

平成 22 年 3 月修了
博士（学術）学位論文

国家プロジェクト事例における発電技術事業化成功要因の研究

*A study on the success factor of power generation technology
business creation from the national funding project cases*

平成 21 年 12 月

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻

学籍番号 1116006

橋 本 敬 一 郎
Keiichiro Hashimoto

目次

	頁
論文要旨	4
1. 序論	9
1. 1 研究の目的と背景	9
1. 2 研究の進め方	11
1. 3 本論分の構成	12
2. 先行研究調査 I	13
2. 1 エネルギー技術開発国プロの役割と課題	13
2. 2 国プロ発電技術開発の評価に関する研究	26
2. 3 小括	33
3. 先行研究調査 II	35
3. 2 事業化戦略	35
3. 2 コーポレートベンチャリング	42
3. 3 失敗学からのアプローチ	44
3. 4 小括	45
4. リサーチクエスション	46
5. 研究の方法	51
6. IGCC 開発国プロ事例分析	52
6. 1 IGCC とは	52
6. 2 IGCC の特徴	53
6. 3 開発の経緯	56
6. 4 IGCC の市場環境変化	64
6. 5 IGCC 開発国プロの評価	65
6. 6 海外の IGCC 実用化状況と日本への影響	66
6. 7 国内4社の IGCC 事業化活動分析	68
6.7.1 A社の IGCC 開発取組分析結果	68
6.7.1 D社の IGCC 開発取組分析結果	76
6.7.1 C社の IGCC 開発取組分析結果	82
6.7.1 B社の IGCC 開発取組分析結果	89

6. 8	考察	97
6. 9	小括	101
7.	国プロ活用事例分析	103
7. 1	成功事例分析の目的と方法	103
7. 2	事例分析	106
7.2.1	セメント排熱回収発電	106
7.2.2	コークス乾式消火（CDQ）発電	113
7.2.3	風力発電	122
7.2.4	太陽電池	132
7. 3	考察	140
7. 4	小括	144
8.	総合考察	146
8. 1	事例分析結果の総括	146
8. 2	リサーチクエストへの回答	147
8. 3	考察	148
9.	結論	149
9. 1	成功要因	149
9. 2	課題	152
9. 3	提言	153
10.	参考文献	154
11.	業績リスト	166
	謝辞	167

論文要旨

<目的と背景>

本研究は国プロを活用する発電技術の事業化活動の成功要因を事例分析から明らかにして、事業化活動に取り組む人への示唆を得ることを目的としている。この分野の事業化活動（新事業を成立させる事）は容易に成功していないのが現実であり、成功するためには長い年月と巨額の費用を掛ける忍耐強い取り組みが必要とされる。それでも、努力空しく結果が報われないことが多く、失敗のダメージは企業にとっても実施担当者にとっても大きいという問題点がある。

この研究の対象を発電技術に絞ったのは次の理由からである。①インフラ設備市場の中でも製品規模が大きく国の支援を受けた技術開発による事業化活動が継続的に行われている分野であり本研究成果が活かされる可能性が大きいこと、および、②地球温暖化防止のためには国内電力の6割を賄い化石燃料を大量に使う火力発電の技術革新が不可欠であり事業化活動の成功は地球規模での貢献に結びつく可能性が大きいことの2点である。

「国家プロジェクト（以下、国プロ、と記述する）」に関しての行政機関の統一した定義はないが、エネルギー技術分野では旧来より「国が主体となって実施する技術開発プロジェクト」とされてきたが、昨今は実用化や市場での普及までを一貫してカバーする施策が多く出現している。本研究では「国益に通じ、技術開発や実証要素を伴うようなリスクの存在が明確な事業化活動を国が予算を投じて支援するプロジェクト」を国プロの範疇とする。実際、国プロは有望な技術であっても企業の力だけでは開発の取り組みがなされないまま放置されかねないようなテーマを多く支援してきた。しかし、国プロでは事業化が成功する確率は高くないと言われている。

発電技術の事業化活動は概して設備が巨大になるのでメーカーだけでは技術実証の機会を作ることが困難であり、さらに技術開発、安全性、および、市場性など事業化までのリスクの規模も大きいため、国プロの支援を受けることが前提とならざるを得ない実情がある。

本研究の目的は国プロのあり方や制度の問題点を論じて国プロへ提言を出すものではない。国益を背景に国プロがあり、実施主体が国である現実を受け止めて、事業化を目標に国プロに参加して活動する企業はどのように国プロと向き合って活動していけば少しでも高い確率で成功に到達できるのかを探求しようとするものである。

国プロでは国の方針に沿ったプロジェクトが選択され、事業化活動は制約を受ける。特に、開発規模が大きくなると、一企業の存在感は薄くなり、国プロに対して主体性（＝自らの意志・判断で行動しようとする態度）を発揮し難くなる問題がある。しかし、主体性を発揮しながら上手く開発を進めている企業もある。

ブロックらは、「良い計画を立ててその通り実行することが成功要因であるとするのは現実的では無く理想に過ぎない。」と述べている。よって、実際の成功要因は計画通り行くように行動したり、行かない場合に適切な代替策を実行したりする対応方法の中にあると考えられる。計画通り行っていない事を確認し適切な対応を実施するためには、事業化活動に着手したり継続したりするための前提となる取捨選択条件（以降、本研究では「事業化仮説」と言う）の把握と適切な取り扱い方法が鍵になると捉えて、この対応方法に焦点を当てて、かつ、国プロの特性

を加味して、成功要因を明らかにしていく。

<先行研究調査>

国プロにおける事業化活動の成功・失敗要因分析に関する既往の研究および一般的な事業化活動のあり方を論じた文献から、成功要因や環境変化への対応方法に関する以下の示唆があり、特に事業化仮説への取り組みが重要な成否要因となる可能性を掴むことができた。

ア．実用化には国プロ後の継続的な民間投資が必要であるため、事業化を真剣に考えている事業主体が存在しない場合、技術が開発されても、実用化に結びつきがたい。

イ．国プロにおいても 5 年、10 年といった短い時間を区切り、技術達成目標のみならず、途中段階で小規模なニッチ市場向けの商品化目標を設定し、それを飛び石として徐々に大きな市場につないでいくことが望ましい。

ウ．国プロにおいても、学習する組織が有効である。相手（国プロ実施主体）が投資や購入等の決定権を持っている場合、学習（事業化活動）を通じて、自分（国プロ参加企業）の規範を相手側に適合させるべく修正するか、提案や情報提供などのコミュニケーションを通じて相手側に学習を働きかけ、その規範を更新することが重要となる。

エ．コーポレートベンチャリングにおいて、事業仮説の確認と検証は重要な位置を占めている。

オ．失敗学の考えは事業化プロセスにおいて発生する問題点の解決に繋がる。とくにレベル 10 の失敗（未知との遭遇）を克服することは貴重な学習効果を産み出すことに繋がる。

カ．主体性については、既往の研究では事業化活動の実施主体に当然のごとく付随していて常に発揮できる状態が前提とされている。実際には着手時の主体性に制限が掛かった状態であるような国プロにおける国の支援の減退、選択肢の制限、検討時間の制限、関係者の支持の減退、および、対応予算の制限等の不利な状況が発生することが考えられる。特に主体性の制限状態が深刻化した状況を主体性の喪失状態とすると、喪失状態で判断したり、行動したりせざるを得ない状況に陥る原因とその影響について論じた研究例は見当たらなかった。

<リサーチクエスチョン>

国プロを活用する事業化活動の特質探求に焦点を当ててリサーチクエスチョンを 2 つ設定した。

Q1 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説が棄却されても成功可能性失墜に陥らないための対応とはどのようなものか。

Q2 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説に対する主体性喪失の原因と影響はどのようなものか。

リサーチクエスチョンに対応して、事業化活動状況を視覚化するためのリサーチモデルを提案した。

<研究方法>

（１）IGCC 開発国プロ事例分析

1 つ目の事例として、代表的な国プロ発電技術開発である石炭ガス化複合発電（IGCC）を取り上げる。IGCC は 1974 年の開発着手以降、現時点（2009 年 12 月）においても開発が進行中の長期プロジェクトである。IGCC は技術難易度が高く、開発環境が変る中、実用化時期が何度か後ろ倒しされ、未だに実用化に到っていない。しかし、国プロは進行中であり、成功とも失敗とも断定できない。

IGCC 主要機器を分担開発するため参加した大企業である 4 社は国プロへの参加以降、長年各社が事業化を目指して活動してきた。現時点では開発を継続している 2 社と中止あるいは見合わせ中の 2 社に分かれている。

（2）国プロ活用事例分析

国の支援を活用して発電技術の事業化に成功した事例を抽出して、IGCC 事例と同様に分析を行う。IGCC から得られる分析結果と対比させることで新しい知見の適用範囲の拡大が期待できる。

風力発電、太陽光発電、セメントプラント排熱回収発電、コークス乾式消火発電設備の 4 事例を抽出した。

< 結論 >

（1）国プロを活用する発電技術開発の事業化活動の成功要因を以下のとおり明らかにした。

【事業化仮説への対応】

- ・ 事業化活動の前提となる事業化仮説を正確な環境分析に基づき周到に設定し、主体的に検証活動に取り組むことが必要である。事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、問題が小さいうちに適切な対応を取ることで立証に近づくことが出来る。一方、事業化仮説を設定したのにもかかわらず気が付かないまま放置すると、突然、国が仮説を棄却したような不本意な事態が訪れ、主体的な対応が出来ないまま最悪の結末に向かう可能性が高くなってしまう。
- ・ 事業化仮説は立証を目指すのが基本であるが、棄却に備えて遅くとも棄却の兆候が出始めた頃には代替策を検討し準備しておくことは、的確な代替策を立てる余裕を持つ上でも大切である。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策とすることが重要である。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあるが、最適な代替策ならば選択して果敢に実行すべきである。検証結果が確定する前に複線的に代替策を行動に移すことが効果的な場合がある。

【国プロ対応のポイント：コア技術への対応】

- ・ 国プロでコア技術（製品仕様を特徴付け、性能を左右する中核技術）を開発する場合は国プロ実施主体の目指すゴールと自らのゴールを一致させ続けることを包含したコア技術開発の事業化仮説の設定が必要であり、実施主体へのアプローチを積極的に行い、コア技術への支持を継続させて共同検証する形を取ることで、開発成果を共有して次のゴールも共有する開発スタイルが重要である。逆に実施主体がコア技術の判定者でしかないような関係では、コア技術の開発が成功しても他の理由によって実施主体が事業化仮説を棄却する場合がある。

(2) リサーチクエスションへの回答

Q1→仮説検証活動を通じて常に検証状況を把握した上で、棄却に備えて国の支援を受けることができる適切な代替策を準備しておくこと。また、棄却以前であってもタイムリーに代替策を発動して、棄却時のダメージを打ち消し、国の支援を継続させる行動を取ることを。

Q2→(原因) 仮説の見過ごし、あるいは、検証活動未実施のまま仮説を放置し棄却の場合を想定していない所に、仮説棄却による障害の発生という現実が現れるが、跳ね返すにはほぼ手遅れの状況。

(影響) 国が棄却に関与した場合、事業化活動へのダメージは大きい。特に、棄却前に比べて代替策立案の制約が多く発生して不利な状況に陥り、適切な検討が行えない。拙速な代替案では結果として、成功可能性の回復が困難である。

- ・ リサーチクエスションに関連して提案したリサーチモデルに関しては、事業化活動の成功可能性の変化を事業化仮説へのプラス要因とマイナス要因の差異としてステージ単位で表現したり、事業化仮説に対する主体性喪失が生じていることを表現したりすることで、事業化活動状況を視覚化するのに効果がある。

<課題>

国プロにおける事業化活動では国との関係や分担先との関係から来る対外的な面子、あるいは、社内と社外の文化の違いから来る摩擦の発生などの非合理的要因が絡んできてしまう。これでは、せっかく本研究でも検証した「様々な不確定要素を事業化仮説として設定し、主体的に検証活動を行うことで、環境変化に適切に対応していく大切さ」を示したところで成功はおぼつかなくなる。今後、非合理的要因を抑えて成功要因を活かす方法についての研究が必要と考えられる。言い換えると、本研究で示した成功要因をさらに多くの国プロ事例に適用して普遍化する課題が残っていると言える。国プロが成功率を高めて社会の発展をより推進することに役立つための研究の意義は大きく、この分野の研究が進むことが求められる。

<提言>

国プロを活用しても当該事業化活動は当初計画通りには進まない。その決定的な理由の一つが計画策定時に設定した事業化仮説が棄却されることである。開発実施者は事業化仮説を設定した段階から仮説を確認して進んで検証に臨み、事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、タイムリーに適切な手を打つことが必要である。さらに、棄却に備えて、実行可能な代替策を準備しておき、必要に応じて棄却前から実行に移すことが重要である。このことを踏まえて以下の提言を行った。

(1) 事業化仮説専門チームの設置

国プロが絡む事業化仮説の失敗はダメージが大きいため専門チームを設置して事業化仮説の専門的なマネジメントが必要である。専門チームの役割には下記が考えられる。

- ・計画時に顕在仮説に加えて潜在仮説を検知し、さらに事業化活動着手後に設定された新しい仮説の探索を継続して行う。
- ・事業化チームに対して検知した事業化仮説を漏れなく認識させ、重要度、検証方法、代替策を共に検討する。
- ・事業化チームの検証活動をチェックする。併せて、専門チームが正しい判断をするために事業化チームに要求する情報は出来る限り開示されるしくみも必要である。

（２）適切な国プロ対応

- ・国プロを活用して事業化活動を成功させるためには、国プロ実施主体の期待や目標と整合性を取った開発を行うことが重要である。
- ・コア技術は企業と国の関係を適切に維持するための鍵であり、長期開発において最後まで国の支援を獲得するためには真に価値あるコア技術の開発を目指すことが重要である。国プロ実施主体にコア技術への支持を持ち続けてもらうように積極的にアプローチする事が重要である。

（３）失敗（未知との遭遇）対応

国プロを活用する事業化活動は元々リスクの高いチャレンジであると認識して、事業化仮説の検証活動においてチャレンジと引き換えに止むを得ない失敗をしても、この失敗が未知との遭遇と言えるものならば、『新たな強みを得る機会』と捉えることが重要である。

1. 序論

1. 1 研究の背景と目的

本研究は国プロを活用する発電技術の事業化活動の成功要因を事例分析から明らかにし、事業化活動に取り組む人への示唆を得ることを目的としている。この分野の事業化活動（新事業を成立させるためのプロジェクト）は容易に成功していないのが現実であり、成功するためには長い年月と巨額の費用を掛ける忍耐強い取り組みが必要とされる。それでも、努力空しく結果が報われないことが多く、失敗のダメージは企業にとっても実施担当者にとっても大きいという問題点がある。

この研究の対象を発電技術に絞ったのは次の理由からである。①インフラ設備市場の中でも製品規模が大きく国の支援を受けた技術開発による事業化活動が継続的に行われている分野であり本研究成果が活かされる可能性が大きいこと、および、②地球温暖化防止のためには国内電力の6割を賄い化石燃料を大量に使う火力発電の技術革新が不可欠であり事業化活動の成功は地球規模での貢献に結びつく可能性が大きいこと、の2点である。

一般に、大型の技術開発を必要とする企業の事業化活動は開発費用の負担と開発リスクの大きさから、安易に着手することができないため、有望な技術であっても民間の力だけでは開発の取り組みがなされないまま放置されかねない。そのため我が国には国益となる社会基盤技術確立と国際技術競争力向上等の観点からテーマを識別して開発を支援するしくみがあり、企業の開発着手へのドライビングフォースになっている。大型の発電技術開発で例を挙げると、サンシャイン計画やムーンライト計画に代表されるエネルギー技術開発国家計画での技術開発プロジェクトがあり、国は多数のテーマの技術開発を支援してきた。【1-1】

「国家プロジェクト（以下、国プロ、と記述する）」に関しての行政機関の統一した定義はないが、エネルギー技術分野では旧来より「国が主体となって実施する技術開発プロジェクト」とされてきたが、昨今は実用化や市場での普及までを一貫してカバーする施策が多く出現している。本研究では「国益に通じ、技術開発や実証要素を伴うようなリスクの存在が明確な事業化活動を国が予算を投じて支援するプロジェクト」を国プロの範疇とする。実際、国プロは有望な技術であっても開発の取り組みがなされないまま放置されかねないようなテーマを支援してきた。しかし、国プロでは事業化が成功する確率は高くはないと言われている。近年、成功確率の低さに国家財政状況の厳しさも相まって国プロに多くの予算を投入すること自体の課題も指摘されている。しかし、国プロがこのまま縮減してしまうと大型の発電技術開発への取り組みも萎縮してしまうのではないかという懸念が残る。

発電技術の事業化活動は概して対象設備が巨大になるのでメーカー単独では費用負担が大きく、技術実証の機会を作ることが困難であり、さらに技術開発、安全性、および、市場性など事業化までのリスクも大きいため、国プロの支援を受けることが前提とならざるを得ない実情がある。

国プロの成功・失敗の評価は当初計画で設定した目標の達成度だけでなく、得られた成

果の実用化度や社会に与えた便益も考慮すべきと言える。先行研究調査結果【1-2】から、国プロ全体では一部のプロジェクトを除いて所期の目標は殆どの国プロが達成しているが、実用化に至ったり、何かしらの便益や波及効果が得られたりしている割合は高いとは言えないからである。（詳しい調査結果は第2章で述べる。）一方、国プロの委託先であり実質的に技術開発を担当し開発成果の事業化を目標とする参加主体の企業にとっての成功とは、「開発した技術が実用化されて製品として市場で販売され、自社に利益が残る事業を実現すること」、であると言えよう。一般に、国プロが成功し難いと断じている人達は企業にとっての成功確率が低いことを指していると思われる。せっかく国の予算を使って、民間だけでは手がけにくい社会的ニーズのある技術の事業化活動を実施するので、少しでも成功確率を高くしていく取り組みが必要である。国プロが所期の目的を果たし企業も潤うという事例が増加すれば、国プロの評判も上がり、国プロが活性化していくという良い循環を生むことに繋がると考えられる。

本研究の目的は国プロのあり方や制度の問題点を論じて国プロへ提言を出すものではない。国益を背景に国プロがあり、実施主体が国である現実を受け止めて、事業化を目標に国プロに参加して活動する企業はどのように国プロと向き合って活動していけば少しでも高い確率で成功に到達できるのかを探求しようとするものである。

国プロの実施方法は多様化しているが、①複数企業がコア技術(*)開発を分担して基礎段階から実証段階までステップアップしながら一つのシンボリックな実証設備の成功を最終目標にして共同で実用化を目指すケースと、②同じ目標に向かって複数の企業がそれぞれ単独で技術開発を実施して実用化を目指す多元性を含んだケース、が制度創設からの典型的パターンである。概して大型技術の開発は費用が大きく、国も複数のコア技術による実用化路線を打ち出せないため、初期にコア技術を絞り込むことが多くその究極の形が①の分担集中方式である。①は既に基礎的な研究が進んでいて応用開発に力点を置く場合に向いているが、選ばれた企業は開発を失敗させられないというプレッシャーが高くなる傾向になる。一方、②の単独分散方式は比較的開発規模が小さく、費用も小さい開発や初期段階での技術の見極めが困難な革新的な技術分野で採用されることが多い。複数の技術を競わせることで優れた技術を見出し易い特徴がある一方で、国プロ支援が分散し、脱落する技術が増加する傾向になる。最近方式②の割合が増加傾向にある。

*（製品仕様を特徴付け、性能を左右する中核技術）

国プロでは国の方針に沿ったプロジェクトが選択され、開発目標、予算、スケジュール等の各項目は制約を受ける。特に、国プロでは開発規模が大きくなると、①の複数企業による分担集中方式が採用され、一企業の存在感は薄くなり、国プロに対して主体性（＝自らの意志・判断で行動しようとする態度）を発揮し難くなる問題がある。しかし、国プロの特性を理解して適切な対応をとることによって国プロに対して主体性を発揮しながら上手く開発を進めている企業もある。

ブロックら【1-3】は、「良い計画を立ててその通り実行することが成功要因であるとするのは現実的では無く理想に過ぎない。」と述べている。よって、実際の成功要因は計画通り行くように行動したり、行かない場合に適切な代替策を実行したりする対応方法の中にあると考えられる。計画通り行っていない事を確認し適切な対応を実施するためには、事

業化活動に着手したり継続したりするための前提となる取捨選択条件（以降、本研究では「事業化仮説」と言う）の把握と適切な取り扱い方法が鍵になると考えられる。逆に事業化仮説を正しく認識できていない計画段階での検討不足とそれによって生じる迂回路の無い計画、あるいは、事業化仮説の検証を怠ったことによる誤った状況判断からくる不適切な対応などが失敗要因になると考えられる。本研究ではこの事業化仮説への対応方法に焦点を当てて、かつ、国プロの特性を加味して、成功要因を明らかにしていく。

1. 2 研究の進め方

（1）先行研究調査とリサーチクエスションの設定

前項の「研究の背景と目的」で提起した課題をリサーチクエスションとして提起するに当たり、残された課題を絞り込むため、関連領域の先行研究調査を実施する。

はじめに、エネルギー技術開発国プロの経緯を辿り、果たして来た役割と課題を整理する。続いて、国プロ発電技術開発の事業化成果に関する先行研究のレビューを行う。次に、エネルギー分野に限らないが本研究と関連する『企業の事業化活動に関する研究』を調査する。先行研究調査結果から成功要因に関する残された課題、すなわち国プロを活用する発電技術の事業化活動を計画し実行するに当たって考慮すべき要因とあるべき姿への問い、を整理する。ここからリサーチクエスションを決定する。また、リサーチクエスションに対応するリサーチモデルを提案する。

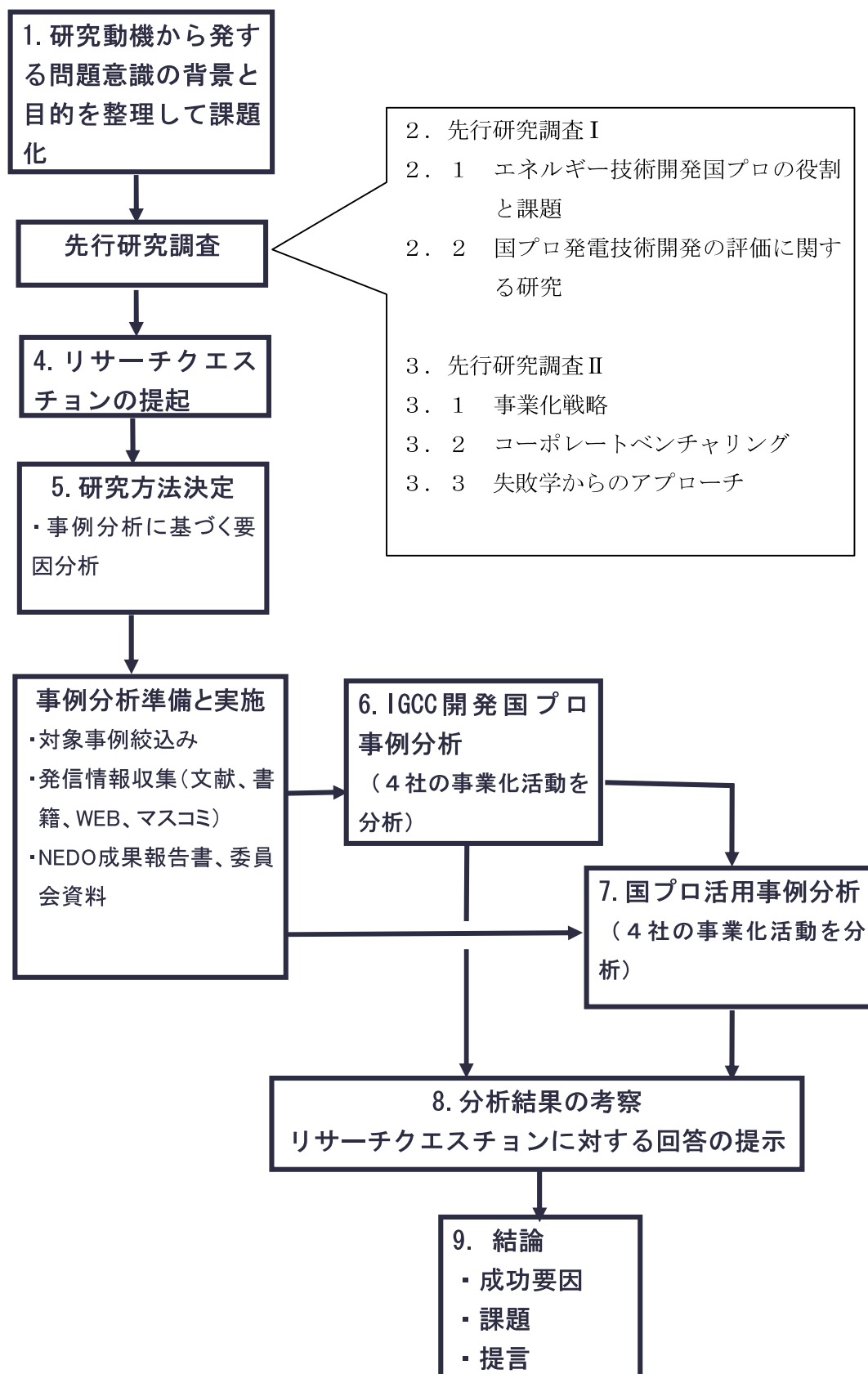
（2）事例分析と考察

リサーチクエスションに基づき国プロ事例を選定して、発電技術事業化活動の成功・失敗要因分析アプローチによる分析を行う。分析結果に基づき国プロの特質に基づく成功要因を明らかにし、リサーチクエスションに対する回答を提示する。

（3）提言と今後の課題と提言

本研究によって明らかになった課題を整理する。課題を踏まえて、本研究で明らかにした成功要因を考慮した発電技術事業化活動について提言を行う。

1. 3 本論文の構成



2. 先行研究調査 I

2. 1 エネルギー技術開発国家プロジェクトの役割と課題

(1) 国家プロジェクトとは【2-13】【2-15】

「国家プロジェクト（以下、国プロ、と記述する）」に関しての行政機関の統一した定義が見当たらないため、様々な解釈が存在していると考えられる。戦後の経済復興時期に実施された高速道路、大規模ダム、東海道新幹線、あるいは、YS11中型輸送用航空機など国民の注目を浴びた国プロは技術開発要素を含みながらも実用化に重点が置かれ、インフラ整備や経済発展に寄与してきた。

わが国最大のエネルギーや産業技術に関する国家プロマネジメント専門集団である独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）に問い合わせた結果、国プロを次のように定義し推進している。『国プロとは民間のみでは取り組むことが困難な、実用化までに中長期の期間を要し、かつリスクの高い技術テーマにつき、民間の能力を活用して機構が資金負担を行うことによりその研究開発を推進するものである。このため、国際的な研究開発動向、我が国産業界の当該技術分野への取組状況や国際競争力の状況、エネルギー需給の動向、当該技術により実現される新市場・新商品による我が国国民経済への貢献の程度、産業技術政策や新エネルギー・省エネルギー政策の動向、国際貢献の可能性等を十分に踏まえつつ、適切なプロジェクトの企画立案、実施体制の構築及び着実な推進を図るものとする。』つまり、NEDOは国益を目的とした研究開発あるいは技術開発要素が含まれている事業を国プロと位置付けている。よって、国の予算が投じられても単なる導入普及を主とした事業は国プロとして位置付けていないと言える。しかし、NEDOが担当している「国際エネルギー使用合理化対策事業」（省エネモデル事業）では、『経済発展に伴い大幅にエネルギー需要の拡大が続いているアジアを中心とした各国に対し、我が国が有する省エネ技術を現地で実証し、その有効性を理解してもらうことで、当該技術が普及することを目的として、省エネ技術の普及により、当該国におけるエネルギー消費量が抑制され、世界のエネルギー需給安定化に寄与することで、ひいては日本のエネルギーセキュリティ確保を図る。また、日本の技術の優位性を認めてもらうことで、日本の技術が海外に展開していく後押しにもなる。この省エネモデル事業は、当該実施国政府とNEDOとの合意の下で事業を実施し、当該国側も資金負担（国家予算による支援）があるので、双方にとっての国プロといえる。』としている。つまり、技術開発要素が無くても両国の国益に直結するような事業は国プロとみなしている。本研究ではNEDOの見解を参考に、「国益に通じ、技術開発や実証要素を伴うようなリスクの存在が明確な事業化活動を国が予算を投じて支援するプロジェクト」を国プロの範疇とする。

戦後、日本の経済成長と共にエネルギーの需要が急拡大し、中でも電力は産業システムで利用される中心として需要が大きく伸びた。しかし、電気を作り出す大型の発電技術は海外からの導入技術が中心であり、日本メーカーの対応はライセンス技術に基づくモノづくりを通しての海外技術のトレースと学習が中心であった。しかし、東京オリンピックの開催が決

定した頃には日本の技術力は向上し、技術導入する品目も減少していった。国はこの機会を捉えて技術立国を国是として、技術開発を行い国産技術による産業振興を図るという考えを打ち出すようになった。国は恒常的な技術開発支援制度をつくり、長期的な視点で国産技術を育成するための施策の実施に至った。【2-1】【2-2】

国プロの代表的な進め方としては、ひとつの開発テーマに対して、技術研究組合を作り、その中に複数の企業や公的研究機関や大学が入って分担して共同開発する分担集中方式と、複数の企業にそれぞれ完結的に分担させて互いに競わせる単独分散方式がある。大型技術開発時代は前者の方式がよく取られていた。国は最高技術の結集を背景に、プロジェクト成功確率の向上を期待して多額の予算を投下した。しかし、企業は将来の競争先との協調の困難さに直面したり、国プロへの参加だけでは実用化に必要な全ての技術開発が完結せず、残りを自己負担で開発しなければならなかったりするなどの課題を抱えなければならなかった。

その後、国プロの進め方のバリエーションが広がり、同じテーマ内で多元性を持たせる方式、すなわち複数の有望技術を採択して開発企業同士を競わせるという競争原理を取り入れた単独分散方式の割合が高くなっていった。この背景には企業の技術力と経営資源の拡大によって単独で大型技術開発国プロを担当できる企業が主体性を発揮し易い単独実施を指向するようになったことや、先端技術テーマでは開発技術の細分化が困難になってきたことなどが背景にあると考えられる。また、国プロも以前のような大型技術開発中心から中小型技術開発へとバリエーションを広げてきた。但し、国家、国民のための国プロと言う基本理念だけは一貫して変わっていない。

（2）大型工業技術研究開発制度【2-1】【2-2】

国が支援する技術開発による大型技術開発のさきがけとして通産省とその傘下の工業技術院が主導的な役割を果たして 1966 年から大型工業技術研究開発制度（通称 大プロ、以下大プロと記す。）が発足した。この制度の目的は、「激動する国際経済情勢下において産業の国際競争力の真の基盤をなすものが独創的な技術開発力であることにかんがみ、国民経済上研究開発を行うことが緊要である先導的かつ大型の技術について、国が研究開発の主体となり、これに必要な資金を全面的に負担することにより、産業界、学会等との密接な協力体制のもとに、計画的かつ効率的にその研究開発を推進し、もってわが国産業構造の高度化、国際競争力の強化、天然資源の合理的な開発または産業公害の防止を図るとともに、あわせてわが国産業の技術水準を飛躍的に高めること」（大型工業技術開発制度実施運営要綱）であった。大プロはエネルギー技術開発を主目的とはしていないが、後に続くエネルギー技術開発国プロにも大きな影響を与えた。

初年度、大プロは3プロジェクト、730 百万円で進められた。なお、この3プロジェクトの一つが、MHD 発電技術開発であり、大プロを通して唯一の発電技術開発プロジェクトであった。しかし、途中でムーンライト計画に所管を移して 1983 年まで開発が進められたが未だに実用化されていない。大プロは最盛期に年間 150 億円の予算が投入され、MHD を含めて通算 25 プロジェクトが実施され、約 3000 億円の予算が使われた。大プロでは超高性能計算機、航空機用ジェットエンジン、資源探査用観測システムが実用化された。極限作業ロボット技術はその基本技術が一部他の製品で実用化した。【2-3】 他の 21 のプロジェクトは

実用化に至っていないが、電気自動車や資源再生利用技術など地球環境に役立ついくつかのテーマは現在でも主要な開発課題として広く取り組まれており大プロのテーマ選定の先見性は評価できる。大プロは 1993 年に産業科学技術研究開発制度に統合され、1998 年には新規産業創出型産業科学技術研究開発制度に改編された。大プロの意義は時代に適応しつつ、現在も受け継がれているといえる。

大プロ制度による研究開発は通産省工業技術院が中心となり、技術審議官の下に設置された大型工業技術委員会がプロジェクトの採択、予算付け、運営を統括した。なお、産業技術審議会のプロジェクト毎の分科会においてプロジェクトの選定、研究開発基本体制・実施計画の策定、評価等に関する審議がなされる体制になっていた。産業技術審議会は通産相の諮問に応じて鉱業および工業の科学技術に関する重要事項を調査審議する機関であり、通産相は意見を聞くことになっていた。産業技術審議会は工業技術院からは独立して存在していた。

プロジェクトリーダーには工業技術院の技術審議官の下、担当研究開発官が就いた。各プロジェクトは大型工業技術研究開発進捗会議で実施内容の調整を行う体制を取っていた。この会議には学識経験者、通産省職員、国の研究機関、委託先企業もメンバーとなっていた。

研究開発は国立の研究機関が直接実施するか民間企業に委託して行われた。民間への委託に当たっては開発テーマ、技術開発目標など基本的な内容は国が設定し、民間はそのテーマに関する基礎的知見および実施できる能力がないと応募が困難な条件であった。さらに、民間企業等への委託研究の結果得られる研究開発成果はすべて国の所有となり、委託先企業には知的財産権が残らない仕組みだった。成果の実施許諾に当たっては産業政策その他公共の福祉の要請に適合している場合に限られるなどの制限があり、国策開発の色合いが強いものであった。大プロでは技術開発の支援が基本であり、事業化に向けた活動支援は小さく、開発技術の普及のための助成制度も張り付いていなかった。

大プロの果たした役割として、開発が必要な技術課題を国プロとして実際に実施することができる「しくみ」を定着させたことが挙げられる。これはエネルギー分野に限られず、他の分野でも大プロ発足以後、同様の大型開発国プロ計画が次々と立ち上がったことからわかる。例えば民間企業に委託する際は公募を行い、有識者による採択委員会で委託先を選定するというのは現在も最も一般的な方法である。技術研究組合を民間企業が組織して共通の基盤技術を共同で開発するコンソーシアム方式も大プロで確立されたといえる。

(3) 新エネルギー技術開発計画（サンシャイン計画）【2・1】【2・4】

国は 1973 年の第一次石油ショックによって新たなエネルギー構造の転換が必要であるとの認識によりクリーンエネルギーによる大型エネルギー技術開発を目的としたサンシャイン計画を 1974 年にスタート発足させた。偶然であるが、石油ショック直前に通産相が「エネルギー技術の開発を如何に進めるか」という試問を産業技術委員会に行い、石油ショックが勃発してから委員会が「クリーンな新エネルギー技術開発を強力に推進すべき」との答申を出すなど、石油ショックの影響を受けて始まったと言えなくもないが、正確には石油ショック以前から通産省内で計画の準備は進められていた。サンシャイン計画は「将来におけるエネルギーの安定的供給の確保が国民生活の向上と国民経済の健全な発展を図るため、きわめて重要であることにかんがみ、西暦 2000 年を目途に、数十年のエネルギー需要の相当部分

を供給することのできる太陽エネルギー技術その他の新エネルギー技術を開発するための研究開発計画」(サンシャイン計画実施要領)と規定されている。

当時石油がエネルギーの中心にあったのを、太陽(太陽光、太陽熱)をはじめ地熱、石炭(ガス化、液化)、水素の4つの新エネルギーに転換するための技術開発計画であり、2000年までに必要な技術を開発することを目的とした。特に石炭は一旦エネルギー源の地位を失った燃料であったが安価であり埋蔵量が石油に比べて大きいため期待が掛かったが、石炭を復活させる上で、クリーンに利用するための技術開発が必要であり、石炭液化や石炭ガス化技術開発がプロジェクトとして入った。サンシャイン計画では上記4つの主要プロジェクトに加えて、総合研究が行われた。総合研究では「未だ組織的な研究がなされていない新エネルギー技術のシーズの研究を行うと共に、これらの新エネルギー技術研究開発を円滑に推進し、サンシャイン計画の目標を効率的に達成するための支援研究」が実施された。シーズテーマとしては風力発電、バイオマス利用、海洋温度差発電などが採択され主要プロジェクトに準じる形で研究開発が行われた。

本研究で取り上げる石炭ガス化複合発電、太陽電池、および、風力発電はサンシャイン計画を源流としている。

サンシャイン計画は、「我が国のエネルギー供給のトータルシステムを確実にすることを目標に、新エネルギー技術開発をその基礎から実用化までを積み上げて行こうとする計画であり、これまでのように導入技術を核とする技術開発とは異なる。」として、国産技術をより強く指向していること、および基礎から実用化までを一体的に支援していくことを打ち出している。また、サンシャイン計画では、米国と技術研究開発協定を結び、調査団を米国に送りエネルギー技術開発国プロの状況を視察している。

サンシャイン計画の実施主体は国の機関またはこれに相当する機関であるべきとして、工業技術院内に「サンシャイン計画推進本部」を置き、総括研究開発官の下に各プロジェクト担当の研究開発官がプロジェクトリーダーとして配置されるなど、大プロと基本的に変らなかったが、一方で、研究色の強い段階と開発色の強い段階で実施体制を組み替えることで適切な推進を図るしくみを当初から計画に入れていた。特に開発主体については国の施策に従い機動的かつ弾力的に開発を推進する能力を有する機関でなければならないとして、新たに特殊法人を設立して開発主体を確立することが必要であるとして、1980年に特殊法人新エネルギー総合開発機構(略称 NEDO、2003年からは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)が発足して、国プロの実施主体となっていた。但し、NEDOはマネジメントに特化した組織として、実際の研究開発業務は国の研究機関、技術研究組合、民間等に委託して行われた。NEDOの発足後、国プロはNEDO経由の委託が基本になった。NEDOには産官学の総力を結集して研究開発を進めること、および、実用化に即した柔軟な開発を進めることも期待された。

サンシャイン計画推進本部は組織的効率的な推進を図るため、テーマの選定、研究開発計画の策定、個別プロジェクトの評価を行って計画全体の管理を実施した。この際、テーマの選定とプロジェクトの評価に当たっては、通産相が意見を聞くべきと規定されている産業技術審議会の新エネルギー開発部会の、プロジェクト毎の分科会に置いて学識経験者による広範な視野からの審議がなされることになっていた。産業技術審議会は通産相の諮問に応じて

鉱業および工業の科学技術に関する重要事項を調査審議する機関であり、工業技術院からは独立して存在していた。

サンシャイン計画では研究開発官の下にプロジェクト毎に推進委員会が設けられて、「技術事項の調査・調整、研究開発の具体的推進方策の検討、計画の実施上必要な関係者間の相互連絡」が行われた。この推進委員会は学識経験者、通産省職員だけでなく、委託先企業もメンバーとなっていた。

1985 年になると石油需給が緩和し、サンシャイン計画の当初のプロジェクトも終了を迎えるものが出るなどしてきた。国は、より実用化指向を鮮明にし、技術の集約化重点化を行い、太陽光発電、石炭の液化・ガス化、地熱の 3 つに重点を置くことにした。

サンシャイン計画では各プロジェクトの中で複数の技術開発方式を並行して走らせ、中間評価を適宜行って取捨選択して最終目標達成に向けてメリハリをつけたマネジメントも取り入れた。この技術多元性ともいえる方式は技術開発担当に緊張感を与えると共に、広く技術方式の可能性を試した後、優れた技術に集約していくシステムとして現在でも革新的な技術テーマの際、良く取られる方式になっている。但し、多元性をどの段階まで維持するかについては試験設備の大型化に伴う投資効率の悪化の問題もはらみマネジメントの重要な課題といえる。サンシャイン計画では、プロジェクトを効率的に推進するために、最適な科学研究管理手法の開発も開発テーマとなっている点はユニークであったが、特筆すべき成果は報告されていない。

サンシャイン計画では実用化を促進するため、技術開発プログラムの出口には、調査事業や導入補助・普及事業が配置されて国プロとして実用化を強く推進する形になった。

サンシャイン計画の成果について国は受託者の成果を元に工業所有権（特許など）を受け権利を有するとしていた。また、通産相は実施計画の成果評価を実施するが、評価の際は外部評価機関として産業技術審議会の意見を聞いて実施することが規定されていた。

サンシャイン計画は 1993 年にニューサンシャイン計画に統合され、2000 年まで実施された。サンシャイン計画は 1974 年から 1992 年までに研究開発費として 4400 億円が投入された。**【2-3】【2-6】** サンシャイン計画で実施されたプロジェクトには結局 1.1 兆円が投入され、そのうち、技術開発に 7000 億円、導入補助等に 4000 億円が使われた。プロジェクトテーマのうち、一部でも実用化されているものとして、太陽光発電、太陽熱システム、地熱発電、風力発電がある。他のプロジェクトは未だ実用化されていない。水素利用技術や石炭ガス化複合発電のように現在も開発が続いているプロジェクトがある。一方で、太陽熱発電、石炭液化、水素製造技術は技術開発後の実用化活動も見合わせ中になっている。最近、中国では石油代替エネルギー源として石炭液化プラントが建設されたり、スペインや米国では太陽熱発電プラントが建設されたりして、サンシャイン計画のテーマ設定の先見性は評価できるが、あと一步で実用化に至らなかった点は反省の余地がある。

（４）省エネルギー技術開発計画（ムーンライト計画）**【2-1】【2-7】**

第一次石油ショック（1973）後、エネルギー問題の解決が国の緊急課題として取り上げられるようになり、新エネルギー技術開発を目標にサンシャイン計画が 1974 年にスタートした。さらに、省エネルギー技術開発を通じてこの問題を解決することを目的として、サンシ

ヤイン計画と並行する形で、1978年にムーンライト計画がスタートした。ムーンライト計画は、「省エネルギー効果が著しくかつ緊急性が高いが、多額の資金と長期の研究開発計画を要するなど多大のリスクを伴うため、民間企業独自では研究開発が進まない大型の技術に対して、国の研究機関と民間の技術開発力を有機的に結合した技術開発を行う」、というものである。同じ1978年には第二次石油ショックが襲ったが、直前にムーンライト計画はスタートしていた。

ムーンライト計画は8つの主要技術開発プロジェクト、先進的基盤的省エネルギー技術の研究開発、省エネルギー技術の確立調査、国際協力事業、民間の省エネルギー技術開発助成、および、標準化による省エネルギーの推進から成り立っている。

ムーンライト計画の実施体制はサンシャイン計画と基本的に同じと見ることができる。工業技術院内に「ムーンライト計画推進室」を置き、総括研究開発官の下に主要技術開発プロジェクト担当の研究開発官がプロジェクトリーダーとして配置された。委託方法は、国立研究機関からの再委託、民間で構成する技術研究組合への委託に加えて、民間企業に直接委託するプロジェクトもあった。1980年のNEDO発足後は、NEDO経由の委託が基本になった。

一方、プロジェクトの選定と評価は、通産相の諮問機関である産業技術審議会の中に省エネルギー技術開発部会を設けて、その下に大型省エネルギー技術研究開発プロジェクト毎の分科会を設置して、ここで研究開発基本計画案の審議、研究開発実施計画案の審議を行っている。また、評価分科会を置いて、プロジェクトの中間時と終了時に評価を実施する体制を取った。さらに企画委員会を置いて、エネルギー情勢の変化、技術開発の進展等の省エネルギー技術開発のあり方について検討を行っている。大型省エネルギー技術開発推進会議を工業技術院の下に設置して、技術研究開発の円滑な推進を図るために、必要な事項に関し審議の実施、技術開発実施方法の連絡調整、実施状況のチェック等を行う体制とした。さらにその下に個別のテーマについて検討するワーキンググループも設置された。このように、プロジェクトの選定から管理、評価までまだ国の関与が色濃く残った体制と言える。

ムーンライト計画は初年度予算12億円でスタートしたが、1985年度は100億円を突破している。ムーンライト計画は1978年から1992年までに研究開発費として1400億円が投入された。1993年にはニューサンシャイン計画に統合された。ムーンライト計画計画で実施されたプロジェクトには2002年度までに結局2600億円が投入されそのうち、技術開発に2500億円、導入補助等に100億円が使われた。【2-3】【2-6】 大小16（燃料電池は型式別に4件と数えた）のプロジェクトテーマのうち、2002年時点で一部でも実用化されているものとして、高効率ガスタービン、廃熱利用システム、スーパーヒートポンプ、燃料電池（PAFC）、電池電力貯蔵システム（NaS電池）の5件がある。他のプロジェクトは2002年時点では未だ実用化されていないレベルにある。

2009年時点では、企業が実用化を進めたことで、燃料電池（PEFC）や電池電力貯蔵システム（Liイオン電池）のように上市に至っている機種も出ている。また、燃料電池（SOFC）のように現在も国の支援による開発が続いているプロジェクトがある。一方で、スターリングエンジン、MHD発電およびセラミックガスタービンなどのプロジェクトは国プロ後の直接的な実用化の成果はなかった。しかし、国プロ後の年月が相当経過した後、上市される製品が出てきたり、最近では、低温熱源の有効利用法としてスターリングエンジンが再び注目

されたりするなど、ムーンライト計画のテーマ設定の先見性は評価できるが、あと一步で実用化に至らなかったプロジェクトが多い点は反省の余地がある。

(5) エネルギー・環境領域総合技術開発推進計画（ニューサンシャイン計画）【2・3】【2・6】【2・8】

サンシャイン計画とムーンライト計画は地球環境保全技術に係る研究開発制度(1989 年開始)と統合されて、1993 年からニューサンシャイン計画として継続的に取り組まれた。この背景として、「新エネルギー技術と省エネルギー技術および地球環境保全の技術には重なる部分も多いため、一層連携して進めていくため」とされている。研究開発テーマの再編の結果、再生エネルギー（太陽、地熱、風力）、エネルギー変換・輸送・貯蔵（超低損失電力素子技術、石炭エネルギー技術、燃料電池発電技術、超伝導応用技術、分散型電池電力貯蔵技術）、次世代化学プロセス技術開発、電子デバイスプロセス技術開発の 4 テーマに集約された。特に、中長期的に顕著な効果が期待できる革新的技術として太陽光発電や燃料電池が重点的に研究されることになった。

さらに、広域エネルギー利用ネットワークシステム技術（エコエネルギー都市システム）、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）、経済環境両立型燃焼システム技術（希薄燃焼脱硝触媒技術）の 3 テーマが新たに開始された。また、従来から推進してきた石炭についても、経済・環境調和型石炭転換コンプレックス技術として推進することになった。

ニューサンシャイン計画の実施体制は従来のサンシャイン計画やムーンライト計画を引き継ぐ形となり、プロジェクト管理は研究開発官が行った。なお、民間への委託については原則 NEDO を通じて行われた。

1995 年に施行された科学技術基本法を踏まえて 1997 年にニューサンシャイン計画の制度改革が実施された。1966 年の大プロ発足以来の大転換ともいえる内容である。4 点あり、①研究開発期間を原則 5 年以内に短縮、②競争的・効率的な研究実施体制の整備、③外部専門家の知見を導入して厳格な評価体制の構築、④研究主体への優先実施権の付与、である。このうち、②については、集中管理型（プロジェクトリーダーのリーダーシップの下、集中的に研究開発を実施する方式で、前出の分担集中方式と同義。）と範囲型（少数精鋭の研究体制を個々の技術能力等から選定してそれぞれの手法で競争的に研究開発を実施する方式で前出の単独分散方式と同義。）のいずれかに集約された。④については、従来は国プロの成果は国に帰属してしまい開発企業は優先実施権も得られなかったが、優先実施権を付与することで企業の成果創出意欲高揚と開発成果の早期実用化の両方を狙ったものである。1999 年には日本版バイ・ドール制度（産業活力再生特別措置法第 30 条）を施行して、国の資金を供与して行う全ての委託研究開発に係る知的財産権を条件付ながら 100%受託企業に帰属させることになった。

ニューサンシャイン計画は 2000 年、社会情勢の変化や省庁再編等に伴い終了した。サンシャイン計画とムーンライト計画から引き継いだテーマの実用化状況は既に述べたとおりである。ニューサンシャイン計画からスタートした 3 プロジェクトのうち、広域エネルギー利用ネットワークシステム技術は実用化された。

(6) イノベーションプログラム制度(2007年度までは、研究開発プログラム制度) 【2-9】

【2-10】【2-11】【2-12】【2-13】【2-14】【2-36】【2-37】

2001年、経産省は、研究開発プロジェクトを政策目標毎に分類し、成果の市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)と一体的に推進することを目指して、特定のテーマ毎に研究開発プログラムを立ち上げてその下でプロジェクトを実施する研究開発プログラム方式を導入した。ニューサンシャイン計画から引き継がれたプロジェクトもあった。初年度は5プログラムが採択されたが、2002年は15件に増え、以後15~19件で推移している。最近では2000億円前後の予算規模(内、エネルギー関連は1500億円前後)で実施されている。

本制度におけるプロジェクトおよびプログラムの運営・管理・評価はNEDOが一元的に取り扱っている。

エネルギー関連分野(全8分野の1分野)の技術開発プログラムは制度2年目の2004年に「エネルギー環境二酸化炭素固定化有効利用プログラム」が登場し、以降、燃料電池、水素エネルギー利用、電力技術、新エネルギー技術開発や省エネルギー技術などがプログラムに採択されている。

経産省では、2008年に研究開発プログラムを巡る環境変化を受けて制度の見直しを行った。特に、プログラムの最終目標を研究開発の達成に留めず経済・社会の目標を実現するための政策目標達成までをゴールとしたこと、研究開発の支援にとどめず市場化に向けた施策の充実を図ること、政府の技術戦略マップ(シーズベース)と研究開発プログラム(ニーズベース)の一体運営を行い効率的なプロジェクト展開を目指すこと、などの大きな転換をしている。さらに、現行の17のプログラム分野をより大きな政策目標のもと、7つに再整理体系化し、名称も「イノベーションプログラム」に変更した。

研究開発プログラム制度では各プロジェクト別に実施方式(実施体制、運営管理等)、実施期間(原則5年以内で短期間もあり)、評価の実施方法と時期(中間評価、事後評価)、成果の取扱い(知的所有権の帰属等)を設定することにより、プロジェクトの特性に適した実施計画を作成できるようになっている。

イノベーションプログラム制度は現在進行中であるがこれまでの成果については次のNEDOの項で述べる。

(7) 独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)による最近の国プロマネジメント状況 【2-15】【2-16】【2-17】【2-18】【2-19】【2-20】

ア. NEDO 概要

NEDOは、経産省所管の産業技術とエネルギー・環境技術の研究開発及びその普及を推進する我が国最大規模の中核的な研究開発実施機関である。その役割は「産業競争力の強化」と「エネルギー及び地球環境問題の解決」である。NEDOは国のエネルギー技術開発のマネジメントを実施する機関としてサンシャイン計画推進のため1980年10月に発足した。その後、新たに開始されるエネルギー開発計画、技術開発プログラムの国プロは基本的にNEDOがマネジメントを担当してきた。

2003年10月に独立行政法人化したNEDO技術開発機構は中期目標および計画に基づき、自らの判断によって予算や組織を運用し機動的、かつ、柔軟な事業展開を目指している。さ

らに研究開発マネジメントの専門集団として国の産業競争力の強化、国民経済の発展、ならびに国内外のエネルギー・環境問題の解決に貢献することを目指している。これには長い国プロの歴史と反省を踏まえて、成果を出して国家国民に寄与することがますます求められている背景がある。特に、2003年に独立行政法人になると **NEDO** は積極的にマネジメントの改革に取り組み、年々改善を進めて、成果を挙げる集団として活動している。国からの技術開発資金も補助金から柔軟性のある交付金となり、**NEDO** は目的達成のため、自在に、国の戦略に沿ってテーマ決定から実用化普及までを幅広くカバーしている。

大型国プロ計画が終焉した後、経済産業省主管の研究開発を伴う国プロは、原則としてイノベーションプログラム（当初は技術開発プログラム）方式になり、**NEDO** が分野別にプロジェクトを立ち上げて、テーマを広く公募して実施する方式が主流になってきた。近年は大型プロジェクトであっても国が主導するものから、**NEDO** を経由して公募委託する方式が増加している。

さらに、国際関連事業としてアジア太平洋地域の途上国を中心に、モデル事業、国際実証事業、研究協力事業（ODA 扱い）等を実施している。

イ. **NEDO** のプロジェクトマネジメント

NEDO は、以下の2つのポリシーの下、研究開発マネジメントの専門集団として、**PDS**（Plan・Do・See）サイクルを意識しつつ、事業に取り組んでいる。

①ポリシー1「選択と集中」による研究開発の推進

国際的視野を含め常に最新の技術や市場動向を把握した上で、真に必要な事業について、「選択と集中」の考え方の下、明確な研究目的や出口を見据えつつ、その実現に向けて産学官の総力を結集し、戦略的かつ重点的に研究開発を推進する。

②ポリシー2「客観的な評価」による迅速な事業の見直し

最新の動向を踏まえた「客観的な評価」を行うとともに、その評価結果を踏まえて、加速、拡充、縮減、中止などの迅速な事業の見直しを行う。

NEDO では、業務の高度化等の自己改革の促進、社会に対する説明責任の履行と経済・社会ニーズの取り込み、および、評価結果による資源の重点化および業務の効率化を促進するため、研究評価を実施している。研究評価には、プロジェクト評価と制度評価がある。プロジェクト評価とは、**NEDO** 自ら定めたプロジェクト基本計画に基づき実施する研究開発事業に係る評価である。その種別（実施時期）は、事前評価（プロジェクトの立案時）、中間評価（研究開発期間の中間年）、事後評価（プロジェクト終了直後、追跡調査・評価（プロジェクト終了後、原則として、5年間）である。制度評価とは、研究開発内容を定期的に公募・選定して実施する研究開発事業そのものに係る評価であり、プロジェクト評価とほぼ同じ仕組みで実施している。

研究評価の実施にあたっては、評価の透明性の確保、評価の明示性の確保、評価の実効性の確保、評価の中立性の確保、および、評価の効率性の留意の共通原則を示している。さらに、評価の4つの視点と着眼点を表 2.1.1 に示す。委託実用化、事業化の見通しを取り上げていることから、出口を意識したマネジメントを実施している証左と言える。

図表 2.1.1 NEDO プロジェクト評価の視点と着眼点【2-20】(NEDO HPより)

1. 事業の位置付け・必要性 (1) NEDO事業としての妥当性 (2) 事業目的の妥当性	3. 研究開発成果 (1) 目標の達成度 (2) 成果の意義 (3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組 (4) 成果の普及 (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ実施)
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性 (2) 研究開発計画の妥当性 (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性 (4) 情勢変化への対応等	4. 実用化、事業化の見通し※ (1) 成果の実用化可能性 (2) 事業化までのシナリオ (3) 波及効果

※基礎的・基盤的研究開発、および知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、実用化の見通しに対してのみ評価を行い、事業化までのシナリオは評価項目に入らない。

研究評価は、研究評価を統括する研究評価委員会を、NEDO内に設置していて、公平性を鑑みて、評価対象毎に、当該技術に関する外部の専門家、有識者等を評価委員とした研究評価分科会を、研究評価委員会の下に設置して、評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮り、研究評価委員会での審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告する体制となっている。

NEDOのHP【2-20】によると、平成19年度までの7年間に実施したプロジェクト評価は、中間評価123件、事後評価203件である。追跡調査については、平成13、15、17、18年度に終了した154プロジェクトを対象に延べ896の参加機関を平成19年度に実施している。また、平成19年度までの4年間に実施した制度評価は、中間評価14件、事後評価4件である。

NEDOにおいては、中間評価の結果をもとに、プロジェクトのその後の実施方針を検討し、次年度予算の概算要求に反映さるとしている。これまでのプロジェクト中間評価結果の反映状況は、図表2.1.2のとおりであり、おおむね半数超のプロジェクトが計画の修正、中止の措置が取られている。（図表中の各テーマの詳細な評価内容はNEDOのデータベースから取得可能である。）

NEDOでは、評価結果を研究開発マネジメントに活用し、より効果的・効率的な運営に資するとともに、評価システムをより精度の高いものとしていくために、評価作業が終了するごとに点検し、原則として毎年度見直しを行っていくとしている。

図表 2.1.2 プロジェクト評価（中間）の実施例【2-20】（NEDO HPより）

プロジェクト評価（中間）結果の反映							
	平成 13 年度	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度
テーマの一部を加速し実施	—	—	2 件	13 件	3 件	2 件	2 件
概ね、現行どおり実施	4 件	2 件	12 件	12 件	1 件	1 件	4 件
計画を一部変更し実施	16 件	6 件	15 件	5 件	4 件	5 件	3 件
テーマの一部を中止				1 件	1 件	0 件	1 件
中止または抜本的な改善	2 件	5 件	2 件	2 件	0 件	0 件	1 件

各項目が一部重複するため、各項目件数の合計と総件数は一致しない。

NEDOでは、成果の国民への裨益状況の把握や、マネジメントの改善やプロジェクトの企画立案機能の向上を目的として、NEDOプロジェクト参加機関におけるプロジェクト終了後の成果の実用化等に向けた活動を原則5年間追跡的に調査・評価する追跡調査・評価を平成16年度から開始している。これらの結果は、NEDO追跡・評価分科会、NEDO研究評価委員会を經由して理事長に報告され、公開している。図表2.1.3【2-31】に示すとおりこれまでに、延べ223プロジェクトについて4333の実施機関（委託先に加えて、再委託先、共同研究先も含む。種別では企業、管理法人、独立行政法人等、大学からなる。）を対象に実施してきた。なお、平成19年度からは毎年度の調査対象年度は3～4に絞られた。また、前回の調査でなんらかの取り組みを継続している機関のみを次回調査対象（前年度終了プロジェクトは原則全件対象）にしているため、一旦取り組みを中止した機関は調査対象から除かれている。

平成20年度の調査では、平成14年度に終了した29プロジェクトを対象に5年目簡易追跡評価（取り組み状況等の調査）、平成16年度に終了した21プロジェクトを対象に3年目簡易追跡調査（取り組み状況等の調査）、平成18年度に終了した36プロジェクト対象に1年目簡易追跡調査（取り組み状況等の調査）、平成19年度に終了した19プロジェクト合計105プロジェクトを対象に事前準備調査（継続的取り組み状況調査）、以上、延べ627の参加機関に対する調査（回答率99.7%、うち企業は99.6%）を実施している。

2009年3月時点までの調査結果【2-31～34】より、上市・製品化は平成13年度と14年度終了プロジェクトでは合計50件（全調査対象513件の10%）、平成15年度終了プロジェクトでは30件（全調査対象395件の8%）、平成16年度終了プロジェクトでは9件（全調査対象183件の5%）、平成17年度終了プロジェクトでは59件（全調査対象805件の7%）、平成18年度終了プロジェクトでは27件（全調査対象278件の10%）であり、平成19年度終了プロジェクト（全調査対象194件）ではまだ実用化事例は検出されていない。

図表2.1.3 対象機関数の内訳（【2-31】page.1より）

1.1 対象機関数の内訳

終了年度		H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	合計
プロジェクト数		27	29	33	21	58	36	19	223
調査対象機関数(※1)	H17年度	513		395	183				1091
	H18年度	450		313	151	805			1719
	H19年度	68		144		406	278		896
	H20年度		125		73		235	194	627

(※1) 企業、管理法人、独立行政法人、大学の合計

(8) 国プロ実用化状況のまとめ

図表2.1.4に本章で調査した国プロの実用化状況を整理して示す。サンシャイン計画以降の大型国プロ計画ではプロジェクト内に候補技術・方法の多元性を含んでいるためプロジェクトの実用化達成率は30～50%に達している。一方で、現在実施中のイノベーションプログラムでは実用化達成率は8%と小さい。この理由は分母に大学や公的研究機関を含む全参加法人数を含めていることと、国プロ終了後の経過期間もまだ短いためと考えられる。プロジェクト単位では、実施数223件に対して実用化法人数は175件と少なくはない。

総括すると、国プロは発足から40年以上経過しているが、一定の成果を社会に還元してきたと言える。この間、より実用化率を高くするための制度改善を継続的に行ってきた。

図表2.1.4 国プロの実用化状況まとめ

国プロ制度	施行期間 (年度)	実施プロジェクト ／国家予算	実用化達成率 (%)	代表的失敗例 ・未成功例
大型工業技術研究開発制度	1966～1993	25 件 ／3000億円	4 件（一部達成 1 件含む） 16%	・ MHD 発電 ・ 電気自動車 ・ 資源再生利用
サンシャイン計画*1	1974～1992（改組後 2000 迄）	8 件（多元性有り*2） ／1.1兆円	4 件（太陽電池、 風力発電、地熱、 太陽熱利用） 50%	・ 石炭ガス化発電 ・ 石炭液化 ・ 太陽熱発電
ムーンライト計画*1	1978～1992（改組後 2000 迄）	16 件（多元性有り*2） ／2600億円	2002 年：5 件（ガスタービン、低温燃料電池 PAFC、ヒートポンプ、NaS 蓄電池、廃熱利用） 2009 年：7 件（燃料電池 PEFC、Li 電池電力貯蔵システム） 44%	・ 高温燃料電池 ・ スターリングエンジン
新サンシャイン計画*1	1993～2000	3 件（多元性有り*2） ／250 億円（除く新燃焼システム）	1 件（広域エネルギー利用ネットワークシステム技術） 33%	・ 水素利用システム ・ 新燃焼システム
イノベーションプログラム	2001～	223 件（2007 終了迄）（多元性有り*2） ／年間 2 千億円	実用化法人 175 件 （全実施者 2368 件） 8%	

注記

* 1 エネルギー技術開発国プロ

* 2 多元性有り：1つのプロジェクト内に複数の候補技術・方法をオプションとして実施させて、基本的に優れた技術のみを次ぎのステップに進めていく。プロジェクトとしての成功確率は高く見えるが、実際に脱落した技術・方法の数が分母にカウントされていない。

2. 2 国プロ発電技術開発の評価に関する研究

前項では、国プロの創生から現在までの制度や成果の概要をレビューした。これを受けて国プロの評価に関する研究、特に、国プロで実施されたテーマの成功要因、失敗要因に関するものに着目した先行研究調査を行った。

(1) 木村らの研究【2-6】【2-21】【2-22】【2-23】

木村らはエネルギー技術開発国プロの評価のため、事例分析から成果を検証し、今後の開発へ提言を行っている。それに先立ち、2006年に既往の研究の調査を実施して、「日本のエネルギー技術開発プログラムに対する事例分析は非常に少なく、今後の事例分析を通じて日本の実態に沿った政策提言を行う重要性は大きい。」さらに、「事例分析アプローチ法は大きく3つに類別され、それぞれ特徴が異なる。」と総括している。【2-22】 また、技術開発活動の分析手法としては図表 2.2.1 に示すように着眼点によって3つのアプローチのうち、成功・失敗要因分析が適当であると考えられる。

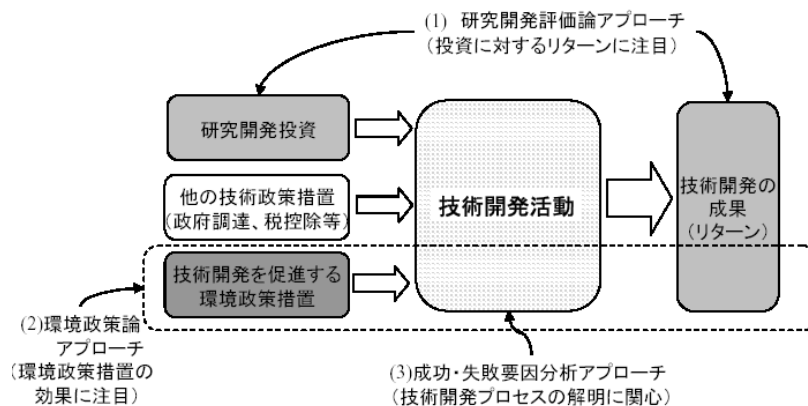


図 A： 本稿でレビューした 3 つのアプローチの整理

図表 2.2.1 事例分析の 3 つのアプローチと着眼点【2-21】（ページ iii より）

木村ら【2-6】の2007年のサンシャイン計画とムーンライト計画のプログラム評価では、全実施プロジェクト23件のうち、実用化に至ったのは10件（実用化到達率43%）であり、新製品の実用化費用に対する効果をCO2削減量に置き換えた考察から、パフォーマンスの高いのは少数（4件）に過ぎず、開発内容も既存技術の改善や導入普及に重点を置いたものだった、としている。新規技術の開発を目指した野心的なプロジェクトは成功確率が低かったとしている。但し、国プロで実施したことによって、実用化に向かうドライビングフォースが生じたことと、一定の新技术・ノウハウが残ったことは評価している。

また、成功プロジェクトから6事例を、失敗プロジェクトから2事例を関係者へのヒヤリングを実施するなど詳細に分析して下記の示唆を残している。

ア. 民間の事業主体が存在するか

実用化には国プロ後の継続的な民間投資が必要であるため、事業化を真剣に考えている民間企業の参加が求められる。事業主体が存在しない場合、技術が開発されても、実用

化に結びつきがたい。

イ. 段階的な実用化戦略（ニッチ市場戦略）はあるか

5 年、10 年といった短い時間を区切り、技術達成目標のみならず、途中段階で小規模なニッチ市場向けの商品化目標を設定し、それを飛び石として徐々に大きな市場につないでいくことが望ましい。

また、木村ら【2-22】は 2008 年に、1980 年代以降の熱エネルギー分野における代表的な省エネ技術開発の国プロである「スーパーヒートポンププロジェクト」(1984～1992 年、総額 109 億円)と「エコ・エネ都市プロジェクト」(1993～2000 年、総額 91 億円)を対象に省エネ技術が基礎研究から市場に普及するまでのプロセスを分析して国プロが果たした役割を明らかにしている。合計 34 テーマ中実用化につながったのは 7 テーマ（実用化到達率 21%）であり、そのうち 4 テーマは限定的な導入にとどまり、普及が進んでいるのはわずか 1 テーマ（事業化成功率 3%）であった。木村らは、実用化に成功した 7 テーマから上位 2 テーマを詳細に分析して、下記の成功要因を明らかにしている。

ア. 開発企業の自社資源だけでは研究開発の実施が困難なリスクの高い研究であり、国プロがあったことで初期の研究開発の遂行が可能になった。

イ. 最初の国プロの後も、社外に開発費を支援する主体が存在したことによって、実用化研究を継続することが出来た。

ウ. 少数ではあっても当該技術に高い価値を見出すユーザーを見つけ出したことで、初期市場をつくりそれを広げるきっかけとすることが出来た。そこでは、政府による導入促進補助金も重要な役割を果たしていた。

エ. 初期市場における限られた導入実績で終わらないためには、量産化のための市場セグメントの絞込みなど、ニッチからより大きな市場へ展開するための戦略が必要になる。

さらに、国プロの果たした役割として下記を明らかにしている。

ア. 国プロは、成功確率は低い、一部では重要な実用化技術を生み出し得る。

イ. 国プロの単発的な実施によって実用化・製品化に至る（死の谷を越える）ことは困難であり、実用化に向けた継続的な支援措置を講じる必要がある。

ウ. 技術が実用化の後に普及に至るには大きなハードル（ダーウィンの海）がある。これを越える技術を増やすためには、国プロだけでなく、市場創出策の強化が求められる。

エ. 国プロの役割は、民間だけでは遂行できないリスクの高い研究開発の推進にあり、一概に成功確率を向上させるべきとは言えない。国プロのあるべき成功確率は、国の公的研究開発投資全体のポートフォリオの中で議論する必要がある。

また、木村ら【2-23】は 2008 年に、国プロ成功例と評価されている「高効率ガスタービンプロジェクト」(1978～1987 年、総額 270 億円)を対象に、日本の高効率ガスタービン技術開発の発展に対して国プロが果たした役割について、文献調査と関係者へのヒヤリングを行って、次のように明らかにしている。

ア. 国プロは発電用ガスタービンの技術開発と国内メーカーの成長を促進した主要因の一つとして寄与した。

イ. 国プロは、ガスタービンの高温化・高効率化を進める上で必須の要素技術を開発するための基盤をつくった。

ウ. 参加企業による国プロの成果や経験の活用形態は各社の市場でのポジションや事業戦略によりさまざまである。

エ. 各社の当時のガスタービン開発の方向性は、国プロの開発の方向性とほぼ一致しており、仮に国プロがなかったとしても同様の開発はある程度実現していたと推測される。このように自主開発と国プロを切り離せないため、「国プロの寄与率」を定量化することは困難である。

オ. ここで国プロが果たした役割は、国プロとして設定したことによる予算増額や開発従事者の増員によって、国プロがなくてもなされていたであろう技術開発を加速させた点にある。

カ. 国際競争の激しい分野においては、開発のスピードが競争優位性に大きな影響を与えることから、このような国プロによる技術開発の加速効果には重大な意義があったといえる。

さらに、政策的含意として、「国プロの効果を評価する際には、直接的な実用化の成否のみを評価対象とするのではなく、国プロの成果や経験を活用した各社の製品開発や事業展開までをスコープに入れることが重要である」と述べている。

(2) 川鉄テクノリサーチ社の研究【2・3】

川鉄テクノリサーチ社は経済産業省から国プロの運営・管理状況分析調査の委託を受けて、技術開発施策レビューを行い国プロ制度のシステムの考察を実施した。その中で国プロにおいて実施されたプロジェクト評価を実施している。その対象は、大プロ 21 件、次世代基盤産業技術研究開発制度 2 件、サンシャイン計画 2 件、ムーンライト計画 3 件の計 28 プロジェクトである。個別プロジェクトの事例分析については複数の大学に再委託している。事例分析方法は文献や報告書に加えて開発当事者へのインタビューも実施している。そのまとめ方は、設定目標に対する達成度、実用化・波及効果、技術レベル（フロントランナーかキャッチアップか）、技術オプションの多元性、リーダーシップについての統一形式になっている。プロジェクトマネジメントについては共通の主眼点を特に設定して掘り下げる分析はされていない。一方、リーダーシップについては、プロジェクトリーダーの実名を出して、全期間を総括して、その果たした役割を分析している。

抽出したプロジェクトのうち、開発目標を達成したのは 21 件、達成度 中（完全に最終目標に到達していない）が 6 件であり、未達はプロジェクトが外部環境の大幅な変化によって中断された 1 件だけだった。

これに対して、一部でも実用化に至ったのは 8 件（実用化到達率 29%）だった。達成度と実用化の件数は乖離が大きい。良く言われるように、国の視点では、事業化に結びつくことは成果の一つという位置づけであり、技術の波及や広がりを含めて成果として捉える傾向があることを示している。実用化に至らなかった 20 プロジェクトの主な原因を調査結果から分析すると、下記ようになる。

要素技術開発が主目的	6 件
市場環境の変化（負の方向へ）	5 件
経済性（コスト高）	5 件
代替技術の出現	2 件
出来が悪い（大きい、複雑、品質）	2 件

これより、最も多いのが要素技術開発で国プロの支援が終わってしまい実用化の推進力が足りなかったこと、続いて、市場ニーズとのミスマッチ、および、高性能高コストでは市場が受け入れなかったあるいは売り方に工夫が無かったことが失敗原因として続いている。

波及効果については全てが波及効果ありとされ、件数は効果大と効果中が半々であった。プロジェクトの評価については、目標の達成度、実用化、波及効果等を考慮した総合的な評価が必要としつつも、波及効果を大きくするためには「開発した要素技術の評価がキーポイントになる」としている。特に実用化に達しなくても要素技術によりその分野の技術レベルを世界トップレベルまで引き上げて産業化に発展しているケースもあるとしている。このことから、開発すべき要素技術に焦点をおいたプロジェクトにおいては、大型技術開発にありがちな「システム指向」からの脱却という選択肢が考えられるとしている。つまり、1997 年以降、ニューサンシャイン計画等の国プロでは、開発期間は原則 5 年以内とされたことから、必ずしもプロジェクトを「実用化の前提を維持しつつも、パイロットプラントまでの実証テストまで進める必要性は無い」、としている。よって、今後のプロジェクトは 5 年間で、要素技術あるいは小規模テストプラントの開発段階までとして、シミュレーション技術を活用することが重要としている。

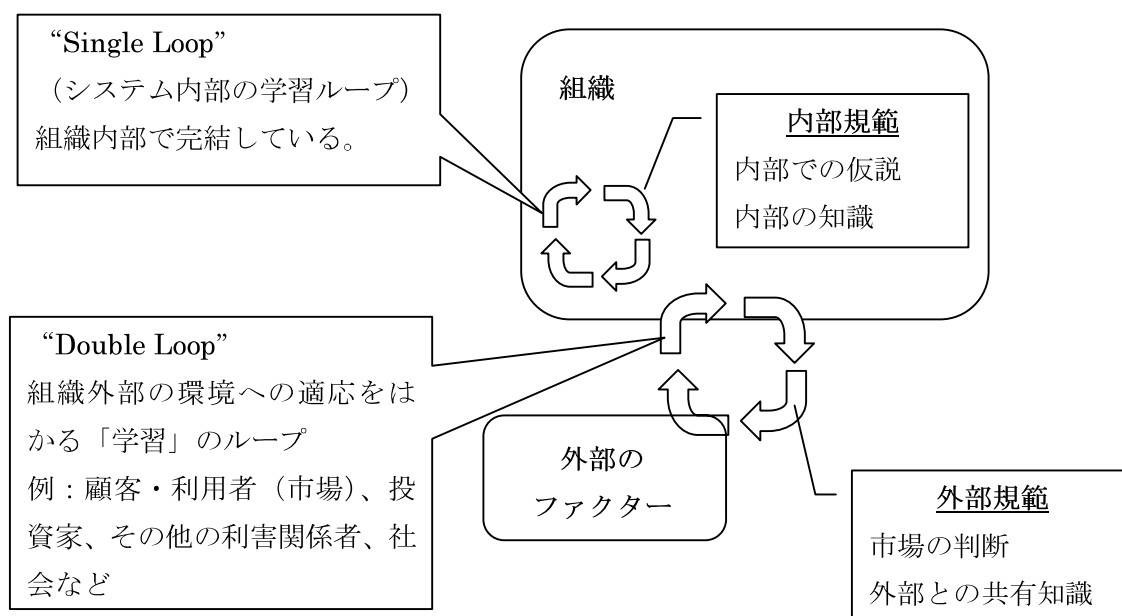
技術レベル調査では、16 プロジェクトがフロントランナー型、7 プロジェクトがキャッチアップ型、5 プロジェクトが両面を有しているが、キャッチアップ型は大プロの草創期～中期に掛けて集中して高度経済成長時代の欧米へキャッチアップの時期と重なりと指摘している。この区分けを開発対象とするシステム全体で捉える考え方と、その要素技術で捉える考え方があり、判断は難しいとしている。

技術オプション多元性、つまり複数の技術方式を並行して開発する度合い、は重要な視点として、どの程度の先導研究が実施され、技術レベルと同様にシステム全体で捉えるか、要素技術で捉えるかで、変わってくるとしている。技術オプション多元性で見ると、17 プロジェクトは多元性を有しているが、11 プロジェクトは多元性を有しているとは言い難いと分析している。この 11 プロジェクトの 7 件は、大プロ草創期～中期に実施された欧米キャッチアップ型でシステム開発指向のプロジェクトであり、加えて、パイロットプラントでの実証テストを含む 4 プロジェクトでは設備建設を考慮して始めから要素技術を絞っていたとしている。

研究実施体制の分析では 27 プロジェクトに国立研究所が関与しており、プロジェクト推進における役割は大きく、①プロジェクトの中心として参画、②基礎研究要素技術研究を担当、③評価・試験を担当 等を挙げている。

この調査研究の中で、東出は、国プロにおいても、学習する組織が有効であると指摘している。Argyris と Sechon が提唱した理論に基づき、2 つの学習サイクルである“Single Loop

Learning”（システム内部の学習ループ）と、“Double Loop Learning”（組織外部の環境への適応をはかる「学習」のループ）の区分と役割を図表 2.2.2 のように表している。学習のループはそれぞれ判断や行動の基準となる規範を持っているが、具体的にはマネジメント対象についての理論やノウハウ等、あるいは現時点での経験等に基づく仮説がある。そして、Single Loop Learning では、組織内の理論構成等に矛盾が無ければ知識や理論等はそのまま規範となりえるが、Double Loop Learning の場合は、相手側（例：顧客・利用者（市場）、投資家、その他の利害関係者）の見解や主観が規範の適否に関与してくる。そして、相手側が投資や購入等の決定権を持っている場合、学習を通じて、自分の規範を相手側に適合させるべく修正するか、提案や情報提供などのコミュニケーションを通じて相手側に学習を働きかけ、その規範を更新することとなる。東出は、学習する組織のフレームワークを「ソーラーシステム」プロジェクト事例に適用して、学習組織の効果について有効性を検証している。



図表 2.2.2 シングルループとダブルループ（東出、【2・3】 pp118、図 5・4・1 を再描画）

（3）堀切らの研究【2・24】

日経エレクトロニクス誌では発電技術開発分野ではないが、「国プロ再生計画」の特集を組んだ。同社のニュース配信サービスを受けている人に国プロについてのアンケート調査を実施している、2006 年 12 月に 388 人（6 割が研究、設計・開発の技術者、年齢は 30・40 代が 7 割）が回答した。回答は 3 択で、YES、NO、わからない、である。国プロに期待しているかについては 48%が YES、39%が NO、進んで参加したいかについては 45%が YES、34%が NO、役に立っていると思うかについては、YES が 36 %、NO が 35%だった。国プロへの期待や参加意欲が半数近いのに対して、役に立っていると考えている人が 1/3 にとどまっている

ことがわかる。国プロへの不満調査では「成果が企業のビジネスに生かされていない」が最も多く、「研究テーマを柔軟に変更できない」、「中間／事後評価に透明性がない」が続いていることから、企業の視点では、見返りの少ないプロジェクトということになっている。

役に立たないを選んだ人の理由として、「企業の中でお荷物になっている人の行き場のようなプロジェクトが多すぎる」、「各企業がエース級エンジニアを派遣しない」、「プロジェクトマネジメントがいい加減」、「海外のプロジェクトよりも見劣りする」、「成果の時期が事業とあっていない」など、国プロに関わった人からの厳しい意見を紹介している。

堀切らは、国プロを成功させる最初の難関のテーマ選択時に、プロジェクトの成否に決定的に影響を与えるのが「非競争領域」の設定だとしている。国プロで実施する分を「非競争領域」に限定すると各社はそれを基盤技術として共同開発を推進するようになり、自社では強みを活かせる競争領域の開発に専念することができ、望ましい姿になると指摘している。特に複数の企業が共同開発するコンソーシアム方式のプロジェクトでこの「非競争領域」の設定は有効であるとしている。逆に競争領域を国プロで開発しようとしても、企業は事業化後のことを考えると消極的にならざるを得ないと指摘している。但し、非競争領域の適切な設定は簡単ではなく、現場の担当者レベルだけで協議するのではなく、各社の最高技術責任者レベルの話し合いが必要であるとしている。つまり、自社の研究開発ポートフォリオを変更する場合もあるためと指摘している。一方で、このような、開発領域を官庁や有識者会議などの外部の意見だけで決めてしまうと、企業の技術戦略とかみ合わないプロジェクトになってしまい、消極的な参加、所謂「おつきあいプロジェクト」にとどまってしまうかねないとしている。さらに、そのようなプロジェクトに出向したり、関わったりした技術者も悲惨な状況に陥ってしまうとしてしている。

(4) ポーターらの研究【2-25】

ポーターらは 2000 年、発電技術開発分野に限定していないが、日本の高度経済成長を主導した官僚主導型の経済政策の方針が、国プロの開発モデルにも適用されてきたが、なかでも、有力企業が集まって取り組む共同開発では、結果的に企業の独自性が疎外されてきた面があると指摘している。産業界の中で特徴の無い製品ばかりになり、国の規格がそれを後押ししている。この方式はいわゆる欧米へのキャッチアップ時代には産業育成や経済成長のドライビングフォースとなったが、日本が世界のトップレベルに到った現在は転換が必要と指摘している。

(5) 榊原らの研究【2-26】

榊原は発電技術開発分野ではないが、成功した国プロテーマとされる超 LSI 技術研究組合の開発活動を分析して、開発が成功した要因を考察している。

この組合は次世代コンピュータ素子・超 LSI に関連する技術の開発を目的として日本のコンピュータメーカー 5 社が設立した。1976 年から 5 年間実施された国プロである。総予算額は 700 億円だった。榊原は、「当初、このプロジェクトの成功を予測する者はほとんどいなかった。」と指摘している。その理由として専門家から目標技術レベルが高すぎると見られたこと、各社から優秀な技術者が集まる保証が無かったこと、現事業で競合している各社が保有技術をある程度公開する必要があったことを挙げている。このプロジェクトに関して、江崎玲於

奈博士からは、「共同で超 LSI を開発することは理解ににくい」とまで指摘されていた。

しかし、初期の予測に反して組合の成果は目ざましかったとして、榊原は証左を示した上で、成功要因を組合に参加した当事者が意識的に選択したものとは言えない「外生的条件」と、当事者が意識的に選択した結果としての「内生的条件」に分類して次の様に明らかにした。

【外生的条件】

- ア. 潤沢な資金投入が行われた。
- イ. 参加 5 社に共通の巨大な脅威として米国 IBM が存在した。IBM 対抗を目指すと言う具体的なベンチマークを示し、それを超えることを目指すことで開発の意義を明確化した。これは、研究者たちのベクトルを重ね合わせる上で大変有効だった。
- ウ. プロジェクトの期限を 4 年と区切った。比較的短期間の期限を設けたことで、タイムリミットの存在をはっきり知覚させ研究の集中力を高めた。
- エ. 組合を設立したメーカー 5 社には過去の国プロで共同研究を実施した経験があり、国プロ遂行ノウハウに通じていた。
- オ. 技術的にみて、集団による共同作業が実りを生みやすい時期にたまたまタイミング良くプロジェクトがスタートした。つまり、超 LSI 開発には多くの技術ブレークスルーが必要と見られていたが、関係する研究機関やメーカーのこれまでの研究から、有望と思われるアイデアがある程度出揃っていた。
- カ. 共同作業を実質化させる場として組合の下に直轄の研究所を設置して企業から人を集めた。従来の組合は形式的な受け皿であり、実際の共同開発は各社別々にやっていた。研究所を設置したことで、社風や専門領域、キャリアの異なるライバル企業の研究者が一ヶ所に集まり、研究者間の多様な情報交換を促し、研究活動に新鮮な刺激を与えた。異質性をビルトインした組織構造が革新のダイナミズムをもたらした。

【内生的条件】

(研究テーマとその選択方法に関して)

- キ. 共同作業を実りあるものにするために、共同研で取り上げるテーマを少数に絞り込んだ。
- ク. テーマを単に少数に絞り込んだだけでなく、①利害を異にする参加各社が共通に関心を持ち、②単独で行うよりも共同で進めたほうがメリットが大きく、③しかも一社ではリスクが大きすぎるという 3 つの意味で、ライバル企業の共同研究に適合的なテーマを選んだ。
- ケ. 利害が対立する参加各社のコンセンサスを形成するために、プロジェクト発足前も含めてじゅうぶんに時間をかけ、徹底した話し合いでコンフリクトを解決した。言い換えると、「問題直視」をコンフリクト解消の方法として用いた。

(研究者の人選および配置に関して)

- コ. 派遣研究者の人選を参加企業にまかせず、むしろ共同研の側でイニシアチブをとって研究者の人選を進めた。
- サ. 同一企業の研究者を同じ部屋に集めずに、意識的に混成部隊をつくった。
(コミュニケーションを促進するための様々な工夫)
- シ. 研究組織をフラットにし、多くのことがらを第一線研究者の話し合いによって決めて

いった。

- ス． 頻繁な発表会や報告書の作成など、多様、かつ、豊富なコミュニケーション機会をつくり、情報の共有をはかった。
- セ． 仕事上のやりとりだけではなく、旅行やゴルフ、囲碁の同好会などオフ・ザ・ジョブの交わりの機会もたくさんつくった。
- ソ． 独特のリーダーシップにより、プロジェクトの指名をくりかえし強調し、価値の共有をはかった。

榊原は、カ．の要因が決定的に重要であると指摘している。しかし、これは組織運営に固有のやっかいな問題を提起することになる所だが、適切なマネジメントが実施されたとしている。特に、派遣研究者らは研究所組織と親元会社組織の両方の指示を受けるマトリックス組織（新しい状況への対応に優れ、イノベーション組織に適するとされる）に組み込まれたが、上手く組織が機能したことを併せて指摘している。

（６）平野の研究【2・27】

平野は発電技術開発分野および国プロではないが、ハイテクデバイス産業における類似した分野の２つの事業化事例を時系列的に追い、分析、比較した。その事業化活動の結末の差異要因から事業を支える技術としての「知」とベンチャリングの人的「組織」の関係性を明らかにして、両者の整合と相互増幅に基づく「共進化（知と組織が共に発展すること）」が事業の発展に大きく寄与すると指摘している。さらに、「事業を成功に導く経営品質確保には、事業の中核となる『知』の特質に依存する『共進化』過程への深い理解と洞察が必要である。」と述べている。

また、平野は事例分析方法に関して、「事業の経過を渦中にいる時点ではなく、後ろから振り返ってその是非を論評することはあまり意義の有る事ではない。重要なのは、その経過の中で有効に働いた因子・有効に働かなかった因子を拾い出し、より普遍性のあるインプリケーションとして整理する作業である。」と述べており、失敗・成功事例分析において結果の原因分析よりも、活動プロセスにおける影響因子を分析する事の重要性を指摘している。

2. 3 小括

本章の先行研究調査結果を以下に示す通り総括した。

- (1) 国プロが国益を最終目的としていることは発足以来、現在まで一貫して変わっていない。
- (2) 国プロは実用化成功率が低いながらも革新的な技術を世に送り出し、波及効果も含めると日本の産業に大きな功績を残してきたといえる。国は大プロ制度以降、サンシャイン計画、ムーンライト計画、ニューサンシャイン計画、イノベーションプログラム（当初技術開発プログラム）と継続してエネルギー技術開発計画に基づく国プロを実施している。国プロは前の計画の反省点を次期計画に反映することで、制度も改良されてきた。特に、近年はアウトプット（結果）からアウトカム（成果）指向になってきている。
- (3) NEDO は、実施プロジェクトのキメ細かい評価の実施（事前評価、中間評価、事後評価、

追跡調査・評価)と評価方法・基準の明確化を行うことで、国プロマネジメントサイドからの軌道修正を行うしくみを運用している。その効果についてはこれから検証されていくと考えられる。

(4) 国プロにおいて事業化活動を成功させるための対応方法を研究した事例から、下記の示唆を得た。

- ア. 国プロでの事業化活動評価の研究は成否の原因分析は初期の計画と活動の結果を結び付けて分析した例が多く、活動中の環境変化への対応行動に関するものは少ない。
- イ. 実用化には国プロ後の継続的な民間投資が必要であるため、事業化を真剣に考えている民間企業の参加が求められる。事業主体が存在しない場合、技術が開発されても、実用化に結びつきがたい。
- ウ. 5年、10年といった短い時間を区切り、技術達成目標のみならず、途中段階で小規模なニッチ市場向けの商品化目標を設定し、それを飛び石として徐々に大きな市場につないでいくことが望ましい。
- エ. 国プロにおいても、学習する組織が有効である。相手(国プロ実施主体)が投資や購入等の決定権を持っている場合、学習(事業化活動)を通じて、自分(国プロ参加企業)の規範を相手側に適合させるべく修正するか、提案や情報提供などのコミュニケーションを通じて相手側に学習を働きかけ、その規範を更新させることが重要となる。
- オ. 国プロで複数企業が共同開発する技術は「非競争領域」に限定すると各社はそれを基盤技術として共同開発を推進するようになり、自社では強みを行かせる競争領域の開発に専念することができるので効果的である。逆に競争領域を国プロで開発しようとしても、企業は事業化後のことを考えると消極的にならざるを得ない。
- カ. 国プロに参加しても、事業化仮説に対する主体性を失わないで事業化活動を行うことが重用であると考えられるが、主体性については、既往の研究では事業化活動の実施主体に当然のごとく付随していて常に発揮できる状態が前提とされている。実際には着手時の主体性に制限が掛かった状態であるような国プロにおける国の支援の減退、選択肢の制限、検討時間の制限、関係者の支持の減退、および、対応予算の制限等の不利な状況が発生することが考えられる。特に主体性の制限状態が深刻化した状況を主体性の喪失状態とすると、喪失状態で判断したり、行動したりせざるを得ない状況に陥る原因とその影響について論じた研究例は見当たらなかった。

3. 先行研究調査Ⅱ

企業が新しい事業を起こす事業化活動は、よく企業内起業あるいはコーポレートベンチャリングと呼ばれている。企業が技術開発を行って、新事業に進出したり、あるいは、既存製品の性能を向上させたり新製品を出したりするのは、市場での競争力を高めて経営を発展させることが主要な目的のひとつである。

また、企業が国プロに参加するのは、本来、自社の資源で実施すべき事業化活動を、国の支援を受けることで着手のきっかけにしたり、開発力を強化したりするのが目的である。しかし、国プロの事業化実績をみると成功確率は低く、返って余計な出費をただけで終わってしまう方が多いと言われている。一方で、リスクにチャレンジして新しい価値を創造するような前向きな取り組みをしていかないと競合先に対する比較優位性が向上しないことは明らかである。

本章では、コーポレートベンチャリングに関する研究成果を調査して、事業化活動を計画して実行していくに当たり考慮すべき事項を整理し、成功要因分析の基礎とする。

3. 1 事業化戦略

本研究では事業化を目指して策定される戦略を特に事業化戦略と呼ぶ。経営戦略における事業化戦略の位置付けと有り方についてこれまでの研究成果を整理する。

(1) 経営戦略の体系

森本【3・1】【3・2】によると、経営戦略の体系は（上位）企業戦略、（中位）事業戦略、（下位）機能別戦略の順になり、それぞれ図表 3.1.1 のような意味を持つ。この分類は相当の規模で複数の事業や製品を営み事業部制をとっている企業が前提となっている。さらに複数事業部をまとめる事業本部制をとる大企業や事業部制を取っていない中小企業でもそれぞれ戦略の体系を追加あるいは統合することで適用できる。

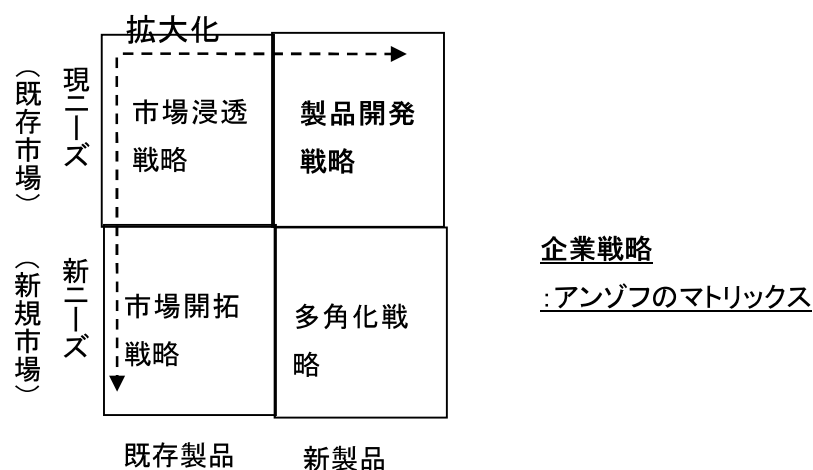
経営戦略の一環としての事業化戦略は事業化活動を司る基本方針となるものであり、図表 3.1.1 より、事業戦略レベルと考えられる。したがって、企業は上位戦略である企業戦略と整合性を取りつつ、外部環境分析と内部環境分析を実施して戦略策定のフレームワーク（SWOT 分析、3C 分析など）を活用して事業化戦略を策定する。さらに、下位戦略である機能別戦略を策定して、適切にコントロールしながら遂行していく必要がある。

図表 3.1.1 経営戦略の体系【3・1】(pp114-115 を筆者が整理)

	内容	対象ドメイン	策定ツール
企業戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・企業が全体的にどのようなドメインで活動すべきか ・独自能力を発揮しながらシナジーと競争優位性を求めてドメインの全体的推移を設計 	複数	アンゾフのマトリックス、プロダクトポートフォリオマトリックス
事業戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・如何に競争するか ・製品、事業単位 ・独自能力活用 ・経営者の姿勢 	1	競争戦略、プロダクトライフサイクル
機能別戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・資源の調達と有効利用に関する戦略 例) 財務戦略、研究開発戦略、生産戦略、マーケティング戦略	(ドメイン内)	

(2) アンゾフのマトリックス

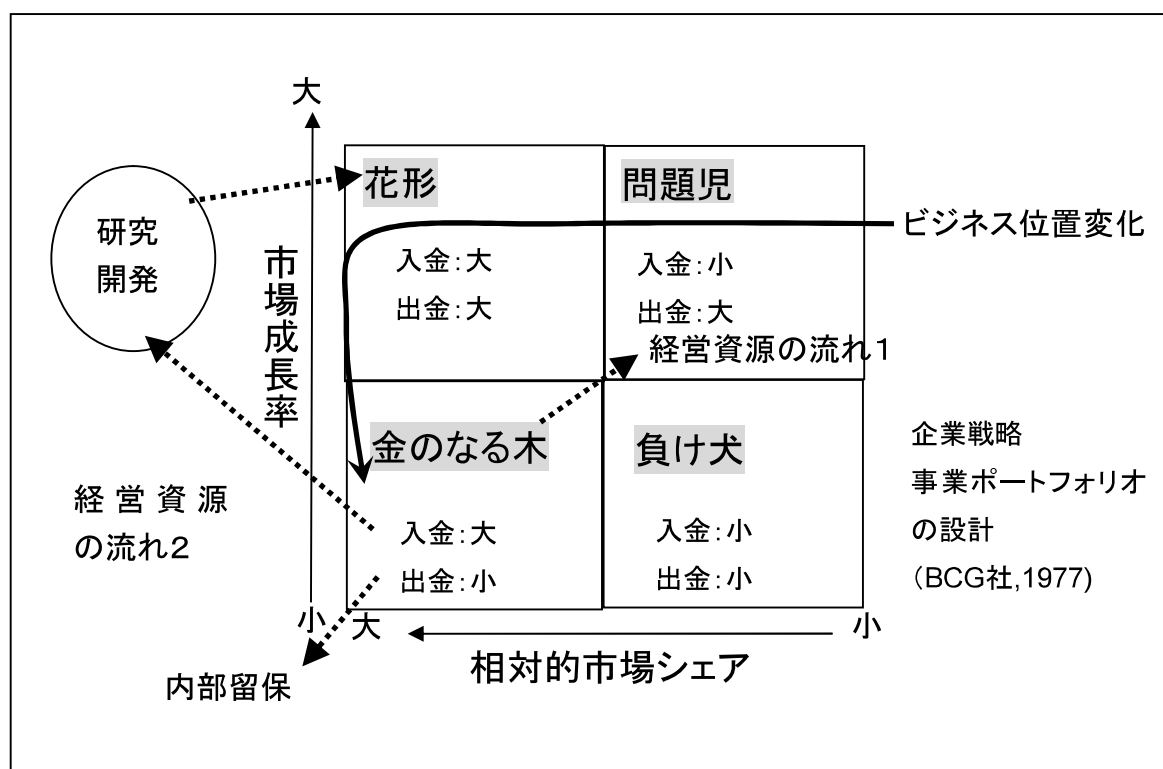
図表3.1.2はアンゾフのマトリックスと呼ばれるもので、企業が発展するための企業戦略策定の一環としての製品・市場戦略策定において、現在のポジション（既存製品、既存市場）からどの方向へ、どの程度進むかを検討する上でよく利用される。発電技術事業のような電力生産設備に限定され客先が固定化している場合、既存市場に高性能や優れた経済性等で差別化した新製品を投入するケースが多く、図表3.1.2は製品開発戦略が主流になっている実状と合致している。



図表 3.1.2 成長対応行動と製品・市場マトリックス
(森本【3・1】図表 5.2 を元に描画)

(3) プロダクトポートフォリオマトリックス

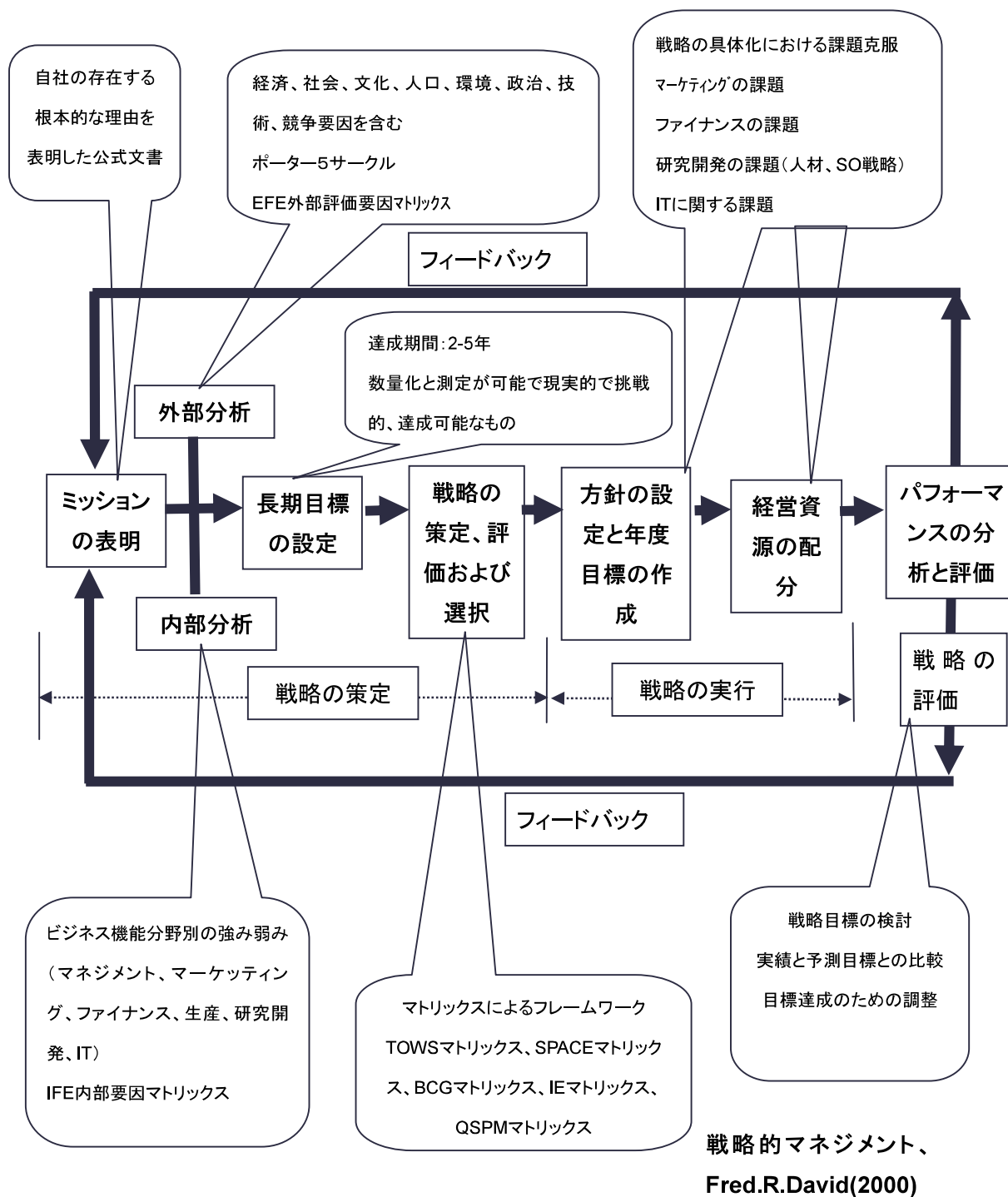
図表 3.1.3 はプロダクトポートフォリオマトリックス（以下、PPM と記載する。）に資金の流れを加えたものであり、企業戦略を検討する際に有効なツールとされている。PPM はボストンコンサルティング社が開発したもので、市場機会に対して企業が強みを生かせる方法を見出し、将来に向けた方向付けに役立つ。企業は「金のなる木」に属する事業から生み出される利益を、「問題児」と「花形」に属する事業に経営資源として送り込み、事業の継続と成長を狙う戦略を実行する。この際、経営資源の配分を最もメリットのあるように実施するためにこのようなポートフォリオを作成して検討する。この際、成長市場である「花形」への投資は、研究開発を通して行われるとされている。つまり、成長市場では激しい市場獲得競争が生じるが特に製品の性能や経済性が重要になり差別化のために生産設備や営業強化ではなく、研究開発に重点を置くことが重要であると理解できる。



図表 3.1.3 プロダクトポートフォリオと資金の流れ
 （森本【3-1】図表 5.7 を再描画して追記）

(4) 戦略的マネジメント

David【3-3】は組織が設定している目標を果たすための機能分野間の意思決定を明確にし、それを実行、評価することを戦略的マネジメントとして、図表3.1.4に示すようなフレームワークを提唱している。特に戦略も、実施後の評価に基づきミッション（目的）にフィードバックすることで、適切な修正を行う必要があることを指摘している。



図表 3.1.4 戦略的マネジメント (【3-3】より、図 1-1、pp17 に追記)

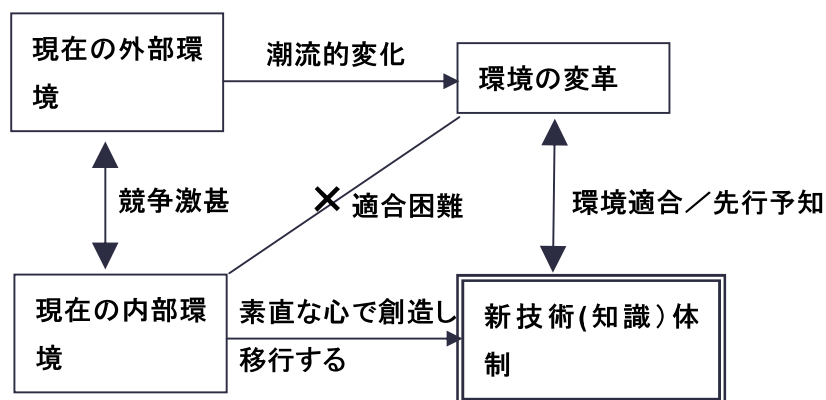
(5) 山之内の技術経営論：技術経営の役割について

山之内【3・4】は、図表 3.1.5 を示して、企業の外部環境は潮流的に変化するものであり、現在の内部環境のままでは環境が変革したときに適合できないため、新技術体系に移行しておく必要があり、そのためには技術開発や知識創造が必要であるとしている。

また、山之内は、技術経営とは技術がかかわる企業経営の創造的、かつ、戦略的なイノベーションのマネジメントであるとし、次の3点に整理できるとしている。

- ・ 企業全体の経営革新のためにあり、企業理念・目的・戦略と一体のものである。
- ・ イノベーションにおけるダイナミックプロセスであり、移行過程のマネジメントである。
- ・ 企業が保有する技術体系を新たな知識体系に変容させる行為である。

さらに、山之内は、技術経営を今日の戦術的行動と明日以降のための戦略的行動との乖離を縮める行為であるとも表現している。



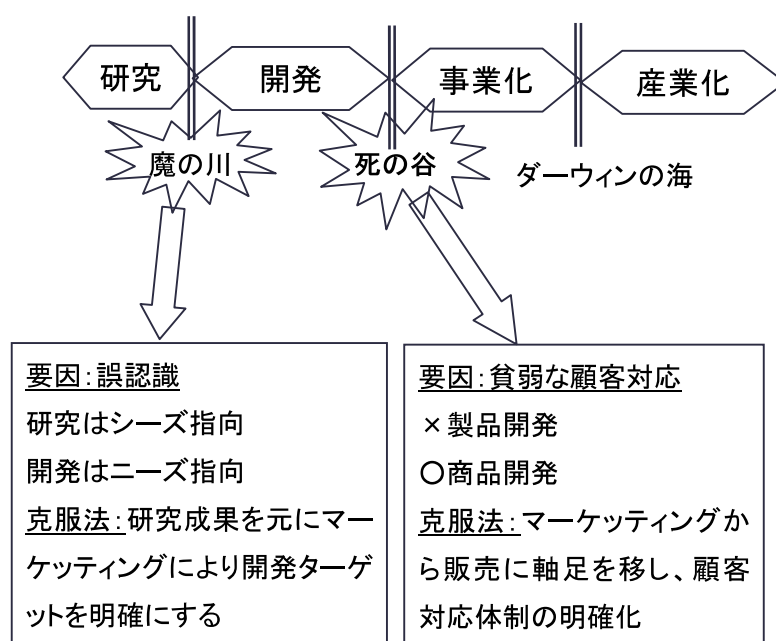
図表 3.1.5 外部環境変化と経営革新（【3・4】、図 P・4 を元に作成）

(6) 出川の技術経営論：技術開発を伴う事業創出の課題

出川【3・5】は、技術開発を伴う事業創出の課題として、図表 3.1.6 に示すように、事業創出のための4つのステージと3つのトールゲートを示し、研究フェーズから開発フェーズと開発フェーズから事業化フェーズにわたる際の障害について分析している。これらのフェーズでは業務の不確実性が高いため、いわゆる構子定規な管理中心のマネジメントではなく事業創出目的の実現のための成果を出すことに注力した不連続なマネジメントが必要であるとしている。不連続なマネジメントには事業化リーダーの多大な努力、勘、経験が重要であること、および、不得意分野のアウトソーシングが有効であるとしている。

出川は、企業の付加価値の源泉は、従来は製造や物流などが中心であったが、最近は開発や事業化力になってきていると指摘している。インフラ産業である重工業が本体で実施した事業創出は上手く行っていないが、分社化して取組んだ新事業が比較的生き残っていることから、本体では新事業に合わせた組織形態やスピード感覚になりにくいこと、および、不適格なビジネス展開や不適格なリーダーシップの存在が、失敗原因であると指摘している。重工業が本体で事業喪失をやるならば量産品は避けること、受注製品に強みを出しやすいと指摘している。

出川によると技術経営とは、技術をベースにした新製品、新事業の開発であり、この方法論や不確実性の高い中でのマネジメントをカバーしている。技術経営の今後の展開として、技術経営能力つまり戦略的な新技術の事業性評価力、大企業と開発型ベンチャー企業の共存共栄、起業的人材の育成とバックアップ、および、プロセスイノベーションからプロダクトイノベーションへの転換が必要であるとしている。



図表3.1.6 事業創出のための4つのステージとトールゲート
(【3・5】2・6章を元に作成)

(7)土屋らの研究、リーダーシップと戦略的思考法【3-6】

土屋は、環境変化に対して、戦術的対応を取ったり、迂回、試行錯誤を講じたりすることで目先の目標を変えながら挫折しないように対応し、かつ、最終的には戦略目標を達成する姿が望ましいとしている。図表 3.1.7 参照。土屋は目標達成のための VSET(Vision Strategy Execution Tactics)から成る戦略的思考を提唱し、目標に向かって戦略遂行する際に鍵を握るリーダーシップには下記の 2 要素の協調が重要であると指摘している。

① EQ (Emotional Quotient)

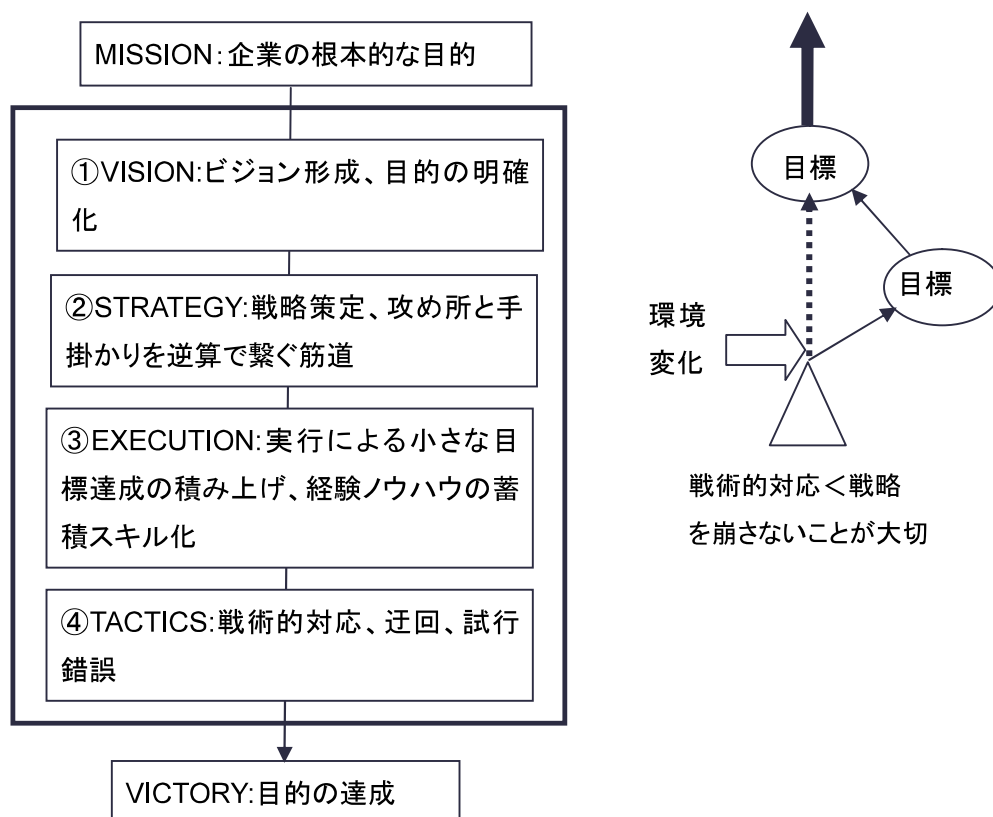
- ・物事を成し遂げる意欲と情熱
- ・初級：人を動かす→中級：自発性を促進→上級：潜在能力の発揮

② IQ (Intelligence Quotient)

- ・戦略的思考法は「一般的に環境変化が激しいときに物事を成し遂げる思考法」である。
- ・VSETを明確化、反復連呼により組織内整合性を維持

つまり、リーダーにはEQに相当する物事を成し遂げる意欲と情熱が必要であるが、組織を成功に導かないとリーダーとしては認められず、そのためには VSET 戦略的思考を包含するIQが必要になる、としている。

また、成果を上げるリーダーシップを、人を動かす（初級）、自発性を盛り上げる（中級）、神通力を使って潜在能力を発揮させる（上級）の3段階に分けて論じ、上級になる程、EQとIQの両方の能力が必要になると述べている。

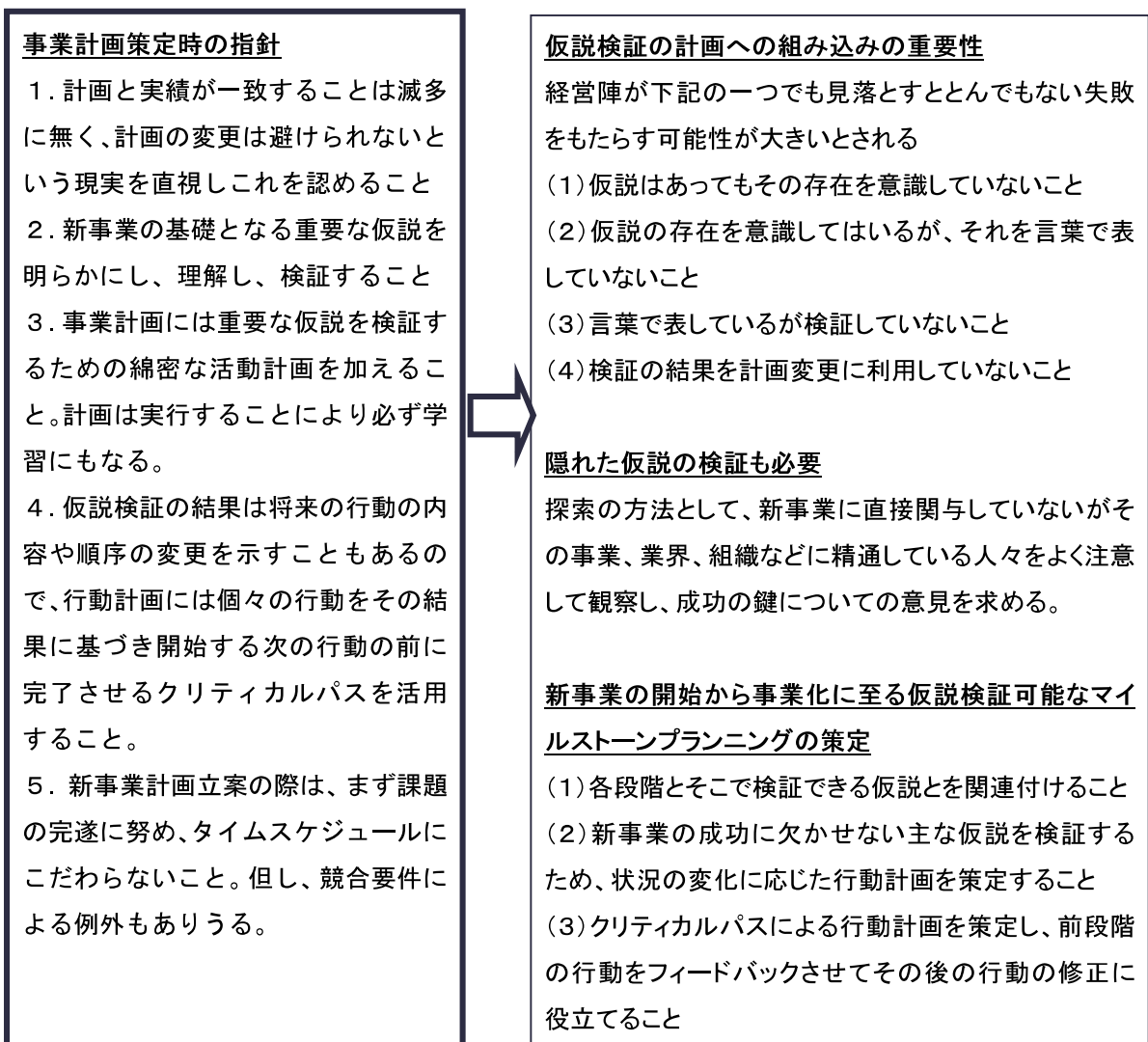


図表 3.1.7 リーダーシップと戦略的思考法
（【3-6】を元に作成、図 7 を再描画）

3. 2 コーポレートベンチャリング【3・7】

(1) ブロックらの研究

ブロックらは事業計画における仮説（＝新事業に着手したり、継続したりするための前提となる取捨選択条件）の重要性を指摘している。ブロックらの提唱する仮説の重要性の視点に基づく、事業計画策定時の指針と仮説検証の計画への組み込みの重要性について図表3. 2. 1に整理した。新事業仮説の主な領域として、市場、製品、技術、財務、競争、組織、環境を挙げている。

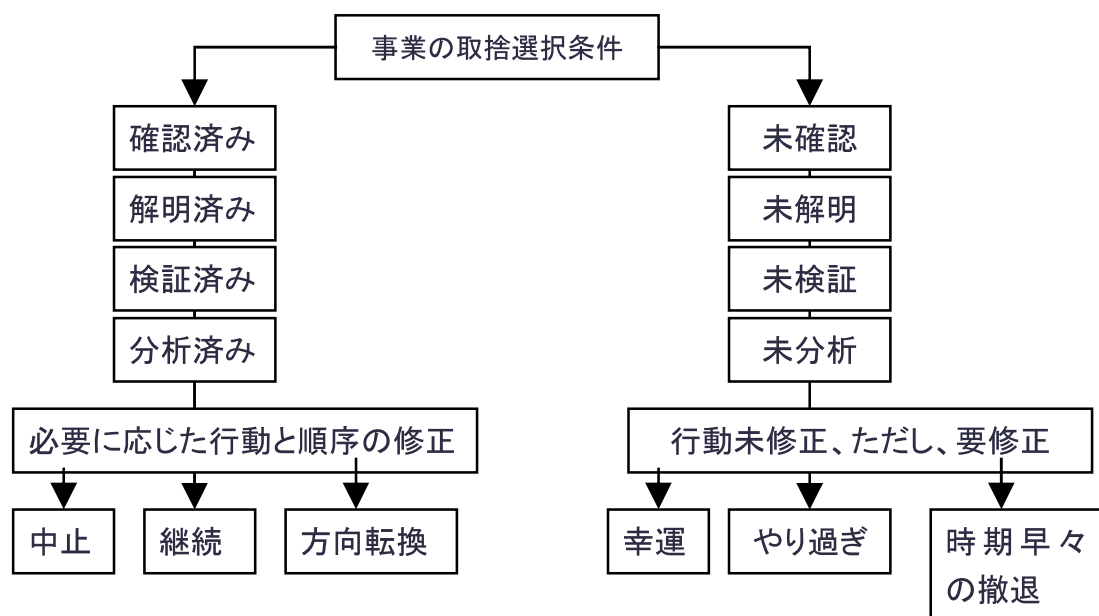


図表 3. 2. 1 事業計画における仮説の重要性の視点（【3－7】から作成）

ブロックらは、新事業は全て仮説に大きく左右されるとしている。基礎となる重要な仮説やそれを設定したプロセスを明らかにすることがまず必要であり、この必要不可欠の情報の収集と新規事業のスタート前の歴史の解明にあらゆる努力を傾け、その期待するものが何で

あったかを確認め、主な仮説を検証することが重要だと述べている。さらに、「この事業仮説が誤り（棄却されるもの）だと知っていたら、その新事業をスタートさせなかったか、あるいは致命的な欠陥がある新事業と見なしたはずである。」と述べている。

ブロックらの仮説の確認、解明、および必要な修正の手順を図表 3.2.2 に示す。ブロックらは事業化仮説の存在を確認し、内容を確認し、検証し、さらに結果を分析して必要に応じた行動や取り組むべき行動の順序を見直す作業の重要性を示している。この手順の一つでも見落とすととんでもない高価な失敗をもたらす可能性があると述べている。この手順に基づき方向転換や中止を行う場合は主体的な判断と言える。一方、事業化仮説の存在に気づかないと、主体的な判断が全くできないことになる。事業化担当チームは事業化戦略で設定した事業化仮説の存在を確認して、主体的に検証し、必要な軌道修正がとれるように準備しておく必要がある。



図表 3.2.2 仮説の確認、解明、および必要な修正の手順（【3-7】図 7-1 を再描画）

ブロックらは、ストウ、ロス(1987)【3-8】らの研究をレビューして、仮説が明らかになり検証されても社内の圧力が新規事業の最適管理や中断を妨げることがある。その際の障害となるのが次にあげるような社内の風土であると指摘している。

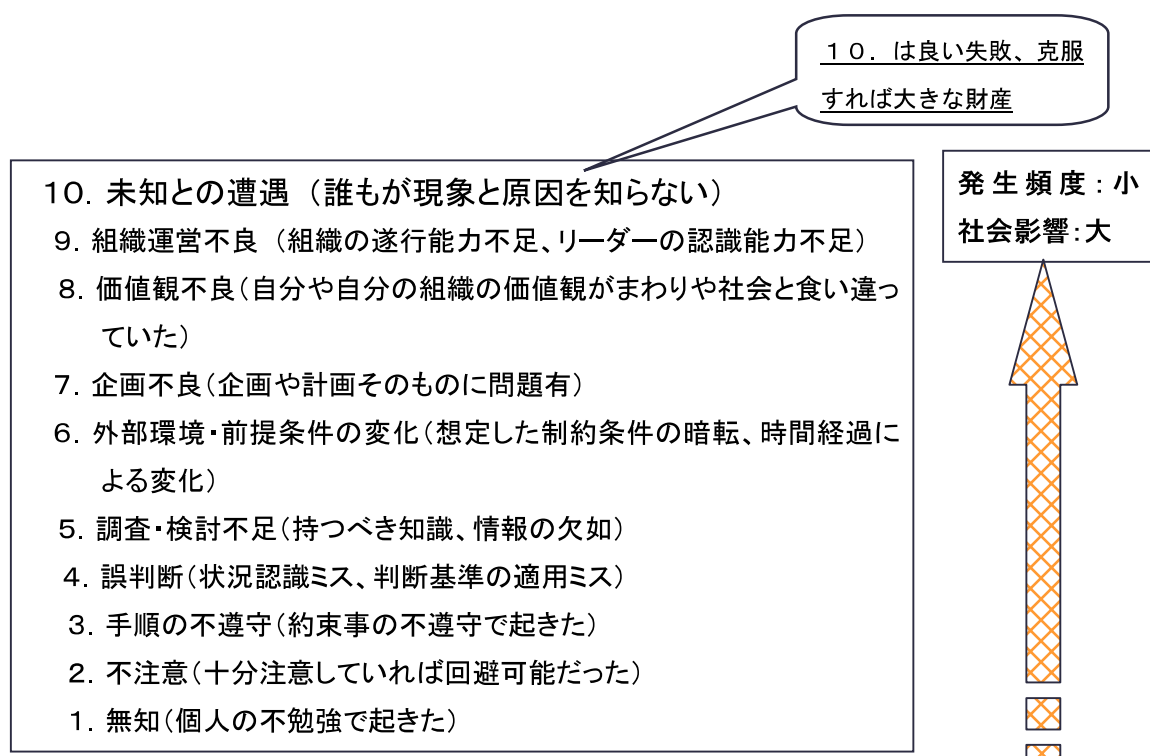
- ・変更を潔しとしない風土
- ・企業または個人の才能と能力という看板に傷が付くという風土
- ・完了する以外に投資回収の見込みが無い場合。

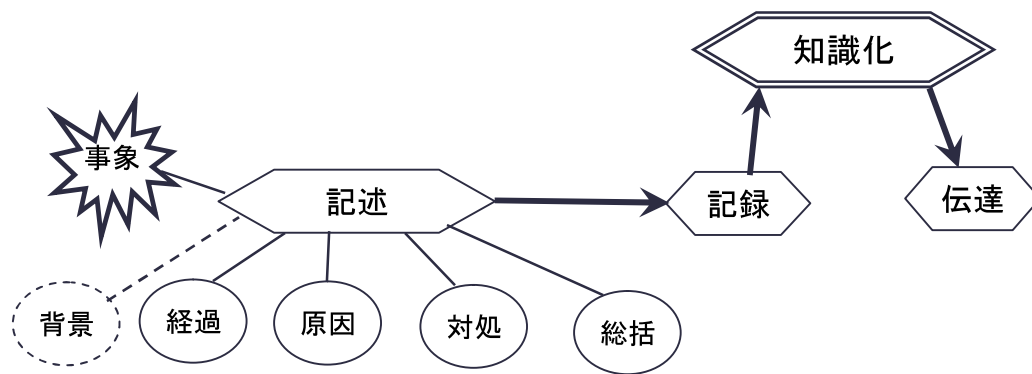
ブロックらは、新規事業マネジャーの政治戦略として、約束は過小に、実績は最大に、自分自身のお金ガリスクにさらされているつもりで行動すること、味方、特に実力のある役員を見つけて利用すること、製品の販売に役立たない限り先走った外部発表は避けること、および、新事業の方向転換または撤退の時期を誰よりも先に築くこと、を留意点として示している。

3. 3 失敗学からのアプローチ【3-9】

(1) 畑村の失敗学

畑村は効率よりも創造が求められる時代に入り、失敗を肯定する企業風土が必要な時代になったと指摘している。失敗を恥とする文化からの決別が必要であり、米国では、「創造に必ず失敗はつきものである」という知恵を使い失敗分析活動をシステムとして取り入れていて、日本はこれを学ぶ必要があると指摘している。失敗を創造行為の第一歩としてうまく付き合いうまく活用することが重要であるとしている。失敗を提言するには、実際に行動する前に頭の中で仮想演習という、シミュレーションが効果的であるとしている。図表3.3.1に示すように失敗を10ランクに分けて1～9までの失敗は避けられることができる失敗であり犯さないようにすることが重要であると指摘している。一方で、ランク10は誰もが現象と原因を知らない「未知との遭遇」というものであり、場合によっては避けようがないが、あえて失敗することで新たな到達点に至る経験や情報が得られることができるものであるとしている。但し、失敗は図表3.3.2に示すように失敗は知識化されなければ伝達されないと指摘している。





図表3.3.2 失敗の発生から伝達までの流れ（【3-9】 pp. 90を再描画）

3. 4 小括

- ・ 戦略の位置付けを明確にした策定を行い、実行後の戦略評価を受けて戦略も目的実現のために適宜見直されなければならない。
- ・ 戦略策定に当たって、アンゾフのマトリックス、プロダクトポートフォリオ、戦略的マネジメントモデル等のツールがある。
- ・ 戦略遂行において環境変化に適切に対応するためにはIQとEQを併せ持ったVSET思考に基づくリーダーシップが必要である。
- ・ 技術経営の視点から企業の外部環境は潮流的に変化していくものであり、現在の内部環境のままでは環境が変革したときに適合できないため新技術体系に移行しておく必要があり、そのためには、技術開発や知識創造を実施しておく必要があるとしている。
- ・ 技術経営の方法論は大企業の事業化活動にも有効である。戦略的な新技術の事業性評価力、大企業と開発型ベンチャー企業の共存共栄、起業的人材の育成とバックアップ、および、プロセスイノベーションからプロダクトイノベーションへの転換が必要としている。
- ・ コーポレートベンチャリングにおいて、事業仮説の確認と検証は重要な位置を占めている。
- ・ 失敗学の考えは事業化プロセスにおいて発生する問題点の解決に繋がる。とくにレベル10の失敗（未知との遭遇）を克服することは貴重な学習効果を産み出すことに繋がる。

4. リサーチクエスション

(1) 先行研究調査結果を受けて残された課題の整理

国プロにおける事業化活動の成功・失敗要因分析に関する既往の研究からは、国プロに参加した企業は活動中の環境変化に対してどのような対応方法を持つべきなのかという点についていくつかの示唆を抽出できた。一般的な事業化活動のあり方を論じた文献からも環境変化の対応方法に関する示唆があり、特に事業化仮説（＝事業化活動に着手したり、継続したりするための前提となる取捨選択条件）への取り組みが重要な成否要因となる可能性を掴むことができた。

また、対応行動決定の根幹となる主体性（＝自らの意志・判断で行動しようとする態度）については、既往の研究では事業化活動の実施主体に当然のごとく付随していて常に発揮できる状態が前提とされている。しかし、実際の事業化活動では着手時の主体性に制限が掛かった状態、例えば国プロにおける国の支援の減退、選択肢の制限、検討時間の制限、関係者の支持の減退、あるいは、対応予算の制限等の不利な状況が発生することが考えられる。特に主体性の制限状態が深刻化した状況を主体性の喪失状態とすると、喪失状態で判断したり、行動したりせざるを得ない状況に陥った場合の原因とその影響について論じた研究例は見当たらなかった

本研究に関して、環境変化の対応方法に関する残された課題と主体性に関する残された課題を以下に示す。

【環境変化の対応方法】

- ・ 事業化活動の外乱となる全ての環境変化を予測して最初の計画に織り込んだ完全な計画立案は出来ない。よって、不確定要素については事業化仮説を立て、検証活動しながら、自らの行動を適切にマネジメントしていくための対応方法の明確化が必要と考えられるが、それはどのようなものか。
- ・ 事業化ステージが進むにつれて代替案の確保やコア技術の転換を含む軌道修正は困難になると考えられるが、一方で拙速による誤判断は避けなければならない。適切な対応方法はあるのか。
- ・ 国プロ実施主体が影響力を持つ事業化仮説について、立証、棄却に関わらず有利に導く対応とはどのようなものなのか。

【主体性】

- ・ 事業化活動において実施企業の事業化仮説に対する主体性がないと適切な軌道修正（新たな仮説の設定の場合もある）が行えず、成功可能性が低くなると考えられないか。
- ・ 国プロの実施主体が事業化仮説の検証に影響を与える場合があるが、実施企業にとって自らの事業化戦略から外れた方向に進まされても成功のゴールへの到達はおぼつかないと考えられる。どのように対応すればこうした事態を避けることができるのか。

(2) リサーチクエスト


本研究は国プロを活用する発電技術開発の事業化活動の成功要因を事例分析から明らかにし、事業化活動に取り組む人への示唆を得ることを目的としている。先行研究調査結果から、事業化活動では様々な環境要因の変化によって事業化仮説が立証されないリスクを認識して代替策を準備しておくこと、および、事業化仮説に対する主体性の発揮を前提として適切な判断と行動ができる状態を作っておくことが成功への必要条件と考えた。

以上を踏まえて、国プロを活用する事業化活動の特質探求に焦点を当ててリサーチクエストを2つ設定した。

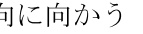

Q1 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説が棄却されても成功可能性失墜に陥らないための対応とはどのようなものか。

Q2 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説に対する主体性喪失の原因と影響はどのようなものか。

(3) リサーチモデルの提起

リサーチクエストに対応して、事業化活動状況を視覚化するため、図表 4.1 に示すリサーチモデルを提起した。事業化活動は基礎、応用（小型、大型）、実証を経て事業に結びつくまでの複数の段階からなる。成功可能性とは事業化が成功する確率であり、事業化戦略が予定通り遂行されているかどうかのバロメータでもある。①のモデルケースのように事業化活動の成功可能性の上昇（）傾向が連続していき、そのまま事業化成功のゴールに至るのが理想的な姿である。仮に途中段階で可能性が下がったとしても、そこで中断せずに後段階で挽回して最終段階で高くなれば事業化活動は良い結果となる。逆に、初期段階や途中段階が高くても最終段階で下がってしまうと成功は遠のく。


一方、事業化仮説に対する主体性は、『国プロを活用して事業化活動を開始する初期計画段階において事業化着手を決断した実施主体に付随していて十分発揮できる状態にある』、という前提が成り立つとする。よって、事業化仮説に対する主体性を制限したり喪失したりするようなマイナス要因が発生しなければ、保持したまま事業化活動を行えるという理想的な姿である。


しかし、実際の事業化活動では、様々なマイナス要因、特に事業化仮説の棄却リスクの増加によって、成功可能性は下がる方向に向かう（）、ことが多いと考えられる。その際、成功可能性をリカバーするために、図中の上向き矢印（）で表されるプラス要因が必要になる。進んで事業化仮説の検証活動を行っていれば、事業化仮説の置かれた状況を把握でき、適切な対応を取ることで、下への振れが小さいうちに防ぐことができる。なお、実際の事業化活動ではプラス要因とマイナス要因は各段階において随時、かつ、複数発生すると考えられるが、図表 4.1 では簡略化して各開発段階単位に集約して表記している。


事業化仮説が検証される段階と棄却のリスクを把握して対策を検討しておけば、事業化仮説の棄却の予兆時期から適切な対策を取り始めることができ、棄却による成功可能性低下から回復させることが可能と考えられる。なお、事業化仮説の棄却、即、事業化活動撤退とい

う戦略も当然ありうるが、本研究では事業化活動を行う上での成功要因を探究するのが目的であるので、敢えて議論には含めないことにする。図表 4.2 には、事業化仮説を認識してリスク対応を検討していた場合の事業化仮説に対する主体性の評価を検証後の成功可能性への影響別に示す。

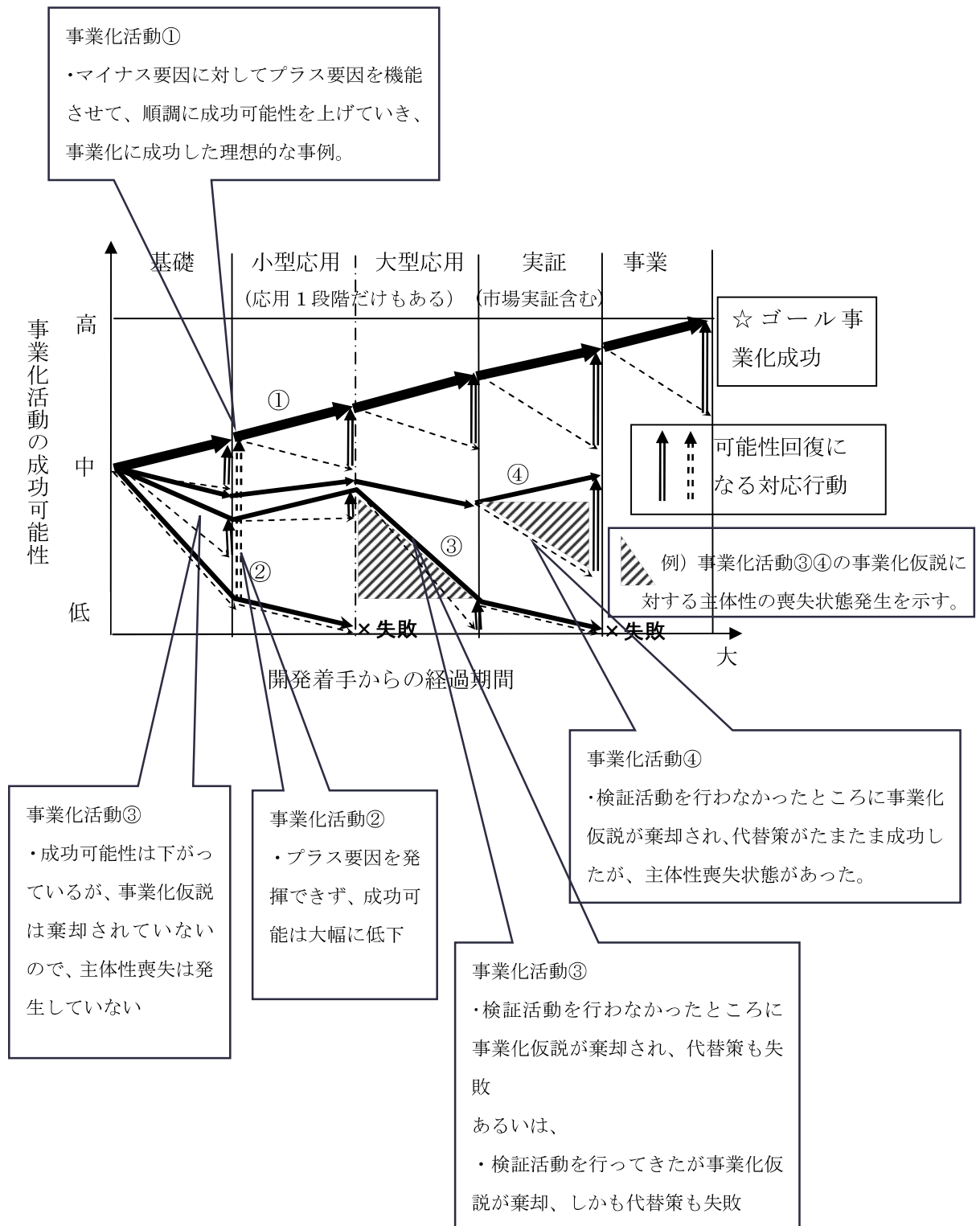
一方、事業化仮説を真説と誤認識していたり、認識していても無視していたり、存在に気づかないでいたりすると、事業化仮説の検証活動を行えないため事業化仮説の置かれた状況を把握できず、マイナス要因が小さいうちにプラスの対応をすることができない。この状況は、事業化仮説に対する主体性を発揮しようがない状態であり、不全状態とも言える。結局、事業化仮説が検証される段階がどこであるのかもわからないまま、棄却されたことさえ気づかないか、手遅れになってからようやく察知する。察知してから対応行動を開始するため、限定した選択肢や拙速な対応しか取れない状況に追い込まれる。多くの場合、成功可能性を取り戻すためのプラス要因を生み出せず、成功可能性は下がってしまう。つまり、棄却によって不全状態から、事業化仮説に対する主体性を発揮できない喪失状態に陥ると考えられる。しかし、事業化仮説未検知でも、棄却後に慌てて立てた代替策が成功する場合も考えられる。この場合は、幸運と位置付ける。一方、事業化仮説に正しく向き合い、棄却時の検討も実施していたが代替策が成功しない場合も考えられる。この場合は止むを得ない制約が原因で事業化仮説に対する主体性が喪失状態になり適切な代替策が打てなかった場合と位置付ける。図表 4.3 には、事業化仮説のリスクに対して何も検討してこなかった場合の事業化仮説に対する主体性の評価を検証後の成功可能性への影響として示す。

図表 4.1 中の②と③の折れ線は成功可能性が大きく低下して事業化活動に失敗したモデルケースを表している。例えば、②は基礎段階で成功可能性が下がっているが、①のレベルまで戻すためには②の折れ線に付けた（）のように大きなプラス要因が必要だったことが分かる。結局、次段階で成功可能性がほぼ消滅して、次々段階に進めなかったことを表している。

事業化仮説に対する主体性の喪失に関して、図表 4.1 中の③の事業化活動を例に説明する。③では成功可能性は基礎段階、大型応用段階および実証段階で低下している。成功可能性の低下はプラス要因よりもマイナス要因が大きいことを表している。基礎段階は成功可能性が下がっても事業化仮説の棄却が生じておらず今後主体性を発揮できる正常な検証活動に戻ることも十分あり得るので主体性喪失に陥っていないとする。次の小型応用段階では成功可能性を挽回していることを表している。ところが、大型応用段階では検証活動を行わないまま事業化仮説が棄却され代替策も失敗したため、あるいは、検証活動を行ってきたが事業化仮説が棄却されさらに代替策も失敗したため、（）で示すように主体性の喪失が発生して、成功可能性が大きく低下したことを表している。結局、実証段階で成功可能性がほぼ消滅して、事業段階に進めなかったことを表している。

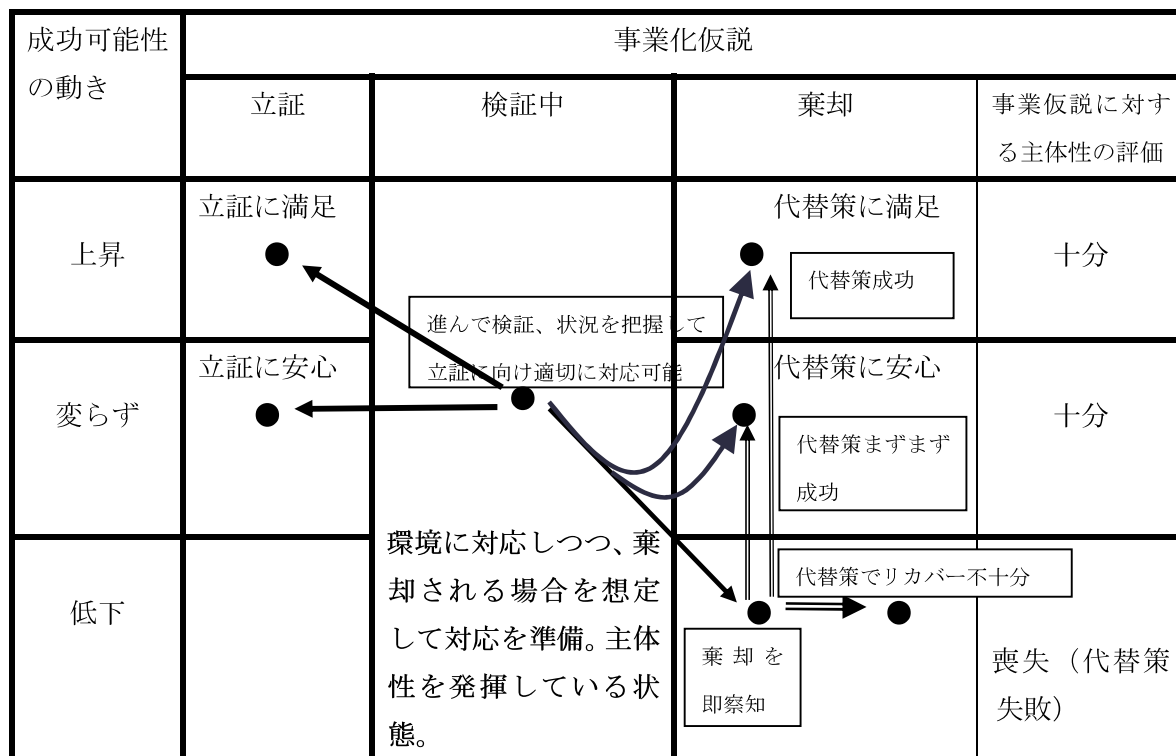
なお、主体性喪失が発生しても幸運にも代替策が成功して成功可能性が下がらない場合も考えられるが、適切な事業化活動とは言えない。よって仮に成功可能性が上昇したとしても主体性喪失の発生（）を表示することにする。図中の④参照。

本研究では、このリサーチモデルを事例分析に適用して有効性を検討する。

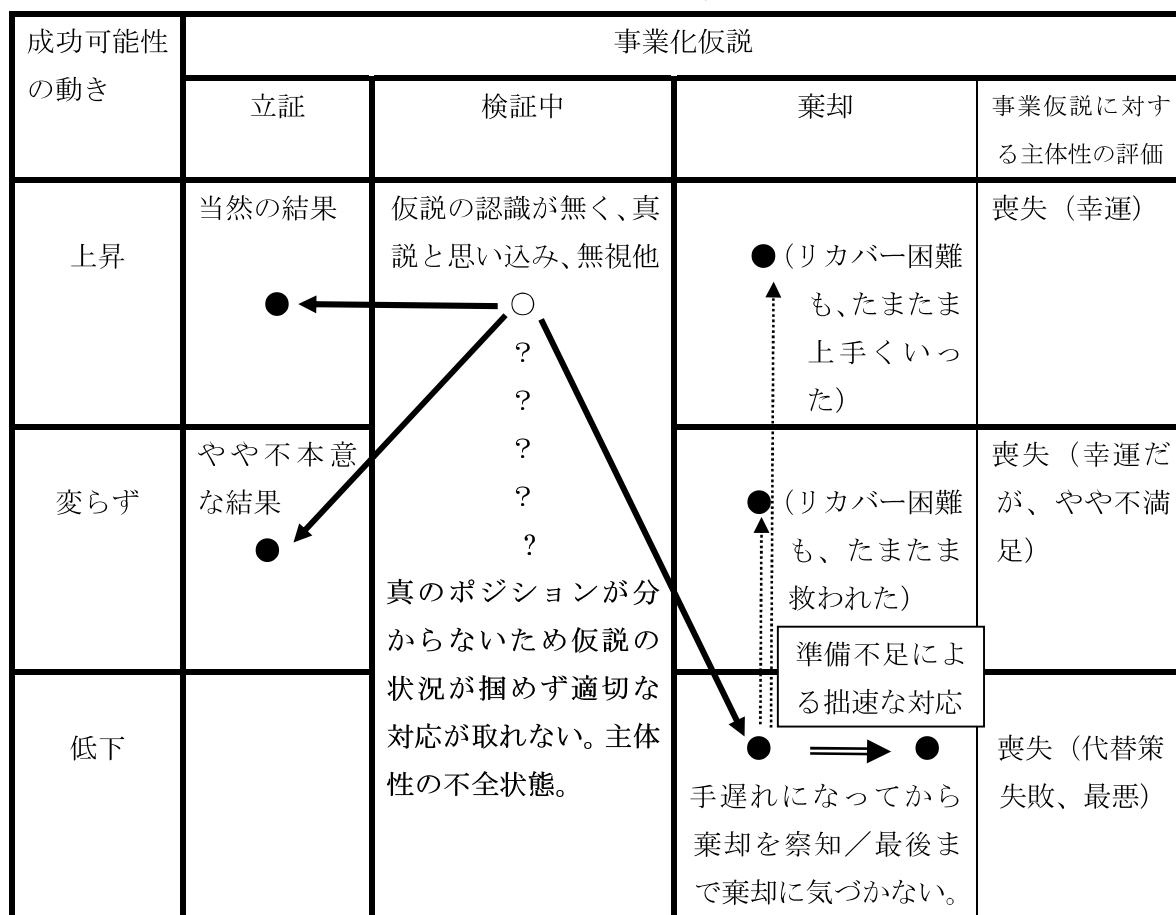


図表 4. 1 リサーチモデル

図表4. 2 事業仮説に対する主体性の評価（仮説検証活動を行ってきた場合）



図表4. 3 事業仮説に対する主体性の評価（仮説検証活動を行ってこなかった場合）



5. 研究方法

(1) 成功・失敗要因分析アプローチによる発電技術事業化の事例分析

リサーチクエスションに取り組む方法として、成功・失敗要因分析アプローチによる事例分析手法【2-21】を用いて、発電技術事業化の事例分析を2タイプ実施する。対象事例は国プロ事例から抽出する。企業の事業化活動を時系列に沿って整理し、事業化仮説を抽出する。事業化仮説の検証活動状況、検証結果、および、棄却となった場合の代替策による対応結果について事業化活動全体に与えた影響と結びつけて分析する。この分析結果を元に、事業化活動に組み込まれるべき成功要因を導き出す。

なお、分析作業は国、NEDO および企業等が公式に発信した文献情報に基づくが、一部、信頼できるWEB情報やマスコミ報道も活用する。

(2) IGCC 開発国プロ事例分析

1つ目の事例として、代表的な国プロ発電技術開発である石炭ガス化複合発電 (IGCC) を取り上げる。IGCC は 1974 年の開発着手以降、現時点 (2009 年 12 月) においても開発が進行中の長期プロジェクトである。IGCC は技術難易度が高く、開発環境が変る中、実用化時期が何度か後ろ倒しされ未だに事業化に到っていない。しかし、国プロは進行中であり、成功とも失敗とも断定できない。

IGCC 主要機器を分担開発するため参加した大企業 4 社は国プロへの参加以降、長年に亘り事業化を目指して活動してきた。現時点では開発を継続している 2 社と中止あるいは見合わせ中の 2 社に分かれている。よって、事業化仮説への対応の差異が現時点の状況に与えた影響を分析するのに好適事例と考えた。

(3) 国プロ活用事例分析

国の支援を活用して発電技術の事業化に成功した事例を抽出して、IGCC と同様に分析を行う。IGCC は事業化に到っていないので、対照的な事例と位置付けられる。成功事例も IGCC と同様に事業化仮説を抽出して分析する。さらに、IGCC から得られる分析結果と対比させることで共通する成功要因を明らかにする。

成功事例の抽出条件は、大企業の事業化活動であること、事業活動に関する情報が当事者から発信されていること (事業化に成功していることの確認)、発電技術に関する事業化であること、および、成果報告書などから詳細な活動内容が掴める NEDO 経由で国の支援を受けていることの 4 点とした。スクリーニングを実施した結果、条件に合致した 4 事例を選定した。

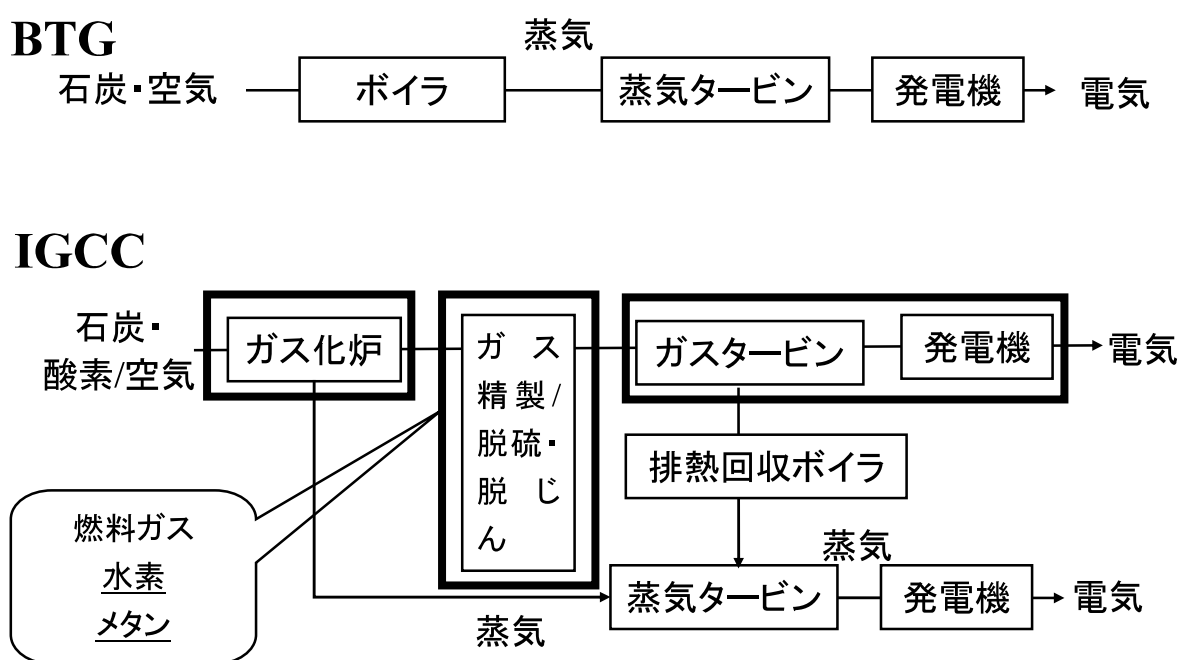
6. IGCC 開発国プロ事例分析

6. 1 IGCC とは

IGCC とは、ガス化複合発電(Integrated Gasification Combined Cycle)の英略称であり、火力発電の次世代機種と位置付けられてきた。この論文では特に石炭をガス化燃料とする場合を単に IGCC と記し、その他の燃料、例えば重質油をガス化燃料とする場合は、重質油 IGCC のように燃料名を付けて表記する。

石炭を発電所の燃料に利用する歴史は古く、米国のトーマスエジソンが 1882 年に世界で初めて火力発電による白熱電燈を灯したときに燃料として利用されていた。現在、最も一般的な従来型石炭火力発電は微粉化した石炭をボイラに気流で送って空気で燃焼し、発生した熱を蒸気に変換して蒸気タービン発電機を回して発電する方式であり、1920 年代までに実用化されている。【6-1】 この論文ではこの従来型微粉炭火力を BTG (Pulverized Coal Boiler, Steam Turbine, and Generator) と表記する。なお、日本の電力会社の作る電気の約 25%(2008 年)は石炭から【6-2】であり、原子力、天然ガスと並んで 3 大電源の一角を占める。石油は石炭の半分に過ぎない。

図表 6.1 に BTG と IGCC の概略フローを示す。



図表 6.1 BTG と IGCC の概略フロー

IGCC は BTG と同様に石炭を発電の燃料に利用する。IGCC の発電方法は次のようになる。石炭をガス化剤の酸素または空気と一緒にボイラの替りにガス化炉に投入し、必要に応じて水または水蒸気もガス化炉に投入して、高温高压でガス化反応（燃焼ではなく、一種の不完全燃焼）

させて水素、一酸化炭素、メタンなどの可燃性ガスに変換する。さらに、変換したガスから硫黄分や煤じんなどの不純物を除去するガス精製を行い、発電用ガスタービンの燃料として利用する。ガスタービンはその燃焼器で石炭ガスを高圧空気で燃焼し、発生させた高温高圧ガスの膨張エネルギーをタービン翼に吹き付けて回転エネルギーに直接変換し、接続する発電機を回して電力を直接作り出す。さらに、ガスタービン出口に設置する排熱回収ボイラで高温のガスタービン排ガスの熱を蒸気として回収して、蒸気タービンを回転させて接続する発電機を回して発電する。このように IGCC ではガスタービンと蒸気タービンの両方を組み合わせて高効率で発電する複合発電 (Combined Cycle Power Generation) と呼ばれる発電方式を採用している。IGCC は高効率を目指すことが可能であるがシステム構成は BTG に比べて複雑になる。

6. 2 IGCC の特徴

(1) BTG と IGCC の差異

BTG と IGCC の代表的な差異を図表 6.2.1 に示す。【6・3】 BTG は 1920 年代に既に海外で実用化されている。国内では技術導入によって建設が進み、1970 年代のオイルショック以降、安価で信頼性の高い電力源として広く普及していった。国内の重電メーカーは導入技術を基に技術開発を進めて、大型化や高効率化によって進化させてきた。BTG は最も発電原価の安い発電設備の地位を長く維持している。一方、IGCC は 1990 年代に欧米で実用化されたが、信頼性と経済性の市場評価が高まらず、期待されたほど普及が進んでいない。国内では、2009 年 12 月現在、国プロの実証機が試験運転されている状況である。【6・227】

(2) IGCC の効率について

IGCC は BTG よりも効率が高いことを期待されて 1974 年から国プロによる開発が進められている。【6・4,5,6】 この効率について分析した。

BTG の効率向上のためには蒸気タービンに入る蒸気の温度と圧力を高くすることが最も効果的であり、継続的な技術開発により、図表 6.2.2【6・3】に示すように年々向上してきた。特に材料技術の大幅な進歩によって 1990 年ごろに超々臨界圧 (Ultra Super Critical) の蒸気条件が実用化されると効率が絶対値で 3%程度上昇した。しかし、1990 年以降、効率の上昇は頭打ち傾向になっている。現在、飛躍的な高効率化を目指して蒸気条件を高温高圧化した Advanced-USC による BTG 開発が国プロで進められている。【6・7,8】

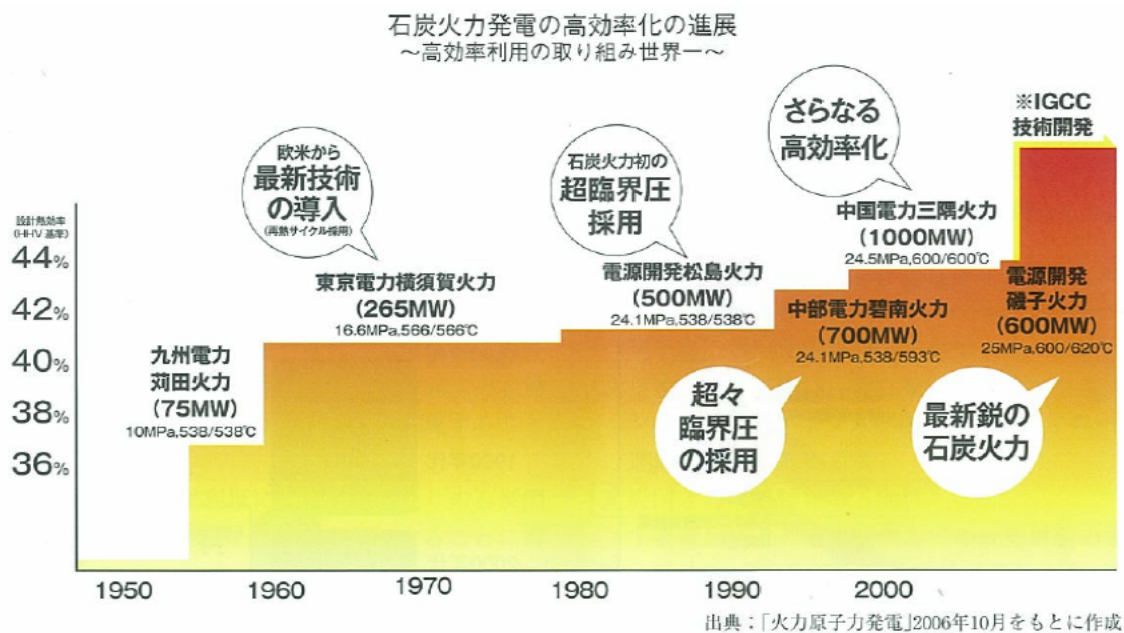
一方、IGCC の効率向上はガスタービン入口温度を高くすることが最も効果的である。図表 6.2.3【6・24】は BTG と湿式ガス精製 IGCC の効率を縦軸に、横軸に実現年（予定含む）を示している。現時点（2009 年）の最高効率で見ると、USC を使用する新鋭 BTG(41%) よりも 1300℃ガスタービンによる IGCC は効率(44%)が絶対値で 3%高くなっている。さらに将来 IGCC への適用が期待されている 1500℃級ガスタービンによる IGCC(48%)では BTG よりも絶対値で 7%高くなる。2 番目の IGCC 性能向上手段は使用するガス精製方式を湿式から乾式にすることであり、絶対値で 2~3%の効率底上げが期待できる。【6・12】 IGCC 開発国プロは当初から最高効率を狙って乾式ガス精製の実用化を目指したが、実証機

では実用化済みの湿式ガス精製を採用している。【6・10】 IGCC では、上記以外に、使用するガス化炉の形式や全体システム構成および発電規模によっても効率が大きく変化するのが特徴であり、各社はそれぞれの検討結果に基づいて開発目標とする IGCC の技術仕様を決定している。

図表 6.2.1 BTG と IGCC の特徴の比較

2009 年現在

	BTG	IGCC
実用化年	1920 年代	1990 年代（欧米のみ）
1 基のサイズ	～1050MW	～350MW
主なシステム 構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ ボイラ ・ 蒸気タービン ・ 環境設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石炭ガス化炉 ・ ガス精製設備（脱硫、脱じん等） ・ 排熱回収ボイラ ・ ガスタービン ・ 蒸気タービン ・ 酸素製造設備（酸素吹きガス化炉、酸素富化空気吹きガス化炉の場合）
発電効率 （HHV 基準）	38～39% @旧世代 BTG 39～41% @新鋭超臨界圧蒸気タービン BTG	38-44 % @1300℃級 ガス ター ビン 46-48% @1500℃級ガスタービン （湿式ガス精製）
普及度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多数の商用機存在 ・ 国内市場は縮減、海外は拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 世界に 4 基の実証兼商用機 ・ 国内：国プロ実証機 1 商用機ゼロ ・ 欧米、中国等で建設計画あり
市場評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 成熟技術 ・ 高い信頼性 ・ 高い経済性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 未成熟技術 ・ 信頼性貧弱 ・ 低い経済性 ・ 高効率 ・ 高環境性



図表 6.2.2 BTG 火力発電所の熱効率の推移 (【6-3】 pp5 より)

海外で稼働している IGCC の効率の現状をみると、1300℃級ガスタービンを用いて稼働している欧米の IGCC 設備は効率向上を狙うことと信頼性の確保や設備費の抑制がほぼトレードオフ関係になることから、全て湿式ガス精製を採用しており、計画効率は 39～42% (HHV 基準)と低く、欧米で普及している BTG の平均効率との差は 1%高い程度である。

IGCC も BTG も発電設備として、如何に安く電気を作るかが経済性の指標になり、いくら効率が高くても設備費が限度額を超えて高くなると経済性では劣ってくる。欧米で IGCC が普及しないのは 1%程度の高効率分の燃費削減程度では設備費の高い分を補いきれないことが背景にある。まだ IGCC に高効率の 1500℃級ガスタービンや乾式ガス精製の採用実績が無いことが原因の一つとして考えられる。

最近では、IGCC の差別化要因として BTG で利用しにくい低融点灰を含む石炭の利用が容易であることや、BTG よりも蒸気タービン用の冷却水量が半分程度に減らせることや、石炭に含まれる灰を嵩張るフライアッシュではなく密度が高く有効利用に適したガラス状スラグとして取り出せること、さらには、地球温暖化問題に対応して CO₂ を分離回収して地中に埋める CCS(Carbon Capture and Storage)技術への適応性の良さなど多面的に優位性をアピールする傾向が強くなっている。

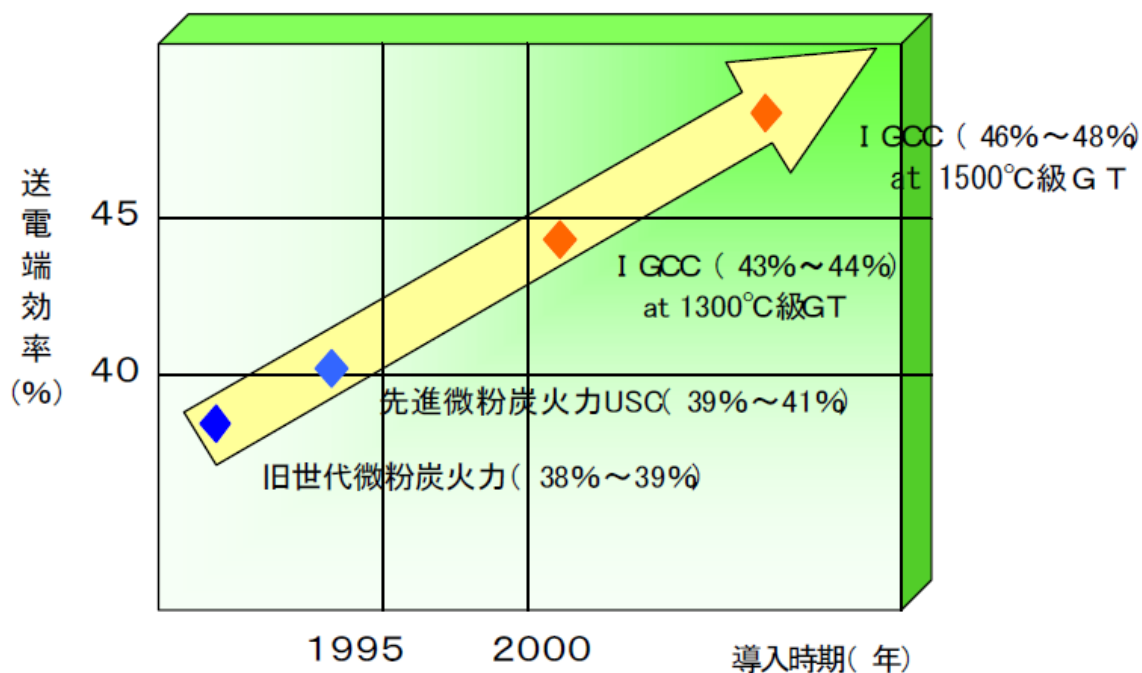


図 2-4 石炭火力の発電効率の向上（効率はHHVベース）

図表 6.2.3 BTG と IGCC の熱効率の推移（【6-24】図 2-4 より）

6. 3 開発の経緯

（1）はじめに【6-4,5,6】

1973 年頃、オイルショックを受けて、国はエネルギーセキュリティの重視を打ち出し、石油依存度を下げるため、石炭に再び着目した。石炭は供給安定性に優れ、価格も安いという特長がある。多くの BTG が建設され始めたが、蒸気条件の向上による効率向上には限界があるとされてきた。そのころ、欧米では大型で高効率の発電用ガスタービンが実用化され始め、石炭をガス化してクリーンな燃料ガスにすることで従来利用できなかったガスタービンの燃料に利用することができれば、飛躍的な高効率が期待できるという試算が出始めた。

【6-11】わが国でも石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発の必要性が唱えられ始めた。

1974 年、IGCC は国プロによる技術開発支援体制の骨格が確立して始まったサンシャインプロジェクトの開発項目に登場した。国は石油に頼り過ぎないエネルギー戦略と国産技術育成の方針から、石炭火力の主力機種である BTG の有力後継機種として国産技術による高効率 IGCC 実用化の必要性を認め、IGCC 開発の国プロをスタートさせた。

一方、同じ頃、重電メーカーの中でも IGCC の検討が始まったとされているが、実現までには多額の費用が掛かりリスクも大きいことは明らかであった。国プロの開始は重電メーカーとして IGCC 開発を本格化するための大きな支援材料となった。各社は国プロ計画に沿って開発を目指すコア技術（製品仕様を特徴付け、性能を左右する中核技術）を提案し、採用されたことで国プロの参加主体となった。但し、この国プロは分担開発方式を採用したた

め、各社は国プロで開発するコア技術と自社費用で開発するコア技術それぞれに対応しなければならなかった。

サンシャインプロジェクトでは工業技術院から委託を受けた石炭技術研究所が IGCC 開発国プロの実施主体となって 5 トン／日^{*1}) 小型試験設備さらに 40 トン／日^{*1} パイロットプラントが建設され運転試験が行われた。その後、NEDO 委託事業として IGC 技術研究組合が開発主体となった噴流床ガス化方式 IGCC の開発に引き継がれ、200ton／日^{*1} パイロットプラントが建設され運転試験が行われた。その後、最後の実用化に向けた関門となる実証機建設までに、要素試験や FS が実施され、2001 年にクリーンコールパワー研究所が開発主体となって 1700 トン／日^{*1} 実証機の建設計画がスタートし、2004 年に着工、2007 年秋から試験運転が行われている。2009 年 12 月時点で試験運転が継続中である。【6-31】

この一方で、重電各社は IGCC を自社の製品メニューとするべく国プロと並行して IGCC 一式の実用化に向けた様々な開発を実施してきた。(各社の技報、レビュー記事に基づく。)

IGCC は技術難易度が高く、2009 年現在、国産技術は未だ実用化に到っておらず実証機の試験運転状況を見守りつつ、商用機建設に向けた検討が進んでいる段階である。海外では 4 基の商用機が建設されて稼働しているが、1998 年の最後の IGCC 運開から 10 年以上新規の IGCC は運開していない。【6-10,11,13,14,15,16,25】

IGCC は国が開発に着手後、30 年以上経過し、その間に市場環境が激変した。特に地球温暖化問題など CO₂ を多く排出する石炭に対する風当たりが強くなり市場が今後どのように IGCC を受け入れるのか不透明な部分がある。

*1) トン／日：本論分の定義では、その設備が 1 日（24 時間）にガス化できる石炭量あるいはその流量の石炭ガスを発生するのに必要な石炭量を意味する。

(2) 国プロ IGCC 開発の歴史 【6-4,5,6】

1974 年 サンシャイン計画の中で IGCC の開発に着手。1980 年代前期までに 20 万 kW 級の開発をする。(補足：当初はガスタービンではなく、過給ボイラを適用すると明記されている。)

1974 年～1983 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 5 トン／日試験設備による開発を実施

1981 年～1988 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 40 トン／日パイロットプラントによる開発を実施。複数企業がコア技術毎に開発テーマを分担し、パイロットプラント運転を通して課題を克服しつつ成功に終わった。

(補足：次期 IGCC 開発の国プロに採用されるガス化方式が流動床式から噴流床式に変更されたが、ガス精製設備は 40 トン／日と同じ方式が採用されたため支援研究として 1990 年までプラントの運転は続けられた。)

1981 年 IGC 技術研究組合設立、2000 年に 250MW IGCC の実用化を目指す。【6-125】

1986 年～1997 年 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 200 トン／日パイロットプラントによる開発を実施。複数企業がコア技術毎に開発テーマを分担し、大規模パイロットプラント運転を通して課題を克服しつつ成功に終わった。【6-12】

1997～1998 年 最終段階である商用規模の実証プラント計画に入る前に徹底した FS が実施された。これまでの技術革新至上からシステムの安定した実証優先に主目的が変わった。ここまで国プロで開発されてきた技術の中で実証機にはガス化技術のみが残った。開発企業を 1 社に絞り込み、企業間の調整の手間を省くことによる設計最適化と、責任の明確化を図る方針になり、実証機メーカーは C 社に決定した。

【6-19,20,22】

2000 年 2009 年度までに IGCC 技術を確立し、2010 年以降に予想される石炭火力の更新に対応する目標が設定された。(その後、国の技術ロードマップでは 2015 年度に 1500℃ 級ガスタービンによる IGCC 実用化を目指す目標が追加) 【6-20, 22】

1999 年～2007 年 250MW 級 IGCC 実現に向けた要素試験が行われた。2001 年には IGCC 実証プロジェクトの実施主体が作られ、設計、各種手続き、建設と進行した。

2007 年 IGCC 実証プロジェクトにて 250MW 級 IGCC の試験運転開始

2008 年 実証試験で 2000 時間連続運転を達成したと発表された。IGCC 技術開発は技術的にほぼ成功したという評価が出始めた。【6-27, 28, 29, 31】

2009 年 実証機は 5000 時間の耐久試験を実施中であり、2011 年まで試験運転が予定されている。【6-102】

(3) IGCC 開発国プロの勃興 【6-4,5,6】

国プロ当初は石炭をクリーンなガスに変換して有効利用するための技術を確立するとして、効率の高い石炭ガス化技術の開発を推進するものだった。そのガス化技術の適用先の一つとして発電用途が含まれていた。特に、国プロ当初は大型ガスタービンが国内では実用化されていなかったのも「過給ボイラ」という石炭ガスを燃やして高温高压ガスを発生させて膨張エネルギーのみを回収する発電方式が検討された。しかし、欧米で大型のガスタービンが実用化されると石炭ガス化ガスをガスタービンの燃料として利用する現在の IGCC のコンセプトに転換された。この頃、日本で開発する石炭ガス化発電もガスタービンを利用するシステムとなった。わが国の IGCC 開発国プロは 1970 年代後半から本格化していったが、1973 年には西ドイツ政府の補助を受けた STEAG 社が短期間ながら世界で最初に石炭ガス化ガスによるガスタービン発電の実証試験を既に実施していた。【6-11】

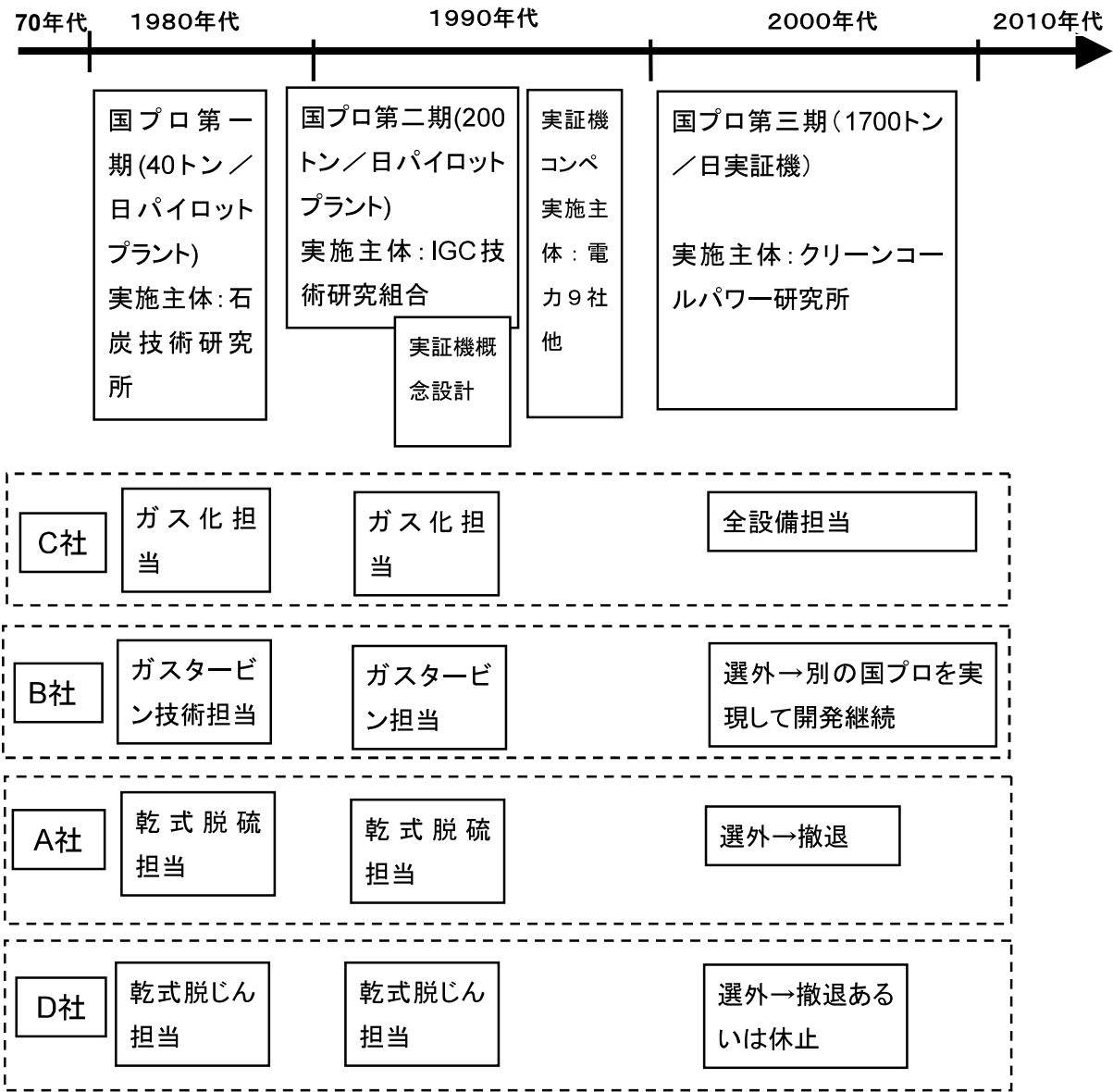
図表 6.3 に IGCC 開発国プロの主要開発参加主体となったメーカーの担当範囲を示す。IGCC 開発においては実証機に到達するまでは、ガス化炉は C 社が担当し、B 社はガスタービンを担当し、ガス精製は乾式脱硫を A 社が乾式脱じんを D 社が分担した。

4 社はコア技術を 1 つずつ分担したが、IGCC システム一式の実用化が成功しても事業化後は 4 社共同によるビジネスを行うという取り決めはなかった。よって、国プロで担当しない設備技術は各社が自前で競合技術を開発するという構図になった。このことは、国プロ IGCC 開発参加各社の協調による相乗効果を産みにくくし、各社も国プロと自社開発の混在となる複雑な開発マネジメントをしなければならなかった。反面、国家レベルで見ると IGCC の各設備技術の開発が国プロに加えて各メーカーでも並行して進められたことから、技術オプシオンである多元性を少ない国家予算で実現できたと見る事が出来る。

なお、重電メーカー御三家の一角を占める F 社は、IGCC の全体制御システムを担当し、

200 トン／日パイロットプラントでは低カロリー石炭ガスに対応するガスタービン燃焼器の開発を担当した。F 社は IGCC の制御に関しては複雑なシステムを統合する制御技術、中でもガス化炉とガスタービンの協調制御技術のような画期的な成果を出した。但し、得意とするガスタービン本体は B 社が担当したため、主機の開発や建設は担当しなかった。F 社は技術提携により IGCC で実績のある大型ガスタービンを提供する能力を保有していて、A 社と組んで IGCC 一貫システムの実用化を目指していた。【6-12】 しかし、IGCC 開発国プロへの関与が他の 4 社よりも小さいので本事例分析対象からは除いた。

IGCC 開発国プロの実施主体は、国から委託を受けた法人が当たったが、各フェーズとも変更された。

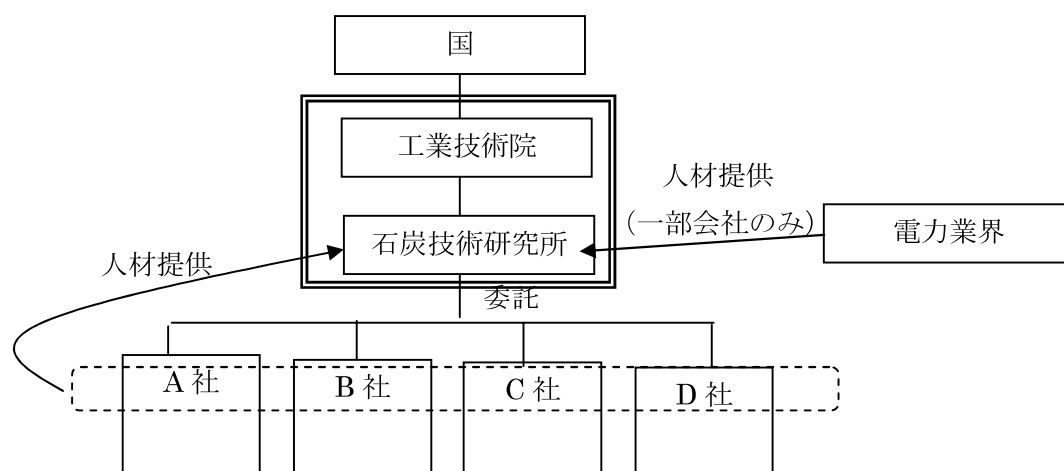


図表 6.3 IGCC 開発国プロの開発メーカーの主要担当範囲

(4) 40トン／日パイロットプラントの詳細経過（第一期国プロ）【6・4,5,12】

1974年に始まったサンシャインプロジェクトでは当初、1980年代前期までに20万kW級の実証機を建設することが目標とされていた。国の工業技術院から委託を受けた、財団法人石炭技術研究所が実施主体となったが、プロジェクトマネージャーには工技院の開発担当官が就き、国が計画を主導するプロジェクトであった。低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトは1975年、パイロットプラント建設に先立って同研究所夕張試験場に5トン／日の小型試験設備を建設して基本的なコンセプトの実現性を確認後、1981年に40トン／日パイロットプラントを建設した。この建設に至る過程で、重電各社が石炭ガス化、乾式脱硫、乾式脱じん、および、ガスタービン燃焼器要素技術を分担開発する体制がスタートした。この分担の狙いは定かではないが、同時期に実施された他の国プロでもIGCCのような技術難易度の高い大型開発は分担方式が採用されているのでこれを継承した形となったと考えられる。国プロの常連であり、発電設備建設ではトップ企業であるC社は中核の石炭ガス化技術を担当することができたが、このことは、最終的に実証機に唯一残るための道筋を作ったともいえる。

40トン／日は所期の開発目標を達成し、次へのステップに繋ぐ役目を果たした。



図表 6.2.1 40トン／日パイロットプラント開発の主要実施体制

(5) 200トン／日パイロットプラント（第二期国プロ）【6・10,11,19】

実施主体は電力9社、電源開発および電力中央研究所が共同して設立した「石炭ガス化複合発電技術研究組合（IGC技術研究組合）」となった。国の基本計画に沿って工技院と実施主体の間に入ったNEDOがプロジェクト全体をマネジメントしていた。

200トン／日のパイロットプラントは40トン／日のスケールアップの位置付けのはずであったが、国内のIGCCに関する文献ではこの関係が記載されることは少ない。委託先メーカーと担当技術の組み合わせは40トン／日とほぼ同じであった。しかし、40トン／日と現在の1700トン／日実証機に技術的な関連性がほとんど無いことが原因である。この最大の

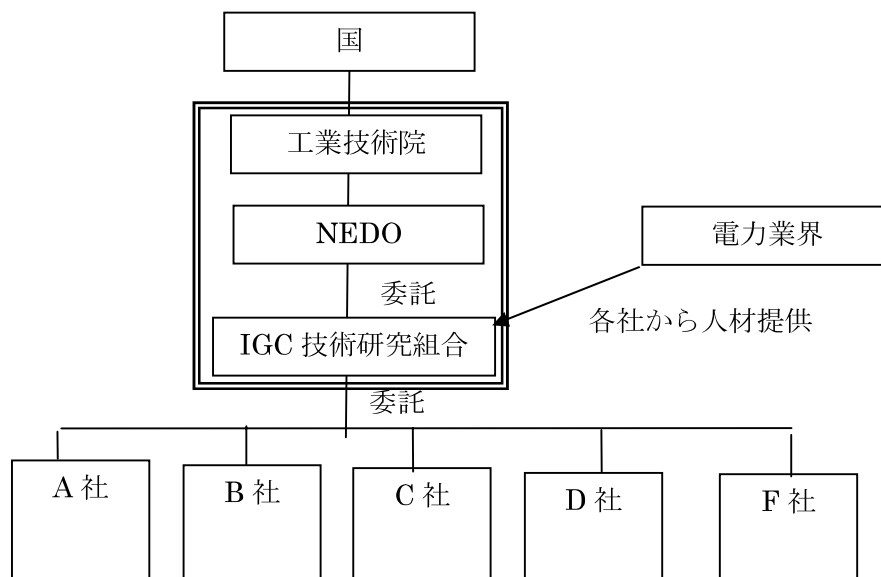
理由が以下に示すガス化方式の変更である。

ガス化炉は 40 トン／日の流動層式とは形式の異なる噴流床式が採用された。技術難易度は高いが噴流床式は機器障害の原因となるタールの発生がほとんど無く、大容量化に適していて負荷応答特性にも優れていることが評価された。欧米の IGCC 開発でも噴流床式が主流であった。C 社は噴流床ガス化炉も別の法人と 1982 年から共同開発を進めてきたが、2 トン／日の実績しかなく、いきなり 100 倍のスケールアップを強いられた。パイロットプラントの試験運転が始まるとトラブルが多発した。原因究明までに時間を要し大規模改造を余儀なくされた。しかし、この大改造以降は重大トラブルも無く、780 時間の連続運転にも成功し、優秀の美を飾ったとされている。

一方、ガス精製設備は、40 トン／日から 5 倍のスケールアップであり、A 社は乾式脱硫、D 社は乾式脱じんを担当した。しかし、200 トン／日は 6 年間の石炭ガス化総運転時間が合計 5000 時間を越えず、このあおりを受けたのが後流のガス精製設備であった。ガス精製設備の試験時間はガス化炉の運転時間の範囲内でしか確保できなかった。40 トン／日からのスケールアップ比率は安全とされる範囲内の 5 倍であったが、スケールアップ後の技術の検証に足る運転時間を十分確保できなかった。

200 トン／日は多元的に乾式ガス精製技術の可能性を大型試験設備で確認する絶好の機会とされ、2 つのバリエーションが試された。1/10 スケールの 20 トン／日規模で C 社がセラミックフィルタ＋固定床式乾式脱硫方式の試験を、D 社が 5 トン／日規模で移動床式同時脱硫脱じん設備の試験を実施した。

200 トン／日ではガスタービンが設置されることになり、40 トン／日でガスタービン燃焼器開発を担当した B 社が小型ながら国産ガスタービンを製作して収めている。国内初の石炭ガス化ガスによるガスタービン発電を行ったのがこの 200 トン／日であった。なお、ガスタービンについては、低カロリーで NO_x 発生の原因となるアンモニアを含む石炭ガスの低 NO_x 燃焼技術の開発を目的として高性能燃焼器試験設備も設置され、C 社と F 社も試験を行なった。



図表 6.2.2 200 トン／日パイロットプラント開発の主要実施体制

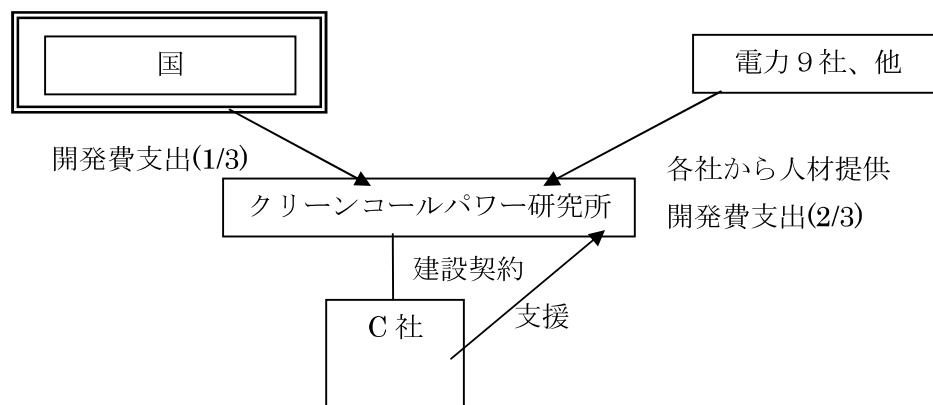
(6) 実証機（第三期国プロ）【6・19～25】

200 トン／日パイロットプラントが終了したのは 1996 年度であったが、その終了前から実証機に向けた概念設計による机上検討が N E D O から委託を受けた電力 9 社を中心とする実証機選定主体を中心に進められていた。開発の最終段階となる実証機の選定では、これまでのパイロットプラントを踏襲した各社分担方式から、A,B,C,D 社への一括発注ケース、C 社 & A 社などの様々な組み合わせのケースが候補となり、F 社を含む各メーカーに技術検討と設備費試算を含む FS が委託された。

最終選考基準については、「最も経済的なシステム提案であること」であったことが、選考後に明らかにされている。しかし、海外 IGCC の開発状況から、石炭ガス化炉については海外にも信頼性の高い技術は存在しないとの評価が根強く、IGCC 開発＝石炭ガス化技術の開発と言われる程、IGCC の中で象徴的設備と位置付けられていた。よって、200 トン／日を成功させた C 社の国産技術によるガス化炉を採用する流れは非常に強く採用は一貫して揺るぎ無かった。一方、ガス精製は海外技術であるが実績の豊富な湿式脱硫が採用された。ガスタービンも国産技術である C 社製が採用された。実施主体は C 社に一括発注することを決めた。この背景として、IGCC システムの複雑さをカバーするには設計段階での十分な摺り合わせが必要であるが、パイロットプラント開発での各社分担方式における設計最適化の難しさの反省から同一メーカー内で実施したほうが効率的であるとされたこと、国プロを失敗させないためメーカーにも製作責任を持って取り組ませる必要があること、さらに、C 社が全てを 1 社で提供できるまでに技術力を付けてきたと評価されたことが挙げられる。実証機選定が終了した時点でこれまで国プロに参加してきた他のメーカーは脱落した。

国プロでは IGCC に適したガス化炉を開発するということで、世界にも例のない空気吹き噴流床式のガス化炉が採用されたが、C 社は 200 トン／日に続く実証機の選考中に、一旦 24 トン／日にスケールダウンした小型プラントを自社内に建設して基礎技術を固めるとともにシステム一貫試験による信頼性の確認を行い実証機選定主体を安心させている。

実証機は 2001 年に実施主体が設立されてから設計、建設が進み、2007 年暮れから試運転が始まった。【6・19、30、31】 結局、1986 年の 200 トン／日パイロットプラント計画開始から数えると 2007 年の実証機の試運転まで、21 年の歳月が掛かったことになる。しかし、2008 年の夏には連続 2000 時間の運転に成功したことが発表されている。2009 年には炭種適合試験や 5000 時間耐久試験などが計画（一部実施済み）されている。



図表 6.2.3 IGCC 実証機主要開発体制

(7) 実証機での乾式ガス精製の不採用について

実証機には湿式脱硫が採用されたが、このことが C 社一括方式への流れを作ったと考えられるので、その背景を分析した。

最大の理由とされているのは乾式ガス精製の技術リスクの高さであり、特に乾式脱硫に関するものであった。国内で実証機選定が行われていた頃、欧米では既に大型の実証機兼商用設備が稼動していたが、ほとんどは湿式脱硫を採用していた。一方、乾式脱硫を採用した米国のピニオンパイン IGCC は始めから石炭ガス化炉のトラブルが多発して連続運転ができず、IGCC としての利用は取り止めて天然ガス焚きガスタービン複合発電設備として利用されている。【6・15】このトラブルの原因は乾式脱じん設備に採用されたセラミックフィルタの不良とガス化炉からの灰の排出不良であり、乾式脱硫が原因ではなかった。また、全ガス量の 10% をバイパスして試験するため、移動床式の乾式脱硫設備を付設しているタンパ IGCC では、トラブル内容は明らかにされていないが乾式脱硫設備の試験が実施されないまま今日に至っている。このように IGCC 技術で先行している米国でさえ乾式脱硫を組み込んだ IGCC の信頼性を実証できなかった。日本の実証機で乾式脱硫が採用されれば世界初の乾式脱硫による IGCC 実証の名誉を得ることができたが、技術リスクをガス化炉だけに絞るという国プロの方針の前に乾式脱硫は不採用となった。

もう一つの不採用の理由としてシステム合理性の問題が挙げられる。C 社のガス化炉出口には炭素分を多く含む未燃チャーを回収してガス化炉にリサイクルし、ガス化効率を少しでも高くするために乾式脱じん設備が設置されている。200 トン／日ではこの設備に脱じん効率の低いサイクロンと電気集じんの組み合わせで対応していたが、実証機では技術が進展した脱じん効率の高いセラミックフィルタの採用が予定されていた。【6・22】ガス化炉の後流に設置される A 社の乾式脱硫設備は流動層式のため脱硫剤の磨耗による飛散があるため煤じんを発生するので、その後段に再び脱じん設備が必要になり、システム合理性からみて最適な配置ではないことが指摘されるようになった。さらに、200 トン／日では、後段の移動床式乾式脱じん設備で取りきれなかった飛散脱硫剤がガスタービンに流入して翼に付着する障害が生じていた。その事実が公表されたのは 200 トン／日の試験が全て終わった後であり、200

トン／日運転中に対策を立てて検証する機会が無いまま悪評だけが残る結果となった。

最後の理由として考えられるのは、乾式脱硫と湿式脱硫のコスト差である。乾式脱硫は開発中であり、かつ、多くが高温対応機器で構成されるため、多くの商用実績があり中低温対応機器で構成される湿式脱硫よりも設備費が高くなってしまい、総開発コストが厳しく抑制されていた状況下で敬遠された可能性がある。

以上の理由により、実証機選定主体は長年国プロで開発を進めてきた乾式脱硫の採用に拘らなくなった。その結果、海外技術ながら実用化済みの湿式脱硫を採用することになった。湿式脱硫は、どのメーカーでもライセンスを受けることができれば建設できるため C 社が担当することで、ガス化炉とガスタービンも含めた C 社一貫供給体制となった。

6. 4 IGCC の市場環境変化

IGCC 開発国プロは当初、1980 年代前期までの実証を目指していたが、開発難易度の高さが分かるにつれて見直され、2000 年頃の実用化に目標が後ろ倒しされた。さらに 2000 年には 2010 年以降の商用化を目指す方針が打ち出された。このような実用化時期の後ろ倒しとなった 2 つの要因について分析した。

一つは、IGCC 開発の契機となったオイルショック以降、皮肉にも石油の値段は低位で安定してしまい、石炭はさらに低価格で安定してしまったため、発電効率の向上によって得られる燃費改善効果の経済的インパクトが小さい状況が続いた。その間、これまで新しい発電技術を先導的に導入して来た電力会社の経営環境に大きな変化が生じた。1990 年代中盤からの国の規制緩和の動きであり、IPP(電力卸会社)の出現、料金の値下げ圧力、需要の伸び悩みなどの逆風に直面した。電力業界は技術開発よりも収益確保に主眼を置くようになり、高コストの IGCC を将来技術育成の観点から経済性に目を瞑ってまでして早期導入する動きが萎えて行った。よって、IGCC を当初の国の計画通り実現するという目的から技術導入をベースにした取組みを選択した国内メーカーに取っては当てが外れた結果になった。

もう一つは、海外 IGCC が信頼性と経済性の弱さから普及が進まなかったことにある。米国で最初の IGCC 実証機が終了した直後の 1990 年頃は日本の IGCC 技術は欧米よりも大きな遅れがあった。もし、欧米の IGCC 市場がスムーズに立ち上がり、世界中で IGCC が建設されて普及していたら、日本は過去の成功パターンどおり技術導入に方針転換して市場ニーズに応える動きが活発になった可能性がある。しかし、欧米の実証機は全てのプラントでトラブルによる停止を頻発し、信頼性が不十分と言う評価を覆すことができなかった。さらに、当時最新鋭とされたガスタービンは 1300℃級であり、最新鋭の BTG に対して効率でさほど優位性が無く、燃費低減効果だけでは設備費が高い分を補えなかった。さらに、世界の IGCC には民間資本だけで建設されたプラントはまだ一基もないことが示すように【6-10,46】、欧米の IGCC は公的支援が実証リスクの面倒を見るという構図であった。結果的に IGCC の市場が広まるような状況にはならず、日本は時間をかけて IGCC を開発する計画を選べた。

現在でも IGCC は設備費が高くて効率向上に見合う経済メリットが見出せないとされる評価を覆すには至っておらず、市場は形成されていない。最近では地球温暖化問題が逆風とな

り石炭の利用そのもの前途も厳しい状況になりつつある。今後は石炭から発生する炭酸ガスを減らすため、炭酸ガスを分離回収して地下に貯留する CCS(Carbon Capture and Storage) のような新たな対応が必要になると予想される。IGCC はこの CCS に対して BTG よりも適合し易いとされ、CCS 対応ニーズの出現を IGCC にとってプラスの機会と捉えて実用化を推進しようとする動きが出ている。【6-32】

6. 5 IGCC 開発における国プロの評価

国が IGCC 開発国プロを進めるのは将来社会的に必要とされる革新的な発電技術を確立しておくためと言える。一方、メーカー各社にとっては新事業の種であり、火力発電建設を主力事業としている重電メーカーにとっては重要度の高い事業化活動であった。

従来、日本における発電技術実用化の成功パターンは、客先ニーズに基づき国内重電メーカーが先行する欧米企業から最新技術を導入して、即、市場投入し、市場で経験を積む中で技術の改良に取組み、やがて技術導入先と肩を並べ、独り立ちしていくというものであった。技術提携内容を対等な立場とする条件に契約変更した時点で、自社技術を標榜するようになる。IGCC 開発国プロは大型国プロ開発制度が確立されて浸透していく過程と平行して進められた。中核となる石炭ガス化技術と乾式ガス精製技術を基礎から開発して、少なくともガスタービンを除く残りの設備をオール国産技術で実現することを狙って始まった。結果的に年数は掛かったが、国産のガス化炉を実用規模まで開発できた上、IGCC のガスタービンが別の国プロの貢献【2-23】【6-10】もあって国産技術で実現した。よって、乾式ガス精製を除いて技術的には初期の目標を達成できたと言える。

IGCC 開発国プロに参加した重電メーカーは国プロの中で担当技術の開発を進めるとともに、IGCC に必要な残りの技術については自社で技術開発したり、海外から技術導入したりして、独自の IGCC システム一式として実用化活動を行ってきた。メーカーが IGCC 開発に 20～30 年の長期に亘って挑戦を継続できたのは国プロに参加していたことが大きく、開発継続に必要な社内からの支援の根拠となっていたと考えられる。また、国プロに参加すれば資金的な支援も受けられるので二重に開発活動の推進力になったと言える。一方で、実用化目標時期や基本的な開発目標など重要な決定は国が決定すること、年度単位の予算執行制度によって目先の成果を要求されること、および、実施主体を頂点とするピラミッド型開発体制による一方向指示系統下ではメーカーサイドからの意見、提案が反映され難いことなど、国プロの弊害と見られる硬直性や非合理的な面もあった。

6. 6 海外の IGCC 実用化状況と日本への影響【6・10,11,13,25,46】

ここでは海外の IGCC 開発状況と日本の IGCC 開発に与えた影響について述べる。

世界で最初の IGCC の実証運転は 1973 年、西ドイツ（当時）の STEAG 社がケラーマン発電所内で実施したとされている。当時、それぞれが実用化されていた、化学原料製造用固定床ガス化技術と湿式ガス精製とガスタービンをつなぎ合わせたもので、170MW の規模があったが、現在の IGCC のような各設備・機器を高度に統合したシステム構成にはなっていなかった。当時の西ドイツ政府も資金的に支援したが、固定床式ガス化炉のガスに含まれるタールの低温部での析出によるトラブルが続発し、問題を解消できないまま 3 年という短い期間のプロジェクトに終わった。しかし、石炭とガスタービンを結びつけたシステムの可能性を示した点では先駆的なプロジェクトとされている。

実質的な IGCC 開発の出発点として評価されているのは米国で 1981 年から始まった 120MW 級のクールウォータープロジェクトである。【6・12】このプロジェクトは IGCC に適した噴流床式ガス化炉を採用した世界初の IGCC 実証機である。システム構成の統合・最適化が進み、現在の IGCC 商用機のコンセプトを最初に実証したプラントとされている。米国の国プロとして実施されたが、日本の電力会社と重電メーカー等はこのプロジェクトに出資して設計レビューや運転等に参加して知見を持ち帰っている。このプロジェクトは 1984 年から 6 年間に亘り様々な試験運転が行われ、当初はトラブルが多発したものの、改良を施し、IGCC の発電設備としての可能性を検証するなど所定の成果を挙げて成功裡に終了したとされている。ここで採用されたガス化炉は重質油のガス化で多くの商用実績を有する Texaco 式噴流床石炭ガス化炉であり、Texaco 社は世界の IGCC 開発の先頭に立った。

クールウォーターの成功を契機に世界中で大型 IGCC 実証機建設の動きが起った。表 6.6.1 のように現在稼動している 4 機の IGCC 実証兼商用機が各国の国プロによって建設され、1994 年から 1996 年の間に運転が開始された。いずれも大なり小なり多くのトラブルが発生したが、現在は概ね克服して、商業運転に入っている。欧米のこのような状況にも拘らず、日本での実証機計画は、加速されることもなく、1996 年の 200 トン／日パイロットプラント終了から実証機の試運転開始の 2007 年まで 10 年以上掛けた。この理由として、実証機計画策定時期の 1997 から 1998 年頃、丁度、海外で先行している IGCC プラントがいずれも大きなトラブルに見舞われて頻繁に改造や修理が施され、信頼性の証となる連続運転時間が伸び悩むなどの状況が伝わってきた。これを見て日本の IGCC 開発国プロ主体が慎重になったものと考えられる。結果として、信頼性に着目して時間をかけて開発をしていく方針を取ったことは適切であったことになり、遅ればせながらも大型実証機を建設し、2 年目には 2000 時間の連続運転を成功させるなど、技術開発に欧米の失敗事例を教訓として活かすことが出来たと言える。

表 6.6.1 世界の IGCC 稼働状況 (【6-10】表 1-3-1 より)


表1-3-1 海外IGCCプロジェクトの最新動向


プロジェクト	Demkolec (オランダ)	Wabash River (アメリカ)	Tampa (アメリカ)	Puertollano (スペイン)
方 式	シェル炉 (ドライフィード/酸素吹き) 湿式ガス精製	ダウ炉 (スラリーフィード/酸素吹き) 湿式ガス精製	テキサコ炉 (スラリーフィード/酸素吹き) 湿式ガス精製	ブレンフロー炉 (ドライフィード/酸素吹き) 湿式ガス精製
プラント出力	発電端284MW (送電端253MW)	発電端296MW (送電端262MW)	発電端322MW (送電端250MW)	発電端335MW (送電端300MW)
実 施 主 体	Demkolec	Global Energy, PSI Energy	タンバ電力	Elcogas
スポンサー	・オランダ発電事業者連合SEPにより設立されたデムコレック社	・Global EnergyとPSI Energy ・DOE (CCT-IV) から50%の補助金 (最終的には41%補助)	・タンバ電力 ・DOE (CCT-III) から50%の補助金 (最終的には26%補助)	・EUの共同プロジェクトとして設置されたエルコガス社 ・ECから約9%の補助金
スケジュール	1990年 着工 1994年1月 実証試験開始 (GT不具合により実証試験1年延長) 1998年1月 商用運転開始	1990年9月 着工 1995年8月 石炭ガス化開始 1995年11月 実証試験開始 (試験期間3年間)	1994年7月 着工 1996年7月 ガス化運転開始 1996年9月 実証試験開始 (試験期間4年間)	1993年4月 着工 1996年10月 天然ガス炊試運転開始 1997年11月 石炭ガス化開始 1998年3月 石炭ガスでGT運転開始
運 転 状 況	(主要なトラブル) ・大塊スラグによるスラグ取出部の閉塞 ・GT燃焼器の燃焼振動 ・セラミックフィルタの破損 (運転実績) ・総運転時間: 15000時間 (H10/12月末) ・最大連続運転時間: 1050時間 (H11/10月末) (その他特記事項) ・低品位炭や石炭コークスによる低コスト化を検討中	(主要なトラブル) ・シンガス熱交換器管の塩素濃縮と部材の初期残留応力による応力腐食割れ発生 ・セラミックフィルタの破損 ・精製ガス中の塩素によるCOSコンバータ触媒の劣化 ・GT燃焼器ライナーにクラック (運転実績) ・総運転時間: 14275時間 (H11/10月末) ・最大連続運転時間: 2200時間以上 (H12/10月末)	(主要なトラブル) ・GGHチューブブリークによるGT損傷があり現在GGTを全て撤去 ・スクラバー出入口部の生成ガス配管エロージョン ・シンガス熱交換器の灰詰まり (運転実績) ・総運転時間: 10010時間 (H10/12月末) ・最大連続運転時間: 1250時間 (石炭ガス & LNG) ・ガス化炉累計運転時間: 1278時間 (H11/10月末) ・ガス化炉最大連続運転時間: 1154時間 (H12/10月末)	(主要なトラブル) ・GT燃焼振動により燃焼器バーナ全数取り替え ・GTバーナのオーバーヒートが発生 (運転実績) ・総運転時間数: 593時間 ・最大連続運転時間: 100時間 ・ガス化炉累積運転時間: 1278時間 ・ガス化炉最大連続運転時間: 182時間 (H11/10月末)
送電端効率	・計画 41.1% (HHV) ・実績 —	・計画 39.7% (HHV) ・実績 37.5% (HHV)	・計画 37.8% (HHV) ・実績 39.7% (HHV)	・計画 41.5% (HHV) ・実績 —

6. 7 国内 4 社の IGCC 事業化活動分析

IGCC 事業化のための技術開発は結果的に長丁場の活動になった。各メーカーは自社、市場および競合に対する独自の分析結果から、早期市場化を狙う戦略を立てたり、時間を掛けて実用化する戦略を立てたりと、それぞれが事業化戦略を立てて取り組んできた。IGCC 開発の国プロに参加したメーカーから、主要設備を担当した 4 社の開発活動状況を公表文献等【6・1～227】から分析し、開発経緯、事業化戦略、事業化仮説（＝事業化活動に着手したり、継続したりするための前提となる取捨選択条件）等を探った。結果的に開発継続組と見合せ・撤退組に分かれる結末に至っているが、本論分は単なる失敗・成功の原因分析をするのが目的ではない。戦略を実行するメーカーが事業化仮説に対してどのような対応方法を持って行動してきたのかを明らかにすることが目的のため、下記に示す点に留意して分析を進めた。

- ① 事業化実現のために設定した事業化仮説は何か。
- ② 実施主体は事業化仮説とどう向き合ったか。認識、誤認識、無視、未検知のいずれだったのか。
- ③ 事業化仮説を進んで検証しようとしたか。
- ④ 事業化仮説の検証状況は何か。立証、検証中、棄却のいずれか。
- ⑤ 事業化仮説のリスクに対して代替策を準備していたか。
- ⑥ 事業化仮説が棄却されたときに実行した代替策はどう機能したか。

また、リサーチモデルを用いて事業化活動に関するマイナス要因とプラス要因の内容と成功可能性へのインパクトを代表的な開発ステージ単位にまとめて追記する。さらにプラス要因とマイナス要因の差異をそのステージの事業化活動の成功可能性の変化として矢印（）をモデルに追記した。

次に、事業化仮説に対する主体性の状況を確認するため、事業化仮説の検証結果から棄却の場合の対応行動を分析し、主体性喪失が生じているのかどうかを分析した。主体性喪失になっていれば、その箇所を（）で明記して発生の原因と事業化活動への影響を分析した。

各社の事例分析結果から、今後の事業化活動に活かせる知見や教訓を抽出した。

6.7.1 A社の IGCC 開発取組分析結果

（1）開発経緯

A 社は大手重工メーカーとして電力会社向けに従来型石炭火力である BTG の建設を主力事業の一つとしている。特に BTG の中の石炭ボイラに強みを有し、蒸気タービン・発電機は製造しておらず、有力なパートナーである大手重電会社の F 社が担当するかあるいは他のタービンメーカーから調達して設備一式を供給してきた。次世代石炭火力と位置付けられた IGCC についても次期商品とすべく実用化を目指していた。

A 社は IGCC システムに関して国内電力会社向けに F 社とパートナーシップを組んで実用化を狙っていた。A 社は重質油燃料ではあるが、化学原料製造用に海外ライセンサーの技術

を導入してガス化炉を建設した実績が多数あった。そのライセンサーが米国政府の支援を受けて IGCC の実証プロジェクトを進めることになり、F 社や国内電力会社らとともに米国実証プロジェクトに資本参加した。その実証プロジェクトが所期の成果を挙げたことを受けて、そのライセンサーの技術を日本市場に持ち込むことで早期の IGCC 実現を狙う戦略を立てた。

一方、IGCC 効率向上の鍵を握る乾式ガス精製技術は世界中でどこも実用化していないことから、乾式脱硫技術を開発して石炭ガス化ライセンス技術に独自の技術を付加した IGCC の実用化を狙うべく、IGCC 開発国プロに当初から参加した。A 社の乾式脱硫技術は流動層式である。細かく砕いた脱硫剤を入れた塔の底から脱硫前の石炭ガス化ガスを送り込んで脱硫剤を流動化させて、400℃以上で脱硫剤と石炭ガス化ガスを接触させることで脱硫剤がガス中の硫黄成分を除去する方式である。石炭ガスを冷やすことなく脱硫出来るため、ガスタービンに高温の石炭ガスを持ち込むことができ、IGCC の効率を高くできる。なお、実用化済みの湿式脱硫は常温以下までガスを降温する必要があるため効率が低くなる。

ガスタービン技術については、パートナーの F 社が担当することで経営資源を得意分野に注力する選択と集中を図った。F 社は IGCC 開発国プロでは制御設備担当に回り、中核技術開発ではガスタービン燃焼器の開発に参加したのに留まる。F 社は実機向けには米国 IGCC 実証機で採用された有力海外メーカーのガスタービン技術を担ぐ戦略であった。

このように A 社と F 社の組み合わせはいずれの中核技術ともライセンスを利用するので、開発負担が小さく、かつ、海外で実証済みの技術のため早期実用化が図り易い戦略を選んだといえる。しかし、IGCC は建設コストが高い分、1990 年代の最新鋭 1300℃級の高効率ガスタービンを適用しても経済性は蒸気条件の向上で高効率化してきた BTG に太刀打ちできなかった。さらに、ライセンサーの技術によって建設された米国の 2 基目の実証機兼商用 IGCC は大小多くのトラブルに見舞われ安定運転できるまでに時間がかかり、国内客先の信頼性への疑念を払拭できなかった。結局、実証機をスキップして早期に商用機を建設することを目標にしていたがその機会は訪れなかった。

2004 年ごろ、A 社はガス化技術ライセンサーがその事業を他社に売却した後、契約期間の満期を以ってライセンス契約を円満解消した。これによって、このライセンス技術による IGCC 早期実現の目標は実現できなくなった。A 社は現在、化学原料製造用に独自技術の石炭ガス化炉を開発しており、その開発動向が注目される。

一方、国プロで開発を進めてきた乾式脱硫設備は、実証機選定主体の方針により、実証機には採用されなかった。A 社は現在でも世界最大となる 200 トン／日の大型パイロットプラントまで開発を進めたものの、最終の実証がなされないまま開発が中断された。

A 社の主な開発活動を以下に示す。下線部は国プロによる実施。

(IGCC 開発国プロ関連技術の開発活動)

～1978 年 乾式脱硫技術の事前検討(自主、委託 FS)、開発着手

1974 年～1983 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて要素技術および 5 トン／日石炭ガス化炉向け乾式脱硫技術を開発

1981 年～1990 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 40 トン／日石炭ガス化炉向け乾式脱硫技術を開発

1986 年～1996 年 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 200 トン／日
石炭ガス化炉向け乾式脱硫技術を開発

(石炭ガス化技術の開発)

1986 年～1996 年 米国ライセンサーと技術提携し、6 トン／日石炭ガス化試験設備の技術
開発

1997 年～2002 年 6 トン／日石炭ガス化試験設備によるガス化性能確認試験

(ガスタービン技術の開発：F 社)

1958 年～ スイスのライセンサーと技術提携を結びガスタービンの製造を開始

1982 年～ 米国のライセンサーに提携先を変更(1100℃級)、燃焼器の自主開発

1992 年～ 米国のライセンサーとの提携範囲を拡大 (1300℃級)、燃焼器の自主開
発、実証試験設備による要素開発

1996 年～ 米国のライセンサーとの提携範囲を拡大 (IGCC システム)

1998 年～ 米国のライセンサーとの提携範囲を拡大 (1500℃級)

(2) 分析結果から推測される IGCC 事業化戦略

- ア. IGCC 開発国プロにおいて乾式脱硫設備をスケールアップしながら技術開発を成功させ
続けて、国プロ実施主体の期待に応えることで国プロの最終目標である実証機に進み、成
功させた後、乾式脱硫設備を事業化する。
- イ. IGCC システムの事業化は F 社と組んで、海外の実証済み技術を導入して、他社に先駆
けて実証機を経ずして商用機を建設して事業展開する。さらに、乾式脱硫設備の実用化が
成功したら自社のシステムに組み込んで高効率 IGCC として販売することで市場競争力を
高める。
- ウ. 石炭ガス化技術に対する要求仕様が海外と国内では異なるので、その克服のため、小型
の石炭ガス化試験設備を設置して有力客先の支援を受けて技術の改良と開発に取り込む。

(3) 分析結果から推測される事業化仮説への対応行動

分析結果から抽出した A 社の事業化仮説とその対応状況について図表 6.7.1.1 に示す。

A 社の事業化仮説は全て棄却という結果になった。さらに、事業化仮説が棄却された後の
代替策が仮説③と⑤を除いて検知できなかった。また、仮説③と⑤に対するいずれの代替策
も成功しなかった。A 社は事業化仮説の検証活動を行ってきたのではなく、立証にむけて邁
進してきたと見られ、事業化仮説を棄却の場合も有り得る仮説に過ぎないものとして客観的
に認識していなかったと考えられる。以下に、それぞれの事業化仮説に対する分析結果を示
す。結果的に複数の事業化仮説の棄却によって成功可能性が下がっていき、IGCC 事業化活
動から撤退することに繋がったと考えられる。

ア. 事業化仮説 ①実用化時期

IGCC の実用化時期は、前述のとおり国の方針が変り 2 度後倒しされたため棄却となった。
一メーカーの力が及ばないレベルの話ではあるが、A 社は後倒しの原因となった IGCC 開発

国プロに参加しており一社だけで後倒しに反対することは出来ない環境だったと推測できる。しかし、この後ろ倒しによって、事業化仮説⑤もネガティブインパクトを受けることになったと見られる。

イ. 事業化仮説 ②技術導入

A 社が導入した石炭ガス化技術は実用化済みの IGCC 技術であると説明してもライセンサーの海外 IGCC の運転状況は国内客先の要求品質レベルからみると不十分であった。A 社は小型試験設備で技術の信頼性向上のための開発を実施したが、ライセンサーの実績以上の評価を獲得するのは難しかったようである。

ウ. 事業化仮説 ③、④国プロ対応

実証機選定では、国プロで開発してきた乾式脱硫設備の実証機への採用に全精力をかけるべきだったが、コンペにおける多数のケースの FS 検討や複数実証機建設案への対応も必要になり、力が分散せざるを得なかった。また、急遽、代替策として飛散脱硫剤を除去できる機能を持ったハイブリッドシステムを提案したが、既に実証機が石炭ガス化技術の実証に限定する方針となったため十分な評価がなされないまま、実用化済みの湿式脱硫の採用が決まり、C 社への単独発注の方針の下、他の 3 社と共に実証機から完全に外された。海外技術を担ぐ A 社にとって、乾式脱硫という IGCC を差別化するための戦略技術の実証機会を失ってしまった。

エ. 事業化仮説 ⑤実証機をスキップした早期商用化

A 社は海外で実用化された技術を導入して国内で事業化することで競合他社に先んじて市場展開しようと考えていた。新技術ながら実証機をスキップして商用機としての実用化を目指したが、設備費の割高を効率向上に見合う燃費の節約分では賄いきれず、IGCC の受注に至らなかったようである。折しも 1996 年度の規制緩和による IPP の出現で BTG 設備市場価格がさらに低下した。また、BTG は 1 基で 100 万 kW 規模が提供できるのでスケールメリットを享受できるのに対し、当時 30～40 万 kW 程度が 1 基の最大規模の IGCC は不利だった。国プロ IGCC 開発が進められる中、一社だけ先んじて実用化するためには周到な客先対応方針を立てて取り組まないと埒があかなかったように見受けられる。代替策として海外市場での入札に応募したが、受注には至らなかったようである。

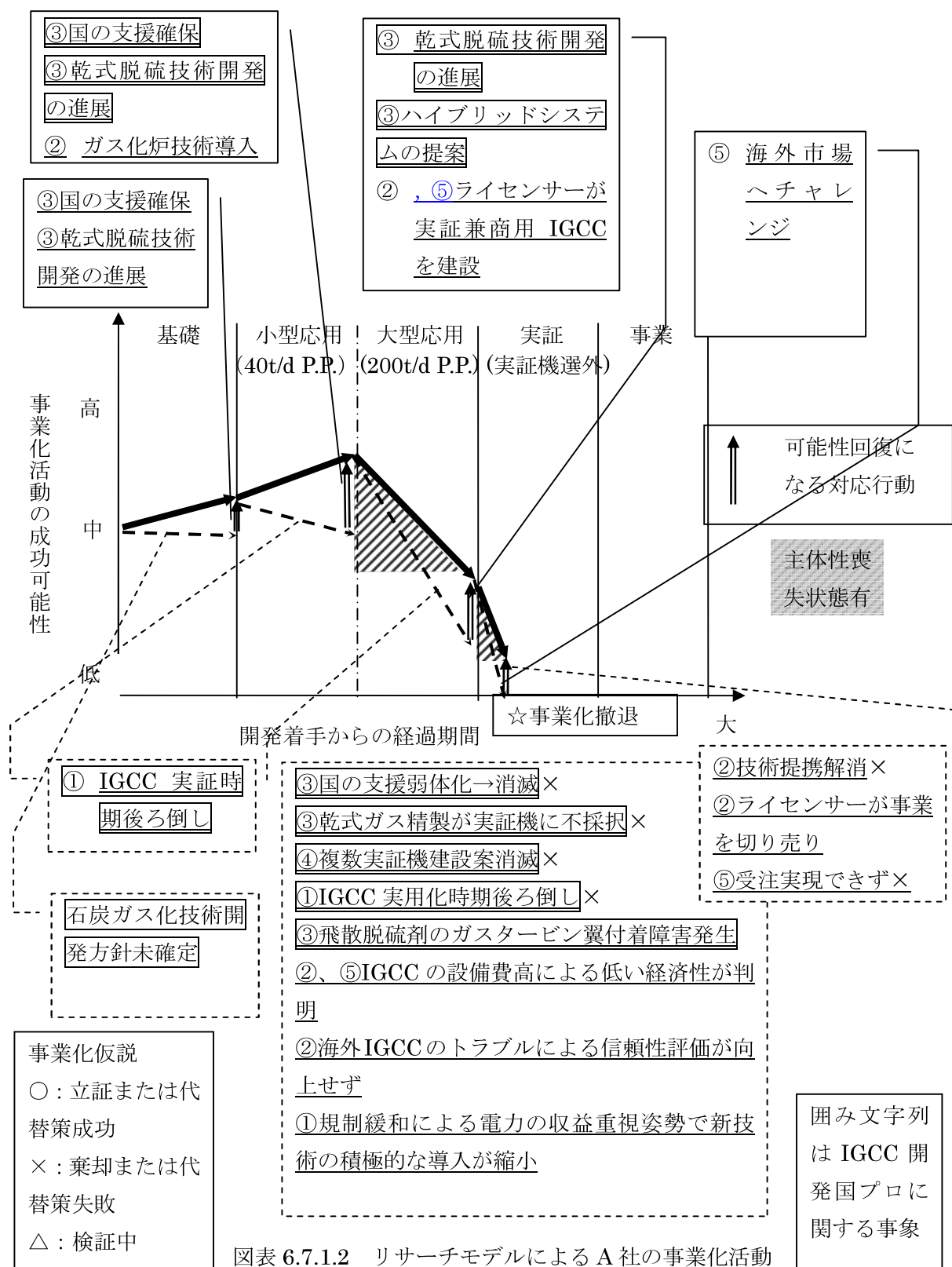
図表 6.7.1.1 A 社の分析結果から推測される事業化仮説への対応

分析結果から推測される事業化仮説	検証結果 (○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察。)	検証後の対応分析(○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：判断の根拠、考察)
①IGCC 実用化時期は当初計画どおりで、遅くとも 2,000 年頃には実用化される。よって、基礎から開発したのでは間に合わなく、技術導入が最適な選択肢である。	× →国産 IGCC の開発に年月を要し、当初の 1980 年代前期までの実証が、2000 年頃の実用化になり、さらに 2010 年以降の実用化と後ろ倒しされた。IGCC 開発国プロには客先である電力業界が全面的に支援していて、抜け駆けしてまで建設する客先は現れなかった。 →石炭価格の低位安定により、BTG は高効率化と大型化の進捗で最も経済的な発電源の地位を確固とし、IGCC 開発の危険性が薄れた。 →電力業界の規制緩和が進み、独立系卸発電業者（IPP）の出現により、IGCC 開発も技術一辺倒から経済性重視の方針へ転換。200 トン／日パイロットプラントが終了後、数年間が実証機方針決定のため徹底した FS と要素試験に費やされた。	× →1 回目、2 回目とも代替策が取られていない。 →IGCC の早期実現を願う論調を複数発表しているが、実現には至っていない。 →海外市場を含めて A 社が IGCC を建設した事例はなく、ライセンス期間が先に満了になった。
②導入した石炭ガス化技術は最良の選択肢である。	× →導入した技術による石炭ガス化炉は化学原料ガス製造分野の世界で圧倒的なシェアを持っていた意味正しい選択肢だった。しかし、米国 IGCC 実証兼商用機でトラブルが多発して不評を買った。 →国内では、IGCC への期待のほとんどが高効率にあり、技術難易度の高い IGCC を開発しているのに対して、効率でやや見劣りする技術と言う評価を受けた。実績で先行している分、性能や基本仕様が公開されていて、競合他社からのネガティブキャンペーンの標的となった。 →A 社は IGCC の欠点である、設備費を下げるには大胆な技術仕様の変更が必要であると分かったが、ライセンス契約下では制約があった。結局、目標コストダウンが達成できなかった模様。	× ライセンス期間満了までは事業化仮説実現を目指して注力した模様。IGCC 向けガス化炉の代替案への転換が遅れた。
③国の支援を受けて開発してきた乾式脱硫技術は、実証機に採用される。	× →国産の石炭ガス化炉による実証機を成功させることが絶対条件となり、高効率化の実証は後回しにすることで、乾式ガス精製の採用は時期尚早として、実証機から外された。	× →200 トン／日以降、新たに実証機を建設したという事例は見当たらない。 →急遽、A 社単独で乾式脱

	<p>→200 トン／日までは乾式脱硫設備は順調に開発が進んだという評価を受けていた。200 トン／日プロジェクトの後半にパイロットプラント実施主体が実施した 200 トン／日と同じシステムによる実証機の設備費（概念設計に基づく試算）は著しく高く、システム見直しのきっかけになった。</p> <p>→実証機で採用される予定の C 社の石炭ガス化炉はガス化炉で発生する煤じんをセラミックフィルタで除去する設備がついているため、その後流に置かれる流動層式の乾式脱硫設備では再度脱硫剤の磨耗による煤じんの発生があるため二重に乾式脱じんをする必要があり、システム合理性上、課題となった。</p> <p>→200 トン／日では、煤じんとなった脱硫剤が D 社の乾式脱じん設備もすり抜けてガスタービン翼に損耗を与えていた。この事実は実証機選定の最中に広がり、不利に働いた。また、環境規制上は問題ないが一部の微量成分を除去できない点も実証機選定主体の心証を害した。</p>	<p>硫と微量成分を除去できる湿式脱じんを組み合わせたハイブリッドシステムによる代替策を提案するも失敗。</p>
④IGCC 実証機を複数立てる可能性があり、国プロで IGCC 一式を担当できる。	<p>×</p> <p>→実証機に向けた FS では様々なケースの検討がなされたが、結局、1 基のみの建設になった。</p>	<p>×</p> <p>実証機は 1 基のみ建設の建設が決まった。</p>
⑤IGCC 実証機を経由せず商用機を実現することで先駆的に事業化を成し遂げられる。	<p>×</p> <p>→現時点まで A 社の商用機建設は実現していない。早期実用化を目指して時間を要する石炭ガス化炉は IGCC で実績のある海外技術を導入したが、そのライセンス契約も解消した模様。</p> <p>→IGCC の早期実用化を必要とする外部環境にならなかった。背景には、石油の長期安定、電力業界の収益重視、海外 IGCC のトラブル多発などネガティブな要因が重なった。</p> <p>→海外の案件発掘活動やインド国での入札に参加しているが、いずれも受注に結びついていない。</p>	<p>×</p> <p>→最近の IGCC 事業化活動に関する動きは検知できなかった。現在は新方式の石炭ガス化技術を開発している。</p> <p>→2000 年頃までは IGCC の早期実現を願う論調を複数発表しているが、実現には至っていない。</p>

(4) 考察

A社の事業化仮説検証結果に関して、マイナス要因とプラス要因、および、事業化活動の成功可能性の変化をリサーチモデルに追記して、図表 6.7.1.2 に示す。



A社の5つの事業化仮説（図表 6.7.1.2 中①②③④⑤）のうち、当初、②と③は期待どおりの展開であった。しかし、200t/d パイロットプラントフェーズにおいて、マイナス要因が一気に噴出ししている。実証機不採択（④のケースも含める）によって③乾式脱硫の実用化が危うくなり、導入した②石炭ガス化技術も課題が顕在化し、①実用化時期も後ろ倒しされたことで成功可能性が急減している。①については前の段階で棄却の兆候が出始めたが、代替策が発動されておらず放置されたといえる。①のような外部環境が検証の主要因となる仮説の場合、代替策を持つことは必須と考えられる。②については事業化仮説として検証は実施したものの、代替策の実施は最後まで見送られた。③④に関しては事業化仮説として認識していなかった可能性が高く、主体的に検証活動を行った形跡がない。特に、仮説③の棄却に対して代替策としてハイブリッドシステムを提案したが、急な提案だったため実施主体が評価するに至らなかったと考えられる。⑤については、海外技術をベースにした IGCC の客先売り込みを図ったが海外 IGCC のトラブルや高コストによって実現しなかった。実証機メーカーから外れた後も海外市場開拓を試みたが実現には到らなかった。このように積極的に検証活動を行ったが、⑤も棄却となった。また、代替策も取られなかった。結局、A社の事業化仮説は全て棄却された。

事業化仮説を仮説と認識せず、仮説棄却時の代替策の入念な検討をしないまま開発を行うことは、「棄却されたら即、事業化失敗とする覚悟を持って取り組む」ことになる。代替策を成功させるためには棄却前から国の支援を得るため適切な代替策を用意して諮っておくことが重要であるといえる。なお、事業化仮説を認識していないと事業化仮説に対する主体性は発揮しようがないため、仮説の検証状況を反映した対応ができない。一方、事業化仮説を認識して主体性が機能していれば、仮説棄却の兆候を早く察知でき、主体性を発揮した早期の代替策の検討が可能になると考えられる。適切な代替案を準備して、棄却決定以前から実行に移すべきものは着手しておくことが重要である。棄却を受けてから対応を開始する場合、代替策を検討する際に国の支援が得られない、選択肢が限られるなど主体性が極度に限定された環境に置かれる主体性喪失状態にあり、不十分で拙速な代替策しか打ち出せない可能性が高い。結果として代替策が上手く機能せず、成功可能性の回復が困難になる。

IGCCのように国プロ実施主体が段階毎に変わり、かつ、実施主体の意向が事業化仮説に大きな影響力を有する場合、事業化仮説の検証を左右する外部環境は大きく変化する。また、事業化仮説が確実に立証されたという判断基準を明確にしておくことが重要である。A社の場合、仮説設定後暫らくは思惑通りの展開になっており、一旦、立証されたものと位置付けてしまった可能性がある。A社の場合、途中段階まで順調だった事業化仮説が最終段階で国プロから外れたこと（仮説③の棄却）が転換点となって開発の縮小に舵が切られた。国プロ実施主体の意向は変化するという前提で、対応策を常に検討して、事業化仮説棄却のリスクを真に立証されるまで活動に組み込んでおく必要があると言える。

（5）総括（分析結果から得られた知見や教訓、コア技術開発の進め方）

事業化仮説③に関して、A社の IGCC におけるコア技術は乾式脱硫技術であり、国プロでは大型パイロットプラントまで開発が進んだが、実証機会が無いままパイロットプラントで終わってしまった。乾式脱硫の実証機採用には技術リスクがあるとされたが、40 トン／日か

ら 200 トン／日にスケールアップしてきたことで設備そのものには大きなトラブル発生はなかった。A 社の対応として乾式脱硫設備の実証機採用に向けた努力は行っただと考えられるが、200 トン／日で発覚した脱硫剤飛散の課題に対して早めに手を打っていれば状況が変わった可能性がある。実証機計画では確実な成功のために技術リスクを石炭ガス化炉に限定するという大方針が出て実証機への採用が見送られたとされているが、実際はコア技術への実施主体の支持が無くなったことで乾式脱硫は外された。この原因として、基礎開発段階ではメーカーがコア技術実用化の成否に関する事業化仮説検証の鍵を握っているが、開発が進展して大型化が進むと資金や試験機会の提供などの支援を行う国プロ実施主体が事業化仮説検証に対して大きな影響力を持つようになる。したがって、メーカーは開発ステージが進むにつれて国プロ実施主体のコア技術への支持を確保するような活動を強化しなければならない。国プロ実施主体の目標実現のために自社のコア技術が必要であることを理解してもらう必要がある。これらの活動が不十分だった結果が支持の喪失に繋がったと考えられる。

事業化仮説②に関して、海外技術をベースにした早期 IGCC 実用化戦略は、戦略立案当時の 1980 年頃に他の発電技術においても広く取られていた手法であり正しかったといえる。しかし、年月が経つとともに、政府の国プロ方針が最初から純国産技術による新製品の実用化へとシフトしてきた。IGCC はこのような時代背景の中で進められた大型開発であり、純国産技術の開発が進むにつれて、海外技術による早期実用化はマイナーな位置づけとなってしまった。よって、A 社もこの状況を察知して戦略を転換して早めに自主技術開発に方針を転換していれば別の IGCC 開発国プロとして国の支援を得ていた可能性があったかもしれない。

技術導入の際、海外技術の見極めを十分行うことや様々なリスクを考慮した契約条件にて締結することなど、一見当たり前のようだが、実際は難しい面が多くある。よって、導入した技術では所期の目標を達成できない場合に備えておくことが重要であり、主体的に、かつ、早めに検証を行うことも大切である。同様なことは実施主体に決定権を握られていた国プロでの乾式脱硫技術についてもいえる。常に棄却になることを想定して、そうならないように対応することと同時に棄却になったときの対応を致命傷になる前に発動できるような準備が必要と言える。開発が進み設備やコストが大型化する中では外部環境の変化に伴い方針を見直すということはサンクコストの大きさゆえに決断されにくい。A 社の場合、石炭ガス化技術の早期軌道修正が出来なかったことが致命傷となったと見られる。計画段階から事業化戦略に事業化仮説への対応が明記されていることは理想であるが、当初は隠れていて発見が難しい事業化仮説もある。事業化活動着手後であっても、隠れた事業化仮説を探り出して代替策を準備しつつ、早期に検証していく活動が必要である。

6.7.2 D 社の IGCC 開発取組分析結果

(1) 開発経緯

D 社は大手総合重工メーカーであり、大型プラント技術開発の実績を多数有する。D 社は IGCC 高効率化の鍵とされる乾式ガス精製設備のうち、石炭ガス中の煤じんを 400℃上の高温で除去可能な乾式脱じん設備の開発を IGCC 開発国プロで担当した。D 社の乾式脱じん設

備はグラニューラと呼ばれる小径の耐熱性粒子を充填した移動床（粒子充填層を形成しながら捕集した煤じんを脱着させない様にゆっくりと下降させていく方式）にガスを通過させて煤じんをグラニューラに捕集させる方式である。開発着手の 1970 年代当時、高温脱じん技術にはサイクロンや電気集塵機が実用化されていたが、効率の低さの面で IGCC に採用できなかった。また、セラミックフィルタと呼ばれる耐熱セラミックス等で形成した高性能ポーラスフィルタは開発段階であり、コストや熱損失の小ささの面で将来性は高いものの大型パイロットスケール試験に直ぐに適用できるレベルに至っていなかった。D 社は国の IGCC 開発計画に対応するため、移動床式乾式脱じんを選択したと考えられる。

さらに、D 社はこの乾式脱じん設備を発展させて、グラニューラに脱硫機能を付加した材料を適用して、同時に脱硫もできる設備の開発も進めていた。

一方、国内の石炭利用技術開発を推進している財団法人らと共同で石炭部分燃焼炉という独自技術による石炭ガス化技術を開発していた。

D 社は大型ガスタービン技術も海外メーカーとの技術提携により獲得していることから、IGCC のコア技術全てに知見を持っていた。つまり、IGCC システム一式の事業化も狙えるポテンシャルを持っていた。しかし、IGCC 開発国プロの実証機を逃してから、中核技術である乾式脱じん設備を組み込んだ IGCC 事業化活動について公式な発信が見当たらず、独自技術による石炭ガス炉についても実証機建設の動きが無く、IGCC については、撤退あるいは実用化活動見合わせ中と受け取れる。

D 社の主な開発活動を以下に示す。下線部は国プロによる実施。

（IGCC 開発国プロ関連技術の開発活動）

1976 年～1978 年	グラニューラ移動床式乾式脱じん設備開発着手	自社研究
1979 年～1983 年	他社と乾式脱じん設備の共同研究実施、但し、IGCC 以外の用途向け	
1979 年～1983 年	<u>低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 5 トン／日石炭ガス化炉向け乾式脱じん技術を開発</u>	
1981 年～1990 年	<u>低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 40 トン／日石炭ガス化炉向け乾式脱じん技術を開発</u>	
1986 年～1996 年	<u>噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 200 トン／日石炭ガス化炉向け乾式脱じん技術を開発</u>	
1991 年～1995 年	<u>噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 4 トン／日石炭ガス化炉向け同時脱硫脱じん技術を開発</u>	
1997 年～1998 年	移動床方式ガス精製技術の開発研究にて同時脱硫脱じん技術の高性能化技術開発（研究室レベル）	

（石炭ガス化技術の開発）

1984 年～1988 年	300kg／時ベンチスケール常圧石炭部分燃焼技術の開発	財団法人との共同開発
1985 年～1989 年	1 トン／時パイロットスケール常圧石炭部分燃焼技術の開発	財団法人との共同開発

- 1988 年～1990 年 2.5 トン／時パイロットスケール常圧石炭部分燃焼技術の開発 財団法人との開発研究
- 1992 年～1996 年 高効率石炭複合発電システムへの適用を目的とした 7 トン／日加圧石炭部分燃焼要素技術の開発 財団法人との共同開発
- 1994 年～1999 年 高効率石炭複合発電システムへの適用を目的とした 25 トン／日パイロットスケール加圧石炭部分燃焼技術の開発 財団法人、民間企業との共同開発

(ガスタービン技術の開発)

- 1986年 スイスの ABB 社（現 ALSTOM (Switzerland)）と技術提携を結び大型ガスタービンの製造を開始
- 1997年 ガスタービン研究所を設立
- 1998年 ガスタービンの実機運転による実証と実機ベースの研究活動を開始

(2) 分析結果から推測される事業化戦略

- ア. IGCC 開発国プロにおいて乾式脱じん設備をスケールアップしながら技術開発を成功させて、国プロ実施主体の期待に応えることで国プロの最終目標である実証機に進み、それも成功させた後、乾式脱じん設備を事業化する。
- イ. IGCC システム一式の事業化については D 社が独自に開発を進めるガス化技術と技術導入したガスタービン技術による事業化を目指す。

(3) 分析結果から推測される事業化仮説への対応

図表 6.7.2.1 に分析結果から抽出した D 社の事業化仮説と、その対応状況を示す。D 社の対応では、乾式脱じん設備に関する事業化仮説が棄却された後の代替策への転換が上手く行っていないことから、乾式脱じん設備は実証機で実現しないと実用化の道は無いと判断していた可能性が高い。一方、セラミックフィルタへの対抗策とも見られる同時脱硫脱じん技術も実用化に至っていない。

図表 6.7.2.1 D 社の分析結果から推測される事業化仮説への対応

分析結果から推測される事業化仮説	検証結果 (○：立証された。×：棄却になった。 △：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察。)	検証後の対応分析 (○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：判断の根拠、考察)
①グラニユラ移動床式乾式脱じん技術は、最も適した技術である。	× →1980 年代前期までに IGCC 実証を実現するという国の計画に沿って選択した時点では正しかったが、その実現が後ろ倒しになるとともに、1990 年代になると欧	× →乾式脱じん設備に脱硫機能を付加した同時脱硫脱じん技術開発に着手した。セラミックスフィルタには真似の出来ない機能であり、4 ト

	米の IGCC 実証機が採用したコンパクトで高性能のセラミックフィルタが実用化された。	ン／日級試験設備にて小規模ながら性能を確認できた。しかし、その後、次のステップに進んだ形跡は見られない。
②国の支援を受けて開発してきたグラニューラ移動床式乾式脱じん技術は、実証機に採用される。	× →IGCC システム実証を確実に達成するため、実証機の技術リスクは石炭ガス化炉に絞られ、既存技術である湿式ガス精製技術が採用された。	× →その後、他で実証機会を得たという形跡は見られない。
③IGCC 実用化時期は当初計画どおりで、後ろ倒しにならない。	× →当初、1980 年代前期までの実証が、2000 年頃の実用化に、さらに 2010 年以降の実用化と後ろ倒しされていった。この背景として、石炭価格の低位安定、BTG が高効率化と大型化の進捗で最も経済的な発電源の地位を確固とし、IGCC 開発の危急性が薄れた。 →200 トン／日パイロットプラント終了後の数年間、IGCC 開発を進めるかどうかを含めた実証機方針決定のための徹底した FS と要素試験に費やされた。計画が遅れるほどセラミックフィルタの実績が増えていき、不利になった。	(1 回目の後ろ倒しは判断保留) →1 回目の後ろ倒し後に独自技術の石炭ガス化炉の開発を開始しており、2000 年初頭を実用化年と見ていた可能性がある。 × (2 回目の後ろ倒し) →2 回目の後ろ倒しは代替策が検出できない。 →IGCC のような大型開発では実証機会の実現は国にとっても実施の承認や予算獲得等で大きな関門となり、一メーカーとしては国の方針に従わざるを得なかったと考えられる。 →IGCC 実証機計画対応の他に、IGCC 早期実用化に向けた主体的な動きは見当たらない。
④自社ガス化炉を用いた IGCC を実用化できる。	× →実証機に向けた FS では D 社のケースも検討がなされたが、結局、C 社システムによる 1 基のみの建設になった。	× →D 社の石炭ガス化炉を適用した IGCC の FS を実施して、その優位性をアピールし、次のステップへのスタンバイ状態にあることを表明した。しかし、現在まで実現には至っていない。

(4) 考察

D 社の事業化仮説検証結果に関して、マイナス要因とプラス要因、および、事業化活動の

成功可能性の変化をリサーチモデルに追記して、図表 6.7.2.2 に示す。

D 社の 4 つの事業化仮説（図表 6.7.2.2 中①②③④）は当初、①と②は期待どおりの展開であった。しかし、200t/d フェーズにおいて、大きなマイナス要因となった競合技術のセラミックフィルタが実用化されると D 社の脱じん技術事業化仮説①は棄却の兆候がでた。③の実用化時期も後ろ倒しされたことで棄却となり成功可能性が急減している。

このとき、D 社の脱じん技術を活かした同時脱硫脱じん技術の開発で対応しようとしたと考えられるが、開発フェーズがまだ浅く国プロの実証機計画が求める信頼性のレベルに達していなかった。結局、乾式ガス精製を避けた実証機での不採択によって②も棄却となった。D 社は①が棄却された場合の代替案を検討はしていたが、準備が間に合わなかったといえる。つまり、事業化仮説に対して主体性を発揮できない喪失状態だったといえる。この背景にはこれまで開発してきたコア技術への投資と代替策への投資の配分を適切に行い、代替策の必要になるタイミングで適切な提案をできるようにしておかなければならないことを示している。実証機への不採択後は、同時脱硫脱じん技術の進展に関する情報は見当たらなかった。その後セラミックフィルタ技術が進展し普及が広がったことで D 社の脱じん技術は IGCC 開発からは撤退せざるを得なくなったと考えられる。

D 社は IGCC 開発国プロと並行して、④の事業化仮説である独自の石炭ガス化技術の実用化を目指して開発を進めてきたが、同時脱硫脱じん技術同様に国の実証機計画の要求仕様に合致せず採択されなかった。但し、D 社が複数実証機建設案を事業化仮説としていたかどうかは検知できなかった。D 社のガス化技術は小型パイロットプラントの開発まで進んだところから先の進展状況が発信されておらず、他の用途での実用化の動きも検知出来なかったのも④も棄却されたと判断した。④の棄却後の代替策も成功していないため、事業化仮説に対する主体性は喪失状態になっていたと考えられる。この理由のひとつとして、次ステップである大型パイロットプラントや実証機の実現には資金調達や試験機会提供の面から国プロ化や強力な客先スポンサーの存在が不可欠であり、D 社が主体的に代替策を実施するのは難しい状況であったことが挙げられる。D 社は小型パイロットプラント実施中から次期計画実現を事業化仮説と認識して、協力者を獲得するための活動を成功させておく必要があったと考えられる。

以上をまとめると、事業化仮説の棄却による事業化成功可能性の低下に対して、代替策は成功せず、事業化仮説に対する主体性は喪失状態にあった。乾式脱じん技術と石炭ガス化技術がほぼ同時期に次ぎの段階に進めなくなったタイミングの悪さもあるが、D 社が①②の事業化仮説の棄却の兆候が出始めたとき、代替策が間に合わず軌道修正できなかったこと、③を見据えてコア技術の転換を行えば脱じんメーカーとして生き残っていた可能性があること。④についても IGCC 実用化の可能性を主体的に追求して、独自のガス化炉による別の IGCC 開発国プロ化実現に向けて早目の代替策を立てて行動に出ているとすれば、違った展開になった可能性も考えられる。

あり、乾式脱じん方式を移動床式に固定化する必要は無いはずだが、長年に亘り国の支援を受けて国プロで開発しスケールアップしてきたコア技術のため、優れた新技術が現れた場合でも大きな転換をするのが難しかったのかもしれない。開発している技術が必要とされる時期と対抗技術が追いつく時期を正しく予測していたならば、早期に適切な方向転換を行う機会があったと考えられる。但し、転換後の新しい目標となるセラミックスフィルタ技術が D 社の能力で開発に取り組めるものであることが必要である。その意味で、セラミックスフィルタには転換せず、得意分野の移動床の特徴を活かして脱硫機能を付加した同時脱硫脱じん技術を対抗軸として並行して育成していった活動は評価できる。

D 社は、1974 年の着手から事実上の決着がついた 2000 年までの四半世紀の間、乾式脱じん技術の開発を担当することで IGCC 開発国プロに参画し続けてきたが、最後の実証機はものにできなかった。国プロ実施主体の判断の結果であり、D 社を一方的に責めることはできない。IGCC はサンシャイン計画に発祥があり、その後、NEDO の下電力業界が中心となった組合や、開発目的会社が開発の主体となり、メーカーは参加主体であって開発主体となったことはない。IGCC の様な大型開発はリスクが大きく、国の全面的な支援が不可欠のため、国の方針が第一となるからである。よって、結果が出る前から、国プロの実施主体による決断見通しを事業化仮説として、彼らがどういう立場に置かれ、何を真のゴールとしているのかを捉えて自らの開発内容にフィードバックする活動、および、実施主体に対して自社技術の必要性を発信して実施主体の方針や活動に反映してもらう活動が必要であると考えられる。例えば、実施主体は IGCC 開発の成功が最大の目標であり、実証機選定の FS を通して技術リスクを抑えて確実性を探っていたとき「IGCC 開発の成功確率を上げるためには複数の IGCC 方式の実証が必要」と、訴える活動をすべきではなかったか。D 社は IGCC に必要な全ての中核技術の知見を保有しており、この立場を活かしければ中型パイロットプラントからのスタートになるかもしれないが、局面は変わったかもしれない。実際、米国ではこれまでに合計 5 基の IGCC 実証機が建設されている。

D 社が立てたであろう事業化仮説が棄却になっても IGCC 実用化という大目標までもが消滅しないように常に先手を打つ必要がある。事業化仮説の置かれた状況を常に監視し、できるだけ検証する方向へ導く活動、適切な代替策を策定する活動、タイミングを見て代替策へ軌道修正する活動を戦略的に一体で行うことが重要であると言える。

近年、バイオマスエネルギーが脚光を浴びると D 社は IGCC 開発での学習を活かしているかのように国の支援を獲得して、ガス化発電システム実証機の建設で他社をリードしている。また、後述するが、国プロとの長い付き合いの中で得られた勘所を活用して、セメント排熱回収発電技術の海外事業化では国プロ制度を上手く活用して大成功している。これについては 7 章で詳述する。

6.7.3 C 社の IGCC 開発取組分析結果

(1) 開発経緯

C 社は国内トップの大手総合重工メーカーであり、大手重電メーカーとしても国内トップクラスであり、エネルギー技術開発国プロの常連として様々な大型開発を実施してきた。C

社は石炭火力発電設備一式を一社で供給してきたこともあり、次世代高効率石炭火力の有力候補とされた IGCC 一式の事業化を目指しつつも、当初から IGCC の最中核技術である石炭ガス化設備を国プロで担当した。現在、開発の最終段階である実証機プロジェクトが進行中だが、C 社の目論見どおり石炭ガス化設備のみならず一社で全設備を受注して建設している。

C 社のガス化技術は、先行する欧米の IGCC 用ガス化炉がガス化反応を推進しやすくする為に酸化剤に酸素を使うのに対して、空気を主体とした酸化剤を使っている。石炭ガス化設備は大きくなり、開発難易度も高くなるが、先行する欧米勢が手がけていない開発フロンティアであり、C 社にとって高額の外部調達品となる大型酸素製造設備が小さくて済むなどのメリットもある。

C 社は IGCC 高効率化の鍵となる乾式ガス精製システムも開発しており、200 トン／日パイロットプラントに追設した 20 トン／日の試験設備で性能試験を実施した。

C 社は IGCC 用ガスタービン技術についても IGCC 開発国プロで燃焼器開発を実施してきた。また、他のガスタービン開発国プロおよび C 社独自で大型化と高性能化開発を行ってきた。

C 社は IGCC 開発国プロにおいても常に中心的な存在であり、実用化の最終段階である実証機の試験運転を成功させて市場に打って出ようとしている。既に、商用機の受注活動も行っている。C 社はこのように自主技術による IGCC 実用化という当初目標を達成する目前まで進捗してきた。

C 社の主な開発活動を以下に示す。下線部は国プロによる実施。

(IGCC 開発国プロ関連技術の開発活動)

1975 年～1983 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 5 トン／日流動層石炭ガス化技術を開発

1981 年～1988 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 40 トン／日流動層石炭ガス化炉の技術開発を実施 (200 トン／日パイロットプラント支援研究として 1990 年まで試験は継続)

1986 年～1996 年 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 200 トン／日噴流床石炭ガス化炉の技術開発及び大型ガスタービン燃焼器技術開発を実施

1991 年～1995 年 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて、20 トン／日固定床乾式ガス精製技術開発を実施

1998 年～2003 年 IPP 向 340MW 級重質油 IGCC 商用機の複合発電設備を建設 (ガス化設備は他社が担当)

1999 年～2007 年 IGCC 実証プロジェクトにて 250MW 級 IGCC の FS、設計、建設、試運転

2007 年～2011 年 (予定) IGCC 実証プロジェクトにて 250MW 級 IGCC の試験運転

(石炭ガス化技術の開発)

1974 年～1979 年 サンシャイン計画石炭ガス化技術の研究開発の高カロリーガス製造プラントの開発において熔融塩・石灰スラリー浴ガス化技術開発

1981 年 噴流床石炭ガス化技術の開発着手
1982 年～1996 年 2 トン／日噴流床石炭ガス化技術の開発、試験運転を財団法人と実施)
1997 年～1999 年 24 トン／日試験設備による噴流床石炭ガス化技術の大型化予測評価試験を実施

(ガス精製技術の開発)

1985 年～1987 年 2 トン／日乾式ガス精製技術開発、試験運転を財団法人と実施

(ガスタービン技術の開発)

1963 年 ウェスティングハウス社とガスタービンの技術提携契約を結び(1961 年)、技術導入し生産開始

1978 年～1988 年 ムーンライト計画(国プロ)で高効率ガスタービンの開発

1984 年 1100℃級大型ガスタービン実用化

1986 年 1250℃級大型ガスタービンを単独技術で開発

1991 年 ウェスティングハウス社とのガスタービン技術提携契約をパートナー関係に改訂

1989 年 1350℃級大型ガスタービン実用化

1997 年 1500℃級大型ガスタービン実用化

2003 年 IPP 向 340MW 級重質油 IGCC 商用機用ガスタービンを建設

2004 年～2008 年 1700℃級ガスタービン要素技術開発を国プロで実施

2008 年～ 1700℃級ガスタービン技術開発を国プロで継続実施

(2) 分析結果から推測される IGCC 事業化戦略

- ア. IGCC 開発の最終目標である大型実証機の必要性を国および関係者に訴えて実現させる。
その大型実証機において独自技術による石炭ガス化設備の開発を成功させて IGCC の実用化を図る。その後、石炭火力の主力機種として育成する。
- イ. IGCC 高効率化の鍵を握る固定床式乾式ガス精製技術は国プロを活用しつつ自主開発し、自社の IGCC システムに組み込んで実用化する。
- ウ. ガスタービン技術は他の国プロおよび自社独自で開発するが、低カロリの石炭ガス燃料に対応する燃焼器開発は IGCC 開発国プロを活用する。

(3) 分析結果から推測される事業化仮説への対応

図表 6.7.3.1 に分析結果から抽出した C 社の事業化仮説への対応を示す。C 社の対応では、事業化仮説が立証されたケースがあり、検証中のケースがあり、さらに事業化仮説が棄却された後の代替策への転換を上手く行っているケースもある。結果として、石炭ガス化設備を実証機で実現したほか、IGCC 一式の建設を担当する結果となり、将来の競合先となる他社をすべて退けることにも成功している。

図表 6.7.3.1 C 社の分析結果から推測される事業化仮説への対応

分析結果から推測される事業化仮説	検証結果 (○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。 →：判断の根拠、考察。)	検証後の対応分析 (○：代替策に転換成功。 ×：成功していない。→： 判断の根拠、考察)
①石炭ガス化技術開発は、最後まで国の支援を得て成功することができる。	<p>○</p> <p>→C 社は実証機建設の必要性を積極的に発信し続け、開発最終段階の実証機まで国の支援は継続した。</p> <p>→国は計画の後ろ倒しはしたものの国産ガス化技術による IGCC 技術を確立する方針で振れること無く一貫していた。この期待に応える活動に注力した C 社の事業化方針と国の方針とは終始同じゴールであった。</p> <p>→C 社は当初、流動層式の石炭ガス化技術を開発していて、40 トン／日パイロットプラントも成功させたが、大型化に不向きであること、負荷応答性が悪いことなどから欧米で主流となっている噴流床式ガス化技術に転換し、2 トン／日から再出発することになった。コンセプトがユニークなため、異例の抜擢だった。しかし、2 トン／日試験設備から 200 トン／日パイロットプラントへ 100 倍のスケールアップを実施した結果、大きなトラブルに見舞われた。しかも、世界的に見ても IGCC 用の空気吹きガス化炉は完成度が低いものばかりであった。諦めの声も出始めたが【関係者談、新聞記事】、開発者はこの技術的困難を乗り越えればその支持は続く信じ、社内を説得してトラブル対策に取り組んだ結果、問題を克服した。結局、十分に信頼性を検証するには至らなかったが、国の支持を取り付けることに成功して実証機に採用された。仮に流動層式から噴流床式へ軌道修正していなかったら、国の支援が続かなかった可能性は高い。</p> <p>→実証機選定 F S を実施中の 1998 年に IPP 向 340MW 級重質油 IGCC 商用機の複合発電設備を受注したことも C 社の IGCC 技術力をアピールする上でプラス要因になったといえる。</p> <p>→事業化仮説を自らの努力で立証した。この背景には、基礎開発から実証機まで国の支援を受け続けるために、仮説立証が国のメリットにもなることをアピールしたことが挙げられる。そのためガス化炉方式の大胆な方向転換や大トラブルに挑んで、克服していった。国の協力を以って事業化仮説を立証する方向に向かわせた C 社の主体的活動の成果であるといえる。</p>	(立証済み)
②乾式ガス精製による	<p>×</p> <p>→実証機では技術開発リスクを最小限にするため、効率は下がる</p>	<p>○</p> <p>→C 社ではガスタービン</p>

<p>高 効 率 IGCC を実 用化する。</p>	<p>が、商用実績の豊富な湿式ガス精製が採用された。</p> <p>→IGCC 開発の契機は 1970 年代の石油ショックであり、高騰した石油に替わるエネルギー源の開発と同時に省エネルギーが叫ばれ、高効率化指向は正しい方向であった。しかし、1995 年の電気事業法改正による規制緩和が進んだことで、独立系発電業者が参入してきて経済性が最も優先度の高い指標になった。安価な石炭では効率向上による経済性改善効果は小さいものだった。</p> <p>→C 社は、将来的には高効率化のため乾式ガス精製は重要であると言う発信は継続していたが、最近では、IGCC から CO₂ を回収して地中貯留する CCS 対応では逆に湿式ガス精製が有利な方式になったこともあるせいか、乾式ガス精製の必要性を強調するトーンは下がっている。</p>	<p>の入り口ガス温度の高温化開発が進展しており、乾式ガス精製を使用しなくても BTG を凌駕出来る高効率化を実現できるようになった。大型ガスタービンを自主開発できる C 社の強みを上手く活用した。</p> <p>→乾式ガス精製が実証機で採用されなかったことで結果として C 社一貫システムの採用につながったとも言える。</p>
<p>③ IGCC は 次世代石炭 火力の本命 である。</p>	<p>△</p> <p>→IGCC はこの期待を背負って国プロで本格的に開発着手されたが、様々な技術課題克服に時間がかかり、当初の 1980 年代前期までの実証が先延ばしになった。さらに、2000 年初頭から 2010 年以降へと先延ばしになった。BTG に比べて高効率ながら、技術の信頼性検証が進まず、経済性も BTG に比べて低いことなどから IGCC への期待は徐々に下がって行った。</p> <p>→石油、石炭価格の低位安定、BTG が高効率化と大型化の進捗で最も経済的な発電源の地位を確固とし、IGCC 開発の危険性が薄れた。最近では国内電力需要の伸びの停滞に加えて地球温暖化問題による石炭火力新設の減少が進む中、IGCC 開発当初の高効率というインセンティブだけでは期待にこたえられなくなってしまった。</p> <p>→新技術は当初はコストが高いと言われるが、複雑なシステムという高コスト体質を持っている IGCC が発電市場に広がって行くかどうかは不透明である。</p> <p>→この事業化仮説が検証されない状態は C 社に有利に働いたと見ることができる。もし、1980 年代前期までの実証や 2000 年初頭の実用化が市場のニーズになっていたら、C 社のガス化技術による実用化は間に合わず、IGCC 実用化戦略にも大きな影響があった可能性がある。しかし、BTG 技術の進展と欧米の IGCC 実証機の敵失によって IGCC のニーズが高まらなかった。よって 200 トン/日で発電した課題対策に必要な年月を確保することが出来た。C 社のガス化技術開発にとっては実証機までの時間を稼げたことでプラスになった面もある。</p>	<p>△</p> <p>→事業仮説を検証すべく、IGCC 実用化の可能性を追求し続けている。</p>

(4) 考察

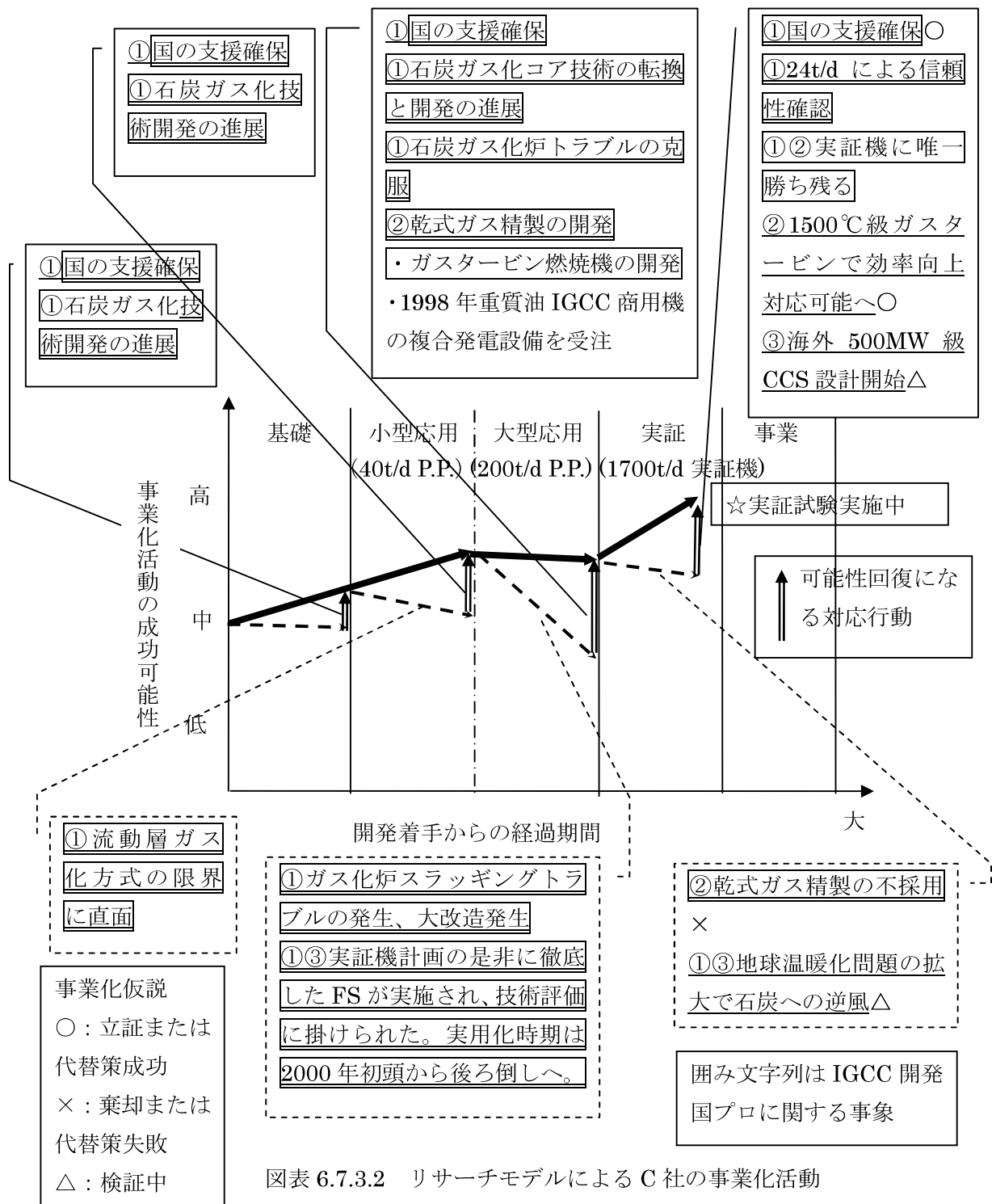
C 社の事業化仮説検証結果に関して、マイナス要因とプラス要因、および、事業化活動の成功可能性の変化をリサーチモデルに追記して、図表 6.7.3.2 に示す。

①の事業化仮説に関して、C 社は IGCC 実用化のための本命と位置づけて全社を挙げて支援し、検証しようとしてきた。現時点では最終の実証機まで国の支援は続いており立証されたといえる。この間、国プロの実施主体は変遷してきたが石炭ガス化技術開発の主体は常に C 社でありながらも、実施主体の目標に合わせて軌道修正を行っている。C 社は①の大目標実現のため、40t/d まで開発した石炭ガス化技術を捨て、2t/d の実績しか無い石炭ガス化技術に転換した。200t/d では大きなトラブルが発生し、克服に多大な費用と労力をかけて最後は克服したものの信頼性の確立には至らなかった。さらに、実証機計画が開始されるまで数年間の停滞があり社内からも様々なネガティブな声が出た。しかし、信頼性確認のため 24t/d の試験装置を建設して後戻りながら試験を実施した結果、国プロ実施主体の信頼を獲得し、実証機では IGCC 一貫システムを受注した。事業化仮説の検証のために、軌道修正によって小目標を捨てて大目標を達成した行動は事業化仮説に対する主体性発揮の表れと言える。2011 年の実証試験終了を待たずして受注活動も実施しており商用機受注の可能性もある。C 社は IGCC を自社のメニューに載せることに成功したと言える。

②の事業化仮説に関して、効率向上の鍵を握る乾式ガス精製技術の開発に国プロと並行して取組んでいる。200t/d では、20t/d 規模の小型パイロットプラント試験を実施して技術の確立をアピールしたが、実証機には湿式ガス精製が採用された。②は棄却されたが、その代替手段としてガスタービン高温化による高効率化でカバーすることでダメージを打ち消すことに成功している。②のリスクへの代替策にもなる IGCC の効率向上のもう一つの鍵を握るガスタービン技術を自社保有し、石炭ガスに適したガスタービン燃焼器の開発を国プロの支援を受けて実施してきたことが活かされている。

③の事業化仮説に関して、C 社は主体的な検証活動を展開しているが、現時点では立証されたとはいえない。しかし、C 社は IGCC の優れた特徴を示して早期の商用化が必要であるとしたメッセージを発信し続けている。この背景には実証機の順調な運転状況があり、長年の開発が成功に終わりそうなことで C 社に大きな自信をもたらしていると考えられる。成功が難しいとされる国プロでの大型発電技術開発の成功は C 社の一層の存在感を高めている。しかし、IGCC 実証機の建設が開始されたところから電力需要の伸び悩みによる国内発電設備市場の縮小が始まり、受注の見通しが立っていない。また、地球温暖化問題による石炭への風当たりが強くなり、効率が多少良いと言うだけでは IGCC に追い風が吹かなくなった。一方、海外では活発に石炭火力が建設されているので、C 社は国内よりも先に海外で実用化する可能性が高い。最近、豪州で 500MW 級の IGCC の基本設計（建設は未定）を受注したと報じられている。石炭からの炭酸ガスを回収して地中に埋めるいわゆる CCS(Carbon Capture and Storage)付というレベルの高い IGCC システムになるが、C 社の積極的な取組姿勢の表れであると言える。この CCS に関して、IGCC 開発国プロの実証機を活用する試験計画があり、実証機に新しい役割が与えられて国プロとして継続していく可能性も出てきた。③の事業化仮説は検証中と言わざるを得ないが、C 社が主体的に立証に向けて活動していることは

明らかである。



(5) 総括（分析結果から得られた知見や教訓、コア技術開発の進め方）

C 社は IGCC に必要な技術はすべて自社で開発するという信念があるように見える。石炭ガス化技術と乾式ガス精製技術は基礎から開発し、ガスタービン技術は海外技術導入を出発点としているが、天然ガス向けの実績やムーンライト計画での開発成果を応用して自主技術

として開発を進めている。特に中心となる石炭ガス化技術開発は国プロを活用して開発を進めてきた。200 トン／日パイロットプラントで大きなトラブルに見舞われたものの、大改造を決断して過度なスケールアップによる問題を乗り越えた。この失敗は未知との遭遇とも言える内容であり、それを克服した C 社には新たな知見や学習効果がもたらされたと考えられるが、その内容については実用化達成後に明らかになると考えられる。ただし、C 社がコア技術に対して一貫して強い拘りを持っていることは確かであると言える。

C 社にとって IGCC は長い辛抱が必要な開発であったが、全社の支援を受けて実用化に向けて取り組んできた姿勢は評価できる。C 社は IGCC 開発の必要性を担当者レベルからトップマネジメントまで一貫して情報発信を続けている。一度、開発すると決めた技術はモノにするまで諦めないという同社の意志の強さの表れであると言える。この姿勢は C 社の他のエネルギー技術開発案件にも通じている。（7 章の風力発電、太陽光発電の事例にも示す。）このような長期に亘る事業化活動が続けられる主要因の一つに国プロの存在があり、C 社は「国の期待に応えることの意義」を上手く社内支持を獲得し続けるための原動力にしてきたと考えられる。

C 社は、自らの石炭ガス化技術実用化という事業化仮説を国プロ実施主体と共有することで、立証にむけた活動を有利に展開してきた。本来は事業化仮説の外部環境要因となる実施主体を味方につけることで C 社が不本意な決定をされないどころか一緒に立証を進める構図作って取り込んでいる。その中心にあるのが、コア技術開発への支持取り付けであり、実施主体のゴールには C 社のコア技術の開発成功が入っていた。C 社もこのコア技術の価値向上、開発進展に注力して期待に応えようとした。その結果、実施主体の信頼を継続して獲得して、実証機の一式受注を実現していったと考えられる。

6.7.4 B 社の取組分析

（1）開発経緯

B 社は大手総合電機メーカーであり、重電メーカーとしても国内トップクラスである。石炭利用技術を持つグループ企業と一体で石炭火力発電設備一式を供給する能力を有している。石炭火力発電メーカーとして次世代の高効率石炭火力と位置付けられている IGCC 一式での事業化を目的に開発を進めている。

IGCC 開発国プロではガスタービン燃焼器の開発に回り、200 トン／日パイロットプラントでは発電用小型ガスタービンを担当した。なお、商業規模 IGCC 向けには世界最大のガスタービンメーカーであり IGCC 商用機向けに実績を持つ米国企業との技術提携の下、ライセンス技術による対応を基本としている。

石炭ガス化技術についてはサンシャイン計画で高カロリーガス製造用石炭ガス化技術の開発を担当し、その後、水素製造向け石炭ガス化炉の開発国プロで中心メーカーとして担当してきた。このガス化技術をベースにした IGCC にも適用可能な多目的石炭ガス化技術の開発を国プロにて実施中であり、現在は 150 トン／日大型パイロットプラントまで開発が進んでいて、さらに 170MW 級の実証機建設計画もある。

ガス精製技術については、独自の着眼点から一貫して実用化済みの湿式ガス精製の採用を

決めて、乾式ガス精製の開発は実施していない。

IGCC 開発国プロでは、実証機に C 社のガスタービンが採用されたため外れたが、別の国プロにて開発中の石炭ガス化技術による IGCC 実用化を目指している。

B 社はこのように IGCC 開発国プロからは外されたが、別の国プロにて自主技術による IGCC 実用化という当初目標を達成するため大型パイロットプラントまで進捗してきた。

B 社の主な開発活動を以下に示す。下線部は国プロによる実施。

(IGCC 開発国プロ関連技術の開発活動)

1981 年～1990 年 低カロリーガス化発電技術開発プロジェクトにて 40 トン／日石炭ガス化炉向けガスタービン燃焼器技術の開発

1986 年～1996 年 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発プロジェクトにて 200 トン／日石炭ガス化炉向けガスタービン技術の開発及び大型ガスタービン燃焼器技術を開発

(石炭ガス化技術の開発)

1974 年～1981 年 サンシャイン計画、石炭ガス化技術の研究開発の高カロリーガス製造プラントの開発において石炭重質油混合原料の流動層ガス化技術開発

1977 年～1986 年 サンシャイン計画、石炭ガス化技術の研究開発の高カロリーガス製造プラントの開発において石炭重質油混合原料のガス化技術開発プラント開発研究に約 12 トン／日パイロットプラントの設計、建設、運転研究

1978 年～1983 年 サンシャイン計画、石炭ガス化技術の研究開発の高カロリーガス製造プラントの開発において石炭重質油混合原料の水添流動ガス化技術開発にて噴流型流動床設備による開発

1981 年～1984 年 噴流床層方式石炭ガス化 1 トン／日試験設備による運転研究

1985 年～1991 年 石炭利用水素製造技術開発にて噴流床層方式石炭ガス化 50 トン／日パイロットプラントの FS、設計、建設、試運転

1991 年～1994 年 石炭利用水素製造技術開発にて噴流床層方式石炭ガス化 50 トン／日パイロットプラントによる運転研究

1995 年～2002 年 多目的石炭ガス製造技術開発 150 トン／日の FS、設計、建設、試運転

1998 年～2006 年 多目的石炭ガス製造技術開発支援・調査研究（各種要素試験、1 トン／日石炭ガス化試験設備）

2002 年～2007 年 多目的石炭ガス製造技術開発 150 トン／日による運転研究(Phase1)

2007 年～2010 年(予定) 多目的石炭ガス製造技術開発 150 トン／日による運転研究(Phase2)

2009 年 17 万 kW 級 IGCC 実証機の建設計画発表（2017 年運転開始予定）

(ガスタービン技術の開発)

1968 年頃～現在 GE 社と大型ガスタービン技術の提携

1987 年 30MW 級ガスタービンを自主開発

(2) 分析結果から推測される IGCC 事業化戦略

- ア. IGCC 実用化のため自社が中心となる国プロを実現させて実証機まで実現し、その成功を持って事業に進む。開発リスクは最も高いが、差別化要素を作り出すため石炭ガス化炉の開発に注力する。ガス精製技術は実用化済みの湿式ガス精製を採用し、ガスタービン技術は自主開発技術と技術提携を合わせて適用することで IGCC 一式の実用化を目指す。
- イ. IGCC 開発国プロに参加してコア技術であるガスタービン技術の進展を図り、実証機のガスタービンを担当する。また、実証機にて IGCC システム技術および運転ノウハウの知見を蓄積して事業化活動に反映する。

(3) 分析結果から推測される事業化仮説への対応

図表 6.7.4.1 に分析結果から抽出した B 社の事業化仮説への対応を示す。B 社の対応では、事業化仮説が立証されたケース、検証中のケース、および事業化仮説が外れた後の代替策への転換を上手く行っているケースもあった。結果として、IGCC 実証機からは外れたものの、別の石炭ガス化国プロを実現させて、IGCC 開発の機会の場合として活用し、大型パイロットプラントの開発まで進展させた。将来の実証機計画も発表された。

図表 6.7.4.1 B 社の分析結果から推測される事業化仮説への対応

分析結果から推測される事業化仮説	検証結果 (○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察。)	検証後の対応分析 (○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：判断の根拠、考察)
①国の支援を受けて石炭ガス化技術開発を成功させる。	△ →B社は 1974 年のサンシャイン計画開始から石炭ガス化設備の開発に取り組んできた。草創期にはガス化炉方式、ガスの利用先などの開発目標に振れが見られるものの、軌道修正しながら発電にも適する酸素吹き噴流床式に絞り込んでいった。 →国の IGCC 開発の石炭ガス化炉は担当しなかったが、目的を変えた別の国プロでは石炭ガス化炉の開発を担当し、50t/d パイロットプラントを建設し開発を進展することが出来た。 →IGCC 実証機選定が行われていた時期に別の石炭ガス化国プロ立ち上げに動いた。50t/d パイロットプラント運転試験から 10 年弱のブランクはあるものの、国プロで 150t/d 大型パイロットプラント開発を実現させた。 →IGCC 開発国プロから 10 年程度の遅れはあるものの、2017 年の運開を目指して実証機計画が発表され、国プロ	(検証中)

	に採用される見通しがたった。	
②実証機に、主要設備担当メーカーとして残れる。	<p>×</p> <p>→これまでガスタービン技術で IGCC 開発国プロに関わってきたが、実証機に適用するガスタービンは B 社自主開発品では小さすぎるため、技術提携している海外技術になるざるを得ないが、国産技術育成が主要目的の国プロであっても対象となるガスタービン技術が無ければ実証機に採択される可能性はあった。しかし、C 社は自主開発した大型ガスタービンを製作できるところまで技術力を付けてきた。特に、天然ガス燃料向けに実績を伸ばし、IPP 向けの重質油 IGCC 用ガスタービンでも実績を作っていた。</p> <p>→B 社は従来の国プロの流れならば実証機で担当するはずだったガスタービンを IGCC 開発が長期化し、実用化時期が後ろ倒しされたため、その間に実力を付けてきた国産技術の C 社に有利な状況であることは早くから察知していたと考えられる。</p> <p>→IGCC 開発国プロとは別の石炭ガス化技術開発国プロを B 社が中心となって実現を目指していたことから、さらに B 社の石炭ガス化技術による IGCC 実証機が IGCC 開発国プロにも採用される可能性は小さく、B 社の読みどおり実証機は C 社ガス化技術方式のみが建設されることになった。</p>	<p>○</p> <p>→B 社も候補メーカーとして参加した実証機の選定過程と結果は IGCC の開発リスクの高さを国が再認識することにもなり、代替技術として B 社が中心の別の国プロの必要性を高める結果となった。実証機計画とは一線を画して、技術内容や目的を差別化した別の国プロの必要性を最大限にアピールし、実証機選定とほぼ同時期に大型パイロットプラント建設計画を実現することに成功した。この計画には B 社のガスタービンが採用された。</p> <p>→B 社の事業化仮説に対する検証結果の読みは的中したことになったが、実証機から外れたことで大規模 IGCC システム建設におけるガスタービンの実績や様々な運転情報を直に得る機会は逃した。</p>
③効率向上の方法は他にもあり、乾式ガス精製は必要とされない。特に脱硫は実用化済みの湿式脱硫で対応するので開発は不要。	<p>○</p> <p>→実証機には実績のある湿式ガス精製が採用された。安価な石炭燃料では効率向上による経済性改善度は小さく、実証機選定主体は技術リスクを避けるため湿式ガス精製を選択した。B 社が当初から指向していた実用化済みの湿式ガス精製が採用されることになったが、B 社がコア技術を持っている訳でも無く、C 社でも十分対応できると国プロ実施主体が判断し、結局 C 社が IGCC 一式を受注することとなった。</p> <p>→最近なって効率向上はガスタービンの性能向上でカバーできる状況にもなってきた。</p> <p>→B 社の石炭ガス化発電システムはガスタービンよりも効率を高く出来る燃料電池を用いるため、よりシビアな</p>	<p>○</p> <p>→乾式ガス精製開発に必要な資源を他に配分できた。B 社は事業化仮説が立証されたと判断している考えられる。</p>

	<p>ガス精製が要求され、微量成分の除去が必要である。当時の乾式ガス精製では微量成分を十分除去できない欠点があり、採用を見合わせた可能性がある。但し、将来、乾式で微量成分を除去できる技術が開発されると乾式ガス精製が再び必要とされる可能性がある。</p> <p>→最近、開発が急速に進展している、炭酸ガスを回収して地中に埋める CCS 技術への対応では、環境面から微量成分を容易に除去できる湿式ガス精製の方が適していると言われている。</p>	
--	--	--

(4) 考察

B 社の事業化仮説検証結果に関して、マイナス要因とプラス要因、および、事業化活動の成功可能性の変化をリサーチモデルに追記して、図表 6.7.4.2 に示す。

B 社は事業化仮説に関わるマイナス要因に対するプラス要因の行動を取ることで成功可能性をほぼ高く維持してきた。開発初期段階では石炭ガス化技術の仕切りなおしが発生して下がったが、それ以降は、各段階に置いてプラス要因を大きくする対応を実施してリカバーしてきたと言える。

B 社は大型国プロであるサンシャイン計画で石炭ガス化技術開発が始まった初年度（1974 年）から化学原料ガス発生用流動層式石炭ガス化技術を担当してきた。しかし、ほぼ同時期に立ち上がった IGCC 開発国プロで石炭ガス化を担当できなかった B 社は IGCC 用石炭ガス化技術を並行して自主開発する戦略を迫られたが、本格的な取り組みは 1981 年まで見合わせている。流動層ガス化炉開発は結局実用化でき無かったが、国が次段階に進むことを中止するまで 10 年弱開発を続けなければならなかったことが背景として考えられる。あるいは、流動層式とは異なり欧米で実用化された IGCC に適した開発難易度の高い噴流床式ガス化炉にチャレンジせざるを得なかったため、基礎技術を固める期間が必要であったと考えられる。

以上のようないきさつにより、B 社の石炭ガス化技術開発は IGCC 開発国プロから一段階遅れたが、別の国プロで開発を実施していく機会を作ることが出来、現在に至っている。

事業化仮説①に関して、B 社は国プロ IGCC 開発にガスタービンで関与しながら別の国プロで石炭ガス化炉の開発を進めて、大型パイロットプラントまで成功させた。実用化の最終段階である実証機計画発表までこぎつけたが、①はいまだ検証中といえる。

事業化仮説②に関して、B 社は IGCC 開発国プロにおいて低カロリーガス対応ガスタービンおよび大型ガスタービン用燃焼器の技術開発を成功させてきたが、実証機は担当メーカーが一社に絞られてしまい外された、と見られがちだが、実際は、早い段階から C 社のガスタービン技術の進展度や海外技術のガスタービンが実証機から外れる可能性が高いことを予見できていて対応戦略実現のため活動していたと分析できる。それが、実証機選定とほぼ並行する多目的石炭ガス化技術開発国プロの大型パイロットプラントの実現であった。B 社は実証機のコンペを実施していた時期と同時期にこの検討を行っており、的確な状況把握による代

替案実現が成功したことになる。結果として、事業化仮説②の棄却後のリカバリー活動を成功させただけでなく、事業化仮説①の立証も後押しする結果となった。このように B 社の主体的な判断に基づく方針転換の決断のタイミングと行動原理は評価できる。

事業化仮説③については、200t/d パイロットプラントまでの乾式ガス精製技術の進展は湿式ガス精製しか取り組まない B 社の脅威になったと考えられるが、B 社は石炭ガス化技術開発に集中することができ、結果として事業化仮説①を後押しした。実証機計画から世界最大規模の実績を有する乾式ガス精製が落選したことから、B 社の仮説③は立証された。さらに、将来必要となる CCS 対応では湿式ガス精製が適しており、この点からも B 社の読みは当たった。このように仮説③は国や他社によって検証されたが、B 社が乾式ガス精製を開発しなかったのは B 社の石炭ガス化技術による IGCC では C 社の石炭ガス化技術による IGCC とは異なり、乾式ガス精製と湿式ガス精製の効率差は小さく経済性は湿式ガス精製が圧倒的に優れていたことを把握していたからと考えられる。IGCC システム一式の知見を持っていた B 社と一部の知見しか持ち得なかった A 社とで仮説③の見方が正反対になったのはこの認識の差が原因と考えられる。

(5) 総括（分析結果から得られた知見や教訓、コア技術開発の進め方）

B 社は石炭ガス化技術をコア技術として、IGCC 開発国プロの陰で、長年にわたり開発育成してきた。B 社の酸素吹き噴流床石炭ガス化炉は欧米のメジャーなガス化方式と同じであるが、基礎開発着手時には欧米の技術は既に実用化済みという大きな差があった。30 年近く経った現在でもやっと大型パイロットプラントレベルまでスケールアップが進んだ状況である。欧米技術との差別化を図るために高い開発目標を設定せざるを得なかったことで、目標難易度が高いという困難はあったが、当該国プロの担当メーカーが B 社だけであり、成功可能性も上昇し続けていることから、技術開発活動については主体的に取り組めたと考えられる。これは実証機を C 社のみが担当して早期に技術的な成果を出したことと共通している。

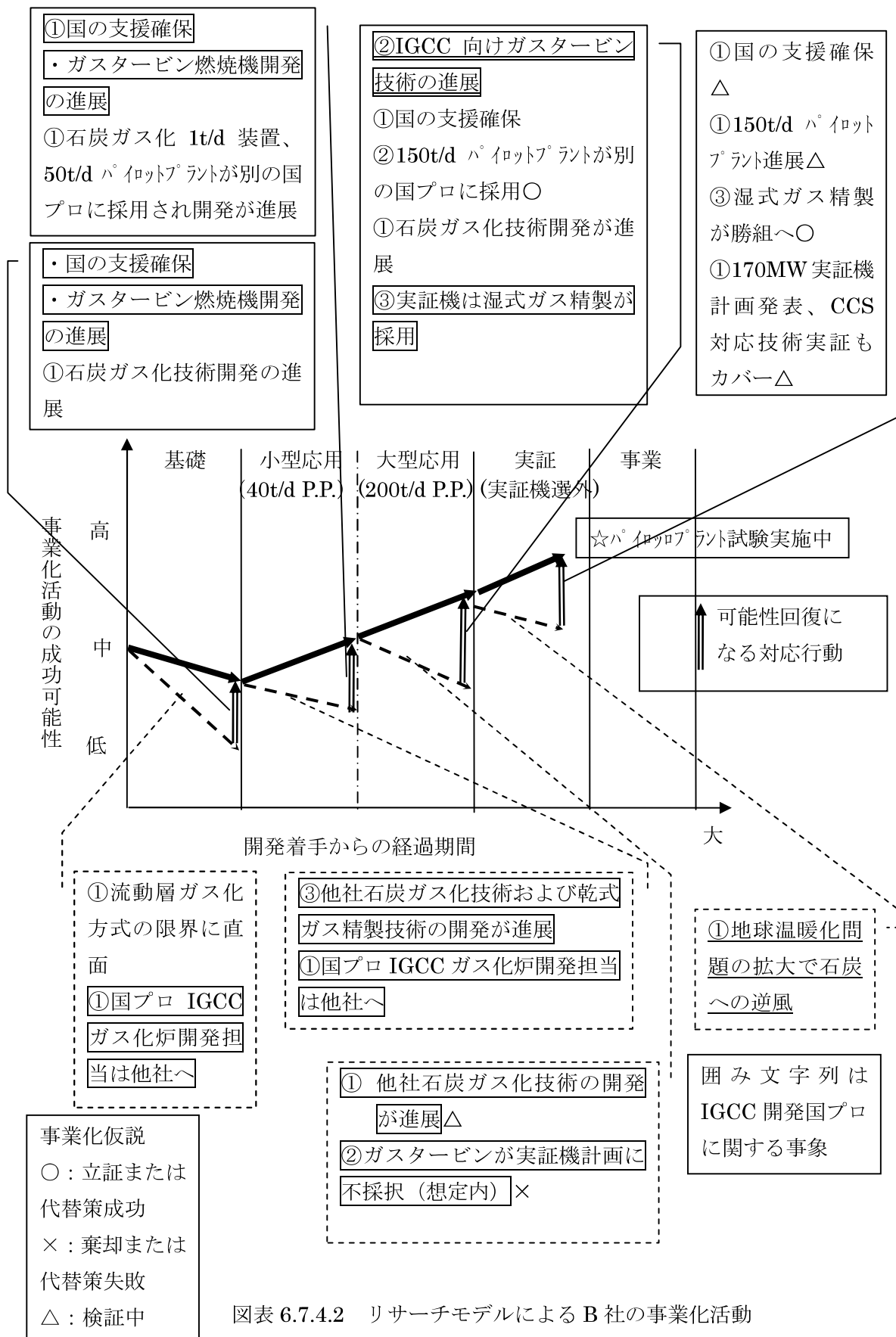
一方、IGCC 開発国プロで担当したガスタービン技術については、実際の IGCC プラントで適用するのは IGCC の実績もある海外製大型ガスタービンであり、B 社が開発成果をどのように活かす戦略であったのかは定かで無い。むしろ、IGCC 開発国プロに参加することで、次世代石炭火力の本命である IGCC 開発に貢献していることを客先にアピールしたり、IGCC の情報を素早く入手して自らの IGCC 実用化を推進することを狙っていた可能性が考えられる。

B 社は IGCC に関する 2 つの国プロに関わるという幸運な環境にいて、それぞれから入ってくる情報を正確に分析して、事業化仮説の検証に活かしている。さらに、事業化仮説②のような国に最終決定権がある事業化仮説においては国の支援を獲得すべく棄却前から代替策の実現に向けた活動を並行して行うなど、周到にリスク対策を実施している。これにより、代替策が成功したと考えられる。

B 社にとって IGCC 実用化は大型パイロットプラントまでのスケールアップが出来たに過ぎない。現在、国内の石炭火力新設市場そのものが縮小してしまった。さらに、地球温暖化問題への対策も必要になり、従来のような高効率だけでは追いつかず、炭酸ガスを大気中に出さないために回収して地中に埋める CCS への対応が重要になってきた。このように長期の

開発では途中で何度も外部環境が変化する。よって、ニーズに合わせて技術開発目標を対応させるのは当然であるが、このような外部環境が変化する前に木村ら【2-6】が指摘しているように、「開発成果を逐次事業化して実績を作り、投下資本を回収すべき」、という考えも必要である。例えば、早期事業化の観点から化学原料用ガス化炉としては既に市場が存在しているので大規模で高度な技術が要求される IGCC 向けに拘らずに原料用ガス化市場に出して行くという飛び石的な事業化を戦略に含んでおいても良かったのではないかと考える。

B 社の石炭ガス化技術は化学原料を産み出すことも可能であり、IGCC のような大規模で過酷なガス化条件が必ずしも必要とされない市場に製品を出していく機会があったと想像できる。B 社が技術開発で行なったように、事業開発に化学原料向け石炭ガス化市場の情報分析を行い戦略的な行動を取っていたならばこの機会を活かしていただろうと考えられる。



図表 6.7.4.2 リサーチモデルによる B 社の事業化活動

6. 8 考察

(1) 事業化成功可能性を高くする要因（成功要因）とは何か

IGCC 開発に参加した各メーカーが設定したとされる事業化仮説を抽出し、検証結果と検証後の対応を分析してきた。図表 6.8.1 および図表 6.8.2 に 4 社の事業化仮説検証活動についてまとめた。A 社と D 社は事業化仮説が全て棄却になり、代替策も不成功である。A 社は③と④の事業化仮説をそもそも事業化仮説として確認していなかったと考えられ、④については棄却時の代替策は検知できなかった。D 社は一応仮説と認識していたと見られるが、棄却された時の代替策が結果として機能しなかったといえる。一方、B 社と C 社は立証された事業化仮説、棄却された事業化仮説、未だに検証中の仮説のいずれも経験しているが負の要因となる検証結果（棄却）に対しては最終的に代替策を成功させている。両者に共通しているのは代替策に対して国の支援を獲得していることである。国プロにおいて方針転換に対する国の同意や協力を得ることは簡単ではなく周到な準備とアプローチが必要であると考えられ、主体的な検証活動を行っている必要がある。両者は未検証の仮説に対しても現在、主体的に立証に向けての活動を行っている。但し、検証中の仮説に対する代替策は不明である。

事業化仮説とは最終目標到達の可能性を左右するような大きな存在であり、事業化戦略立案時は立証すべき目標と位置付けるが、開発者は立証されるように活動すると共に棄却の場合でも実用化戦略が崩壊しないように代替策の検討をしておく必要があることが分かる。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策としなければならない。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあると考えられる。さらに、事業化仮説には潜在的なものもあり、仮説と気づかずに放置しておくとその検証活動が必要であるという認識がなくなり、棄却になった時の対応が用意されないまま開発を進めてしまい、棄却が表面化してからでは主体的な対応ができず追い込まれてしまうことが分かった。特に IGCC のような長期に亘る開発では事業化仮説の検証が遅れると、コア技術の転換のような実行に長い時間と大きな費用が掛かる代替策の採用が困難になると考えられる。理想を言えば事業化仮説は可能な限り早期に検証することが望ましいと言える。

図表 6.8.1 IGCC 開発国プロ参加 4 社の事業化仮説検証結果

	A 社	B 社	C 社	D 社
事業化仮説、検証結果、検証後の対応結果	<p>①IGCC 実用化時期は当初計画どおりで、遅くとも 2,000 年頃には実用化される。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：なし】</p>	<p>①国の支援を受けて石炭ガス化技術開発を成功させる。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施中、結果：検証中、代替策：不明】</p>	<p>①石炭ガス化技術開発には、最後まで国の支援を得て成功することができる。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：立証、代替策：不明】</p>	<p>①グラニユラ移動床式乾式脱じん技術は、最も適した技術である。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：失敗】</p>
	<p>②導入した石炭ガス化技術は最良の選択肢である。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：なし】</p>	<p>②実証機に、主要設備担当メーカーとして残る。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：成功】</p>	<p>②乾式ガス精製による高効率 IGCC を実用化する。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：成功】</p>	<p>②国の支援を受けて開発してきたグラニユラ移動床式乾式脱じん技術は、実証機に採用される。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：なし】</p>
	<p>③国の支援を受けて開発してきた乾式脱硫技術は、実証機に採用される。</p> <p>【事業化仮説：未検知、検証活動：なし、結果：棄却、代替策：失敗】</p>	<p>③効率向上の方法は他にもあり乾式ガス精製は必要とされない。特に脱硫は実用化済みの湿式脱硫で対応するので開発は不要。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：立証、代替策：不明】</p>	<p>③IGCC は次世代石炭火力の本命である。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施中、結果：検証中、代替策：不明】</p>	<p>③IGCC 実用化時期は当初計画どおりで、後ろ倒しにならない。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：不明】</p>
	<p>④ IGCC 実証機を複数立てる可能性があり、国プロで IGCC 一式を担当できる。</p>			<p>④自社ガス化炉を用いた IGCC を実用化できる。</p> <p>【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施中、結果：検証中、代替策：不明】</p>

	【事業化仮説：未検知、検証活動：なし、結果：棄却、代替策：なし】			済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：不明】
	⑤IGCC 実証機を経由せず商用機を実現することで先駆的に事業化を成し遂げられる。 【事業化仮説：検知済み、検証活動：実施した、結果：棄却、代替策：失敗】			
現在の状況	開発から撤退	別の国プロで開発中	国プロで実証機建設、試験運転中	開発から撤退あるいは休止中

図表 6.8.2 IGCC 開発国プロ事例の事業化仮説検証結果

事例	事業化仮説総数	内、立証数	内、検証中数	内、棄却数	棄却からの対応策成功数	棄却からの対応策失敗数
A社	5	0	0	5	0	5
B社	3	1	1	1	1	0
C社	3	1	1	1	1	0
D社	4	0	0	4	0	4

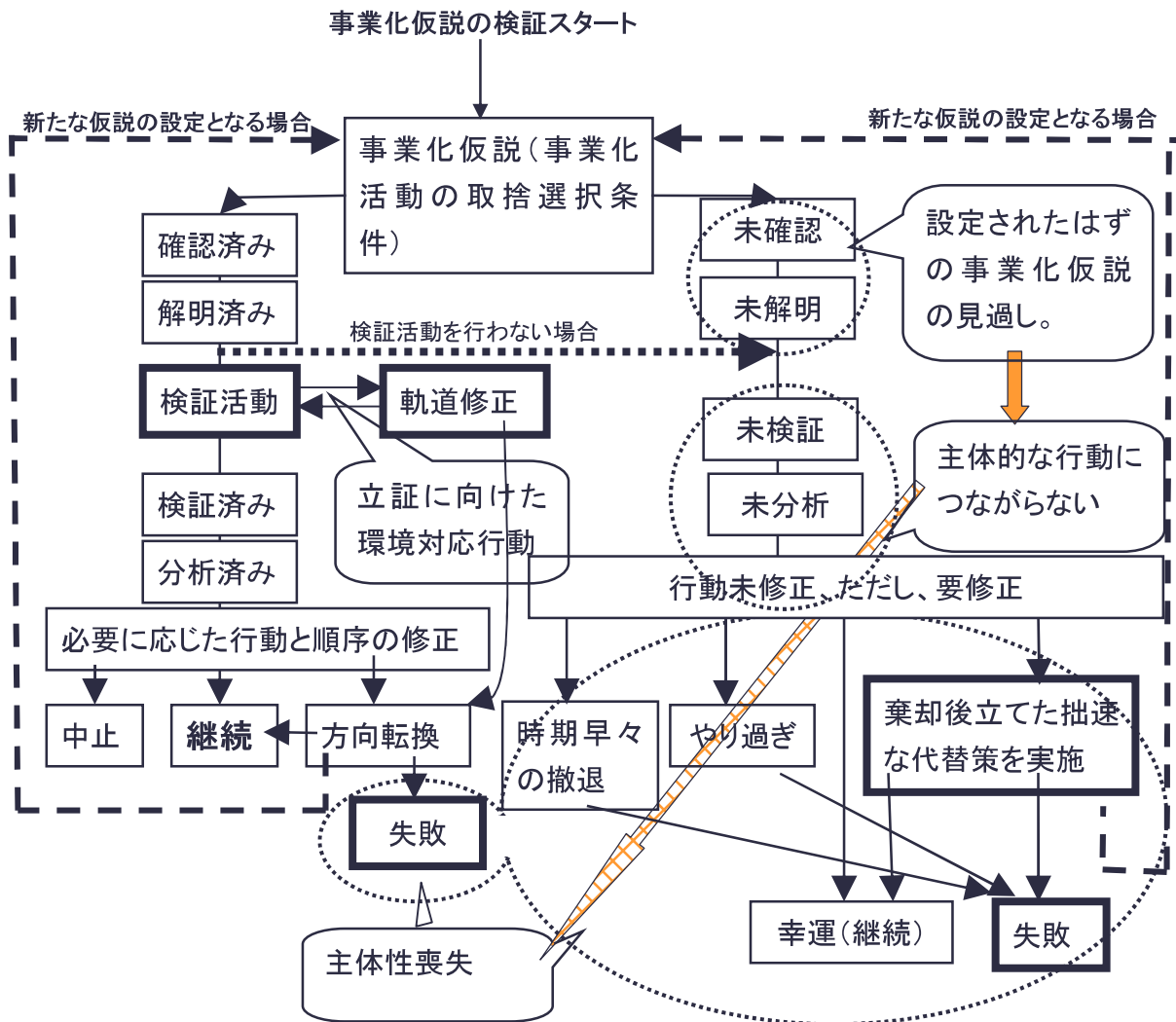
図表 6.8.3 は、図表 3.2.2 のブロックら【3・7】の事業化仮説の検証作業手順に検証活動を行わず（図表中の右側のフローに相当）に棄却の現実を突きつけられた場合に主体性喪失に陥る流れを追記した。初期段階で事業化仮説を確認出来なかったことが主体性喪失の原因になっていると言えるため、まずは全力で事業化仮説の検知に当たることが重要であると言える。

また、検証活動中（図表中の左側のフローに相当）に必要な応じて軌道修正することを追記し、検証結果を受けた軌道修正の程度によっては方向転換となり、新たな事業化仮説が設定されて同様の手順で検証作業を行う必要が出てくる場合があることも追記した。これら軌道修正の的確な発動によって事業化仮説を立証に導く活動が重要である。

なお、検証活動を行っていても事業化仮説が棄却となり、さらに軌道修正に失敗した場合

は主体性喪失に陥ることを追記した。つまり、主体的に検証活動を行っていても代替案策定時に何らかの制限が掛かったことが原因と考えられる。

代替策が失敗すると否定された仮説（前提条件）の下で事業化活動を継続しなければならず、結果的に成功可能性は大幅に低下せざるを得ないと考えられる。



図表 6.8.3 仮説の確認、解明、および必要な修正の手順
 (【3-7】図 7-1 に筆者が追記)

(2) 事業化仮説におけるコア技術の重要性

事業化仮説の存在を確認して主体的に検証行動を行うことの重要性は先ほど述べたが、事業化仮説に密接に絡むのが国プロで開発するコア技術への参加主体の開発取り組み姿勢であ

る。コア技術は開発製品の性能や特徴を決める基幹となる技術であり、この開発を行うために技術開発国プロがあるといっても過言では無い。コア技術開発の成否が事業化仮説に直結するため、参加主体は自社の実績や保有技術を踏まえて事業化戦略策定において開発すべきコア技術を選定する。国プロ実施主体から見て価値のあるコア技術には支援が続き、国プロに支持されているコア技術には社内からも支援が続く。逆に、コア技術の開発に失敗した場合や実施主体が期待する価値がなくなつたと判断した場合、国プロから外されてしまう可能性がある。国プロから外れると悪評価を受けたとされて、参加主体の社内からの支援が無くなるという悪循環に陥る。メーカーはコア技術の選定もさることながら開発途中でも常に開発価値のあるものに位置づける努力と実施主体に開発の意義を訴えて理解してもらう必要がある。

IGCC は非常に長期に亘って開発されてきた稀有なプロジェクトと言える。参加主体が価値ある技術を選んで開発してきたかどうか、長期になるほどはっきりと結果が出ている。長期戦に備えて、本当に開発する価値がある技術なのかどうかという真実の見極めが重要である。もし、優れた代替技術が出現したり進捗してきたならば、軌道修正したり、適切な対策をとったりして常に有利な地位に保つ活動が必要である。技術的な対応だけで無く相対的に早期の実用化なども対策となり得る。大型技術開発においてコア技術開発の方針転換は開発段階が進んだ後になればなるほど困難になってくる。よって、早期の仮説検証活動による方針転換は、コア技術に関する事業化仮説では特に重要となる。

6. 9 小括

IGCC 開発のような長期間に亘る大型国プロ開発では、多くの環境因子が変化しながら自社の開発活動に外乱を与える。これを乗り越えて成功に到達する為の主要因として以下の2点を抽出し、それぞれ欠けることなく関連させて適切な対応を取ることが重要であることを明らかにした。なお、IGCC は未だ実用化に至っていないが、実用化のためには開発を継続することが最低条件であり、そのため国プロから脱落しないための示唆として位置付けておく。

【事業化仮説への対応】

- ・ 事業化活動の前提となる事業化仮説を正確な環境分析に基づき周到に設定し、主体的に検証活動に取り組むことが必要である。事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、問題が小さいうちに適切な対応を取ることによって立証に近づくことが出来る。一方、事業化仮説を設定したにもかかわらず気が付かないまま放置すると、当然、事業化仮説が検証される段階がどこかも分からず、不本意な事態が訪れ、主体的な対応が出来ない（事業化仮説に対する主体性の喪失状態）まま最悪の結末に向かう可能性が高くなってしまう。
- ・ 事業化仮説を設定したと認識できなかった、あるいは、外部環境の変化によって事業化仮説となったが検知できていない潜在的事業化仮説についても存在を確認し、内容を解明し、検証していく行動が必要である。

- ・ 事業化仮説の検証結果を分析して軌道修正を含む次の行動に反映し、事業化仮説が最終的に立証あるいは棄却されるまでは、再び検証活動を進める作業手順のサイクルを回すことが必要である。
- ・ 事業化仮説は立証を目指すのが基本であるが、事業化仮説が検証される段階がどこなのかを予測して、棄却に備えて遅くとも棄却の兆候が出始めた頃には代替策を検討し準備しておくことは、的確な代替策を立てる余裕を持つ上でも大切である。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策としなければならない。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあると考えられる。検証結果が確定する前に複線的に代替策を行動に移すことが効果的な場合がある。

【国プロ対応のポイント：コア技術への対応】

- ・ 国プロでコア技術を開発する場合は国プロ実施主体の目指すゴールと自らのゴールを一致させ続けることを包含したコア技術開発の事業化仮説の設定が必要であり、実施主体へのアプローチを積極的に行い、コア技術への支持を継続させて共同検証する形を取ることで、開発成果を共有し、次のゴールも共有する開発スタイルが重要である。逆に実施主体がコア技術の判定者でしかないような関係では、コア技術の開発が成功しても他の理由によって実施主体が事業化仮説を棄却する場合がある。
- ・ 国プロ実施主体の期待は価値を認識できるコア技術の開発成功にあるとも言えるが、コア技術開発の成否に関する事項は事業化仮説であり、開発失敗や対抗技術の優位性は実施主体に大きな失望を与えるので避けなければならない。棄却が明らかなのに放置することは先延ばしに過ぎず、最悪の結果となる。主体的な検証活動による早期見極めと決断によって国プロ実施主体の支援を受けて方針転換を実施することで、結局、真に価値ある技術を選んで開発を続けることが最も重要である。

7. 国プロ活用事例分析

7. 1 成功事例分析の目的と方法

(1) 目的

IGCC 事例分析では、成功可能性を高くするためには事業化仮説に対して主体的に検証に取り組み、棄却の場合に備えておくことで事業化仮説に対する主体性の喪失状態に陥らないことの重要性を明らかにした。また、国プロ実施主体に仮説棄却時の代替策およびコア技術（製品仕様を特徴付け、性能を左右する中核技術）を支持してもらう重要性を明らかにした。しかし、IGCC は事業化に至っていないのでこの結果が他の事業化成功事例に適用できるのかどうかの検証が必要と言える。本章では、国プロにおいて支援を受けた発電技術が市場に投入されるに至った成功事例から事業化成功要因分析を行う。

(2) 対象事例

対象事例の抽出においては IGCC との類似性を確保するため、発電技術に関する事業化事例であること、国プロで技術開発した事例あるいは事業化に国の支援を受けた事例であること、大会社（従業員 10000 人以上）の企業内起業活動であることを条件とした。さらに、NEDO 委託による国の支援に絞った。この理由は、成功事例では実施者からの PR を兼ねた主観的な発信が多くなりがちになることが予想されるので、活動実態を客観的に把握するための情報を入手するためである。成果報告書の公開を義務付けている NEDO 事業では報告書から実施状況が掴め、かつ、事業化仮説に関する検証結果も含まれている可能性がある。

以上の条件の下で探索を行い、NEDO の技術開発支援を受けた C 社の太陽電池と風力発電の 2 事例を選んだ。また、NEDO が日本の省エネルギー技術普及と国際協力を目的に実施したモデル事業を活用した 2 つの成功事例を選んだ。これらはコア技術の開発は国プロ以前に済んでいて国内で事業化した後の海外市場での事業化への取り組みであるが、リスクの存在が明らかであり、NEDO が実施主体となり、相手国政府も工事を分担する国際共同プロジェクトであるので、国プロと位置付けた。

図表 7.1.1 に 4 事例の概要を示す。事業化の特徴を述べると、D 社のセメントプラント排熱回収発電と E 社のコークス乾式消火（CDQ : Coke Dry Quencer）発電は国の支援を得て海外市場事業化に成功した事例である。C 社の風力発電は事業開花までの長い年月の中で国の技術開発支援を受けて大型化の基礎を確立した事例である。C 社の太陽電池は国の技術開発と実証機会の支援を受けて事業化の加速に成功した例である。ここで C 社と D 社は IGCC 開発でも登場した 2 社である。E 社は日本を代表する鉄鋼会社である。

図表 7.1.1 分析対象とした成功事例

名称	企業	取組開始	事業開始	技術	売上、実績等
セメント排熱発電	D 社	1978 年頃	1980 年	自主開発	日本、中国で Top
CDQ 発電	E 社	1973 年	1981 年	導入技術→ 自主技術化	世界シェア 40%で Top
風力発電	C 社	1980 年	1982 年	自主開発	累計実績 3000 機以上
太陽電池	C 社	1996 年頃	2002 年	自主開発	国内製造シェア 1・2%

(3) 調査結果

ア. 情報源【7・1～169】

成功事例に関する情報を収集してレビューした結果、成功事例では開発企業からのポジティブで営業戦略に乗った情報発信が多いが、詳細に分析するとマネジメントに関するネガティブ情報（苦労話、失敗談など）が含まれていることが分かった。さらに、NEDO が公開した成果報告書や委員会資料等から開発活動内容に関する記述を抽出できた。成果報告書には詳細な折衝内容やトラブル対応などが克明に記載されているものもあり有効な情報源となった。

イ. 調査分析の基本手順

各事例の発信情報を整理するため、成功要因分析の基本手順を下記のとおり統一した。

① 下記の項目別に事業化活動を成功に導くための前提となる事業化仮説を分析結果から推測する。

- ・ 事業、スキーム選定について

【着眼点】 国プロの活用、参入経緯、参入目的、事業化戦略、機種選定、ビジネスモデル、事業化ロードマップ、競合相手、目標事業規模

- ・ 技術開発について

【着眼点】 国プロの活用、コア技術、獲得すべき技術、開発スケジュール、課題克服、製品差別化、ライセンス活用

- ・ 市場、社会情勢について

【着眼点】 顧客ニーズの把握、マーケティング活動、ターゲット市場の選定、顧客の取り込みと創造、環境変化への対応

- ・ 組織、マネジメントについて

【着眼点】 国プロの活用、事業化体制、マネジメント、リーダーシップ、予算獲得、起業家精神、トップマネジメントの関与

- ・ プロジェクト事例について

【着眼点】 国プロ事例、プロジェクト管理、コストダウン、チャレンジ精神

② 抽出した事業化仮説毎に検証活動分析を行い、検証結果を立証、棄却、判断保留のいずれかで判定する。判断の根拠となった事実や考察結果を明記する。

- ③ 棄却のケースについては検証後の対応分析を行い、代替策が成功したか成功していないかを判定し、判定根拠を示す。
- ④ 事業化仮説に対する一連の活動状況から得られた教訓や学習効果を抽出する。

(4) 調査結果概要

4 事例とも事業化に成功したからであろうか、多数の事業化仮説の立証結果が抽出できた。逆に棄却されたまま放置された事業化仮説は検出できなかった。さらに事業化仮説には特に問題も無く立証されたものから、チャレンジ要素が大きく失敗を克服してようやく立証できたものまであった。後者は克服によって得られた知見を強み（学習効果）として成功を引き寄せる要因となっていた。後者のような未知との遭遇を克服して成功要因へ転換した事象こそ事業化仮説に対する主体的な検証行動の現われと評価して、棄却の危機から立証へと転換した学習に基づく成功要因形成状況を分析する。また、成功要因に対して国（NEDO）が果たした役割や影響について分析し、今後の国プロ活用への示唆を得る。

7. 2 事例分析

7.2.1 セメント排熱回収発電

(1) 事例概要

D 社は大手総合重工メーカーであり、多くの大型プラント開発技術の実績を有する。主力事業であるセメントプラントでは原料からセメントを製造するために大量の高温の熱を必要とするため、石炭を燃やした燃焼熱を使用するが、その排熱は温度が 200～300℃である。従来はこの排熱を有効利用しきれず殆どを捨てていた。D 社の開発したセメント排熱回収発電はこの排熱を効率よく回収して蒸気を作り、蒸気タービンで発電を行うことが出来る省エネルギー設備である。この設備の技術開発から国内事業化、海外進出の契機となった国のモデル事業、さらに合弁会社設立でグローバルな事業展開を狙える位置に付けるまでの流れを D 社の事業化活動として分析した。D 社のセメント排熱回収発電の主な歩みを以下に示す。

1978 年頃～ 技術開発 国の支援を受けた形跡は見 当たらず	1980 年～ 国内事業化 1991 年までに 10 基建設した がその後市場 は閉鎖状態	1995 年～ 国のモデル事業を活 用した海外事業化を 決断 4 つのモデル事業 1995 年・1998 年中国 (I) 1998 年・2002 年ベト ナム 2001 年・2004 年イン ド 2002・2005 中国(II)	1998 年・2004 年 海 外で 16 基を建設 2007 年～ 中国で合弁事業開始 地球環境問題対策の 需要の波に乗って急 成長 受注実績は、2007 年が 40 基、2008 年が 30 基以上 【2008 年 10 月に久々 の国内向け受注を実 現した】
--	--	---	--

(2) 分析結果

図表 7.2.1.1 に分析結果から推測される事業化仮説分析結果の詳細を示す。全ての事業化仮説が立証されているが、このうち、検証過程で未知との遭遇に相当する失敗を経験したが、克服したことで学習効果をもたらしたとされるのは②⑦の 2 件であり、いずれも国のモデル事業に関する事業化仮説の検証行動とみなせるので、次のようにまとめて考察した。

ア. 分析結果から推測される事業化仮説

国内市場が縮減し、長期に冷え込んだとき、『自社技術の優位性を途上国で実証する国プロを活用して現地で事業を行う実力をつければ海外成長市場で事業展開できる。』という事業化仮説を立てた。

イ．仮説検証行動での失敗（未知との遭遇）

海外市場で戦うため、中国、インド、ベトナムなどの発展途上国向け国（NEDO 経由）のモデル事業プロジェクトを活用した。しかし、モデル事業特有の条件の下、相手国に起因する想定外の問題が発生し、困難に直面した。主な例は下記のとおりである。

- ：相手先の経験不足から来るモデル事業の重要性に対する共通認識不足。（日本側に比べて緊張感が欠如）
- ：発電プラントに無知な途上国のセメント会社（パートナー） 対応の負荷増大。（基礎からの運転指導が必要、勝手な操作を行ってしまう）
- ：プロジェクトマネジメント上のトラブル。（遅延、相手側のパートナーの技術レベルの低さによる余計な作業の発生）
- ：当初予定していた技術指導範囲が実質的に拡大し、受け入れ相手国パートナーへの教育訓練対応の負荷が大きくなった。

特に、この技術に関するモデル事業は D 社にとって最初の案件であり、制度に慣れていない中でのプロジェクトになった。しかし、リスクを取って途上国でのプロジェクトに挑み、相手国パートナーと一緒にプロジェクトを進める困難さに直面したが、この国プロを成功させなければ次はないというモチベーションを維持して克服していった。

ウ．失敗の克服によって得られた学習効果

D 社はセメント排熱回収発電で合計 4 回のモデル事業に取り組んできたとおり、相手国パートナーとの協同作業を如何に進めればプロジェクトを上手く進められるのかについて実体験に基づく知見を得ていった。中でも、プロジェクト環境やパートナーの特性に合わせて自らが柔軟に対応するコツを掴んだと考えられる。この結果、最初のモデル事業終了後のわずか数年で 16 基の建設を実現した。

世界最大の市場である中国でビジネスを成功させるため、現地事情に精通した中国企業と Co-benefit（両者に利益をもたらすこと）な関係を作り中国内に製造拠点も移した合弁事業にする必要性を認識して実行に移している。その結果、低コストと高品質を強みとした事業展開に結び付けることができた。

日本で開発した高級なコア技術を後進国に適用するノウハウを持ったことで、海外のセメントプラント市場で有利に立てるようになった。

エ．国プロ支援内容

この事例ではコア技術開発は D 社が自己資金で行い技術改良を国内市場で実施後、海外進出に国（NEDO 経由）のモデル事業を活用した。よって、多数の国内実績を保有しており、NEDO は「コア技術は信頼性が高い」と評価している前提がある。ただし、D 社のコア技術が海外の途上国市場で受け入れられるものかについては、検証が必要であり、モデル事業の成功要件となっていて、NEDO にとってはプロジェクトリスクであった。

モデル事業では、NEDO が実施主体として主契約者となり D 社はプロジェクトエンジニアリングに専念可能となった。さらに、NEDO はモデル事業の費用支援、相手国との

折衝、実施前の調査支援、実施後のフォローアップ業務や普及活動支援と広範囲にサポートした。

結局、D 社が自らのコア技術を自在にハンドリングして相手国のパートナー企業の要求に柔軟に対応したことで、無事完成し所定の性能を出していることに加えて、中国での合弁事業にまで発展するなど、途上国に対する技術貢献の好適事例として NEDO は高い評価を与えている。NEDO はモデル事業成功による国際協力の実現が国益になるとの判断で協力したが、D 社の事業化仮説の立証に向けた活動とベクトルが一致し補完し合ったことも成功要因と言える。

D 社のセメント排熱発電設備事業は国からも高い評価を受けており、地球温暖化防止の観点から、国の支援を継続して受けられる可能性が高い。

図表 7.2.1.1 セメント排熱発電の分析整理表

主要項目	分析結果
テーマ：	D 社セメント排熱回収発電
取組の流れ：	1978 年ごろ開発開始 1980 年 国内事業化(実績 10 基、1991 年で国内案件途絶える) 1995 年 海外モデル事業開始 1998 年～2004 年 海外で 16 基建設(内、中国 13 基) 2005 年 中国で 11 基の大型受注獲得 2007 年 中国合弁事業開始
組織：	D 社自身(2007 年に D 社から分社化された会社が事業を引き継いでいる)
商品営業開始：	1980 年にセメント排熱プラントの一号機を国内に納入
概要(開発のきっかけ含む)：	・セメントプラントはシステム内で熱を有効利用しているが、200℃から 300℃程度の排ガスの熱は捨てられていた。他社においても排熱回収の検討はなされてきたが、プラント内だけでの熱エネルギーの回収・利用には限界があり、事業化が進まなかった。 ・1978 年ごろ、セメントプラントにも省エネ対策が求められる様になった。これに対応するためプラント排熱を回収して発電に利用するシステムを着想し、有効性を検討した結果、事業性が期待できるので開発を開始した。
商品の社内位置付け：	・主力のセメントプラントの付加価値向上 ・設備単体での販売事業
目標市場位置付け：	・セメントプラント建設市場 ・既設セメントプラントの省エネ化改造市場
目標対象顧客：	セメント会社
技術導入：	自主開発技術
開発技術：	灰がつきにくい熱回収器、付着灰を効果的に脱着するハンマリング設備、低温で回

		る蒸気タービン、制御設備		
総開発費用（概算）：		不明		
競合先：		エンジニアリング会社、重電会社		
実機実績：		29 基 内訳 国内 10 基、海外 19 基（台湾、中国、ベトナム、インド、韓国） 合計発電出力 38 万 kW (2007 年 4 月時点)		
類別	分析結果から推測される事業化仮説	事業化仮説 検証活動分析	検証結果（○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察）	検証後の対応分析（○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：教訓、学習効果。）
事業、スキーム選定について	①他社が目をつけなかったセメントプラントからの低温排ガスの利用方法には事業化の可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネルギーの進んだ日本でも捨てられていた 200～300℃の排ガス有効利用に目をつけた。 ・低温排ガスを加熱源として利用するのではなく、有効利用のため発電するという発想が出た。 ・排熱回収、灰処理、低圧蒸気タービン等のコア技術を保有し、更に事業化を進めるための技術開発に成功した。 	<p>○</p> <p>→一般に 200～300℃の排熱の有効利用は投資設備回収に通常長期間かかるとされ、国の支援を活用しないと実現困難だと思われていたが、D 社は常識にチャレンジして他社が参入しない分野にビジネスチャンスを見出そうとした。競合他社は最初から経済性の低さを見込んで実施していなかったのかもしれない。しかし、エネルギーコストの高騰によりセメントプラントの省エネによる経済性向上を客先が指向するようになり国内市場が拡大し、有利な地位を確保した。</p> <p>→事業化にはコア技術を纏め上げる総合力が必要だったが、D 社は重工業企業であり元々備えていた。また、強力なマネジメントの支援とリーダーシップがあったと思われる。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→すぐれた着眼点と強力なリーダーシップの存在、起業家精神があった。</p>
市場、社会情勢について	②国の支援を受けた海外成長市場でのモデル事業を成	<ul style="list-style-type: none"> ・当初は省エネ投資が活発な国内販売が主目的のようない実績になっている。し 	<p>○</p> <p>→この発電設備は唯でさえ客先が電力会社ではなく発電設</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→モデル事業に応募し、発展途上</p>

て	功させて、事業化を成功させる。	<p>かし、市場の縮減により国内は 1991 年を最後に受注が無かったため、暫らくはじり貧状態になったが、第二創業とも言える行動に出た。それが海外進出に活路を見出したことであり、その際、創設間もない国の支援を活用してプロジェクトを推進した。</p> <p>・国の支援を受けるためには発展途上国への技術支援義務付きと言う条件が一般的であり、かなりの技術移転を要求されるリスクを背負わされるが、あえて打って出た。さらに、発展途上国向け仕様に対応した設計改良や供給体制確立が必要であった。設備の供給だけでなく発電設備運転員の教育も必要であった。</p>	<p>備に不慣れなセメント会社に納入すると言う苦労がある。</p> <p>→工事においても遅延対応やコミュニケーションの苦労の跡が見られる。しかし、D 社はひとつひとつ解決していった。そのことが、今後の事業を行う上で糧となっている。</p> <p>→国の支援を受けることのメリットデメリットを分析した上でリスクが大きくても結論は事業を継続発展するためには進むしかないと踏み切った。</p> <p>その際、国と一緒に進むことで大きな安心感や社内の説得に効果があったと思われる。但し、国プロでは表立った失敗は許されないため相当のプレッシャーはあったと思われる。</p>	<p>国市場にチャレンジした。当初はトラブルや失敗があったが、誰も歩んでこなかった道であり一つ一つ克服して糧にしていた。</p>
技術開発について	③セメント灰の伝熱管への付着防止対策を開発してコア技術（製品仕様を特徴付け、性能を左右する中核技術）とする。	<p>・開発当初から主要な課題であったが、セメント灰による熱交換効率の低下を防ぐ為の様々な試験を実施して最終的に垂直型管配列を選定し、連続式ハンマリング設備を開発してコア技術とした。</p> <p>・このコア技術は 1 号機以来使われているノウハウの塊であり、モデル事業でも採用している。</p>	<p>○</p> <p>→コア技術を獲得し、継続的な改善を行っているところが強みの源泉になっている。</p> <p>→海外向けには国内向け技術仕様を簡素化して対応する方法がよく取られるが、このような信頼性や性能に大きな影響を及ぼす重大なコア部分はたとえ途上国市場向けでも絶対変えないという技術へのこだわりを持っていると思われる。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→製品価値向上の追求、技術へのこだわりがあった。</p>
技術開発について	④中国での急激なプロジェクト数の増加に対応するた	<p>・蒸気タービンのコア技術を自社で保有しているので様々な設計仕様自在に</p>	<p>○</p> <p>→国内市場のように一品一品設計すると最適仕様は実現し</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→市場と真摯に向き合うことが重</p>

	め、柔軟な設計対応を止めて、蒸気タービンを3種類のタイプに絞り標準設計を徹底する必要がある。	対応可能であるのかかわらず、中国市場に対応するため選択と集中に徹した。	やすいが、設計や製作期間が長くなり、コストも高くなり、トラブルも生じやすい。中国市場での成功を海外事業の橋頭堡とするため、プロジェクト全体を戦略的に運営して成功させることを優先し、個々の設備の最適設計には拘らず、納期と信頼性を優先した。	要である。小戦略は大戦略のためにあるという位置付けが明確である。
組織、マネジメントについて	⑤中国で合併企業を立ち上げて中国市場に根付くことが成長するために必要である。	<p>・世界最大の市場向けに競争力のあるコストと高い技術力で制するため有力客先とセメント排熱発電を主力とする会社を設立した。合併のパートナーとなった中国の大手セメント会社と組むことで優秀な現地の人材と中国国内のブランドの両方を獲得し有利なスタートが切れた。</p> <p>・地球温暖化の波に乗って2007年から2008年にかけて売上を6倍に増やすなど急成長をしている。合併企業からの海外への輸出も始めた。</p>	<p>○</p> <p>→モデル事業では対象国への技術移転を掲げているため、中国メーカーに主要機器を製作させてきたり、協力企業を育成してきたりしたことが合併会社のスムーズな立ち上げにつながった。もし、主要機器を日本など海外調達に頼っていたらこの展開は難しかったと思われる。</p> <p>→パートナー会社からの大量受注とその対応が評価されたことであり、その発端はパートナー会社の前身の会社に対して実施したモデル事業の成功があった。一方、D社から見れば中国市場の急拡大を肌で感じ取ったことが背景にあると思われる。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→事業発展戦略の中では技術移転要求はリスクではなかった。市場構造を分析して対応していった結果、事業拡大のために必要なことであることが分かった。</p> <p>→モデル事業での客先とのつながりを大切にすることが発展のきっかけとなった。</p> <p>→戦略に沿って組織を組み変えて成長を実現した。</p>
プロジェクト事例について	⑥海外事業展開に国プロを活用できる。	<p>・国の制度を活用して支援を受けたことはプロジェクト資金の補助による推進力を得ること以上に、相手国との折衝場面でのスムーズな遂行が可能になった。その後の普及のための活動にも支援を受けることが出来た。</p>	<p>○</p> <p>→国プロのあり方が多様化し、従来の技術開発指向一辺倒ではなく、日本の技術を海外で認知させることで国内企業の市場機会創造につなげて行くという事業育成も対象になってきた。日本の省エネ技術を途上国に移転することでその国の</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→周到な事前検討と明確な戦略が功を奏した。</p>

		<p>・技術支援の位置付けから日本側がパートナー国の指導や設計レビューを実施する必要があるなど手間は掛かった。</p> <p>・一方でモデル事業はメーカーにとって必ず予定通り遂行して成功させなければならない存在であり、例えば中国モデル事業において、SARS の発生により渡航できない時期も生じたが予定よりも半年早く完工して見せた。</p>	<p>発展に寄与するという国の方針に沿って NEDO モデル事業制度が創設され、国の資金がリスクのある途上国市場開拓に活用できる提案が可能になった。</p> <p>→D 社は国の政策動向や方向性を見極めて戦略を練り自らの事業発展を果たした。モデル事業は背景に国がいるため失敗は許されないというリスクはあったが、それを上手く使命感に変えて、チーム内のモチベーションを維持できた。</p>	
プロジェクト事例について	<p>⑦モデル事業では様々なトラブルや難題が発生するが克服して成功させることで海外市場進出を果たす。</p>	<p>・インド：インド側パートナー企業の財務悪化により、パートナー企業所掌の材料調達や工事に遅延が発生した。パートナーによる海外調達品の輸入税の支払いが滞り通関が半年間遅れ、結果的に 8 ヶ月の遅延が発生した。</p> <p>・ベトナム：使用する燃料仕様を現地パートナーが勝手に切り替えたことで、操業条件と蒸気タービンの設計値が合わなくなり、許容値を超える蒸気温度で運転を行っていた。定期点検を怠っていたため蒸気タービンのガバナ制御油圧が不安定になる事象が発生した。伝熱管打撃用ハンマーの回転頻度をパートナーが通常の数倍にしていたことから、短期間で破損した。</p>	<p>○</p> <p>→トラブルの殆どは現地パートナー側に起因するものであるが、発展途上国への技術援助と言うモデル事業の方針に則り辛抱強く克服している。一方で、これらの国でビジネスをおこなう際の課題が明確になり、中国での合弁企業設立の要因になった可能性もある。</p> <p>→モデル事業の実施後も設備の診断を実施するなどのフォローアップを徹底して実施して成功プロジェクトを印象付ける努力をした。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→プロジェクトを通してしか顕在化しない問題の内容を解決して行くことで得た実体験を次ぎの機会に活かすことができた。</p>

		<p>・中国：技術当初からレベルの違うパートナーと対等な関係で付き合う必要があり、技術指導しながらプロジェクトを遂行する難しい対応が必要であった。第二期には、主機（蒸気タービン、発電機）を中国調達に変更する必要があり、さらに技術移転を進めなければならなかった。</p>	
--	--	--	--

7.2.2 コークス乾式消火（CDQ）発電

（１）事例概要

E 社は日本の最大手鉄鋼メーカーであり、自社製鉄所設備向けの設備を建設するエンジニアリング部門を抱えていて外販も行っている。製鉄で使用するコークスを石炭から製造するコークス炉から排出される赤熱コークスは 1000℃以上の高温であり、利用したり、貯蔵したりするためには冷却する必要がある。従来の湿式消火法では水をかけて直接冷却するため熱の有効利用が困難であった。CDQ 発電は窒素などの不活性ガスを媒体として赤熱コークスから熱を回収して蒸気を作り、蒸気タービンで発電を行う省エネルギー設備である。発電規模は 10・45MW である。この E 社の技術開発から国内事業化、海外進出の契機となった中国でのモデル事業、さらに事業拡大に向けた体制整備までの流れを E 社の事業化活動として分析した。E 社の CDQ 発電の主な歩みを以下に示す。

<p>1973 年 旧ソ連から技術導入し自社製鉄所向けに実用化検討開始</p> <p>1976 年 パイロットプラント兼実機を自社製鉄所に建設</p>	<p>1984 年～1995 年 自社製鉄所向けに次々と実機を建設した。技術改良を重ね、自社技術として育成して行った。 (～1989 年頃)</p> <p>1995 年までに 20 基を建設したが、自社向けは 13 基を数える。特に海外向けは 5 基だが 4 基 (1985 年)は E 社が会社立ち上げから技術支援を行った中国企業向け。</p>	<p>1996 年～ 国の支援を受けたモデル事業による中国市場での事業化を決断</p> <p>モデル事業 1996 年・200 年 1 中国 2006 年・2009 年</p>	<p>2003 年～ 中国市場向けに合弁事業を開始</p> <p>2006 年～ E 社本体から事業を関連会社に移管するとともに技術開発を進めて世界最大規模の大型化に成功 環境、とくに CDM*1 の波に乗って急成長 受注実績は、2007 年が 8 基、2008 年が 8 基以上など、累計 66 基に上る。</p>
---	---	---	--

注記 *1)CDM とは、先進国が途上国で温室効果ガス削減事業に投資し、削減分を京都議定書の温室効果ガス削減目標達成に利用できる制度。

(2) 分析結果

図表 7.2.2.1 に分析結果から推測される事業化仮説分析結果の詳細を示す。検証中は 1 件であり、10 件中 9 件の事業化仮説が立証されているが、このうち、未知との遭遇に相当する失敗を経験して克服したことで学習効果をもたらしたとされるのは⑤⑨の 2 件であり、いずれも中国でのモデル事業に関する事業化仮説の検証行動とみなせるので、まとめて次のように考察した。

ア. 分析結果から推測される事業化仮説

外販に注力しなくても事業継続可能な自社向け市場機会が長期に亘って保証されていたが、一方で事業拡大も実現できていなかった。世界的な省エネ化への流れを捉えて、『自社技術の優位性を途上国で実証する国プロを活用して現地で事業を行う実力をつければ海外成長市場で事業展開できる。』、という事業化仮説を立てた。

イ. 仮説検証行動での失敗（未知との遭遇）

E 社が中国進出に活用したのは D 社のセメント排熱発電と同じ、発展途上国向け国 (NEDO 経由) のモデル事業プロジェクトである。E 社はモデル事業制度発足以降、別の技術内容で 2 度の事業を行っていて、モデル事業に対する経験を保有していた。但し、本モデル事業のサイトは北京市郊外であり、注目度が高く失敗は許されなかった。しかし、効果的に事業転換を図るためには、リスクをとって巨大潜在市場である中国の首都で象徴

的に実施することが必要と判断した。しかし、モデル事業特有の条件の下、中国側パートナーとの共同作業で実行しなければならず、慣習の違いによる困難に直面した。主な例は下記のとおりである。

- ：相手先の経験不足から来るモデル事業の重要性に対する共通認識不足。（日本側に比べて緊張感が欠如）
- ：中国側パートナー分担分の進捗の遅さ、契約書の誤解釈、一方的な相手国慣習の押し付けが発生
- ：技術供与での日中の技術レベルの違いによるパートナーとの多数の調整作業が発生、合意取りつけの難しさに直面
- ：相手国政府の不必要で負荷を高めるような介入（不要な検査の強要、過剰仕様要求、強制出費）

しかし、リスクを取って中国北京でのプロジェクトに挑み、相手国と一緒にプロジェクトを進める困難さに直面したが、国を代表する製鉄会社である E 社は、象徴となる国プロを成功させて中国の省エネルギーに貢献すると同時に、潜在市場を顕在化させる意義を掲げてモチベーションを維持して克服していった。

ウ．失敗の克服によって得られた学習効果

E 社はプロジェクトをやり遂げたことによって、中国市場で事業展開するリスクについて身を挺して体験でき、次のビジネスにつなげるための足がかりを構築できた。モデル事業のパートナーである製鉄会社のビジネス習慣を分析する機会を得たことで、客先となる他の製鉄会社向けのビジネスに活かすコツを掴むことができた。中でも、現地の仕事の進め方に対応する柔軟性を身につけた。

日本企業が中国でビジネスを成功させるためには商慣習への理解だけでなく、モデル事業で技術移転というインセンティブを求められたように中国（政府）にとってメリットのある事業にする必要性を認識して、合弁を作って中国側企業との Co-benefit（両者に利益をもたらすこと）な関係を作り、国内に製造拠点も構築して中国への貢献をアピールしている。さらに、市場競争力強化のため技術移転をポジティブに捉えて積極的に現地調達を進めて安さと品質を兼ね備えた供給体制を築けた。現在では、中国企業との合弁事業を含めて、E 社は CDQ の世界最高シェア 40%（2008 年）を持っている。

エ．国プロ支援内容

この事例ではコア技術開発は E 社が海外技術導入後自己資金で改良して国内市場で経験を積みながら自社のコア技術とした。D 社の例と同様に海外進出に国（NEDO 経由）のモデル事業を活用した。よって、多数の国内実績を保有しており、NEDO は「コア技術は信頼性が高い」と評価している前提がある。ただし、E 社のコア技術が海外の途上国で受け入れられるものかについては、検証が必要であり、モデル事業の成功要件となっていて、NEDO にとってはプロジェクトリスクであった。モデル事業では、NEDO が実施主体として主契約者になったことで E 社はプロジェクトエンジニアリングに専念可能となった。NEDO はモデル事業の費用支援、相手国との折衝、実施前の調査支援、実施後

のフォローアップ業務や普及活動支援と広範囲にサポートした。

結局、E 社が自らのコア技術を自在にハンドリングして相手国のパートナー企業の要求に柔軟に対応したことで、無事完成し所定の性能を出していることに加えて、現地で合弁事業にまで発展するなど、途上国に対する技術貢献の好適事例として NEDO は高い評価を与えている。NEDO はモデル事業成功による国際協力の実現が国益になるとの判断で協力したが、E 社の事業化仮説の立証に向けた活動のベクトルと目的が一致し補完し合ったことも成功要因と言える。なお、モデル事業サイトが北京市郊外の製鉄所であったことは、予想通り注目プロジェクトとなりプレッシャーも大きくなったが、インフラや交通の面で利便性が高く、さらに NEDO も相応に充実した支援を実施したことで、結果的にプラス要因も多かったと考えられる。

このモデル事業は中国での CDQ 建設ブームの起爆剤となったことで、E 社のモデル事業は国から高い評価を受けている。2009 年春、麻生首相が現地を訪問して「最も成功した日中共同事業の一つ」と讃えている。この省エネルギー技術は地球温暖化防止の観点から、国の支援を継続して受けられる可能性が高い。

図 7.2.2.1 CDQ 発電の分析

項目	結果
テーマ：	CDQ 発電
取組の流れ：	<p>1973 年 旧ソ連からから技術導入し、実用化を検討</p> <p>1976 年 自社製鉄所にパイロット兼実機を建設（運転結果から実機適用のため技術改良が必要と判断）</p> <p>1981 年 実用化技術を確立し、実機建設開始</p> <p>1987 年頃 大型化、高性能、経済性を目指した技術開発により自社技術として技術確立</p> <p>1996 年 中国向け国の支援を受けたモデル事業開始</p> <p>2003 年 中国で合弁会社設立</p>
組織：	E 社自身（現在は 2006 年から関連会社にて事業を実施している）
商品営業開始：	1981 年頃
概要（開発のきっかけ含む）：	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石油危機後、国内に省エネの機運が高まり、製鉄会社としての責任の果たし方を検討した結果、CDQ が製鉄所の省エネ対策の一つとして浮上した。 ・ 鉄を作るには、高炉に鉄鉱石とコークスを入れ、高温のガスを流すと、コークスが鉄鉱石を還元して鉄ができる。製鉄に必要なコークス（高粘結炭を蒸し焼きにしたもの）はコークス炉で製造される。コークス炉から出るときのコークスは 1000℃以上の高温であり、一度冷却して高炉に送られる。従来は水をかけて冷やしていたため、冷却熱が放散し、同時に煤じんや環境阻害成分も大気に飛散していた。CDQは赤熱コークスをチャンバー内に入れて冷

	<p>却用窒素を流すにことによって冷却し、温められた窒素から蒸気を作る設備である。蒸気は汎用性の高いユーティリティであるが、CDQ 発電はこの蒸気で発電を行う設備である。</p> <p>・ E 社は 1973 年旧ソ連から技術導入し、自社製鐵所に自ら建設し、運転しながら欠点を改良していった。1987 年頃には自社技術を名乗れるようになった。</p>			
商品の社内位置付け：	製鉄事業の関連新事業（省エネルギー商品）			
目標市場位置付け：	<p>コークス炉新設市場</p> <p>既設コークス炉への CDQ 発電装置追加市場（蒸気をプロセスで利用する場合も含む）</p>			
目標対象顧客：	製鉄会社、コークス製造会社			
技術導入：	1973 年旧ソ連から技術導入（未成熟技術であり、E 社が実質的な技術開発を行って 1987 年ごろには自社技術として確立した）			
開発技術：	大型化、高性能化、高信頼性化など全般にわたって独自技術を開発した。当初導入した旧ソ連の技術は旧式と位置付けている。			
総開発費用（概算）：	不明			
競合先：	製鉄会社、ボイラメーカー			
実機実績：	国内 22 基を含む全世界で累計 66 基以上（2008 年）、世界 40%のトップシェアを持つ			
類別	分析結果から推測される事業化仮説	事業化仮説 検証活動分析	検証結果（○：立証された。×：棄却になった。 △：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察）	検証後の対応分析（○：代替策に転換成功。 ×：成功していない。→：教訓、学習効果。）
事業、スキーム選定について	①CDQ 技術は省エネルギー効果と環境性向上が期待でき、自社開発よりも早期に自社製鐵所内に普及させることを優先すべき。	・赤熱コークスは 1050℃の高温エネルギーを持っているにもかかわらず、従来は水を掛けて冷却してきたため熱回収を行ってこなかった。熱回収のために空気を流したり、密閉したりすると爆発する危険性があるので実現しかなかったが、それを回避する方法として不活性ガスである窒素を冷媒に使用することや、大型設備における密封性確保も技術課題であった。E 社は早期実現のため基本技術を旧ソ連か	○ →トップの省エネルギーに対する理解があった。自らが設備のユーザーでもあり、省エネのメリットを早期に実証することが最重要と考えたと思われる。そのため、一から開発する必要がある自社技術には拘らず、技術導入プラス改良技術の付加で対応するのが得策と判断したと思われる。	（立証済み） →すぐに実証の機会があれば技術開発に必ずしも拘らない。CDQ の早期実現という真の目標到達を優先する戦略が功を奏した。

		ら導入した。		
事業、スキーム選定について	②CDQ を普及させるためには、率先してCDQ 設備を自社製鉄所に導入し、実証を成功させる必要がある。	・当事は、オイルショック後のエネルギー節約ブームが起こっていて省エネ設備としてニーズが出ていた。一方、ワークスに水をかける従来の方法では国内では環境問題、近隣住民問題で受け入れられなくなると予想されていた。結果的には、これらの問題は顕在化し、国内製鉄会社はE社に続いて積極的に導入していた。	○ →ネガティブ要因の克服がビジネスにつながった事例ともいえる。 →経営トップの事業環境分析に対する洞察力と、CDQ 実用化チームが実証を最優先とする戦略を正しく遂行したことが勝因。	(立証済み) →ニーズを早くから突き止めて積極的に対応することの大切さ。
事業、スキーム選定について	③導入した技術は未熟なものだが、自社で改良・開発することで魅力的な技術に仕上げるができる。	・導入技術はそのままでは実機に使えなかったが、いち早く自社の製鉄所内にパイロット機を建設し、運転を通して、技術改良を行い使える技術に仕上げた。 ・自社の製鉄所向けに建設し、運転結果を元に改良するという PDCA サイクルを重ねて行ったことで技術導入先と対等以上の関係になって行った。	○ →技術導入の際に技術内容の見極めが適切であった。1号機は自社のリスクでパイロット機として建設して実証要素を検証している。つまり、自ら設備のユーザーでもある立場を利用して運転データを元に技術改良を進めて、付加できる独自技術を増やしていく戦略であったと思われる。また、改善活動は地道ながら継続性が高く、大型化や熱効率向上や経済性向上で成果を出し続けている。	(立証済み) →導入技術であっても自らの技術を付加し、その割合を大きくして行くことで主体的に事業を行えるように力を付けていく戦略が功を奏した。
市場、社会情勢について	④1050℃の高温エネルギー源であり、排熱回収すれば10年以内で元がとれ、技術があれば、比較的容易に普及すると言われていたが、市場	・CDQ は製鉄所のシンボルでもある高炉よりも難しい技術とされているが、製鉄は国の基幹産業であり、その消費エネルギー量は膨大であるので、省エネ対応は必須の状況であった。E社は、1973年の	○ →新技術を自社設備で実証できるという恵まれた環境があったことはメーカーではない同社が事業化に成功したきっかけともいえる。	(立証済み) →自社の強みを活かした事業化手法、 →外販活動の積極性が乏しい。コ

	<p>で優位性を確保するためには他社に先駆けて取り組み、自社の設備に導入して実証することが必要である。</p>	<p>技術導入により実用化狙った。</p> <p>・1995年頃まではE社以外への外販の割合は低く、CDQ建設市場はあったが、当時、本気で外販しようとしていなかったのか、競争力が無かったのかは不明。</p>	<p>→後に設備の外販もするエンジニアリング部門を立ち上げていて、外販を事業として行う体制が出来ていた可能性はあるが、市場を分析してメーカーと激しい受注競争をするような事業環境ではないと判断したのかもしれない。</p>	<p>ンスタントな自社向け需要があり、メーカーのように無理に市場に出て行く必要性が小さかったのかもしれない。</p>
市場、社会情勢について	<p>⑤国の支援を受けた海外成長市場でのモデル事業を成功させれば、外販を中心とした事業化を成功できる。</p>	<p>・1995年までは自社向けの建設の割合が高く、外販は少なかった。成長市場である海外、特に中国進出に活路を見出した。</p> <p>・自社CDQの競争優位性を示すため、他社製コークス炉への追設改善という難しい工事を、国の支援を活用したモデル事業により推進した。</p>	<p>○</p> <p>→環境問題の広がりを予見して事業拡大の機をうまくつかんだ。</p> <p>→モデル事業は良いきっかけではあったが、国の支援を受けるためには発展途上国への技術支援義務付という条件が一般的であり、かなりの技術移転を要求されるリスクを背負わされるが、あえて打って出た。</p> <p>→工事においても遅延対応やコミュニケーションの苦労が見られる。しかし、E社はひとつひとつ解決していった。そのことが、今後の事業を行う上で糧となっている。</p> <p>→2003年に最大市場の中国向けに現地合併企業を起こして事業を行うまでになっている。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→発展途上国市場にチャレンジした。当初はトラブルや苦労があったが、誰も歩んでこなかったため経験を積み、克服して糧にしていた。</p>
技術開発について	<p>⑥技術開発を継続して行い、導入技術に付加する自社開発した技術を増やしていくことで、自社の技</p>	<p>・E社はソ連の技術は水準が低いものと評価しており、CDQの操業経験に基づき改善が必要であった。しかし、改善レベルにとどまらず独自技術開</p>	<p>○</p> <p>→技術開発によって技術導入した技術に改良を加えても通常は導入先の資産になってしまうが、E社</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→導入技術を改良するならば徹底的に行い、対等以上のポジショ</p>

	術として認められる日が来る。	発のレベルまで高めた。主な特徴は、本体の高さと塔径の比率を独自に設定してスケールアップに対応（導入技術では比率一定）、ベル式ディストリビューター（導入技術にはなし）および給水予熱器（導入技術にはなし）の採用による熱効率向上、連続式コークス排出設備（導入技術にはなし）の採用による安定運転の実現など多岐にわたる。	は上手く戦略を構築し、例えば将来を見据えた契約内容を結んだ可能性がある。結果的にE社の技術と言われるまでに改良を加えたのが功を奏し、主体的に外販でき、さらなる改良を継続できるまでになった。	ンを確保する戦略が功を奏した。
組織、マネジメントについて	⑦中国で合併企業を立ち上げることで、中国市場へ全面展開できる体制を構築できれば、成長を実現出来る。	<ul style="list-style-type: none"> ・世界最大の中国市場を競争力のあるコストと高い技術力で制するため有力客先とCDQ発電装置の外販を主力とする会社を設立した。 ・CDQ事業を行っていたエンジニアリング子会社を分社化し、外販体制を強化した。このエンジ会社にとってCDQ発電は主力事業の一つに位置付けられた。また、大型化など競争力向上の技術開発を積極的に行えるようになった。 ・結果的にE社本体が取り組んでいた時よりも、売上および受注高ともに伸びている。 	<p>○</p> <p>→中国で事業を行うためには現地企業との協業が必須と言われているが合併会社を作ったことで市場に根ざした事業活動ができる。この背景にはモデル事業での経験から得られた学習効果が反映されていると思われる。</p> <p>→製鉄会社の一部門よりも社員のモチベーションは高くなると思われる。また、身軽になったことで積極的な展開も可能と思われる。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→市場構造を詳しく分析して適切な対応を行ってきた結果であり、戦略に沿って組織を組み変えたことが功を奏した。</p>
プロジェクト事例について	⑧中国市場開拓に国の支援を活用できる。	<ul style="list-style-type: none"> ・国の支援はプロジェクト資金の補助に留まらず、事前FS支援、相手国との折衝の一部の引き受け、プロジェクト遂行業務のサポートや便宜供与にまで及んだ。 ・モデル事業終了後、技術の普及活動にも支援を受けることが出来た。ただし、技術支援の位置付けから日本側はパ 	<p>○</p> <p>→国プロのあり方が多様化し、従来の技術開発指向一辺倒ではなく、日本の技術を海外で認知させることで国内企業の市場機会創造につなげて行くという事業育成も対象になってきた。</p> <p>→日本の省エネ技術を途</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→周到的な事前検討と明確な戦略があった。</p> <p>→国と成功のゴールを共有することで様々なメリットを受けることが出来る。</p>

		<p>ートナー国側の意見を尊重した技術指導や設計レビューを実施する必要があるなど手間は掛かった。</p>	<p>上国に移転することでその国の発展に寄与するという国の方針に沿って NEDO モデル事業制度が創設され、国の資金が活用できる提案が可能になった。 →このモデル事業は世界で最初の CDQ による CDM プロジェクトとして承認された。E 社は大いに存在感を示すことが出来たが、これも国益と考えた国の CDM 化支援を受けて実現した成果と言える。</p>	
プロジェクト事例について	<p>⑨モデル事業では様々なトラブルや難題が発生するが克服して成功させれば海外市場進出を成功できる。（中国での導入例について）</p>	<p>・中国のモデル事業では相手国のスケジュールに対する作業の遅れ、合意に基づく作業をやっていないなど困難に面した。途中、4 ヶ月の遅れまで生じた。しかし、E 社の努力により最後は予定通りの日程で完成させた。完成した設備を日中協力の成功例として日本の首相が訪問した。</p> <p>・E 社の体験した想定外の事例。</p> <p>：スケジュールを本気でキープしようという風土が無い。</p> <p>：中国側で作れるとパートナーが主張した機器や現地施工分は中国で実施するものの、実際は相当な技術開示、教育、指導が必要だった。</p> <p>：中国のルールが押し付けられた。（例：技術を熟知した日本側が不必要としている確認試験の実施を要求された。）</p>	<p>○</p> <p>→プロジェクトチームの苦労は NEDO 報告書から読み取れたが、中国人をパートナーとして仕事をするコツを掴んで行ったと思われる。</p> <p>→E 社は製鉄技術の供与を通じて中国でのプロジェクトの困難さを分かっていたため、うまくいかないことが生じることをある程度分かっていたと思われる。最後は、E 社内でこれらの課題を解決した。このプロジェクトを成功に導けば次の機会に苦労を活かせば良いと言う戦略が明確であった。事実、この経験を経て合併会社で事業を実施するところまで進展した。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→予想以上に中国でのプロジェクト実施の難しさを経験した。</p> <p>→中国での事業化を大目標にした戦略との位置付け明確である。</p>

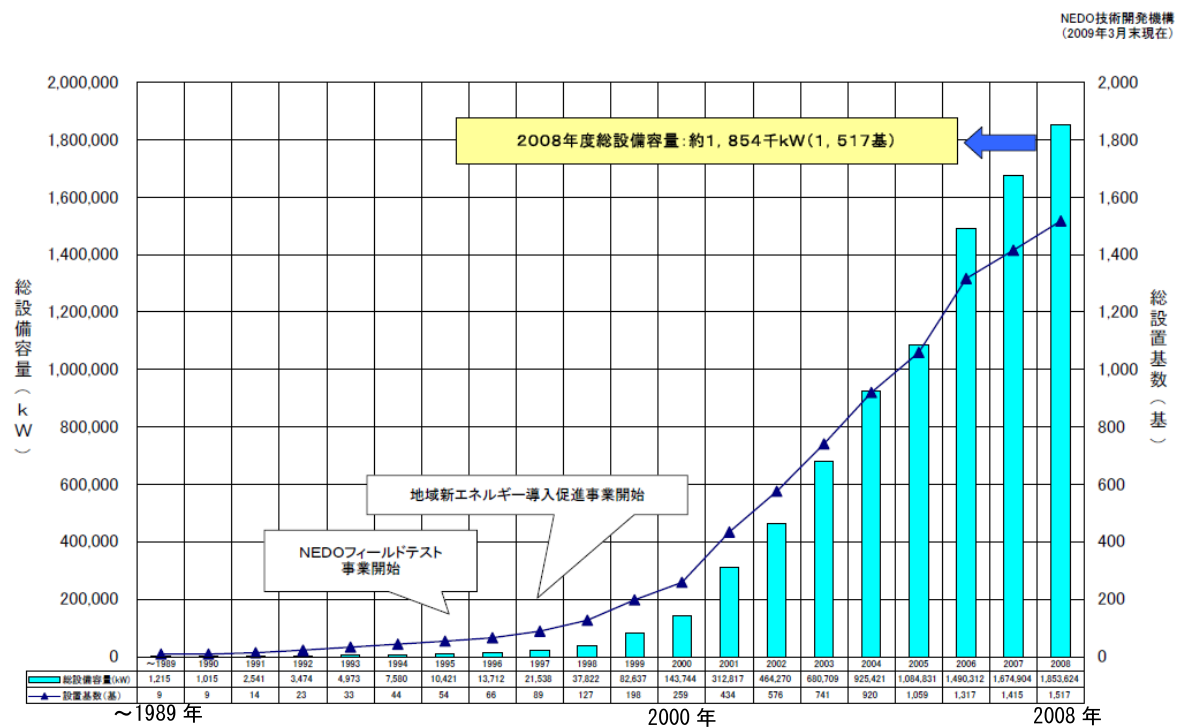
プロジェクト事例について	⑩モデル事業では様々なトラブルや難題が発生するが克服して成功させれば海外市場進出を成功できる。（インドでの導入例について）	・インドでは、2009年4月時点、でモデル事業進行中であるが、事前調査からCDM取得、プロジェクト推進に国が支援して進めている。 インドでの技術普及を前提にインド側担当の機器の製作や調達品に関して、技術指導、技術者教育など中国と同様に対応している。 ・現地工程の見直しが発生し協議しているが詳細内容および結果は不明。（事業が進行中のため）	△ →中国でのモデル事業を成功裡に進めた実績を国は高く評価し、インドでのモデル事業をまかせられた。最初のモデル事業での努力が活きたことになる。インド独自の事情と向き合っていると思われるがまだ詳細な内容は報告されていない。	（検証中） →中国での経験を分析して成功パターンに変えて、次の行動に活かして行くしたたかさがある。
--------------	---	---	---	--

7.2.3 風力発電

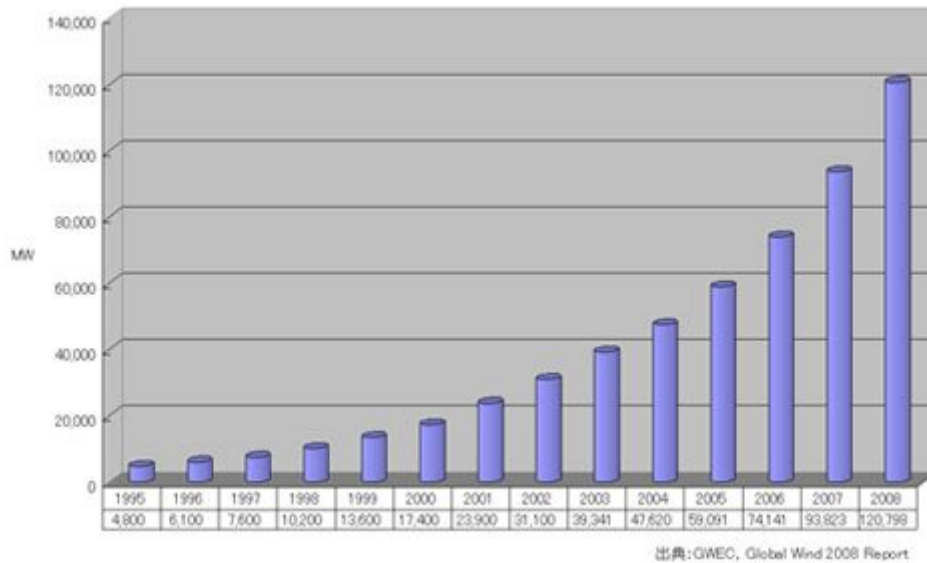
（1）事例概要

C社は最大手総合重工メーカーであり、大手重電メーカーとしても国内トップクラスであり、エネルギー技術開発国プロの常連として様々な大型開発を実施してきた。幅広い事業領域を持つC社にとっても風力発電は新市場向けの新規事業となるが、早くから技術開発に取り組み、開発の歴史は1980年に遡る。現在は唯一の大型国産風力発電メーカーを標榜し、国内外の販売実績は3000基と群を抜いている。風力発電に必要なエネルギーは風であり化石燃料を使用しないため地球環境にやさしい発電設備として近年急速に普及が進んでいるが、C社が開発に着手した時代は現在のような追い風は吹いていなかった。図表7.2.3.1日本の風力発電導入流量の推移、および、図表7.2.3.2世界の風力発電導入流量の推移を参照。むしろ、2000年頃までは苦難の連続であった。このような中で風力発電をコア技術として社内で育成し今日の事業開花に至るまでの経緯から事業化成功要因を探る。C社の風力発電の主な歩みを以下に示す。

1980年～ 40kW の 試験設備 による開 発着手	1982 年 300kW 商 業機を沖永 良部島に建 設 1987 年 米国向けに 300kW 機 を大量受注	1991 年 NEDO から 500kW 大 型風力発電開発を受託 (以後、1995 年まで 1996 年 ・ 500kW 商業機を青森 に建設 ・ 欧州機関から型式取得 1999 年 1000 kW 機を開発	2002 年 NEDO フィールドテスト事業受 託 2002 年 米国現地法人設立 2003 年 メキシコ工場建設 2006 年 2400 kW 機を開発 2007 年 中国に 1000 kW 機の技術供与 累計受注が 4000 基を超える
---	---	--	---



図表 7.2.3.1 日本における風力発電導入量の推移 (NEDO HP)



図表 7.2.3.2 世界の風力発電導入量の推移 (NEDO HP)

(2) 分析結果

図表 7.2.3.3 に分析結果から推測される事業化仮説分析結果の詳細を示す。13 件中 2 件が棄却と見なされたが代替策は成功している。11 件の事業化仮説が立証されているが、このうち、未知との遭遇に相当する失敗を経験して克服したことで学習効果をもたらしたとされるのは⑫の 1 件であり、次のように考察した。

ア. 分析結果から推測される事業化仮説

『事業化成功のためには、最初の参入機会がリスクの高い暴風域でのプロジェクトであってもチャレンジして成功することで実績を作り、道を開く。』という事業化仮説を立てて最初の商用プロジェクトを受注した。

イ. 仮説検証行動での失敗 (未知との遭遇)

ようやく実機の技術レベルまで到達した時には、海外メーカーとは大きな差あった。実績が乏しい C 社の当時の知名度は低く市場での存在感も乏しかった。そこで、リスクを取って台風銀座に国内商用 1 号機を受注した。ここで実績を作れば他社にない強みになると考えたが、想定以上の強風でブレード (羽根) が破損するなど、原因不明のトラブルに遭遇した。これまでの技術の常識では説明できない問題に直面した。しかし、トラブル対策を進める中で意外な特性を発見したことがきっかけで、このトラブルを克服できた。その後の事業展開においては強風域に強い設計が売りになった。

ウ. 失敗の克服によって得られた学習効果

強風域向けの設計が可能になったことよりも、進んでリスクを取りにいく進取の気概と、誰もが体験していない失敗を克服することで、その分野の先駆者になることができる

という成功のきっかけを掴むことが出来た。風力発電の市場が開花するのは 20 年近く後になるが、この精神を以って検証活動を継続してきた。現在は全世界で累計 4000 機超の受注を達成し、有力メーカーに成長した。

エ. 国プロ支援内容

風力発電大型化技術開発費として 500kW 級の大型風力発電の国（NEDO 経由）の開発支援を受けた。国産技術による風力発電の実用化を狙う国の開発方針が、C 社にとってはコア技術の開発に市場動向が不透明なときに国の支援がついたということで、開発チームにとっては資金面だけでなく社内での立場確保にもプラスに影響したと考えられる。

風力発電開発に関する国プロは、国から各社に個別に委託する形、いわゆる「各社持ち帰り型」で進められたので、C 社としては単独で国プロを受託している形となり、IGCC のような他の受託者との擦り合わせやスケジュール調整が不要であり、自由度の高い環境で開発できたと考えられる。結果的に大型機の開発が成功して事業化されたことで、国と C 社の両方で成功を共有できた。国はその後、風力発電の計画に不可欠な全国風況マップを作成するなど国内市場活性化に向けた支援を実施している。

C 社は 2002 年に国の風力発電フィールドテスト事業の支援を受けた。国のフィールドテスト事業は図表 7.2.3.1 に示すように、風力発電市場の低迷期に始まり、市場開花のきっかけになったとされている。C 社は開発した製品を市場投入前に試験して改良を加える機会を作ったことや売り込みのための見本にもなり草創期の事業化を助けたと言える。

図表 7.2.3.3 風力発電の分析結果

項目	結果
テーマ：	風力発電
取組の流れ：	1980 年 開発着手 1982 年 国内実用化 1987 年 海外実用化 1991 年 NEDO より 500kW 風力開発を受託 2002 年 NEDO フィールドテスト受託、海外子会社設立 2003 年 メキシコに工場建設 2007 年 中国企業に技術供与
組織：	C 社自身（2002 年に海外事業会社を設立）
商品営業開始：	1982 年に 300 kW の 1 号機を建設

概要（開発のきっかけ含む）：		<ul style="list-style-type: none"> ・ 風力発電は経済性が出ないと言われていたが、無尽蔵とも言える自然エネルギーの可能性を活かすべく、C社の保有技術を元に、ヘリコプターの中古翼を利用して40kWで開発を開始した。 ・ 2年後には300kWの実機の受注にこぎつけた。開発と事業規模拡大を同時並行で進め、既に3000機超の実績を持っている。国内市場が未成熟な時期に海外市場に活路を求めて経験を積み、成功したことが大きな財産になっている。全ての技術を自社開発しているため、客先ニーズに合わせて自在に仕様を変えることが出来、強みになっている。国内で実質的に唯一の大型風力発電メーカーとして君臨している。現在は、事業として軌道に乗せている。 ・ グローバル展開として米国市場向けに関連会社を置き、営業やプロジェクトマネジメントもできるようにしている。一方でメキシコには翼の工場を建設して、市場に近いところで生産する、保守サービスに対応するという戦略の一貫である。 ・ 1基当たりの受注額が小さく、しかもEPCコストの70%を機器が占め、設備費は30%しかなく、機器のコストダウンと大規模プロジェクトの受注に注力している。製作ではコア部分以外は外部調達を徹底している。リスク分析も徹底しているが、風力ならではのリスクを認識できていて対応を打っている。今後風力発電市場は拡大すると見ており、大型化、洋上風力の開発に力を入れている。 		
商品の社内位置付け：		環境にやさしいエネルギー機器として育成しているが、原動機のような主力機器としてはまだ位置付けられていない模様		
目標市場位置付け：		国内および海外の風力発電市場		
目標対象顧客：		電力会社、発電目的会社、自治体など		
技術導入：		無し		
開発技術：		回転翼の構造・材料・製作技術、制御技術、スマートヨー		
総開発費用（概算）：		不明、40kW級から2400kW級へと段階的に大型化の開発を進めてきたが、各サイズの早期事業化戦略によって費用回収も行われている模様		
競合先：		風力発電専門メーカー、重工メーカー、重電メーカー		
実機実績：		3000機以上（受注は4000基以上） 世界シェア3%台（2008年）、国内トップシェア		
類別	分析結果から推測される事業化仮説	事業化仮説 検証活動分析	検証結果（○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察）	検証後の対応 分析（○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：教訓、学習効果。）

事業、スキーム選定について	①化石エネルギーを使わない風力発電が必要とされる時代が将来、必ず来るので、事業として成立が難しい時代であっても開発を継続しながら事業を存続させる。	<ul style="list-style-type: none"> ・「つい近年まで、いつ止めさせられるのか」という瀬戸際に立ってきたが、取組開始から20年間近く、諦めずに事業開花の機会を探っていた。 ・社会インフラの発展への貢献を社是とするC社には日本が持つべき技術として取り組む姿勢が見られる。 ・日本のエネルギー供給と環境保護の両立を担っているのは自分たちだと言う自負が公開情報からあふれている。 ・将来必要とされそうな技術は果敢に取り組むという意欲、それを許容する風土は数多く発信されている。 	<p>○</p> <p>→C社としてはむしろ、取り組まなかったときのリスクの大きさを計算しての参入と言う面もある。</p> <p>→使命感というのは人を動かす原動力といえる。</p>	(立証済み) →使命感の強さがニーズを超えた取組を実現した。
事業、スキーム選定について	②国の開発ロードマップに沿って開発を進めることで、事業開発が推進できる。	<ul style="list-style-type: none"> ・国の動きに呼応して育成すべき機種とした場合、全社を挙げてサポートする姿勢が強く伺われる。 ・長年の厳しい事業環境において支えとなったのが国の風力発電ロードマップであり、国と対応行動を合わせて開発を進めることで社内の合意を形成していった。但し、C社の狙う市場としてはその大きさから海外に重きを置いてきた。 	<p>○</p> <p>→国の支援を直接的あるいは間接的に利用することで社内のサポートを取りつけ、決してあきらめない開発を続けるというしくみが確立している。</p>	(立証済み) →国の方針に合わせて開発を推進するしくみが出来ている。
事業、スキーム選定について	③コストダウン実現のため、国際的な水平分業を採用した方が良い。	<ul style="list-style-type: none"> ・垂直統合を得意としてきた従来のC社のビジネス方式とは異なるやり方を取ることによって、シビアなコスト低減が求められている量産ビジネスに対応しようとしている。 ・コスト削減のため、水平分業にして、付加価値の低いタワーなどの汎用部分は外注してコストを抑えている。自らは、コア技術である翼の製作、ローターヘッド、ナセル（発電機を入れる設備）の内製に集中している。 	<p>○</p> <p>→製品特性や市場構造に合わせて自分たちの事業体制を変える柔軟性を発揮している。</p> <p>→コア技術は外部に出さないという原則は維持できている。</p>	(立証済み) →戦略に合わせて対応組織やビジネススキームを最適化している。

事業、スキーム選定について	④海外に拠点を築くことにより成長市場で事業を成長させる。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2002 年 米国法人を設立して成長市場に本格進出をした。 ・ 2003 年 メキシコに翼工場を建設した。 ・ 海外案件を日本からコントロールするのではなく現地法人に大部分を委ねる事でビジネスをスムーズに進めるだけでなく現地法人の知名度を高めることでビジネス拡大にも繋げている。 	<p>○</p> <p>→現地に任せられることは現地にやらせるということは、良いグローバル化に向かっており日本本社の関与は小さい方が機動的な対応が出来、事業全体としてメリットがある。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→海外展開については戦略が上手く機能している。</p>
市場、社会情勢について	⑤市場が無いと諦めるのではなく自ら市場を創っていけば道は開ける。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国内で売れないことで、海外に活路を求めて実績を作ることに成功している。草創期、アメリカに 275 台、イギリスに 103 台を納入して事業の足がかりを作った。 ・ 日本でも風力発電建設の機運が高まると見るや海外での実績を引っさげて国内での事業化も軌道に乗せた。 	<p>×</p> <p>→海外でのプロジェクトを経験し実績を積んだが、経済性と言う高い壁が立ちはだかり、風力発電市場は直ぐには拡大しなかった。但し、開発者が市場と直接向き合って行動することは大切であり積極的な姿勢は評価できる。</p> <p>→メーカー単独では市場を開拓しにくい製品であり、国の制度的支援が不可欠だった。</p> <p>→売上を確保し、実績を伸ばすことで事業継続を後押しする効果はあった。</p>	<p>○(代替策成功)</p> <p>→市場と真摯に向き合い、大型機の必要性を感じ取り大型機の技術開発を進めた。後年、市場が拡大を始めたときに大型機を投入出来た。</p>

技 術 開 発 に つ いて	⑥実績を積みながら 徐々にスケールアップして、ラインナップを充実させていく。	・徐々にスケールアップしてきたが、 その間、事業も行っており、開発費 の回収が可能であった。	○ →IGCCのような火力 発電の開発では大型 パイロット規模でも 実証したことになら ないが、風力発電は 開発機種としては小 型機でも受け入れて くれる市場が存在し た。	(立証済み) →小規模ながら 市場が存在した ので、売上が確 保でき、事業継 続の糧になった。 この戦略は 正しかった。
技 術 開 発 に つ いて	⑦国の大型化技術開 発プロジェクトに参 加して確実に成功さ せ、その後の大型化 開発につなげてい く。	・NEDOの支援を受けるまでは自己資 金だけで開発してきたことは特筆 できる。 ・国の期待に応えて 500kW の大型機 の開発に成功した。 ・大型化開発は 2400kW まで成功し た。	○ →国プロに採用され たことで開発のモチ ベーションアップに つながったと思われ る。	(立証済み) →基本的な技 術までは自主 開発したことで 国プロを確実に 成功させること ができた。
技 術 開 発 に つ いて	⑧コア部分は自社技 術に拘り、自社製品 にブラックボックス が無いようにする。	・自社技術に拘るメリットは成功す ると非常に大きい。自社開発は資金 もたくさん必要だが成功した場合の リターンも大きい、国産技術として 国の補助やサポーターが付き易い というメリットがある。自社技術だ から、改良や次の新製品の開発にも つながる。技術への愛着も沸き人材 も育つなど、事業化後にプラスになる 要素もはらんでいる。 ・「風車が単純なものでないことを 思い知らされることが多々あったが 一つ一つ克服していった。」「技術 者にとって失敗しつつも大切な手 触り感触を得たことは大きな成果 であった。」「などの自社技術に拘る 姿勢が発信されている。	○ →市場が未発達であ ったからこそ、自主 開発するのに十分な 期間が確保できると 言う読みもあったと 思われる。	(立証済み) →早期着手に より、自主開発 する時間を稼ぐ ことが出来る。

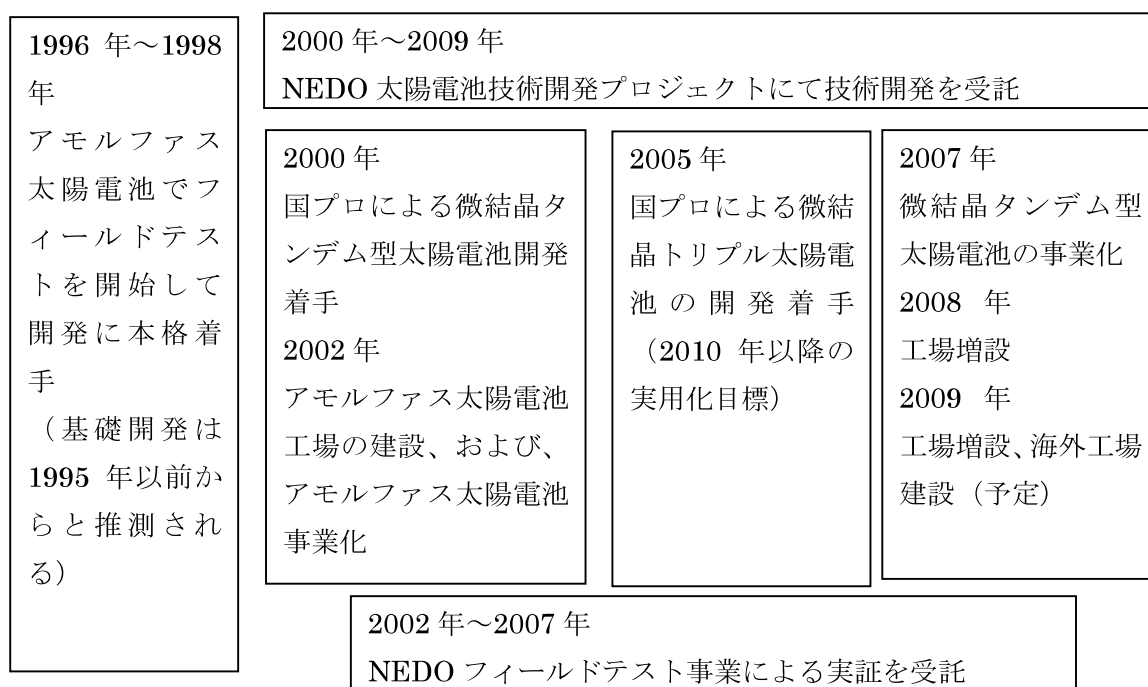
技 術 開 発 に つ いて	⑨日本の国土に有った風力発電技術を開発することで輸入メーカーとの差別化を図れる。	<ul style="list-style-type: none"> ・風力を資源小国日本の純国産エネルギーと呼ぶことで、C社の国産技術による風力発電への国内の支持を集める発信を行っている。 ・ブレードの長期耐久性を検証済みで、20年以上の設計寿命を実現 ・日本向けには輸入品ではなく、国土に合った国産の風車が必要とのPRを展開している。(山間部の多い地形、変化の激しい風の条件、台風、落雷への対応など) 	<p>○</p> <p>→国内市場はC社にとって主戦場ではないが、海外に比べてリスクが小さいこと、洋上風力への展開など成長性を秘めているので良いアピールとなっている。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→製品価値向上の追求、技術へのこだわりが重要。</p> <p>→環境を追い風に、説得力のある情報発信による効果的な宣伝を実施している。</p>
技 術 開 発 に つ いて	⑩欧州市場での事業展開を有利にするため、風車の型式認定を欧州以外のメーカーで始めて取得する。	<ul style="list-style-type: none"> ・新規参入者が市場でライバルと戦うためにはこのようは認証期間のお墨付きはきわめて有効であり、営業活動を助けたと言える。 ・認証のためには規格にあった技術開発や品質向上が必要であったが、開発チームはそれに応えた。その後も、開発した機種を次々に認定させている。 	<p>○</p> <p>→全て自らの力を使うのではなくこのような第三者機関を利用することも効果的である。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→公的認証制度の活用によりビジネスを有利にしていく。</p>
組織、マ ネ ジ メ ン ト に ついて	⑪中古のヘリコプター翼による開発スタートを伝説としてモチベーション向上に活用する。	<ul style="list-style-type: none"> ・必ず語り草にされるほど伝説化している。十分な予算が取れない中、自衛隊に頼みに行き、不要の翼をもらってきて開発に取り組んだという起業家精神が強い求心力になっている。タワーも造船所に廃棄されていたものを使わせてもらった。半年足らずで40kWの試作試験に成功し、開発を認められるきっかけを作った。 	<p>○</p> <p>→ヘリコプター中古翼を出発点とする話をうまく伝説化して、後から入ってきた開発者に勇気と使命を持たせるのに120%活用している。</p> <p>→組織においても起業家精神を浸透させる上で役に立っている。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→強力なリーダーシップの存在、起業家精神が文書化されて伝承されている。</p>
プ ロ ジ ェ ク ト 事 例 に ついて	⑫事業化成功のためには、最初の機会がリスクの高い暴風域でのプロジェクトであってもチャレンジして成功することで	<ul style="list-style-type: none"> ・沖永良部島で、300kWの商業機を受注したが、台風で破損したりトラブルに見舞われたりしたが、ここで成功すれば国内ではどこでも使える丈夫な設備を開発できると信じて、リスクを取りに行った。 	<p>○</p> <p>→戦略を立て、リスクマネジメントをしっかりと含んでおいても体験したことのない問題は起きてしま</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→チャレンジ精神で市場に向き合い、困難に遭遇したが多くのことを学んだ。</p>

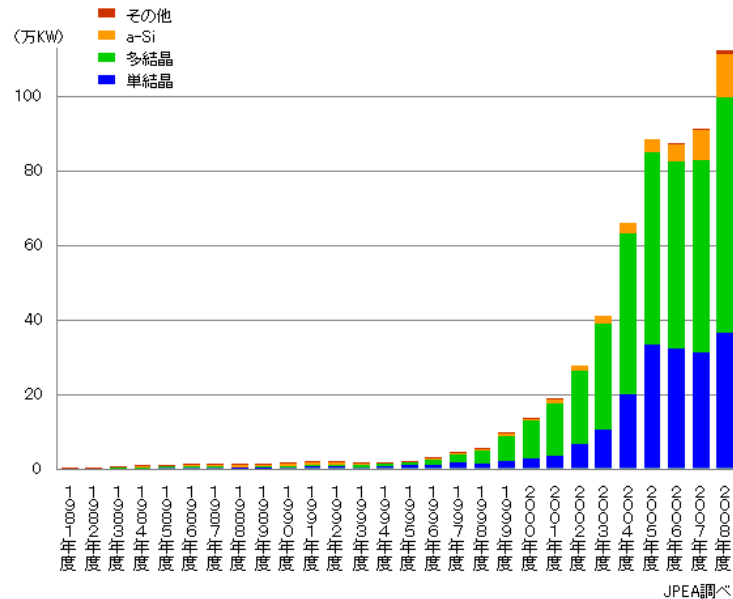
	実績を作り、道を開く。	<ul style="list-style-type: none"> ・他社が体験したことの無い失敗事例であり、技術を磨いて克服した。以後、強風域に強い設計は同社の強みとなった。 ・客先との信頼関係構築に努力、スピーディな対応に徹して信頼を勝ち得て行った。 	う。そのとき、問題に正面から取り組むことで誰もが体験できないことを学習することができる。	
プロジェクト事例について	⑬事業化成功のためには未知の海外市場のプロジェクトであってもチャレンジして道を切り開く。	<ul style="list-style-type: none"> ・国内市場がまだ無かった頃、現状を打開するために、突然舞い込んだ海外プロジェクトをリスク覚悟で取ったが、様々な困難に遭遇した。 ・コストダウンの厳しい要求やシビアな契約条件などを強いられたが、風力ビジネスの厳しい実情を体験でき、鍛えられたとしている。 	<p>×</p> <p>→風力発電市場は近年になって、環境問題の拡大を背景にした各国政府の導入政策の下、市場が拡大して行った。メーカー単独では経済性の壁が大きく事業の拡大は出来なかった。</p> <p>→担当者らは厳しい状況下で知恵を絞ってプロジェクトを取り、実績を積もうと努力している。また、ライバルやお客に対して、決して驕らず、学ぼうとする真摯な姿勢が見られる。これらの経験を代替策に活かしたと考えられる。</p>	<p>○（代替策成功）</p> <p>→チャレンジ精神で市場に向き合った経験を元に、技術開発を進め、市場開花時には、ニーズに合った機種を投入できた。さらに技術開発を含む事業化活動を継続するのに必要な最低限の売上は確保して行ったと考えられる。</p>

7.2.4 太陽電池

(1) 事例概要

C社は最大手総合重工メーカーであり、大手重電メーカーとしても国内トップクラスであり、エネルギー技術開発国プロの常連として様々な大型開発を実施してきた。幅広い事業領域を持つC社にとっても太陽電池は多角化とも言える異業種への新規参入であり、しかも後発参入組みと言うハンディがあった。太陽電池に必要なエネルギーは太陽光であり、化石燃料を使用しないため地球環境にやさしい発電設備として普及が期待されているが、C社の本格取組時期の1996年頃や事業化時期の2002年は必ずしも現在(2009年)のような事業への強い追い風は吹いていない。図表8.2.4.1 国内太陽電池メーカーの出荷量の推移を参照。このような状況下で太陽電池のコア技術を自社開発して、短期間に事業化を実現した。C社の技術開発から事業化、さらに最近の事業活動までをC社の事業化活動として事業化成功要因を探る。C社の太陽電池の主な歩みを以下に示す。





図表 7.2.4.1 国内太陽電池メーカーの出荷量の推移(種類別)

(2) 分析結果

図表 7.2.4.2 に分析結果から推測される事業化仮説の分析結果の詳細を示す。事業化仮説は 8 件抽出されたが、検証中の仮説は 4 件あり、4 件しか立証されていないのは、市場参入は果たしたものの事業として成立させるための活動がまだ残っているためと考えられる。なお、未知との遭遇に相当する失敗を克服したことで学習効果をもたらしたとされる事象は検知されなかった。しかし、市場参入したからこそ分かった市場の現実に対する学習効果は今後の事業化成功のために活かされると考えて次のように考察した。

ア. 分析結果から推測される事業化仮説

後発で異業種からの参入というハンディがあるが、『保有技術を活用して先行大手とは異なるコア技術を開発すれば短期間で事業化に到達し採算が取れる事業にできる。』、という事業化仮説を打ち立てた。

イ. 仮説検証行動での市場の現実 (未知との遭遇)

競争激化の業界に後発ながら技術の差別化要素を明確にして短期間で開発を行い独自技術で参入を果たしたが、国内シェアは 1%台(2007)と国内 Top5 外であり、まだ橋頭堡を築きつつある段階といえる。C 社の重電設備事業の高いシェア実績と比べると、参入から 7 年経過した段階であるが、見劣りがする。しかし、短期間で事業化を果たしたことは特筆される。開発チームには相当の苦労があったと推測される。2005 年に収支黒字の事業となったが、製造能力拡大のための継続的投資が必要な事業のため、投下資本回収はもっと先になりそうである。現状だけを見てこの事業化仮説は立証されたとは断定できない。

C 社は参入したからこそ得られた市場の実態や反応を見ながらで自社の事業を定着させて飛躍していくため次のような様々な手を打っている。

：太陽電池産業は大規模量産によるコスト削減の競争要素が大きく、受注品を得意とする C 社にとっても試行錯誤が必要な事業であるにもかかわらず、大規模な工場設備投資を続けている。種を撒かなければ実は取れないというリスクテークの精神を発揮し続けている。

：太陽電池メーカーとして生き残るため自社のコア技術への拘りを徹底してアピールしていて、さらなる高効率製品の開発を目指している。技術による市場突破も視野に入れていると考えられる。

：成長分野では市場構造が劇的に変わるときがあり、太陽電池も大規模化や船舶、機械などの自社製品とのシステム統合が必要になってきたとき、エンジニアリングに強い C 社が台頭できる機会を睨んでいると考えられる。

：低炭素社会の到来を迎えて対応製品ラインナップの充実により C 社の環境貢献度アップなど間接的な経営全般へのプラスのメリットがあることが分かり、経営陣の強い支援の姿勢が見られる。

短期間に開発に成功して実用化したことは開発資源の浪費が少なく、その後の活動に余裕を与えている可能性がある。現在の太陽電池大手の事業化開発着手は 1974 年のサンシャイン計画まで遡るが、C 社は 1996 年頃と非常に新しい。市場の現実と直面して苦戦している中で継続的な投資が続けられているのは、時代の追い風を受けている新エネルギー事業への経営トップの一貫した支持があるが、開発を短期間で成功させたことに対する社内からの信頼が得られている証左とも考えられる。

ウ. 市場の現実から得られた学習効果

異業種からの参入で後発という一見外部から見て成功が難しそうな事業化でも、独自のコア技術を中心にした周到な事業化戦略を立てて確実に実行すれば到達できた、という経験は相当な自信になったと考えられる。他社が手がけていないコア技術があったからこそ、後発ながら国プロの支援を受けることができ、開発の加速に繋がった。

地球環境問題への対応で低炭素化をキーワードにした事業創造がこれからの課題をとされているが、太陽電池はまさにその一環であり、成長市場への参入の重要性と慣れない市場で戦う難しさも学んだと考えられる。ただし、市場で事業が生き残るためには経営トップの支援を受けて辛抱強くチャレンジし続けることが大切である。

エ. 国プロ支援内容

太陽電池セル向けの開発費として国プロによる微結晶タンデム型太陽電池開発、および、国プロによる微結晶トリプル太陽電池の開発の開発支援を受けた。単に、開発費負担というよりも、異業種からの後発参入というハンディのあるときに国の支援がついたということで事業化チームにとって社内的な位置付けにもプラスになったと考えられる。結果的にタンデム型は開発に成功し、国は国プロの実績を積み上げることができ、C 社は事業化を実現することができ、双方にメリットがあった。

太陽光発電フィールドテスト事業としての数多くの支援を受けた。開発した製品を市場投入前に自社の事業所に試験的に設置して改良を加える機会を持てたこと、および、売り

込みのための見本にできたこと等、草創期の事業活動を助けたと考えられる。

太陽電池開発に関する国プロは、国から各社に個別に委託する形、いわゆる「各社持ち帰り型」で進められたので、C 社としては単独で国プロを受託している形となり、IGCC のような他の受託者との擦り合わせやスケジュール調整が不要であり、自由度の高い環境で開発できたと考えられる。結果的に開発が成功して事業化されたことで、国、C 社とも成功を共有できた。

図表 7.2.4.2 太陽電池の分析結果

項目	結果
テーマ：	太陽電池
取組の流れ：	<p>1996 年 フィールドテスト機を製作して実証試験開始（基礎開発はそれ以前から実施していたが開始年は不明）</p> <p>2000 年～ 製膜技術開発を NEDO から受託して実施（以後、2009 年まで連続していくつかのテーマで NEDO からの受託による開発を実施）</p> <p>2001 年 年産 10MW アモルファスシリコン太陽電池製造工場を建設</p> <p>2002 年 効率 8%アモルファスシリコン太陽電池開発完了、量産開始</p> <p>2002 年～ フィールドテスト試験を NEDO から受託して実施（以後、2007 年にかけて多数の国の支援によるフィールドテストを実施）</p> <p>2005 年 効率 15%微結晶トリプル太陽電池開発着手</p> <p>2006 年 効率 12%微結晶タンデム型太陽電池開発完了</p> <p>2007 年 年産 40MW の微結晶タンデム型太陽電池量産工場を建設</p> <p>2008 年 年産 50MW の工場増設計画</p> <p>2009 年 年産 120MW に生産能力拡大、欧州に工場建設（予定）</p>
組織：	C 社自身
商品営業開始：	<p>2002 年 アモルファスシリコン太陽電池の販売開始</p> <p>2007 年 微結晶タンデム型太陽電池の販売開始</p>

概要（開発のきっかけ含む）：		<ul style="list-style-type: none"> ・地球温暖化防止の観点から再生エネルギー利用発電技術の必要性を認識し、自社技術による開発を始めた。当事主流だった結晶型ではなく、シリコンの使用量の少ない薄膜型太陽電池を開発目標とした。 ・NEDO 受託事業を活用して開発した、独自技術の高速プラズマCVD設備をコア技術とするアモルファスシリコン太陽電池の量産技術を確立した。2001年に量産工場を建設して、2002年に商用化を開始（アモルファスシリコンで世界最高の発電効率8%を達成） ・冷熱事業本部が開発した高効率パワーコンディショナーとの一括販売による太陽電池システムとしてのニーズにも対応。 ・従来のアモルファスシリコンに比べ発電出力を1.5倍に向上させた微結晶タンデム型太陽電池を開発し、2007年にその量産工場を建設して販売開始。 ・さらなる効率向上を目指して微結晶トリプル太陽電池を開発中。 		
商品の社内位置付け：		C 社内新事業（環境にやさしい再生エネルギー利用発電の有力な手段）		
目標市場位置付け：		太陽電池市場、主力事業とのタイアップ製品		
目標対象顧客：		民生品顧客、発電事業者、一般企業、自治体など		
技術導入：		なし、自社技術（NEDO 委託研究を活用した開発）		
開発技術：		太陽電池パネル製造技術および製造設備		
総開発費用（概算）：		不明		
国内競合先：		電機メーカー、新規参入メーカー（化学、石油）		
実機実績：		国内生産量 92 万 kW(2007 年)に対して生産能力から試算すると 1 万 kW（国産シェア 1～2%） 世界市場は 373 万 kW(2007 年)でシェア 1%未満。		
類別	分析結果から推測される事業化仮説	事業化仮説 検証活動分析	検証結果（○：立証された。×：棄却になった。△：現時点で判断できない。→：判断の根拠、考察）	検証後の対応分析（○：代替策に転換成功。×：成功していない。→：教訓、学習効果。）
事業、スキーム選定について	①将来のシリコン需給ギャップ解消のためには、単結晶でなく薄膜アモルファスが有効との見通しに立って、アモルファス方式の実用化を図り事業を軌道に乗せる。	<ul style="list-style-type: none"> ・1996 年当初からアモルファスシリコン型太陽電池に、吸収光の波長の異なる太陽電池を積層（タンデム化）することで、結晶型と同等の高効率達成も可能との見通しを示していた。 ・太陽電池では後発組みに入るため、正面から対決するのではなく、先行技術の問題点を分析し、むし 	△ →市場参入は実現した。 →開発当初から、精度の高い市場環境予測とそれを基にした開発方針を明確にすることが必要。	（一部立証済みだが、検証中） →着手段階の徹底した環境分析と戦略策定の大切さ。 →事業として成功するかど

		<p>ろ他社が手がけてこなかった分野を見つけ参入メリットを明確にしている。</p> <p>→自社の保有する CVD 技術で戦える分野に絞り、製品差別化を図り、国の支援を受けやすい環境を整えている。</p> <p>・継続的な生産増強への投資が必要で、まだ利益の出る事業にはなっていない状況。</p>		<p>うかは不透明ながら、太陽電池と言う未来にかけた。</p>
市場、社会情勢について	<p>②アモルファス太陽電池の開発は国が定めたロードマップに乗って実施し、開発委託費として相当の支援を獲得する。</p>	<p>・社会情勢を見極めて国の支援を得るための方策と技術開発の対応行動をうまく合わせた。</p> <p>・国の支援は技術開発のみならず普及のための実証支援までカバーしており、C社は活用している。</p>	<p>○</p> <p>→期待は高いものの経済性が低いため自由市場が立ち上がらない状況下で導入促進・開発助成として国に期待する必要がある開発については、国の方針に沿った開発が必要である。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→外部環境を見極めて国の支援を活用した。</p>
技術開発について	<p>③太陽電池開発にあたり、主要な技術は全て自社技術として、製品にはブラックボックスを残さないという条件の下、実用化を目指して事業を軌道に乗せる。</p>	<p>・太陽電池開発は、1996 年頃から開始されており、当時から CVD によるアモルファスシリコン太陽電池製造技術の開発に注力している。</p> <p>・太陽電池パネル以外のキーデバイスとなる系統連系インバーターも C 社で開発している。太陽電池の開発にあたって、製造設備の開発に開発主眼をおいた垂直統合ビジネスモデルを指向しており、キーデバイスである製造設備を社外調達する水平統合ビジネスモデルを採用しなかった。</p> <p>・製造技術を取り込むことで、さらなる効率向上を目指してタンデム型、トリプル型と技術を発展させる基礎を作った。</p>	<p>△</p> <p>→太陽電池パネル製作のようにメカニズム・構造設計よりも素材調整が重要な開発品については、製造設備が差別化技術の根源であり、製造設備の開発そのものを自力で着手したことは適切な判断と思われる。</p> <p>→製造設備を専用で開発し、販売する設備メーカーとの競争に打ち勝ち続けることが必要となり、これに負けると水平分業をとる事業者との競争が困難となる。</p>	<p>(一部立証済みだが、検証中)</p> <p>→技術の差別化ポイントを明確にして集中的に開発することで技術的優位に立つ。</p> <p>→事業拡大には自社技術だけの製造ビジネスでは限界があるのではないか。</p>


技術開発について	④タイムリーに実用化することで開発資金を回収し、市場に橋頭堡を築く。	<ul style="list-style-type: none"> ・効率は劣るが先ずアモルファスシリコン太陽電池での製造設備を組んで、フィールド試験・商用販売を開始 ・続いて高効率のアモルファス/微結晶シリコンタンデム型の開発によって、さらに製造ラインを増強して販売を開始している。 ・最初に効率は劣るが量産技術を確立したアモルファスシリコン太陽電池で事業化したことで開発資金の回収も期待できるし、何よりも製品の信頼性向上や市場の反応を直接入手できる機会を作ったことは大きい。これにより、タンデム型の開発、事業化につながっている。 ・現在はさらなる効率向上を目指して微結晶トリプル太陽電池を開発中。 	<p>△</p> <p>→開発進捗に従って、段階的に市場投入していくことが、現実的な商用プロセスと考える。</p> <p>→二重投資となる場合、投資総額は増えるがそれ以上の得られるものが期待されるときは果敢に打って出るのが良い場合もある。</p> <p>→現時点で開発資金回収までには至っていない模様。但し、短期間で事業化に持って行き、市場で勝負している現状は高く評価できる。</p>	<p>(検証中)</p> <p>→早期事業化で市場と真摯に向き合う機会を増やし、事業の発展に活かす。</p> <p>→利益を確保して開発資金を回収するのはやはり難しい。</p>
技術開発について	⑤NEDO プロジェクトで多数のフィールドテスト事業に参画して自社事業所で性能を実証し、製品の優位性を高める。	<ul style="list-style-type: none"> ・C社が実施対象者として、事業所内でのフィールドテストを多数実施しているのが特徴的。 ・本フィールドテストを通じた、自社工場・事業所内への太陽電池導入を、環境活動の一環としてアピールすることで、実証試験の知見蓄積のみならず、環境貢献活動としてのIR双方に効果がある。 ・所期のフィールドテストに外部資金（NEDO プロ）を用いて実施する場合でも、自社が実施対象者となることでデータ取得・評価が容易となり、またトラブル発生時の対応が容易な事から、リスクのある初期機体のフィールド試験はC社自ら実施しているのではないかと推測する。 	<p>○</p> <p>→C社は1500℃級GT初号機（Gシリーズ）は自社事業所（高砂）内の実証プラントに採用し、実績を積み上げた例、C社最大容量となる2400kW風力発電機初号機も自社事業所に設置して運用を開始した例もあり、リスクのある開発品は自社内で実証する方針ができていないか。</p>	<p>(立証済み)</p> <p>→自らが主体となって実証するメリットの有効活用。</p>

組織、マネジメントについて	⑥太陽電池という C 社にとって初めて取り組む異分野の事業に国の支援を活用し、社内の協力も獲得する。	<ul style="list-style-type: none"> ・開発過程において社内の消極的な声もあったとされて居るが、リーダーがプロジェクトを引っ張ってものにしている。この間、国（NEDO）の支援を受けたことは、金銭支援としてのみならず、取り組む価値のあるプロジェクトとして社内に位置付けるのにも活用した。 ・2005 年に初めて黒字に転換したものの、投資回収にはまだ辛抱強く支えなければならないし、競争に勝つためには今後も大規模な投資が必要である。C 社は一貫して一旦取り組んだ事業は成功するまでやり遂げる強い意志が見られる。 ・2008 年、社長は太陽電池を成長事業と位置付けて推進すると発表している。 	<p>○</p> <p>→新規事業の初期の赤字はやむを得ないと見ているが、それに耐えられずに 2-3 年で撤退する会社も多い。C 社としては安易な撤退は他の新規事業への悪影響も大きく辛抱強く支えたと思われる。</p> <p>→一度取り組むと決めたら安易に止めない姿勢とリーダーシップが実用化の原動力となっているようである。反面、社内では新事業着手については厳しい採択基準を設けていると思われる。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→会社としてやり遂げると言う強い意思。</p> <p>→強力なリーダーシップの存在、起業化精神がある。</p>
プロジェクト事例について	⑦成長市場であるドイツの公的機関の型式を取得して同国市場に事業参入する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツの太陽電池に対する助成（70 円/kW での買い取り）を商機と捉えニーズのあるところへは果敢に打って行く積極姿勢が見られる。 ・太陽電池モジュール「MA100」の製品認証を、ドイツの第三者検査機関である TÜV Rheinland Product Safety GmbH から取得し、太陽電池が伸びているドイツ市場に参入した。 ・国際規格の認証を取得して品質のお墨付きを得る方法は新規参入者にとって有効な手段であり、市場での展開を有利に出来る。 	<p>○</p> <p>→市場情報をタイムリーに捕らえ、適切なアクションを取っている。</p> <p>→C 社の型式取得の活動は風力発電でも行っており、C 社の事業化戦略に組み込まれているしくみと思われる。</p>	<p>（立証済み）</p> <p>→ニーズを掘り起こして販売して行くと言う積極性が重要。</p> <p>→型式認証の活用による信頼性の向上など成功に至るしくみが確立されている。</p>

その他	<p>⑧2012年に年間売上250MW を目指し、薄膜系太陽電池で世界シェア10%を確保する。</p>	<p>・果敢に設備投資を実施しているが、C社の国内生産シェアは1~2%であり、Top5 にも入ることができていない。また世界でも Top10 入りすることができていない。</p> <p>・C社の製造能力は首位の1/10 以下である。</p> <p>・太陽電池産業は、FPD、LCD、半導体産業と同じく、設備産業と捉えることができ、大規模量産によるコスト効果期待が大きな産業である。また太陽電池製造設備専門メーカー（アルバック）等も存在し、実際にこれらの専門メーカーは台湾メーカー等にも大規模な設備販売を開始している。</p>	<p>△</p> <p>→太陽電池市場は未だ発展途上の市場であり、今後も大きな変化が予想されるが、現状から見て立証とも棄却とも言えない。</p>	(検証中)
-----	---	--	--	-------

7. 3 考察

(1) リサーチモデルによる事業化活動の視覚化

4つの成功事例をリサーチモデル上にプロットしたのが図表 7.3.1 であり、IGCC 事例同様に事業化活動の概要を視覚化した。但し、事業化仮説の棄却による主体性喪失は検出されなかったもので（）部分は示されていない。

①と②は市場実証である海外モデル事業からほぼ同時期に活動を開始しているが、モデル事業の結果では、②の方が中国市場で先に合弁会社を作って本格進出しているのでやや成功可能性が高く推移したとした。①②ともモデル事業後に中国市場が開花して事業として成功しているので現状は差がないとした。③については暴風域向け設計技術の獲得で成功可能性を向上させて以降、小刻みに開発成果を事業化してきた。しかし、市場の拡大が実現せず、長い間成功可能性は向上しなかったが、最近の再生エネルギーブームと大型機の市場投入で一気に成功に至った。一方、④は成功可能性の低いところからスタートしているが、国プロを活用することで急激に成功可能性を高くして事業化に至った。しかし、市場で優位に立って利益を確保している状況には至っていない。市場の洗礼を受けながらも設備投資を継続して成功可能性を下げないように維持している。

図表 7.3.2 国プロ活用事例の事業化仮説検証結果

事例	事業化仮説 総数	内、立証 数	内、検証中 数	内、棄却 数	棄却からの対 応策成功数	棄却からの対 応策失敗数	仮説に対す る主体性
①D 社（セメント排熱 回収）	7	7	0	0	—	—	有り
②E 社（CDQ）	10	9	1	0	—	—	有り
③C 社（風力）	13	11	0	2	2	0	有り
④C 社（太陽光）	8	4	4	0	—	—	有り

また、事例①②③では事業化仮説を検証する過程で未知との遭遇レベルの失敗発生が避けがたい困難も生じたが、最終的に克服して、事業化仮説を立証に導いている。（事例④の太陽電池は克服の途中）さらに、克服によって得られた学習効果から「強み」を獲得している。このように周到に検討した上で生じた失敗は自らの技術や事業手法の差別化を図る学習の機会と捉えて克服することの大切さを示している。但し、現在の科学技術レベルや市場環境等の未成熟さによって克服できない場合も考えられるので、代替策への転換を行うなど状況に合わせた判断が必要である。

（3）成功事例における成功要因 2（コア技術への対応）

4 事例のうち、①セメント排熱発電と②CDQ 発電は、国がコア技術の開発を支援したのではなく、技術的な実証の意味は発展途上国への技術移転が上手く進むかどうかであった。よって、前提となる日本企業のコア技術への国の期待は大きかったと考えられる。D 社（事例①）、E 社（事例②）とも製品のコア技術は自前の技術として自在にハンドリングしており、相手国パートナーへの技術移転も問題は多数発生したが最終的には成功裏に終わっている。現在は両社とも中国で合弁事業を行うレベルまで技術移転が進んでいる。国はこの対応を高く評価しており、モデル事業の対象国を広げようと普及を支援している。これらはコア技術を核に企業と国がモデル事業の成功を共有する好適事例といえる。一方、C 社の風力発電（事例③）と太陽電池（事例④）ではコア技術の開発を国が支援しており、いずれも開発が成功して事業化されていることから、C 社と国の両方が技術開発の成功を共有できる好適事例となっている。国の支援を受ける発電技術に関する事業化活動では、自社のコア技術が国と自社を結び付ける役割を担うので、コア技術への支持を確保するための活動は重要であると言える。

（4）成功事例における成功要因 3（国プロ活用のキーポイント）

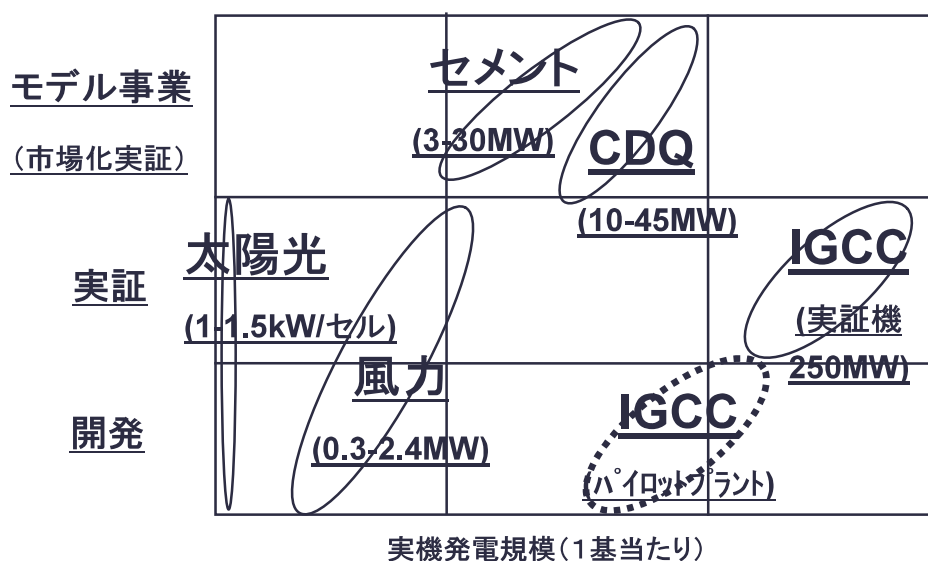
4 事例から導かれた国プロ活用のポイントは、国と自社のそれぞれが目的の実現を目指して戦略を立てて行動するため、自社と国の関係がコベネフィット（Co-Benefit、共に利すること）な環境であり続けることであると考えられる。このため、計画段階での検討が重要になるが、事業化活動中の環境変化に対しても、国が機動的に方向転換を行うことは稀なので自社が主体となって対応していかなければならない。

なお、国プロに採用されたということは、単に資金援助を受けたと言う以上に、社内力学の駆け引きに活用できる。事業化テーマと言うのは現行事業に対して基本的に弱い立場に置かれる。よって、国プロテーマとなることで継続を勝ち取ったり、開発強化の支援を引き出したりと活用することが重要であると言える。

(5) 成功事例における成功要因（開発規模の考察）

図表 7.3.2 は各事例の国プロの支援フェーズを縦軸に、実機の発電規模を横軸に取った概念図である。開発は技術開発の基礎から応用までの支援段階、実証は応用から技術の確立までの支援段階、モデル事業とは国内実用済み技術の途上国での技術移転を伴う市場化実証の支援段階である。

本章で取り上げた成功事例はいずれも1プロジェクト＝単一メーカーの担当であり、開発主体の下に複数のメーカーが配置されて開発を分担したIGCCと比べて始めから開発企業の事業化仮説に対する主体性が発揮しやすい状況だったといえる。他社との調整作業が不要であり、ハンドリングの自由度が高いことなどが理由に挙げられる。IGCCを同図に一緒に示したが、IGCCはパイロットプラントまでは複数メーカーの分担開発、実証機は1社による開発が行われている。IGCC実証機が比較的順調とされることから、分担よりも単一メーカーに集約することが成功要因の一つかもしれない。



図表 7.3.2 各事例の国プロの支援フェーズと発電規模

さらに、本章で取り上げた成功事例は1基当たりの発電設備の開発規模が小中規模であるため、一社でもリスクを背負ってチャレンジし易い環境であったとも言える。発電規模については1基当たりの規模が大きくなるほど開発技術の難易度が上がるとは言えないが、開発の進展と共に実証機会が限られてくるリスクや開発費用拡大のリスクは大きくなる。よって、規模が小さい程開発しやすくなるが、市場への参入障壁も低いことを意味するので実用化後

の競争は返って厳しくなる。

近年の国プロは、サンシャイン計画やIGCC 開発国プロと比べて個々のプロジェクトが小規模化する傾向にある。国が大型国プロを仕立ててプロジェクトリーダーを選出し、大企業を束ねてマネジメントする方式からの脱却が図られている結果と言える。この背景として次の4点を指摘できる。

- ① 過去の国プロにおいて複数メーカーが分担して実施したケースの成績が芳しく無く、制度の見直しが必要とされた。
- ② 高度成長期に必要とされた大規模社会インフラがほぼ行き渡ったという社会ニーズの変化が生じた。
- ③ 開発技術の高度化細分化、および、開発期間の短縮（原則5年以内）に伴い開発内容は大規模システム開発から要素技術開発へと移行しつつある。
- ④ 国プロのマネジメントを担当するNEDOによる公募型テーマ選定の仕組みは企業の意思が反映された計画が可能な環境になっている。実力のある企業は無理に他の企業と組まなくても済むように成った。

但し、規模の大小に拘わらず、国家予算を使用する国プロに対する期待度は常に大きく、参加メーカーにとっては、「計画倒れの失敗はできない」という大きなプレッシャーの下で取り組まなければならないという状況は以前と変わっていない。

7. 4 小括

事業化を成功させた4つの事例から、下記の成功要因を抽出した。

【事業化仮説への対応】

- ・ 主要な事業化仮説を明確に設定して、主体的に検証活動を行うこと。事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、問題が小さいうちに適切な対応が取ることで立証に近づくことが出来る。
- ・ 事業化活動において終始想定通りに進むことはまず無いと考えるべきである。つまり、事業化仮説をリスクと捉えて棄却された場合の代替策を準備して置くこと。
- ・ 事業化仮説を検証する過程で周到に検討した上で生じた失敗は自らの技術や事業手法の差別化を図る学習の機会と捉えて克服することが大切である。但し、現在の科学技術レベルや市場環境等の未成熟さによって、克服できない場合も考えられるので、代替策への転換を行うなど状況に合わせた判断が必要である。

【国プロ対応のポイント：コア技術への対応】

- ・ 国の支援を受ける発電技術に関する事業化活動では、自社のコア技術が国と自社を結び付け、成功を共有できるゴールに位置付けることが重要である。

【国プロ活用のキーポイント】

- ・ 国と自社のそれぞれが目的の実現を目指して戦略を立てて行動するため、自社と国の関係がコベネフィット（Co-Benefit、共に利すること）な環境であり続けるよう、自社が主体となって対応していくこと。
- ・ 国プロに採用されたということは、単に資金援助を受けたと言う以上に、社内力学の駆け引きに活用できる。

【開発規模】

- ・ 単一メーカーで担当すること。1プロジェクト＝単一メーカー担当になると、国プロ開発主体の下に複数のメーカーが配置されて開発を分担した IGCC と比べて開発企業の事業化仮説に対する主体性が発揮しやすい状況になりやすい。他社との調整作業が不要でハンドリングの自由度が高いことなどが挙げられる。但し、参入障壁が下がると事業化後の市場での競争は厳しくなるので注意が必要である。

8. 総合考察

8. 1 事例分析結果の総括

第6章においてIGCC開発における4社の事業化活動事例分析を、第7章において風力発電、太陽電池、セメントプラント排熱回収発電、CDQ(コークス乾式消火)発電設備の事業化成功4事例をそれぞれ分析して成功要因を抽出した。ここでは、両事例の結果を総括して、共通と言える成功要因を明らかにする。下線を付けた部分が共通と言える成功要因である。

【事業化仮説への対応】

- ・ 事業化活動の前提となる事業化仮説を正確な環境分析に基づき周到に設定し、主体的に検証活動に取り組むことが必要である。事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、問題が小さいうちに適切な対応を取ることで立証に近づくことが出来る。一方、事業化仮説を設定したのにもかかわらず気が付かないまま放置すると、当然、事業化仮説が検証される段階がどこであるかも予測できず、不本意な事態が訪れ、主体的な対応が出来ない（事業化仮説に対する主体性の喪失状態）まま最悪の結末に向かう可能性が高くなってしまう。
- ・ 設定した事業化仮説を認識して内容を確認する作業、および、検知が困難とされる潜在的な事業化仮説についても存在を確認して内容を解明していく活動が重要である。
- ・ 事業化仮説の検証結果を分析して軌道修正を含む次の行動に反映し、事業化仮説が最終的に立証されるまでは、再び検証活動を進める作業手順のサイクルを回すことが重要である。
- ・ 事業化仮説は立証を目指すのが基本であるが、棄却に備えて遅くとも棄却の兆候が出始めた頃には代替策を検討し準備しておくことは、的確な代替策を立てる余裕を持つ上でも大切である。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策としなければならない。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあると考えられる。検証結果が確定する前に複線的に代替策を行動に移すことが効果的な場合がある。
- ・ 事業化仮説を検証する過程で周到に検討した上で生じた失敗は自らの技術や事業手法の差別化を図る学習の機会と捉えて克服することが大切である。但し、現在の科学技術レベルや市場環境等の未成熟さによって、克服できない場合も考えられるので、代替策への転換を行うなど状況に合わせた判断が必要である。

【国プロ対応のポイント：コア技術への対応】

- ・ 国プロでコア技術を開発する場合は国プロ実施主体の目指すゴールと自らのゴールを一致させ続けることを包含したコア技術開発の事業化仮説の設定が必要であり、実施主体へのアプローチを積極的に行い、コア技術への支持を継続させて共同検証する形を取る

ことで、開発成果を共有し、次のゴールも共有する開発スタイルが重要である。逆に実施主体がコア技術の判定者でしかないような関係では、コア技術の開発が成功しても他の理由によって実施主体が事業化仮説を棄却する場合がある。

- ・ 国プロ実施主体の期待は価値あるコア技術の開発成功にあり、開発の失敗や対抗技術に対する劣勢は実施主体に大きな失望を与えるので避けなければならない。棄却が明らかなのに放置することは先延ばしに過ぎず、結局、最悪の結果となる。主体的な検証活動による早期見極めと決断によって国プロ実施主体の支援を受けて方針転換を実施することで、真に価値あるコア技術の開発を続けることが最も重要である。

【国プロ活用のキーポイント】

- ・ 国と自社のそれぞれが目的の実現を目指して戦略を立てて行動するため、自社と国の関係がコベネフィット（Co-Benefit、共に利すること）な環境であり続けるよう、自社が主体となって対応していくことが重要である。
- ・ 国プロに採用されたということは、単に資金援助を受けたと言う以上に、社内力学の駆け引きに活用できる。

【開発規模】

- ・ 単一メーカーで担当すること。1システム＝単一メーカー担当になると、国プロ開発主体の下に複数のメーカーが配置されて開発を分担した IGCC と比べて開発企業の事業化仮説に対する主体性が発揮しやすい状況にし易い。他社との調整作業が不要でハンドリングの自由度が高いことなどが挙げられる。
- ・ 1基当たりの発電設備の開発規模が小中規模であると1社単独でもリスクを背負ってチャレンジし易くなる。但し、参入障壁まで下がると事業化後の市場での競争は厳しくなる恐れがある。

8. 2 リサーチクエスチョンへの回答

本研究は国プロを活用する発電技術開発の事業化活動の成功要因を事例分析を通して明らかにし、事業化活動に取り組む人への示唆を得ることを目的として実施した。事例分析結果から、事業化活動では様々な環境要因の変化によって事業化仮説が立証されないリスクを認識して代替策を準備しておくこと、および、事業化仮説に対する主体性の発揮による適切な判断と行動ができる状態を作っておくことが成功への必要条件であることを確認した。提起したリサーチクエスチョンについては、下記の通り回答できる。

Q1 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説が棄却されても成功可能性失墜に陥らないための対応とはどのようなものか。

→仮説検証活動を通じて常に検証状況を把握した上で、棄却に備えて国の支援を受けられることができる適切な代替策を準備しておくこと。また、棄却以前であってもタ

イムリーに代替策を発動して、棄却時のダメージを打ち消し、国の支援を継続させる行動を取ることを。

Q2 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説に対する主体性喪失の原因と影響はどのようなものか。

→ (原因) 仮説の見過ごし、あるいは、検証活動未実施のまま仮説を放置し棄却の場合を想定していない所に、仮説棄却による障害の発生という現実が現れるが、跳ね返すにはほぼ手遅れの状況。

(影響) 国が棄却に関与した場合、事業化活動へのダメージは大きい。特に、棄却前に比べて代替策立案の制約が多く発生して不利な状況に陥り、適切な検討が行えない。拙速な代替案では結果として、成功可能性の回復が困難である。

8. 3 考察

事業化仮説は、ブロックら【3-7】の事業仮説と同義語であるが、本研究では独自に事例分析を行い事業化活動における事業化仮説への主体的な取り組みについて深堀した。事業化仮説を検証しないで確定的な説として受け止める風潮は少なくない。誰しも事業化活動を失敗させたくないの、良いほうに物事を考える傾向がある。しかし、事業化仮説に真摯に向かい合って進んで検証していくことは、事業化活動の骨格であると言える。事業化仮説の置かれた状況を把握することで致命傷になる前に適切な対応を取り必要な資源を必要な活動に集中させることは、事業化仮説をより立証へと引き寄せる合理的な方法と考えられる。その上で、ようやく棄却に備えることが生きてくる。また、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策としなければならない。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあると考えられるが、最適な代替策ならば選択して果敢に実行すべきである。

国プロで開発するコア技術は企業と国を結び付け、共通のゴールを目指すためのシンボルと言える。よって、国がコア技術を評価しなくなった場合、その結果はおのずと悪いものになる可能性が高い。よって、国の存在を次の決断を下すまで静かに監視しているだけの判定者であると思ってしまうと国の本心を読むことが難しくなり、開発目標が共通のゴールから外れそうになっても検知できない。国プロでは、企業は国の認識を理解して、常に共通のゴールを目指ように対応し続けなければならない。国は国益を背負っており、環境変化に対応すべきは企業であるとの考えが強いので、企業から国に必要な働きかけをすることが重要である。その前提として国の支援を確保しておくためにも真に価値有るコア技術の開発を行うことが重要である。

9. 結論

国プロを活用する発電技術の事業化成功要因を明らかにするため本研究を実施したが、以下に得られた結論、明らかになった課題、および、事業化活動への提言について述べる。

9. 1 成功要因

(1) 国プロの特質

国プロを活用する事業化活動は、通常の実業化活動と異なり、国プロに起因する下記のような特質があることが分かった。

- ・国プロは国が主体であり、国益の追求が最大の目的であり国が主導権と取捨選択権を持つ。
- ・企業は国プロ制度を深く理解して最大限の活用を図るために国プロを事業化活動に上手く組み込んだ特殊な事業化活動を行う必要がある。
- ・企業は国の期待を的確に掴む必要がある、期待に応えることで国は事業化活動を強力に支援してくれて、そのメリットは非常に大きい、期待に反すると国は次の段階に進む前で見限ってしまう。
- ・国プロは白日の下にさらされる事業化活動であり、低レベルの失敗は許されないため、プレッシャーが掛かる。
- ・国プロは原則として年度予算に基づいて運営されるため機動的な国プロの活用は企業側の主体性が重要になる。

(2) 国プロの成功・失敗事例とその特徴

本研究で実施した分析事例には下記のとおり失敗事例と成功事例がある。各事例における国プロの関与を示す。

(失敗)

- ・IGCC 開発 A 社、D 社：国プロ依存度高い事業化活動であったが、国がコア技術を不支援とし、実証フェーズに進めなかった。

(成功)

- ・IGCC 開発 C 社：最終開発段階まで国の支援を維持出来た。特にコア技術の方針転換時に国の理解を得るための対応を行い成功した。
- ・IGCC 開発 B 社：国の不支援前にリカバー策を発動して、国との新しい共通ゴールを設定して後戻りながら別の国プロを立ち上げることができた。コア技術への国の理解を獲得する努力を行い成功した。
- ・セメント D 社/CDQ E 社：モデル事業で国と成功のゴールを同じくして完遂し、国の期待に応えた。コア技術を国益に活用した。その後、国プロの主旨に合致した事業展開を行った。
- ・風力発電 C 社：市場低迷時に国プロを大型機の技術開発に活用し、商用化を実現した。

5年間の国プロは事業継続にとってもプラスになった。国の期待に応えた結果、国の市場創設策に活かされた。

- ・太陽電池C社：国の技術戦略や国プロ制度への深い理解があり、技術開発やフィールドテスト事業の両面でタイミングよく国の支援を活用した。コア技術への国の支持を獲得する努力を行い成功した。

(3) 国プロの成功要因・失敗要因（なぜ、そうなるのか？）

(失敗)

- ・国の方針は固定的ではなく、潮流的に変化していることに気づかず、適切な対応行動が取られなかった。
- ・一旦でも、国から事業化仮説を棄却するような決定が出てしまうと国は簡単には翻意しないので国の決定を変更するような対応策は成功しない。国が不支持を決定する前に国の動きを察知して適切な対応を取る必要があった。

(成功)

- ・国の国プロに対する真の目的と企業への期待を見抜き、行動に反映した。例えば、国がどういう前提で国プロを立ち上げ、到達点はどこにあるのかを掴みとって適切な対応を取っている。
- ・事業化仮説を立証するために国の支援を獲得している。本来、国は事業化仮説の判定者でもあるが、国を共同検証の当事者にすることで少なくとも国の一方的な離反を防止している。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策としている。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあるが、最適な代替策として果敢に実行している。

(4) 国プロ成功へのポイント（どうすればうまくいくのか？）

- ・国プロにおいて自社と国の関係が Co-Benefit（共通利益）であり続けるよう、自社が主体となって対応していくこと。国プロでコア技術を開発する場合は国プロ実施主体の目指すゴールと自らのゴールを一致させ続けることを包含したコア技術開発の事業化仮説の設定が必要であり、実施主体へのアプローチを積極的に行い、コア技術への支持を継続させて共同検証する形を取ることで、開発成果を共有し、次のゴールも共有する開発スタイルが重要である。逆に実施主体がコア技術の判定者でしかないような関係では、コア技術の開発だけが成功しても他の理由によって実施主体が事業化仮説を棄却する場合がある。
- ・国プロを活用する段階とタイミングは自社の事業化戦略において最適となるよう見極めてから行動に移すこと。基礎開発までは自力開発が賢明である。

(5) 事業化仮説への対応

- ・事業化活動の前提となる事業化仮説を正確な環境分析に基づき周到に設定し、主体的に検証活動に取り組むことが必要である。事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、問題が小さいうちに適切な対応を取ることで立証に近づくことが出来る。一方、事業化仮

説を設定したのにもかかわらず気が付かないまま放置すると、不本意な事態が訪れ、主体的な対応が出来ない（事業化仮説に対する主体性の喪失状態）まま最悪の結末に向かう可能性が高くなってしまう。

- ・ 事業化仮説は立証を目指すのが基本であるが、棄却に備えて遅くとも棄却の兆候が出始めた頃には代替策を検討し準備しておくことは、的確な代替策を立てる余裕を持つ上でも大切である。検証結果が確定する前に複線的に代替策を行動に移すことが効果的な場合がある。さらに、国プロに関する仮説については国の支援が得られる代替策とすることが重要である。代替策の中には新たな事業化仮説の設定になる場合もあるが、最適な代替策ならば選択して果敢に実行すべきである。
- ・ 設定した事業化仮説を認識して内容を確認する作業、および、検知が困難とされる潜在的な事業化仮説についても存在を確認して内容を解明していく活動が重要である。

（６）リサーチクエスチョンへの回答

Q1 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説が棄却されても成功可能性失墜に陥らないための対応とはどのようなものか。

→ 仮説検証活動を通じて常に検証状況を把握した上で、棄却に備えて国の支援を受けることができる適切な代替策を準備しておくこと。また、棄却以前であってもタイムリーに代替策を発動して、棄却時のダメージを打ち消し、国の支援を継続させる行動を取る。

Q2 国プロを活用する発電技術の事業化活動において事業化仮説に対する主体性喪失の原因と影響はどのようなものか。

→ （原因）仮説の見過ごし、あるいは、検証活動未実施のまま仮説を放置し棄却の場合を想定していない所に、仮説棄却による障害の発生という現実が現れるが、跳ね返すにはほぼ手遅れの状況。

（影響）国が棄却に関与した場合、事業化活動へのダメージは大きい。特に、棄却前に比べて代替策立案の制約が多く発生して不利な状況に陥り、適切な検討が行えない。拙速な代替案では結果として、成功可能性の回復が困難である。

（７）リサーチクエスチョンに関連して提案したリサーチモデルの妥当性に関しては、事業化活動の成功可能性の変化を事業化仮説へのプラス要因とマイナス要因の差異としてステージ単位で表現したり、事業化仮説に対する主体性喪失が生じていることを表現したりすることで、事業化活動状況を視覚化するのに効果があることが分かった。

9. 2 課題

国プロの主演として参加してきたのは新事業創造が苦手と言われている業界を代表するような重厚長大企業である。国プロには国の技術競争力の根幹を作っていく役割もある。発電技術のような大型技術開発を成功させることが基盤技術の大きな進歩になることは言うまでも無い。

企業がリスクの大きな事業化活動に国の支援を求める姿勢は現在も変わらない。しかし、国プロは、表立って取り組まなければならない事業化活動であり内密に行える民間資金による活動と異なり、事業化活動の経過や成否の結果が白昼の下にさらされる。よって、事業化活動には国との関係や分担先との関係から来る対外的な面子、あるいは、社内と社外の文化の違いから来る摩擦の発生などの非合理的要因が絡んでしまう。

<対外的な面子の例>

- 国に迷惑を掛けそうで、後戻りや軌道修正したくない。
- 競合他社が取り組んでいるから自社も場当たりの対抗する。
- 経営計画等で（株主等に）公言しているので変更、中止したくない。

<文化の違いによる摩擦の例>

（差異を埋めるための労力等が摩擦となる）

- 官と民で国プロ推進方法の経済合理性に対する認識の差異がある。
- 国プロに期待するゴールは官と民で必ずしも一致しないし、状況に応じて互いに異なる方向に変化するので常に差異が生じやすい。
- 国プロの方針が民間の希望とは異なる方向に転換される。

これでは、せっかく本研究でも検証した「様々な不確定要素を事業化仮説として設定し、主体的に検証活動を行うことで、環境変化に適切に対応していく大切さ」を示したところで成功はおぼつかなくなる。

今後、非合理的要因を抑えて成功要因を活かす方法についての研究が必要と考えられる。言い換えると、本研究で示した成功要因をさらに多くの事例に適用して普遍化する課題が残っていると言える。

国プロが成功率を高めて社会の発展をより推進することに役立つための研究の意義は大きく、この分野の研究が進むことが求められる。

9. 3 提言

前項で指摘した課題があることを踏まえつつ、本研究で得られた知見を基に、国プロを活用する発電技術事業化活動に対して成功可能性を高くするための提言を次のとおり行う。

国プロを活用しても当該事業化活動は当初計画通りには進まない。その決定的な理由の一つが計画策定時に設定した事業化仮説が棄却されることである。開発実施者は事業化仮説を設定した段階から仮説と認識して進んで検証に臨み、事業化仮説の置かれた状況を常に把握して、タイムリーで適切な手を打つことが必要である。さらに、棄却に備えて、実行可能な代替策を準備しておき、必要に応じて棄却前から実行に移すことが重要である。このことを踏まえて以下の提言を行った。

(1) 事業化仮説専門チームの設置

国プロが絡む事業化仮説の失敗はダメージが大きいと専門チームを設置して事業化仮説の専門的なマネジメントが必要である。専門チームの役割には下記が考えられる。

- ・計画時に顕在仮説に加えて潜在仮説を検知し、さらに事業化活動着手後に設定された新しい仮説の探索を継続して行う。
- ・事業化チームに検知した事業化仮説を漏れなく認識させ、重要度、検証方法、代替策を共に検討する。
- ・事業化チームの検証活動をチェックする。併せて、専門チームが正しい判断をするため事業化チームに要求する情報は出来る限り開示されるしくみも必要である。

(2) 適切な国プロ対応

- ・国プロを活用して事業化活動を成功させるためには、国プロ実施主体の期待や目標と整合性を取った開発を行うことが重要である。
- ・コア技術は企業と国の関係を適切に維持するための鍵であり、長期開発において最後まで国の支援を獲得するためには真に価値あるコア技術の開発を目指すことが重要である。国プロ実施主体にコア技術への支持を持ち続けてもらうように積極的にアプローチする事が重要である。

(3) 失敗（未知との遭遇）対応

国プロを活用する事業化活動は元々リスクの高いチャレンジであると認識して、事業化仮説の検証活動においてチャレンジと引き換えに止むを得ない失敗をしても、この失敗が未知との遭遇と言えるものならば、『新たな強みを得る機会』と捉えることが重要である。

10. 参考文献

- 【1-1】工業技術開発官室監修、「大型プロジェクト20年の歩み（我が国産業技術の礎を築く）」、pp1-30、（1987）
- 【1-2】木村ら、「政府エネルギー技術開発プロジェクトの分析（サンシャイン、ムーンライト、ニューサンシャイン計画に対する費用効果分析と事例分析）」、電力中央研究所報告 Y06019, pp15-22、（2007）
- 【1-3】Z ブロック、I. C. マクミラン原著、松田修監訳、「コーポレートベンチャリング」、ダイヤモンド社 pp160-193（1987）
- 【2-1】工業技術開発官室監修、「大型プロジェクト20年の歩み（我が国産業技術の礎を築く）」、pp1-30, 31-70, 543-552, 759-883、（1987）
- 【2-2】産業技術調査委員会、「技術開発助成制度と通産省の大型プロジェクト」、pp1-43, 44-131, 252-291（1974）
- 【2-3】川鉄テクノロジー株式会社、「国家プロジェクトの運営・管理状況分析調査報告書Ⅱ」、（2001）
- 【2-4】工業技術院サンシャイン計画推進本部監修、「サンシャイン計画10年の歩み」、サンシャイン計画10周年記念事業推懇話会発行 pp1-50, 375-440, 481-624, 633-636, 647-650（1984）
- 【2-5】工業技術院サンシャイン計画推進本部、「平成3年度 サンシャイン計画 研究開発の概況（石炭液化・ガス化）」、日本産業技術振興協会発行 pp54-66, 153-205、（1992）
- 【2-6】木村ら、「政府エネルギー技術開発プロジェクトの分析（サンシャイン、ムーンライト、ニューサンシャイン計画に対する費用効果分析と事例分析）」、電力中央研究所報告 Y06019、（2007）
- 【2-7】工業技術院ムーンライト計画推進室監修、「ムーンライト計画10年の歩み」、日本産業技術振興協会発行（1989）
- 【2-8】工業技術院、「産業科学技術研究開発制度、ニューサンシャイン計画における制度改革の実施について」、報道発表資料本文（1997.1）
- 【2-9】経済産業省産業技術環境局長、「イノベーションプログラム実施要領」、第23回研究開発小委員会 参考資料3、（2008）
- 【2-10】経済産業省産業技術環境局開発課、「国内外の動向を踏まえた研究開発政策の展開方策（案）」、第23回研究開発小委員会 資料6、（2008）
- 【2-11】経済産業省研究開発課、「イノベーションプログラムについて」、第23回研究開発小委員会 資料6、（2008）
- 【2-12】「ナショナルプロジェクトのあり方について」、経済産業省 第27回研究開発小委員会 資料6-1、（2009）
- 【2-13】経済産業省産業技術環境局研究開発課、「METI's R&D Handbook 2009（イノベーションの紹介）」、（2009）
- 【2-14】上原明、「ナショナルイノベーションシステムにおける NEDO の役割と機能」、経済産業省 第27回研究開発小委員会 資料6-2、（2009）
- 【2-15】NEDO、「NEDO 技術開発機構の概要（2006-2007）」、（2006）
- 【2-16】NEDO、「新エネルギー総合開発機構の概要（1981年）」、（1981）
- 【2-17】NEDO、「新エネルギー・産業技術総合開発機構の概要（1988年）」、（1988）
- 【2-18】NEDO 技術評価部、「評価事例から見たプロジェクトマネージメントのチェックポイント」、経済産業省 第7回技術評価委員会 参考資料1、（2003）
- 【2-19】NEDO HP、「平成20年度の制度評価結果について」（2009）
- 【2-20】NEDO HP、「研究評価事業」
<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/gaiyou/kenhyo.html>（2009）
- 【2-21】木村ら、「技術開発政策の実効性に関する既往研究のレビュー（エネルギー技術分野を中心に）」、電力中央研究所報告 Y05029、（2006）
- 【2-22】木村ら、「国プロはどのように技術の実用化を生み出すのか（熱エネルギー分野における省エネ技術開発プログラムの事例分析）」、電力中央研究所報告 Y07040、（2008）
- 【2-23】木村ら、「ガスタービン開発における国プロの役割（「高効率ガスタービンプログラム」についての事例分析）」、電力中央研究所報告 Y07009、（2008）
- 【2-24】堀切ら、「国プロ再生計画」、日経エレクトロニクス 2007.1.1（2007）
- 【2-25】ポーターら、「日本の競争戦略」、ダイヤモンド社（2000）
- 【2-26】榊原清則、「日本企業の研究開発マネジメント（組織内同形化とその超克）」、千倉書房、pp1-17, 79-109, 251-275
- 【2-27】平野真、「ベンチャリングマネジメントにおける知と組織の共進化」、日本経営品質学会誌 Vol.1 No.2, pp39-47（2006）
- 【2-28】文部科学省、「科学技術白書（平成19年度）」、pp2-9、169-217、（2008）
- 【2-29】経済産業省、「経済白書 2008」、pp289-292（2009）
- 【2-30】橋口隆編、「技術革新21世紀への道（新国家プロジェクトの全貌）」、pp11-20、139-164、（1981）
- 【2-31】株式会社 日鉄技術情報センター 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社、「平成20年度 追跡調査・評価報告書（平成14, 16, 18, 19年度終了プロジェクト）」、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 第16回「追跡調査・評価」分科会資料3、平成21年3月、（2009）
- 【2-32】株式会社 日鉄技術情報センター 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社、「平成19年度 追跡調査・評価報告書（平成13, 15, 17, 18年度終了プロジェクト）」、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成20年3月、（2008）
- 【2-33】株式会社 日鉄技術情報センター 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社、「平成18年度 追跡調査・評価報告書（平成13～17年度終了プロジェクト）」、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成19年3月、（2007）
- 【2-34】株式会社 日鉄技術情報センター、「NEDO 研究開発プロジェクトにおける追跡調査・評価の実施（平成13, 14, 15年度終了プロジェクト）」、平成17年度調査報告書、新エネルギー・産業技術総合開発機構調査委託成果報告書、平成18年3月、（2006）

- 【2-35】株式会社 日鉄技術情報センター、「平成16年度 追跡調査・評価報告書(平成14、15 年度事後評価実施プロジェクト)」、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、平成17年3月、(2005)
- 【2-36】経済産業省産業技術環境局研究開発課、「平成21年度イノベーションプログラム概算予算要求について」、平成20年8月29日、(2008)
- 【2-37】経済産業省産業技術環境局、「平成22年度産業技術関連概算予算要求の概要」、平成21年8月、(2009)
- 【3-1】森本三男、「経営学入門」、同文館、pp109-129, 255-260 (1996)
- 【3-2】森本三男、「現代経営組織論」、学文社(1998)
- 【3-3】F. R. デビッド、大柳正子訳、「戦略的マネジメント」、ピアソンエデュケーション pp49-165 (2000)
- 【3-4】山之内昭夫、「新・技術経営論」、日本経済新聞社 pp1-33, 98-102, 123-135, 210-211 (1992)
- 【3-5】出川通、「MOT技術経営がよく分かる本」、秀和システムpp42-100(2005)
- 【3-6】土屋守章、「リーダーシップと戦略的思考法」、日本経営品質学会誌オンラインVol. 1 No. 1:3-10(2006)
- 【3-7】Zブロック、I. C. マクミラン原著、松田修監訳、「コーポレートベンチャリング」、ダイヤモンド社(1987)
- 【3-8】バリー・ストウら、「見込みのないプロジェクト:いつプラグを抜くか」、ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス 1987 年 7 月号(1987)
- 【3-9】畑村洋太郎、「失敗学のすすめ」、講談社 pp55-76, 98-171, 244-251(2000 年)
- 【3-10】畑村洋太郎、興直孝、「失敗知識の活用について(対談)」、情報管理 45(12), pp837-844(2002)
- 【3-12】G ハメルら、一条和生訳、「コア・コンピタンス経営」、日本経済新聞社 pp39-64, 188-299, 354-365 (1995)
- 【3-13】野中ら、「創造する組織の研究」、講談社 (1989)
- 【3-14】寺本ら、「戦略を創る」、同文館 (1994)
- 【3-15】PF ドラッカー、上田惇生訳「イノベーションと企業家精神」、ダイヤモンド社 pp220-226, 245-250, (2007)
- 【3-16】平野真、「技術者のための起業マニュアル—プロジェクト提案からベンチャー企画まで」、創風社 pp15-34, 153-176, 231-243 (2005)
- 【3-17】畑村ら、「失敗を絶対、成功に変える技術」、アスキー p p 16-27, 170-206 (2001)
- 【3-18】嶋口充輝、「マーケティングバグ 伝」、有斐閣pp57, 158, 222(2000)
- 【3-19】前田昇、「ハイテクベンチャーの役割と創出—米欧との対比に見る日本型モデルの仮説—(博士論文)」、(、2001)
- 【3-20】西雅仁ら、「技術資産の評価手法に関する研究」、経営情報学会 全国研究発表大会要旨集、(2005)
- 【3-21】北村寿宏、「大学と企業の共同研究から事業化までの解析」、産学連携学会第四回、(2006)、
- 【3-22】寺本義也、山本尚利共著、「MOTアドバンスト新事業戦略」、日本能率協会マネジメントセンター (2004)
- 【3-23】寺本義也、山本尚利共著、「MOTアドバンスト技術戦略」、日本能率協会マネジメントセンター (2003)
- 【3-24】フィリップ A ラッセルら原著、田中靖夫訳、「第三世代の R&D 研究開発と企業・事業戦略の統合」、ダイヤモンド社 pp3-55, 190-196, (1992)
- 【3-25】内田和成、【仮説思考】、東洋経済、(2006)
- 【3-26】HRインスティテュート著、野口吉昭編【仮説検証のノウハウ・ドゥハウ】、PHP 研究所、(2001)
- 【6-1】石谷清幹ほか、「標準機械工学講座 蒸気工学」、コロナ社 (1971)
- 【6-2】日本電力調査委員会、「平成 20 年日本電力調査報告書 (第 112 回)」ISSN 0549 303X(2008)
- 【6-3】石炭火力発電の高効率化の進展」、JCOAL Journal VOL. 14. 2009. 9 月号, pp5(2009)
- 【6-4】工業技術開発官室監修、「大型プロジェクト 20 年の歩み (我が国産業技術の礎を築く)」, pp1-30, 31-70, 543-552, 759-883 、(1987)
- 【6-5】工業技術院サンシャイン計画推進本部監修、「サンシャイン計画 10 年の歩み」、サンシャイン計画 10 周年記念事業推懇話会発行 p p 1-50, 375-440, 481-624, 633-636, 647-650(1984)
- 【6-6】工業技術院サンシャイン計画推進本部、「平成 3 年度 サンシャイン計画 研究開発の概況 (石炭液化・ガス化)」、日本産業技術振興協会発行 pp54-66, 153-205, (1992)
- 【6-7】藤川ら、「A-USC タービンの開発」、火力原子力発電 Vo. 58 No. 8, pp16-22(2007)
- 【6-8】岩崎ら、「A-USC ボイラ材料の開発」、火力原子力発電 Vo. 58 No. 8, pp9-15(2007)
- 【6-9】橋本敬一郎、「OCS の実用化に向けた酸素燃焼技術の開発」、(社) 火力原子力発電技術協会中部支部 平成 20 年度研究発表会(2009)
- 【6-10】佐藤ら、「石炭ガス化複合発電の実現に向けて」、電中研レビューNo. 44(2001)
- 【6-11】小川紀一郎編集、「石炭ガス化複合発電技術」、エネルギー総合工学研究所 (1998)
- 【6-12】橋本ら、入門講座「石炭利用複合発電—IGCC/PFBC」、火力原子力発電 Vol49 NO. 1, pp103-117(1998)
- 【6-13】廻信康、「世界各国における石炭ガス化技術開発状況」、CCT Journal Vol. 2, pp16-21(2002)
- 【6-14】荒木成光、「米国における石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証試験結果」、CCT Journal Vol. 2, pp5-6(2002)
- 【6-15】「Pinon Pine プロジェクト」、CCT Journal Vol. 2, pp7, (2002)
- 【6-16】佐藤幹夫、「Present Status and Future Prospects of Coal Utilized Power Generation」、Journal of the Japan Institute of Energy 86, pp304-309(2007)
- 【6-17】
- 【6-18】新エネルギー・産業技術総合開発機構クリーン・コール・テクノロジー・センター技術開発室、「石炭ガス化委員会ガス化技術部会報告書」、(1997)
- 【6-19】クリーンコールパワー研究所、「勿来パイロットプラント、実証機の状況、他」、http://www.ccpower.co.jp/(2009)
- 【6-20】資源・エネルギー技術評価検討会、「噴流床石炭ガス化発電プラント実証」に関する評価報告書」、(2000)

- [6-21] 資源エネルギー庁電力基盤整備課、「噴流床石炭ガス化発電プラント実証[事業の目的・政策的位置付け] 参考資料-3、(2008)
- [6-22] 通産省資源エネルギー庁公益事業部電力技術課、「噴流床石炭ガス化発電(IGCC)プラント実証」、説明資料(2000)
- [6-23] 石橋ほか、「ガス化複合サイクル発電」、火力原子力発電、vol. 52, No. 541(2001)
- [6-24] CCP 研究所、「石炭ガス化複合発電(IGCC)実証プラント開発の動向」、
<http://www.ccpower.co.jp/ref/fy2001/gijutu.pdf#search=石炭火力の熱効率の推移IGCC> (2001)
- [6-25] 石渡ら、「ガス化発電システム(IGCC)の海外及び国内状況」、火力原子力発電 Vol. 57 No. 10, pp63-88(2006)
- [6-26] 経済産業省、「戦略重点科学技術 クリーン・高効率で世界をリードする石炭ガス化技術開発中」、(2006)
- [6-27] 経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課電力需給政策企画室、「第1回噴流床石炭ガス化発電プラント実証に係る電力技術評価委員会」、(2008)
- [6-28] 産業構造審議会産業技術分科会 評価小委員会、「噴流床石炭ガス化発電プラント実証」プロジェクト評価(中間)報告書」、(2008)
- [6-29] 経済産業省資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 電力基盤整備課、「噴流床石炭ガス化発電プラント実証」評価用資料」、(2008)
- [6-30] Y. Ishibashi et al., 「Second Year Operation Results of CCP's Nakoso 250MW Air-blown IGCC Demonstration Plant」、Gasification Technologies Council 2009, Colorado, Oct. 2009
- [6-31] 長井輝雄、「石炭ガス化複合発電(IGCC)実証プラントの開発」、日本ガスタービン学会 Vol. 37 No. 2, pp28-33(2009)
- [6-32] 中国電力株式会社、電源開発株式会社、「大崎クールジェン株式会社の設立について」、報道資料 平成21年7月29日、(2009)
- [6-33] 古曾部ら、「重油のガス化脱硫」、石川島播磨技報 別冊第5号, pp44-50(1973)
- [6-34] 「石炭ガス化発電用高温乾式燃料ガス脱硫装置の開発」、石川島播磨技報 第21巻 第4号, pp274-278(1981)
- [6-35] 橋本ら、「酸化鉄を用いた流動層式高温乾式脱硫システムのシミュレーション」、化学工学会 第21回秋季大会 SN317(1988)
- [6-36] 石炭利用技術部、「石炭ガス化複合発電技術」、石川島播磨技報 第29巻 第3号, pp149-155(1989)
- [6-37] 杉谷恒雄、「ガス精製技術」、日本エネルギー学会誌 Vol. 74 No. 8 pp712-721(1995)
- [6-38] 宮崎明、「石炭ガス化複合発電技術の現状と展望」、石川島播磨技報 第23巻 第5号, pp421-432(1983)
- [6-39] 矢野目ら、「石炭ガス化技術の開発」、石川島播磨技報 第31巻 第5号, pp309-314(1991)
- [6-40] 天池ら、「石炭ガス化複合発電技術の実用化研究成果」、石川島播磨技報 第34巻 第2号, pp78-82(1994)
- [6-41] 下条ら、「重視油などのガス化および乾式脱硫試験結果」、石川島播磨技報 Vol. 37 No. 3, pp221-227(1997)
- [6-42] 庄野ら、「乾式脱硫シミュレータの検証」、石川島播磨技報 第37巻 第4号, pp309-313(1997)
- [6-43] K. Hashimoto et al., 「Study on Commercialization of High Efficiency IGCC System」, Series B Vol. 41, No. 4 (1998)
- [6-44] 橋本敏一郎、「石油コークスのガス化試験結果」、火力原子力発電技術協会 関東支部 第25回研究発表会(1998)
- [6-45] 天池瑛、「CO₂回収型石炭ガス化複合発電プラント」、石川島播磨技報 Vol. 39 No. 6号, pp351-355(1999)
- [6-46] 谷ら、「化石エネルギーの高度利用・高効率発電」、火力原子力発電特集号(新エネルギー・新発電)、(2007)
- [6-47] 森ら、「石炭ガス化複合発電における高温乾式脱じん装置の研究開発」、川崎重工技報 104号, pp78-85(1989)
- [6-48] 石川ら、「石炭ガス化複合発電用同時脱硫・脱じんプロセスの開発」、川崎重工技報 109号, pp30-38(1991)
- [6-49] 前田ら、「石炭ガス化複合発電用移動床ガス精製システムー同時脱硫・脱じん処理装置ー」、川崎重工技報 130号, pp27-32(1996)
- [6-50] 舩尾ら、「川重ガスタービン研究所 13E2型ガスタービンの運転実績と研究活動」、川崎重工技報 131号, pp131-136(1996)
- [6-51] 福本ら、「加圧石炭部分燃焼炉技術の開発」、川崎重工技報 144号, pp34-37(2000)
- [6-52] 舩尾ら、「川重ガスタービン研究所 13E2型ガスタービンの運転実績と研究活動」、川崎重工技報 148号, pp38-41(2001)
- [6-53] 井野ら、「石炭・黒液のガス化発電用技術」、川崎重工技報 153号, pp23-27(2003)
- [6-54] 和泉憲明、「高温集塵用粒子充填層フィルタについて」、J. Aerosol Research., 20(1), pp37-42(2005)
- [6-55] 平田悟史、「新エネルギー人材育成研修会 資料」、新エネルギー財団、(2007)
- [6-56] 大谷ら、「移動粒子充填層の集塵性能に及ぼす温度の影響」、エアロゾル研究 第3巻 第4号 PP. 299-305(1988)
- [6-57] 川崎重工、「カワサキグループ ミッションステートメント」、<http://www.khi.co.jp/overview/mission.html> (2009)
- [6-58] 世良ら、「固定床式石炭ガス化ガス精製技術の開発」、三菱重工技報 Vol. 24 No. 5 pp503-510(1987)
- [6-59] 末弘ら、「石炭ガス化用固定床式ガス精製技術の開発」、三菱重工技報 Vol. 26 No. 5 pp397-402(1989)
- [6-60] 曾田ら、「クリーンコールテクノロジーの開発現況」、三菱重工技報 Vol. 31 No. 4, pp228-231(1994)
- [6-61] 金子ら、「空気吹き二段噴流床石炭ガス化炉の開発」、三菱重工技報 Vol. 33 No. 1, pp10-13(1996)
- [6-62] 世良ら、「石炭ガス化用固定床式ガス精製装置の開発」、三菱重工技報 Vol. 33 No. 1 pp14-17(1996)
- [6-63] 徳田ら、「石炭の高度利用発電技術の進展」、三菱重工技報 Vol. 35 No. 6, pp378-379(1998)
- [6-64] 佐藤ら、「石炭ガス化複合発電実証機の開発状況」、三菱重工技報 Vol. 37 No. 1, pp10-13(2000)
- [6-65] 佐藤ら、「石炭ガス化複合発電実証機の開発状況」、三菱重工技報 Vol. 38 No. 2 pp64-67(2001)
- [6-66] 今本ら、「石炭ガス化複合発電(IGCC)」、三菱重工技報 Vol. 39 No. 3 pp124-127(2002)
- [6-67] 大木良典、「エネルギー及び地球温暖化問題の動向と当社の取り組み」、三菱重工技報 Vol. 40 No. 1 pp8-11(2003)
- [6-68] 富永ら、「発電システムの発展にともなうエネルギー利用の高度化」、三菱重工技報 Vol. 40 No. 1 pp12-17(2003)
- [6-69] 福泉ら、「発電市場をリードする大容量高効率ガスタービン」、三菱重工技報 Vol. 41 No. 5, pp254-257(2004)
- [6-70] 中村ら、「環境にやさしい石炭グリーンテクノロジー(石炭高効率発電技術)」、三菱重工技報 Vol. 42 No. 3 pp94-97(2005)
- [6-71] 塚越ら、「1700℃級ガスタービンの要素技術の開発」、三菱重工技報 Vol. 44 No. 1, pp2-5(2007)

- [6-72] 塚越ら、「高効率ガスタービンの運転実績と今後の開発動向」、三菱重工技報 Vol. 44 No. 4、pp2-7 (2007)
- [6-73] 橋本ら、「石炭ガス化複合発電 (IGCC) による CO2 排出削減の展望」、三菱重工技報 Vol. 45 No. 1 pp15-17 (2008)
- [6-74] 日本経済新聞、「エネルギー三國志 実証機他」、2008. 10. 28 付け記事(2008) 日刊工業新聞、「三菱重工、長崎で量産」、2008. 10. 21 付け記事(2008)
- [6-75] 橋本ら、「世界初の空気吹き IGCC 連続運転の成功と商用機計画」、三菱重工技報 Vol. 46 No. 1 pp6-9 (2009)
- [6-76] 橋本ら、「空気吹きガス化炉を用いた IGCC 商用機の計画状況」、三菱重工技報 Vol. 46 No. 2 pp2-6 (2009)
- [6-77] 橋本ら、「世界初の空気吹き IGCC 連続運転成功と CO2 排出の少ない商用機への取組状況」、動力協会誌春季号 pp56-62 (2009)
- [6-78] 三菱重工開発物語、「ものづくり物語 ガスタービン」、<http://www.mhi.co.jp/story/index.html> (2009)
- [6-79] 三菱重工、「社は」<http://www.mhi.co.jp/company/vision/contents/index.html> (2009)
- [6-80] 新日本石油、「製油所での開発物語 IGCC(ガス化複合発電)」、http://www.eneos.co.jp/company/techno/dso/dso_02.html (2009)
- [6-81] 岩淵明男、「三菱重工ものづくり百年の大計」、オーエス出版、pp80-103 (1993)
- [6-82] 徳永賢治、「日立ーGE MS9001 形ガスタービン 50Hz 発電用大容量ガスタービン」、ガスタービン学会誌 7-27、pp52-53 (1979)
- [6-83] 木田ら、「石炭利用技術の一翼を担う水素製造用石炭ガス化プラント」、日立評論 Vol. 74 No. 4、pp37-42 (1992)
- [6-84] 古江ら、「噴流床石炭ガス化 (HYCOL) パイロットプラントの運転結果」、火力原子力発電 Vol. 46 No. 4 (1995)
- [6-85] 上田ら、「HYCOL 石炭ガス化パイロットプラントの運転研究成果」、日本エネルギー学会誌 Vol. 74 No. 8 (1995)
- [6-86] 高木ら、「HYCOL 石炭ガス化パイロットプラントの成功」、日立評論 Vol. 76 No. 10 (1994)
- [6-87] 外岡正夫、「燃料電池用石炭ガス製造技術 (EAGLE)」、日本エネルギー学会誌 Vo. 82、pp836-840 (2003)
- [6-88] 村田ら、「高効率H-25ガスタービンのコンバインド発電設備への適用とその展開」、Vol. 87 No. 2 pp19-24 (2005)
- [6-89] 小豆畑茂、「高効率発電技術」、日立評論 Vol. 87 No. 5、pp75-82 (2005)
- [6-90] 渡辺ら、「CO2 排出量を削減するエネルギー利用技術」、日立評論 Vol. 88 No. 12、pp50-55 (2005)
- [6-91] 新エネルギー産業技術総合開発機構、バブコック日立株式会社、「多目的石炭ガス製造技術開発 (支援・調査研究) 平成 16～18 年度成果報告書」(2007)
- [6-92] 中村郷平、「多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE プロジェクト) の現況」、日本エネルギー学会誌 Vo. 86、pp321-325 (2007)
- [6-93] 荒井ら、「日立H-25ガスタービンの特徴と適用例」、Vol. 90 No. 02 34-39 (2008)
- [6-94] NEDO 環境技術開発部、「多目的石炭ガス燃料技術開発 (EAGLE) 基本計画 (案)」、P98021、(2008)
- [6-95] 伊藤ら、「火力発電における CO2 削減技術」、日立評論 Vol. 90 No. 05、pp20-25 (2008)
- [6-96] 新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価委員会「多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE)」、中間評価報告書、(2008)
- [6-97] 茅陽一、小豆畑茂、「低炭素社会の実現に向けた技術開発の取り組み」、日立評論 Vol. 90 No. 5 pp6-10 (2008)
- [6-98] 日本経済新聞、「エネルギー三國志 EAGLE」、2008. 10. 29 付け記事(2008)
- [6-99] 日本経済新聞、「エネルギー三國志 EAGLE」、2008. 10. 31 付け記事(2008)
- [6-100] 田中幸二、「電力グループ事業計画」、(2009)
- [6-101] 日立製作所、「企業理念」、<http://www.hitachi.co.jp/about/corporate/philosophy/index.html> (2009)
- [6-102] 園部昌功、「石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証プロジェクトの進捗状況」、日本機会学会講習会 No. 09-135、pp1-12、2009 年 12 月 4 日 (2009)
- [6-103] NEDO 報告書、「昭和 52 年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (石炭エネルギー)」、No. 10002850、(1978)
- [6-104] NEDO 報告書、「石炭ガス需要に係わる産業動向に関する調査」、No. 10002340、(1982)
- [6-105] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会第 3 部会 調査報告書」、No. 10019824、(1982)
- [6-106] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019844、(1982)
- [6-107] NEDO 報告書、「石炭ガス化技術の研究開発 (低カロリーガス化発電技術の研究開発)」、No. 10019917、(1982)
- [6-108] NEDO 報告書、「昭和 57 年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (石炭の液化・ガス化)」、No. 10002855、(1983)
- [6-109] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019825、(1983)
- [6-110] NEDO 報告書、「昭和 58 年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (石炭の液化・ガス化)」、No. 10002856、(1984)
- [6-111] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019843、(1984)
- [6-112] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会ガス化発電部会 報告書」、No. 10019915、(1984)
- [6-113] NEDO 報告書、「昭和 59 年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (石炭の液化・ガス化)」、No. 10002857、(1985)
- [6-114] NEDO 報告書、「世界における石炭ガス化及び液化技術開発の現状」、No. 10005986、(1985)
- [6-115] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019811、(1985)
- [6-116] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 本委員会 報告書」、No. 10019842、(1985)
- [6-117] NEDO 報告書、「石炭ガス利用燃料電池発電システムの可能性調査」、No. 10001110、(1986)
- [6-118] NEDO 報告書、「昭和 60 年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (石炭の液化・ガス化)」、No. 10002858、(1986)
- [6-119] NEDO 報告書、「昭和 60 年度サンシャイン計画委託調査研究成果報告書 特許・情報調査研究 新エネルギー技術開発情報調査」、No. 10003243、(1986)
- [6-120] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019812、(1986)
- [6-121] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 本委員会 報告書」、No. 10019826、(1986)
- [6-122] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化発電部会 報告書」、No. 10019845、(1986)

- 【6-123】 NEDO 報告書、「石炭ガス利用燃料電池発電システムの可能性調査（II）」、No. 10001109、（1987）
- 【6-124】 NEDO 報告書、「昭和 61 年度サンシャイン計画成果報告書概要集(石炭の液化・ガス化)」、No. 10002859、（1987）
- 【6-125】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 1 要素研究」、No. 10019635、（1987）
- 【6-126】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019813、（1987）
- 【6-127】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 本委員会 報告書」、No. 10019821、（1987）
- 【6-128】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会ガス化発電部会 報告書」、No. 10019822、（1987）
- 【6-129】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 2 パイロットプラントの設計」、No. 10019916、（1987）
- 【6-130】 NEDO 報告書、「200t/日噴流床石炭ガス化発電 パイロットプラントの研究成果（まとめ）その 1 第 1 編 研究開発の概要 第 2 編 研究開発実施経緯の概要 実証プラント調査研究編」、No. 10019959、（1997）
- 【6-131】 NEDO 報告書、「200t/日噴流床石炭ガス化発電 パイロットプラントの研究成果（まとめ）その 2 第 3 編 研究運転結果とその評価」、No. 10019960、（1997）
- 【6-132】 NEDO 報告書、「200t/日噴流床石炭ガス化発電 パイロットプラントの研究成果（まとめ）その 3 第 4 編 解体研究結果とその評価」、No. 10019961、（1997）
- 【6-133】 NEDO 報告書、「昭和 62 年度サンシャイン計画成果報告書概要集(石炭の液化・ガス化)」、No. 10003519、（1988）
- 【6-134】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 1 要素研究編」、No. 10019636、（1988）
- 【6-135】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 2 パイロットプラント設計・製作編（1/2）」、No. 10019637、（1988）
- 【6-136】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 2 パイロットプラント設計・製作編（2/2）」、No. 10019638、（1988）
- 【6-137】 NEDO 報告書、「石炭ガス化技術の研究開発成果報告書（低カロリーガス化発電技術の研究開発）（その 1）」、No. 10019639、（1988）
- 【6-138】 NEDO 報告書、「石炭ガス化技術の研究開発成果報告書（低カロリーガス化発電技術の研究開発）（その 2）」、No. 10019640、（1988）
- 【6-139】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019814、（1988）
- 【6-140】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 本委員会 報告書」、No. 10019827、（1988）
- 【6-141】 NEDO 報告書、「昭和 63 年度サンシャイン計画成果報告書概要集(石炭の液化・ガス化)」、No. 10004001、（1989）
- 【6-142】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 1 分冊 概要」、No. 10019629、（1989）
- 【6-143】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 2 分冊 石炭ガス化装置の運転・点検調査」、No. 10019630、（1989）
- 【6-144】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 3 分冊 高温乾式脱硫試験」、No. 10019631、（1989）
- 【6-145】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 4 分冊 高温乾式脱じん試験」、No. 10019632、（1989）
- 【6-146】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 5 分冊 高温低 NOx ガス燃焼試験等燃焼試験装置に係わる調査」、No. 10019633、（1989）
- 【6-147】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）第 6 分冊 高温低 NOx ガス燃焼試験等ガスタービン要素試験装置等に関する調査」、No. 10019634、（1989）
- 【6-148】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 1 要素研究編（1/2）」、No. 10019641、（1989）
- 【6-149】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 1 要素研究編（2/2）」、No. 10019642、（1989）
- 【6-150】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 2 パイロットプラント設計・製作編」、No. 10019643、（1989）
- 【6-151】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 3 パイロットプラント設計・製作編（設計・製作図及び製作写真）」、No. 10019644、（1989）
- 【6-152】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019815、（1989）
- 【6-153】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 本委員会 報告書」、No. 10019828、（1989）
- 【6-154】 NEDO 報告書、「石炭ガス化技術検討会 資料集」、No. 10019840、（1989）
- 【6-155】 NEDO 報告書、「平成元年度サンシャイン計画成果報告書概要集(石炭の液化・ガス化)」、No. 10004961、（1990）
- 【6-156】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発 平成元年度石炭ガス化用炭の処理技術に関する調査・研究最適石炭精製技術の開発」、No. 10006386、（1990）
- 【6-157】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019816、（1990）
- 【6-158】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019829、（1990）
- 【6-159】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会（ガス化発電部会） 報告書」、No. 10019837、（1990）
- 【6-160】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 1 要素研究編」、No. 10019918、（1990）
- 【6-161】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 2 パイロットプラント製作・据付編」、No. 10019919、（1990）
- 【6-162】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 3 パイロットプラント製作・据付編（製作・据付図及び製作・据付写真）（1/2）」、No. 10019920、（1990）
- 【6-163】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その 3 パイロットプラント製作・据付編（製作・据付図及び製作・据付写真）（2/2）」、No. 10019921、（1990）
- 【6-164】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）」、No. 10019922、（1990）

- 【6-165】 NEDO 報告書、「平成2年度サンシャイン計画成果報告書概要集（石炭の液化・ガス化）」、No. 10005379、（1991）
- 【6-166】 NEDO 報告書、「石炭利用水素製造技術開発 パイロットプラントの支援研究 平成2年度（小型装置による研究）サンシャイン計画補助事業」、No. 10006365、（1991）
- 【6-167】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発 平成2年度（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）研究成果の概要」、No. 10006372、（1991）
- 【6-168】 NEDO 報告書、「石炭利用水素製造技術開発 パイロットプラントによる研究 平成2年度パイロットプラントの設計サンシャイン計画補助事業」、No. 10006390、（1991）
- 【6-169】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発 平成2年度 石炭ガス化用炭の処理技術に関する調査・研究 最適石炭精製技術の開発」、No. 10006394、（1991）
- 【6-170】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019817、（1991）
- 【6-171】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019834、（1991）
- 【6-172】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編」、No. 10019923、（1991）
- 【6-173】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 パイロットプラント製作・据付編」、No. 10019924、（1991）
- 【6-174】 NEDO 報告書、「平成3年度サンシャイン計画成果報告書概要集（石炭の液化・ガス化）」、No. 10005672、（1992）
- 【6-175】 NEDO 報告書、「石炭利用水素製造技術開発 パイロットプラントの支援研究（小型装置による研究）」、No. 10006375、（1992）
- 【6-176】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究）解体研究成果の概要」、No. 10006379、（1992）
- 【6-177】 NEDO 報告書、「サンシャイン計画補助事業 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託 成果報告書（B版）石炭利用水素製造技術開発 パイロットプラントによる研究 パイロットプラントの設計・建設及び運転研究 第六年次分」、No. 10006400、（1992）
- 【6-178】 NEDO 報告書、「新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務 成果報告書 噴流床石炭ガス化発電プラント開発 その2 パイロットプラント運転試験研究の概要編」、No. 10006403、（1992）
- 【6-179】 NEDO 報告書、「石炭水添ガス化技術開発調査における海外調査 報告書」、No. 10019807、（1992）
- 【6-180】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019818、（1992）
- 【6-181】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019833、（1992）
- 【6-182】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会（ガス化発電部会） 報告書」、No. 10019836、（1992）
- 【6-183】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編 技術調査編 石炭ガス化複合発電システム検討編」、No. 10019927、（1992）
- 【6-184】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発（噴流床石炭ガス化発電プラント開発の支援研究） その2 運転研究総括編」、No. 10019932、（1992）
- 【6-185】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019819、（1993）
- 【6-186】 NEDO 報告書、「石炭ガス化技術検討会 資料集」、No. 10019839、（1993）
- 【6-187】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編 技術調査編」、No. 10019933、（1993）
- 【6-188】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 パイロットプラント運転試験研究の概要編」、No. 10019934、（1993）
- 【6-189】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（1/2）」、No. 10019935、（1993）
- 【6-190】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（2/2）」、No. 10019936、（1993）
- 【6-191】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その4 パイロットプラント運転操作編」、No. 10019937、（1993）
- 【6-192】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その5 実証プラントに関する調査研究編」、No. 10019938、（1993）
- 【6-193】 NEDO 報告書、「サンシャイン計画補助事業石炭利用水素製造技術開発 パイロットプラントの支援研究（プラント用機器材料の試作開発）」、No. 10019778、（1994）
- 【6-194】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019832、（1994）
- 【6-195】 NEDO 報告書、「石炭ガス化技術検討会 資料集」、No. 10019838、（1994）
- 【6-196】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編 技術調査編」、No. 10019939、（1994）
- 【6-197】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 パイロットプラント運転試験研究の概要編」、No. 10019940、（1994）
- 【6-198】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（1/2）」、No. 10019941、（1994）
- 【6-199】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（2/2）」、No. 10019942、（1994）
- 【6-200】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その4 パイロットプラント運転操作編」、No. 10019943、（1994）
- 【6-201】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その5 実証プラントに関する調査研究編」、No. 10019944、（1994）
- 【6-202】 NEDO 報告書、「石炭水添ガス化技術開発調査 報告書」、No. 10019805、（1995）
- 【6-203】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019831、（1995）
- 【6-204】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編 技術調査編」、No. 10019945、（1995）
- 【6-205】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 パイロットプラント運転試験研究の概要編」、No. 10019946、（1995）
- 【6-206】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（1/2）」、No. 10019947、（1995）
- 【6-207】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編（2/2）」、No. 10019948、（1995）
- 【6-208】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その4 パイロットプラント運転操作編」、No. 10019949、（1995）
- 【6-209】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その5 実証プラントに関する調査研究編」、No. 10019950、（1995）
- 【6-210】 NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 報告書」、No. 10019830、（1996）
- 【6-211】 NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 要素研究編 技術調査編」、No. 10019951、（1996）

- [6-212] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 パイロットプラント運転試験研究の概要編」、No. 10019952、(1996)
- [6-213] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編 (1/2)」、No. 10019953、(1996)
- [6-214] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その3 パイロットプラント運転試験編 (2/2)」、No. 10019954、(1996)
- [6-215] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その4 パイロットプラント運転操作編」、No. 10019955、(1996)
- [6-216] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その5 実証プラントに関する調査研究編」、No. 10019956、(1996)
- [6-217] NEDO 報告書、「成果報告書概要集 (石炭の液化・ガス化) 平成8年度ニューサンシャイン計画」、No. 10009970、(1997)
- [6-218] NEDO 報告書、「石炭ガス化委員会 ガス化技術部会 報告書」、No. 10019835、(1997)
- [6-219] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その1 解体研究編 技術調査編」、No. 10019957、(1997)
- [6-220] NEDO 報告書、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発その2 実証プラントに関する調査研究編」、No. 10019958、(1997)
- [6-221] NEDO 報告書、「石炭水素添加ガス化技術開発 社会適合性に関する調査研究 ニューサンシャイン計画補助事業 平成9年度」、No. 10012704、(1998)
- [6-222] NEDO 報告書、「成果報告書 (B版) 燃料電池用石炭ガス製造技術開発 パイロット試験設備による研究基礎工事・機器製作編 試験設計編」、No. 10001307、(1999)
- [6-223] NEDO 報告書、「燃料電池用石炭ガス製造技術開発 パイロット試験設備による研究その1 工事・試験運転編」、No. 10020294、(2002)
- [6-224] NEDO 報告書、「燃料電池用石炭ガス製造技術開発 支援・調査研究」、No. 100000259、(2003)
- [6-225] NEDO 報告書、「*平成16年度中間年報 多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE) パイロット試験設備による研究」、No. 100004428、(2005)
- [6-226] NEDO 報告書、「平成16年度～平成18年度成果報告書 多目的石炭ガス製造技術開発 (EAGLE) 支援・調査研究」、No. 100010005、(2007)
- [6-227] 日揮株式会社プロジェクト情報、「最新鋭の石油残渣油ガス化複合発電システムを受注」、ニュースリリース 1998 年、(1998/2/27)、(1998)

- [7-1] 菊沢清、「廃熱回収発電に利用する混圧蒸気サイクル諸方式の比較と最適混圧点の選定」、川崎重工技報 74 号, pp82-88 (1980)
- [7-2] 反田ら、「セメントプラントの排熱有効利用—CONCH プロジェクト」、川崎重工技報 165 号, pp14-17 (2007)
- [7-3] 川崎重工、「拡大する K プラントの中国における省エネルギー・環境事業」、Kawasaki News No. 151 summer, pp1-8 (2008)
- [7-4] NEDO HP, 「省エネモデル事業初の現地化追求型プラントが完成」、http://www.nedo.go.jp/informations/other/161210_1/161210_1.html (H16.12.10 付け)、(2004)
- [7-5] 丸田 敬、「環境重視と産業効率化で高まる、わが国プラント輸出ニーズ」、http://nexi.go.jp/service/sv_m-tokusyu/sv_m-tokusyu_0603-1.html (2006 年 3 月)、(2006)
- [7-6] カワサキプラントシステムズ、「中国における排熱発電用ボイラ製造合弁会社の設立に合意」、http://www.khi.co.jp/kplant/information/news_35.html (2007/9/26)、(2007)
- [7-7] カワサキプラントシステムズ、「メッセージ・基本理念」、<http://www.khi.co.jp/kplant/company/massage.html> (2007/4)、(2007)
- [7-8] カワサキプラントシステムズ、「セメントプラント」、<http://www.khi.co.jp/kplant/products/CementPlant/01.html> (2009/12/7)、(2009)
- [7-9] 朝日新聞アジアネットワーク、『技術と資金、惜しまず商機に』、Asahi.com, <http://www.asahi.com/international/aan/hatsu/hatsu070302a.html> (2007.3.2)、(2007)
- [7-10] 川崎重工、「排熱・廃棄物エネルギー利用技術」、環境・社会報告書 2008、(2008)
- [7-11] NEDO HP, 「日本発の省エネ技術で世界の持続的発展に貢献」、http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/kouhou/mirai2006/31_32.pdf、(2006)
- [7-12] 省エネルギーセンター、「廃熱発電設備 (Waste Heat Recovery Power Plant) 」
<http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/factory/F-46.pdf>、(2009)
- [7-13] 「セメント廃熱ボイラによる世界戦略」、ENERGY 誌 2009-2, pp107、(2009)
- [7-14] NIKKEI NET、「川崎重工グループ、中国における環境・省エネルギー設備事業への投資を拡大」、<http://eco.nikkei.co.jp/release/article.aspx?id=RSP189794%2023052008> (2008/5/22)、(2008)
- [7-15] FujiSankei, 「カワサキプラント セメント排熱発電プラント 中国で売上高 6 倍へ」、<http://www.business-i.jp/news/sou-page/news/200803130015a.nwc> (2008/3/13)、(2008)
- [7-16] NEDO 報告書、「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 セメント焼成設備廃熱回収モデル事業」、No. 10006119、(2002)
- [7-17] NEDO 報告書、「エネルギー・環境国際協力事業関連 セメント排熱発電設備モデル事業 成果報告書」、No. 10008277、(1996)
- [7-18] NEDO 報告書、「NEDO-GET-9867 中国におけるセメント排熱発電 平成10年度」、No. 10013574、(1999)
- [7-19] NEDO 報告書、「NEDO-IC-99F4 インドにおけるセメント焼成設備廃熱回収モデル事業実施可能性調査」、No. 10016754、(2000)
- [7-20] NEDO 報告書、「NEDO-IC-99M05 セメント燃成プラント電力消費削減モデル事業 委託業務成果報告書」、No. 10018841、(2000)
- [7-21] NEDO 報告書、「NEDO-IC-99F11 インドにおけるセメント燃成設備廃熱回収モデル事業実施計画及び普及可能性調査」、No. 10018860、(2001)
- [7-22] NEDO 報告書、「NEDO-IC-00EM04 セメント焼成プラント電力消費削減モデル事業」、No. 10020470、(2001)

- 【7-23】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用合理化等対策事業費 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 セメント焼成設備廃熱回収モデル事業」、No. 100000694、(2002)
- 【7-24】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー使用合理化等モデル事業 セメント排熱有効利用モデル事業」、No. 100002225、(2003)
- 【7-25】 NEDO 報告書、「*平成 15 年度中間年報 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 セメント焼成設備廃熱回収モデル事業 (H15-H16)」、No. 100002692、(2004)
- 【7-26】 NEDO 報告書、「平成 15 年度成果報告書「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 セメント焼成設備廃熱回収モデル事業」」、No. 100004923、(2004)
- 【7-27】 NEDO 報告書、「平成 15 年度成果報告書「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー使用合理化等モデル事業 セメント排熱有効利用モデル事業」」、No. 100004924、(2004)
- 【7-28】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー使用合理化等モデル事業 セメント排熱有効利用モデル事業」、No. 100005980、(2005)
- 【7-29】 NEDO 報告書、「平成 18 年度成果報告書 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等技術普及事業 セメント排熱有効利用モデル事業 (中国) に係る成果普及事業」、No. 100010404、(2007)
- 【7-30】 NEDO 報告書、「平成 18 年度成果報告書 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等技術普及事業 セメント焼成プラント電力消費削減モデル事業に係る成果普及事業 (ベトナム)」、No. 100013857、(2007)
- 【7-31】 伊藤清春、「世界 4 0 % のシェアを誇る新日鉄の CDQ」、NIPPON STEEL MONTHLY2003. 3、(2003)
- 【7-32】 新日本製鐵 HP、「韓国・ポスコからコークス乾式消火設備 (CDQ) を二基同時受注」、
http://www.nsc.co.jp/CGI/news/whatsnew_detail.cgi?section=0&seq=00010297 (2003/5/20)、(2003)
- 【7-33】 新日本製鐵 HP、「台湾・中国鋼鐵向けコークス乾式消火設備 (CDQ) 受注」、
http://www.nsc.co.jp/CGI/eco/eco_list.cgi?key=syosai&seq=407 (2004/2/12)、(2004)
- 【7-34】 内藤誠章、「製鉄技術の開発概要と今後の課題」、新日鉄技報 第 384 号、pp2-13 (2006)
- 【7-35】 新日本製鐵 HP、「中国における CDQ (コークス乾式消火設備) CDM 事業の国連承認」、
http://www.nsc.co.jp/CGI/eco/eco_list.cgi?key=syosai&seq=790 (2007/4/11)、(2007)
- 【7-36】 新日本鉄エンジニアリング HP、「三井鉱山株式会社及び韓国/POSCO 社向けコークス乾式消火設備の連続受注」、
http://www.nsc.co.jp/news/data/20081225105328_1.pdf (2008/12/25)、(2008)
- 【7-37】 新日本鉄エンジニアリング HP、「中国/首钢京唐鋼鉄向け大型 CDQ (コークス乾式消火設備) 受注について」、
[http://www.nsc-eng.co.jp/pdf/070529.pdf#search=中国/首钢京唐鋼鉄向け大型CDQ\(コークス乾式消火設備\)受注について](http://www.nsc-eng.co.jp/pdf/070529.pdf#search=中国/首钢京唐鋼鉄向け大型CDQ(コークス乾式消火設備)受注について) (2008/5/29)、(2008)
- 【7-38】 日刊産業新聞、「新日鉄エンジ、CDQ 相次ぎ受注」、http://www.japanmetal.com/back_number/t20081226.html (2008/12/26)、(2008)
- 【7-39】 新日本製鐵 HP、「八幡製鐵所の歴史紹介」、<http://www.nsc.co.jp/yawata/about/history.html> (2009)
- 【7-40】 新日鉄エンジニアリング HP、「経営理念・ビジョン」、<http://www.nsc-eng.co.jp/company/idea/index.shtml> (2009)
- 【7-41】 人民網日本語版「麻生首相、首都鋼鉄で中日協力省エネ事業を視察」、<http://j.peopledaily.com.cn/94474/6650195.html> (2009-4-30)、(2009)
- 【7-42】 省エネルギーセンター、「コークス乾式消火設備 (CDQ)」
http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/iron_steel/S-5.pdf、(2009)
- 【7-43】 省エネルギーセンター、「コークス乾式消火設備 (CDQ - Coke Dry Quenching Process)」
http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/iron_steel/S-8.pdf、(2009)
- 【7-44】 横手ら、「世界最大能力の大型 CDQ の開発」、産業機械 2009. 2、pp27-29、(2009)
- 【7-45】 「スチールプラントック、NEDO から FS 受託 ウクライナ、タイで」、ENN 誌 2009. 6. 25、(2009)
- 【7-46】 Brain-C、「3A5. コークス乾式消火設備技術 (CDQ) 技術」、
http://www.brain-c-jcoal.info/cctin-japan-files/japan/2_3A5.pdf#search=技術概要 CDQ 3A5
- 【7-47】 (2009)
- 【7-48】 NEDO 報告書、「インド/コークス乾式消火設備 (CDQ) モデル事業実施可能性調査」、No. 10006151、(2002)
- 【7-49】 NEDO 報告書、「NEDO-IC-99M01 コークス乾式消火設備モデル事業」、No. 10019573、(2000)
- 【7-50】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用効率化等対策事業/発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業 コークス乾式消火設備モデル事業 成果報告書」、No. 100000765、(1997)
- 【7-51】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用効率化等対策事業/発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業 コークス乾式消火設備モデル事業 成果報告書」、No. 100000766、(1998)
- 【7-52】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用効率化等対策事業/発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業 コークス乾式消火設備モデル事業 成果報告書」、No. 100000767、(1999)
- 【7-53】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用効率化等対策事業/発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業 コークス乾式消火設備モデル事業 成果報告書」、No. 100000768、(2000)
- 【7-54】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用効率化等対策事業/発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業 コークス乾式消火設備モデル事業 成果報告書」、No. 100000769、(2001)

- 【7-55】 NEDO 報告書、「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 インド／コークス乾式消火設備（CDQ）モデル事業実施具体化調査」、No. 10000949、（2003）
- 【7-56】 NEDO 報告書、「平成 14 年度成果報告書 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等技術普及事業 グリーンヘルメット事業（コークス乾式消火設備モデル事業）」、No. 100002454、（2003）
- 【7-57】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 コークス乾式消火設備（CDQ）モデル事業化等に係る調査」、No. 100005983、（2005）
- 【7-58】 岩永ら、「大型風力タービン MWT-450 の開発」、三菱重工技報 Vo. 34 No. 1 (1997)
- 【7-59】 高塚ら、「1MW 風力発電装置の開発」、三菱重工技報 Vo. 37 No. 1 (2000)
- 【7-60】 長田ら、「ギヤレス可変速風力発電装置の開発」、三菱重工技報 Vo. 38 No. 2 (2001)
- 【7-61】 藤川ら、「三菱高性能大形風力発電設備」、三菱重工技報 Vo. 39 No. 3 (2002)
- 【7-62】 一の瀬ら、「三菱重工の自然エネルギー利用技術」、三菱重工技報 Vo. 39 No. 5 (2002)
- 【7-63】 上田ら、「三菱重工の新型風車（MWT-1000A, MWT-S2000）の開発と運転実績」、三菱重工技報 Vo. 40 No. 4 (2003)
- 【7-64】 黒岩ら、「三菱重工の風力発電装置の新機種と新技術」、三菱重工技報 Vo. 41 No. 3 (2004)
- 【7-65】 上田ら、「次世代 2 MW 級大型風車の開発」、三菱重工技報 Vo. 41 No. 5 (2004)
- 【7-66】 上田ら、「風車の落雷の実機計測実績」、三菱重工技報 Vo. 44 No. 4 (2007)
- 【7-67】 上田悦紀、「風力発電への取り組み」、三菱重工技報 Vo. 45 No. 1 (2008)
- 【7-68】 三菱重工、「風力発電」、三菱重工 社会・環境報告書 2004, pp20-23, (2004)
- 【7-69】 三菱重工、「風力発電」、三菱重工 CSR レポート 2007, pp20-22, (2007)
- 【7-70】 三菱重工 HP, [ものづくり物語 風力発電]、<http://www.mhi.co.jp/story/windmill/story.html> (2009)
- 【7-71】 日経ビジネスオンライン、「三菱重工の風力発電事業頼戸際から一気に形勢逆転へ」、<http://business.nikkeibp.co.jp/article/manage/20070728/131051/> (2007/7/31), (2007)
- 【7-72】 日刊工業新聞、「国内最大級の風力発電所 鹿児島で 10 月稼働」、2008 年 6 月 13 日付け 15 面, (2008)
- 【7-73】 木村ら、「海外での風力発電設備の受注活動におけるリスク分析と対応」、<http://www.mhi.co.jp/power/wind/work/tokushu.html> (2008)
- 【7-74】 上田悦紀、「三菱風車の歩み」、http://www.mhi.co.jp/power/wind/history/kobore_npo.html (2008)
- 【7-75】 対馬健、「なんだろう 三菱重工の風車発展」、http://www.mhi.co.jp/power/wind/history/kobore_no4_68.html、(2008)
- 【7-76】 三菱重工ニュースリリース、「米国向け大型風力発電設備を大量受注 受注規模は国内の総風力発電設備容量に匹敵」、<http://www.mhi.co.jp/news/story/200705304591.html> (2007/5/31), (2007)
- 【7-77】 三菱重工ニュースリリース、「寧夏発電集団の傘下企業へ 1,000kW 風車の技術を供与 中国の風力発電機市場へ参入」、<http://www.mhi.co.jp/news/story/200705284589.html> (2007/5/28), (2007)
- 【7-78】 三菱重工ニュースリリース、「風力発電設備の生産能力を現状の 3 倍に増強 年間約 120 万 kW 生産体制へ」、<http://www.mhi.co.jp/news/story/200704104570.html> (2007/5/28), (2007)
- 【7-79】 三菱重工ニュースリリース、「石橋製作所と合併で、風車用増速機の製造・販売会社を設立 2010 年から生産を開始する計画」、<http://www.mhi.co.jp/news/story/200802054672.html> (2008/2/5), (2008)
- 【7-81】 三菱重工ニュースリリース、「横浜製作所・金沢工場に『三菱『風車の見える丘公園』をオープン CSR 地域活動の拠点に、見学・体験学習を積極受け入れ」、<http://www.mhi.co.jp/news/story/0910214864.html> (2009/10/21), (2009)
- 【7-82】 三菱重工ニュースリリース、「当社最大の風力発電プロジェクトを受注 世界最大規模のウインドファーム 米国テキサスに建設」、<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/030724.html> (2003/7/4), (2003)
- 【7-83】 三菱重工ニュースリリース、「国産最大の 2,400kW 風車 初受注 米国向け 42 基を一括で」、<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/200610174525.html> (2006/10/18), (2006)
- 【7-84】 NEDO 報告書、「(ニューサンシャイン計画) 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 大型風力発電システムの開発 (大型風力発電システムの開発)」、No. 10007483、(1994)
- 【7-85】 NEDO 報告書、「(ニューサンシャイン計画) 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 大型風力発電システムの開発 大型風力発電システムの開発 (大型風力発電システムの開発)」、No. 10007489、(1995)
- 【7-86】 NEDO 報告書、「(ニューサンシャイン計画) 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 大型風力発電システム開発 大型風力発電システムの開発 (大型風力発電システムの開発)」、No. 10008903、(1996)
- 【7-87】 NEDO 報告書、「NEDO-P-9711 新エネルギー技術開発関係データ集作成調査 (風力発電)」、No. 10010878、(1998)
- 【7-88】 NEDO 報告書、「風力発電フィールドテスト事業 横浜市金沢区における風力発電フィールドテスト事業 (風況精査) 【神奈川県横浜市】」、No. 100002389、(2003)
- 【7-89】 広重ら、「風車を量産化！三菱重工業で地球エネルギーを生み出せ」、Tech 総研ホーム 2008. 9. 12 作成、(2008)
- 【7-90】 NEDO HP、「日本における風力発電設備・導入実績」、<http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/index.html> (2009)
- 【7-91】 「2008 年の風力発電機の世界シェア」、日本経済新聞社 (平成 21 年 4 月 21 日)、(2009)
- 【7-92】 山内ら、「高効率太陽熱発電システムの研究」、三菱重工技報 Vol. 31 No. 4, (1994)
- 【7-93】 久留ら、「太陽光発電システムの開発」、三菱重工技報 Vol. 35 No. 1, (1998)
- 【7-94】 森本ら、「太陽光発電システム用パワーコンディショナの開発」、三菱重工技報 Vol. 36 No. 2, (1999)

- 【7-95】 竹内ら、「低コストアモルファスシリコン太陽電池の開発」、三菱重工技報 Vol. 37 No. 1, (2000)
- 【7-96】 小田ら、「三菱重工における分散型電源」、三菱重工技報 Vol. 39 No. 3, (2002)
- 【7-97】 原動機事業本部太陽電池事業 Gr.,「製品紹介：三菱重工の太陽光発電システム」、三菱重工技報 Vol. 39 No. 3, (2002)
- 【7-98】 杉谷ら、「RPS 法（新エネ利用促進法）への当社の取組み」、三菱重工技報 Vol. 40 No. 4, (2003)
- 【7-99】 原動機事業本部太陽電池事業 Gr.,「製品紹介：三菱重工アモルファス太陽電池」、三菱重工技報 Vol. 40 No. 4, (2003)
- 【7-100】 米倉ら、「高経済性太陽電池を構成する先進技術」、三菱重工技報 Vol. 40 No. 6, (2004)
- 【7-101】 高塚ら、「三菱重工アモルファス太陽電池」、三菱重工技報 Vol. 41 No. 1, (2005)
- 【7-102】 山内ら、「三菱重工の高効率大面積太陽電池」、三菱重工技報 Vol. 41 No. 5, (2005)
- 【7-103】 野田ら、「地球のために無限のエネルギーを生み出す太陽電池」、三菱重工技報 Vol. 42 No. 1, (2006)
- 【7-104】 山内ら、「微結晶タンデム太陽電池の開発」、三菱重工技報 Vol. 42 No. 3, (2006)
- 【7-105】 原動機事業本部新エネルギー事業推進部太陽電池事業 Gr.,「変換効率を 1.5 倍に向上させた微結晶タンデム型太陽電池」、三菱重工技報 Vol. 44 No. 1, (2007)
- 【7-106】 守井ら、「高効率微結晶タンデム型太陽電池の量産化への取組み」、三菱重工技報 Vol. 45 No. 1, (2008)
- 【7-107】 NEDO 報告書、「太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 シリコン薄膜高品質化技術」、No. 10002647、(2002)
- 【7-108】 NEDO 報告書、「太陽光発電システム普及促進型技術開発 高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発」、No. 10002702、(2002)
- 【7-109】 NEDO 報告書、「太陽光発電システム普及促進型技術開発 高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発 セル化対応技術の開発」、No. 10002703、(2002)
- 【7-110】 NEDO 報告書、「ニューサンシャイン計画 太陽光発電実用化技術開発薄膜太陽電池の製造技術開発 材料・基板製造技術開発シリコン結晶系高品質材料・基板の製造技術開発」、No. 10019339、(2001)
- 【7-111】 NEDO 報告書、「太陽光発電システム普及促進型技術開発高速大面積アモルファスシリコン製膜技術の開発」、No. 10019380、(2001)
- 【7-112】 NEDO 報告書、「太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 シリコン薄膜高品質化技術」、No. 100000801、(2003)
- 【7-113】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）広島製作所観音工場太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100000928、(2003)
- 【7-114】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）長崎造船所本館ビル太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001012、(2003)
- 【7-115】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）神戸造船所設計開発センタービル太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001058、(2003)
- 【7-116】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）横浜製作所金沢工場太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001076、(2003)
- 【7-117】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）三菱重工横浜ビル太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001078、(2003)
- 【7-118】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）高砂製作所高砂社員クラブ太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001100、(2003)
- 【7-119】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）横浜製作所本牧工場太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001140、(2003)
- 【7-120】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）長崎造船所香焼工場太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001178、(2003)
- 【7-121】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）長崎造船所諫早工場太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001180、(2003)
- 【7-122】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）高砂製作所本館ビル太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001186、(2003)
- 【7-123】 NEDO 報告書、「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 三菱重工業（株）三菱重工ビル太陽光発電フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100001296、(2003)
- 【7-124】 NEDO 報告書、「平成 15 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業（株）太陽光発電新技術等フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100003162、(2004)
- 【7-125】 NEDO 報告書、「平成 15 年度成果報告書 太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発(3)」、No. 100003657、(2004)
- 【7-126】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業（株）下関造船所工浦工場新技術等フィールドテスト事業【山口県下関市】」、No. 100006243、(2005)
- 【7-127】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 汎用機・特車事業本部エネルギーセンター新技術等フィールドテスト事業【神奈川県相模原市】」、No. 100006372、(2005)
- 【7-128】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業（株）先進技術研究センター新技術等フィールドテスト事業【神奈川県横浜市】」、No. 100006430、(2005)
- 【7-129】 NEDO 報告書、「平成 16 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業（株）高砂研究所新技術等フィールドテスト事業【兵庫県高砂市】」、No. 100006440、(2005)

- 【7-130】 NEDO 報告書、「平成 16 年度中間年報 (H16-H17) 太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 シリコン薄膜高品質化技術」、No. 100006635、(2005)
- 【7-131】 NEDO 報告書、「平成 16 年度中間年報 (H16-H17) 太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 広帯域スペクトル利用型薄膜シリコン太陽電池 (微結晶 SiGe 高速製膜/高密度大面積プラズマ CVD)」、No. 100006663、(2005)
- 【7-132】 NEDO 報告書、「平成 16 年度中間年報 (H16-H17) 太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 広帯域スペクトル利用型薄膜シリコン太陽電池 (ナノスケール電気特性評価)」、No. 100006664、(2005)
- 【7-133】 NEDO 報告書、「平成 17 年度成果報告書 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 横浜製作所本牧工場内横浜研究所開発実験棟新技術等フィールドテスト事業【神奈川県横浜市】」、No. 100008058、(2006)
- 【7-134】 NEDO 報告書、「平成 16 年度～17 年度成果報告書 太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 3-V-N 系窒化物半導体を用いた量子ナノ構造太陽電池の研究開発」、No. 100008228、(2006)
- 【7-135】 NEDO 報告書、「平成 16 年度～17 年度成果報告書 太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 広帯域スペクトル利用型薄膜シリコン太陽電池 (微結晶 SiGe 高速製膜/高密度大面積プラズマ CVD)」、No. 100008229、(2006)
- 【7-136】 NEDO 報告書、「*平成 17 年度中間報告書 (H17-19) 太陽光発電システム実用化加速型技術開発 微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」、No. 100008254、(2006)
- 【7-137】 NEDO 報告書、「平成 16 年度～平成 17 年度成果報告書 太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発」、No. 100009006、(2006)
- 【7-138】 NEDO 報告書、「平成 16 年度～平成 17 年度成果報告書 太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発 超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発」、No. 100009008、(2006)
- 【7-139】 NEDO 報告書、「平成 18 年度中間年報 太陽光発電システム実用化加速技術開発 微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」、No. 100009990、(2007)
- 【7-140】 NEDO 報告書、「平成 18 年度中間年報 太陽光発電システム未来技術研究開発 大面積/高効率多接合薄膜シリコン太陽電池の高生産製膜技術開発」、No. 100010041、(2007)
- 【7-141】 NEDO 報告書、「平成 19 年度中間年報 新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム未来技術研究開発 大面積/高効率多接合薄膜シリコン太陽電池の高生産製膜技術開発 (H18-H21)」、No. 100011661、(2008)
- 【7-142】 NEDO 報告書、「平成 19 年度中間年報 新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム未来技術研究開発 薄膜シリコン太陽電池の高効率化と高速堆積技術の研究開発 (H18-H21)」、No. 100011662、(2008)
- 【7-143】 NEDO 報告書、「平成 17 年度～平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム実用化加速技術開発 微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」、No. 100012103、(2008)
- 【7-144】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 長崎造船所微結晶タンデム第 1 工場新技術等フィールドテスト事業【長崎県諫早市】」、No. 100012754、(2008)
- 【7-145】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 工作機械事業部第 2 工作機械工場新技術等フィールドテスト事業【滋賀県栗東市】」、No. 100012755、(2008)
- 【7-146】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 広島製作所観音工場新技術等フィールドテスト事業【広島県広島市西区】」、No. 100012756、(2008)
- 【7-147】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 長崎造船所幸町工場新技術等フィールドテスト事業【長崎県長崎市】」、No. 100012757、(2008)
- 【7-148】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 下関造船所大和町本館新技術等フィールドテスト事業【山口県下関市】」、No. 100012758、(2008)
- 【7-149】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 名古屋誘導推進システム製作所本工場第 1 事務所新技術等フィールドテスト事業【愛知県小牧市】」、No. 100012759、(2008)
- 【7-150】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 冷熱事業本部松阪工場新技術等フィールドテスト事業【三重県松阪市】」、No. 100012760、(2008)
- 【7-151】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 名古屋航空宇宙システム製作所小牧南工場新技術等フィールドテスト事業【愛知県西春日井郡豊山町】」、No. 100012761、(2008)
- 【7-152】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 紙・印刷機械事業部和田沖工場新技術等フィールドテスト事業【広島県三原市】」、No. 100012762、(2008)
- 【7-153】 NEDO 報告書、「平成 19 年度成果報告書 新エネルギー技術フィールドテスト事業 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 三菱重工業 (株) 神戸造船所設計開発センター食堂棟新技術等フィールドテスト事業【兵庫県神戸市兵庫区】」、No. 100012763、(2008)
- 【7-154】 NEDO 報告書、「風力発電システム導入ビジョン 昭和 61 年度 100kw 級風力発電システム仕様調査」、No. 10003061、(1987)
- 【7-155】 三菱重工ニュースリリース、「アモルファスシリコン太陽電池事業に参入 大面積・高速プラズマ CVD 技術により量産化を達成」、2000 年 12 月 14 日発行 第 3889 号、(2000)

- 【7-156】 三菱重工ニュースリリース、「社内 11 ヲ所に 太陽光発電システムを完成 合計出力 370 kW 地球環境保全に貢献」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/030324.html>、2003 年 3 月 24 日発行 第 4101 号、(2003)
- 【7-157】 三菱重工ニュースリリース、「太陽電池 ドイツ TUV の認証取得 欧州向け営業活動を本格化」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/030528.html>、2003 年 5 月 28 日発行 第 4126 号、(2003)
- 【7-158】 三菱重工ニュースリリース、「太陽電池を組み込んだ金属屋根を共同開発 元旦ビューティ工業と」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/031014.html>、2003 年 10 月 14 日発行 第 4166 号、(2003)
- 【7-159】 三菱重工ニュースリリース、「外壁型・ルーバー型太陽電池の販売を開始 三協アルミニウム工業と」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/040204.html>、2004 年 2 月 4 日発行 第 4200 号、(2004)
- 【7-160】 三菱重工ニュースリリース、「世界最大 1,000kW のアモルファス太陽光発電設備が稼働 三菱重工のアモルファス電池を採用」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/200411294295.html>、2004 年 11 月 29 日 発行 第 4295 号、(2004)
- 【7-161】 三菱重工ニュースリリース、「微結晶タンデム型太陽電池の量産工場を建設 生産規模は年間 4 万 kW」、
<http://www.mhi.co.jp/news/sec1/200602024432.html>、2006 年 2 月 2 日 発行 第 4432 号、(2006)
- 【7-162】 三菱重工ニュースリリース、「太陽光発電設備を全事業所へ導入 2007 年度末までに」、
<http://www.mhi.co.jp/news/story/200705164585.html>、2007 年 5 月 16 日 発行 第 4585 号、(2007)
- 【7-163】 NEDO, 「なぜ、日本が太陽電池で世界一になれたのか」、アイワード pp79-103、(2007)
- 【7-164】 NEDO 技術評価委員会、「第 1 回太陽光発電技術研究開発 先進太陽電池技術研究開発 (中間/事後評価) 分科会 議事録案」、平成 15 年 4 月 18 日、(2003)
- 【7-165】 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会、「太陽光発電技術研究開発 (電源利用技術開発等委託費)」、プロジェクト評価 (事後) 報告書 (案) 平成 19 年 3 月、(2007)
- 【7-166】 日経 BP 社 Tech-On, 「三菱重工業、薄膜系太陽電池シェア 10% へ、次世代技術も準備」、
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080527/152481/>、2008 年 5 月 27 日付け、(2008)
- 【7-167】 三菱重工長崎造船所ニュース、「2006 年の重点施策」、<http://www.mhi.co.jp/nsmw/news/sec1/menu0601.htm>、pp13、(2006)
- 【7-168】 三菱重工、「太陽方発電」、三菱重工 CSR レポート 2007、pp17-19、(2007)
- 【7-169】 太陽光発電協会、「国内太陽電池メーカーの出荷量の推移 (種類別)」、<http://www.jpea.gr.jp/04doc01.html> (2009)

1 1 . 業績リスト

【発表・講演】

- (1) 橋本敬一郎ほか、「酸化鉄を用いた流動層式高温乾式脱硫システムのシミュレーション」、化学工学会 第21回秋季大会 SN317(1988)
- (2) 橋本敬一郎、「石油コークスのガス化試験結果」、火力原子力発電技術協会 関東支部 第25回研究発表会(1998)
- (3) K. Hashimoto、「Introduction to NEDO's strategic development for residential houses and buildings」、ADEM—NEDO 3rd workshop for “Energy Efficiency and Buildings” June 2007 (2007)
- (4) K. Hashimoto、「CO₂ recovery from Power plant using Oxy-fuel combustion system -Feasibility study and combustion test results-」、APEC 2007 Clean Fossil Energy Seminar (2007)
- (5) 橋本敬一郎、「CCSの実用化に向けた酸素燃焼技術の開発」、(社)火力原子力発電技術協会中部支部 平成20年度研究発表会(2009)
- (6) 橋本敬一郎、「酸素燃焼技術による CCS 実用化開発」、(社)火力原子力発電技術協会北海道支部 平成20年度研究発表会(2009)
- (7) 橋本敬一郎、「酸素燃焼技術による CCS 実用化開発」、(社)火力原子力発電技術協会九州支部 平成21年度第2回大分地区講演会(2009)

【投稿】

- (8) 大谷佳生、江見準、金岡千嘉男、橋本敬一郎、「移動粒子充填層の集塵性能に及ぼす温度の影響」、エアロゾル研究 第3巻 第4号 PP. 299-305(1988)
- (9) 橋本敬一郎ほか、入門講座「石炭利用複合発電—IGCC/PFBC」、火力原子力発電 Vol.49 No.1(1998)
- (10) K.Hashimoto et al、「Study on Commercialization of High Efficiency IGCC System」、JSME Series B Vol.41, No.4 (1998)
- (11) 橋本敬一郎、「CCSの実用化に向けた酸素燃焼技術の開発」、(社)火力原子力発電中部 第299号(平成20年度第2号), pp103-107 (2009)
- (12) 橋本敬一郎、「酸素燃焼による CCS 実用化開発について」、(社)火力原子力発電九州 Vol.50 No.1(平成21年度), pp45-57 (2010)

謝辞

本論文研究を実施するに当たり、終始暖かくご指導いただいた指導教官の若木 宏一教授に心から感謝いたします。また、平野 真コース長、富澤 治教授のご助言のお陰で本研究をまとめることが出来ました。ここに深く感謝申し上げます。また、学業を続けていく上でいつも迅速で適確なご対応をして下さいました秘書室の安東 葵様に厚く御礼申し上げます。

高知工科大学に出会い、素晴らしい学習環境で学ぶことが出来たことは失敗ばかりのこれまでの人生において数少ない成功事例であり、誇りであります。貴学の益々のご発展をお祈りしています。

最後に学業を陰で支えてくれた妻のゆかりに改めて感謝します。