

SELENE-2用月面探査車搭載に向けた化学分析装置AXSの開発

天野嘉春, 長谷部信行, 柴村英道, Timothy J. Fagan, 太田亨, 草野広樹, 大山裕輝, 田中玲子, 児玉拓郎, 長岡央, 久野治義 (Waseda Univ.), 岡田達明 (ISAS/JAXA), Kyeong J. Kim (KIGAM), Gwanghyeok Ju (KARI), Göstar Klingelhöfer (JGU), Johannes Brückner (MPIC), William V. Boynton, Dave Hamara (UoA/LPL), Lucy F. Lim (NASA/GSFC), Richard D. Starr (CU, NASA/GSFC)

能動型蛍光X線分析装置 (Active X-ray Spectrometer, AXS)

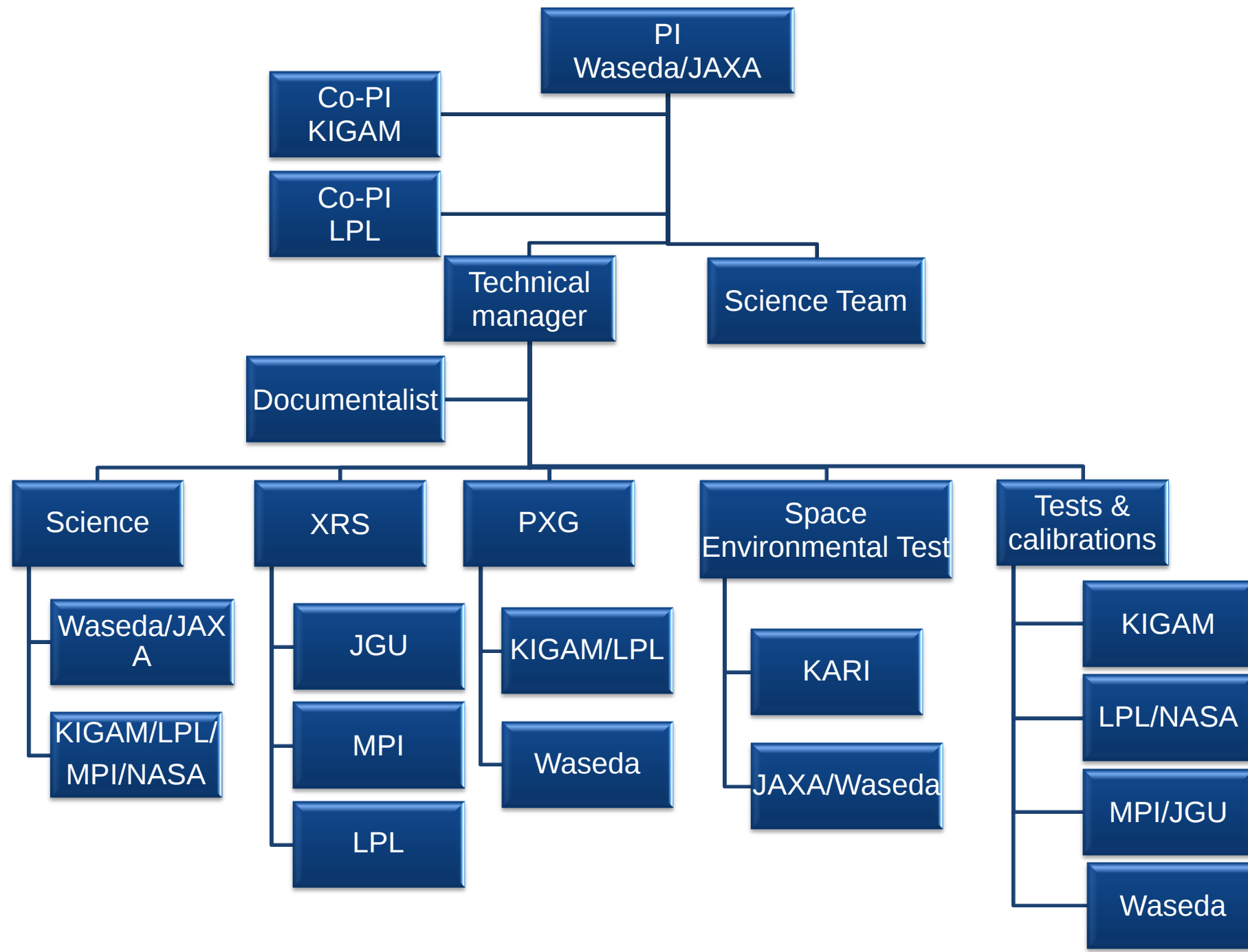
科学目的

- その場観測による月面の地質調査と研究
 - ・ 着陸地点付近の表層物質中の主要元素 (Mg, Al, Si, Ca, Ti, Fe) および微量元素 (Na, K, S, Cl, Cr, Mn, Ni, etc.) 組成の決定
 - ・ 月の岩石の同定および生成過程の調査
 - ・ 月の深部物質 (マントル物質) の探索
 - ・ 月の風化作用の研究
- ➔ アポロ試料、遠隔月探査機かぐや、月隕石などと組み合わせた月の起源・進化の解明

搭載装置

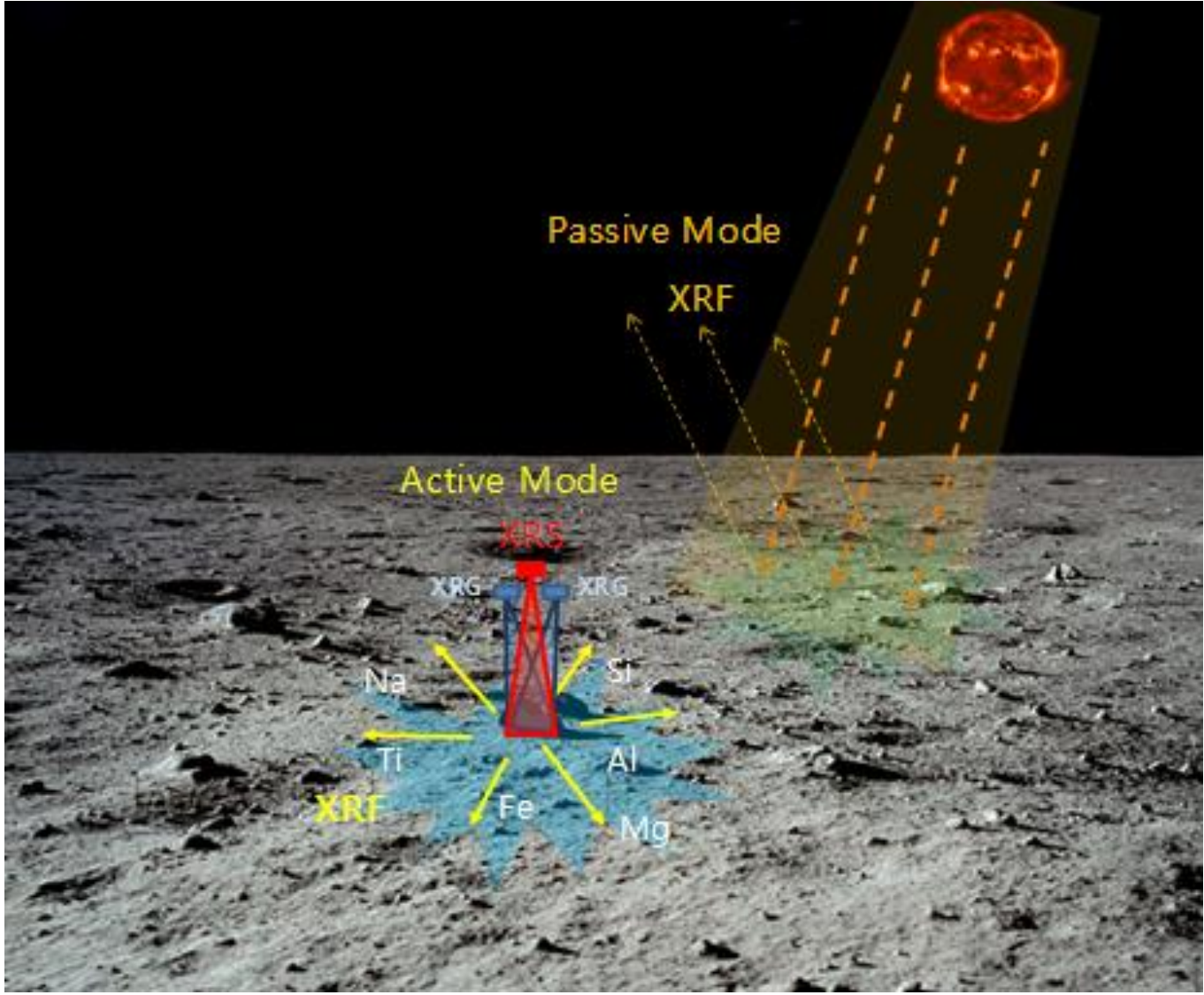
- 小型軽量・低消費電力のAXSを切削機、LUMIとともにローバーのアームに搭載
 - ・ AXS構成：焦電結晶を用いたX線発生装置、高エネルギー分解能・耐高計数率のシリコンドリフト検出器 (SDD)
- 放射性同位元素を使用しない (MPF, MER, MSLなどの火星探査では²⁴⁴Cmを使用)
- 短時間で多数のサンプルを測定 (20分程度、元素濃度・必要な測定精度により変動)

AXS 研究開発体制



蛍光X線分析法

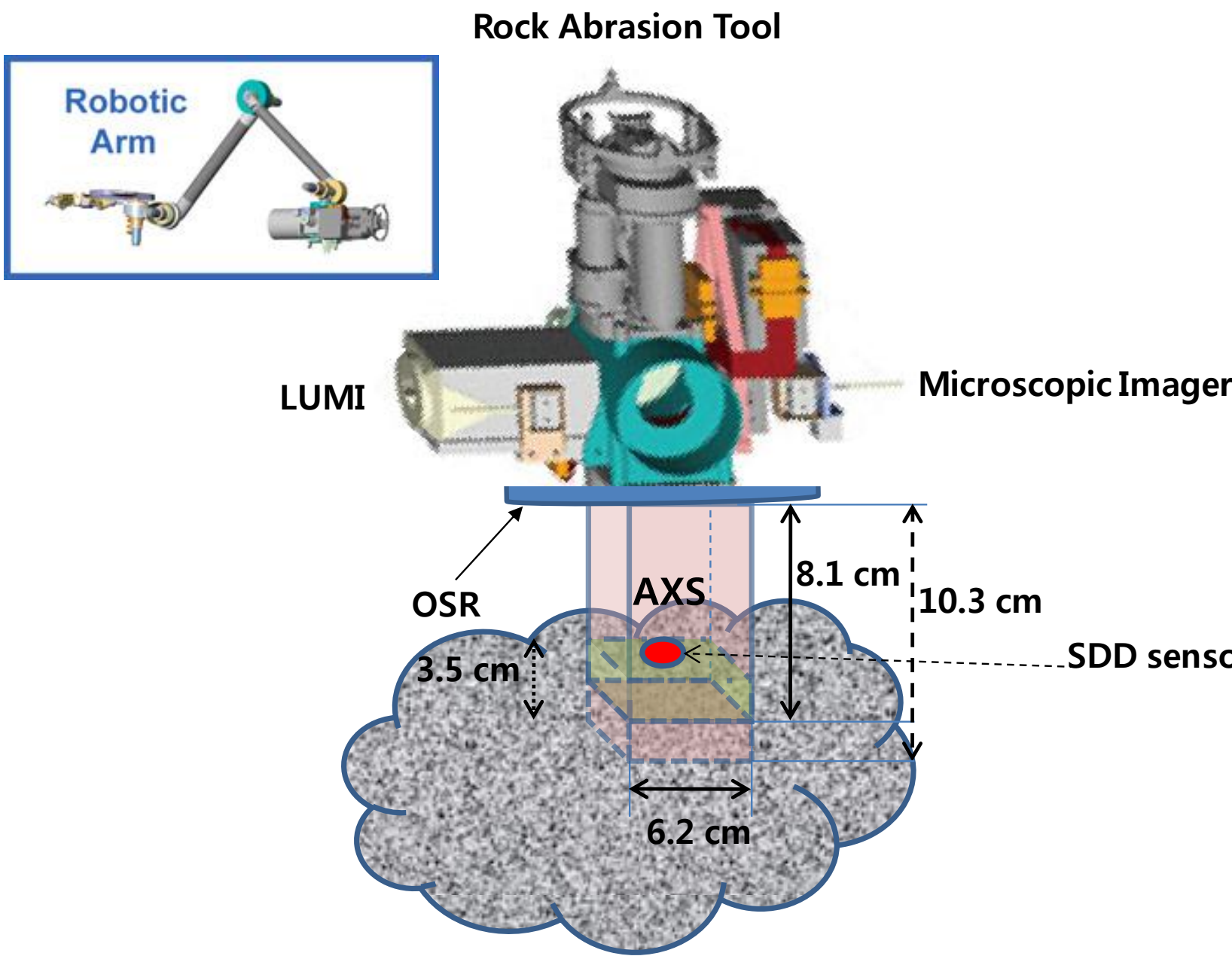
1. 受動型蛍光X線分析
 - ❑ 月周回衛星からの遠隔探査
 - ❑ 受動型X線励起源
 - ✓ 太陽X線
 - Smart-1, Hayabusa, Kaguya, Changrayaan-1
2. 能動型蛍光X線分析
 - ❑ 表面走行車によるその場探査
 - ❑ 能動型蛍光X線励起源
 - ✓ 放射性同位体 (²⁴⁴Cm)
 - MPF, MER, MSL, Viking
 - ✓ X線管
 - ✓ 焦電結晶



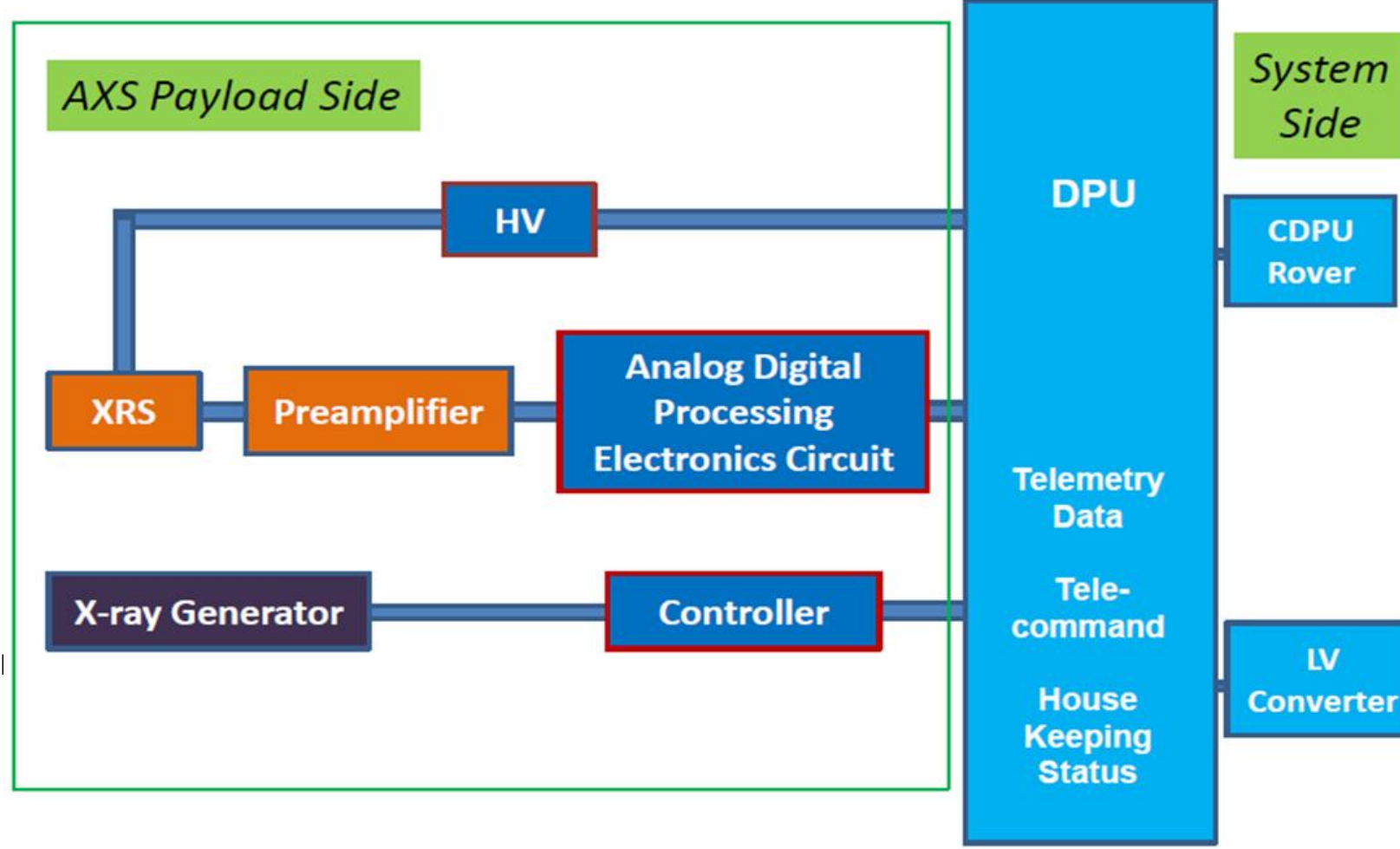
月面における受動型と能動型の蛍光X線分析の原理。

AXS 概要

SELENE-2 AXS on ROVER



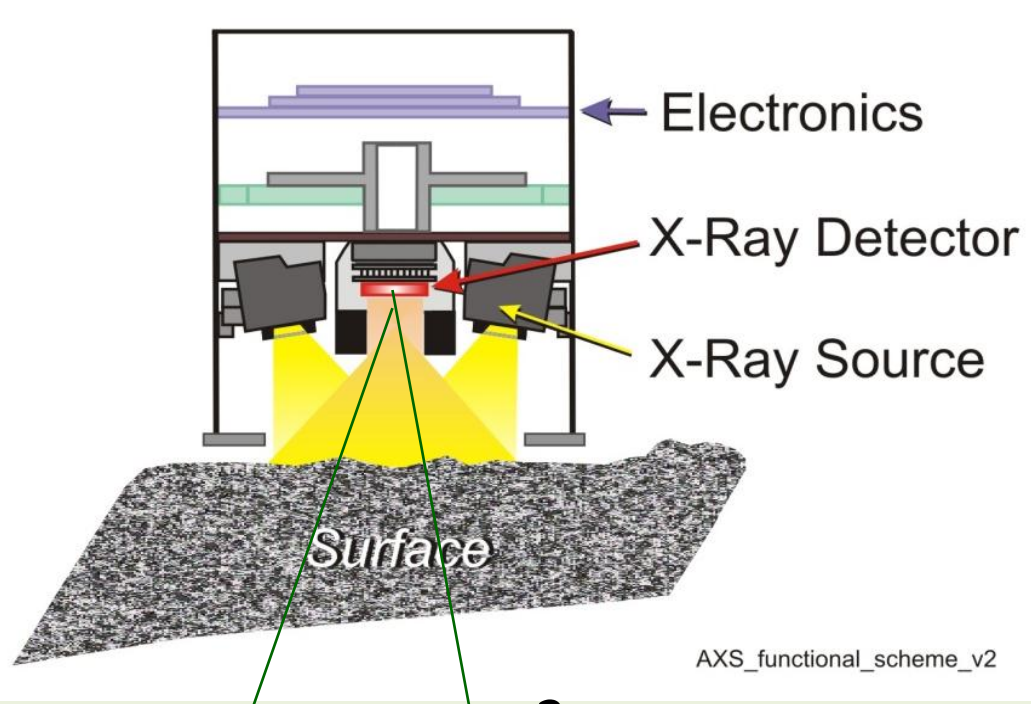
AXS Instrumental



AXS 構成

AXS: X線発生装置 (焦電結晶型X線発生装置) & X線検出器 (シリコンドリフト検出器)

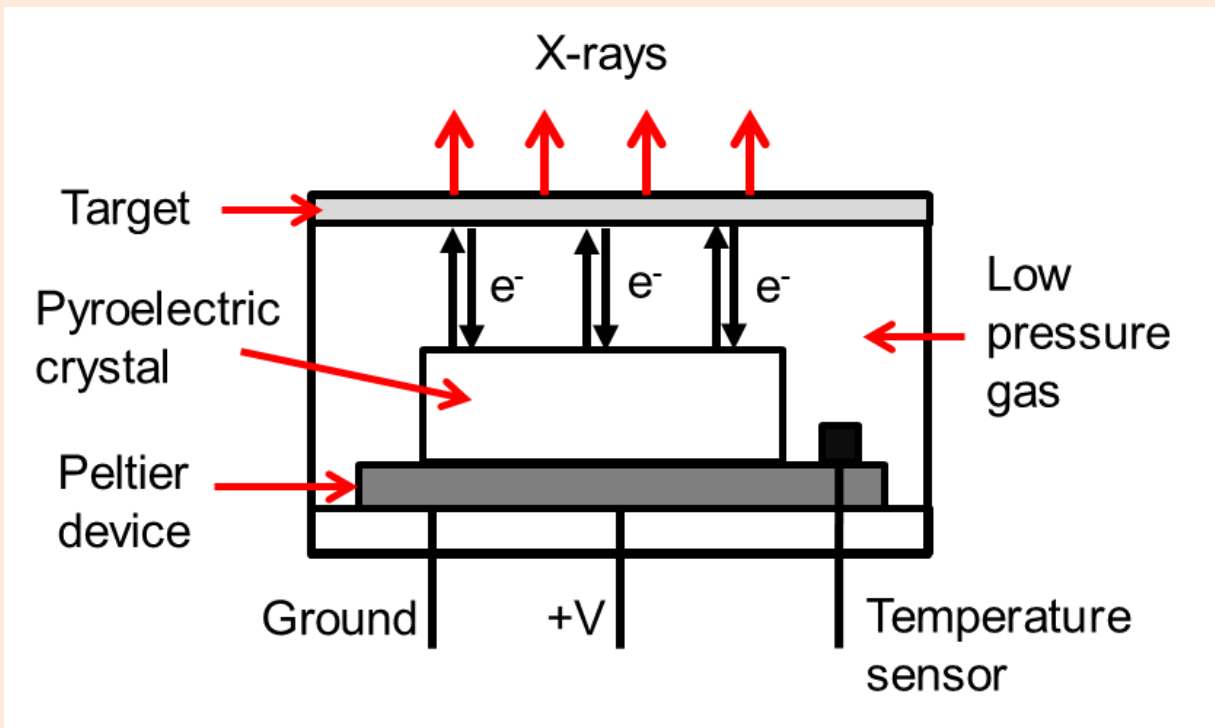
AXS sensor head



2 mm
50 mm
XRG: 15 mmφ x 10 mmT
Maximum X-ray flux: 10⁸ photons/s
SDD: 18 mmφ x 300 μmT

Pyroelectric X-ray generator

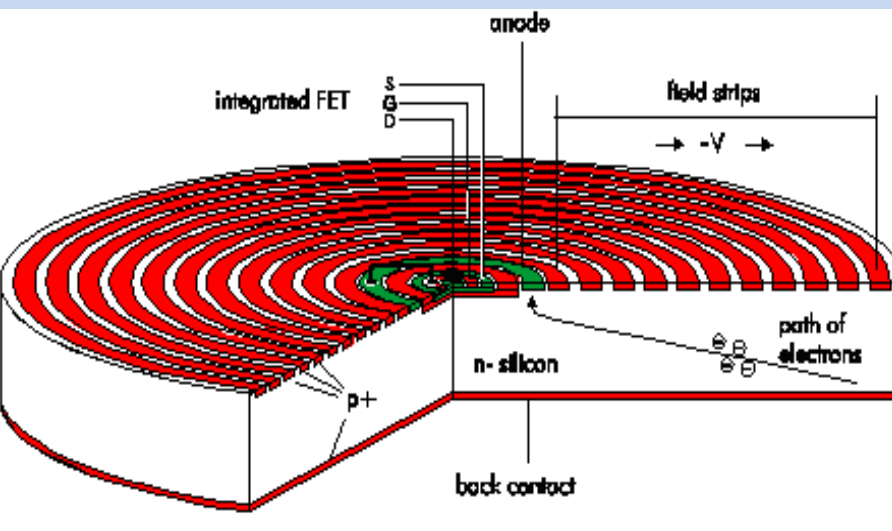
- ✓ 焦電結晶 (LiTaO₃)、加熱冷却装置 (ペルチェ素子)、温度センサー、金属薄膜ターゲットを設置し、低圧ガスを封入
- ✓ 放射性同位体・高圧電源不要
- ✓ 低消費電力 (< 1W)
- ✓ 金属薄膜ターゲット材質により、発生X線のエネルギーを変更可能 → 軽元素へ最適化



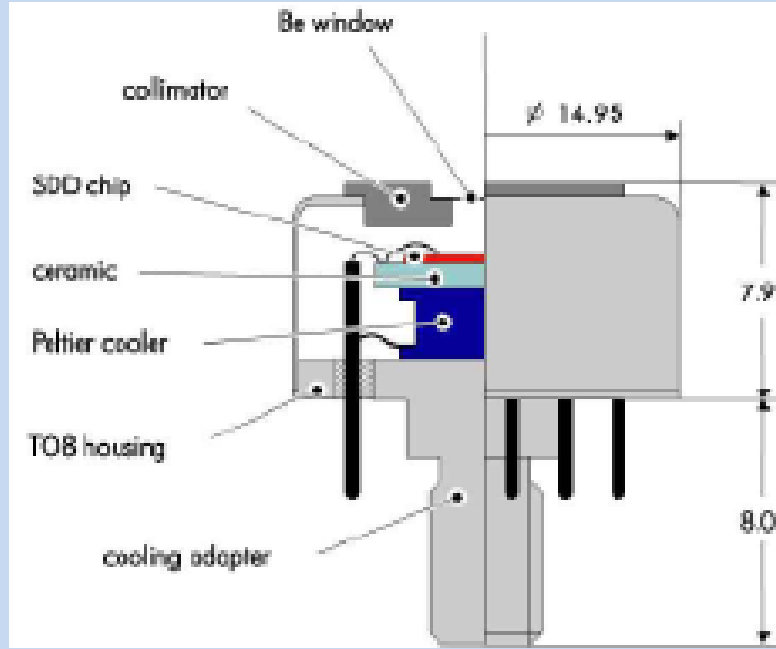
焦電結晶型X線発生装置の内部構造。

Silicon drift detector (SDD)

- ✓ 高エネルギー分解能 (125-150 eV @ 5.9 keV)
- ✓ 耐高計数率 (< 10⁵ cps)
- ✓ ペルチェ素子により冷却



SDDの内部構造。



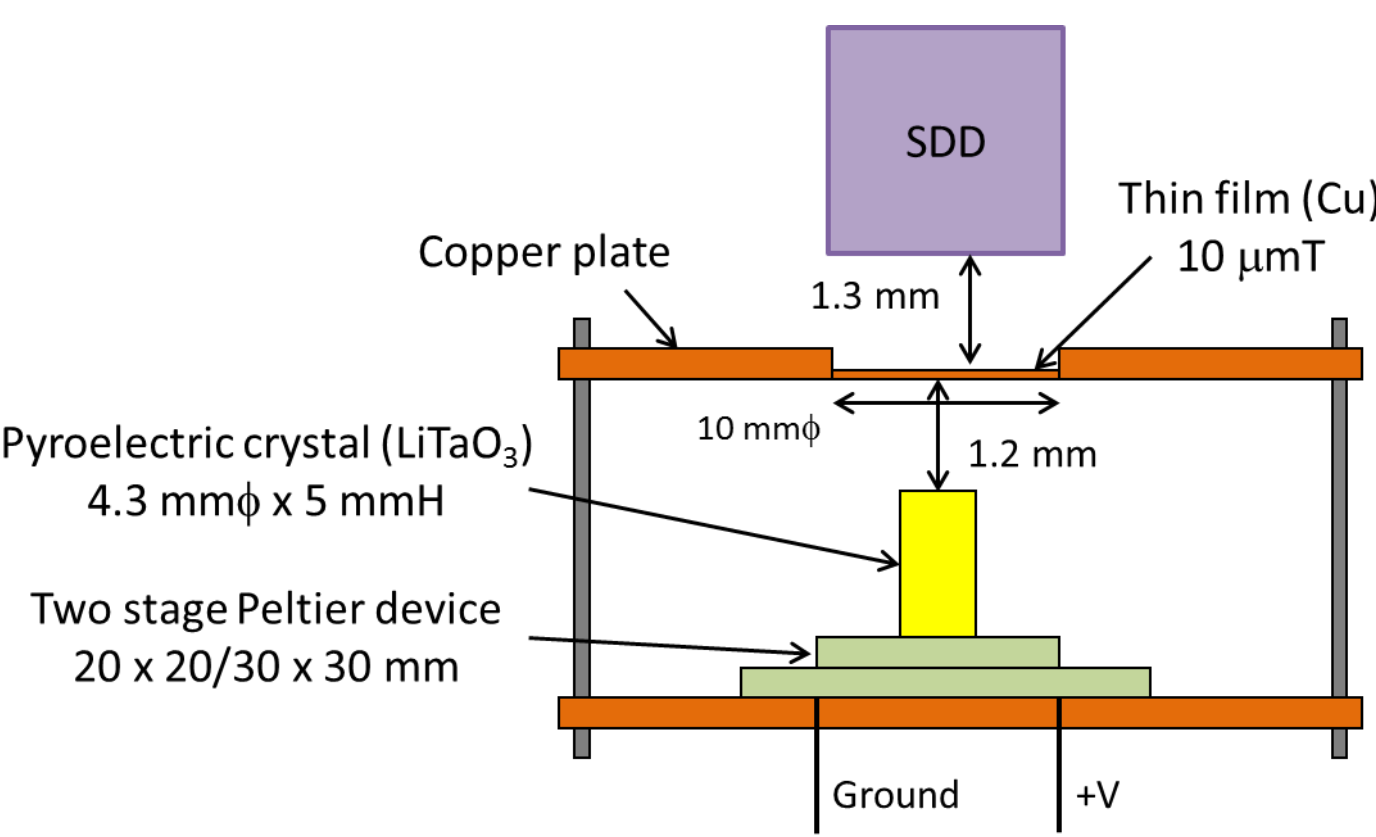
SDD mounted on TO-X housing case with Be-window.

焦電結晶型X線発生装置開発

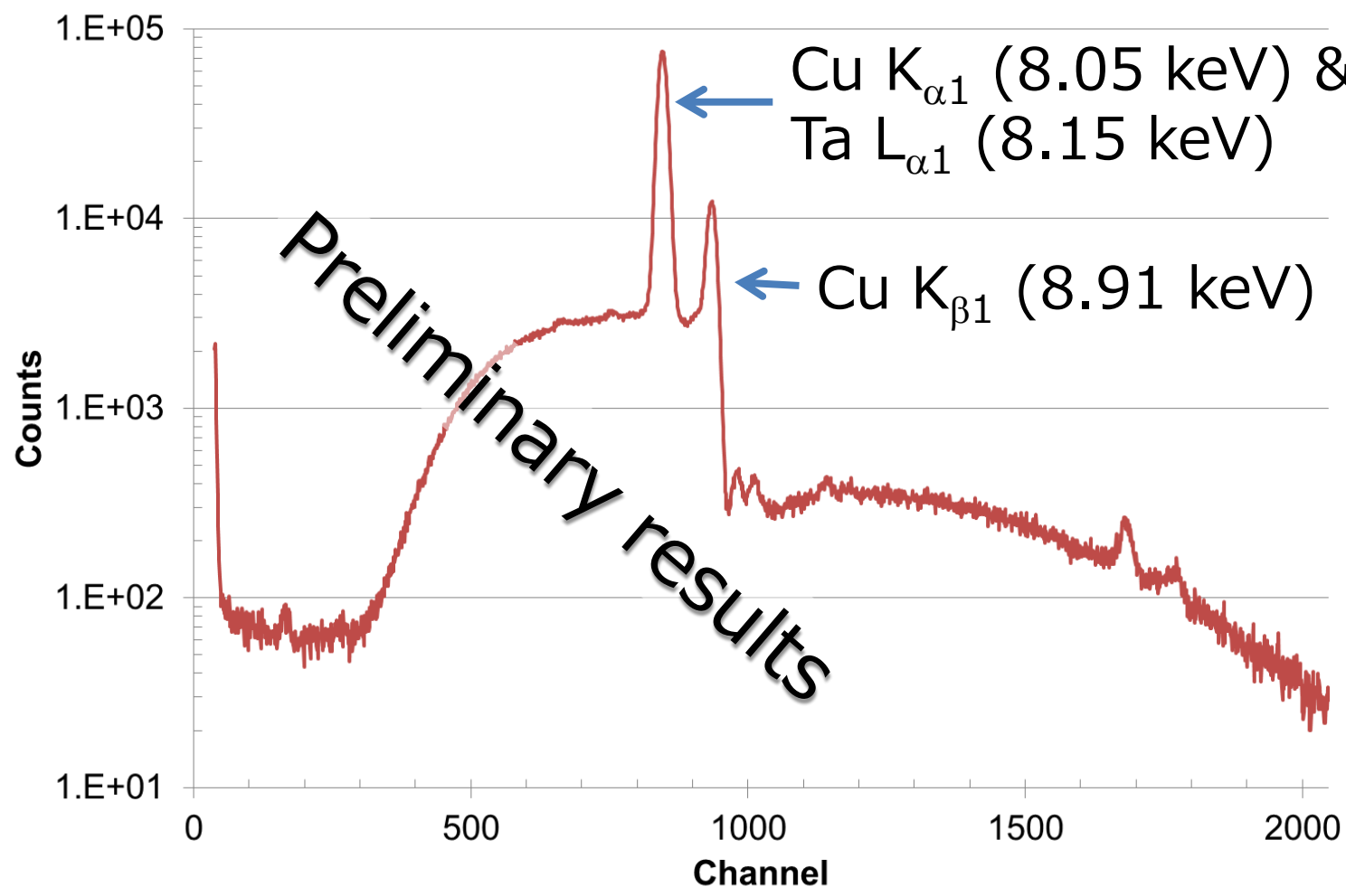
- ✓ 現在、焦電結晶 (LiTaO₃) を用いたX線発生装置の基礎試験・最適化を実施している
- ✓ 特に発生X線強度の増加および安定化を目標とする
→ Peak X-ray flux: ~ 10⁹ photons/s

開発課題

- ・ 焦電結晶の大きさ、熱伝導率 → 加熱冷却サイクルを早めて高効率化を図る
- ・ 封入気体の種類、圧力 → 最適な気体条件の検討
- ・ 電極構造
- ・ 封入容器の材質、構造、封入方法



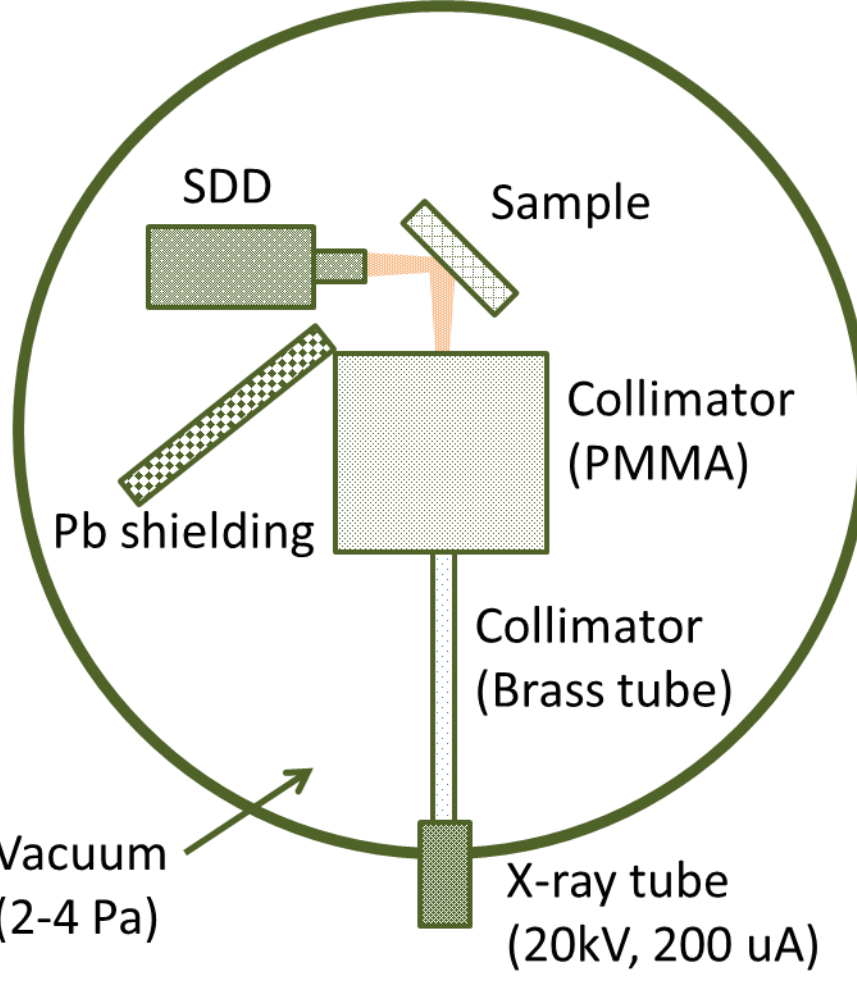
X線発生実験装置の概要図。上図を真空容器中に設置し、圧力を1-20 Pa程度にして実験を行った。



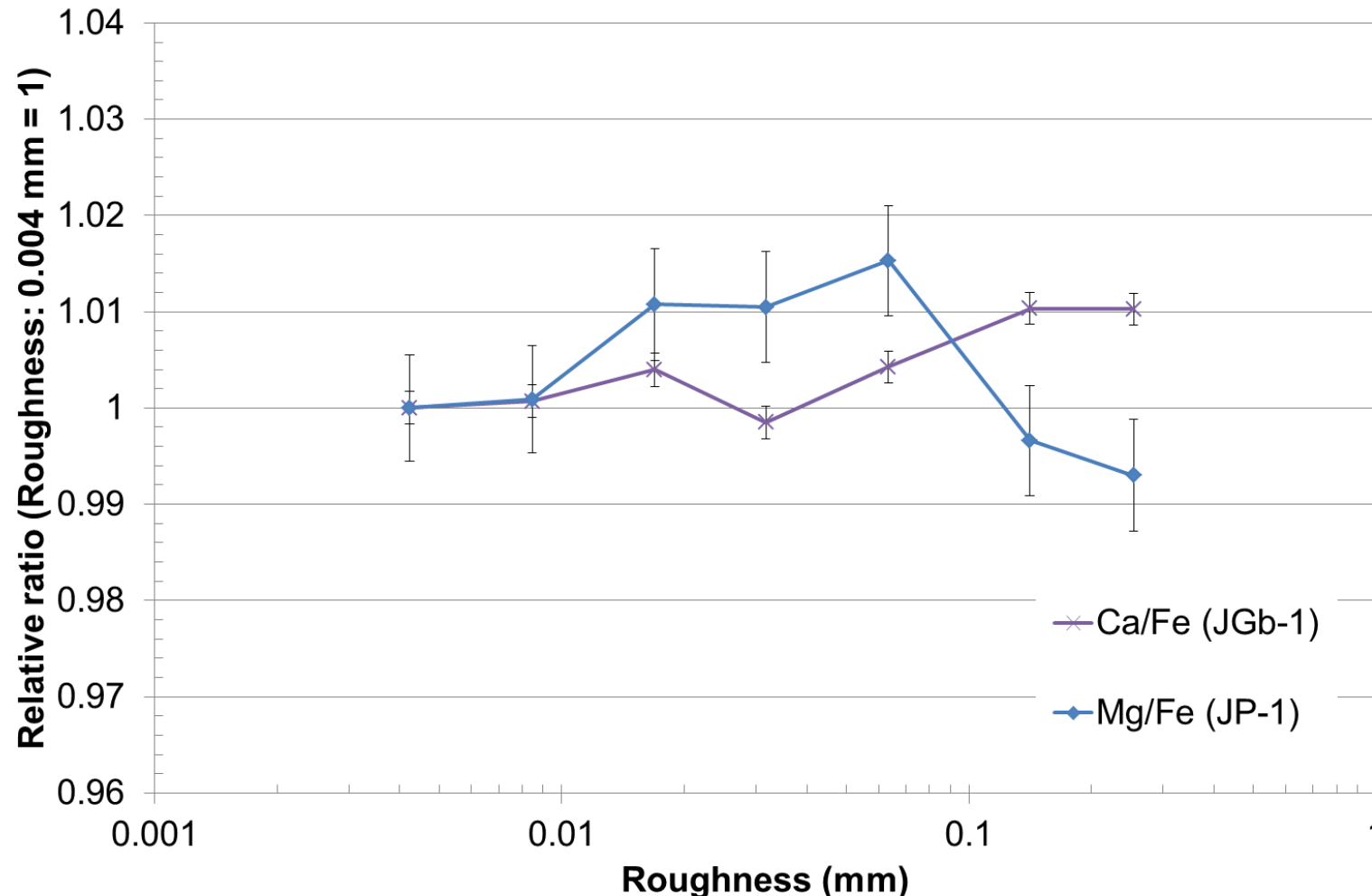
発生X線のスペクトル。測定時間は2150秒、加熱・冷却の時間サイクルは、加熱50秒、自然冷却100秒である。

蛍光X線分析基礎実験

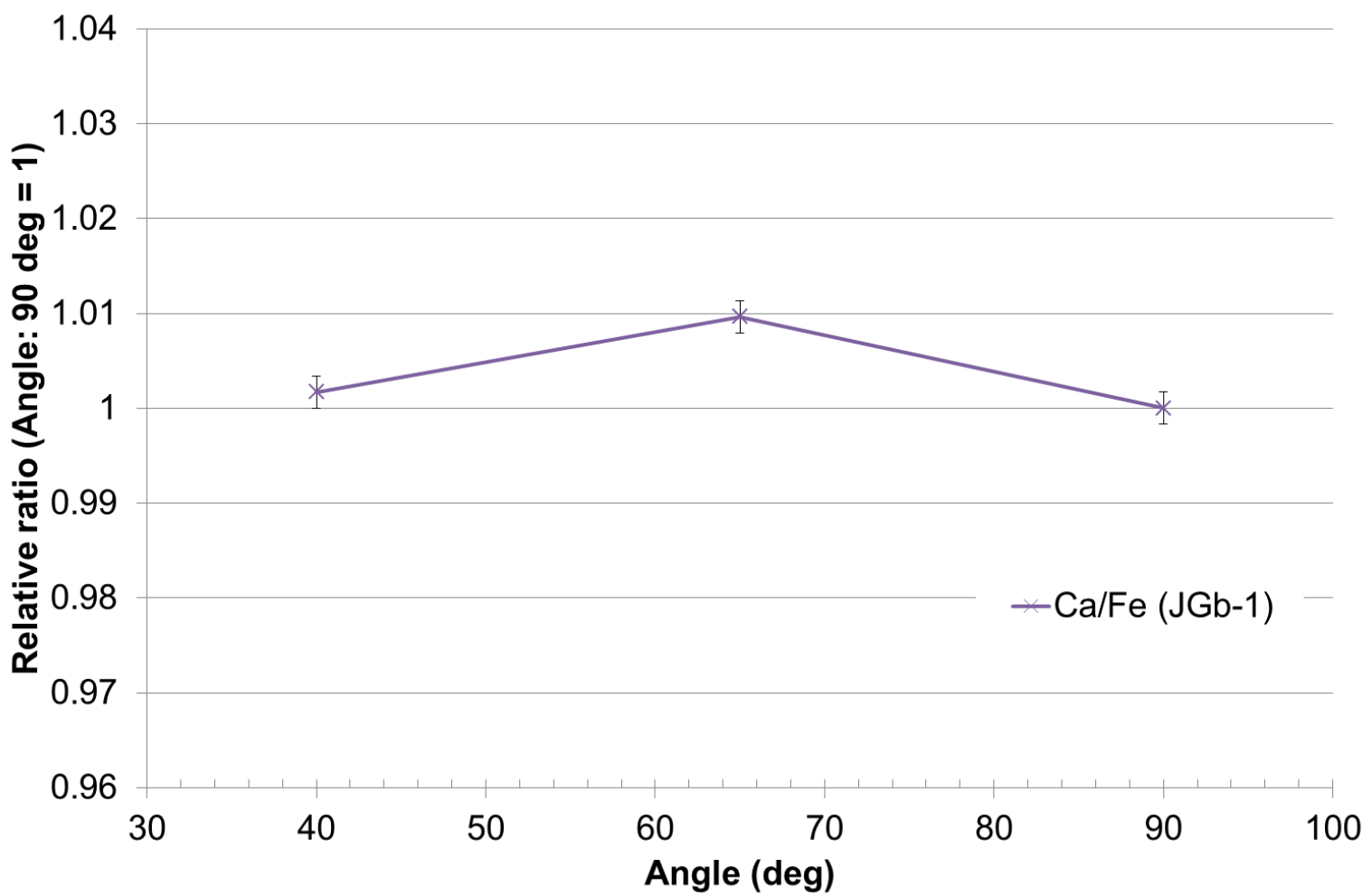
- ✓ 組成決定精度向上と宇宙風化対策のため表面研磨が必要
- ✓ X線管およびSDDを用いて、岩石標準試料 (JGb-1, JP-1) に対し、表面の粗さ、X線の入射・放出角度を変化させながら蛍光X線分析を実施
- ✓ Mg, Ca, Feについて、試料表面の粗さによらず計数比はほぼ一定となった
- ✓ 表面が滑らかな場合、90度以下ではCa, Feの計数比は角度にほぼ依存せず一定であった



実験のセットアップ。



Feに対するMg, Caの比の表面粗さ依存性。表面が滑らかな場合 (0.004 mm) を1とした相対比として示す。



Feに対するCaの比の角度依存性。90度のときを1とした相対比として示す。測定は表面が滑らかな状態 (0.004 mm) で行った。