

ソーラーバイオトイレの実用化研究

Demonstration Program of "Solar Bio-Toilet" Powered by Photovoltaic-Thermal Hybrid Solar Panels

山城 迪 (北見工業大学工学部電気電子工学科)
佐々木 正史 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
竹内 修 (株式会社 シオン)

Susumu YAMASHIRO (Kitami Institute of Technology)
Masafumi SASAKI (Kitami Institute of Technology)
Noboru ENDOH (Kitami Institute of Technology)
Osamu TAKEUCHI (Zion Co., Ltd)

Key words : photovoltaic-thermal hybrid solar panel, solar bio-toilet

1. 緒言

オガクズと腸内菌を活用したいわゆるバイオトイレが道内企業(正和電工/旭川市)の手で開発され、イベント会場などでの臨時トイレとして実証試験に供され好評である。バイオトイレの構造図を図1[1]に示す。これは便槽内のオガクズと汚物とを攪拌するだけで、汚物自身が保有する腸内細菌の好気性活動を促し分解するもので、適正な温度と酸素濃度を維持すれば特別な処理や添加物が一切不要である。

一方山岳地域とりわけ大雪山国立公園において近年登山者の汚物による汚染が深刻化している。バイオトイレの設置はその対策のひとつと目されるが、攪拌および加温に電力を要することから給電インフラの無い山岳地域での設置が困難であった。これをソーラーエネルギーで自立的に賄うことを目的とし、世界に類を見ない「ソーラーバイオトイレ」を試作・実証するプロジェクトが平成14年(2002年)度に道内企業の参加によって立ち上げられた。本学は電気電子工学科と機械システム工学科が共同でソーラーエネルギーシステムの基本設計を担当した。

本報ではソーラーバイオトイレのエネルギーシステムの設計および大雪山系トムラウシ山登山口における設置状況の概略を報告する。

尚、本実証試験は、北海道環境生活部「山のトイレ試験設置調査業務」の一環としてシオンがプロジェクトを推進し、正和電工㈱、陽気堂クリエート工業㈱らの参加によって施工されたものである。

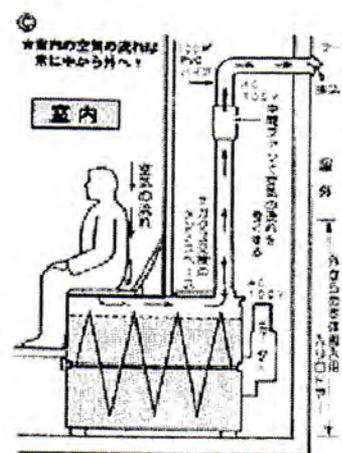


図1 バイオトイレ構造

2. ソーラーバイオトイレのシステム概要

当初、バイオトイレの要求電力を全て太陽電池(以下PVと略記)パネルで賄うことを想定してソーラーエネルギーシステムの検討を実施したところ、トイレ小屋に比して不釣り合いに過大なPVパネル面積が必要であることが分った。そこでバイオトイレに必要な熱負荷を太陽熱で補うシステムに変更して再度検討を行ったが、所要熱負荷は予想外に大きく集熱パネルとPVパネルを合わせた面積はPVパネル単独の時とさほど変わらないという結果となった。従ってソーラーパネル面積を現実的な大きさにするには、PVパネルと集熱パネルを一枚のパネルに複合化したハイブリッドソーラーパネルを適用するほかないという結論に達した。

ハイブリッドソーラーパネルは積水化学工業によって世界で初めて商品化され[2]、パネル面積当りのエネルギー利用率を飛躍的に高める有効な手段として注目されている。ハイブリッドソーラーパネルの構造を図2に示す。集熱パネルは製作の便宜上平板型となっており、寒冷地の冬期間の集熱性能に難があるが、登山客が集中する6月から9月にかけての季節であれば商品化仕様そのままでも適用可能と判断した。ハイブリッドソーラーパネルを利用したソーラーバイオトイレのシステムを図3に示す。電力負荷（攪拌モーター、換気ブローア、照明など）は、PVパネルの発電電力をインバータによりAC100Vに変換して賄われる。余剰電力は鉛酸バッテリーに蓄電され、夜間や曇天日の電力に供される。熱負荷はバイオトイレ筐体のジャケットに温水を循環させて槽内を加熱する部分のみであり、蓄熱タンクに集熱パネルからの太陽熱を直接（熱交換器を介さず）受熱する。集熱パネルおよび蓄熱タンクの熱媒体は環境に配慮し、上水とした。集熱パネル温度と蓄熱タンク水温の差が設定値（約3℃）以上になると受熱運転を開始する差温制御を行い、バイオトイレ反応槽温度が設定値（約40℃）以下になると筐体ジャケットへの温水循環を行う制御とした。夜間や曇天日の熱量は蓄熱タンク内の温水のみによって賄われる。

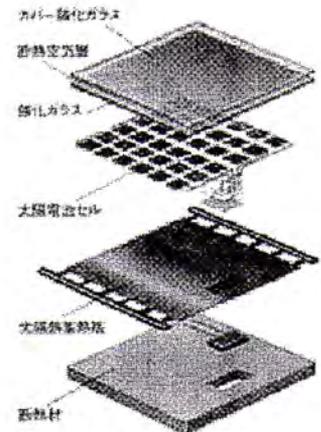


図2 ハイブリッドソーラーパネルの構造

3. ソーラーシステムの基本設計

エネルギー収支の検討に必要な気象条件については、現地における観測データが無い場合、日射量については新得町（標高178m）の月平均日射量を、気温に関しては標高を重視して糠平（540m）のデータから現地の条件を推定した。天候については山岳地域特有の傾向を把握すべきであり、現地近くのトムラウシ温泉においてヒアリングを試みたがデータを得るには到らなかった。

自立型のソーラーエネルギーシステムの規模は、この天候パターンが決定的に支配する。すなわち曇天によるエネルギー不足を晴天日にどれだけ貯めこんでおくかによって、必要なパネル面積、バッテリー量、蓄熱タンク容量が大きく変わってしまう。システム設計においては晴天と曇天の種々のパターンについて検討を行ったが、最終的には9月末の比較的低い外気温の時、1日晴天の後2日曇天が続いても必要なエネルギーが賄えることを目標とした。これは晴天比率の問題ではなく、バッテリーおよび蓄熱タンクの最大容量を決定するものであって、連続して何日晴天が続こうとも2日を越えて曇天が続くとエネルギー収支（特にバッテリー）が苦しくなることを意味する。このようなリスクを含みつつ、1日の晴天があればその後2日間の曇天を許容できるシステムの基本設計結果を表1に示す。但し1日の最大使用回数は百回に対応できるものとした。また、バッテリー容量は2日の曇天が終了した時点でバッテリーの放電深度DODが最大0.5となるように考慮した。熱損失は蓄熱タンクおよび反応槽外壁について熱伝達モデルから求めたが、これらに配管損失3%を加えても換気ブローアによる反応槽内ガスの排気に伴う排熱量の方が圧倒的に大きくなる可能性があるという検討結果が得られた。換気は連日24時間連続運転することがその主な要因であるが、換気に伴う熱損失の推定モデルには不確定な部分も多いため、実際のシステムでは蓄熱タンク内の容量

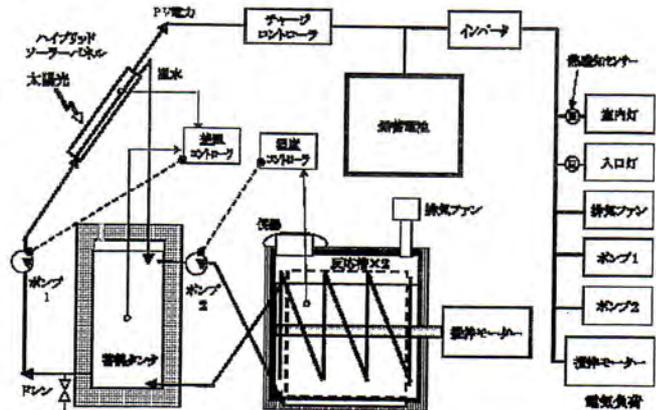


図3 ソーラーバイオトイレのシステム概要

表1 ソーラーシステム主要諸元

所要電力	3.0 kWh/day
所要熱量	3.3kWh/day
晴天1日+曇天2日の場合	
所要PVパネル面積	20 m ²
所要バッテリー容量	20 kWh
所要熱コレクタ面積	17 m ²
所要蓄熱タンク容量	350 リッター
平均室温	10℃
PV効率	10%
集熱効率	15%

は800リッターと余裕を持たせた値になっている。尚、蓄熱タンクの外壁は厚さ100mmの断熱フォーム（吹き付け）を実施している。

4. ソーラーバイオトイレの設置状況

トムラウシ山登山口に設置されたソーラーバイオトイレの外観図を図4（正面）および図5（背面）に示す。バイオトイレは男女別々に各一基ずつ設置され、ソーラーエネルギーシステムはその双方のトイレのエネルギーを賄うため、ソーラーパネル、バッテリー、蓄熱タンクは一式である。ソーラーシステム機械室に設置された鉛酸バッテリーを図6に、電力制御部を図7に、蓄熱タンクを図8に示す。

設置当時は天候が不順のため、バッテリーおよび蓄熱タンクのいずれも基準状態（満充電および40℃以上）に達するのに一週間以上を要した。その後システムは順調に稼働したが、途中一回だけ異常検知による自動停止が発生した。全てのシステムに異常は認められず、落雷に伴う瞬時異常が原因と考えられる。しかし本システムは完全な無人運転であり、安全を確保するため自動復帰機能は当面付与しないこととした。

本ソーラーバイオトイレは平成14年10月の積雪期を前に一旦運用を停止（蓄熱タンクより排水、PVパネルとバッテリーは活電状態で過放電に対応）したが、その時点での延べ利用回数は、男子トイレ 1619回、女子トイレ 1383回であった。予想通り登山客とりわけ女性から多くの感謝の言葉が寄せられている由であった。



図4 ソーラーバイオトイレ外観（正面）

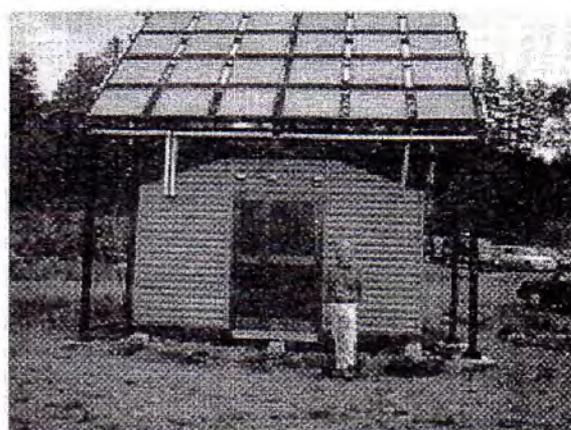


図5 ソーラーバイオトイレ外観（背面：南向き）

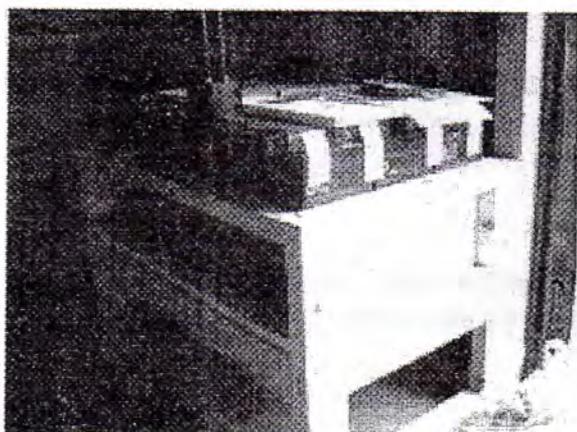


図6 シール形鉛蓄電池

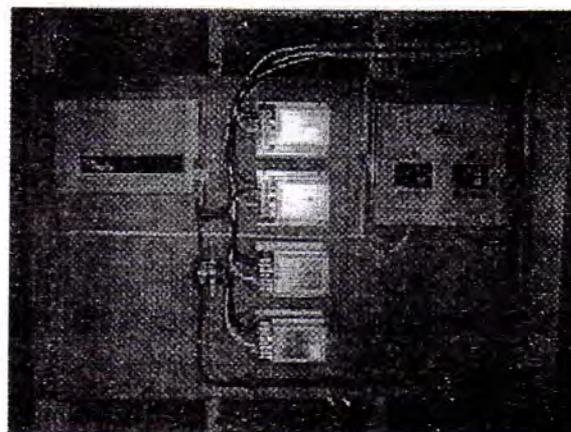


図7 電力制御盤
（チャージコントローラ、インバーター）

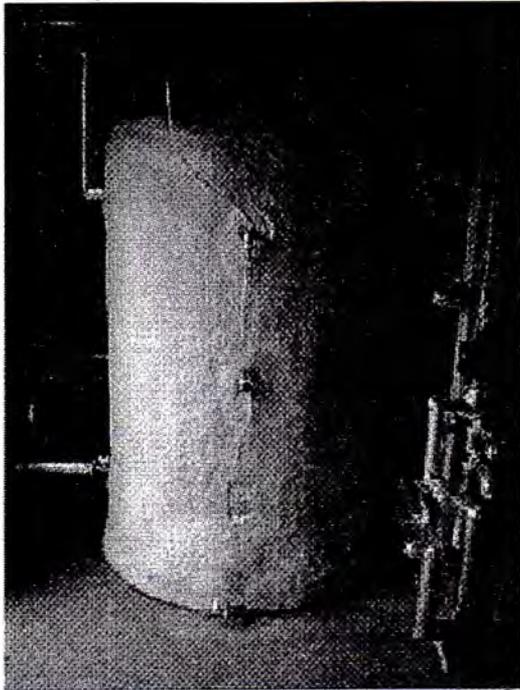


図8 蓄熱タンクおよび循環ポンプ

5. 結言

ハイブリッドソーラーパネルを利用したバイオトイレのコンセプトを構築し、ソーラーエネルギーシステムの基本設計を本学電気電子工学科と機械システム工学科が共同で行った。その結果に基づいてソーラーバイオトイレを大雪山系トムラウシ山登山口に施工設置、平成14年7月から本格的にフィールドにおける実証試験を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 落雷によるものと思われるシステムの自動停止が一度あったが、これを除くとソーラーバイオトイレはシステムとして正常に機能し、特に電力や熱の不足による機能上の問題は生じなかった。
- (2) これにより自立式熱/電気ハイブリッドソーラーエネルギーシステムの設計手法の妥当性が立証された。
- (3) 自立式のソーラーシステムをコンパクトにまとめる上で、ハイブリッドソーラーパネルの有効性が実証された。

本ソーラーバイオトイレは平成15年も道路の冠雪が溶解する6月から再運用を計画している。豪雪・強風・酷暑の中に放置されたソーラーエネルギーシステムの耐久状況を含め、さらなる詳細な運用データが蓄積されることが期待できる。

また、新潟県巻町角田山においては環境シーエスワンが同様のソーラーバイオトイレを設置、通年運転を試みる予定となっている。他の山岳地域からも大きな関心が寄せられており、ソーラーバイオトイレシステムが広く普及・展開することによって山岳の汚物汚染問題解決の一助となることを期待したい。

謝辞

ハイブリッドソーラーパネルの製作・納入に当っては積水化学工業㈱の多大な配慮を頂いた。また日本電池㈱北海道支店にはバッテリーおよび電力制御機器に関する懇切な技術アドバイスを頂いた。ここに付記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 正和電工㈱ カタログ、2002.3
- (2) 松崎、加納、村田、太陽風力エネルギー講演論文集、pp.155-158、(2000)

(注；山城 迪氏の許可を得て「北見工業大学工学部年報の Web 閲覧内容」より論文を転載)