

戦略的創造研究推進事業

－CRESTタイプ－

研究領域

「二酸化炭素排出抑制に資する

革新的技術の創出」

研究領域中間評価用資料

平成 25 年 3 月 22 日

目次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	3
(3) 研究総括	3
(4) 採択課題・研究費	4
2. 研究総括のねらい	5
3. 研究課題の選考について	6
4. 領域アドバイザーについて	9
5. 研究領域の運営について	10
6. 研究の経過と所見	13
7. 総合所見	24

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標 「持続可能な社会に向けた温暖化抑制に関する革新的技術の創出」

①戦略目標の具体的な内容

2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を半減させるという目標のためには、先進国である日本はそれ以上の約80%の削減が求められる。従って、現状の対策技術及びその延長線の技術を超える発想が必要である。そのため、文部科学省として大学をはじめとする革新的な基礎研究の知見・技術を結集した研究開発を推進する必要がある。

本戦略目標では、地球温暖化の原因物質である二酸化炭素の排出抑制・削減に向けて制約となる課題を解決する全く新しい概念及び技術の基礎研究を推進し、10年20年後に新たな二酸化炭素排出抑制・削減技術が社会に組み込まれるような技術的な革新シーズを生み出す。具体的には、以下のような新概念又は性能の抜本的向上により二酸化炭素排出抑制・削減を実現可能とする技術を対象とする。

- ・高効率なエネルギー変換、長寿命、天候に依存しない性能等、飛躍的な機能を有し、かつ製造時にも二酸化炭素排出が極めて少ない未来型太陽電池等の実現を目指した技術開発や、塗布型、チップ型等、どこにでも簡単に設置ができるエネルギー生産・貯蔵技術の開発。
- ・革新的な潮力発電、波力発電、潮流発電などの海洋エネルギー等の利用を目指した技術開発。
- ・飛躍的に光合成能力が高い微生物等バイオエネルギーの利用を目指した技術開発。
- ・二酸化炭素の回収技術の高度化と革新的な二酸化炭素の有効利用技術の開発。

②戦略目標設定の背景及び社会上の要請

第3期科学技術基本計画(平成18年度～平成22年度)に掲げる3つの理念の1つは、「国際競争力があり持続的発展ができる国の実現に向け、国力の源泉を創る」とこととされている。このため、大政策目標として「環境と経済の両立～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現」することとされ、さらに中政策目標として「地球温暖化・エネルギー問題の克服」が示されている。また、「地球温暖化対策技術研究開発の推進について」(平成15年4月総合科学技術会議)においても、更なる革新的技術の創出による飛躍的な温室効果ガスの削減に向け、温暖化対策技術の研究開発における基礎研究の重要性が指摘されている。加えて、2007年のハイリゲンダムサミットにおける首脳宣言において、気候変動問題への取組が特に強調され、具体的に気候変動を抑える鍵となる技術の広範な採用を目指して、研究・技術革新活動の拡大や、気候変動に取り組むための戦略的計画の実施が求められている。さらに、IPCC第4次評価報告書とりまとめ、気候変動に関する国際連合枠組条約第13回締約国会議(COP13)の議論など、国際的に地球温暖化対策は喫緊の課題となっている。

③目標設定の科学的な裏付け

我が国では、温暖化抑制に関わる研究水準、技術開発水準、産業技術力は、質、量ともに、いずれの面でも優れている。しかし、温暖化抑制を実現する技術は多様であることが望ましく、今後も既存技術の高度化を推進しつつも、これまでの概念には捕われることなく新しい概念に基づく技術を創出することも重要な観点である。

太陽光を電気エネルギーに変換する太陽電池は、その利用形態として大規模発電設備及び分散型オンサイト発電システムが想定されている。しかしながら、それぞれを実現するためには解決すべき課題も少なくなく、例えば、蓄電技術、送電技術、蓄電・送電システムの最適化・各部材の性能を飛躍的に向上させる材料の創製などに今後の発展が期待されている。

生物資源由来のバイオマス・エネルギーは、石油や石炭に代わるエネルギー源として期待され、欧米を中心に食料系バイオマス資源からバイオエタノールやバイオディーゼルが生産されているが、新たな問題として食糧の価格高騰、栽培農園の拡大による森林破壊が顕在化している。これらの問題を解決する方法の一つとして、非食料系資源利用への転換が挙げられている。非食料系バイオマスの資源化を実現するため、育種や栽培技術、遺伝子組み換え技術、収集・運搬・前処理方法、高活性な新酵素などセルロースやリグニンのバイオマス資源化などの研究開発の推進が必要である。

バイオマス資源賦存量の多い、水域利用の新たな研究開発として水生(微)生物のエネルギー資源化技術開発が始まっている。具体的には光合成機能アップによる増殖能力や燃料となる物質生産力の増大、水素ガスを発生する細菌、さらには藻類やプランクトンの発酵やガス化によるエネルギーの獲得などがあるが、現在は科学的知見を蓄積している段階であり、将来的に革新的な技術として実用化の可能性を探るためにはさらなる研究開発の推進が必要である。

その他、波力発電、潮流発電、海洋温度差発電など様々な海洋エネルギーの利用に向けた研究が進められているものの、実用化までには至っていない。二酸化炭素の固定・利用技術においては、分離・回収プロセスでのエネルギー消費やコストの問題及び貯留プロセスでの周辺環境への影響評価といった課題が残されており、未だ実現に向けての課題が多い。今後のブレークスルーを目指したさらなる研究開発の推進が必要である。

(2) 研究領域

- ・研究領域名: 二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出
- ・発足年度: 平成 20 年度

本研究領域は、我が国がハイリゲンダムサミットにおいて提案した 2050 年までに世界の温室効果ガスの排出を半減させるという目標に向け、主に二酸化炭素の排出削減について、既存の抑制技術の 2 倍程度の効率を有する革新的技術の開発を目標とする。例えば、再生可能エネルギーにおける画期的な性能向上を実現しうる技術、さらには、大気中の二酸化炭素の革新的な処理を可能とする技術、等の直接的、間接的二酸化炭素排出抑制技術を、新概念、新原理に立脚して創出することで低炭素社会の実現を目指す研究を対象とするものである。

具体的には、原子力を除く非化石資源の新エネルギー技術全般を対象とし、既存製品の効率を抜本的に向上できるエネルギー生産・貯蔵技術や革新的低コスト・低エネルギー化を実現しうる技術、例えば、新概念の太陽電池、二酸化炭素処理技術、海洋エネルギーやバイオエネルギー等を利用した技術などを研究対象とする。また、これらの技術に加え、化石資源エネルギーの利用を前提としつつも、二酸化炭素放出量を激減しうる対策技術も含まれる。このように、主にエネルギー供給側の技術全般を対象とするが、省エネルギーを意図した需要側技術も、ある種のエネルギー創生技術であるという立場から、革新的であり、かつ社会へのインパクトの高いものであれば研究対象とする。

本研究領域は、現在の産業構造やエネルギーインフラ構造の枠組みにイノベーションをもたらす課題解決型基礎研究を推進し、ここで開発される技術が 2020～30 年程度までに実用化された際、どの程度の排出抑制が期待できるか、何億トンの削減が可能といった定量的なシナリオが描けることを目指す。

(3) 研究総括

総括氏名 安井 至(所属 独立行政法人 製品評価技術基盤機構(NITE) 理事長)

(4) 採択課題・研究費

表1 研究費:平成 25 年 1 月までの実績額に、以降の計画額を加算した金額

(百万円)

採択年度	研究代表者	中間評価時 所属・役職	研究課題	研究費
平成 20 年度	内本 喜晴	京都大学・教授	低炭素社会のためのs-ブロック金属電池	455
	河本 邦仁	名古屋大学・教授	高効率熱電変換材料・システムの開発	182
	小島 克己	東京大学・教授	熱帯泥炭の保全と造林による木質バイオマス生産	187
	富重 圭一*1	東北大学・教授	触媒技術を活用する木質系バイオマス間接液化	135
	吉川 暹	京都大学・特任教授	有機薄膜太陽電池の高効率化に関する研究	253
	渡邊 信*2	筑波大学・教授	オイル産生緑藻類 Botryococcus (ボトリオコッカス) 高アルカリ株の高度利用技術	261
平成 21 年度	小川 健一	岡山県農林水産総合センター・グループ長	CO ₂ 固定の新規促進機構を活用したバイオマテリアルの増産技術開発	487
	近藤 昭彦	神戸大学・教授	海洋性藻類からのバイオエタノール生産技術の開発	467
	田中 剛	東京農工大学・准教授	海洋微細藻類の高層化培養によるバイオディーゼル生産	274
	橋詰 保	北海道大学・教授	異種接合 GaN 横型トランジスタのインバータ展開	298
	宮山 勝	東京大学・教授	プロトン型大容量電気化学キャパシタの研究	253
平成 22 年度	辰巳 砂 昌弘	大阪府立大学・教授	固体界面を制御した全固体二次電池の創製	221
	山内 美穂	九州大学・准教授	高選択的触媒反応によるカーボンニュートラルなエネルギー変換サイクルの開発	238
	山口 猛央	東京工業大学・教授	革新的全固体型アルカリ燃料電池開発のための高性能 OH-イオン伝導膜の創生と燃料電池システム設計基盤の構築	224
	山崎 聡	産業技術総合研究所・主幹研究員	超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築	448
			総研究費	4,384

*1:平成 22 年度末に CREST を離脱、*2:平成 23 年度末に CREST を離脱

2. 研究総括のねらい

現在、二酸化炭素排出抑制に資する対策技術を開発するため、環境省や経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構等の関係各省・政府系機関において、研究開発のプロジェクトが推進されている。これらプロジェクトは、早期に対策効果が現れる技術を中心とした研究開発を対象とするため、開発担当者は、比較的短期間で確実な成果が見込まれる研究テーマにフォーカスすることを強いられる。また、これらプロジェクトでは、太陽電池・バイオマス・燃料電池・蓄電池・熱電素子など既成の技術分野ごとに研究開発が推進されるのが一般的である。しかし、比較的短期間で成果が見込める既存技術の改良や、また、いかに革新的であろうとも個別の対策技術では、2050年までに二酸化炭素の排出量を半減するという長期目標の達成は期待できない。本研究領域は、2020年から2030年頃に普及を開始し最終的には2050年の長期目標に貢献する革新技術を開発するため、以下の a) b) を本研究領域の骨子として、(1) 研究課題の選考、(2) 研究課題の推進、(3) 研究成果のまとめ・評価の各ステップを推進する。

- a) 将来社会で実用化され広く利用される芽となる革新的技術を開発する。
- b) 採択課題は、関連する幅広い分野からなる革新的技術群をポートフォリオとして揃える。

(1) 採択対象となる研究課題

- a) 各研究課題は、先端的・革新的であり、新概念・新原理に立脚する技術であると同時に、2020～2030年頃までに普及を始め、最終的にどのような形で社会に受容されるか具体的にイメージできる技術を対象とする。
- b) 採択された研究課題は、2050年に達成されるべき社会像をゴールとして定め、そのために必要となるあらゆる技術からなるポートフォリオを構成する。

(2) 研究課題の推進

- a) 研究実施者は、先端的・先鋭的な研究を推進し、極限的な性能を追求すると同時に、社会側からのニーズと、自らの研究の社会的な役割とを強く認識し、技術の現実可能性を見極めるよう努める。
- b) 研究実施者は、研究領域内で自身がバーチャルラボの一員であると認識し、他のチームの研究者との連携・融合を意識する。一方で評価者(研究総括と領域アドバイザー)は、幅広い視野とバランスを持ち、異分野の研究者と位相・ベクトルを合わせることで新しい技術の種を生み出す環境を醸成する。

(3) 研究成果のまとめ・評価

- a) 研究実施者は、開発した技術が2020年から2030年頃までに実用化の普及を始められるか、二酸化炭素排出抑制にどの程度貢献できるか、具体的数値を含めたシナリオを提示する。2030年頃までの普及開始が困難ならば、いつ頃から普及が可能かを見極める。
- b) 研究実施者と評価者は、2020年から2030年頃までに普及が可能な技術群を見極め、それら組み合わせを最適化し、2050年の長期目標達成に向けた社会的方向性を提示する。

(1)については「3. 研究課題の選考」で、(2)は「5. 研究領域の運営」で、(3)-(a)は「6. 研究の経過と所見」で後述する。(3)-(b)は、研究領域後半に検討すべき課題とする。

3. 研究課題の選考について

(1) 募集・選考の方針

「2. 研究総括のねらいー(1)採択対象となる研究課題」を募集・選考の基本方針とした。特に、2050年の目標達成のために必要となる、ありとあらゆる革新的で有望な技術群を、エネルギー技術の上流から下流(エネルギー供給技術、エネルギー・電力貯蔵技術、省エネ・高効率利用)に亘ってバランスのとれたポートフォリオとして揃えることを目指した。その上で、各年度毎に採択方針を策定し、研究提案募集のホームページや要項冊子を通じて研究提案者に告知した。

①平成20年度(初回)の採択方針

- ・開発により多くの期間を要すること、現状の供給側の社会システムの変更にも超えるべきハードルが高いことを考慮し、エネルギー供給側の立場からの提案を優先した。ただし、あくまでも消費側との協調が必要であるというスタンスを保持し、エネルギー消費側からの提案も十分に配慮した。

②平成21年度(2回目)の採択方針

- ・新たに太陽光から直接、電力と水素を得る技術に特化したCRESTの研究領域が平成21年度から新たに設定されたため、平成21年度のエネルギー供給に係る提案は、太陽光エネルギーの直接変換以外の分野に限ることとした。
- ・エネルギー供給側の提案が重要であることに変わりないが、さらに、エネルギー消費側からの提案、すなわち、省エネルギー的な研究への間口を広めに構えるように配慮した。

③平成22年度(3回目)の採択方針

- ・過去2回の募集の結果、「エネルギー・電力貯蔵技術」「省エネ・高効率利用」の分野での課題数がやや不足気味であり、また、風力、地熱、CCS、海洋利用のようなマクロエンジニアリング的な課題が採択できていなかったため、これらに関連する研究分野からの応募を期待する旨、告知した。
- ・環境エネルギー技術が相当な規模で地球全体に普及する際に、どのぐらい実装が可能でかつ有効性が充分であること等に関する定量的な分析評価を行う優れた提案を期待する旨、ホームページ等で研究提案者に告知した。

(2) 募集・選考のプロセス

研究総括と領域アドバイザーが研究領域の方針を共有し、研究課題の選考にあたった。また、選考においては、提案者と利害関係を有する評価者が応募提案の審査へ関与することを避けること、提案者が他の大型研究助成と重複することを避けることとし、そのための調査、調整をJST事務局が行った。

平成20年度から22年度にわたり合計3回の採択活動を行った。審査は書類審査(一次選考)、面接審査(二次選考)の2段階で実施した。まず、書類審査では、提案された書類を評価者が事前に査読した上で書類審査会を開催し、10数件の面接審査対象に絞り込んだ。次に、面接審査

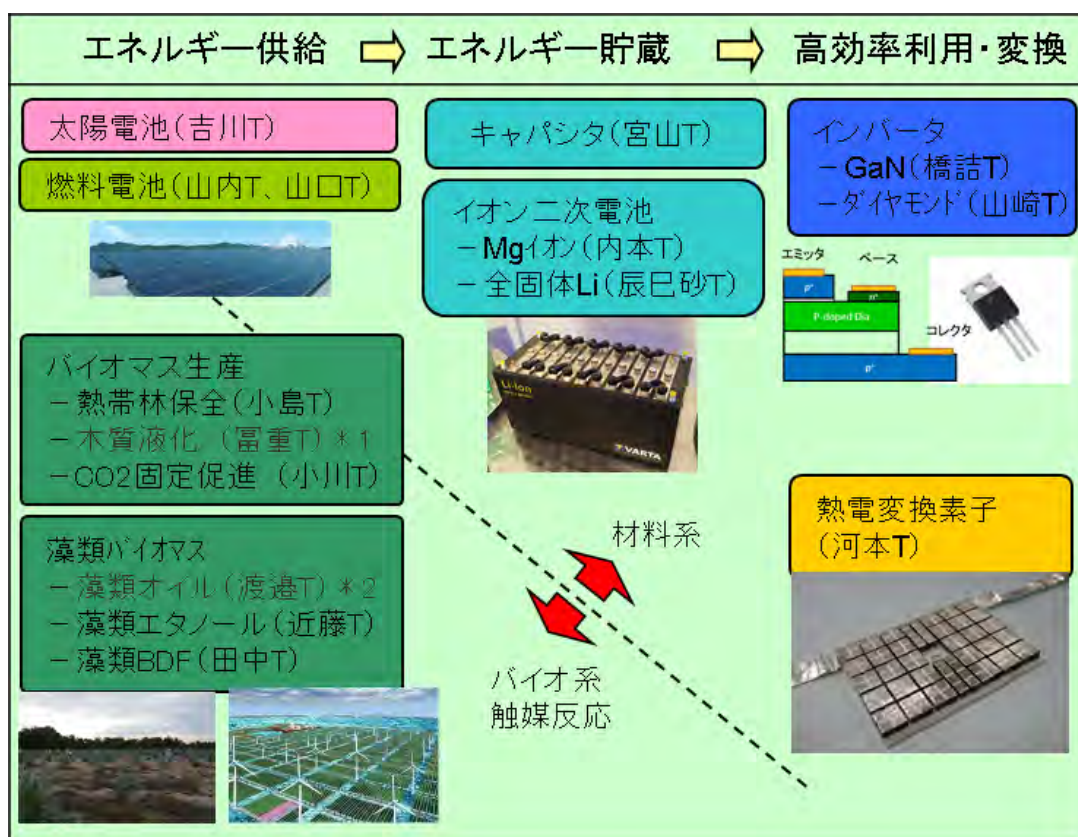
では、これら 10 数件の研究提案について、研究提案者による口頭発表と質疑応答からなる面接評価会を実施した。書類審査、面接審査ともにアドバイザーが評価コメントとともに評価点数を付与し、評価点の上位から課題を採択することを原則とした。ただし、評価点が僅差の研究提案については、アドバイザーによる評価コメントを参考にして十分な議論を経た上で、研究課題を決定した。

(3) 選考過程と結果

本研究領域への募集に対して、平成 20 年度は 53 件、平成 21 年度は 36 件、平成 22 年度は 42 件の応募があった。太陽電池・バイオ燃料・風力発電・海洋エネルギーなどエネルギー供給技術に関する研究提案、また、蓄電池・インバータ・熱電対などエネルギー高効率利用に関する提案、さらには、その他バラエティーに富んだ大変意欲的な提案が、第一線で活躍されている優秀な研究者から多数寄せられた。これらの提案をアドバイザーと共に書類審査(一次選考)を行い、平成 20 年度は 15 件、平成 21 年度は 13 件、平成 22 年度は 9 件の面接対象者を選出した。最終的に平成 20 年度は 6 件、平成 21 年度は 5 件、平成 22 年度は 4 件の研究課題を採択した。応募総数は 131 件、採択課題数 15 件であり、平均採択率は 11%であった。

以上 3 回の募集によって本領域で採択された研究課題を分類すると、図1、表2の通りである。採択された研究課題は、チャレンジングで先端的・先鋭的な研究テーマであり、同時に、2020 年～2030 年頃に普及を始めることが具体的にイメージできる提案であった。また、「エネルギー供給技術」「エネルギー・電力貯蔵技術」「省エネ・高効率利用」に亘る幅広い分野からの研究課題を採択できており、有望なポートフォリオを作るためのテーマ分散度という観点から見ると、ほぼ当初の狙い通りであると言える。

ただし、風力発電、地熱発電、CCS、海洋利用のようなマクロエンジニアリング的な課題が採択できなかった。これらの研究分野は、研究費の規模や実用化に至るまでのフェーズにおいて、CREST の枠組みと上手く整合しなかったためと考えられる。また、平成 22 年度の採択方針に掲げた、環境エネルギー技術の有効性を定量的に分析評価する研究課題も採択できなかった。これについては、研究領域後半から終了にかけて研究総括と領域アドバイザーの見識で補って進めることとした。



* 1: H22末、* 2: H23末離脱

図1 採択課題のマッピング

表2 各課題の分野別分類

技術分野		研究課題(研究代表者名)	
エネルギー供給技術	太陽電池	吉川(京大)	
	燃料電池	山口(東工大)、山内(九大)	
	バイオマス生産	陸上植物	小島(東大)、小川(岡山県)
		藻類	渡邊*2(筑波大)、近藤(神大)、田中(農工大)
	バイオマス液体燃料生産	冨重*1(東北大)	
エネルギー・電力貯蔵技術	2次イオン電池	内本(京大)、辰巳砂(大阪府立大)	
	電気化学キャパシタ	宮山(東大)	
省エネ・高効率利用技術	次世代半導体インバータ	橋詰(北大)、山崎(産総研)	
	熱電変換素子	河本(名大)	

* 1: 平成 22 年度末に CREST を離脱、* 2: 平成 23 年度末に CREST を離脱

4. 領域アドバイザーについて

表3 領域アドバイザー

アドバイザー	現在の所属	役職	任期
五十嵐 泰夫	東京大学 大学院農学生命科学研究科	教授	平成 20 年 6 月～
岡島 博司	トヨタ自動車株式会社 技術統括部	主査	平成 20 年 6 月～
小久見 善八	京都大学 名誉教授・産官学連携本部	特任教授	平成 20 年 6 月～
桑野 幸徳	太陽光発電技術研究組合	理事長	平成 20 年 6 月～
小長井 誠	東京工業大学 大学院理工学研究科	教授	平成 20 年 6 月～
竹山 春子	早稲田大学 理工学術院先進理工学部	教授	平成 20 年 6 月～
辰巳 敬	東京工業大学	理事・副学長	平成 20 年 6 月～
藤岡 祐一	福岡女子大学 国際文理学部	教授	平成 20 年 6 月～
藤野 純一	(独)国立環境研究所 社会環境システム研究センター	主任研究員	平成 20 年 6 月～
松村 幸彦	広島大学 大学院工学研究科	教授	平成 20 年 6 月～
山地 憲治	地球環境産業技術研究機構	理事・研究所長	平成 20 年 6 月～
湯原 哲夫	キヤングローバル戦略研究所	理事・研究主幹	平成 20 年 6 月～

本研究領域は太陽電池、蓄電池、バイオマス、燃料電池、触媒技術など多岐にわたる研究分野と密接に関連する。よって、それぞれの分野において高い先見性と優れた研究実績を有し、各学会において先導的な立場で活躍されている研究者の中から、産官学・年齢構成・所属地域を留意し、領域アドバイザーを人選した。同時に、各研究分野における課題を分野横断的に、かつ、より広い視点から俯瞰し評価できる有識者も領域アドバイザーとして選定した。また、本研究領域では、各研究課題が社会との接点を有すること、特に産業界からの期待に十分に応える研究結果を創出することが重要であると考え、研究開発・事業化において豊富な経験と指導力を有する民間企業出身者を領域アドバイザーとして積極的に登用した。

5. 研究領域の運営について

(1) 研究領域の運営方針

「2. 研究総括のねらいー(2)研究課題の推進」で述べた運営方針に従い、各研究課題を推進している。採択された個々の研究代表者は当該分野の第一線で活躍する研究者であり、同時に、本研究領域が趣旨とする先端的研究の社会的役割についても十分な理解を示している。しかし、研究領域という1つの場に集められた互いに異なる分野の研究代表者がすぐさま一丸となり、戦略目標の達成にむけて自律的に動き出すことは望めない。そこで、領域会議・サイトビジット・公開シンポジウムなどの機会を利用して、各研究チームがそれぞれの特質を互いに十分に理解し合い、工夫を重ねることによって新しい技術の種を生み出すべく競争し合う環境をつくる必要がある。そのための領域運営上の工夫が必要である。

(2) 研究課題の推進

① 研究代表者との意見交換

研究開始前、あるいは、研究開始後に、研究総括と研究代表者が面談を行い、研究の具体的な進め方や方向性について指導した。例えば、顕著な研究進捗や研究成果が得られたと判断された研究課題については適宜、研究代表者と面談を行い、研究をさらに加速させるために必要な支援方法について議論した。また、今後の研究の方向性について軌道修正が必要である、または、研究進捗が思わしくないと判断された研究課題については、研究体制の立直しを図るための方策について研究代表者と評価者とで議論した。

② 研究総括と領域アドバイザーとの意識合わせ

評価者と研究代表者との意見交換もさることながら、評価者同士の意見交換、認識合わせも重要である。評価者が一同に会するサイトビジット、領域会議、公開シンポジウムなどの機会を利用して、研究総括と領域アドバイザーとが研究領域の運営・指導のありかたについて議論した。

③ 非公開領域会議

研究課題採択後およそ1～2ヶ月後に非公開のキックオフミーティングを実施した。ここで各新規研究課題の研究代表者は、研究総括・領域アドバイザー・他チームの研究代表者に、今後5.5年間の研究計画を報告した。発表と質疑応答と合わせて約1時間と各研究チームあたり十分な時間を確保し、研究代表者が研究総括・領域アドバイザーと研究計画、マイルストーン、目標を共有した。

④ サイトビジット

研究進捗・研究施設・研究体制の状況を確認するため、研究開始おおむね1年後と3年後に全研究課題を対象として研究実施場所を訪問視察している。サイトビジットには対象課題の研究分野に専門領域に近いアドバイザーが必ず同行し、同時に、より多角的な視点からの助言を得るため

に異なる専門分野のアドバイザーも積極的に参加した。また、必ず JST 領域担当者がサイトビジットに同行し、予算執行や研究員雇用など研究推進にまつわる各種事務手続きについて研究代表者からの質問に対応した。(研究領域発足以来 24 回のサイトビジットを実施済、サイトビジット1回あたりの同行領域アドバイザーは平均 4.5 人)

1 回のサイトビジットにつき、研究進捗についての議論に約 2.5~3 時間、研究施設の見学に 1 時間、と十分な時間を確保し、研究内容の詳細のみならず研究の大きな方向性についても研究代表者と評価者との間で徹底的に議論した。

訪問視察地としては、研究代表者が所属する研究機関だけでなく、研究チーム体制の適切性を把握するため、必要性に応じ、主たる共同研究者が所属する研究機関も対象とした。さらに、視察対象は国内研究機関のみならず、研究課題において重要な役割を担っていると判断された海外試験地も視察対象とした。このように各研究チームのチーム体制の事情に応じて視察対象となる研究機関を選定し、適切な研究進捗の把握、管理に努めている。

⑤領域公開シンポジウムによる研究成果発信

研究成果を社会還元する活動の一環として、平成 21 年度から毎年 1 回領域公開シンポジウムを実施し、大学・国研の研究者や民間企業の開発者など幅広い層を対象にして各研究課題の研究成果をプレゼンまたはポスター形式で発信している。研究成果の発信に加え、研究総括が司会を務め、主に領域アドバイザーらがパネラーを務めるパネルディスカッションを毎回企画し、「二酸化炭素排出抑制・削減技術の将来ビジョン」と題して二酸化炭素排出抑制・削減技術の将来ビジョンを議論した。平成 23 年度の領域公開シンポジウムでは、パネラーとして行政担当者(文部科学省研究開発局環境エネルギー課長、経済産業省産業技術環境局研究開発課長)にも参加いただくことで、領域外からの忌憚ない意見を積極的に取り入れ、その後の領域運営に活用するよう務めた。(第 1 回:平成 21 年 11 月@アルカディア市ヶ谷、第 2 回:平成 22 年 12 月 3 日@日本科学未来館、第 3 回:平成 23 年 12 月 9 日@日本科学未来館、第 4 回:平成 25 年 1 月 25 日@東京品川コクヨホール)

⑥研究費の追加配分について

サイトビジット、課題中間評価、領域会議などで、研究が大きく進展し顕著な研究成果が上がっている、あるいは今後上がりつつあると認められた場合、当該年度の研究費を充当し、積極的に研究加速を支援している。研究加速のための追加配賦額は、研究進捗の状況や必要性、有効性などを踏まえて、適正・公正に配分している。また、研究加速以外の目的でも、女性研究者等多様な研究人材が JST 男女共同参画支援制度を利用するのを推奨し、彼らの能力を発揮できる環境作りを支援している(吉川チーム:平成21年度に制度利用。小島チーム:平成22年度に制度利用)。その他にも表4に示すとおり各種目的に応じて研究費を追加配賦している。研究領域発足以来の追加配賦額の合計は232百万円となっている。

表4 研究費の追加配分内訳

内訳	追加配賦額
研究加速支援	195
男女共同参画支援策	6
国際強化支援策	9
JST-RA 制度	19
震災復旧復興支援	3
合計	232

単位:百万円

⑦研究課題間での連携

研究課題間の連携の実績を2件紹介する。まず、小川チームが研究対象とするグルタチオンは、陸上植物だけでなくクラミドモナスなどの緑藻においても、バイオマス生産性向上の効果を発揮することが明らかになった。そこで、藻類バイオマス研究を推進する近藤チームは、小川チームと協力してスピルリナ藻類へグルタチオンを施用し、藻類バイオマスの生産性を向上させることを検討中である。

また、藻類バイオマスの3つの研究チームは、第34回日本藻類学会公開シンポジウム「未来を拓く藻類エネルギー」(@筑波大学、平成22年3月21日)を合同で開催し、各研究課題の進捗状況、藻類バイオエネルギーの最新動向に関する情報交換・発信を行った。

⑧本研究領域の最終的な研究成果を長期ビジョンとして提示する予定

領域公開シンポジウムのパネルディスカッションにおいて、このように多様な課題からなる研究領域の最終的なまとめは、個々の研究課題の遂行者では不可能で、むしろ、研究総括・領域アドバイザーの責任において行うべきではないか、との認識が共有された。CREST 領域では最初の試みになるであろうが、研究が終了する領域が出る次年度から取りまとめを開始する。

6. 研究の経過と所見

まず、平成 24 年 11 月時点における各研究課題の進捗状況、および、平成 20・21 年度採択課題を対象とした課題中間評価結果の概要について述べる。その後、研究領域全体として見たときに特筆すべき研究成果を取り上げ、「2. 研究総括のねらいー(3)研究成果のまとめ・評価 a)」で述べた観点からレビューする。

(1) 各研究チームの研究進捗(平成 24 年 11 月時点)

<平成 20 年度研究開始>

①内本チーム

多価金属を負極とした新しいイオン電池の開発では、各種多価金属の中から負極金属としてマグネシウムにフォーカスし、マグネシウムイオン電池用の導電性電解質と正極材料の研究において目覚ましい成果を上げている。例えば、室温での金属マグネシウムの析出溶解が可能な電解液として、従来から知られていた有機マグネシウム化合物を用いる系に匹敵する性能を持ちながら、安全性に優れた臭化マグネシウム/エーテル系電解液を開発した。さらに、エトキサイド系の添加剤を用いることにより、この電解液の性能をさらに向上させることが可能なことを見いだしている。正極材料として高容量を示す二酸化マンガンナノシート正極と有機キノン誘導体電極の開発に成功するとともに、これまで不可能とされてきたトポケミカル反応を用いたポリアニオン系正極材料の開発にも成功している。重量エネルギー密度として、これまでの理論値(約 130 Wh/kg)を遙かに超える 800 Wh/kg 以上が得られる見通しである。これら要素技術の開発によって、世界初となるマグネシウムイオン電池の実現可能性を示している。全固体リチウムイオン電池の開発においても、電極/無機固体電解質界面へ NbO₂ 等の中間層を挿入することで、サイクル特性を大きく向上させるなど着実な進展が得られている。

②河本チーム

熱電変換材料の開発では、大気中・中温領域(～600℃)で酸化されず安定な新規材料の候補として Mn₃Si₄Al₃(または Mn、Al の一部を Cr で置換した Mn_{2.95}Cr_{0.05}Si₄Al₃)シリサイド化合物を見出し、今後の研究に新たな展開を提案している。また、結晶粒界を Nb ドープした 2 次元電子ガス層からなる STO 系三次元超格子の提案を行っており、熱電性能の計算シミュレーションにより ZT が最高で 1.0 を超える可能性を明らかにしている。熱電モジュール・システムの設計・開発では、熱電素子を色素増感型太陽電池と組み合わせた新規ハイブリッドシステムを試作してエネルギー変換効率 14%を検証し、熱電素子を使用した新たなシステム構成を提案している。また、太陽熱利用に向けて水レンズを用いた新型太陽熱発電システムを考案し、モジュールの最適設計、発電シミュレーション、実験評価を進めている。

③小島チーム

泥炭保全技術の開発では、土壌呼吸量の長期観測システムの構築、土壌呼吸モデルの構築、

泥炭土壌中の O_2/CO_2 ガス挙動性評価が着実に進められており、取得されたデータは国際的にも信頼できる水準に達しつつある。泥炭湿地造林技術の開発では、湛水性が高いメラルーカの育苗システムの開発と、造林試験によるバイオマス生産量の測定とを順調に進捗させている。木質バイオマスの有効利用技術の開発では、タイの主要産業の1つである輸出家具産業へ木質バイオマスを家具材として実用展開できる見込みが得られており、パイロットプラント建設に必要なデータ取得を現地で進めている。この地域での本研究活動の実践が経済的に成立する可能性が示されつつある。

④ 富重チーム

本研究課題の基盤となる触媒の高機能化・機能解析・高性能化を平成 23 年 3 月までに完了した。バイオマスタールの水蒸気改質触媒の開発では、ハイドロタルサイト化合物を前駆体した触媒調製を検討し、組成がより均一で高性能な Ni-Fe 触媒の開発にも成功した。水性ガスシフト触媒としては、安価な酸化鉄をベースとした高活性・高安定性の触媒開発に成功した。バイオシingas 変換については、装置のコンパクト化をめざし、複数の反応を一段で進行させるカプセル型触媒の開発を行った。Fischer-Tropsch 合成触媒をコアとし、スパッタ法で導入したゼオライト膜のシェルを Pd 金属微粒子と組み合わせて、合成ガスから一段でガソリンを製造するカプセル型触媒や、メタノール合成触媒をコアとし、ゼオライト膜のシェルを組み合わせることで、ジメチルエーテルを与えるカプセル型触媒の開発に成功した。(研究代表者は平成 23 年 4 月から内閣府の最先端次世代プログラムに専任するため、本研究課題をやむを得ず平成 23 年 3 月に中止することとなった。)

⑤ 吉川チーム

フラーレン誘導体合成、ドナー・アクセプターの組合せを系統的に調査し、有機・無機系の電子輸送材料などでセル構造に様々な工夫を凝らすことで最終目標に近いエネルギー変換効率 9.46% (平面セル構造) を達成している。さらに、セル表面を 3 次元化にすることで、エネルギー変換効率がさらに向上するとの見通しも得られている。

⑥ 渡邊チーム

筑波大学構内に、数リットルから数百トンに及ぶ各種サイズの培養装置を導入し、培養実験の研究環境を整備した。また、ボトリオコッカスの培養からオイル抽出・精製までにいたる生産システムを工程毎に分解し、エネルギー・コスト獲得量に対するエネルギー・コスト投入の比 (ECR) を試算した。一方で、本チームは、実用化展開までに解決すべき多くの課題を残したまま平成 24 年 3 月に研究を終了した。まず、ボトリオコッカスの遺伝子組み換え技術の開発などオイル産生能力を向上させる研究の進捗に遅れが見られた。また、ECR の試算では、システムバウンダリーの設定についての検討が不十分であり、また、試算の前提となる各種パラメータが実験データに基づくものではなく主に文献値からの引用であったため、試算結果の信頼性が低いと評価された。(研究代表者は、平成 24 年度から開始される「つくば国際戦略総合特区ー藻類バイオマスエネルギーの実用化」の研究に注力するため、本研究課題を平成 24 年 3 月に中止することとなった。)

<平成 21 年度研究開始>

⑦小川チーム

ダイズ・ユーカリ・キャサバなどの陸上植物にグルタチオンを施用すると、電子伝達速度、葉内クロロフィル含量、RubisCO 量、葉内窒素量、気孔密度が増加し、さらに、これら因子と CO₂ 固定量、転流量、種子収量、葉・茎・地下部のバイオマス生産量とが正の相関を持つことを実験的に明らかにしている。また、研究開始後の新たな展開として、グルタチオン代謝系を改変した緑藻クラミドモナスがより効率的にデンプンを生産するようになるなど、グルタチオンの幅広い効果を確認している。このようにグルタチオン施用によって CO₂ 固定量が増大するメカニズムの仮説として、グルタチオン分子と結合したカルビン回路酵素のアルドラーゼが CO₂ 固定量を高めるという作用機作を研究代表者が提唱している。さらに、様々な気象・土壌条件においてグルタチオンの効果を検証するため、国内に限らずオーストラリア・ブラジル・ベトナムでもフィールド試験を積極的に展開している。その結果、グルタチオン施用によってバイオマス生産量が 10%~40%増大することが確認されている。

⑧近藤チーム

遺伝子導入技術の開発では、エレクトロポレーション法などを用いて藍藻 (*A. platensis* NIES-39) へ遺伝子を導入し変異株の作成を試みている。また、システムバイオロジー解析と代謝モデリングの開発では、藍藻 (*Synechocystis* sp PCC 6803) の解糖系・電子伝達系・カルビン回路・アミノ酸合成・脂肪酸合成などの代謝反応を予測するゲノムスケール代謝モデルを開発した。代謝ターンオーバー定量化システムを構築し、カルビン回路内でのグリコーゲン合成の代謝律速経路を数種類見出している。さらに、大量培養技術とエタノール生産技術の開発では、淡路島と石垣島の海域に設置した 20L スケールの培養装置を用いて、バイオマス生産性 (t/ha/year) の向上に取り組んでいる。最適な培養条件下でスピルリナ藻類 (*S. platensis*) のグリコーゲン含有率 (乾燥重量) を世界最高値となる 65%まで増加させ、また、グリコーゲンを資化するアミラーゼ発現酵母を使用して理論収率 85%でエタノールを直接生産することも成功している。

⑨田中チーム

珪藻 JPCC-DA0580 の遺伝子組み換え技術の開発では、真核藻類では世界で 18 番目の例となる安定的な遺伝子組み換え系を確立することに成功している。遺伝子組み換え系の確立は、オイル高蓄積株の中では *Nannochloropsis* と同株の 2 例のみである。また、トリグリセリド蓄積経路の体系的な理解が進み、オイル蓄積の制御因子を特定するに至っている。つぎに、培養実験評価では、太陽自然光を利用した屋外解放系の培養装置 (200L スケール) を用い、バイオマス生産性 3 (t/ha/year) と EPR (Energy Profit Ratio) 0.1~0.5 とを試算している。バイオマス生産性と EPR を正確に把握した本研究チームの功績は大きく、広く国内外の藻類バイオマス研究にとっても有用なデータになると考えられる。以上のように、珪藻 JPCC-DA0580 に関する学術的知見の蓄積と培養化技術の高度化に関する実用化技術の開発とのバランスを上手く取り、オイル生産性とオイル品質の向上に必要な基盤技術を確実に蓄積している。

⑩橋詰チーム

絶縁膜/AlGaIn/GaN 異種接合界面を評価するため、光支援 CV 法を開発し、界面電子準位を高い精度で評価することに成功している。さらに、 N_2O ラジカル処理や熱処理などの改善によって、絶縁膜/GaNの界面準位密度を低減・制御する解決方法を提案し、界面準位密度を 10^{12}cm^{-2} 未満に低減できる見通しを得ている。

つぎに、MMC 型 GaN トランジスタの試作・評価では、オフ電圧ストレス耐性の向上とノーマリオン動作(閾値電圧+1.2V)を達成し、本トランジスタがデバイス特性において高い優位性を持つことを確認している。この MMC 型 GaN トランジスタの成果は、米国・中国・香港などの海外研究機関が追随するなど、海外へも大きな技術インパクトを与えており、本研究が世界トップレベルであることを裏付けるものである。さらに、本研究チームが試作した GaN インバータをゲート駆動回路と DC/AC インバータ回路内に組み込み、スイッチング特性と損失特性を評価した結果、極めて低歪みの交流出力が得られることを確認している。

⑪宮山チーム

MnO_2 単原子層シートの特性評価では、シートサイズをナノ化($\sim 100 \text{nm}$)すること、さらに、ナノサイズ化した単原子層シートを不均質に積層させることでシート垂直方向のプロトン拡散を容易にし、高速充放電と大容量化(370mAh/g)を達成している。グラフェン単原子層シートの特性評価については、ナノサイズ化($\sim 100 \text{nm}$)したグラフェン単原子層シートとポリアニリンを交互に積層し、これをランダムに積層させることによって、グラフェンの表面利用効率を向上させると同時に容量増大に寄与するエッジ効果を発現させ、従来よりも大幅な大容量化(170mAh/g)を達成している。このように、酸化物系電極とグラフェン系電極において、いずれも世界最高水準の大容量化を達成している。この容量は、Li イオン 2 次電池用電極のエネルギー密度の約 $1/3$ に相当し、当初計画で設定した中間目標に相当する成果である。

<平成 22 年度研究開始>

⑫辰巳砂チーム

バルク型全固体電池を実現するため、負極活物質として Li、SnS、NiS、正極活物質として S、Li₂S、LiCoO₂、固体電解質として Li₂S-P₂S₅ などを検討中である。これまでの検討結果から、固体電解質と電極活物質との密着性向上や、電極活物質の粒径・結晶性形態が Li の可逆的な溶解・析出に有効であることを見出し多くの知見を蓄積しつつある。特に、固体電解質 Li₂S-P₂S₅ と Li 負極活物質の界面に Li 合金を形成させる金属層を介在させることによって、全固体リチウム-硫黄電池が室温下で 20 回の充放電を繰り返しても 1,000 mAh /g 以上の高容量を保持することを明らかにするなどの成果を上げている。また、本チーム自作の高分解 TEM 観察システムを作製し、充放電に伴う電極/電解質界面の微細構造変化を明らかにする評価体制をチーム内に確立している。

⑬山内チーム

非貴金属触媒を用いてアルカリ型ダイレクトグリコール燃料電池を試作し、世界最高のパワー密度を達成している。放射光を用いた高精度測定および量子化学計算により固体アルカリ電解質におけるアニオン伝導機構解明のための手がかりをえた。一方、高効率燃料再生システムの開発では、シュウ酸をグリコール酸へ還元再生するための触媒を見出すことができた。以上のように、EG を燃料とする CN サイクル実現の可能性を見出しつつある。

⑭山口チーム

新規 OH⁻イオン伝導膜の開発に向けて、アニオン交換ポリマーを多孔膜の微細孔中に固定した細孔フィリング膜、明確なチャンネル構造を有しイオン交換基間距離を精密に制御した電解質、無機イオン伝導材料とその複合体の開発・解析を行っている。例えば細孔フィリング膜では、膜中の OH⁻イオンが、官能基に強く拘束された構造水と水素結合を介して膜中を移動(ホッピング伝導)していることを実験的に確かめるなど、OH⁻のホッピング伝導のメカニズムを詳細に解明しつつある。さらに、開発した細孔フィリング膜を用いた全固体型アルカリ燃料電池を試作し、アノードとカソードでの水の生成・消費・移動を考慮したモデルから、セルの湿度を管理することで電池性能が向上することも見出している。このように、全固体型アルカリ燃料電池における分子からデバイスまでのシステム設計を行う基盤技術を構築すべく研究を進めている。

⑮山崎チーム

本研究チームは、省エネルギーによる CO₂ 削減を目指す超低損失パワーデバイスの開発を行っている。低抵抗ダイヤモンド薄膜の結晶成長、横型 pn 接合を形成するための選択成長・デバイス作製技術の開発などで目覚ましい成果を上げている。これら結晶成長・プロセス技術を用いて、また、ダイヤモンドの特異な物性を用いることにより、電力増幅が可能なバイポーラトランジスタ、および、オン・オフ動作が可能な接合型電界効果トランジスタの製作に世界で初めて成功している。デバイス特性として、前者は電力増幅(～利得 10)、後者は 7 桁におよぶ高い電流オン・オフ比を持つことを確認している。

(2) 課題中間評価(平成 20・21 年度採択課題)

平成 20 年度採択課題について平成 23 年 10 月に、また、平成 21 年度採択課題については平成 24 年 10 月に、課題中間評価を実施した。中間評価報告会では、研究総括・アドバイザーに対して研究代表者が研究開始以来の研究進捗を報告(プレゼン 25 分+質疑応答 25 分)した。その評価会に先立ち、研究代表者が事前に作成する中間報告書を研究総括と領域アドバイザーが査読した。

中間評価報告会後は、全ての研究代表者に対して書面(中間評価結果)によって中間評価結果をフィードバックした。研究進捗が優れた研究課題については、進捗をさらに加速するため研究費増額の措置や計画計画の前倒し、研究体制の変更(主たる共同研究グループの追加など)を指示した。一方、研究進捗が芳しくない研究課題については、研究体制の見直しや研究資源配分の変更を指示し、次年度以降の研究計画に変更内容を反映させた。

(3) 領域全体として見たときの特筆すべき研究成果

技術バランスのとれたポートフォリオを重視するという観点から「エネルギー供給技術」「エネルギー・電力貯蔵技術」「省エネ・高効率利用技術」の各々において特筆すべき研究成果を1~2件取り上げ、2020年から2030年頃までに普及が開始できる見込みがあるか、現時点における期待を述べる。ただし、これら研究成果が二酸化炭素排出抑制にどの程度貢献できるか、具体的数値を含めたシナリオの提示は研究領域終了に向けての今後の課題とする。

①エネルギー供給技術

藻類バイオマスの田中チームは、藻類によるバイオマス生産のポテンシャルを最大限に引き出すという課題設定に従い、珪藻 JPC-DA0580 に関する学術的知見の蓄積と培養技術の高度化に関する実用化開発とのバランスを上手く取り、オイルの生産性・品質の向上に必要な基盤技術を確実に蓄積している。

図2に田中チームの研究スキームを示す。「分子育種グループ」は珪藻 JPC-DA0580 の遺伝子組み換え技術を開発し、真核藻類では世界で18番目の例となる安定的な遺伝子組み換え系を確立することに成功している。「高層化培養グループ」と「LCA・プロセスグループ」は野外開放系の培養装置を用いた培養実験によって、バイオマス生産性:3(t/ha/年)を試算し、また、研究終了までに達成すべき目標として12(t/ha/年)というチャレンジングな値を設定している。

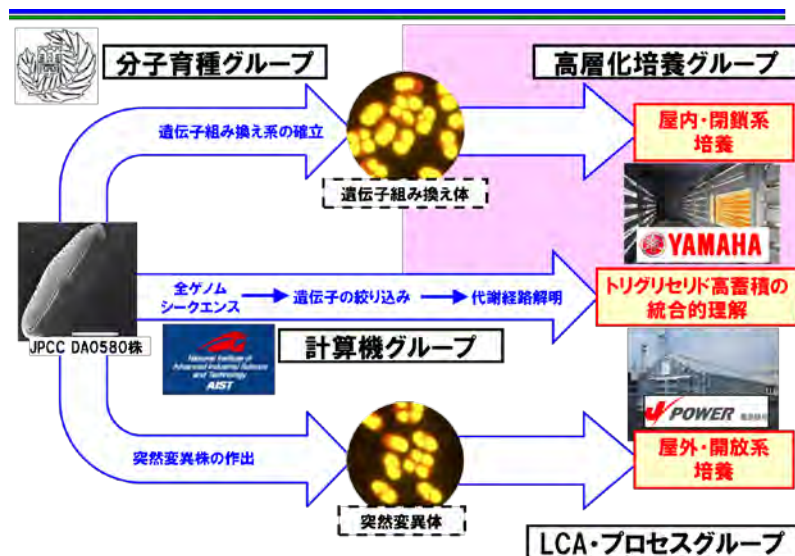


図2 田中チームの研究スキーム

近年、再生可能エネルギーの中でも特に藻類を用いたバイオ燃料生産に大きな期待がかけられており、この期待感はやや過熱気味になっている。そのため、藻類バイオマスの生産性が数百(t/ha/年)と試算されるなど、生産性がやや過大に評価される傾向が見受けられる。このような状況の中、研究代表者は現実的かつ信憑性の高いバイオマス生産性(t/ha/年)の目標値と現状値を試

算している。そして、それらのギャップの要因を分析することにより実用化普及に向けて解決すべき課題を明確にしつつある。今後の研究の進捗によっては、本研究課題が対象とする技術は、2020年～2030年頃までの実用化の普及が困難と結論される可能性もある。しかし、「2. 研究総括のねらいー(3)研究成果のまとめ・評価 a)」で述べた通り、ある時期までに実用化が困難であることを明確にするのも、本研究領域にとって大きな研究成果と見なされる。

②エネルギー・電力貯蔵技術

多価イオン電池の内本チームは、各種多価金属の中から負極金属としてマグネシウムにフォーカスし、マグネシウムイオン電池用の導電性電解質と正極材料の研究において目覚ましい成果を上げている。本研究チームは、要素技術(正極・負極活物質の大容量化、低抵抗電解質、活物質/電解質の界面制御)の開発を目的とし、正極活物質の特性評価から予想されるエネルギー密度として、800 Wh/kg 以上が得られる見通しである。現在、これら要素技術を用いて、マグネシウムイオン電池システムの試作・評価に取り組んでおり、世界初となるマグネシウムイオン電池の実現可能性に大きく近づいている。今後本研究課題が順調に進捗すれば、2030年頃からの実用化開始までの道のりがはっきり見えてくると期待される。

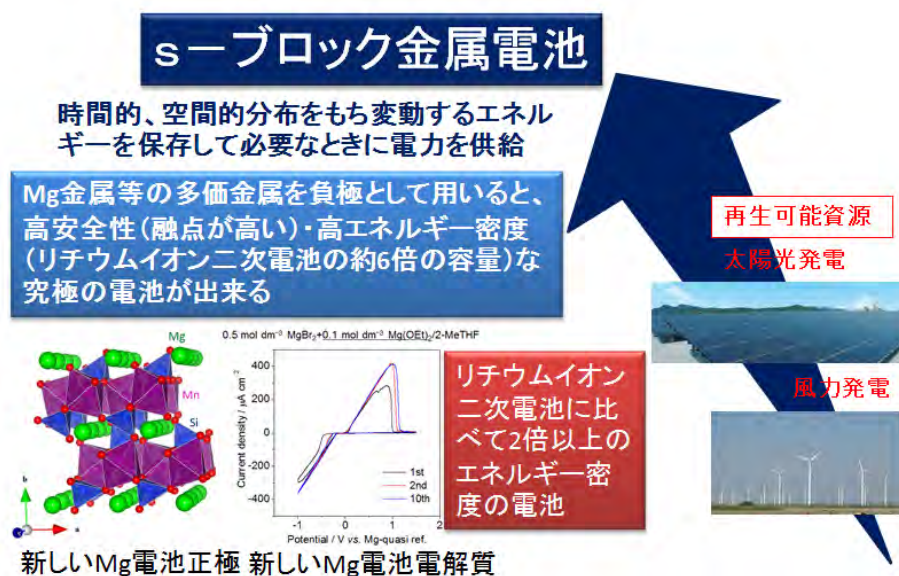


図3 内本チームの研究スキーム

③省エネ・高効率利用技術

橋詰チームは、AlGaIn/GaNの基礎物性評価、結晶成長技術の開発、MMC型GaNトランジスタの開発、インバータ回路の設計・動作検証など、基礎物性/プロセス・デバイス/インバータ回路の一体型研究開発により課題、解決策を的確に把握し、研究を推進している。特に、本研究チームが新たに提案したMMC型GaNトランジスタ(図4(a))は、従来構造と比較して、ストレス耐性に優れており(図4(b))、高い信頼性を有することが確認されている。

今後、本研究チームは、絶縁ゲート構造や表面安定化構造(パッシベーション膜)を最適化したMMC型GaNトランジスタをインバータ回路に実装展開していく予定である。また、低コストSi基板上のGaNトランジスタの性能限界を、結晶の欠陥・転位・ひずみとデバイス特性・製造歩留りとの相関関係を明らかにすることによって詳細に把握する予定である。もし、低コストSi基板上で所望のデバイス特性・信頼性・歩留りが得られる目途が立てば、GaNパワーデバイスは2020年頃から実用化普及を開始する可能性が見えてくる。

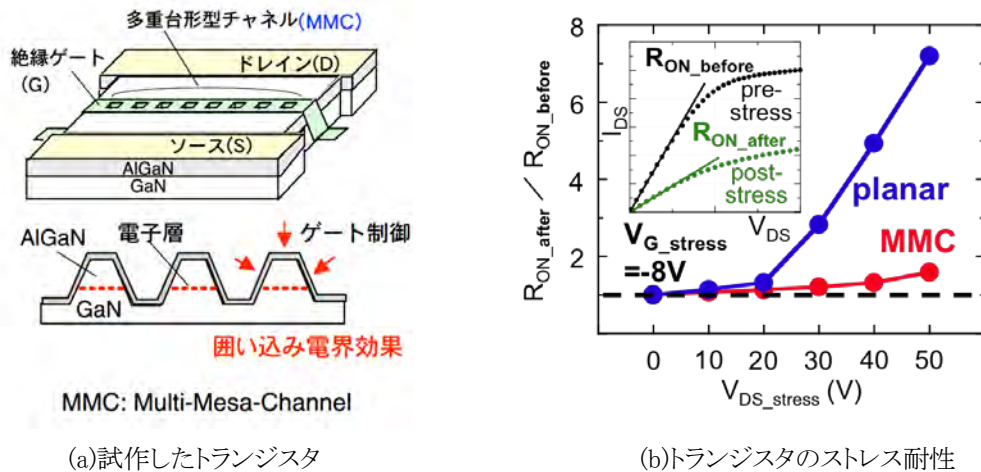


図4 橋詰チーム MMC型GaN-HEMT

橋詰チームに引き続き、山崎チームのダイヤモンド半導体を用いたパワーデバイスの開発でも大きな進捗が見られている。本研究チームは、ダイヤモンド半導体としては世界で初めて、電力増幅が可能なバイポーラトランジスタ、および、オン・オフ動作が可能な接合型電界効果トランジスタの製作(図5(a))に成功した。デバイス特性として、前者は電力増幅(～利得10)、後者は7桁におよぶ高い電流オン・オフ比(図5(b))を持つことを確認した。トランジスタ構造でデバイス動作が検証されたことで、ダイヤモンド半導体を用いた省エネルギー・低損失パワートランジスタの開発に大きく道が開かれた。

今後は、実用化展開に必要な大電流化と高耐圧化を図るために、電流が通過する断面積を拡大すると同時に、オフ状態でソースドレイン間にかかる高電圧に耐えられるデバイス構造が必要である。そのために、ダイヤモンドの結晶作製技術のさらなる高度化によって、ソースとドレインをそれぞれ基板表面と基板裏面に配置した縦型デバイスの実現を目指す。もし、大電流化と高耐圧化

の達成に目途が立てば、2030 年頃からの実用化開始に向けた具体的なシナリオを描くことが可能になると期待している。

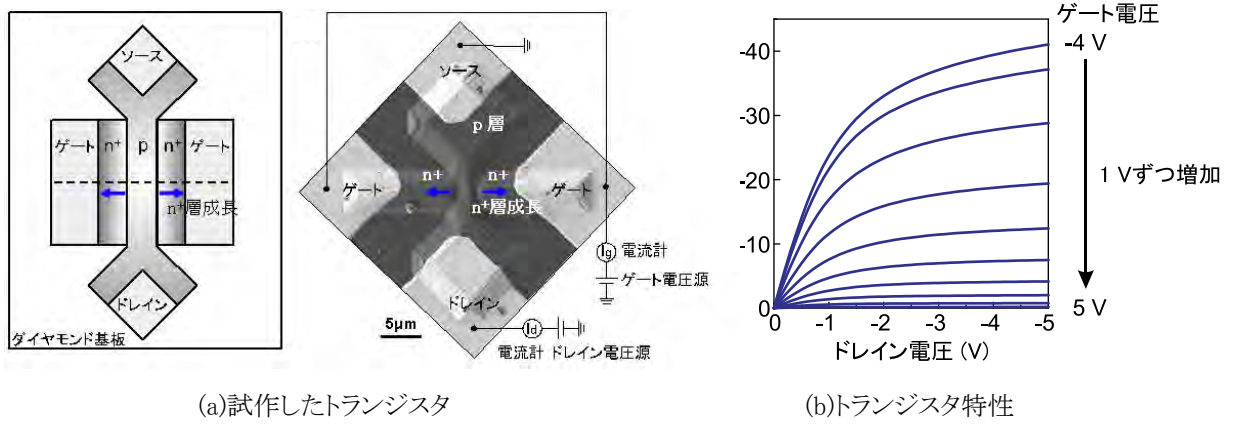


図5 山崎チーム ダイヤモンド半導体を用いた接合型電界効果トランジスタ

(4) 研究課題中止に対するマネージメント

当初 5.5 年を予定していた富重チームの研究課題は、平成 23 年度から「内閣府の最先端次世代プログラム」で発展継続させることとなったため、平成 22 年度末で研究を終了することになった。研究期間後半に予定されていた開発触媒の長寿命化・製造コスト低減等、実用化検証に向けた研究開発が中断されたことは大いに悔やまれるが、ここで開発された触媒の高機能化・機能解析・高性能化等の基盤技術はバイオマス利用技術においてキーとなる要素技術であり、今後の実用化検証において有効に活用していただくようお願いした。

当初 5.5 年を予定していた渡邊チームの研究課題は、平成 24 年度から開始される「つくば国際戦略総合特区ー藻類バイオマスエネルギーの実用化」の研究で発展継続されることとなったため、平成 23 年度末で終了することとなった。本研究チームのオリジナル技術であるボトリオコッカス耐アルカリ性株が持つ高いポテンシャルを最大限に引き出すこと、さらに、その際のエネルギーバランスの定量的な解析などにより今後の研究を発展していただくようお願いした。

このように 15 課題でスタートした研究課題のうち 2 課題が CREST を離脱することとなったため、本研究領域のポートフォリオバランスが乱れるかに思えた。しかし、2 課題が抜けた穴を埋めてポートフォリオバランスを維持すべく、他の研究チームが活躍している。藻類バイオマス藻類を研究対象とする田中チームと近藤チームは、珪藻 (JPCC-DA0580 株) への遺伝子導入技術の確立、培養実験を元にしたバイオマス生産性と LCA 評価、さらに、システムバイオロジー解析と代謝モデリングにおいて、順調な研究進展を見せており、これら研究成果が、渡邊チームが CREST を離脱したことによる影響を十分に補完している。富重チームの触媒研究については、領域アドバイザーの協力を得て、研究総括が中心となって周辺状況の情報を獲得し、「5. 研究領域の運営についてー(2) 研究課題の推進ー⑧」で記述した長期ビジョンを作成する過程で、本研究の最終的な成果を評価することによって、その抜けた穴を補完したいと考えている。

7. 総合所見

(1) 研究領域としての成果の見通し

「2. 研究総括のねらいー(2) 研究課題の推進」でも述べた通り、本研究領域は既存の抑制技術の2倍程度の効率を有する革新的技術の開発を目指している。その目標設定に対する現状の進捗状況は以下の通りである。

① エネルギー供給技術

田中チームは、現状のバイオマス生産性を3(t/ha/年)と試算し、研究終了までに達成すべき生産性として12(t/ha/年)というチャレンジングな高い目標値を設定し、その達成に向け順調に研究を推進している。この目標値は、主要なバイオマスである油やし:6.0(t/ha/年)やヤトロファ:1.9(t/ha/年)(Biotechnol. Adv. 2007)と比較して、2倍以上の生産性である。

② エネルギー・電力貯蔵技術

内本チームは、要素技術の開発を目途付けし、正極活物質の特性評価から予想されるエネルギー密度として、800 Wh/kg以上が得られる見通しである。この値は、現行のリチウムイオン2次電池の約6倍の値である。

③ 省エネ・高効率利用技術

現行のSiパワーデバイスを用いたインバータの効率は80%~90%であり、全体の10%~20%ものエネルギーを損失している。これに対し、GaNパワーデバイスを搭載したインバータでは、このエネルギー損失を1/2以下に低減できると見込まれている。橋詰チームは、MMC型GaNトランジスタの試作・評価によって、オフ電圧ストレス耐性の向上、ノーマリオフ動作を達成し、実用化への足かせとなっている課題を着実に解決している。

このように、①エネルギー供給技術、②エネルギー・電力貯蔵技術、③省エネ・高効率利用技術の各々において、既存の抑制技術の2倍程度の効率を有する革新的技術の達成に向けて、各研究課題を順調に推進させている。

(2) 研究領域のマネージメント

本研究領域の各研究課題が計画通り進展しているのは、高い見識と能力を有する領域アドバイザーによる適切なアドバイスによるところが大きい。研究課題の採択を始めサイトビジット・領域会議・中間評価会などで領域アドバイザーから研究代表者へ与えられるアドバイス、あるいは、領域アドバイザーから研究総括へ与えられる進言が、各研究課題と研究領域の順調な進展に大きく貢献したと考える。

「2. 研究総括のねらいー(1)(2)(3)a)」で述べた通り、本研究領域は各研究課題が最終的に社会にどのような形で受容されるか具体的にイメージできることを重視しているが、一方で、性急に実用化を求めるあまり基礎的な学術基盤が疎かにならないよう、サイトビジットなどの機会を利用して研究代表者に指導している。実用化され広く利用される革新的技術を開発するためには、確固とした基礎基盤技術を確立することが不可欠と考えるからである。

(3) 本研究領域を設定したことの意義

平成 20 年に本研究領域が発足後、これと関連する幾つかの CREST・さきがけ研究領域が発足している。平成 21 年度には、主に太陽光エネルギーの直接変換を研究対象とする「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」研究領域が発足し、また、平成 22 年度には、藻類・水圏微生物を利用し、バイオエネルギー生産のための基盤技術創出を目的とした「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」研究領域が発足した。さらに、平成 23 年度には、植物の光合成能力の増強と各種バイオマスの利活用を研究対象とする「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出」研究領域、エネルギー変換・輸送に関わる相界面現象の解明や高機能相界面の創成を目的とした「エネルギー高効率利用のための相界面科学」研究領域が発足した。本研究領域の発足はグリーンイノベーション研究のさきがけであったと評価され、本研究領域が設定されたことの意義は大きいと評価している。

(4) 今後への期待と展望

今後は、2020 年から 2030 年頃から普及が可能な技術群を見極め、それら組み合わせを最適化し、2050 年の長期目標に向けた社会的方向性を提示する。その際に留意すべきことは、とある技術が相当規模で地球全体に普及したときに、環境へ悪影響を与えることがないか、また、他の技術の普及を阻害することがないか、さらに地球資源の限界と抵触することがないか、などをあらゆる可能性を考慮することである。研究領域の後半にかけて、具体的数値を含めたシナリオを含め、2050 年の長期目標に向けた社会的方向性を提示していく。