

広島県立西条農業高等学校 農業機械科3年
瀧本 皇我, 金元 樂, 上垣内 昊, 齋藤 一護, 田原 琥太郎, 檜山 裕太, 前川 琉唯, 中田 靖也

序論

地球周回軌道を回る人工衛星や国際宇宙ステーションでは、太陽光パネルにより、必要な電気を発電している。しかし、太陽から遠ざかるにしたがって、太陽光は弱くなるため、木星より遠方になると、太陽光パネルは使用できない。よって“ボイジャー”や“カッシーニ”等の人工衛星には、プルトニウム238の自発核分裂を熱源(約500℃)とし発電する“原子力電池”が搭載されている。



図1 太陽光パネルを用いた給電システム(国際宇宙ステーション)

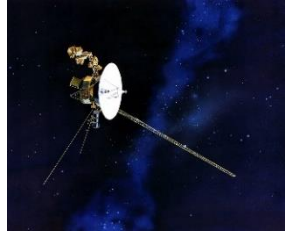


図2 原子力電池を用いた給電システム(ボイジャー)

目的

将来の宇宙開発を見据え、有人宇宙船・有人宇宙基地における電源確保を考えた場合、宇宙飛行士を放射線の危険にさらすことになるプルトニウムを用いた“原子力電池”は使用できない。何故なら、狭くて軽い宇宙船では、放射線を遮蔽(しゃへい)できないからである。

また、重量についても、プルトニウムはとても重く(比重19.8 鉄の2.5倍重い)、打ち上げ時には不利になる。

そこで、**重量が軽く、低温で安全な給電システムの可能性**を探ることを研究の目的とした。

※赤い部分がプルトニウム238を内蔵した炭素繊維で作られた発熱体。
GPHS (汎用熱源)
RTG (放射線同位体熱電気変換器)

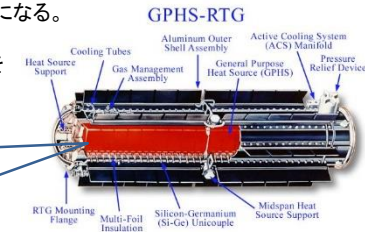


図3 カッシーニ探査機に搭載されている原子力電池(プルトニウム燃料)

理論

火力発電や水力発電のように、蒸気や水の圧力でタービンを回転させ、発電機を動かす発電方式もあれば、太陽光発電のように光から直接電力を得る方式もある。今回は、構造が簡単で、熱から直接電力を得ることができる、“ゼーベック効果”を利用した発電方式＝熱電池を選んだ。○ゼーベック効果とは、1821年に物理学者のトーマス・ゼーベックによって発見された現象で、金属棒の内部に温度勾配があると、両端間に電圧が発生する現象である。

例えば、電荷担体が電子のような負電荷の場合、低温側に電子が偏るため、温度が低い側がマイナスとなり、温度が高い側プラスとなる。この現象は温度センサー(熱電対)として広く用いられている。



図4 ゼーベック効果の模式図

このような熱電池による発電には、従来金属が使用されていた。仮に金属と同じような**導電性を持つ有機物**であれば、とても**軽量**であり、**宇宙船打ち上げ時**、とても**有利**に働くと考えられる。

※導電性を持つ有機物について、広島大学 大学院先進理工系科学研究科 応用化学プログラム 今榮 一郎 (いまえ いちろう) 准教授にお伺いしたところ、

『導電性を持つ有機物としては、**導電性ポリマー**が存在する。導電性高分子の電気を流す性質は、広く知られているが、**導電性ポリマーに温度勾配を付けることで、金属同様“ゼーベック効果”により、発電することが最近になって分かった。**』

『この導電性ポリマーを用いることで、宇宙空間において、低温で安全な給電システムが実現可能になるのではないかと。』といった内容のご回答を頂き、さらに実際の実験についても、ご指導して頂けることになった。

導電性ポリマーとは

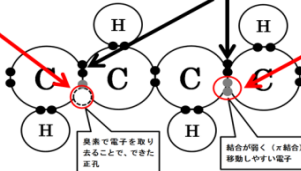
有機物なのに電気が流れるしくみ

ポリ(アセチレン)から作った導電性高分子の模式図

一重結合と二重結合を繰り返している。

二重結合の一方はシグマ結合という強固な結合である。電子は動くことができない。

この部分も弱いパイ結合。臭素を使って電子を取り去り、電子の移動先になる正孔を作る。



もう一方はパイ結合という弱い結合であり、この電子は比較的簡単に動くことができる。

正孔(と結合の弱い)電子が存在することで、両端に電極を置けば、電子が移動＝電気が流れる。

図5 導電性ポリマーの模式図

導電性ポリマーの製作

【ポリ(チオフェン)の電解重合】



図6 電解重合の様子

○ポリ(チオフェン)とは？

硫黄を含む環状化合物の一つであるチオフェン(C₄H₄S)が重合したものであり、導電性ポリマーである。

【製作手順】

チオフェンの電解液を作る。

↓
9V電池を使って電解重合を行う。

↓
ポリ(チオフェン)が電極上に**膜**として生成する。

↓
カッターナイフを使い電極板から剥離させる。



図7 生成した導電性ポリマー

電気導電率・ゼーベック係数の測定と電力因子の計算

【電気導電率の測定】

電気導電率の測定には、低抵抗率を使用し測定した。

○電気導電率(S/m)とは？

物質1メートルあたりの**導電性能**である。

“s”は“ジーメンス”という国際単位で、“Ω(オーム)”の逆数になる。



図8 電気導電率の測定

【測定結果】

電気導電率 31.5 × 10⁰ (S/m)

※導体と半導体の中間くらいの流れやすさということになる。

【ゼーベック係数の測定】

ゼーベック係数の測定には、ゼーベック係数メーターを使用し測定した。

○ゼーベック係数とは(μV/K)とは？

発生電圧を温度差で割ったものであり、熱電池の**熱起電力性能**である。



図9 ゼーベック係数の測定

【測定結果】

ゼーベック係数 51.2 (μV/K)

【電力因子(Power Factor)の計算】

熱電池の性能は導電性だけでなく、温度差による熱起電力の違い(ゼーベック係数)によっても差が生じる。

電力因子(PF)は、導電性能と熱起電力性能を合わせた**発電能力の総合的な指標**である。

$$PF = S^2 \sigma$$

PF : 電力因子

S : ゼーベック係数

σ : 電気伝導率

図10 電力因子の計算式

【計算結果】

電力因子(PF) 0.082 (μW/mk²)

考察

・発電能力を持った有機物の存在を確かめることができた。

・現時点では、電気機器を作動させる電力には至らないが、導電性ポリマーの“軽い”という特性を生かした、宇宙での新たな活用方法について、今後検討していきたい。

転載引用 図1“スペースシャトル「アトランティス号」から撮影されたISS”JAXA HPより、図2“ボイジャー2号(想像図)”ウィキペディアより、図3“Diagram of an RTG used on the Cassini probe[1]”Wikipedia, the free encyclopediaより、図4“ゼーベック効果”産総研 HPより。