

部分影発生時における太陽電池パネルの発電量を 向上させる補償器と昇圧型PWMコンバータを 一体化した統合型コンバータ

茨城大学

佐々木 優介 中根 亨 鵜野 将年

ハイライト

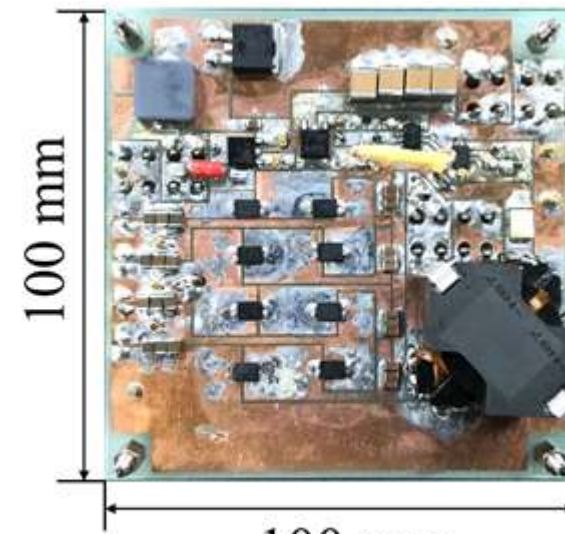
- システムの簡素化が可能な統合型コンバータを提案
- 実機検証において最大抽出電力41.4%向上

目次

- 背景
 - 部分影の悪影響（問題①）
 - 部分影補償
 - システムの複雑化（問題②）
- 提案統合コンバータ
 - 導出と特徴
 - 動作原理
- 実機検証
 - 電力変換効率
 - 部分影を模擬した補償実験
 - フィールドテスト
- まとめ
- 今後の予定



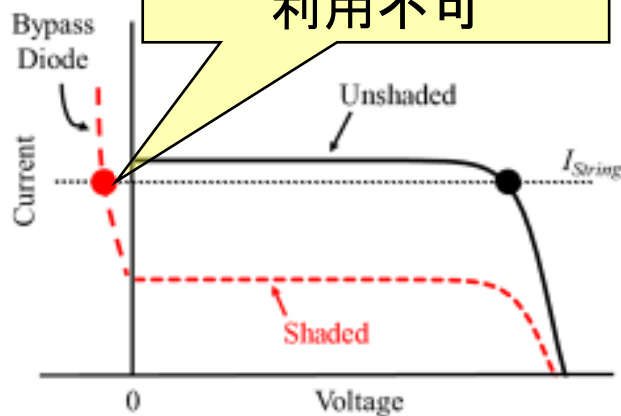
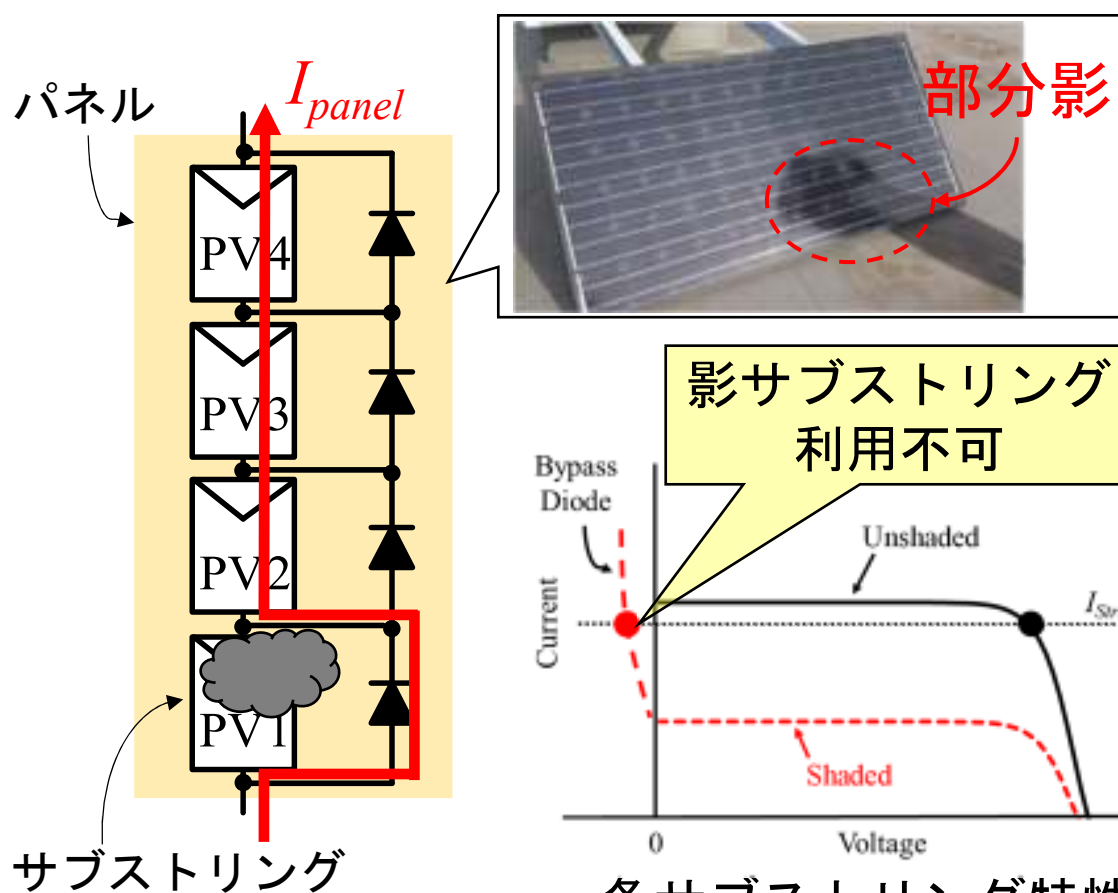
部分影のイメージ



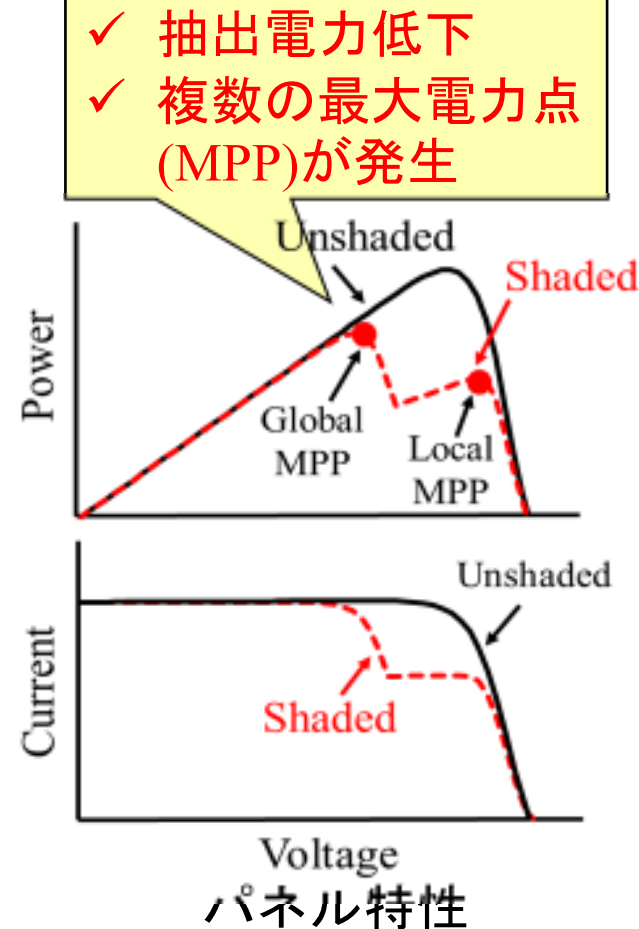
100 mm
100 mm
150 W試作機

背景

背景：太陽電池に生じる部分影の悪影響



各サブストリング特性

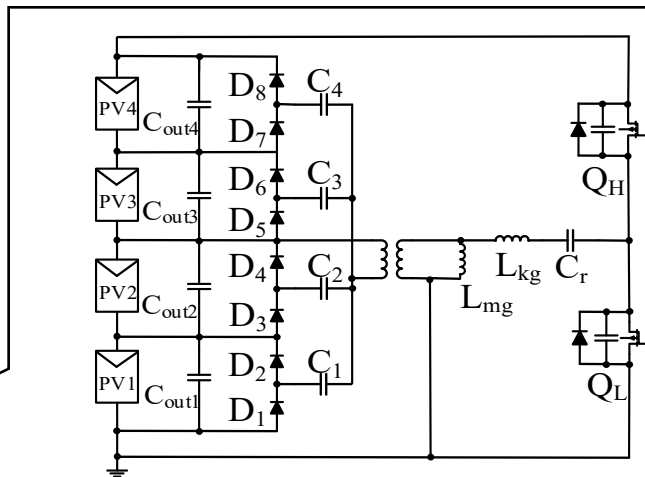
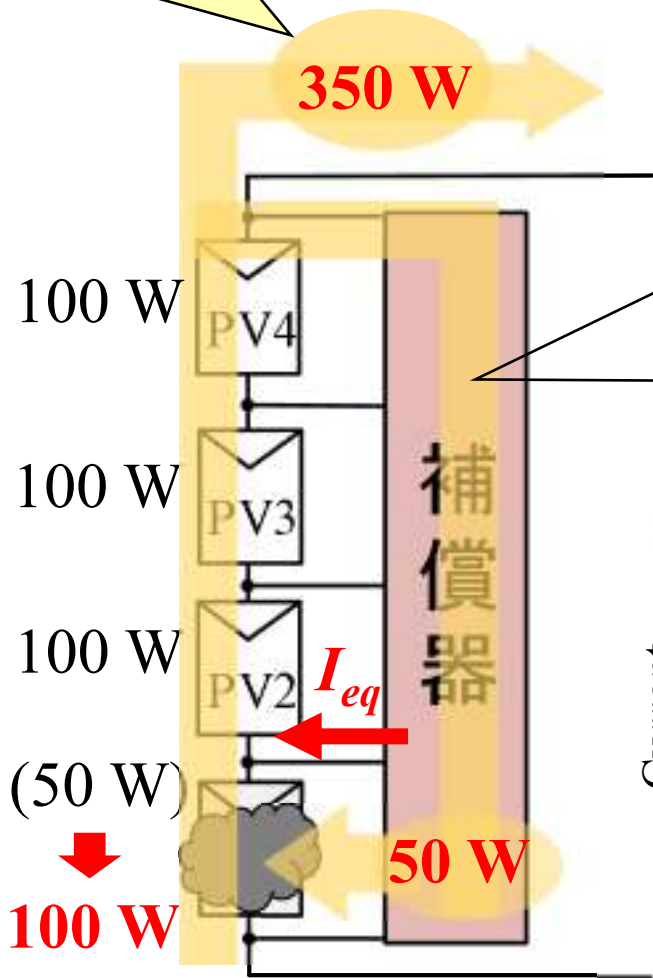


- ✓ 抽出電力低下
- ✓ 複数の最大電力点 (MPP)が発生

- ✓ 抽出可能電力の大幅低下
- ✓ 複数のMPP発生による最大電力点追尾制御 (MPPT) の誤動作

背景：部分影補償

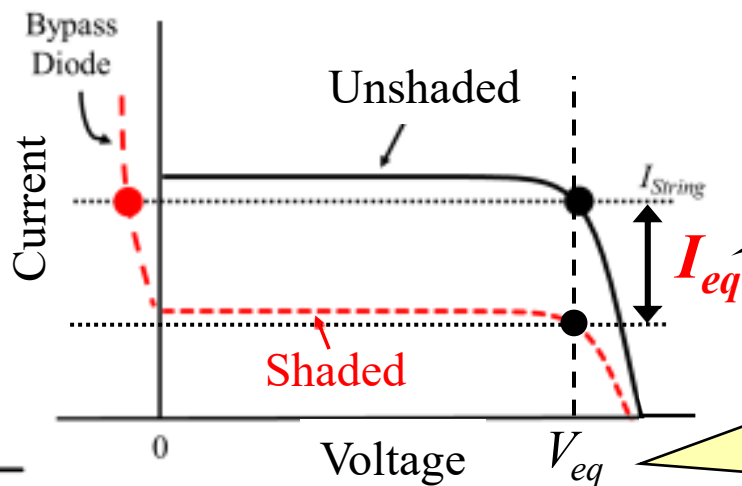
パネルから全ての電力を抽出



部分影補償器の例
(LLC共振型倍電圧回路)

特徴

- ✓ 簡素な構成
- ✓ 無制御で動作



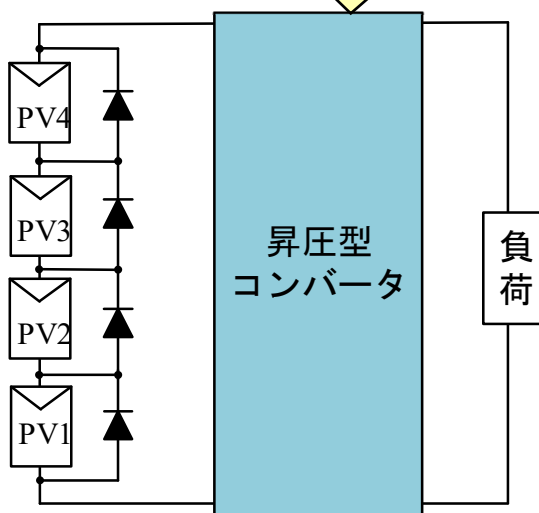
差分電流 I_{eq} を供給

各サブストリングの電圧を V_{eq} に均一化

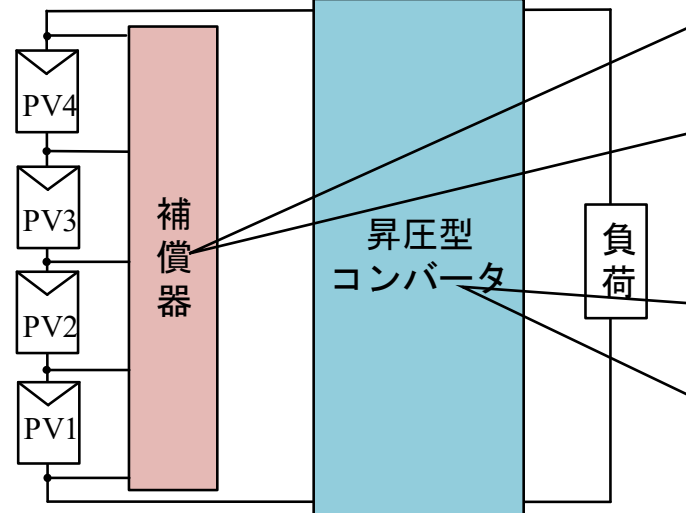
サブストリングの I - V 特性

背景：システムの複雑化

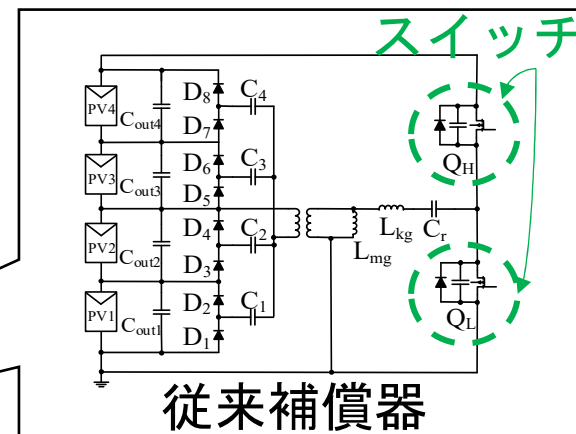
電圧を安定化して
要求電圧まで昇圧



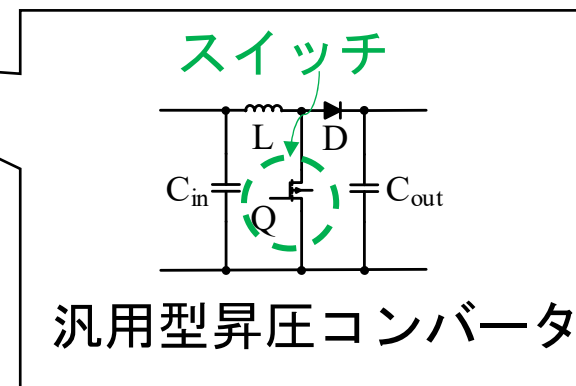
従来システム



補償器を導入したシステム



従来補償器

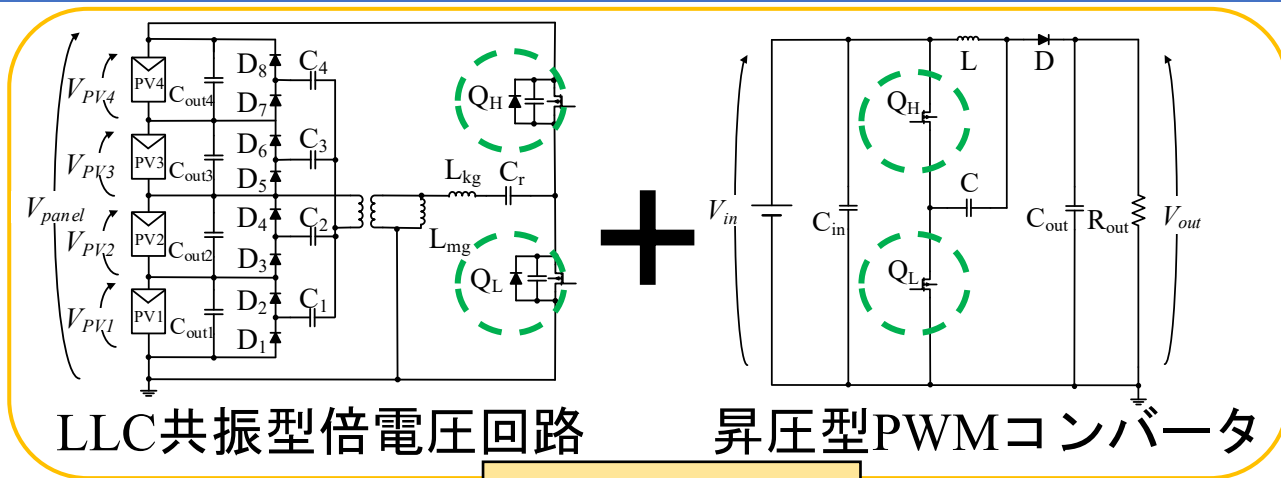


汎用型昇圧コンバータ

補償器と昇圧型コンバータを一体化
⇒システムの簡素化及び低コスト化
が可能な統合型コンバータを提案

提案回路

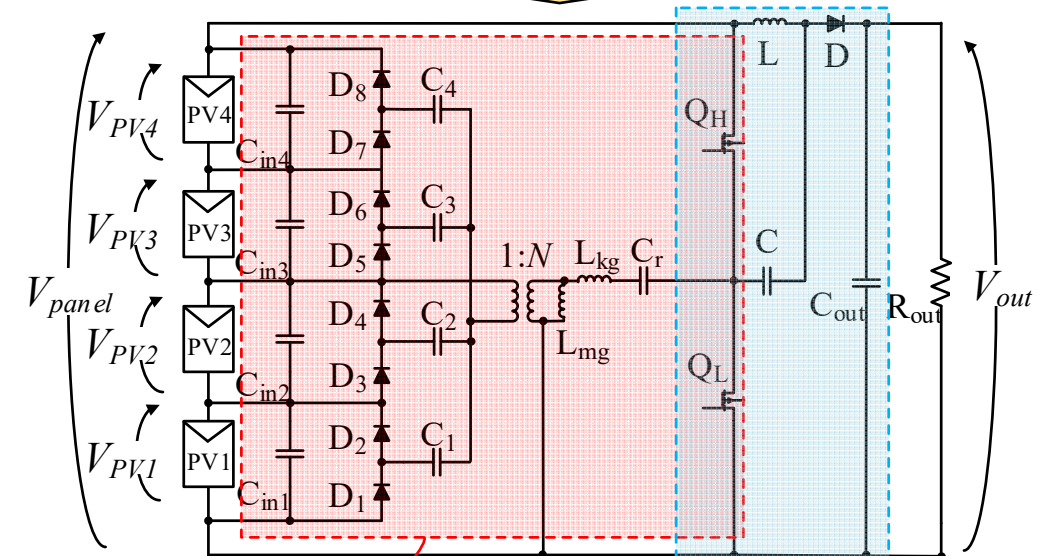
提案回路：導出



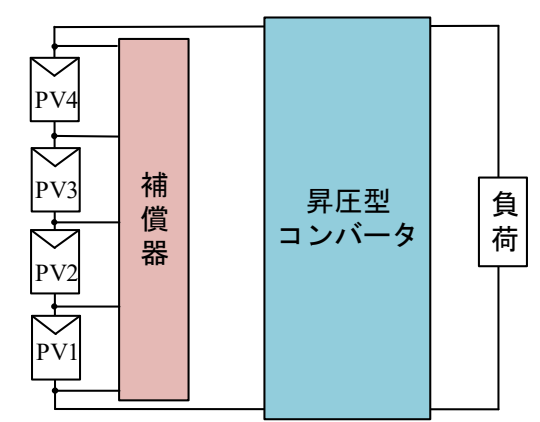
LLC共振型倍電圧回路

昇圧型PWMコンバータ

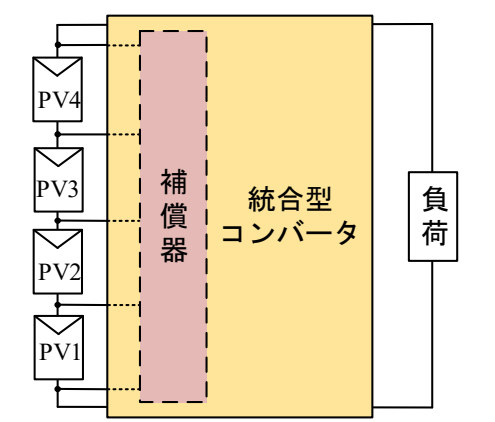
スイッチを共有



LLC共振型倍電圧回路 昇圧型PWMコンバータ

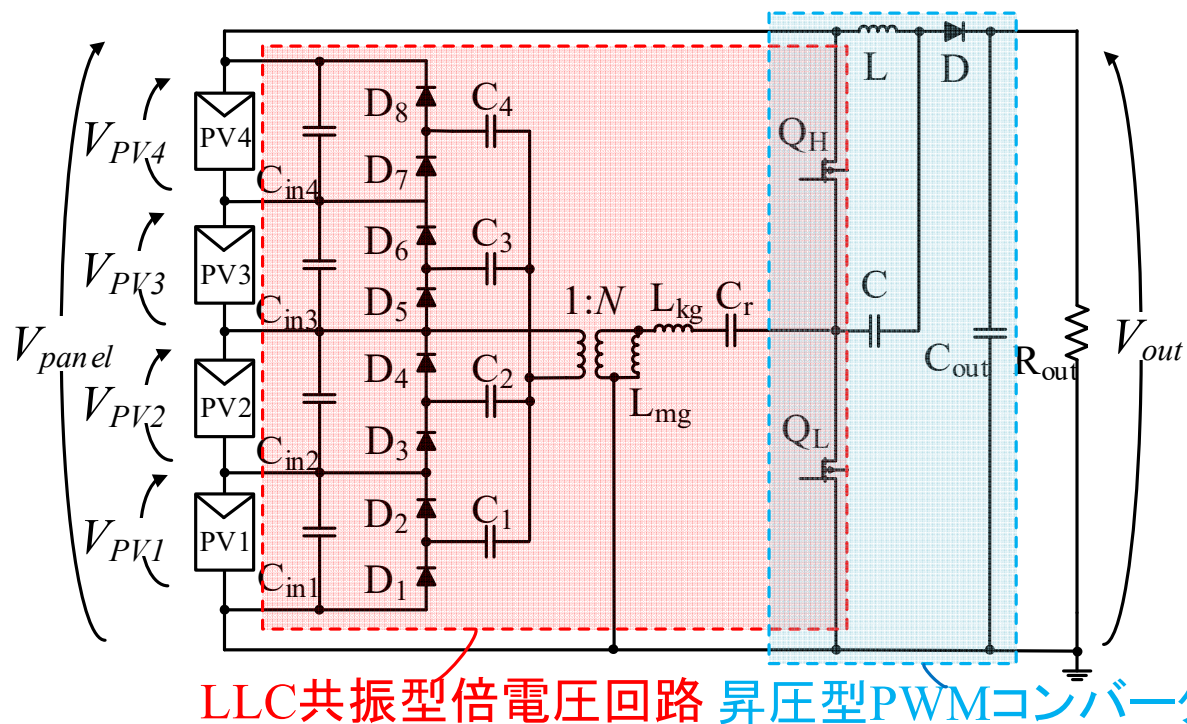


補償器導入システム



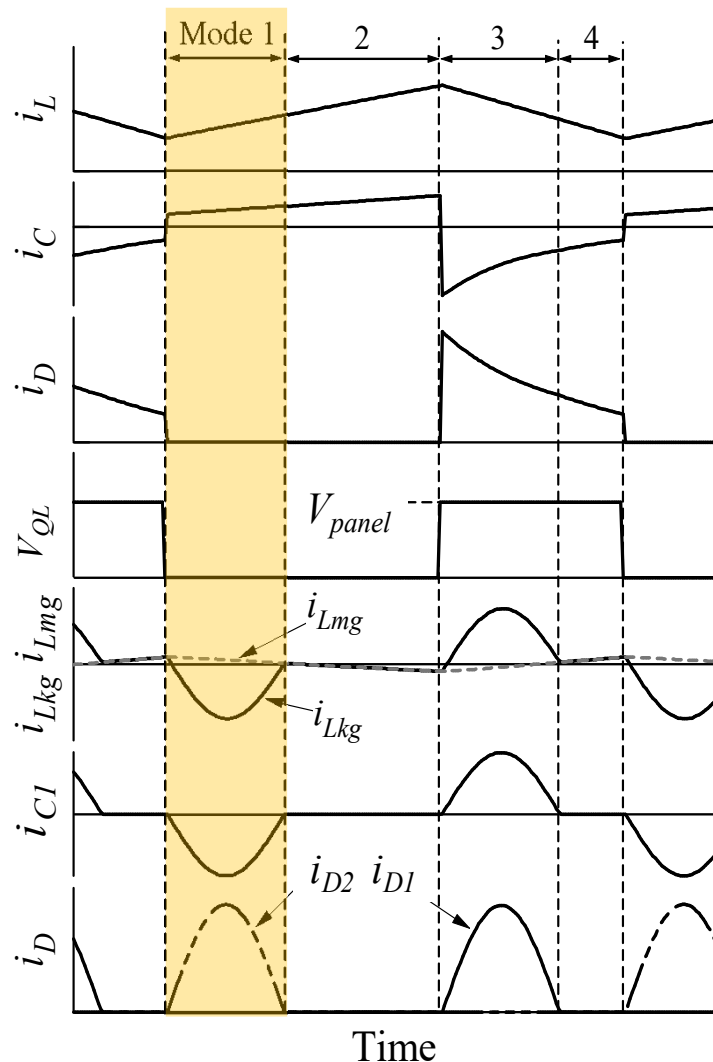
提案方式のシステム

提案回路：特徴

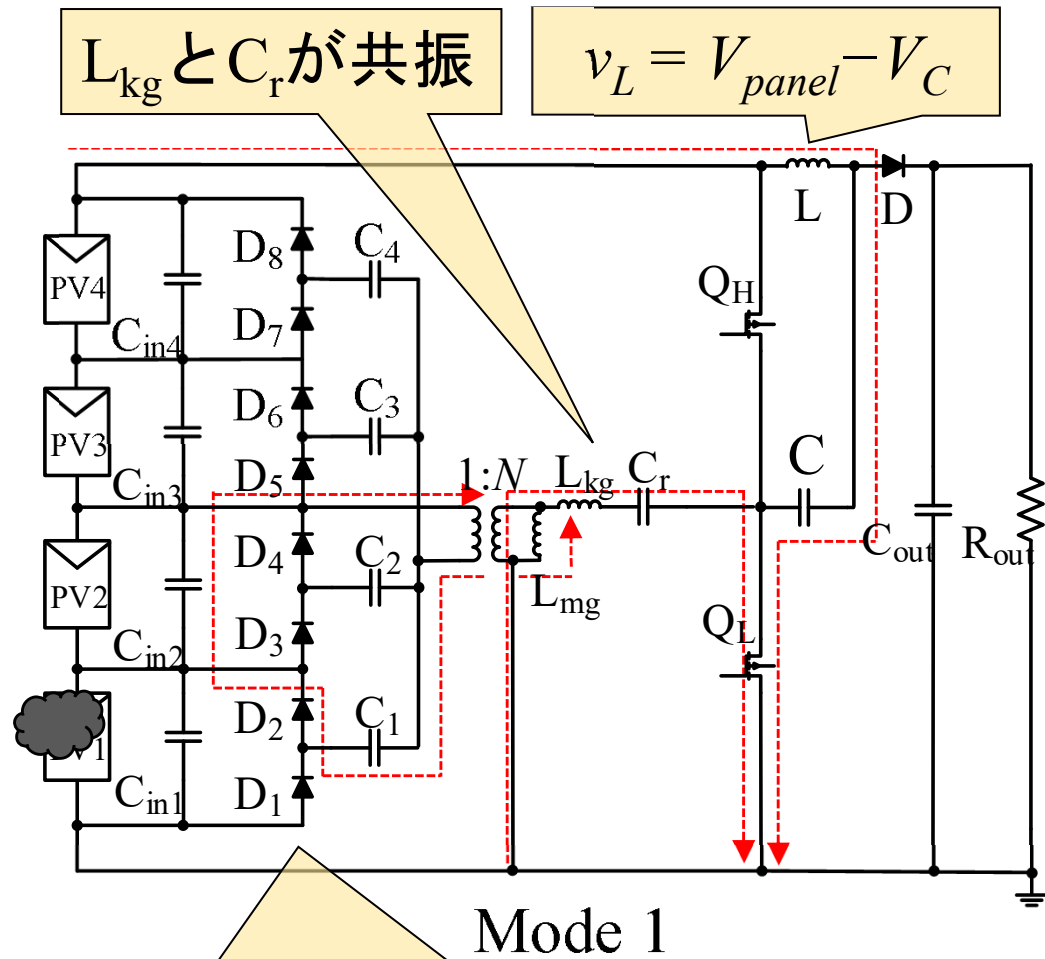


- ✓ 補償器と昇圧コンバータを個別に用いた場合と比較してスイッチ数を1つ削減⇒低コスト化
- ✓ 統合によるシステムの簡素化
- ✓ d に影響を受けない無制御の部分影補償
- ✓ 負荷電圧はPWM制御可能

動作モード : Mode 1

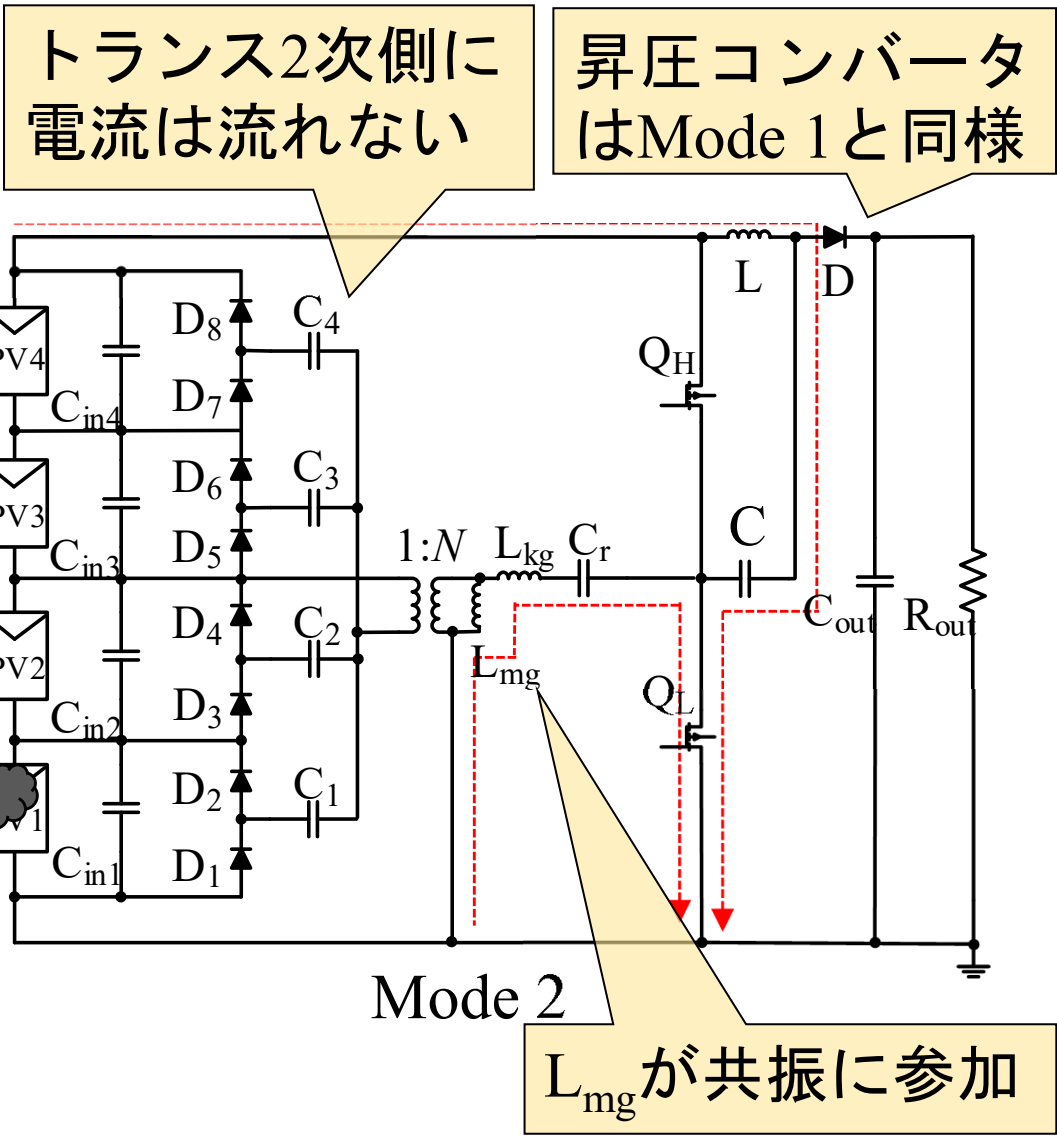
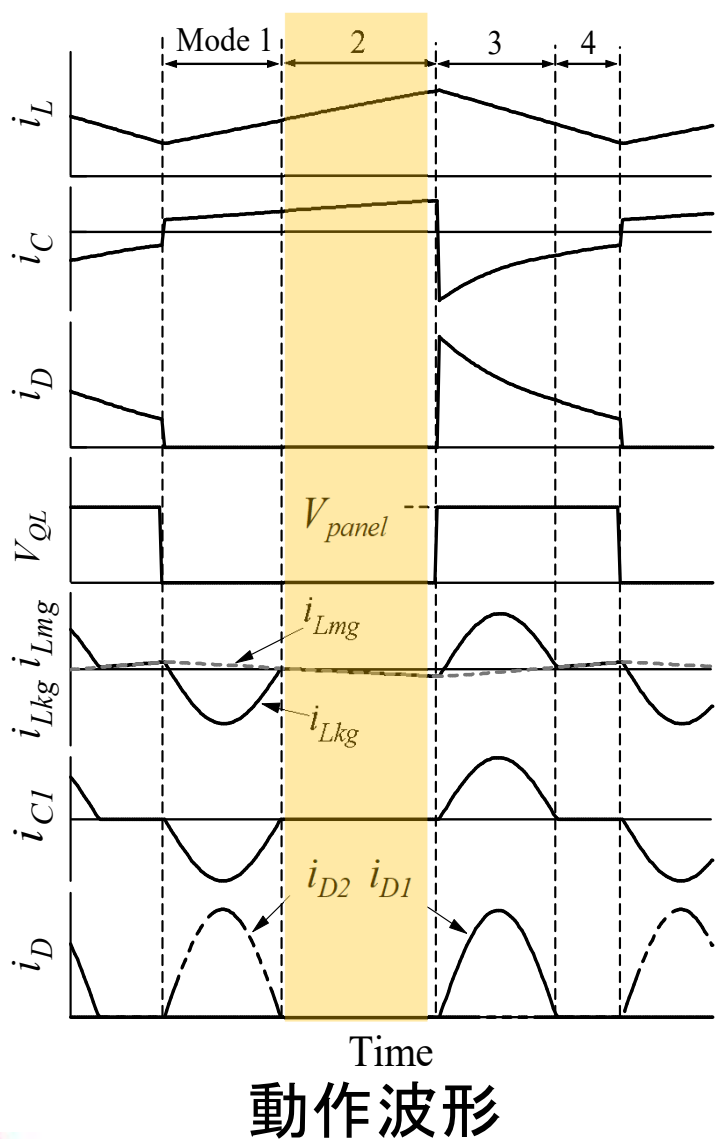


動作波形

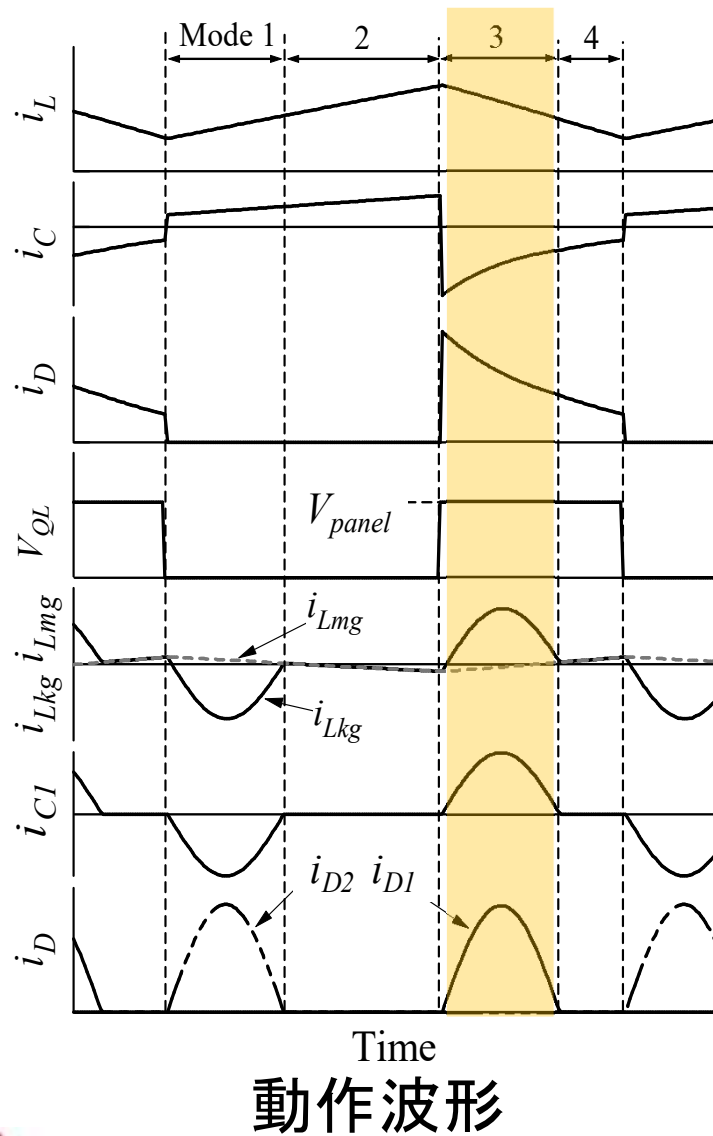


Mode 1
PV1に接続されたC₁及びD₂のみ動作

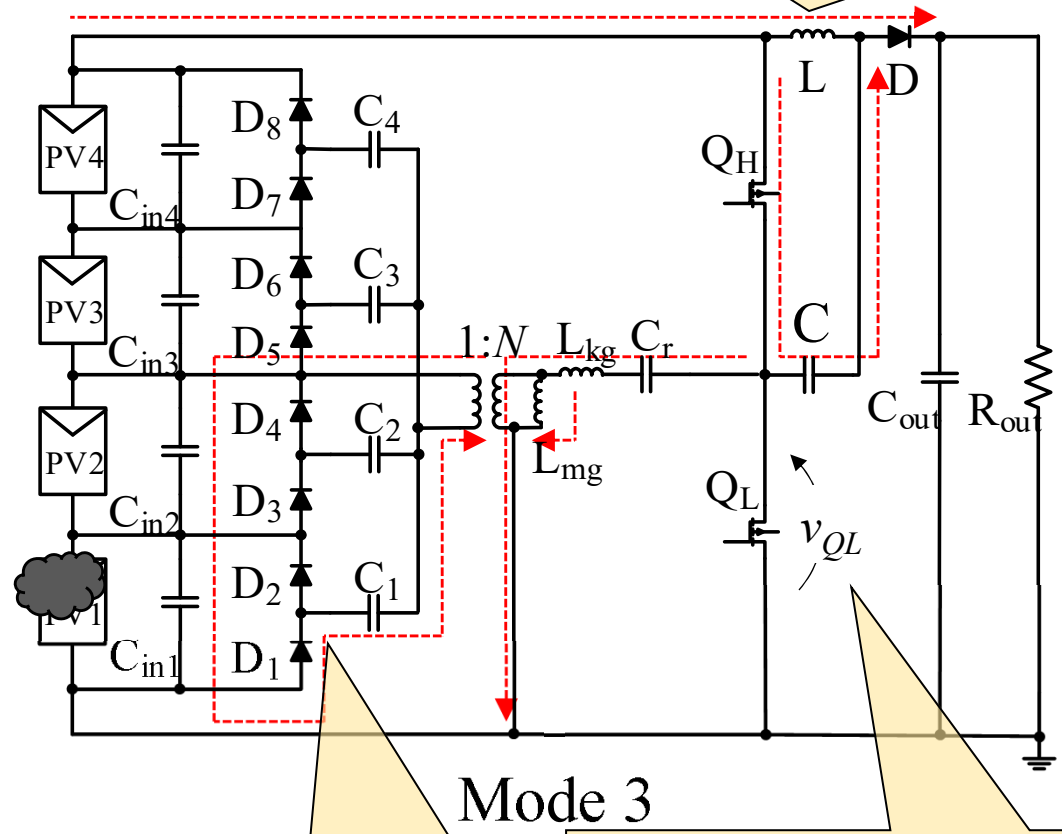
動作モード : Mode 2



動作モード : Mode 3



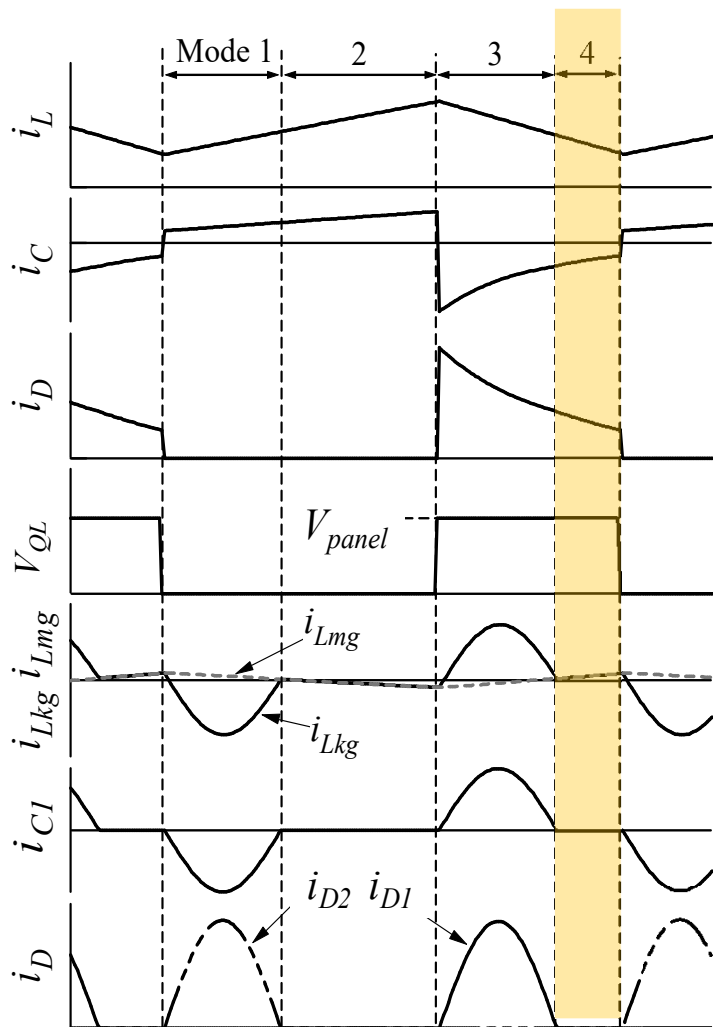
$v_L = V_{panel} - V_{out}$ より極性反転



PV1に接続された
 C_1 及び D_1 のみ動作

$v_{QL} = V_{panel}$ より L_{kg}
と C_r が再び共振

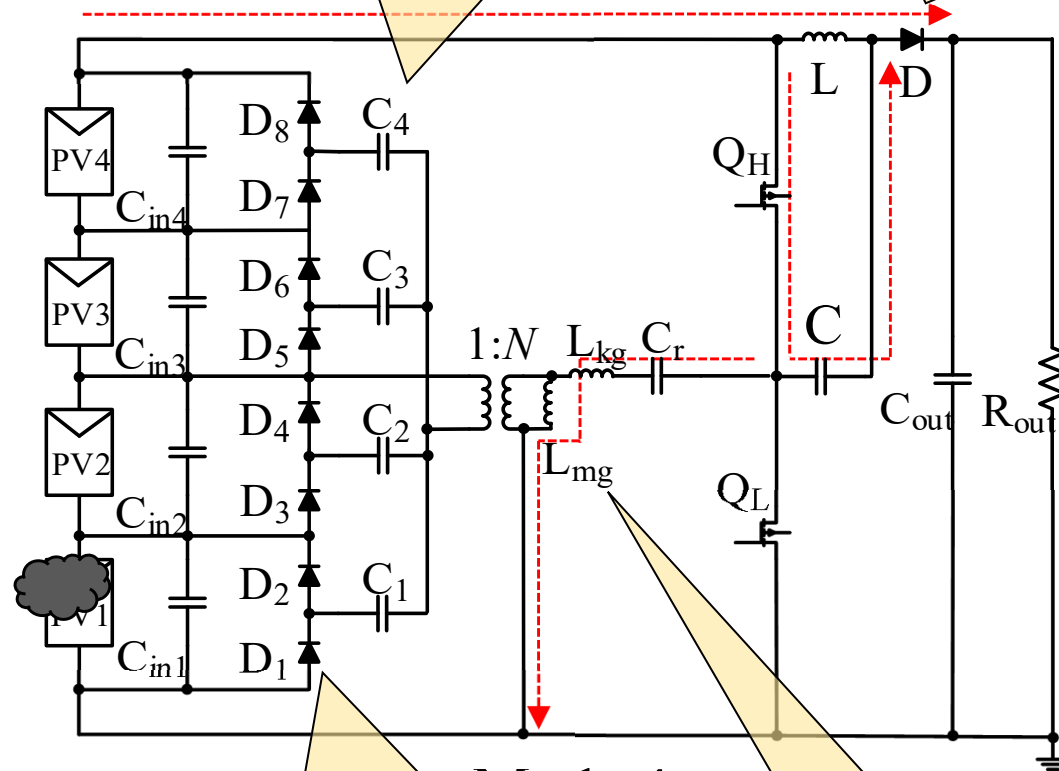
動作モード : Mode 4



動作波形

トランス2次側に
電流は流れない

昇圧コンバータ
はMode 3と同様

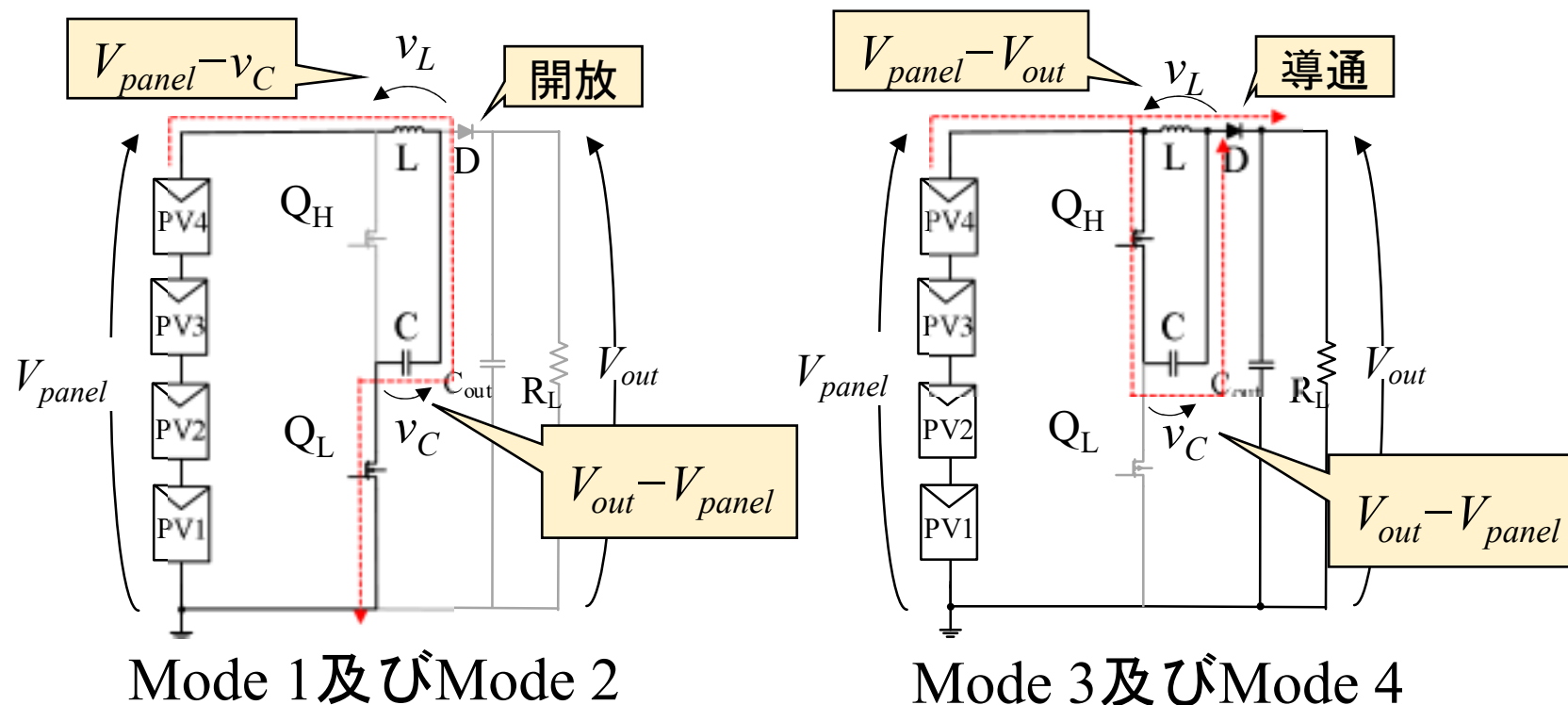


Mode 4

補償電流はD₁及びD₂
の平均電流と等しい

L_{mg}が共振に
再び参加

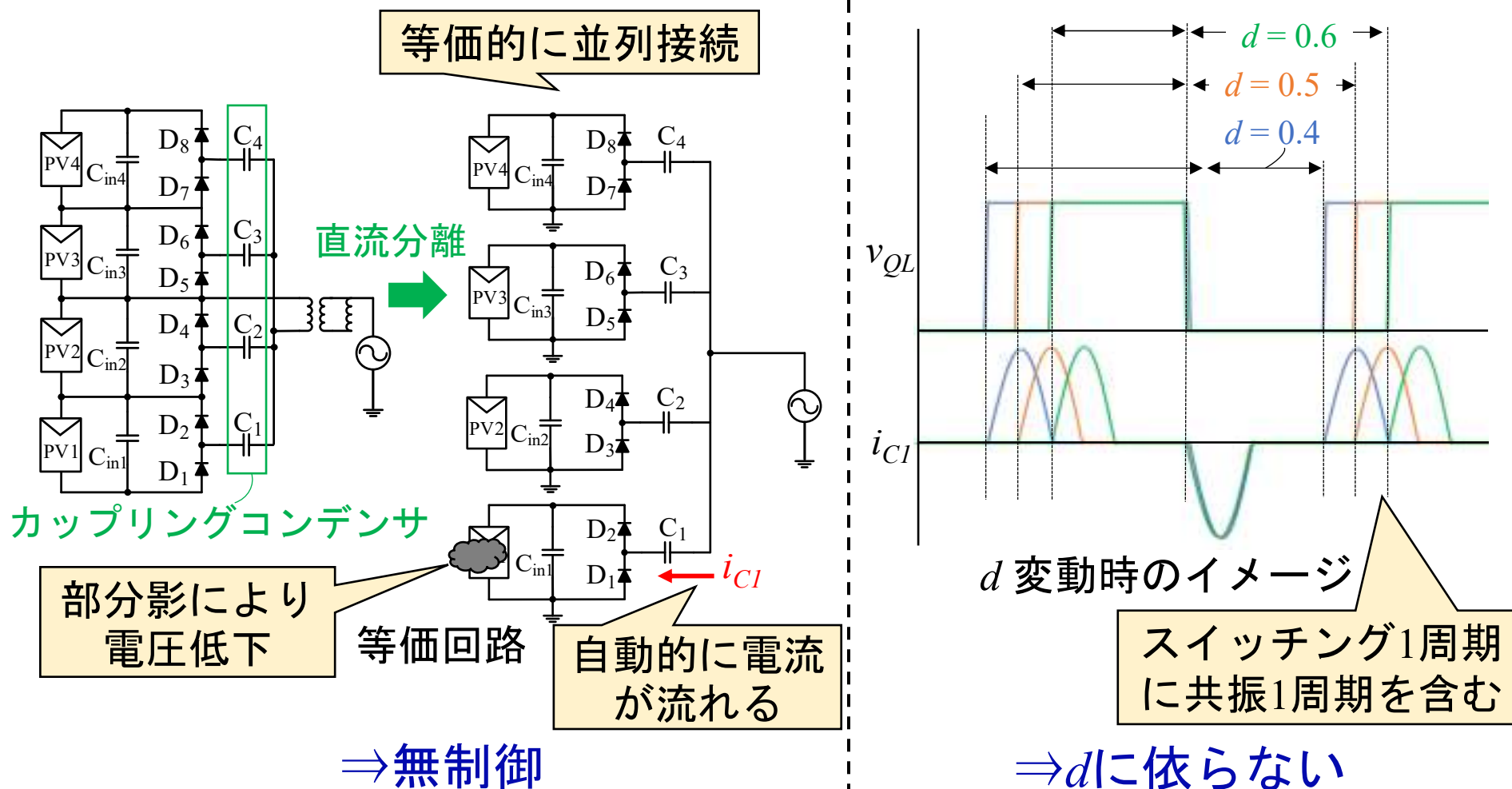
昇圧型PWMコンバータの理論昇圧比



インダクタの電圧-時間積より

$$\text{理論昇圧比} : \frac{V_{out}}{V_{panel}} = 1 + d$$

部分影補償器の原理

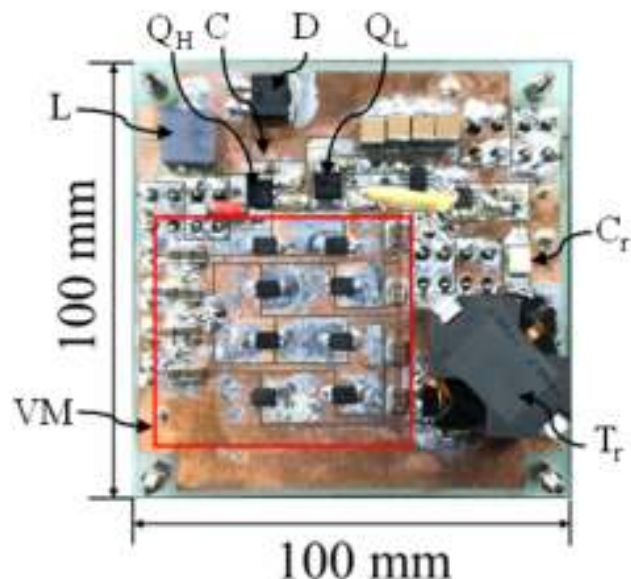


d に影響を受けない無制御の部分影補償

[出典] M. Uno and A. Kukita, "Two-switch voltage equalizer using an LLC resonant inverter and voltage multiplier for partially shaded series connected photovoltaics modules," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 2, pp. 1587–1601 (2015)

実機検証

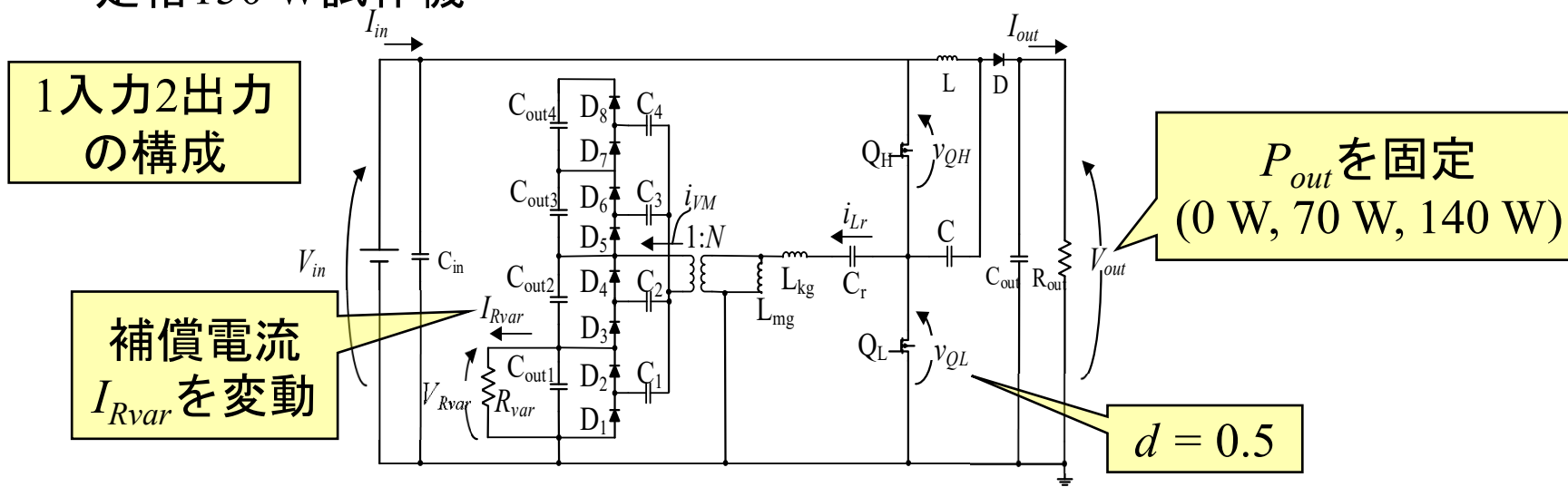
実機検証：試作回路と電力変換効率（条件）



定格150 W試作機

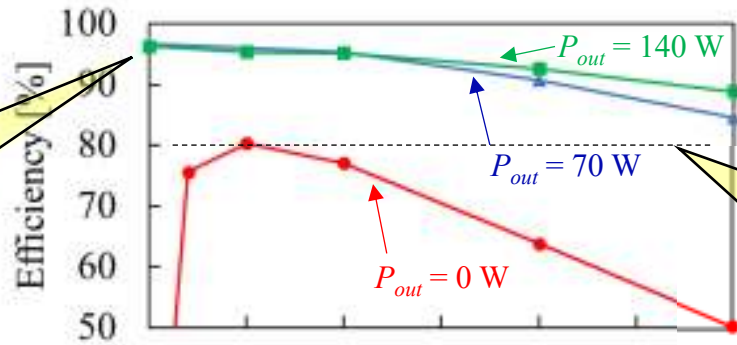
Component values

Component	Value
$C_{in1}-C_{in4}$	Ceramic Capacitor, 300 μF
D_1-D_8	Schottky Barrier Diode, $V_f = 0.30 \text{ V}$
C_1-C_4	Ceramic Capacitor, 99 μF
C	Ceramic Capacitor, 33 μF
L	Inductor, 47 μH
D	Schottky Barrier Diode, $V_f = 0.40 \text{ V}$
C_{out}	Ceramic Capacitor, 176 μF
C_r	Film Capacitor, 220 nF
Transformer	$N_1 : N_2 = 12 : 3,$ $L_{kg} = 1.54 \mu\text{F}, L_{mg} = 94.8 \mu\text{F}$
Q_L-Q_H	FDD390N15A, $R_{DS(ON)} = 33.5 \text{ m}\Omega$



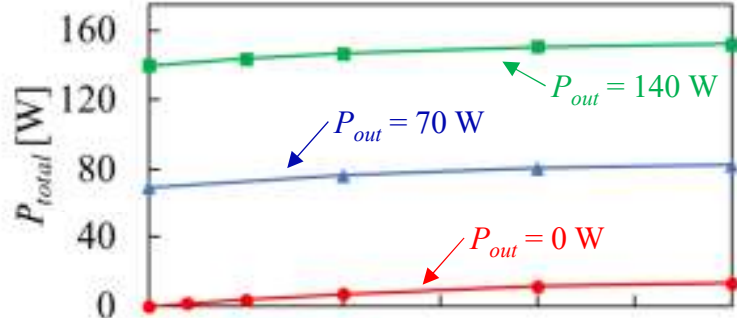
電力変換効率（結果）

昇圧コンバータ単体の
最大電力変換効
率は96%

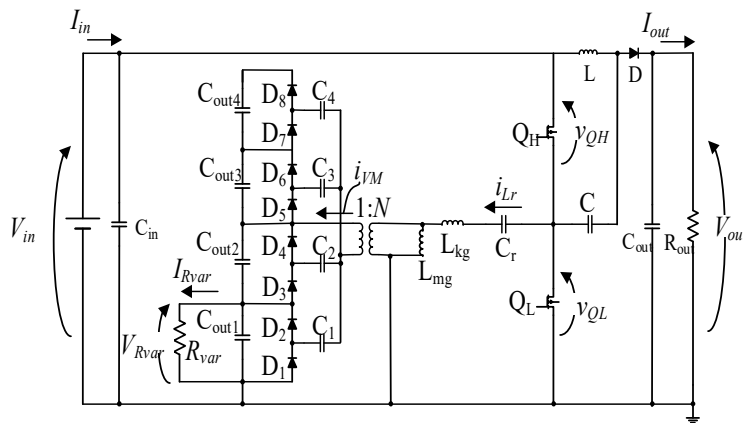
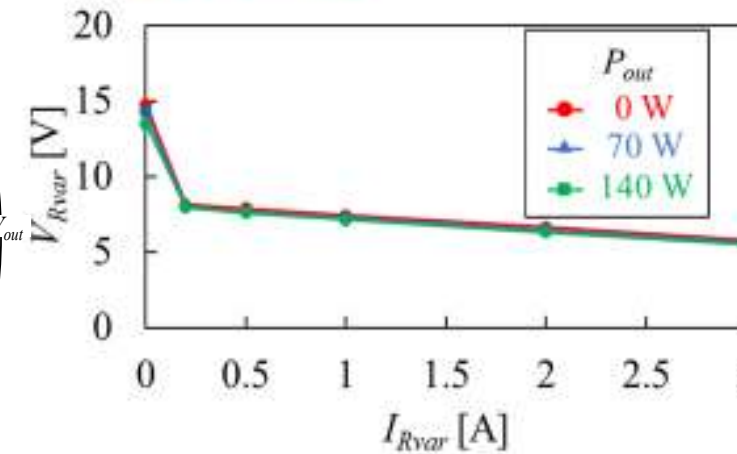


補償器単体の
電力変換効率
は80%以下

補償器と昇圧コンバータ
の出力電力の総和
($P_{total} = P_{Rvar} + P_{out}$)



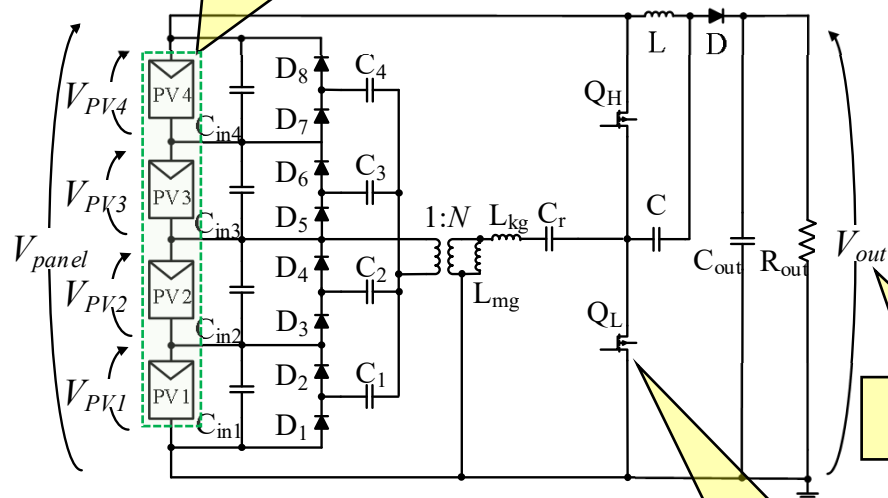
補償器部は昇圧
コンバータ部から
影響を受けない



部分影を模擬した補償実験（条件）



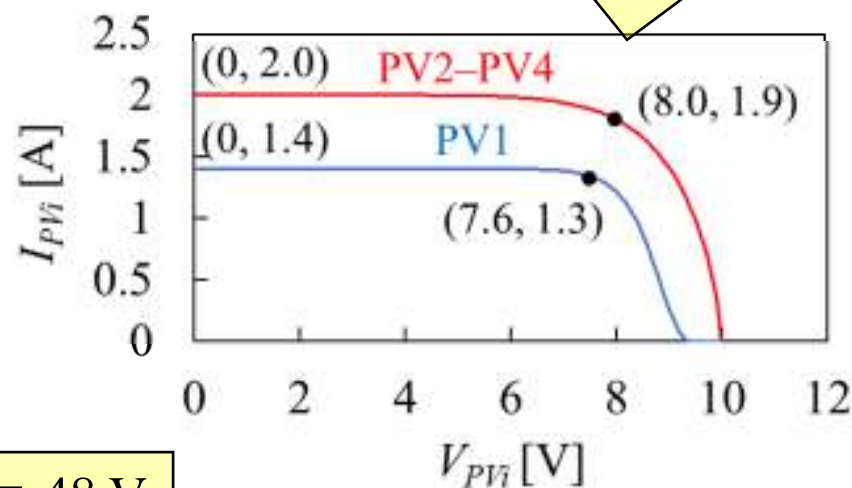
SAS(Solar Array Simulator)
で太陽電池の特性を模擬



$V_{out} = 48 \text{ V}$

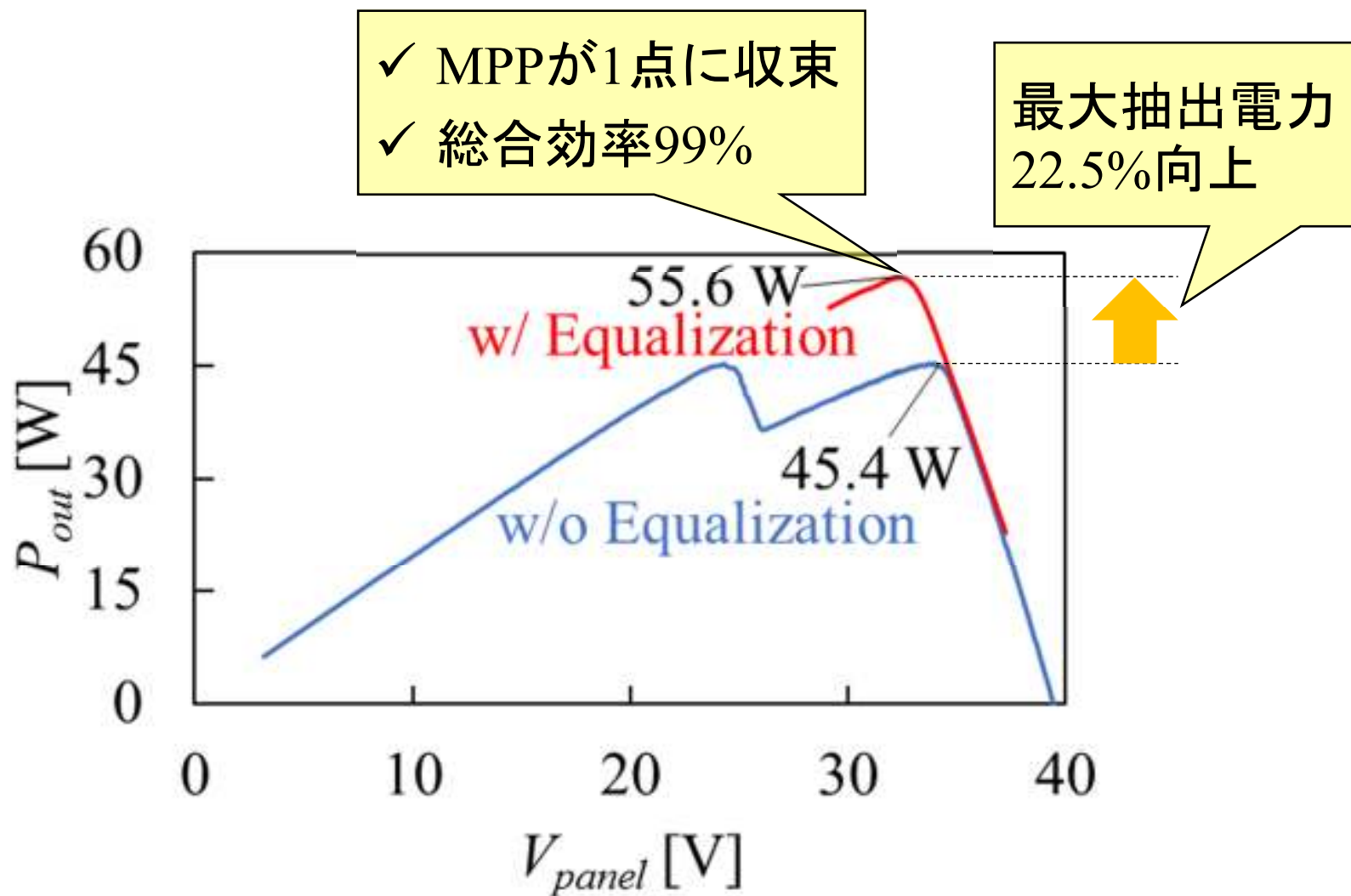
$d = 0.3 \sim 0.7$

理想的な抽出電力は55.7 W



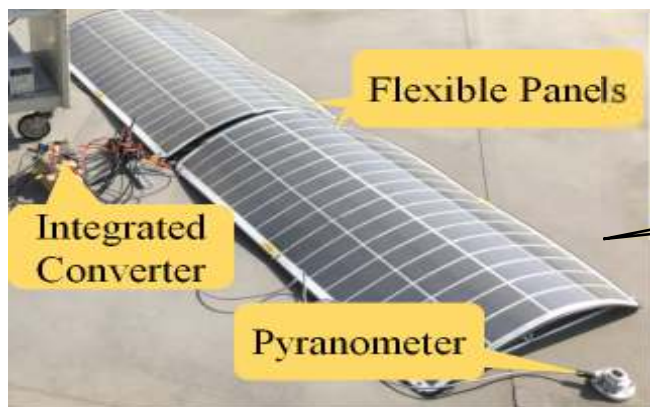
サブストリング特性

部分影を模擬した補償実験（結果）



パネルの P - V 特性

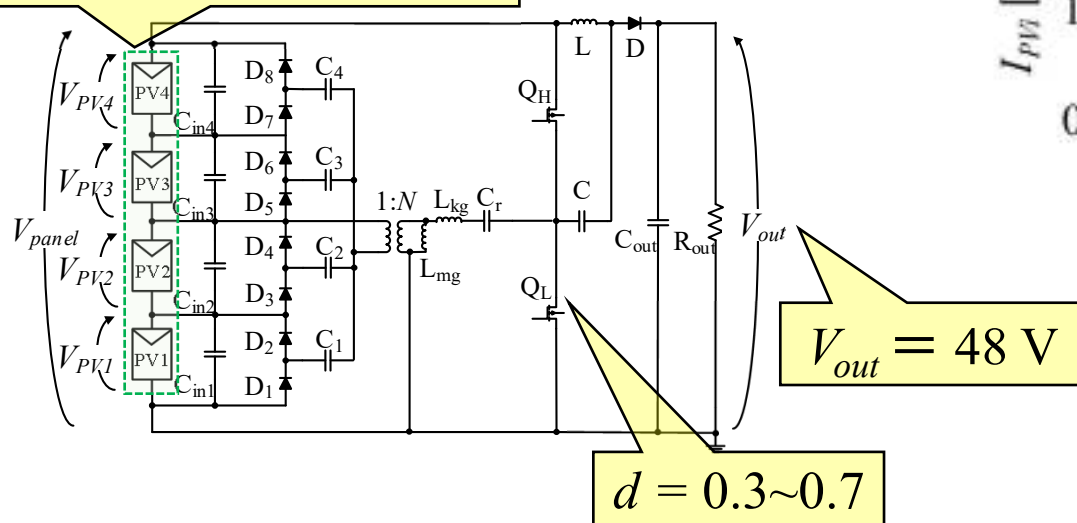
フィールドテスト（条件）



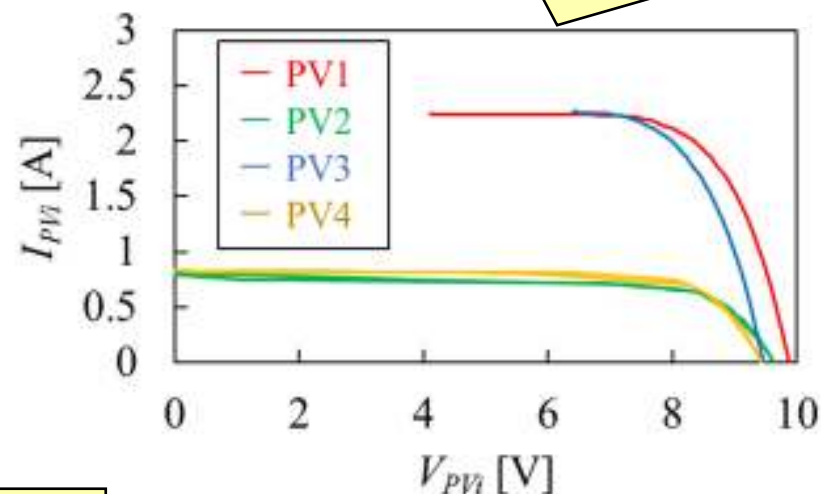
部分影発生時と類似の状況を模擬

実験風景（19/4/23 茨城県日立市 PM15:00）

フレキシブルパネル

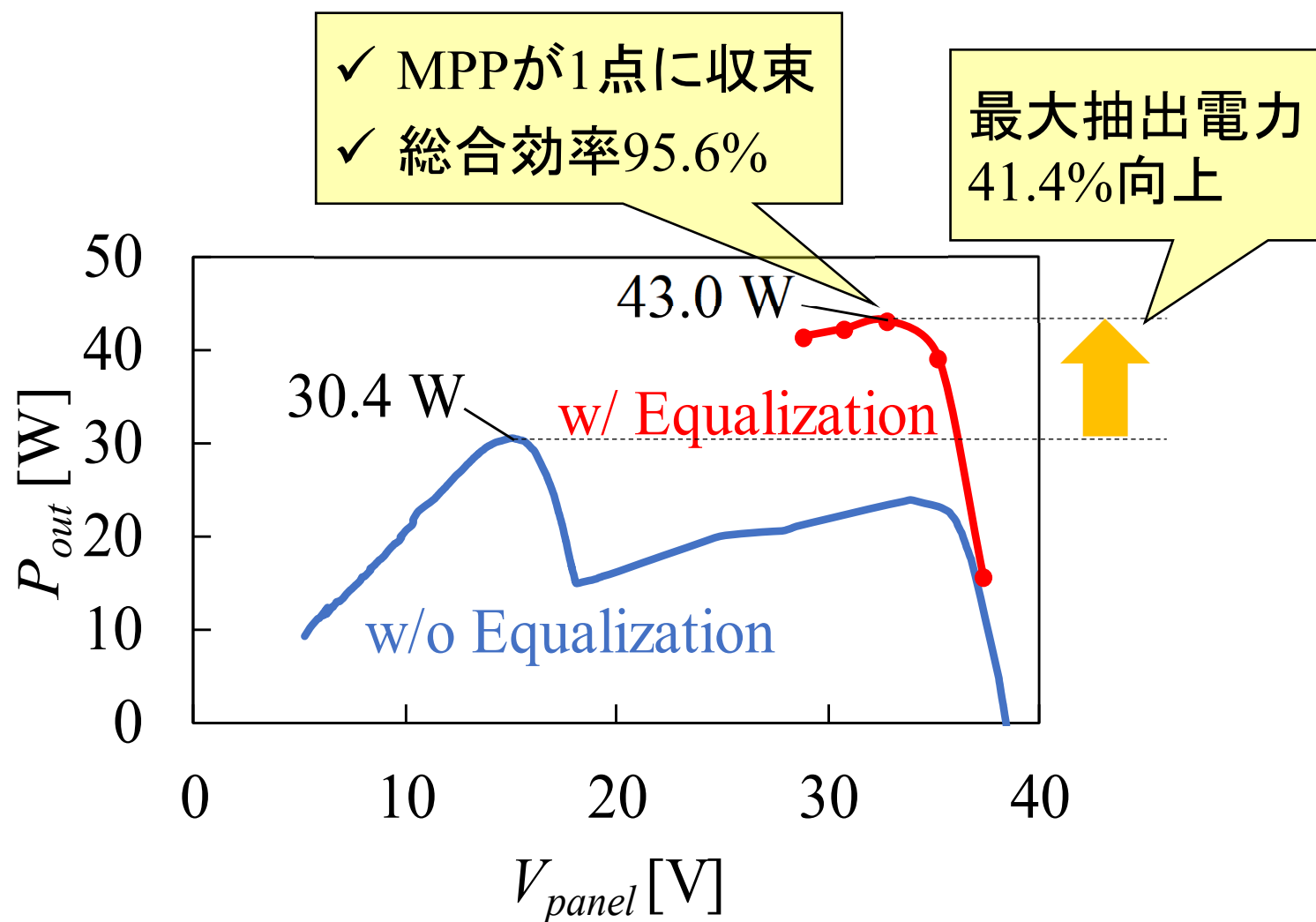


理想的な抽出電力は45 W



サブストリング特性

フィールドテスト（結果）



パネルの $P-V$ 特性

まとめ

- ✓ システムの簡素化及び低コスト化が可能な統合型コンバータを提案
- ✓ 提案回路
 - PWM制御によりパネル電圧を昇圧しつつ、同時に部分影補償を無制御で行うことが可能
 - 部分影補償は d 及び昇圧コンバータ部に影響を受けない
- ✓ 実機検証によりMPPの収束と最大抽出電力の向上を確認