

PV導入時におけるDRフレキシビリティ 技術適用時の電力特性

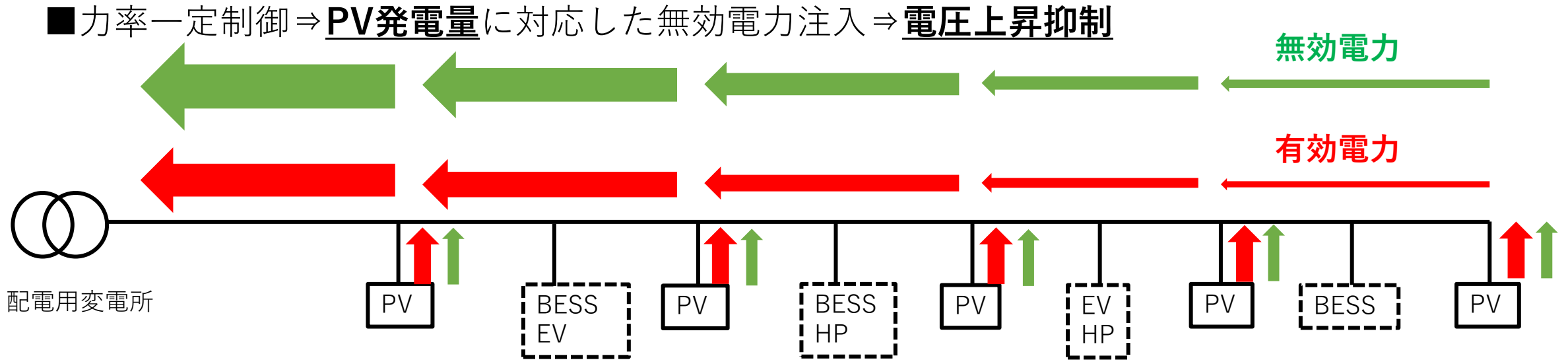
産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギーセンター
再生可能エネルギー研究センター
エネルギーネットワークチーム

見玉 安広、大谷 謙仁

1. 本研究の目的

2050年のカーボンニュートラルに向けて、PVの配電線への導入が拡大

- 電圧の上限逸脱 ⇒ **力率一定制御** (PV発電量に応じて無効電力注入)
- 系統混雑 (許容電流超過) ⇒ **DRフレキシビリティ (DRFB)** 導入の検討

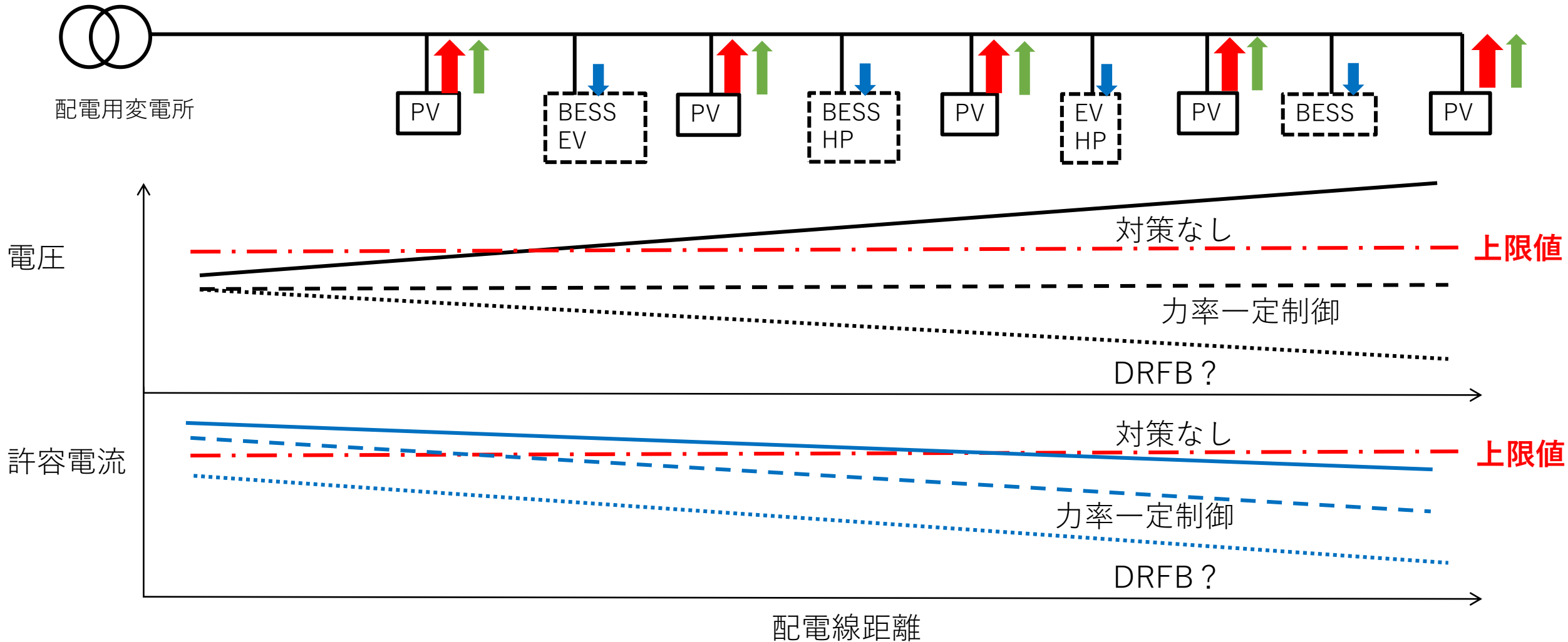


■ DRフレキシビリティ ⇒ **BESS**でPV電力を**吸収** ⇒ **系統混雑緩和 (許容電流)**

【懸念点】 逆潮流に対して**無効電力が過剰**となる？ **電力特性への影響**は？

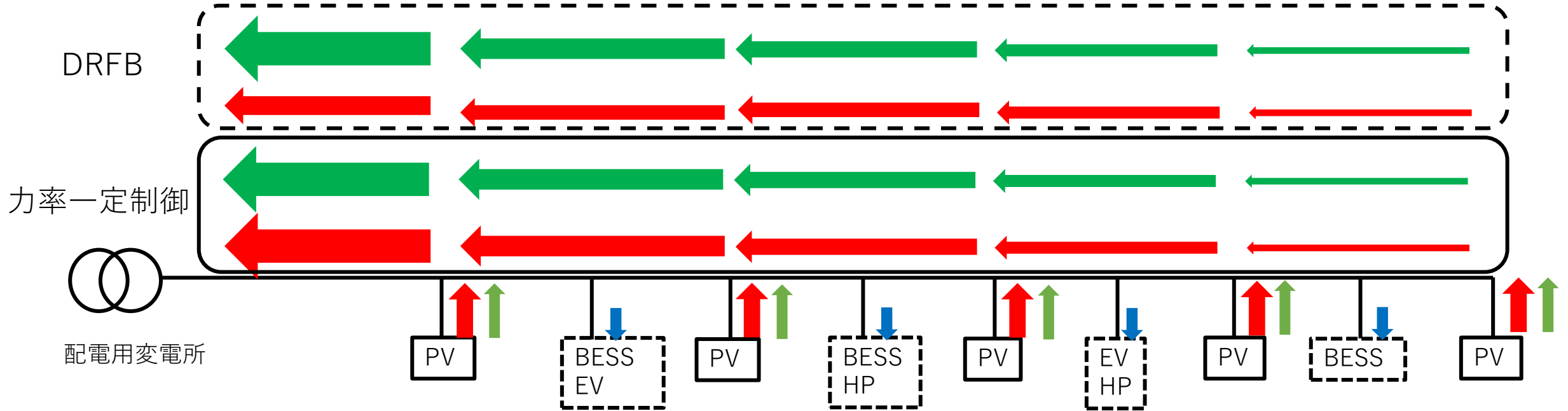
1. 本研究の目的

系統対策時の電圧・電流特性⇒力率一定制御は適用済み、**DRFBの適用時の課題は？**



1. 本研究の目的

DRFB適用時に生じる系統変化 ⇒ 逆潮流電流減少、**有効電力に対し無効電力量増加**



DRFB適用時：力率一定制御によりPV発電量に応じた無効電力が発生

逆潮流電流に対し、無効電力が過剰？

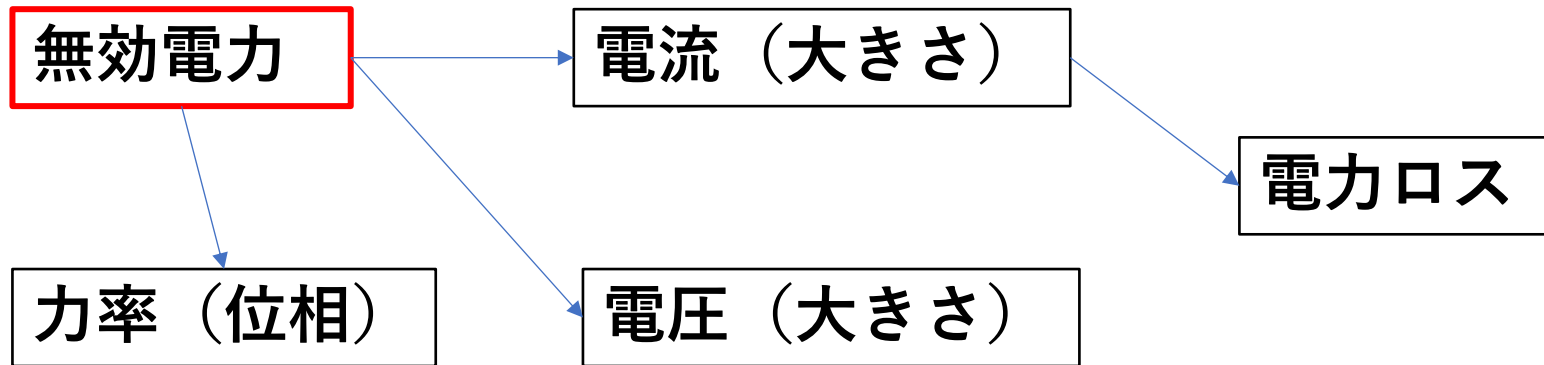
電力特性に与える影響の有無の確認が必要



検証項目は？

1. 本研究の目的

電力特性として、何に注目するべきか？ ⇒ 関係する項目を関連付け



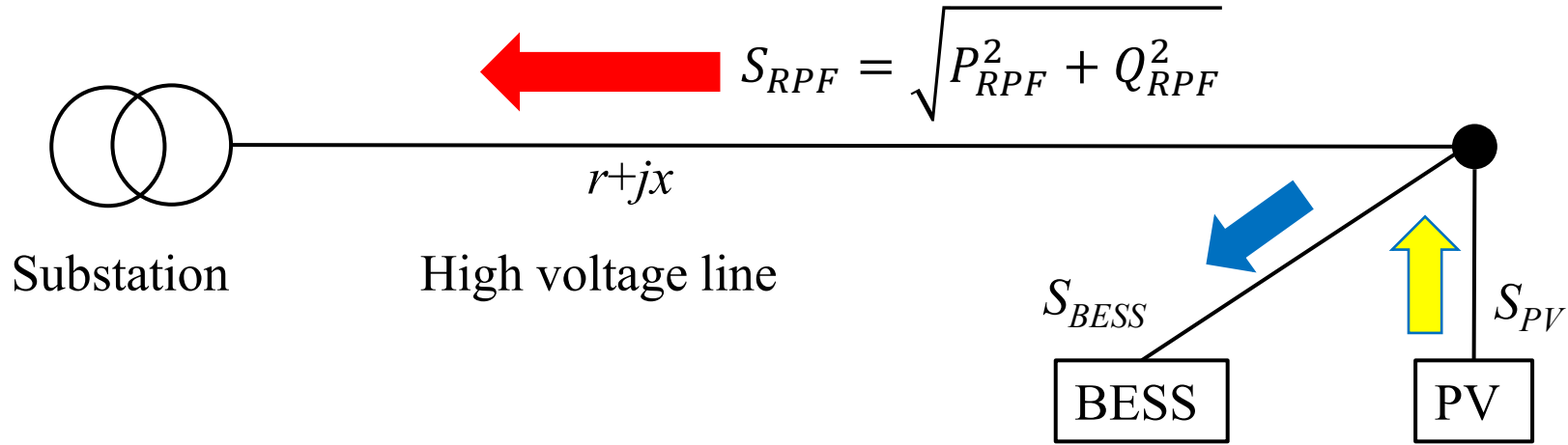
関係式からのアプローチで漏れを確認

$$Q = V \times I \times \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$$

$$Q_{loss} = z \times I^2$$

2. 評価項目

モデル配電線：PV、負荷と電線で構成される簡易な配電線



記号	記号の説明
S_{RPF}	配電用変電所への逆潮流電流
P_{RPF}	S_{RPF} の有効電力
Q_{RPF}	PV逆潮流時のPFCを起因とした S_{RPF} の無効電力
V_s	PV連系点の電圧
I_P	$P_{RPF} / \sqrt{3} V_s$
I_Q	$Q_{RPF} / \sqrt{3} V_s$

	Setting value
S_{PV} (kW)	500
r_l (Ω /km)	0.124
x_l (Ω /km)	0.311

BESS Parameter				
0	50	100	150	200

2. 評価項目

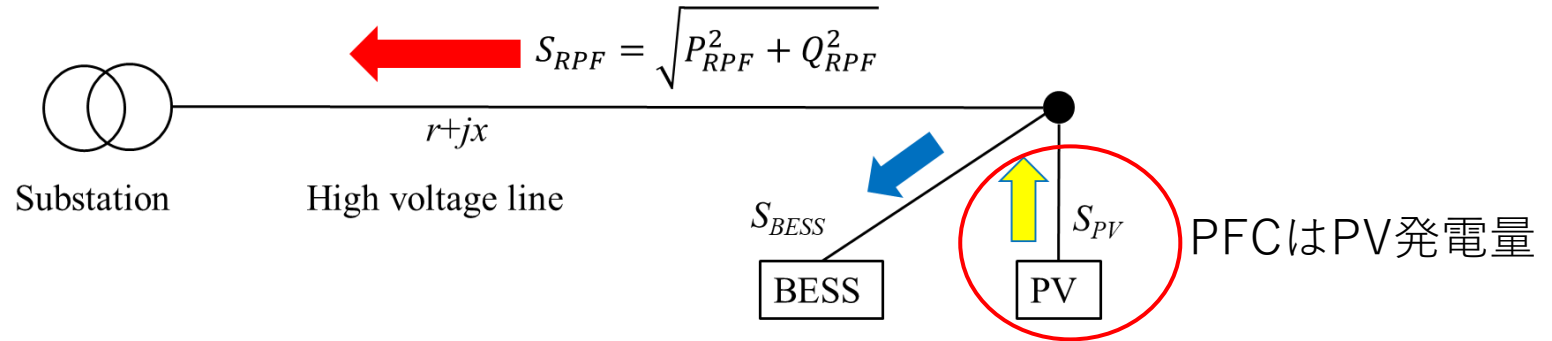
- 系統の変化 ⇒ 逆潮流の減少が関係する項目
- 検証事項 ⇒ 電圧、逆潮流電流、電力ロス、力率が変化

項目	評価式		推定される事象
電圧	$\Delta V_r = (P_{RPF} \times r + Q_{RPF} \times x) / V_S$	(1)	DERでPVの逆潮流を吸収するため P_{RPF} が減少するが、 Q_{RPF} は一定のため電圧が低下
逆潮流電流	$I_r = \sqrt{I_P^2 + I_Q^2}$	(2)	DERでPVの逆潮流を吸収するため、逆潮流の有効電流が減少
力率	$\cos\theta_{PFC} = \frac{P_{RPF}}{\sqrt{P_{RPF}^2 + Q_{RPF}^2}}$	(3)	DERでPVの逆潮流を吸収するため、 P_{RPF}^2 が小さくなり、力率が低下→ $P=IV \times \cos\theta$の減少
損失	$W_L = z_l \times I_r^2$	(4)	逆潮流電流が減少するため、ロスが低減

簡易計算による評価を実施

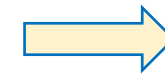
3. 簡易シミュレーションによる評価

PV発電量に対しPFCを適用し簡易シミュレーションを実施⇒電圧と力率に注目



(a) $\cos\theta_{PFC} = 1.0$

S_{BESS}	0 kW	50 kW	100 kW	150kW	200kW
ΔV_r (V)	47.0	42.3	37.6	32.9	28.2
I_r (A)	43.4	39.4	35.0	30.6	26.2
$\cos\theta_{DEC}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
W_L (kW)	3.2	2.6	2.0	1.6	1.2



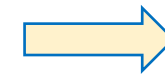
電圧上昇 ⇒ 抑制



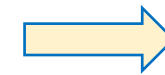
力 率 ⇒ 一定

(b) $\cos\theta_{PFC} = 0.9$

S_{BESS}	0 kW	50 kW	100 kW	150kW	200kW
ΔV_r (V)	-9.1	-13.3	-17.5	-21.6	-26.0
I_r (A)	43.7	40.2	36.8	33.5	30.4
$\cos\theta_{DEC}$	0.90	0.88	0.86	0.82	0.78
W_L (kW)	3.2	2.7	2.3	1.9	1.5



電圧上昇 ⇒ 低下大



力 率 ⇒ 低下

3. 簡易シミュレーションによる評価

	取りまとめ内容
電圧	<ul style="list-style-type: none"> ● $\cos\theta_{PFC}=1.0$ (1)式からBESSにS_{PV}の一部が吸収され、S_{BESS}の増加とともにS_{PV}からのP_{RPF}が減少するためΔV_rは抑制 ● $S_{BESS}=0$, $\cos\theta_{PFC}=0.9$ and 1.0の比較 $\cos\theta_{PFC}$が0.9では電圧上昇が抑制 ● $\cos\theta_{PFC}=0.9$ (1)式からS_{BESS}を増加$\Rightarrow P_{RPF}$が減少\Rightarrow電圧上昇は抑制 PFCはS_{PV}容量に対して一定のQ_{RPF}を注入$\Rightarrow P_{RPF}$に対し過剰な注入量\Rightarrow電圧低下大
電流	<ul style="list-style-type: none"> ● $\cos\theta_{PFC} = 1.0$ and 0.9 S_{BESS}が増加$\Rightarrow P_{RPF}$が減少$\Rightarrow I_r$は減少
力率	<ul style="list-style-type: none"> ● $\cos\theta_{PFC}=1.0$ $Q_{PV}=0$ (常に) $\Rightarrow \cos\theta_{PFC}$は一定 ● $\cos\theta_{PFC}=0.9$ S_{PV}に$\cos\theta_{PFC}$を乗じた一定のQ_{RPF}を注入$\Rightarrow P_{RPF}$に対して過剰な注入量 \Rightarrow (3)式から$\cos\theta_{PFC}$は低下
電力ロス	<ul style="list-style-type: none"> ● $\cos\theta_{PFC}=1.0$ and 0.9 S_{BESS}が増加するとW_Lは減少\RightarrowSSに流れるS_{RPF}が減少 無効電力の寄与によりI_rは$\cos\theta_{PFC}$が1.0と比較して0.9の時が大きくなる \Rightarrow (4) 式からW_Lは$\cos\theta_{PFC}$が1.0と比較して0.9が大きくなる。

3. 簡易シミュレーションによる評価

【電圧に対する課題】

$$\Delta V_r = (P_{RPF} \times r - Q_{RPF} \times x) / V_S$$



有効電力の減少により電圧が低下
⇒ 適正電圧下限値を逸脱の可能性

【力率に対する課題】

$$\cos\theta_{PFC} = \frac{P_{RPF}}{\sqrt{P_{RPF}^2 + Q_{RPF}^2}}$$



有効電力の減少により力率が低下
⇒ 電力の効率低下

有効電力に応じた適切な無効電力の注入が必要

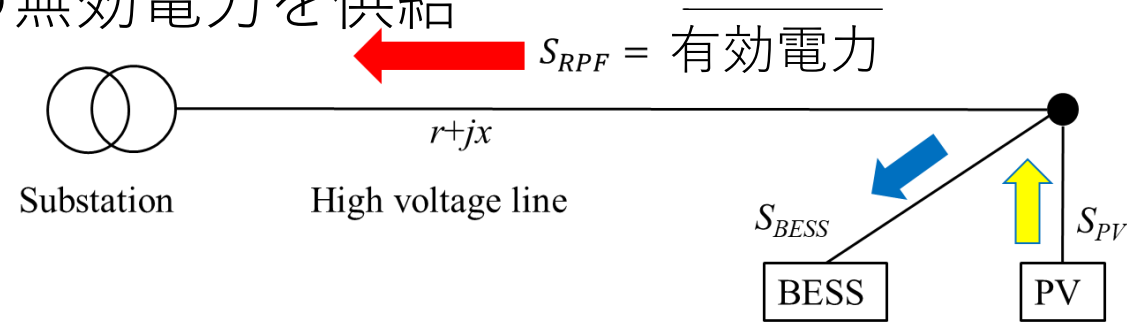
$$P = I \times V \times \cos\theta \quad V=I=1$$

$\cos\theta$	1	0.8
P	1	0.8

$\cos\theta$: 小 ⇒ P : 小

4. 電力特性向上のための検討

有効電力に対しPFC制御 ⇒ 配電線に過剰の無効電力を供給



【目的】

配電線の逆潮流の有効電力を起因とした電圧上昇の抑制

【方法】

有効電力に対して無効電力量を決定

$$S_{RPF} = S_{PV} - S_{BESS} \Rightarrow Q_{RPF} = S_{RPF} \times \sqrt{1 - \cos\theta_{PFC}}$$

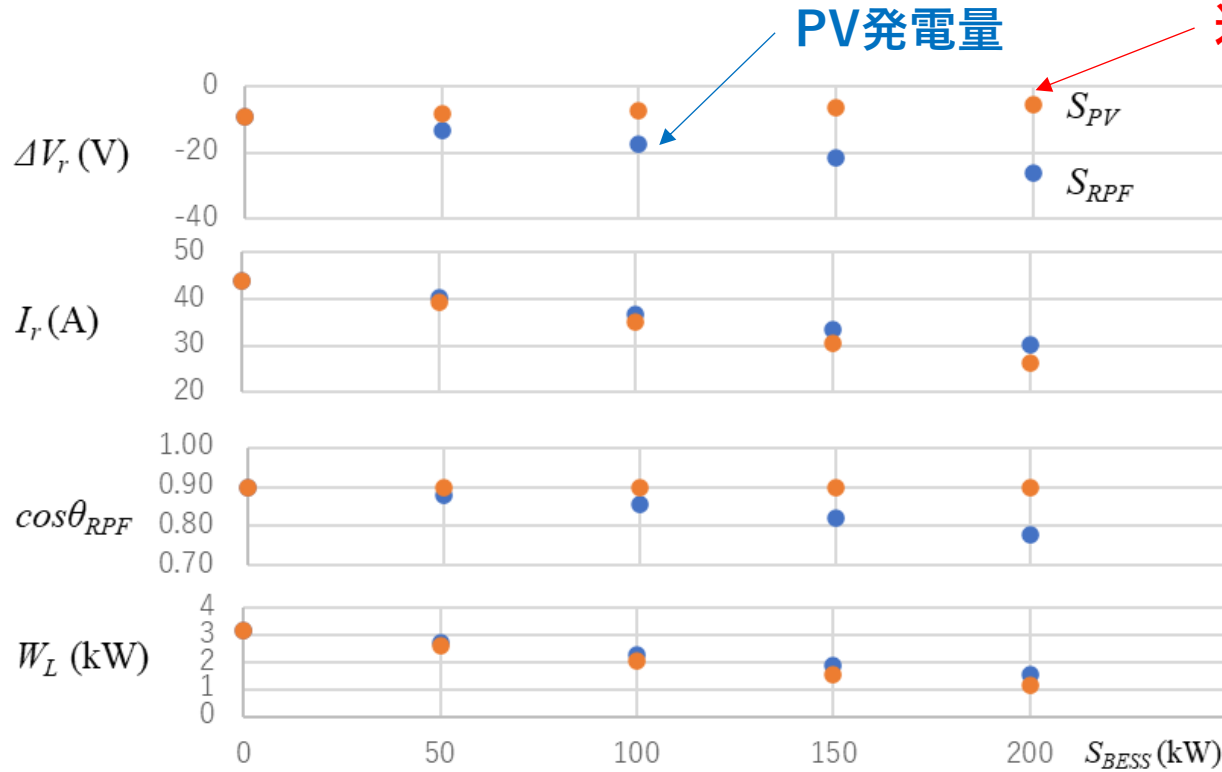
○比較対象： $S_{PV} \times \cos\theta_{PFC}$
($\cos\theta_{PFC}$) = 0.9 ⇒ -9.1 ~ -5.5

S_{BESS}	0 kW	50 kW	100 kW	150kW	200kW
ΔV_r (V)	-9.1	-8.2	-7.3	-6.4	-5.5
I_r (A)	43.7	39.4	35.0	30.6	26.2
$\cos\theta_{PFC}$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
W_L (kW)	3.2	2.6	2.0	1.6	1.2

電圧上昇 ⇒ 低下抑制
力 率 ⇒ 維持

4. 電力特性向上のための検討

全ての評価項目で改善 ⇒ **逆潮流電流に応じた力率制御**が効果的



電圧変動：小さいほうが良い
⇒ 電圧低下を抑制

逆潮流電流：小さいほうが良い
⇒ 逆潮流電流を抑制

力率：高いほうが良い
⇒ 電力の効率利用

ロス：小さいほうが良い
⇒ 電力ロス低減

5. まとめと今後の課題

● まとめ

PVの逆潮流が発生しているときの電力特性を適切に保つためには、逆潮流の有効電力を考慮したPFC制御が必要であることを示した。

● 今後の課題

本検討の妥当性と効果を定量的に評価するために実配電系統に近い条件で潮流計算を用いた詳細な検討を行う。