



グリーンMEMSセンサ端末・ネットワークシステムを実現する共通基盤技術

メンテナンスフリーなグリーンセンサ ネットワーク端末を実現する 超小型高効率自立電源システムの開発

ローム(株)
奥 良彰



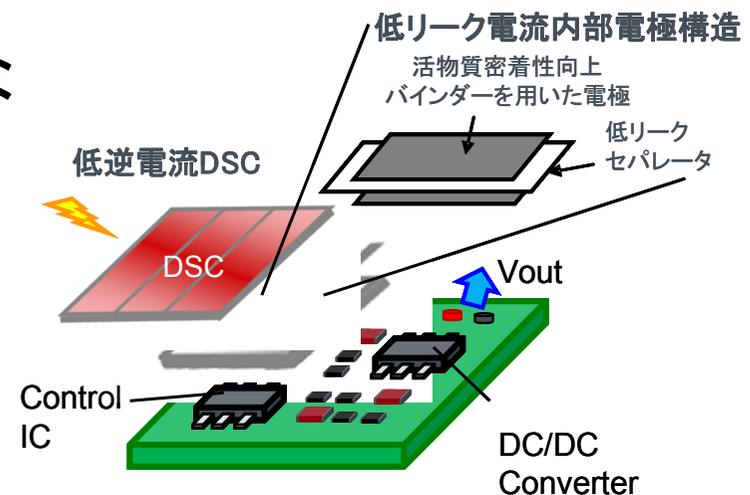
NMEMS 技術研究機構



1. 背景と目的
2. 開発テーマ概要・目標
3. 開発内容の成果
 - (1) エナジーハーベスティング用発電デバイス(DSC)
 - (2) センサネットワーク用キャパシタ(EDLC)
 - (3) 超小型高効率自立電源
4. ネットワーク・応用分野
5. まとめ

1. 背景と目的

- 今後、普及が見込まれるワイヤレスセンサネットワークにおいてはセンサネットワーク端末への電力供給が大きなネックとなる。
- 現在の有線電力供給、電池駆動に代えて、周囲環境から電力を生み出すエネルギーハーベスティングデバイスを電力源として、屋内照明下でも効率よく発蓄電可能な自立電源を開発する事で、メンテナンスフリーなグリーンセンサネットワーク端末を実現する。





2. 開発テーマ概要・目標

- 室内光を利用する発電デバイスのDSC(色素増感型室内光電池)と高出力な蓄電デバイスのEDLC(電気二重層キャパシタ)を開発し、これらからなる発蓄電モジュールと電源回路を最適化する事で超小型高効率自立電源を開発【発蓄電デバイスのロス低減が重要】
- 上記自立電源搭載のセンサネットワーク端末を試作し実証に提供
- 本研究開発における自立電源の目標値は以下の通り
 - 超小型： 2cm×5cmの外形サイズ
 - 高効率： 150 μ W以上の平均出力(蛍光灯500ルクス環境下)



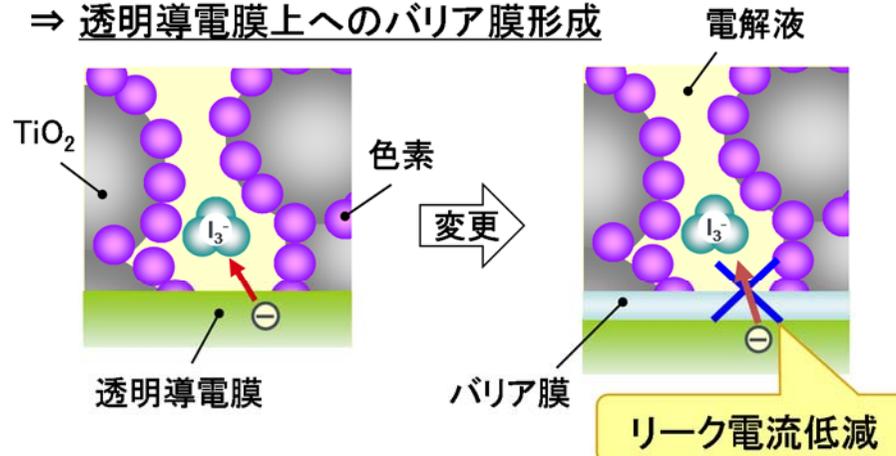
3. 開発内容の成果 (1)

-DSC (色素増感型室内光電池) -

光発電特性向上に向けた取り組み

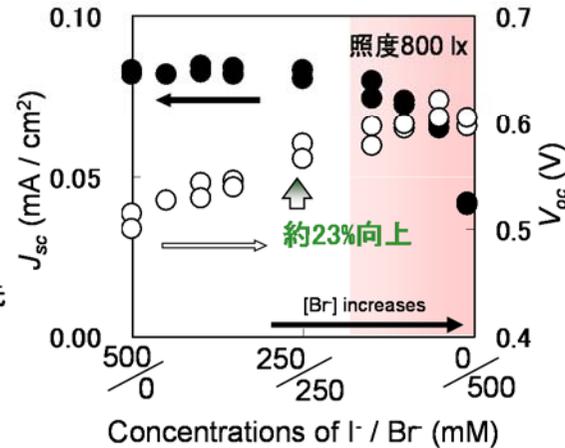
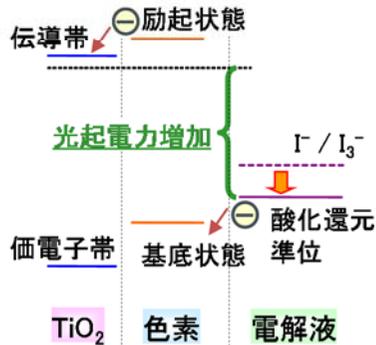
(1) 光起電力向上対策

⇒ 透明導電膜上へのバリア膜形成



⇒ 電解液添加物組成を最適化

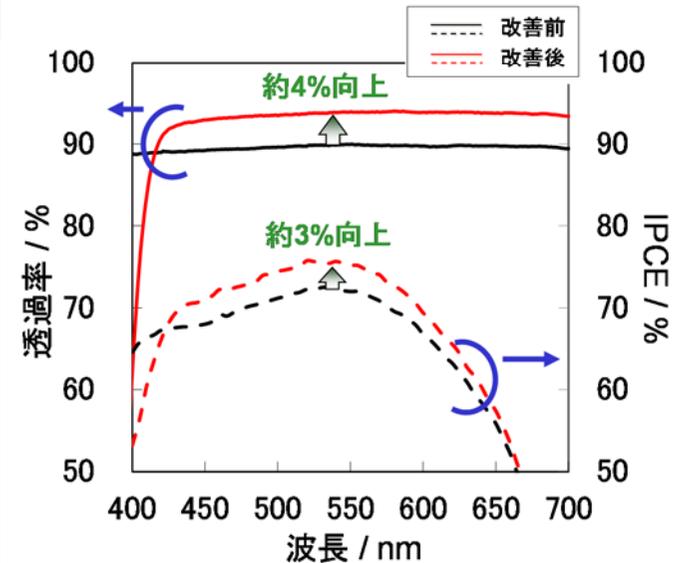
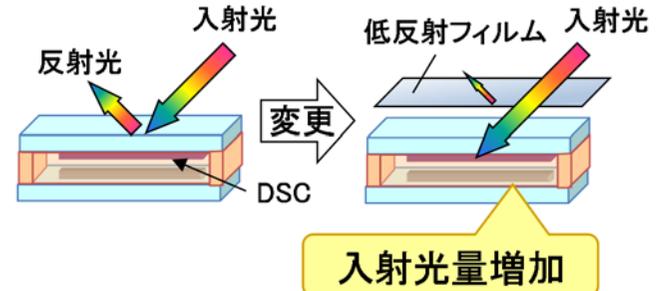
エネルギー準位構造



-発電ロス低減/光吸収増大-

(2) 光電流向上対策

⇒ ガラス面の反射抑制

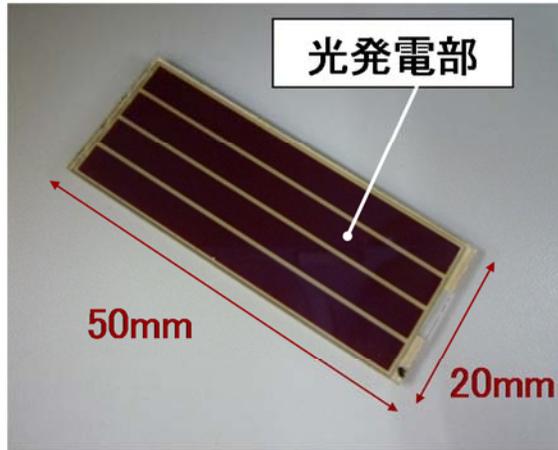


3. 開発内容の成果 (1)

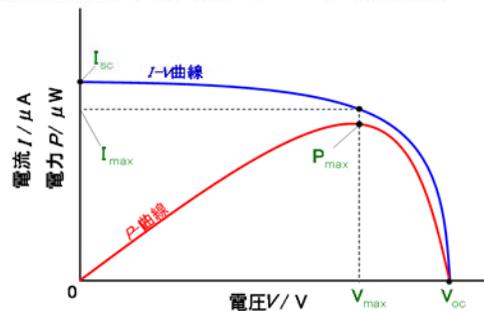
-DSC (色素増感型室内光電池) -

光発電特性向上に向けた取り組み

-4直モジュールの試作事例-

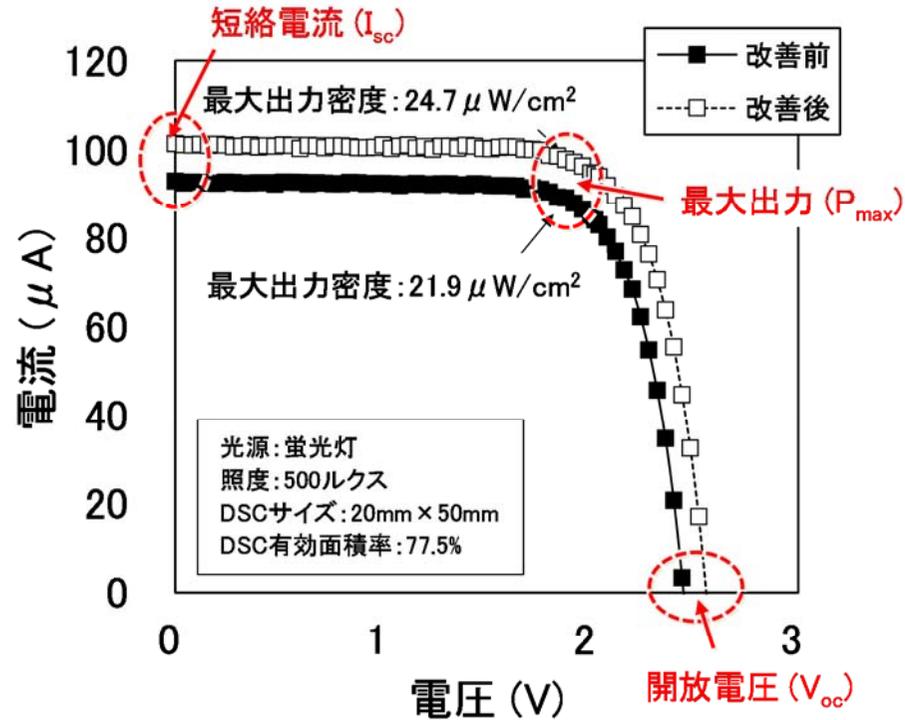


試作した自立電源モジュール搭載用DSCの外観



V_{oc} (開放電圧): 電流がゼロの時の電圧
 I_{sc} (短絡電流): 電圧がゼロの時の電流
 P_{max} (最大出力): 太陽電池で得られる最大出力
 V_{max} : P_{max} が得られる時の電圧
 I_{max} : P_{max} が得られる時の電流

参考: 太陽電池の光電変換特性 (I-V特性) の見方



試作した自立電源モジュール搭載用DSCの発電特性

	評価照度	最大出力値
改善前	蛍光灯 500lx	$P_{max} = 169.8 \mu W$
改善後		$P_{max} = 191.3 \mu W$

12.6%UP



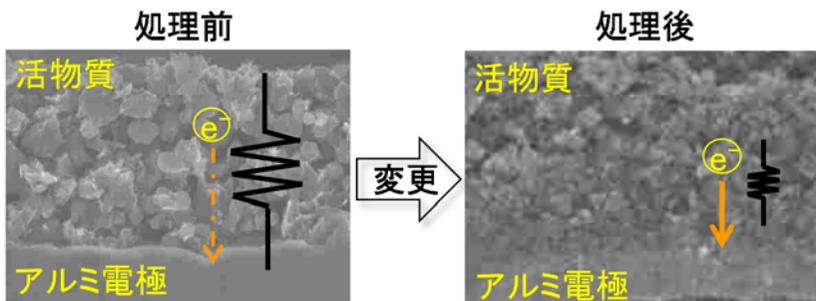
3. 開発内容の成果 (2)

-EDLC (電気二重層キャパシタ) -

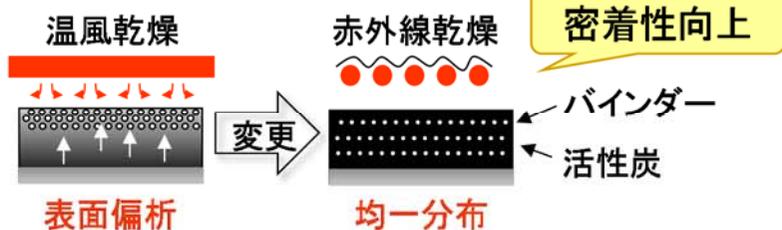
低抵抗化とリーク電流低減に向けた取り組み

(1) バルク抵抗低減策

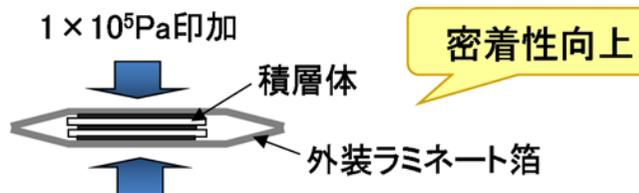
⇒ ロールプレス処理の追加



⇒ 温風乾燥から赤外線乾燥に変更



⇒ ラミネート雰囲気変更 (常圧封止 → 真空封止)



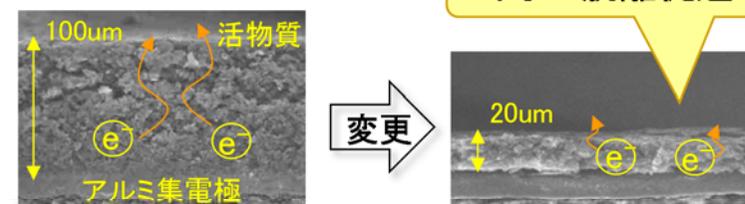
(2) 界面抵抗低減策

⇒ カーボンコート箔を使用



(3) イオン拡散抵抗低減策

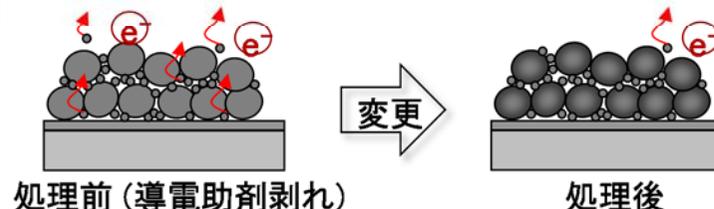
⇒ 活物質の薄膜成膜



(4) リーク電流低減策

⇒ セパレータ緻密化 ($0.40\text{g/cm}^3 \rightarrow 0.44\text{g/cm}^3$)

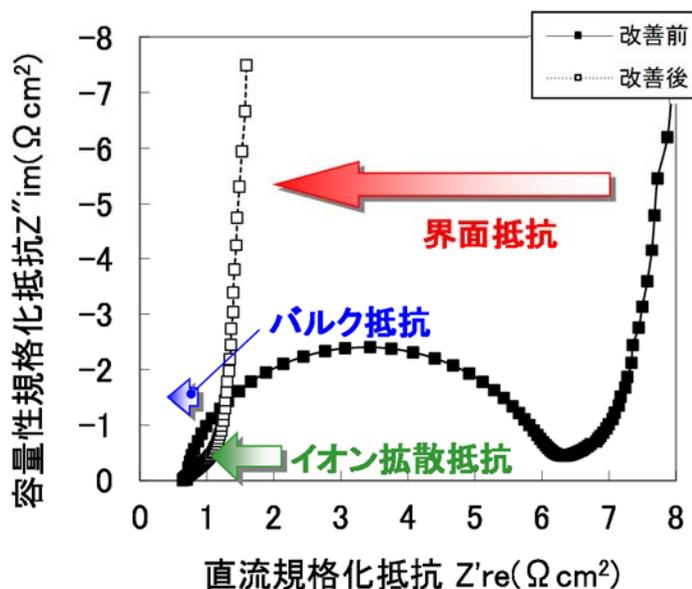
⇒ 導電助剤の活性炭へのドライコート処理



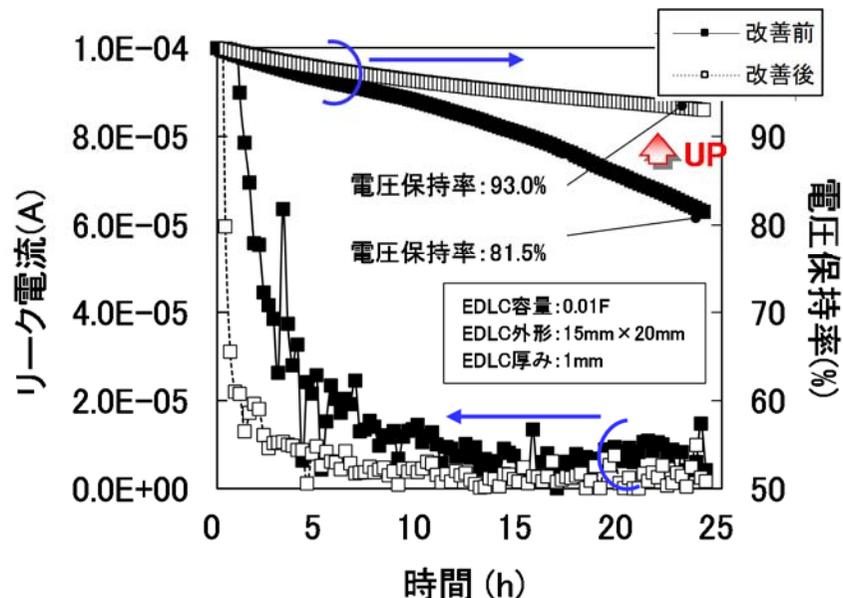
3. 開発内容の成果 (2)

-EDLC (電気二重層キャパシタ)-

■ 低抵抗化とリーク電流低減の両立



試作したEDLCのインピーダンス特性



試作したEDLCのリーク電流と電圧保持特性

	低抵抗化結果			リーク電流低減化結果	
	バルク抵抗	界面抵抗	イオン拡散抵抗	リーク電流密度	電圧保持率
改善前	0.80m Ω cm ²	5.53m Ω cm ²	0.61m Ω cm ²	0.50 μ A/cm ²	81.5%
改善後	0.61m Ω cm ² 23.7%DOWN	検出限界以下 100%DOWN	0.24m Ω cm ² 60.6%DOWN	0.05 μ A/cm ² 90.0%DOWN	93.0% 14.1%UP



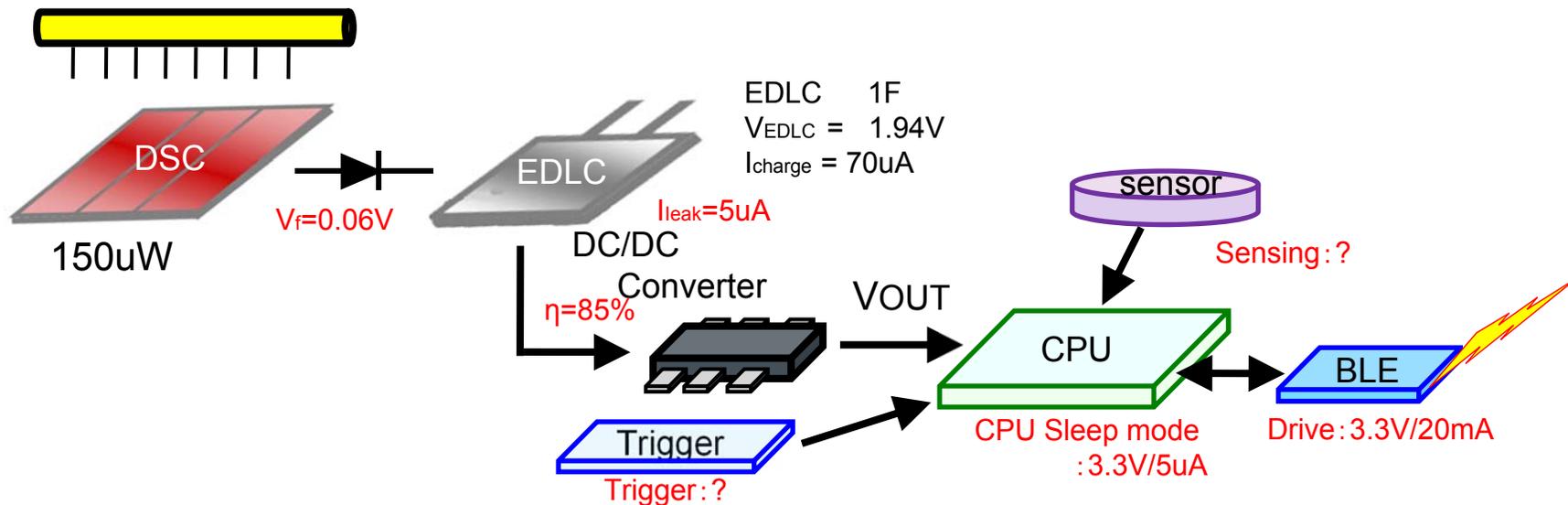
NMEMS 技術研究機構



3. 開発内容の成果 (3)

- 自立電源システム -

自立電源の出力試算の一例(3.3V昇圧の場合)



DSC		Diode	EDLC						DC/DC(**→3.3V)		
Voltage	Current	diode Vf	leak current	charge current	charge volatge	Power	Charge Time		Efficiency(@40mA)	Power	Efficiency
V(V)	I(uA)	(V)	(uA)	(uA)	(V)	(uW)	(sec)	(hour)	(%)	(uW)	
0.5	300	0.0906	0.1	299.9	0.41	122.78	1,365	0.4			
1.0	150	0.0734	0.5	149.5	0.93	138.53	6,198	1.7	70%	97	65%
1.5	100	0.0636	1.0	99.0	1.44	142.20	14,509	4.0	80%	114	76%
2.0	75	0.0568	5.0	70.0	1.94	136.02	27,760	7.7	85%	116	77%
2.5	60	0.0517	10.0	50.0	2.45	122.42	48,966	13.6	91%	111	74%
3.0	50	0.0477	100.0	-50.0	2.95	-147.62	-59,046	-16.4			

3.3V出力で最終取り出し効率は77%→1.8V出力も開発へ



NMEMS 技術研究機構



3V出力型自立電源の設計と試作事例

課題1: 自立電源用DSCモジュールのFF低下

対策1: 集電極構造採用によるFF改善

結果1: 500ルクス下の発電性能は20%向上し、

(a)2直DSCで181uW

(b)3直DSCで168uW

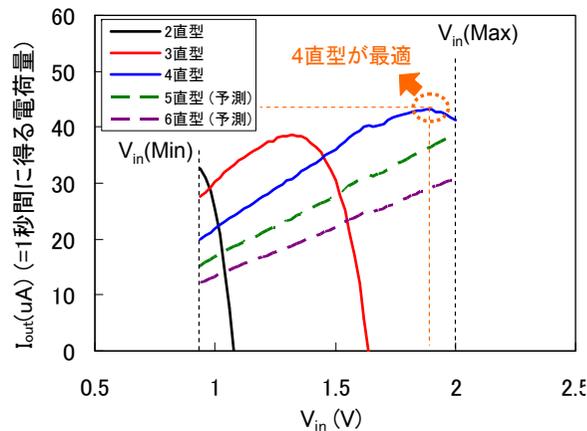
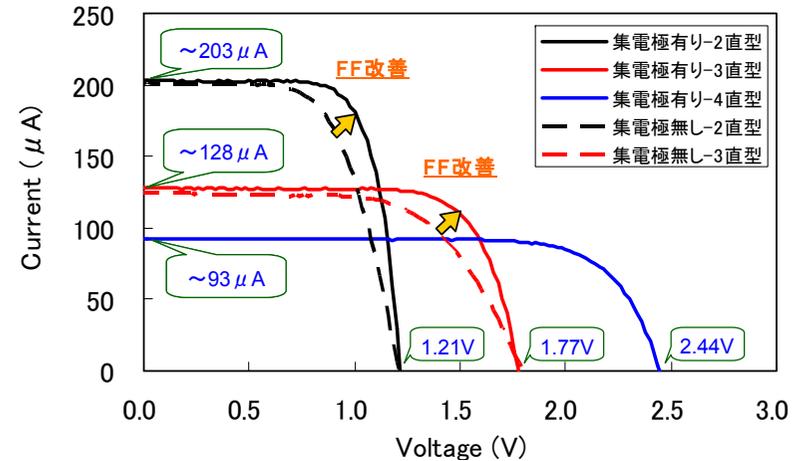
(c)4直DSCで169uW

課題2: DSCモジュール構造の最適化

対策2: 高効率なDC/DC選定とシミュレーション・実験を実施

結果2: 4直列DSCモジュールが最適で、

500ルクス下での自立電源の平均出力130uW



DSC モジュール	• V_{op} (V) • I_{op} (uA)	• V_{in} (V) • I_{in} (uA)	昇圧効率(%) (仕様)	最大 I_{out} (uA)	P_{out} (uW) (自立電源として)
2直型 (実測)	• 1.04V • 181uA	• 0.90V • 181uA	67.8%	36.8uA	110.4uW
3直型 (実測)	• 1.46V • 114uA	• 1.32V • 114uA	76.4%	38.3uA	114.9uW
4直型 (実測)	• 2.02V • 84.0uA	• 1.88V • 84.0uA	82.0%	43.2uA (最大値)	129.6uW (最大値)
5直型 <予測>	• 2.14V • 70.3uA	• 2.00V • 70.3uA	82.7%	38.8uA	116.4uW

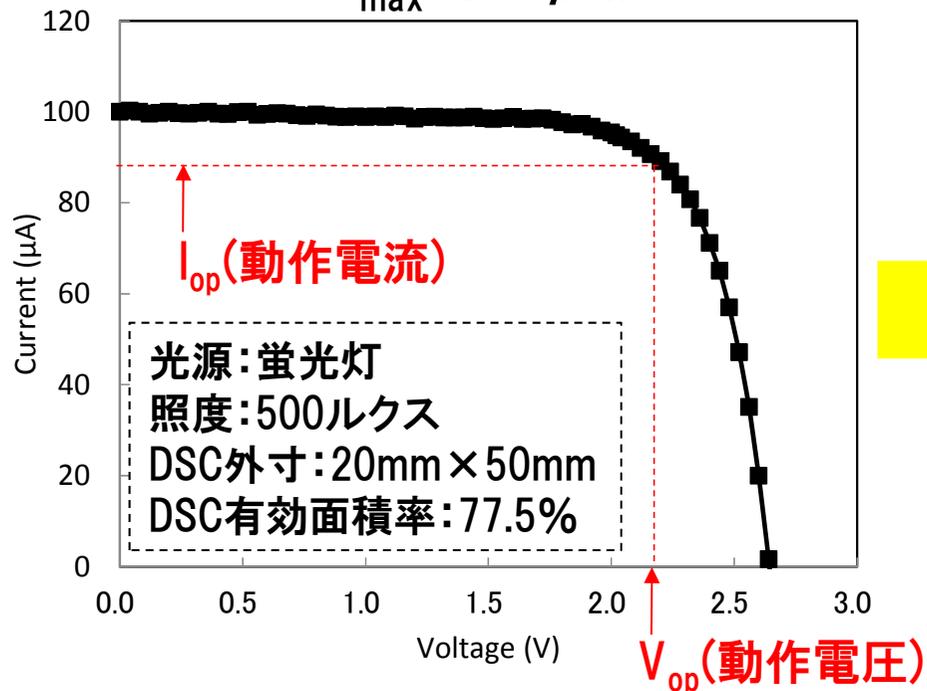
3. 開発内容の成果 (3)

- 自立電源システム -

■ 自立電源システムの最適化と発電デバイスの発電量増大

DSCモジュールの最大出力値

$$P_{\max} = 196 \mu W$$



3V出力(昇圧DC/DC)

$$I_{out} = 50.22 \mu A$$

$$V_{out} = 3.0V$$

$$P_{out} = 150.7 \mu W$$

1.8V出力(降圧DC/DC)

$$I_{out} = 92.27 \mu A$$

$$V_{out} = 1.8V$$

$$P_{out} = 166.1 \mu W$$

GSNプロジェクト目標値($150 \mu W$)を達成



NMEMS 技術研究機構



■ 特徴(他社に比べて優れている技術)

発電デバイス/蓄電デバイスの開発だけでなくトータルでの電源システムの開発を実施し(低リーク、低待機電力)、屋内環境で世界最高レベル(**他社開発品の2倍以上**)の高効率な出力の自立電源を開発

■ 実データに基づく他社との優位性比較

他社との比較(優位性)

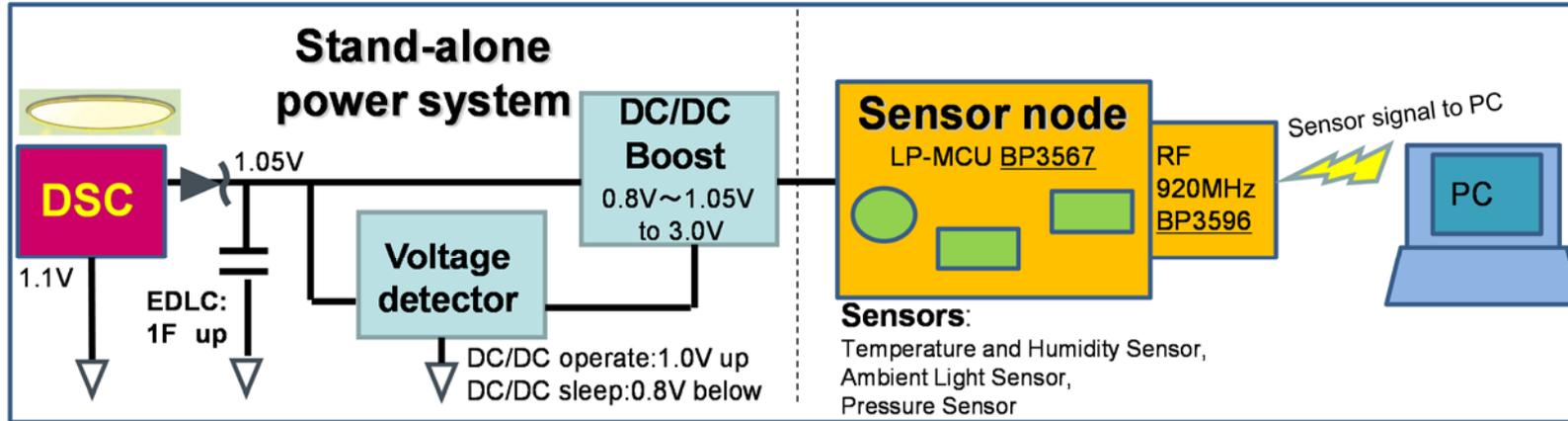
500ルクス環境での平均出力

GSN(ローム) 19-21 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の自立電源

他社 8-9 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の自立電源

4. ネットワーク・応用分野

小型・メンテナンスフリーなワイヤレスセンサネットワーク端末

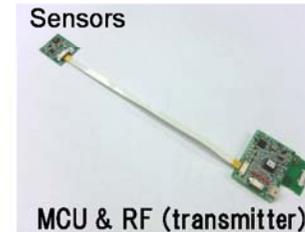


Stand-alone power system

Sensor node module



自立電源としての連続動作を検証



搭載センサ(既存品)
・温度、湿度、気圧、照度

センサ&無線モジュールとしての動作を検証

センサノード20台分(送信側)とPC(受信)との通信検証

ノードが無線送信する時間を各ノードに割り当てる事で、混線する事無く、20ノード全てのセンサ情報をPCに受信させる事を確認

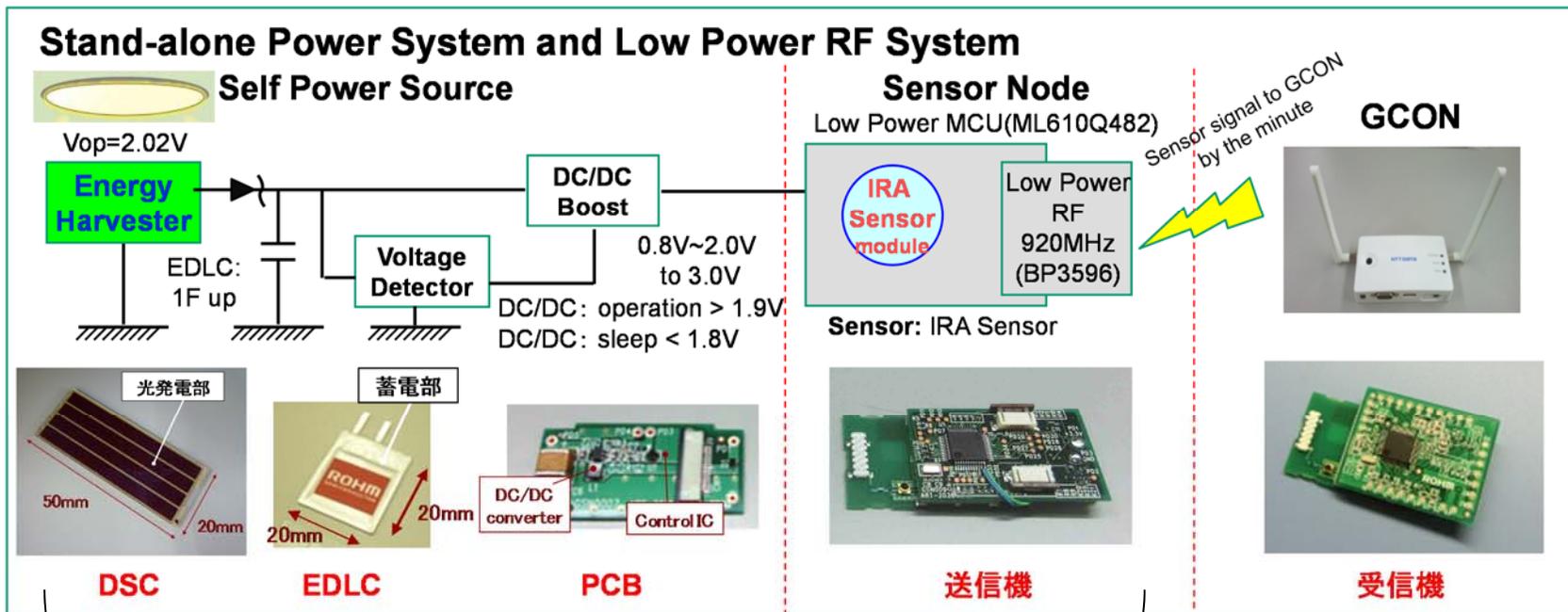


NMEMS 技術研究機構



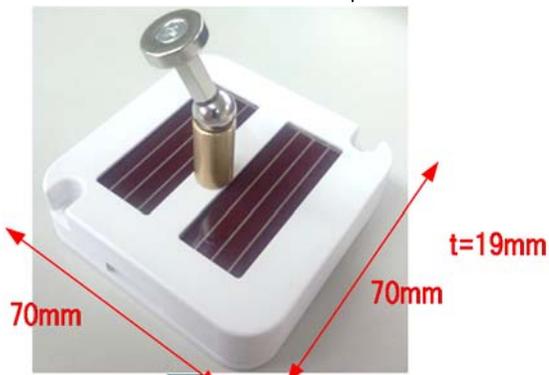
4. ネットワーク・応用分野

小型・メンテナンスフリーなGSM端末(中小スマートオフィス実証)



10%以上の省エネに貢献

- 省エネ以外への貢献の可能性
- ・生産性向上(作業効率改善)
 - ・ヘルスケア(活動度モニタリング)
 - ・インフラモニタリング、等



NMEMS 技術研究機構



5. まとめ

■ 2cm×5cmの超小型高効率屋内用自立電源を開発

- ・1.8V出力型自立電源、3V出力型自立電源

■ 蛍光灯500ルクス下での自立電源の平均出力の目標値達成

・1.8V出力型で $166.1 \mu W$

・3V出力型で $150.7 \mu W$

目標値:

2cm×5cmの自立電源で
蛍光灯500ルクス下で
平均出力 $150 \mu W$ 以上

- ### ■ 自立電源駆動GSN送信機/GCON受信機(920MHz)を開発し、 中小スマートオフィス実証用に提供(送信機計46台/受信機2台)
- ### ■ その他、各GSN実証に自立電源、GSN送信機/GCON受信機提供

