



# ユニットテーマの軸「計測・データ」公聴会

オンライン (Zoom) 会議  
2021年12月16日  
9時30分から



## 今日の議題

1. ユニット提案紹介
2. アプローチ例の紹介（各10分）
  - A) 揺らぎ輸送研究へ向けた高度計測(田中謙治)
  - B) 時空間ダイナミクスの解明に向けた手法開発（西浦）
  - C) データ駆動による予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御への挑戦（横山）
  - D) データ理解への挑戦（表現手法）（大谷）
3. ユニットテーマに対する議論

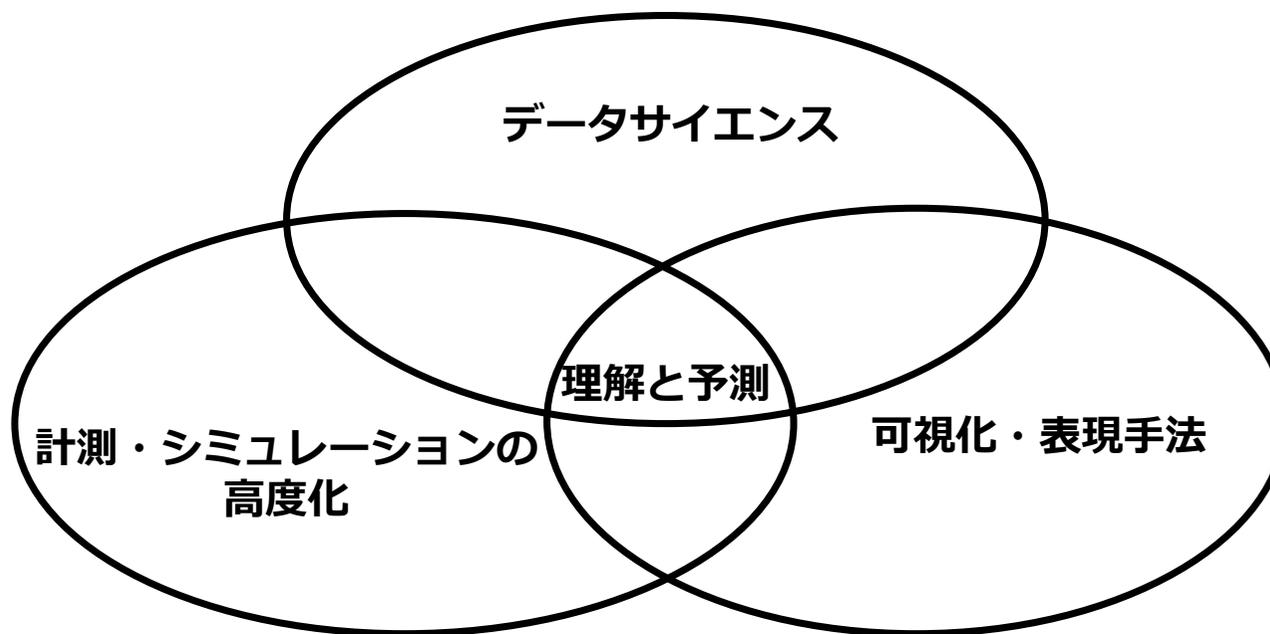


# ユニットテーマの軸「計測・データ」

提案書項目①ユニットテーマ名

## ① ユニットテーマ名

➤ 革新的計測・解析・表現 システム



(基提案 : UT-10, UT-11, UT-15, UT-19, UT-25, UT-28, UT-30)



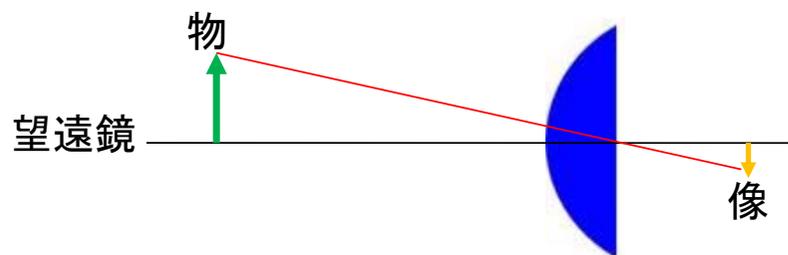
## 何をするユニットか？

提案書項目③学術的な特徴付け(何の研究だと言えるか)

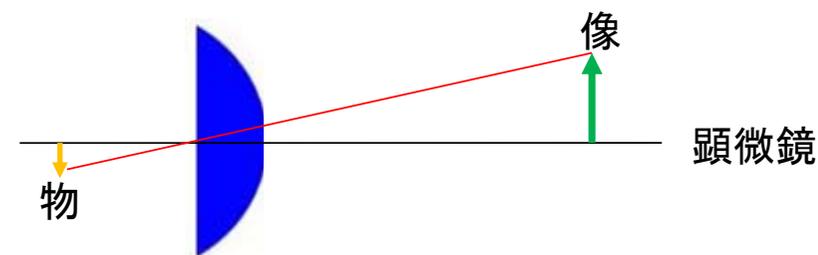
- ▶ 本ユニットは、計測、データ駆動科学、可視化が一体となり、手法の高度化を行う。

提案書項目③学術的な特徴付け(何の研究だと言えるか)

光学手法の技術的飛躍によって、ガリレオは望遠鏡を高性能化し天文学を切り開き、レーウエンフックは顕微鏡を作って微生物を発見した。



ガリレオ (1564年~1642年)  
課題：拡大率・天体観測用  
凹面鏡を組み込んだ、ガリレオ式  
天体望遠鏡の開発



レーウエンフック (1632年~1723年)  
課題：研磨技術では到達できない短焦点  
レンズの実現  
➢ 溶融法による微小球レンズの開発で  
短焦点化

基本原理



技術的飛躍



学術新分野の開拓



## 本ユニットで行うこと

提案書項目③学術的な特徴付け(何の研究だと言えるか)

- ▶ 計測手法・データ解析・可視化手法の工学・数理要素や物理原理に立ち返って、現象観察の高時空間分解能化や高精度化へと観測可能領域をその数直線上の極限へと拡大する。また、現在測定がされていない、もしくは難しい「量」を計量可能とする。
- ▶ ガリレオやレーヴェンフックの時代と比べ、計算機の進展によって、特に近年、得られるデータ量は圧倒的に増加。
- ▶ データ科学や可視化手法は、科学的知見を得るための重要なツール
- ▶ リアルな世界で計測器をディテクタ、プローブとしてノイズの含まれたシグナルを抽出し、また、シミュレーションから多種多様なデータを取得し、それらからパターンを読み出し、人間が理解できる形に表現する。計測、データ駆動科学、可視化それぞれの革新的手法を生み出し、また一連の過程をシステムとして捉え、高度化する。



## 核融合としての課題

提案書項目②核融合としての課題

- これまでにない高空間分解能，高時間分解能な計測器を実現し，測定可能領域を拡大する．取得されたデータは，従来の物理的視点と相補的に統計数理・データ駆動の考え方を採り入れた解析手法も用いて，情報量を最大限に抽出する．さらに多種多様な現象やデータを視覚・聴覚・触覚などの情報へ変換して，対話的な方法でデータ内部に潜む複雑な構造や相関関係を解明する．
- このように一連の研究手法を高度化することで，核融合科学の未解明問題に挑む．

例えば

- 「プラズマ燃焼に関わる自発現象やディスラプションに代表される高時空間スケールと速度空間の現象が複雑に絡み合うプラズマのダイナミクスの解明や，その予測・判断志向研究」
- 「核融合プラズマの定常安定運転に向けた物質・エネルギー循環系の実現（施設から環境に放出される水素同位体挙動解明なども含む）」
- 「乱流・輸送現象の理解」

- 核融合としての課題に対する代表的なアプローチ



## A).揺らぎ輸送研究へ向けた高度計測

提案書項目④アプローチ

- CO2レーザー位相コントラストイメージングを用いた乱流揺動計測の計測性能を向上させるとともに、データサイエンスを駆使した乱流解析を行う。シミュレーションとの比較にも高度なデータサイエンスを適用し、今まで明らかにならなかった乱流揺動の輸送特性への寄与を明らかにする。LHDおよびJT-60SAを研究対象とする。
- 2次元揺動データ（たとえばGPIデータ）に潜む法則性を発見する。炉心プラズマ制御を念頭に置いて、外部制御パラメータに対するプラズマの応答をデータサイエンス的に同定する。トモグラフィ技術をつかって、切り分けの難しい計測結果から、局所量を推定する。



## B) データ駆動による予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御への挑戦

提案書項目④アプローチ

- 核融合プラズマの諸現象を題材として、プラズマ物理での理解追究と相補的に、「データへの当てはめ」という統計数理・データ駆動（以下、データ駆動）の考え方を採り入れて、リアルタイムで予測・判断に使うことができるモデリングを行う。これにより、核融合炉に求められる定常安定プラズマの実現を目指す。



## C)時空間ダイナミクスの解明に向けた手法開発

提案書項目④アプローチ

- 電磁波の特性（トポロジカル性等）を利用し，燃烧プラズマを見通せる加熱・電流駆動とその粒子集団応答モデルの検証，輸送物理を明らかにする．速度空間における集団応答を調べるために協同トムソン散乱計測(例えば $\alpha$ 粒子や高速イオン計測)や相関計測とデータ解析手法を駆使する．速度空間上の粒子ダイナミクスから粒子集団応答と粒子閉じ込めを理解する．
- プラズマの電子温度・電子密度測定手法であるレーザートムソン散乱計測の繰り返し計測周期を現状の100Hz程度から，1000倍以上の100kHz以上に向上させる．これによりディスラプションに代表される突発的，過渡的なプラズマ現象の理解を目指す．



## D) データ理解への挑戦

提案書項目④アプローチ

- 3次元+ $\alpha$ の解析を可能とするVR表示やコンピュータ・ビジョンなどの表現法，データ科学を使って多次元時系列データの次元削減等による解析や離散データからの偏微分方程式の導出等を研究する．科学知を得るために数値モデル構築や，感覚から，知覚・認知を経て，科学知を得るまでの過程を構造化・定式化して，これまで経験的に行われてきた知的探求プロセスを体系化して，方法論として確立することを目指す．



## E)同位体環境科学への展開

提案書項目④アプローチ

- 地球環境に存在するトリチウムや多様な安定・放射性同位体をマルチトレーサーとして利用し、環境における局所・広域の物質循環・移動過程を研究する。微量な同位体成分を分析するための分離・回収・濃縮・測定手法を駆使し、多点測定・長期観測、モデリングから、地球環境での物質移動現象の理解を目指す。



C) 時空間ダイナミクスの解明に向けた手法開発  
「トムソン散乱計測の例」



## トムソン散乱計測の課題

提案書項目④アプローチ

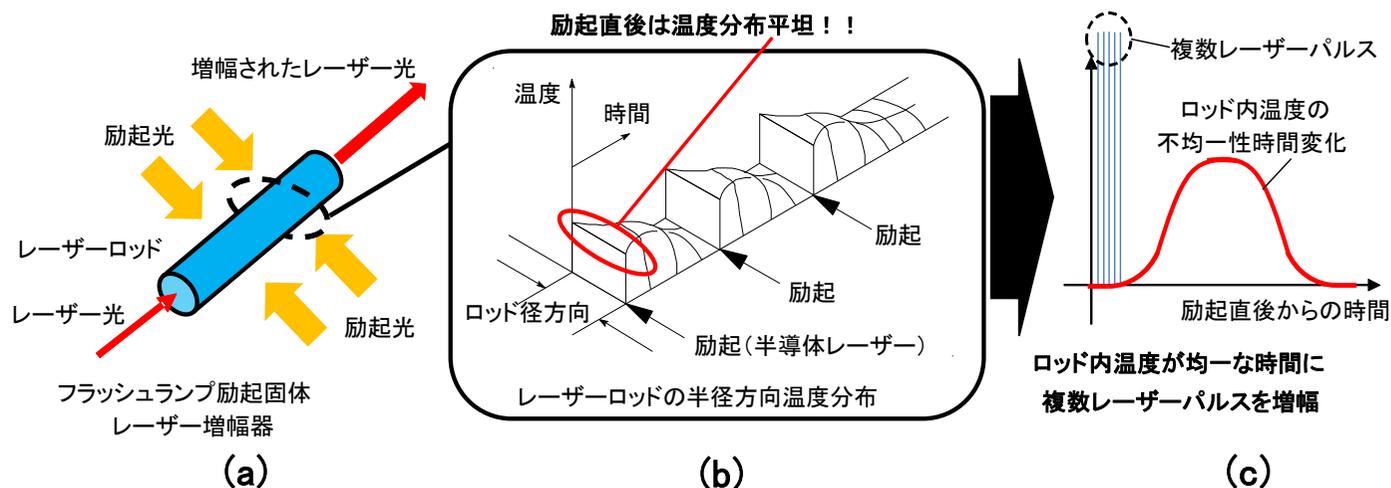
- トムソン散乱計測には高繰り返し動作のジュール級のパルスレーザーが必要

対象プラズマ電子密度 :  $10^{12}$ - $10^{14}$ cm<sup>-3</sup>  
トムソン散乱断面積 :  $6.65 \times 10^{-25}$ cm<sup>2</sup>

- 計測がレーザーの性能（出力や繰り返し）に制限され、100Hz程度が測定の繰り返しの限界

# パルスバーストレーザーによるトムソン散乱計測の高速化

提案書項目④アプローチ

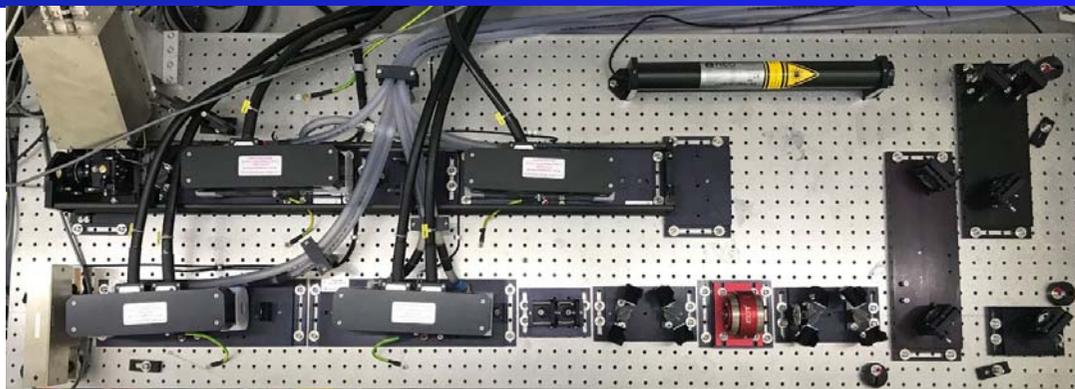


- 光励起直後に、レーザーロッドの熱拡散時間よりも短い間にレーザー増幅をする。
- 熱効果フリーで、1ms以下の複数パルスの出力が可能

■ バーストモード動作によって、熱による影響を排除して、1kHz以上のレーザー動作が可能、1kHz以上のトムソン散乱計測が可能！

# レーザーシステムとレーザー電源

提案書項目④アプローチ

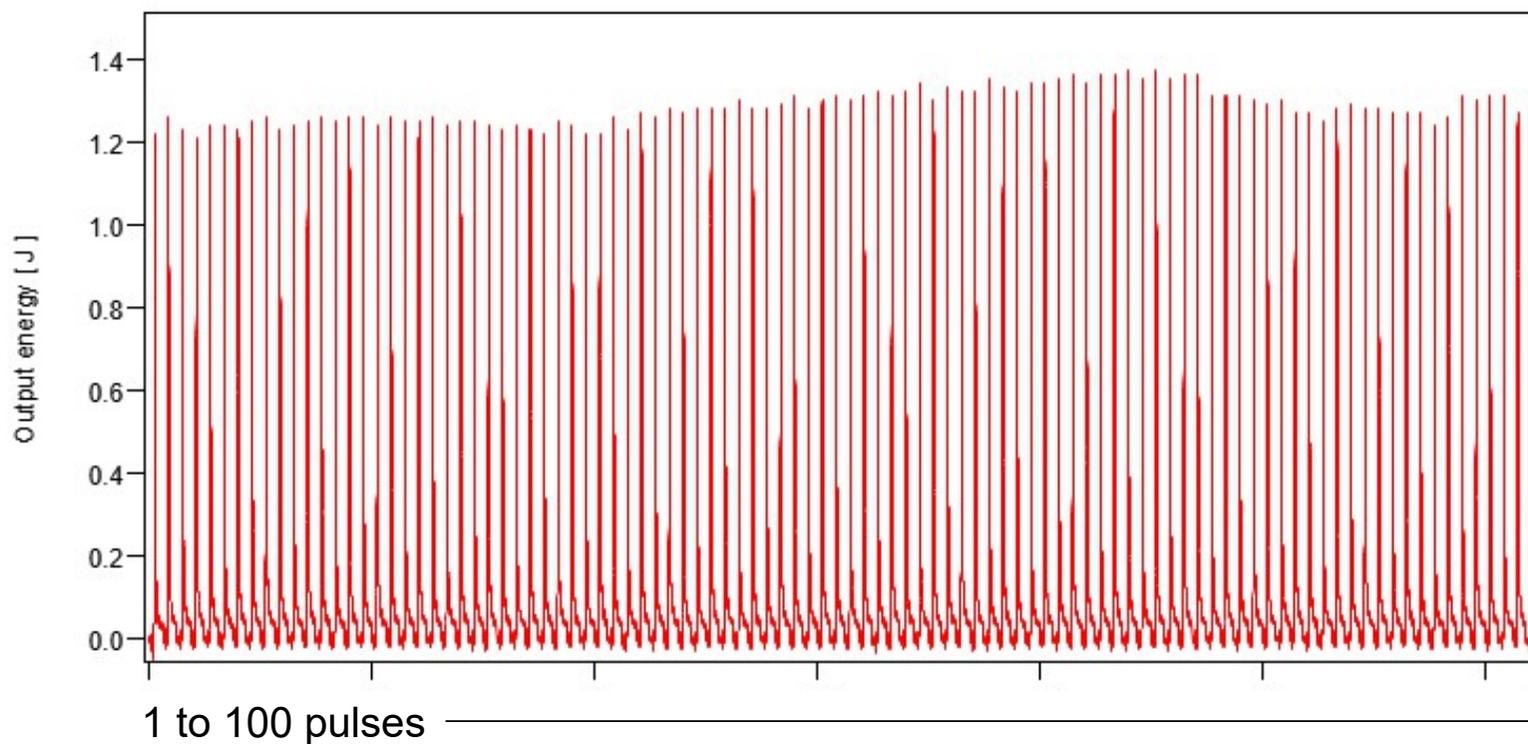


Collaboration with UW-Madison



# 1 J , 100 パルス, 繰り返し率20 kHz 動作を実証

提案書項目④アプローチ



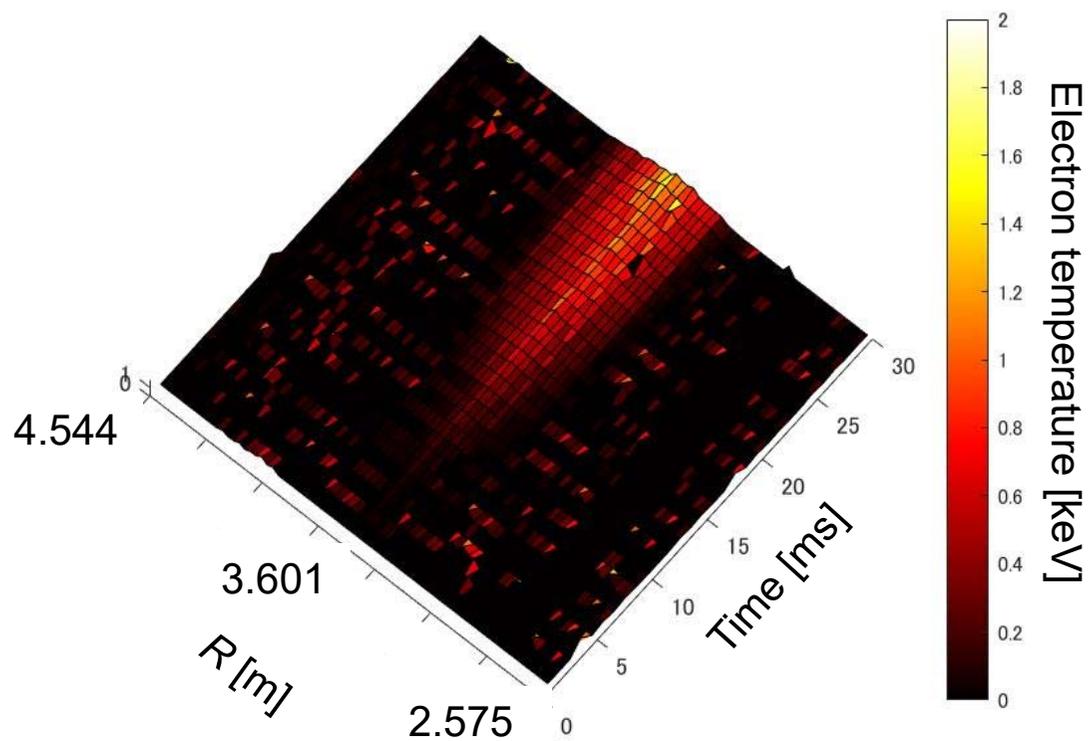


■ 計測例



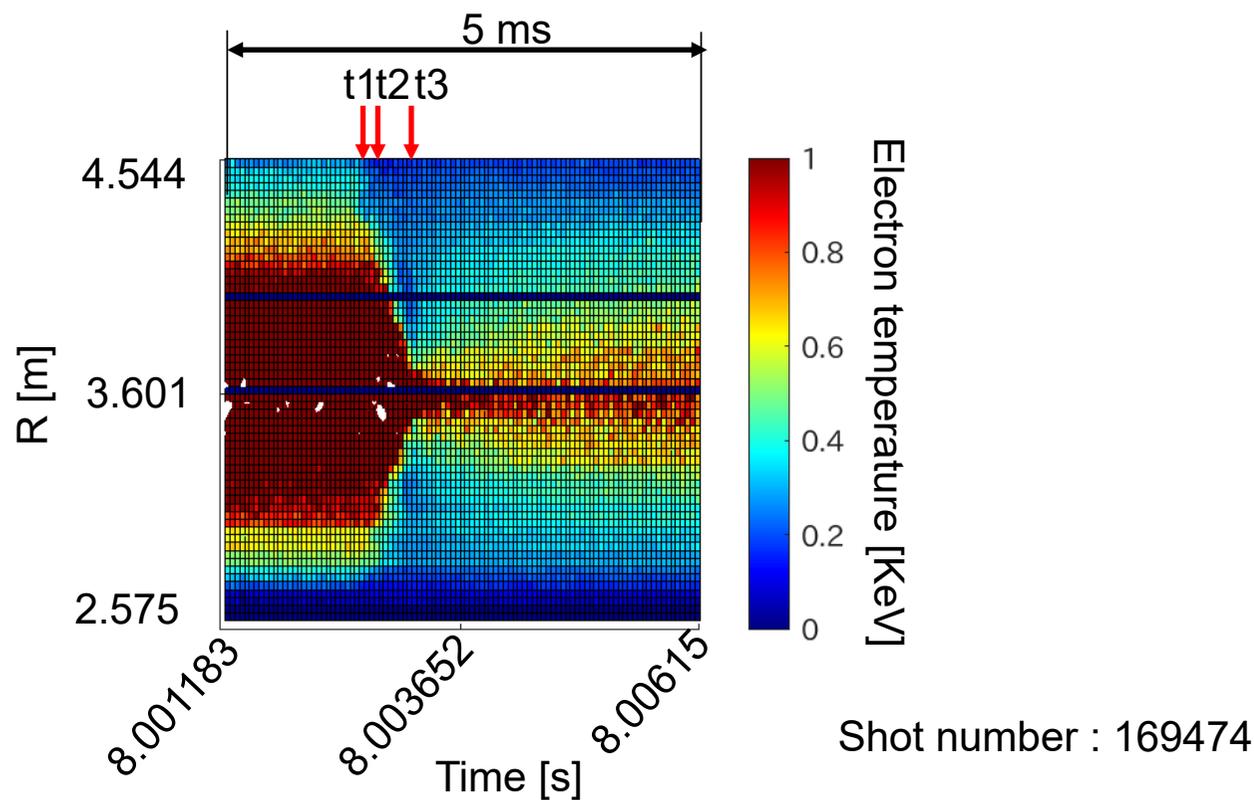
# プラズマ加熱立ち上がり時の電子温度分布の時間変化

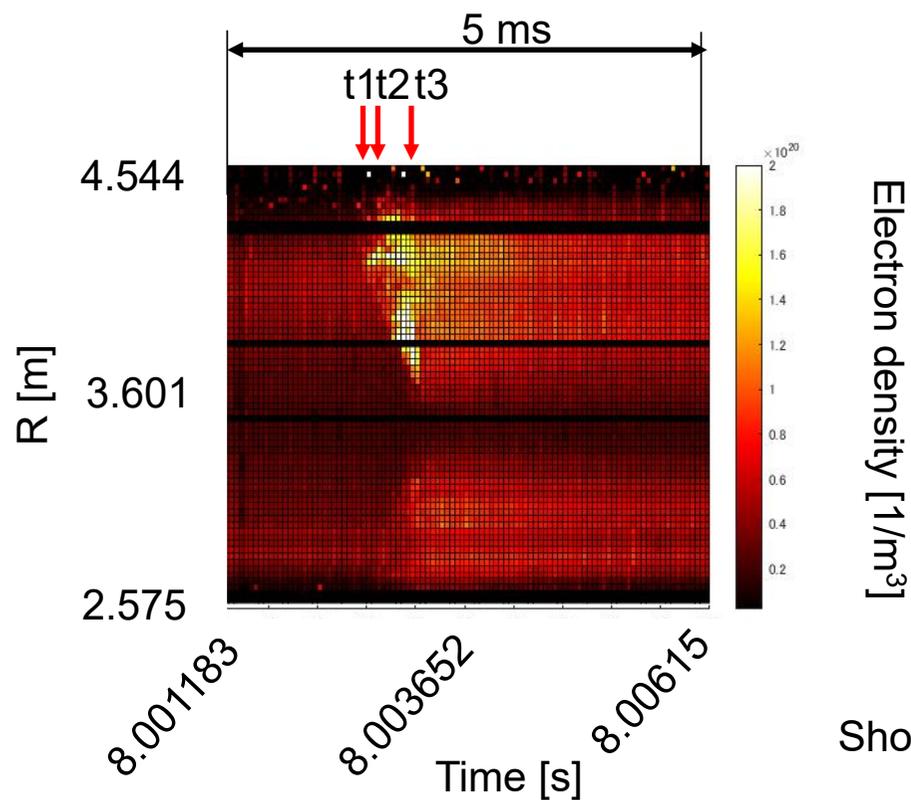
提案書項目④アプローチ



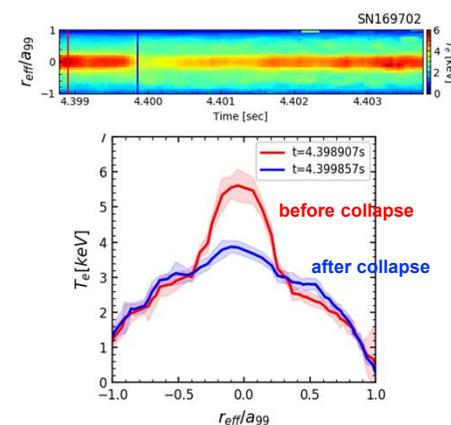
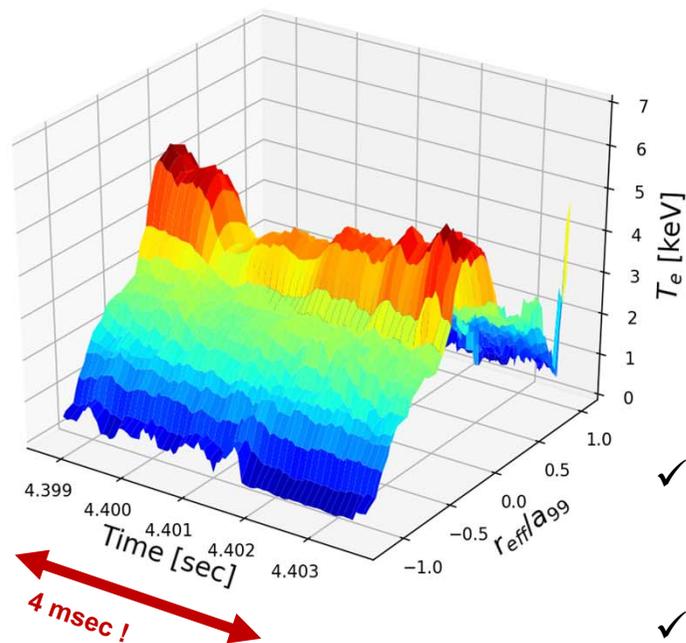
Shot number : 166983







スライド作成: 鋸持さん



- ✓ High time resolution Thomson scattering measurement was conducted with 20 kHz sampling during ~ 5 msec.
- ✓ The detailed profile change during minor collapse of eITB was revealed.
- ✓ The center and peripheral  $T_e$  decreases and increases rapidly, respectively

## ■ 今後の展開

➤ 100kHz以上の時間分解能, 取得時間フレームの増加

- ✓ より励起光レーザー光変換効率の良い手法: 半導体レーザー励起
- ✓ 熱に強い材料開発



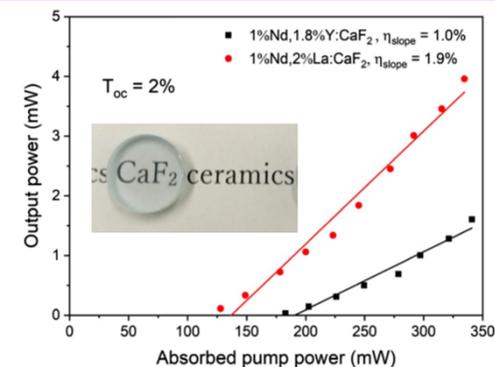
## ■ 時間領域の拡大によるディスラプションなどの課題への挑戦



## ■ First demonstration of Nd:CaF<sub>2</sub> ceramic laser (1064 nm)



- レーザーに適した光特性
- 良好な熱特性



材料研究者との協力による成果



## 高速トムソンとデータ科学が共創するとなにができるか.

提案書項目④アプローチ

- すでに取り組みが始められているが、機械学習等を利用して、他の計測器で突発的な現象が発生する予兆をとらえ、突発現象に対してイベントトリガを発生させて、この詳細・精密なデータを取得する.
- 高速でプロファイル計測が可能となったことを利用して、現在想定されている制御の時間分解能を桁違いに向上させて、プラズマの安定化を図る.
  - ▶ 計測器とデータ科学的手法が組み合わさることで、互いの長所を引き延ばすことができる.



## 学際的展開例

提案書項目⑤学際的展開

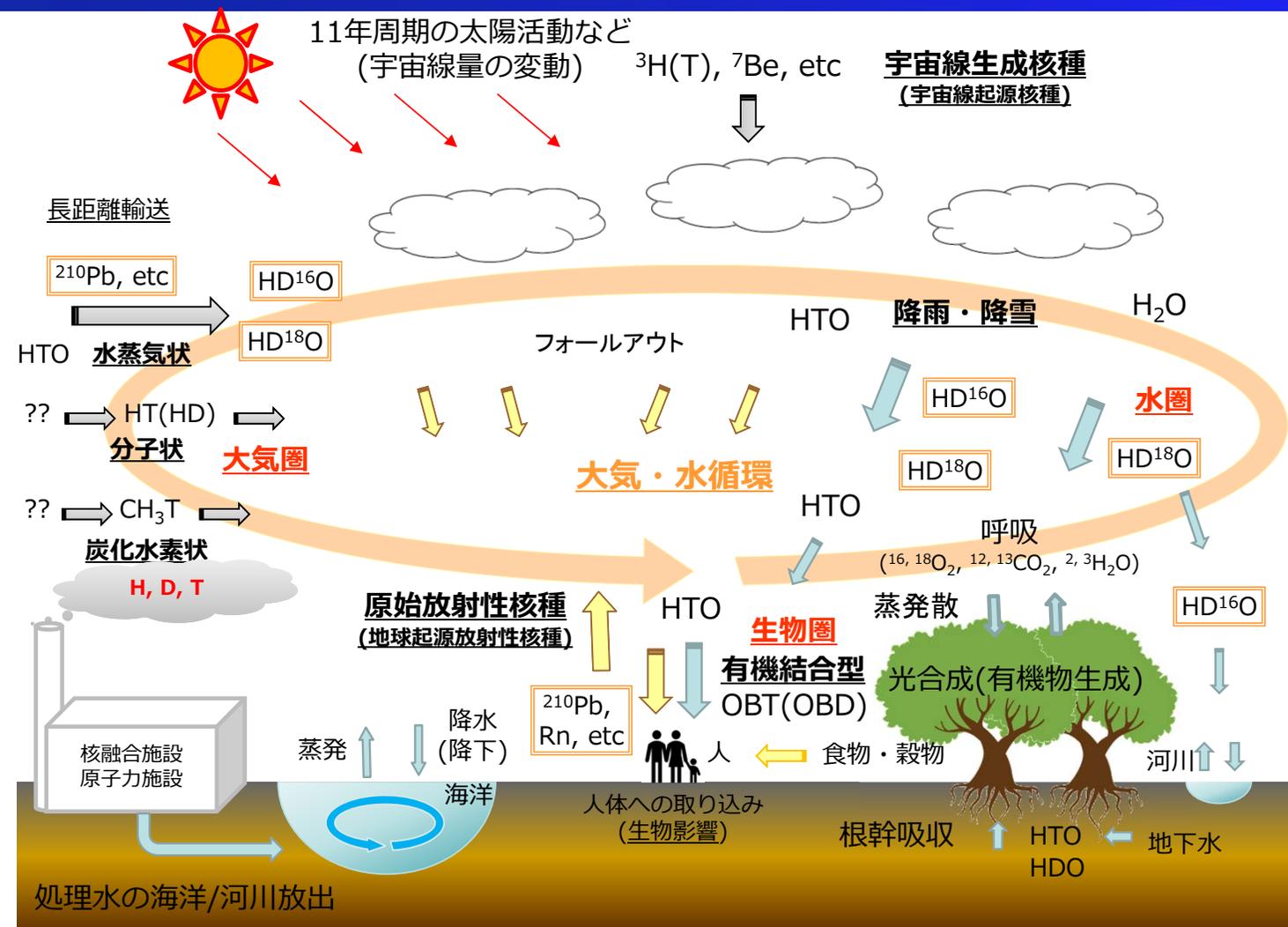
- 地球環境科学への展開
- データ駆動科学，表現手法
- 核融合科学発研究成果の社会実装



# 核融合関連研究の地球環境・地球科学への展開

～大気圏-水圏-生物圏をつなぐ水素同位体環境挙動・循環研究～

提案書項目⑤学際的展開



**NIFSにおける環境生物研究**  
 核融合炉から放出されるトリチウムの環境挙動・生物影響の総合的理解

- トリチウム環境挙動・生物影響研究:**
- トリチウムや低線量の生物影響研究 (大学・研究機関と共同研究ネットワークを通じて推進)
  - 環境中トリチウム挙動研究:
    - ✓ 環境水中トリチウム挙動循環の理解
    - ✓ 植生・生物中有機結合型トリチウム分析手法の確立とその挙動研究
    - ✓ 大気中トリチウムの挙動や、分子状/炭化水素状トリチウム起源の探求

NIFSでは**トリチウムや $^7\text{Be}$** などの**環境データベース**が構築されつつある  
 ↓  
 共同研究ネットワークも活用して、安定同位体を含む**同位体地球科学研究**へ広く展開する



# 期待されるシナジー効果

提案書項目⑤学際的展開

計測・分析技術

同位体科学  
[安定・放射性同位体分析]

データ科学  
[データ同化, 知覚化]

隠されている  
自然現象の探求、  
理解と予測



- プラズマの現象を、「データ」「データ駆動的手法」の言葉で再定義。  
統計数理やデータ駆動分野を通じて、多様な分野との学際研究を展開
  - 多次元時系列データ、データ同化、特徴抽出、情報量規準、統計的機械学習、転移学習、入力-出力応答、挙動パターン、...
  - 「データ駆動」研究が有する「予測性・外挿性」の問題に、実証を伴いつつ挑戦  
（“スケーリング則”は本当に“スケーリング”できるのか？回帰の外挿（性能向上）？  
など。統計的重要変数の選択と物理的解釈性の両面から攻めることができる
  - 精緻な実験と計測，第一原理理論シミュレーションという他の複雑系にはない有利な特長を、本ユニット軸で最大限活用し、他の複雑系研究へのインパクトをもたらす

## 天体・宇宙・物性・医療などの可視化



4D2U@国立天文台

- 福島1Fの放射線分布のリアルタイム可視化: 放射線計測データを5Gで計算機サーバへ高速転送。放射線源・放射線分布の計算。分布のレンダリングデータを5Gで高速転送。ARで表示。がれきの除去などに即座に対応した可視化を実現する計画。

## 情報科学の可視化

- スパコンのログデータ可視化: 温度変化や計算ジョブ分布の多次元時系列データの次元削減(坂本尚久准教授@神戸大)。
- SNSデータを用いた流行分析。

## 社会科学・防災・スポーツ科学の可視化

提案書項目⑤学際的展開

- 失われた城郭や街並みの可視化: 古文書からの再現(永野康行教授@兵庫県立大)
- 世界遺産寺院の可視化: レーザースキャンデータと深層学習の組み合わせで再現(田中覚教授@立命館大学)
- 建造物の地震時の挙動可視化・被害予測可視化(永野康行教授@兵庫県立大)

## アウトリーチ活動への展開

- 科学の教育・啓発活動: 研究成果を分かりやすく伝える。大型のVR装置は科学になじみの少ない一般市民にも強い印象を与えることができる。実際には体験できない現象や数学の3次元立体図形などを目の当たりに見せる(百見は一体験に如かず)。



## 社会実装に向けた取り組み

提案書項目⑤学際的展開

- ▶ 社会問題解決にむけて
- ▶ 産業応用に向けた取り組み



# 福島廃炉への貢献：中赤外レーザー分光によるトリチウム水連続モニタリング手法の開発「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」（2021～）

提案書項目⑤学際的展開

## 水素同位体の光学的検出手法研究

各種世界初の  
中赤外レーザー発振器の実現

Research Article  
Optics EXPRESS  
Vol. 28, No. 3 | 5 Feb 2018 | OPTICS EXPRESS 3497

Optimization of laser emission at 2.8  $\mu\text{m}$  by Er:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics  
HIYORI UEHARA,<sup>1,2</sup> SHIGEKI TOKITA,<sup>1</sup> JUNJI KAWANAKA,<sup>1</sup> DAISUKE KONISHI,<sup>3</sup> MASANAO MURAKAMI,<sup>3</sup> SELJI SHIMIZU,<sup>3</sup> AND RYO YASUHARA<sup>2,4</sup>

Applied Physics Express  
ACCEPTED MANUSCRIPT  
Passively Q-switched 2.9  $\mu\text{m}$  Er:YAP single crystal laser using graphene saturable absorber  
HIROKI KAWASE,<sup>1</sup> HIYORI UEHARA,<sup>2</sup> HENGJUN CHEN,<sup>3</sup> AND RYO YASUHARA<sup>3</sup>  
Accepted Manuscript online 26 August 2019 • © 2019 The Japan Society of Applied Physics

Research Article  
Optics EXPRESS  
Vol. 27, No. 9 | 29 Apr 2019 | OPTICS EXPRESS 12213

2.92- $\mu\text{m}$  high-efficiency continuous-wave laser operation of diode-pumped Er:YAP crystal at room temperature  
HIROKI KAWASE<sup>1,4</sup> AND RYO YASUHARA<sup>1,2,3</sup>

## 【研究概要】

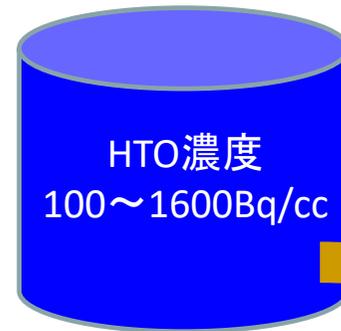
中赤外レーザーを用いたキャビティリングダウン計測による「濃度60Bq/ccレベル」トリチウム水短時間計測の原理実証を成果目的とする。高性能量子カスケードレーザーを用いたキャビティリングダウンシステムを構築し、重水等を用いた光学特性評価を基にトリチウム水計測を試みる。



[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo\\_osensui/images/osensui\\_alps\\_list01.png](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/images/osensui_alps_list01.png)

処理水タンク

希釈化



放出

中赤外レーザートリチウム水計測装置  
成果目標: 60Bq/cc  
処理水タンクでのHTO計測の迅速化  
小型化

- 希釈前のトリチウム濃度導出の迅速化によって、希釈・放出作業の高効率化が可能



## まとめ

- リアルな世界で計測器をプローブとしてノイズの含まれたシグナルを抽出し、また、シミュレーションから多種多様なデータを取得し、それらからパターンを読み出し、人間が理解できる形に表現する。計測、データ駆動科学、可視化それぞれの革新的手法を生み出し、また一連の過程をシステムとして捉え、高度化する。
- これまでにアクセスできなかったパラメータ領域を観測・考察可能とすることで、核融合科学の課題解決を目指した現象理解への質的転換を図る。
- **⑥独自性，優位性など**：本ユニットの優位性は、すでに核融合コミュニティで実現されている高度なプラズマ計測技術，データ解析技術，分離濃縮技術、放射線・放射能測定技術，可視化技術と，それらを統合し，計測器からデータ解析を経て可視化する一連の過程をシステムとして捉え高度化するというフレームワークにある。

なにか黒い煤が付いているだけだろ。



表面にナノ構造がある。  
構造色で黒くなっている。

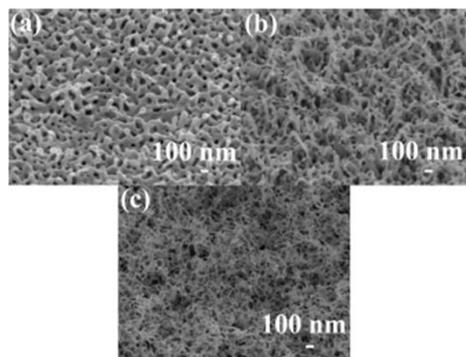
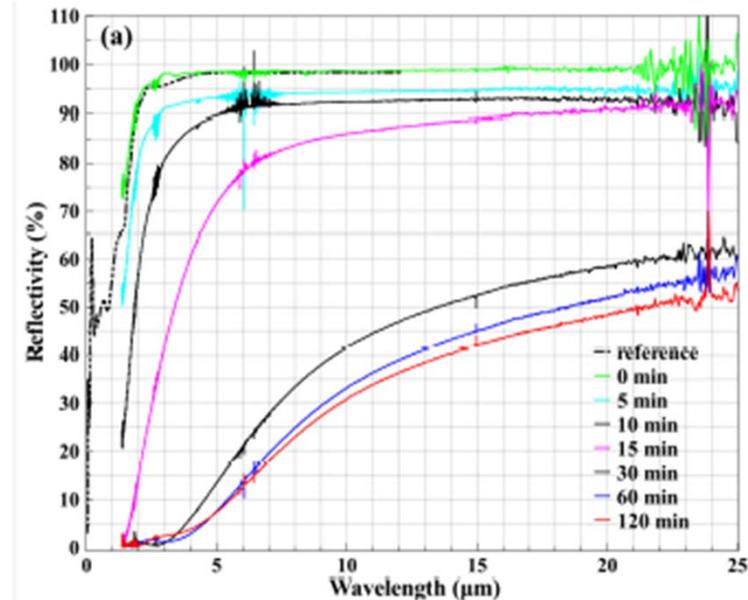
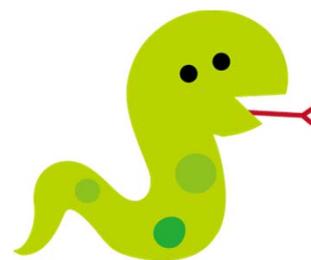


Fig. 1 FE-SEM images of FN W samples irradiated by helium plasma for (a)  $t = 5$  min, (b)  $t = 15$  min, and (c)  $t = 30$  min.

黒いのは、可視から近赤外域だけでした。



Shuangyuan FENG, et. al., PFR(2021).



へびには、明るく見える。  
ボロメーターでも見える。



## 今日の議題

1. ユニット提案紹介
2. 主なアプローチ例の紹介（各10分）
  - A) 揺らぎ輸送研究へ向けた高度計測(田中謙治)
  - B) 時空間ダイナミクスの解明に向けた手法開発（西浦）
  - C) データ駆動による予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御への挑戦（横山）
  - D) データ理解への挑戦（表現手法）（大谷）
3. ユニットテーマに対する議論



*Thank you for your attention !*

*Ryo Yasuhara*

*Email: [yasuhara@nifs.ac.jp](mailto:yasuhara@nifs.ac.jp)*

