

新興国の製造業に対する省エネ対策導入の ボトルネックと資金面の普及支援制度

西畑 昭史¹

¹非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 地球環境研究所

(〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)

E-mail: Akifumi.Nishihata@tk.pacific.co.jp

温室効果ガスの大量排出国となったインド等の新興国に対し、日本の優れた環境・省エネルギー技術の移転を行うことは、相手国の持続可能な開発に資すると共に、日本にも設備輸出等の経済的なメリットが期待される。しかし、新興国の製造事業者は生産拡大を優先し、収益性が低くリスクの高い省エネ対策を重視しない傾向がある。

本研究では、インドの鉄鋼及びセメント業での省エネ事業を資金面から促進する制度について検討した。その結果、日本の設備価格、円高等のコスト上昇要因に比べ、インドでの安い燃料（石炭）、電力価格等の省エネ便益低下要因が大きいため、採算性が低くなる傾向があった。これに対し、省エネ事業支援制度としては、設備補助金、税制優遇、低金利融資、CO₂削減クレジット買取制度等が、効果的であることが分かった。

Key Words: emerging country, energy-saving project, industry sector, project finance, support measures

1. はじめに

地球温暖化は、世界の持続可能な開発を妨げるおそれがある重要な問題であり、全ての先進国及び開発途上国が取り組むべき課題である。1992年の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）採択から国際的な枠組みによる取組が始まり、1997年の京都議定書採択を契機として、様々な対策が行われてきてきた。しかし、図-1のとおり、2009年には中国のCO₂排出量が米国のそれを上回る等、歴史的責任のある先進国はもとより、中国やインド等の新興国の取組がなければ、地球規模で有効な温暖化防止策にはならないことが明らかとなってきた。

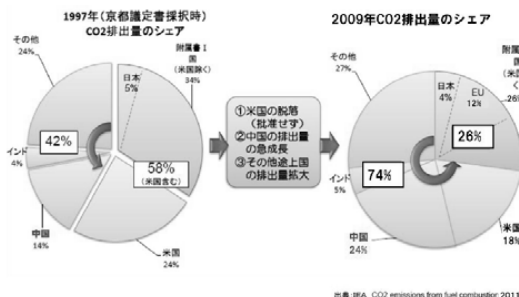


図-1 1997年と2009年の国別のCO₂排出割合¹⁾

そのため、今や温室効果ガスの大量排出国となり、今後も急激な伸びが懸念される中国、インド等の新興国に対して、日本の優れた環境・省エネルギー技術の移転を行うことは、相手国の持続可能な開発の達成支援に資するのみならず、日本にとっても設備輸出振興による経済的メリットが期待され、さらに温暖化対策ともなり得るものである。

しかし、新興国の事業者は、生産拡大投資を優先し、省エネ対策を必ずしも重視していない。また、資源開発事業やエネルギー供給事業等と比べ、鉄鋼・セメント等の製造業における省エネルギー事業は、収益性が必ずしも大きくはなく、プロジェクトファイナンスの観点からは、魅力的な対象とされないことがある。

2. 省エネルギー事業の採算性

本研究では、インドの鉄鋼業及びセメント業における省エネルギー対策導入のボトルネックを克服する制度的支援のあり方を資金面から検討することを目的として、事業採算性に注目し、既存資料からインド等での実施を

想定したプロジェクトを設定して検討を行った。インド等の新興国では、生産規模が小さく、エネルギー効率の低い設備が多く使用されているため、これらを中規模～大規模、かつエネルギー効率の高い設備へ転換しようとした場合を想定して、燃料費節約便益や、設備投資費、融資元利返済、輸入関税等を考慮したキャッシュフロー計算に基づく回収期間、及び内部収益率を指標として、事業採算性評価を行った。

(1) 鉄鋼業

(財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE) ²⁾によると、粗鋼生産量は、先進国では横ばいが続いているものの、2000年頃からの中国の生産拡大に合わせて世界全体では増大傾向を続けている。新興国であり、世界最大の粗鋼生産・需要国となった中国の生産量は、今後、従来と同様のペースでは伸びないと言われているが、同じく新興国で、粗鋼生産量が現在世界第5位であるインドの生産量は、今後大幅に増加すると予想されている (図-2)。

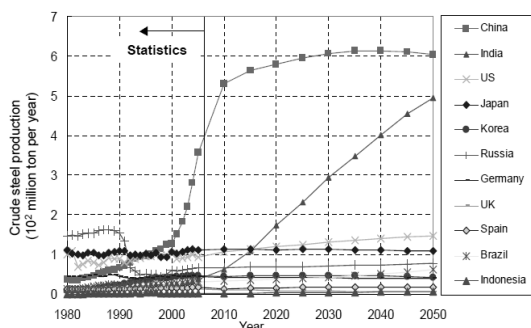


図-2 世界の粗鋼生産量予想²⁾

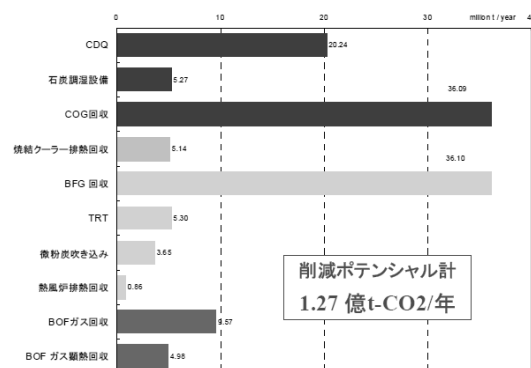


図-3 6ヶ国 (豪州、インド、中国、米国、韓国、日本) での省エネ技術普及率から評価したCO₂削減ポテンシャル³⁾

鉄鋼業では、図-3に示すとおり、多くの技術に関して、省エネ技術普及率から評価したCO₂削減ポテンシャルがある。エネルギー効率に関する国際比較³⁾をみると、日

本のエネルギー原単位を100とした場合、中国は129、インドは132であり、新興国における省エネポテンシャルは非常に大きい。

鉄鋼業の代表的な省エネルギー技術には、副生ガス (コークス炉ガス、高炉ガス等) 回収、CDQ (コークス乾式消火設備)、TRT (高炉炉頂圧発電設備)、焼結クーラー排熱回収等が挙げられる。その中で、副生ガス回収は一般的に経済効果が高いため、インド等でも、製鉄所が自ら先ず取り組む省エネ対策であると言える。

しかし、そこからさらに省エネを進めるためのCDQ、TRT、焼結クーラー排熱回収等の対策は、投資金額に対する回収年数等の事業採算性の判断を要し、導入に対する一定のバリアがある。そこで、本研究では、ひとたび導入すれば省エネ等による経済効果が高いものの、設備費等の投資金額が比較的大きいCDQ (図-4) の導入を想定して検討した。

a) 設備諸元

インドで一般的な規模の高炉100万トン/年を想定するとコークス炉は45万トン/年となり、その場合に導入が想定されるCDQの設備諸元は、以下のとおりとなる。

CDQによる排エネルギー回収・利用 (発電) 能力としては「地球温暖化対策技術移転ハンドブック 2008年改訂版 温暖化対策技術」⁴⁾を参考に以下を想定した。

- ・ 蒸気回収能力: 0.4 (t-steam/t-coke)
- ・ 電力生成能力: 300 (kWh/t-steam)

CDQによる排エネルギー回収及び利用量としては、以下のとおりと想定した。

- ・ 年間蒸気回収量: 180,000 (t-steam/y)
- ・ 年間電力生成量: 54,000 (MWh/y)

CDQ設備本体への投資金額は、以下を想定した。

- ・ 約30億円⁴⁾ (設備費のみ、建設費約5億円は別途)

なお、設備価格は一般的に仕様や契約形態等で大幅に異なるものである。本研究では、概ね30～50億円と総定額に幅がある中で、下限価格として30億円を採用した。

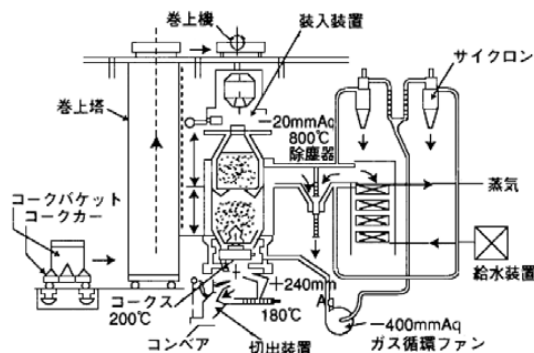


図-4 コークス乾式消火設備 (CDQ) ⁴⁾

b) 省エネ及びCO₂削減効果

排熱を利用して発電を行い、グリッド電力を代替する場合は、CO₂削減量を計算するために電力グリッドのCO₂排出係数 (tCO₂/MWh) が必要となる。インド政府の温暖化対策窓口機関であるDNA (National Clean Development Mechanism Authority: NCDMA) 及び中央電力庁 (The Central Electricity Authority: CEA, 電気事業の許認可、電力需給統計等を行う) によれば、例えば南部以外の地域の電力グリッドCO₂排出係数の公称値は、0.90 tCO₂/MWhである。

前項と合わせて、インドの中規模 (高炉100万トン/y規模) の高炉一貫プロセスを有する製鉄所のコークス炉 (45万トン/y規模) にCDQを導入した場合の発電による省エネルギー効果、及びCO₂削減効果は、以下となる。

- ・ 省エネルギー効果: 54,000 (MWh/y)
- ・ CO₂削減効果: 48,600 (tCO₂/y)

c) 事業採算性

CDQは赤熱コークスを冷却しながら排熱を回収し、生成した蒸気をプロセス蒸気として利用するか、発電、又はその両方に利用できる。CDQ導入の省エネルギー便益は、グリッドからの買電コストの節約効果として、CEAの電気料金 (electricity tariff) 等から、以下のように想定される。

- ・ 省エネルギー効果: 54,000 (MWh/y)
- ・ グリッド電気料金: 5.3 (Rs/kWh)
- ・ 買電コスト節約効果: 286 million (Rs/y)

また、日本からインドにCDQ設備を輸出する場合に、その価格に影響を与える要素として、円/Rs (ルピー) 為替レート変動があり、本研究では、為替レートを1ルピー=1.5~2円と想定すると、CDQ本体の設備費は、以下となる。

- ・ 2,000 million (Rs) (1ルピー=1.5円の場合)
- ・ 1,500 million (Rs) (1ルピー=2円の場合)

この場合の単純回収期間 (設備費/便益) を計算し、インドの鉄鋼メーカーが投資基準とする回収期間と比較した。単純回収期間法は、「投資額を年々の増分現金流入額で回収すると、何年で回収できるのか」を計算し、その回収期間が短い事業を望ましいと判定する手法である。計算方法は簡単であるが、時間価値を考慮しないという課題がある。そのため、時間価値を考慮することが可能な正味現在価値 (NPV)、内部収益率 (IRR) 等の指標の利用が有益である。キャッシュフローに基づくIRRの計算については、後述する。

- ・ 単純回収期間: 7.0年 (1ルピー=1.5円の場合)
- ・ 単純回収期間: 5.2年 (1ルピー=2円の場合)

次に、以下のような条件を想定し、キャッシュフロー計算を行う。なお、為替レートについては、円高傾向は、含めざるを得ないものの、最近の欧州債務危機の急激な

影響は一時的なものと判断し、その影響を受ける以前の水準を選択することとする (図-5)。

- ・ 為替レート: 1ルピー=2円
- ・ 維持管理費: 設備費の1%
- ・ 市中銀行金利: 12% (元金均等返済, 期間10年)
- ・ 輸入関税率: 28%

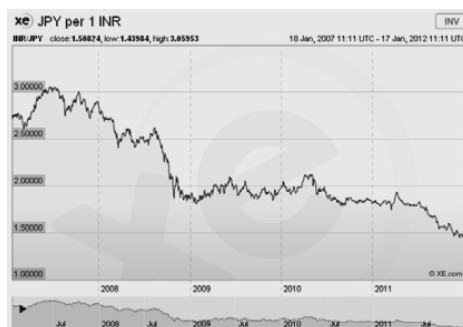


図-5 円/ルピーの為替レートの変動 (<http://www.xe.com/>)

その結果、内部収益率 (IRR) は、9.8 %となり、市中銀行金利を下回ることとなる。つまり、市中銀行から融資を受けてCDQを導入しても、CDQがもたらす省エネの便益は金利を上回る利益を上げられないことを意味する。これは、インドの製鉄事業者にとって、CDQの導入が経済的に見て魅力が乏しいものであることを示している。

(2) セメント業

近年、日本のセメント生産・需要レベルは、土木インフラ削減の影響等から、約40年前のレベルに低減したと言われている⁵⁾。また、毎年1億トン程度の増産が続いているとされる中国では、2015年をピークに減少に転ずる一方、インドでは、住宅建設、インフラ整備等の進展に伴い、今後一貫して増加すると予想されている (図-6)。従って、インドのセメント業のエネルギー効率を改善することの意義は、大きいと言える。

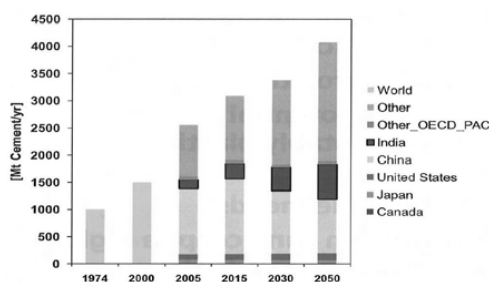


図-6 世界のセメント需要の見通し⁵⁾

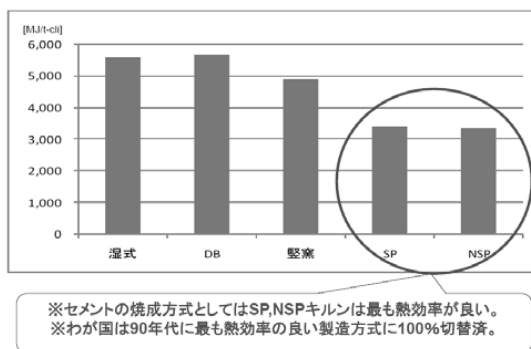


図-7 キルン様式別の熱エネルギー原単位⁵⁾

セメントの製造方式の代表的なものとしては、以下の種類がある。SPやNSPは、エネルギー効率が優れ、かつ量産効果が高いため、日本では全てこの方式を採用している（図-7）。

- ・ W（湿式キルン）：原料を水中でスラリーにして調整するため、焼成のエネルギー効率が悪い
- ・ DB（乾式キルン）：余熱発電を伴うが、キルンのエネルギー効率は良くない
- ・ SP（サスペンションプレヒータ付きキルン）：予熱機が付いており、エネルギー効率が良い
- ・ NSP（ニューサスペンションプレヒータ付きキルン）：予熱機と仮焼炉が付いており、エネルギー効率が良い。

鉄道、道路等のインフラの整備が遅れている途上国では、長距離セメント輸送に要する経費・時間を考慮すると、セメントの需要地に近い地域に小規模セメント工場を建設するが多い。小規模では、乾式NSPキルンは過大設備になり、生産量が少ないにも関わらず、運転に手間がかかるため、湿式キルン方式が選択される理由となる。

a) 省エネ設備諸元

現状普及している湿式キルン方式に対し、NSP方式（図-8）を導入する場合を想定する。

- ・ 湿式方式熱量原単位：5,600 (MJ/t-clinker)
- ・ NSP方式熱量原単位：3,400 (MJ/t-clinker)

インドで一般的な規模の年間生産量100万トン/y規模（3,000 t/d、330日稼働）の工場に導入されるNSP設備の緒元、省エネ・石炭削減効果は「地球温暖化対策技術移転ハンドブック 2008年改訂版 温暖化対策技術」⁴⁾を参考に以下と想定した。インドでの一般炭（用途：セメント）の発熱量⁶⁾は18,800 MJ/t-coal（4,500 kcal/kg-coal）と想定した。

- ・ 年間省エネルギー効果：2,200 (TJ/y)
- ・ 年間石炭消費削減効果：117,000 (t-coal/y)

NSP設備本体への投資金額は、以下を想定する。

- ・ 約18億円⁴⁾（設備費のみ、建設費約3億円は別途）
- なお、設備価格は一般的に仕様や契約形態等で大幅に異なるものである。本研究では、概ね18～35億円と総定額に幅がある中で、下限価格として18億円を採用した。

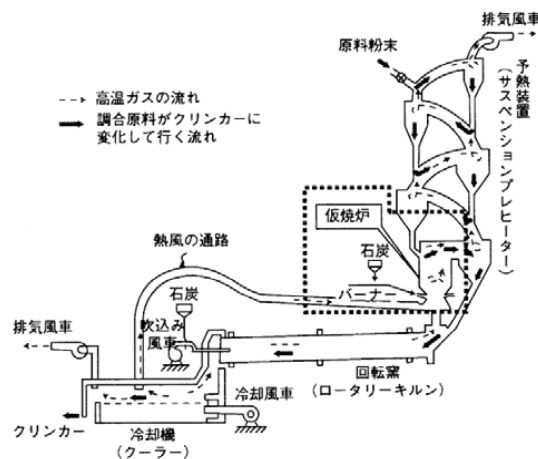


図-8 NSP方式キルンのフロー⁴⁾

b) 省エネ及びCO₂削減効果

化石燃料としての石炭のCO₂排出係数にIPCC 2006⁷⁾による“Other Bituminous Coal”の25.8 (kgC/GJ)を適用すれば、94.6 (tCO₂/TJ)となり、前項と合わせて、湿式方式からNSP方式への転換による省エネルギー効果、及びCO₂削減効果は、以下となる。

- ・ 省エネルギー効果：2,200 (TJ/y)
- ・ CO₂削減効果：208,120 (tCO₂/y)

c) 事業採算性

省エネルギー事業により、燃料石炭消費量が削減されれば、省エネルギー便益は、燃料石炭購入コストの節約効果として、以下のように想定される。

- ・ 省エネルギー効果：2,200 (TJ/y)
- ・ 石炭消費削減効果：117,000 (t-coal/y)
- ・ 燃料石炭購入単価：1,460 (Rs/t-coal)
- ・ 石炭コスト節約効果：171 million (Rs/y)

本研究では、為替レートを1ルピー＝1.5～2円と想定すると、NSP設備本体への初期投資費は、以下となる。

- ・ 1,200 million (Rs) (1ルピー＝1.5円の場合)
- ・ 900 million (Rs) (1ルピー＝2円の場合)

この場合の単純回収期間（設備費／便益）を計算し、インドのセメントメーカーが投資基準とする回収期間と比較することとなる。

- ・ 単純回収期間：7.0年（1ルピー＝1.5円の場合）
- ・ 単純回収期間：5.3年（1ルピー＝2円の場合）

次に、以下のような条件を想定し、キャッシュフロー計算を行う。

- ・ 為替レート：1ルピー＝2円
- ・ 維持管理費：設備費の1%
- ・ 市中銀行金利：12%（元金均等返済，期間10年）
- ・ 輸入関税率：28%

その結果，内部収益率（IRR）は，9.6 %となり，市中銀行金利を下回ることとなる．つまり，市中銀行から融資を受けてNSPを導入しても，NSPがもたらす省エネの便益は金利を上回る利益を上げられないことを意味する．これは，インドのセメント事業者にとって，NSP導入が経済的に見て魅力が乏しいものであることを示している．

3. 普及支援制度

前章を踏まえ，このような環境下で，省エネ事業普及支援制度として，CO₂削減クレジット買取，設備補助金，低金利融資，税制優遇等が，採算性改善に与える効果を感度分析により検証した．

(1) CO₂削減クレジット買取

CO₂削減クレジットを買い取る場合の事業採算性への効果を検証する．「平成23年度地球温暖化対策技術普及等推進事業」の中で行われた，インドにおける省エネ事業のFSの例¹⁾では，クレジット単価を仮に1,200円/tCO₂と設定しており，その単価，及びその半分600円/tCO₂の水準の単価とした場合を想定する．

- ・ クレジット単価：300～600 (Rs/tCO₂)（600～1,200 円/tCO₂）
- ・ クレジット期間：10年間

買取価格及び買取期間によるが，何らかのCO₂削減クレジット買取制度が導入されれば，事業者にとり相当なインセンティブとなることが分かる．CDMでは，省エネ事業に係る案件の登録件数が伸び悩んでいるが，現在日本を中心に検討されている二国間オフセットクレジット制度（BOCM）では，その主要な対象分野の一つに省エネ事業を挙げているため，今後導入が期待される制度と考える．特に，NSP設備については，石炭消費・CO₂削減効果が大きいと，クレジット買取による効果も顕著になると，想定される．

表-1 CO₂削減クレジット買取による事業採算性への効果

	クレジットなし	クレジットあり (300 Rs/tCO ₂)	クレジットあり (600 Rs/tCO ₂)
CDQ	IRR=9.8%	IRR=12.3%	IRR=15.1%
NSP	IRR=9.6%	IRR=47.7%	IRR=50%以上

(2) 設備補助金

インド，又は日本政府等から，設備費等への何らかの

補助金があった場合の事業採算性への効果を検証する．省エネ対策促進に係る日本政府機関等による補助・助成事業の多くで，補助率が1/3～1/2とされている点を鑑み，補助率1/3程度，及びその半分1/6程度を想定する．

- ・ 設備補助率：15～30(%)

補助率及び補助対象によるが，省エネ設備への補助金制度が導入されれば，事業者にとっては相当なインセンティブとなることが分かる．過去にNEDOがインド初の省エネルギーモデル事業をインド・セメント社ビシュヌプラム工場で行った実績もある．補助率が30%程度となれば，設備導入を検討する事業者が出てくる可能性がある，と，想定される．

表-2 設備補助金による事業採算性への効果

	補助金なし	補助金あり (補助率15%)	補助金あり (補助率30%)
CDQ	IRR=9.8%	IRR=17.8%	IRR=34.9%
NSP	IRR=9.6%	IRR=17.5%	IRR=34.2%

(3) 低金利融資

省エネルギー設備導入プロジェクトに対しては低利の融資を行うような場合の事業採算性への効果を検証する．前述のようにインド市中銀行金利を12%程度と想定したため，これを低減し，比較するための金利として以下を想定する．

- ・ 低金利制度：金利8～10(%)

金利及び返済期間によるが，省エネ設備等への低金利融資制度が導入されれば，事業者にとり相当なインセンティブとなることが分かる．

表-3 低金利融資による事業採算性への効果

	市中金利 (金利12%)	低金利制度 (金利10%)	低金利制度 (金利8%)
CDQ	IRR=9.8%	IRR=14.3%	IRR=21.3%
NSP	IRR=9.6%	IRR=14.0%	IRR=20.9%

日本のJBICによる地球環境保全業務（GREEN）は，途上国において，高度な環境技術を活用した省エネ設備の導入等の高い地球環境保全効果を有する案件を対象としていること等から，これら制度を通じた低金利融資の導入が期待される．金利が8%程度となれば，融資を受けてでも設備導入を検討する事業者が出てくる可能性がある，と，想定される．

(4) 税制優遇

省エネルギー設備導入プロジェクトに対しては，輸入関税の低減等を行うような場合の事業採算性への効果を検証する．前述のようにインドの輸入関税率を28%程度と想定したため，これを半分程度に減免，及び全く免除した場合として以下を想定する．

- ・ 輸入関税率：0～14(%)

関税率及び課税対象によるが、省エネ設備等への税制優遇制度が導入されれば、事業者にとり相当なインセンティブとなることが分かる。関税及び関連制度はイン財務省中央間接税局が所管しており、対日輸入適用税率（日本からの輸入品への税率）は、他のWTO加盟国と同一の関税率が適用されている。省エネ設備等を対象に税率を優遇する等の措置が行われ、輸入関税自体が減免されることとなれば、日本から設備を輸入してでも設備導入を検討する事業者が出てくる可能性があると考ええる。

表-4 税制優遇による事業採算性への効果

	通常税制 (関税率28%)	税制優遇 (関税率14%)	税制優遇 (関税率0%)
CDQ	IRR=9.8%	IRR=17.1%	IRR=31.3%
NSP	IRR=9.6%	IRR=16.8%	IRR=30.7%

4. おわりに

以上から、設備補助金、税制優遇等が、特に効果的な制度であることが分かった。これは、事業のキャッシュフローを現在価値で評価する場合、早い年次の設備費、及び融資利払いへの寄与度が大きいためである。しかし現時点では、このような省エネ事業に特化した補助金、税制優遇等の制度は未整備である。前述のようにインドでは、生産規模の拡大が優先されており、省エネ事業による環境面でのメリット（CO₂削減等）及びエネルギーセキュリティ面でのメリット（天然資源の有効活用）が十分に認識されていないことも一因である。

従って、ここで検討したような省エネ対策導入促進のための資金的支援制度の適切な設計が、今後の課題として挙げられる。これらの支援制度の全てについて、同時

並行で導入を促進することは難しい。各々について、利用可能な資金は元より、制度面でもさまざまな課題があり、実現可能な取組から優先順位を設定して進めることが不可欠である。例えば、BOCMの適用を想定した優良プロジェクトや、GREENの活用による日本の省エネ技術導入プロジェクトを実現化することができれば、それらの最初の事例をデモンストレーションプロジェクトとして、より広くこれらの資金的支援制度を促進していく契機とすることが可能となる。NEDOのモデルプロジェクト等、現時点では利用条件の制約が厳しい制度も可能な限り活用しつつ、Learning by Doingで可能性を広げていくことが求められる。

参考文献

- 1) （独）新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成23年度地球温暖化対策技術普及等推進事業 インド共和国における鉄鋼焼結プロセス温室効果ガス削減プロジェクトの案件組成調査，p.1-2，2012.
- 2) （財）地球環境産業技術研究機構：地球環境産業技術研究機構（RITE）説明資料－RITEにおける温暖化対策評価のフレームワークと試算例－，p.5，2008.
- 3) （社）日本鉄鋼連盟：鉄鋼業の地球温暖化対策への取組 自主行動計画進捗状況報告，p.26，2008.
- 4) NEDO 技術開発機構：地球温暖化対策技術移転ハンドブック 2008 年改訂版 温暖化対策技術，pp.66-67，107-108，2008.
- 5) JCA 社団法人セメント協会：持続可能社会に向けたセメント産業の取組み 中長期ロードマップ小委員会ヒアリング資料，p.9, 22，2010.
- 6) 小泉光市，前川公典，弓立浩三，稲田暢文：インドの石炭需給動向－石炭の役割とその将来－，P.15，IEEJ（財）日本エネルギー経済研究所，2006.
- 7) IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume3: Energy, Table1.4, pp.1.23-1.24, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006

(2012.7.18 受付)

BOTTLENECK AGAINST AND FINANCIAL SUPPORT MEASURE FOR INDUSTRIAL ENERGY-SAVING PROJECT IN EMERGING COUNTRY, INDIA

Akifumi NISHIHATA

Transfer of Japanese superior environmental and energy-friendly technologies must contribute not only to sustainable development of developing countries, but also to economical benefit of Japan. However, in emergin countries such as India, which currently emits huge amount of greenhouse gases, most entrepreneurs are prone to give priority to production expansion rather than environmental measures in industrial sectors such as iron and steel and cement.

This paper studied financial support measures to promote energy-saving projects in iron and steel industry and cement industry of India. As a result, energy-saving projects are frequently not financially feasible because of large cost factor such as Japanese expensive plants and strong yen, and small benefit factor such as relatively cheap coal and electricity in India. Therefore, it is desirable to introduce financial support measures for energy-saving projects such as subsidies, tax benefits, low interest loans and CO₂ credits.