

AN STUDY OF POWER GENERATION SYSTEM USING HEAT OF CHEMICAL DECOMPOSITION OF NITROUS OXIDE

Yuichiro Ide, Tsutsumi Akimasa

Department of Space and Astronautical Science, School of Physical Sciences, The Graduate University
for Advanced Studies, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara 252-5210, Japan

Koji Fujisato

Department of Chemical System Engineering, Graduate School of Engineering, University of Tokyo,
7-3-1, Hongo, Bunkyo, Tokyo, 113-8656, Japan

Shigehiro Chaen

Showa Denko K.K.13-9, Shiba Daimon 1-Chome, Minato-ku, Tokyo 105-8518 Japan

Toshiyuki Katsumi, Hiroto Habu, Yoshitsugu Sone, Shinichiro Tokudome, Junichiro Kawaguchi
JAXA/ISAS, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara 252-5210, Japan

Abstract:

These days, scientific planetary explorations with various spacecrafts are conducted actively to probe the solar system. In the exploration distant from the sun, there are two problems. One is a power supply drop of solar cells, the other is a low-temperature environment. Hence, we need to use low melting-point propellants to decrease the power consumption of propellant heaters. The freezing-point of nitrous oxide is 183 K under ordinary pressure, so we think that it is suited for the space exploration. Moreover, its decomposition heat 82 kJ/molN₂O can convert to electric power using thermoelectric devices. So, this power might be used for electric devices on-board.

To realize this, we purpose to obtain the characteristic features of such power generation system because, as far as we know, this is a new field of study.

To generate electricity from heat, we can choose some power generation devices such as Peltier devices, Stirling engines and steam turbines. In our experiment, we used a Peltier device because it was simple structure and had no mechanical moving parts so that we could easily design a new system. N₂O decomposition makes two levels of temperatures, which create a hot and a cold side. These represent N₂O decomposed gas and N₂O gas respectively. Therefore, we can generate electricity by sandwiching the Peltier device between these two thermal sources. This is the concept of the system. By using thermocouples, we can measure temperatures of the catalyst and surfaces of the Peltier device. And we can measure the voltage and the current of the Peltier device.

In conclusion, we confirmed the self-heating-up-decomposition of nitrous oxide and realized power generation using decomposition heat of nitrous oxide. And we obtained the I-V curve of Peltier device. Because the generated voltage of Peltier device is proportional to the difference in temperature, it is important for the difference in temperature to achieve a stationary state earlier than these temperatures.

亜酸化窒素の化学分解熱を利用した発電システムの研究

○井出雄一郎（総研大）、藤里公司（東大・工）、堤明正（総研大）、勝身俊之、羽生宏人、曾根理嗣、徳留真一郎（ISAS/JAXA）、茶園 茂広（昭和電工）、川口淳一郎（ISAS/JAXA）

1. 研究背景と目的

近年、探査機を利用した惑星や太陽系の科学的な調査が活発に行われ始めている。特に、外惑星などの深宇宙探査では、低温環境及び太陽光発電量の減少が問題となる。広く使用されている推進剤のヒドラジンは常圧で約 1°C の凝固点を持ち、このような低温環境では、推進剤保温用ヒータが必要である。電源が少ない状況もとでは、この消費電力を抑えられる低凝固点の推進剤が求められる。常圧で約 -90°C の凝固点を持つ亜酸化窒素 (N_2O) は低凝固点推進剤であるだけでなく、自身の化学分解熱($82\text{kJ}/\text{N}_2\text{Omol}$)を用いて発電し、探査機周辺機器へ活用できる可能性がある。

本研究では、このような推進剤をエネルギー源とした発電システムとして、複数の発電デバイスを使ったシステムを検討しており、高効率での電気エネルギーの変換と N_2O 分解熱による発電の基礎特性の取得を目的としている。ここでは、研究開発の初期段階として1つの発電デバイスのみを用いて実験を試みた。発電デバイスの候補として、ペルチェ素子、スターリングエンジン、蒸気タービンがある。これら発電デバイスの中から構造がシンプルで、可動部分がないペルチェ素子を選択して、これを用いて N_2O の分解熱を利用した発電システムの実験研究を行った。なお、 N_2O の分解には、初期温度 350°C で N_2O ガスをほぼ100%窒素・酸素に分解する昭和電工の触媒を使った。

2. 実験目的

N_2O ガスは触媒分解の前後で、低温と高温の熱源となる。この2つの熱源でペルチェ素子を挟むことで、温度差発電が可能となる。このような装置の概略図を図1に示す。本実験での目的は、3つある。1つ目は、 N_2O の自己加熱分解の確認である。すなわち、 N_2O の分解熱を使って、新たに投入された N_2O を分解温度 350°C まで加熱し、触媒分解させるサイクルを継続的にできるか確認する。2つ目は、 N_2O 分解熱による温度差発電の実証である。3つ目は、ペルチェ素子の電流－電圧曲線の取得である。

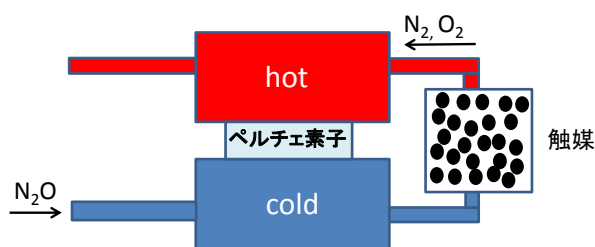


図1：実験装置の概略図

3. 実験装置の説明

図2が本研究で使用した実験装置である。大部分がステンレスで製作されている。高温・低温熱源からペルチェ素子面への熱伝導を高めるため熱源容器の1面だけ銅板にした。また、粘着性のある熱伝導シートを用いてこの銅板にアルミ製のフィン状の熱交換器を取り付けた。さらに、触媒を充填した容器の外側に電熱ヒータを巻き、触媒を加熱可能とした。また、温度測定のため、実験装置には熱電対を取り付けた。各温度測定点とその名称は図3に示す。温度データは時系列でPCに収録する。

一方、ペルチェ素子の電流－電圧曲線を測定するため、ペルチェ素子に可変抵抗（最大100Ω）を並列接続した。そして、これに電流計・電圧計を取り付けて、ペルチェ素子の電流・電圧を測定できるようにした。

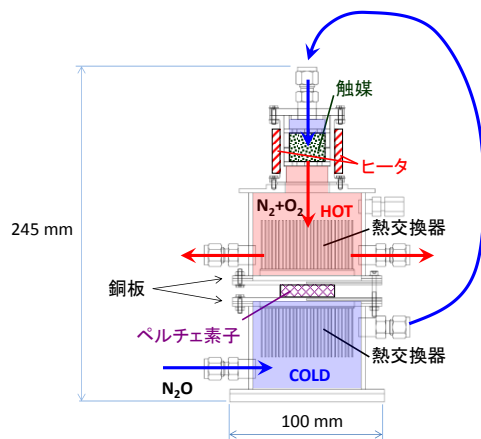


図2：N₂O 熱電発電装置

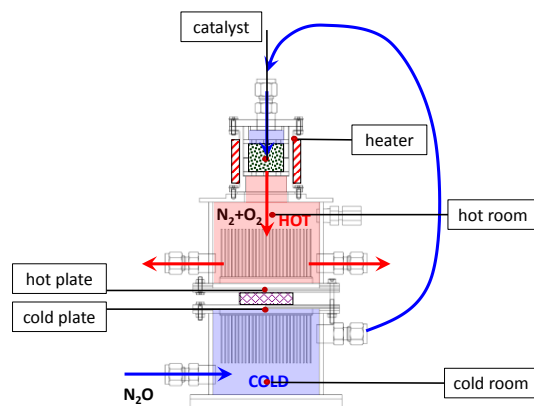


図3：N₂O 熱電発電装置での温度測定点

4. 実験方法

まず、装置内を窒素ガス置換する。次に、ヒータで触媒を加熱し400℃まで達したら、圧力0.2 MPaのN₂Oガスを流量3 L/minで流す。そして、触媒部の温度モニタによりN₂Oの分解を確認し、その後ヒータをOFF。各plate温度の定常性を確認後、ペルチェ素子の電流－電圧曲線を取得する。実験終了後は窒素ガス置換によりN₂Oを系から除去する。

一方、ペルチェ素子の電流－電圧曲線の取得では、ペルチェ素子に並列に繋いだ可変抵抗を100Ω～0Ω次に0～100Ωに変化させ、この時のペルチェ素子の電流と電圧を計測した。

5. 実験結果と考察

温度履歴を図4、5に示す。凡例は図3での測定点の温度を示す。図4において、触媒温度(catalyst)は、N₂O流入とともに急上昇し850℃前後で安定している。従って、N₂Oが自己加熱分解していることを確認できた。しかし、触媒温度は3000sec辺りでピークを迎え一定の割合で減少した。このまま減少が続けば、触媒下でのN₂O分解温度350℃を下

回り自己加熱分解が停止する可能性もある。図5では、hot plate と cold plate の温度が約 80 分後に定常に達しているのに対し、その温度差である dT は 30 分程度で定常に達した。非定常状態においても温度差が早期に定常に達することは、ペルチェ素子の発電電圧が温度差に比例するため、重要である。この時の、Hot plate は 90℃、cold plate は 50℃であり、温度差 dT は 40℃である。

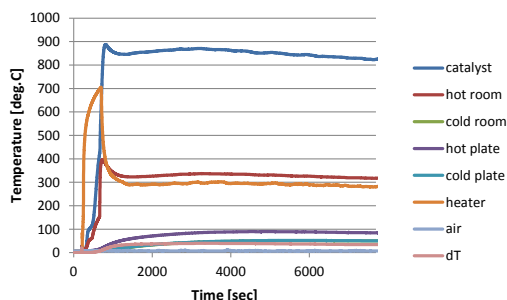


図4：温度履歴

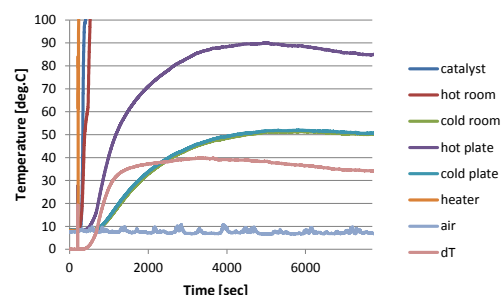


図5：温度履歴(図4の0℃～100℃の拡大図)

一方、ペルチェ素子の電流 - 電圧曲線の計測結果を図6に示す。電流 - 電圧曲線は直線的となり、ヒステリシスが現れている。図6の上の曲線が、抵抗を 100Ω～0Ωに変えたときの曲線で、下の曲線が抵抗を 0Ω～100Ωに変えたときの曲線である。今回の計測により、本研究の目的である N₂O による温度差発電の実証とペルチェ素子の電流－電圧曲線の取得は達成できた。また、図6のデータを基に電流 - 電力曲線を作成した(図7)。電流 - 電力曲線は放物線となっており、最大電力が約 0.03W となる。これと N₂O 供給量から発電効率を見積る。280 K (7℃)、0.2 MPa の N₂O が 3 L/min で流れたため、分解効率 100%とすると発熱量が 350 W となる。今回の実験で得られたペルチェ素子の発電電力 0.03 W なので、発電効率は、 $0.03 \text{ [W]} / 350 \text{ [W]} \div 0.01\%$ となる。

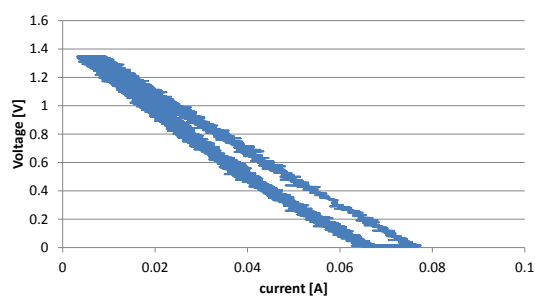


図6：ペルチェ素子の電流－電圧曲線

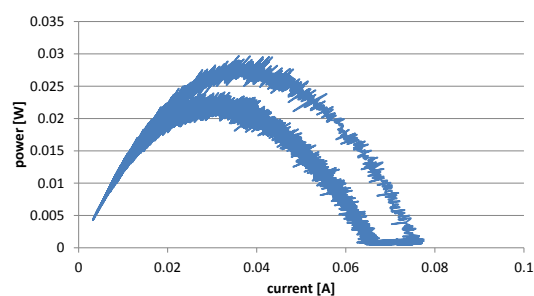


図7：ペルチェ素子の電流 - 電力曲線

6. まとめ

低凝固点推進剤である亜酸化窒素をエネルギー源とした発電システムの開発を目的とし、亜酸化窒素の触媒分解前後の温度差を利用してペルチェ素子で発電を行った。基礎データを習得し、下記の3つの実験目的を達成できた。

- N_2O の自己加熱分解の確認
- 温度差を利用した発電の実証
- ペルチェ素子の電流—電圧曲線の取得

また、今回実験で得られたペルチェ素子を用いた N_2O 発電装置の特性を下記にまとめる。

- 系全体が定常に達するまで 80 分程度の時間を要した
- Hot plate と cold plate の温度が定常に入る前に、その温度差が定常に達した（温度差はペルチェ素子の発生電圧に比例するため、重要である）
- catalyst から hot room 温度測定点までの 5cm の間に N_2O 分解ガス温度が 870°C から 330°C まで減少した
- 今回の実験装置の発電効率は約 0.01% だった

今後の課題として、ペルチェ素子を用いた N_2O 熱電発電装置の発生電力を高めるため、次の点を調査する。

- catalyst から hot room までの N_2O 分解ガスの温度低下の原因を特定し、温度低下を軽減することで、ペルチェ素子の温度差を高める
- 各 N_2O 流量のペルチェ素子の電流 - 電圧曲線を取得し、最大電力となる最適流量を見積る

また、蒸気タービンやスターリングエンジンを用いた N_2O 分解熱による発電装置を製作し、実証試験を行う予定である。

謝辞

本実験に高い分解性能を持つ昭和電工（株）の N_2O 分解触媒を使用させて頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

川口淳一郎、徳留真一郎、羽生宏人、八木下剛、堀田雅敏、【特許公開 2008-144588】、発明の名称：亜酸化窒素を用いたスラスト装置、公開日：平成20年6月26日