子炉の外に取り出すことが可能である。高

温ガス炉から供給できる熱の温度範囲は100℃
 から約1,000℃と幅広いため、発電のみならず
 図4に示すように多様な産業分野での熱利用
 が可能である。例えば、熱化学水分解法やメ
 タン水蒸気改質法による水素製造、スチレン
 等の化学製品製造やオイルシェール等の非在
 来型化石資源回収、石油精製プラントの熱源
 に用いる高温蒸気製造、発電システムでの排
 熱を利用した海水淡水化や地域暖房などでの
 多様な熱利用が期待される。このような非発
 電分野での利用拡大によって、二酸化炭素排
 出量削減へ大きく貢献できる。例えば、高温
 ガス炉の非発電分野への導入によって、国内
 の二酸化炭素排出量12.1億トン（2013年度）
 を15%程度削減できると試算している⁽¹⁾。

高温ガス炉を用いた発電については、軽水
 炉と同様な蒸気タービンを用いた発電に加え
 て、1,000℃近い高温のヘリウム冷却材を用
 いた高効率ガスタービン発電も可能である。高
 温によって発電効率が著しく上昇し、高温ガ
 ス炉によるガスタービン発電では50%を超
 える発電効率が達成可能である。さらに、高
 温の熱を高温から低温までカスケードに利用
 することで、極めて高い熱利用率を達成す
 ることができる。例えば、850℃以上の熱を水素製
 造や化学プロセス等の熱源として利用し、
 850℃以下の熱でヘリウムガスタービンによる
 発電を行う水素・電力併給（熱電併給）シス
 テムでは、約200℃の発電システムの廃熱も海

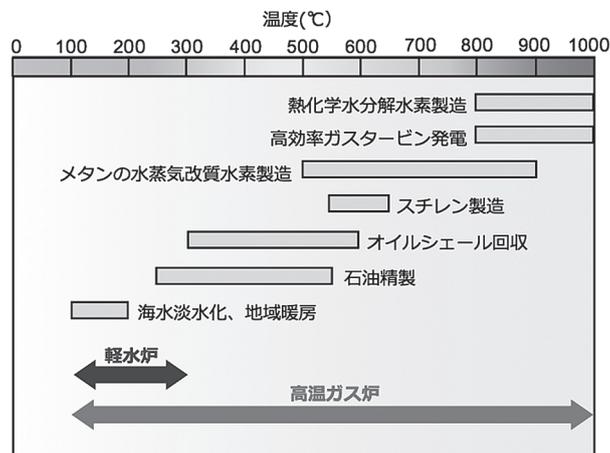


図4 高温ガス炉供給熱の温度範囲と熱利用の候補とする産業プロセスの温度条件

水淡水化等の熱源として利用することにより、システム全体の熱利用率は約80%に達する⁽²⁾。

③ 優れた機動性

高温ガス炉は、水素・電力併給が可能であることに加えて、原子炉固有の特性を活用することで、原子炉稼働率や発電効率を維持したまま、多様な需要変動成分に対応した負荷追従運転が可能である。原子力機構では、この特長に基づき、再生可能エネルギー発電プラントに由来する秒オーダーの短周期から時間オーダーの長周期にわたる様々な出力変動を補完し、電力系統へ一定電気出力を供給する、高温ガス炉-再生可能エネルギーハイブリッドシステムの概念を提案している⁽³⁾。

④ 優れた経済性

高温ガス炉は軽水炉に比べて出力密度が低いいため、原子炉設備の物量増大等による発電単価の増加要因がある。一方で、水・蒸気系設備がほとんどなくプラント全体の設備数が少ないこと、高温熱の利用により発電効率が高いこと、優れた安全性により追加的安全対策が不要なこと等による発電単価の抑制効果がある。全体としては、軽水炉の発電単価8.9円/kWh⁽⁴⁾に対して高温ガス炉の発電単価は6.4円/kWh⁽⁵⁾であり、高温ガス炉は優れた経済性を有している。

⑤ 廃棄物低減

高温ガス炉の使用済燃料を再処理する場合、燃料コンパクトから燃料核を取り出すための前処理工程を加えることによって、軽水炉の使用済燃料の再処理に用いられているPUREX法を適用できる⁽⁶⁾。前処理工程としては、燃料コンパクトから被覆燃料粒子を取り出す工程と被覆燃料粒子から被覆層を取り除く工程があるが、いずれも実験で実現可能性を確認している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。再処理で発生する高レベル放射性廃棄物を封入するキャニスタの数および処分場面積は、発電効率が高いことにより、軽水炉と比較して発電

量あたり約30%削減できる⁽⁸⁾。

使用済燃料を直接処分する場合、使用済燃料に含まれる放射性物質が地下水に溶解するなどして人間の生活圏に影響を及ぼさないようにすることが重要であるが、高温ガス炉の被覆燃料粒子のセラミック被覆層の強度は、湿潤環境下で100万年程度維持されることが期待できるため⁽⁹⁾、高温ガス炉の使用済燃料は直接処分に適していると言える。直接処分時は、燃料体から燃料棒を取り出し、黒鉛ブロックは低レベル廃棄物として処分できる。使用済燃料として燃料棒を封入するキャニスタの数および処分場面積は、高効率発電や高燃焼度等により、軽水炉に比べて発電量あたり約60%削減できる⁽⁸⁾。

(4) 実用システム像

① 発電

高温ガス炉を用いた発電システムとしては、原子炉出口冷却材温度750℃の高温ガス炉を熱源として蒸気発生器で製造された過熱蒸気(約540℃、約13 MPa)を用いた蒸気タービン発電高温ガス炉システム⁽¹⁰⁾、原子炉出口冷却材温度850℃または950℃の高温ガス炉のヘリウム冷却材を用いたヘリウムガスタービン発電高温ガス炉システム⁽¹¹⁾がある。原子力機構が設計したヘリウムガスタービン発電システムは、中間冷却なしの再生ブレイトンサイクルを採用しており、原子炉から供給された高温のヘリウム冷却材によりガスタービンを直接駆動して発電を行う。原子炉熱出力600MW、原子炉出口温度950℃の実用炉設計(GTHTR300)では、50%程度の発電効率で300MWeの電気出力を得ることができる⁽¹¹⁾。750℃の蒸気タービン発電高温ガス炉システム(50～200 MWt級)は既存技術の活用によって早期導入を目指したシステムであり、一方、ガスタービン発電高温ガス炉システム(～600 MWt)は今後10年程度を目途に研究開発を進め実証炉へと繋げていくべきシステムとして位置付けられている。

② 水素製造（水素・電力併給）

高温ガス炉を熱源とした水素製造システムでは、中間熱交換器において1次ヘリウムガスから2次ヘリウムガスへ熱交換し、高温の2次ヘリウムガスによって水素製造施設の化学反応器等へ熱供給を行う。図5に示すように、発電方式にガスタービンを採用した場合の水素・電力併給プラントの実用炉設計（GTHTR300C）⁽¹²⁾では、中間熱交換器の下流にヘリウムガスタービンを設置し発電を行う。前述のように、水素・電力併給プラントは、高温ガス炉の特徴を活かして、高温ガス炉－再生可能エネルギーハイブリッドシステムを構築できる。

水素製造法には、一般産業界で広く用いられている天然ガス（メタン）の水蒸気改質法に加えて、炭酸ガスを排出しない熱化学水分解法や高温水蒸気電解法を採用することが可能である。原子力機構では、炉外試験によって高温ガス炉の熱を利用した天然ガス水蒸気

改質法の基盤技術を確立するとともに、図6に示す熱化学法ISプロセス⁽¹³⁾による水からの水素製造技術の研究開発を実施している。水の直接熱分解には、約4,000℃の熱が必要であるが、化学反応を組合せることで、1,000℃以下の熱による水の分解が可能となり、高温ガス炉とISプロセスを組み合わせることで、二酸化炭素を排出することなく、大量の水素を高効率・低コストで製造するシステムを構築できる。熱化学法ISプロセスは、ヨウ素（I）と硫黄（S）を用いた3つの化学反応（硫酸分解反応、ブンゼン反応、ヨウ化水素（HI）分解反応）を組み合わせ、水を分解して水素を製造する。HIを400℃の熱で分解することで水素を生成し、硫酸を900℃の熱で分解することで酸素を生成する。分解したヨウ素および二酸化硫黄に水を加えることで、HIと硫酸を生成する（ブンゼン反応）。ヨウ素、HI、硫酸、二酸化硫黄等はプロセス内を循環し、プロセス外には出てこない。

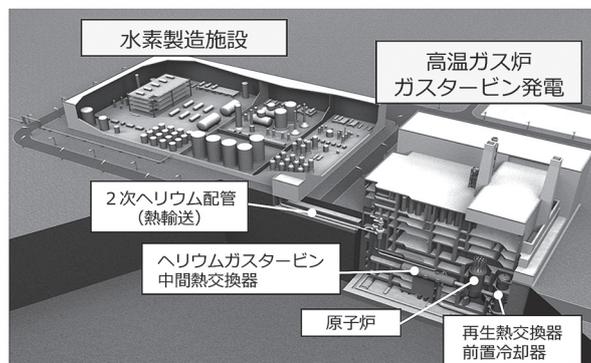


図5 水素・電力供給プラント

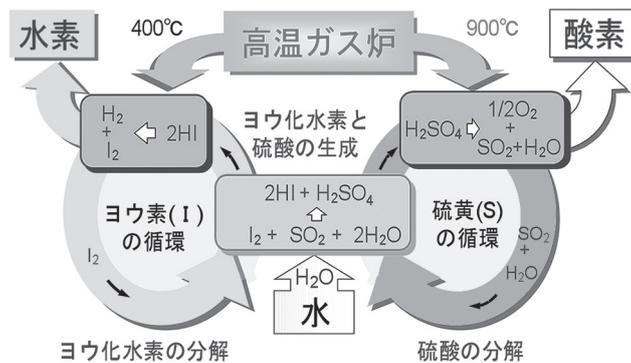


図6 熱化学法ISプロセスの原理

③ 高温蒸気供給（高温蒸気・電力併給）

高温蒸気供給システムでは、1次系に設置した蒸気発生器を用いて、各種産業で必要とされる温度条件である500℃程度の高温蒸気の製造を行う。高温蒸気・電力併給システムでは、発電方式にガスタービンを採用した場合は蒸気発生器上流の1次系にガスタービンを設置する。一方、蒸気タービンを採用した場合は蒸気発生器下流の2次系に蒸気タービンを配置し、蒸気タービン上流または蒸気タービンから蒸気を抽気し、熱利用に供する。

3. 国内の開発状況

（1）国内の状況

① 開発の経緯

高温ガス炉の開発は1960年代前半に英国、米国、ドイツで始まったが、わが国では、当時の日本原子力研究所において、製鉄や化学工業用の熱源として利用可能な多目的高温ガス炉の研究開発が1969年に開始された。その後、燃料、黒鉛材料、耐熱金属・高温機器、炉工学、安全性などに関する研究開発の成果を結集し、1991年にHTTR（熱出力30MW、原子炉出口温度950℃）の建設が始まり、1998年に初臨界、2004年に世界で初めて950℃のヘリウムガス取り出しを達成した。現在は、高温ガス炉基盤技術の確立に向けたHTTR試験、熱利用技術の実証に向けた研究開発および実用化に向けた高温ガス炉技術の高度化研究を進めている。

② 産学官との連携

第5次エネルギー基本計画（2018年7月に閣議決定）において、「水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する技術開発を、海外市場の動向を見据えつつ国際協力の下で推進する」ことが国の方針として示されている。文部科学省が設置した高温ガス炉産学官協議会では、高温ガス炉の実

用化戦略、海外戦略等の検討が進められており、当該協議会の下に2017年8月に設置された海外戦略検討ワーキンググループにおいて、ポーランド高温ガス計画への協力方針やわが国の高温ガス炉技術の海外展開に向けた国内体制が構築された。

（2）研究開発の現状と今後の課題

① 原子炉技術の研究開発

燃料の研究開発においては、現在、HTTR装荷燃料（最高燃焼度33 GWd/t）から燃焼度を100 GWd/tまで上昇させた燃料を製造し、カザフスタン核物理研究所（INP）が国際科学技術センター（ISTC）のレギュラープロジェクトのもとで、2010年から2015年にかけて照射試験、2017年3月から2カ年計画で照射後試験を実施し、技術的成立性の実証を進めている。今後の課題は更なる高燃焼度化および高出力密度化であり、実用炉で目標としている160GWd/tの高燃焼度化燃料に関する解析評価および炉心の出力密度をHTTRの2.5 MW/m³から6 MW/m³に高めつつ安全性向上の観点から燃料温度を低減させるための除熱性能向上燃料要素の開発を行っている。

黒鉛材料の研究開発においては、国際協力などを活用して実用炉の照射条件（照射温度、照射量）における黒鉛特性を取得し、黒鉛の設計曲線を検証・高精度化を図るとともに、HTTRを活用して炉心支持黒鉛構造物の経年劣化データの取得および健全性の確認や供用期間中検査技術の検証を行う計画である。

金属材料・高温機器の研究開発においては、HTTR試験により中間熱交換器の伝熱性能等の経年劣化の確認および中間熱交換器伝熱管に使用されている耐食・耐熱合金ハステロイXRのサーベイランス試験を実施していく計画である。

炉物理の研究開発においては、現在、HTTRの燃焼中期までのデータを用いて、核設計計算手法の精度評価および妥当性の検証を進めている。更に、HTTRから高性能化を図るた

めの炉心設計手法の検討などを進めている。今後、HTTRにおいて燃焼末期までのデータを取得し、燃料の燃焼を考慮した過剰反応度の計算精度評価および妥当性の検証を実施する。更に、核データに起因する誤差評価や誤差低減の手法整備などを行う計画である。

高温ガス炉の安全性の研究開発においては、HTTRを用いて高温ガス炉の安全性を実証する試験を2002年から開始し、2010年には経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）のプロジェクトとして原子炉出力30%において炉心流量喪失試験（1次ヘリウムガス循環機を強制的に全停止するとともに、制御棒挿入による原子炉停止操作も行わない事故模擬試験）を実施した。本試験により、ドップラー効果によって原子炉は自然に停止し、その後、安定な状態が維持されるという高温ガス炉の固有の安全性を実証するとともに、得られたデータを用いて安全解析コードの高度化を図っている。現在、HTTRは新規制基準への適合性確認が進められているが、再稼働後には原子炉出力100%において炉心流量喪失試験、原子炉出力30%において炉心流量の喪失とともに炉容器冷却設備の流量喪失させる炉心冷却喪失試験を実施する計画である。また、産学官の協力によって確率論的リスク評価手法の開発を進めている。この他、安全評価手法の高度化を進める計画である。

高温ガス炉の安全基準の整備については、実用高温ガス炉システムの安全基準の国際標準化を目指して、国際原子力機関（IAEA）の協力研究計画（CRP）において各国の高温ガス炉専門家と国際標準の原案検討を実施している。今後、HTTRを用いた安全性試験によって、被覆燃料粒子のFPの閉じ込め性能の検証による安全基準の確証、IAEA安全基準の策定を担当しているIAEA安全局における安全基準の検討が期待される。

② 熱利用技術の研究開発

ヘリウムガスタービン発電技術の研究開発

においては、これまでに、世界最高の圧縮機効率を有するヘリウムガス圧縮機、一般産業用熱交換器に比べ約10倍の熱交換密度を有する再生熱交換器用のコンパクト熱交換器を三菱重工業㈱と共同で開発してきた。現在、一般産業ガスタービンのメンテナンス方法の適用を可能とするため、ガスタービン翼へのFP沈着量の低減に関わる要素技術開発およびヘリウムガスタービン軸からのヘリウムガス漏洩を抑制するための軸シール技術開発を実施している。今後、ヘリウムガスタービン発電技術の実証、ガスタービンの高温での運転データを取得するなど、実用炉に向けた開発を行う計画である。

熱化学法ISプロセス水素製造技術の研究開発については、これまでに、① 実験室規模試験（1997年に毎時1リットルの24時間連続水素製造による理論検証）、② 工学基礎試験（2004年にガラス製の試験装置を用いた毎時30リットルの1週間連続水素製造による計測・運転制御技術開発、材料開発）を実施し、現在は、③ 工業材料機器試験として、強腐食環境下での工業材料（金属、セラミックス等）製機器の信頼性確認、プラント全系の信頼性確認等を進めている。2016年2月に連続水素製造の試運転（約10ℓ/時、8時間）に成功し、2018年1月には長時間運転の目安となる150時間の連続水素製造に成功し、熱化学法ISプロセスの実用化に向けて大きく前進するとともに、世界で開発が進められている熱化学法ISプロセス開発のトップランナーであることを示した。

高温ガス炉と熱利用施設との接続技術の研究開発においては、HTTRを用いたヘリウムガスタービン発電技術およびISプロセス水素製造技術の総合性能試験に向けて、図7に示すHTTRにヘリウムガスタービン発電施設およびISプロセス水素製造施設を接続したシステム（HTTR-GT/H₂）の設計、安全評価を実施した。また、日本原子力学会研究専門委員会において、原子炉へ接続する熱利用施設を

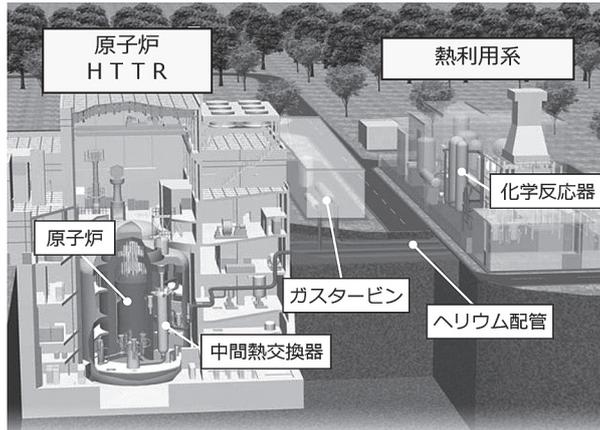


図7 HTTR - GT/H₂

一般産業施設として設計、建設、運転するための安全基準案を作成するとともに、当該安全基準に適合するための設計検討を実施してきた。今後、熱利用施設の接続技術の確立に向けて、HTTR-GT/H₂試験装置の設置許可を通じた原子力規制委員会による熱利用施設接続に係る安全基準の策定、適合のための設計方針や設計の妥当性確認を目指している。

4. 国外の状況

(1) 海外の高温ガス炉開発の現状

海外においても、図8に示すように、高温ガス炉の研究開発が活発化している。ポーラ

ンドでは、天然ガス輸入依存からの脱却、石炭火力による二酸化炭素排出量削減等のため、高温ガス炉導入に向けてポーランドエネルギー省は諮問委員会(HTR委員会)を設立して、2016年から成立性評価を実施し、2018年1月に報告書を公表した。報告書には、高温ガス炉の需要とその可能性について、特に化学産業等への高温蒸気(約500℃)の供給を対象にすれば、2050年までにポーランド国内で10~20基、欧州連合(EU)内で100~200基、世界で1,000~2,000基の需要があると評価している。現在、熱出力10MW程度の実験炉を2025年頃に、165MWの商用炉を2031年頃に運転する計画が示されている。

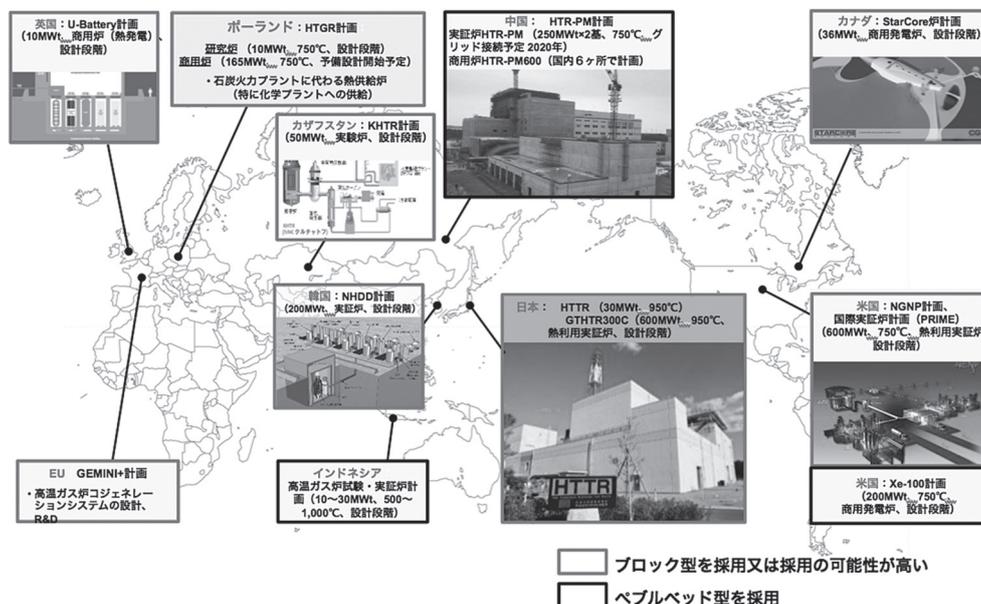


図8 世界における高温ガス炉開発の現状

米国は、エネルギー政策法（2005年）に基づく次世代原子力プラント（NGNP）計画（電気と水素を同時に生産する高温ガス炉プロジェクト）として、米国アイダホ国立研究所（INL）が中心となり研究開発を進めている。また、NGNP計画を推進するNGNP産業アライアンスがブロック型高温ガス炉の国際実証炉開発を進めるプライム（PRIME）計画を提唱している。また、エックス・エネルギー（X-energy）社が米国エネルギー省（DOE）の先進炉開発支援（4000万ドル、5年）を2017年に獲得して、ペブルベッド型の高温ガス炉（Xe-100）の設計と研究開発を実施中である。

中国は実験用高温ガス炉HTR-10（現在、世界で稼働中の高温ガス炉は日本のHTTRと中国のHTR-10の2基のみ）を有し、この成果を活用した実証炉HTR-PM（熱出力250MWの原子炉2基、蒸気タービン1基の構成で210MWの発電）を山東省威海市石島湾に建設中で、2020年にグリッドに接続予定である。また、2016年12月に国家能源局が公表した「エネルギー技術革新“十三五”計画（能源技術革新“十三五”規画）」では、商用600MW規模高温ガス炉発電プラントの普及が示され、熱出力250MWの原子炉6基により600MWの蒸気タービン発電を行なうHTR-PM600の設計研究が進められている。

英国では英国政府が革新的モジュール炉（AMR）の開発に向けて、2018年に総額2億ポンドの資金拠出を決定した。8社から提案があり、技術的・商業的成立性評価が行われているが、3社が高温ガス炉を提案している。その1つであるユーバッテリー開発（U-battery Developments）社（世界的燃料供給メーカーであるウレンコ（URENCO）社が中心のコンソーシアム）は、2024年稼働を目標として熱出力10MW、原子炉出口温度800℃のモジュール型高温ガス炉（U-Battery）の開発を進めている。

カナダでは、カナダ天然資源省が2018年からSMR開発プログラムを開始し、高温ガス炉については3社（カナダのスターコア（StarCore

Nuclear）社、米国ウルトラセーフ（UltraSafe Nuclear）社、英国U-battery Developments社）が応募している。

韓国では、高温ガス炉による水素製造を目的に、韓国原子力研究所（KAERI）を中心に、熱出力200MW、原子炉出口冷却材温度950℃の高温ガス炉システムの検討を進めてきたが、現在、国内の原子力政策の方針変更を受け、今後の活動方針を検討中である。

カザフスタンでは、送電網が整備されていない地域への導入を目指して、電熱併給小型高温ガス炉（KHTR）が検討された。2008年には国立原子力センター（NNC）が、原子力機構と協力してKHTR事前成立性評価（Pre-FS）を実施した。2011年には、カザフスタンの「原子力産業発展プログラム」が公表され、高温ガス炉の建設に向けた成立性評価（FS）を実施する予定であったが、国内事情により現時点までFSは実施されていない。

インドネシアでは、インドネシア共和国原子力庁（BATAN）が高温ガス炉試験・実証炉計画を進めている。2015年に試験炉（熱出力10MW）の成立性評価として、ペブルベット型高温ガス炉の概念設計をロシアの企業が実施した。BATANは2021年に建設許可を取得する計画である。

（2）原子力機構における国際協力

原子力機構は、既に多くの原子炉を導入している原子力先進国に対しては個別技術の共同開発や最新情報の交換を行なうとともに、今後、原子炉（高温ガス炉）を導入する原子力新興国に対しては日本の高温ガス炉技術の導入を目指して、原子力機構が有する高温ガス炉の技術的知見や経験に基づき、相手国のレベルアップに貢献するような協力を進めている。国際機関等を通じた多国間協力では、日本の高温ガス炉技術の優位性を示しつつ国際的な高温ガス炉開発に貢献すること目指した協力を進めている。以下、各国および各国際機関との協力の現状を示す。

ポーランドとは、2017年5月の日・ポーランド外相会談において締結された「2017年から2020年までの日本国政府とポーランド共和国政府との間の戦略的パートナーシップの実施のための行動計画」に基づき、ポーランドにおける高温ガス炉（実験炉および商用炉）開発を支援するとともに高温ガス炉技術の研究開発を共同実施することを目的として、原子力機構は国立原子力研究センター（NCBJ）と高温ガス炉技術分野における研究協力覚書を締結した。現在、定期的に技術会合を開催し、燃料・黒鉛等の照射試験計画等について協議を進めている。また、原子力機構とNCBJはポーランド国内の技術者、研究者等の人材育成を目的とした「高温ガス炉セミナー」を2019年1月にワルシャワで開催し、設計、燃料・材料、安全解析等に関する講義を行った。

米国とは、原子力機構とDOE/INLが締結した高温ガス炉研究開発に関する協力のためのプロジェクト取決め（2014年6月）に基づき、日米民生用原子力研究開発ワーキンググループ（CNWG）の枠組下で、HTTRおよびDOE施設等を用いた試験結果の相互活用による先進的原子炉シミュレーションコードの検証・高度化や核熱利用ガスタービン技術の確証などを進めている。

英国については、U-Battery計画の早期実現に向けた高温ガス炉技術に関する協力および建設リスク軽減や経済性向上に関する検討のため、2017年5月にURENCO社と研究協力覚書を締結した。現在は、本覚書の下でU-Batteryの設計レビューを行う方向で調整を進めている。

カザフスタンとは、KHTRの建設を目指して、NNCおよびINPとの協力を2007年から開始した。原子力機構は熱出力50MWのKHTRの設計例を提示するとともに、前述のように、ISTCプロジェクトとして、燃料の高燃焼度化に向けた照射性能実証試験（2010年～2019年）および耐酸化黒鉛の照射特性評価（2013年～2018年）をINPと協力して実施している。

中国清華大学、韓国KAERIとは、定期的な情報交換会合を開催し、当該国の研究開発などの最新動向の把握に努めている。

IAEAでは、原子力局に設置された「ガス冷却炉技術ワーキンググループ（TWGGCR）」において、高温ガス炉に関する研究開発の活動方針を審議し、高温ガス炉に関するCRPを提案している。現在、TWGGCRには日本の他、米国、英国、仏国、独国、蘭国、中国、韓国、インドネシア、トルコ、南アフリカ、露国、ウクライナおよびカザフスタンが参加している。最近のCRPでは、HTTRの試験データに基づき作成した安全基準を国際標準案に取り入れる活動を実施してきた。現在実施中のCRPは「原子力水素製造技術の評価および展開の見通し」であり、高温ガス炉の熱利用に関する検討を実施する計画である。

OECD/NEAでは、前述のようにHTTRを用いた炉心流量喪失試験および炉心冷却喪失試験を原子力施設安全委員会のプロジェクトとして実施中である。プロジェクト参加国は、日本、米国、仏国、独国、韓国、チェコおよびハンガリーである。

2001年に設立された第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）では、2006年11月に、日本、仏国、米国、EU、韓国、カナダおよびスイスが参加してその中のテーマの1つとして超高温ガス炉（VHTR）システム取決めが締結された。その後、中国および豪州の参加、カナダの脱退があり、現在は7カ国1国際機関が参加している。VHTRシステムでは、燃料・燃料サイクル、水素製造、材料に関するプロジェクトを実施している。また、計算手法検証・ベンチマークのプロジェクトを準備中である。

5. 実用化への道筋

高温ガス炉の研究開発と導入スケジュール（原子力機構案）を図9に示す。高温ガス炉の実用化にあたっては、比較的小型であることなどを鑑み、HTTRから実証炉（商用炉1号

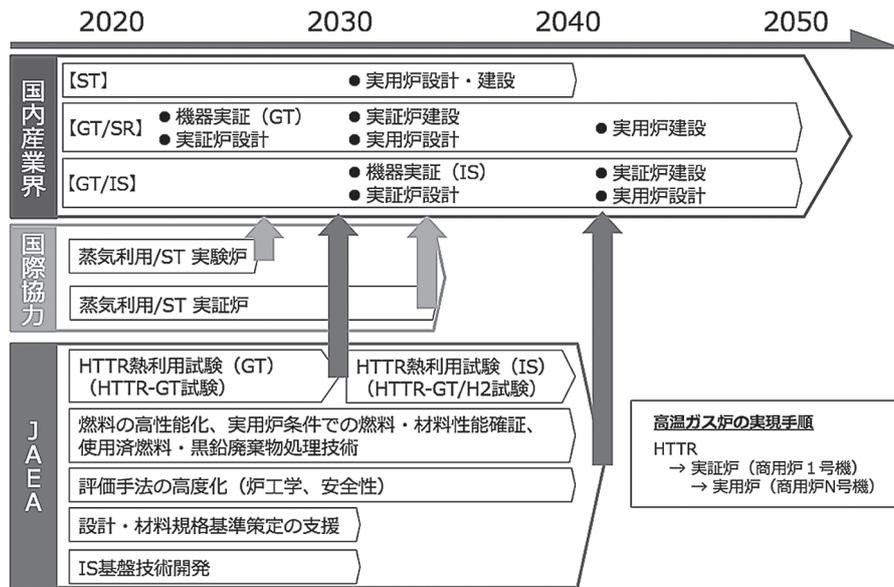


図9 研究開発と導入スケジュール

機)、実用炉(商用炉N号機)の段階を経て商用化されることを想定している。

原子力機構においては、2020年代のHTTR-GT試験、2030年代のHTTR-GT/H₂試験を中心として、2040年頃を目途に前述の研究開発を完了させ、国内産業界へ技術移転を図る。また、諸外国においては、原子炉出口冷却材温度750℃の高温ガス炉を用いた蒸気タービン発電又は高温蒸気供給を行うシステムの導入が検討されている。国際協力によって自国への高温ガス炉導入を目指すポーランドなどとの国際協力を有効活用し、原子力機構で実施する技術開発を当該国の実験炉を用いて実施し、コスト削減および開発期間の削減を図り、国内産業界に技術移転する。その後、当該国での実証炉などを活用し、2030年代の蒸気発電用高温ガス炉システムの早期商用化を図ることが重要と考える。ガスタービン発電高温ガス炉システムについては、原子力機構における2020年代のHTTR-GT試験の成果を活用し、2030年代の実証炉建設、2040年代の商用化を目指し、既存技術を活用できる天然ガス水蒸気改質法を用いた水素製造システムについても同時期の商用化を目指す。熱化学法ISプロセスを用いた水素・電力併給高温ガス炉システムについては、2040年代の実証炉建設を目指して開発を継続する。

6. まとめ

高温ガス炉は今後の原子力に求められる安全性・経済性・機動性に優れるとともに、高効率発電、水素製造など多目的利用が可能な原子炉である。小型モジュール炉として、海外でも研究開発が活発化しているが、わが国はHTTRに基づく高温ガス炉技術、ヘリウムガスタービン発電や熱化学法ISプロセス水素製造法などの熱利用技術において世界をリードしている。今後、国内の産学官の連携や国際協力の活用により、わが国の優れた高温ガス炉技術およびその熱利用技術を実用化し、国際的な原子力エネルギー利用における安全性向上や二酸化炭素排出量削減、わが国のエネルギーセキュリティ向上などに貢献を図りたい。

参考文献

- (1) Y. Kamiji, et al., Study of HTGR Contribution to Japan's CO₂ Emission Reduction Goal in 2050, JAEA-Technology 2016-010
- (2) X. Yan, et al., A hybrid HTGR system producing electricity, hydrogen and such other products as water demanded in the Middle East, Nucl. Eng. Des., 271, 20-29 (2014)
- (3) エネルギー・環境会議コスト等検証委員会編, コスト等検証委員会報告書(平成23年12月19日)

- (4) 文部科学省, 原子力科学技術委員会 高温ガス炉技術開発作業部会(第5回)参考資料4-2(平成26年9月1日)
- (5) 沢和弘 他, 高温工学試験研究炉燃料の貯蔵及び再処理技術の検討, JAERI-Research 2001-034 (2001)
- (6) 角田淳弥 他, 高温ガス炉燃料の再処理技術, 日本原子力学会論文誌, 2 (4), 546-554 (2003)
- (7) Y. Fukaya, et al, Reduction on high level radioactive waste volume and geological repository footprint with high burn-up and high thermal efficiency of HTGR, Nucl. Eng. Des., 307, 188-196 (2016)
- (8) C. Rodriguez, et al., Deep-Burn: making nuclear waste transmutation practical, Nucl. Eng. Des., 222, 299-317 (2003)
- (9) H. Ohashi, et al., A Small-Sized HTGR System Design for Multiple Heat Applications for Developing Countries, Int. J. Nuclear Energy, Volume 2013, Article ID 918567, 18 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/918567> (2013)
- (10) H. Sato, et al., GTHTTR300 - A nuclear power plant design with 50% generating efficiency, Nucl. Eng. Des., 275, 190-196 (2014)
- (11) K. Kunitomi, X. L. Yan, T. Nishihara, N. Sakaba, T. Mouri: "JAEA' S VHTR for Hydrogen and Electricity Cogeneration: GTHTTR300C", Nuclear Engineering and Technology, Vol.39, No.1, pp.9-20 (2007)
- (12) 中島隼人 他, 「熱化学法ISプロセスの閉サイクル連続水素製造試験」, 化学工学論文集, 24巻(2号), 352-355 (1998)
- (13) H. Sato, X. L. Yan: "Study of an HTGR and renewable energy hybrid system for grid stability," Nuclear Engineering and Design, Vol.343, pp.178-186 (2019)

[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

平田 宏一 (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



1. はじめに

利用時に温室効果ガス（GHG: Green House Gas）が排出されない水素エネルギーは将将来のクリーンエネルギー源の中心的役割を担うものとして有望視されている。このような背景のもと、政府および民間企業は水素社会の実現に向けた基盤整備や技術開発に取り組んでいる。2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画を受け策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2014年6月策定，2016年3月改訂）において，燃料電池の適用分野拡大に関して，燃料電池船舶の導入に向けた実証業の推進等について検討していく旨言及された。また，2017年6月に策定された「未来投資戦略2017」においては，水素エネルギーを本格活用する水素社会の実現に向け，燃料電池自動車や燃料電池バス，水素ステーション等の普及を加速化する旨が記載された。一方，民間企業による水素社会への取り組みとしては，2014年12月，自動車メーカーによる燃料電池自動車の市場投入，船舶・海運分野においては有機ヒドライドによる大量輸送のための研究開発や液化水素運搬船の開発など，昨今，水素関連技術の開発は活発に進められている。

著者らは，2011年頃から，船舶分野における水素燃料電池の適用性調査や船舶において水素を安全に取り扱うための研究を実施してきた。本稿では，船舶分野における水素関連技術の開発状況並びに当所が進めてきた水素燃料電池船に関連した研究について概説する。

2. 船舶分野における GHG 削減技術

1970年代の石油ショック以降，船舶分野においては船用ディーゼルエンジンの高効率化や減速航行による燃料消費削減などが活発に進められてきた。そして，現在では，以下に述べる環境基準・規制への対策とともに，さらなるGHG削減が求められている。

国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）の海洋環境保護委員会では，国際海運船舶の省エネルギー化とGHG排出量の削減を目的として，船舶に対する温室効果ガス排出規制を導入するMALPOL条約附属書VI（海洋汚染防止条約の一部改正）が発効している。2013年以降，新たに建造される多くの外航船舶は船種毎に設定された温室効果ガス排出基準を満たすことが求められ，その排出基準は段階的に強化されている。また，同附属書では，1トンの貨物を1マイル運ぶために必要な二酸化炭素（CO₂）のグラム数を表すエネルギー効率設計指標（EEDI: Energy Efficiency Design Index）が規制値以下であることを義務付けている。

さらに，2018年4月には，IMOによりGHG削減戦略が採択され，図1に示すように，CO₂排出の大幅削減や今世紀中のできる限り早い時期に国際海運からのGHG排出をゼロにするなどの高い目標が定められた。

このような状況から，近年，船舶のエネルギー効率を向上させるため，従来のディーゼルエンジンに電動機や大容量二次電池を組み

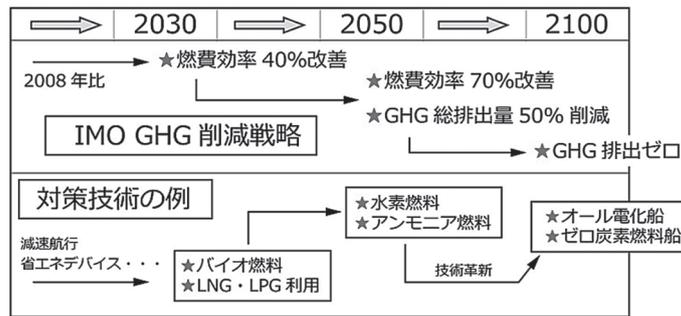


図1 IMOによるGHG削減戦略と対策技術の例

合わせた船舶ハイブリッド推進システム，あるいは水素，アンモニア，バイオ燃料などの低・脱炭素燃料の利用など，様々なGHG削減技術が注目されている。

3. 燃料電池の概要と船舶分野への適用

GHG削減に有効な技術の1つとして期待されているのが，水素を燃料とした燃料電池である。再生可能エネルギー等を利用して水素を製造することで，カーボンフリーの動力システムを構成することができる。以下，燃料電池の概要並びに国内外における水素燃料電池船の開発状況を紹介します。

(1) 燃料電池の概要

燃料電池は，図2に示すように，電気化学反応によって燃料の化学エネルギーから電力を取り出す動力源である。水素等の燃料を補充し続けることで，電気容量の制限なく永続的に放電を行うことができる点が一次電池や二次電池と

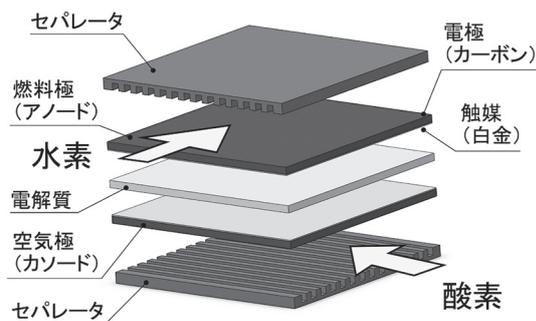


図2 燃料電池の基本構造

異なる大きな特徴である。また，発電運転時にCO₂やNO_x(窒素酸化物)が排出されないこと，燃焼や爆発といった現象がなく静粛性に優れること，化学エネルギーを直接電力に変換するため効率が高いことなどの特徴もある。

燃料電池には様々な種類があるが，現在，陸用コジェネシステムや自動車で使用されているのは，常温付近で使用でき，起動時間が短い固体高分子形 (PEFC) と呼ばれる形式である。後述する船舶分野において使用する燃料電池も，起動時間が短いPEFCが主対象とされている。

(2) 国内外の水素燃料電池船の開発状況

国外では様々な水素燃料電池船の研究開発が活発に進められている。特に，ノルウェーやフィンランドなどの北欧や米国カリフォルニア州では，船舶分野への燃料電池の導入を積極的に進めている。海外で計画，あるいは建造されている水素燃料電池船は，50～100総トン程度の旅客船が多い。

一方，国内の水素燃料船の開発状況としては，20総トン未満の小型船舶による実証試験が進められてきた。

2015年，戸田建設(株)は，燃料電池船「長吉丸」を完成させた。全長12.5m，10総トン級の小型船舶であり，最高速度20ノット，1回の水素充填で約2時間の航行が可能であるとされている。また，燃料となる水素は，五島市梶島沖の出力2 MWの浮体式洋上風力発電施設によって発電した余剰電力を活用した。

2016年、東京海洋大学は、電池推進船「らいちょうN」に水素燃料電池を搭載した。全長12.6m、9.1総トンの小型船舶であり、出力7kWの燃料電池と容量145kWhのリチウムイオン電池を搭載し、最高速度11ノットで航行できる。

2016～2018年、海上技術安全研究所（海技研）らは、図3に示す全長16.5mの小型実験船「神峰」に燃料電池システムを搭載し、実証試験を実施した。本船の試験結果については、次章で紹介する。



図3 燃料電池システムを搭載した小型実験船「神峰」

4. 海技研における水素燃料電池関連研究

海技研では、船舶の省エネ化や高度化を目指して、大容量二次電池や電気モータを利用した船舶のハイブリッド化や燃料電池の船舶適用性についての調査・研究を進めてきた。以下、その一部を紹介する。

(1) 陸上基礎試験

燃料電池が船舶特有の環境に耐えられることを調べるための陸上基礎試験としては、塩害試験、傾斜・動揺試験、振動・衝撃試験、海水浸水試験等を実施した⁽¹⁾。さらに、水素漏洩時の安全対策を検討するための試験として換気システムやガス検知器の動作確認試験等を実施してきた。

図4は陸上基礎試験の一例であり、非常時の水素の船外排出を想定して、水素の拡散性を調べた試験結果である⁽²⁾。無風状態で水素、ヘリウムおよびメタンを真上に放出し、放出口からの距離に対するガス濃度を計測している。この試験結果においては、放出口からの距離に対する各種ガスの濃度はガスの種類の影響をほとんど受けていないことが分かる。さらに、ガス濃度を変化させたときの試験や周囲の風の影響等を調査し、一部の試験結果についてはCFD（SolidWorks Flow Simulation）による計算結果と比較することで、水素を船外排出する際の安全性等を検討した。

(2) 水素燃料電池船の制御システムの開発

後述する実船試験と並行して、水素燃料電池船の安全対策を含めた制御システムについての研究開発を進めてきた。

図5および図6は、制御システムの機能を確認するために設計・試作した模型燃料電池船並びにシステム構成を示している。本模型

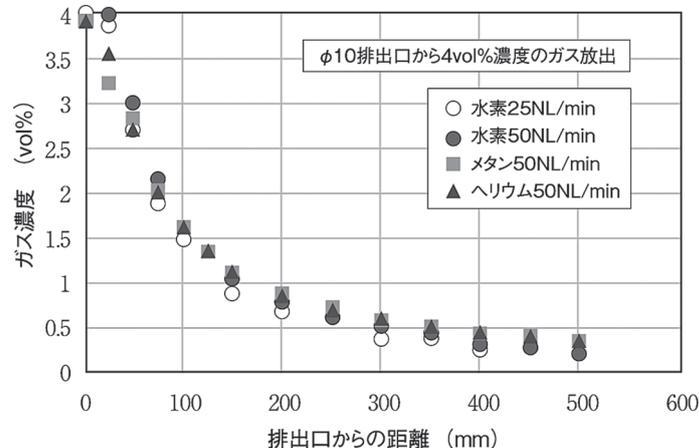


図4 各種ガスの大気放出試験結果の一例

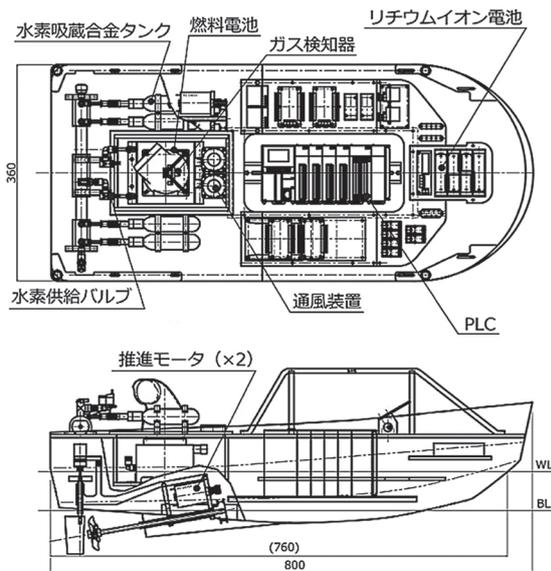


図5 模型燃料電池船の構造

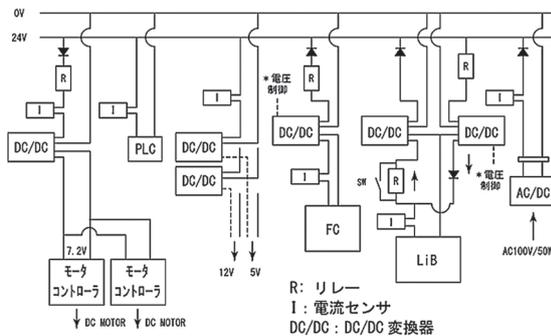


図6 模型燃料電池船のシステム構成
(電路系統図の概略)

船には、公称出力100Wの燃料電池システムと容量45Whのリチウムイオン電池(LiB)を搭載しており、燃料電池とリチウムイオン電池の負荷分担と過電力防止のための出力制御機能や水素漏洩や通風ファンの回転速度の監視機能など、安全対策試験を実施するための多くの機能を装備している⁽³⁾。これらの機能は、船内に搭載したPLC(Programmable Logic Controller)によって制御・監視する。

通常運航時の制御機能としては、燃料電池とLiBの負荷分担や水素残量とLiBの残量(SOC)の監視、水素およびLiBの残量に応じた推進モータの出力制限などがある。例えば、燃料電池を運転しない状態でLiBだけで推進する場合、出力制限が機能し、過負荷状態にならないように安全で適切な運航ができるよ

うに制御している。

燃料電池システム、LiBシステムまたは電気推進システムに不具合が発生した場合、監視モニタに警報(音声を含めた可視可聴警報)が発令され、LiBの容量低下などの軽度な不具合の場合は推進モータの出力制限、電源異常などの重度な故障の場合はシステムの自動停止または制限される。

システムが緊急停止する重度な故障は4段階に分けられている。第1段階は、LiBの電流が設定した閾値より高く、LiB電圧が設定した閾値より低下した場合であり、一時的に推進モータを停止させる。第2段階は、LiBの電流がさらに高まり、LiB電圧がさらに低下した場合であり、推進モータのコントローラへの電源供給を遮断する。第3段階は、LiB放電中に母線電圧(DC24V)が低下した場合であり、LiB放電を除いてすべてのシステムへの電源供給を遮断する。これは船内の制御電源を維持するための対策である。第4段階は、非常停止スイッチが押された場合、またはLiBが過電流充電となった場合であり、LiBの放電を含めてすべてのシステムを停止させる。なお、これらの機能とは別に、水素漏洩及び通風ファンの停止(回転速度の低下)が検知された場合には、ただちに燃料電池設置区画への水素供給が遮断される。

図7は本模型船による試験結果の一例であり、燃料電池システムの緊急停止時に推進動力が維持できることを確認した際の結果である。本模型船では、燃料電池システムが運転していない状態で推進モータを運転する場合、推進モータの出力制限(50%の設定信号)が作動するように設定しており、その安全対策機能が適切に動作していることが確認できる。

図8は制御電源喪失防止機能を確認した際の結果であり、出力制限機能を解除した状態として、停止状態から急発進をさせることで母線電圧(DC24V)を故意に低下させた場合、制御電源が喪失することなくモータ停止機能が働くことを確認している。

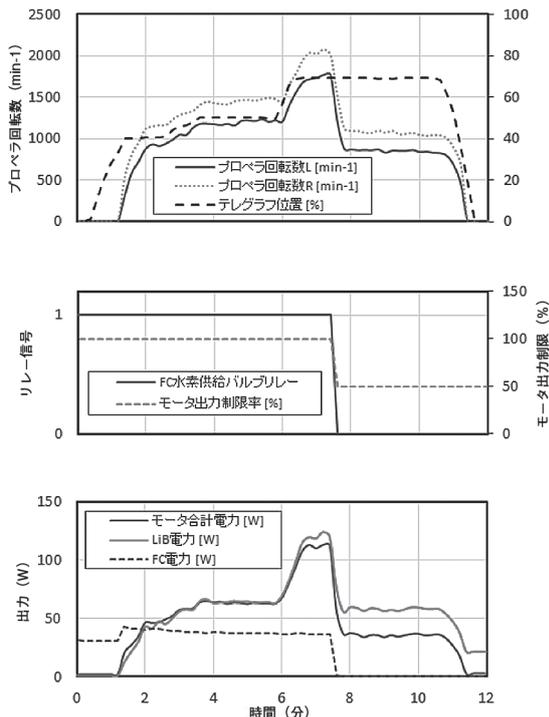


図7 燃料システム緊急停止時の推進動力維持

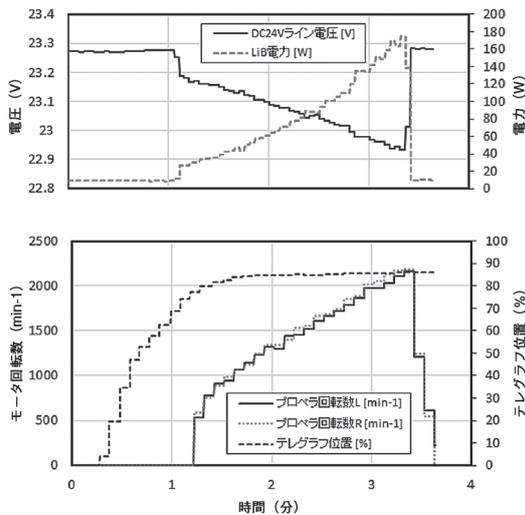


図8 制御電源喪失防止機能

(3) 水素燃料電池船の実船試験

著者らは、国土交通省からの請負研究として、2015年より「水素燃料電池船の安全ガイドライン」を策定するための調査研究を進めてきた。本調査研究においては、水素漏洩を防止する対策や燃料電池システムを船内で安全に取り扱うための技術等について検討を進めてきた。以下、本研究では、水素燃料電池船の安全性検証のため、図3に示した小型実験船による実船試験を実施した⁽⁴⁾。

水素燃料電池船の実船試験においては、海技研が管理する小型実験船「神峰」に燃料電池システムを含めた電気推進システムを搭載するなどの改造を行い、広島県因島周辺で実施した。図9に本船の構造、表1に本船並びに電気推進システムの主要目を示す。本船は、離島航路の利便性向上を目指したシームレス実験船（船に搭載する小型バスが旅客室となる船舶）として建造された実験船である⁽⁵⁾。燃料電池システムの実船試験を行うため、推進用電動モータで駆動する船外機や推進用モータを設置し、定格出力60 kWの燃料電池システム、公称容量58.5 kWhのLiBおよびそれらの制御盤を甲板上に搭載した。

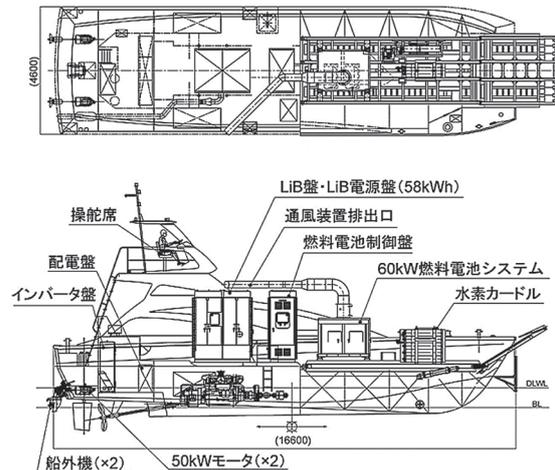


図9 小型模実験船「神峰」の基本構造

表1 小型模実験船「神峰」の主要目

(a) 船体	
長さ(全長)	16.50 m
長さ(垂線間)	14.90 m
幅(全幅)	4.60 m
深さ(型)	1.50 m
喫水(計画)	0.75 m
総トン数	約17トン

(b) 電気推進システム	
推進用モータ	定格出力: 50 kW×2 基 定格回転速度: 3600 min ⁻¹
燃料電池システム	定格出力: 60 kW
リチウムイオン電池	公称容量: 58.5 kWh

本船には、燃料電池およびリチウムイオン電池で運航している際、それらの運転状態や航行可能距離を推定・表示するための運航支援システムを搭載した。図10は、操舵席のモ

ニタに表示される運航支援システム画面の一例である。本運航支援システムは、水素残量とLiBのSOCを監視し、それらの合計エネルギーより、代表的な運航条件（例えば推進出力100 kW、船速8ノット）における航行可能距離を求めている。

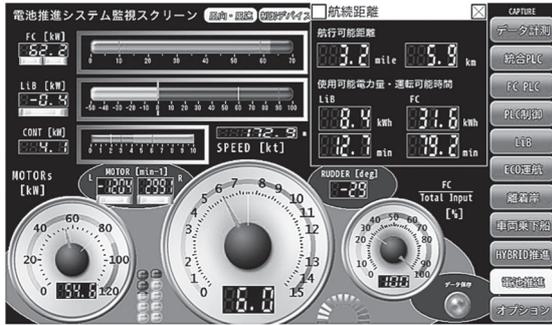


図10 運航支援システム画面の一例

実船試験においては各システムの動作確認試験の他、水素燃料電池船の出港から着岸に至るまで運航を模擬した実運航試験を実施した。実運航試験では、あらかじめ図11に示す計画航路を決めておき、運航中に水素残量とリチウムイオン電池の残量、それらから推定される航行可能距離を監視しながら操船した。なお、この計画航路は、速力7～8ノットで1時間程度の航行を行い、満充填の水素およびSOCが80%程度のリチウムイオン電池を使い切る程度の航路としている。図12に実運航試験における対地船速、航行距離、水素残量、SOCおよび各電力の計測結果を示す。これより、概ね計画通りの航路を航行し、水素およ

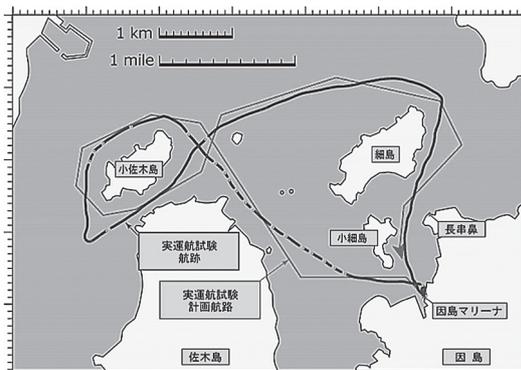


図11 計画航路と実運航試験における航跡

びリチウムイオン電池を概ね計画通りに使用していることが分かる。

5. まとめ

本稿では、船舶分野における水素関連技術の開発状況並びに当所が進めてきた水素燃料電池船に関連した研究の一部を紹介した。以上に述べた陸上試験や実船試験から得られた知見は、今後の水素燃料電池船の開発に貢献するものと考えている。一方、水素燃料電池船の実用化・普及においては、安全で安価な水素燃料タンクの開発、水素供給のインフラ設備の整備、陸上分野を含めた水素製造技術の確立等、多くの課題が残されている。また、船舶に用いる燃料電池システムは自動車と比べて、高負荷域における連続運転が必要となる。そのため、耐久性を含めて、船舶に適した燃料電池システムの開発が課題になり得ると考えられる。さらに、現在の燃料電池システムや電気推進システムは、従来のディーゼル推進船と比べて高価である。高出力なシステム構成をいかに安価にするかが普及のためのポイントになると考えられる。

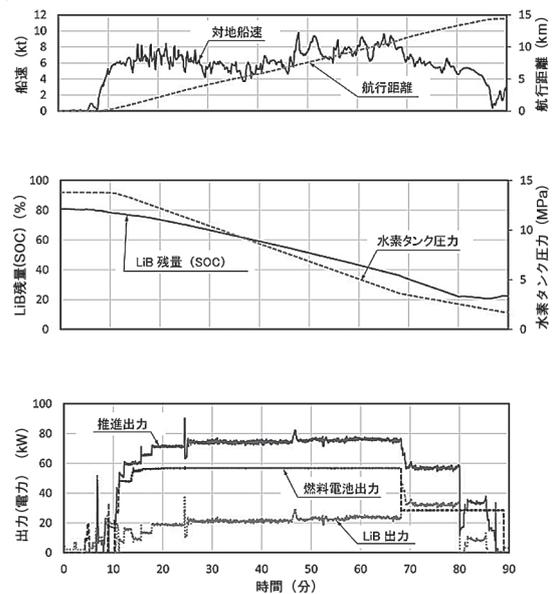


図12 実運航試験の結果

参考文献

- (1) 平田宏一, 多様なエネルギー源等を用いた新たな動力システムの開発に関する研究, 平成30年度(第18回)海上技術安全研究所研究発表会講演集, p.184 - 193, 2018年
- (2) 平田宏一: 水素燃料電池システムの船舶分野への適用と課題, 船舶海洋工学会誌 KANRIN, 第81号, 2018年11月
- (3) 平田宏一: 水素燃料電池船の実用開発に向けた取り組み, 第18回海上技術安全研究所講演会, p.42 - 49, 2018
- (4) 平田宏一, 清河勝美, 灰庭照繕, 平岩琢也, 行實文明: 水素燃料電池船の開発への取り組み, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第54巻 第2号, 2019年
- (5) 平田宏一ほか6名: 離島の交通支援のためのシームレス小型船システムの開発海上技術安全研究所報告, 第16巻, 第4号, pp.339 - 357, 2017年

[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

松岡 成樹 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)



1. はじめに

わが国の夏は年々、高温・多湿の環境となっている。昨夏のニュースで「観測史上最高気温を記録」などといったフレーズを度々耳にしたことは、我々の記憶に新しい。炎天下では、時に命の危険すら感じることもあり、空調の効いた空間に留まることが推奨されるほどである。夏に限らず、これまで春・秋と感じていた季節においても真夏日や猛暑日が多く、年々エアコンのスイッチに手が伸びる時期が長くなっていることを、多くの人を実感しているのではないだろうか。これらが裏付けるように、空調機は我々の生活に必要なものとなっており、その消費エネルギーも膨大なものとなってきている。

建物・施設等の空調は、建築基準法において室内温度と湿度の要件が一定範囲に規定されている。図1にヒートポンプとデシカント装置による空調の温度と湿度を示す。ヒート

ポンプのみで空調を行う場合、要求湿度が得られる温度まで処理空気を冷却した後、熱源で再加熱する(図1-①)という非効率な操作とならざるを得ない。再加熱にかかるエネルギーを節約するため、飽和に近い高湿度の冷却空気をそのまま供給する対応をとっている場合もある。

これに対し、デシカント装置とヒートポンプを組み合わせ、温度と湿度を2段階に分けて調整する潜熱・顕熱分離空調というコンセプトが提案されている。この方式は、空気の湿分を直接除去するため(図1-②)、消費エネルギー削減に有効であるが、広く普及させるためには課題がある。

デシカント装置は、固体式と液式に大別されるが、前者は、吸着剤の再生温度が高いためにヒートポンプ排熱の利用が難しく、別途熱源が必要となりコストがかかる。後者は、再生温度が40～50℃程度と比較的低温であり、ヒートポンプ排熱を利用すれば他の熱源は不要であるが、湿分吸収液の循環動力が多い等の課題があり十分な省エネルギー効果が得られていない。

当研究所では、環境省公募の二酸化炭素(CO₂)排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業において「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」を早稲田大学、川崎重工業(株)、ダイナエア(株)と共同で平成28年度より受託し、本年3月まで実施した。提案した空調システムの特長は次のとおりである。

- ① 液式デシカントの熱交換器に新しく「三流体熱交換器」を開発し、高効率な熱・湿分

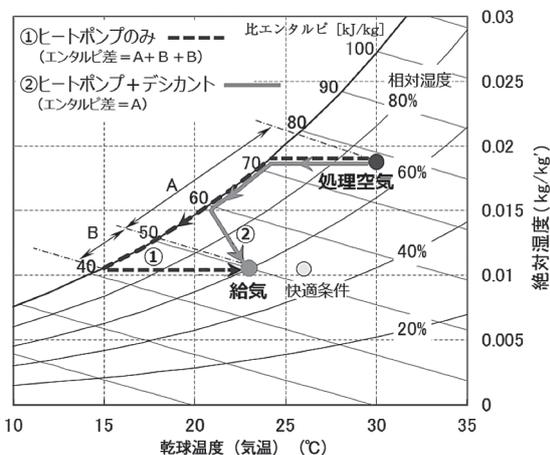


図1 ヒートポンプとデシカントによる空調

移動を実現して湿分吸収液の循環動力を大幅に削減する

- ② ヒートポンプから出力される温熱のみでデシカント吸収液を再生する
- ③ ヒートポンプの運転条件を変更し(7℃/35℃ → 15℃/35℃)で成績係数(COP)を向上させる。(水冷媒ヒートポンプは、15℃/35℃の条件で一般的なフロン冷媒ヒートポンプより高効率)

上記事業では、①～③の内容を取り入れた実証機を製作して性能を測定した。本稿ではその事業成果について、最終年度に実施した実証試験の結果等を中心に報告する。

2. 実証試験の概要

本実証事業では、共同実施者であるダイナエアー(株)が開発した液式デシカント装置と、同じく川崎重工業(株)が開発した水冷媒ヒートポンプ(水ターボ冷凍機)を組み合わせた空調システムとして実証試験装置を設計・製作し、中部電力(株)の協力のもと、同社の技術研究所内で性能確認試験を実施した。地下駅や地下街等の閉鎖空間への設置を想定し、真夏の酷暑日から春・秋の軽負荷期に至るまで、複数の処理空気条件を選定した。年間でのCO₂排出量が従来システム比40%以上削減可能な業務用空調システムの開発を目標とした。

(1) 実証試験装置

① デシカント装置

図2に液式デシカントの機器構成を示す。冷却された湿分吸収液で処理空気を冷却除湿する処理機、加温された吸収液から湿分を除去・再生する再生機、吸収液の予冷器・加熱器で構成される。

従来は、吸収液の冷却と空气中湿分の除湿を二段階に分けて行っていた。今回開発した三流体熱交換器では予冷器と処理機が一体化され、空気、湿分吸収液、冷却水の三つの流体が1つの熱交換器を通過して、湿分移動と熱交換が同

時に行われる。湿分移動が効率的に行われるため、吸収液の流量を数分の1に減らすことができ、吸収液の循環動力が大きく削減される。また、機器がコンパクトになり、低コスト化にも寄与する。

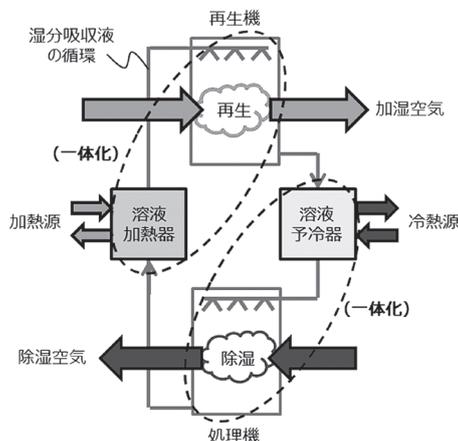


図2 液式デシカントの機器構成

平成29年度に小規模な三流体熱交換器の試験を行って溶液の流量と湿分吸収性能の関係のデータを取得し、それに基づいて実用規模である処理空気量3,000m³/hの実証試験機を設計・製作した。図3に試験中の再生機(処理機の外観も同じ)を示す。筐体の中に三流体熱交換器が設置されている。

② ヒートポンプ(ターボ冷凍機)

ヒートポンプには本用途の高効率化に適した水冷媒式を採用した。従来のフロン冷媒の冷凍機等と比べ、地下駅等の閉鎖空間向けの空調として、仮に冷媒の漏洩があっても安全な利点がある。



図3 液式デシカント装置(再生機)

図4に水冷媒ターボ冷凍機の外観を示す。当該ターボ冷凍機の標準仕様は、冷水供給温度7℃であるが、今回の提案システムでは高効率運転を実現するよう冷水供給温度を15℃としたため、制御プログラム変更等の対応を行っている。

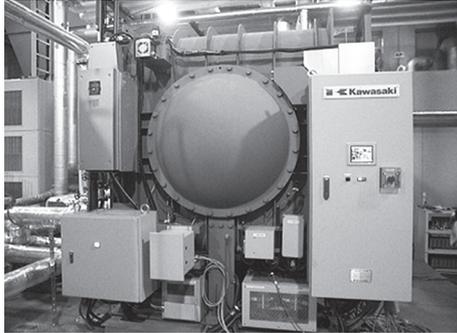


図4 水冷媒ターボ冷凍機

③ 全体システム

デシカント装置とターボ冷凍機を配管系で組み合わせ、実証用の空調システムとして構築した全体システムを図5に示す。図中、左半分が冷水の配管系統、右半分が冷却水（温水）の配管系統であり、ターボ冷凍機から供給されるそれぞれの水を、デシカント装置に三方流量調節弁（MV1～MV5）でコントロールする仕組みである。

ターボ冷凍機は、供給冷水温度を冷凍機出口で15℃に自動制御する仕組みとなっているが、冷却水（温水）の温度には自動制御機能が無いことから、今回の試験条件へ適合させるべく、試験場設備を活用して冷凍機出口冷却水温度（PT1）を35℃に保つこととした。

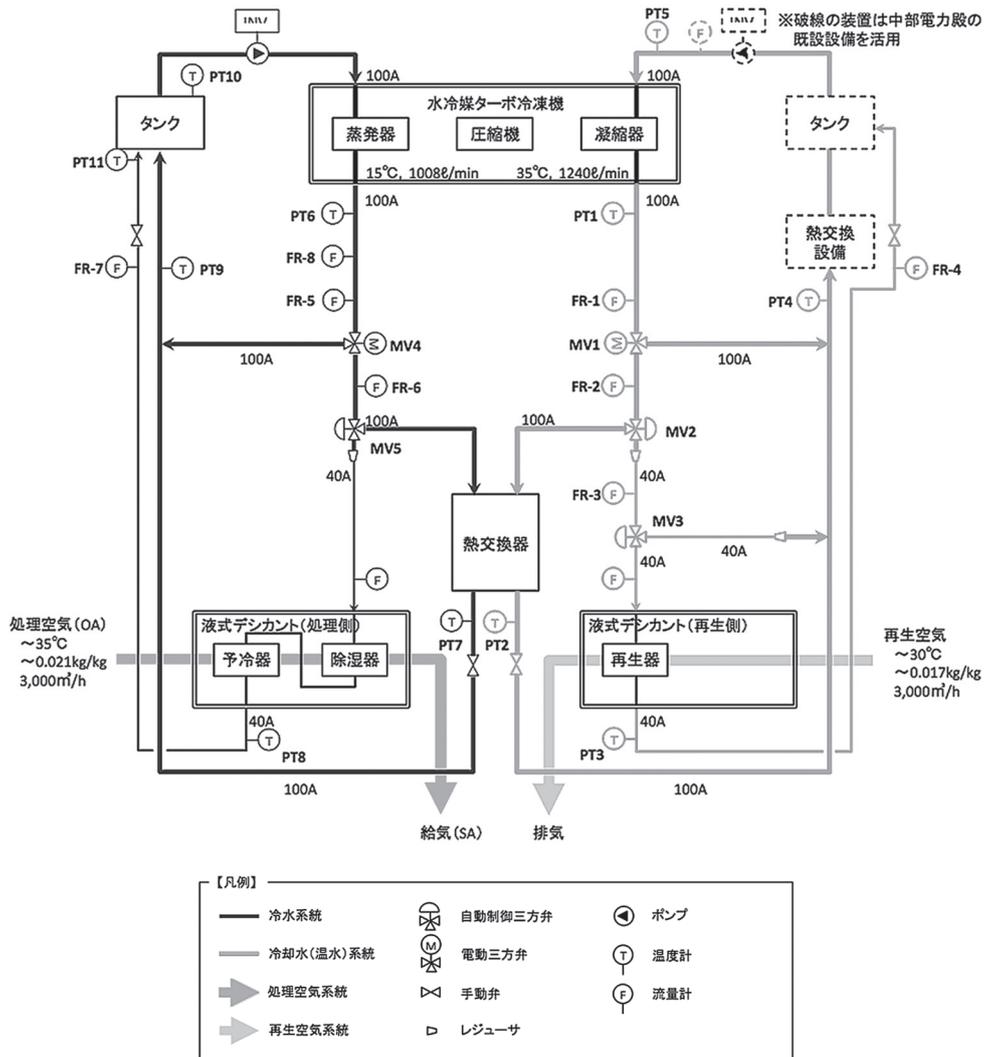


図5 実証試験装置の全体システム

一方、流量制御については、冷水ポンプおよび冷却水ポンプにてターボ冷凍機の最低給水流量以上を一定量で確保しつつ、デシカント装置が要求する水量をそれぞれの流量調節弁(冷水: MV5, 冷却水: MV3)が制御信号で受信・動作することで調整し、残りの水は図5中央に位置する熱交換器にて模擬的に消費させた。これは、今回製作したデシカント装置の定格サイズに対し、ターボ冷凍機の定格が10倍程度あることによる措置である。当該熱交換器は言わば模擬のデシカントとなる。模擬のデシカントである以上は、デシカント実機と同じ冷水の熱バランスを再現する必要があるため、それぞれの装置出口温度(PT7, PT8)を等しくする必要がある。そこで、PT7, PT8からの温度情報を元に冷却水流量調節弁(MV2)の開度を調整することで、デシカント出口冷水温度に熱交換器出口冷水温度を合わせ込む仕組みとした。

冷水、冷却水系統にはそれぞれ開放系のクッションタンクを設置した。これは配管径の異なる水配管同士の合流による戻り圧力干渉を無くすことで、スムーズな流量制御を実現す

るためのものである。

(2) 試験条件

処理空気条件を選定するため、気象庁公表データより、東京地区における春期、夏期、秋季の温湿度実績を湿り空気線図上にプロットしたものが図6である。このデータを元に、今回の実証試験で定格条件とする処理空気の温湿度(代表値)を、夏期において最も温湿度が厳しいと思われる 34°C , 20.3g/kg (DA)とした。実証試験では、夏期における温湿度実績のほぼ全域をカバーすべく、定格条件のほか計10点の試験条件を選定した。処理空気量の目標は $27,000\text{ m}^3/\text{h}$ とした。

目標給気条件は 22°C , 10.6g/kg (DA)、再生空気条件はリターンエアーを想定し、処理空気と給気の間温度である 28°C , 絶対湿度は 12.1g/kg (DA)で一定とした。

なお、国内某地下駅における実際の温湿度の経時変化について計測を実施し、このデータを元に負荷追従性試験の条件も選定した。

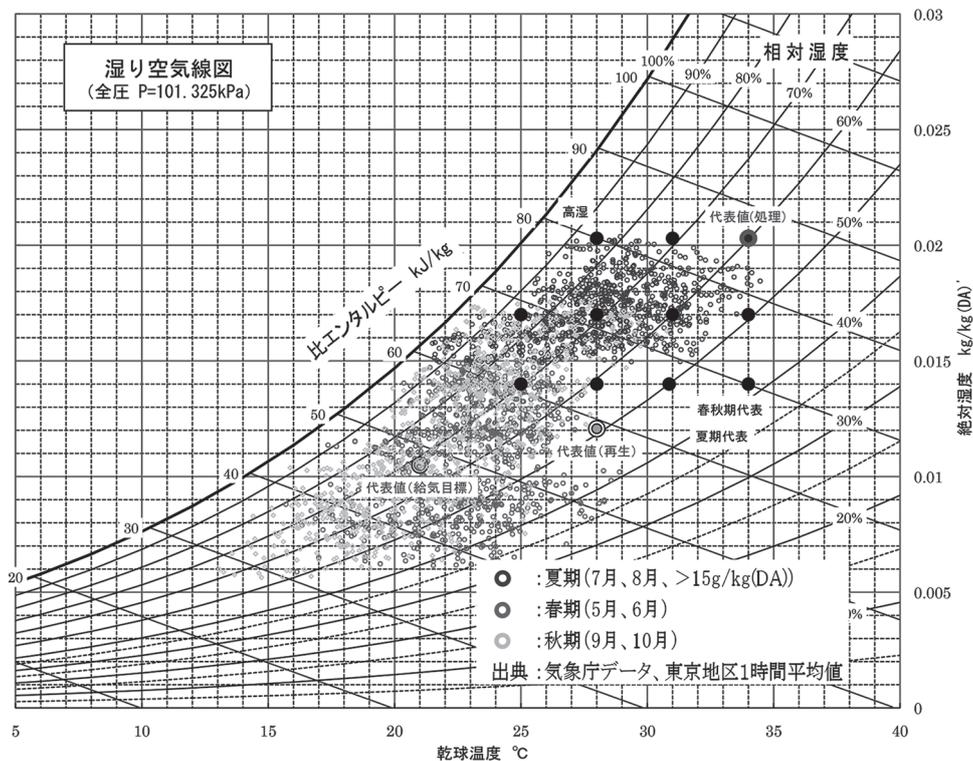


図6 東京地区の温湿度実績と実証試験条件

(3) 試験内容

今回の実証試験では、デシカント装置およびターボ冷凍機を組み合わせた空調システムの静特性、動特性についてそれぞれ把握すべく、以下の通り大きく分けて3つの性能試験を実施した。また、湿分吸収液（塩化リチウム水溶液）が外部へ飛散しないことを確認するキャリーオーバー計測試験についても実施した。

① 定常性能試験（冷凍機負荷一定運転）

ターボ冷凍機は定格負荷付近で一定運転を行い、目標給気条件（22℃，10.6g/kg(DA)）を満たすようデシカント装置を運転した。その際、デシカント処理機が必要とする量以外の冷水は、全て模擬負荷熱交換器へ供給した。この方法で、前述の計11条件について試験運転を実施した。

この試験においては、処理空気の温湿度が低い条件下では、デシカント処理機と模擬負荷熱交換器との冷水供給量比が増大するため、言わばデシカントの処理規模を一定としない基本的な性能確認といえる。

② 定常性能試験（冷凍機部分負荷運転）

今回試験したデシカント装置の定格処理空気流量は3,000 m³/hであるが、本実証事業で目標とした処理空気流量は27,000 m³/hであるため、模擬負荷熱交換器に供給すべき冷水流量は、デシカント装置の8倍となる。そこで、冷水流量比がデシカント：模擬負荷＝1：8となるよう冷水流量を調整し、図7に示すように試験運転を実施した。結果として、処理空気の温湿度が低い条件下では、システム全体に必要な冷水流量が低下することから、冷凍機は部分負荷運転を実施することになる。ただし、冷凍機には設計最低給水流量があり、これを確保できない場合は冷凍機がインターロックにより自動停止することから、この最低流量を確保するため、デシカントおよび模擬負荷熱交換器に必要な量以外の冷水は、上流でバイパス（MV4を使用）させる対応を取った。

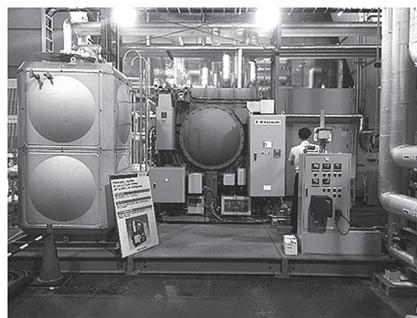


図7 実証試験の様子

③ 負荷追従性試験

地下駅計測データを元に、デシカント処理空気の24時間の時刻変化を、3倍速の8時間で再現して運転を行った。再生空気条件についても地下駅計測データを元に再現しようとしたが、温度・湿度共にあまり変化が見られなかったことから、定常性能試験と同条件（28℃，12.1g/kg (DA)）で実施した。

なお、地下駅における処理空気（OA）の時刻変化実績にも大きな変化が無かったことから、これより過酷な条件での試験を実施すべく、気象庁公表データから酷暑日で湿度変化が大きい日の24時間実績を処理空気条件として選定し、これを3倍速の8時間で再現して負荷追従性の確認を行った。

3. 実証試験の結果および評価

(1) 定常性能試験

定常性能試験の結果について、冷凍機負荷一定運転試験の結果を表1に、冷凍機部分負荷運転試験の結果を表2に示す。全ての試験条件において、目標給気温度22℃，絶対湿度10.6g/kg(DA)以下で給気できており、総合COP ≥ 6を達成した。部分負荷試験では冷凍機負荷率が

表1 冷凍機負荷一定運転試験の結果

		処理 風量 m ³ /h	給気 温湿度		処理 熱量 kWh	冷凍機 負荷率 %	冷凍機 電力 kWe	デシカント 電力 kWe	総合 COP
			°C	g/kg					
1	34°C-60%	29,917	20.6	9.3	389	102.0	51.7	5.79	6.78
2	34°C-51%	38,406	21.3	10.0	377	104.2	49.6	6.24	6.75
3	34°C-42%	56,362	21.3	9.9	422	101.0	54.8	6.09	6.64
4	31°C-71%	32,211	21.2	9.8	374	104.3	49.9	5.20	6.79
5	31°C-60%	41,831	21.3	10.0	368	100.4	48.4	5.26	6.86
6	31°C-50%	57,516	21.4	9.9	381	98.6	49.6	6.17	6.84
7	28°C-85%	36,779	21.4	10.1	384	103.1	50.9	6.06	6.75
8	28°C-71%	43,600	21.5	9.9	341	99.1	44.4	6.87	6.65
9	28°C-59%	69,926	21.7	10.1	371	96.9	48.2	7.42	6.67
10	25°C-85%	45,242	21.5	9.8	319	98.9	41.3	7.05	6.59
11	25°C-73%	69,931	21.9	10.2	326	95.5	42.7	7.75	6.47

表2 冷凍機部分負荷運転試験の結果

		処理 風量 m ³ /h	給気 温湿度		処理 熱量 kWh	冷凍機 負荷率 %	冷凍機 電力 kWe	デシカント 電力 kWe	総合 COP
			°C	g/kg					
12	34°C-80%	31,876	21.3	10.0	391	101.5	50.7	5.56	6.95
13	34°C-51%	30,560	21.1	10.0	304	92.5	40.8	3.67	6.83
14	31°C-71%	29,918	21.2	9.9	344	96.7	44.9	5.09	6.87
15	31°C-60%	31,205	21.5	10.1	273	90.2	36.1	4.96	6.64
16	31°C-50%	31,813	21.5	10.0	207	83.4	28.2	3.40	6.55
17	28°C-85%	30,324	21.3	10.0	320	92.9	42.6	5.01	6.72
18	28°C-71%	30,060	21.5	10.0	235	88.0	31.4	4.73	6.51
19	28°C-59%	30,550	21.6	9.9	168	78.1	24.4	3.24	6.09
20	25°C-85%	28,476	21.6	10.0	196	84.9	26.5	4.42	6.34

80%以下となる運転条件もあるが、この場合においても高いCOPが維持できており、当該システムの部分負荷効率の高さを物語る。

(2) 負荷追従性試験

負荷追従性試験の結果を図8および図9に示す。図8は地下駅の計測実績に基づく試験、

図9はより過酷な条件として選定した気象庁公表データに基づく試験である。図はそれぞれ、処理空気の出入口温湿度(OA, SA)、およびデシカント除湿器入口(=予冷器出口)における温湿度の経時変化実績を示す。いずれも装置起動後、状態が安定した10:00以降全ての時刻において、給気温度は21~22°C程度

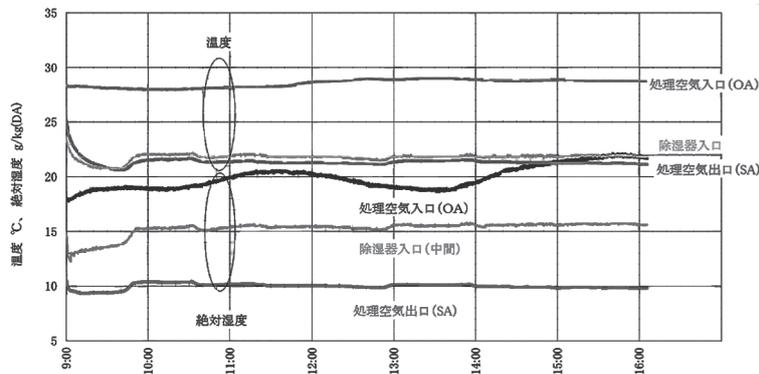


図8 負荷追従性試験の結果(地下鉄駅計測実測ベース)

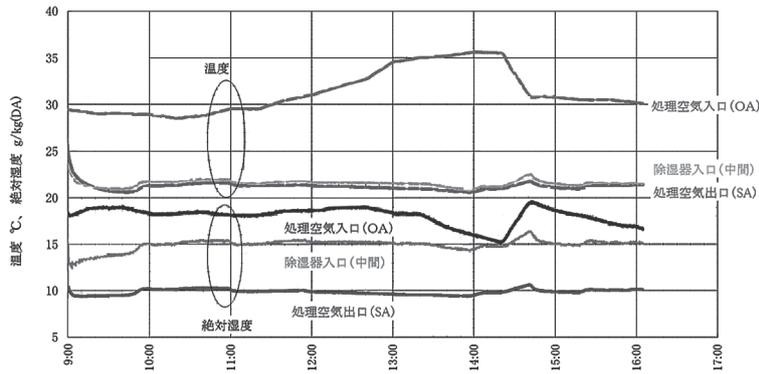


図9 負荷追従性試験の結果（気象庁公表ベース）

で、絶対湿度は約10g/kg（DA）程度で一定しており、目標給気条件で運転制御できていることが分かる。

(3) キャリーオーバー試験

今回開発したデシカント装置から、塩化リチウム水溶液が外部へ飛散しないことを確認するため、キャリーオーバー計測試験を実施した。サンプルの捕集・分析は実証試験期間中に2回実施した。

試料採取方法は、図10に示す機器をデシカント再生機の空気入口及び出口にセットし、洗気瓶に吸収液を入れ、約1.8ℓ/minの吸引速度で約0.85m³の試料ガスを採取した。

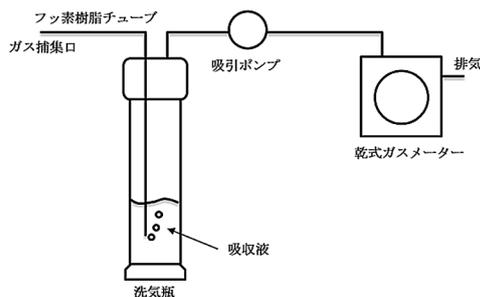


図10 キャリーオーバー計測の概要

デシカント再生機でサンプリングを行った理由は、処理機と再生機は同一の設計である点、処理機は給気が試験設備のチャンバー内に直接吹き込まれており採取が困難な点、再生機の方が塩化リチウムの温度が高くより飛散しやすい点を考慮したためである。

分析方法は、塩化物イオンはイオンクロマトグラフ法、リチウムはICP-MS法で行い、吸収液は分析処理の際100mℓに定容した。

試料ガスの採取・分析結果は表3の通りであり、実施した2回共に塩化リチウムの飛散は無いとの結論に至った。なお、1回目の結果で入口の塩化物イオンが僅かに検出されているが、これは大気中に存在する海塩や廃棄物焼却炉等に由来する塩化物イオンであり、デシカントの塩化リチウムに由来するものではないと推定された。

(4) 実証試験結果の総括

代表条件（外気：34℃，絶対湿度20.3g/kg，給気：22℃，絶対湿度10.6g/kg，換排気：28℃，絶対湿度12.1g/kg，冷水15℃，温水35℃）における試験結果を総括すると、表4の

表3 キャリーオーバー計測試験の結果

		1回目	2回目	
デシカント 運転条件	処理機OA	34℃,60%(20.3g/kg) ※夏期代表条件		
	処理風量(負荷率)	3,000 m ³ /h	3,763 m ³ /h(約125%)	
試料ガス採取量 (m ³)	入口	0.83	0.86	
	出口	0.88	0.86	
試料ガス分析結果 (mg/ℓ)	入口	塩化物イオン	0.05	0.05未満
		リチウム	0.001未満	0.001未満
	出口	塩化物イオン	0.05未満	0.05未満
		リチウム	0.001未満	0.001未満

表 4 代表条件における実証試験データの解析結果

		従来機	実証機	
			実測値	換算値
処理熱量 kW 【処理空気量 m ³ /h】		381(477) 【27,000】	389 【29,917】	360 【27,000】
電力消費 kW	冷凍機	96.0	51.7	46.7
	デシカント機	0	5.8	5.2
	再熱機	0 (62.0)	0	0
	計	96(158)	57.5	51.9
総合COP		4.0(3.0)	6.3	6.9
エネルギー消費量の比		1	-	0.54(0.33)
CO ₂	排出量 トン/年	112(184)	-	60
	削減量 トン/年	-	-	52(124)
	削減率	-	-	46%(67%)

(注) 表中()で示した数値は再熱を考慮した場合のもの。
 CO₂排出量 = 消費電力 × 2,250h/年 × CO₂排出原単位(0.518kg/kWh) ÷ 1,000

通りとなる。結果、比較的小規模な地下駅等で採用されている150冷凍トン(USRT)級の従来型冷凍機に比べ、実証機のCO₂削減量は52トン/年となり、目標のCO₂削減率40%を達成した。

実証機と従来機の冷凍機熱負荷率に対する成績係数(COP)の比較を図11に示す。実証機については冷凍機単体とシステム総合の性能を示すが、単体ではCOP ≥ 7、総合でもCOP ≥ 6といった高性能を得た。

負荷追従性試験の結果からは、処理空気条件の急激な変化に対する応答性の高さも実証された。

更には、キャリーオーバー計測試験の結果から、湿分吸収液の飛散も無い安全なシステムであることが確認された。

4. おわりに

実証試験の成果として、当該空調システムの高い省エネ性と安全性が確認できたが、市場投入へ向けた課題がゼロという訳ではない。冷凍機に関しては、水という自然冷媒であるが故に、冬季の氷点下以下の環境下では凍結の可能性があり、暖房運転には工夫を要する点や、同規模の冷凍機と比べ、機器サイズ、

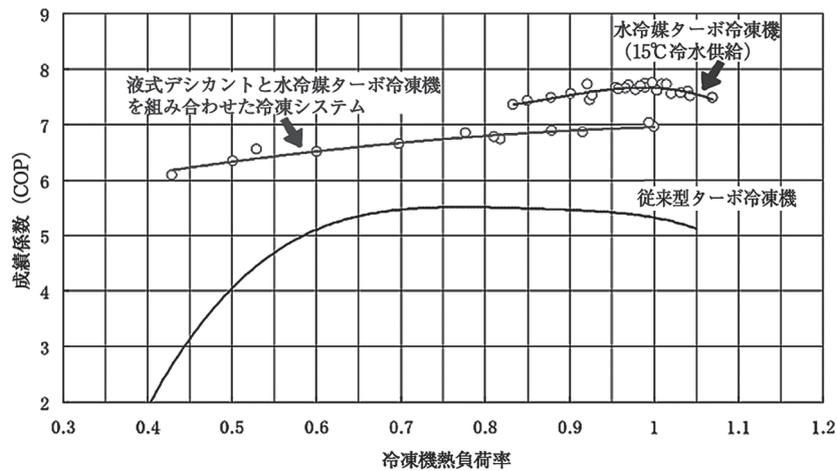


図 11 実証機と従来機の冷凍機熱負荷率に対する成績係数の比較

(従来型ターボ冷凍機については、国土交通省官庁管轄部による「公共建築物におけるライフサイクルエネルギーマネジメント(LCEM)委員会(委員長:村上周三 慶応義塾大学教授)における“遠心冷凍機(高効率インバータ)RC-XX1-310I、200RT”を使用し、冷水流量を変動させた定格温度性能(冷水往流温度7℃、還流温度12℃、冷却水32~37℃)での部分負荷運転時の成績係数を示す。)

重量が大きく、イニシャルコストがやや高いといった課題がある。デシカント装置に関しては、同じ処理風量のエアハンドリングユニットと比較すると、再生機のみシステム全体の装置サイズが大きくなり、こちらも導入イニシャルコストがやや高いといった課題がある。

これらの課題解決に向けた更なる取り組みにより、当該空調システムの普及拡大、引いては限りあるエネルギー資源の効率化へと繋がることに期待したい。

[謝辞]

本稿は、早稲田大学、川崎重工業(株)、ダイナエア(株)と共同で実施した環境省公募のCO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「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」において、当所が行った実証試験の評価・検証の一部について取りまとめたものであります。このような実証の機会を得たことに対し、関係各位に感謝いたします。

参考文献

- (1) 平成30年度CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（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）委託業務成果報告書

[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～

石原 正浩 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)



1. はじめに

わが国において大きな普及が期待される再生可能エネルギー（再エネ）電源は住宅用の太陽光発電（PV）であるが、これらは配電系統に接続され、電圧変動や安定性低下などの問題を引き起こす可能性が指摘されている。わが国では、2030年に6,400万kWというPV導入目標が設定されており、配電系統での問題に対して、当面は既存設備の活用などにより対処していくことになる。しかし、次世代となる2030年以降もさらなるPV導入拡大が進むとなると、従来の技術開発の延長上ではない新しい配電制御方法を議論する必要がある。

そこで著者らは平成26年度から28年度にかけて、現在の状況にとらわれない配電網のあるべき姿を明らかにすることを目的としたフィージビリティスタディを行い、次々世代（2050年頃までを視野）の配電制御システムの将来像を提示した⁽¹⁾。しかしながら近年、わが国のPV導入がさらに急激に増加している状況下⁽²⁾⁽³⁾では、将来の再エネ導入拡大に対して次のような検討課題が懸念されている。

- 特別高圧側に与える影響等、多面的な観点からの検討
- 次々世代に期待される配電技術開発動向に関する調査・検討

そのため本検討では、配電系統からの再エネによる逆潮流が特別高圧側に与える影響など、多面的な観点からの検討も考慮したうえで、再エネの更なる導入が進む次々世代における配電系統のあるべき姿を明らかにするこ

とを目的としたフィージビリティスタディを行い、配電制御システムの将来像を提示する。さらに中期的な検討のみでなく、長期的な視野に立った配電技術開発が重要になってくることから、長期的な視野に立った国内外の配電技術動向などを整理し、次々世代に期待される将来の電力供給のあり方に関する内容についても併せて検討を行う。前者については2章で、後者については3章で紹介する。

2. 蓄エネ技術の発展により逆潮流量が増加した場合の配電系統構成

特別高圧側に与える影響等、多面的な観点からの検討にあたり、将来は省エネルギー技術や蓄エネルギー技術の発展も著しい。そこで本章では特に、配電系統に設置する蓄電設備により逆潮流量が増加することを想定し、検討を実施する。具体的には、導入可能なPV限界量（ホスティングキャパシティ）の向上に貢献する蓄電設備や上位系統への逆潮流によるバンク容量オーバを防ぐ蓄電設備について電気的特性分析および経済性評価を通して検討する。

(1) 電気的特性分析のシミュレーション解析条件

[ホスティングキャパシティの算出基準]

本検討では提案する対策モデルの有効性について、常時の配電制御・運用における電圧変動の観点から、ホスティングキャパシティを用いて評価する。本検討においては各対策モデルに対して、PV導入量を増加させて、表1に示す

算出基準をすべて満たす最大の PV 導入量をホスティングキャパシティと定義する。

表 1 算出基準

制約条件	内 容
電圧制約	全低圧負荷の電圧が適正範囲から逸脱しない
電流制約	線路電流が配電線許容値から逸脱しない
電圧安定性	PV 出力が PV カーブのノーズ端を超えない
バンク制約	バンク潮流が配電用変圧器容量を超過しない

[PV 配置]

PV 導入量が増加することで、配電系統では電圧や熱容量に関する問題が生じることが考えられる。特に需要家側から配電用変電所に向かう逆潮流が発生すると、需要家端電圧の上昇・低下が発生し、適正範囲を逸脱することが懸念されている。そこで配電系統の末端に集中して設置され、電圧問題に対して過酷な条件となる PV 集中配置において検討を実施する。

[PV 出力想定]

PV 出力データは新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の METPV⁽⁴⁾ から得られる日射強度を用いてモデル化した。12 時および 13 時に PV 出力が最も大きく、18 時から翌朝 6 時まで PV 出力が 0 である。力率 1 運転を想定し、無効電力は常に 0 var であるとする。

[負荷想定]

負荷ノードの有効電力 (= 負荷ノードの容量 × 各時間の負荷率) の時系列データを図 1 に示す。負荷データは電協研 (66 巻 1 号) の電流測定結果⁽⁵⁾ を基に作成した。簡単化のため

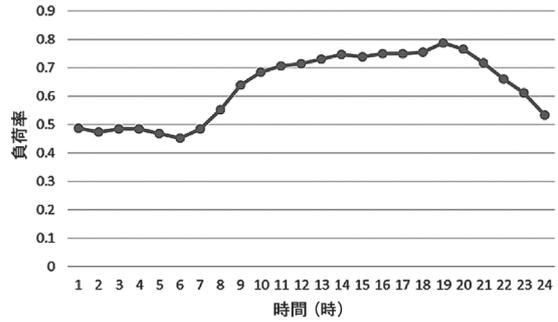


図 1 負荷ノードの有効電力の時系列データ

め無効電力は 0 var とする。

[蓄電設備 (蓄電池) の配置]

蓄電池の配置について本検討では、各配電線の PV 連系端に設置するケース (PV 連系端) と、配電用変電所に設置するケース (変電所端) に対して、設置場所の違いによる特性の違いを検討する。蓄電池が導入された配電系統モデルを図 2 に示す。

[蓄電池充電パターン]

図 3 に PV の出力状態と蓄電池の充電条件の関係を示す。

図 3 (a) に示すとおり、 x [%] は蓄電池が充電する条件を示すしきい値であり、 x [%] を超える PV 出力を蓄電池に充電する。PV 出力が x [%] を下回る場合については、蓄電池は充電も放電も行わない。蓄電池を充電するしきい値を図 3 (a) に示す値に設定した場合、PV から系統に出力される有効電力は図 3 (b) のように示される。また本検討では充電された電力量を蓄電池の必要容量と定義し、PV 導入可能量と共に評価した。

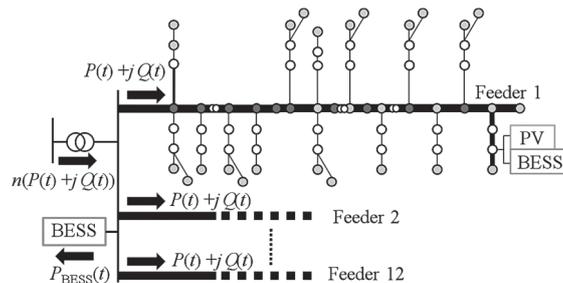
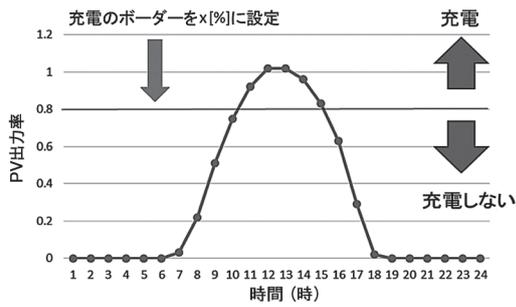
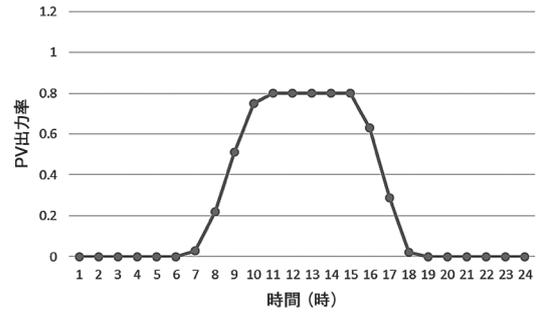


図 2 解析モデル (蓄電池の設置箇所)⁽⁶⁾



(a) しきい値と充電パターン



(b) 充電後のPV波形

図3 充電時のPV波形(しきい値) (7)

[年間の天候]

PV出力として図4に示した天候ごと(快晴, 晴天, 曇天および雨天)のモデルを使用した。なお, 1年間における各天候の日数を快晴52.7日, 晴天190.8日, 曇天61.6日, 雨天60.6日と想定した。

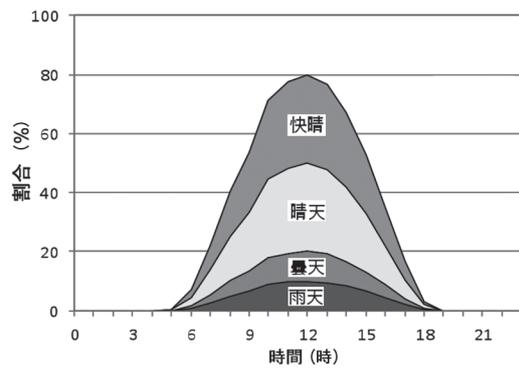


図4 各天候ごとのPV出力波形 (7)

[解析モデル]

解析モデルについて, 参考文献(8)の農山村配電線モデルを参考に, 図5に示すとおり

対策モデル「従来系統」を作成する。この対策モデルに基づき, PV大量導入の対策として様々な系統構成を作成する。公称電圧6.6kVの架空系統で, 幹線亘長は17.6kmである。図中の配電線太さは線種を表す。高圧負荷を幹線沿いに10カ所, 低圧負荷を幹線沿いと分岐線の末端に28カ所, 配置する。

(2) 電気的特性の解析結果

解析は, しきい値60%時の各解析モデルにおける年間の必要な蓄電池容量を算出する。表2は, PV連系端に蓄電池を導入した場合のホスティングキャパシティと蓄電池容量(MW)および年間充電電力量の計算結果をまとめている。なお, この電気的特性分析で得られた結果は, 次項(3)経済性評価で使用する。変電所端の解析結果は表3に示す。

表2, 表3より, 条件によってはPV連系端の方が変電所端と比較し, 総蓄電池容量が少ない場合が見受けられる。但し, 条件によっては

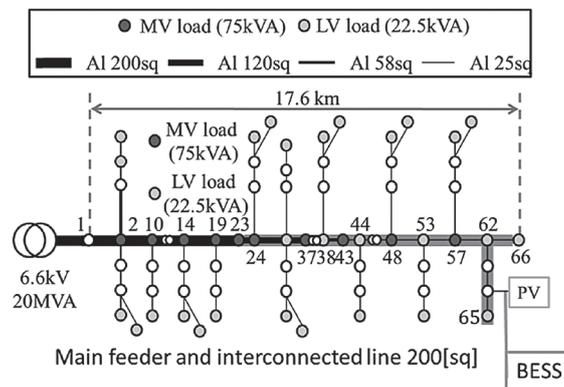


図5 解析モデル「従来系統」(7)

表2 算出結果 (PV 連系端) (6)

線路 [sq]	Var 調整器 [kvar]	SS バンク 容量 [MVA]	ホスティング キャパシタ (1 フィーダ) [MW]	ホスティング キャパシタ (12 フィーダ) [MW]	蓄電池 出力 [MW]	違反要因
200		20	1.8	21.6	4.6656	電圧
200	300	20	4.1	49.2	10.627	バンク容量
200	600	20	3.7	44.4	9.5904	バンク容量
400		20	4.3	51.6	11.146	バンク容量
200		30	1.8	21.6	4.6656	電圧
200	300	30	5.4	64.8	13.997	バンク容量
200	600	30	5.1	61.2	13.219	バンク容量
400		30	5.5	66	14.256	バンク容量

表3 算出結果 (変電所端) (6)

線路 [sq]	Var 調整器 [kvar]	SS バンク 容量 [MVA]	ホスティング キャパシタ (1 フィーダ) [MW]	ホスティング キャパシタ (12 フィーダ) [MW]	蓄電池 出力 [MW]	蓄電池 容量 (1 日) [MWh]	違反要因
200		20	1.2	14.4	-	-	電圧
200		20	3.4	40.8	3.3442	6.4917	バンク容量
200	300	20	3.5	42.0	12.966	37.509	バンク容量
400	600	20	4.5	54.0	26.681	87.351	バンク容量
200		30	1.2	14.4	-	-	電圧
200		30	3.4	40.8	-	-	バンク容量
200	300	30	4.6	55.2	18.667	51.667	バンク容量
400	600	30	5.0	60.0	16.809	48.846	バンク容量

同程度の場合もある。このとおり PV 配置については、一概に PV 連系端が良いという訳では無く、当該配電系統の状況や将来的な状況を加味した上で判断する必要がある。

(3) 経済性評価

① 経済性評価手法について

前項で算出した電気的特性分析の結果に基づき、各対策モデルの経済性を比較・検討する。経済性の評価は、対策モデル毎の年経費 (= 資材費 + 工費 + 修繕費 + 配電損失費) により行う。

[設備建設時の費用 (資材費, 工費) 算出]

資材費および工費については、支持物や電線、開閉器などの積算項目に対して、文献(9)~(13)を参考に、設備単位で資材費と工費を積算する。また Var 調整器としては、自励式無効電力補償装置 (STATCOM) を想定し、年経費率は設備

耐用年数を 18 年⁽¹³⁾、利率を 4%⁽¹³⁾ と仮定し、0.079 と設定する。同様に STATCOM 以外の配電設備に関しては、設備耐用年数を 30 年、利率を 4% と仮定し、0.058 と設定する。

[運用時の費用 (修繕費, 配電損失費) 算出]

修繕費と配電損失費については、従来システムモデルとの差分を対策に伴う費用として積算する。修繕費に関しては、初年度修繕費率を 1.45%、耐用年数終了時は初年度の 3 倍⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ になると想定し、設備耐用年数の期間中に発生する全修繕費を現在価値換算した後、利率 4% を用いて年間当たりの費用を算出する。配電損失費は年間損失量に、10 円 / kWh を掛けて算出する。

[評価対象ケースの抽出]

本節では、バンク容量オーバを防止する有効

電力制御として、蓄電池と出力制御を想定し、両対策の経済性を比較・検討する。4章(2)に示した対策モデルの内、線路の太線化とVar調整器のみで対策する4ケース、および400sqに太線化した上で、バンク容量オーバー対策として、配電用変圧器を増容量するケースとPV端に蓄電池を設置するケースの2ケース、これに出力制御ケースを加えた合計7ケースを経済性評価の対象ケースとする。配電線12フィーダを対象としているため、12フィーダ分の費用を考慮し積算する。

② PV 集中配置における経済性評価

本検討では、将来の不確実性を考慮し、蓄電池価格は想定しないことを基本方針としている。しかしながら、現状における費用の規模感を把握しておくことは今後の検討に有用であるため、ここでは、蓄電池の価格を50,000円/kWh、設備耐用年数を15年⁽¹⁵⁾、回避可能原価を10円/kWhとして、蓄電池ケースの費用を積算した。

各ケースにおけるホスティングキャパシティと年経費の関係をグラフ化したものを図6に示す。なお図6の横軸は、バンク単位の負荷(1380kW/フィーダ×12フィーダ=16,560kW)に対するPV導入量の比率で示している。400sqケースのホスティングキャパシティは、

バンク容量オーバーがネックとなっているため、バンク容量オーバー対策を実施することで、ホスティングキャパシティを更に増加させることができる(破線丸の中の対策)。本図の結果においても、出力制御ケースと比較し、PV端蓄電池ケースは高価な傾向にあることが分かる。

③ 蓄電池のブレイクイーブンコスト算出

蓄電池価格については、今後の技術開発動向により振れ幅があるため、本分析においては、蓄電池の価格を設定せず、この価格以下であれば出力制御よりも蓄電池を用いた方が、対策費用が安くなるというしきい値として算出する。すなわち、バンク容量オーバー対策として蓄電池を用いる際の目標価格を導出する。

出力制御ケースについては、(1)式に示すように、年間の出力制御量に回避可能原価を掛けたものを機会費用として算出する。

$$\begin{aligned} \text{出力制御ケースの費用 (円/年)} = \\ \text{年間の出力制御量 (kWh/年)} \times \text{回避可能原価 (円/kWh)} \dots (1) \end{aligned}$$

蓄電池ケースについては、(2)式に示すように、蓄電池の設備建設時の費用(年経費)と充放電に伴う損失費用の和として算出する。なお、充放電効率は0.85と想定する。

$$\begin{aligned} \text{蓄電池ケースの費用 (円/年)} = \\ \text{蓄電池容量 (kWh)} \times \text{蓄電池コスト (円/kWh)} \times \\ \text{年経費率} + \text{充放電ロス (kWh/年)} \times \text{回避可能原価 (円/kWh)} \dots (2) \end{aligned}$$

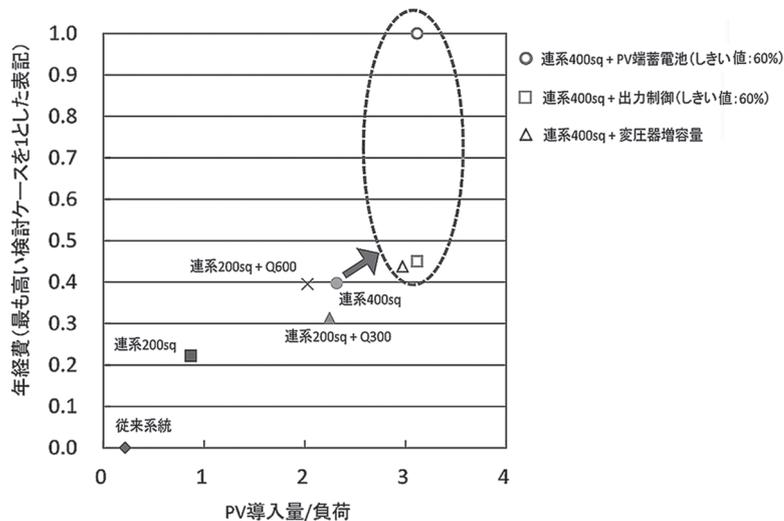


図6 PV導入量と年経費の関係⁽¹⁶⁾

出力制御ケースと蓄電池ケースの費用が等しいという条件の下、蓄電池のブレークイーブンコストを算出すると式(3)のようになる。

$$\text{蓄電池のブレークイーブンコスト (円/kWh)} = \text{回避可能原価年経費率} \times \text{年間の出力制御量} - \text{充放電ロス蓄電池容量 (3)}$$

図6のPV端蓄電池ケースと出力制御ケースの結果に基づき、蓄電池のブレークイーブンコストを算出すると、表4が得られる。表中の最小値は1,816円/kWh、最大値は9,131円/kWh、平均値は4,932円/kWhとなり、いずれにしても、前述した現状における蓄電池の想定価格と比較すると大幅に低い値となった。

④ 考察

前述のとおり、PV端蓄電池ケースと出力制御ケースで比較した場合、蓄電池のブレークイーブンコストの平均値は4,932円/kWhとなり、経済面だけでは出力制御ケースの方が優位であることが分かる。但し、設置した蓄電池は、バンク容量オーバー対策に使用している時間帯以外は、負荷平準化等別の用途にも使用できるため、実際の蓄電池の費用対効果は、これらの経済価値を全て足し合わせて評価する必要がある。従って、本検討では、積み上げる経済価値の一側面として、バンク容量オーバー対策における経済価値を算出したことになる。

(4) まとめ

本章ではホスティングキャパシティの向上

に貢献する蓄電設備や上位系統への逆潮流によるバンク容量オーバーを防ぐ蓄電設備について電気的特性分析および経済性評価を実施し、さらに、表4に示すように出力制御ケースのブレークイーブンコストまで算出を行った。

蓄電池の設置場所については、当該配電系統の状況や将来的な状況を加味した上で判断する必要があることが分かった。蓄電池価格は低価格であることが分かったものの、将来の技術革新やマルチユースを考慮すると可能性が全くない訳ではないと予想される。

なお、本検討では充電パターンのみを考慮しているため、詳細な検討では放電パターンも考慮する必要があることに注意が必要である。

3. 技術開発動向調査

1章で示したとおり、長期的な視野に立った配電技術開発が重要になってくることから、3章では「次々世代に期待される配電技術開発動向」に関する調査・検討を実施する。検討にあたっては、国内外の動向を調査し、最後に我々が想定する社会像において求められる配電技術開発動向を整理する。まず3章(1)では、将来の日本の配電系統に必要な技術として、分散型エネルギー資源管理システム(DERMS: Distributed Energy Resources Management Systems)と高度配電管理システム(ADMS: Advanced Distribution Management Systems)

表4 蓄電池のブレークイーブンコスト⁽¹⁶⁾

		回避可能原価 (円/kWh)										
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
設備の寿命(年)	10	1,816	2,180	2,543	2,906	3,270	3,633	3,996	4,359	4,723	5,086	5,449
	11	1,962	2,354	2,747	3,139	3,531	3,924	4,316	4,709	5,101	5,493	5,886
	12	2,102	2,522	2,943	3,363	3,783	4,204	4,624	5,044	5,465	5,885	6,305
	13	2,236	2,684	3,131	3,578	4,025	4,473	4,920	5,367	5,814	6,262	6,709
	14	2,366	2,839	3,312	3,785	4,258	4,731	5,204	5,677	6,151	6,624	7,097
	15	2,490	2,988	3,486	3,984	4,482	4,980	5,478	5,976	6,474	6,972	7,470
	16	2,610	3,131	3,653	4,175	4,697	5,219	5,741	6,263	6,785	7,307	7,829
	17	2,725	3,269	3,814	4,359	4,904	5,449	5,994	6,539	7,084	7,629	8,174
	18	2,835	3,402	3,969	4,536	5,103	5,670	6,237	6,804	7,371	7,938	8,505
	19	2,941	3,530	4,118	4,706	5,294	5,883	6,471	7,059	7,647	8,236	8,824
	20	3,044	3,652	4,261	4,870	5,478	6,087	6,696	7,305	7,913	8,522	9,131

に着目する。配電網に接続される個別の機器に関しては、3章(2)で述べる。

(1) 管理システム

将来の日本では、現状以上に大量のPVが導入されることが想定されている。加えて、デマンドレスポンス(DR)、蓄電池、電気自動車(EV)といった他の分散型エネルギー資源(DER)も導入が進むと考えられており、これらを活用する技術にも注目が集まっている。そうした状況下では、PVをはじめとするDERそのものを適切に管理・制御することが、配電網におけるDERの影響を軽減する上で重要になると考えられる。特にDERに特化して制御を行うシステム(DERMS: Distributed Energy Resources Management System)、DERも含めて配電網全体の高度な管理や制御を行うシステム(ADMS: Advanced Distribution Management System)に着目した。

① DERMS⁽¹⁷⁾

[本検討におけるDERMSの定義]

DERMSは欧米の配電分野の研究で注目を集めているが、統一的な定義はないと考えられている⁽¹⁸⁾。DERMSは、その言葉通りに解釈すれば、「DERを管理するためのシステム」であるが、より狭義にはソフトウェア(群)を指す。

本検討では、配電事業に対する貢献を主たる目的としたDERMSに特に注目する。DERの多くは配電網に接続され、その影響は単にDERの出力制御の問題にとどまらず、配電設備計画・配電網運用、顧客へのサービスなど、電力会社の核となる様々な過程に影響を及ぼす⁽¹⁸⁾。そのため、多くのDERMSは送配電網、特に配電網で役割を果たすことが期待され、様々な開発が進められてきている。

またDERMSの基本的な共通機能は「DERMSの管理・状態監視・モデル化」、「配電網における潮流計算」、「多数のDER、配電機器との協調制御」のとおり挙げられる。但し、導入目的や求められる制御によって、実際に必要となる

機能は異なることに注意が必要である。具体的な機能内容について、次のとおりである。

[スマートインバータの設定値管理・制御]

PVのスマートインバータ設定値の管理と制御は、PV導入が急速に進む国々では喫緊の課題となっている。スマートインバータには、監視・スケジューリング、周波数支援、有効電力支援、力率支援、電圧支援など、様々な機能を具備することが検討されている。このパラメータを時々刻々と変化する需要やDERの出力に対し適切に変更するためには、実際の配電網に対する実時間での潮流計算が有効と考えられる。

[配電網のPVホスティングキャパシティ増大への貢献]

PVホスティングキャパシティは配電線路の増強とともに、導入されているPVや蓄電池などのDERの制御方法によっても大きく変化する。また高圧側が線路増強された状態でPV導入量が増加してくると、電力システム内の電圧分布も複雑となり、無効電力の増大による電流制約や損失への影響もより顕在化する。さらに、蓄電池や蓄エネルギー性のあるDR資源は、出力だけでなく蓄エネルギー量も考慮した制御が必要となる。DERMSはこうした電圧・電流制約を考慮しながら適切な指令値・設定値をDERに送るとともに、ADMSとも協力しながら、DERによりPVホスティングキャパシティがどの程度増加可能か解析できる必要がある。

[EVのDERの管理・制御技術]

EV充電の集中が配電網に過度の電圧低下や電流制約逸脱をもたらす可能性も指摘されている。本検討は、配電網へのEVの悪影響を緩和し、有効に電力システムで活用するためには、EVに適したDERMSを構築していくことが有効と考える。EVをはじめ、自動車の運行情報・交通情報と配電・電力システム全体の情報を統合できれば、EVが配電網に様々な形で貢献する

可能性が広がる。その場合、EV用のDERMSは、配電側のニーズに合うようEVの充放電の場所や位置を誘導することが考えられる。

もう1つは、EVの充電器側に着目しDERMSを構築することである。充電器側に着目すると充電器そのものは配電網の固定された場所に存在している。そのため、配電網へのEVの影響やサービスを分析しやすいと考えられる。

EV用のDERMSが本格的に必要なのは、EVが電力システムの中で本格的に導入が進む2030年以降と考えられる。

[T-D-DERMS]

DERが持つ柔軟性（flexibility）への期待は配電網に対してだけではない。むしろ配電網以上に大規模送電システムレベル（Transmission System Operator（TSO）レベル）での活用が注目されている。大規模システムの需給バランス維持や周波数安定化のため、様々な時間単位での活用が企図されている。この場合、TSOレベルにおけるDERの活用により、配電網の電圧や電流制約に抵触することが危惧される。この現象を避けるには、DERをTSOレベルと配電システムレベル（Distribution System Operator（DSO）レベル）の双方で管理・運用することが必要となる。TSOレベルとDSOレベルの双方の電力調整に貢献するDERMSに特に注目し、本検討ではT-D-DERMSと呼称することとする。T-D-DERMSは、配電網のDERの全体をTSOレベルとDSOレベルでの双方の電力調整に貢献するための制御・管理システム全体を指すものとする。

② ADMS⁽¹⁹⁾

[ADMSとは]

米国や欧州では近年、再エネ大量導入も見据えた追加的な機能群を加えた、ADMSの開発が注力されている。ADMSは、文字通り配電管理システム（DMS）を高度化したものと考えられるが、「高度化」の明確な定義は見あたらない。ADMSと名づけられる場合には、

フィーダもしくは配電用変電所レベルで、何らかの最適化機能を伴う場合が多いようである。

ADMSは数千もの機能群からなる大規模なシステムである場合が多く、その導入には何年もの時間と大きな初期費用が必要となる。また、配電事業者ごとに既に構築された配電システムのソフトウェア群と、それに対応する計測や制御の機器群が存在している。そうした各事業者の状況とニーズに合わせて、ADMSは個別に整備されるべき部分も少なくない。合わせて、ADMSに求められる機能は年々変化もするし、最初から多機能なADMSを構築することは困難であるため、導入する機能を見極めることが大切となる。ADMSに求められる機能は多岐にわたるが、ここでは文献（20）を参考に、以下の「監視・可視化」、「運用・管理」、「最適化」、「運用計画・設備計画」の4つのカテゴリで概観する。

[監視・可視化機能]

配電線の状態監視と可視化は、あらゆる高度な機能の前提となる。地理情報システム（GIS：Geographic Information System）と監視・制御システム（SCADA：Supervisory Control and Data Acquisition）データのADMSへの必要な精度・時間/空間分解能での統合が必要となる。GISでは、既に様々な配電設備の情報が含まれているが、それとDERや気象関連の情報を連動させ、各配電用変電所レベルやフィーダレベルでの潮流予測などに使用可能な情報を整備することが必要となる。特に配電網は、各種の工事や需要家・DERの新設、廃止などにより時々刻々と変化するため、それらのリアルタイムな管理が必要と考えられる。

[運用・管理機能]

電圧や潮流、停電などの管理が必要となる。電圧に関しては、後述のVVOにも共通するが、PV大量導入下では逆潮流による電圧低下や不安定化が指摘されており⁽²¹⁾、それらを考慮できるような最新の電力系統工学の知見に根差

した精確な潮流計算機能や制御アルゴリズムが求められる。

停電時の管理システム（OMS：Outage Management Systems）は、ADMSの重要な機能の一角をなす。その中心は、停電検知・孤立化・復旧である。停電管理技術は、日本では配電自動化システム構築の中で様々な機能を既に備えているが、今後DERの大量導入に協調する形での発展が望まれる。

[最適化機能]

最適化機能が、ADMSの重要な特徴となる。最適化の対象には、電圧・無効電力最適化（VVO）に加えて、損失・出力抑制量最小化、更には貯蔵やDRの活用も含まれてくる。特に貯蔵やDRの最適化のためには、1週間といった期間での気象予測を用いた需要や再エネの予測が必要になる。気象予測との統合は、各種停電リスクの把握や事前対策上も重要となる。

[運用計画・設備計画機能]

現在の送配電網が抱える主要な課題の1つは、フィーダやバンク容量などの制約によるPV導入限界と、更なる導入のための追加的費用の問題である。ADMSは前述の運用・管理・最適化機能を駆使し、設備増強も含めてPVをはじめとする再エネ導入可能量の増加を最小限の費用で行えるようにすることは、急務である。

将来的には、上位系統が停電した場合に、DERにより局所的に復電することも考えられる。この場合、復電までの時間とその間にDERから提供可能な電力量を推定し、その不確かさを考慮した運用計画機能が必要と考えられる⁽²²⁾。

[まとめ]

配電系統でも今後、分散型資源の影響や活用がますます大きくなることを念頭に、配電系統管理システムとして、DERMSとADMSに着目し、必要な機能などの整理を実施した。特に将来の日本では、配電網へのPV大量導入とは

対照的に農山村部を中心に人口減少が不均衡に進み、電力需要が減少することが想定されるため、ADMSなどにより配電網の監視性・可視性を高めて高度な運用を行うことは、今後の配電設備の効率的な再編にも有効と考えられる。

(2) 配電網に接続される機器

次に、配電網に接続される機器に着目する。ここでは配電系統に影響を与える可能性がある需要家設備も含めて整理する。

[配電用蓄電池]

電力貯蔵サービスは欧州連合（EU）での明確なルールはないものの、電力市場オペレータにより構築されることが望ましく、電力貯蔵の所有者は発電サイト運営者や需要家が望ましい、とまとめられている。但し、系統制約の緩和のために電力貯蔵を所有し運用する権利を所望するネットワークオペレータも存在することも報告されている。HORIZON2020の実証では、発電事業者、アグリゲータ、需要家、DSOの前者が概ね同じ割合で電力貯蔵設備を所有しており、運用に関しても、発電事業者や需要家に偏った傾向は見られない。

[IED, PMU等の状態監視センサ]

配電系統の状態監視やフィーダの潮流情報収集、再エネ電源や配電用制御機器の制御には、比較的高速に計測・データ収集ができ、汎用的な双方向通信に対応したセンサの採用が不可欠となる。多彩な計測・制御機能モジュールを有し、変電所の通信規格やネットワークオペレータとのコミュニケーションに利用されるDNP（Distributed Network Protocol）、需要家内機器の通信によく利用されるModbusなど多様な通信に対応できるセンサデバイスとしてIED（Intelligent Electric Device）が開発されている。

さらに配電系統の多様多彩な分散型電源・負荷・電力貯蔵による動的な制御に対応するために、高速高精度、時刻同期性、周波数変動、周波数変化率（ROCOF：Rate-Of-Change-Of-

Frequency), 位相角を含んだ多状態量計測などを実現する PMU (Phasor Measurement Unit) 機能の IED への付加も期待されている。
[分散型電源の先進制御]

太陽光・風力発電など分散型電源が配電系統へ貢献するための有効電力・無効電力制御機能について、スマートインバータとして検討されている。米国では電圧・周波数に応じて自律分散型のドループ制御機能と、遠隔通信制御による有効電力・無効電力制御が規定されている。

[EV・充電システム]

EV は、中長期的に配電系統への導入が拡大することが予想され、利用形態と豊富な蓄電池能力を考慮すると非常に柔軟な DR 資源として配電系統への Local Flexibility の提供が期待される。さらに充放電システムとの連携により高速な制御性を持つインバータ連系蓄電池としての運用・制御も期待されている。

欧州では、主に風力発電から EV 充電を行うスマート充電や、再生可能エネルギーに起因する周波数変動の EV の分散蓄電池制御による緩和、配電系統の観点では配電用変圧器の拡充を伴わないスマート充電やピーク時の EV からの放電による配電線潮流の適正化、EV 充電システムのスマートインバータ制御による配電制御機器としての活用など、総合的なソリューションが提案されている。

[まとめ]

送配電事業者が PV や EV の大量導入を可能とする屈強な配電系統を構成するために必要となる機器についての調査を実施した。状態監視センサについては、管理システムとの統合や機器導入最適化のための基本インフラとしての普及が予想される。配電用蓄電池については、コスト低減が必須となるが、多目的な利用や EV や DR 資源活用による代替なども考えられる。

(3) 技術開発課題整理

本項では調査した内容に基づき作成した配電技術開発動向マップを図 7 に示す。同図において、点線の部分は研究開発を行う時期を想定しており、点線部分と実線部分の境目が、商用化されるタイミングを指している。実線部分の最後は、導入が完了する時期を示している。これらのタイミングは、将来技術の研究開発や実用化の時期については大きな不確かさを伴う。各技術の導入時期を表す平行四辺形の傾きは、各技術の導入時期の不確かさの大きさをイメージしている。

将来の配電系統の設備形成に影響を与える項目は複数存在し、かつ不確定な項目が多く存在する。そこで想定される様々な次々世代配電系統に対しては、次の社会想定項目①～③の観点も考慮する必要があることに留意する。

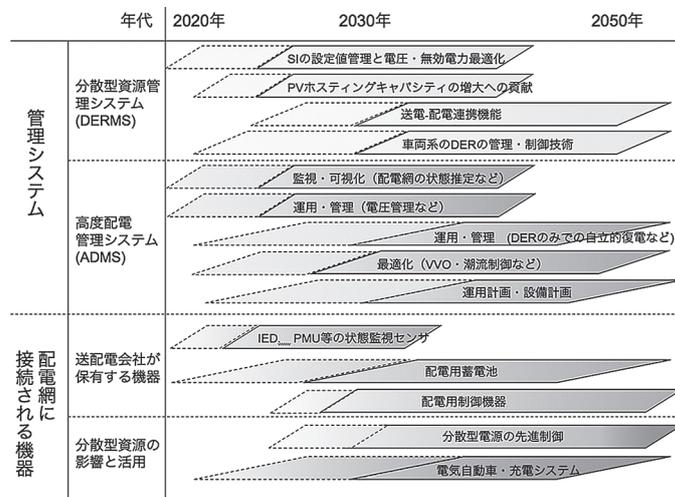


図7 配電技術開発動向マップ

① 再生可能エネルギーの導入量

次々世代においても配電系統によっては、都市部などの土地制約の問題や気象条件等、PV導入に適さない場所などの要因により、PV導入量があまり増加しないケースも想定される。

② 負荷や電化進展に係る人口動向

次々世代における需要量も、省エネ技術や蓄エネ技術、人口動向等の影響を受け、設備形成に大きく関わってくる。

③ 設備投資の方向性（設備投資：システム技術重視・ハードウェア技術重視）

設備形成を行うためには、経済的・制度的な問題も影響する。DERが大量導入された際、送配電事業者のビジネスモデルは依然として不確かさが大きい。また一般的に、将来の技術発展を緻密に予測することは困難である。そのため将来の設備投資の方向性としてシステム技術重視かハードウェア技術重視かは、設備形成に大きく関わってくる。

さらに、本項では次々世代における配電技術開発動向マップを示したものの、当該技術が普及するかどうかは、経済的成立性が重要となる。そのため、本項で示した配電技術開発動向マップを基に、技術革新の動向や社会情勢の動向を鑑み、総合的に検討する必要がある。

4. おわりに

本検討では、将来のPV大量導入に向けて配電系統のあるべき姿を明らかにすることを目的とした検討を実施した。ホスティングキャパシティの向上に貢献する蓄電設備については、電気的特性分析および経済性評価を実施し、さらに出力制御ケースとのブレイクイーブンコストまで算出を行った。また将来の技術開発課題の整理においては、DERMS、ADMS等の管理システムや、状態監視センサ、EV等の機器について、技術開発動向マップとして整理した。

[謝辞]

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構の委託業務の一環として実施された。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 石原, 「太陽光発電大量導入に伴う、次々世代における配電系統の将来像の検討」, 季報 エネルギー総合工学, Vol.41 No.1, (2018年)
- (2) 資源エネルギー庁, 「総合エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会 (第10回会合資料)」, (2015年)
- (3) 一般社団法人 太陽光発電協会, 「太陽光発電 2050年の黎明」, (2017年)
- (4) 電気協同研究会, 「配電系統における力率問題とその対応」, 第66巻, 第1号, (2010年)
- (5) 独立社団法人 新エネルギー・産業技術開発機構, 「NEDO 日射量データベース閲覧システム」
- (6) 飯岡 他, 「配電系統へのPV大量導入に貢献する蓄電設備に関する検討 - その1 潮流計算による電気的特性分析 -」, H31 電気学会全大, (2019年)
- (7) 野瀬他, 「配電系統の太陽光発電近傍に設置する蓄電池の導入量が太陽光発電の導入可能量に与える影響」H30 電力技術・系統技術合研, PE-18-164, (2018年)
- (8) 電気協同研究会, 「配電系統の高調波障害防止対策」, 第37巻, 第3号, (1981年)
- (9) 建設物価調査会, 「建設物価」, (2015年)
- (10) 全日出版社, 「電気設備工事積算実務マニュアル」, (2015年)
- (11) 電設出版, 「電設資材」, (2015年)
- (12) 国土交通省, 「土木工事標準積算基準書 (電気通信編)」, (2013年)
- (13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「新電力ネットワークシステム実証研究 新電力ネットワーク技術に係る総合調査」, (2008年)
- (14) 関根泰次, 「配電技術総合マニュアル」, (1991年)
- (15) 経済産業省 蓄電池戦略プロジェクトチーム, 「蓄電池戦略」, (2012年)
- (16) 高木 他, 「配電系統へのPV大量導入に貢献する蓄電設備に関する検討 - その3 蓄電設備の経済性評価 -」, H31 電気学会全大, (2019年)
- (17) 今中 他, 「需給バランスと配電の双方に貢献する分散型エネルギー資源管理システム (DERMS) の研究動向」H30 電力技術・系統技術合研, PE-18-178, (2018年)
- (18) B. Kellison: "DERMS: A TERM GONE TOO FAR? - DER Lifecycle Management is Not Limited to DERMS" , gtmresearch spotlight (2018)
- (19) 今中 他, 「高度配電自動化システム (ADMS) の諸機能と研究開発動向」, H31 電気学会全大, (2019年)
- (20) J. Dirkman, "Advanced Distribution Management System of Renewable and Storage" , pp.13, (2013)
- (21) 松村 他, 「大容量太陽光発電装置の高圧配電系統末端への導入に伴う配電系統の電圧上昇・低下メカニズムに関する回路論的考察」, 電気学会電力・エネルギー部門誌, Vol.138, No.1, pp.23-29, (2018年)
- (22) 松木 他, 「配電エリアの災害時マイクログリッド化に必要な蓄電池容量の評価」, 第37回エネ資研究発表会, (2018年)

平成 31 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。

2. 最近の情勢

世界のエネルギー情勢は、中国をはじめ世界経済の成長が減速する一方、中東等の地政学的リスクや英国の欧州連合脱退（Brexit）、米中貿易摩擦の激化など、国際政治・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 月にカトビチェにおいて開催された国連気候変動枠組条約第 24 回締約国会議（COP24）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、ルールブックが定められた。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を用いた系統運用に係る技術開発等が進められている。

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」という）に関し、住民の方々の帰還に向けた取組や事故炉の廃炉・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、昨年 9 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の取消により、本年 1 月現在では 9 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、日本原子力発電(株)東海第二発電所が、昨年 9 月に原子炉設置変更許可、同年 11 月に運転期間延長認可がなされた。一方、関西電力(株)大飯発電所 1・2 号機、四国電力(株)伊方発電所 2 号機の廃炉の決定がなされ、検討中のものを含め、23 基の廃止措置が見込まれている。

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、世界でもトップクラスに

ある省エネルギーに係る技術開発や、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。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組が精力的に進められている。

エネルギー政策について見ると、昨年7月に新たなエネルギー基本計画が決定され、2030年、さらには2050年を見据えたエネルギー政策の方向性が示された。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段階である来年予定されている送配電部門の法的分離を控え、改正電気事業法の施行状況その他の電気事業を取り巻く状況についての検証が進められている。

なお、第4次産業革命が大きく進展する中で新たな社会システムのビジョンとして、わが国においても「Society 5.0」と称する「超スマート社会」の実現に対応した科学技術イノベーション等に関する戦略が策定されている。このような社会システムの急激な動向を踏まえて、エネルギーバリューチェーンの最適化を図っていくことが求められている。

3. 平成31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・分析を行ってきた。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。なお、これらの調査研究に当たっては、第4次産業革命がもたらすエネルギーバリューチェーンのあり方を継続的に検討し、その結果を適宜反映させることとする。

また、当研究所では本年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、水素、クリーンコールテクノロジー（CCT）、CO₂の分離・回収・利用等を中心とす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、地熱バイナリー発電技術やCO₂削減に資する先導的エネルギー技術開発にも取り組んでいくこととする。

さらに、変動電源である太陽光発電の出力制御や再生可能エネルギーによる高温熱の発生・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) 原子力に関する取り組み

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いる。当研究所としても、福島第一原発事故の

ような過酷事故（シビアアクシデント）発生時の原子炉内の挙動解析を的確に行うSAMPSONコードの解析能力の飛躍的な向上を目指すとともに、福島第一原子力発電所の炉内状況等の最新知見等に関するデータベースの運営を進めるほか、シビアアクシデント時の安全系機能に関する日米共同研究事業の取組を進める。

また、軽水炉技術開発事業に関して、既設の軽水炉の安全向上に有効な要素技術開発を進める。

さらに、軽水炉の廃止措置について、工程、技術、制度に関する調査及び課題への対応策の検討や、標準整備に向けた調査研究、人材育成事業等を行うとともに、国内外の動向を踏まえ新型軽水炉、放射性廃棄物等に係る技術課題や原子力の人材育成・確保等についても調査研究を行うこととする。

（４）エネルギー需要に関する取り組み

エネルギー需要面においても技術の進展は目覚ましいものがあり、特に省エネルギーに対する社会的な要請も大きくなってきており、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リ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、昨年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）標準化に関する取り組み

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。

（７）情報発信

当研究所における上記の調査研究成果を国民や関係機関等に情報発信するとともに、エネルギー技術や気候変動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、適宜、シンポジウムやセミナー等を開催し、エネルギー技術開発のあり方について提言を行う。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の更新・改良を進めていくこととする。

4. 事業を進めるにあたって

当研究所を巡る経営環境には依然として厳しいものがあり、今後とも、事業収支均衡に向けた収益の確保と業務運営全般に亘る効率化、ステークホルダーへの期待と信頼に応える事業・調査研究の実施等により、健全な事業経営を図る。このため、これまで蓄積してきた知見、ネットワークを生かし、積極的に企画提案等を行い、質の高い調査研究を行うとともに、役職員一同経営の効率化に向けて努力する。

その際、以下の点に留意する。

- ① 調査研究成果に対するアウトカム意識の徹底や付加価値を高めた受託提案、コンプライアンス体制の一層の充実等を通じて今一步“質”を高めることにより、高い信頼と評価の獲得を目指す。

- ②また、賛助会員からのご支援やバランスのとれたポートフォリオ、複数年事業計画の策定など健全な事業実施を通じた収支の改善を図るとともに、公正中立なエネルギー技術シンクタンクとしての矜持、産学官連携のハブ・プラットフォーム機能の強化等により当研究所のブランド化を目指し、持続的な経営の安定化とこの分野での競争力の強化を目指す。
- ③さらに、自らの専門性を高めるとともに多様性や所内外との連携性を重視することにより組織能力の向上を図り、社会、産業にとって“なくてはならない研究所”として持続的に発展していくことを目指す。
- ④上記の各段階での継続的な取組を支える基盤として、人材の確保・育成、調査研究インフラの充実等を通じたより働きやすい生産性の高まる環境の構築・整備、賛助会員各社様をはじめとするステークホルダーへの対応やシンポジウム等各種事業・ツールの連携と活用等によるプロモーションの強化等の取組を進める。

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、ポーランド・カトビツェで開催された COP24 ではパリ協定の実施指針に関するルールがほぼ固まり、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）を目指した取組が進められる一方、米国では、トランプ大統領の米国ファーストの政策により、環境・エネルギー情勢が大きく変動している。国内では、昨年新たなエネルギー基本計画が決定され、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「パリ協定期

成長戦略懇談会」での議論が進められている。わが国は、本年の G20 サミット（金融・世界経済に関する首脳会合）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、成長戦略として、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策定することが求められている。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 度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 度目標の達成を加速としている。

平成 31 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 度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、バイオマス等の再生可能エネルギー発電の開発利用をより推進する必要性が、東日本大震災後一層指摘され、平成 24 年 7 月からは再生可能エネルギーの固定価格買取制度が開始された。その後、昨年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震に伴う北海道全域に及ぶ大規模停電が発生し、電力需給面から再発防止策が進められている。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、来年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。

平成 31 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の出力制御など電力システムの柔軟性向上技術、電気保安、ダイヤモンドリスポンス、エネルギーマネジメントシステム等について調査研究を行う。また、再生可能エネルギーについては、バイオマス利用技術や地熱バイナリー発電、集光型太陽熱発電（CSP）等の調査研究に加え、風力及び太陽エネルギーを利用した高温熱の発生・貯

蔵・利用に関する総合的な研究開発を行う計画である。省エネルギーに関しては、高効率空調システムや未利用エネルギーの活用技術の調査研究を行う。また、運輸部門では、電動車両の普及が電力システムに与える影響について調査研究を行う。

(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
- ② 再生可能エネルギー発電の電力システムへの影響と対策技術に関する研究
- ③ 電気保安に関する調査研究
- ④ デイモンドリスポンスに関する調査研究
- ⑤ エネルギーマネジメントシステムの事業促進に関する研究
- ⑥ エネルギー貯蔵技術に関する調査研究
- ⑦ 電力分野における AI・IoT の活用に関する調査研究

(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 地熱バイナリー発電技術に関する研究開発
- ③ 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
- ④ 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
- ⑤ 太陽熱利用技術の標準化に関する調査研究

(ウ) 省エネルギーに関する調査研究

- ① 高効率空調システムに関する調査研究
- ② 廃熱、地中熱等の未利用エネルギーの活用に関する調査研究

(エ) 次世代自動車に関する調査研究、その他

- ① 次世代自動車の導入シナリオに関する調査研究

(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、昨年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、以下の二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。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り、その実現には、水素の製造技術や利用技術の高度化が重要である。

このような観点から、平成31年度においては、以下の調査研究を実施する。

(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運営
- ② 種々の条件におけるエネルギーキャリアの経済性・環境性に関する調査研究
- ③ 種々の条件における世界及び国内の水素需要量に関する調査研究

(イ) 蓄エネルギー手段としての水素に関する調査研究

- ① 水素を用いた国内余剰電力の有効活用に関する調査研究
- ② 水素による電力貯蔵と他の電力貯蔵方式との比較評価に関する調査

(ウ) 水素の製造・利用技術に関する調査研究

- ① 高効率期待できる酸素水素燃焼タービン発電に関する調査
- ② 新たなCO₂をフリー水素の製造技術に関する調査研究

(4) 化石エネルギー関連

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は排出しないが不安定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運用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を行う。

平成31年度においては、これまで培ってきたわが国の先進火力技術の海外への普及に関するプロジェクトの実施可能性について昨年度に引き続き検討を行う。また、CO₂の分離・回収・利用技術の分野では、カーボンサイクルを意識し国内外の火力発電等からのCO₂の有効利用法を検討する。クリーンコールテクノロジー（CCT）分野では、石炭の利活用として、石炭から高付加価値製品を製造する技術の調査検討、評価を行う。さらに、新規にCO₂削減に資する先導的エネルギー技術の開発にも取り組む。

(ア) CO₂の分離・回収・利用技術の検討

- ① 火力発電から回収したCO₂の各種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を入手可能な

地域における再生可能エネルギーから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) クリーンコールテクノロジー (CCT) の開発及び検討

- ① 付加価値品製造を目指した石炭改質技術の検討
- ② 先進火力技術の海外普及調査検討

(ウ) CO₂削減に資する先導的エネルギー技術の開発

- ① 再エネ（太陽熱）利用水素発生技術及びCO₂再燃料化エネルギーシステムの検討
- ② 産業未利用熱の有効利用を通じたCO₂排出削減蓄熱技術の検討

(5) 原子力関連

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いる。特に原子力については、福島第一原発事故によってもたらされた原子力災害の影響の甚大さに直面し、このような事故を二度と起こさないための安全対策の構築が強く求められている。このため、シビアアクシデント対策を含め、既設の軽水炉の安全向上に有効な技術課題に取り組んできた。

平成31年度は、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、シビアアクシデント時の安全系の機能を調査するため引き続き米国の国立研究所等との共同研究事業の取組を進めるほか、格納容器床面におけるコンクリートの浸食挙動の調査研究の実施、SAMPSONコードの高度化を図る。

また、福島復興を図るため、除染・環境修復と事故炉の廃止措置が求められており、世界の知見・技術を結集して対処する必要がある。当研究所は、これら分野に係るこれまで蓄積して

きた知見や国際的なネットワークを生かし、問題解決のため積極的に貢献していくこととする。平成31年度においても、引き続き福島第一原発事故に係る炉内状況や関連する研究開発の最新知見等のデータベースの維持管理及びwebでの公開を行うとともに、OECD/NEAの国際ベンチマークプロジェクトであるBSAF(Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPS)プロジェクトの後継プロジェクトであるARC-F(Analysis of Information from Reactor Buildings and Containment Vessels of Fukushima Daiichi NPS)の支援を行う。

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ている。平成31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に係る動向、放射性廃棄物に係る問題、原子力人材の育成・確保など様々な課題に関する調査研究を進める。将来の原子炉についても、新型軽水炉開発のあり方に関する検討を進めるとともに、革新的原子力システムに関する国際的な研究開発動向調査を行う。

軽水炉の廃止措置については、工程、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な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 シビアアクシデント時の安全系の機能に関する日米共同研究
- ③ 格納容器床面におけるコンクリートの浸食挙動の解明
- ④ 福島第一事故に関するデータベースの維持・運営・管理
- ⑤ 国際協力プロジェクト（OECD/NEA A RC-F プロジェクト）への支援

(イ) 原子力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 原子力の人材育成のあり方に係わる調査研究及び教育の実施
- ⑤ 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 廃止措置工程、技術、制度に関する調査と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を進めるための教材開発と研修システムの構築

(オ) 放射性廃棄物の処理・処分に関する調査検討

- ① 放射性廃棄物の処理・処分に関する海外動向調査

6. 最新技術情報の発信

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し、広く利用に供することとする。また、エネルギー技術に係る重要なテーマに関して、国際的な視野も入れつつ、適宜、シンポジウムやセミナー等を開催する。

当研究所では、下記的手法により、情報発信を行う。

- ① 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行
- ② 月例研究会やエネルギー総合工学シンポジウムなど、シンポジウムやセミナーの開催
- 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

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、平成 31 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

個別企業からの依頼に基づき、エネルギーマネジメントシステム導入支援コンサルティング業務を行う。また、関係機関の協力も得て本事業の広告を行うとともに、月例研究会等を活用し国際規格の開発・普及の重要性を訴求する。なお、本センターの直接の業務ではないが、ISO50001 の改訂（2018）を踏まえ、当研究所は、JIS50001 原案作成委員会事務局として JIS 原案を作成し日本規格協会及び日本工業標準調査会（JISC）に提出したところ

であり（平成30年12月）、今後審査を経てJIS50001改訂が発行される予定である。

8. 技術開発支援センターの事業

当研究所の技術開発支援センターは、平成27年4月1日、国の技術開発実証に関する補助金の執行管理を行う目的で発足した。平成31年度においては、今年度に引き続き災害時に備えた自衛的燃料備蓄の推進事業を継続する。

9. 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
- ③ 太陽熱発電システムを構成する要素技術（タービン技術、集光技術、蓄熱技術等）関連

研究所のうごき

(平成 31 年 1 月 1 日～4 月 1 日)

◇ 第 17 回理事会

日 時：3 月 5 日 (火) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 503 号室

議 題：

- 第一号議案 平成 31 年度事業計画および収支予算について
- 第二号議案 公益目的支出計画変更認可申請の変更について
- 第三号議案 臨時評議員会の開催について
- 報告事項 業務執行の状況について
その他

◇ 第 10 回評議員会

日 時：3 月 22 日 (金) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 502 号室

議 題：

- 第一号議案 評議員の選任について
- 第二号議案 公益目的支出計画変更認可申請の変更について
- 報告事項 平成 31 年度事業計画および収支予算について
その他

◇ 月例研究会

第 385 回月例研究会

日 時：1 月 11 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. ネガティブエミッション技術の展望み
((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 副部長 加藤悦史)
2. グローバルバリューチェーン (GVC) における GHG 排出削減評価の背景と今後
((一財) 日本エネルギー経済研究所 電力・新エネルギーユニット担任 理事 工藤拓毅 氏)

第 386 回月例研究会

日 時：2 月 8 日 (金)

場 所：航空会館 5 階 501・502 会議室

テーマ：

1. 産総研福島再生可能エネルギー研究所(FREA)

における水素関連技術開発と復興へ向けた取り組み

((国研) 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) 再生可能エネルギー研究センター 研究センター長 古谷博秀氏)

2. 産業技術総合研究所 FREA における地熱研究開発の概要

((国研) 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) 再生可能エネルギー研究センター 研究センター長 浅沼 宏氏)

第 387 回月例研究会

日 時：3 月 8 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 2 階 201 会議室

テーマ：

1. 海外の高速炉の廃止措置
((一財) エネルギー総合工学研究所 耐震・廃止措置グループ 特任参事 林道 寛)
2. 最先端ロボット技術のご紹介
～リアルハプティクスで危険作業を安全に～
(慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 専任講師 野崎貴裕 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：鈴木 守

テーマ：Feasibility study on technology and economic analysis of CO₂ transport

発表先：Workshop on Carbon-Free Hydrogen and Ammonia with CCS Hosted by Saudi Aramco and IEEJ

日 時：1 月 28 日

発表者：黒沢 厚志, 加藤 悦史

テーマ：2050 年のエネルギー需給: エネルギーネクサスとモデリング課題

発表先：第 35 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (主催エネルギー・資源学会)

日 時：1 月 29 日～30 日

発表者：加藤 悦史

テーマ：Perspective on the Negative Emissions Technologies (NETs)

発表先：Carbon capture and utilization research for negative carbon emission - I2CNER international workshop, catalytic materials transformations division & CO₂ capture and utilization division (I2CNER, 九州大学)

日 時：2月1日

発表者：山下 敏

テーマ：CCS 標準化の状況および CCUS 標準化に向けた動向と課題

発表先：水素・CO₂ マルチ研究会第3回会合 ((一財) 日本エネルギー経済研究所)

日 時：2月4日

発表者：小野崎 正樹

テーマ：2050 年に向けてのエネルギー動向

発表先：日本鉄鋼協会コークス研究グループ講演会

日 時：2月14日

発表者：酒井 奨

テーマ：CO₂ 排出削減と炭素循環エネルギーシステム

発表先：化学工学会第 84 年会 (芝浦工業大学豊洲キャンパス)

日 時：3月13日

発表者：飯田 重樹

テーマ：CO₂ フリー水素社会の長期ビジョン

発表先：日本化学会 春季年会 アドバンスド・テクノロジー・プログラム「サステイナブル社会構築のためのエネルギー化学」

日 時：3月17日

[寄稿]

寄稿者：小野崎 正樹

テーマ：CO₂ フリー燃料によるカーボンサイクル

寄稿先：火力原子力発電 69 (2019), 2月号

寄稿者：福田 健三, 笹倉 正晴, 水野 有智, 石本 祐樹

テーマ：第3章 水素製造

[3.2] 再生可能エネルギー利用の大規模水素エネルギーシステム (福田)

[3.3] ユーロケベック計画における水素キャリアの比較 (笹倉)

第5章 水素の技術 [5.4] 水素の輸送

a. 超距離海上輸送 (水野)

第7章 水素エネルギーシステムと社会

(石本)

寄稿先：朝倉書店『水素エネルギーの事典』

(3月1日発行)

◇人事異動

○2月28日付

(解職)

入谷 淳一 プロジェクト試験研究部 参事 兼 技術開発支援センター

○3月31日付

(出向解除)

飯田 重樹 プロジェクト試験研究部 部長 (副主席 研究員)

中村 雅人 プロジェクト試験研究部 主管研究員

鈴木 守 プロジェクト試験研究部 主任研究員

松岡 成樹 プロジェクト試験研究部 主任研究員

(解職)

鈴木 守 プロジェクト試験研究部 副参事 兼 河津事務所長

白川 典幸 原子力工学センター 参事

奥山 一夫 プロジェクト試験研究部 副参事

○4月1日付

(出向採用)

手塚 健一 原子力工学センター 主管研究員

今岡 隆司 プロジェクト試験研究部 主任研究員

徳永 貴道 プロジェクト試験研究部 主任研究員

高野 大志 プロジェクト試験研究部 研究員 兼

原子力工学センター

(嘱託採用)

飯田 重樹 プロジェクト試験研究部部長 (参事)
長谷恵里子 プロジェクト試験研究部 嘱託研究員
兼 原子力工学センター 兼 エネルギー
技術情報センター 兼 総務部

(非常勤嘱託採用)

坂田 興 プロジェクト試験研究部 特任参事
松田 一夫 プロジェクト試験研究部 参事
安久 恵 技術開発支援センター 参事

(昇格)

井野 大輔 業務部 主管研究員 兼 総務部 兼 企画
部 兼 技術開発支援センター 兼 エネ
ルギー国際標準 (ISO) センター
原澤 菊美 原子力工学センター 主任研究員

第 41 卷 通 卷 目 次

VOL. 41, No. 1 (2018.4)

【巻頭言】

創立 40 周年を迎えて

(一財) エネルギー総合工学研究所 理事長 白土 良一 ……………1

【寄稿】

海外のエネルギーマネジメント関連制度・

推進活動と国際標準（規格）の役割

(一財) 日本エネルギー経済研究所

地球環境ユニット省エネルギーグループ 研究主幹 野田 冬彦 ……………3

【寄稿】

SCREEN グループにおける

エネルギーマネジメントシステム規格「ISO 50001」の取り組み

(株) SCREEN ビジネスサポートソリューションズ

総務サポート部 EHS マネジメント課 速水 光彦 …………… 12

【調査研究報告】

太陽光発電大量導入に伴う

次々世代における配電システムの将来像の検討

プロジェクト試験研究部 主任研究員 石原 正浩 ……………19

【調査研究報告】

パキスタンにおける未利用炭有効利用について

プロジェクト試験研究部 参事 埴 雅一

プロジェクト試験研究部 副部長・主管研究員 酒井 奨

研究顧問 小野崎正樹 ……………31

【事業計画】

平成 30 年度 事業計画 (一財) エネルギー総合工学研究所 ……………42

【研究所のうごき】 ……………50

【第 40 卷通巻目次】 …………… 53

【編集後記】 …………… 57

VOL. 41, No. 2 (2018.7)

【巻頭言】

創立 40 周年おめでとうございます

東京大学大学院 工学系研究科附属総合研究機構

機構長・教授 寺井 隆幸 …………… 1

【寄稿】

シェール・ガス革命, シェール・オイル革命の現状と

国際エネルギー情勢への影響

和光大学 経済経営学部 教授 岩間 剛一 …………… 3

【寄稿】

原子力革新技術への挑戦 —SMR への期待—

(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター

専務理事 田中 隆則 …………… 20

【調査研究報告】

原子力発電所の廃止措置安全要件に係る最近の動向について

原子力工学センター 参事 堀川 義彦 …………… 30

【調査研究報告】

酸素水素燃焼タービン発電技術の動向

プロジェクト試験研究部 主管研究員 松本 俊一 …………… 41

【事業報告】

平成 29 年度 事業報告の概要 (一財)エネルギー総合工学研究所 …………… 55

【研究所のうごき】 …………… 57

【編集後記】 …………… 60

VOL. 41, No. 3 (2018.10)

【巻頭言】

エネルギー大競争時代の只中で思うこと

電気事業連合会 専務理事 清水 成 ……………1

【寄稿】

再生可能エネルギー電源導入の現状と将来に向けた課題

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻 准教授

馬場 旬平 ……………3

【寄稿】

水素ステーション設備に使用する材料の選定について

高圧ガス保安協会 総合研究所 所長

佐野 尊……………12

【調査研究報告】

カーボンサイクルエネルギーシステムの構築について

～CO₂ リサイクルによる地球温暖化対策～

プロジェクト試験研究部 部長

橋崎 克雄

プロジェクト試験研究部 主管研究員

酒井 奨 …………… 25

【調査研究報告】

エネルギーに関する首都圏住民の意識

プロジェクト試験研究部 主任研究員

工藤 未奈 ……………37

【研究所のうごき】 …………… 47

【編集後記】 …………… 49

VOL. 41, No. 4 (2019.1)

第33回エネルギー総合工学シンポジウム
～2050年超に向けたエネルギーのメガトレンド～

平成30年10月12日(金)千代田放送会館
総合司会 理事 重政 弥寿志

【開会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 理事長	白土 良一	…… 1
【来賓挨拶】	経済産業省 技術総括・保安審議官	福島 洋	…… 3
【基調講演1】	持続可能性を目指したエネルギー転換		
	国際応用システム分析研究所 副所長	ネボイシャ・ナキセノヴィッチ	…… 5
【基調講演2】	エネルギーシステムの技術・社会イノベーション		
	(公財) 地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長	山地 憲治	……12
【講演】	2050年超に向けたエネルギーシステムのメガトレンド		
◆ エネルギーモデルによるシナリオ分析	プロジェクト試験研究部 副部長	加藤 悦史	……24
◆ 電力化・蓄エネルギーシステム	プロジェクト試験研究部 副部長	森山 亮	……31
◆ 水素活用エネルギーシステム	プロジェクト試験研究部 部長	飯田 重樹	……38
◆ 炭素循環エネルギーシステム	プロジェクト試験研究部 副部長	酒井 奨	……44
【パネル討論】	テーマ：2050年超に向けたエネルギーシステムのメガトレンド		
	モデレーター：寺井 隆幸 東京大学大学院 工学系研究科附属総合研究機構長 教授		
	パネリスト：都筑 和泰 プロジェクト試験研究部 部長		
	飯田 重樹 プロジェクト試験研究部 部長		
	森山 亮 プロジェクト試験研究部 副部長		
	酒井 奨 プロジェクト試験研究部 副部長		
	加藤 悦史 プロジェクト試験研究部 副部長 …………… 50		
【閉会挨拶】	(一財) エネルギー総合工学研究所 専務理事	中村幸一郎	……65
【研究所のうごき】	…………… 67		
【編集後記】	…………… 69		

編集後記

改元の時期が、いよいよ来月1日に迫ってきた。ただし、本誌の編集の都合上、原稿は発行月前月の提出が求められているため、本拙文執筆中の現時点では、筆者は新元号を承知していない。

いずれにせよ、筆者が就職した後数年で昭和から平成へと移り、以来31年弱が経過したことになる。この間、大きな時代の流れの中で、内外において様々な出来事や事件、事故などがあり、ここでそれを取り上げるつもりはないが、社会との関係や立場その他によって、読者諸兄それぞれの異なる考え、10大ニュースがあるのではないだろうか。

この先、平成の期間と同じ31年間で経過すると、西暦で2050年。この21世紀の中間点であり、エネルギーをはじめ、これからの世界経済・社会の行く末を予測し、計画を立て、実行に移していく上での節目となるポイントである。もっとも、様々な面で不透明感、閉塞感が増す中、31年を振り返るのではなく31年先を見通すことは容易ではないが、次世代、次々世代によりよい世界を引き渡せるよう、想像力をもって取り組んでいきたいと改めて考えた次第である。

編集責任者 重政弥寿志

季報 エネルギー総合工学 第42巻第1号

平成31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。