

2019年度成果報告会

プログラムNo.P1-3

太陽光発電システム効率向上・維持管理プロジェクト  
太陽光発電システム維持管理技術の開発

# 次世代長寿命・高効率 パワーコンディショナの開発

岡本 光央

田淵電機株式会社

太陽光発電技術研究組合

田淵電機株式会社、日本ケミコン株式会社

第一電機株式会社、TDK株式会社

2019年10月17日

問い合わせ先  
太陽光発電技術研究組合  
E-mail: pvtec-jimu@pvtec.or.jp  
TEL: 03-6205-8460

## 1. 期間

開始： 2014年9月  
終了： 2019年2月

## 2. 最終目標

- ①長寿命・高効率パワーコンディショナを開発し、長寿命試験を通し、設計寿命30年相当を実証する。
- ②パワーコンディショナの長期信頼性試験方法の素案を作成する。
- ③変換効率で96%以上、設計寿命30年とする住宅用パワーコンディショナを開発、維持管理費の30%削減を実証する。
- ④上記開発技術を導入した場合の発電コスト試算を行って、kWh当り1円以上の低減効果があることを確認する。

## 3. 成果概要

(1)2016年度までに開発した長寿命化技術を搭載したPCSを試作し、実証試験を行った。

- ・設計寿命30年対応の要素技術を開発した(2016年度まで)。  
(長寿命コンデンサ、長寿命リレー、高性能トランスコア、リアクトルコア、密閉筐体)
- ・これら技術を搭載したPCSを試作するとともに、実証試験を行った。
- ・コストアップを8,000円/kW以下とした。  
維持管理コストは74%の削減、発電コストは2.6円/kWhの削減が見込まれる。

(2)試作機の実証試験を行い、以下を実証、検証した。

- ・寿命30年相当の長寿命、高効率PCSであることを実証した。
- ・維持管理コストを30%以上削減すると共に、発電コスト1円/kWh以上削減する次世代PCSを開発し、開発技術の有効性を実証した。
- ・PCSの長期信頼性を客観的に判断可能な試験方法の素案(試験方法、判定基準)を作成した。
- ・更なる高効率化を行い、低損失化による温度低減を図り長寿命化を図った。

# 次世代長寿命・高効率PCS開発のアプローチ

## 設計寿命30年のPCSの開発方針

市場で長期間運転していたPCSの解析








設計寿命30年を確保するための開発方針を決定(下表)し、これに基づき開発に取り組んだ。

項目	開発方針
①筐体	屋外使用を前提として、密閉構造で放熱性に優れた筐体で、30年間の対候性を確保する。
②部品/材料	長寿命部品/長寿命材料を開発する。⇒電解コンデンサ、リレー、半田 高効率部品/材料を採用(開発)する。⇒パワーデバイス、磁性体材料
③筐体内温度上昇	使用環境温度が10℃下がると寿命が倍に延びるアレニウスの10℃2倍則を踏まえ、効率向上、放熱設計の最適化を図り、現行PCSの使用環境温度より10℃下げることを目指す。
④コスト優先	システム発電コストの低減に寄与しない、高コストな効率向上策は採用しない。

## PCSの動作環境の明確化

太陽光発電システムとして1年間の運転を行い、PCS内部部品の温度上昇(実働 $\Delta T$ )をモニタした。  
⇒計測結果を設計寿命30年のPCSの設計にフィードバックした。

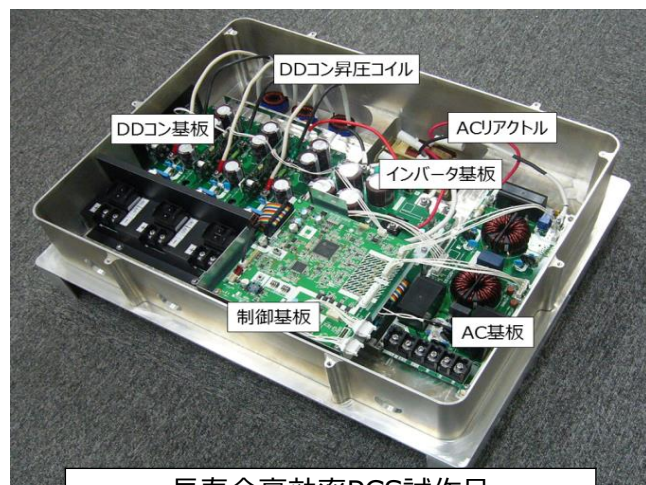
# 開発スケジュール(5年)

項 目		2014年 (H26年)	2015年 (H27年)	2016年 (H28年)	2017年 (H29年)	2018年 (H30年)	目 標
①長寿命回路設計							・屋外設置 ・設計寿命30年
②材料 開発	コンデンサ リレー						・長寿命材料 ・長寿命材料、 構造 ・高効率材料
	磁性材料						
③実証試験							・信頼性評価
④次世代PCS開発 コンソーシアム 運営委員会							・研究進捗管理 ・試験方法提案 ・連系課題検討

- ・2016年度までに次世代PCSを試作した。
- ・最終年度(2018年度)までに長期信頼性(設計寿命30年)を実証した。

# 開発成果(1) 長寿命回路の開発(1次試作機)

- ・設計寿命30年を想定し、下表の対応策を織り込んだPCSを試作し、性能評価を行った。
- ・筐体内部の温度上昇は、「ファン有」で、現行PCSより $\Delta T$ で10℃低減することを確認した。
- ・量産を想定したコストを試算し、トランスレス方式で8,000円以下のコストアップとなった。



長寿命高効率PCS試作品

## PCS試作品での長寿命対策リスト

検討項目		対応策
(1)長寿命・高効率部品、 材料の採用		・(主回路)長寿命アルミ電解コンデンサの開発【日本ケミコン】 ・(主回路)長寿命リレーの開発【第一電機】 ・(主回路)高効率磁性体材料【TDK】 ・(制御電源・制御回路) ①導電性高分子アルミ固体電解コンデンサ ②導電性高分子ハイブリッドアルミ電解コンデンサ ・(筐体)鋼板⇒アルミ
(2)市場回収 PCSからの 改善	塵埃・湿気	・筐体の密閉化IP55相当【田淵電機】
	半田クラック	・プリント基板の半田クラックを確認、長寿命半田に切替え【田淵電機】
(3)現行生産品からの改善		・部品点数削減【田淵電機】 ・接続箇所の低減【田淵電機】

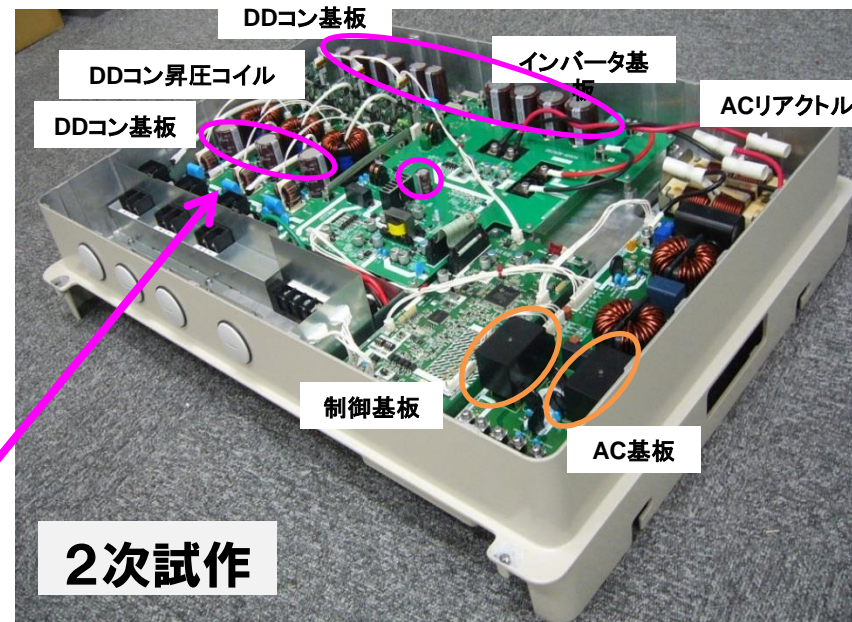
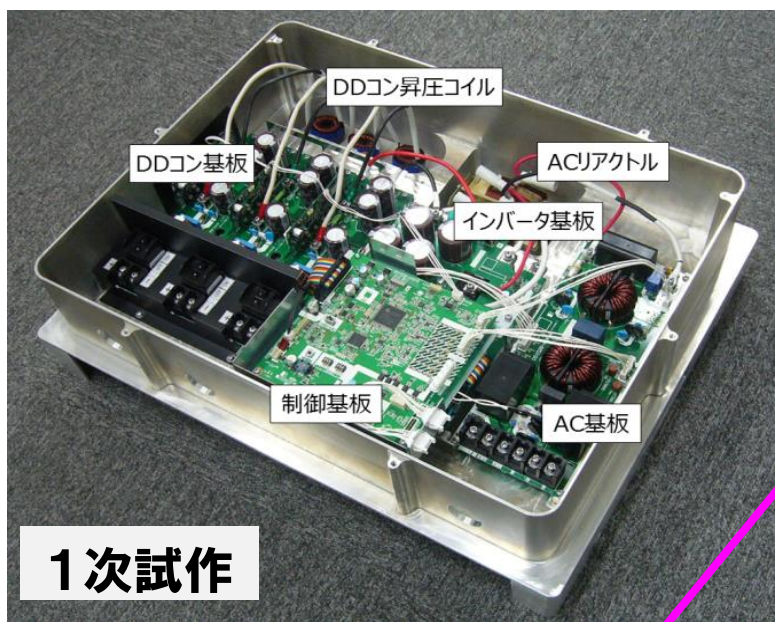
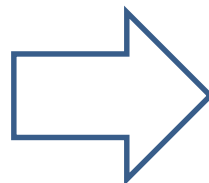
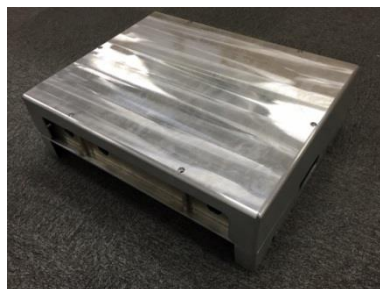
### \*IP55の保護の程度

- ・機器の正常な作動に支障をきたしたり、安全を損なう程の量の粉塵が内部に侵入しない。
- ・いかなる方向からの水の直接噴流によっても有害な影響を受けない



## 開発成果(2) 2次試作機の開発、製造

1次試作品をベースに、2階建て構造の回避、長寿命部品の搭載などの改良を加えた2次試作機を開発、製造した。



ピンク円:長寿命電解コンデンサ(14個)  
その他に、長寿命チップ電解コンデンサ(33個)使用(日本ケミコン製)

橙円:長寿命リレー  
(第一電機製)

# 開発成果(3) 実証試験、加速劣化試験

寿命評価に先立ち、最低限の試験として現行IECに準拠した加速試験を実施

加速試験は、IEC62093 Ed2を基本に推進した。  
NEDO2次試作機と比較のため現行PCSを同時に評価した。

NEDO2次試作機と  
量産PCSともにパス



図1. 試験体設置状況1



NEDO  
2次試作機

現行PCS

## ■ 寸法

1次試作:W620×H490×D190[mm]

2次試作:W750×H550×D160[mm]

◎対象機器のカテゴリは、Category2 を想定

◎評価条件は、以下を想定

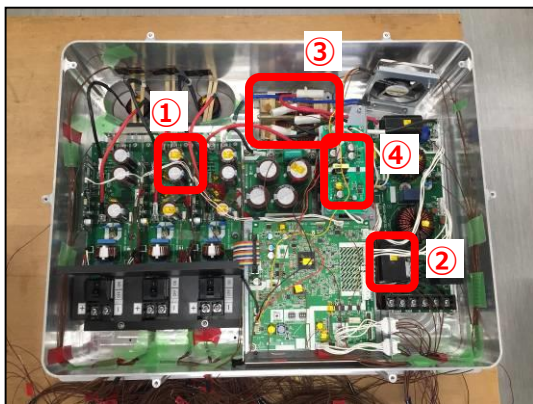
- ①Thermal Cycling Test  
400Cycles :-40℃ to +65℃
- ②Dry Heat Test  
1000h at +65℃
- ③Damp Heat Test  
1000h at +65℃、85%RH
- ④Humidity freeze test  
10cycles from -40℃ to +65℃、85%RH
- ⑤Rain Intrusion Test  
1h of perpendicular water spray  
15min of water spray at 45deg tilt from each side
- ⑥Wind driven rain test(試験装置が無く、今回は未実施)  
30min of rainfall exposure per side at 15cm/h rainfall rate and 31 m/s wind velocity.



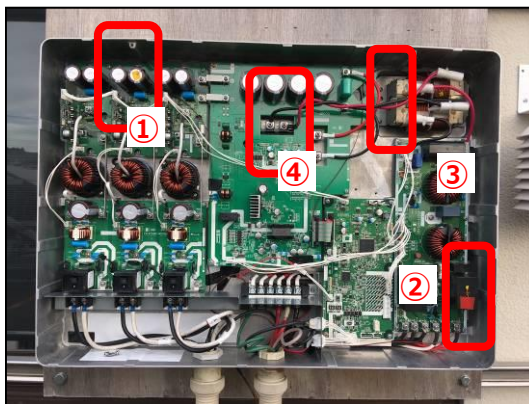
# 開発成果(4) フィールド試験(動作環境計測)

加速試験に加え、2次試作品のフィールド試験も行った。  
⇒ PCS内部の各部品の動作環境(温度)計測した。

試作PCS(1次試作)



試作PCS(2次試作)



## 2次試作品のポイント

1次試作品ではリアクトルの温度上昇( $\Delta T=70^{\circ}\text{C}$ )でファンレスにできなかった。  
そこで、2次試作品は、ファンレスを前提とし、放熱設計の最適化を図った。

## ■ 部品温度計測箇所

- ①電解コンデンサ(C3060)
- ②リレー(RY5001)
- ③ACリアクトル
- ④IPM

## 各部品の平均最高温度 $\Delta T$ (計測結果)

### ①電解コンデンサ

	2月	5月	8月	11月
1次試作機(2017年)	36.9℃	36.8℃	34.7℃	33.9℃
2次試作機(2018年)	35.4℃	36.4℃	36.5℃	31.3℃

### ②リレー

	2月	5月	8月	11月
1次試作機(2017年)	41.5℃	38.8℃	38.3℃	40.0℃
2次試作機(2018年)	39.5℃	38.4℃	38.2℃	38.0℃

### ③ACリアクトル

	2月	5月	8月	11月
1次試作機(2017年)	102.5℃	74.7℃	67.0℃	56.7℃
2次試作機(2018年)	41.1℃	45.9℃	46.5℃	35.4℃

### ④IPM

	2月	5月	8月	11月
1次試作機(2017年)	31.8℃	33.3℃	32.6℃	29.1℃
2次試作機(2018年)	39.1℃	43.2℃	43.1℃	34.5℃

# 開発成果(5) 寿命評価(1)

破壊試験により寿命律速要素を抽出するとともに、市場回収品の分析や各種加速試験の結果をもとに、寿命を推定した。

(フィールド試験に基づく)PCSの動作環境

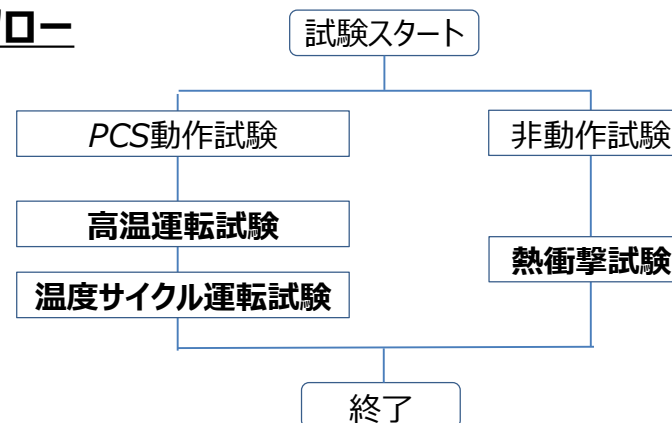
PCS動作環境	1年間	30年間
累積設置時間	8,760時間	262,800時間
累積運転時間	3,920時間	117,600時間
累積出力電力量	7,889kWh	236,670kWh
1時間当たり出力電力量	2.0kWh	2.0kWh
PCS定格出力に対する比率 (定格5.5kW)	36%	36%
運転時平均 $\Delta T$	21.6°C	21.6°C
運転時平均気温	17.2°C	17.2°C
運転時平均部品温度	38.8°C	38.8°C
起動/停止回数	365回	10,950回
累積停止時間	4,840時間	145,200時間
停止時平均 $\Delta T$	2.6°C	2.6°C
停止時平均気温	13.0°C	13.0°C
停止時平均部品温度	15.6°C	15.6°C



## 長期信頼性評価試験

試験項目	試験方法
高温試験 (PCS:動作)	90°C、3.4ヶ月間運転し異常の無いこと。 【試験期間:3.4ヶ月】
温度サイクル試験 (PCS:動作)	-40°C⇒+85°C、高温・低温の保持時間、及び移行時間1.5hの1サイクル6hを230サイクル行う。試験中、機器を定格運転、異常が無いこと。 【試験期間:58日(1.9ヶ月)】
熱衝撃試験 (基板単位:非動作)	-55°C～+125°C、750サイクル 【試験期間:32日(1ヶ月)】

## 試験フロー



# 開発成果(6) 寿命評価(2)

寿命30年以上の実証を完了した。

## 高温試験：30年分終了

試験機関(TUVジャパン)で実施した下記の2つの試験では7.12(=3.55+3.57)年分の試験行なったことになり、30年に不足する分を補う試験を当社(栃木)で実施した(90℃高温試験 2.7か月)。

TUV試験項目、及び評価条件	試験期間	加速モデル	加速係数	運転期間
①Damp Heat Test 【高温高湿試験】 1024h at +65℃、85%RH	2017.12.18 -2018.01.31	アレニウス モデル	13.6	3.55年
②Dry Heat Test 【高温試験】 1030h at 65℃	2018.03.08 -2018.04.20	アレニウス モデル	13.6	3.57年

当社での試験項目	加速モデル	加速係数	試験時間	運転期間
高温試験 (+90℃)	アレニウスモデル	48.8	2.7ヶ月	24.2年 (TUVジャパン7.12年と合わせて31.3年)

## 温度サイクル試験：30年分終了

試験機関(TUVジャパン)での下記の2つの試験で36.3(=35.5+0.8)年分の試験を行なったことになる。

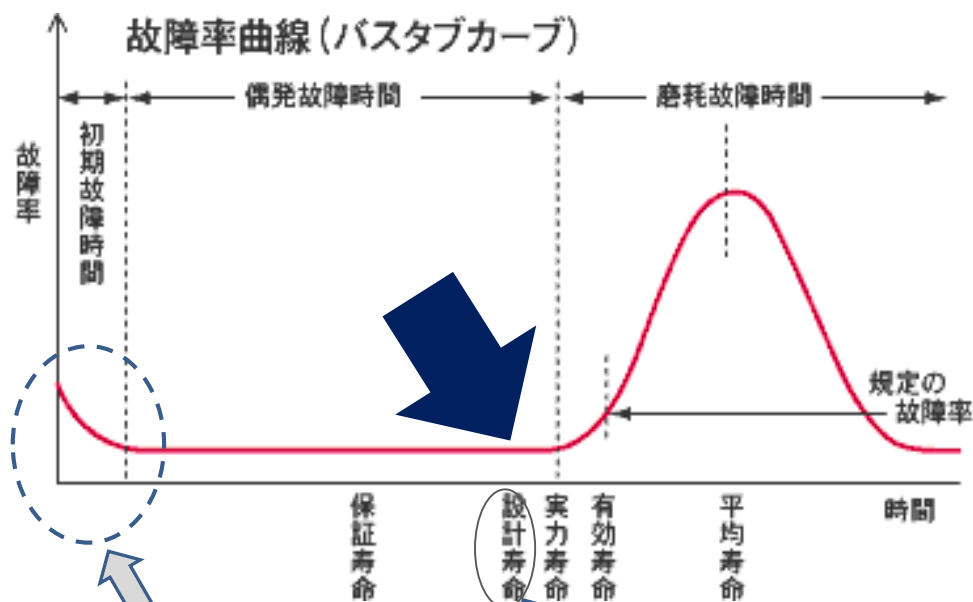
試験項目、及び評価条件	試験期間	加速モデル	加速係数	運転期間
①Thermal Cycling Test 【温度サイクル試験】 400Cycles:-40℃ to +65℃	2018.05.11 -2018.06.24	アイリング モデル	32.4	35.5年
②Humidity freeze test 【湿度凍結試験】 10cycles from -40℃ to +65℃、 85%RH	2018.07.05 -2018.07.15	アイリング モデル	32.4	0.8年

## 熱衝撃試験：30年分終了

基板単位で、-55～+125℃、750サイクルが30年に相当する。2000サイクルまで行ない、問題ないことを確認した。

# 開発成果(7) 寿命評価(3)

長寿命(設計寿命30年)のPCSは、バスタブカーブの立下りと立上りまでの評価をクリアする必要がある。



長寿命  
PCS設計

長寿命  
部品・材料

+

## 初期故障を防ぐ試験

- ①高温運転試験
- ②高温高湿運転試験
- ③温度サイクル試験
- ④結露試験
- ⑤低温運転試験
- ⑥雷サージ試験
- ⑦散水試験
- ⑧温度上昇試験
- ⑨フィールド試験

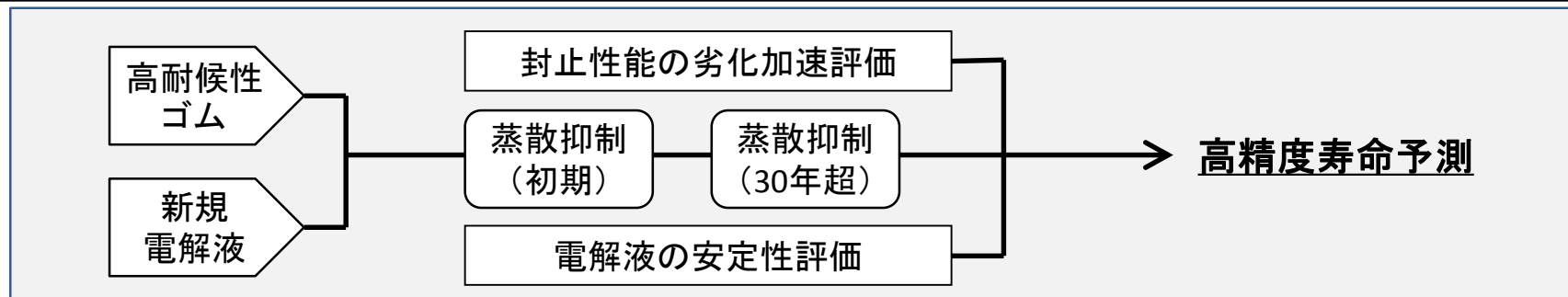
## 加速試験による 長期信頼性確認

- ①高温運転試験
- ②温度サイクル試験
- ③熱衝撃試験

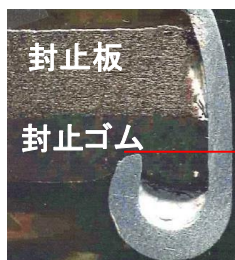
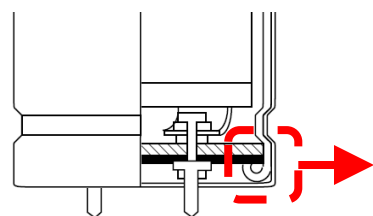
長寿命PCS  
の実現

# 開発成果(8) 長寿命コンデンサの開発

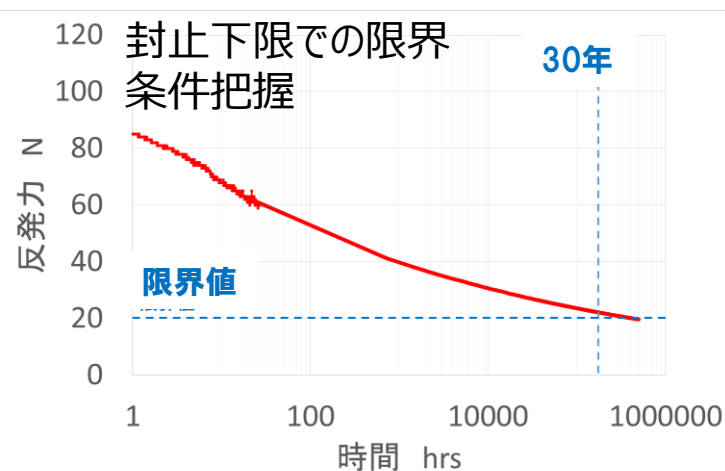
封止性能/電解液の劣化加速評価を実施、寿命30年を満足する結果が得られた。



## 【封止性能評価】



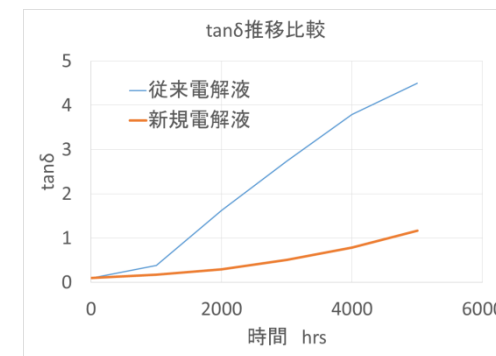
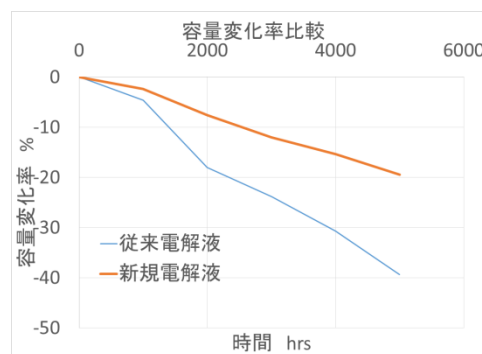
ゴム反発力



## 【新規電解液】

105℃過電圧試験

性能の安定性を確認した。



- ・封止性能/電解液の劣化加速評価を実施した結果、寿命30年を満足する結果が得られた。
- ・事業化に向け電解液の量産導入手配を完了した。
- ・対象拡大のため、適用分野の検討を開始した。



# 開発成果(9) 維持管理費/発電コストの削減(1)

維持管理費の74%削減を実証した（目標：30%削減）。

	項目		システム価格(千円/kW)		備考
			従来システム	次世代PCS	
初期コスト	太陽電池モジュール		189		
	パワーコンディショナ		37	45	次世代PCSは、8千円/kWコストUP
	その他BOS		23		
	設置工事費		59		
	合計(設備投入時)		308	316	
維持管理費	維持管理費 20年間	10年目のパワコン交換	40	-	200千円/5kWとした
		定期点検(4年に1回)	20	20	20年間で20千円/5kWX5回とした
		維持管理費合計(20年間)	60	20	
		維持管理費削減率		67%*	$(60-20)/60=0.67$
		合計(20年間運転)	368	336	
	維持管理費 30年間	10年毎のパワコン交換	80	-	
		定期点検(4年に1回)	28	28	
		維持管理費合計(30年間)	108	28	
		<b>維持管理費削減率</b>		<b>74%*</b>	$(108-28)/108=0.74$
		合計(30年間運転)	416	344	

\*維持管理費に次世代PCSのコストアップ分を入れても、目標を大幅に達成

## 開発成果(10) 維持管理費/発電コストの削減(2)

発電コストは、2.64 円/kWhの低減効果があることを確認した（目標：1 円/kWh以上）。

項目		従来システム	次世代PCS
20年間運転	20年間の運転に必要な費用(千円)	368	336
	20年間の総発電量(kWh)	20,000	20,423**
	発電コスト(円/kWh)	18.40	16.45
	次世代PCSの効果		1.95円/kWh削減
30年間運転	30年間の運転に必要な費用(千円)	416	344
	30年間の総発電量(kWh)	30,000	30,635**
	発電コスト(円/kWh)	13.87	11.23円
	次世代PCSの効果		2.64円/kWh削減

＊ ＊次世代PCSのシステム効率が2％向上  
(効率が、94.5%→96.5%に改善したとして算出)

(1) 2016年度までに開発した長寿命化技術を搭載したPCSを試作し、実証試験を行った。

- ・設計寿命30年対応の要素技術を開発した（2016年度まで）。  
（長寿命コンデンサ、長寿命リレー、高性能トランスコア、リアクトルコア、密閉筐体）
- ・これら技術を搭載したPCSを試作するとともに、実証試験を行った。
- ・コストアップを8,000円/kW以下とした。維持管理コストは74%の削減、発電コストは2.6円/kWhの削減が見込まれる。

(2) 試作機の実証試験を行い、以下を実証、検証した。

- ・寿命30年相当の長寿命、高効率PCSであることを実証した。
- ・維持管理コストを30%以上削減すると共に、発電コスト1円/kWh以上削減する次世代PCSを開発し、開発技術の有効性を実証した。
- ・PCSの長期信頼性を客観的に判断可能な試験方法の素案（試験方法、判定基準）を作成した。
- ・更なる高効率化を行い、低損失化による温度低減を図り長寿命化を図った。