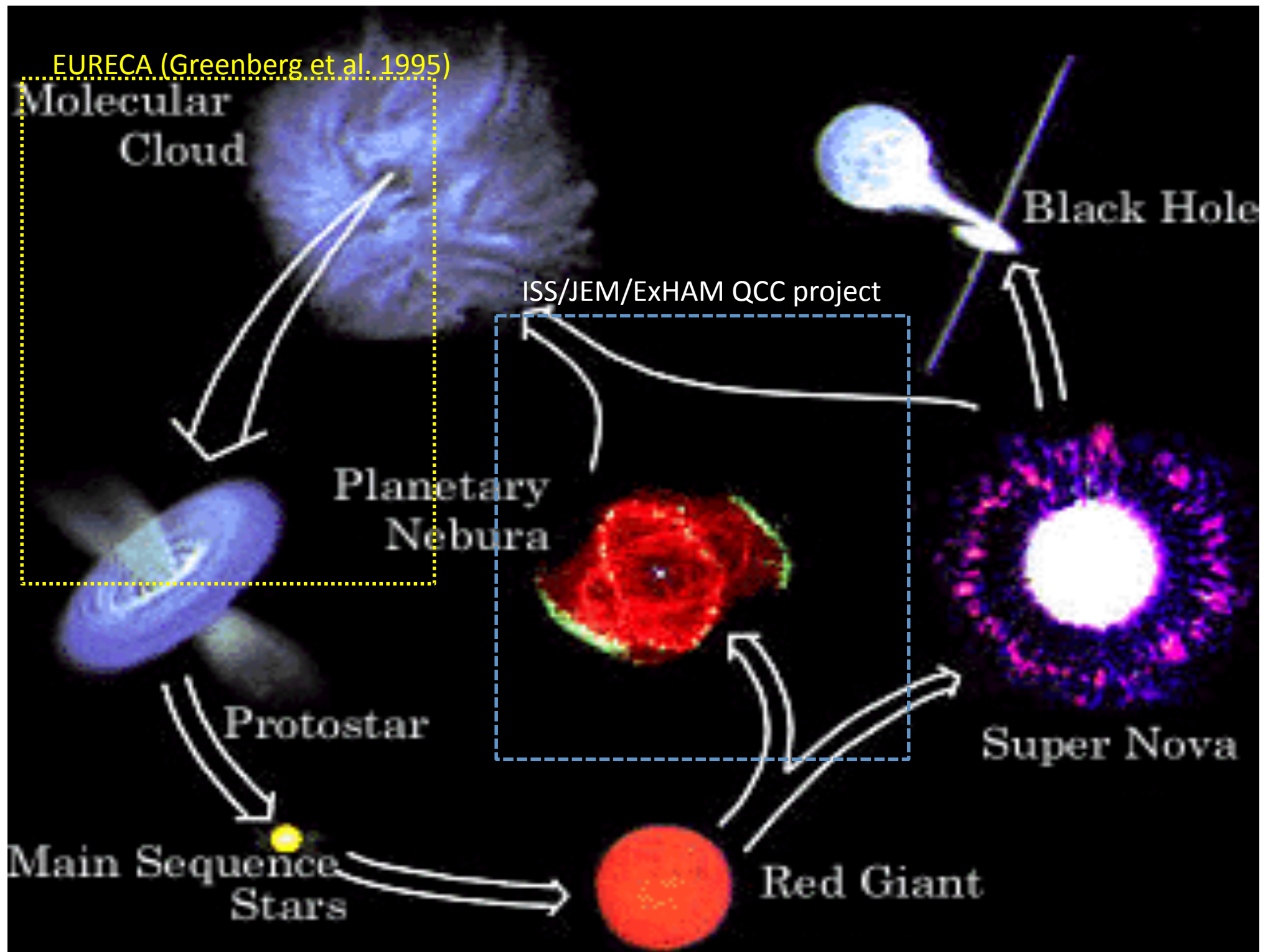


国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置ExHAMを利用した 炭素質ダストの宇宙曝露実験計画

「炭素質ナノ粒子の宇宙風化と星間有機物進化の実証研究」

左近 樹 (東京大学)

共同研究者: 尾中敬(東京大学), 木村誠二(電気通信大学),
木村勇氣(北海道大学), 中村正人(日本大学), 市村淳(ISAS/JAXA),
小川奈々子, 大河内直彦(JAMSTEC), 稲富裕光(ISAS/JAXA),
渡辺英幸, 赤城弘樹, 杉紀夫(JAXA)



プロジェクト概要

実験室で合成したダストや、様々な炭素質物質、珪酸塩等40種以上の実験試料を国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟簡易曝露実験装置ExHAMを利用して宇宙環境下に約1年間曝露し、地上に回収し、曝露前後での物性変化を調べる。

曝露環境

Altitude; 400km

Micro gravity of $\sim 10^{-6}G$

Atmospheric Condition; $\sim 10^{-5}Pa$

Radiation Belt Particle; dominated by electron (with several tens keV)
and proton (with a few MeV)

Galactic Cosmic Ray; proton, He, C, O, Fe etc.

with wide energy range from $10-10^{16}MeV$

Solar Flare Particle; proton with a few – a few hundreds MeV

Solar Radiation; X-ray, UV

Meteoroid; particles with $a=0.1mm$, colliding with $v=20km/s$

Space Debris; mostly $<1cm$, colliding with $v=10km/s$

プロジェクト進捗

2015年3月6日 品質認定試験後審査(PQR)/出荷前審査(PSR)

3月9日 QCCプロジェクト実験試料(EE64-IおよびEE64-II)出荷



プロジェクト進捗

2015年4月15日 米国スペースX社の無人補給船ドラゴン6号機に搭載され、Falcon 9ロケットで国際宇宙ステーションに向け打ち上げ成功。



プロジェクト進捗

2015年5月17日 国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟内にて、実験供試体がExHAM1号機に装着され、エアーロック内に移動・減圧開始。



(提供 NASA/JAXA)

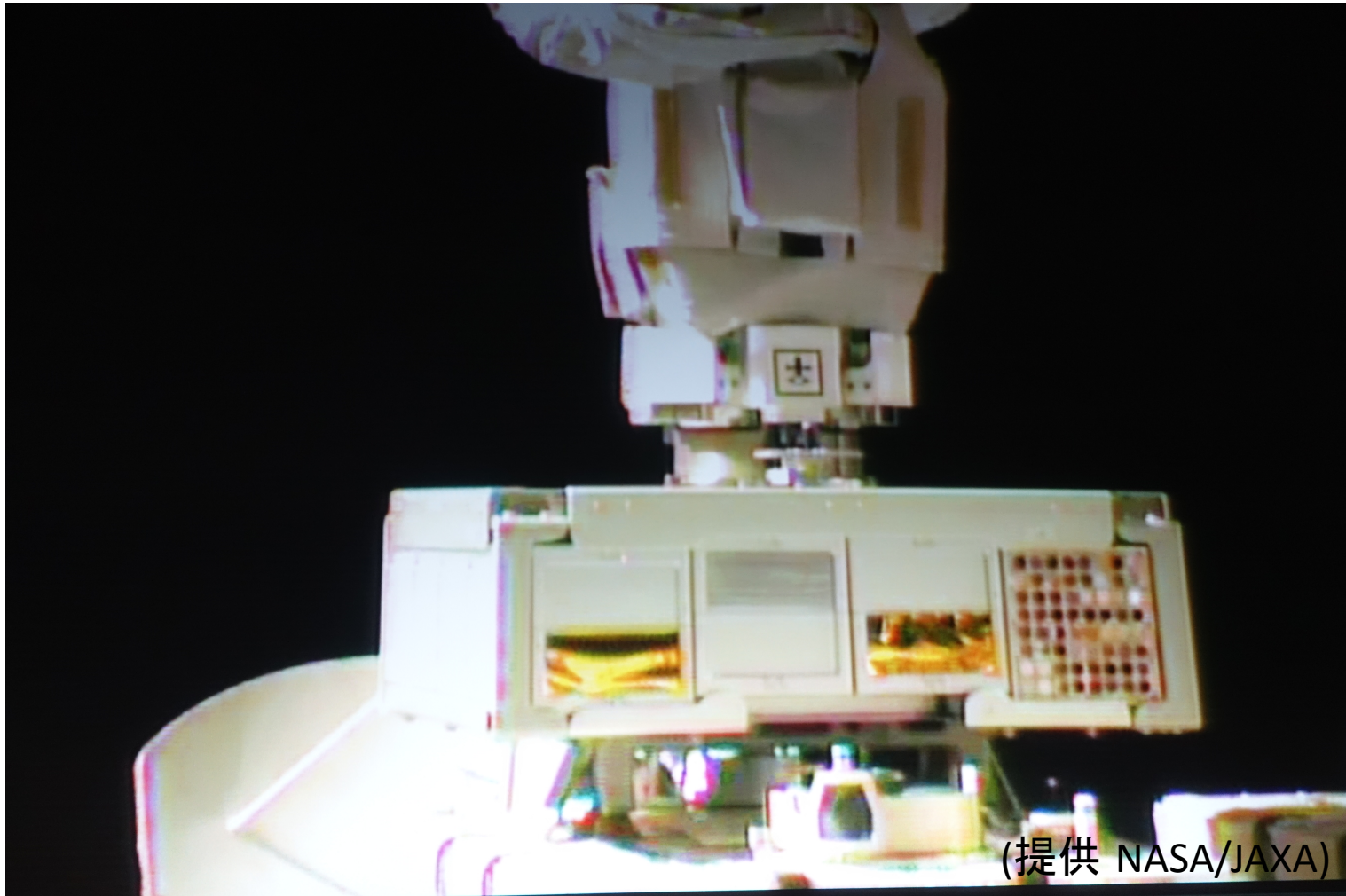
プロジェクト進捗

2015年5月26日 国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟の曝露部に、実験供試体を搭載したExHAM1号機が設置され、宇宙環境への曝露が開始。



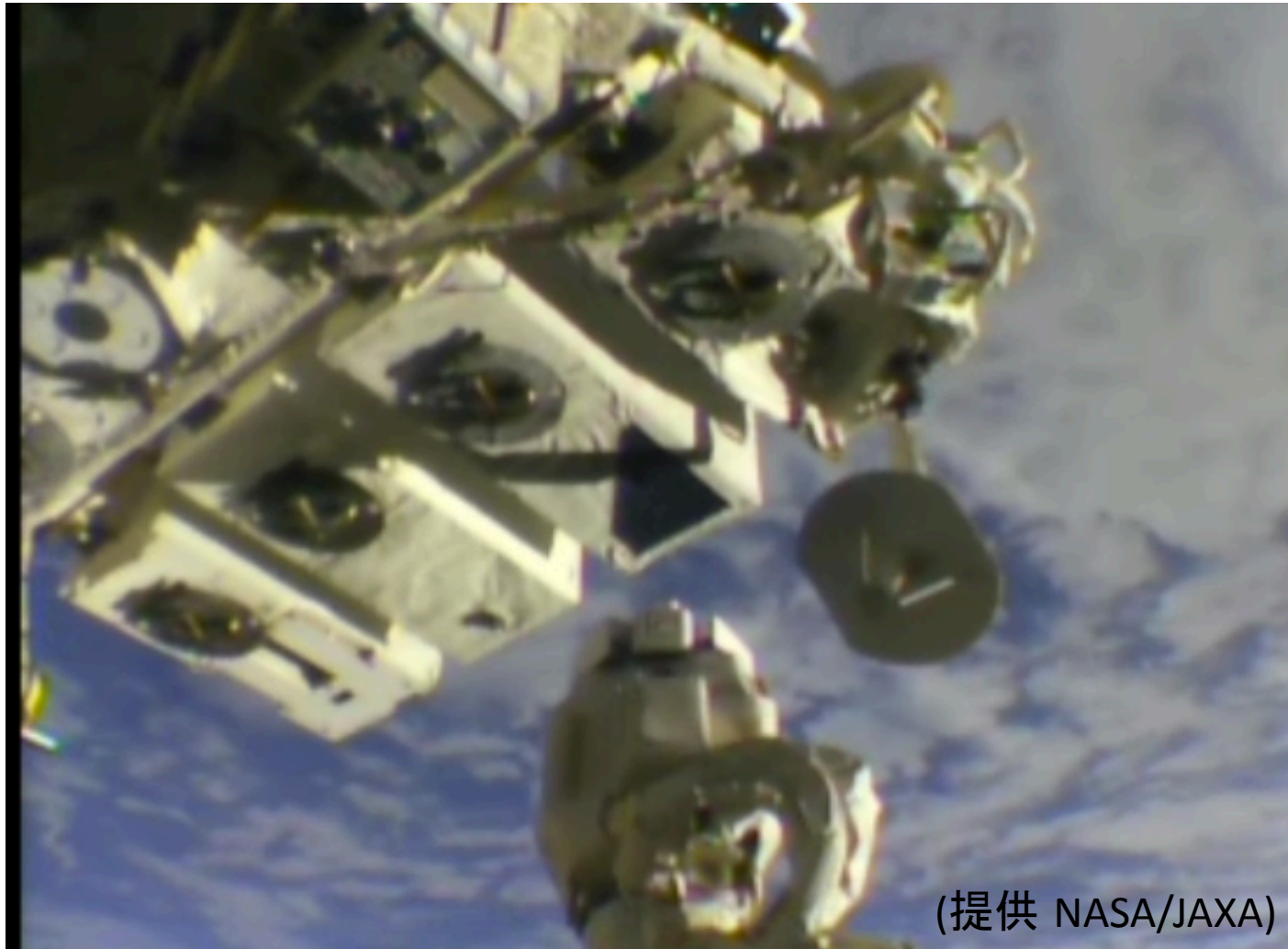
プロジェクト進捗

2015年5月26日 国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟の曝露部に、実験供試体を搭載したExHAM1号機が設置され、宇宙環境への曝露が開始。



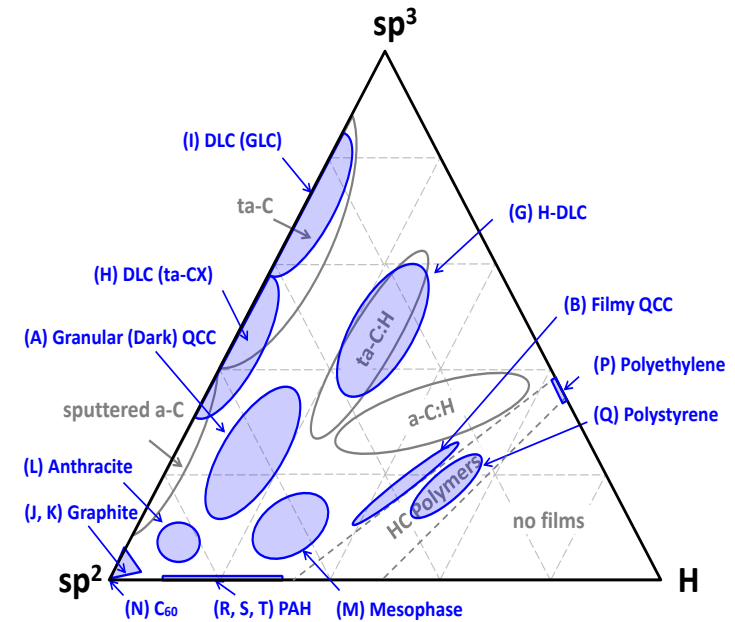
プロジェクト進捗

2015年5月26日 国際宇宙ステーション「きぼう」実験棟の曝露部に、実験供試体を搭載したExHAM1号機が設置され、宇宙環境への曝露が開始。



Experiment Samples

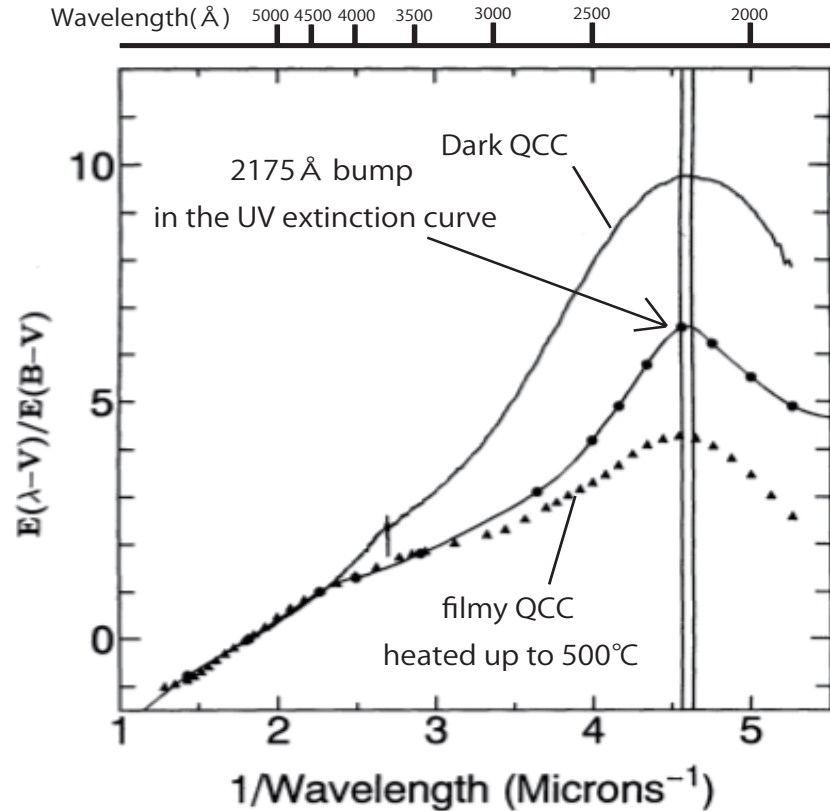
- | Sample ID | Samples |
|-----------|--|
| (A-1) | Filmy Quenched Carbonaceous Composite (produced at U Tokyo; Sakata et al. 1983) |
| (A-2) | Deuterated Filmy Quenched Carbonaceous Composite (produced at U Tokyo) |
| (B-1) | Dark Quenched Carbonaceous Composite (produced at U Tokyo; Sakata et al. 1983) |
| (C-1) | Nitrogen-Containing Carbonaceous Compounds-1 (produced from Coronene C ₂₄ H ₁₂ at U Tokyo) |
| (C-2) | Nitrogen-Containing Carbonaceous Compounds-2 (produced from Anthracene C ₁₄ H ₁₀ at U Tokyo) |
| (C-3) | Nitrogen-Containing Carbonaceous Compounds-3 (produced from Chrysene C ₁₈ H ₁₂ at U Tokyo) |
| (C-4) | Nitrogen-Containing Carbonaceous Compounds-4 (produced from C ₆₀ at U Tokyo) |
| (D-1) | Organic Globule (produced at Hokkaido University) |
| (D-2) | Organics on graphite by FT reaction (produced at Hokkaido University) |
| (D-3) | Organics on silicate by FT reaction (produced at Hokkaido University) |
| (E-1) | Onion-like Carbon (Hokkaido University) |
| (E-2) | Giant Fullerene (produced at Hokkaido University) |
| (F-1) | Hydrogenated Amorphous Carbon (produced at University of Electro-Communications Tokyo) |
| (G-1) | Hydrogen-Containing Diamond-like Carbon-1 (Interface Inc.) |
| (G-2) | Hydrogen-Containing Diamond-like Carbon-2 (a-C:H) (NIPPON ITF, INC.) |
| (H-1) | Diamond-like Carbon-1 (ta-CX) (Interface Inc.) |
| (H-2) | Diamond-like Carbon-2 (GLC) (Interface Inc.) |
| (J-1) | Graphite (natural stone; Mexico) |
| (J-2) | Graphite (synthetic compound) |
| (J-3) | Graphite (pyrolytic graphite C/A; Tomoe Engineering Co., Ltd.) |
| (L-1) | Anthracite (natural stone; USA) |
| (M-1) | Mesophase Carbon-1 (sintered body) |
| (M-2) | Mesophase Carbon-2 (Asahi Coke Ltd.) |
| (P-1) | Polyethylene-1 (Aldrich Chem.; mp 130-145°C) |
| (P-2) | Polyethylene-2 (Sumitomo Seika; LE-1080) |
| (P-3) | Polyethylene-3 (University of Tokyo) |
| (Q-1) | Polystyrene-1 (white) |
| (Q-2) | Polystyrene-2 (clear) |



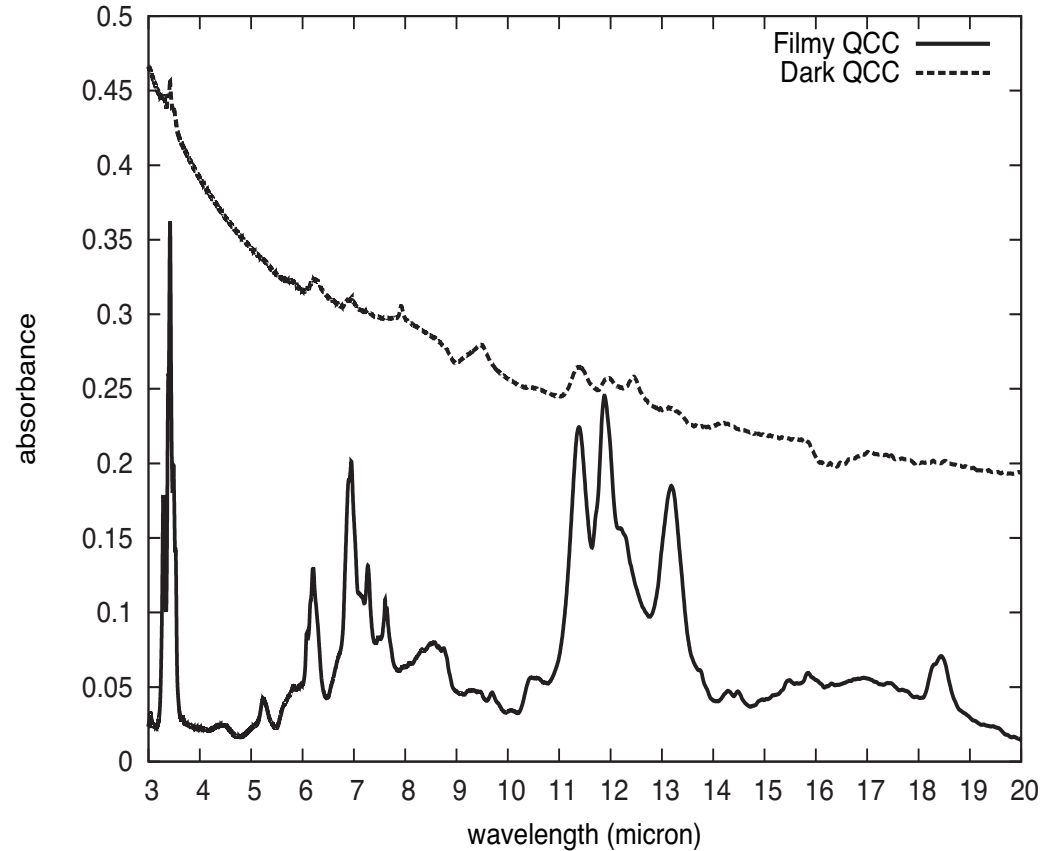
- (R-1) Coronene (C₂₄H₁₂)
- (R-2) Anthracene (C₁₄H₁₀)
- (R-3) Chrysene (C₁₈H₁₂)
- (R-4) Fullerene (C₆₀)
- (R-5) Glycolaldehyde dimer
- (S-1) Amorphous Alumina (Hokkaido University)
- (T-1) Calcium Aluminate Hydrate (Hokkaido University)
- (T-2) Calcium Silicate Hydrate (Hokkaido University)
- (U-1) Olivine (Mg_xFe_{2-x}SiO₄; x=1.8) (natural stone; Pakistan)
- (U-2) Olivine (Mg_xFe_{2-x}SiO₄; x=1.0) (natural stone; Miyake, Japan)
- (V-1) Pyroxene (Mg_xFe_{2-x}(SiO₃)₂; x=1.0) (natural stone; Tanzania)
- (V-2) Pyroxene (Mg_xFe_{2-x}(SiO₃)₂; x=1.8) (natural stone)
- (V-3) Peridotite (natural stone; Ibaraki)
- (W-1) Amorphous Silicate (KANTO CHEMICAL Co., INC)
- (W-2) Hydrogen-bearing SiO₂ (SiO₂:H) (Chihara et al.)
- (X-1) Silicon substrate
- (Y-1) SiO₂ substrate

(A-1), (B-1) Quenched Carbonaceous Composite (QCC)

Quenched Carbonaceous Composite; QCC (Sakata et al. 1983)



UV absorption spectra of Filmy QCC heated up to 500°C and Dark QCC. Conjugated double bond (-C=C-C=C-) in QCCs may contribute to 220nm absorption in the UV extinction curve (Sakata et al. 1983; Sakata et al. 1994)



Infrared absorption spectrum of Filmy QCC and Dark QCC.

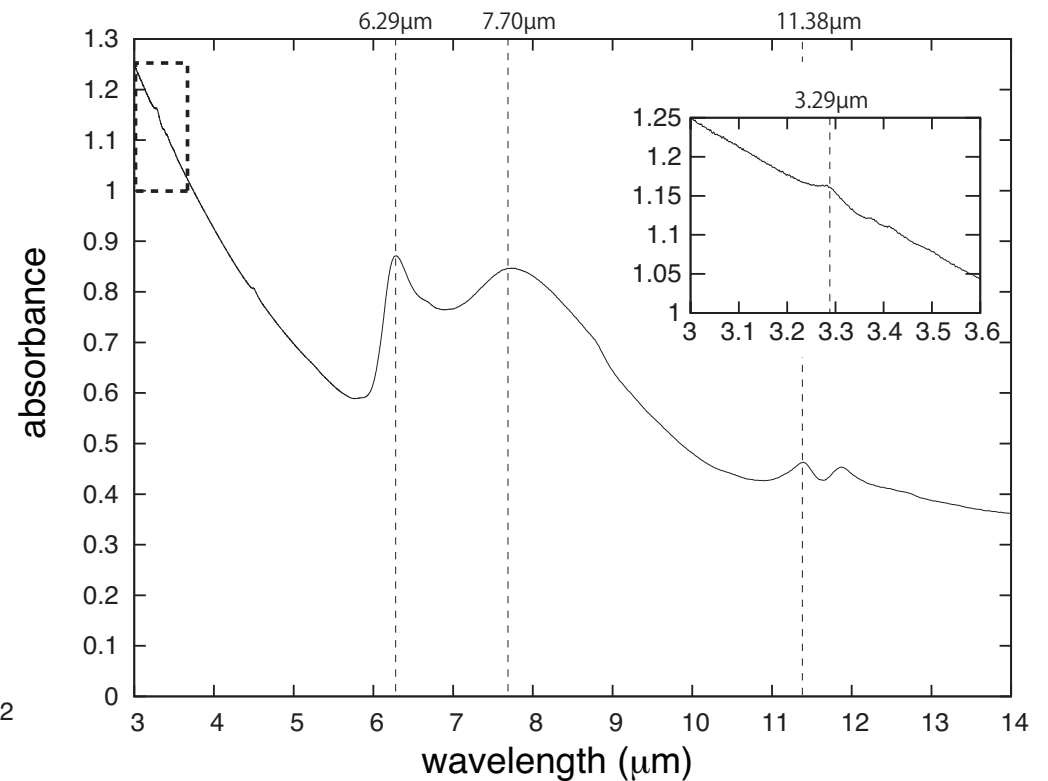
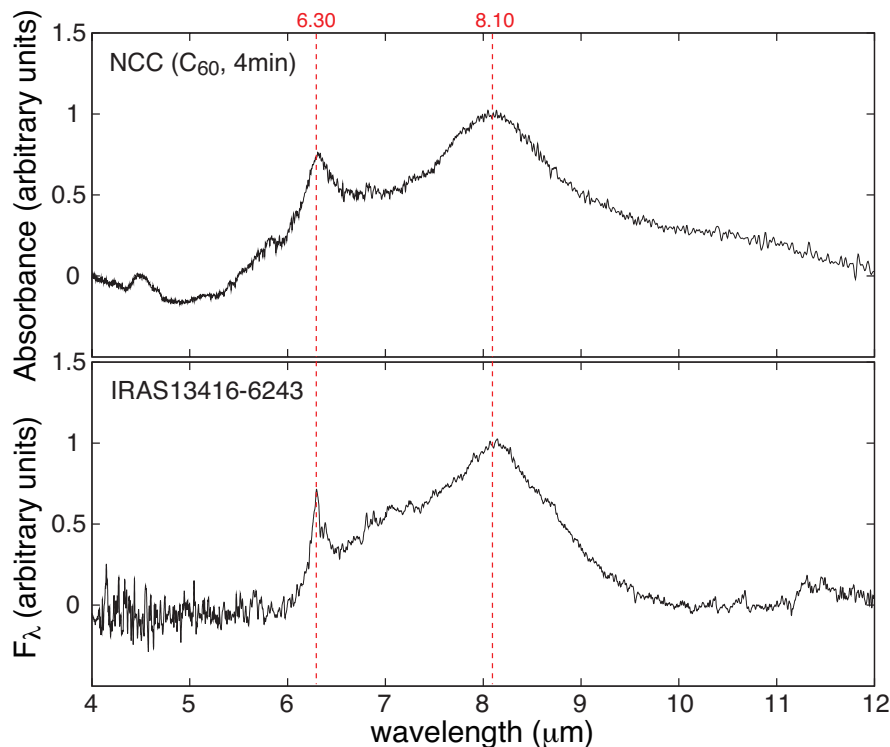
(C-1)--(C-4) N-Containing Carbonaceous Compounds (NCCC)

Infrared properties of NCCC; similarity with observed UIR bands

N-Containing Carbonaceous Solids produced from C60 by irradiating nitrogen plasma

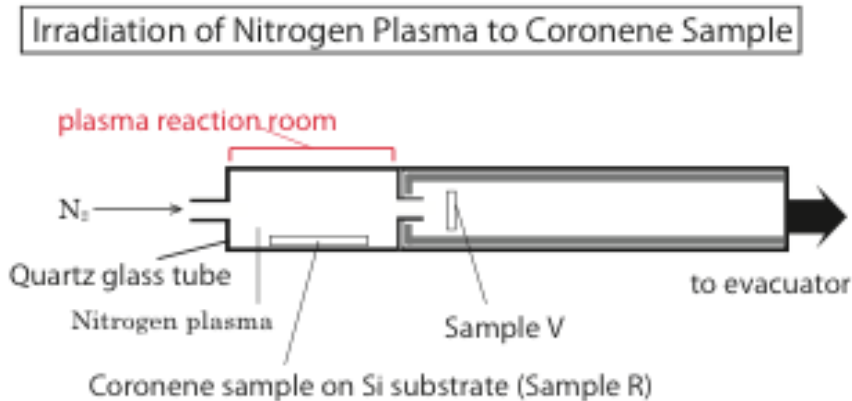
N-Containing Carbonaceous Solids produced from Coronene by irradiating nitrogen plasma

Dust Synthesized in the Laboratory

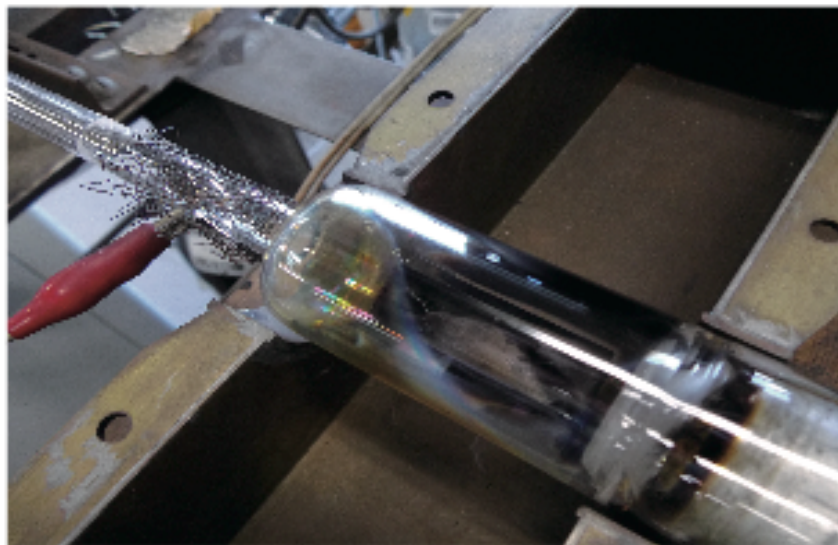


N-Containing Carbonaceous Compounds (NCCC)

N-Containing Carbonaceous Solids produced from PAHs by irradiating nitrogen plasma



A picture of the plasma reaction room just after the Nitrogen plasma irradiation to Coronene sample

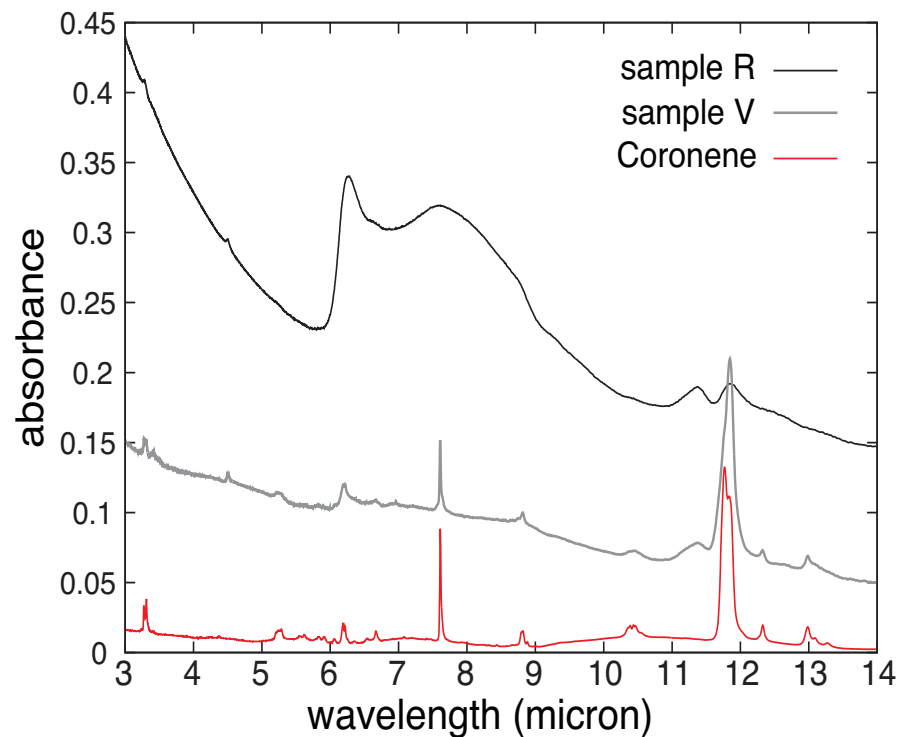


Sample R; collected on the Si substrate in the reaction room

Sample V; collected on the Si substrate behind the nozzle

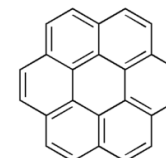
(N/C mol. ratio ~ 4.4%)

(N/C mol. Ratio ~ 0.6%)



Infrared absorption spectrum of NCCC
(coronene, N₂ 4torr, reaction time: 40sec)

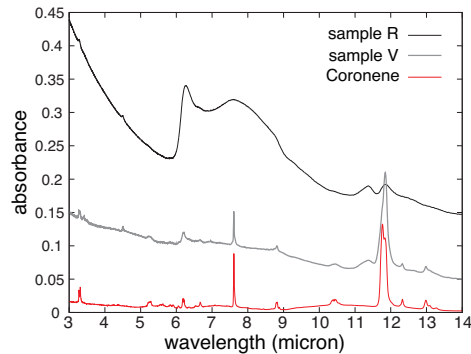
Coronene (C₂₄H₁₂)



C-H solo: 0
C-H duo: 6
C-H trio: 0
C-H quartet: 0

N-Containing Carbonaceous Compounds (NCCC)

X-ray Photoelectron Spectroscopy of Samples R and V



C 1s spectra

sp² C : 284.8 eV

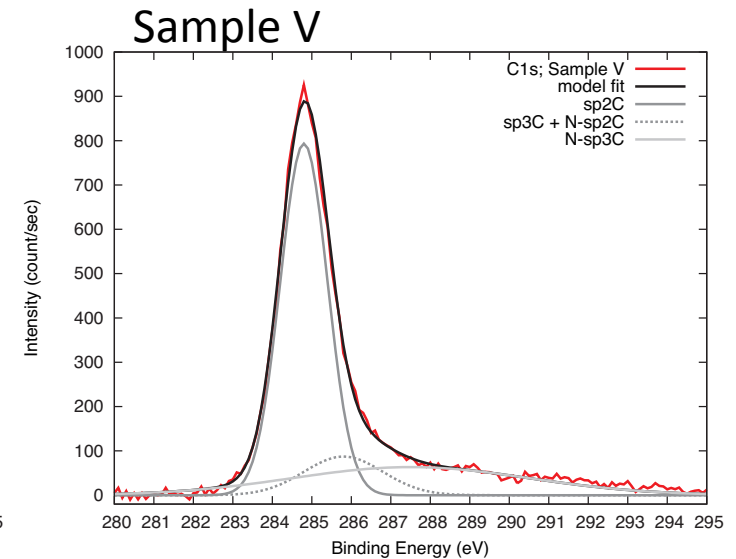
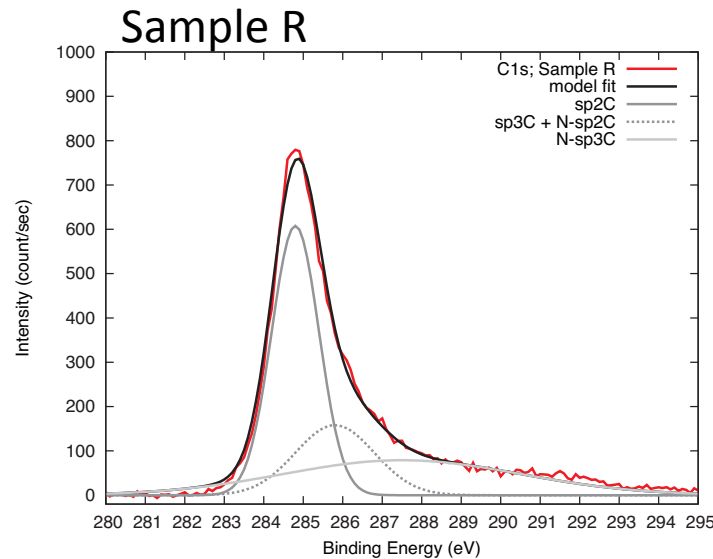
sp³ C : 285.8 eV

N-sp² C: 285.8 eV

N-sp³ C: 287.5 eV

(Wei et al. 2009)

C1s energy range



Intensity fraction	Sample R	Sample V
sp ² C	48%	63%
sp ³ C + N-sp ² C	21%	12%
N-sp ³ C	31%	25%

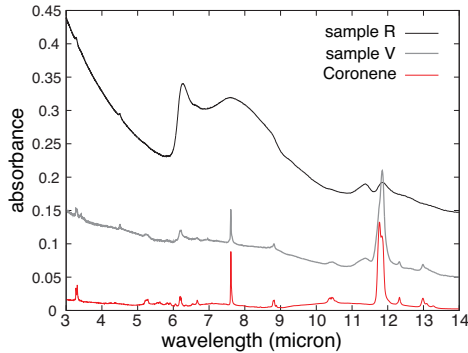
Sample V; mostly dominated by Coronene once evaporated and collected on Si substrate

cf. N/C mol. ratio ~ 0.6% (sample V)

~ 4.4% (sample R)

N-Containing Carbonaceous Compounds (NCCC)

X-ray Photoelectron Spectroscopy of Samples R and V



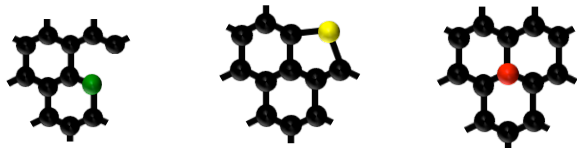
N 1s spectra

“pyridinic” N: 398.2 eV

“pyrrolic” N: 400.1 eV

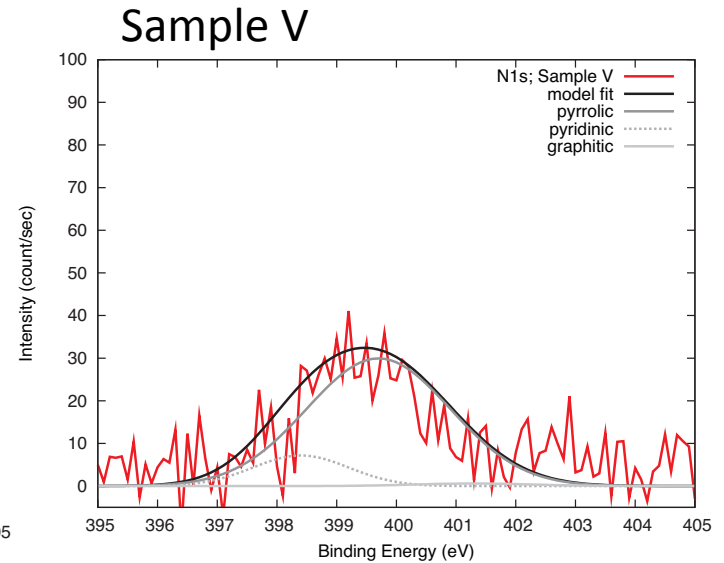
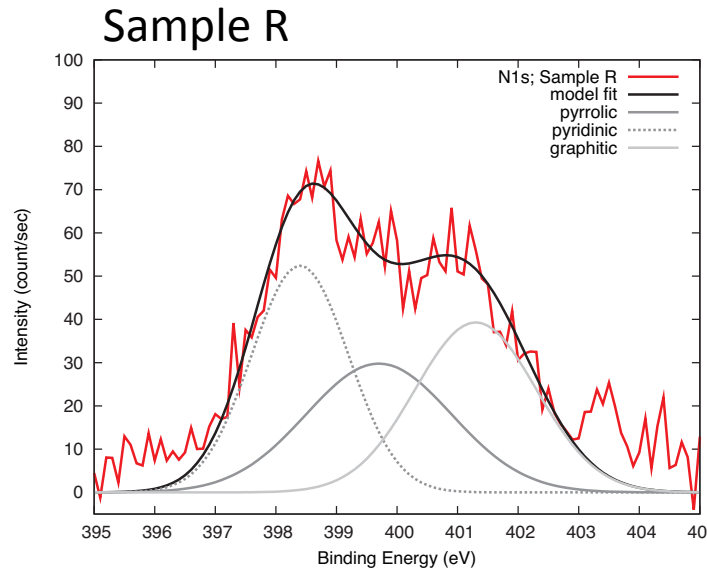
“graphitic” N: 401.7 eV

(Wei et al. 2009)



- “pyridinic” N atom
- “pyrrolic” N atom
- “graphitic” N atom
- C atom

N1s energy range



Intensity fraction	Sample R	Sample V
Pyrrolic (399.7eV)	31%	85%
Pyridinic (398.4eV)	36%	14%
Graphitic (401.3eV)	34%	1%

Sample R ; characterized by the inclusion of nitrogen in the form of either “pyridinic” or “graphitic”

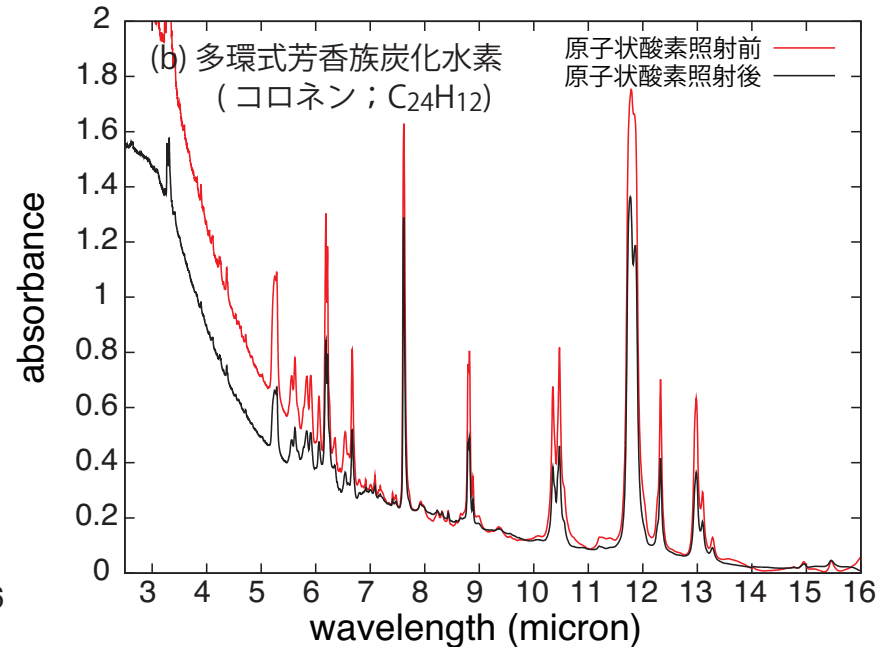
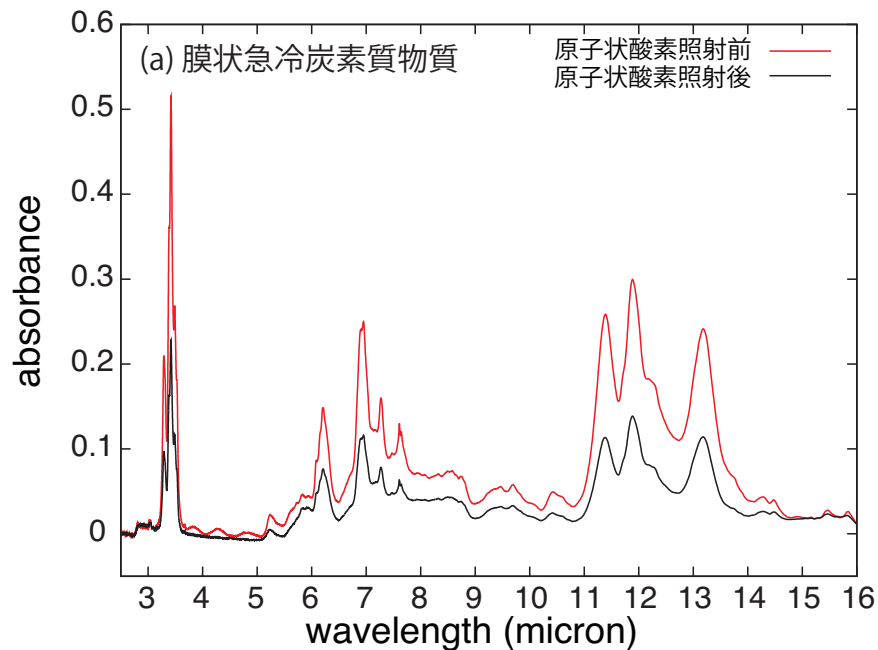
地上対照実験(1)

-原子状酸素照射試験(2014年10月7日~10月17日)

JAXA筑波宇宙センター FAST™原子状酸素照射装置(NASDA-PSPC-18219)

照射試験全期間のAO照射量の実績値は 7.126×10^{20} atoms \cdot cm $^{-2}$

(1年間に曝露部で期待される照射平均量 1.444×10^{21} atoms \cdot cm $^{-2}$ の約半分量に相当)



浸食量: 32.4 μ m/年 (膜状急冷炭素質物質), 36 μ m/年 (多環式芳香族炭化水素コロネン)

地上対照実験 (2)

-紫外線照射試験 (2014年10月20日~10月29日)
JAXA筑波宇宙センターで実施。

-電子線照射試験 (2014年11月6日~11月9日)
JAXA筑波宇宙センターで実施。

-陽子線照射試験 (2015年10月21日~10月22日)
日本原子力研究機構高崎量子応用研究所3MVシングルエンド加速器を用いて実施予定。

-ガンマ線照射試験 (TBD)

上記、地上対照実験の前後での赤外分光特性や構成元素の電子状態の変化を、

- 顕微赤外線分光, ATR赤外線分光
- X線光電子分光法(XPS)

などの分析手法を通じて調査する。

まとめ

国際宇宙ステーション「きぼう」利用簡易曝露実験装置ExHAMを利用した炭素質ダストの宇宙曝露実験は、年老いた星周環境で凝縮したダストが星間空間に至るまでの過程で被る物性変化を調べることを目的とする試みである。特に、未同定赤外バンドや星間減光曲線中2175Åバンプ構造の担い手の同定に焦点を充てた実験試料を含む約40種の物質を1年間、国際宇宙ステーションの軌道環境に曝露した後地上に回収し、曝露前後の物質を赤外分光特性の変化や構成原子の電子状態の変化に焦点を充てた分析を行う。

本結果は、次世代赤外線衛星(SPICA, JWST)が遠方銀河の未同定赤外バンドを利用して、星間物理環境を解釈する上で、根幹となる基礎的な物質理解の情報を提供し、貢献する。

2015年度中に、曝露実験供試体(EE64-IおよびEE64-II)の準備が完了し、2015年4月26日より所定の曝露部(ExHAM1号機搭載場所UおよびV)で、曝露実験が開始した。

今後のプロジェクトの予定

- 地上対照実験の実施(2015年度、2016年度)
地上対照実験前後の試料の物性分析に基づく、比較データの整備(2015年度、2016年度)
- 2016年度曝露実験供試体(EE64-III)の準備
(重水素含有QCC, Pyrolytic Graphite, その他比較試料)
- 2015年度曝露実験供試体(EE64-I, EE64-II)を回収 (2016年度上旬予定(TBD))
その後、各種分析を実施。(2016年度中(TBD))
- 2016年度曝露実験供試体(EE64-III)を回収 (2017年度上旬予定(TBD))
その後、各種分析を実施。(2017年度中(TBD))