

# 長寿命ACモジュールの開発

折川 幸司

長岡技術科学大学  
産学官連携研究員

(共同実施者)

太陽光発電技術研究組合,  
ポニー電機株式会社, サンケン電気株式会社

## 目次

### 1. はじめに

- 1) 研究背景
- 2) 長寿命ACモジュールの優位性と開発課題

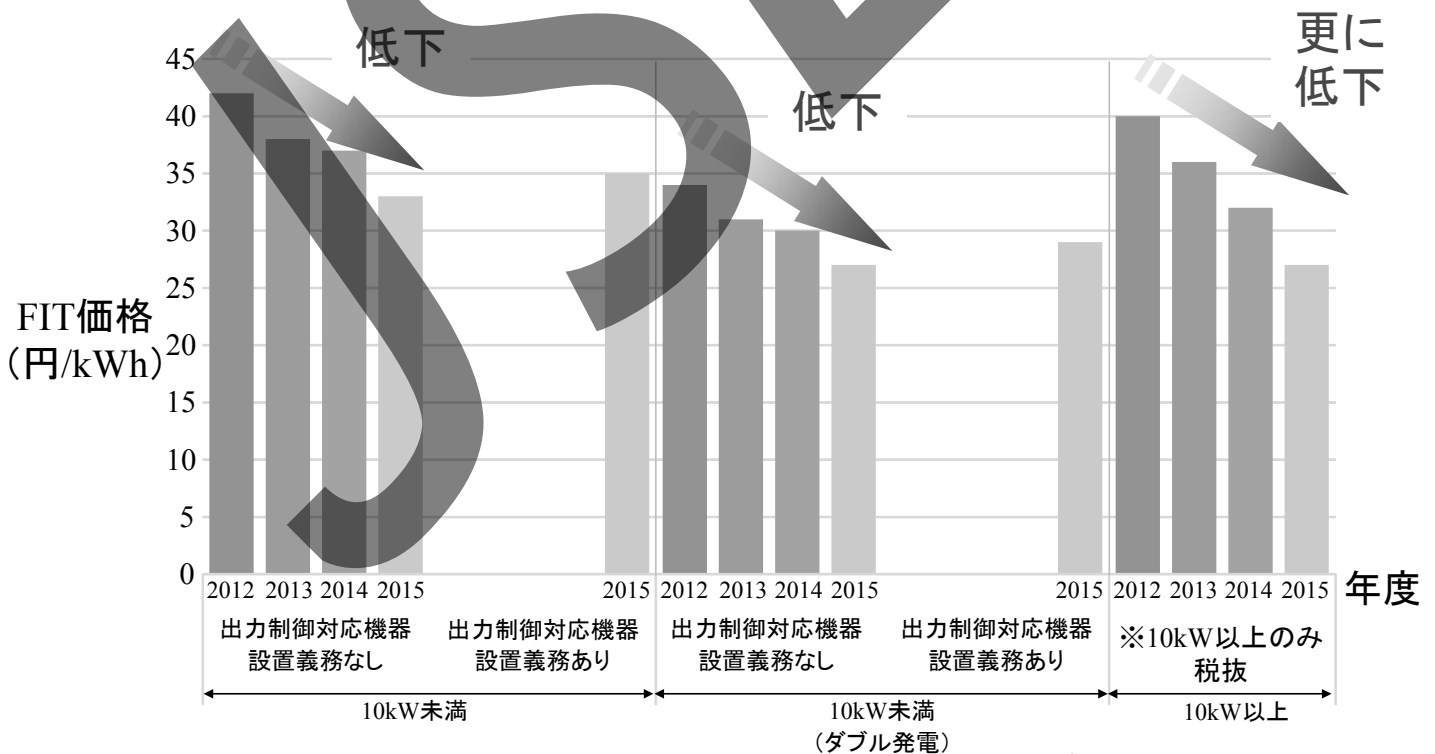
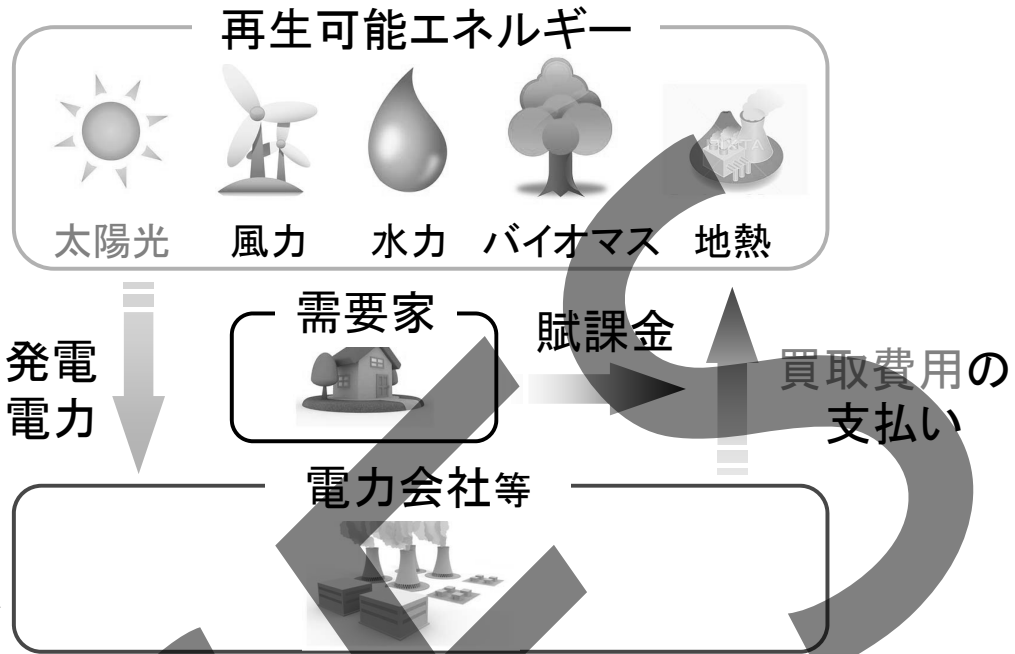
### 2. 活動状況と現在までの成果

- 1) マイクロインバータ
- 2) 系統連系保護装置
- 3) デバイス・実装・通信技術
- 4) システム効率の評価試験, 信頼性試験

### 3. まとめ

- 1) 現在までの成果
- 2) 今後の予定

- 再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff)
  - ・2012年7月1日開始で、現在太陽光発電は約23GWが稼働中
  - ：2015年6月末時点での太陽光発電累計買取
    - ➡ 6,554億円(住宅), 9,995億円(非住宅)

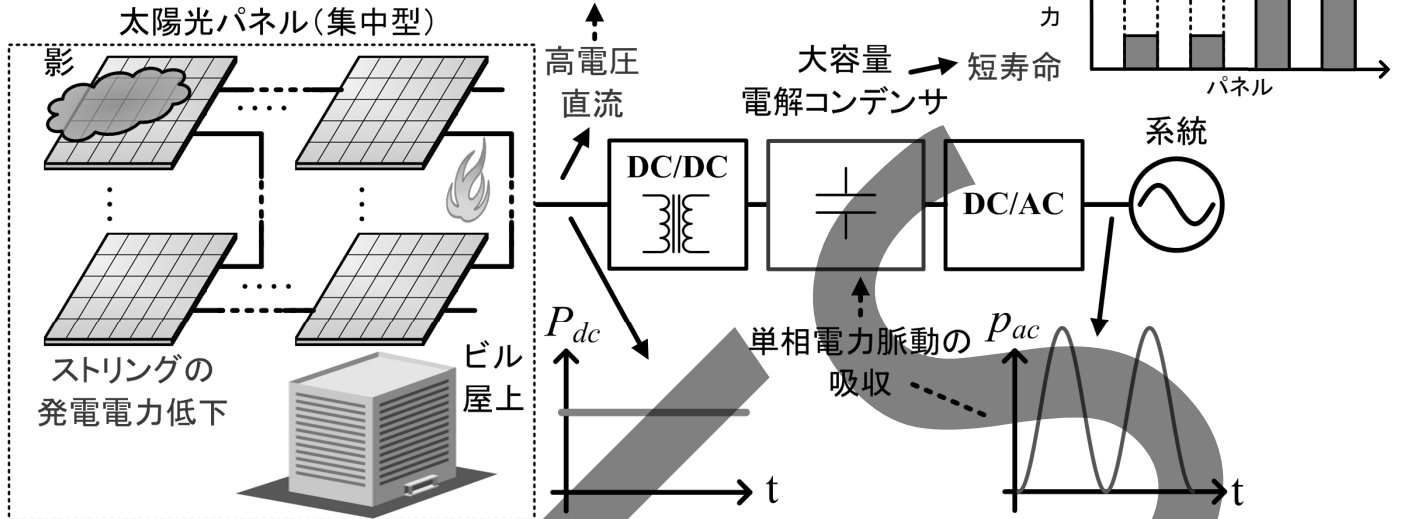


- 現状: メガソーラーや通常PCSで発電して売電 ➡ 利益低下
- 今後: 自家消費(住宅等)&余剰電力は蓄電システムに蓄電
  - ➡ 長寿命・高効率・低電圧交流で安全なACモジュールが有効

➤ 太陽光発電

- CO<sub>2</sub>を排出しない, クリーンな発電
- 従来技術: 集中型パワーコンディショナ(PCS)

- ・ 事故時のアーク放電による火災
- ・ 消防活動上の感電リスク



問題点

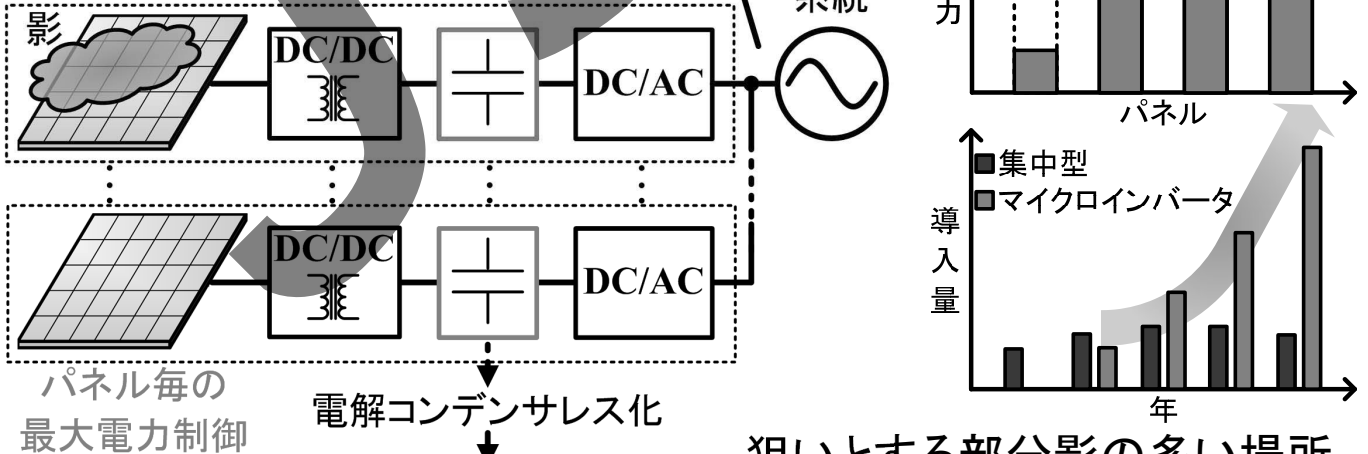
- ・ 部分影によるシステム発電電力低下: 効率低下
- ・ 短寿命, 危険(火災, 感電)

長寿命ACモジュール - マイクロインバータ -

- PCS市場にメガソーラ, 家庭用PCSに次ぎ参入
- : 部分影, 汚れによる発電電力低下を抑制

- ・ 交流ブレーカ遮断: 安全

インバータをパネル毎にACモジュール化



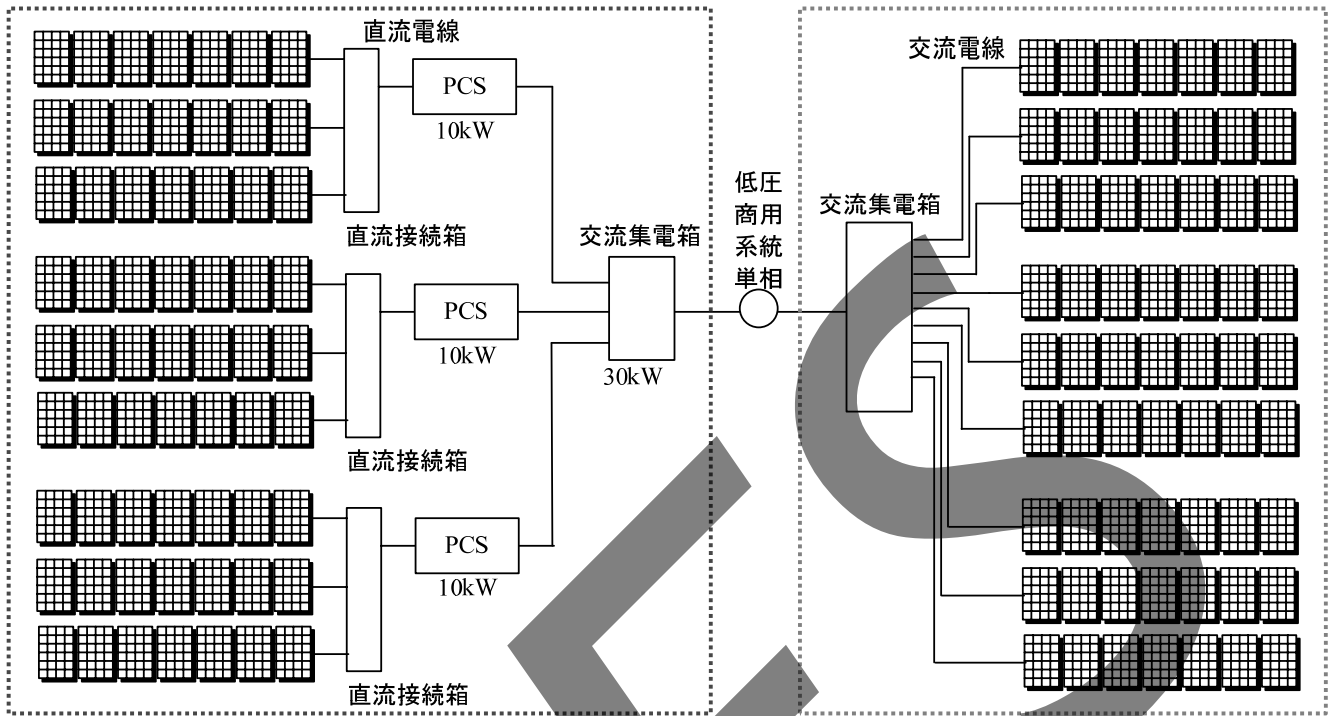
開発課題

- ・ システム効率向上
- ・ 長寿命, 安全
- ・ 狙いとする部分影の多い場所
- ・ 高層ビル間の低層ビル屋上
- ・ 樹木等の障害物が多い山間地
- ・ 積雪, 曇天の多い地域

➤ システム構成

・通常PCS

・ACモジュール

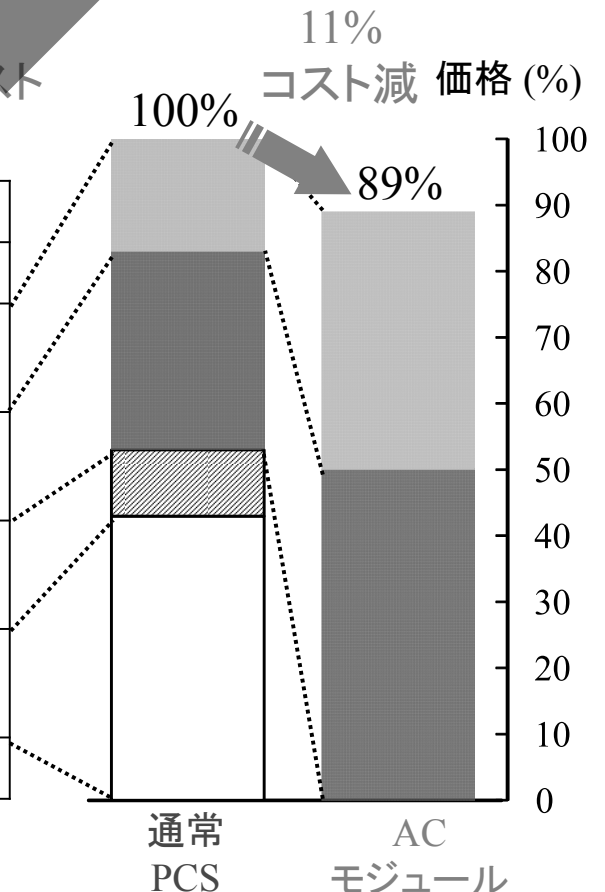


長寿命ACモジュールの優位性

➤ 構成要素と設置費用の比較

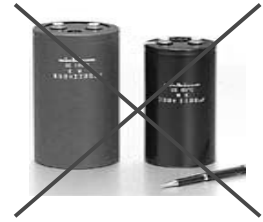
・直流接続箱&配線の削減により低コスト

		通常PCS		ACモジュール	
		数量	価格	数量	価格
交流	④ 配線, 他	1セット	17%	1セット	39%
	③ 集電箱	1個	30%	1個	50%
直流	② 配線	1セット	10%	0セット	0%
	① 接続箱	3個	43%	0個	0%
合計			100%		89%



## ➤ 長寿命化

- ・マイクロインバータの電解コンデンサレス化  
: アクティブパワーデカップリング
- ・制御回路のフォトカプラレス化



## ➤ 系統連系

- ・ACモジュールに対応した現行ガイドラインの規格修正の提案
- ・全機能内蔵型および保護装置別置型の検討

## ➤ 通信技術

- ・統一された通信プロトコルが不整備
- ・煩雑な通信設定
- ・収集するデータの活用方法  
: パネルの故障予知診断アルゴリズムの開発

通信規格統括団体への働きかけ

# 目次

## 1. はじめに

- 1) 研究背景
- 2) 長寿命ACモジュールの優位性と開発課題

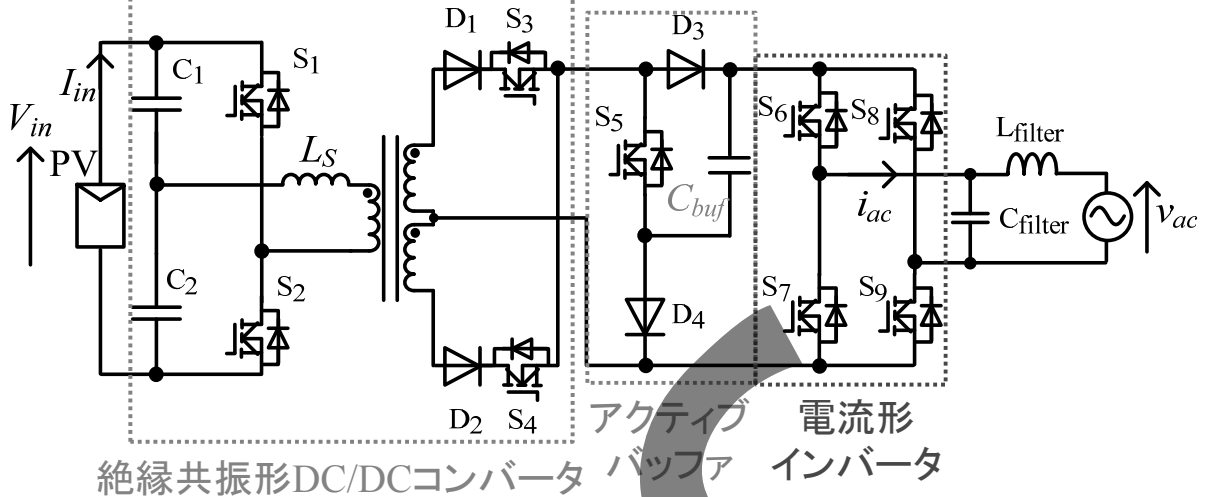
## 2. 活動状況と現在までの成果

- 1) マイクロインバータ
- 2) 系統連系保護装置
- 3) デバイス・実装 通信技術
- 4) システム全体の評価試験, 信頼性試験

## 3. まとめ

- 1) 現在までの成果
- 2) 今後の予定

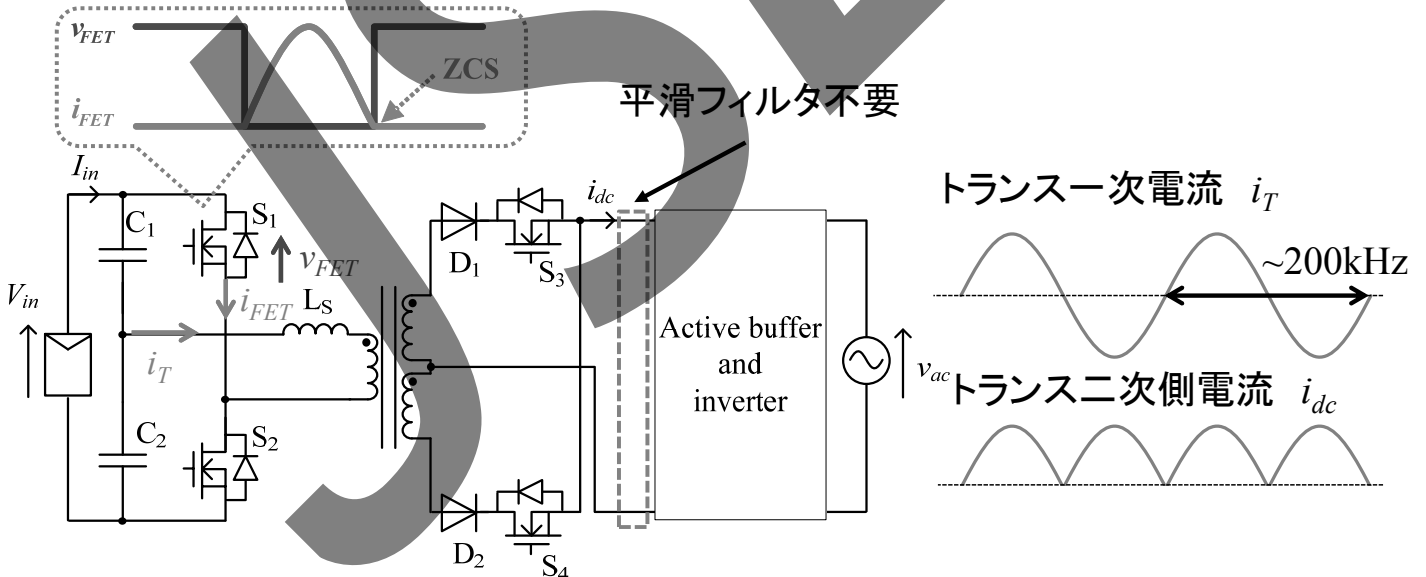
■ 回路構成 (アクティブバッファ方式)



利点

- ・アクティブバッファによるバッファコンデンサの小容量化  
: 電解コンデンサレス化 ⇒ 長寿命
- ・全スイッチのゼロ電流スイッチング化 & 電流形インバータ  
: スwitching損失ゼロ & 系統連系リアクトルレス化 ⇒ 高効率

絶縁共振形DC-DCコンバータの動作

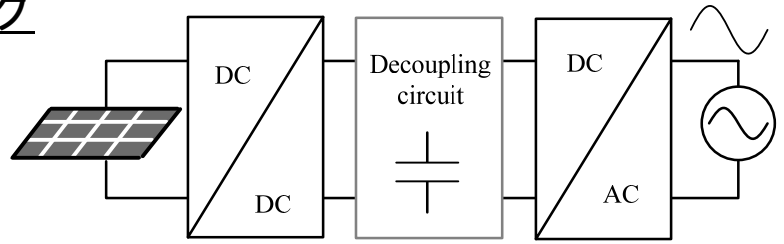


- 一次側ハーフブリッジコンバータ: 共振点周波数でスイッチング  
⇒ ゼロ電流スイッチング (Duty50% オープンループ制御)
- 二次側入力段の平滑フィルタレス化  
⇒ フィルタ損失低減, PDM用のパルス電流を二次側へ出力

■ アクティブパワーデカップリング

・コンデンサのエネルギー

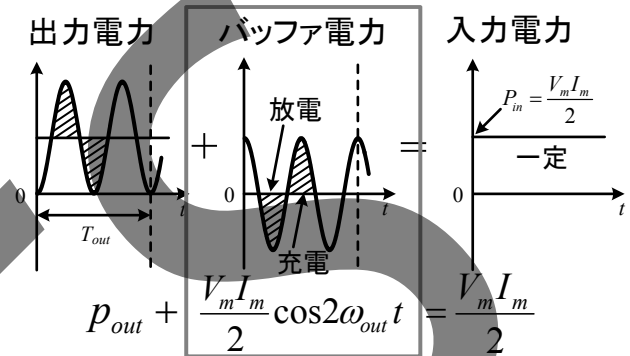
$$E = \frac{1}{2} C (V_{\max}^2 - V_{\min}^2)$$



コンデンサ容量Cを大きくするのではなく、  
電圧変動幅を大きくして電力脈動を補償

小容量キャパシタで  
単相電力脈動を補償

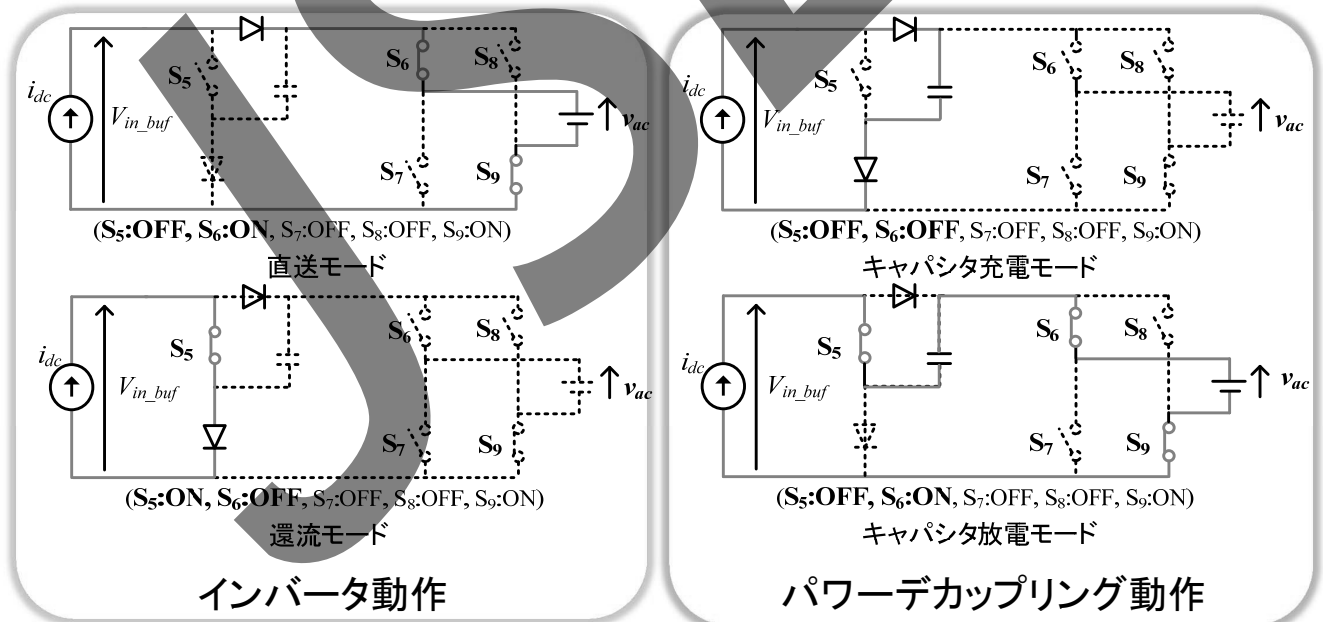
電解コンデンサレス化



■ 課題

追加部品増加 ⇨ 変換器効率の低下, 回路体積増加  
受動素子(リアクトル) 小型化が困難

アクティブバッファとインバータの動作



■ アクティブバッファ内で直流電流を還流(還流モード)

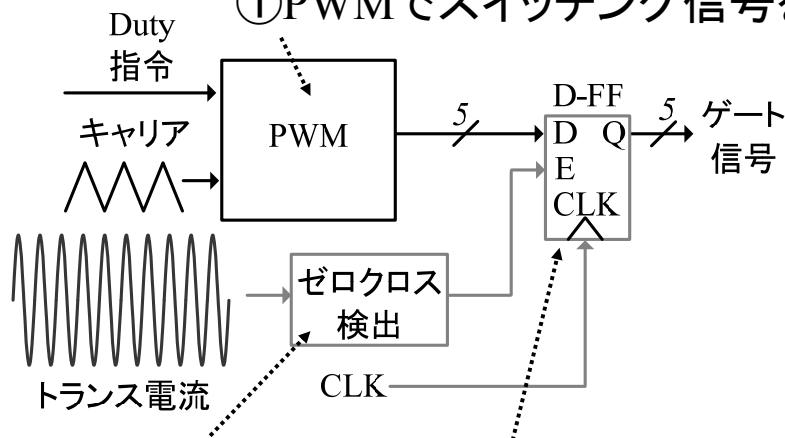
⇨ CSIは逆阻止ダイオード無しで構成可能

■ 単相電力脈動に対してコンデンサの充放電量を制御

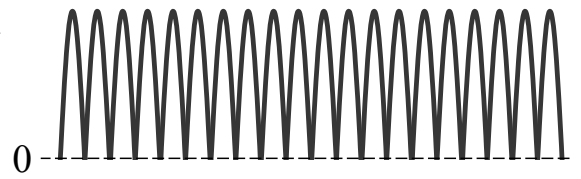
⇨ 単相電力脈動補償用キャパシタの小容量化

➤ PWMに基づくPDM(従来法)

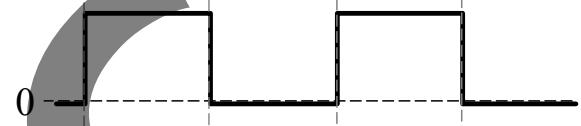
①PWMでスイッチング信号を生成



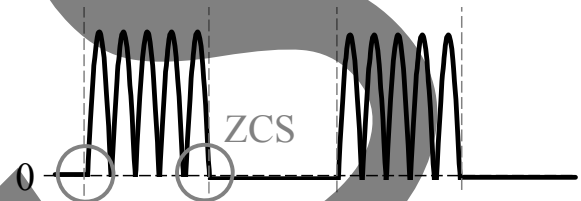
二次側入力電流



二次側回路ゲート信号



二次側回路の各ドレイン電流



②トランス一次側電流のゼロクロスを検出

③トランス二次側スイッチング信号とゼロクロス信号を同期

ゼロ電流スイッチング(ZCS)によりスイッチング損失を低減 → 高効率

PWMに基づくPDM(従来法)による波形ひずみ

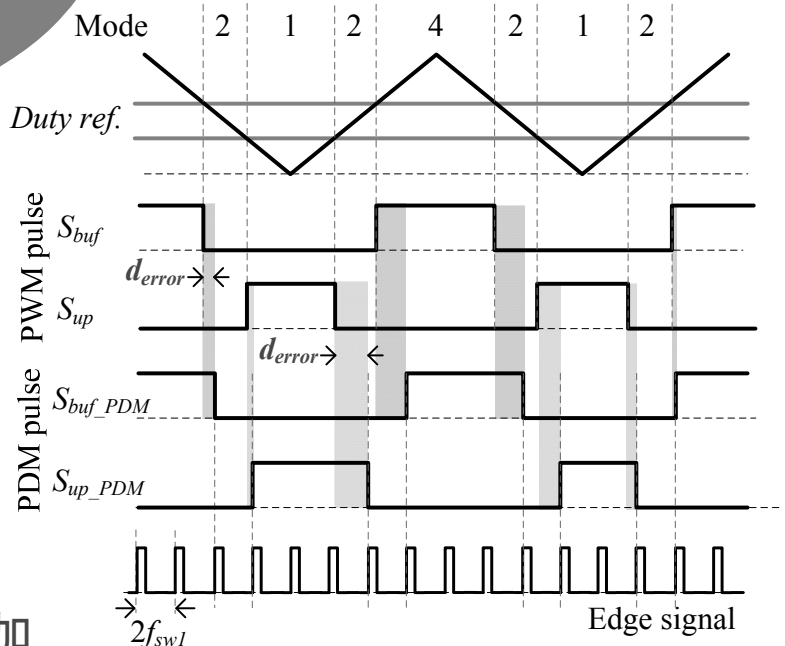
➤ 従来法の特徴

- ・D-FFを用いて強制的にスイッチングパルスを電流ゼロクロスに同期

元のデューティ指令に対して最大1パルス分のデューティ誤差  $d_{error}$  が発生

$d_{error}$   
:一次側-二次側  
スイッチング周波数比に  
反比例して増加

- ・デューティ誤差  
:本質的に波形ひずみを増加



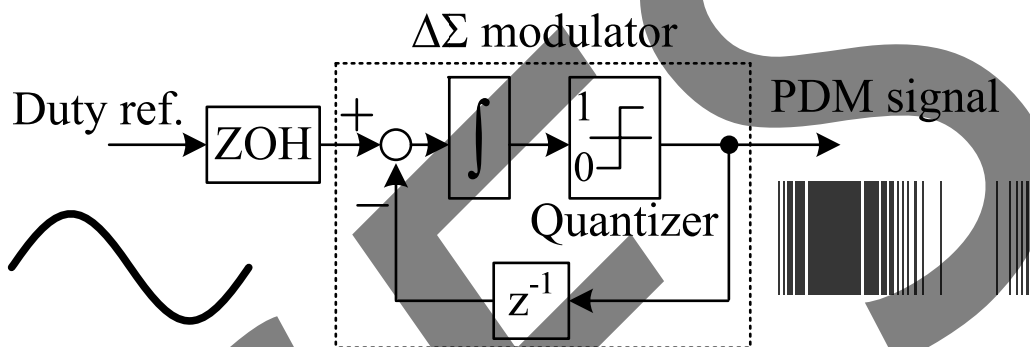


➤ Δ-Σ変調

- ・アナログ信号を量子化器を用いて離散値で表現する手法  
: デューティ指令の大小に基づいて量子化パルスを出力

➤ 提案法

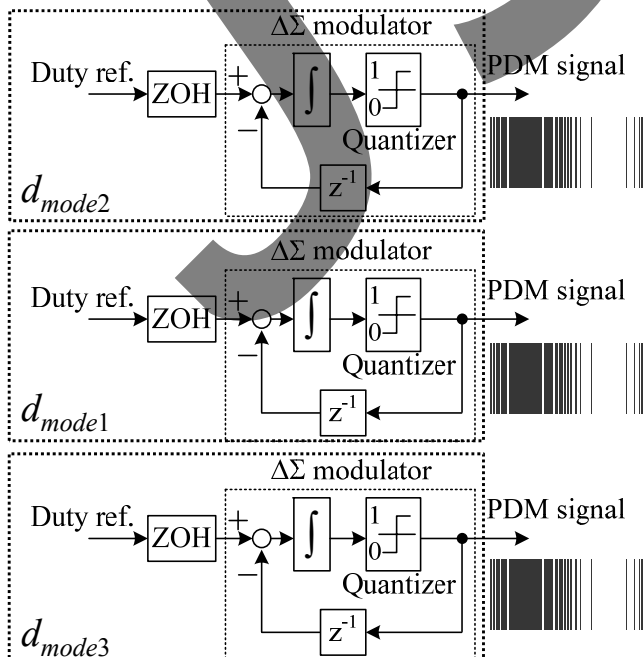
- ・量子化 : ゼロ電流期間に同期(ゼロ電流スイッチング)
- ・キャリアが不要 : 周波数比に起因したひずみの発生なし
- ・量子化器は入力デューティ指令を離散化するのみ  
: 本来のデューティ指令に基づいた出力が可能  
⇒ 波形ひずみの改善



提案法における量子化器出力の非干渉化

➤ 提案法の特徴

- ・3つの各デューティ指令( $d_{mode1}$ ,  $d_{mode2}$ ,  $d_{mode3}$ )に対してΔ-Σ変調を適用
- 変調器が独立の場合, 量子化器出力が独立に発生
- ・複数のモードが同時に発生し, 制御が破綻する可能性有



➤ 各モードを選択的に出力  
: 非干渉化が必要

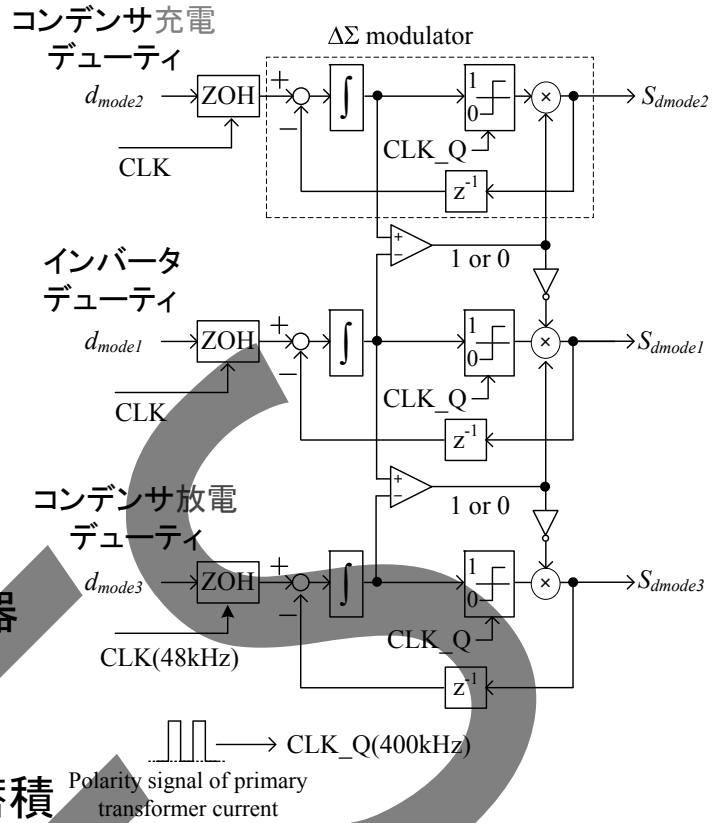
➤ 各デューティ指令

- $d_{mode1}$   
: インバータ
- $d_{mode2}$   
: バッファコンデンサの充電
- $d_{mode3}$   
: バッファコンデンサの放電

➤ 各変調器が同期間に量子化パルスを出力する場合

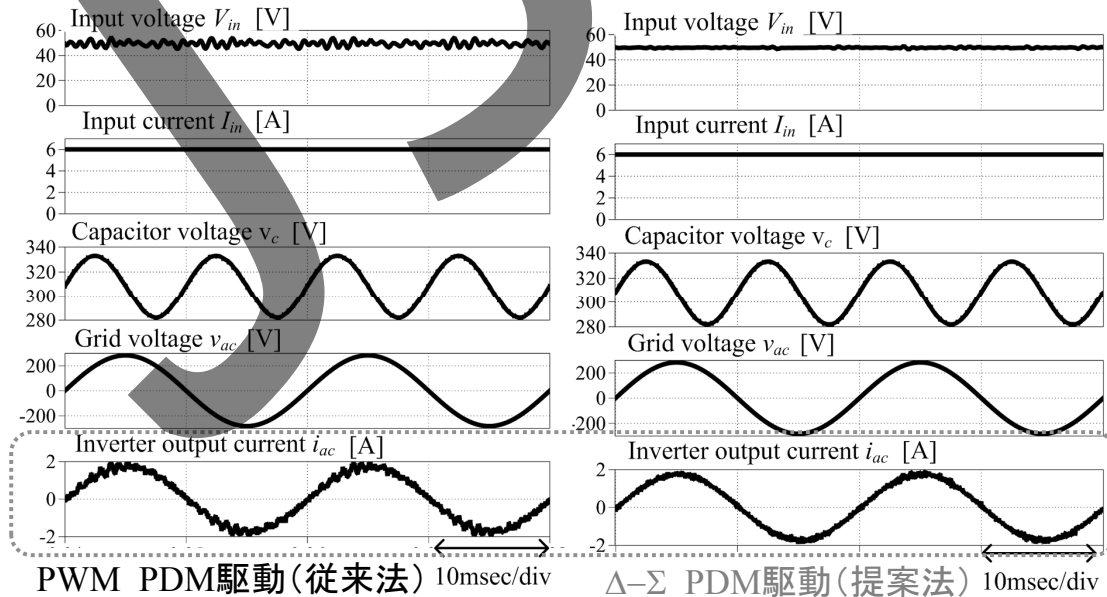
積分器の蓄積誤差が最大の変調器の  
パルスを出力

その他の変調器は量子化誤差を蓄積  
: 次回のモード選択に反映



シミュレーションによる波形ひずみTHD改善効果の検証

出力電力: 300 W      入力電流 : 6 A      入力電圧 : 50 V  
 バッファキャパシタ : 50 μF      系統電圧 : 200 V<sub>rms</sub>      出力フィルタ : 2 kHz

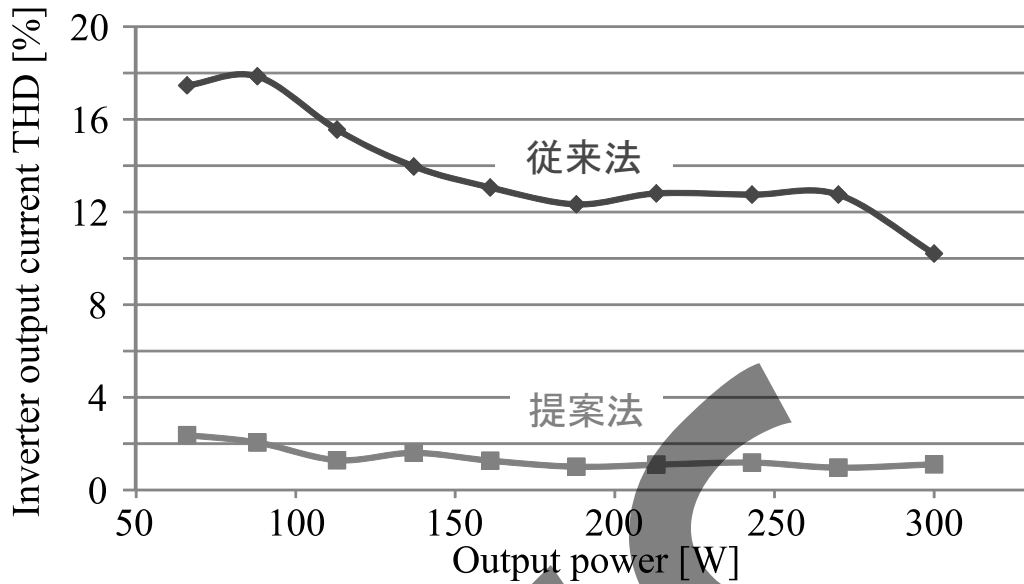


従来法 : 10.2%

提案法 : 1.1%

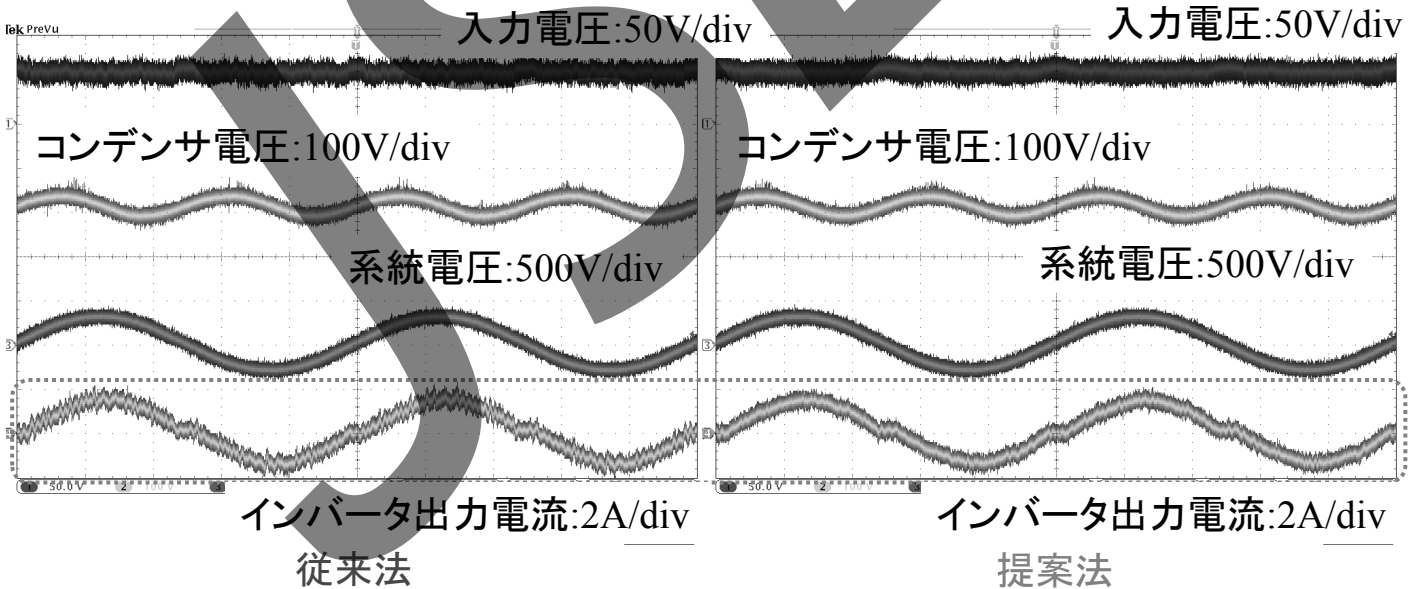
(基本波50Hz, 40次までの高調波で評価)

⇒ 提案法によりインバータ出力電流THDを改善



- 提案法 ⇨ 広範囲でTHD5%以下を達成
- 従来法 ⇨ デューティ誤差+パルス電流の振幅変動が大きく高THD

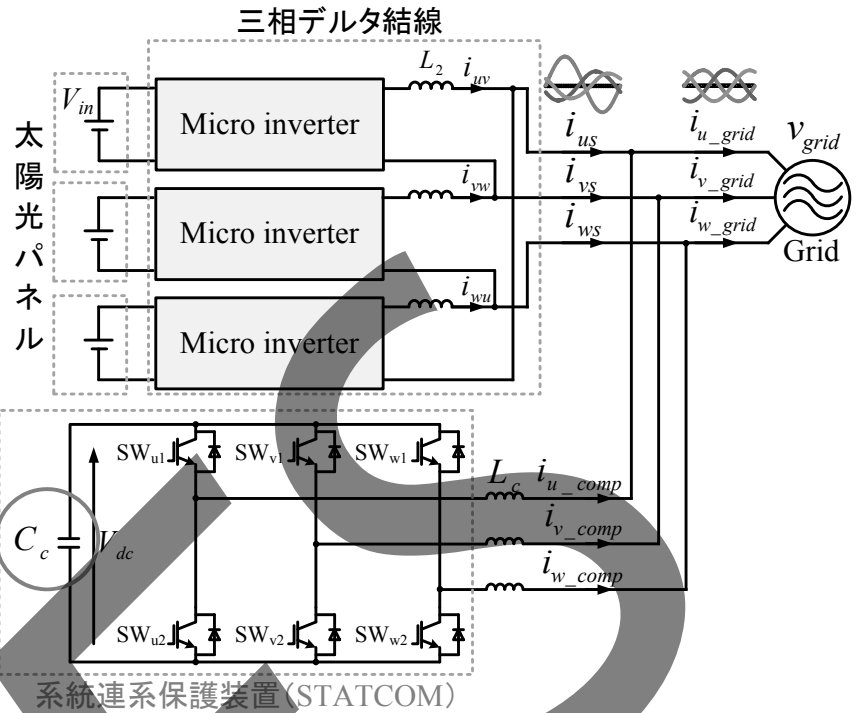
## 試作機による実験結果(出力電力250W)



- 従来法(PWM\_PDM) : 波形が振動的(ひずみあり)
- 提案法( $\Delta$ - $\Sigma$ \_PDM) : 波形のひずみが改善  
 ゼロクロス点のひずみ  
 : 極性反転時のモード判定に改善の余地あり

- 系統との連系点に一括設置を想定し、保護装置回路を設計  
: 以下の系統連系機能を実装予定

- ・マイクロインバータの電流不平衡補償  
: 系統電流の平衡化
- ・FRT
- ・単独運転検出
- ・電解コンデンサの交換可能な構造設計



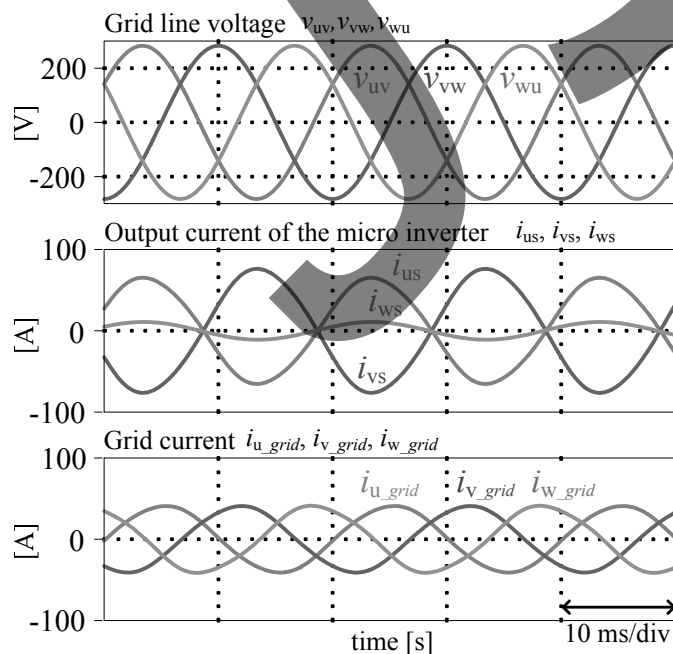
- これまでの検討
- ・保護装置にSTATCOMを用いたときの
  - 不平衡補償性能
  - コンデンサ容量設計

シミュレーションによる系統連系保護装置の動作検証

■ 動作波形(2相不平衡を想定)

条件

$v_{grid} = 200 \text{ V}_{rms}$   $i_{uv} = 50 \text{ A}_{rms}$   $i_{vw}, i_{wu} = 0 \text{ A}$   $C_c = 2200 \mu\text{F}$   $f_{sw} = 40 \text{ kHz}$



・電流不平衡率

$$\alpha = \frac{I_n}{I_p} \times 100\%$$

$I_n$ : 逆相電流  
 $I_p$ : 正相電流

※平衡時:  $\alpha = 0$

	不平衡率
補償前※1	98.9%
補償後※2	0.6%

※1: 補償前 = マイクロインバータ電流

※2: 補償後 = 系統電流

補償電流により不平衡率98%改善

1. はじめに

- 1) 研究背景
- 2) 長寿命ACモジュールの優位性と開発課題

2. 活動状況と現在までの成果

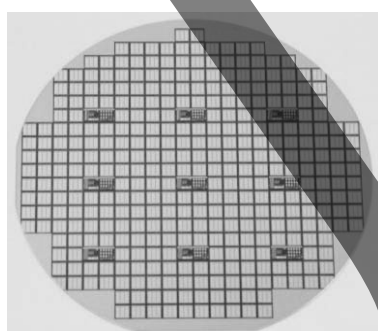
- 1) マイクロインバータ
- 2) 系統連系保護装置
- 3) デバイス・実装・通信技術
- 4) システム効率の評価試験, 信頼性試験

3. まとめ

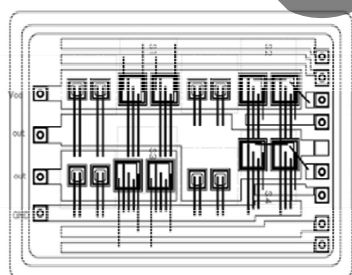
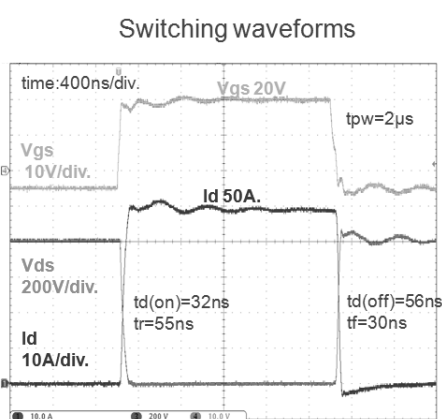
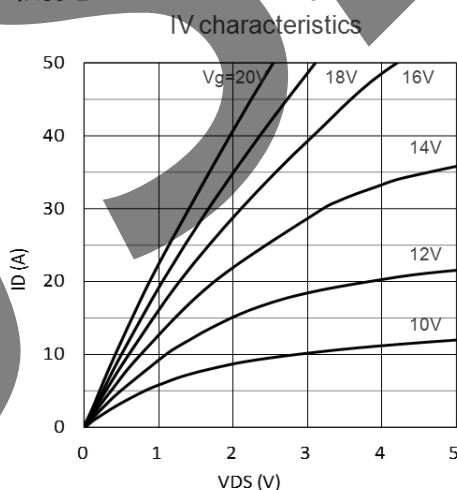
- 1) 現在までの成果
- 2) 今後の予定

デバイス技術の研究開発

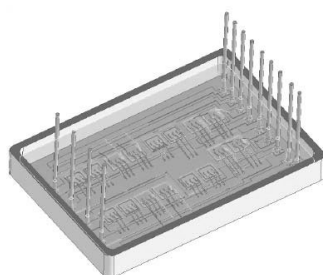
■ 1200V 低抵抗SiC素子開発とモジュール化



1200V/50A  
MOSFET 4inch wafer

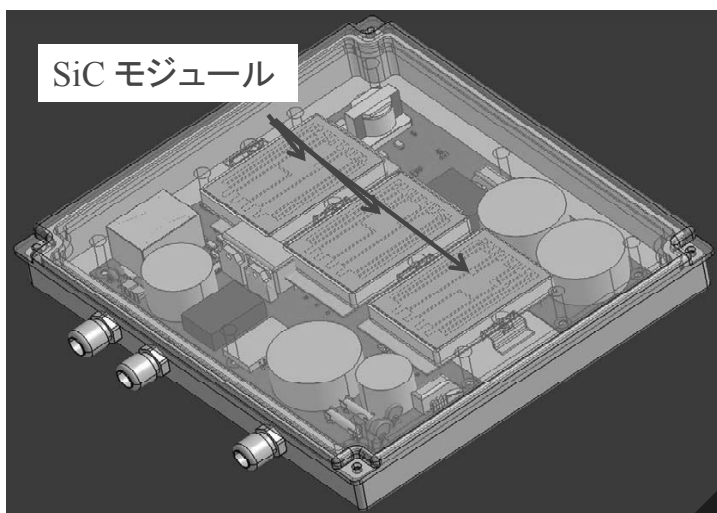


SiC MOSFET/SBD 100Aフルブリッジモジュール

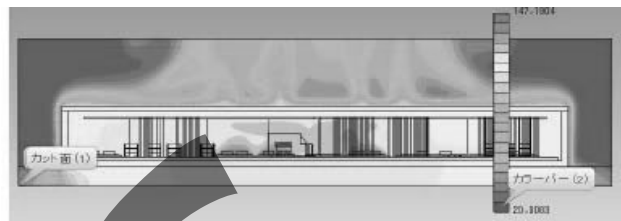


- 1次モジュール  
: 50Aチップで構成
- 2次モジュール  
: 小型化と素子の低抵抗化を検討

## ■密閉式／長期信頼性を目指した実装技術の開発



長寿命ACM

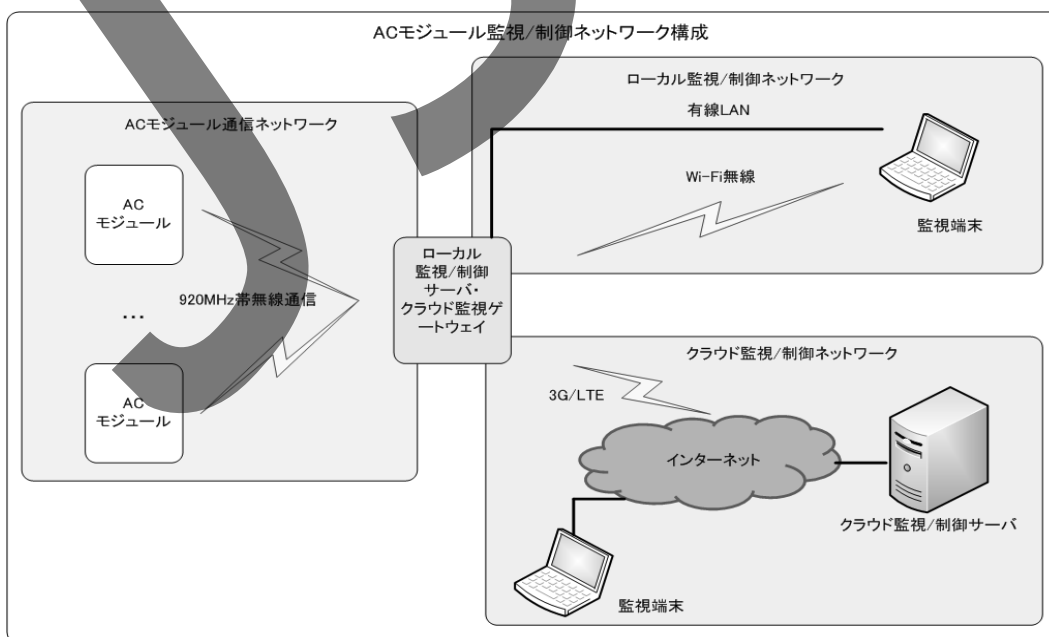


長寿命ACMの放熱SIM

- ・金属筐体にSiCパワーモジュールを接触させ、放熱特性を評価中
- ・密閉構造にて信頼性30年の確保を検討する

## ■ACモジュール通信方式

- ・ローカルサーバを設置し、監視ゲートウェイ構成
- ・有線、無線兼用の階層化構成



- ・ユーザインターフェースモジュール詳細設計中
- ・各ブロックソフトウェア制作及び、総合デバッグを進める

## 1. はじめに

- 1) 研究背景
- 2) 長寿命ACモジュールの優位性と開発課題

## 2. 活動状況と現在までの成果

- 1) マイクロインバータ
- 2) 系統連系保護装置
- 3) デバイス・実装・通信技術
- 4) システム効率の評価試験, 信頼性試験

## 3. まとめ

- 1) 現在までの成果
- 2) 今後の予定

## システム効率の評価試験

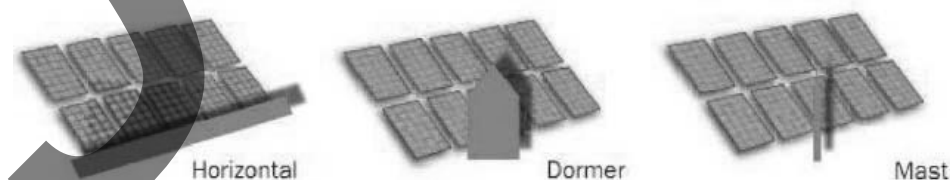
## ■システム効率10%向上を実証する評価試験

## ・太陽光発電シミュレーションおよび実証試験

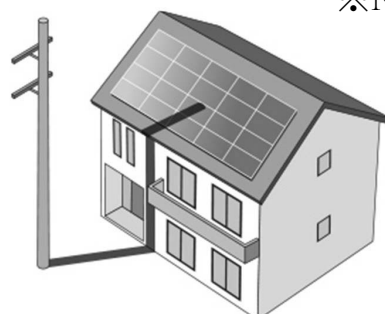
: 隣家や電柱による日陰の発電量への影響を従来システムと比較

⇒ モジュール1枚毎の

最大電力点追従制御(MPPT)の効果を検証



※NRELホームページより引用



## ■25～30年の長寿命を実証する評価試験

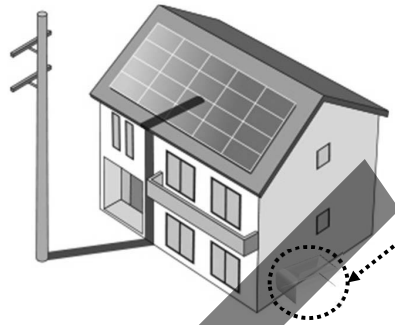
### ・寿命の考え方

: 無保守

もしくは

: 低寿命部品のみ保守で部品交換の容易な構造設計

⇒ 太陽光パネル裏ではなくメンテナンスの容易な場所に設置する  
保護装置にまとめて実装



### ・耐環境試験

: 既存のパワーコンディショナや太陽電池モジュール向けの  
IEC規格等を基本とし、改良

## 目次

### 1. はじめに

1) 研究背景

2) 長寿命ACモジュールの優位性と開発課題

### 2. 活動状況と現在までの成果

1) マイクロインバータ

2) システム連系保護装置

3) デバイス・実装・通信技術

4) システム全体の評価試験, 信頼性試験

### 3. まとめ

1) 現在までの成果

2) 今後の予定



- マイクロインバータ
  - ・アクティブパワーデカップリングによる電解コンデンサレス化
- 系統連系保護装置
  - ・保護装置別置型を検討
  - ：発電アンバランス補償と系統連系機能を実現
- デバイス・実装・通信技術
  - ・1200V耐圧SiC素子開発とモジュール化
  - ：1次モジュールを50Aチップで構成
  - ・密閉構造の筐体にて放熱シミュレーションを行い、信頼性を評価
  - ・有線，無線兼用の階層化構成を用いる通信方式を検討
- システム効率の評価試験，信頼性試験
  - ・モジュール1枚毎のMPPTの効果を検証
  - ・既存のIEC規格等を基本とし，改良

- 全機能内蔵型ACモジュールの検討
  - ・系統連系のデータ蓄積と規格化への取り組み
  - ・単独運転検出機能，FRT機能の実現
- デバイス・実装・通信技術
  - ・1200V耐圧SiCの小型化と低オン抵抗化
  - ・放熱シミュレーションに基づく筐体構造の決定
- システム効率の評価試験，信頼性試験
  - ・太陽光発電シミュレーション結果に基づいて，実証試験を計画
  - ・耐環境試験の計画

長寿命ACモジュールを普及拡大させるための  
課題解決へ向けて取り組む

本開発は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
(NEDO)の委託業務として推進している