

最近のビル用発電設備

Recent Power Generating Equipment for Building

現在のビル用発電設備は、防災用及びコンピュータ設備のバックアップ用など、いわゆる非常用設備が主流を占めている。これらの設備は、非常用という性格上、又はビル用という特殊環境条件から、系の高信頼性、騒音及び振動公害の防止など、技術的に高度なものが要求される。

ここでは、ビル用非常用発電機設備の機種構成、及び技術的問題点に対する対応策について述べ、かつ最近の動向として注目されつつある省エネルギーシステムについて触れる。

綿引誠之*
三島宣雄*

Seishi Watahiki
Nobuo Mishima

1 緒 言

「消防法」及び「建築基準法」に基づく防災負荷、大形コンピュータ設備のバックアップ電源としての非常用発電設備など、ビル用発電設備は容量的にも広範囲にわたり、かつ環境、負荷の種類、設置場所などの条件により、機能的にも多種多様のニーズを満たす必要がある。

これらの発電設備は、非常用であるがために、いったん買電システムに異常が生じた場合、確実な作動と電力の供給が必要とされるところであり、発電設備の高信頼性が良質のメンテナンスとともに、特に重要視されるゆえんである。

一方、ビル用発電設備としては、設置される環境の点から、振動及び騒音の低減については、ほぼすべての場合に要求され、かつ整流負荷を中心とした特殊負荷に対しても、特性のマッチングの解析が要求される。

この論文では、上記の技術的諸問題について述べるとともに、現在クローズアップされつつある省エネルギー設備について、ガスタービン発電機の応用を中心に説明し、設備計画の参考に供するものである。

2 発電設備の機器構成

ビル用非常用発電設備としては、設備費用が低廉である、保守が容易である、始動特性が良いなどの理由からディーゼル発電機が一般に多く用いられている。

ビルに設置されるディーゼル発電設備は、建設費節減を目的として、据付工事の簡略化及び据付面積の縮小が強く望まれている。特に、小中規模ビルについては発電設備専用の部屋を設けることをやめ、屋上に設置するケースが多くなっている。また騒音公害の問題から、発電設備の低騒音化の強い要望もある。

これらの問題に対応した製品としてディーゼル発電設備のパッケージ化を進め、表1に示すシリーズを完成させた。

表1の「日立サンパワー」シリーズは、小中規模ビル用として開発したもので、運転に必要なすべての機器が一つのキュービクルに収納されており、図1に示すように屋内、屋外いずれにも設置が可能である。また、騒音に対しても十分考慮した低騒音形発電設備シリーズである(図2)。

表1の低圧パッケージシリーズは、中規模ビルを対象に開発した製品で、図3に示すように「日立サンパワー」シリーズと同様にまとめてある。汎用エンジンを採用し、小形・軽量及び取扱いが簡単であることを特長としている。

表1のMDEシリーズは、大規模ビルを対象に開発した新シリーズで、2サイクル高速エンジンを採用し極めてコンパクトにまとめられ、従来機種に比較し寸法、重量共に30%以上の低減を図った画期的な製品である。図4に外観図を示す。

表1 日立ディーゼル発電機のシリーズの標準仕様 ビル用非常用発電設備として開発したパッケージ形発電設備シリーズの標準仕様を示す。

項 目		「日立サンパワー」シリーズ						低圧パッケージシリーズ						MDE シリーズ	
機 種		DE-10	DE-30	DE-50	DE-80	DE-100	DE-140	LDE-18R5	LDE-21R6	LDE-20R5	LDE-24R6	LDE-24S5	LDE-28S6	MDE-32G5～MDE-95G6 10機種	
出 力	kVA	16/20	35/40	60/70	100/115	125/150	175/200	220	260	250	300	300	350	405～1,220	
	kW	12.8/16	28/32	48/56	80/92	100/120	140/160	176	208	200	240	240	280	324～976	
電 圧	V	200/220						200	220	200	220	200	220	3,300又は6,600	
周 波 数	Hz	50/60						50	60	50	60	50	60	50又は60	
回 転 速 度	rpm	1,500/1,800						1,500	1,800	1,500	1,800	1,500	1,800	1,500又は1,800	
力 率	%	80						80						80	
エンジン出力	PS	21/26	44.5/54	75.5/90	121/139	160/185	220/260	270	310	300	360	360	430	490～1,420	
特 長		1.「消防法」に適合した製品で、運転に必要な機器がすべて一つのキュービクルに収納されている。 2.屋内、屋外設置及び水タンク、ラジエータ冷却方式など種々の仕様に対応できる。 3.低騒音形は80～85dBの低騒音形と70～75dBの超低騒音形の2機種がある。						1.運転に必要な機器を、すべて発電機セット内にコンパクトにまとめてある。したがって、据付面積が少なくなり据付工事も簡単である。 2.PMG(永久磁石発電機)ブラシレス方式を採用しているので、電圧波形が良く、ブラシの保守が不要で保守の省略化ができる。						1.2サイクルエンジンを採用しているので、単位重量当たりの出力が大きく小形、軽量である。 2.2サイクルのため、応答が速い。したがって、100%負荷投入が可能である。 3.全シリーズラジエータ冷却方式が可能である。 4.発電機はブラシレス方式で保守の省略化ができる。	

* 日立製作所日立工場

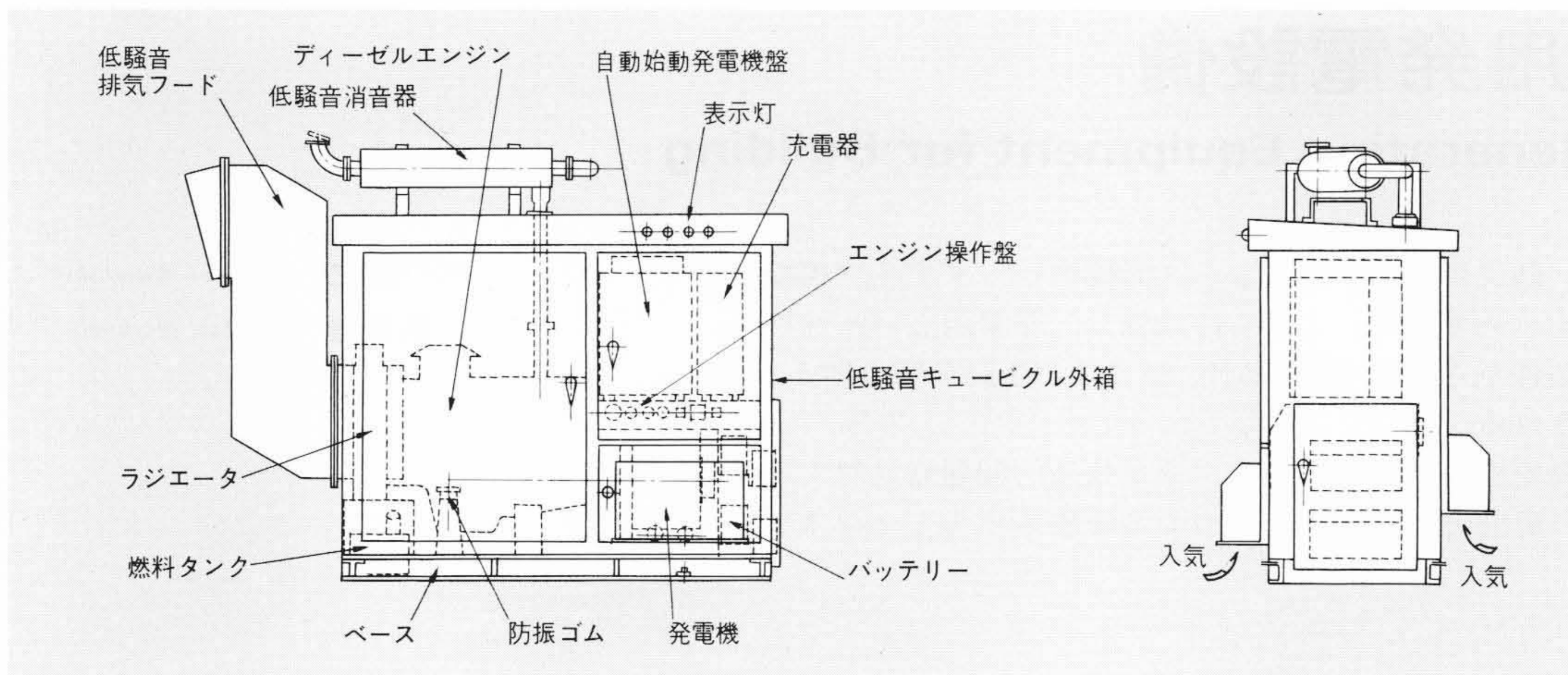


図1 「日立サンパワー」シリーズ超低騒音屋外形(QSDE-30) 小規模ビルの屋上に設置する屋外低騒音形の発電設備を示す。

3 騒音対策

ビルに設置されるディーゼル発電機の騒音対策は、一般的に小容量機は全体の体積が小さいことから、発電設備全体を防音カバーで覆ってしまう方法が多く採用されている。

「日立サンパワー」シリーズ低騒音形発電装置もこの方法で騒音値を70～80dBと低くし、ビルの屋上に直接設置できることから好評を得ている。

一方、中大容量機では防音カバーが大きくなり、保守点検が困難となるので、騒音対策は発電機室を防音処置したほうが有利となる。この騒音対策方法については、表2にまとめて記載したので参照されたい。

4 発電設備の耐震対策

最近の地震災害により、ビルに設置される非常用発電設備の耐震対策について検討を加える気運が高まっている。日立製作所では、一般ビル用の発電設備の耐震設計は原子力発電所の非常用発電機設備に要求される厳しい耐震計算を適用し、系の安全性が確認された方式を適用している。ここでは、この複雑な計算及び結果の紹介に代えて、現在社団法人日本内燃力発電設備協会が進められている耐震設計のガイドライン(案)¹⁾を紹介し、マクロ的な理解を得るようにする。

4.1 地震荷重

基本となる地震荷重は、機器の重心に水平方向と垂直方向

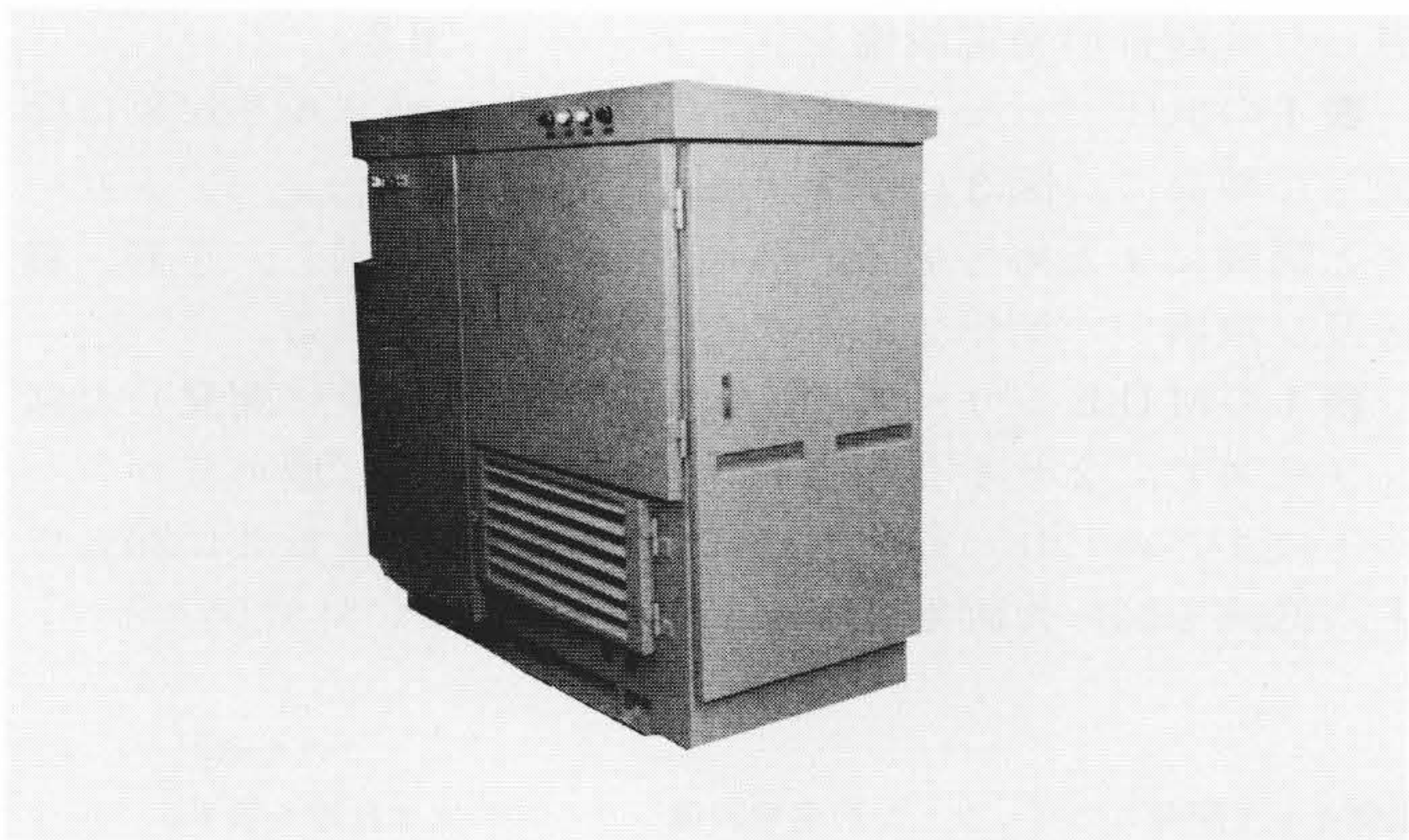


図2 「日立サンパワー」シリーズ(DE-30)外観 防災認定品キュービクル形「日立サンパワー」シリーズを示す。

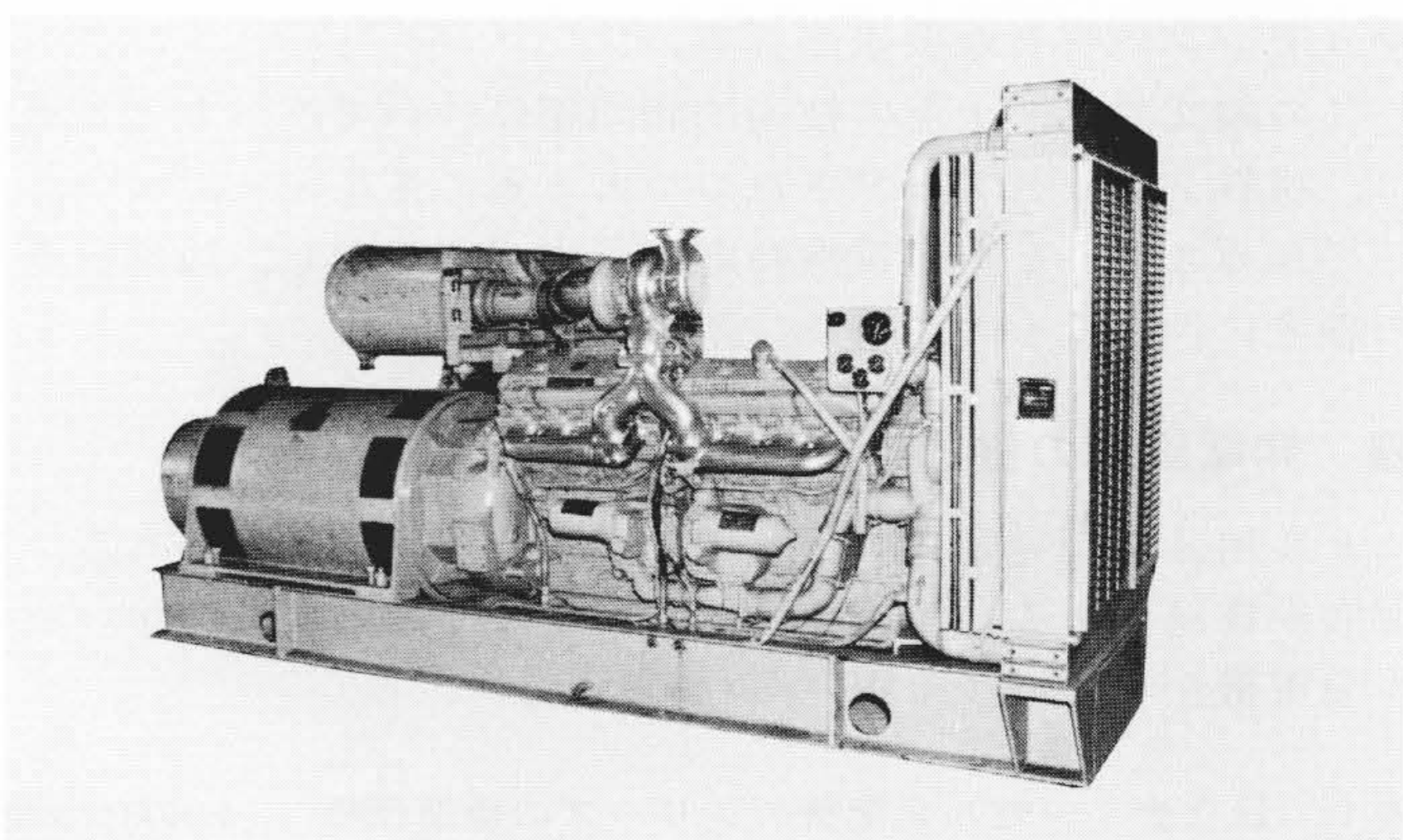


図4 MDEシリーズ(500kVA)外観 2サイクルエンジンを採用した小形、軽量、中容量発電設備を示す。

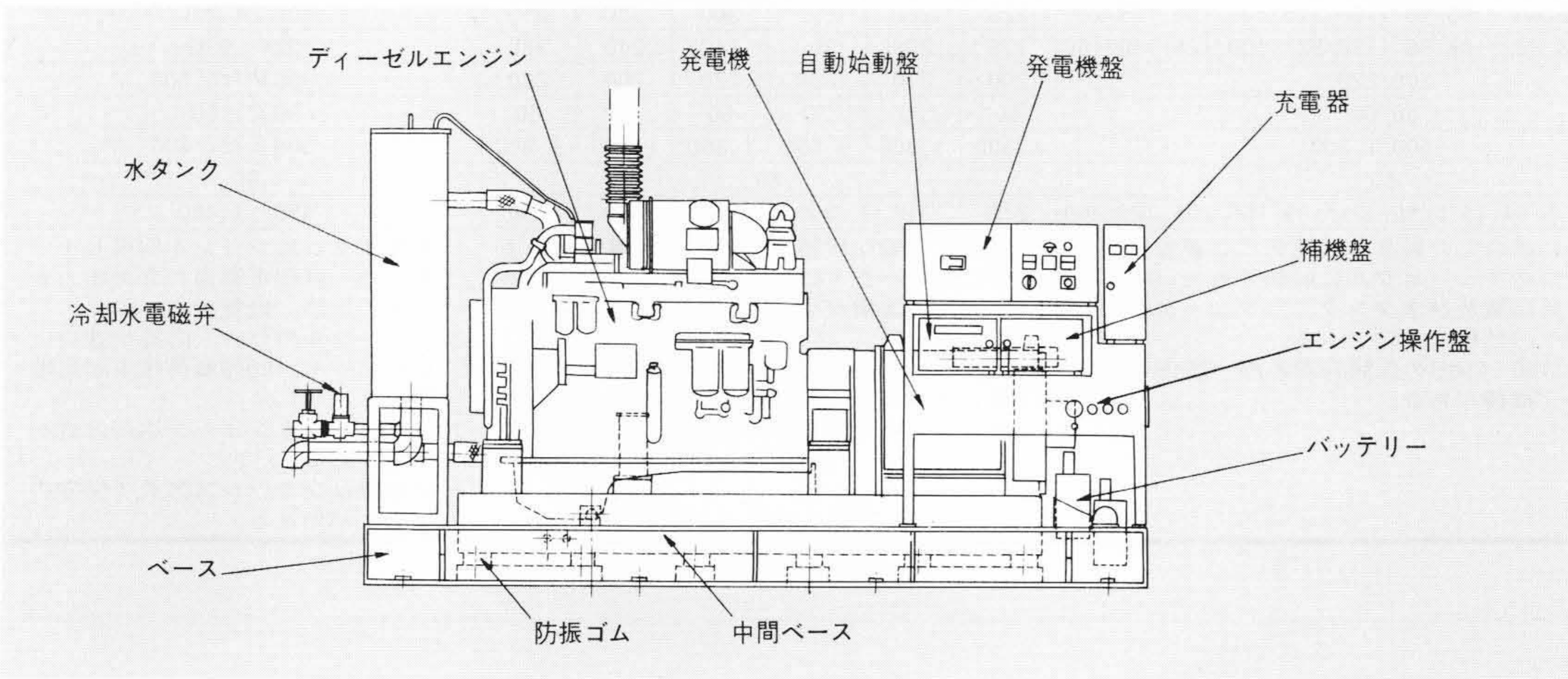


図3 低圧パッケージ形ディーゼル発電機(LDE-24R6) 運転に必要な機器すべてを発電機セット内にコンパクトにまとめた発電設備を示す。

表2 ディーゼル発電設備の騒音対策 中・大形ディーゼル発電設備の各騒音源に対する騒音対策方法を示す。

騒音源		対策		
		建	屋	屋外
1. 発電機	(1) 発電機の電磁音及び機械音 (2) 運動部の衝撃振動による機械音 (3) 燃焼爆発音	一次音の伝達防止	面密度の高い重量物をしゃ音壁に用いる。	(1) 距離減衰を図る。
2. ディーゼルエンジン		一次音の反射防止	多孔質の吸音材を用いる。	(2) 音源の向きを変える。 (指向性の考慮)
		二次音の発生防止	ディーゼル発電機を防振材で支持伝達阻止	(3) 塀などを立てる。
	固体音の反射伝達阻止		(4) 風向き、気温などによる音の伝搬も配慮する。	
3. エンジン補機	(1) 排気音	一次音の伝達防止	消音器を多段設置する。	
	(2) 換気ファンの機械音	同上	吸音ダクトによる低減	――
	(3) クーリングタワーの機械音	一次音の伝達防止	――	防音塀の設置

に作用する荷重があり、地震荷重としては水平方向荷重を基準に考えている。設置場所と機器の固有振動数の条件を入れ、地震荷重を求めると(1)式のようなになる。

$$F = ZK_1K_2W \cdots \cdots (1)$$

- ここに F ：水平方向地震荷重
 Z ：地域係数
地域による地震活動の差異を考慮するための係数で、その値は図5による。
 W ：機器の重量
 K_1 ：機器の設置階による係数で、その値は図6による。
 K_2 ：機器の応答倍率を表わす係数
機器の床に対する応答倍率を表わす係数で、対象とする機器については $K_2 = 2$ と考えてよい。

4.2 機器の応力

4.1項で求めた地震荷重に対する機器使用材料の許容応力は、使用材料の降伏点応力、あるいはそれと同等の応力と考え、地震荷重による機器各部の応力と平常時の応力との組合せ応力が許容応力を超すことのないように設計すればよい。
また、基礎ボルトの許容引抜き荷重については、基礎ボルトに作用する引抜き荷重が基礎又は躯体コンクリートに伝わるため、これらコンクリート構造体の強度の制約を受ける。したがって、設置に当たってはコンクリート構造体の引抜き許容荷重を規定する必要がある。

なお、このガイドラインは、1～2年の試行期間を経たのち、改めて見直されるものである。

5 特殊負荷に対する考え方

ビルに設置される非常用電源の負荷としては、一般に防災負荷、保安用負荷、コンピュータ負荷などの特殊負荷に大別される。

このうち、特に発電設備容量選定に当たり問題視されるエレベーター負荷及びコンピュータ用CVCF(Constant Voltage and Constant Frequency：定電圧・定周波)電源負荷についての特殊性について次に述べる。

5.1 エレベーター負荷

エレベーターを駆動するための自家発電設備の容量は、エレベーター電動機の始動電流に対して所定の電圧降下に収まり、エレベーターが必要とする最大電力を供給でき、かつ減速するときの回生電力を吸収することが必要である。

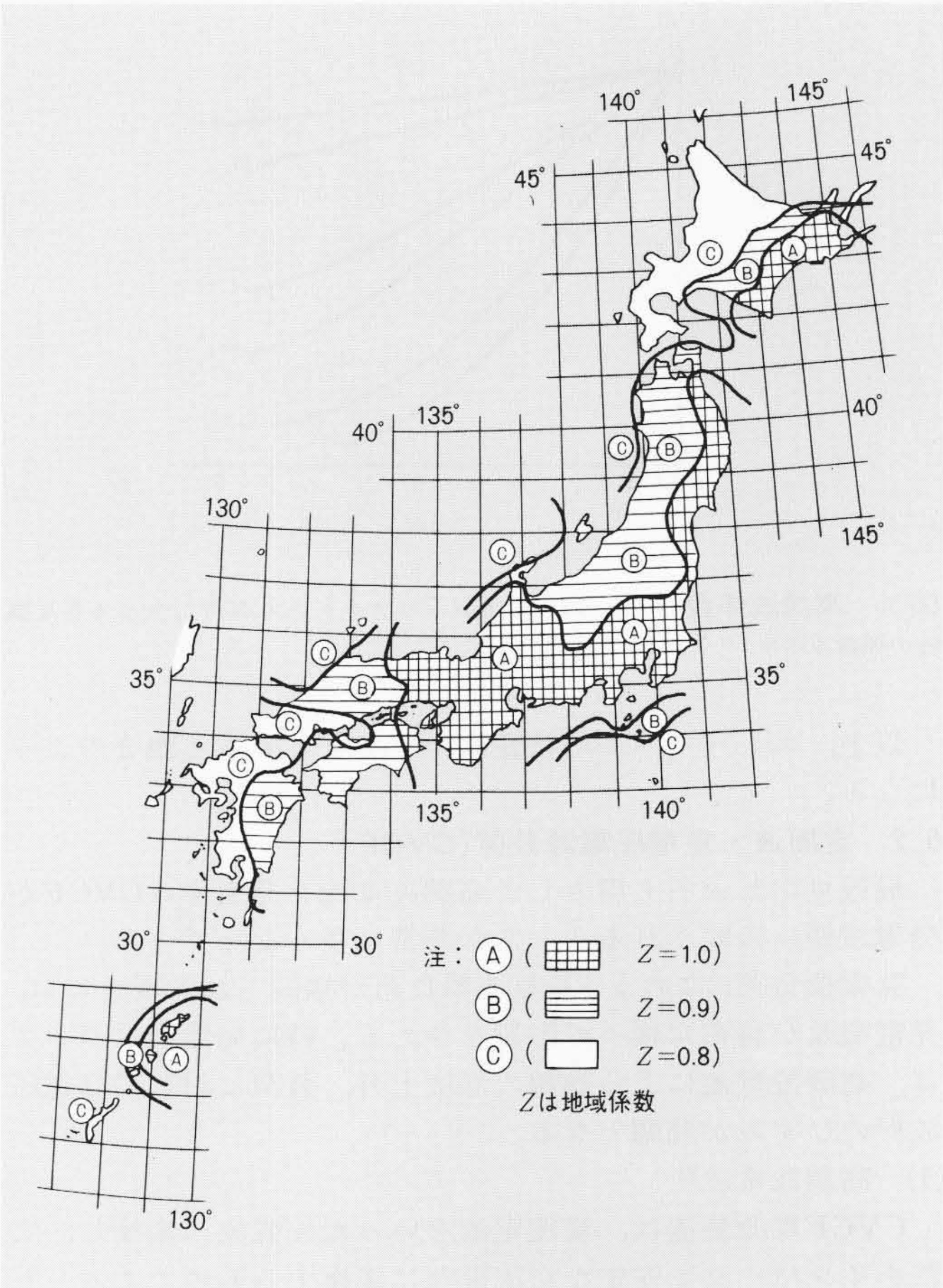


図5 地域係数 新耐震設計法(案)で提案されている地域係数を示す。

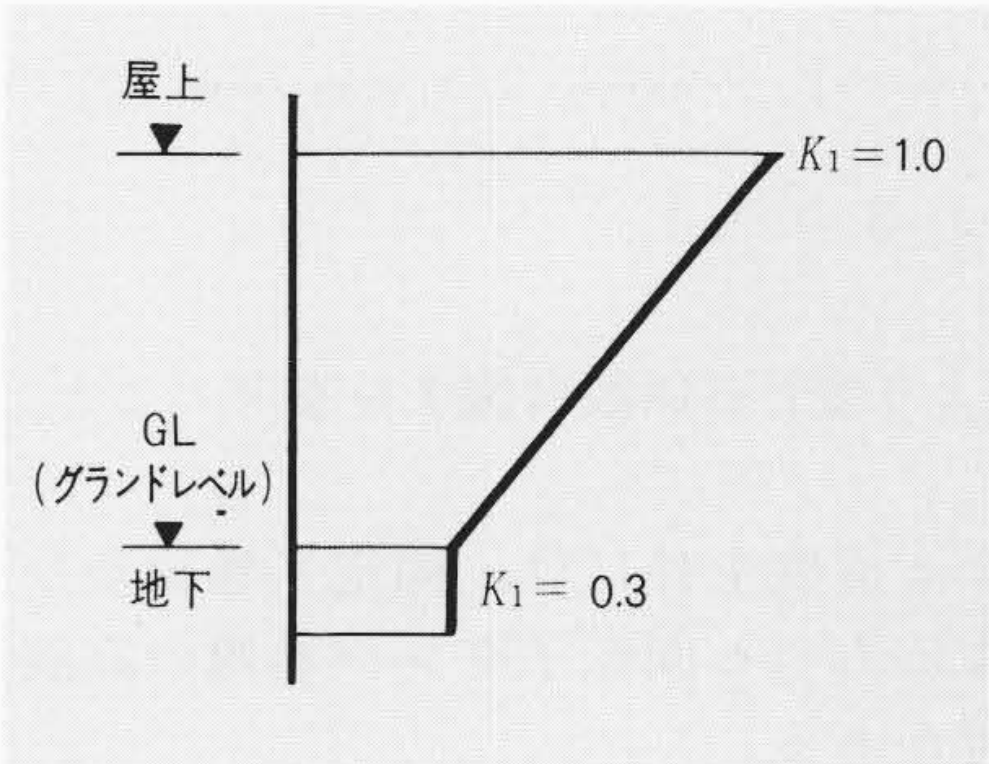


図6 設置階による係数 機器のビルの設置階による係数で、地震に対しては地下設置のほうが有利である。

- (1) 瞬時電圧降下
エレベーター電動機の始動電流に対して、エレベーター受電盤での瞬時許容最大電圧降下は、一般的に25%以内とされている。したがって、発電機端子の電圧降下はケーブルの電圧降下5%を考慮すると20%以内に抑える必要があり、一般負荷の許容電圧降下よりも小さいので注意を要する。
- (2) エレベーター加速時の最大入力
エレベーターが加速するとき、最も大きい電力を必要とし、そのときの電動機の必要とする入力キロワットは定格キロワットの4～5倍に達する。したがって、エレベーターが負荷にある場合には、加速時の入力(kW)をベース負荷とする必要がある。
- (3) エレベーターの回生電力
エレベーターは減速するとき電力を発生する。したがって、自家発電設備はこれを吸収する必要がある、この容量がエンジンの許容バックパワー以内であることを確認する必要がある。

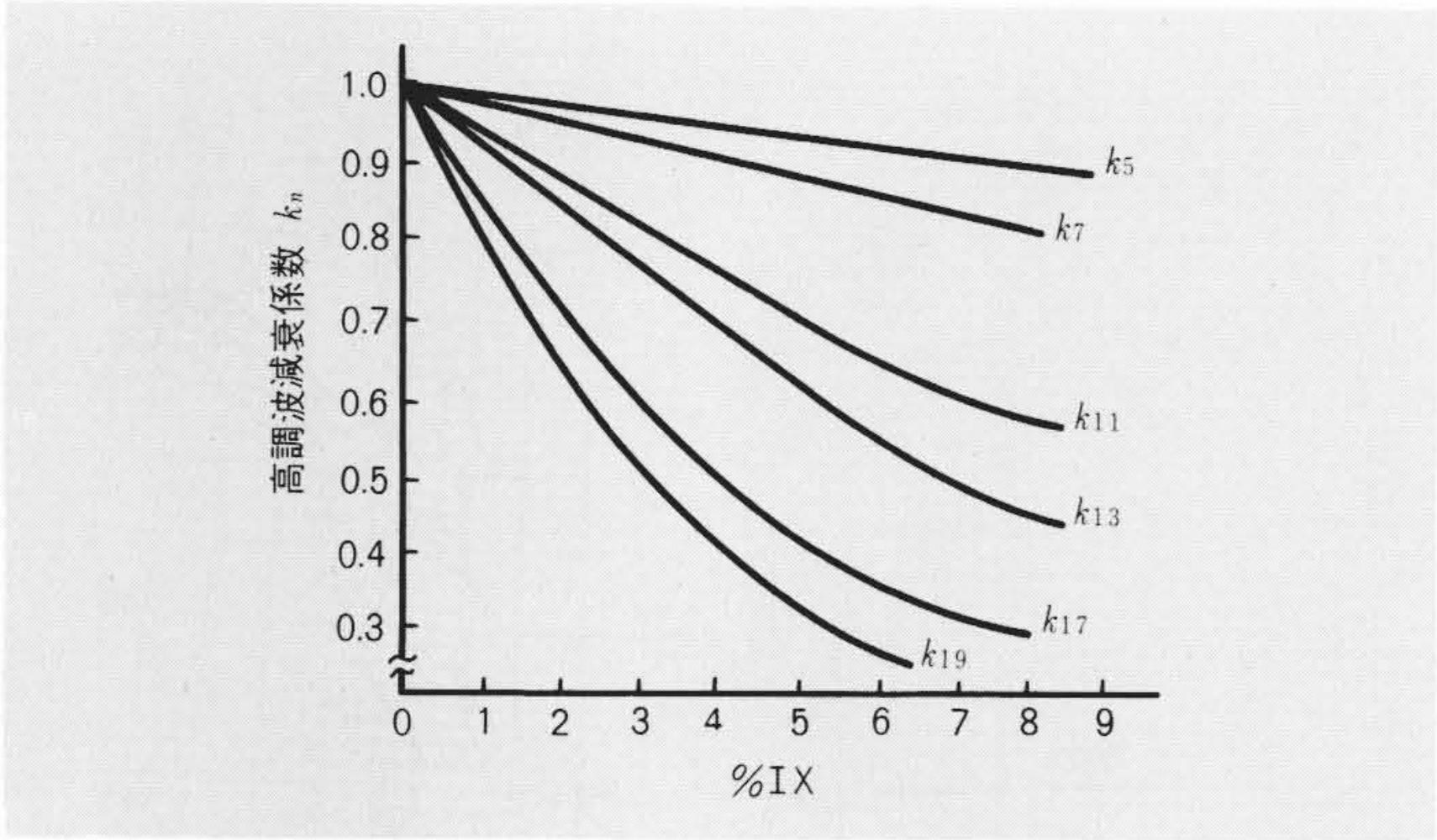


図7 高調波係数 %IX(パーセントリアクタンス)降下に対する各高調波の係数を示す。

以上、エレベーターの特性についてまとめると表3のようになる。

5.2 定周波・定電圧電源装置(CVCF)

最近コンピュータ用として高調波電流を発生するCVCFが発電設備に接続されるケースが多くなってきた。

発電機負荷にこのような整流器負荷が接続される場合には、発電機及び負荷に種々の影響を与える。特に発電機については、高調波電流による巻線の温度上昇、負荷に対しては電圧波形のひずみが問題となる。

(1) 高調波電流²⁾

CVCF電源装置は、交流電源をいったん直流に変換し、これをインバータで安定な交流電源に変換するものである。したがって、入力側から見ると整流負荷となり、交流側に高調波電流が流れる。一般に三相全波整流方式が多いので、これについて求めると(2)式となる。

$$I_n = \frac{k_n}{n} I_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$n = 3k \pm 1 \quad (k = 1, 2, 3 \dots\dots)$$

I1=基本波電流

kn=転流リアクタンスにより変わる係数は図7を参照のこと。

(2) 発電機の温度上昇

発電機の高調波電流による温度上昇には、固定子巻線及び固定子鉄心の損失増加によるものと回転子ダンパ巻線の高調波電流損失による温度上昇がある。

特に、高調波のダンパ巻線への影響は、発電機へ逆相電流を流した場合と同様に考えられるので、高調波電流を等価逆相電流(I2eq)に置き換え、この値を通常の逆相電流と同等に取り扱い、許容逆相電流としてこの値を規制したほうが便利である。

その換算は、高調波電流による損失と逆相電流による損失が等しいと置いて求めれば、等価逆相電流は(3)式となる。

表3 エレベーター電動機の特性 発電機容量を算出するための直流エレベーターの特性を比較して示す。

項 目	直流エレベーター	交流エレベーター
電動機始動容量 (kVA)	誘導電動機定格出力×5	誘導電動機定格出力×7~8
電動機加速時の最大入力 (kW)	誘導電動機定格出力×4.0	誘導電動機定格出力×4.5
回 生 電 力 (kW)	直流電動機出力×1.1	回生電力が非常に小さいので、考慮する必要はない。
瞬時最低許容電圧	エレベーター受電盤で25% (発電機端子で20% ケーブル電圧降下5%)	エレベーター受電盤で25% (発電機端子で20% ケーブル電圧降下5%)

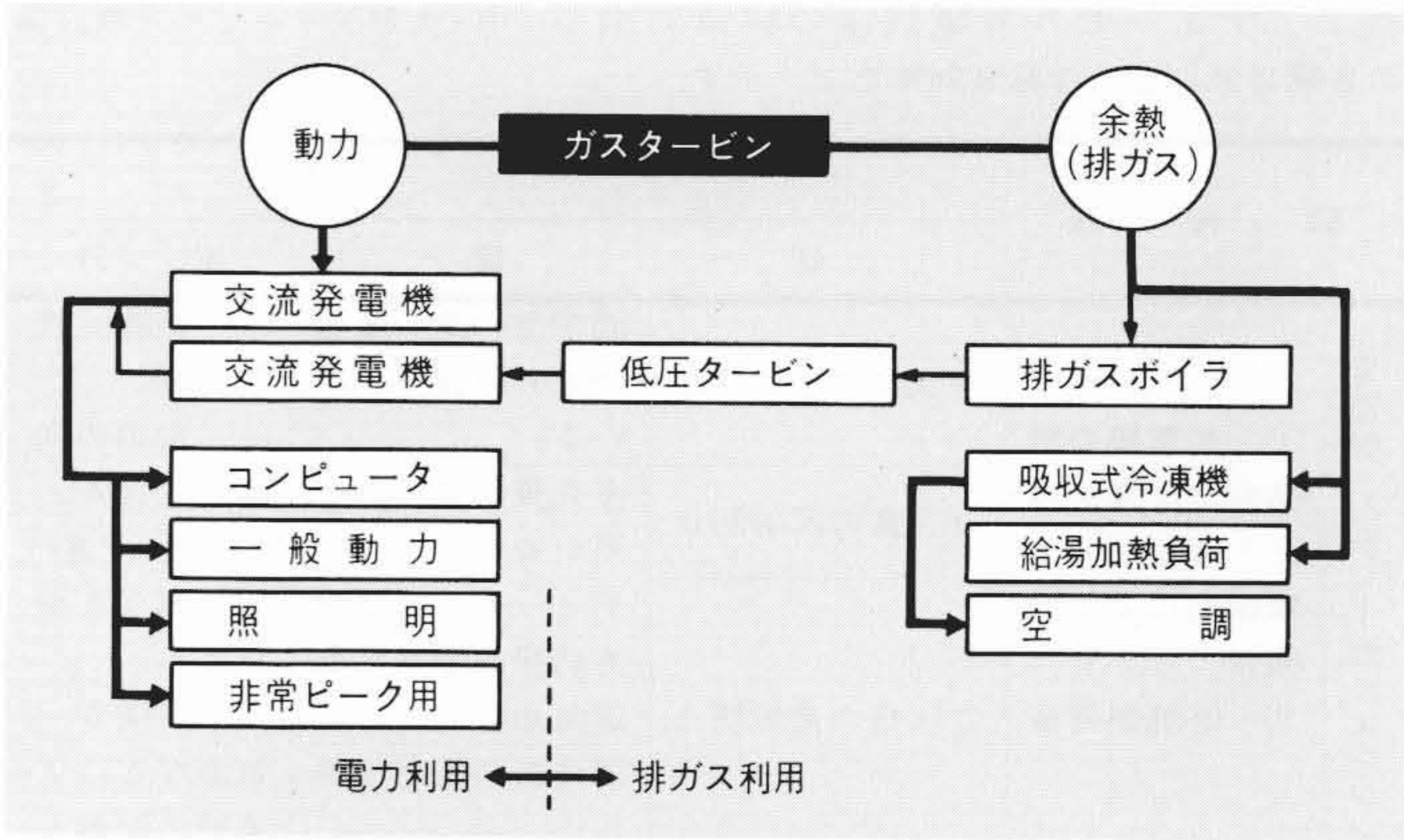


図8 ガスタービン発電機の省エネルギーシステム ガスタービンの排ガス熱を有効活用した省エネルギートータル発電システムの例である。

$$I_{2eq} = \sqrt{\sum_n \left(\sqrt{\frac{n}{2}} \cdot I_n \right)^2} \dots\dots\dots (3)$$

一般的に、この値は発電機定格電流の15%以内と考えられている。

6 自家発電装置の省エネルギー

ビル電源用自家発電装置としてはディーゼル発電装置が主体となっているが、据付スペース、振動及び騒音の点でディーゼル発電装置よりも優位なガスタービン発電装置もビル電源として採用されつつある。しかし、ディーゼルエンジンの熱効率は、「熱機関」の熱効率としては最高値である約42%までとることが可能であるのに対して、ビル電源に採用される小容量ガスタービンの熱効率は約17%と極めて低いため、省エネルギー時代を迎え、このガスタービン熱効率向上が望まれるようになってきた。

ビル電源用ガスタービンの熱効率向上のためのシステムとしては、図8に示す省エネルギービル電源システムがある。このシステムはガスタービンで発電機を駆動し、その電力を一般負荷に供給する。同時に排ガスを冷暖房設備及び給湯負荷のエネルギー源として使用するものであり、システムによってはかなり高い熱効率が得られる。ちなみに給湯、蒸気として排熱を利用する場合、熱効率が60%を超えるシステムとすることも可能である。一方、排熱のエネルギーを電力として取り出すシステムも考えることができる。この系は回収効率としては高くはないが、給湯及び蒸気の供給システムと抱合せにより回収効率を高めることができる。ただし、上記排熱回収システムは、ディーゼルエンジンについても同様に適用することが可能であり、いずれを採用するかはインシヤルコスト、回収負荷の種類、周囲条件などにより決定する必要がある。

7 結 言

以上、ビル用発電設備について機種構成、技術的問題点に対する対応などについて説明を加えた。この論文がビル用発電設備を計画する技術者各位、及びこの設備を利用される各位の参考に供することができれば幸いとするとところである。

参考文献

1) 社団法人日本内燃力発電設備協会：自家発電設備耐震設計のガイドライン(案)(昭53-8)
2) 高橋：高調波電流負荷の同期機に及ぼす影響、電気学会誌、93、6、491~498(昭48-6)