

公開用

終 了 報 告 書

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)

課題名「エネルギーキャリア」

研究開発テーマ名「アンモニア直接燃焼」

H26 年度～H30 年度

研究責任者：東北大学
教授 小林 秀昭

目次

1. 本研究の目的	1
2. 研究実施体制	2
3. 研究成果	4
3-1. アンモニア燃焼の基礎特性解明と基盤技術開発	
3-2. アンモニアガスタービン	
3-3. アンモニアレシプロエンジン	
3-4. 工業炉へのアンモニア利用	
3-5. 微粉炭炊きボイラを対象としたアンモニア混焼	
3-6. 既設火力発電所におけるアンモニア燃料利用検討と事業性評価	
3-7. まとめ	
3-8. 今後の課題	
4. 外部発表実績	6
5. 特許出願実績	7
6. 参考文献	9

別添：各研究機関終了報告書

- ・東北大学
- ・大阪大学
- ・大陽日酸（株）
- ・（株）豊田中央研究所
- ・（株）IHI（ガスタービンコージェネレーション）
- ・宇部興産（株）
- ・（国研）産業技術総合研究所
- ・（一財）電力中央研究所
- ・日新製鋼（株）
- ・中国電力（株）
- ・東北電力（株）
- ・中部電力（株）
- ・関西電力（株）
- ・（株）IHI（石炭火力発電）
- ・三菱日立パワーシステムズ（株）
- ・三菱重工エンジニアリング（株）
- ・JFEエンジニアリング（株）
- ・（国研）海上・港湾・航空技術研究所
- ・（株）トヨタエナジーソリューションズ

1. 本研究の目的

本研究は、CO₂ 排出量を大幅に削減する低炭素社会実現に向け、今後構築すべき水素バリューチェーンの最下流における利用技術に対し、水素エネルギーキャリアの一つであるアンモニア(NH₃)を効果的に利用する技術開発を行うことを目的とする。

アンモニアは水素を質量比で 18%含有する。常温で概ね 9 気圧で液化し、大気圧下でも -33℃で液化するなど LPG と同等の貯蔵性、輸送性を有する。大規模工業生産技術(Haber-Bosch 法)が確立されてから 100 年が経過し、現在、全世界で毎年 1 億 8 千万トン余りが生産されている。肥料、工業原料、冷媒等に広く使用され、生産、輸送、貯蔵技術が確立し、エネルギー源としての新たな利用を想定した場合、供給インフラにほとんど問題がない。現在、アンモニア製造の原料は主に化石燃料であるが、製造の際に排出される CO₂ を地下貯留や EOR による CO₂ の再利用、再生可能エネルギーから製造される水素と大気中の窒素からアンモニアを製造するなど技術開発を進めば、アンモニアは CO₂ 排出量を削減する優れたエネルギーキャリアとなる。アンモニアは分解によって水素を取り出すこともできる水素エネルギーキャリアであるとともに、アンモニアのまま燃料として直接利用可能であるという大きな利点を有している。そこで、図 1 に示すように、本研究はアンモニアを直接燃焼の燃料とし、そのエネルギーを動力、電力、熱に変換して利用する技術開発を行う。対象とする燃焼装置は、ガスタービン、レシプロエンジン、種々の工業炉であり、とりわけ、工業炉分野には、我が国の大型火力発電において重要な役割を果たしている微粉炭燃焼ボイラを含む。

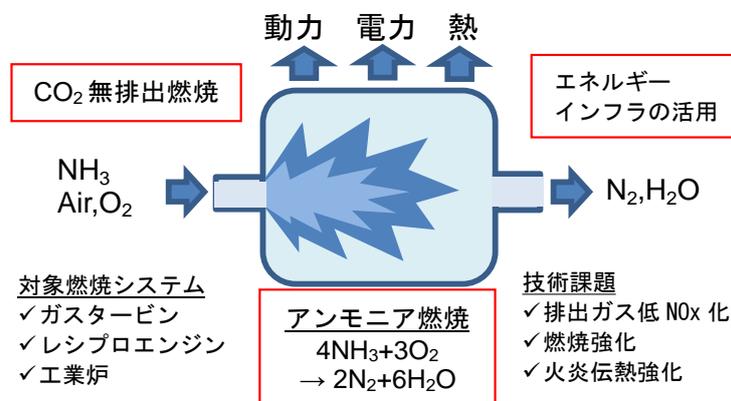


図 1 アンモニア直接燃焼技術開発の概念図

アンモニアをガスタービン燃料として使用する研究が 1960 年代に米国で行われたが、当時の技術では低い燃焼効率しか得られず断念された経緯がある。天然ガスの主成分であるメタンと比較するとアンモニアの層流燃焼速度は概ね 20%程度であり、単位質量当たりの発熱量も 50%程度である。そのため例えばエンジン燃焼では、限られた容積の燃焼室の中で燃焼を完了させる、あるいは火炎を安定化させて高い燃焼効率を達成する技術開発が必要とされる。窒素原子を多く含むアンモニアは燃焼生成物質として窒素酸化物 NO_x を排出しやすい。NO_x 排出を抑制するため、アンモニア燃焼を燃焼化学反応の観点から理解し、燃焼装置に対応した NO_x 排出抑制策を講じる必要があり、最新の燃焼科学ならびに数値解析技術を駆使した研究が要求される。燃焼生成物質にふく射性化学種である CO₂ が含

まれないことから、ふく射伝熱を利用する燃焼装置においてはその影響を把握することも重要である。

本研究の遂行にあたり、燃焼科学を駆使してアンモニア燃焼の特性を明らかにしながら低 NO_x 燃焼法を提案し、燃焼装置開発にフィードバックする一方、燃焼装置開発から得られた情報を考察して更なる高効率、低 NO_x 燃焼法に高めていく相補的な研究開発手法を採用している。また、プロジェクト開始時に以下に示す数値目標を定めており、いずれも達成された。

- ・分散型ガスタービンコジェネレーションの総合効率 60%以上
- ・レシプロエンジンの燃焼効率 98%以上
- ・工業炉の加熱効率 55%以上
- ・いずれも環境基準 (<http://www.env.go.jp/air/osen/law/t-kise-6.html>) に適合する低 NO_x 燃焼

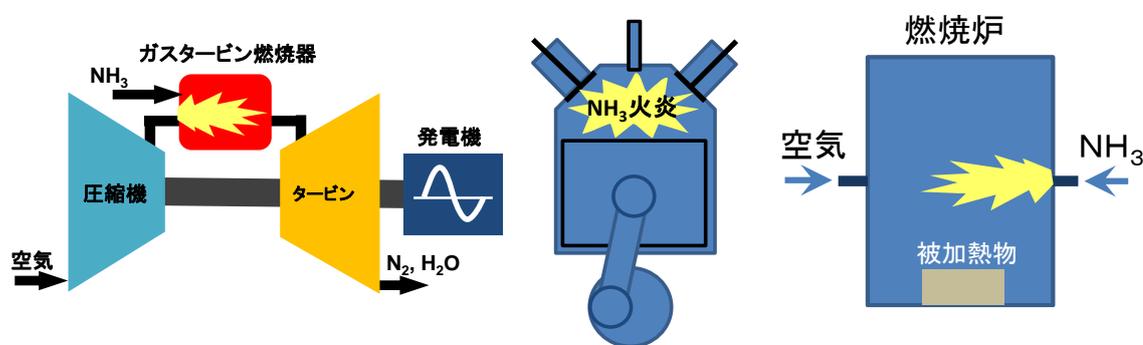


図 2. 研究開発に取り組む燃焼装置
(ガスタービン発電、レシプロエンジン、微粉炭燃焼ボイラを含む工業炉)

2. 研究実施体制

SIP エネルギーキャリアプロジェクトが開始された平成 26 年度、本研究開発テーマ「アンモニア直接燃焼」はアンモニア利用技術基盤チーム内の直接燃焼グループ（全 7 機関）によりスタートした。平成 27 年度にアンモニア直接燃焼チームとして独立し、その後、平成 27 年度に 4 機関、平成 28 年度に 2 機関、平成 29 年度に 5 機関が新たに参画し、4 電力会社を含む全 18 機関となった。研究課題も当初の 7 課題から 19 課題に増大した。

参加機関名ならびに個々の研究課題を図 3 に示す。大学の参加は東北大学と大阪大学である。東北大学はチーム統括（チームリーダー）を担当し、アンモニア燃焼の基礎および基盤的研究に加え、内燃機関に関連する研究を行った。大阪大学はアンモニア燃焼の基礎および基盤的研究に加え、工業炉関連研究の集中研究室として役割を果たした。2 大学に加え、内燃機関を 8 機関、工業炉を 3 機関、既設火力発電所におけるアンモニア利用を 6 機関が担当し、特に IHI はアンモニア混焼ガスタービンに加え、微粉炭炊きボイラにおけるアンモニア混焼の 2 研究課題を実施した。



図3 研究体制図（アンモニア直接燃焼チーム）

3. 研究成果

3-1. アンモニア燃焼の基礎特性解明と基盤技術開発

東北大学および大阪大学ではアンモニア燃焼の基礎特性である層流燃焼速度、メタン添加、水素添加、酸素富化による燃焼速度や消炎伸長率の増大、これらへの雰囲気圧力の影響など、アンモニア直接燃焼の課題である低燃焼性を克服する方策とそのメカニズムを燃焼学的に明らかにした[1,2]。フューエル NO_x および未燃アンモニアの排出についても、両者を同時に低減できる当量比窓の原理を燃焼反応経路における素反応と中間化学種の役割から明らかにし、Rich-Lean 2 段燃焼による顕著な NO_x 排出低減法を提案した。内燃機関など圧力増大による更なるフューエル NO_x 排出低減の原理解明と実証を行い、アンモニア燃焼においては内燃機関の燃焼条件である高圧環境が NO_x 低減の面でも望ましいことを示した。ガスタービン燃焼器を模擬したスワールバーナの 3 次元燃焼数値解析はガスタービン燃焼器内の燃焼を再現する有効な手段である。東北大学では詳細反応を考慮した 3 次元乱流燃焼数値解析を行い、火炎安定化メカニズムならびに NO_x 排出低減における Rich-Lean 2 段燃焼の効果を数値解析的に明らかにするとともに、実験検証も行って実燃焼器の設計指針を示した。

3-2. アンモニアガスタービン

産総研再生可能エネルギー研究所（産総研）では平成 26 年に 50 kW 級アンモニア・灯油混焼マイクロガスタービンによる発電 [3]、平成 27 年にはアンモニア・メタン混焼、アンモニア専焼発電に世界ではじめて成功した[4,5]。当初は燃焼器出口の NO_x 濃度が 1000 ppm 程度あったのに対し、産総研、トヨタエナジーソリューションズ(TESS)、東北大の共同研究によって、Rich-Lean 2 段燃焼を用いた低 NO_x 燃焼器の開発を進め、燃焼器出口の NO_x 濃度を酸素濃度 16%換算値で 200 ppm 以下まで低減させた発電に成功し、更なる低 NO_x 化への目処を付けている。さらに、TESS は 300 kW に大型化したアンモニア燃焼ガスタービンシステムに研究展開を行っている。

IHI では 2 MW 級アンモニア・都市ガス混焼ガスタービン発電に成功し、ほぼ 100%の燃焼効率と、脱硝装置下流で横浜市の環境基準を下回る環境性能を達成した[6]。燃焼器出口部でも酸素濃度 16%換算値で 300 ppm を下回る NO_x 排出濃度まで低減できることを確認した。さらに発電実証試験の結果を使用し排熱回収ボイラモデルを用いた計算を行い、コージェネシステムの総合熱効率 75%以上という結果を得て、アンモニア直接燃焼チームの数値目標の一つを達成した。

三菱日立パワーシステムズと三菱重工エンジニアリングは排出ガスの熱を利用してアンモニアを水素と窒素に分解し、500 MW 級 LNG タービンで混焼させるコンバインドサイクル (GTCC) 技術を提案し、アンモニア分解触媒の探索と要素試験実施ならびに燃焼器特性の検討を行った。

これらによって、50 kW、300 kW、2 MW、500 MW ガスタービン発電レンジの全域に渡るアンモニア燃焼利用の研究開発が進展した。

3-3. アンモニアレシプロエンジン

豊田中央研究所（豊田中研）はレシプロエンジン燃焼室を模擬した定容器におけるアンモニア予混合伝播火炎の壁面近傍のクエンチ現象を詳細に観測した。また産総研はレシプロエンジンにおけるアンモニア燃焼過程の数値解析を行い、熱発生率と未燃アンモニア発

生割合の関係を求めている。更に、豊田中研は単気筒試験エンジンを用いて熱発生率と未燃アンモニアの発生量を調べ、アンモニア熱分解を想定した発熱量ベース 30%の水素を供給することにより燃焼効率 98%以上を達成できることを明らかにし、アンモニア直接燃焼チームの数値目標の一つを達成した。

船用アンモニアレシプロエンジンの研究においては、海上・港湾・航空技術研究所（海技研）は単気筒軽油噴射ディーゼルエンジンのインテークにアンモニアを噴射した際の燃焼効率や排ガス組成への影響を調べた。JEF エンジニアリングは同様の条件の三次元数値解析を行い、筒内アンモニア火炎の分布と熱発生率の関係を明らかにしている。また同機関は、蒸気タービンを有する廃棄物焼却システムにおけるアンモニア燃焼の活用によって、蒸気タービンの発電量を増大させる数値的検討も併せて行っている。

3-4. 工業炉へのアンモニア利用

大陽日酸および大阪大学は、大阪大学に設置された 10 kW ならびに 100 kW アンモニアモデル燃焼炉において、低 NO_x 排出と輻射伝熱強化を同時に達成する燃焼方法を見出し、輻射スペクトル計測と共に燃焼炉における低 NO_x 化の原理を検討している[7]。100 kW モデル燃焼炉では、都市ガス/アンモニア 30%混焼、熱再生工業炉でも行われている酸化剤予熱、ならびに 2 段燃焼法を用いることによって、非加熱効率 55%かつ法規制値以下の NO_x 排出を実現し、アンモニア直接燃焼チームの数値目標の一つを達成して数値目標のすべてが達成された。

大阪大学はアンモニアと混焼する微粉炭の詳細燃焼挙動の観測に成功した [8]。さらに、大陽日酸、日新製鋼、大阪大学は、鋼板脱脂炉のアンモニア混焼衝突噴流式バーナを開発し従来型バーナと同等の鋼板温度分布を得ることに成功し[9]、実機スケール規模の設備による実証試験を実施している。

宇部興産は、セメント製造プロセスからの CO₂ 排出削減効果が大きいセメントクリンカ製造過程における石炭をアンモニアに置き換える研究開発を実施した。大阪大学のモデル燃焼炉において取得したデータも用いた数値解析を実施し、アンモニア混焼によるクリンカ焼成への影響を評価することに成功した。

3-5. 微粉炭炊きボイラを対象としたアンモニア混焼

既設火力発電所、特に微粉炭火力発電の CO₂ 排出削減は我が国の電力事情から緊急の課題である。微粉炭火力発電ボイラで CO₂ フリーアンモニアを混焼する事により直接的に CO₂ 排出を削減できることが期待される。

電力中央研究所（電中研）は、既設発電所におけるアンモニア利用時の課題抽出を詳細に行う共に、アンモニアを熱量比 20%まで注入したシングルバーナー炉微粉炭燃焼試験を実施し、NO_x 排出量が微粉炭単独燃焼と同等となる燃焼条件見出した[10]。この成果を受けて、中国電力は水島火力発電所 2 号ボイラ（15.6 万 kW）においてアンモニアを熱量比約 1%混焼する実機燃焼試験に成功した[11]。より大型の実機微粉炭火力発電所におけるアンモニア混焼を目指し、IHI は電力中央研究所による試験の 10 倍以上の燃料投入条件に対するアンモニア・微粉炭混焼試験を実施し[12]、燃焼条件によっては微粉炭専焼よりも NO_x 排出が低減されるという注目すべき試験結果を得ている。更に、1000 MW 級発電設備の大規模燃焼を想定した数値解析を行って炉内ガス温度や熱流束分布を推定するとともに、実機ボイラならびに付帯設備のフィージビリティスタディーを実施している。

3-6. 既設火力発電所におけるアンモニア燃料利用検討と事業性評価

アンモニア直接燃焼チームには4電力会社（中国電力、東北電力、中部電力、関西電力）が参加し、既設火力発電所におけるアンモニア燃料利用の検討と事業性評価を行っている。中国電力は、前述の水島発電所におけるアンモニア混焼実機試験を実施するとともに、アンモニア製造、輸送、利用を一体とするコスト試算を行い、更に下関発電所1号ボイラを対象とした改造検討を行った。東北電力は、火力発電設備等におけるアンモニア燃料利用に関わる法令調査を詳細に行うとともに LNG ガスタービンコンバインドサイクル発電設備におけるアンモニア混焼時の熱利用解析を実施した。中部電力は、既設微粉炭火力発電ならびに LNG ガスタービンコンバインドサイクル発電における総合的な事業性評価を行っている。更に、碧南火力発電所 1000 MW 級ボイラ含む社内の発電所群を対象として、アンモニア混焼方式、アンモニア貯蔵および供給系統等に関する基本設計を実施し、アンモニア混焼ラボ試験も行っている。関西電力は舞鶴発電所1号機ボイラを想定した微粉炭専焼ならびにアンモニア混焼大規模数値解析を行うとともに、アンモニアスリップ時の安全対策に有用な各種設備に対する影響評価を実施している。

3-7. まとめ

アンモニア直接燃焼チームは、アンモニア燃焼の燃焼学的研究、アンモニアガスタービン、アンモニアレシプロエンジン、工業炉、微粉炭炊き大型発電ボイラにおけるアンモニア混焼、既設火力発電所におけるアンモニア燃料利用の検討と事業性評価等において成果を挙げてきた。SIP エネルギーキャリアプロジェクト開始以降、エネルギー源としてのアンモニアへの関心が国内外で高まり国の施策や海外のレポートでも言及されるようになった。アンモニアの輸送、貯蔵に関わるインフラがすでに完備し広く利用されてきたことから、社会的に受容できるためといえよう。アンモニア直接燃焼利用の利点として、既設の燃焼システムが活用できることも挙げられ、懸念される NO_x 排出増大も燃焼学的に克服できる目途が立った。研究開発を継続し社会への展開を今後とも目指していきたい。

3-8. 今後の課題

CO₂ 排出量削減の観点から、化石燃料からのアンモニア製造において生成される CO₂ をバリューチェーンの上流で貯留または再活用する経済的な解を見出す必要がある。再生可能エネルギー利用によるアンモニア製造が活発化すれば CO₂ フリー燃料としての価値は更に高まる。アンモニア燃焼が有用とされる発電などの分野は扱われるエネルギー量ならびに設備の規模が大きく、燃料価格と共に既設システムの改造にも費用がかかる。これらを各企業の努力のみ委ねるのはリスクが大きく、確実に社会に展開するため引き続き国などのサポートが望まれる。更に、国外の関心も高いことから、知財を含め本プロジェクトにより創出された我が国のアドバンテージを持続、発展させる方策が必要とされる。

4. 外部発表実績

(単位：件数)

学会発表	講演	査読付論文	査読なし論文	取材	合計
239	18	33	27	74	391

5. 特許出願実績

	出願番号	発明の名称	出願年月日	出願人
1	特開2016-191507	燃焼装置、ガスタービン及び発電装置	2015年3月31日	株式会社IHI
2	特願2015-005575	低燃焼性燃料燃焼装置	2016年1月15日	国立大学法人東北大学
3	特願2016-043118	NH ₃ を燃料とした発電設備	2016年3月7日	一般財団法人電力中央研究所
4	特願2016-068006	燃焼装置及びガスタービン	2016年3月30日	株式会社IHI
5	特願2016-067111	燃料供給装置	2016年3月30日	株式会社IHI
6	特願2016-068957	燃焼装置及びガスタービン	2016年3月30日	株式会社IHI
7	特願2016-238587	加熱装置及び加熱方法	2016年12月8日	宇部興産株式会社
8	特願2016-243691	アンモニアを混焼できる石炭燃焼装置	2016年12月15日	一般財団法人電力中央研究所
9	特願2017-016232 PCT/JP2018/002883	燃焼装置及びガスタービン	2017年1月31日	株式会社IHI
10	特願2017-016233 PCT/JP2018/002896	熱サイクル設備	2017年1月31日	株式会社IHI
11	特願2017-049952	燃料燃焼装置および燃焼方法	2017年3月15日	国立大学法人東北大学
12	特願2017-061236 PCT/JP2018/011699	燃焼装置及びガスタービン	2017年3月27日	株式会社IHI
13	特願2017-060445 PCT/JP2018/011893	燃焼装置及びガスタービン	2017年3月27日	株式会社IHI
14	特願2017-060444 PCT/JP2018/011731	燃焼装置及びガスタービン	2017年3月27日	株式会社IHI
15	特願2017-060962 PCT/JP2018/011803	燃焼装置及びガスタービンエンジンシステム	2017年3月27日	株式会社IHI
16	特願2017-060961 PCT/JP2018/011720	燃焼装置及びガスタービンエンジンシステム	2017年3月27日	株式会社IHI
17	特願2017-061212 PCT/JP2018/011043	燃焼装置及びガスタービン	2017年3月27日	株式会社IHI
18	特願2017-061213 PCT/JP2018/011058	ガスタービン	2017年3月27日	株式会社IHI
19	特願2017-553288 PCT/JP2017/023634	発電設備	2017年6月27日	中国電力株式会社
20	特願2017-554103 PCT/JP2017/023635	発電設備	2017年6月27日	中国電力株式会社
21	特願2018-500951	燃焼方法	2017年9月8日	中国電力株式会社

	PCT/JP2017/032407			
22	PCT/JP2017/34586	燃焼装置及び燃焼方法	2017年9月25日	中国電力株式会社
23	特願2017-210672	燃焼器および燃焼方法	2017年10月31日	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人東北大学, 株式会社トヨタタービンアンドシステム
24	特願2017-213208	ボイラ	2017年11月2日	株式会社IHI
25	特願2017-213209	ボイラ	2017年11月2日	株式会社IHI
26	特願2017-213210	ボイラ	2017年11月2日	株式会社IHI
27	特願2017-213255	ボイラ	2017年11月2日	株式会社IHI
28	特願2018-507033 PCT/JP2017/40643	燃焼状態判定システム	2017年11月10日	中国電力株式会社
29	特願2017-234973	加熱装置及び加熱方法	2017年12月7日	宇部興産株式会社
30	特願2017-236413	燃料燃焼装置及び燃焼方法	2017年12月8日	国立大学法人東北大学
31	特願2017-239027	アンモニアを混焼できる石炭燃焼装置（基礎出願：特願2016-243691号）	2017年12月13日	一般財団法人電力中央研究所
32	特願2017-253401	アンモニアエンジンの排気浄化装置	2017年12月28日	株式会社豊田中央研究所
33	特願2018-022168	セメントクリンカの製造方法及び製造装置	2018年2月9日	宇部興産株式会社
34	特願2018-53646	アンモニアエンジンの排気浄化装置	2018年3月21日	株式会社豊田中央研究所
35	特願2018-53645	アンモニアエンジンの排気浄化装置	2018年3月21日	株式会社豊田中央研究所
36	特願2018-056115	アンモニア分解装置	2018年3月23日	三菱重工エンジニアリング株式会社
37	特願2018-062165	燃料供給装置及びガスタービン	2018年3月28日	株式会社IHI
38	特願2018-062166	燃焼装置及びガスタービン	2018年3月28日	株式会社IHI
39	特願2018-062164	燃焼装置及びガスタービン	2018年3月28日	株式会社IHI
40	特願2018-66863	アンモニアエンジン	2018年3月30日	株式会社豊田中央研究所
41	特願2018-069818	燃焼装置、ガスタービン及び発電装置	2018年3月30日	株式会社IHI
42	特願2018-079942	アンモニア分解システム及びアンモニア分解方法	2018年4月18日	三菱重工エンジニアリング株式会社
43	特願2018-092033	蒸気発生設備	2018年5月11日	株式会社IHI

44	特願2018-098655	蒸気発生設備	2018年5月23日	株式会社IHI
45	特願2018-169588	ボイラ	2018年9月11日	株式会社IHI
46	特願2018-169624	燃焼装置及びボイラ	2018年9月11日	株式会社IHI
47	PCT/JP2018/40350	燃焼器および燃焼方法	2018年10月30日	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人東北大学, 株式会社トヨタタエナジーソリューションズ
48	特願2018-226269	排気浄化装置および内燃機関システム	2018年12月3日	株式会社豊田中央研究所
49	特願2018-226268	排気浄化装置および内燃機関システム	2018年12月3日	株式会社豊田中央研究所
50	PCT/JP2018/44609	アンモニア気化器	2018年12月4日	中国電力株式会社
51	特願2019-001444	アンモニアを混焼できるボイラ装置及び火力発電設備	2019年1月8日	一般財団法人電力中央研究所
52	予定	予定	2019年3月予定	三菱日立パワーシステムズ株式会社
53	予定	予定	2019年3月予定	三菱日立パワーシステムズ株式会社
54	予定	予定	2019年3月予定	三菱日立パワーシステムズ株式会社

6. 参考文献

1. H. Kobayashi, A. Hayakawa, K.D.K.A. Somarathne, E.C. Okafor, Science and technology of ammonia combustion, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 37 (2019) 109-133.
2. 武石裕行, 林 潤, 河野翔太, 有田 航, 飯野公夫, 赤松史光, 酸素富化燃焼におけるアンモニア層流予混合火炎の基礎燃焼特性, 日本機械学会論文集 81-824(2015), 14-00423.
3. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20140918-2/>.
4. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20150917/>.
5. O. Kurata, N. Iki, T. Inoue, T. Matsunuma, T. Tsujimura, H. Furutani, M. Kawano, K. Arai, E.C. Okafor, A. Hayakawa, H. Kobayashi, Development of a wide range-operatable, rich-lean low-NOx combustor for NH₃ fuel gas-turbine power generation, Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 37 (2019) 4587-4595.
6. IHI プレスリリース, https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2018/technology/2018-4-18/.
7. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031-2/>.

8. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031/>
9. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/>.
10. 電力中央研究所プレスリリース,
http://criepi.denken.or.jp/press/pressrelease/2017/01_10press.pdf.
11. JST プレスリリース, <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20170908/>.
12. IHI プレスリリース, https://www.ihi.co.jp/ihi/all_news/2017/technology/2018-3-28/.