

太陽光発電

I. 太陽電池(光電素子)

II. 交流系統への接続(例)

III. 動作特性

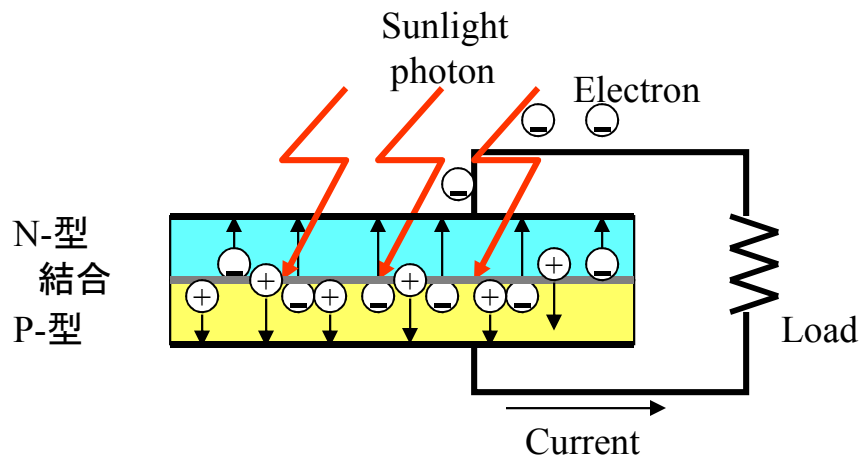
VI. パワーコンディショナー

I. 太陽電池

1. 発電原理

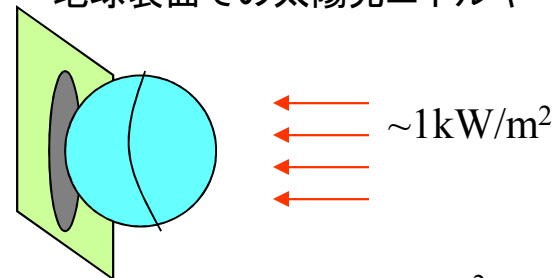
太陽光のエネルギーが電子を刺激し反発力に逆らいN型半導体まで移動させると同時に空孔をP型半導体に移動させる。

これにより電極間に電圧を発生させる。電子は負荷を通して空孔に達しエネルギーを失う。太陽光は継続的にエネルギーを注ぎ続ける。



2. 太陽光のエネルギー量

地球表面での太陽光エネルギー



$$S_r = \pi R^2 = \pi \times \left(\frac{40 \times 10^6}{2\pi} \right)^2 [m^2]$$

$$S_r \times 1 = \frac{400 \times 10^{12}}{\pi} \approx 127 \times 10^{12} [kW]$$

$$\approx 1 \times 10^5 [TW] \rightarrow \sim 10^4 [TW]$$

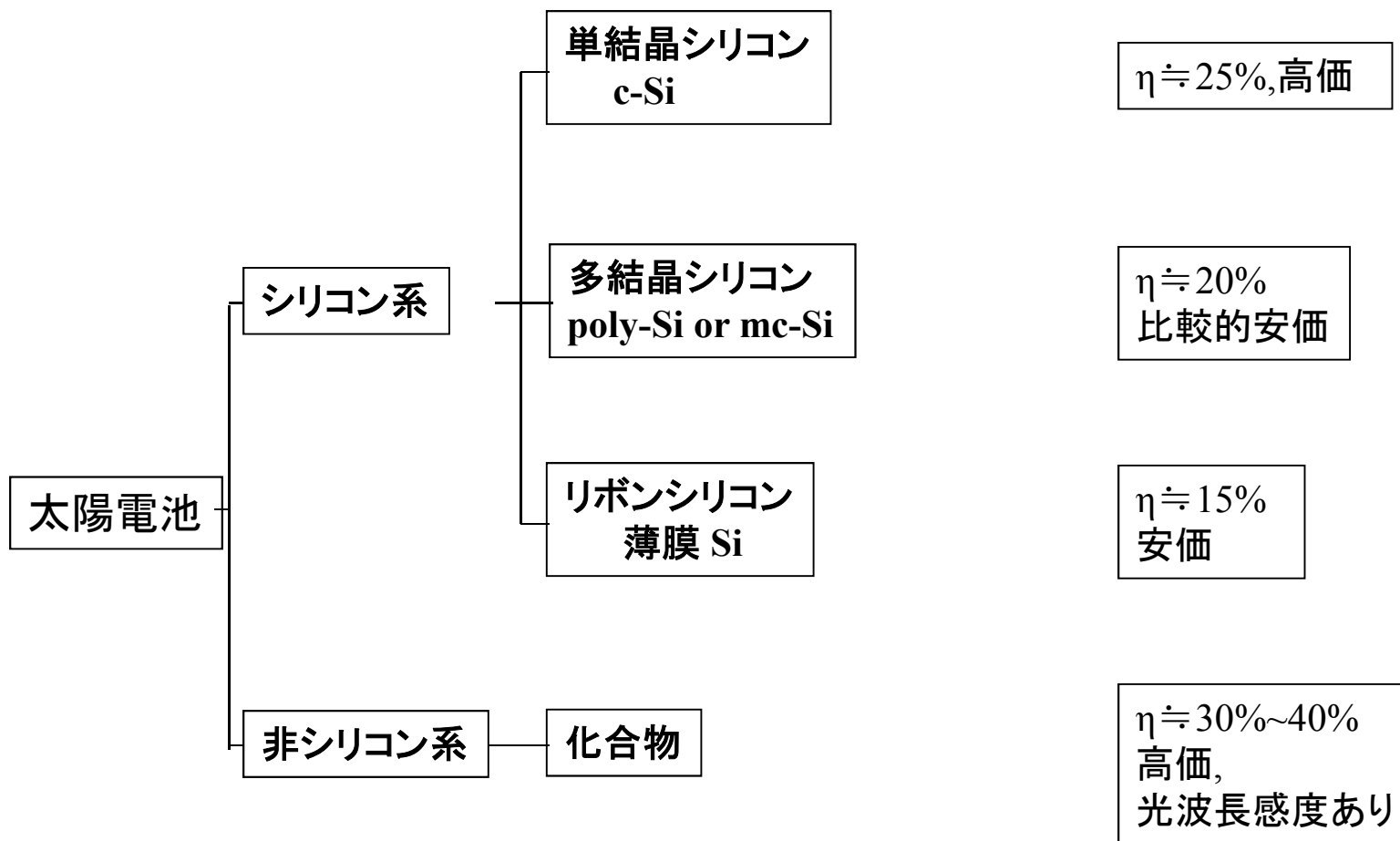
場所には制限があり、また、
効率も考える必要がある

推定賦存量 風力 14TW, 潮汐 0.7TW, 地熱 1.9TW, バイオマス 5~7TW, 水力 0.6TW

需給ギャップ 14TW 2050まで, 33TW 2100年まで

参照 Arthur Nozik, NREL and Kristoph Brabec Konarke, thru Joel Kubby :”太陽からのパワー” Wikipedia

3. 太陽電池の種類



4. 太陽電池(光電素子)の特性

1. 地球表面での太陽光のエネルギーは 1300(日本,中国上海) から 2400(中東,米国アリゾナ) kWh/m²/yearと場所(緯度、天候)によって異なる。cf. “METEONORM”

日本では 1 kW の電池は 1000 ~ 1300 kWh/年であり、設備利用率は 12~15% 程度である。

2. 太陽電池の電力生産効率は15% to 40%.

商用のものでは現在 15 to 20% である。

3. 電気出力は受け取る太陽光の強さにより急速に変化し、昼間しか発電せず需要に応じて変化することはない。

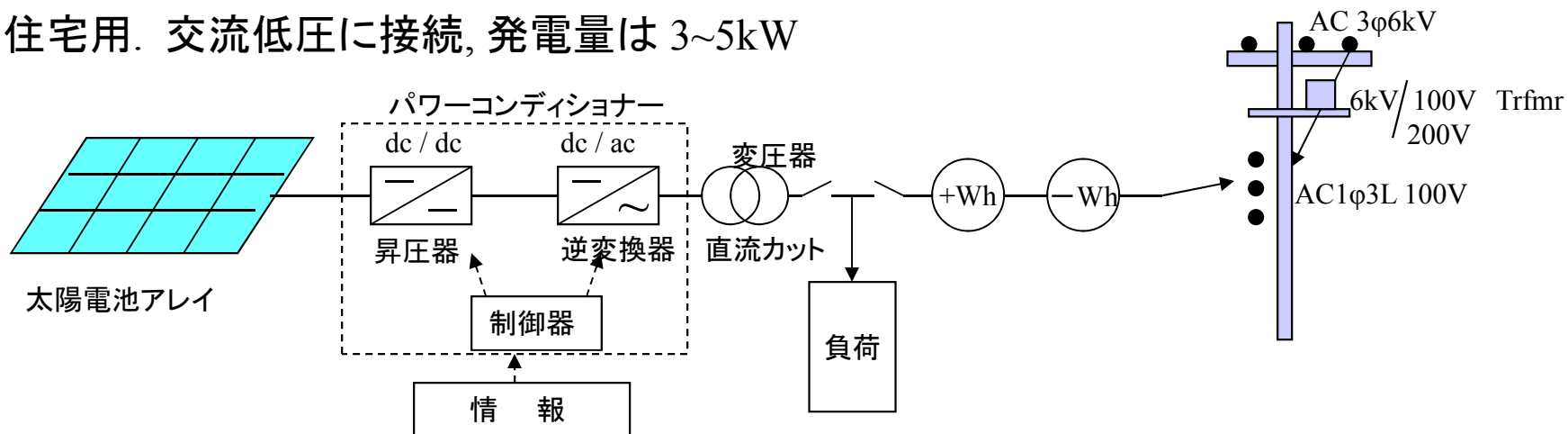
4. 発電する電気は直流で、電圧は一つの電池で0.5 to 1.0 Vである。

5. 寿命は 20 年と言われており、制御器や変換器からなるパワーコンディショナーでは約10年程度。

6. バッテリーを使うときはその寿命は約 1000 ~ 3000 サイクルで、充放電往復の効率は約 80% である。

II. 交流系統への接続例（日本）

1. 住宅用. 交流低圧に接続, 発電量は 3~5kW



2. 工場/事務所ビル用. 低圧交流接続、発電量 ~50kW未満

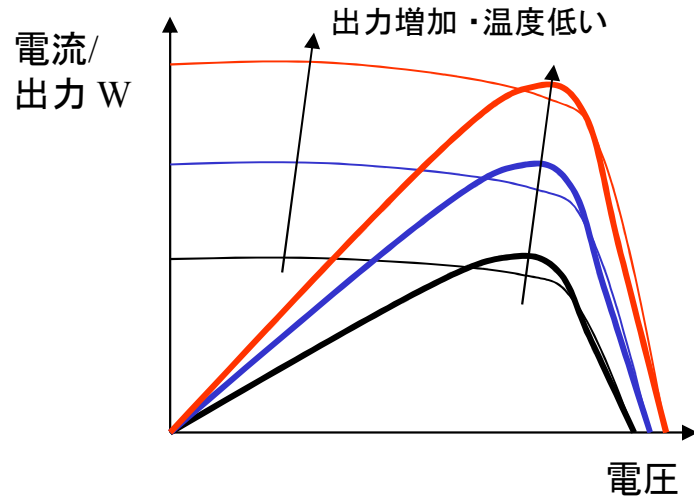
Ac 3φ 200V,400V

3. 大型. 高電圧交流接続、発電量50kW~2000kW~

Ac 3φ 6kV~22~66kV

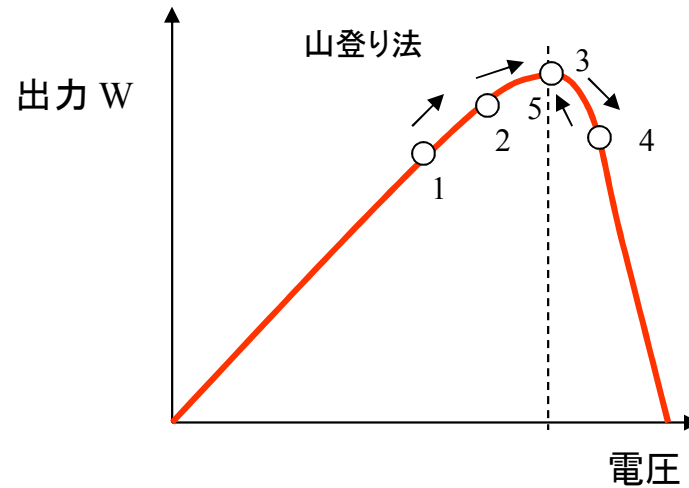
III. 発電特性

1. 電圧/電流特性ならびに最大出力点

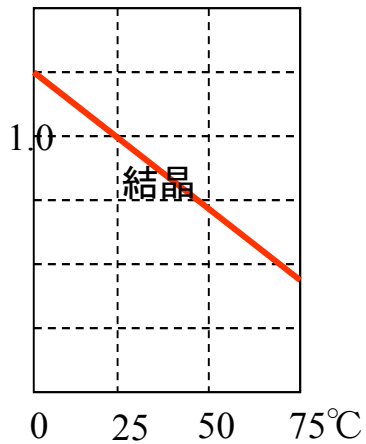


最大出力追従

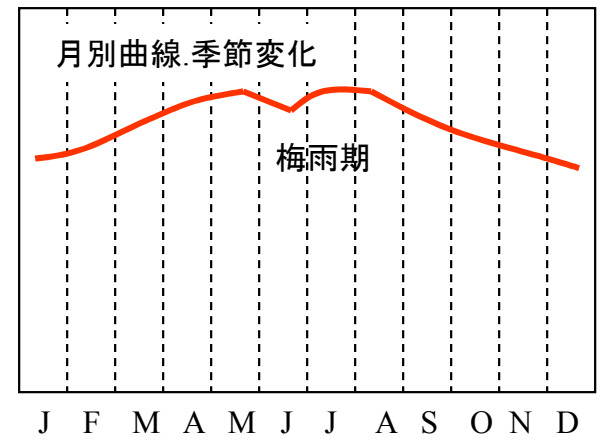
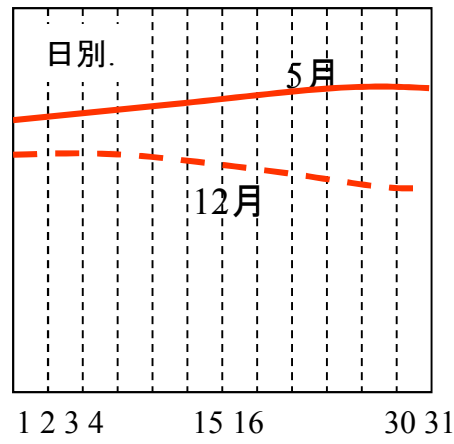
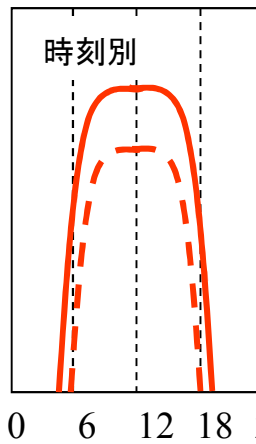
MPPT: maximum power point trail



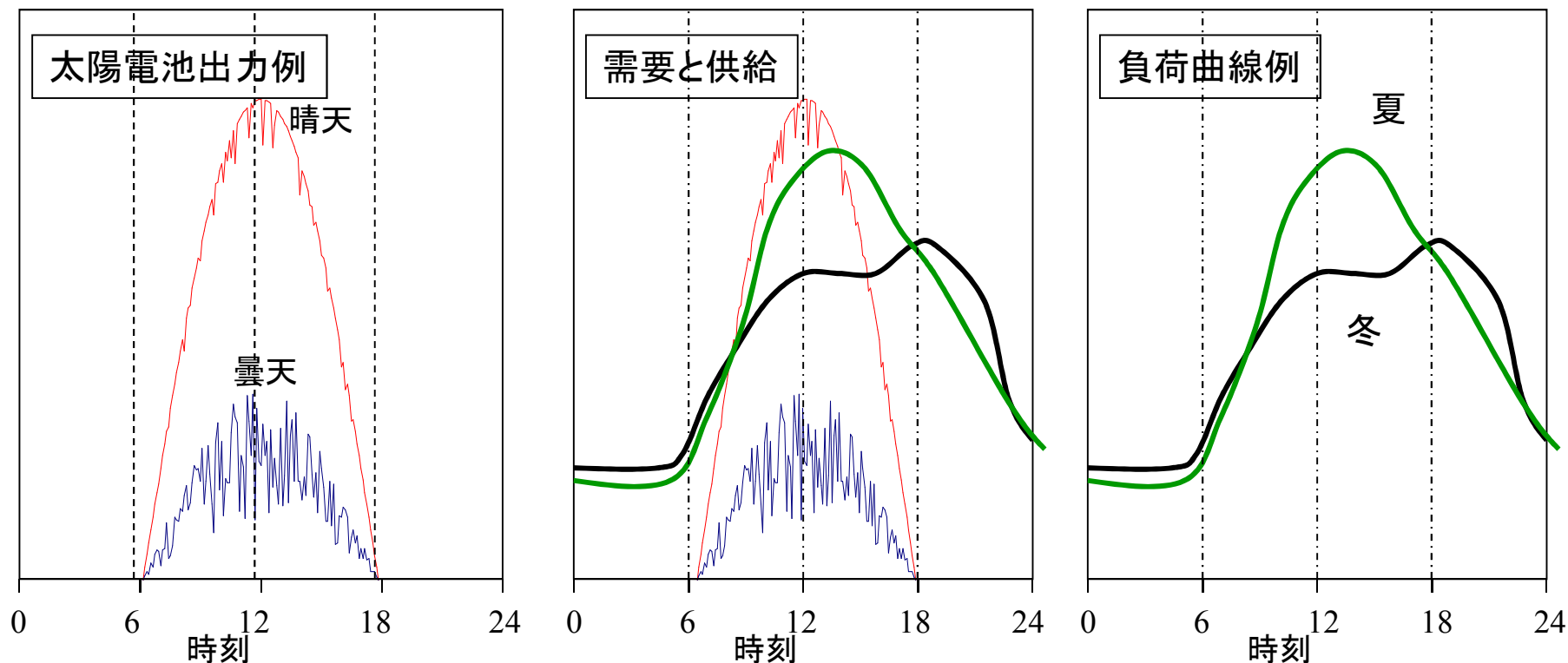
2. 出力 / 温度



3. 太陽光エネルギー(最大値の例)

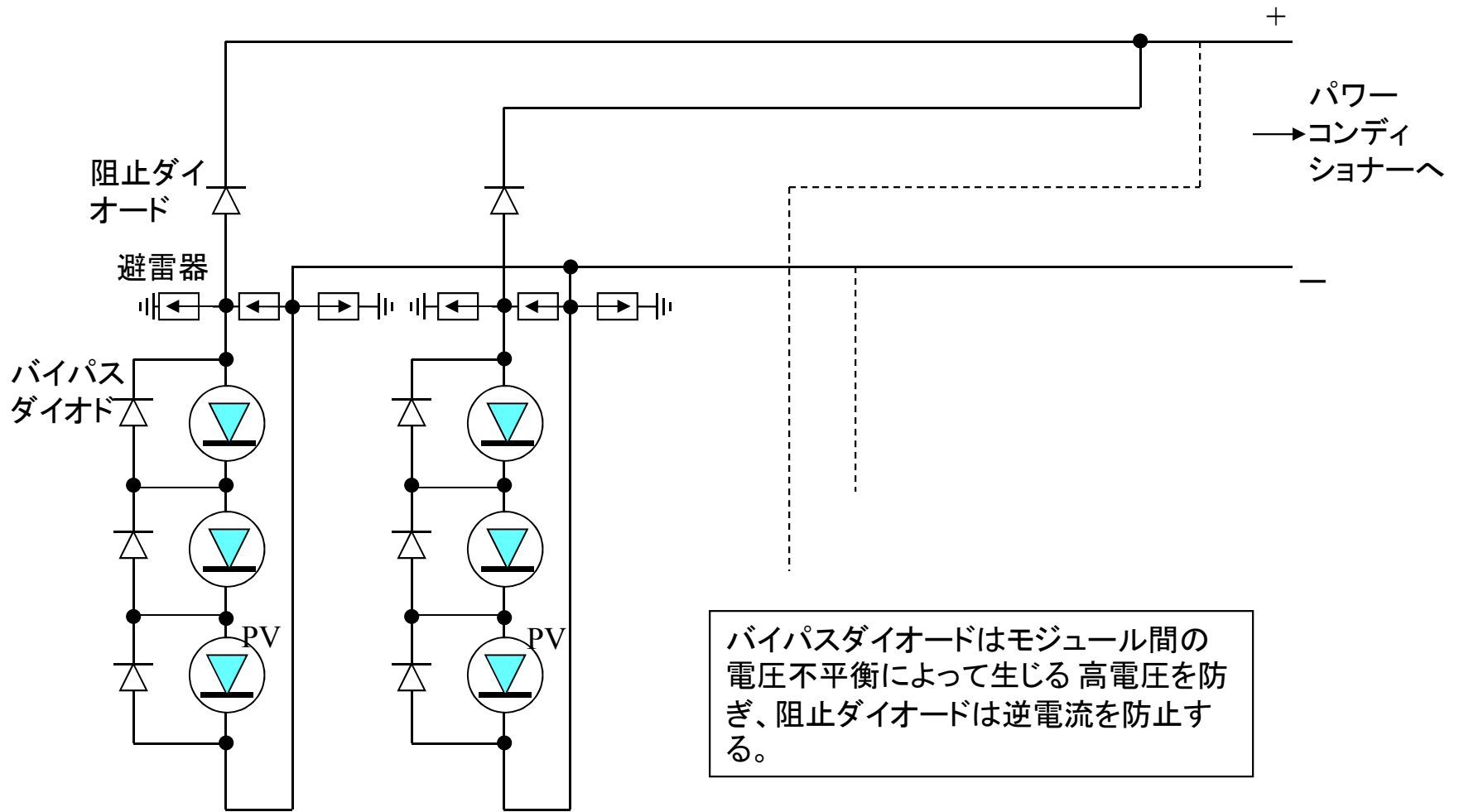


4. 出力の時刻別変化



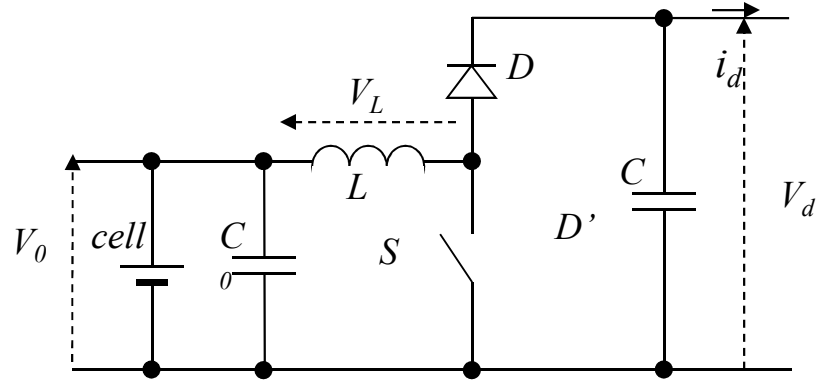
太陽光発電は負荷に追従できない。太陽光発電の比率が小さいとき、余剰と不足は、揚水式水力を含む通常の発電機の制御によって補充または吸収される。
しかし、出力制御不能な発電の割合が増加すると、何らかの蓄電装置が必要となるが、これは総コストを増加させることになる。

5. 太陽光アレイの構造



VI. パワーコンディショナー

1. 直流昇圧器



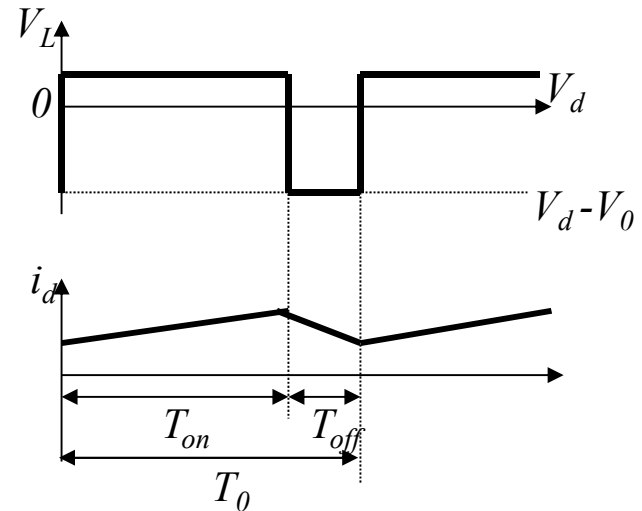
S がonの間に L に蓄えられたエネルギーはその後、 S がoffの間に C に蓄えられる。

S がonのとき、 $V_L = V_0$ 、 S がoffのとき、 $V_L = V_0 - V_d$
 安定的な繰り返し状態では、磁束の飽和を来たさないためには平均の $V_L = 0$ である。

$$\therefore V_0 T_{on} + (V_0 - V_d) T_{off} = 0$$

したがって、

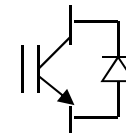
$$V_d = \frac{T_{on} + T_{off}}{T_{off}} V_0 \geq V_0$$



$$v_L = -L \frac{di}{dt} \rightarrow v_L dt = -L di = -d\phi$$

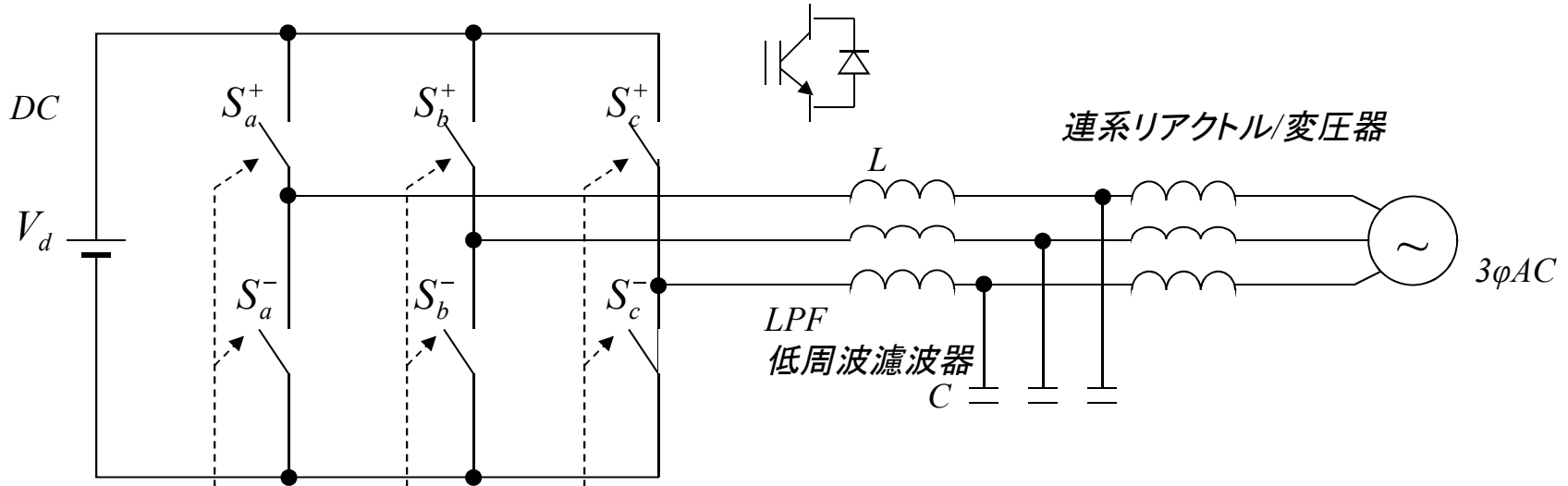
$$\int_0^T v_L dt = -\int_0^T d\phi = 0$$

S は通常: IGBTや、パワー
トランジスタである。



2. 交直変換器 整流器と逆変換器 逆変換器

Sは: IGBTや パワートランジスタ



PWM(パルス波
変調器) 制御器

もし、変調波(x) ≥ 搬送波 なら S_x^+ が on
で S_x^- が off.

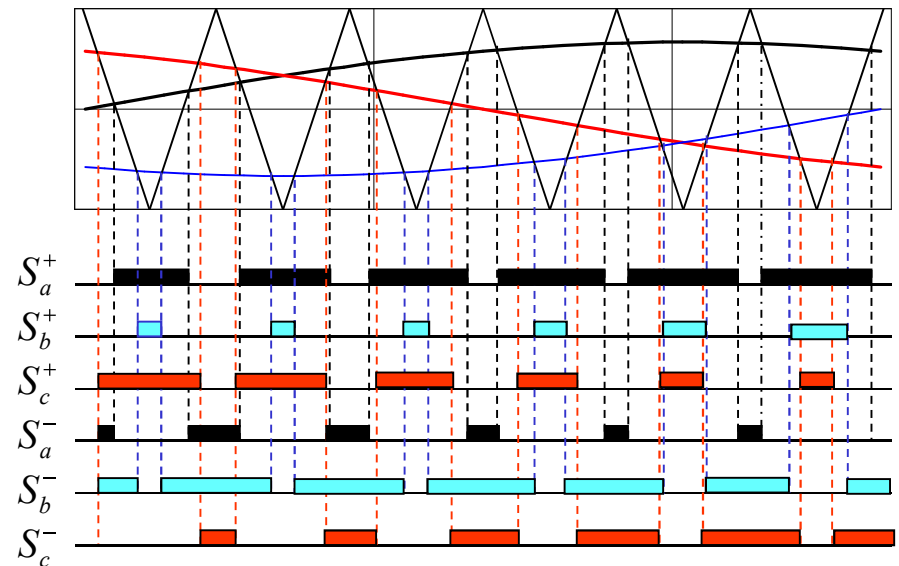
もし、変調波(x) < 搬送波 なら S_x^+ が off
で S_x^- が on.

比率: 変調波_{max} / 搬送波_{max} を変調度という。

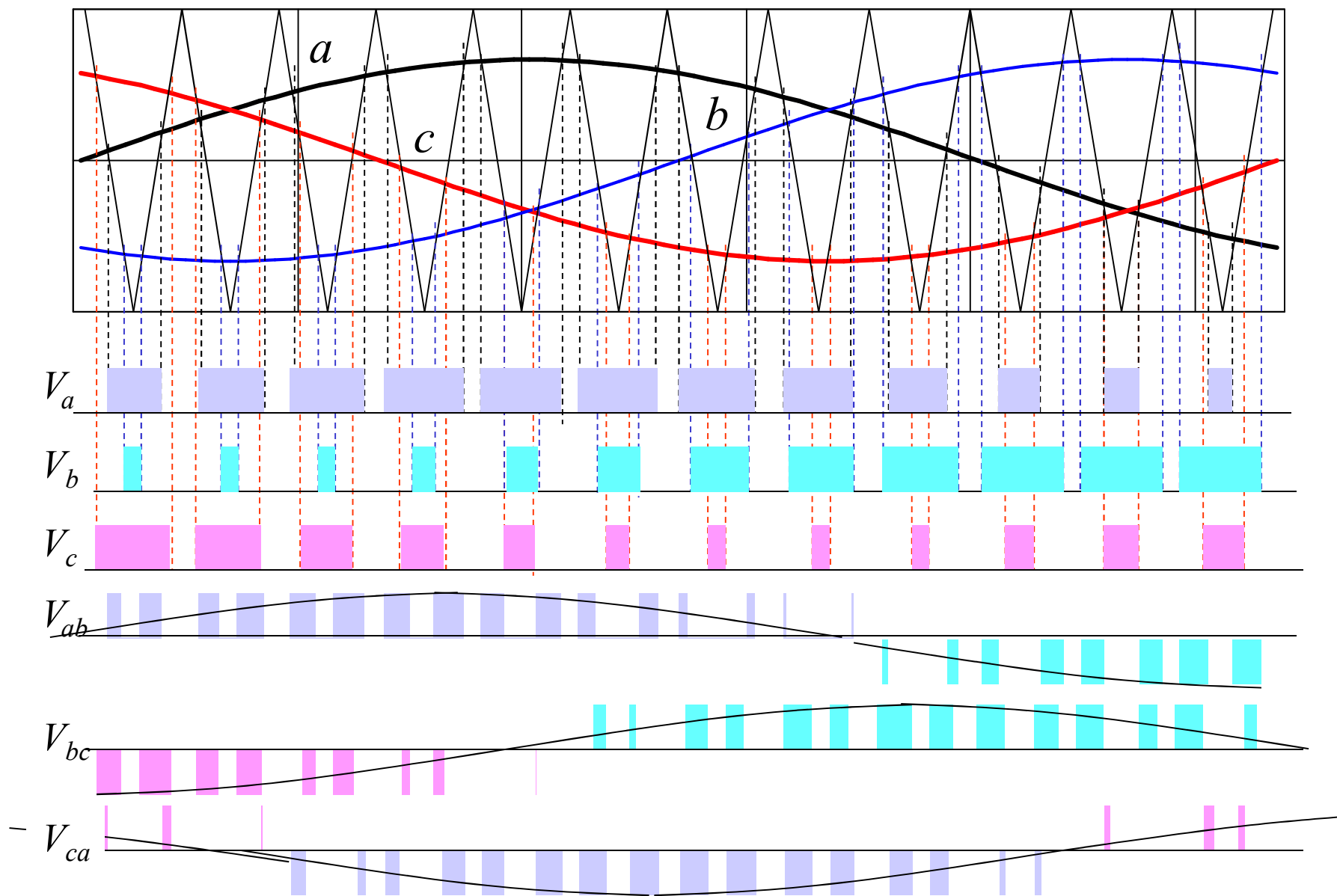
変調度は出力電圧に影響し、

変調波の位相は出力電力に影響する。

PWM 三角搬送波/変調波



PWM(pulse width modulation with 67% modulation factor)



3. 制御装置

(1) MPPT

DC 昇圧器 DC 電圧の調整に使われる。

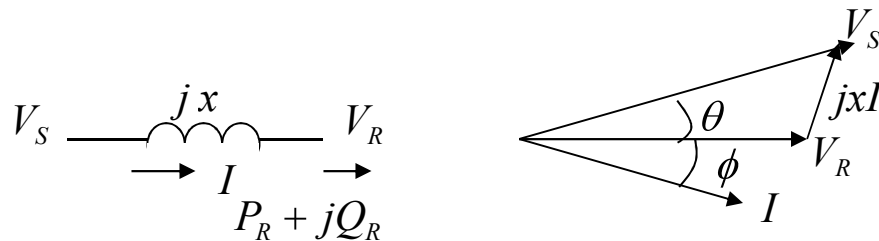
(2) 逆変換器

変調度

変調度は AC 電圧に比例する。→ AC 電圧調整には変調度を変える。

位相角

位相角を増加させると AC 出力が増加する。通常、交流電力の出力目標値は配電線に接続される他励式システムでは、太陽電池の出力の瞬時値とする。



$$P_S = P_R = \frac{V_S V_R}{x} \sin \theta \approx \frac{V_S V_R}{x} \theta$$

$$Q_R = \frac{V_R (V_S \cos \theta - V_R)}{x} \approx \frac{V_R (V_S - V_R)}{x}$$

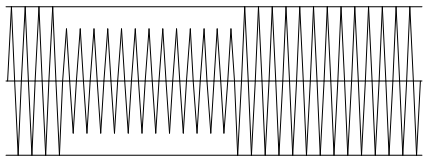
$$P_R + jQ_R = \dot{V}_R \dot{I}_R^* = \frac{\dot{V}_R (\dot{V}_S^* - \dot{V}_R^*)}{-jx} = \frac{V_S V_R}{x} \sin \theta + j \frac{V_R (V_S \cos \theta - V_R)}{x}$$

$$P_R = V_R I \cos \phi = V_R I_d$$

$$Q_R = V_R I \sin \phi = V_R I_q$$

(3) 保護装置(日本経産省のガイドライン 次ページ参照)

配電線に接続される太陽電池にかかわる問題点

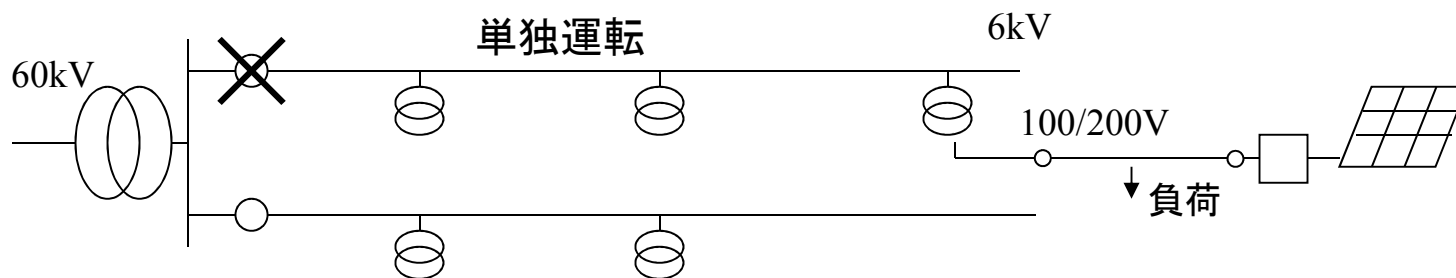
影響範囲	予想される問題	解決法
ローカル系統(配電、送電系統)	流入電力による電圧変動	1) 入力電力の制限 2) 力率制御の付加 3) 系統側での電圧制御
	上位系統事故による瞬時電圧低下時の発電機脱落	fault ride through (FRT) 機能の付与 (例.70%電圧で, 250msの電圧低下で脱落しない)
	単独運転	単独運転検出機能の付与
系統全体 (太陽光や風力の比率が非常に大きいとき)	周波数調整能力の不足	蓄電能力の付与
	上位系統事故による瞬時電圧低下時の発電機脱落による供給力不足	FRT及び蓄電能力の付与 

保護装置の例(経産省ガイドライン)

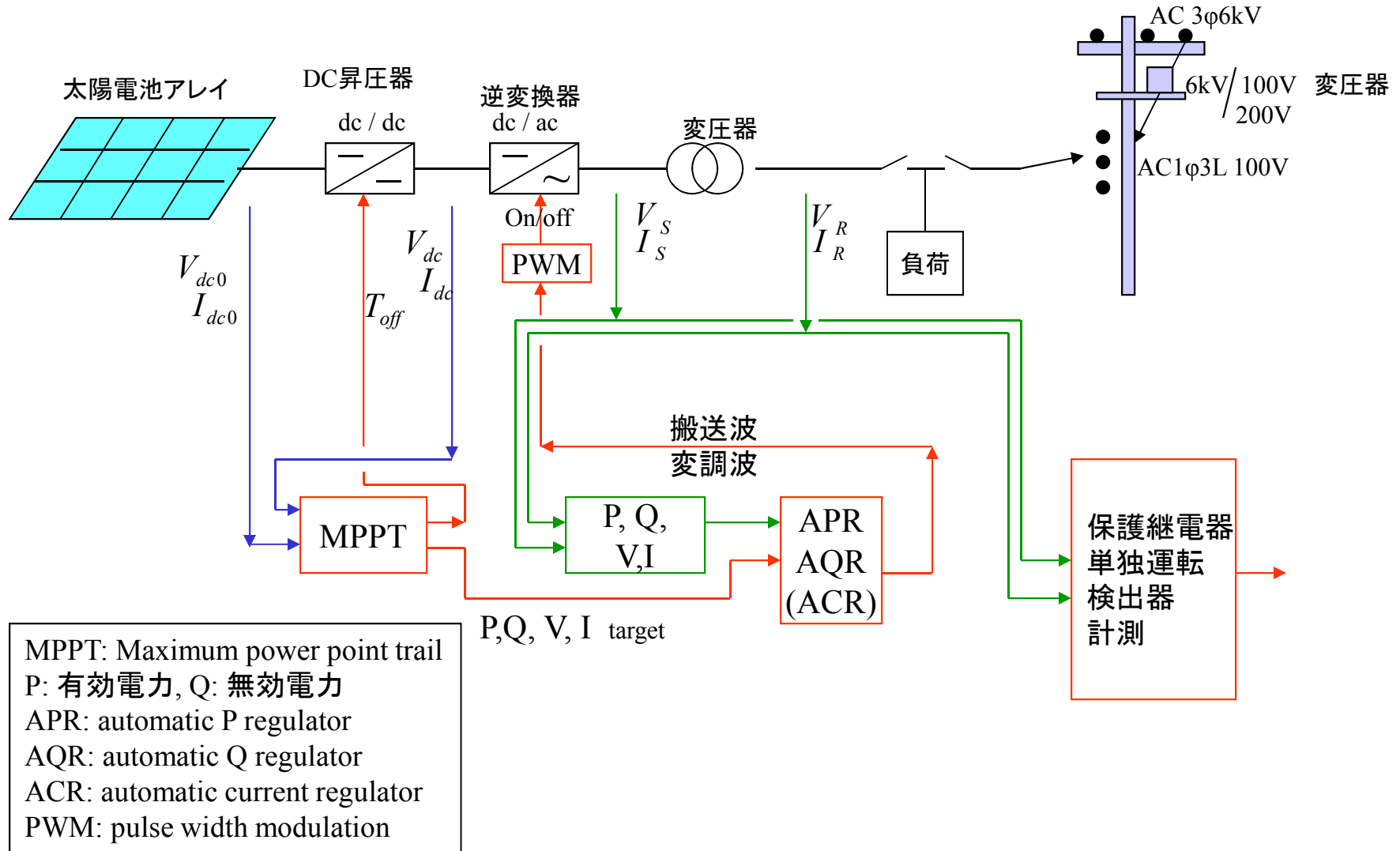
接続システム	出力	逆潮流の有無	保護継電装置								
			OCR/O CGR	OVR/ UVR	OVGR	高低圧 混触	OFR	UFR	RPR	転送とリッ プまたは OFR	充電電流 検出
低圧配電線	50kW 未満	あり	○	○	-	○	○	○	-	○	-
		なし	○	○	-	○	-	○	○	-	○
高圧配電線	2000kW 未満	あり	○	○	○	-	○	○	-	○	-
		なし	○	○	○	-	-	○	-	-	-
目的			局所事 故検出	発電機 事故	地絡事 故	高電圧か らの保護	単独運転	単独運転	単独運転	単独運転	逆充電
○: 要 -: 不要											

単独運転検出法 (連系されている配電線が電源側で遮断された場合)

単独運転検出		単独運転開始時の事象
受動的方 法	力率の飛躍	力率が系統力率から負荷力率に変化
	第3高調波の急変	電流制御式変換器の場合変圧器の例;電流が電流が歪み波から正弦波に変化
	周波数変化率	逆変換器出力と負荷の差から周波数が変化
能動的方 法	周波数偏移	周波数発生器に予めセットされた周波数偏移が出現
	有効電力変動	逆変換器出力に予めセットされた出力変動が電圧、電流、周波数に周期的変動を起こす。
	無効電力返送	逆変換器出力に予めセットされた無効電力変動が電圧、電流、周波数に周期的変動を起こす。
	負荷変動	周期的負荷インピーダンス挿入が電流分布に周期的変化をもたらす。

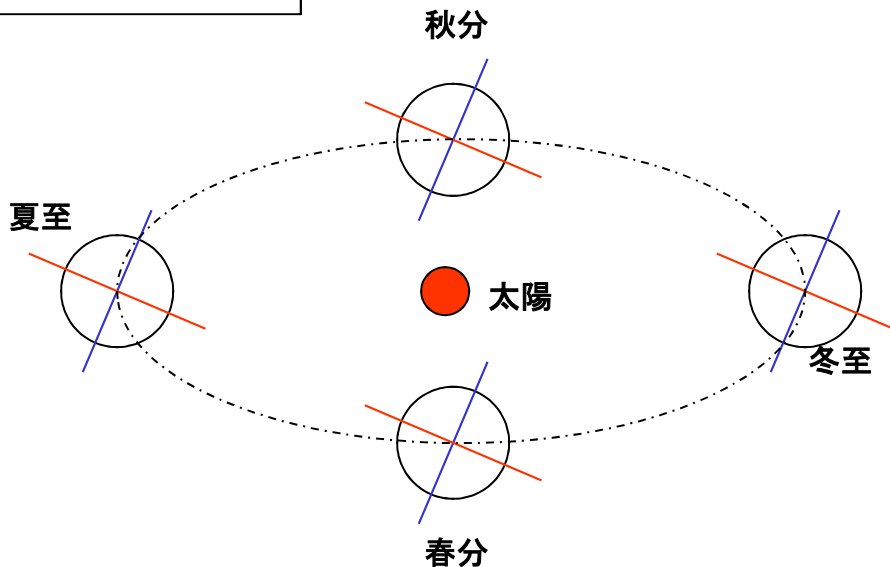


制御システムの例



MPPT: Maximum power point trail
 P: 有効電力, Q: 無効電力
 APR: automatic P regulator
 AQR: automatic Q regulator
 ACR: automatic current regulator
 PWM: pulse width modulation

パネルの設置角度



固定式の場合経度方向では真南に向けるが緯度方向は、季節によって12時の太陽に直面する傾き角は図のように設置位置の緯度を θ とすると $\alpha = \theta - 23.4^\circ$ から $\alpha = \theta + 23.4^\circ$ まで変動する。通常、緯度と同じに $\alpha = \theta$ とする方法がとられている。

可動式の場合は動力を使って太陽の方向に追随するようにする。規模の大きいメガソーラーの場合はそれでも採算が取れると言う報告もある。

