

3.4 非常用発電装置

3.4.1 非常用発電装置の必要性

非常用発電装置は、原動機と交流発電機等から構成される。主としてダム、頭首工等におけるゲート操作や排水機場の河川管理等に必要な場合に停電時の対策として非常用発電装置の設置の検討を要する。なお、非常用発電装置を設置する場合、大気汚染防止法※、消防法（総務省）、騒音規制法（経済産業省）、騒音に関する地域の条例等の規制があるので注意する。

※：大気汚染防止法施行規則の一部を改正する総理府令（昭和62年総理府令第53号）により、非常用施設については、ばい煙の排出基準の適用が猶予されている。

3.4.2 非常用発電装置の構成

非常用発電装置の構成は表3.4-1のとおりである。形式の選定は、設置場所、使用条件及び周辺環境条件等を検討のうえ決定するものとする。

パッケージ形とオープン形の外観例を図3.4-1～図3.4-4に示す。

表 3.4-1 非常用発電装置の構成

形 式	構 造
パッケージ形非常用発電装置 (発電機盤搭載型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ、バッテリー、制御盤等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載し、鋼製キャビネット（消音機能等を有するものを含む）に収納したもの。
パッケージ形非常用発電装置 (発電機盤自立型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載し、鋼製キャビネット（消音機能等を有するものを含む）に収納したもの。
オープン形非常用発電装置 (発電機盤搭載型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ、バッテリー、制御盤等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載したもの。
オープン形非常用発電装置 (発電機盤自立型)	共舞台床上に原動機、発電機、ラジエータ等(燃料タンク、消音器を搭載する時もある)を搭載したもの。

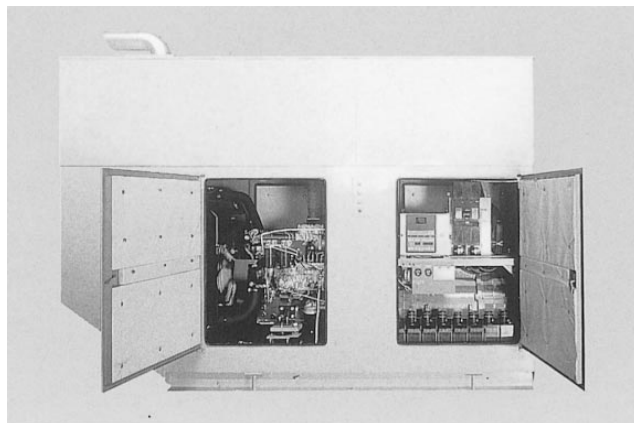


図 3.4-1 パッケージ形非常用発電装置（発電機盤搭載型）外観例

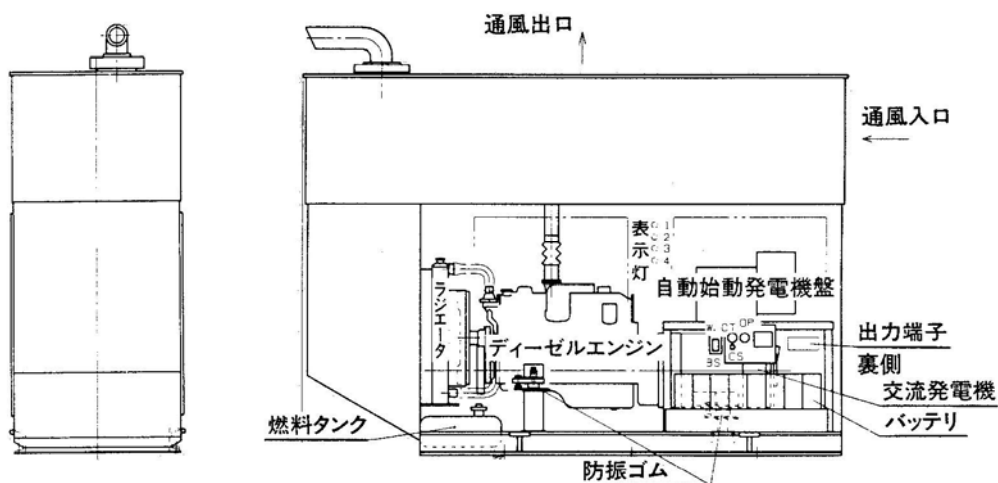


図 3.4-2 パッケージ形非常用発電装置（発電機盤搭載型）構成図例

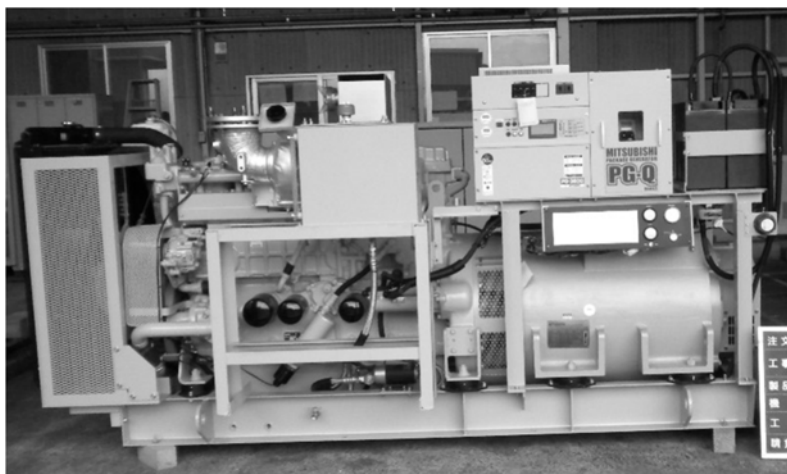


図 3.4-3 オープン形非常用発電装置（発電機盤搭載型）外観例

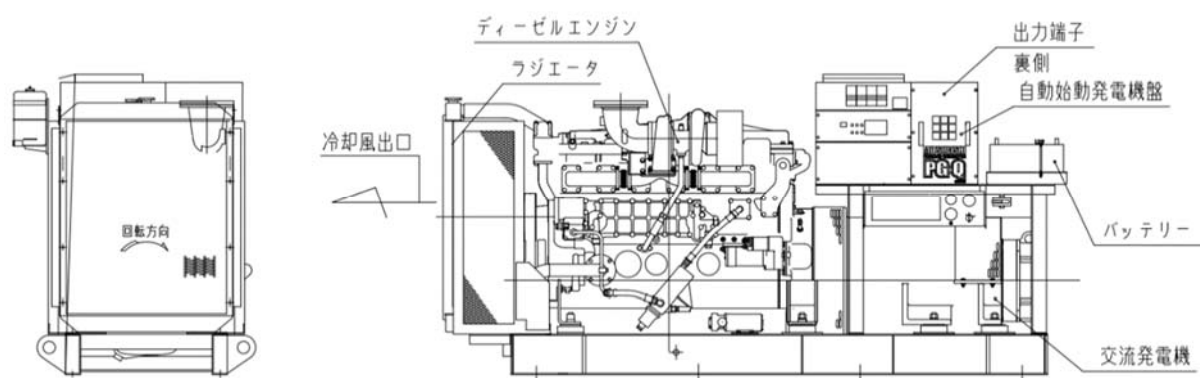


図 3.4-4 オープン形非常用発電装置（発電機盤搭載型）構成図例

(1) ディーゼル機関

(a) ディーゼル機関の種類

ディーゼル機関は動作行程、燃焼方式、冷却方式等によりいくつかの種類がある。

① 動作行程

ディーゼル機関は、シリンダ内に吸入した空気を圧縮して高温にし、圧力を加えて霧状にした燃料を噴射して着火爆発させ、この圧力によりピストンを押下げてクランク軸を回転させ、再びピストンを押上げて排気する。

このようにディーゼル機関は吸入・圧縮・爆発・排気の4行程を繰返して仕事をする原動機である。

この4行程をクランク軸が2回転する間に行うものを4サイクル機関、1回転中に行うものを2サイクル機関という。一般には燃料消費及び振動の少ない4サイクル機関を採用している。図3.4-5に4サイクル機関の行程図を示す。

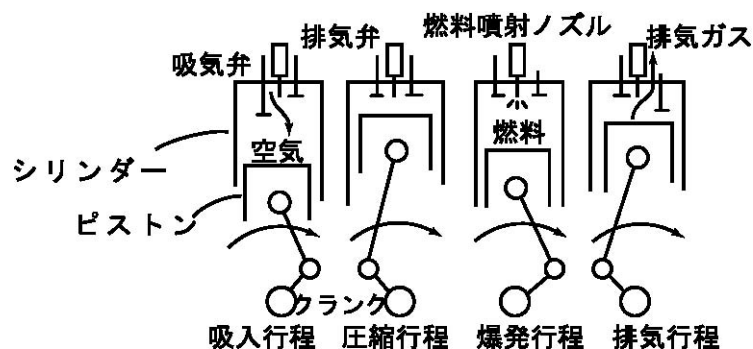


図 3.4-5 4サイクル機関行程図

② 燃焼方式

ディーゼル機関の燃焼方式には直接噴射式と予燃焼室式の2種類がある。

(ア) 直接噴射式

圧縮行程が完了する直前のシリンダ内に燃料噴射弁から直接に燃料を噴射、燃焼させるものである。

直接噴射式ディーゼル機関は始動性が良く熱効率も良好で、中速(500～1000 [min⁻¹])・低速(500 [min⁻¹] 以下)機関に多い。

(イ) 予燃焼室式

この形の燃焼室は2段に分かれ、燃料はまず予燃焼室内に噴射され、一部燃焼と同時にその室内の温度及び圧力を上昇させる。その圧力によって残りの燃料を主燃焼室にふき出し、完全に燃焼させるものである。

予燃焼室式ディーゼル機関は比較的シリンダ径の小さい高速(1200 [min⁻¹] 以上)機関に多く、直接噴射式と比較して騒音、振動が小さく、また、NO_xの発生量が少ない。

しかし、始動の際にほとんどの予燃焼室式機関は予熱を行わなければならないので、始動時間が長くなる欠点がある。一方このため直接噴射式と比べて、周囲温度が低くても始動できる利点がある。

③ 冷却方式

ディーゼル機関の冷却方式には水冷、空冷の2方式がある。水冷式は機関の外部から供給される冷却水で機関内部を冷却する方式である。

空冷式は機関のクランク軸から直接駆動されるファンにより冷却する方式である。空冷式ディーゼル機関は小容量のものが多く、発電用としては、あまり採用されない。

④ シリンダ配列

ディーゼル機関のシリンダの配列は、発電用としては立形及びV形が採用されている。立形には4, 6, 8気筒が多く、V形には12, 16, 18気筒が多く採用されている。

⑤ 始動方式

ディーゼル機関の始動方式には圧縮空気による空気始動方式と、セルモータによる電気始動方式がある。

(ア) 空気始動方式

空気圧縮機で圧縮した空気を空気タンクに蓄えておき、始動の際にこの空気を機関の分配弁・始動弁を通してシリンダ内に送り込んでピストンを押下げる。これを繰返して機関を始動させる方式である。

図3.4-6は、空気始動方式を示す。

(イ) 電気始動方式

バッテリーに接続したセルモータのピニオンを機関のはずみ車に切ったギアとかみ合わせて、機関を始動させる方式である。小形発電装置は電気始動方式で行っている。

図3.4-7は、電気始動方式を示す。

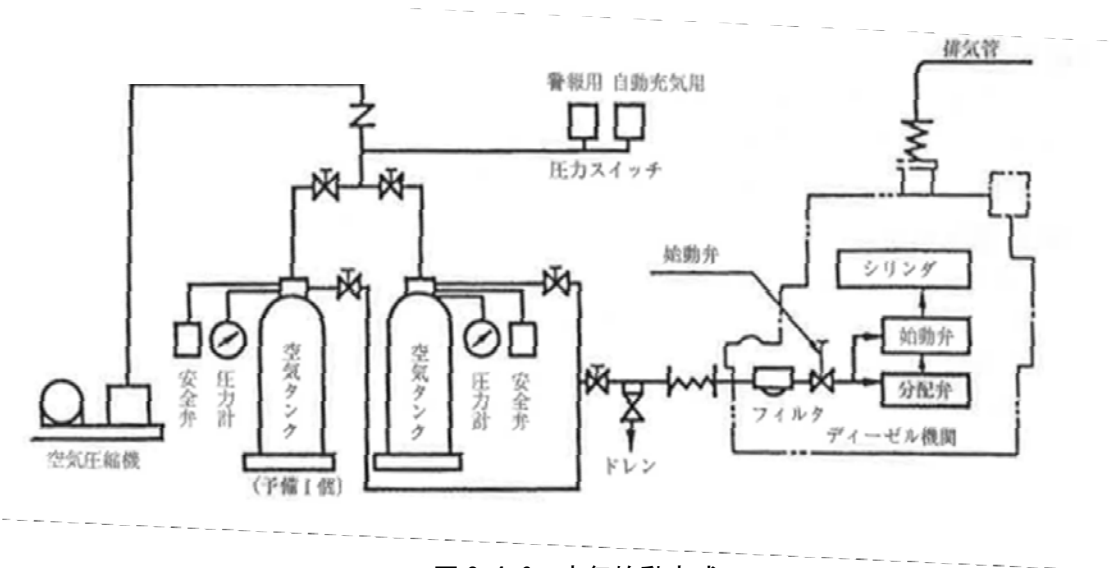


図 3.4-6 空気始動方式

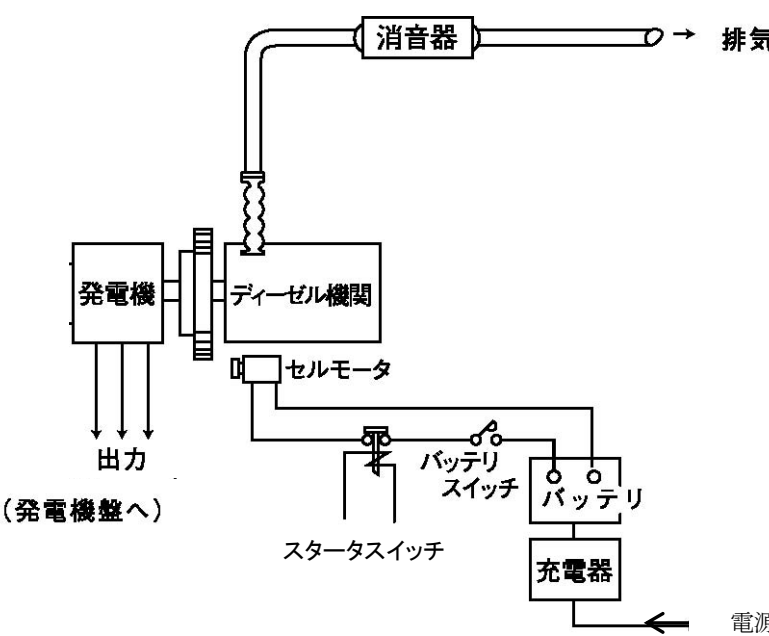


図 3.4-7 電気始動方式

(b) ディーゼル機関の諸系統

① 燃料系統

ディーゼル機関の燃料は通常、

燃料貯油槽→移送ポンプ→燃料小出槽（搭載タンク）→（フィルタ）→機関

の経路にしたがってシリンダ内に送り込まれ、燃料の供給量は機関の回転速度の増減を调速機により検知し、燃料調整軸を動作させることにより調整している。図 3.4-8 及び図 3.4-9 に貯油槽が高い位置にある場合と低い位置にある場合の燃料系統例を示す。

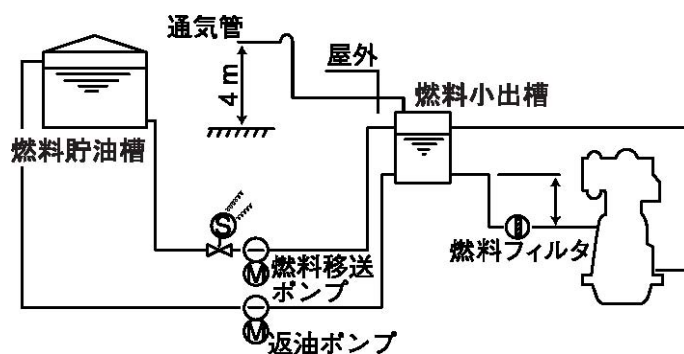


図 3.4-8 燃料系統例（貯油槽が高い位置にある場合）

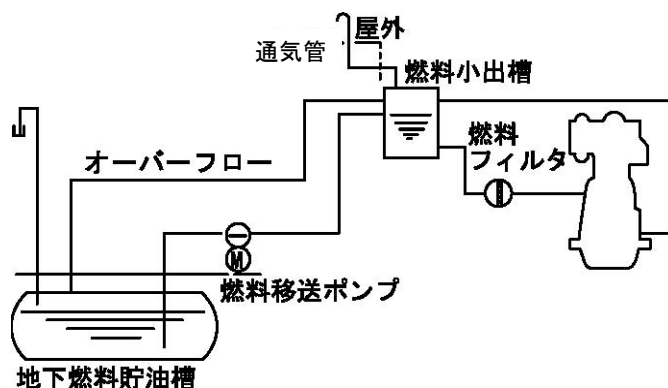


図 3.4-9 燃料系統例（貯油槽が低い位置にある場合）

また、ディーゼル機関に使用する燃料は J I S 規格によって次のように決められている。

軽油	JIS K 2204 特1号～特3号
A重油	JIS K 2205 1種2号

非常用として使用される場合は年間運転時間がきわめて少なく、100 時間程度以内であるから燃料費よりも入手しやすく始動性の良いということを重視して軽油を選定するのが一般的であるが、エンジンポンプがある場合は、エンジンポンプ機関の燃料に合わせる。

② 潤滑油系統

300 [kVA] 以下で使用されるディーゼル機関では、潤滑油系統は強圧注油式でクランク軸より駆動される歯車ポンプにより油冷却器、フィルタを経て機関各部へ強圧注油され、各部を潤滑した油は、クランク室下部の軸受又はサンプタンクに集まり循環使用される。

③ 冷却水系統

冷却水の系統は主に必要な水量とこれらの調達度によって種々の系統を考えられ、以下にそれらの例を紹介する。

(ア) ラジエータ冷却方式

図 3.4-10 にラジエータ冷却方式の水系統例を示す。この方法は装置の一部としてラジエータを設け冷却水を循環して使用する方法である。他の水冷式に比較してシステムが簡単であるが、室内の換気量を多量に必要とし換気に困難を伴う場所には不向きであるが、水の便の悪い場所や特に小、中容量予備発電装置に多く採用されている。

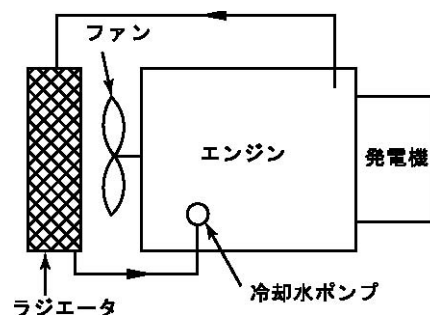


図 3.4-10 ラジエータ冷却方式の水系統例

(イ) 放流式

図 3.4-11 は放流式の水系統例を示す。この方法は高架水槽に貯えられた水がある場合や、水道水等常時適当な圧力水が得られる場合に使用される。高架水槽の場合でも常時圧力が 0.098 ～0.196 [MPa] 程度であれば問題ないが、それ以上の場合には図に示すように減圧水槽あるいは熱交換器を設ける。また、水道水の場合も機関に直接配管することは法律上許されていないので適当な水槽を設ける。

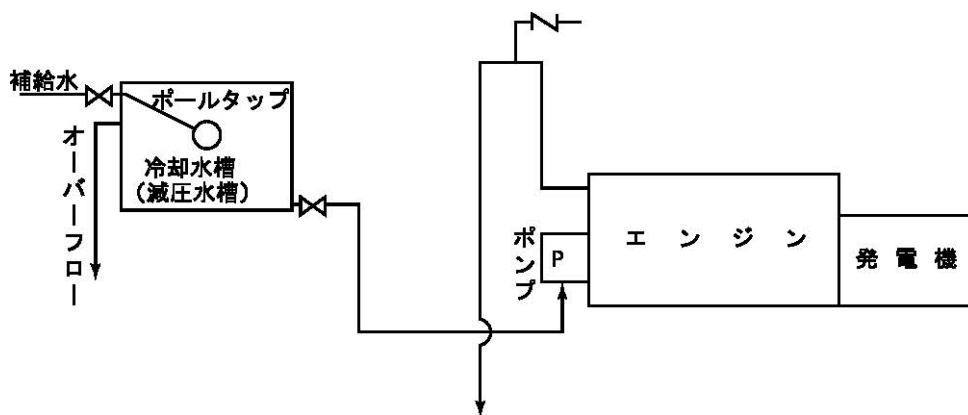


図 3.4-11 放流式の例

(ウ) クーリングタワー式

図 3.4-12 はクーリングタワー式の水系統例を示す。この方式ではクーリングタワーは発電機室外の建築物の屋上又は屋外に設置される。

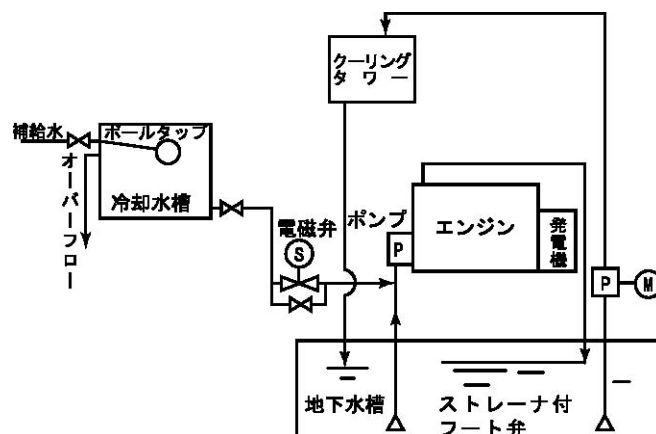


図 3.4-12 クーリングタワー式の水系統例

④ 排気系統

ディーゼル機関の排気ガスは、350～450℃程度の高温となる。排気ガスは、過給機付の場合は過給機を経て消音器を通り、屋外に排出する。

消音器は、エンジンから発生する騒音のうち、排気音及び吸気音の騒音対策として使用される。

排気消音器と吸気消音器では、高温の排気ガスを取り扱うか、常温の空気を取り扱うかが相違するのみで、原理的には全く同一である。

なお、消音器の形式として代表的なものを挙げれば、次のとおりである。

(ア)膨張形消音器 (図 3.4-13)

排気ガスを消音室に導き、膨張、拡散することにより音のエネルギーを減衰させるもので、一般に低い周波数の騒音を消音するために使用される。

(イ)共鳴形消音器 (図 3.4-14)

音響管の途中にけい部を設けて空洞を組合わせると、けい部の気体が質量、空洞がばねとして一種の共鳴作用が行われ、音波のエネルギーが消耗して消音されることを応用したものである。

(ウ)吸音形消音器 (図 3.4-15)

消音器の内壁に吸音材を取付け、高周波域の減衰効果を高めるように考慮された消音器で、本体の容積が大きくなると高周波域の容積も大きくなり十分な消音効果が期待できるものである。ただし、消音器容積の小さいものについては、余り大きな効果は望めない。

実際には、排気ガス抵抗を小さくし、吸音表面積を大きくするため、ガスの通路を螺旋状に構成しており、また、内部の壁材に多穴板を使用し、多穴板の外側に吸音材を充填して多穴板により音波を乱射させて吸音材に吸音させるように構成されている。

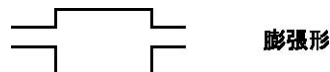


図 3.4-13

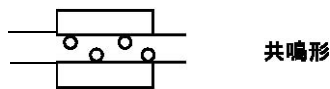


図 3.4-14

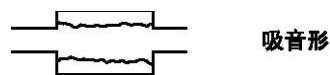


図 3.4-15

(2) ガスタービン機関

(a) ガスタービンの歴史

ガスタービンは1791年英国の John Barber が開発し、現在の形に近い形で製作されたのは、1872年のことである。しかしこの製品は出力を出すまでに至らず、実出力の得られた最初のガスタービンは、フランスの August Rateau の設計によりスイスの B B C が製作したもので、ガス温度 555℃でタービン出力 400 [PS] が得られたが、この出力はコンプレッサを駆動するために大部分が消費され、熱効率は 3 [%] に過ぎなかった。

これらのガスタービンが実用化されなかったのは、当時のガス温度が $380\sim 430\text{ }^{\circ}\text{C}$ と低かったことと、コンプレッサの効率が悪くこれの駆動に動力を費やした点にあった。しかし第2次大戦後のジェットエンジンの急速な発達にともなう関連技術、特に超耐熱材料の開発により、ガスタービンのガス温度も次第に高温化することが可能となり、最近では $1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ に達している。このことはガスタービンの特徴の一つであり、小形、軽量化を推し進め、かつコストの大幅な低減が可能となり、1960年頃からその特徴を生かした分野に急速に実用化が進んだ。すなわち国内では、まず大形分野（ $10,000\text{ [PS]}$ 以上）で1960年頃から主として電力会社のピークカット用として実用化が始まり、1970年に入ってからでは中小形の分野（ $250\sim 2,000\text{ [PS]}$ ）でもガスタービンが普及し始めてきた。

(b) ガスタービンの動作原理

ガスタービンの構造は図 3.4-16 に示すようにコンプレッサ、燃焼器及びタービンから構成され、作動流体である空気はフィルタ、消音器などを経てコンプレッサに導かれ、この空気はコンプレッサで圧力比 $3\sim 15$ 程度に圧縮され、更に燃焼器で燃料を加えて、高温（ $800\sim 1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）・高圧の燃焼ガスになる。この燃焼ガスはタービンで大気圧まで膨張し、機械エネルギーに変換される。

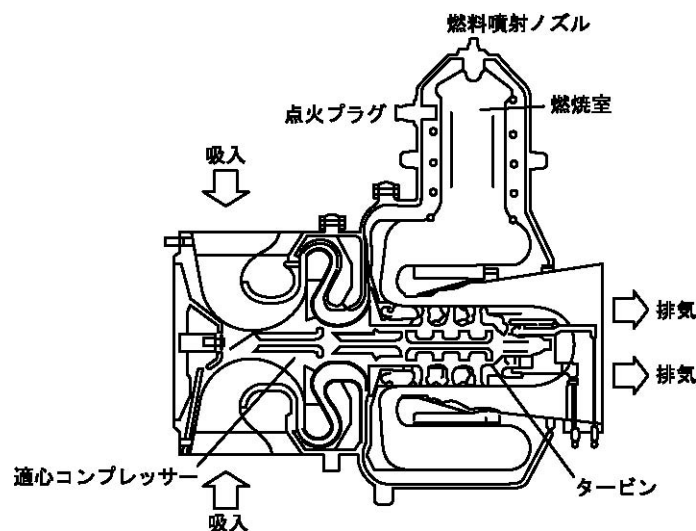


図 3.4-16 ガスタービンの構造例

タービンを出た排気ガスは、ディフューザ、ダクト、排気消音器を経て大気に放出される。ガスタービンの回転速度は約1～4万 $[\text{min}^{-1}]$ の高速であるため、減速機を設けて1,500～3,600 $[\text{min}^{-1}]$ に減速して使用している。ガスタービンの出力調整はガバナにより燃焼器に供給される燃料の量を変化させて行う。この他にガスタービンの附属装置として始動装置、潤滑油装置などが必要となる。

ガスタービンとピストン機関（往復動機関）との異なる点は次のとおりである。

- ① 回転機関であるため、往復運動を回転運動に変えるメカニズムが不要である。
- ② ピストン機関はその構造上、作動流体を増やして出力を高めるということが困難であるが、ガスタービンはその構造上からも作動流体を多量に処理できるので、大出力化がきわめて容易である。
- ③ ピストン機関はサイクルの全行程をシリンダとピストンだけで行うが、ガスタービンは、圧縮は圧縮機、燃焼は燃焼器、膨張はタービンでそれぞれ専門に行う。
- ④ ピストン機関は断続的に燃焼するが、ガスタービンは燃焼が連続して行われるので、一度着火して始動させると、燃料供給を停止するまで燃焼が続く。

(c) ガスタービンの軸構成

ガスタービンはその機能の分担上からガス発生機（ガスジェネレータ）部と出力タービン（パワータービン）部の二つの部分に大きく分割して考えることができる。この内ガス発生機部はコンプレッサ、燃焼器及びタービンの一部分から構成され、その機能は出力タービンに高温高圧のガスを供給する点にある。ガス発生機部のタービンはコンプレッサを駆動するのに必要な出力のみを発生し、この出力は全タービン部出力の約2/3に相当し、残りの1/3が出力タービンの有効出力となる。この出力タービン部から取り出し得るネットの出力はガス発生機部の速度により決まる。ガス発生機部の速度が早ければ出力タービンから取り出し得る出力も大きくなる。この性質はガスタービンの軸構成を考えると非常に重要である。

図3.4-17にガスタービンの主要な軸構成形式である「一軸式」と「二軸式」の概念図を示す。

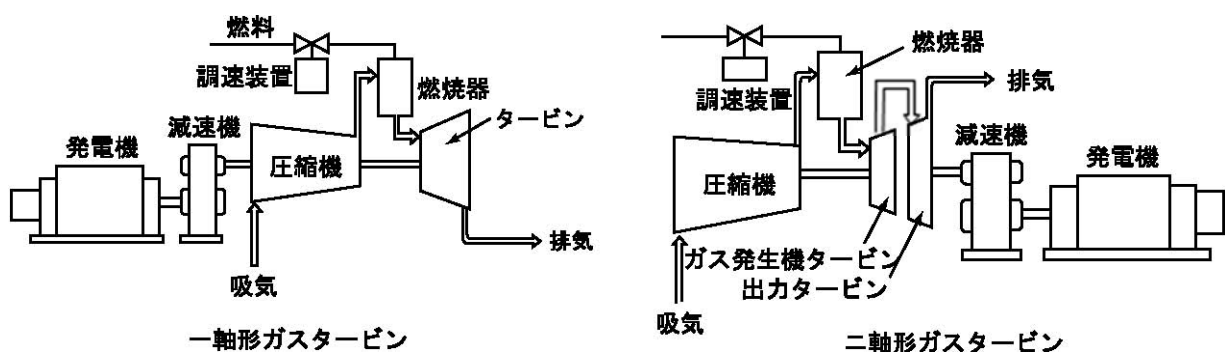


図 3.4-17 ガスタービンの軸構成

以上の一軸式と二軸式の高スタービンの比較をまとめると表 3.4-2 のようになる。

表 3.4-2 一軸式・二軸式高スタービンの比較

項 目	一 軸 式	二 軸 式
性 能	負荷変動に対し非常に安定 (100 [%] 負荷投入時 瞬時 4 [%] (3 [%]) 整定 0~4 [%] (可変))	負荷変動に対する安定性 一軸に劣る。 (70~75 [%] 負荷投入時 瞬時 10 [%] 整定 0~4 [%] (可変))
	低回転時のトルク低い	低回転時でも高トルクが出せる。
高スタービン構造	簡 単	複 雑
速 度 制 御 装 置	—	—
始 動 装 置 容 量	やや大	小
適 正 用 途	発電機駆動用	コンプレッサー，ポンプ 駆動用 車両及び船舶推進用

(d) 始動方式

高スタービンはディーゼルエンジンなどと同様にタービン自体では始動力がないため、外部から始動トルクを与える。この方式には電気始動方式と空気又はガス始動方式とがあり、一般には前者の電気式を用いる。

これは始動指令により燃料電磁弁を開いて燃焼器に燃料供給の準備をして、セルモータを駆動し、同時に点火プラグに通電する。以上によりタービンは約 50 [%] 速度になると自然燃焼状態になり、点火プラグとセルモータを制御系から取り除いて始動を完了する。

一方空気の場合は上記のセルモータの代りにエアーモータを使用する点が異なる。

(e) 高スタービンの諸装置

高スタービンにはタービン本体以外に燃料、潤滑油、吸気・排気装置、始動装置などが必要である。

① 燃料装置

ガスタービンの燃料には流体燃料として、A重油、軽油及び灯油がある。また、デュアル方式として、液体燃料を切替える方式もある。

② 潤滑油装置

ガスタービンが回転を始めると、本体駆動のメインポンプは潤滑油タンクから潤滑油を吸い上げて、潤滑油冷却器へ送油する。潤滑油冷却器を出た油は潤滑油フィルタを通り、潤滑油マニホールドに送られ、ここから減速機各部軸受に注油される。各部冷却のあと潤滑油タンクに戻る。

③ 吸気及び排気系統装置

ガスタービンはディーゼルエンジンと異なり、空気を作動媒体としているため吸排気量はディーゼルエンジンの3～4倍となり、多量の空気が必要となり、吸排気の問題と消音の目的から発電装置全体をキュービクルに収納するのが一般的である。

一般に建屋吸気ガラリから必要空気量を吸気し、燃焼後の排気はキュービクル本体から排気消音器を介して屋外に排気される。発電機室の換気はこの吸排気量と室温に関係がある。

④ 調速装置

ディーゼルエンジンの場合と同様の調速装置を使用する。

(3) ガスタービン機関とディーゼル機関の比較

ガスタービンは空気を作動流体とし、その「吸入」「圧縮」「燃焼」「膨張」「排気」の間にもつ熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する原動機であり、この点ではディーゼルエンジン、ガソリンエンジンなどと全く同じで内燃機関と呼ばれる。

ガスタービンは作動流体である空気の「吸入」から「排気」に至る過程が独立の機能をもった別々の場所（吸気ケース、コンプレッサ、燃焼器、タービン及び排気ディフューザー）で各々連続的に行われるのに対し、ディーゼルエンジン又はガソリンエンジンなどではこれらの過程が同一の場所（シリンダ）で順次、間欠的に行われる点が異なり、ガスタービンとディーゼルエンジンの作動比較を図3.4-18に示す。

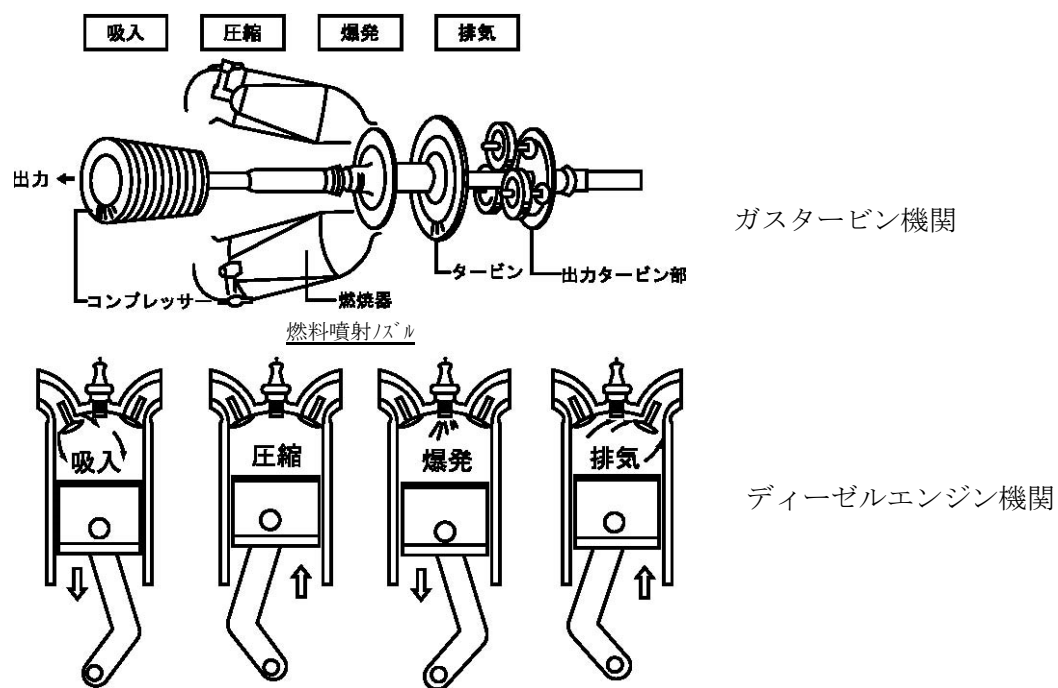


図 3. 4-18 ガスタービン機関とディーゼルエンジン機関

表 3.4-3 にディーゼル機関とガスタービン機関の比較を示す。

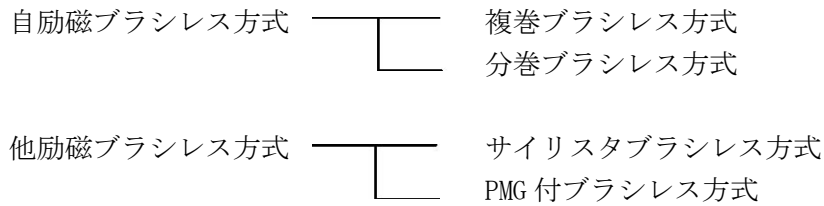
表 3.4-3 ディーゼル機関とガスタービン機関の比較

項 目 \ 原動機	ディーゼル機関	ガスタービン機関
作動原理	断熱燃焼する燃焼ガスの熱エネルギーを一旦ピストンの往復運動に変換し、それをクランク軸で回転運動に変換(往復運動→回転運動)	連続燃焼している燃焼ガスの熱エネルギーを直接タービンにて回転運動に変換
出 力	吸込空気温度による出力を減少する割合は少ない。	吸込空気温度が高い場合は、一定寿命を保証するために出力が制限される。
燃焼消費率	210～310 [g/kWh] (150～230 [g/PSH])	ディーゼル機関に比べ多い。 260～680 [g/kWh] (190～500 [g/PSH])
使用燃料	軽油、A重油 (B重油、C重油、灯油)	灯油、軽油、A重油、天然ガス (プロパン、B重油、C重油)
燃焼用空気量	1	ディーゼル機関に比べ約 2.5～4 倍必要
潤滑油消費量	0.7～4.1 [g/kWh] (0.5～3 [g/PSH])	0.1～0.7 [g/kWh] (0.1～0.5 [g/PSH])
回転速度変動率	瞬 時 10 [%] 以下 整 定 5 [%] 以下	瞬 時 10 [%] 以下 (一軸形の場合は 5%以下) 整 定 5 [%] 以下
瞬時負荷投入率	100 [%] (無過給) ～50 [%] (過給)	100 [%] (一軸形) ～70 [%] (二軸形)
始動時間	10～40 秒	30～40 秒
軽負荷運転	燃料の完全燃焼が得られにくい。潤滑油が増し燃焼室内あるいは排気タービン(過給機)に付着し、カーボン化する量が多い。	問題なく運転可能。
N o x 量等	300～1000 [ppm]	20～150 [ppm]
振 動	防振装置により減少可能	防振装置不要
体積、重量	部品点数が多く、重量が重い。	構成部品点数が少なく、寸法、重量とも小さく軽い。
据 付	据付面積が大きい(補機類を含む)基礎が必要 吸気・排気処理装置が小さい。	据付面積が小さい。 基礎が殆ど不要 吸気・排気処理装置が大きくなる。
冷 却 水	44～55 [L/kWh] (30～40 [L/PSH]) (放流式)	不 要
保 守 性	長期休止中も含め定期的な保守運転、管理が必要であり、点検頻度はガスタービンより多いが点検整備はほとんど現地で可能。	構造が簡単のため点検箇所も少ないが、定期整備などはメーカーの工場へ持込む必要がある。 なお、日常点検する箇所は少ない。
回転数範囲	500～5,000 [min ⁻¹] 程度	10,000～40,000 [min ⁻¹] 程度

(4) 交流発電機

交流発電機の形式も、ディーゼル機関と同様に励磁方式、保護方式、冷却方式等によりいくつかの形式に区分することができる。

(a) 励磁方式



① 自励式ブラシレス方式

(ア) 複巻ブラシレス方式

電源系統上重要な発電機で、短絡時に系統の過渡安定度をそこなわず、また、事故点解列後も引きつづき重要負荷に給電する必要がある場合に使用する。また、負荷電流による端子電圧の効果を、その負荷電流によって補償する複巻特性も持っているのも特徴の一つである。

(イ) 分巻ブラシレス方式

比較的小容量の発電機や可搬形の場合で、負荷の重要度がそれほどでなく短絡時に解列しても差し支えないようなときに使用する。

② 他励式ブラシレス方式

(ア) サイリスタブラシレス方式

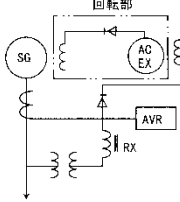
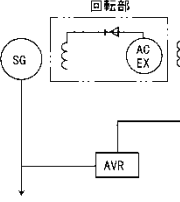
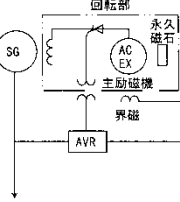
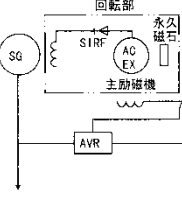
ブラシレスの短所である過渡時の電圧降下を回復の速応性に多少欠ける点を回転整流素子をシリコン整流素子（SR）から、サイリスタ（SCR）に置き換えることにより、解決したもので、保守面の有利さも併せてもつ速応性のすぐれた方式である。

(イ) PMG 付ブラシレス方式

発電機定格電圧が 6.6 [kV] を超える非標準高電圧の場合、励磁源の変成器は高価となるので PMG（Permanent Magnet Generator）を発電機軸端に設け、これにより交流励磁機の励磁電源とする。この場合出力電圧の制御は PMG の出力を外部サイリスタで調整し、交流励磁機の出力電圧を制御することにより行う。この方式では初期励磁が不要となる。

以上の励磁方式を比較すると表 3.4-4 のようになり、現在では、小形は PMG 付ブラシレス方式も使用されているが、自励式ブラシレス方式が多く使用されている。

表 3. 4-4 発電機励磁方式の比較

項目	自励式ブラシレス方式		他励式ブラシレス方式	
	複巻ブラシレス方式	分巻ブラシレス方式	サイリスタブラシレス方式	PMG付ブラシレス方式
励磁方式	 CTにより負荷に応じた複巻特性を存するAVRは界磁電流の一部を分流回路に分流して界磁電流を制御する。	 AVRにより励磁機回路を制御する。	 AVRにより界磁を直接制御する。	 AVRにより主励磁機の界磁を制御する。
瞬時電圧変動特性 発電機定格の100kVA(力率0.4)の始動負荷を投入した場合	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.0秒 以内	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.5秒 以内	電圧変動…25%以内 復帰時間…0.5秒 以内	電圧変動…30%以内 復帰時間…1.0秒 以内
短絡電流	2.5倍以上	不可能	3倍以上	2倍以上

(b) 構造

同期発電機には、回転電機子形と回転界磁形がある。

- ・回転電機子形は、電機子が回転する構造のため巻線の高圧の絶縁、遠心力に対する保護が困難であるため低圧の小容量の発電機に用いられている。
- ・回転界磁形は、電機子巻線が固定し、界磁の部分が回転する構造で、回転する界磁巻線を回転子巻線といい低速のものには突極形回転子が用いられ、高速のものには同筒形回転子が用いられる。

(c) 交流発電機の定格

① 定格出力

発電機出力は、通常〔kVA〕で表わす。

表 3. 4-5 に交流発電機の定格出力を示す。

表 3.4-5 交流発電機の定格出力 JEM-1354 (2014)

標準定格出力	
[kVA]	[kW] (力率 0.8)
20	16
37.5	30
50	40
62.5	50
75	60
100	80
125	100
150	120
200	160
250	200
300	240

② 定格電圧

定格電圧は、連結される受変電系統の発電電力供給範囲、発電電力供給容量、受電－発電切替方式等を総合的に検討して決定する。

一般的には、次のように採用される。

- ・(低圧の発電機)低圧受電の施設、高圧変圧器 1 台の施設
- ・(高圧の発電機)高圧変圧器が複数台の施設

高圧発電方式と低圧発電方式の特徴を表 3.4-6 に示す。

表 3.4-6 交流発電機の定格電圧

項 目	高圧発電方式	低圧発電方式
特 徴	・電力系統の高圧母線に接続されるため、買電－発電切り換え部を含む電力系統が単純。 ・配電系統が高圧の場合又は高圧負荷がある場合に適用。	・電力系統の低圧母線に接続されるため、発電機運転時に高圧母線が無電圧となり、高圧側の点検が可能。 ・小容量の場合は、搭載形発電装置がある。
適 応 性	比較的大電力の発電に適用	比較的小電力の発電に適用

③ 力 率

定格力率は 80 [%] 遅れとする。

④ 回転数

ベルト連結方式、増（減）速ギア連結方式を除き発電機はディーゼル機関と直結しているので、発電機の回転速度はディーゼル機関の回転速度と同一となる。

発電機の極数及び周波数と、回転数との関係を次式に示す。

$$N = \frac{120f}{P} \quad [\text{min}^{-1}]$$

ただし n : 回転数 $[\text{min}^{-1}]$

f : 周波数 $[\text{Hz}]$

P : 極数

上式より極数に対する回転数の関係を整理すると表 3.4-7 のようになる。

表 3.4-7 回転速度一覧表

極 数	回転数 $[\text{min}^{-1}]$	
	50 $[\text{Hz}]$	60 $[\text{Hz}]$
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

⑤ 絶縁種別と温度上昇

現在一般的に、発電機の絶縁はB種又はF種を採用している。

(5) ディーゼル発電装置の制御及び保護

(a) 始動及び停止

ディーゼル機関を始動するためには、始動方式の自動、手動のいかんを問わず次のことが必要である。

- ・ 燃料を準備する。
- ・ 事前に潤滑油を潤滑させる。
(小容量機では、これは必要ないことがある。)
- ・ 冷却水を流す。
- ・ 自力燃焼可能な速度まで外部から回転エネルギーを供給する。
(この方法として空気式と、電気式がある。)

機関の自動始動はこれらを自動的に行うシーケンス制御であり、機関の停止は、燃料を遮断するか、場合によっては吸入空気を遮断するかにより行うが、機関停止に伴い、冷却水を止める等の付帯事項処理が必要である。以下に空気始動、電気始動についてその一例を示す。

① 空気始動による方法

機関のシリンダに圧縮空気を導き、その膨張力を利用して他のシリンダを爆発行程に持込むことにより始動させる方法である。

(ア) 必要な付属品

始動用空気槽

コンプレッサ（空気槽の圧力が低下した場合には自動的に始動させ空気槽を充気する）

(イ) 圧縮空気による自動始動（図 3. 4-19 参照）

停電検出後次の順序で始動させる。

順序 1. 始動電磁弁と冷却水電磁弁を励磁させる。

順序 2. 冷却水電磁弁を開き機関に給水を始める。

順序 3. 始動電磁弁が開き空気槽からの高圧空気を減圧した操作空気によって潤滑油ブースタを押し初期注油する。

順序 4. 操作空気は主始動空気弁を開く。

順序 5. 空気槽からの圧縮空気が機関のピストンに入り始動を開始する。

順序 6. 機関回転数が規定速度の 20～30 [%] に達すれば機関は自動燃焼状態に入るので、この速度を検出して始動電磁弁の励磁を解く。

順序 7. 機関は規定速度に達し、調速機の動作によって定格速度に保つ。

順序 8. 発電機は回転数上昇に伴って徐々に電圧を発生し規定電圧に達する。

順序 9. 機関が規定速度に達した後、時限をもって潤滑油圧力低下、冷却水温度上昇等の保護回路を形成する。

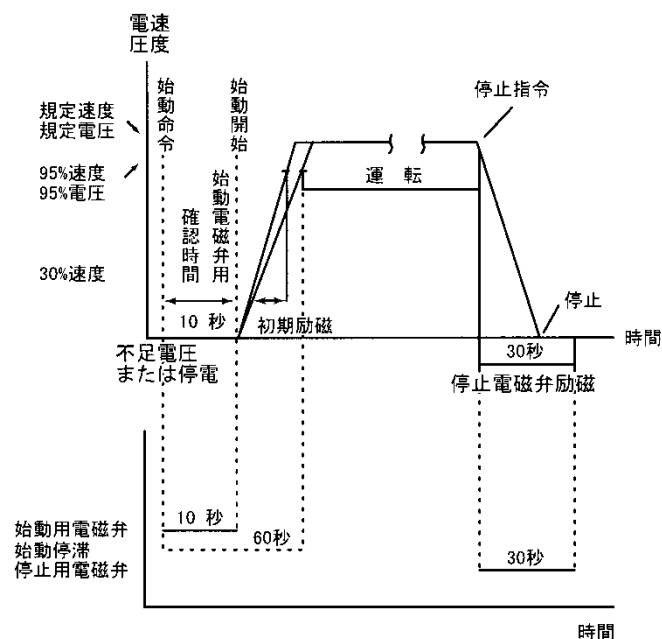


図 3. 4-19 空気式自動制御装置タイムチャート

② 電気始動（セルモータ）による方法

始動用蓄電池によりセルモータを駆動し、セルモータのピニオンと機関のはずみ車に刻まれたギアとをかみ合わせて機関を回転させ、自動燃焼状態にまで持込む方法である。

(ア) 必要な付属品

始動用蓄電池設備

同上用充電装置

(イ) セルモータによる自動始動 (図 3.4-20 参照)

停電検出後次の順序で始動させる。

順序 1. 予熱栓を予熱する。(予熱栓のある機関のみ)

順序 2. セーフティリレーの動作によりセルモータに付属しているマグネットスイッチを励磁する。

順序 3. セルモータが回転すると同時に、セルモータのピニオンが機関のギアにかみ合う。

順序 4. セルモータによる機関は駆動する。

順序 5. 機関回転数が 20～30 [%] になると自動燃焼状態に入り、速度検出装置の動作 (低速検出) によってセルモータ回路を切りはなす。

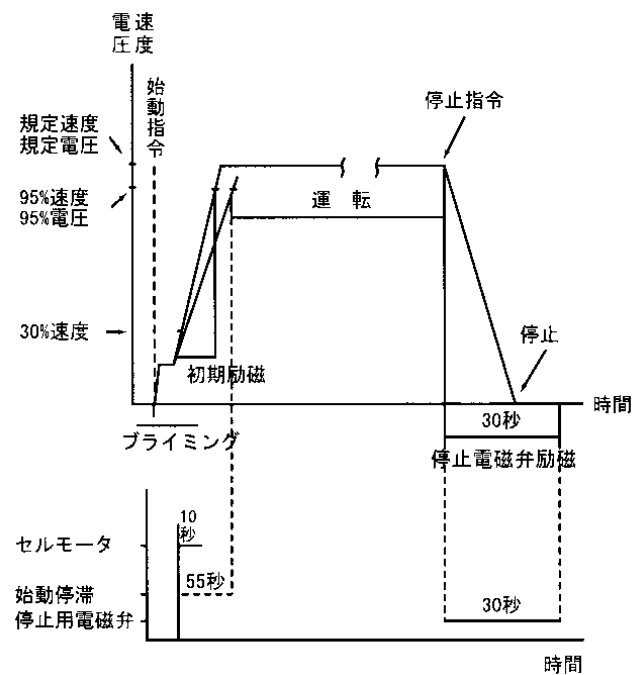


図 3.4-20 電気式自動制御装置タイムチャート

③ 停 止

機関主制御スイッチを停止するか、重故障の検出装置が動作した場合に機関は停止する。重故障によって停止した場合は自動始動盤に表示警報のうえ、始動回路を閉塞し再始動しない。

(b) 保護装置

発電装置を安全にかつ確実に運転するためには原動機及び発電機更に補機に対する保護装置が必要である。表 3.4-8 に保護装置の内容を示す。

〔重故障〕 表示警報とともに遮断器をトリップし、機関を停止する。

〔軽故障〕 表示警報のみ。

表 3.4-8 ディーゼル発電装置の保護装置（例）

区 分	保護の種類	機関停止	遮断器 トリップ	表 示 警 報	備 考
重故障	潤滑油圧力低下	○	○	○	
	冷却水温度上昇	○	○	○	
	冷却水断水	○	○	○	省略の場合もある
	過速度	○	○	○	
	始動渋滞	—	—	○	始動回路閉塞
	過電圧	○	○	○	
	過電流	—	○	○	
	非常停止	○	○	○	
軽故障	蓄電池故障	—	—	○	
	燃料小出槽油面低下	—	—	○	

前述した故障が発生した場合は、発電機盤上の故障表示器にて故障の内容を表示するとともに、ベル又はブザーにて警報する。

3.4.3 非常用発電装置の選定

農業農村整備事業において商用電源が停電しても施設の機能を維持する必要がある施設では非常用発電装置の設置を行っている。図3.4-21に非常用発電装置の選定の概略フローを示す。

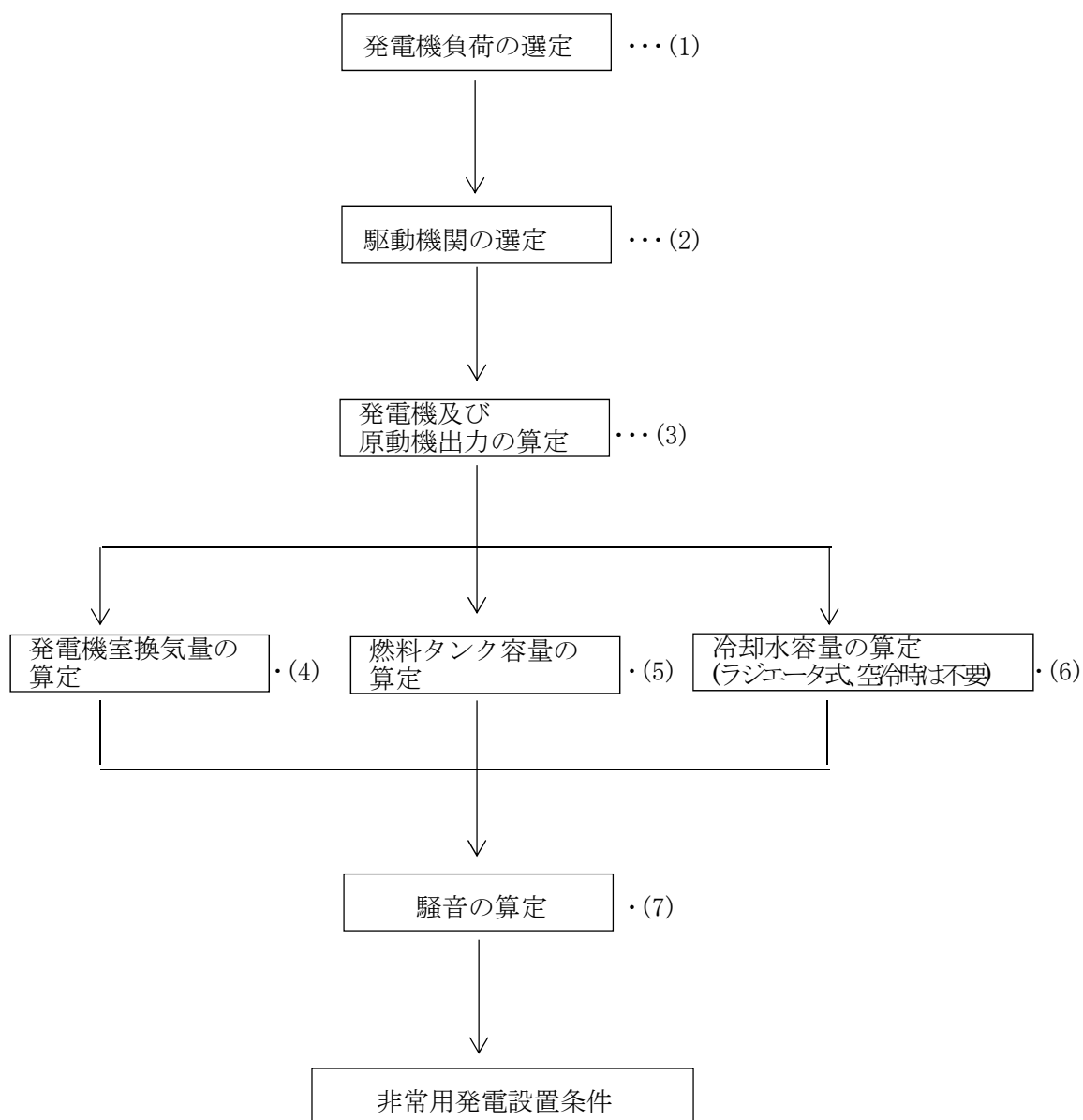


図3.4-21 非常用発電装置の選定フローチャート

(1) 発電機負荷の選定

非常用発電装置の場合には、負荷全部を満足するものであれば当然問題ないが、発電機設備の台数・容量ともに大きなものが要求され過剰投資となるので、停電時の負荷の重要度を考慮して発電機に接続する負荷を選択しなければならない。

保安用照明設備容量は、停電中も保安業務が必要な施設、棟を対象として電灯設備容量の30〔%〕程度を見込む。ただし、自家発電専用の照明回路を計画した場合は、別途考慮する。

(2) 駆動機関の選定

非常用発電装置の駆動機関としては、農業農村整備事業用では、数10[kVA]～300[kVA]位までのディーゼル機関が多く採用されている。すなわち、急速始動特性と経済性に加えて、シリンダ数を増減させて広出力域を容易にシリーズ化できるからである。

また、最近の中大容量のガスタービン機関の進歩には目ざましいものがあり、非常用発電装置の分野にも振動が少なく、冷却水が不要等という特徴を生かし採用されてきている。
今後、原動機の選定に当ってはその特色(表3.4-3)を考え、採用を検討する必要がある。

(3) 発電機及び原動機出力の算定

発電機及び原動機出力は、日本内燃力発電設備協会規格「自家発電設備の出力算定方法」NEGA C 201-2015及びNEGA D 201-2015を参考にして、算定する。

(a) 発電設備の負荷として接続する各負荷機器の出力総和の算出

(1) 負荷出力合計(K)の算出

負荷出力合計: K (kW)は、発電設備の負荷として接続する各負荷機器の出力(mi)の総和であり、算出は次式による。それぞれのmiについては、1)～5)に示す負荷機器の出力(mi)算出方法による。

$$K = \sum_{i=1}^n m_i$$

m_i : 個々の負荷機器の出力 (kW)

n : 負荷機器の個数

負荷機器の出力(mi)は、負荷機器の定格表示に応じて次により求める。

1) 誘導電動機等、定格が[kW]で表示されている機器

m_i = 定格出力

- ・ポンプ、ファン等の駆動用電動機は、汎用の低圧のかご形誘導電動機が使われている。
この場合、電動機の銘板に示されている定格出力を m_i とする。
- ・インバータ制御方式可変速度電動機及び巻線電動機も同じ扱いとする。

2) 整流装置(直流電源設備)

$$m_i = \frac{V \times A}{1000}$$

V : 直流側の定格電圧 (均等) (V)

A : 直流側の定格電流 (A)

- ・直流電源設備の銘板には、直流側の定格電圧(均等)と定格電流値が明示されているので、これらの積を定格出力(kW)とする。
- ・整流装置の形式(单相、三相 6 パルス、三相 12 パルス)を確認する。

3) 定格出力が〔kVA〕で表示されている機器(無停電電源設備)

$$m_i = C_i \times \cos \theta_i$$

C_i : 定格出力 (kVA)

$\cos \theta_i$: 定格負荷力率

通常の場合は、表 3.4-9 に示す力率を用いることができる。

- ・無停電電源設備の銘板には、定格出力値(kVA)が示されている。
- ・整流装置の形式(単相、三相 6 パルス、三相 12 パルス)を確認する。

4) 白熱灯、蛍光灯

$$m_i = \text{定格消費電力 (定格ランプ電力)}$$

- ・白熱灯は、定格消費電力、蛍光灯は、定格ランプ電力とする。
- ・電灯(照明器具)は、管球に表示されているワット数が入力 kW であり、これを定格出力として扱う。
- ・電熱負荷、単相負荷一般等は、機器の銘板記載のワット数が入力 kW であり、これを定格出力として扱う。
- ・単相入力、三相入力の区別を確認する。

5) 差込負荷(コンセント類)

$$m_i = \sum_{i=1}^n L_i$$

L_i : コンセント(単相)の定格電圧 (kV)×定格電流 (A) 通常は、コンセント一箇所に付き、100V、15A とする。

6) スコット変圧器

$$m_i = \text{接続する負荷の定格出力 (kW)}$$

表3. 4-9 発電設備の出力算定用力率・効率

負 荷 種 別		力率 $\cos \theta$	効率 η	$\frac{1}{\eta \times \cos \theta}$
電灯差込負荷	発熱灯	1.00	1.00	1.00
	蛍光灯	0.80	1.00	1.25
	差込負荷	0.80	1.00	1.25
	電熱負荷	1.00	1.00	1.00
	単相負荷一般	0.90	0.90	1.23
直流電源設備	一般形	0.85	0.80	1.47
無停電電源設備		0.90	0.90	1.23
インバータ方式電動機		1.00	0.80	1.25
巻線形電動機		0.80	0.85	1.47
その他三相負荷		0.80	0.85	1.47
その他ベース負荷群		0.80	0.85	1.47

備考 無停電電源設備が冗長並列設置の場合は、 K の算出の際に並列冗長係数： $(n-1)/n$ を乗じた m_i によるものとする。なお、高調波発生負荷の出力 R_i の算出の際は、並列冗長係数は1とする。

$$m_i = \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \times \cos \theta_i$$

インバータ方式電動機の効率・力率は、電動機とインバータ装置の総合値とする。

表 3.4-10 負荷一覽表(1)

発電設備出力計算書

建物名称:

負荷一覧表(1)

機器番号	負荷名称	負荷記号	運転台数	換算を必要とする入力又は出力[kVA, kW]	出力換算係数	出力mi[kW]	不平衡負荷[kW]			需要率D, dの選定		M ₀ の選定(RG ₀ 用)		M ₁ の選定(RG ₁ 用)		M ₂ の選定(RE用)		M ₃ の選定(RE用)	
							R-S	S-T	T-R	個別負荷の需要率	di×mi	$\frac{ks}{Zm}$	$\frac{ks}{Zm} \times mi$	$\frac{ks}{Zm}$	$\frac{(ks-1.47)}{Zm} \times mi$	$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s$	$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s \times mi$	$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s$	$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s \times mi$
									di									$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s$	$\frac{ks}{Zm} \times \cos\theta_s \times mi$

表3.4-11 負荷一覽表(2)

[illegible]

表 3.4-12 負荷機器の始動方式別係数

負荷	記号	種類	始動方式	記号	出力範囲 kW (※4)	始動時定数											
						始動瞬時				始動中							
						RG2/RG3		RE2/RE3		RG2		RG3		RE2		RE3	
						ks	Z'm	ks	Z'm	ks	Z'm	ks	Z'm	ks	Z'm	ks	Z'm
誘導電動機	MLT	低圧電動機 (トップランナーモータ)	ラインスタート	L	①												
					②												
					③	1.000	0.120	1.000	0.120	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000
					④												
			Y-Δ始動 (最大/次)	Y	①												
					②												
					③	0.333	0.120	0.333	0.120	0.667	0.120	0.667	0.120	0.667	0.120	0.667	0.120
					④												
			Y-Δ始動 (その他)	Y	①												
					②												
					③	0.333	0.120	0.333	0.120	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000
					④												
			クローズドY-Δ始動 (最大/次)	YC	①												
					②												
					③	0.333	0.120	0.333	0.120	0.333	0.120	0.667	0.120	0.500	0.120	0.667	0.120
					④												
			クローズドY-Δ始動 (その他)	YC	①												
					②												
					③	0.333	0.120	0.333	0.120	0.000	0.650	1.000	0.650	0.000	0.650	0.750	1.000
					④												
			リアクトル始動	R	①												
					②												
					③	0.700	0.120	0.490	0.120	0.000	0.120	0.700	0.120	0.000	0.120	0.490	0.120
					④												
			コンドルファ始動	C	①												
					②												
					③	0.490	0.120	0.490	0.120	0.000	0.120	0.490	0.120	0.000	0.120	0.490	0.120
					④												
			特殊コンドルファ始動	SC	①												
					②												
					③	0.250	0.120	0.250	0.120	0.000	0.120	0.420	0.120	0.000	0.120	0.400	0.120
					④												
			連続電圧制御始動	VC	①												
					②												
					③	0.120	0.120	0.120	0.120	0.000	0.120	1.000	0.340	0.000	0.120	0.300	1.000
					④												
	ML0	低圧電動機 (トップランナーモータ以外)	ラインスタート	L	①												
					②												
					③	1.000	0.140	1.000	0.140	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000
					④												
			Y-Δ始動 (最大/次)	Y	①												
					②												
					③	0.333	0.140	0.333	0.140	0.667	0.140	0.667	0.140	0.667	0.140	0.667	0.140
					④												
			Y-Δ始動 (その他)	Y	①												
					②												
					③	0.333	0.140	0.333	0.140	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000
					④												
			クローズドY-Δ始動 (最大/次)	YC	①												
					②												
					③	0.333	0.140	0.333	0.140	0.333	0.140	0.667	0.140	0.500	0.140	0.667	0.140
					④												
			クローズドY-Δ始動 (その他)	YC	①												
					②												
					③	0.333	0.140	0.333	0.140	0.000	0.680	1.000	0.680	0.000	0.680	0.800	1.000
					④												
			リアクトル始動	R	①												
					②												
					③	0.700	0.140	0.490	0.140	0.000	0.140	0.700	0.140	0.000	0.140	0.490	0.140
					④												
			コンドルファ始動	C	①												
					②												
					③	0.490	0.140	0.490	0.140	0.000	0.140	0.490	0.140	0.000	0.140	0.490	0.140
					④												
			特殊コンドルファ始動	SC	①												
					②												
					③	0.250	0.140	0.250	0.140	0.000	0.140	0.420	0.140	0.000	0.140	0.500	0.490
					④												
			連続電圧制御始動	VC	①												
					②												
					③	0.140	0.140	0.140	0.140	0.000	0.140	1.000	0.340	0.000	0.140	0.400	1.000
					④												
	MH	高圧電動機	ラインスタート	L	①	1.000	0.180	1.000	0.180	0.000	0.180	1.000	0.680	0.000	0.180	0.400	1.000
					②												
					③	0.333	0.180	0.333	0.180	0.000	0.180	0.667	0.180	0.000	0.180	0.400	0.667
					④												
			リアクトル始動	R	①												
					②												
					③	0.700	0.180	0.700	0.180	0.000	0.180	0.700	0.180	0.000	0.180	0.400	0.700
					④												
			コンドルファ始動	C	①												
					②												
					③	0.490	0.180	0.490	0.180	0.000	0.180	0.490	0.180	0.000	0.180	0.400	0.490
					④												
			特殊コンドルファ始動	SC	①												
					②												
					③	0.250	0.180	0.250	0.180	0.000	0.180	0.420	0.180	0.000	0.180	0.470	0.420
					④												
	VFT	インバータ電動機 (トップランナーモータ)			①												
					②												
					③	0.000	0.120	0.000	0.120	0.000	0.120	1.000	0.650	0.000	0.120	0.850	1.00

(b) 発電機出力の算定

発電機出力は、次式により算出する。

$$G = RG \times K$$

ここに、G : 発電機出力 (kVA)

RG : 発電機出力係数

(1)「発電機出力係数」による

K : 負荷出力合計 (kW)

(1) 発電機出力係数

発電機出力係数(RG)は、次の①～④の係数をそれぞれ求めて、その内の最も大きな値を採用する。

① RG₁ : 定常負荷出力係数

発電機出力端における定常時負荷出力電流によって定まる係数

② RG₂ : 許容電圧降下出力係数

電動機等の始動によって生ずる発電機出力端電圧降下の許容値によって定まる係数

③ RG₃ : 短時間過電流耐力出力係数

発電機出力端における過渡的負荷電流の最大値によって定まる係数

④ RG₄ : 許容逆相電流出力係数

負荷の発生する逆相電流、高調波電流分の関係等によって定まる係数

① RG₁ の算出

$$RG_1 = 1.47 \times D \times Sf$$

D : 負荷の需要率

Sf : 不平衡負荷による線電流の増加係数で次式による。

$$Sf = 1 + 0.6 \times \left(\frac{\Delta P}{K} \right)$$

ΔP : 単相負荷不平衡分合計出力値 (kW)

三相各線間に単相負荷出力値 A、B 及び C (kW)があり、
A ≥ B ≥ C の場合

$$\Delta P = A + B - 2 \times C$$

K : 負荷出力合計 (kW)

なお、(ΔP/K)が 0.3 より大きい場合は、Sf は次式により求める。

$$Sf = \sqrt{1 + \frac{\Delta P}{K} + \frac{\Delta P^2}{K^2} \times (1 - 3 \times u + 3 \times u^2)}$$

u : 単相負荷不平衡係数

$$u = (A - C) / \Delta P$$

② RG_2 の算出

$$RG_2 = \frac{1 - \Delta E}{\Delta E} \times Xd'g \times \frac{ks}{Z'm} \times \frac{M_2}{K}$$

ΔE : 発電機出力端許容電圧降下(PU (自己容量ベース))

発電機始動時の電動機端での電圧降下を 30%におさえることとし、幹線等の電圧降下を 10%と想定して発電機出力端での許容電圧降下を 20%とする。したがって、 $\Delta E = 0.2$ とする。

$Xd'g$: 負荷投入時における電圧降下を評価したインピーダンス (PU)

$Xd'g = 0.25$ とする。

ks : M_2 の始動方式による係数

$Z'm$: M_2 の始動時インピーダンス (PU)

M_2 : 始動時の電圧降下が最大となる負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

③ RG_3 の算出

$$RG_3 = \frac{fv_1}{KG_3} \times \left\{ 1.47 \times d_3 + \left(\frac{ks}{Z'm} - 1.47 \times d_3 \right) \times \frac{M_3}{K} \right\}$$

fv_1 : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷減少係数

$fv_1 = 1.0$ とする。

d_3 : M_3 投入時のベース負荷の需要率

KG_3 : 発電機の短時間過電流耐力 (PU)

JEM 1354-2003 により、150%, 30 秒としていることから

$KG_3 = 1.5$ とする。

ks : M_3 の始動方式による係数

$Z'm$: M_3 の始動時インピーダンス (PU)

M_3 : 短時間過電流耐力を最大とする負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

④ RG_4 の算出

$$RG_4 = \frac{1}{K} \times \frac{1}{KG_4} \times \sqrt{(H - RAF)^2 + (1.47 \times \Delta P)^2 \times (1 - 3 \times u + 3 \times u^2)}$$

K : 負荷出力合計 (kW)

KG_4 : 発電機の許容逆相電流による係数 (PU)

一般仕様の場合は、JEM 1354-2003 より、 $KG_4 = 0.15$ とする。

H : 高調波電力合成値 (kVA) 次式による。

$$H = hb \times \sqrt{(0.355 \times R_6)^2 + \{(0.606 \times R_3 + 0.656 \times R_1) \times hph\}^2}$$

hb : 高調波の分流係数 次式による。

$$hb = \frac{1.3}{(2.3 - R/K)}$$

R : 高調波発生機器の出力合計 (kW)

R_6 : 12 パルス整流機器の合計出力値 (kW)

R_3 : 6 パルス整流機器の合計出力値 (kW)

R_1 : 単相全波整流機器の合計出力値 (kW)

hph : 移相補正係数(多重化効果による)

多重化無しの場合は $hph = 1.0$ とし、実施した場合は次式による。

$$hph = 1.00 - 0.413 \times \frac{RB}{RA}$$

RA, RB : 電源移相別高調波発生機器の出力合計 (kW)

$RA \geq RB$ とする。

RAF : アクティブフィルタ効果容量 (kVA) 次式による。

アクティブフィルタの定格容量を ACF (kVA) とすると、

$H \cdot ACF \geq 0$ の場合 $RAF = 0.800 \times ACF$

$H - ACF < 0$ の場合 $RAF = 0.800 \times H$

ΔP : 単相負荷不平衡分合計出力値 (kW)

次式による。

三相各線間に単相負荷出力値 A 、 B 及び C (kW) があり、

$A \geq B \geq C$ の場合

$$\Delta P = A + B - 2 \times C$$

u : 単相負荷不平衡係数 次式による。

$$u = (A - C) / \Delta P$$

(2) RGの値の調整

前項で求めたRGの値が、1.47 Dの値に比べて著しく大きい場合には、対象負荷とバランスのとれた、RG値を選定できるよう調整する。

① RG値の実用上望ましい範囲

$$1.47 D \leq RG \leq 2.2$$

② RG_2 又は RG_3 により過大な RGの値が算出されている場合

始動方式の変更を行い、上記 ① の範囲を満足するようにする。

③ RG_4 により過大な RGの値が算出されている場合

特別な発電機を選定し、上記 ① の範囲を満足するようにする。

(3) 発電機出力の決定

発電機定格出力は、 $RG \times K$ (kVA) 以上とする。ただし、 $RG \times K$ (kVA)の値の95% 以上の標準定格値のものがある場合は、それを選ぶことができる。(表 3.4-13 参照)

表 3.4-13 発電機効率 (JEM 1435:2014 抜粋)

定格出力		規約効率 2～8 極	定格出力		規約効率 2～8 極 ()数値は 10 極
(kVA)	(kW)		(kVA)	(kW)	
20	16	0.770	150	120	0.870
37.5	30	0.807	200	160	0.879
50	40	0.823	250	200	0.889
62.5	50	0.834	300	240	0.895
75	60	0.843	375	300	0.903
100	80	0.855	500	400	0.910
125	100	0.864	625	500	0.917 (0.911)
			750	600	0.921 (0.915)

注) 年間運転時間が 1,000 時間以下の発電機は、JEM 1435:2014 を適用、
1,000時間を超える発電機は、JEM 1354:2014を適用する。

(c) 原動機出力の算出

原動機（ディーゼル機関、ガスタービン）は、下記の使用条件とする。

大気圧：100 kPa 大気温度：25 ℃ 相対湿度：30 %

参考：土地改良計画設計基準「ポンプ場」・技術書 6.2.2 主原動機の出力の標準大気条件より

原動機出力は、次式により算出する。

$$E = RE \times K \times Cp$$

E : 原動機出力 (kW)

RE : 原動機出力係数

K : 負荷出力合計 (kW)

Cp : 原動機出力補正係数 表 3.4-14 による。

表 3.4-14 原動機出力補正係数 (Cp)

発電機出力 G	原動機出力補正係数(Cp)
37.5(kVA)未満	1.200
37.5(kVA)以上 100(kVA)未満	1.125
100(kVA)以上 375(kVA)未満	1.080
375(kVA)以上	1.000

(1) 原動機出力係数

RE(原動機出力係数)は、次の 1)～3)の 3 つの係数をそれぞれ求め、その内の最も大きな値を採用する。

なお、RE の算出は、次の「RE の算出」による。

1) RE₁ : 定常負荷出力係数

定常時の負荷によって定まる係数

2) RE₂ : 許容回転速度変動出力係数

過渡的に生ずる負荷急変時に対する回転速度変動の許容値によって定まる係数

3) RE₃ : 許容最大出力係数

過渡的に生ずる最大値によって定まる係数

1) RE₁ の算出

$$RE_1 = 1.3 \times D$$

D : 負荷の需要率

2) RE_2 の算出

① ディーゼル機関

$$\begin{aligned} RE_2(DE) &= fv_2 \left\{ 1.026 \times d'_2 \times \left(1 - \frac{M'_2}{K} \right) + \frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_2}{K} \right\} \\ &= fv_2 \left\{ 1.026 \times d'_2 + \left(\frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s - 1.026 \times d'_2 \right) \times \frac{M'_2}{K} \right\} \end{aligned}$$

② ガスタービン

$$RE_2(GT) = fv_2 \times \left\{ \frac{1.163}{\varepsilon} \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_2}{K} \right\}$$

fv_2 : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷減少係数

エレベータがある場合は $fv_2 = 0.9$ 、ない場合は、 $fv_2 = 1.0$ とする。

ε : 原動機無負荷時投入許容量 (PU (自己容量ベース)) 表 3.4-15 による。

d'_2 : M'_2 投入時のベース負荷の需要率

ks : M'_2 の始動方式による係数

Z'_m : M'_2 の始動時インピーダンス (PU)

$\cos \theta_s$: M'_2 の始動時力率

M'_2 : 負荷投入時の回転速度変動が最大となる負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

表 3.4-15 原動機の無負荷時投入許容量 (ε)

発電装置出力(kW)	原動機の種類 ディーゼル 機関	ガスタービン	
		一軸型	二軸型
125 以下	1.0		
125 を超え 250 以下	0.8	1.0	
250 を超え 400 以下	0.7	1.0	
400 を超え 800 以下	0.6	1.0	0.75
800 を超え 3000 以下	0.5	1.0	0.7

3) RE_3 の算出

$$RE_3 = \frac{fv_3}{\gamma} \times \left\{ 1.368 \times d'_3 \times \left(1 - \frac{M'_3}{K} + 1.163 \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s \times \frac{M'_3}{K} \right) \right\}$$

$$= \frac{fv_3}{\gamma} \left\{ 1.368 \times d'_3 + \left(1.163 \times \frac{ks}{Z'_m} \times \cos \theta_s - 1.368 \times d'_3 \right) \times \frac{M'_3}{K} \right\}$$

fv_3 : 瞬時回転速度低下、電圧降下による投入負荷係数

$fv_3 = 1.0$ とする。

γ : 原動機の短時間最大出力 (PU)

$\gamma = 1.1$ とする。

d'_3 : M'_3 投入時のベース負荷の需要率

ks : M'_3 の始動方式による係数

Z'_m : M'_3 の始動時インピーダンス (PU)

$\cos \theta_s$: M'_3 の始動時力率

M'_3 : 負荷投入時に原動機出力が最大となる負荷機器の出力 (kW)

K : 負荷出力合計 (kW)

(2) RE の値の調整

前項で求めた RE の値が、1.3 D の値に比べて著しく大きい場合には、対象負荷とバランスのとれた、 RE 値を選定できるよう調整する。

① RE 値の実用上望ましい範囲

$$1.3 D \leq RE \leq 2.2$$

② RE_2 又は RE_3 により過大な RE の値が算出されている場合

始動方式の変更を行い、上記 ① の範囲を満足するようにする。

(d) 発電機出力及び原動機出力の整合

上記で算出された、発電機出力及び原動機出力を、次式に示す整合率 (MR) で確認して、当該値が、1 以上になっていることが必要である。また、適切な組み合わせとしては、当該値が、1.5 未満としておくことが望ましい。

なお、整合率が 1 未満の場合にあっては、原動機出力の見直しを行い、当該出力の割増を行うことにより、1 以上とする。

$$MR = 1.13 \times \frac{E}{G \times Cp}$$

MR : 整合率

E : 原動機出力 (kW)

G : 発電機出力 (kVA)

Cp : 原動機出力補正係数

表 3.4-16 原動機出力補正係数(C_p)

発電機出力 G	原動機出力補正係数(C _p)
37.5(kVA)未満	1.200
37.5(kVA)以上 100(kVA)未満	1.125
100(kVA)以上 375(kVA)未満	1.080
375(kVA)以上	1.000

(4) 発電機室換気量の算定

発電機室に必要な換気量は、機関へ供給する燃料が完全に燃焼するのに必要な空気量と、設備機器から発生する熱量によって上昇する室温を一定温度に抑えるために必要な換気空気量、それに運転員の換気量を加えたものであり、したがって概略次式で求めることができる。

また、エンジンポンプと同一室内で計算する場合や詳細に計算を行う場合には「土地改良事業計画設計基準設計(ポンプ場)」(平成30年5月)を参照すること。

$$\text{総必要換気量 } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ [m}^3/\text{min}] \quad \text{式3.4-11}$$

ただし、 Q_1 : 機関の燃焼に必要な空気量

Q_2 : 室温上昇を抑えるために必要な空気量

Q_3 : 運転員1人当りの換気量

今までに設置された例から必要とする給気量を調査したところ概略次の値が一般的である。

$$\left. \begin{array}{l} \text{機関燃料燃焼用空気} \quad \text{約 } 4 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h}] \\ \text{換気用空気} \quad \text{約 } 25 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h}] \end{array} \right\} \quad \text{約 } 29 \text{ [Nm}^3/\text{PS} \cdot \text{h}]$$

ただし、室温上昇は10 [°C] 以内、Nm³は0 [°C] 1気圧におけるm³を示す。

詳細検討のため次式に各々必要とする空気量の求め方について記述する。

(a) ディーゼル機関の燃焼に必要な空気量 (Q_1)

$$Q_1 = \frac{L_{\min} \times b \times \lambda \times P S}{60 \times \rho} \text{ [m}^3/\text{min}] \quad \text{式3.4-12}$$

ただし、 $L_{\min}$: 燃料の理論空気量 [m³/kg]

(軽油は14.22、重油は13.86)

b : 燃料消費率 [kg/PS・h] (表3.4-18)

λ : 空気過剰量 (無過給機関 : 2.0、過給機関 : 2.5)

$P S$: 機関の出力

ρ : 空気密度 [kg/m³]

(101.3 [kPa]、30 [°C] で1.165 [kg/m³])

(b) 室温上昇を抑えるために必要な空気量 (Q_2)

「ディーゼル機関」

ラジエータ冷却方式の場合

Q_2 = ラジエータファン風量 [m^3/min]

水槽冷却方式の場合

$$Q_2 = \frac{PS \times b \times H_u \times f + kVA \times \cos \theta \times 860 \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}{60 \times t \times C_{pa} \times \rho} \quad [\text{m}^3/\text{min}] \quad \text{式3.4-13}$$

ただし、 PS : 機関出力 [PS]
 b : 燃料消費率 [kg/PSh] (表3.4-18)
 H_u : 燃料の低位発熱量 [kcal/kg]
 (軽油は10200、重油は10100)
 f : 機関放熱率 (通常0.03)
 kVA : 発電機出力 [kVA]
 $\cos \theta$: 発電機の定格力率 (0.8)
 η : 発電機効率 (表3.4-13)
 t : 発電機室の許容温度上昇値 [$^{\circ}\text{C}$]
 (運転時の最高許容室内温度から初期温度を差引いた値)
 C_{pa} : 乾燥空気の定圧比率 [$\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
 (101.3 [kPa]、30 [$^{\circ}\text{C}$] で0.241 [$\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$])
 ρ : 空気密度 [kg/m^3]
 (101.3 [kPa]、30 [$^{\circ}\text{C}$] で1.165 [kg/m^3])

「ガスタービン機関」

$$Q_2 = \frac{A_r + Q_r + kVA \times \cos \theta \times 860 \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}{60 \times t \times C_{pa} \times \rho} \quad [\text{m}^3/\text{min}] \quad \text{式3.4-14}$$

A_r : 熱放熱係数 (一般に0.5)
 Q_r : エンジン放熱量 [kcal/h] (メーカーカタログ値等による)
 kVA : 発電機出力 [kVA]
 $\cos \theta$: 発電機の定格力率 (0.8)
 η : 発電機効率 (表3.4-13)
 t : 発電機室の許容温度上昇値 [$^{\circ}\text{C}$]
 (運転時の最高許容室内温度から初期温度を差引いた値)
 C_{pa} : 乾燥空気の定圧比率 [$\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$]
 (101.3 [kPa]、30 [$^{\circ}\text{C}$] で0.241 [$\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$])
 ρ : 空気密度 [kg/m^3]
 (101.3 [kPa]、30 [$^{\circ}\text{C}$] で1.165 [kg/m^3])

(c) 運転員1人当りの換気量 (Q_3)

$$Q_3 = 0.5 \text{ [m}^3/\text{min]}$$

(5) 燃料タンク容量の算定

ディーゼル機関に使用する燃料はJIS規格により軽油若しくはA重油を使用することが決められているが、燃料消費量Fは一般に次式で求める。

$$F = \frac{b \times P S}{r} \text{ [L/h]} \quad \text{式3.4-15}$$

又は、

$$F = \frac{b \times k V A \times \cos \theta}{0.736 \times \eta_G \times r} \text{ [L/h]} \quad \text{式3.4-16}$$

ただし、 b : 燃料消費率 [kg/PS・h] (表3.4-18)
 $P S$: 機関の出力 [PS]
 r : 燃料油の比重 (表3.4-17)
 $k V A$: 発電機出力 [kVA]
 $\cos \theta$: 発電機の定格力率 (0.8)
 η_G : 発電機効率 (表3.4-13)

農業農村整備事業のダム施設においては停電時等のダムまでの操作員到着に要する時間、燃料の輸送経路等を考慮して決定する必要があるが、一般に72時間以上運転可能な燃料タンク容量を採用している場合が多い。ポンプ、頭首工施設においては、2時間以上運転可能とする場合が多くエンジンポンプが設置してある場合は、エンジンポンプの運転可能時間の燃料タンク容量を選択するが、いずれの場合にあっても燃料の入手難易度及び消防法の指定数量等も十分に考慮し燃料タンク容量を検討する。燃料タンク容量Gは式3.4-17で求める。

また、表3.4-19に各技術書、指針による発電機の運転時間、表3.4-20に各施設におけるタンク容量の考え方の例を示す。

$$G = F \times h \text{ [L]} \quad \text{式3.4-17}$$

ただし、 G : 燃料タンク容量 [L]
 F : 燃料消費量 [L/h] (式3.4-15) 又は(式3.4-16)
 h : 発電機必要運転時間 [h]

燃料の種類は、貯油槽などでの設置上の制約がない限り、入手しやすさ及び始動性の良いということとを重視して選定する。表3.4-17 軽油とA重油の比較を示す。

表3.4-17 軽油と重油の比較

	軽 油	A 重 油
規 格	JIS K 2204(2007)	JIS K 2205(2006)
発生熱量 [kcal/kg]	10,300～10,500	10,000～10,200
理論空気量 [m ³ /kg]	14.22	13.86
比 重	0.83	0.85
硫黄分	0.5 [%w t] 以下	2 [%w t] 以下
流動点	-30～+5 [°C] 以下	5 [°C] 以下
消防法による指定数量	1000リットル	2000リットル

表3.4-18 燃料消費率

単位 [kg/PS・h]

原動機出力 〔P S〕		30以下	30を超え 250以下	250を超え 450以下	450を超え 750以下	750を超える もの
燃 料 消 費 率	ディーゼル機関	0.23	0.22	0.20	0.18	0.17
	ガスタービン	—	0.50	0.48	0.43	0.38

表3.4-19 技術書・指針による発電機運転時間

図 書 名	発 行 者	発電機連続運転時間	備 考
土地改良事業計画設計基準 ポンプ場 基準書 技術書	(農林水産省農村振興局)	1回の計画基準降雨時の ポンプ運転時間	
ダム・堰施設技術基準(案) 電気・制御設備設計マニュアル	(一社)ダム・堰施設技術協会	72時間	
揚排水ポンプ設備技術基準・ 同解説	(一社)河川ポンプ施設技術協会	燃料補給なしで、計画排水運転する 時間	
電気通信施設設計要領	(一社)建設電気技術協会	72時間	

表3. 4-20 各施設におけるタンク容量の考え方の例

地区名	施設名	発電機定格出力	燃料タンク容量	タンク容量の考え方
A地区	ダム	75 kVA	390 L	15時間容量(12時間+ダムまでの所要交通時間0.5 時間+余裕2.5 時間)
B地区	排水機場	100 kVA	18,000 L	洪水時用ポンプを連続150 時間、発電機を連続5時間以上運転できる容量
C地区	排水機場	375 kVA	15,000 L	燃料タンクは、ポンプ駆動用エンジン分を含み、発電機としては24 時間容量(国土交通省との兼用工作物)(余裕1.2～1.3 を考慮)

(6) 冷却水容量の算定

冷却水の系統は主に必要な冷却水量とこれらの調達度によって決まる。特に非常用発電装置のように、運転時間が短い場合は必然的にその方法が定まる。

また、機関への冷却水補給量は一般に次式で示す値とする。

$$\text{冷却水補給量 } W = \frac{Q_w}{t_2 - t_1} = \frac{\mu_w \times H_u \times b \times P S}{t_2 - t_1} \quad [\text{L/h}]$$

ただし、 Q_w : 冷却水が吸収する熱量

t_2 : 冷却水の出口温度 [°C]

t_1 : 冷却水の入り口温度 [°C]

μ_w : 冷却損失 (0.25から0.3)

H_u : 燃料の低位発熱量 [kcal/kg]

b : 燃料消費率 [kg/PS・h]

$P S$: 機関の出力 [PS]

(7) 騒音計算

発電機の設置される地域の騒音規制法の規制に関する基準に準拠し、施設の敷地境界線における騒音レベルが規定値以下となるようにする。

騒音規制法（昭和43年法律第98号）第2条第1項に規定する特定施設（通産局規制の原動機を含む）を設置する発電設備等は、同法第3条第1項の規定により指定された地域内にあるものにおいて発生する騒音は、同法第4条第1項又は第2項に規定する規制基準に適合しなければならない。

なお、ポンプ場等の施設場所が無指定区域である場合の騒音対策は、現場条件等を考慮のうえ決定するものとする。

表3. 4-21 特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準

区域 の区分	時間の 区分	昼 間 [dB(A)]	朝 夕 [dB(A)]	夜 間 [dB(A)]	区 域 の 定 義
第1種区域		45以上 50以下	40以上 45以下	40以上 45以下	良好な住居の環境を保全するため、特に静 穏の保持を必要とする区域
第2種区域		50以上 60以下	45以上 50以下	40以上 50以下	住居の用に供されるため、静穏の保持を必 要とする区域
第3種区域		60以上 65以下	55以上 65以下	50以上 55以下	住居の用に合わせて、商業工業等の用に供 される全区域であって、その区域内の住民 の生活環境を保全するため、騒音の発生を 防止する必要がある区域
第4種区域		65以上 70以下	60以上 70以下	55以上 65以下	主として工業等の用に供される区域であつ てその区域内の住民の生活環境を悪化させ ないため、著しい騒音の発生を防止する必 要がある区域

各都道府県とも、騒音防止条例のなかで、上乘せ基準を制定している場合があるので、確認する必要がある。（上乘せ基準は、騒音防止法による規制基準値より5〔dB〕規制を強化）

音源（音を発生する所）から距離が遠くなればなるほど次第に小さくなる。
音源が点音源と考えられる場合、K〔m〕の地点の音圧の差理論値ΔLは、次式で表すことができる。

$$\Delta L = 20 \log_{10} K \text{ [dB]} \quad (\text{理論式})$$

ここで、

K：音源から敷地境界線までの距離〔m〕

実際には、音源の大きさ、風、付近の状況等により計算値の0.5～0.7程度の減衰量となる。
したがって、次式に示す図3.4-22の線が近似値となる。

$$\Delta L = 15 \log_{10} K \text{ [dB]}$$

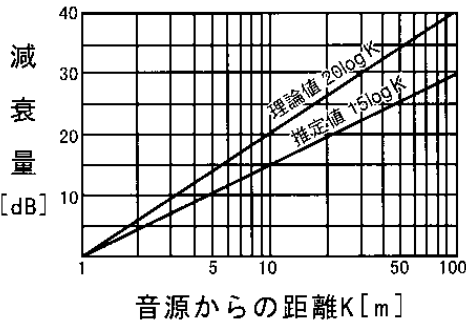


図3.4-22 距離による騒音の減衰値

音源からの距離と騒音の減衰値を表3.4-22に示す。

表3.4-22 音源からの距離と騒音の減衰値

K	2〔m〕	4〔m〕	8〔m〕	10〔m〕	20〔m〕	40〔m〕
ΔL	4.5	9	13.5	15	19.5	24

計算例) 排気消音器出口より境界線までの距離が50〔m〕の場合の境界線上における騒音値は、消音器出口を90〔dB〕とすると、

境界線上の騒音＝90－15 log₁₀50
 ≒90－25
 ＝65〔dB(A)〕

となる。