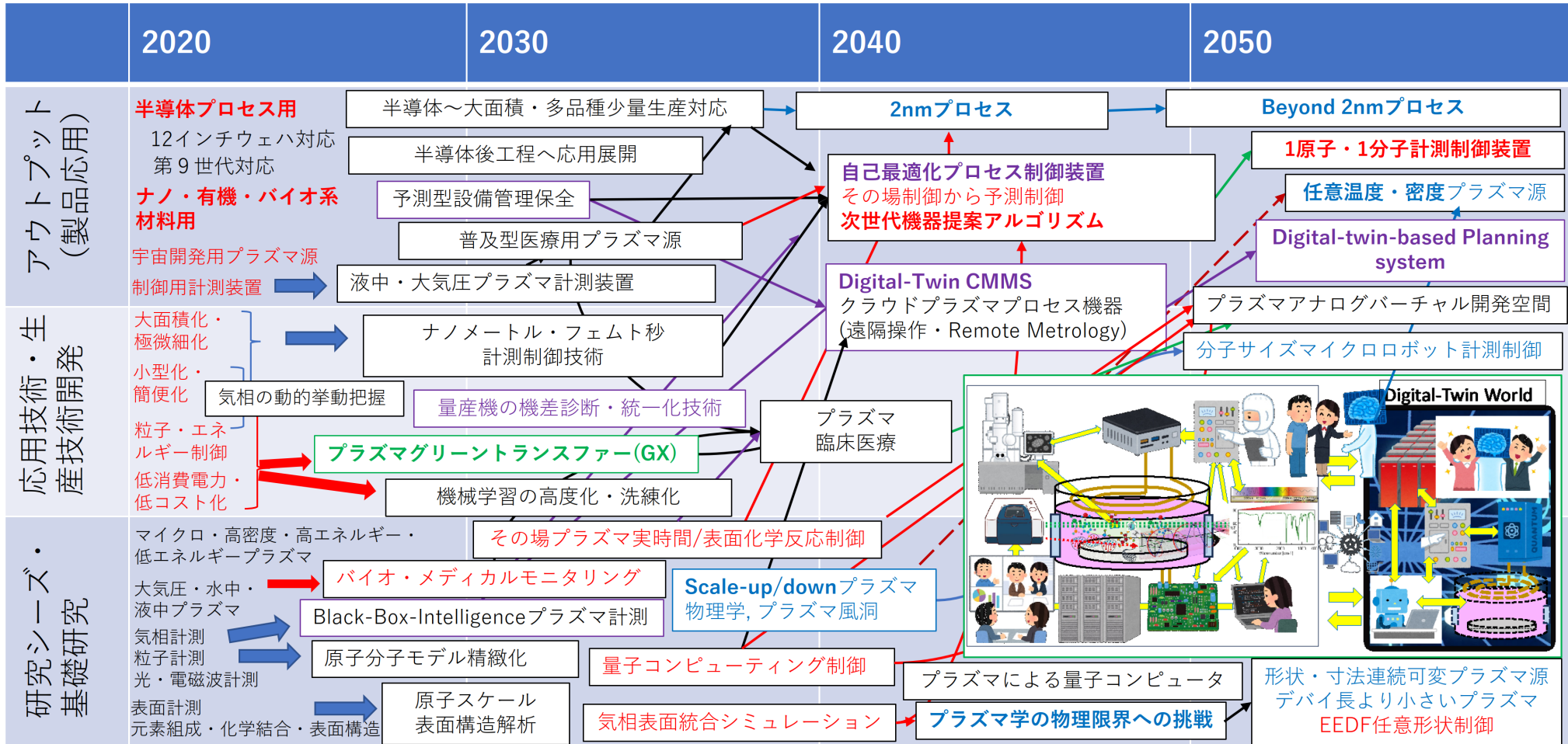


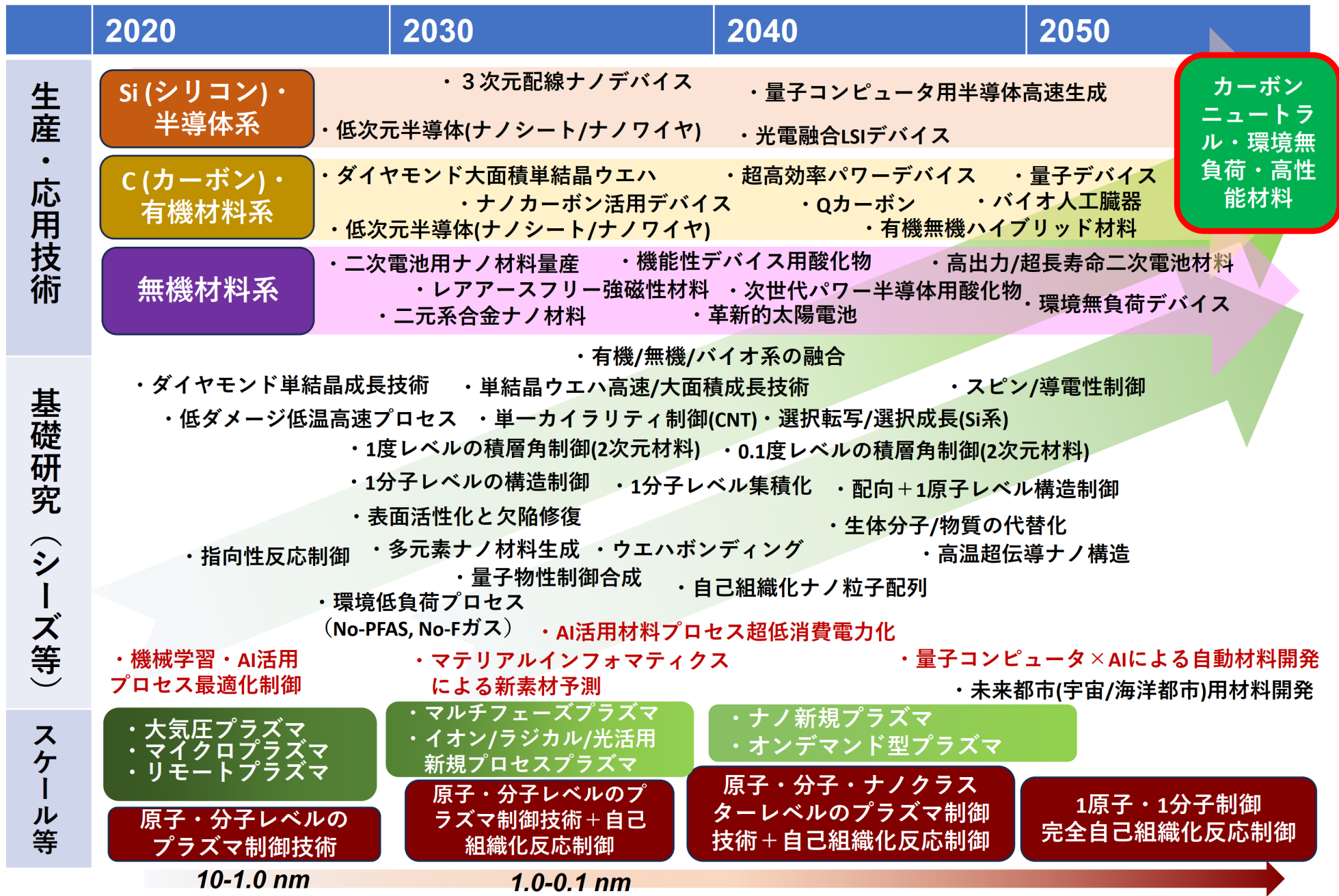
①生成・計測・制御




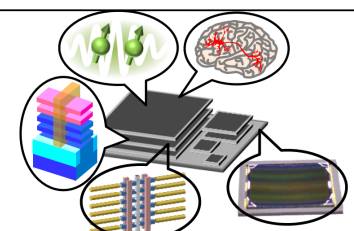
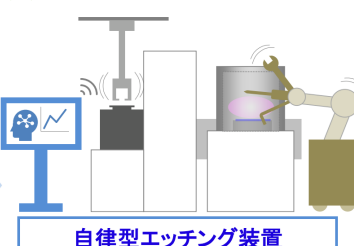
②モデリング・シミュレーション

	2020	2030	2040	2050	
アウトプット (製品・応用)		<ul style="list-style-type: none"> ○オープンソース ボルツマンソルバー、プラズマシミュレータ ○基礎データに関するオープンデータベース 		<ul style="list-style-type: none"> ○材料・プロセス最適化探索ツール ○対話型プロセスシミュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> 対話型VRプラズマプロセス 設計・解析ツール Plasma Digital-Twin (AI支援プロセス装置自律制御)
技術開発 (生産・応用技術)		<ul style="list-style-type: none"> ○情報科学の活用 機械学習による基礎データ取得 データ同化 → Digital-Twin 	<ul style="list-style-type: none"> ○計算の高速化 HPC、サロゲートモデル、量子コンピューティング 	<ul style="list-style-type: none"> ○バーチャルリアリティ (VR) 環境の構築 仮想プラズマプロセス空間を感知・制御する ためのヒューマンインターフェースの実現 	
基礎研究 (シーズ等)		<ul style="list-style-type: none"> ○プラズマ生成、プラズマ物質相互作用 分子スケール (分子動力学、第一原理) メソスケール (流体・確率統計) マクروسケール (連続体、乱流) } マルチスケール 固体相・液体相・気体相・生体の融合 : マルチフェーズ 妥当性検証とモデル標準化 → 確率的要素を含むモデル構築 ○基礎データ 実験値、計算値の収集 (衝突断面積、反応レート他) 第一原理計算 (物性値、反応レート他) → 量子ダイナミクス (ラジカル、チャージ、振動励起、放射) ○情報科学による解析手法開発 機械学習、Physics-Informed Neural Network、ネットワーク解析など 			

③成膜・材料合成



④加工

	2020 Pitch scaling era →	2030 → Post scaling era	2040	2050	
デバイス (製品・応用)	Node 3nm 集積度 21 	2nm 15A 39 FinFET, GAA FET 裏面配線 (新配線材料・構造) 3D-NAND: 2 TIER, 3 TIER, (ウエハ貼合せ)	10A 7A 5A 81 171 284 (Mgates/mm ²) 3D積層(CFET) 量子コンピューティング、ニューロモルフィック(新材料、新構造デバイス) 超高信頼性機能デバイス(宇宙、インフラ、生体 etc.) 新材料(半導体デバイス)、新機能素子(NEMS/MEMS、Siフォトニック etc.)	新チャネル材料(Ge, 2D材料, CNT, 酸化物) 3D積層、ヘテロ接合デバイス 非Siフレキシブル基板 Human/Robot/Bio/環境対応複合センサ	
	スマートフォン向けイメージセンサ	産機向け複合センサ			
プロセス・装置技術 (生産・応用技術)	GX 低GWPガス/脱PFAS 低GWPガスの置き換え	GX 低消費電力化 エネルギー回収、循環システム(ガス、電気、熱) 低GWPガスによる特性向上	GX 低GWPガスによる超高速加工(短時間化)	GX ★カーボンニュートラル	 自律型エッチング装置
	加工制御 nmレベルの高アスペクト比加工 高選択ドライリムーブ 横方向高精度加工 低損傷加工(マルチカラー対応) 超低ダメージエッチング (MoS ₂ , WSe ₂ , etc.) ダメージ抑制	加工制御 多種膜混在構造への高精度加工 複合材料、不揮発性材料加工 低結晶欠陥加工、欠陥修復加工 低~高ウエハ温度ステップ制御 ダメージ回復(ナノスケール局所構造)	加工制御 原子・分子再配置 完全自律型加工制御 / レジ自動設定 チャンパ・内パツ温度制御		
基礎研究(シーズ等)	DX OES-FB制御、キャリブレーション プロセスDB FDC	DX 高精度定量モニタ制御 AIレジ生成 予兆診断/リモート診断・メンテ	DX 目標形状への自動制御(高速モニタ + Edge AI制御) 定常時の完全自動化(自己診断・メンテロボット)		
	GX 脱フロン(ガス・冷媒) 高効率高周波電源 IEDF制御(電源) 低イオンダメージ加工 高度pulsing(解離制御) 高選択等方性エッチ (SiGe, ONO新タタルエッチ ガス/ペーパーエッチ 有効なガス種・エッチャントの探索 被エッチング元素毎の基礎データの蓄積 (周期律表を埋めるようなイメージ) 手法: 実験・理論計算・機械学習	GX 新材料対応及び高効率エッチングガス 低パワープラズマ生成・制御技術 高効率プラズマ/高解離性ガス IEDF制御(印可波形) 回復・制御(非平衡局所構造ダイナミクス) → 原子・分子再配置技術 Radical/Ion独立制御 Radical種/Ion/Vapor独立・サイクル制御 イオンエネルギー単色化 極低イオンエネルギー、チャージ制御 新材料横エッチ 貼り合わせウエハ対応の超深溝内横方向エッチング 高選択横方向エッチング 2D材料エッチング(TMD) 横マイクロドレーン抑制 気相表面反応高信頼性データセット プラズマ表面相互作用の理解・解明			
	DX 定量的エッチングモニタ(ラジカル、表面) エッチングAI解析・マルチスケールシミュレーション 装置状態モニタ、診断モデル PID設計(ばらつき設計)・EDAとの融合	DX in-situ ウエハ・チャンパ状態高速計測 プラズマプロセス・インフォーマティクス デジタルツイン/強化学習による診断・分析精度向上 PID設計(フィードフォワードプロセス設計)	DX 未知材料対応AI イオン誘起欠陥予測Sim		
	計測 活性種 密度・エネルギー3次元ダイナミック シース 電界・電子温度分布・イオンエネルギー・イオン入射角度ダイナミック計測 微細構造内 化学反応速度・付着係数 欠陥・汚染 高密度定量・極低濃度 低密度・新材料対応 極低密度・新材料極低濃度	計測 エネルギー単位 ps/fs動的反応過程 壁・粒子間電荷交換特性 吸着分子配向特性 In-situ 界面結晶構造計測			

5年後

10年後

20年後

30年後



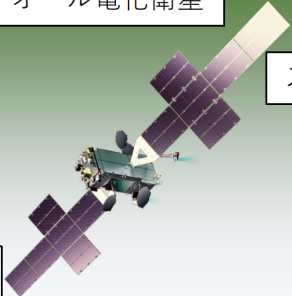
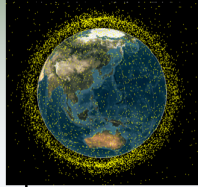
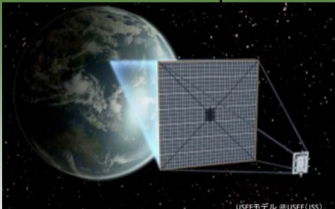


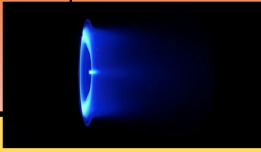
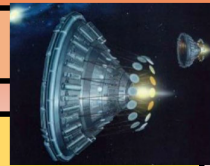

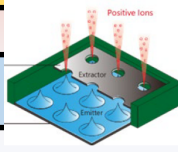
⑤バイオ

	2020	2030	2040	2050
トピックス	農業 (栽培, 飼育)	活性化	極限環境 (宇宙, 深海) 水産, 土壌	
	食品・肥料・飼料	消毒・殺菌・殺虫 鮮度維持・フードロス	機能性作物 ・肥料・燃料 資源還元型	
	健康・再生医療	活性化 創薬・医薬品	デザイナー細胞	
	医療(がん・免疫・感染症)	個別化 (テラメード) 医療 前臨床→臨床→PMDA (安全性検証)		
課題	制御	プラズマ特性のリアルタイム制御		
	モデリング・計算	反応のレート方程式 粒子法 (分子動力学) 細胞→組織→器官→個体	融合教育 (数理) 量子コンピュータ	
	生物実験 ・	プラズマ特性との相関のデータベース		
	計測	遺伝子・分子注入 マクロ・レベル → 1細胞計測 イメージング・ラジカル・スピン	→	1細胞処理 MEMS
展望	バイオマテリアル	合成 浄化	コンポジットマテリアル	
	ドーズ量・導入量制御	細胞 (イオン濃度, 膜電位, タンパク質) 導入の深さと位置と量 血管・代謝		
	生物学的アウトラット	プラズマ・活性種と対象の間の反応 生物対象の拡張: タンパク質→生体		
	プラズマ生成	EMS (パルス電界, 導電率・誘電率) ガス組成, 準大気圧, 温度,		

⑥新分野（省資源・低炭素社会）

	2020	2030	2040	2050
	省資源・低炭素技術			
製品・応用	全固体LiB (S-C系) メタネーション CH4熱分解	全固体LiB (S-Si系) CH4熱分解実装, 機能性カーボン材料 貴金属レス触媒	革新型電池 (F系, Zn系) 液体燃料合成 空気から硝酸合成	Li-Air電池 アミノ酸合成 NH3合成の脱高温高压化 SAF合成 カーボンネガティブ 分散型オンデマンド製造 技術
技術開発	分散型・非熱プラズマ反応 装置の電力容量拡大：1 kW(2020)	プロセス電化 リサイクル/リユース技術 (ブラックマス) スケールアップ：10kW・クラスター化 (10ユニット)	脱・熱プロセス 量産技術のグリーン化 (エ ネ消費削減)	常温触媒科学 スケールアップ：100kW・クラスター 化(100ユニット)
シーズ	電子駆動触媒 炭素材料への異種元素 ドーピング 炭素材料への官能基修飾 気液界面プラズマの大面 積化・多並列化	データサイエンスに基づく触媒開発 プラズマ駆動による新規反応ルート		
		プラズマ-液体界面での 反応制御		

⑥新分野（宇宙・推進）

	2020	2030	2040	2050
アウトプット	 <p>サンプルリターン</p>  <p>衛星コンステレーション</p>	<p>オール電化衛星</p>  <p>スペースデブリ除去</p> 	 <p>大量・低コスト物資輸送 (大規模建造物)</p>	
技術開発	<p>ホールスラスタ, イオンエンジン, ヘリコンスラスタ</p>  	<p>大電力ホールスラスタ, ヘリコンスラスタ, 核融合推進, MPDスラスタ</p> <p>N-100N級 スラスタ</p> <p>mN-N級 スラスタ</p> 		
	  <p>μN-mN スラスタ</p>	<p>小型イオンエンジン, エレクトロスプレー, PPT</p>		
基礎研究	<p>プラズマ生成・制御・乱流・輸送</p>			
	<p>プラズマ源, イオン源, 中和器</p>			
	<p>推力計測・プラズマ流計測</p>			
	<p>Xeフリー代替推進剤 (Green propellant: Ar, ヨウ素, H₂O, 大気)</p>			