UDC 621.311.23＋621.1:697

一般需要家におけるコジェネレーションの展開

平田 敏昭(ひらた としあき)　　村山 寛(むらやま ひろし)

1 まえがき

コジェネレーションシステムは，電力及び熱エネルギーを同時に供給するシステム（電・熱併給システム）で，熱負荷（蒸気，温水の使用）及び電力負荷が同時に存在する工場，病院，ホテルなどの需要家において，エネルギーの高効率利用を可能にする。

また，このシステムの導入によって，需要電力の季節変動，及び毎日の時間的変動を吸収し，買電電力の平均化を行うことにより，経済的な受電が可能となり，省エネルギー，運転経費の低減，電源多元化による信頼性の向上などにも役立つ。

以下，コジェネレーションシステムの概要並びに導入メリットについて紹介する

2 コジェネレーションシステムの導入

コジェネレーションシステム適用時と，従来の自家発電システムとのエネルギー効率比較を**図1**に示す。

コジェネレーションシステム導入のメリットを出すためには，システムの高稼動率運転を行うことが必要であるが，そのためにはコジェネレーション設備の電力負荷と排熱利用の負荷がバランスとれ，十分に吸収できることが必要となる。コジェネレーション設備発生電力と熱容量が，消費される電力及び熱負荷容量と一致すれば，理想的なコジェネレーションシステム運転が可能となる。

また，コジェネレーションシステム導入時の運用は，自家発電設備と商用受電設備の並列運転により，発電電力と受電電力負荷の振り分けが不要で，かつ発電電力の一定供給運転を行うことにより，電源瞬断のない最適運転が可能となる。

コジェネレーションシステム導入時の使用原動機は，熱負荷の用途・種類により，比較的高温高圧の蒸気（熱負荷）を多量に消費する負荷設備があり，それに見合う電力負荷が比較的少ない場合，又は排ガスを直接乾燥設備負荷などに使用される場合は，排ガスが高温で比較的クリーンなガスタービンの使用が考えられ，また蒸気又は温水を消費する負荷設備があるが，電力負荷に重点をおく場合には，原動機の軸出力効率がガスタービンに比較して高効率のディーゼルエンジン又はガスエンジンの適用が考えられる。

図1　コジェネレーションシステム ヒートバランス

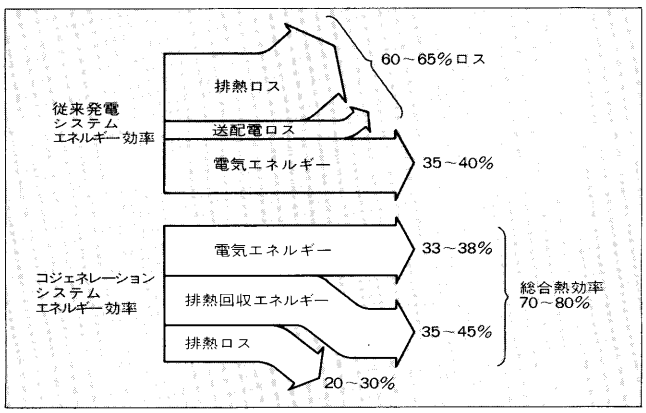
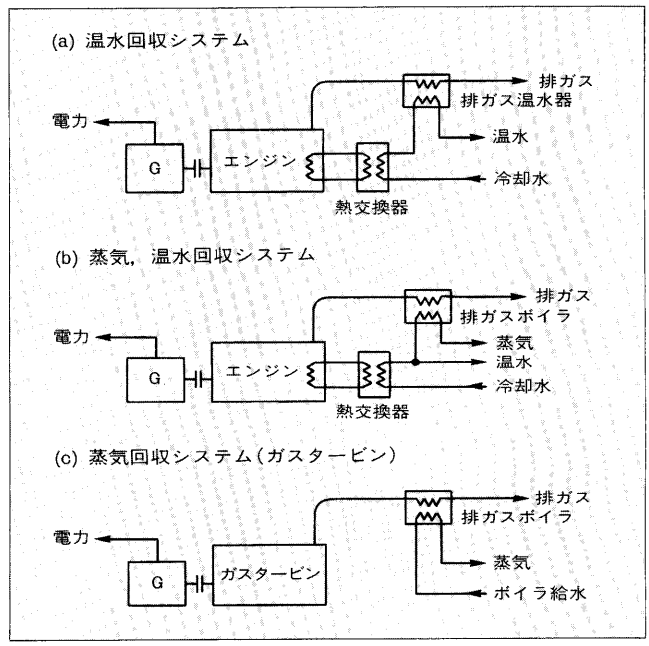


図2　コジェネレーション構成例



平田 敏昭

昭和36年入社。一般産業，ビル施設用電源設備の技術企画，プラント計画に従事。現在，設備機器事業部技術部課長。

村山 寛

昭和38年入社。自家用受変電設備，自家発電設備，電動力応用などの計画，取りまとめ業務に従事。現在，設備機器事業部技術部課長補佐。

図3　コジェネレーション運用形態

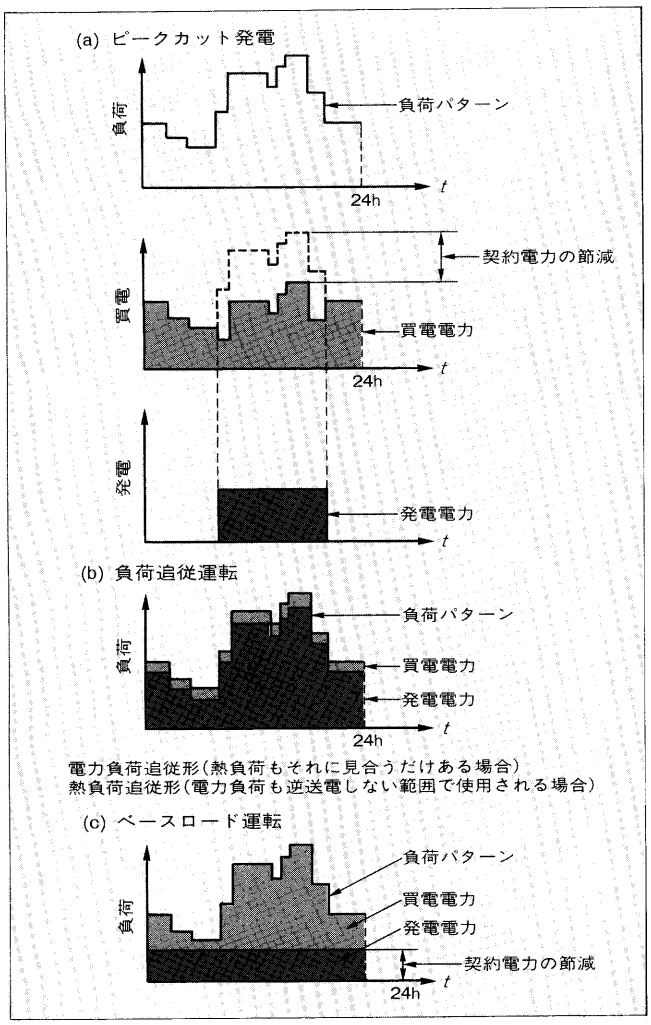
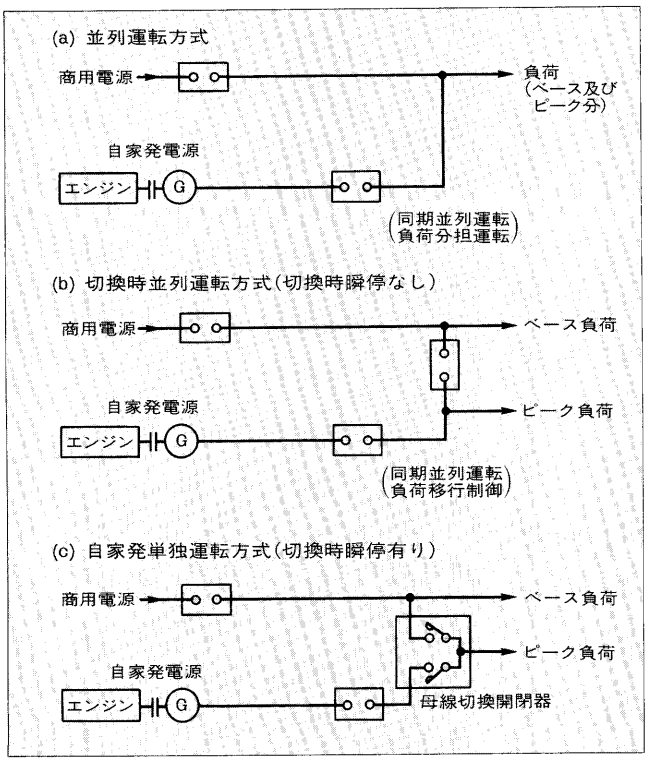


図4　コジェネレーション運転電源系統図



2.1　コジェネレーションシステム構成例

コジェネレーションシステムの構成例を**図2**に示す。

2.2　コジェネレーション運用形態及び電源系統

需要電力負荷形態に伴うコジェネレーション運用形態例を**図3**，電源系統例を**図4**に示す。

3　経済性の検討

コジェネレーションシステムの導入に当たり，いかにエネルギーの高効率運転を行うとしても，経済的にメリットが出なければ導入する意味がなくなるわけで，コジェネレーションシステムを計画するに当たり，経済性の検討が最大のポイントとなる。

経済性の検討に際しては，種々多数のデータ（受電形態の変更，電力料金体形，コジェネレーションシステム運転時間，電力負荷変動，熱負荷変動，燃料調達費，設備保守費，人件費，潤滑油費，用水費，減価償却費，金利，定期点検時の予備電力費，設備建設費，公害防止設備費，等々）が関係し，正確な見極めは非常に繁雑であるが，下記の計算により，おおよその経済性メリットが算出できる。

以下にコジェネレーションシステム導入に当たっての経済比較検討例を示す（ディーゼルエンジン使用例）。

(1)　発電機：1,000kW×1台，平均負荷率：0.9とする。

(2)　運転時間：10h/日，25日/月とする。

(3)　年間発生有効電力量：1,000kW×0.9×10h/日×25日/月×12か月＝2,700,000kWh

(4)　年間燃料消費量

発電端効率：35%，使用燃料：A重油，燃料発熱量：10,500kcal/kg，所内負荷率：2.5%とすると，

$$\text{燃料消費量}=\frac{1{,}000\text{kW}\times0.9\times(1+0.025)\times860\text{kcal/kWh}}{0.35\times10{,}500\text{kcal/kg}}$$

$$\fallingdotseq 216\text{kg/h}$$

燃料単価：30円/kgとすると，

年間燃料費＝216kg/h×3,000h/年×30円/kg≒19.5百万円/年

(5)　年間潤滑油費

潤滑油消費量：0.7 l /h，潤滑油単価：200円/ l として，年間潤滑油費：0.7 l /h×3,000h/年×200円/ l ＝420千円/年

(6)　冷却水費：（熱回収によりすべて回収されるものとして省略）

(7)　人件費：（現有員にて対処するものとして省略）

(8)　保守費：3百万円/年と仮定

(9)　諸経費：1百万円/年と仮定

(10)　排熱回収熱量費：排熱ボイラにてすべて温水にて回収するものとし，これを別途ボイラにて温水を発生させた場合の燃料使用量として評価する。

排熱回収熱：エンジン入力熱量×約40%，別途ボイラの効率：約80%とすると，

排熱回収熱量費：年間燃料費×排熱回収率÷ボイラ効率≒9.75百万円/年

(11) 発電設備総建設費：2億円と仮定

(12) 減価償却費：金利6%，15年償却（1年ごとの複利計算）残価：10%と仮定すると，年9.267%の償却となる。2億円×9.267%≒18.5百万円/年

(13) 固定資産税：総建設費×1.6%として3.2百万円/年

(14) 年間運転経費：(4)+(5)+(6)+(7)+(8)+(9)−(10)+(12)+(13)≒35.9百万円/年

(15) 買電電力節減量

契約電力節減量：1,000kW，基本料金：2,062円/kW，電力料金（夏季）：19.04円/kWh，同（その他）：15.24円/kWhとすると，

基本料金節減量：2,062円/kW×1,000kW×12か月≒24.7百万円/年

電力料金節減量：（夏期）19.04円/kWh×2,700,000kWh×$\frac{3}{12}$≒12.9百万円/年

電力料金節減量：（その他）15.24円/kWh×2,700,000kWh×$\frac{9}{12}$≒30.9百万円/年

買電電力料金節減量：24.7+12.9+30.9≒68.5百万円/年

(16) 年間利益：（買電電力料金節減量）−（年間運転経費）＝32.6百万円/年の利益となる。

(17) 回収年数：上記状態での回収年数はおよそ3～4年程度となる。

最近における燃料価格，電力料金の低減化に伴い，必ずしも上記と一致しないが，この場合においては，コジェネレーション導入のメリットが出せる状態と考えられる。

4 商用電源とコジェネレーション発電設備の並列運転

コジェネレーション発電設備の運転において，電力会社受電系統と並列運転を行うことにより，コジェネレーションシステムの効率よい運転が期待できる。すなわち，

(1) 受電電力負荷と発電機電力負荷の切り分けを行う必要がなく，構内配電系統の構成が行いやすい。

(2) 発電機負荷と受電負荷の区別がなくなり，負荷の需要状態に関係なく，受電電力及び発電機電力の分担を行うことが可能であり，電気，熱エネルギー双方無駄のない運転が可能となる。

などの利点があり，受電電力と並列運転を行うことは，非常にメリットが出てくる。一方，並列運転を行うには，自動並列運転装置，保護機能の追加，遮断容量の増加対策などが必要となるので，当初計画時点から電力会社との打合せを十分に行い，運用上支障の生じないようにする必要がある。

4.1 受電設備の追加保護機能

受電電力との並列運転に伴い，受電設備に下記保護機能の追加が必要となる。

(1) 構外（電力会社側）への逆送電防止保護

一部において，逆送電が許容される場合もあるが，一般的には構外への逆送電は不可としている。需要負荷容量よりも発電機出力が多くなった場合，発電機の余分な出力は構外へ逆送電される。この防止策として，受電点に逆電力継電器（67RP）を設け，受電遮断器を開放させる。また受電点の受電電力を検出し，受電電力がある設定値以下に減少した場合，発電機出力を減少させて逆送電を防止する。

(2) 構外短絡事故検出

構外短絡事故に対し，速やかに受電遮断器を開放させ，事故電流の構外流出を防止する必要がある。受電点に短絡方向継電器（67RQ），及び高速度低電圧継電器（27RH）を設け，両方のAND条件で受電遮断器を開放させる。

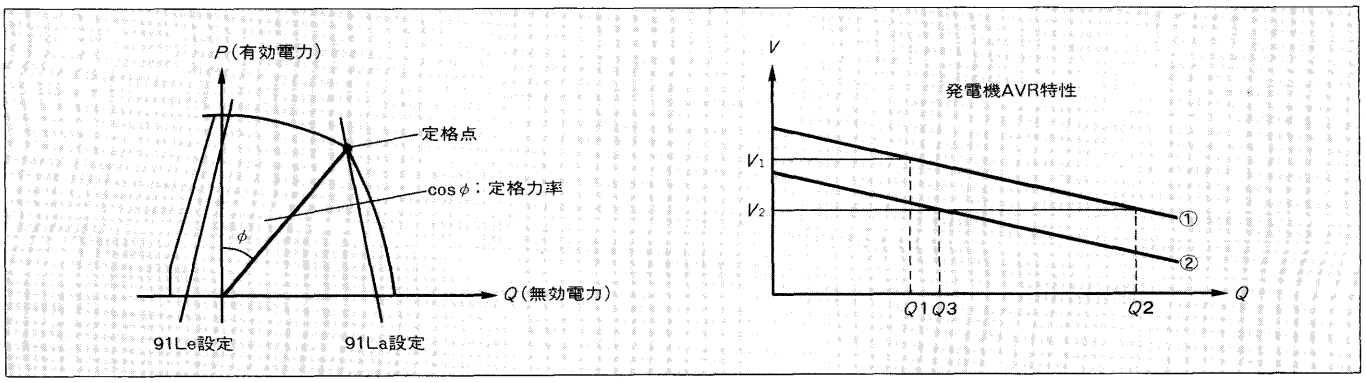
(3) 無警告解列（電力会社側停電）検出

電力会社側系統と解列しているのを知らずに，そのまま発電機の運転を継続していると，電力会社側送出し遮断器が再閉路された場合，発電機電圧と同期確認をせず並列投入されることになり，場合によっては発電機を破損する大事故となりかねない。したがって，電力会社側系統と解列されたことを速やかに検出し，受電遮断器を開放する必要がある。この防護として，低周波継電器（95L）を設け，これにより受電遮断器を開放させる。一般的に電力会社側系統の周波数変動は50/60Hz±0.2Hz程度といわれており，95Lの設定は49～49.5/59～59.5Hz程度としている。

(4) 構外地絡検出

電力会社側系統に地絡事故発生の場合，電力会社側送出し遮断器は開放するが，受電遮断器が開放しなければ構内

図5　発電機AVR特性



発電機からの地絡電圧が系統側に残ることになる。したがって受電点に地絡過電圧継電器（64R）を設け，64Rの動作が一定時間以上（構内地絡検出，除去時間以上）経過すれば，構外地絡と判断し，受電遮断器を開放する。なお，構外地絡事故により電力会社側送出し遮断器が開放した場合は，系統解列状態となり，前項(3)の状態で95Lも動作することになる。

以上(1)～(4)の状態においては，いずれも発電機が単独運転状態となり，発電機単独で構内負荷需要をまかない切れない場合には，負荷選択遮断を行う必要がある（一般的にはあらかじめ遮断する負荷を決めておき，発電機単独運転となった場合には，自動的に該当負荷フィーダを遮断することになる）。

4.2 発電設備の追加保護機能

発電機設備には下記の保護機能の追加が必要となる。

表1　同期発電機及び誘導発電機の適用比較

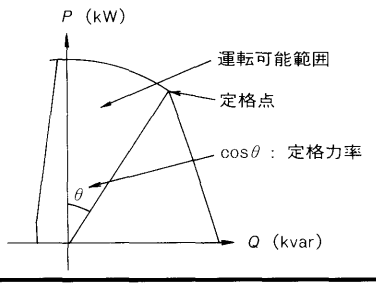
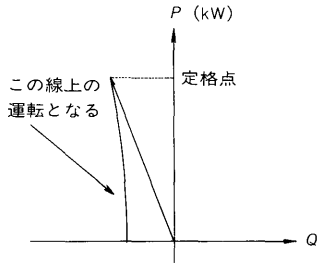
同期発電機	誘導発電機
・発電機単独運転が可能。	・発電機単独運転は不可能であり，必然的に買電電力と並列運転となる。
・界磁巻線を有し，誘導発電機に比較して構造がやや複雑となる。	・一般的に多数使用されている，かご形誘導電動機と同一構造であり，簡単堅牢である。
・励磁調整回路を必要とする。	・励磁電力は買電系統電力によりまかなわれ，励磁調整回路は不要である。
・同期投入回路を必要とする。	・同期投入回路は不要であり，買電系統電力への並入は単に遮断器投入だけでよい。
・買電系統への並入時，突入電流は同期をとるため無視できる。	・買電系統への並入時，突入電流が流れる（定格電流×数倍）。突入電流により系統電圧ドロップが生じ，支障をきたす場合は始動リアトルなどを用意する必要がある。
・無効力制御が可能である（系統側より見た場合，進相電流が流入するので，進相容量の無段階制御が可能）。	・常に進相運転（系統側から見た場合は遅れ無電力が流入する）となり，必要に応じ進相用コンデンサを入れる必要がある。
・回転速度は極数によって定まる同期速度。	・同期速度より定格すべり分（数%）多くなる
・発電機出力範囲 	・発電機出力軌跡 

図6　同期発電機並列運転系統図例

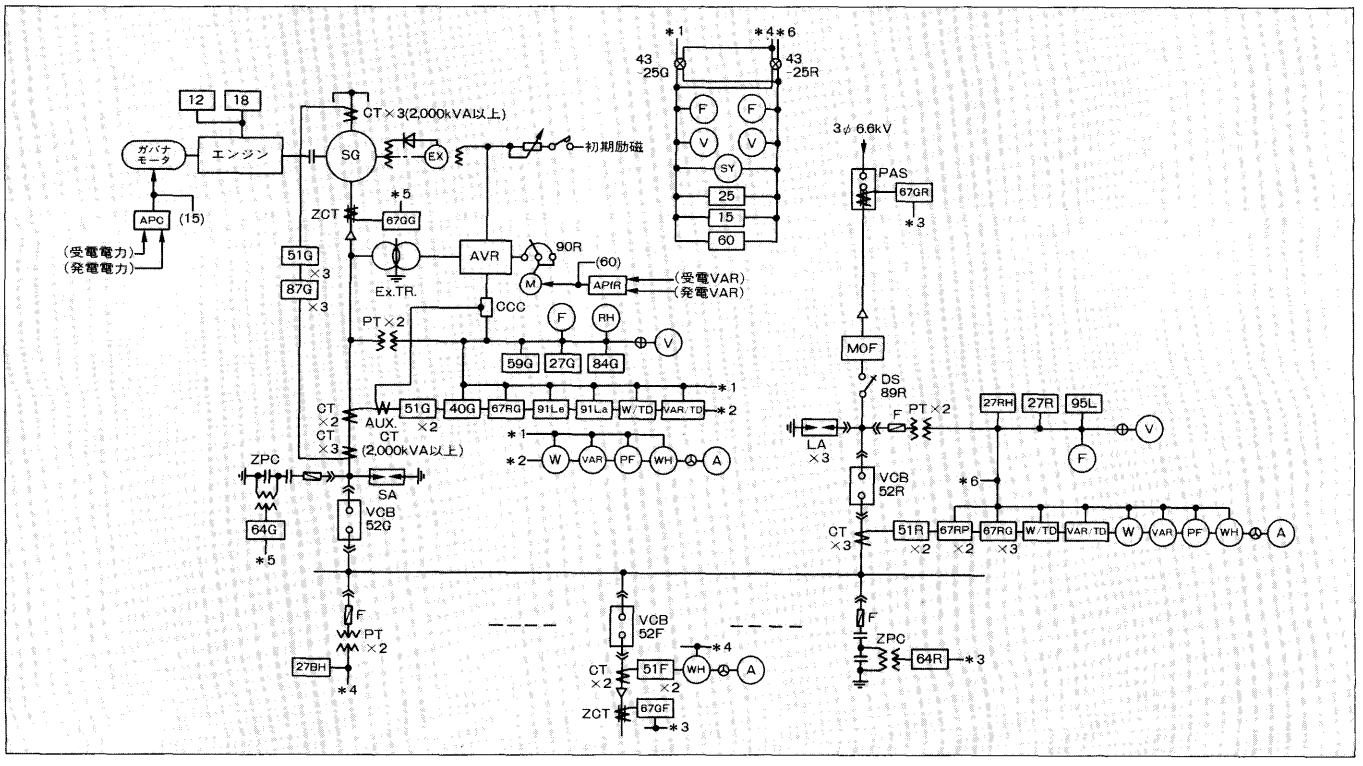


図7　誘導発電機並列運転系統図例

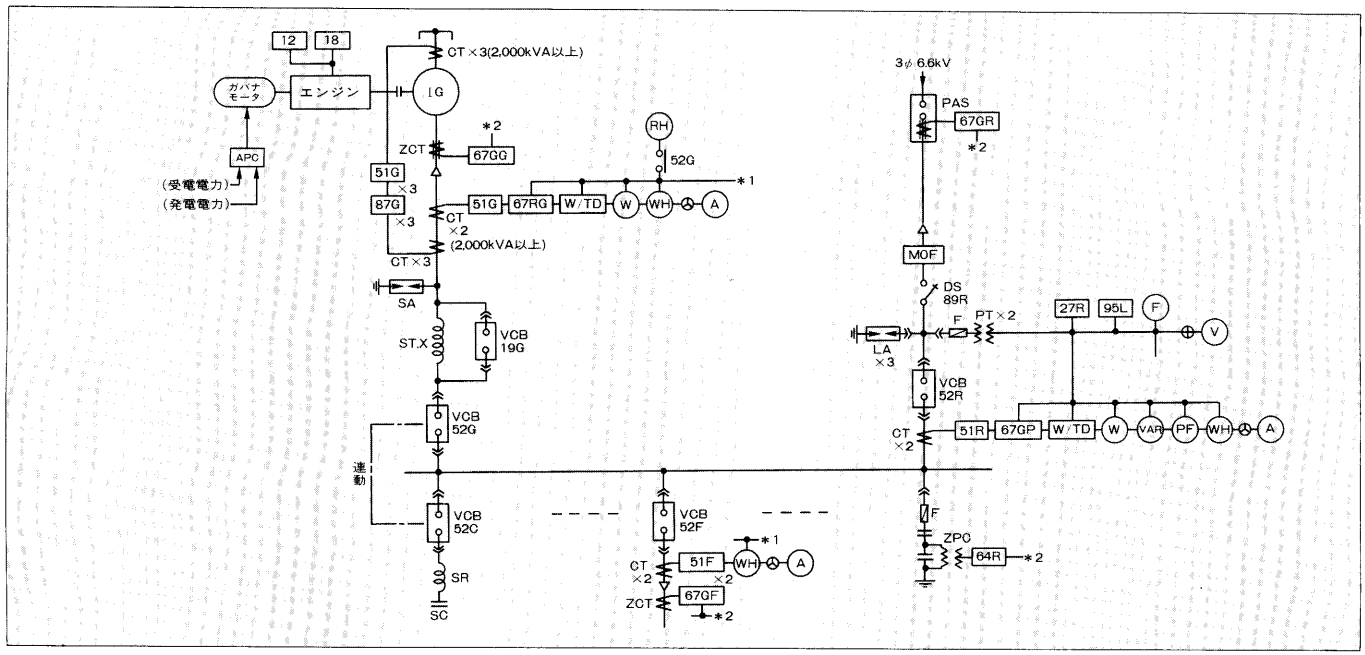


図8　コジェネレーションシステムフロー図

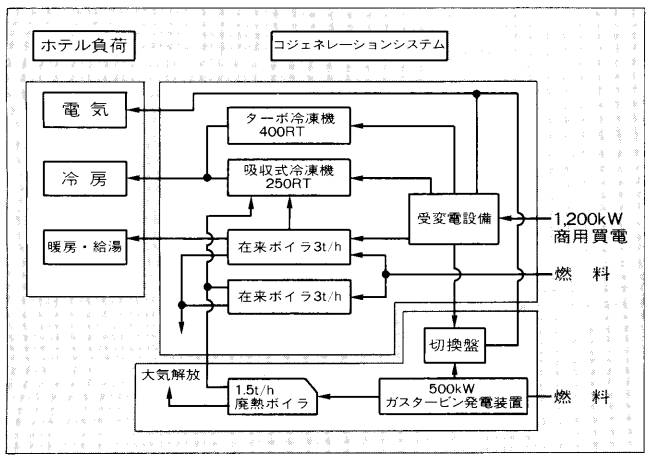
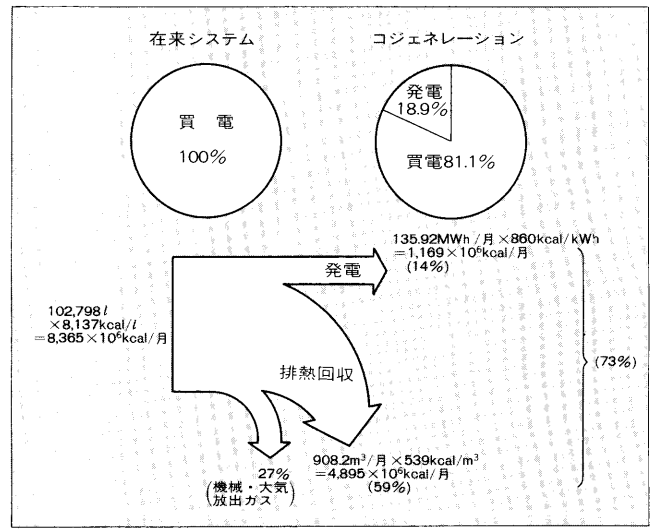


図9　某月のエネルギー収支図



(1)　横流補償機能（APfR，AQR）

電力会社側系統と並列運転時には，発電機の端子電圧は受電電圧と強制的に同一となり，発電機の誘起電圧が受電電圧と異なる場合には発電機から無効電力（横流）が流出（入）する。この発電機からの無効電力を発電機の出力限界曲線内に抑える必要がある。

発電機AVR特性を**図5**に示す。

受電電圧 $V1$，発電機AVR特性が①の状態で運転されていた場合，発電機の出す無効電力は $Q1$ の状態となっている。受電電圧が $V2$ に変化した場合，発電機の出す無効電力は $Q2$ となり，発電機の出力限界を超えてしまうので，発電機のAVR特性を②に移動（90Rの調整）し，$Q2 \rightarrow Q3$ に無効電力を調整する。このように無効電力を受電電圧の変化に応じて調整する応答の速い自動制御装置の設置が必要となる。また出力限界値を超えた場合には，力率継電器（91Le，91La）で保護をする。

(2)　有効電力制御機能（APC）

発電機出力が常に一定か又は適正な値となるよう原動機燃料制御を行う機能が必要となる（原動機燃料流入量の制御のため原動機はガバナモータ付となる）。

(3)　発電機逆電力保護（モータリング保護）

並列運転中何らかの条件で原動機軸出力が止まった場合，発電機は同期電動機として逆に受電電力を受け，原動機を回転させる。この防止として発電機回路に逆電力継電器（67RG）を設け，発電機停止とする。

(4)　発電機界磁喪失（40G）

発電機単独運転中の界磁喪失では電圧降下となり，低電圧継電器（27G）で検出できるが，並列運転中は受電電圧により検出不能となる。このため発電機インピーダンスの検出による界磁喪失継電器（40G）を設け，発電機停止とする。

4.3　その他構内配電系統に対する保護協調

系統接続状態により事故電流がそれぞれ異なるので，各

状態(①並列運転時②受電単独運転時③発電機単独運転時)の保護協調を十分検討しておく必要がある（短絡容量，過電流保護，短絡保護，地絡保護など)。

4.4 同期発電機及び誘導発電機の適用比較

誘導発電機は，それ自体での単独運転は不可能であるが，同期投入装置，励磁装置が不要など，システム簡素化のメリットがある。同期発電機及び誘導発電機の適用比較を**表1**に，単線系統図を**図6，7**に示す。

5 実施例

昭和58年6月にオープンした沖縄万座ビーチホテルに625kVAガスタービン発電設備によるコジェネレーションシステムを日比谷総合設備(株)の協力のもと納入し，現在稼動中である。本設備は系統電源との並列運転は行わず，電源切換方式である。また熱回収負荷は，在来ボイラの補給（助）用として使用，ボイラ燃料の節減を図っている。某月度におけるエネルギー収支は**図9**に示すような運転結果となっている。

その他東京椿山荘ホテルなどに，同じガスタービンを使用したコジェネレーションシステムを，また製紙会社にガスタービン排ガスをそのまま紙乾燥用に使用のシステムを納入している。

6 あとがき

限られた資源エネルギーの高効率活用を図るという目的で通商産業省の指針により，業務用など一般設備に商用電源との並列運転が可能となり，また最近の燃料低価格化と相まって，今後コジェネレーションシステム導入が増加していくものと考えられる。

今後の課題として，原動機の高効率化，排ガスのクリーン化，小形化，保守点検の容易化，点検インターバルの長時間化，低コスト化などが望まれ，また電力制御関係として，並列運転に必要とする保護機能，制御機能装置を複合したコンパクト化，低コスト化などの技術確立が必要となる。

参考文献

(1) 折原明男・森田貞夫：コジェネレーションシステムの設計と電気設備，電気設備学会誌，Vol.6，No.7（1986）
(2) 福地喜久夫ほか：誘導発電機の適用，富士時報，Vol.55，No.5，p.329-335（1982）
(3) 野田權祐編：電力系統の制御，電気書院

技術論文社外公表一覧

題目	所属	氏名	発表機関	
高速プレスフィーダの位置決め（デジタル位置決め装置ACサーボモータ）	システム事業本部	井本　博幸	オートメーション **31**，11 臨時増刊号（1986）	日刊工業新聞社
リング状物体の内径と外径による分類（イメージセンサ）	機器事業本部	三谷　重一		
プレス抜部品の向きの判定（イメージセンサ）	機器事業本部	三谷　重一		
タイルの表裏判別（カラーマークセンサ）	機器事業本部	三谷　重一		
鋼板の板厚の検出（発振形アナログ距離センサ）	機器事業本部	三谷　重一		
立体物の外観検査（画像処理装置）	システム事業本部	渡辺　英博		
バーコード利用による仕分けライン（プログラマブルコントローラバーコードリーダ）	システム事業本部	小井土義行		
超音波流量計による流量計測（超音波流量計）	システム事業本部	浜田　敏義		
ロール紙の巻取り制御	機器事業本部	三谷　重一		
染色機械における自動制御システム	システム事業本部	藤井　真也		
多目的高温ガス実験炉原子炉本体設計の概要 ——詳細設計(II)システム調整(1) 主要機器の設計に基づく——	富士・川重原子力推進本部 〃 電機事業本部	井出　朗 斉藤　宣弘 三木　俊也	FAPIG No.114（1986）	第一原子力産業グループ
HENDEL T_2試験部の建設	電機事業本部 〃 〃	秋定　俊裕 永野　正規 三木　俊也		
核融合設備用大電流・高電圧電流リードの開発	富士電機総合研究所 千葉工場 電機事業本部	滝田　清 伊藤　郁夫 上出　俊夫		

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。