

## 募集要項別紙

## 第 6 章 募集対象となる技術領域

本章では、技術領域ごとに、領域の概要や研究開発提案を期待する背景、想定される技術要素のカテゴリ、解決が期待されるボトルネック課題を記載しています。なお、カテゴリやボトルネック課題は例示であり、それらに限定することなく革新的な提案を幅広く募集します。各技術領域の範囲に収まるかわからないような境界領域での提案や、複数の技術領域にまたがった異分野融合の提案も歓迎しています。

さらに、いずれの技術領域にも合致しない場合であっても、カーボンニュートラルの実現に大きく貢献する研究開発提案であれば、選考の対象とします。例えば、以下などが考えられます。

- ・ 水素社会のインフラ構築およびモビリティ等の軽量化に資する構造材料にかかわる新発想
- ・ 低炭素型の製造プロセスにかかわる新発想

応募にあたっては、可能な限り、各技術領域を幅広く解釈したうえで最も関係する技術領域を選択してください。いずれの技術領域にも合致しないと考える場合は、提案先を「その他新発想」として応募をお願いします。

## 目次

<b>第 6 章 募集対象となる技術領域</b> .....	<b>- 1 -</b>
6.1 「エネルギー変換・蓄エネルギー」領域 .....	- 2 -
I. 技術領域の概要 .....	- 2 -
II. 提案を期待する技術要素 .....	- 3 -
6.2 「資源循環」領域 .....	- 8 -
I. 技術領域の概要 .....	- 8 -
II. 提案を期待する技術要素 .....	- 9 -
6.3 「グリーンバイオテクノロジー」領域 .....	- 12 -
I. 技術領域の概要 .....	- 12 -
II. 提案を期待する技術要素 .....	- 13 -
6.4 「半導体」領域 .....	- 19 -
I. 技術領域の概要 .....	- 19 -
II. 提案を期待する技術要素 .....	- 20 -
6.5 「グリーンコンピューティング・DX」領域 .....	- 25 -
I. 技術領域の概要 .....	- 25 -
II. 提案を期待する技術要素 .....	- 26 -

## 6.1 「エネルギー変換・蓄エネルギー」領域



プログラムオフィサー

渡邊 正義

(横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授)

### I. 技術領域の概要

カーボンニュートラル実現に向けた「グリーン成長戦略」では、再生可能エネルギーの主力電源化と水素エネルギーを活用する技術の革新が不可欠であると考えられています。再生可能エネルギーの利用拡大には、太陽光発電などの導入コストの低減やエネルギー変換効率の向上を実現することが求められています。発電・産業・運輸など幅広い場面での活用が期待される水素でも、その生成やエネルギーキャリアへの変換、利用技術において、変換効率の大幅な向上が求められています。

また、持続可能なエネルギーシステムへの転換を支える上で、蓄エネルギー技術は欠かせない要素です。熱エネルギーを取り扱う際に時間・場所・温度のミスマッチを是正するための技術である蓄熱技術は、工場排熱の利用は飛躍的に進歩してきたものの、まだ中低温の未利用排熱等を活用する余地は残されています。また、今日において蓄電池をはじめとする蓄電技術は国民生活・経済活動を維持する上で必要不可欠なものとなっており、その重要性は益々増しています。身の回りの小型の蓄電デバイスから、太陽光や風力といった出力が大きく変動する再生可能エネルギーの利用を促進する電力系統用の大規模な蓄電装置まで幅広い用途に向けた、より汎用性が高く、経済的であり、環境に優しい蓄電方法が求められています。

そこで、本技術領域では、これらの社会の要望を踏まえつつ、前例にとらわれない自由な発想に基づき、革新的なエネルギー変換・蓄エネルギー技術シーズへの発展が期待される挑戦的な研究開発に取り組めます。次世代エネルギーの安定調達・大規模利用につながる技術開発や水素エネルギーキャリアに関する技術開発、蓄熱・蓄電に関する新材料や新しいプロセス・システムの発見によるブレークスルーによって、カーボンニュートラルを前提とした我が国のエネルギー構造転換に貢献することを目指します。

なお、研究開発提案においては、エネルギーフローやマテリアルフローの観点から、提案される技術の利用プロセス全体を通して温室効果ガス排出量削減へ貢献できることを前提とし、選考の際にも重視します。

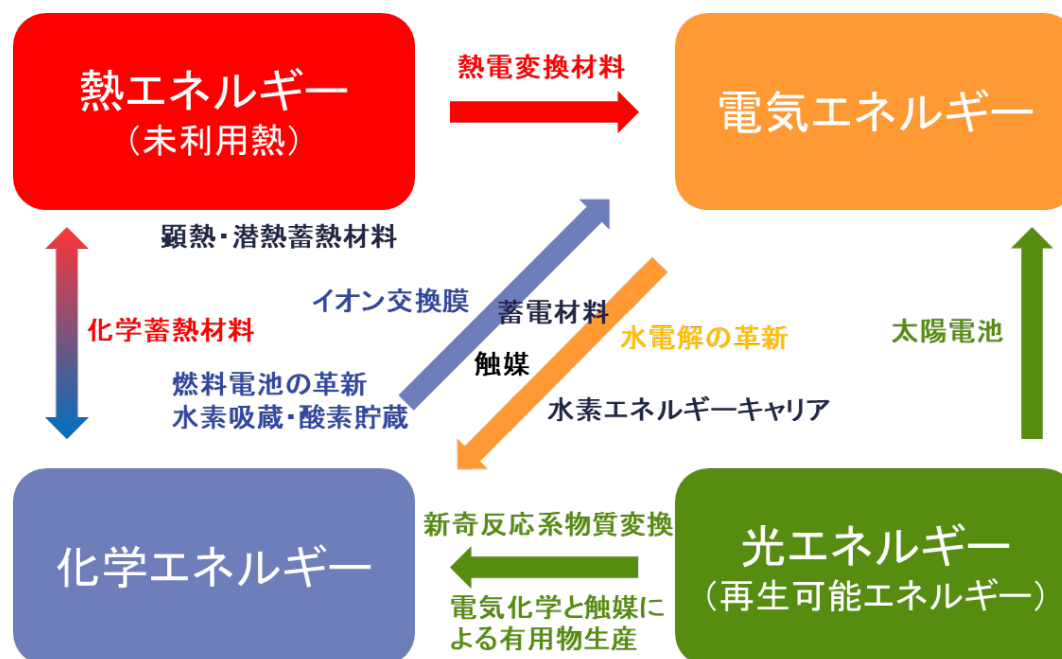


図 1 「エネルギー変換・蓄エネルギー」領域の対象とする技術イメージ

## II. 提案を期待する技術要素

「エネルギー変換・蓄エネルギー」領域では、以下のカテゴリーに関する研究開発提案を期待します。

- a. 高効率・高利便性太陽エネルギー変換技術
- b. 省エネルギー・低コストな水素エネルギーキャリアの合成・利用技術
- c. 中低温未利用熱エネルギーの貯蔵技術
- d. 再生可能エネルギーの利用を促進する安全で低コストな電気エネルギー貯蔵技術
- e. カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー変換・蓄エネルギー技術の新発想

### a. 高効率・高利便性太陽エネルギー変換技術

低コスト化および高効率化が進んだ結晶シリコン太陽電池は、メガソーラー等の大規模な施設を中心に、最近では家庭の屋根など民生用まで用途が広がってきています。しかし、さらなる太陽電池の普及拡大のためには、結晶シリコン太陽電池が設置できない耐荷重の小さい工場屋根、ビルの壁面、高速道路の防音壁・法面、農業用ビニールハウス等への設置拡大が必須です。このためには、軽量、フレキシブルな有機薄膜太陽電池や鉛フリーペロブスカイト太陽電池などの新規太陽電池の飛躍的な高効率化と高寿命化が重要な研究課題です。また、太陽光を活用し、水や二酸化炭素を有用な物質に変換するための基盤技術の開発も重要な課題です。

本カテゴリーでは、これらの課題を抜本的に解決する革新的な提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 設置場所の飛躍的な拡大を可能にする薄型・軽量・フレキシブル太陽電池

太陽電池のさらなる普及拡大のために、有機薄膜太陽電池や鉛フリーペロブスカイト太陽電池などの新規太陽電池の飛躍的な高効率化・高寿命化に寄与する挑戦的な研究開発提案を募集します。
- ナノ構造体を活用した高エネルギー変換効率を実現する新奇太陽電池

量子効果、フォトンマネジメントなどの新奇なコンセプトを利用した太陽電池の設計と、それを可能にする材料・電池構造の開発により、これまでにない高い変換効率を持つ太陽電池の実現を目指す挑戦的な研究開発提案を募集します。
- 接合界面設計を駆使した高効率なエネルギー変換を可能にする太陽電池

光吸収層あるいは発電層の表面および裏面の接合界面特性の高度化・高性能化により高光電変換効率を達成できる、新奇あるいは既存構造の太陽電池に関する挑戦的な研究開発提案を募集します。
- 既存技術を凌駕する高効率を実現する太陽エネルギー利用有用物質生産技術

太陽光を利用して、水、二酸化炭素等の安定小分子を活性化し、水素やメタン、メタノール等の有用な物質に変換する手法および、その変換過程を促進する触媒の挑戦的な研究開発提案を募集します。

#### **b. 省エネルギー・低コストな水素エネルギーキャリアの合成・利用技術**

水素エネルギー社会の構築において、気体のままでは貯蔵や長距離の輸送の効率が低い水素を、液体や水素化合物にして効率的に貯蔵・運搬を可能にするエネルギーキャリアは、キーテクノロジーの一つです。エネルギーキャリアとしては、アンモニア、有機ヒドライド、ギ酸などの研究が行われていますが、未だ、コストや利便性を兼ね備えたエネルギーキャリアの確立には至っていません。

水素エネルギーキャリアの共通の課題は、効率的なキャリア分子の合成と水素の取り出しです。有望な水素エネルギーキャリアとしてアンモニアが挙げられますが、従来の工業用合成法では多くのエネルギーを必要とすることから、カーボンニュートラルを担うエネルギーキャリアとして全く新しい合成方法が求められています。また、利用の点でも、水素を取り出す「脱水素」の過程での低コスト化や省エネルギー化が課題です。加えて、脱水素を経ずに水素エネルギーキャリアを直接利用する技術も重要となっています。また、水素燃料を供給する燃料電池においては、酸化剤として純酸素を利用することで発電効率を向上させることができますが、そこで利用する純酸素を貯蔵する技術も重要

です。

本カテゴリでは、これらの課題を抜本的に解決する革新的な提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 省エネルギーでアンモニアを合成する技術

既存技術を凌駕する、低温・低圧で反応できる高性能触媒の開発や温和な条件での連続合成法に関する研究開発提案を募集します。また、省エネルギーなアンモニア分離プロセスに関する挑戦的な研究開発提案も募集します。

- 高性能かつ安価な触媒やプロセスの探索による新奇な水素エネルギーキャリアの合成・脱水素技術

研究が先行しているアンモニアや有機ハイドライドを水素貯蔵密度、水素生産速度、変換効率、安全性において凌駕する新奇な水素エネルギーキャリアの合成・脱水素に関する研究開発提案を募集します。

- 水素エネルギーキャリアの直接利用技術

水素エネルギーキャリアを燃料として用いて電気エネルギーを取り出す直接燃料電池等、脱水素を経由しない直接利用技術に関する研究開発提案を募集します。

- 水素利用を促進する酸素貯蔵材料の開発

燃料電池の発電効率を向上させるためには、純酸素を利用することが効果的です。そのため、水電解等により得られた酸素や大気中の酸素を効率的かつ高密度に貯蔵できる材料に関する研究開発提案を募集します。

### c. 中低温未利用熱エネルギーの貯蔵技術

高温で動作するタービンやエンジン等ではカルノーサイクルに基づく高い動力変換効率が見られますが、消費エネルギーの大半を占める中低温領域では、製造・保守コストに見合う熱エネルギーの利用技術が未熟で、多くの熱は利用されずに廃棄されています。このため、中低温領域において、温室効果ガスの排出量の削減に資する蓄熱・熱再生利用、熱回収等の熱マネジメント技術の開発が強く求められています。

本カテゴリでは、中低温未利用廃熱の利用を実現するための蓄熱材の探索やプロセス開発、高効率熱電変換材料・システムに関する提案を募集します。熱エネルギーを貯蔵する従来からの顕熱・潜熱蓄熱に加えて、化学的現象、特に可逆な化学反応を利用して化学エネルギーとして貯蔵する化学蓄熱にも注目します。化学蓄熱は、顕熱・潜熱蓄熱に比べて蓄熱密度が大きく、実用化技術の拡大が期待されます。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これ

らに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 高蓄熱容量かつ温和な条件で利用可能な化学蓄熱材料探索やプロセス開発  
中低温未利用廃熱の利用を実現するための、熱輸送にも着目した新たな蓄熱材料の探索に関する研究開発提案を募集します。また、化学蓄熱では反応に耐えうる装置が必要になるため、その課題を解決する革新的なプロセス提案も募集します。
- 安全・安価かつ高性能な潜熱・顕熱蓄熱材料の開発  
熱輸送にも着目し、植物由来や再利用材料等の環境に配慮した低コストな材料の研究開発提案を募集します。
- 中低温で高効率な熱電変換材料の開発  
環境に優しい材料を使用し、200℃以下で動作可能な材料系の研究開発提案を募集します。
- 社会実装を目指す低コストな中低温廃熱エネルギー回収利用システムの開発  
熱電変換システムの社会実装に寄与する、製造・運用・保守にかかるコストの大幅な低減と高効率化に繋がる研究開発提案を募集します。
- 界面制御技術を駆使した高効率な熱エネルギー貯蔵システムの開発  
熱媒体との接触界面制御に新奇な発想を適用した熱エネルギー貯蔵システムの研究開発提案を募集します。

#### d. 再生可能エネルギーの利用を促進する安全で低コストな電気エネルギー貯蔵技術

カーボンニュートラルな社会実現に向けた太陽光や風力といった再生可能エネルギーの大規模導入のためには、電力系統用に適した、再生可能エネルギーの調整を行う電気エネルギー貯蔵技術が不可欠です。

本カテゴリーでは、系統用の電気エネルギー貯蔵技術の高度化に繋がる革新的な提案を募集します。また、難燃性のイオン液体や水系電解液、革新的な蓄電池の創製法等、低コストで安全性が高い電気エネルギー貯蔵技術の要素技術研究に関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 再生可能エネルギー由来電力の安定供給に資する蓄電材料および蓄電装置の開発  
再生可能エネルギー由来電力の需給調整や天候等の影響による出力変動を平準化して安定供給を図るため、電力マネジメントに適した蓄電材料およびそれらを活用した蓄電装置（レドックスフロー電池等を含む）に関する研究開発提案を募集します。
- イオン液体や水系の不燃性電解液を使用する大規模電気エネルギー貯蔵技術

次世代電気エネルギー貯蔵技術への将来的な応用が検討されているイオン液体や水系電解液に関して、イオン輸送特性の改善や蓄電装置の高電圧化を可能とする研究開発提案を募集します。

- 界面制御技術を駆使した低コスト・高性能化を可能にする電気エネルギー貯蔵技術  
電解質と電極界面構造や、その創製方法の革新による蓄電池の低コスト化や高性能化を図る研究開発提案を募集します。

**e. カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー変換・蓄エネルギー技術の新発想**

上記に当てはまらないエネルギー変換技術や蓄エネルギー技術に関して、カーボンニュートラルの実現に大きく貢献する、新たな発想に基づく研究開発提案を期待します。

## 6.2 「資源循環」領域



プログラムオフィサー

渡邊 正義

(横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授)

### I. 技術領域の概要

本技術領域では、資源の効率的な循環利用を低環境負荷で可能とし、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献する技術や材料、化学的プロセスの研究開発を推進します。カーボンニュートラルを実現するために、炭素をはじめとする資源の回収・循環利用の重要性が世界的に高まっています。例えば、大規模な温室効果ガス排出源となっている工業排気からの温室効果ガスの回収・資源化は、カーボンニュートラルに大きく貢献することが期待されます。そのため、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスを省エネルギーかつ高効率で分離・回収する技術の研究や、温室効果ガスを直接原料とする、あるいは、温室効果ガスを吸収・固定化したバイオマス为原料とする高性能・高機能な化学品や燃料を合成する新しいプロセスの確立が求められています。また、温室効果ガス排出量削減に向けて、今後、蓄電池・燃料電池・太陽電池の生産量・流通量の増加が見込まれますが、原料となる金属資源の供給量や産出国は限定されており、原料安定供給のためには既存資源の循環利用が重要となります。そこで、有機物・無機物の資源循環利用を可能とし、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献する技術や材料、化学的プロセスの開発を目指します。

なお、研究開発提案においては、エネルギーフローやマテリアルフローの観点から、提案される技術の利用プロセス全体を通して、低環境負荷での温室効果ガス排出量削減へ貢献できることを前提とし、選考の際にも重視します。



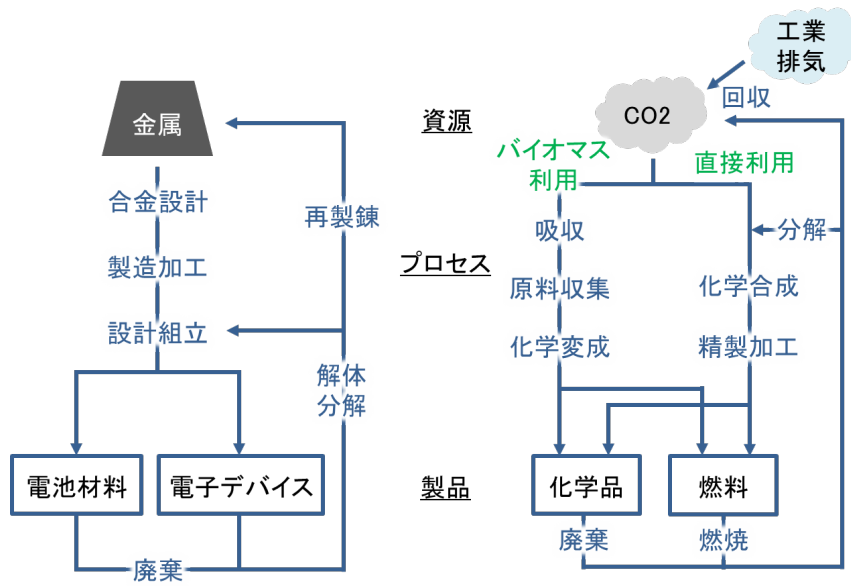


図 2 「資源循環」領域の対象とする技術イメージ

## II. 提案を期待する技術要素

「資源循環」領域では、以下のカテゴリに関する研究開発提案を期待します。

- a. 高効率・省エネルギーな温室効果ガス分離・回収・利用技術
- b. バイオマスを原料とする高性能・高機能材料を低環境負荷かつ高効率で創製する新しい合成技術
- c. 温室効果ガス削減に資する資源の循環利用技術
- d. カーボンニュートラル実現に向けた資源循環にかかわる新発想

### a. 高効率・省エネルギーな温室効果ガス分離・回収・利用技術

化石資源の利用により発生する温室効果ガスの排出量は莫大であり、その排出量削減に向けて、省エネルギー技術の開発や、二酸化炭素フリーの再生可能エネルギーへのシフトが進められています。しかし、カーボンニュートラルを実現するには、大規模発生源からの温室効果ガスの分離・回収、および回収した温室効果ガスの資源化が必要であり、喫緊の課題です。温室効果ガスの分離・回収技術は既に実用化に向けた検討が進められていますが、より広範な利用のための大幅な性能向上・コスト削減に繋げるためには、いずれの方法においても従来法を凌駕する技術開発が依然必要です。また、産業的に需要の高い化合物の新たな合成プロセスを確立して、温室効果ガス、特に二酸化炭素を資源化していくことが求められています。

そこで、本カテゴリでは、温室効果ガスの革新的な吸着材料・分離膜などの開発や二酸化炭素を

原料とする高付加価値化合物の新しい合成技術を構築する研究開発提案を募集します。なお、研究開発提案にあたっては、想定される動作条件や規模を明確にし、分離・回収・利用プロセス全体で温室効果ガス排出量削減に貢献できる開発を高く評価します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 高効率・省エネルギーで温室効果ガスを分離・回収・変換可能な新奇材料およびプロセス開発  
地球温暖化係数の高いメタンや、工場等から大量に排出される二酸化炭素を、低コスト・高効率に分離・回収・変換する材料およびプロセスに関する研究開発提案を募集します。
- 二酸化炭素を原料とする新しい高付加価値化合物の合成技術  
二酸化炭素を資源として捉え、産業界の需要がある化成品へと二酸化炭素を変換する新しい挑戦的な技術に関する研究開発提案を募集します。

#### **b. バイオマス为原料とする高性能・高機能材料を低環境負荷かつ高効率で創製する新しい合成技術**

二酸化炭素の吸収・固定化・資源化のために、バイオマス（木本系・草本系材料）の利活用が重要であることは世界的な共通認識であり、これまでバイオマス利活用に関する研究が幅広い分野において取り組まれてきました。日本は豊富な森林・海洋資源を有していますが、バイオマス利活用に関する研究については、世界各国の取組に比較して遅れている部分もあるのが現状です。特に、日本特有の気象や環境、地理的条件などを考慮した技術の開発が求められています。

本カテゴリーでは、非可食性バイオマスを原料として、高性能あるいは高機能な化成品や高分子材料へと効率的に変換する挑戦的で新しい化学的合成方法や、有機酸やアルコール等の汎用化成品、燃料などを低コストで生産可能とする技術の開発を求めます。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- バイオマス原料から高機能材料や汎用化成品等を創製する新奇な化学合成技術  
多糖鎖、リグニン、テルペンやポリフェノール等を用いて、高性能あるいは高機能な化成品や高分子素材を創製する合成技術や、有機酸やアルコール等の汎用化成品や燃料（SAF 等）を高効率で創製する合成技術に関する革新的な研究開発提案を募集します。

なお、バイオマスの生物学的利用については、「グリーンバイオテクノロジー」領域において対象とします。詳細につきましては、募集要項第 6 章「6.3 「グリーンバイオテクノロジー」領域」の記載をご確認ください。

#### **c. 温室効果ガス削減に資する資源の循環利用技術**

カーボンニュートラルの実現に向けて、限られた資源を省エネルギーかつ効率的に活用すること

は、持続可能性の面からも重要であると考えられます。特に、汎用的な高分子材料のケミカルリサイクルや、カーボンニュートラル実現に向けてより需要の高まる蓄電池・燃料電池・太陽電池の循環利用などが期待されます。これらの資源循環利用のためには、省エネルギーかつ効率的な材料の分解・解体手法の開発が重要となります。

本カテゴリでは、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献可能な分解性材料の化学的合成手法の開発、従来の高分子材料を循環利用する技術の開発、資源循環利用の省エネルギー化・効率化に寄与する易解体性材料や分解・解体および再利用技術の開発などを求めます。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 環境中で分解・再原料化が可能な循環型高分子材料の開発  
汎用性が高く、再原料化等により大幅な温室効果ガスの削減ができる、循環型高分子材料の合成手法に関する、これまでにない新奇な研究開発提案を募集します。
- 汎用的な高分子材料に適用可能な循環利用技術の開発  
現在多く利用されている高分子材料を効率的に分解し、それら高分子材料からなる製品の循環利用に寄与する新奇な研究開発提案を募集します。
- 異種・複合材料からなる製品に適用可能な循環利用技術の開発  
蓄電池・燃料電池・太陽電池や車体等の異種・複合材料からなる製品の循環利用に寄与する易分解性材料の合成手法・利用プロセスや、これらの製品の分解・解体および再利用に関する新奇な研究開発提案を募集します。

#### **d. カーボンニュートラル実現に向けた資源循環にかかわる新発想**

上記に当てはまらない有機・無機資源の循環利用に関して、カーボンニュートラル実現に大きく貢献する、新しい発想に基づく研究開発提案を期待します。

### 6.3 「グリーンバイオテクノロジー」領域



プログラムオフィサー  
江面 浩  
(筑波大学 生命環境系 教授)

#### I. 技術領域の概要

カーボンニュートラル実現への貢献に向けて、食料・農林水産業が「グリーン成長戦略」の重点分野に挙げられ、バイオものづくりやバイオテクノロジーを活用した技術開発に注目が集まっています。特に、植物や微生物による森林および木材・農地・海洋などへの二酸化炭素の固定化・資源化は以前より注目されており、温室効果ガス排出量の削減への大きな貢献が期待されます。そこで、本技術領域では、微生物や植物の機能を最大限活用し、温室効果ガス排出量削減へ貢献するゲームチェンジングな革新的技術シーズの開発を目指します。

これまで、微生物・植物の機能を解明・改良する検討が多くなされていますが、近年では、微生物叢と植物、さらには周囲の生物との共生関係までを対象とした研究にも注目が集まっています。このような多様な生物が関わり合う複合生物系の中では、微量のシグナル伝達物質などの分泌・代謝によってコミュニケーションが行われていることが明らかになっており、生物機能の最大化に向けて、複合生物系における相互作用メカニズムの解明や制御、活用が期待されています。

本技術領域においては、アカデミアを中心として、生物の持つ多様性の仕組みの解明と活用、自然環境下の複合生物系における相互作用の機序解明と活用など、未知の部分が多い領域に対する革新的・挑戦的な研究を推進し、バイオテクノロジーを活用してカーボンニュートラル実現へ貢献する新たな技術開発を行います。研究開発にあたっては温室効果ガス排出量削減、二酸化炭素の固定化・資源化などへの寄与を強く期待します。

さらに、進捗著しい情報科学（AI・機械学習等）とバイオテクノロジーとの連携・融合によりカーボンニュートラルに貢献する研究開発提案を期待します。また、生物系研究と物理、化学の異分野融合等の新しい研究開発提案も期待します。

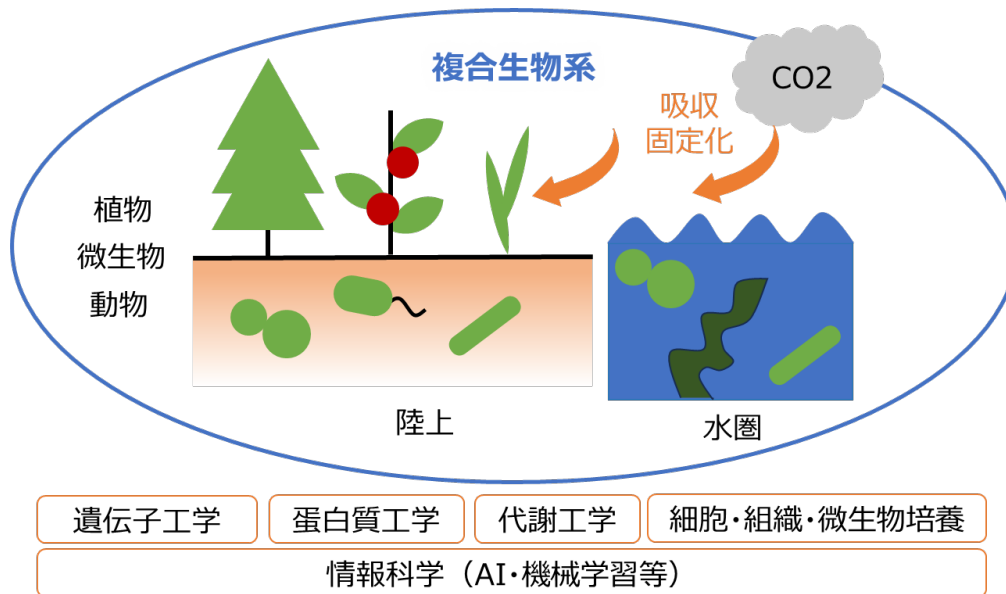


図 3 「グリーンバイオテクノロジー」領域の対象とする技術イメージ

## II. 提案を期待する技術要素

「グリーンバイオテクノロジー」領域では、以下のカテゴリーに関する研究開発提案を期待します。

- a. 複合微生物系および生体高分子の構造・機能の革新的な分析・解析・設計・制御技術
- b. 環境変動耐性・二酸化炭素固定化能の向上などの植物機能を最大化する複合生物系の制御法
- c. 高収量・低環境負荷なバイオマス生産の実現に向けた多様な植物の次世代育種技術
- d. 温室効果ガス排出量削減と食料生産を両立する新奇な微生物・植物の開発と活用技術
- e. 情報科学（AI・機械学習等）とバイオテクノロジーとの連携・融合によりカーボンニュートラルに貢献する技術
- f. カーボンニュートラル実現に向けてバイオテクノロジーを活用する新発想

### a. 複合微生物系および生体高分子の構造・機能の革新的な分析・解析・設計・制御技術

地球上の炭素循環・窒素循環の中で微生物が果たす役割は大きく、温室効果ガス排出量の削減に向けて、環境中に存在する微生物の機能制御は重要であると考えられます。自然環境下では多数の微生物が微生物叢を形成するだけでなく、植物など他の生物と複合生物系を形成して存在しています。この複合生物系において微生物や植物が、様々な相互作用因子（シグナル伝達物質）を介して関わっていることが報告されていますが、多様な気候・地理的条件下での相互作用の変動など、未知の部分が

多いと言えます。また、微生物叢のメタゲノム解析は進歩してきているものの、環境中には難培養性の菌が多く存在しており、それらの菌の解析は従前の技術では不十分なため、環境中の複合微生物系の構造や機能に関する体系的な分析・解析は依然難しい状況です。

そこで、本カテゴリーでは、ブラックボックスが多く存在する複合微生物系および生体高分子（酵素タンパク質など）の構造や機能を解明し、地球上の物質循環の維持に寄与する新たな知見を得るため、複合微生物系および生体高分子に関する情報の革新的なハイスループット分析技術を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 土壌を保全し炭素・窒素循環を維持するための、微生物叢の環境変動に関する革新的なハイスループット分析技術

微生物や植物などの様々な相互作用因子（シグナル伝達物質）の解明にかかわるような研究開発提案を募集します。
- 水圏におけるバイオフィルム活性制御等による温室効果ガス排出量削減のための微生物叢設計・制御技術

水圏における複合微生物系の構造や機能の解明にかかわるような研究開発提案を募集します。
- 多様な環境において動的に変化する微生物叢内、微生物間の相互作用の分析・作用機序解明と制御技術

多様な環境中の微生物叢で動的な変化をともなって起きる未知の相互作用の解明、制御にかかわるような研究開発提案を募集します。
- 低炭素化に貢献する新たな微生物群・微生物叢の遺伝資源探索技術とその応用

未知の生物圏の手つかずの膨大な生物資源の探索、応用などの提案を募集します。
- 温室効果ガス排出削減のための土壌動物も含めた土壌中複合生物系の解析・設計・制御技術

複合生物系を微生物・植物から動物にも広げた探索・解析などの研究開発提案を募集します。

#### **b. 環境変動耐性・二酸化炭素固定化能の向上などの植物機能を最大化する複合生物系の制御法**

植物は様々な生物との共生関係を通じて多様な環境への適応性を発揮していると考えられています。例えば、植物と微生物叢の相互作用に関して、植物の生育へ寄与する微生物の同定や、相互作用因子（シグナル伝達物質）の検討が進められていますが、より効率的・効果的な相互作用確立のためには植物自身が有するレセプターや因子の同定およびその動的変化の解析も必要であると考えられます。

また、複合生物系による植物への作用の活用により、様々な環境への耐性、病虫害抵抗性等を付与し、多様な環境で生産量／成長を維持できる植物を開発することが期待されていますが、多様な要素

がかかわる複合生物系における相互作用の機序解明は依然困難な状況です。

そこで、本カテゴリーでは、複合生物系の作用を活用して、優れた生育性や二酸化炭素固定化能、環境変動耐性を示す植物を育成するため、複合生物系との相互作用に寄与する植物遺伝子の解析、植物が産生する相互作用因子などの解明、これらの作用機序に基づく新奇な植物遺伝子改良法・育種法・栽培法の開発を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 共生する微生物叢や植物から影響を受ける植物遺伝子の解析とそれを利用した新しい植物の開発

植物自身が有するレセプターや因子の同定およびその動的変化の解析などに基づく新しい研究開発提案を募集します。
- 複合生物系の設計・制御により、光合成能向上・生育促進・環境変動耐性向上・病虫害抵抗性向上等を可能にする新しい植物の栽培技術

相互作用因子、寄与する植物遺伝子の解析、解明に基づく遺伝子改良法・育種法などの研究開発提案を募集します。
- 極限環境（低温極地、地中岩盤、深海熱水噴出孔等）で生息する多様な生物の遺伝資源を活用した低炭素化に貢献するメカニズムの解明と制御技術

極限環境で生息する多様な生物の遺伝資源・生物情報、その相互作用の機能解明、制御等に関する研究開発提案を募集します。
- 環境と光合成活性のモニタリングによる複合生物系における物質循環の解明およびその機能制御技術

光センサ技術、環境や収量のシミュレーションシステム等を活用して、複合生物系における光合成による物質循環を解明し、その機能制御を応用する研究開発提案を募集します。

### c. 高収量・低環境負荷なバイオマス生産の実現に向けた多様な植物の次世代育種技術

植物の光合成による二酸化炭素の固定化は、ネガティブエミッションによるカーボンニュートラル実現への貢献が期待されます。特に、温室効果ガス排出量削減に大きく寄与しうる植物のバイオマス増産のためには、生育地の拡大、生産性の増加／向上と、それに伴う利用サイクルの加速が重要です。例えば、草本バイオマスでは、低環境負荷な食料生産を実現する、より効率的な作物の品種改良を可能とする技術開発が期待されています。また、木本バイオマスについては、エリートツリー（成長や材質等の形質が良い精英樹同士の人工交配等により得られた次世代の個体の中から選抜される、成長等がより優れた精英樹）等の生産による木材利用の拡大や、適切な森林管理による温室効果ガスの中長期的な森林吸収量の確保・強化が求められます。この実現には、林木育種の高速化等によるエリー

トツリーの効率的な開発やその苗木の生産拡大が必要になります。

そこで、本カテゴリーでは、樹木を含む多様な植物の育種を効率化・高速化する次世代基盤技術の開発を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を求めますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 高収量・低環境負荷なバイオマス増産に向けた、新機軸に基づく植物ゲノム情報解析・タンパク質解析・遺伝子選抜・ゲノム編集技術

バイオマス増産のための効率的な作物品種改良、エリートツリーの効率的な開発などの研究開発提案を募集します。
- 新たな育種技術による、収量を維持しつつ施肥や資源投入を低減可能な植物の開発

低環境負荷な食料生産を実現する新技術による植物改良などの研究開発提案を募集します。
- 微生物と植物との共生関係により樹木の生育速度や二酸化炭素吸収能を向上させ植物バイオマス増産に寄与する植物育種の技術

植物の生育速度に寄与する微生物群の同定や相互作用因子の単離などの活用による植物育種の研究開発提案を募集します。
- 植物光合成メカニズム解明・機能制御による二酸化炭素固定化能向上技術や固定化した炭素の配分・貯留制御技術、あるいはその両方を達成する技術

光合成メカニズム解明と炭素固定化能向上に加えて、固定化した炭素のバイオマス配分、土壌貯留等まで展開・検討する研究開発提案を募集します。
- 二酸化炭素固定化能が高い新奇バイオマス開発（微細藻類、大型藻類、樹木等）に関する技術

陸上に限らず、沿岸生物圏、水中生物圏など幅広い生物圏での新奇バイオマス開発などの研究開発提案を募集します。
- 植物による二酸化炭素以外の温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）削減をターゲットとした技術

二酸化炭素よりも影響の大きい温室効果ガスの削減に寄与する技術の研究開発提案を募集します。

#### **d. 温室効果ガス排出量削減と食料生産を両立する新奇な微生物・植物の開発と活用技術**

将来的に解決が強く望まれるタンパク質危機・エネルギー危機に対して微生物・植物が果たす役割は大きいと考えられ、微生物・植物の機能を活用した食料生産技術の開発はこれまでも多く取組がなされています。カーボンニュートラル実現への貢献の観点では、食料生産の効率向上と温室効果ガス排出量の削減効果を両立することが重要と考えられます。例えば、農業における温室効果ガス排出



量削減については、微生物資源を活用した土壌改良や施肥の効率化、畜産などにおいてはエネルギー投入削減、あるいは精密発酵による代替タンパク質や脂肪酸の生産などの技術開発が期待されます。

そこで、本カテゴリーにおいては、微生物や植物の機能を最大限活用し、省エネルギー・省資源で食料生産を可能とする技術や、食料生産に貢献する新奇な微生物・植物の開発を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 低エネルギー投入量で食料・飼料の生産を可能にする微生物活用技術  
土壌微生物を活用した土壌改良、施肥量効率化などの技術開発に関する研究開発提案を募集します。
- 新奇の微生物・植物等を活用した新たな食料生産技術  
農業残渣・食品残渣等から油脂等を効率的に生産する微生物（群）の開発あるいは食品製造に貢献する新奇タンパク質を生産する微生物・植物・複合系の開発等に関する研究開発提案を募集します。

#### **e. 情報科学（AI・機械学習等）とバイオテクノロジーとの連携・融合によりカーボンニュートラルに貢献する技術**

情報科学（AI・機械学習等）は、2024年ノーベル化学賞のようにバイオテクノロジー分野にも革新的な研究手法をもたらしています。例えば、情報科学のアルゴリズムと計算リソースを用いた大量の遺伝情報解析や遺伝子機能の特定、情報科学を駆使した大量データの統合、解析による生体内および生体間の複雑なネットワークの理解・制御等、ゲームチェンジングな研究開発が盛んに展開されています。

そこで、本カテゴリーでは、本技術領域で掲げるカテゴリーa～dを対象に、情報科学と連携・融合してカーボンニュートラルに貢献するゲームチェンジングな技術の開発を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 二酸化炭素固定化能向上などカーボンニュートラルに貢献する機能（活性・基質特異性・耐熱性等）を付加したタンパク質を情報科学の活用により設計、解析、制御する技術  
情報科学を活用して、カーボンニュートラルに貢献する狙った機能をタンパク質に付与する技術開発提案を募集します。
- 情報科学を活用して、遺伝子情報や画像情報等から植物、微生物等の表現型を予測する新たなモデルの開発と応用  
情報科学を活用して、遺伝子情報や画像情報等の大量のデータから生物の表現型を予測でき

るモデルを開発し、その応用として、カーボンニュートラルに貢献する研究開発提案を募集します。

- データサイエンスを駆使した、地球温暖化に伴う土壌微生物群集の構造の変動予測・微生物群集のダイナミクスのモデル化・メタゲノム配列からの新規有用酵素の予測と活用  
情報科学・データサイエンスを駆使して、地球温暖化に伴い変化対応する複合生物系のモデルを開発し、カーボンニュートラルに貢献する研究開発提案を募集します。
- 新たなセンシングデバイス等によるハイスループット分析技術や研究 DX、AI の活用による実験の自動化・並列化技術  
情報科学を活用したハイスループット分析技術の開発、実験の自動化・並列化の技術開発、これらを応用した、カーボンニュートラルに貢献する研究開発提案を募集します。

#### f. カーボンニュートラル実現に向けたバイオテクノロジーを活用する新発想

上記の内容に当てはまらない、カーボンニュートラル実現への貢献に向けた新たな発想に基づく研究開発提案を募集します。特に、生物系研究と物理、化学の異分野融合等により、上記カテゴリーにとらわれない新発想の基礎研究や技術開発に関する提案を期待します。以下に事例を列挙しますが、事例にとらわれない新発想を期待します。

- 高密度に炭素貯留可能な新奇バイオマス開発や既存バイオマスの炭素貯蔵の高密度化に貢献する研究
- 植物、微生物等による廃棄物や未活用バイオマスの徹底活用や重要物質（リン、レアメタル）の回収、バイオレメディエーション等に貢献する研究
- バイオ製品の革新的な生産プロセス開発（例：合成反応プロセス、分離回収の改善、工程の連続化や低エネルギー化など）に貢献する研究
- 高温負荷耐性が高く、高分子を低分子まで効率的に分解できる酵素の探索、開発に関する研究
- 多様な生体分子システムやオルガネラ機能の理解による低炭素化・低肥料化等に貢献する研究

なお、バイオマスを原料とした化成品の合成技術の開発については、「資源循環」領域において対象とします。詳細につきましては、募集要項第 6 章「6.2 「資源循環」領域」の記載をご確認ください。

## 6.4 「半導体」領域



プログラムオフィサー

黒田 忠広

(東京大学 特別教授室 特別教授 / 熊本県立大学 理事長)

### I. 技術領域の概要

5G/6G、IoT、自動運転、ロボティクス、DX 等の本格的な高度情報社会の進展に伴って、情報・通信インフラの消費電力は指数関数的に増加しており、カーボンニュートラル実現のためには、情報・通信インフラの基盤となる半導体デバイス・回路ハードウェアの抜本的な省電力化は必須です。また、電力の伝送の面でも、再生可能エネルギー/水素発電や蓄電池が接続された大規模かつ複雑な電力網の省エネルギー化と高信頼化が、カーボンニュートラル実現には極めて重要です。

本技術領域では、情報・通信インフラ向けの半導体の抜本的な消費電力削減を目指します。具体的には、超低消費電力のロジック・メモリを実現する半導体デバイス・プロセス技術、1 通信ビット当たりの消費電力を数桁低減する革新的な伝送ハードウェア技術、高効率な熱マネジメントを実現する材料・実装方式の開発を目指します。また、大規模で複雑な電力網の省エネルギー化と高信頼化のために、高効率・高信頼な電力変換・制御回路、インバータ/コンバータ安定化技術等を開発します。

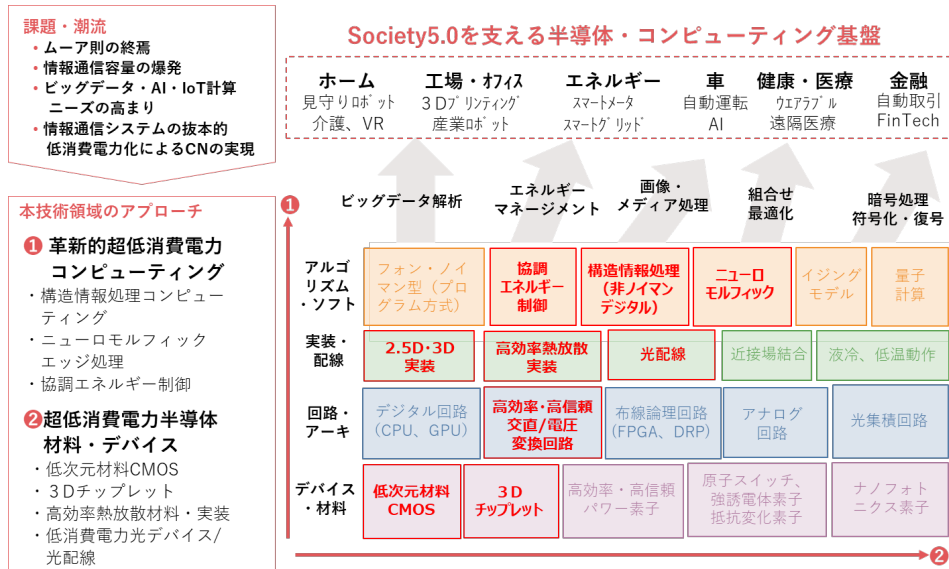


図 4 「半導体」領域の対象とする技術イメージ

(赤字は本技術領域で特に提案を期待する技術例)

(JST-CRDS 戦略プロポーザル (CRDS-FY2017-SP-02) をベースに改変)

## II. 提案を期待する技術要素

「半導体」領域では、以下のカテゴリに関する研究開発提案を募集します。

- a. 極低消費電力動作を可能とする次世代ロジック・メモリ技術
- b. 1 通信ビット当たりの消費電力を抜本的に低減する革新的伝送ハードウェア技術
- c. チップやボードの高効率な放熱を実現する新規材料・デバイス・熱マネジメント技術
- d. 大規模かつ複雑な電力網の高効率・高信頼化を実現する電力変換素子・回路・制御技術
- e. カーボンニュートラル実現に向けた半導体にかかわる新発想

### a. 極低消費電力動作を可能とする次世代ロジック・メモリ技術

既存の Si 半導体材料を用いた情報処理半導体は微細化の限界に直面しており、ムーアの法則の終焉を迎えようとしています。さらに、AI パラメータの爆発的増加に伴い、CPU/GPU の処理能力の向上やメモリ容量の増大が求められています。その上、プロセッサ・メモリ・ストレージ間での膨大なデータ転送が大きなボトルネックになっています。特に、現在のメインメモリ（DRAM）は揮発性メモリであるため、ストレージとのデータ転送が頻繁に必要であり、エネルギー消費の大きな要因の一つとなっています。そのため、これらの課題を解決するために、さらなる高性能・低消費電力化を実現する様々な革新的次世代電子デバイス技術に大きな期待が寄せられています。

本カテゴリでは、消費電力の大幅な低減を目的に、サブ nm 世代 CMOS デバイス技術や、三次元集積デバイス技術、次世代不揮発性メモリ、ロジックとメモリの集積化、3D チップレット集積技術など、次世代のロジックやメモリなどの電子デバイス技術に関し、基礎から応用に至るまでの幅広い研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- サブ nm CMOS を実現する革新的なチャネル材料とそのデバイス化技術

サブ nm 世代 CMOS の実用化に向けた超薄膜で高移動度を有する革新的なチャネル材料（二次元層状材料や酸化物半導体、SiGe、化合物半導体等）やその成膜プロセス、ゲートスタック形成プロセス、コンタクトなどに関する要素技術およびプロセスインテグレーション、モデリングなどに関する研究開発提案を募集します。

- 三次元構造デバイスおよび超高密度集積化技術

CMOS トランジスタのモノリシック三次元集積デバイス技術、ハイブリッド接合型三次元集積デバイス技術、異種材料デバイスを積層させたヘテロジニアス三次元集積デバイス技術などに関する研究開発提案を募集します。

- 次世代不揮発性メモリの開発

新たな概念の不揮発性メモリの創出、既存の不揮発性メモリ（FeRAM、MRAM 等）の大規模化・高速化・低動作電圧化・高信頼化などに関する研究開発提案を募集します。

- ロジックとメモリの集積化を実現するデバイス技術  
メモリとロジックを集積化してデータ移動距離を抜本的に短縮して高速化・低消費電力化する三次元集積デバイスの材料・プロセス・回路構成・高密度集積技術・デバイス応用等に関する研究開発提案を募集します。
- サブ nm CMOS に向けたシミュレーション・設計技術  
トランジスタの配置も考慮可能な先端デバイス・プロセス開発を促すシミュレーション・設計技術に関する研究開発提案を募集します。
- サブ nm CMOS を実現する新配線材料・要素技術  
Cu 配線を超える革新的な新配線材料の研究開発や、材料・装置技術の斬新な要素技術開発に関する研究開発提案を募集します。

#### **b. 1 通信ビット当たりの消費電力を抜本的に低減する革新的伝送ハードウェア技術**

高度のデジタル社会（Society5.0）の進展に伴って、従来の予想を超える膨大なデータが取り扱われるようになり、世界の情報量は 2030 年には 2018 年の 30 倍以上、2050 年には 4,000 倍に達し、現状のまま進展すると、情報関連だけで 2030 年には年間 42PWh、2050 年に 5,000PWh と、現在の全世界の消費電力の約 24PWh を大きく上回ると予測されています。増大し続ける通信需要をまかない、かつ低炭素社会を実現していくには、1 通信ビット当たりの消費電力を数桁低減する革新的なハードウェア技術の開発が急務です。特に大量のデータが飛び交うデータセンター内の通信エネルギーの低減が極めて重要となります。そのためには、高速ルータ機器の省電力化に加えて、従来の電気インターコネクタを高効率な光インターコネクタに置き換えることや、ネットワーク内で繰り返される OEO 変換を削除し光スイッチネットワークへ変革することが求められます。

本カテゴリでは、チップ／チップレット間通信の省電力化やボード／ラック間通信の次世代光トランシーバ技術、光ネットワーク化に向けた高速光スイッチ技術、高速ルータ機器の省電力化をはじめ、様々な技術を駆使して情報処理・通信経路のボトルネックを解決する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- チップ間およびチップレット間をつなぐ極低消費電力・高密度・広帯域インターコネクタ技術  
パッケージ基板およびボード上での通信エネルギーの抜本的削減を可能とする新たな伝送方式や実装技術、光配線技術などに関する研究開発提案を募集します。
- ボード／ラック間の大容量かつ省電力なデータ伝送を実現する次世代光トランシーバ技術

チップ I/O の SerDes および光トランシーバの光電インタフェースの消費電力の大幅な低減を可能とする Co-Packaged Optics (CPO) や Near-Package Optics (NPO) などの次世代光トランシーバ技術およびその高密度化・大容量化、低電圧駆動で動作可能な半導体レーザや新たな超高速光変調器、極低容量な受光素子などの革新的光アクティブデバイスに関する研究開発提案を募集します。

- OEO 変換の削減による大幅な省電力化を可能とする革新的光スイッチデバイス技術  
光通信網やデータセンタネットワークにおける OEO 変換を削減し全光ネットワークへの変革を目指し、光サーキットスイッチ (OCS) や光バーストスイッチ (OBO)、光パケットスイッチ (OPS) への適用が可能な光スイッチ技術およびその多ポート化、高速化、小型化などに関する研究開発提案を募集します。
- 高速ルータ機器の省電力化を実現する革新的メモリ・FPGA 技術  
通信経路に数多く設置された経路切り替え用ルータの情報処理制御を司る FPGA 回路の省電力化を実現する不揮発メモリや回路網開発に関する研究開発提案を募集します。

### c. チップやボードの高効率な放熱を実現する新規材料・デバイス・熱マネジメント技術

半導体集積回路の大容量化が進行するとともに、集積回路を搭載したチップからの放熱がチップの情報処理速度や消費電力低減への大きなボトルネックになっています。また、半導体の微細化が減速する中、集積度を向上させ消費電力を低減する手段として、半導体チップを縦方向に積層する三次元集積回路 (3DIC) に大きな期待が寄せられていますが、三次元化によって電力密度が増大し素子の接合温度が上昇すると、信頼性不良を引き起こすことが懸念されます。システム、デバイス構造、材料、物理など様々な階層で革新的な放熱技術の開発が必要ですが、学術体系は未だなく、ボトルネックとなっています。

本カテゴリでは、放熱モデルの理論的検討、材料および材料加工の探索と開発、システムとデバイス構造の検討と提案に関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- ナノスケールの熱伝導や界面での熱伝導モデルの構築と検証、シミュレーションへの組み込み  
集積回路に数多く存在する界面やナノスケールの超薄膜の熱伝導モデルの学理確立や、それを応用した高精度のシミュレーション技術開発に関する研究開発提案を募集します。
- フォノンエンジニアリングなどによる高度な放熱技術の提案と実証  
半導体や絶縁体の主たる熱伝導の担い手となるフォノンの振る舞いを解明し、それをベースとした革新的な放熱技術の開発に関する研究開発提案を募集します。
- パッケージ工程に適応可能な新規の高熱伝導材料の開発およびその製造技術

チップから放出された熱を効率的にパッケージに伝えて外部に放熱する熱伝導材料とパッケージング技術に関する研究開発提案を募集します。

- BEOL 工程に適応可能な放熱特性に優れた絶縁材料の低サーマルバジェット製造技術  
半導体や絶縁体から放出された熱を、BEOL で形成された多層配線を通してチップ上面に伝えてパッケージに放熱する多層配線間絶縁材用と低サーマルバジェット技術に関する研究開発提案を募集します。
- マテリアルズインフォマティクス(MI)手法などを取り入れた高放熱性新材料の追究  
MI を応用して研究者の知識・経験・スキルと実験を超える広範囲の放熱材料の高効率探索に関する研究開発提案を募集します。
- 放熱を意識した配線材料・構造設計・配線レイアウト技術  
サブ nm CMOS 世代以降の配線の微細化に合わせて、チップ内で発熱した熱を効率的に外部に放出するための革新的な配線材料、デバイス構造設計、配線レイアウト技術に関する研究開発提案を募集します。

#### d. 大規模かつ複雑な電力網の高効率・高信頼化を実現する電力変換素子・回路・制御技術

カーボンニュートラル達成のためには、情報インフラの省電力化の高い目標を達成するのみならず、電力エネルギーの「生産」「輸送」「分配」「収集」から「供給」「利用」に至る大規模かつ複雑なサプライチェーン全体の中で、電力エネルギー消費を低減することが求められます。そのためには、基幹電力網に再生可能エネルギー／水素発電や蓄電池が接続された複雑な電力システム内に多数存在するインタフェース装置・回路などの高効率化および高度な制御・運用方法が求められます。また、分散した多様なエネルギー源と需要家システムとをつなぎ、電力系統から家庭やビル内の機器までを連携動作させるには、多数のインバータ／コンバータの設置が必要となり、系統との間で電力変換が頻繁に発生するため、系統連系装置の高度な制御・運用技術や EMC などの抑制の機能がボトルネックとなっています。また将来のさらなる大電圧電力変換のためには、駆動電圧や電流等で従来の性能を大幅に凌駕する次々世代の半導体素子の基礎研究も重要です。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 系統電力網から分散電力まで幅広く存在する電圧変換・交直変換回路の電力容量に対応した抜本的な高効率化技術  
様々な電圧の直流・交流電源を多様な装置で利用するには、多数の電圧変換・交直変換回路が必要です。これらの回路のパワーデバイスと協調した受動デバイスの高性能化や回路構成・制御方式等を含めた電圧変換・交流変換回路の抜本的な小型化・高効率化技術に関する研究

開発提案を募集します。

- 系統電力網の不安定性やノイズに対処可能なインバータ/コンバータ回路技術  
直流駆動の再生可能エネルギー電源（太陽光、風力、蓄電池）が主要電源化した系統電力網で発生する周波数および電圧変動や、電力変換システムの低ノイズ化に対処可能なインバータ/コンバータ技術に関する研究開発提案を募集します。
- 高精度の電力制御を実現する高機能ゲートドライバ技術  
電力変換回路（インバータ/コンバータ）を高精度に制御し、搭載されるパワー半導体の破壊や劣化を抑止し、消費電力や発熱を低減するゲートドライバ技術に関する研究開発提案を募集します。
- 電力系統から家庭やビル内の機器の高信頼・低消費電力な連携動作を可能とするインテリジェントスマートインバータ技術  
様々な電源が接続された系統電力網の自律調整機能を有し、電力系統の安定化、電力品質の向上および電力網全体の協調的な省電力化を実現するための、インテリジェントなスマートインバータ技術に関する研究開発提案を募集します。

**e. カーボンニュートラル実現に向けた半導体にかかわる新発想**

上記の内容に当てはまらない、カーボンニュートラル実現に向けた新たな発想に基づく半導体の研究開発提案を募集します。例えば、半導体製造におけるカーボンニュートラルに貢献する革新的プロセス技術などの提案を期待します。



## 6.5 「グリーンコンピューティング・DX」領域



プログラムオフィサー

黒田 忠広

(東京大学 特別教授室 特別教授 / 熊本県立大学 理事長)

### I. 技術領域の概要

5G/6G、IoT、自動運転、ロボティクス、DX 等の本格的な高度情報社会の進展に伴って、情報・通信システムの通信量と電力消費量は指数関数的に増加しており、カーボンニュートラル実現のためには、情報・通信システムを抜本的に省電力化する革新的なコンピューティングアーキテクチャの導入が急務です。中でも、人間社会の無駄を省き効率化するはずの AI 技術（予測、認識、生成、最適化）等の一連の知的情報処理技術の発展が、逆に通信量や電力消費量の爆発的な増加の面で既に大きな社会問題を引き起こしつつある問題は看過できません。また電力の伝送の面でも、電力インフラハードウェアの省エネルギー化に加え、エネルギーの「生産」「輸送」「分配」「収集」から「供給」「利用」に至る複雑なサプライチェーン全体での効率化・低損失化が強く求められています。

本技術領域では、情報・通信システムの電力消費量を抜本的に削減することを目標に、消費電力が大きい汎用コンピューティングから、応用領域を限定した低消費電力のコンピューティングへのパラダイムシフトを目指します。具体的には、領域を限定した（Domain-Specific な）非フォンノイマン型の革新的コンピューティングアーキテクチャとそれを応用したエッジチップや、エッジクラウド間のデータ通信量爆発の問題に対処するための効率的なデータ制御技術などの研究開発を推進します。また電力システム全体の高効率化・低損失化に向け、IoT センサによって収集したデータの分析により、電力システムの構成要素の状況や、人の行動・意図などを推定・予測できる革新的アーキテクチャなどの研究開発も推進します。

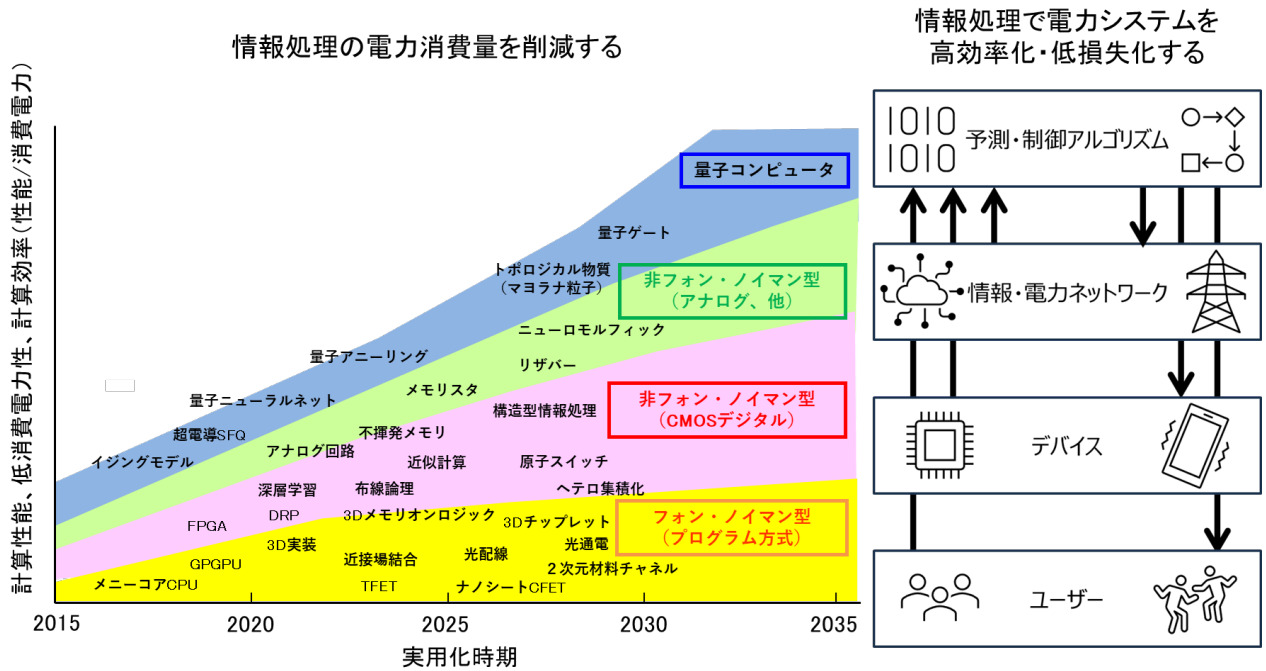


図 5 「グリーンコンピューティング・DX」領域の対象とする技術イメージ  
(JST-CRDS 戦略プロポーザル (CRDS-FY2017-SP-02) をベースに改変)

II. 提案を期待する技術要素

「グリーンコンピューティング・DX」領域では、以下のカテゴリーに関する研究開発提案を募集します。

- a. Domain-Specific な応用を目指した非フォンノイマン型革新的デジタルコンピューティングアーキテクチャ
- b. AI 処理の省電力化を実現する革新的コンピューティングシステム
- c. エッジで収集された膨大な情報をエッジ⇔クラウド間で適切に制御する新しいアーキテクチャ
- d. 省電力化のためのデータ収集・共有・流通アーキテクチャとそれを用いたエネルギーマネジメント技術
- e. カーボンニュートラル実現に向けたグリーンコンピューティング・DX にかかわる新発想

特に、今年度は、エネルギーマネジメントシステムに関連するカテゴリー d に関して、積極的な提案を期待します。

a. Domain-Specific な応用を目指した非フォンノイマン型革新的デジタルコンピューティングアー

## キテクチャ

AI 処理の飛躍的な発展と活用により、GPU などの先端チップの需要が増加し、さらに GPU が置かれるデータセンターの電力消費は爆発的に増大しています。またモバイル用途でも、従来の PC やスマホに加え、ロボットや自動運転車などの高度な知的判断を必要とするエッジ機器において AI 処理を拡大する動きが活発化し、今後消費電力の大幅な増大が予想されています。しかしながら、現状のフォンノイマン型アーキテクチャを用いた AI 処理は、プロセッサとメモリ間のデータ転送に多大なエネルギーを消費するため、これを刷新する領域を限定した（Domain-Specific な）新規の非フォンノイマン型次世代コンピューティング技術の導入による AI 技術等のデータ処理技術の開発が期待されています。

本カテゴリーでは、ゲームチェンジングな非フォンノイマン型次世代コンピューティングアーキテクチャや、それを用いた AI 処理技術、およびそれを実現するチップに関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 自動運転、ロボティクス等の領域を限定した（Domain-Specific な）非フォンノイマン型コンピューティング等の革新的アーキテクチャ

領域を限定した（Domain-Specific な）新規の非フォンノイマン型次世代コンピューティング技術の導入による AI 技術等のデータ処理技術に関する研究開発提案を募集します。
- 構造型情報処理等のメモリを介さず演算器のスイッチングで計算を行う新規なコンピューティングアーキテクチャ

メモリを用いずロジック回路の接続を制御して演算を行う構造型情報処理を用いた革新的なコンピューティングアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- 間欠的コンピューティング等必要な時のみ電力を使用して演算を行う新規なエッジコンピューティングアーキテクチャ

稼働が必要な時だけロジック・メモリの稼働させる間欠的コンピューティングなど、ロジック・メモリの稼働を動的に制御して消費電力を削減するコンピューティングアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- 確率的コンピューティング等不確実性を利用した超低消費電力コンピューティング

従来の決定論的なコンピューティングでなく、誤りを許容し確率的に情報処理を行う革新的なコンピューティングアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- メモリの中ないしは近くで情報処理を行うことで消費電力を低減するインメモリ/ニアメモリコンピューティングアーキテクチャ

CPU とメモリを近づける、あるいはメモリの中にロジックをエンベデッドすることで、ロジ

ック・メモリ間の情報転送にかかる電力を抜本的に削減するコンピューティングシステム・チップに関する研究開発提案を募集します。

#### **b.AI 処理の省電力化を実現する革新的コンピューティングシステム**

生成系 AI の爆発的な普及に伴い、トランスフォーマの学習に要する演算処理は膨大なものとなり、クラウドでの電力消費の爆発的な増加を招く可能性があります。これを防ぐためには、軽量の学習でも用途に応じて必要な性能を実現できる新しいコンピューティングアーキテクチャが必要となります。また、クラウドの学習処理における省電力化と共に、エッジで独立して学習を行う省電力なモデル、アーキテクチャ、実装技術が重要になります。

本カテゴリーでは、省電力化を主目的としたゲームチェンジングな次世代 AI モデル、および、それに最適なコンピューティングアーキテクチャ、それを実現するチップに関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- 生成系 AI の抜本的な省電力化を実現する AI モデル、および、それに最適なコンピューティングアーキテクチャ

生成系 AI の中核である大規模言語モデル、マルチモーダルアーキテクチャ等の抜本的な省電力化を実現する AI モデル、および、それに最適なコンピューティングアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- 脳型 AI アーキテクチャなど、革新的 AI アーキテクチャに基づく超低消費電力な回路とそれを応用したチップの開発

消費電力 20W の脳の学習・情報処理システムを数理的に明らかにし、それをベースに構築した脳型 AI の革新的な低消費電力 AI アーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- クラウドで大規模な学習を行う必要がない、オンデバイス、オンサイトにおける学習技術とそれに基づくエッジチップの開発

エッジ（オンデバイス、オンサイト）で独立して学習を行う省電力な AI モデル、アーキテクチャ、実装技術に関する研究開発提案や、エッジでの再学習などを効率的に行うエッジデバイスアーキテクチャおよびチップシステムに関する研究開発提案を募集します。
- 生体情報処理の知見に基づく、情報処理の新たなモデル・アルゴリズム・コンピューティングアーキテクチャ

感覚器官（センサ）や神経回路網の情報処理モデルの学理に基づいた新しい数値情報処理モデルの確立と、それに基づいたコンピューティングアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- ロボット等の領域を限定した（Domain-Specific な）省電力 AI アクセラレータの開発

自動運転、ロボティクス等の応用に最適化した、AI アクセラレータソフト・回路・チップ開発に関する研究開発提案を募集します。

### c. エッジで収集された膨大な情報をエッジ⇄クラウド間で適切に制御する新しいアーキテクチャ

スマートロボット、自動運転、IoT などによる物理的な世界としてのフィジカル空間と、コンピュータやネットワーク上における様々なデータや情報からなるサイバー空間とが高度に融合した CPS により、人間の能力の強化や活動を支援し、安全で快適な生活や活力ある社会を目指す Society 5.0 の実現が期待されています。しかしながら、センサデバイスが収集する膨大な量のデータをクラウドに転送してから情報処理を行うのでは、莫大な通信エネルギーがかかるばかりでなく、遅延の大きさがネックとなり、リアルタイム性が求められる領域で CPS/IoT の効果が十分に発揮されないという課題があります。

本カテゴリーでは、IoT センサなどエッジ部で収集された膨大な情報をエッジクラウド間で情報を適切に制御し、通信システム全体の電力消費を抜本的に低減する新しいアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく革新的な提案を募集します。

- マルチアクセスエッジコンピューティングを利用した超低消費電力エッジクラウド情報転送・処理アーキテクチャ  
マルチアクセスエッジコンピューティングを利用した超低消費電力エッジクラウド情報転送・処理アーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- スマートロボット、自動運転等の領域を限定した（Domain-Specific な）エッジクラウド協調情報処理アーキテクチャ  
スマートロボット、自動運転等の領域毎に特有なデータ流通特性を反映したエッジクラウド協調情報処理アーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- エッジ AI とクラウド AI の協調に基づく超低消費電力 AI 制御技術  
エッジクラウド全体での AI 処理電力を最小化するための、分散協調処理を可能とする AI アルゴリズムとアーキテクチャに関する研究開発提案を募集します。
- 連合学習などの AI モデルを分散学習する処理を効率的に行うチップアーキテクチャおよびシステム  
連合学習では AI モデルを分散環境に配布してモデリングを行いデータ収集にかかるコストを低減しますが、中央サーバとクライアント間でのモデルのやり取りが必要となり、これまでとは異なるシステムを考える必要があります。それらを実現するチップアーキテクチャおよびシステムに関する研究開発提案を募集します。

#### d.省電力化のためのデータ収集・共有・流通アーキテクチャとそれを用いたエネルギーマネジメント技術

エネルギーマネジメントシステムでは、エネルギーの「生産」「輸送」「分配」「収集」から「供給」「利用」に至る複雑なサプライチェーン全体での高効率化・低損失化が強く求められています。

このため、エネルギーシステム全体での大幅な省エネ化のためには、センサ情報・機器動作情報・周辺環境情報に加え、システム内の人の行動、選好、心理に関するデータなどエッジ部のデータをリアルタイムに収集・分析し、工学だけではなく、社会科学も導入した新しい分野融合におけるシステム全体でのエネルギー供給と需要の関係の最適化を行うことが求められます。また、このような最適化においては、システムとしてだけでなく、関連する構成要素の省エネルギー化や変換器に関する技術革新も求められています。

本カテゴリーでは、IoT センサによって収集されたデータの秘匿方式、データ分析によるシステム／構成要素の状況の把握、人の行動、意図、選好、心理などの推定・予測、およびセキュアかつ効率的なデータ共有・流通システム構築に関する研究開発提案を募集します。例えば、以下のようなボトルネック課題を解決する研究開発提案を期待しますが、これらに限定することなく、革新的エネルギーマネジメントシステムの構築に貢献する構成要素の省エネルギー化技術、変換器技術等に関する提案も募集します。

- 電力データから需要家の行動・意図を推定・予測・誘導して電力消費を極小化する統合システム構築

収集した電力データを活用し、省電力を策定・実施するために、人の行動予測および省エネ化の方向へ誘導するシステム構築に関する研究開発提案を募集します。

- 電力利用や人・モノの動きの合成的データの作成技術および流通方式の開発

センサ情報・機器動作情報・周辺環境情報に加え、システム内の人の行動に関するデータなどエッジ部のデータをリアルタイムに収集・分析し、人の行動を誘導し、システム全体でのエネルギー供給と需要の関係の最適化を行う技術に関する研究開発提案を募集します。

- 階層的 IoT デバイスからセキュアにデータを収集・管理・共有する方式および電力ネットワーク全体で効率的にデータが流通することを可能にする革新的システム構築

社会における省電力化を実施するための最も大きな課題である、消費者のユーザーデータをセキュアに収集し共有する革新的なシステム構築に関する研究開発提案を募集します。

- 時間／空間的なマルチスケールのエネルギー需要予測技術

基幹電力網に再生可能エネルギー／水素発電や蓄電池などが接続された複雑な電力システムでのエネルギー需要予測と需要誘導を可能とする技術に関する研究開発提案を募集します。

**e.カーボンニュートラル実現に向けたグリーンコンピューティング・DXにかかわる新発想**

上記の内容に当てはまらない、カーボンニュートラル実現に向けた新たな発想に基づくグリーンコンピューティング・DXの研究開発提案を期待します。