

サマリー

世界の石炭利用技術（IGCC・CCS）を巡る動向

— 第2回 オーストラリア —

戦略・産業ユニット 電力・ガス事業グループ リーダー 久谷 一郎

近年、化石燃料の中では比較的資源量が多くかつ安価な石炭の利用に対する注目が集まっている。本連載では、クリーン・コール・テクノロジーと総称される石炭の新しい利用技術の中でも、従来にない高効率での発電が可能なIGCC（Integrated coal Gasification Combined Cycle：石炭ガス化複合発電）技術と、CO₂排出量削減の短中期的な切り札として期待が高まっているCCS（Carbon dioxide Capture and Storage：二酸化炭素回収・貯留）技術に着目し、その基本的な情報や動向について調査、整理した。調査に際しては発電分野での適用を念頭におき、報告の前半では各国の電気事業の概要を整理している。また、調査対象として中国、オーストラリア、米国、欧州を取り上げた。

オーストラリアは豊富な石炭資源を有しており、2030年にかけても石炭は電力供給の主力であり続けると見込まれている。一方で、CO₂排出量を2050年までに2000年比で60%削減するとの野心的な目標を掲げており、両者の整合を取る必要性から、IGCC技術とCCS技術の開発、実用化が喫緊の課題となっている。

現時点では、IGCC以外と組合せによるCCSプロジェクトが10件、IGCCとCCSを組合せたプロジェクトが3件確認できている。

オーストラリアではオーストラリア中部、あるいは南東部沖合いの石油・天然ガス生産井を利用したCO₂の貯留が可能であり、現在数ヶ所で進められている実証試験の判断を待つ必要はあるが、オーストラリアにおけるCCSのポテンシャルは高いと考えられる。

一方のIGCCについては、発電原価の水準が普及の程度を左右する大きな要素となる。西オーストラリア州と北部準州以外の州では、発電した電力は卸電力市場（NEM）を介して取引される仕組みとなっており、この卸取引市場において買主に選択されるような価格を提示することができなければ、IGCC発電は事業として成立しなくなる。従って、IGCC技術の開発によるコスト低減はもちろん重要であるが、普及を促進する過渡期においては、IGCCの発電原価が他の電源と比較して同等かそれ以下の水準となるような政策的な支援が重要な役割を果たすことになると考えられる。

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp

世界の石炭利用技術（IGCC・CCS）を巡る動向

— 第2回 オーストラリア —

戦略・産業ユニット 電力・ガス事業グループ リーダー 久谷 一郎

1 電気事業の概要

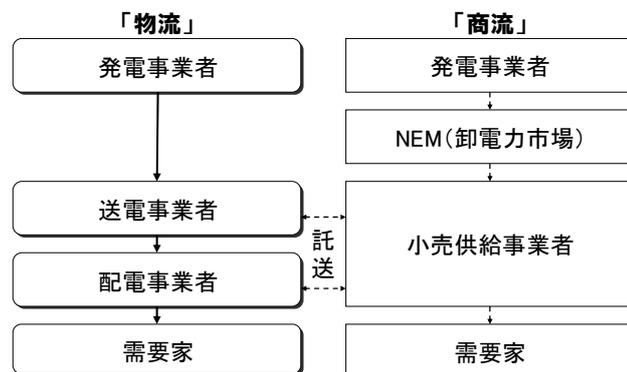
1-1 概要

オーストラリアの電気事業は、各州の州電力庁による電力供給が中心となっており、連邦政府が設立した Snowy Mountains Hydro-Electric Authority が水力発電の開発を行うことで補完する形態であった。1990年代に連邦政府は各州電力庁の多額の債務に対処すべく電気事業再編に取り組み、1996年5月に国家電力規則（National Electricity Code）が州政府間で署名され、それに基づき1998年に全国電力市場管理会社（NEMMCO：National Electricity Market Management Company）の創設及び全国統一市場（NEM：National Electricity Market）を基にした電力市場の運営が開始された。また各州でも、1994年12月にビクトリア州で大口需要家を対象に小売自由化が開始されたのを皮切りに、各州が小売自由化実施に取り組み、同時に州電力庁の発送電分離を行った。なおアンバンドリングの形態は特に連邦として統一的なものはないが、各州とも送電部門の法人分離が行われている。

以上の結果、南東部を中心とした連系地域では発電会社、送電会社、配電会社、小売会社にアンバンドルされるとともに、卸電力市場NEMを介して卸電力取引が行われる枠組みとなった。

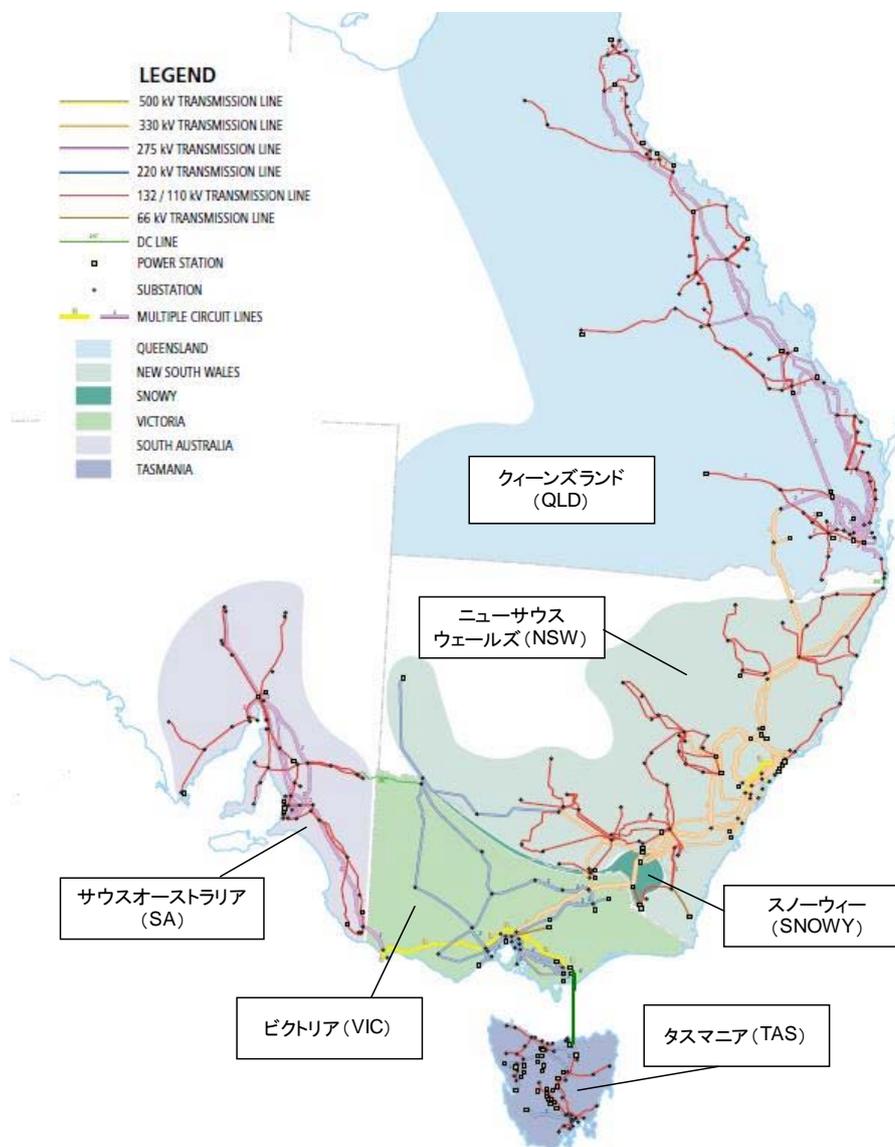
現在、NEMの対象になっているのは、送電連系が行われているクイーンズランド州（QLD）、ニューサウスウェールズ州（NSW）、ビクトリア州（VIC）、南オーストラリア州（SA）、オーストラリア首都特別区（ACT）及びタスマニア州（TAS）、そして Snowy Hydro（SNOWY）である。西オーストラリア（WA）及び北部準州（NT）は、南東部を中心とする系統に連系されていないため、NEMの対象外になっている。

図表1 電気事業供給体制



（出所）日本エネルギー経済研究所作成

図表 2 豪州西部の送電網



(出所) NEMCO 資料に加筆

1-2 電力需給

2007 年の発電電力量は 259TWh で、割合は石炭 77.7%、石油 1.0%、天然ガス 12.1%、水力他 9.3%となっている。

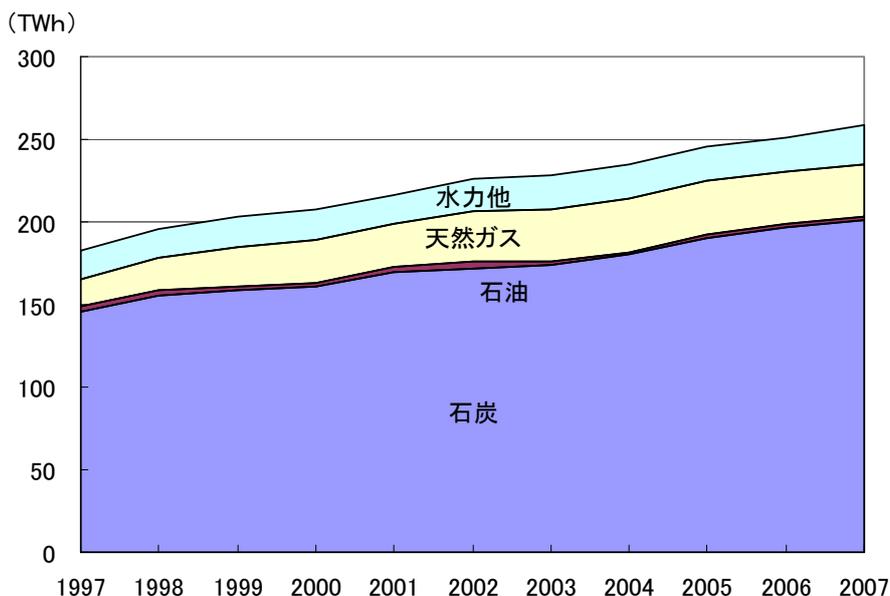
オーストラリアは国内に豊富な石炭資源を有し安価に調達することが可能であることから、石炭火力が発電の主力となっており、石炭による発電電力量は年平均 3.3%で堅調に伸びている。石炭に次いで発電電力量の大きい天然ガスは、1997 年から 2002 年にかけて大きく増加したが、近年は伸びが鈍化しほぼ横ばいで推移している。(図表 3、図表 4)

図表3 発電電力量の推移

	石炭	石油	天然ガス	原子力	水力他	合計
1997年 (構成比)	146.1 78.0%	2.8 1.5%	20.4 10.9%	0 0%	18.0 9.6%	187.2 100%
2002年 (構成比)	172.1 76.1%	3.8 1.7%	30.7 13.6%	0 0%	19.6 8.7%	226.2 100%
2007年 (構成比)	201.2 77.7%	2.5 1.0%	31.2 12.1%	0 0%	24.0 9.3%	258.9 100%
平均伸び率(1997-2002)	3.3%	6.1%	8.6%	-	1.8%	3.9%
平均伸び率(2002-2007)	3.2%	-7.9%	0.3%	-	4.1%	2.7%
平均伸び率(1997-2007)	3.3%	-1.1%	4.4%	-	2.9%	3.3%

(出所) IEA, Energy Balance of OECD countries

図表4 発電電力量の推移



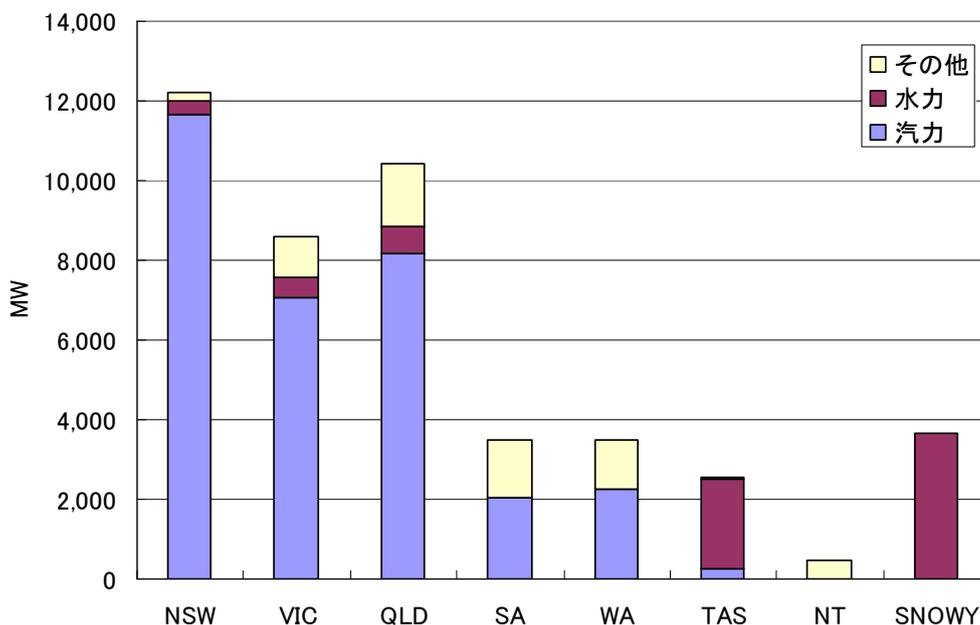
(出所) IEA, Energy Balance of OECD countries

1-3 発電設備

各州の電源構成は図表5の通りである。州によって電源構成が異なり、タスマニアとノーウィ以外は汽力（ボイラ+蒸気タービン）が大部分を占めている。火力発電の燃料別設備容量をみると、石炭が76%と圧倒的に多く、次いで天然ガスが18%を占めている。2004年時点では39地点、合計28,350MWの石炭火力が存在し、送電端の平均発電効率は33%（HHV基準）である。¹

¹ COAL21, National Action Plan

図表5 地域別発電設備容量



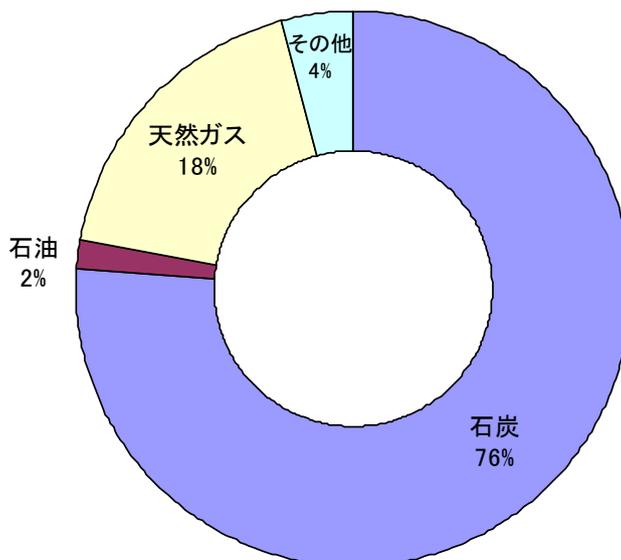
※2005.6.30時点。「その他」は内燃力、ガスタービン、風力など。

NWS: ニューサウスウェールズ州、VIC: ビクトリア州、QLD: クイーンズランド州、SA: 南オーストラリア州

WA: 西オーストラリア州、TAS: タスマニア州、NT: 北部準州、SNOWY: Snowy Hydro

(出所) 海外電力調査会「海外電気事業統計」より作成

図表6 火力発電の燃料別設備容量



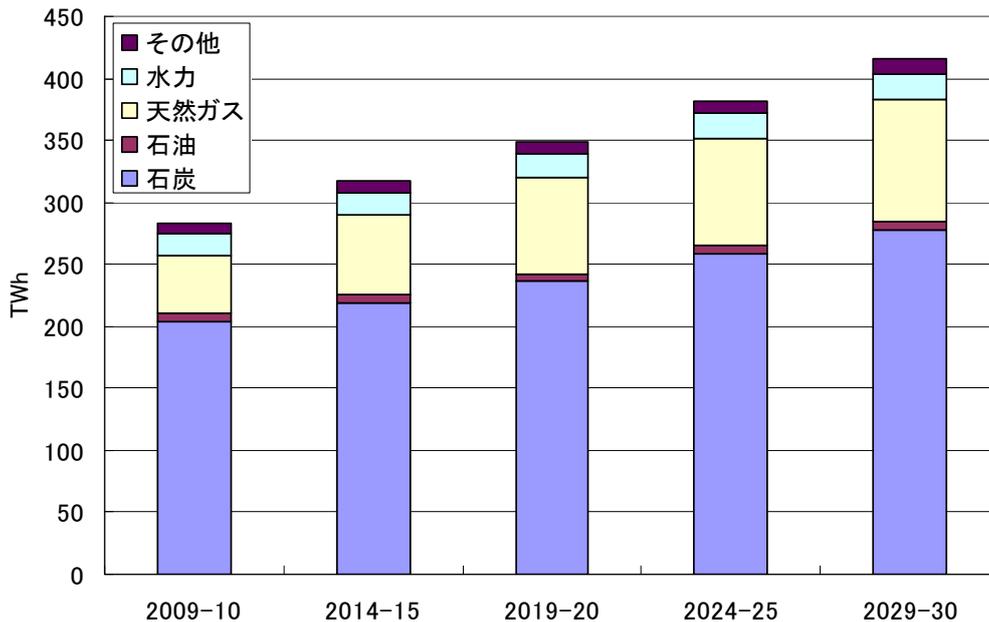
※2006.6.30時点。「その他」は複合燃料 (multi-fuel) および内燃力。

(出所) ABARE, Energy in Australia 2008 より作成

1-4 電源開発計画

現在と同様、2030年にかけても石炭火力が電力供給の主力であり続けると予想されている。(図表7)。2008年以降の主な電源開発計画をみると、ガスタービン(単サイクル+複合サイクル)が合計11.2GWと最も多く、次いで汽力(多くは石炭火力と想定される)となっている。(図表8)

図表7 電力供給の見通し



※その他は風力およびバイオマス。太陽光、波力、地熱は含まない。

(出所) ABARE, Energy in Australia 2008 より作成

図表8 電源開発計画

運開予定				(MW)
	汽力	ガスタービン	風力他	合計
2008年	1,138	2,333	750	4,221
2009年	110	5,762	445	6,317
2010年	208	950	140	1,298
2011年以降	2,468	1,540	154	4,162
未定	470	610	1,906	2,986
合計	4,394	11,195	3,395	

※主要な計画67件の設備容量。ガスタービンにはIGCC2件(合計500MW)を含む。

(出所) ABARE, Energy in Australia 2008 より作成

1-5 電力政策

オーストラリアは豊富な石炭資源を需要地に近い東部地域に有することから、発電燃料として石炭を容易かつ安価に入手することができ、石炭火力を電力供給の主軸とすることで低廉な電力を供給してきた。オーストラリアの電力需要は今後も伸び続け、引き続き石炭火力が電力供給において重要な役割を担うことが期待されている。また石炭は同国の経済や雇用を支える基幹産業の一つであり、豊富かつ安価な石炭資源の利用を維持してゆく方針である。

一方、オーストラリアは二酸化炭素の排出量を2050年までに2000年比で60%削減するという野心的な目標を掲げており、石炭は化石燃料の中では最も二酸化炭素排出量が多い燃料であることから、石炭利用と地球温暖化対策との統合が求められるようになってきた。

これらのことから、オーストラリアでは石炭の大量消費を前提として、極力二酸化炭素の排出を抑制するための方策、具体的にはIGCCやCCSに代表されるクリーン・コール・テクノロジーの開発、実用化が喫緊の課題となっている。

2004年に出されたエネルギー白書（Securing Australia's Energy Future）では中長期のエネルギー政策をまとめており、目標の一つとして「オーストラリアのエネルギーの将来を支えるクリーンで効率的な技術開発の促進」を掲げている。これに対する具体的な措置として、Low Emissions Technology Demonstration Fund（LETDF）が創られた。これは、低炭素技術の実証プロジェクトに対して支援を行う総額5億豪ドル（約500億円）の予算措置であり、2006年に選定された5つの支援対象のうち4つがIGCCもしくはCCS関連事業である。

図表9 LETDF 対象事業

名称	事業者	概要	総事業費 (LETDFの補助額)
Gorgon CCS	Chevron Shell Development Australia Mobil Australia Resources	天然ガス随伴CO ₂ の地下貯留	8億4,130万豪ドル (6,000万豪ドル)
Callide A	電源開発, IHI, 三井物産 CS Energy, Xstrata, ACA	瀝青炭の酸素燃焼 とCCS	1億8,800万豪ドル (5,000万豪ドル)
IDGCC	HRL	褐炭の脱水とIGCC	7億5,000万豪ドル (1億豪ドル)
Hazelwood	International Power	褐炭の脱水とCCS	3億6,900万豪ドル (5,000万豪ドル)

(出所) DRET（資源エネルギー観光省）資料より作成

また2007年2月にオーストラリア政府は、National Clean Coal Initiative（NCCI）の一環として、Clean Coal Fundの創設を発表した。これは、クリーンコール技術の開発に対して、2015年までの8年間に渡って総額5億豪ドルを投じるもので、実際には上述のLETDFへの加算という形で執行される。2008年の予算は次の通りである。

図表 10 NCCI 対象事業 (2008 年)

項目	予算額
石炭研究プログラム	7,500 万豪ドル
炭素マッピング計画	5,000 万豪ドル
クイーンズランド州 石炭ガス化パイロット設備	5,000 万豪ドル
ニューサウスウェールズ州 燃焼後回収 CCS 実証設備	5,000 万豪ドル
ビクトリア州 褐炭利用燃焼後回収 CCS 実証設備	5,000 万豪ドル
中国との共同研究	2,000 万豪ドル

この他に、豪州連邦政府、州政府、民間企業の連携による研究開発、あるいは支援の枠組みを概説する。

①COAL21

豪州石炭協会が主導して、2003年に立ち上げた団体。石炭業界の他に電気事業者、連邦政府、州政府、研究機関が参加し、CCTロードマップの作成を主な目的としている。

②CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization

連邦政府が設立した研究機関。CCTの研究開発に取り組んでおり、具体的には二酸化炭素の燃焼後回収、既存火力への酸素燃焼の適用、IGCC、CCSなどが対象となっている。

③CO2CRC: Cooperation Research Centres Greenhouse Gas Technology

CCS技術の研究開発を目的とした、時限的な共同研究機構である。

④Centre for Low Emission Technology

クイーンズランド州政府を中心とした共同研究機構であり、石炭のガス化、ガスの精製、分離技術に重点を置いている。

2 IGCC・CCSを巡る動向

2-1 稼働中のプラント

現在稼働中のIGCC、CCS設備は確認できなかった。

2-2 計画中のプロジェクト

2-2-1 IGCCプロジェクト

現在計画中のIGCCプロジェクトは、3件確認できた。

図表 11 計画中のCO₂回収型IGCCプロジェクト (IGCC+CCS)

プロジェクト名	HRL IDGCC	ZeroGen Mark II	Kwinana
実施主体	HRL, HPE, CO2CRC	ZeroGen	Hydrogen Energy
場所	ビクトリア州	クィーンズランド州	西オーストラリア州
発電容量	400MW	80MW/300MW	500MW
開始時期	2011年	2012年/2017年	2014年
ガス化	空気吹き	酸素吹き	酸素吹き
CO ₂ 回収方法	燃焼前回収	燃焼前回収	燃焼前回収
CO ₂ 貯留場所	NA	陸域	海域
CO ₂ 貯留量	NA	40万t/年	400万t/年

(出所) CO2CRC, CCS activity in Australia 2008 他より作成

①HRL IDGCC

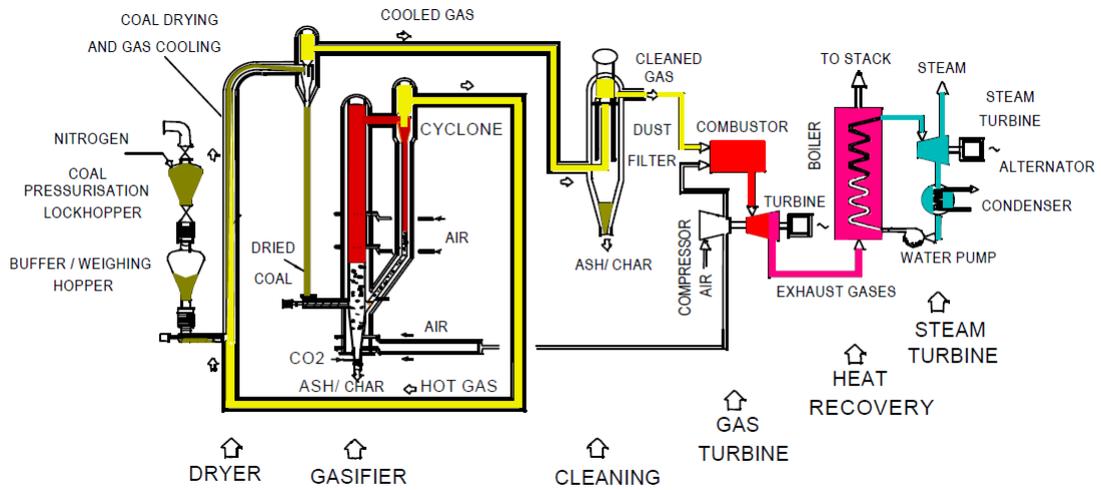
Latrobe Valleyで産出する安価だが含水量の高い(60%以上)褐炭の有効利用を目的として、HRL社²が中心となって計画している。褐炭の脱水工程をガス化の前段に組み込み、総合効率でおよそ40%(HHV基準)が期待されている。発電単価はCCSなしで30AU\$/MWh、CCS込みで50AU\$/MWhを想定している。

事業費の総額は7億5,000万豪ドル(およそ1豪ドル=100円)であるが、連邦政府から1億豪ドル、ビクトリア州政府から5,000万豪ドルの支援を受ける。

CCSの適用についてはCO2CRC協力のもとで検討中の段階であるが、将来的にはCO₂の燃焼前回収の適用を目指している。

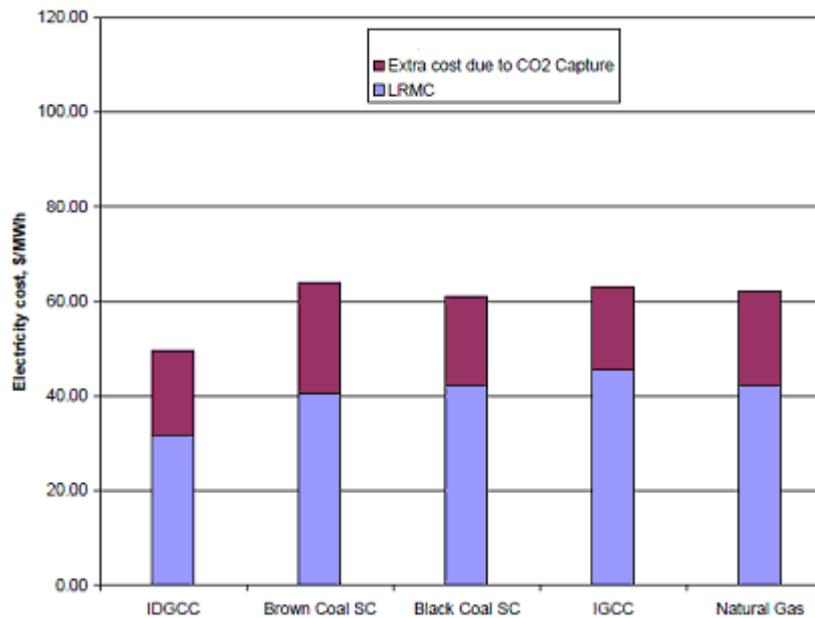
² HRL社は石炭を中心としたエネルギー、発電分野で事業を行う国営企業。

図表 12 IDGCC のフロー



(出所) HRL 社資料

図表 13 IDGCC の発電原価



(出所) HRL 社資料より抜粋

②ZeroGen Mark II

同プロジェクトはクイーンズランド州の州営企業である ZeroGen 社が中心となって進めているが、同社の他に Shell (ガス化を中心とした技術支援) や Stanwell (州営電気事業者) などの計 7 社が参加している。

プロジェクトは二つの段階に分けて行われる。

第一段階では 2009 年末までに FS を完了し、2012 年末までに 80MW の IGCC 実証発電設備を建設する（クイーンズランド州 Rockhampton 近郊 Stanwell 社の既設発電所近傍）。ガス化のプロセスではシフト反応を組み合わせ、CO₂ の燃焼前回収を行う。CO₂ の回収率は 75% を目標としており、回収した CO₂ はトラックで 220km 離れたサイトへ輸送し、地中へ貯留する。

第二段階では、2017 年までに 300MW の IGCC 商用発電設備を建設し、排出された CO₂ をパイプラインで輸送、貯留するものである。2008 年中に FS を開始する予定であり、現時点では発電所の立地も未定である。

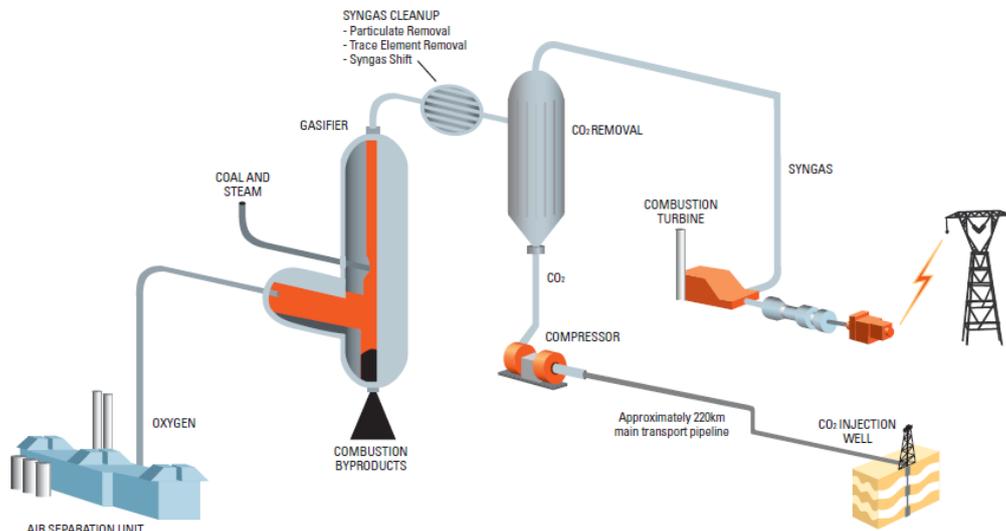
事業費 12 億豪ドルに対して、クイーンズランド州政府から 3 億豪ドル、COAL21 の基金から 6 億豪ドルの支援を予定している。

図表 14 プロジェクトの位置



(出所) ZeroGen 資料に加筆

図表 15 ZeroGen のフロー



(出所) ZeroGen ホームページ

③Kwinana

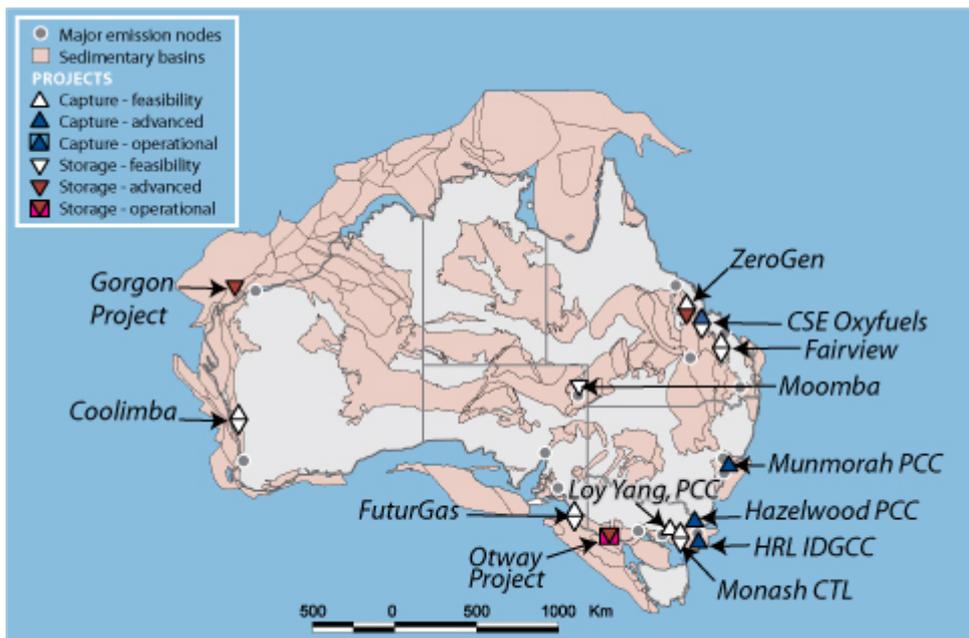
BP と Rio Tinto の等分出資による Hydrogen Energy 社が計画している。西オーストラリア州 Perth 近郊の BP の Kwinana 製油所に隣接して、500MW の IGCC 発電所を建設する予定である。石炭の酸素吹きによるガス化、CO₂ の燃焼前回収、地下貯留からなり、事業費 20 億豪ドルを見込んでいる。2011 年までに投資決定判断を行い、順調に進めば 2014 年の運

転開始を予定している。

2-2-2 CCS プロジェクト

IGCC 以外との組合せによる CCS プロジェクトを以下に列挙する。

図表 16 CCS プロジェクトの位置



PCC : Post Combustion Capture 燃焼後 (CO₂) 回収

(出所) CO2CRC ホームページ

図表 17 主な CCS プロジェクト

プロジェクト名	Hazelwood PCC	Loy Yang PCC	Munmorah PCC
実施主体	Hazelwood Power CO2CRC	Loy Yang Power CO2CRC, CSIRO	Delta Electricity 他
場所	ビクトリア州	ビクトリア州	ニューサウスウェールズ州
開始時期	2008年	-	2008年
CO ₂ 発生源	既設石炭火力	既設石炭火力	既設火力
CO ₂ 回収方法	燃焼後回収	燃焼後回収	燃焼後回収
CO ₂ 貯留場所	NA	NA	NA
CO ₂ 貯留量	1~2万t/年	5,000t/年	3,000t/年

図表 17 主な CCS プロジェクト (続き)

プロジェクト名	Otway	Gorgon CCS	Moomba
実施主体	CO2CRC 他	Chevron, Shell Exxon	Santos, Origin
場 所	ビクトリア州	西オーストラリア州	南オーストラリア州
開始時期	2008 年	2008 年	2010 年
CO ₂ 発生源	天然ガス随伴	天然ガス随伴	天然ガス随伴
CO ₂ 貯留場所	陸域, 枯渇ガス田	陸域, 帯水層	枯渇ガス田
CO ₂ 貯留量	5 万 t/年	300~400 万 t/年 合計 1.25 億トン	100 万 t/年

プロジェクト名	CSE Oxyfuel	Fairview	Coolimba	Monash CTL
実施主体	電源開発, IHI 三井物産 他	GE, Santos	Aviva	Monash Energy Anglo American 他
場 所	クィーンズランド州	クィーンズランド州	西オーストラリア州	ビクトリア州
開始時期	2011 年	2010 年	2011~2012 年	2015 年
CO ₂ 発生源	既設石炭火力 30MW	新設 CBM※火力 100MW	新設石炭火力 400MW	合成軽油製造
CO ₂ 回収方法	燃焼後回収	燃焼後回収	燃焼後回収	燃焼前回収
CO ₂ 貯留場所	枯渇ガス田	炭層	NA	枯渇石油ガス田
CO ₂ 貯留量	3 万 t/年以上	10 万 t/年以上	NA	1,000 万 t/年

CBM: Coal Bed Methane 炭層メタン

(出所) CO2CRC, CCS activity in Australia 2008 他より作成

幾つかの計画について、以下に概説する。

①Gorgon CCS

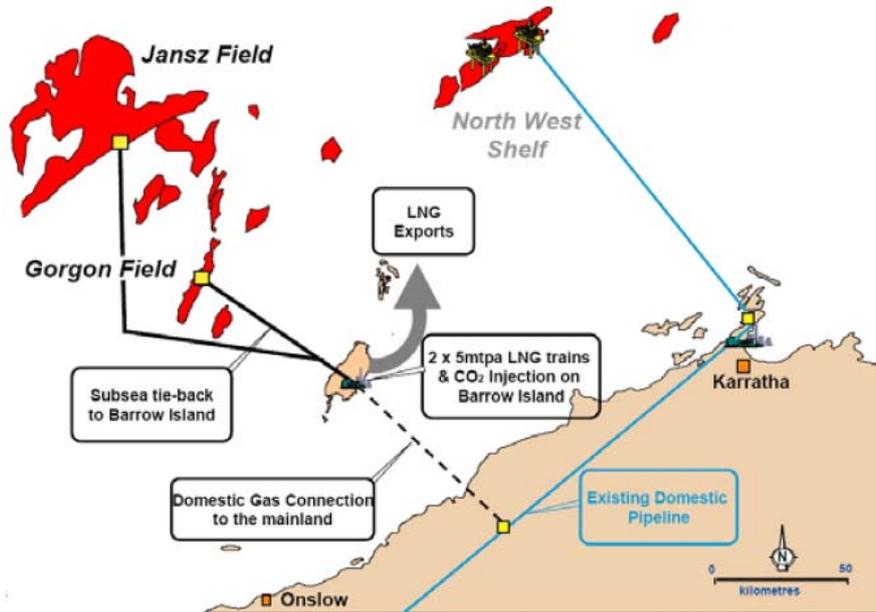
同プロジェクトは天然ガス随伴の CO₂ を、同じガス田への再圧入や枯渇油・ガス田ではなく、帯水層に貯留するもので、2008 年開始予定である。Gorgon ガス田と豪州本土の中間に位置するバロー島において、天然ガスを処理し、分離した CO₂ をバロー島地下に貯留を行う。総事業費 8 億 4,130 万豪ドルのうち、6,000 万豪ドルは連邦政府の LETDF から補助を受ける。(図表 18)

②CSE Oxyfuel

日本とオーストラリアが共同で行う実証試験であり、日本からは電源開発、IHI、三井物産が、オーストラリアからは CS Energy、ACA (石炭協会)、Xstrata、Schlumberger が参加する。クィーンズランド州の既設 Callide A 石炭火力発電所に酸素燃焼を導入し、回収した二酸化炭素を液化し、ローリー車で約 250km 離れた枯渇ガス田に輸送、貯留する。

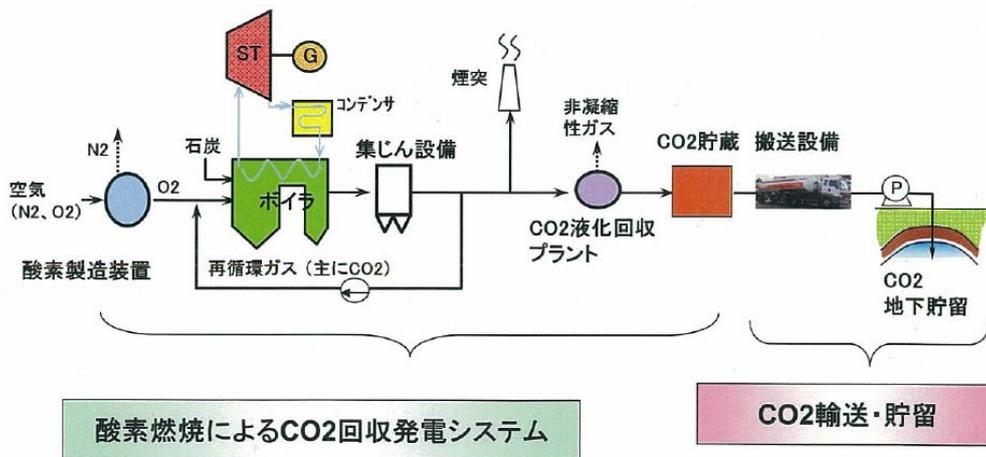
総事業費 2 億豪ドルのうち、連邦政府の LETDF から 5,000 万豪ドルの補助を受け、2008 に建設を開始する予定である。(図表 19)

図表 18 Gorgon CCS 計画



(出所) CSIRO, Australian CCS Commercial and R&D Projects

図表 19 CSE oxyfuels 計画のフロー



(出所) 三井物産ニュースリリース

2-3 見通し

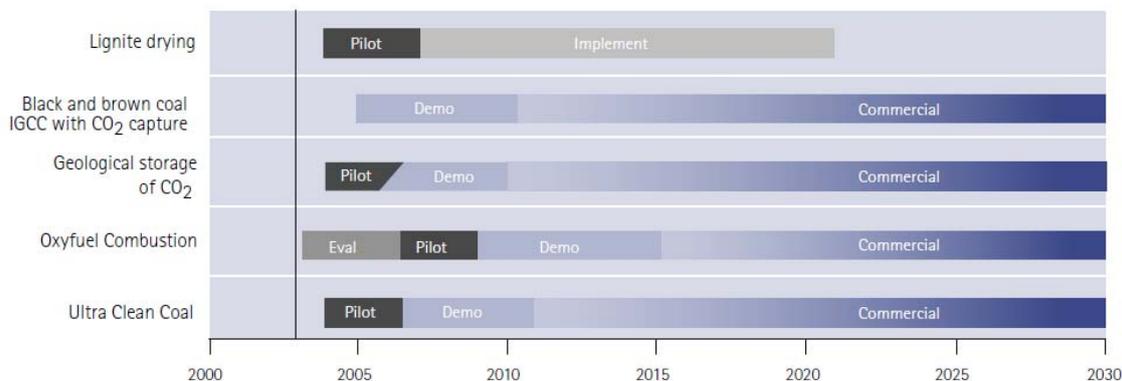
COAL21 が 2004 年 3 月に発表した「National Action Plan」では、石炭火力からの温室効果ガスの排出を抑制するための行動計画や、優先度の高い 5 つの技術 (CCS、IGCC、酸素燃焼、褐炭脱水、ウルトラクリーンコール³) についてロードマップを定めている。

これによると、2010 年から 2015 年にかけて各種実証試験を行い、その後商業化を目指

³ 石炭を化学的に洗浄することで不純物を除去し、微粉炭をガスタービンで燃焼する。日本では「ハイパーコール」と呼ばれている。

すとしている。

図表 20 クリーン・コール・テクノロジーのロードマップ



(出所) COAL21, National Action Plan, 2004.3

また同報告書では、CO₂ 排出量原単位の目標ケースと、それを達成する為に必要な CCS の導入量を算定している。

CCS を適用しない場合、2030 年にかけて新設する石炭火力は全て、その時点で利用可能な最高効率の発電設備と仮定しても、石炭火力からの CO₂ 排出量は 2002 年時点よりも増加する結果となっている (BAT ケース)。

また、CCS の適用可能量から、CO₂ 排出原単位 650kg-CO₂/MWh (合計 7,500MW 程度の石炭火力に CCS が適用される) の水準であれば実現可能性が高いと推定している。

図表 21 石炭火力の CO₂ 排出原単位と必要な CCS 導入量

	石炭火力の CO ₂ 排出原単位 kg-CO ₂ /MWh	CCSを適用した石炭火力		石炭火力の CO ₂ 排出量 Mt-CO ₂
		原単位を達成する 為に必要な設備容量 MW	全石炭火力に 占める比率 %	
2002年	1,017	-	-	175
2030年				
BAUケース	879	-	-	244
BATケース	763	-	-	202
ケース1	700	4,250	11.1	185
ケース2	600	10,840	28.0	159
ケース3	550	14,100	36.1	146
ケース4	500	17,500	44.6	132
ケース5	400	24,100	60.8	106

※BAU : Business As Usual, BAT : Best Available Technology

(出所) COAL21, National Action Plan, 2004.3 より作成

参考) 図表 21 の試算前提

2030年の、	
・発電電力量合計	400TWh
・うち、石炭火力の発電電力量	66%
・石炭火力の設備容量	38,200MW
石炭火力は運開後40年で停止するものとする	
・2003年の石炭火力の設備容量	28,350MW
・うち、2030年までに停止する設備容量	22,250MW
2030年までに新たに必要となる石炭火力設備容量	33,900MW
・BAU ケース	新設石炭火力は、平均発電効率41%の超臨界発電設備。 石炭火力の平均発電効率は38%に向上(2003年は33%) CO ₂ 排出原単位は879kg-CO ₂ /MWhに改善(2003年は1,017kg)
・BAT ケース	新設石炭火力は、その時点で最高効率の発電設備。 CO ₂ 排出原単位は763kg-CO ₂ /MWhに改善

オーストラリアは豊富な石油、天然ガス資源を有しており、CO₂発生源に近いオーストラリア中部、あるいは南東部沖合いの枯渇した生産井をCO₂の貯留場所として利用することが可能である。現在数ヶ所で進められている実証試験の判断を待つ必要はあるが、オーストラリアにおけるCCSのポテンシャルは高いと考えられる。

一方のIGCCについては、発電原価の水準が普及の程度を左右する大きな要素となる。前述のとおり、西オーストラリア州と北部準州以外の州では、発電事業者が発電した電力は卸電力市場(NEM)を介して取引される仕組みとなっている。この卸取引市場において競争力のある価格を提示することができなければ、IGCC発電は事業として成立し得ない(図表13、図表22)。従って、IGCC技術の開発によるコスト低減はもちろん重要であるが、普及を促進する過渡期においては、IGCCの発電原価が他の電源と比較して同等かそれ以下の水準となるような政策的な支援が重要な役割を果たすことになると思われる。具体的には発電事業者に対するCO₂排出枠の設定などであり、IGCCやCCSの将来を占う上では、オーストラリアの環境規制についても注視してゆく必要がある。

図表 22 卸取引市場の平均価格(2007年7月～2008年6月)

NSW州	VIC州	QLD州	SA州	TAS州	SNOWY
41.66	46.79	52.34	73.50	54.68	45.49

単位: AU\$/MWh

(出所) NEMMCO 資料より作成

オーストラリアは豊富な石炭資源と潜在的なCO₂貯留可能場所を有し、IGCCとCCSの格好のテストフィールドとなり得る。CSE Oxyfuel計画のように、本邦企業の参入によってオーストラリアとわが国の双方が利益を享受できるような関係を築くことが期待される。

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp