

核融合ムーンショット型研究開発の進め方

吉田善章

核融合科学研究所

目標（未来像）と方法（生成法，利用法・・・）

- 目標：核融合によって生み出される安定的で豊富なエネルギーによって，地球規模の危機を解決するための積極的なアクションを可能にし，より高い自由度と安定性をもつ社会を実現する
 - サイバー空間（レプリカ社会，メタバース），宇宙空間など未知の空間への展開
 - DXとGXの両立による人間活動の自由度の拡大*
 - 気候変動に対する耐久力・回復力をもつ未来（beyond tipping points?）
 - 資源（水，食料も含む）の争奪からの脱却へ向かう社会
- 方法：核融合活用の多様性を引き出す「高効率化」「高機能化」「低コスト化」「高知能化（計測・制御）」「材料協奏化」，あわせてその学理を社会に広く還元
 - 多様な規模のエネルギー源を創造し，文明のグローバル化に飲み込まれない「文化」の継承を強靱化
 - ベースロード電力に限らない，多様なエネルギーや粒子線の利用
 - 選択肢が広がった「ベストミックス」の革命
 - 生命科学や環境学との協創による社会の福祉への寄与（医療技術，環境技術など）

*日本における情報機器全体の電力消費量は41 TWh（総電力使用量980 TWhの4%程度）だが，2030年には1,480 TWh（現在の総電力消費量の1.5倍以上），2050年には176,200 TWhが必要と見積もられている [JST低炭素社会戦略センター『情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol. 1) -IT機器の消費電力の現状と将来予測-』(2019) LCS-FY2018-PP-15].

社会像実現に向けたシナリオ

- ステークホルダー（社会，国民，世界，産業界・・・）のインセンティブを開発
 - 一本槍的でない，螺旋的な発展
 - 遍歴，越境によって創造性を発揮できるシステムを作る（リカレント教育の充実）
 - 人類の置かれた状況に理解を深める（リベラルアーツ教育の充実）
- 実施すべき研究課題の選定基準
 - 明確な「結論」が導かれる客観性，学問的水準の高さ（厳密なC&R体制の構築）
 - 方法論の妥当性
 - 新規性
- 2035年マイルストーン
 - 核融合反応で生成される粒子を利用した医療技術，環境技術
 - 可搬型核融合装置や宇宙推進核融合装置など新展開が見通せる技術の原理実証
 - 核融合の要素技術（ビーム技術，低温・超伝導技術，計測・制御技術，高機能材料など）の多角的な応用と同時に核融合産業基盤の構築 →水素技術，超伝導古典コンピュータ，SMES等

フュージョンエネルギーの利用可能性を高めるアプローチ・コア技術・インセンティブの例

アプローチ	コア技術	研究開発のインセンティブ・他分野への波及効果
<p>高効率化</p> <ul style="list-style-type: none"> プラズマ加熱源（マイクロ波、中性粒子、レーザー）の高効率化 超伝導・低温技術の高効率化 高時間分解計測と制御 	<ul style="list-style-type: none"> 固体マイクロ波光源 ダイヤモンドレーザー 光中性化セル 高温超伝導 高効率レーザー 高時間分解計測 AI制御・エッジ制御 	<p>マイクロ波：6G向け高速データ通信基盤技術、宇宙パワー伝送、マイクロ波励起選択的化学プラント</p> <p>レーザー：高速空間情報通信、高度レーザー加工、レーザー誘雷等</p> <p>中性粒子源：高機能半導体製造技術、イオン推進、がん治療</p> <p>AI制御・高時間分解計測：大規模データ処理技術、リアルタイム計測制御分野の深化</p> <p>情報技術：量子コンピュータ、超伝導古典コンピュータ</p>
<p>低コスト化と計測制御技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> 民生品化 汎用技術化 	<ul style="list-style-type: none"> 汎用センサー 超伝導技術 水素テクノロジー 	<p>能動・受動センサー技術の向上：半導体製造装置の高機能化</p> <p>高温超伝導応用：高度医療、分析技術</p> <p>水素：SDGs、新エネルギー輸送媒体</p>
<p>新材料・アッセンブリ技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 新製造技術の高度化（3Dプリント） 材料探索 	<ul style="list-style-type: none"> ガラス・セラミック 単結晶・高純度 複合材料 	<p>耐高温材料・構造の実現→燃焼サイクルの高効率化、プラズマプロセス半導体製造装置の高寿命化、宇宙構造物の長寿命化等</p>

目標達成に向けた国際連携の在り方

国際連携のためには「求心力」「吸収力」「持続力」が必要

- 求心力を構成する要素
 - 構想力 ← MSが契機になるべく、開かれた検討の場を構築することが必要
 - 実行力 ← 産学官連携によって日本の強みを引き出す（維持する）ことが必要
 - 発信力 ← AIなど最新技術によるゲームチェンジが必要
- 吸収力（国際連携から学ぶ力）を構成する要素
 - 学際性 ← 表層的な結果だけでなく深層にある普遍的な知を吸収することが必要
 - 応用力 ← 別の分野への即応的な応用ができる人的ネットワークが必要
- 持続力を構成する要素
 - 協調性 ← 競争より協創の精神による持続的な連携を構築することが必要
 - 人材育成基盤 ← 人材として定着するシステムとプロジェクトが必要
 - オープンサイエンス ← 人類への寄与という高い理想と、我が国の知的アセットを確立する戦略が必要

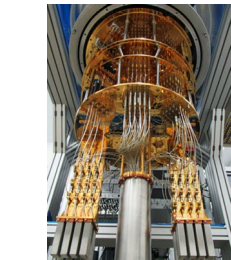
目標達成に向けた分野・セクターを超えた連携の在り方

学際連携のためには「求心力」「吸収力」「持続力」が必要
(学際と国際の相似性)

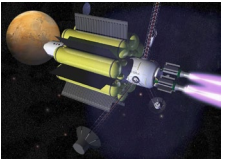
- 求心力を構成する要素
 - 未来像 夢 ← 人類の未来を見据えた「課題」の共有が必要
 - 普遍的価値 ← win-win の関係が「共同研究・開発」の大前提
 - 多様性 ← 多様な価値観や目的意識をもつステークホルダーの参画を促す必要
- 求心力を実現するためには「課題の分節化」(普遍性のある意味づけ)が必要
 - 一般化・学際化

核融合の未解決問題に学際的に取り組む —— ユニット体制

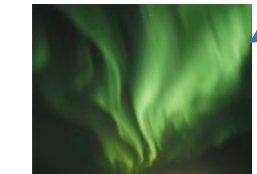
学際連携



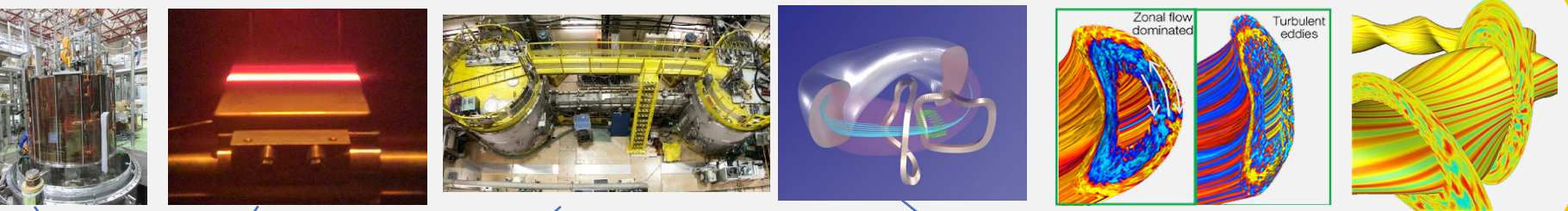
量子コンピュータ
低温技術やレーザー技術など多くの共通要素技術で構成



プラズマ宇宙推進
プラズマを用いて生成されるビームは宇宙推進など多様な分野に応用が広がる

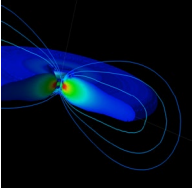
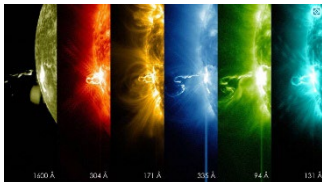


オーロラ
自然現象として可視化されるプラズマの揺らぎ

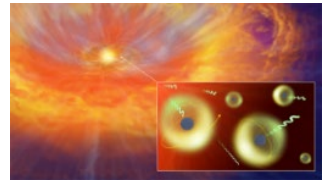


学際連携

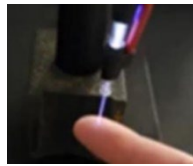
太陽フレア
プラズマの突発現象として核融合プラズマの突発的不安定性と共通な現象



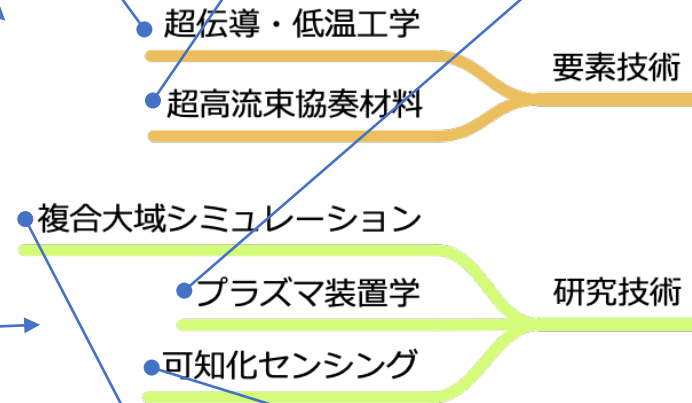
磁気圏プラズマ
自然界で自己組織化されるプラズマ構造



高エネルギー天体
宇宙で起こる高エネルギー現象解明に必要なプラズマ発光データを実験的に構築



プラズマバイオ
プラズマと物質との相互作用は様々な励起状態の粒子と光による複合的過程 → バイオテクノロジーの新分野創成



核融合科学

物理現象

- メタ階層ダイナミクス
- 構造形成・持続性
- 位相空間乱流
- プラズマ量子プロセス
- プラズマ・複相間輸送

