

ソーラースターリングエンジンTNT-3に関する実験研究

(第2報; ソーラーディッシュによる発電実験)

Experimental Studies on Solar Stirling Engine TNT-3
(2nd Report; Experimental Studies on Solar Dish and Solar Tests)渡部 弘一^{*1}
Hiroichi WATANABE一色 尚次^{*1}
Naotsugu ISSHIKI大友 充弘^{*2}
Michihiro OHTOMO宍戸 昂郎^{*3}
Koro SHISHIDO西村 能宏^{*4}
Yoshihiro NISHIMURA

Abstract

A series of tests of solar electricity generation have been carried out at Nihon University, utilizing a concentrating solar collector and the "TNT-3" Stirling machine described in the first report.

Firstly, a polar rotating shaft dish "A", 3.1 m in diameter, was manufactured and tested. Dish A was composed of forty circular mirrors, 0.55 and 0.40 m, diameter, of pressed aluminum, with a secondary reflector above its centre. The low reflection efficiency obtained with double-reflection led to the development of an improved, single reflection dish "B" which focuses solar energy onto a statically mounted Stirling engine. TNT-3 has been tested with this dish, its features are a transparent glass head, beneath which metal wire mesh and acts as the beam receiver. Copper was selected for the wire mesh and heat-transferring tubes because of its good thermal conductivity. The solar flux was measured by a specially developed apparatus, having the same diameter as the engine head.

In experiments, the combination of dish B, TNT-3 and a Tokuno electric generator produced a maximum of 430 W of electrical power. Power output is linearly related to insolation, and the overall efficiency of solar energy conversion as found to be 6%.

There are many possibilities for future improvements and this solar Stirling engine system appears to be promising for a future era of sustainable energy.

Key words; Solar energy, Solar dish, Solar Stirling engine, Polar axis, Reflection mirror

1. はじめに

筆者らは将来のクリーンな自然エネルギーの広範囲な世界的利用の可能性をもつ有望なものの一つとして、地上用ソーラースターリングエンジンによる発電の研究を数年にわたって続けている。

そのためまずソーラー用の TNT-1 型エンジン (以降 TNT-1 とする) から逐次 TNT-3 型エンジン (以降 TNT-3 とする) に至る単シリンダースターリングエンジンを開発製作し、多くの過程と経験を経たのちその性能向上に努めた。TNT-3 の由来、構成、特色、各種改良点および電気加熱による室内ベンチテストの実験結果については第 1 報に記した通りである。

原稿受付 平成 8 年 10 月 15 日

*1 会員、日本大学工学部機械工学科 (〒 963 郡山郵便局私書箱 12 号、郡山市田村町徳定字中原 1 番地)。

*2 会員、東北電力(株)研究開発センター (〒 981 仙台市青葉区中山七丁目-2-1)

*3 東北学院大学工学部応用物理学科 (〒 985 多賀城市中央一丁目 13-1)。

*4 (株)ミツバ (〒 376 桐生市広沢町一丁目 2681)

筆者らは別に多数のセグメントミラーで構成された全体の直径が 3.1m の地軸式ソーラーディッシュを設計製作し、太陽光の集光を行った。

最初に製作したソーラーディッシュ A (以降ディッシュ A とする) は中央に 2 次反射鏡 (以降 2 次鏡とする) を有し、エンジンを中央下部に乗せたエンジンとディッシュが一体型の二回反射方式をとった。しかし、二回反射による入熱量の損失と、とくに 2 次鏡の焼損のためディッシュ A を改善しソーラーディッシュ B (以降ディッシュ B とする) では、エンジンを地上の架台上に固定し別置きとした一回反射方式のものとし、さらにセグメントミラーを増やして全体の直径を約 3.9m に拡張した。

またソーラーディッシュで集光した太陽熱の、エンジンへの入熱量を直接測定できる適当な機器がないので、筆者らは独自の熱量計を製作して測定した。発電機は前報に示した徳納式⁽¹⁾を使用した。

TNT-3 とディッシュ B を組み合わせたソーラー実験は約 10 回にわたって行われ、最大 430 ワットの発電

電出力を得ることができた。

またソーラー実験の測定値と第1報のベンチテスト結果の双方を考慮して、本発電システムのエネルギーフローおよび効率を知ることができた。今のところ全システムの発電効率は約6%であって、最大の損失の要因はソーラーディッシュの焦点直径がエンジンヘッドより大きすぎるために、エンジンに入熱しないで散逸するエネルギーが大きいことであり、その他多くの改善点がある。

まだ目標には達しないが、幾多の新しい試みを盛り込んだ小型装置でソーラースターリング発電に成功しかつエンジンおよびシステムに関する今後への多くの知見を得たのでここに第2報として報告する。

2. ソーラーディッシュ

2.1 ディッシュAについて

筆者らは開発の初段階に、できるだけ低価格で簡単に製作、取り扱いができることを目標にして、図1に示すようなディッシュAを製作した。

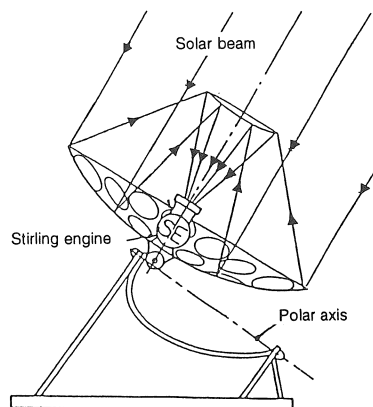
これは地軸式（Polar type）の二回反射方式で、全体としては球面の一部を構成する全直径が3.1mのものであり、日大工学部校内のディッシュの設置場所における太陽の南中方向と地軸角を求め製作した。

ディッシュの構造は直径約3mの鉄枠に、直径40cm（16枚）と55cm（24枚）の凹形のセグメントミラー（母材：プラスチック）を合計40枚を同心円周上に並べこれを1次鏡とし、その中央の真上に直径80cmの2次鏡1枚を用いた二回反射方式の集光装置である。それぞれのセグメントミラーは1個のボールジョイントで簡単に取り付け、取り外しができ、角度の微調整が容易である。

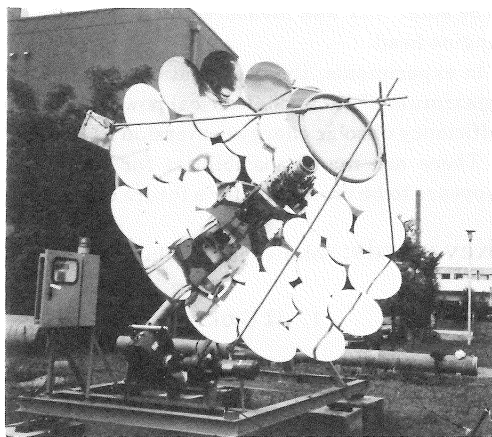
太陽追尾は地軸回転方式であるので、仰角を朝のうちに一度だけ調整すればその日のうちは変えないでよい。また太陽の追尾はウォームギア等で減速比1/400にした駆動モーターを地上に設置し、主として焦点の動きを見ながら手動によって約1～2分ごとにオンオフ方式で追尾した。

ディッシュAの集光性能は二回反射方式のために反射効率は各々の鏡の反射率の積となり、それぞれのセグメントミラーの反射率が0.85であっても総合反射率は 0.85^2 とかなり低下する。

受光面積 7 m^2 で 750 W/m^2 の日照に対し、各々の鏡の反射率を約85%とすると理論集光入熱量は $0.75 \times 7\text{ m}^2 \times (0.85)^2 = 3.79\text{ kW}$ となる。TNT-1によるソーラー実験では初期にかなりの集熱量が認められ自力運転に成功した。



(a) ソーラーディッシュAの概要



(b) ソーラーディッシュAの外観

図1 ソーラーディッシュA

しかし、その後2次鏡の焼損により反射率が急激に低下した。これは2次鏡は多数の1次鏡により集光されているためかなりの高温となり、2次鏡の一部の反射率が下がるとその部分がさらに高温となり急激に焼損する。二回反射方式は2次鏡の焼損という根本的な問題があることがわかった。

また本装置の太陽自動追尾装置としては、4個の光電池による太陽センサーを1次鏡の架枠に固定し、パソコンによる自動追尾機構を別に製作し、約20秒間隔で太陽追尾ができることも確認した。

しかし、20秒ごとのon/off制御を繰り返すので

集光装置全体がそのたびに揺れる問題があり、このディッシュの追尾方法には連続的に速度を変えることのできる低出力ステッピングモータが必要であること等がわかった。

2.2 ディッシュBについて

前述のように二回反射方式では実際にエンジンヘッド部の入力が1.5kW以下と目標の1/3にすぎないことから、2次鏡を廃止して1次鏡のみによる一回反射方式に変更することとした。

この場合、エンジンは1次鏡の焦点距離のディッシュ中央の真上に設置することが望ましいが、ディッシュAの再利用のさい、測定とメンテナンスの不便さ、かつ重量制限があるため、エンジンはディッシュより分離して地上の台上に設置することとした。

この改良されたディッシュB装置の構造は、図2に示すように一回反射の焦点位置に高さ2.3mの架台を作り、その上にスターリングエンジンを載せたものであり極めて実験し易い。

反射鏡については、直径55cmの反射鏡にはプラスチックを廃し、アルミ薄板を球面プレスしてそれに反射アルミ薄膜を張り付けたものに変更し、直径55cmの反射鏡の数を外周に一段増加して41枚とし集光面積を増加した。40cmのセグメントミラーは16枚である。ソーラーディッシュ全体の外径は3.9mとした。実際はディッシュの下方がエンジンの陰に入るので有効な反射鏡数は大小計52枚が最大であった。

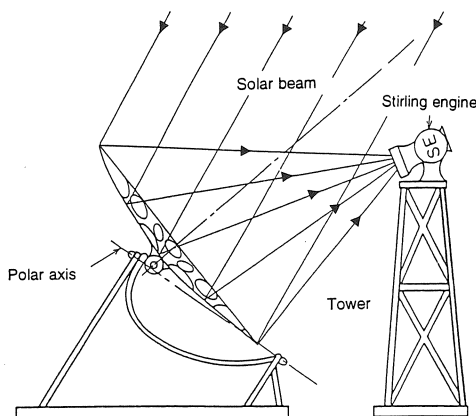


図2 ソーラーディッシュB

ディッシュBの太陽追尾はディッシュAと同様に地軸式であるが、エンジンは地上に固定された別置きの一回路反射方式のために、ディッシュ中央の主鏡の方向

は、常に太陽とエンジンヘッドの位置のちょうど中間を向くことになるので、追尾速度はディッシュAの1/2となる。しかし季節による仰角の変化により、各セグメントミラーからエンジンヘッドまでの距離が異なるほか、一日の時間経過とともに左右両端のセグメントからの距離にも差が生じるので、エンジンヘッドへの焦点収束率が低くなる欠点がある。

またディッシュBの1次鏡は常に太陽方向とエンジン方向の中央方向を向いているので、追尾機構としての方向センサーの設定が複雑となる。したがって、ディッシュBの太陽追尾はもっぱら手動でon/offによる追尾を行った。またそのさいon/off時間間隔はディッシュAの2倍となるので追尾作業がしやすい。

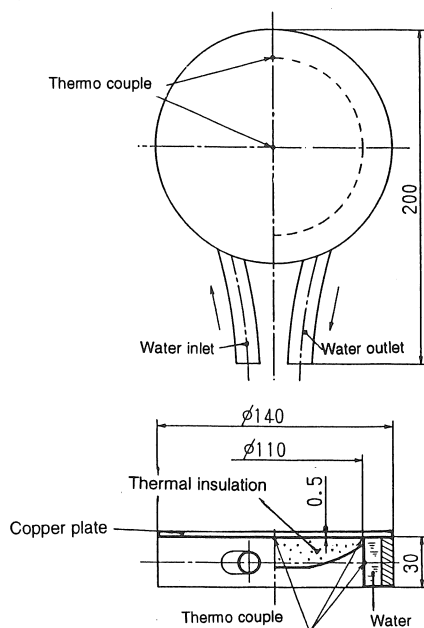


図3 熱伝導方式による熱量測定装置

2.3 集光入射熱の測定

2.3.1 熱伝導方式熱量測定装置 TNT-1 および TNT-2 のエンジンヘッドに集光した太陽熱の入熱量を計測するため、図3のような円盤状の熱伝導方式の熱量測定装置を試作した。

この装置は上面が一樣な厚さ(0.5mm)の円形の銅板を置き、この面に太陽光を集熱する。円盤の外縁は水で冷却するようにした。このとき熱流束が一定と仮定

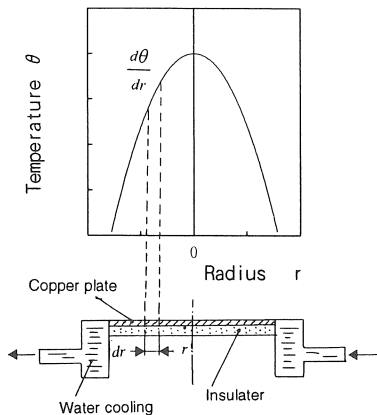


図4 熱伝導方式による熱量測定装置の熱流束の計算

すると銅板の中央と外縁との間の温度差は熱流束と銅板の厚さおよびその熱伝導率から決まるので、熱流束は下記の要領にて容易に計算できる。

図4の銅の円盤に集光された太陽熱の放射熱流束について各記号を、 λ :銅板の熱伝導率[W/mK]、 θ_R :銅板外縁の温度[K]、 θ_0 :銅板中心部温度[K]、 δ :銅板の厚さ[m]、 R :銅板外縁までの半径[m]とする。

半径 r における微小幅 dr のリングについて、熱伝導によって入ってくる熱量を Q_1 [W]、銅板の中心から $r+dr$ で熱伝導によって出ていく熱量を Q_2 [W]とすると、

$$Q_1 = -2\pi r \lambda \delta \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_r \quad (1)$$

$$Q_2 = -2\pi r \lambda \delta \left[\left(\frac{d\theta}{dr} \right)_r + \left(\frac{d\theta}{dr^2} \right)_r dr \right] \quad (2)$$

また、集光された太陽熱の単位面積当たり放射熱流束を q_s [W/m²]とすると、微小リングに太陽から入る熱量 Q_3 [W]は次のようになる。

$$Q_3 = 2\pi r q_s dr \quad (3)$$

よって、 $Q_3 = Q_2 - Q_1$ であるから次式が得られる。

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} = -\frac{q_s}{\lambda \delta} \quad (4)$$

よって温度分布は図4のように、中心を最大とする下向きの放物線となる。つぎに初期条件を考えると、銅板の中心では、

$$r = 0, \quad \theta = \theta_0, \quad \frac{d\theta}{dr} = 0 \quad (5)$$

であって、中心と、 $r = R$ の外周との温度差から測

定表面の熱流束 q_s が次式で得られる。

$$q_s = \frac{2\lambda \delta}{R^2} (\theta_0 - \theta_R) \quad (6)$$

エンジンへの入熱量および直達日射量を測ったところ、エンジンヘッド部の直径18cm以内で約1.0kWから1.5kWの入熱量であり、その時点でのディッシュAの集光効率は約25~40%であることがわかった。この低い集光効率は先に示したように2次鏡の高温化による低反射率および1次鏡のプラスチック鏡の変形による焦点のずれ等によるものである。

2.3.2 水冷方式熱量測定装置 ディッシュBでは集熱量が極めて多くなり、熱伝導方式熱量計では銅板の中央が高温のため変形もしくは溶融してしまうので、図5(a), (b), (c)に示すようなTNT-3のヘッドとほぼ同一断面形状に設計した上で、測定器が溶けないように入熱部全面を水冷とした新しい熱量測定器を製作した。エンジンとほぼ同じ位置に置いて冷却水の入出口の温度差と流量によりエンジンヘッドにおける入熱量の測定を行った。この測定方式の方が先の図3のものより測定がし易く、精度が高かった。

その結果、ヘッドの外壁部も入れた有効直径18cm以内における集光効率は約55%であり、入熱量は最大で3.5~4kW程度となり、ディッシュBの集光効率は約50%以上を示し、またエンジンヘッドにおける入熱量はディッシュAの3倍となった。

集光効率がまだ低いのは、前記のようにセグメントミラーの焦点収束率が低いと同ミラーの製作精度が不揃いのため全焦点直径が最小25cm程度であり、エンジンヘッド径(外縁を含めて18cm)よりかなり大きくなることによるものである。

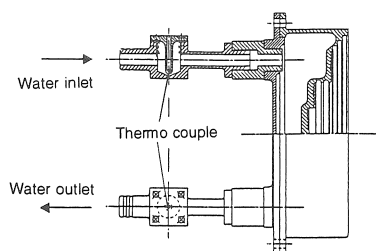
3. ソーラー用 TNT-3 エンジンについて

3.1 受光金網

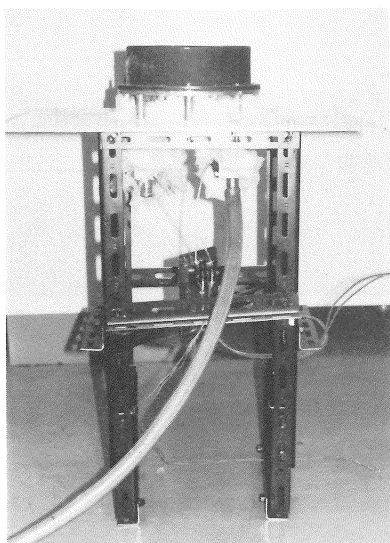
3.1.1 受光金網内の熱伝達

TNT-3 エンジン第1報の図1のようにその頭部に集光された太陽光線が透過するガラスヘッドを有している。このさい重要なのは受光部の熱伝達特性をいかにして向上させるかである。

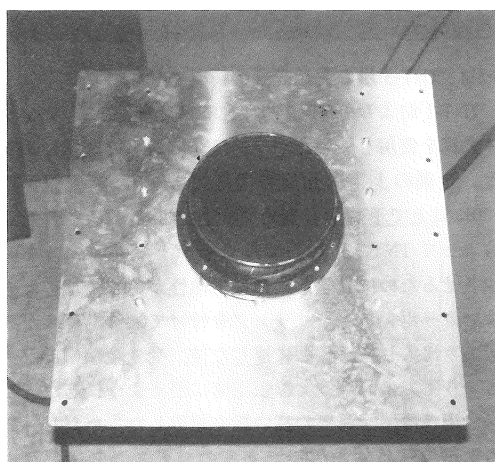
ヘッド部の熱伝達特性については、図6の(a)のように多孔質のカーボンフェルト(呉羽化学社製 F-105 クレカフェルト)に赤外線ランプによる熱放射を照射して内部の温度分布等を測定した例⁽²⁾がある。これの示すところでは多孔質に対し赤外線が照射されたとき、投射エネルギーの到達深さは表面から約4mm以内である⁽²⁾。



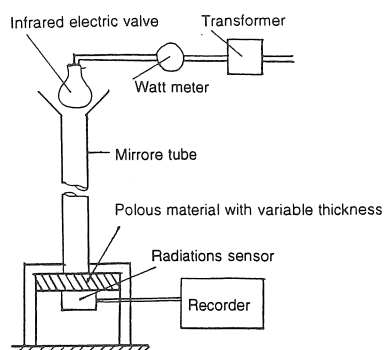
(a) 断面図



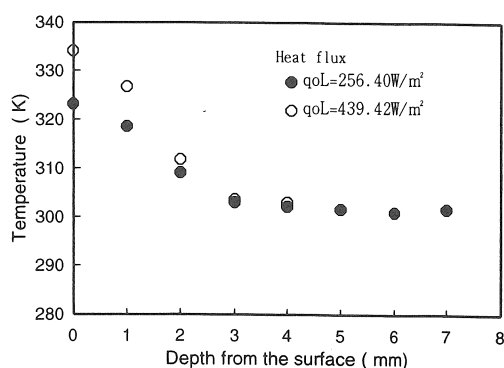
(b) 側面図



(c) 放射入力測定ヘッド正面図
図5 水冷方式による熱量測定装置



(a) 多孔質への放射による温度分布測定装置例



(b) 温度分布測定結果例

図6 受光ヘッド部の熱伝達特性

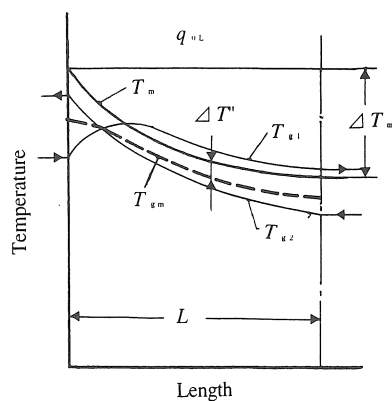


図7 往復流による受光金網内温度分布

この実験装置は内径 10cm, 長さ 1m のコリメーター管の一方に赤外線ランプ, 他方に厚さ 1mm のフェル

トを順次重ね合わせて、そのつど熱量計で透過エネルギーを測定されたものである。

これは TNT-3 の受光金網についても言えるところであって、模式的には積層された金網の前表面で受熱が行われる熱は金網の熱伝導で内部に移動しつつガスに伝えられると考えてよい。また受光金網の背面のピストン膨張空間ではガスの仕事のため常に吸熱が行われるので、もどってくるガスの温度は低い。以上より受光金網の内部と往復ガスの軸方向温度分布を推定すると図 7 のようになると考えられる。

図 7 において記号は、 T_m ：金網温度、 T_{g1} ：ガス温度（右向き流）、 T_{g2} ：ガス温度（左向き流）、 T_{gm} ：往復流のガス平均温度とし、給熱は図の左端で行われるとする。

このとき T_m はほぼ右下がりの放物線となり、 T_m の左端の温度傾斜は従来の放熱フィンと同様に金網自体の熱伝導率と熱流束だけで決まる。いま T_m が金網の右端では放物線の頂点が水平になると仮定し、金網自体の両端に生ずる温度差 ΔT_m および、金網とガスの見かけの平均温度差 $\Delta T''$ について考える。

一般に、熱伝導率 λ と熱流束 q 、熱伝達率 α と熱流束 q の関係式はそれぞれ、

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

$$q = \alpha \Delta T \quad (8)$$

で表されるから、受光金網について、

q_{ol} ：金網表面の熱流束 [W/m^2]、 L ：金網の奥行き厚さ [m]、 λ ：材料の熱伝導率 [W/mK]、 α ：金網の表面の熱伝達率 [W/m^2K]、 S ：金網の単位体積あたり表面積 [m^2/m^3]、 ν ：金網のボイド率を用いて上式に入れると、次の関係を得ることができる。

$$\Delta T_m \approx \frac{q_{ol}}{2\lambda(1-\nu)} L \quad (9)$$

$$\Delta T'' \approx \frac{q_{ol}}{\alpha LS} \quad (10)$$

いま一例として TNT-3 のヘッドガラスに 3kW の光線熱入力があり金網の厚さ L を 20mm、ボイド率 ν を 70% とし、金網が 0.1mm の線よりなるステンレスであるときと銅であるときに ΔT_m と $\Delta T''$ を略算すると、(10) 式より $\Delta T''$ は両者とも約 20K 以内であるのに反し、(9) 式より ΔT_m はステンレスで約 300K 以上、銅では約 30K となり、受光金網の前後面温度差がステンレスでは極めて大きくなることが示される。

すなわちステンレス金網では受光金網の前面が極めて高温となるとともに背面の作動空間の温度が低下することがわかった。これはステンレス金網のさいは前面が高温により外部への放射があるため、外部熱損失の増加と、かつ後面のガス温度低下によりエンジンの出力が下がることがわかった。

よって受光金網はその必要とする性質としてその熱伝導率 λ が大きい程よいこととなりこの点はスターリングエンジンの本体の再生熱交換器の金網に対しては λ が低い程よいという要求とは根本的に異なる。

表 4 受光金網の主仕様

	Dead space (cm^3)	Surface (cm^2)	Mass (kg)
Copper mesh	505	10499	0.595
Copper pipe + carbon head	371	4214	0.865



図8 銅製金網ヘッド

3-1-2 TNT-3 用の受光金網の構成

TNT-1 および TNT-2 に対しては受光部にステンレス金網を使用していたがソーラー実験中の測定によると、金網の上下両面間の温度差 ΔT_m は実測値が約 100K 以上で予想通り極めて大きいことが示された。

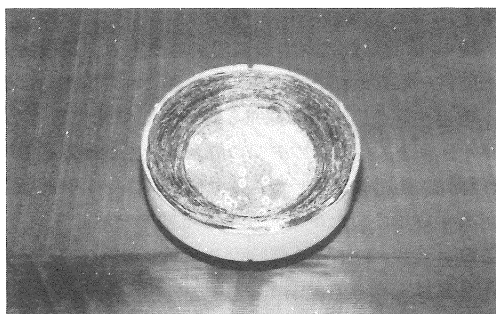
よって TNT-3 に対してはまずデッドスペースを減少させるために受熱部周辺に耐熱性があり、加工性のよいカーボンスペースリングを付けて、作動ガスが周辺より流入しガラス面に達した後、受光金網のほぼ上方より下方に向かって膨張空間に至るようにした。受光金網には熱伝導率の高い銅を使用した。ただし、銅の熔融温度は約 1070K であるのでガス温度はそれ以下に保つ必要がある。

またガス流動抵抗はできるだけ低いことが望ましいので、再生熱交換器でのリニヤ式金網⁽²⁾と全く同じ

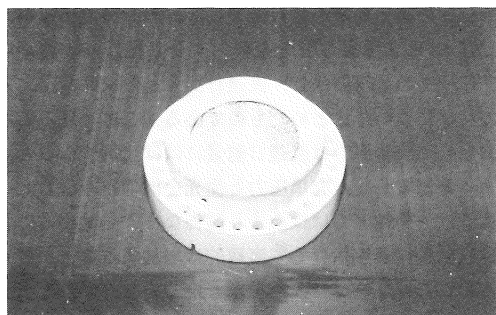
考えから流動方向に銅エレメントが並ぶものとし、結局銅メッシュヘッドと銅パイプヘッドの二つを設計製作し、前記のカーボンペーサリング内に配置して実験した。表4に二つの受光金網の主な仕様を示す。

銅メッシュヘッドの受光金網は図8に示すようなもので、太さ0.2mm～0.6mmの線で、幅15mmの帯状の銅金網を渦巻き状に巻いたものであって、銅線の半分は熱とガスの流れ方向に配置されるので流動抵抗の軽減が示された。

網部の直径は150mm、全体の高さは約40mmで伝



(a) 上面



(b) 下面

図9 銅パイプヘッド+カーボンヘッド

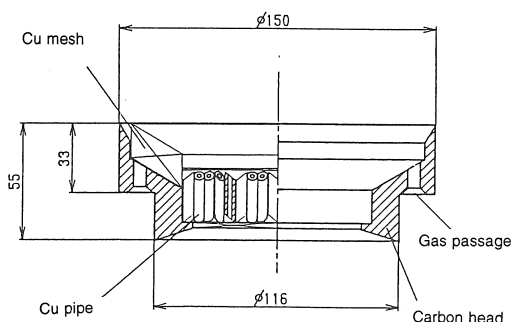


図10 銅パイプとカーボンスヘッドの断面

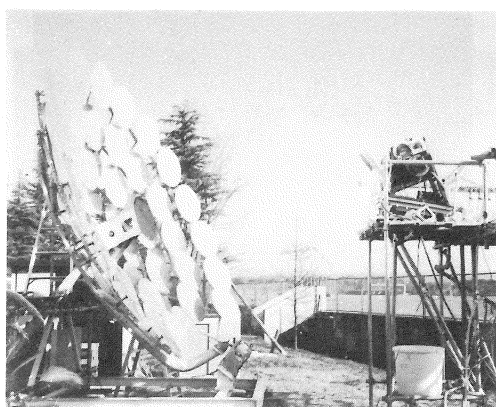


図11 システムの全景

熱面積は銅メッシュの質量と線径から計算すると約1.05 m²、デッドスペースは約510 cm³であった。

また、銅パイプヘッドの受光金網をカーボンヘッドと組み合わせたものの外観および断面を図9、図10に示す。これは流れる方向に並べた短い銅パイプからなる受光金網であり、銅メッシュ以上に熱を垂直方向に伝える性能を持つものである。銅パイプは外径5mm、内径2mm、長さ20mmのものを両端を45°斜めに切って並べ、余分な左右空間には銅メッシュを詰め込んでデッドスペースの低減を図った。

4 ソーラー発電実験

4.1 発電システムの概要

図11に発電システムの全景を示す。TNT-3エンジンは架台上に設置し、ディッシュは太陽光の反射光がスターリングエンジンの加熱ヘッドに常に集光するように手動追尾される。

写真台上には小架台に組み込まれたTNT-3エンジン、発電機等が設置されており、エンジンは小架台ごと移動できるほか手動油圧ポンプで上下位置調整ができるようになっている。また、エンジンの姿勢はエンジンヘッドを水平位置から下方に約21度傾斜させて小架台に設置しており、ディッシュからの光軸をエンジンヘッド部に合わせている。

図12は小架台に組み込まれたソーラ照射を受けるTNT-3スターリングエンジンを示す。

なお、発電機は第1報で示した徳納式⁽¹⁾であり、3000 rpmで三相、200V、900Wの性能を持つ風力発電用の徳納同期発電機であり、エンジンにVベルトにより増速して連結し、その発電効率は85%である。

4.2 実験と計測装置

図13にソーラースターリングエンジン発電システ

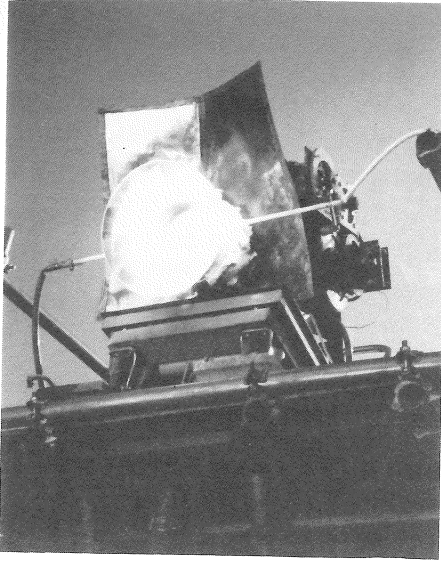


図12 TNT-3ソーラースターリングエンジンの取り付け状況

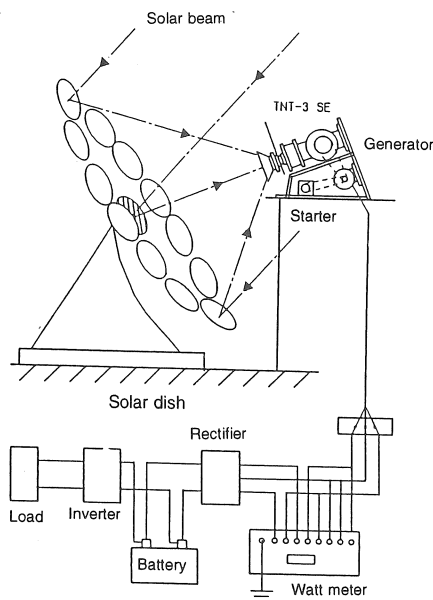


図13 TNT-3ソーラースターリングエンジン発電システムの概略図

ムの概略図を示す。本発電システムはディッシュB, TNT-3エンジン, 発電機, スタータ, 電力計, 整流器, バッテリーおよびインバータで構成され, 電力はインバータに接続して得る。

実験でシステムの性能を測定するさいは, バッテリー

ーとインバーターを除き, 負荷装置を整流器の後に抵抗器または白熱球により負荷調整を行い, 実質の発電性能を求めた。

4.3 ソーラー発電試験結果

ソーラー発電試験では, 先の節で述べたとおり加熱ヘッドに銅メッシュおよび銅パイプ+カーボンリングの二つのタイプをそれぞれ, 作動ガスの充填圧力を1.37MPaと1.57MPaのばあいについて発電試験を行った。

図14, 図15に太陽熱による発電試験結果の一例を示す。

図14は回転数に対する温度, 軸出力, 発電機出力の関係を示したものである。回転数に対する出力は第1報のベンチテストの結果とほぼ同じ傾向であった。また, ガラスヘッドの内側の温度, 受光金網の裏側の作動ガス温度はベンチテストと同様にエンジン回転数が高くなるにしたがって低下する傾向を示している。このソーラーによる試験時のエンジン加熱ヘッドへの入熱量は, 直達日射量約750W/m²と, 輻射入熱測定器により得られたディッシュの集光効率54%から, 4.3~4.5kWであると推定され, システム全体のディッシュの集光効率を含む発電効率は約6%であった。

図15は2種類の受光金網および2種類の作動ガス充填圧力の試験結果で, 直達日射量と最大発電出力との関係についてまとめたものである。これを見ると全体として発電出力は直達日射量にほぼ比例することがよくわかる。また充填圧力と受光金網の組み合わせの違いは, 発電出力にはあまり関係なく, 発電出力は直達日射量に最も依存して直線的に増加することがわかる。これはソーラー入熱量が一定であり, かつ充填圧力の変化範囲と受熱部の銅の全質量の差が少ないため, 大きな性能の違いは現れなかったと考えられる。

しかし, エンジンの始動性についてはヘッドの受光金網形状の違いがはっきり認められ, パイプ状の方がメッシュ状よりも始動性がよく, 直達日射量の大きさにより多少異なるが, 集熱開始から20~30秒ほどで始動が可能であった。これは充填圧力を変化させても同じであった。このことは銅パイプヘッド型の方が流動抵抗が少ないためと思われる。

図16には60Wの電球を8個点灯させている様子を示す。

4.4 熱勘定

図17には本試験により求めた発電システムの熱勘定の例を示す。この熱勘定はシステム効率の最高値が得られたときのもので, エンジン効率, 諸損失は室内性能試験の結果を基に算出した。

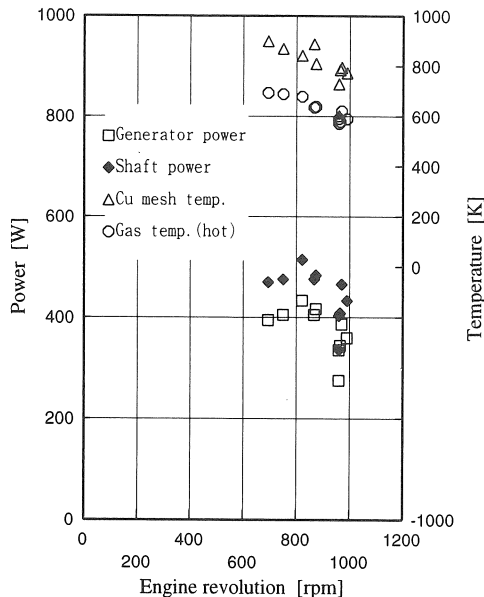


図14 TNT-3エンジンの出力と受熱部温度の一例

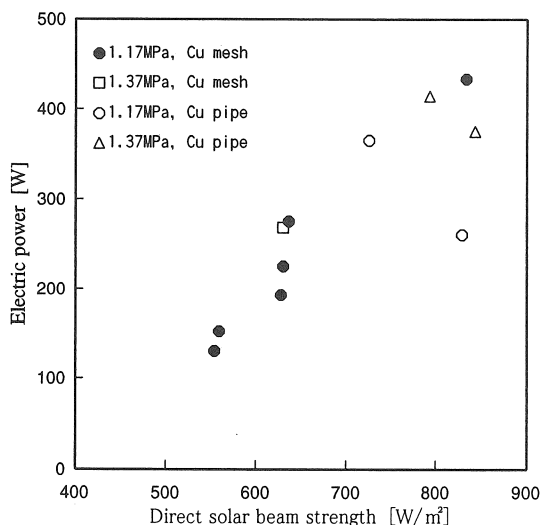


図15 直達日射量に対する最大発電量

同図のようにいままでのところでは集光装置の反射率による損失が最も大きく48%を占めていることがわかる。これは先に述べたようにいままでのシステムではエンジンヘッドの直径に比べ集光装置の焦点直径が大きいことが原因である。

4.5 ソーラー発電実験のまとめと考察

(1) 以上のようにソーラーディッシュBとガラスヘッドおよび受光金網を有するTNT-3スターリングエ

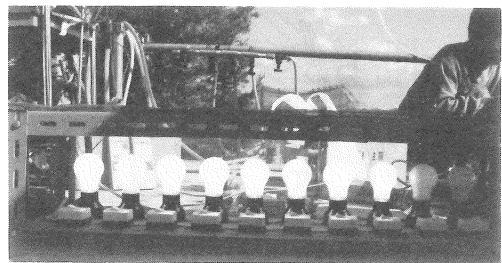


図16 太陽熱発電による電球点灯

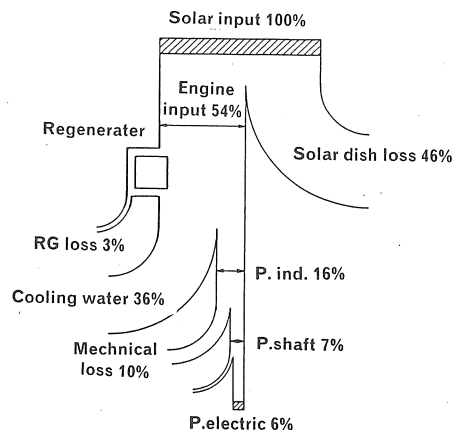


図17 発電システム熱勘定

ンジンの組み合わせによりようやく最大430ワットの発電出力を得ることができた。この値は目標とはまだ遠いが発電に成功したことは大きな意義があると思われる。

- (2) 発電量は直達日射量にほぼ比例することがわかった。しかし、その損失を調べるとセグメントミラーからエンジンヘッドへの入力に最も大きい損失があることが示された。これは前述のようにセグメントミラーの精度が不良であり、かつ収差も大きいのでその焦点直径がエンジンヘッドより大きいため多くの熱がエンジン外へ出てしまうことであり、これは今後セグメントミラーの精度向上とエンジンヘッド改良により改善する必要がある。また発電に対しガス圧力、受光部形式はあまり大きな影響はなかった。
- (3) 今回は前述のような理由により1回反射型ディッシュと地上固定式エンジンの組み合わせによる実験を行った。これは計測やメンテナンスに極めて有利であることは実証されたが、セグメントミラーからの焦点距離が時間により異なってくるので収差が大

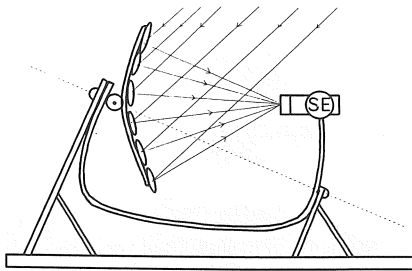


図18 鏡とエンジン一体型ディッシュ

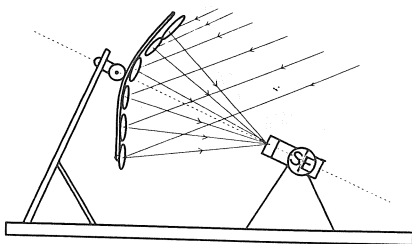


図19 地上固定エンジン型ディッシュ

- きい。それに対する将来の案としては図18に示すように、1回反射のディッシュと一体となった形式のエンジンシステムと、図19のように1回反射ディッシュの地軸上にエンジンを固定したシステムの両者がメンテナンスと収差の点でよいと考えられる。
- (4) またソーラー発電実験における太陽光入力に対する発電出力制御は、今回のシステムでは発電機と負荷との間に蓄電池を置き、回転数の変動による電圧変動を和らげほぼ一定の電圧（24ボルト）にして蓄電し、負荷抵抗で発電機出力を調整した。
- (5) 今回のシステム効率は5～6%であるが集光効率を上げかつ発電機効率その他を上げるによりこのシステムでもシステム効率が10%以上になりうる事が十分に考えられる。その際は太陽光発電と肩を並べられるものとなろう。
- (6) 今回のシステムは全く試作であるのでかなりの費用を要したが、ガラスヘッド以外はすべて通常の金属材料等の機械製品であり、大量生産によって十分に安価となりうると思われる。
- (7) アメリカよりの私信によれば Clever Fellow 社は本報告と同様なガラスヘッド方式の小型ソーラースターリングエンジンの研究を始めたとのことであり、筆者ら大いに意を強くするものである。

5 結言

2回反射より1回反射方式に改良した簡易構造の地軸式ソーラディッシュBと、ガラスヘッド⁽³⁾、銅メッシュ受光方式、二重ワット式クランクメカニズム⁽⁴⁾、W型ピストンリング、その他数多くの点を独自に開発した新形式 TNT-3 型ソーラースターリングエンジンとの組み合わせにより、ソーラー発電システムを構築し、太陽光発電に成功しかつ多くの知見を得ることができた。

目標の出力には至っていないが、このように多くの新しい試みを集めたガラスヘッドのソーラースターリングエンジン発電が全く大学グループを主とするチームによって独自に開発実施されたことは世界でも初めてであり、大いに注目されるべきことであると思われる。

このシステムにおける多くの新しい試みは次世代のソーラースターリング発電システムの開発において十分活用できることであろう。

参考文献

- (1) 徳納, Tokuno Dynamo, 鷹羽科学工業(株).
- (2) 信田, 一色, 橋本; 「吸い込み式ソーラーコレクターの研究」, 日機学講論, No.81, p41, 1988.
- (3) N.Isshiki, H.Watanabe, K.Shishido, K.Watanabe, 「STUDIES ON INTERNALLY HEATED SOLAR STIRLING ENGINE」, 4th ICSE, p183-188, 1988.
- (4) N.Isshiki, H.Watanabe, 「Research and Development on Solar Stirling Engine TNT-1, 2 and 3」, 5th ISEC, p279-284, 1991.