

ソーラー電力セイルミッションにおける サンプルング・その場分析

松本純¹, 岡田達明¹, 青木順², 河井洋輔², 岡本千里³, 癸生川陽子⁴, 大槻真嗣¹
大木優介⁵, 中村拓磨⁶, 柏岡秀哉⁷, 伊藤元雄⁸, 矢野創¹, 森治¹

¹JAXA ²大阪大学 ³神戸大学 ⁴横浜国立大学 ⁵東京大学 ⁶青山学院大学 ⁷総合研究大学院大学 ⁸JAMSTEC

はじめに

ソーラー電力セイル ISAS所内準備チームでは、ソーラー電力セイルによる木星トロヤ群小惑星探査を検討中である。本ミッションでは、小型着陸機(右図)を小惑星へ降下させ、**ターゲット小惑星の表面および地下サンプルを採取し、質量分析器(HRMS)によるその場分析を行う**。本稿では、地下サンプリングデバイス 及び 質量分析器の、機器開発状況について述べる。



運用シーケンスの概要

小型着陸機には、(1) 表面サンプリングデバイス (2) 地下サンプリングデバイス (3) HRMS を搭載する。サンプリングは、表面サンプリングを「高圧ガスによる弾丸射出」により2回、地下サンプリングを「高圧ガス噴出」により1回、合計3回行う。これらのサンプルは、4 mm角のサンプルコンテナ(6つ)に採取された後、300℃まで加熱される。その後、(I) さらに1000℃まで加熱 (II) GCを通す といった前処理を行った後、HRMSによる質量分析を行う。この サンプリング - その場分析 ミッションに割り当てられている質量は、12 kgである。

地下サンプリングデバイス

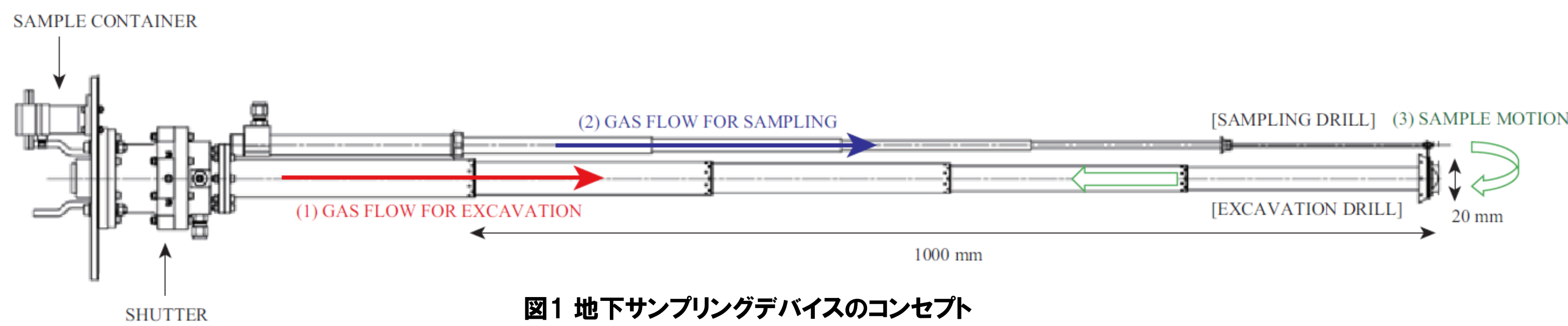


図1 地下サンプリングデバイスのコンセプト

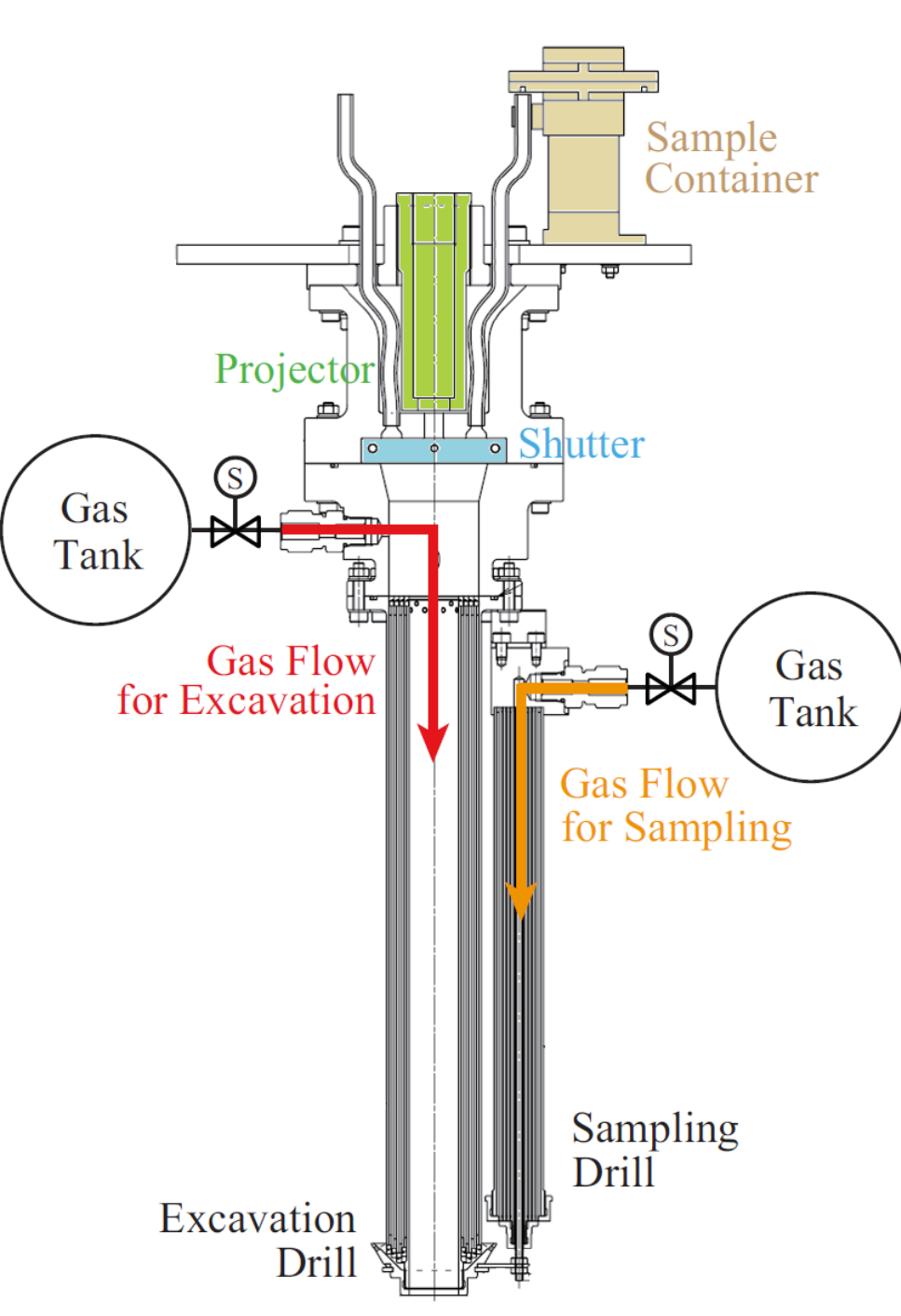


図2 フライトコンフィギュレーション



図3 機能試験モデル

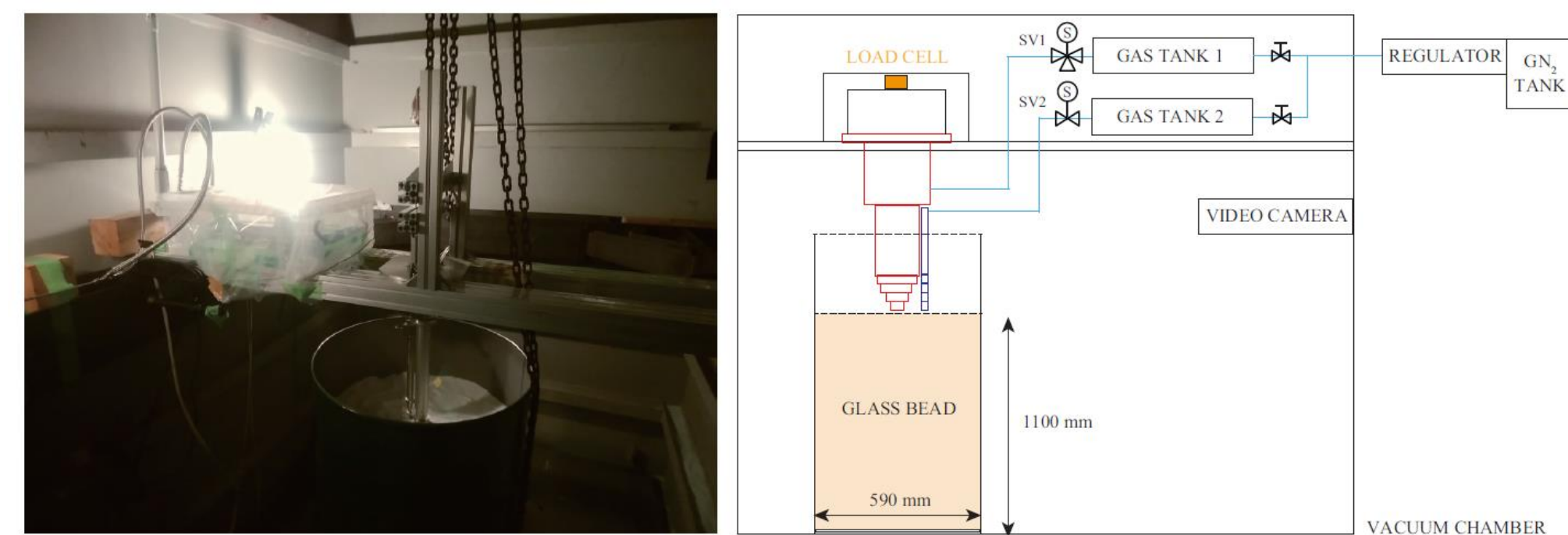


図4 試験コンフィギュレーション

本ミッションでは、小惑星表面のレゴリス層を1m掘削し、地下の揮発性成分を含んだサンプルを採取することを狙う。そのためのデバイスとして、**ガスを用いた掘削・地下サンプリング一体型デバイスを考案・試験し、その基本的な機能を全て実証した**。

図1, 2に、デバイスの機能及びコンフィギュレーションを示す。本デバイスでは、(1) デバイス伸展・掘削、(2) (3) サンプリング 共に高圧ガスを駆動源とする。

デバイスはテレスコピックな構造を持つ掘削部・サンプリング部から構成されており、共にガス圧により伸展を行う。伸展時に使用したガスをデバイス先端から放出し、小惑星表面のレゴリス層を液状化させることで、伸展したデバイスを地下へ潜り込ませる。掘削後、サンプリング部にガスを流すことで、レゴリスを探査機側へ誘導する。

図3に、全ての機能を含めた機能試験モデルを、図4にその試験コンフィギュレーションを示す。**実際の試験では、図5に示すように、小惑星のレゴリスを模擬したガラスビーズ層を1m掘削し、3.88mg (> 1mg, 要求量) のサンプルをサンプルコンテナへ採取することができた**。なお、このサンプル採取量はサンプルコンテナの大きさに支配されている。その制約を取り払った試験では500mgのサンプルを採取できている。

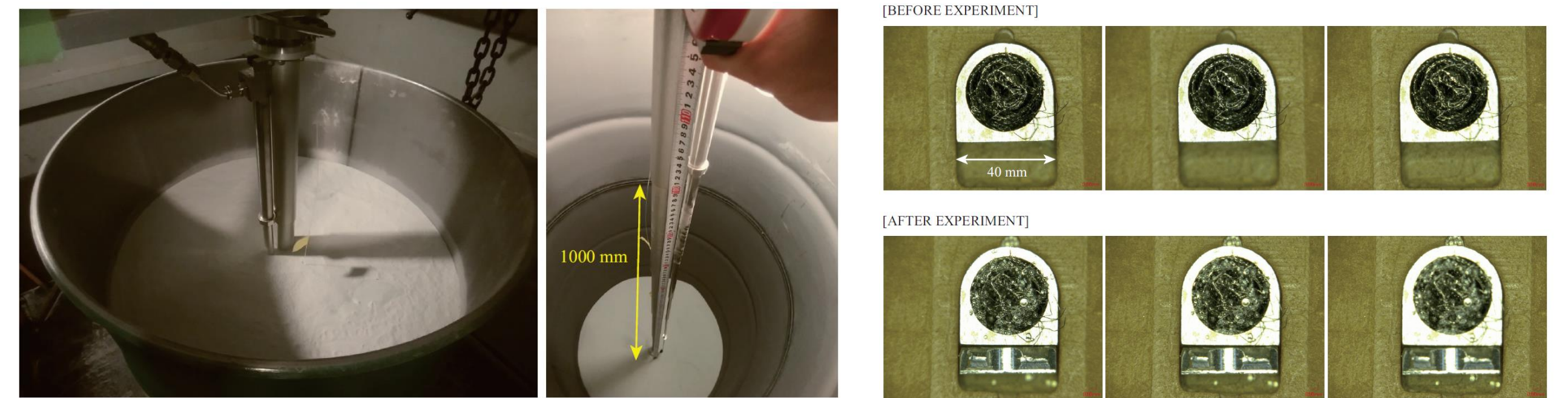


図5 試験結果 (左:掘削, 右:サンプルコンテナ)

質量分析器

■目的

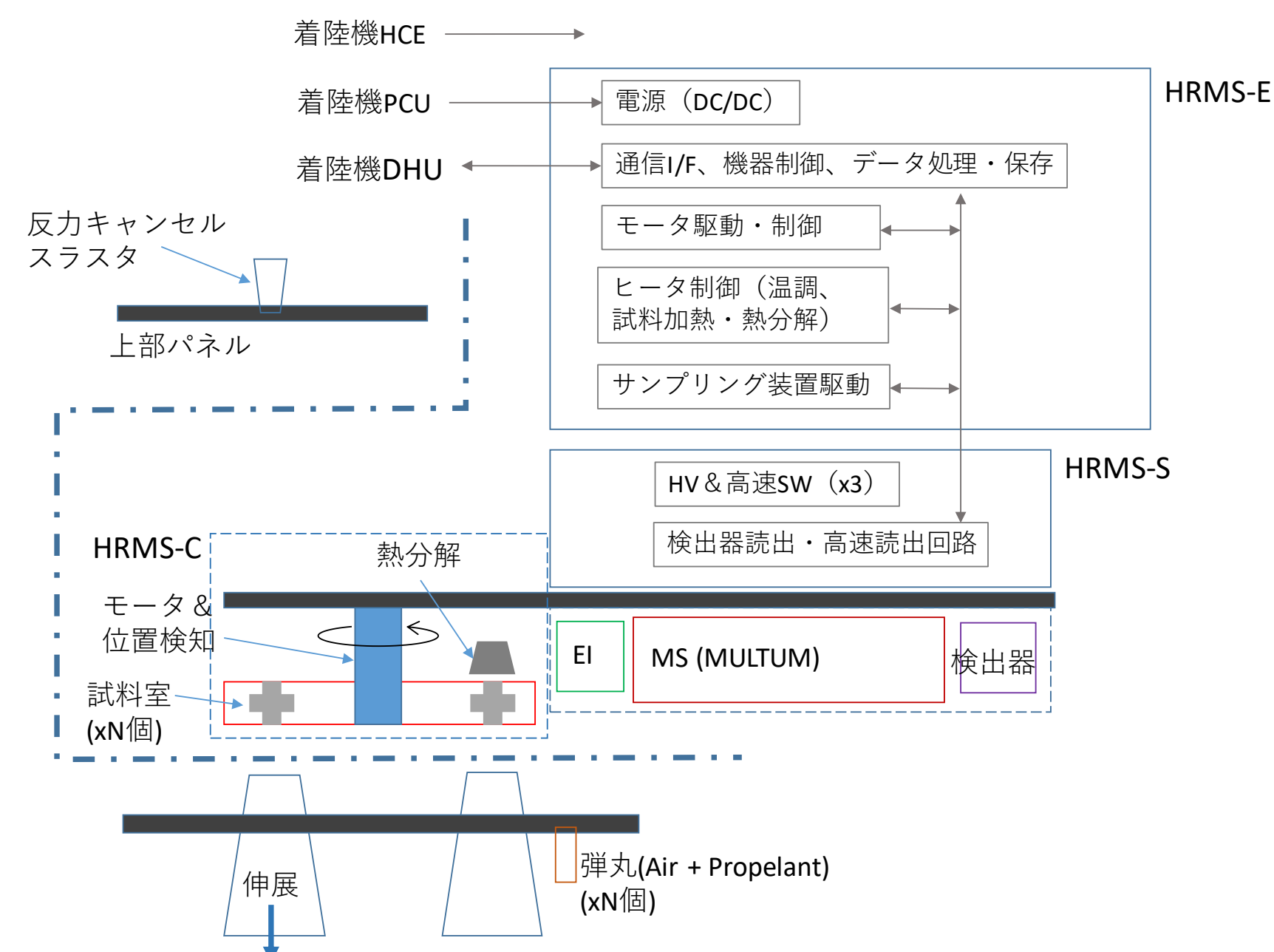
- ・太陽系形成過程の制約: 惑星移動に伴う微惑星の移動・進化プロセス
- ・原始太陽系の物質分布の理解: 太陽距離に伴う鉱物・水・有機物存在度

■観測要求仕様

- ・軽元素同位体分析(D/H, ¹⁵N/¹⁴N, ¹⁸O/¹⁶O):
 - 熱分解MS、熱分解GCMS
 - M/Z=2~30、M/ΔM≧30000
- ・分子同定(H₂O、CO、CO₂、N₂、NH₃、CH₄、H₂CO、SO、SO₂、希ガス、他)
 - 段階加熱orレーザ加熱+MS、GCMS
 - M/Z=10~500(最大1000)、M/ΔM≧30000
- ・試料採取
 - 最低1地点の表層サンプル(地下(~1m)、多点がBetter)
 - 質量 ≧ 1 mg (各分析)
- ・滞在時間(処理時間): ≧ 20 Hour
- ・発生データ量: ≧ 500 MB(機上データ処理を検討中)

■HRMSおよび周辺装置の構成

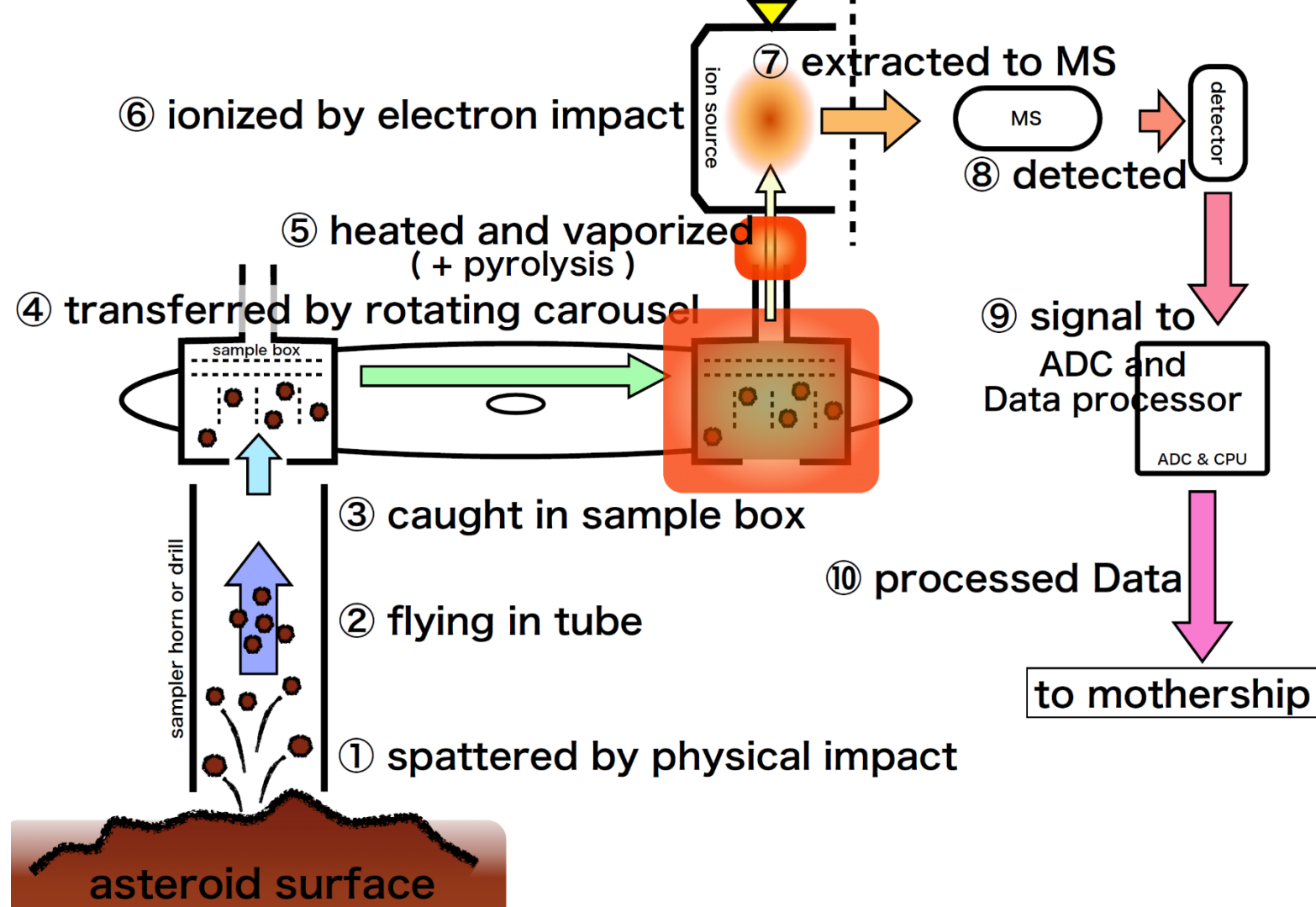
- ・サンプリング装置からの試料をカロウセル部の試料室に受け取る
- ・共通電子回路によりサンプリング装置、カロウセル、質量分析を制御



■HRMSによる分析原理フロー

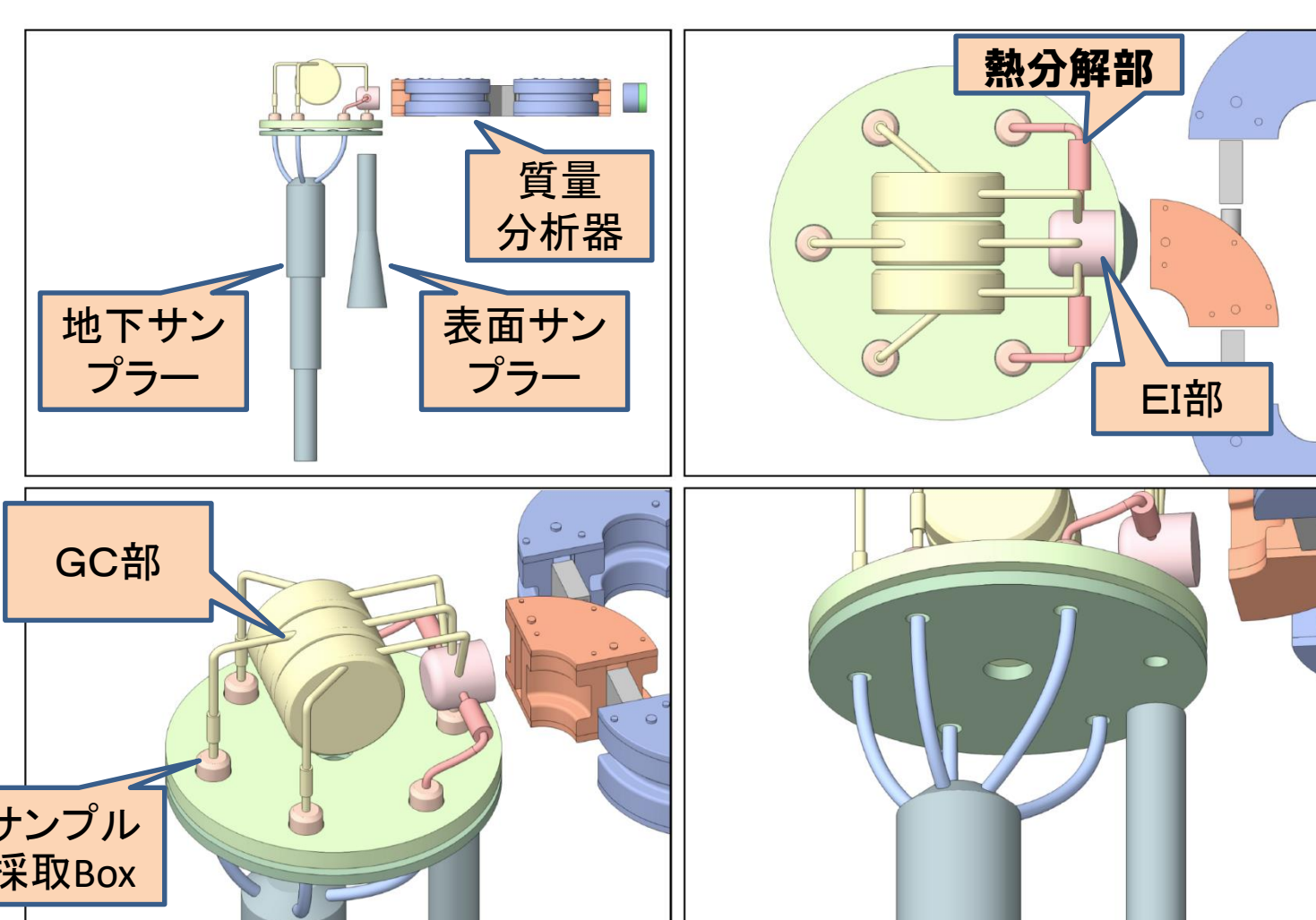
- ・試料加熱→熱分解→イオン化→質量分析の流れ

Analysis Sequence



■HRMSカロウセル部の検討例

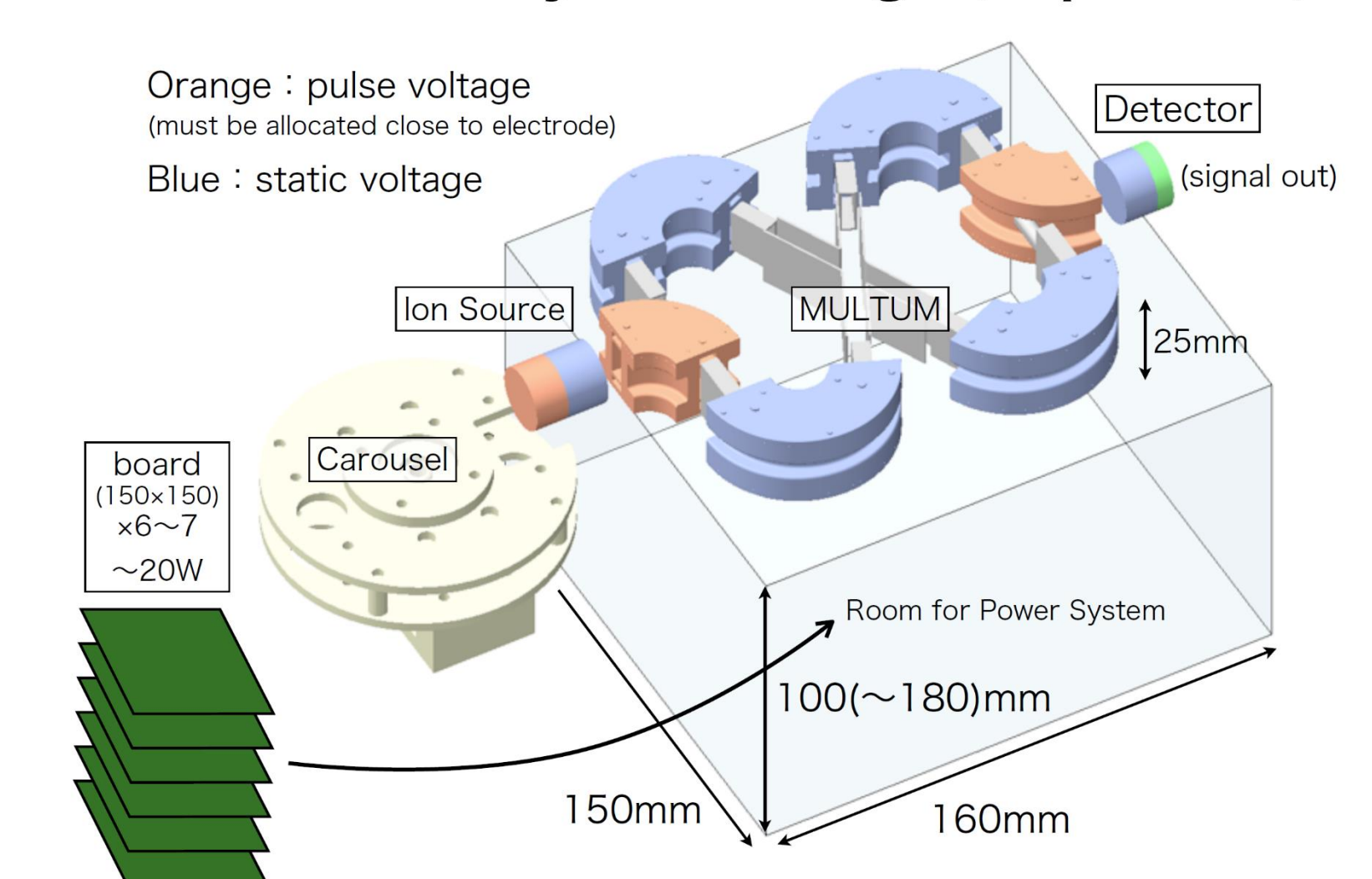
- ・カロウセル部(試料室、加熱部): 回転式のほか、GCとの 連結でシール性のよい固定式を検討中(図の例)
- ・熱分解部、GC部、EI部の例



■HRMSのMS部構成案(MULTUM型)

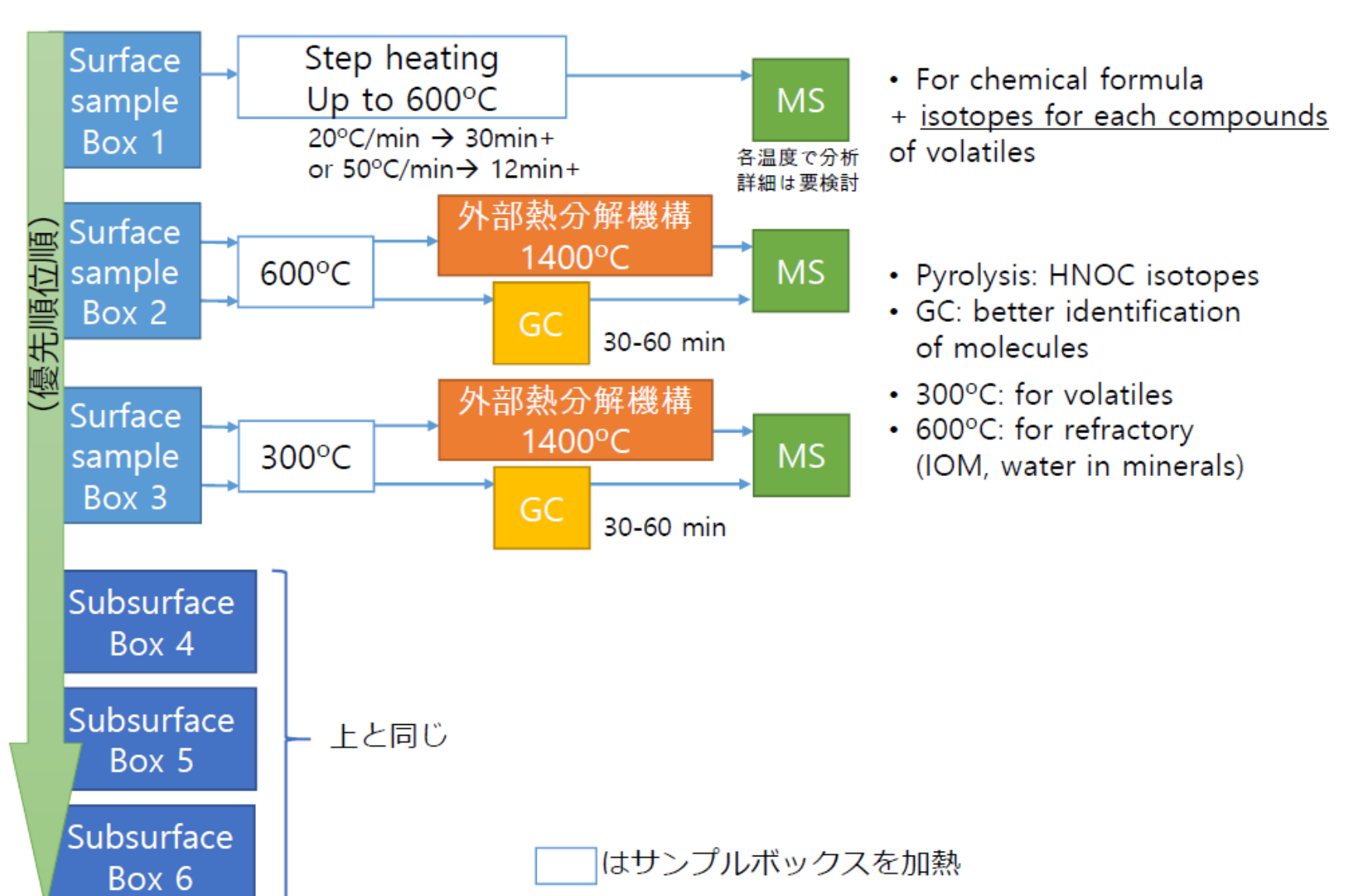
- ・開発上の技術課題
 - 電極部への取り込み・検出器への吐き出しのHV高速スイッチ(ns)
 - 検出器からの高速データ読出し(Gsps)と機上データ処理

Instrument System Design (in present)



■HRMSの運用シナリオ

- ・試料採取(表層/地下)、加熱温度、前処理のシナリオ例
- ・カロウセルでの加熱~600℃まで実施可能な場合の例



まとめと今後のスケジュール

本稿では、木星トロヤ群小惑星探査ミッションにおける、地下サンプリングデバイスと質量分析器の開発状況について述べた。**要素試験が終了しだい、サンプリングと分析を連動させたend-to-end総合試験を行う予定である。**