低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

平成25年度 総合編

「明るく豊かな低炭素社会」の実現を目指して

“Towards the Realization of Dynamic and Affluent Low Carbon Society”

Summary Report 2014

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action toward Low Carbon Societies

独立行政法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

平成 26 年 6 月

LCS-FY2014-PP-00

目次

はじめに ····· 1

第１章　「明るく豊かな低炭素社会」に向かって····· 3
　１．明るく豊かな低炭素社会を実現するイノベーション····· 3
　２．低炭素社会戦略センターの社会シナリオ研究・活動····· 6
　３．これまでの主な成果 ····· 8

第２章　「明るく豊かな低炭素社会」実現のための技術開発····· 9
　１．太陽電池・燃料電池・蓄電池の定量的技術シナリオ····· 9
　　１．１　コスト算出方法について····· 10
　　１．２　太陽電池、燃料電池、蓄電池のコストの見通し····· 10
　　１．３　太陽光発電システム····· 11
　　１．４　固体酸化物形燃料電池システム····· 16
　　１．５　蓄電池システム····· 19
　２．エネルギー供給源の多様化に向けた研究開発課題····· 23
　　２．１　バイオマス廃棄物のメタン発酵（着手段階）····· 23
　　２．２　中小水力発電（着手段階）····· 24
　３．低炭素技術設計・評価プラットフォームの構築····· 26
　　３．１　プラットフォームの概要····· 26
　　３．２　プラットフォームの必要性····· 27
　　３．３　プラットフォームの内部構成····· 27
　　３．４　プラットフォームの更新、拡張の必要性····· 29
　４．定量的技術シナリオ研究の今後の取組····· 29

第３章　「明るく豊かな低炭素社会」実現のための技術普及····· 31
　１．低炭素技術の導入・普及促進に向けて····· 31
　２．家庭部門の低炭素化の促進：電力使用量の見える化····· 32
　　２．１　家庭の電力使用量見える化実験····· 32
　　２．２　実証実験の連携の必要性····· 33
　３　家庭部門の低炭素化を進める新しい枠組み····· 34
　　３．１「電気代そのまま払い」の実現····· 34
　　３．２　グリーンパワーモデレータの役割····· 36
　　３．３　実現スケジュール····· 37

第４章　低炭素社会システムの構築····· 38
　１．低炭素社会実現のための統合モデルシミュレーション····· 38
　２．気候変動緩和の世界的な取組への日本の貢献····· 38
　　２．１　京都以降の気候変動次期枠組みの議論に向けて····· 39
　　２．２　提案の内容 ····· 39

資料．低炭素技術の構造化に基づく製造コストと環境性の分析····· 41

はじめに

低炭素社会戦略センターは、社会の低炭素化や低炭素技術の研究開発に取り組む国・地方自治体の政策担当者、研究者及び研究機関、事業体・組織を対象として、「低炭素社会実現のための社会シナリオ研究」事業で得た最新成果及び政策立案に貢献する知見を提供するため、平成25 年度から「低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書」（以下、ＬＣＳ提案書と記す。）として公表することとした。ＬＣＳ提案書は、低炭素社会戦略センターが取り組む研究・調査テーマごとに作成され、分冊形式で順次公表される。個別に公表されるＬＣＳ提案書には、各研究・調査で実施されるシナリオ研究に基づいて低炭素社会実現に向けた具体的な政策立案提案が示される。

平成 25 年度までに公表したＬＣＳ提案書では、低炭素社会戦略センターが平成 23 年度から対象としてきた太陽電池・燃料電池・蓄電池に関する最新の定量的技術シナリオを示すとともに、平成 24 年度以降に対象に加えたバイオマス廃棄物のメタン発酵や中小水力発電のコスト低減可能性と本格導入に向けた研究開発課題を提示した。また、低炭素技術の経済性・環境負荷の定量的な評価を可能にする低炭素技術設計・評価プラットフォームの概要と今後の開発の必要性を示した。定量的経済・社会シナリオ研究の最新の成果として、家庭部門の低炭素化を促すための社会実証実験の概要と今後の計画、そして、家庭の省エネ促進や省エネ価値市場創成のための政策パッケージを新たに提案した。世界的な気候変動緩和の取組に日本が貢献するため、我が国の先進的気候変動緩和及び省エネ技術の海外移転の促進を図る仕組みを提言した。

本文書は、ＬＣＳ提案書の総合編として、平成 25 年度末までに公表した各ＬＣＳ提案書の要点を取りまとめ、低炭素社会戦略センターが実施する社会シナリオ研究の概要及び進捗状況を示すものである。以下に、本文書の概要を記す。

第１章では、低炭素社会戦略センターにおける低炭素社会実現に向けたイノベーションの基本的な考え方と、これまでの社会シナリオ研究の進め方と主要な成果の概要を示す。

第２章では、低炭素社会戦略センターが重点的に取り組んできた太陽電池・燃料電池・蓄電池について最新の定量的技術シナリオ研究の成果を示し、それぞれシステム原価などの最新の見通し及び今後の研究開発のための科学・技術ロードマップを新たに提示した。再生可能エネルギーとして期待が見込まれているバイオマスや中小水力発電などを対象とした定量的技術シナリオ研究を開始している。ここではバイオマス廃棄物のメタン発酵と中小水力発電に関するコストの検討及び今後研究・調査に取り組むべき課題を示した。また、低炭素社会戦略センターが定量的技術シナリオ研究を実施するために開発する低炭素技術設計・評価プラットフォームの概要及びその必要性を記す。本章の結びとして、今後重点的に取り組んでいくべき再生可能エネルギー利用に向けた研究開発の課題を提示する。

第３章では、低炭素技術の導入と普及の促進を目的とした定量的経済・社会シナリオ研究の最新の取組を提示する。家庭部門の CO_2 排出量削減の実現に向けて、家庭の電力消費量に関する精細なデータと社会心理学・人間行動学などの観点も含めて低炭素化行動を促すための研究・調査の概要と自治体・家庭と連携した社会実証研究の必要性を示す。低炭素技術やシステムの社会への導入・普及を促進する経済・社会制度の枠組みとしてグリーンパワーモデレータ

を中心とする「電気代そのまま払い」を新たに提案する。

第４章では、低炭素社会システムの構築に向けて、現在開発を進めている低炭素社会実現のための統合シミュレーションの目的、定量的技術シナリオ研究成果と定量的経済・社会シナリオ研究成果の統合の進め方、及び今後の開発の方向性を記す。また、世界的な気候変動緩和の取組に日本が貢献を果たすため、日本の力を結集した低炭素技術の円滑な海外移転の進め方について提案を行う。

低炭素社会戦略センターでは、社会シナリオの充実に向けて、太陽電池、蓄電池、燃料電池、バイオマス、中小水力発電に加え、風力発電や地熱発電等の低炭素技術を対象として、引き続き最先端の研究開発の成果を取り込みコストや環境性の将来見通しを定量的に把握する。また、各種電源割合を感度分析によって変化させ、その変化に応じた電源構成や送電系統の技術的可能性や経済性の評価にも着手する予定である。さらに、定量的技術シナリオ研究、定量的経済・社会シナリオ研究、統合モデルシミュレーションの成果を社会につなげるため、様々な大学・研究機関との連携を強化して社会実証実験を展開する。

第１章　「明るく豊かな低炭素社会」に向かって

日本は、エネルギーの安定確保、地球温暖化対策、防災・減災、人口減少・少子化、高齢化、雇用確保等の多様な課題に積極的に取り組み、経済の拡大と発展に繋げようとしている。現在進められている東日本大震災からの復興や地域経済の活性化などの取組は日本の新しい社会を創るものであり、多様な課題を同時に解決しながら実施することが望ましい。低炭素社会は、エネルギー・地球温暖化問題の解決を目指す新しい社会である。その実現は、他の課題解決に良い波及効果をもたらし、社会全体をより良い方向へと発展させていくことも可能である。

低炭素社会戦略センターが描く将来の低炭素社会の姿は、地球温暖化の緩和に向けた取組によってエネルギー起源の二酸化炭素（CO_2）排出量が削減し、エネルギーが安定的に確保され、経済が拡大して生活の豊かさが増し、若者に将来への展望が開け、高齢者が生きがいを持って暮らすことができる活力ある社会「**明るく豊かな低炭素社会**」である。ただし、この「明るく豊かな低炭素社会」は、過度なエネルギー節約を求めるような「我慢の暮らし」を強いる社会ではなく、また、かつての大量消費社会の延長線上にあるものでもない。「明るく豊かな低炭素社会」は、革新的な低炭素技術やエネルギーシステムを開発し、それを広く導入してエネルギーの安定確保と地球温暖化の緩和をもたらし、導入・普及の取組を新産業・新市場の創出などに繋げ経済の活性化を図ることによって実現するものである。また、社会の低炭素化に向けた取組を人々が意欲的に実施することによって、その実現は加速される。

低炭素社会戦略センターは、「明るく豊かな低炭素社会」の実現のため社会シナリオ研究を実施している。本章では、低炭素社会戦略センターが実施する社会シナリオ研究における低炭素社会実現に向けたイノベーションの基本的な考え方と、社会シナリオ研究・活動の進め方及びこれまでの主要な成果の概要を記す。

１．明るく豊かな低炭素社会を実現するイノベーション

「明るく豊かな低炭素社会」の実現には、優れた低炭素技術の創出をもたらすイノベーションと、低炭素技術の導入・普及を促進する経済・社会制度のイノベーションを適切に組み合わせて、CO_2排出量の削減・新しい雇用の創出を含めた雇用環境の改善・地域経済の活性化等から経済の拡大へとつなげ、社会全体のイノベーションを図ることが重要である。

オーストリアの経済学者シュンペーター（J. A. Schumpeter）は、その著書『経済発展の理論』の中でイノベーションを次の５つの類型に分けている。

①プロダクトイノベーション：新しい商品・サービスあるいは新しい品質の商品・サービスの生産がこれに該当する。
②プロセスイノベーション：新しい生産方法の創出がこれに該当する。
③マーケットイノベーション：当該産業部門における新しい市場の開拓がこれに該当する。
④サプライチェーンのイノベーション：原料あるいは半製品の新しい供給源の獲得がこれに該当する。
⑤制度・組織のイノベーション：独占の確立もしくは独占の打破による新しい組織・ビジネスモデルの実現がこれに該当する。

低炭素技術の研究開発から社会全体へのイノベーションに至るまでの過程の一例を図１－１に示す。

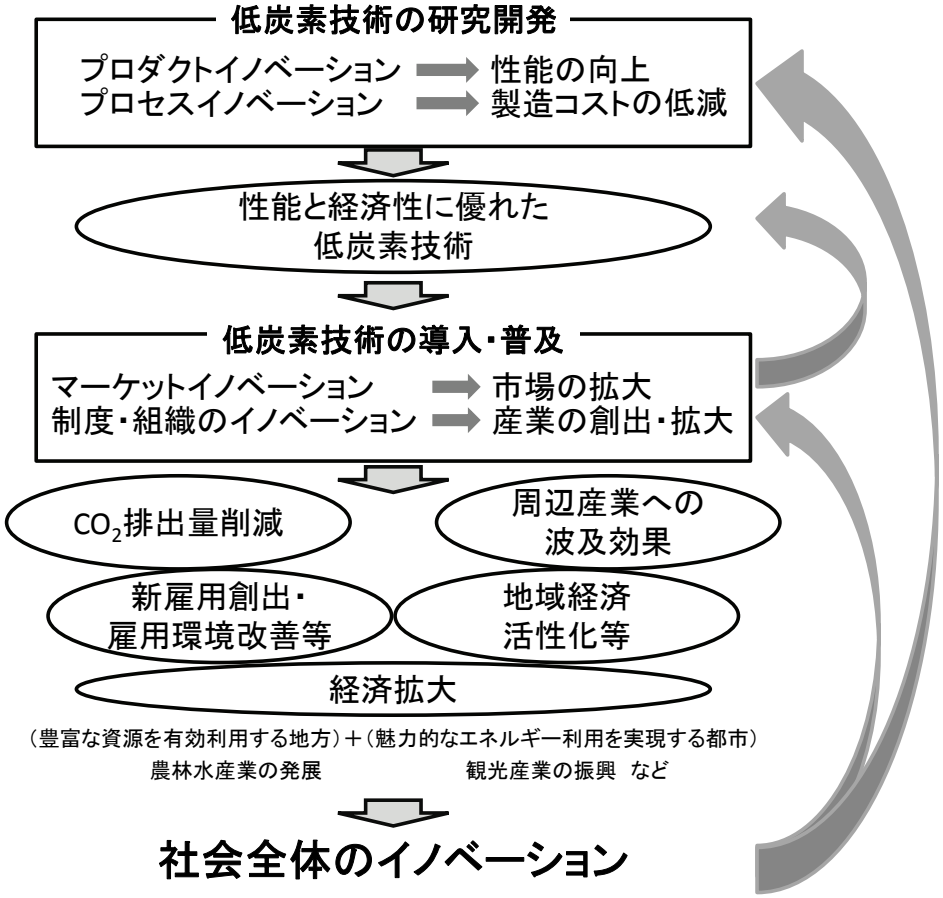


図１－１　明るく豊かな低炭素社会を実現するイノベーションの展開の例

低炭素技術のイノベーションの効果

日本の省エネルギー、新エネルギー、エネルギー貯蔵等の低炭素技術は、先端的で高水準な科学技術としての強みを持っている。強みのある低炭素技術は、性能向上をもたらすプロダクトイノベーションと製品製造のコストを低減するプロセスイノベーションによって、さらに優れた性能と経済性を持った低炭素技術へと進展する。優れた性能を持った低炭素技術は、エネルギーの安定的な利用と CO_2 排出削減に大きな効果をもたらす。

経済・社会制度のイノベーションの効果

低炭素技術を私たちの暮らしの中に効率的に導入するには、導入に係る初期投資の低減を図り、普及を進める制度を整備することが有効である。市場の拡大をもたらすマーケットイノベーションにより優れた低炭素技術の導入・普及が促進する。低炭素技術の導入・普及を促す制度・組織のイノベーションにより、新しい低炭素産業の創出や既存産業の拡大の効果も期待できる。さらに、低炭素技術の導入・普及によって量産化効果が生じることから、低炭素技術の更なる製造コストの低減が進み経済性が向上することが期待できる。低炭素技術の市場規模の

拡大や産業の創出・発展は、CO_2 排出量削減を推し進め、新雇用の創出をはじめとする雇用環境の改善や地域経済の活性化などの社会的課題の解決を図り、社会全体のイノベーションへと波及する。

社会全体のイノベーションへ

低炭素社会実現への取組は、地域が持つ資源や特性を活かして進められる。自然資源に恵まれた地域では、例えば、森林資源や水産資源、地熱を無駄なく無理なくエネルギー資源として活用する低炭素技術が、地域の農林水産業や観光産業の発展にも寄与するものとなる。都市地域では、廃棄物の有効活用も含めた魅力ある都市を設計し実現することによって、人々に高品質で快適なライフスタイルが提供される。同時に、社会の低炭素化の動きに連携して新しいサービス産業も創出・発展する可能性も出てくる。

地域に相応しい新しい社会の姿は新しい暮らし方に対する、国内外の人々の関心を高め、その人々の中に魅力溢れる低炭素社会を実体験したいという要求に結びつけることができ、日本の観光振興の柱のひとつにもなってくる。このような魅力の増した新しい社会は、若者の将来への展望が開け、高齢者も生きがいを持って暮らすことができる社会の実現が期待できる。

なお、イノベーションを活性化し、持続的な経済成長を実現しつつ CO_2/GDP を低減するグリーン成長につなげることが重要である。低炭素社会戦略センターでは、グリーン成長の３型を定義している。

Ⅰ型グリーン成長

低燃費車、省エネ家電、住宅等のプロダクトイノベーションとエネルギー消費行動の変化を、トップランナー制度、国内クレジット等の組合せにより促進し、家庭部門等での CO_2 削減を実現し、CO_2/GDP を低減する成長類型。

Ⅱ型グリーン成長

製造業のプロセス、プロダクトイノベーションと省エネ優遇税制などの投資減税の組合せにより、産業部門での CO_2 削減や高付加価値化を実現し、CO_2/GDP を低減する成長類型。

Ⅲ型グリーン成長

制度・組織のイノベーションとプロセスイノベーションの複合により、付加価値当たり原単位の低い情報、サービス、介護、医療、教育等の産業が伸び、日本全体での CO_2/GDP を低減する成長類型。

「明るく豊かな低炭素社会」は、単なる技術開発の見通しや経済への影響予測だけに基づいて方策を作り行動するだけでは実現できない。「明るく豊かな低炭素社会」に必要となる低炭素技術や経済・社会制度を見据えてイノベーションの進め方を明確にしなければならない。低炭素技術の研究開発や導入・普及を効果的に進めるための方策を立て、イノベーションを図る取組を実行することが重要である。

２．低炭素社会戦略センターの社会シナリオ研究・活動

低炭素社会戦略センターでは、我が国の経済・社会の持続的発展を伴う、科学技術を基盤とした「明るく豊かな低炭素社会」の実現に貢献するため、望ましい社会の姿を描き、その実現に至る道筋を示す社会シナリオ研究・活動を推進している（図１－２及び図１－３）。

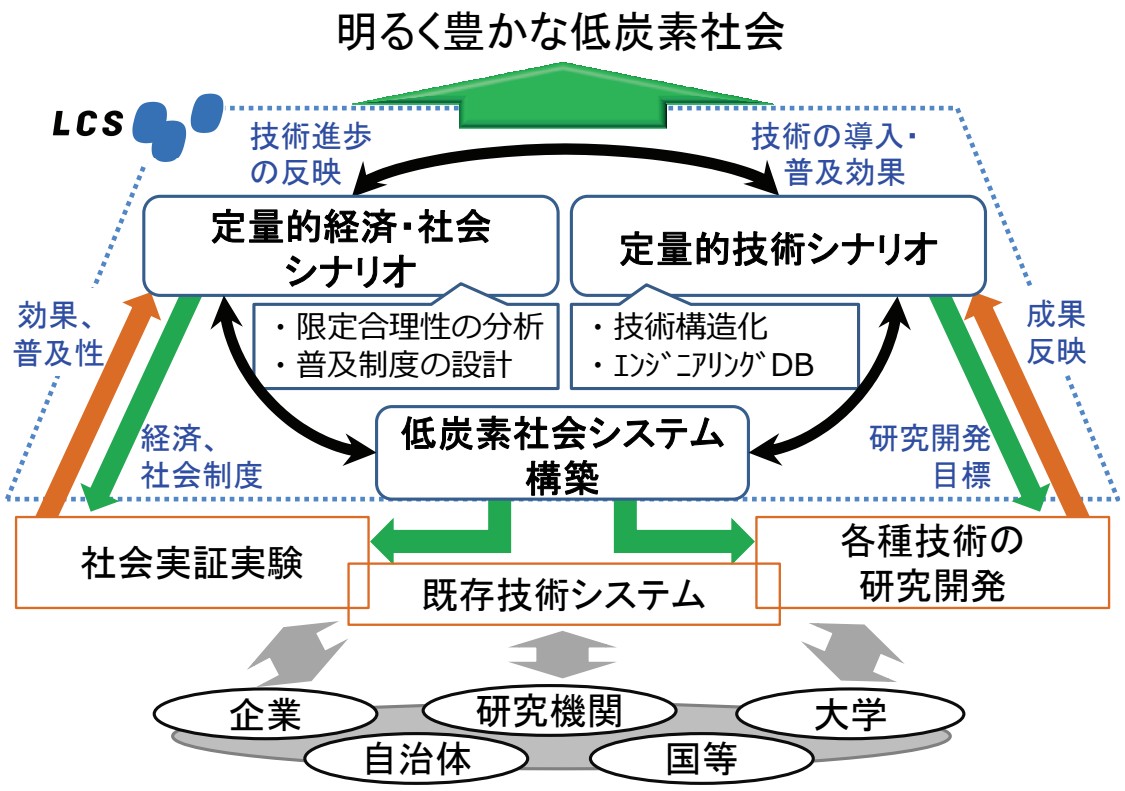


図１－２　低炭素社会戦略センターの社会シナリオ研究の概要

定量的技術シナリオ研究

社会の低炭素化を導く技術（低炭素技術）を対象として、その性能及びコストの将来見通しを経時的かつ定量的に示すとともに、技術進展を図るため今後取り組むべき研究開発目標を提示する。

低炭素技術を原理から製品製造プロセスまでを階層的に構造化して定量的に分析を行い、最新の研究開発動向も含めて低炭素技術の性能・経済性・環境性の経時発展を見通し、将来の低炭素技術の性能向上と低コスト化を達成するために今後取り組むべき研究開発の目標と技術課題を提示する。

具体的には、技術を構造化して捉えることによって、先端技術の開発可能性の分析、製造・プロセス設計・評価、製品のコスト構造・環境性評価、エネルギーシステム設計・評価に取り組む。定量的技術シナリオ研究の基盤となるエンジニアリングデータベースの整備と低炭素技術設計・評価プラットフォームの構築を進める。

これまで、太陽電池、燃料電池、蓄電池、バイオマス（廃棄物系・木質系）、中小水力発電、風力発電、地熱発電、CCS 等を対象とした調査・分析及び技術シナリオ研究を実施している。引き続き、これらの低炭素技術、システムを対象とした研究を進めるとともに、今後は他の低

炭素技術やエネルギーシステム、送電システム等を対象としていく予定である。

また、北海道下川町及び熊本県の要請に応じて、地域社会の低炭素化と経済の拡大につながるエネルギーシステムの構築に協力している。

定量的経済・社会シナリオ研究

低炭素技術の導入や省エネ行動等による経済効果・暮らしへの影響を見通し、社会の低炭素化と豊かな暮らしを両立させる経済・社会制度を提示する。

具体的には、行動経済・選好意識調査や社会実証実験を行い、エネルギー需給と経済・社会制度の分析・設計に取り組む。

これまで、新しい省エネルギー推進方法を検討するための社会実証実験では、関東及び近畿地方の 23 自治体 229 世帯（平成 25 年度末現在）が参加するネットワークを構築して実施している。

また、自治体が実施する低炭素化施策への協力や実験参加家庭の要望に応じた省エネルギーに関するアドバイスの提供に取り組んでいる。

低炭素社会システムの構築

低炭素技術の研究開発と導入・普及が進むことによる社会の低炭素化と経済の拡大を見通し、低炭素社会の実現に向けた社会シナリオを提示する。

定量的技術シナリオ研究と定量的経済・社会シナリオ研究の成果を統合して検討するため、経済モデル等の改良・高度化を進めエネルギー技術・経済統合モデルの構築に取り組む。

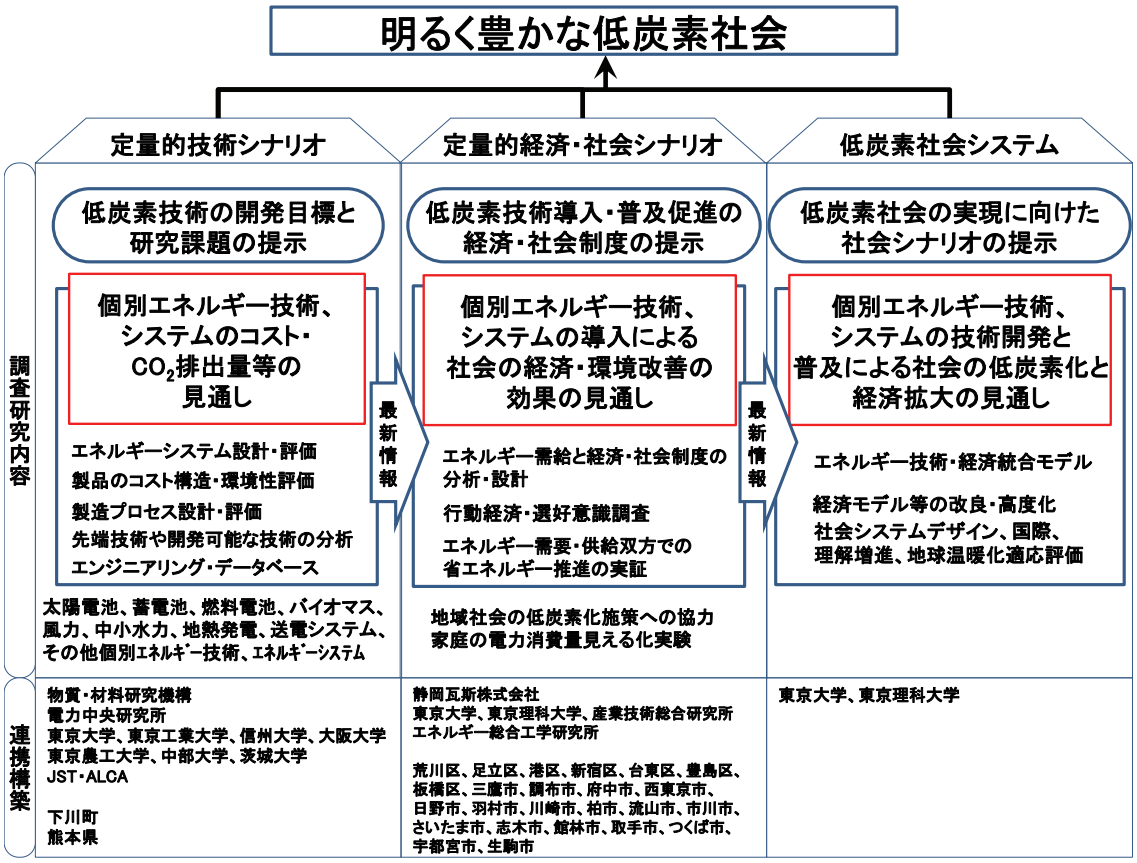


図１－３　低炭素社会戦略センターが実施する研究・調査の概要

３．これまでの主な成果

平成 22－23 年度の社会シナリオ研究の成果については、「低炭素社会づくりのための総合戦略とシナリオ」（平成 24 年 7 月）としてとりまとめ、低炭素技術の製造プロセスにおける要素技術とコスト構造の定量的な評価を通じた今後の研究開発の方向性・具体的技術発展性を示した定量的技術シナリオ、社会の低炭素化と経済発展の両立を図るための定量的経済・社会シナリオを提示して、「明るく豊かな低炭素社会」の実現に貢献するための基本的な考え方を示した。

具体的には、技術革新に向けて着実な研究開発が進められている太陽電池、燃料電池、蓄電池を対象に、低炭素社会戦略センターで開発した製造機器データベースを活用して、各技術の将来の具体的進展を考慮し製造コストの時間変化を明らかにした。イノベーションにつながる低炭素技術の研究開発の方向性を示すとともに、低炭素技術が社会の中に普及したときの経済影響・効果について統合的にモデル解析を行ない社会システム改革の方向性についても社会シナリオとして提示するなど経済の持続的発展と社会の低炭素化の両立を定量的に算定した。震災後に地方自治体等と連携した「停電予防連絡ネットワーク」の提案と実証、低炭素社会構築型の震災復興シナリオの提案、地域の低炭素社会実現の事例研究、低炭素社会の普及・拡大に向けた国際戦略や理解増進、社会システムデザインについて提示した。

平成 24 年度以降も、社会シナリオ研究の成果を国が進める科学技術政策や地方自治体が取り組む低炭素事業に活かすための活動を実施している。低炭素技術設計・評価プラットフォームを活用して作成した定量的技術シナリオ研究により、JST 戦略的創造研究推進事業先端的低炭素技術開発（ALCA）の技術領域毎に技術性能向上・製造コスト低減の妨げとなるボトルネックの特定とその解決に向けた研究開発課題を提示した。地方自治体との連携では、林業を通じた低炭素社会のモデルである北海道下川町や、地域社会の省エネ促進と低炭素化に取り組む 23 自治体と連携した社会実証実験を進めている。社会実証実験では、低炭素社会戦略センターから自治体・市民の方々に向けて、日常の暮らしや地域社会の低炭素化に役立つ情報を提供している。

また、東日本大震災以降、政府が進めている新しいエネルギー政策の在り方の検討に向けて、定量的経済・社会シナリオ研究成果から「低炭素社会と生活の豊かさを両立させるためには、家庭での省エネ対策の推進が最も効果が高いこと、省エネ対策にあたっては併せて所得階層間の格差を是正する仕組みの検討も重要である。」ことを提言した。新しいエネルギー政策とこれからの私たちの暮らしに対する関心は高く、低炭素社会戦略センターが主催するシンポジウムでの講演の他、国会議員や関係府省の各種委員会において知見を提供している。

第２章　「明るく豊かな低炭素社会」実現のための技術開発

一般に、新しく開発された技術が社会に導入・普及するには 10 年、20 年という時間を要する。2020 年や 2030 年の社会で利用される低炭素技術の多くは、現在利用されている技術が進展したものや、現時点でその実用化の目途が立っている技術である。現在、先端技術として開発段階にある技術は、2030 年頃にその実用化への見通しがある程度成立してくれば、2050 年頃の社会への導入・普及が期待できる。

今後の社会に導入・普及する低炭素技術の実用化への見通しにあたっては、現在の技術水準がその理論値に対してどの程度達成しているかを見極めることから始まる。現在の技術水準と理論値に大きな開きがある場合は、今後の研究開発・技術開発によって技術水準が理論値に近づき、性能の向上が期待される。そのようなエネルギー技術については、技術水準を上げていくための研究や技術開発の見通しを立てることとなる。一方、技術水準が理論値に近づいている場合は、その技術に関する新しい理論の研究動向を踏まえて、新理論に基づく先端的な技術としての実現可能性や、それが実現した場合の性能等の技術見通しを検討することとなる。

低炭素社会を速やかに実現させていくためには、低炭素技術が社会に導入されて普及するまでの時間を短縮しなければならない。性能に優れていても、導入に係るコストが妥当なものでない場合、社会への普及が困難になる。低炭素技術の導入・普及の促進に向けて、製品製造等に係るコストの低減を目指した検討が必要となる。

定量的技術シナリオ研究では、技術の根幹である理論や原理、活用する元素、ナノからメソスケールの構造と機能、製造プロセスの設計と評価、製品のコスト構造と環境性評価、エネルギーシステムの設計と評価を行い、低炭素技術のコストの将来見通しを定量的に示す。そして、定量的な将来見通しから見えてくる技術の進展や低コスト化の障壁となる技術課題を明らかにし、課題解決に向けた研究開発の方向性を明確にする。

低炭素社会戦略センターでは、重要度の高い低炭素技術として太陽電池、燃料電池、蓄電池から定量的技術シナリオ研究を進め、平成 24 年度以降から、太陽電池等に加えバイオガスや中小水力、地熱、木質バイオマスについてもシナリオ研究の対象としている。また、定量的技術シナリオ研究を実施するための情報基盤となる「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」の構築に取り組んでいる。本章では、まず定量的技術シナリオ研究におけるコストの考え方を記す。次に、定量的技術シナリオ研究を継続的に実施している太陽電池、燃料電池、蓄電池に関する技術進展とコストに関する最新の見通しを科学・技術ロードマップで示すとともに、今後取り組むべき研究開発課題を提示する。エネルギー供給源の多様化に貢献すると期待されるバイオガスと中小水力について、コスト低減の見通しと今後の研究開発課題、今後の定量的技術シナリオ研究の方向性を示す。低炭素技術設計・評価プラットフォームについては、その概要と必要性を記す。本章のまとめとして、定量的技術シナリオ研究の今後の取組について記す。

１．太陽電池・燃料電池・蓄電池の定量的技術シナリオ

低炭素社会では、再生可能エネルギーの供給と安定利用を担う太陽電池と蓄電池、さらに高効率発電及び移動体用エネルギー機器に燃料電池が必須と見込まれる。これら低炭素技術は、技術水準の高度化を目的とする研究開発によって、性能の向上やコストの低減に将来性がある。低炭素社会戦略センターでは、太陽電池、燃料電池、蓄電池を対象として定量的技術シナリオ研究を継続的に実施している。

１．１　コスト算出方法について

定量的技術シナリオ研究では、技術開発の観点からコスト低減効果を評価するために全て原価で表している。コスト算出にあたっては、後述する製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。

システム原価は、それぞれの低炭素技術を利用するためのシステム導入に必要な原価である。各製品の製造コストを計算し、システム全体としてはさらに周辺システムと設置費用を加えて計算している。例えば、太陽光発電システムでは、太陽電池モジュールと架台、パワーコンディショナから構成される。同様に、家庭用燃料電池システムはセル、スタック、補機及び給湯器、定置用蓄電池システムは蓄電池、保護・制御回路、収納ユニットで構成される。

製造コストは、製造工程毎に製造変動費と製造固定費から算出される。製造変動費は、投入する原材料と用役（電力、燃料、工業用水等）に係る費用である。原材料費は、現在の市場価格を基準として、将来の価格が製品の普及に伴い低減するものとする。製造固定費は設備と人員に関する費用から成る。主要な製造機器の仕様に基づき工場を設計し、工場建設に係る費用を設備費として計算した。設備費の算出には、減価償却費、金利負担費、固定資産税、補修費等を含み、年経費率 0.2 を設定している。人員に関する費用については、工場の運転人員を製造工程毎の機器数と実績値から推定し、人件費単価を乗じて算出する（参照：資料．低炭素技術の構造化に基づく製造コストと環境性の分析）。

１．２　太陽電池、燃料電池、蓄電池のコストの見通し

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-02、FY2013-PP-04、FY2013-PP-03】[1]

これまでの定量的技術シナリオ研究で得た、太陽電池、燃料電池、蓄電池のシステム原価及び発電コストの 2030 年までの見通しを表２－１に示す。なお、太陽光発電システムの発電コストは、システムの耐用年数により減価償却費と運用・補修費を考慮した年経費率から算出した。年経費率は、耐用年数が 20 年では 0.1、30 年では 0.08 とした。発電量は年間日射量を 1kWh/W として算出した。燃料電池システムの発電コストは、システム原価と燃料コストの合計で算出した。

低炭素社会戦略センターが平成 24 年 7 月に示した定量的技術シナリオ研究成果と比べると、太陽光発電システムと家庭用燃料電池システムのシステム原価は、現在も含め 2020 年、2030 年のいずれもがより低い値となった。その理由は、平成 23 年度までの研究・調査は当時先端的な技術情報を収集して評価したものであるが、現在では汎用的な技術として一部定着しており、技術水準の向上の効果、原材料費の低下、大規模な導入・普及による生産の増加等が考えられる。低炭素技術は常に進展しており、低炭素技術による経済性や環境負荷の将来を見通すには、最新の研究開発成果や次世代研究開発の進捗状況などの研究開発動向を定量的技術シナリオ研究に随時取り入れていくことが重要である。

[1] 提案内容の詳細を参照するためのＬＣＳ提案書番号を【】内に記す。ＬＣＳ提案書番号については巻末にまとめた。

表２－１　太陽電池、燃料電池、蓄電池のシステム原価・発電コストの見通し

	現在	2020 年	2030 年
太陽光発電システム			
システム原価　円/W	163	97	57
	(250)	(175)	(120)
発電コスト　円/kWh	18	11	5
	(25)	(18)	(12)
家庭用燃料電池システム			
システム原価　円/W	3,860	510	322
	(3,900)	(570)	(360)
発電コスト　円/kWh	74	25	19
	(74)	(24)	(20)
定置用蓄電池システム			
システム原価	19	11	6
円/Wh_{st}	(19)	(10)	(8)

システム原価は各製品の製造コストと周辺システム、設置費からなる。
コスト算出にあたっては、製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。
発電コストはシステム原価に年経費率を乗じて計算している。
() 内の数値は平成 23 年度末時点での定量的技術シナリオ研究による見通し結果

次に、太陽電池、燃料電池、蓄電池がシステムとして社会に導入・普及することを前提とした定量的技術シナリオを示す。

１．３　太陽光発電システム

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-02】

太陽光発電システムでは、システム原価が現状 163 円/W から 2020 年に 97 円/W、2030 年に 57 円/W と低減する道筋が示された。原価ベースの発電コストは、2030 年に 5 円/kWh を達成できる見込みである。2050 年の低炭素社会に向けて、太陽光発電システムのコスト低減のための重要技術開発項目を明らかにし、将来のコスト低減可能性を示した。

（１）定量的技術シナリオ研究の方法

太陽電池モジュールの製造については、年間生産量１GW と 5GW のプラントを設定し、製造工程をウェハ基板とガラス基板に大別して CVD 製膜、ウェハスライス、スパッタリングといった単位工程に分解した。主要となる製造機器の仕様を各技術水準により設計し、各工程での変動費・固定費及び工場全体のオフサイト設備の費用を積算し、製造コストおよび環境負荷（CO_2 排出量）を評価した。

結晶系シリコン太陽電池の製造工程は、シリコンをシーメンス法により精製し、インゴット鋳造、ウェハスライス、セル製造、モジュール組立の工程を経て、太陽電池モジュールを製造するものとした。Ⅲ-Ⅴ族のウェハ製造も同様の製造工程を設定する。薄膜シリコン、薄膜化合物系、有機薄膜太陽電池などについては、ガラス基板に透明導電膜、光吸収層、裏面電極を形成し、それぞれの膜をパターニングによりセル化し、モジュール組立工程を経て、太陽電池モジュールを製造するものとした。

（2）技術進展を考慮したシステム原価の将来展望

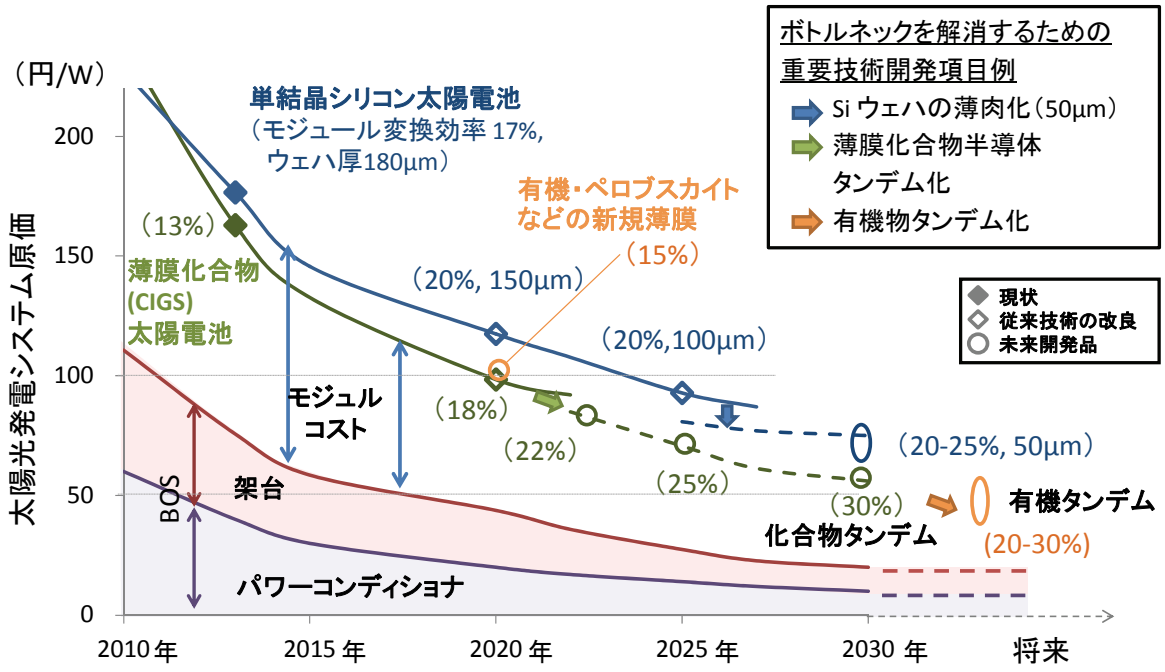
太陽光発電システムの技術シナリオを表２－２に示す。変動費は固定費に比べ製造コストに占める割合が高いことから、システム原価の低減には変動費、特に原材料のコスト削減が肝要となる。原材料費の削減は、市場拡大による価格削減の効果も期待できるが、原材料の必要量を減らすために軽量化、収率向上、高効率化が必要である。

表２－２　太陽光発電システムの技術シナリオ

		現状		2020 年		2030 年		新 PV
太陽電池種		単 Si 180μm 厚	CIGS	CIGS	新規薄膜	単 Si 50μm 厚	新 CIGS タンデム	有機タンデム
モジュール変換効率		17%	13%	18%	15%	23%	30%	(20～) 30%
年間生産量（GW/年）		1	1	5	1	5	5	1
モジュール（円/W）	変動費（原材料費）	76	59	40	34	39	29	17
	変動費（用役費）	5	2	1	2	1	1	1
	固定費（設備費・人件費）	22	18	9	12	6	7	6
	モジュール小計	103	79	50	48	46	37	24
BOS（円/W）	架台・設置費	33	44	27	32	13	10	10
	配電設備	40	40	20	20	10	10	10
	BOS 小計	73	84	47	52	23	20	20
システム原価（円/W）		176	163	97	100	69	57	44
重量当たり（円/kg）		1540	660	590	600	980	720	300
CO_2 負荷量（g-CO_2/W）		1210	590	410	－	550	260	－
CO_2 ペイバックタイム（年）		2.5	1.2	0.9	－	1.1	0.5	－

コスト算出にあたっては、製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。計算には、年間発電量 1kWh/W、電力源排出量 479g-CO_2/kWh を用いた。

現状技術から 2030 年までの技術進歩を考慮したシステム原価の推移を図２－１に示す。2013 年のシステム原価◆は市場の平均的な性能の太陽電池モジュールを設計して算出した。現在見通すことのできる技術の組み合わせによるシステム原価を算出した結果を◇と実線で、挑戦的な研究開発の達成による将来のシステム原価を○と点線で示す。



実線：現在見通されている量産可能な技術の組み合わせによるコスト低減
点線：研究開発により実現を考慮したコスト低減
コスト算出にあたっては、製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。

図２－１　太陽光発電システム原価と構成要素の展望

2020 年のシステム原価

従来技術の改良を考慮して、2020 年に達成可能と推定される各種太陽電池の生産プラントを設計してシステム原価を計算した。システム原価の展望としては、CIGS 太陽電池のシステム原価 97 円/W、発電コスト 11 円/kWh を用いている。

太陽電池の種類別に示すと、結晶系シリコン太陽電池では、モジュール変換効率 20%でウェハ厚 100μm を前提とすると 2025 年頃に 86 円/W のシステム原価を達成することができる。CIGS 太陽電池については、高効率化（モジュール変換効率 18%）、高速成膜、大面積化（モジュール面積 2.3m^2）などにより、年間生産量 5GW/年のプラントでは 2020 年頃に 97 円/W の達成が見込まれる。有機・ペロブスカイトなどの新規薄膜の高寿命化（耐用年数 20 年）、高効率化（モジュール変換効率 15%）により、年間生産量 1GW/年のプラントでは 2020 年にシステム原価 100 円/W の達成が見込める。

2030 年のシステム原価

2030 年には、システム原価で 57 円/W の達成が見込まれる。単結晶シリコン太陽電池については、セル変換効率の理論値が約 30%であり、モジュール変換効率 20%以上に向上することは容易ではない。コスト低減を図るためには、ウェハ厚とカーフロスの合計を 100μm 以下とすることを目指すことが必要となる。単結晶シリコンウェハ 50μm において、仮にモジュール変換効率 25%が実現した際には、システム原価は 64 円/W（6 円/kWh）となることが見込める。CIGS 太陽電池では原理的に高効率化が期待できるため、タンデム構造でモジュール変換効率 30%を

達成した場合にシステム原価 57 円/W（5 円/kWh）が見込まれる。

周辺システム（BOS）のコスト

架台とパワーコンディショナから成る周辺システムのコストは、大規模化とモジュール高効率化、システム導入量拡大によって低減する。架台と設置に係るコストは、架台の軽量化、設置時間の短縮による削減が見込まれる。戸建住宅向けよりもメガソーラの設置コストが廉価となるため、メガソーラの導入が進むと平均設置コストは低減する。パワーコンディショナのコストについては、インバータ、配線、制御システム、配電工事を含めて、現状の 40 円/W から 2020 年に 20 円/W、2030 年に 10 円/W 削減するとした。この結果、モジュール変換効率により異なるが、周辺システムのコストは 2020 年までに 33～40 円/W の削減が見込まれる。

新 PV のシステム原価

2030 年に向けて、発電コスト 5 円/kWh へのコスト低減の道筋を示したが、送電網整備や蓄電システムのコストによる追加費用を考慮すると、さらなるコスト低減を検討しておく必要がある。現在十分に普及していない太陽電池については、高効率かつ生産性の高い太陽光発電システムを評価する必要がある。

Ⅲ-Ⅴ族太陽電池ではセル変換効率 38%が実現しており、さらに積層してセル変換効率 50%を超えることが原理的に可能である。しかし、有機金属を用いた MOCVD の製膜速度は遅く、また有機金属も高価であるため、ガラス基板の太陽電池モジュールを製造すると、量産体制を想定してもモジュール製造コストが 3000 円/W を超える。現状では、セルの使用量を減らすため集光型太陽光発電システムが導入されている。レンズを用いて直達光のみを利用する集光型太陽光発電システムは、周辺システムにトラッキングシステムを必要とすることから、その分のコストが大きく上がりシステムコストは 150～300 円/W である。周辺システムのコストを十分に下げる技術開発を検討することが必要である。

有機・ペロブスカイト等の新規薄膜は、量産体制に入ると光吸収層の価格が十分に下がることが期待できる。新規薄膜は高寿命化、高効率化の課題が多く、モジュール変換効率 20～30%、耐用年数 20～30 年を実現する材料が開発されるのは 2030 年以降になる。量子ドットの太陽電池は、例えばシリコン量子ドットによりモジュール変換効率 30%を達成するとき、CVD 製膜を用いると現状の 10 倍の製膜速度においてシステム原価 120 円/W 程度となる。これらの実現時期を考慮すると、システムコスト 60 円/W 以下を目指すこととなるため、目標とする膜厚や製膜速度を十分に検討して技術開発を進めていく必要がある。

（3）科学・技術ロードマップと今後の研究開発課題

2020 年、2030 年のシステムコストを達成するために必要な研究課題を対象スケールによって階層的に整理し、時間軸に沿って示した「太陽電池の科学・技術ロードマップ」を図２－２に示す。

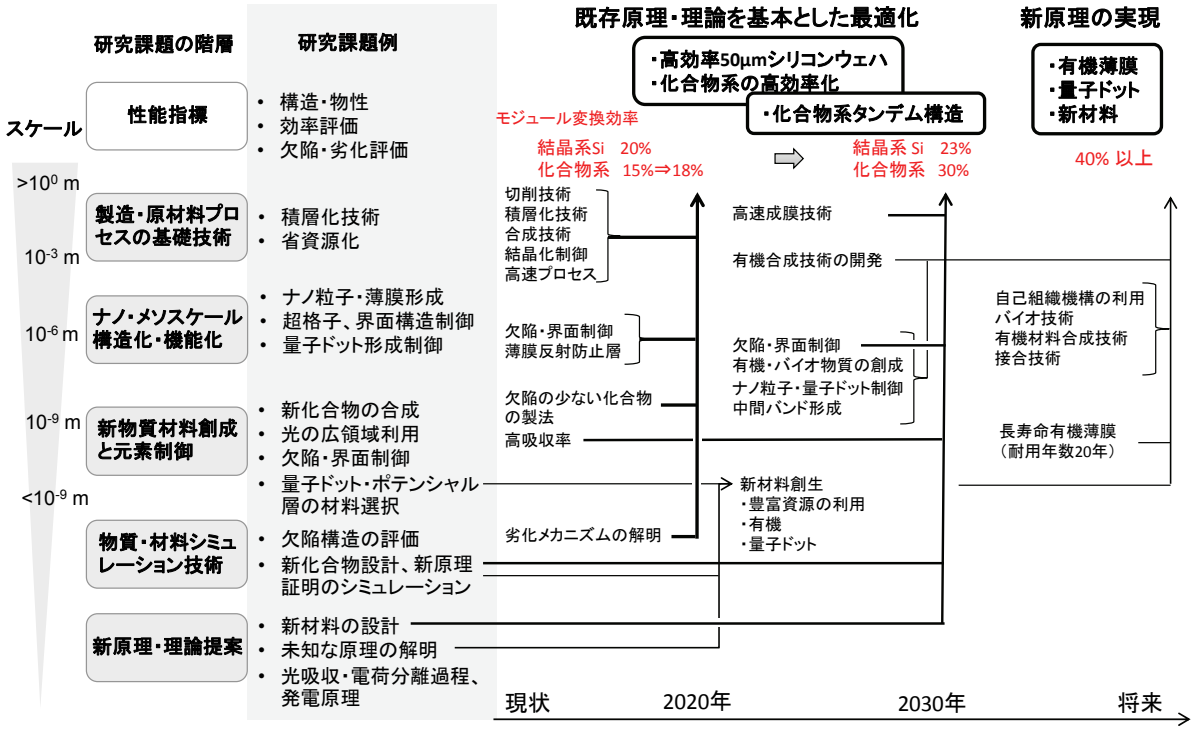


図２－２　太陽電池の科学・技術ロードマップ

結晶系シリコン太陽電池や薄膜化合物系太陽電池では、生産性向上に伴う量産化が進んでいる。しかし、結晶系シリコン太陽電池モジュールの製造コストを解析した結果、原材料費が約75%を占めている。システムコストの低減化を図るためには原材料費の削減が必要である。結晶系シリコン系の太陽電池技術については、原材料の必要量を低減することが課題である。また、薄膜化合物系太陽電池についてはタンデム化による高効率化、新規薄膜太陽電池については変換効率向上、Ⅲ-Ⅴ族系化合物太陽電池については製膜技術の向上が課題である。

〇結晶系シリコン太陽電池

発電出力当たりのシリコン必要量を削減して、モジュール変換効率 23%を目指すとともに、シリコンウェハの厚さをカーフロスも含めて 100μm 以下にすることが課題である。さらに高効率化に向けたタンデム構造などの開発が必要となる。

〇CIGS 等の化合物系太陽電池

モジュール変換効率 30%以上の高効率化が要求され、結晶性の良いタンデム構造の製膜技術の確立が課題である。これは原材料の資源制約を回避するうえでも重要である。インジウムやガリウムは、世界規模での太陽電池生産量が 100GW 程度になると、資源量の制約条件に近づくことが見込まれる。資源制限を受けない新しい技術として有機タンデムの研究開発が必須である。

〇有機・ペロブスカイト等の新規薄膜太陽電池

耐用年数 20 年以上の長寿命化とモジュール変換効率 25%以上を達成するための主な研究課題は材料及び接合法の開発である。

〇Ⅲ-Ⅴ族系化合物太陽電池

ガリウム・ヒ素等、セル変換効率 40%以上の高効率を見込める技術については、製膜速度の大幅な向上や主原材料の必要量の低減など、その製膜プロセスの改善が課題である。

１．４　固体酸化物形燃料電池システム

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-04】

燃料電池の大きな特徴は、その高い発電効率にある。燃料電池は、化学エネルギーを直接電力に変換する作動原理に基づくため、規模にかかわらず高い効率で発電が可能である。家庭用固体酸化物形燃料電池（SOFC）の発電効率は、現状で 45%に達しており既に一般の火力発電所とほぼ同じレベルの水準にある。

（1）定量的技術シナリオ研究の方法

現在、市場投入されている家庭用 SOFC システムは送電端出力で 700W であり、スタック、補機および給湯機から構成される。表２－３に現状技術におけるスタックの仕様を、表２－４にセル・スタックの主要構成材料を示す。現在の SOFC で使用されるセルは円筒平板形であり、表 1 で示した仕様の 1 スタック当たりのセル数は 140 個である。

表２－３　円筒平板形 SOFC 仕様（現状）

定格 AC 出力（W）	700	DC 出力（W）	800
平均出力密度（W/cm^2）	0.19	セル電圧（V）	0.76
電極面積（cm^2）	140	セル数（cell/stack）	750
作動温度　（℃）	750	燃料利用率（%）	70
スチーム/カーボン比	2.5		

表２－４　セル・スタック主要構成部材

	構成材料	
燃料極	Ni-YSZ	
電解質	YSZ	$((ZrO_2)_{0.92}(Y_2O_3)_{0.08})$
中間層	GDC	$(Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{1.9})$
空気極	LSCF-GDC	$(La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.8}O_3)$
インターコネクタ	LCC	$(La_{0.8}Ca_{0.2}CrO_3)$
集電材/スタックケース	Steel	
断熱材	Mullite	

スタック体積当たりの出力密度の増加割合に対して、材料開発とセルデザインの変更（円筒平板からマイクロチューブ）は同程度の寄与がある。定量的技術シナリオ研究では、電極・電解質等の構成材料が現状と将来技術では同じ材料とし、将来技術に新しいセルデザイン（マイクロチューブ形）と仮定した。コスト評価については、以下に記す①から⑦までの手順で評価を行った。発電コストは、システム原価と燃料コストの合計で算出した。熱利用については、成績係数が３のヒートポンプシステムを前提に、発電時の発熱量の１/３が発電コストと等価であるとして発電コストに含めた。

①SOFC システムの製品仕様（標準では円筒平板形）と工場の年間生産規模を設定する。

②事前調査に基づき製造プロセスの詳細を構築し、プロセスフローシート、物質収支、熱収支などからなるプロセスの基本設計書を作成する。

③基本設計をもとに、変動費（原材料費、用役費）を算出する。
④基本設計に基づき製造機器の仕様を定め、この仕様をもとに LCS が構築した機器データベースを用いてコスト、重量を算出する。
⑤製造機器のコスト、重量を用いて、配管、電気・計装、建屋等の工事を含めた工場の総建設費を算出する。さらに、プロセスの運転要員数を定め、固定費（設備費、人件費）を求める。
⑥製造コストを算出する。
⑦発電コストを算出する。さらに、スタック性能、セルデザイン、製造技術等についてケーススタディを行い、技術革新のシナリオについて検討を行う。

（2）コスト分析結果と技術開発に関する将来展望

表２－５に 700W　SOFC スタックの技術シナリオとして、製造工程(生産スケール、歩留まり)、セルデザイン（支持体厚み含む)、断熱材の技術革新（熱伝導度の低減)、セル性能、寿命、BOS コストについて 2014 年現在から 2030 年に向けたシナリオを示す。

表２－５　700W SOFC スタックの技術シナリオ

	現在	2020	2030	2030
セルタイプ	円筒平板 (標準型)	円筒平板 (薄膜型 1)	円筒平板 (薄膜型 2)	マイクロチューブ (発展型)
生産スケール（スタック/年)	＜ 1,000	100,000	1,000,000	1,000,000
歩留まり（%）	-	70	80	80
支持体厚み（または直径）	2mmt	1.5mmt	1mmt	2mmϕ
断熱材厚みの低減率	1.0（8cm）	0.75（6cm）	0.5（4cm）	0.5（4cm）
セル電圧 [a]（V）	0.76	0.8	0.83	0.83
燃料利用率（%）	70	73	77	77
セル効率 [b]（%）	51	56	62	62
電力損失 [c]（W）	100	90	85	85
発電効率 [b,c]（%）	45	50	55	55
総合効率（%）	75	80	85	85
寿命（年）	10	10	15	15
BOS 原価 [d]（円/台）	-	300,000	200,000	200,000
スタック原価（円/W）	-	81	37	24
システム原価（円/W）	3,860	510	322	310

a. 電流密度：0.19 A/cm^2
b. 効率は LHV で評価
c. 電力損失は DC-AC インバーターと補機によって生じる
d. BOS (balance of system)コストは補機類と給湯機のコストを含む
コスト算出にあたっては、製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。

技術シナリオを基に発電コストを算出したところ、現状での発電コストは 74 円/kWh となった。一方、技術革新と量産スケールの向上によって、家庭用 SOFC システムの発電効率を現状の 45%から 50%以上に引き上げ、システム原価を 500 円/W 以下にすることで発電コストを現在の系統電力コスト（家庭用：23 円/kWh）以下に低減できる可能性が示唆された。性能評価の検討に基づくと、これらの技術的な要請事項は十分達成可能である。大型機についても小型機と同様に発電コストを低減できる。

（3）科学・技術ロードマップと今後の研究開発課題

SOFC コスト削減シナリオの検討から、システム原価を 500 円/W 以下に低減した上で、発電コストを系統電力程度にまで低減する必要がある。この要求を満たすためには、発電効率の高効率化、システムの高寿命化、セルデザインの高度化、製造技術の高度化が研究開発目標となる。

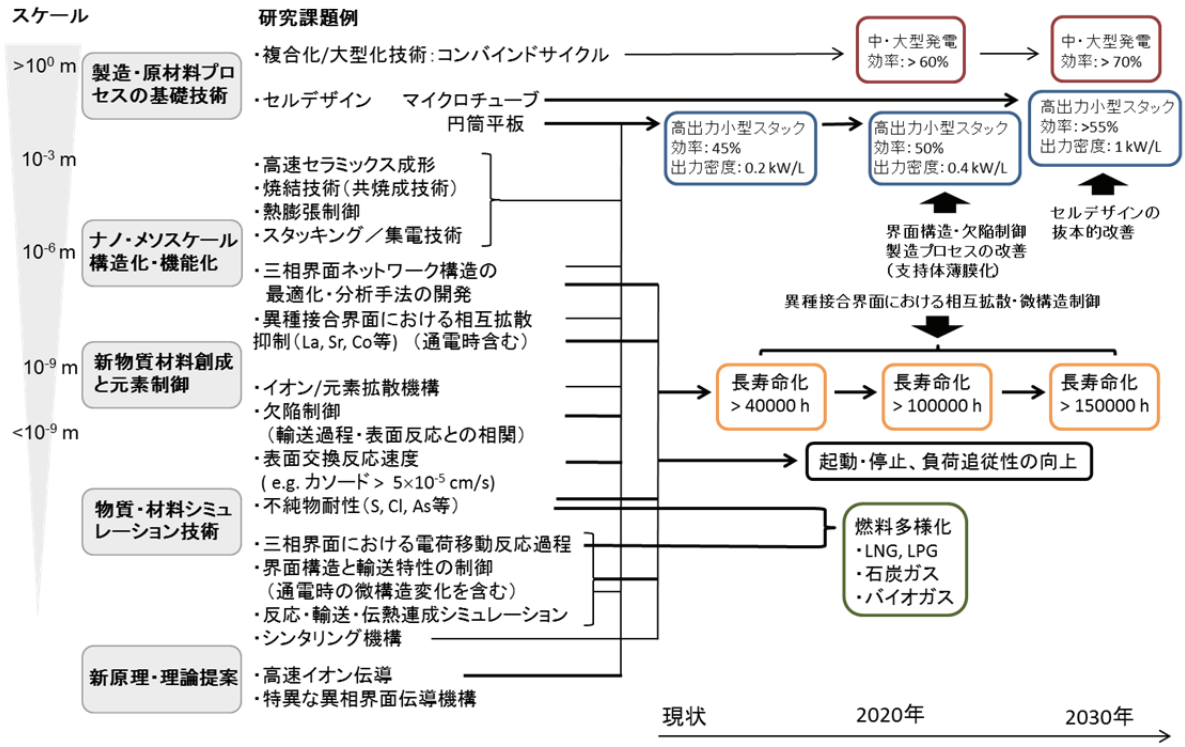


図２－３　SOFC の科学・技術ロードマップ

発電効率 45%から 50%以上の高効率化を図るためには、二相及び三相界面における電極界面微構造の評価と最適化の検討に加え、界面輸送機構の詳細な検討も必要である。さらに、電極や電解質に関する新材料開発についての持続的な研究開発が重要である。また、燃料利用率向上に関する材料及びシステムの立場からの検討が必要である。なお、50%以上の効率向上の実現に向けては、界面構造の制御に加え、新材料開発の寄与が大きいと判断する。特に空気極の材料開発の進展が期待される。一方、現状の研究開発レベルを考慮すると、材料開発による効率改善への寄与度とセルデザインの変更（例えばマイクロチューブ形への変更）によるそれとでは、概ね同じ程度の定量的インパクトを有すると推定される。従って、50%以上の効率達成に向けては、新材料開発と共に、セルデザインの改善（単位体積当たりの電極界面積の向上）

が有効なアプローチである。

〇界面制御に関する反応・輸送現象の基礎研究

発電効率向上とスタック寿命向上のため、SOFC の各部材界面における反応・輸送現象の解明及びその知見に基づく界面構造の制御・維持に関する基礎研究を着実に実施することが求められる。

〇新材料開発

発電効率 50%以上を達成するためには、界面構造の制御に関する基礎研究に加え、空気極材料など構成部材の新材料開発が課題である。

〇セルデザイン

単位体積当たりの電極界面積拡大に向けたセルデザインの改善は、スタック体積当たりの出力密度向上となることから、新材料開発と並んで発電効率向上への寄与が大きい。スタッキング工程を容易にする観点からのセルデザインの開発が課題である。

〇製造プロセスの高度化

SOFC の製造プロセスについては、量産技術の高度化の余地が大きいことから、焼成、印刷、スタッキングなどの主要製造工程技術の高度化が課題である。

１．５　蓄電池システム

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-03】

現状の 18 円/Wh_{ST}（Wh_{ST}：蓄電池 1 回の充放電容量（単位：Wh）を示す）から生産規模拡大、収率改善および高エネルギー密度化により 2020 年に７円/Wh_{ST}（340Wh_{ST}/kg-battery）、2030 年に４円/Wh_{ST}（600Wh_{ST}/kg-battery）に至る道筋を示した。大量生産に伴う原材料の調達コスト削減が見込まれる場合は、さらなる製造コスト低減が期待できる。

（１）定量的技術シナリオ研究の方法

マンガン系、コバルト系、ニッケル系の３つの円筒型リチウムイオン電池を対象とし、電池仕様、製造条件を想定し、製造プロセスを設計することにより、製造コストおよび環境負荷計算を行った。

円筒型蓄電池製造コストの将来展望を描くに当たり、製造条件を次のように設定した。現状の生産規模は建設実績のある年間生産量 1GWh_{ST} 製造プラントとし、電気自動車、定置用蓄電池などの普及が予想される 2020 年、2030 年では 10GWh_{ST} 製造プラントとした。収率は、現在で 63%、将来では 90%と設定した。

（２）技術進展を考慮したシステム原価の将来展望

現状の円筒型リチウムイオン電池の製造コストと、将来の技術進展を考慮した技術シナリオを表２－６に示す。

現状の製造コストは 18.2 円/Wh_{ST} であるが、円筒型蓄電池を年産 10GWh_{ST}、収率 90%の条件下で 340Wh_{ST}/kg-battery の蓄電池製造では７円/Wh_{ST} まで、600Wh_{ST}/kg –battery まで性能向上した蓄電池では４円/Wh_{ST} までコスト低減が見込まれた。大量生産に伴う原材料の調達コスト削減が見込まれる場合は、さらなる製造コスト低減が期待される。

表２－６　円筒型蓄電池の技術シナリオ

			現状	2020 年	2030 年
生産規模（GWh_{ST}/y）			1	10	10
収率（%）			63	90	90
エネルギー密度（$Wh_{ST}/kg\text{-}battery$）			200	340	600
活物質　※			$LiCoO_2$ /黒鉛	固溶体系正極材 /カーボン系負極材	ABO_3 型正極材/ シリコン系負極材
蓄電容量（Wh_{ST}/電池）			8.6	15	32
サイズ			18mmφ×65mm		
製造コスト（円/Wh_{ST}）	変動費	原材料費	13.6	4.8	2.7
		用役費	0.6	0.3	0.1
	固定費		4.0	1.4	0.9
	合　計		18	7	4

コスト算出にあたっては、製造コスト以外の研究開発費、販売費及び一般管理費、借地料、システムの廃棄やリサイクルに係る費用等を含めていない。
※2020 年、2030 年の活物質材料の組合せは多数ある。ここでは表中の活物質での計算例を示す。

Mn 系、Co 系、Ni 系リチウムイオン電池の製造コストは、各々17.5 円/Wh_{ST}、16.2 円/Wh_{ST}、12.7 円/Wh_{ST} であり、そのうち原材料費が 74～81%を占める（参照：ＬＣＳ提案書 FY2013-PP-03 の表２「円筒型リチウムイオン電池の製造コスト比較」）。製造コスト低減には正・負極材料費削減が必要となる。次いで電解質、セパレータも原材料費で 10%以上を占めることから、高機能化などによりコスト削減を行う必要がある。

コスト低減のためには、原材料使用量の削減と単価の安い原材料の使用が考えられるが、廉価な活物質原料を使ったとしても、エネルギー密度が低い材料を用いたのでは製造コストは低減しない。例えば、Mn 系と Co 系リチウムイオン電池の正極活物質はそれぞれ $LiMn_2O_4$ と $LiCoO_2$ であり、原料の MnO_2 と金属 Co の重量当たり単価は MnO_2 が金属 Co の 1/8 程度である。したがって、原材料費は Mn 系リチウムイオン電池の方が低くなっている。しかしながら、活物質 $LiMn_2O_4$ のエネルギー密度は $LiCoO_2$ と比べて約 7 割であり、Mn 系リチウムイオン電池の製造処理量が Co 系と比べて 1.5 倍以上となる。その結果、Mn 系リチウムイオン電池の製造設備は大きくなるため、Mn 系での用役費・固定費は Co 系よりも高くなる。

2020 年

現状の 1.7 倍のエネルギー密度となる 340Wh_{ST}/kg-battery の円筒型蓄電池の開発が見込まれるが、そのためには正極活物質の高容量化・高電位化が重要な研究課題となる。正極活物質の高容量化・高電位化は、負極活物質が黒鉛では固溶体系正極活物質のような 1 モルあたりの含有 Li 数が 1.2 以上の高容量化・高電位化の活物質で、900～950 Wh_{ST} /kg-active material を上回る技術開発が必要となる。

2030 年

現状の 3 倍のエネルギー密度 600Wh_{ST}/kg-battery まで高めることで、製造コストは４円/Wh_{ST}に低減可能である。エネルギー密度の向上には、正・負極活物質の高容量化・高電位化が必要である。正極活物質としては ABO_3 型正極材などの高容量・高電位で 1200 Wh_{ST} /kg-active material 以上を実現する新規材料開発、負極活物質としてはシリコン系のような高容量材で理論容量約 50%の 2000mAh/g 以上を実現する材料開発が必要となる。

表２－７に、今後利用拡大が期待される定置用蓄電池システムの技術シナリオを示す。評価対象となる定置用蓄電池システムは、蓄電池、保護・制御回路、収納ユニットにより構成される。また、蓄電池はラミネート型を想定し、蓄電池システム容量は 1 台あたり６kWh_{ST}と設定した。ラミネート型リチウムイオン電池は、容器・端子以外は円筒型電池と同じ電極材料で構成され、電極をパウチ材で包材し、さらにそのセルを保護する収納箱に入れられるものとする。

定置用蓄電池システムの基準ケースには Ni 系リチウムイオン電池を設定した。2020 年、2030 年における定置用蓄電池システムにおける蓄電池は、表２－６で示した電極材料と同じものとした。定置用蓄電池システム原価は蓄電池コストの約 1.5 倍であり、2030 年のシステム原価は蓄電池の高性能化を考慮して６円/Wh_{ST}までコスト低減する。

表２－７　定置用蓄電池（ラミネート型）システムの技術シナリオ

		基準ケース	2020 年	2030 年
定置用蓄電池性能 (Wh_{ST}/kg-system)		200	265	490
活物質		$LiNi_{0.85}Co_{0.12}Al_{0.03}O_2$ /黒鉛	固溶体系正極材 /カーボン系負極材	ABO_3 型正極材/ シリコン系負極材
システム原価 (円/Wh_{ST})	蓄電池	13	7	4
	保護・制御回路	3.3	1.7	0.8
	収納ユニット	2.7	2.3	1.6
	合計	19	11	6

全てのコストは原価で表している

（３）科学・技術ロードマップと今後の研究開発課題

蓄電池の製造コスト低減のための正・負極活物質や電解質とセパレータ材の高性能化が課題である。また、蓄電池の長寿命化はコスト低減にも寄与する課題である。

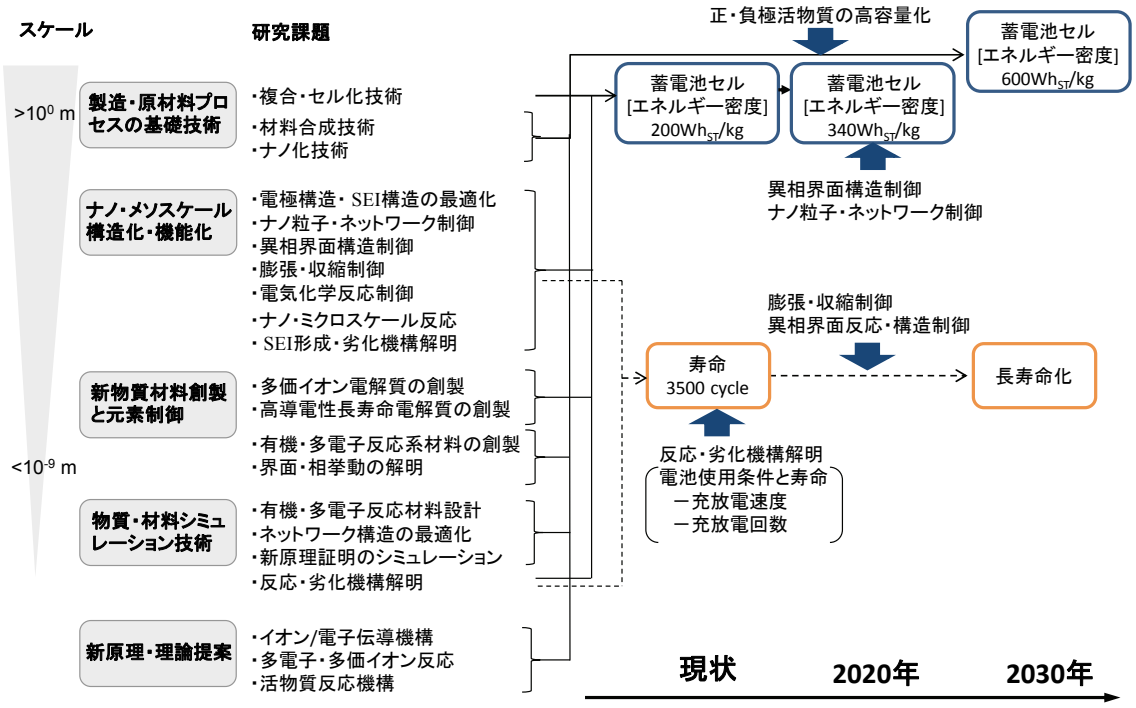


図２－４　蓄電池の科学・技術ロードマップ

2020 年に想定したエネルギー密度 340 Wh$_{ST}$/kg-battery の蓄電池開発には正極活物質の開発が重要である。現状の Co 系、Ni 系正極活物質の容量は、理論容量の約 50～70％の 150～190 mAh/g で、負極活物質の容量と比べて半分程度と低い。この正極活物質を理論容量まで高容量化しても、黒鉛との組み合わせではエネルギー密度 340Wh$_{ST}$/kg-battery の蓄電池の実現は難しい。蓄電池の性能は正・負極活物質の容量と電位に依存することから、特に固溶体系正極活物質材料などのような 1 モルあたりの含有 Li 数が 1.2 以上の高容量化・高電位化な活物質で、900～950 Wh$_{ST}$ /kg-active material を上回る技術開発が必要である。具体的には、高容量・高電位が期待される正極活物質で、充放電時に起こる結晶構造変化を抑制するための異相界面構造制御、高い充放電速度や出力を得るための活物質粒子比表面積の向上や電極材構造を制御するためのナノ粒子・ネットワーク技術開発が必要となる。

2030 年に想定したエネルギー密度 600 Wh$_{ST}$/kg-battery の蓄電池開発には、現状の蓄電池から正・負極材ともに大幅な高性能材料開発が必要となる。負極活物質もシリコンのような高容量材の開発が必要であり、正極活物質の材料開発が 1200 Wh$_{ST}$/kg－active material 程度では、負極活物質は充放電時の最大 4 倍の体積膨張・収縮を制御する技術開発や異相界面反応・構造制御技術開発が必要となる。また、長寿命化の技術開発を行うためにも反応・劣化機構解明は必要であり、さらに蓄電池の高エネルギー密度化に伴い新電解質開発もコスト低減の観点から重要となる。

〇正極活物質

正極活物質の高容量化、高電位化が必要であり、充放電時に起こる結晶構造変化を抑制するための異相界面構造制御、高い充放電速度や出力を得るための活物質粒子比表面積の向上、電極材構造を制御するためのナノ粒子・ネットワーク技術の開発などが課題である。

○負極活物質

充放電時の最大 4 倍の体積膨張・収縮を抑制する技術や異相界面反応・構造制御技術などが課題となる。

○長寿命化等

蓄電池の長寿命化を図るためには、反応・劣化機構の解明が課題である。

２．エネルギー供給源の多様化に向けた研究開発課題

東日本大震災以降、エネルギー安定的利用の確立に向けてエネルギー供給源の多様化が検討されている。太陽光発電の他、水力や食品残渣等有機廃棄物、森林資源、風力、地熱などもエネルギー供給源として期待されており、国や地方自治体はそれらを利用した分散型エネルギーシステムの実証事業を行っている。

低炭素社会戦略センターでは、中小水力、バイオガス、木質バイオマス、風力、地熱等の各エネルギーシステムを対象とした定量的技術シナリオ研究を開始している。ここでは、バイオガス廃棄物のメタン発酵と中小水力発電について、現時点までの検討結果の概要を示す。

２．１　バイオマス廃棄物のメタン発酵（着手段階）

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-05】

下水汚泥や食品残渣から生成されるバイオガスは、例えば日本の人口 127 百万人の 10%を対象とする場合、約 12PJ/y のエネルギー発生のポテンシャルを持っている。下水処理工程からの余剰活性汚泥、各種食品残渣、家畜の糞尿などから、嫌気性のメタン発酵処理によるバイオガス発生を行い、エネルギーとして利活用する取組は行われているが、処理コストなどの問題から本格的な導入に至っていない。

（１）定量的技術シナリオ研究の方法

設備規模

バイオガス製造に係るコストのうち設備費については、設備の規模が小さいときは総コストに占める割合が大きいが、Chalmers 大学（スウェーデン）の報告にもあるように、生産規模が 30GWh/y 以上になるとその割合が小さくなる。ここでは生産規模を 40GWh/y（144TJ/y)とした。

バイオマス廃棄物

既存の下水排水処理場で発生する下水汚泥および食品残渣を対象とした。下水汚泥の発生量は、東京都での実績値で代表した。

メタン発酵（発生）量

メタン発酵は 35℃の中温で行い、バイオマス廃棄物からの CH_4 発生量は下水汚泥の場合 195Nm^3/t-DM、食品残渣の場合 118Nm^3/t-wet とした。CH_4 の発熱量を 35.9MJ/Nm^3-CH_4 とした。

バイオガスプラント

バイオ廃棄物処理対象人口規模は、15 万人（生産規模:40GWh/y）とし、年間稼働日数を 330 日（7920ｈ）とした。バイオガスプラントは、粗バイオガス製造工程（CH_4　60vol%）とバイオガス精製工程(CH_4 98vol%)からなる。CH_4 発生量は、513Nm^3/h（粗バイオガス：855Nm^3/h に相当）であり、下水汚泥からの CH_4 発生量が 77%である。

（2）バイオガス製造コスト試算

製造コストの変動費としては、原料としての下水汚泥、食品残渣、排出物である消化汚泥と消化液の評価額及び用役費用がある。下水汚泥、消化汚泥と消化液の評価額は処理場の設置地域によって異なるものの、ここではいずれも 0 円評価とした。食品残渣については、0 円評価の場合と、食品残渣処理費用として 17 円/kg（横浜市　生ごみ焼却処分費相当額）を戻入する場合について検討した。用役費用についてはエネルギーコストを２円/MJ とした。動力費については熱電変換効率を 40%としてエネルギーコストに変換して評価した。動力費は 18 円/kWh に相当する。

製造コストの固定費は設備対応と人件費対応である。設備対応固定費は、年間費用を建設費用（主要機器費用×２と推定する）に年経費率 15%を乗じた。なお、年経費率の内訳は、設備償却費９%、補修費用３%、金利・税金等２%とした。人件費については、運転人員 13 人、労務費４百万円/人/y とした。本検討ケース（40GWh/y=144TJ/y）の場合 0.36 円/MJ に相当する。

精製バイオガスの製造コストは戻入のない場合は 3.3 円/MJ で、戻入のある場合は 2.3 円/MJ となる。食品残渣処理費の戻入などを考慮すると、天然ガス輸入価格 18.3$/MBTU(1.7 円/MJ に相当)に近くなる。

（3）今後に向けた研究開発課題

下水汚泥や食品残渣から生成されるバイオガスは大きなエネルギー源であるが、現状ではコストが高い。コストを引き下げ、市況のエネルギー単価に近づけ、有効に利活用するために、次の技術課題・社会システム課題に積極的に取り組む必要がある。

技術課題

メタン発酵素工程の解析と改良、高速メタン発酵菌の創製による発酵槽容量の低減（発酵時間の縮減）や発酵工程前後の汚泥濃縮プロセスの合理化が必要である。

社会システム課題

バイオマス廃棄物の効率的な収集と処理システムの構築と評価、排出物である消化液の肥料などへの有効利用など社会システムとしての改善検討が必要である。

２．２　中小水力発電（着手段階）

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-06】

中小水力発電は大きな再生可能エネルギー源であるが、高い建設費が普及の妨げになっている。個々の規模は小さいが全国に約２万地点分散し、その未開発賦存量は約 1000 万 kW とされる。100～300kW 程度の規模が見込める地点を対象とした試算では、発電コストは補助金等がない場合 35 円/kWh 以上となることから、市況のエネルギー単価に近づけるためには建設費を 1/3 程度低減する必要がある。

（1）中小水力発電に係るコスト

水力発電技術については、水車と発電機とも技術的にはほぼ完成されており大幅な効率向上等は期待できない。水力発電システムの建設費は電気関係工事費と土木工事費からなり、電気工事費はさらに水車、発電機、制御盤などに分類され、水車と発電機の費用が電気工事費の約

70%を占める。コスト低減には水車等の標準化と量産化が有効である。土木工事費は、取水口形状、水路形状、水圧管形状等多数に分類されるが、地形の影響を大きく受けるため、地点により大きく変わる。資源エネルギー庁・新エネルギー財団（平成 18 年）の「水力資源有効活用技術開発調査報告」や経済産業省調達価格等算定委員会第 4 回資料３（公営電気事業者経営会議の提出資料）等に基づいて試算すると、土木工事費は電気工事費の 0.5～５倍となっている。

水力発電規模は河川の流量と落差によって決まる。流量は流域降水量の影響を受けて変動する。一年を通しての河川流量の特徴である流況は、発電原価を決めるうえで大きな要因になる。河川の流況によって、同じ発電設備容量であっても年間の発電電力量や設備利用率が変わり、建設費は同じであっても発電原価が違ってくる。水車が使用できる最大の流量(m^3/s)が多いほど発電量は増加するが、機器の大型化を伴うことから水車等設備費も増加し発電コストに影響する。

（２）中小水力発電のコスト低減の可能性

水車と発電機のコスト低減の可能性を検討するため、発電規模と原材料費率の関係を調査した。最大出力に関わらず水車の原材料費率は 5～6%、発電機では 4～5%であった。原材料費率の逆数をシステム付加価値（コスト/材料原価）と定義すると水車は 17～20、発電機は 20～28 である（システム付加価値は、原材料にかけた付加価値の比率を表す指標である）。水力発電システムは自然の地形を利用するため、発電地点の流量と有効落差に応じて、そこに適した水車や発電機を使用することになる。

水車と発電機を個別に設計製造しているため、年間の新設数が 20 台程度と需要数が少ないこともあり、水車等のコストは原材料費率に比べて加工費率が高くなる。これらは量産化によってシステム付加価値が下がり、コスト低減となる可能性があることを示唆する。

量産化を図るため、水車・発電機とも標準化した 100kW と 200kW の２機種に絞り、各地点で複数台の組み合わせで構成すれば、未開発賦存量約 1000 万 kW 建設のために５万台以上の水車と発電機の需要が生じる。流量変化の大きい河川の場合は標準化した小規模の水車と発電機を複数台使うことで、全体の水車効率を高めることも可能である。それぞれ 1,000 台/年（合計 2,000 台/年）の建設を進めると約 25 年で普及を終え、その後 25 年周期でリプレースを繰り返すことで年間の需要は継続することになる。これは、現在約 20 台/年から約 2,000 台/年の 100 倍の生産量に相当し、量産効果によるコスト低減の可能性を示す。

表２－８に量産品の事例として一般用発電機のコスト、重量、原材料費率、システム付加価値を示す。一般用発電機のシステム付加価値は５～８であり、水車用発電機と比べ概ね１/３程度である。一般用も水車用も原材料費はほぼ同等と考えられるので、水車用発電機のコストも現在の１/３程度に減じる可能性がある。水車についても同様である。

未開発分 1000 万 kW が普及し、設備利用率を 60%とすると年間約 50TWh の電力量の増分となり、現在の国内年間全発電電力量（約 1,000TWh）の 5%相当分を未開発中小水力発電で賄えることになる。

表２－８　一般用および水車用発電機のシステム付加価値の比較

発電機出力（kW）		100	200	500	750	1000
一般用	コスト（百万円）	1.20	2.24	5.10	7.35	9.52
	重量（t）	0.77	1.22	2.24	2.92	3.53
	グラム単価（円/g）	1.55	1.83	2.28	2.52	2.69
	原材料費（百万円）	0.27	0.43	0.78	1.02	1.23
	原材料費率（%）	22.4	19.0	15.3	13.8	12.9
	システム付加価値（一般用発電機）	4.46	5.26	6.56	7.23	7.74
水車用	システム付加価値（水車用発電機）	26.9	28.0	24.1	21.4	19.6
システム付加価値比（一般用/水車用）		0.17	0.19	0.27	0.34	0.40

一般用発電機コスト/重量データ：MARATHON ELECTRIC 社(USA)カタログ（GPN 043 6533J-11/09-SK-PDF）より回帰式作成。為替レート 100 円/＄とした。
http://www.marathonelectric.com/generators/literature.jsp（2014 年１月８日時点閲覧可）

（３）今後に向けた研究開発課題

量産化によるコスト低減効果の把握、設置に係る土木工事費のコスト低減の検討、全国河川の流況と発電原価の関係、年間経費率の調査等を行い、各河川が持つ水力エネルギー賦存量や発電原価の算出方法を確立するとともに、中小水力の普及促進方法を検討することが課題である。なお、新技術の導入を含む詳細な要素技術の構造化については今後の課題とする。

３．低炭素技術設計・評価プラットフォームの構築

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-07】

現在、低炭素社会戦略センターでは、平成 23 年度までに開発した製造機器データベースを発展させた「低炭素技術設計・評価プラットフォーム（以下、プラットフォームと記す。）」の構築に取り組んでいる。プラットフォームの利用により、既存の低炭素技術のみならず新しい低炭素技術に対しても、その設計と評価を迅速に実施することが可能となる。なお、現在構築を進めているプラットフォームについては、今後、低炭素技術の設計・評価に関わる研究者や技術者に対して公開することを検討している。

３．１　プラットフォームの概要

定量的技術シナリオ研究では、低炭素技術のプロセス設計に基づく定量的評価を以下の手順で行う。

① その低炭素技術のプロセスで用いられる技術の検討と概念設計を行い、
② 採用する技術や生産量など様々な条件を変えながら、物質収支・熱収支の計算、機器の選定と仕様決定、機器コスト等の算出、製造コストと環境負荷の計算、からなるプロセス設計を繰り返し、
③ 得られた結果を基に量産効果や技術革新・改良の効果を検証し、性能・コスト・環境負荷等について「定量的技術シナリオ」を作成する。

プラットフォームは、低炭素技術の製品製造などのプロセスに関する種々の工学知を体系的に整理し、各プロセスに含まれる要素技術を階層的に構造化することで研究課題の位置づけを明確にする。各プロセスを要素技術毎に細分化し、製造機器や原材料の物性などの定量的データに基づいて各プロセスを評価して、そのコスト構造を明らかにすることにより、一層のコスト低減化のための課題を特定することが可能となる。

プラットフォームは、製品製造などのプロセスの柔軟な設計を可能にしており、新しい低炭素技術に対しても製造コストや環境負荷などを迅速に評価することができる。このような情報基盤の開発によって、低炭素技術の定量的技術シナリオの迅速な構築を可能とする。

３．２　プラットフォームの必要性

プロセス設計の手順は低炭素技術間で共通する部分が多い。また、定量的技術シナリオ研究では、プロセス設計は様々な条件を変えて繰り返し行われる。この計算部分の自動化によってプロセス設計を容易に実施できれば、低炭素技術の迅速な評価が可能となる。しかし、低炭素技術に関するプロセスには、一般的なプロセスシミュレータでは適用が難しい粉体や高機能材料製造のための特殊な機器類も多く使われる。そのため、評価にあたっては広範な装置・機器や操作に関する情報を必要に応じて取り込む必要があり、対象を限定した既存のプロセスシミュレータやデータベースシステムには限界がある。

また、プロセス設計手順のうち、物質収支・熱収支の計算には物性データ、コストの計算には機器のコスト・重量・動力や原材料コスト、CO_2 排出原単位のデータが必要である。しかし、このような多岐にわたる情報を網羅したデータベースは存在せず、既存のデータの収集と整理が必要となる。

以上のことから、低炭素技術の評価に特化したプロセス設計を支援するツールとデータベースが必要である。

３．３　プラットフォームの内部構成

プラットフォームの内部構成を図２－５に示す。プラットフォームは、個々の低炭素技術について構築された「低炭素技術設計・評価システム」と、その構築を支援するための「低炭素技術設計・評価システム作成支援ツール」及び「基盤データベース」から構成される。

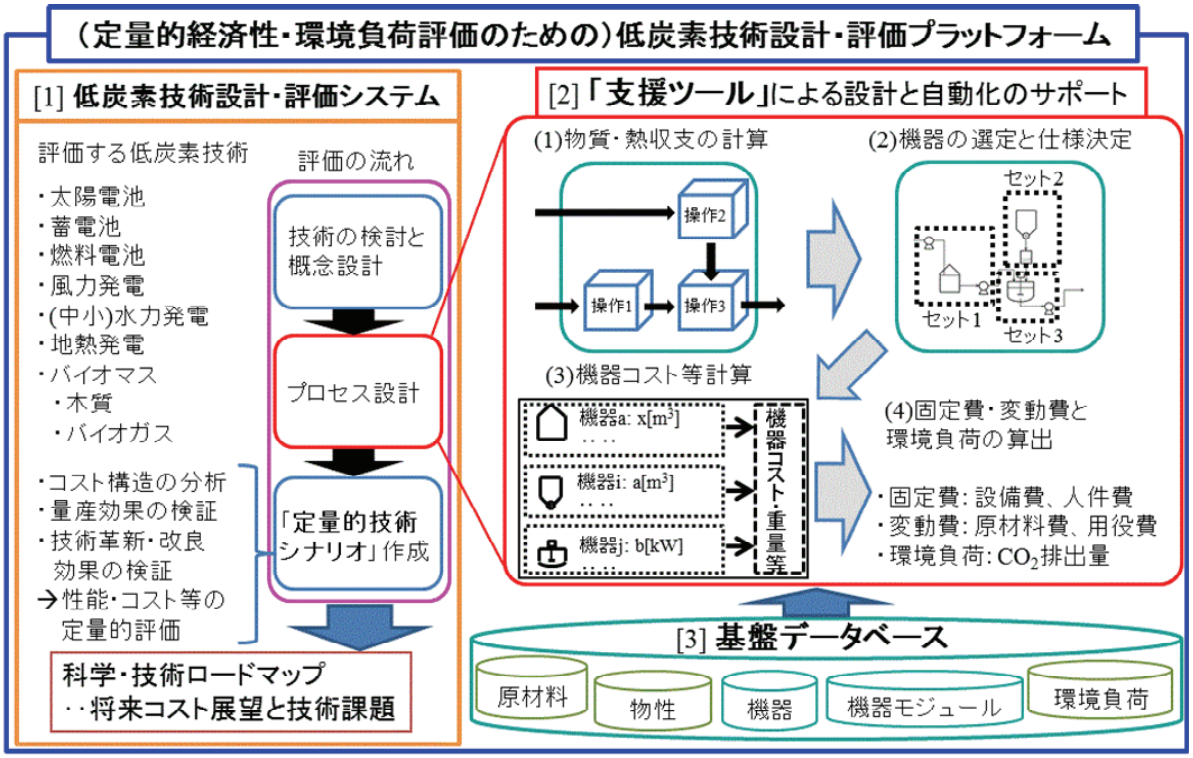


図２－５　低炭素技術設計・評価プラットフォームの内部構成

低炭素技術設計・評価システム

低炭素技術設計・評価システム（以下、評価システムと記す。）は、各低炭素技術の定量的評価を行うためのシステムである。各低炭素技術の設計・評価を行う研究者や技術者等は評価システムを用いて、技術の検討と概念設計、プロセス設計、定量的技術シナリオの作成を実行する。それらの結果を基に科学・技術ロードマップを作成し、各低炭素技術の将来予測や、目指す性能及びコスト等を達成するために解決の必要な技術的課題とその実現可能性の抽出を行い、低炭素技術の研究開発を促すための科学技術政策の立案に反映させる。

低炭素技術設計・評価システム作成支援ツール

低炭素技術・評価システム作成支援ツール（以下、支援ツールと記す。）は、繰り返し行うプロセス設計とその計算の大部分の自動化を支援するツールである。プロセス設計に当たっては、プロセス概念図や、物質収支・熱収支、操作条件などの概念設計を基に、物質収支・熱収支の精密な計算を経て、物質収支・熱収支表と原材料表を出力する。プロセスで扱う様々な操作について、機器の選定とその仕様を決定して機器リストを作成する。作成した機器リストに従って、コスト、重量、動力、設置面積等を求める。これらの出力を用いて、固定費や変動費、さらに環境負荷である CO_2 排出量を計算する。支援ツールはこの手順の自動化を支援する。支援ツールによって、生産量の変更や製造工程の置き換えが容易になり、量産効果や技術改良効果を迅速に評価することが可能となる。

支援ツールについては、現時点では物質収支・熱収支の計算のための自動化機能が完成しており、その他の手順部分については開発中である。支援ツールは様々な低炭素技術への適用が可能であり、かつ拡張性や使用可能性を保持した構造となっている。このことにより、現在の

技術への適用だけにとどまらず、将来実現が見込まれる装置や機器、原材料、新しいプロセス技術による影響・効果に対する定量的評価を容易にする。

基盤データベース

基盤データベースは、機器、機器モジュール、環境負荷、原材料、物性などの定量的なデータベースで構成される。

機器データベースは、化学操作、加工組立、物流、用役等の操作に用いる機器のコスト・重量・動力等に関する 1,000 以上のデータからなり、経済性や環境負荷の定量的な評価に不可欠なデータベースである。化学操作・用役に用いる機器については、収集したデータ収集を基にべき乗則などの近似式を作成して機器仕様に対するコスト・重量等の自動計算が可能な状態となっている。物流・加工組立に用いる機器についてはデータを収集中である。

プロセス設計の現場で培った豊富な知見に基づいた検討を行って作成した手順書をもとに、物質収支・熱収支の計算及び機器の選定と仕様決定の手順を使いやすい形にまとめた機器モジュールデータベースの構築を進めている。

環境負荷データベースについては、機器や原材料に関する既存の CO_2 排出原単位データの収集と比較検討を実施している。原材料や物性データベースについては、今後構築する計画である。

なお、新たに評価の必要な低炭素技術が発生した場合には、新たに扱う必要のある機器や操作に対応して、「機器データベース」や「機器モジュールデータベース」を拡張する。

３．４　プラットフォームの更新、拡張の必要性

「プラットフォーム」は低炭素技術の定量的評価の基盤である。低炭素技術の研究開発や製品製造の機器の開発、原材料の開発なども常に進展が続くことから、定量的技術シナリオ研究には最新の研究開発や製造技術等の知見を適切に取り入れ、2-3 年ごとにデータベースを更新して最新情報を評価結果に反映させることが必要となる。低炭素社会戦略センターでは、定量的技術シナリオ研究を着実に実施するためにも、各種データベースの更新や解析ツールの高度化を図る。また、新たに評価の必要な低炭素技術が発生した場合には、必要に応じて「プラットフォーム」の拡張に取り組む。

４．定量的技術シナリオ研究の今後の取組

低炭素技術を個別に対象とした定量的技術シナリオ研究により、その技術をさらに進展させる研究開発課題が明確になる。「明るく豊かな低炭素社会」の実現に向けて、多様な研究開発課題の中から、今後重点的に取り組むべき課題を選定することが重要である。低炭素技術の研究開発の今後の方向性を検討するためには、理想とする低炭素社会の姿から現在を振り返ることによって、取り組むべき課題を明らかにするバックキャスティングの手法が有効である。

低炭素社会戦略センターでは、先端的な研究開発として現在取り組まれている低炭素技術が 2020 年から 2030 年頃に実現し、その後一定の時間をかけて社会の中に広く普及している 2050 年の低炭素社会の検討に着手している。2050 年の「明るく豊かな低炭素社会」のシナリオの開発では、日本の人口の推移や超高齢社会の進展、省エネルギーの推進、電源構成の変化等、多様な因子を踏まえ定量的な検討を行う必要がある。このシナリオ開発に向けて技術面と経済・社会面について基礎的な検討を進めている。

定量的技術シナリオ研究で得た技術進展や経済性の見通しから、低炭素社会の姿を定量的に検討する。さらに、2050 年の低炭素社会の前提は、定量的技術シナリオ研究で示した、性能が高く経済性にも優れた技術が 2030 年までに実現することである。そのためにも、科学・技術ロードマップで示す研究開発課題を着実に取り組むことが重要となる。

また、バックキャスティング手法の検討では、電源地域の選定、地域に応じた再生可能エネルギーの発電量、電源構成の割合、電源地域から電力消費地までの距離と送電容量などの多様な要因なども含めて評価しなければならない。今後、出力変動の激しい太陽光発電や風力発電を大量導入する場合に必要となる系統安定化のための技術とその経済影響や、送電に係るコストなども含めて詳細な最適化の計算をする必要がある。

低炭素社会戦略センターでは、引き続き太陽電池やバイオマス、地熱、中小水力などの技術シナリオ研究を着実に進め、今後送電に係るコストを検討するため送電システムを対象とした調査・分析にも着手し、より詳細なシナリオ研究成果に基づいて「明るく豊かな低炭素社会」の姿を描き、バックキャスティング手法によって今後重点的に取り組んでいくべき低炭素技術の研究開発の方向性を示していく。

以下に、定量的技術シナリオ研究において今後取り組むべき研究・調査の主な課題を記す。

① 正確な再生可能エネルギー量の把握
② PV、風力、蓄電池等各エネルギー技術の進展を考慮したコスト・CO_2 排出量の時系列変化、生産規模影響、資源量制限
③ 再生可能エネルギー設置容量に関係する各地の日射量、風力などの出力変動
④ 出力変動と蓄電池寿命
⑤ 上記項目の検討結果を取り入れた電源構成、電力コストの計算
⑥ 電力コストを削減するための各エネルギー開発項目の定量的位置づけの明確化と技術シナリオ作成
⑦ CCS の位置づけの明確化
⑧ 技術シナリオを取り入れた経済・社会シナリオ作成
⑨ ⑧でのシナリオ結果からの電力消費量の推定

定量的技術シナリオ研究では、幅広い条件の下で①～⑨を繰り返すことにより「明るく豊かな低炭素社会」の実現に向けた低炭素技術の展望シナリオを示す。定量的技術シナリオ研究で得た成果を組み合わせて様々な低炭素社会の姿を検討し、「明るく豊かな低炭素社会」を実現するシナリオの選択肢を示していく。それによって将来に向かう道筋が明らかになってくる。

第３章　「明るく豊かな低炭素社会」実現のための技術普及

低炭素技術のイノベーションにより、社会の低炭素化をもたらす技術の性能の向上と経済性の改善が進展することが見込まれる。「明るく豊かな低炭素社会」の実現には、低炭素技術のイノベーションに続いて、性能と経済性に優れる低炭素技術の導入・普及の促進とそれを経済の拡大に繋げる社会システムのイノベーションを図らなければならない。

低炭素技術の導入・普及を促進し経済の拡大へと結びつけていく方策として、低炭素技術の市場を拡げ、低炭素社会構築に必要となる新しい産業の創出や低炭素技術の製造・流通・販売に関わる産業を拡大させていくことが挙げられる。低炭素技術の市場を拡大し、産業の創出・拡大に向けた社会システムのイノベーションが求められる。

１．低炭素技術の導入・普及促進に向けて

我が国の CO_2 排出の部門別推移を見ると、民生部門（家庭部門と業務部門）は増加傾向にある。優れた低炭素技術を私たちの暮らしの中に取り入れて利用することで、CO_2 排出量を削減し社会の低炭素化を図ることができる。社会の低炭素化に向けて、低炭素技術の導入・普及を積極的に取り組むことが重要である。

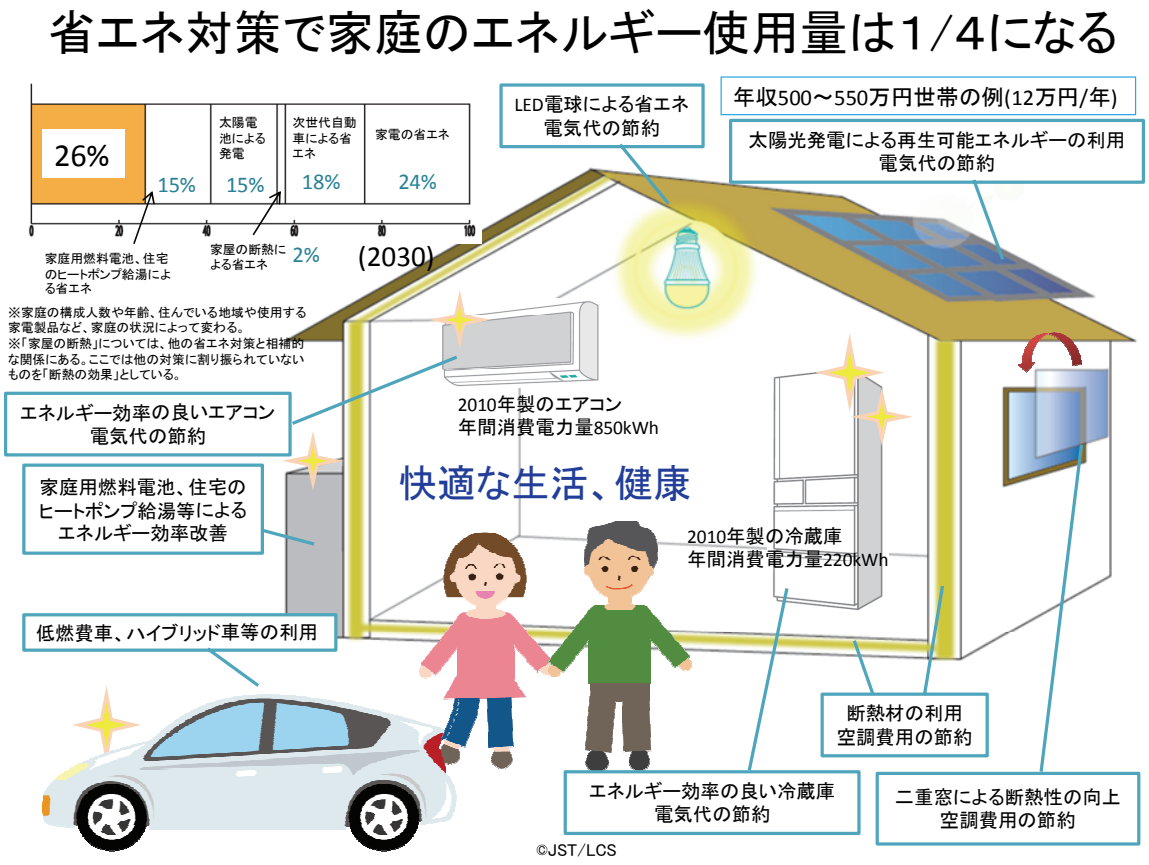


図３－１　家庭部門を対象とした省エネ対策効果の試算

民生部門においてエネルギー消費を抑制し CO_2 排出量を削減する方法として、省エネ性能に優れた家電製品や家庭用燃料電池コジェネレーションシステム、断熱性能に優れた住宅・建物の新築・改築などが挙げられる。これらは、家庭全体のエネルギーの利用効率を高めて消費量を抑制し、CO_2 排出量削減に効果があり、光熱費の節約といった経済的利益をもたらす。低炭素社会戦略センターでは、従来機器を使用する家庭に低炭素機器を導入することにより、最終エネルギー消費量を１/４程度に減少できる結果を得ている（図３－１[2]）。また、導入に係る経費は耐用年数以内に回収することが可能であり、回収後も引き続き経済的利益を得ることができる。

経済的利益が見込めるにも関わらず低炭素技術の導入・普及が進まない現状がある。低炭素社会戦略センターが実施した調査では、その主な理由として、「価格が高い・投資回収年数が長い」に加えて、「初期投資を払うお金はないがローンを組むことに抵抗がある」や「忙しいなど時間がない」が挙げられていた。これは、人々が経済的利益をもたらす低炭素機器の導入の場合であっても、初期投資やローンへの抵抗があることを示し、経済的に合理性のある行動とは異なる選好を持っていることを示唆しており、低炭素技術の導入・普及を図るためには、それらを考慮する必要がある。

２．家庭部門の低炭素化の促進：電力使用量の見える化

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-09】

生活の質を低下させずに家庭部門の低炭素化を無理なく進めるためには、低炭素技術やシステムの利用によってもたらされる家計への影響や CO_2 排出削減の効果を人々に判り易い情報で提示することが有効である。国が実施する取組において、省エネナビ等によってエネルギー消費量の実態を確認することで約５％の省エネ効果を見込んでいる（環境省中央審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会（第 14 回）参考資料４対策導入量等の根拠資料より）。エネルギー消費量の実態をきめ細かく計測し、データを社会心理学、人間行動学、環境経済学、マーケティング論などの観点も含めて解析を行うことによって、低炭素技術の導入・普及の促進に向けた効果的な方策が見えてくる。

２．１　家庭の電力使用量見える化実験

低炭素社会戦略センターでは、関東地方及び近畿地方の 23 地方自治体・229 世帯（平成 25 年度末現在）の参画を得たネットワークを構築して、家庭の電力使用量見える化実験（以下、本実験と記す。）を平成 25 年度から実施している。本実験では、電力消費量を 1 分間隔で計測する機器を各家庭の主幹電源、エアコン、冷蔵庫、テレビに設置している。各家庭には省エネ意識等を問うアンケートにも協力いただいている。この実験では家庭の低炭素化行動を促す要因分析を行う。

[2] 低炭素社会戦略センター、プレスリリース「エネルギー・環境に関する選択肢」の国民生活への経済影響と解析（平成 24 年 7 月 25 日）より。

（1）実験の例：冷蔵庫の電力消費量実態から見た節電効果

世帯属性が類似する場合であっても、ライフスタイルや所有するテレビ・エアコンの種類によって、それらの電力消費量は大きく異なる。冷蔵庫は 24 時間運転しており、その電力消費量はライフスタイル、扉の開閉回数や冷蔵庫容量との関係は小さく、製造年との関係が大きい。計測器を設置した 78 世帯を対象に平成 25 年 10 月期の冷蔵庫消費電力量から年間消費電力量を推定したところ、平均 607kWh であった（図３－２）。省エネ型冷蔵庫（2013 年製・容量 401～450ℓ）の消費電力カタログ値が平均 200kWh であることから、省エネ型冷蔵庫への買い替えによる節電効果が大きいと示唆される。

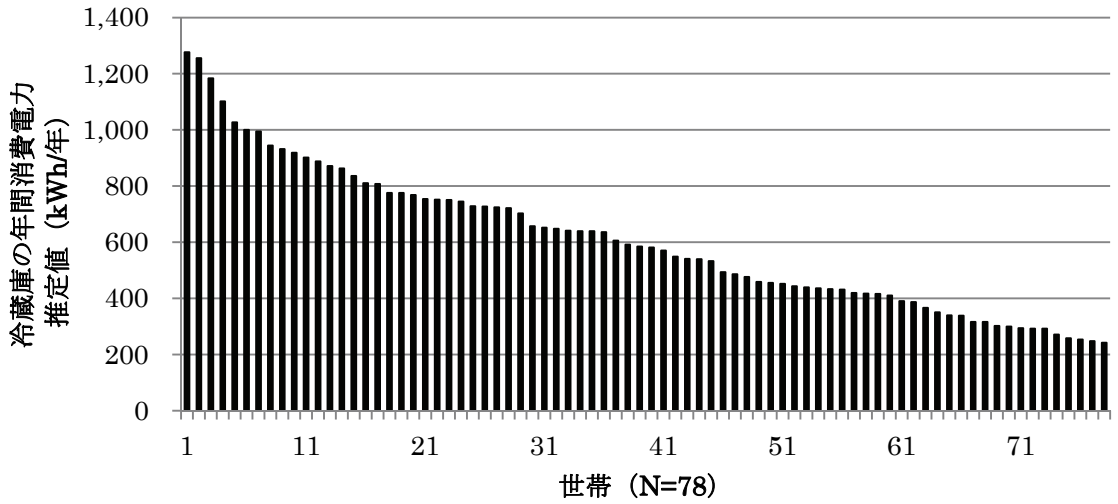


図３－２　各世帯の冷蔵庫年間電力消費量（10 月期計測値より推計）

（2）本実験の今後の計画

省エネ型冷蔵庫への買い替えによる節電ポテンシャルは大きいといえる。冷蔵庫の買い替えを促すための方策を明確にすることが、次の研究・調査の課題となる。引き続き電力消費の計測等を実施し、蓄積したデータを活用して、太陽光発電や家庭用蓄電池の設置、デマンドレスポンスなどの社会の低炭素化に貢献する施策の導入効果を検討する。

２．２　実証実験の連携の必要性

低炭素社会戦略センターでは、計測機を 300 世帯に設置する努力をしている。きめ細かい検討を行うためには統計上必要とするサンプル数にすることが望まれる。例えば 1 万世帯を母数とする家庭分類の特徴を統計上有意とするために必要となるサンプル数は、許容誤差 5%の場合 370 である。日本の総世帯数は約 5200 万世帯であることから、本実験に参画する現状の世帯数では検討できる内容が限定される。

国や自治体、大学・研究機関においても、家庭が社会の低炭素化に貢献できる仕組みの検討や実証実験を進めており、エネルギー消費量データも取得されている。低炭素化に向けた方策を効率的に検討するためにも、実証実験を実施する機関が連携して散在するデータを集約し、非営利目的で活用できる仕組みが必要である。

３　家庭部門の低炭素化を進める新しい枠組み

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-08】

家庭が太陽光発電システムやエコカーを購入する際、初期投資負担軽減を目的とした補助金が整備され、低炭素技術の導入・普及に一定の寄与を果たしてきている。補助金は、それらの導入促進に効果をもたらすものの、補助金に過度に依存することなく、低炭素技術の導入・普及が持続的に進むことが望ましい。そのための経済制度・社会制度を新たに構築していくことが必要である。以下に記す提案は、その議論のきっかけとするものである。

３．１「電気代そのまま払い」の実現

ここで提案する「電気代そのまま払い」の仕組みとは、家庭での低炭素技術やシステムの導入に必要とする初期投資も、月々の支払いもかからない枠組みである。金融機関が初期投資分の資金を融資し、低炭素技術の導入によって家庭が得られるメリットに相当する金額を月々返済していく。家庭の光熱費負担は、導入前後で全く変わらず、返済終了後には支出が減り、その効果を家庭が享受することとなる。

（１）国内の類似制度との違い及び英・米の事例

国内にも低炭素技術の導入・普及を目的とした制度があるが、太陽光発電や一定の基準を満たした機器を対象としており、家庭部門の低炭素化を包括的に導くものとはなっていない。

英国では、2013 年から断熱改修、高効率ボイラーへの入れ替え、太陽光エネルギーの利用等 45 種類の省エネルギー対策を行う場合、初期投資ゼロで節約された光熱費分を電気代に上乗せして返済するグリーンディールという仕組みを開始している。

米国には、州政府や地方政府が債権を発行し、それを不動産所有者が省エネ・再エネに投資する際に融資し、返済は 15～20 年間かけてその不動産の固定資産税から回収する仕組み(PACE: Property Assessed Clean Energy) がある。

（２）「電気代そのまま払い」の仕組み

第一段階として、負債は通常ローンと同様、借りた人に付帯する。特区等にて実証を経つつ適切な状況となれば、第二段階として、ローンが不動産（または電気メータ）に付帯する。以下に、第一段階として実現する仕組みについて記す。

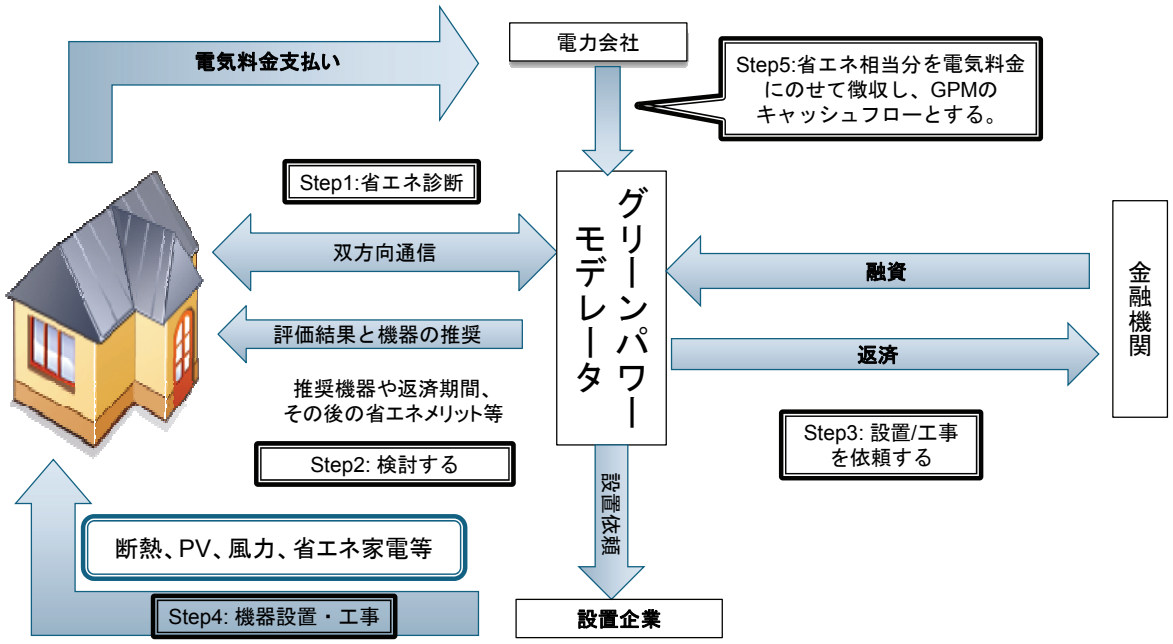


図３－３　グリーンパワーモデレータ（GPM）が介在する「電気代そのまま払い」の仕組み

①自動省エネ診断システム

HEMS と ICT を活用することで、家庭の主要な機器のエネルギー消費状況を把握する。家庭は WEB を通じて機種を入力することで、機械の性能によるエネルギー消費特性と、使い方による消費特性が明らかになり、省エネ対策（例：冷蔵庫やエアコンの買い替え等）による効果が自動的に計算される。省エネ診断のロジックには、環境省の「家庭エコ診断」の仕組みを活用する。

②グリーンパワーモデレータ（GPM）によるアレンジメント

「電気代そのまま払い」の仕組みを支える事業体をグリーンパワーモデレータ（以下、GPM と記す。）と呼ぶ（図３－３）。GPM は、HEMS と ICT を活用した省エネ診断を始めとした図３－３に示される各ステップの業務を行う。具体的には、省エネ診断結果の採用・部分採用・不採用の結果は GPM に連絡される。GPM は、「電気代そのまま払い」を選んだ人に融資のアレンジメントを行い、返済プランを作成する。資金調達の目途がついた案件については、家庭と設置企業とのアポイントメントをアレンジする。省エネ機器等の設置終了後 GPM は、作成した返済プランに基づく料金徴収の上乗せ分の回収を電気事業者に依頼する。

GPM がワンストップの事業者として家庭と電力会社・金融機関・設置企業との間に介在することで、家庭にとっては様々な手続きが簡略されて省エネ・再エネの対策を実行することができる。

GPM は、多くの家庭とインターネットを通じて HEMS と繋がる。将来、HEMS が外部から家電製品等の制御が可能となれば、再生可能エネルギー大量導入や自由化による負荷周波数制御（LFC）制約や停電リスクを緩和・回避することを、新たなビジネスとする可能性が出てくる。

③認証

詐欺等によって仕組み全体に対する信頼の失墜を避けるためにも、消費者が信頼できる GPM を確実に見分けることができる認証制度の整備が必要である。

認証機関の設置や認証プロセスの確立には手間と時間がかかることが想定される。一方で、日本には温室効果ガス排出クレジットやグリーン電力証書などの認証システムが存在する。省エネルギーや再生可能エネルギーの家庭における普及拡大という事業特性を鑑みて、国内クレジット制度（国内排出削減量認証制度）における１プロジェクトとして「電気代そのまま払い」の実証試験を行い、可能であればその枠組みの中で取り扱うことが望ましい。それによって、温室効果ガス削減価値も評価され、経済性が高まることも期待できる。

④実施にあたって

日本の住宅の耐用年数が短く、中古住宅市場が英・米ほど活発ではないことから、当面は従来のローンと同様に個人が負債を負う仕組みとする。英・米では不動産に付帯する設備を対象としているが、「電気代そのまま払い」では冷蔵庫、エアコン、照明も対象とする。また、全国統一の仕様とし、返済期間については暫定的に 10～20 年程度とする。

３．２　グリーンパワーモデレータの役割

（１）「電気代そのまま払い」のアレンジメント

GPM は、HEMS 設置世帯の自動省エネ診断から、推奨する省エネ対策の提案、対策決定後は金融機関・設置企業とのアレンジメント、電力会社に依頼する返済手続きなどを家庭にとってワンストップで行えるようにする。GPM に対する国の支援は、事業開始から３年程度とし、それ以降は収益事業として行うことが望ましい。

（２）再生可能エネルギー大量導入時の LFC 緩和

再生可能エネルギーの大量導入は、数分～20 分程度の短周期変動の幅を大きくする可能性があり、そのような周期の調整力が不足してしまう可能性が高い。

GPM は「電気代そのまま払い」の実施に際し、冷蔵庫・エアコンや蓄電池（電気自動車等）、ヒートポンプ給湯機や家庭用燃料電池等の貯湯を伴う給湯器、太陽光発電システム等について、再生可能エネルギーの出力を監視して、外部から各機器の運転を制御できる仕組みを導入する。この仕組みの実現には、実証実験等によって快適性や利便性を損なうことなく、短周期の変動を緩和できるようにする制御技術の開発が必要である。

また、このように短周期変動を緩和したことに対して、対価が支払われる仕組みを構築することが必要であり、現在検討が始まっている容量メカニズムの制度設計において、需要側のネガワットが評価されることが重要である。

（３）自由化時代の停電リスク低減

ネガワットアグリゲート事業のもう一つの価値として、電力需給がひっ迫した際の需要と供給の制御による停電リスク低減がある。熱系家電や貯湯機能を持つ給湯器、蓄電池等が制御の対象となる。多数の家庭に分散する発電能力（ワット）や省エネ能力（ネガワット）を組み合わせ、ピーク時の需要を抑え供給力を増加させる。ワットやネガワットに対する価値を与える仕組みが必要であり、容量メカニズムの制度設計に反映させる必要がある。

（4）GPM の収益安定方策

低炭素社会戦略センターの試算では、GPM はできるだけ多数の世帯を扱うことによって、省エネ量の予測誤差を小さくすることができ、それに従って収益リスクが減少する。多数の世帯を扱うことで GPM は省エネ・再エネの普及による社会の低炭素化に寄与しながらも、収益事業として新産業の創出にもつながる。また、GPM は、ネガワットアグリゲート事業も行うことで、薄く広く手数料収入を得る。ネガワットアグリゲート事業とは、再生可能エネルギー大量導入時の LFC 制約緩和や、電力小売り市場の自由化に予測される停電リスクの低減といった価値を創出する事業である。この事業が成立するには、省エネによるネガワットの価値が顕在化する枠組みを作る必要がある。

このような経営技術を進化させることで、このビジネスモデルを海外において展開することも可能である。

３．３　実現スケジュール

「電気代そのまま払い」については、３段階での実現を提案する。家庭用小売電力の完全自由化が 2016 年度までに予定されていることから、これに合わせて、ネガワット取引や「電気代そのまま払い」実現のための法改正も盛り込むことが望ましい。

第一段階

現在既に存在する認証制度等を活用し、国内クレジット制度の１プロジェクトとして、返済義務が人に付帯する従来のローンの仕組みで実証実験を行う。実証実験を経て、GPM 事業に関する新たな仕組みを構築する。それには、ネガワットアグリゲート事業が成立するのに必要な、LFC 容量制約緩和や停電リスク低減の価値を顕在化させる仕組みも含まれる。

第二段階

国内の中古住宅市場の動向を見据えながら、長寿命住宅の建設や既存建築物の断熱改修等の対策については、建築物へローンを付帯する制度を構築する。

最終段階

建築物に付帯すべきローンと人に付帯すべきローンについて、それぞれ適切な制度を整備する。GPM はその制度に従って、アレンジメントを行う。家庭にとっては、初期コストも月々の支払いも増えない状況で、より省エネルギーな生活を実現することができ、返済終了後は少ない光熱費を享受することができる。

第４章　低炭素社会システムの構築

「明るく豊かな低炭素社会」の実現に向けて、低炭素技術のイノベーションと低炭素技術の導入・普及を促すためのイノベーションを適切に組み合わせていくことが求められる。低炭素社会戦略センターでは、定量的技術シナリオ研究において技術革新のためのプロダクトイノベーションとプロセスイノベーションを、定量的経済・社会シナリオ研究では、マーケットイノベーションと制度・組織のイノベーションをもたらすための研究・調査を行っている。これらのイノベーションから社会全体のイノベーションに繋ぐための取組を対象とした研究・調査が「低炭素社会システムの構築」である。

具体的には、「低炭素社会実現のための統合モデルシミュレーション」によって定量的技術シナリオ研究と定量的経済・社会シナリオ研究の成果の統合化を図る。また、低炭素技術を海外に展開し地球規模で低炭素化を目指す国際取組の進め方の検討も実施している。

１．低炭素社会実現のための統合モデルシミュレーション

低炭素社会実現のための統合モデルシミュレーションは、性能や経済性に優れた低炭素技術やシステムが開発され、それらの導入を促進する制度によって普及した場合の「明るく豊かな低炭素社会」のシナリオを開発することを目的とする。

定量的技術シナリオ研究と定量的経済・社会シナリオ研究の統合化には、定量的技術シナリオ研究の基盤である低炭素技術設計・評価プラットフォームと経済モデルとを接続し、低炭素技術に関するデータ（技術開発の実現年度と当該技術の性能、コスト等）が経済モデル中で矛盾なく用いられることが重要である。

次に、一般消費者が革新的省エネ技術を導入する省エネ行動の普及の障壁を定量化する。この定量化には、行動経済学における限定合理性や社会心理学に基づく分析が必要である。具体的には、「家庭の電力使用量見える化実験」で得た個人別の時間選好曲線を経済モデルに取り入れるとともに、社会調査に基づく表明選好データを分析することにより社会心理学的要因や情報普及の効果も考慮して、最終需要評価モジュールの開発を行う。また、省エネ行動や省エネ技術の普及を妨げる障壁を克服する制度を設計し、その制度を施行した場合の効果を定量的に評価する。さらに、この評価結果が統合モデル内で矛盾なく用いられるようにする。

最終的には、これまでに開発を進めてきた最終需要評価、経済循環、電源構成評価の各モジュールを統合し、限定合理性を考慮できる整合性のとれた全体モデルとして組み上げる。

統合モデルシミュレーションにより、定量的技術シナリオ研究と定量的経済・社会シナリオ研究の成果を反映した低炭素社会システムが、日本の経済と国民生活に与える効果を定量的に表すことが可能となり、これが「明るく豊かな低炭素社会」のシナリオとなる。

２．気候変動緩和の世界的な取組への日本の貢献

【ＬＣＳ提案書番号：FY2013-PP-01】

「明るく豊かな低炭素社会」の実現に向けた低炭素技術や新しい経済・社会制度は、日本国内だけではなく地球全体の利益につながる取組へと発展させることが望ましい。

２．１　京都以降の気候変動次期枠組みの議論に向けて

京都議定書第一約束期間（2008－2012 年）が終わり、国連気候変動枠組条約の下のダーバンプラットフォーム（ADP）において気候変動次期枠組みに関する議論が始まった。ADP 第２回会合において、日本からは「各国が国内事情を踏まえて自ら決定した削減目標や政策措置を提示・登録し、共通の測定・報告・検証（MRV）制度によって事前・事後に相互にチェックし合うことで、各国の行動の透明性を高め、緩和野心の向上につなげることが重要」との考えを主張した（平成 25 年 5 月 7 日環境省報道発表資料）。

温暖化問題を巡る国際情勢は京都議定書締結時から大きく変化している。米国のシェールガス革命、中国のシェールガス開発・二酸化炭素貯留（CCS）開発、欧州の排出権取引運用による新たな金融市場の開発が進んでいる。

一方日本では、福島第一原発事故以降、省エネルギーの取組が進むものの、CO_2 の排出強度の高いエネルギーへの依存度が高くなっている。日本は優れた低炭素技術を有することから、それを国内外の様々な気候変動緩和に活用することが重要である。

次期枠組みに関する議論に対して日本が基本とすべき３つの視点を以下に示す。

① 実質的に温室効果ガス削減に繋がる、公平かつ実効性のある仕組みの必要性
② 民間の投資インセンティブを促進し、途上国の経済発展における様々なビジネスチャンスを活用する仕組みの必要性
③ オールジャパンとして力を結集し、我が国の持続的な発展と地球規模課題の改善に貢献する仕組みの必要性

２．２　提案の内容

日本のみならず他国、特に発展途上国において、日本の優れた低炭素技術やシステムが利用されることは、地球規模での CO_2 排出量削減を進めるためにも極めて重要である。低炭素技術の海外展開に効果的な方法として、日本が力を入れている二国間クレジット、国際協力機構の政府開発援助・円借款や民間向け海外投融資、国際協力銀行の地球環境保全業務などがある。しかしながら、日本の民間企業にとって、海外展開のために投資するインセンティブが低い。投資毎に MRV 制度があることにより、投資側と受け入れ側の双方に混乱を招いていることが理由として挙げられる。日本の企業が活躍しやすい、日本として力が分散されることのない仕組みが必要である。

（１）日本の先進的気候変動緩和及び省エネ技術の海外移転の促進

日本は、技術移転・投資によって他国での気候変動緩和及び省エネ技術利用を促進し、CO_2 排出量削減に寄与する。それが日本の削減努力として認められる仕組みが必要である。

（２）スクリーニングフロー活用による技術移転・投資案件の融資への効率的なアクセス

日本の企業・機関が他国での低炭素技術・システムの利用に投資する場合、企業等と日本にとって最良となる投資の流れを明確にすることが望ましい。例えば、協議会のような一つの組織が事務局となれば、投資する企業等が統一された融資判断スキームにアクセスすることが可能となり、日本の力を集結させることができる。そのためには、技術移転・投資案件の各種融資制度を利用する際のスクリーニングフローを構築し活用することが有効である。そのスクリーニングフローは、プロジェクト実施を計画する企業等のためのものであり、投資前の収益率

の判断などにより、どの融資を利用することが最良かを簡易的に振り分ける。スクリーニングフローを利用することで、投資を行う企業体が無駄な労をかけることなく、また受け入れ側にもアプローチがシンプルになる。

収益率が低い案件も可能な限り実現するためのスキームが必要である。現状では、採算性の低い案件には円借款や無償資金協力があるが、技術移転の促進という観点では、資金協力の枠を広げることが重要である。例えば、経済的内部収益率を用いて既定の値を上回ったときに利率の低い投資を利用できるようにするといった工夫が必要である。

同時に、実際に削減した CO_2 排出量を数値で残し、日本の貢献度を明らかにすることが重要である。

（3）二国間クレジットとクレジット取得に拘らないスキームの両立

二国間クレジットは国際的枠組みに沿ったスキームであるが、現時点では覚書（MOU）締結国は限られており、二国間クレジットによる温室効果ガス削減量は日本が貢献しうる緩和ポテンシャル全体の一部でしかない。一方で、民間の投資インセンティブを促進し、途上国の経済発展における様々なビジネスチャンスを活用する仕組みも有効な手段となる。その仕組みのなかでも、真の削減を行うことと、それに寄与した日本の貢献度を明らかにしていくことが重要である。政府、プロジェクト実施を計画する企業体、受け入れ側、各種金融機関がシームレスにつながり、全体で日本の力を発揮できるようにすることが肝要である。

今後の気候変動枠組みに関する国際交渉において、各国が野心的な数値目標を掲げる可能性は十分にある。「攻めの地球温暖化外交戦略」を実施していくために、日本国内のみならず海外の温室効果ガス削減を積極的に進め、それに費やす努力が世界に認知されていくことも重要である。

資料．低炭素技術の構造化に基づく製造コストと環境性の分析

低炭素社会戦略センターでは、低炭素技術の構造化に基づいて製造プロセスを設計し、性能指標、構成部材とデザイン、原材料等の検討から、製造コストと製品製造に関わる CO_2 排出負荷の分析を行っている。

（1）製造コスト分析の方法

製造コストは、製造変動費と製造固定費から構成される。製造変動費は、製造量に応じて変動する原材料や用役（電力、燃料、工業用水等）に係る費用である。製造固定費は、製造量の増減に関係なく一定に発生する費用であり、設備費と人件費に分かれる。

原材料費については、現在の市場価格を採用しており、製品の普及に伴う生産量の拡大による市場価格の低減可能性についても検討に加えている。

設備費については、工場建設費の減価償却、金利負担費、固定資産税、補修費等を含む。工場建設費については、プロセス設計により求めた製造機器の仕様を基に、機器費用及び建屋費を積み上げて算出した。なお、工場の建設立地は原則として国内とし、工場建設費には土地代を含んでいない。

人件費については、工程毎の機器数と実績値から推定する運転人員数に基づいている。工場は連続稼働として運転体制を４直３交代制として運転人員数を算出している。

別表１－１　製造コストの構成

項目	コスト算出式	備考
製造変動費		
原材料	原単位×単価	現在の市場価格。生産量拡大による市場価格の低減可能性を考慮
用役　電力	原単位×単価	単価：12 円/kWh
燃料	原単位×単価	単価：1.3 円/MJ
工業用水	原単位×単価	単価：30 円/m^3
製造固定費		
設備費	工場建設費×年経費率/生産量	年経費率：20%
人件費	運転人員数×単価/生産量	単価：年間 400 万円/人

（2）環境性（CO_2 排出負荷）の評価の方法

製品の製造に伴う CO_2 排出負荷の算出法を別表１－２に示す。適用した CO_2 排出原単位はカーボンフットプリント Ver.3 などで公開されているライフサイクルアセスメント・データベースを用いた。各製造プロセスで適用した CO_2 排出原単位の共通データを別表１－３に示す。

別表１－２　製品製造時における CO_2 排出負荷の算出法

	算出式	備考
原材料起源	原材料原単位×CO_2 排出原単位	
用役起源	用役原単位×CO_2 排出原単位	
設備起源	設備重量×CO_2 排出原単位/製造設備規模	設備重量：SUS 材とし、機器重量の２倍として算出

別表１－３　CO_2 排出原単位の共通データ

	CO_2 排出原単位
公共電力	0.479 kg-CO_2/kWh
ステンレス鋼冷延鋼板２B	3.45 kg-CO_2/kg
生コンクリート	346 kg-CO_2/m^3

（３）製品寿命

電池では、電池寿命がコスト評価に大きく影響する。低炭素社会戦略センターでは、太陽電池では寿命 20 年、燃料電池（固体酸化物形燃料電池）では寿命 10 年、蓄電池（リチウムイオン電池）では寿命 10 年（充放電サイクル数 3,500 回）として計算する。

低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書

平成 25 年度公表分のＬＣＳ提案書番号と表題

技術開発編

FY2013-PP-02
太陽光発電システム
―要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ―

FY2013-PP-03
蓄電池システム
―要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ―

FY2013-PP-04
固体酸化物形燃料電池システム
―要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ―

FY2013-PP-05
バイオマス廃棄物のメタン発酵（着手段階）

FY2013-PP-06
中小水力発電
―要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ（着手段階）―

FY2013-PP-07
「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」の構築

技術普及編

FY2013-PP-08
家庭の省エネ促進と省エネ価値市場の創成のための政策パッケージデザイン「電気代そのまま払い」の実現とグリーンパワーモデレータ(GPM)の創出

国際戦略編

FY2013-PP-01
気候変動緩和技術の海外移転の促進

社会システム編

FY2013-PP-09
民生家庭部門の省エネルギー促進からの低炭素社会実現

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく

イノベーション政策立案のための提案書

平成 25 年度 総合編

「明るく豊かな低炭素社会」の実現を目指して

"Towards the Realization of Dynamic and Affluent Low Carbon Society",
Summary Report 2014,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2014.6

独立行政法人科学技術振興機構　低炭素社会戦略センター

平成 26 年 6 月

本提案書に関するお問い合わせ先

独立行政法人科学技術振興機構　低炭素社会戦略センター　企画運営室
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ 4 階
TEL：03-6272-9270　FAX：03-6272-9273　E-mail：lcs@jst.go.jp
http://www.jst.go.jp/lcs/

© 2014　JST/LCS
許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。