

[1] Fusion2030研究会の 活動紹介

概要： Fusion2030研究会は、大学研究者を中心として、2030年代以降に取り組むべき学術課題(プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学) を整理するために設立されました。

本講演では、「原型炉開発時代のプラズマ核融合科学」の議論を深めるための話題提供を行います。

森 芳孝（光産業創成大学院大学）

2021.3.9 核融合エネルギーフォーラム第13回全体会会合 オンライン
シンポジウム「原型炉開発時代のプラズマ核融合科学」

Fusion2030研究会の目的と運営方針

2020年度 核融合科学研究所研究会(研究会)

2030年代以降を見据えたプラズマ・核融合科学の学術課題検討会

- 目的：2030年代以降に取り組むべき学術課題(プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学) を整理する
- 成果物：プラズマ核融合サイエンスチャート
- 期間：1年（2020年4月～2021年3月）

運営方針：

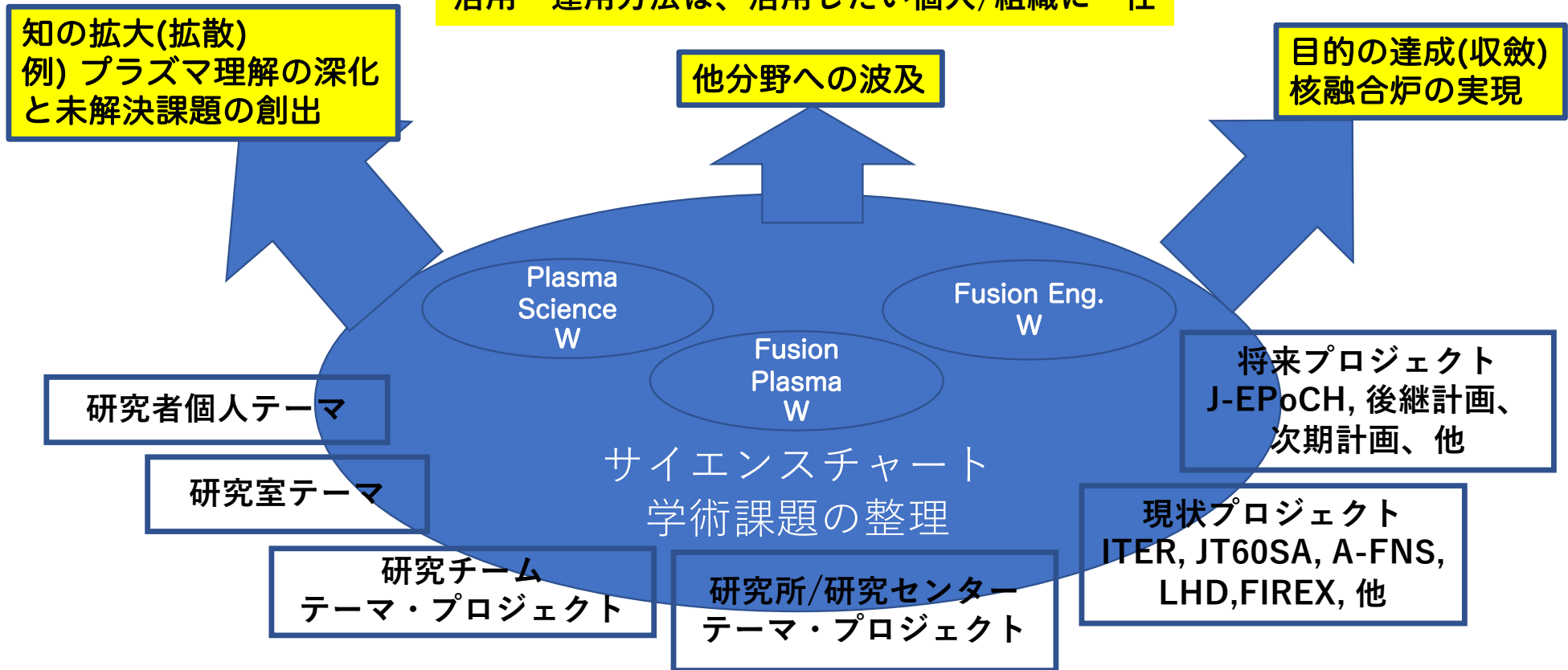
ボトムアップで、プラズマ核融合コミュニティにおける将来計画・研究展望・ビジョンについて、自由に意見を交わす

メーリングリスト登録：310名以上

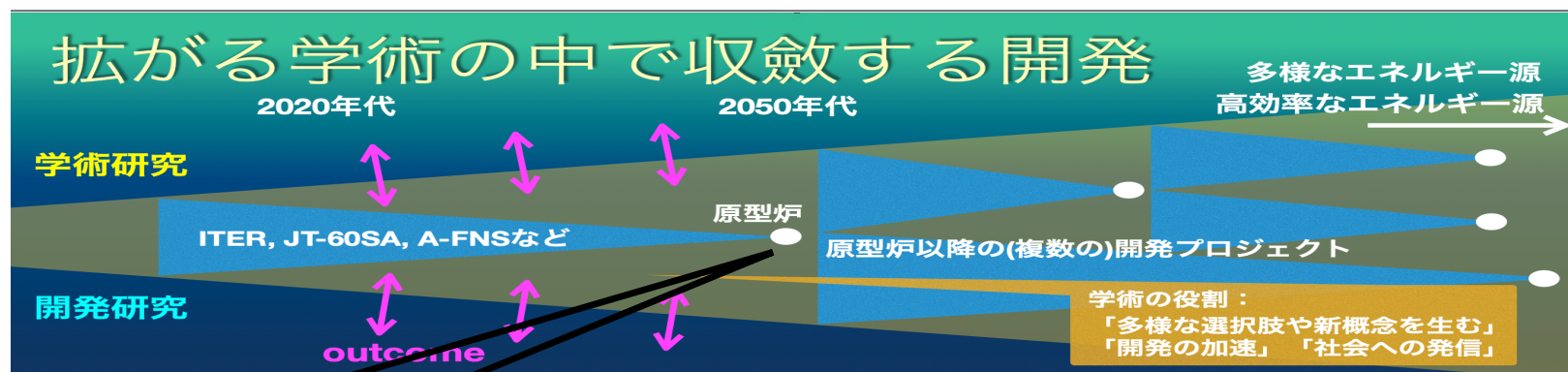
→ サイエンスチャート

プラズマ核融合サイエンスチャートにより、学術課題を共通項目として、コミュニティ内のアクティビティの繋がりを示すことができる

サイエンスチャートは分野共有の成果物
活用・運用方法は、活用したい個人/組織に一任

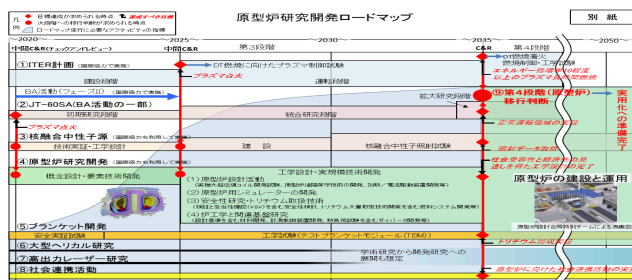


サイエンスチャート(拡大)は、 原型炉研究開発ロードマップ(収斂)と相補的



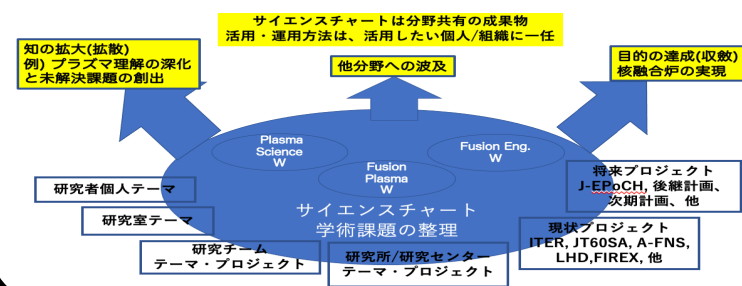
仲田資季先生

原型炉研究開発ロードマップ



100年スパンでみると
ITER、原型炉は通過点

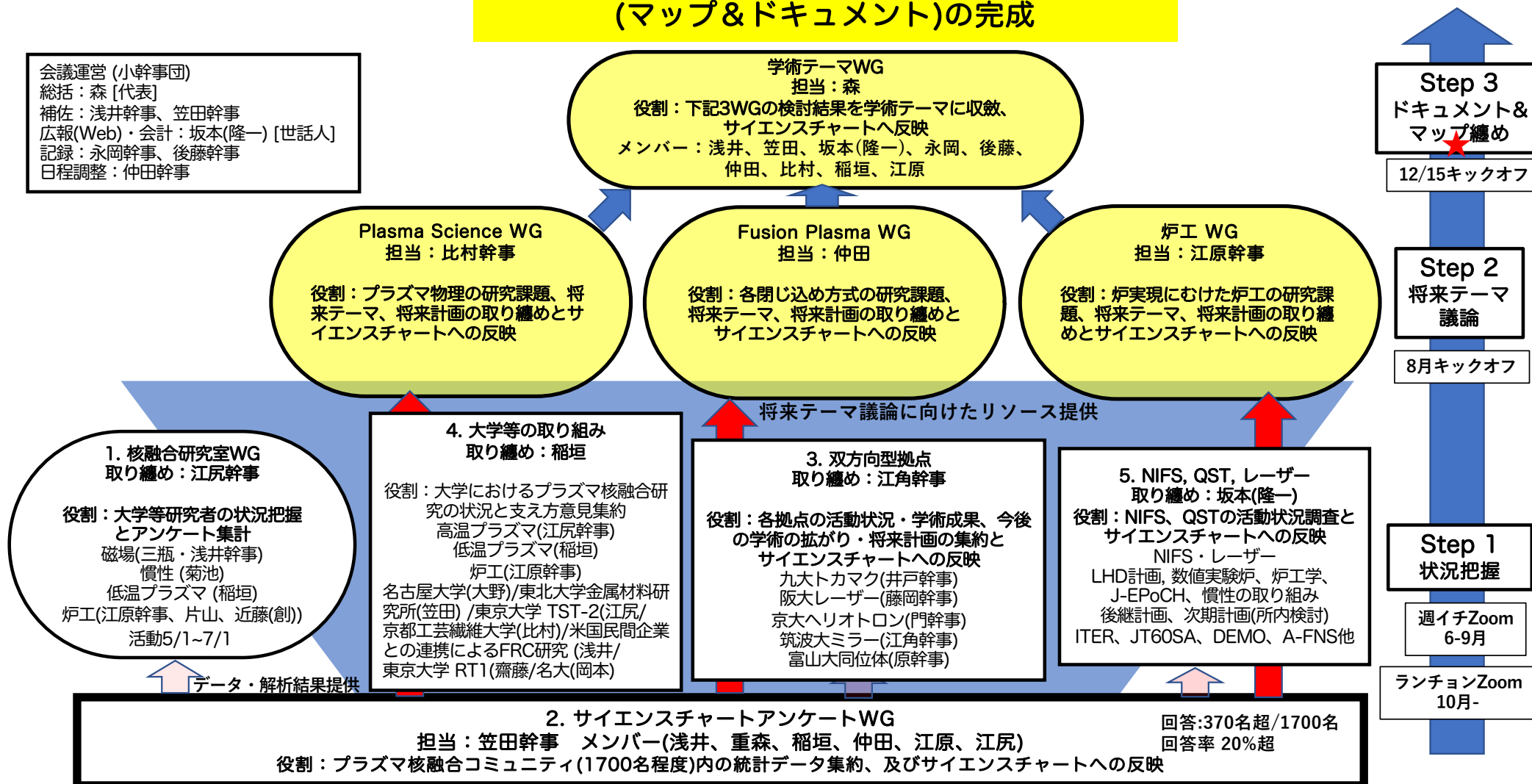
サイエンスチャート



炉の実現にむけ、トップダウンで
最短の道をシャープに絞る

ボトムアップで、核融合科学を支える分野裾野が
拡いこと、学術テーマが多岐に渡ることを示す

Fusion2030研究会体制

ミッション：プラズマ核融合サイエンスチャート
(マップ&ドキュメント)の完成

コロナ禍における社会変容に伴い、合宿一点集中形式からこまめなオンライン会合へ

NIFS共同研究者限定webページに活動記録(発表資料、録画、議事メモ)を整備

<https://www-col.nifs.ac.jp/info/Fusion2030/>

週イチ/月イチZoom 16回、全体会合2回、幹事会4回、ワーキング31回、シンポジウム1回

研究会の記録

開催日時	会議名称	議事録	発表資料
2020年4月21日	第1回幹事会	PDF	
2020年4月28日	NIFS若手座談会	PDF	
2020年6月2日	第2回幹事会	PDF	目的と運営方針 (PDF)
2020年6月11日	週イチZoom研究会#1	PDF	目的と運営方針 (Video) 大阪大学 レーザー科学研究所 (PDF , Video) 筑波大学 プラズマ研究センター (PDF , Video)
2020年6月19日	週イチZoom研究会#2	PDF	京都大学 エネルギー理工学研究所 (PDF , Video) 九州大学 高温プラズマ理工学研究センター (PDF , Video)
2020年6月24日	週イチZoom研究会#3	PDF	富山大学 水素同位体科学研究所 (PDF , Video) 大学における高温プラズマ研究 (PDF , Video)
2020年6月29日	週イチZoom研究会#4	PDF	大学における低温プラズマ研究 (PDF , Video) 大学における炉工学研究の状況 (PDF , Video)
2020年7月1日	第1回全体会議	PDF	研究会の方針とサイエンスチャート案の紹介 (PDF , Video) サイエンスチャートアンケート集計結果速報 (PDF , Video) 大学等アクティビティの現状 (PDF , Video) 双方向拠点の状況 (PDF , Video) NIFS, QSTの状況および今後の報告スケジュール (PDF , Video) 総合討論 (PDF)
2020年7月8日	週イチZoom研究会#5	PDF	核融合科学研究所 数値実験炉研究プロジェクト (PDF , Video) 核融合科学研究所 大型ヘリカル装置計画プロジェクト (PDF , Video)
2020年7月15日	週イチZoom研究会#6	PDF	核融合科学研究所 核融合工学研究プロジェクト (PDF , Video) 原型炉設計合同特別チーム (PDF , 付録 , Video)
2020年7月22日	週イチZoom研究会#7	PDF	東北大学 金属材料研究所 (PDF , Video) 名古屋大学 工学研究科 先端エネルギー講座 プラズマエネルギー工学研究室 (PDF , Video) 東京大学 TST-2 (PDF , Video)
2020年7月28日	週イチZoom研究会#8	PDF	名古屋大学 工学研究科核融合プラズマ理工学研究グループ (PDF , Video) 東京大学 RT-1 (PDF , Video) 日本大学 米国民間企業との連携によるFRC研究 (PDF , Video) 京都工芸繊維大学 プラズマ基礎工学研究室 (PDF , Video)

2020年8月3日	第2回全体会議 Day 1	PDF	週イチZoom研究会サマリ (PDF , Video) アンケート分析結果 (PDF , Video) 航空宇宙分野の研究開発体制 (PDF , Video) 国際機関からみた核融合分野における国際協調の潮流 (PDF , Video) JT-60SAの現状と研究計画 (PDF , Video) The ITER Research Plan and supporting R&D (PDF , Video)
2020年8月4日	第2回全体会議 Day 2	PDF	Fusion Plasma WG (PDF , Video) 炉工WG (PDF , Video) Non-Fusion Plasma WG (PDF , Video) サイエンスチャートについて (PDF , PDF , Video) WGとサイエンスチャートの方針について (PDF) Fusion2030に対するコメントについて (Video)
2020年8月21日	週イチZoom研究会#9	PDF	核融合中性子源A-FNS計画 (PDF , Video) NIFS 中国の西南交通大学との国際共同プロジェクト CFQS (PDF , Video)
2020年8月28日	週イチZoom研究会#10	PDF	大学等における大規模シミュレーション研究 (PDF , Video) 原型炉に関する理論・シミュレーション研究活動について (PDF , Video)
2020年9月1日	第3回拡大幹事会	PDF	目的と運営方針の再確認 (PDF)
2020年9月1日	週イチZoom研究会#11	PDF	J-EPoCH計画 (PDF , Video) 慣性核融合の取組み (PDF , Video)
2020年9月18日	週イチZoom研究会#12	PDF	第3回拡大幹事会報告 (PDF , Video) NIFS次期計画検討経緯 (PDF , Video) NIFS次期計画に向けた新配位創成研究 (PDF , Video) Fusion2030研究会後半の活動にむけて (PDF)
2020年10月7日	月イチLuncheon Zoom研究会#1	PDF	ヘリカル型核融合炉FFHRの設計研究 (PDF , Video)
2020年10月14日	月イチLuncheon Zoom研究会#2	PDF	核融合炉を対象とした高温超伝導マグネットの開発研究 (PDF , Video)
2020年10月28日	月イチLuncheon Zoom研究会#3	PDF	Nuclear Fusion誌のアブストラクトの統計的解析による核融合科学分野の研究動向の調査の試み (PDF , Video)
2020年11月11日	月イチLuncheon Zoom研究会#4	PDF	連続巻ヘリカルコイルによる先進ステラレータ磁場の生成と最適化 (PDF , Video)
2020年12月2日	JSPF第37回年会シンポジウム	PDF	趣旨説明 (Abstract , PDF) サイエンスチャートアンケート (Abstract , PDF) プラズマ科学の学術課題 (Abstract , PDF) 核融合プラズマの学術課題 (Abstract , PDF) 炉工学の学術課題 (Abstract , PDF) 総合討論 (Comment , JT-60SA , Comment , postLHD)
2020年12月15日	第4回拡大幹事会	PDF	Agenda (PDF)

大学における核融合研究室/研究者の状況調査

260名超の大学・高専研究者が核融合関連で活動

調査結果（その1）

★分類人数（295名/264名）

炉工学	90
高温	106
低温	99

分類が難しいと感じたものは
加熱機器開発、計測機器開発
そもそもこの分類でよいか
アンケートを参照

★重複
2重複

炉工学+高温	8
高温+低温	22
低温+炉工学	5

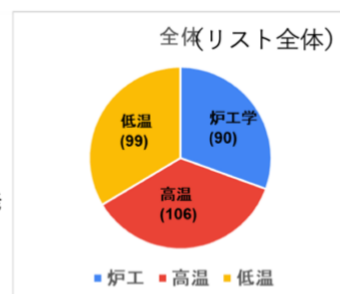
3重複

炉工学+高温+低温	1
-----------	---

准教授の割合が高い16名/35名=46% > 全体平均33%

★2重複で特徴的なキーワード

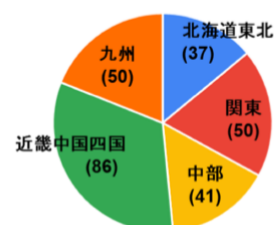
炉工学+高温	計測、シミュレーション、プラズマ壁相互作用
高温+低温	ダイバーター、シミュレーション、宇宙プラズマ、レーザー+イオン源、非中性プラズマ、レーザー+計測、レーザー加速、乱流
低温+炉工学	ダイバーター、シミュレーション、レーザー+光源



調査結果（その2）

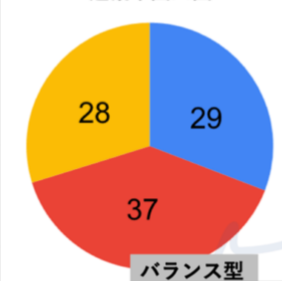
地域性

地域別人数

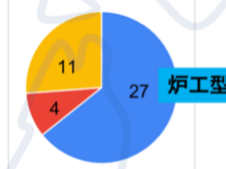


近畿中国四国が多いのは京大、阪大が一因

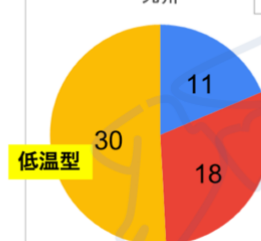
近畿中国四国



北海道東北

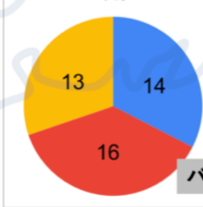


九州



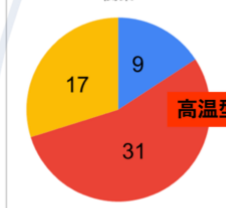
バランス型

中部



バランス型

関東



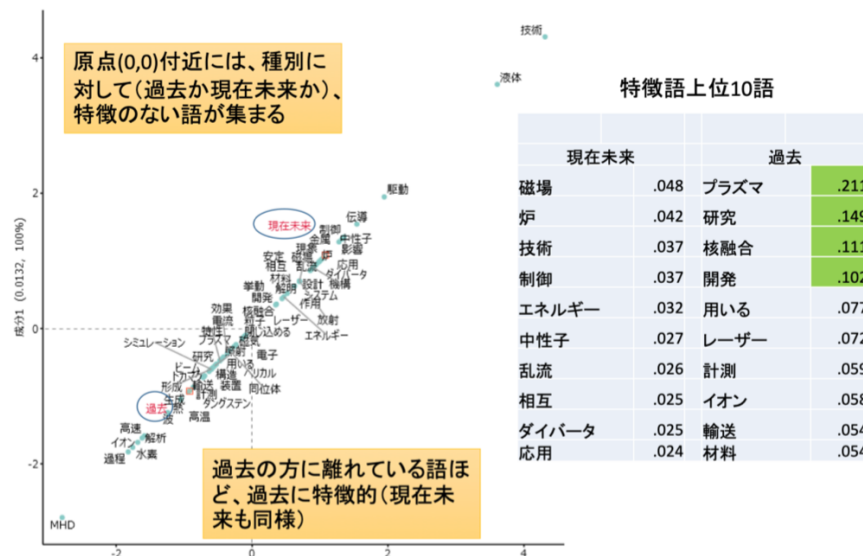
第1回全体会議(7/1)報告

核融合研究室ワーキング:江尻(東大)、菊池(長岡技科大)、三瓶(京都工芸大)、浅井(日大)、稲垣(九大)、江原(東北大)、近藤創介(東北大)、片山(九大)

コミュニティの状況、研究者個人の研究領域、研究課題等の統計データを集約するためサイエンスチャートアンケートを実施 378名からの回答集計結果を各ワーキングにて活用

回答者378名/1700名程度(呼びかけ) 自由記述欄回答152名

これまでに取り組んだ研究課題、現在取り組んでいる、或いは今後取り組みたい研究課題:対応分析



まとめと今後に向けて



- プラズマ・核融合コミュニティの皆さんのご協力により、プラズマ・核融合サイエンスチャートアンケートによって、我々のコミュニティの状況に関する統計データを取得し、また、コミュニティにおける成果についての各々の主観データベースを取得することができた。
- 今後、サイエンスチャートを作る上では、統計分析やテキスト分析のみでは示しがたい文脈(Context)を如何にまとめるかが重要。
 - 分野内で共有可能な文脈
 - 分野外の専門家にも届く文脈
 - かつ、エッジの効いた表現
 - 定量的な論拠(↓に関連)
- 各WGにお願いしたいタスク
 - アンケートの「自分の研究でアピールできる論文」、「他人のプラズマ・核融合研究で、プラズマ・核融合の領域外、分野外に推薦したい論文」、「これまでのプラズマ・核融合分野全体において得られた代表的な成果(歴史的な視点でお答えください)」を活用することによって、
 - ・ プラズマ・核融合分野における歴史的な学術(装置や3重積だけではない)のパラダイムのみえる化(年表?)
 - ・ 分野におけるこれまでの業績の学術的インパクトの定量化
 - ・ 学術的インパクトの展開(核融合炉実用化に向けた進展、新分野の開拓、異分野融合など)の例示
 - 自由記述欄も必要に応じてご活用頂きたい。

産業界の方からのコメント：

研究者以外の技術者やプロジェクトマネージャも核融合に関心を持っており、情報収集のために学会に入っている研究者以外の人にもいるという視点でアンケートも構成してほしい

取りまとめ 笠田(東北大) 速報(7/1)、分析結果(8/3)、集計結果(12/2)

Step1 状況把握でフォローしたコンテンツは、現行活動(ITERから大学研究室活動)、将来構想、話題提供と多岐にわたる

現行活動

ITER

JT60SA、A-FNS、原型炉設計・理論シミュレーション

NIFS関連：LHD計画、数値実験炉、核融合工学研究
CFQS(西南交通大)

双方向拠点：阪大 GXII/LFEX、筑波GAMMA10/PDX、
京都ヘリオトロンJ、九大QUEST、富山大トリチウム

大学関連：高温プラズマ(11グループ)、低温プラズマ、炉工(日米共同)、
東北大金研、名大プラズマエネルギー工学、
名大核融合プラズマ理工、東大TST2、東大RT1、
日大(米国民間企業連携)、京工繊大プラズマ基礎工

大規模シミュレーション研究(富岳)

将来構想関連

J-EPoCH計画
慣性核融合の取り組み

次期計画経緯
新配位創成、先進ステラレータ最適化
FFHR設計、高温マグネット開発

話題提供等

航空宇宙分野の研究体制
IAEAからみた核融合分野の国際協調
NF誌アブストラクト統計解析

週イチ/月イチZoom会合 16回、全体会合2回

第37回プラ核年会シンポジウム(12/2)において、 3つのワーキング活動状況を共有

プラズマ科学W
比村先生(京都工芸繊維大)

ハイブリッドプラズマ/
プラズマアウトブレイクで団結

- ・ **プラズマ応用**も包含
- ・ 他分野を意識し、分野内を横糸で繋ぐ研究キーワード・領域を模索

核融合プラズマW
仲田先生(NIFS)

研究課題をわかり易く伝える

- ・ 3領域(環状閉じ込め、慣性、先進概念)を設定
- ・ 3領域の研究課題を横断するカテゴリを設定し、それぞれの領域の研究課題の概略を記述した詳細リストを整備

核融合炉工W
江原先生(東北大)

NIFSへの期待

- ・ 大学で行われている先進的な研究や独自性の強い研究に焦点
- ・ 「どのような装置が共同利用設備としてNIFS にあれば共同研究として参画したくなるか」

プラズマ・核融合科学の学術への期待

- ・ 炉心プラズマを理解していると言えること
- ・ Fusionを憧れの研究分野に
- ・ 「核融合炉システム工学」専門分野の創立

第37回プラ核年会シンポジウム(2020/12/2)における議論 「2030年代以降を見据えたプラズマ・核融合科学の学術課題」

他分野との関係：

- ・ 学術的観点から他分野と競争できることが重要。一方、核融合研究はシステムとして大きく、個別の課題に魅力を出せるかが課題。
- ・ 他分野と戦うのではなく、他分野を巻き込んでいく方向で考えていくことが必要ではないか。
→ それは一つのやり方だが、一方で、生き残りのためには、プラズマというキーワードを外すべきではない。
- ・ 一歩外から核融合分野を見る視点も重要。核融合以外の分野に携わる大学研究者の意見は、炉工学をまとめる際に欠かせない。

NIFSへの期待：

- ・ 長期的な人材育成・確保をになう中核機関としてNIFSの体制は不可欠
- ・ 核融合炉工学を束ねる役割をNIFS研究者に担ってほしい

原型炉について：

- ・ 原型炉の建設判断に「炉心プラズマ分かっていないではだめ」には同意できるが、一方で学術という点では、まだわからないことがあるという主張も必要。その両極が核融合の特徴である。
- ・ 原型炉の建設は、ITERの $Q=10$ をみての判断となるだろう。
- ・ 原型炉設計に1000人規模の研究者が必要とのことだが、今我々が考えている範囲のコミュニティを拡大するというより、周辺にいる人たちを取り込むことが重要では？
→ まさにそのとおり、Fusion2030の活動に期待している。
- ・ 炉心プラズマを理解するための研究をJT-60SA/ITERで行うための検討が必要では？
→ そのためのオンサイトラボラトリー設置である。JT-60SAでは、そのような研究も展開していく予定

プラ核シンポジウム(12月)以降のW活動

- プラズマ科学W

12月末で活動区切り。

他分野を意識し、分野内を横糸で繋ぐ研究キーワード・領域のアウトプットは

「自在にハイブリッドプラズマ」と「プラズマアウトブレイク」に収斂(プラ核シンポ報告)。

来年度は、グループ型大型研究申請に向けた後継活動を予定。

- 核融合プラズマW

核融合プラズマに関する「不思議さ、難しさ、面白さ」を伝える詳細リスト52件を策定

フォーマットは、物理学70の不思議(日本物理学会誌)を参考

- 核融合炉工学W

アンケート集計結果から、区分け毎に「成果」「今後の課題」「共通の研究リソース」を中間報告に纏めた。

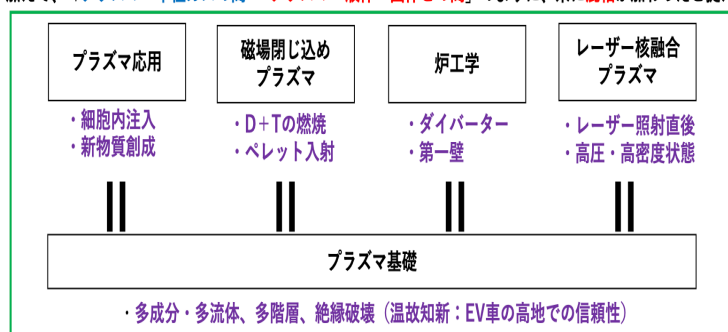
炉工学研究者へフィードバックし、意見を集約する。

プラズマ科学W：グループ型大型研究に申請する研究領域を立案

メンバー 比村治彦(京都工繊大)、伊藤篤史(NFIS)、稲垣滋(九大)、占部継一郎(京大)、金子俊郎(東北大)、古閑一憲(九大)、小菅佑輔(九大)、佐々木徹(長岡技科大)、佐野孝好(阪大)、千徳靖彦(阪大)、野崎智洋(東工大)

(1) 「自在にハイブリッドプラズマ」

- プラズマ研究をプラズマ中の粒子制御とみなすと、ダイナミックレンジにかかわらず、分野の共通テーマになる。
- 現在は、これが「単一イオン+電子群→多成分・多流体」での粒子制御へと展開していると捉えられる。
- 加えて、「プラズマ-中性ガスの間→プラズマ-液体・固体との間」のように、系に混相が加わったと捉えられる。



多成分や、混相のプラズマを自由自在に制御する方法は分かっておらず、ここに分野でグループ研究を行う意義を見いだせる。

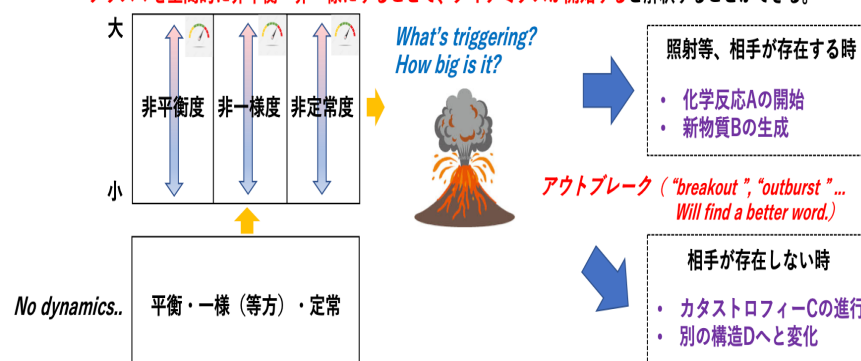
- 従来の密度と温度値、分布、空間・時間スケール依存性の他、対象物や環境依存性も包含する。
- 理論・シミュレーションには、レーザープラズマ分野の多相を含む式を適用できるだろう。
- 多相なのでプラズマインフォマティックスの構築も展望できる。Society5.0との親和性もよい。
- 出口には、プラズマ応用分野の諸々の対象だけでなく、燃焼プラズマを据えることもできる。

(プラズマ核融合学会・シンポジウム4@Channel A, 2020年12月2日(水)17:45-19:45)

4/5

(2) 「プラズマアウトブレイク」

- 次に、分野内の研究テーマを現象論で見直すと、非平衡・非一様が共通性の高いキーワードになる。
- 例えば、トカマクのL-Hモード間遷移、突発現象の発生、新物質や極限状態の創成、化学反応の促進などは、プラズマを空間的に非平衡・非一様にする事で、ダイナミクスが開始すると解釈することができる。



しかし、非平衡・非一様の度合いがダイナミクスにどのように寄与するかは分かっておらず、ここにグループ研究の意義がある。

- 本シンポジウムの予稿を書いていた時は、上記の枠組みを「トリガーサイエンス」と書きました。
- しかし、アップデート中の領域短縮名に書き換えます。4ページと合わせて全体的にコメントを下さい。

- その閾値・無次元量の存在の有無、緩和理論やエントロピー則の拡張の可否とダイナミクス予測を調べる。
- 照射等、プラズマが作用する対象(相手)が存在する場合、相手の(電子)状態依存性を含む定式化を行う。

(プラズマ核融合学会・シンポジウム4@Channel A, 2020年12月2日(水)17:45-19:45)

5/5

来年度は、グループ型大型研究申請に向けた後継活動を予定

核融合プラズマW：核融合プラズマに関する「不思議さ、難しさ、面白さ」を伝える52の詳細リスト

メンバー 仲田資季(NIFS)、有川安信(阪大)、辻井直人(東大)、劔持尚輝(NIFS)、浅井朋彦(日大)、藤田隆明(名大)、星野一生(慶応大)、門信一郎(京大)、井戸毅(九大)、井通暁(東大)、徳澤季彦(NIFS)、藤原大(NIFS)、本島巖(NIFS)、佐藤雅彦(NIFS)、横山雅之(NIFS)、田中宏彦(名大)、江角直道(筑波大)、高橋俊樹(群馬大)、福本直之(兵庫県立大)、城崎知至(広大)、長友英夫(阪大)、佐々木徹(長岡技科大)、菊池崇志(長岡技科大)

分野外を意識した見出し
“研究課題の核心をなす学術的問い”

サブタイトル
分野内タイトル

リード文 6行
分野外

概要 500-600文字
分野内

課題番号〇〇 21

乱れと磁場の“幾何学”でプラズマに潜む“機能”を解き明かす

閉じ込め磁場の3次元幾何構造
によるソーナルフローの活性化

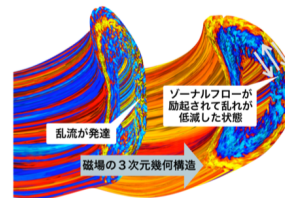
カテゴリー: A2, A3, B1, B3, B4

目指すもの(output):
ソーナルフローの磁場構造依存性の解明
新たな閉じ込めプラズマの探索手法の構築

波及(outcome):
磁場構造によるプラズマ乱流の抑制・制御
高次元データ分析や素因究明を通じた数理・情報科学との融合研究の展開

太陽のような恒星、オーロラ、そして、核融合炉の炉心など、多彩なプラズマが私達の世界を取り巻き、その多くは乱れが発達した乱流の状態にある。乱流に潜む機能やその法則を解き明かすことは、核融合研究をはじめ多くの学問に共通する重要課題である。プラズマ乱流を自在に操ることができれば、乱れが抑制された新しい核融合プラズマ閉じ込めの発見にも繋がり、人類未踏の“自己点火燃焼プラズマ”の実現可能性が拓かれる。その鍵となる問いのひとつが『乱流抑制機能を保持流れ構造(ソーナルフロー)を磁場の幾何学的構造でいかに活性化できるか?』である。

磁場閉じ込め炉心プラズマに発達する大小様々な乱流渦はプラズマ中の熱や物質を外へと輸送(乱流輸送)することで閉じ込め性能を阻害してしまう。一方、乱流渦どうしの非線形相互作用により、“ソーナルフロー”と呼ばれる整然たる「流れ」構造が自発的に形成される現象が知られている。帯状に連なる流れ構造は、それを横切る輸送を抑制する顕著な機能を持つため、炉心プラズマを高い閉じ込め状態へ導く鍵となっている。実験観測や第一原理シミュレーションの進展も受け、乱流輸送や非線形性に由来した構造形成/自己組織化としてのソーナルフローの理解は着実に進展している。このソーナルフローの乱流抑制といった非線形性に由来する機能を“自在に”引き出すことは可能だろうか? この問いは「観測と理解」を追求するこれまでの研究から自然に導かれるが、これに答える研究は未開拓に近い。プラズマ乱流に潜む機能を最大限に引き出す方法論を追究する研究は、強い非線形性と巨大自由度に真っ向から挑む研究と言える。その数理的複雑さの中で系統的に物理を探究するには、近年急速に発展している数値計画や高次元データ解析といった数理科学・情報科学との融合的手法が強く動機づけられる。新たな研究展開を目指して現在、融合研究の取り組みが進められている。



課題番号〇〇 22

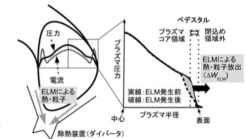
ダイバーターを大熱負荷から守れ

ELM 制御

カテゴリー: A1, A2, B2

目指すもの(output):
周辺部突発的熱・粒子輸送現象の解明
効率的な熱・粒子制御方法の探索

波及(outcome):
ダイバーター構造の確立
コアから周辺・ダイバータまでの全領域を包括
する輸送物理の理解
突発的大熱負荷制御方法の確立



1980年代に発見された高閉じ込めプラズマ運転モード(通称 H-mode)は、磁場閉じ込めプラズマ研究における大きなブレークスルーであった。この H-mode プラズマでは、プラズマ周辺部に自発的に輸送障壁が形成されコア部のプラズマ性能が大きく向上する。一方、この輸送障壁形成部の急峻な圧力勾配とその勾配により駆動される周辺電流によって、周辺局在化モード(Edge Localized Mode; ELM)と呼ばれる、大きな熱負荷を伴った熱・粒子放出現象が突発的に発生することがある。この ELM を効果的に制御することが核融合炉成立の力ギとなっている。

原型炉での定常運転は、H-mode プラズマによる長時間運転となると考えられているため、いわゆる giant ELM(type-I ELM)によるダイバータ損耗への対策が最も重要な課題となっている。そのためダイバータ材として高耐熱性能の材料を開発することやダイバータの構造をより冷却が可能なデザインにすること、あるいは液体ダイバータを適用することなど様々な対策が検討されている。一方、原因である ELM そのものを制御するという研究も進んでいる。RMP コイルを用いて周辺部にストキャスティックな磁場構造を与え輸送を増大させることで ELM 発生を抑制する手法や高繰返しバレット入射による擾乱によって小振幅の ELM を発生させる方法などが提案され各種装置で実験検討が進んでいく。また QH-mode や I-mode などの ELM が発生しない運転モードも発見されており、その運転領域の拡張と、物理機構の理解の進展が期待されている。ベダスタルを含むプラズマ周辺部は外部の真空領域やダイバータ領域との境界であり、同時に輸送障壁を挟みつつプラズマコア部とを接続する領域であることから、プラズマ全体の特性を決定する重要な領域であるので、これら全ての領域を統合する理論シミュレーションコードの開発とそれによる物理理解の深化が期待されている。

(参考文献)

- [1] 相羽信行, 解説「エッジローカライズドモードに関する理論・シミュレーション研究の進展」、プラズマ・核融合学会誌 95 (2019) 99-106.
- [2] 鎌田裕 他, 小特集「Edge Localized Mode (ELM) 研究の最近の成果」プラズマ・核融合学会誌 82 (2006) 565-598.

核融合プラズマW：核融合プラズマに関する「不思議さ、難しさ、面白さ」を伝える52の詳細リスト(1/2)

No.	見出し(分野外向け)	No.	見出し(分野外向け)
1	不純物の蓄積を抑制する機構を明らかにする。	16	高速点火レーザー核融合の統合コード
2	小スケールにも自発的駆動を持つマルチスケール乱流としてのプラズマ	17	核融合炉でさらに困難になるダイバータ制御をどう解決するか
3	非平衡系の輸送を左右する隠れた要素の探索	18	マイルドプラズマコンセプト？
4	低アスペクト比化トーラスのpros and cons	19	体積平均 $\beta \sim 1$ 閉じ込めが実現する磁場配位とは？
5	流れのある平衡のはなし	20	プラズマの中で混ざり合うイオンと質量の謎
6	磁化プラズマの巨視的構造形成はどのように起きる？	21	乱れと磁場の“幾何学”でプラズマに潜む”機能“を解き明かす
7	トカマク中央部のソレノイドコイルを取り除くことは可能か？	22	ダイバーターを大熱負荷から守れ
8	核融合プラズマの全貌を記述するには？	23	波でプラズマを自在に操れるか？
9	気体を使って高熱流プラズマを手なずける！	24	波だけで核融合炉心プラズマを生成できるか？
10	より経済性の高い核融合発電方式を探索する。	25	磁場のカゴを適度に壊して炉壁を守れるか？
11	開放系の配位は本当に核融合炉として適していないのか？	26	粒子でプラズマを加熱・電流駆動する
12	中性子でよく診てよく治す	27	トカマクプラズマの電流分布の最適解は何か？
13	高密度プラズマ中の荷電粒子による加熱	28	熱と粒子の制御に最適なダイバータ概念を探せ
14	巨視的不安定性の新たな抑制方法の探究	29	プラズマ診断を極める
15	磁場閉じ込めプラズマとの相互作用による物質の均質化過程	30	高速飛行の高密度プラズマ塊で粒子や熱を運ぶ

核融合プラズマW：核融合プラズマに関する「不思議さ、難しさ、面白さ」を伝える52の詳細リスト(2/2)

No.	見出し(分野外む	No.	見出し(分野外向け)
31	“燃料”を制すれば、核融合プラズマを制する	46	大強度荷電粒子ビーム物理と非中性プラズマの共通項
32	レーザー核融合発電用レーザーは作れるのか？	47	エネルギー付与過程に対応した標的構造のバリエーション
33	慣性核融合に使う核融合燃料ペレットを作る	48	3次元の磁気面は存在するか
34	核融合点火への挑戦	49	低燃費・高エネルギー出力、大中性子発生量を活用
35	中性子で核融合プラズマを診る	50	負ミューオンを用いた持続的エネルギー生成技術
36	狭い隙間から診てプラズマを制御する。	51	磁場閉じ込め核融合プラズマにおける粒子閉じ込めと粒子供給のパラドックス
37	核融合プラズマの形状はどうやってコントロールするのか？	52	プラズマの突発的な崩壊現象を解き明かせ
38	核融合プラズマの自動運転		
39	核燃焼プラズマの自己組織化を予測・活用する		
40	高エネルギー粒子がプラズマを不安定にさせる？		
41	アルファ粒子を制御する		
42	高エネルギー粒子の5次元位相空間分布を私る		
43	壁に関連する諸現象を正しく理解し制御できるか？		
44	フュージョン-ドリブンインフォマティクス		
45	プラズマの隠れた対称性を自在にデザインする		

核融合炉工W：今後必要な共通研究リソースを集約

メンバー 江原真司(東北大)、伊藤悟(東北大)、近藤創介(東北大)、片山一成(九大)、石山新太郎(弘前大)、八木重郎(京大)、森芳孝(光産業創成大)、菊地崇志(長岡技科大)

- ・サイエンスチャート集計結果より、中間報告「これまでの成果」、「今後の課題」、今後必要な研究リソース/共同利用設備を纏めた
- ・炉工学研究者へフィードバックし、意見を集約する。

今後必要な研究リソース/共同利用設備

超電導コイル分野：

- ・原型炉以降の核融合炉環境を模擬した大型導体通電・機械試験装置
- ・絶縁耐圧試験装置や液体水素製造装置
- ・照射場の導入

トリチウム：

- ・中性子照射トリチウム製造施設
- ・大量トリチウム取扱施設
- ・トリチウム循環システム

ダイバータ：

- ・高温・高磁場環境
- ・短パルス熱負荷照射
- ・中性子照射場

構造材料：

- ・核融合炉に特有な環境と照射が重畳する「場」

ブランケット：

- ・複合環境の実験プラットフォーム（磁場・流動・腐食etc）
- ・Be取り扱い・同位体測定などのできる共同利用実験室
- ・関連他分野の取り込み（機械系研究者、産業界）に資する交流の場

慣性炉工：

- ・慣性炉システムを束ねる中核研究者
- ・慣性核融合へ展開可能な液体ブランケット装置
- ・液体金属ループを活用した中性子エネルギー回収/トリチウムブリーディング等のニュートロニクス
- ・炉壁材料研究のための各種負荷試験・各種分析装置

Step 3 ドキュメント&マップ纏め 学術テーマワーキング

サイエンスチャートアンケート及び定期的会合による状況把握(Step 1)、及びワーキングにおける将来テーマ等議論(Step 2)をサイエンスチャートに素案として集約

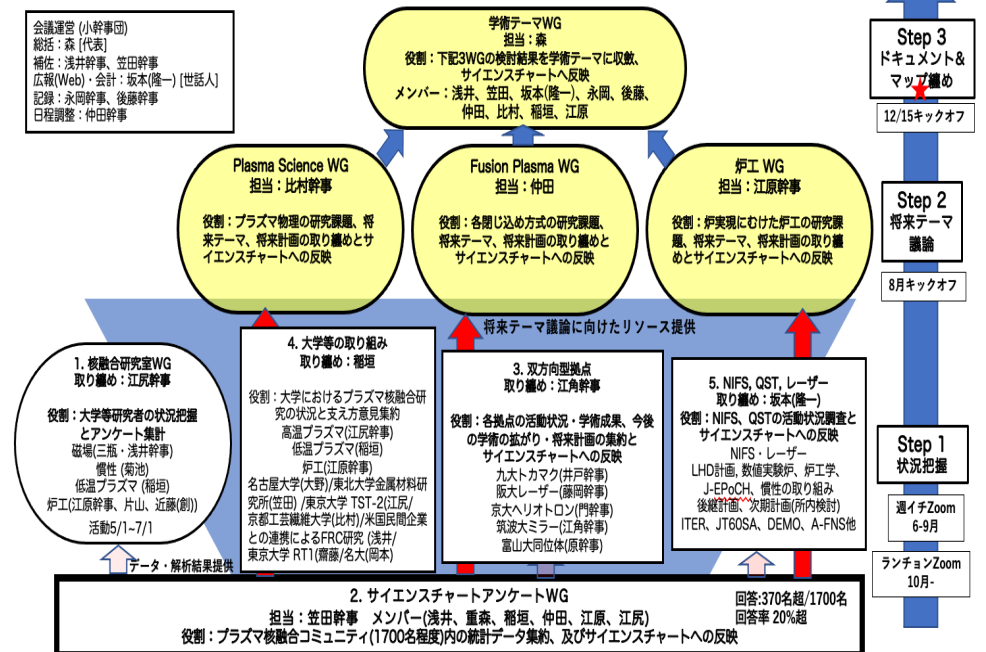
現状目次案：

1. エグゼクティブ・サマリー
2. プラズマ核融合分野の特徴
目指すもの
学術テーマの整理
3. ワーキング活動報告
 - 3-1. プラズマ科学
 - 3-2. 核融合プラズマ
 - 3-3. 炉工
4. 参考資料(Step.1 週イチZoom、月1ランチョン)
 - 4-1. マトリックス整理
 - 4-2. 実施中のプロジェクト
 - 4-3. 将来計画：双方向拠点、大学センター他
 - 4-4. 核融合大学研究室
 - 4-5. サイエンスチャートアンケート

3/17第2回ワーキング兼拡大幹事会で議論

Fusion2030研究会体制

ミッション：プラズマ核融合サイエンスチャート
(マップ&ドキュメント)の完成



Step3 学術テーマの整理に際し：学術の使命と価値(私見) 一分野外へのアピールの前に分野内を丁寧にな

使命：知の結晶化、継承、拡大

- 知の結晶化の過程でわかったことわからないことがクリアになる。
 - 結晶化により他分野及び次世代への継承が可能。
 - 継承が知の拡大につながる。
 - 更なる知の拡大には、自由な発想と独創が欠かせない。
 - それには、好奇心。
 - 好奇心を育むには、失敗への許容と過度な評価の排除。
 - 次世代に好奇心を育む機会を提供するために、大学等研究基盤が適切。
-
- 核融合における学術は開発の対比で捉えられがちだが、開発を支えるためには学術(知の結晶化、継承、拡大)が不可欠。
 - プラズマ・核融合分野の特徴の一つ：人工物創造
 - 人工物創造にむけて、開発と学術は支え合うもの
- 以上を踏まえた上で他分野との競争/共創

この手の活動の留意点 業務とのバランス：論文・業績から遠い仕事？

サイドワーク？：評価疲れ、研究時間の削減、開発業務であればなおさら

背景：世の中のコミュニケーションコストが下がり、多様性が拡大。リソースはトップダウンの時代から、コミュニケーションを通じ多方面から支援頂く時代へ。

核融合の観点からは、国際プロITERが、日欧BA活動JT60SAから支援を受けている。一方、核融合実現にむけて、定常運転、プラズマ崩壊の回避、熱負荷の低減、燃料供給など解決すべき課題がある。

これら課題に対し、どのように解決するか？どのようにリソースを得るか？

原型炉設計により、炉実現に向けた課題が明確化されようとしている。

課題解決には学術の知の結晶化、継承、拡大のスキームが不可欠。

課題解決のリソースを得るためには、分野内からのアピールと社会からの支援が欠かせない。

核融合のような長期ビックサイエンスは15年スパンで、意識的に、コミュニティ内の棚卸しが必須。

研究会における作業を通じて、世代継承が進み、分野内の風通しが良くなる。

これは、他分野及び社会とのコミュニケーションの土台となる。

自分たちがやろうとしていることを、伝えることができるか？アウトリーチとも関係。

Fusion2030研究会の発展

- 来年度は、Fusion2030研究会の活動を発展させる2つの研究会を申請中。
- ボトムアップの研究会「プラズマ・核融合分野の将来構想に向けた学際交流」
分野内から一歩飛び出し、多様な分野との交流を行う。
- 核融合科学研究所に重心をおく研究会「プラズマ・核融合分野における将来構想」
大学共同利用機関としての将来構想を構築する

- 「プラズマ・核融合分野の将来構想に向けた学際交流」研究会
- プラズマ・核融合学会等の関連学会と連携しながら活動
- Fusion2030研究会でまとめるプラズマ・核融合サイエンスチャート素案を、プラズマ・核融合学会専門委員会の活動を通じて充実化。
- 素案の充実に向けて、多様な分野の活動状況を伺い、プラズマ核融合コミュニティの状況を発信することで双方向的な議論を重ね、多分野からの意見を素案に反映。
- 多分野との接点は、研究協力者が所属する学会、及び研究協力者のネットワークを活用。

まとめ

- 2030年代以降に取り組むべき学術課題(プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学) を整理するために設立されたFusion2030研究会の活動を紹介した。
- 分野共有の成果物となるプラズマ核融合サイエンスチャート素案作成にむけて、Step2: 将来テーマ議論をを行った3ワーキング活動を受け、Step3:纏め作業に入った。
- 纏めを担う学術テーマワーキングでは、知の結晶化、継承、拡大に留意し、学術テーマを素案へ纏めていく
- 素案の内容は、来年度ブラッシュアップしていく。