

ユニットテーマ軸「装置学・技術」公聴会

2022年03月03日（木）14:30 – 17:30, オンライン

1. ユニットテーマ名

(仮和名) プラズマ装置工学

(仮英名) Technology and Engineering of Plasma Apparatus

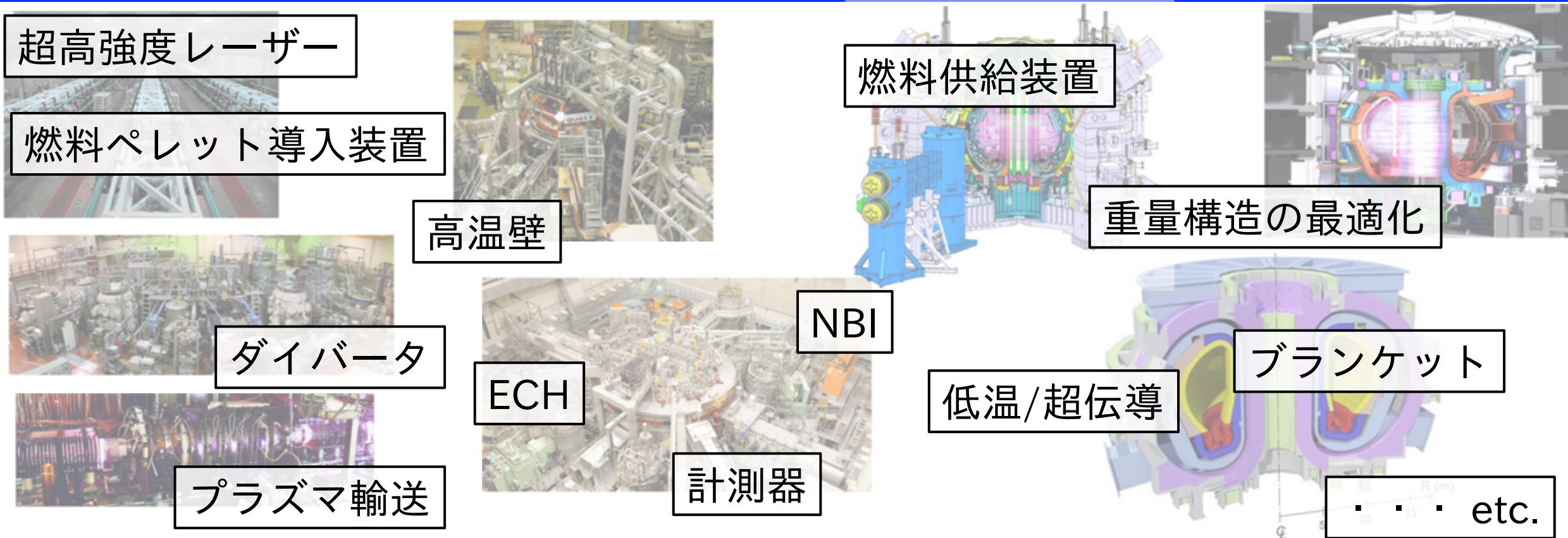
関連する当初のユニットテーマ提案：UT-8、UT-13、UT-16、UT-29

中野 治久 (NIFS)

アウトライン（ユニットテーマ提案書に沿って）

1. ユニットテーマ名
2. 核融合科学としての課題
3. 学術的な位置付け
4. 定式化・アプローチ
 - 概要
 - 例1 【装置の高度化】 負イオン源
 - 例2 【他分野への展開/新分野創生】 反物質プラズマ
 - 例3 【他分野との融合】 ミュオン触媒核融合
5. 学際的展開
6. 独自性、優位性
 - 個別説明：反物質プラズマ
 - 個別説明：ミュオン触媒核融合/ミュオン天気予報

2. 核融合科学としての課題（1）

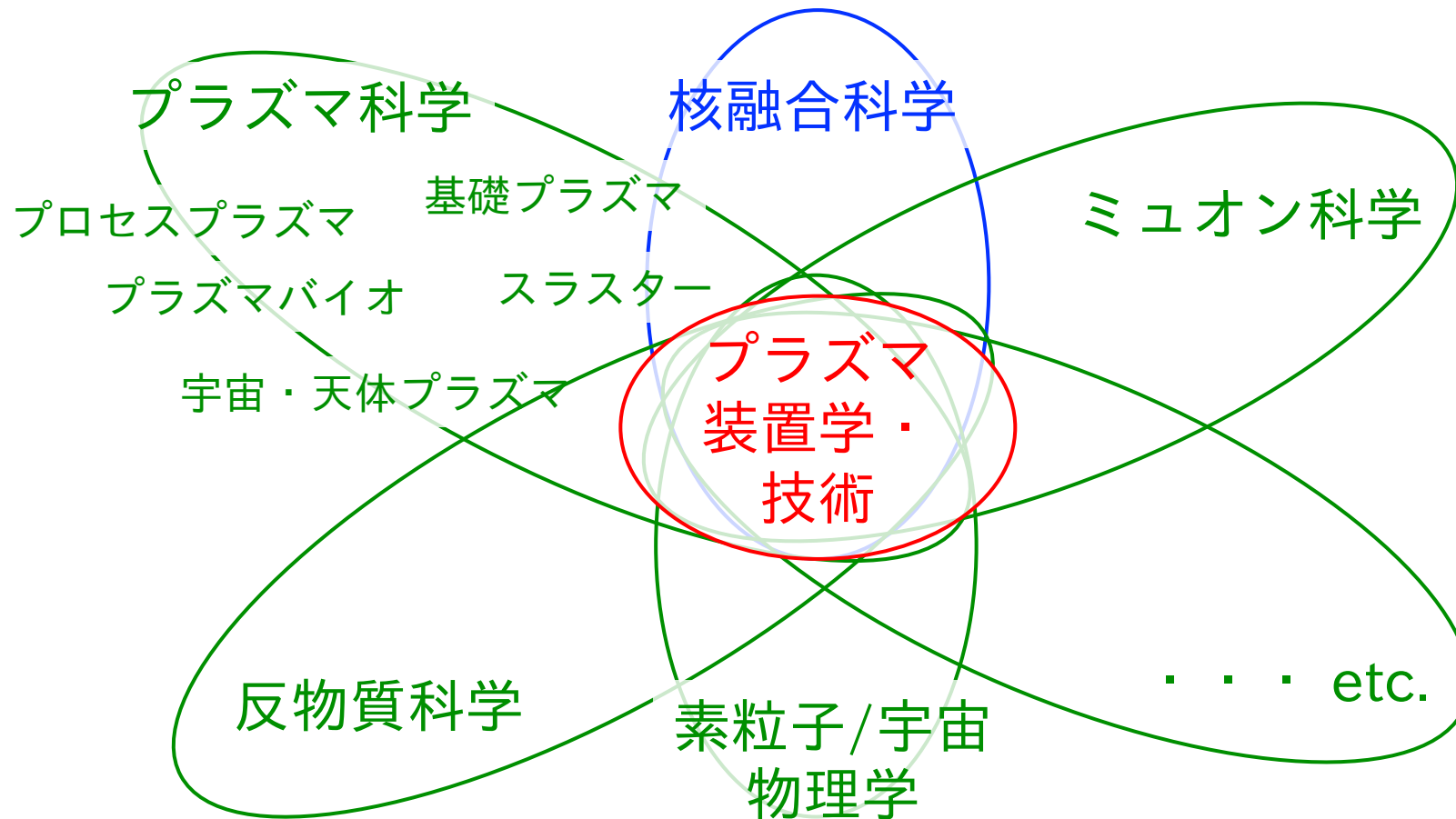


核融合科学研究（核融合プラズマが関わる物理、超伝導材料を含む核融合材料および機器制御・運用等の研究）には、実現性や経済性を含む前人未踏の性能が要求される装置群が必要であり、核融合炉開発では更に高い性能が求められる。本テーマの核融合科学としての課題として、核融合装置に付属する個々の装置を実現するための学問的知見を深めるとともに基盤技術を確立する。

2. 核融合『科学』としての課題（2）

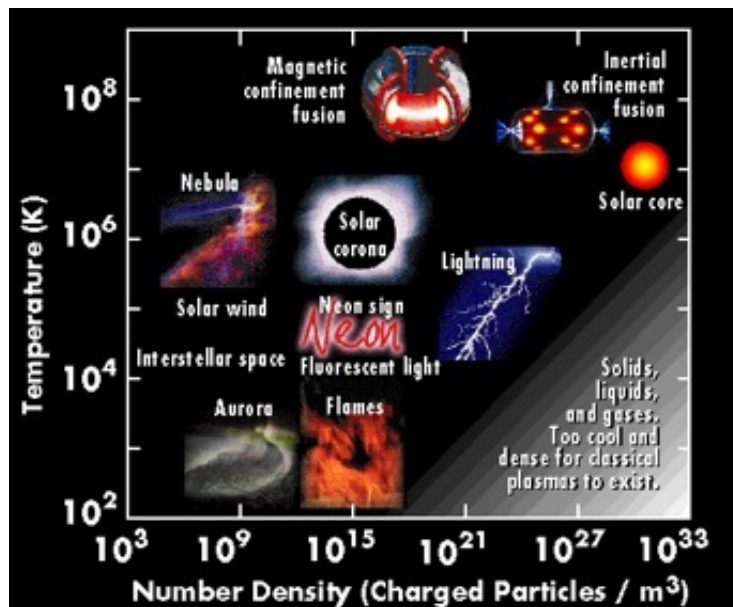
科学と技術には、細分化され個別の対象に向けて発展してきた分野の知と技を、その機能とはたらきに着目して、他分野への展開や融合、または新分野の開拓が求められている。

本テーマの研究で得られた装置技術や、実現するために得られた学問的知見・手法を、プラズマ・核融合科学および炉開発以外の分野の装置へと展開・融合を図る。

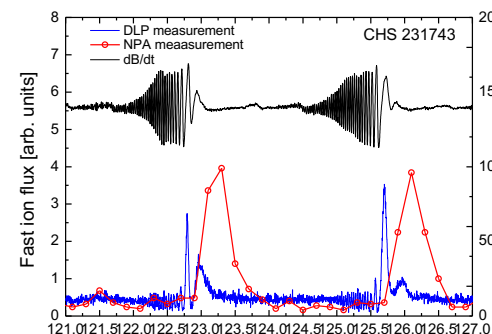
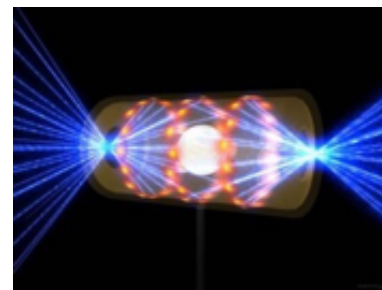
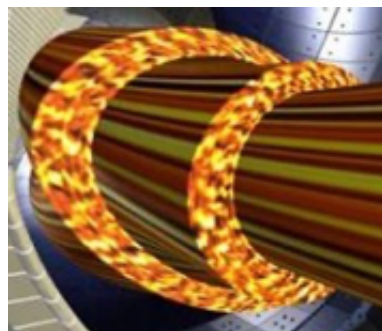
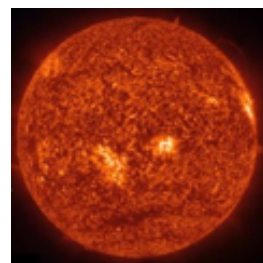


3. 学術的な特徴づけ

温度：～7桁



密度：～28桁



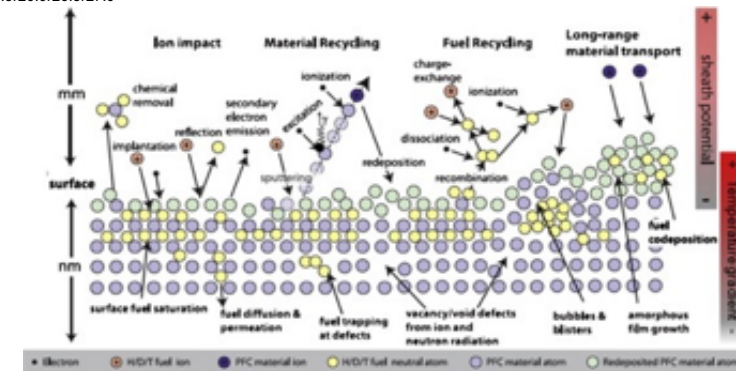
NASA

NIF

Nagaoka+, NF

Kitano Lab. (阪大)

Wirth+, JNM



星間プラズマ、恒星、磁気圏プラズマ、プラズマ応用機器のプラズマ（磁場/慣性閉じ込めプラズマ、プロセスプラズマ、大気圧プラズマ等）、物質反物質プラズマ等

- エネルギーの流入、発生、散逸。
 - 化学反応過程や原子分子過程、核反応過程等の様々な反応過程。
 - 荷電粒子群の集団現象として静電磁場によるプラズマへの作用、電磁波動を含む変動電磁場とプラズマとの相互作用、光とプラズマの相互作用、物質とプラズマの相互作用等の作用。
 - これらが複雑に絡み合った輸送、拡散、粘性、乱流、構造形成、線形・非線形現象等が出現。
- 非中性プラズマや正負電荷粒子が質量対称性をもつペアプラズマでは特異な性質が観測、予測。

3. 学術的な特徴づけ

- 宇宙・天体プラズマ研究
- プラズマ物性基礎研究
- 核融合科学を始めとしたプラズマ応用研究



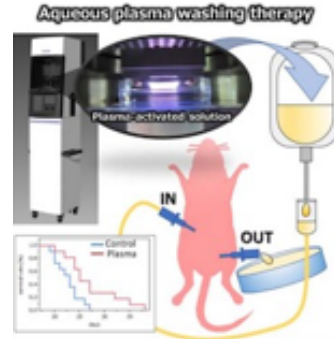
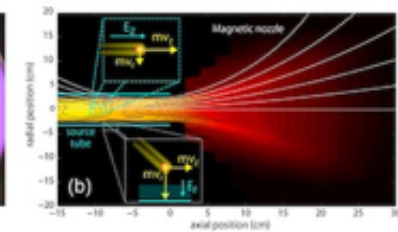
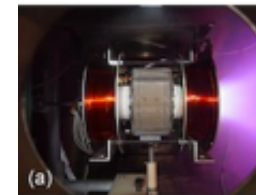
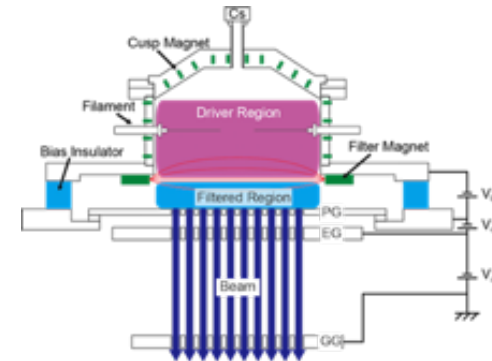
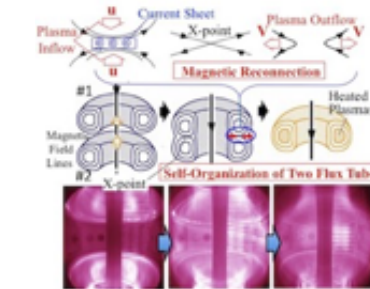
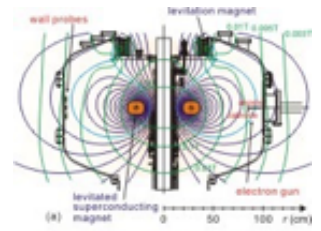
プラズマ物性を理解して計測・制御し、
対象とする科学の本質を抽出

理論、シミュレーション、**実験**

➡ **最先端** $+\alpha$ の実験**装置**

プラズマ・核融合科学実験で培ってきた**最先端の装置技術**（物理/化学/工学/等の科学に基づく計測と制御およびそれらの組み合わせ）を**更に高度化する**。

これら装置技術を応用して**自然科学（応用科学を含む）の深化に質的変化をもたらす手法および自然科学の新展開を追究する手法を探求する。**



NASA, U. Tokyo, Tohoku U., Nagoya U.

4. 定式化・アプローチ

最先端の学問的知見の深化

- プラズマ物理/応用工学
- ビーム物理/工学
- 光/レーザー科学
- 原子分子科学
- 電気電子工学（電力工学、電磁波工学を含む）
- 放射線科学
- 材料工学
- 極低温物理・超伝導工学 等

極限技術の開拓

- 真空技術
- プラズマ・荷電粒子生成/閉じ込め/輸送/制御技術
- 粒子/エネルギー循環技術
- 高電圧技術
- レーザー技術
- 電気/電子/電力/電磁波技術
- 超伝導技術
- 各種検出・計測技術 等

プラズマ装置

単に既存技術の統合を第一とするのではなく、

**装置を個別要素に分解してその仕組みを科学的に理解し（一般化）、
この理解に基づいた最善の手法に個別要素および装置を再構築**

高度化

NBI

RF負イオン源（メンテナンスフリー/Csフリー/マルチイオン様/大電流/低発散角、定常等光中性化、電力回生 等

磁場/慣性閉じ込め装置

プラズモイド入射装置

燃料ペレット入射装置

レーザープラズマ装置

大気圧プラズマ装置

プロセスプラズマ装置

プラズマバイオ装置

・・・etc.

ECH

マルチ周波数発振、リモートステアリング 等

基礎プラズマ装置

他分野に対する知見を広め、プラズマ核融合分野で培ってきた最先端の学問的知見と極限技術をテクノロジードライバとして、他分野との連携・協奏によって自然科学の深化に質的变化をもたらすと同時に自然科学の新展開を追究する。

〔反物質プラズマ装置〕

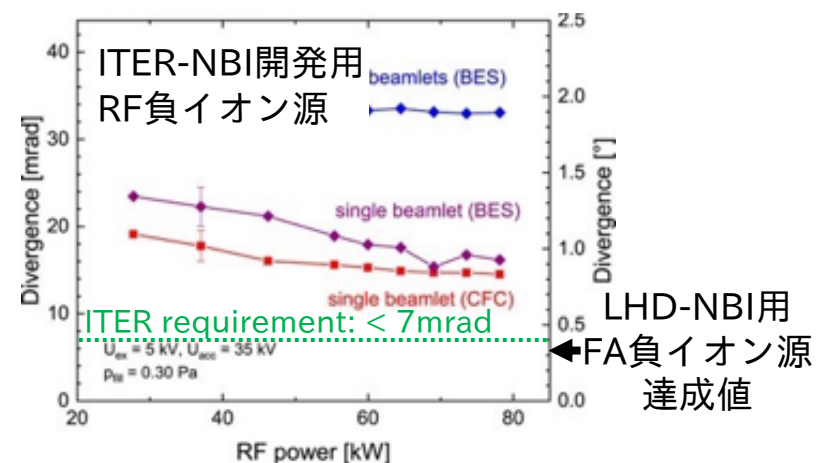
〔ミュオン触媒核融合〕

〔アクション探索〕

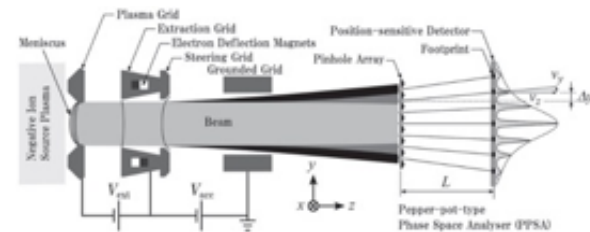
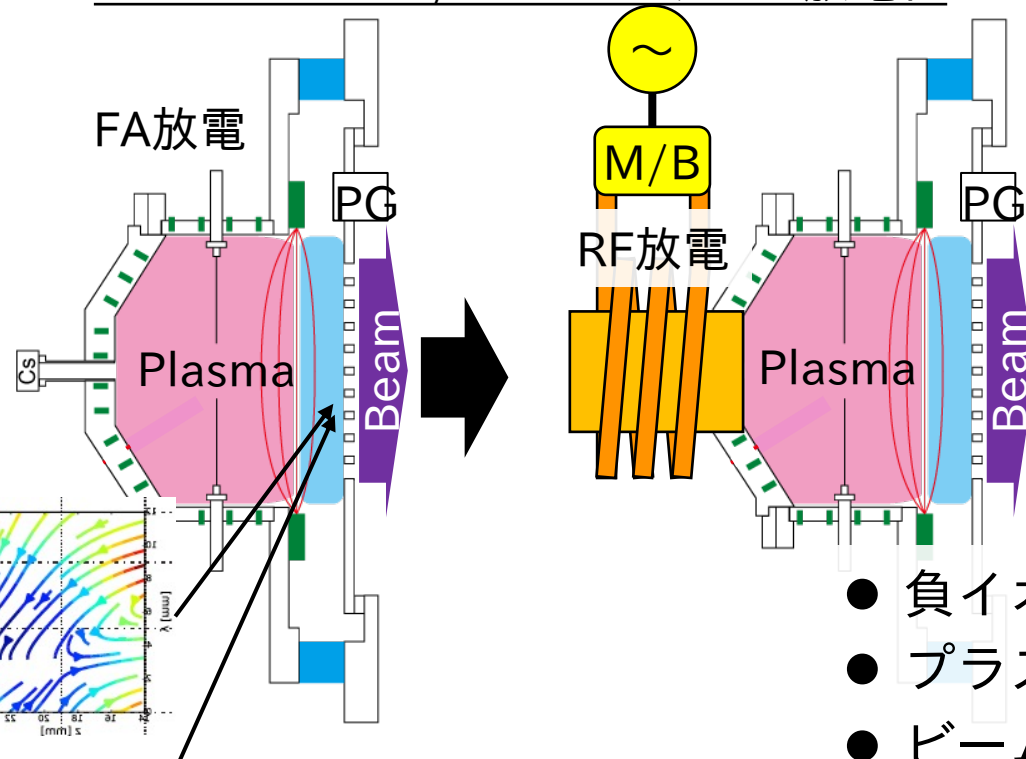
〔・・・etc.〕

4. 定式化・アプローチ（例1）

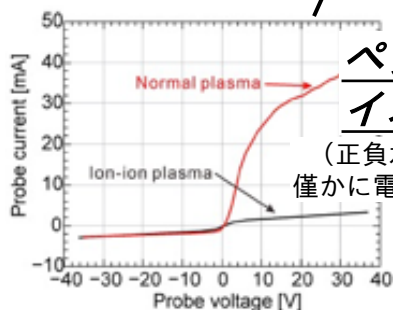
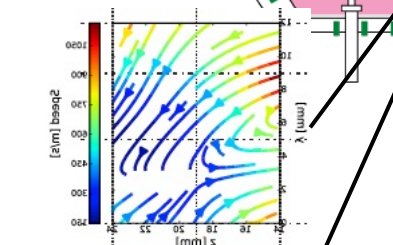
【装置の高度化】 NBI用RF負イオン源の高ビーム電流密度かつ低発散角ビーム化



NIFS-RNISのFA/RFハイブリッド放電化



放電の物理、原子分子科学、
プラズマ物質相互作用の科学、
負イオンプラズマ科学、ビーム
物理、真空技術、除熱技術、
荷電粒子制御技術、高電圧技
術、大規模装置取扱技術、数
値計算技術等



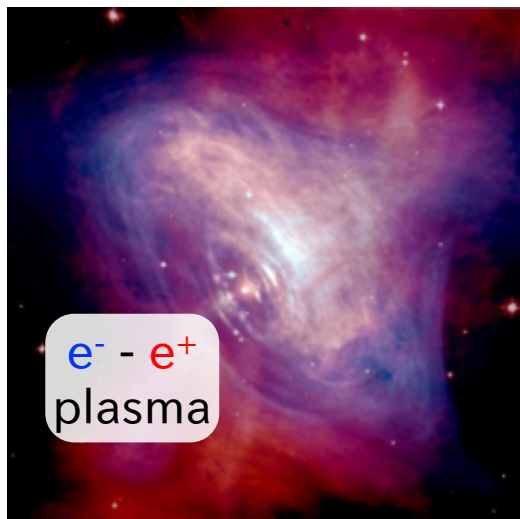
ペアプラズマ類似
イオン性プラズマ

(正負水素イオンの他に、
僅かに電子やCsが含まれる)

- 負イオンの輸送
- プラズマの時空間構造
- ビームの時空間、位相空間構造
- プラズマとビームの相関
- 磁場があるイオン性プラズマの
Child Langmuir則 等

4. 定式化・アプローチ（例2）

【他分野への展開/新分野創生】反物質プラズマ装置/ペアプラズマ装置



● 反物質プラズマ生成装置



産総研・リニアックベース陽電子源
2020 Higaki+ Appl. Phys. Exp.

パルス陽電子源

$10^7 \text{ e+}/\text{s}, 10\text{eV}$

リニアックベース
パルス陽電子ビーム

(既存)

バッファガス+超伝導トラップ

陽電子の前段蓄積,
高速パルス引き出し

低温/超伝導技術

10^{10-11} e+

~10usで
入射

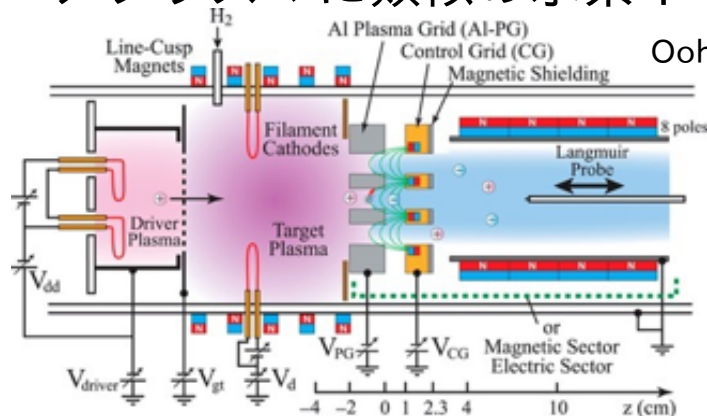
磁気浮上ダイポール

$>10^{10} \text{ e+}$
 $10^{11-12} \text{ m}^{-3}$

反物質ペア
プラズマ生成

磁場トラップ技術、真空技術他

● ペアプラズマに類似の水素イオン性プラズマ生成装置



Oohara+ AIP Advances

● NBI技術を基盤とした水素ペアイオンプラズマ生成装置

● 反物質科学への展開

● ペアプラズマ科学の創生

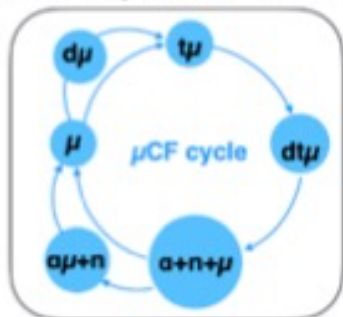
- シミュレーションから実験へ。
- 物性研究から利用（応用）へ。

4. 定式化・アプローチ（例3）

【他分野との融合】 新概念核融合炉：ミュオン触媒核融合、ミュオン分光技術

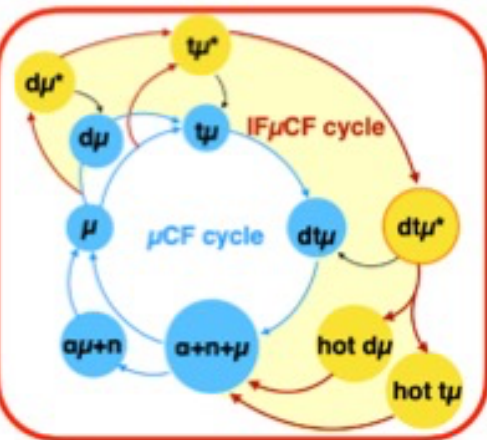
ミュオン科学と
核融合科学の融合

従来の μ CFサイクル



- ① 素過程に関する理解の進展（ μ CF理論）
先進理論により正確で大きな反応断面積を理論的に検証

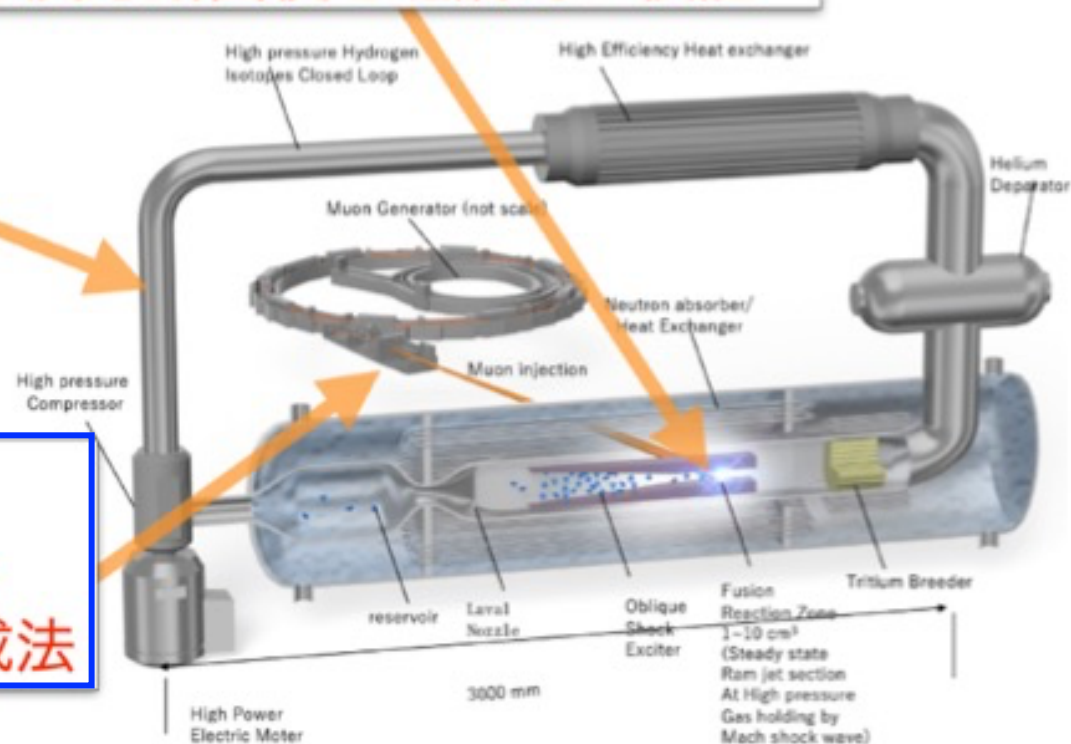
新しい μ CFサイクル



- ② ミュオン核融合炉の提案
定常循環型 μ CF標的
既存技術で開発可能レベル

- ③ 先進ミュオン源の提案
従来の方法とは全く異なる、
 μ CFの為の低速ミュオン生成法

↕
NBIとの連携

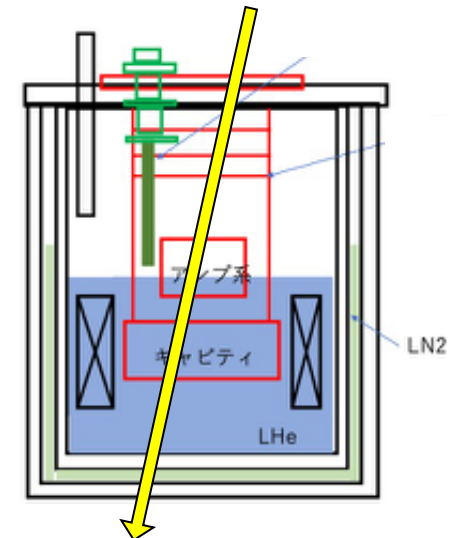


5. 学際的展開

学際的展開自体が本テーマの二大要素のひとつ。

他分野の情報収集しながら動向を意識して研究を進める。

- 通常のプラズマから反物質プラズマへ拡張による反物質科学への展開
- 高エネルギー天体現象の素過程を理解する上で重要な電子陽電子ペアプラズマの実験的物性研究および更にこの基礎研究となるペアイオンプラズマ物性研究による宇宙物理学への展開
- μ CFを通したミュオン科学/原子核物理学/原子分子物理学への展開
- ミュオン科学と複雑磁場中の荷電粒子運動研究との融合による地球惑星科学/宇宙天気予報への展開
- 極低温物理/工学および大型プラズマ閉じ込め装置で培った大型高磁場超伝導装置技術を駆使したアクシオン探索による素粒子/宇宙物理学への展開等



6. 独自性・優位性

- NIFSはプラズマ・核融合科学関連装置の知見と技術において世界的に優位性を持つ専門家集団である。
 - 例として、NBI研究について、NIFSはITER機構やQST等との研究を実施中もしくは実施協議中であるなど世界をリードする機関のひとつであり、NBI研究をする上で基盤施設を有するとともに世界で唯一のFA-RFハイブリッド大型負イオン源を整備中であるなど世界的に特異な優位性を保持している。
- 例として挙げた、反物質プラズマ/ペアプラズマ生成装置、 μ CF装置およびアクシオン探索は、プラズマ・核融合科学の知見、プラズマ・核融合科学研究の中核研究所としてNIFSおよび共同研究先大学が持つ技術、施設および新概念に基づく研究であり、優位性および独自性をもつことは明らかである。
- 本テーマで取り扱う装置には、お互いに重なり合う科学および技術を基盤としているため、これらをひとつのユニットとして実施することで相乗効果が期待できる。