

【課題名】アンモニアマイクロガスタービンのコジェネレーションを活用したゼロエミッション農業の技術実証(委託and補助)

【代表者】㈱トヨタエナジーソリューションズ 畦上修

【実施年度】令和3～令和6年度(令和7年3月終了)

(1)技術開発・実証の概要

①【課題の概要・目的】

- 我が国の2050年カーボンニュートラル実現に向けて、2030年度におけるCO2排出削減目標が2013年度比で26%から46%に引き上げられたことにより、さらなる脱炭素化の促進が喫緊の課題となっており、グリーン成長戦略の重点14分野のひとつに燃料アンモニア産業が位置付けられている
- カーボンフリーのアンモニア燃料を利用するマイクロガスタービン(MGT)のコジェネレーションを活用したゼロエミッション農業を社会実装することで、周年栽培農業ハウスで排出されている暖房用灯油や冷房・照明用電力由来のCO2を削減する

②【技術開発・実証の内容と成果】

○重要な開発要素

A1.【アンモニアMGTコジェネレーションシステムの低コスト化】

(内容) システムの低コスト化を図るため、気体アンモニアに比べて燃焼が難しい液体アンモニアで直接燃焼させるMGTを開発する。
 (成果) 液体アンモニア専焼(100%)MGTを開発し、実証圃場にて定格出力50kW運転を達成した。(実用化レベルに25年度到達見込)

A2.【アンモニアMGTによるコジェネレーションを活用した農業の最適化開発】

(内容) 高温時の作物障害対策および冬季以外の熱利用のために、吸収式冷凍機などを導入するとともに、環境制御システムを適用した周年栽培を実施する。
 (成果) 吸収式冷凍機や食品乾燥機の利用により、夏期や中間期のエネルギー利用率が向上することを確認した。また、局所冷却などにより、高温時の栽培環境改善を確認した。(実用化レベルに24年度到達)

A3.【グリーンアンモニアサプライチェーン構築】

(内容) グリーンアンモニアサプライチェーン構築による安全で低価格なアンモニアをMGTへ供給するため、秋田県での地産地消グリーンアンモニア製造、供給体制を立案する。
 (成果) 秋田県における地産地消グリーンアンモニアの製造候補地を選定し、地域貢献型モデル事業を立案した。

B. 開発要素のシステム統合、C. その実証と D. 事業化計画

(内容) 開発要素のシステム統合における主要課題は、社会実装に向けた低コスト化の実現である。A1・A2で既述したシステムの統合により、農業分野における液体アンモニア利用時の経済性改善効果および安全性を確認する。
 (成果) イニシャルコストおよびランニングコストは気体アンモニア専焼に比べて液体アンモニア専焼で低減できることが示され、設備の異常なくアンモニアを安全に利用できることを確認した。また、環境制御により、収穫量は増加傾向を示すとともに、MGTの熱利用による廃棄物野菜の付加価値化(乾燥野菜)で収益性も改善されることを確認した。

③【システム構成】

カーボンフリーのアンモニア調達・供給(開発要素A3)を目指すとともに、MGTで液体アンモニアを直接燃焼させる(A1)。MGTから供給される電力および温水は周年農業ハウス栽培の環境制御等に活用される(A2)。

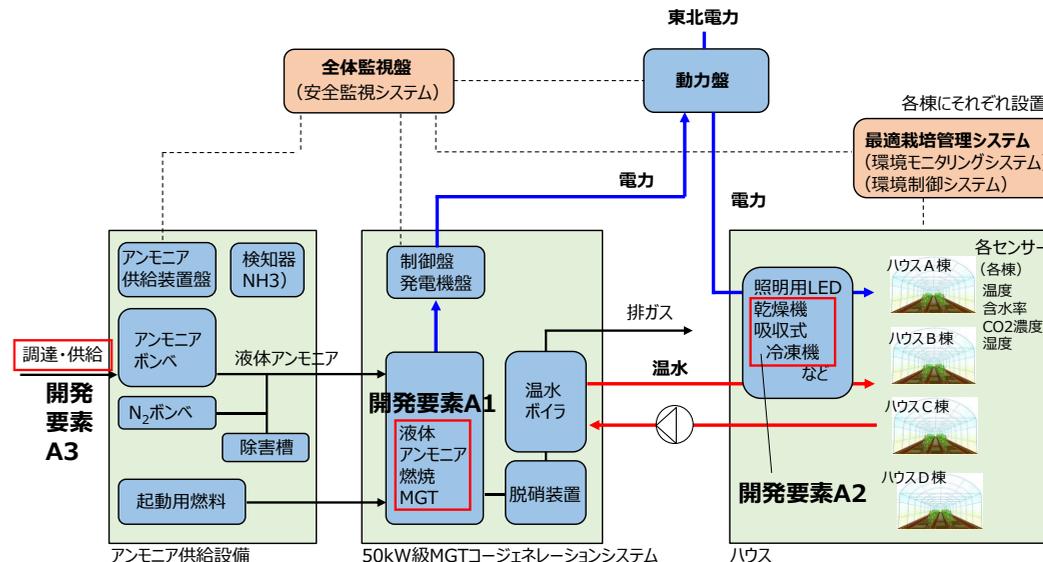


図 令和5～6年度の液体アンモニア燃焼MGTを用いたゼロエミッション農業の構成 ※令和3～4年度は気体アンモニア燃焼MGTを使用

④【開発・実証成果のまとめ】

○開発・実証の目標及び達成状況:

- 液体アンモニア専焼により発電出力約50kWの達成
 →エンジン定格出力である50 kWで液体アンモニア専焼を達成した。
- アンモニアMGTによるコジェネレーションを活用した周年栽培による農業の安定化
 →寒冷地においてこれまでに周年栽培が困難であった大玉トマト等の収益性のある栽培の可能性を示した。

○想定ユーザー・利用価値:

(想定ユーザー) 農業ハウス所有者
 (利用価値) カーボンフリー燃料からのグリーン電力および温熱の利用によりゼロエミッション化が図れ、かつ農閑期の安定したハウス栽培による収穫量の向上が期待できる。さらに防災のためのBCP対応電源としての活用も見込める。

(2) 技術開発・実証の実施内容

①【実施体制】

代表事業者 (株)トヨタエナジーソリューションズ	共同実施者 (株)秋田農販 実証フィールド提供 周年栽培実施
事業まとめ MGTの全体システム開発	共同実施者 (一財)カーボン フロンティア機構 事業化検討 関係機関取纏め
協力者(実証試験支援) 秋田県産業技術センター	共同実施者 (大)秋田県立大学 農業技術の開発
協力者(事業化支援) 秋田県、大仙市	共同実施者 (国研)産業技術総合研究所 MGT技術の開発
協力者(市場動向支援) (一社)クリーン燃料アンモニア協会	共同実施者(令和4年度まで) (大)東北大学 MGT技術の開発

②【実施スケジュール】

金額:千円	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
A1	アンモニアMGTの周年ハウス栽培等への最適化検証		アンモニアMGTシステムの低コスト化	
	33,362	46,003	51,516	39,256
A2	発電・熱利用による生産性向上、農業施設規模の検証		農業向けコージェネレーション最適化開発	
	37,269	37,882	78,364	29,749
A3	アンモニア供給の安全性の検討		グリーンアンモニアサプライチェーン構築	
	11,836	13,363	9,655	11,728
B, CおよびD	統合システムの最適化およびその実証、事業化計画立案			
	118,123	146,371	78,445	61,187
その他経費	17,574	38,228	28,599	19,615
総事業費	委託:218,164 補助: 0	委託:281,847 補助: 0	委託:201,071 補助: 45,508	委託:125,430 補助: 36,105
合計(委託+1/2補助)	218,164	281,847	223,825	143,482

③【成果発表・特許取得状況】

- 2023年11月2日:「水素・アンモニアに関するトヨタエナジーソリューションズの取組みについて」秋田水素コンソーシアム 令和5年度講演会、畦上修
- 2024年1月30日: 秋田県SDGsアワード表彰「ゼロエミッション農業・地域サプライチェーンによるGXの実現」高橋浩行、塩谷俊之
- 2024年12月16日: Study on the Ignition Characteristics of a Micro Gas Turbine with Ammonia-DME Blending, The 3rd Pacific Rim Thermal Engineering Conference, PRTEC-24093, Zhai Chang, 范勇、壹岐典彦、倉田修 他

(3) CO2削減効果の評価

【提案時当初計画】 ※実施期間中における専門委員会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/台・年)	414			
開発品(装置/システム)の耐用年数	16年			
年度	2023	2025	2030	2050
単年度CO2削減量(t-CO2/年)	295	2,072	6,215	8,287
累積CO2削減量(t-CO2)	4,722	42,592	407,221	2,760,733
CO2削減コスト(円/t-CO2)	40,236	16,592	7,542	7,542

【本資料作成時点見込み】 ※2024年度までは実績値

本表の年次は固定

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/台・年)	414			
開発品(装置/システム)の耐用年数	16年			
年度	2023 (販売開始年度)	2025	2030	2050
単年度CO2削減量(t-CO2/年)	—	414	4,144	10,359
累積CO2削減量(t-CO2)	—	6,630	86,185	2,505,993
CO2削減コスト(円/t-CO2)	—	16,592	7,542	7,542

(補足)

P3記載の販売台数(2024年度までの実績および2025年度以降の目標)を当初計画から見直した。これに伴いP2記載の累計CO2削減量も見直した。見直し理由を以下に示す。

- 本資料作成時点において、導入コストは当初計画通りで推移しているが、液体アンモニアの価格は当初想定よりも低下しておらず、運用コストが高い。
- アンモニア輸入業者や取扱業者にヒアリングをした結果、アンモニア輸入の本格化は2030年頃として活動を行っており、アンモニア価格低下も同時期とみられる。
- 2030年頃までの単年度販売台数および単年度CO2削減量は減少するが、潜在普及規模は変わらないため、アンモニア価格が十分低下した2050年頃の単年度販売台数および単年度CO2削減量は当初計画よりも増加すると見込む。

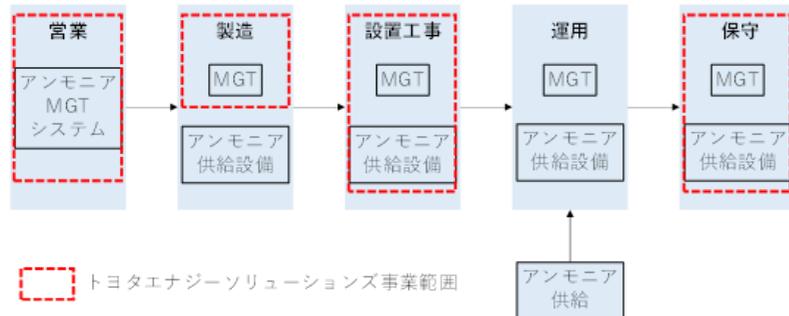
(4)事業化について

【事業化計画】

- ・2023年度、気体アンモニア専焼MGTの販売を開始
- ・2025年度までに、液体アンモニア専焼による低コスト化を実施し、販売開始見込

○事業化の体制

販売開始当初は営業活動、MGT製造、設置工事および保守はトヨタエナジーソリューションズが担当



○事業展開における普及の見込み

- ・国内潜在市場規模：最大1.6万台（令和4年度実証データと園芸施設規模から推計）
- ・MGT導入コスト目標：200万円/台※アンモニア供給設備除く（従来品の価格：560万円/台）
- ・運用コスト目標：アンモニア価格34円/kg（従来品の価格：410円/kg）
- ・製品単純回収年数：5-6年程度（導入コスト差額÷年間運用コスト差）

○年度別販売見込み

【提案時当初計画】 ※実施期間中における専門委員会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

年度	2023	2025	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	1	5	15	20
目標累積販売台数(台)	1	7	62	417
目標販売価格(百万円/台)	190	110	50	50

【本資料作成時点見込み】 ※2024年度までは実績値 本表の年次は固定

年度	2023 (販売開始年度)	2025	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	—	1	10	25
目標累積販売台数(台)	—	1	13	378
目標販売価格(百万円/台)	190	110	50	50

○量産化・販売計画

- ・2023年度から、気体アンモニア専焼MGT普及に向けた営業活動を推進
- ・2025年度までに、発電時燃料を現状の気体から液体へ適応することで、アンモニア供給設備、及び、設置工事費用の低コスト化を推進し、販売を拡大
- ・2030年度までに、起動時も含めた単一燃料化により、アンモニア供給設備と工事費のさらなる低減を進め、販売を拡大することで生産増による量産効果を得る

○事業拡大シナリオ

年度	2023	2025	2030	2050 (最終目標)
低コスト化技術開発	ガス燃焼MGTの部品構成の適正化	液体アンモニアの直接利用	起動時も含めた単一燃料化生産増による量産効果	—
販路拡大	農業ハウスの最適規模の見極め	補助金を利用した本格営業開始	部分負荷で効果が得られる農家への営業開始	左記に加えて確実な更新需要の取り込み
事業体制	トヨタエナジーが担当	全国展開を見据えた施工・保守の協力会社選定完了	—	—

○事業化におけるリスク(課題・障害)とその対策

- ・アンモニア調達コストが高く、大容量需要家との連携などによる低減検討が必要
- ・アンモニアサプライチェーンとしてのインフラ整備や周辺技術などの普及が必要
- ・目標コスト実現のための、液体アンモニア単一燃料で起動から運転まで可能なMGT(燃焼器、及び、制御)技術開発、及び、製品開発
- ・販売拡大による量産効果を得るための生産体制の構築
- ・普及拡大のためのアンモニア取扱関連規制の緩和(届出等の簡素化など)



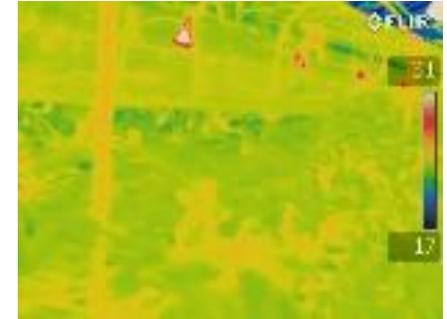
実証設備(MGT、NH₃供給設備)



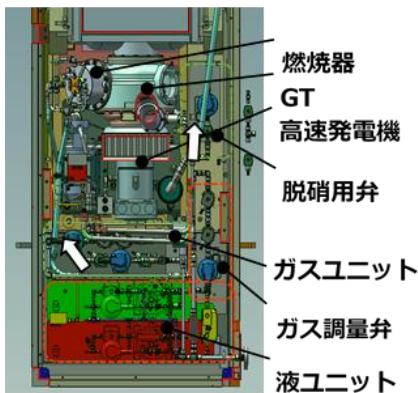
MGT外観



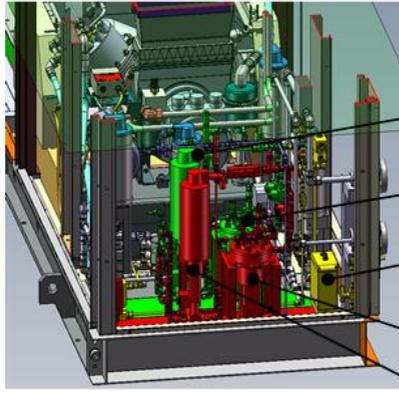
培地冷却・加温用配管



ハウス内温度分布計測



MGT 断面 (上面より)



MGT 内部機器構成

液体アンモニアMGT構成



吸収式冷凍機
(MGT温水利用により冷熱生成)

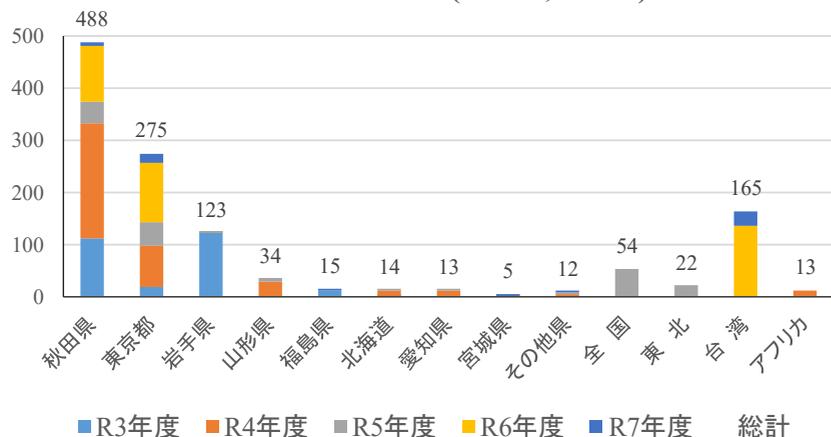


熱風式食品乾燥機
(MGT温水利用)

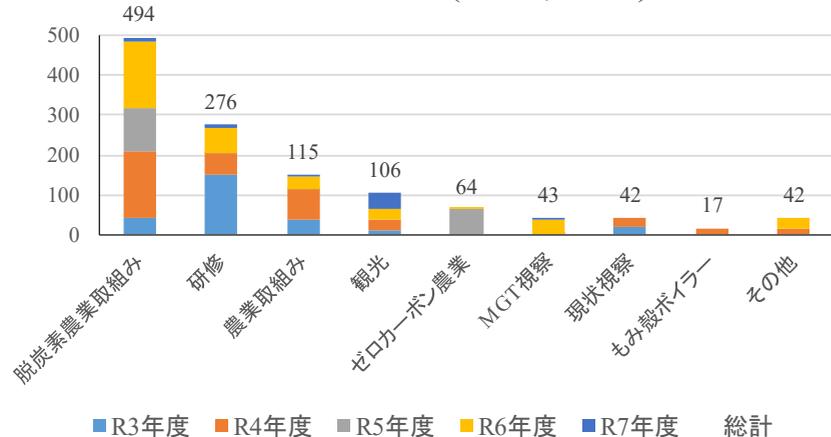
● **実証地視察・見学者実績**

本実証期間(令和3年8月から令和7年3月)および令和7年8月までに実証圃場に直接訪問・視察された方々は合計1,233名
 分野:大学、放送局、行政関係、NPO、MGT導入検討会社、農業関係、旅行会社などに多大な影響を与え期待されている。
 訪問者内訳を下図に示す。

地域別訪問者数(合計1,233名)



目的別訪問者数(合計1,233名)



● **カーボンニュートラル・アンモニア勉強会**

目的:秋田県庁からの要請で秋田県関係者様とカーボンニュートラルに向けた勉強会、および実証事業成果等の紹介を行い、事業化への啓蒙と共に広く参加者の意見を伺った。

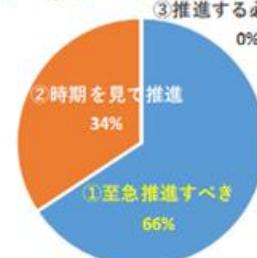
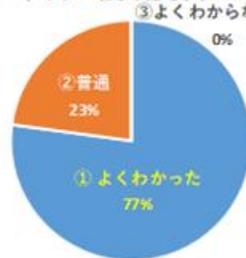
日時:2025年1月14日(火)13:30-15:30

場所:秋田県総合庁舎6階601会議室

参加者:合計41名

勉強会後のアンケート結果:下図

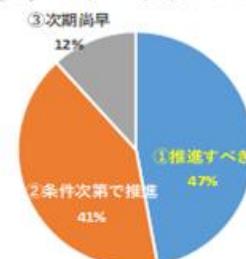
(1) 本日の説明資料について (2) カーボンニュートラルについて



(3) クリーンエネルギーについて



(4) モデル事業について



● 広報活動および情報発信の実績

- 2023年6月21日:「Recent AIST topics of ammonia combustion」、IEA/Combustion TCP 45th Task Leaders Meeting 発表 壹岐典彦、范勇、倉田修
- 2023年6月26日～30日:「Experimental Investigation of the Stability of Liquid/gaseous Ammonia-Fired Mono-Fuel Gas Turbine」、ASME Turbo Expo、GT2023-100755、<doi.org/10.1115/GT2023-100755>、大友光彰、壹岐典彦、范勇、倉田修ほか
- 2023年10月4日～5日:「水素キャリア利用チームの概要」、第5回RD20国際会議 パネル展示説明員 壹岐典彦ほか
- 2023年10月12日～13日:「国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所(FREA)」、第12回ふくしま再生可能エネルギー産業フェア(REIFふくしま2023)出展説明員 壹岐典彦、倉田修ほか
- 2023年11月2日:「カーボンニュートラルに向けたクリーン燃料の動向と将来展望」、独立行政法人日本学術振興会 R055カーボンニュートラルのための先進セラミックス 第3回研究会、壹岐典彦
- 2023年11月2日:「水素・アンモニアに関するトヨタエナジーソリューションズの取組みについて」秋田水素コンソーシアム 令和5年度講演会、畦上修
- 2024年1月30日:「秋田県SDGsアワード表彰「ゼロエミッション農業・地域サプライチェーンによるGXの実現」高橋浩行、塩谷俊之
- 2024年6月13日:「秋田で広がる「ふるさと副業」 雪国から新しい農業の発信へ」朝日新聞秋田版 高橋浩行、塩谷俊之
- 2024年7月25日:第40回国際燃焼シンポジウム、WiPPsポスター発表 壹岐典彦ほか
- 2024年8月2日～:「CO2 排出をゼロにするアンモニア燃料の可能性を模索持続できる農業を実現したい」公益財団法人あきた企業活性化センターホームページ https://www.bic-akita.or.jp/magazine/518/518_katuyou01.pdf 高橋浩行
- 2024年9月9日:日本機械学会年次大会、W252パネルディスカッション「持続可能な地域社会を支える多様性を活かしたものづくり研究会、経営情報学会」、壹岐典彦
- 2024年9月10日:日本機械学会年次大会、アンモニア燃焼ガスタービン用燃焼器における着火保炎、壹岐典彦、范勇、Zhai Chang、倉田修
- 2024年9月10日～12日:資源素材学会2024秋季大会 パネル展示説明 JCOAL岡部修平ほか
- 2024年9月23日:3rd Symposium on Ammonia Energy WS基調講演、Ammonia combustion study and demonstration of ammonia gas turbine 早川晃弘、壹岐典彦
- 2024年10月17日:REIFふくしま2024、FREAセミナー、アンモニア燃焼技術の研究開発と将来展望、壹岐典彦
- 2024年12月16日: Study on the Ignition Characteristics of a Micro Gas Turbine with Ammonia-DME Blending、The 3rd Pacific Rim Thermal Engineering Conference、PRTEC-24093、Zhai Chang、范勇、壹岐典彦、倉田修
- 2025年3月3日:「水素キャリア利用と技術課題」、壹岐典彦、令和6年度 いばらき知的財産戦略推進事業「シーズ発表会」
- 2025年5月20日:「アンモニアを燃料とするマイクロガスタービンコージェネレーションの活用」日本ガスタービン学会誌Vol.53、NO.3、壹岐典彦ほか
- 2025年6月3日:「燃料アンモニア活用による実証実験の取り組みと今後の見込み」秋田地区エネルギー懇談会2025年度通常総会、秋田県産業技術センター、秋田農販
- 2025年8月7日:第29回日本機械学会関東支部神奈川ブロックフォーラム「農業イノベーションを支える機械工学の最前線」厳しい気候における周年ハウス栽培の最適化を実現する栽培管理システム「アンモニアマイクロガスタービン、デジタルツール等の活用」高橋浩行、塩谷俊之
- 2025年8月22日:Research and Development of Gas Turbines Firing Ammonia, Norihiko Iki, Workshop for Digital Twin and AI-Integrated Design for Mechanical Systems, Part III : Carbon-neutral Thermal Power Systems, Inha University, Korea
- 2025年9月10日:「DME添加アンモニアによるガスタービン起動の検討」、壹岐典彦、范勇、倉田修、日本機械学会年次大会
- 2025年10月8日:「農業分野でのガスタービンコージェネレーション利用とカーボンニュートラルへのアプローチ」、壹岐典彦、范勇、倉田修、第53回日本ガスタービン学会定期講演会

● 今後の取組

本事業の成果をもとに、2025年度以降初期設備費支援を受けたモデル事業を開始するため、2025年度は実証設備を利用し地域関係者への合意形成 PRや投資家への啓蒙活動を行い、速やかな民営事業を推進したい。2028年度を目標に秋田県の農業休耕地(離農、高齢化、後継者不足等による)に営農型太陽光発電を設置し、隣接地でアンモニア製造および農業事業を運営しカーボンニュートラルモデル事業を実現する。また、地域活性化を目指して観光事業も併設することも目指す。

技術開発によるアンモニアMGTシステムのインシヤルコスト低減は、従来目標(2030年度で50百万円/台)通りに進め、2030年頃のアンモニア本格普及時に水素燃料電池や太陽光+蓄電池といった他の脱炭素技術と価格競争力を持たせてアンモニアMGTシステム普及を加速させる。

事後評価結果

評価点 6.7点 (10点満点中。(10点:特に優れている、8点:優れている、6点:問題ない、4点:多少問題がある、2点:大きな問題がある))

評価コメント

[評価される点]

- ・ エネルギーキャリアとして利用しやすい液体アンモニア専焼によるマイクロガスタービン(MGT)のコジェネレーション技術を開発するとともに、長期間にわたる秋田でのトマトやイチゴのハウス栽培にこれを適用・実証し、アンモニアMGTの農業応用への有効性を示した点は評価できる。

[今後の課題]

- ・ 本技術開発成果の社会実装に向け、アンモニアを利用することによる特徴を明確にするとともに、機能や性能だけでなくコストや導入タイミング等を他のエネルギーシステムと比較して開発成果の周知に努める等、多様な普及活動を行うことが望まれる。また、アンモニアMGTはコジェネレーションシステムとして熱供給の優位性を活かしたアプリケーションへの適用が期待できるため、農業分野以外への普及拡大も望まれる。
- ・ アンモニアの供給がアンモニアMGT普及に向けた最大の課題である。アンモニアのソース(ブルー、グリーン、国内・輸入)とサプライチェーン構築の中長期的シナリオを提示し、それに基づいてCO2排出削減費用を算出することが望まれる。

[その他特記事項]

- ・ 液体アンモニアの地産地消に向けたエネルギーキャリアとしての適合性、営農の太陽光発電等と組み合わせるローカルな液体アンモニア・サプライチェーンを構築することの妥当性等、液体アンモニアをエネルギーキャリアとして評価しておく必要がある。

[事業化に向けたコメント]

- ・ アンモニアMGTの社会実装に関して、アンモニアの地産地消を検討している地域を明らかにして、そこで計画されているプロジェクトとリンクすることが望まれる。また、導入を検討している需要家を実施可能とするために必要な対策をまとめておく必要がある。開発技術は一足飛びに社会実装につながる技術ではないので、次のステップとしてとるべきアクションを明確にし、普及活動を丁寧かつ多面的に行っていくことで着実に導入実績を重ねることが望まれる。