

# 電力中央研究所報告

産業部門における省エネルギーの障壁  
－ボイラ・工業炉・モータシステムの事例分析－

研究報告：Y08045

平成21年5月

財団法人 電力中央研究所

**R** **CRIEPI**

The image shows a stylized logo in a light gray color. It features a large, bold, serif capital letter 'R' on the left. To its right, the word 'CRIEPI' is written in a smaller, bold, sans-serif font. Two thick, curved lines, resembling a stylized 'S' or a swoosh, are positioned above and below the text, framing it. The top curve starts above the 'R' and ends above the 'I' of 'CRIEPI'. The bottom curve starts below the 'R' and ends below the 'I' of 'CRIEPI'.

# 産業部門における省エネルギーの障壁 ーボイラ・工業炉・モータシステムの事例分析ー

木村 宰\*

キーワード：省エネルギー障壁  
産業部門  
工業炉  
ボイラ  
モータシステム

Key Words : Energy efficiency barrier  
Industrial sector  
Industrial furnace  
Boiler  
Motor-driven system

## **Barriers to energy efficiency in the Japanese industry - Case studies of boilers, furnaces and motor-driven systems -**

**Osamu Kimura**

### **Abstract**

Despite the need for increased energy efficiency, literatures indicate the existence of profitable energy-efficiency potentials that are unexploited due to “energy efficiency barriers”. This report investigates if this holds for Japan and explores different barriers inhibiting the implementation of cost-effective energy efficiency measures in the Japanese industry. Focuses are given on energy efficiency measures concerning three technologies, namely boilers, industrial furnaces, and motor-driven systems, which in aggregate consume more than half of the energy in the non-energy intensive industry in Japan. Firstly the author examined the results of the past energy audit programs and existing surveys, and found that there seems to be large potentials of cost-effective energy efficiency measures in the three technologies. Secondly the author, based on the literature survey and interview survey, identified various barriers that inhibit diffusion of energy efficiency practices in each of the three technologies. The major energy efficiency barriers include access to capital, lack of information, lack of capacity to conduct proper energy management, hidden costs such as labor costs and inconvenience, split incentives, heterogeneity of demand, and lack of interest in energy efficiency by the top management. Policy implications are also discussed.

(Socio-economic Research Center, Rep.No.Y08045)

(平成 21 年 3 月 19 日 承認)

\* 社会経済研究所 エネルギー技術政策領域 主任研究員

## 背景

地球温暖化防止に向けて、大幅な省エネルギー推進が求められている。しかし、たとえ経済性が高いと思われる省エネルギー対策でも、実際には経済性以外のさまざまな障壁（省エネルギーバリア）によって実施されないことが多い。今後の省エネルギー推進には、このような障壁の理解と対応策の検討が不可欠である。

## 目的

省エネルギーの障壁に関する既往研究を踏まえて、我が国産業部門での省エネルギー対策にどのような障壁があるかを分析し、今後の対策への示唆を得る。

## 主な成果

主に非エネルギー集約型産業を対象として、主要なエネルギー消費設備であるボイラ・工業炉・モータシステムにおける省エネルギーのポテンシャルとその障壁について、NEDO や業界団体による実態調査等の文献収集および省エネルギー診断士等へのインタビュー調査を通じて事例分析を行った。

1. ボイラ・工業炉・モータシステムのいずれについても、大まかな推定ながら、短期間に投資回収が可能な省エネルギーポテンシャルの存在を確認した。
  - (1) ボイラ：空気比管理や廃熱回収は多くの事業所で徹底されておらず、省エネルギー診断事業では約半数の事業所でボイラの改善提案がなされており、工場の燃料消費を平均 4%程度削減できると報告されている。
  - (2) 工業炉：省エネルギー診断事業では、投資回収 3 年以内で工場エネルギー消費を 1~2%削減できる改善提案がなされている。また大幅な省エネが見込める高性能工業炉に注目すると、短期間で投資回収が可能と考えられる導入余地（約 5,000 基）に比して、現時点での導入は 1,000 基程度である。
  - (3) モータシステム：高効率モータは、汎用モータとの差額が短期間に回収できるにも関わらず普及率は 1%程度と低い。インバータ導入は、経済性があると思われる装着率（15~20%）に比べ、実際の装着率は 5~10%と低い。
2. ボイラ・工業炉・モータシステムの事例では、経済性以外の省エネルギーの障壁として少なくとも以下が確認された。
  - (1) 資金調達：多くの中小企業では大きな初期投資を要する対策実施は難しい。
  - (2) 情報の不足：対策や技術の存在やその潜在的な効果・導入方法についての情報・知識が不足している。例えば、高性能工業炉や高効率モータの存在

- を知らない、インバータ導入の箇所や導入方法がわからないなど。
- (3) 現状把握・対策検討能力の不足：運用改善および高効率設備への更新のいずれの際も、自社のエネルギー使用の現状を把握し、対策余地を検討することが不可欠だが、多くの中小企業ではその能力が不足している。
  - (4) 隠れた費用：次のような見過ごしやすい費用の存在が、対策を妨げている。
    - ① エネルギー管理にかかわる人件費
    - ② 生産工程に省エネルギー対策を講じることによる製品品質への影響
    - ③ 省エネルギー設備への更新時に操業停止することによる機会費用
    - ④ 他の優先される投資案件があるため省エネルギーに資金を回せない
    - ⑤ 対策に組織内の異なる部門間の調整が必要になる場合がある
    - ⑥ メンテナンスコストの増加や利便性の低下
  - (5) インセンティブの不一致：関係する主体間での立場の違いが省エネルギー対策を阻害することがある。例えば、高効率モータを採用するための追加費用は短期間に回収可能だが、メーカーからモータを購入して組み込む機器メーカーにとっては、ユーザーの関心が低く初期費用が高い高効率モータを採用するインセンティブは小さい。
  - (6) 需要の多様性：一般的には優れた省エネルギー対策であっても、工場ごとに設備や需要が多様であるため、適さない場合がある。例えばリジェネレータを中小企業に普及させるには、多様な炉種に向けた開発が必要になる。また、ボイラの高効率な運転管理のためには、自社の負荷特性に最適な容量選定や台数制御を独自に行う必要があり、調整が必要になる。
  - (7) 経営者の関心不足：企業での省エネルギー対策の推進には、資金や人員、部門間の協力構築等が必要になるため、エネルギー管理者だけでは対策を進めることができず、経営者が関心を持って適切な指示を出す必要がある。これがないことは、あらゆる省エネルギー対策における障壁となる。

## 政策的示唆

これらの障壁を解決するための政策措置を検討する必要がある。例えば、情報不足や現状把握・検討能力不足といった障壁に対しては、産業機器に対する規制的措置（効率基準、ラベリング）による情報探索費用の軽減や、計測機器の標準装備化によるユーザーの現状把握の支援といった措置が有効と考えられる。また、省エネルギー診断事業の拡充を通じた情報支援も検討されるべきであろう。

関連報告書：「省エネルギー政策理論のレビュー」 Y08046（2009）  
「エアコンによる CO2 削減に向けた方策」 Y08026（2009）

# 目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 本稿の構成	2
2. 省エネルギーの障壁とは：先行研究レビュー	2
2.1 産業部門での経済的な省エネルギーポテンシャル	2
2.2 欧米の先行研究にみる省エネルギーの障壁	5
2.3 省エネルギー障壁と経済性	7
2.4 まとめ：省エネルギーの障壁を分析する重要性	8
3. 我が国産業部門における省エネルギーの障壁	10
3.1 分析の対象と方法	10
3.2 事例1：ボイラ	13
3.3 事例2：工業炉	20
3.4 事例3：モータシステム	28
3.5 工場の省エネルギー対策全般に見る障壁	36
4. まとめと考察	37
4.1 事例分析のまとめ	37
4.2 政策的示唆	40
4.3 今後の課題	42
謝辞	42
参考文献	43

# 1. はじめに

## 1.1 背景と目的

地球温暖化対策の推進において、省エネルギー対策は最も優先すべき対策の一つである。我が国においても、京都議定書の排出削減目標達成や中長期的な排出削減に向けて、今後の大幅な省エネルギーが必要とされている（総合資源エネルギー調査会「長期需給エネルギー見通し(案)」2008年3月）。

省エネルギー対策は、他の温室効果ガス削減対策と異なり、エネルギー費用を削減することによって負のコストで実施できる場合があるという点が特徴的である。つまり、省エネルギー対策は多くの場合儲かるということである。実際に、これまでの研究においても、経済性の高い省エネルギー対策のポテンシャルが大きいことが数多く報告されてきた。例えば IEA が 2008 年に取りまとめた “Energy Technology Perspective 2008” においても、大幅な排出削減のために必要となる諸対策の中で、省エネルギー

一施策の多くは負の費用で実施可能と位置付けられている（図 1）。

しかしながら、一見すると経済性が高いと思われる省エネルギー対策であっても、企業や消費者は必ずしもそれを実施しないという現象が指摘されている。これは、経済性以外のさまざまな障壁によるとされており、省エネルギーバリア（energy efficiency barriers）と呼ばれている（Brown, 1991; Howarth & Anderson, 1993）。

諸外国においては、省エネルギーの障壁に対する研究が盛んになされ、さまざまな障壁の存在やそれを取り除く施策について議論されてきた。しかしながら、我が国においてはこの考え方が紹介されることがほとんどなく、障壁の実態もほとんど解明されてこなかった。

そこで当所では、2008 年度より省エネルギーの障壁に関する研究を開始し、理論的な側面の整理（若林・木村，2009）や、空調の省エネルギー対策に関する実証分析（西尾，2009）などを進めてきた。本稿はその一連の研究の一部であり、産業部門の省エネルギー対策を取り扱う。

我が国の産業部門は世界最高水準のエネルギー効率を有しているが（IEA, 2008a; Graus &

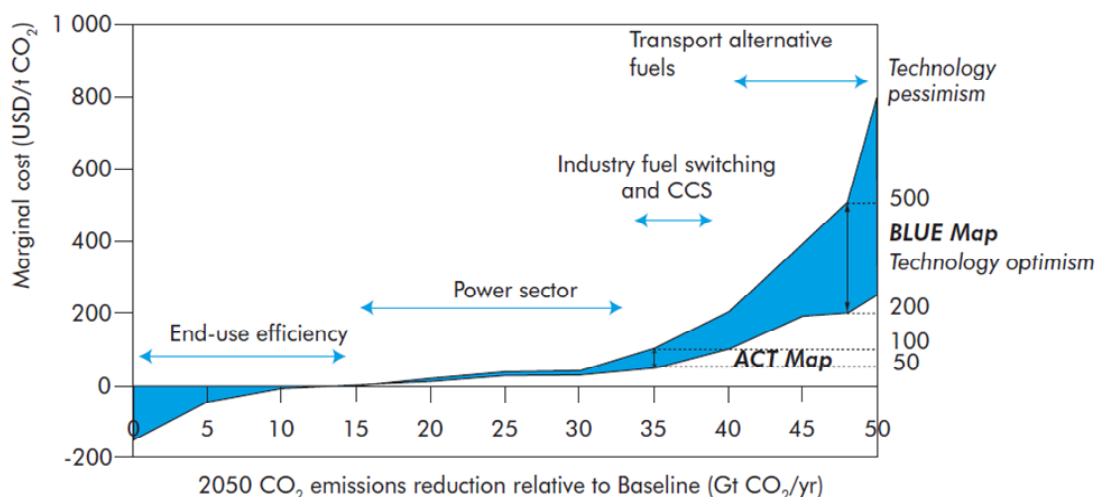


図 1 CO2 限界削減費用曲線における省エネルギー対策の大まかな位置付け（IEA, 2008a）

注：IEA(2008)が示す温室効果ガス排出削減の限界費用曲線。矢印は各対策が主に該当する横軸上の位置を大まかに示しており、需要側の省エネルギー対策は諸対策の中でも最も費用効果が大きいことがわかる。なお、網掛け部分は Technology pessimism と optimism の 2 シナリオの幅を示す。

Worrell, 2007; Phylipsen *et al.*, 2002)、一方で、省エネルギー対策の余地はまだ存在するとの主張もある。

我が国の産業部門にも経済性の高い省エネルギーポテンシャルが存在するのだろうか？ またその場合、どのような障壁によって対策が阻害されているのだろうか？ ——これらの問いを検討し、今後の省エネルギー政策への示唆を得ることが本稿の目的である。

## 1.2 本稿の構成

本稿の構成は以下の通りである。

次章では、まず省エネルギーの障壁の概念を紹介し、産業部門の省エネルギーポテンシャルや障壁に関する既往研究を整理する。

第3章は、我が国の産業部門に対する事例研究である。本稿では、これまでに多くの検討がなされているエネルギー集約産業ではなく、エネルギー非集約型産業を主な分析対象とする。中でも、非エネルギー集約型の製造業におけるエネルギー消費の大半を占める工業炉、ボイラおよびモータシステムの3つを事例として、省エネルギー対策のポテンシャルおよびその実現を妨げる障壁を分析する。

第4章では、分析の結果を取りまとめ、省エネルギー政策への示唆や今後の研究課題を整理する。

## 2. 省エネルギーの障壁とは：先行研究レビュー

本章では、産業部門における省エネルギー対策の障壁とはどのようなものであるか、先行研究で得られている知見を整理する。

まず、産業部門において経済的な省エネルギー対策のポテンシャルが存在することを既往文献から示す。次に、このような経済的な省エネルギー対策の実施をさまたげる障壁について、主に欧米の先行研究に基づいて整理する。

### 2.1 産業部門での経済的な省エネルギーポテンシャル

#### 2.1.1 世界・海外でのポテンシャル

世界の産業部門のエネルギー消費は2004年で147EJであり、1次エネルギー総供給469EJのうち約3分の1を占める(IEA, 2008b)。我が国では、産業部門のエネルギー消費は最終エネルギー消費の46%に上り、大きな位置を占めている(EDMC エネルギー・経済統計要覧2007)。

このような産業部門のエネルギー消費は、今後どの程度削減できるのだろうか。省エネルギーポテンシャルの推計にはさまざまなものがあるが、ここでは代表的なものをいくつか取り上げる。

まずIEA(2008b)は、世界の製造業において、現在既に商業化されている高効率技術を用いることで1次エネルギーの18~26%が削減可能であるとしている。これは、鉄鋼や石油化学といった主要な業種と、動力システムや蒸気システム・コジェネレーションといった主要システムのそれぞれについて、世界の平均的なエネルギー効率を最高効率の国ないし取り組みのレベルまで引き上げることで得られる省エネルギー効

果を推計したものである。これは、現在商業化されている技術的対策のみを考慮していることから、経済性のある省エネルギーポテンシャルの評価であると考えられる。ただし、この推計では対策に要する費用を詳しく検討していない。

一方で IEA(2008a)は、2050 年までの世界の CO2 排出削減シナリオを分析している。産業部門については、2050 年までに 2005 年比で 22% の CO2 排出削減がなされるシナリオを示しており (BLUE Map シナリオ)、そのベースラインシナリオに対する限界削減費用曲線を図 2 のように表している。ここで、限界費用が負ないし小さい対策は主に省エネルギー対策であり、特に素材産業におけるエネルギー効

率向上の寄与が大きいとしている。

また、McKinsey&Company 社は 2007 年にいくつかの先進国での CO2 排出削減ポテンシャルの評価を行っている (McKinsey&Company, 2007a, 2007b)。これらはいずれも、主要な CO2 排出削減対策を 200~300 程度抽出し、2020 年ないし 2030 年までにそれらの対策をその費用と削減効果をボトムアップに推計するものである。例えば、ドイツの産業部門における CO2 削減限界費用効果曲線は図 3 のようになっており、高効率モータの採用やモータシステムの変速化による省エネルギーが、非常に経済性の高い CO2 排出削減対策であることが示されている (McKinsey&Company, 2007a)。

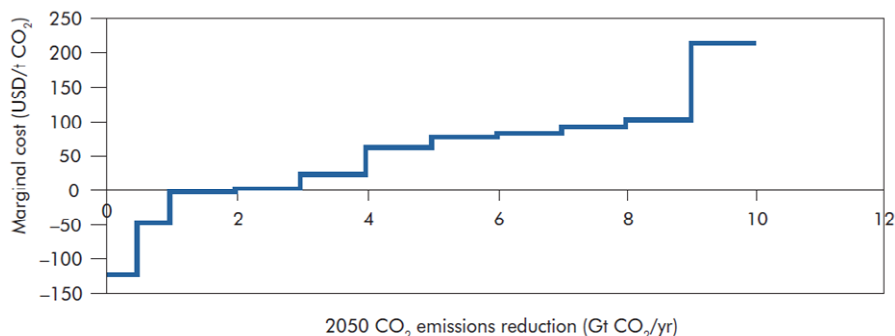


図 2 産業部門の CO2 削減限界費用曲線 (IEA, 2008a)

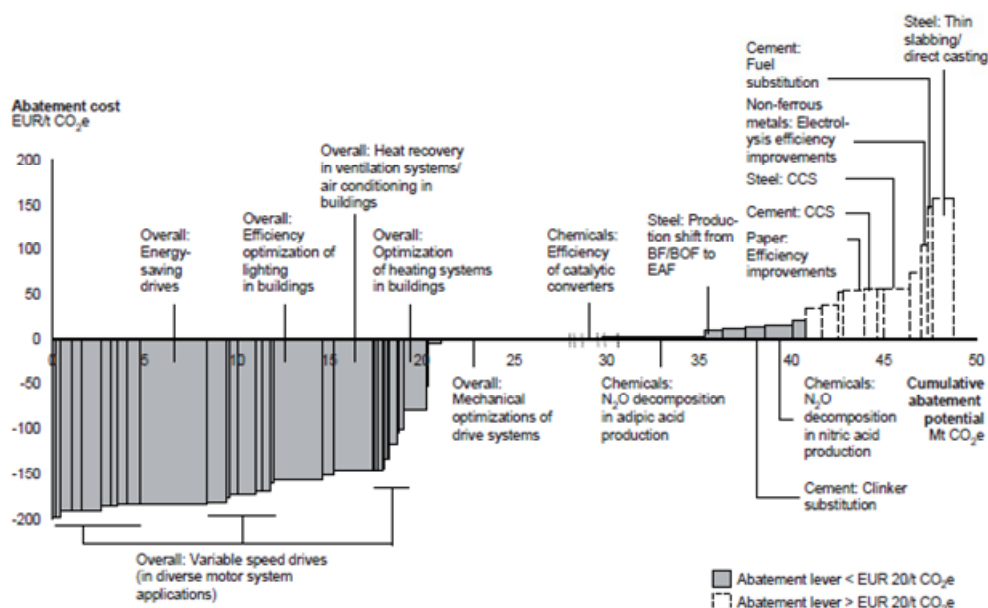


図 3 ドイツ産業部門における CO2 削減限界費用曲線 (McKinsey, 2007a)

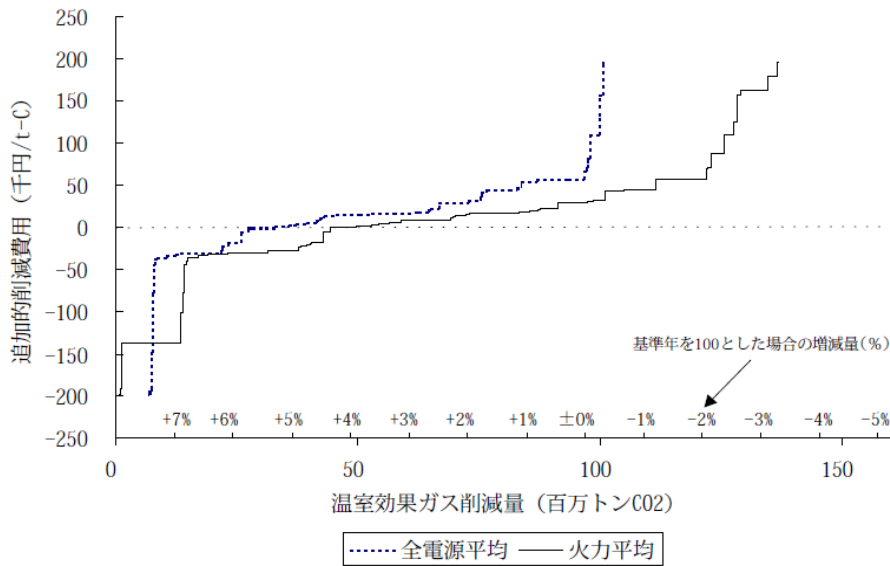


図 4 我が国の温室効果ガス限界削減費用（中央環境審議会地球環境部会，2001）

注) 計画ケースに対する削減量と追加費用。投資回収期間には法定耐用年数を使用。

このように、世界の産業部門には経済性の成立する省エネルギーポテンシャルが多く存在することが報告されている。

### 2.1.2 我が国でのポテンシャル

では、我が国の産業部門における経済的な省エネルギー対策ポテンシャルについては、どのように評価されているだろうか。

中央環境審議会地球環境部会（2001）は、確実性の高い政策・対策の実施を前提とした 2010 年の排出予測値（計画ケース）に対し、技術的に可能な追加削減量をその費用とともに評価している。これによれば、産業部門における省エネ、資源の有効利用、高性能工業炉、およびコンバインド発電等の対策技術では、削減費用を上回るエネルギー費用の軽減が可能であり、これらの技術によって実質的な追加費用なしで 15,758 千 t-CO<sub>2</sub> の温室効果ガスが削減可能と推計している<sup>1</sup>。これは、我が国基準年排出量<sup>2</sup>の

1.3%に相当する量である。

ただし、以上で紹介した省エネルギーポテンシャルの評価は、将来的な設備更新時に実施することで費用効果的になる対策を多く含んでおり、現時点で直ちに実施可能な対策ばかりではないこと、そして経済性の評価期間として法定耐用年数を使用した経済性評価となっていることに注意が必要である<sup>3</sup>。

そこで、現時点で実施可能でありかつより短期間で投資回収が可能な省エネルギーポテンシャルについて、省エネルギー診断の結果から確認する。図 5 は、ESCO 事業導入研究会(1998)の調査による産業部門での省エネ診断事例 66 件の調査結果である。1 件あたりの年間省エネ効果が数 100 万円～数 1,000 万円程度の事例が多く、回転機（ファン、コンプレッサなど）とボイラの省エネ事例では投資回収 2 年以下とい

<sup>3</sup> これは、IPCC(2007)の定義における「経済ポテンシャル」、すなわち、将来の政策実施によって市場の効率が改善されさまざまな障壁が取り除かれることを前提に、社会的費用と社会的割引率を用いて費用効果的と評価される削減ポテンシャルに相当する。これに対して、私的費用と私的割引率を用いた削減ポテンシャルは「市場ポテンシャル」とされている（IPCC, 2007, p.7-8, 140）。

<sup>1</sup> 電力消費削減による CO<sub>2</sub> 削減量を、全電源平均原単位を用いて計算した場合の推計値。

<sup>2</sup> 基準年排出量は 1,210,435[千 t-CO<sub>2</sub>換算]として計算

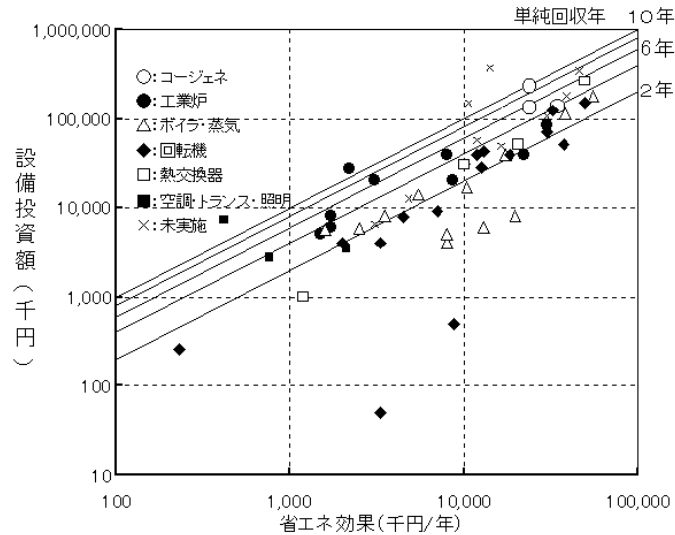


図 5 機器別の省エネルギー診断・改修事例 (ESCO 事業導入研究会, 1998)

注) ESCO 事業導入研究会(1998)の調査による産業部門での省エネ診断事例 66 件の調査結果。対象は設備投資額 4 億円以下の事例。回転機はファン、ブロア、コンプレッサ、ポンプの総称。

う高い経済性をもつものが多いことがわかる。

さらに、省エネルギーセンターがこれまでに実施した省エネルギー診断事業では、各種製造業の工場エネルギー消費を 2~12%削減する改善提案がなされている(図 8)。これらの経済性は明示されていないが、省エネルギーセンターによる省エネルギー診断では通常、設備投資を伴わない運用改善による対策や簡単な改造で実現できると診断された対策が提言されており、その大半は投資回収が 1 年以内と考えてよい<sup>4</sup>。すなわち、平均的な工場では、投資がほとんどいらないか非常に短期間に投資回収が可能な省エネルギーポテンシャルが 7%程度存在しているということである。

このように、我が国の産業部門においても、経済性が見込まれる省エネルギーポテンシャルが存在するという証拠がある。

しかしながら、このような省エネルギーポテンシャルが存在しているということは、これま

での条件下ではそのポテンシャルが実現されなかったことを意味している。したがって、これらの評価で見込まれていた経済性の他に、実現を妨げる何らかの要因があると考えられ、省エネルギーポテンシャルの実現のためには、そのような要因の解明と対策が極めて重要になる。次節では、それは具体的にはどのようなものかについて、これまでの研究で得られている知見を紹介する。

## 2.2 欧米の先行研究にみる省エネルギーの障壁

### 2.2.1 省エネルギーの障壁とは

省エネルギー障壁 (energy efficiency barriers) とは、一見経済合理的と考えられる省エネルギー対策の実施を妨げる非経済的な障壁を指す (Howarth & Andersson, 1993)。前節にて紹介したように、経済的に投資するのが合理的と思われる省エネルギー対策は確かに存在している。

<sup>4</sup> 例えば 1998 年度の実施事例の平均省エネ率は 10.4%であり、投資回収が 1 年以内程度と見込まれたものは 6.8%と大半を占める (中小企業事業団, 1998)。

表 1 省エネルギー障壁の代表的分類

新古典派経済学で説明できる障壁	
(1) リスク	省エネルギー投資に高い収益率が要求される（短期間での投資回収が求められる）のは、リスクが高いためである部分がある。省エネルギー投資のリスクが高い理由としては、①技術が新しく信頼性が低い、②設備が非流動的でやり直しが利かないなど。
(2) 不完全情報	省エネルギー余地についての情報が欠如しているために、経済性に優れた投資機会が見過ごされる可能性がある。例えば、消費者が製品のエネルギー効率に関して十分な情報を持たないために、低効率の製品を選んでしまうことなど。
(3) 隠れた費用	把握・定量化が困難なために見過ごされてしまう費用が存在していることがある。例えば、エネルギー管理のために発生する人件費などの間接費用、技術の探索費用や導入の諸手続きの費用、省エネルギー対策のために生産ラインを一時停止することによる損益などがある。
(4) 多様性	ある対策や技術が平均的には効果的であっても、個別に見てみると効果的でない場合も多いということがある。例えば、あまり暖房の必要がない世帯では、高効率な暖房機器が選択されにくいことなど。
(5) 資金調達	信用力の乏しい中小企業や低所得者は資金調達のコストが大きいと、通常の投資基準から見ると十分魅力的な投資機会であっても見送ってしまうことがある。
(6) 逆選択	製品を購入する際、買い手は売り手よりもその性能についての情報を持たないため（情報の非対称性）、売り手から高効率機器と説明されても確信を持たず、低価格製品を選択してしまう。
(7) インセンティブの不一致	関係主体の間での立場の違いが、省エネルギー対策を阻害する場合がある。代表的な例としてオーナー・テナント問題がある（ビルのオーナー側はビル性能が家賃に反映しにくくまた暖房費を負担しないため、ビルの省エネ性能を良くするインセンティブがない。一方、借家人は空調費の節約のために省エネ性能の良いビルにしてほしいが、その決定権がない）。
行動理論で説明できる障壁	
(8) 限定合理性	人々の認知・情報処理能力には限界があるために、部分的な最適行動にとどまること。
(9) 惰性	これまでのやり方や習慣を変えることへの抵抗から、新しい省エネルギー対策の導入をしないことがある。
(10) 信頼性・信用	情報を受け入れる際には、それに信頼性があるか、信用できるかが重要になる。省エネルギー対策の情報の信頼性が低いと、実施される可能性も低くなるなど。
(11) 価値観	個人の価値観で省エネルギー対策が影響されることがある。例えば、エネルギー管理者や経営者が環境保全への信念を持っていると省エネルギー対策が進めやすいなど。
組織理論で説明できる障壁	
(12) 権力構造	組織内の権力構造により省エネルギー対策が影響されることがある。例えば、エネルギー管理者の権限が小さいと省エネルギーが進めにくいなど。
(13) 文化	組織文化が省エネルギー対策に影響することがある。環境対策を重視する組織文化、コスト管理を重視する組織文化などが影響を与えうる。

（出典：SPRU (2000)より作成）

にもかかわらず、実際には企業や消費者が対策を実施するとは限らないという現象は、1970年代後半から指摘され、これまで数多くの研究がなされてきた（Jaffe & Stavins, 1994; Levine, et al., 1995; Geller & Attali, 2005）。

その詳細は別報告書（若林・木村, 2009）にゆずるが、ここでは省エネルギー障壁の分類としてしばしば参照される SPRU(2000)の整理を表 1 に示しておく。省エネルギー投資が高リス

クであること(1)、省エネルギー機会に関する情報が不完全であること(2)、見過ごされやすい「隠れた費用」が存在していること（情報探索に要する人件費、他のより魅力的な投資機会など）(3)、オーナー・テナント問題に代表されるような関連主体間のインセンティブの不一致(6)、個人の認知・判断には限界があること（限界合理性）(8)、などがこれまで主な省エネルギーバリアとして指摘されてきた。これらの多く

は市場の失敗に基づくものであり、政策によって障壁を取り除く必要がある(若林・木村, 2009)。

なお、これらは決して排他的な分類ではなく、お互いに重なり合う内容が含まれる。例えば、省エネルギー対策に関する情報不足のために対策が進まないといったケースは、不完全情報(2)という障壁のためとも言えるが、担当者の情報収集や処理能力に限界がある(7)ため、あるいは情報探索に要する取引費用(3)が多くなるためとも説明できる。

また、このように考えると、障壁の全てを取引費用や機会費用と見なすこともできなくはない。そして、これらの隠れた費用はあくまで「費用」であるから、そもそも経済性を評価する際に考慮しておくべきとの考え方もある。実際、これらの費用を含めて評価すると、経済性があるように見える省エネルギーポテンシャルには実は経済性がなく、そのために実施されていないだけである、といった議論もなされている(例えば Sutherland, 1996)。

しかし、隠れた費用には、機会費用のような対策の取りえない費用が含まれる一方で、市場の失敗や組織の失敗に起因するものも含まれており、それらは政府介入により効果的に取り除くことができる場合がある (Howarth *et al.*, 2000; Sorrell *et al.*, 2004, pp.26-27)。

したがって、障壁の具体的な内容を詳しく分析した上で、それらへの対策の可能性や妥当性を検討することが重要である。このような検討を行うためには、表 1 の整理は抽象的であるものの、分析の出発点として有益である。

## 2.2.2 産業部門における省エネルギーの障壁

産業部門においても、経済性以外の省エネルギー障壁が存在することは多くの研究により明らかにされてきた (Velthuisen, 1993; DeCanio,

1998 など)。

障壁の具体的な内容については、Rohdin などのスウェーデン研究者が優れた整理をしているので、それを表 2 に示す (Rohdin & Thollander, 2006; Rohdin *et al.*, 2007; Thollander & Ottoson, 2008)。これは、表 1 をはじめとする既往研究に基づきつつ、同国の工場省エネルギー担当者等との議論を経て、より具体的な障壁として整理したものである。同様の障壁が、我が国の工場でも存在することが予想される。

## 2.3 省エネルギー障壁と経済性

省エネルギー障壁を考える際に「経済性」は鍵になる概念であるため、ここで整理しておく。

本稿における経済性とは、実際の市場で適用されていると考えられる投資基準、すなわち 3 年程度以内<sup>5</sup>で投資回収が可能であることとする。前節で述べた省エネルギー診断事業における提案は、基本的にこのような経済性を満たすものと考えられる。

一方で、より長期間での経済性を評価する立場を取ることも可能である。例えば、前節で述べた IEA 報告や McKinsey 報告では、省エネルギー対策の投資回収期間として対象設備の耐用期間を想定している。

これらの投資回収期間を割引率に読み替えると、前者(投資回収期間 3 年程度)は私的割引率 30~50%程度を、また後者(投資回収期間 10~20 年)は社会的割引率である 5~10%を、それぞれ適用した際に費用効果的であることを意味する。

省エネルギー投資の経済性を評価する際に、この 2 つの基準のどちらを用いるべきかという

<sup>5</sup> 企業の省エネルギー投資において「投資回収期間 3 年程度以内(できればもっと短く)」が一般的に適用される基準であることは、本研究のインタビュー調査でも確認された。これは米国企業でも同水準であることが確認されている (DeCanio, 1993)。

表 2 工場における具体的な省エネルギーの障壁

- (1) 省エネルギー技術導入の技術的リスク： 製造工程にこれまでと異なる技術を導入することによって、生産性や品質に支障が生じるリスクがあるため、導入に踏み切れない。
- (2) 省エネルギー技術導入に伴う不便、手間、機会費用： 新しい設備の設置のために生産ラインを止めることの機会費用が生じる。また導入に伴う人手や時間のコストが生じる。
- (3) 技術的な多様性： 各工場の工程は特殊なものが多く、必ずしも汎用技術が適用できない。またその工程に適合させるために大きなコストを要する。
- (4) 他に重要な案件があることによる時間不足： 他に優先順位の高い案件が存在するため、省エネルギー対策のためにあまり時間が割けない。
- (5) 資金制約： 生産や開発など他の投資案件との兼ね合いなどから、省エネルギー対策費が調達できない。
- (6) 人手不足、人員削減： エネルギー管理に係る人員が削減されているため、省エネルギー対策の探索や検討を担える人手が足りない。
- (7) 組織内の検討プロセスの冗長性： 製造現場で省エネルギー対策の提案をしても、組織内での承認を得るために多大な時間と労力を要してしまう。
- (8) 従業員の認識不足： 従業員の省エネルギー対策に関する認識や関心が不足している。
- (9) エネルギー管理担当者の影響力が小さい： エネルギー管理担当者の社内での地位や影響力が低く、提案しても実施されにくい。
- (10) 不十分な計測体制： 工程や部署ないし機器ごとのエネルギー消費量計測ができていないため、省エネルギーのインセンティブが生まれにくい。
- (11) 省エネルギーの優先順位の低さ： エネルギーコストが小さい、環境対策に無関心などの理由により、省エネルギー対策への優先順位が低い。
- (12) 技術的情報の不足： 省エネルギー対策のノウハウや技術的知識が不足している。
- (13) 調達・操業・保全における省エネルギー観点の欠如： 設備の調達・操業・保全において、省エネルギーの観点が考慮される仕組みがない。
- (14) 将来の不確実性： 企業自体の先行きが不確実なため長期的な投資を考えられない。
- (15) ユーティリティーコストに対する認識不測： エネルギーコストを管理部署が一括して管理すると、他の部署はコスト意識が薄れてしまう。

(出典：Rohdin & Thollander(2006), Rohdin et al.(2007), Thollander & Ottoson(2008)より筆者作成)

点は、従来より多くの議論がなされてきた(Jaffe & Stavins, 1994)。将来の不確実性が大きいと高い割引率を適用するのは市場の合理的な反応であるとする議論がある一方で(Sutherland, 1996)、省エネルギー投資に対する私的割引率が高いのは表 1、表 2 のような省エネルギーへの障壁が存在しているためであるとの議論もあり(Geller & Attali, 2005)、結論は出ていない。

そこで本稿では、省エネルギーポテンシャルを過大に評価することを避けるため、3 年程度

以内に投資回収が可能であるポテンシャルとその実現を妨げる障壁を検討対象とする。

## 2.4 まとめ：省エネルギーの障壁を分析する重要性

経済的な省エネルギーポテンシャルの存在は、すなわちそれが実現されることを意味しない。逆に、その実現を妨げている何らかの障壁が存在すると考えられる。

我が国でも、省エネルギー進展に関する数多くのシナリオや見通しが作成されているが（例えば総合資源エネルギー調査会「長期エネルギー需給見通し」2008年3月）、それらの多くは、省エネルギーのポテンシャルを指摘するにとどまっている。そして、それが高い経済性を持つても実現されない場合があることや、実現を妨げる障壁が存在することへの検討はほとんどなされていない。

今後、省エネルギーのポテンシャルを実現させていくためには、それを妨げる障壁に対する理解とその解決策の検討が不可欠である。そのような障壁は、個別の技術や対策により多様であり、またそれは業種や地域によっても異なることが明らかにされている（Sorrell *et al.*, 2000; Schleich & Gruber, 2008; Sardianou, 2008）。

そのため、我が国ではどのような事柄が障壁となっているのか、個別の事例について実態を把握していく必要がある。次章ではこれを試みる。

### 3. 我が国産業部門における省エネルギーの障壁

本章では、我が国の非エネルギー集約型産業に注目して、省エネルギーポテンシャルとその実現を妨げる障壁についての事例分析を行う。

#### 3.1 分析の対象と方法

##### 3.1.1 対象

我が国の産業部門エネルギー消費の業種別構成を見ると、鉄、石油化学、窯業土石、紙パルプといったエネルギー集約型産業で約7割を占める(図6)。これらエネルギー集約型産業における省エネルギーのポテンシャル等についてはこれまでに多くの検討がなされており(IEA, 2008b; Tanaka et al., 2006 など)、また製造コストに占めるエネルギーコストの割合が大きいことから、基本的には優れた省エネルギー対策が実施されていると考えられる。このため、本稿ではエネルギー集約型産業は基本的に検討対象としない。

本稿は、主にエネルギー非集約型産業を対象として、その中で業種にかかわらず幅広く用いられているエネルギー設備である工業炉、ボイラ(発電用を除く)、モータシステムにおける省エネルギー対策について分析する。

これら3つの設備は、非エネルギー集約産業部門における主要なエネルギー消費設備であり、多くの工場において省エネルギー対策の主対象となっているものである。機械工業を例としてそのエネルギー消費構成を見てみると(図7)、加熱炉、ボイラ、動力はそれぞれ13%、11%、36%を占めている。この構成は業種により異なると考えられるが、一般的な工場では、コージェネを除くとこれら3つの設備が最大のエネルギー

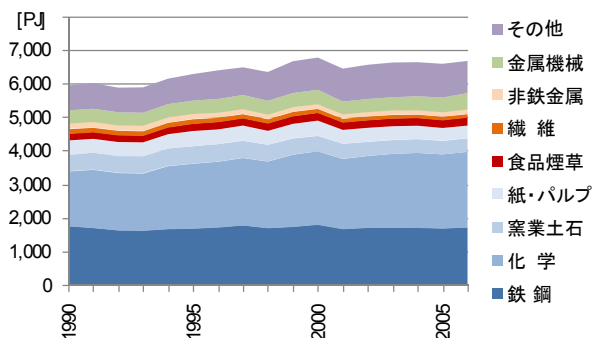


図6 産業部門のエネルギー消費

(出典: EDMC エネルギー・経済統計要覧 2008)

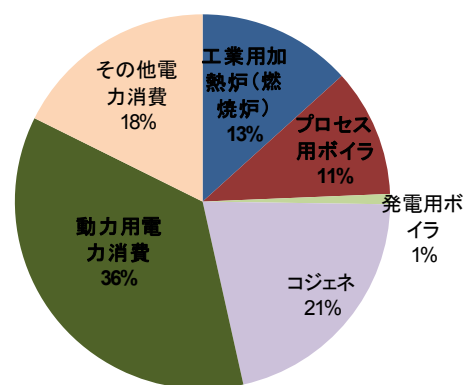


図7 工場におけるエネルギー消費の構成：機械工業の例 (2007年)

(出典: 石油等消費動態統計年報 2007年 および岩井(1997)より作成)

注1) 電力消費の内訳については、岩井(1997)に基づき、工場消費電力の58%が動力用であるとした。  
注2) 消費時発生熱量ベース。

一消費設備と考えてよい。

##### 3.1.2 方法

本稿では、工場に対する一次調査(インタビュー調査ないしアンケート調査)を実施する前段階として、対象設備の省エネルギー対策に詳しい専門家へのインタビュー調査ならびに文献調査という二次的な調査方法を用いた。

インタビュー対象者は大きく3つに分けられる。業界団体、メーカー、そして省エネルギー

表 3 本稿の事例分析で利用した主な情報源

	事例 1：ボイラ	事例 2：工業炉	事例 3：モータシステム
筆者によるインタビュー調査 (2008年4月～2009年1月)	日本ボイラ協会 日本小型貫流ボイラ協会	日本工業炉協会 工業炉メーカーA社	日本電機工業会 インバータメーカーB社 ポンプメーカーC社
	省エネルギー診断士 D氏(元化学工業品メーカー)、E氏(元電気機械メーカー)、F氏(元窯業メーカー)、G氏(元中小企業事業団診断員)、H氏(省エネルギーコンサルタント)		
業界団体による実態調査	日本ボイラ協会(2005a, 2005b, 2005c, 2005d)	NEDO・富士総合研究所(2001), NEDO・日本工業炉協会(2001a, 2001b, 2005a, 2005b), NEDO(2003, 2005, 2007)	日本電機工業会(2007)
省エネルギー診断事例集	中小企業事業団(1996, 1997, 1998, 1999), 中小企業総合事業団(2000, 2001)		

診断士の方々である。このうち、本調査でインタビューを実施した省エネルギー診断士(5名)は、いずれもこれまで10年以上にわたって200件以上の工場省エネルギー診断の実施経験を持つ方々であり、工場の省エネルギー対策の実態を客観的な立場から詳しく把握する方々である。

一方、文献調査については、各社の技術報告や学術誌・業界誌等から関連記事を収集するほかに、特に以下の2つの文献を活用した。すなわち、業界団体等による既往の実態調査および省エネルギーセンターによる省エネルギー診断事例集(BOX1参照)である。これらの主な情報源を表3にまとめる。

以下の事例分析においては、次の3点を行う。

1. 基礎的情報として、事例となる設備の概要や普及状況を整理する。
2. 事例となる設備での主要な省エネルギー対策を整理するとともに、短期間(3年程度以内)で投資回収が可能である省エネルギーポテンシャルについて、省エネルギー診断事例や統計等のデータを用いて検討する。
3. 事例となる設備の省エネルギーを妨げる障壁について、文献調査およびインタビュー調査から明らかにする。この際、表1や表2に整理した省エネルギーの障壁の有

無を確認する。ただし、本稿では時間制約のため、各事例でこれら全ての障壁について検討したわけではないことに注意されたい。

## BOX 1 省エネルギーセンターの「省エネルギー診断事業」

本稿では、財団法人省エネルギーセンターによる省エネルギー診断事業の事例データを一部利用するため、ここで同事業の概要を紹介する。これは、国からの補助事業として省エネルギーセンターが受託し、基本的に無料で実施してきたものである。

- 診断対象： 年間 100～500 件程度であり、1975 年の開始以降 2007 年度までの累積件数は約 12,000 件に及ぶ（工場が約 9,000 件、ビル・建築物が約 3,000 件）。工場診断の対象の大半は中堅企業・中小企業である。
- 診断の概要： 診断を希望する事業者に対して省エネルギーセンターが診断員を派遣し、無料で省エネルギー診断を実施する。実施形態は診断員 2 名程度が工場に派遣され、現地診断を実施し、後日診断報告を取りまとめ、対象企業に提言する。図 8 はこれまでの診断結果の集約である。
- 診断の効果： 省エネルギー診断は 1 年後にフォローアップ調査が実施され、提言の実施状況等が調査されている。その詳細は不明だが、例えば 2000 年度に実施した業務ビルの省エネルギー診断へのフォローアップ調査では、提言された項目のうち 35%が実施済み、15%が実施予定との結果を得ている（なお、残りは未検討 24%、実施しない 26%）（加賀谷，2002）。
- 診断の特徴： 対象事業所からの自発的な応募に基づくことから、そもそも省エネルギー対策への関心がある程度有する事業所が対象と言える。また無料であることも特色であり、参加動機は大きくなる一方、ESCO 等の有料診断サービスの場合と比べて診断結果を真剣に活用する動機は弱くなる可能性がある。
- 診断事例集： 1996 年～2001 年の診断事業については省エネルギーセンターより診断報告事例集を入手することができる（中小企業事業団，1996，1997，1998，1999，中小企業総合事業団，2000，2001）。それらには年間 70 件前後の診断概要シートとともに、30 件程度については診断の詳細報告が記載されている。本稿では、このデータを一部抽出して利用している。

参考文献：省エネルギーセンター，2008，『省エネルギー30年の歩み：地球環境保全をめざして 1978-2008』，省エネルギーセンター。 加賀谷幸司，2002，「省エネルギー診断とその効果－フォローアップアンケート調査から－」，『省エネルギー』，54(10)，pp.104-107。

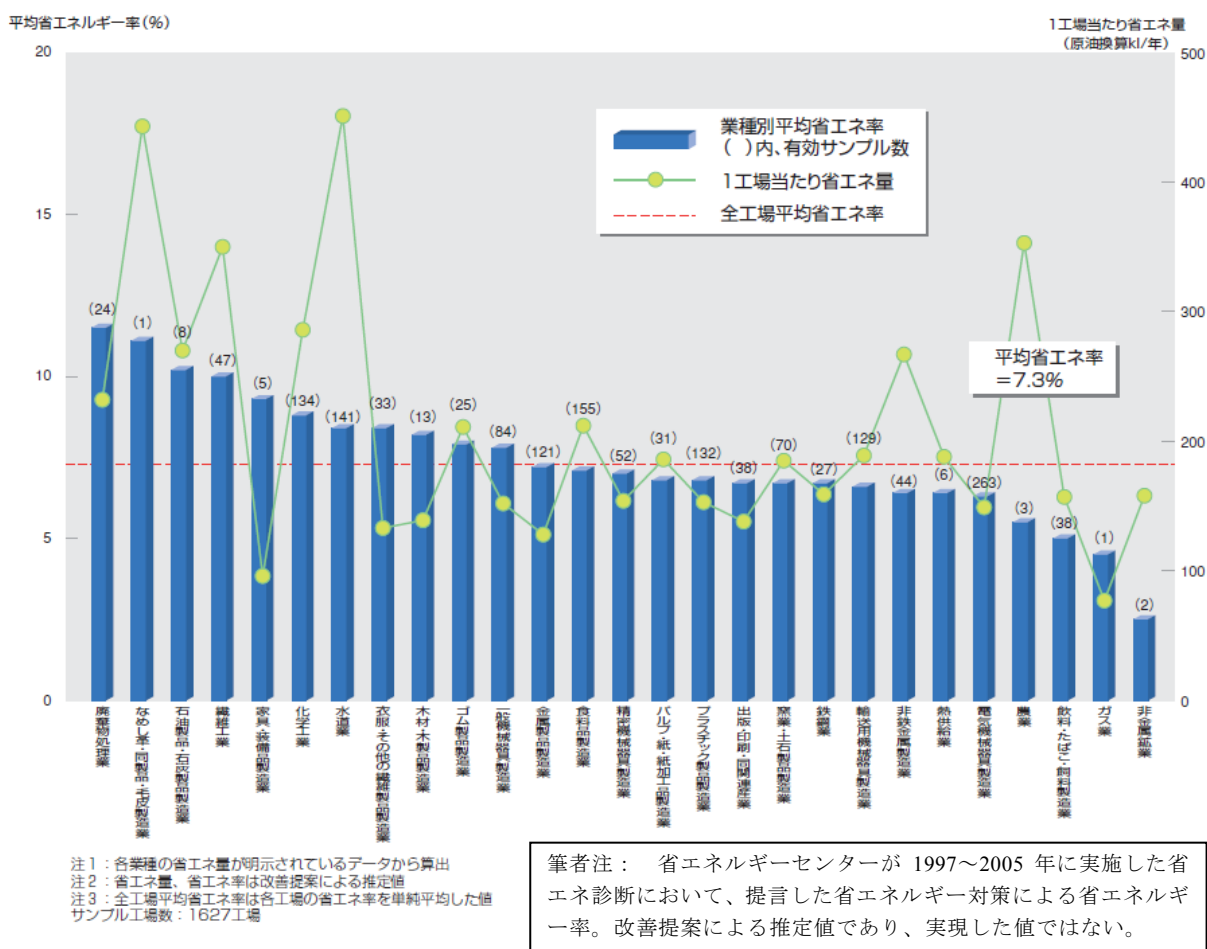


図 8 省エネ診断を受けた工場の業種別平均省エネルギー率（省エネルギーセンター，2005）

### 3.2 事例1：ボイラ

#### 3.2.1 ボイラの普及状況

ボイラとは、燃料を燃焼させて水を加熱し、所要の蒸気や温水を作り出す装置である<sup>6</sup>。ボイラは発電や船舶機関等さまざまな分野で用いられているが、本稿では発電以外の産業分野で一般的に用いられている産業用ボイラを対象とする。

##### (1) ボイラの種類と普及状況

産業用ボイラは、その構造上と法律上の位置づけからいくつかの種類に分けられるが、省エネルギーを検討する上では「小型貫流ボイラ」とその他のボイラ（ここでは「一般ボイラ」と呼ぶ）の区分が重要と考えられるため、ここで簡単に解説しておく。

産業用ボイラは、構造的には炉筒煙管ボイラ、水管ボイラ、貫流ボイラなどいくつかの形式があるが、いずれも高温高压の蒸気を作り出すことから安全管理が大きな課題であり、労働安全衛生法の規制を受けている。ただし、小規模なボイラは「小型ボイラ」と区分され、ボイラ技士が不要とされるなど規制が少ない。炉筒煙管ボイラや水管ボイラなどの場合は圧力 0.1MPa 以下・伝熱面積 1m<sup>2</sup> 以下のものが、また貫流ボイラの場合は 1MPa 以下・伝熱面積 10m<sup>2</sup> 以下のものが、それぞれ小型ボイラに該当する<sup>7</sup>。

現在最も普及しているのは、小型ボイラおよびそれよりさらに小規模な簡易ボイラと呼ばれるボイラである（図 9・図 10）。これらはほとんどが貫流ボイラであり、小型貫流ボイラと呼

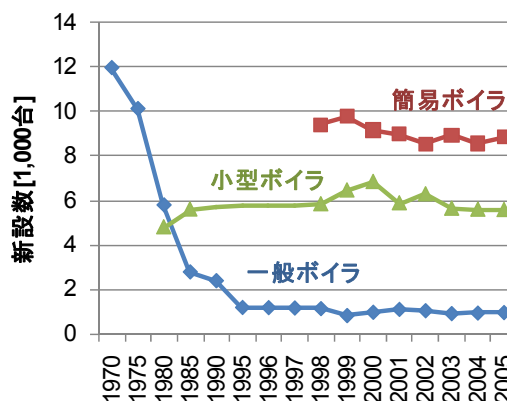


図 9 一般ボイラおよび小型・簡易ボイラの新設数（フロー）の推移

（出典：日本ボイラ協会「ボイラー年鑑」および日本小型貫流ボイラ協会(2007)より作成）

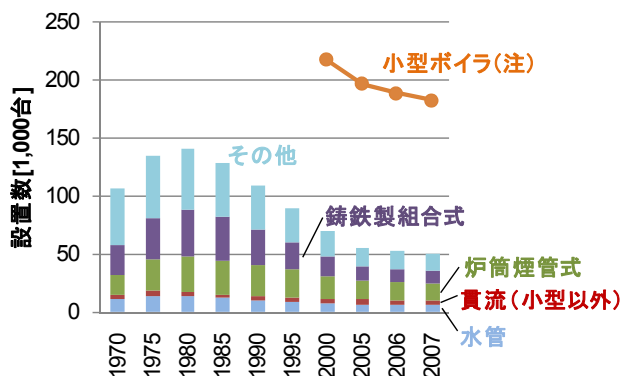


図 10 一般ボイラの設置数（ストック）の推移

（出典：機械統計および日本ボイラ協会「ボイラー年鑑」）  
注）小型ボイラの設置数は、2t/h 未満ボイラ出荷台数（機械統計）の 15 年間累積台数として推計。

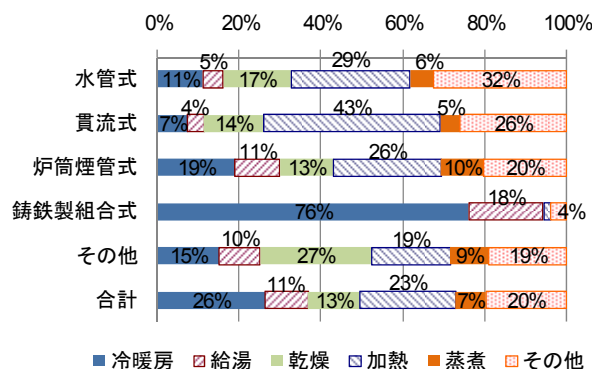


図 11 一般ボイラの種類と主用途

（出典：日本ボイラ協会，2005a）

<sup>6</sup> 南雲健治『やさしいボイラーの教科書』（OHM 社）

<sup>7</sup> 貫流ボイラはドラムを有さず水管のみで構成されるため、保有水量が少なく安全性が高い。このため、貫流ボイラが小型とみなされる基準は、他形式よりも圧力・伝熱面積ともに 10 倍高く設定されている。

ばれている。小型貫流ボイラの普及規模は、普及台数約 20 万台、累積容量約 12 万 t/h と推定される<sup>8</sup>。

一方、小型貫流ボイラ以外の産業用ボイラ（一般ボイラ）の普及台数は、図 10 からわかるように現在 3 万台程度であり、その容量は 20 万 t/h 程度と推定される<sup>9</sup>。1980 年代以降、これらのボイラの台数が急激に減少している背景には、貫流ボイラの圧力・出力および熱効率が 1970 年代以降大幅に向上したことで、規制が少なく取扱いが容易な小型貫流ボイラへの更新が急速に拡大してきたことがある。

## (2) ボイラの利用業種

一般ボイラの場合、蒸気の主な用途は冷暖房、加熱、乾燥、給湯である（図 11）。また利用業種としては、小型貫流ボイラの場合、食品産業が最も大きく約 30%であり、次に化学工業、機械・電機製造業がそれぞれ 10%ずつ程度で続いている。官公庁やクリーニング業など非製造業の需要も大きく、約 40%程度ある（日本小型貫流ボイラ協会，2007）。

## 3.2.2 主な省エネルギー対策とそのポテンシャル

### (1) 主な省エネルギー対策

ボイラにおける省エネルギー対策については、日本ボイラ協会（2005e）などに詳しく解説されているが、ここでは特に効果が大きく重要なものを指摘する。

ボイラの省エネルギーにおいて最も重要なのは、ボイラの負荷率を最適な範囲に抑える運用管理である。ボイラの熱効率は、負荷率が 70

～80%程度で最大となり、負荷率が下がると効率は大きく下がる。95%以上の高効率ボイラであっても、実際には負荷率が適切でないために定格効率を大きく下回る効率で運転されることが多いとされている（村田，2008）。このため、適切な容量のボイラの選定や、負荷率低下時には稼働台数を減らして 1 台あたりの負荷率を維持すること（台数制御）などが重要になる。

また、ボイラの熱損失の大半は排ガスによる熱損失であるため、エコノマイザ（給水予熱器）やエアヒータ（空気予熱器）によって排ガスの顕熱回収を行うことが重要な対策となる。熱効率を 90%以上にするためにはエコノマイザの設置は不可欠と言われており、近年販売されるボイラにはエコノマイザが標準装備されていることが多いが、後述する通り既設のボイラでの装着率は低いのが現状である。

廃熱回収としては、蒸気ドレンやブロー水が持つ顕熱を何らかの形で回収するという方法も重要である。

また、最適な燃焼が得られるような燃焼管理も重要な省エネルギー対策である。特に空気比の最適化（燃焼空気量を完全燃焼のために最小

表 4 ボイラの主な省エネルギー対策

運用改善を中心とするもの	
燃焼管理	空気比の低減
	伝熱面の清掃
運用管理	適切な容量の選定
	台数制御
	負荷の平準化
	適切な蒸気圧力の選定・管理
放散熱の低減	断熱・保温
	蒸気漏れの防止
	スチームトラップの管理
設備投資を必要とするもの	
廃熱回収	エコノマイザ／エアヒータ
	ブロー水の熱回収
	ドレン回収
補機動力の削減	過大補機の適正化
	押し込みファンの制御

（出典：日本ボイラ協会(2005e)、村田(2008)より作成）

<sup>8</sup> 三浦工業(2008)によると、貫流ボイラの総蒸発量は約 123,000t/h と推定される。

<sup>9</sup> 2006 年の伝熱面積別設置数に基づき、伝熱面積 1m<sup>2</sup>あたり容量 80kg/h として試算。

限必要な量におさえること)は、排ガスからの熱損失を抑える上で有効である。

ボイラの省エネルギー対策のうち主なものについて、運用改善を中心とする対策と設備投資を必要とする対策に分けて、表 4 にまとめておく。

## (2) 対策実施のポテンシャル

省エネルギー診断事業におけるボイラの省エネルギー提案についてのデータを図 12 および表 5 に示す。これらは、中小企業事業団の委託により省エネルギーセンターが 1997～2000 年に実施した省エネルギー診断から、ボイラに関する診断事例を抽出したものである。

省エネルギー診断においてボイラの省エネルギーが指摘される割合は高く、本研究で詳細な診断報告を確認できた 100 事業所のうち、43 事業所において提案がなされており、具体的な提案数は合計 131 件に上る。これらの提案のうち、削減量等のデータが記載されていた 35 事業所での診断内容を整理すると、事業所当たり燃料削減可能量は平均 98.2kL (原油換算)、工場の燃料消費全体に対する削減可能率は平均 4.2%となる (図 12)。具体的な改善策として最指摘が多いのは空気比の低減であり、次いでドレン回収、ボイラ・タンク・蒸気配管等の保温などがある (表 5)。

このように、中小企業のボイラの多くは、短期間に投資回収が可能である省エネルギーポテンシャルを有していると考えられる。

### 3.2.3 ボイラの省エネルギー対策の実施状況

日本ボイラ協会による「ボイラー運転管理状況調査」(日本ボイラ協会, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d) おいて、省エネルギー対策の実施状況に関するデータがあるので、以下に紹介する。こ

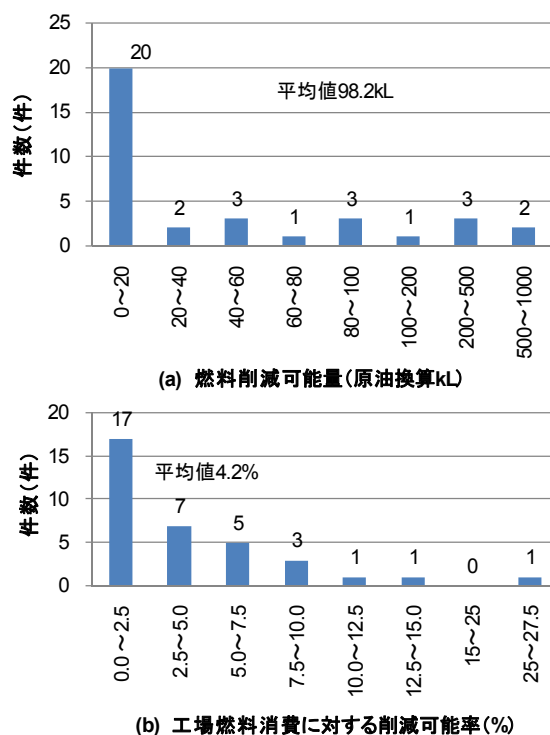


図 12 ボイラに関する省エネルギー診断事例

(出典：中小企業事業団 (1997, 1998, 1999) , 中小企業総合事業団 (2000) より作成)

注) 診断に基づく提言を実施した場合にもたらされる、ボイラの燃料削減量(a)、および当該工場の燃料消費全体に対する削減率(b)の推計。

表 5 ボイラの省エネルギー対策別  
燃料削減率

省エネ技術	提案のあった事業所数	提言率(%)	削減可能率(%)
ボイラ全体	43	43.0	4.2
1) 運転台数見直し・適正化	13	13.0	3.6
2) 空気比の低減	27	27.0	1.8
3) エアヒータ設置	5	5.0	3.1
4) ブロー水からの熱回収	7	7.0	0.2
5) ドレン回収	19	19.0	2.1
6) 保温対策	17	17.0	1.7
7) エコノマイザの設置・補修	2	2.0	2.4

(出典：中小企業事業団 (1997, 1998, 1999) , 中小企業総合事業団 (2000) より作成)

注 1) 提言率：詳細な診断報告が確認できた 100 事例のうち、指摘のあった事例の割合 (%)。

注 2) 削減可能率：当該工場の燃料消費全体に対する削減率 (対策ごとの平均)。

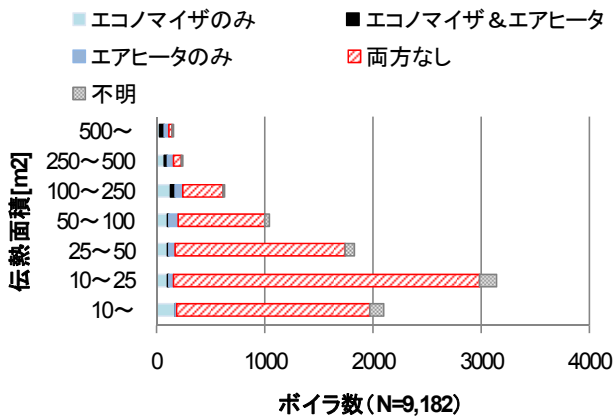


図 13 ボイラの廃熱回収装置の設置状況

(出典：日本ボイラ協会，2005a)

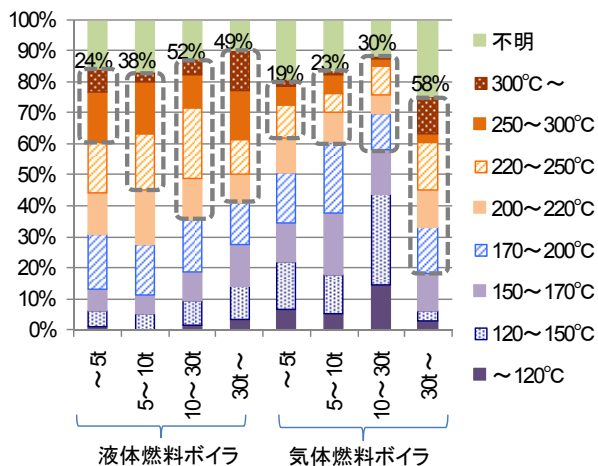


図 14 ボイラ規模別の廃ガス温度の分布

(出典：日本ボイラ協会，2005b)

注) グラフ中の点線枠および%値は、省エネ法の廃ガス温度基準の未達割合を示す。

これは日本ボイラ協会が 2003～2004 年にかけて性能検査を実施した事業所約 2 万か所に対して行ったアンケート調査<sup>10</sup>である。一般ボイラを対象としており、小型ボイラは含まない。

図 13 は、廃熱回収装置の普及状況に関する集計結果である。小規模なボイラのエコマイザとエアヒータの設置率は非常に低く、伝熱面積 100m<sup>2</sup> 以下<sup>11</sup>では 10～20%程度しか設置して

<sup>10</sup> 有効回答数 9,195 件 (50.4%)、調査区域は東北 6 県を除く全国都道府県。

<sup>11</sup> ボイラ伝熱面積 1m<sup>2</sup> 当たりの蒸気量を 60～

いない。規模が大きくなると設置率は高まるが、100～250m<sup>2</sup> 程度のボイラであっても約 60%のボイラはいずれの廃熱回収装置も備えていないことがわかる。

また、図 14 はボイラの廃ガス温度を蒸気量別に示したものである。省エネルギー法では、工場が遵守すべき判断基準を定めており<sup>12</sup>、ボイラの廃ガス温度についても蒸気量ごとに基準値および目標値を定めている。そこで、図 14 では基準以上の廃熱温度(すなわち基準不遵守)の部分を実線枠で囲っている。大規模なボイラほど基準温度が低く設定されているため、不遵守率が高い。いずれの規模においても、省エネ法が定める以上の廃熱損失をしているボイラの割合が小さくないことがわかる<sup>13</sup>。

省エネルギー法は、空気比についても基準値および目標値を定めており、例えば蒸発量 5t/h 未満のボイラであれば基準空気比は 1.2～1.3 とされている<sup>14</sup>。実際の空気比がこのような基準空気比を満たしているかどうかを示したものが図 15 である。これは、排ガス O<sub>2</sub> 濃度の測定値

100kg/h とすると、100m<sup>2</sup> は 6～10t/h 程度の蒸気量となる。

<sup>12</sup> 省エネルギー法が定めるボイラの基準廃ガス温度は次のとおりである。

蒸発量	液体燃料ボイラ	気体燃料ボイラ
～5t/h	250℃	220℃
5～10 t/h	220℃	200℃
10～30t/h	200℃	170℃
30t/h～	200℃	170℃

<sup>13</sup> 日本ボイラ協会の実態調査は、通常の操業で負荷が変動している状態での測定に基づくため、省エネルギー法が基準としている負荷率 100%条件下での廃ガス温度を測った場合、分布は図 14 よりも高温にシフトする(基準未達割合が増える)と考えられる(日本ボイラ協会省エネルギー委員会，2007)。(負荷率が低いほど排ガス温度は低下するため)

<sup>14</sup> 省エネルギー法が定めるボイラの基準空気比は次のとおりである。

蒸発量	液体燃料ボイラ	気体燃料ボイラ
～5t/h	1.2～1.3	1.2～1.3
5～10 t/h	1.2～1.3	1.2～1.3
10～30t/h	1.15～1.3	1.15～1.3
30t/h～	1.1～1.25	1.1～1.2

に基づいて空気比を推定したものである。ボイラの規模が大きいほど基準空気比が厳しくなるため、基準未達率が変動しているが、全体として60～70%程度のボイラが基準以上の空気比で操業されていることがわかる。

以上より、廃ガス温度や空気比の管理、そして廃熱回収装置等の管理といった基本的な省エネルギー対策について、実施していない工場の割合が大きいことがわかる。

なお、これらは小型ボイラを含まない一般ボイラに関する状況であり、小型ボイラでは管理や測定の様子は一層不十分であると推測される。

### 3.2.4 省エネルギー対策実施の障壁

それでは、このようにボイラの省エネルギー対策が不十分である要因はどのようなものだろうか。筆者らのインタビュー調査からは、以下のような障壁があることがわかった。

#### 初期投資が大きい

第一に挙げられる要因は、対策費用が大きいことである。たとえば、既設のボイラにエコマイザを後付けするには配管等の大掛かりな改修が必要になり、一般的なボイラの場合でも数100万円以上の費用がかかる。

また空気比管理のためには、 $O_2$ の連続測定による自動制御システムが有効であるが、初期費用が100～200万円と大きい。空気比改善による省エネルギー効果（燃料費削減額）は、診断事例においては数10万円～数100万円/年となっており、かなり短い投資回収が可能な場合も多いと考えられるものの、小規模事業者がこのような初期投資をすることは難しいと考えられている。<sup>15</sup>

<sup>15</sup> ただし本研究では、投資回収期間が短い場合でも初期投資が大きいことが障壁となるのかどうかは明らかにできなかった。

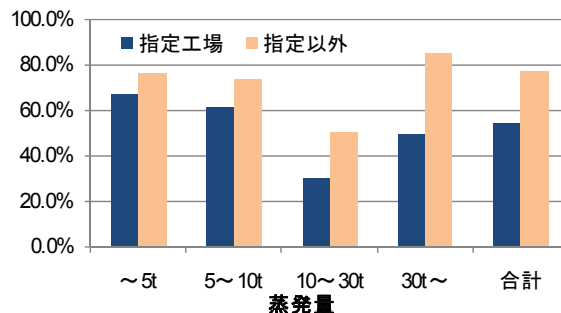


図 15 省エネ法の基準空気比を満たさないボイラの割合

(出典：日本ボイラ協会，2005b)

注) 省エネ法の基準空気比（脚注14参照）に相当する排ガス中 $O_2$ 濃度以上であったボイラの割合。省エネルギー法によるエネルギー管理指定工場（指定工場）とそれ以外の工場（指定以外）に分けて示している。

#### 計測体制・現状把握が不十分

エネルギー消費量の測定や記録を通じた現状把握は、省エネルギー対策を実施する大前提であるが、これがなされていないことが多い。この状況を表す代表的なコメントは以下のようなものである：

...小型ボイラでは、ユーザーが指示しない限り、給水流量計や燃料計量器といった計測器がないのが一般的である。そうすると、ボイラの効率を把握できない。上手に使われているかどうかはわからない。...ボイラは定格負荷の時は効率が良くても負荷が下がると大きく効率が落ちるはずであるが、その状況も計測しないとわからない。ずっと低負荷で運転しているのなら、定格に近いところで運転するにはどうすればいいか、といった対策が必要になる。たとえばボイラの台数を減らす、生産計画を工夫する、といった対策が考えられるが、効率が把握できないとそういった検討さえできない。<sup>16</sup>

また、大型のボイラの場合には、燃料使用量も大きいことから管理体制が整っている場合が多いと言われている。しかし、前述の日本ボイラ協会の実態調査を見ると、少なくとも一部に

<sup>16</sup> 省エネルギー診断士 F 氏のコメント

は同様の問題があることがわかる。図 16 および図 17 は、排ガスからの熱損失対策や空気比管理のために必要となる排ガス温度計測と O<sub>2</sub> 濃度計測の実施状況を示したものである。

図 16 では、省エネルギー法が指定する第一種・第二種エネルギー管理工場とそれ以外の事業所に分けて、排ガス温度計測の状況を示しており、指定工場においてはかなり高い割合で排ガス温度測定が実施されているものの、指定工場以外の事業所では 20%程度が測定していないことがわかる。

また O<sub>2</sub> 濃度計測の頻度について示した図 17 を見ると、常時計測しているボイラの割合は非常に少なく数%程度であることがわかる。年数回の定期測定をしているボイラが多く、これは一般ボイラに求められる定期性能検査に合わせて O<sub>2</sub> 計測も行っているためと推測される。しかしながら、O<sub>2</sub> 計測をしていないボイラも 20～30%程度存在している。

このように、ボイラのエネルギー消費に関する計測と現状把握が不足していることが、省エネルギー対策を検討すること自体を難しくしている大きな要因であるといえる。

### ユーザー側の情報不足・経営資源不足

ボイラの省エネルギー対策のためには、ユーザーがまず自社の熱需要の特性を把握し、それに沿った適切なボイラの運用管理や機器選定を行う必要があるが、そのための情報や検討に必要なリソースが不足している。

例えば、エコマイザが標準装備されていなかった時代にボイラを購入したユーザーの中には、エコマイザの導入効果について気づいていないユーザーもいるという。

エコマイザは、ユーザーの要望があれば設置するが、設置義務はない。省エネ法では「廃熱回収はしなさい」とは言っているが、エコマイザなど具体的なやり方は規定していない。このため、2～3年で回収可能な投資であるのに、初

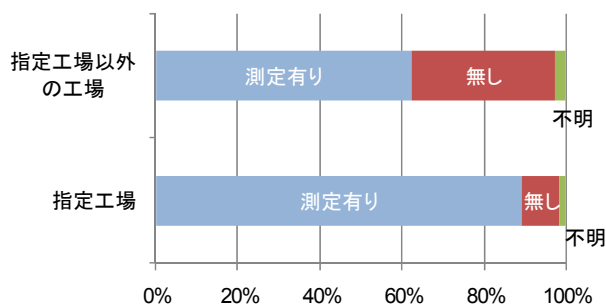


図 16 ボイラ排ガス温度の測定状況

(出典：日本ボイラ協会，2005b)

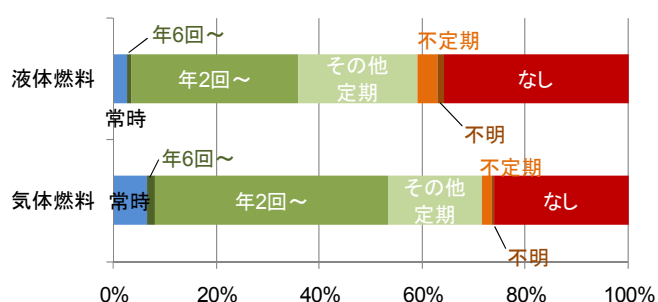


図 17 O<sub>2</sub> 計測の頻度

(出典：日本ボイラ協会，2005b)

期投資額が高いために設置されないことがある。...そういう場合には、特に中小企業はそういった計算が自分ではできないから、「初期投資は必要だが数年で回収できる」ということを診断員等が示してあげる必要があるだろう。<sup>17</sup>

このコメントにもあるように、中小企業では、熱管理や関連技術に関する情報を持たず、対策検討が困難であることが多いと言われている。

また、現在のボイラ運用が効率的かどうかを検討さえしていない場合も多いと言われている。負荷率の低下や ON/OFF の増加は効率を大きく下げるため<sup>18</sup>、需要変動には対応しつつこれらを適切に制御する必要がある。そのため、ボイ

<sup>17</sup> 省エネルギー診断士 F 氏のコメント

<sup>18</sup> 炉内に未燃分が残ったまま点火すると爆発の恐れがあるため、点火および消火時には未燃分排出のための送風を行う（パージ）。これにより炉内の熱が損失される。

ラメーカーは納入時に必要な試運転調整と設定を行うが、実際には、設置後に生産工程が変わるなどのためにデフォルトの運転設定が普段の運用にとって適切でないことが多いという。例えば、蒸気需要が大幅に減少した場合には、既設の大型ボイラを廃止して新たに小型ボイラを導入した方が、総合的な費用削減になる場合もある。

自分のサイトで必要な蒸気はどのようなものを調べて、それに対して適切なボイラを選定して、どういった運用が効率的かを検討する必要がある。しかし多くの場合はそれが面倒だからしない。本来は、突き詰めればそもそも蒸気があるのか、といったところまで考えないといけない。<sup>19</sup>

こういった運用管理上の対策は、ユーザー自身が需要を把握して対策を検討しなければ始まらないものであるが、実際にはなされないことが多いという。

### **人員不足と管理の外部委託に伴う問題**

大規模な工場では工務部等の担当組織が存在し、エネルギー管理担当者が存在するが、多くの中小企業では、人件費削減のために専門の担当者を置かないことが多い。

また、ボイラの運転が管理会社にアウトソーシングされることも多いという。このような場合は、社内にボイラの運用状況を詳しく把握している者がいなくなる。そして通常は管理会社に省エネルギー業務まで委託されないため、管理会社は故障しない管理・トラブルの起きない管理を最優先し、現状以上の省エネルギー対策は実施されないことになる。

### **対策実施に伴う部門間の調整**

エネルギー管理の担当者にとって効果的な省エネルギー対策がわかっているにもかかわらず、その実施

のために異なる部門間の調整が必要になった場合、実施が難しいことがある。

第一種工場でエネルギー管理士がボイラを見ていれば、エコマイザがついていないものにはつけるように言うだろう。ただし、管理士は施設部などユーティリティ部門にすることが多く、施設部の所管範囲には取り組んでも、製造部門にまであまり口を出せないこともある<sup>20</sup>。

このように、対策を進める担当者が生産管理部門にいるか、設備導入を決める部門横断的な委員会を持っていけばいいが、そのような体制がない企業では、担当者が部門間の調整に苦勞して対策が進められない場合があるという。

### **3.2.5 まとめ**

ボイラの省エネルギーについては、廃熱回収設備の普及率や空気比管理など対策が不十分な状況が明らかになった。省エネルギー診断事業においてもボイラの省エネルギー対策は数多く提言されており、短期間に投資回収が可能な省エネルギーポテンシャルは大きいと考えられる。

そして、省エネルギーを妨げている障壁としては、廃熱回収設備などの初期投資が大きいこと、エネルギー消費に関する現状把握をしていないためにそもそも対策検討ができないこと、検討のための情報や経営資源が不足していること、ボイラ管理の外部委託により省エネルギー対策が放置されること、部門間の調整の手間、などが確認された。

<sup>19</sup> 省エネルギー診断士 G 氏のコメント

<sup>20</sup> 省エネルギー診断士 H 氏のコメント

### 3.3 事例2：工業炉

#### 3.3.1 工業炉とは

工業炉とは、生産工程において精錬や溶解、加工、熱処理、表面加工などのために用いられる炉の総称である<sup>21</sup>。

工業炉は極めて幅広い業種で用いられており、多様な種類がある。工業炉の普及状況についてはいくつかの推計があるが、全国で約40,000基が設置されており、その総エネルギー消費量は約3,000PJ、すなわち産業部門エネルギー消費量の約40%に相当するとの推計がある(表6)。

利用業種としては、鍛造・鋳造を含む鉄鋼業や自動車部品製造業が多い(図18)。

工業炉はその熱源によって、大きく燃焼炉と電気炉に分けられるが、本稿では特に液体燃料またはガスを用いた燃焼式の工業炉について検討する。

#### 3.3.2 燃焼炉の省エネルギー対策とそのポテンシャル

燃焼炉の省エネルギー対策は、同じ燃焼系の設備であるボイラでの対策と似通っており、燃焼空気比の最適化やヒートパターンの改善といった操業改善・運用改善を主とする対策と、廃熱回収や断熱強化といった設備改善を伴う対策がある<sup>22</sup>。

工業炉の主な省エネルギー対策について、省エネルギー診断事業の事例から見てみよう。表7は、NEDOが1999年度～2002年度にかけて、

<sup>21</sup> 詳しくは日本工業炉協会(1993)『工業炉の基礎知識』(日本工業炉協会)を参照。

<sup>22</sup> 省エネルギー法では、工業炉の操業に関して基準空気比、基準廃熱回収率、基準炉壁外面温度を定めている。

	推計 基数 [基]	年間エネルギー 使用量推計 [PJ/年]
溶鋳炉	44	74
鉄鋼溶解炉	853	22
アーク炉	484	87
鉄鋼誘導炉	1,843	22
鉄鋼真空溶解炉	330	1
非鉄金属溶解炉	2,360	73
非鉄金属誘導炉	1,101	6
非鉄金属真空溶解炉	130	0
金属用均熱炉	348	21
金属用加熱炉	3,809	118
金属用熱処理炉	9,159	198
表面熱処理炉	1,981	6
表面処理炉	474	69
雰囲気ガス変成炉	1,562	274
金属用焼結炉・焙焼炉	557	34
窯業用焼成炉	6,512	659
窯業用溶解炉	650	65
化学工業用炉	2,527	1,012
乾燥炉	4,591	163
合計	39,315	2,902

表6 工業炉の設置数および  
年間エネルギー消費量推計

(出典：日本工業炉協会・省エネルギーセンター，1996)

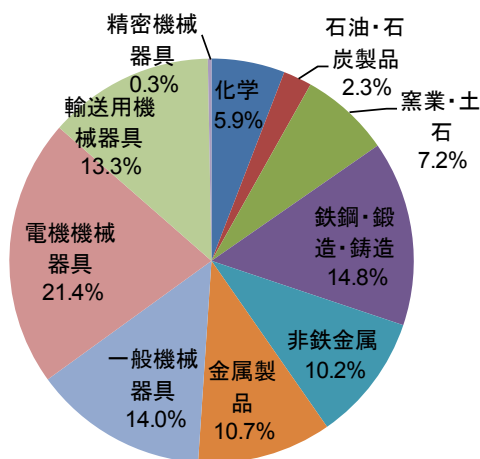


図18 工業炉の利用業種の保有炉数シェア

(出典：日本工業炉協会・省エネルギーセンター，1996)

表 7 NEDO 省エネルギー技術アドバイザー事業における  
工業炉に対する省エネルギー改善提案内容と予想効果

	事業所	改善 提案 件数	平均節減 金額 [千円/年/件]	平均節減 エネルギー [kl/年/件]	平均回収 年数 [年/件]	平均投資 金額 [千円/件]
炉体放熱の削減	29	32	7,237	236	4.0	12,386
空気比の適正化	20	25	2,274	101	2.4	1,633
予熱器の設置・補修等	17	21	5,986	244	3.1	9,139
工業炉運転の適正化	14	21	4,488	277	1.5	841
廃熱回収・利用	15	21	11,917	471	3.2	21,694
リジェネバーナの導入	11	15	8,924	331	4.0	40,144
ファン等の補機対策	9	12	9,676	207	1.6	7,252
材料出入口・台車等から の放熱削減	8	11	1,516	30	1.4	1,540
侵入空気の削減	8	10	1,749	60	2.8	5,000
炉形式の変更	6	6	5,307	484	2.5	30,418
バーナ調整、更新等	4	5	3,732	119	0.5	1,053
その他	10	12	6,270	809	0.9	3,000
計	151	179	6,148	276	2.9	15,183

(出典：森田，2003，工業加熱，40(5)，p.38)

注 1) 回収年数＝投資金額／節減金額。ただし、節減額・節減エネルギー・投資額のいずれかの値がない案件があるため、ここでの平均投資金額を節減金額で除した値は平均回収年数と等しくなっていない。

注 2) NEDO 省エネルギー技術アドバイザー事業は、省エネルギー法の第 1 種指定工場等の大規模工場を対象としているため、中小企業を対象とした診断事業（図 8、図 30）と比べて、削減可能量が大きい。

省エネルギー法の第 1 種指定工場等の大規模工場を対象として実施した「省エネルギー技術アドバイザー事業」における改善提案である。

炉体放熱の削減、空気比の適正化といった対策の提案件数が多い。削減効果が特に大きいのは廃熱回収であり、燃焼空気の予熱器（レキュペレータ）の導入が一般的である。本稿次節以降で詳しく検討するリジェネレイティブバーナ（以下、リジェネバーナ）の導入提案も多数ある。対策ごとの平均投資回収年数は、1～3 年程度の短いものが多いが、10 年以上に及ぶものもある（表 7）。

同事業は、1999 年度および 2000 年度に大規模工場を主としてそれぞれ 41 件および 111 件の計測診断を行い、それぞれ合計 30,000kl および 99,462kl に及ぶ省エネルギー提案をしている。また、1 年後にはその実施状況と効果をフォローアップ調査しており、実現された省エネルギー量を事業所当たり 513kl（1999 年度）および

1,205kl（2000 年度）と推計している（森田，2003）。これは、対象工場のエネルギー消費全体に対する削減率としては 1～2%程度に及ぶと推計される<sup>23</sup>。

これは、同事業において診断提案された省エネルギー対策がほぼ全て実現したことを表しており、大規模工場においても工業炉について経済的な省エネルギー対策余地が存在していることを示唆している。

### 3.3.3 省エネルギー対策の普及と障壁：リジェネバーナについて

本稿では、表 7 に挙げられたようなさまざまな工業炉の省エネルギー対策の中でも、特にリジェネバーナの導入（ないしは高性能工業炉へ

<sup>23</sup> 電力供給業を除く主要製造業の第 1 種指定工場における年間エネルギー消費量は、平均すると 60,000kl/工場程度である（省エネルギーセンター，2001）ことから推計した。

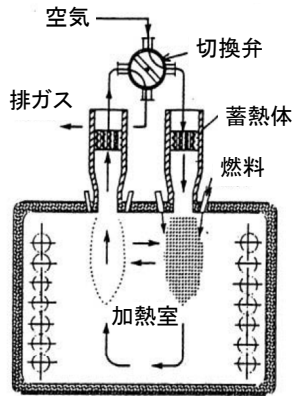


図 19 リジェネバーナの仕組み

(出典：NEDO, 2007)

注) 一对のバーナを交互に切り替えて運転し、蓄熱と燃焼を短い周期で繰り返す。

の更新・改修)に注目する。その理由は、後述の通りこの技術の省エネルギー性能が既存技術に比べて格段に高く、長期エネルギー需給見通し<sup>24</sup>においても大幅な普及が期待され、NEDO 補助事業によって導入普及が推進されている重要な技術であるからである。

以下では、リジェネバーナ・高性能工業炉の普及状況とその普及障壁について検討する。

### (1) リジェネバーナ・高性能工業炉とは

リジェネバーナとは、バーナ内部に蓄熱体を有することによって、通常の熱交換器よりも廃熱から燃焼空気への熱交換効率を飛躍的に高めた高効率バーナである(図 19)。

また高性能工業炉とは、リジェネバーナを採用した工業炉であって、省エネルギー率 30%、熱効率 50%<sup>25</sup>、廃熱回収率 60%のうちいずれかを満たし、かつ排ガス NOx 濃度が環境規制値以下であるような工業炉を指す(NEDO・日本工

<sup>24</sup> 「長期エネルギー需給見通し」(総合資源エネルギー調査会, 2008 年 3 月)では、高性能工業炉について 2010 年までに約 1,500 基の普及により約 490 万 t-CO<sub>2</sub> の削減が見込まれている(対策上位ケース)。

<sup>25</sup> ここでは、熱効率とは燃焼エネルギーに対する加熱材料顕熱の比を指し、省エネルギー率とは従来炉に対する高性能工業炉のエネルギー消費量削減率を指す。

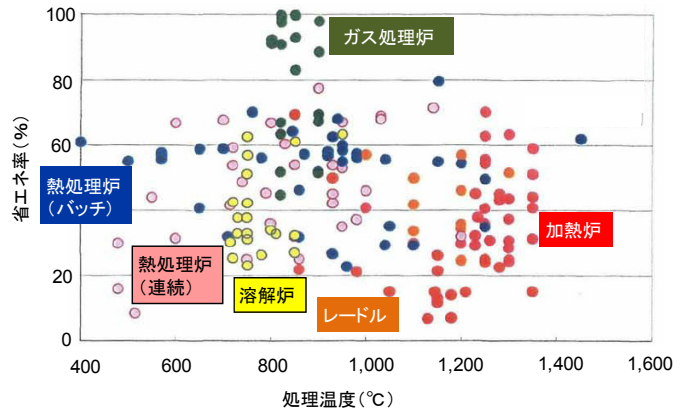


図 20 NEDO フィールドテスト事業で導入された高性能工業炉の省エネルギー率 (2003 年度実績)

(出典：NEDO, 2005)

注) 実際に導入された高性能工業炉における導入前のエネルギー使用量に対する削減量の実績。

業炉協会, 2001b)。

現在の構造に近いリジェネバーナは 1980 年代から英国で実用化されたが、省エネルギー性に優れていたものの、予熱空気温度の高温化のため NOx レベルが高くなるという問題のため普及していなかった。そこで 1993 年度から NEDO によって「高性能工業炉開発プロジェクト」が開始され、①30%以上の省エネルギー化、②大幅な NOx 低減、③設備の 20%の小型化という目標を掲げて進められた。同プロジェクトは目標を達成して 1999 年度に終了し、そこで実証された技術の導入を進めるべく、1998 年度から 2000 年度まで NEDO「高性能工業炉導入フィールドテスト事業」が開始され、3 年間で計 167 基の高性能工業炉が導入された<sup>26</sup>。

### (2) 高性能工業炉の導入効果

NEDO フィールド事業で導入された高性能工業炉については、その導入効果が NEDO 報告書に詳しく報告されている(NEDO(2003, 2005))。

まず導入した高性能工業炉の省エネルギー

<sup>26</sup> 『工業加熱』37(5), 2000, 「特集 高性能工業炉開発プロジェクトの変遷と高温空気燃焼技術の展望」。

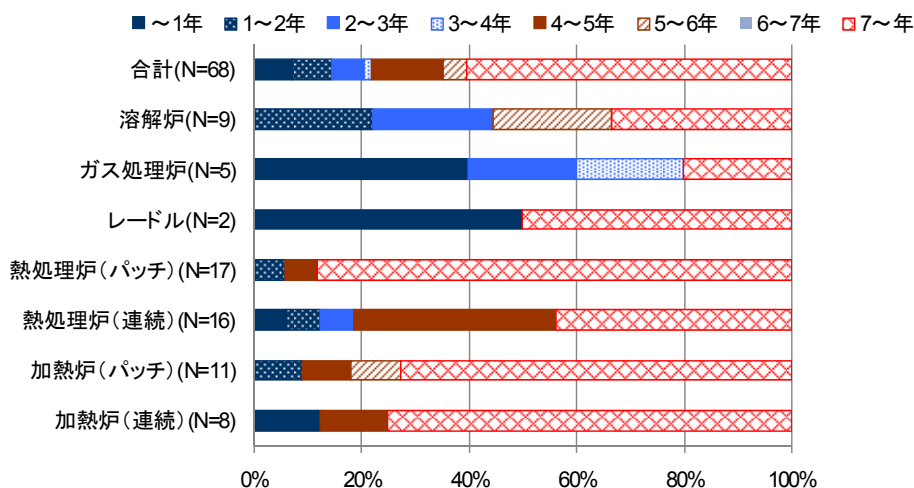


図 21 NEDO フィールドテスト事業で導入された高性能工業炉の単純投資回収年数 (2003 年度実績)

(出典：NEDO, 2005)

注) 図中の数字は基数を表す (合計 68 基)

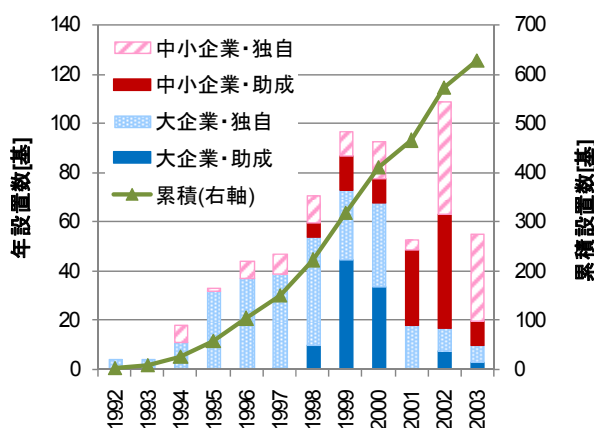


図 22 高性能工業炉の設置数

(出典：NEDO, 2003, pp.27-28 より作成)

注) 助成：NEDO フィールドテスト事業やその他の補助事業、税制優遇等の適用を受けて導入したもの。  
独自：NEDO 等の助成なしに導入したもの。

率(従来炉での燃料消費量に対する削減率)は、計画値 20~80%程度にほぼ沿った結果が得られている。図 20 に示すように、省エネルギー率は炉種により異なるが、平均すると約 30%、廃熱回収率では 70%以上という高い省エネルギー性が示された。

一方で、その経済性は必ずしも優れているとは言えない。図 21 にフィールドテストによる

導入炉の 2003 年度運用実績に基づく単純投資回収年数を示す。溶解炉やレードル、ガス焼却炉では単純投資回収年数が 3 年以下の割合が 20~30%程度存在しているが、他の炉種では少なく、いずれの炉種でも 7 年以上を要する割合が高い。

これは、通常求められる投資回収期間が 2~3 年程度であることに比べるとかなり長く、高性能工業炉の普及における大きな課題となっている。

### (3) 普及状況とポテンシャル

リジェネバーナを備えた高性能工業炉の導入は一部の鉄鋼メーカーにおいて 1992 年から開始され、その後 NEDO フィールドテスト事業の開始に合わせて設置数が伸びた。累積設置数は伸び 2003 年時点で 600 基程度となっており (図 22)、現在も年間 100 基前後が導入されていることから<sup>27</sup>、現在の設置台数は約 1,000 基と推定される。

<sup>27</sup> NEDO (2007, p.149)。また 2007 年における日本工業炉協会会員企業の高性能工業炉の販売基数は約 150 基である (日本工業炉協会, 2008)。

このような普及状況は、上述のような高性能工業炉の経済性を考慮するとどのように評価できるだろうか。日本工業炉協会・省エネルギーセンター(1996)は、技術的に高性能工業炉が適用可能な炉数の推計を行っている。それによると、溶解炉、加熱炉、熱処理炉、焼成炉、乾燥炉、化学工業用炉の6炉種、すなわち約32,000基が技術的に適用可能としている。

仮に、これらを高性能工業炉に更新する場合の投資回収年数の分布が図21と同じとすると、投資回収年数3年以内の炉数は約5,000基となる。このような前提に基づくと、短期間に投資回収が可能な高性能工業炉の導入ポテンシャルは、まだ多く存在していることになる。

#### (4) 普及の障壁

それでは、高性能工業炉の普及の障壁となっているものとしては、上述の経済性の問題以外にどのようなものがあるだろうか。この点については、NEDO・日本工業炉協会(2005a, 2005b)が既に詳しい実態調査を行っているため、ここではこれらの既往調査等に基づいて分析する。

#### 初期投資額が大きい

NEDO・日本工業炉協会(2005a)が2004～2005年にかけて実施した、工業炉を利用する主要9業種<sup>28</sup>の5,834事業所に対するアンケート調査(回答率36%)では、今後の高性能工業炉の導入意向をたずねた上で、導入するつもりがない事業者に対してその理由をたずねている(表8)。

その回答を見ると、導入経費が高いという点を挙げる事業所が最も多く(152件)、投資回収に不安があるという回答数を(109件)を上回っている。

したがって、初期投資額が大きいことは導入

表8 高性能工業炉の不採用理由(複数回答)

導入しない理由	件数
導入経費が高すぎる	152
自社内に技術ノウハウが不足していて、導入検討が進まない	81
製品市況が不安定で投資回収に不安がある	109
その他	186
特になし	118

その他の理由(自由記述)	件数
1. 導入不能、不適切(自社の設備に不向き、そぐわない)	29
2. 電気炉、誘導炉であるため	27
3. 性能的に疑問	20
4. 更新後間もない、更新予定なし	15
5. 低温のため	12
6. 費用高、投資回収が悪い	9
7. 導入済み	9
8. シビアな雰囲気制御をしている	9
9. 情報不足	9
10. 廃業、移転	8
11. 現状で満足している	7
12. 生産量少	6
13. 鋳物溶解のため	6
14. レキュペレータなどで廃熱回収をしている	5
15. 設置スペースがない	4
16. ガス源がない	4

(出典：NEDO・日本工業炉協会，2005a)

注) 番号は筆者による。

の障壁となっている<sup>29</sup>。

#### 技術情報の不足

また、この技術に対する工業炉ユーザー側の情報不足があげられる。によると、高性能工業炉を知っていたかという質問に対して、回答者のうち39%が「知らなかった」と答えている。またNEDO・日本工業炉協会(2005b)による関連業界団体へのインタビュー調査では、自動

<sup>28</sup> 窯業、鉄鋼(高炉、高炉以外・電炉他)、鋳鍛造、非鉄金属製造、金属製品製造、熱処理、機械装置同部分品製造、自動車、自動車部品。

<sup>29</sup> ただしこの結果からは、投資回収期間が短い場合でも初期投資が大きいことが障壁となるのかどうかは明確ではない。本研究ではこの点を詳しく調査できなかった。

車部品工業会はこの技術に強い関心を持ちながらも、調査時点まで技術の存在を知らなかったとコメントしている。

一方、高性能工業炉を知るユーザーの間でも十分な理解が得られていない場合がある。実際に、NEDO・日本工業炉協会（2005b）が実施した高性能工業炉導入を検討中の中堅企業 24 社へのインタビュー調査では、次のようなコメントが得られている：「中小企業には工業炉の専門家がないので、情報にも疎く、炉メーカーやNEDOの高性能工業炉についてのPRがもっと必要ではないか」「当社のニーズに合った高性能工業炉ができるのかについては、情報が得られない。…パンフレットには省エネ効果が何%と書いてはいるが、いったい何を基準に省エネ効果を図っているのかが不明である」<sup>30</sup>

中小企業では自社への導入を検討するための情報が不足しており、自力では具体的な検討が難しい場合が多いようである。上述のNEDO・日本工業炉協会（2005a）によるアンケート調査でも、「自社内に技術ノウハウが不足していて、導入検討が進まない」を不採用理由に挙げる事業者は多い（表 8）。

同様に、筆者によるインタビューでも次のようなコメントがあった。

経済的にペイするのに知らないがために導入していない、というところもあるだろう。そういうところは、専門家がそのサイトに行って、ここで入れればこれだけメリットあるよと保証して、その後もフォローしてあげられれば入れるのではないか。ただ単に、こういう技術があるから入れたらどうですか、というだけでは難しいだろう。診断もやりっぱなしではなく、ではどの工事屋に頼むか、といったところまでフォローアップしてあげないと、中小企業では難しい。メーカーが来てもいいことだけ言うと信用されないこともある。きめ細かな診断とフォローアップが必要である。<sup>31</sup>

<sup>30</sup> それぞれ別企業のコメント。

<sup>31</sup> 省エネルギー診断士 G 氏へのインタビュー。

## 需要の多様性

高性能工業炉の開発では、これまで大規模な炉に対する製品開発が先行してきたが、中小炉に対するリジェネバーナの開発がまだ十分でないという問題がある。中小炉は数が多く、その用途や設備も多種多様であるため、それらに適合する製品が必ずしも用意できていないことが指摘されている。

表 8 のアンケート調査結果を見ると、「自社設備には導入不能・不適」との回答はその他記述の中で最も多く、レイアウトや炉形式等の問題が指摘されている。

NEDO・日本工業炉協会（2005b）のインタビュー調査においても、「多くの鑄造鍛造メーカーにとっては、現行の高性能工業炉のサイズは大きすぎるのではないだろうか」「小型鍛造メーカーはぎりぎりのスペースで操業しているところが多く、小型炉を開発しなければ導入することはできない」といった意見が出されている。

このため、セルフリジェネレティブバーナと呼ばれる省スペースリジェネバーナが開発されているものの、中小企業への普及が遅れている背景にはこのような多様なニーズに応える製品開発が遅れていることがある。

## メンテナンスの問題

高性能工業炉は、切替え弁（図 19 参照）の故障や蓄熱体の目詰まり等によってメンテナンスの負担が増加する場合がある。このようなメンテナンスへの懸念は導入をためらわせる要因になっている（NEDO・日本工業炉協会, 2005b）。

中小企業にとっては、いくら省エネルギーでもメンテナンスが大変な機器では導入しにくいというコメントもあった。

大企業では問題のないメンテナンスであっても、中小企業では大きな問題になりうる。省エネ性能を少し下げてでも使い勝手を良くした方がいいのではないか。中小は使い方が粗いので結局扱いきれないということになりやすく、フリー

メンテが望ましい。オーバーホールは3年に1度程度にしたいと思う企業は、毎年メンテが必要ですと言われると買わないだろう。<sup>32</sup>

### 更新のための操業停止による機会費用

工業炉の更新には数日～2週間程度を要し、その間生産ラインを一旦止める必要がある。そのため、更新メンテナンスの時期に併せて更新するケースが多い。

しかし、景気が良く設備稼働率が高い時期には、省エネルギー対策のために操業を止めることは難しい。特に景気が良く受注が多い時期に操業を止めるということは、利益をみすみす捨てていることになり、さらには受注先との関係をこじらせてしまう可能性もあるという。

他方で、景気が悪くなると稼働率が落ちるため更新が可能になるが、手元に資金がなく投資回収期間も延びてしまうため、投資が難しい状況になる。

### 品質影響への懸念

高性能工業炉は、省エネルギーであるとともに省スペース・高出力であり、導入により品質が悪化するということはない。むしろ、生産性向上、品質向上、運転性向上といった省エネルギー以外の副次的な効果があったことが、高性能工業炉を導入した事業者から数多く報告されている（NEDO, 2003, 2005）。

しかし、新規設備の導入によって現状の操業条件は変化してしまうため、それを懸念するユーザーは存在する。表8のアンケート調査結果においても、導入を検討しない理由として「現状で満足している」というものが挙げられており、「現在の炉の品質が安定している。また、現在の炉の操業条件を把握するため、数年と多大な労力・費用を掛けており、炉変更に伴うリスクを負いたくない」といった回答がなされている（NEDO・日本工業炉協会, 2005a）。

### 他に優先すべき投資対象がある

一般的に、省エネルギー対策は企業にとってはエネルギーコストを下げる合理化投資であり、生産投資よりも優先順位は低くなる。高性能工業炉に関してもこれは同じであり、実際にNEDO・日本工業炉協会（2005b）のインタビュー調査では、業界団体から次のような見方が提示されている：

「生産性の向上を重視する経営者が注目するのは、第一に鍛造プレスマシンなどの設備能力の向上であり、加熱炉の省エネ対応、環境対応については二の次の観がある。…業界における加熱炉の改善に対する意識は高いとはいえない。…加熱炉を高性能工業炉に転換することによって品質が良くなる、という点をアピールしなければ鍛造業界には普及しないものと思われる」（鍛造業界）

「品質にはうるさいため、高性能工業炉を普及させていくには品質面でのメリットを強調することが有効であろう」（熱処理業界）

「自動車の生産増を背景に、中堅以上のダイカストメーカーの間では生産能力の拡大のためにダイカストマシンに対する設備投資に対する意向が強い。一方、溶解炉に関する設備投資については、関心度はあまり高くないものと考えられる」（ダイカスト業界）

このように、経営者にとって工業炉の合理化より他に優先すべき投資対象があることが、高性能工業炉への投資を抑える要因になっていると考えられる。

### 補助金・助成措置が使いにくい

高性能工業炉の導入促進のため、NEDO フィールドテスト事業（1998～2000年）の終了後、2001年からNEDO「エネルギー使用合理化事業者支援事業」が実施され、導入補助が進められている。これは、中小企業が省エネルギー設備を導入する際に導入費用の1/3～1/2をNEDOが

<sup>32</sup> 省エネルギー診断士H氏へのインタビュー。

補助するというものである（補助上限 5～15 億円）。

これらの NEDO 補助事業は、高性能工業炉の普及促進に大きな効果を挙げてきた。「補助金がなければ導入できなかつた」という事業者は多い。一方で、その周知が十分ではなく、導入を検討している事業者の中にも「助成制度については全く知らなかつた」という事業者が存在している（NEDO・日本工業炉協会，2005b，p.）。

またその申請手続きが煩雑で利用しにくい、という問題が指摘されている。このために導入を断念する事業者も多いようである。以下、NEDO・日本工業炉協会（2005b）に示されている NEDO 補助事業利用事業者の意見から、具体的な問題点を指摘する。

まず申請書類作成と NEDO への説明の労力が多大であることが挙げられる。多くの大企業ではこの手続きは問題になっていないようだが、中小企業では、「大企業のように補助金事業対応のために専従者を置くことが出来ない。実際は、工場の仕事をやっている者が補助金事業の対応をしなければならず、中小企業にとっては負担が大きい」といった状況がある（p.17）。このため、中小企業の場合は炉メーカー等の支援なしには補助金の申請手続きを遂行することは難しいようである（pp.17-18）。

また、公募時期が限定されており中小企業の導入検討の時期と合わない場合が多いことも大きな問題である。NEDO の公募は 5 月に行われるが、工場側の実態は次のコメントに示されるようなものであり、申請が困難になっている：「中小企業は、下請けということがあって仕事量が読めず、長期的な計画が立てにくいという宿命がある。従って、補助金事業の申請時期に高性能工業炉の設備更新時期を合致させることは、中小企業にとっては非常に難しい」（p.19）

さらに、NEDO 補助金は既存設備の更新を対象としており、新設に対しては補助金が得られ

にくいことも問題となっている。「10 年も 20 年も前の炉をリプレースするのに、以前と同じ炉を導入するアホはいない。まず、稟議が降りない。以前よりは能力アップしたい、性能アップしたいと思うのが普通だが、こういった普通の要求に補助金事業がマッチしない（対象外になる）ように思われる。」（p.19）

このように、投資回収率の低さを改善するために実施されている補助事業は、これまで普及拡大に重要な役割を果たしてきたものの、制度に大きな問題を抱えており、十分な効果が得られていないと考えられる。

### 3.3.4 まとめ

以上、工業炉の省エネルギー対策として画期的な技術とされている高性能工業炉について、普及のポテンシャルと障壁を分析した。

高性能工業炉の普及率が低い最大の要因は投資回収の難しさであるが、一方で投資回収期間が短い普及余地もある程度残されていると推定される。

しかしながら、初期投資額が大きいこと、技術情報の不足、需要の多様性に製品が追いついていないこと、更新のための操業停止の難しさ、品質影響への懸念、他に優先すべき投資対象があること、助成措置が使いにくいこと、などの障壁があることによって、導入が妨げられていると考えられる。

### 3.4 事例3：モータシステム

#### 3.4.1 モータシステムとは

モータ（電動機）が消費する電力、すなわち動力用の電力は、工場における電力消費の7割程度を占めるため、省エネルギー対策における重要分野である（図23）。

モータはさまざまな産業用機器で用いられているが、主な用途はポンプ、ファン、圧縮機、冷凍機などであり、エネルギー消費量で見てもこれらが大半を占める（図24）。これらの機器には三相誘導電動機と呼ばれるモータが最も広く用いられている。

モータは生産工程や空調に動力を供給するために稼働することから、その省エネルギーを考える際には、モータ単体だけではなく、その伝達系統や駆動装置・制御装置も含めたシステム全体（ここでは「モータシステム」と呼ぶ）の省エネルギーを図る必要がある。

モータシステムの主な省エネルギー対策として、表9のようなものがある。ここでは、中でも特に重要な対策として、モータ自体の効率化をもたらす高効率モータの採用と、インバータ導入による速度制御という2つの対策について検討する。

#### 3.4.2 高効率モータの普及と障壁

##### (1) 高効率モータの普及状況

高効率モータとは、損失を低減するために設計の合理化や低損失材料の使用などによって効率を向上させたモータである<sup>33</sup>。

高効率モータは、標準モータに比べてインシヤルコストは3割程度割高になるが、損失を約20%低減（モータ効率は3~5%向上）さ

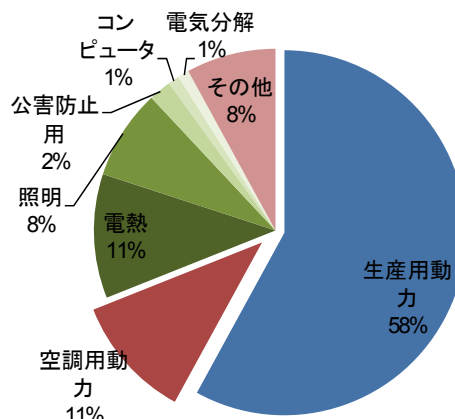


図23 平均的な工場消費電力に占める用途別電力量割合（1996年）

（出典：岩井, 1997(平成8年東京電力調べ)）

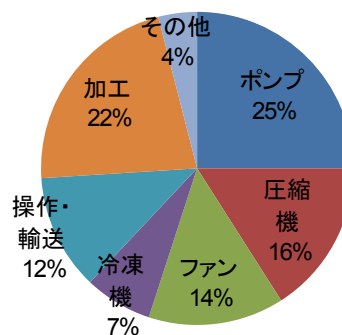


図24 工場での動力用電力消費の内訳（米国の例）

（出典：IEA, 2008b, p.224）

表9 モータシステムの主な省エネルギー対策

- ・ 供給電圧の適正化
- ・ 適正機種を選択（速度・トルク特性等）
- ・ 容量の適正化
- ・ 無負荷時の運転停止
- ・ 出力制御の適正化（インバータ導入による回転速度制御、台数制御など）
- ・ 動力伝達系統の損失削減
- ・ ポンプ・ファンの配管ルート改善
- ・ モータの高効率化（高効率モータの採用）

（出典：荒野(2001)より作成）

<sup>33</sup> 規格として2000年にJIS C 4212「高効率低圧三相かご形誘導電動機」が制定されている。

せているためランニングコストが軽減され、一定の稼働時間で投資回収を図ることができる。図 25 は、稼働時間とモータ容量に応じた投資回収年数を概算したものであり、年間稼働時間が 2,000 時間以上であれば、たいいていの場合には 1~3 年程度で差額が投資回収できるとされている（日本電機工業会，2005）。

高効率モータは、石油危機直後から節電型モータとして各社から製造販売されてきたが、大きくは普及してこなかった。しかし、1990 年代半ば以降、省エネルギー技術として再度注目されるようになった。近年の出荷台数は、図 26 に示す通り、4 万台程度まで伸びていると推定されている（矢野経済研究所，2008）。

ただし、これは三相誘導電動機の国内出荷台数約 650 万台（2007 年）に比べると 1%に満たない。この採用率は、図 25 で見たように標準モータとの差額の回収期間が短いことを考慮すると、非常に低いレベルである。したがって、短期間に投資回収が可能な高効率モータの導入ポテンシャルは大きいと考えられる。

## (2) 高効率モータの普及障壁

高効率モータの採用率が低い要因について、既往の実態調査（岩井，1997，1999；日本電機

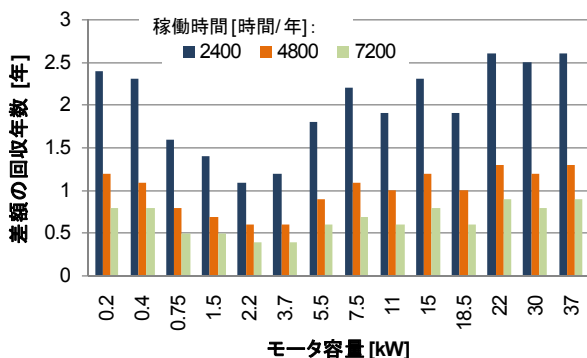


図 25 標準モータと高効率モータの差額回収年数概算値

（出典：日本電機工業会，2005）  
注）電気料金 16 円/kWh、負荷率 100%

工業会，2007）等に基づいて以下に整理する。

## エンドユーザーの関心が低い

まず、エンドユーザーの関心が低いことが挙げられる。東京電力の 1996 年度の全国の工場に対するアンケート調査では（N=118、回収率 26%）、高効率モータの特性や効果を知っていると答えたのは 36%にとどまっていた（岩井，1999）。

その後注目を集めたことで、技術自体の認知は高まったと考えられるが、日本電機工業会が 2005 年度に実施した機械製造業の事業所 1,118 か所に対するアンケート調査においても、モータを使用する事業所のうち 20%が高効率モータを知らないと答えている（日本電機工業会，2007）。これは、モータを利用するエンドユーザーであると同時に自社製品にモータを組み込むサブユーザーでもある機械メーカーの 20%が高効率モータを知らないことを意味している。

また、上述の東京電力の調査では、高効率モータの資料を同封してエンドユーザーの評価をたずねており、18%の回答者が「機械の付属品なので注目していない」、また 12%が「効果が不明確」と答えている（図 27）。機械に組み込まれたモータについてはユーザーが関心を持ち

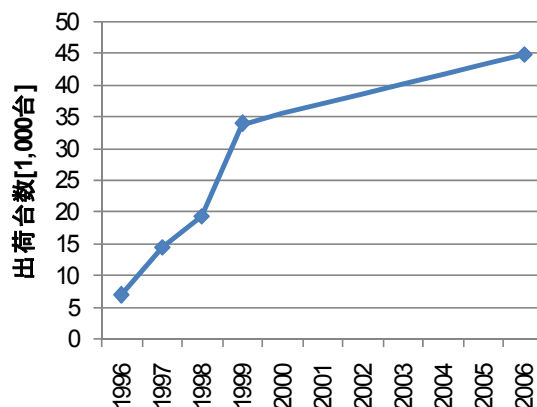


図 26 高効率モータの国内出荷台数推計

（出典：矢野経済研究所，2000，2008）

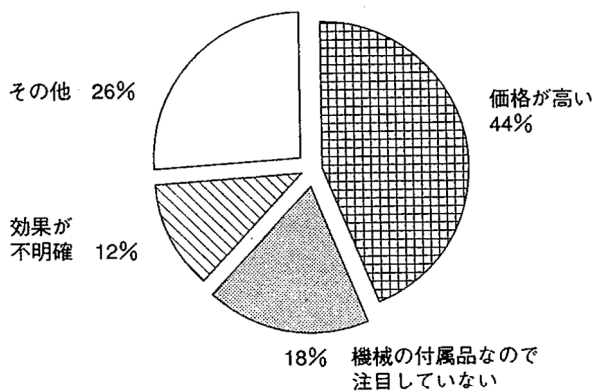


図 27 高効率モータへのエンドユーザー評価  
(1996年東京電力調査)

(出典：岩井，1997)

にくいこと、また採用による効果の評価が困難であることがわかる。

#### 機械メーカーのインセンティブが小さい

汎用モータの流通構造をみると(図 28)、モータがエンドユーザーに直接販売されることはほとんどなく、90%は機械メーカーに出荷され、パーツとして機械に組み込まれる。したがって機械メーカーが高効率モータを採用することが鍵になるが、エンドユーザーがわざわざ指定しないと高効率モータは採用されないのが一般的である。

上述の日本電機工業会のアンケート調査では、高効率モータを自社製品に使用している機械メーカーのうち73%は最終顧客からの指定によるとしており、標準搭載の製品があると答えた機械メーカーは27%にとどまる(日本電機工業会，2007)。

これは、エンドユーザーが機器を選ぶ際にはその主機能の性能とイニシャルコストを重視するためである。このため、機器メーカーにとっては、イニシャルコストが大きいにも関わらず高性能化になるわけでもない高効率モータを積極的に採用するインセンティブが小さい。

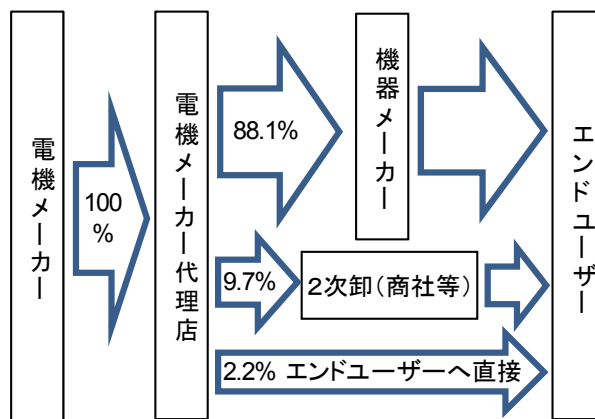


図 28 一般的なモータの流通構造

(出典：岩井，1997)

#### 更新の機会が限られている

高効率モータは標準モータの1.2~1.3倍の価格であり、更新や新設の際の差額であれば数年で回収できるものの、現在稼働しているモータをわざわざ高効率モータに取り換えるほどの便益はない。モータの寿命は20年以上とも言われているため、高効率モータへの更新の機会に限られている。

したがって、既に利用されているモータを高効率モータに更新するには、組み込まれている設備の更新計画に合わせて、高効率モータの更新を計画しておく必要がある。実際、モータシステムの省エネルギー対策に力を入れる大手企業の工場では、設備更新に合わせた段階的な高効率モータの採用を計画している<sup>34</sup>。

一方で、中小企業ではこのような長期的な設備計画を持つことは稀である。モータが故障するまで使い続け、故障した場合には壊れたものと同じ型式のモータを急いで取り寄せる、というのが中小企業における一般的な対応方法である。これは、止まった設備やラインを迅速に復旧させるためであり、そこでわざわざこれまでと仕様の異なるモータを注文することはない。また、前もって高効率モータを予備しておく

<sup>34</sup> 例えば、キリンビールの例(長谷川，1999)、日立製作所習志野事業所の例(酒井，1999)などがある。

いった対策も取らないのが普通である。

このように、モータ更新の機会は限られており、中小企業の場合にはそこで高効率モータを選択することが難しいという実態がある。

### (3) まとめ：高効率モータの普及障壁

このように、エンドユーザーが機器のモータ効率に関心を持たない一方で、機器にモータを組み込む機械メーカーにとっては、エンドユーザーから指定されない限りは高効率モータを採用するインセンティブがない。また、モータ更新のタイミングが限られており、更新時には既存のモータと同じ形式が選ばれるため、特に中小企業では採用が難しい。こういった障壁が、高効率モータの普及を妨げていると考えられる。

## 3.4.3 インバータの普及と障壁

### (1) インバータによる省エネルギー効果

インバータとは、厳密には直流電力を交流電力に変換する回路方式を指すが、一般的には受電した交流電力を好みの周波数・電圧に変換する装置を指す。特に汎用モータの可変速制御のために用いるインバータを、汎用インバータと呼んでいる。

ポンプやファンは、実際には負荷率が低い時期が多いにも関わらず定格運転を続けている場合がある。またそれを定格以下に絞る場合にも、ダンパやバルブといった損失の大きい制御方式が用いられていることが多い。さらに、動力設備の設計では出力に余裕を持たせた設計を行うため、設備容量が実際の需要より過大になっていることが多い。

このような場合には、モータをインバータにより可変速制御することによって、大幅な省エネルギー効果を得ることが可能である。例えば、ファンまたはポンプの風量（流量）を15%絞る場合、インバータ制御はダンパ制御（バルブ制

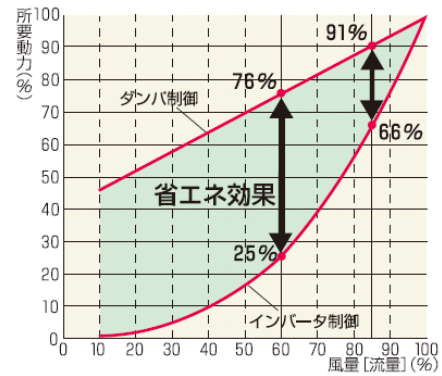


図 29 ファン・ポンプのダンパ制御をインバータ制御にした際の省エネルギー効果

(出典：日本電機工業会，2008)

御) に比べて25%程度の電力削減ができると思われる(図29の右上の矢印を参照)。

### (2) インバータの普及状況

汎用インバータは1980年代初期に販売が開始され、以降普及が拡大し続けている(図31)。

用途としてはポンプ・ファン・圧縮機が最大であり、その他産業機械に広く用いられている(図32)。導入目的としては、汎用の場合は高機能化と省エネルギーが多く、ポンプ・ファンの場合は省エネルギー目的がほとんどである<sup>35</sup>。

汎用インバータは三相誘導電動機に対して導入されるため、大まかにはインバータ1式に対してモータ1つと考えてよい。これらの出荷台数を比較すると(図31)、近年出荷される三相誘導電動機の20~30%程度には汎用インバータが装着されていると推定される。

一方、モータとインバータの耐用年数はそれぞれ10~30年および7~15年程度とされていることから、ストックベースでのモータのインバータ装着率はもっと小さくなる。図31に示す出荷台数に基づき、モータとインバータの耐用年数をそれぞれ20年および10年としてストック数を推定すると、近年におけるインバータ

<sup>35</sup> インバータメーカーB社より。

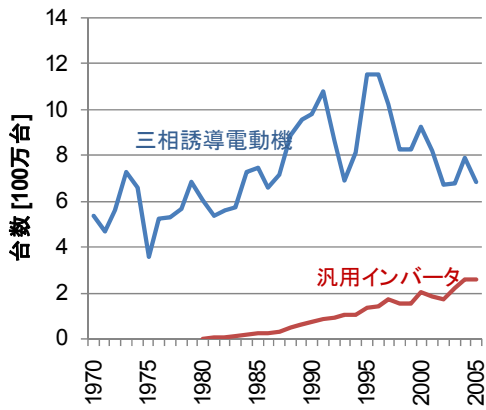


図 31 三相誘導電動機と汎用インバータの出荷台数

(出典：経済産業省「機械統計」より作成)

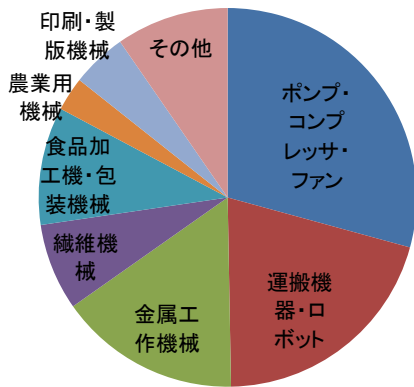


図 32 汎用インバータの用途別構成 (2006年度, 台数ベース)

(出典：矢野経済研究所, 2007)

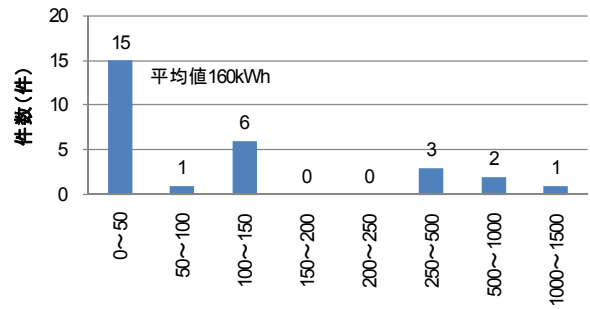
の装着率は5~10%程度と推定される。<sup>36</sup>

### (3) インバータ導入による省エネルギーポテンシャル

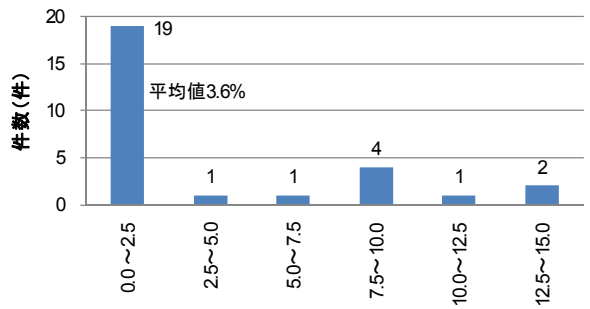
三相誘導電動機の全てがインバータを必要とするわけではなく、可変制御が必要なものに限られる<sup>37</sup>。その割合は、欧州での調査による

<sup>36</sup> この装着率は、欧州での調査 (De Almeida et al., 2000) で報告されている主なモータシステム (ポンプ、ファン、コンプレッサ、コンベア等) に対するインバータの装着率6~7%と同程度である。

<sup>37</sup> 可変速が必要でない場合にインバータを装着すると、変換ロスのためにむしろ増エネになる。



(a) 電力削減可能量(kWh)



(b) 工場電力消費量に対する削減可能率(%)

### 図 30 省エネルギー診断事例に見るインバータ導入の省エネルギー効果

(出典：中小企業事業団 (1996, 1997, 1998, 1999), 中小企業総合事業団 (2000, 2001) より作成)

注 1) 1997~2000 年に実施されその詳細が確認できた省エネルギー診断 145 件のうち、インバータ導入提言がなされていた 28 事例のデータに基づく。

注 2) 診断に基づく提言を実施した場合にもたらされる、電力削減量(a)、および当該工場の電力消費全体に対する削減率(b)の推計。

と、ポンプ・ファンでは60%程度、圧縮機では30%程度と推定されており、中でもインバータ装着による経済効果が高いモータの割合は、機器や産業によるが、おおよそ30%程度<sup>38</sup>と推定されている (De Almeida et al., 2000)。

日本も欧州と同程度と仮定すると、現状の装着率5~10%程度というのはまだ低い状況にあるといえる。

さらに、省エネルギーセンターによる1997~2000年の省エネルギー診断事例を見てみる

<sup>38</sup> De Almeida et al.(2000)は、業種ごとのごとの経済的なインバータ装着割合を非鉄金属29%、紙パルプ35%、食品23%、化学33%、機械金属2%、鉄鋼27%と推定している。

と、工場でのインバータ導入提案率は約 25%、対象設備（ファン・ポンプ・ブロア）の消費エネルギーに対する省エネルギー率は 20～84%（中央値 46%）であった<sup>39</sup>。

これらの省エネルギー診断 28 事例について、インバータ導入による削減可能量と、事業所の年間電力消費に対する削減率を、それぞれ図 30(a)および(b)に示す。さらに、これらの単純投資回収年数の見積もりは 0.3～5.0 年（中央値 1.7 年）となっており、投資回収は早いと言える。

以上より、短期間で投資回収が可能なインバータ導入の余地は大きいと推定される。

#### (4) 普及障壁

では、インバータの普及障壁はどのようなものだろうか。業界団体調査（日本電機工業会、2007）および筆者のインタビュー調査に基づき、以下に整理する。

#### ユーザーが導入余地を見つけられない・気付かない

インバータ導入には、まずユーザーが自社工場で使用しているモータを把握し、インバータによる可変速化が効果的な導入余地を検討することが不可欠である。しかし、実際には人員や専門知識の不足のため、事前検討が困難なことや導入の仕方がわからないといったことがある。

導入余地はまだあると考えられるが、需要側の利用実態を把握しなければ導入効果はわからない。このような実態把握は、需要側すなわち導入する工場側でないと対応できない。しかし社内の人間で対応できないことが多く、だからといってそれを ESCO にしてもらおうとすると、コンサルティング料がかかるためメリットがある程度大きくない限り頼めない。<sup>40</sup>

インバータ導入の余地を残している工場は多い。0.5kW とか小さいと効果も小さいので導入は勧

められないが、1kW 以上なら検討すべきだろう。しかし、中小企業には知識がない。誰にどう頼めばいいのかわからない。大手のインバータメーカーに声をかけたりしないだろうから、代理店などが近くにあつてアドバイスをもらわないと難しい。<sup>41</sup>

生産機械は安全率がかなり高く設定されていることが多い。特注品は特にそうである。これは、出力不足といった問題を避けるためには仕方のないものだが、運用経験により過大設計とわかれば修正するべきだが、できていないところが多い。...例えばコンプレッサの省エネでは、運用に合わせた容量選定や調整が重要になる。しかし普通の運用条件で試運転調整する手間を惜しんだところでは、デフォルトのまま使われてしまう。こういった機器は、普段から付き合いのある設備業者が入れるとちゃんと調整してくれることが多いが、商社などから安いのを探して買ってくると、その設備だけ工程全体との調整なしに入ってしまう。<sup>42</sup>

また、省エネルギー対策に取り組んでいる大工場であっても、大型のモータには対策するものの、小型のモータの存在を見逃してしまい、工場担当者が気付かないところでフル稼働しているという場合があるようである。

#### 設置に伴う人件費が大きい

汎用インバータの価格は過去 20 年ほどで大きく低減しており、kW 当たり 2～3 万円程度で購入できる場合もある。しかし、設置の方法によっては工事費がかなり高額になる場合がある。インバータ本体数万円に対して、工事費が 100 万円以上に及ぶ場合もあるという。

工場での汎用インバータ導入の実態や導入方法に詳しい水口(2008)は、インバータの工事費用の大半は以下のような人件費で構成されており、これを全て設備メーカーに委ねると高額になり投資効果が出ないと指摘している：

- 1) インバータを取り付ける対象を探す費用
- 2) インバータ故障対策を検討する費用
- 3) インバータを取り付ける工事の設計費用
- 4) インバータのパラメータを設定する費用

<sup>39</sup> 診断に基づく省エネルギー提案の詳細が確認できた 100 件のうち、インバータ導入の提言がなされていた 28 件の診断データに基づく。

<sup>40</sup> 省エネルギー診断士 E 氏のコメント。

<sup>41</sup> 省エネルギー診断士 F 氏のコメント。

<sup>42</sup> 省エネルギー診断士 H 氏のコメント。

- 5) ファン・ポンプの流量がどれだけ削減できるか予測する費用
- 6) ファン・ポンプのモータにインバータを取り付ける費用
- 7) インバータを取り付けた後に、周波数を何 Hz まで落とせるか立ち会う費用
- 8) インバータを取り付けた後に、設備・製品に不具合が出ないか立ち会う費用
- 9) 打ち合わせ費用（思いを伝える費用）
- 10) 省エネ効果の検証費用
- 11) 数年後に故障が発生した場合の対応費用
- 12) 出張費・宿泊費

水口(2008)は、これらの人件費を抑えるためのさまざまなノウハウを紹介しているが<sup>43</sup>、こういったノウハウがない場合や担当者自身による対処が難しい場合には、これだけの人件費が生じてしまうということである。

### 品質影響と部門間調整

工場の中で省エネルギーの担当部署は設備保全や生産技術部門であることが多く、製造工程のモータには手を出しにくい一方で、製造現場はエネルギーコストには関心が低く、省エネルギー対策の導入に必ずしも積極的ではない（水口，2008，p.39）。

製造現場が省エネルギー対策に積極的でない理由の一つは、対策のせいにより重要な品質に予期せぬ影響が出てしまう可能性があることである。そこでインバータ導入による影響を事前に検証する必要があるが、検証には研究部門の協力を得なければならない。

例えば浄水場の曝気ブロー送風機をインバータ制御する場合には、必要な酸素濃度を計測しながら風量制御するが、それで工程に問題が出ないかどうか検証する必要がある。しかし、多くの場合はこれまで通りの方法ならとりあえず安心なので、現状を変更することに抵抗がある。ここは、技術部・研究部が試験しなければできないが、担当者だけではそこまで動かせないことが多い。仮に省エネ担当者が技術部の人間より年下であれば気軽に頼めないし、「この忙しい

のに余計な仕事をつくるな」と言われてしまう。結局、ここもトップが指示をしないとうまく動かない。各部門が参加する省エネ推進組織ができていないと機能しにくい。<sup>44</sup>

このように、組織内の部門間の調整が必要になることも、インバータ導入を進める上での障害になる。

### 設備納入の際の初期費用の偏重

設備納入の際に、インシヤルコスト（初期費用）ばかりが注目され、ランニングを含めた総合的なコストが評価されにくいという問題がある。例えば、ポンプを納入するメーカーがポンプ設備へのインバータ設置を提案している場合であっても、ユーザーまたはユーザーとの間に入る設備業者が、インシヤルコストをできる限り抑えるために、インバータを落としてしまうこともあるようである。

工場の設備建設の際は、建設時のコストだけが考慮される場合が多い。細かな設計は設備業者が担当することが多いが、設備業者との契約は工事一式であり、ポンプ等のメーカーに対しては設備業者ができる限り低コストの製品を要求してくるのが実態。オーナーにこちらの方が良い製品ですよと勧めて納得してもらっても、設備業者がインシヤルが高いからといって押し返して導入に至らない場合もある。こういう場合は、オーナーが仕様書に「インバータ」と明示しておくぐらいでないと導入されない。<sup>45</sup>

### 機器が扱いにくい

モータが組み込まれた設備の寿命が短くとも10年以上であるのに対し、インバータの寿命が5～10年程度と短いことから、導入に難色を示すユーザーもいる（水口，2008，p.26）。実は、この問題には次のように容易な対処策が存在しているのだが、対処策についてはあまり知られていないため、扱いにくい装置と認識されることが多い。

<sup>43</sup> 例えば、自分自身で取り組める小型モータから取り組むこと、インバータメーカーからアドバイスを受けること、制御盤を必要最小限にすること、など。

<sup>44</sup> 省エネルギー診断士 E 氏のコメント。

<sup>45</sup> ポンプメーカー C 社のコメント。

故障時には、商用電源で運転し早期に切り替える、あるいは同じ規格の制御装置の予備を一定割合（100%でなくてよい）保有する、などの措置ですむ話なのだが、そういった対策があることを知らないために、導入したがるユーザーもいる。<sup>46</sup>

他にも、トラブルへの対処策について同様の指摘がある。

中小企業の工場では高温・高湿などインバータ設置環境が悪いことが多く、瞬停対策用の電池があることも知らないままメンテもせず、瞬停がおきてシーケンサのプログラムが消えてしまうといったトラブルになることもある。トラブったらどうすればいいかわからないということも敬遠される要因になる。<sup>47</sup>

また、インバータの使い勝手改善へのニーズは根強く存在している。汎用インバータは、制御用マイコンの高性能化により非常に多機能が盛り込まれており、これが汎用性とコストダウンをもたらしているが、この多機能性のために専門知識を持たないユーザーにとってはかえって使いにくいものにもなっている（電気学会，2000，pp.43-44）。このため、各メーカーは装置の使い勝手・操作性を向上させた製品開発に取り組んでおり、代理店やユーザーに対しても講習会等により普及を図っているが、操作性への課題を残している。

#### (5) まとめ：インバータの普及障壁

以上のように、インバータ導入によって短期間で投資回収が可能な省エネルギー余地はまだ大きいと思われる。しかし、まず導入ポテンシャルを同定するにはユーザーが事前検討を行う必要があり、それが情報不足や人員不足により難しい。特に中小企業にとっては、導入検討をどのように進めていいかわからないという問題がある。また、導入による生産工程への影響を検証するために部門間の調整を図る必要がある

こと、インバータ導入に伴い大きな人件費が生じる場合があること、設備納入の際には初期費用ばかりが評価されること、そして故障時の対応や使い方に関する知識が十分ないと扱いにくいことなどが、インバータ導入拡大の障壁となっている。

<sup>46</sup> 省エネルギー診断士F氏のコメント。

<sup>47</sup> 省エネルギー診断士H氏のコメント。

### 3.5 工場の省エネルギー対策全般に見る障壁

本稿はボイラ・工業炉・モータシステムを分析対象としているが、これらの事例分析の中で、明確に各技術が言及されてはいないものの、いずれの設備の省エネルギー対策にも当てはまる障壁が観察された。ここでは、それらを工場の省エネルギー対策全般の障壁として整理しておく。

なお、ここでは上述の3事例において観察された障壁と同内容と考えられるものは省略し、3事例で触れられていない障壁についてのみ述べる。

#### 運用管理への認識不足

省エネルギーに関心があり高効率機器を導入する事業所であっても、適切な運用管理をしなければ十分な効果が得られないという点について、認識が不足しているという問題がある。

この点は次のコメントに集約されている：

高効率機器の普及が実際の省エネ効果につながるかどうかは別の問題である。無駄に高効率機器を入れても減らないし、適切な運転管理をしなければ成果は出ない。「これだけ投資しているのになぜ使用量が下がらないのか？」との悩みを持ちかけられることもしばしばある。<sup>48</sup>

#### 経営者の関心が不十分

工場での省エネルギー対策では、経営者が関心と意欲が取り組みレベルを左右するとするコメントが多数あった。

経営層・工場長の関心とコミットメントはとりわけ大切である。上層部の意識が高ければ、自然に担当者の熱意も高まる。逆に、いくら担当者に熱意があっても、一人だけでは何もできない。担当者だけで組織全体を動かすことなどできない。...例えば生産工程の変更を伴う場合、

<sup>48</sup> 省エネルギー診断士 H 氏のコメント。

これが製品の品質に影響しないことを事前に技術部門や研究部門で検証する必要があるが、省エネルギー担当者が技術開発部に検証試験を依頼するのは難しい。また、生産ラインの変更は、現場の理解なければ進まない。こういう問題は、トップの指示があればすぐに解決する。<sup>49</sup>

工場での対策は、工場長がここまでやれと指示を出せば、現場はそれに向けて改善策を上げて達成してくる。例えば自動車大手の T 社では、設備選定時にはランニングコストまで含めて検討せよとの経営方針になっているため、自然と省エネ設備が入ってくる。経営者の判断次第である。<sup>50</sup>

これは、本研究にて実施したインタビュー対象者のほぼ全員から、極めて重要な障壁として指摘があったものである。

前節までで分析した設備の省エネルギー対策を進める際にも、例えば担当者が高効率設備への更新を検討していても、経営者の関心が低く理解が得られなければ進められない。また、対策推進のために部門間調整が必要になると、経営層からの指示がなければスムーズに進められない<sup>51</sup>。逆に、経営者が関心を持ち、担当者を置いたり、現状把握や情報収集をするように指示を行うことで、対策が進展する部分は大きいだろう。

このように経営者の関心不足は、省エネルギーの大きな障壁であると考えられる。

#### 公的助成措置が使いにくい

経済性の低さを補うべく講じられているはずの助成措置が、実際には非常に利用しにくいという問題である。特に中小企業にとっては書類作成等の負担に耐えられないとされている。これは省エネルギーの障壁そのものではないが、経済的な障壁を取り除くべく講じられている施策の効果を弱めていることから、重要な問題であると考えられる。

<sup>49</sup> 省エネルギー診断士 E 氏のコメント。

<sup>50</sup> 省エネルギー診断士 D 氏のコメント。

<sup>51</sup> 32 ページの省エネルギー診断士 E 氏のコメントを参照。

国、都、その他様々な団体毎に制度がばらばらで、利用者にとってはわかりにくい。自分の設備がどの制度の対象になり得るかがわからない。情報を一元化し、事業者が自分の目的にあわせて利用可能な制度を検討できることが望ましい。また申請手続きが煩雑で、すぐに使えない。登記簿や営業報告書の提出など、大企業なら何でもないことでも、中小企業では対応できない。NEDOの補助金申請などは、中小企業にとって申請書の作成が負担であり躊躇するのではないか。<sup>52</sup>

## 4. まとめと考察

本章では、事例分析の結果をまとめ、それに基づいて政策的示唆を考察する。また、今後の研究課題を整理する。

### 4.1 事例分析のまとめ

#### 4.1.1 経済的な省エネルギーポテンシャル

本稿で取り上げた3つの設備について、短期間（3年程度以内）で投資回収が可能な省エネルギーポテンシャルがある程度存在することが確認された。

まずボイラについては、空気比管理や廃熱回収は多くの事業所で徹底されておらず、省エネルギー診断事業では約半数の事業所で改善提案がなされており、平均すると工場の燃料消費を4%程度削減できるポテンシャルが報告されていた。

また工業炉についても、省エネルギー診断事業では工場のエネルギー消費全体の1~2%程度に及ぶ改善提案がなされており、その平均投資回収年は3年以内であった。さらにリジェネレータ化（高性能工業炉への更新・改修）に注目すると、短期間に投資回収が可能と考えられる普及ポテンシャル（約5,000基）に対して、現在の普及台数は約1,000基と低いレベルにあった。

モータシステムの省エネルギー対策について、高効率モータの採用率を見てみると、通常のモータとの差額が短期間に回収できるにも関わらず1%程度と非常に低かった。またインバータのモータに対する装着率を見てみると、経済性が成り立つと推定される装着率（15~20%）に対して実際の装着率（5~10%）は低く、省エ

<sup>52</sup> 省エネルギー診断士F氏のコメント。

表 10 本稿の事例分析で確認された  
省エネルギーの障壁

事例	障壁
(事例 1) ボイラの省エ ネルギー対策 の普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対策費用が大きい</li> <li>・ 計測体制・現状把握が不十分</li> <li>・ ユーザー側の情報不足・経営資源不足</li> <li>・ 人員不足と管理の外部委託に伴う問題</li> <li>・ 対策実施に伴う部門間の調整</li> </ul>
(事例 2) 高性能工業炉 の普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 初期投資額が大きい</li> <li>・ 技術情報の不足</li> <li>・ 需要の多様性</li> <li>・ メンテナンスの問題</li> <li>・ 更新のための操業停止による機会費用</li> <li>・ 品質影響への懸念</li> <li>・ 他に優先すべき投資対象がある</li> <li>・ 補助金・助成措置が使いにくい</li> </ul>
(事例 3-1) 高効率モータ の普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エンドユーザーの関心が低い</li> <li>・ 機器メーカーに採用のインセンティブが小さい</li> <li>・ 更新の機会が限られている</li> </ul>
(事例 3-2) インバータの 普及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ユーザーが導入余地を見つけられない・気付かない</li> <li>・ 設置に伴う人件費が大きい</li> <li>・ 品質影響と部門間調整</li> <li>・ 設備納入時の初期費用の偏重</li> <li>・ 機器が扱いにくい</li> </ul>
工場の省エネ ルギー対策全 般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運用管理への認識不足</li> <li>・ 経営者の関心不足</li> <li>・ 助成措置が使いにくい</li> </ul>

エネルギー診断でも多くの費用効果的な導入提案がなされていた。

以上の推計は、限られた情報に基づく荒い推計であり、今後詳細な分析が必要であるが、ポテンシャルの存在は確からしいと考えられる。

#### 4.1.2 省エネルギーの障壁

以上のような経済性のある省エネルギーポテンシャルが実現しない要因として、表 10 のような経済性以外の障壁が確認された。

本稿での分析は、インタビュー調査および既存の実態調査に基づいて探索的に抽出したもの

であり、各事例について全ての障壁を網羅できたわけではない。

しかしながら、各事例には共通する障壁も多く、主要な障壁は検討することができたと考える。以下、各事例で共通して確認された具体的な障壁について、先行研究で示されている障壁の分類（表 1）を用いつつ整理する。

##### (1) 資金調達

ボイラの廃熱回収設備や O<sub>2</sub> 自動制御システム、高性能工業炉といった設備導入については、設備の初期投資が大きいことが障壁となっていた。このような初期投資の調達が、短期間での投資回収が可能な場合でも問題となるかどうかは本研究では分析できなかったが、初期投資が高額である対策は多くの中小企業にとって実施が難しいと考えられる。

##### (2) 情報の不足

情報不足という言葉にはさまざまな意味が含まれるが、ここでは対策や技術の存在やその潜在的な効果・導入方法についての情報・知識の不足のことを指すことにする。本稿の事例で言えば、高性能工業炉や高効率モータの存在を知らない、インバータを導入するとしてもどうしていいかわからない、といったものである。

これらは特に事例 2 および事例 3 において、重要な障壁であると考えられた。

##### (3) 現状把握・対策検討能力の不足

自社のエネルギー使用状況について、計測を通じて現状を把握し、対策余地を検討するという一連の情報処理が必要になるが、実際にはこれが実施困難という問題である。これは、表 1 では不完全情報および限定合理性に当てはまる。

高効率設備を導入する場合でも、既存の設備の運用を改善する場合でも、ユーザー側が自社の需要や設備の特性を理解して、自社に合った

設備選定や運用管理を行う必要がある。このため、本稿で分析したいずれの事例においても、現状把握と対策検討の能力不足は大きな障壁となっていた。

#### (4) 隠れた費用

隠れた費用にはさまざまなものが含まれており、本稿の事例分析で確認した多くの障壁はここに分類することができる。具体的には、以下の6つが含まれる。

- ① エネルギー管理にかかわる人件費： 管理を強化するにも、人件費の問題から十分な管理を行う人員を置けない。本稿では特にボイラの事例で観察された。
- ② 品質への影響： 省エネルギー対策によって製品の品質に影響を出すことはできないため、その恐れがあるときは影響の有無の検証や対策が必要になる。これは、高性能工業炉とインバータの事例で重要な障壁として観察されたが、製造工程に関わる設備導入一般について存在する障壁であろう。
- ③ 設備更新の機会費用： 好景気下ではライン稼働率が高いので省エネルギーのためのライン停止は難しい（高性能工業炉の事例）。また、中小企業では、設備が壊れるまで更新がされず、壊れたら急ぎで復旧のために同じ型式のものを導入してしまう（高効率モータの事例）。
- ④ 他の優先される投資案件の存在： 省エネルギーよりも、生産拡大や品質向上といった他の投資案件が優先されてしまうという障壁であり、本稿では高性能工業炉の事例で確認された。
- ⑤ 部門間調整： これが必要になることも隠れた費用の一つである。品質への影響の検証や、製造ラインへの対策導入の際には、エネルギー管理部門と技術部門や生産部門との間で協力体制を作る必要がある（ボイ

ラの事例、インバータの事例)。これは担当者にとっては大きな負担となることがある。

- ⑥ メンテナンスの増加と利便性の低下： この障壁は、本稿では高性能工業炉およびインバータの事例で確認された。

#### (5) インセンティブの不一致

この障壁は、本稿では高効率モータの事例において、モータメーカー、機器メーカー（モータを組み込むサブユーザー）、エンドユーザーという三者のインセンティブの不一致として顕著に現れた。エンドユーザーは、省エネルギーの便益を得るはずだが、機器に組み込まれたモータには関心が低い。一方で機器メーカーは、ユーザーがモータに対する関心が低い一方でインシヤルコストは重視することを踏まえて、高効率モータを標準装備しない。モータメーカーは、高効率モータを売るインセンティブはあるが、製品のほとんどを機器メーカーに卸すため、エンドユーザーに働きかけられない。

また、エネルギー管理者はユーティリティー関連設備以外には手を出しにくく、一方で製造部門には省エネルギーに取り組むインセンティブが小さく、結果的に対策が進めにくいといった事態（ボイラの事例を参照）もインセンティブの不一致と理解することができる。

#### (6) 需要の多様性

一般的には優れた省エネルギー設備であっても、工場ごとの設備は多様であるため、適さない場合があるという問題である。これは、本稿では二つの例で確認された。

一つは、高性能工業炉の事例で述べたように、大口の大企業に対する製品開発は進んでいても、多種多様な中小企業の設備に適合する製品が必ずしも用意されないという例である。

もう一つは、どのような高効率設備であれ、自社の負荷特性に沿った運転管理をしなければ

実際の省エネ効果にはつながらないという例である（ボイラの事例、ならびに工場の省エネルギー全般の節を参照）。ここは、メーカー側に求められることには限界があり、ユーザーが自身の特質に合った運転管理を検討する必要がある。

#### (7) 経営者の関心不足

これは工場の省エネルギー全般に見られる障壁であり、インタビュー調査では工場における最も重要な省エネルギー障壁として指摘されることが多いものである。表 1 では、(10)価値観、(11)権限、(12)文化などに対応している。

例えば担当者が効果的な省エネルギー対策を検討していても、経営者の関心が低く理解が得られなければ進められない。対策推進に必要な担当部署の設置や部門間調整などは、経営層からの指示がなければスムーズに進められない。逆に、経営者が関心を持って指示を出せば、対策が進展する部分は大きいと考えられる。

## 4.2 政策的示唆

以上のような省エネルギーの障壁に対して、どのような政策措置が効果的だろうか。

障壁の中には、政策によって取り除くことができるものとそうでないものがある（Sorrell, et al., 2004）。実際に、需要の多様性や、隠れた費用のいくつか（品質影響、設備更新の機会費用、他の投資案件、メンテナンス・利便性）は、政策的介入が難しい対象と思われる。

一方、情報不足、現状把握・対策検討能力の不足、人員不足等については、政策による改善が可能であると思われるため、以下で考察する。

### 4.2.1 規制的措置による情報不足・現状把握不足の解消の可能性

本稿では、情報不足および現状把握・検討能

力の不足が大きな障壁であることを確認した。つまり、多くの企業にとっては省エネルギー機器の情報入手は十分でなく、どの機器を選べばどれだけの効果があるかといった検討をできない場合が多いことが分かった。

このような状況では、製造側企業への規制やラベリング制度は効果的な部分があるだろう。ラベリング制度によって信頼できかつ分かりやすい効率表示があれば、高効率機器をより選択しやすくなる。また、トップランナー規制などによって高効率機器しか販売されていなければ、ユーザーはそれしか選択の余地がないため、比較検討の手間をかけずに高効率機器を選択することができる<sup>53</sup>。

また、適切な運用管理に必要な計測器の設置についても、メーカー側に標準装着を義務付けるという考え方がある。これによって、ユーザーによる現状把握を容易にし、より適切なエネルギー設備の運用管理が促進される可能性がある。

一方で、ユーザー側企業への規制の有効性については、本稿ではあまり示唆が得られなかった。規制があることで、経営者の関心も向上し、さまざまな対策が強化される可能性はあるが、例えばボイラの廃熱回収や空気比管理の例では、法の基準を遵守していない企業の割合は大きく、数多くの事業所の規制が難しいことを示唆している。

一方で、近年の省エネルギー法による規制範囲の拡大や内容強化によって、経営者の関心向上や、エネルギー管理部署・担当者の設置などもたらされた部分もあると考えられるため、今後検討していく必要があるだろう。

<sup>53</sup> ただし、投資回収が見込めないような高価・高効率な機器しか市場に残さないことは問題である。

## 4.2.2 適切なエネルギー管理に向けて

高効率設備を導入する際には、それが本当に自社工場の省エネに結びつくかどうかを十分に事前検討する必要がある。ここはユーザーが取り組まねばならないが、実際には人員不足・検討能力の不足等で難しい。また、実際に高効率機器を導入した後も、期待されるような省エネ効果も得るためには、適切な運用管理が求められる。

一方、設備の運用改善で省エネルギーを図る場合には、ユーザーが自ら現状把握をして検討することが不可欠である。

要すれば、設備導入の場合も運用改善の場合も、ユーザーによる適切なエネルギー管理体制の構築が求められている。このため、工場によるエネルギー管理を支援するとともに、これを妨げる情報不足や付随する取引費用を低減させる対策が必要になる。

### (1) 省エネルギー診断等による外部からの支援

エネルギー管理体制の構築は、省エネルギー法でも推進を図っているところであり、これは一方で重要である。

他方、省エネルギー診断や ESCO のような、外部専門家の関与が有効と考えられる。通常の ESCO 事業がビジネスとして成立するためにはある程度の規模が必要であることを考えると<sup>54</sup>、中小企業に対する公的支援をどのように進めるかが特に重要となる。

中小企業に対する外部からの支援の手段として、現在も実施されている省エネルギー診断事業の拡充が重要であると考えられる。本稿でも指摘したように、専門家が最初から最後まで面倒みないと中小企業にとっては実施まで行くのは難しいという声が多く聞かれた。このよう

<sup>54</sup> 例えば福島県による ESCO 事業者へのアンケート調査では、ESCO 事業成立ラインは 3,000 万円～5,000 万円となっている（福島県、2008）。

な点を踏まえた事業拡充が必要になると思われる。

### (2) 計測器や管理システムの開発普及

運用改善に取り組むためには、計測器を揃える費用が必要であるとともに、それを用いて運用改善に取り組む人が必要になる。

このような費用（隠れた費用を含む）は、技術開発により低減できる部分があるだろう。まず計測器の価格低減や簡便化が進めば、それを採用して最適管理に活用する工場は増えるだろう。また、FEMS と呼ばれるようなエネルギー管理システムや自動制御のシステムが開発普及することは、管理の費用を低減するために有効と考えられる。

### (3) エネルギー管理と生産管理のリンク

エネルギー管理は工場の生産管理と関係している部分が多い。品質や原価の管理が適切になされている企業では、エネルギー管理も適切との指摘もある。また、適切なエネルギー管理が品質向上・生産性向上に直結することを示す事例も多い。

これは、エネルギー管理と生産管理を統合的に支援できる可能性を示している。もしそのような支援策が講じられるならば、省エネルギーのみを掲げた診断事業よりもより多くの事業者の関心と参加を得られるのではないだろうか。

## 4.2.3 助成制度の改善の必要性

高性能工業炉の事例では、導入補助金が重要な役割を果たしているものの、現在の制度設計には大きな問題があることが確認された。また、公的助成制度一般に、さまざまな制度が乱立しておりわかりにくい、手続きが煩雑で利用しにくいと言った問題が指摘されている。

今後も助成制度は重要な役割を果たしてい

くと考えられるため、助成制度の利用に必要な手間や労力を小さくし、効果をより大きくするための制度的改善が求められる。

#### 4.2.4 省エネルギーの障壁とエネルギー価格

本稿で分析してきた省エネルギーの障壁に対して、エネルギー価格の上昇はどのような影響をもたらすだろうか。

本稿では、省エネルギー設備の普及拡大には投資回収期間の短縮が重要であることが確認された。エネルギー価格上昇はこれに直結するため、省エネルギー設備導入を加速させる効果があると考えられる。

しかし他の省エネルギー障壁については、エネルギー価格の多少の上昇だけでは取り除かれないものが多いと考えられる。

特に重要と考えられる障壁は、現状把握・対策検討能力の不足である。たとえ高効率機器の導入が増えても、期待通りの省エネルギー効果を得るためには適切な運用管理体制が必要になる。このようなエネルギー管理の能力構築は、エネルギー価格の上昇だけで進展することは考えにくいため、別の政策措置によって対策を講じていく必要があるだろう。

#### 4.3 今後の課題

本稿のように、対象技術について省エネルギーのポテンシャルを分析し、その実現を妨げる障壁を明らかにしていくというアプローチは有効であると考えられる。

今後は、まず経済的な削減ポテンシャルについて、ある程度定量的な評価を行う必要があるだろう。本稿では、省エネルギー診断事例や既存の実態調査・統計等に基づいて、ポテンシャルの存在を推定するにとどまった。今後は、業

種や事業特性ごとにどの程度のポテンシャルが存在するか、より定量的な実態調査をする必要がある。

また、障壁の分析についても、本稿は定性的な分析に留まっており、例えばどの障壁が最も重大なのか、といった程度や範囲などについては十分検討できなかった。本稿では省エネルギー診断士等に対するインタビュー調査という2次的な調査手法を取ったが、今後は、工場に対する1次調査によってより詳細な分析をする必要がある。

これらの分析に基づいて、省エネルギーの障壁をより具体的に描き出し、それらを取り除く方策を検討していくことが今後の重要な課題である。

#### 謝辞

本研究の実施に際しては、多くの方々からご協力を頂戴いたしました。インタビューに応じてくださった省エネルギー診断士の方々、企業ならびに業界団体のご担当者の方々に、厚く御礼を申し上げます。特に、(財)省エネルギーセンター広報部・辻元久一様、同センターエネルギー使用合理化専門員・村田博様ならびに野田冬彦様、(社)日本ボイラ協会技術普及部・井深英男様には、資料提供等さまざまなご協力を頂戴いたしました。ここに記して御礼申し上げます。

## 参考文献

### [和文]

岩井保夫, 1997, 「国内の現状と東京電力の取り組み」, 特集高効率モータと省エネルギー, 『省エネルギー』, 49(14), pp.24-30.

岩井保夫, 1999, 「国内のモーター市場の現状と高効率モーターの普及に関する東京電力の取り組み」, 『生産と電気』, 51(2), pp.7-16.

環境庁, 1992, 『地球温暖化防止対策ハンドブック(2)産業編』, 第一法規.

荒野吉也, 2001, 『現場における省エネのチェックポイント』, オーム社.

酒井孝寿, 1999, 「工場にみる高効率モータの導入とその成果 日立製作所習志野事業所(特集 最近の高効率モータと適用動向)」, 『省エネルギー』, 51(14), pp.36-40.

佐々木健人, 2001, 「高性能工業炉導入フィールドテスト事業 3年間の成果」, 『工業加熱』, 38(6), pp.45-53.

省エネルギーセンター, 2001, 「エネルギー消費実態分析 94~98年度」.

[[www.eccj.or.jp/base5/analysis/index.html](http://www.eccj.or.jp/base5/analysis/index.html)]  
(2001年4月訪問)

省エネルギーセンター, 2005, 「工場における省エネ推進のてびき:平成18年版」, 省エネセンター, 2005年.

中央環境審議会地球環境部会, 2001, 「目標達成シナリオ小委員会 中間とりまとめ」, 環境省.

[[www.env.go.jp/council/06earth/r062-01/index.html](http://www.env.go.jp/council/06earth/r062-01/index.html)] (2009年1月訪問)

中小企業事業団, 1996, 平成7年度 エネルギー使用合理化設備導入促進指導事業個別指導概要報告書及び指導事例集, 中小企業事業団, 平成8年2月

中小企業事業団, 1997, 平成8年度 エネルギー

一使用合理化設備導入促進指導事業個別指導概要報告書及び指導事例集, 中小企業事業団, 平成9年2月

中小企業事業団, 1998, 平成9年度 エネルギー使用合理化設備導入促進指導事業個別指導概要報告書及び指導事例集, 中小企業事業団, 平成10年2月

中小企業事業団, 1999, 平成10年度 エネルギー使用合理化設備導入促進指導事業個別指導概要報告書及び指導事例集, 中小企業事業団, 平成11年2月

中小企業総合事業団, 2000, 平成11年度 エネルギー使用合理化設備導入促進指導事業に係る計測機器を用いた指導等に関する業務 個別指導概要報告書及び指導事例集, 中小企業総合事業団, 平成12年2月

中小企業総合事業団, 2001, 平成12年度 エネルギー使用合理化設備導入促進支援事業に係る計測機器を用いた支援等に関する業務 個別支援概要報告書及び支援事例集, 中小企業総合事業団, 平成13年2月

電気学会(汎用インバータの現状と動向調査専門委員会)編, 2000, 「汎用インバータ-省エネルギー効果・高性能化・環境適合性の現状-」, 電気学会技術報告第807号.

永田勝也, 1992, 「熱利用機器における対策」, 環境庁, 『地球温暖化防止対策ハンドブック(2)産業編』, 第7章, pp.151-169, 第一法規.

西尾健一郎, 2009, 「エアコンによるCO2削減に向けた方策:アンケート調査による実態把握と省エネルギーバリアの分析」, 電力中央研究所研究報告 Y08026, 電力中央研究所.

日本工業炉協会, 2008, 「平成19年(1~12月)

- 工業炉の用途別・品目別・需要部門別売上実績調査（報告）」、日本工業炉協会、008年10月31日。
- 日本小型貫流ボイラ協会、2007、法人化設立10周年記念誌、財団法人日本小型貫流ボイラ協会。
- 日本電機工業会、2008、「伸びゆくインバータ2009」、日本電機工業会。
- 日本電機工業会、2007、平成18年度「電動機・インバータに関するユーザ調査」報告書（相手機械調査）、日本電機工業会。
- 日本電機工業会、2005、省エネルギーを推進する高効率モータ、日本電機工業会。
- 日本ボイラ協会、2005a、「ボイラー運転管理状況調査」集計結果（その1）、ボイラ研究、330、pp.35-42。
- 日本ボイラ協会、2005b、「ボイラー運転管理状況調査」集計結果（その2）、ボイラ研究、331、pp.21-29。
- 日本ボイラ協会、2005c、「ボイラー運転管理状況調査」集計結果（その3）、ボイラ研究、333、pp.17-25。
- 日本ボイラ協会、2005d、「ボイラー運転管理状況調査」集計結果（その4）、ボイラ研究、334、pp.34-41。
- 日本ボイラ協会、2005e、『(新版)地球温暖化防止に寄与するボイラーとその周辺機器に関する省エネルギー』、日本ボイラ協会。
- 日本ボイラ協会省エネルギー委員会、2007、「省エネルギー法における空気比と廃ガス温度について」、『ボイラ研究』、341、pp.33-36。
- 日本工業炉協会・省エネルギーセンター、1996、わが国の工業炉施設の実態調査結果、平成8年。
- 長谷川孝夫、1999、「高効率モータ導入のための検討事項と評価（特集 最近の高効率モータと適用動向）」、『省エネルギー』、51(14)、pp.33-36。
- 福島県、2008、「福島県 ESCO 推進プラン策定調査報告書」、平成19年度地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業（事業化フェージビリティスタディ調査）、福島県。
- 水口雄二郎、2008、『楽勝！現場で使うインバータ』、省エネルギーセンター。
- 村田博、2008、「ボイラの性能と省エネルギーを考える」、『省エネルギー』、60(4)、pp.22-26。
- 森田光宣、2003、「工業炉を中心とした省エネルギー診断成果と今後の方向」、『工業加熱』、40(5)、pp.23-40。
- 矢野経済研究所、2000、環境追い風に期待高まる高効率（節電型）モータ市場、『ヤノ・レポート』、No.1072、矢野経済研究所。
- 矢野経済研究所、2007、『汎用インバータ市場の現状と展望 2007年度版』、矢野経済研究所。
- 矢野経済研究所、2008、「小型・産業用モータ市場に関する調査結果 2008」、Research Express、矢野経済研究所。
- 若林雅代・木村宰、2009、「省エネルギー政策理論のレビュー：省エネルギーのギャップとバリア」、電力中央研究所調査報告 Y08046、電力中央研究所。
- ESCO 事業導入研究会、1998、ESCO 事業導入研究会報告書。  
[[www.eccj.or.jp/esco/report01/index.html](http://www.eccj.or.jp/esco/report01/index.html)]  
(2009年1月訪問)。
- NEDO・富士総合研究所、2001、平成12年度分野別戦略調査（省エネルギーグループ：高性能工業炉の開発とその導入普及状況に関する調査）、平成13年。
- NEDO・日本工業炉協会、2001a、高性能工業炉導入普及マニュアル（平成12年度先進

- 的新エネルギー・省エネルギー技術導入アドバイザー事業用) I 高性能工業炉と高温空気燃焼技術, 平成 13 年.
- NEDO・日本工業炉協会, 2001b, 高性能工業炉導入普及マニュアル(平成 12 年度先進的新エネルギー・省エネルギー技術導入アドバイザー事業用) II 高性能工業炉の設計と実際, 平成 13 年.
- NEDO, 2003, 高性能工業炉導入フィールドテスト事業成果報告書(第 1 回成果報告会資料), 平成 15 年.
- NEDO, 2005, 高性能工業炉導入フィールドテスト事業成果報告書(第 2 回成果報告会資料), 平成 17 年.
- NEDO・日本工業炉協会, 2005a, 平成 16 年度エネルギー使用合理化事業者支援事業(調査研究事業)「高性能工業炉に係る導入可能性調査」調査報告書, 平成 17 年.
- NEDO・日本工業炉協会, 2005b, 平成 17 年度エネルギー使用合理化事業者支援事業(調査事業)「高性能工業炉に係る導入促進調査」調査報告書, 平成 17 年.
- NEDO, 2007, 高性能工業炉に係るアウトカム調査 調査報告書, 平成 19 年.

[英文]


- Brown, M.A., 1991, Market Failures and Barriers as a Basis for Clean Energy Policies, *Energy Policy*, **29**, pp.1197-1207.
- De Almeida, Anibal T., P. Fonseca, F. Ferreira, F. Guisse, J. Blaise, E. Clair, A. Diop, A. Previ, A.C. Dominioni, M. Di Pillo, S. Russo, H. Falkner, J. Reichert, E. Toensing, K. Malmose, 2000, *Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives*, Report for the SAVE II Programme of EC DG-TREN.
- DeCanio, Stephen J, 1993, Barriers within firms to energy-efficient investments, *Energy Policy*, **21**, pp.906-914.
- DeCanio, Stephen J, 1998, The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments, *Energy Policy*, **26**, pp.441-454.
- Geller, Howard, S. Attail, 2005, *The experience with energy efficiency policies and programmes in IEA countries: learning from the critics*, IEA Information Paper, IEA.  
[www.iea.org/textbase/papers/2005/efficiency\_policies.pdf.]
- Graus, W.H.J., M. Voogt, E. Worrell, 2007, International comparison of energy efficiency of fossil power generation, *Energy Policy*, **35**, pp.3936-3951.
- Howarth, R., B. Andersson, 1993, Market barriers to energy efficiency, *Energy Economics*, **15**, pp.262-272.
- Howarth, R., B.M. Haddad, B. Paton, 2000, The economics of energy efficiency: insights from voluntary participation programs, *Energy Policy*, **28**, pp.477-486.
- IEA (International Energy Agency), 2008a, *Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Strategies to 2050*, In support of the G8 Action Plan, International Energy Agency.
- IEA (International Energy Agency), 2008b, *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions*, In support of the G8 Action Plan, International Energy Agency.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press.
- Jaffe, Adam B., R.N. Stavins, 1994, The energy-efficiency gap: what does it mean?, *Energy Policy*, **22**, pp.804-810.
- Levine, M.D., J.G. Koomey, J.E. McMahon, A.H. Sanstad, 1995, Energy efficiency policy and market failures, *Annual Review of Energy*, **20**, pp.535-555.
- McKinsey & Company, 2007a, *Costs and potentials of greenhouse gas abatement in Germany*, A report by McKinsey & Company on behalf of BDI initiative - Business for Climate.
- McKinsey & Company, 2007b, *Reducing U.S. greenhouse gas emissions: How much at what cost?*, U.S. Greenhouse Gas Mapping Initiative Executive Report.
- Phylipsen, Dian, K. Blok, E. Worrell, J. de Beer, 2002, Benchmarking the energy efficiency of Dutch industry: an assessment of the expected effect on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, *Energy Policy*, **30**, pp.663-679.
- Rohdin, P., P. Thollander, 2006, Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden, *Energy*, **16**, pp.1836-1844.
- Rohdin, P., P. Thollander, P. Solding, 2007, Barriers to and driving forces for energy efficiency in the Swedish foundry industry, *Energy Policy*, **35**, pp.672-677.
- Sardianou, E., 2008, Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece, *Journal of Cleaner Production*, **16**, pp.1416-1423.
- Schleich, Joachim, E. Gruber, 2008, Beyond case studies: Barriers to energy efficiency in commerce and the services sector, *Energy Economics*, **30**, pp.449-464
- Sorrell, Steve, E O'Malley, J. Schleich, S. Scott, 2004, *The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-Effective Investment*, Edward Elgar.
- SPRU (Science and Technology Policy Research, University of Sussex), 2000, *Reducing barriers to energy efficiency in public and private organizations*, Final Report, Joule III Project, EU.
- Sutherland, 1996, The economics of energy conservation policy, *Energy Policy*, **24**, pp.361-370.
- Tanaka, K., R. Matsushashi, M. Nishio and H. Kudo, CO<sub>2</sub> Reduction Potential by Energy Efficient Technology in Energy Intensive Industry, IEEJ, March 2006.
- Thollander, P., M. Ottoson, 2008, An energy efficient Swedish pulp and paper industry – exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments, *Energy Efficiency*, **1**, pp.21-34.

---

電力中央研究所報告

[不許複製]

編集・発行人 財団法人 電力中央研究所  
社会経済研究所  
 東京都狛江市岩戸北 2-11-1  
電話 03 (3480) 2111 (代)  
e-mail src-rr-ml@criepi.denken.or.jp

---

発行所 財団法人 電力中央研究所  
東京都千代田区大手町 1-6-1  
電話 03 (3201) 6601 (代)

---

印刷所 株式会社 ユウワビジネス  
東京都千代田区神田須田町 1-1  
電話 03 (3258) 9380

---

ISBN978-4-7983-0009-2

