

高温空気燃焼技術を用いた廃棄物・石炭高効率発電

研究代表者 東京工業大学大学院総合理工学研究科 吉川邦夫

High Efficiency Power Generation from Coal and Wastes Utilizing High Temperature Air Combustion Technology

Kunio Yoshikawa, *Research Director of CREST*

Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

1. 研究の概要

本研究プロジェクトは、どのような低質な燃料に対しても、ほぼ同様な機器構成で対応でき、燃焼に伴う環境負荷を最低限に抑えながら高効率の発電が行える、安価かつコンパクト、しかも信頼性の高い画期的な発電システムの開発を目的とするものである。開発の目標となるシステムが、燃料の持つ熱エネルギーを多段階で抽出し、利用することを特徴とするものであることから、以下本プロジェクトを MEET (Multi-staged Enthalpy Extraction Technology) プロジェクトと呼ぶ。

MEET プロジェクトの基本となる技術が、「高温空気燃焼技術」である。高温空気燃焼は、燃焼炉に吹き込まれる空気を従来よりもはるかに高温の 1000°C以上に予熱し、かつ低酸素濃度に維持したその高速噴流中に燃料を吹き込むもので、この高温空気燃焼については、実験的に、①低 NOx、②低騒音、③火炎温度の平坦化による伝熱性能の向上、という実用面において望まれる特性がほとんどすべて含まれていることが示されている。本プロジェクトは、従来ガス燃料や液体燃料にしか適用できなかったこの技術を固体燃料へと拡大することをねらったものであり、その基本的なアイデアは高温空気を用いた固体燃料のガス化にある。

固体燃料をガス化する場合、通常は高い発熱量のガスを得るために純酸素または酸素富化空気をガス化剤として用いるが、高価な酸素製造設備を必要とし、また酸素製造に大量のエネルギーを消費する。それに対して、MEET システムは、1000°Cに予熱された高温空気をガス化剤として使用することで、コンパクトなガス化炉で、高い発熱量を持ったガスが生成できることを特徴とする。図 1 に、MEET システムの構成を示す。高温空気と共にペブル床ガス化炉に投入される固体燃料は、極めて短時間のうちにガス化され、固体燃料中の灰分は熔融状態で取り出され、無害化される。生成ガスは、冷却器を経て一旦冷却した後に、ガス精製装置内でイオウや塩素、煤塵、重金属などの環境汚染物質を除去し、精製ガスとする。この精製ガスの一部を高温空気加熱器内で燃焼させて、ハニカム蓄熱体を加熱し、その蓄熱体に常温の空気を通して、1000°Cに予熱された高温空気を作り、ペブル床ガス化炉に吹き込む。残りの精製ガスは、工業炉やボイラあるいは発電システム用の燃料ガスとして利用でき、プロセス加熱や発電など、様々な用途に利用できる。その際に、精製ガスを高温空気燃焼すれば、特に脱硝装置を設けなくても、燃焼排ガス中の NOx 濃度の低減を計ることができる。ガスタービンやガスエンジンさらには、スターリングエンジンなど、小規模発電システムと組み合わせることで、コンパクトな発電システムをめざす。

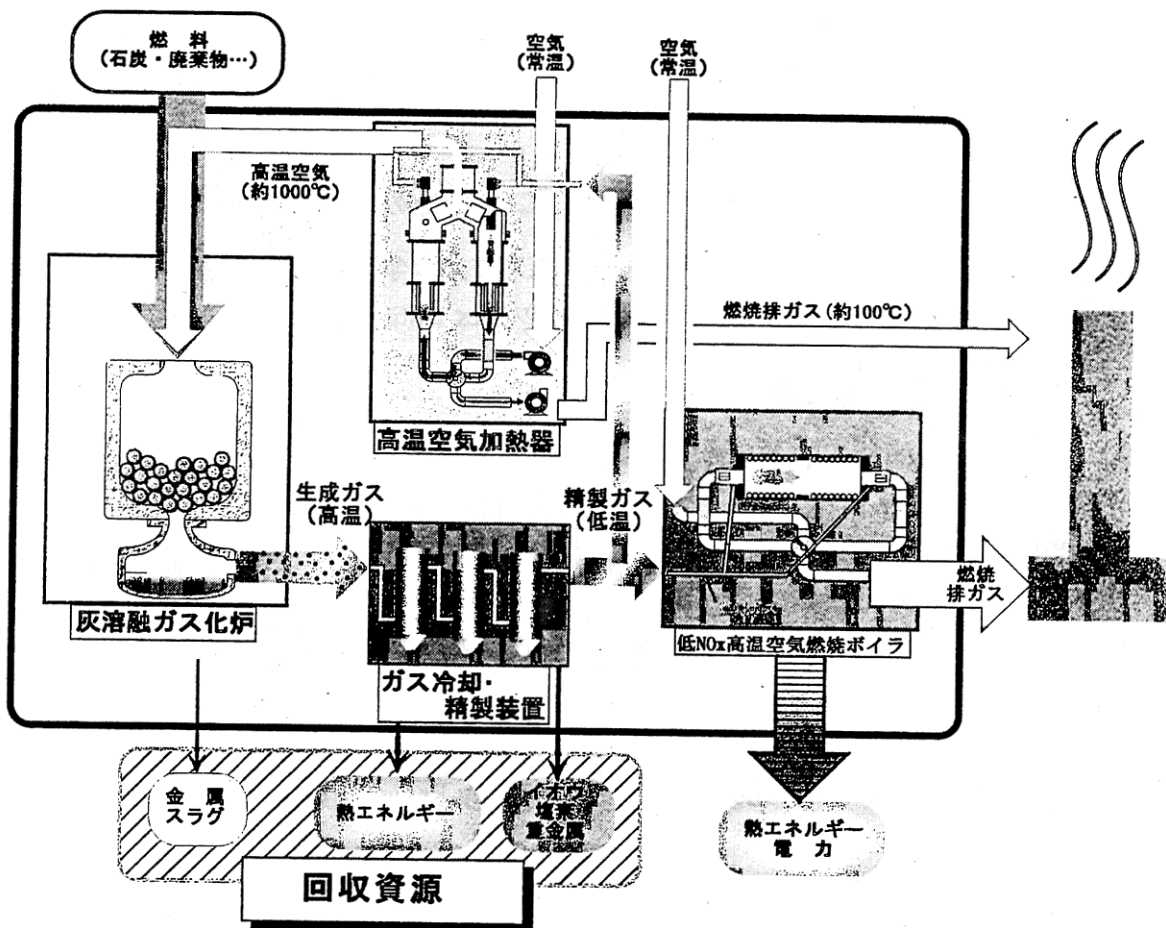


図1 MEET システム

本システムはまた、以下の理由から、廃棄物を燃料とする場合のダイオキシンの発生防止にも極めて有効である。すなわち、1) ガス化炉は、高温還元雰囲気であるため、ダイオキシン発生はほとんどない。2) 精製ガスを燃焼させる際には、すでに塩素が大部分除去されているため、ダイオキシンが発生する可能性は少なく、また、高温空気燃焼では、僅かなダイオキシンがあっても分解される。3) 燃焼排ガスからの熱回収の際にダイオキシンが再合成される恐れがあるため、通常は大量の水を噴霧して燃焼排ガスを急冷させ、熱回収を犠牲にしているが、高温空気燃焼では、燃焼排ガスが空気を予熱するためのハニカム蓄熱体を通る過程で急冷されるため、効果的な熱回収を行いながら、ダイオキシンの再合成を防ぐことができる。

本プロジェクトは、全体が「基盤研究」と「実証研究」に大別される。「基盤研究」では、高温ガス精製などの基礎研究段階にあるコンポーネントの研究開発および、MEET プロジェクトにかかわる基礎的な物理現象 (NOx 発生抑制、重金属の挙動、溶融灰の挙動など) の解明に重点が置かれる。「実証研究」は、MEET システムの技術実証をめざすもので、燃料供給量が 200kg/日 規模の MEET-I 装置と、燃料供給量が 4t/日 規模の MEET-II 装置に分かれる。MEET-I 装置は、その主要機器を平成 9 年度中に東工大長津田キャンパスに整備済みで、MEET システムの主要コンポーネントをすべて備え、システムとしての基本的な性能の把握を目的とした実験が順調に進展している (写真 1)。MEET-II 装置は、技術実証に必要なエンジニアリングデータの取得を目的とする。本装置は、横浜市共同研究センターにて、平成 12 年 3 月に完成し、これから実

証運転が開始される（写真 2）。これは実用機の規模であり、実証運転に成功すれば、廃棄物処理と省エネルギーを同時に達成できる設備として、事業所で発生する産業廃棄物の処理から早期の実用化が望まれる。

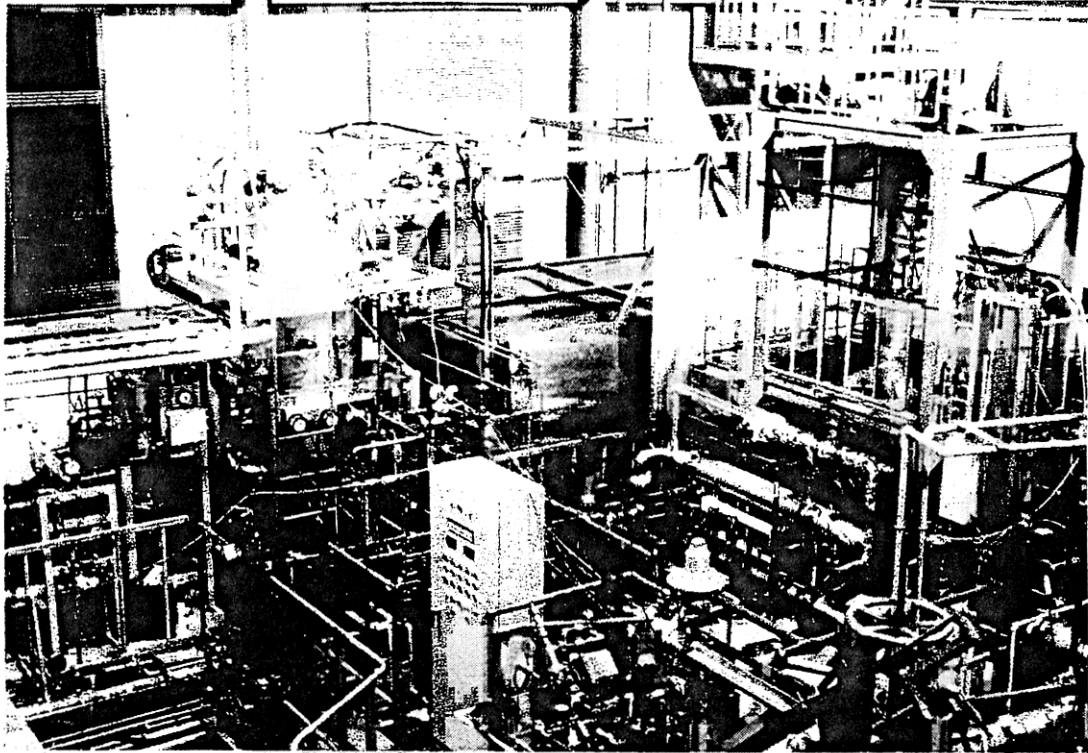


写真 1 MEET-I 装置（東工大長津田キャンパス設置）

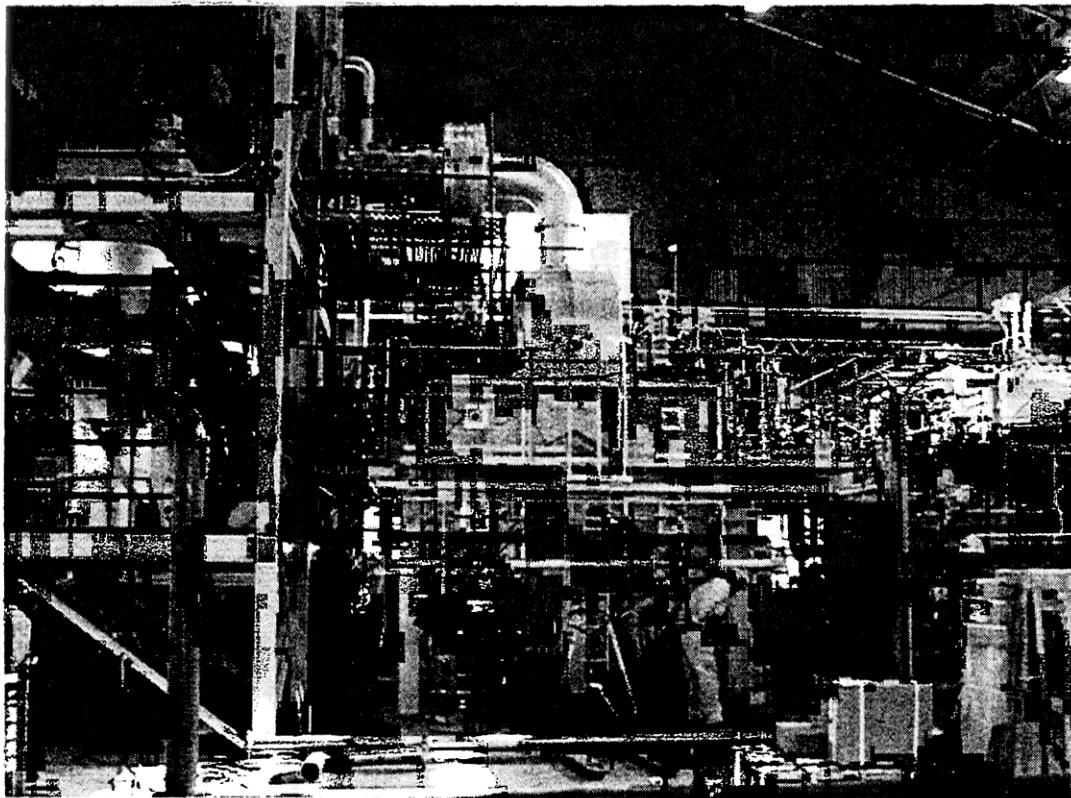


写真 2 MEET-II 装置（横浜市共同研究センター設置）

2. 現在までの中間成果報告

2.1 成果内容の要約

これまでの主な研究成果は、MEET-I 装置で得られている。その主要なコンポーネントは、ペブル床ガス化炉、高温空気加熱器および高温空気燃焼ボイラである。

ペブル床ガス化炉

写真 3 に示す MEET-I ペブル床ガス化炉では、1) 高温空気を用いることによる、固体燃料の燃焼およびガス化反応の促進効果の実証、2) 極めて短いガス滞留時間で高いガス化効率の実証、3) 溶融灰の高効率の連続的な捕獲と抽出の実証、4) 溶融スラグの無害性の実証、5) 特にダイオキシン低減対策なしでの $0.1 \text{ ng-TEQ/m}^3\text{N}$ という新設の大型焼却炉に適用されるダイオキシン排出量規制値のクリア、などの成果が得られている。一方、MEET-II 装置用のスケールアップ技術の検証を目的として、共同研究先の米国ミシシッピ州立大学 DIAL 研究所に設置した MEET-I と MEET-II の中間サイズのペブル床ガス化炉 (写真 4) では、長時間連続の溶融灰抽出の実証を行った。

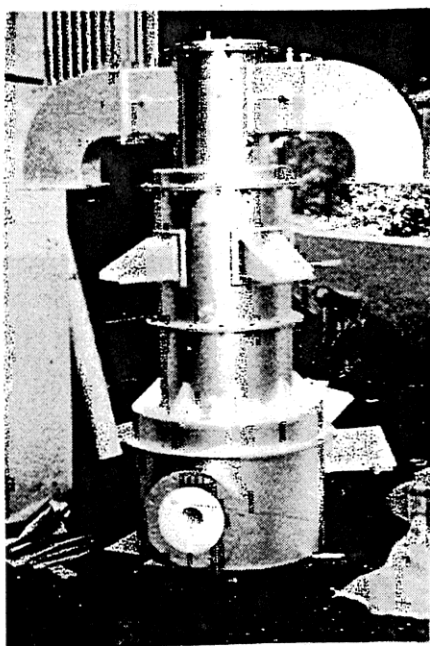


写真 3 MEET-I ペブル床ガス化炉

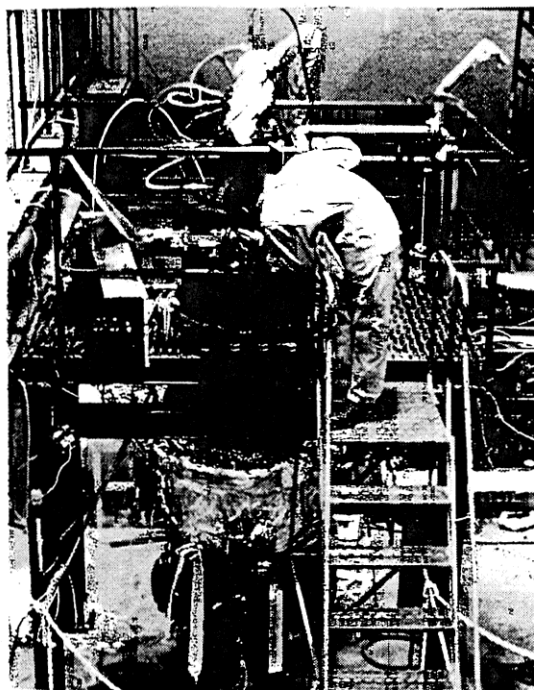


写真 4 DIAL ペブル床ガス化炉

高温空気加熱器

写真 5 に示す MEET-I 高温空気加熱器では、1) ほぼ一定温度、一定流量の高温空気生成の実証、2) 高温空気への燃焼ガスの漏れ込みがないことの実証、3) 1000 kcal/Nm^3 程度の低発熱量のガスを模擬した燃料ガスでの高温空気の生成の実証、などを行った。

高温空気燃焼ボイラ

写真 6 に示す MEET-I 高温空気燃焼ボイラでは、1) 均一な温度場の生成の実証、2) 低 NO_x 燃

焼の実証、3) 低発熱量ガスの有効な燃焼の実証、などを行った。

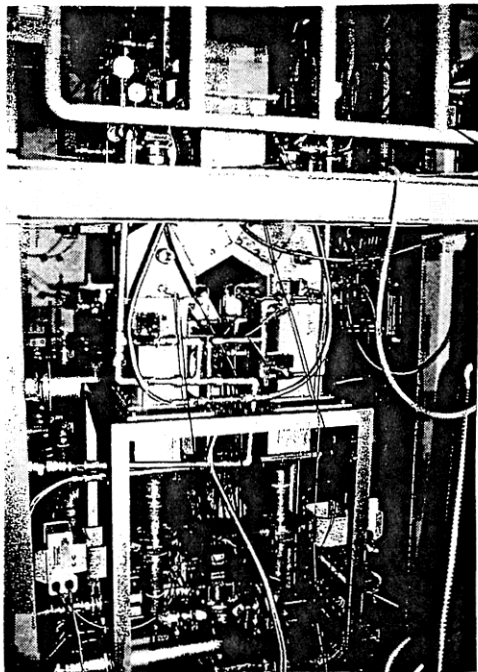


写真 5 MEET-I 高温空気加熱器

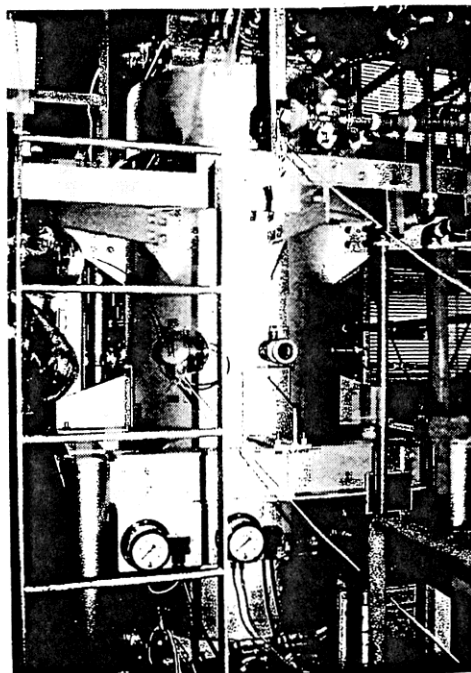


写真 6 MEET-I 高温空気燃焼ボイラ

以上の成果は多数の学術論文や学術講演での発表のみならず、複数回の新聞報道がなされ、NHK 教育テレビ「サイエンスアイ」でも紹介された。また、「高温空気燃焼・ガス化」に関する 3 回の国際シンポジウムを開催し (2 回は日本、1 回は台湾)、上記の研究成果は広く海外にも知られるようになった。

2.2 発表論文

1)

日本機械学会論文集B, 66 巻, 641 号, pp.235-240 (2000)

「高温空気をを用いた石炭・廃棄物ガス化発電システム」(小林宏充、吉川邦夫、塩田進)

石炭・廃棄物のガス化に高温空気をを用いた場合の特性を調べ、その生成ガスを燃焼させることによりガスタービン、蒸気タービンを駆動して発電するシステムを検討した。その結果、高温空気をを用いてガス化することにより、常温空気に比べて少量の空気でガス化が可能となり、廃棄物においても従来の石炭ガス化生成ガス並みの比較的高い発熱量が得られるので、環境汚染物質の除去が容易な湿式ガス精製と組み合わせた複合発電により石炭やRDFともに45%以上の高効率発電が可能となる。さらに、本研究で提案したシステムは汚泥のようなきわめて低質な廃棄物にも適用でき、その乾燥の熱を含めても38%という高効率な発電が期待できる。

2)

化学工学論文集、平成12年3月10日発行予定

「熔融炭酸塩膜を用いた高温ガス精製方式の開発」(山下慶次郎、村田圭治、中田裕二、吉田延宏、吉川邦夫)

熔融炭酸塩膜を用いた新規な高温ガス精製方式を考案し、その原理検証を行った。これは、熔融炭酸塩膜の片面に硫化物を含むガス化ガスを、裏面にCO₂とH₂Oを含むキャリアガスをそれぞ

れ流通させて、ガス化ガス中の硫化物を硫化物イオンとして膜を通し、キャリアガス中に移動し搬出するもので、従来のものよりコンパクトなガス精製システムが期待できる。実験の結果、濃度0.7%の供給硫化物が50%以上脱硫されること、キャリアガス側のCO₂とH₂O分圧をガス化ガス側よりも高くすることにより硫化物を少なくとも2倍以上濃縮して除去可能であること、膜表面の気相硫化物と熔融炭酸塩中硫化物イオンの交換反応は十分速いこと等を実証した。また概算した膜中の見かけの硫化物イオン拡散係数は凡そ 3×10^{-11} [m²/s]であった。

3)

Energy Conversion and Management Journal、掲載予定

“High Temperature Air Combustion Boiler for Low BTU Gas” (K.Kawai, K.Yoshikawa, H.Kobayashi, J.S.Tsai, M.Matsuo and H.Katsushima)

高温に予熱をした空気を用いて効率良く燃焼させる新しい概念のボイラを提案し、そのボイラによる実証実験を試みた。本ボイラは石炭や廃棄物のガス化に伴い発生する低発熱量ガス化ガスの燃焼に適している。本ボイラの特長は、一様な熱流束、伝熱促進、燃焼騒音の減少、NO_xの発生抑制、ボイラの小型化である。そこで、まず、都市ガスを用いた実験を行い、その燃焼・伝熱特性を調べ、熱流速の一様化や負荷変動への追従、ならびに50ppm以下の低NO_x燃焼の実現、都市ガスをアルゴンにより希釈を行った低発熱量ガスの良好な燃焼を明らかにした。

3. 今後の研究の方向

今後は、MEET-II 装置での試験を中心に、MEET システムの技術実証を行う。その主な課題としては、1) 石炭や廃棄物などの種々の固体燃料を用いた高効率ガス化の実証、2) 長時間連続運転による装置の耐久性の実証、3) 低ダイオキシン、低NO_xの実証、4) システム統合化・制御技術の実証、5) エンジンを用いた低発熱量の生成ガスでの発電の実証などがあげられる。

一方、灰溶融型ではなく、バッチ式で手軽に廃棄物のガス化が行える、高温空気/水蒸気改質方式の STAR-MEET システム (図2) の技術実証を行うための実証設備の建設にも着手しており、これは、主として事業所内での産業廃棄物処理システムとして、早期の実用化が期待されている。

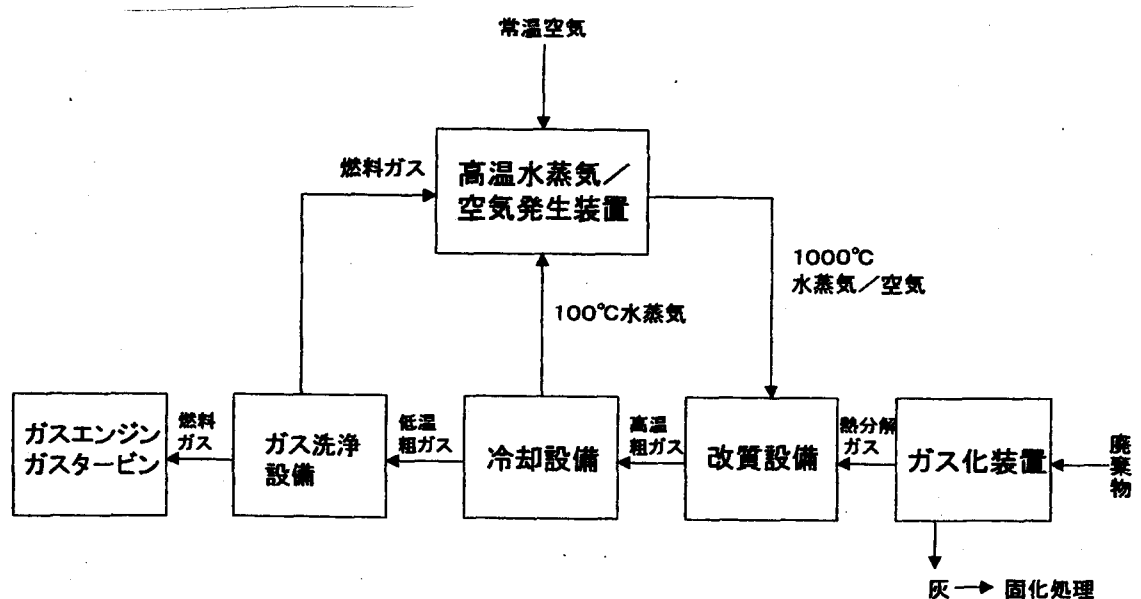


図2 STAR-MEET システム