水素吸蔵合金を利用する太陽追尾システムの基礎技術開発

松村 一弘、小林 弘幸 *、濱田 靖弘 **、須田 孝徳 ***

Basic Technology Development for Metal Hydride-based Solar Tracking System

Kazuhiro Matsumura, Hiroyuki Kobayashi*, Yasuhiro Hamada**, Takanori Suda***

要　　旨

太陽光発電の発電量増加には、太陽電池の光電変換効率向上と、太陽電池への入射光制御が有効である。本研究開発は、太陽電池への入射光制御の改善として、わずかな温度差で放出水素圧が変化する水素吸蔵合金を利用して無電源で自律駆動する太陽追尾システムの実用化を目指し、試作及び動作実験を行った。設置場所が降雪地で、低温低日射量の冬季期間で実験条件が悪いにも関わらず、追尾の動作を確認し発電量増加も認められたことから、水素吸蔵合金を用いれば特別な電気的制御を必要とせずに無電源で太陽を追尾することを実証した。

1．はじめに

太陽電池は広く知られているように、一般的に南向きで、緯度に合わせた角度で設置すると効率が良いとされている。実際には太陽は東から西へと移動するので、常に理想的な配置で発電するには、太陽の日周運動（設置地面を基準に水平方向）と高度（設置地面を基準に仰角方向）に合わせて太陽電池の向きを変える必要がある。つまり、太陽を追尾すれば発電量を増加させることが可能である[1)]。既存の太陽追尾装置は、追尾動作を予めプログラムするか日射センサで太陽位置を検出し、モータ駆動で太陽電池の向きを変えており、制御のために常に電力を消費する。これに対して、本研究開発が目指す太陽追尾システム[2)]は、わずかな温度差で放出水素圧力が変化する特徴を持つ水素吸蔵合金（以下、MH：Metal Hydride）[3,4)]を、太陽光の輻射熱で暖めることで駆動に必要な圧力を得るので、電力を必要とせず（エネルギーコストゼロ）、さらに特別な制御装置を必要としないシンプルな構造で、既存装置と比較しローコストで太陽追尾を実現できる可能性がある。無電源太陽追尾原理の実用化検証を目的に、発電増加効果の高いとされる水平方向を追尾するシステムを試作し動作実験を行った。

2．水素吸蔵合金アクチュエータと追尾原理

温度によって水素を吸蔵・放出するMHを利用すれば、図1下部に示す温度変化に応じた圧力で動作する水素吸蔵合金アクチュエータ（以下、MHA：Metal Hydride Actuator）を、MHを入れた容器（以下、MH容器）2個とピストンシリンダで

* 東光電機工業株式会社

** 北海道大学大学院工学研究院

*** 苫小牧工業高等専門学校

責任著者連絡先（matsumura　kazuhiro）:matsumura@techakodate.or.jp

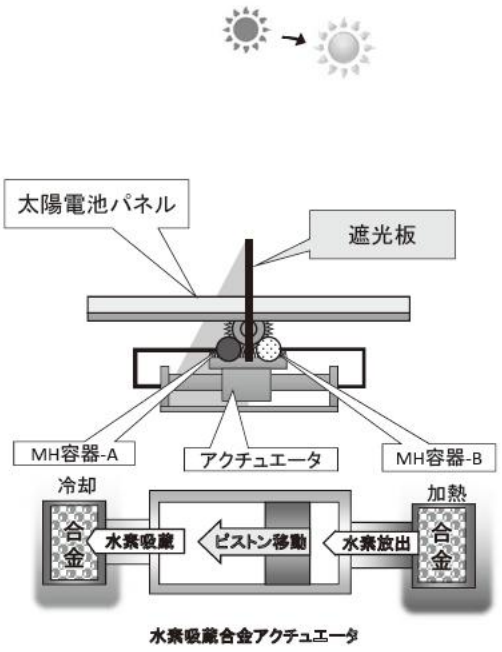

図1 MHA 太陽追尾ｼｽﾃﾑ構成

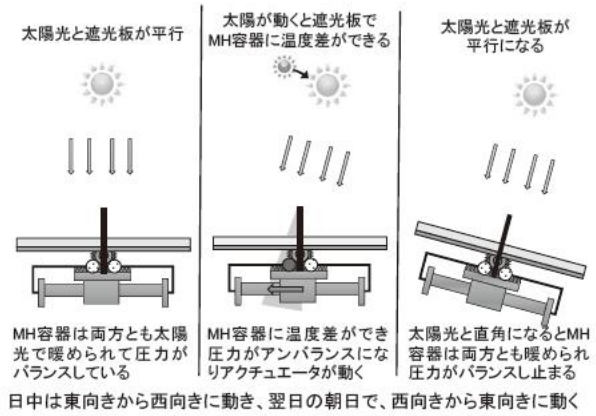

図2 MHA 太陽追尾動作原理

下する。しかし、もう一方の MH 容器は太陽光で暖めつづけられるので、左右の MH 容器間で圧力差が生じアクチュエータが動作する。その動作によって遮光板と太陽光が再び平行になると（図2右）、左右の MH 容器が同じように太陽光で暖められるので、温度差が無くなり水素圧力も同じになり停止する。そして、太陽が移動すると同じ動作を繰り返す。

太陽からのエネルギーを P_0、太陽電池パネルの太陽光に対する角度を θ、太陽電池パネルの変換効率を η とすれば、パネルから得られる発電エネルギー P は次式で求められる。この式を用いればパネルが太陽光に直角な θ =90度の場合が最大で、90度から15度外れても最大値の96.6% となる。高い追尾精度は要求されないと考えられる。

$$P=P_0 \cdot \eta \cdot \cos(90-\theta)$$

3．試作システムと実験方法

無電源太陽追尾技術を実証するためにシステムを試作し、屋外で太陽追尾の実験を行った。試作したシステムの概要を図3に示す。主要構成は、駆動源となる MHA、MHA のアクチュエータ直線運動出力をラックと固定ギアで太陽を水平追尾する揺動運動に変換する駆動部、仰角を45度で固定した太陽電池パネルである。MHA は図1下部に示したように、MH が175g 封入できる MH 容器2個と主要構造がマグネット式ロッドレスピストンシリンダの内径40mm・ストローク300mm 組み立てられる[5,6]。一方の MH 容器を加熱すると水素が放出され、もう一方の MH 容器を冷却すると水素が吸蔵され、ピストン左右のシリンダ内では圧力差が生じピストンが移動する。MHA の構成で示した熱源に太陽の輻射熱を用い、右と左の MH 容器の間に遮光板を設けることで、図1に示す太陽追尾システムが構成できる。その動作を図2に示す。太陽光と遮光板が平行なとき（図2左）は、左右の MH 容器は同じように太陽光で暖められ温度差が無く水素圧力も同じなので、アクチュエータは停止状態にある。時間が経ち太陽が移動すると（図2中）、遮光板によって片側の MH 容器は日陰になり温度が低下し水素圧力も低

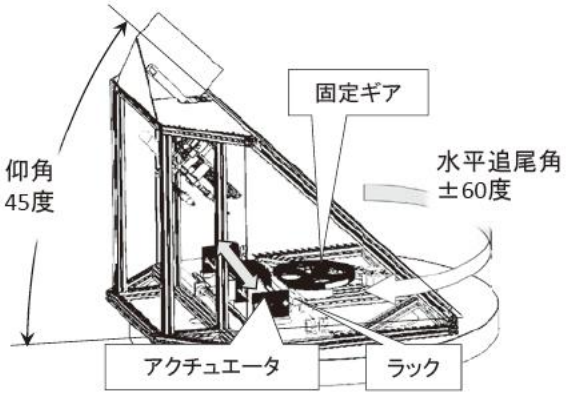

図3 試作ｼｽﾃﾑ概要

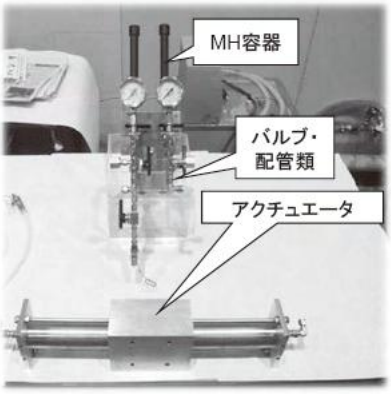

図4 試作 MHA 外観

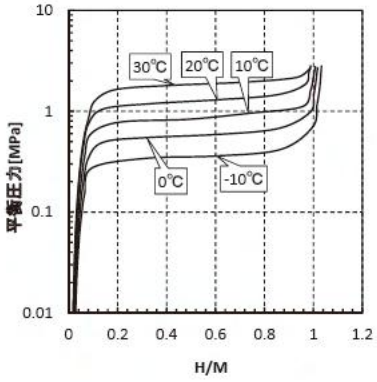

図5 試作 MH の PCT 線

のアクチュエータ、MH 容器とアクチュエータ間のバルブ・配管類で構成した。この MHA の外観を図4に示す。使用した MH は図5の圧力 - 組成等温線（PCT 線）で示す特性の Mm-Ni 系である。太陽電池パネルは三菱電機製 PV － MA1100KH（最大出力110W）を使用した。

実験期間は2015年11月1日～2016年2月22日とし、設置場所は東光電機工業（株）札幌支店敷地内とした。この場所の実験期間中の日出から日

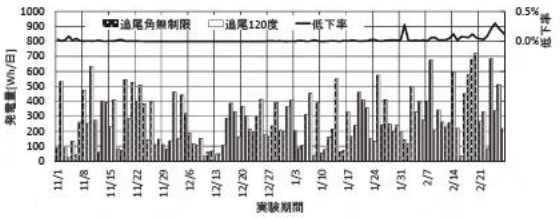

図6 水平追尾角度無制限と±60 度の比較
(11/1-2/22)

表1 計測項目

計測項目	センサ	メーカ・型式
追尾角度	角度センサ	緑測器・CP3HK100
MH容器表面温度	熱電対	チノー・1SKF613
MHA動作圧力	圧力センサ	共和・PVL50KB
MHA動作変位	変位センサ	緑測器・LP300FJ
日射量	全天日射計	クリマテック・SHFLP02
外気温	温度計	クリマテック・CVSHMP60
風速	風速計	クリマテック・CYG3002VM
発電量	PVチェッカ	浪越エレクトロ・PV-757

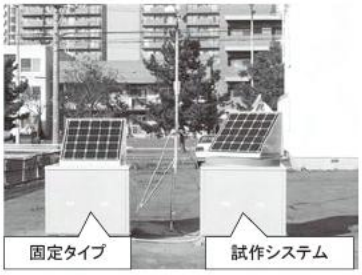

図7 試作ｼｽﾃﾑと固定ﾀｲﾌﾟの設置状況

没までの太陽方位の角度は真南を0度とし±70度～±80度であるが、周囲の建物の高さも勘案し、試作システムの水平追尾角度は8時～16時の±60度とした。この水平追尾角度の妥当性について NEDO 日射量データベース[*1]を活用し、実験期間中の水平追尾角度を日出から日没とした比較結果（図6参照）は平均0.02%、最大0.3% の僅かな低下で、発電効果検討に支障なしと判断した。

試作したシステムを図7右に示す。また、発電量比較対象として、試作システムと同じ太陽電池パネルを仰角45度で搭載した固定タイプ（図7左）も併設した。

実験方法は、試作システムの追尾動作を表1に示す各センサ計測値から状況を検証し、追尾による発電効果は、併設した固定タイプの発電値や NEDO 日射量データベースからの推定値との比較をすることにした。なお、実験期間中は冬季であり降雪が予想されたが除雪は行わないこととした。

[*1] 新エネルギー・産業技術総合開発機構が公開する日本の800以上の地点における任意の角度、方位での月別、時間別の日射量を推計できる太陽光発電の発電量把握のためのデータベースで、MONSOLA-11を使用

4．実験結果と考察

試作システムを設置後、図8に示す様に太陽を追尾し東から西に動作することを確認した。そして、翌朝には東（太陽）に向かって動作し、太陽を捉えると、東から西に前日と同じ動きを観察した。

実験データの一例として2015年11月4日の日射量、追尾角度、発電した出力を図9に示し動作状況を説明する。この図の上段から日射量は日出から7:10までと、8:10から9:30まで設置場所周囲の建物の影響でシステム全体が日陰となっている。同図の中段から前日に西向きで停止していた追尾システムが、7:10に日が当たると角度が＋40度から－40度に変化し、太陽方向に向かって西から東に向いていることが分かる。その後、周囲の建物の影響でシステム全体が日陰となるため角度は変化しないが、再び9:30に日が当たると太陽が東から西に移動するのに合わせて、試作システムの追尾角度も変化していることが分かる。同図の下段は発電量を示してあり、固定発電量より試作システムの追尾発電量が上回っていることが見て取れる。この日の累積発電量は試作システムが500Wh、固定タイプが431Whで約16%の発電量増加が認められた。

計測例として2015年11月1日～2015年11月15日の結果を図10に示す。残る2015年11月16日～2016年2月22日も、同様に計測データの整理を行っている。図10には、日射量、MH容器間の温度差と外気温、MH容器間の圧力差、風速、試作システムの追尾角度と太陽方向の角度を上段から順に示した。日射量と温度の図を見ると、朝に試作システムが西から東に動くときは、日射量が増えるに従い東側のMH容器の温度が上昇するので、温度差は負値となり、東から西にシステムが動くときは西側のMH容器の温度が上昇するので、正値となっている。この結果から、遮光板によって温度差が生じていることが分かる。その温度差は外気温の変動の影響を受けなかったことも分かる。次に、温度と圧力差の図を見ると、温度差が生じると圧力差も生じていることが分かる。そして、風速と温度の図を見ると、風速が大きくなっても温度差に変動は見られず影響を及ぼしていないことが分かる。さらに、圧力差と角度を見ると、圧力差によって追尾角度が変化していることが分かる。圧力差が負値であれば、東に向かって動き、正値であれば西に向かって動いている。この角度の図には太陽の方向角度も合わせて示してある。この太陽角度と試作システムの追尾角度の差を追

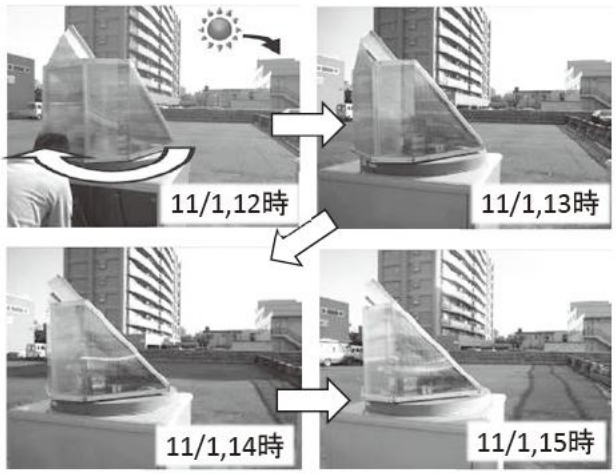

図8 設置直後の動作確認

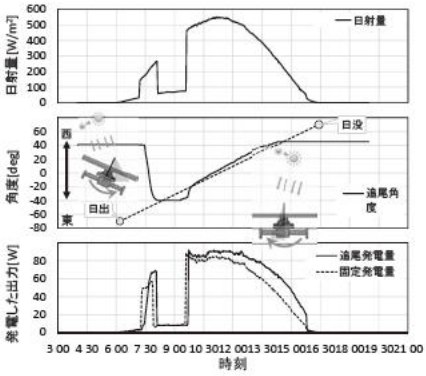

図9 実験結果例 (2015/11/4)

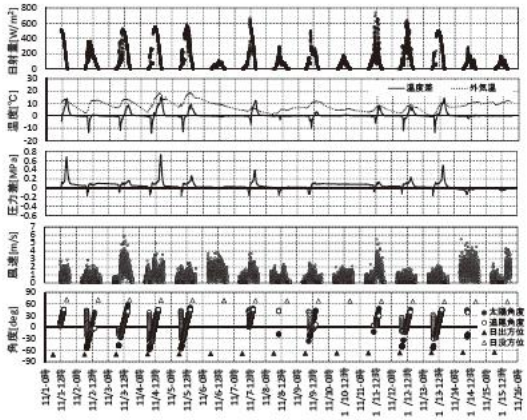

図10 計測結果 (2015/11/1-11/15)

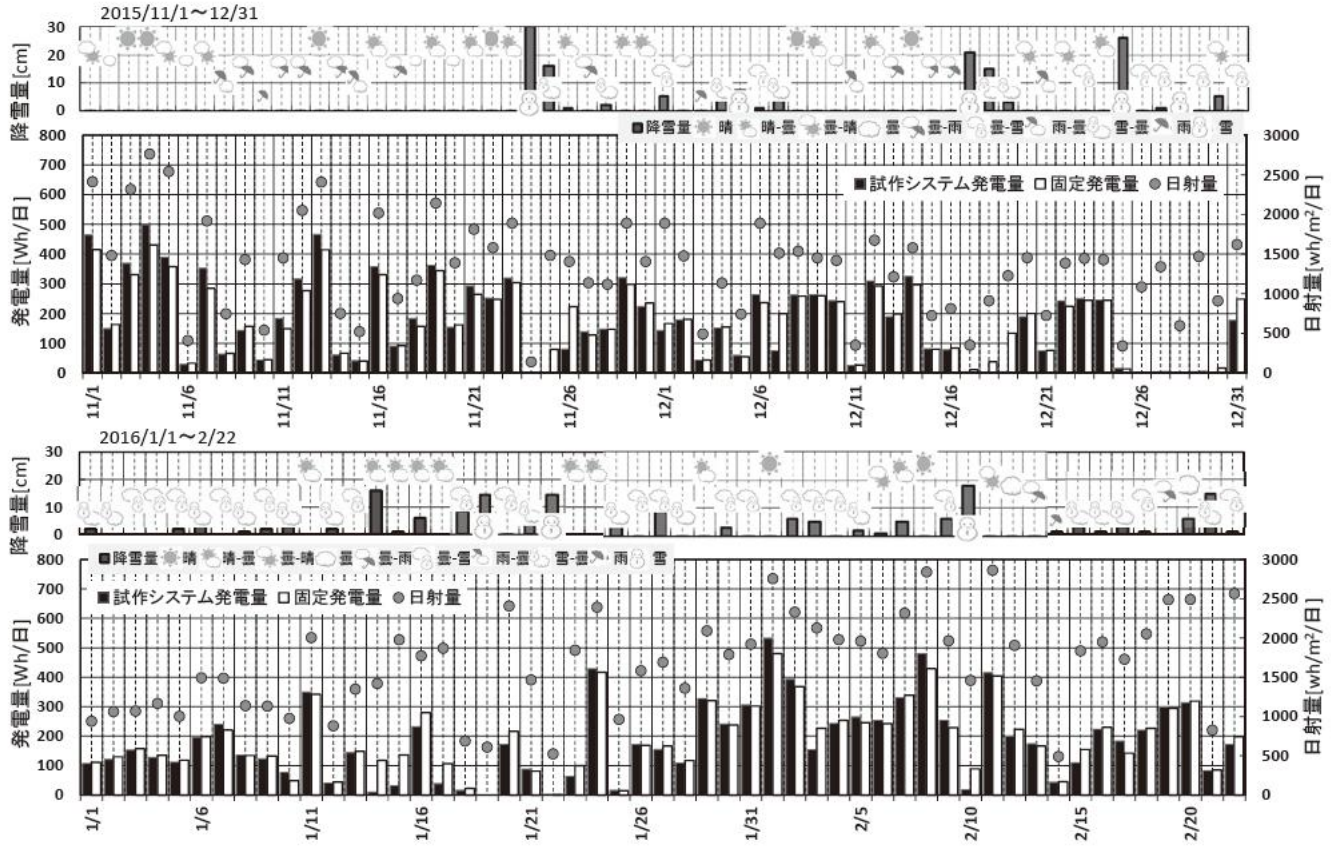

図11 発電量 - 日射量 - 天候の結果

尾精度とすれば、全実験期間中の朝方の西から東へ動くときも含めた場合は7.5度以内が58%、15度以内が72%、30度以内は87% で、東から西への追尾のみでは、7.5度以内が76%、15度以内は88%、30度以内は98% であり、朝方の西から東に戻り、太陽を捉えれば太陽の移動に合わせて追尾したことが明らかとなった。

試作システムと固定タイプの累積発電量 / 日・累積日射量 / 日と天候[*2]について、上段に2015年11月1日 ～2015年12月31日、下段に2016年1月1日 ～2016年2月22日として図11に示す。この図に示した期間中、天候を見ると積雪が観察されているが、除排雪など全く行わなかった。そのため、期間の累積発電量は、試作システムでは20.1kWh、固定タイプでは20.6kWh となり、わずか0.5kWh ではあるが試作システムが固定タイプにおよばなかった。原因は積雪であることが判明している。固定タイプと試作システムのパネル仰角は45度であり、積雪しても同じタイミングで雪が滑り落ちると考えられた。むしろ固定タイプはパネルの下端部は設置架台天板面で、ここで雪が堆積し、試作システムはパネルの下端部は追尾機構部カバーを介して設置架台天板面で段差があり堆積しにくいと予想したが、逆の結果となった（図12参照）。このため、図11に示す積雪日とその翌日、さらに翌々日でも追尾無動作であれば、パネルに

図12 太陽電池ﾊﾟﾈﾙの落雪状況比較

[*2] 札幌管区気象台公開札幌市気象データ

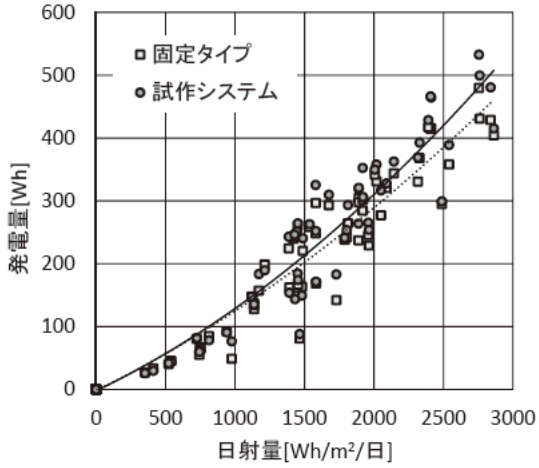

図13 日射量に対する発電量
(2016/11/1/-2017/2/22)

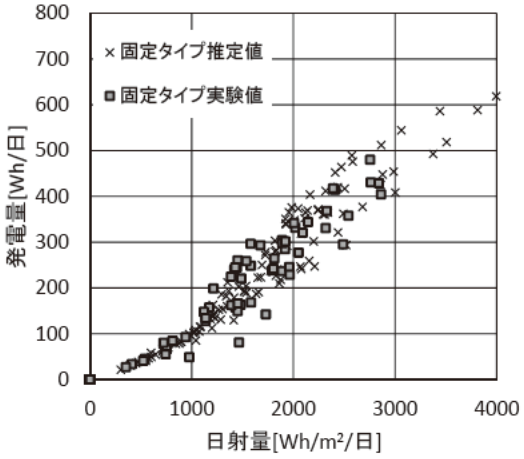

図15 固定ﾀｲﾌﾟの実験値と推定値 (11/1-2/22)

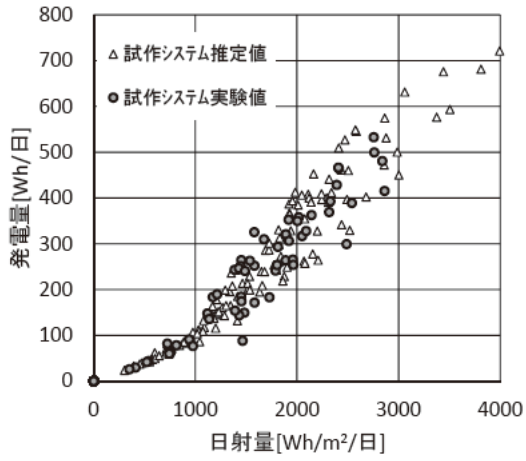

図14 試作ｼｽﾃﾑの実験値と推定値 (11/1-2/22)

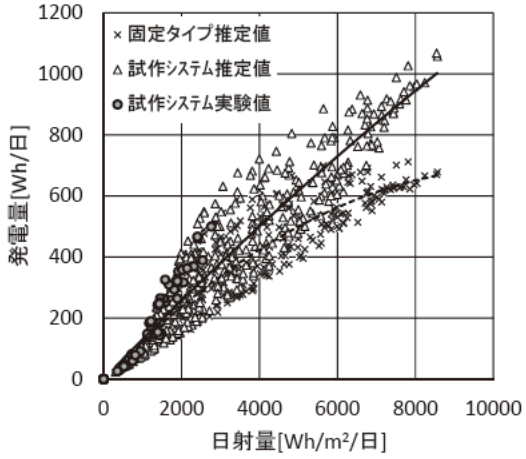

図16 試作ｼｽﾃﾑと固定ﾀｲﾌﾟの年間発電量推定

積雪しているとし、それらの日を除いて試作システムと固定タイプを日射量に対する発電量として整理したのが図13である。この図から試作システムの累積発電量は14.7kWh、同じく固定タイプは13.7kWh で7.3% の発電量増加であった。また、計測値と NEDO 日射量データベースを活用した推定値を図14と図15に示す。図14から試作システムは推定値と良い一致が見られ、図15の固定タイプも同様であった。つまり、実験期間における発電量増加率7.3% は、妥当な結果と判断でき、追尾効果が確認できた。

日射量に対する発電量を示した図14や図15の結果から、低温低日射で条件が悪い期間であり、試験データから1年間の発電量を想定することは、大きな誤差要因と考えるが、試作システムの発電量は固定タイプに比べ増加することは明らかなので、図14の推定値期間を1年間として再計算した結果を図16に示す。この図から、試作システムによる発電量増加は最大60% 程度と見込める。また、試作システムに仰角追尾を加えると、さらに発電量は増加すると考えられる。

5．まとめ

太陽電池の発電量増加につながる運用面の入射光制御の改善として、太陽光を熱源とする無電源で自律駆動する太陽追尾システムの実用化を目標

に、仰角固定の水平方向追尾システムを試作し動作実験を行った。その結果、日射量の少ない冬季間でも、太陽を追尾したことで原理が実証され、発電量も増加することが認められた。今後、夏季の発電量増加効果の検証、仰角方向追尾機構検討などや、製品化に向けたコスト試算等を進める予定である。

謝　辞

MH 試作では株式会社三徳の作田敦様・林宏樹様、追尾機構部や架台の製作・設置では株式会社 Will-E の根本英希様、株式会社日江金属の増本武広様・寺田尚史様、アクチュエータ試作では株式会社東和製作所の清水智様、MH 容器試作では三恵ホールディングス株式会社の田嶋信介様、実験データ解析では北海道大学大学院工学研究院生の斉藤大治様・大前裕紀様のご協力やご支援を頂いた。各位に深く感謝します。なお、本研究開発は国立研究開発法人科学技術振興機構から受託した平成24年度研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム FS ステージ探索タイプの研究成果を活用し、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構から受託した平成27年度新エネルギーベンチャー技術革新事業 [フェーズ A] で実施した。

参考文献

1）例えば、トランジスタ技術 SPECIAL 編集部 / 編 , 太陽光発電のしくみと実例 , グリーン・エレクトロニクス , No.5（CQ 出版）（2011）,p37-38.
2）濱田靖弘 , 松村一弘 , 須田孝徳 , 小林弘幸 , 特開2015-171281, 太陽追尾装置及び太陽光利用システム ,（2014）.
3）武者亮佑 , 須田孝徳 , 濱田靖弘 , 松村一弘 , 準寒冷地域における室温制御用自律駆動型開口部自動開閉装置の研究第2報二種類の温度帯における長期運転実績とその評価 , 空気調和・衛生工学会平成25年度大会学術講演論文集 Vol.2013,No.10（2013）, p185-188.
4）大西敬三 , 水素吸蔵合金のおはなし改訂版（日本規格協会）（2003）, p46.
5）吉田静男 , 松村一弘 , 水素吸蔵合金を利用した自律駆動型アクチュエータの開発 , 水素利用技術集成 ,Vol.3,（エヌ・ティー・エス）（2007）,p695-703.
6）吉田静男 , 松村一弘 , 特許4951737, 自律駆動型水素吸蔵合金アクチュエータ ,（2003）.