総合資源エネルギー調査会
資源・燃料分科会
鉱業小委員会　第2回会合資料

低品位炭（褐炭）高度化利用に向けた技術開発の取組みについて

平成 26 年 6 月 5 日

九 州 電 力 株 式 会 社

目　次

１　石炭利用の必要性
　1.1　電気事業における石炭発電の現状
　1.2　当社における石炭発電の現状
　　（参考）当社の石炭発電設備の現状
　1.3　化石燃料の可採埋蔵量と発電コスト
　1.4　石炭の可採埋蔵量分布と日本の化石燃料の輸入先
　1.5　当社における石炭利用の考え方
　　（参考）エネルギー基本計画における石炭の政策的位置付け

２　低品位炭活用の必要性
　2.1　世界のエネルギー需要の見通し
　2.2　可採埋蔵量の内訳と炭種別可採年数の推移
　2.3　石炭・原油・LNGの価格動向

３　石炭利用における課題

４　褐炭の高度利用技術開発
　4.1　豪州褐炭の特徴
　4.2　技術開発の取組み状況
　　（参考）次ステップにおけるインフラ整備/将来展望

１　石炭利用の必要性

1.1　電気事業における石炭発電の現状

- 1970年代のオイルショック後、石油代替エネルギーとして、石炭、天然ガス、原子力をバランス良く導入し、エネルギーのベストミックスを実現
- 震災後、原子力の長期停止により、火力発電比率は約9割まで上昇
- 石炭の発電量は、全体の28%を占める。

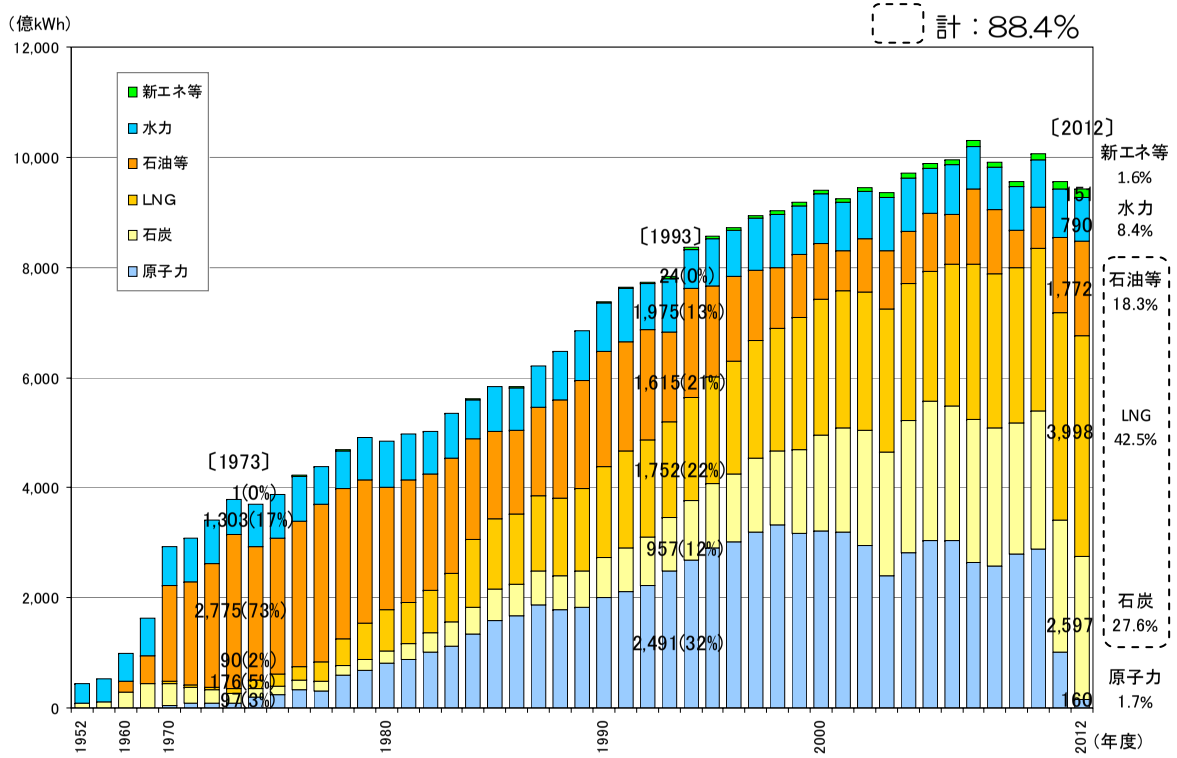


図 電源別発電電力量構成比（10電力計（受電を含む））

出典：エネルギー白書、電気事業連合会資料

上段：億kWh、下段：構成比

1973	1993	2010	2011	2012
1 (0%)	24 (0%)	115 (1%)	133 (1%)	151 (2%)
1, 303 (17%)	1, 975 (13%)	1, 716 (9%)	1, 726 (9%)	790 (8%)
2, 775 (73%)	1, 615 (21%)	753 (8%)	1, 372 (14%)	1, 772 (18%)
90 (2%)	1, 752 (22%)	2, 945 (27%)	3, 772 (40%)	3, 998 (43%)
176 (5%)	957 (12%)	2, 511 (24%)	3, 772 (25%)	2, 597 (28%)
97 (3%)	2, 491 (32%)	2, 882 (31%)	1, 018 (11%)	160 (2%)

1.2　当社における石炭発電の現状

- オイルショック以降、エネルギーの長期安定確保や地球環境問題への対応等から電源ベストミックスに取組み、原子力やLNG・石炭など燃料の多様化を図るとともに高効率火力電源の開発を推進
- 震災後、原子力の長期停止により、火力発電比率は約9割まで上昇
- 石炭の発電量は、定期検査の延長等を図りフル稼働の状態で、全体の３１％を占める。

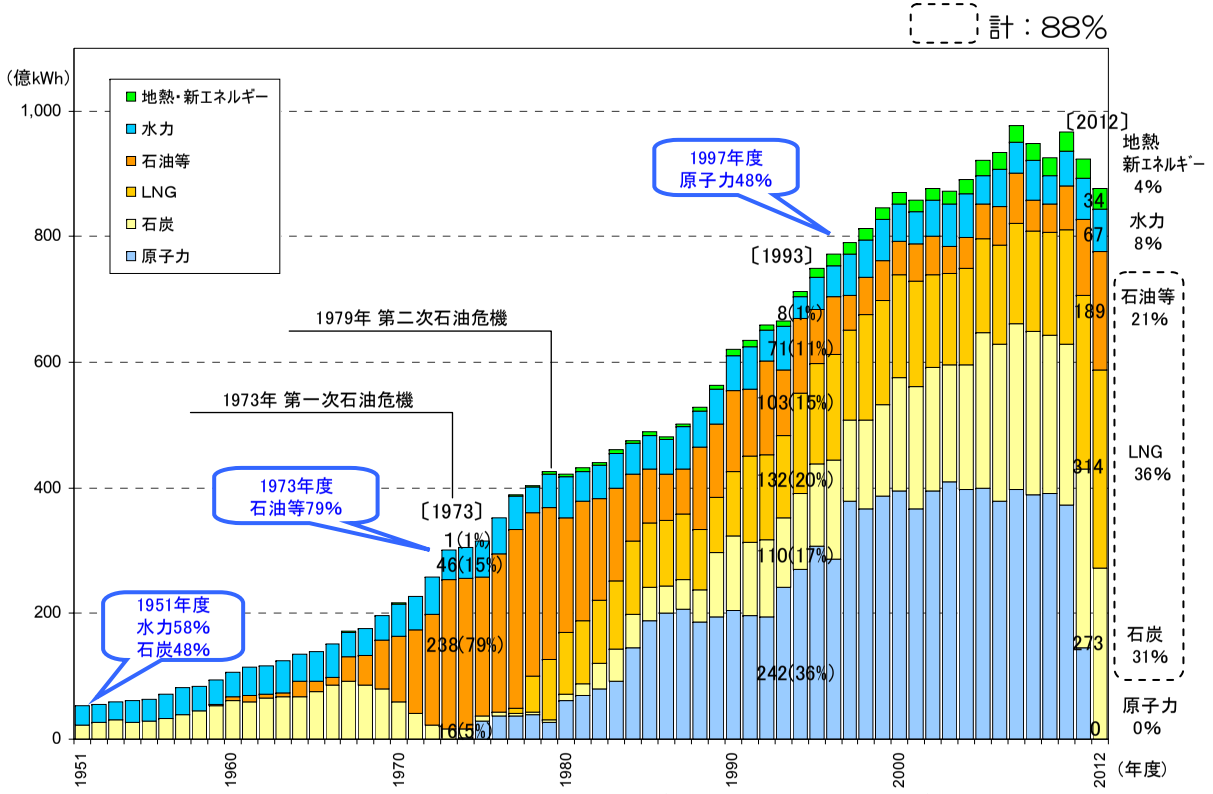


図 電源別発電電力量構成比（他社受電分を含む）

上段：億kWh、下段：構成比

1973	1993	2010	2011	2012
1 (1%)	8 (1%)	29 (3%)	31 (3%)	34 (4%)
46 (15%)	71 (11%)	57 (6%)	66 (7%)	67 (8%)
238 (79%)	103 (15%)	69 (7%)	120 (13%)	189 (21%)
0 (0%)	132 (20%)	183 (19%)	276 (30%)	314 (36%)
16 (5%)	110 (17%)	255 (26%)	286 (31%)	273 (31%)
0 (0%)	242 (36%)	374 (39%)	145 (16%)	0 (0%)

（参考） 当社の石炭発電設備の現状

- 石炭火力は、燃料調達の安定性や経済性に優れるため、環境保全に配慮し、ベース電源として活用（2012年度消費量 555万ｔ）

〔当社の石炭火力発電所〕

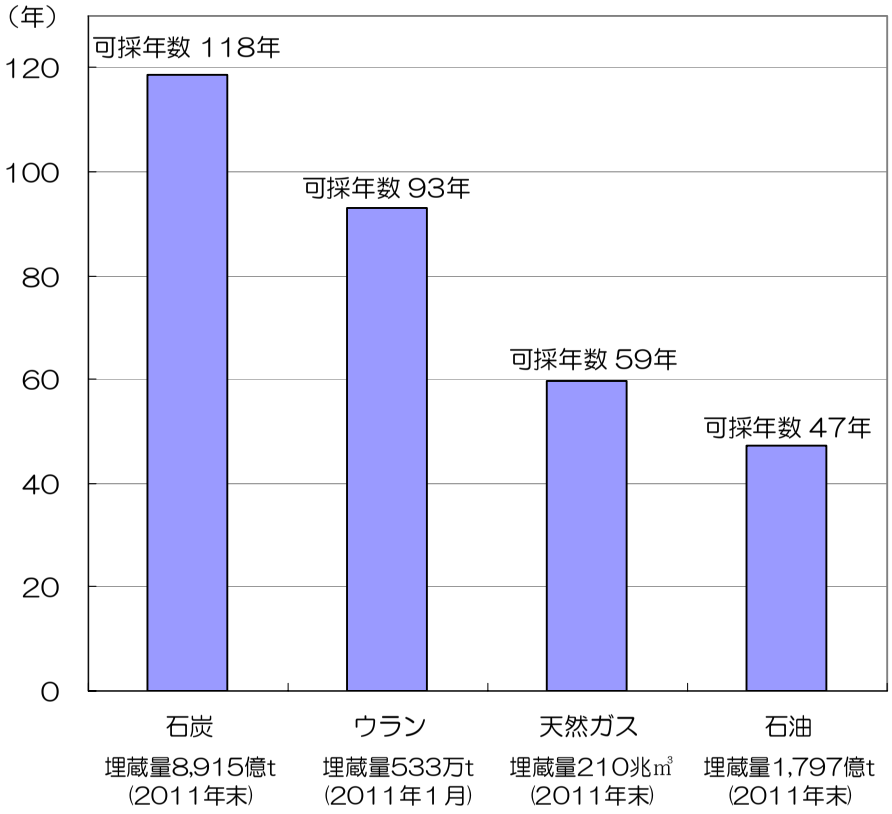
発電所名	号機	出力	発電端効率	運　開	備　考
松浦発電所	1号機	70万kW	40.7%	1989年6月	超臨界圧微粉炭燃焼
苓北発電所	1号機	70万kW	42.1%	1995年12月	〃
	2号機	70万kW	42.8%	2003年6月	〃
苅田発電所	新1号機	36万kW	42.8%	2001年7月	加圧流動床燃焼

〔参考〕今後の火力電源開発計画

発電所名	号機	出力	発電端効率	運開予定	備　考
松浦発電所	2号機	100万kW	－	2021年6月	入札対象電源

1.3　化石燃料の可採埋蔵量と発電コスト

- 石炭は可採埋蔵量が豊富
- 石炭はCO_2対策費を含めても他の化石燃料と比較して、最も安価な発電コスト



(注)可採年数＝可採埋蔵量÷年間生産量
(注)ウランの可採埋蔵量は、費用130ドル/kg未満

図　燃料別可採年数及び可採埋蔵量

出典：WEC、"Survey of Energy Resources 2013"
IAEA、"Uranium 2011

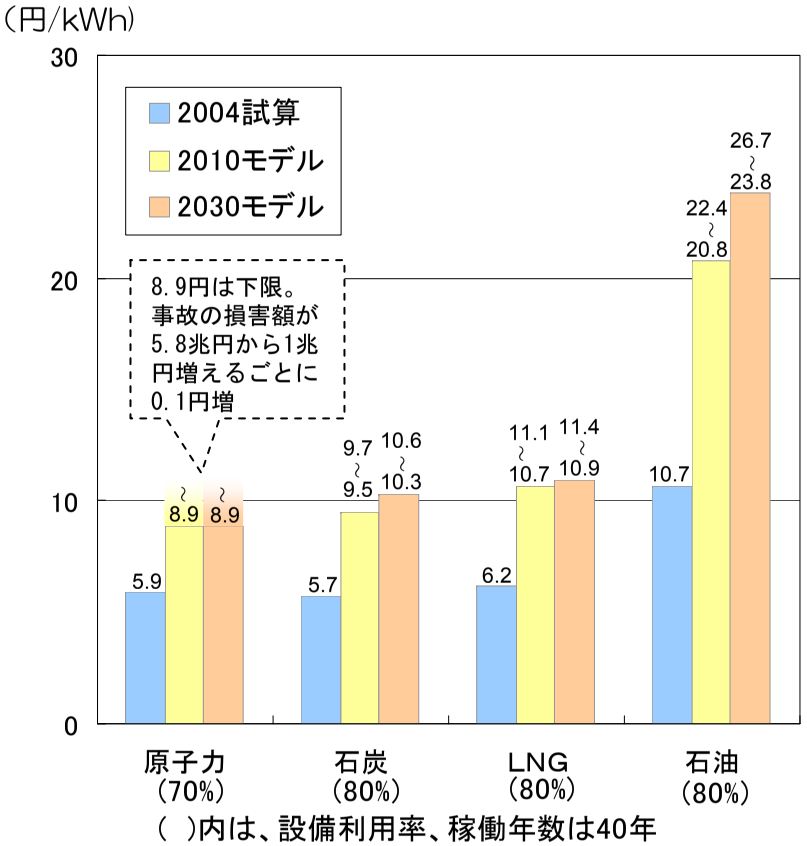


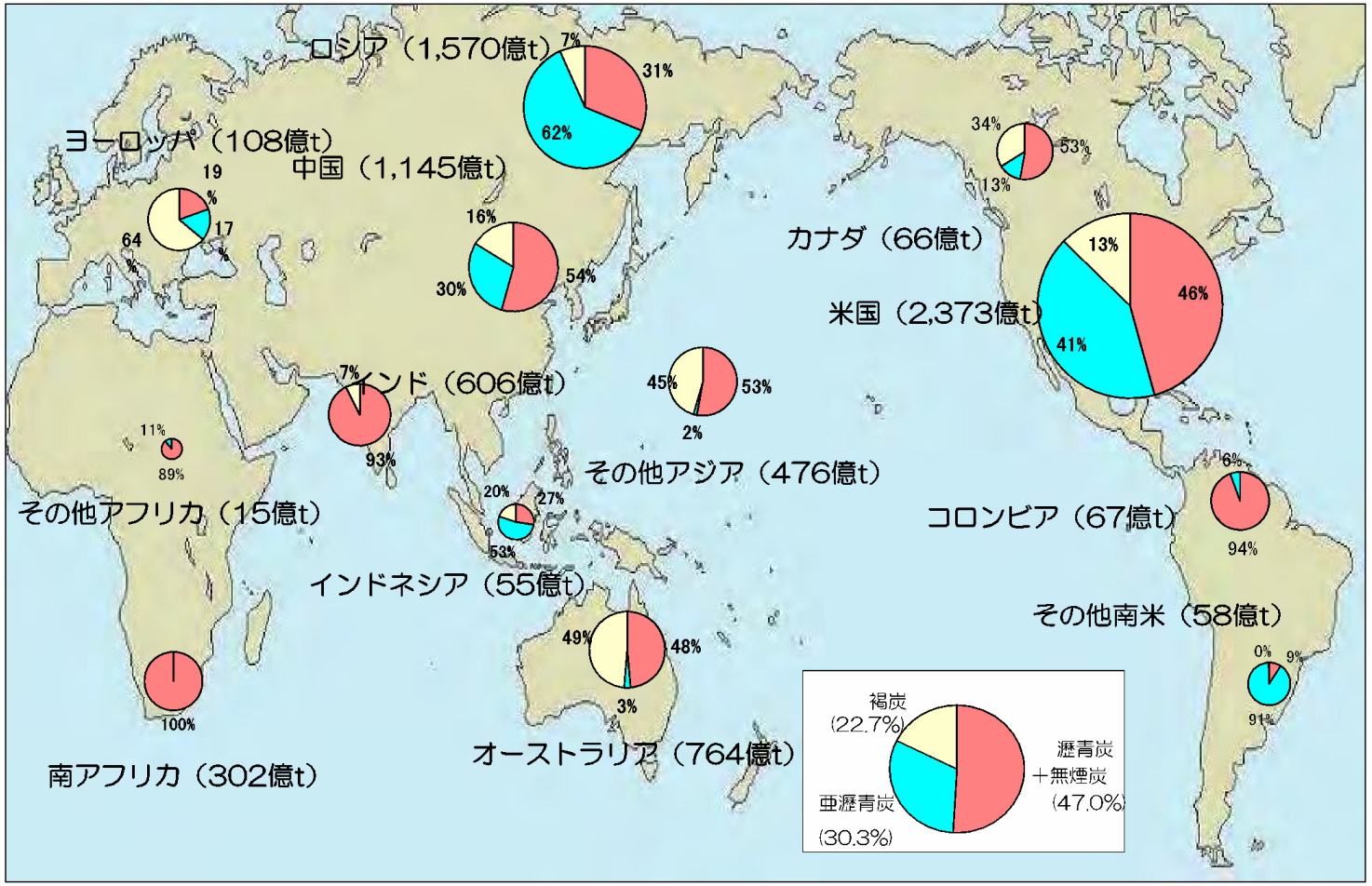
図　1kWhあたりの発電コスト

出典：エネルギー・環境会議コスト等検証委員会報告書(2011年12月)

1.4　石炭の可採埋蔵量分布と日本の化石燃料の輸入先

- 石炭には産出国に偏りがなく、他の化石燃料と比較して、地政学的リスク（中東依存度０％）が低い

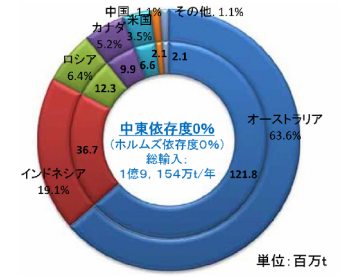
〔石炭の可採埋蔵量分布〕



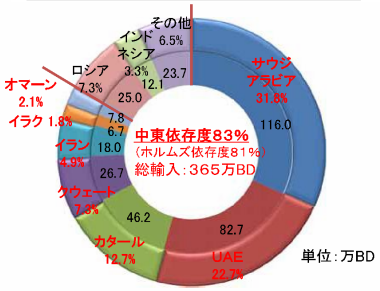
出典：WEC,“ Survey of Energy Resources 2010”
（第1回鉱業小委員会資料）

〔日本の化石燃料の輸入先〕

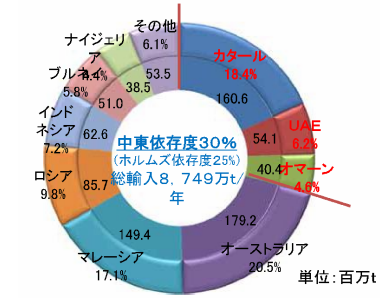
石炭（2013年）



石油（2013年）



天然ガス（2013年）

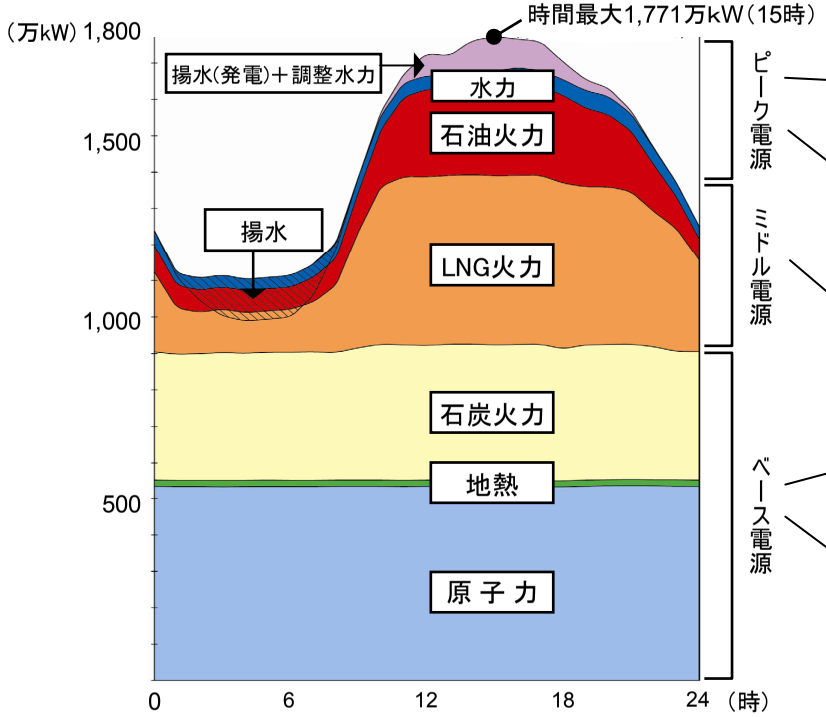


出典：貿易統計
（第1回鉱業小委員会資料）

1.5　当社における石炭利用の考え方

- エネルギーの長期安定確保及び低炭素社会の実現に向けて、安全・安定運転を最優先に原子力を推進するとともに、再生可能エネルギーの推進、火力の高効率化を図りながら、バランスのとれた電源開発を推進
- 石炭については、資源量が豊富で、調達の安定性、経済性に優れていることから、当面、既存設備の有効活用を図るとともに、将来的には、ＩＧＣＣ、A-ＵＳＣ、ＣＣＳなどのクリーンテクノロジーの開発動向などを踏まえて、今後ともベース電源として活用

〔過去最大電力発生日(2008年8月1日)の日負荷曲線〕



〔主な電源の位置付け〕

揚水式水力	・起動停止が迅速なため、電力ピーク時や緊急時に活用
石油火力	・発電コストが高く、ＣＯ2排出量が多い ・需要変動に柔軟に対応できるため、電力ピーク時や緊急時に活用
ＬＮＧ火力	・石油火力や石炭火力と比べ、環境性に優れ、出力調整が容易 ・発電コストも安く、ミドル電源として活用
石炭火力	・燃料調達の安定性や経済性に優れる ・環境保全に配慮し、ベース電源として活用
原子力	・燃料調達の安定性や経済性、環境保全の面で総合的に優れる ・安全性を最優先に、主力ベース電源として活用

（参考）エネルギー基本計画における石炭の政策的位置付け

○化石燃料を海外からの輸入に頼る日本は、一つのエネルギー源に頼ることなくエネルギー源の多様化が必要。

エネルギー基本計画（平成26年4月11日閣議決定）における石炭の位置づけ

①位置付け

温室効果ガスの排出量が大きいという問題があるが、地政学的リスクが化石燃料の中で最も低く、熱量当たりの単価も化石燃料の中で最も安いことから、安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されており、高効率石炭火力発電の有効利用等により環境負荷を低減しつつ活用していくエネルギー源である。

②政策の方向性

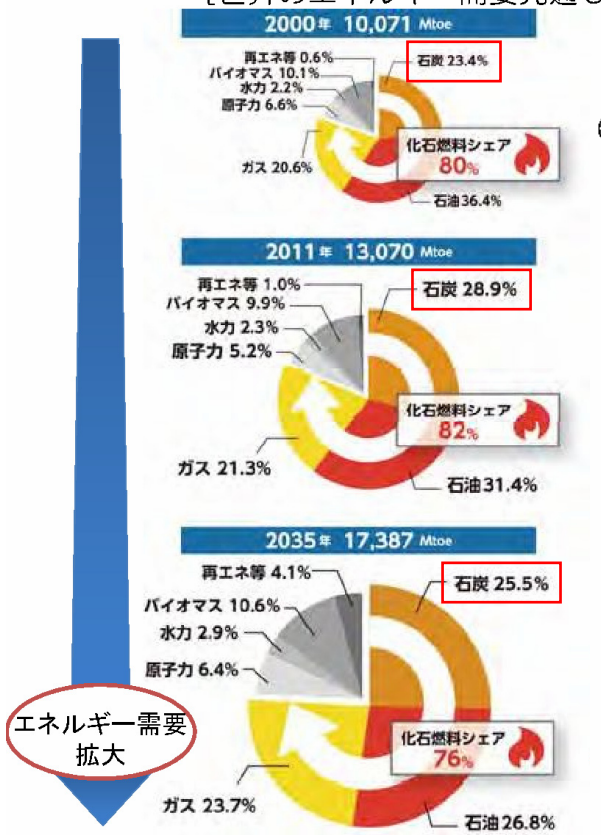
老朽火力発電所のリプレースや新増設による利用可能な最新技術の導入を促進することに加え、発電効率を大きく向上させることで発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げるための技術（IGCCなど）等の開発をさらに進める。こうした高効率化技術等を国内のみならず海外でも導入を推進していくことにより、地球全体で環境負荷の低減と両立した形で利用していく必要がある。

２　低品位炭活用の必要性

2.1　世界のエネルギー需要の見通し

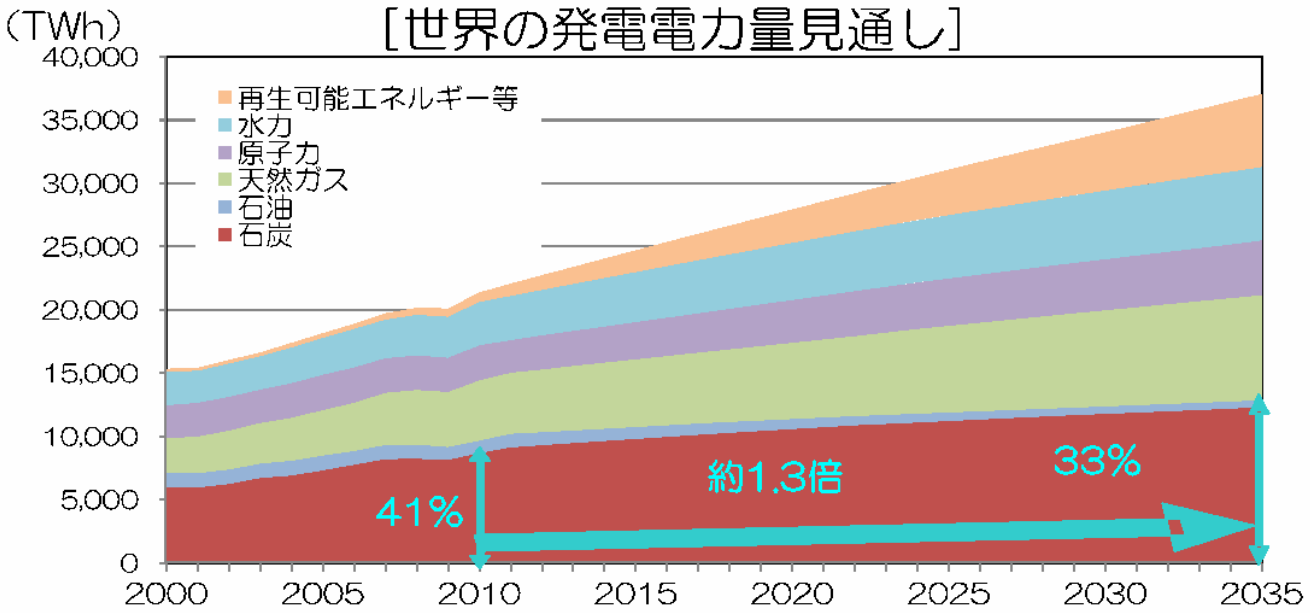
- 石炭は、世界のエネルギー需要の1/4程度を占めており、2035年では約1.2倍に増加。発電電力量では、約40%以上を占めており、2035年では約1.3倍になる見通し
- 中国、インド等の新興国による石炭需要の急激な拡大により、世界的に石炭資源獲得競争は激化

［世界のエネルギー需要見通し］



出典：IEA“World Energy Outlook 2013”

［世界の発電電力量見通し］



出典：IEA,“ World Energy Outlook 2013”
（第1回鉱業小委員会資料）

2.2　可採埋蔵量の内訳と炭種別可採年数の推移

- 可採埋蔵量の半数が低品位炭であり、現在の火力発電所の燃料である瀝青炭等の高品位炭は可採年数が急激に減少
- 亜瀝青炭についても火力発電所での使用量増加等により減少傾向

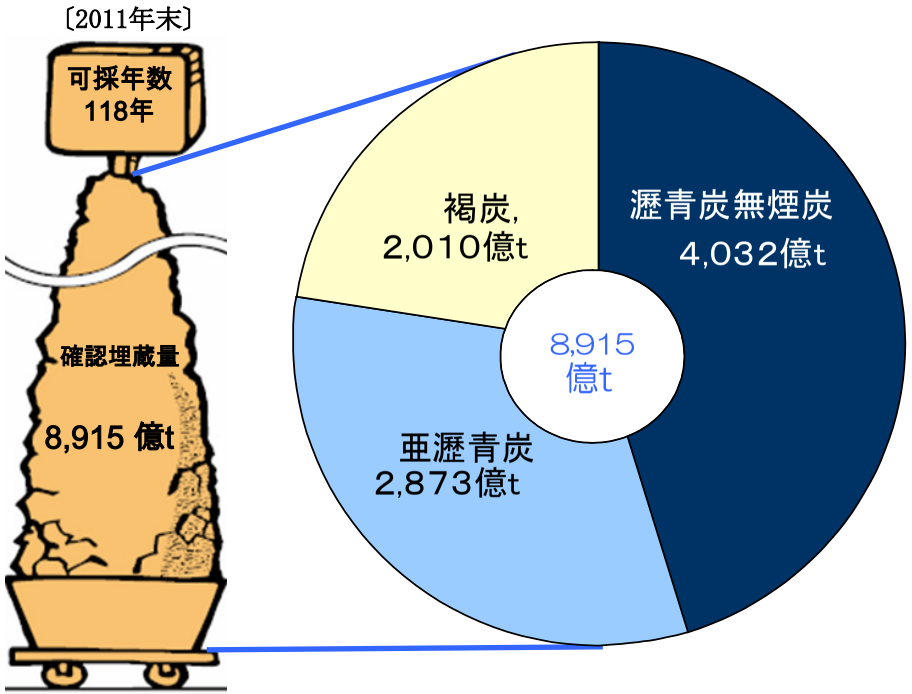


図　世界の石炭埋蔵量
出典：WEC、”Survey of Energy Resources 2013”

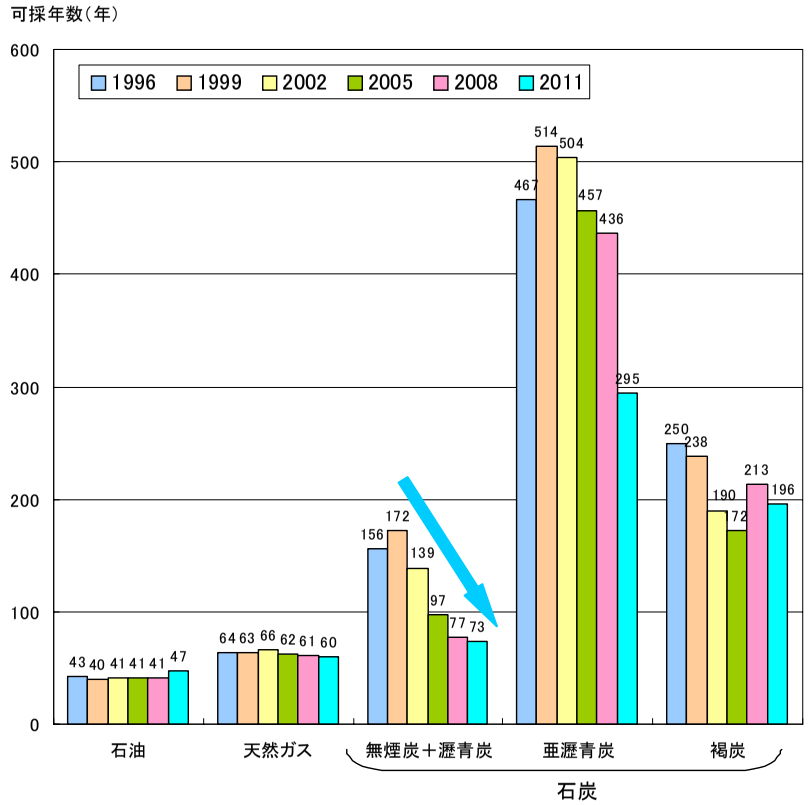


図　世界のエネルギー資源可採年数の推移
出典：WEC、”Survey of Energy Resources 2013”

2.3　石炭・原油・LNGの価格動向

- 石炭は、原油、ＬＮＧに比べ単位発熱量当たりの価格は低位で安定
  （原油：4.4倍、LNG：3.9倍）
- 米国のシェールガス革命による一般炭の輸出量増加などにより、市況軟化しているものの、長期的に見れば、世界的エネルギーの消費の増大や高品位炭の資源量減少などから、将来的には需給がタイト化して、価格上昇の懸念

［燃料価格（ＣＩＦ）の推移］

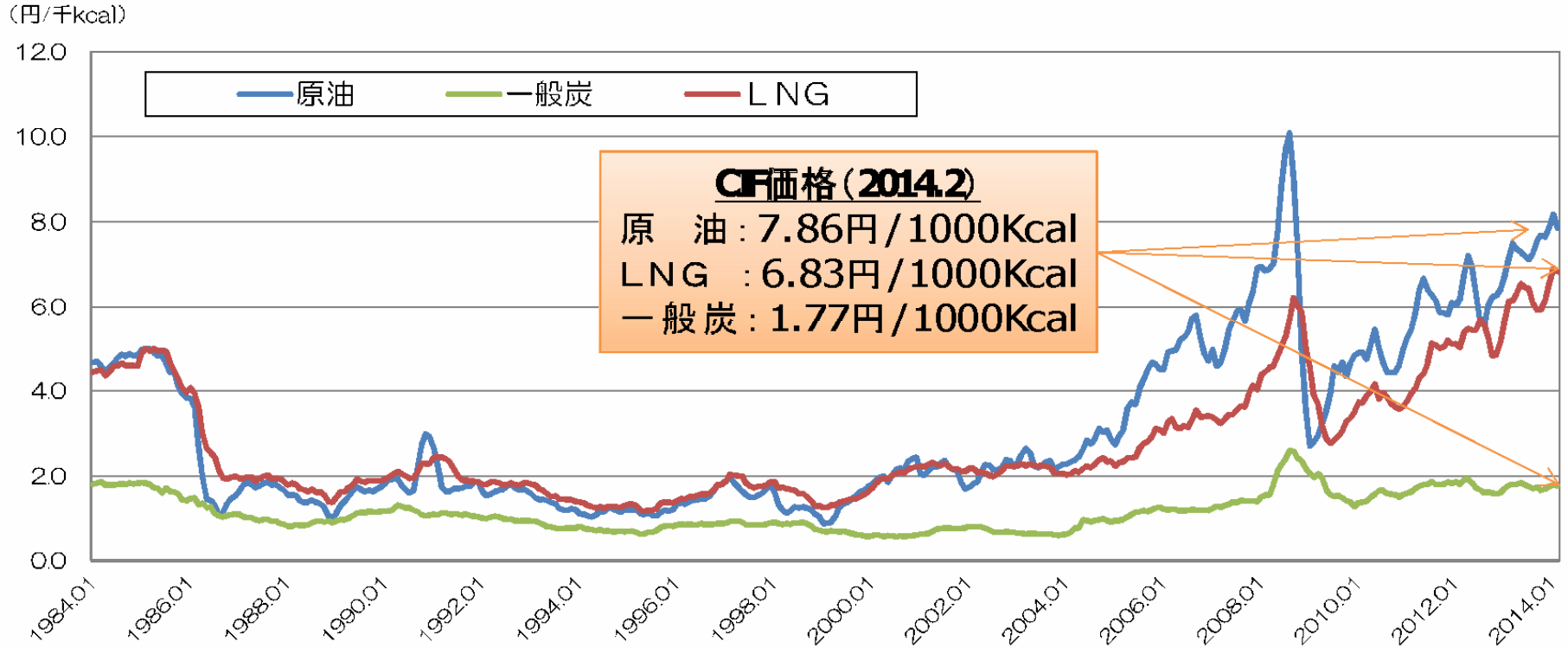


図　燃料価格の推移

出典：日本エネルギー経済研究所
（第1回鉱業小委員会資料）

３　石炭利用における課題

３　石炭利用における課題

- 石炭は、今後も重要な電源の一つ（調達の安定性、経済性）
- 課題
  - o化石燃料の中でもCO_2排出量が多い
    ⇒ クリーンコールテクノロジーの開発
    （A-USC、IGCC、CCSなど）
  - o資源ナショナリズムによる輸出制限や価格高騰による高品位炭確保の困難化
    ⇒ 炭種拡大
    低品位炭の活用（亜瀝青炭、褐炭）
    上流権益の確保
  - o石炭灰の処理
    ⇒ 石炭灰の有効活用（コンクリート混和材、土壌・地盤改良材など）

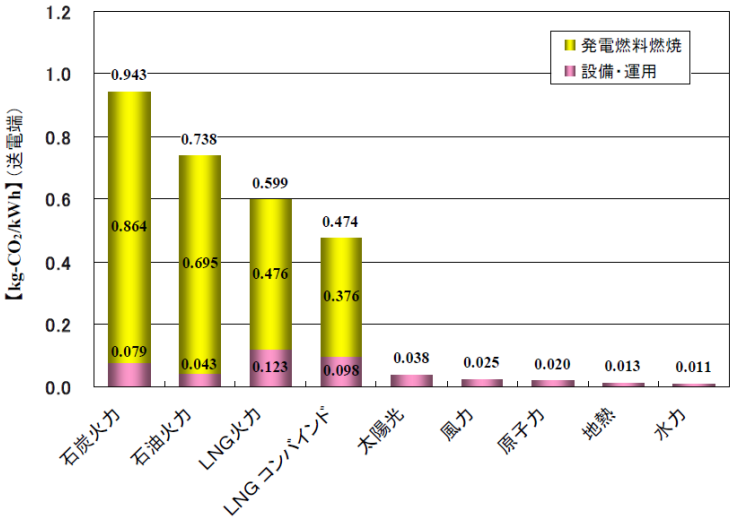
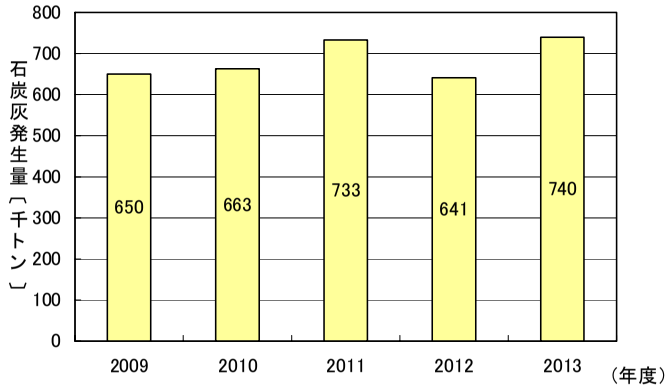


図　日本の電源種別ライフサイクルCO2の比較
出典：電気事業連合会資料

〔石炭灰発生量〕



〔石炭灰利用実績：2013年度〕

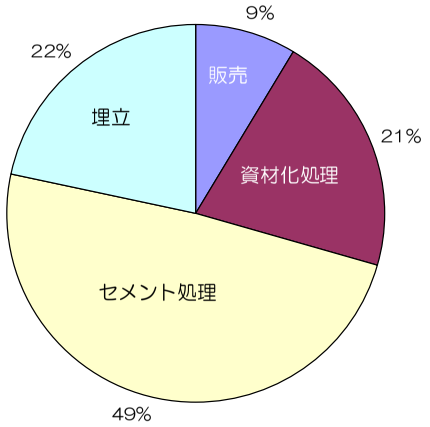


図　当社の石炭灰発生量と利用実績

４　褐炭の高度利用技術開発

4.1　豪州褐炭の特徴

- 豪州ビクトリア褐炭開発は埋蔵量及び現地政府の積極性など長期安定確保の観点から有益

➢　豊富な埋蔵量

〇約３７２億トン

⇒ 長期安定調達

➢　良質な性状

〇低灰分

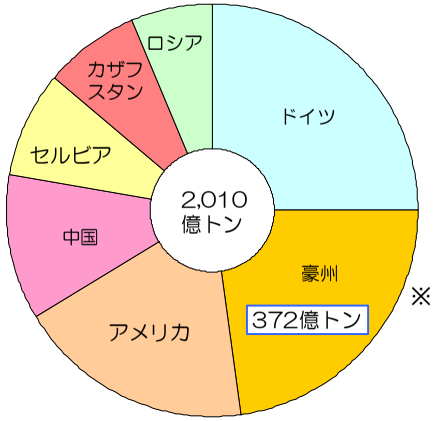
⇒ 灰処理負荷軽減

➢　豪州の積極性と安定性

〇現在は現地採掘地点での発電燃料に限られており、ビクトリア州政府は褐炭の輸出商材化により、地域の経済発展や雇用面に貢献する開発に強い期待

〇日本とも地理的に近く、政情が安定

⇒ 長期安定調達



※出典：WEC, “World Energy Resources 2013”

図　世界の褐炭埋蔵量

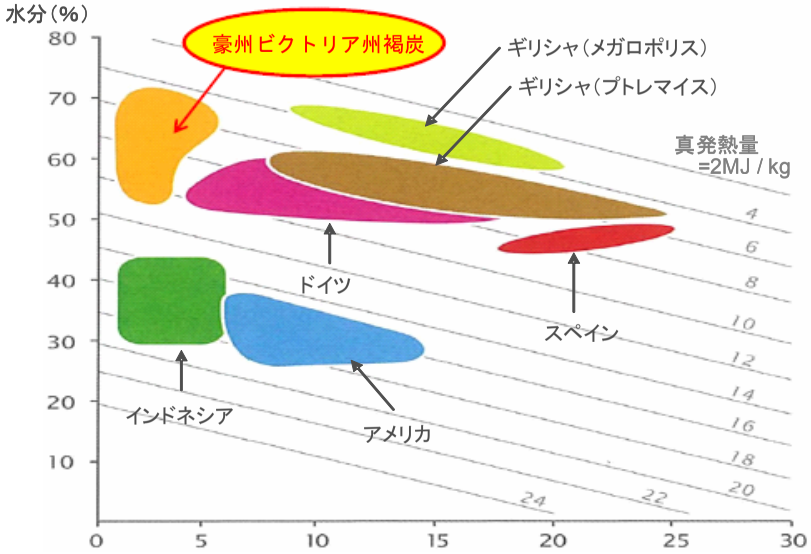


図　世界の低品位炭成分

※出典：Allardice Consulting資料

4.1　豪州褐炭の特徴

- 豪州褐炭は豊富な賦存量・低灰分などの特徴により、石炭火力発電燃料として長期安定調達・灰処理負荷軽減効果が期待できる一方、高水分、高自然発火性などから、日本への原炭輸送、使用は困難
- 褐炭は改質することにより、瀝青炭並みに価値の高い石炭となる可能性有

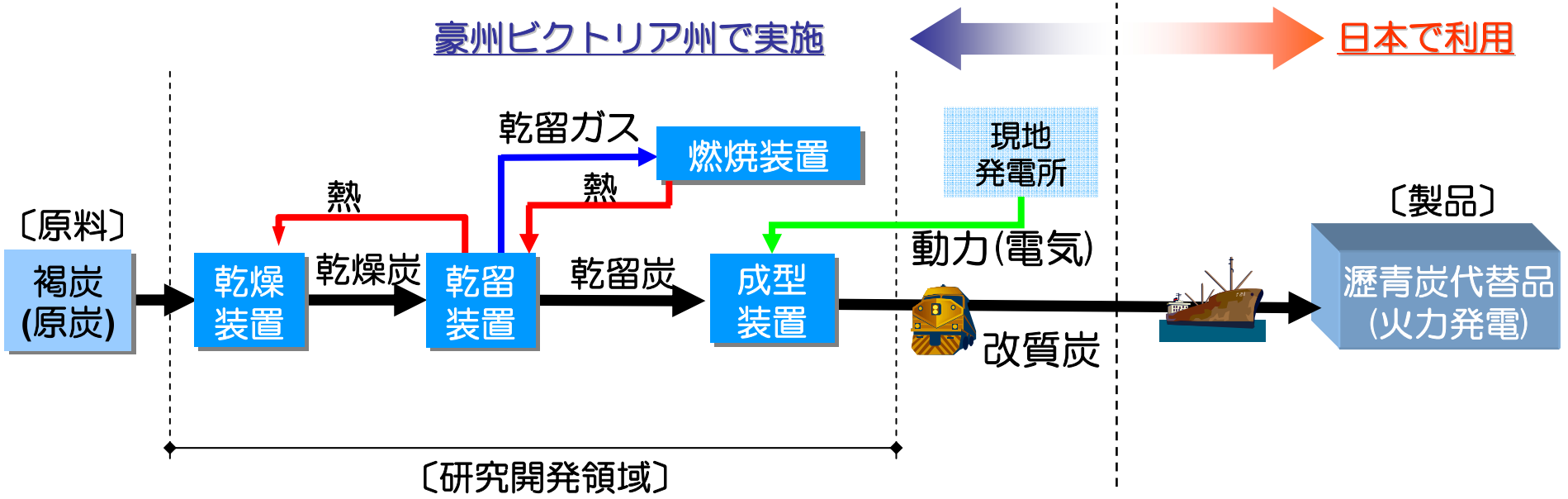
  → 現地での改質技術の開発が必要

メリット	埋蔵量が膨大（世界の約２割弱）	長期安定調達
	瀝青炭と比較し灰分が少ない	灰処理負荷軽減
デメリット（開発課題）	水分が多い	輸送効率低
	自然発火性が高い	貯蔵・輸送困難

4.2　技術開発の取り組み状況

4.2.1　技術開発の概要

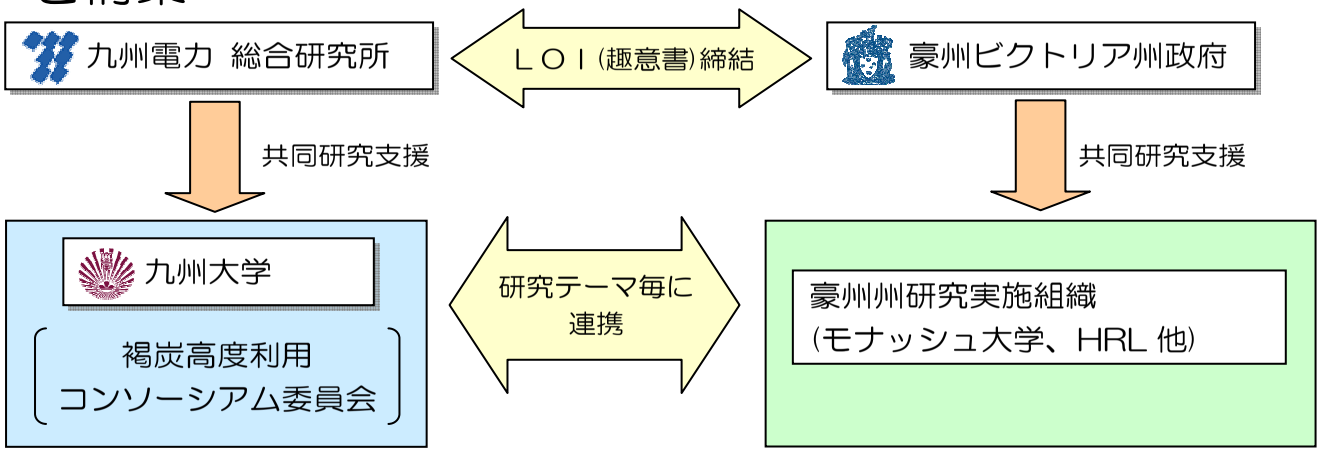
- 高水分、高自然発火性、低灰分という特徴を有する豪州褐炭を日本で活用できるように現地で改質し、安全に日本に運び発電燃料として利用



〔乾 燥〕褐炭は水分が多いため乾燥して水分を適正水準まで低減
〔乾 留〕乾燥した褐炭を蒸焼きにして、適正な炭素分とガス成分に調整
〔成 型〕乾留処理後、一定の大きさに成形加工することで自然発火を抑制及び可搬性向上

4.2.2　日豪国際協力体制と技術開発状況

- 2009年度：ビクトリア州政府第一産業省と褐炭開発における戦略的研究開発について趣意書（ＬＯＩ）を締結し、日豪国際研究体制を構築



九州大学との共同研究（３ヵ年：ラボ試験）で改質技術により瀝青炭と同等品質になることを確認

- 2010年度：ＮＥＤＯ委託事業を受託、事業性概略評価を実施（２ヵ年）
- 2013年度：他の石炭ユーザーと協力して、国内にて改質要素技術についてパイロット試験を実施

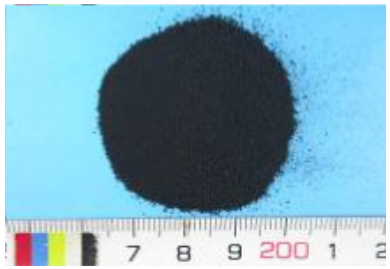
ＮＥＤＯクリーンコールテクノロジー推進事業「未利用炭調査とビジネスモデル検討」改質炭WGに、他の石炭ユーザー等と共に参加し、改質炭製造コスト試算を実施

4.2.3　ラボ試験における改質炭の評価

- 九州大学との共同研究（ラボ試験）で改質技術により瀝青炭と同等品質になることを確認

ビクトリア褐炭(高水分・自然発火性)

改質技術



改質炭(低水分、低発火性)

	ビクトリア褐炭
水分〔%〕	55.9
ガス成分〔%〕	24.0
炭素成分〔%〕	19.5
灰成分〔%〕	0.6
燃料比※1	0.8

※1：炭素成分／ガス成分の比率

改　質

改質炭
6.4
26.3
64.8
2.5
2.5

同程度の品質

瀝青炭
2.7
27.3
55.3
14.7
2.0

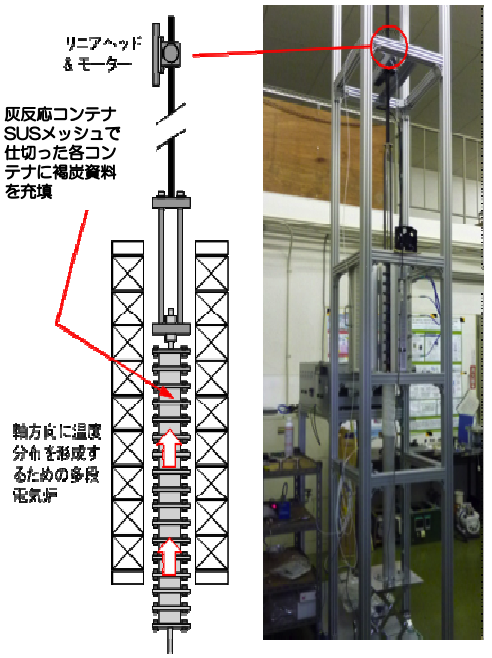


図　乾留実験装置（九州大学）

4.2.4　パイロット試験における研究成果と今後の課題

- ラボ試験で確認した改質技術の実用化を目指し、2013年度にベンチスケールでの要素技術確認試験（パイロット試験）を実施し、実用化に向けた適用技術について一定の開発可能性を得ると共に、技術課題を確認

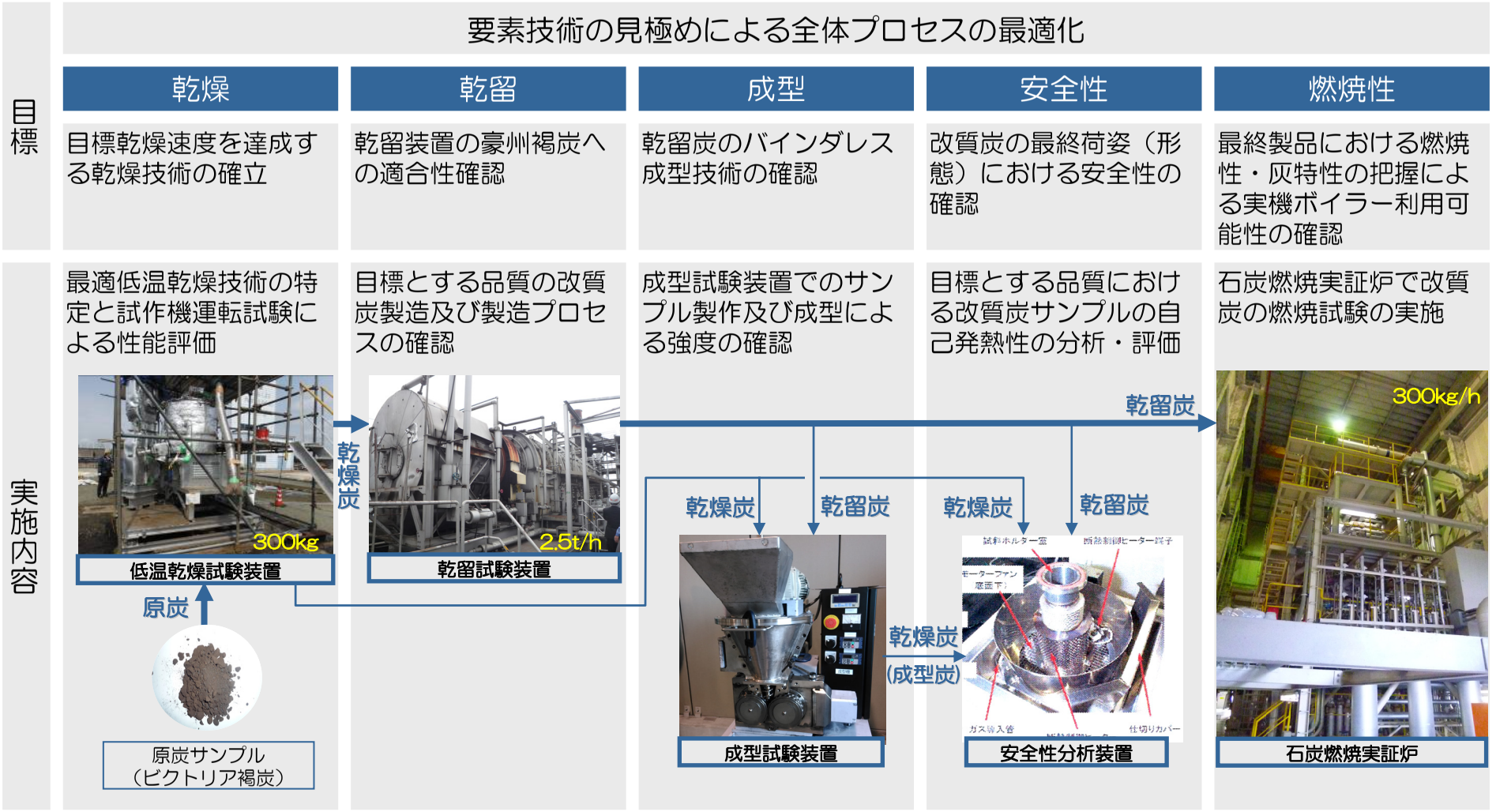


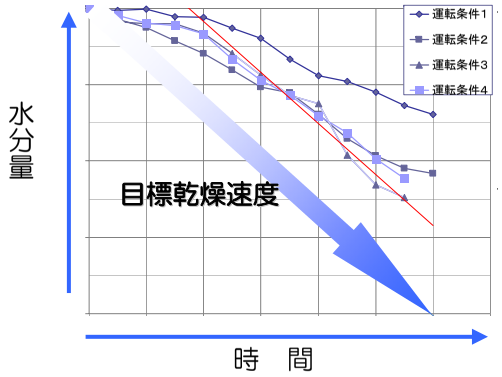
図　パイロット試験の目標と実施内容（試験設備フロー）

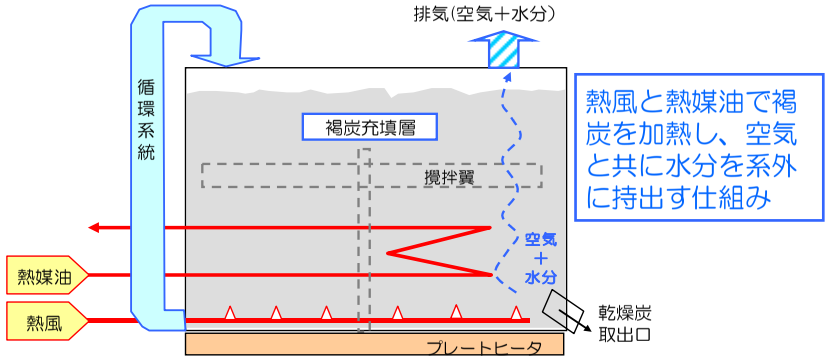
4.2.4　パイロット試験における研究成果と今後の課題

■ 乾　燥

（成　果）加熱空気による褐炭を予熱・乾燥する方式で目標乾燥速度を達成

（課　題）スケールアップ時に想定される褐炭流動性などの確認

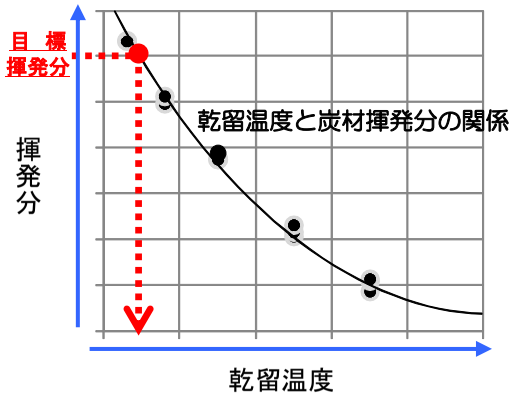


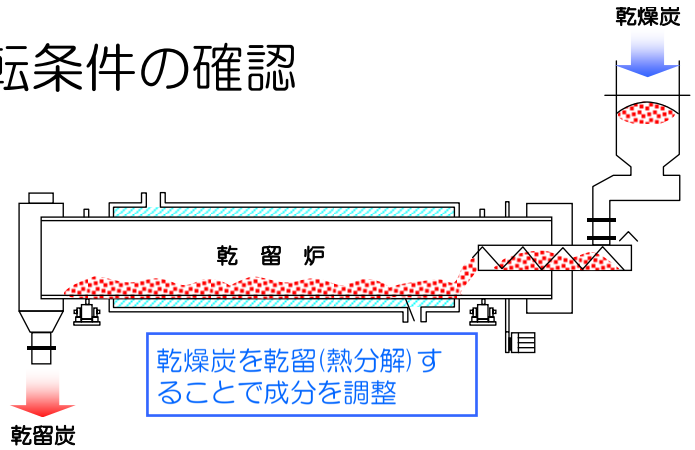


■ 乾　留

（成　果）乾留実験炉での運転試験により、安定的に目標成分の乾留炭を製造

（課　題）大型乾留炉での安全・安定運転条件の確認





4.2.4　パイロット試験における研究成果と今後の課題

■ 成　型

（成　果）改質炭は結合剤を添加しなければ成型が困難であることを確認。一方製造途中の乾燥炭は成型可能性を確認

（課　題）乾燥、乾留工程での最適な成型タイミング、方法について検討

■ 安全性

（成　果）改質炭固有の安全性としては、瀝青炭と同等の安定性を確認
改質炭一定レベルの堆積状態での安全性については、粒径や含水などによる安定性の違いを確認

（課　題）最終的な改質炭の荷姿での、安全性の評価とさらなる安定化処理技術の検討

4.2.4　パイロット試験における研究成果と今後の課題

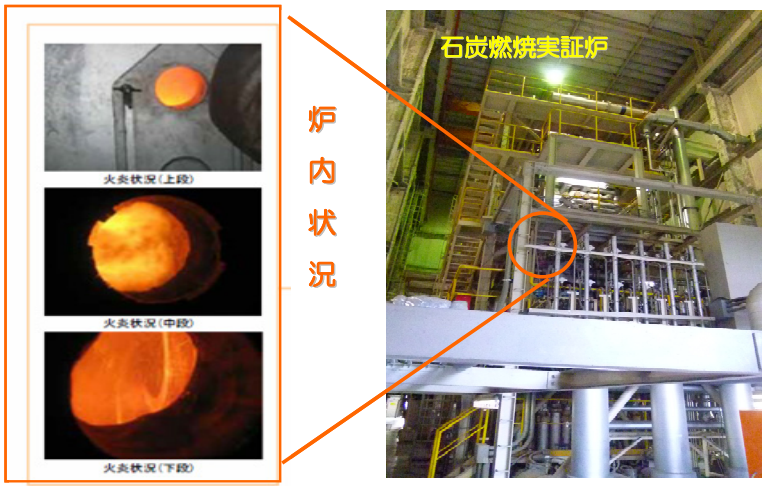
■燃焼性

（成　果）瀝青炭と比較して良好な燃焼性を確認、さらに、NOｘ、SOx の発生量や燃焼灰中の含有水銀が少ないなど、高い環境性能を確認
一方で、燃焼灰中アルカリ成分によるボイラ障害の可能性を確認

（課　題）灰中に含有されるアルカリ成分を低減する方策として、製造プロセス、及び発電所運用サイドからの検討

項目	燃料比 [－]	燃焼効率 [%]	灰中未燃分 [%]	NOx [ppm]	SOx [ppm]
改質炭	2.2	99.4	1.8	131	162
	3.7	99.3	2.7	114	141
瀝青炭	1.8	98.3	7.9	154	205

項目	灰分 [wt%(db)]	アルカリ率 [－]	溶融温度 [℃]	水銀 [mg/kg(db)]
改質炭	3.0	1.24	1,250	0.15
	5.6	0.95	1,180	0.21
瀝青炭	16.7	0.06	>1,600	0.68



4.2.5　技術的課題の解決にむけた今後の取組み

平成25年度のパイロット試験結果より抽出した技術的課題について取組み

項　目	主要技術課題	実施内容
成　型	乾燥、乾留工程での最適な成型タイミング、方法について検討	成型した乾燥炭を乾留し強度を確認 結合剤の選定及び成型した乾留炭の強度確認
安全性	最終的な改質炭の荷姿での安全性の評価とさらなる安定化処理技術の検討	比較炭との安全性比較・評価 最終荷姿での安全性評価 安定化処理可能性検討
燃焼性	灰中に含有されるアルカリ成分を低減する方策として、製造プロセス、及び発電所運用サイドからの検討	灰付着性評価確認試験、灰溶融特性確認試験 アルカリ成分低減製造プロセス検討 混炭等改質炭運用検討 低揮発分での燃焼試験
全　体 ｼｽﾃﾑ	実証設備のプロセスの構築	全体システム最適化

その他試験（新規開発装置についての確認試験）

項　目	新規開発に伴う課題	実施内容
乾　燥	スケールアップ時に想定される褐炭流動性などの確認	褐炭流動性等確認評価試験

4.2.6　褐炭高度利用による経済性評価

- 改質炭コスト目標を高品位炭（瀝青炭）価格の8割として、現地調査や基礎研究に基づく改質炭仕上原価を試算した結果、技術の動向、原炭価格、インフラ費用などにも依るが、一定の経済性を確認
- 豪州ビクトリア州褐炭は低灰分かつ低S分の特性を有する石炭であることから、改質炭を日本の石炭火力発電所で利用した場合、石炭灰処理及び排煙脱硫処理のコスト低減効果も期待（トータルコストの優位性）

【経済性概略評価】

・原炭・採掘コスト

・改質製造コスト（設備費、運転費等）

・インフラコスト＊

を含め、年間生産量1千万トン規模での改質炭原価(コスト)を試算

＊クィーンズランド州の既設インフラを調査し、鉄道、港湾設備利用など各々経費調査し、最大コストを算入

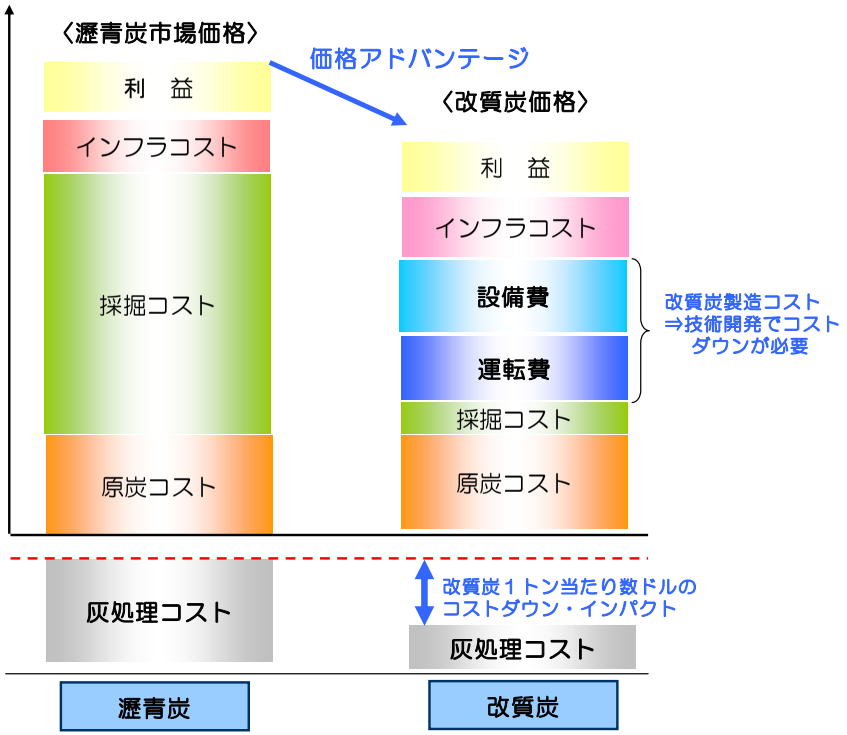


図　改質炭原価(コスト)、価格イメージ

4.2.7　今後のスケジュール

- 次のステップ（実証フェーズ→商業化）に向け、褐炭改質プロセス実用化に向けた技術的課題の解決に着実に取り組む

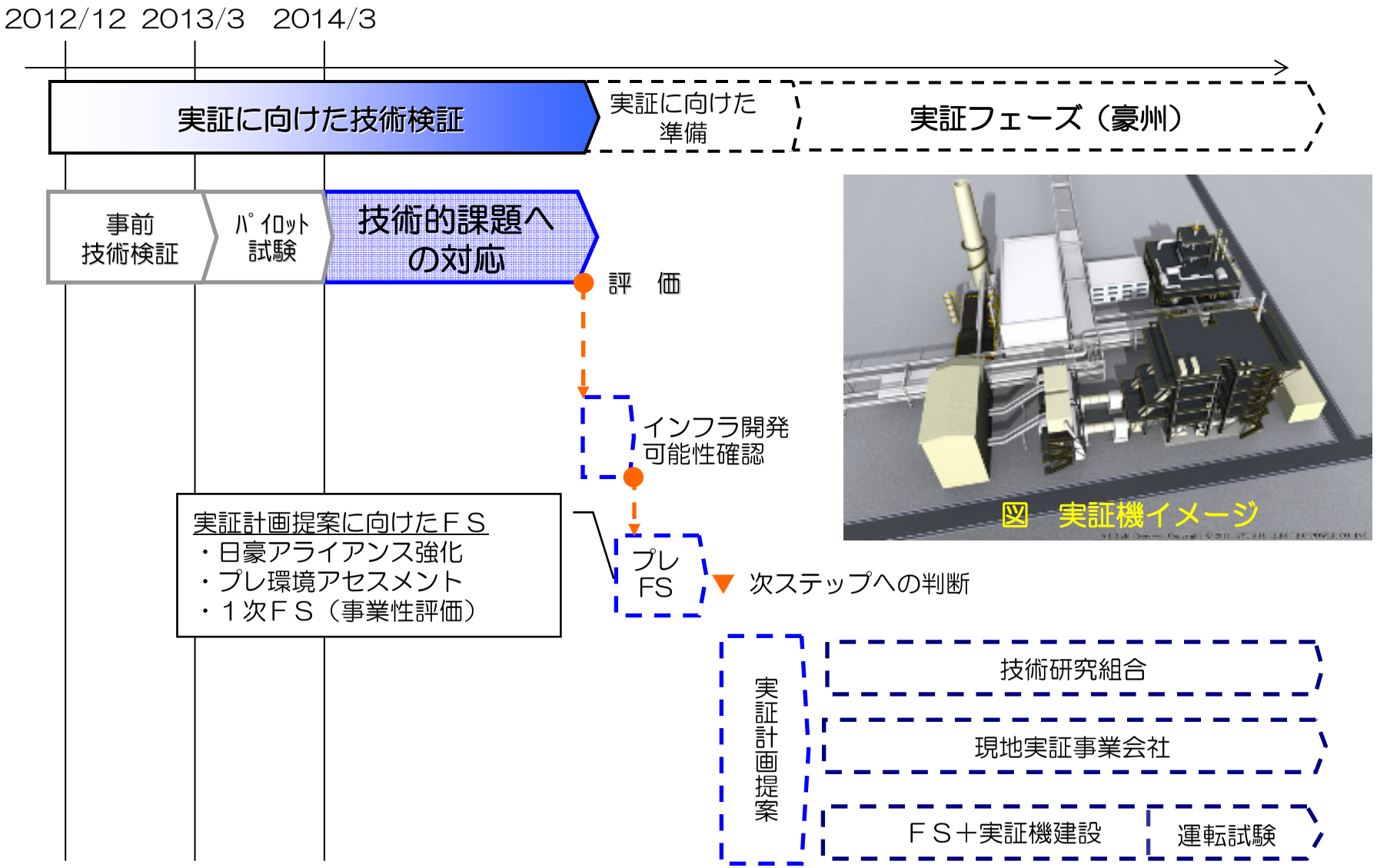


図　実証機イメージ

（参考）次ステップにおけるインフラ整備/将来展望

〔インフラ整備〕

- 実証ﾌｪｰｽﾞにおける豪州～日本までの改質炭輸送における課題抽出・対応

  ビクトリア州内の既存輸送インフラを活用した改質炭輸送時の問題点・課題を整理し、対策の検討が必要

- 商業化時における大規模改質炭輸送

  現時点での改質炭の想定生産量は年間１,０００万トンを想定しており、輸送に耐えうるインフラ整備が必要

〔将来展望〕

ご清聴ありがとうございました