

可知化センシングユニット R5年度報告

Sensing and Intellectualizing Technology Unit (S&I)

核融合研 R5年度ユニット成果報告会
令和6年5月8日

<発表者>

活動報告：上原日和(ユニット長)

成果報告：田中謙治、向井清史、中西秀哉、田中将裕

本日の報告内容

■ ユニット概要

- ユニットテーマの概要
- ユニットメンバー紹介

■ アカデミックプラン

- 先進プラズマ計測・解析で挑む揺動・ダイナミクス研究
- データサイエンスによる予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御
- データ理解への挑戦とパブリックコミュニケーションへの展開

■ ユニット活動の紹介

■ 課題と今後の方針

■ 特筆される成果の報告

- ① レーザートムソン散乱計測の開発の現況（上原）
- ② 位相コントラストイメージングの乱流計測により発見した乱流遷移（田中謙）
- ③ 2次元輻射計測と画像解析による放射崩壊現象の異常検知（向井）
- ④ オープン・サイエンスに向けた取り組みの成果（中西）
- ⑤ 大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価（田中将）

ユニットテーマの概要

「可知化センシング」とは

可知（知ることができる、分かる）

→現象を、計測し、知ることができる形に表現する。

可知化センシングユニットの研究目的

革新的な計測・解析・表現手法とそれらを統合した新たな自然理解システムを実現する。

- これまでにない **高空間分解能・高時間分解能**を持つ計測器によって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な **統計数理・データサイエンス** の考え方を採り入れた解析手法を用いて情報量を最大限に抽出する。
- さらに多種多様の現象やデータを **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。
- これらの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。

ユニットメンバー（所内）

（敬称略、順不同）

- 上原 日和 レーザー工学、光学
- 江本 雅彦 機械学習、データベース
- 大谷 寛明 可視化情報学、シミュレーション技法
- 太田 雅人 超高速計測
- 川口 晴生 光学、光渦の応用
- 榊原 悟 電磁流体力学、揺動計測・解析
- 佐瀬 卓也 放射線科学、レギュラトリーサイエンス
- 武村 勇輝 MHD揺動計測・解析
- 田中 謙治 乱流計測、乱流駆動輸送解析、レーザー計測
- 田中 将裕 同位体科学、地球化学・環境科学
- 中西 秀哉 オープンサイエンス、核融合クラウドデータ基盤
- PETERSON Byron プラズマ計測
- 向井 清史 画像計測、周辺プラズマ
- 横山 雅之 核融合プラズマの統計数理・データ駆動的な研究
- 渡邊 清政 MHD・ディスラプション解析、輸送解析
- 安原 亮 レーザー工学、レーザー応用、プラズマ計測
- SHI Quan プラズマ表面改質、ランダムレーザー
- Zhao Mingzhong 光計測、核融合材料
- Yu Linpeng レーザー工学
- 宮川 鈴衣奈 レーザー加工、結晶工学
- Zangpo Jigme 光計測

**計測、プラズマ物理、データ科学、
同位体科学など幅広い分野に亘った
メンバー構成**

ユニット研究戦略会議・外部メンバー

(敬称略、順不同)

議長：上原日和、横山 雅之

- 矢野恵佑 (統計数理研究所)
- 時田茂樹 (京都大学)
- 平等拓範 (理研、分子研)
- 古瀬裕章 (物質・材料研究機構)
- 藤原英樹 (北海学園大学)
- 寶珍輝尚 (京都工芸繊維大学)
- 山中顕次郎 (国立情報学研究所)
- 吉川正志 (筑波大学)
- 長谷川真 (九州大学)
- 小山田耕二 (大阪成蹊大学)
- 赤田尚史 (弘前大学)
- 石井宏和 (生理学研究所)
- 筒井広明 (東京工業大学)
- 三瓶明希夫 (京都工繊大)
- 木下稔基 (九州大学)
- 合谷賢治 (秋田県立大学)
- 岸哲生 (東京工業大学)

核融合データの統計思考による解析
レーザー装置、レーザープラズマ
レーザー工学
レーザー装置、レーザー材料
ナノ光学、光物性
マルチメディアデータ工学・検索
高遅延広帯域データ伝送
粒子輸送計測・解析、データ処理
データ処理
可視化情報学
環境放射能計測、被ばく線量評価
生体イメージング
核融合プラズマに関する逆問題
トモグラフィ計測
プラズマ計測
レーザー加工、光計測
無機材料、光計測

多分野にまたがる学際的なメンバー構成、共同研究に基づいたアカデミックプランを議論

その他の所外ユニットメンバー

(敬称略、順不同)

- 三分一史和 (統計数理研究所)
- 浜口智志 (大阪大学)
- 村上定義 (京都大学)
- 森下侑哉 (京都大学)
- 稲垣滋 (京都大学)
- 江尻晶 (東京大学)
- 石澤明宏 (京都大学)
- 大野暢亮 (兵庫県立大学)
- 坂本尚久 (神戸大学)
- 川原慎太郎 (海洋研究開発機構)
- 杉山貴彦 (名古屋大学)
- 田口明 (富山大学)
- 立花優 (長岡技術科学大学)
- 栗田直幸 (名古屋大学)
- 鈴木正敏 (東北大学)
- 平尾茂一 (福島大学)
- 横山須美 (長崎大学)
- 岸本泰明 (京都大学)
- 中島秀紀 (九州大学)
- 山本直嗣 (九州大学)
- 森田太智 (九州大学)

統計数理
物理駆動AI研究
プラズマ物理大規模シミュレーション
データ同化制御
プラズマ物理、データ科学
プラズマ物理、計測技術
乱流理論、乱流シミュレーション
可視化情報学
可視化情報学
可視化情報学
化学工学による同位体分離濃縮
化学工学による同位体分離濃縮
化学工学による同位体分離濃縮
環境同位体計測、環境シミュレーション
放射線生体影響評価、被ばく線量評価
環境放射能計測、環境シミュレーション
環境放射能計測、被ばく線量評価
乱流理論、乱流シミュレーション
航空宇宙工学、核融合学
航空宇宙工学、核融合学
航空宇宙工学、プラズマ計測

多数の所外メンバーと多種多様な共同研究を推進している

大きな3本の研究スローガン

(A) 先進プラズマ計測・解析で挑む揺動・ダイナミクス研究

主要メンバー：上原、太田、川口、武村、田中謙、ピーターソン、向井、安原

(B) データサイエンスによる予測・判断志向研究を通じた サステナブルプラズマ制御

主要メンバー：江本、榊原、田中将、中西、向井、横山、渡邊

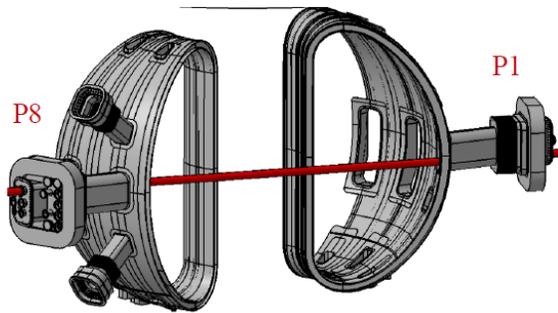
(C) データ理解への挑戦とパブリックコミュニケーションへの展開

主要メンバー：江本、大谷、佐瀬、田中将、中西

アカデミックプラン 戦略と戦術、成果概要

(A)先進プラズマ計測・解析で挑む揺動・ダイナミクス研究

- 光位相コントラスト計測による揺動計測性能の向上、レーザートムソン散乱計測の時間分解能の向上を図るとともに、得られた観測結果に対して、データサイエンス手法を駆使した解析手法の高度化を行う。
- これまで観測できなかった電子温度・密度分布の時空間的なダイナミクスを直接観測し、乱流揺動の輸送特性の解明や揺動データに潜む法則性、突発的・過渡的なプラズマ現象を理解する。
- 電子工学、光学、量子エレクトロニクス等の理解を基に計測応用のための光源・検出器等の高性能化を目指す。



S. Coda et al, NF2021

JT-60SA(など)に位相コントラストイメージングを適用



高速トムソン散乱のレーザー改良で計測性能向上
速度分布関数の直接計測を目指す

後ほど、特筆される成果の報告①
にて高速トムソンの現況と今後の
見込みを報告

後ほど、特筆される成果の報告②
にてPCIの最新の成果報告

(B) データサイエンスによる予測・判断志向研究を通じたサステナブルプラズマ制御

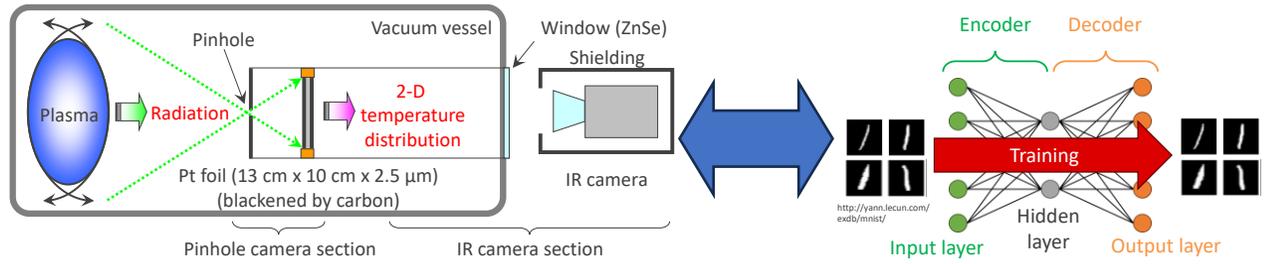
- 超高温プラズマのリアルタイム制御を目指し、制御対象となる現象にまつわるデータ群に対して、統計数理が得意とする「データへのあてはめ」という考え方との融合を図ることで、**複雑システムの挙動予測**や意思決定の方法論を磨く。
- 物理情報に基づくニューラルネットワークを使ったデータ分析・可視化をおこない、得られた結果を基に核融合研究をハブとして、統計数理、情報学、データ科学の先端分野を開拓する。



統計数理学の考え方で核融合研究の諸課題を捉える
 →放射崩壊・ディスラプション予知とその活用による
 制御実証をめざす

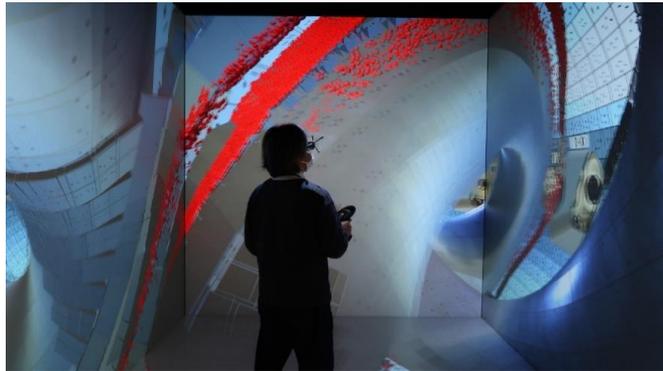
後ほど、特筆される成果の報告③
 にて向井より報告

イメージングボロメータ計測と機械学習を併用してプラズマの放射崩壊の予測に成功



(C)データ理解への挑戦とパブリックコミュニケーションへの展開

- 3次元+ α の解析を可能とするVR表示などの表現法、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。
- 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、知的探求プロセスを方法論として確立する。
- 研究成果の社会還元及び核融合の実用化に向けた合意形成のため、オープンサイエンス、アウトリーチ活動やレギュラトリーサイエンスを推進する。
- 原型炉に向けて安定同位体、放射性同位体の環境における物質循環・移動過程を明らかにする。



- **LHDにおける高速トリトン粒子とプラズマ対向壁の衝突点分布を定量的に解析し、VR装置で可視化することに成功**
- 可視化手法の改良や、触覚デバイスの用いたVR可視化研究を始めている。

大谷 寛明提供

オープンサイエンス研究：雷神スパコンとLHDデータストレージを直結したネットワーク技術開発、LHDデータのDOI化

→特筆される成果の報告④にて中西より報告

同位体研究：大気中トリチウム捕集システムを構築し、濃度推移を明らかにした。核融合システム内挙動理解をめざす

→特筆される成果の報告⑤にて田中将より報告

アカデミックプラン：学際的展開

- 本ユニットの優位性は、核融合コミュニティで実現されている高度な計測技術，データ解析技術，表現技術と，それらを統合し，計測器からデータ解析を経て表現する一連の過程をシステムとして捉え高度化するフレームワークにある。
- 「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。」これは、核融合分野に限らず全ての分野に共通した研究者の活動の一部である。
- 計測・解析・表現手法から科学知を得るまでの過程の各要素で他に類を見ない性能や先進性を提示して，その過程を構造化・定式化することで知的探究プロセスを体系化して多くの学術分野とコミュニケーションを図る。
- 科学技術の成果を人と社会との調和の上で最も望ましい姿に調整するための「レギュラトリーサイエンス」を発展させるためには，評価不能なものを可能とする本ユニットの活動は意義深く先駆的な役割を果たすことが期待できる。

活動紹介：ユニット研究戦略会議の開催

- 5/19 出席24名 主な議題：ユニット研究戦略会議の趣旨の説明、その他
- 6/20 出席25名 主な議題：研究紹介（田中謙治）、**アカデミックプランの議論**、その他
- 7/28 出席15名 主な議題：研究紹介（山中顕次郎）、その他
- 9/15 出席17名 主な議題：研究紹介（田中将裕）、**アカデミックプランの議論**、その他
- 10/17 出席13名 主な議題：研究紹介（赤田 尚史）、AAPPS-DPPのNIFSツアーの議論、ITERとの意見交換内容の議論、外部評価に関するユニットから提出内容の議論、その他
- 11/22 出席21名 主な議題：ITERとの意見交換内容の議論、**ムーンショット型に関する議論**、**ハブ事業申請に関する議論**、その他
- 1/15 出席25名 主な議題：**ムーンショット型申請に関する議論**、その他
- 2/26 出席18名 主な議題：**アカデミックプラン（人事提案）の議論**、その他

ほぼ月に一回のペースでユニット研究戦略会議を開催、所内外のメンバーで諸課題について議論した

- ・ **当会議における議論の活発さなどに課題あり（後述）**
- ・ **JST CRESTや大型科研費（学変B,特推,S）などの中規模グループでのプロジェクトへの申請について議論したい**

今年度、計測やAIに関するCREST新領域が多数設置された→

予測数学基盤	予測・制御のための数理科学的基盤の創出	小谷 元子	2024年度
光融合	光と情報・通信・センシング・材料の融合フロンティア	中野 義昭	2024年度
材料創製と循環	材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築	岡部 朋永	2024年度
生命力	革新的な計測・解析技術による生命力の解明	水島 昇	2024年度
革新的計測解析	社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出	鷲尾 隆	2022年度

活動紹介：ユニットからの人事提案 (アカデミックプランの提出)

ユニット研究戦略会議の重要議題の一つである人事提案を伴ったアカデミックプランを発案し、ユニット等評価委員会に諮問した

■ クロスアポイントメント教員の提案1件（その後、採択）

- レーザー／プラズマ照射下での材料表面計測と、それに伴った表面改質。光・物質相互作用の理解
- タングステンのレーザー表面改質を利用した新形態ダイバーターデバイスの開発
- レーザー／プラズマ照射による材料物性影響の解明
- 周波数コムレーザーや超広帯域光を活用した新規プラズマ計測法の開発

材料へのレーザー照射の研究を基軸として、データ科学を駆使した新たな分光計測法の実証によるレーザー／プラズマ相互作用の理解を進めることで、ユニットや研究所に貢献

■ 教員の提案1件（近日提出予定）

プラズマ計測研究に従事する新たな研究教育職員募集の提案。

今後、プラズマ計測研究をさらに加速して、本ユニットを中心としたプラズマ計測の世界最重要研究拠点の形成を目指す。

新たな分野を切り開く強い研究意欲を持ち、新規事業等において先導的な役割をはたせる人材を求める。

活動紹介：ユニットセミナーの開催

- 第一回： 6/28 植田憲一（電通大）『アイデアが生まれる瞬間の記憶』
- 第二回： 7/6~7 ワークショップ 『核融合炉の社会実装を見据えた同位体科学研究の展望』
- 第三回： 7/13 片瀬貴義（東工大）『新材料で切り拓くカーボンニュートラル社会への挑戦』
- 第四回： 8/30~31 ワークショップ 『International Workshop on Extreme Plasma Physics: Fusion of Magnetically Confined Plasmas with Lasers』（プラズマ量子プロセス・プラズマ複相間輸送と合同）
- 第五回： 9/15 Tony Donné（EURO Fusion）『The European path towards fusion electricity』
- 第六回： 10/20 藤原英樹（北海学園大）『レーザー誘起物質合成・加工技術を利用したフォトニックデバイスの創生』
- 第七回： 12/21~22 ワークショップ 『先進的可視化技術とデータ科学の融合による可視化解析の研究会(VR2023)』
- 第八回： 3/26 Yuhe FENG（Max-Planck IPP）『Detachment and detachment instability of W7-X divertor』、Daihong ZHANG（Max-Planck IPP）『Impurity radiation in advanced scenarios of W7-X plasmas』（メタ階層ダイナミクスと合同）
- 第九回（来週開催）： 5/15 天野浩（名大）『青色LEDの社会実装までの軌跡と将来の可能性』

R5年度は計8回のユニットセミナーを開催

核融合研究から半導体材料研究まで、国際共同研究のきっかけとなる学際的な話題を提供した



活動紹介：他ユニット等との連携の例

- ロードマップ2023掲載の「超高温プラズマの『マイクロ集団現象』と核融合科学」の推進のため、“post-LHD装置計測器計画会合”を立ち上げ、**位相空間乱流ユニット**らと協働で新たな計測器の設計や計画について議論している。

可知化からの貢献

- トムソン（安原）
- PCI／干渉計（田中謙）
- 磁気計測（武村）
- ボロメーター（向井）
- データ収集系（中西）
- など



※文科省HPから抜粋。ロードマップ計画において計測開発がきわめて重要な役割を果たす。

- 多次元の計測やデータ解析手法が重要になる一例として、プラズマ周辺部の**3次元構造**が非常に重要な役割を果たす、非接触ダイバータや放射崩壊の物理機構の解明や制御が挙げられる。→「**プラズマ・複相間輸送**」ユニットと連携

活動紹介：ITER国際スクール2024への貢献

12月にNIFSがホスト開催のITERスクール（テーマ：計測とデータサイエンス）にて本ユニットがLOCを担当

核融合分野を担う人材育成に貢献

現地実行委員

- ・ 上原（LOC委員長）
- ・ 太田（幹事、会場係）
- ・ 川口（ホテル、昼食係）
- ・ 向井（懇親会係）
- ・ 武村（配布物係）
- ・ 江本（WEB係）
- ・ 中西（広報係、オブザーバー）

プログラム委員

- ・ 横山
- ・ 田中謙

IIS2024 - 13th ITER International School

~Magnetic fusion diagnostics and Data science~ December 9-13, 2024 Nagoya Prime Central Tower, Nagoya (Japan)



Home Registration Lectures Poster Program Venue Housing Information to participants Committees Confer Band

Information

2024.04.12 IIS2024 website open.

view more >>

Important Dates

Pre-registration Open: Scheduled for early May
Program Available: TBA
IIS2024: December 9-13, 2024

ABOUT ITER INTERNATIONAL SCHOOL (IIS)

In a world where energy production is becoming more and more critical due to the consumption of available resources and due to the need of minimizing carbon emission, nuclear fusion becomes the most promising candidate for the future of energy, as it is safe, limitless and clean. Current nuclear fusion research is based on the collaborative effort of an international

<https://iis2024.org/>

12/9~13に名古屋プライムセントラルタワーで開催。
5月上旬より仮参加登録受付開始。ご参加、ご協力お願いします。

活動紹介：ユニットHPを活用した情報発信

- 研究成果の紹介、会議報告：4ページ
- 受賞報告：6ページ
- セミナー告知：10ページ

可知化ユニットからの発信ページ一覧

<https://unit.nifs.ac.jp/research/news?lang=jpn&unit=unit06>

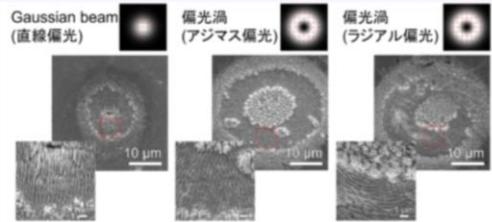


図1 フェムト秒レーザー光(Gaussian)と偏光渦(Azimuthal/Radial)の相互作用によってラジアル偏光レーザー光(LPSO)を生成する様子

研究発表

光渦レーザーと核融合材料との相互作用に関する研究紹介 (川口晴生助教らの成果)



受賞

総研大・核融合科学専攻のLi EnhaoさんがSOKENDAI賞を受賞!

情報発信の例

ユニット紹介ポスター掲載中→

**ホームページを積極的に活用して、
ユニットの研究活動を広く世界に発信**

S&I Unit : Sensing and Intellectualizing Technology

NINS
HP: <https://unit.nifs.ac.jp/research/theme/unit06>
Email: s&i@nifs.ac.jp

Unit Policy

Observing, predicting, and controlling the behavior of ultra-high temperature plasma are essential subjects for improving the performance of fusion reactors. We will develop dramatically high-precision plasma measurement methods and construct a system that enables holistic and precise plasma observation. Furthermore, we will analyze the data using data science and convert it into visual, auditory, tactile, and other information to make it "intellectualizable". This effort, in which researchers specializing in measurement, data analysis, and expression methods work together to systematize the intellectual inquiry process, will revolutionize the understanding of phenomena in fusion science and many other scientific fields.

(A) Development of advanced plasma fluctuation measurements

Phase contrast imaging

K. Tanaka, Rev. Sci. Instrum. 79, 10E702 (2008).
Measurement system application to JT-60SA

Work with data science members to understand transport physics

Fast Thomson scattering

N. Kenmochi, Sci. Rep. 12, 1 (2022).
Aiming further improvement of time resolution ~100 kHz, and direct measurement of velocity distribution functions

(B) Prediction of plasma behavior and sustainable plasma control using data science

Establishment of real-time prediction and control methods for fusion plasma to realize fusion reactors

Capturing various issues in fusion science with concept of statistical mathematics
⇒ Prediction of radiative decay and disruption and its application to plasma control

Promoting open science by sharing huge data such as LHD experiments

Understanding tritium behavior in fusion reactor and in the environment

M. Yokoyama, Nucl. Fusion 59 (2019) 094004

(C) Challenges to data understanding ; "Intellectualizing Technology"

VR display that enables 3D+α analysis and numerical modeling through data science

Systematization of the intellectual inquiry process from sensation through perception and cognition to scientific knowledge

Promote regulatory science and public communication through risk sharing of fusion applications

VR display device @NIFS

活動紹介：若手ユニットメンバーの活躍

所内ユニットメンバー21人のうち
10名が40歳以下の若手研究者

若手を中心とした研究成果や、研究
プロジェクトが多数発足している

その一例として、
向井清史氏が推進する2次元輻射計測
とデータ科学の融合研究について後
ほど報告する。

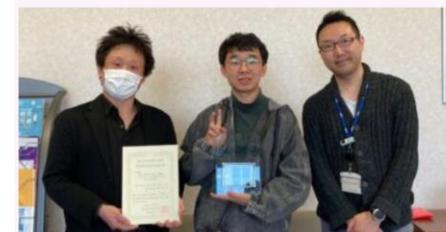


IAEA核融合エネルギー国際会議で可知化
センシングユニットメンバーの木下稔基
さんが優秀ポスター賞を受賞！



受賞

太田雅人助教アジア太平洋物理学
会連合・プラズマ物理部門のU30
若手研究者賞を受賞！



受賞

上原日和准教授らが日本原子力学
会材料部会のBest Figure賞を受
賞！



受賞

上原日和准教授が米国光学会の優
秀査読者として表彰されました

活動紹介：メンバー同士の交流

月に一回のユニット会議・ユニット研究戦略会議のほか、
ユニットメンバー同士の交流の機会を定期的に設けている

今後は、
所外メンバーや他ユニットも含めた交流会や進捗報告会を
定期的に開催し、連携の強化を促進する



ユニット忘年会



ユニット花見

課題と今後の方針

- 特にユニット内における研究上の横のつながりが現状で希薄であり、計測・データサイエンス・表現手法が融合した「可知化」研究を確立するためにも、連携を強化していく必要がある。
 - ユニットメンバー同士の交流機会を増やして研究内容の相互理解を進める
 - ユニット内の進捗報告会の定期開催（週1回もしくは2週に1回）を検討している
 - ユニット長から、連携の強化の重要性やメリットを頻繁に呼びかける
- ユニット研究戦略会議における議論が活発化しておらず、所内外から幅広い分野の研究者が集結したユニット体制の強みがまだ有効に機能していない
 - 議長の強力なマネジメントによって、各メンバーからの積極的な発言を促す
 - 学際性に富んだ可知化ユニットの特性を活かし、大型研究資金（金銭的メリットの供与）を伴ったプロジェクトを始動する
 - ユニットから人事提案ができるため、このメリットを有効に活用する
 - ユニットセミナーを開催し、共同研究につながる話題提供を定期的におこなう
- 研究所全体、ユニット全体で研究業績（論文数など）が伸び悩んでいる
 - メンバーが研究のための十分な時間を確保するため、研究以外の業務負担に偏りが生じないように、ユニット長がマネジメントする
 - 学術機関の研究者には業績（アウトプット）を伴った研究活動を推進することが求められており、時間の使い方を含め、これを日々意識するようユニット長から呼びかける
 - マンパワーの確保が急務であり、学生・ポスドク、強力な研究者をユニットにリクルートする

特筆される成果の報告

- ① 高速トムソン散乱計測の現況（上原） *計測性能の向上*
- ② 位相コントラストイメージングの乱流計測により発見した乱流遷移
プラズマ計測と現象理解
- ③ 2次元輻射計測と画像解析による放射崩壊現象の異常検知（向井）
計測とデータサイエンスの融合
- ④ オープン・サイエンスに向けた取り組みの成果（中西）
オープンサイエンス
- ⑤ 大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価（田中将）
同位体科学

※以降のスライドおよび講演動画は未公開内容を含むため、非公開といたします。