

宇宙ステーションでの木材の宇宙曝露実験の実施
—宇宙木材プロジェクト(通称：LignoStella Project)—
木造人工衛星(LignoSat)の打上げを目指して

総合生存学館 SIC 有人宇宙学研究センター 教授 山敷庸亮, 特定教授 土井隆雄
農学研究科 森林科学専攻 教授 仲村匡司, 准教授 村田功二

概要

月や火星への有人飛行が計画され、月面や火星で社会を形成するための研究が進められている。森林と共に進化してきた人類が宇宙で持続的な社会を形成するためには、宇宙で樹木を育成し、木材を資源として活用することが必要だと考える。人類に親和性の高い木材のさらなる可能性を考えて、将来、宇宙で木材を活用する基礎的な知見を得ることを目的として宇宙木材プロジェクト^{※1}(LignoStella Project)を進め、「宇宙環境における樹木の育成に関する研究」や「宇宙環境における木材の物性に関する研究」などに取り組んでいる。その第一歩として木材で作った人工衛星の打ち上げを計画している(LignoSat)。

国際宇宙ステーションがある地上 400km は地球低軌道(LEO, Low Earth Orbit)と呼ばれ、高真空 (10^{-11} 気圧) だけでなく、銀河宇宙線(GCR: Galactic Cosmic Ray)、太陽エネルギー粒子(SEP: Solar Energetic Particle)、真空紫外線(VUV: Vacuum Ultra Violet radiation) や原子状酸素(AO: Atomic Oxygen)などの材料の劣化要因がある。そこでLEOに木造人工衛星を投入することを目的に、実際に宇宙空間に木材を暴露してその影響、特に宇宙線や原子状酸素の影響を確認する



図1 国際宇宙ステーション(ISS)での曝露実験を計画している木材試験体(右)とサンプルパネル(左)：茶色のフィルムは原子状酸素(AO)評価用のポリイミド樹脂シート。

※1 京都大学と住友林業株式会社と共同で2020年12月24日に発表した。

https://space.innovationkyoto.org/lignosat_press/

1. 目的

人工衛星の材料として木材が利用可能かどうかを明らかにすることが目的です。特に、原子状酸素の衝突によって生じるエロージョンの評価と、GCR や SEP などの宇宙線が木材の物性に与える影響を調べます。この実験により、運用期間中に木材が宇宙機の材料として利用可能かどうかを確認します。

2. 背景

宇宙木材プロジェクトでは、2023 年の打上げを目指して木造人工衛星(LignoSat)の開発を進めています。LignoSat の投入を検討している地球低軌道(LEO)は高真空(10⁻¹¹ 気圧)なだけではなく、銀河宇宙線(GCR: Galactic Cosmic Ray)、太陽エネルギー粒子(SEP: SolarEnergetic Particle)、真空紫外線(VUV: Vacuum Ultra Violet radiation)や原子状酸素(AO:Atomic Oxygen)などのさまざまな材料の劣化要因があります(図2～3, 表1)。2年以上におよぶ真空暴露実験では木材が劣化しないことは確認していますが、そのほかの現象の影響については調べられていません。人工衛星を木材で作るためには、LEO の環境で木材の物性がどのように変化するかを理解する必要があります。

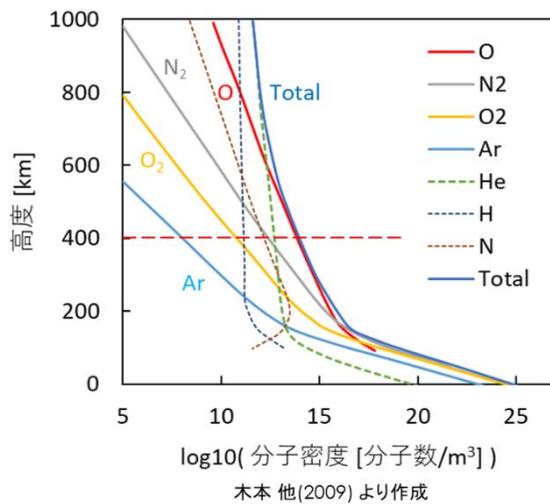


図2 大気の密度と高度の関係¹⁾

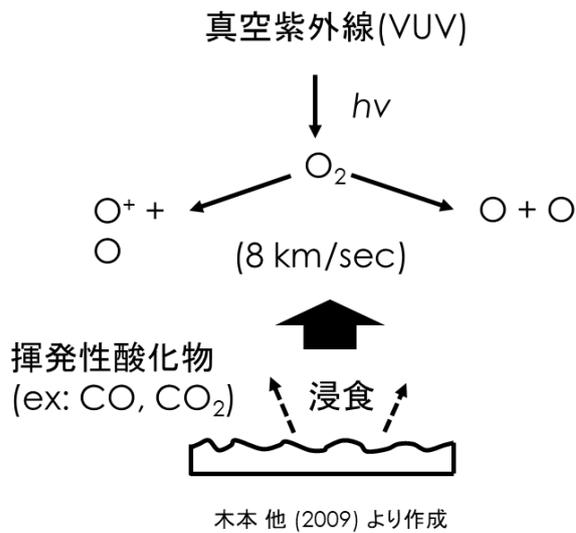


図3 低軌道での真空紫外線や原子状酸素と有機材料表面との反応¹⁾

表1 宇宙線の種類(理科年表 2020)

①銀河宇宙線(GCR)		
	陽子(水素イオン)	90%
	α 線(ヘリウム)	10%
	重粒子(炭素イオンや鉄イオン)	1%弱
	電磁波(X線や γ 線)	
②太陽粒子線(SEP)		
	高エネルギー粒子(陽子と電子)	
③補足粒子線(SAA)		
	内帯(陽子帯)(IRB)	
	外帯(電子帯)(ORB)	

3. 方法

国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」日本実験棟の船外曝露プラットフォームで数種類の木材試験体を宇宙空間に曝露します(図4)。同時に原子状酸素衝突量の評価のためのポリイミド樹脂シートで被覆した木材試験体も合わせて曝露します。一定期間の曝露後に回収、物性試験の他に顕微鏡による組織構造観察(図5)やX線による結晶構造解析(図6)に供し、地球低軌道(LEO)のような極限環境での劣化の有無や状況、および劣化のメカニズムを考察します。これらの知見から宇宙空間での木材の劣化対策の検討を進めます。

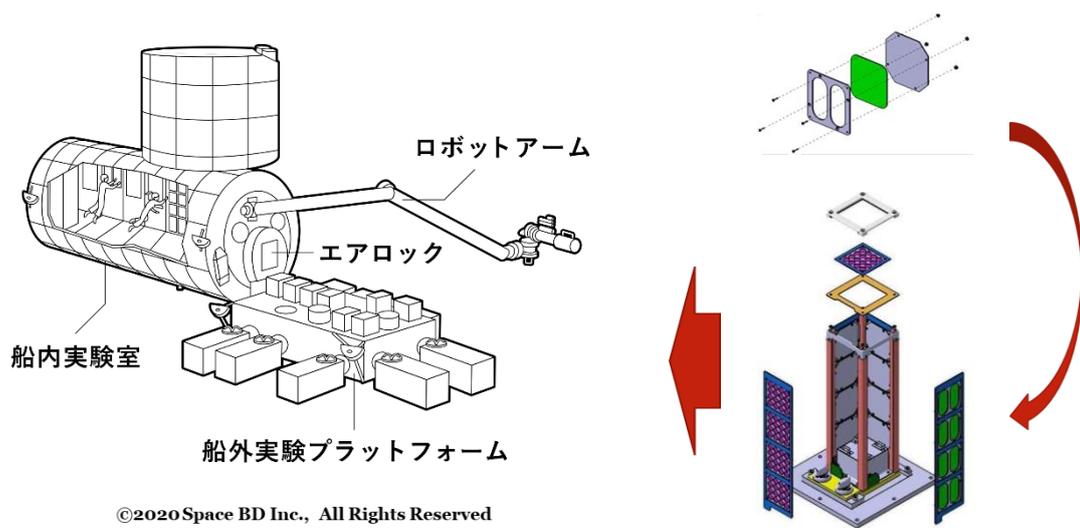


図4 ISS 船外曝露プラットフォーム(左)の簡易船外曝露実験(ExBas,右)

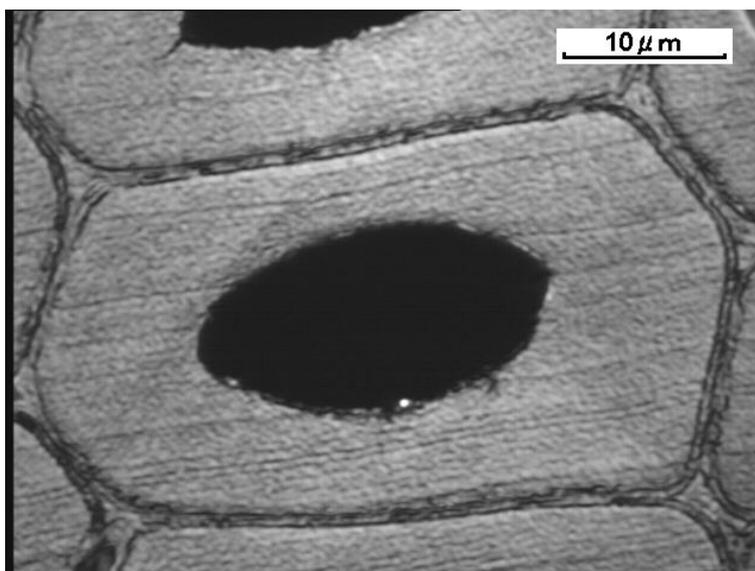


図5 スパッタエッチング処理されたベイマツ晩材細胞断面の例(原子状酸素による浸食ではない)

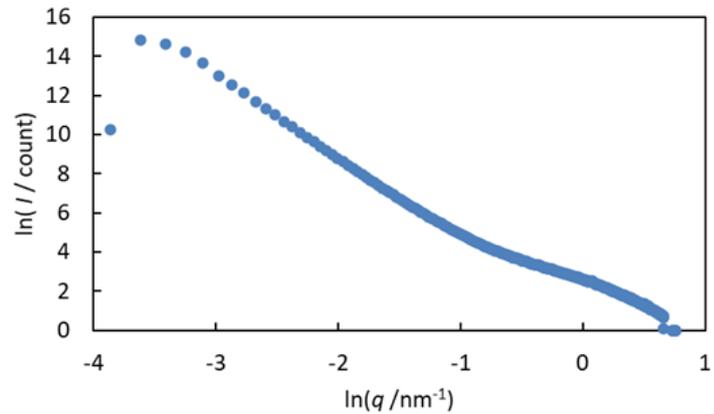
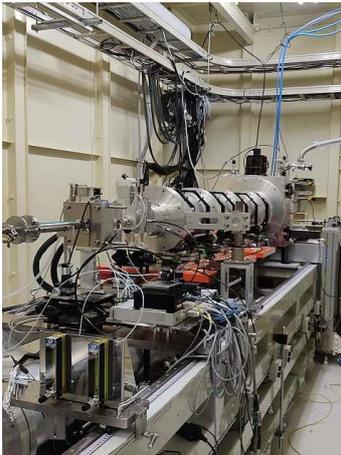


図6 SPring 8 ビームライン BL40B2(左)と小角 X 線散乱(SAXS)による解析例(右)

4. 期待される成果

これまで木材が宇宙機の材料として利用されたことはなく、また宇宙空間での木材の物性変化を検討した例もありません。宇宙空間における木材の暴露実験は、世界で初めての試みとなります。また、極限環境での木材の物性の変化を明らかにすることは、木材の劣化のメカニズムの解明に大きく寄与します。これらによって得られた知見より、新しい木材の劣化抑制技術の開発につながる可能性があります。

宇宙空間での原子状酸素による木材表面のエロージョンの予測が可能となり、木材を宇宙機の材料として使用した場合の運用寿命を見積もることができます。また、宇宙線が衝突することによって生じる化学変化、およびそれによって生じる物性変化を知ることができます。そして、ナノスケールでの微細な構造変化から木材の劣化のメカニズムを探ることができます。

参考文献

- 1) 木本雄吾 他(2009)低軌道における宇宙用材料への原子状酸素の影響とその地上評価. J. Vac. Soc. Jpn., 52(9): 475-483