

「インド・オリッサ州還元鉄キルン群廃熱回収発電 CDM 事業化調査」報告書概要

1. プロジェクト実施に係る基礎的要素

1.1 提案プロジェクトの概要と企画立案の背景

本案件は、インド鉄鋼産業にて多く見られるロータリーキルンによる還元鉄製造会社において、現在大気に放散されている高温排熱ガスを有効活用して発電し、これにより購入電力量を減少、さらに余剰電力を発電会社(グリッド)に売電する事業である。これにより grid での発電量が減少し、この結果発電燃料(石炭)からの CO2 発生量が減少するので、これを CDM 事業化するプロジェクトである。当該プロジェクトを進める「背景」は以下のとおりである。

(1) インドの鉄鋼業

インドの鉄鋼業は他国にはない特徴を有している。すなわち一般的には製鉄プロセスとしては、「高炉・一貫製鉄法」と「スクラップ・電気炉法」がほとんどであり、両方で世界の約 96%を占める。これ以外の方法として「直接還元鉄・電気炉法」があり、還元剤(鉄鉱石中の酸素を除去する燃料)として産油国では天然ガスが、産炭国では石炭が使用される。インドではこの石炭を用いた同法が国内鉄鋼生産量の8%を占めている。このプロセスは他国では数が少ないユニークなプロセスである。この理由はインドが自国で鉄鉱石を産出すること、またあわせ石炭も産出するが高炉で使用可能な「高粘結炭」ではないので、石炭還元鉄プロセス(ロータリーキルン)にて使用せざるを得ない、という事情がある。現在の実操業においてはこのキルンから高温排熱ガスが発生するが、回収されずそのまま大気に放散されている。

(2) インドのエネルギー事情

インドは 1980～2001 年の約 20 年間に平均年率 5.6%の実質 GDP 成長率で発展してきた。この間人口は年率2%で増加した。しかし急速な経済発展に伴い、工業化、都市化、モータリゼーションが進行し、エネルギー需要はこの間実質 GDP 成長率を上回る年率 6.0%(一次エネルギーベース)で増大した。また発電量は年率 8.1%で伸び、対GDP弾性率 1.5 という電力多消費型の経済成長であったことがわかる。この急速に伸びる電力需要を賄ったのが豊富な国産石炭である。石炭火力は総発電量の 55%(1980 年)から 78%(2001 年)に比率が増大し、年率 10%近くで石炭火力発電量は伸びた。この増大する石炭消費が大気汚染を初めとする環境問題を深刻化させた。

また、自動車用石油消費量が急速に増加し、一次エネルギー供給ベースで 20 年間に年率 5.9%で伸びた。インド経済は今後も高い成長率が継続するものと予想される。エネルギー需要の伸びは GDP 成長率や人口の変化に大きく依存するが、2001 年時点のインドにおける一人当たりの商業エネルギー消費量は表に示す様に 0.316toe で、他のアジア途上国と比較すると未だかなり低いレベルである。これからの同国の経済発展を考えると、一人当たりのエネルギー必要量は早晚現状の 2 倍程度に伸びるものと予測され、そのためにもエネルギーの確保が同国の発展にとって不可欠である。

表1 人口一人当たりの一次商業エネルギー消費量の推移

(単位:toe/人)

国	一人当たりエネルギー			年平均伸び率(% (1995~2001年))
	1995年	2000年	2001年	
インド	0.270	0.317	0.316	2.7
中国	0.714	0.735	0.726	0.3
タイ	0.839	0.953	1.020	3.3
マレーシア	1.740	2.020	2.070	2.9
フィリピン	0.368	0.429	0.414	2.0
インドネシア	0.410	0.478	0.499	3.3
ベトナム	0.122	0.183	0.207	9.2
日本(参考)	3.950	4.130	4.100	0.6

(出典:省エネルギーセンター「アジア開発途上国省エネルギー」インド)

またインドでは家庭用を中心に、エネルギー需要の40%強を薪、動物の糞、穀物残渣などのバイオマスに依存している。従って、将来的にはGDPの高成長率や人口の増加により、商業エネルギーの需要が急増すると考えられる。

(3) インドの電力事情

インドはここ数年継続的に5~8%の経済成長を達成しており、発電電力量は年平均5.5%で伸びている。しかし成長に伴って増大する電力需要に供給が追いつかず、慢性的な電力不足に陥っている。このため発電設備・送配電設備の新設、更新、および増設が課題である。インド中央政府は、電力不足および老朽化した設備の更新のために、今後10年間に1,000MWの発電容量を持つ設備約100基を新たに建設する必要があると試算している。しかし、既存設備の建設コスト償却が進んでおらず、資金計画も困難であるため新規プロジェクト建設に支障をきたしている。さらにその増設および更新が遅れているために、過負荷での運転を余儀なくされ、送配電ロスの原因になっている。送配電ロスは多い州では50%以上にものぼり、2000年度には2,601ルピー(約6,700億円)にも達すると予想されている。送配電ロスとは一般に設備・技術の不備に起因するロスと盗電、メーター値改ざん等人的要因によるロスに分けられる。インド全土では、総発電量の約40%しか料金回収されておらず、60%が送配電ロスである。送配電ロス60%のうち約45%が人的要因ロスで、残りの15%が設備・技術起因のロスである。この事態を重くみたインド中央政府は、これまで「発電」に重点を置いてきたが、第10次経済5カ年計画(2002年7月発効)では、これまでの考えを変え「送配電」に対する公共投資に焦点を当てる事となった。なお燃料別の発電量では78%が石炭火力であり、水力が約13%である。この様に電力は大きな問題を抱えているが、資金難から状況改善にはほど遠い状況にある。

(4) まとめ

以上背景をまとめると以下の様になる。

- 1) インドではエネルギーが不足しており、今後の発展のためには更なるエネルギー源の確保が必要である。しかし資金、環境問題などから大幅な改善は期待できない。
- 2) また電力も不足しているが諸問題を抱え、今後の大幅な改善は困難である。
- 3) 鉄鋼業ではインドに数多いロータリーキルンプロセスにおいて、高温排熱が利用されずに大気

放散されている。これを利用して発電することはインドのエネルギー事情改善にとって極めて有意義である。

1.2 ホスト国の概要

インドは現在中国に次ぐ人口約11億人を有する世界第2の大国である。1947年に英国より独立し、国内外に問題を抱えながら政治、経済等の分野において国際的にその重要度が増加してきている。1980年代以降平均年率5.6%の実質GDP成長率で発展してきた。また特に1990年代以降豊富な人材を背景にIT産業が飛躍的に発展しており、同国の経済規模は世界12位、アジア第4位を占めるに至った。これらの過程でモターリゼーションの急成長、電力消費量の急増化等を招き、この結果世界の国別CO2排出量は米国(24%)、中国(13%)、ロシア(6%)、日本(5%)、インド(4%)となり、インドは日本に次ぐ世界第5位の排出国となった。この様な経済発展により、近年インドは同様に発展著しいブラジル、ロシア、中国をあわせた「BRICs」と呼ばれる地域大国のひとつとして語られる様になった。現状では一人当たりGDPはロシア\$4,093、ブラジル\$3,417、中国\$1,269、インド\$608程度で高くはない。しかしながらBRICsは今後大きな経済成長を遂げると予測されており、この結果2050年には経済規模で中国、アメリカ、インド、日本、ブラジル、ロシアの順になると言われている。

インドと日本との関係を見ると、インドの貿易相手国としての日本は輸出(鉄鉱石、海産物などが主体)、輸入(一般機械、電子機器などが主体)において国別には10位前後に位置している。近年はIT技術が著しく発展しソフトウェアの輸出が伸びてきた(これは統計上貿易額の中に含まれていない)。今後これらの技術が工業製品の中に組み込まれていくなかで、同国からの輸出額が増加していく可能性がある。

この様にインドは将来の発展の可能性を秘めた国であり、日本にとって「中国の次」を見据えた視点からも同国との関係を深めていく必要がある。

1.3 ホスト国のCDM/JIの受入のクライテリアやDNAの設置状況など、CDM/JIに関する政策・状況

(1) インド国政府はCDM事業に対し極めて積極的である。2003年12月MOEF(Ministry of Environment and Forest=環境森林省)にDNAを設置した。大蔵省、外務省、産業省、電力省などがメンバーである。以来2005年11月15日までに181件に対して政府承認を与えている。案件は種々の分野にわたっており、特にサトウキビ、モミガラ等を対象にしたバイオマス関係のプロジェクトが多い。そのような中で鉄鋼やセメントなどの工業プロセスの省エネ対策も環境対策に絡めてCDM化が推奨されている。当該プロジェクトと同様の「還元鉄プロセスにおける廃熱回収発電」をテーマにした案件は3件あり、1件はEBの承認された。

(2) CDMに関する世界的な情報発信を手がけているノルウェーのポイントカーボン社が作成したCDMホスト国の「rating」(評価付け)によると、インドは第1位にランクされている。インドの後にはチリ、ブラジル、中国などが続く。インドがこの様に評価されている理由と背景については以下のようにコメントされている。:

“インドはCDMプロジェクトのホスト国として、最も魅力的である。インドは政府承認案件数および

PDD 数において、世界のリーダーである。同国にはこの制度についての知見を有しているプレイヤーも多い。しかしながら投資環境は比較的貧弱であり、事業実施段階では障壁も多い。また「追加性」において問題点を抱えるプロジェクトもある。”

- (3) 以上のように、インドは早い段階から官民挙げて CDM に積極的に取り組んできており、当該プロジェクトの類似案件も含め数多くの案件に政府承認を与えている。したがって当該案件についても問題なく政府承認が得られるものと推測される。

1.4 提案プロジェクトがホスト国の持続可能な開発へ貢献できる点・技術移転できる点

既に「1.1 提案プロジェクトの概要と企画立案の背景」に述べた様に、インドはエネルギー、電力が大幅に不足している。提案プロジェクトは、現在大気放散しているロータリーキルンでの排熱ガスを回収して発電事業を行うものである。当該製鉄プロセスはインドに数多く存在し今後も増加傾向にあるので、当該発電事業は電力不足の解消に寄与するもので、極めて社会的貢献度が高く、緊急性、持続可能性への寄与度も大きい。

1.5 調査の実施体制

本調査においては、スチールプランテック株式会社が報告書をまとめるが、日本、インドの下記機関に協力を依頼した。

(1) 日本

1) 協力機関：日本プラント協会

・役割：仮の有効性審査(pre-validation) 委嘱

(2) インド

1) 協力機関1：OSIMA (Orissa Sponge Iron Manufacturers Association)、オリッサ州州都ブバネシュバール在。

・役割：インド側のCDM実施主体組織で、参加企業の情報整理と取りまとめ。

2) 協力機関2：BPNSI (Biju Patnaik Nation Steel Institute＝鉄鋼省傘下の調査機関)、デリー在。

・役割：PDD作成用現地情報取りまとめおよびPDD作成支援。

3) 協力機関3：MECON Limited (ジャールカンド州州都ラーンチ在)

・役割：インドに適した設備仕様の設定と設備費積算資料提供。

2. プロジェクトの立案

2.1 プロジェクトの具体的な内容

インドにはロータリーキルンで石炭を利用して鉄鉱石を還元し、鉄鋼原料となる還元鉄を製造する中小企業が多く存在する。その多くはオリッサ州に集中している。キルンでは高温の廃ガスが発生するが、それが利用されず無駄にそのまま大気放散されている。また高温のためダストの集塵が困難で、ダストを含んだまま大気に放出されている例が多い。このようにこの設備は省エネ・環境上問題が多いが、中小企業のため有効な対策の実施は困難であるのが実情である。そこで鉄鋼省傘下の調査機関であるBPNSI(Biju Patnaik Nation Steel Institute)が還元鉄企業組合のOSIMA(Orissa

Sponge Iron Manufacturers Association)と協力して、複数の中小企業を束ねて、CDM 化による設備近代化(廃熱回収発電と集塵強化)を企画した。具体的なイメージは、キルンの廃ガス出口にボイラーを設置し、高温ガスによりボイラーで蒸気を発生させ、この蒸気でタービンを回転して発電する。発生電力は グリッドからの買電量の削減に、あるいは grid への売電に当てる。この結果グリッドでの発電量が減少する。インドでは石炭火力発電が主流なので、その結果石炭の燃焼量が減少し、これにより CO2 の発生量減に結びつき、CDM 事業が成立する。

2.2 想定プロジェクト規模

- (1) 参加企業数:17社
- (2) 還元鉄生産量:合計年間 75 万トン
- (3) 設備費: million US\$ 48 (約 55 億円)
- (4) 発電能力:50 MW
- (5) 発電量:36 万 MWh
- (6) CO2 削減量:年間 30.6 万トン
- (7) 獲得クレジット:年間 350 百万円(CO2 1トン当たり US\$ 10、1US\$=115 円として)

2.3 プロジェクトバウンダリー・ベースラインの設定・追加性の証明

1)プロジェクトバウンダリー

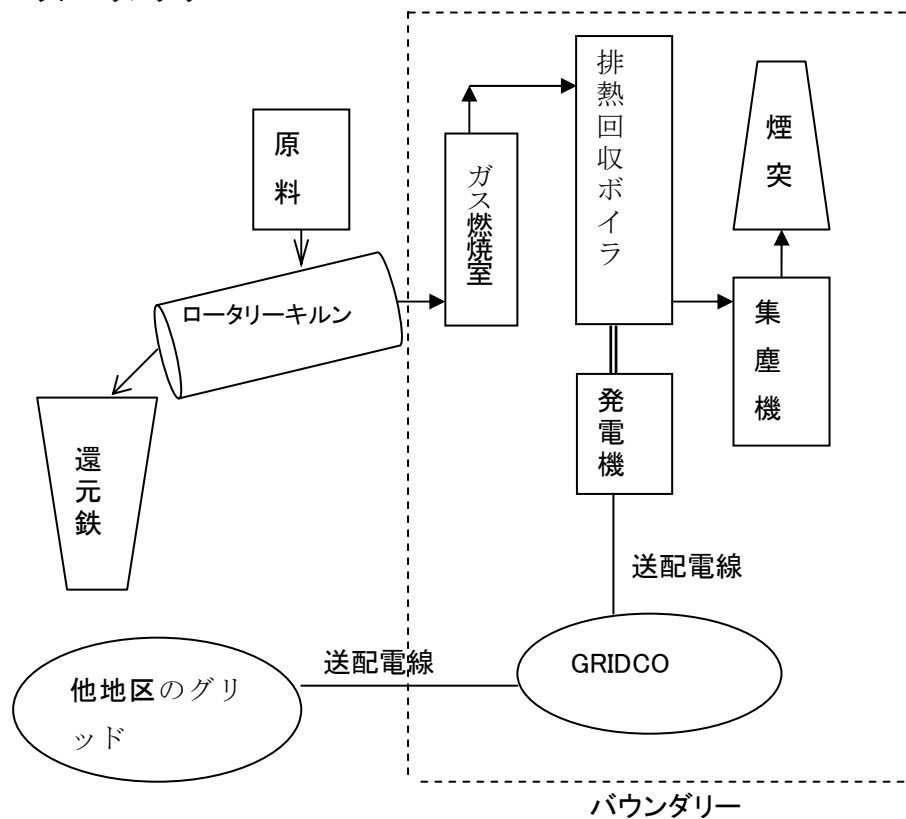


図2 対象設備とバウンダリー

(出典:PDD)

当該プロジェクトの実施場所であるオリッサ州においては、州セクターである GRIDCO がその管理に置く OGPC(火力発電セクター)および OHPC(水力発電)にて発電事業を営む。また民間セクターの IPP 各社が発電する電力を受け入れる。またこれ以外に中央セクターからの電力を受け入れる。オリッサ州は Eastern Region Grid(東部地区発電公社)がそれに該当する。これ以外からの import, export は存在しない。本プロジェクトでの回収電力は GRIDCO に接続される。従って本プロジェクトにおけるバウンダリーは図1に示す範囲となる

(2) ベースラインの設定

現状では操業用電力をグリッドより購入しており、自家発電は行っていない。この理由を調査し「ベースライン」の証明とした:

一般に自家発電の燃料としては、石炭、ディーゼル、天然ガス、水力、風力等がある。この中では石炭が最も一般的であるが、同業他社にも設置例がない。またディーゼルの自家発電は非常用発電装置である。いずれのケースにおいても、この規模の企業で所有する自家発電は数 MW 級であり、グリッドの発電機に比し経済的に極めて不利である。このため現状ではグリッドから電力を購入しており、現状の購入電力量が「ベースライン」といえる。

(3) 排出係数の算出

ACM0002 では排出係数としてコンバインド・マージン(CM)を推奨している。CM は以下の様にして求められる。

$$\cdot \text{コンバインド・マージン(CM)} = (\text{オペレーティング・マージン(OM)} + \text{ビルド・マージン(BM)}) / 2$$

1) オペレーティング・マージン(OM)

過去 5 年間の対象電力のエネルギー源を調査の結果、水力比が 41.8%と判明したので、全発電量は火力(石炭)によるものとなった。次に排出係数の算出に当たっては、Dispatch data analysis は困難である。従って Simple OM を使用することとなった。また IEA 発行の IPCC によると石炭の排出係数 = 95.52t-CO₂/TJ である。さらに実発電所における石炭の燃焼効率を調査の結果 34.78%であった。ここから、OM の過去 3 年間の平均値が 1.00125t-CO₂/MWh と算出された。

2) ビルド・マージン(BM)

当該プロジェクトでは最近の発電所 10 基分がグリッド全体の 20%を超える。従ってこの 10 基分が対象となる。ここに諸係数値を入れて BM を算出の結果、0.68659t-CO₂/MWh となった。

3) コンバインド・マージン(CM)

コンバインド・マージン(CM)はこの結果 0.843923t-CO₂/MWh となった。

(4) 追加性の証明

PDD ではステップ0～ステップ6を順に通過させて説明した。その要点は以下のとおり。

- 1) 本件は CDM 案件でなければ到底採算性が無い事業であることを認識した上で、2005 年 3 月 23 日に打ち合わせがスタートした証拠がある。
- 2) 本プロジェクトが政府の法律、法令に基づいたプロジェクトでない、またはそれに類似したプロジェクトでないことを証明する。

: 調査の結果、法律、法令が該当する様は存在しないことが判明。

3) プロジェクトが投資対象として経済上にも財政上にも魅力のないものであることを証明する。

: 収支バランスを見ると、操業開始3年目まで赤字操業となり、CDM 無しでは、事業性が無い。この時 CER を US\$15/t-CO₂ と仮定すると1年目から黒字となる。(なおこれとは別に IRR 計算を実施した。)

4) プロジェクトの成立を妨げる障壁がある。

: 例えば、良質の電気を grid に供給するための送電装置、リレー等の装置負担、操業技術の習得に時間がかかること、専門家を雇用しなければならないこと、など多くの障壁が存在する。

従ってこれらの結果 CDM 制度がないと排熱ガスは現状のまま大気放散されることになる。よって本プロジェクトが「追加的である」ことが証明された。

2.4 プロジェクト実施による GHG 削減量及びリーケージ

1) CO₂ 削減量: 年間約 約 30.6 万トン。10 年間では 306 万トンとなる。

2) リークエージ: 当該プロジェクトでは、新たな CO₂ 発生は無い。

2.5 モニタリング計画

本プロジェクトでは以下のモニタリングを実施する。必要な使用機器、モニタリング頻度などを表2にまとめる。

表2 モニタリングの実施

No.	対象	測定値	測定頻度	備考
1	燃料、製品重量	ton or m3	連続	(*)
2	燃料カロリー	TJ/t or m3	月	必要に応じ実施
3	Carbon 排出係数	C/TJ	月	
4	全発電量	MWh/y	連続	
5	補機電力使用量	MWh/y	連続	
6	グリッド発電量	MWh/y	連続	

(*) : 現方法論では規定されていないが、参考までにロータリーキルンの燃料および製品量を測定する。

(出典:PDD)

2.6 環境影響/その他の間接影響

ロータリーキルンプロセスそのものは当該プロジェクト実施により影響を受けないため、SO_x、NO_x、廃棄物、などは変化しない。煤塵そのものについては、当該プロジェクトを実施しない場合の集塵は、散水冷却によるガス冷却+電気集塵機かベンチュリースクラバーによる湿式集塵であり、ボイラによ

るガス冷却に比べて安定しないため、煤塵発生量が大きいことが予想される。すなわちプロジェクト実施により煤塵発生量は減少することはあるが増加することはない、全体の環境影響は問題ない。

2.7 利害関係者のコメント

地域住民、地方・中央政府関係者、参加企業経営者等からコメントを入手した。コメントは以下のとおりである。

(1) 参加企業の経営者

CDMにより本プロジェクトが実現し、その結果 GHG が削減されることを切望している。PDD が早期に承認され、GER を担保に銀行からの融資が受けられることを期待している。

(2) 近隣住民

プロジェクトにより地域の雇用拡大や電力の安定供給が期待できる。また公害が減少し学校施設や道路が建設されるので、歓迎である。

(3) 地域、郡、州、中央政府

このプロジェクトにより生活全般の質が向上し、持続する発展が期待できる。

(4) GRIDCO

オリッサ州ではいくつかの企業において自家発電が稼働している。これが無い時には、電力の使い過ぎにより時として電圧低下現象があったが、自家発電によりこれが減少するであろう。

3. 事業化に向けて

3.1 プロジェクトの実施体制(国内・ホスト国・その他)

図2に本プロジェクトの実施体制を示す。現状、具体的な投資者は決まっていない。

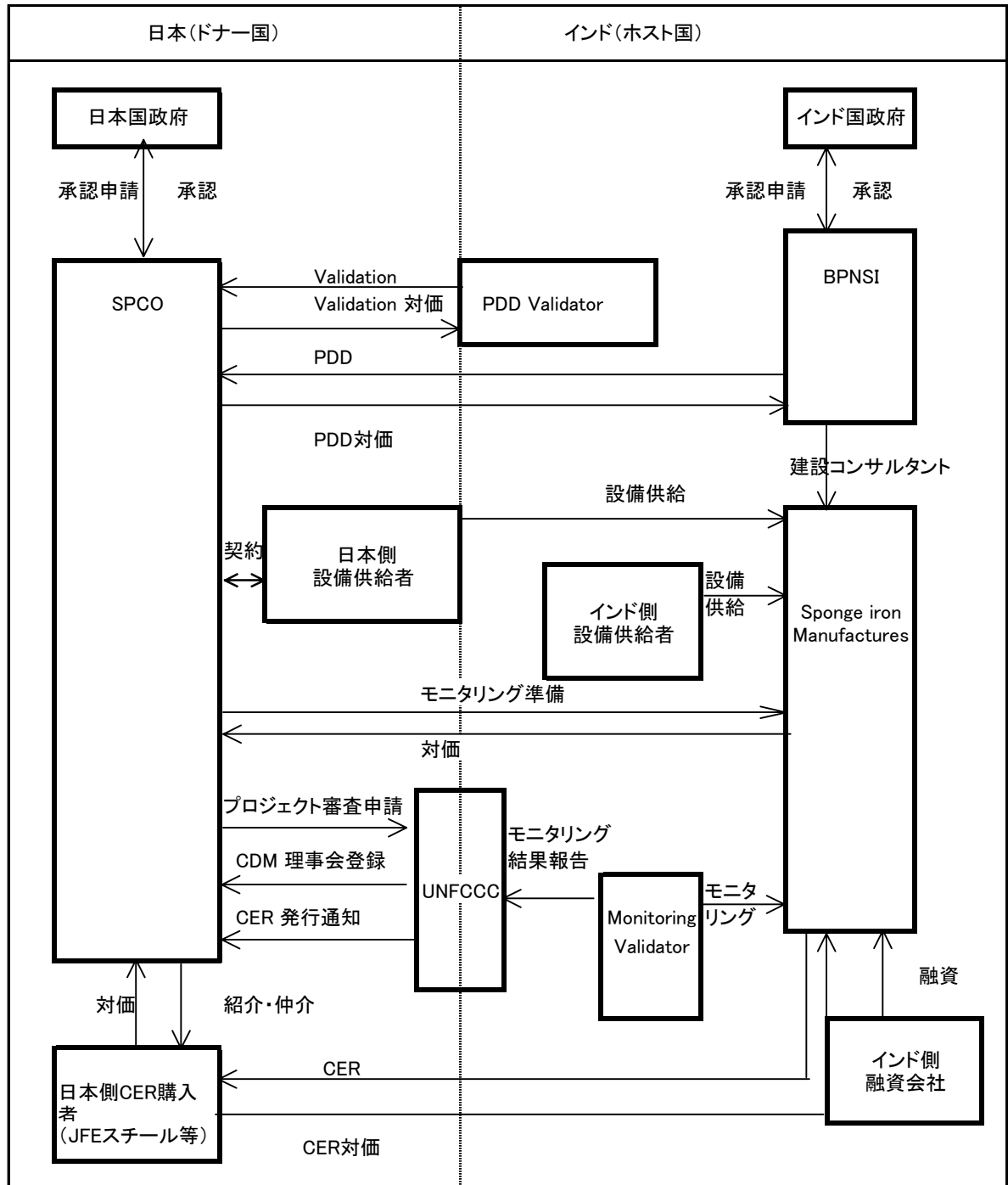


図2 プロジェクトの実施体制

3.2 プロジェクト実施のための資金計画

具体的な投資、融資計画は未定であるが、インド側としては、日本、インドから各 12.5%の投資を期待し、残り 75%を loan にて資金手当てしたい意向である。日本側の loan としては JFE スチール、JBIC、商社、銀行等が考えられるが、CER 価格の将来動向との関連もあり、現状未定である。全体計画が確定した段階で検討予定である。

3.3 費用対効果

費用対効果を確認するために、財務分析(IRR 計算)を実施した。CDM 効果を確認するために、CER 価格を US\$ 0/t-CO₂, US\$ 5/t-CO₂, US\$ 10/t-CO₂, US\$ 15/t-CO₂ の4段階にて計算した。

表 3 IRR 計算結果

クレジット価格 (US\$/t-CO ₂)	税引き後 IRR(%)
0	9.6
5	12.6
10	15.4
15	18.1

この結果、CER 価格が US\$ 15/t-CO₂ でも、一般に投資対象の基準となる 20~25%を下回っており、この条件下では CDM 事業化は困難である。

また投資回収年を求めると表4となる。

表4 投資回収年

クレジット価格 (US\$/t-CO ₂)	投資回収 (年)
0	5.1
5	4.4
10	3.8
15	3.4

投資回収年 = 建設費 / (年間売り上げ - 年間コスト)
投資回収年も同様、一般的な判断レベル(3.5年前後)から見て基準を下回っている。

3.4 具体的な事業化に向けての見込み・課題

現状では事業化は具体化していないが、当該調査が終了後も更に検討を重ね有効な条件を模索する。具体的には

- ・設備費の低減化（現 US\$ 48 百万）
- ・グリッドへの売電価格 up（現 Rs 1.1/kWh）
- ・クレジット価格の見極め、等を検討する。

4. バリデーション／デターミネーション

4.1 バリデーション

本調査においてはバリデーションを実施しないが、今後別途当社負担でバリデーションを実施予定である。