

Tesla AC Powerwall

系統連系協議用 参考資料集 ver1.8

型式：1092170-xx-y, 3012170-xx-y

Tesla Motors Japan 合同会社
1-21-2022

目次

1	概要	3
2	製品型式	4
3	設備仕様	5
3.1	結線図	5
3.2	連系保護リレーブロック	6
3.3	制御電源ブロック	6
3.4	部品仕様	7
3.5	遮断器開閉状態の外部表示方法	7
4	電氣的仕様	8
4.1	PCS 仕様	8
4.2	蓄電池仕様	8
5	保護仕様	9
5.1	保護継電器	9
5.2	保護動作・復帰シーケンス	11
5.2.1	系統異常検出時	11
5.3	単独運転: 受動検出方式	12
5.4	単独運転: 能動検出方式	12
6	フローチャート	13
6.1	停止→系統連系運転	13
6.2	系統連系運転→停止	14
6.3	系統連系運転→自立運転	15
6.4	自立運転→系統連系運転	16
7	機能	17
7.1	FRT 機能	17
7.1.1	残電圧20%以上	18
7.1.2	残電圧 20%未満	19
7.1.3	残電圧 52%位相変化 41°	20
7.1.4	周波数変動	20
7.2	負荷追従運転	21
7.3	バックアップ専用モード	22

7.3.1	充電.....	22
7.3.2	停電時の自立運転.....	22
7.4	自家消費モード.....	23
7.4.1	余剰発電の充電	23
7.4.2	蓄電池からの放電.....	23
7.4.3	満充電時	24
7.4.4	満放電時	24
7.5	応用モード: バランス	25
7.5.1	ピーク時の運転.....	25
7.5.2	オフピーク時の運転	25
7.6	応用モード: 節約	26
7.6.1	ピーク時の運転.....	26
7.6.2	オフピーク時の運転	26

1 概要

本装置は、夜間電力の充電による系統電力使用の平準化、PV 連携による再エネ電力の有効化、及び停電時における家庭のまるごとバックアップを可能にした、パワコン内蔵型のリチウムイオン蓄電システムである。

本装置の動作モードとして、「バックアップ専用モード」、「自家消費モード」、「応用モード：バランス」、「応用モード：節約」がある。（詳細は表 1 を参照）

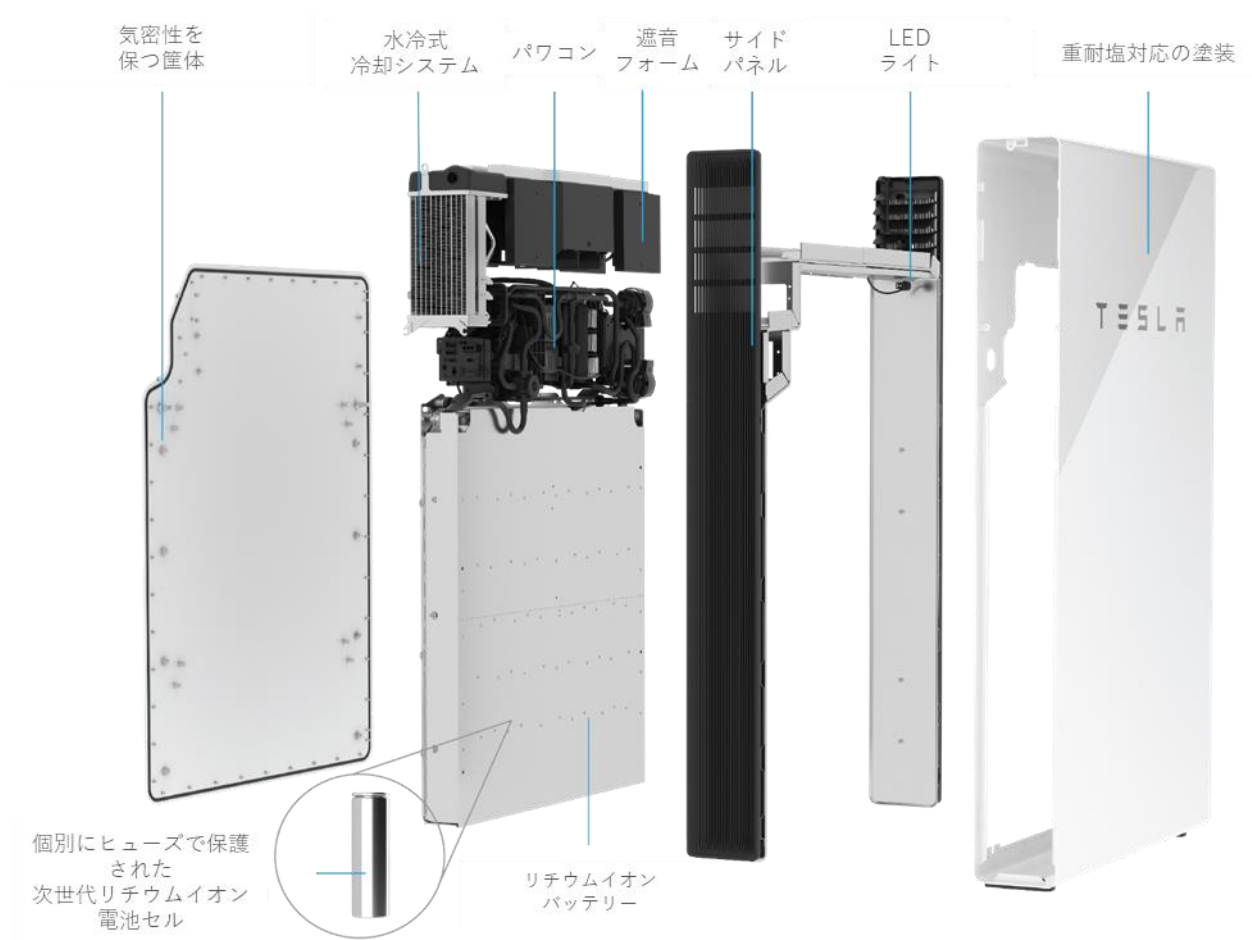


図 1 Powerwall の構造

表 1 運転モードと概要説明

モード名称	Powerwall 運転モード
バックアップ専用モード	常に 100% 蓄電し、停電時のみ放電するモードです。
自家消費モード	太陽光発電の自家消費が最大になるよう運転するモードです。 太陽光発電の余剰分を蓄電し、太陽光発電による電力が足りない場合に蓄電池から放電します。
応用モード バランス	自家消費と節約のバランスをとって運転するモードです。 電気料金の低い時間帯に電力系統から充電をし、電気料金の高い時間帯に太陽光発電の余剰から充電し、足りない場合は放電します。時間帯により電気料金変動するお客様、太陽光の FIT が切れたお客様向けのモードです。電気料金の高い／低い時間帯を入力することで、最適に運転します。
応用モード 節約	節約効果が最大になるよう運転するモードです。 電気料金が低い時間帯に電力系統から電気を充電し、電気料金の高い時間帯に太陽光発電を押し上げて売電します。この時、蓄電池は宅内の負荷を追従する形で放電し、できるだけ太陽光の発電を押し上げします。太陽光発電の FiT が適用されるお客様向けのモードです。電気料金の高い／低い時間帯を入力することで、最適に運転します。

2 製品型式

品名	メーカー	型式	備考
AC Powerwall	Tesla Inc	1092170-xx-y	パワコン内蔵型リチウムイオン蓄電システム
AC Powerwall	Tesla Inc	3012170-xx-y	パワコン内蔵型リチウムイオン蓄電システム

3.1 結線図



3.2 連系保護リレーブロック

表 2 系統保護リレーブロック

状態 \ リレー		解列遮断機	系統解列リレー(K1)
系統有	連系運転	ON	ON
	停止	ON	OFF
系統なし	自立運転	OFF	ON
	停止	ON	OFF

3.3 制御電源ブロック

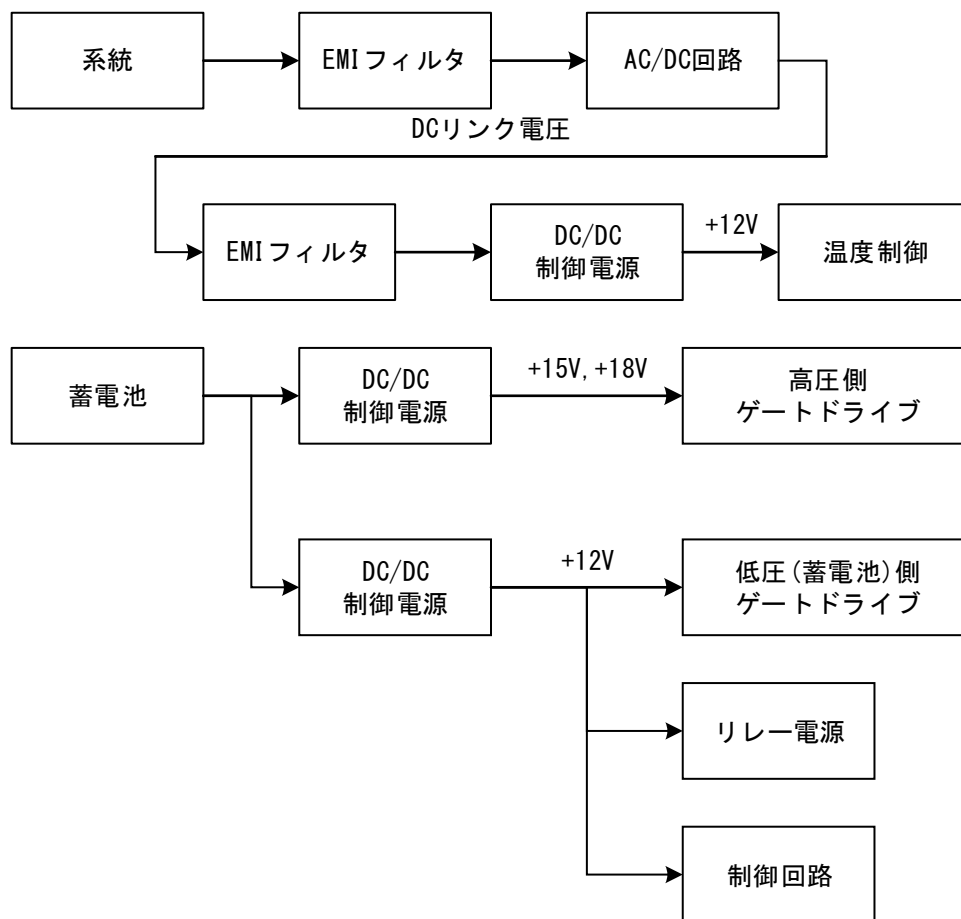


図 3 制御電源ブロック

3.4 部品仕様

表 3 各部品仕様

部品	説明		備考
解列遮断器	名称	ラッチングリレー	系統連系/自立運転切替用リレー
	メーカー	KG Technologies	
	型式	K500X-5012N-5BT-C1099	
	最大開閉電流	80A	
K1	名称	保護継電器	系統連系リレー
	メーカー	Tyco	
	型式	T92S7D12-6	
	最大開閉電流	30A	
	動作時間	駆動時：25ms 以下 遮断時：25ms 以下	

3.5 遮断器開閉状態の外部表示方法

停電時に解列する遮断機の開閉状態を表示する方法としてはスマートフォンのアプリ上で確認ができる。



図 4 (左)遮断機が解列している場合は系統が×と表示される、(右)遮断機が投入されている場合は表示されない

4 電気的仕様

4.1 PCS 仕様

表 4 PCS 仕様

項目		仕様	備考
系統出力	電気方式	単相 3 線	
	定格出力	5kVA	
	定格電圧	100V/200V	
	定格電流	25A	
	周波数	50Hz/60Hz	
	力率	0.95 以上	
	全高調波電流歪率	5%以下	
	電力変換方式	自励式電流型	
	スイッチング方式	PWM	
	出力制御方式	電圧型電流制御	
	絶縁方式	高調波絶縁	
自立出力	電気方式	単相 3 線	
	定格出力	5kVA	
	定格電圧	100V/200V	
	周波数	50Hz/60Hz	
	電力変換方式	自励式電圧型	
	スイッチング方式	PWM	
共通項目	動作温度範囲	-20°C~50°C	
	推奨温度範囲	0°C~30°C	
	最大湿度(RH)	100%	結露可
	標高	3,000m	
	設置環境	屋内・屋外	
	保護等級	IP67	
	騒音(1m)	40dBA 以下	装置から距離 1m

4.2 蓄電池仕様

表 5 蓄電池仕様

項目	仕様	備考
電池容量	13.5kWh	AC 端子で計測
公称電圧	500V	

5 保護仕様

5.1 保護継電器

表 6 保護継電器仕様

項目		動作整定値(設定範囲)※1		保護動作※2	設置相数
系統過電圧 OVR		検出値	115V (100V~120V、0.5V 刻み)	GB、 K1 解列	2
		検出時限	1s (0~30s、0.1s 刻み)		
系統不足電圧 UVR		検出値	80V (0V~100V、0.5s 刻み)	GB、 K1 解列	2
		検出時限	1s (0~30s、0.1s 刻み)		
系統周波数上昇 OFR		検出値	51Hz (50.5~51.5Hz、0.1Hz) 61.2Hz (60.6~61.8Hz、0.1Hz)	GB、 K1 解列	1
		検出時限	1s (0~30s、0.1s 刻み)		
系統周波数低下 UFR		検出値	48.5Hz (47.5~49.5Hz、0.1Hz) 58.2Hz (57~59.4Hz、0.1Hz)	GB、 K1 解列	1
		検出時限	1s (0~30s、0.1s 刻み)		
単独運転 検出	能動	検出方式	ステップ注入周波数フィードバック	GB、 K1 解列	1
		検出値	固定		
		検出時限	0.2s 以内		
	受動	検出方式	周波数変化率検出	GB、 K1 解列	1
		検出値	0.3Hz/s		
		検出時限	0.5s 以内		
直流分検出		検出値	定格出力1%以内	GB、 K1 解列	
		検出時限	0.5s 以内		
FRT 機能		※3		—	—
投入阻止時間		300 秒(10 秒~300 秒、1s 刻み)		—	—

※1 設定時に変更可能

※2 GB=ゲートブロック、K1:系統解列リレー

※3 系統連系規定(JEAC9701-2019)記載の FRT 要件を満たす。

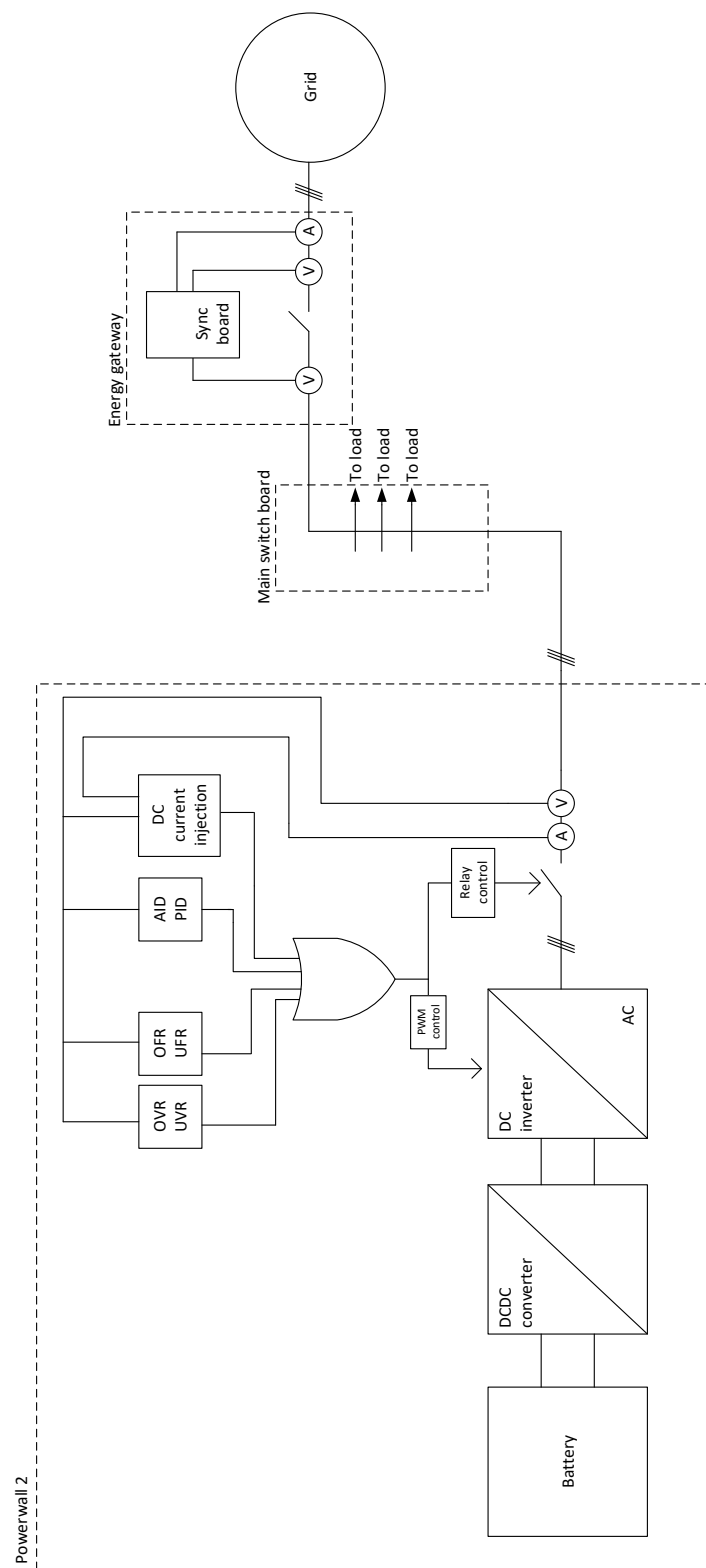


図5 装置の保護継電器構成

5.2 保護動作・復帰シーケンス

5.2.1 系統異常検出時

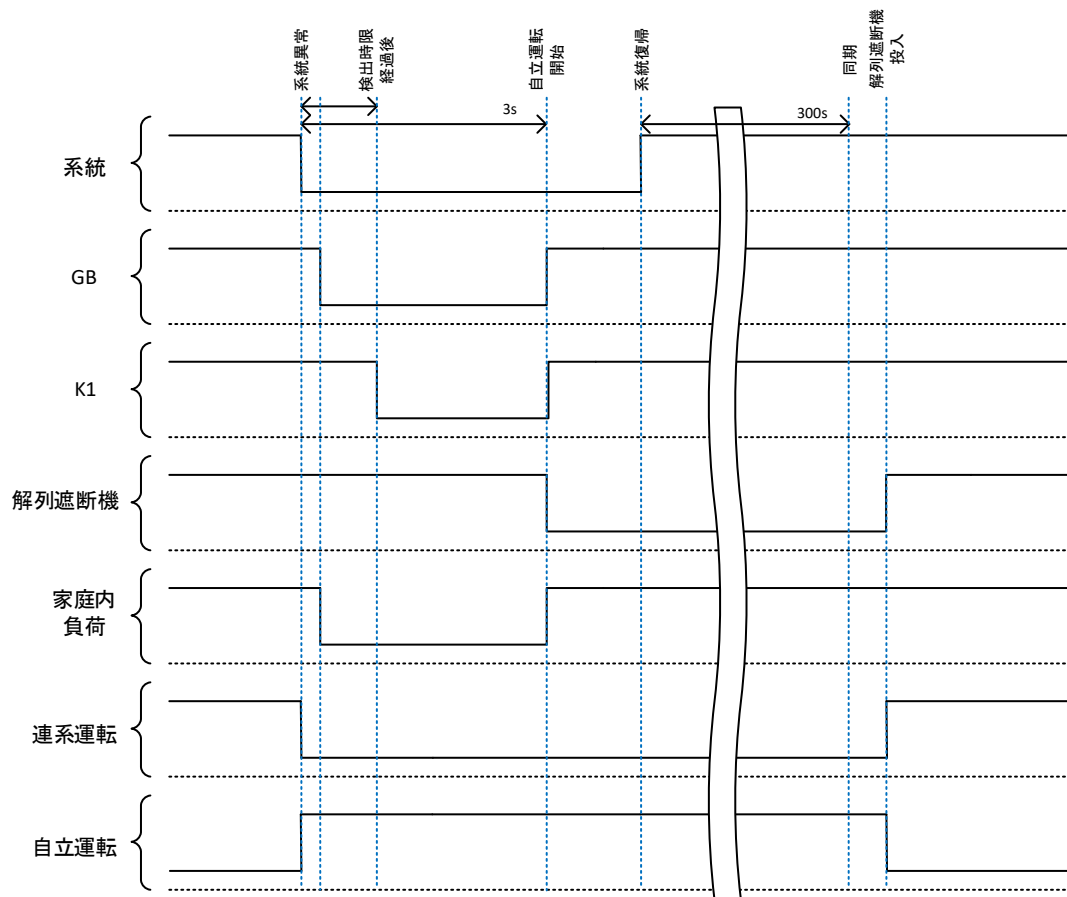


図6 系統異常時 保護動作～復帰のタイムチャート

5.3 単独運転：受動検出方式

本装置の単独運転検出機能の受動的方式は周波数変化率検出方法を採用している。設定可能な検出時限にわたり周波数の変化率が設定しきい値を超えると受動単独運転が検出される。

5.4 単独運転：能動検出方式

本装置の単独運転検出機能の能動的方式はステップ注入周波数フィードバック方式を使用している。この方式は系統周波数偏差に応じた無効電力を注入することで周波数を更にシフトさせ、単独運転を検出する方式であり、単独運転の高速検出が可能である。

大きく分けて五つの機能で構成されている。各機能は JEM1498(2017 年改正版)に基づいている。

- a) 系統周波数計測部
- b) 周波数フィードバック部
- c) 無効電力ステップ注入部
- d) 単独運転検出部
- e) 無効電力発振抑制制御部

6 フローチャート

6.1 停止→系統連系運転

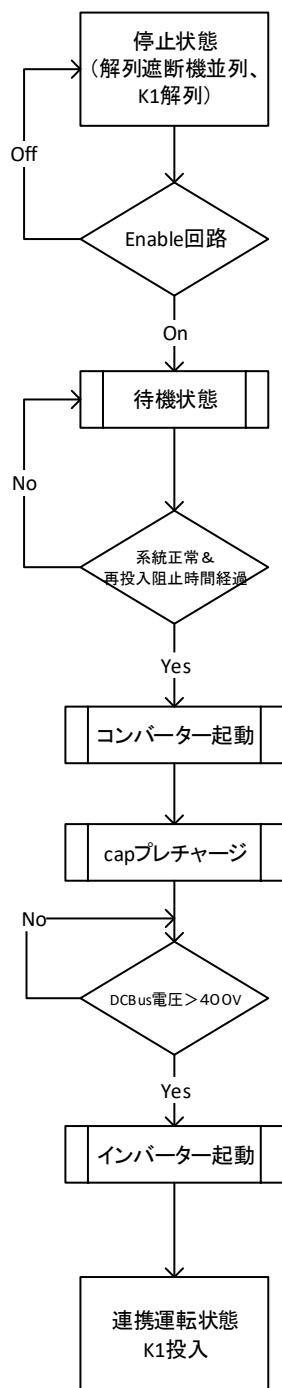


図7 停止→系統連系運転

6.2 系統連系運転→停止

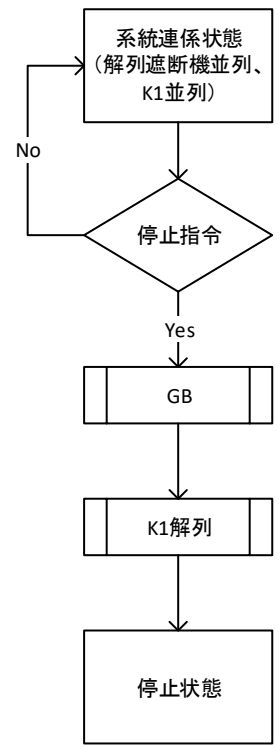


図 8 系統連係→停止

6.3 系統連系運転→自立運転

解列点の遮断を接点で確認する事により、解列箇所故障時は自立運転移行を阻止するインターロックがかかる構成となっている。

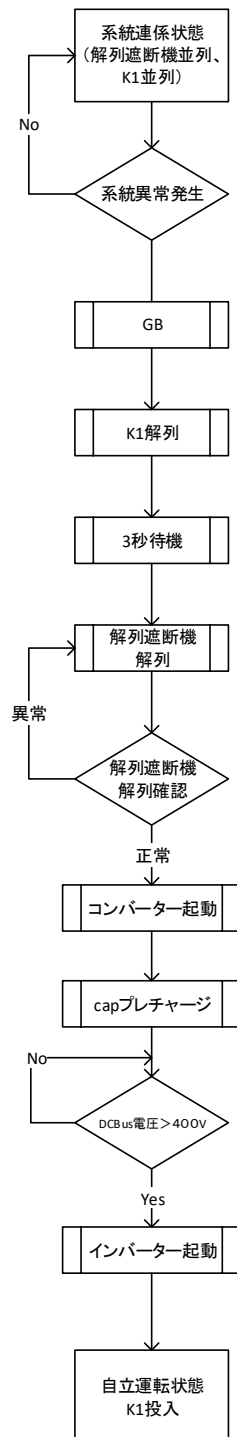


図9 系統連系→自立運転

6.4 自立運転→系統連系運転

本装置は系統の電圧を常時監視し、復帰の確認を行う事により系統停止中の誤投入防止機能の具備している。

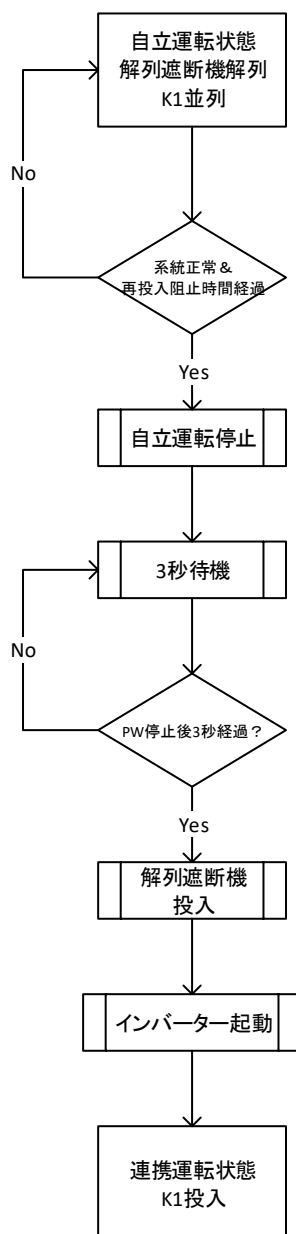


図 10 自立運転→系統連系

7 機能

7.1 FRT 機能

本装置は系統連系規定 JEAC9701-2019 に記載されている FRT の要件(下記の図 11)を満たしている。

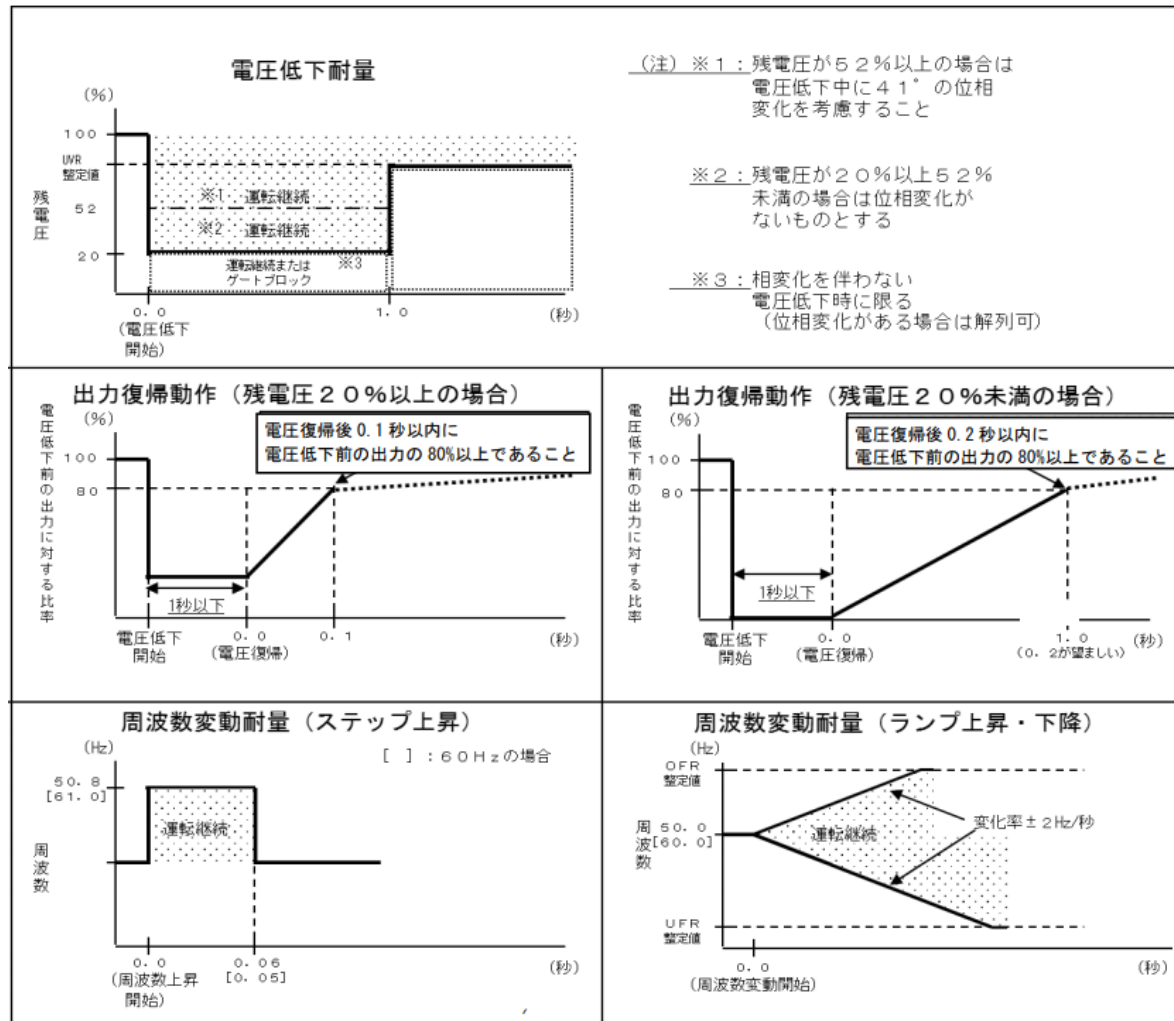


図 11 JEAC9701-2019 の FRT 要件の概要

例として、代表試験の結果の一部を下記の表に参照する。下記の例では残電圧を0%に下げた状態を1秒持続し、電圧復帰後の出力回復にかかる時間や、電圧変化の突入位相による依存等を試験した結果である。

また表ではステップ状の周波数変化の FRT 要件の試験結果の例を提示しており、こちらの要件も満たしている。

表 7 残電圧0%の FRT 要件の試験結果の例

Voltage Drop To 0% (Nominal voltage = 94%Vn = 94.94Vrms) 残電圧 0 %

AC Voltage 交流電圧	Output Power 出力電力	Operation Mode 動作モード	Frequency 周波数	Entry Angle 位相	Measurement 試験結果				Pass / Fail 判定 ¹ <100ms ² <150% of I _{rated} ³ <500ms	Remarks 備考
					80% Output Recovering time 出力復帰時間	Over Current (A(%)) 過電流値	Time Spent over 100% (ms) 100%を超える時間	Operation is Continuous? 電圧低下後の運転継続?		
101Vrms (A,B,C) → 0Vrms (A,B,C) → 101Vrms (A,B,C)	4.8 kW	Discharge 放電	60 Hz	0	0.15	20.096 (83.73%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.4
				45	0.15	20.004 (83.55%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.5
				90	0.1	20.353 (84.80%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.6

表 8 ステップ状の周波数変化の FRT 要件の試験結果の例

AC Voltage 交流電圧	Output Power 出力電力	Operation Mode 動作モード	Frequency 周波数	Frequency Change 周波数変動	Frequency Deviation(Hz) 変動周波数(Hz)	Freq. Chang Duration 変動時間	Inverter Continue? 運転継続	Pass / Fail 判定	Remarks 備考
Phase A: 101Vrms Phase B: 101Vrms	4.8 kW	Discharge	60 Hz	Step Change	+1.0 Hz	0.05s	Yes	Pass	Figure 6.4.7 – 6.4.8

7.1.1 残電圧 20 %以上

残電圧 20%以下の電圧低下時の試験の結果を以下の図 12 に表す。下記の図は電圧変動時の位相が 0°だが同じ試験を 45°、90°の突入位相で行っている。いずれも結果には影響がない事も確認している。

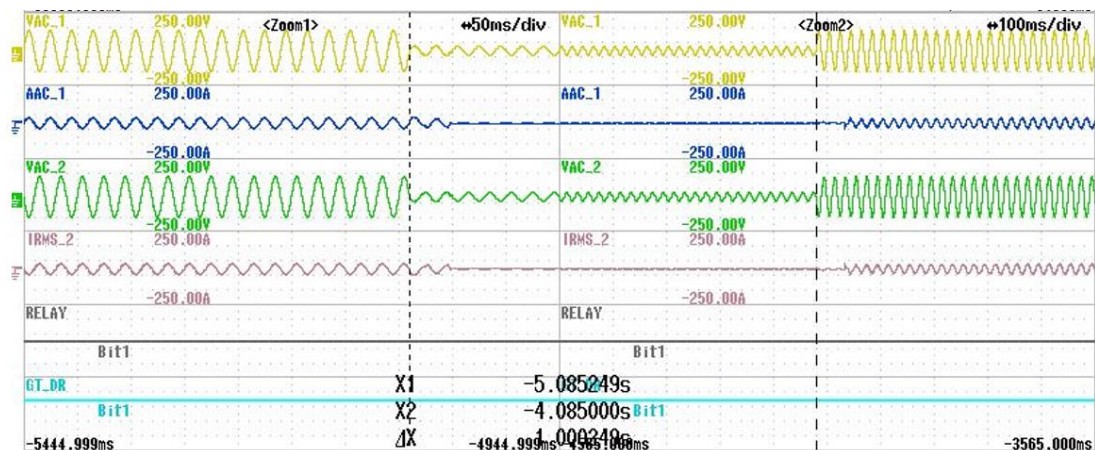


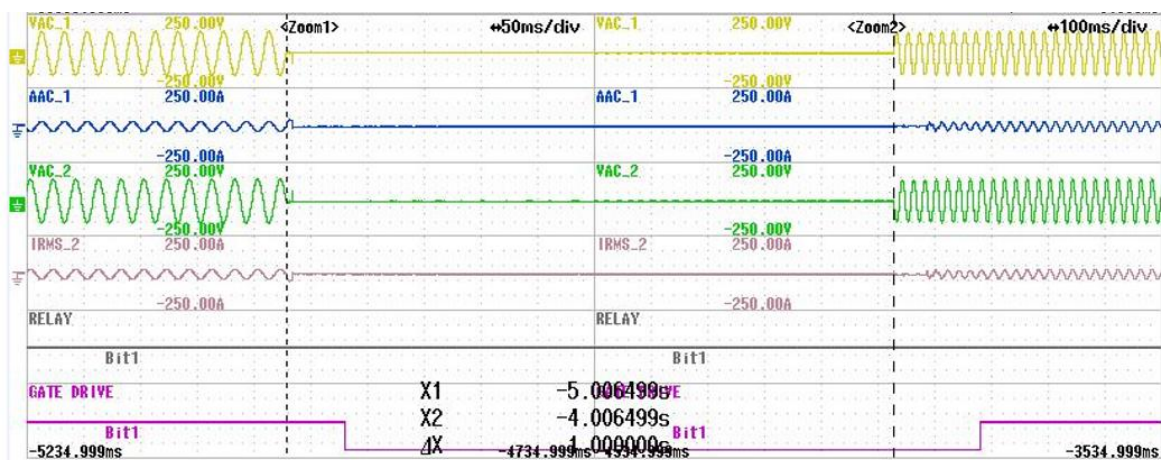
図 12 FRT 試験結果、残電圧 20%以上の波形データ

- 電圧低下中にパワコンの AC リレー、GB が動作していない事(灰色、水色の線)、
- 電圧復帰後、低下前の有効電力 80% 復帰にかかる時間が 100ms 以内、
- 復帰電力が 150% 以下、かつ 100% を超える時間が 500ms 以内、運転継続。

表9 FRT 試驗結果

AC Voltage 交流電圧	Output Power 出力電力	Operation Mode 動作モード	Frequency 周波数	Entry Angle 位相	Measurement 試験結果				Pass / Fail 判定 1<100ms 2<150ms of Irated 3<500ms	Remarks 備考
					80% Output Recovering time 出力復帰時間	Over Current (A(%)) 過電流値	Time Spent over 100% (ms) 1 0 0 % を超える時間	Operation is Continuous? 電圧低下後の運転継続?		
94.94Vrms (A,B) → 20.2Vrms (A,B) → 94.94Vrms (A,B)I-N	4.8kW	Discharge 放電	60 Hz	0	0.1	22.04 A (91.83%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.1
				45	0.1	20.522 A (85.51%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.2
				90	0.05	20.388 A (84.95%)	0	Yes	Pass	Fig 6.3.3

下記の図 13 では残電圧が 20%未満の電圧低下に対しての試験結果となる、20%以上の試験と同じく突入位相を 0° 、 45° 、 90° で試験をし、いずれも結果に影響がない事を確認している。



電圧低下時間は 1 秒間とし、残電圧は 0%となる最も厳しい条件で確認試験となる。上記の図の波形データから確認できるが、残電圧 20%以上の状態を 1 秒間印加した状態で以下が確認できる。

- 電圧低下中にパワコンの AC リレー(灰色線)は動作していないが、GB 動作(紫線)は行っている
- 電圧復帰後、低下前の有効電力 80% 復帰にかかる時間が 1 秒以内、

- 復帰電力が 150%以下、かつ 100%を超える時間が 500ms 以内、運転継続。
- 自立運転に移行していない事

7.1.3 残電圧 52%位相変化 41°

下記の図 14 では残電圧 52%の電圧低下時に位相を 41°ずらし継続運転をする事も確認している。

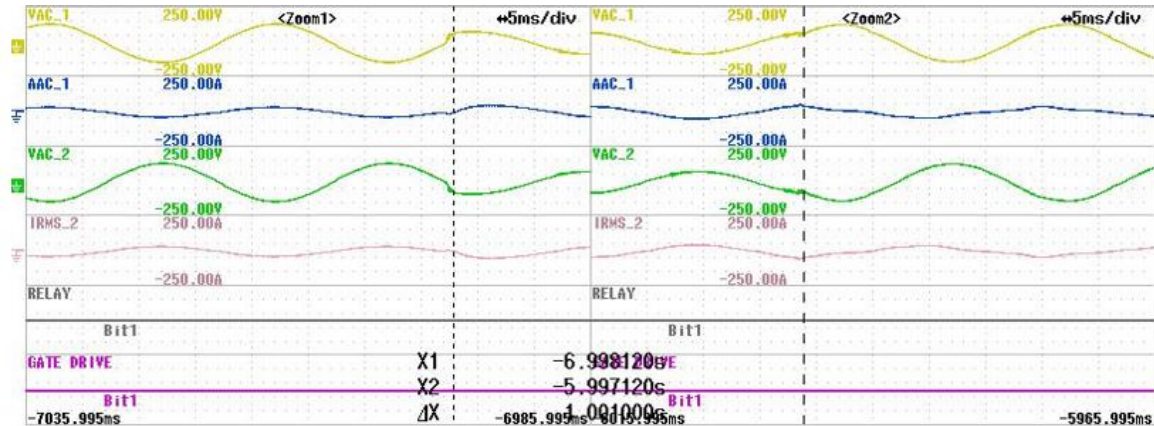


図 14 FRT 試験 残電圧 52%位相変化41° の波形データ

7.1.4 周波数変動

本装置は周波数変動(ステップ上昇とランプ上昇・下降)において運転を継続する事も確認しております。

	定格周波数	
	50hz	60hz
ステップ上昇	50.8 Hz	61.0 Hz
ランプ上昇・下降	2 Hz/sec	

下記の表 10 は定格周波数 50hz で 50.8hz までステップ上昇した際の結果を表にまとめたものになる。周波数上昇中に GB、リレー開放をせず、パワコンが運転継続した事を確認している。

表 10 FRT 機能 周波数ステップ上昇

AC Voltage 交流電圧	Output Power 出力電力	Operation Mode 動作モード	Frequency 周波数	Frequency Change 周波数変動	Frequency Deviation(Hz) 変動周波数 (Hz)	Freq. Chang Duration 変動時間	Inverter Continue? 運転継続	Pass / Fail 判定	Remarks 備考
Phase A: 101Vrms Phase B: 101Vrms	4.8 kW	Discharge	50 Hz	Step Change	+0.8 Hz	0.06s	Yes	Pass	Figure 6.4.1 – 6.4.2

7.2 負荷追従運転

本装置は負荷追従を行うことで、自家消費モードや応用モードにおいて逆電力防止や太陽光の余剰電力の充電等を実現している。

内蔵の計測回路で受電端電力を監視し、本装置の放電による逆電力が発生しないように制御をする。上記の「計測→制御」の運転を 10Hz サイクルのフィードバックするような動作シーケンスにする事でこのシーケンスで可能な限りの速さで負荷追従を行う。

下記の図 15 に負荷を急変させた時のレスポンスを示す。負荷の追従が RPR の条件を満たす形で(検出レベル定格の5%、動作時限 500 ms)行われていることが確認できる。

従って負荷追従により、蓄電池からの逆電力が発生しないように制御ができる。

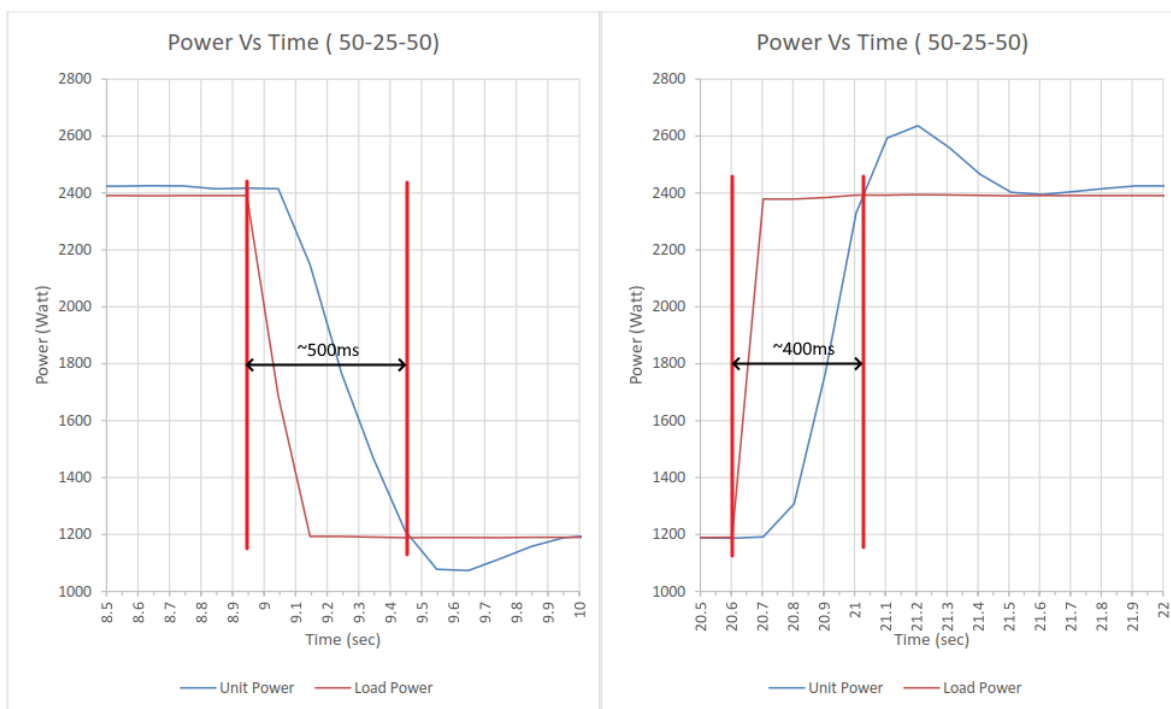


図 15 負荷追従試験 50-25-50

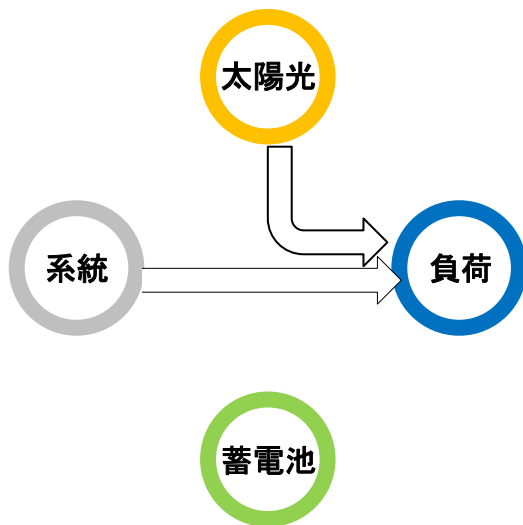
7.3 バックアップ専用モード

常時蓄電池を満充電状態に保持し、災害等による停電に備える運転モード。

充電に必要な電力は系統や余剰分の太陽光から行う。

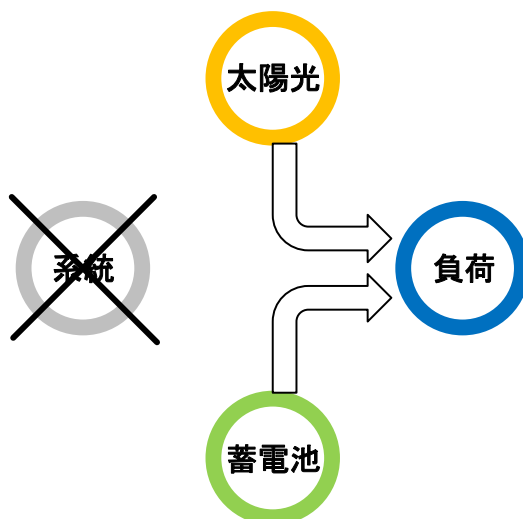
7.3.1 充電

太陽光やその他発電源と系統から充電を行う。



7.3.2 停電時の自立運転

停電を検知し、自立運転に移行し負荷へ供給する。

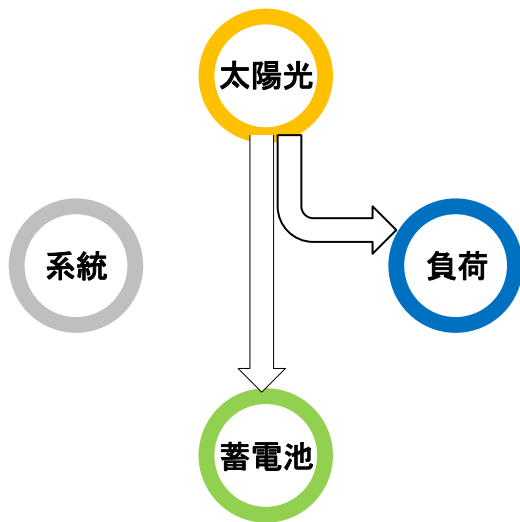


7.4 自家消費モード

受電端電力を監視する事で太陽光や発電設備の余剰分を蓄電池へ充電し、太陽光や発電設備の出力が足りない分を蓄電池からの放電により補う運転モード。

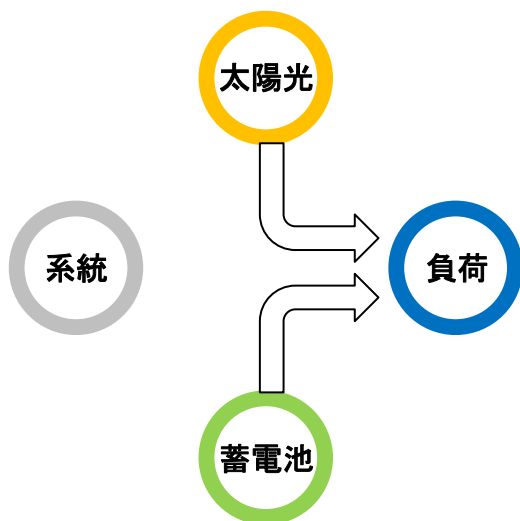
7.4.1 余剰発電の充電

受電端電流を監視し、太陽光やその他発電源の出力による余剰分を充電。



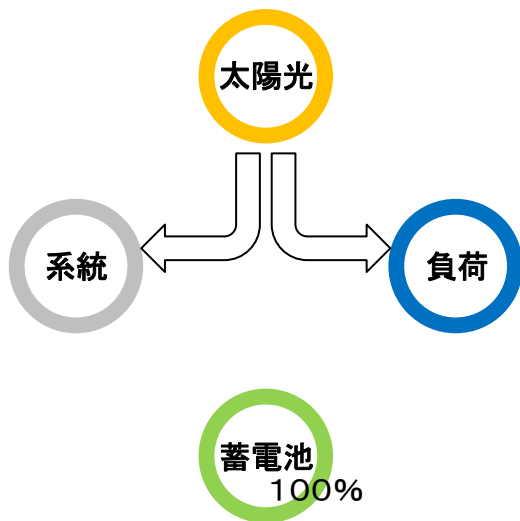
7.4.2 蓄電池からの放電

受電端電流を監視し、太陽光やその他発電源の出力でまかなえない不足分を放電。



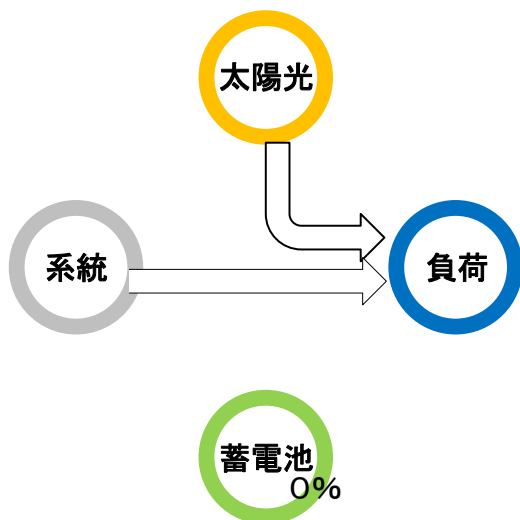
7.4.3 満充電時

太陽光やその他発電源の出力の余剰分が逆潮。



7.4.4 満放電時

太陽光やその他発電源の出力がまかない切れない不足分を系統から供給。



7.5 応用モード：バランス

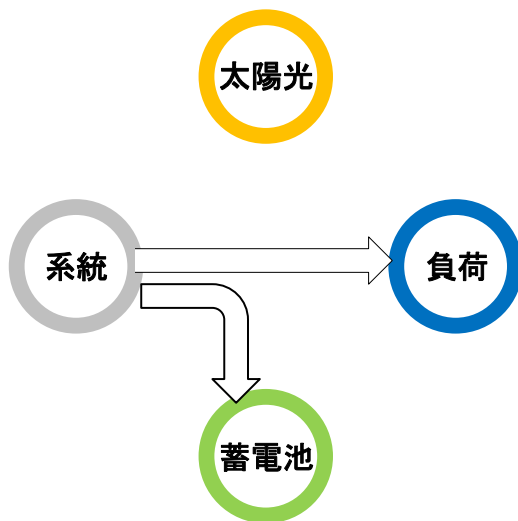
時間帯別で電気料金が異なる場合、日中と夜間でピーク、オフピークの時間帯をつくり、それぞれの時間帯に適した運転をする事で蓄電電池の利用率を上げる。ピーク時は自家消費モードと同等な動きをし、オフピーク時は系統からの充電を行う。

7.5.1 ピーク時の運転

応用モード：バランスのピーク時の運転は「7.4 自家消費モード」と同等。

7.5.2 オフピーク時の運転

系統から蓄電池へ充電を行い、系統電力使用の平準化を行う。

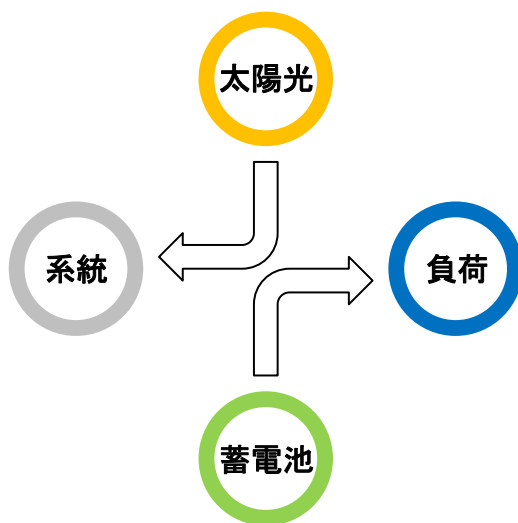


7.6 応用モード：節約

時間帯別で電気料金が異なる場合、日中と夜間でピーク、オフピークの時間帯をつくり、それぞれの時間帯に適した運転をする事で蓄電電池の利用率を上げる。ピーク時は太陽光発電やその他の発電出力を押し上げて売電し、オフピーク時は系統からの充電を行う。

7.6.1 ピーク時の運転

蓄電池からの放電により、宅内の負荷を追従しながら放電をし、太陽光や、その他の発電出力を押し上げて全量売電を行うモード。



7.6.2 オフピーク時の運転

応用モード：節約のオフピーク時運転は「7.5.2 オフピーク時の運転」と同等

バージョン コントロール

Ver 1.1	<ul style="list-style-type: none">• 「5.1 保護継電器(ページ 9)」の※3の説明文の明確化• 「7.1 FRT 機能(ページ 17)」の説明を追加
Ver 1.2	<ul style="list-style-type: none">• 「6.3 系統連系運転→自立運転(ページ 15)」に解列箇所故障時の誤投入防止機構の説明を追加。• 「6.4 自立運転→系統連系運転(ページ 16)」に系統停止中の誤投入防止機構と非同期投入防止機構の説明を追加。• 「7.2 負荷追従運転(ページ 21)」に詳細説明を追加。
Ver 1.3	<ul style="list-style-type: none">• 「7.1 FRT 機能(ページ 17)」に詳細説明を追加
Ver 1.4	<ul style="list-style-type: none">• 「5.1 保護継電器(ページ 9)」の出荷時の時限設定値を 2 秒から 1 秒に変更
Ver 1.6	<ul style="list-style-type: none">• 型式の追加
Ver 1.7	<ul style="list-style-type: none">• 「3.5 遮断器開閉状態の外部表示方法(ページ 7)」を追加