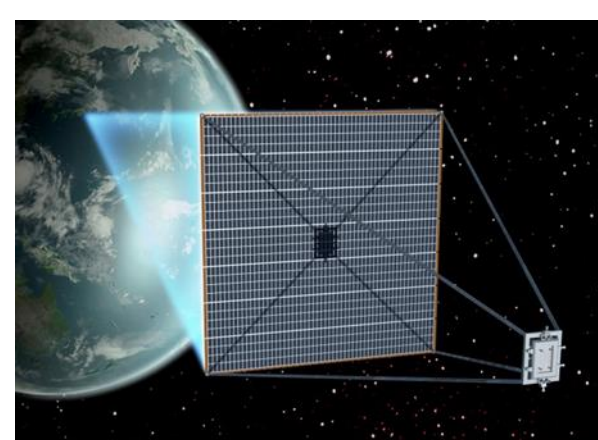


カーボンナノチューブを用いたイオン性高分子アクチュエータの耐宇宙環境性に関する基礎研究

○山神達也¹ 関谷直樹¹ 中村剛也² 新井和吉¹ 田中孝治³

1 法政大学 2 東京理科大学 3 ISAS/JAXA

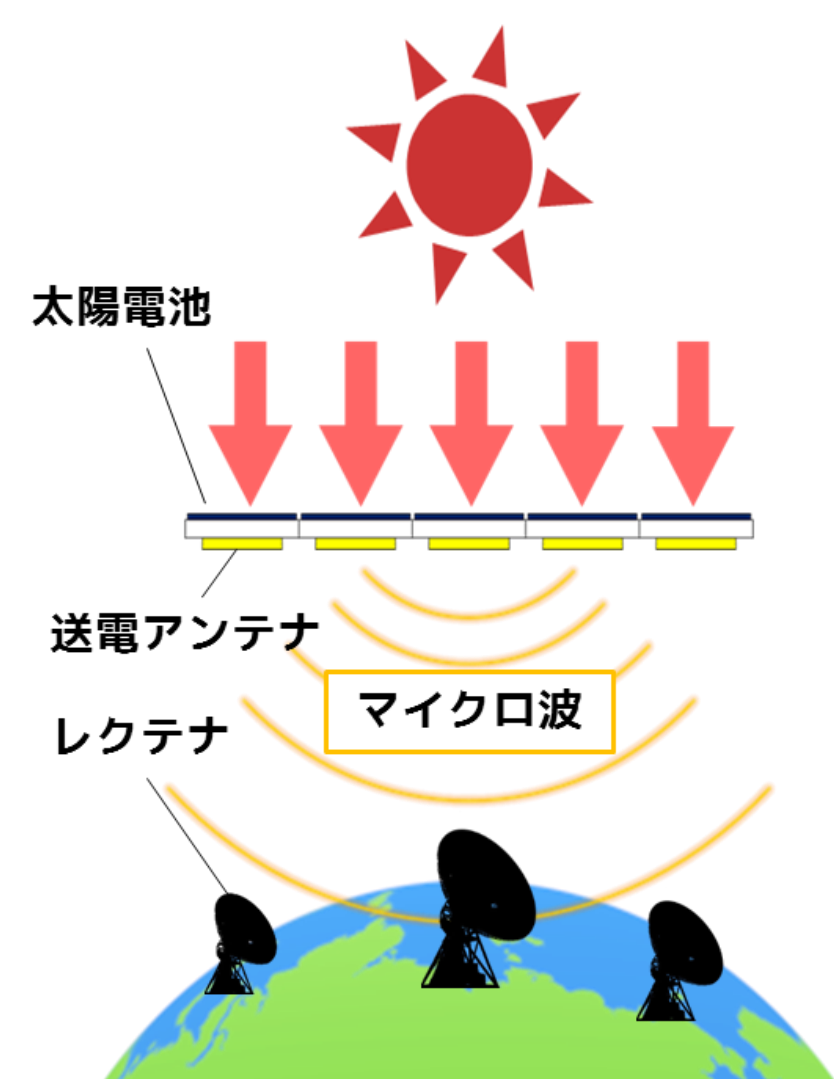
研究背景 | SPS : Solar Power Satellite



© JAXA

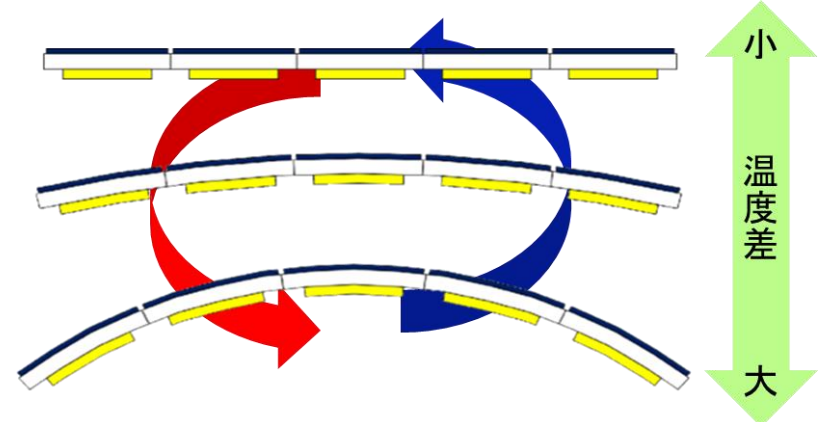
SPSとは簡単に言えば“**宇宙の発電所**”
以下のような特徴を持つ構想段階の人工衛星である。

- ・静止軌道の上に展開
- ・宇宙空間での大規模太陽光発電
- ・電力をマイクロ波ビームで送電
- ・地上で受電、エネルギー利用

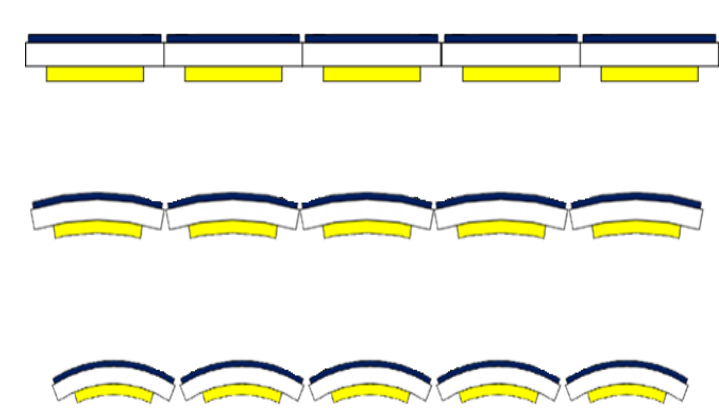


昼夜、天候の影響を受けないので
**再生可能な
クリーンエネルギーの安定供給**
を可能にできると期待される。

SPS実現の課題 |

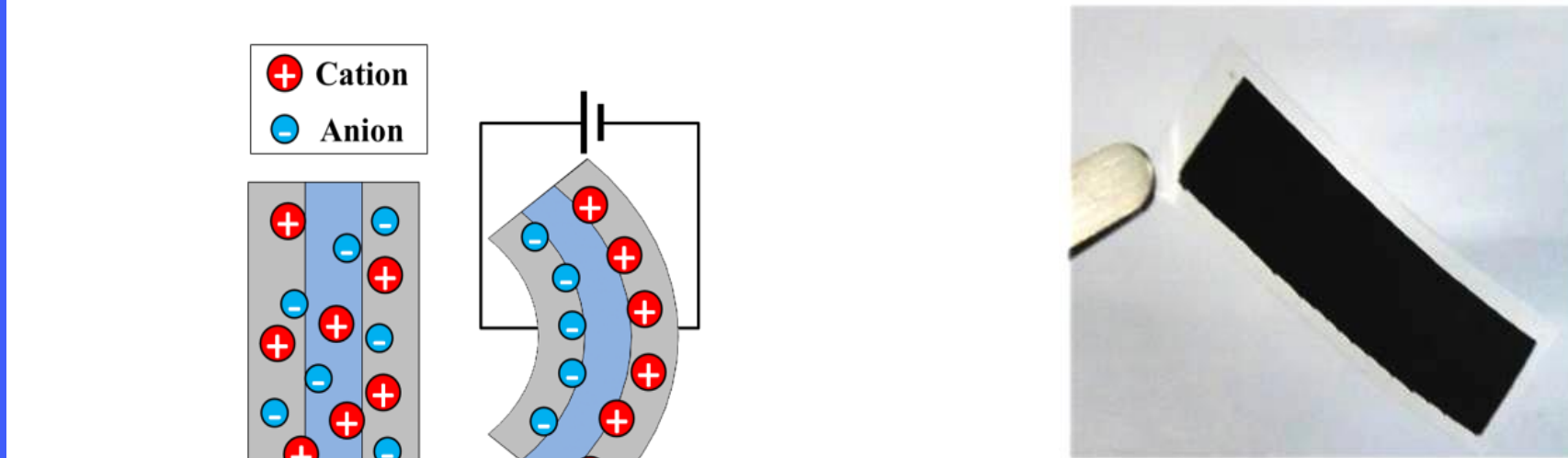
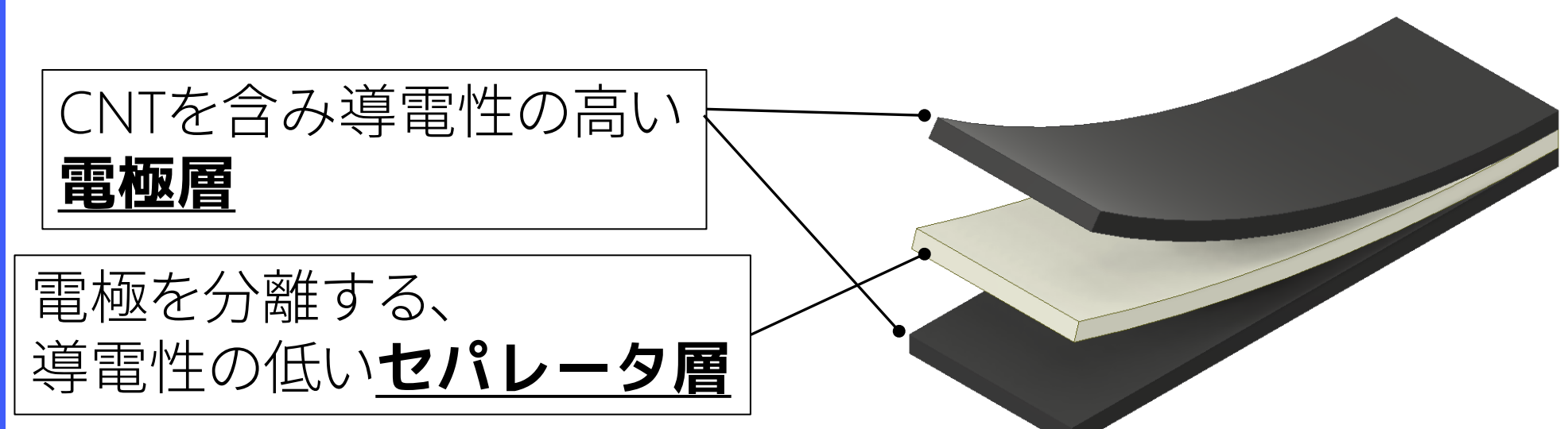


送電面と発電面の温度差が周期的に変化し、
パネル全体の平坦度が保持されずマイクロ波
ビームの方向制御精度が低下し
全体の送電効率が低下してしまう。



アクチュエータを分散配置しパネル間の角度を制
御することで解決を図る。SPSを実現するため要求
される**軽量であり、耐久性に優れ、長寿命な
新型アクチュエータ**の研究を行う。

CNA | Carbon Nanotube Actuators



電気二重層の形成に伴う変形

試作CNA
(30×10 [mm²])

CNA(Carbon Nanotube Actuators)とはカーボンナノチューブ(CNT)を用いた高分子アクチュエータの1種である。2枚の電極層とセパレータ層からなる三層バイモルフ構造を持っており、電圧を印加することでサイズ差のある内部のイオン液体が移動し、電気二重層を形成することにより屈曲変形を生じる。

CNAは以下のような利点を持っており、
宇宙機への応用が期待される

CNAの利点

モーターや形状記憶合金アクチュエータと比較して

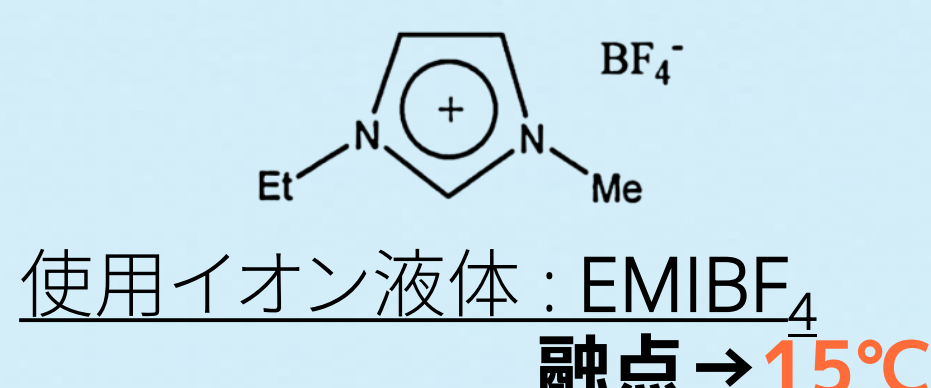
- ・ポリマーを主剤とするので**低密度**
- ・構造が単純なので**長寿命**
- ・**低電圧**で動作する
- ・**制御性が高い**

研究目的 | CNAの耐宇宙環境性の評価

CNAを宇宙空間で使用する際には、様々な要因による劣化が懸念される。
我々は特に以下の2点に着目し、それに対する性能の変化を評価した。

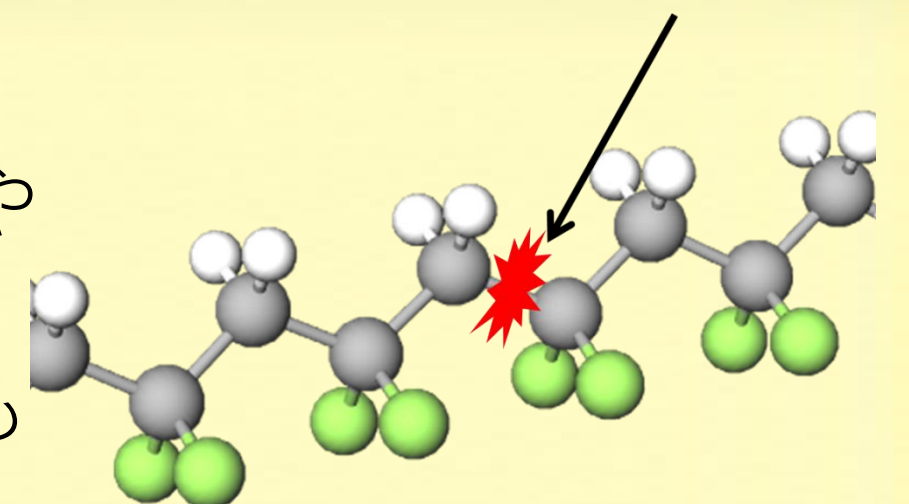
低温真空環境

原料のイオン液体の融点を越えた低温環境では導電性が低下し
CNAの駆動に影響が生じる可能性も



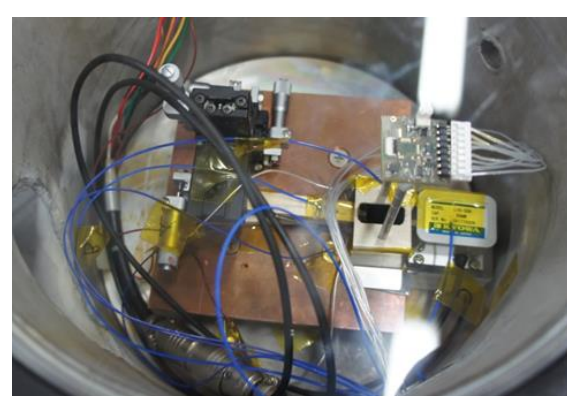
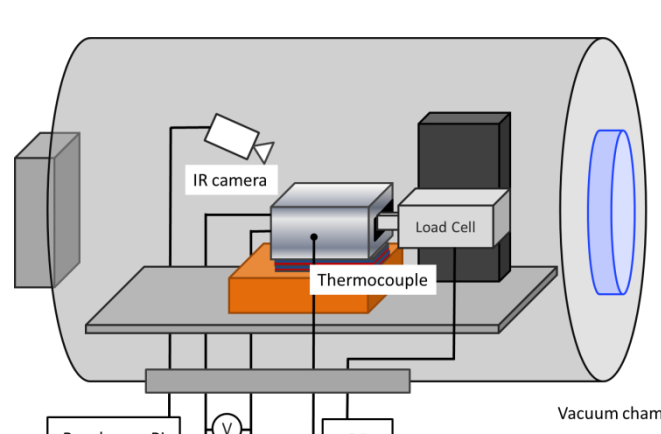
電子線照射

CNAが放射線を浴びることで
電極内部のCNT,イオン液体の劣化や
ポリマーの切断等を引き起こし
CNAの動作に影響が生じる可能性も



低温真空環境試験 |

実験概要



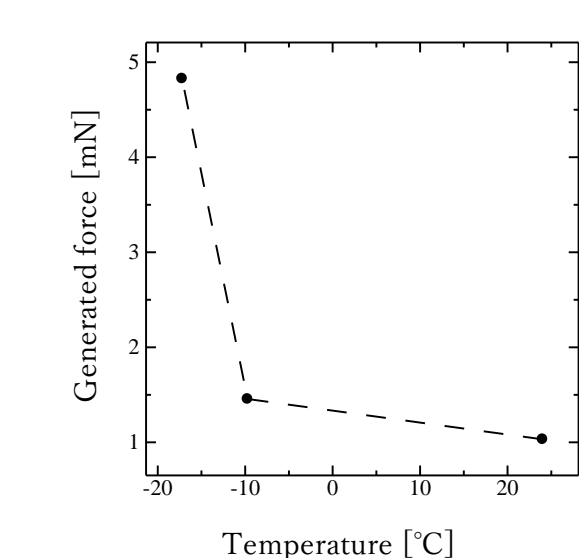
- ・電圧印加時の電流量を積分し**電荷量**を求める
- ・屈曲変形による**発生力**をロードセルで記録
- ・温度計測は赤外線カメラを使用
補正のために熱電対による記録も同時に行う
- ・計測は**電圧印加5分、放電5分の計10分間**行う
- ・CNAはスターリングクーラーを用いて冷却
- ・クーラーの温度は**最大出力、その半分の2段階**を設定しCNAの測定を行う

本実験において
CNAは**-9.7℃、-17.2℃**まで冷却された

実験結果

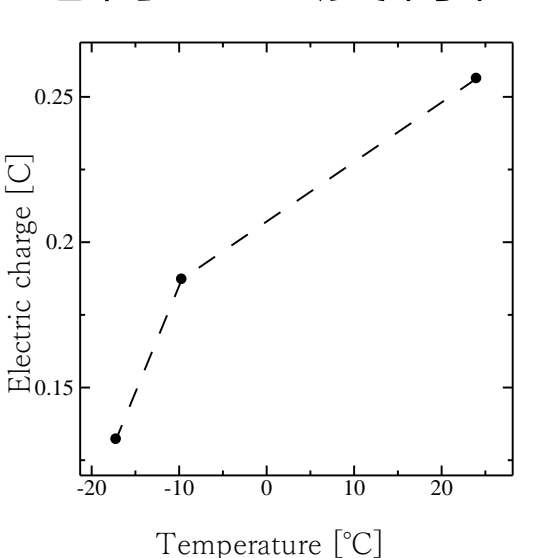
2.5V印加時

最大発生力温度特性



| CNA温度 | 発生力[mN] | 到達時間[s] |
|--------|---------|---------|
| 24℃ | 1.03 | 10.6 |
| -9.7℃ | 1.46 | 106.8 |
| -17.2℃ | 4.83 | 308.5 |

電荷量温度特性



| CNA温度 | 電荷量[C] |
|--------|--------|
| 24℃ | 0.236 |
| -9.7℃ | 0.187 |
| -17.2℃ | 0.132 |

温度の低下に伴い

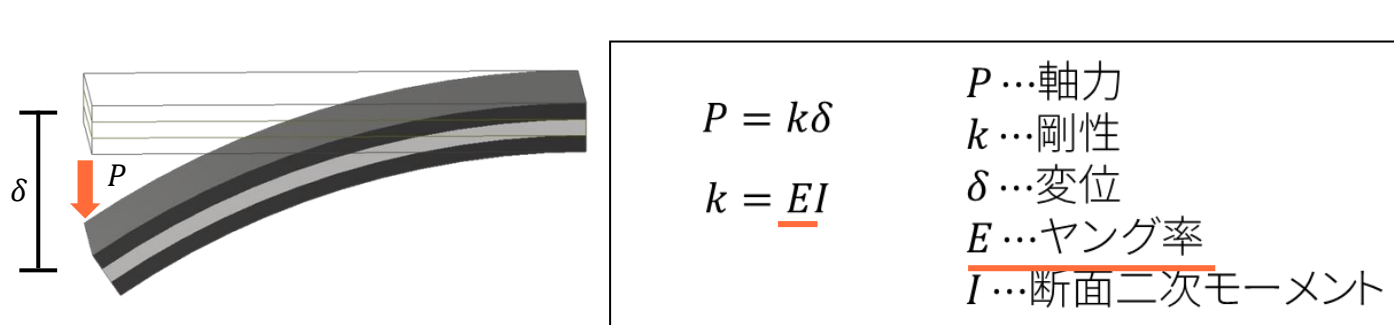
- ・**最大発生力が上昇**
- ・**電荷量が低下**

またこの時

- ・**発生力の最大値までの到達時間が遅れ**
- ・**電荷量の充電時間は変化しなかった**

変位 δ はロードセルによって制限され、
形状の変化は無視できるほど小さいため
ヤング率 E の上昇が発生力の増加の主な要因と考えられる。

蓄えられる電荷量が減少しているにも関わらず発生力は上昇するという結果から
-20℃程度までは**内部の電気化学的状態よりも原料の物性が大きく影響する**という知見を得た。



まとめ・今後の展望 |

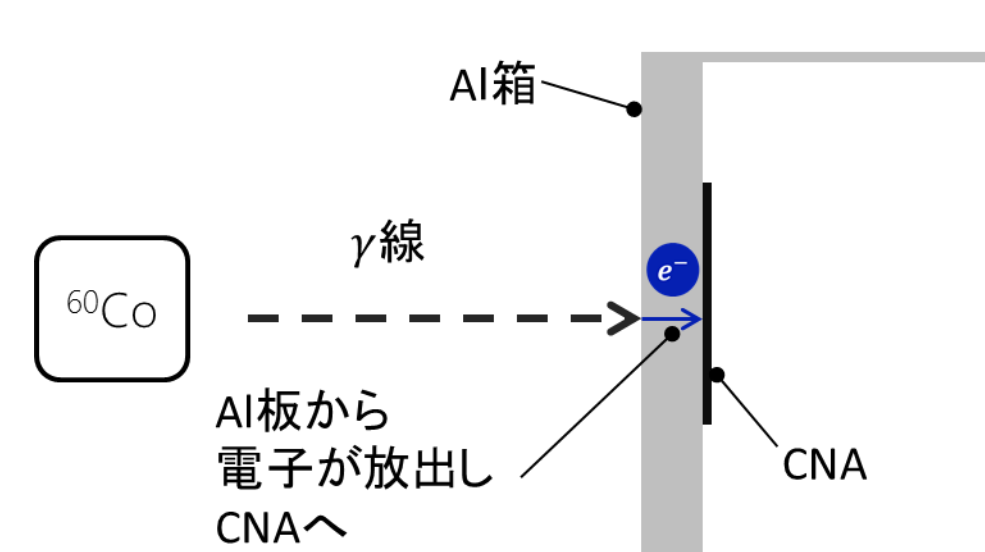
低温真空環境試験、電子線照射試験のどちらにおいても本実験の範囲では、CNAの性能低下は見られなかった。

-20℃程度までの低温真空環境でのCNAの発生力は内部の電気化学的状態よりも原料の物性が大きく影響するという知見を得た。

原料の物性が発生力に関わるという事を確かめるため、母材となるPVDFの物性が大きく変わるガラス移転点である-35℃以下での評価試験を今後行う。
14Hまでの電子線照射では性能の劣化がみられなかったため、さらに長い時間の照射を行い、CNAの電子線への耐性を正しく評価することが課題となる。

電子線照射試験 |

実験概要



⁶⁰Coを線源とする電子線を
CNAに照射し前後の特性を計測し、比較する。

Al板に当たることで電子線が発生する。
線源からの位置によって線量率が決定される。

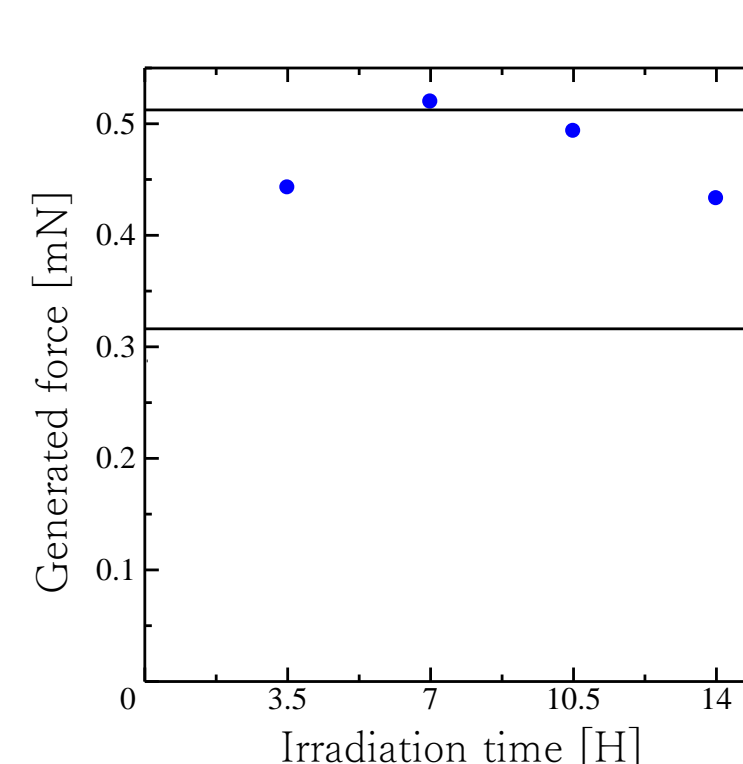
線量率は**90Gy*/H**とし3.5H, 7.0H, 10.5H, 14H
の4段階を設定した。
※静止衛星軌道における1年間の被ばく量が80~100Gy程度

低温環境試験と同様に
発生力と電荷量を評価する

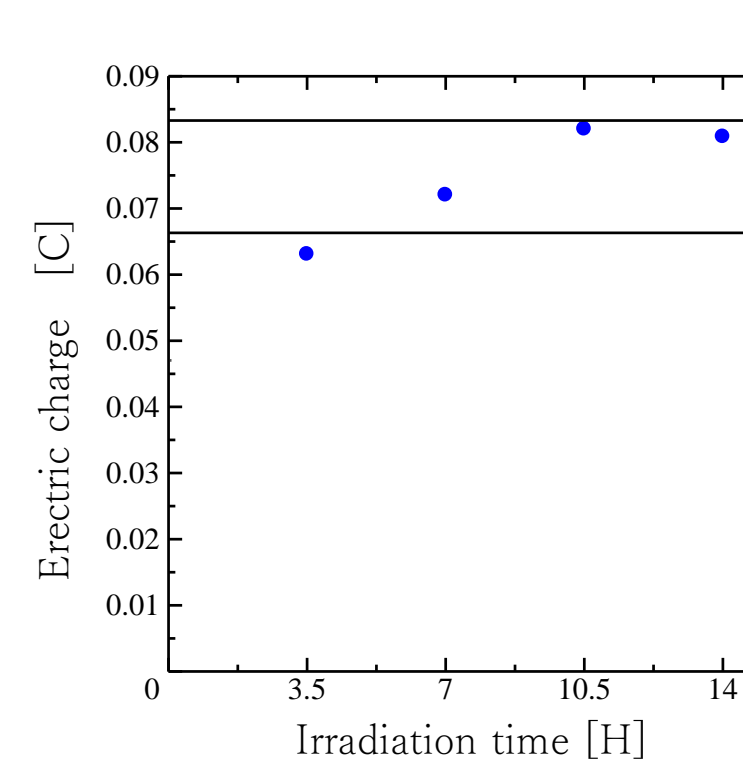
実験結果

1.5V印加時

照射後最大発生力



照射後電荷量



グラフ中の黒の実線は、電子線照射前に4サンプルの試験で得られた
平均値±標準偏差の値を示している

発生力および電荷量の電子線照射後の値は概ねこの領域の内部に留まっているため、
約14年分の運用に相当する線量では、
CNAに悪影響は見られないといえる。