

石炭利用新技術(流動層ボイラと石炭ガス化)

New Coal Utilization Technology (Fluidised Bed Boiler and Coal Gasification)

石炭を燃料とした発電方式は、現在微粉炭燃焼ボイラが使われているが、よりクリーンで経済的な新しい発電方式が考えられ、国家規模での開発が進められている。このうち、日立グループ関連各社で開発を推進している流動層ボイラと石炭ガス化の現状について述べる。流動層ボイラは基礎実験の段階から、昭和55年度には20t/hのパイロットプラントの建設が行なわれようとしており、200t/hのデモンストレーションプラントも予定されていて、実用化が近くなっている。石炭ガス化は中、長期の開発目標であるが、日立製作所の研究所が開発した石炭及び重質油を原料とするハイブリッドガス化炉を中心とした7,000 N・m³/d級のパイロットプラントの建設が現在進行している。

平戸瑞穂* Mizuho Hirato
舛井祝男** Tokio Masui
川田 伸*** Shin Kawada
寺田 博**** Hiroshi Terada

1 緒 言

石炭を燃料とした火力発電には、今後とも従来方式である微粉炭燃焼ボイラが使われてゆくと予想されるが、一方、よりクリーンで効率的な新しい火力発電方式が研究され、開発が進められている。我が国でも、石炭ガス化発電のようにサンシャイン計画で既に国家プロジェクトとして推進されているものがあり、あるいは大型プロジェクトとして取り上げられるものなど、石炭の新しい利用技術の開発に全力を挙げて取り組んでいる。アメリカ、イギリス、西ドイツなどの先進諸国でも、国家プロジェクトとして膨大な費用を投じて研究開発を進めている。また日本を含めてIEA (International Energy Agency) の場で、国際協力によって開発をいっそう効率的に行なうという動きがあり、共同研究が実際に行なわれているものもある^{*1)}。石炭の新利用技術を発電という見地から分類すると幾通りか考えられ、実際に研究開発が進められているが、その位置付けを考える一つの要素として、発電効率と予想される商業化の時期を比較すると表1に示すとおりになる。常圧流動層ボイラ (以下、流動層ボイラと呼ぶ。) は比較的短期、それ以外は中、長期の開発目標といえる。

日立グループ関連各社は、自社研究、共同研究、委託研究などにより、積極的に技術開発に取り組んでいるが、ここではその中の流動層ボイラと石炭ガス化について、その開発状況及びこれまでの成果について紹介する。石炭の新利用技術は、上記のほか液化、COM (Coal-Oil-Mixture: 混炭重油)、貯蔵、輸送、灰の有効利用など多方面にわたっているが、ここでは特に触れない。

2 流動層ボイラ

流動層ボイラは、流動層燃焼技術を応用したボイラのこと、火力発電用石炭燃焼ボイラとしてみた場合、次に述べるような利点がある。

- (1) 広い炭種幅にわたって適応できること。
- (2) 低品位炭や重質燃料も使用可能であること。
- (3) 炉内脱硫が可能で、排煙脱硫装置を必要としないこと。
- (4) 低温燃焼のためNOx(窒素酸化物)の発生が少ないこと。
- (5) 層内熱伝達率が高く、コンパクトな設計が可能であること。

表1 石炭を利用した新発電方式の総合効率比較と実用化時期予想
常圧流動層ボイラは至近年度の開発目標とされている。No.3, 4, 5 は中、長期目標で、実用化の時期もほぼ同じとみられる。

No.	発 電 方 式	総合効率 (%)	実用化時期予想 (年)
1	従来形微粉炭燃焼ボイラ(排煙脱硫・脱硝付)	33~35	—
2	常圧流動層ボイラ	35~37	昭和55~60
3	加圧流動層ボイラ	38~42	同上60~65
4	石炭ガス化発電	39~43	同上60~65
5	燃料電池	43~47	同上65以降
6	MHD (Magnetohydrodynamic) 発電	45~48	同上70以降

石炭の供給を海外に頼る我が国として、(1)の炭種の制約が少ないこと、(2)の燃料の多様性は大きな魅力である。

以上のような利点が考えられていたので、バブコック日立株式会社では、昭和48年から自社研究として開発に取り組み、昭和51年には550mm角の流動層ボイラのパイロットプラントを自社工場内に建設し、実験を行なってきた。また昭和53年度からは、通商産業省資源エネルギー庁一財団法人石炭技術研究所から補助金の交付を受け、同石炭技術研究所とボイラメーカー4社^{*2)}で共同研究を行ない開発を進めている。昭和53年度はパイロットプラントによる要素技術の開発、及び500MW流動層ボイラのフィジビリティスタディを行ない昭和54年度には蒸発量20t/hのパイロットプラントについて詳細設

※1) イギリス、アメリカ、西ドイツ三国の共同による加圧流動層ボイラの開発プロジェクトなど。
※2) 石川島播磨重工業株式会社、川崎重工業株式会社、三菱重工業株式会社及びバブコック日立株式会社

* 日立製作所日立研究所 工学博士 ** 日立製作所機電事業本部 *** バブコック日立株式会社 **** バブコック日立株式会社呉研究所

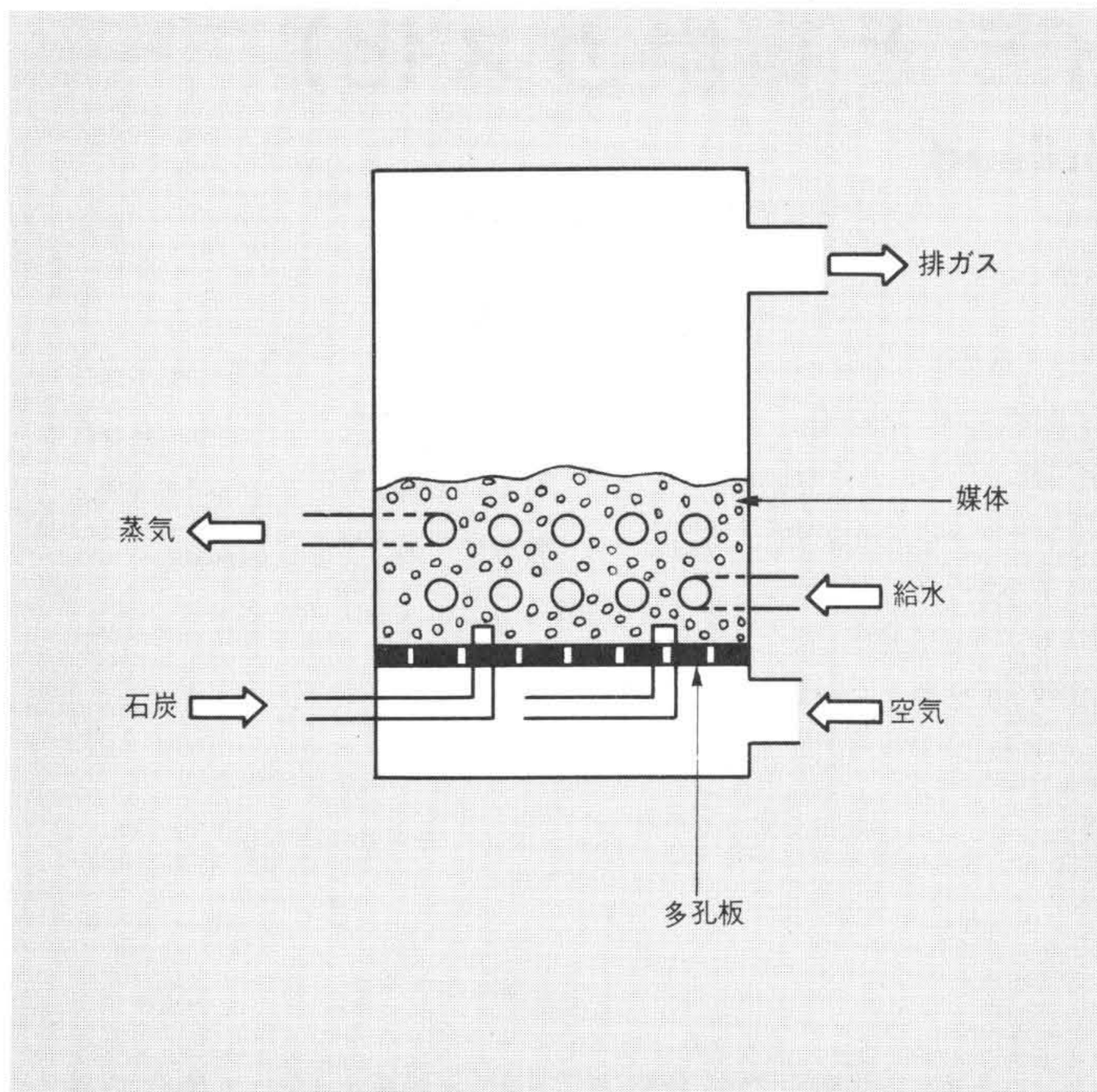


図1 流動層燃焼の原理図 多孔板上の粒子(媒体)が下からの空気によって吹き上げられて激しく運動している状況を流動層という。媒体は高温に加熱され、燃料は媒体の中に投入されて燃焼する。

計中である。この20t/hボイラに引き続いて、200t/hデモンストレーションプラントが予定されている。一方、小、中容量のボイラや低品位炭燃焼用ボイラについては、550mm角のパイロットプラントなどを用いて自主的な研究を続け、実用機の設計が可能となるまで進んでいる。

2.1 流動層ボイラの原理

流動層燃焼とは、図1に示すように多孔板の上に砂などの媒体を載せ、多孔板から空気を送って媒体を流動化させた状態の中に燃料を投入して燃焼させるものである。流動層燃焼に対比するものとして、図2に示す固定層燃焼、図3に示す浮遊燃焼がある。燃焼方式の観点からみると、固定層では燃料は静止状態にあり、その上を空気が通過するので空気と燃料の相対速度が大で、かつ燃料の滞留時間も大きいから燃焼効率が低い。したがって、火炉の高さが低くて済むか、若しくは燃料の粒子を大きくできる。石炭燃焼ボイラの中で、従来からよく使われてきたストーカ燃焼ボイラがこれに相当する。ストーカ燃焼の欠点は、単位面積当たりの燃焼率が大きい

くとれないことで、容量が大きくなるにつれて平面積が大となり、スペースファクタが悪くなることである。この欠点を補うことで、浮遊燃焼方式である微粉炭燃焼ボイラが生まれ、現在の主流となっている。この浮遊燃焼方式では、空気と燃料とが同じバーナから同時に投入されるため相対速度がほとんど零に近い。このため石炭の粒度をできるだけ小さくする必要があり、また十分な滞留時間をとらせるため、非常に大きい火炉になっている。接触伝熱面に入る前のガス温度を、その石炭の灰分の溶融点より十分下げて、伝熱面の灰の固着を防止する意味からも大きな火炉容積が要求される。この微粉炭燃焼ボイラに代わることができる新しい燃焼方式がないものかという点から考案されたのが、流動層燃焼方式を採用した流動層ボイラである。流動層燃焼では燃料は流動媒体の中に投入されるので、比較的空気との相対速度が大きくとれること、燃焼効率が大きいので低温(850~950℃)でも十分燃焼ができること、媒体の温度分布が一定で、かつ低温のため灰の溶融固着がないこと、層内伝熱面の熱伝達係数が大きいこと、といった利点のほか、環境面では、炉内媒体として石灰石又はその他の脱硫剤を使うと炉内で石炭中の硫黄分を吸収して脱硫が可能であり、高価な排煙脱硫装置を省略できること、低温燃焼のためNO_xの発生が抑制できること、また炭質の面からは、発熱量、水分含有量、灰の溶融温度などの石炭の性状にあまり影響を受けないので、広い炭種を選定できること、石炭以外の重油、ガスも混焼が可能であること、特に今後開発され、利用が拡大されると思われる代替燃料、例えば都市ごみの熱分解により回収される油、炭化物なども燃料として使用できることなど、今日又は明日の燃料事情、環境保全を考えた場合、時代のニーズによくマッチしたボイラであるといえる。流動層燃焼そのものは、早くから焼却炉として実用化されており、これまで通常の炉では燃焼不可能であった難燃性の物質や、低融点化合物を含む廃棄物の焼却に使われてきた。その例としては、一般ごみや産業廃棄物、下水汚泥、重油専焼火力発電のEP(Electrostatic Precipitator: 電気式集塵装置)により生じた灰の焼却炉などがある。これらの難燃性のものの焼却炉として使われていることは、流動層燃焼が燃焼方式として優れたものであることを表わしている。

2.2 500MW石炭燃焼流動層ボイラ の概念設計

550mm角のパイロットプラントでの基礎実験により、燃焼特性、伝熱特性、伝熱面の摩耗や汚れ及び脱硫特性が把握できたので、前述の財団法人石炭技術研究所などとの共同研究の一項目として昭和53年度にこれらの基礎データを基にして、

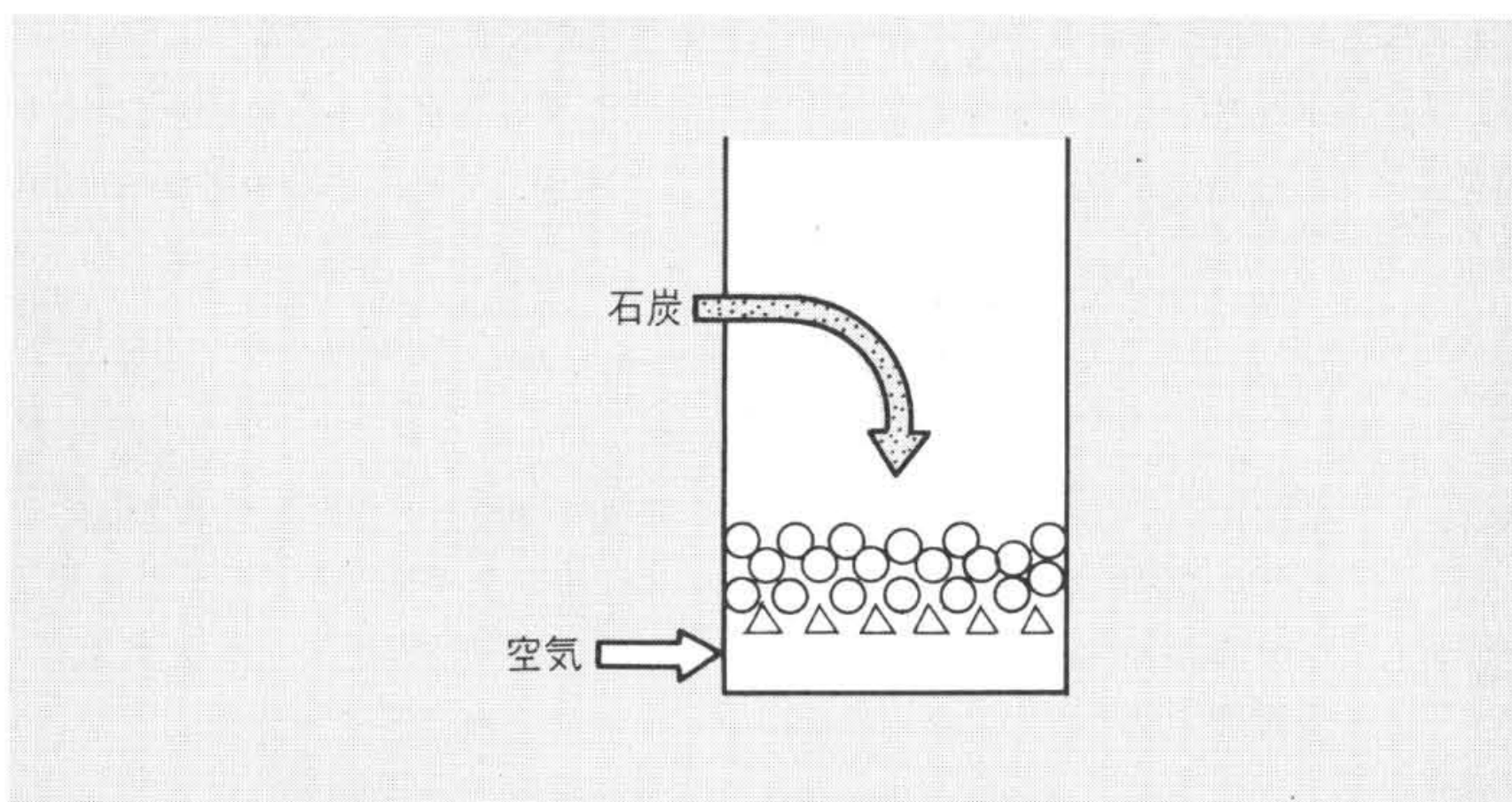


図2 固定層燃焼 空気の流速が低く、粒子はほとんど静止状態を保っている(ストーカ燃焼ボイラ)。

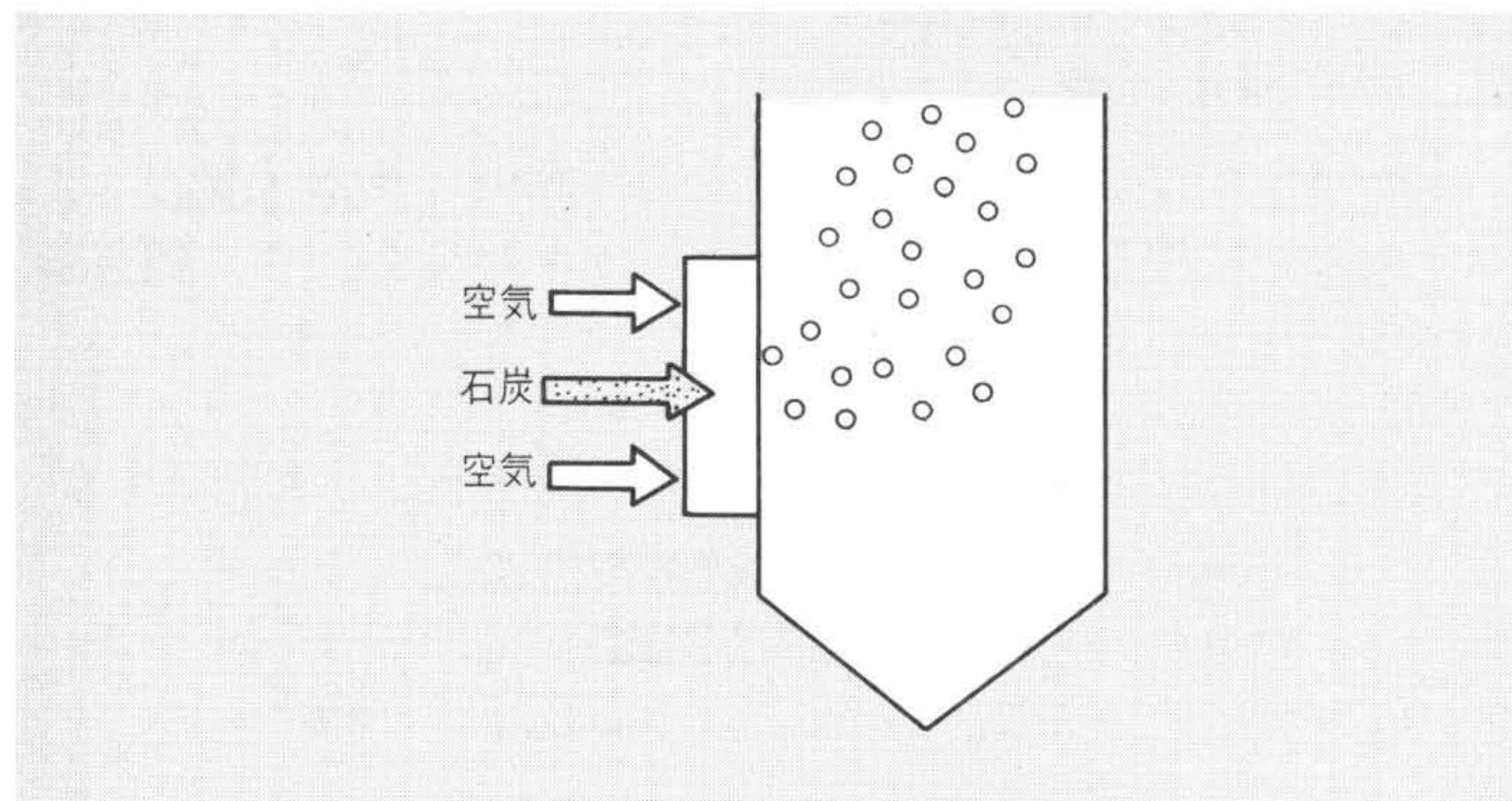


図3 浮遊燃焼 燃料は微粉化され、空気とともに運ばれながら燃焼する方式である(微粉炭燃焼ボイラ)。

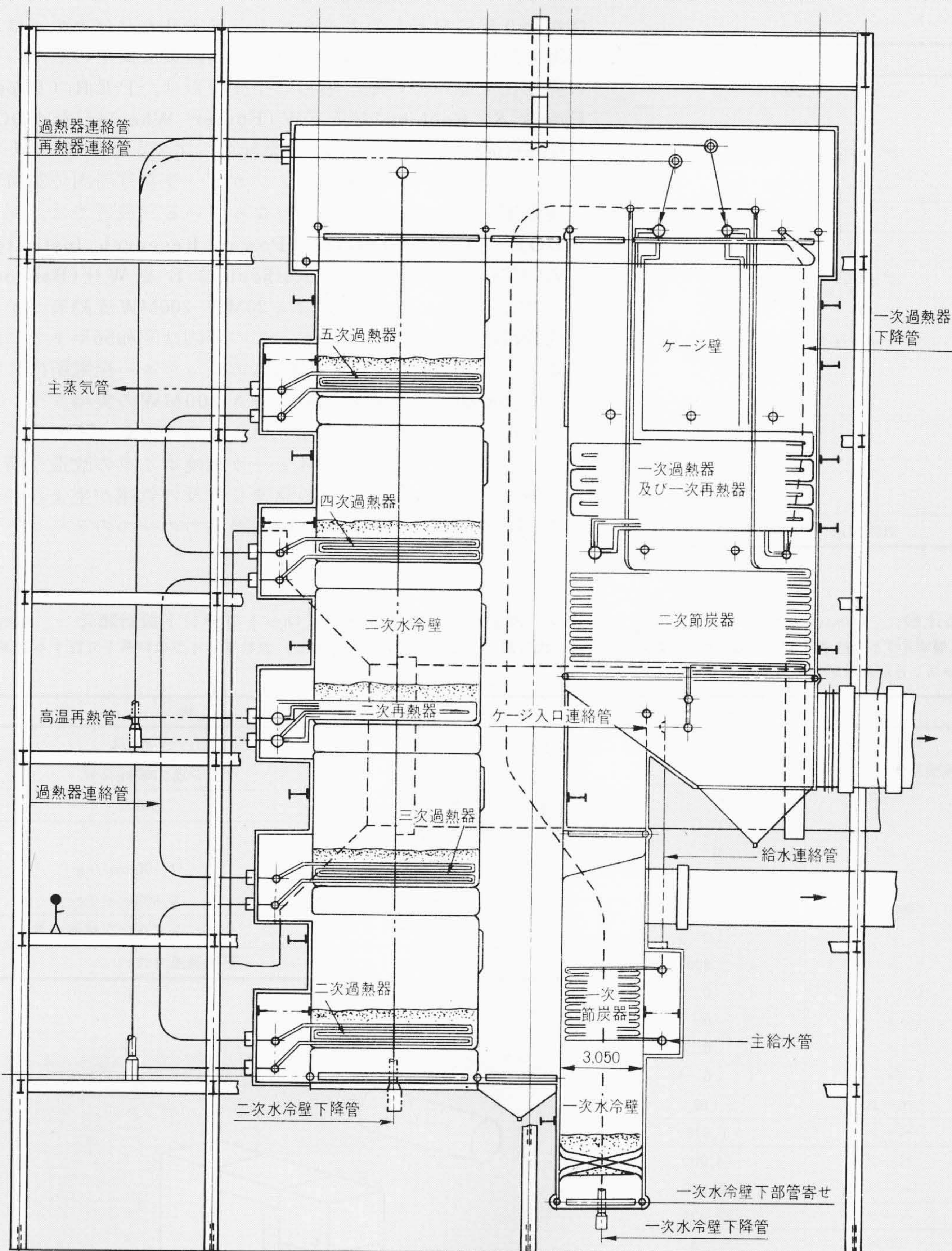


図4 500MW流動層ボイラ概念設計側断面図
500MW超臨界流動層ボイラの概念設計である。流動層は5段に積み上げている。

500MW石炭燃焼流動層ボイラの概念設計と従来火力(微粉炭燃焼ボイラ)との経済比較を行なった。表2にその設計諸元を、表3に経済比較の結果を記す。また図4はボイラの側断面を示したものである。表3に記すように、ボイラ本体としての価格差は少ないが、排煙脱硝・脱硫装置が省略できるメリットが大きく、発電原価の低減に寄与している。また、仮に排煙脱硝装置だけが省略できたとしても十分メリットがあることが分かった。

2.3 20t/hパイロットプラントの設計

前項で述べた概念設計や経済試算の結果、流動層ボイラのメリットが確認されたので、更にこれを実証する一つの段階として、蒸発量20t/hのパイロットプラントの設計を行なっている。このパイロットプラントでは、電力用大形流動層ボ

イラとして、(1)良環境性、(2)廃棄物の低減、(3)制御性、(4)信頼性、(5)炭種への適応性、を検証しようとするもので、昭和54年度には詳細設計を完了し、昭和55年度に建設の上、昭和56年度から試験に入る予定である。これも同じく通商産業省資源エネルギー庁一財団法人石炭技術研究所の補助金を受けており、パイロットプラントの設計はバブコック日立株式会社と川崎重工業株式会社とが共同で行なった。表4にその設計諸元を、図5にパイロットプラントの本体部の概念を示す。このパイロットプラントに引き続き、200t/h級のデモンストレーションプラントの建設が予定されている。

2.4 産業用流動層ボイラ

電力用大形流動層ボイラの開発は、上述したように規模も大きく、国家プロジェクトの一部として開発が進められてい

表 2 500MW流動層ボイラ概念設計諸元 微粉炭燃焼火力発電ボイラで用いられている蒸気条件と同一にした。

項 目	諸 元
最大連続蒸発量	1,640t/h
過熱器出口蒸気条件	
蒸気圧力	ゲージ圧力 255kg/cm ²
蒸気温度	543℃
給水温度	286.6℃
再熱器蒸気条件	
入口蒸気圧力	ゲージ圧力45.2kg/cm ²
入口蒸気温度	301.5℃
出口蒸気圧力	ゲージ圧力43.3kg/cm ²
出口蒸気温度	541℃
再熱蒸気流量	1,323t/h
空気温度	
外気	20℃
押込通風機入口	40℃
給炭方式	気流搬送下込方式

表 3 500MW流動層ボイラ経済比較 500MW×2の石炭燃焼火力発電につき従来形微粉炭燃焼ボイラと流動層ボイラとの経済比較を行なった。流動層ボイラで排煙脱硫・脱硝設備が省略できることが発電原価の減少に寄与している。

項 目	比 較	
1. 建設費 (500MW×2)	従来火力 (微粉炭燃焼ボイラ)	流動層ボイラ
(1) 土地	ベース	0
(2) 建物	"	0
(3) 構築物	"	0
(4) 機械装置	"	+1,700
(a) 蒸気発生設備	(微粉炭)	(+2,500)
(b) タービン発電機	(")	(0)
(c) タンク、集塵機	(")	(- 800)
(d) 主・変電機器	(")	(0)
(e) 揚・運炭機器	(")	(0)
(f) 灰処理装置	(")	(0)
(g) その他	(")	(0)
(5) 総経費	ベース	+170
小 計	ベース	+1,870
(6) 排煙脱硫装置	ベース	-14,000
(7) 排煙脱硝装置	ベース	-10,000
合 計	ベース	-22,130
2. 発電原価	100%	78.1%

注：単位 (100万円)

るが、一方産業用としてバブコック日立株式会社でも並行的に開発を進めており、実用機の建設も始められている。図 6 に150t/h産業火力発電用流動層ボイラの概念設計の一例を示す。

2.5 諸外国の開発状況

終わりに諸外国の流動層ボイラの開発状況について紹介する。本ボイラの開発はイギリスのNCB (National Coal Board) がいちばん早く、昭和38年から開始している。既に煙管ボイラや一般産業用として開発が終わっており、現在普及の段階である。また加圧流動層ボイラの開発にも力を入れており、IEAの国際協力として、アメリカ、西ドイツとともに共同研究体制をとり、イギリス国内に85MW・thのパイロットプラントを建設中で、昭和55年3月から試験に入る予定

である。ただし、加圧流動層ボイラプラントとしての実用化はかなり先になるものとみられる。アメリカ及びカナダは東部海岸地区での石油事情と、東部の高硫黄炭使用の点からその実用化を急いでいる。昭和52年度からは、PER (Pope Evans & Robbins) 社とFW (Foster Wheeler) 社がDOE (Department of Energy) の委託で、アメリカのウェストバージニア州リーベスビルのモノンガヒーラ発電所内で30MWの流動層ボイラの運転研究を行なっている。最近では、同じくDOE-EPRI (Electrical Power Research Institute)-TVA (Tennessee Valley Authority)-B & W社 (Babcock and Wilcox Co.) の共同による20MW-200MW流動層ボイラの開発計画が発表されている。この計画は昭和56年までに20MWのパイロットプラントをTVAのショウニー発電所内に完成して運転研究を行ない、引き続き200MWの実用プラントを昭和62年までに建設しようというものである。その他、アメリカやカナダでは既存のストーカ燃焼ボイラの改造や新缶の設置など、流動層ボイラの急速な普及の気運が生まれつつある。IEAでは、石炭利用技術国際協力の一つのテーマとし

表 4 20t/h流動層ボイラパイロットプラント設計諸元 蒸気温度は大容量火力並みの540℃を採用し、流動層ボイラの特長を立証する計画である。

No.	項 目	諸 元
1	蒸発量	20t/h
2	蒸気圧力	ゲージ圧力60kg/cm ²
3	蒸気温度	540℃
4	石炭発熱量(計画炭)	
	乾炭高位	7,100kcal/kg
	湿炭高位	6,603kcal/kg
5	給炭方式	スプレッド及び空気搬送方式
6	通風方式	平衡通風方式

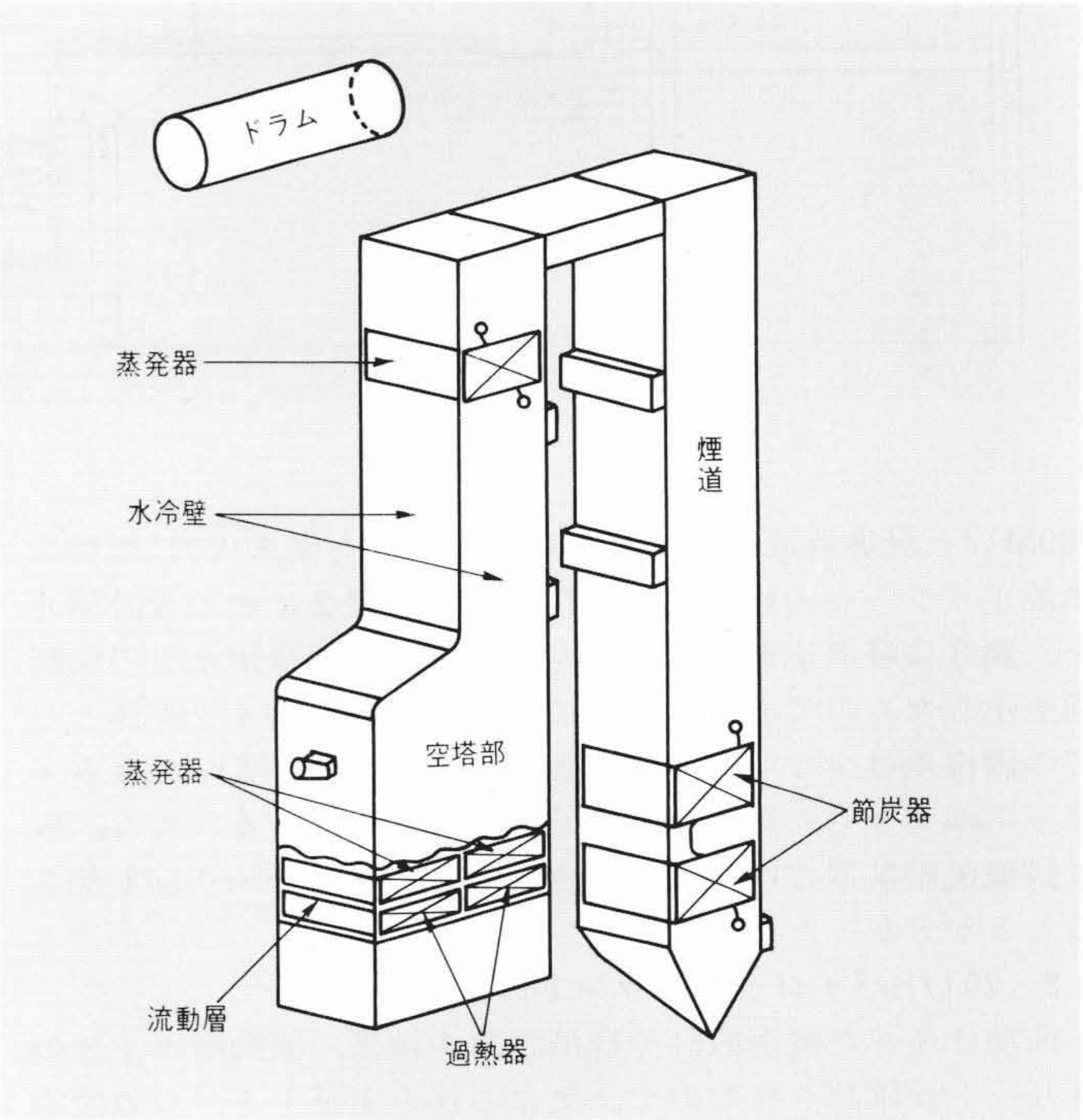


図 5 20t/h流動層ボイラパイロットプラント本体概念図 空塔部の高さを調節できる設計となっている。

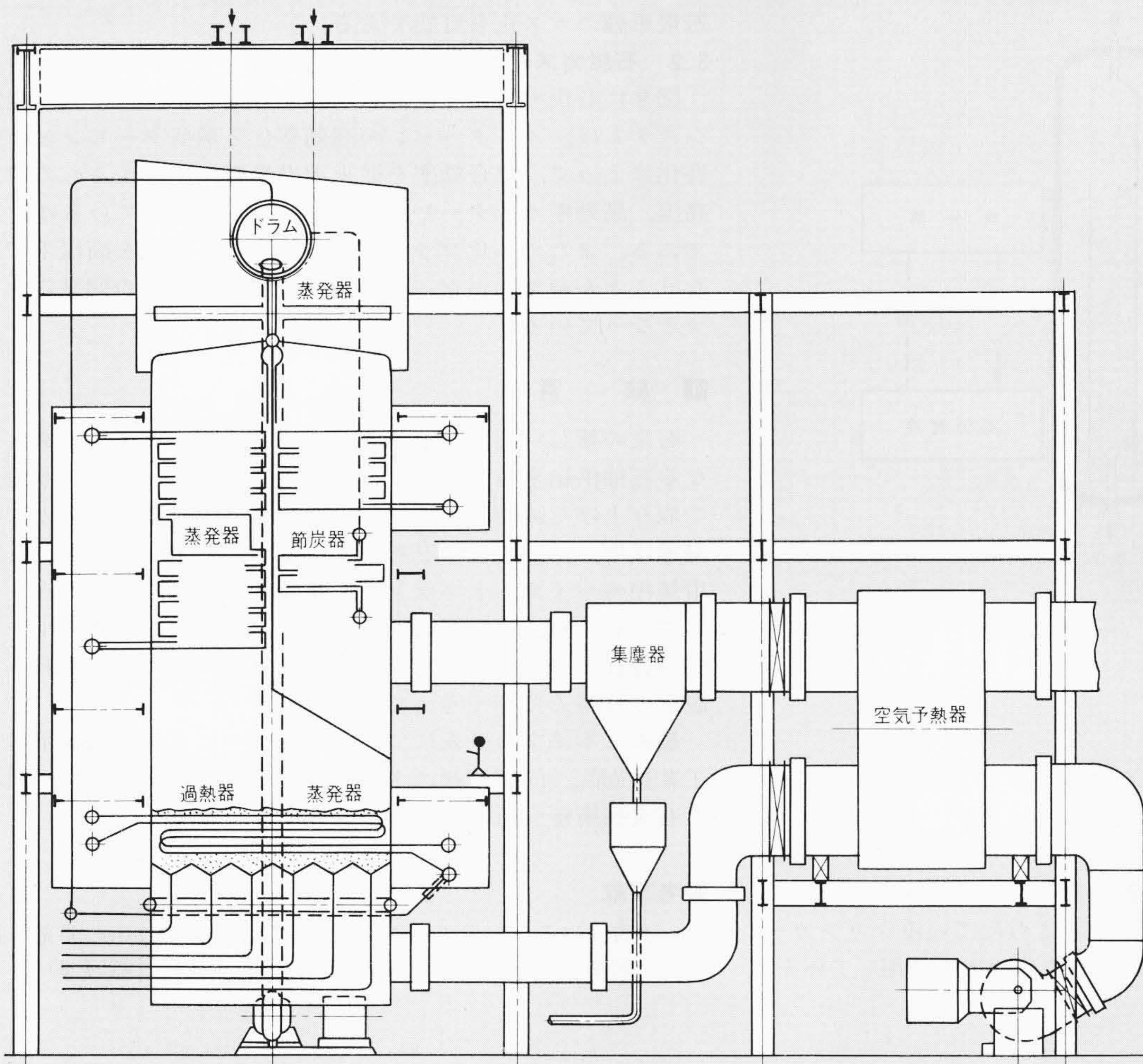


図6 150t/h流動層ボイラ
流動層内に過熱器伝熱面を配置している。

て流動層ボイラを取り上げており、日本を含めた9箇国の政府又は政府の認定した機関の間で協定が結ばれた。これは参加各国で独自に実用規模のパイロットプラントを建設し、この運転結果の情報交換を行なおうとするもので、日本は前述の20t/hパイロットプラントを対象としている。各国とも昭和55～56年の間にプラントの建設を行なう計画である。

3 石炭ガス化

石炭のガス化は、液化とともに石炭転換利用技術の大きな項目の一つで、我が国でもサンシャイン計画として開発が進められている。日立グループ関連各社は、通商産業省工業技術院サンシャイン計画の委託により日立製作所の研究所で開発した高圧流動層ガス化炉を中心に、昭和49年度からプロセス及び装置化の開発を行なってきた。昭和54年度からはその成果を踏まえて、ガス量7,000N・m³/d級(メタンガス換算)のパイロットプラントを電源開発株式会社から受託し、現在機器の製作に入っている。このプラントは、昭和56年度に建設を完了し、運転研究に入る計画になっている。

3.1 高圧流動ガス化炉

日立製作所の研究所で開発したガス化炉は、ハイブリッド方式と呼ばれ石炭と重質油を混合してスラリ化し、ガス化炉に供給して熱分解、部分燃焼によりガス化の上、更に精製工程を経てクリーンガスを製造するもので、図7はこのプロセ

スをブロックで示したものである。特長として、(1) 高圧流動層炉を採用しているので大量、高効率な処理が可能であり、(2) 原料をスラリ化しているので原料の連続供給、また使用炭種の拡大ができることが挙げられる。図8にガス化炉本体の構造を示す。本ガス化炉は一塔式流動層炉で、構造が簡単で高圧化が容易であり、かつ伝熱速度が大きい。原料スラリはガス化炉の高さ方向ではほぼ中央部に供給され熱分解を受け

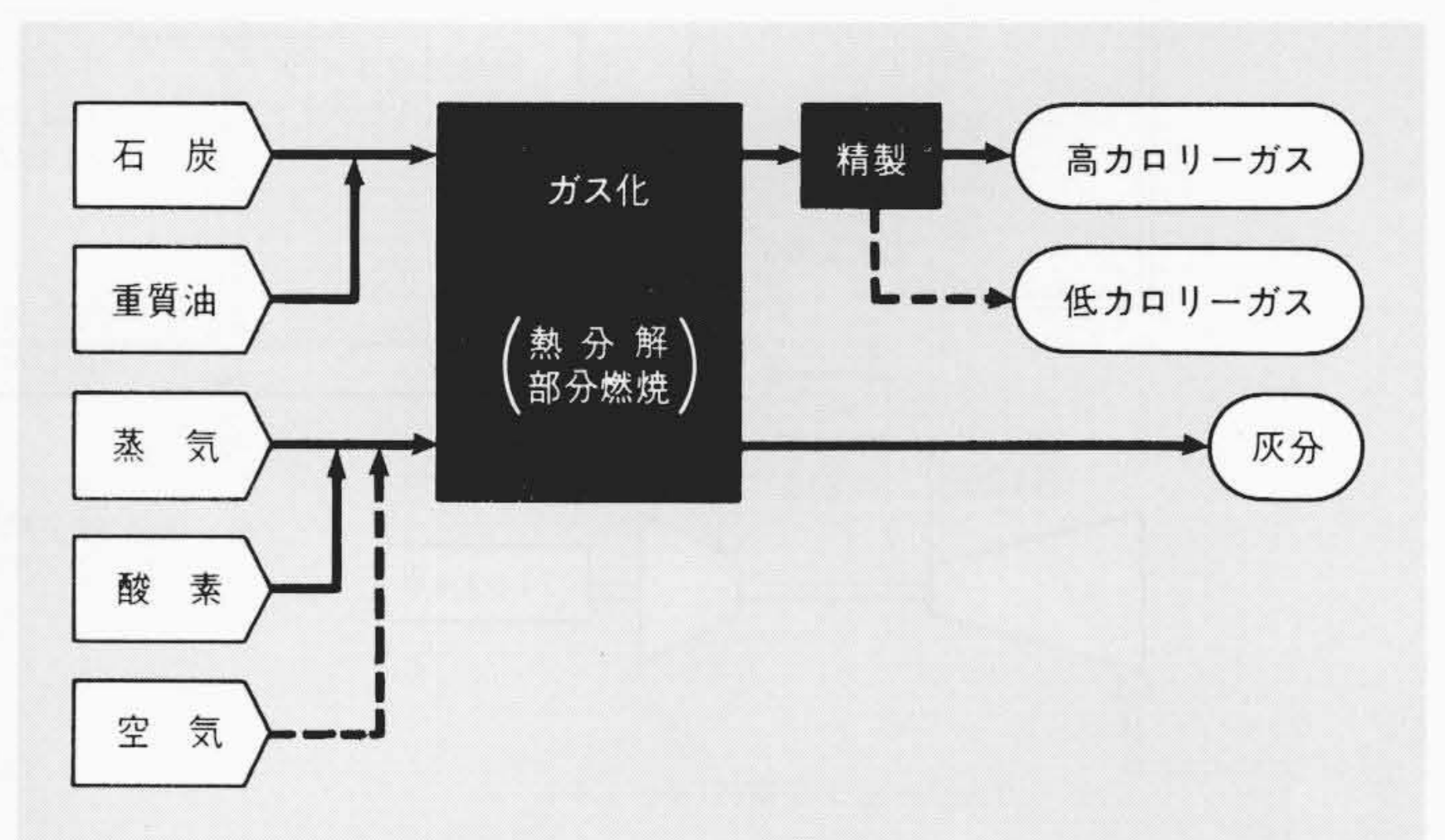


図7 石炭ガス化プロセス
高カロリーはガス化剤に酸素を、低カロリーは空気を使用するが、ガス化原理には変わりはない。

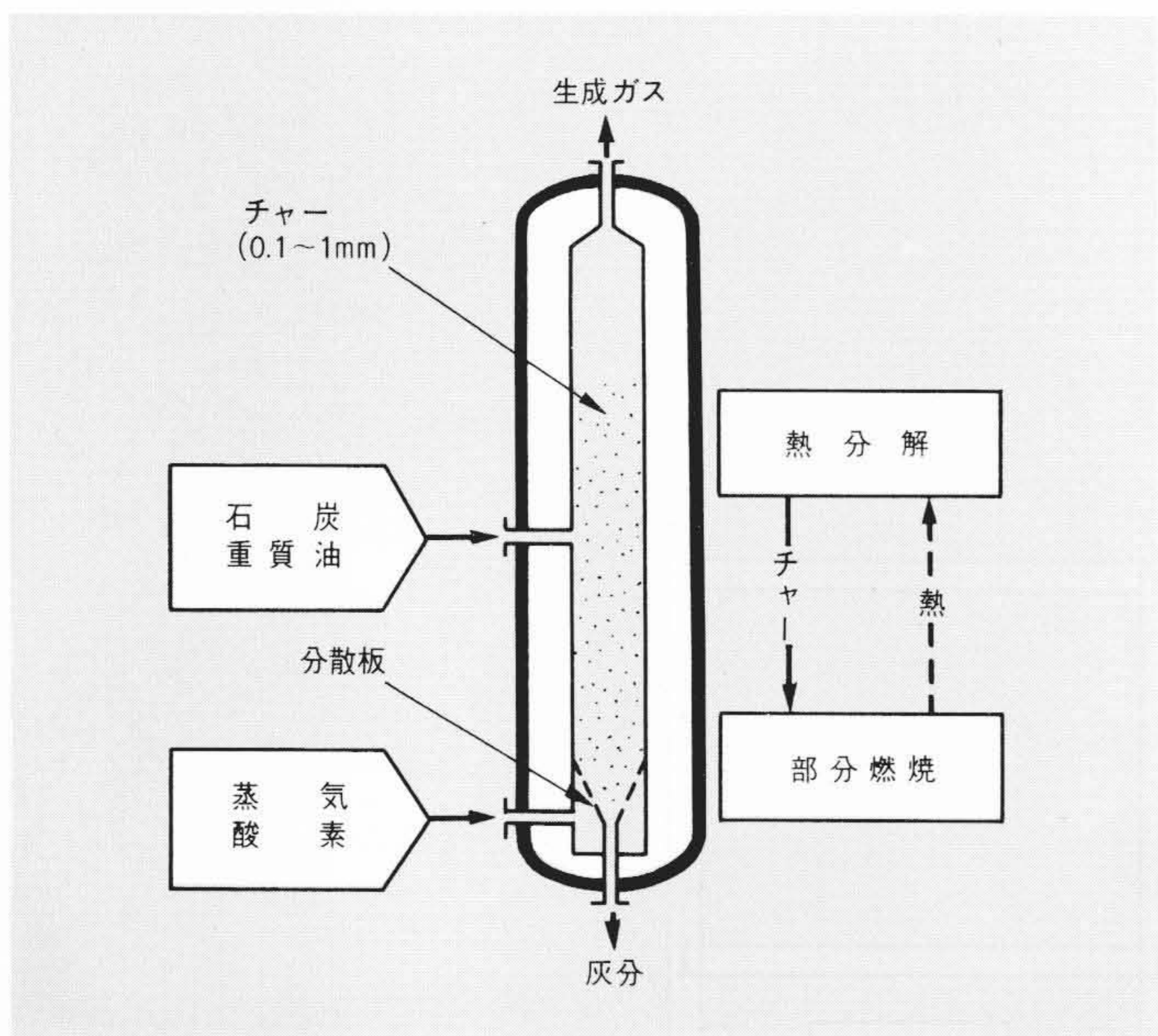


図8 日立高圧流動ガス化炉 一塔式流動層炉で、構造が簡単である。

ガス化するが、熱分解に必要な熱は、炉の下部で熱分解で生じたチャー（炭化物）を部分燃焼して供給する。またチャー自体も塔内を循環して熱の供給源となる。ガス化剤である蒸気及び酸素（空気）は、炉底の分散板を通して供給する。石炭ガス化で運転上いちばんの問題点と考えられているクリンカーの生成を防止するため、噴流旋回形の分散板を使用している。

原料の供給は、同じく通商産業省工業技術院サンシャイン計画の委託で開発を進めているハイドロホイストにより行なう。石炭単独のガス化も可能である。

3.2 石炭ガス化発電システム

図9に石炭ガス化発電システムフローを示す。ガス化発電システムは、ガスタービンの高効率化と蒸気タービンとの複合化によって、総合効率を従来火力発電以上にするもので、高温、高効率ガスタービンの早期開発が望まれているゆえんである。またガス化プラントでも、脱塵、脱硫を高温下で行なうことが望ましいが、この問題の解決は今後の開発のテーマとなっている。

4 結 言

石炭の新しい利用技術の開発は、これからますます厳しくなる石油供給事情を考えると正に焦眉の急といえる。本論文で取り上げた流動層ボイラは比較的短期の目標、石炭ガス化発電は中、長期の目標と考えているが、いずれもこれから実用規模のパイロットプラントを建設して実証段階に入ろうとしている。石炭利用新技術の開発は、今後とも日立グループ関連各社としても委託研究、自社研究のいかににかかわらず鋭意取り組んでいく考えである。

最後に本論文の発表について許可をいただいた通商産業省工業技術院、同省資源エネルギー庁石炭部炭業課及び財団法人石炭技術研究所に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 玉貫、ほか：石炭流動燃焼ボイラによる発電技術の開発、石炭利用技術研究発表会講演集、(財)石炭技研（昭54-8）

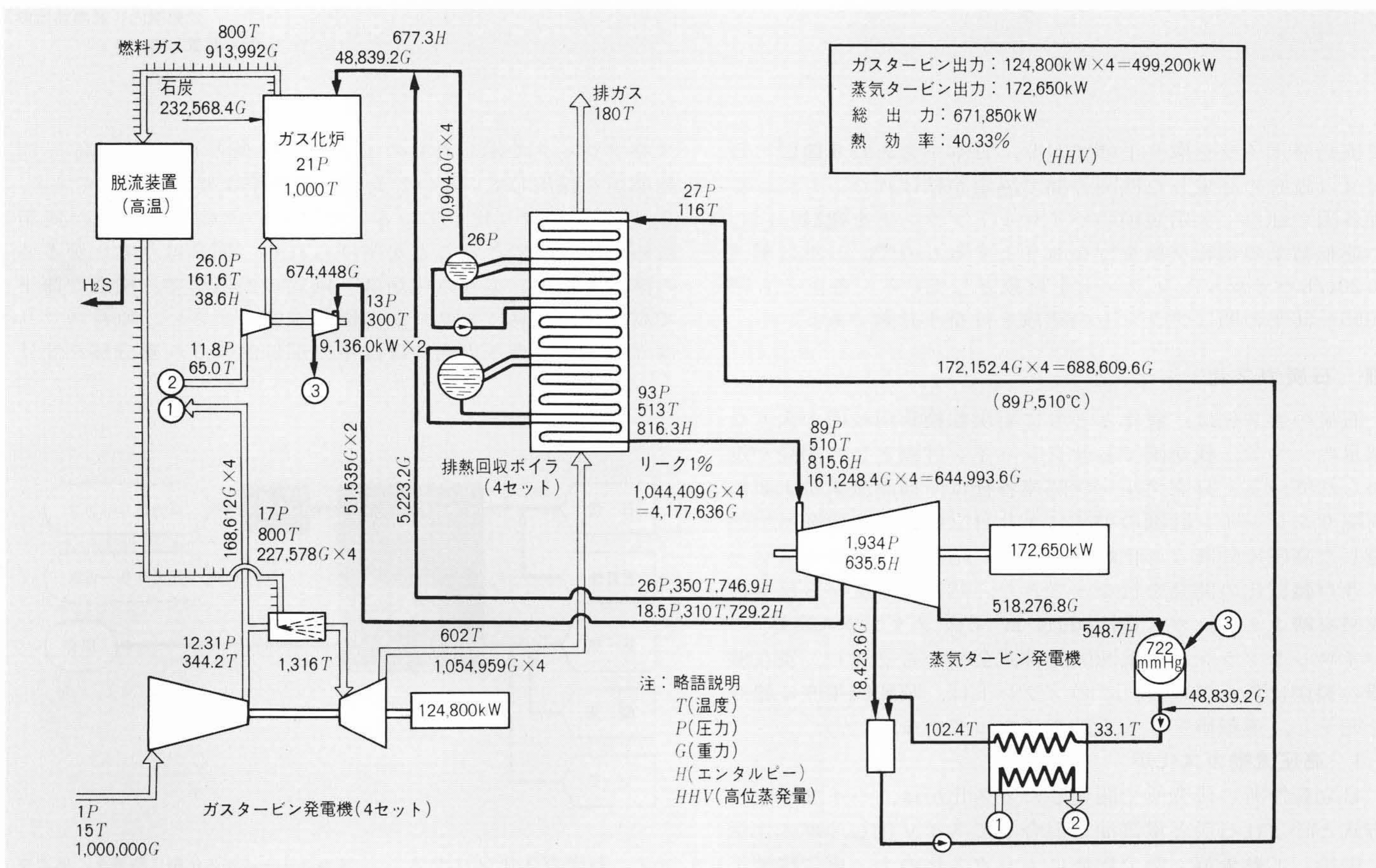


図9 石炭ガス化発電システムフロー 高温ガスタービンと高温脱硫装置を組み合わせた例を示したものである。