

# 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

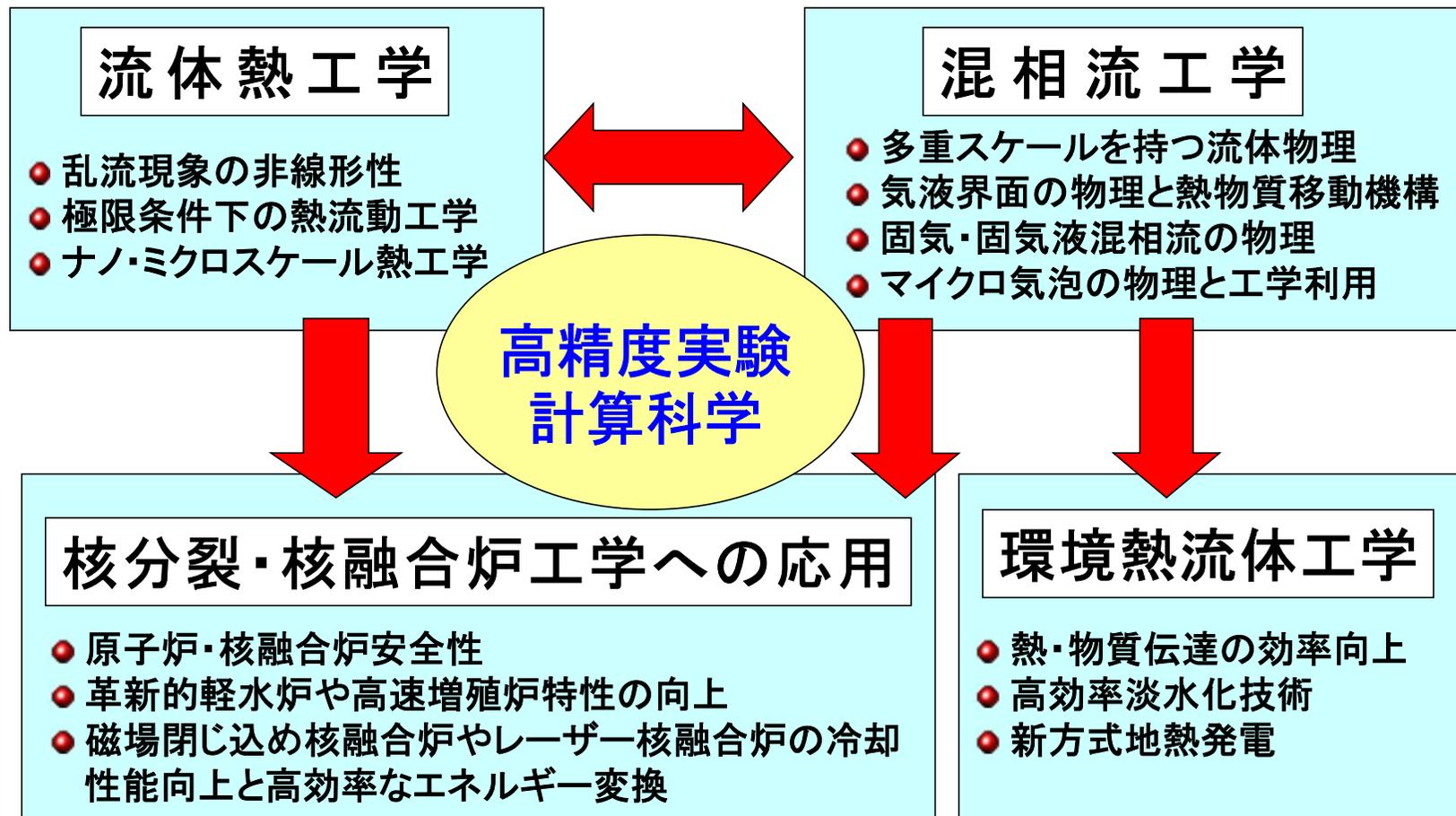
## 1-2 プラズマ物理工学

核融合プラズマ、プラズマ応用

村上

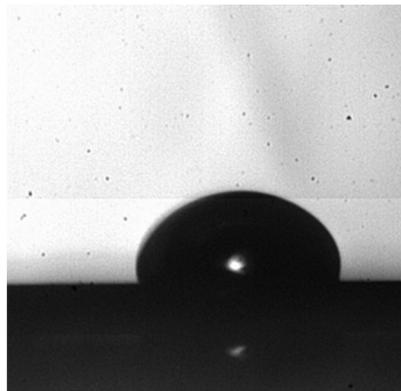
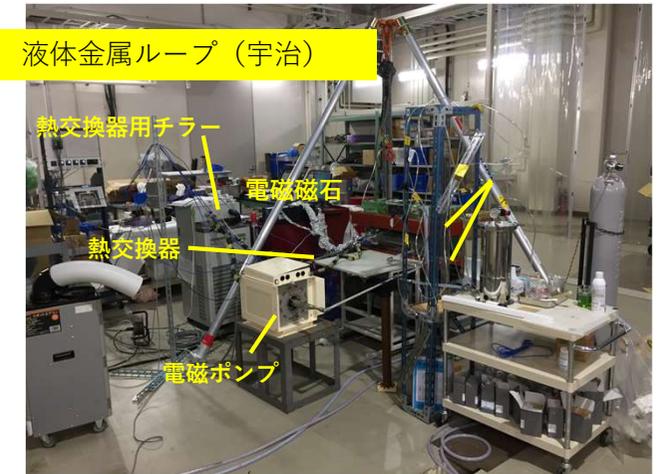
# 1-1 エネルギー変換工学分野

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について学修・研究しています

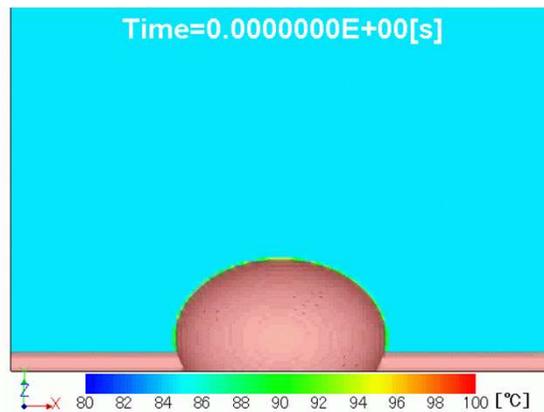


# 流体熱工学の基礎的な実験・シミュレーション研究

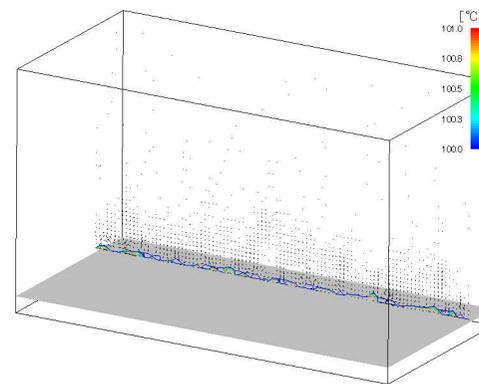
- 異相界面における熱物質輸送現象と乱流現象
- 数値流体力学の新展開
- 微細二相流現象、固気液三相流の解明とその応用
- 液体金属MHD熱流動
- 固体粒子群と乱流の相互作用
- 機能・知能流体の基礎研究と開発、など



実験



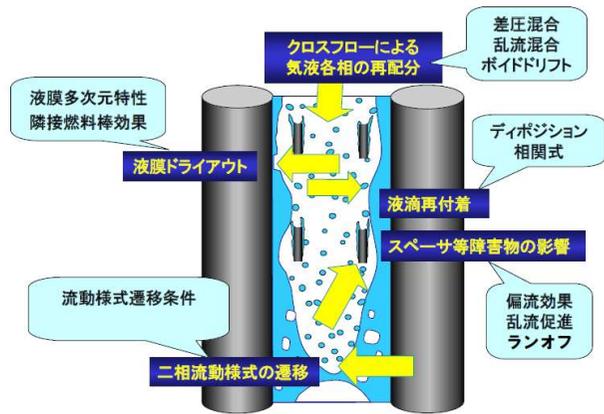
シミュレーション



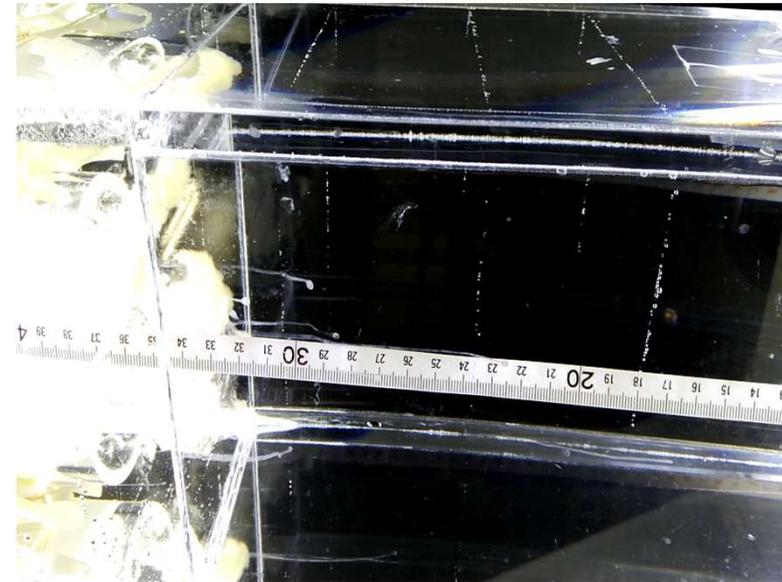
自由表面流ループ  
(宇治)

# 核分裂炉内の熱流体・安全工学の研究

例えば、汎用の沸騰遷移予測手法を確立するため、燃料集合体の気液二相流動特性に関する研究



沸騰水型原子炉  
(Boiling Water Reactor : BWR)  
燃料集合体

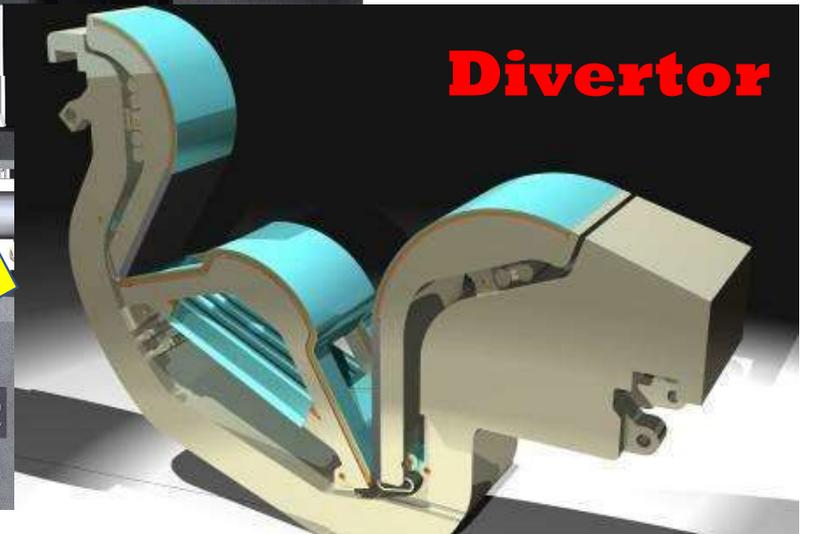
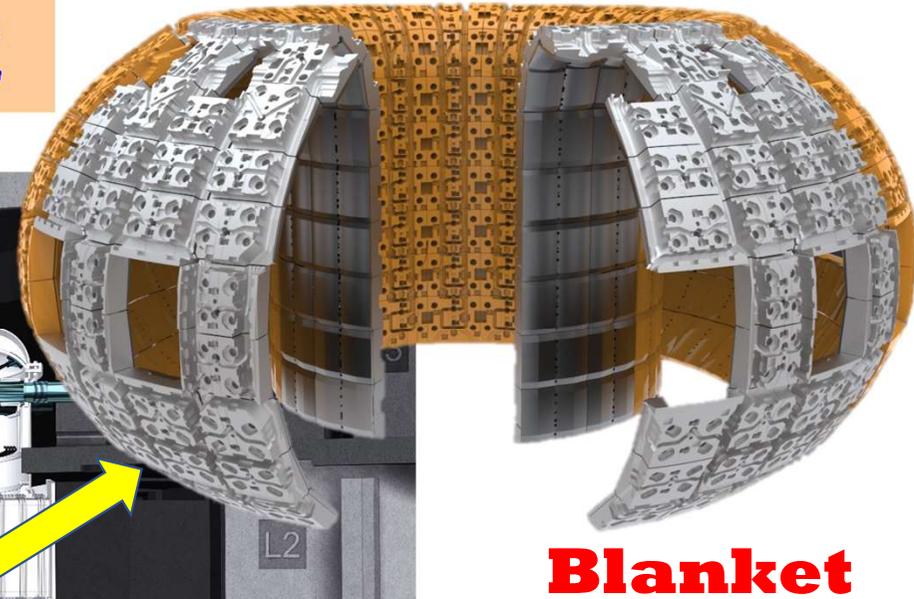
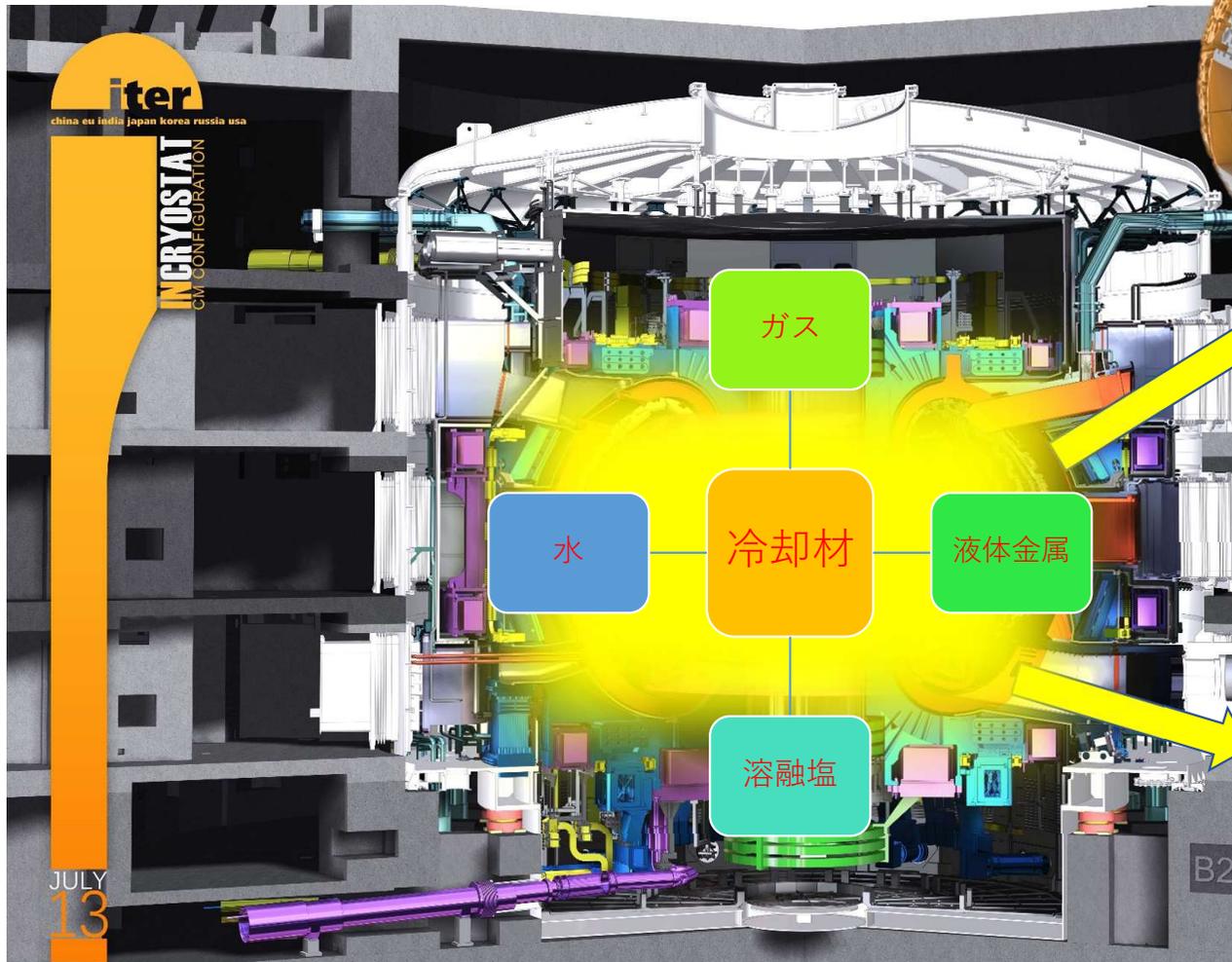


$\Delta T_{\text{sub}} = 0.0 \text{ K}$



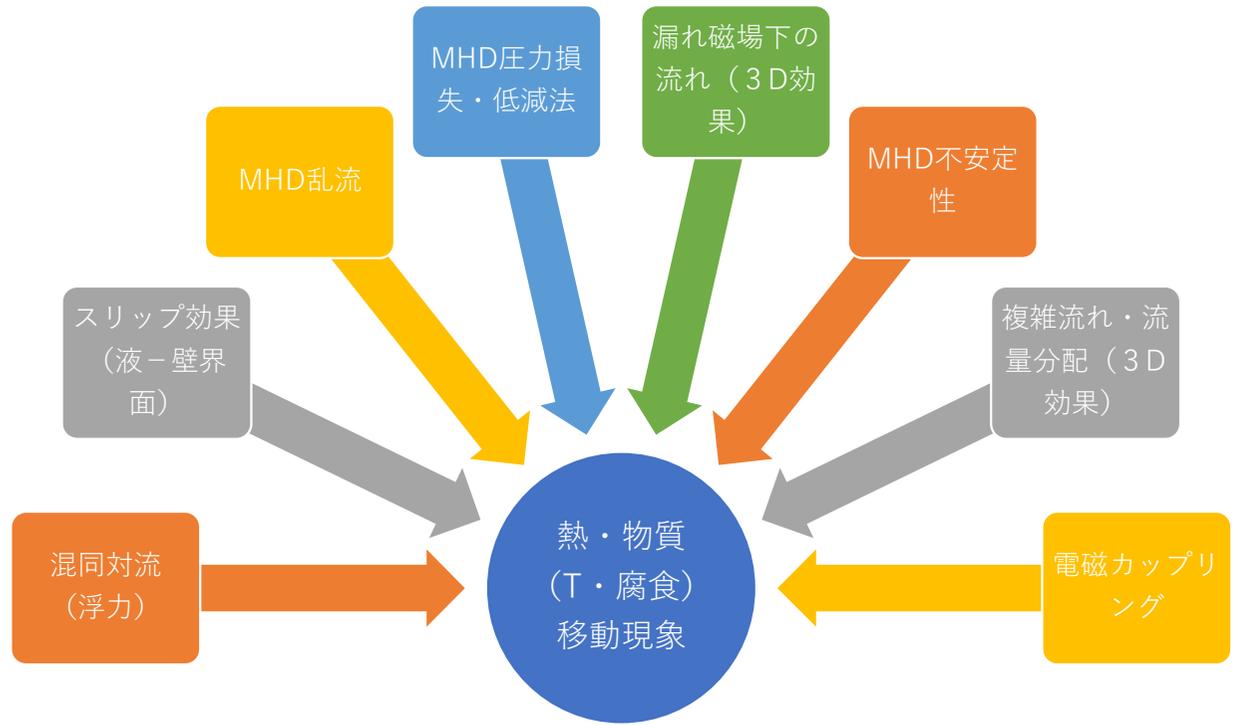
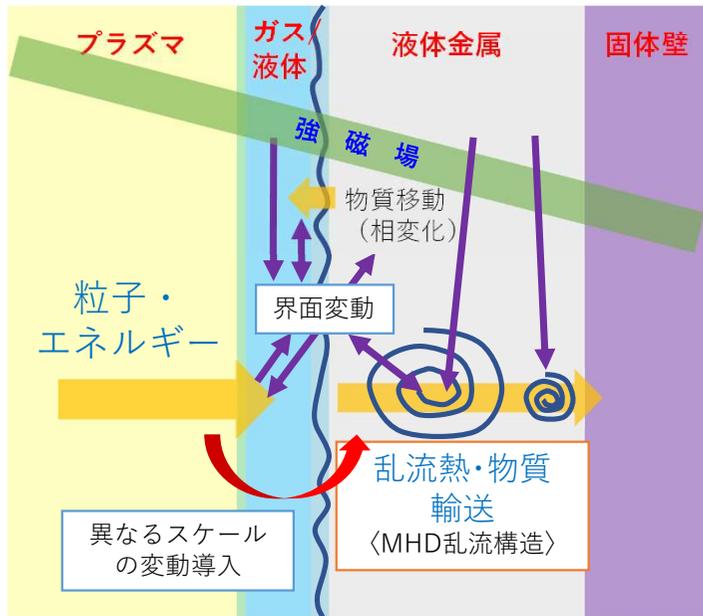
$\Delta T_{\text{sub}} = 4.9 \text{ K}$

# 核融合炉の流体熱工学・安全性の研究

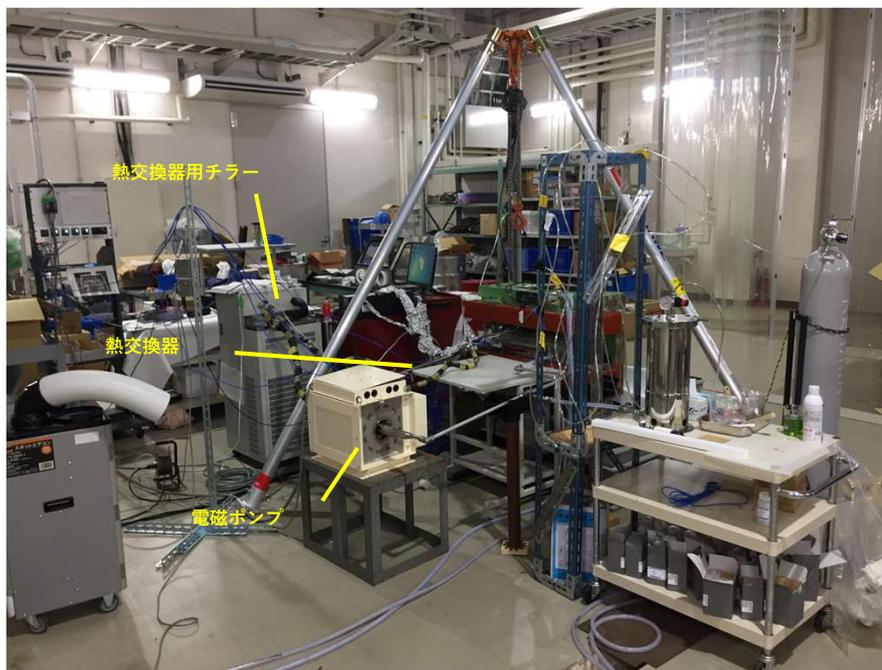


# 核融合炉の流体熱工学・安全性の研究

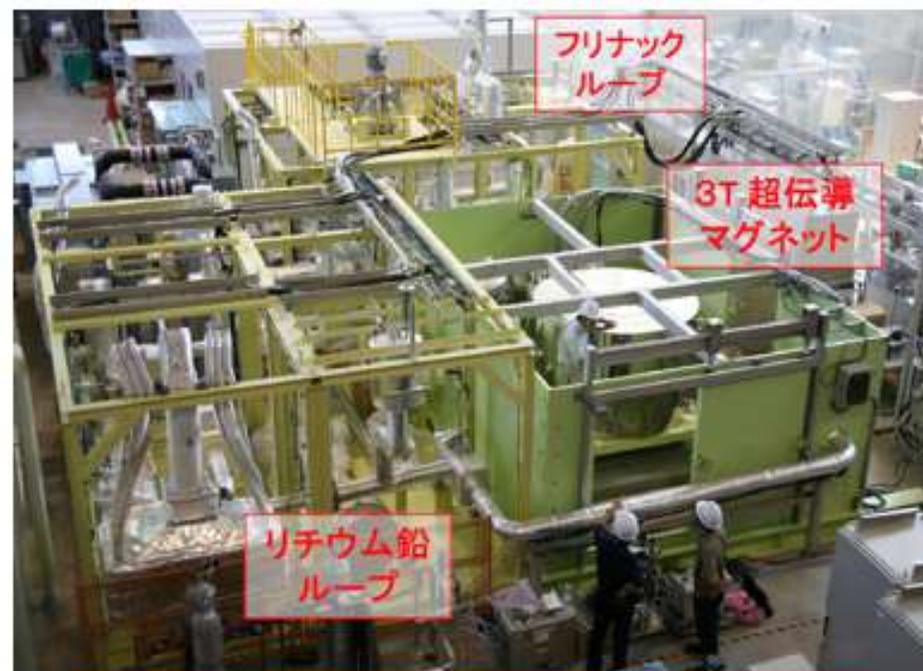
1. 液体ブランケット(日米・国内)
2. 固体ブランケット(日欧)
3. ガスダイバータ(日米)
4. 液体ダイバータ(日米)
5. 核融合炉材料(IFMIF)(日欧)
6. レーザー核融合(液体壁)(国内)
7. 安全性研究(日欧・国内)



液体金属MHD乱流を核とする  
界面マルチダイナミクス の 解明



放射実験室（宇治）の液体金属ループ



Oroshi-2 (核融合科学研究所)

# 原子カシシステムの応用研究

## 加圧水型地熱発電

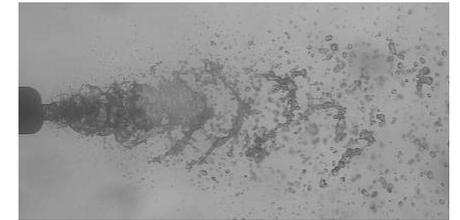
(Geothermal Energy Extraction system by Pressurized water, GEEP)



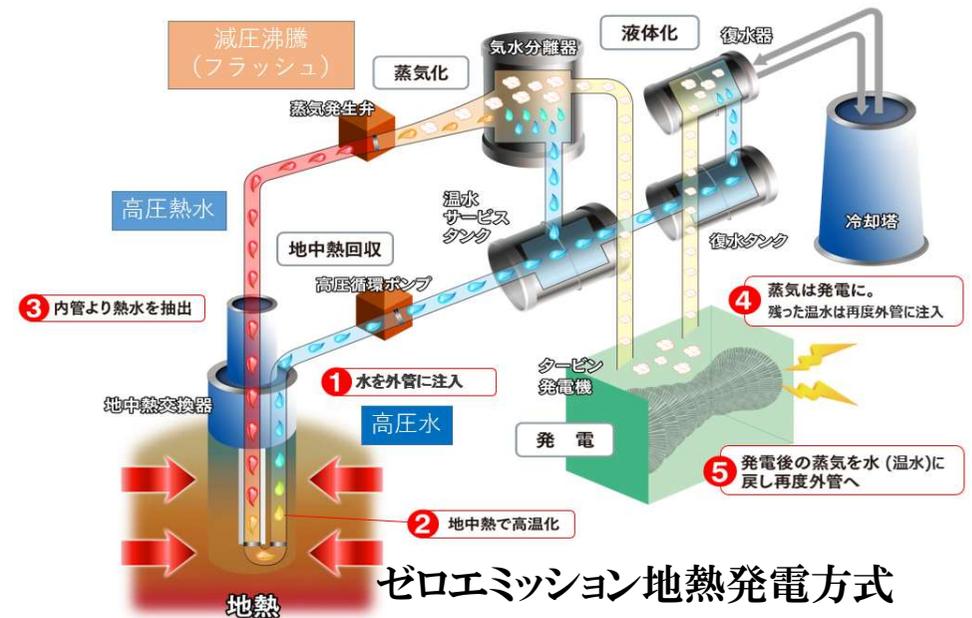
## マイクロバブルによる海水淡水化の高効率化



マイクロバブル無

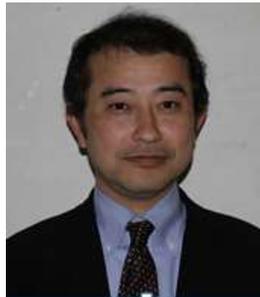


マイクロバブル有



# 1-1 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: 3名、D2: 2名、D1: 1名、M2: 4名、M1: 4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、  
大型気液二相流体ループ、強制対流沸騰実験ループなどの大型設備  
計測システム: 超高速カメラシステム、長焦点カセグレン顕微鏡、  
マイクロ気泡発生システムなど
- 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

# 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

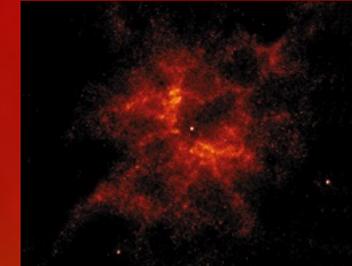
村上

# プラズマ物理工学

核融合を目指したプラズマの理論とシミュレーション

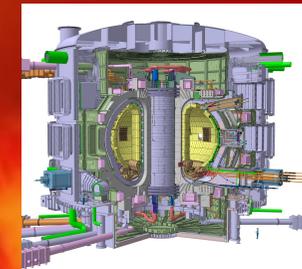
## プラズマ物理学

非線形現象, 非平衡状態の物理



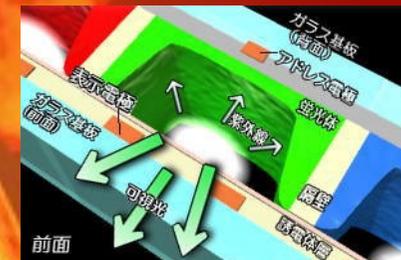
## 核融合プラズマ工学

核融合プラズマの解析



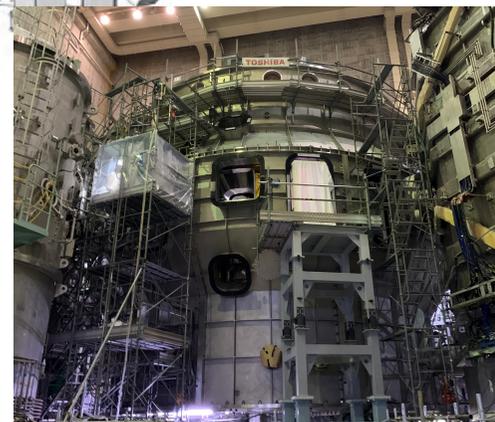
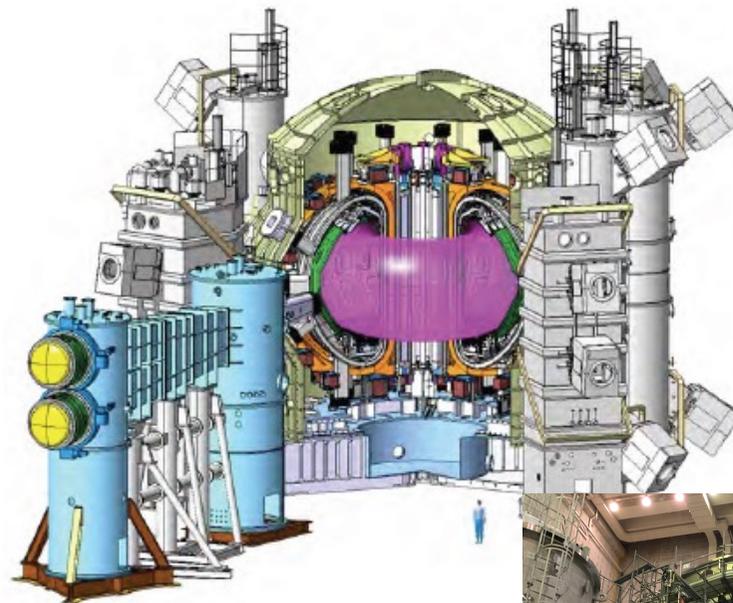
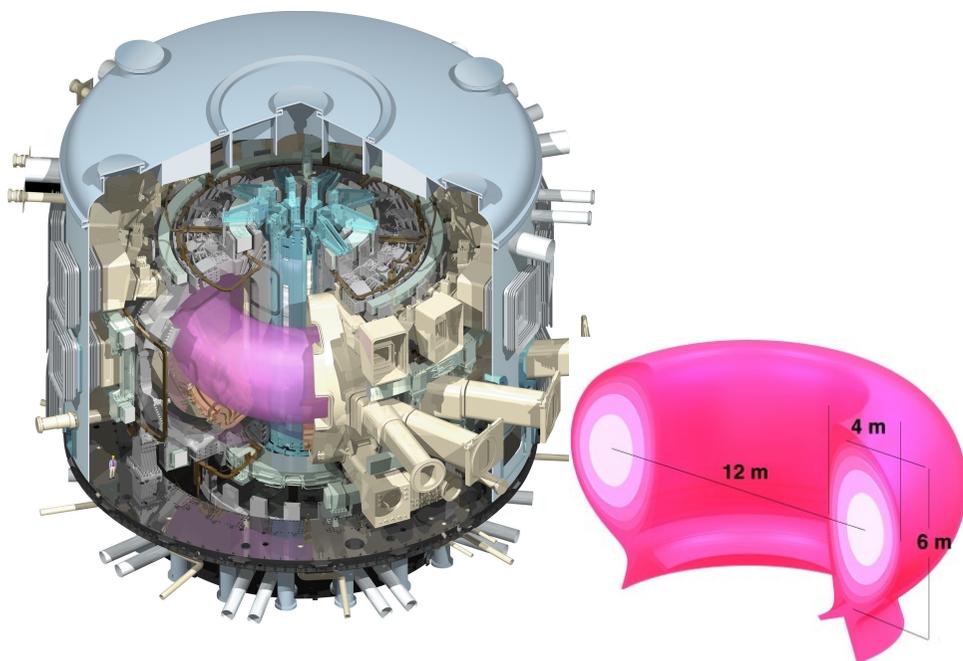
## プラズマ応用

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

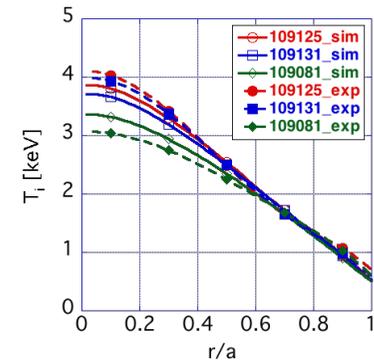
- ITER: 国際熱核融合実験炉  
核融合発電を目指す国際協力  
(日、欧、米、露、中、韓、印)
- ITERがサンポールレデュランス(フランス)で建設中. 2025年完成予定.  
2035年D-T燃焼実験
- 核融合開発が新たな段階へ  
=>核融合反応の維持
- JT-60SAの建設  
(QST, 茨城県那珂市)  
日欧の協力事業
- 2020年9月実験開始予定



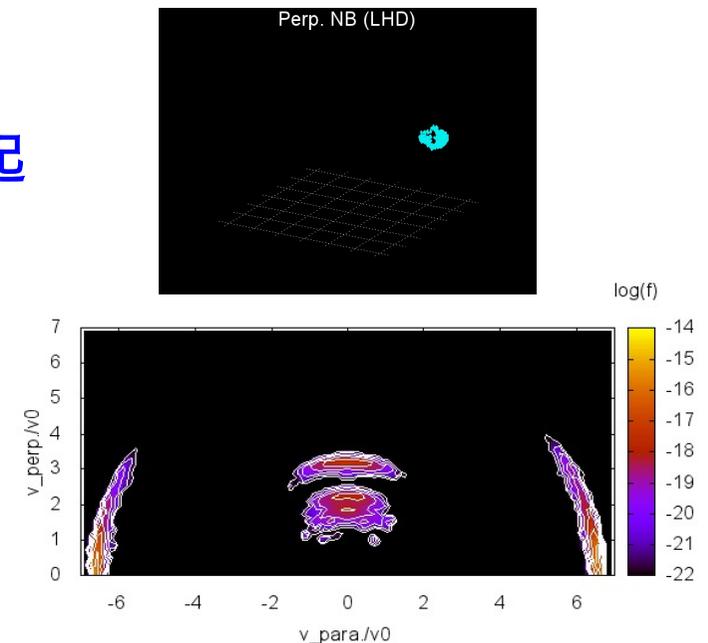
# 磁気閉じ込めプラズマにおける物理現象の解明と制御手法の開発

- **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
  - 速度空間分布を考慮した輸送モデル
- **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, 不安定性励起
  - 核融合反応と中性子発生量評価
- **データ駆動科学**
  - データ同化、機械学習
  - トモグラフィー手法によるプラズマ推定
  - ニューラルネットワーク輸送モデリング

## 実験イオン温度の再現



## 高エネルギーイオン分布



## 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 TSUBASE VE
- 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

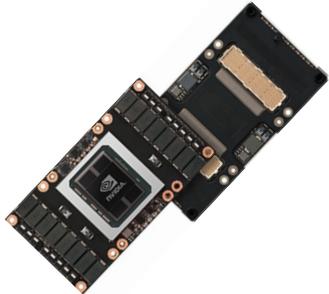
# 研究環境（研究室）

- 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 (2021年度)

- スタッフ：教授 村上定義
- 学生構成：D2：1名， M2：2名， M1：4名， B4：3名
- 共同研究：国内 核融合研(LHD)， 量研機構(JT-60SA)， 京大， 九大  
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 TSUBASE VE

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

2-2. 重元素物性化学

桂熊取



内容 原子力・核融合の材料と化学  
 目的 安全・環境・有効利用

# 高レベル放射性廃棄物の処分と環境

目的: 処分の長期安全性評価の不確実性低減

内容(基礎): 様々な核種の物理化学(化学熱力学), 環境科学



# アクチノイド科学がカギの福島廃炉

目的: 福島原発の廃炉, 高汚染域の核種挙動/物量予測

内容(基礎): 溶融燃料デブリや廃棄物中のアクチノイド科学

図 事故により発生する多種多様な廃棄物

模擬デブリの合成/物性/処分安全評価

冷却水・汚染水

汚染水タンク

事故廃棄物の処理処分

固体汚染物

溶融燃料

海水(淡水)

高温炉反応

(応用)

- ・ 廃棄物性状を言い当て、効果的な分別・減容処理の提案
- ・ デブリの固体物性研究から安定化処理の提案
- ・ 我が国の廃炉ノウハウの世界基準化を目指す

# アクチノイド固体・液体の反応研究の多様な協力体制

ラボで: 熱力学的研究

アルコウム溶解度

現場で: 挙動理解と予測

ウラン高温酸化物物性

地下500mでの研究と熱力学的考証

様々な学外施設で: 最先端科学の活用

高エネルギー加速器による状態研究など

核燃料を扱う世界有数のラボを保有

国内外と緊密な研究協力。学生とのコラボ多数。

# 原子炉燃料の安全性

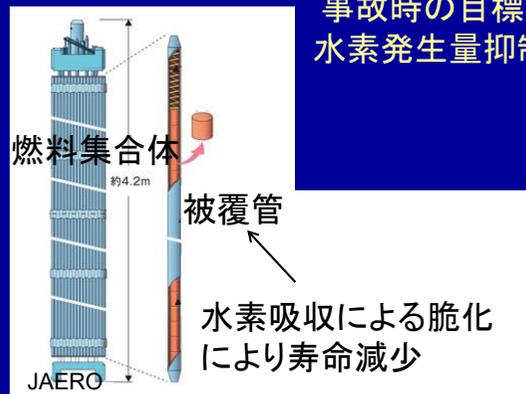
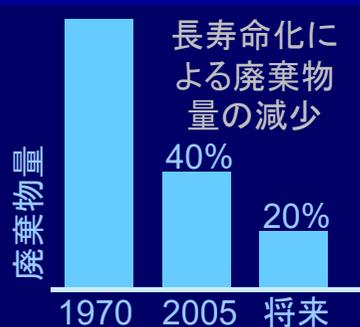
2-1

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



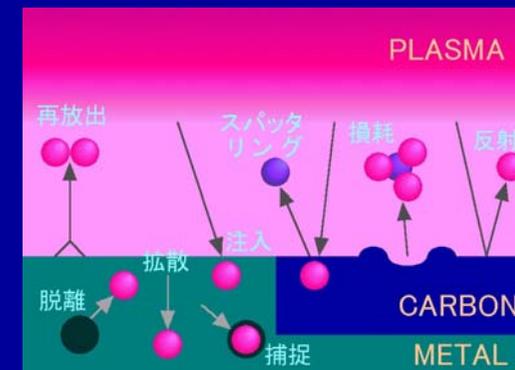
水素発生・吸収のメカニズム解明

# 核融合炉のプラズマ-壁相互作用

2-1



プラズマ実験装置(九州大学球状トカマクQUEST)で共同実験



目的: 長時間プラズマを実現  
内容: 素過程を探る基礎研究  
+ 大型装置による応用研究

→ 「燃焼」への第一歩

# 加速器の応用

2-1

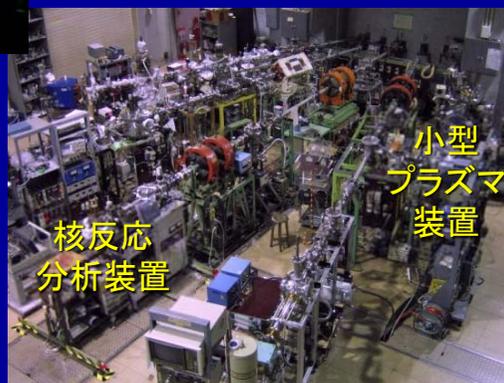


マイクロイオンビーム装置

分析槽に工夫  
(核反応法+プラズマ暴露)  
↓  
世界唯一の分析システム



小型水素プラズマ装置



核反応分析装置

小型プラズマ装置

利用している加速器ビームライン

# 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

がん細胞抗原  
抗体 リンク  
標的 配位子 RI  
第1世代  
第2世代: 毒性の減少、腫瘍の減少、循環時間延長  
第3世代: 特定のがん細胞を標的

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

電子的性質  
① 5f電子のしみ出しと結合関与  
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

③ 利用されるアクチノイド崩壊系列  
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RI

4α+2β

# 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

⑦プローブ(放射光・NMR・中性子)利用研究

**電子的性質**

⑧ 相対論的量子計算による研究支援

解析

**核的性質**

⑨ ⑩ O=U=O直線構造の解明

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

利用 ← **アクチノイド** → 創成

U(VI) (solution) → 超臨界水反応 (>374°C) → U(IV) (solution) → 酸化物化 → UO<sub>2</sub> (solid)

還元剤: エタノール

調整剤: アルデヒド

粒径、結晶系の制御

# 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	田端 千紘
助教	砂賀 彩光
研究員	小中真理子
補佐員	谷平美紀

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

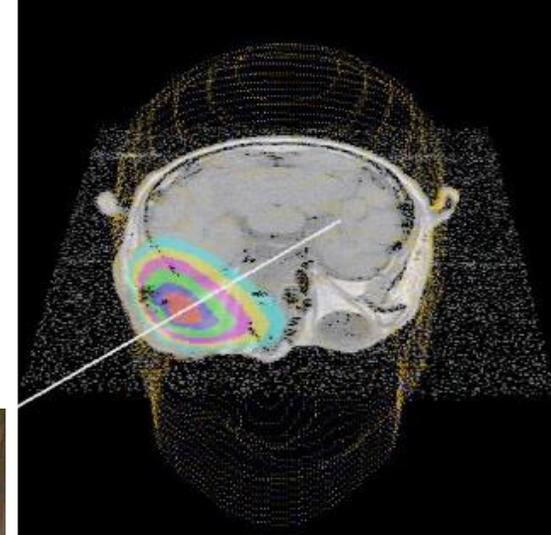
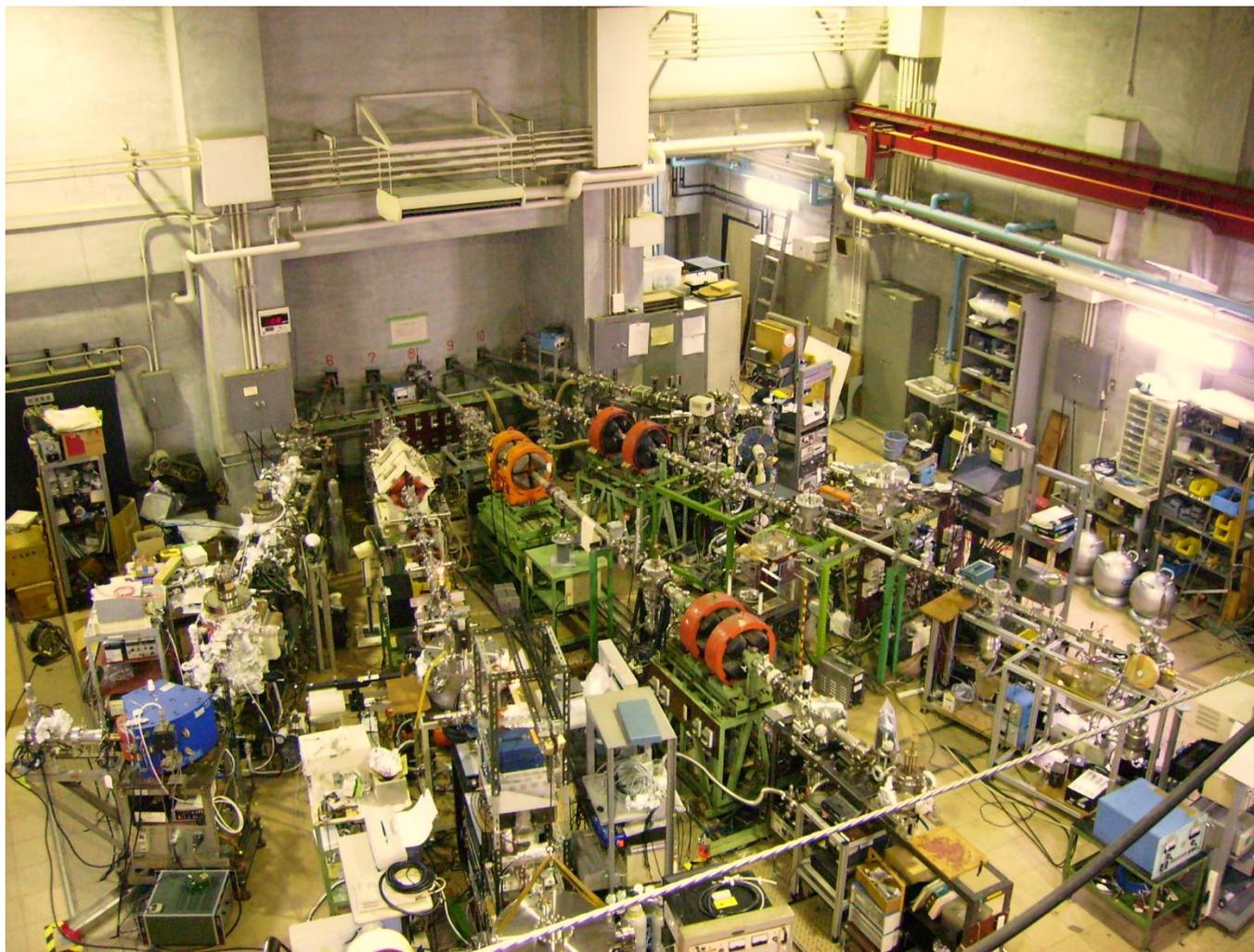
OB会

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

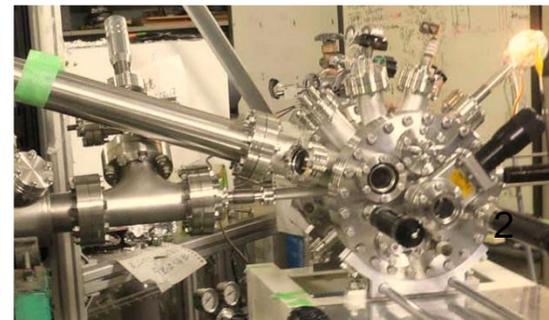
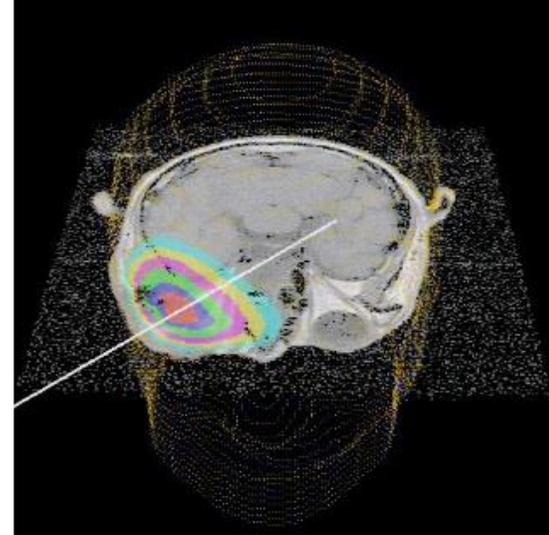
#### ◆ 医学物理学研究

櫻井良憲, 田中浩基, 高田卓志 (複合原子力科学研究所)

溝脇尚志 (医学研究科)

**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



# 量子ビーム科学基礎研究メンバー

## スタッフ

齊藤学 土田秀次 間嶋拓也 今井誠



D3 : 村瀬龍

M2 : 上野公希, 佐藤隆哉, 鈴木鴻介, 柳口富一

M1 : 小倉弓枝, 中川創平, 本郷瑞紀, 水並優樹, 山佐一樹

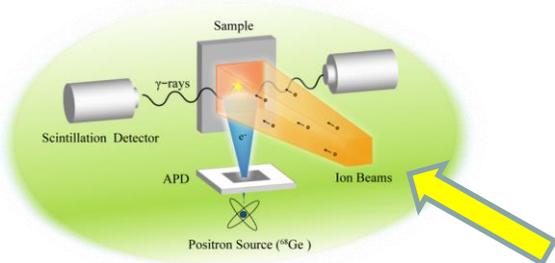
B4 : 5月配属予定

# 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

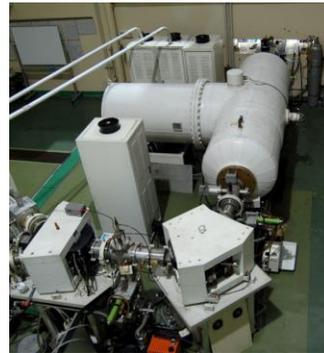
～マイクロな世界を探る“量子ビーム科学”～

連絡先  
saito@nucleng.kyoto-u.ac.jp

リアルタイム観察

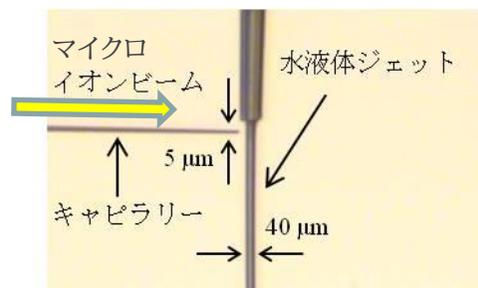


イオン照射極端  
環境下での物性  
解明



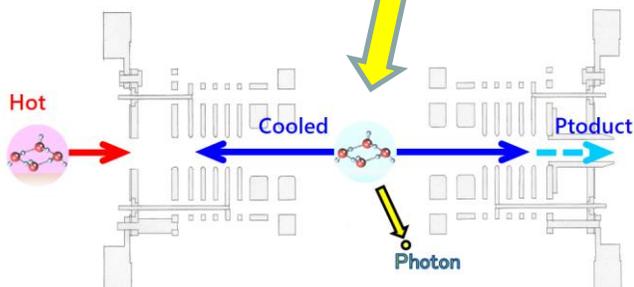
3台のイオン加速器を駆使して  
高速イオンビームを作り出す

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

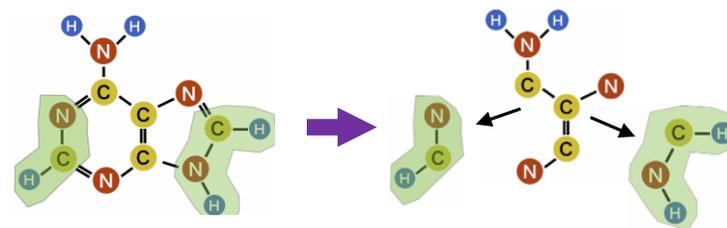


超高真空イオンビームトラップ技術

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



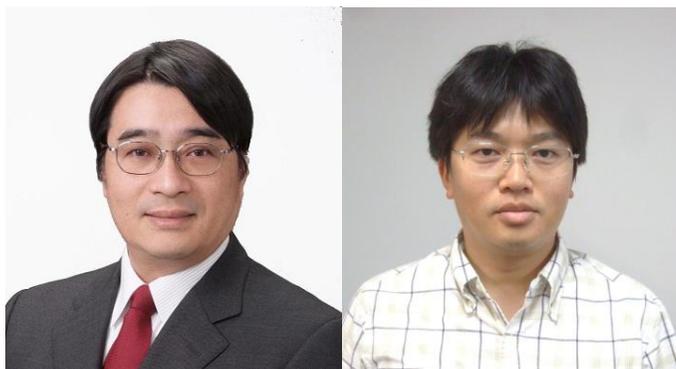
分子解離ダイナミクス

# 量子ビーム科学工学応用研究メンバー

## スタッフ

松尾二郎

瀬木利夫



D3 : 木原圭史 (社会人)

M2 : 野々村知也

B4 : 5月配属予定

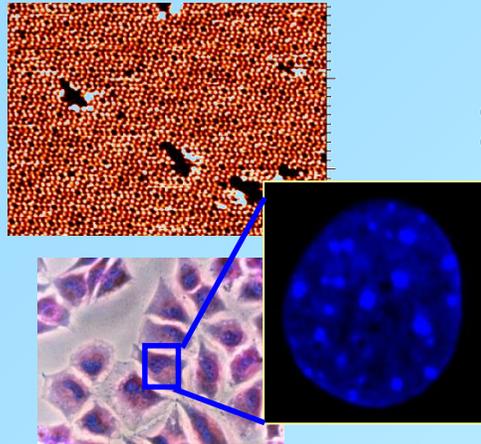
# 量子ビームによる革新的ナノプロセス・評価技術の開拓

～独創的な量子ビームで未来を拓け～

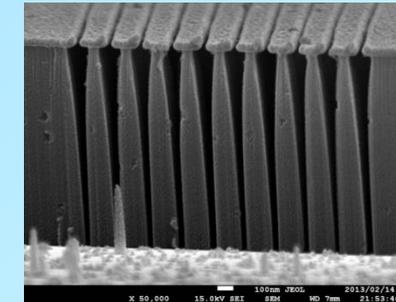
松尾班 教員:松尾准教授、瀬木講師

## 先端量子ビーム

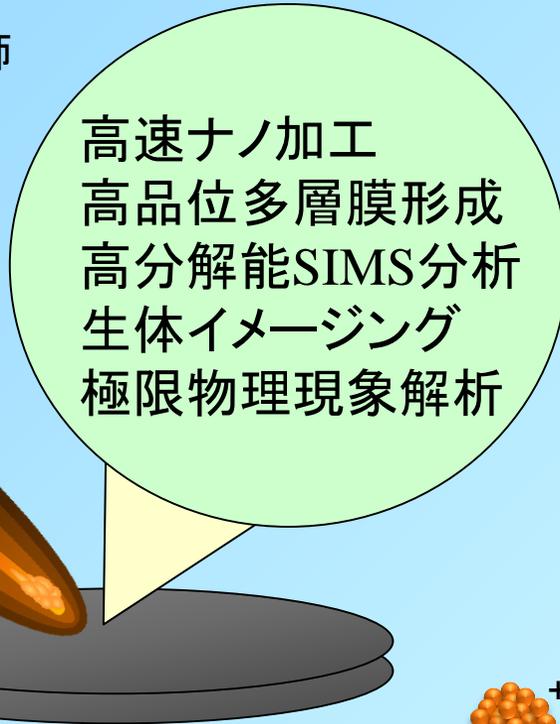
クラスターイオン  
MeV重イオン



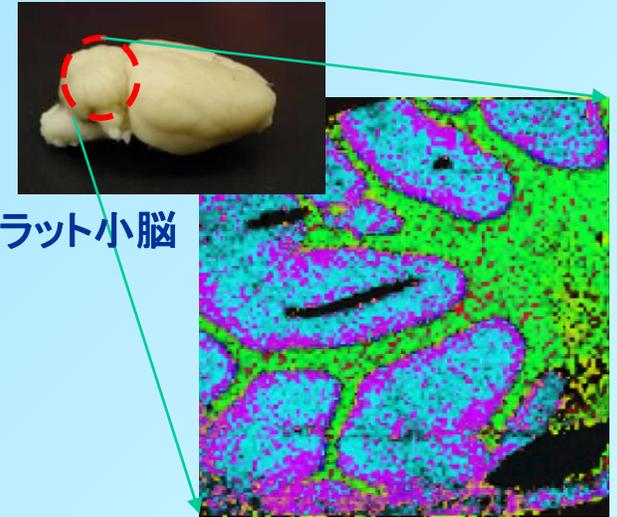
イオンが衝突した表面の  
原子レベル・細胞レベル観察



Siの微細加工

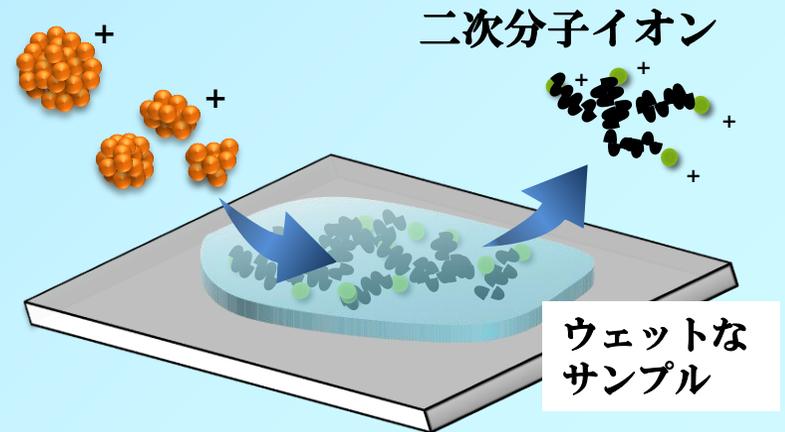


高速ナノ加工  
高品位多層膜形成  
高分解能SIMS分析  
生体イメージング  
極限物理現象解析



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

# 活動場所 (3-1)

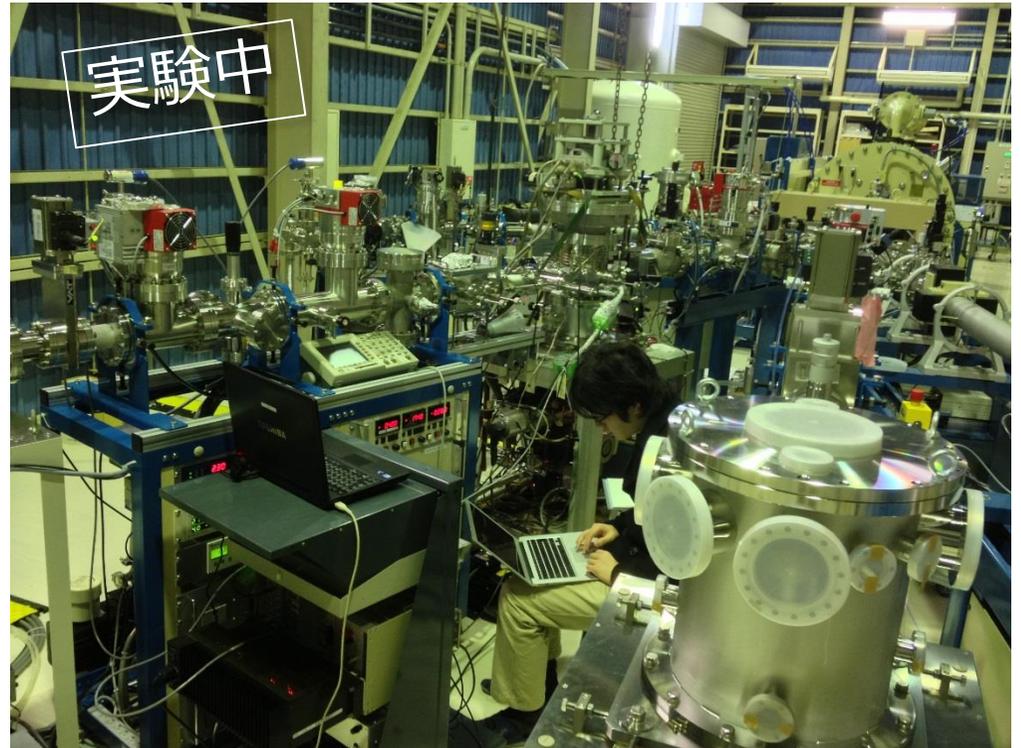
## ■ 桂キャンパス

- ・ 授業 (主にM1前期)
- ・ 研究会

## ■ 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)
- ・ 研究会
- ・ 飲み会



# 医学物理学研究メンバー

## 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:岡崎啓太、D2:白石禎晶、D1:笹木彬礼  
M2:柿本有貴、内藤鵬太、中村泰基、  
松永ひかる、松林錦  
M1:加藤寛明、成田亮介、野尻摩依

## 協カスタッフ（医学研究科）

溝脇尚志 中村光宏



### 放射線腫瘍医

スタッフ：10名，医員：5名  
大学院生(博士課程)：12名

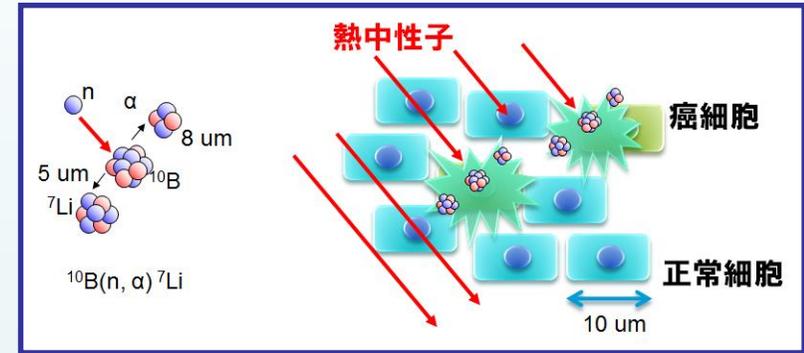
### 医学物理グループ

スタッフ：6名  
大学院生(博士)：4名，(修士)：3名

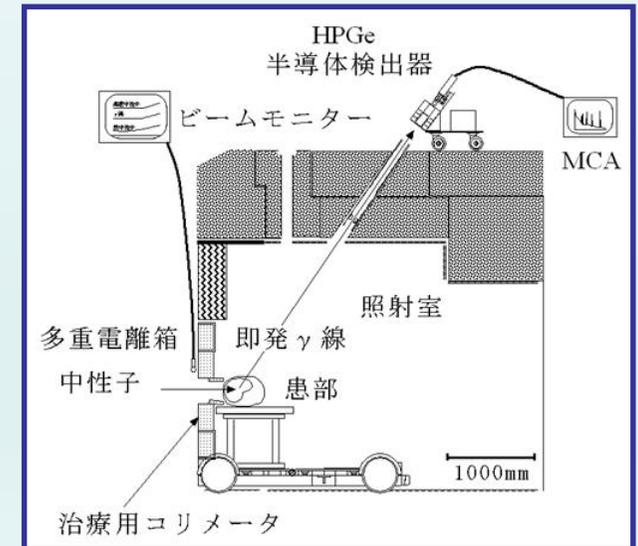
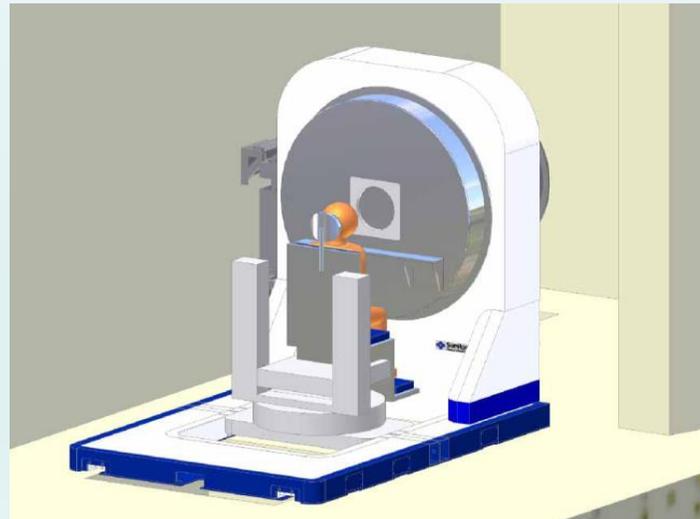
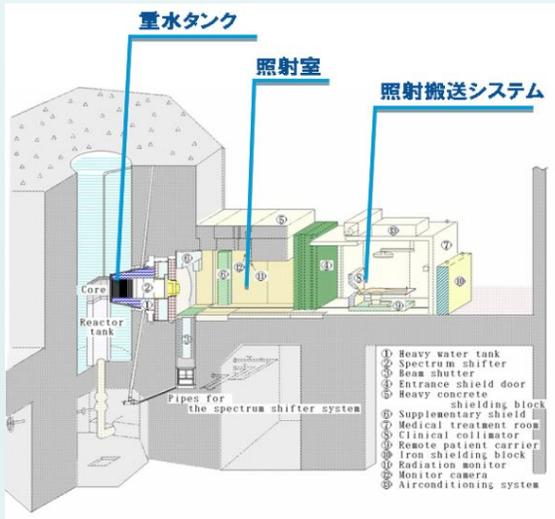
# 粒子線医学物理学研究分野

複合原子力科学研究所 櫻井良憲 准教授、田中浩基 准教授、高田卓志 助教

医学物理学とは、医療、特に、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「**硼素中性子捕捉療法 (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。



原子炉ベース照射場

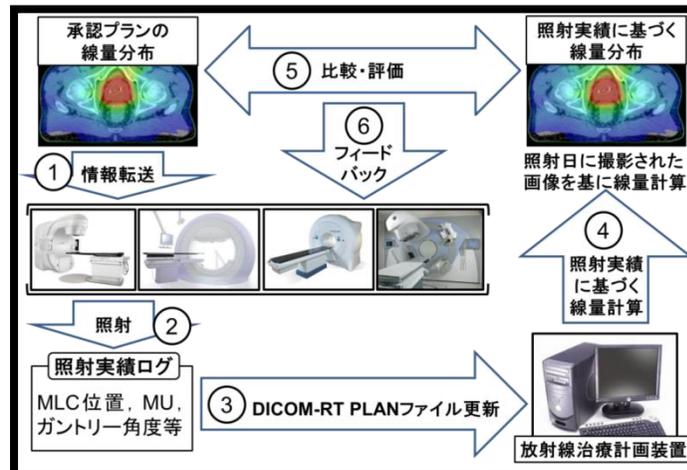
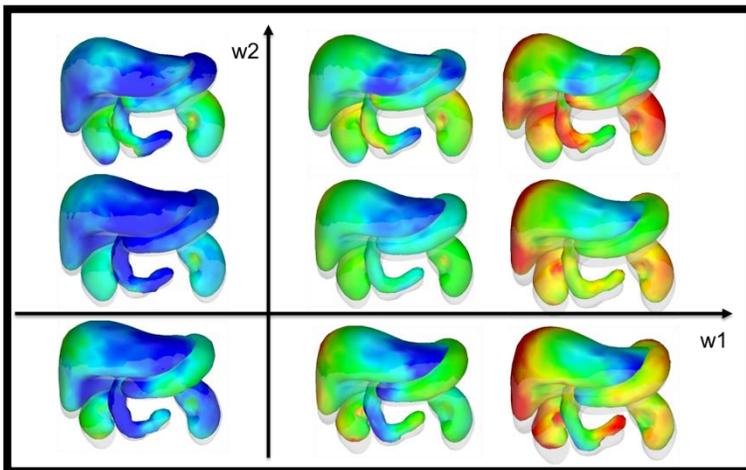
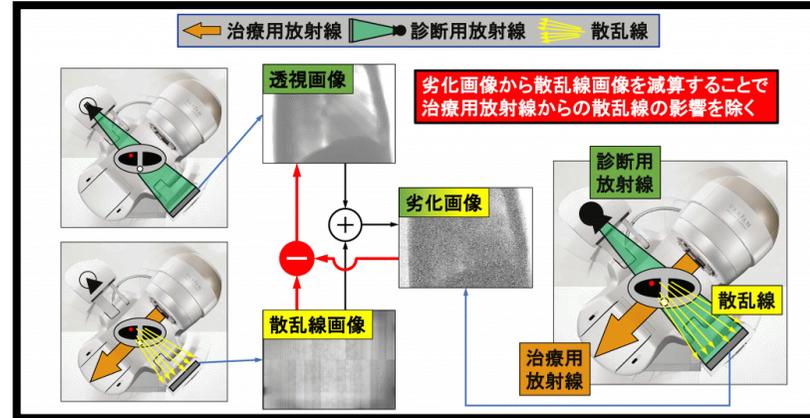
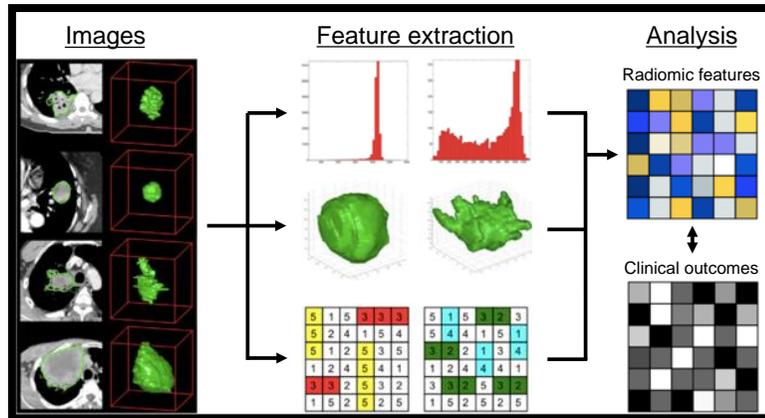
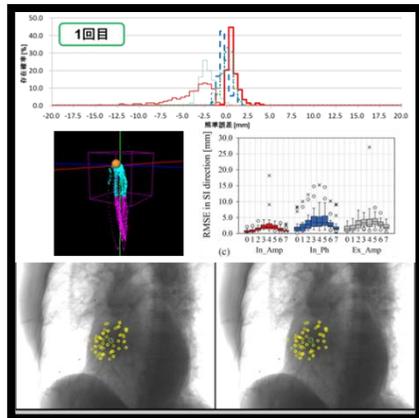
サイクロトロンベース照射場

線量評価統合システム

# 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



患者データ，医療用直線加速器などを用いて，がんに対する放射線治療成績の向上に資する研究を展開

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3年）

博士課程修了

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

修士課程修了

日立製作所、東京海上、JXTGエネルギー、進研アド、京進、発電設  
備技術検査協会、パナソニック、関西電力、東京電力、島津製作所、  
大和証券、永大化工、日立ハイテク

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)

# 第4グループ 量子物質工学

4-1 量子物理学

4-2 中性子工学

X線CT、低速中性子物理

桂  
キャンパス

4-3 中性子源工学  
(原子炉安全、加速器)

4-4 中性子応用光学

複合原子力  
科学研究所  
(大阪府熊取町)

# 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

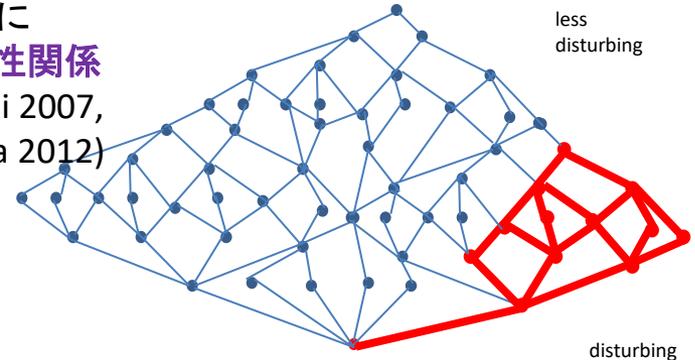
...

ほかにも

## ●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

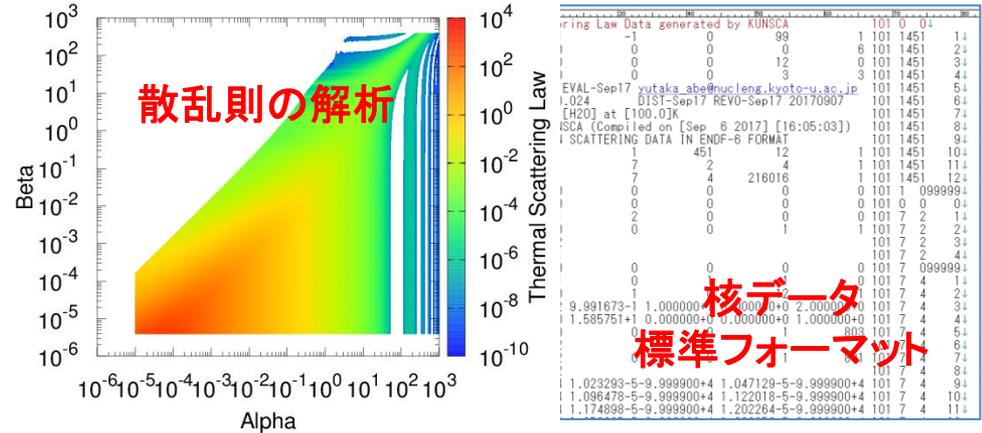
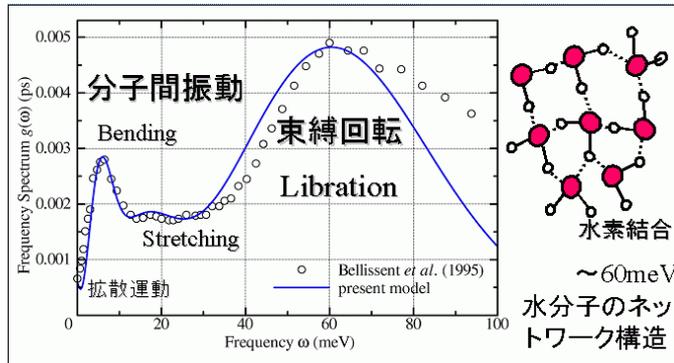
- 超対称性をもつフェルミオン系について
  - 量子論における合成系の構造
  - 量子非平衡定常状態における熱力学第二法則...
- 修士論文の例

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)

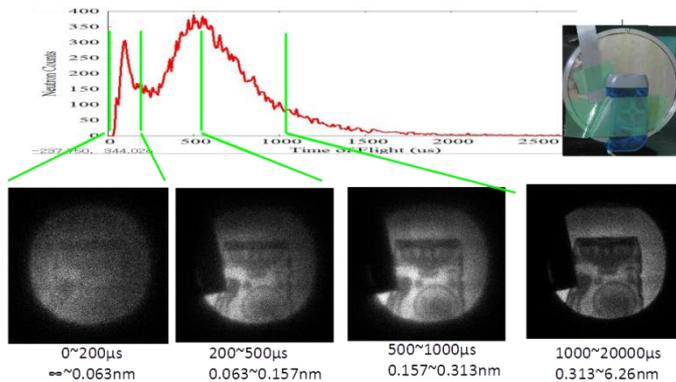
## 低速中性子の発生



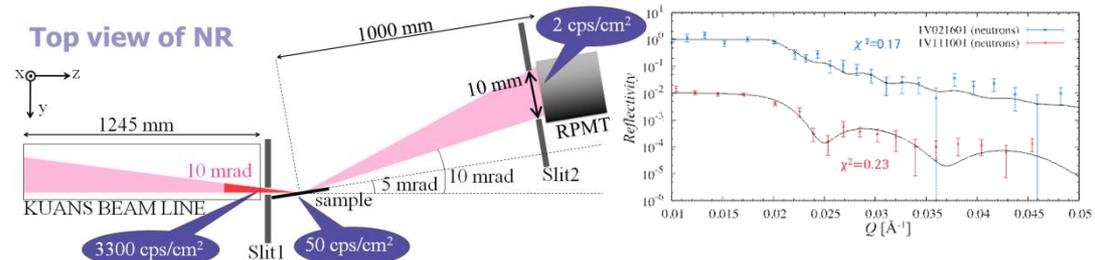
減速材の散乱断面積の解析

核データの整備

## 低速中性子利用



中性子透過像撮影 (非破壊検査)



中性子による物性測定  
(表面での物質構造)

## (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部門
- 研究炉安全管理工学研究分野

教授：中島 健 (原子炉物理、臨界安全)

准教授：山本俊弘 (原子炉物理、臨界安全)

堀 順一 (核データ測定・評価)

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)

# 核データから原子炉実験、原子力施設の安全性評価まで 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

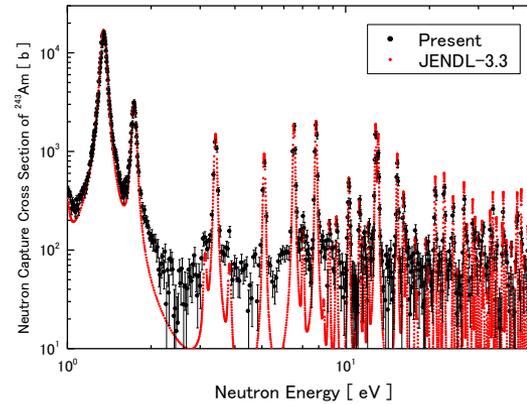


電子線型加速器

$$R(E) = \sigma(E)\phi(E)$$

加速器を用いた  
核データの測定

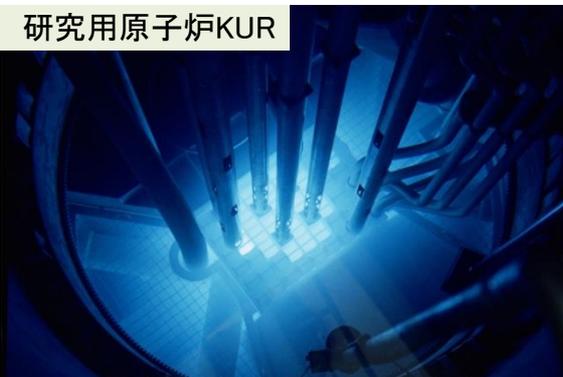
新たな核データ  
の提供



$^{243}\text{Am}$ 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

### マクロ：原子炉等への応用

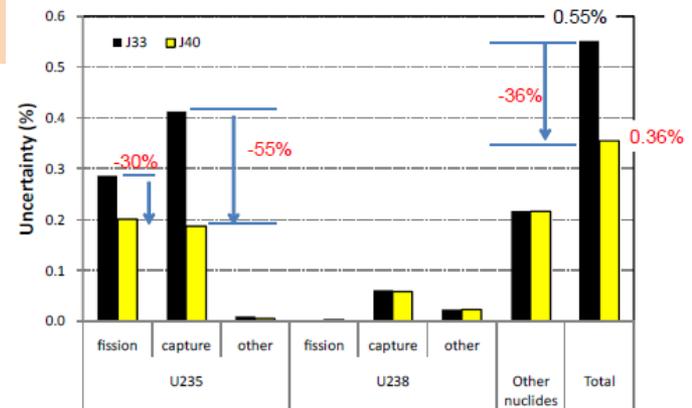


研究用原子炉KUR

$$R = \int \sigma(E)\phi(E)dE$$

原子炉を用いた  
核特性の測定

核データへの  
フィードバック



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

# 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

助教　　：上杉智教

助教　　：栗山靖敏

特任教授：森 義治

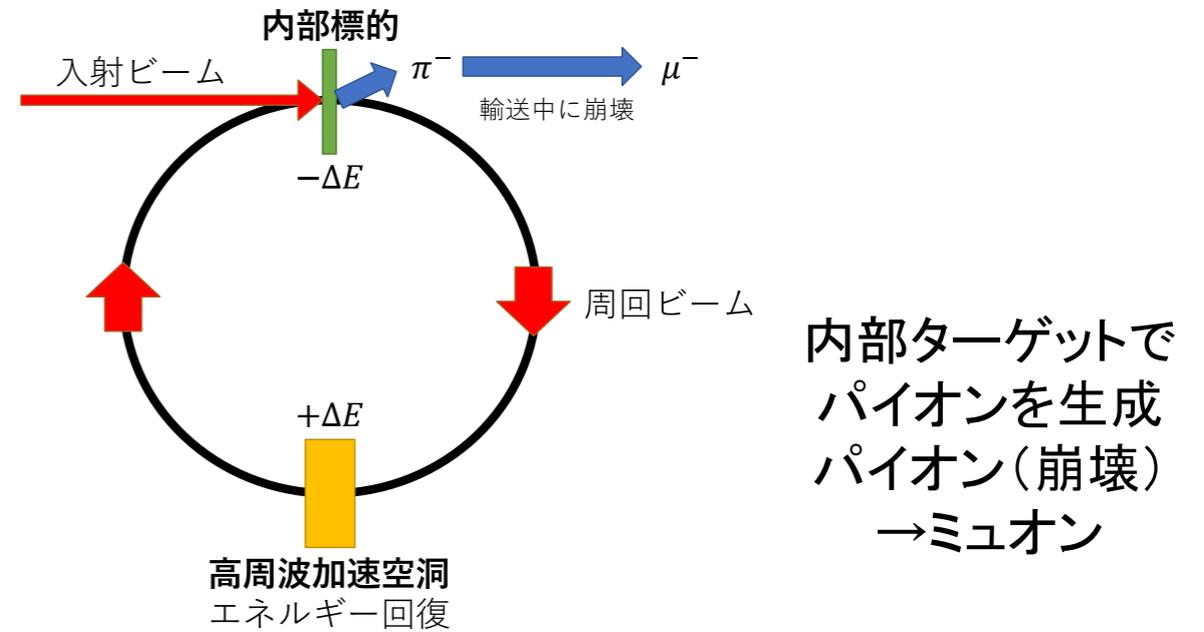
# 主な研究テーマ

## 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

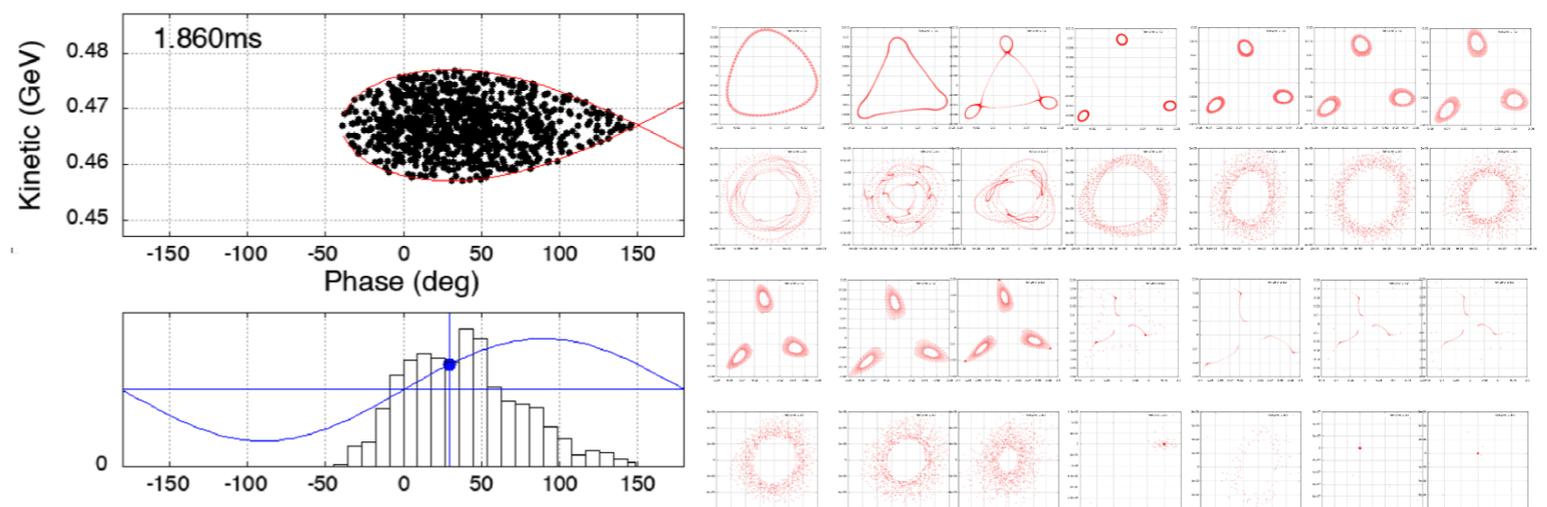


内部ターゲットで  
パイオンを生成  
パイオン(崩壊)  
→ミュオン

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。



# 中性子応用光学分野(4-4)

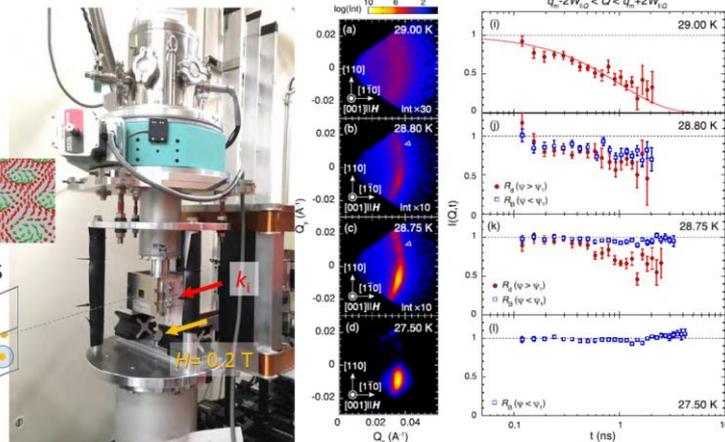
## 中性子光学の広域展開

### 分光器から中性子施設開発・利用

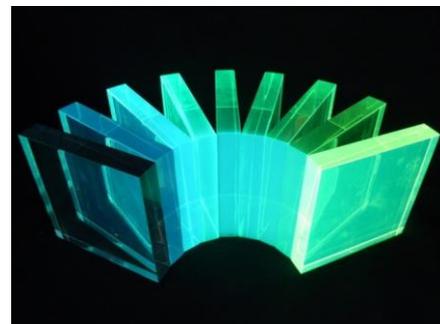
2014年にVIN ROSEで初ビーム取得時の  
主要メンバー



低速中性子の物質「波」としての特徴を利用した実験研究が深められます。世界最高レベルで中性子光学素子を開発したり、J-PARCやJRR-3等の大強度中性子源施設で、ユニークな装置開発を主導し、幅広い共同利用研究が行えます。



磁気スキルミオンのダイナミクス測定  
 Phys. Rev. Applied, 14, 054032 (2020),  
 Phys. Rev. Research, 2, 043393 (2020)等



# 連絡先・見学

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/neutron/optics/>

原子核工学専攻、複合原子力科学研究所ホームページからもリンク有り

研究室訪問  
随時可能

田崎准教授に  
相談してくれても  
連絡できます。



京都大学

複合原子力科学研究所

Institute for  
Integrated Radiation and Nuclear Science  
Kyoto University

**日野**

[hino@rri.kyoto-u.ac.jp](mailto:hino@rri.kyoto-u.ac.jp)

**小田**

[t\\_oda@rri.kyoto-u.ac.jp](mailto:t_oda@rri.kyoto-u.ac.jp)

**中村**

[hidehito@rri.kyoto-u.ac.jp](mailto:hidehito@rri.kyoto-u.ac.jp)