

高真空平板式太陽熱コレクターの開発

国際技術開発株式会社

中内俊作

1. 開発の趣旨

現在の世界が抱えている大きな問題の一つはエネルギーに関連する問題、即ち、エネルギー源の枯渇の心配、炭酸ガスの増加による環境の悪化、エネルギー価格の高騰、エネルギー源の偏在、等の問題である。

これらの問題の解決は、今世紀の最重要課題の一つである。

我々はこの問題の解決のために、最も合理的且つ高効率で太陽熱を利用出来る高真空平板式太陽熱コレクターを開発し、このコレクターによって太陽熱を利用して上記問題の解決の一助とする。

2. 高真空平板式太陽熱コレクターを用いる理由

太陽熱エネルギーは、地域差はあるにしても、世界中どこでも毎日確実に無料で配送され、この状態は少なくとも数億年は続くと予測されており、多分それより短い期間しか存在しないと予測される人類にとっては、枯渇の心配のない資源と言える。

またこのエネルギーの利用は、もともと毎日到来しているエネルギーを、温度の高い状態で捕らえて利用するものであるから、これが利用されて通常的气温に迄下がったとしても、利用される総エネルギー量には変化はなくこれの利用によって地球の気候に何らの変化をも齎すものではないし、炭酸ガスの発生も無い。全く無害で利用できるエネルギーである。

しかもその量は膨大であるのみならず、そのエネルギー密度は自然エネルギーのなかでは最大と言っても良い。例えば、水力に比較すると、降雨量によって左右されるが、我が国の場合、太陽熱のエネルギー密度は水力の数百倍から千倍程度に達する。またその利用は、風力発電のように大きな規模でなく、ごく小さい規模から、数10万kWの太陽熱発電のような非常に大きい規模まで利用できる。

多くの科学者によっても、21世紀初頭では殆んど利用率がゼロに近いバイオマスと太陽が21世紀末には総利用エネルギーのそれぞれほぼ1/3ずつを占めるようになると予測されている。

その太陽エネルギー利用の中で太陽熱利用はその太宗を占めるものである。

ここに提案する真空平板式コレクターは、40℃～200℃程度の温度範囲内で高効率集熱が可能で、家庭用から農工業用までの広い範囲で利用できて太陽熱利用に欠かせないものである。

また大規模な火力発電の補助熱源としても利用できる。

勿論古くから、太陽熱の利用は考えられており、特に第1次石油危機のときに、多くの非真空式コレクター、と真空ガラス管式コレクターが作られた。そして現在日本国内で約500万台以上のコレクターが利用されていると聞く。

それにも拘わらずここで新しいコレクターを提案するのは、これが従来の非真空式より数倍効率が高く、従来の真空ガラス管式と比べても、更に効率が良く価格も安く用途も広いからである。

価格が安い理由は構造が簡単であるからである。近年ドイツで高真空平板式が考案された理由の一つも真空ガラス管式より価格が安いからであると言われている。高真空を長年維持できる簡単な方法が開発されれば、構造は簡単であるから従来の非真空式の従来のコレクターよりも、価格は安くなるであろう。

太陽熱のエネルギー密度は自然エネルギーの中では高いほうであるが、それでも真昼の直達日射量でせいぜい $0.9\text{ kW}/\text{m}^2$ 程度である。従って非真空式コレクターのように、コレクター内の空気の熱伝導による熱損失が $5\text{ W}/\text{m}^2\text{C}$ 以上程度になるコレクターでは到底高温出力は望めない。

一方最近の選択吸収膜では太陽光の吸収率が95%、2次放射損失が5%という優秀な性能をもっているので、放射損失は高温においても小さくできる。だから高真空太陽熱コレクターのように、空気による熱損失をなくしたコレクターは大変優れた性能を発揮できる。高真空太陽熱コレクターは、太陽熱利用での最も優れた性能を発揮する機器で、炭酸ガスの発生を伴わないエネルギーとして京都議定書をクリアできるだけでなく、21世紀のエネルギー源の主力になるもので、経済的にも大きな利得を生むものである。

真空式のコレクターが最初に発表されたのは、真空管式で、1987年ドイツでのことである。真空平板式太陽熱コレクターが最初に発表されたのもドイツで、1994年頃のことであり、1999年にはほぼ完成された形で発売された。これはクリプトンガスを利用した独特のものである。

同じ頃に当社も真空式を考え始めた。当社が試作を始めたのは1994年で、論文を発表したのは1998年に、ニューサンシャイン計画での、平成9年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書に発表したのが最初で、その後実験を重ね、2005年に日本太陽熱学会に“高真空平板式太陽熱コレクター”としてそれまでの成果を発表した。発表は遅れたが、当社のものはドイツのものより真空度が高く、そのため効率が更に高く、構造も簡単なものである。

3. 開発するコレクターの長所とその用途

先ず真空式コレクターが集熱できる太陽熱エネルギーの量について述べる。

理科年表によると、日本の気候では、全日射量（水平面に入る太陽或いは雲等からの日射量）は年平均で、地域による少しのばらつきがあるが大体 $12\sim 13\text{ MJ}/\text{m}^2$ 日位である。周囲温度 20C 、出力温度 70C の場合で本コレクターはこの内の $7.8\sim 8.6\text{ MJ}/\text{m}^2$ 日

位は集熱できる。

全天日射量は水平面に入る日射量であるから、コレクターを南に向けて傾けると、更に収量は上がる。しかしここでは収量を固めに視て、 $8\text{MJ}/\text{m}^2$ 日として、コレクターの経済性を検討する。

従来の太陽熱温水器との最大の違いは、このコレクターは 200°C 程度の高温度まで高い効率で太陽熱収集ができるし、またその性能は外気温度の影響を殆ど受けないということである。

従来の非真空式は、冬には晴天でも $4\sim 50^\circ\text{C}$ で飽和温度に達して、その後晴天がいくら続いてもそれ以上は温度が上がらず、集熱は不可能になるが、真空式ではこのような場合でも、 50°C で飽和することなく、蓄熱槽の温度が 100°C 或いはそれ以上に達しても、太陽光が来ている限り集熱して蓄熱槽の温度を上げて太陽熱エネルギーを溜め込むことができる。従って、従来方式より小さい蓄熱槽でも多くのエネルギーを蓄えられる。蓄熱槽の耐圧を5気圧まで上げておくと、水に蓄熱するタイプの蓄熱槽でも 150°C までの蓄熱が可能である。勿論1気圧のものでも 100°C まで蓄熱が可能である。蓄熱用の熱媒体に耐熱性が良く蒸気圧の低い油類を使用すれば 200°C 程度の蓄熱も容易である。

従来の飽和温度 50°C の蓄熱槽で 30°C の温水を利用する場合、利用できる温度は $50 - 30 = 20^\circ\text{C}$ であるが、 100°C の蓄熱槽では、 $100 - 30 = 70^\circ\text{C}$ であって、利用可能なエネルギーは3.5倍に達する。コレクターに対する蓄熱槽の容量を大きくしておけば、非真空式でも太陽熱を逃がさず蓄熱できるが、この場合曇天では蓄熱槽の温度が上がらないし、大型の蓄熱槽はそれなりに費用も掛かる。

このように多くの長所を持つ故に、真空コレクターの用途は、暖房、給湯のような低温での用途から、造水、乾燥、消毒、発電等の高い温度での用途まで広がるだけでなく、 30°C 程度の低い温度で暖房用に用いるときにも、高温出力が可能であるという長所は、前述したように、蓄熱槽の蓄熱効率が高くなるという効果があり、また冬季や南極のように 0°C 以下の寒冷地でも効率が殆んど下がらないという効果もある。

造水の場合について言えば、単位の水を蒸留するのに必要な熱量は蒸留温度によって多少変動し、例えば 25°C と 100°C のときで約8%程度の差が生ずるが、その程度の差であるから、 40°C 出力の非真空式コレクターでも、 100°C 以上の高温出力高真空式コレクターでも、1ccの水を蒸留するのに必要なコレクター面積はほぼ同じである。それにも拘わらず高温出力の高真空式を推奨する理由は、蒸留装置の効率が違う点である。例えば 40°C と 120°C での蒸気密度には2.7倍の差がある。それだけ高温の方が密度の高い蒸気を用いて、同じ蒸留装置で単位時間でより多くの水を得ることができる。 120°C 位の出力なら、 40°C での蒸留の場合のように減圧沸騰のために真空ポンプを用いることなく、10段程度の多段フラッシュ法での蒸留が可能である。

高温出力が採れるという長所は、発電の分野でも利用できる。熱発電は通常550℃程度の蒸気温度で行われているので、本コレクターは単独では発電には利用できない。しかし2000℃程度なら、日本でも快晴の日には十分採れるし、熱帯の砂漠では毎日大量に採れる。この程度の高温の熱エネルギーをコレクターによって収集して蓄熱槽に蓄え、これを熱発電における複水を加熱するのに利用すれば、熱発電に必要な熱エネルギーの2～3割を、太陽熱エネルギーで代替できるであろう。若しこの考えが正しければ、発電のように長い償却期間で経済性を論ずる施設には大変有効な利用方法と言える。

4. 真空コレクターの経済性

先ずコレクターがその寿命内で収集できるエネルギー量について考える。

その寿命について言えば、真空式コレクターは以下に述べるように、色々の理由から、長い寿命をもっていると考えられる。

コレクターにはドイツの製品のようにガラス窓と金属筐体で作ったものと、ガラス窓とガラス筐体とで作ったものが考えられるが、何れも内部が真空に近い状態にあるので、内部には腐食等が起こらず、外部もガラス窓と簡単な形状の金属或いはガラスで作られた外筐で、真空封しも金属で行うので、適切な防錆処理と定期保守によって数10年の寿命を持たせられる。

集めた熱を外部に運び出す熱媒体には、純度の高い水を使用してそれを密閉した真空の、或いは窒素ガスを詰めた管の中を循環させて使用しているので、熱媒体が変質する危険もスケールの付く心配もないので長期間安定に使用できる。

また、1000℃前後の炎を扱う燃焼器の温度と比較すると、扱う温度は200℃以下と低く、機器を損傷し難い。以上の色々の点からみてその寿命は長いと考えられる。

また普通のビルの窓ガラスと窓枠の寿命からみても、適当な保守の下で30～50年は使用に耐えたとおもわれる。

次に真空式コレクターがその一生に、集熱できる太陽熱エネルギーの量について述べる。理科年表によると、日本の気候では、全天日射量（水平面に入る太陽或いは雲等からの日射量）は年平均で、地域による少しのばらつきがあるが大体12～13MJ/m²日位である。周囲温度20℃、出力温度70℃の場合で本コレクターはこの内の7.8～8.6MJ/m²日位は集熱できる。

全天日射量は水平面に入る日射量であるから、コレクターを南に向けて傾けると、更に収量は上がる。しかしここでは収量を固めに視て、8MJ/m²日として、コレクターの経済性を検討する。

コレクターが一日に稼ぐエネルギーは $8 * 365 = 2920 \text{ MJ/m}^2$ であるが、そのうち90%が利用できるとして、コレクターの収量は 2628 MJ/m^2 となる。

この収集エネルギー量を石油とガスに換算する。
石油の利用効率を50%、ガスの利用効率を80%、石油の燃焼エネルギーを46MJ/リットル、ガスの燃焼エネルギーを46MJ/m³(東京ガスの場合)として計算すると、
1年間にコレクターの稼ぐエネルギーは2628MJ/m²は、
石油に換算すると114.3リットル/m²となり、
都市ガスの場合は、71.3m³/m²となる。

このコレクターの稼いだエネルギー量を金額に換算すると、
石油との比較では、灯油が60円/リットルとして、コレクター1m²は1年間に灯油、
114.3リットルを稼ぎ、金額では6858円/m²、約6,900円/m²になる。

ガスとの比較では、ガス代金がガス会社或いは使用量によって差が大きいですが、一例として東京ガスの11Mcal/m³のガスの料金表を挙げると、家庭用の場合、使用量が71.3m³の基本料金は1,083円、従量料金は117.6円/m³である。この料金表によると、コレクター1m²は1年間に1,083+117.6×71.3=9467.9円、約9500円を稼ぐ。

一方コレクターの価格は、材料に高価なものは使用していないし、構造も簡単であるから、月産1万台位で、原材料費は、1m²で1単位のコレクターとして

ガラスは	15,000円
筐体は鉄板を、プレス加工して	3,000円
集熱板は選択吸収膜と吸熱パイプを入れて	8,000円
柱その他の小物合計	1,000円
組立加工費	4,000円
小計	31,000円
工場利益3割	9,300円
合計製造原価	40,300円

製造原価を1台1m²で4万円として末端価格は10~12万円程度(設置工事費は除く)と推定される。

5. 償却年数

1m²で12万円として償却年数を計算する。そうすると、コレクターは、石油との比較で

は約18年で償却して、その後は年間で約、6.5千円/m²を稼ぐ。

ガスとの比較では、約13年で償却して、そのご後、年間で約9.5千円/m²を稼ぐ。

以上の計算は燃料としての計算であり、利子を計算していないとか、30年間石油等の価格は同じであるとか、維持管理費をみていないとか、いくつかの仮定を置いての計算であるから、それらの仮定が変われば、大幅に変化する可能性がある。例えば上記の計算では燃料用灯油を60円/リットルとして計算したが、過去の石油価格の推移から見ると、数十年前に2~3ドル/バレルだった原油価格が、現在一時的なものかも知れないが、既に70ドル/バレルを越えている。灯油価格60円/リットルが何時迄維持出来るか疑問である。

以上は単純に燃料としての比較であり、コレクターの場合は、コレクターから蓄熱槽までの配管と蓄熱槽を含む工事代金を含めて始めて熱源として機能し、石油、ガスでは燃料の燃焼機器があって始めて熱源となる。

コレクターの寿命は長く、また寿命の短い燃焼機器より維持管理費用の点でも優位に立つ。また燃料費としての太陽熱は配送費まで含んで無料である。

石油の価格が長期的にみて上昇傾向を続けているのに対して、コレクターの価格は量産が進むにつれて安価になり、且つ能力は長期にわたって安定しており、更に太陽熱の供給は無料で、且つ超長期に亘って安定している。

6. 日本での高真空平板式コレクターの社会的意義

上記の計算結果からすると、ガスと対比した時は勿論、石油と対比したときでも、10年間で、1m²のコレクターは、114リットルの石油を節約できて、これを金銭的に観ると償却後は1年間で6.7千円を稼ぐ。コレクターがその一生で稼ぐ利益は大きく、環境面でも大きな利益をもたらす。

但し造水、発電のような分野では収集した太陽熱のほぼ100%近くが利用されるが、家庭用では、冬に十分なだけのコレクター面積を備えると、夏や晴天の続いた時などにエネルギーが余分に採れて使われずに捨てられる分もあるので、家庭用では利用率を50%位に考えるべきかも知れないが、その場合、償却年数を2倍にして、償却後の利得を半分にして考えてもなお多くの利得がある。

日本のエネルギー消費は1993年度で、石油換算約5億キロリットル/年で、そのうち民生用は1億キロリットルである。

1千万世帯が10m²のコレクターをつけると、コレクター面積は1億m²となり、1143万キロリットル/年の石油相当のエネルギーを稼げるから、民生用エネルギーの約11%を稼げる。利用率を50%としても約5.5%を稼げる。

農工業用に造水、消毒、乾燥等に利用できるのもので、この分野では家庭用と同じか多分それ以上のエネルギーを稼げるであろう。

毎年民生エネルギーの5.5～11%をカバーし、農工業用にそれ以上のエネルギーをカバーし、それだけ炭酸ガスの発生を抑制できる。以上は石油を対象としたときの計算で、都市ガスを対象とすれば、経済的にはもっとはるかに大きな利益を生むことになる。

金銭的利益だけでなく炭酸ガスの発生を抑制し、炭酸ガスの発生を規制した京都議定書を守るのにも有効で、環境保全のためにも大変役立つ。

一挙に投資するのではなく、分散して毎年数千億円ずつの投資を4～50年続ければ、民生用と産業用のエネルギーの内、200℃以下の熱需要の20%位を無理なく賄えるようになるであろう。またこのエネルギー源は一箇所に集中的に設置される発電所や精油所などのエネルギー源と違って消費地に分散して設けられ、しかも配電線やタンクローリーのような配送手段を必要としないので、地震その他の災害に対しても強いと言う長所をもつ。

本コレクターは集めた熱を外部に移送するのに、熱媒体としては少量の水を用いその気化熱を利用しているので、熱媒体を循環させるために必要なポンプは、小さいもので良く、従って消費電力も小さいから、太陽電池で動作させるようにすれば、停電時でも動作する。世界中何処でも使えるということである。

本コレクターは鏡による集光を利用していないから、曇天の日でも、効率の低下は大きくないと言う長所がある。高温の熱源を得るために鏡を利用している方式は、曇天の時に急速に出力を落とすので、日本のように曇天の多い国には適しない方式である。本コレクターはこのような欠点がないから、日本での高温熱源の補助熱源としても適している。例えば離島における熱発電のような用途で補助熱源として用いられ、大幅に燃料消費を軽減できる。また多段フラッシュ法等による蒸留装置において、120℃程度の熱源として用いられ、石油を用いることなく効率のよい、長寿命の造水の熱源が得られ、水の供給に貢献できる。

1枚のガラス板と2枚の金属板と僅かな金属パイプ等で出来た簡単な構造のコレクターであるが、高真空を長期に亘って維持すると言う技術を開発することによって、このコレクターで、長期に亘って膨大な太陽熱エネルギーを経済的に収集することが出来て、大きな経済効果と、環境保全効果によって、社会に貢献することが出来る。

エネルギー問題をこのような平和的且つ恒久的な手段で解決できることは、今の世界で、もっとも望まれていることである。

上述のようにこの技術の開発は社会に多大の利益を齎すので、この開発に多くの人々が参加されることを望んで本文書を作成した。多数の人々の参加を心から期待する。