



平成29年度 イノベーション政策立案のための提案書 概要集

国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)
低炭素社会戦略センター (LCS)

目次

技術開発編

3. 風力発電システム (Vol.1) —陸上風力発電システムの経済性評価—
4. 蓄電池システム (Vol.5) —Li-S電池のコスト試算と研究開発課題—
リチウム/硫黄二次電池を実現させるための硫黄/炭素複合材料の設計
5. 水素製造技術における燃料電池 (SOFC・PEFC) の役割 —固体酸化物形燃料電池システム (Vol.5) —
6. 地熱発電 (Vol.4) —高温岩体発電の水圧破碎による誘発地震に与える地下構造の影響—
7. 主要再生可能エネルギーの都道府県別ポテンシャル分布と発電所建設コスト低減
8. 木質バイオマスエネルギーのポテンシャルの分布と考察
9. 持続的な林業生産を得るための提案
10. バイオマスのガス化ガスおよび捕集CO₂を利用したメタノール、液体燃料の生産
11. カーボンフリー水素の経済性とCO₂排出量 (Vol.2)
12. GaN系半導体デバイスの技術開発課題とその新しい応用の展望 (Vol.2) —GaN結晶と基板製造コスト—
13. 「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」の構築 (Vol.4)
14. シンセティック材料設計 —1D CAEとデータ活用型材料研究の融合—
15. 低炭素電源システムの安定化と技術・経済性評価 (Vol.2) —ゼロエミッション電源システム構築に向けた技術開発課題—

技術普及編

16. グローバル企業による信頼性の高い再エネ調達のために —GHGプロトコルへの準拠とトラッキングシステムの必要性—
17. エネルギー・環境分析に資する産業部門別エネルギー消費・CO₂排出量データの作成
18. 地域電力事業者の運用改善のための蓄電資源導入に関する研究

社会システム編

19. 新しいエネルギー変換・貯蔵機器技術、未利用熱源およびビル省エネルギー技術の導入と技術特性を明示した都市分散エネルギーシステムの在り方に関する研究
20. 民生家庭部門におけるCO₂排出量の中長期予測モデル構築に向けた検討
21. 鉄リサイクルを利用した将来低炭素社会のための課題検討にむけて
22. 生活シフトによる健康と省エネルギーの両立の可能性 (Vol.2)

国際戦略編

23. 地球温暖化緩和技術のバリューチェーン評価と統合的貢献アプローチ (Integrated Contribution Approach) (Vol.2) —ケーススタディ：太陽光発電システム, CO₂排出量およびエネルギー消費量の評価—

風力発電システム（Vol.1）－陸上風力発電システムの経済性評価－

世界の風力発電が拡大する一方、日本は停滞傾向でありコストも高い（世界平均より1.5～2倍程度）。本研究では、現状の風力発電システムのコスト構造を算出する手法を開発し、コスト低減技術を技術開発の観点から整理し、技術毎の経済性を評価した。

■ 風力発電システムの経済性評価

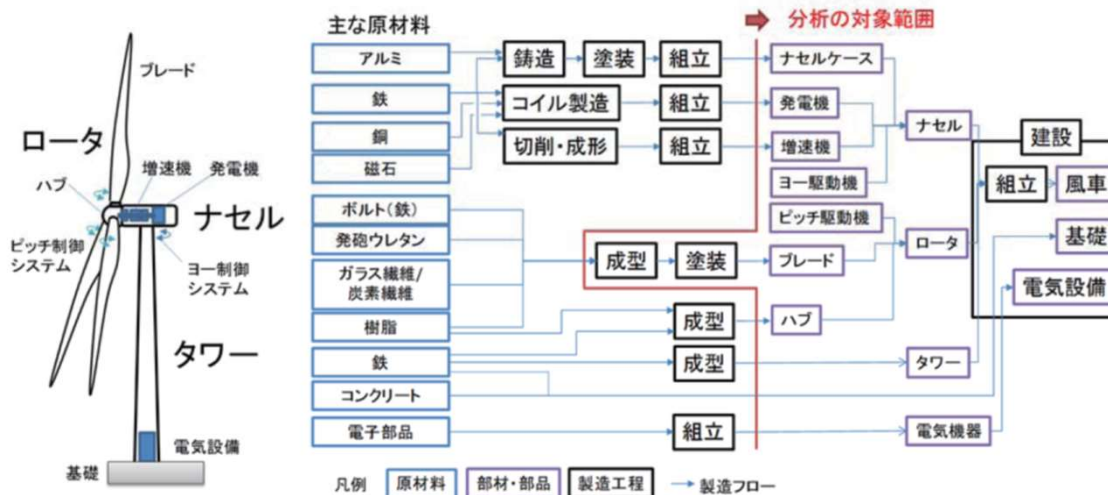


図 風力発電システムの名称と製造工程および分析対象の範囲

陸上大型風車の主流である3枚翼水平軸風車を対象に、風力発電システムのコスト構造およびCO₂排出量を明らかにした。

- ①システム導入原価は140 円/W であり、風車の製造コストは約60%であった。部品区分では、タワー、ロータ、ナセルのコスト比率がそれぞれ30%,30%,40%であった。CO₂排出量は690g-CO₂/W であり、80%以上が原材料・部材起源であった。
- ②ハブ高さの増加により、風車コストは増加するが設備利用率が向上するため、発電コストは1～5%低下する結果となった。発電機種類によって、増速機を必要としないダイレクトドライブを用いた風車では、風車コストは増加するが発電コストは約2%低下する。

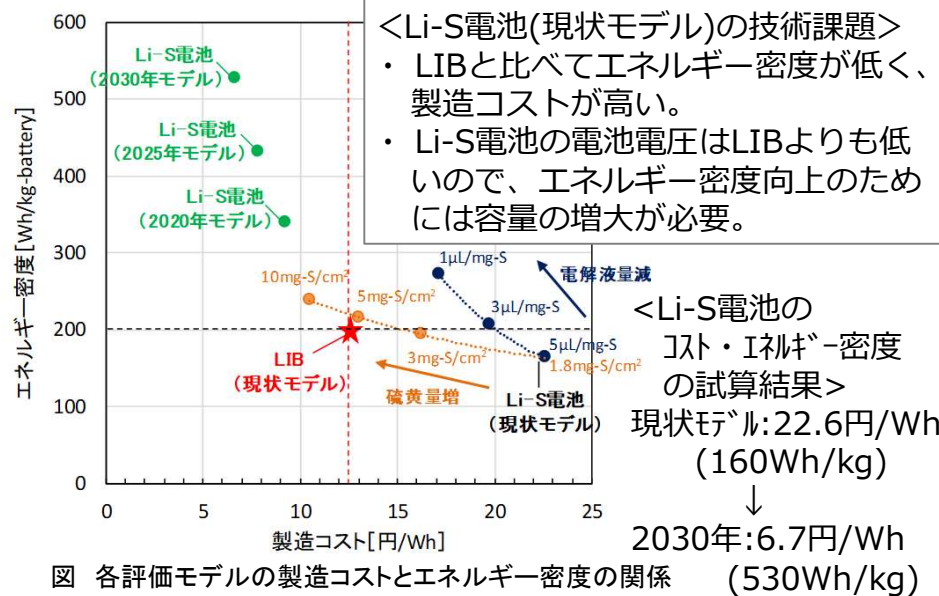
政策立案のための提案

現状の日本の風力発電システム導入の課題から、風車のコスト低減技術のための技術開発要素を整理した。

- ①設備利用率の向上のためにはより安定した強い風をつかむことが求められる。このため風車の大型化やハブ高さの増加が課題となる。さらに、風車強度を上げるため重量が増えるため軽量化のための材料開発が必要。
- ②エネルギーロスを軽減するための発電機・ギアボックスの改善が必要。
- ③日本には台風や複雑地形による乱流、冬期雷などの特有気象条件がある。日本に風車を普及させるためには、日本の立地や気象条件に適した風車技術・運用技術の開発が必要。
- ④個々の技術と将来必要な技術とを総合的に評価する発電コスト低減のための総合的評価手法の構築が必要。

蓄電池システム⑤ – Li-S電池の コスト試算と研究開発課題 –

EV用蓄電池は2030年にエネルギー密度500Wh/kg以上が目標、既存型LIBは限界に。理論エネルギー密度が高く、次世代蓄電池として期待されるLi-S電池の製造コストを試算。

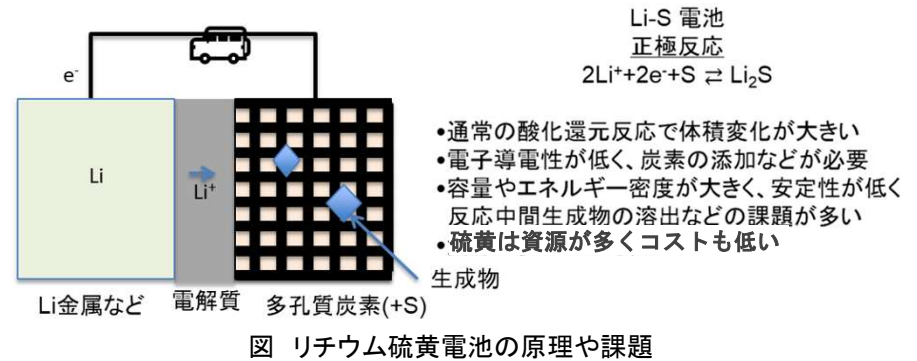


政策立案のための提案

- ①製造コスト低減には電池容量の増大と電解液の使用量の低減が有効であり、正極活物質の使用量の増大、各電極活物質の利用率の向上、および、正極活物質層の空隙量の低減に関する研究開発が重要。
- ②Li-S電池普及には、電池性能(I初値密度、レート特性、サイクル特性)・安全性のさらなる研究開発が必要。

リチウム/硫黄二次電池を実現させるための硫黄/炭素複合材料の設計

硫黄正極の理論蓄電容量は1,672mAh/g(従来の正極理論容量の6倍以上)だが、実用化に向けて低電導性、反応中間生成物溶出等多くの課題がある。ここでは課題解決が期待される硫黄/炭素複合正極の研究開発について調査し、材料開発の指針を示した。



政策立案のための提案

(Li-S電池普及に必要な研究開発課題)

- ①硫黄と炭素の相互作用強化：硫黄含有率が高くかつ分散性のよい電極が必要。例:炭素に酸素官能基や欠陥を導入、硫黄担持率、分散性、等。
- ②複合電極の構造の最適化：放電時の硫黄とリチウムの反応中間生成物の溶出・流出を抑制、等。
- ③長期安定性：体積変化を考慮した最適な空隙の確保、電子伝導パスの確保や反応中間生成物の流出の制御に向けた総合的な構造最適化

水素製造技術における燃料電池（SOFC・PEFC）の役割

固体酸化物形燃料電池システム（Vol.5）

燃料電池システムの新たな役割：再生可能エネルギー電力を用いた水電解への適用を検討。
固体酸化物形燃料電池(SOFC)・固体高分子形燃料電池(PEFC)システムのスタック製造コストの評価に基づき水素製造コストについて検討。

■ 水素製造コストの必要条件

- ・ガソリン販売価格（4.2 JPY/MJ）と同水準を基準とし、将来的に40～50円/Nm³-H₂程度の水素製造コストを達成する条件を検討。
- ・システム稼働率を国内風力発電と同等（20%）と仮定すると、水素製造コスト50円/Nm³-H₂以下の必要条件是、電力料金5円/kWhかつシステムコスト120円/W。

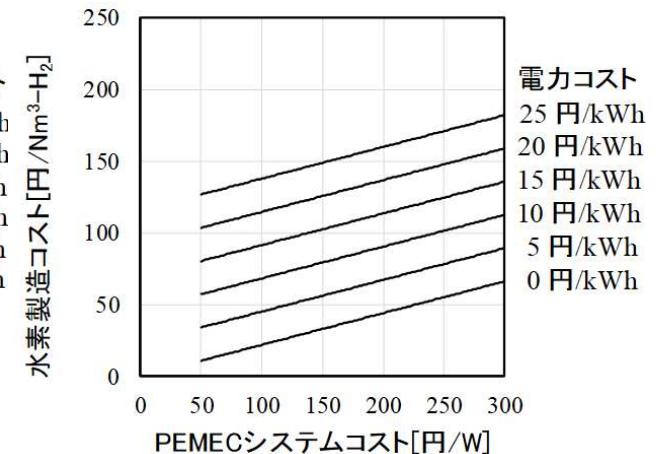
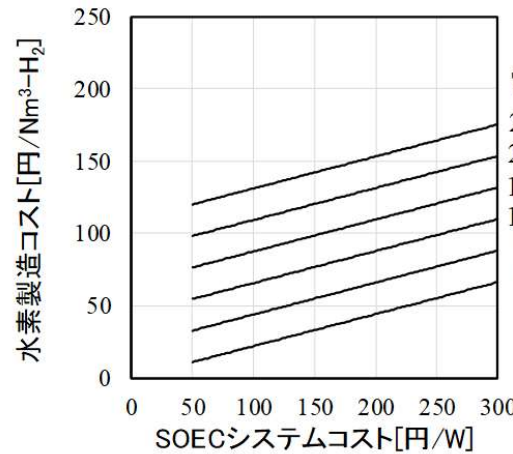


図1 SOECによる水素製造コストのシステムコスト依存性 (AC入力電力:1.5 MW, 稼働率:20%) 図2 PEMECによる水素製造コストのシステムコスト依存性 (AC入力電力:1.9 MW, 稼働率:20%)

政策立案のための提案

再生可能エネルギー（風力）の稼働率でも燃料電池を用いた水素製造は可能。将来的に余剰電力利用も考えられる。将来の国内の水素由来年間発電量を100TWh仮定とすると、1.5 MW SOEC・1.9 MW PEMECシステム台数は共に約2万台と試算された。年産台数を増加することで将来の水素利用技術に十分寄与できる。

(SOECおよびPEMECシステムの技術課題)

①高耐久性と高性能を兼ね備えた電極の開発

- ・SOECシステム…電極の長寿命化(高い水蒸気分圧雰囲気化での安定性に関する材料開発と劣化機構解明)、熱自立運転条件（セル電圧～1.3V）を前提とした将来的な高電流密度化（高性能化）の検討、等。
- ・PEMECシステム…電極の長寿命化(カソード分極での電極触媒の劣化機構の解明と防止策の提案、貴金属触媒の高分散化などの触媒使用量低減に向けた研究開発、新材料開発、等。

②システムコストの非常に大きな割合を占める圧縮機・高圧タンク等の周辺システムの低コスト化

地熱発電 (Vol.4)

高温岩体発電の水圧破碎による誘発地震に与える地下構造の影響

- ・高温岩体発電の賦存量は大きく、実証実験が行われたにも関わらず実用化されていない。
- ・高温岩体発電では人工貯留層を造成するために水圧破碎が行われ、造成される人工貯留層の大きさと透水性が重要だが、一方で近隣地域に与える影響が大きい誘発地震の抑制も重要。
- ・地下構造として天然亀裂密度に着目し、既報6サイトの天然亀裂密度の文献調査を通じて、エネルギー収支の観点から水圧破碎と地下構造を解析する新たな方法論の有用性を示す。

■ 天然亀裂密度と誘発地震エネルギー

- ・天然亀裂密度に対して誘発地震の最大マグニチュードを片対数グラフにプロットすると(図1)、誘発地震マグニチュードは天然亀裂密度の対数にほぼ比例することが分かった。
- ・最大誘発地震エネルギーは、天然亀裂密度の影響を大きく受け、天然亀裂密度ごとに注水エネルギーと比例関係にあるので、天然亀裂密度をパラメータとした最大誘発地震エネルギーチャート(図2)を作成することが有用である。

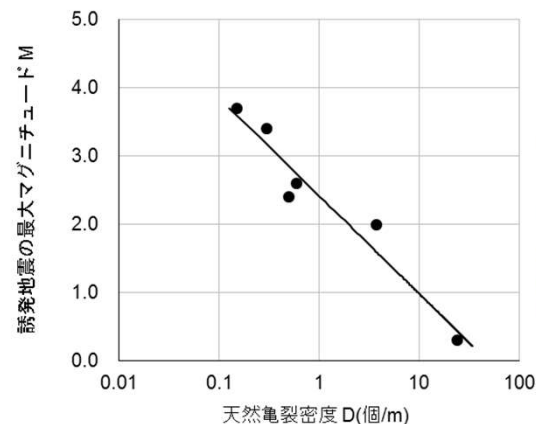


図1 天然亀裂密度と最大マグニチュード

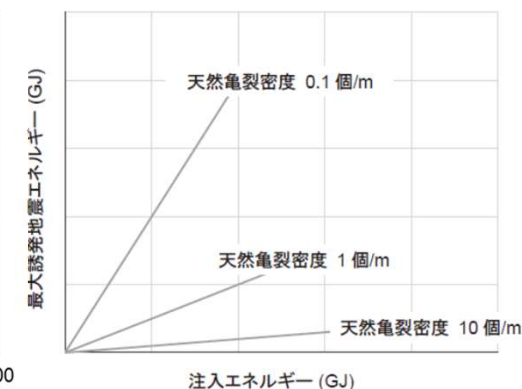


図2 最大誘発地震エネルギーチャート

政策立案のための提案

高温岩体発電のための水圧破碎をエネルギー収支の観点から解析する際に、天然亀裂密度のデータを加えることにより、誘発地震の最大マグニチュードを推定でき、注水エネルギーと誘発地震エネルギーに関する有用な情報が得られることが分かった。

(高温岩体発電の開発を推進するための課題)

- (1) 効率よく水圧破碎を実施し、高温岩体発電の低コスト化を実現するために、地質コア試料を採取し、既存の天然亀裂の密度および亀裂幅などを調査すること。
- (2) 天然亀裂、岩石の種類、空隙率などの地下構造と、水圧破碎による誘発地震や造成される貯留層の特性との関係を、エネルギー収支の観点から明らかにすること。

主要再生可能エネルギーの都道府県別ポテンシャル分布と 発電所建設コスト低減

我が国には多様で豊富な再生可能エネルギーが全国に賦存するが、その導入量は海外に比べても十分ではない。その理由のひとつは建設費としての初期コストが高額であり、特に土木関係工事費の影響が大きい。

■ 検討の視点

- ・ 発電所建設コスト構造は、主に電気関係設備費(発電機・タービン等)と土木工事費(現場までの道路工事・掘削等)に大別される。前者は普及に伴う量産効果・生産技術開発等でコスト低減が期待できるが、後者は日本の地形や道路状況により大きく異なる。地形の影響を受けやすい中小水力発電設備では電気関係設備費1に対して土木工事費は0.5~5倍程度。
- ・ 再生可能エネルギーの多くは小規模のポテンシャル地点が多数分散しており、1地点の高額な土木工事費は発電単価に大きく影響する。
- ・ FITの認定設備容量とその地点の道路網密度との相関関係に注目し、建設コストとの関連を調査。

■ FIT (固定価格買取制度) 認定設備容量と道路網密度

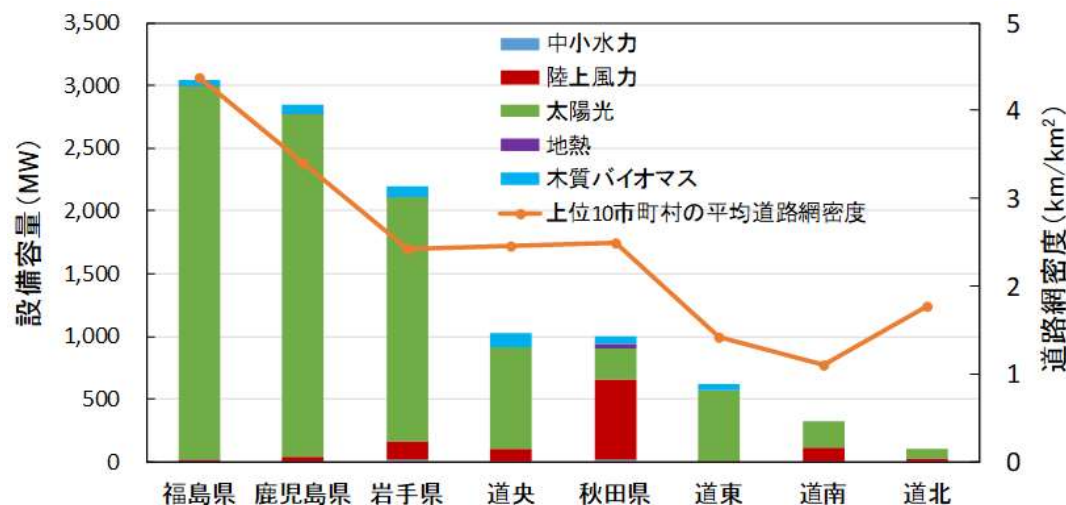


図 都道府県・地域別FIT認定設備容量(上位10市町村合計)と道路網密度(平均)の関係

政策立案のための提案

事例調査の結果、道路網密度が土木工事費低減のひとつの指標になることが分かった。電源の種類は異なっても複数の地点を同時期に開発し、共通する道路工事費等を分担する工夫も必要。事例検討では岩手県(盛岡市、一関市、奥州市)、秋田県(秋田市、由利本庄市)、福島県(いわき市、福島市、郡山市)等が、中小水力・太陽光・木質バイオマスのポテンシャルが分布し、道路網密度も高いため工事費低減可能性のある地点として上げられた。

(今後の課題) 主要再生可能エネルギーの発電所建設コスト(特に土木工事費)低減の詳細検討のため、

- ①道路網密度のコストへの影響を資材・建材の重量等も勘案して定量的に評価、具体的な建設費低減効果を試算。
- ②大きなポテンシャルを有するが地点が偏在している地熱発電、陸上風力発電の建設コスト低減方法を検討。
- ③道路網密度に加え送電線網密度と工事費用などとの相関関係も調査し、工事費低減の指標を増やす。

木質バイオマスエネルギーのポテンシャルの分布と考察

人工林の資源を得るコストが非常に高く、我が国の木質バイオマスエネルギーの利用割合はエネルギー全体の1%に満たない。木質資源を持続可能に生産するためには集約化と事業面積の拡大が必要であり(運営事業面積単位：100km²以上)、人工林の空間的な分布を把握することが不可欠。

■人工林分布図の作成

- ・全国の人工林については、都道府県ごとの面積に関する情報はあがるが、詳細な分布状況についての情報は乏しい。ここでは人工林面積が大きな5つの道県(北海道、岩手県、秋田県、福島県、鹿児島県)*をモデル地域として人工林の分布パターンの把握を行った。

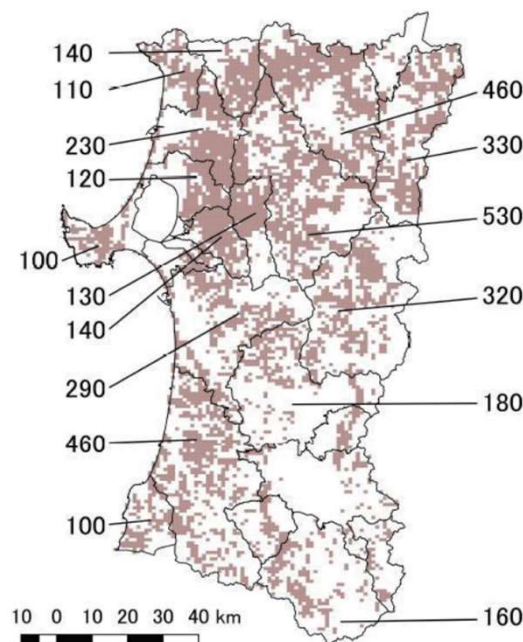
■人工林分布の把握

- ・GIS(地理情報システム)と日本全国標準土地利用メッシュデータや国土数値情報等の公開データを利用して人工林地図を作成した。その結果、人工林の分布パターンや人工林と地形の関係が視覚的に捕捉できた。
- ・地理空間情報の導入は林業経営上の様々な判断を支援する。将来的には木質バイオマスエネルギーとそのほかの再生可能エネルギーとの相互補完的な利用にも役立つことが期待される。

政策立案のための提案

- ①地理情報システム(GIS)の利用により、公開データから人工林の地理的分布の把握ができた。100km²以上の人工林が持続的な林業運営単位である。森林の豊富な5道県*の全339市町村のうち121(36%)に100km²以上の人工林が存在し、持続的な林業経営が各地で可能であることが示唆された。また、人工林分布の視覚的な把握は林業経営において施業計画の立案、集約化の推進、コストの推定など重要な判断を行う場面において有益である。
- ②解析する地域を拡大、人工林の属性などの情報を追加することで、日本の林業経営の改善を図りうる情報を提供する。
- ③持続的な林業経営を行うことが木質バイオマスエネルギーの利用促進につながる。木質バイオマスエネルギーとその他の再生可能エネルギーを相互補完的に利用することで再生可能エネルギーの普及を促すことが必要。

■例：秋田県の人工林の分布パターン



100km²以上の人工林を有するのは16市町村であり、持続的な林業経営の可能性はある。八郎潟周辺や県南東部に人工林が少ないが、それ以外の県域全体には人工林が比較的密に広く存在するため、市町村を超えた林業経営が考えられる。

茶色のメッシュ1つがおよそ1km四方の人工林を示す。数値は市町村ごとの人工林面積を示す(100km²以上の人工林を有する市町村のみ、人工林面積10km²で括約)

持続的な林業生産を得るための提案

持続的な林業生産を得るため、単位面積当たりの蓄積の増加、効率的な伐採後の確実な再造林が重要。そのためには、一貫作業システム、地拵の機械化、下刈りの省略技術の高度化が必要。

■背景

- ①森林の蓄積の問題：日本全国の森林賦存量は50億立方メートル。莫大な森林資源を適切に利用する必要があり、林業の効率化と造林作業を同時に進める事ができなければ、持続的な林業活動は成り立たない。
- ②森林機能の問題：現在の齡級構成のピークである50年生は、森林の成熟段階への入口と考えられ、木材生産機能を含め、環境保全機能、生物多様性機能等様々な生態系サービスを高度に発揮できる。

政策立案のための提案

持続的な林業生産を得るためには、単位面積当たりの蓄積を増やし、効率的に伐採した後に、確実に再造林を行うことが重要である。

- ①1ha 当たりの材の蓄積を大幅に高める必要がある。単位面積当たりの材積を高めることにより、主伐経費の低コスト化と造林－保育工程の効率化が図られる。
- ②単位面積当たりの材積を高めるために、個々の森林の生産性に基いた適切な伐期齢の設定、また優良な材が生産可能な場所の選択技術が重要である。
- ③主伐で用いられた機械を地拵から植栽の工程に用い（一貫作業システム）、下刈りまでの造林－保育工程をシステムとして効率化することが必要である。
- ④コンテナ苗、特定母樹等の優良苗の作出を加速化し、苗木売価単価を下げ山に提供すること、さらに雑草木と苗木の競争関係を把握し、下刈り省略基準を決定できるシステムの開発が重要である。

- ③再造林の問題：スウェーデンと日本では、造林－保育経費の差が4倍以上と大きく、造林作業の効率化を進めることが技術的に大きな問題となっている。現状の齡級構成の平準化を目指すためには、毎年約10万haの再造林地が必要とされる試算がある。



図 造林工程と一貫作業システム

<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2017-pp-08.pdf>

バイオマスのガス化ガスおよび捕集CO₂を利用した メタノール、液体燃料の生産

化石資源の利用が制限されれば、バイオマスまたは捕集CO₂が有力な炭素源。化学品合成のための基幹製品であるメタノール、および、ガソリン・ディーゼルなどの液体燃料を生産する場合のコスト・課題を検討した。

■メタノール合成(バイオマスガス化ケースと貯留CO₂利用ケースの反応条件の比較)

- ・バイオマスガス化ケースは通常の反応条件で合成できる。
- ・貯留CO₂利用ケースは反応が遅く、高圧(9MPa)が必要かつ触媒層の空間速度を小さくする必要がある。また転化率が小さいため循環ガス量が大きく圧縮機など設備費が高くなる。

	バイオマスガス化ケース	貯留CO ₂ 利用ケース*
触媒	Cu/ZnO/Al ₂ O ₃	CuO/ZnO/Al ₂ O ₃
空間速度 SV	8,000~10,000hr ⁻¹	2,000hr ⁻¹
温度/圧力	250°C/5MPa	240°C/9MPa
転化率 Conv./選択率 Sel.	70% / 99%	21% / 95%
触媒層体積	23m ³	272m ³

* 三菱重工技報, Vol.(6)384 (1998)[3]を参考にした。

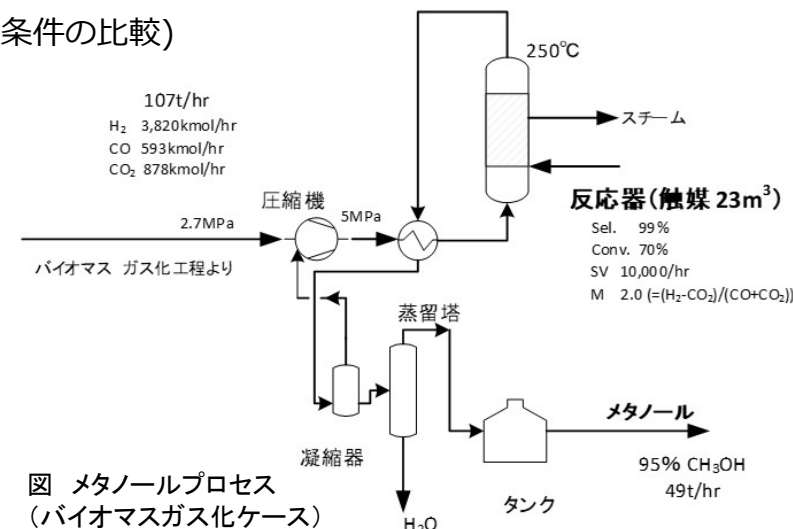


図 メタノールプロセス
(バイオマスガス化ケース)

政策立案のための提案

- 1) バイオマスガス化ケースでは、出発原料であるバイオマスの価格を19¥/kg-dryとして計算。メタノールコストは市況価格27¥/kgの約3倍の74.7¥/kg (3.4¥/MJ) となった。大部分は変動費であり、本技術を実現可能とするには、バイオマス価格を1/2以下にする必要があり、これは実現可能な範囲である。
- 2) 貯留CO₂利用ケースでは、メタノールのコストは85.2¥/kg (3.9¥/MJ) となった。このケースでは「使用後の排出するCO₂を回収貯留する必要」があり、CCSコストを5¥/kg-CO₂とすると更に0.2¥/MJ程度コストが上昇するため、バイオマスガス化ケースに対して優位性はない。しかし「CCSの重要度が高い状況」では、引き続き技術開発を行う意義はある。その場合の技術課題としては、反応性能のよい触媒の開発である。
- 3) F-T合成では、液体燃料のコストは242.5¥/kg (5.4¥/MJ) となった。メタノールと比較して高価で、使用分野は制限される。または、バイオマスが非常に安価なケースでしか成り立たないが、実現可能な範囲である。技術・システム開発により、林業を合理化しバイオマスのコストを下げる必要がある。更に、本技術の普及のためには、生成物のC分布の狭い選択性のよい触媒開発、および1年以上劣化しない触媒・反応方式の開発が必要。

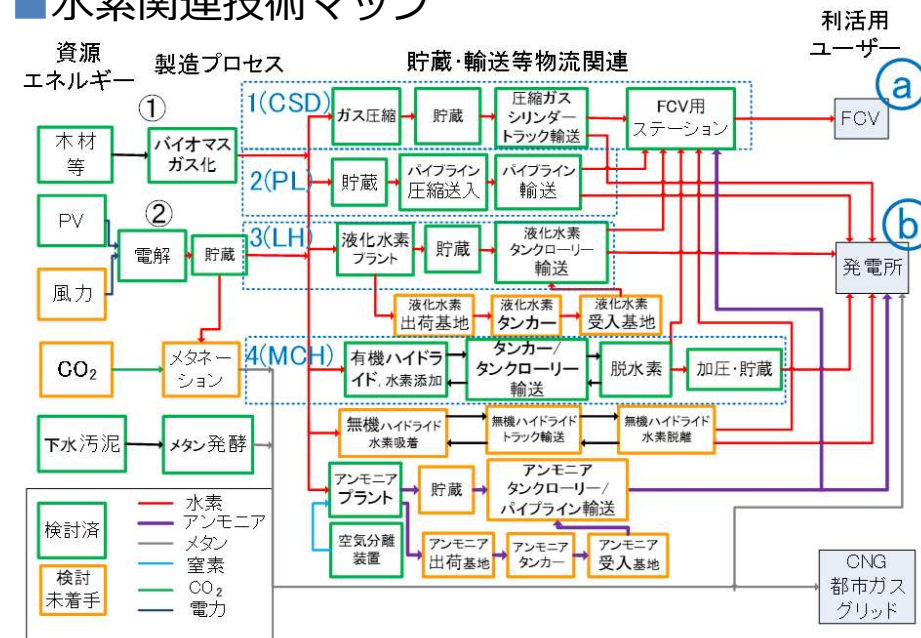
カーボンフリー水素の経済性とCO₂排出量 (Vol.2)

水素製造や輸送方法について、水素関連技術マップの検討範囲において、カーボンフリー水素の製造・輸送を経て、最終利用時点でのコストやCO₂排出量について明らかにする。

■ 検討範囲と検討結果

- ・2種の水素製造プロセスで製造されたカーボンフリー水素。
 - ①木質バイオマスガス化：3円/MJ、CO₂排出量は2g/MJ。
 - ②PV電源による加圧アルカリ水電解：14円/MJ、CO₂排出量は20g/MJ。
- ・4種の輸送方式(ガス圧縮シリンダー(CSD)、ガスパイプライン(PL)、液体水素(LH)、有機ハイドライド(MCH))で、
- ・2種のユーザー((a)FCV向、(b)発電所向)に100km輸送した場合の利用時点でのコストとCO₂排出量を比較検討。
- 製造と輸送を含めた利用時のカーボンフリー水素実現には「エネルギー自立条件(製品水素による電力・燃料供給)」が必須。
- 木材ガス化による水素の利用時点でのコスト・CO₂排出量は(a)FCV向はCSDとPLが優位(9.5円/MJ、9gCO₂/MJ)、(b)発電所向はPLが優位(4円/MJ、4gCO₂/MJ)。

■ 水素関連技術マップ



政策立案のための提案

- ①カーボンフリー水素の製造における、木質バイオマスのガス化による水素製造の優位性を生かすために、木質バイオマス原料コストの低減のための林業の合理化に向けた統合的な研究が重要である。
- ②バイオマスガス化プロセスについて、ガス化反応の基礎的な解明を行い、合理的なガス化炉の開発に結びつける研究が重要である。
- ③電解プロセスによる水素製造については、コスト面およびCO₂排出量の面から優位性に乏しいため、PV、風力さらに蓄電池等を組み合わせた混合電源の利用により設備稼働率を高めるための電源構成の明確化とコスト低減を目指す研究が重要である。
- ④カーボンフリー水素利用の拡大には、製造、貯蔵、輸送等を含んだ全体のエネルギー効率が高いシステムが重要であり、パイプライン網や貯蔵等の社会基盤の整備に向けて、立地、設備規模等の技術オプションを考慮し、コスト低減を実現できる設計手法の確立に向けての研究が重要である。

GaN系半導体デバイスの技術開発課題とその新しい応用の展望 (Vol.2) GaN結晶と基板製造コスト

GaN系半導体デバイスとしてレーザー・高輝度LED・パワー半導体が関心を集め研究対象となっている。これらはGaN基板を必要とする場合が多いが、GaN単結晶の製造が技術的に困難なため、GaN基板は極めて高価で、GaN基板を利用したデバイスの実用化を阻んでいる。

■ 概観

- ・ GaNは常圧では融点を持たずに分解する化合物であるため、常圧での液相が存在しない。このために通常の結晶成長で用いられる融液中成長法が利用できない。
- ・ GaN単結晶の代表的な製造方法として、CVDプロセスを利用する気相成長法（HVPE法、Hydride Vapor Phase Epitaxy）法、超臨界アンモニアを利用するアモノサーマル法、Na融液を利用するNaフラックス法をとりあげ、現状技術レベル、実用化に至る課題、課題を克服した場合の将来コストなどについて検討した。



図 HVPE装置写真（沖電気HPから）

政策立案のための提案

- 1) 将来的な単結晶製造コストは、HVPE法で48万円/kg、アモノサーマル法で71万円/kg、フラックス法で30万円/kgと推定される。6インチ基板の試算からどの方法を用いても目標：1インチ1万円をクリアする可能性有。
- 2) 目標到達のため、基礎研究レベルでは、共通の課題としてGaN結晶成長時約60度の角度で角錐型に結晶が成長して面積が減少し、必要結晶面積が確保できない傾向（晶癖）が強く、結晶高さが得られにくい点があげられる。種結晶と成長させるGaN結晶の格子間隔のずれ（不純物などによる）から生じる結晶の反りも大きな結晶が得られない問題。個別技術ではHVPE法では欠陥密度の低減と良好な基板の確保、アモノサーマル法では成長速度向上と不純物（特に酸素）の低減、フラックス法ではNaインクルージョンの防止などが課題。
- 3) 量産化技術の観点では、HVPE法は原料ガスの製品転換率の向上、アモノサーマル法は700℃・1000気圧の反応条件を安全に達成する大型反応設備の製作可能性、フラックス法では空気と接触すると発火する溶融Naを数tの規模で、常に安全に取り扱える設備、技術の確立（Naが漏れない設備、漏れた場合の対応設備等）が課題。
- 4) 3方法の長所を生かす試みとして例えばアモノサーマル法やフラックス法で製造した結晶性の高い基板上に高速かつ高純度な成長が可能なHVPE法で結晶成長させる方法等のアイデアが出されているが、今後の検討項目。

「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」の構築(Vol.4)

「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」に水素技術、固体酸化物形燃料電池（SOFC）へ適用範囲を拡大、新機能として最適化計算機能を開発、データベース充実を図った。

※「低炭素技術設計・評価プラットフォーム」は、LCSで行っているプロセス設計に基づく様々な低炭素技術の定量的評価を自動的かつ迅速に行うために開発している情報システム基盤である。

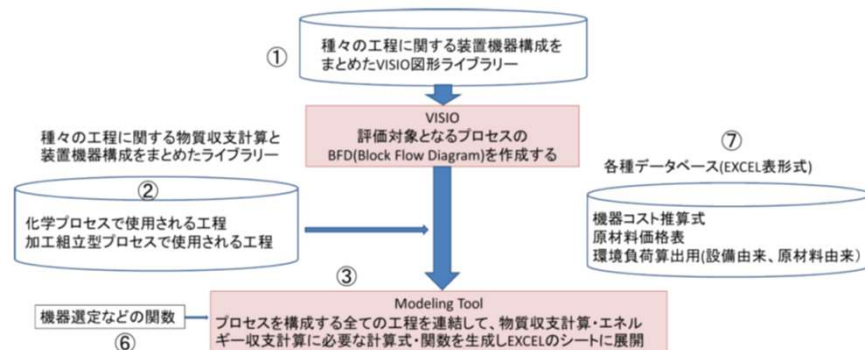


図1 評価手順とプログラム・データベース

■新機能①：水素関連技術への適応拡大

水素関連技術マップBFD

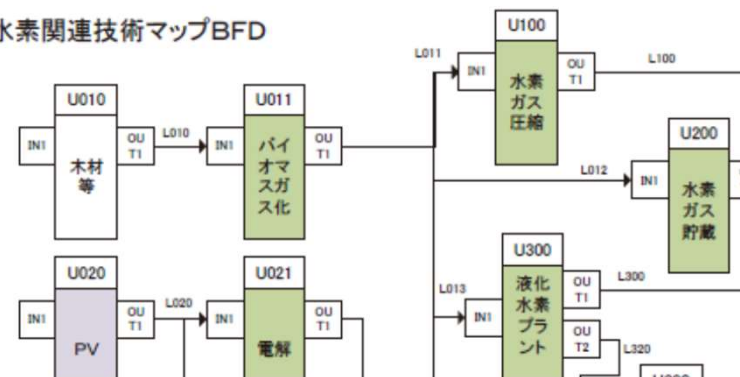


図2 水素関連技術MAPブロック図

■新機能②：作成可能な帳票の多様化への対応

物質収支表(MB表)・機器一覧表に加えて、原価計算表・環境負荷計算表を容易に作成できるようにした。

今後の展開

- 1)多様な低炭素技術の定量的評価を進めるとともに、開発したモジュールの新規登録による「物質収支計算と装置機器構成ライブラリー」の充実を図る。
- 2)プロセス諸計算のためのExcel ユーザ定義関数ライブラリーを充実する。
- 3)今後多くの便覧型データベースがModeling Toolに取り込まれると考える。データの更新などのメンテナンス面や処理速度の点から適切なユーザ定義関数の設計と開発を進めていく。
- 4) 知識の構造化と高度化につなげるためにも、新しい技術・システムに対する定量的評価を進めることが必要である。
- 5)プラットフォームは種々の低炭素技術の定量的評価に利用されている。将来重要になる個々の技術システムに対して、本プラットフォームを利用した評価・分析を行うことによって、今後の政策提案につなげてゆく。

シンセティック材料設計-1D CAEとデータ活用型材料研究の融合-

材料科学・材料工学分野の主要課題「マクロな現象論とミクロな物理的原理を結びつける方式」について調査・分析した結果をもとに、1D CAE手法と「データ活用型材料研究」の融合により実現される「シンセティック材料設計」のコンセプトを提案。

■ 第一原理計算の大規模化についての考察

- 対象系の原子配置と電子数のみを入力パラメータとして計算する第一原理計算を用いて、原子数をマクロスケールに対応するまで拡大してマクロ物性を計算するには、計算量や計算機能力の制約から相応の時間が必要となる（アボガドロ数程度の原子を扱えるようになるのに4-50年必要との試算あり）。

■ 材料版 1D CAE とデータ活用型材料研究

- 機械設計分野で活用が進んでいる1D CAE(Computer Aided Engineering)のコンセプトを材料工学分野に展開することで、マクロな物性予測を行うアイデアを提起。
- 1D CAE に求められる機能要件を分析した結果、上記の展開には、LCSが考察してきた「データ活用型材料研究」が鍵を握ることを考察。

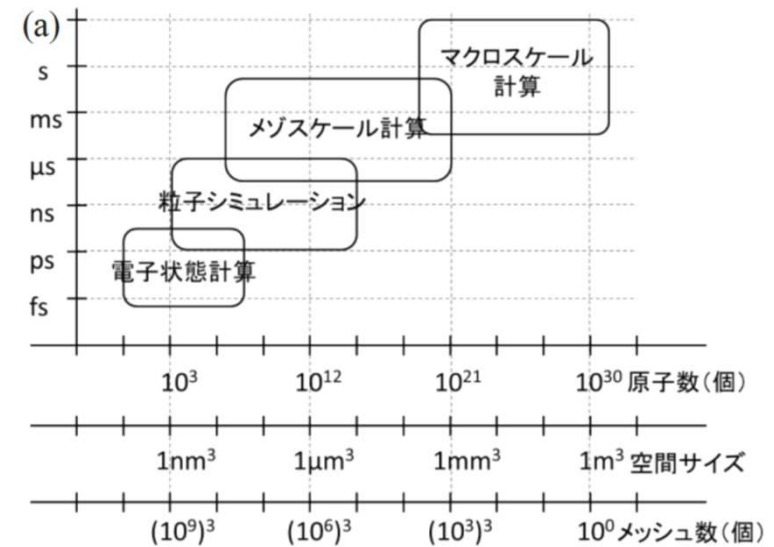


図 シミュレーション手法が対象とする時空間スケール
(a)手法別に対象とする時空間スケールをプロットしたもの

政策立案のための提案

- 低炭素化技術の実装においても、材料という非常に複雑な対象を制御・応用する観点から、システム全体を俯瞰しながら開発目標を見定めることが求められている。その際、「第一原理計算」のみならず、問題に応じて既存の様々なモデルを適材適所で組合せ、総合的に解析を行うアプローチが極めて重要である。本提案書では、これを「シンセティック（総合的）アプローチに基づく材料設計」と呼ぶ。このアプローチに基づいて、材料研究分野における既存技術の整理と新技術の開発を体系的に行い、それらを総合して問題解決にあたる基礎研究プログラムの創設を提案する。
- プログラム推進で礎となるは、様々なモデルを適材適所で組合せられるバーチャルプラットフォームと、その上で活動するコストエンジニアリング分野、材料科学・材料工学分野、情報科学分野、ソフトウェア工学分野等の材料開発者から材料ユーザ・社会変革を起こすイノベータまでを包含する統合的コミュニティである。

低炭素電源システムの安定化と技術・経済性評価 (Vol.2)

—ゼロエミッション電源システム構築に向けた技術開発課題—

再生可能エネルギーの大規模導入によるCO₂排出量ゼロに向けた電源システムの発電コストを評価。システム安定性を考慮した最適な多地域電源構成モデルにLCSの低炭素技術評価方法を適用。

■ 現在・将来の技術水準における発電コスト

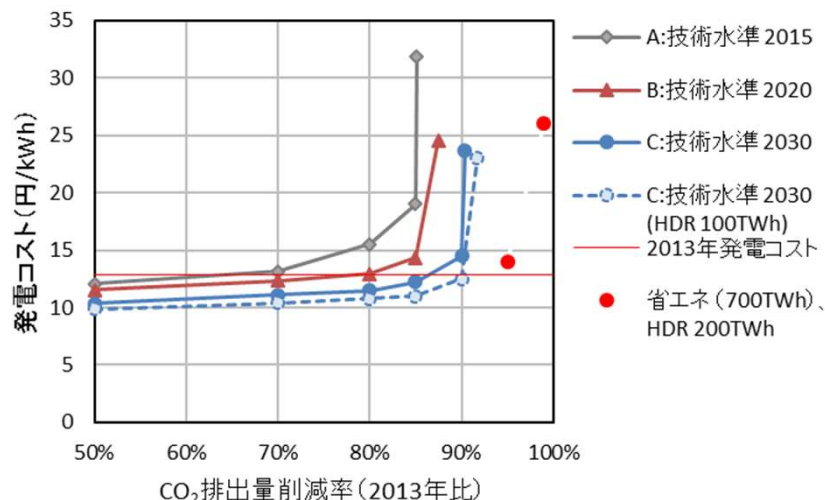


図1 再生可能エネルギーの技術水準による2050年のCO₂排出量削減率と発電コストの関係の比較(電力需要 800TWh/y、現状の送電線を想定)

表1 各ケースの技術水準と定義

ケース名	技術水準年	定義
ケースA	2015	現在の技術の最先端技術
ケースB	2020	既存技術の延長線上の改良された技術
ケースC	2030	現在推定可能だが、技術開発に時間を要する技術

表2 技術水準から計算した再生可能エネルギーの発電コスト(円/kWh)

ケース (技術水準基準年)	基準設備 利用率	発電コスト[円/kWh] (LCSの技術シナリオによる試算)		
		A:現状 (2015年技術)	B:技術進展 (2020年技術)	C:技術革新 (2030年技術)
太陽光	11%	16.0	9.5	5.7
風力	23%	14.1	10.2	8.4
地熱	70%	12.5	12.5	8.0
高温岩体地熱	70%	-	-	6.9
バイオマス	70%	33.6	10.9	10.9
水力	54%	10.8	10.8	10.8
蓄電池*	-	50 [円/Wh]	10 [円/Wh]	6 [円/Wh]

*蓄電池システムはインバータをA:30,B:20,C10円/Wとして別に計算する。

政策立案のための提案

- 1) 経済合理的かつCO₂排出量削減率80%以上とする目標は、技術開発・普及の促進に依存するが、現状技術の改良された技術水準で実現可能。一方、CO₂ゼロエミッション電源システム構築はシステム安定性を考慮しても電力需要削減や高温岩体地熱発電の技術開発により実現可能だが発電コストは約2倍となる。
- 2) 「①資源制約が少なくシステム安定性に寄与する低炭素電源(例:高温岩体発電)、②システム安定性維持、③電力消費削減、④個別再生可能エネルギー発電技術のコスト低減、⑤送電網システム合理化、⑥水素タービン発電の水素設備・水素輸送のコスト削減、⑦低炭素電源の最適な配置」を実現し、最適な電源システムを構築。
- 3) 「技術水準による発電コスト削減」は技術開発投資効果として評価できる。CO₂排出量80%削減時、太陽光・蓄電池システムの技術水準を2020→30へ促進させることは発電コスト年間1-2兆円の削減効果に相当。

グローバル企業による信頼性の高い再エネ調達のために - GHGプロトコルへの準拠とトラッキングシステムの必要性 -

投資家要請に基づき「企業が再生可能エネルギーを積極的に利用したいというニーズ」が世界的に高まっている（CDP, RE100等）。ここでは、「日本における再エネ調達」状況の整理を行い、日本を国際基準に照らし合わせて透明性があり、魅力的な事業操業環境にするための提案を行う。

■ 世界における再エネ電力拡大

- ・ 1990年代のドイツの固定価格買取制度を経て、風力や太陽光の発電コストが大幅に低下。欧州は「固定価格の保護」から「入札によるさらなるコスト低下」政策へ。

■ 企業版2℃目標 (Science Based Targets)

- ・ 企業が自ら気温上昇を2℃以下とするに十分な排出削減目標を設定するイニシアチブ。

■ 再生可能電力 100%宣言 (RE100)

- ・ 2017年11月10日現在、114社がコミット(宣言)。企業数は日々増加している。

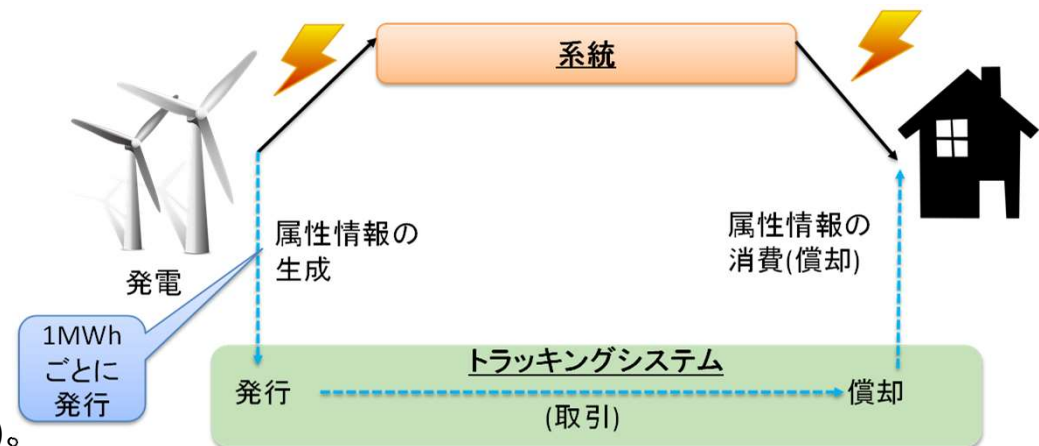


図 欧州・米国にて再エネ属性のみを分けて扱う
トラッキング・システムの考え方

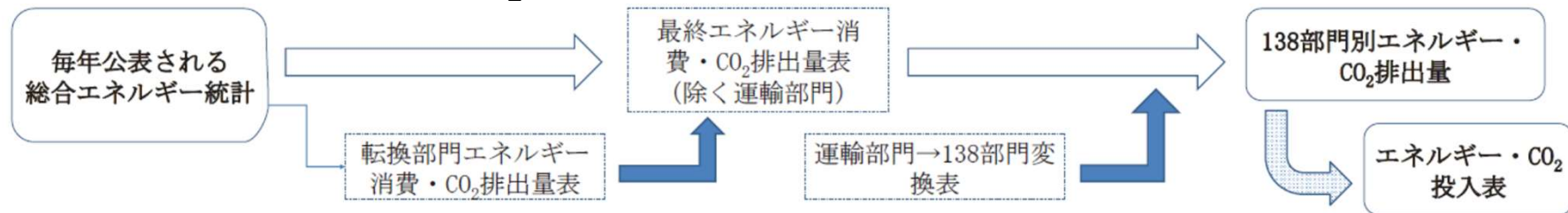
政策立案のための提案

- 1) 日本がグローバル企業にとって魅力的な再エネ環境となるため、日本が基礎的屬性情報を含むトラッキングシステムを整備し、かつ、①グリーン電力証書、②J-クレジット（再エネ由来）、③非FIT再エネ電力メニュー、④FIT再エネ電力メニューの4つの調達手段のすべてが一元的に管理され、各仕組み間のダブルカウントがないことをシステム上も明らかにする。
 - 2) 並行して、現実的な解決策として、GHGプロトコルスコープ2ガイダンスが推奨するトラッキングシステムを非FIT再エネにて実施し、順次非化石価値証書についても1つのトラッキングシステムに統合するという段階的实施を検討する。非化石価値証書は、2030年非化石比率達成の本来の目的に特化すべきである。
- 官民が協力して日本で十分に再エネが安価に調達できる市場を実現することが、日本の雇用維持、経済維持・成長、そしてパリ協定の順守を同時達成する条件となる。

エネルギー・環境分析に資する産業部門別エネルギー消費・CO₂排出量データの作成

- 産業部門ごとの経済活動との関係で、エネルギー消費・CO₂排出量データを一元的に扱う統計データは無く、データ利用にはその都度作成する必要がある。
- ここでは、産業関連データと組み合わせて利用できるエネルギー消費・CO₂排出量データを、毎年公表される総合エネルギー統計（資源エネルギー庁）から作成することを試みた。

産業部門別エネルギー消費・CO₂排出量データ作成の手順



部門別エネルギー消費・CO₂排出量

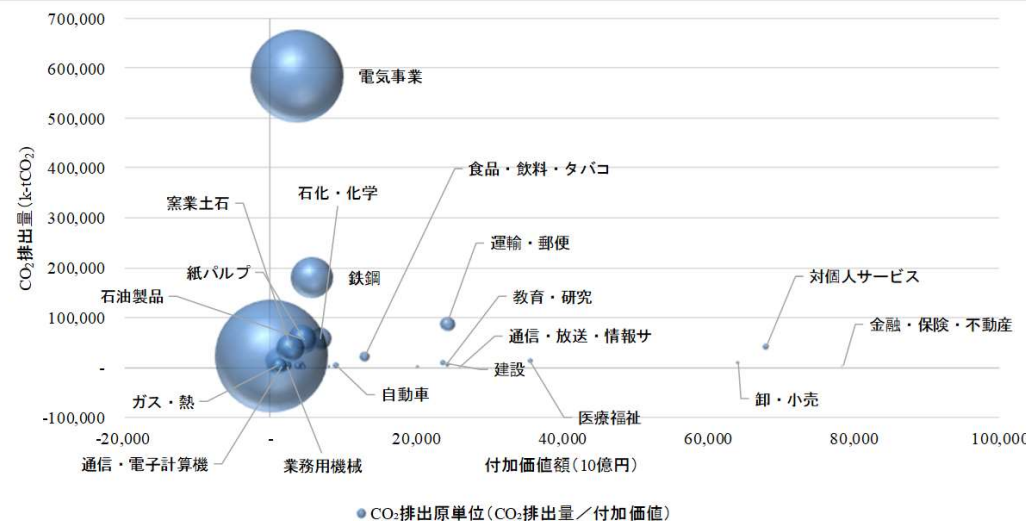


図 産業部門別付加価値額・CO₂排出量・CO₂排出原単位

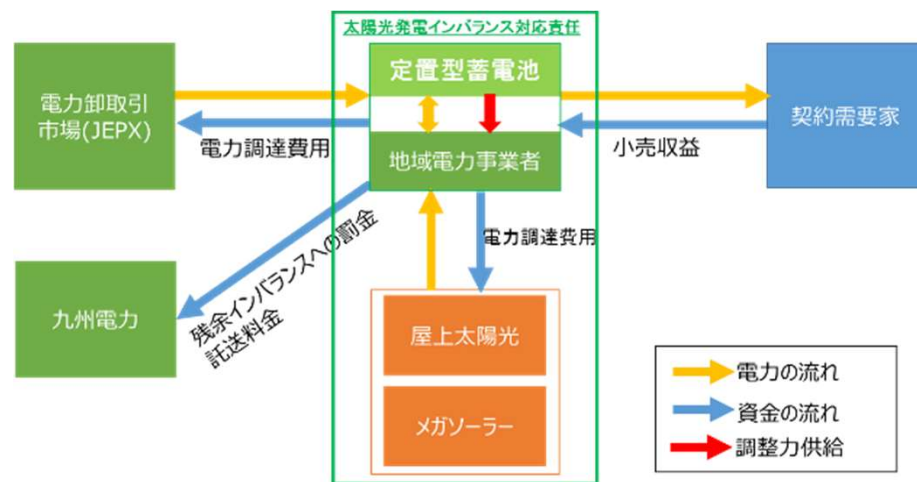
政策立案のための提案

- 社会・経済の姿を描くには、客観的な分析に基づく低炭素技術の導入評価が重要。
- 本研究は「低炭素技術の普及による社会・経済への影響を計る経済モデルの基礎データ構築」に資する。
- 水素や太陽光発電の製造コストなど低炭素技術に関する工学的研究成果を経済モデル分析に組み込むことにより、低炭素技術の普及がもたらす社会・経済への影響評価分析へとつなげる。
- さらに定量的な分析結果から導かれる将来の低炭素社会の姿を描いてゆく。

地域電力事業者の運用改善のための蓄電資源導入に関する研究

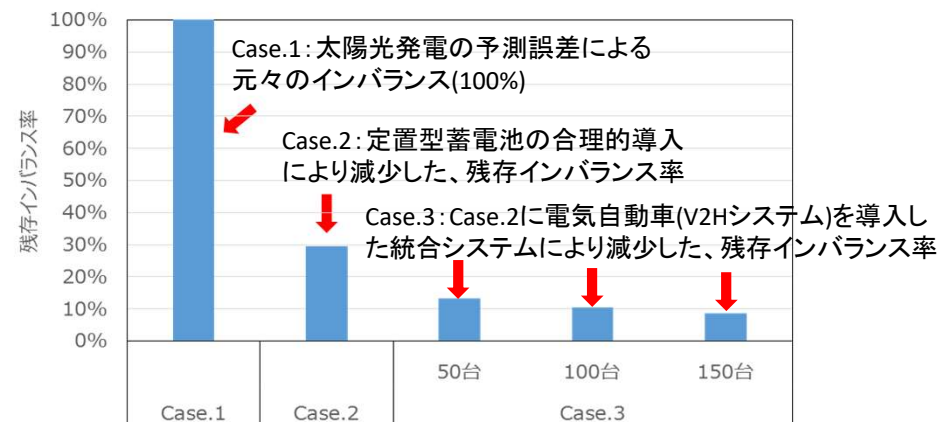
近年の電力自由化の進展に伴い、地方自治体が関与する地域電力事業者(地域密着型の電力事業体)の参入が増えている。一方で、地域電力事業者の多くは発電・調整資源が不十分であり、系統上の不安定性を引き起こす可能性がある。特に再生可能エネルギー(太陽光発電)の予測誤差による需給インバランス(需要計画と発電実績の差)への対処は重要な課題となっている。

■ 定置型蓄電池導入時のモデル



※地域電力事業者の期待売上総利益=小売収益-電力調達費用-託送料金-期待インバランス料金として、事業者はこれを最大化するような運用を行う。

■ 地域電力事業者の収益性を考慮した数学モデル開発：定置型蓄電池と電気自動車(V2Hシステム)の最適導入量および最適運用方法



※電気自動車(V2Hシステム)の台数は、考察している低圧契約需要家 全世帯の3~9%である50,100,150世帯に相当。

政策立案のための提案

- 1)再生可能電源の出力予測の誤差に基づくインバランスの補償は、今後の電力システムの安定性を維持するために重要な問題。地域電力事業者を活性化させることは地方の経済の活性化、雇用の確保のためにも必要。
- 2)本提案書で定量的に分析したように、定置型蓄電池や電気自動車(V2Hシステム)を有効に利用することにより、地域電力事業者が需給インバランスを大幅に削減することが可能であり、地域電力事業の活性化と電力システムの安定化の双方に資する。
- 3)多くの地域電力事業者は地方自治体が母体となっており、資本金規模が小さい。このような自律的イノベーションを支援するための技術開発予算の確保として、これらの事業者が蓄電池や電気自動車を導入する場合のファイナンス面の支援やソフト面の支援等が必要。

新しいエネルギー変換・貯蔵機器技術,未利用熱源およびビル省エネルギー技術の導入と技術特性を明示した都市分散エネルギーシステムの在り方に関する研究

- ・大都市部の商業・事業所ビルの省エネ化は低炭素社会実現に向けた大きな課題。CGS・太陽電池等の分散型エネルギーシステムは空調エネルギー需要の増加に対応する技術として期待大。
- ・ここでは、ビル単位のエネルギーフローモデルの開発を行い、シミュレーションにより、地域におけるこれらの新技术および未利用熱源の寄与の効果を定量的に評価した。

対象とした建物と省エネ技術

- ・東京都江東区湾岸エリアに3棟の大型商業・事務所ビルを想定。
- ・暖房・冷房・給湯・一般電力需要を推計。次いで、ここに外気駆動の従来型AC駆動のHPと次世代型DCインバータ駆動のHP、地中熱利用HP、河川熱利用HP、CGS、太陽電池、ZEB技術としてのダブルスキンの導入等を想定し、コストとCO₂排出がどの程度削減可能かを様々な導入シナリオで比較する。

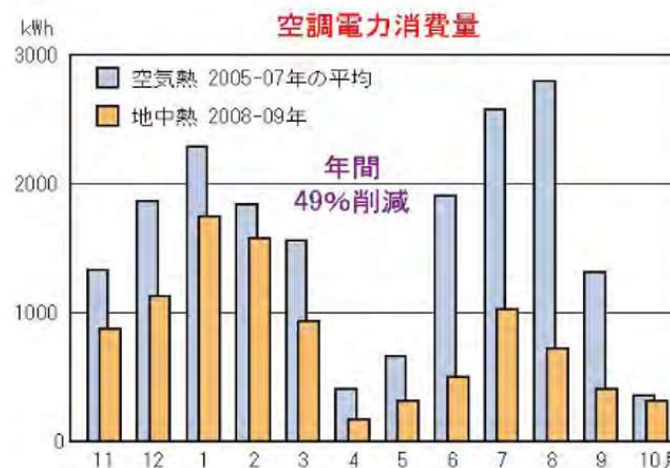


図 地中熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプの電力消費量の比較(例)

主な解析結果

本研究で想定したパラメータ設定の下で、地中熱利用は費用の10%削減、ダブルスキンを含むすべての技術導入では総費用は7.7%削減、CO₂排出量は8.5%削減可能となった。

政策立案のための提案

- (1) 都市部における未利用エネルギー源は、HP(ヒートポンプ)などエネルギー利用機器が進展した現代においては低炭素社会実現のための大きな潜在性を持つ。これらの未利用エネルギー源の再評価が必要。
- (2) これらエネルギー源は局所的に賦存している。利用に備え、詳細な利用可能性調査が必要。
- (3) 都市部の民生部門の省エネルギーと低炭素化のためには様々な技術オプションがある。これらが効果を発揮するためには、「技術オプションの好ましい組合せ」の追求が重要。そのために、需要サイドについても季節性や天候影響を踏まえた調査がなされねばならない。
- (4) 今後、EVとの連携やITCとの連携によるさらなる相乗効果が期待できる。それらの定量的評価のための標準的なツールの開発が望まれる。

民生家庭部門におけるCO₂排出量の中長期予測モデル構築に向けた検討

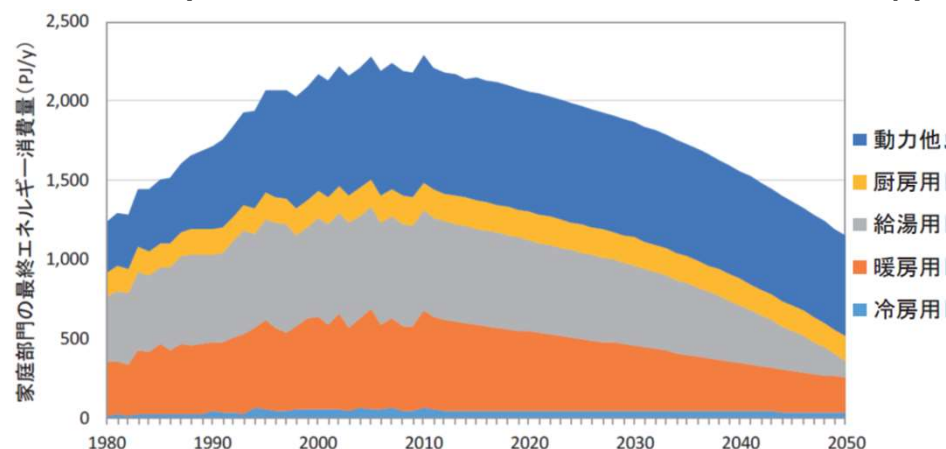
従来モデルをライフスタイル変化を反映できるモデルに改良し、民生家庭部門のCO₂削減目標(2030年度に△39%)達成に必要な対策を再考する。将来起こり得るライフスタイル変化について複数のシナリオを設定、各シナリオがエネルギー消費量に及ぼす変化を論理的かつ定量的に示す。

■ 民生家庭部門におけるサービス量の将来推計

- ・ 定量モデルにおける家庭部門のCO₂排出量およびエネルギー需要量を算出する上でベースとなる“サービス量”に着目。“サービス量”は、機器のエネルギー効率等を考慮する前の「人が生活する際に真に必要なエネルギー負荷量」を指しており、ライフスタイルに応じて変動する。
- ・ 統計データに基づきサービス量変化をより詳細に把握。ライフスタイルの変化と関連付けてサービス量の将来シナリオを設定した点が改良のポイント。
- ・ サービス種(冷房、暖房、給湯、厨房、動力他)
- ・ エネルギー種(電力、ガス(LPG、都市ガス)、その他(灯油、石炭等))

※冷房・動力他のエネルギー種はすべて電力とした。

■ 日本全体の家庭部門の用途別最終エネルギー消費量(最小シナリオ:2050年に約1,145PJ/y)



最小シナリオの用途別設定:

- ・ 空調: 傾向維持_電化傾向維持ケースシナリオ(電力170PJ/y, ガスその他80PJ/y)
- ・ 給湯: 太陽熱普及_ヒートポンプ優先ケースシナリオ(電力50PJ/y, ガス他59PJ/y)
- ・ 動力他: (電力632PJ/y)
- ・ 厨房: (電力77PJ/y, ガスその他77PJ/y)

政策立案のための提案

- 1) 2050年における家庭部門の最終エネルギー消費量を約1,145PJ/y~1,831PJ/yと予想。電力消費量は929 PJ/y (≒258 TWh) ~964 PJ/y (≒268 TWh)、ガス他消費量は216 PJ/y~867 PJ/yと推計。
- 2) 2050年のCO₂排出量80%削減には、本推計により一定量残ると予想されたガスその他の化石燃料消費量をより一層削減する必要がある。そのため、現状から想定されるシナリオだけではなく、よりダイナミックなライフスタイルの変化を含めたシナリオを検討する必要がある。
- 3) 化石燃料消費量が最小となるシナリオでは、暖房・給湯・厨房用として化石燃料(ガス)はほぼ均等に消費された。今後、これら用途で化石燃料消費量の削減に貢献するライフスタイル変化を検討する必要がある。

鉄リサイクルを利用した将来低炭素社会のための課題検討にむけて

建築・土木など社会インフラや自動車を初めとする各種機械・機器における鉄の利用は大きい。低炭素社会構築の観点では、鉄鋼業からの二酸化炭素排出量は大きく、削減効果の社会全体へのインパクトは大きい。ここでは、リサイクル鉄、すなわち、鉄スクラップ利用増大の可能性について着目する。

■ 将来シナリオ策定のための現在の鉄・スクラップ関連調査フロー

現在、右図に示す調査フローに基づいて「現在の社会」について調査を開始し、将来シナリオ作成のベースとなるデータをまとめている。

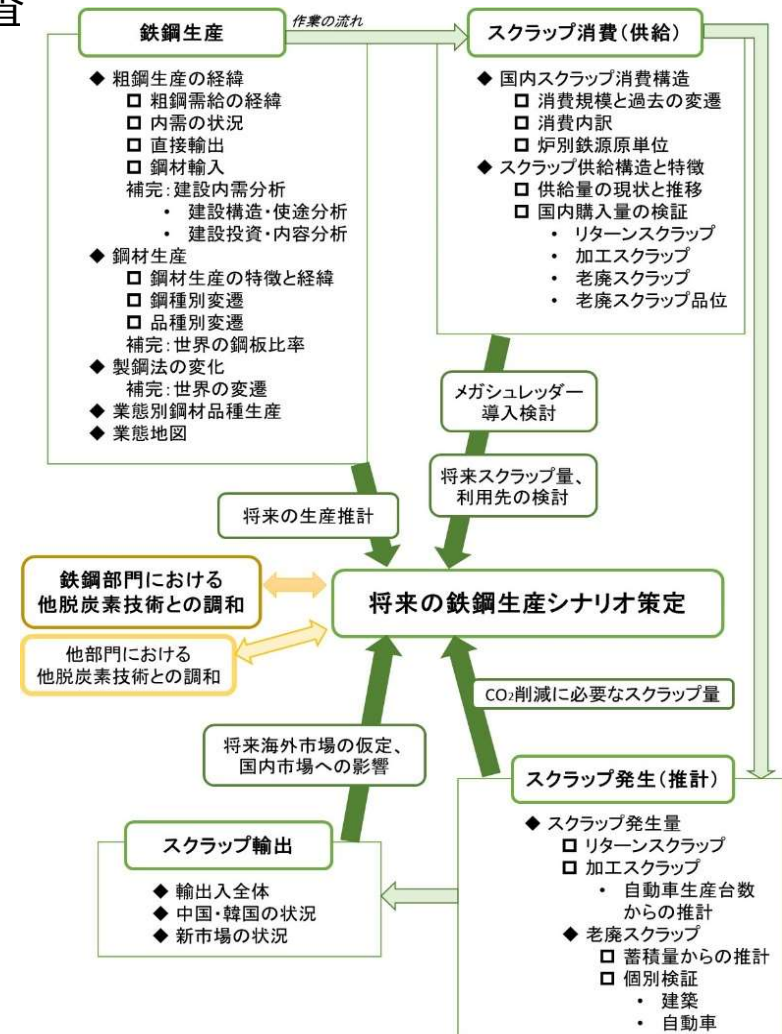
■ 鉄の動きを含めた将来社会を描くため必要な検討事項

- ・ 将来社会における鋼材需要
- ・ 社会における鋼材需要に対し、電炉製造で対応しうる量と製造する鉄鋼の種類
- ・ 社会に蓄積される鉄がスクラップになって発生する時期、種類と量
- ・ 世界の鉄鋼製品の需給から推測されるスクラップの輸出量の変化、それに伴うスクラップ価格の変化

政策への含意

本研究は着手段階であるが、スクラップリサイクルを最大限活用するとどうなるか、そしてそれが物理的にできるのか、実現するためには技術的に何が必要かを明らかにするものである。日本と世界のデータ分析から、量と物性について詳細に検討することで、技術開発や制度面での課題に対応する政策が明らかになる。

今後、将来シナリオを策定するにあたり、将来社会について鉄鋼のみならず他部門との兼ね合いなど、LCSの他の研究分野の成果とあわせながら、総合的に考慮していく予定である。低炭素社会構築のための政策論への一助となるよう進めてゆく。



生活シフトによる健康と省エネルギーの両立の可能性 (Vol.2)

地球温暖化対策計画では家庭部門で2030年に39%の温室効果ガス(GHG)の排出削減を目指している。その中で家庭生活の行動変容による省エネの可能性が注目されている。ここでは、実証実験により、朝型生活へのシフトによる省エネルギー効果と睡眠への影響を検証した。

■ 朝型生活への転換による睡眠快適性と消費電力変化の実証 ■ 朝型シフトによる電力消費量の変化

- 9 世帯 20 人の被験者に対して朝型生活へのシフトを依頼。電力消費と睡眠快適性を計測する実験を 3 週間の期間でおこなった。第1回(2015年10月)、第2回(2016年7月～8月)、第3回(2017年8月～9月)

- 睡眠快適性計測：
計測器（活動量計）により、睡眠に関するデータ（就寝時刻、入眠時刻、起床時刻）を取得し、
睡眠効率=実睡眠時間／睡眠時間
を算出。併せて主観的申告により起床時睡眠感調査。

		平均電力消費量(kWh/日)				補正の備考
		第1週	第2-3週	変化量	%	
第2回	世帯1	4.5	4.5	-0.0	-1%	実験期間のみ回帰
	世帯3	8.8	8.1	-0.7	-8%	補正無
	世帯4	15.1	14.6	-0.4	-3%	実験期間のみ回帰
	世帯6	4.7	4.3	-0.4	-9%	実験期間のみ回帰
	世帯9	12.7	13.6	0.9	7%	実験期間のみ回帰
第3回	世帯1	10.7	10.3	-0.3	-3%	
	世帯3	16.1	14.7	-1.4	-8%	
	世帯4	11.8	11.5	-0.3	-2%	
	世帯5	15.5	15.3	-0.2	-1%	
	世帯6	14.9	13.7	-1.2	-8%	
	世帯7	8.0	6.8	-1.1	-14%	補正無
	世帯8	12.7	12.0	-0.7	-5%	補正無
	世帯9	13.6	15.3	1.7	12%	補正無

※1週目と2週目・3週目(朝方シフト)の電力消費量を比較。平均で3%減少。

政策立案のための提案

- 1) 家庭での省エネが求められる中、規制を適用しにくい家庭への政策として、生活行動のシフトは健康増進という副次的な便益が得られる可能性があり、家庭での対策として優先順位が高い。HEMS (Home Energy Management System) によるエネルギー消費量の可視化や省エネ情報提供のような対策との相性もよい。
- 2) 実証の結果、半数程度の世帯が朝型生活にシフト。世帯全体でシフトした世帯で省エネルギーが観察された。
- 3) 家庭での省エネルギーとしては、例えば住宅の断熱によるヒートショックの軽減と省エネの両立のような政策とセットにして国民に働きかけていくことが考えられる。
- 4) 家庭以外へは、個人や事業所レベルでの生活時間のシフトの啓発や推進、サマータイム導入等が考えられる。

※本研究の一部は、平成27・28年度足立区環境基金助成、平成29年度JST-RISTEX研究開発支援プログラムにて実施された。

地球温暖化緩和技術のバリューチェーン評価と統合的貢献アプローチ(Vol.2) -ケーススタディ:太陽光発電システム,CO₂排出量およびエネルギー消費量の評価-

地球規模の温室効果ガス削減の国際的枠組み：統合的貢献アプローチ(ICA)を提案。太陽光発電システムの主要原材料を例に経済的コストを地域別に分類(既報①)。CO₂排出量・エネルギー消費量について追加検討。

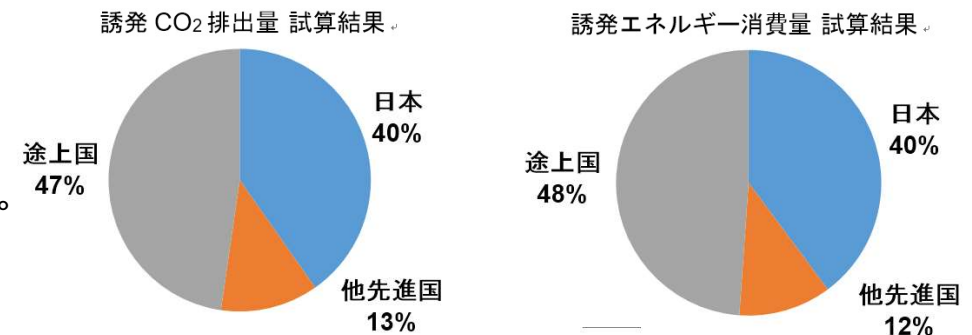
■ LCSの提案する統合的貢献アプローチ(ICA)

気候変動枠組みに関し、温室効果ガス削減に有効なスキームとして、エネルギー・環境技術の普及促進と移転によるIntegrated Contribution Approach(統合的貢献アプローチ、ICA)を提案している(既報②)。これは世界の大きな緩和の機会に対し、「日本の技術力の高さを最大限に利用する」ことを目指すものである。緩和への貢献度の視覚化と定量化を進めることで、先進国と途上国双方に様々なメリットと機会をもたらすものと期待できる。

技術開発、世界的利用促進のために、技術が製造され利用されることによる経済効果を評価する新しい評価方法

バリューチェーン
分析・評価

■ 日本に関連した太陽光発電システム利用・製造に関する地域別CO₂排出量・エネルギー消費量



日本への経済的影響62%(既報③)に対し、CO₂排出量・エネルギー消費量は40%と低い。日本が基本材料より付加価値の高い設備技術を提供しているためと考えられる。

政策への含意

- ・ 技術利用による地域別影響をみるバリューチェーン評価を行い、日本にとって当該技術の利用の影響を経済的影響や環境負荷など多面的にみることが出来る。
- ・ 低炭素技術開発について、日本が得意とする技術・システム分野を伸ばし、経済的にもメリットがあるという状態が最良である。より高付加価値の技術への注力・転換は引き続き行っていくことが重要である。
- ・ 一方、基本材料製造についての高効率および低炭素型のプロセスの開発・普及やエネルギー管理は、国内の拡大はもとより国際技術協力の見地から市場拡大の機会ととらえて、促進する制度が有効。
- ・ バリューチェーン評価モデルはLCAデータベースの指標の多様さから、オゾン層影響・水環境・人間の健康への影響等多くの指標で評価が可能であり、SDGs指標の定量的評価にもつながる。社会における低炭素技術利用の包括的な評価に向けて、今後の他技術へ応用もあわせて、政策議論に応じた検討を加えていくことが重要。