

東日本大震災における自家用発電設備の稼働・被災状況

その1

内発協は、消防法に基づく非常電源及び建築基準法に基づく予備電源として使用される自家用発電設備の品質性能に関する認証機関として、1974年から認証事業を開始し、現在まで多数の認証品を世の中に送り出しています。この間、自家用発電設備は特段大きな問題もなく運転されておりますが、地震災害時においても自家用発電設備に要求される機能が確保されているかを調査し、設備の安全性、信頼性の向上に反映することを目的に、これまでも震度6強以上の地震が発生した場合は、自家用発電設備の稼働状況、被害状況等の調査を実施しています。

今回の東日本大震災についても、内発協の技術委員会の下部組織として2011年度に創設された自家用発電設備に係る新技術調査・研究専門委員会において、その調査・研究の1テーマとして同様の調査を実施しましたので、以下に概要を紹介します。

1. 調査方法

自家用発電設備の製造事業者に対するアンケート調査により、主として自家用発電設備の製造業者に報告された設置状況、稼働状況、被害状況及び設備への影響等の情報により調査した。調査対象は、震度6強以上を記録した地区が属する次の市・郡を調査対象地域として、これらの地域に設置された防災用自家発電設備としました。これらの地域では、ほぼ全域で停電も発生している。

なお、1975年以降2011年1月までに設置された防災用自家発電設備の累計台数は、東北地方と関東地方で70,303台、このうち調査対象地域の設置台数は4,811台である。

震度	県	地域（市・郡）
7	宮城	栗原市
6強	宮城	黒川郡、東松島市、塩竈市、石巻市、仙台市、亶理郡、刈田郡、名取市、大崎市、登米市、遠田郡
		福島
	茨城	鉾田市、筑西市、笠間市、日立市
	栃木	塩谷郡、真岡市、宇都宮市、大田原市

2. 調査結果

a. 不始動・停止の台数（図1参照）

不始動 ※1	停止 ※2				合計
	異常停止 ※3	燃料切れ 停止	津波による 停止	不明	
17	60	125	24	7	233

※1 不始動は、地震発生・停電時に原動機が起動しなかったものをいう。（以下、同様）

※2 停止は、正常始動後に停止したものをいう。（以下、同様）

※3 異常停止は、燃料切れ、津波等による停止を除いた、装置及び付帯設備の異常によって停止したものをいう。（以下、同様）

b. 不始動の台数

不始動の台数	設置台数	始動率（%）
17	4,811	99.6

注. 設置台数は、(社)日本内燃力発電設備協会の防災用設置データによる。(1975年1月～2011年1月、震度6強以上の地域に設置されたもの)

(参考) 阪神大震災における不始動の台数

不始動の台数	設置台数	始動率（%）
60	1,281	95.3

注. 設置台数は、(社)日本内燃力発電設備協会の防災用設置データによる。(1975年4月～1994年12月、震度6以上の地域に設置されたもの)

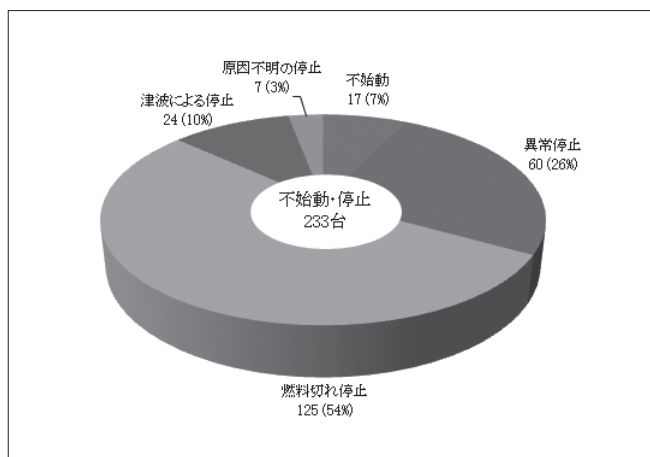


図1 不始動・停止の台数

c. 不始動の原因別台数 (図2 参照)

不始動の原因	台数	割合 (%)	主な例
故障・設備異常	3	18	制御系の異常 等
断水 (水系等の損傷等)	1	6	冷却水配管破損
燃料系統の 故障・異常	1	6	燃料移送ポンプ故障
他設備の異常	1	6	他設備配管の漏れ
メンテナンス不良	7	41	修理前 ※、始動弁膠着、 バッテリー放電 等
操作ミス	1	6	—
不明	3	18	—
合計	17	100	—

※修理前は、修理の必要性が分かっていたが修理されていなかったものであり、台数は5台。

c.1 不始動の原因別台数 (ディーゼル発電設備)

不始動の原因	台数	割合 (%)	主な例
故障・設備異常	2	20	制御系の異常
断水 (水系等の損傷等)	1	10	冷却水配管破損
他設備の異常	1	10	他設備配管の漏れ
メンテナンス不良	2	20	修理前 ※、バッテリー 放電
操作ミス	1	10	—
不明	3	30	—
合計	10	100	—

※修理前は、修理の必要性が分かっていたが修理されていなかったものであり、台数は1台。

c.2 不始動の原因別台数(ガスタービン発電設備)

不始動の原因	台数	割合 (%)	主な例
故障・設備異常	1	14	制御系の異常
燃料系統の 故障・異常	1	14	燃料移送ポンプ故障
メンテナンス不良	5	71	修理前 ※、燃料ノズル 詰まり 等
合計	7	100	—

※修理前は、修理の必要性が分かっていたが修理されていなかったものであり、台数は4台。

d. 正常始動後の停止の原因と台数

設備種別	停止				合計
	異常 停止	燃料切れ 停止	津波に よる停止	不明	
ディーゼル	36	95	18	6	155
ガスタービン	24	28	6	1	59
ガスエンジン ※	0	2	0	0	2
合計	60	125	24	7	216

※ガスエンジンは、常用防災兼用自家発電設備。

d.1 燃料切れの分類 (図3 参照)

燃料供給不能			合計
燃料不足に よる停止	スラッジによるフィ ルタ目詰まり ※	燃料切れ後の エア混入	
82	5	38	125

※燃料切れ停止後、スラッジによるフィルタ目詰まりのあったもの。

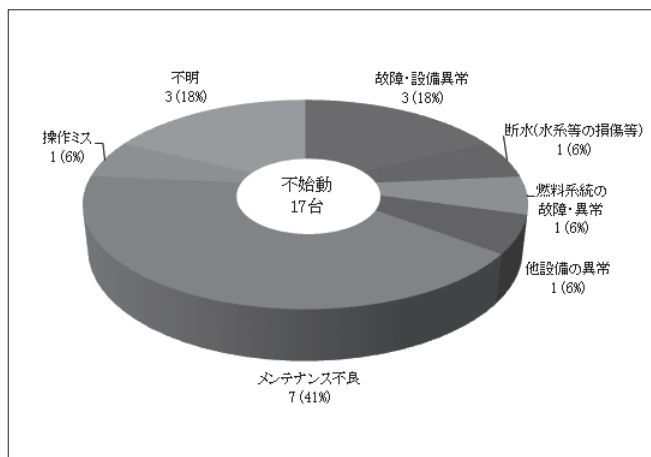


図2 不始動の原因別台数

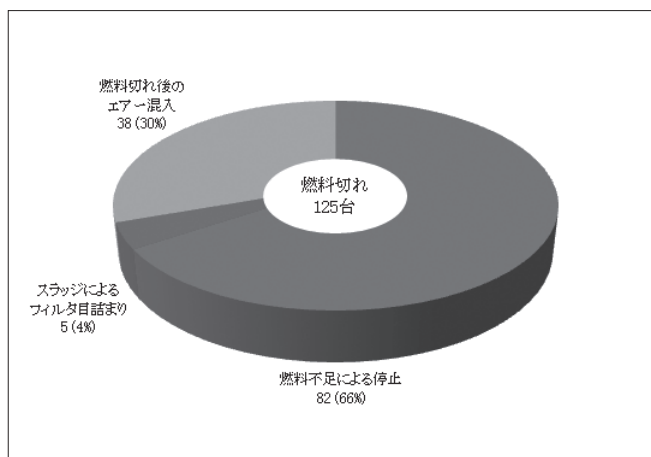


図3 燃料切れの分類

e. 異常停止の原因別台数 (図4参照)

異常停止の原因	台数	割合 (%)	主な例
故障・設備異常	12	20	制御系の異常、ダクト破損、シャフト折損 等
他設備の異常	6	10	受電設備故障、負荷設備故障、建物損壊 等
メンテナンス不良	16	27	フィルタ目詰まり、排気弁膠着、バッテリー放電 等
操作ミス	4	7	—
断水 (水系等の損傷等)	9	15	冷却水配管破損、ポンプ故障 等
潤滑油系統の故障・異常	3	5	潤滑油配管破損 等
燃料系統の故障・異常	3	5	燃料配管破損 等
その他	7	12	—
合計	60	100	—

e.1 メンテナンス不良の分類 (図5参照)

e.2 故障・設備異常の分類 (図6参照)

f. 耐震性能に関連する異常・故障の台数

	不始動	異常停止
故障・設備異常 (耐震に関連するもの)	3	23

注. 地震動による異常・故障と確認できた設備のみ抽出。

f.1 耐震性能に関する不始動の分類

	台数
燃料ポンプ電磁弁損傷	1
配管損傷	1
配管損傷 (他設備)	1
合計	3

f.2 耐震性能に関する異常停止とその他異常停止

耐震性能に関する異常停止	異常停止		合計
	メンテナンス不良による停止	その他の異常停止	
23	16	21	60

f.3 耐震性能に関する異常停止の分類

	台数	割合 (%)
ラジエータファン損傷	1	4
架台損傷	1	4
排気ダクト落下	1	4
冷却水配管損傷	4	17
燃料・潤滑油配管損傷	6	26
受電設備・建物等の損壊	6	26
パッケージの損傷	4	17
合計	23	100

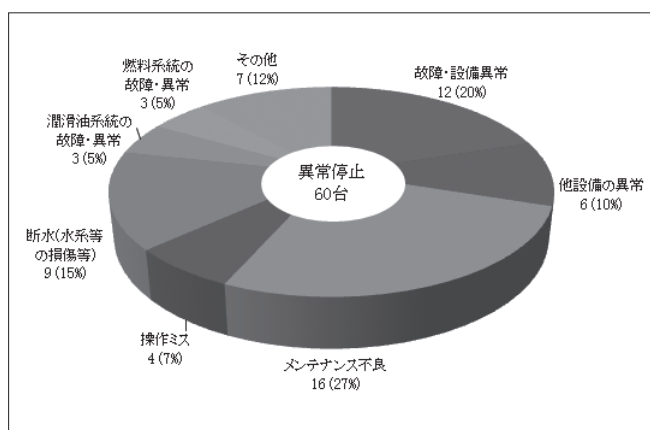


図4 異常停止の原因別台数

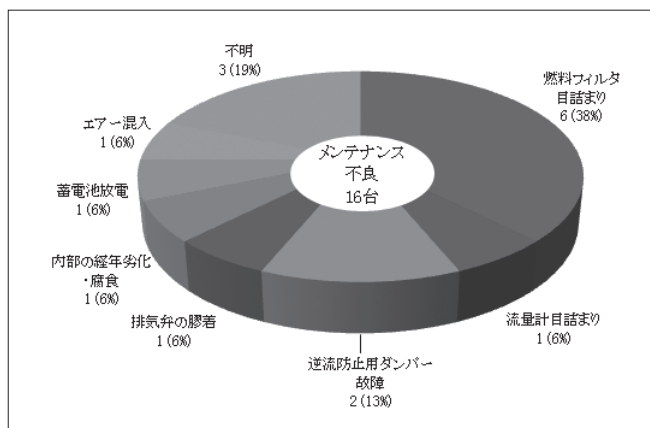


図5 メンテナンス不良の分類

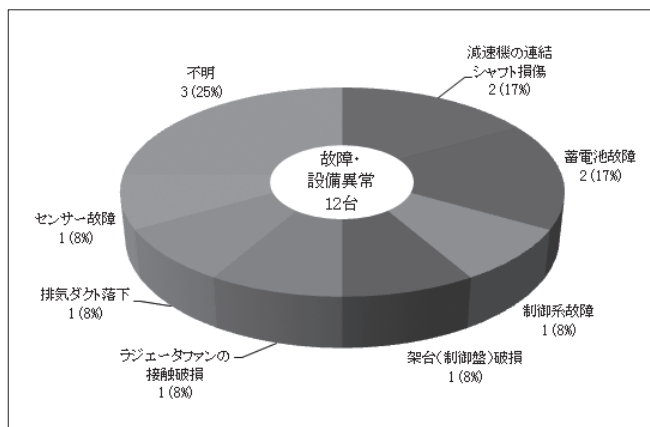


図6 故障・設備異常の分類

g. 冷却方式と冷却水系統異常との関係

	不始動	異常停止	主な例
ラジエータ式（直結）	1	5	ラジエータホース破損、ポンプ故障
放流冷却式	0	1	冷却水配管破損
水槽循環式	0	3	冷却水配管破損、地下水槽の水温上昇、補給水停止
冷却塔式	0	2	津波による直流電源断

3. 調査結果の分析と考察

震度6強以上の地域での累計設置台数は4,811台（1975年4月～2011年1月納入）であるが、アンケート調査で回答を得た233台について分析と考察を行った。分析と考察を実施するにあたり、1996年3月に当協会より発行された「阪神大震災における自家用発電設備調査報告書」（以下、「阪神報告書」という。）と比較しながら考察を行った。

a. 不始動・停止の台数

アンケートにより異常があったと回答されたものは233台であるが、設置台数4,811台から見ると不始動と異常停止は77台で1.6%程度であり、ほとんどの自家用発電設備は問題なく機能していたことが確認された。このことは、地震対策について当協会が作成した「自家用発電設備耐震設計のガイドライン」（以下、「耐震ガイドライン」という。）（1981年3月発行）によって設計・施工されたことが功を奏したものである。

また、始動はしたが、途中で停止した内訳は、燃料切れによるものが125台、津波被害により運転できなかったものが24台であり、今回の震災の津波と長時間停電の特徴がよく表れている。防災用自家発電設備は、もともと火災時などの比較的短時間運転対応である。今回、長時間の停電により長時間運転となり、燃料切れ、燃料フィルタ目詰まり等により、運転途中で停止したものが多数あった。また、これに関連して、燃料切れにより燃料配管内に空気が混入し（エア噛み）、再起動時のエア抜き作業が不慣れのため、燃料を補給しても燃料配管内のエア溜まりにより、再始動ができなかった情報も多数寄せられた。これは、阪神大震災の時と同じ状況であり、何らかの対策が必要と考える。

b. 不始動の台数

今回のアンケート調査結果では、不始動は17台であり、設置台数4,811台を母数とすると、始動率は99.6%

である。阪神報告書では、アンケート調査で有効回答を得た695台中60台が不始動で、始動率91%としているが、阪神大震災時の母数を今回同様の震度6以上の地域での設置台数1,281台とすれば、始動率は95.3%であり、今回の始動率はこれを上回っている。これは、阪神大震災（阪神報告書）を教訓とし、防災用発電設備の耐震強度向上及び品質向上、並びに冷却水配管の少ない直結ラジエータ式原動機及びガスタービン機関の採用拡大などが要因として考えられる。

c. 不始動の原因別台数

不始動の原因は、地震の揺れによる倒壊等によるものはほとんどなく、電気室、建物損壊等他設備の影響を受けたことによる不始動が1台（6%）であり、阪神報告書における13台（20.6%）に比較し、減少している。これは、阪神大震災での地震動周期は0.5～1.5秒程度で、建築物が最も被害を受けやすいとされる1～2秒の周期に近く、建物の大規模損壊が多かったのに対し、今回の地震における地震動周期は0.5秒未満であったため、地震による建物損壊が阪神大震災に比し少なかったことも要因の一つと考えられる。

断水（水系統の損傷等）は1台（6%）で、阪神報告書での8台（12.7%）から減少しており、ガスタービン機関採用による空冷化の伸長、及びディーゼル機関のラジエータ化の拡大（パッケージ形発電設備においては放水冷却仕様の納入実績が皆無）により、冷却水配管破損や水槽の転倒による不始動が回避されたものと考えられる。メンテナンス不良に起因する不始動は7台（41%）であり、阪神報告書での16台（25.4%）と同様に不始動原因の中で最も多かった。

c.1 ディーゼル発電設備における不始動の原因別台数

不始動の原因内訳は10台中メンテナンス不良が2台、制御系の異常が2台、地震に起因すると思われる配管破損が2台あった。

c.2 ガスタービン発電設備における不始動の原因別台数

不始動原因7台のうち5台（71%）がメンテナンス不良であり、そのうち4台は、震災前から故障していたことが分かっており、修理前又は修理中のものであった。なお、修理前のものは、点検による修理の必要性を申し入れていたが、ユーザーの判断により修理が行われていなかったものであり、メンテナンスによる改修の実施が不始動の防止に有効であることが分かる。

d. 正常始動後の停止の原因と台数

今回の東日本大震災の特徴は地震だけではなく、津波の被害が大きかったことである。津波による被害を除外すれば、燃料切れ停止が最も多く216台中125台（58%）であり、阪神報告書での63台（10%）を大幅に上回っている。消防用設備等で最も長い運転時間を要求されるものは連結送水管の120分である。このため防災用発電設備が要求される運転可能時間（燃料保有量）もこれと同等であるが、今回の停電が長時間であった

ことが燃料切れ停止の主因と考えられる。

停電により始動したが、その後津波により水没、運転不能となった台数は、燃料切れによる停止の台数に次いで多い24台（11%）であった。

正常始動後に停止した原動機別台数は、燃料切れ及び津波被害によるものを含めると、ディーゼル発電設備155台（72%）、ガスタービン発電設備59台（27%）、ガスエンジン発電設備2台（1%）であった。なお、ガスエンジン発電設備の2台（同一施設に設置）の燃料切れにより停止した事象は、燃料中圧管の耐震強度の原因ではなく、津波被害によりガス供給施設側で供給停止したためである。

d.1 燃料切れの分類

正常始動後停止の最大原因であった燃料切れを更に分類すると、燃料不足による停止が82台、燃料切れ後に再起動できなかったものでは、燃料タンク内スラッジによるフィルタ目詰まりが5台、燃料配管へのエア混入（エア抜き不良）が38台である。エア混入により再起動できなかった原因は、操作員の多くがエア抜き作業に不慣れであったためと報告されており、メンテナンス時に操作員への取り扱い説明が重要であることが分かる。

e. 異常停止の原因別台数

燃料不足等以外の異常停止の原因は、メンテナンス不良を原因とするものが16台（27%）と多く、ここでもメンテナンスの重要性が再認識される。次いで、故障・設備異常の12台（20%）である。

e.1 メンテナンス不良の分類

燃料系の目詰まりは、燃料フィルタの目詰まりと流量計フィルタの目詰まりが7台（44%）であり、目詰まりは燃料タンクの底部に堆積したスラッジが地震の揺れにより攪拌され、燃料に混入し目詰まりに至ったものと推定される。通常のメンテナンス運転では防止できない要因であり、定期的な燃料タンク清掃、燃料交換が必要とされる。

一方、発電設備運転の長時間化、発電設備の大容量化により燃料タンク容量は大形化の傾向にあり、定期的な燃料タンク清掃、燃料交換に対応することは困難となりつつある。発電装置側での対策の検討が今後の課題として考えられる。また、経年劣化による排気ガス逆流防止用ダンパー故障、排気弁故障、内部機器の腐食など、機器を分解点検しなければ確認できないエンジン内部の要因が4台（25%）を占めており、改めてメンテナンスの有用性を示している。

e.2 故障・設備異常の分類

ガスタービンの減速機シャフトの損傷が2台（17%）あるが、地震によるエンジン始動後、エンジンが過負荷となり、エンジンと減速機間の接続シャフトが損傷したものである。

制御系故障の1台（8%）は、受電設備側から供給される発電設備制御用のDC100V電源がバッテ

リーの放電により喪失したため、停止に至ったものである。制御電源容量の妥当性、制御電源の高信頼化といった観点からのシステム検討が発電設備の導入に際して行われるよう考慮していく必要がある。

耐震に起因するものは、ダクト類落下、ファン故障、架台破損が3台（24%）、またセンサー故障の1台（8%）も地震に起因するものと考えられるため、合計4台（33%）と最も多くなり、発電装置周辺機器の耐震強化も要求される。

f. 耐震性能に関連する異常・故障の台数

不始動の原因として発電設備本体のアンカーボルトの耐震強度不足によるものではなく、他設備及び周辺設備の耐震強度不足による不始動が17台中3台（18%）、また停止の原因においては他設備及び周辺設備の耐震強度不足が想定される台数が60台中23台（38%）である。阪神報告書では、不始動の原因が耐震不足と想定されるものは28台（44%）であった。ダクト類損傷、フード類損傷、各種配管損傷等の発電設備本体以外の損傷がほとんどであるので、今後は付属機器の耐震施工向上の検討が課題である。

f.1 耐震性能に関する不始動の分類

地震による被害と推定されるものは、配管破損2台、燃料電磁弁損傷1台の計3台であり、不始動17台を母数とする18%である。阪神報告書では60台中28台（47%）であり、耐震性能の向上は図られていると考える。

f.2 耐震性能に関する異常停止とその他異常停止

発電設備始動後、耐震性能を原因とする停止は異常停止60台中23台（38%）であり、メンテナンス不良16台（27%）より多い。本震後の停電により発電設備は起動したが、本震による損傷、及び余震による損傷をきたし、運転を継続できなかったものと推定する。

f.3 耐震性能に関する異常停止の分類

異常停止の分類は、冷却水配管の損傷4台、燃料・潤滑油配管の損傷6台と、配管損傷が合計10台（43%）と最も多く、次いで受電設備、建物損壊等が6台（34%）である。また、排気ダクト落下も1台あった。

発電装置周辺の施工方法の改善等による耐震強度強化が、今後の検討課題となる。

g. 冷却方式と冷却水系統異常との関係

冷却水系統異常によるものは、ラジエータホース破損による不始動が1台、異常停止が11台である。ラジエータ式での異常停止5台が特徴的であるが、ホースの破損以外原因が特定できていない。阪神報告書では、不始動が8台、異常停止が16台（全て水冷式又は放水式）である。冷却水系の異常への対処方法は、上記f項と同じく付属設備の耐震性能向上に尽きると考えられる。

（つづく）