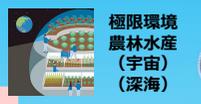


プラズマ推進が宇宙進出の基盤となる大規模建造物のための低コスト大量物資輸送を担う



プラズマ農林水産は宇宙でも活用



プラズマ医療は宇宙生活でも活用



極限環境農林水産(宇宙)(深海) デザイナー細胞  
機能性作物・肥料・燃料(資源還元型) テイラーメイド医療

プラズマ化学工業がプラズマ農林水産を支える

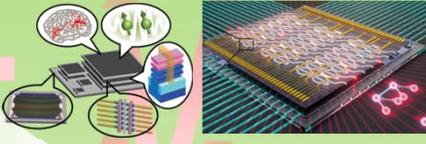


カーボンニュートラル自律制御型高精度プラズマ装置が Well-Being & Society 5.0 の基盤材料を合成・デバイス化



CO2循環技術が材料プロセスの低炭素化を支援

高度情報処理デバイスがプラズマ計算科学を加速



対話型VRプラズマプロセス設計・解析ツール その場計測とデジタルツインによるプロセスナビシステム



## プラズマ科学ロードマップ（作文案：2023-03-21）

人類が目指す豊かで持続可能な未来社会の実現のために、国連によって地球規模の17の開発目標「SDGs」が示されている。我が国では、SDGs達成に向けて「Society 5.0」が提案されている。Society 5.0とは、AIやIoTが社会実装された超スマート社会であり、革新的技術を最大限活用することにより経済発展と社会的課題の解決を両立する未来社会のコンセプトである。本ロードマップは、Society 5.0の達成年代を2050年代とし、その社会で必須となる革新的技術をプラズマ科学で創出するために必要な研究・開発項目をバックキャストしたものである。以下にその概要を述べる。

### ●「加工」技術：

2030年代中頃までに加工精度を原子レベルにまで微細化するとともに、ダメージレス化を達成する。その後、その高精度加工技術をベースとして新材料（Ge、二次元材料、酸化物半導体）や新構造（裏面配線、三次元積層、ヘテロ接合）を導入し、Society 5.0の根幹を支える超低消費電力半導体デバイスを実現する。また、プラズマ生成への再生可能エネルギー利用とプラズマ生成の超低消費電力化によって、加工技術のカーボンニュートラル化を達成する。

### ●「成膜・材料合成」技術：

プラズマを用いた成膜・材料合成技術においては、究極の制御である原子配置制御とその高速化を追求する。この成果は、カーボンニュートラルを支える超高効率パワーデバイスや高度情報処理を支える量子コンピューティングデバイスに必要な大面積単結晶ダイヤモンドウエハ、ウェルビーングを支える人工臓器に必要な機能性ダイヤモンドライクカーボン、エネルギーから医療に至る広範な用途で必要となる機能性複合ナノ材料の実現など、Society 5.0を支える多岐にわたる革新的技術を実現する。

### ●「省資源・低炭素」技術：

CO<sub>2</sub>リサイクルのためのメタネーションと、生成されたメタンの熱分解による再利用の実装を2030年末頃までに達成する。この成果はSociety 5.0での航空産業に必須となる持続可能航空燃料（SAF）の実現にもつながる。また、プラズマ材料プロセスを用いた全固体リチウムイオン電池の高効率・長寿命化を2030年末頃までに達成する。その成果を利用し、Society 5.0ではリチウム空気電池を実現する。CO<sub>2</sub>リサイクルや電池に必須となる触媒についても、プラズマ材料プロセスによって貴金属レスの高効率触媒を実現する。その技術の活用により、2050年代にはハーバーボッシュ法を超えるアンモニア合成技術や、各種の窒素化合物を空気・水・再生可能エネルギーだけを用いてオンサイト・オンデマンド合成する技術を確立する。

### ●「バイオ」技術：

プラズマ農業の深化により栽培・飼育の活性化、水産・土壌環境の改質、機能性農林水産物の栽培・飼育、を実現する。これにより、Society 5.0における地上の農林水産を持続可能にするとともに、極限環境である

宇宙や深海における農林水産をも実現する。また、プラズマ殺菌技術を食品の鮮度維持技術へと進化させ、食品ロス問題を解決する。プラズマ細胞工学については、遺伝子導入などを発展させることで、設計した機能や再生能力を有するデザイナー細胞を実現する。すでに前臨床試験の段階にあるプラズマ医療技術については、臨床試験と安全性検証（PMDA）を経て社会実装を実現する。これらの技術を統合したプラズマバイオ医療技術は、Society 5.0 におけるウェルビーイングを支える革新的技術となる。

● 「宇宙・推進」技術：

地球ならびに宇宙規模の情報網の活用を前提とする Society 5.0 では、地上だけではなく宇宙開発のための革新的技術も必須となる。その中で、プラズマ技術は「はやぶさ」で実証された推進という重要な要素を担う。その推力は、ミリニュートン級からニュートン級を経て、2050 年には 100 ニュートン級の推力を実現する。その過程で、2030 年後半には、化学燃料を用いないプラズマ推進のオール電化衛星を実現し、それを Society 5.0 に必須の衛星コンステレーションとして配備する。その後、スペースデブリ除去などを経て、低コスト大量物資輸送を実現する。これにより、地上だけではなく、宇宙ステーション・月、さらには火星においても Society 5.0 を実現する。

● 「基礎科学」：

プラズマ科学においては、Society 5.0 を支える以上の革新的技術を実現するためにプラズマの理解と制御に関する学理を深化させる。

トップダウンプロセスである「加工」・「バイオ」技術では、反応種の空間・エネルギー領域における分布制御を実現する原理を見出す。これにより、エネルギー制御した単活性種の選択照射や実用的な反応速度を持つ単原子層の堆積・エッチング、或いは生体分子操作が実現される。

固体表面上でのボトムアッププロセスである「成膜・材料合成」では、実用的な原子配列制御に必須となる自己組織化成長を生産技術として実現するとともに、その高速化・無欠陥化の可能性を追求する。律速機構の解明とトップダウンプロセス研究の活性種輸送の成果を融合し、自己組織化援用反応場制御原理を確立する。

気相中でのボトムアッププロセスであるメタネーションなどの分子変換プロセスでは、トップダウンプロセス研究の活性種の空間・エネルギー領域における分布制御を活用し、特定の励起状態を高効率で生成することで、所望の分子変換プロセスを実現する。

基礎科学に共通の基盤技術としては、計測技術とシミュレーションの技術を高度化する。計測できないものは制御・加工できない。原子レベルの生産プロセスの実現には、精度を不確定性原理の極限まで追求し、反応場に影響を与えない無擾乱計測や反応制御と融合した計測、瞬時計測、全反応場の同時計測、ナノ構造の反応計測、プロセス中のデバイス特性その場計測やオペランド計測、シミュレーションと融合した予測計測の原理を追求する。シミュレーションでは、高精度化に加え、マルチスケールでの高速計算・モデル化手法が課題である。基礎データとして、原子分子の電子・光励起断面積や反応確率、表面反応素過程のデータ収集は適宜その対象を変え、高精度化や利用しやすさを考慮して推進される。励起状態にある活性種・活性表面の素過程のデータ収集とモデル化・シミュレーション技術を確立する。

上記基礎研究により確立した反応制御の原理をこれまでに掲げた各技術にフィードバックし、現実の生産技術へ展開する。モニターやシミュレーターを利用しやすいチャンバ装置構成でフィードバックを容易にし、生産性・制御性を高める。反応制御原理に基づき、高精度・大面積・安定性・生産性を追求する。