

# 生産工場における経済性を考慮した常用発電設備の運転制御

新井田 修\*

## 要 旨

プラスチック加工工場において製品の品質向上を目的とした空調改善の検討を行うが、電力の超過により電力会社より受電するためには、特別高圧受電を余儀なくされた。

特別高圧受電を回避し、製品の品質向上を目的とした空調改善を行う主旨から常用発電設備（将来熱回収可能）を計画し、施工を行った。

当該工場は、負荷変動が激しく割安な夜間電力を有効に使用することが困難であったが、ディーゼル機関のガバナ制御の応答性を向上させるとともに、夜間電力の有効利用により経済性を高めた。

本論文では本システムの導入の経緯と制御の内容について報告する。

## 1. まえがき

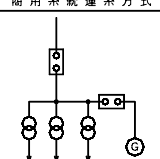
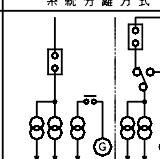
既設のプラスチック加工工場における製品の品質向上と安定及び作業環境の改善を目的とした改修計画を1999年より開始した。この工場は1974年に建設された大空間の工場であり、特に空調等の考慮はされていなかったため、空調機器等の設備は設置されていなかった。今回、工場の内装改修を伴う省エネルギー性を考慮した成層圏空調についてシュミレーションを行い検討した結果、約100kWの電力増加が必要となった。しかしながら、この工場の電力事情は受電電圧が6.6kVで契約電力が2400kW（6.6kV受電の契約電力上限は2000kW未満）とすでに電力会社より弾力運用を受け受電している状態であり、これ以上の増容量を行うためには、特別高圧での受電が必要である。

また、特別高圧を受電するためには、特高変電設備が必要であり、高額な建設コストと、電力引込みに伴う長期間の工程が必要となるとともに、電気主任技術者を設置しなければならないという問題も生ずる。改修後の工場の運転を2000年夏を目標としており特別高圧による受電は現実的ではないことから、これらの問題を解決するために自家発電設備による電力供給を計画することとした。

発電設備の電気回路構成には、比較的小規模な設備に用いられる系統分離方式と、商用電力と並列で運転する商用系統連係方式がある。今回は、表-1の系統連係方式と系統分離方式の比較<sup>1)</sup>に示すように優位性が認められる商用系統連係方式を採用することとした。また、発電設備に熱併給を考慮したコージェネレーションシステム（以下、CGSと記述する）を導入することを検討し

た。しかし、このプラスチック加工工場では、熱を多量に使用する施設はなく、CGSを導入しても熱が有効利用されずに大気放出することとなるため、発電設備は、熱回収を行わない常用発電設備とした。ただし、計画は将来熱回収が可能なシステムを導入できるように行った。

表-1 系統連係方式と系統分離方式の比較

項目	システム	商用系統連係方式	系統分離方式
システム構成図			
負荷	発電機の対象負荷設備	○ 全負荷	特定の負荷
	発電機の負荷率	○ 定格100%運転可能 熱需要主体のシステムとすることができ、総合効率がUP	負荷変動に左右され（せいぜい）定格80%運転まで
	負荷設備の単機容量	○ 細分化は不要	細分化、優先順位等の設計が必要
	負荷切替装置	○ 不要	必要
発電設備保護	負荷への運用操作	○ とくに必要なし	切替操作が必要で、瞬時停電となる
	保護装置	「ガイドライン」に基づく保護継電器が必要（電力会社との協議要）	○ 不問 ただし瞬時並列運転をする時は必要
発電機の種類	○ 同期発電機（SG）および誘導発電機（IG）	同期発電機に限られる （同期発電機は励磁装置、同期投入装置が必要である他、機構が複雑）	
電力の質	電圧・周波数	○ 商用電力に支配され安定	発電機の制御能力による
	急激な負荷変動	○ 容量の大きい商用側に吸収される	脈動・負荷変動による変化あり

○：優位性を表す

\*建築設計部

## 2. 設備概要

図 - 1 にフローシートを示す。既設を含む設備概要は以下のとおりである。

### 受変電設備

#### 受電方式と契約電力

受電方式 3相3線 50Hz 6.6kV、架空

契約電力 1,690kW+自家発補給500kW

### 既設受電設備

#### 屋外キュービクル式

主遮断器 7.2kV 600A 12.5kA VCB

分岐 - 1 7.2kV 600A 12.5kA VCB

分岐 - 2 7.2kV 600A 12.5kA VCB

### 既設第1変電所

#### 屋外開放+屋外キュービクル式

変圧器/動力用 2200kVA

変圧器/電灯用 160kVA

### 既設第2変電所

#### 屋外キュービクル式

変圧器/動力用 3000kVA

変圧器/電灯用 200kVA

変圧器/非常用 100kVA

### 新設常用発電設備

#### キュービクル発電装置×2台

電気出力 500kW、6.6kV、50Hz

機関出力 730PS / 1500rpm

冷却方式 電動ラジエータによる直接冷却方式

燃料 A重油 地下タンク 20kl×2

### 新設屋外キュービクル

#### 発電機盤×2面

#### 共通制御盤×1面

#### 遮断器盤×1面

#### 高圧引込盤×1面

#### 系統連係保護継電器盤/直流電源盤×1面

### 新設屋外グラフィック監視盤

#### グラフィックパネル×2面収容

### 新設遠隔モニタリング装置

パソコンによるモニタリング並びに日報、月報、故障履歴の記録

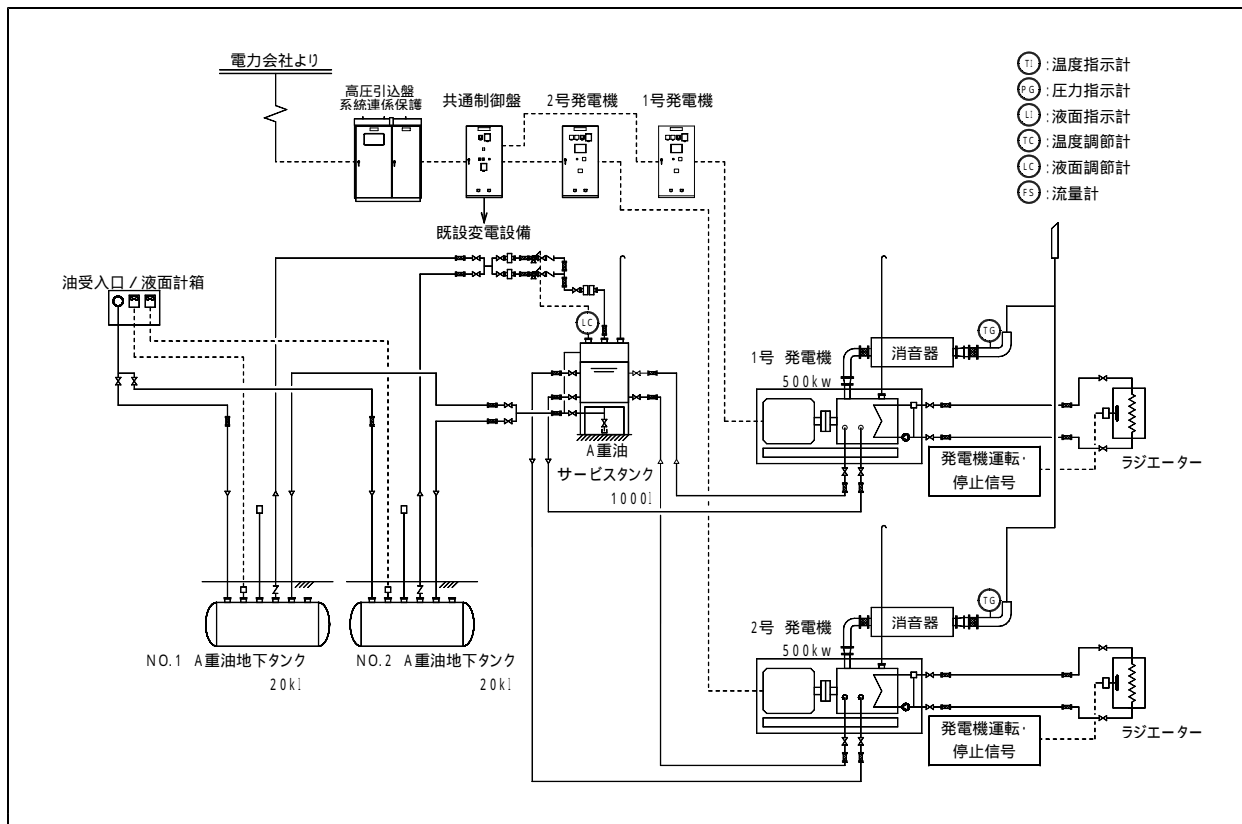


図 - 1 フローシート

### 3. 電力負荷の検討

図 - 2 に日負荷と発電量曲線を示す。新設する発電機の容量は、年間の稼働時間を高めるため契約電力 2400kW の 50 % 以下の 500kW × 2 台並列運転 (最大 1000kW) として計画した。また、発電機の運転は、電

力日誌による電力の使用状況から昼間は 100 % 連続運転とし、夜間は発電機による発電よりコストの安い電力会社の夜間電力を主体に契約電力を超過しないように単機容量の 30 % 以上の負荷で運転制御を行うこととした。

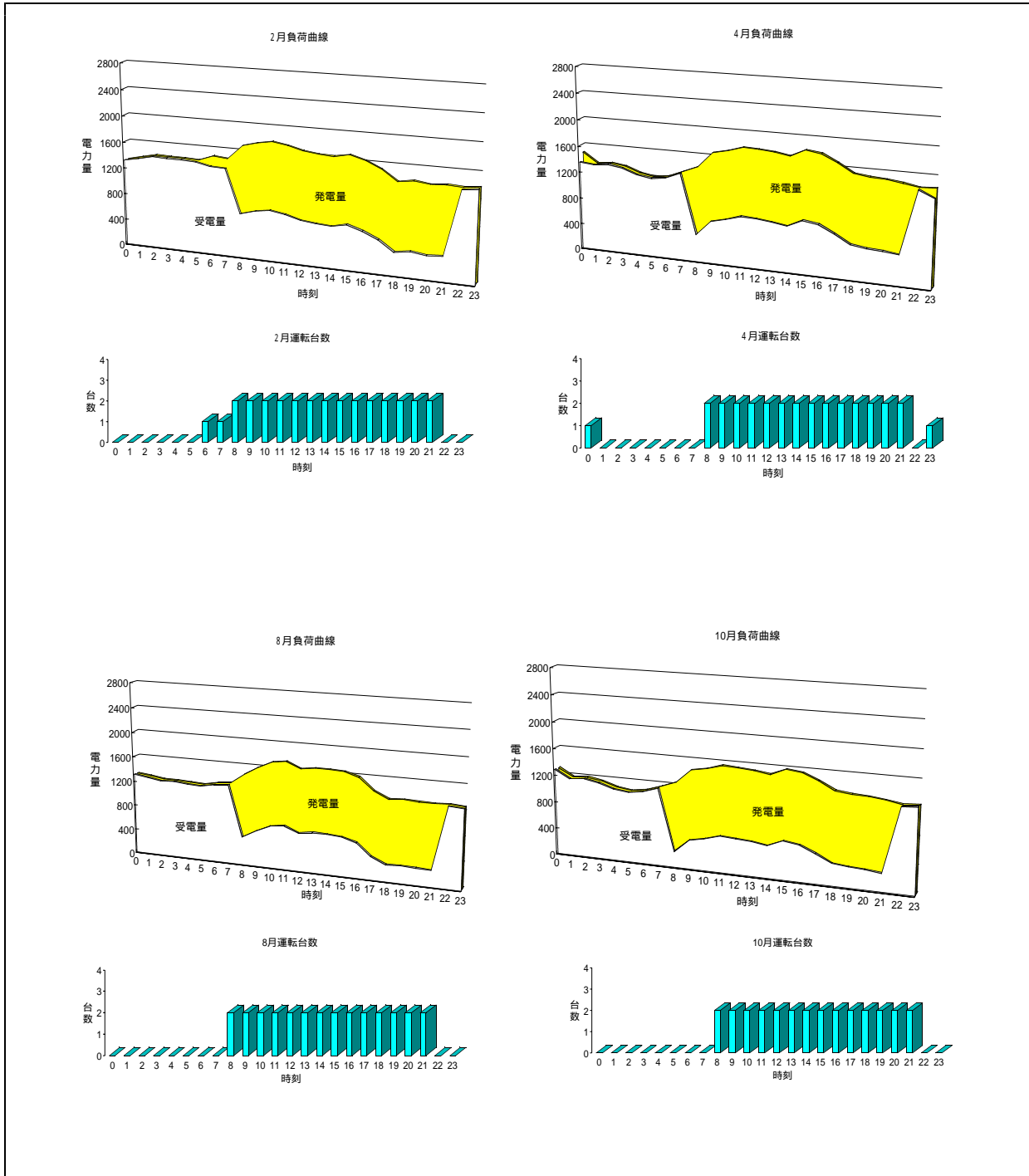


図 - 2 日負荷と発電量曲線

#### 4. 負荷特性とガバナ制御

##### 4.1 プラスチック工場の負荷特性

プラスチック加工工場の負荷特性の特徴的なものとしてプラスチック成形機が射出を行う際に使用する射出モータによるラッシュがある。当該工場においても同様の負荷特性を持っており30秒～1分間隔で500kW程度の負荷変動が計測された。

##### 4.2 標準的なガバナ制御における制御性

図-3に標準的なガバナの基本動作原理図を示す。今回採用したディーゼル機関には、電子ガバナが装着されており、標準的な制御としてデジタル設定器から目標値をスピドコントローラに入力し回転数制御を行う方式がとられている。

上記4.1節のような負荷特性を有する場合においては、標準のガバナ制御では応答速度に問題があり系統側への逆電力が懸念される。逆電力をおこした場合には、保護継電器により検出され速やかに発電機を系統より解列させる。このような逆電力を避けるために通常は、受電一定電力値を大きく取ることにより回避する。しかし、発電電力に制限が加わることとなるため経済性を損なう一因となる。

##### 4.3 ガバナ制御の制御性の向上

前述したように標準的なガバナ制御では応答速度に問題があるため、制御性の向上を目的として検討を行った。以下にその内容と動作原理について示す。

##### 4.3.1 制御方法

図-4に制御性の向上を図ったガバナの基本動作原理図を示す。現地試験調整及び将来負荷特性に変化があった場合、設定の調整が容易に行えるようにデジタル化を行いグラフィックパネルにて操作、監視、設定が行えるものとした。ガバナの制御についても同様に設定値（発電機電力及び受電一定電力）をグラフィックパネルより入力し、PLCに記憶させ、PLCにて条件に応じて目標値を演算させるものとした。A/D変換器にて、各種の電力情報がPLCに入力され、偏差に応じてスピードコントローラにアナログ値(直流電圧)が入力される。スピードコントローラに入力される目標値と各種電力値との偏差が少量の場合は、アナログ値の変化を遅くさせることでハンチングを抑制することができ、また、偏差が大きい場合は、アナログ値を早く変化させることで、優れた応答性を確保することができる。このように偏差の量に応じて速度制御の量を反限時特性とすることで標準のデジタル設定器に見られる応答速度の問題を解決している。

##### 4.3.2 緊急電力減機能

商用系統連係運転中に急激な負荷変動によって受電電力が急激に減少した場合、瞬時に発電機の出力電力を減少させ系統側の逆電力警報を回避する制御が行えるものとした。これにより、受電電力一定値を少なく設定することを可能とし、経済的な運用が可能となった。

図-5に過渡特性試験の結果を示す。

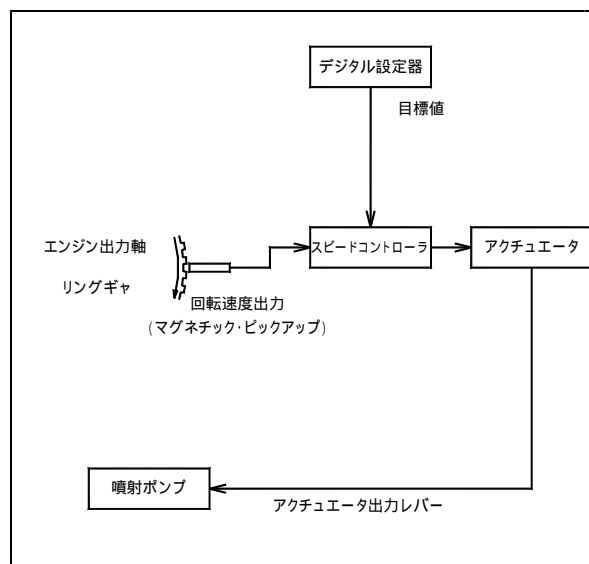


図-3 標準的なガバナの基本動作原理図

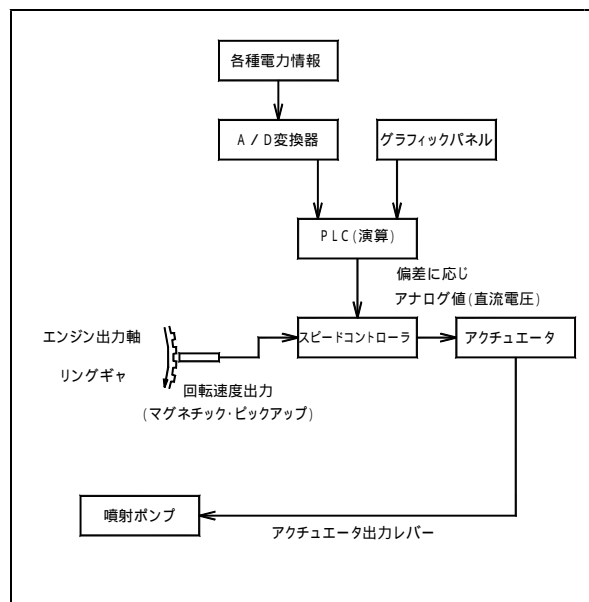


図-4 制御性の向上を図ったガバナの動作原理図

5. 夜間電力の有効利用と発電機制御

5.1 夜間電力の有効利用

季節別時間帯別契約を行った場合、電力会社の夜間電力の単価は、6.10 円 / kW と非常に割安となる。この夜間電力の有効利用を行うためには、夜間電力を契約電力の範囲内でできる限り多く受電し、契約電力を超過する範囲を発電機電力でシェーピングすることが理想となる。しかし、発電機の軽負荷運転は、効率の悪い運転となるばかりではなく発電機に悪影響を与えることとなる。そこで本件においては、発電機の最低出力は定格の 30 % に設定した。

5.2 夜間電力を有効利用する発電機制御

前述したように、発電機の発停は経済性を高めるため昼間は発電機優先制御とし、夜間は商用電力優先として制御を行うことを基本としている。図 - 6 に発電機の発停制御のフローを示す。安定的な負荷であれば図 - 6 のフローで問題はないが、本件の場合、4 章の負荷特性とガバナ制御でも述べたように非常に負荷変動が大きいという特性を持っており標準的な制御を行った場合、夜間モードで発電機はハンチングをおこす。図 - 7 に発電機のハンチング現象を示す。

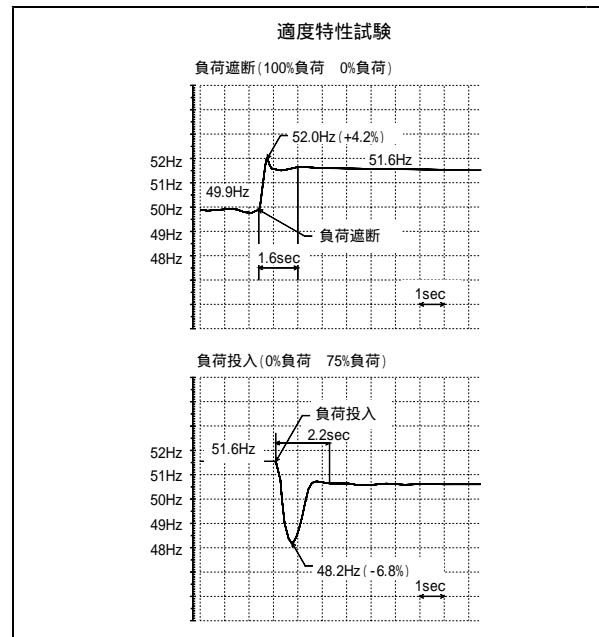


図 - 5 過渡特性試験

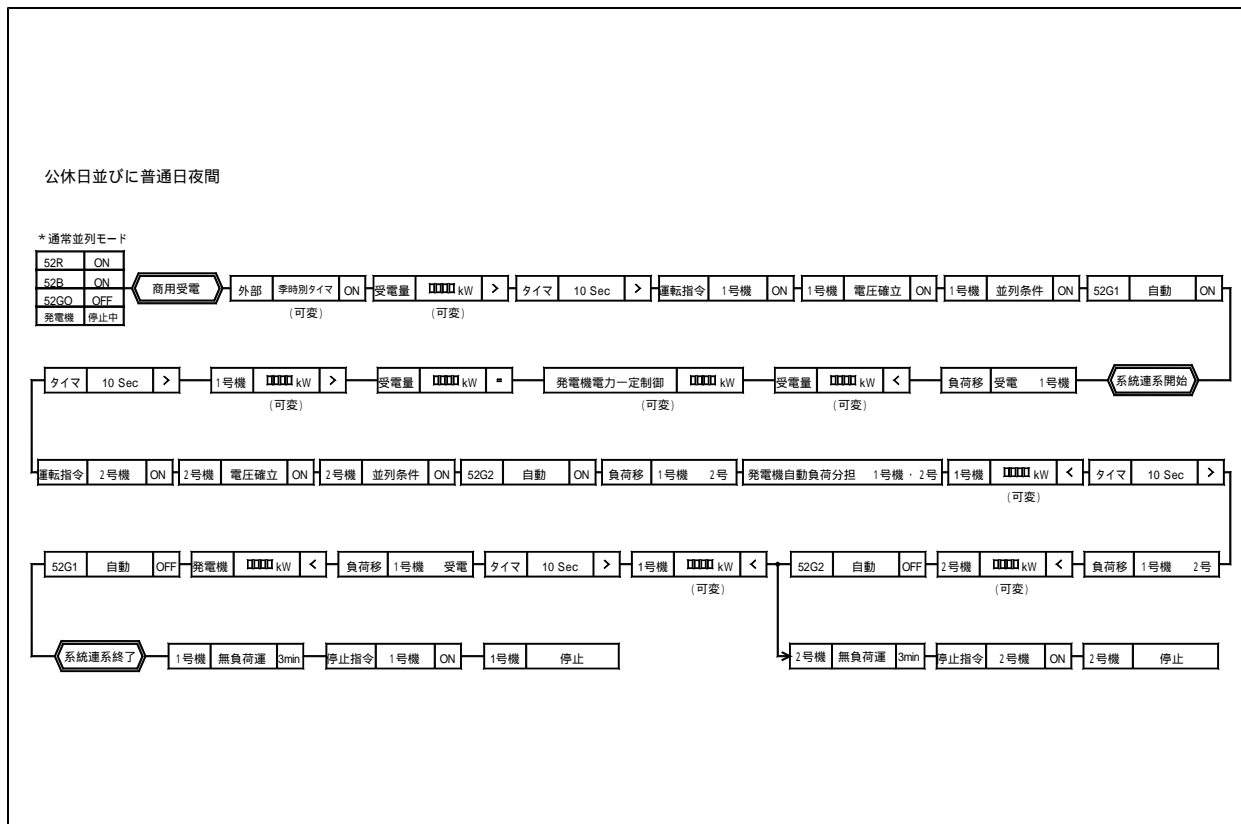


図 - 6 発電機発停制御フロー

ハンチングはディーゼル機関及び発電機、電気品に過大な負担をかけ、耐用年数を縮めることになる。また、ハンチングをしないように不感帯を取るような設定を行った場合は、発電機が始動せず契約電力を超過する。

夜間は商用電力優先運転であるにもかかわらず発電機電力が大きくなり経済性を損なうというような不具合が発生する。

以上のような問題を解決することを目的として、標準では電力値と継続する時間のみで発停を行っていたが、負荷電力の3波の電力値の平均値を演算し、発停を行う制御とした。図-8に制御を導入した後の日負荷と電力曲線を示す。

## 6. まとめ

本システム導入の経緯と制御の内容について述べてきたが、その特徴は以下のようにまとめられる。

発電機に標準のデジタル設定器を使用したガバナ制御では、変動の大きい負荷特性において応答速度に問題が生じる。しかし、目標値と各種電力値との偏差の量（デジタル値）に応じて速度制御の量を反限時特性とすることで、標準のガバナ制御に見られる応答速度の問題を解決した。

緊急電力減機能を設定することにより受電電力が急激に減少した場合、瞬時に発電機出力電力を減少させ系統側の逆電力警報を回避する制御を行う。これにより受電電力一定値を少なく設定することを可能とした。

標準の電力値と継続する時間のみでの発停を負荷電力の3波の電力値の平均値を演算することにより、制御し、夜間モード運転に見られる発電機のハンチングの問題を解決した。

以上のように発電機の運転制御に改善を加えることにより、従来は難しかった変動の大きい負荷特性を有する場合においても経済的な運用を可能とした。

今後、引き続きCGSへの取り組みを行い、有効な電力利用、熱利用、環境へ取り組み、より優れたトータルエネルギーシステムへ発展させていく所存である。

## 参考文献

1) リアライズ(株)：最新コージェネレーション設計・施工マニュアル、p.174

## 謝辞

本システムの建設にあたっては、昭石エンジニアリング(株)殿ならびに栄光技研(株)殿に多大なるご協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げますとともに、深く敬意を表する次第である。

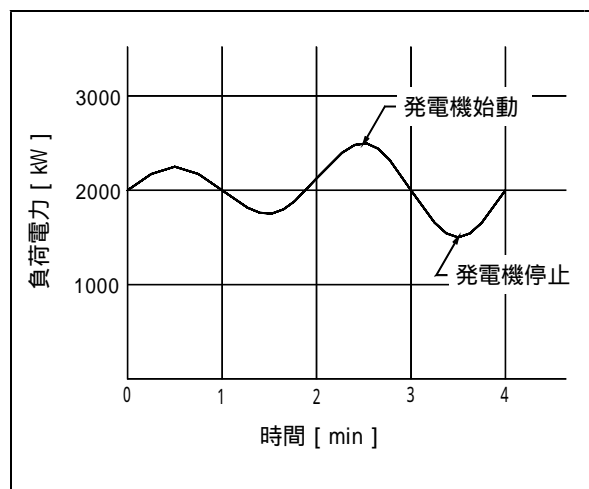


図-7 発電機のハンチング現象

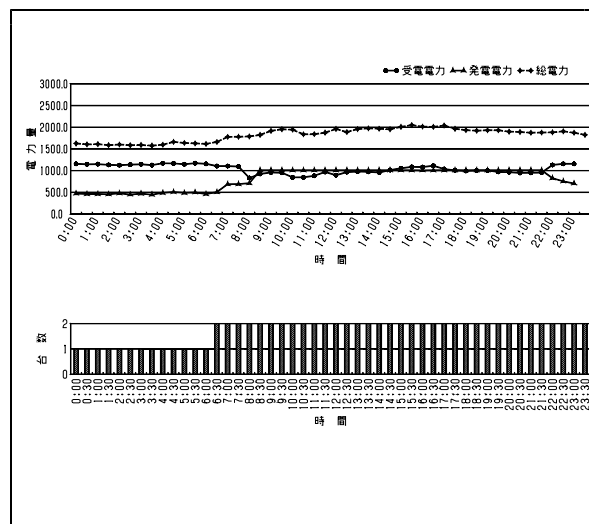


図-8 制御を導入した後の日負荷と電力曲線