



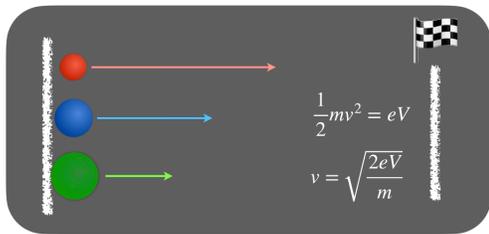
宇宙利用を目的とした 超高分解能小型質量分析装置の開発

大阪大学、アトナープ株式会社、理化学研究所

多重周回飛行時間型質量分析計：MULTUM

質量分析計は、元素分析や有機物分析から同位体分析まで様々な測定が可能であることから、これまでに多くの探査ミッションで採用されてきた（右表参照）。しかし、探査機に搭載するためのサイズや重量の制限から、通常のラボで利用されている質量分析計と比べて質量分解能が2桁以上低いという課題があった。我々は、この課題を克服するために多重周回飛行時間型質量分析計（MULTUM）の技術を用いて、小型でありながら大型装置に匹敵する性能を保持した探査機搭載用の質量分析システムの開発を進めている。

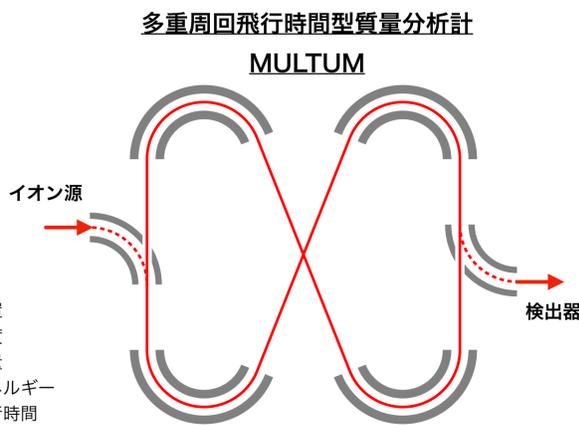
飛行時間型質量分析計では、イオンを電場で加速してゴールまでの所用時間（飛行時間）を測定する。加速後の速度には質量依存性があるため、イオンの飛行時間から質量を求めることができる。この時、より長い距離を飛ばすとより詳細に質量を分離できるが、直線的な軌道では装置サイズも比例して大きくなってしまふ。多重周回飛行時間型の質量分析計では、同一軌道を周回させることで装置サイズを大きくせずに飛行距離を伸ばすことができ、小型でありながら高い質量分解能を実現できる。



周回軌道の Transfer Matrix

$$\begin{pmatrix} x' \\ \alpha' \\ \gamma \\ \delta \\ l' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pm 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0 \\ 0.0 & \pm 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.0 & 0.0 & A(l|\gamma) & 0.0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ \alpha \\ \gamma \\ \delta \\ l \end{pmatrix}$$

位置
角度
質量
エネルギー
飛行時間



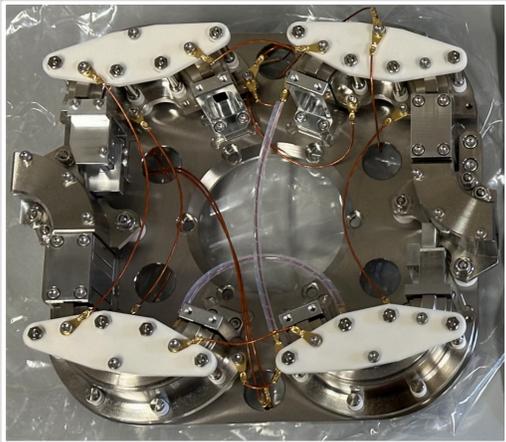
宇宙探査ミッション用の質量分析システム

ミッション	装置名	形式	イオン化法	質量分解能
ExoMars	MOMA	Ion Trap	EI/LDI	~400
MMX	MSA	TOF	— (ion)	~100
Curiosity (Mars Science Laboratory)	SAM (Sample Analysis at Mars)	QMS	EI	~500
Mars Phoenix	TEGA (Thermal and Evolved Gas Analyzer)	Magnetic	EI	140
Cassini	INMS (Ion and Neutral Mass Spectrometer)	QMS		100
Rosetta	ROSINA (ROsetta Spectrometer for Ion and Neutral Analysis)	Magnetic	EI	3000
Rosetta	COSIMA (COmetary Secondary Ion Mass Analyzer)	RTOF	SIMS	1500
Rosetta (Philae)	COSAC (COmetary SAmpling and Composition)	RTOF	EI	350
Rosetta (Philae)	Ptolemy	Ion Trap	EI	~150
開発中	CosmOrbitrap	Orbitrap	LDI	~100000
	MULTUM-Sp	multi-turn TOF	EI/(LDI)	~100000

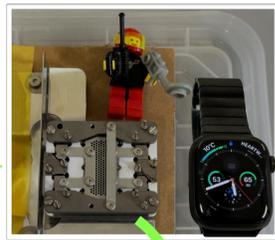
探査機搭載用のMULTUM-SPの開発

MULTUM電極

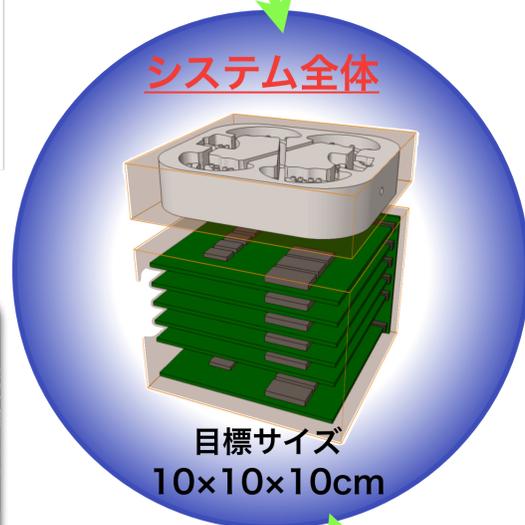
18.7×16.6×6 cm



4.7×3.9×1.5 cm



システム全体



目標サイズ
10×10×10cm

10×8×8.5 cm



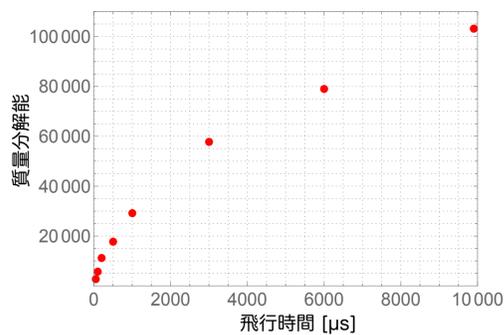
高圧電源システム

30×40×10 cm



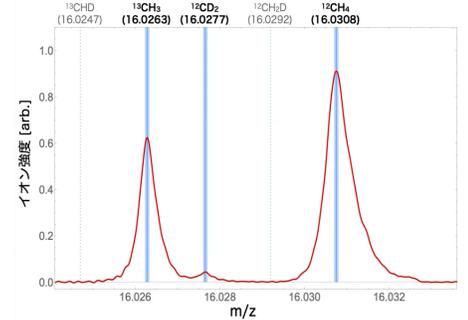
性能評価実験

質量分解能の評価



5cmサイズの電極で質量分解能10万を達成

メタン同位体の識別



質量差0.0014のピークを分離可能

開発計画

	2023	2024	2025	2026	2027	2028~
MULTUM	小型化		耐久性向上			
イオン源			小型化	宇宙環境試験		
検出器			小型化			
高圧電源システム		小型化	真空対応	放射線対応		
高速信号計測系		小型化		真空対応 放射線対応	宇宙環境試験	
ミッション						次世代サンプルリターン OPENS-0

