

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設（「常陽」）

第 42 条（外部電源を喪失した場合の対策設備等）に係る説明書

2021 年 3 月 2 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所高速実験炉部

目 次

1. 要求事項の整理
2. 要求事項への適合性
 - 2.1 基本方針
 - 2.2 非常用電源設備
 - 2.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 42 条）への適合性説明

(別紙)

別紙 1 : 外部電源喪失時のプラント挙動

別紙 2 : 全交流動力電源喪失時に使用する蓄電池その他の非常用電源設備

1. 要求事項の整理

試験炉設置許可基準規則第 42 条における要求事項等を第 1.1 表に示す。本要求事項は、新規制基準における追加要求事項に該当する。

第 1.1 表 試験炉設置許可基準規則第 42 条における要求事項及び本申請における変更の有無

要求事項	変更の有無
<p>1 試験研究用等原子炉施設（ガス冷却型原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に限る。以下この章において同じ。）には、必要に応じ、外部電源が喪失した場合において原子炉停止系統及び原子炉冷却系統に係る設備を動作させるために必要な発電設備その他の非常用電源設備を設けなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 1 項に規定する「原子炉停止系統及び原子炉冷却系統に係る設備を動作させるために必要な発電設備その他の非常用電源設備」とは、外部電源喪失時において、計測制御系統、安全保護回路、原子炉停止系統、原子炉冷却系統等の機能とあいまって、燃料の許容設計限界を超えないよう、炉心からの核分裂生成物の崩壊熱を除去できるとともに、停止後、一定時間、炉心の強制冷却を必要とする試験研究用等原子炉にあつては、信頼性の高い非常用電源系統から崩壊熱を除去する設備に電源を供給できるものをいう。 	有
<p>2 試験研究用等原子炉施設には、必要に応じ、全交流動力電源喪失時に試験研究用等原子炉を安全に停止し、又はパラメータを監視する設備の動作に必要な容量を有する蓄電池その他の非常用電源設備を設けなければならない。</p> <p>【解釈】</p> <ul style="list-style-type: none"> 第 2 項について、全交流動力電源喪失（外部電源喪失及び非常用所内交流動力電源喪失の重畳）に備えて、必要に応じ、非常用所内直流電源設備は、試験研究用等原子炉の安全停止、停止後の監視等に必要な電源を一定時間確保できるものとする。なお、「一定時間」とは事故の収束が確認できるまでの時間をいい、冷却等に電源を要する場合にあつては、事故等に対処するための電源設備から必要容量の電力が供給されるまでの間とする。 	有

2. 要求事項への適合性

2.1 基本方針

原子炉施設は、外部電源が喪失した場合において、計測制御系統、安全保護回路、原子炉停止系統、原子炉冷却系統等の機能とあいまって、燃料の許容設計限界を超えないよう、炉心からの核分裂生成物の崩壊熱を除去できるとともに、停止後、一定時間、炉心の強制冷却を必要とする場合にあっては、崩壊熱を除去する設備に電源を供給する等、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するための非常用電源設備として、ディーゼル発電機及び蓄電池、並びに電力供給設備（非常用母線切替回路及びケーブル等）を設ける。

2.2 非常用電源設備

原子炉施設には、外部電源が喪失した場合において、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給し、また、計測制御系統、安全保護回路、原子炉停止系統、原子炉冷却系統等の機能とあいまって、燃料の許容設計限界を超えないよう、炉心からの核分裂生成物の崩壊熱を除去できるとともに、停止後、一定時間、炉心の強制冷却を必要とする場合にあっては、崩壊熱を除去する設備に電源を供給するための非常用電源設備として、ディーゼル発電機及び蓄電池、並びに電力供給設備（非常用母線切替回路及びケーブル等）を設ける【外部電源喪失時のプラント挙動：別紙1参照】。非常用電源設備及びその附属設備は、多重性又は多様性並びに独立性を確保し、その系統を構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有するものとする。蓄電池については、全交流動力電源喪失（外部電源喪失及び非常用ディーゼル電源系喪失）時に原子炉を安全に停止し、又はパラメータを監視する設備の動作に必要な容量を有するものとする【全交流動力電源喪失時に使用する蓄電池その他の非常用電源設備：別紙2参照】。

(1) ディーゼル発電機

原子炉施設には、2系統の非常用ディーゼル電源系を設ける。各系統は、ディーゼル発電機、3.3kV母線、400V母線、200V母線及び100V母線から構成し、常時は独立に使用されるものとする。非常用ディーゼル電源系は、通常時にあっては、常用電源を経由し、外部電源より給電されるものとするが、外部電源喪失時には、ディーゼル発電機より電源が供給される。ディーゼル発電機については、定格容量を約2,500kVAとし、外部電源の喪失に対処するための設備がその機能を確保するために必要な負荷（以下「非常用負荷」という。）に対して、100%の容量を有するものを、2系統の非常用ディーゼル電源系に各1基（合計：2基）設置するものとする。

ディーゼル発電機は、低電圧継電器により外部電源の喪失を検出し、限時継電器で数秒間の停電を確認した後、2基同時に自動起動する。ディーゼル発電機の起動方式は、圧縮空気始動方式であり、外部電源喪失後30秒で最初の負荷投入が可能となる。2基のディーゼル発電機は、あらかじめ定めた順序に従い、非常用負荷に給電するものとする。なお、非常用負荷は、2基のディーゼル発電機のうち1基が停止した場合であっても、他の1基により原子炉の安全を維持できるように負荷を構成する。主な負荷を以下に示す。

1次補助冷却系及び2次補助冷却系

1次純化系及びオーバフロー系

1次冷却系予熱設備（一部）、2次冷却系予熱設備

格納容器雰囲気調整系、アニュラス部排気設備、非常用換気設備

コンクリート遮へい体冷却系

気体廃棄物処理設備

放射線監視設備（一部）、空調換気設備（一部）、補機冷却設備

圧縮空気供給設備

非常用照明設備

(2) 蓄電池

原子炉施設には、2系統の交流無停電電源系及び2系統の直流無停電電源系を設ける。交流無停電電源系の各系統は、整流装置、蓄電池、インバータ及び母線から構成し、常時は独立に使用されるものとする。交流無停電電源系は、通常時においては、常用電源を経由し、非常用ディーゼル電源系の400V母線等を介して、外部電源より給電されるものとするが、全交流電源喪失時（外部電源喪失後、ディーゼル発電機が起動し、定格電圧が確立するまでの時間を含む。）には、蓄電池より、インバータを介して、電源が供給される。交流無停電電源系の蓄電池については、容量を800Ahとし、非常用負荷のうち、交流無停電電源系に接続される負荷に対して100%の容量を有し、かつ、2時間の放電ができるものを2系統の交流無停電電源系に各1組（合計：2組）設置するものとする。なお、非常用負荷は、2系統の交流無停電電源系のうち1系統が停止した場合であっても、他の1系統により原子炉の安全を維持できるように負荷を構成する。直流無停電電源系の各系統は、整流装置、蓄電池、負荷電圧補償装置及び母線から構成し、常時は独立に使用されるものとする。直流無停電電源系は、通常時においては、常用電源を経由し、非常用ディーゼル電源系の400V母線等を介して、外部電源より給電されるものとするが、全交流電源喪失時（外部電源喪失後、ディーゼル発電機が起動し、定格電圧が確立するまでの時間を含む。）には、蓄電池より電源が供給される。直流無停電電源系の蓄電池については、容量を1,800Ahとし、非常用負荷のうち、直流無停電電源系に接続される負荷に対して100%の容量を有し、かつ、2時間の放電ができるものを2系統の直流無停電電源系に各1組（合計：2組）設置するものとする。なお、非常用負荷は、2系統の直流無停電電源系のうち1系統が停止した場合であっても、他の1系統により原子炉の安全を維持できるように負荷を構成する。交流無停電電源系及び直流無停電電源系の主な負荷を以下に示す。

交流無停電電源系

原子炉保護系（関連する核計装、プロセス計装及び放射線管理設備を含む。）

格納容器（隔離弁（制御用電源））

中央制御室制御盤等（一部現場盤を含む。）

直流無停電電源系

1次主冷却系（1次主循環ポンプポニーモータ）

1次補助冷却系（サイフォンブレイク弁）

格納容器（隔離弁（駆動用電源））

中央制御室制御盤等（一部現場盤を含む。）

非常灯

2.3 要求事項（試験炉設置許可基準規則第 42 条）への適合性説明

外部電源を喪失した場合の対策設備等)

第四十二条 試験研究用等原子炉施設（ガス冷却型原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に限る。

以下この章において同じ。）には、必要に応じ、外部電源が喪失した場合において原子炉停止システム及び原子炉冷却システムに係る設備を動作させるために必要な発電設備その他の非常用電源設備を設けなければならない。

2 試験研究用等原子炉施設には、必要に応じ、全交流動力電源喪失時に試験研究用等原子炉を安全に停止し、又はパラメータを監視する設備の動作に必要な容量を有する蓄電池その他の非常用電源設備を設けなければならない。

適合のための設計方針

1 について

原子炉施設には、外部電源が喪失した場合において、計測制御システム、安全保護回路、原子炉停止システム、原子炉冷却システム等の機能とあいまって、燃料の許容設計限界を超えないよう、炉心からの核分裂生成物の崩壊熱を除去できるとともに、停止後、一定時間、炉心の強制冷却を必要とする場合にあっては、崩壊熱を除去する設備に電源を供給するための非常用電源設備として、ディーゼル発電機及び蓄電池並びに電力供給設備（非常用母線切替回路及びケーブル等）を設ける。

非常用電源設備及びその附属設備（ディーゼル発電機及び蓄電池並びに電力供給設備（非常用母線切替回路及びケーブル等））は、多重性又は多様性並びに独立性を確保し、そのシステムを構成する機械又は器具の単一故障が発生した場合であっても、運転時の異常な過渡変化時又は設計基準事故時において工学的安全施設及び設計基準事故に対処するための設備がその機能を確保するために十分な容量を有するものとする。

ディーゼル発電機については、定格容量を約 2,500kVA とし、外部電源の喪失に対処するための設備がその機能を確保するために必要な負荷（以下「非常用負荷」という。）に対して 100%の容量を有するものを 2 系統の非常用ディーゼル電源系に各 1 基（合計：2 基）設置する。なお、非常用負荷は、2 基のディーゼル発電機のうち 1 基が停止した場合にあっては、他の 1 基により原子炉の安全を維持できるように負荷を構成する。

交流無停電電源系の蓄電池については、容量を 800Ah とし、非常用負荷のうち、交流無停電電源系に接続される負荷に対して 100%の容量を有し、かつ、2 時間の放電ができるものを 2 系統の交流無停電電源系に各 1 組（合計：2 組）設置する。また、直流無停電電源系の蓄電池については、容量を 1,800Ah とし、非常用負荷のうち、直流無停電電源系に接続される負荷に対して 100%の容量を有し、かつ、2 時間の放電ができるものを 2 系統の直流無停電電源系に各 1 組（合計：2 組）設置する。交流無停電電源系及び直流無停電電源系は、一方の装置の故障又は修理時にあっては、母線連絡用遮断器を投入することで、もう一方のシステムより支障なく給電できるものとする。

2 について

全交流動力電源喪失（外部電源喪失及び非常用ディーゼル電源系喪失）時に使用する機能に必要な

電源は、交流無停電電源系又は直流無停電電源系から供給され、これらの蓄電池については、全交流動力電源喪失時に原子炉を安全に停止し、又はパラメータを監視する設備の動作に必要な容量を有するものとする。

交流無停電電源系の蓄電池については、容量を 800Ah とし、非常用負荷のうち、交流無停電電源系に接続される負荷に対して 100%の容量を有し、かつ、2 時間の放電ができるものを 2 系統の交流無停電電源系に各 1 組（合計：2 組）設置する。また、直流無停電電源系の蓄電池については、容量を 1, 800Ah とし、非常用負荷のうち、直流無停電電源系に接続される負荷に対して 100%の容量を有し、かつ、2 時間の放電ができるものを 2 系統の直流無停電電源系に各 1 組（合計：2 組）設置する。

全交流動力電源喪失が長期化する全交流動力電源喪失事故は、「設置許可基準規則」第 53 条の解釈を踏まえた上で、多量の放射性物質等を放出するおそれのある事故として想定する事象の一つに該当する。全交流動力電源喪失時には、外部電源喪失が発生した時点で、原子炉保護系が作動し、制御棒駆動機構の制御棒保持電磁石励磁断により、制御棒は、自重及びスプリングにより加速されて、炉心に落下・挿入され、原子炉は停止する。原子炉停止時に原子炉容器内において発生した崩壊熱その他の残留熱については、1 次主冷却系及び 2 次主冷却系の冷却材の自然循環により除去し、最終ヒートシンクである大気に輸送される。原子炉施設は、全交流動力電源喪失時に原子炉を安全に停止する観点で、電源供給を必要とする動的機器を有しない。なお、原子炉冷却材バウンダリは維持されるため、全交流動力電源喪失は、閉じ込め機能に影響を及ぼさない。

全交流動力電源喪失時に監視するパラメータには、①原子炉出力（線形出力系核計装（3 チャンネル））、②原子炉出入口冷却材温度（A）、③原子炉出入口冷却材温度（B）が該当する。原子炉出力については、全交流動力電源喪失の発生直後において原子炉が停止したことが確認できる。原子炉出入口冷却材温度及び主冷却器出口冷却材温度は、原子炉停止時に原子炉容器内において発生した崩壊熱その他の残留熱が除去されていることの確認と事故対策上必要な手動操作に係る監視を目的とする。これらのプロセス計装は、中央制御室制御盤に設置されており、多量の放射性物質等を放出するおそれのある事故に対処するための電源設備から、2 時間以内に必要容量の電力が供給される。

また、使用済燃料貯蔵設備の水冷却池にあっては、水冷却池には、その水位を測定でき、かつ、その異常を検知できる設備を設けるが、当該設備を使用できない場合にあっては、作業員がその水位を確認できるものとしており、適宜監視する。原子炉施設や周辺監視区域の境界付近における放射線量については、代替措置（可搬型測定器）により、必要な機能を確保する。関係官庁等の異常時通報連絡先機関等への通信連絡にあっては、携帯電話機及び衛星携帯電話機を配備する。

外部電源喪失時のプラント挙動

外部電源喪失

・主な解析条件

事象名		外部電源喪失
初期状態	原子炉出力	100 %
	原子炉入口温度	352 °C
	原子炉出口温度	458 °C
燃料・被覆管初期温度	燃料	約2,350 °C
	被覆管	約620 °C
起回事象	外部電源喪失(1次主循環ポンプの主電動機、2次主循環ポンプ、主送風機等の動力源が喪失)	
スクラム反応度	0.050 Δk/k	
反応度係数	ドップラ係数	-3.5 × 10 ⁻³ Tdk/dT 最小値(絶対値が最大の負の値)
	燃料温度係数	-4.5 × 10 ⁻⁶ Δk/k/°C 最小値(絶対値が最大の負の値)
	構造材温度係数	-0.76 × 10 ⁻⁶ Δk/k/°C 最大値(絶対値が最小の負の値)
	冷却材温度係数	-5.7 × 10 ⁻⁶ Δk/k/°C 最大値(絶対値が最小の負の値)
	支持板温度係数	零
原子炉スクラム項目	電源喪失	
設定値	—	
応答時間	1.2 秒	
デラッチ遅れ	0.2 秒	
単一故障仮定	1ループのボニーモータ引継ぎ失敗	

・プラント挙動



・主な事象推移

<起回事象>

- ① 外部電源喪失発生(1次主循環ポンプの主電動機、2次主循環ポンプ、主送風機等の動力源が喪失)発生

<原子炉スクラムまでの事象推移>

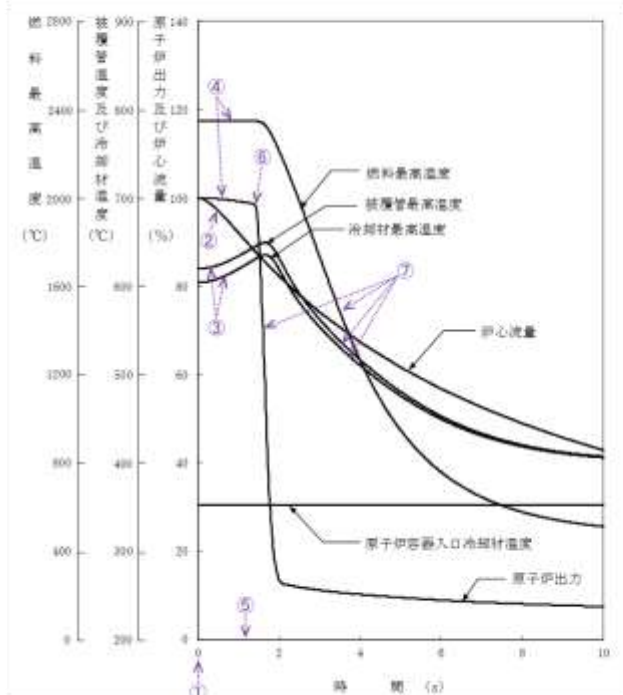
- ② 1次主循環ポンプの主電動機の停止により炉心流量の減少(コールドダウン)開始
- ③ 炉心流量の減少により炉心の冷却材及び構造材温度が上昇
- ④ 炉心の冷却材及び構造材温度の上昇により負の反応度が付加され原子炉出力が低下、それに伴い燃料温度が低下
- ⑤ 約1.2秒後に電源喪失信号による原子炉保護系の動作により原子炉スクラム信号発信

<原子炉スクラム後の事象推移>

- ⑥ 制御棒の切り離しによる制御棒挿入(スクラム反応度の投入)開始
- ⑦ 制御棒挿入により原子炉出力が低下、それに伴い各部の温度が低下

・主な解析結果

	解析結果	熱設計基準値
燃料最高温度:	初期値を超えない	2,650 °C
燃料被覆管最高温度:	約650 °C	840 °C
冷却材最高温度:	約640 °C	910 °C



全交流動力電源喪失時に使用する蓄電池その他の非常用電源設備

1. 概要

原子炉施設には、外部電源が喪失した場合において、重要安全施設がその機能を維持するために必要となる電力を当該重要安全施設に供給するための非常用電源設備として、ディーゼル発電機及び蓄電池、並びに電力供給設備（非常用母線切替回路及びケーブル等）を設ける。蓄電池については、全交流動力電源喪失（外部電源喪失及び非常用ディーゼル電源系喪失）時に原子炉を安全に停止し、又はパラメータを監視する設備の動作に必要な容量を有するものとする。

2. 全交流動力電源喪失時における交流・直流無停電電源系の主な負荷と運転可能時間

全交流動力電源喪失時には、外部電源喪失が発生した時点で、原子炉保護系が作動し、制御棒駆動機構の制御棒保持電磁石励磁断により、制御棒は、自重及びスプリングにより加速されて、炉心に落下・挿入され、原子炉は停止する。原子炉停止時に原子炉容器内において発生した崩壊熱その他の残留熱については、1次主冷却系及び2次主冷却系の冷却材の自然循環により除去し、最終ヒートシンクである大気に輸送される。

以上より、原子炉施設は、全交流動力電源喪失時に原子炉を安全に停止する観点で、電源供給を必要とする動的機器を有しない。

全交流動力電源喪失時に監視するパラメータには、①原子炉出力（線形出力系核計装（3チャンネル））、②原子炉出入口冷却材温度（A）、③原子炉出入口冷却材温度（B）が該当する。原子炉出力については、全交流動力電源喪失の発生直後において原子炉が停止したことの確認を、原子炉出入口冷却材温度及び原子炉入口冷却材温度は、原子炉停止時に原子炉容器内において発生した崩壊熱その他の残留熱が除去されていることの確認を目的とする。これらの核計装及びプロセス計装は、中央制御室制御盤に設置されており、当該確認は、運転員により10分以内に対応できる。なお、主冷却機において、原子炉停止時における自然通風除熱時にあつては、必要な場合に、手動操作によりインレットベーン及び出入口ダンパを開閉できる。当該手動操作を考慮しても、原子炉が停止し、崩壊熱等が除去されていることの確認は、運転員により2時間以内に対応できる。

以上より、原子炉施設は、全交流動力電源喪失時にパラメータを監視する観点で、電源供給を必要とする機器として、原子炉出力及び原子炉出入口冷却材温度に関連する核計装及びプロセス計装、並びに中央制御室制御盤を有する。

- ・ 原子炉出力（線形出力系核計装（3チャンネル））：原子炉制御盤にて監視
- ・ 原子炉出入口冷却材温度（A）、原子炉出入口冷却材温度（B）：1次制御盤にて監視

全交流動力電源喪失時に使用する機能に必要な電源は、交流無停電電源系又は直流無停電電源系から供給される。交流無停電電源系の蓄電池については、容量を800Ahとし、2系統の交流無停電電源系に各1組（合計：2組）設置する。直流無停電電源系の蓄電池については、容量を1,800Ahとし、2系統の直流無停電電源系に各1組（合計：2組）設置する。

なお、実測値に基づく交流無停電電源系及び直流無停電電源系の運転可能時間は、それぞれ7.9時間及び7.5時間であるが、全交流動力電源喪失の長期化による直流及び交流無停電電源系の喪失を想定し、事故対策上必要な操作は手動で対応できるものとするとともに、仮設計器により、原子炉出入口冷却材温度（A）及び原子炉出入口冷却材温度（B）の監視を実施できるものとしている。

交流無停電電源系及び直流無停電電源系の運転可能時間

1. 容量算定式

電池工業会協会規格 SBA S0601-2014 の定格放電率換算容量計算式を用いる。

$$C=1/L \times \{ K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) \cdot \cdot \cdot + K_n (I_n - I_{(n-1)}) \}$$

C : 定格放電率換算容量 (Ah)

L : 保守率=0.8 (経年による劣化を考慮した係数で一般的に 0.8 としている。)

K : 容量換算時間 (h) (容量換算時間特性曲線から求める。)

I : 蓄電池放電電流 (A)

n : 放電電流の変化順の番号

2. 計算結果

外部電源喪失後の蓄電池放電電流の変動は短時間 (100 秒以内) に収まるため、その間の変動は無視し、全交流動力電源喪失時の負荷での安定した放電電流値を用いる。外部電源喪失時の交流無停電電源系及び直流無停電電源系蓄電池の最大放電電流は第 1 表に示すとおりである。

(1) 交流無停電電源系

交流無停電電源系における最大放電電流は、62A である。蓄電池の容量は 800Ah であり、交流無停電電源系に接続される負荷に対して 100% の容量を有する。C=1/L×(KI) より、容量換算時間 K は 10.3 時間 (=L×C/I=0.8×800/62=10.3 時間) であり、容量換算時間 10.3 時間の放電時間は容量換算時間特性曲線から **7.9 時間** である。

(2) 直流無停電電源系

直流無停電電源系における最大放電電流は、145A である。蓄電池の容量は 1,800Ah であり、直流無停電電源系に接続される負荷に対して 100% の容量を有する。C=1/L×(KI) より、容量換算時間 K は 9.9 時間 (=L×C/I=0.8×1800/145=9.9 時間) であり、容量換算時間 9.9 時間の放電時間は容量換算時間特性曲線から **7.5 時間** である。

第1表 外部電源喪失時の交流無停電電源系及び直流無停電電源系の最大放電電流

【交流無停電電源系】

交流無停電電源系負荷容量及び蓄電池放電電流 (平成29年4月4日)*1

	6C	6D
負荷容量	121A (6S系統の87Aを含む)	35A
蓄電池 放電電流	58A (6S系統相当分42A)	20A

S系統の負荷をC系統又はD系統で運転した場合の蓄電池放電電流

	6C+6S 負荷	6D+6S 負荷	最大放電電流
蓄電池 放電電流	58A	62A	62A

【直流無停電電源系】

直流無停電電源負荷容量及び蓄電池放電電流 (平成29年4月4日)*1

	7C	7D
負荷容量	120A	50A (7S系統の20A含む)
蓄電池 放電電流	122A	56A (7S系統相当分23A)

S系統の負荷をC系統又はD系統で運転した場合の蓄電池放電電流

	7C+7S 負荷	7D+7S 負荷	最大放電電流
蓄電池 放電電流	145A	56A	145A

*1: 外部電源喪失時の交流無停電電源系及び直流無停電電源系の負荷容量に係るデータを採取するため、外部電源喪失試験を実施