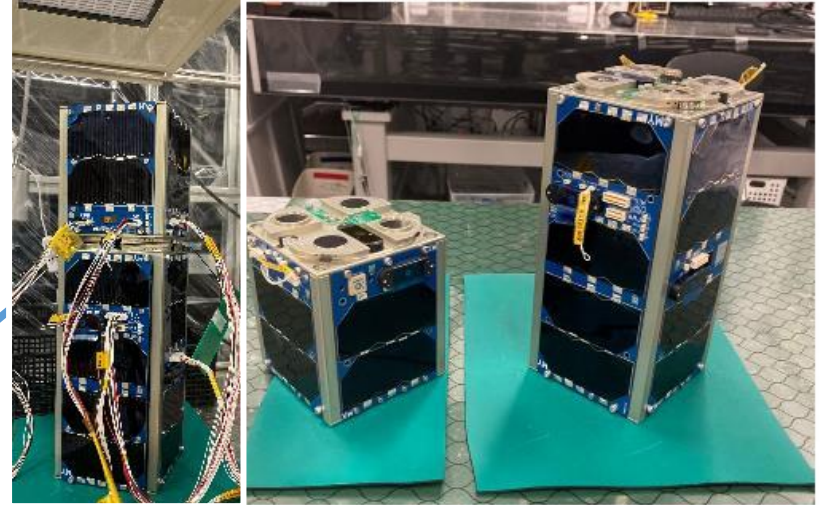


MEET UP CHUBU

半永久的Software Defined編隊飛行と 宇宙MIMO通信への展開について

2025年 7月24日（木） 13:55～14:10
STATION Ai 1階イベントスペース

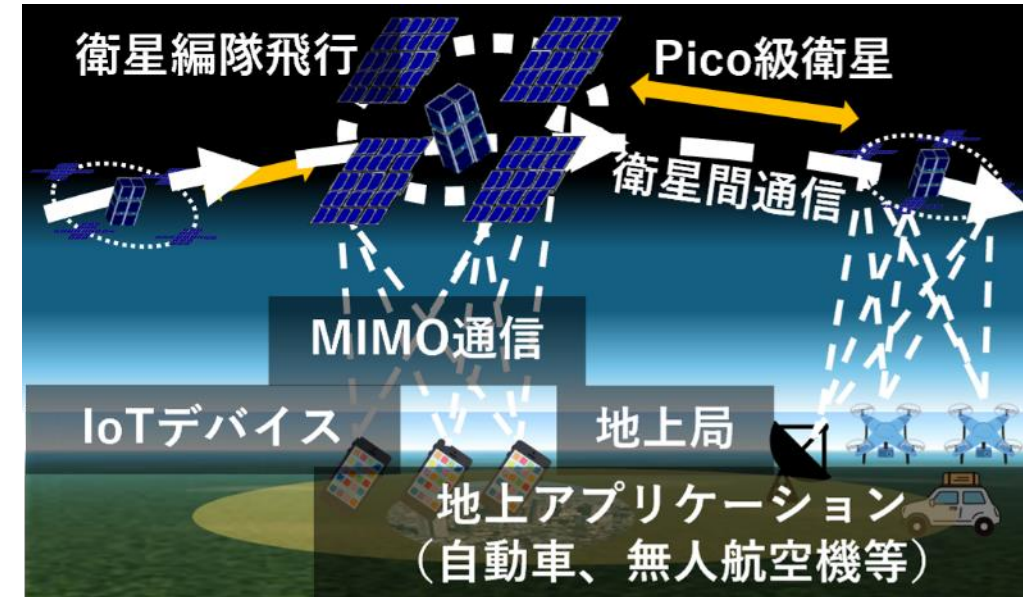
©JAXA



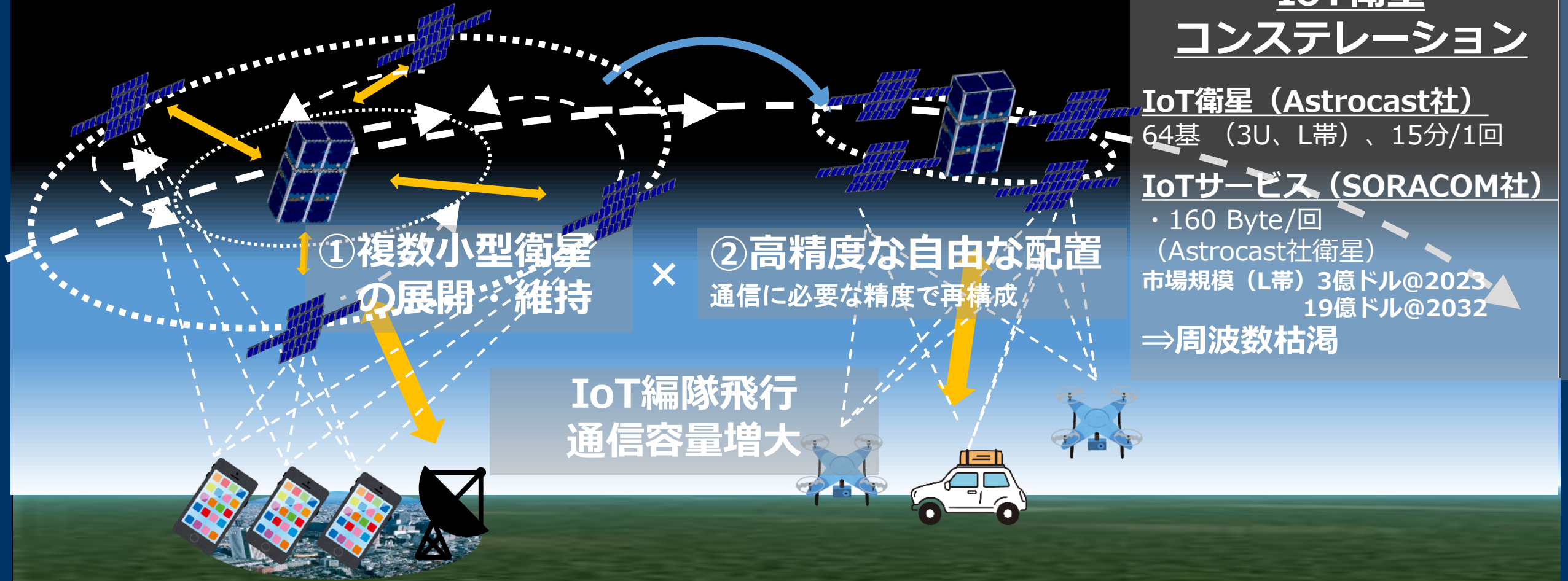
名古屋大学 大学院工学研究科
航空宇宙工学専攻 稲守 孝哉

半永久的Software Defined編隊飛行と宇宙MIMO通信への展開

1. 背景：編隊飛行による新たな宇宙利用への期待
IoT編隊飛行宇宙MIMO通信による通信容量の増大
2. 姿勢⇒軌道運動 編隊飛行技術試験衛星 MAGNARO
MAGNARO-IIの開発状況と今後の予定
3. 研究開発内容
 1. 宇宙環境下での姿勢運動を利用した
推進剤フリー軌道制御による半永久的な衛星編隊飛行制御
 2. サブシステム間の相互作用を駆使したコンパクトな
Software DefinedによるPico級衛星の高機能化
 3. ドローンの飛行運動を活用した6次元広可動域HILS
部品点数最小化と衛星作製
4. まとめ：半永久的Software Defined編隊飛行と宇宙MIMO通信への展開



編隊飛行：基数×精度（＝配置の柔軟性）



複数基・高精度の衛星編隊飛行システムの基盤技術を研究開発し
日本の宇宙ビジネス（IoT衛星・IoTサービス）を強く後押しする

MIMO (Multi-Input Multi-Output)

衛星 (1基)

衛星 (2基)

衛星 (N基) ($N > 2$)

通信容量

$$\log_2(1 + \gamma) < 2 \log_2(1 + \gamma/2)$$

複数基により周波数の利用効率を向上

 P_S $P_S/2$ P_S/N

通信容量

$$2 \log_2(1 + \gamma/2) < N \log_2(1 + \gamma/N), (N > 2)$$

1Hz当りの通信容量

$$\log_2(1 + \gamma) [\text{bps/Hz}]$$

$$\gamma = P_S/P_N : \text{SN比}$$

地上IoTデバイスの位置により編隊の再構成が必要

衛星基数（素子数）を増やすほど、周波数当たりの通信容量が増加
地上IoTデバイスの配置により衛星の配置の変更が必要

姿勢⇒軌道運動 編隊飛行技術試験衛星 MAGNARO

(MAGNARO -Tigris, MAGNARO-Piscis)

MAGnetically separating NANosatellite with Rotation for Orbit control

宇宙環境により生じる力を用いた複数機衛星による編隊飛行の技術実証

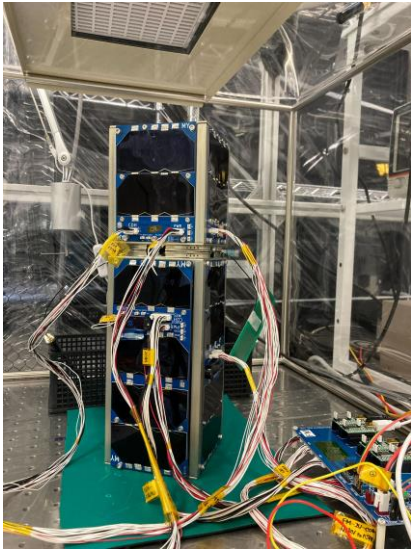
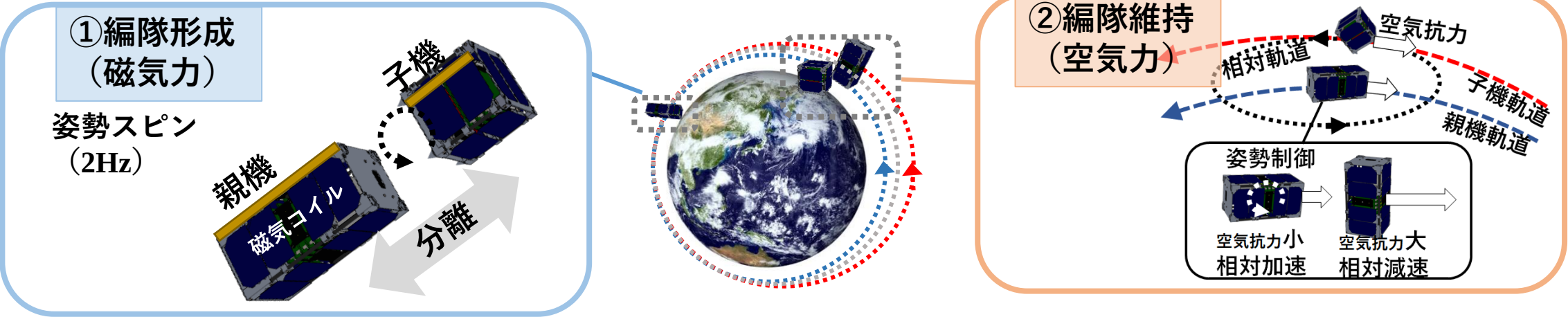


図1 結合時外観

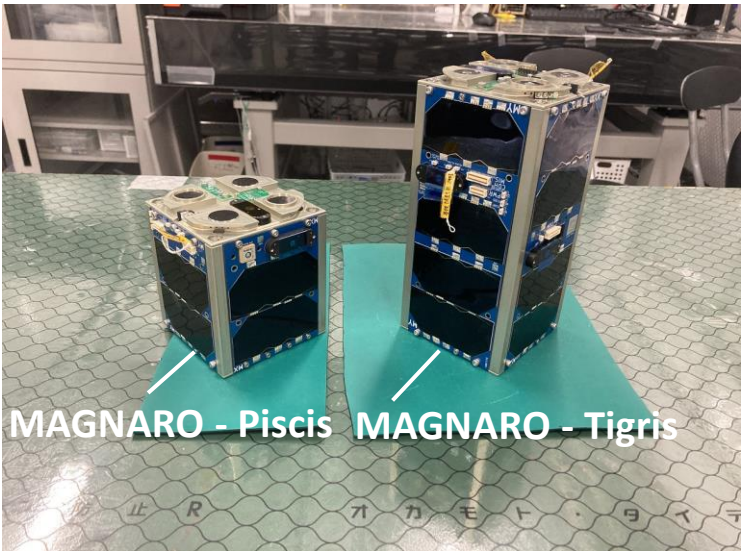
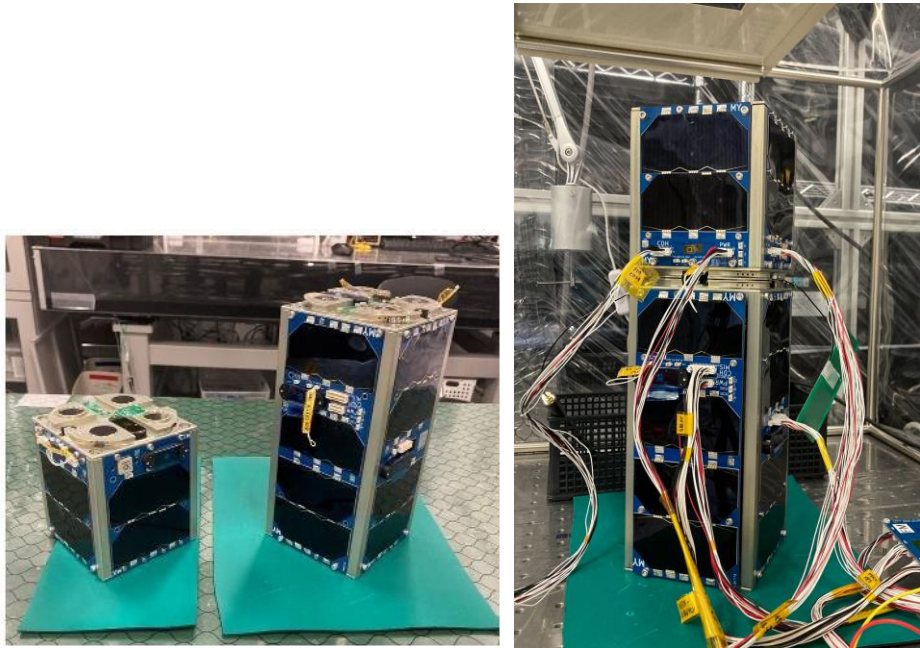


図2 分離時外観

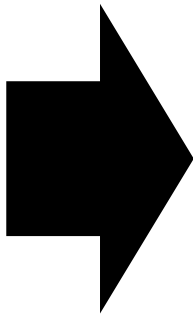


図3 地上試験

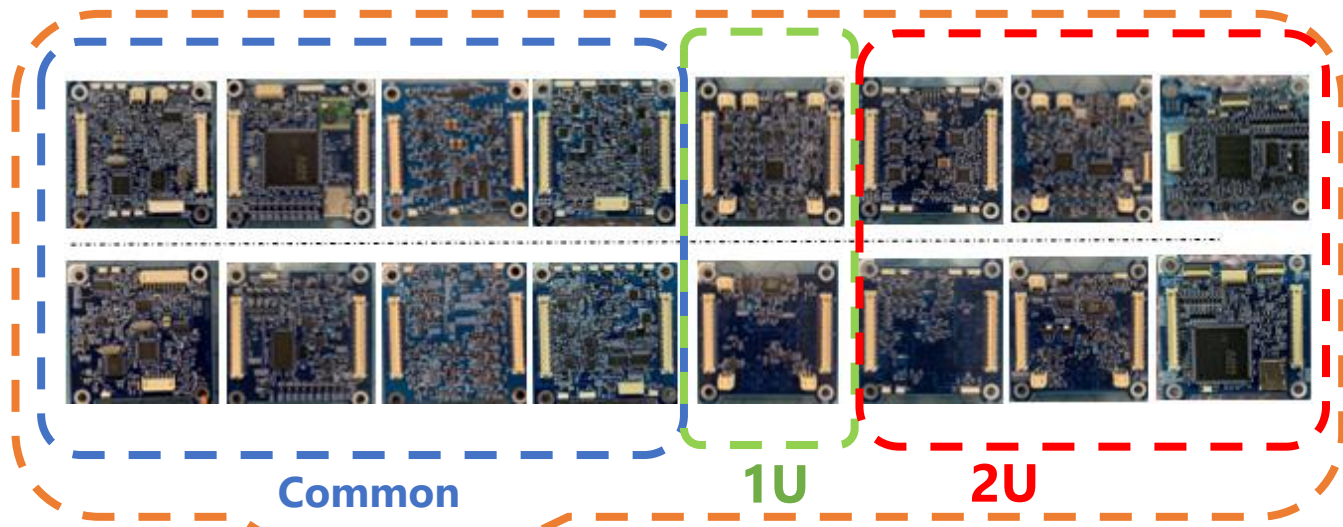
MAGNARO-IIの開発状況と今後の予定



MAGNARO



過去の知見を活かして開発期間の短縮化



MAGNARO-II

BBMモデル BBMモデル+構造モデル Engineering Model Flight Model

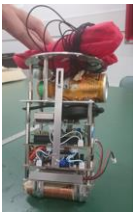
2018年 2019年 2020年 2021年 2022年

基板・構造設計 S/W開発 環境試験

2023年 2024年

サブオービタル打ち上げ

2017年 2018年 2019年



宇宙環境試験の実施(2019～)

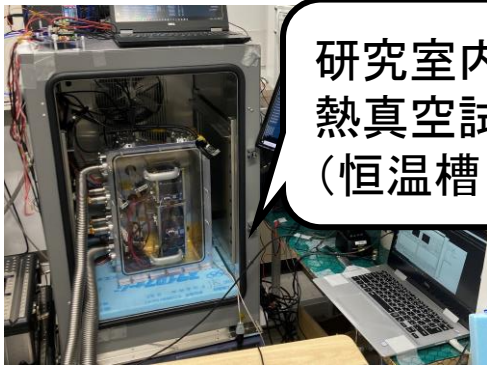


熱真空試験

SEE試験

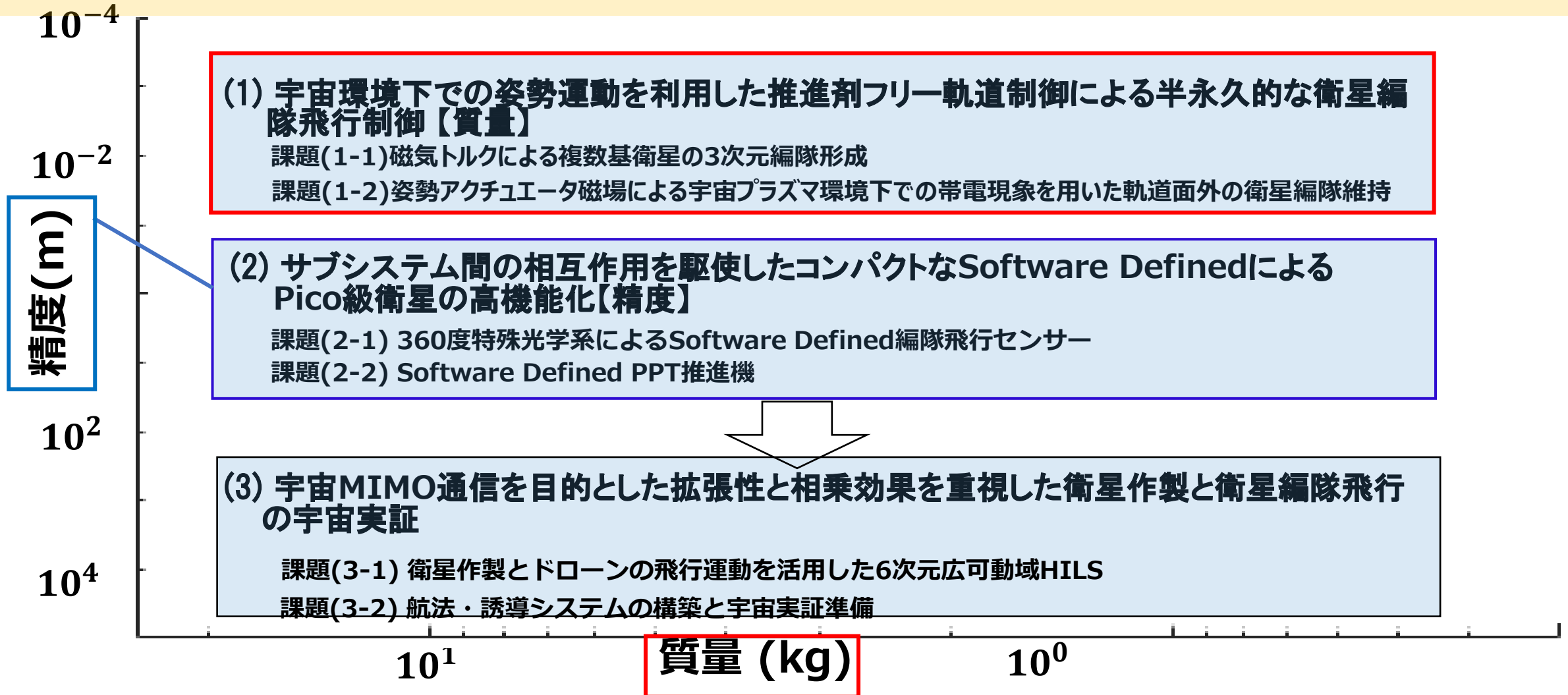
振動試験

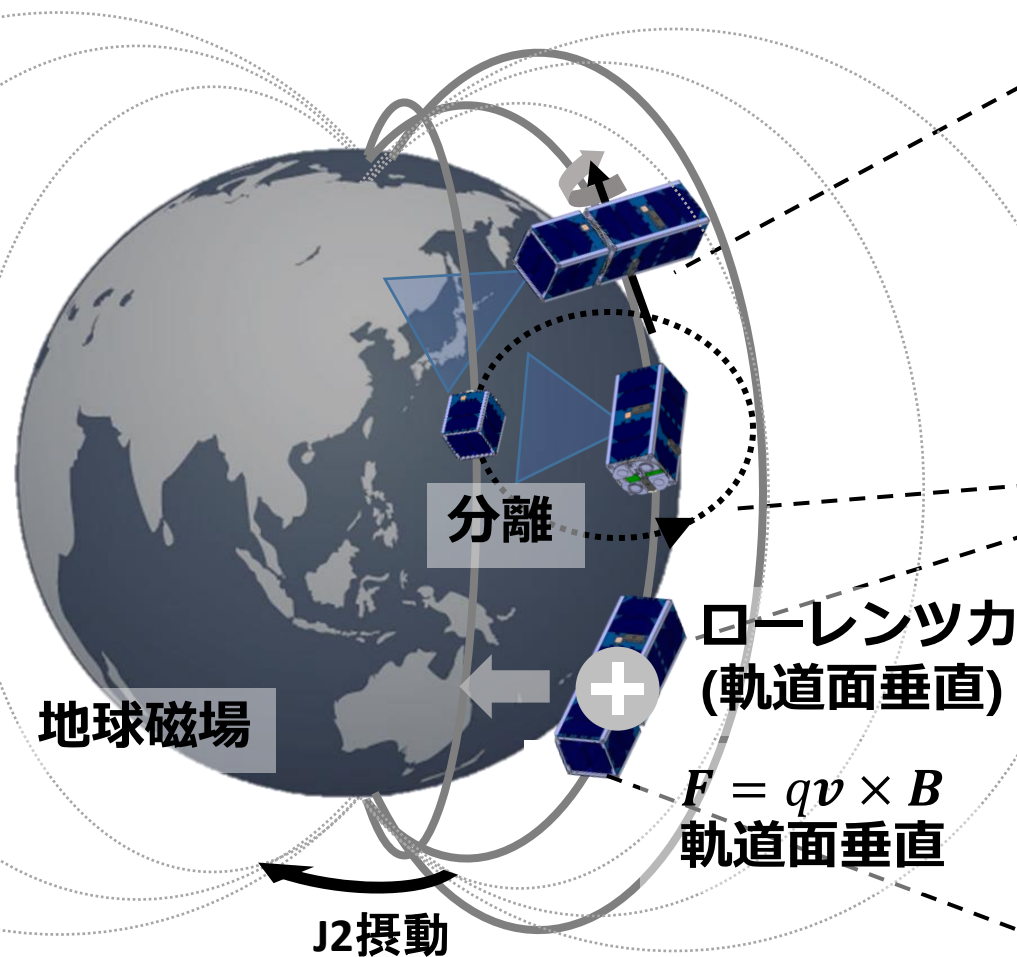
TID試験



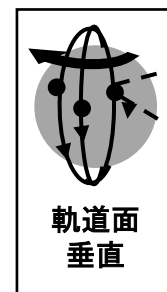
研究室内に
熱真空試験環境を構築
(恒温槽+真空槽)

1基から複数基の衛星を分離・展開し、小型の衛星で高い編隊飛行精度
これまでにない質量（基数）×精度（＝配置の柔軟性）の編隊飛行技術を宇宙実証





編隊形成 姿勢運動利用



磁気トルク

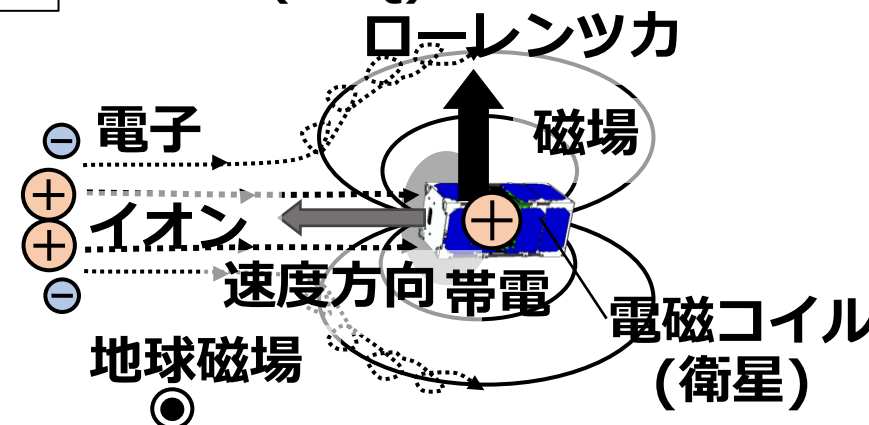
回転軸
(軌道面平行方向)

分離

回転軸 // 軌道面

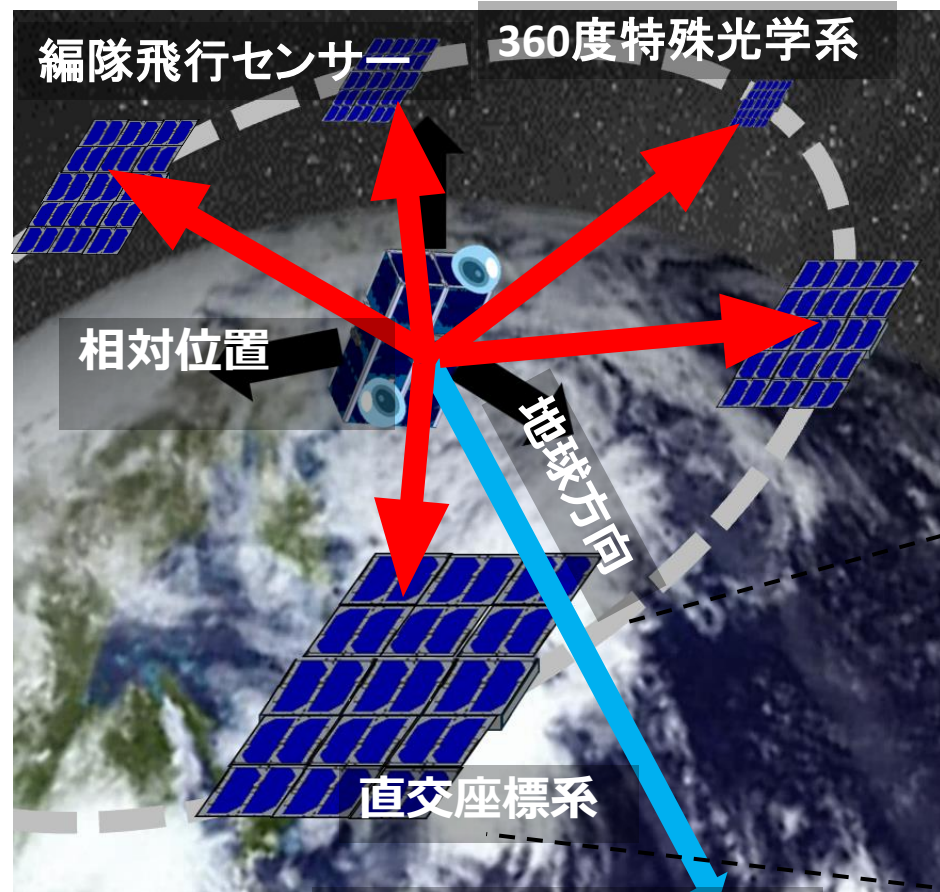
速度方向

編隊維持 姿勢機器(MTQ)利用



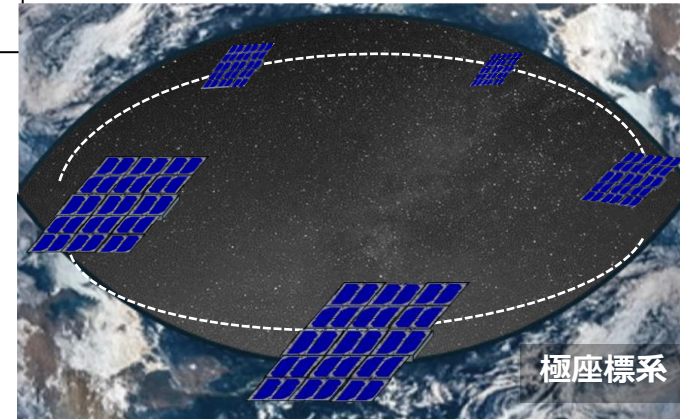
磁気トルクによる姿勢運動を活用した3次元編隊形成
磁気トルクを利用した帯電現象による推進剤フリーの3次元編隊

課題(2) サブシステム間の相互作用を駆使したコンパクトなSoftware DefinedによるPico級衛星の高機能化



座標
変換

センサー



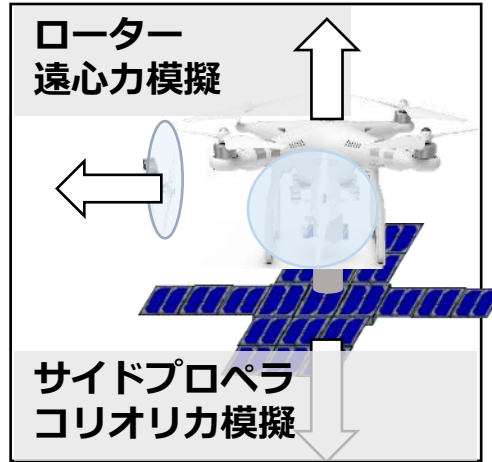
アクチュエーター



PPT (Pulsed Plasma Thruster : パルス型プラズマ推進機)

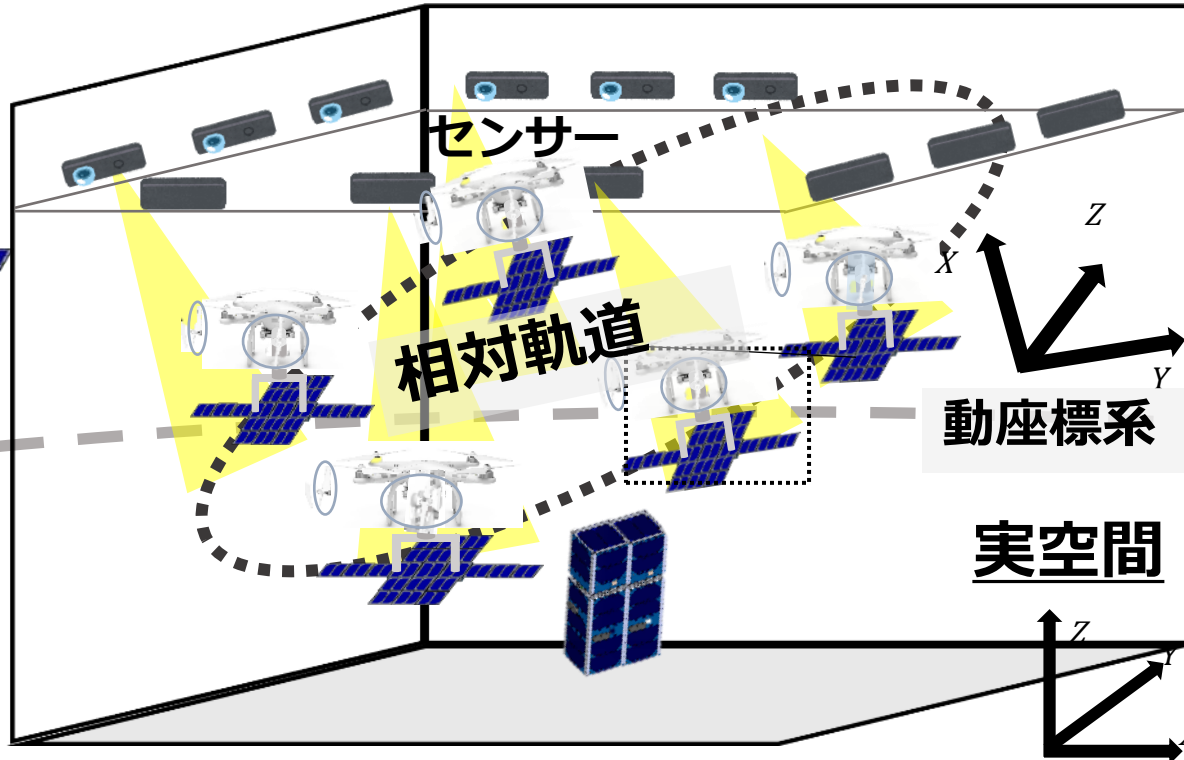
360度特殊光学系によるSoftware Defined編隊飛行センサーを構築
省スペースSoftware Defined PPT推進機を構築

ドローンによる6次元運動



ドローン試験施設@名古屋大学

試験空間

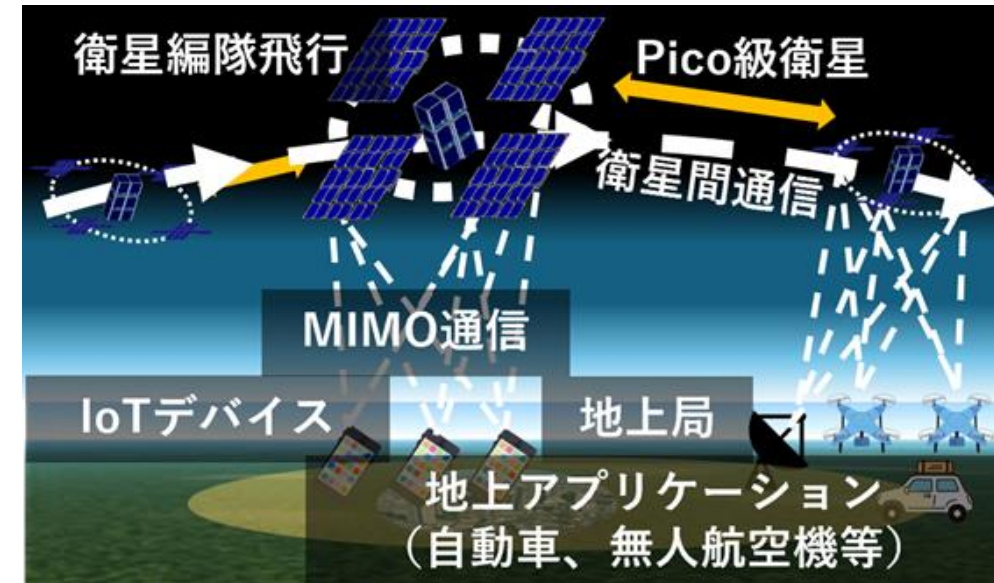


- ① ドローン(HILS)+衛星
試験系開発
- ② ドローン地上試験
姿勢2軸試験、決定系試験、
NTN MIMO部分実証
- ③ ドローン空中静止試験
姿勢3軸試験、決定系試験、NTN
MIMO部分実証
- ④ ドローンループ試験(室内)
HILS試験、一部軌道運動模擬
- (⑤) ドローンループ試験(室外)
HILS試験、軌道運動模擬

複数基の衛星編隊を1つの宇宙システムとして捉えた6次元広可動域HILSのE2E試験手法の研究開発
センサー、姿勢・軌道決定・制御系、ミッション部接続し編隊形成・維持・ミッション部動作を確認

まとめ 半永久的Software Defined編隊飛行と宇宙MIMO通信への展開

- 宇宙環境下での姿勢運動を利用した推進剤フリー軌道制御による半永久的な衛星編隊飛行制御
- サブシステム間の相互作用を駆使したコンパクトなSoftware DefinedによるPico級衛星の高機能化
- 宇宙MIMO通信を目的とした拡張性と相乗効果を意識した衛星作製と衛星編隊飛行の宇宙実証



**1基から複数基の衛星を分離・展開し、Pico級衛星でサブメートル級の編隊飛行精度
これまでにない質量（基数）×精度（＝配置の柔軟性）の編隊飛行技術を宇宙実証**

- 日本の宇宙ビジネス（IoT衛星・IoTサービス）への展開