Hf インバータ蛍光灯を使用した 太陽光発電電力の利用システム

An Application System of Photovoltaic Electric Power
Using an Hf Inverter Fluorescent Luminaire

◀キーワード：Hf インバータ蛍光灯，直流点灯，施設照明，太陽光発電，
自然エネルギー，地球環境

1950年生。1973年日本
大学理工学部電気工学
科卒。同年4月榊大林
組入社。主に建築設備
の設計，技術開発に従
事。現在技術研究所音
響・電磁研究室勤務。

山 本 恭
Yasushi Yamamoto

1. はじめに

太陽光発電システムは，地球環境保全を目的としてこれまで多くの開発や法制度の改訂が行われ，実用化段階の新エネルギーとして位置づけられている。とくに住宅用の太陽光発電設備では，導入基盤整備事業（旧モニター制度）を補助施策として普及が進み，製品開発やコストダウンが進んでいる。一般ビル建築においても，平成10年度より産業用太陽光発電システムを対象とした補助制度がスタートし，普及に向けた環境が整ってきている。しかし，次の理由から導入の検討対象にはなるが実施に到らないケースの多いのが現状である。

(1) 太陽電池の設置面積

太陽エネルギーはエネルギー密度が低いため，まとまった出力を得るには広い設置面積を必要とする。

(2) コスト

ビル建築の太陽光発電システムでは，インバータ容量が標準化されていないことや，独立した連系保護装置を使用することから割高となっている。またビル建築では，一般に高圧以上の電圧で受電しており，電力単価が住宅より一段安い単価となって経済性が悪い。

(3) 系統連系の手続き

住宅用の系統連系インバータでは，系統連系保護装置が組み込まれ，系統連系技術要件ガイドラインに適合する旨の認証制度も運用されている。しかしビル建築用ではこのような制度がなく，電力会社と詳細な打ち合わせや立ち会い検査が必要となる。

このため，いかにビル建築に適合した形で導入し，コストダウンを計るかが懸案となっている。これには太陽電池を意匠的に，耐風速などの強度的にどのように取り付けるか，また発電電力をどのように利用するかなどの課題が含まれている。本稿では，発電電力の利用方法として近年施設照明に普及している Hf インバータ蛍光灯（以下 Hf 蛍光灯）を負荷とした直流点灯システムと，これをさらに発展させた直接供給システムについて述べる。

2. 発電電力の施設照明への利用

ビル建築では，住宅と違って発電電力の多い昼間に大きな電力需要がある。したがって，昼間稼働する機器で発電電力をすべて消費できれば，割高な系統連系イン

バータや連系保護装置を用いることなく，システムを構築することが可能となる。近年では電動機，蛍光灯，無停電電源などの設備機器にインバータの応用製品が普及してきている。またビル建築のなかで，照明負荷は太陽光発電の発電電力の適用対象として次の特徴がある。

- ①年間を通してエネルギー需要があり，ビル全体の年間消費電力量の約30%を占める。
- ②近年では施設照明用として，高い発光効率を得られるなどの特長から Hf 蛍光灯器具が普及してきている。
- ③ Hf 蛍光灯の電子安定器は，交流入力ブリッジ整流により直流に変換しているため，回路方式によっては直流入力でも点灯可能である。

ここでインバータ応用機器のシステム構成は，交流入力の電気エネルギーをいったん直流に変換し，そののち目的の交流もしくは高周波の電力に変換することが共通している。このため太陽光発電の直流電力を利用しやすくなっている。

3. Hf 蛍光灯の直流点灯システム

3.1 直流点灯システムの概要

太陽電池と直流安定化電源を並列に接続し，負荷抵抗を調整して消費電力を変化させた場合の出力電圧，電流特性を図1に示す。太陽電池の出力電圧が安定化電源の出力電圧より高い場合は，太陽電池の出力特性に従って電力が負荷に供給され，安定化電源の設定電圧まで低下すると太陽電池からの出力をベースに必要な容量の不足分が安定化電源から供給される。この動作を応用して，太陽電池の直流電力を優先的に利用し，発電電力が不足す

図1 太陽電池と安定化電源の並列運転特性

図2 直流点灯システムの構成

るときに商用電源から電力を補うことによって、直流でも点灯可能な Hf 蛍光灯に応用できることになる。このため照明用負荷分担装置の開発を行い、系統連系の扱いを受けない Hf 蛍光灯の直流点灯システムとして、太陽光発電の照明設備への適用を行った。

3.2 負荷分担装置の開発

負荷分担装置を用いた直流点灯システムの構成を図2に示す。負荷分担装置は、太陽電池側整合回路と商用側安定化回路より構成される。商用電源側は100V もしくは200V の商用電源から絶縁トランスを介し、ブリッジ整流を行って直流に変換される。その後、商用側安定化回路で直流200V の電圧に安定化される。

太陽電池側整合回路では太陽電池の特性に合わせ、最大出力を取り出せる電圧になるように電流制御を行っている。また出力電圧は商用電源側の安定化電圧より高い電圧で安定化して出力している。これにより太陽電池から最大電力を取り出すとともに、太陽電池側の電力を商用側の電力より優先して利用することができる。負荷分担装置の仕様及び外観を表1、図3に示す。

図3 負荷分担装置の外観

表1 負荷分担装置の仕様

	商用側	太陽電池側
入力電圧	AC100V 又は 200V±10%	DC0~330V
最適電圧	—	DC235V (210~260V)
定格出力電圧	DC200V	DC220V
同上可変範囲	DC200V±10%	DC220V±20V
定格出力電流	DC15A	DC15A
定格出力電力	3kW	3kW
効率	90%以上	95%以上
制御方式	チョークインプット整流 PWM チョップパ方式	PWM チョップパ方式
保護回路	過負荷保護18A 以上にて垂下 出力電圧240V 以上にて負荷出力断	

3.3 直流点灯システムの実証試験

現場の工事事務所は住宅と同様な建築規模であり、太陽電池の設置面積との整合性がよい。また全国的にみれば数も多く、太陽電池の繰り返し使用も可能であるため、建築業界における地球環境保全の貢献策としても効果がある。これから実際に執務する事務所として現場の工事事務所を選定した（図4）。

適用建物は2階建て、延べ床面積約104m²の規模であり、構造はユニット式のプレハブである。この方式では5.4m×2.4mの長方形の組み立てユニットをいくつか連ねて必要な面積を構築するが、ここでは4連棟2階建てとなっている。1階は中央で仕切り、会議室と協力業者控室として使用しており、それぞれ直流仕様の手元スイッチで点滅できるようにしている。太陽電池は、1ユニットの屋根に16枚の太陽電池を直列接続して鉄枠に取り付けた。これを4並列接続して、合計1408W_pの発

図4 工事事務所への設置状況

電容量となる。なお太陽電池は傾斜角が 0° と 10° を2ユニットずつ設置した。照明器具は合計24台設置されており、45W点灯を行っているので2160Wの負荷となる。負荷分担装置は2階事務所に設置し、1、2階の照明器具に直流で給電している。

構築現場は都内江東区の工事事務所で実施したが、工

期半ばで中止となったため、次の現場として中野区の工事事務所を選定し再構築した。よって適用例は2箇所となった。直流点灯システムは、商用電源との系統連系の扱いは受けないが、当初の工事事務所では電気事業法の改正前であったため発電所の扱いを受けた。このため、建設現場の電気設備として統括電気主任技術者による管理が必要とされ、社内の統括保安規定に太陽光発電に関する細目を定めて対応した。2件目の設置では改正電気事業法のもとで電力会社への説明のみで設置できた。

3.5 運転状況と利用実績

晴天日の運転データを図5に示す。施設照明で消費した電力量について、商用側出力とソーラー側出力の内訳を示している。消費電力が変化しているのは1時間の途中で点滅があったか、もしくは会議室などで消灯されていたためである。グラフから日射の変動による発電電力の変化に対して、商用側の電力が変化して追従していることがわかる。

2つの現場での発電電力の利用状況を表2に示す。全日の値は朝の点灯から夜の消灯まで、日中の値はオフィスの活動時間帯である9時から17時までの消費電力量のうち、どの程度太陽エネルギーで賄えたかを示している。計測期間をとおして、日中照明に要した電力の19.9%を太陽光発電により賄うことができた。また、オフィスの用途では照明を点灯しない休日もあるので、月間の予測発電量に対して実際に照明に活用できた全日の発電量との比を利用率として示し、発電可能な電力のうちどの程度利用できるかを示している。工事事務所の照明負荷での利用率は77.7%となった。照明器具を常時点灯している適用用途として駅舎、トンネル、超高層集合住宅のボイド空間などでは、さらに高い利用率が期待できる。

図5 晴天日の運転状況

表 2 発電電力の利用状況

	全日 発電電力量 (kWh)	全日 商用電力量 (kWh)	日中 発電電力量 (kWh)	日中 商用電力量 (kWh)	休日の発電 可能電力量 (kWh)	月間の予測 発電電力量 (kWh)
江東区青海工事事務所	237.4	959.2	211.6	649.6	84.7	322.1
利用率	19.8%		24.6%			*73.7%
都内中野工事事務所	436.7	2787.9	378.7	1727.6	108.3	545
利用率	13.5%		18.0%			*80.1%
合 計	674.1	3747.1	590.3	2377.2	193	867.1
利用率	15.2%		19.9%			*77.7%

*印は全日発電電力量の比を示す。

4. Hf 蛍光灯への直接供給システム

4.1 直接供給システムの概要

直流点灯システムでは、外部に 1～3 KVA の一定容量の負荷分担装置を使用することから、その設置スペースが必要なことや設計的な割り付けの問題が起こる。そこで電子安定器の直流部分に太陽光発電の直流電力を供給する利用方法を、いくつかのタイプの照明器具について検討した。この結果、直接供給を行う照明器具として、Hf 蛍光灯では HT タイプ、調光タイプともに直流入力を増加させるとその分交流入力力が減少し、電子安定器自体が負荷分担の機能を果たすことが確認された。このため 1 つの太陽電池アレイから複数台の Hf 蛍光灯で、太陽光発電の電力を利用する直接供給システムの実験を行った。

4.2 直接供給時の基本特性

Hf 蛍光灯の電子安定器は図 6 に示す構成になっており、交流入力電圧を 180V から 230V の範囲で変化させても、入力電力はほとんど変化なく安定して点灯する。この電子安定器の直流部に、太陽光発電で得られる直流電力の電圧を調整して供給すると、直流及び交流の入力電

力は図 7 のように変化する。この結果から、コンバータ出力電圧（直流供給電圧）が 423V（太陽電池の負担率 73%）程度までは交流入力電流の歪みはあまり小さくなく、光束はほとんど変化しない。しかし、423V を超えると歪み率が上昇し、光束も若干下降する傾向が見られる。コンバータ出力電圧が 424.7V 付近で交流入力電力が 0 となり直流入力のみで点灯するが、この状態に切り替わる際に直流電流が不連続な点を通過する。ただし、調光タイプの Hf 蛍光灯ではこのような状況は起こらなかった。

図 6 電子安定器の構成¹⁾

図 7 Hf 蛍光灯1台の直接供給特性

た。以上の予備実験から、直流電力を直接供給する分だけ交流入力電力が減少することが確認された。

4.3 直接供給システムの構成

実際の照明設備への応用では、太陽電池モジュール1枚の電圧と容量から、1つの太陽電池アレイは複数台のHf 蛍光灯に発電電力を供給可能な容量となる。このため直接供給システムとしては、図8に示すように、1つの太陽電池アレイに複数台のHf 蛍光灯を接続して発電電力を直接供給する形態となる。電子安定器との接続にあたっては、太陽電池の出力電圧と電子安定器内部の直流電圧を整合させることと、電子安定器内部の電圧が他のHf 蛍光灯に流出しないようにするため、DC-DC コンバータ（以下 DDcon）を介して個々の蛍光灯に接続している。

DDcon では、電子安定器への供給電力を調整する出力電圧制御と、直流入力電圧を太陽電池の最大出力電圧に維持する入力電圧制御を調整できるようになっている。また接地系の交流電源回路と、非接地系の太陽電池回路を分離するため入出力間の絶縁を確保している。DDcon のブロック図を図9に、外観を図10に示す。なお DDcon は表3に示す仕様で専門メーカーに製作を依頼した。

4.4 実験システムの構成

実験システムの構成を図12に示す。実験に使用した太陽電池アレイは、1枚22W_pのモジュールを16枚直列に接続して352W_pの容量がある。5台のHf 蛍光灯は衝立に取り付け、周囲にカバーを掛けて暗箱としている。

DDcon は、現状では電子安定器の外に取り付けることになるので、図11に示すように照明器具のケーシング外に設置している。また照明器具の点滅を考慮して交流

図10 DC-DC コンバータの外観

表3 DC-DC コンバータの仕様

項目	仕様
定格入力電圧	DC230V
最適動作電圧	DC210V～250V（設定範囲）
入力電圧	DC 0～352V
定格出力電圧	DC420V±5%可変
出力電圧変動	±1%
出力容量	100W
効率	91%（67.5W 出力時）
絶縁	交流入力：直流入力：直流出力 相互に絶縁を確保
制御機能	出力電圧制御 最適入力電圧制御
保護	直流入力過電流保護 直流出力過電流保護 直流入力逆接続保護

図8 直接供給システムの構成

図11 DC-DC コンバータの取付状況

図9 DC-DC コンバータのブロック図

側の入力電圧によって直流入力側のリレーを連動させ、DDcon 内で開閉を行っている。実験では、Hf 蛍光灯1～5の交流入力電流及びDDcon 1～5の直流入力電流はシャント抵抗を切り替えて計測している。

4.5 運転結果

4.5.1 複数台の入力特性

2台のHf 蛍光灯に対して、DDcon の出力電圧が75Wとなるように設定し、入力側制御電圧を235Vに設定した場合の入力電圧特性を図13に示す。1台目と2台目の

図12 直接供給システムの実験装置

図13 複数台の入力電圧特性（2台）

DDcon は、直流入力電圧がそれぞれ233.2V 及び233.8 V から出力電流が流れ始め、235.4V でほぼ設定した出力を電子安定器に供給していることが分かる。

4.5.2 総合運転特性（その1）

Hf 蛍光灯への供給電力が75W となるように DDcon の出力電圧を設定し、Hf 蛍光灯 5 台による総合運転特性の測定を行った。入力側制御電圧はすべて235V 一定とした。この結果を図14に示す。

測定日の'98.8.25は、午前中快晴であったが午後から雲が流れるようになり、発電量が低下する時間帯があっ

た。5 台の運転では太陽電池の発電量は、直接供給可能な最大電力値（75W×5）を上回らないので、直流入力電圧は 7 時30分より16時まで最適動作電圧の設定値（235V）で一定となる。発電電力の利用効率は 8 時30分より15時30分まで90%以上（12時30分のデータを除く。）となっている。蛍光灯の光束出力は、直接供給を行っても 1 日をとおしてほぼ一定で安定しており、フリッカなどはとくに感じられなかった。

4.5.3 総合運転特性（その2）

入力側制御電圧の設定を段階的に差をつけた場合の総

図14 Hf 蛍光灯 5 台による総合運転特性

合運転特性の測定を行った。この結果、発電量に従って動作する台数が順次変化することを確認した。

これは入力側制御電圧を一定とした場合、太陽電池の発電量にかかわらず、接続された DDcon 全部が動作することになる。このため、1 台当たりの DDcon の供給電力が減少し、変換効率の低いところで動作することになる。よって、入力制御電圧を段階的に設定することによって発電電力の利用効率を改善することができる。

4.6 今後の課題

今回の実験では、1つの太陽電池アレイに対して5台の Hf 蛍光灯を接続して電力を供給することができた。実験では DDcon を照明器具の外部に設置したが、Hf 蛍光灯の直接供給システムとしては、最終的に DDcon を電子安定器内に含めた形態が望まれる。このような形態でコスト評価が行われ、製品化されることが必要である。

なお、安定化電源を用いた DDcon の動作特性の測定時に、入力電流が振動し不安定になる状況が起った。このため、DDcon の入力電流制御回路が安定動作するための条件、もしくは入力電圧制御方法の検討を行う必要がある。

5. おわりに

自然エネルギーの利用は、地球環境保全の立場から推進することが求められている。大規模な発電を計画できる物件では、系統連系インバータを活用して発電電力を有効に利用できる。発電電力が大きくとれない場合には、常時稼動している負荷として Hf 蛍光灯を対象に発電電力の利用を行ったように、末端の負荷で発電電力を有効に利用可能である。ビル建築ではこのほかに、通信用電源や無停電電源にも適用可能と考えている。容量にかかわらず少しでも多くの物件で利用を推進し、太陽電池の

取り付け方法を含めて種々の方式が検討される必要があると考える。

各システムの構築に際して、負荷分担装置の開発では松下電工(株)の森様に、DDcon の製作ではワールド企画の北原様、浪越エレクトロニクスの方々にご協力戴きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 西本, 西野, 西浦: Hf ランプ用電子安定器の高効率化に関する一考察, 照学全大, p.17 (1993).
- (2) 小島, 山本, 斎藤, 森: 太陽光発電を用いた Hf 蛍光灯の直流点灯システム, 照学全大, pp.144-145 (1994).
- (3) 小島, 山本, 斎藤, 森: 太陽光発電を用いた Hf 蛍光灯の直流点灯システム, 電気設備学会全大, C-13 (1994).
- (4) 斎藤満: 人工照明の電源への適用を目的とした太陽光発電システムの研究, 建学計論, D4234 (1994).
- (5) 斎藤, 山本: 負荷分担装置を使った太陽光発電システムの小規模事務所建築への適用研究, 建学計論, 41259 (1995).
- (6) 山本, 小島, 斎藤: 太陽光発電を利用した直流点灯システムの小規模事務所建物への適用について, 電気設備学会全大, C-1 (1995).
- (7) 山本: 太陽光発電システムの設計・施工導入事例 (その2) 小規模事務所の例, 電気と工事, Vol.37, pp.44-50 (1996.4).
- (8) 小島, 山本, 斎藤: Hf 蛍光灯器具への直接投入型太陽光発電システムの実験的研究, 電気設備学会全大, H-4 (1996).
- (9) 山本, 小島, 斎藤: 負荷分担装置を用いた Hf 蛍光灯の直流点灯システム, 電気設備学会全大, p.6 (1997).
- (10) Yamamoto, Kojima, Tsutsui, Saito: An Experimental Study on the Photovoltaic System Adopting the Direct Input of the Generated Electric Power from the Solar Cell to the Hf Fluorescent Luminair, LUX PACIFICA'97 (Nagoya), pp.B136-B139 (1997).
- (11) 山本, 筒井, 斎藤: 太陽光発電電力の Hf インバータ蛍光灯への直接供給システム, 電気設備学会全大, B-11 (1999).