

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：57103

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19885

研究課題名（和文）亜酸化窒素を作動ガスとする極低環境負荷型多段ガスタービンシステム構築への挑戦

研究課題名（英文）Construction of a multi-stage gas turbine system with extremely low environmental impact using nitrous oxide as energy source

研究代表者

山本 洋司（Yamamoto, Yohji）

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：50707453

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ガスタービンの作動ガスに亜酸化窒素（N₂O）を用い、N₂Oの分解発熱を利用して、燃料を全く或いは殆ど使用せずにガスタービンを駆動させることのできる極低環境負荷型N₂O多段ガスタービンシステム実現へ向けて挑戦した。N₂Oを定容分解させると、圧力の急上昇が得られ、また、流路にヒーターを配置した反応器では流動中のN₂Oを分解させることを実験的に確認することができた。このことにより、N₂Oがガスタービンを含む熱機関の作動ガスとして使用できる可能性を示せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

燃焼機器の作動に伴う温暖化ガス排出の割合は重大で、発電機等に用いられるガスタービンもその例外ではない。燃料を用いずN₂Oのみでガスタービン等の熱機関を駆動させることができれば、排出ガスは酸素と窒素なので、炭化水素系燃料の燃焼で問題となっている二酸化炭素や汚染排出物質がゼロとなり、安全性も高い。この技術が確立されると、環境、エネルギー問題解決方法や安全対策に関する有望な選択肢が一つ増えることとなる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we tried to achieve a multi-stage gas turbine system using nitrous oxide (N₂O) as energy source, which can drive the gas turbine with little or no fuel by utilizing the decomposition heat of N₂O. It was confirmed that when N₂O was decomposed in constant volume, a pressure spike was obtained, and that the reactor with a heater placed in the flow path was able to decompose the N₂O in the flow. These results show that N₂O has potential to be used as the energy source for heat engines, including gas turbines.

研究分野：燃焼工学

キーワード：環境負荷低減 亜酸化窒素 分解発熱 ガスタービン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の枯渇や安定供給等に関するエネルギー問題、これを用いた燃焼機器による大気汚染や健康被害等の環境問題は深刻で、発電機等に用いられるガスタービンもその例外ではない。これら問題の解決のための方法の一つとして、熱機関のエネルギー源に再生可能エネルギーから製造する水素 (H_2) やアンモニア (NH_3) を燃料やエネルギーキャリアとして用いることが提唱されているが、貯蔵性や安全性等の問題がある。そこでこれらに加え、新たなエネルギー物質が提案できれば選択枠が増え、それぞれの特長を生かした分野において選択的に利用可能となる。

2. 研究の目的

本研究は、亜酸化窒素 (N_2O) を用いた、燃料を使用しない或いは殆ど使用せずに駆動するガスタービンを提案し、モデル機の実験実証を目的とする。具体的には N_2O の分解発熱を利用し、燃料レスで一段目のガスタービンを駆動させる。燃料を燃焼させないので排気ガスは酸素 (O_2) と窒素 (N_2) のみのクリーンなものであり、さらに酸素含有率が空気より多く、温度も高い。この排気ガスを二段目のガスタービンの吸気に用いることで、ごく少量の燃料で駆動が可能となるため、低燃費で、排気ガス中の二酸化炭素 (CO_2) 濃度も僅かとなる。これを三段目以降も続ける。この技術が確立し、他の熱機関に適用できれば、今までの概念と異なる全く新しい環境、エネルギー問題の解決方法となるだけでなく、安全性の高い燃焼機器が実現できる。この第一歩として、 N_2O 多段ガスタービンシステム (図1) の構築を目指す。

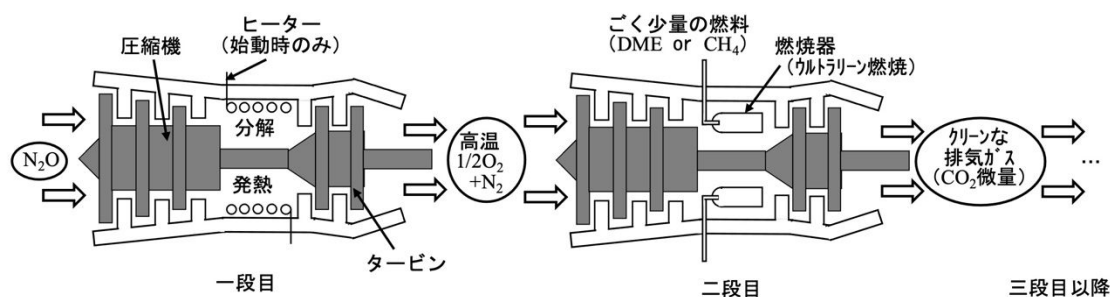


図1 N_2O 多段ガスタービン

3. 研究の方法

N_2O を作動ガスとする多段ガスタービンを実現させるために、(1) N_2O 分解特性把握と、(2) N_2O ガスタービンの実証試験を行う。

(1) N_2O 発熱分解特性把握

本ガスタービンシステムを確立させるためには、 N_2O が確実に O_2 と窒素 N_2 に分解発熱し、一段目のガスタービンが動作することが必須条件である。そこで、独自に開発した密閉加熱容器を用いて、 N_2O の自己分解発熱特性を把握する。また、 N_2O をガスタービンに用いるためには流動中で分解させなければならないので、流路に熱源を配置した実験装置により分解を試みる。これらの実験から N_2O が自己分解する最適な条件等を見つけ、このデータを基に、ガスタービンの改造や運転条件を決定する。

(2) N_2O ガスタービンの実証試験

N_2O を作動ガスとし、燃料レスで実際に運転が可能かどうか、小型ガスタービンを用いて実証試験を行う。起動時はコンプレッサーの圧縮のみで自己分解温度 600 まで上昇しないと考えられるので、ジメチルエーテル (DME) やメタン (CH_4) 等の燃料を僅かに加え分解させる。一度分解すると発熱するため、燃焼室に送り込まれてきた新たな N_2O は高温の燃焼室内で連鎖的に自己分解するので、熱源や燃料無しに連続運転が可能となると考える。

4. 研究成果

(1) 高温高压密閉容器を用いた自己分解

図2は自己分解実験に用いた1kWのヒーターを内蔵した高温高压密閉容器である。容器内に N_2O を封入し、ヒーターにより加熱し分解させ、その時の圧力の時間経過を測定する。

図3に初期圧力0.3MPa、初期温度23における実験結果を示す。加熱開始60秒から圧力が上昇し、加熱開始後360秒、0.7MPaに達したところで急激に圧力が上昇していることがわかる。初期温度まで冷却した後の容器内の圧力は初期圧力の1.35倍、 O_2 濃度を測定したところ25vol%であった。このことから、 N_2O は分解していると考えられる。圧力が急上昇するところの容器内温度は、定容変化から換算すると約420であり、 N_2O の分解温度とされる600には達していないが、ヒーターの表面温度は700程度となっているので、ヒーター表面に触れた N_2O が分解

発熱し、その周りの N_2O が連鎖的に分解していったと考えられる。この圧力急上昇を利用すればガスタービンのような熱機関を作動させることが可能である。ここで、 N_2O が完全分解すると理論上の O_2 濃度は 33.3vol% となるはずであるが、それより酸素濃度が低いので分解しなかった N_2O や窒素酸化物 (NO_x) が含まれていると思われる。 NO_x については、容器内に三元触媒を入れておくことで生成しないことを確認している。

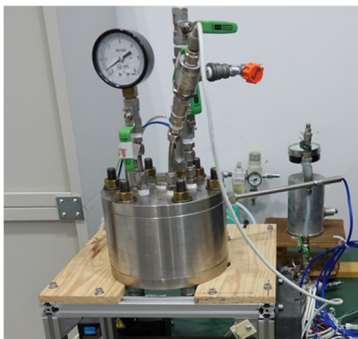


図 2 高温高压密閉容器

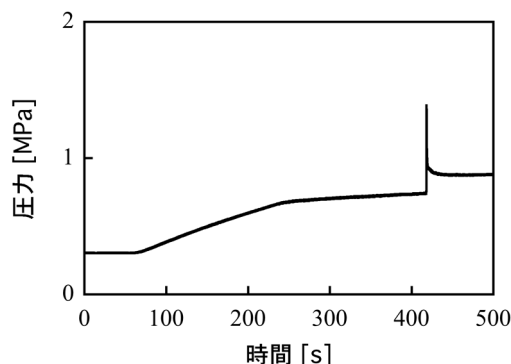
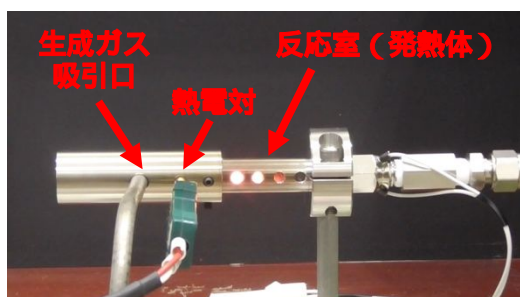


図 3 N_2O 分解における圧力-時間線図

(2) 流動中における分解

N_2O でガスタービンを運転させるためには流動中の N_2O を分解させる必要がある。そこで流路にグロープラグ (84 W) を配置して分解する方法と電極を配置してネオントランスによる放電 (200 VA) により分解する方法を試みた。分解後の O_2 濃度を測定したところ、 N_2O 流量 0.5L/min で、グロープラグ方式では 0.6vol%、放電方式では 3vol% と完全分解にはほど遠い結果となった。これらの実験から、 N_2O の高温部との接触時間を長くし、すべての N_2O を確実に接触させることができれば分解が促進されることが明らかになった。そこで、発熱体長さ 32 mm、直径 8 mm、最高電力 400 W、反応室直径 8.5 mm の小型熱風器を利用した反応器を製作し実験を行った。図 4(a) はその反応器である。 N_2O 流量 5 L/min、電力 290 W では、 N_2O 温度が 1000 になると、図 4(b) のように火炎が発生し、それと同時に 1300 まで一気に上昇した。最終的には 1550 と化学平衡計算での分解温度 1600 に近い値となった。生成ガス中の O_2 濃度は 10vol% であり、完全分解には至っていないが、分解が促進されており、さらに接触時間を長くしたり、反応器に触媒として白金族コーティングを施したりすることで完全分解できると考えられる。現在はその効果の確認を行っている。



(a) 実験装置



(b) N_2O 火炎

図 4 小型熱風器を利用した反応器

(3) 燃料少量添加による分解

N_2O の分解実験より連鎖分解することを確認したが、分解開始までに時間がかかるなど予想以上に分解しづらいことがわかった。ガスタービンの始動時は温度が低く N_2O が分解せず起動しないことが考えられるので、僅かに燃料を添加することを視野に入れているが、その添加量は少ない方がよい。そこで、密閉型球形容器を用いて、火花点火による N_2O 分解のための最小燃料添加量を測定した。添加燃料には一般的な気体燃料であるメタン (CH_4) と着火性のよいジメチルエーテル (DME) を用いた。

初期圧力 0.1 MPa、初期温度 22、着火エネルギー 15 mJ での N_2O を分解させるための最小添加量の結果を表 1 に示す。DME の方が少ない添加量で分解した。分解後の O_2 濃度を測定したところ、化学平衡計算とほぼ同じ値となった。

表 1 燃料添加による N₂O 分解実験結果

燃料	最小添加量 [vol%]	生成ガスの O ₂ 濃度 [vol%]		生成ガスの CO ₂ 濃度 [vol%]	
		実験値	計算値	実験値	計算値
CH ₄	4.5	27.9	25.8	4.5	3.2
DME	3.2	27.3	25.4	6.0	4.5

(4) 熱機関作動ガスへの N₂O の適用

N₂O に燃料を少量添加することで火花点火により分解することがわかったので、レシプロエンジンでその効果を確認した。使用したエンジンは排気量 100 cc、圧縮比 5.6 の火花点火エンジンで、燃料はガソリンである。定格回転数 3600 rpm での運転時のガソリン消費量を比べたところ、吸気が空気の場合、5.3 mL/min に対し、N₂O を用いた場合は 2.8 mL/min と約半分となった。しかし、十分暖気した後でも燃料供給を停止するとエンジンは停止した。圧縮比が低いことが考えられるので、圧縮比を上げたエンジンや圧縮点火エンジンでの実験を行う予定である。

ガスタービンの作動ガスに N₂O を適用した実験を行うため、自動車用ターボチャージャーを用いたガスタービン実験装置を製作した(図 5)。動作確認のため、CH₄/空気で実験を行ったが、圧力比が 2.2 と低い自立運転するための条件が非常に狭く、安定した運転が難しいので、N₂O の適用までは至っていない。

当初予定の N₂O を作動ガスとしたガスタービン技術の確立までは至っていないが、N₂O が熱機関のエネルギー源として適用できる可能性があることが確認できた。



図 5 ガスタービン試験装置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 朝倉慎, 山本洋司, 橘武史
2. 発表標題 エネルギー源としての亜酸化窒素の利用提案
3. 学会等名 火薬学会2019年度秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本洋司, 橘武史
2. 発表標題 熱源利用を目的とした亜酸化窒素の分解に関する研究
3. 学会等名 日本航空宇宙学会西部支部講演会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	橘 武史 (Tachibana Takeshi) (50179719)	北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・特命教授 (57103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------