

創熱電型嫌気処理システム

Electric/Heat Recovery of Anaerobic Biological System



(環)技術部 佐藤 栄 祐
 (環)技術部 吉川 信

Dystor (reactor cover) and Co-generation (electric/heat generator) enable to organize compact and flexible energy recovery systems in utilization of bio-gas from anaerobic biological treatment system for organic waste water. Dystor is dual membrane dome with beautiful shape and color, licensed from Envirex Co. in the U. S. A., mounted on AB reactor. Co-generation realizes higher energy utilizing performance through gas engine generation and heat recovery system.

まえがき

ABCシステムなどで有機性廃水を嫌気性生物処理する際に得られるメタンガスの回収利用において、ダイスター（リアクターカバー）とコジェネレーション（熱電併給）の組合せにより、コンパクトでフレキシビリティのあるエネルギー回収システムをつくることできる。

ダイスターは、美的構造と美しい色調を有する二重膜ドーム式リアクターカバーで、米国において多数の実績を有するエンビレックス社の開発した製品である。当社はABリアクターと一体形のリアクターカバーとして実用化を図った。

またコジェネレーションは、最近注目を浴びているガスエンジンによる発電とエンジンの排ガス熱、冷却熱を回収利用する熱電併給システムである。

本稿においては、ABCシステムのメタン回収利用における、ダイスターとコジェネレーションの概要について述べる。

1. ダイスターとコジェネレーションシステムの特長

1.1 従来のメタンガス回収システムの問題点

ABCシステムなどで有機性廃水を嫌気性生物処理する際に得られるメタンガスは、通常脱硫後ガスホルダーに貯留し工場内でエネルギーとして再利用される。再利用の形態は、ボイラを設置し熱量を全量蒸気または温水として回収している例が多い。この方式は設備が比較的簡単で熱効率も90%以上と高く、食品工場や化学工場などの乾燥や加温工程の多い場合には回収効率の高い方法である。しかし発生ガスのエネルギーに比べ使用する熱エネルギーが少ない場合、余剰のエネルギーは放出しなければならず総合回収効率が低下する。

嫌気性生物処理ではできるだけ負荷を一定にして運転することが望ましく、通常単位時間当りのメタンガス発生量はほぼ一定となるが、回収熱の利用先に通常負荷変動があるためにガスホル

ダーを設ける必要がある。この場合、ガス貯留のための施設は比較的大きな敷地面積を必要とし、土地有効利用上好ましいことではなかった。

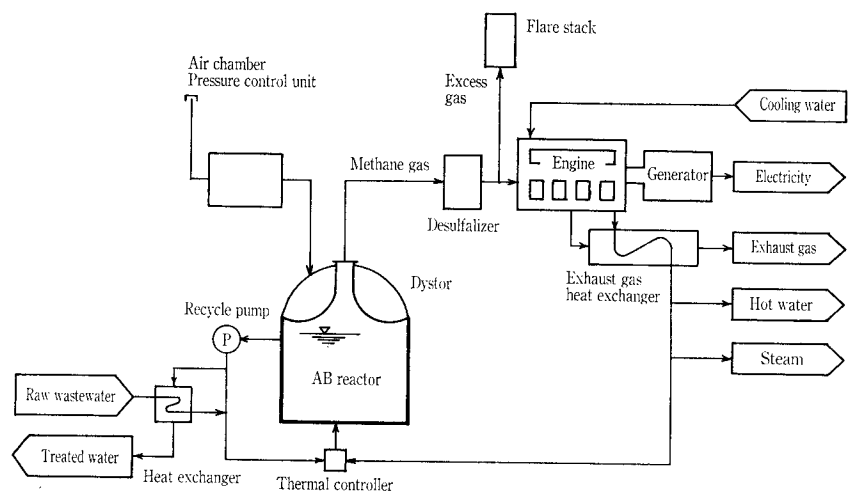
これらの問題を解決するためには、ガス貯留能力を有するカバーをリアクターと一体化することにより敷地面積を低減するとともに、エネルギーを電力で回収することにより用途の拡大を図ることが有効な手段となる。

1.2 省スペース型、創熱ABCシステム

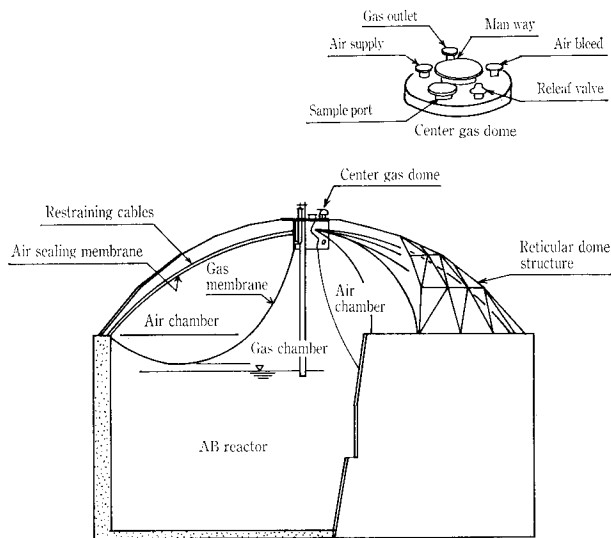
システムの概要を第1図に示す。ダイスターと一体のABリアクターとガスエンジン発電装置により構成される。ABリアクターの上部には“ダイスター”が設置されている。ダイスターは二重膜構造となっており、外側の空気室は圧力コントロールユニットで圧力を制御されている。リアクターで発生したメタンガスは、脱硫塔を経てガスエンジンに供給され発電を行う。エンジンの冷却熱、排ガス熱は蒸気および温水として回収されるが、ヒートポンプによる冷熱の回収も可能である。回収された電力および熱は、廃水処理系内や工場で再利用される。

このシステムの利点は次のとおりである。

- (1) ガスホルダーの敷地が不要となる。
- (2) 発生エネルギーを電力で回収するため用途が拡大する。



第1図 システムフローシート
 Fig.1 Schematic flow diagram



第2図 ダイスターの構造
Fig. 2 Structure of Dystor

- (3) 回収エネルギーとして、電力、蒸気、温水、冷熱など最適の組合せを選択できる。
- (4) 総合的に80~90%のエネルギー回収効率が得られる。
- (5) リアクターの上部を有効利用することにより設備費の低減が図れる。
- (6) ダイスターは安全な二重膜構造となっており外観が大変美しい。また膜構造のため安価である。
- (7) 新設設備のみならず既設設備を改造することも可能である。

2. ダイスター

2.1 本体構造

ダイスターは、ABリアクターと一体形のドーム型カバーとして開発されたもので、二重膜ガスドームと空気室圧力コントロールユニットで構成され、ガス貯留能力をもっている。

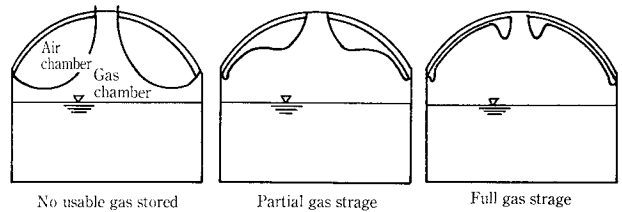
ダイスターはリアクター上部に第2図のように取り付けられており、

- (1) 空気膜（外側）
- (2) ガス膜（内側）
- (3) 空気膜保持ケーブル
- (4) 中央マンホール
- (5) 中央マンホール支持架構

より成っている。

空気膜とガス膜はリアクター槽壁および中央マンホールでシールされており、二枚の膜の間に空気室が形成され、内側のガス膜とリアクター液面の間にガス室が形成されている。空気室にはガス圧力とバランスする圧力でブロワーにより空気が供給されているので、空気膜保持ケーブルにより空気膜の外側への膨張を抑えている。

ガス使用量が発生量より多い場合、ガス圧を保ったまま空気室が内側に膨張しガス室の容積が減少する。逆にガス発生量が使用量より多い場合には、ガス室の膨張に合わせて空気室の容積が減少しガス圧力を保持する。第3図に示すようにガスの貯留容積は空気室の容積に等しいことに



第3図 ガス膜の状態
Fig. 3 Gas membrane positions

なる。

中央マンホールは架構によって支持され、空気膜、ガス膜および空気膜支持ケーブルを固定すると共に、空気室への空気の供給管、排出管、ガスリリーフ弁、サンプリング管およびマンホールが取り付けられている。

2.2 ガス膜および空気膜

ガス膜および空気膜は特殊強化樹脂膜で、空気膜は耐候性、ガス膜は耐薬品性をそれぞれ備えており耐久性の高いものである。

ガス膜は化学的に安定な材質を使用していることと、膜自体に応力がかからない構造となっているので、20年以上の寿命を予測している。また空気膜は外気に接しているため15年程度の寿命を予測している。

空気膜は外的な要因によって破れが生じる場合が考えられるが、多少空気が洩れてもブロワーに余裕があるので小さな破れでは緊急の問題とはならない。ブロワーの余裕でまかないきれない場合、接着剤によりパッチ当ての補修が簡単にできるし、空気膜の全面取り替えも1日で行える。

2.3 空気室圧力コントロールユニット

空気室圧力コントロールユニットは第4図に示すように、

- (1) 空気ブロワー
- (2) 空圧コントロール装置
- (3) 安全装置

より成っている。

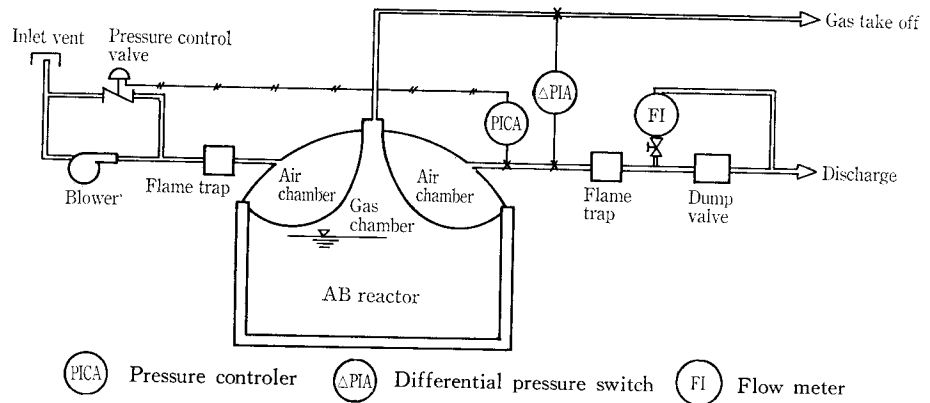
ブロワーにより空気室をある設定圧に加圧するが、空気圧をガス圧より若干低くすることにより、空気圧とガス圧の差圧でガス膜の重量を支えるようにし、ガス膜自体には圧力がほとんどかからないようにしている。

空圧コントロール装置は、自動で圧力調節弁の設定により空気室の容積を変化させながらガス圧を常に設定圧力に維持するもので、ガス貯留量が下限になったときガスの供給を停止し、ガス圧の上限または下限で警報を出す。

空気は大部分をブロワー入口に戻し熱を回収するが、少量を常時ブローし、万が一ガス膜よりメタンガスが浸透したり洩れた場合に濃縮しないようになっている。

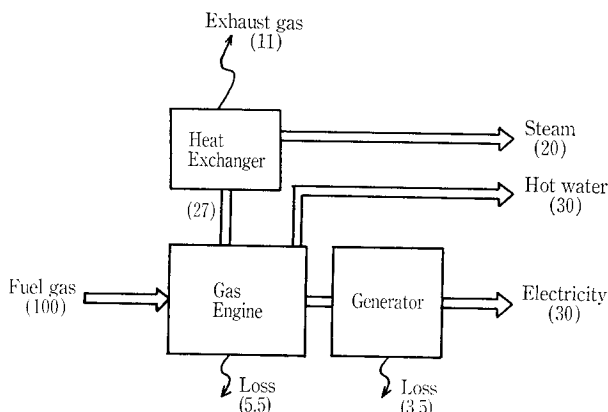
2.4 安全対策

メタンガスに対する安全対策としては、ガス圧を空気圧より若干高く(1~2 mmAq) 運転するので、リアクター内への空気の洩れはない。逆に万が一空気室へガスが洩れた場合、常時ブローしている空気バイパスラインでメタンガス濃度が検出され緊急処置がとられる。当然、空気排出ラインには逆火防止のためにフレイムトラップが設置されている。



第4図 空気室圧力コントロールシステム

Fig. 4 Air chamber pressure control system



第5図 コージェネレーションシステムフローの例
Fig. 5 An example of co-generation system flow

また空気膜が破れた場合は、圧力低下を検出し緊急処置がとられる。

3. コージェネレーション

3.1 コージェネレーションの概要

最近ガスエネルギーを利用したコージェネレーション（熱電併給システム）が、通産省の施策もあって急激に普及している。これは、ガスエンジンやディーゼルエンジンを用いて発電機を稼働させる一方、エンジンの排ガス熱や冷却熱を回収利用し、発電機単独では効率が30—35%程度と低いけれども、回収熱も含んだ総合熱効率として80—90%程度を得るものである。

一般に、コージェネレーションはビルや病院、ホテル、スポーツセンターなどで都市ガスや重油を用いて電力と同時に空調用あるいはプロセス用の温水や冷水、蒸気を回収するシステムが多いが、ここではABCシステムの発生メタンガスを用いて電力および蒸気を回収し、ABCシステムおよび排水処理設備のエネルギーとして再利用するシステムを中心に述べる。

3.2 システムフロー

ガスエンジンのシステムフローの例を第5図に示す。燃料ガスと空気がガスエンジンに導かれ、エンジンおよび発電機を駆動し電力を発生させる。ジャケット冷却水および排気ガスより発生する熱は、冷水や温水、蒸気として回収される。

回収エネルギー効率はエンジンの形式および負荷率、熱

回収の形態により異なるが、一般的には燃料の発熱量を100としたとき電力25—35%、排熱回収45—60%程度となる。

コージェネレーションの発電コストは、ほぼ買電コストに見合うので回収熱の分だけ省エネルギーの効果を得ることができる。熱回収の形態は蒸気、温水、冷熱などであるため、需要先の利用形態に応じて選択可能であり、最適システムを構成することができる。また商用電源との併用により、契約受電量の低減（ピークカット運転）が可能となる。

3.3 商用電源との併用

商用電源との系統運用については、第6図に示すように自家発単独運転方式、並列運転方式などの方式がある。発電容量が小さい場合で、利用先によっては周波数変動などがあっても問題のないことが多いが、そのような場合は単独運転とするのが有利であることが多い。並列運転とする場合、電圧、周波数の質は電源と同一のものが得られ、負荷設備の切替操作が不要となる利点があるが、電気的な保護装置、自動負荷分担装置などの設備費の増加、契約予備電力費の負担などを検討し適当な方式を選択することが必要である。

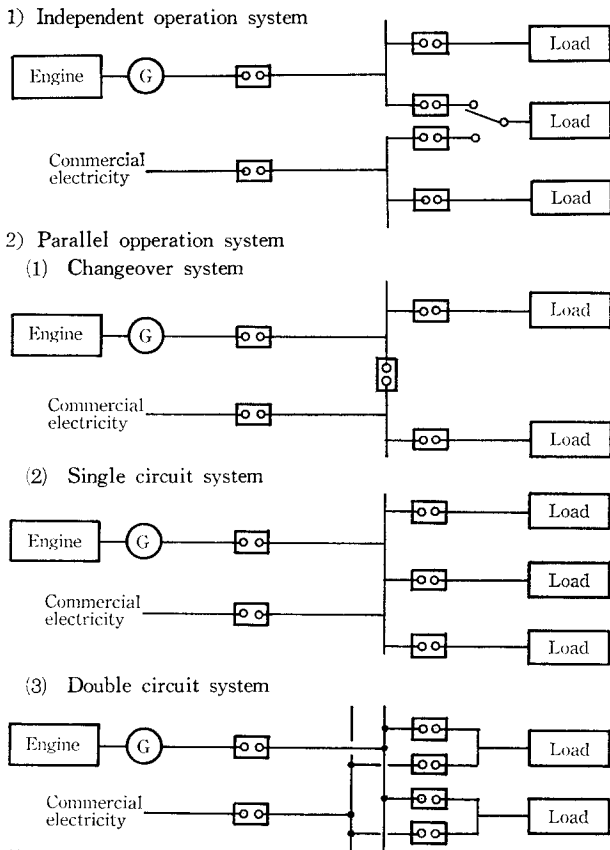
3.4 ABCシステムへの適用

ABCシステムより発生する燃料ガスは、メタンガスが主成分でその濃度はリアクターのpHによって変動するが65—85%、それに脱硫後で硫化水素を10—20ppm含み、残りは炭酸ガスである。これは下水処理場で従来より利用されている消化ガスと同等と考えてよい。

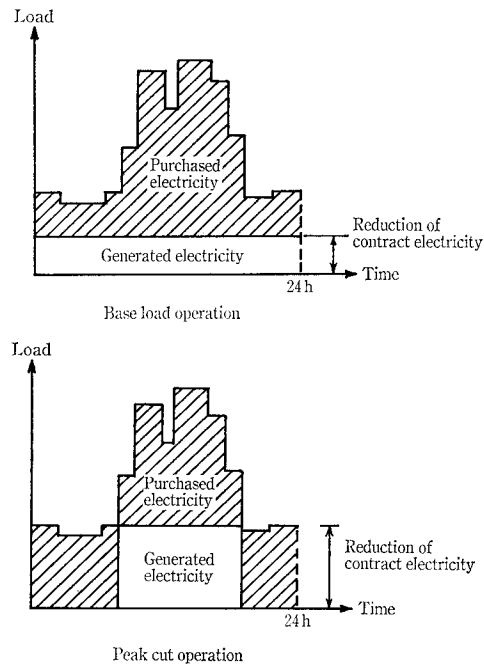
コージェネレーションのシステム効率を高くするには、負荷に対する電気と熱の供給バランスをうまくとることが重要である。ABCシステムに導入する場合、回収した電力は、ABCシステムおよび排水処理場の動力に利用し、蒸気はABリアクターの加温に利用し、余剰の電力および熱は工場で利用することが望ましい。

ABCシステムからのガス発生量が時間的に変動が少ないこと、また必要動力が比較的大きい活性汚泥処理設備が連続運転されることを考えあわせれば、発電機をベースロード運転としガスホルダー容量を小さくすることが有利となる。契約電力量に余裕のない場合、ガスホルダーを十分な容量とし、ピークカット運転を行えばコスト削減効果は高くなる。

ベースロード運転とピークカット運転の概念図を第7図に示すが、いずれの方式を採用するにしても、電気と熱の



第6図 電源主回路の構成
Fig. 6 System of electrical circuit



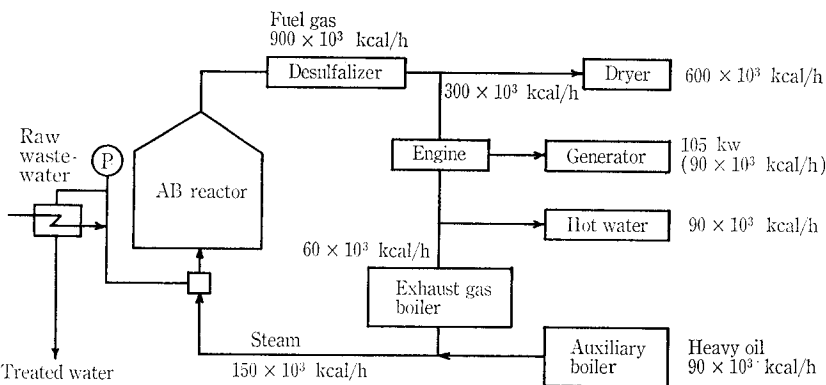
第7図 発電機の運転方法概念図
Fig. 7 Schematic diagram of generator operation

第1表 廃水性状
Table 1 Waste water property

Quantity	500 m ³ /d
pH	4~5
SS	2 000~ 3 000 mg/ℓ
BOD	10 000~12 000 mg/ℓ
COD _{cr}	16 000~18 000 mg/ℓ

第2表 ABリアクター諸元
Table 2 Specification of AB reactor

Volume	1 000 m ³
COD _{cr} removal	80 %
Gas generation	3 600 Nm ³ /d
Gas heating value	6 000 kcal/Nm ³ (Methane 70 %)



第8図 N社のABCシステム熱収支
Fig. 8 ABC system heat balance of N Co. Ltd.

需給バランスを中心に機能的、経済的な検討を十分行うことが重要である。

4. 設備計画例

4.1 N社のコージェネレーション計画例

当社がN社に納入しているABCシステムから発生するメタンガスのコージェネレーションの計画例を次に示す。

N社では、回収したメタンガスを工場内の乾燥工程に利用しているが、余剰のメタンガスは、フレアスタックで燃焼している。この計画例は、余剰メタンガスから効率的に電力および熱を回収しようとするものである。

第8図にABCシステムのヒートバランスを示す。第1表と第2表に廃水の性状とABリアクターの諸元を示すが、水量 500 m³/d、COD_{cr} 16 000~18 000 mg/ℓ の原

水を1 000 m³ のABリアクターに通水し、COD_{cr} を80 % 除去し、メタン70 % 含有のガスを3 600 Nm³/d 発生させる。

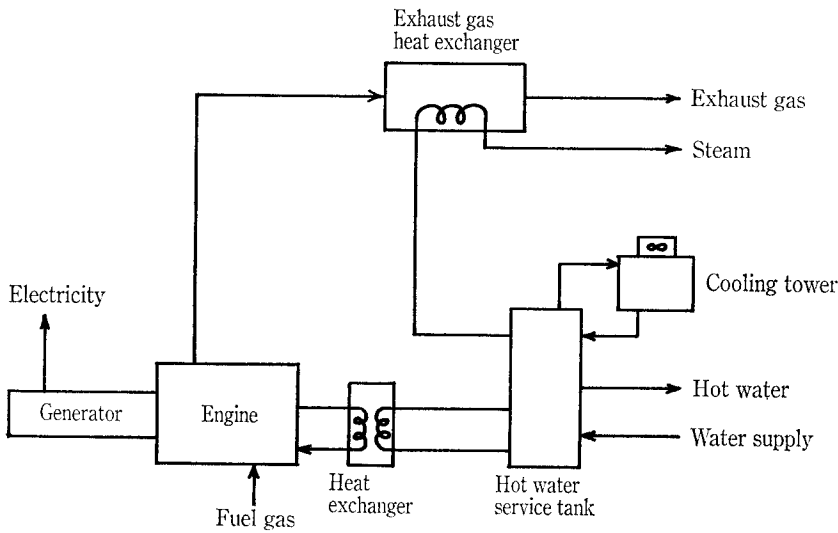
第9図と第3表にコージェネレーションシステムの概要を示す。定格出力155馬力のガスエンジンと105 kW の発電機を設置し、廃熱ボイラにより106 kg/h の蒸気を得る。残りは温水として回収する。

発電した電力は併設の活性汚泥処理設備の曝気ブロワーの駆動源として全量利用され、蒸気はABリアクターの加温用に利用する。(温水は併設の水耕栽培場、養魚場で加温用に利用されるが、回収効果はよくわからないのでここには含んでいない。)

第4表の経済比較によれば、コージェネレーションを導入

第3表 発電機
Table 3 Generator

Engine	155 PS
Generator	105 kW
Heat recovery	150 × 10 ³ kcal/h
Steam recovery	106 kg/h at 5 kg/cm ²



第9図 コジェネレーションシステム
Fig. 9 Co-generation system

第4表
経済比較
Table 4

Running cost analysis

	Unit price	ABC+AS system		ABC+AS system with cogeneration	
Electricity	¥ 16/kWh	5 760 kWh/d	¥ 92 160/d	3 240 kWh/d	¥ 51 840/d
NaOH	¥ 65/kg	890 kg/d	¥ 57 850/d	890 kg/d	¥ 57 850/d
Desulfalization chemical	¥ 150/kg	55 kg/d	¥ 8 250/d	55 kg/d	¥ 8 250/d
Steam	¥ 6/kg	3 520 kg/d	¥ 21 120/d	976 kg/d	¥ 5 860/d
Sludge disposal	¥10 000/kg	2 ton/d	¥ 20 000/d	2 ton/d	¥ 20 000/d
Fuel gas for process dryer	¥ 30/ℓ	1 790 ℓ/d as Heave oil	¥ ▲53 700/d	1 790 ℓ/d as heavy oil	¥ ▲53 700/d
Total			¥ 145 680/d		¥ 90 100/d

1 year cost saving ¥ 19.5 M/y

した場合 55 580 円/d (19 500 000 円/y) のランニングコストの削減効果を得ることができ、約 2.5 年で設備費を回収することが可能となる。

むすび

工場廃水を ABC システムで嫌気性処理して得られるメタンガスの有効利用法として、ダイスターとコジェネレーションを紹介した。従来発生ガスは乾燥や加熱用に直接燃料として利用される場合が多かったが、コジェネレーショ

ンとして電力と熱を同時に回収し、用途の拡大、負荷の平準化を図り敷地面積の低減、高い総合熱効率を得るこのシステムは経済効果も高く、今後急速に普及することが予測される。

ABC システムによるメタンガスの回収は現在までに数十件の実績を数えているが、メタンガスの創熱電技術の進歩により、今後ますます ABC システムの適用範囲が拡大することが期待される。