

2025年度可知化センシング (S&I: Sensing and Intellectualizing Technology) ユニット活動報告

田中謙治、可知化センシングユニットメンバー

本ユニットの定義と基本方針

Sensing→計測手法(それに付帯したデータ取得および解析手法も含む)の開発

可知化(intellectualization)→学術的価値を与えること。

計測を開発して新たに計測した結果から新しい学術的発見を目指す。

歴史上の可知化センシングを紐解くと

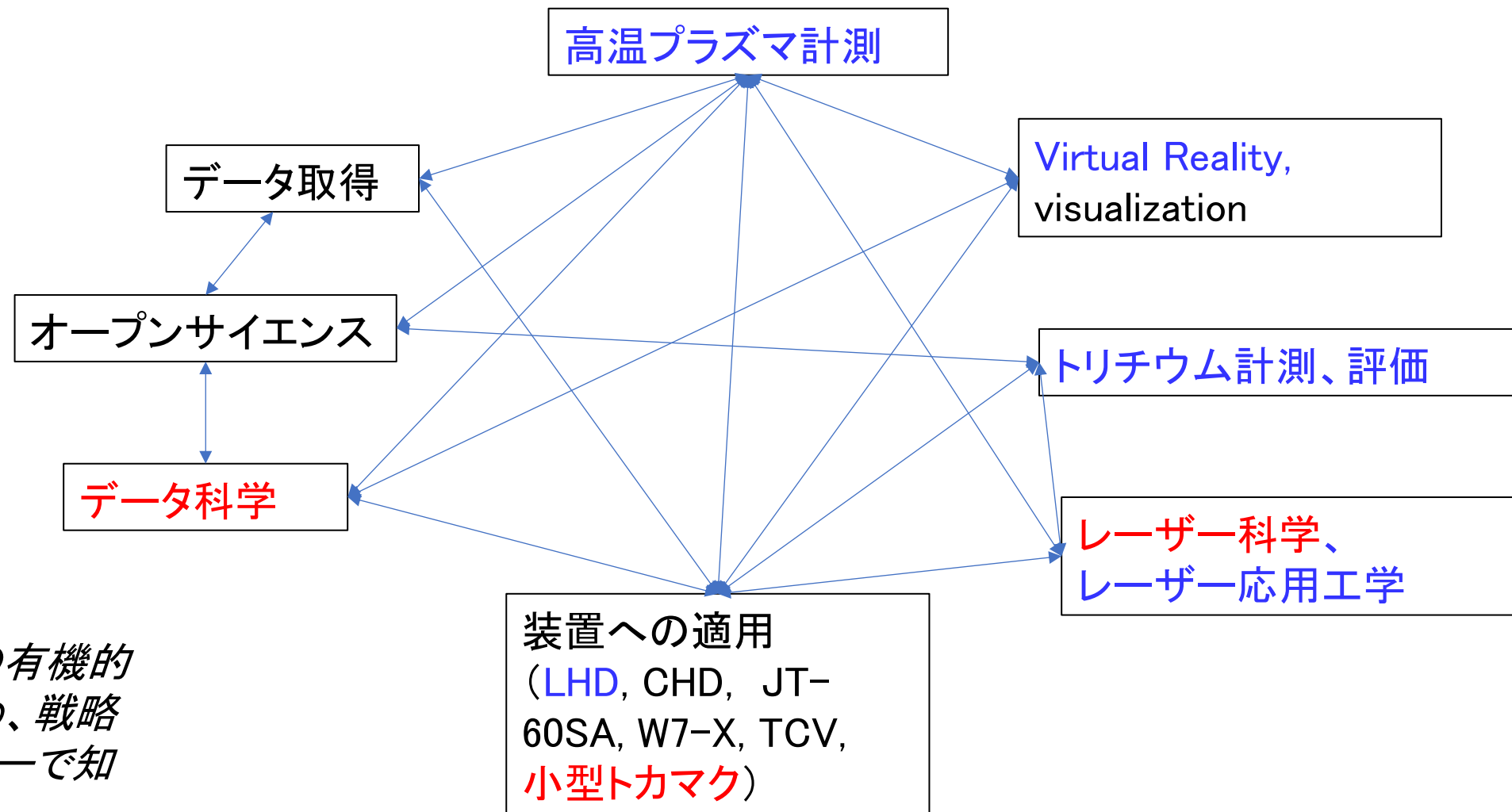
リーウネフックは17世紀に顕微鏡を発明しパスツールは19世紀に顕微鏡の観察結果から細菌を発見して微生物学を創始した。

ガリレオは17世紀に望遠鏡を開発改良し木星の衛星を発見した。

小柴は浜松ホトニクスが開発した高感度の光電子増倍管を用いてニュートリノを計測、ニュートリノ天文学を確立した。

シェフイールドら英国カラム研究所のグループが1969年に旧ソ連のT-3トカマクにトムソン散乱を設置し、 $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$, 1keVを確認した。→この結果により磁場閉じ込め方式の中心はトカマクになる。

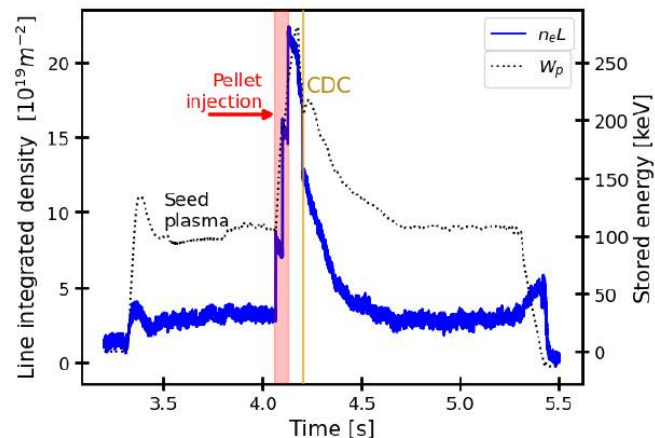
計測、解析対象は多岐にわたる。異なる分野間での学際的な研究に取り組む。



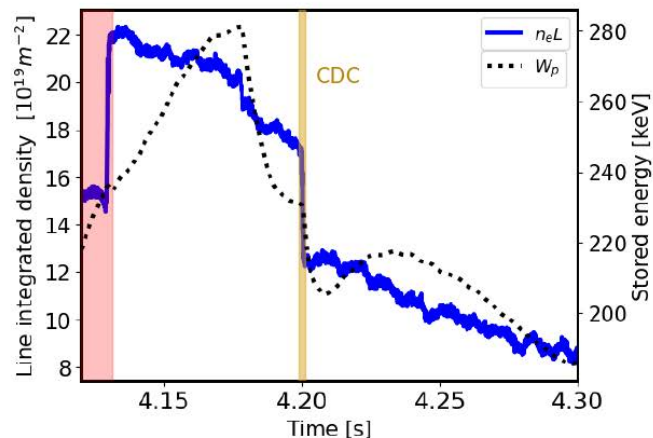
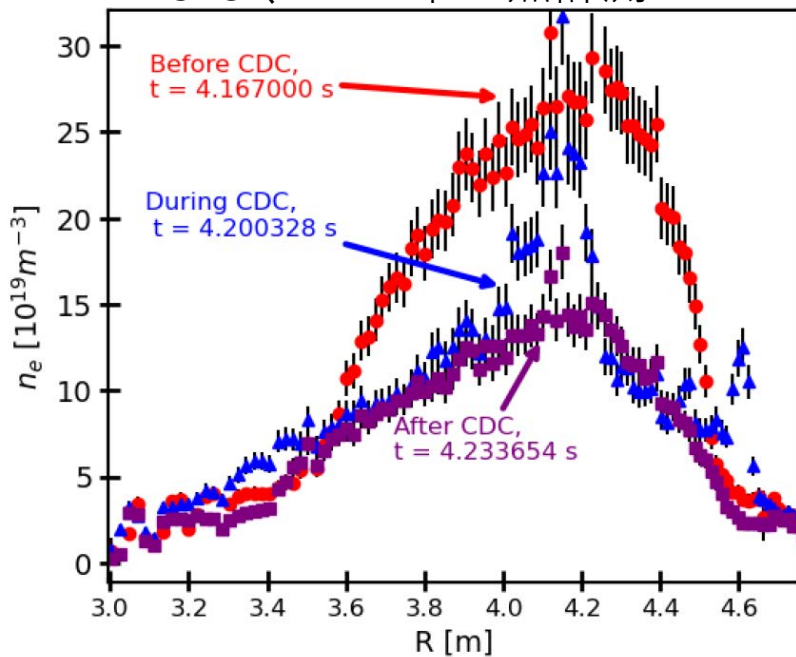
異なる分野の有機的な協働のため、戦略会議のセミナーで知見を共有

青字は本発表で概要を赤字は個別発表で詳細を報告する。

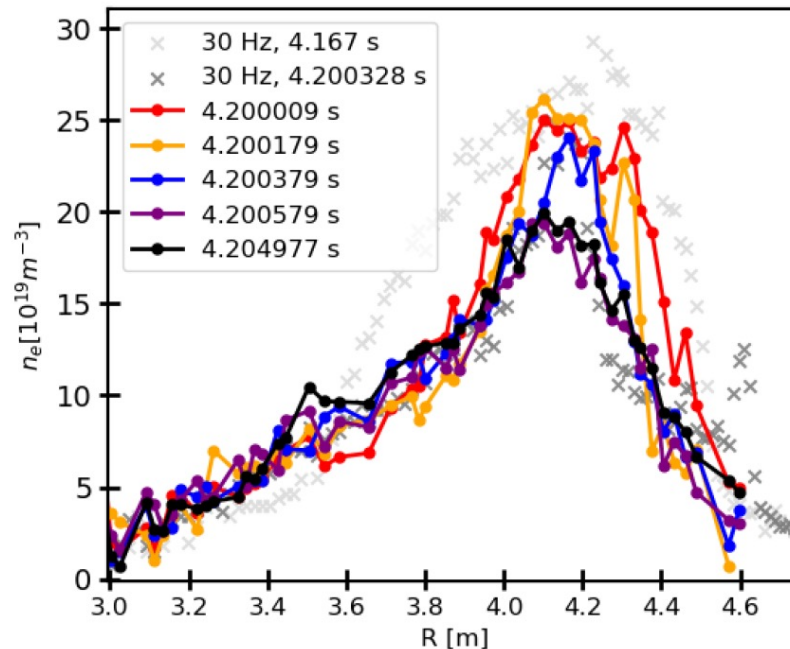
高速トムソン散乱によるCore Density Collapse (CDC) の計測



30Hz Thomson CDC 前後および、CDC中 1点計測



20kHz 高速ThomsonCDC中
多点計測



20kHz高速トムソンでCDCの崩壊過程を計測した。

周辺部から密度が崩壊。

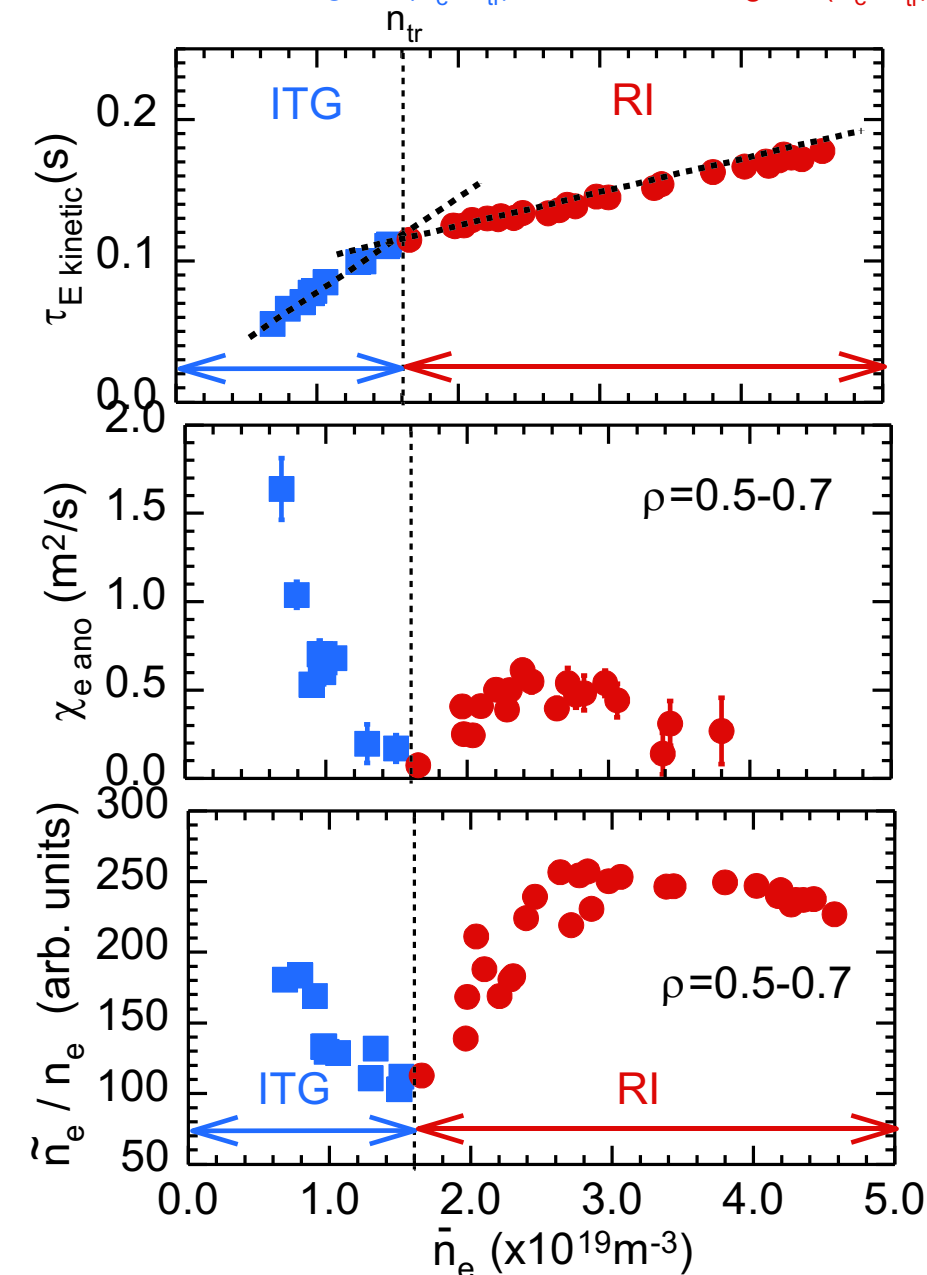
電子温度も磁気軸付近で局所的入peaking

圧力勾配の上昇によりバ
ルーンモードが駆動され
内部崩壊した。

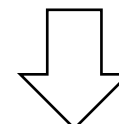
R. Sasella, D.J. Den Hartog (UW Madison),
Y. Takemura, R. Yasuhara, et al
PPCF 2026

LHDでPCIを用いた乱流計測により閉じ込めの遷移を発見→プラズマ制御へ適用

■ ITG regime ($\tilde{n}_e < n_{tr}$) ● RI regime ($\tilde{n}_e > n_{tr}$)



- ✓ 乱流は二次元位相依存コントラストイメージング (Two-dimensional phase contrast imaging; 2D-PCI) で計測
- ✓ 密度の増加(→衝突周波数の増加)に伴い、イオン温度勾配不安定性(Ion temperature gradient ;ITG)乱流は減衰し、抵抗性交換型不安定性(resistive interchange ;RI)乱流に遷移する。
- ✓ 遷移付近で乱流は最小→乱流駆動輸送は最小。

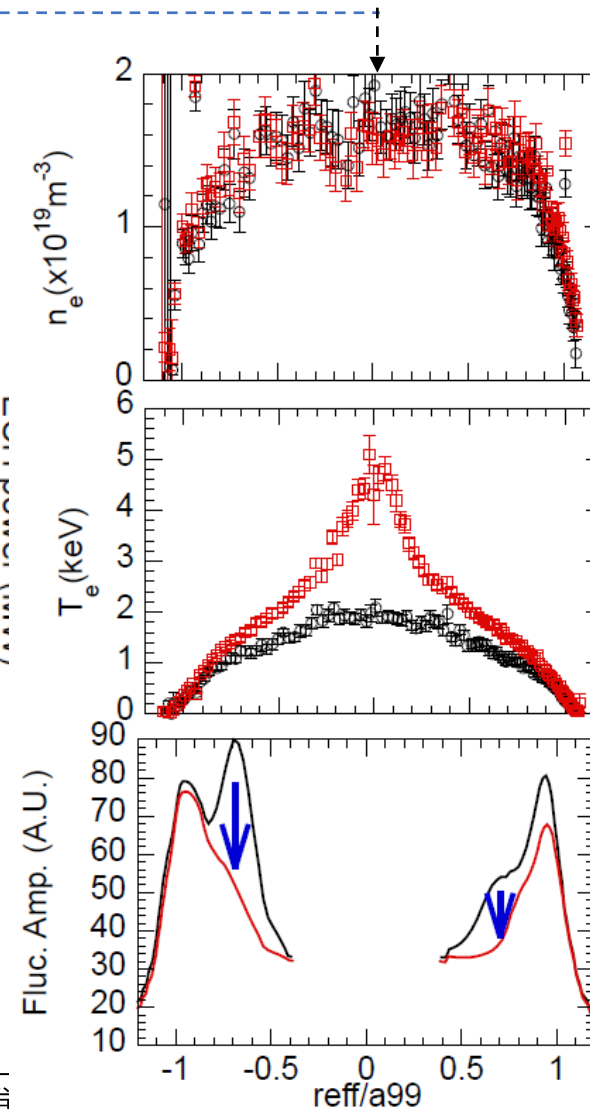
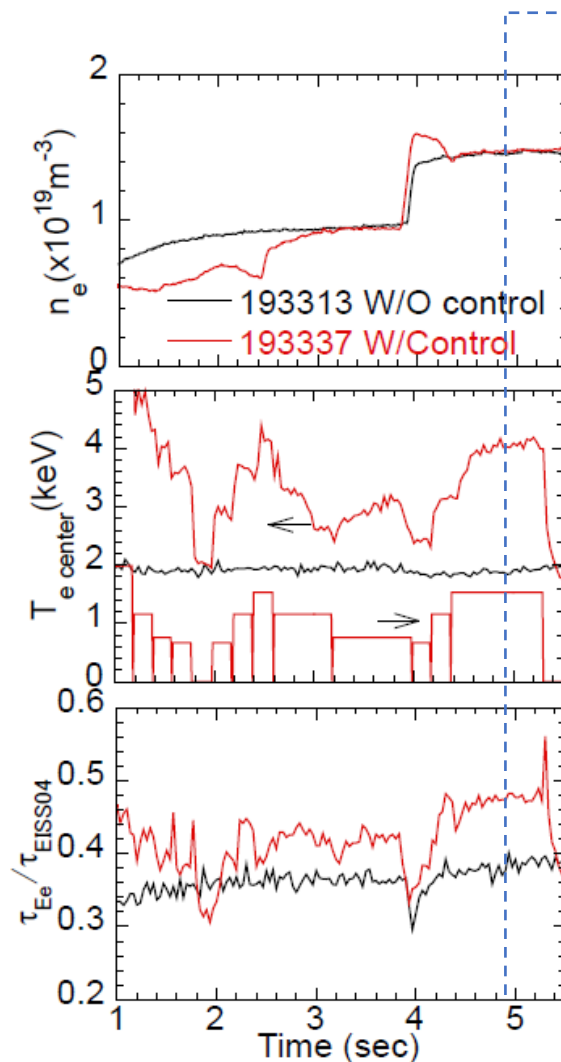
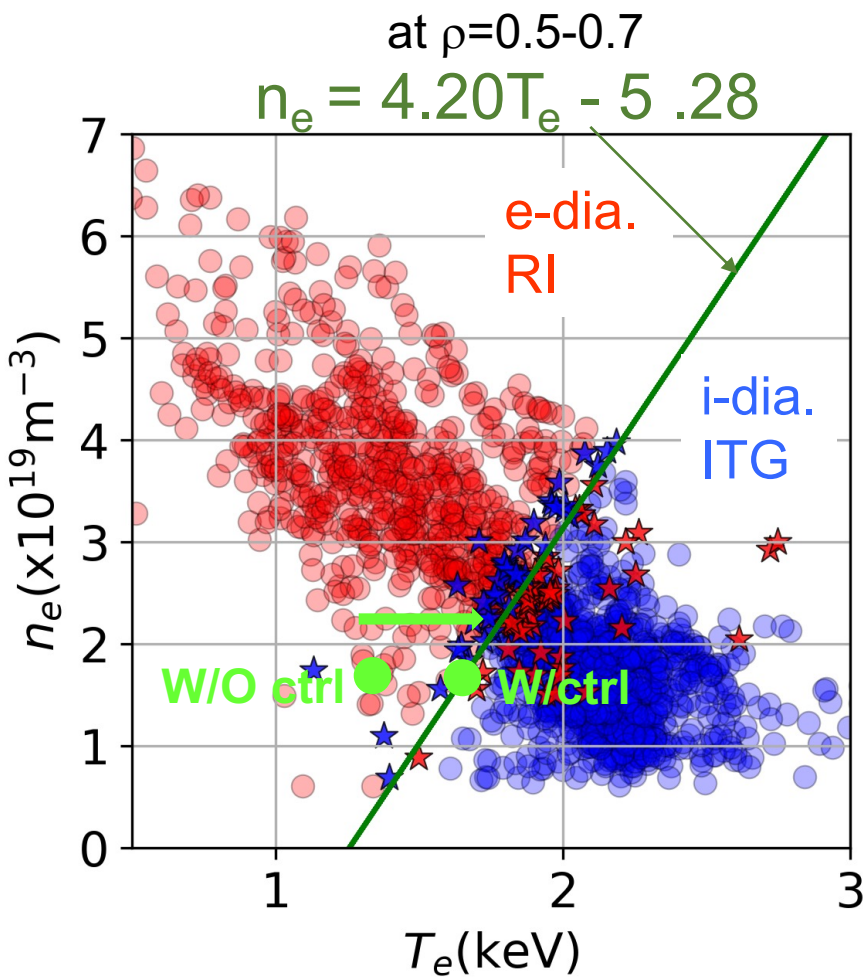


乱流揺動が最小となる状態へプラズマを制御できれば乱流駆動輸送を最小にできる。

- i) そのようにITGとRIを区別するか？
- ii) どのパラメーターが乱流を最小にする？
- iii) どのように制御するか？

T. Kinoshita, K. Tanaka et al, PRL 2024

リアルタイムトムソンとASTI制御システムを用いて乱流遷移(乱流低減)を維持し、閉じ込めを改善した。



#193313
制御無し
RI不安定

#193337
制御有り
ECHにより衝突
周波数が下がり
RIが安定化

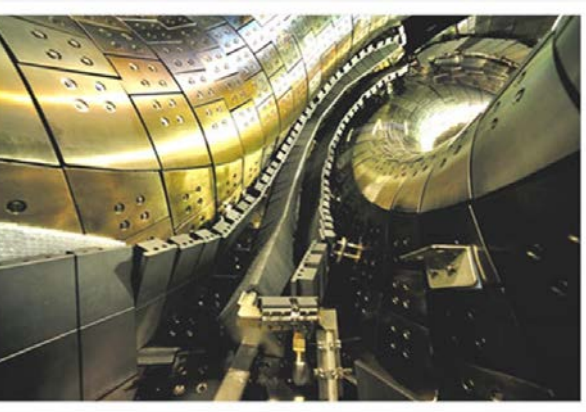
リアルタイムトムソンで
条件を判断し、ECHを制御

T. Kinoshita, K. Tanaka et al, NF 2026

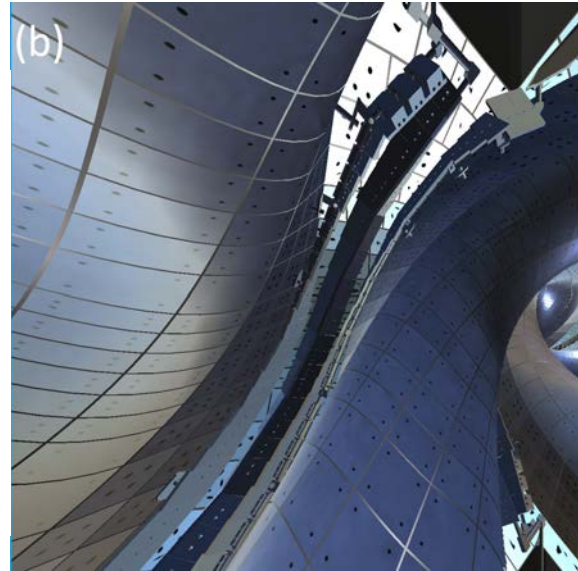
VR可視化解析によりトリトンとプラズマ対抗壁の衝突
材料分析はダイバータ裏面の残留トリチウムを示す。

(M. Tanaka, et al, Nuclear Materials and Energy 42 (2025) 101876)

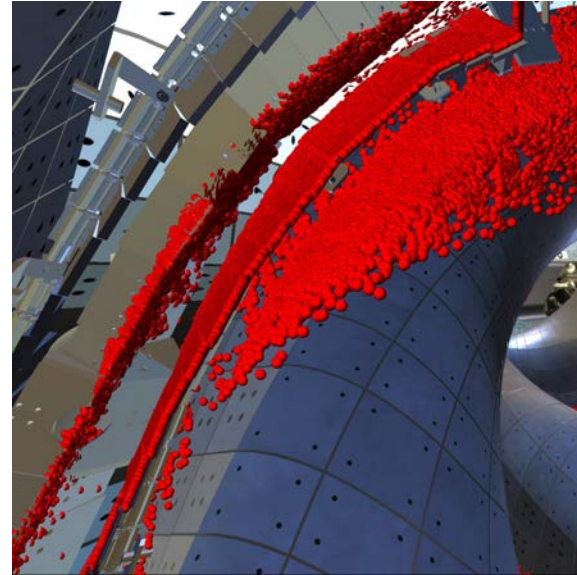
VR解析が裏面へのトリトン衝突を示す。→計測できないものを可視化した！



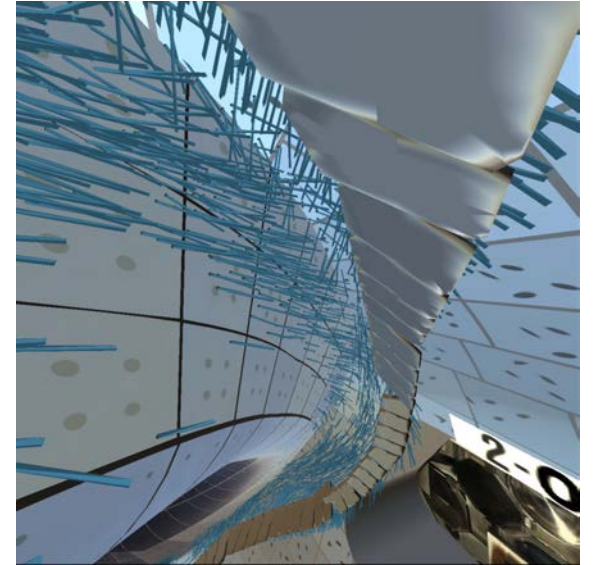
LHDのdivertorの写真



VR空間で再現した
LHDのダイバータ



衝突点を赤球で示す



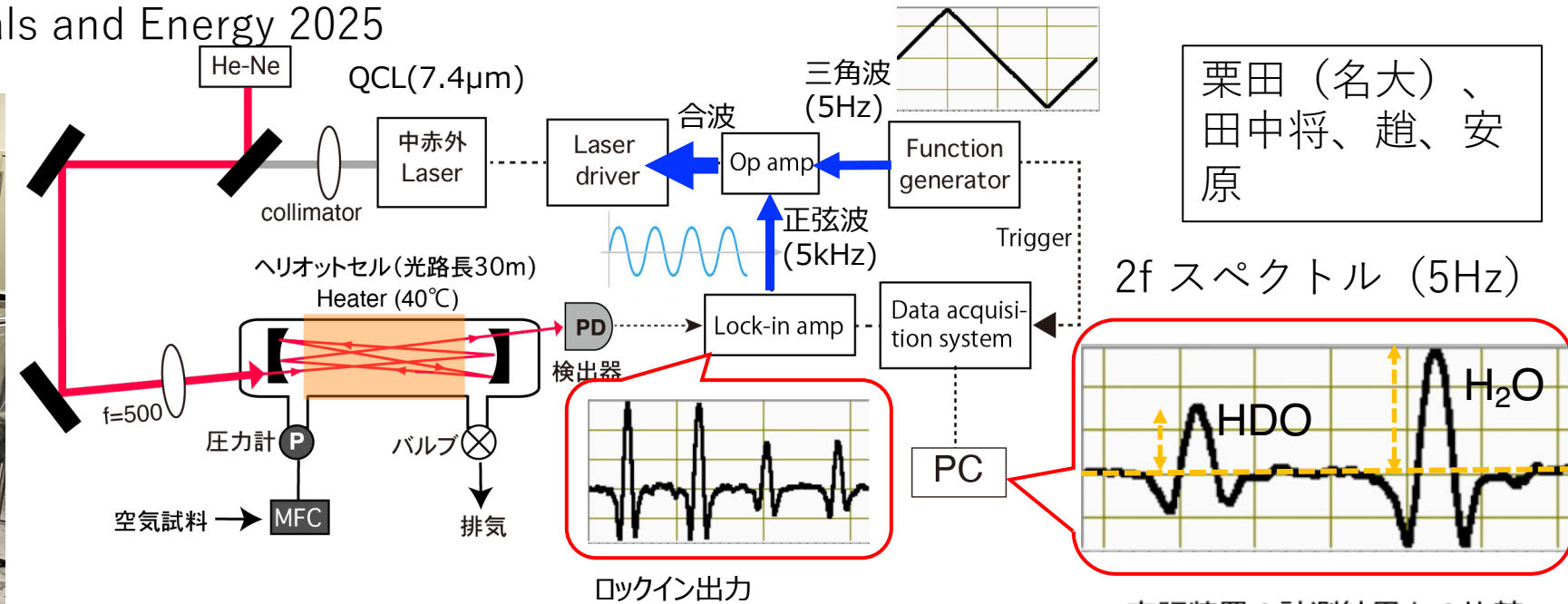
ダイバータ裏面へのトリト
ンの衝突ベクトル

H.Ohtani et al.: IAEA FEC2025, submitted to NF,
H.Ohtani and K.Ogawa: JASSE Vol.13 (2026), pp.1-10.

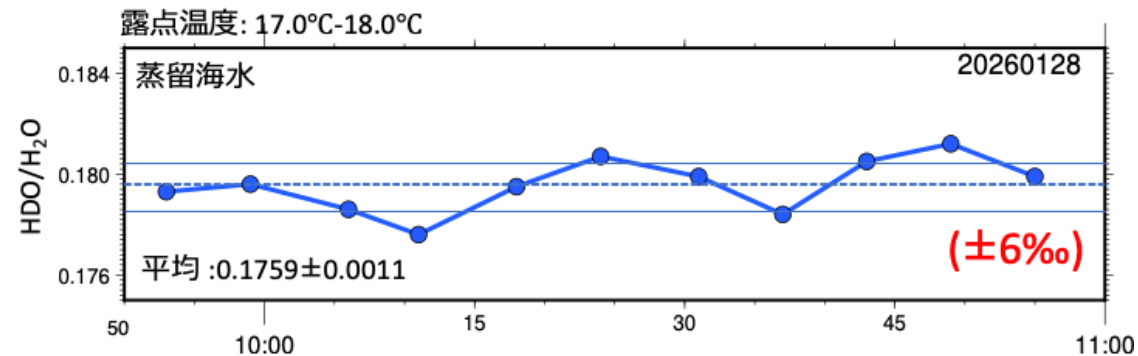
環境同位体の計測:中赤外レーザーを使った環境水蒸気の重水素計測装置の開発

重水素は海水中に存在する。重水素の成分比を計測することで大気循環が分かる。

M. Tanaka et al, Nuclear Materials and Energy 2025

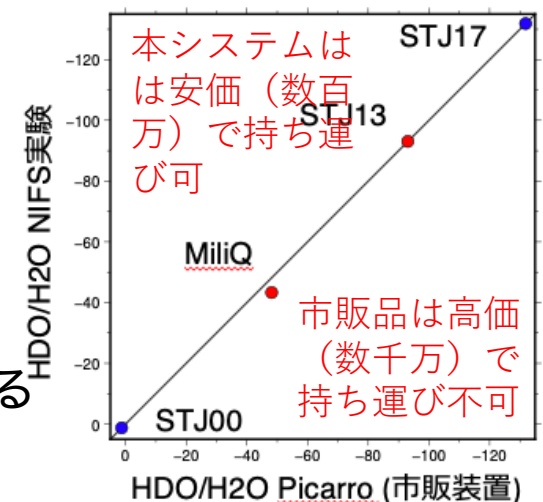


栗田 (名大)、
田中将、趙、安
原



市販装置よりも簡易なシステムで市販装置に匹敵する精度と確度で環境水の重水素同位体が計測可能

市販装置の計測結果との比較



光渦によるフェムト秒レーザー加工の高度化(川口、上原)

研究課題の定式化

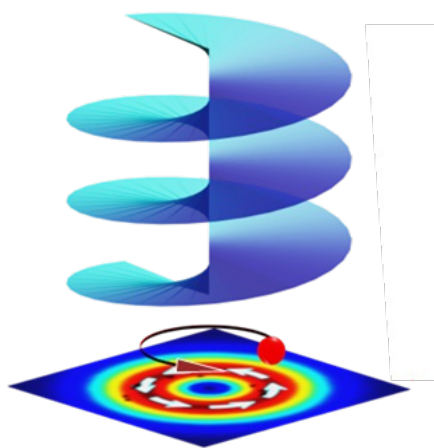
A. 先進プラズマ計測・解析で挑む揺動・ダイナミクス研究

電子工学、光学、量子エレクトロニクス等の理解を基に光源の高性能化とその応用

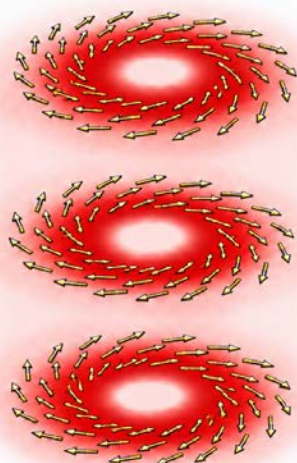
波長、出力強度、パルス幅などについて**現在利用できない光源のパラメータ領域を開拓**する。

◆光渦=空間上に渦構造を持つ光

螺旋位相



螺旋偏光



光の空間パラメータ

- ・円環状の強度分布
- ・軌道角運動量
- ・螺旋偏光分布
- ・特異点構造

波長・パルス幅・出力強度に次ぐ
新しい光のパラメータ領域をもつ！

◆フェムト秒レーザー加工による表面微細加工

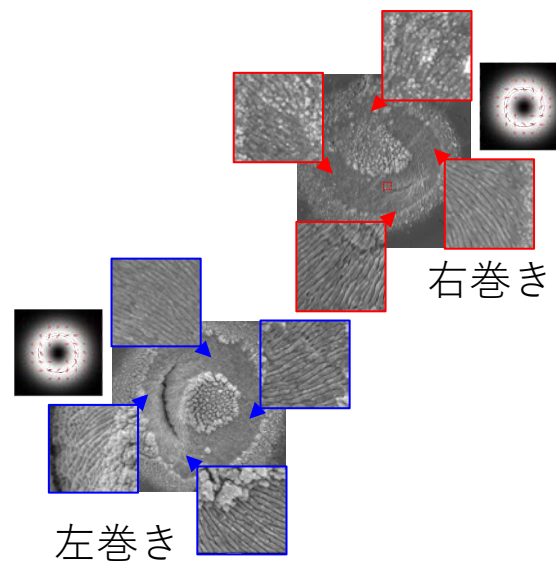
材料表面へのナノスケール微細構造を付与することで
材料表面材料特性を制御できる！

- ・表面積増大による**表面放熱特性・撥水疎水特性**の制御
- ・**表面メタ構造**による新奇熱機能性のデザイン

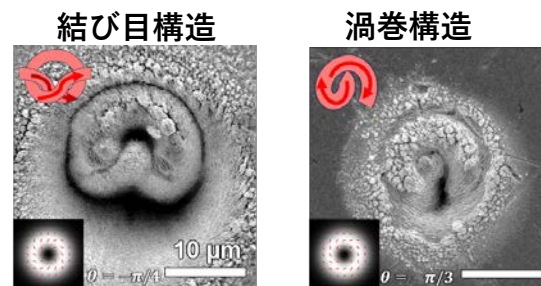
光渦の空間構造を利用した表面微細加工の高度化

○光渦の空間パラメータをレーザー加工パラメータとして活用
⇒通常では加工が難しい複雑な微細構造の制御も可能に！

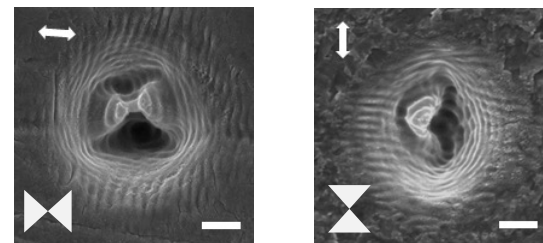
①螺旋偏光による複雑構造形成



②トポロジカルマイクロ構造



③非対称ボウタイ構造



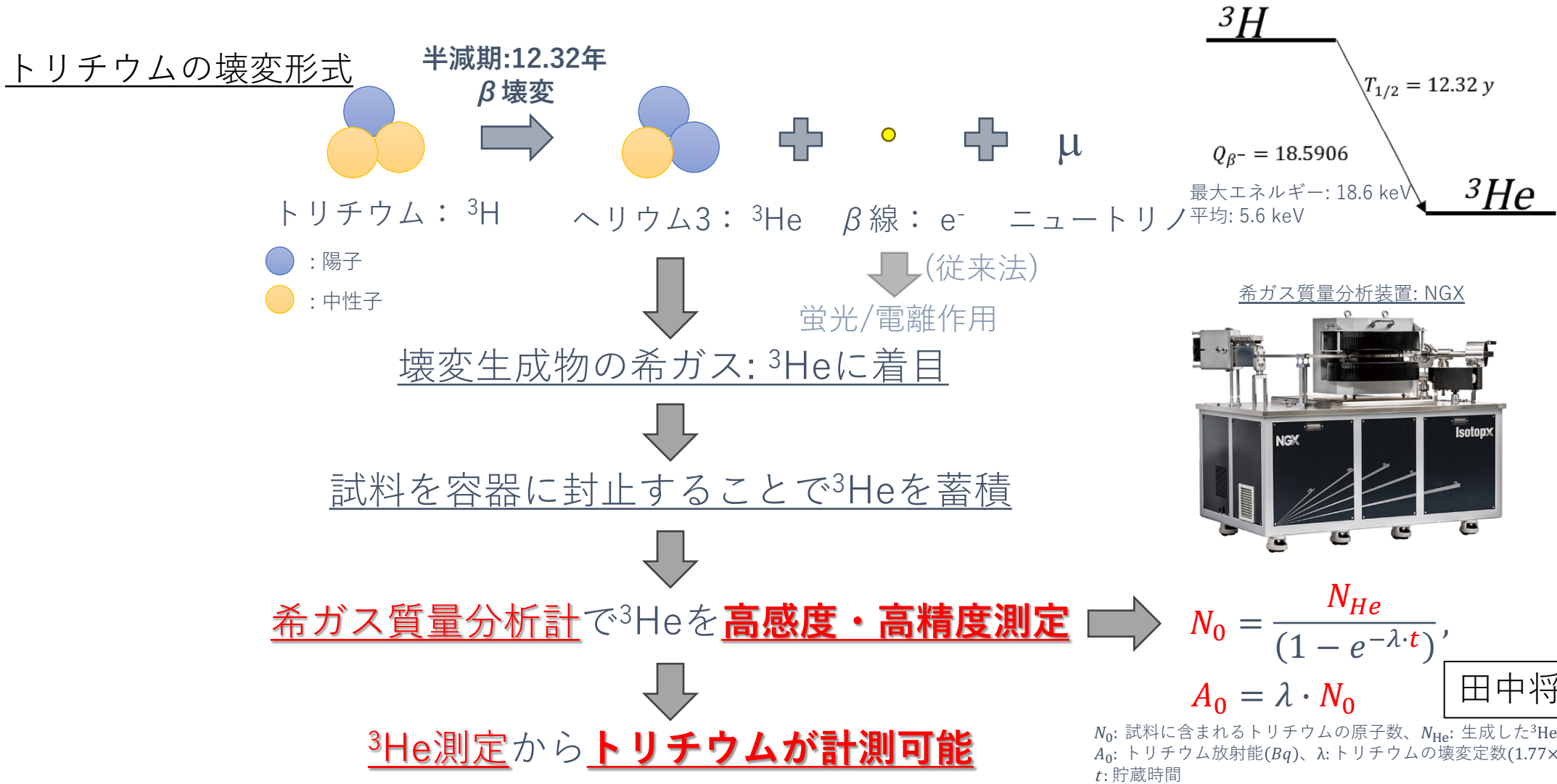
●なぜ光渦でこのような複雑な構造が形成されるかは未解明
⇒光渦-物質相互作用に基づく新たな物理現象の解明へ

個別発表

1. ムーンショット10における青紫色半導体レーザーの高出力化 上原日和
2. NIFSにおける小型トカマク研究計画 渡邊清政
3. 統計数理核融合学 横山雅之

環境同位体の計測:³Heを利用したトリチウム計測手法

環境トリチウムは微量で計測が困難。今までの手法では多くの前処理が必要で評価に数カ月かかる。
環境トリチウムのソースは宇宙線で太陽活動のモニターになる可能性。



NINSの研究
設備促進事
業で整備