

月の自然エネルギーによる発電方法について

長崎県立長崎西高等学校 物理部

栗原 幹人 (2年)
扇 芽衣 (1年)

的野 祥人 (2年)
衛藤 直純 (1年)

北尾 早来紗 (2年)

1. 概要

月面開発において、2週間にわたる夜間の発電方法の確立は大きな課題である。そこで、月の地表温度 -170°C と地中温度 -22°C との間の 150K の温度差を利用し、バイナリー発電を行うことを提案する。発電用熱媒体に四フッ化炭素を使用し、タービン入口条件を圧力 2.0MPa ・温度 -46°C 、タービン出口条件を圧力 0.05MPa ・温度 -138°C 、熱媒体の流量を 13.6t/h とすることで、定格 100kW の発電ができる。

2. 具体的な提案内容

■月面における夜間の温度環境について

月面では昼と夜が2週間ごとに入れ替わるため、太陽光以外のエネルギーによる夜間の発電方法の確立は大きな課題である。

先行研究によれば、夜間の地表温度は 103K (-170°C) にもなる過酷な世界であるが (図 1)、地表から 0.4m 程度掘った地中の温度は、 251K (-22°C) でほぼ一定に保たれている (図 2)。

本研究では、地表温度の -170°C と、 0.4m 掘った地中温度の -22°C との温度差を用いたバイナリー発電について検討する。

■熱媒体の選定について

バイナリー発電には、発電用、加熱用、冷却用の3種類の熱媒体を使用し、熱媒体の循環や熱交換の模式図が図 3 である。

発電用熱媒体には、地中温度 -22°C と、地表温度 -170°C の間に沸点をもつ四フッ化炭素 (CF_4) を使用する。

加熱用熱媒体には、 -22°C 付近で常に液体である 1-ブテン (C_4H_8) を使用する。昼の14日間に地下のタンクで -22°C に温めたものを夜間の発電で使用する。

冷却用熱媒体には、 -170°C 付近で常に液体である四フッ化炭素を使用する。真空での放射を利用したラジエーターを使用して、地表温度と同程度の -170°C まで下げる。

■月面バイナリー発電の概要について

図 4 は、発電用熱媒体に用いる四フッ化炭素の T - S 線図および熱サイクルを表し、数字①～⑥は図 3 の各状態と対応している。

状態①で圧力 2.0MPa の発電用熱媒体は、状態①→②でポンプを通過し、状態②→③で気体になり始め、状態③→④で熱媒体が気体となる。状態④→⑤で 20K の過加熱を行い、状態⑤→⑥でタービンを回し、発電を行う。タービンを回した直後、断熱膨張により圧力が 2.0MPa から 0.05MPa まで急激に下がる。最後に、状態⑥→①で凝縮器を用いて熱媒体を液体に戻し、比エンタルピが元の状態へと戻る。

状態⑤→⑥ではタービン内の流体とノズルや翼との摩擦などの損失により、エンタルピが増大するため、破線線のような等エンタルピ変化は実現できない。一般的に示されている効率として、タービン軸効率 0.95 、タービン仕事効率 0.90 を用いるとき、熱媒体の流量が 13.6t/h であれば、定格 100kW が達成できる。

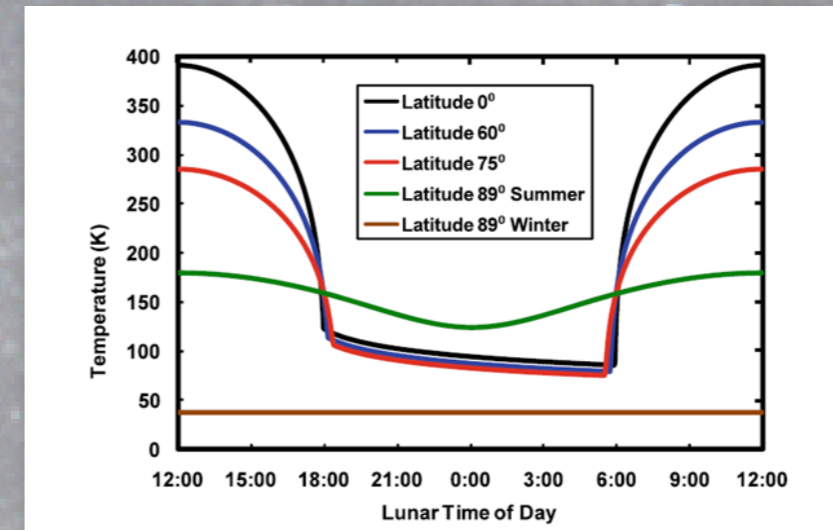


図 1: 緯度ごとの、月面での現地時間 (横軸の 24 時間が地球時間の 28 日に相当) と地表温度のモデル計算。緯度 89° 度では、夏至と冬至の温度変化を示している。(D.A.Paige et al. 2010)

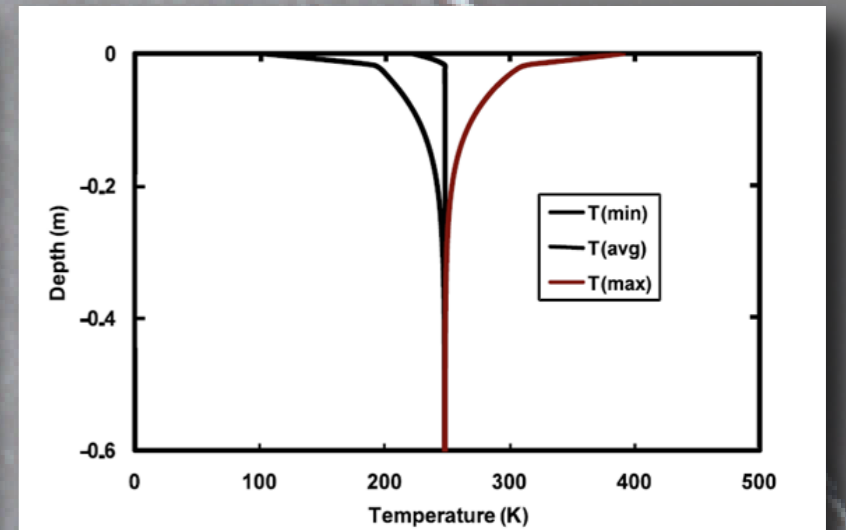


図 2: 月の赤道における、地中の深さごとの日中の最低温度、最高温度、平均温度のモデル計算。(D.A.Paige et al. 2010)

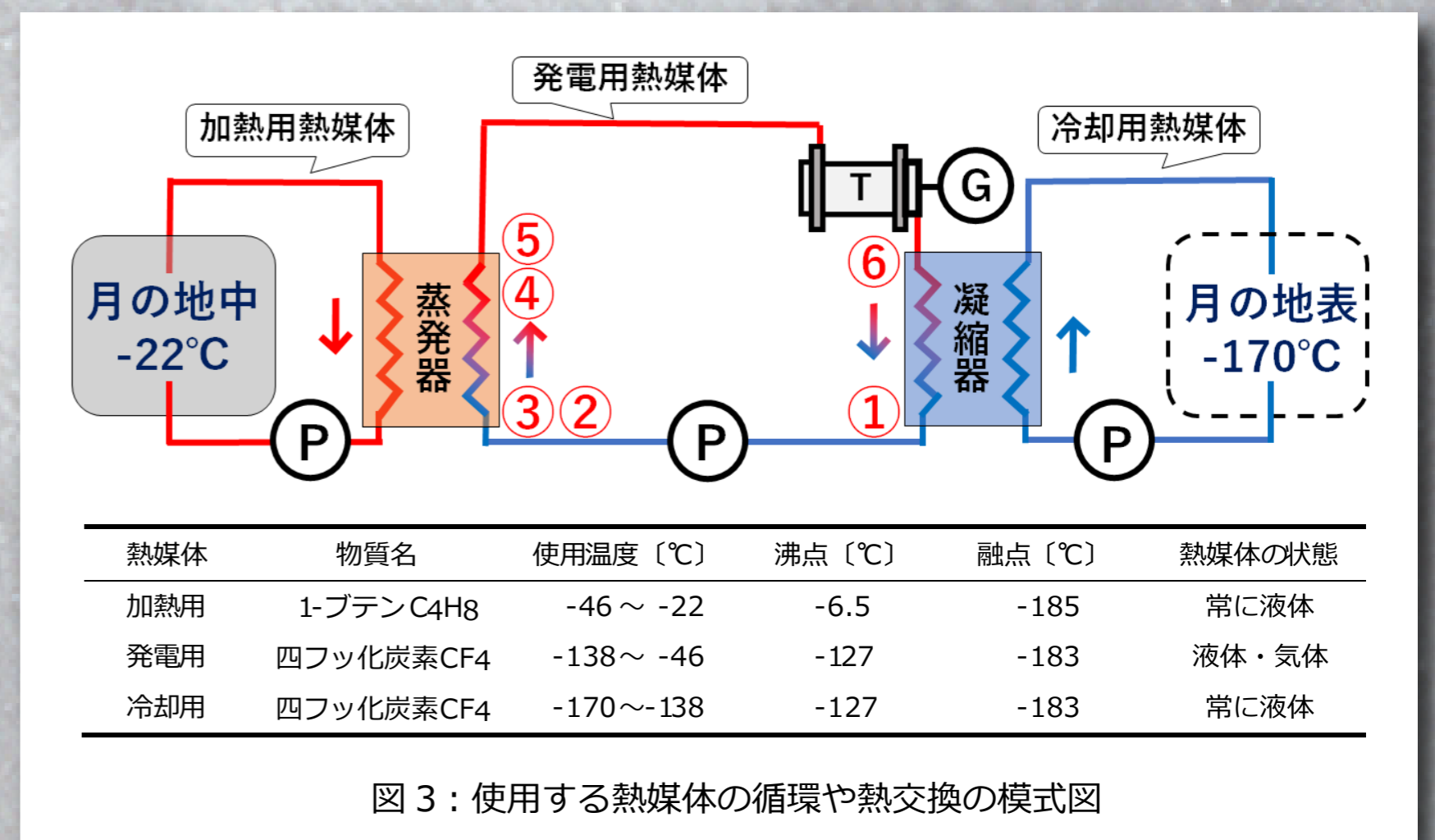


図 3: 使用する熱媒体の循環や熱交換の模式図

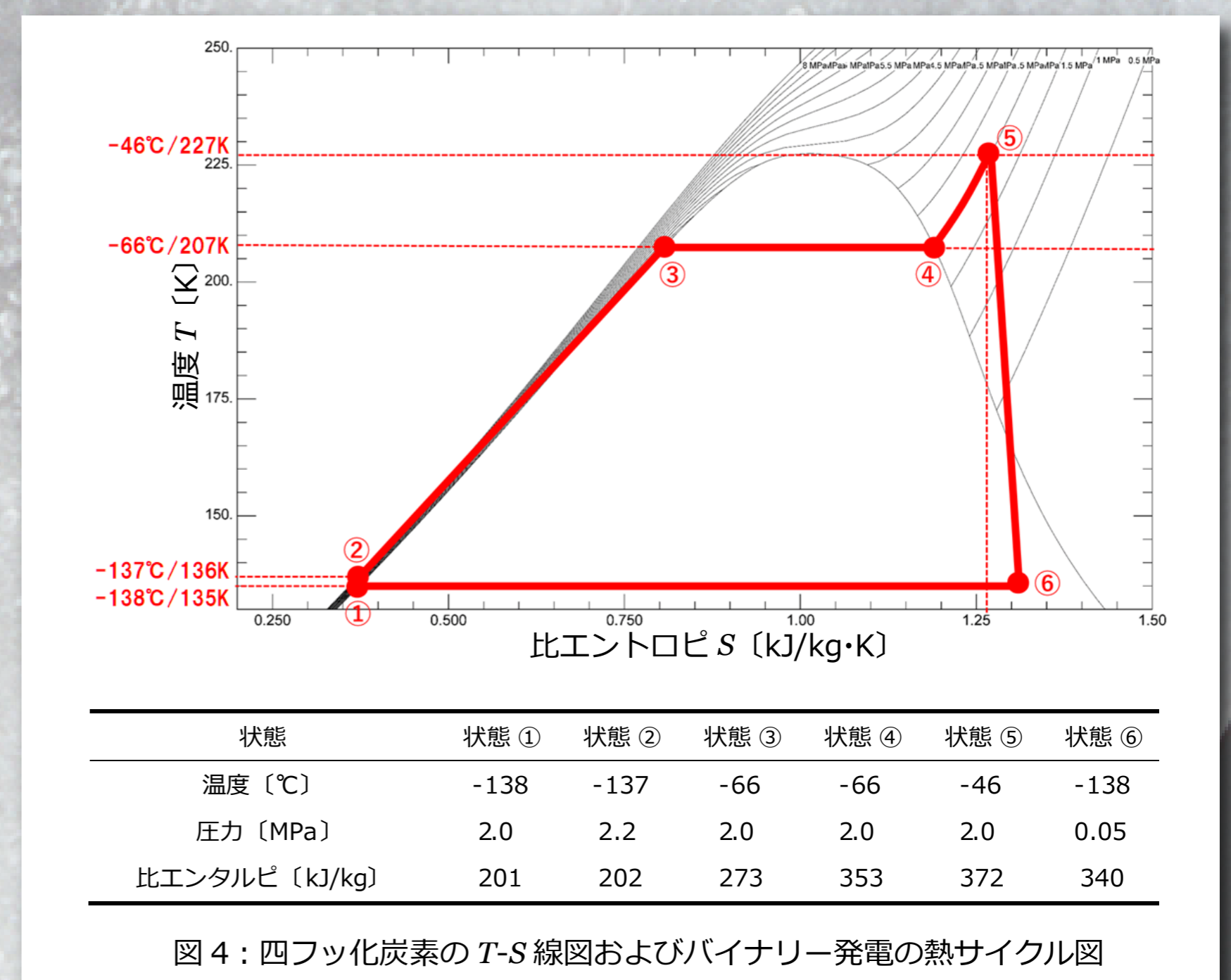


図 4: 四フッ化炭素の T - S 線図およびバイナリー発電の熱サイクル図

3. 得られる成果

- ・四フッ化炭素 (CF_4) を熱媒体に用いることで、夜間の月面におけるバイナリー発電が可能になる。
- ・月面で定格 100kW の発電が可能になり、人類が月へ進出する際の足がかりとなる。
- ・発電システム全体が 10t であるため、ロケット 1 回で運ぶことができる。

4. 独創性または社会的な効果

- ・氷点下での温度差で動作するバイナリー発電の熱サイクルを決定できた。
- ・月の夜という過酷な環境で得られる自然エネルギーを用いた発電の実現可能性を示した。