

Radio and Plasma Wave Investigations (RPWI)

「氷衛星群の初周回探査」を含む初の木星系総合探査ミッションで

電波: **初の**探知・偏波分離観測 (80kHz – 45MHz)
 プラズマ波動: [**初の**波動・粒子作用検出] (few – 20kHz/1MHz)
 DC電場: **初の**3軸DC電場計測 (Langmuirプローブ)
 電子・イオン: **初の**低温成分・密度/温度 (Langmuirプローブ)

以下の科学目標の解明へ貢献する。

- (1) 木星システムの構造・変動 ~高速回転する巨大な磁気圏~
- (2) 木星システムのエネルギー開放 ~相対論的粒子が大量広域に存在~
- (3) ガリレオ衛星・木星システム ~惑星と衛星が電磁的に結合~
- (4) 衛星の大気・磁気圏および本体 ~衛星の電磁的探査~

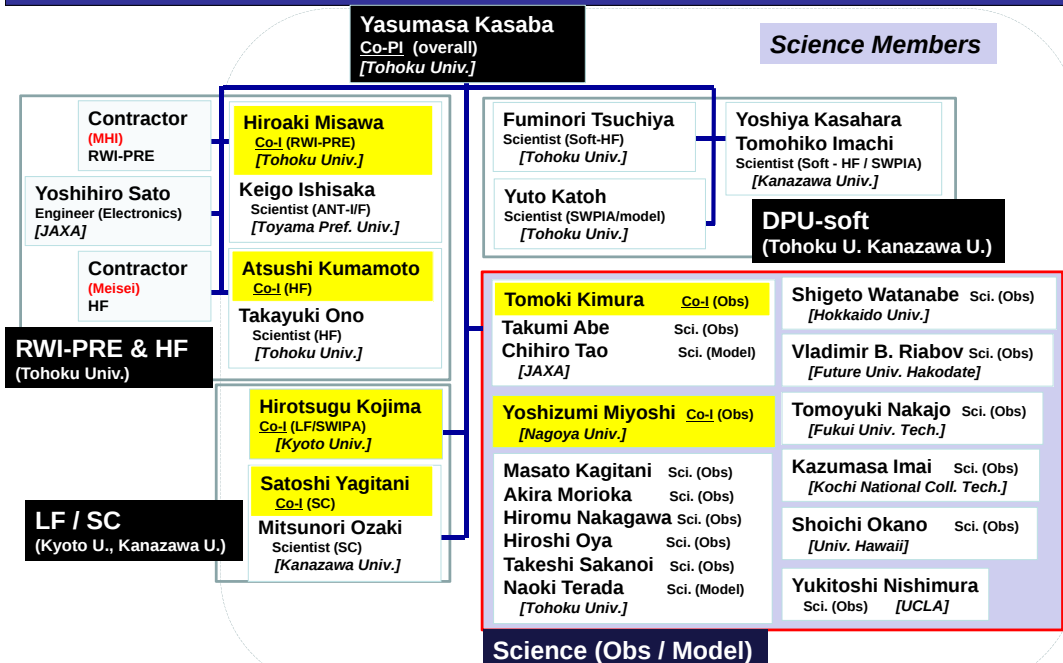
Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS)

-1-

RPWI: from Japan

Team members



Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

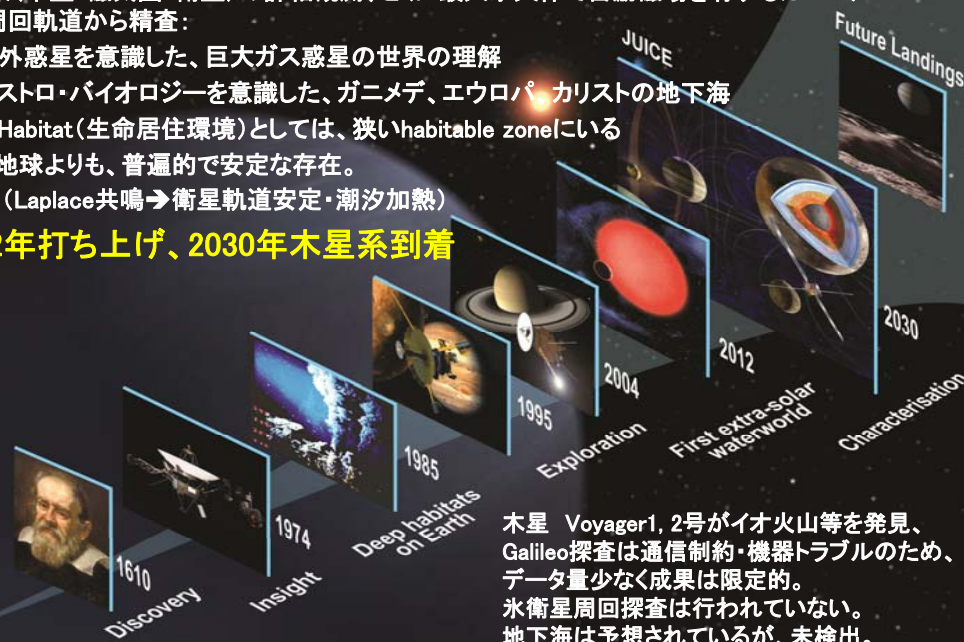
(Jan 2014 @ ISAS)

-2-

JUICE (Jupiter Icy Moon Explorer) ESAが2012年5月に選定したLクラス計画
 木星系(木星・磁気圏・衛星)の詳細観測、とくに最大氷天体で自動磁場を有するガニメデを極周回軌道から精査:

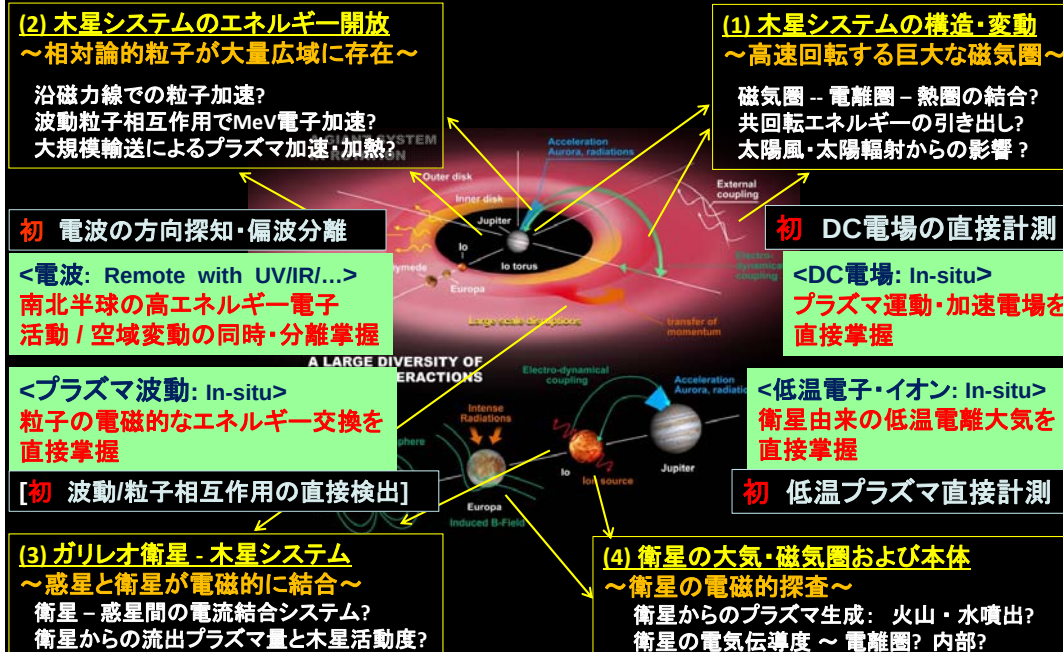
- 系外惑星を意識した、巨大ガス惑星の世界の理解
- アストロ・バイオロジーを意識した、ガニメデ、エウロパ、カリストの地下海 Habitat(生命居住環境)としては、狭いhabitable zoneにいる地球よりも、普遍的で安定な存在。
 (Laplace共鳴→衛星軌道安定・潮汐加熱)

2022年打ち上げ、2030年木星系到着



木星 Voyager1, 2号がイオ火山等を発見、Galileo探査は通信制約・機器トラブルのため、データ量少なく成果は限定的。氷衛星周回探査は行われていない。地下海は予想されているが、未検出。

RPWI: 概要 ~ Flow-down from 'the JMO' motivations ~



Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

This document (Jan 2014 @ ISAS) by JAXA

RPWI: サイエンス (1) 木星システム、その構造と変動

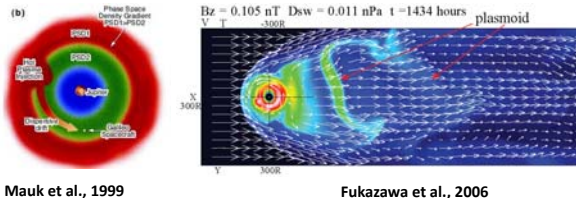
● 科学目標 1: 高速回転する巨大惑星磁気圏でのエネルギー輸送過程の解明

・自転が支配する磁気圏システム (パルサー磁気圏の理解につながる問題意識)

- 惑星の熱圏 → 電離圏 → 磁気圏へのエネルギー輸送メカニズム
惑星の回転エネルギーは、どのように磁気圏へと輸送されていく？

- 磁気圏プラズマの輸送とその素過程
「共回転プラズマ」における対流、拡散、注入は？

- 沿磁力線電流システム -- 加速域形成とfeedback
高エネルギー粒子による大気加熱の影響は？
土星で発見された自転/公転の特異な依存性は？



・太陽風(磁気圏・電流系への擾乱)や
太陽EUV(熱圏・電離圏への擾乱)の影響 (地球型との比較)
- どのようなプロセスを経て、太陽の変動は、
木星システムへ影響を与えるのか？

Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

<直結する観測項目>

---- In-situ ----

* DC電場 / 低周波波動 (~<数十Hz)
VxBIによるPlasma輸送
Poynting vectorによる電磁エネルギー輸送

* Plasma波動 (~<数十kHz)
不安定域における波動・粒子相互作用
* 低温プラズマ密度・温度の直接計測
幅広い温度に渡るプラズマ分布

---- Remote ----

* 極域起源電波 (HOM / bKOM)
極域の加速域形成 / エネルギー注入を判定
* イオトラス起源電波 (nKOM)
外部→内部磁気圏のエネルギー注入を判定

RPWI: サイエンス (2) 木星システム、そのエネルギー開放

● 科学目標 2: 太陽系惑星最強の粒子加速メカニズムの解明

・相対論的粒子加速メカニズム

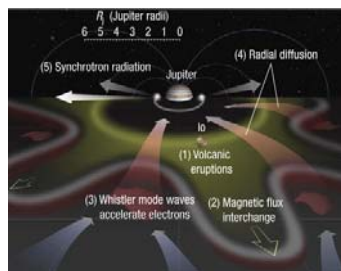
- 数十MeV以上の粒子は、どこで、どのように加速されている？
「断熱輸送過程 (散乱→拡散)」 vs 「非断熱加速 (プラズマ波動)」

- 極域から放出される相対論的粒子は、どこで、どう加速されている？
沿磁力線加速？ なぜ準周期的？ オーロラとどう関係？

・衛星起源プラズマ加速メカニズム

- 衛星大気起源の低温流出プラズマによる擾乱？
惑星の磁気圏構造に及ぼす役割とダイナミクス

- 木星における磁気リコネクションは、どのように起こる？
加速電場は、どこで、どのように生成？



Horne et al., 2008

Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

<直結する観測項目>

---- In-situ ----

* DC電場 / 低周波波動 (~<数十Hz)
イオンのピッチ角散乱を発生させる
低周波波動の強度と分布
加速電波の直接検出

* Plasma波動 (~<数十kHz)

* 波動・粒子相関解析
コーラス波など、強力な加速電場を付与
する波動と、高エネルギー粒子の相関
* 低温プラズマ密度・温度の直接計測
プラズマ化に伴うイオン波動の検出
幅広い温度に渡るプラズマ分布

---- Remote ----

* 極域起源電波 (DAM / HOM / QP)
極域での沿磁力線高エネルギー電子加速

RPWI: サイエンス (3) ガリレオ衛星 - 木星結合システム

● 科学目標 3: 磁気圏・電離圏結合と衛星系との物質・電磁氣的結合過程の解明

・イオ: 大量物質供給と磁気圏へのインパクト

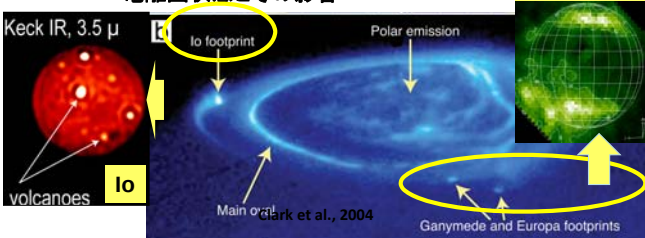
- 流出する低温プラズマ(ダスト混在?)の追跡:
その輸送と加熱
- イオ火山活動 + 衛星フットプリント起源の
電波 (沿磁力線電流の総量に比例)
紫外線 (分光による降下電子エネルギースペクトルの判別)
赤外線 (熱圏温度に感度) 同時観測
木星 - 衛星電磁結合の支配プロセスの解明



・ガニメデ: その磁気圏と木星の電磁氣的な結合

- 周回軌道上での、木星-衛星磁気圏結合の直接計測
Poynting Flux による電磁エネルギー流量・方向
沿磁力線電流と加速電場の関係
電離圏状態とその影響

Ganymede



Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

<直結する観測項目>

---- In-situ ----

* DC電場
加速電波の直接検出
* Plasma波動、低周波波動
衛星-木星間結合電流系の時間変動
電離圏・磁気圏境界での不安定
* 低温プラズマの直接計測
衛星起源低温プラズマの追跡

---- Remote ----

* 極域起源電波 (DAM)
衛星域での沿磁力線電子加速を検出

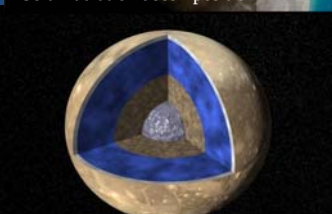
RPWI: サイエンス (4) ガリレオ衛星: 大気・磁気圏 & 表層・内部

● 科学目標 4: 衛星の電磁的探査 ~ その大気・磁気圏および本体

'H₂O's from surface

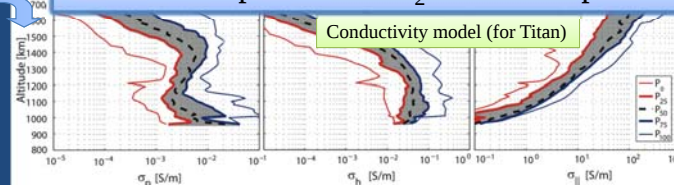
Atmosphere of the negative heavy ions and charged dust

• Magnetospheric particle sputtering
• Sub-surface breaching of oceanic material
• Diffusion from interior
• Meteoritic impact evaporation
• Solar radiation decomposition



Measureable current in the exo-ionosphere?
Or through salty sub-surface ocean?

O-rich atmospheres and O₂⁺-rich ionospheres



<直結する観測項目>

---- In-situ ----

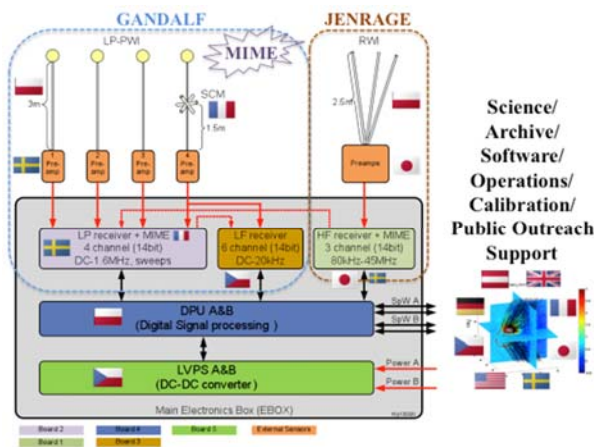
* DC電場
加速電波の直接検出
* Plasma波動
流出DUST成分の直接検出?
* 低温プラズマの直接計測
電離圏プラズマの量・高度分布
→ 電離圏での電気伝導度導出

---- Remote ----

* 電波
オカルテーションによる密度測定
電離圏/磁気圏起源電波?

RPWI: 概要 全体構成

[PI] Jan-Erik Wahlund ~11kg
(IRF - Uppsala, Sweden) ~9W



[参加国9 (機関25)] Sweden (2), Austria (1), Czech(2), France (5), Japan (5+α) USA (6), Poland (1), UK (2), Germany(1)

Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS) -9-

<Remote sensing: 電波>

[HF-System]
* 電場x3 & 磁場x1 (80kHz - 45MHz)
初の電波方向探知・偏波分離
→ UV/IR/ENAらと plasma remote sensing package構築

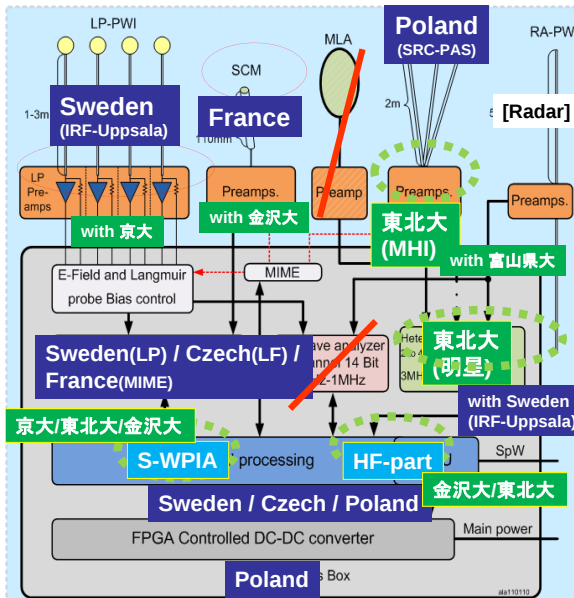
<In-situ: プラズマ波動・DC電場・低温プラズマ>

[LF-System]
* 電場x3 & 磁場x3 (few - 1.6M/20kHz)
[LP/MIME (impedance probe)-System]
* 電子/イオン密度 (Langmuir probe)
[$10^{-4} \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$]
[DC電場/精度: < 7 mV/m @ 電離圏]

[初の波動/粒子相互作用検出]
初のDC電場の直接計測
初の低温プラズマの直接計測

RPWI: 日本側担当部の仕様・開発状況

[日本側Co-PI] 笠羽 (東北大)



(Jan 2014 @ ISAS) -10-

<Remote sensing: 電波>

[HF-System]
* 電場3軸 Preamp (東北大 + MHI [想定])
* HF - Receiver (東北大 + 明星[想定] + IRF-Uppsala)
* DPU搭載HF - Software (金沢大/東北大)

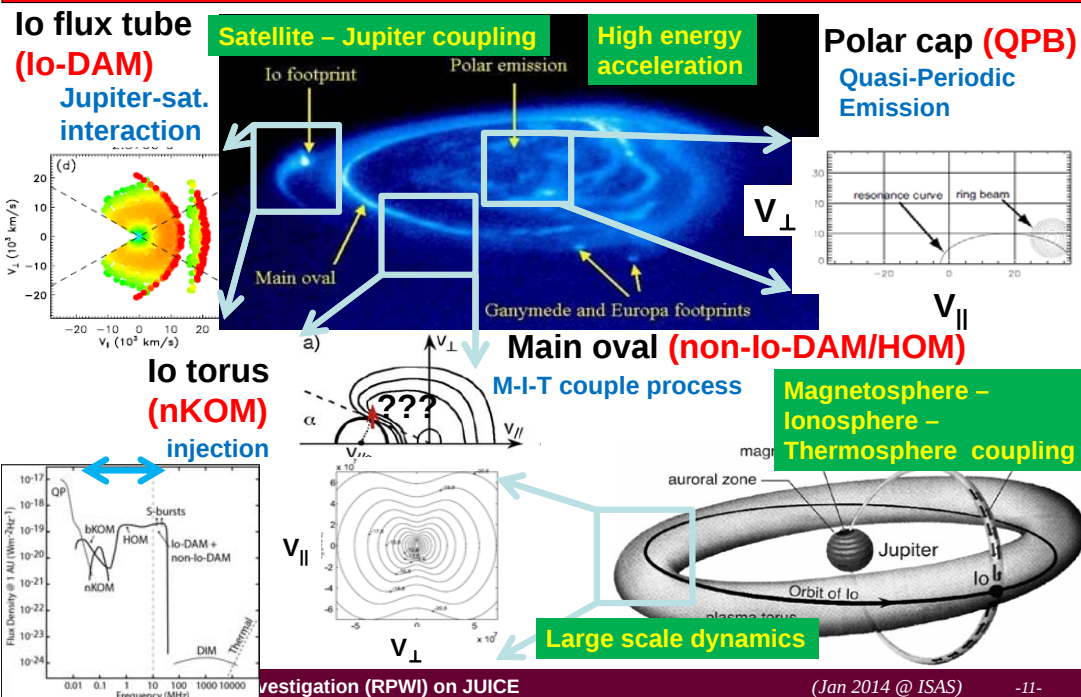
<In-situ: プラズマ波動・DC電場・低温プラズマ>

[LF + LP/MIME-System]
* [option] Software-type 波動粒子相互作用解析機能 (S-WPIA) (京大/金沢大/東北大)
* 設計検討へ参加: 電場/磁場センサー・Langmuir Probe (京大/金沢大/東北大)

[Science参加]
北海道大, はこだて未来大, 東北大
名古屋大, 富山県大, 金沢大, 福井工大
京都大, 高知高専, JAXA

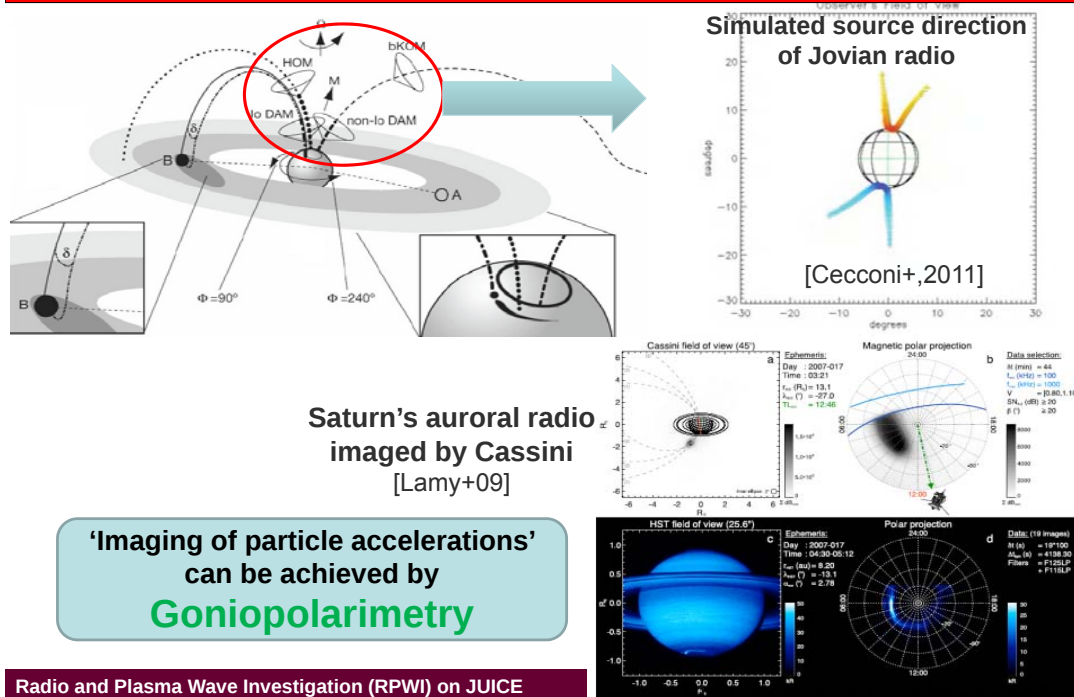
(Jan 2014 @ ISAS) -10-

RPWI: from Japan High Frequency Receiver system



(Jan 2014 @ ISAS) -11-

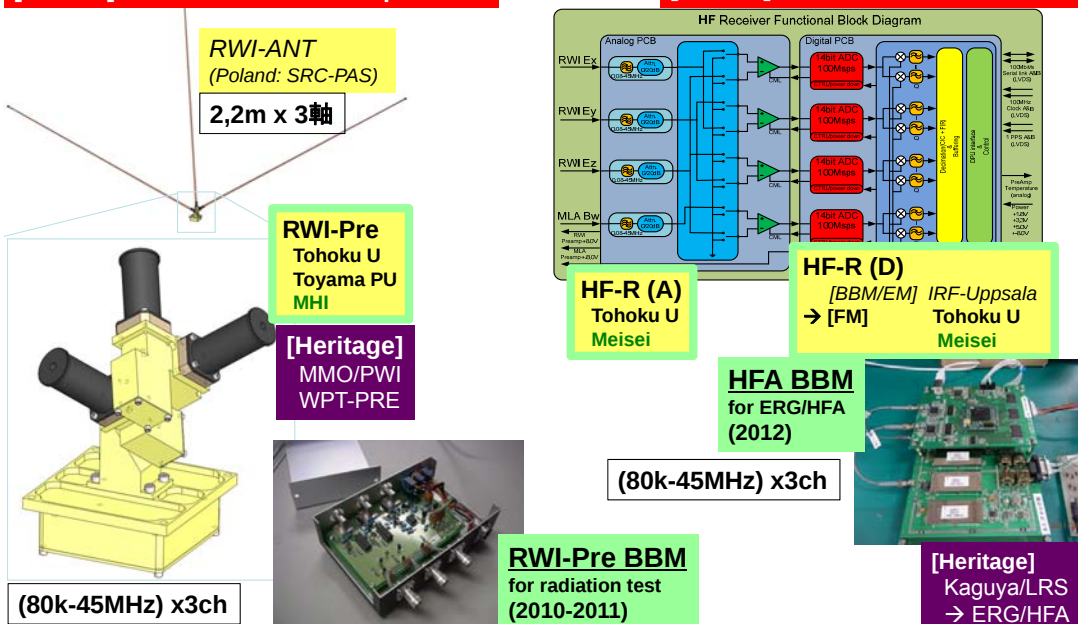
RPWI: from Japan High Frequency Receiver system



RPWI: from Japan High Frequency Receiver system

[Critical] Radiation & Low-Temperature

[Critical] Technical transfer @ FM



Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS)

-13-

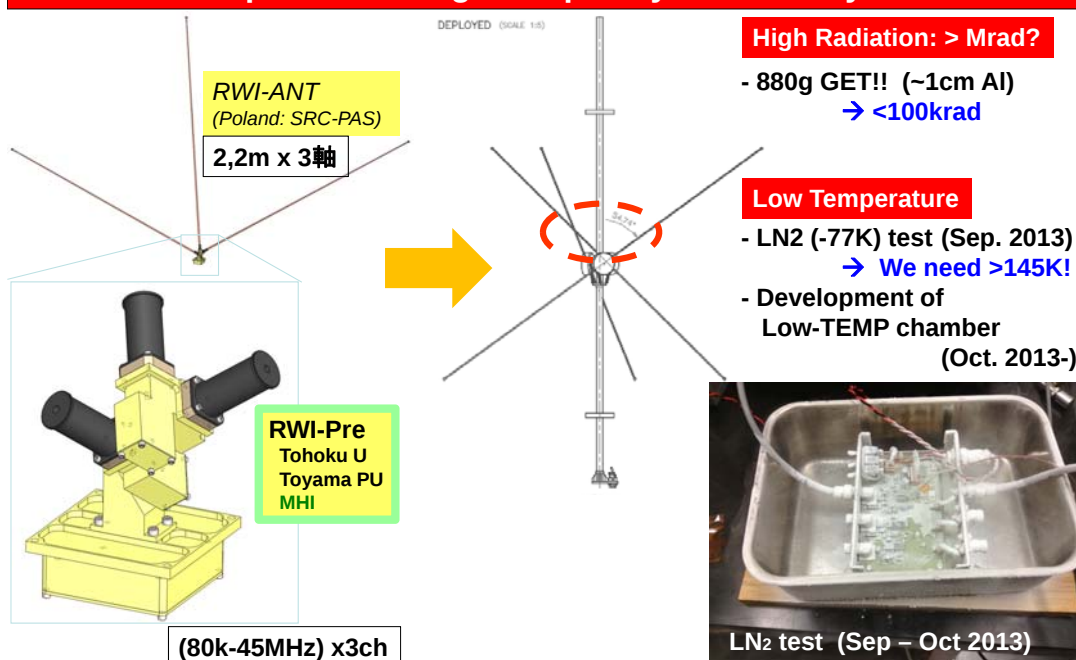
RPWI: from Japan High Frequency Receiver system

High Radiation: > Mrad?

- 880g GET!! (~1cm Al) → <100krad

Low Temperature

- LN2 (-77K) test (Sep. 2013) → We need >145K!
- Development of Low-TEMP chamber (Oct. 2013-)



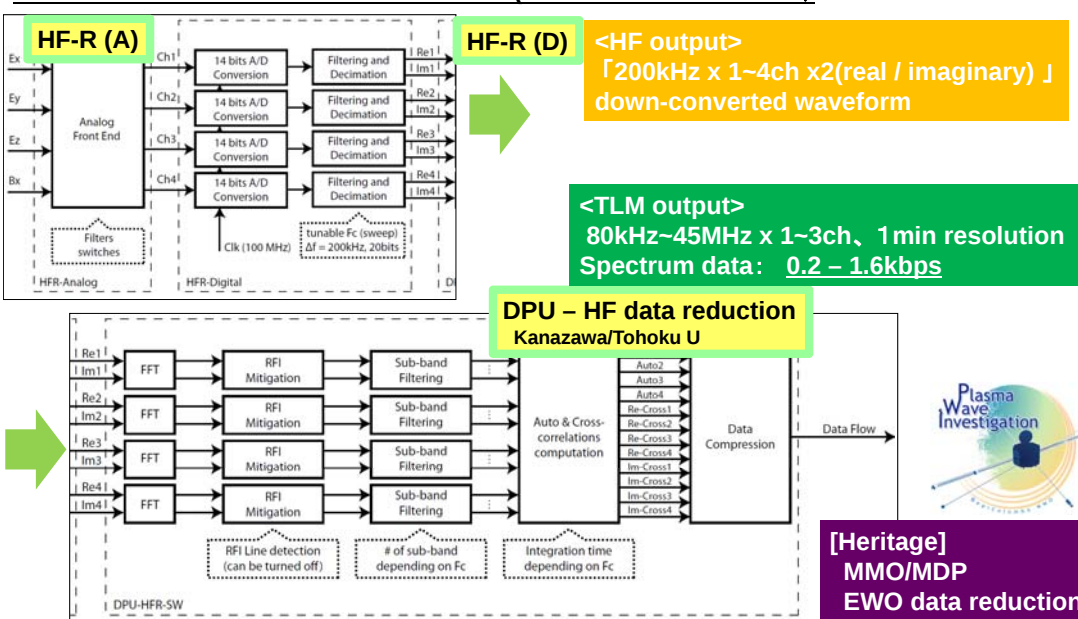
Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS)

-14-

RPWI: from Japan DPU software

A. DPU – HF data reduction (Kanazawa U / Tohoku U)



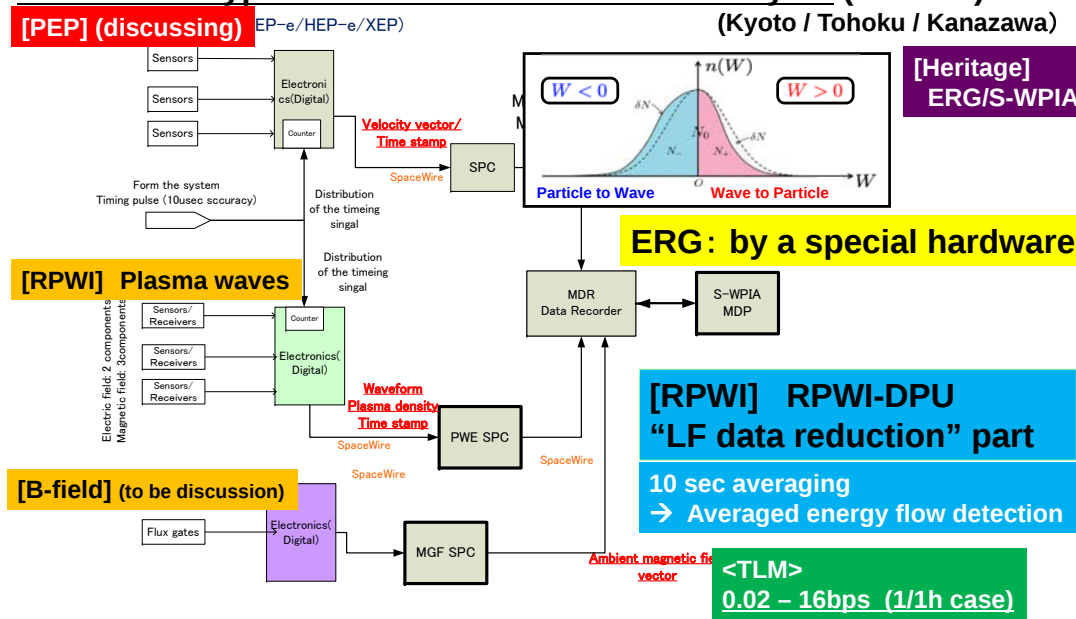
Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS)

-15-

RPWI: from Japan DPU software

B. Software-type Wave-Particle Interaction Analyzer (S-WPIA)



Radio and Plasma Wave Investigation (RPWI) on JUICE

(Jan 2014 @ ISAS)

-16-

Schedule

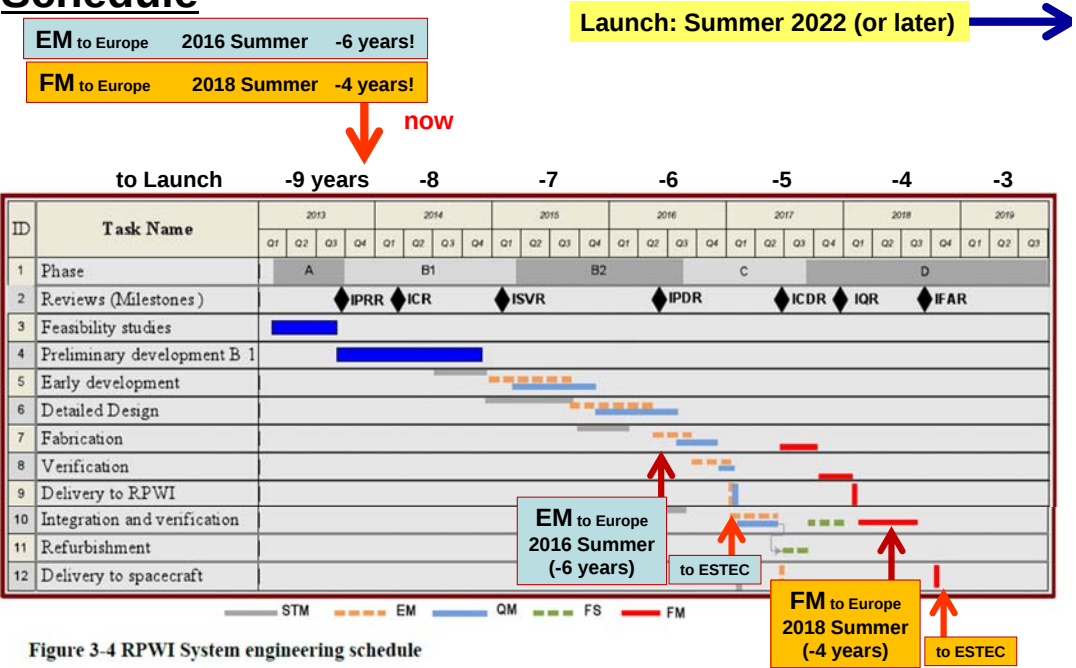


Figure 3-4 RPWI System engineering schedule