

CO₂の長期大規模削減とロックイン問題 —家庭用給湯器の事例にもとづく考察—

Long-Term Deep CO₂ Emissions Reduction and Lock-in Issues

—A Case Study of the Residential Water Heaters—

キーワード：ロックイン、ヒートポンプ給湯、電化、CO₂排出、温暖化問題

西尾 健一郎 大藤 建太

製品やサービスが何らかのきっかけも手伝ってひとたび市場優位性を獲得すると、その優位性が長期にわたって固定化することがあり、ロックイン現象と呼ばれる。CO₂大規模削減を実現する上では、需要端において直接CO₂排出を伴う技術を極力用いず、電化を進めていくことが有効とされる一方で、その実現に立ちはだかるロックイン問題への危機感は十分に共有されていない。既往研究では、ロックインは技術的問題として片付けることができない複雑な問題であり、技術や社会が変化に抵抗する性質を持つことを十分織り込んで温暖化政策を立案すべきとの指摘がある。事例として我が国の家庭用給湯器の技術選択について考察したところ、技術・組織・行動面でロックインを誘発する課題が存在することや、特に集合住宅で利用される給湯器でロックインの傾向が強い実態が明らかとなった。CO₂大規模削減のビジョンやシナリオにおいて需要側技術の大規模代替を前提とする際には、ロックインの実態を踏まえ、対策実現に向けた課題を認識しておく必要がある。

1. まえがき
2. エネルギー技術のロックインとはどのようなものか？
 - 2.1 IPCC 報告書における問題意識
 - 2.2 ロックイン解釈の代表的枠組み
 - 2.3 本稿における分析枠組み
3. 家庭用給湯器のロックイン問題
 - 3.1 将来検討における給湯分野の描写
 - 3.2 家庭用給湯器ロックインの定量的考察
 - 3.3 家庭用給湯器ロックインの定性的考察
4. おわりに

1. まえがき

温暖化問題の解決に向けては、従来型技術から低炭素技術への移行が不可欠だが、現実社会では技術代替に時間を要することも少なくない。

製品やサービスが、何らかのきっかけも手伝ってひとたび市場優位性を獲得すると、その後も利用され続けることがある。こうした現象を「ロックイン」(lock-in)と呼ぶ。よく紹介される例としては、1882年発売のタイプライターに採用されたQWERTY配列が、デファクトスタンダードとして今日のPCキーボードに受け継がれていることが挙げられる。

国内のエネルギー分野では、奥村(2007)らがロックインの概念や懸念点を指摘している。杉山(2017)は供給側対策に着目して、ロックイン問題があてはまるかは個別事例によることを指摘している。需要側に目を移すと、2030年や2050年の将来像において省エネ技術の最大限活用への期待が示されることが多い一方で、その経路に立ちはだかるロックイン問題への危機感は十分に共有されていない印象を受ける。家庭用給湯器もその例外ではない。筆者らは既往研究(西尾ほか,2013)において、既築住宅の給湯器交換の実態を取り上げ、設置費用の高さや故障後の急ぎの交換が多いことなど、利用者サイドから見える側面を明らかにして

きたが、これら課題だけでは長期の技術選択をめぐる現状認識として十分でない。

そこで本稿では、CO₂大規模削減に関する戦略検討やデータ分析をする上での、現状理解のインプット情報となることを目指し、エネルギー技術のロックイン問題を取り上げる¹。前半では、既往知見にもとづき、ロックインの概念や関連議論を概説する。後半では、ロックインの観点から、家庭用給湯器の更新を進めていく上での課題を考察する。

2. エネルギー技術のロックインとはどのようなものか？

2.1 IPCC報告書における問題意識

国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書 (IPCC, 2014) では、「ロックイン」の語として100箇所以上の言及があり、その対象範囲はエネルギー供給インフラから民生、運輸、農林業まで多岐にわたる。一例をあげると、耐用年数が長く投資額が大きいインフラは、その後のエネルギー消費や土地利用、人々の行動や経済活動のパターンを長年にわたり決定づけてしまうこと、さらには、一度成立するとその固定化された現状を維持し、変化にあらがう (他の技術を強力にロックアウトすること) などである。それゆえ、これからインフラ構築を行い、かつエネルギー需要の伸び著しい新興国において、効率の悪いインフラ形成を避けるとともに、先進国では、既存インフラの積極的改修を行って、ロックインを極力抑制すべきとしている。需要サイドでも、建物の構造設計、エネルギー運用設計、エネルギー利用機器においてロックインが懸念されるとしている。

2.2 ロックイン解釈の代表的枠組み

Unruh (2000) は、ロックインを技術的 (technological) な側面、組織的 (institutional) な側面、そしてそれらが相互に絡みつき渾然一体となったTechno-Institutional Complex (TIC) という概念で眺めると、見通しがよくなることを主張している。本項では同文献の内容紹介を中心として、ロックイン現象を眺める代表的枠組みを確認する。

(1) 技術的側面

Unruhの例をそのまま借りれば、自動車産業において、車両技術であればエンジン・ドライブトレン等々の各構成技術があり、さらにエンジンは要素技術 (燃焼機構、点火機構、排気機構等) に細分化されるが、これらが単体ではなく、1台の完成品としての自動車を構成するよう相互に緊密にコーディネートされ、互いの仕様を決定づけていくことは、技術の成熟過程で自然のこととして観察される。

こうした過程は、イノベーション論の分野でいわゆる「ドミナント・デザイン形成」 (Abernathy and Utterback, 1978) として知られている現象に相当する。初期の市場淘汰を勝ち残ったスタンダードモデルが、その後の効率的生産追求の過程で、関連技術を互いに最適な形で仕様形成していくことを指す (プロセスイノベーション、漸進的イノベーション等とも呼ばれる)。

その一方で、新しい技術や、仕様と相容れない選択肢を積極的に排除していく。それは効率的生産のために不可欠な合理的選択でありながら、結果的にその技術体系を自己強化し、改良を重ねながらも逆にそこから抜け出せないパラドックス—「技術のロックイン」—に陥っていく。

¹ 本稿は、第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集に収録の西尾・大藤 (2018) に、一部修正・

加筆をしたものである。

実際、米国の電力産業の歴史研究をもとにそのロックイン過程を検証したCarley (2011)は、大規模発電技術が水力から化石燃料に変わり、燃焼効率や規模の拡大を通してその経済性を営々と強化する中で、ドミナント・デザインが形成されていった、としている。

(2) 組織的側面

こうした技術ロックインを助長する重要なアクターとして、ヒト（企業組織、規制組織）や資金（投資行動、投資意思決定）がある。

例えば組織としては、上述の自動車生産の例なら、要素技術ごとに専門化・細分化された技術集団が形成され、それぞれの中で高度なノウハウを蓄積していく。組織文化の面でも、効率的生産を至上命題とした管理様式が強化され、業容の大規模化とともに官僚的統治機構の成熟を経験する。また、専従的問題解決機関としての研究開発組織を形成し、教育機関にも「自動車工学」などの学問や権威を生み、知識獲得を効率化し、体系を確立しようとする。生産企業の外でも、各種の業界団体などが形成され、利害を統一して発言力や交渉力を強化しようとする。これらすべては、経営活動の一部としての生産・学習等様々な行為を包括したプロセスイノベーションに他ならない。

消費者サイドでも、自動車が生活に溶け込んでくることで、家庭生活から教育、労働、レジャー、そしてエネルギー使用の習慣も様変わりする。生産者サイドでもこうした消費者ニーズを取り込んだ製品を効率的に市場に送り出すようになる。こうして、消費者サイドと生産者サイドの相補的・共進化的な関係が出来上がっていく。米国の車社会と道路網の発展がそうであるように、技術が社会における依存度を高め、行動様式を形作るようになる、いわば、「技術システムの社会化」が起こる。

以上はヒトの面の組織的ロックインの例だが、資金もまた冒険をしなくなる。ドミナント・

デザインに向けて技術仕様が統一・標準化されていく中で、大規模・長寿命な投資であるほど、利益を生むことが確立した成熟技術のインフラに資金が振り向けられるようになり、それが既存技術の優位をさらに拡充していく。

(3) 技術的側面と組織的側面が絡み合った“TIC”

こうして、技術的・組織的側面がそれぞれロックインを深めていきながら、同時に市場を介して相互に絡み合い、社会システム全体として渾然一体となったロックイン様相を呈していくさま、またそのようになる必然性を、Unruhは「技術・組織の複合体」(Techno-Institutional Complex, TIC)と名付けた。

CO₂排出経路が固定化されてしまう状態をカーボン・ロックインと形容し憂慮するように、温暖化問題の文脈では否定的側面が目立つが、ロックイン自体は効率的生産を迫及する結果でもあり、自己保存本能とでもいうべきメカニズムに従っているうちに形成される、なりゆきの姿とも言える。Marechal and Lazaric (2010)は、ロックインというと旧技術の慣性(inertia)、つまり、純粋に「技術」に由来した課題のような印象があるが、そもそも人や社会が技術の担い手である以上、技術はそれ単体で存在するものでなく「社会的な存在」であること、また、政策担当者は技術や社会がこのように変化に抵抗する性質(change-resisting nature)を持つのを十分織り込んで、温暖化政策を立案すべきと指摘している。

2.3 本稿における分析枠組み

本節では、既往研究を参照しながら、次章における家庭用給湯器のロックイン問題の分析枠組みを提示する。

(1) 定量的考察

需要側におけるロックイン影響を意識した定量的分析としては、次の例がある。Erickson et

al. (2015) は、需給両面の技術別に耐用年数、排出量、技術代替のためのCO₂限界削減費用を評価している。Urge-Vorsatz et al. (2012) は、省エネ性能の優れた技術を段階適用した場合に比べ、法定基準のみのなりゆきシナリオでは2050年において2005年時点の建物最終エネの約8割がロックインされると分析している。Eyre and Baruah (2015) は、ガス普及率が高いイギリスにおいては、政策介入がないと、それを利用する暖房システムにロックインされてしまうことを分析している。

次章では、これら文献のような詳細分析までは行わないが、まずはアンケートデータにより、ロックイン問題が存在することを定量的に考察する。

(2) 定性的考察

IPCC報告書の統括執筆責任者の1人であるSetoは、Unruhらとともに、エネルギー分野のロックイン問題に関するレビューを行っている (Seto et al., 2016)。

同文献ではロックインを、インフラと技術、組織、行動の3タイプに分類した上で、相互に絡み合い、CO₂削減の停滞を招きうることを再確認している (表1)。インフラ・技術ロックインの打破は、技術的・経済的な実行可能性、システムの存続期間、システムから脱却するための費用、代替オプションに依存し、組織的ロックインからの脱却は、その柔軟性の増加や変化の誘発、あるいは新たな脱炭素経路へのロックインをもたらすことができるかに依存し、行動ロックインへの対処としては、個々の習慣や嗜好、社会的に構築された慣習の克服が求められることを指摘している。

この分析枠組みは、Unruh (2000) の整理に行動的側面を追加したものと理解でき、枠組みの強化により、需要側におけるロックイン問題の構造理解も進むことが期待される。そこで次章後半の定性的考察においては、この枠組みを援

用して、家庭用給湯器のロックイン構造を分析する。

表1 ロックインの特徴

タイプ	主な特徴
インフラ や技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 技術・経済要因が慣性をもたらす ● リードタイムの長さ、投資の大きさ、埋没費用、寿命の長さが影響 ● 初期選択は私的なもので、社会的な費用便益は考慮されない ● 意図的でないランダムな事象が最終結果に影響する (例: QWERTY キーボード)
組織	<ul style="list-style-type: none"> ● 有力な経済的・社会的・政治的主体が利益をもたらす現状の維持を図る ● 組織は安定やロックインをするようにデザインされている ● ある主体にとって好都合で意図した結果 ● ランダムではない意図的な選択 (例: ドイツの再エネ支援)
行動	<ul style="list-style-type: none"> ● 個人の意思決定によるロックイン (例: 心理的プロセス) ● 1つの計算された選択が計算のない自己強化的習慣の長期連続になる ● 社会構造を通じたロックイン (例: 規範や社会的プロセス) ● 遮断的習慣は困難だが可能 (例: 家族規模や空調温度設定)

出典: Seto et al., 2016より作成

3. 家庭用給湯器のロックイン問題

本稿の前半部では、既往文献にもとづきロックイン現象の一般的理解を確認してきたが、これより後半部では、より具体的な議論として、我が国の家庭用給湯器のロックイン問題を取り上げる。

3.1 将来検討における給湯分野の描写

「長期低炭素ビジョン」(中央環境審議会地球環境部会, 2017) は、2050年に温室効果ガス80%削減を実現する社会像を描くものである。その柱として「あらゆる分野で電化・低炭素燃料への利用転換が進み、最終エネルギー消費の多くは電力によってまかなわれ、化石燃料は一部の産業や運輸等で使用されている」ことが強調され、給湯についても電気ヒートポンプ式へ転換していくことの重要性が示されている。

このように低炭素社会において需要端の電化やエネルギー効率向上が必要であることは、技術評価の見地からはよく言われることである。最近では、竹内ら（2017）による2050年のエネルギー産業の論考でも取り上げられている。坂本・永井（2018）による主要機関エネルギーシナリオのメタ分析によれば、民生部門の電化率上昇によるCO₂削減は国際的にも期待を集めている。

各々の省エネ給湯器の特徴や課題については、矢田部（2016）などが詳しいことから本稿では割愛し、以降においては、2050年の給湯全電化を到達点とする場合に、克服が求められるロックイン問題がどのようなものであるかについて考察する。

3.2 家庭用給湯器ロックインの定量的考察

筆者らは、給湯器の採用実態を明らかにするため、2010年に新築された住宅の居住者、および、同年に既築住宅で交換を経験した居住者へのWebアンケート調査を実施してきた（西尾・大藤, 2012；西尾ほか, 2013）。本項では、規模は縮小したが調査設計は踏襲している2015年の結果を加えて、省エネ給湯比率とヒートポンプ給湯比率を確認する。ここで省エネ給湯とは、電気を利用するものはヒートポンプ給湯機、ガス・灯油利用であれば潜熱回収型給湯器もしくはコージェネレーション（燃料電池等）と定義し、省エネ給湯比率はそれらの合計である。アンケート調査のため市場シェアを表すものではない点に留意すべきだが、相対的な傾向把握はできる。セグメント表記の補足をすると、新築戸建では注文と建売の区別をするが、既築戸建は回答者も判別できないことがあるため一括りにし、また、新築集合は分譲と賃貸、既築集合は持家と賃貸に分類している。

新築住宅における設置・採用状況の集計結果（図1）によると、全体の省エネ給湯比率は2010

年の47%から2015年は61%に上昇した。既にその比率が高かった戸建注文に大きな変化はないが、戸建建売や集合分譲で進展が見られる。集合賃貸の水準は依然として低い。ヒートポンプ給湯比率を見ると、戸建注文や集合分譲での採用率停滞が影響し、新築全体としては28%から25%に微減している。

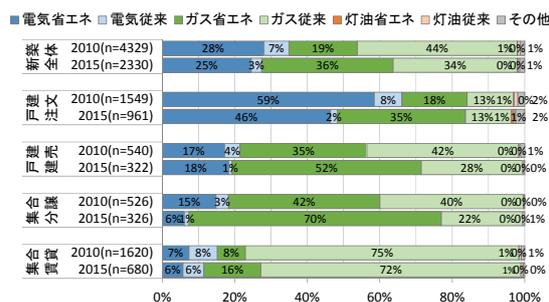


図1 新築住宅で採用された給湯器の比率

次に、既築住宅における交換状況の集計結果（図2）によれば、省エネ給湯比率は2010年の31%から2015年の34%への微増にとどまり、セグメント別には戸建と比べて集合持家、さらには集合賃貸での採用率の低さが際立つ。ヒートポンプ給湯機への交換比率は、2015年については停滞が見られる。特に集合住宅では僅少であり、2001年に上市されたヒートポンプ給湯機の更新需要が本格化するのはいえ、他の給湯器からの代替がこれまでのところ限定的である点も指摘しておく必要がある。

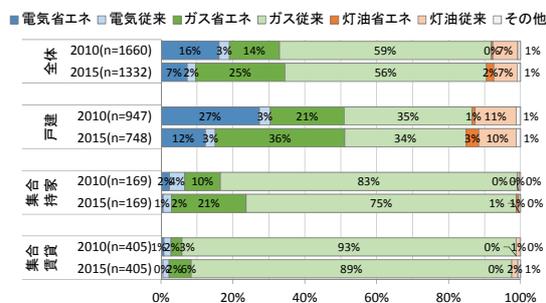


図2 既築住宅における交換後の給湯器の比率

既築住宅についてはさらに、交換前が従来型給湯の場合について、交換後の給湯器を比較しておく。図3からは、いずれも同じエネルギーを用いる省エネ型への更新は徐々に進展している。灯油従来型についてはヒートポンプ給湯機へのシフトも存在感があるが、ガス従来型からのシフトはまだ本格化していない。

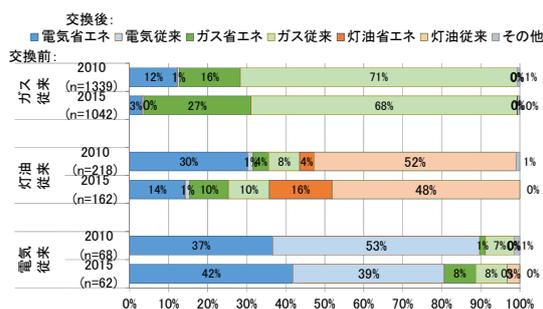


図3 既築住宅における交換前後の給湯器比率例

以上の結果全般を通じて留意すべき点として、給湯電化の停滞については、東日本大震災後の電気に対する不安、料金の上昇、電化営業の自粛などが影響しているものと考えられる。日本冷凍空調工業会の出荷統計によれば2008～16年の間で2010年は最多、2015年は最少の年にあたり、上述の事情も勘案すれば一時的な後退をとらえていると理解するべきであろう。それでもなお、このままではロックイン現象にとらわれ、将来ビジョンの実現に向けては相当なシェア拡大に向けた取り組みが求められることは明白である。

3.3 家庭用給湯器ロックインの定性的考察

量的にもロックインの兆候が示唆されたが、前節の枠組みを援用して、その複雑さについて質的理解を試みる。

(1) 技術的側面

給湯器のロックイン構造は特に集合住宅において強固であり、燃焼式であれば従来型から

潜熱回収型へ、電気式であれば電気温水器からヒートポンプ給湯機へのアップグレードが起きにくく、さらには燃焼式から電気式へのエネルギー転換も進みにくい。背景には、貯湯タンクの設置スペースや重量、給水やドレンの配管、電源容量確保など種々の課題が存在する。そのため、技術代替を進めていく上で、給湯器寿命の十余年ごとに訪れる機会に多くを期待することはできず、建物寿命の数十年のサイクルを要すると考えるほうが、見方としては現実的である。

平成25年住宅・土地統計調査によれば、我が国の住宅ストックの27.2%は、1980年以前に建築されている。1980年と2013年、2018年と2050年の間隔はほぼ同じであることを踏まえ、このデータを単純に将来にあてはめれば、今日の既築住宅は2050年断面の住宅ストックの3割程度を占めることになる。同調査によれば、集合住宅比率は一貫して上昇を続け、42.4%に達している。大幅削減シナリオは需要サイドにおける直接CO₂排出をほぼゼロに近づけることを掲げることが多いが、技術ロックインを直視するならば、削減ポテンシャルは既に制約を受けつつあることや、新築住宅への対策を先送りするほど状況は年々厳しくなることが示唆される。

(2) 組織的側面

各々のエネルギー事業者や工務店等サブユーザーが推奨する給湯器ラインナップには特色がある。主に取り扱うエネルギーを用いる給湯器を推奨することは、事業戦略として当然である。これまでの競争市場において、単なる給湯にとどまらず、浴室周りの付加機能、便利で快適な厨房や暖房も絡めたパッケージ提案が進化を遂げ、それに呼応するようにライフスタイルも変容してきた。こうした囲い込み戦略の成功は、裏を返せば構造の固定化をもたらす。電力やガスの小売完全自由化を経て、両者を扱う企業が増え、トータルエネルギーの概念が広ま

っていくことが期待できるが、培ってきた経験や効率的に築き上げられてきた販路がゆえに変化には時間を要するというのもまた、ロックイン議論の一般的示唆である。

なお、既に述べたように、ロックインやその背後関係を否定的文脈で一方的に解釈するのは適切とはいえない。例えば、我が国の特徴でもある電力とガスの競合関係は、互いの商材の技術開発を加速させ、販売戦略はしのぎを削り、省エネ給湯器のシェアを引き上げる誘因として作用してきたと考えられる。

次に、政策に目を移すと、市場・業界構造への配慮がなされた現行枠組みを維持することは、漸進的改善をもたらす一方で、ロックインをもたらすおそれがある²。例えば、機器のトップランナー基準のような効率規制では、燃焼式とヒートポンプ式とでそれぞれの技術特性を踏まえた制度運用が続けられてきた。あるいは、「高効率給湯」「省エネ給湯」といった括りの補助金運用や要求仕様では、各種技術をある程度平等に扱うことが多い。これらが対策の着実な進展に有効であることは言うまでもないが、CO₂大幅削減を射程とするのであれば、こうした枠組みの固定化は必ずしもプラスにならないおそれがあることも認識しておく必要がある³。

(3) 行動的側面

消費者サイドから見れば、給湯というサービスは差別化要素に乏しく、日常的に意識が向くものではない。それゆえに、故障や不具合がでてから給湯器交換を思い立ち、保有給湯器の関連業者に接触し、他の選択肢について十分な検討をしないまま、マイナーチェンジに陥りがち

である。新築時においても、省エネ給湯器は初期コストの高さを敬遠され、内装などに費用は振り向けられる。

また、住宅供給者については、販売価格や家賃を抑制するために、設置費用が大きい省エネ型は敬遠されがちである。こうした動機の分断（split incentive）問題により、同じ新築戸建であっても建売は注文よりも省エネ給湯率が低く、新築集合でいえば賃貸は分譲よりも低い。

4. おわりに

本稿では、既往文献をベースにロックイン現象の発生メカニズムや関連議論を概説するとともに、事例として家庭用給湯器のロックインの実態を明らかにした。

CO₂大幅削減を実現する上では、需要端において直接CO₂排出を伴う技術は極力用いず、電化を進めていくことが有効である。政府資料においても、燃焼式やヒーター式の給湯・暖房機器をヒートポンプ式技術で代替していくことには高い期待が寄せられている。しかし、例えば集合住宅で利用される給湯器は、機器単体ではなく住宅自体のライフサイクルでロックインされる可能性もある。技術や組織、社会が依存する混沌とした状態にあるとすれば、他の技術の歴史が教えるように、たとえ2050年であっても技術選択結果を楽観視することはできない。

温暖化防止戦略を検討する上では、ロックインの現状を丁寧に把握するとともに、ロックインが多かれ少なかれ残る「なりゆき」の将来と、それを捨象した「望ましい」将来とのギャップ

² Seto et al. (2016) による整理 (表1) でも、同様の組織的側面が指摘されている。

³ 機器トップランナー基準の例で言えば、燃焼式の場合は効率改善余地の限界を踏まえて規制強化取り組みが頭打ちになるのに対して、ヒートポンプ式ではハードルが継続的に

厳しくなる。各技術特性を踏まえるという点では実用的な管理方法だが、全体最適の視点からは、ヒートポンプ式のコスト上昇や燃焼式よりも効率的な機種淘汰につながるおそれも指摘できる。

を理解しておく必要がある。その上で、ロックイン問題が想像よりも手強いという認識に至るならば、温暖化対策が遅きに失することがないよう、追加的支援策の要否等の検討に早めに着手すべきである。

ロックイン問題の深刻さは、その技術の置かれた状況に依存する。LED照明へのシフトのように技術進歩や交換のしやすさから順調に技術代替が進んでいると思われるものもあれば、英仏政府が2040年までに内燃機関車の新車販売を禁止し、電気自動車へシフトする方針を発表した例にも垣間見られるように、長期的視点での議論が求められる対象もある。具体的手法については別途慎重な検討が必要だが、もしCO₂の大規模削減に向けて需要側対策を前提とするビジョンやシナリオを掲げるのであれば、前提と実態のギャップを埋めていくとともに、ロックイン問題の解消のために追加的コストが生じることを予め認識しておく必要がある。

最後に、エネルギーシステム分析としてのロックイン研究の有用性や限界について、今後の研究課題を述べる。ロックインがあてはまるかは技術次第だが、それが普及バリアになることが予想されるにもかかわらず、将来検討などで関心が払われていないようであれば、ギャップの存在や深刻さを問題提起すること自体も有益と思われる。例えば、普及量や費用対効果の分析において、ロックインを描写するような制約や抜け出すためのスイッチング費用を考慮に入れることで、早期対策の有効性を検証することもできよう。他方、ロックインを指摘すること自体は解決策を処方してくれないし、定量分析においても部分的な精度向上にとどまるおそれがある。どの政策が実行可能で効果的かは、対象技術やそれを取り巻く環境によっても左右されるので、解決策については別途検討する必要がある。

【参考文献】

- 奥村憲博 (2007) 経路依存, ロック・インとグローバル・エネルギー戦略, 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 坂本将吾, 永井雄宇 (2018) CO₂の長期大規模削減と電化-AR5 シナリオデータベースを用いた基礎的分析-1, 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 杉山大志(2017)「化石燃料へのロックイン」は本当に起きるのか? <http://ieei.or.jp/2017/08/sugiyama170824/> (アクセス日: 2017.11.30)
- 竹内純子, 伊藤剛, 岡本浩, 戸田直樹 (2017) エネルギー産業の2050年 Utility3.0へのゲームチェンジ, 日本経済新聞出版社.
- 中央環境審議会地球環境部会 (2017) 長期低炭素ビジョン. https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lc_vision.html (アクセス日: 2018.4.9)
- 西尾健一郎, 大藤建太 (2018) CO₂ 大幅削減とロックイン問題: 家庭用給湯器の事例にもとづく一考察, 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- 西尾健一郎, 大藤建太 (2012) 新築住宅市場における省エネルギー・断熱技術の採用率や満足度, 電力中央研究所研究報告, Y11015.
- 西尾健一郎, 大藤建太, 元アンナ (2013) 既築住宅における給湯器交換の傾向分析: 2010年に交換を経験した居住者へのアンケート調査から, 日本建築学会環境系論文集 78, 691, 711-718.
- 矢田部隆志 (2016) 家庭の給湯の省エネルギー: ヒートポンプ給湯器 500万台突破の背景, OHM, 103, 8, 57-61.
- Abernathy, W. and J. Utterback (1978) Patterns of industrial innovation. *Technology Review*, 80: 3-9.
- Erickson, P., S. Kartha, M. Lazarus and K. Tempest (2015) Assessing carbon lock-in, *Environmental Research Letters*, 10, 084023.
- Eyre, N. and P. Baruah (2015) Uncertainties in future energy demand in UK residential heating, *Energy Policy*, 87: 641-653.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Marechal, K. and N. Lazaric (2010) Overcoming inertia: insights from evolutionary economics into improved energy and climate policy, *Climate Policy*, Taylor & Francis, 10: 103-119.
- Seto, K.C., S.J. Davis, R.B. Mitchell, E.C. Stokes, G. Unruh and D. Urge-Vorsatz (2016) Carbon lock-in: types, causes,

and policy implications, *The Annual Review of Environmental Resources*, 41:425-452.

Unruh, G.C. (2000) Understanding carbon lock-in, *Energy Policy*, 28: 817-830.

Urge-Vorsatz, D., N.Eyre, P. Graham, D. Harvey, E. Hertwich, Y. Jiang, C. Kornevall, M. Majumdar, J.E. McMahon, S. Mirasgedis, S. Murakami and A. Novikova (2012) Chapter 10: Energy End-Use: Buildings. In: *Global Energy Assessment-Towards a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Laxenburg, Austria: 649-760.

西尾健一郎 (にしおけんいちろう)

電力中央研究所 社会経済研究所

大藤建太 (おおふじけんた)

会津大学