

石炭ガス化複合発電

Coal Gasification Combined Power Systems

山本光男^{*}・仙石忠正^{**}・杉山晃^{**}・小川紀一郎^{**}
 Mitsu Yamamoto Tadamasu Sengoku Akira Sugiyama Kiichiro Ogawa

1 ま え が き

激動する世界のエネルギー情勢に対応し、石炭はその膨大な埋蔵量及びその利用方法が比較的容易且つ安全等の理由により、石油代替燃料の主役として再び脚光を浴びてきているが、その利用技術に関して特に発電用燃料への適用の分野では、従来のボイラで直接燃焼する方法に比し、より高効率・低公害で経済性の高い方式として、ガスタービンを使用した石炭ガス化コンバインド発電方式が将来の有望な技術として注目されている。

石炭ガス化技術の開発は、火力発電用、天然ガス代替用あるいは化学原料用等の各種の使用目的に応じ、それに適した内外で多くの方式が検討され、既に化学原料用に於いては実用化されたものもあるが、前述の目的に適ったものとしては各種のパイロットプラント規模による実証試験を通じて開発が進められており、漸く実証プラントによる実用化の域に達しつつある。

しかしながら、海外とは異なったより厳しい環境化にある我国での実用化、特に発電用実証規模としての石炭ガス化発電技術を考えると海外で実用化されつつある方式といえども、更に我国独自の検証と改良開発が必要とされる。

幸い、最近では従来から進められているサンシャインプロジェクトの一環としての流動床方式による石炭ガス化プラントの他に、電力などのユーザにおいて石炭ガス化発電の関心が高まり、実用化の検討や基礎試験等を実施しようとする気運になってきた点は、本技術の将来性への期待と関心が急速に高まってきた一つの証拠とも言える。

石炭ガス化技術の発電プラントへの適用は、これが

* 三菱重工業(株)原動機開発部部长

〒108東京都港区芝5-34-6 (新田町ビル)

** 三菱重工業(株)原動機開発部

発電所において無公害且つ経済的に使用するための信頼性のある技術となり得るかに集約され、特にガスタービンとのコンバインドプラントの場合は、ガスタービンの将来の効率向上に伴いプラント性能が上昇し、従来の直燃形汽力発電技術を上廻る経済性が期待されており、その点で将来性が注目されている。

本稿は石炭ガス化技術につき特に発電プラントへの適用に主眼をおき、ガス化発電プラントの在り方について内外の文献を中心にして現状をとりまとめ、御参考に供するものである。

2 石炭ガス化プロセス

2.1 ガス化炉の種類

- (1) 石炭ガス化には、酸化剤として酸素を用いた高カロリーガス化(発熱量 $8,000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 程度)と空気を主体*とした低カロリーガス化(発熱量 $1,000\sim 3,000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 程度)の2つの方法があるが、高カロリーガス化は酸素を用いてガス化し、更に、シフト転換($\text{CO}\rightarrow\text{H}_2$)装置、メタネーション装置等の設置を必要とし、機器構成が複雑で且つ燃料利用効率も低下するので、都市ガス用又は化学(薬品)原料用としては使用できるが、発電用としては適さないと考えている。従って発電用として検討する場合は、低カロリーガス化に焦点が絞られる(*:一般的には、発熱量 $1,500\sim 3,000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ となる酸素又は酸素リッチの空気によるいわゆる中カロリーガス化があるが、ここでは低カロリーガス化に含めて考える。)
- (2) 発電用を対象とした低カロリーガス化技術のガス化方式として、①固定床、②流動床、③噴流床および④熔融床などがあるが、このうち熔融床については、熔融塩の取扱いと材料の耐久性などに困難な問題があるために、大型発電用ガス化炉としては他の型式に比し様々な問題があり、早期実用化は困難と考えられる。

固定床、流動床、噴流床各方式のそれぞれの概要及び特徴は、表1に示すとおりであるが我国に於いて実用上要求される条件、特に高効率、高範囲の炭種適用性、大容量化、設備の連続運転に対する耐久性と信頼性の観点よりみると、流動床と噴流床がより適していると考えられる。

流動床と噴流床方式を比較すると夫々一長一短があるが、対象とする石炭の種類、発電方式、クリーンアップ方式の差異、発電所より要求される諸条件等によっては各式夫々に適、不適があるので、我国発電用ガス化炉としては両方式を併行して検討を進めていく必要があると考えられる。

(3) 尚、最近では噴流床と言えどもザールベルグオート方式の様に、熔融床の技術の一部を取り入れたもの、或いはBGC-ルルク炉の様に固定床を基本としながらも噴流床のスラグタップ技術を取り入れたもの、或いはWH方式の様に流動床を基本としながらも噴流床バーナ技術を取り入れたもの等に見られる様に、夫々の方式の特徴を加味した改良形組合せ方式も開発されつつある点は、我国で開発を進める場合にも参考になると言えよう。

要は、それぞれの使用目的や、適用条件に於いて最も適したガス化炉を選定することが必要であると

考える。

2.2 内外の主要ガス化炉の開発状況

現在、内外で開発中の代表的ガス化炉を表2に示す。前述の通り、石炭ガス化炉は発生ガスの発熱量から見て高カロリー及び低カロリーに大別されるが、用途別に見ると i) 発電用 (含、ボイラ燃料用) ii) 化学プロセス原料用及び iii) 都市ガス (或いは天然ガス代替) 用に分類され、更に i) 発電用は、コンバインド用とボイラ燃料用に大別され、いずれの場合も新設、既設への適用が可能であるが、一般的にガス化プラントの特徴が発揮されるケースとしては①新設コンバインド用と②既設ボイラへの代替燃料用(レトロフィット)の2ケースであると考えられる。その場合、その適用が①コンバインド用か②既設ボイラ適用かによりその炉の必要条件是異なったものが要求される。

これら開発中のガス化炉の中で、純粋な発電用のみを対象として開発されているものはCE社と(財)石炭技研のもののみで、次いで発電用主体の多目的炉としてWH社のもの、それ以外は多目的炉か或いは化学プロセス専用炉(特にWINKLER)或いは都市ガス用専用炉ということが出来る。

表1 石炭ガス化炉の種類と特徴

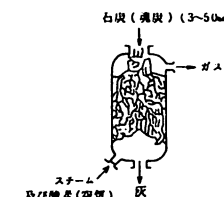
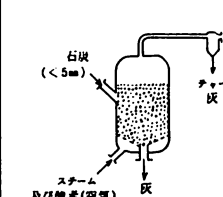
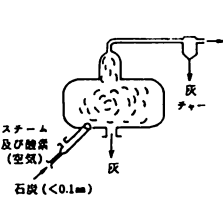
		固 定 床	流 動 床	噴 流 床	
ガス化法		 <p>石炭(塊炭)(3~50mm)</p> <p>上層より濃炭を供給し、炉下部の燃焼によって発生する高温ガスによりガス化及び乾留が順次行なわれる。</p> <p>400~900℃ 炉底火格子より固体で排出 (熔融炭排出をテスト中の炉もある)</p>	 <p>石炭(<5mm)</p> <p>炉の中央部に数ミリ程度の粉炭を供給し、炉底からの空気により流動させながらガス化する。</p> <p>800~1,100℃ 炉底より固体で排出</p>	 <p>石炭(<0.1mm)</p> <p>懸粉炭をバーナにより炉内に噴射し、高温で短時間でガス化する。</p> <p>1,200~1,700℃ 炉底より熔融状態で排出</p>	
特 徴	炭種の適合性	<ul style="list-style-type: none"> 強粘結性炭及び粉炭の使用が出来ない。 灰融点の高い石炭が望ましい。 	<ul style="list-style-type: none"> 粘結性炭は前処理酸化を要する。 灰融点の高い石炭が望ましい。(クランカートの防止の為) 	<ul style="list-style-type: none"> 適用炭種が広い。 灰融点の低い石炭が望ましい。(熔融炭排出方式の為) 	
	生成ガス性状	発熱量	高い (空気吹きの場合 1,500 kcal/Nm ³ 程度)	比較的高い (空気吹きの場合 1,200 kcal/Nm ³ 程度)	稍低い(ガス化温度高くメタン成分分解される為) (空気吹きの場合 1,000 kcal/Nm ³ 程度)
		タールの生成	生成する(低濃度乾留の為)	起動時などに依って生成の可能性あり	生成しない。
	ガス化効率	<ul style="list-style-type: none"> 発生炭粉の利用困難及びタールの生成などによりガス化効率が低い。 	<ul style="list-style-type: none"> 未燃炭素が発生し易い ガスの燃熱が少ない為システム効率上有利 	<ul style="list-style-type: none"> 未燃炭素の発生は比較的少い 高温ガスからの熱回収が必要 	
	大容量化の可能性	容積当りの出力が小さく、大容量化比較困難(1,200 T/D程度)	気体、固体の接触が良好で容積当りの出力比較的大きい(1,500 T/D程度)	炉型式により差はあるが大容量化は比較的容易(5,000 T/D程度)	
	運転操作性	起動、停止、負荷変動に対する自由度が低い	起動、停止、負荷変動に対する自由度中程度	起動、停止、負荷変動に対する自由度が高い	
	保守性	タール生成にともなう後流側側面ハンドリングの困難性あり	ガス化温度比較的低い為耐熱材料等の寿命が長い	ガス化温度高い為耐熱構造、耐熱材料が必要	
その他	既存技術で実績多い		アンモニア及びシアンが発生が少い。		

表 2 代表的低カロリー石炭ガス化プロセス開発状況

プロセス名 (実機場所)	形式	石炭 処理量	設廠国及び実機者 (スポンサー)	運転開始
Texaco (Oberhausen)	加圧増熱式	150 t/d	西独, Texaco (Ruhlkohle BMFT)	1978
Shell-Koppers (Bamburg)	加圧増熱式	150 t/d	オランダ, Koppers & Royal Dutch Shell	1978
CE(Windsor)	常圧増熱式	120 t/d	米国, CE (DOE)	1977
Saarberg-Otto	加圧増熱式	264 t/d	西独, Saarbergwerke (BMFT)	1977
WH (Pittsburgh)	加圧増熱式	15 t/d	米国, WH (DOE)	1975
新 Winkler (Frechen)	加圧増熱式	24 t/d	西独, Klunische Braun- kohlen	1978
Lurgi (Ilmenau)	加圧固定床 複合発電	170 t/d	西独, STEAG 社	1972
Morgue (Morgantown)	加圧増熱式	12 t/d	米国, Morgantown Energy Research (DOE)	1977
石炭技術(夕張) 電 機	加圧増熱式	5 t/d 40 t/d	日本, 石炭技術 & 電気 三業協同電機(通産省)	1977 1980

3 石炭ガス化発電プラント

3.1 我国に於ける実用化上の必要条件

我国で石炭ガス化発電プラントが実用化されるためには在来火力発電方式としての微粉炭焚火力と比較され、総合的に微粉炭焚火力と同等又は、それを上廻る性能と信頼性を有することが要求される。

ガスタービン複合発電へ適用する場合と既設ボイラへ適用する場合とではその要求される条件が若干異なってくるが、複合発電を対象として考えた場合、一般的に要求される課題は次のようなものである。

(1) 発電所全体

次の諸点につき微粉炭火力と同等ないしはこれを上廻る性能であること

- i) 発電所熱効率
- ii) 経済性(送電単価)
- iii) 運転特性及び保守の容易性
- iv) 信頼性, 安全性
- v) 環境対策(大気, 水質, 灰, 騒音)
- vi) その他(ユニット単機, 使用炭種の制限, ユーティリティの種類と量等)

(2) ガス化炉

- i) 高ガス化効率(炭素転換効率, ガス組成(タール及び油分が存在しないこと), 粗ガスの顕熱量と熱回収ほか)
- ii) 広い炭種への適合性(供給炭の形状と前処理, 石炭の炭化度及び粘結性, 灰流動点温度ほか)
- iii) 大容量化, 運転及び保守の容易性(ユニット構成, ガス化炉の数, 起動時間, 最低負荷, 負荷追従性, 運転一保守要員数など)
- iv) 信頼性・安全性(装置の単純化, 耐久性, ガス

漏洩, 防爆対策が十分に確保されていること)

- v) 環境対策(検出灰の安定性, 排水中成分と無公害処理, 騒音振動などが万全であること)

(3) ガス精製装置

- i) 粗ガス中のばいじん及び酸性ガスがガスタービン許容値との関係で規制される。
- ii) ガス精製に伴うエネルギー損失の軽減
- iii) 装置構成の単純化と運転信頼性の向上
- iv) 副製品の品質(含, 処分の容易性)が良好な事
- v) 排水の無公害処理

(4) 発電装置及びシステム全体

- i) 高効率高温ガスタービン及び石炭ガス燃焼コンバスタの技術の確立
- ii) ガス化発電システム全体及び機器構成の最適化
- iii) システム全体の総合運転制御技術の確立

3.2 ガス化発電プラントの種類と概要

- (1) 石炭ガス化発電プラントは、既設ボイラへガス化燃料として適用する場合と、ガスタービン複合発電適用の場合とではその機器構成及びその性質がかなり異なるが、ここでは高効率化を目的とした新設発電プラントを想定し、ガスタービン複合発電プラントにつき述べる。

ガスタービンと蒸気タービンを組合せた複合発電プラントはそれぞれ単独での熱効率に比し総合プラント熱効率が向上するため、従来から主としてクリーン燃料を対象として実用化されている。我国の事業用火力では、COG ガス(コークス炉ガス)を燃料として計画され昭和 46 年に運開した四国電力(株)坂出 1 号ユニット(総合出力 225MW)があり、最近では、ガスタービンの高効率化に伴って大容量発電プラントが実現されることとなった。従ってここで複合発電プラントの概要を簡単に述べることにする。

(2) クリーン燃料用複合サイクルの種類と特徴

ガスタービンと蒸気タービンを組合せる複合サイクル発電は、そのサイクル構成法によって各種方式が考えられている。その方式は、その蒸気発生部の主体をガスタービンの上流側(ガスタービン燃焼室部)に設けるか、下流側(ガスタービンの排ガス部)に設けるかによって「過給ボイラサイクル方式」と「排ガス利用サイクル方式」とに大別できる。後者は更に排ガスの利用方法が高温排ガスの熱回収のみを図る方式か残存酸素を含む排ガスをボイラ燃料の燃焼用空気に利用する方式かによって「排熱回収サイクル方式」と「排気再燃サイクル方式」に区別できる。

排熱回収サイクルは更に、使用目的、助燃の有無等により、給水加熱サイクル、排熱回収サイクル及び排気助燃サイクルに区別できる。(表3)

各種の複合サイクル発電は、そのサイクル特性によって夫々の特徴を有しているが、「排熱回収サイクル」は他のサイクルに比し、ガスタービンの高温高性能に伴うプラント効率の向上が著しいこと、機器構成が簡単であること等の理由により、最近米国を中心に発展し、我国の最近のLNGを燃料とする大型複合サイクル発電の計画も本方式を採用しており将来性のある方式といえる。一方、過給ボイラサイクルや排気再燃サイクルは一時代前の1,000℃級以下のガスタービンとの組合せにおいてヨーロッパを中心に発展したものであるが、ガスタービンの熱効率が比較的低いために、排熱回収方式に比し高いプラント効率を期待できたが、ガスタービンの性能上昇に伴ない排熱回収サイクルの効率が高くなること、排ガス中のO₂が減少すること及び機器構成が複雑になること等の理由により特殊な場合を除き将来性はあまり期待できない。

図-1は、排熱回収サイクル発電プラントのガスター

表3 複合サイクル発電方式の分類

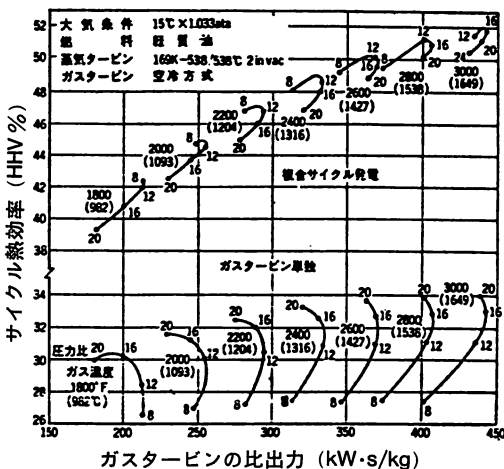
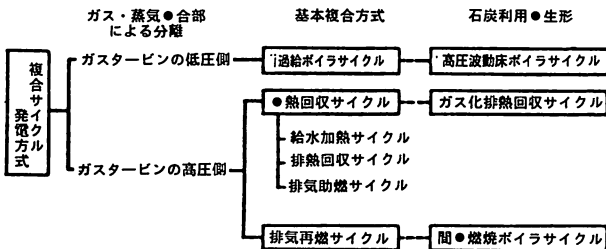


図-1 サイクル熱効率・比出力特性図

ビンの特性とプラント全体のサイクル熱効率の試算例を示したものであり、ガス温度1,500℃のガスタービンが出現すれば50%を越える高熱効率を期待できることがわかる。

(3) 最近のガスタービンの性能については表4に示すとおりであり、この表から各社の大形タービン商業機の現在のレベルは入口ガス温度(動翼入口温度)1,000℃~1,100℃、発電機端熱効率29~32%、発電機出力は3,600rpm機で70~100、3,000rpm機で80~120MWとなっている。10年前には同温度は約800~900℃級であったことを考えると、ガスタービンの高温化は着実に進んできたが、今後とも更に高温・高効率のガスタービンの実用化が期待される。

表5は最新鋭ガスタービンと組合わせた排熱回収サイクルのガスタービン及び蒸気タービンの標準形式と出力構成をプラント総出力との関連でとりまとめたものである。

この表から、ガスタービンと蒸気タービンの出力の割合が約2:1になっていることがわかる。

(4) 昨今の脱石油の一環として、LNG火力の建設計画が進められているが、LNGはクリーン燃料としてガスタービンに適しており、省エネルギー達成ができる大容量排熱回収式複合サイクル発電プラントの採用が各電力会社で具体的に計画されつつある。

表4 世界の大形ガスタービン代表例 (1軸-ISO, 蒸留油, ベース)

用途	製作者	形番	発電機端出力 (kW)		ガス温度(°C)		圧力比	空気流量 (kg/s)
			出力	効率 (%)	入口	出口		
3600 rpm 機 (60Hz用)	BBC	Type 11	72500	31.7	-	550	11.0	290
	GE	PG 7111	78900	31.6	1160	573	11.5	266
3000 rpm 機 (50Hz用)	BBC	Type 13	89900	31.8	-	526	11.8	374
	GE	PG 9151	106700	31.5	1141	557	9.6	397
3600 rpm 機 (60Hz用)	KWU	V 94.2	118480	31.1	1010	532	10.0	486
	三菱重工 (WH)	MW-501D	100000	32.5	-	554	14.0	353
3000 rpm 機 (50Hz用)	(WH)	MW-701D	121800	32.0	-	553	14.0	440

注 (1) ピーク最高温度 (2) ガス燃料 (Gas Turbine World Hand Book 1981-82から抜粋)

表5 三菱 MPCP 標準形式

名称	プラント出力 (MW)	ガスタービン		蒸気タービン			
		形式	数量	出力 (MW)	形式	数量	出力 (MW)
MPCP 1 (501 D)	144.0	MW-501 D	1	98.7	SC 1 F -25	1	45.3
MPCP 2 (501 D)	289.9	MW-501 D	2	197.4	TC 2 F -25	1	92.5
MPCP 3 (501 D)	435.5	MW-501 D	3	296.1	TC 2 F -31	1	139.4
MPCP 4 (501 D)	581.0	MW-501 D	4	394.8	TC 4 F -25	1	186.2

一例として、東北電力榊東新潟火力3号は、プラント総出力1,090MWの複合サイクルとして検討が進められてきたが、昨年11月電調審の審議を経て、新規電源の基本計画に組み入れられることになった。

本プラントは大容量高効率ガスタービンMW-7016台と、その排ガスの熱回収をはかる排ガスボイラ6台、および蒸気タービン2台より構成されており、複合蒸気サイクルを採用し、高効率化がはかられている。運転開始予定は昭和59年で、わが国最初の大容量排熱回収式複合サイクルプラントとなる。

3.3 石炭ガス化複合サイクルの構成と系統

石炭ガス化複合プラントは、前記のクリーン燃料による通常の複合サイクルの前段にガス化システムを組合わせたものであり、ガス化炉が常圧か加圧か、クリナップシステムが湿式か乾式化によって、システム構成が異なってくる。図-2は、常圧ガス化炉の場合図-3は加圧ガス化炉の場合の一般的なシステム構成を示したものである。

石炭ガス化複合プラントでは通常の複合プラントと比較して技術上次の点に留意する必要がある。

- (1) ガス化プラントと発電プラント間で蒸気-水、空気-燃料のやりとりがあるためプラント全体として

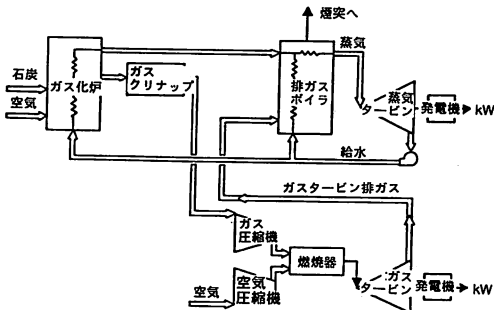


図-2 石炭ガス化複合プラント（常圧ガス化炉の例）

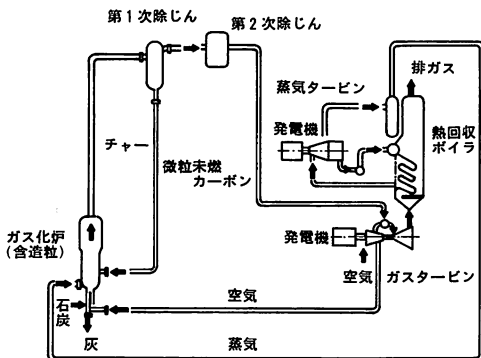


図-3 石炭ガス化複合プラント（加圧ガス化炉の例）

それらの適切な有機的結合が重要となる。

- (2) ガス化炉生成ガスは低カロリーであり、多くの不純物を含むため、ガスタービン燃焼器はこれを安定に燃焼できるのみならずクリーンアップシステムによって充分に不純物を除去し、燃焼後のガス中の不純物がガスタービンのブレードに影響を与えず、NO_x及びSO_xが規制値を満足するように留意せねばならない。その際、ガスタービンより不純物としてどの程度が許容されるかが議論になるところであるが、WH社の指標を一例として示すと次のようになる。尚、本数値は今後更に研究実証を経て確認されるべき値である。

① 固形分の制限

サイズ：最大6 μ以下、平均3 μ以下

濃度：付着防止上 5 mg/Nm³以下

エロージョン防止上 25mg/Nm³以下

② Na+K 0.1mg/Nm³以下

③ V 0.1mg/Nm³以下

- (3) ガス化炉出口の生成ガスの頭熱を一般に排熱ボイラで回収するため、蒸気タービンの出力が増加しガスタービンと蒸気タービンの出力比は約1：1となる。従って、蒸気条件の向上によるプラント効率への影響が大きい。

3.4 石炭ガス化用高効率ガスタービン

石炭ガス化用ガスタービンの開発は、1976年より政府資金援助のもとに米国のガスタービンメーカーが積極的に進めている。この研究はHTTTプロジェクトと呼ばれ、タービン入口温度2,600~3,000°F (1,427~1,649°C)、単機容量100~150MWのガスタービンの開発を目標としており、phase IプロジェクトにはWH社、GE社、Curtiss-Wright社およびUnited-Technology社が参加した。タービン入口温度上昇は、耐熱材料の開発と翼冷却技術の改良との二つの方法が考えられるが、ここではWH社とGE社がタービン翼の冷却技術の改良を中心に提案した開発計画とその後の研究成果を基に、石炭ガス化ガスを燃料とする高温ガスタービンの特徴と問題点について述べる。

- (1) タービン翼の冷却方法と問題点

phase Iのシステム設計において、WH社は高温部動・静翼とも空気冷却翼を採用することを本案とし、このバックアップとして動翼を蒸気冷却、静翼を水冷する案を提唱した。一方、GE社はそれまでの自主研究実績をベースに動・静翼とも水冷する案を提案した。

ここで空気冷却翼と水冷冷却翼の一般的な比較を行なうと空気冷却翼の利点としては

- i) 冷却媒体を自分の圧縮空気から抽気するので、最適の圧力状態のものが供給できる。
- ii) ポンプとか特別な流量分配機構が不要なので冷却媒体の供給が確実である。
- iii) 実績が多いので信頼性に優れている。
- iv) 既設の冷却タービンに大した改造なしに新しい冷却翼を採用しうる。

一方、不利な点としては、

- i) 圧縮空気を冷却に使用するためにガスタービン単体のサイクル効率が下がる。
 - ii) フィルム冷却翼の場合、ガス中のダスト分が多いと冷却穴の目詰りが生じ冷却が阻害される。
- 等のことが言われている。

これに対し水冷冷却翼についてはまず利点としては、

- i) メタル温度を腐食や堆積を軽減できる温度レベル(約1,000°F)に抑えることができる。
- ii) 冷却のために奪った熱を蒸気系で回収できる。
- iii) 圧縮空気の抽気を必要としないので、ガスタービン単体のサイクル効率上優利である。

一方、不利な点としては、

- i) 冷却水の漏洩対策が非常に困難であり、水流によるエロージョンが激しい。
- ii) メタル中での温度勾配が大きいので熱応力が高くなる。
- iii) 冷却水の供給設備(ポンプ、清浄装置等)が別に必要である。
- iv) 水量の調整が困難であり、正規流量の60%近くに減量すると流れが不安定になる。
- v) 特に、ロータ側では静止部からの水の供給、各動翼へ均一に冷却水を分配すること、動翼先端から放出された水を捕集する等の高度な技術開発が必要である。
- vi) 実績がなく、信頼性に問題がある。

3.5 石炭ガス化複合プラントの熱効率

石炭ガス化複合プラントの熱効率は、システム構成(ガス化炉種類、クリナップ及び熱回収方式等)、ガスタービン燃焼温度、蒸気タービンの蒸気条件等により異なる。参考として米国に於けるいろいろな試算条件を調査した論文⁽⁴⁾が1980年のASMEガスタービン会議に発表されているので以下に紹介したい。図-4~図-5は、各ガス化炉形式に於けるガスタービンの燃焼温度とプラント熱効率(送電端)の関係を各種の文献値を

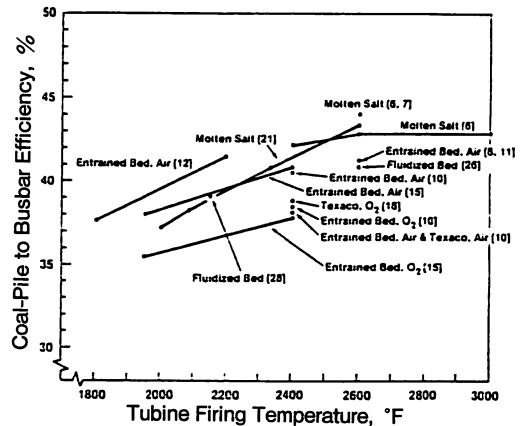


図-4 Estimated Power Plant Performance Using Entrained, Fluidized and Molten Salt Gasifiers with Cold Gas Cleanup.

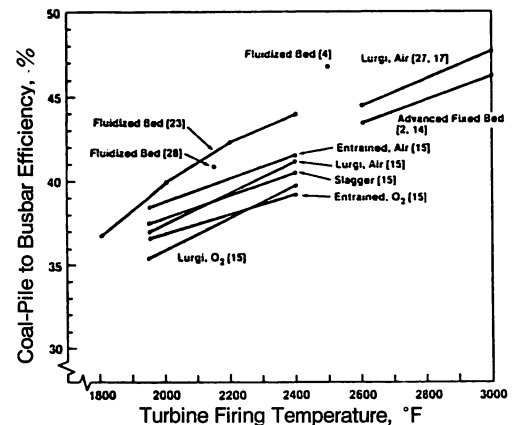


図-5 Estimated Power Plant Performance Using Hot Gas Cleanup.

整理して示したものである。

図-4に示す如く噴流床又は流動床ガス化炉の湿式クリナップを採用した複合サイクルのプラント効率(送電端)は、現状ガスタービンの場合(1,100°C級=2,010°F)35~40%,近い将来のガスタービンの場合(1,300°C級=2,400°F)38~41%となっており、将来1,500°C(2,800°F)のガスタービンと乾式クリナップが開発された場合には45~47%のプラント熱効率値となることが試算されている。

尚、米国に於いては比較の対象となる微粉炭火力(排煙脱硫装置付)の蒸気条件が我国に比較して低く、その送電端プラント熱効率は、33~36%程度となっており、従って米国においては、熱効率では現状のガスタービンを使用した石炭ガス化複合発電プラントでも従来火力を上廻っており、経済性も充分成立つことが示されている。

一方、我国においてはベースとなる微粉炭火力の蒸

気条件は超臨界圧級が一般的であり、将来は更に高い超々臨界圧級の蒸気条件となることが予想されるので米国の例に見られる程の効率上の開きはないが現状のガスタービン(1,150°C級)に於いて既に最新鋭微粉炭火力と同等であり、ガスタービン温度が1,300°C級になると最新鋭微粉炭火力を凌ぐとともに超々臨界圧級と同等となり更にガスタービンが1,300°C以上となるか或いは乾式クリンアップシステムが採用される場合には、更に効率向上が期待できるので、我国に於いても微粉炭火力を凌ぐものとなるといえる。

表6はこれらの関係を試算した一例を示したものである。

尚、ガス化複合サイクルの場合の送電端効率の向上要因の一つに、所内率が微粉炭火力に比し少ない点に留意すべきである。

3.6 石炭ガス化複合プラントの経済性

米国に於ける試算例として既設火力(ガス焚ボイラ及び油焚コンバインドプラント)へ石炭ガス化プラントを適用した場合の比較を表7に、また新設微粉炭火力とガス化複合プラントの場合を表8に示す。

表6 石炭ガス化コンバイサイクルと石炭焚在来火力との比較(例)

項目	石炭ガス化コンバイサイクル			石炭焚在来火力	
	1,150°C級	1,300°C級	1,500°C級	現状	再燃
燃費率 (T.A.入口)	3.150	2.800	2.500	3.400	3.200
燃費率 (T.A.出口)	3.000	2.650	2.350	3.250	3.050
燃費率 (発電機)	3.9~4.0	4.2~4.4	4.4~4.6	4.1	4.3~4.4
所内率	4~5	4~5	4~5	7.5	7.5
燃費率 (発電機)	3.7~3.8	4.0~4.1	4.2~4.3	3.7~3.8	4.0~4.1

注1) ガスタービンコンバスタ出口温度

注2) 湿式クラナップ採用

注3) 乾式クラナップは湿式クラナップ改良形
a) 予燃焼

3.7 環境対策

石炭ガス化複合発電プラントは、微粉炭火力に比し環境対策の面で以下に示す様に総合的には同等或いはそれ以上の効果が期待できると考える。

SO_x ガス化脱硫装置(湿式)は一応技術的に確立されたものであり、脱硫性能が良く95%以上の脱硫は充分可能である。

NO_x 生成ガス中のN分の挙動にもよるが、N化合物の適切な処理とガスタービンの低NO_xコンバスタの使用により、低カロリーガスのNO_x発生率は十分低くなる。

ばいじん ガスタービンのニーズからガス化炉生成ガスはガスタービン上流で充分取り除かれる必要があり(現状技術として常圧ガス化炉ではEP、バグフィルタ、サイクロン等、加圧ガス化炉ではサイクロン、湿式スクラバ等の組合せがある。)燃焼排ガス中の濃度ははるかに低い値となる。(微粉炭火力の1/10のレベル可能)

表8 C-E COST EVALUATION OPERATING COST DATA FROM TASK 11 STUDY (NOMINAL 600 MW PLANTS)

Plant	Coal/Scrubbers	Gasifier/Steam	Gasifier/Combined 2200°F Gas Turbines
Heat rate, Btu/kWh	9,456	9,666	8,223
Efficiency, %	36.1	35.3	41.5
Net MW	554.6	561.7	578.1
Plant cost, \$/kW	793	833	881
Annual Costs, Mills/kWh			
fired charges at 18%.....	20.4	21.4	22.7
Labor and materials (Note 2)	8.1	4.4	4.0
Cost @ "average" \$3.00/10 ⁶ Btu (Note 2).....	28.3	29.0	24.7
Levelized cost of electricity, mills/kWh.....	56.8	54.8	51.4

NOTES:

1. Constant 1979 dollars.

2. Coal, labor, and material costs escalated and levelized for 30 year plant life with declining load factor after 15 years, in each case.

表7 EPRI COST EVALUATION

"OVER-THE-FENCE" RETROFITS OF AN EXISTING GAS FIRED STEAM PLANT & AN OIL FIRED COMBINED CYCLE PLANT

Plant	Reference: New Coal Fired Steam Plant ¹	Existing Gas Fired Steam Plant ² (2300/950/950)	Existing Gas Fired Steam Plant Retrofitted with:		Existing Oil Fired Combined Cycle Plant ⁴	Existing Oil Fired Combined Cycle Plant Retrofitted with:	
			C-E Oxygen Blown Gasifier	Texaco Oxygen Blown Gasifier		C-E Oxygen Blown Gasifier	Texaco Oxygen Blown Gasifier
Net heat rate, Btu/kWh (HHV)	9,896	9,788	12,554	12,995	8,346	12,051	11,502
Net efficiency, %	34.5	34.9	27.2	26.3	40.9	28.3	29.7
New capital requirement, ¹ \$/kW	775	—	562	674	—	574	590
Cost of electricity, ^{2,3} mills/kWh	38.5	—	38.9	42.3	—	39.0	37.6

NOTES:

1. Mid-1976 dollars

2. Includes fixed charges for existing plant

3. Coal cost=\$1.00/10⁶ Btu

4. Two 500 MW plants

5. One 500 MW plant

6. Two 250 MW plants

This table is adapted from EPRI Report No. AF-1182.⁽³⁾

- 灰 噴流床、流動床方式などで熔融灰を取出すケースが多く、微粉炭火力に見られるフライアッシュ等の問題が少なく、且つガス化炉よりの排出石炭灰の容積が非常に小さくなり（比重大）、灰捨場のスペースが少なく済む。
- 回収S 今後の調査事項の重点項目なるも、重量的には石こうに比し約1/5の量となり取扱いは容易である。但し、廃棄、有効利用等今後の調査が必要。
- 排水 ガス化炉方式によっては排水量が少ないものもあり、総合的には微粉炭火力並みか、それ以下の処理が可能。
- 温排水 微粉炭火力に比し、石炭ガス化複合プラントではガスタービンの温度にもよるが、約20%の温排水が減少する見込みである。

3.8 実用化検討

開発中の石炭ガス化炉の代表例として、CE社が開発中の流動床ガス化炉を採用した石炭ガス化複合発電プラントの計画概要を述べる。

(1) CE炉を使用した場合の複合発電プラント実用化検討

- プラント出力 約500MW
- ガス化炉 型式 CE型常圧噴流床（図-6参照）
- ガス化剤 空気
- 石炭 微粉（200メッシュ通過70～80%）

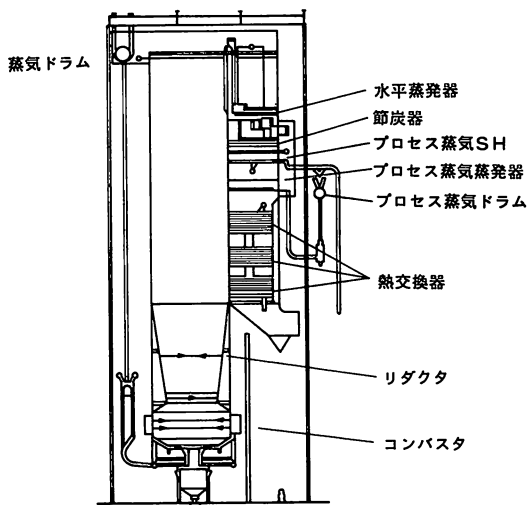


図-6 CEガス化炉概念図

- ガス化温度 コンバスタ 約1,700℃
- ガス化炉出口 約950℃
- 生成ガス発熱量 1,100～1,200 kcal/Nm³

- ガス化圧力 常圧
- 石炭供給方式 気流搬送方式

- 特徴 i) 微粉炭ボイラの完成技術を大中に利用
- ii) 発電用大形ユニットの開発が目標
- iii) ガス化炉効率高く、タール生成ない
- iv) 適用炭種の範囲大
- v) 制御及び運転・保守が容易
- vi) 精密脱じん装置の適用容易
- vii) 蒸気の使用量少ない 他

クリナップシステム

- i) 脱じん装置 EP（乾式、湿式）又はバグフィルタ
- ii) 脱硫装置 湿式吸収酸化法

発電システム 排熱回収サイクル

プラント機器構成 図-7参照

プラント主要性能 表9参照

(2) WH炉を使用した場合の複合発電プラント実用化検討

- プラント出力 約700MW
- ガス化炉 型式 WH型加圧流動床（図-8参照）

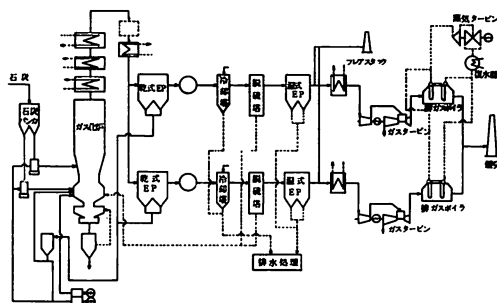


図-7 プラント機器構成

表9 プラント主要性能

	石炭ガス化複合	微粉炭火力 (3,500psig/1,000°F/1,000°F)
ガスタービン温度	℃ 1,100～1,300	—
ガスタービン出力	MW 180～225	—
蒸気タービン出力	MW 200～270	500
総出力	MW 380～500	500
プラント効率 (発電端)	% 39～43	40.7
プラント効率 (送電端)	% 37～41	37.6

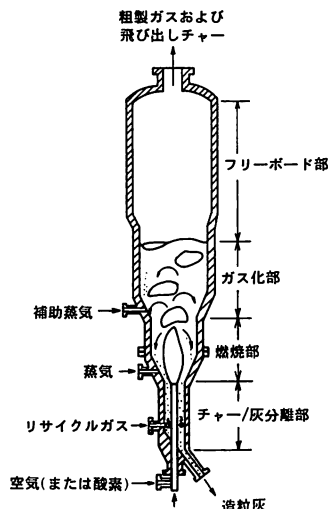


図-8 WH ガス化炉概念図

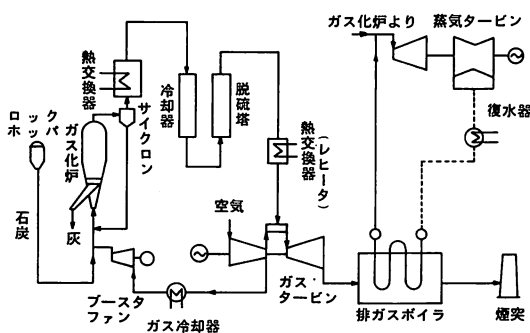


図-9 プラント機器構成

ガス化剤 空気
 石炭 粒径 トップサイズ 約5mm
 平均 1~2mm
 ガス化温度 炉中心 約1,100℃
 炉出口 約980℃
 生成ガス発熱量(乾・空気)
 1,200~1,500kcal/Nm³
 ガス化圧力 約25kg/cm²g
 石炭供給方式 ロックホップ及び
 気流搬送方式

- 特徴 i) 炉は一段加圧流動床でありコンパクトである。
 ii) ガス化コンバインド発電用として開発に着手し、現在は化学原料用及び都市ガス用として多目的利用を目指す。
 iii) 灰造粒技術の採用によりガス化効率が低い。

表10 プラント主要性能

		石炭ガス化複合	微粉炭火力 (3,500psig/1,000 °F/1,000°F)
ガスタービン温度	℃	1,200	—
ガスタービン出力	MW	419,900	—
蒸気タービン出力	MW	290,900	500
総出力	MW	710,800	500
プラント効率 (発電端)	%	41.3	40.7
プラント効率 (送電端)	%	39.0	37.6

- iv) 適用炭種の範囲が広い。(但し、比較的高融点灰の石炭に適す。)
- v) タールの生成がほとんどない。
- vi) 耐火材の耐久性がよい。
- vii) 制御・運転が容易
- viii) 排出灰の性状良好

クリナップシステム

- i) 脱じん装置 サイクロン及び湿式スクラバ
- ii) 脱硫装置 湿式吸収酸化法

発電システム

- 排熱回収サイクル
- プラント機器構成 図-9参照
- プラント主要性能 表10参照

4 結 び

以上、石炭ガス化複合発電プラントの現状を、海外技術の紹介を中心に述べたが、本技術は我国での石炭焚大型発電プラント用として経済性及び環境の両面に於いて優れた可能性を有しているものであり、今後の開発及び実用化の推進が大いに期待される。このためには、ガス化炉、クリーンアップ、ガスタービン、制御などの主要技術分野において産・学・官一体となつて協力し、これを推進することが望まれる。

参 考 文 献

- 1) 渡部, 仙石, 小川他, 石炭利用発電技術開発の現状及び将来動向, 三菱重工技報 Vo1.17. No.2 (1980-3)
- 2) 森, 岩田, 木村, 最新の複合サイクル発電プラント, 三菱重工技報 Vo1.17. No.2 (1980-3)
- 3) 中西, 樋口, 森他, 最新の発電用高性能・大容量ガスタービン, 三菱重工技報 Vo1.17. No.2 (1980-3)
- 4) J.W.Larson, Survey of Integrated Gasification Combined Cycle PoWer Plant Performance Estimates, ASME 80-GT-113
- 5) ERDA Report, FE-2290-20, 1977
- 6) A. Carvana 他, ASME 79-GT-39
- 7) WH&DDA, EPRI AP-1933
Project 1319-2 Final Report, 1981