

# 量子エネルギー物理学

核反応によって生じるエネルギーを安全かつ効率的に利用するため、その発生と変換に関する物理および工学について研究を行っています。

## 1-1 エネルギー変換工学

熱流体工学・混相流工学

原子炉工学・核融合炉工学

横峯、河原

## 1-2 プラズマ物理学

核融合プラズマ、プラズマ応用

村上、森下

# 1-1 エネルギー変換工学分野

エネルギーを安全かつ効率的に利用するために、その発生と変換に関する物理と工学を研究

## 熱流体工学

- ・乱流現象の非線形性
- ・極限条件下の熱流動工学
- ・ナノ・ミクロスケール熱工学
- ・MHD乱流伝熱

## 混相流工学

- ・多重スケールを持つ流体物理
- ・多相間界面ダイナミクス
- ・マイクロ気泡の物理と工学利用

## 高精度実験 計算科学

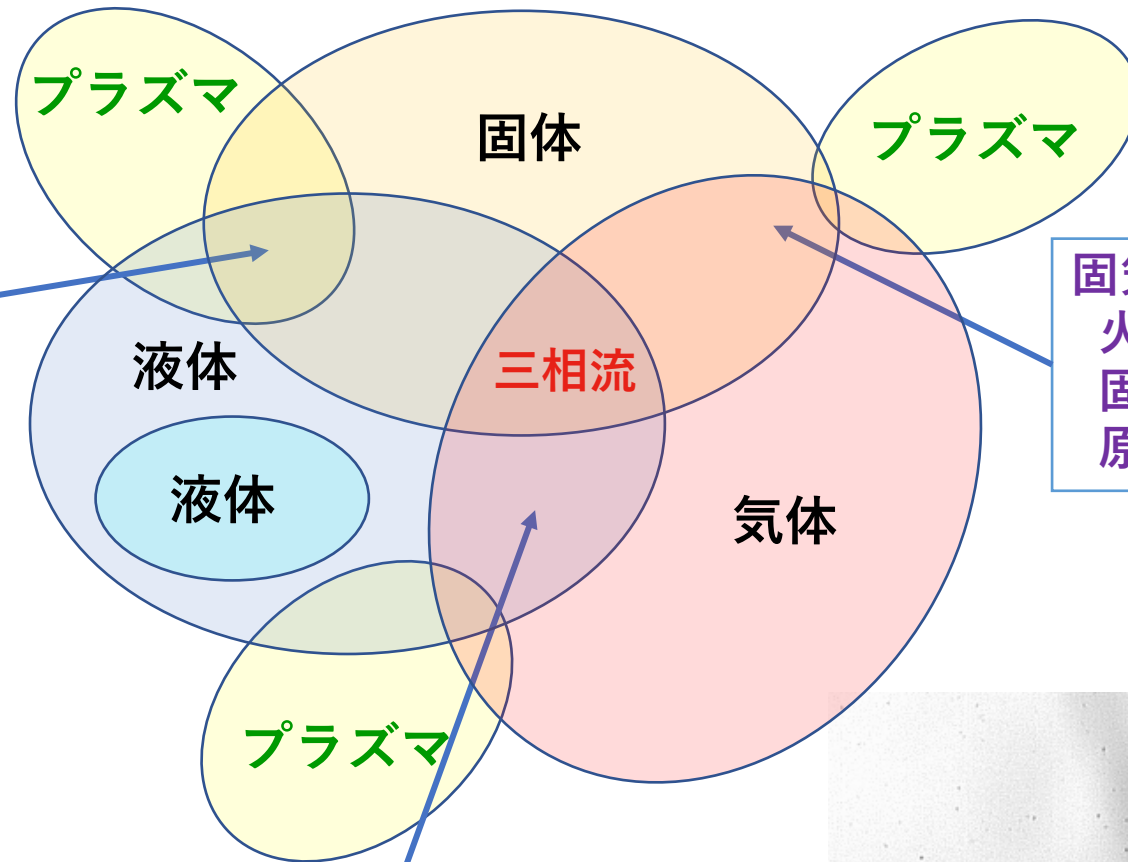
## 原子炉・核融合炉工学への応用

- ・原子炉・核融合炉安全性
- ・核融合炉ブランケット・ダイバータの熱工学
- ・新型原子炉、小型原子炉（SMR）、高速増殖炉開発
- ・核融合中性子源の開発

## 環境熱流体工学

- ・高効率淡水化技術
- ・新方式地熱発電開発
- ・エアロゾル・PMの環境影響

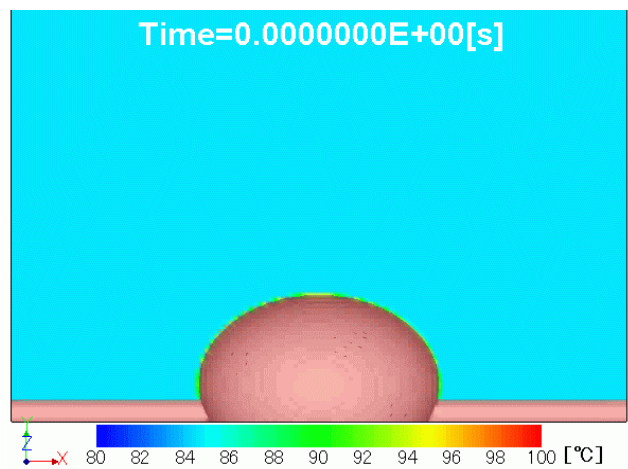
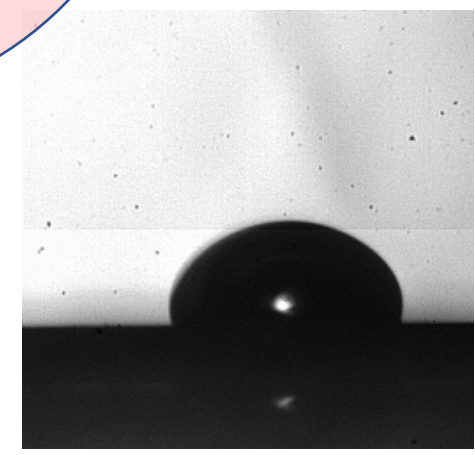
# 混相流工学の基礎学理



**固液二相流**  
土石流、血流、DDS\*  
原子炉事故（再冠水）

**固気二相流**  
火砕流、エアロゾル、集塵機、  
固体ロケット、核融合ブランケット  
原子炉事故（放射化ダスト）

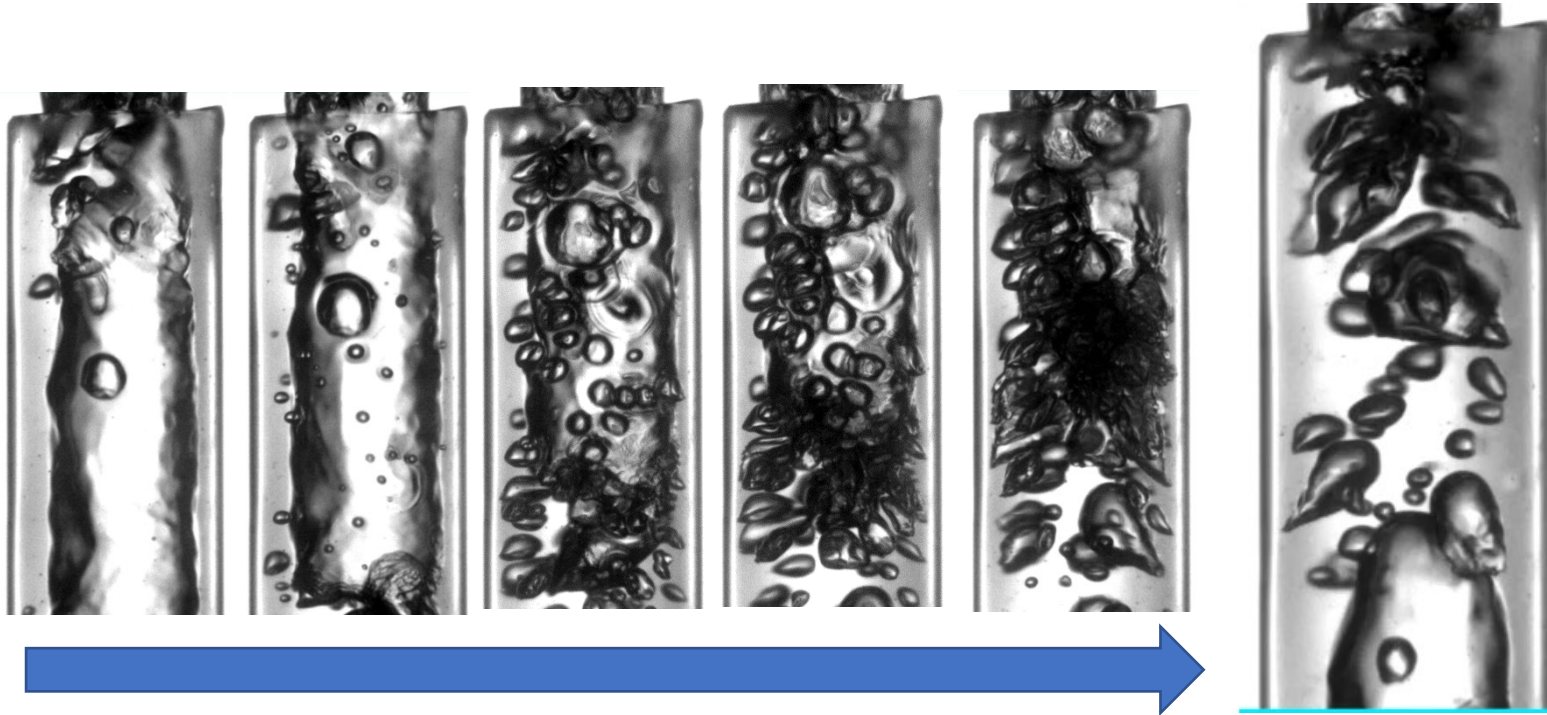
**気液二相流**  
沸騰、凝縮  
沸騰水型原子炉  
原子炉事故（ベンチレーション）



沸騰気泡の成長・離脱・凝縮過程  
（超高速カメラで撮影）

# 原子炉・核融合炉の安全工学の研究

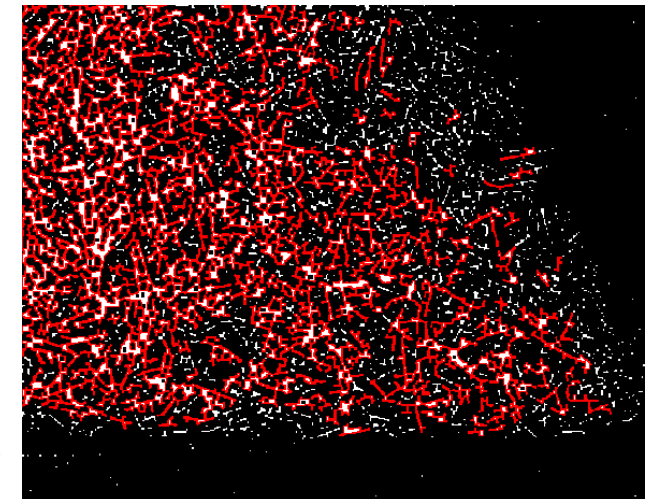
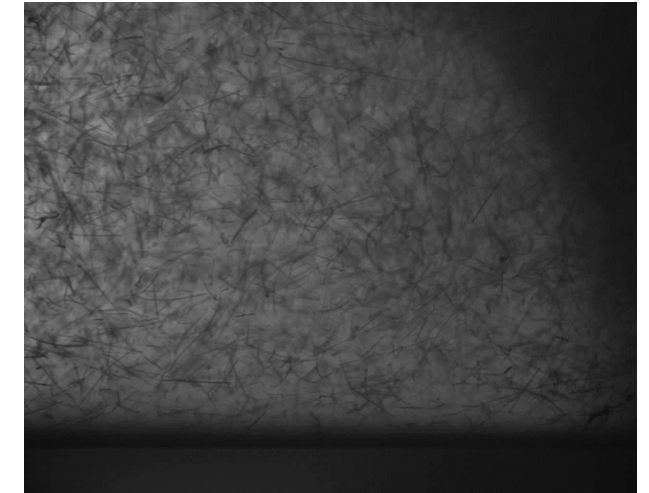
これまで着目されてこなかった安全性研究・・・例えば、繊維状デブリ、沸騰誘起自励振動etc.



時間経過 (212  $\mu$ s 間隔)

デブリ起点の気泡核生成

高濃度繊維状デブリ流のネットワーク検知



# 新型炉（小型高速炉）の開発

## 小型高速ECO-S炉のシステム構想

二次冷却材：  
Pb-Biと水 or  
金属Na: 超臨界二酸化炭素

主熱交換器：  
爆発は水-Na反応  
無しで抑制される

一次冷却材： Pb-Bi  
or 金属Na

組み込まれた負荷追従型制御機構は：  
臨界特性を制御する反射体の効率で  
決まるので、それは反射体を支える支持  
体の熱膨張で制御される。

超臨界二酸化炭素タービン  
蒸気タービン

再生熱交換器

循環ポンプ

金属燃料棒  
乾式再処理は：  
放射能分離が容易で  
放射能消滅技術へ道を開く

低温時

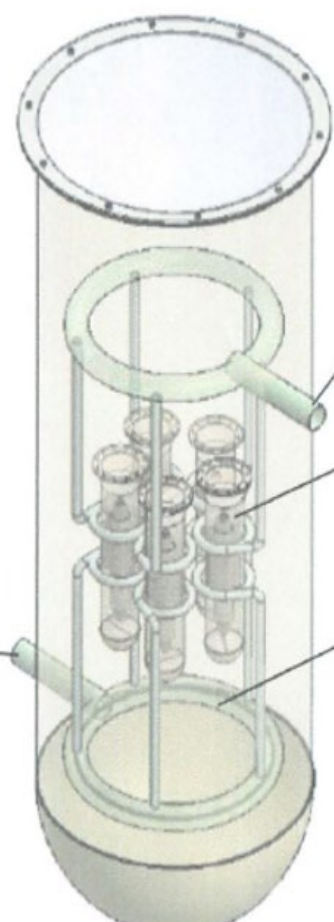
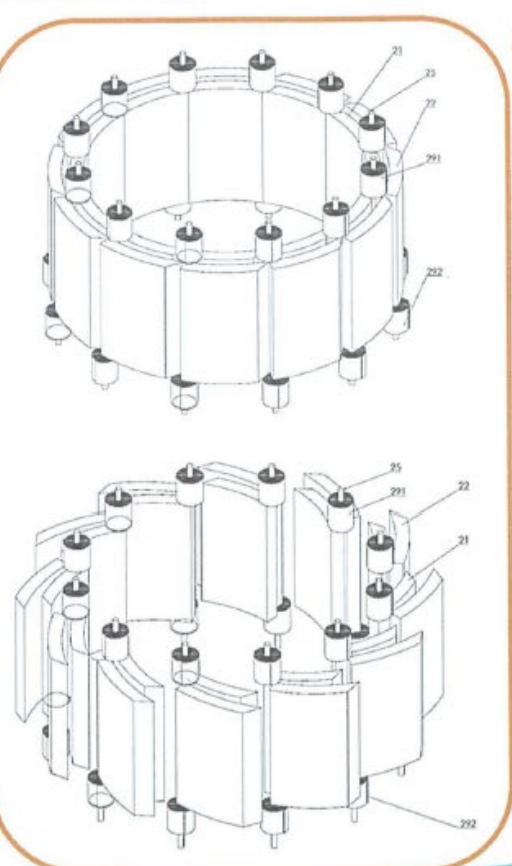
高温時

冷却材  
入口

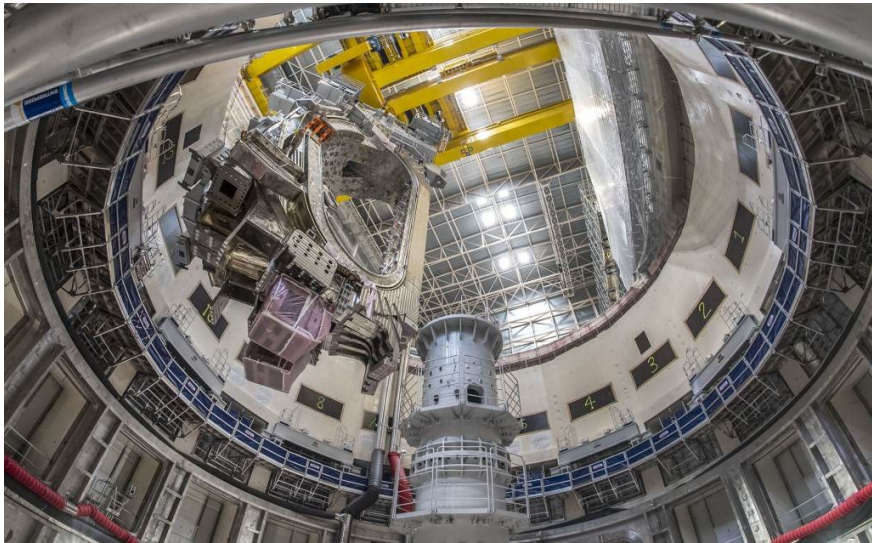
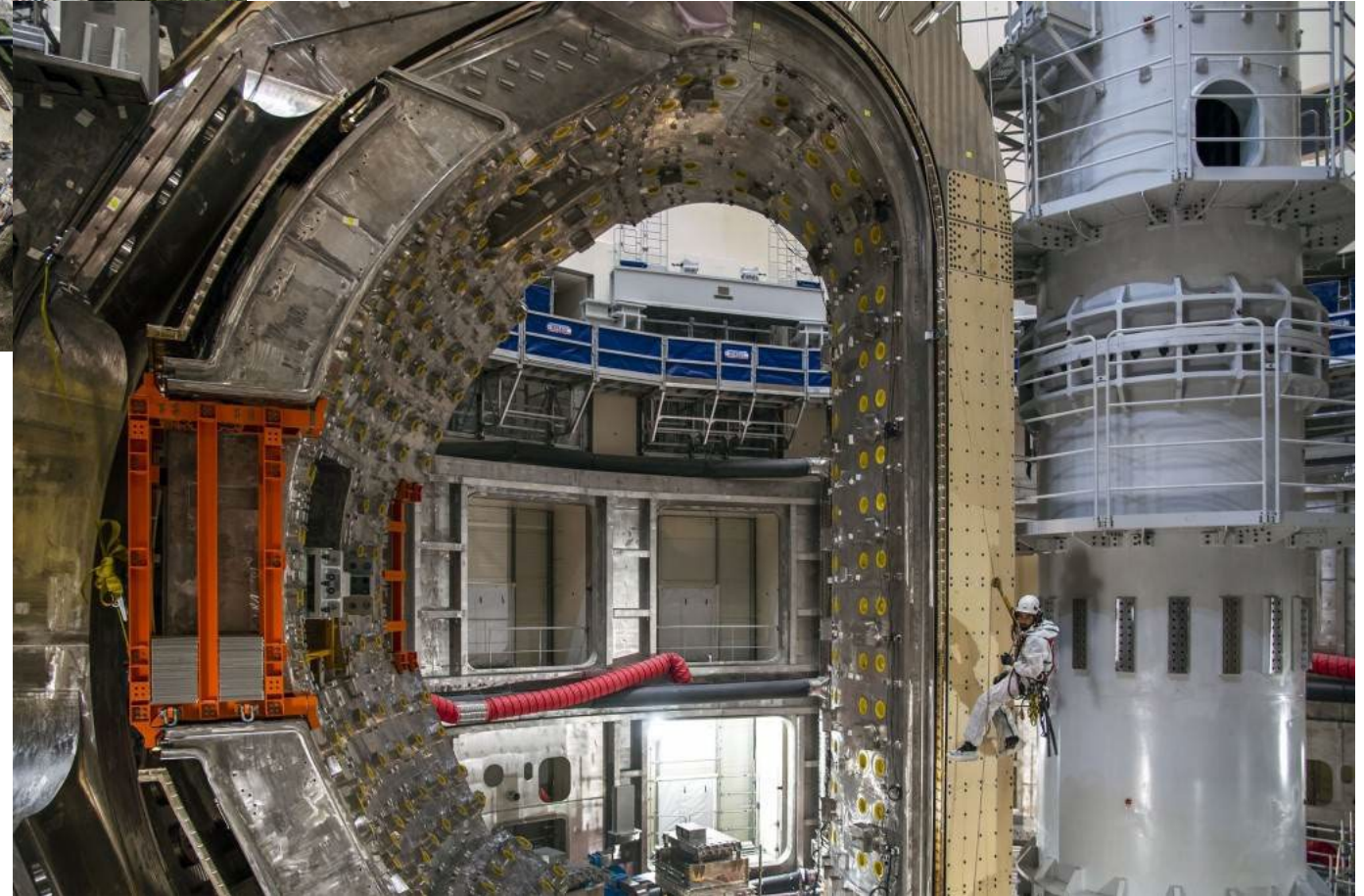
冷却材  
出口

小型  
原子炉

マニフォー  
ルド



# ITER (国際熱核融合実験炉)



## 米国立研究所、「核融合点火」に成功したと発表 使ったエネルギーを上回るエネルギー生産

© 2022年12月14日 09時04分公開

[ITmedia]



React + Reduxによる状態管理とフロントエンドの技術的負債

山口県庁で情報職の職員を募集中!! 採用応募詳細はこちら!

米ローレンス・リバモア国立研究所は12月13日（現地時間）、5日に行った制御核融合実験で、核融合を起こすために使うレーザーエネルギーよりも多いエネルギーの生成（核融合点火）に初めて成功したと発表した。「クリーンな核融合エネルギーの見通しに関する非常に貴重な洞察を提供する」としている。

核融合でエネルギーを生成できれば、化石燃料の燃焼による温室効果ガスや原発の危険性から解放される可能性がある。

この実験では、研究所に設置された施設の192個の巨大なレーザーでダイヤモンドで包んだ凍結水素を含む小さなシリンダーを爆破した。



実験を行った核融合点火施設（画像：Lawrence Livermore National Laboratory）

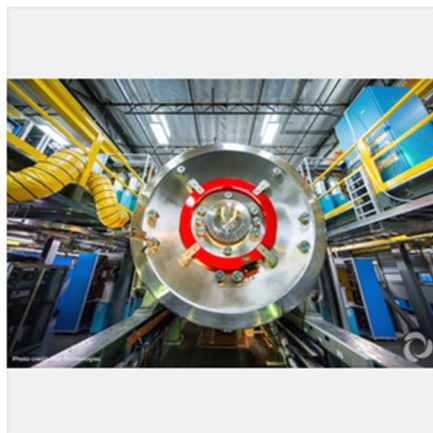
1秒の100兆分の1未満の間に2.05メガジュールのエネルギーが水素シリンダーに衝突することで、核融合の生成成分である中性粒子が流出し、約3メガジュールのエネルギーを生成した。だが、レーザーパルス生成のためにエネルギーを消費したため、使ったエネルギーの約1.5倍のエネルギーを生成できたことになっている

## 巨額投資が流入、世界で加速する「核融合技術」商用化

2021/11/10(水) 16:40 配信 43



ニューズアッチ  
日刊工業新聞



米TAEテクノロジーズの開発装置。グーグルなどから8億8000万ドルを超える資金を調達した（同社提供）

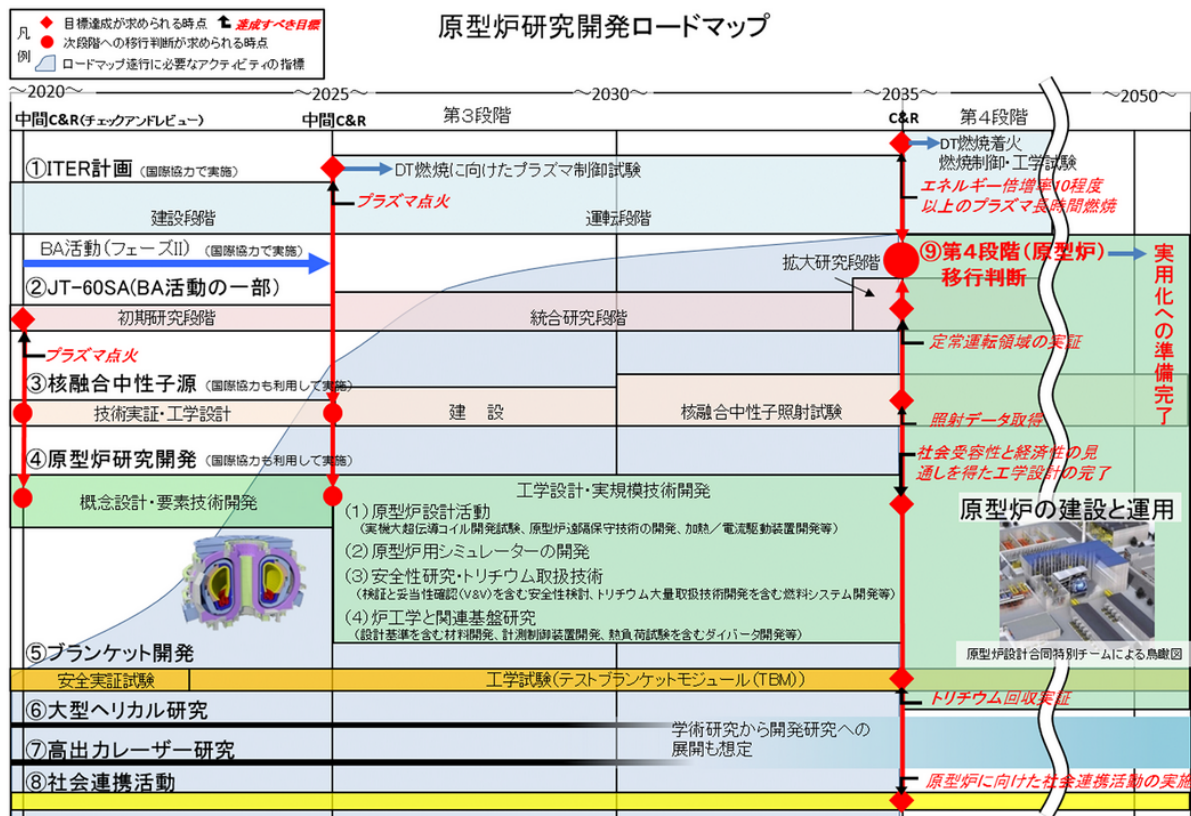
米核融合産業協会（FIA）と英国原子力公社（UKAEA）は、初となる核融合産業の共同調査報告書をまとめた。グローバルに展開する核融合関連の民間企業35社のうち23社が回答。うち12社が過去5年間に設立され、回答した23社だけで合計18億7200万ドル（約2130億円）もの資金を調達するなど、核融合技術の商用化に向けた動きが世界で加速している。

「核融合」に挑む京大発ベンチャーの正体

共同調査報告書「グローバル核融合産業2021」によれば、企業所在地別の回答は米国13社、英国5社、カナダ・独・仏・中・印・豪の各国がそれぞれ1社。日本企業はなかった。調査対象は核融合のコア技術を担う民間企業で、サポート産業は除いてある。

# 核融合炉原型炉開発ロードマップ

## ～原型炉開発に向けたアクションプラン～



### 「核融合」産業化へ、公的補助で民間参入後押しも

2/2(木) 10:10 配信 31

ニューズアイツチ  
日刊工業新聞

### 「核融合産業協会（仮）」設立へ

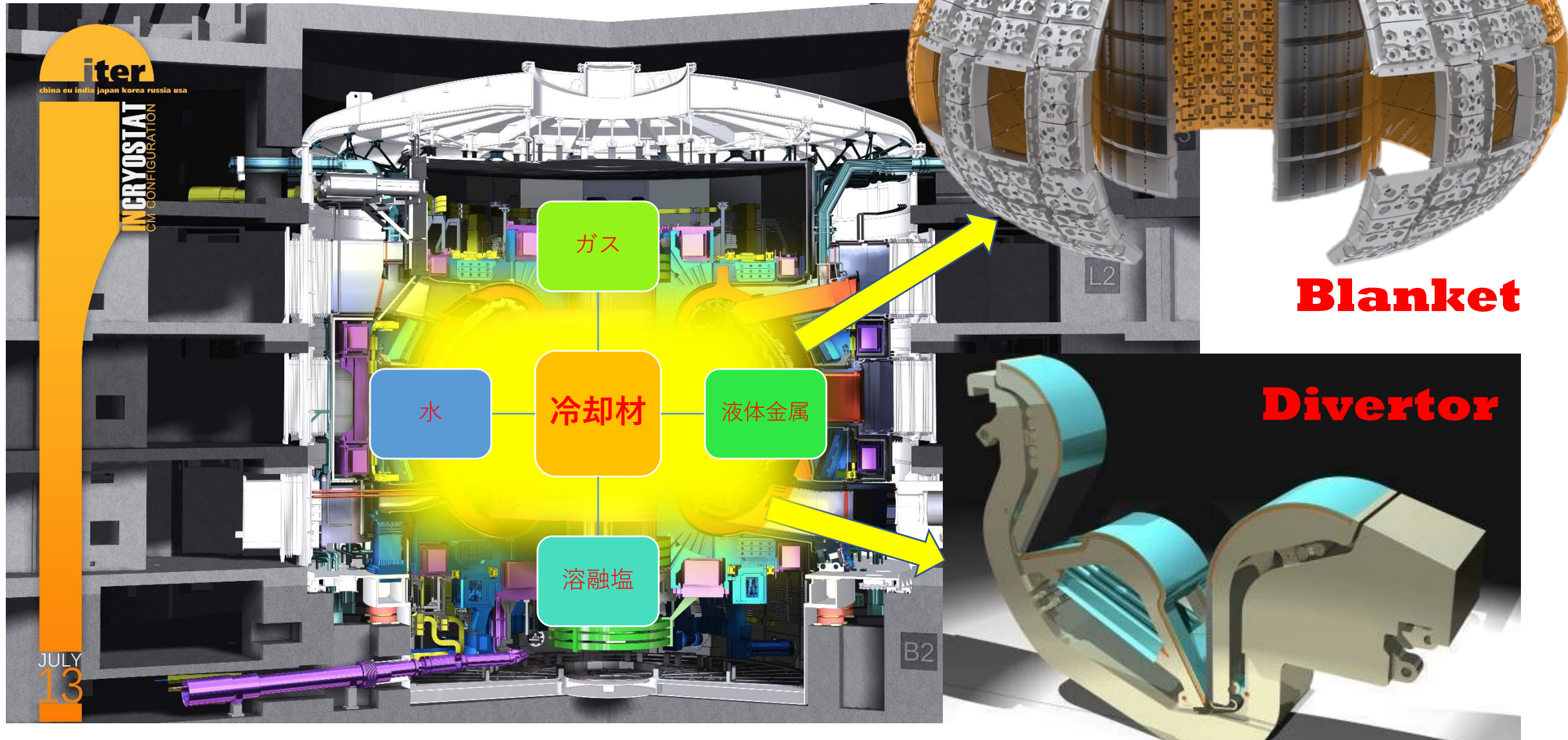
政府は「核融合産業協会（仮）」を設立する方針を固めた。国際熱核融合実験炉（イーター）などで培った技術を生かし、核融合産業のサプライチェーン（供給網）構築を目指す。量子科学技術研究開発機構（QST）を中心に民間企業の技術を結集。産学官の連携体制を構築する。公的補助などで民間の参入やスタートアップの育成を後押しする。

このほど核融合発電の国家戦略の骨子案を取りまとめた。核融合産業の予見性を高めるため、発電実証時期を早期に明確化する。産業ニーズを可視化するため、技術成熟度を記載した核融合発電に関する技術マップなどを作成し、経済安全保障の視点も踏まえて取り組むことなどを盛り込んだ。

また、産官学の有識者などが参加する核融合エネルギーフォーラムを発展的に改組し、産業化に向けた議論を活発化させる方針。スタートアップを含めた民間企業の保有する技術シーズと産業ニーズのギャップを埋める支援を行う。



# 核融合炉の炉工学・安全性の研究



# 原子力システムの応用研究

## 加圧水型地熱発電 GEEP



地熱シミュレーター

# エネルギー変換工学研究Gr

- スタッフ: 教授: 横峯健彦 講師: 河原全作  
秘書: 副島 聖



- 学生構成: D3: 2名、D1: 1名、M2: 1名、B4: 2名
- 研究環境
  - 桂地区: 学生居室、理論研究、数値シミュレーション、小規模伝熱実験
  - 宇治地区: 学生居室、混相流動、沸騰、液体金属MHD、高温高圧ガス流動実験、大型気液2相流体ループ、マイクロ気泡発生システム、沸騰伝熱実験設備、超高速カメラシステム、長焦点カセグレン顕微鏡など
- 関連科目: 流体力学、熱力学、伝熱工学、エネルギー変換工学、混相流工学、数値解析、英語

いつも新しいことをやっています

# 量子エネルギー物理工学

核反応によって生じるエネルギーを安全かつ効率的に利用するため、その発生と変換に関する物理および工学について研究を行っています。

## 1.1 エネルギー変換工学

機能流体・知能流体，数値流体力学

横峯，河原

## 1.2 プラズマ物理工学

核融合プラズマ，プラズマ応用

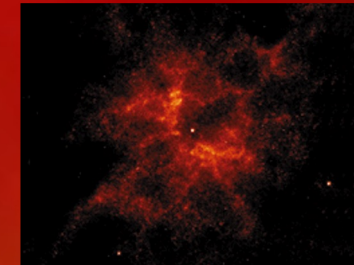
村上・森下

# プラズマ物理工学

核融合を目指したプラズマの理論, シミュレーション, データ駆動科学

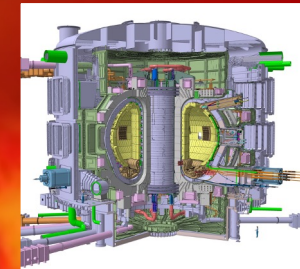
## プラズマ物理学

非線形現象, 非平衡状態の物理



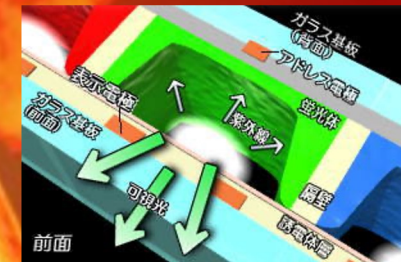
## 核融合プラズマ工学

核融合プラズマの解析



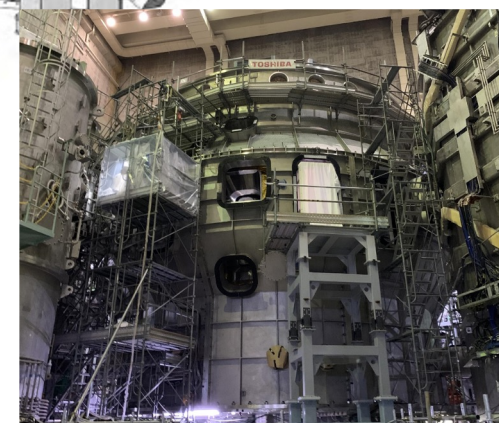
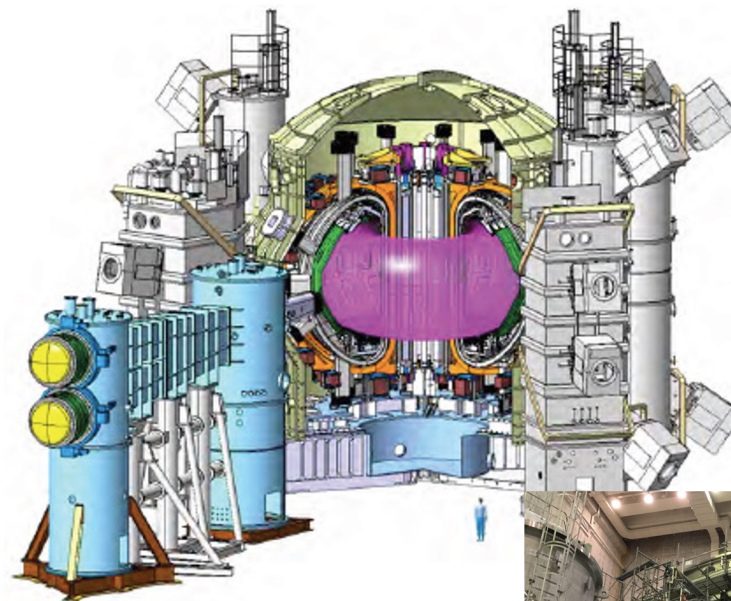
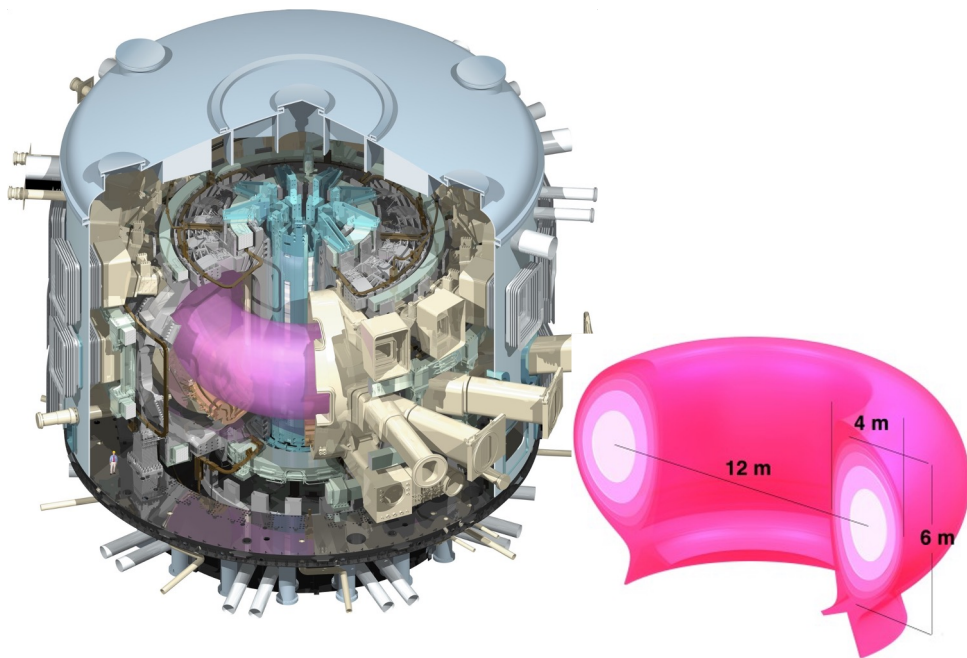
## プラズマ応用

解析手法のプロセスプラズマへの応用



# 核融合開発の進展：ITERおよびJT-60SA

- **ITER: 国際熱核融合実験炉**  
核融合発電を目指す国際協力  
(日、欧、米、露、中、韓、印)
- ITERがサンポールレデュランス(フランス)で建設中. 2025年完成予定.  
2035年D-T燃焼実験
- 核融合開発が新たな段階へ  
=>核融合反応の維持
- **JT-60SAの建設**  
(QST, 茨城県那珂市)  
日欧の協力事業
- 2020年12月運転開始



# 磁気閉じ込めプラズマにおける物理現象の解明と制御手法の開発

## 核融合プラズマ中の輸送現象

- 核融合プラズマの閉じ込め性能を支配する乱流輸送機構の解明

## 核燃焼プラズマの統合シミュレーション

- ITERプラズマの性能予測、運転シナリオ

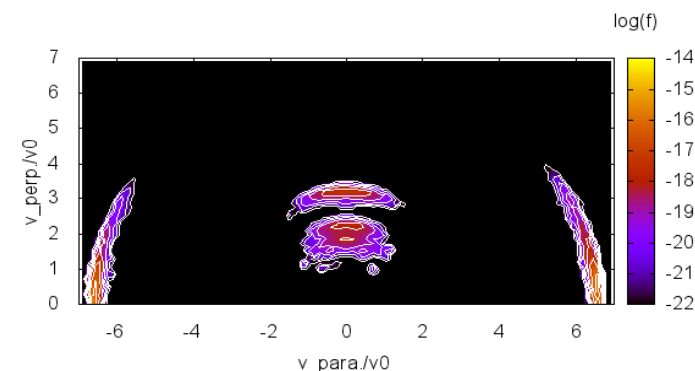
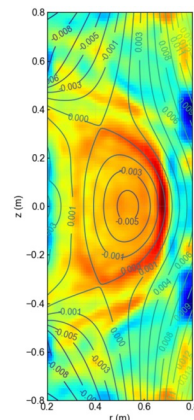
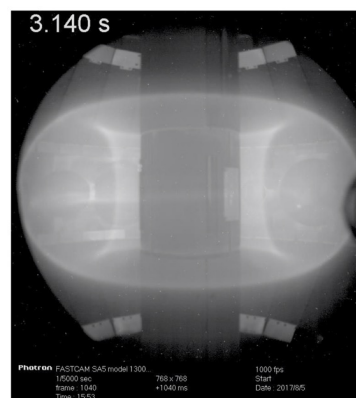
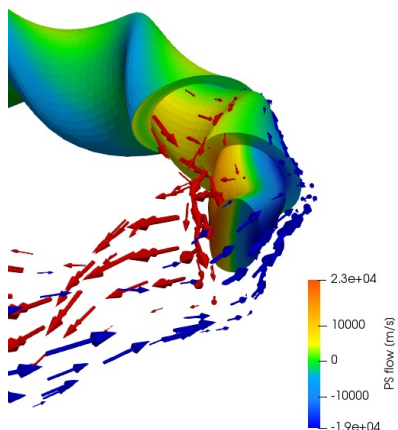
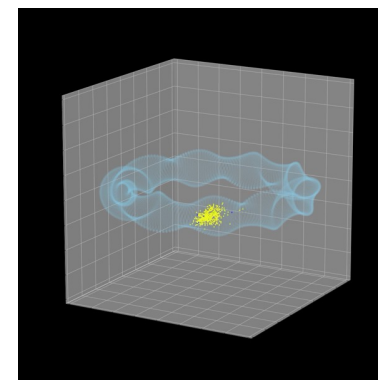
## 高速イオンとプラズマの相互作用

- 高速イオンの閉じ込め, 減速, 不安定性

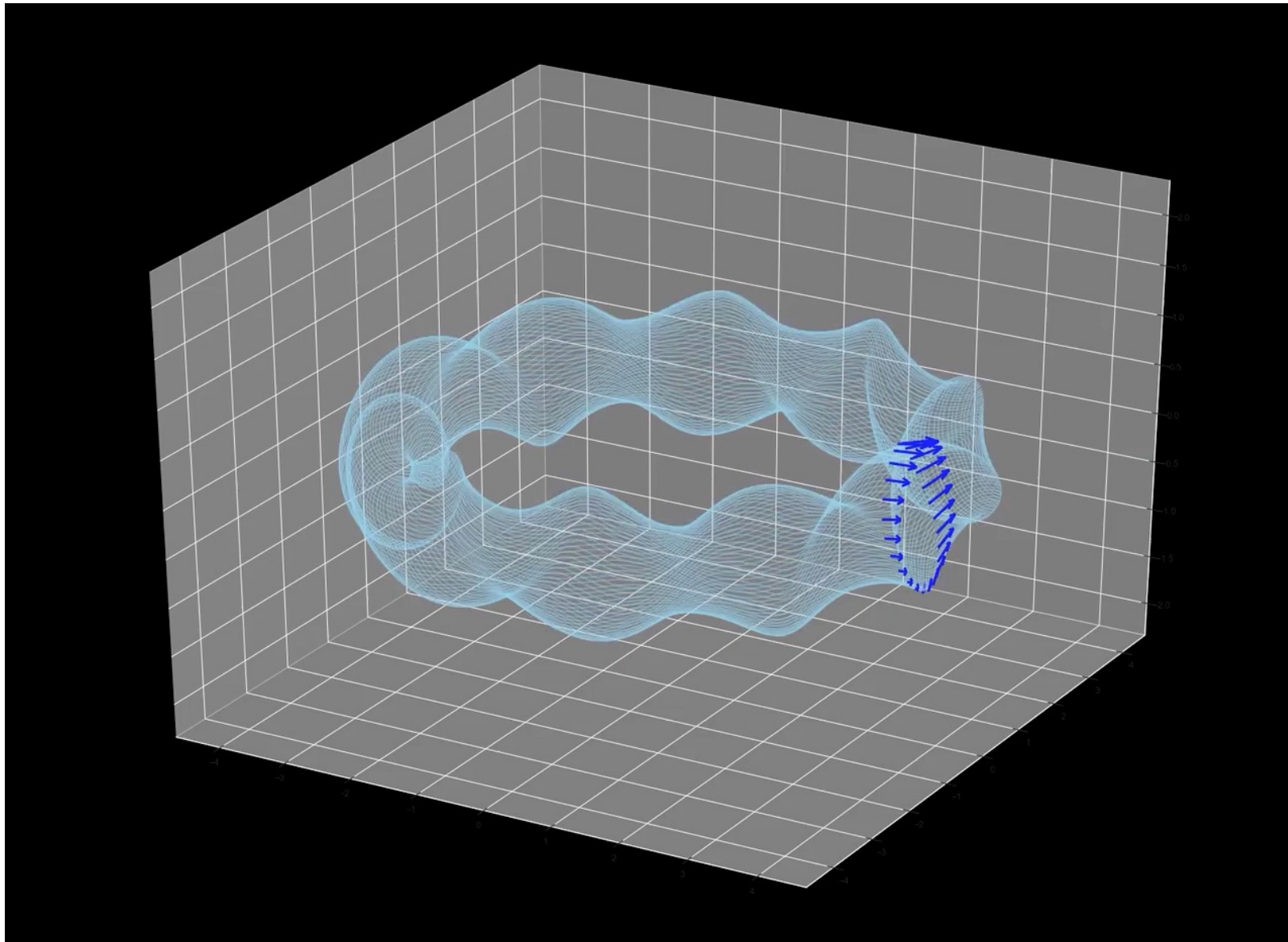
## データ駆動科学

- データ同化、機械学習、トモグラフィー

高エネルギーイオン分布



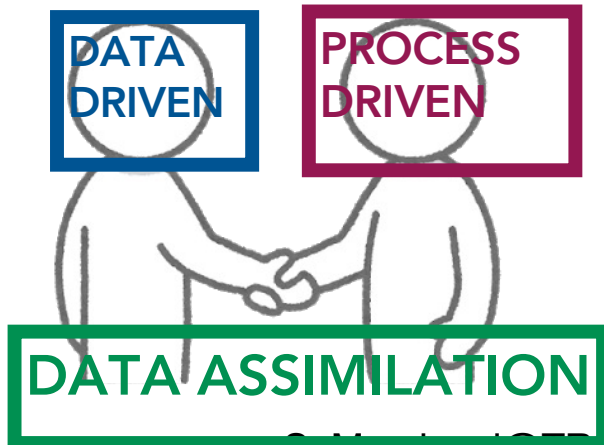
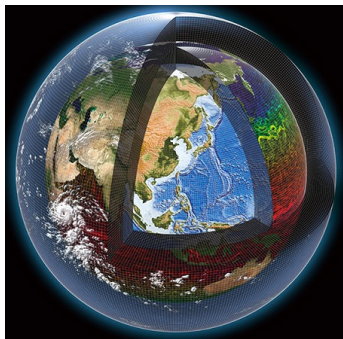
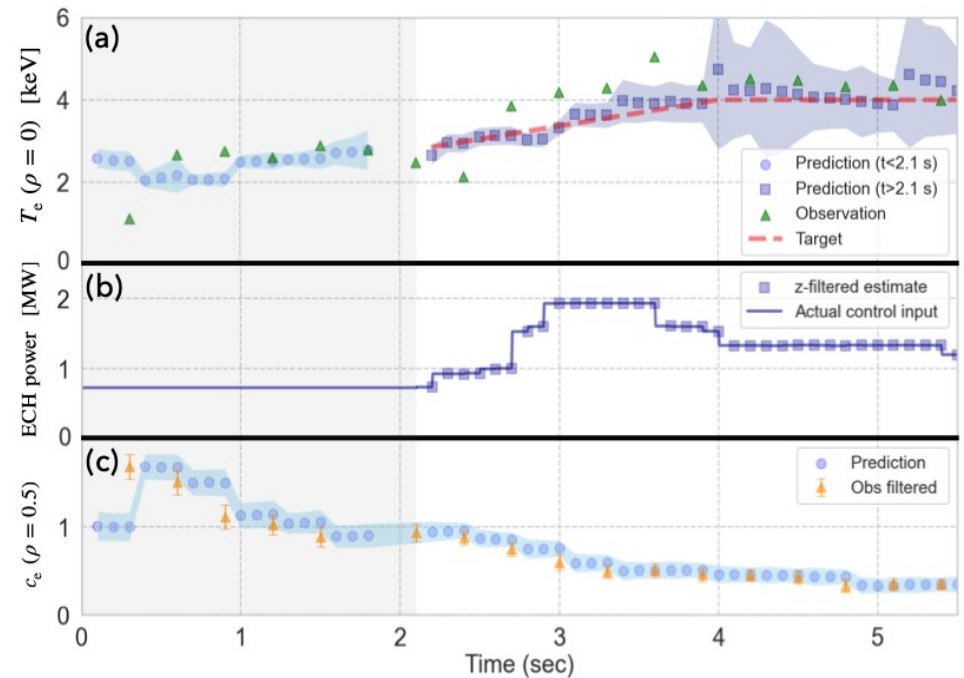
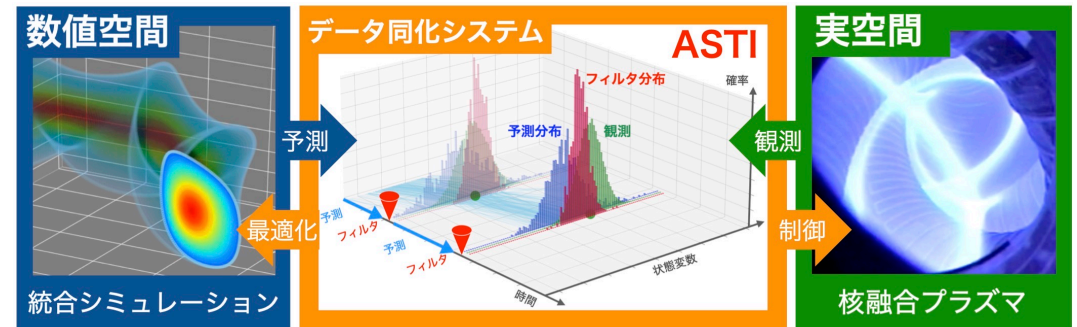
# データ同化手法を用いた統合シミュレーション





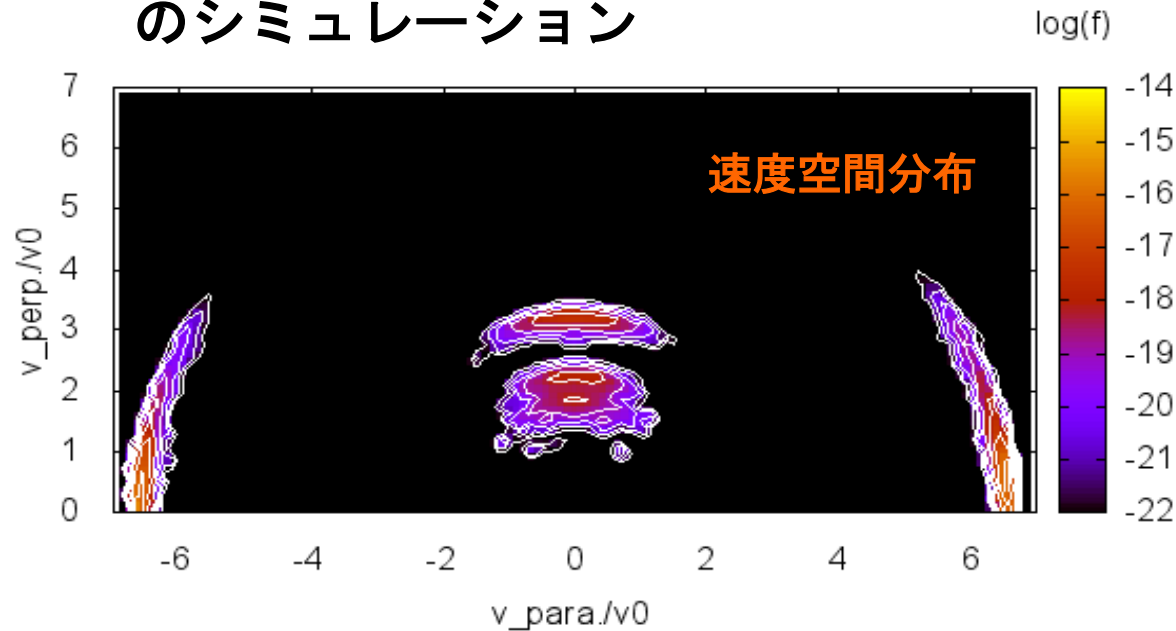
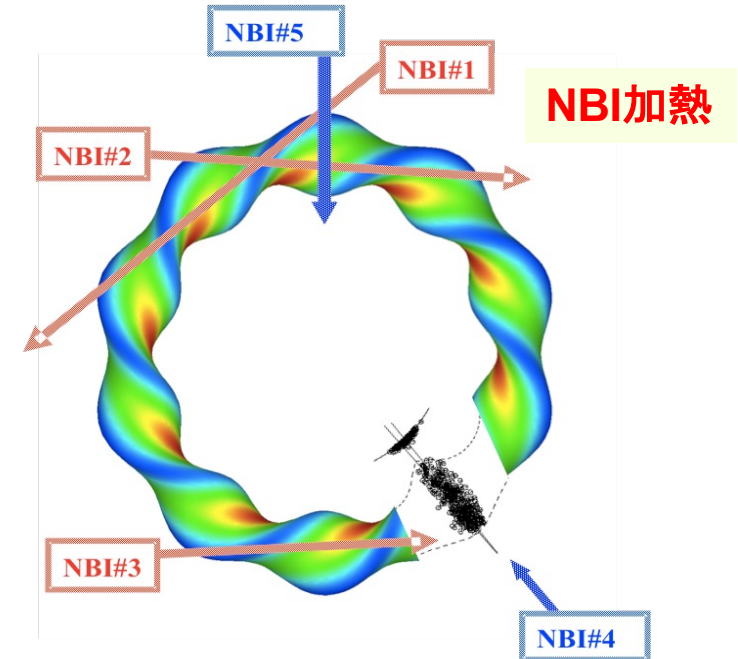
# データ同化手法を用いたプラズマ制御

- 気象分野や海洋分野において、実際の観測値を用いてシミュレーションモデルを最適化し、モデルの持つ不完全性を補うデータ同化の研究が活発に行われている。
- 本研究では、このデータ同化の手法を核融合プラズマの統合輸送シミュレーションに取り入れることで、プラズマの挙動を高精度で予測し、制御することに成功した。

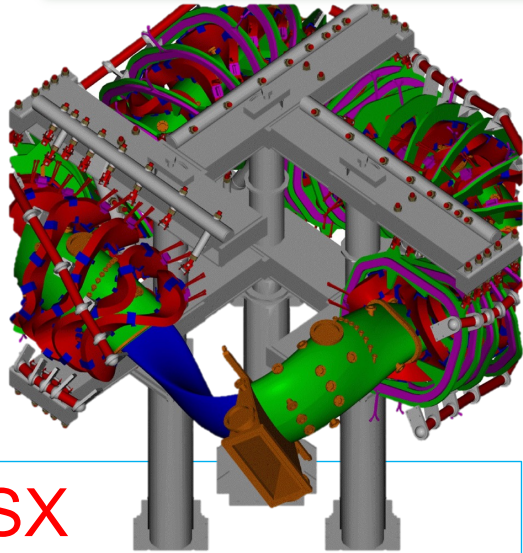


# 高エネルギー粒子の輸送現象

- プラズマ加熱により発生する高エネルギー粒子の輸送現象の解明
- 密度変化を逐次読み込みビーム発生分布を計算し、減衰分布・加熱分布を評価。  
(核融合研プラズマシミュレータ:  
4000CPUx6時間x5NBI)
- 高エネルギー粒子による核融合燃焼実験のシミュレーション

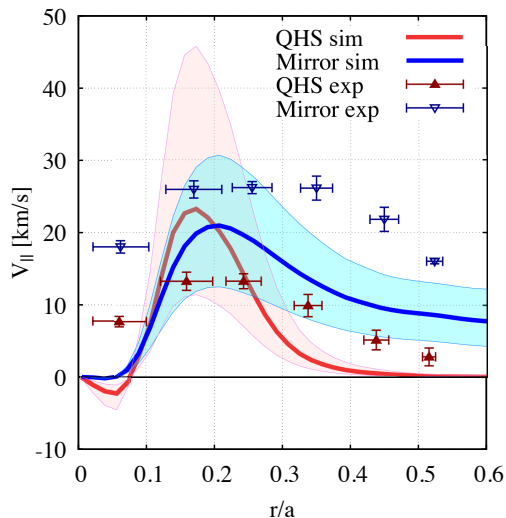


# 電磁波によるプラズマ加熱のシミュレーション



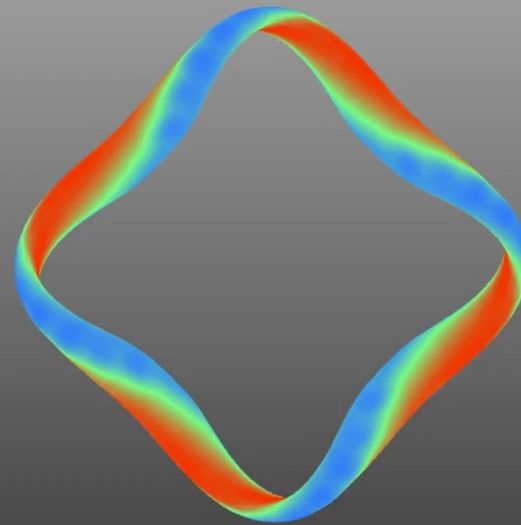
**HSX**

Major Radius = 1.2 [m]  
Ave. Minor Radius = 0.15 [m]  
Magnetic field Strength = 1 [T]



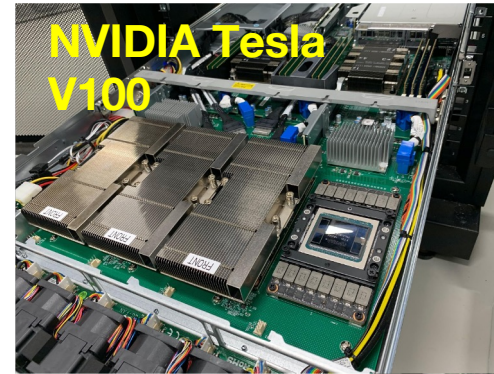
- トロイダル流はMHD安定性や閉じ込め改善に重要.
- 様々な装置でECHによる自発的トロイダル流が観測.
- ECHによるトルクを評価し, 実験と比較検証を行う.

加熱によるプラズマ流の駆動



## 研究環境（計算機）

- 研究室所有計算機  
クラスター並列計算 + GPGPU  
Intel Xeon Gold 6240 32Core  
+ NVIDIA Tesla V100 NVLink x4  
NEC SX-Aurora TSUBASA VE x2
- 共同研究計算機  
プラズマシミュレータ（核融合科学研究所）  
JFRS-1（量子科学技術研究開発機構）



JFRS-1  
1,370ノード,  
54800コア  
4.2PFLOPS

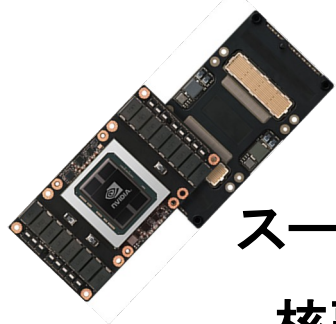
# 研究環境（研究室）

- ゼミによる核融合・プラズマの基礎学習
- 研究テーマ決定  
(候補もあるがある程度自由に決められる)
- 研究の実行  
各自の机・PCが基本  
PCでプログラミング・実行  
(クラスター, スーパーコンピュータ)
- 教員/先輩からの指導・アドバイス
- 国内・国際学会での成果発表・共同研究



## 研究室では（2023年度）

- スタッフ:教授 村上定義, 助教 森下侑哉, (工学基盤教育センター教授 本多充)
- 学生構成:D1:2名, M2:8名, M1:5名, B4: 4名
- 共同研究:国内 核融合研(LHD), 量研機構(JT-60SA), 九大(QUEST), 統数研  
国外 Wisconsin Univ. MIT(米国)IPP Max-Planck(独)
- 計算機環境 計算機クラスター, GPGPUによる並列計算



Intel Xeon Gold 6240 32Core + NVIDIA Tesla V100 NVLink x4  
NEC SX-Aurora TSUBASA VE x2

スーパーコンピュータ

核融合科学研究所 NEC SX-Aurora TSUBASA A412-8

量子科学技術研究開発機構 JFRS-1 Cray(HP) XC50

長期的な視野でエネルギー問題の解決を目指す

未知の非線形現象の解明に興味のある, 目的指向の国際共同研究に関心のある人

核融合・プラズマを知ってみたい人, そんな大学院生・学部生を募集しています。

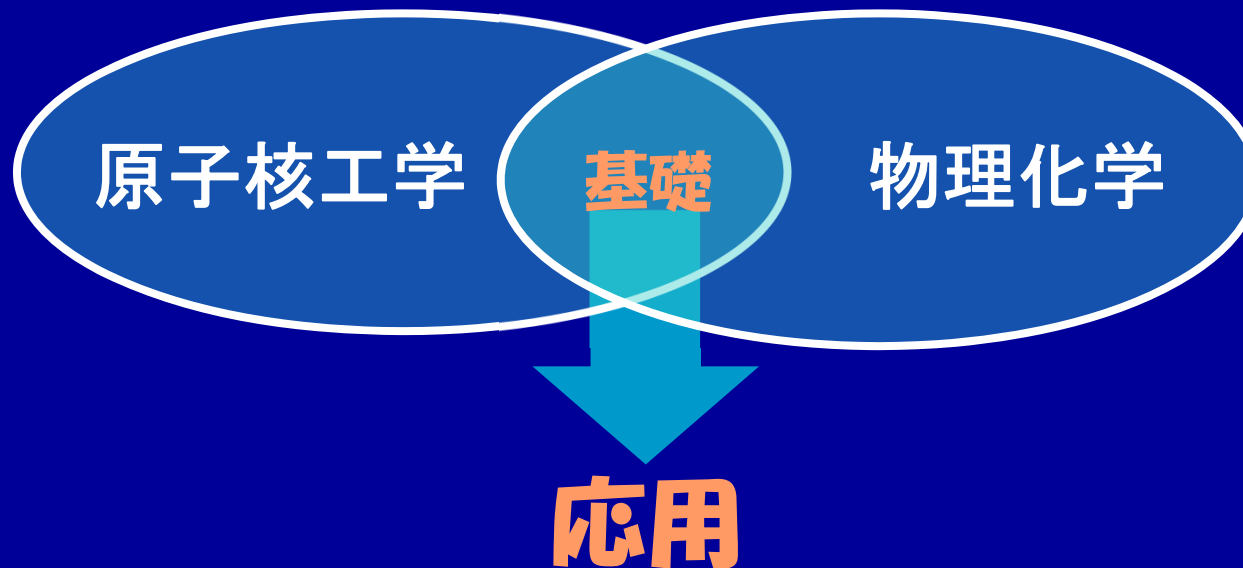
# 第2グループ

2-1. 燃材料工学

桂

2-2. 重元素物性化学

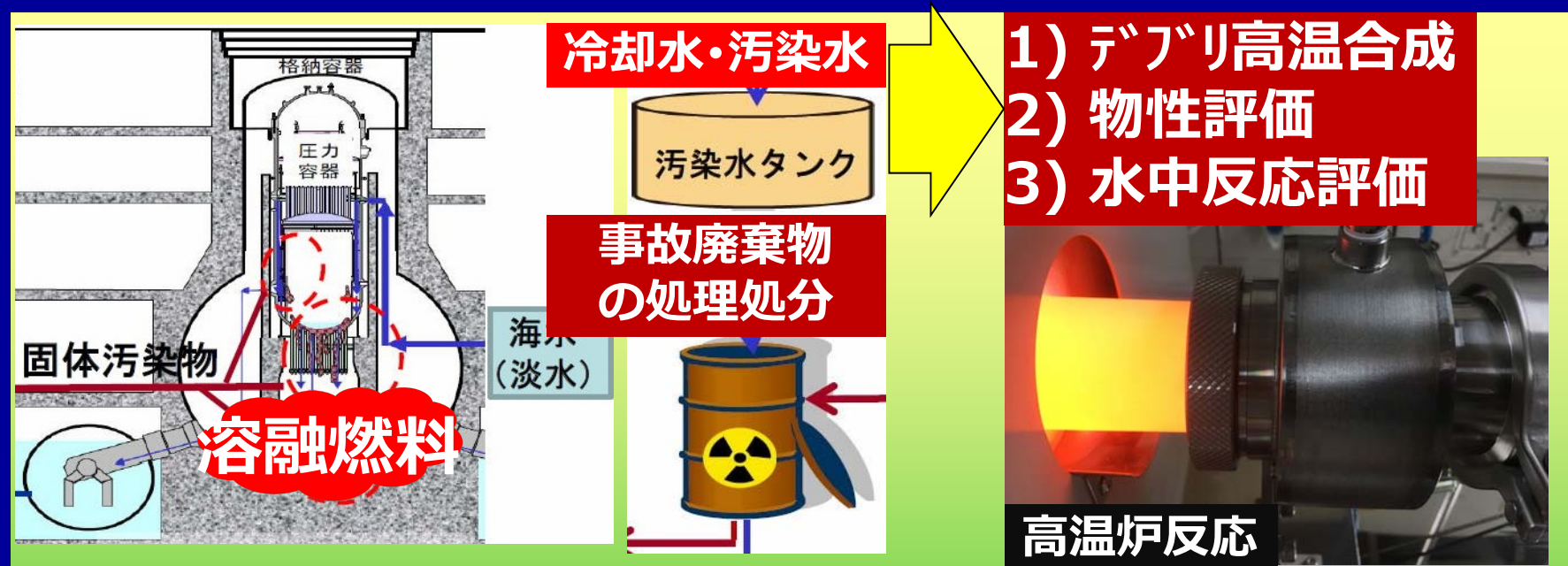
熊取



内容 原子力・核融合の材料と化学  
目的 安全・環境・有効利用

目的: 廃炉を安全着実に進めるため燃料デブリの状態・挙動を研究  
内容(基礎): デブリの熱力学、核種移行メカニズム理解

図 取出し準備が進む燃料デブリの物性研究・処理工分



## (応用)

- ・ デブリが廃棄物となる際の合理的な分別、安定化処理法を見出し、超長期のより安全な処理工分を提案する
- ・ 我が国の廃炉ノウハウの世界基準化を目指す



# 高レベル放射性廃棄物の処分と環境

2-1

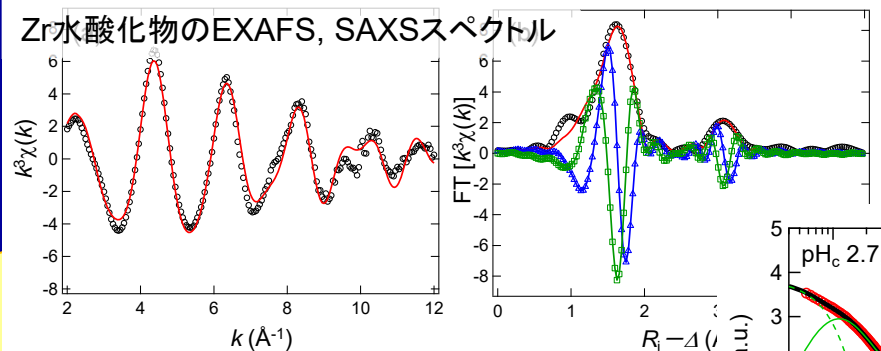
目的: 長半減期アクチノイドを含む廃棄物の地層処分安全評価の  
不確実性低減

内容(基礎): 無酸素水環境での核種の化学熱力学と反応機構解明

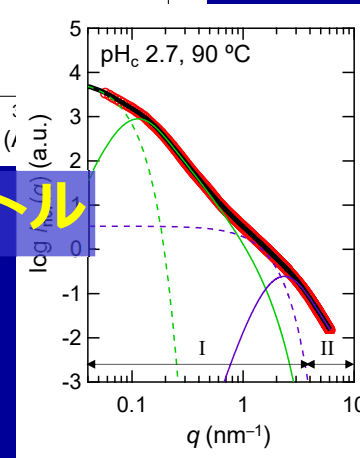


様々な学外施設で:  
最先端分光装置の活用  
SPring-8, JRR-3, J-PARC

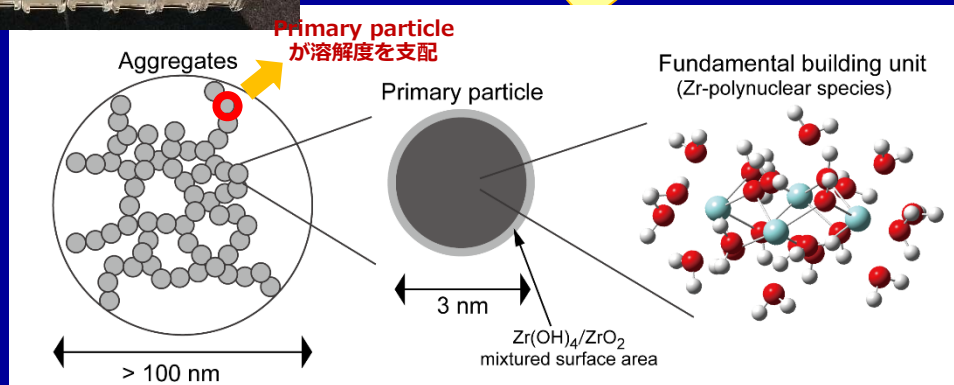
SPring-8でのXAFS実験



X線・中性子の分光スペクトル

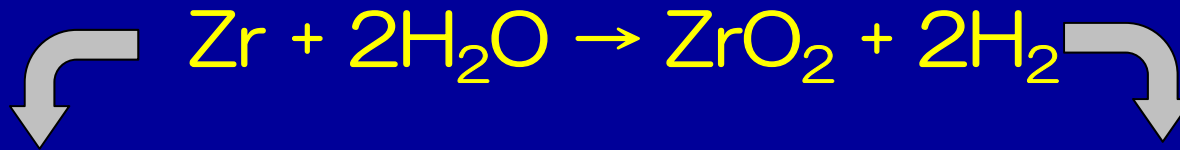


JRR-3でのSANS実験



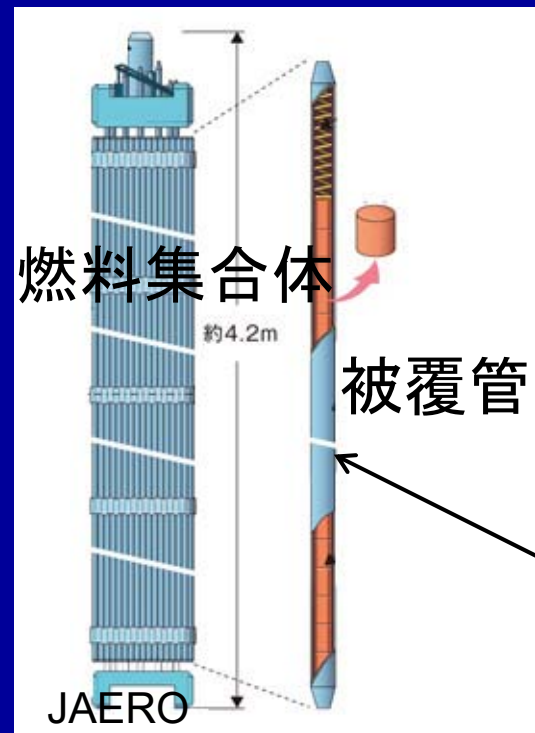
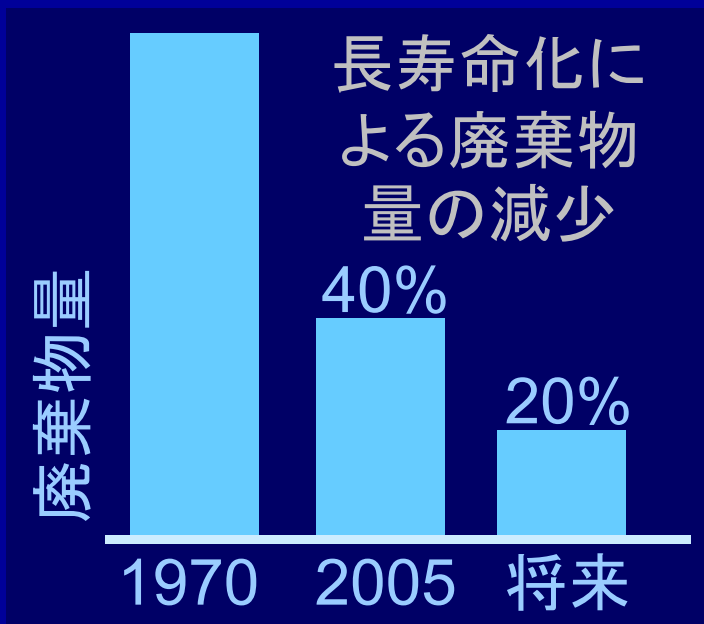
固体・液体の化学状態や構造情報とラボでの実験結果を融合⇒熱力学反応モデルへ

## 燃料被覆管の主成分

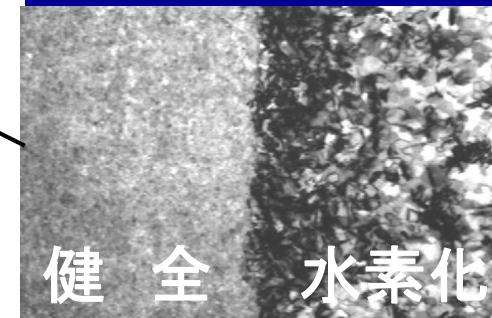


通常時の目標：  
廃棄物量抑制

事故時の目標：  
水素発生量抑制



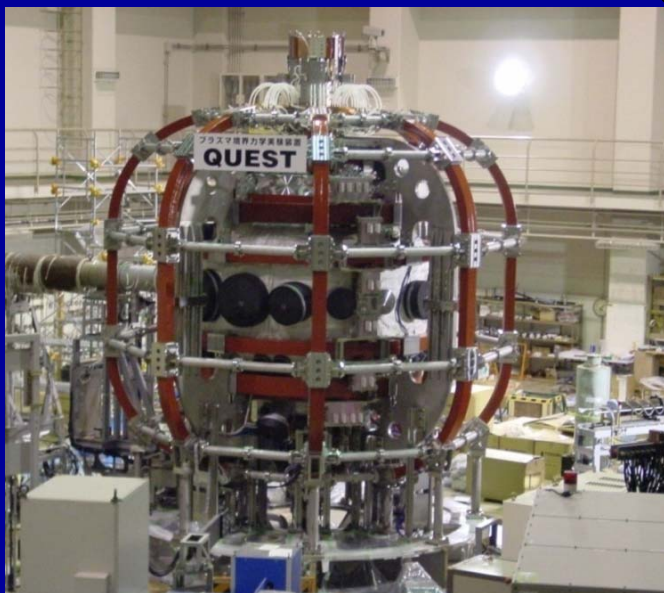
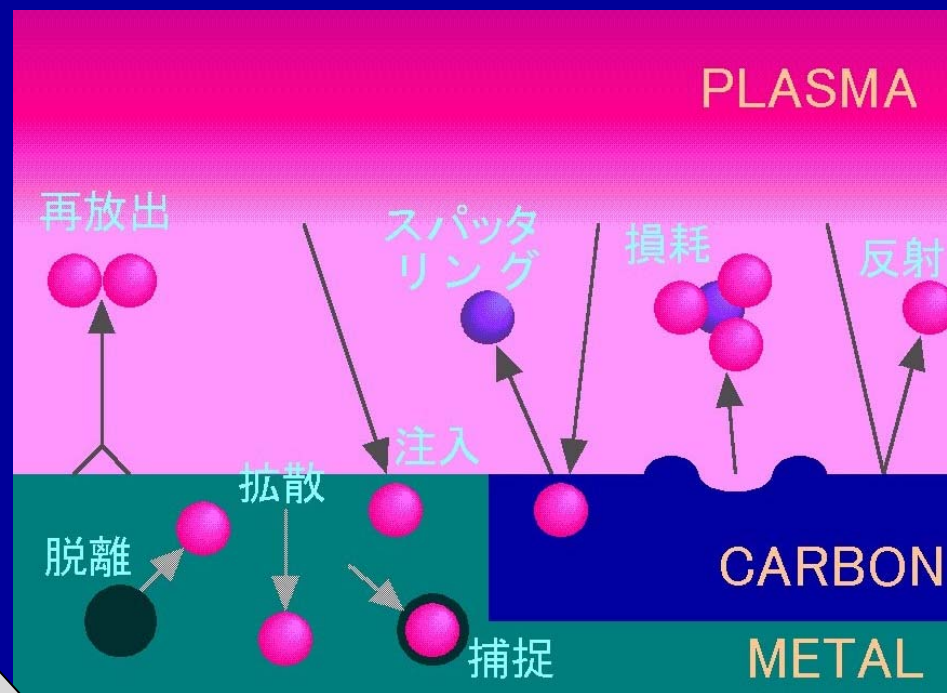
水素吸収による脆化、寿命減少



## 水素発生・吸収のメカニズム解明

## 困っていること

プラズマが壁と反応  
↓  
大量の水素が放出/吸収  
↓  
プラズマが消失

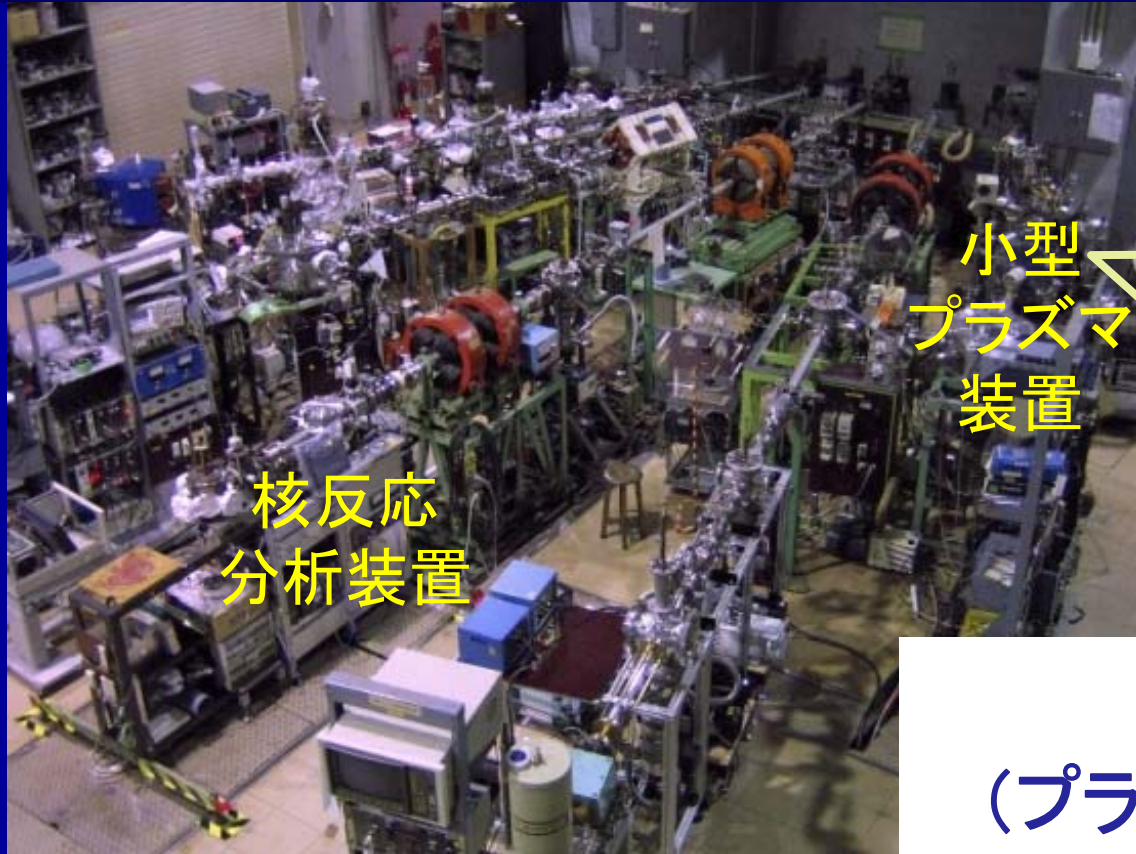


九州大学QUEST装置

目的： 長時間プラズマの実現  
内容： 素過程を探る基礎研究  
+ QUESTと共同研究

# 手段は加速器分析

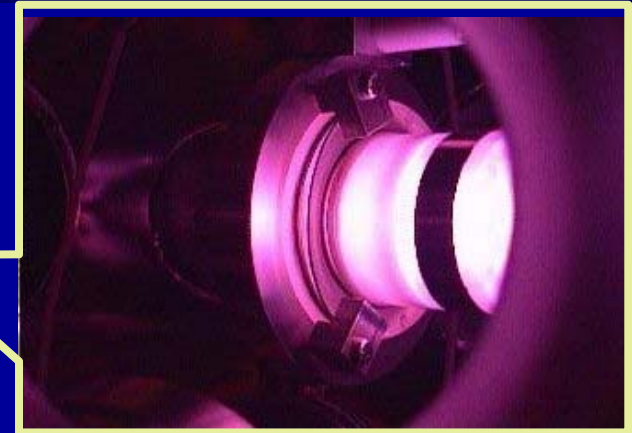
2-1



核反応  
分析装置

加速器ビームライン

小型  
プラズマ  
装置

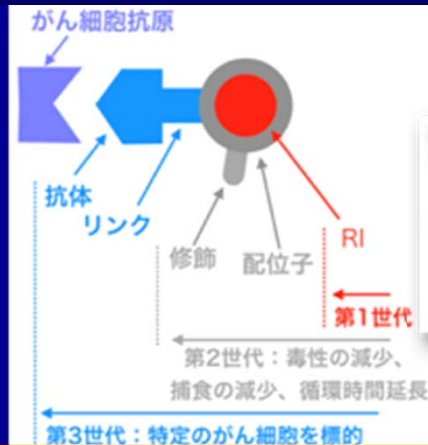


分析槽に特徴  
(プラズマに暴露しながら  
イオンビーム分析)

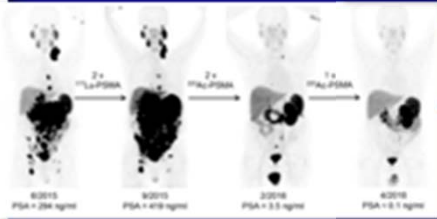


世界唯一のシステム

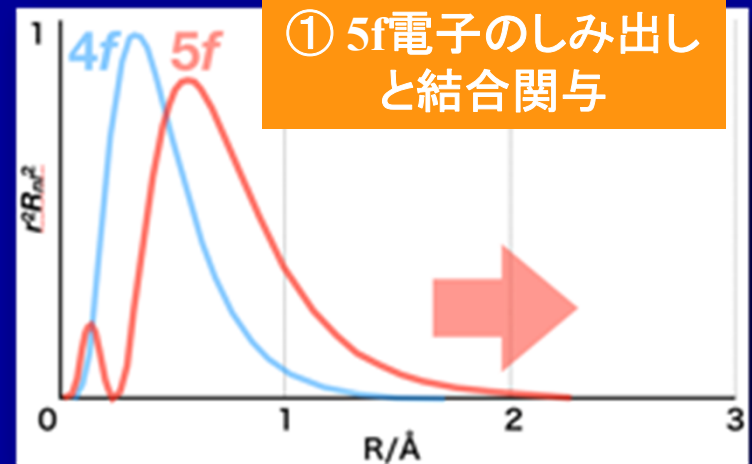
# アクチノイドの興味深い性質を探り、活用し、安定化に寄与 2-2



## 電子的性質



伝播性がんの治験例 [5] Clemens Kratochwil, et al., J. Nucl. Med., (2016).

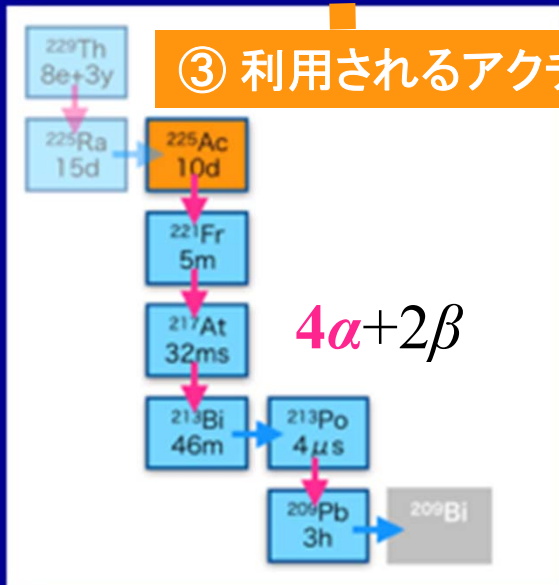


## ② α線核医薬の原理構築と効果検証

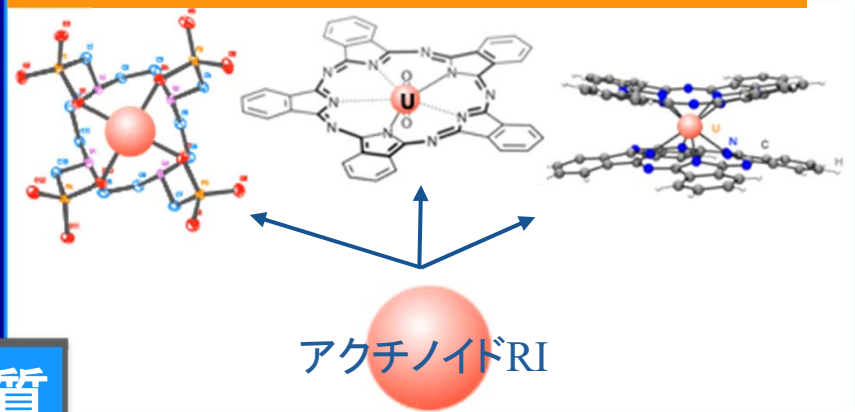
利用

アクチノイド

創成

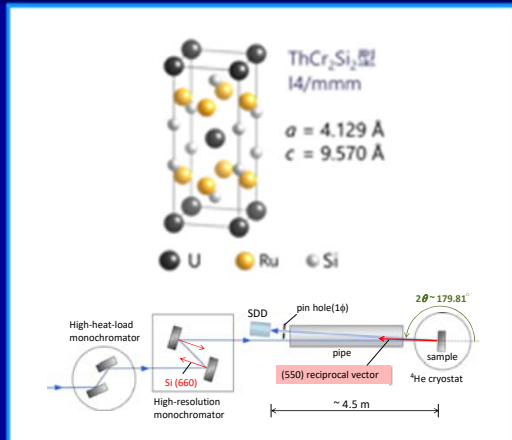


## ④ 新たな安定錯体の創出・物性検討



## 核的性質

# アクチノイドの興味深い性質を探り、活用し、安定化に寄与 2-2

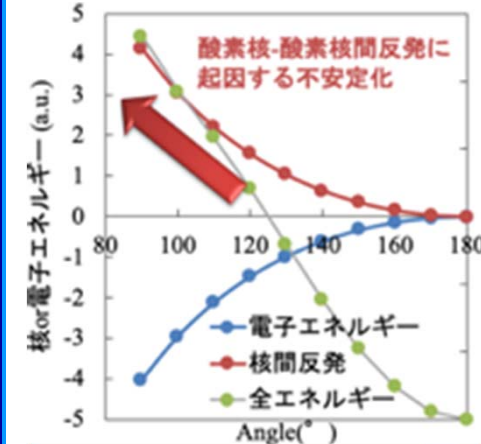


電子的性質

⑧ 相対論的量子計算による研究支援

解析

O=U=O直線構造の解明



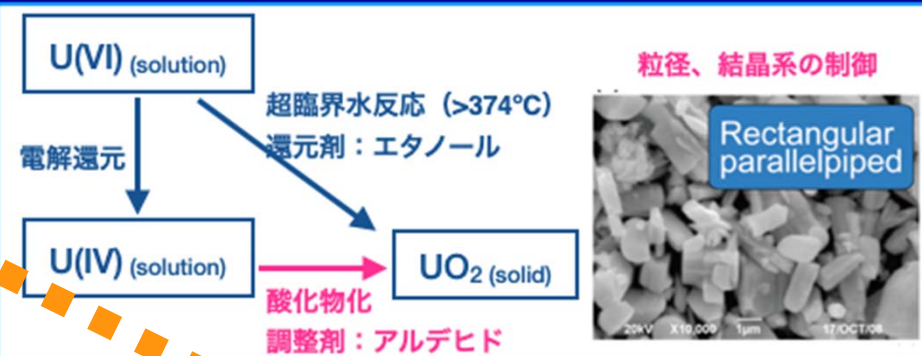
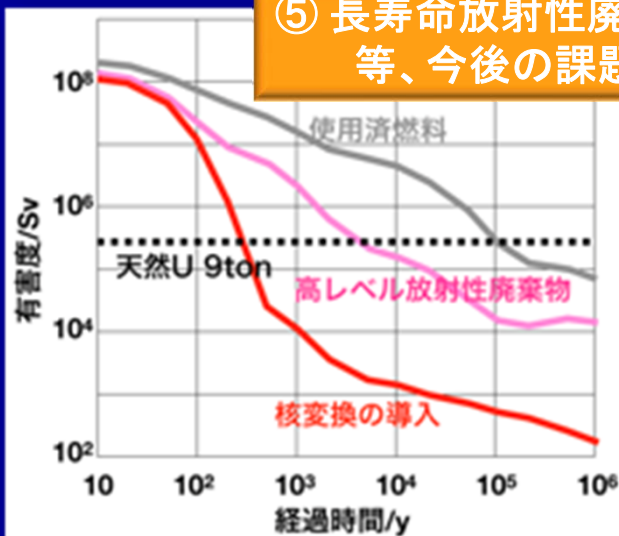
⑦ プロブ(放射光・NMR・中性子)利用研究

利用

アクチノイド

創成

⑤ 長寿命放射性廃棄物・デブリ等、今後の課題対応へ



⑥ 簡便かつ高度制御可能な酸化物調整法の開発

核的性質

# メンバーと研究場所

## 2-1 燃材料工学 (桂地区)

教授	高木 郁二
教授	佐々木隆之
准教授	小林 大志
補佐員	相馬 尚栄

## 2-2 重元素物性化学 (熊取地区)

教授	山村 朝雄
助教	外山 真理
研究員	谷平 美紀
補佐員	菊地友香梨

活動拠点:

桂C3棟 (2-1)

複合原子力科学研究所 (2-2)

実験施設:

- ・桂 C3棟実験室、RI実験施設
- ・宇治 放射実験室(加速器, 核燃料)
- ・熊取 複合原子力科学研究所(RI, 核燃料)  
(装置: 仙台 東北大金研)
- ・国内外(共同利用)



# 第2Grからのメッセージ

運動



日常



余暇



- ・ 実験主体
- ・ OBとの交流が盛ん  
(エネルギー, 機械, 電気, IT, 官公庁など)
- ・ 学力不問、興味が大事



OB会



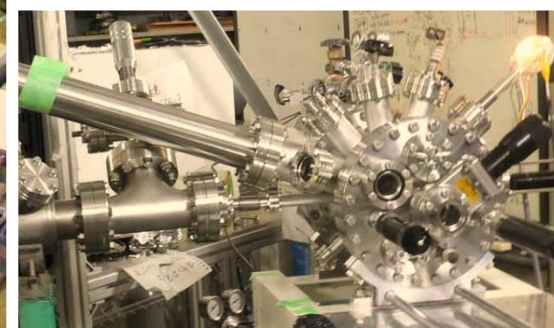
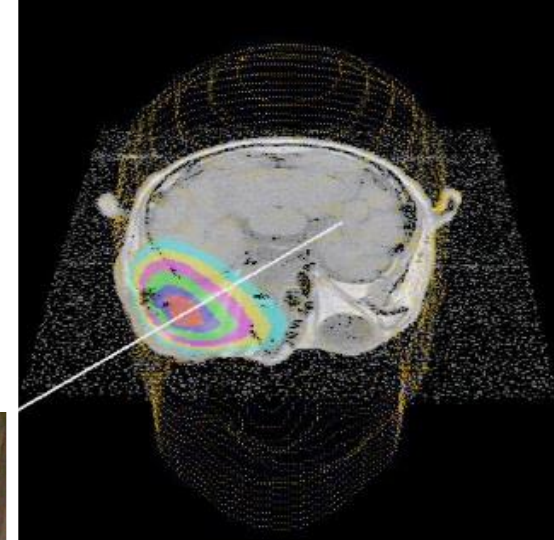
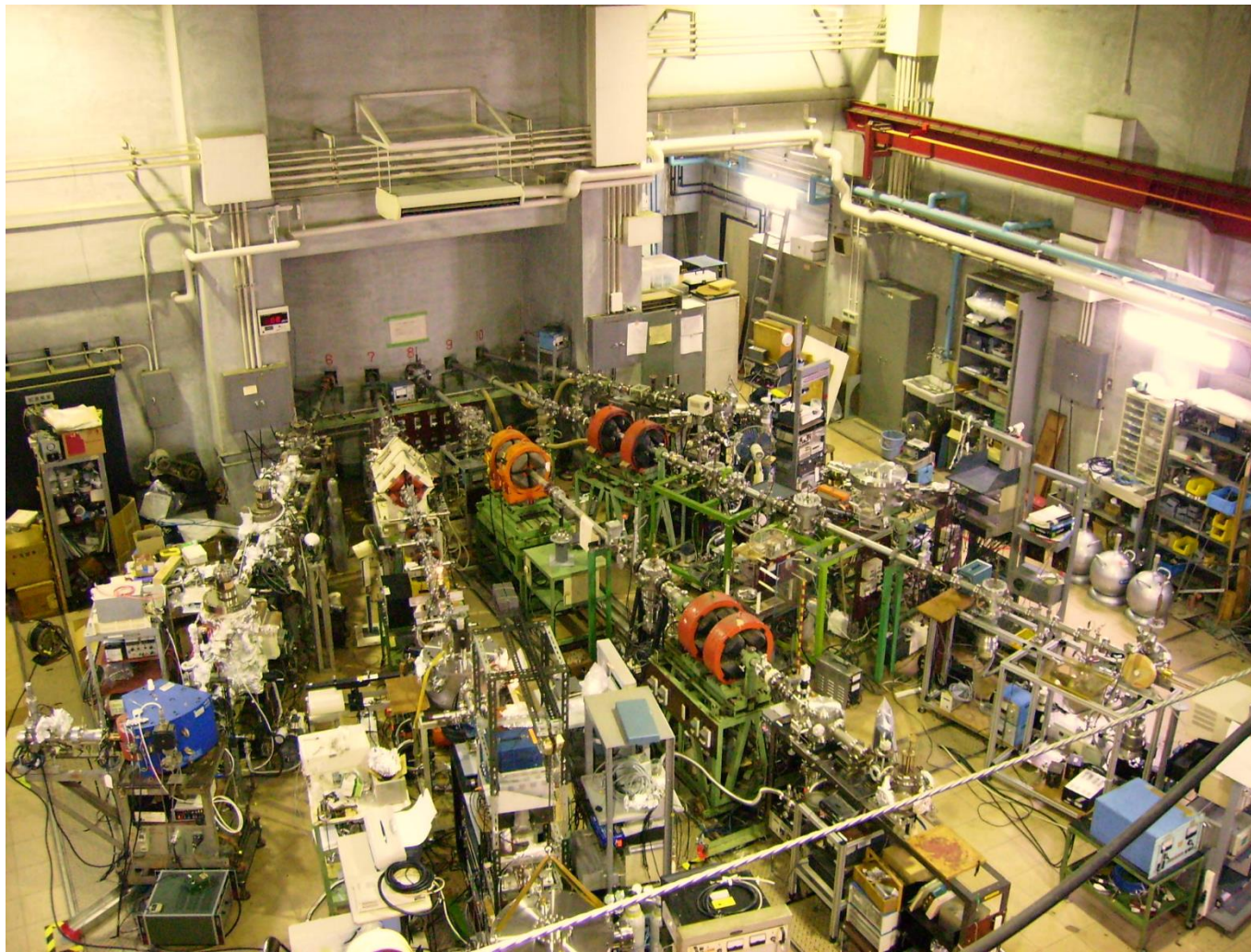
コンパ



実験

# 第3グループ

## 量子システム工学



# 第3グループ

## 量子システム工学

### 3-1 量子ビーム科学

### 3-2 粒子線医学物理学 (熊取)

#### ◆ 基礎研究

齊藤学, 土田秀次, 間嶋拓也, 今井誠

#### ◆ 工学応用研究

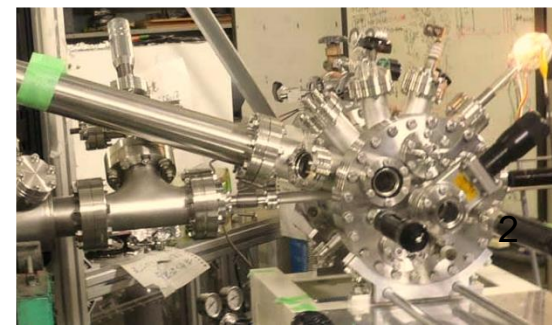
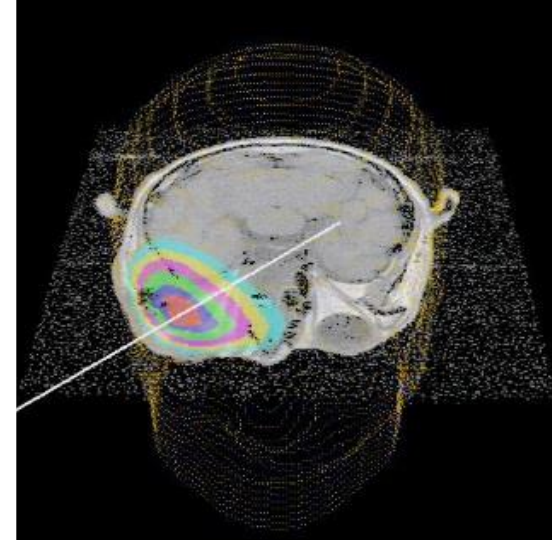
松尾二郎, 瀬木利夫

#### ◆ 医学物理学研究

田中浩基, 櫻井良憲, 高田卓志 (複合原子力科学研究所)

#### 修士博士連携プログラムを実施

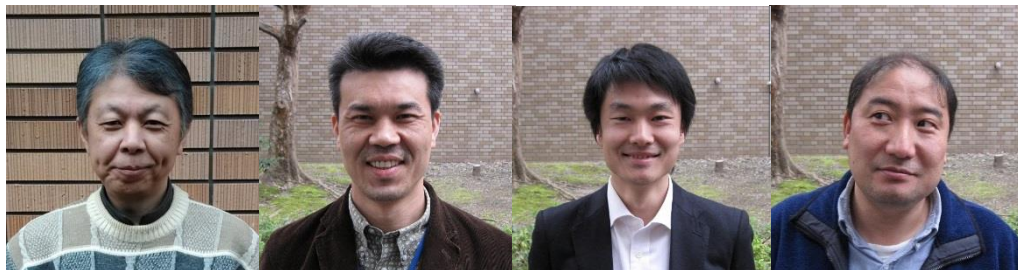
融合工学コース生命・医工融合分野先端医学量子物理領域  
溝脇尚志, 中村光宏 (医学研究科)



# 量子ビーム科学メンバー (3-1)

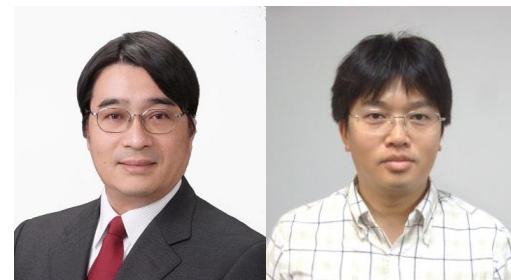
## 基礎研究スタッフ

齊藤学 土田秀次 間嶋拓也 今井誠



## 工学応用研究スタッフ

松尾二郎 瀬木利夫



## 学生メンバー

D2 : 大田 哲郎

D1 : 手塚 智哉

M2 : 宇野 鳴記、竹村 太智、中尾 友彦、秀嶋 雄登  
福崎 利仁、藤田 泰樹

M1 : 中江 駿哉、中溝 珠里、Li Siyao

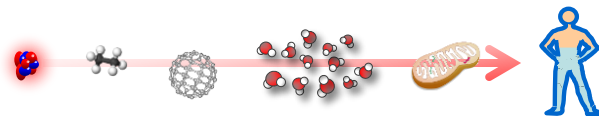
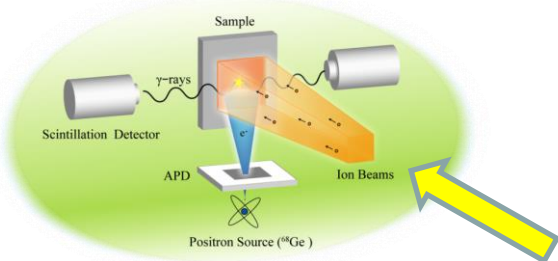
B4 : (4月初旬配属)

# 高速イオンビームを用いた原子分子レベルでの物理・工学

～マイクロな世界を探る“量子ビーム科学”～

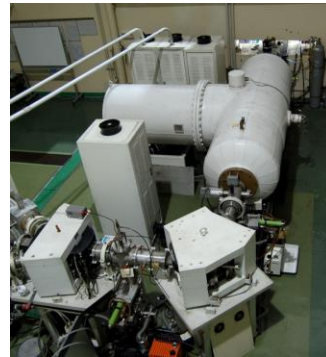
**基礎研究**

リアルタイム観察

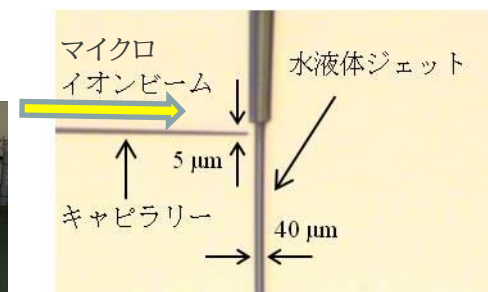


3台のイオン加速器を駆使して  
高速イオンビームを作り出す

イオン照射極端  
環境下での物性  
解明

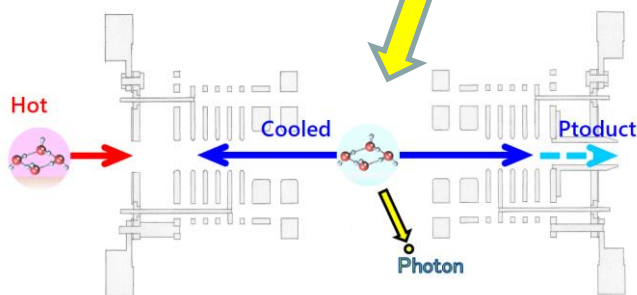


液体物質の  
照射効果研究



液体・液滴ターゲット  
先端技術

宇宙空間分子進化  
への放射線影響



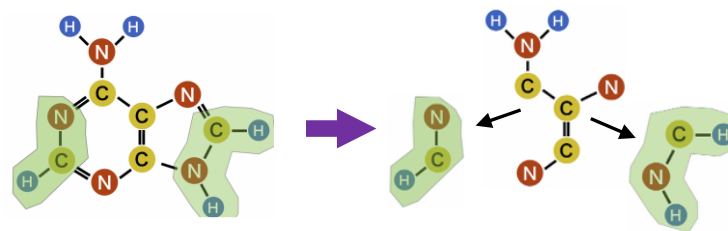
超高真空イオンビームトラップ技術

独自の技術と  
アイデアで  
原子空間の  
反応を解明！

<http://www.nucleng.kyoto-u.ac.jp/Groups/Gr3/>



放射線照射による  
生体分子の損傷研究



分子解離ダイナミクス

# 量子ビームによる革新的ナノプロセス・評価技術の開拓

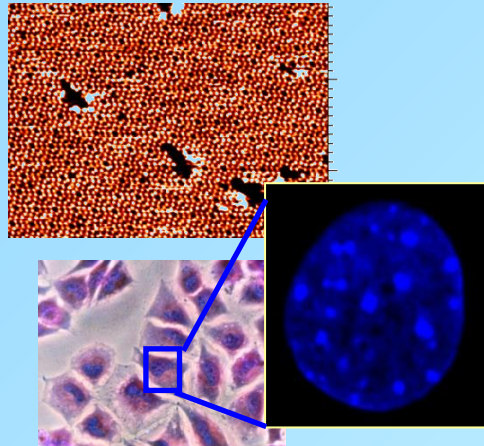
～独創的な量子ビームで未来を拓け～



応用研究

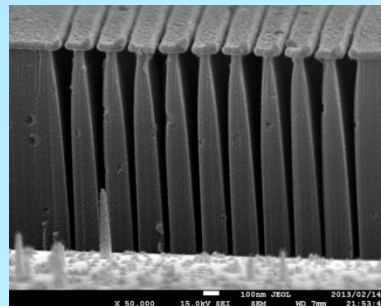
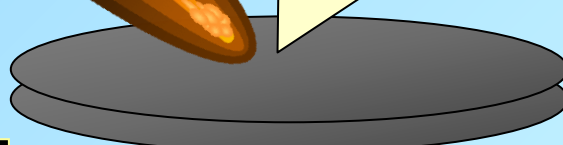
## 先端量子ビーム

クラスターイオン  
MeV重イオン

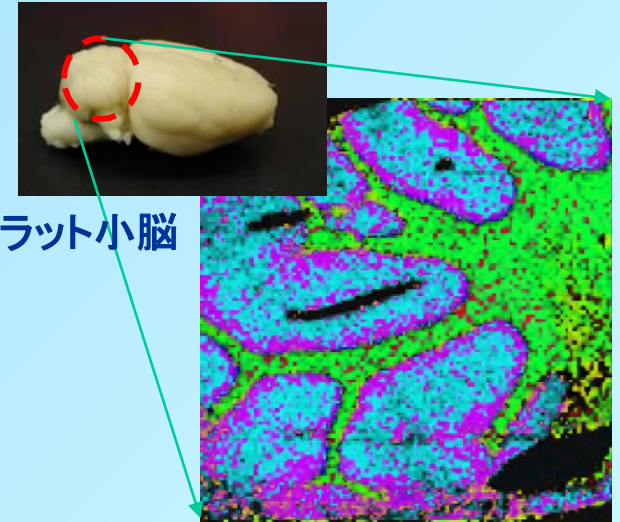


イオンが衝突した表面の  
原子レベル・細胞レベル観察

高速ナノ加工  
高品位多層膜形成  
高分解能SIMS分析  
生体イメージング  
極限物理現象解析

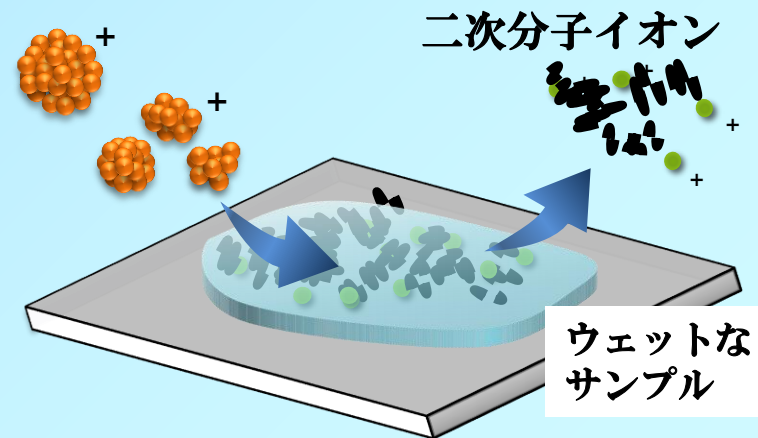


Siの微細加工



ラット小脳

生体試料 質量イメージング分析



二次分子イオン

ウェットな  
サンプル

大気圧SIMS分析

# 量子ビーム科学 研究活動場所

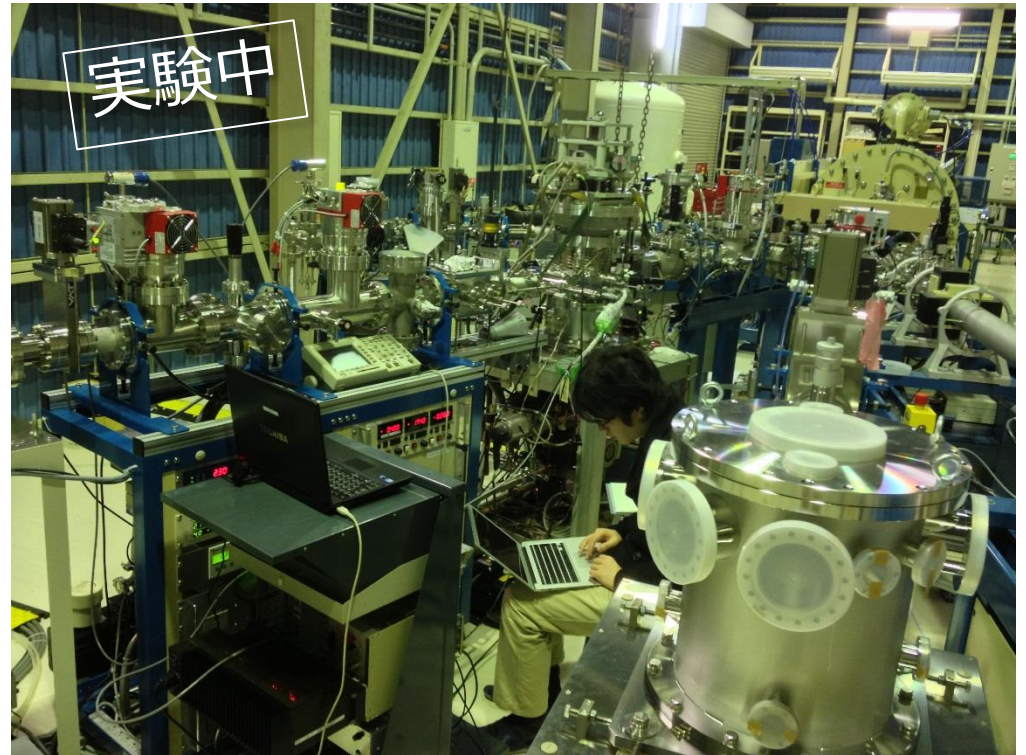
## ■ 桂キャンパス

- ・ 授業（主にM1前期）
- ・ 研究会、セミナー

## ■ 宇治キャンパス

（放射実験室、総合研究実験棟）

- ・ 実験（マシンタイム中心）
- ・ 研究会、セミナー
- ・ 飲み会



宇治-桂間は学内バスで  
約35分

宇治キャンパスのほうが  
交通、生活は何かと便利



# 医学物理学研究メンバー (3-2)

## スタッフ (複合原子力科学研究所)

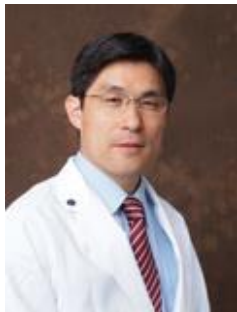
櫻井良憲 田中浩基 高田卓志



D3:松林錦、D2:野尻摩依、鈴木俊介  
D1:成田亮介、ZHAO LIANG、  
PRATEEPKAEW JAKKRIT  
M2:辻絢介  
M1:山崎隆介

## 協カスタッフ (医学研究科)

溝脇尚志 中村光宏



### 放射線治療科HP

<https://radiotherapy.kuhp.kyoto-u.ac.jp/>

### 医学物理グループHP

<https://medicalphysics.hs.med.kyoto-u.ac.jp/>



# 粒子線医学物理学研究分野

複合原子力科学研究所 田中浩基 教授、櫻井良憲 准教授、高田卓志 助教

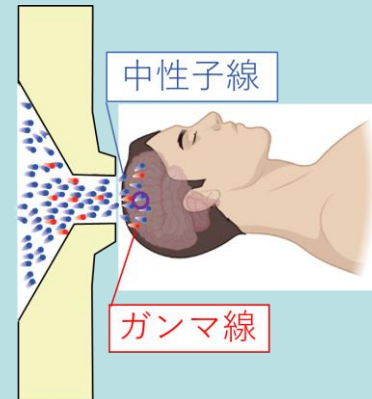
医学物理学とは、放射線医療・粒子線医療を支える物理および工学の総称である。その内容は多岐にわたるが、重要な使命は「放射線治療法の高度化の促進」と「品質保証」である。本研究分野では、粒子線治療法の一つである「ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)」に重点を置いて、医学物理学および物理工学的課題について研究を行っている。

BNCT(Boron Neutron Capture Therapy)  
癌細胞破壊の選択性に優れている。

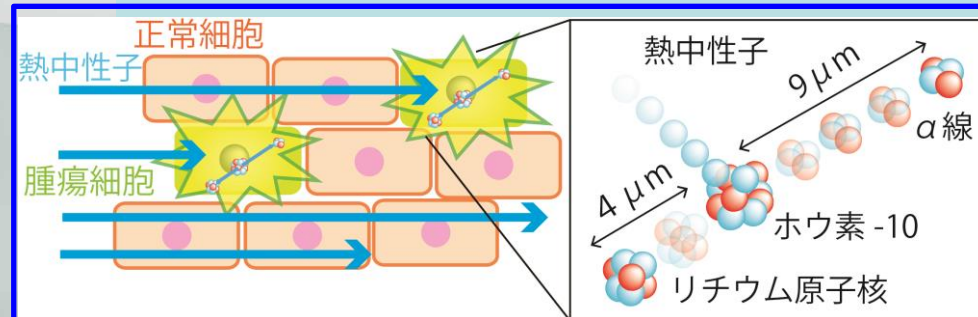
BNCT治療システム

サイクロトロン

ベリリウム



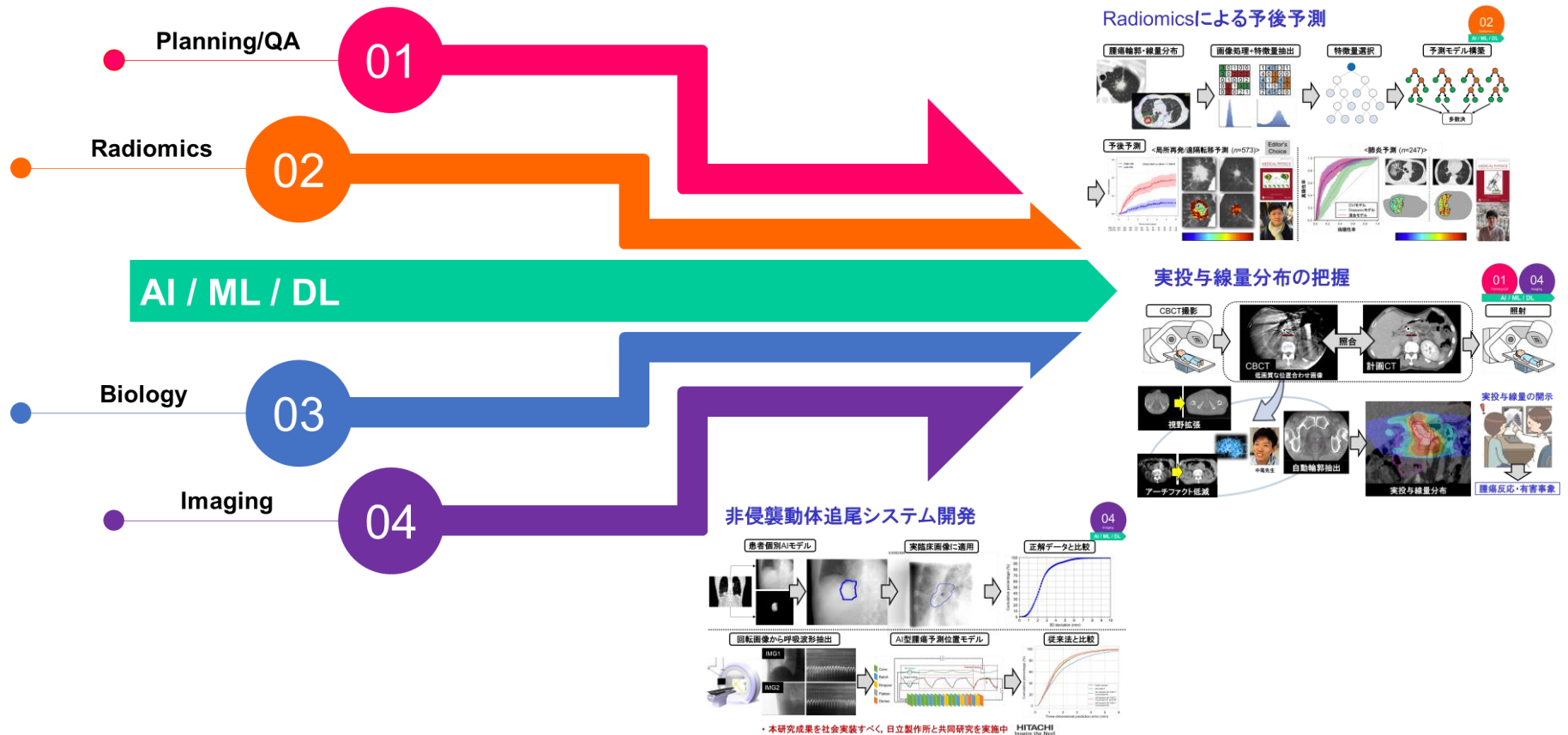
中性子を  
効率良く発生  
最適に制御  
正確に検出  
適切に評価



# 京大病院放射線治療科 医学物理グループ

放射線によるがん治療の最前線で研究・臨床研修を行います

※工学研究科 融合工学コースに在籍しながら，研究活動は京大病院放射線治療科内で実施  
(指導教員の確認が必要です)



医療に対する興味と熱意のある人を歓迎します！

# 進路先（ここ5年）

## 【博士課程修了】

北大（ポスドク）、大阪医科大学、日立製作所、住友重機械工業、イオンテクノセンター、原子燃料工業、インテグラルテクノロジー

## 【修士課程修了】

日本原子力研究開発機構、日立製作所、住友重機械工業、三菱重工業、島津製作所、キオクシア、関西電力、東京電力、JXTGエネルギー、パナソニック、三菱電機、日立ハイテク、宇宙技術開発株式会社、フジキン、永大化工、東京海上、三井住友銀行、大和証券

第3グループに対するメール問い合わせ：

[saito@nucleng.kyoto-u.ac.jp](mailto:saito@nucleng.kyoto-u.ac.jp)

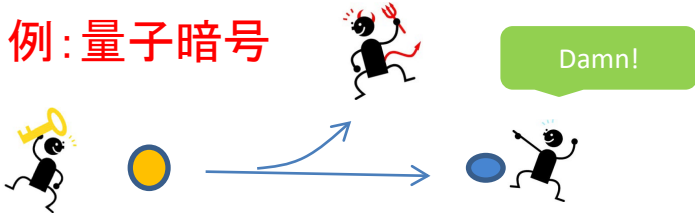
# 4-1: 量子物理学研究室

理論の研究室です

## ●量子情報理論

量子論を用いるとどのような情報処理ができるか

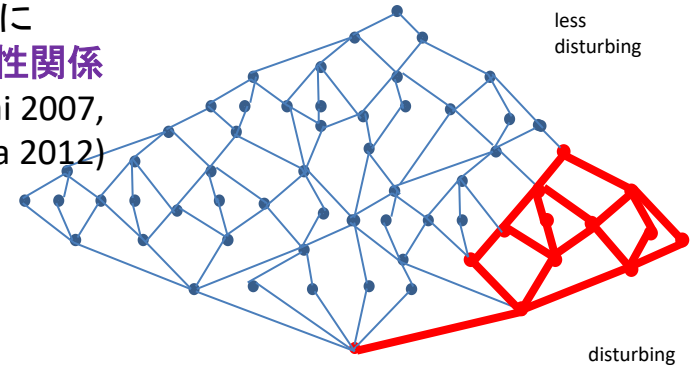
例: 量子暗号



## ●量子測定理論

どんな物理量が同時測定できるのか

一般的物理量に  
対する**不確定性関係**  
(Miyadera, Imai 2007,  
2008, Miyadera 2012)



物理量Aを測定するチャンネルの順序構造  
(Heinosaari, Miyadera 2013)

量子状態はコピーできない!

不確定性関係の  
情報理論的定式化  
(Miyadera, Imai, 2006)

量子測定  
量子情報  
量子暗号  
量子計算



量子アルゴリズムの情報理論  
量子論理  
量子カオス  
量子非平衡状態  
量子多体系のデコヒーレンス  
量子論における自発的対称性の破れ  
量子ダイナミカルエントロピー  
量子化学における制御  
量子細線(メソスコピック系)  
量子マルコフ鎖  
...

## 量子性・量子効果

古典的対応物がないもの  
古典的描像では説明できないもの

- 一般確率論
- 不確定性関係
- 量子コンピュータ...

修士論文  
の例

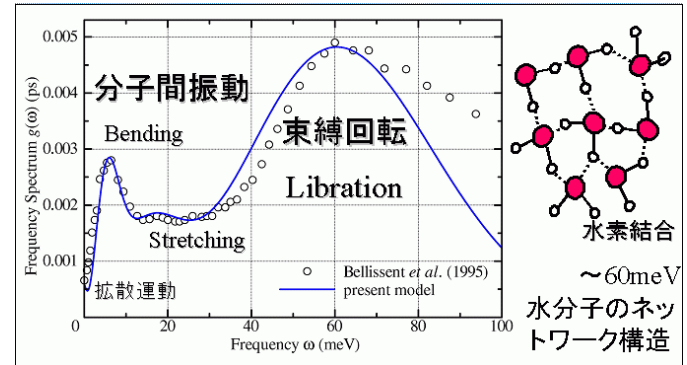
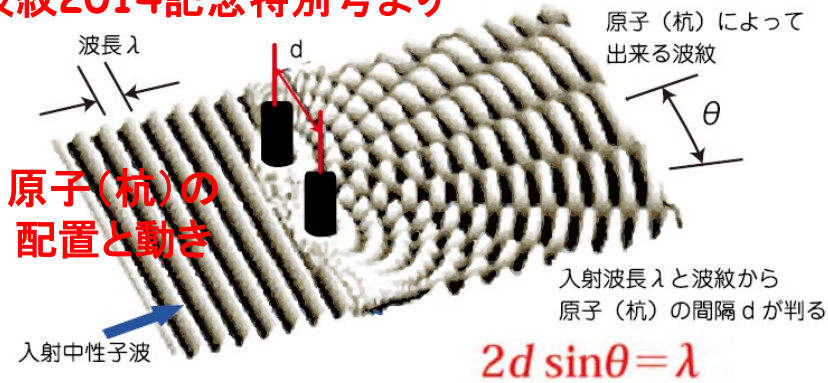
お問い合わせはお気軽に宮寺・小暮へ

[miyadera@nucleng.kyoto-u.ac.jp](mailto:miyadera@nucleng.kyoto-u.ac.jp) [ogure@nucleng.kyoto-u.ac.jp](mailto:ogure@nucleng.kyoto-u.ac.jp)

# 4-2 中性子工学研究室 (中性子)

## 低速中性子と物質の相互作用

波紋2014記念特別号より

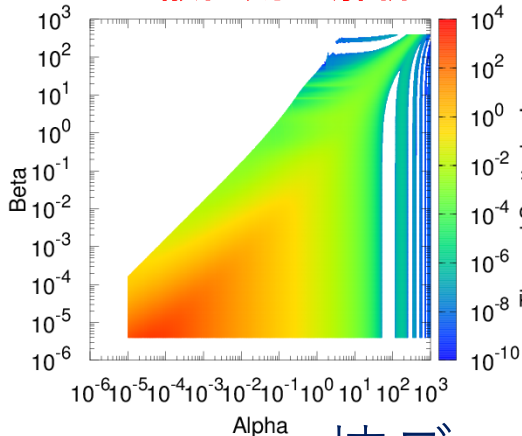


中性子散乱の物質研究利用

減速材の分子シミュレーション

## 低速中性子の発生

散乱則の解析

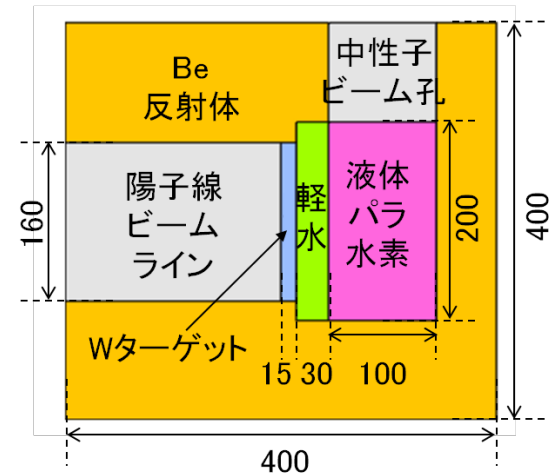


核データ標準フォーマット

```

1 | Thermal Neutron Scattering Law Data generated by KUNSCA | 101 0 01
2 | 1.001000+3 9.991673-1 | -1 | 0 | 99 | 1 101 1451 14
3 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 0 | 6 101 1451 24
4 | 1.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 12 | 0 101 1451 34
5 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 3 | 3 101 1451 44
6 | H-H2O KYOTO-U EVAL-Sep17 yutaka_abe@nucleng.kyoto-u.ac.jp | 101 1451 54
7 | 10.1016/j.nima.2013.10.024 DIST-Sep17 REV0-Sep17 20170907 | 101 1451 64
8 | ---- Material: [H] in [H2O] at [100.0]K | 101 1451 74
9 | ---- Generated by KUNSCA (Compiled on [Sep 6 2017] [16:05:03]) | 101 1451 84
10 | ---- THERMAL NEUTRON SCATTERING DATA IN ENDF-6 FORMAT | 101 1451 94
11 | 1 | 451 | 12 | 1 101 1451 104
12 | 7 | 2 | 4 | 1 101 1451 114
13 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 0 | 0 101 1451 124
14 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 0 | 0 101 1 0999994
15 | 1.001000+3 9.991673-1 | 2 | 0 | 0 | 0 101 7 2 14
16 | 1.640566+2 0.000000+0 | 0 | 0 | 1 | 1 101 7 2 24
17 | 1 | 2 | 1 | 101 7 2 34
18 | 1.000000+2 1.918447+1 | 2 | 0 | 0 | 0 101 7 2 44
19 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 0 | 0 101 7 0999994
20 | 1.001000+3 9.991673-1 | 0 | 1 | 1 | 0 101 7 4 14
21 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 12 | 1 101 7 4 24
22 | 4.097989+1 3.952569+2 9.991673-1 1.000000+1 0.000000+0 2.000000+0 | 101 7 4 34
23 | 1.000000+0 3.744801+0 1.585751+1 0.000000+0 0.000000+0 1.000000+0 | 101 7 4 44
24 | 0.000000+0 0.000000+0 | 0 | 0 | 1 | 803 101 7 4 54
25 | 803 | 2 | 1 | 101 7 4 64
26 | 1.000000+2 3.952569+2 | 0 | 1 | 801 101 7 4 74
27 | 801 | 2 | 1 | 101 7 4 84
28 | 1.000000+3 9.991673-1 | 1.029478-5 9.999900+4 1.420765-8 9.999900+4 | 101 7 4 94
29 | 1.071519-9 9.999900+4 1.082478-5 9.999900+4 1.122076-5 9.999900+4 | 101 7 4 104
30 | 1.146154-5 9.999900+4 1.174898-5 9.999900+4 1.202264-5 9.999900+4 | 101 7 4 114
    
```

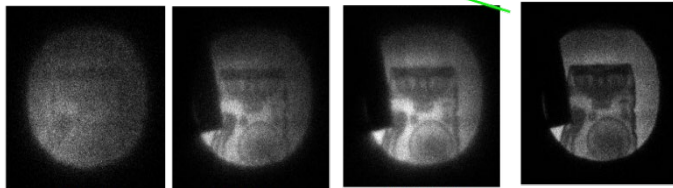
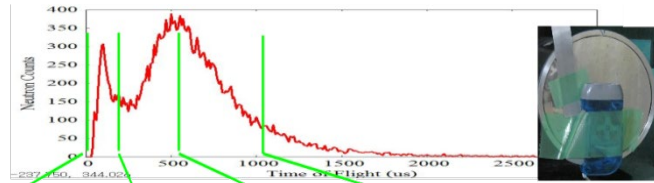
核データの整備



冷中性子源設計への応用

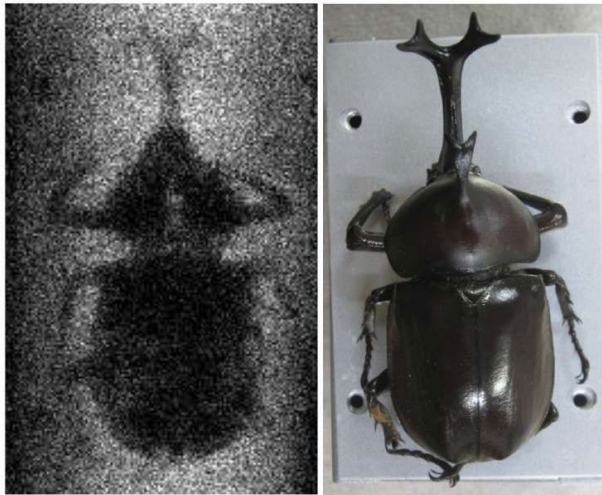
# 4-2 中性子工学研究室 (中性子)

## 低速中性子利用

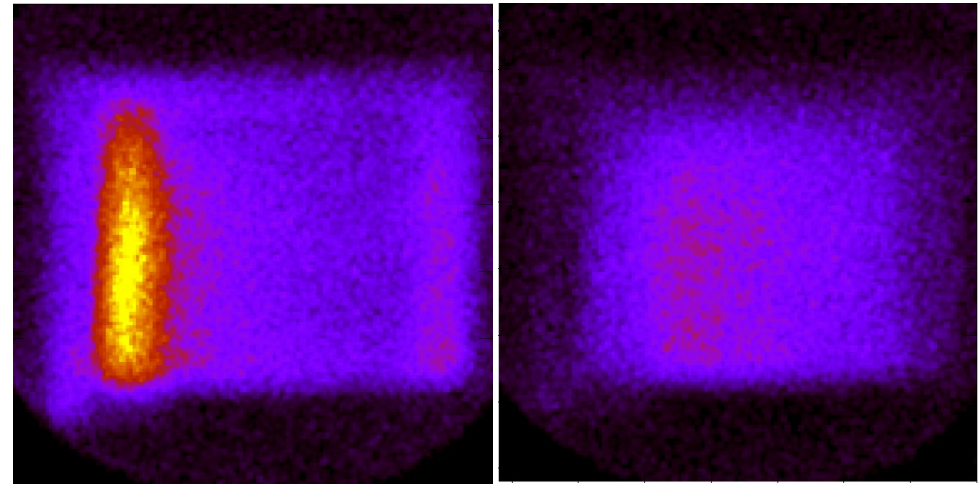


0~200μs    200~500μs    500~1000μs    1000~2000μs  
--~0.063nm    0.063~0.157nm    0.157~0.313nm    0.313~6.26nm

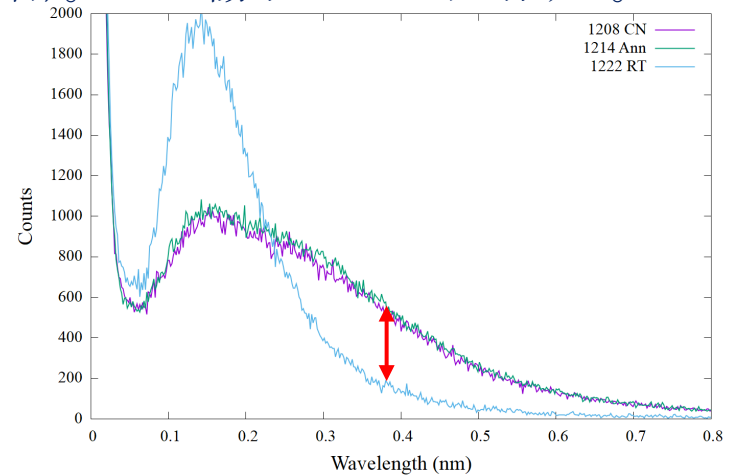
中性子透過像撮影 (非破壊検査)



カブトムシの中性子画像(左)と光学写真(右)



減速材ひゅうお面での中性子の分布。短波長(左)と長波長(右)。左から陽子ビームが入射する。



減速材低温化による長波長中性子の増大

# ビーム物理研究室（協力講座：4-3）

複合原子力科学研究所  
原子力基礎工学研究部門  
研究炉安全管理工学研究分野

准教授：石 禎浩  
准教授：高橋俊晴  
助教：上杉智教  
助教：栗山靖敏  
特任教授：森 義治

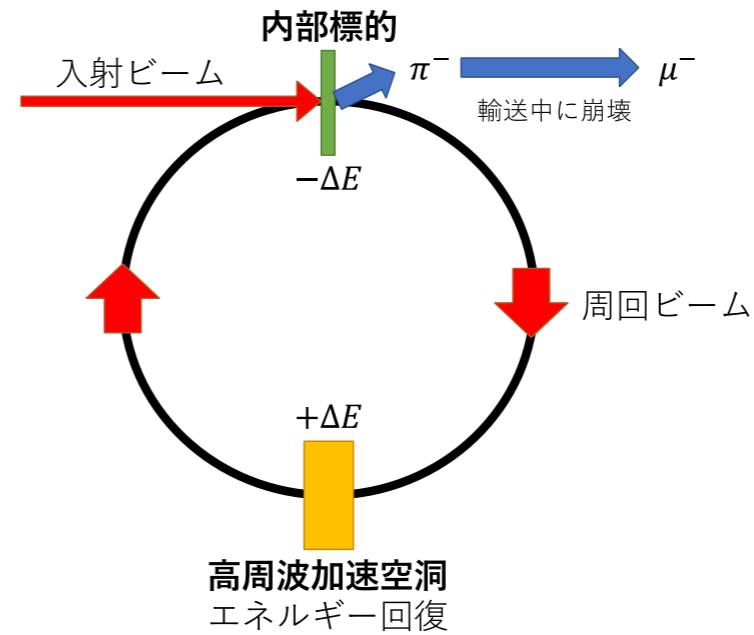
# 主な研究テーマ

## 1. FFAGシンクロトロンを用いた研究



FFAG (固定磁場強収束)シンクロトロン:  
陽子ビームを 150 MeV まで加速。高繰り返し・短パルス(30 Hz・100 ns)ビームの特徴を生かし、原子核物理・医療等の実験に利用しています。

## 2. ミュオン生成に関する研究

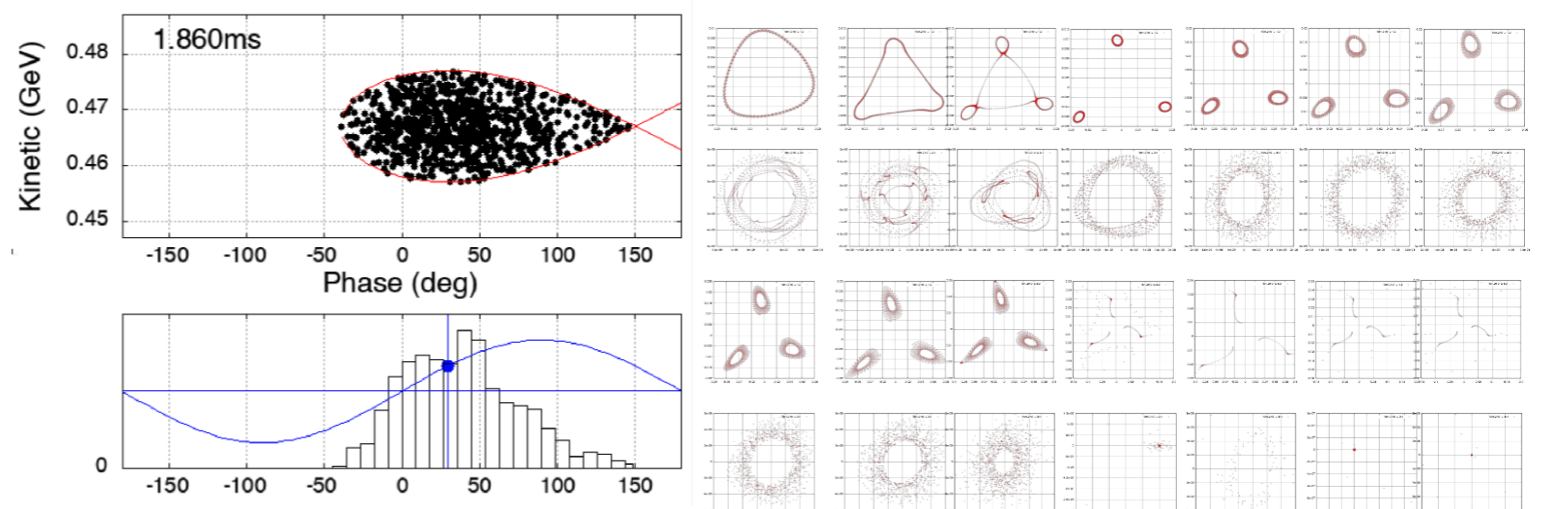


内部ターゲットで  
パイオンを生成  
パイオン(崩壊)  
→ミュオン

ミュオン核変換による放射能除去、ミュオン触媒核融合等を目的としたミュオン生成に関する研究を実施しています。

## 3. ビーム力学に関する研究

加速器物理学のテーマである非線形ビーム動力学およびビームの集団的扱いに関する研究: コンピュータシミュレーションおよび実際に稼働中のFFAGシンクロトロンを用いたビームスタディーを行っています。





## 主な研究テーマ（その4）

電子線形加速器からの高エネルギー電子ビームを用いて、ミリ波からテラヘルツ波の波長領域における新たな大強度光源の開発と分光法の開発を行うとともに、光物性、顕微イメージング分光などへの応用研究を行っている。



## **(4-3:原子炉安全)**

### **・原子核工学専攻 中性子源工学分野**

- ・複合原子力科学研究所(@熊取町)**
- ・原子力基礎科学研究本部・原子力基礎工学研究分野**
- ・研究炉安全管理工学研究分野**

**教授：堀 順一(核データ測定・評価)**

**准教授：山本俊弘(原子炉物理、臨界安全)**

**助教：沈 秀中(熱水力・気液二相流実験)**

**寺田和司(核データ測定・評価)**

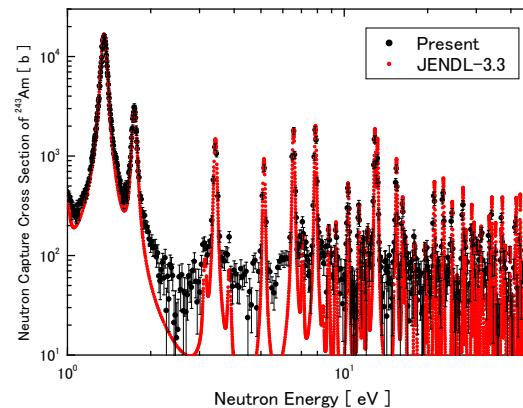
# 放射光・中性子の利用から原子炉実験、原子力施設の 臨界安全性評価まで広範囲な研究を実施

## ～ ミクロからマクロまで ～

### ミクロ: 基礎データの取得・評価



$R(E) = \sigma(E)\phi(E)$   
 加速器を用いた  
 核データの測定



$^{243}\text{Am}$  の中性子捕獲断面積

我が国の標準  
 核データライブラリ(JENDL)への  
 データ提供

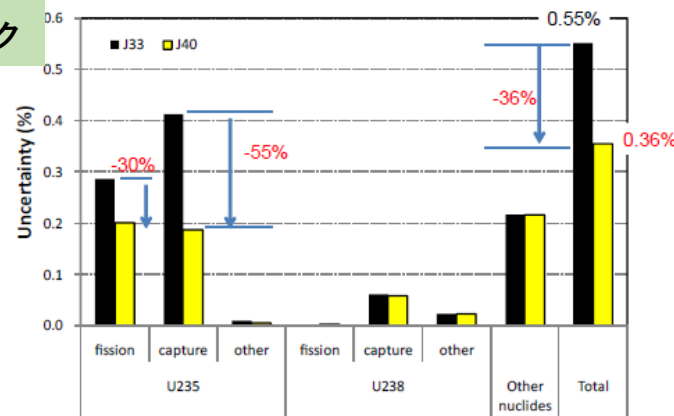
新たな核データの提供

核データへの  
 フィードバック

### マクロ: 原子炉等への応用



$R = \int \sigma(E)\phi(E)dE$   
 原子炉を用いた  
 核特性の測定



核設計手法の検証  
 原子炉安全性の評価

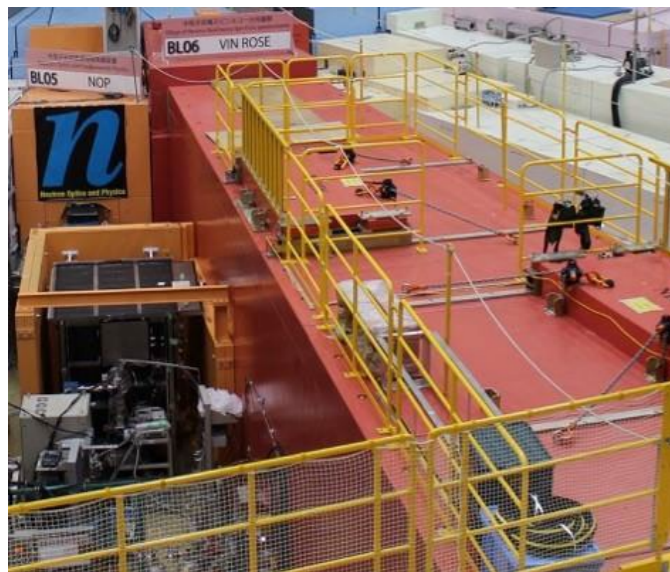
例: 炉心核特性の不確かさを評価

日本の大学が所有している唯一の出力炉

# 中性子応用光学研究室（協力講座：4-4）

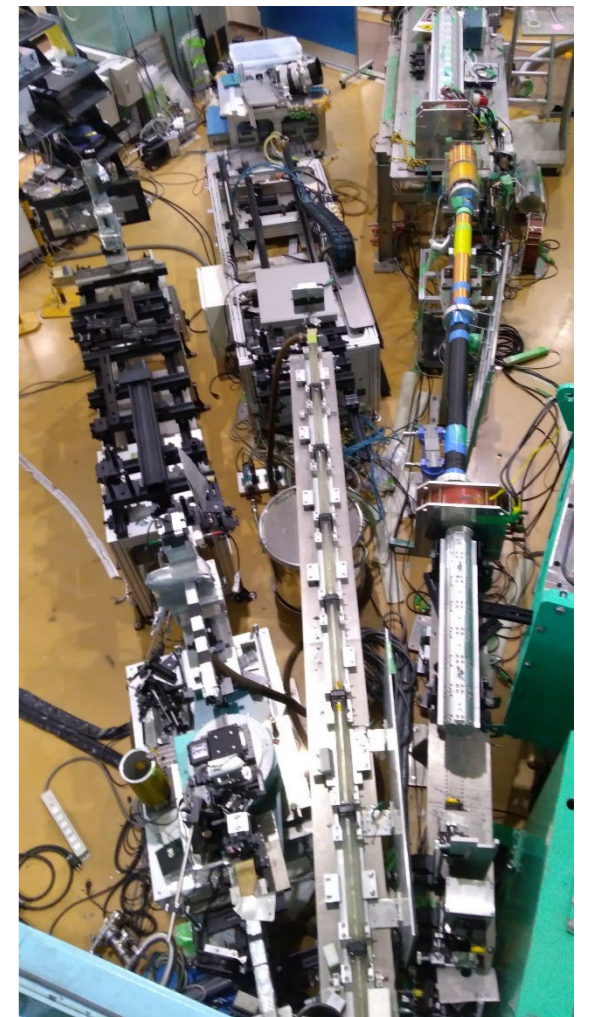
複合原子力科学研究所  
粒子線基礎物性研究部門  
中性子応用光学研究分野

VIN ROSE@J-PARC MLF

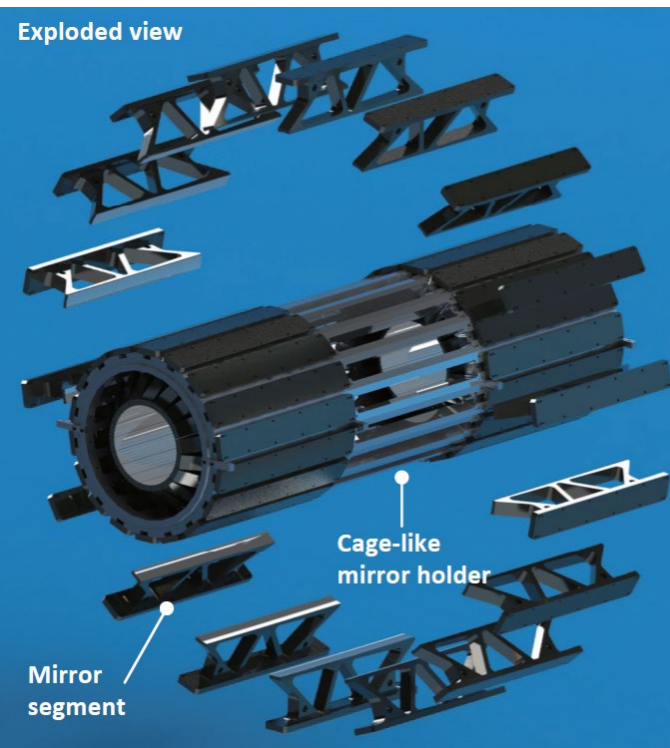


教授：日野正裕  
助教：中村秀仁

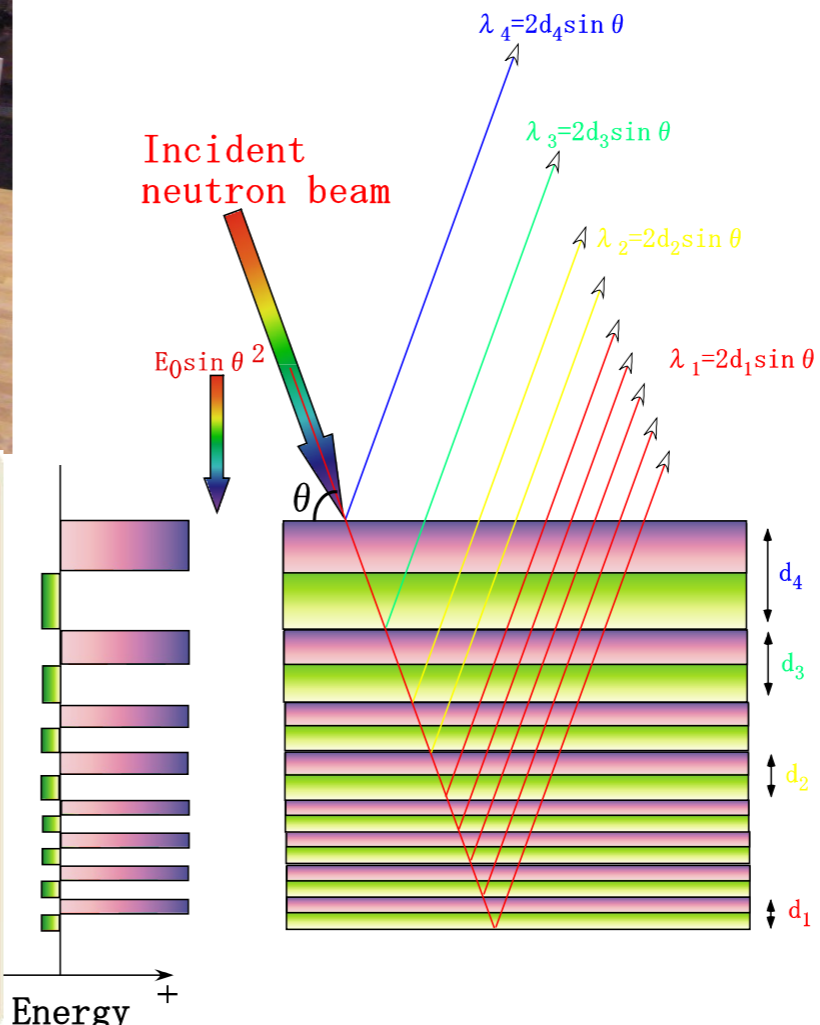
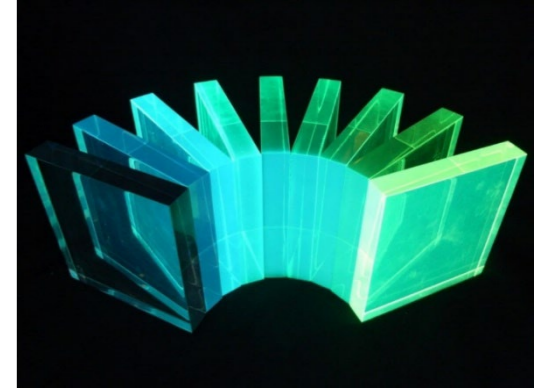
MINE@JRR-3



CN-3@KUR



# 中性子光学技術を活かした新奇分光器 及び研究施設の実現へ向けて



低速中性子の物質「波」に注目した光学素子開発では世界最高レベルで、中性子集光や精密スピン制御を通じて、新たな分光法や量子力学実験の実現を目指しています。

J-PARCやJRR-3等の大強度中性子源施設と広く共同利用研究を行っています。最近では、**福井県敦賀市「もんじゅサイト」新試験研究炉**への幅広い利用に関する検討を精力的に進めています。また中性子に限らず、放射線シンチレーション研究等も進めています。