

太陽光発電を利用した 省エネルギー化への取り組み

— 発電・計測装置の製作と計測プログラムの作成・評価 —

職業能力開発総合大学校東京校 電気・電子系 吉田 信也・古井 英則

1. はじめに

近年、太陽光発電はクリーンエネルギーの活用面から話題となっている。また、この太陽光発電は環境対策の一環とし政府も力を注いでいる。

職業大東京校では、学生の教育訓練、および、関連技術者育成（含む教材開発）を目的として研究に取り組んでいる。

本報は、その概要を報ずるものである。

2. 太陽電池の原理

原理は、半導体のPN接合部に光エネルギーを吸収させそのエネルギーで価電子帯の電子を励起させ、電子・正孔対を生成する。

発生した伝導帯の電子群は負極（-）となり、価電子帯の正孔群は正極（+）として作用し起電力を得る。

図1は、その概念を示したものである。図2は、取り出せる電力について概要を示したものである。PN接合の特性で、暗電流に相当する特性はダイオード静特性であり、光照射時の電流の特性が起電

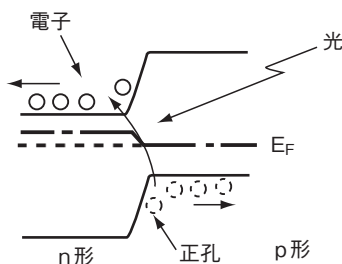


図1 PN接合での電子・正孔の生成

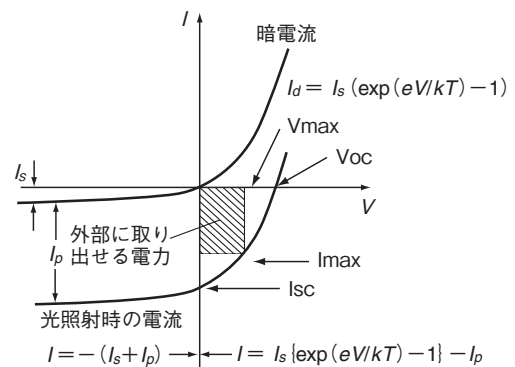


図2 取り出せる電力

力を生じたときの特性である。図中の斜線部が取り出せる電力部分である。

取り出せる電圧値は、PN接合の1セル（一素子）当たりは、0.6～0.7V程度である。したがって、高い電圧を得るにはセルの直列接続が必要となる。また、大きい電力を得るには広いセル面積（セルの並列接続など）が必要となる。

また、照射光に対する変換エネルギー効率、は、下記のように処理され、データ値はこの計算方法が一般に用いられている（図2参照）。

開放電圧： V_{oc} 短絡電流： I_{sc} とし、受光面面積： S とすると電流密度： J_{sc} は次式となる。

$$J_{sc} = I_{sc} / S \quad \dots\dots (1)$$

また、最大出力電圧： V_{max} 最大電流： I_{max} とすると特性の曲線因子： FF は次式となる。

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad \dots\dots (2)$$

照射光のエネルギーを $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ($1000\text{W}/\text{m}^2$)
で規格化すると効率： η は次式となる。

$$\eta = V_{oc} \cdot J_{sc} \cdot FF [\%] \dots\dots (3)$$

3. 太陽電池の分類と用途

太陽電池（セル）は、用途により材料が異なる。
図3は、分類例を示した表である。図4は、主なセル
と変換エネルギー効率の概略を示している。

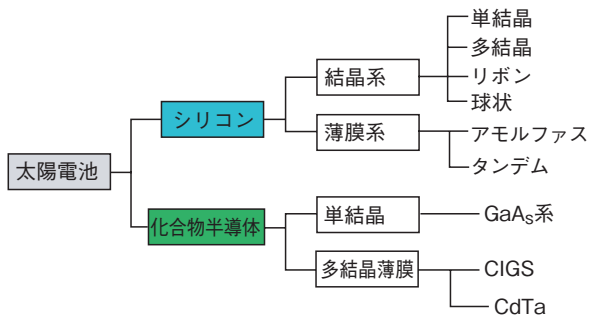


図3 セルの材料や構造による分類

3.1 極小型用途（モバイル用など）

- ① サイズが小さく結晶系での製造が容易である。
 - ② 結晶系は変換エネルギー効率が良いこと。
 - ③ コストが低廉（シリコン材料）であること。
- 等から、結晶系を主体としたタイプが多用されている。

3.2 屋外設置の電力用の用途

- ① セル自体が大型であること。
 - ② 大型セルの製造には薄膜系が有利なこと。
 - ③ コストが低廉（シリコン材料）であること。
- 等から、薄膜系（アモルファスなど）が主体として多用されている。

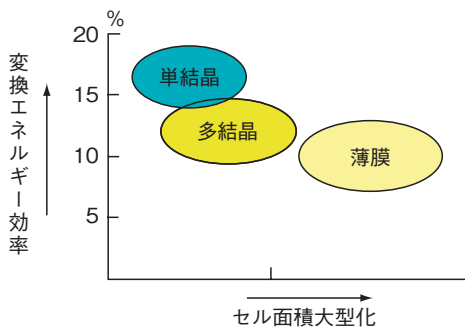


図4 各種シリコン材料セルと効率

3.3 特殊な用途

- ① センサや宇宙衛星用など。
- ② 特別な波長特性の要求など特殊特性要求。
等から、化合物半導体のセルが特殊用途に多用されている。

4. 太陽電池の概略構造と写真例

セルの断面略図の一例を図5に示す。受光面には反射防止が施され、入射光を効率良く取り入れる構造である。

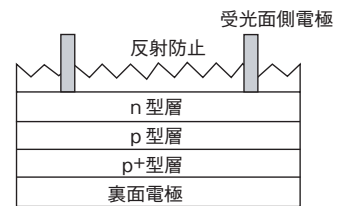


図5 セル断面略図の一例

PN接合は、反射防止を施してあるガラス基板の下に構成され高濃度P形（P⁺層）の裏側に裏面電極が構成されている。

極小型の太陽電池の外観例を図6に示す。

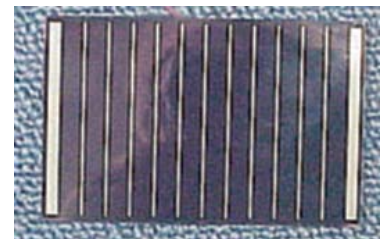


図6 極小型の太陽電池例

また、屋外設置の電力用は、単位セルを複数接続して太陽電池モジュールを構成する。

その太陽電池モジュールを屋外にアレイ状に敷設し、太陽電池アレイを構成し利用している。図7は、その構成をイメージで示したものである。

また、図8に、職業大東京校で敷設した写真を示す。

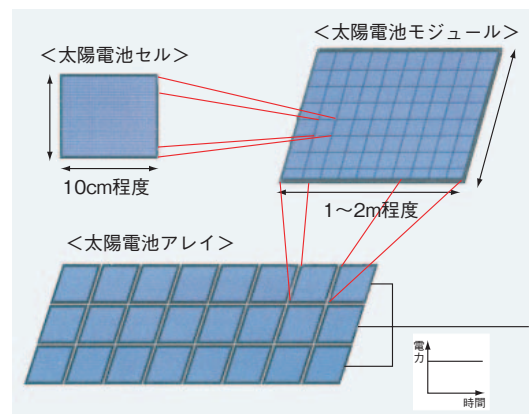


図7 太陽電池アレイのイメージ

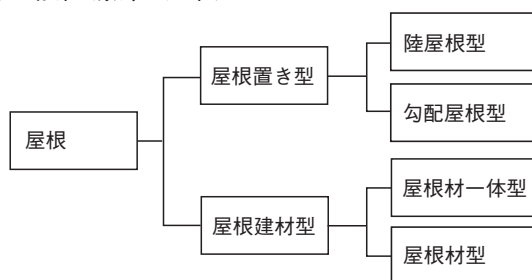


図8 職業大東京校での敷設状況

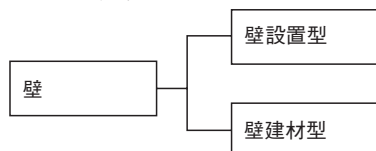
5. 屋外設置モジュールの主な種類

屋外設置の太陽電池モジュールにも多くの種類がある。設置部位や設置方式により適切な種類を選定することが大切である。

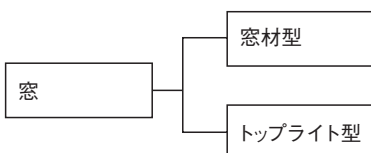
① 設置場所：屋根



② 設置場所：壁



③ 設置場所：窓



ここで建材型（建材目的も兼ねるタイプ）の太陽電池は建築基準法（建築物の立地，建築物の構造・用途，建築物の構造強度等）の関連知識を必要とする。

前掲（図8）職業大東京校での敷設例は，一般家屋に多用されている「屋根置き型」を用いている。また，取り付け用の架台支持金具等は，すべて自加

工（東京校）であり壁設置も可能としている。

6. 施工関連の知識

6.1 発電容量と法手続き

太陽光発電では，電気関連の法規から届出や承認，審査事項がある。

下表は「発電量と電圧の種別」による，届出や承認の必要事項を示したものである。

この表から，発電量が20 [kW] 以下で，かつ，低圧であれば届出や承認の必要がないことが判断できる。

また，20 [kW] の容量は，太陽光発電ではきわめて大きい容量である。

一例で考察すると，太陽電池（1200×530mmサイズ）モジュールでの発電量の最大出力が約70～75W程度であるから，20 [kW] を75 [W] で除すればモジュール数が求められる。その値は約267モジュールとなる。

通常の一般家屋で太陽光の当たる屋根面積を考慮すると，この数のモジュールをアレイ状に敷設できる広さはまれと考えられる。このことから，一般家屋への太陽光発電は関連法の手続きがほとんど必要ないことをうかがい知ることができる（但し，低圧

表1 発電量と電圧種別の手続き

太陽電池による発電システムの手続き

電気工作物	出力規模	工事計画	使用前安全管理診査	使用開始届	主任技術者	保安規定
自家用	100kW以上	届出	実施	不要※1	選任	届出
	500kW以上 1000kW未満	届出	実施	不要※1	不選任承認	届出
	20kW以上 500kW未満	不要	不要	不要	不選任承認	届出
	20kW未満※2	不要	不要	不要	不選任承認	届出
一般用	20kW未満※3	不要	不要	不要	不要	不要

届出先 経済産業省

電圧の種別

電圧の種類	低圧	高圧	特別高圧
直流	750V以下	750V超過7000V以下	7000V超過
交流	600V以下	600V超過7000V以下	

※1 出力500kW以上の電気工作物を譲渡，借用する場合には届出が必要。

※2 高圧連系の20kW未満は自家用工作物。

※3 低圧連系の20kW未満，もしくは独立型システムの20kWが該当する。

連系システム)。

もちろん、電力会社との売買電をする場合や補助金を申請する場合は、後項で示すところの必要な申請手続き（所轄官庁や電力会社との協議・契約）が必要である。

6.2 売買電するシステムの概要

現在主流となっている系統連系システムの概要を図9に示す。また、要素概要を①～⑤に示す。

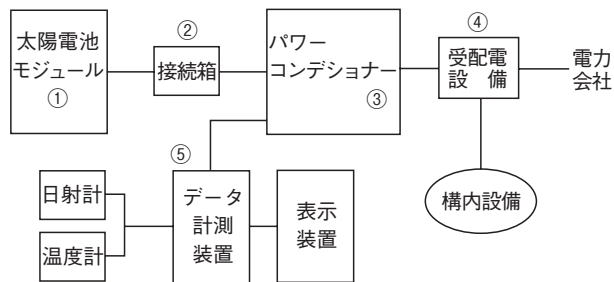


図9 システム連系システムの概要

- ① 太陽電池モジュールは、既述したようにアレイ状に敷設される。
- ② 敷設されたモジュールを接続箱で接続し、集電する。
- ③ 集電された電力は、直流であるからパワーコンディショナで交流に変換する。この際、電力会社より供給される電力との協調（電圧、周波数、位相の調相）を行う。
- ④ この③で得られた電力は受配電設備に送られ構内利用や電力会社に供給する。したがって、この受配電設備には、買電と売電の積算電力計が設備されている。
- ⑤ 太陽光発電の発電量を大きく左右する要素に日射量や温度がある。日射量は直接発電量に影響し、温度はモジュール内の生成キャリアのモビリティに影響する。特にモビリティは温度上昇に伴い低下し、発電効率を低下させる。

そこで、日射計、温度計が設置され発電量と屋外状況を表示しモニタができるシステムが構成されている。

6.3 システム構築の一般的な流れ

一般的な系統連系システムの構築の流れについて図10に概要を示す。図中の必要な申請手続きが、既述した設置側が行う法的手続きや売買時の電力会社との手続き、補助金の手続きである。

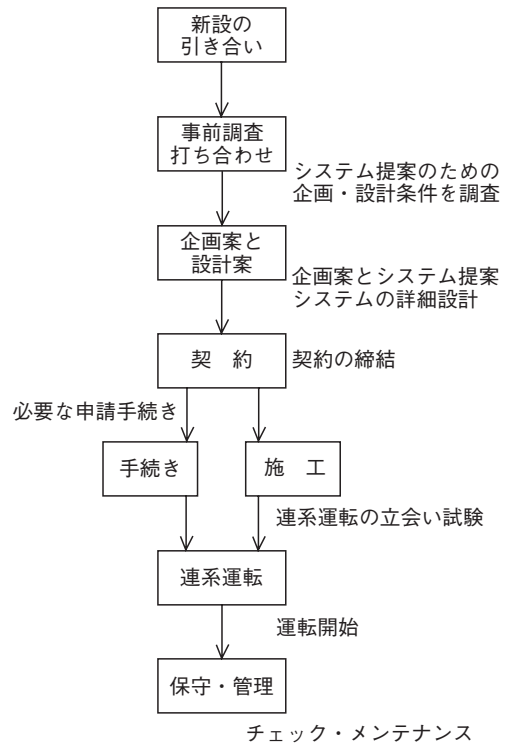


図10 システム構築の流れ

7. 関連技術者の育成について

7.1 敷設施工技術者の育成

現在、太陽光発電システムの敷設関連技術者の育成は、太陽光発電モジュールの供給企業や関連団体が主体になりセミナーを実施している。

教材も、主流である系統連系システムに関しては整っている。

内容は、システムの概要、関連法規（電気事業法、建築基準法）、系統連系ガイドライン関連（電力企業との事前協議等）、安全作業関連、屋外設置パネルの種類と標準施工法、工事区分、保守点検などである。

7.2 建築技術とのかかわりについて

太陽光発電の敷設施工関連技術者は、電気工事技術者とのかかわりが多い。しかし近年、太陽光発電

モジュールの建材型の出現により、建築施工技術と電気工事技術のコラボレーションの必要な時代に入りつつある。

次世代構造物での、省エネルギーやクリーンエネルギーの進展には両者の技術的知識が重要であることがうかがえる。

8. 職業大東京校のシステムについて

8.1 システムの概要

構築したシステムは、モジュール12枚程度の極小規模（1kW程度）である。

したがって、売買電を行わないシステムとして、太陽光発電の電力はすべて蓄電池に蓄え、その電力をインバータでAC100 [V] に昇圧して、夜間の校内用電力（防犯灯3灯、負荷NO1～NO3）に利用し、僅少であるが省エネを実現している。

また、一部（負荷NO4）はソーラ設置の建物内への供給電源である。

電力容量も小さく、更には独立したシステムであることから、設置に関する手続きは全く必要としない。

このシステムの詳細については、第17回職業能力開発研究発表会で発表しているなのでその稿を参照されたい（予稿集P133-134）。

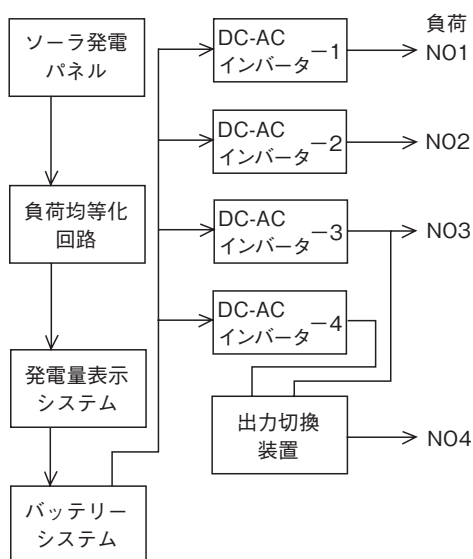


図11 システム概要

8.2 構築システムと指導・訓練について

- ① 発電モジュールの敷設実習が可能である。
- ② 関連する電気工事の実習が可能である。
- ③ 各機能要素を電気・電子系の総合製作の課題として、企画、設計、製作、稼働まで行える。
- ④ 常時稼働しているから、保守点検の大切さを教授できる。
- ⑤ このシステムでは、構築過程での各種申請手続、電力企業との連系運転の立会い等は経験できない。したがって別途これに関連する模擬教材を用意する必要がある。

9. 大学校では、さらなる内容の訓練が必要

9.1 敷設角度と変換効率

モジュールの「照射光とエネルギー変換効率について」要旨を既述した。このエネルギー変換効率は、モジュールの敷設角度（受光角度）により大きく変動する。

モジュールの敷設角度と発電量のデータ収集は重要な情報である。

9.2 パネル温度と変換効率

エネルギー変換効率は、モジュール温度に大きく影響を受ける。光エネルギーによりモジュール内に生成されたキャリアのモビリティの変動が主因である。



図12 角度と発電量の検証装置

大学校では、このような要素にもデータと理論的解説が必要である。

参考 図12は、敷設角度と変換効率のデータを得るために自作した実習機材である。

9.3 省エネルギー的見地の訓練

クリーンエネルギー・省エネルギーから環境対策を考えると、電力を消費する負荷側での省エネルギー対策も重要な教育訓練要素である。

省エネルギーの取り組みとしては、その実験による検証と解説が必要である。

今回の取り組みでは、夜間照明（防犯灯）への利用である。省電力化検討では、LED照明パネル、白熱電球パネルなどによる、エネルギー消費電力の比較検討ができる実習機材を自作している。

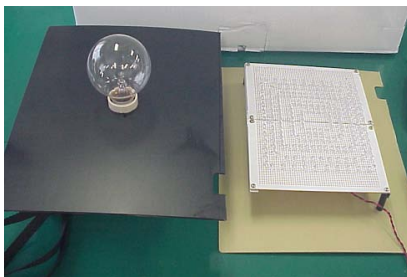


図13 自作機材例（左：白熱球 右：LED）

10. その他 実践技術としての取り組み

10.1 極小規模システムと蓄電方式

敷設面積や建築構造物の関係で極小規模（5kW以下）となる敷設では、一般の系統連系システムを適用し、パワーコンディショナーや売電・買電用の積算電力計設備を設置しても、売電収益は僅少であり設備費の償却できる見通しは得られない。また、これに対応し極小規模ソーラ発電システムのあり方について、解析された文献も見当たらない。

東京校では、極小規模ソーラシステム「蓄電方式」を実践技術研究として取り組んでいる。

10.2 蓄電方式と二次電池の検討

図14は、主な二次電池の質量効率と体積効率を示したものである。もちろん、これらの各種電池は電気的特性（放電特性、充電特性）や充電方法などは

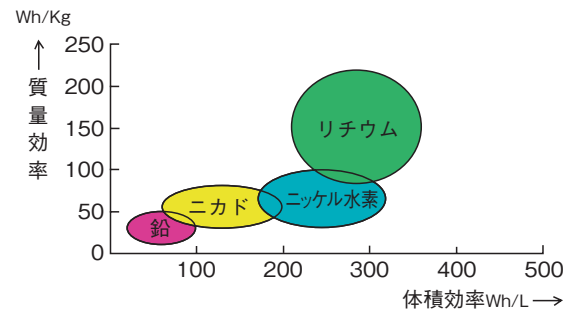


図14 二次電池の体積・質量効率

電池の種類	正極の材料	電解液	負極の材料	公称電圧V
ニッケル・カドミウム電池	ニッケル酸化物	アルカリ水溶液	カドミウム	1.2
ニッケル・水素電池	ニッケル酸化物	アルカリ水溶液	水素吸蔵合金	1.2
リチウムイオン電池	リチウム複合酸化物	非水系有機電解液	炭素	3.7
鉛蓄電池	二酸化鉛	希硫酸	鉛	2.0

図15 各種二次電池の主要材料

異なる。

最近では、自動車のHEV化により、これら二次電池（リチウム）は話題となっている。

研究システムでは、設置使用するので価格の低廉な二次電池として「鉛蓄電池」を採用した。

10.3 二次電池（鉛）の概要

① 構造例

図16は、鉛蓄電池とセル構造例を示す。

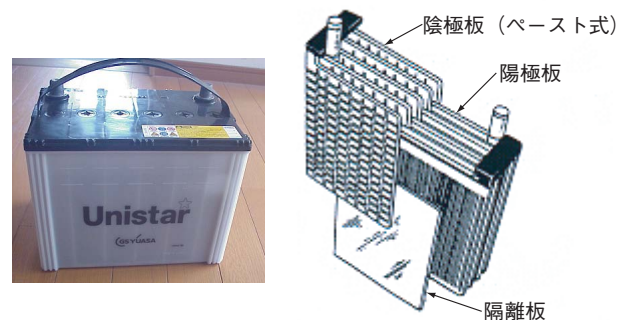
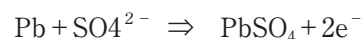


図16 鉛蓄電池とセル略構造図

② 化学反応

電極での化学反応は次のとおりである。

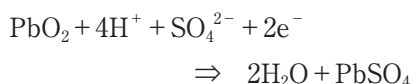
（負極）



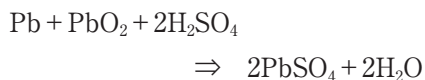
（電解液）



(正極)



全体では



10.4 鉛蓄電池の主な電気特性について

① 放電特性 (一例36Ah 5時間放電率)

図17は、放電特性の一例を示したものである。

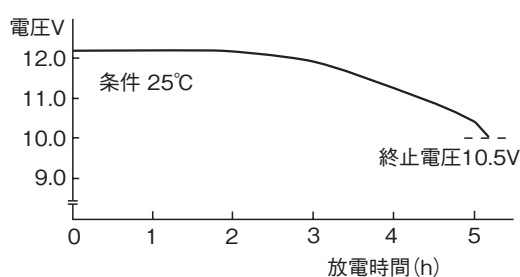


図17 放電特性の一例

② 放電深さとサイクル数

満充電の端子電圧から終止電圧の電圧まで放電する状況を100%放電と呼んでいる。

この放電の程度により100%放電、50%放電、30%放電と呼び、これを放電深さと称している。

この放電深さは、鉛蓄電池のサイクル数(利用回数)に大きな差を生じる。図18は、放電深さとサイクル数の一例を示したものである。

この特性は、放電時(正極)に生ずる硫化鉛が、ある程度の塊に成長してしまうと、充電による鉛

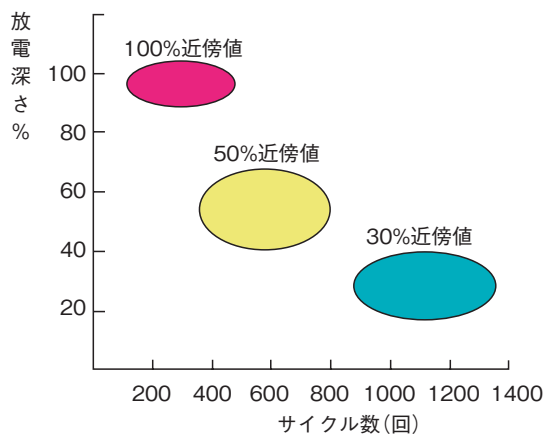


図18 放電深さとサイクル数の一例

(正極)再生が困難となるからである。

通称、サルフェーションと呼ばれている現象である。システム構築時、この特性も考慮し対応済みである。

③ 放置温度と耐用年数との関係

鉛蓄電池は、放置温度環境(電極と電解液の反応)で耐用年数が大きく左右される。

図19は、その一例を示したものである。

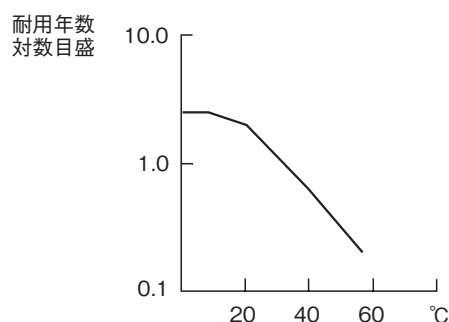


図19 放置環境と耐用年数

④ 充電電圧と寿命(ライフ)への影響

鉛蓄電池では、充電電圧と寿命に相関関係がある。

図20は、単位セル当たりの充電電圧と劣化の原因を示したものである。

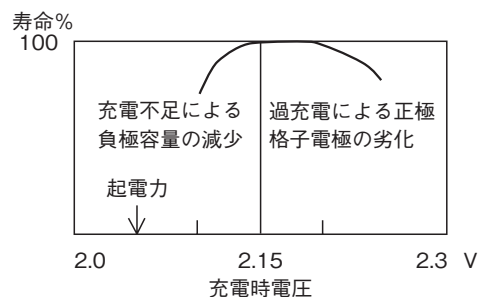


図20 充電電圧と寿命の関係

⑤ 充電電圧を考慮した充電例

充電電圧を或る一定範囲に抑え、かつ、充電電流を当初は大きい電流から数段階にわたり降下していく充電方法が一般に用いられている(多段階電流充電法)。

これにより、電極腐食や温度上昇を極力押さえ、短時間充電を実現している。

図21は、単位セルにおける、充電のプロセスの

一例を示したものである。

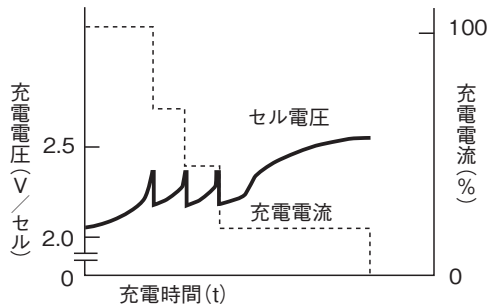


図21 多段定電流充電法

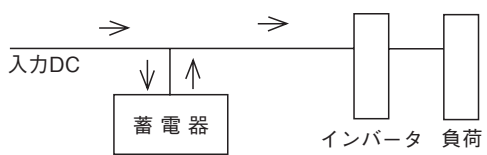
10.5 理想的な充電方法の検討

図22は、非常用電源の蓄電池充電システムを参考として書き変えたものである。

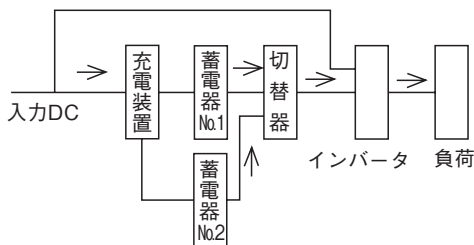
構築システムの充電方法は、ソーラパネル間での負荷均等化回路を設けているが、フローティング充電方式（a）に等価で、蓄電池に対し理想的な充電・放電環境を構成していない。

既述の電池特性を考慮した、充電・放電のシステム構築が課題である。これは、トリクル充電方式（b）と等価な方法で、充電装置ブロックに多段定電流の機能を持たせることにより可能である。

また、この回路についても、すでに検討中であり一部試作回路を作成中である。



(a) フローティング充電方式



(b) トリクル充電方式

図22 充電システムの参考図

11. まとめ

11.1 指導・訓練への展開

- ① 技術者育成教材の開発。
 大学校で得られた諸事項と企業で使用しているセミナーテキストも含め総合的に検討を行い、実習を取り入れた教材の開発を進めたい。
- ② 極小規模（5kW以下）のシステムの検証。
 極小規模太陽光発電システムについても、得られたデータをもとに提案し、ソーラ発電普及の一助に反映したい。

11.2 今後の実践研究としての展開

遠隔地でのモニタ・操作に向けて、インテリジェントハウス化の対応である。

住宅内電気機器の操作がネットワーク技術でできる時代に入っている。この技術はクリーンエネルギー普及と省エネルギー化とともに、今後、急激に発展する技術と推察する。

現システムの発電量、充電状況、放電状況をネットワーク化で遠隔地端末からモニタできるシステム構築展開を考えている。

12. 終わりに

4年前、次に予想される教育・訓練を察知され、ソーラ発電モジュールを検討材料とし与えていただきました前東京校校長、長俊夫氏に心より敬意を表します。

尚、継続した研究にご指導ご支援をいただいております現東京校校長、佐藤伝一氏を始め東京校の教職員の皆さまに感謝申し上げます。

<参考文献>

1. NTTファシリティーズ発刊の各種資料
2. 太陽光発電協会発行の各種資料
3. 3佐久市のソーラモデル事業資料
4. 通信用二次電池の充電方法, 市村, 堀江, 高野, NTT資料 1999
5. 社団法人電池工業会 資料