

「民学産公」協働研究事業 報告書

(1) 「民学産公」協働研究事業(協働研究事業)の概要

幹事企業である三鷹光器株式会社が、政府補助金により協働研究事業参加団体である三鷹市の市有地（三鷹市新川一丁目18番敷地）を借りてビームダウン型の太陽集光装置の実証実験施設を建設することになった。環境問題として太陽エネルギー利用が大きく取り上げられている昨今にあつて、地域児童だけでなく地域や市民全体にとっても太陽エネルギーの利用技術を身近に感じながら学習することができる絶好の機会である。そこで敷地内に太陽エネルギー利用技術を学習できる環境学習設備を併設し、本来の太陽集光装置実物による実演学習と共に、環境学習設備により環境問題と太陽エネルギーについて市民や生徒・児童が学習できるようにした。

(2) 幹事(申請)団体のプロフィール

名称：三鷹光器株式会社

住所：東京都三鷹市野崎1-18-8

資本金：1000万円

従業員：50名

代表者：中村勝重

事業内容：精密機械製造。天体望遠鏡、非接触三次元測定装置、医療機器、太陽集光装置。宇宙衛星事業や宇宙観測事業に参加。近年特に太陽熱利用のエネルギー研究や海水淡水化事業化に力を入れている。

(3) 協働研究事業参加団体のプロフィール

名称：三鷹市

代表者：清原慶子

協働研究事業での役割等：

ビームダウン型太陽集光装置の実証実験施設のための土地を三鷹光器に提供。同敷地内に太陽エネルギー学習用の環境学習設備も設置される。

名称：国立天文台

住所：東京都三鷹市大沢 2-21-1

代表者：観山正見

協働研究事業での役割等：

国立天文台の有する太陽観測に関するデータや知見を三鷹光器に提供する。三鷹光器は国立天文台から提供されたデータや知見を参考にして環境学習設備の作成に利用する。

名称：株式会社ナガセ

住所：東京都武蔵村山市伊奈平 3-32-3

資本金：1200万円

従業員：50名

代表者：長瀬透

協働研究事業での役割等：

ナガセの有する板金加工技術に関する知見を三鷹光器に提供する。三鷹光器はナガセから提供されたデータや知見を参考にして環境学習設備の作成に利用する。

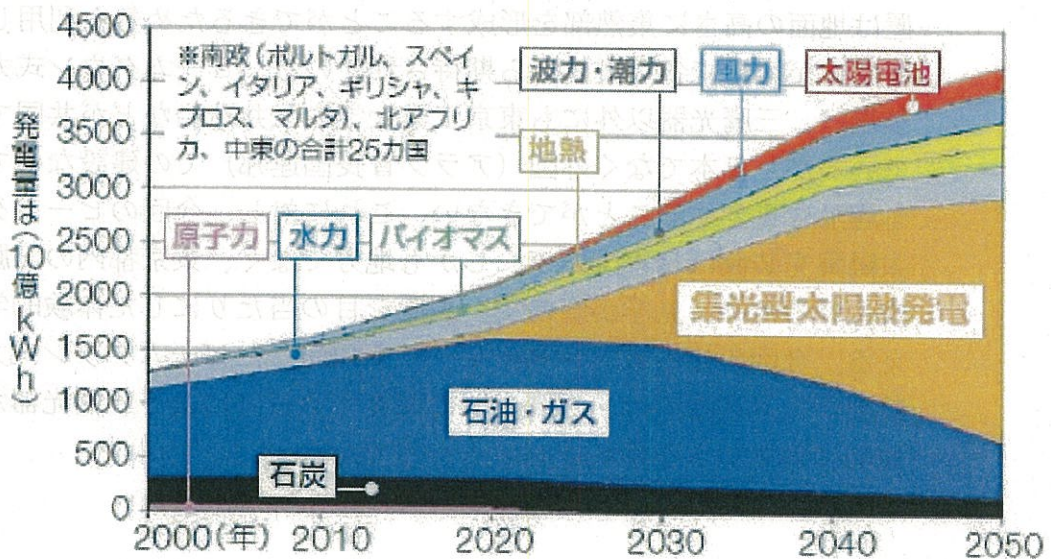
(4) 協働研究事業の企画・実施の背景

太陽エネルギーの利用としては、太陽光利用と太陽熱利用が対比される。太陽光利用は太陽電池パネルによる発電が広く知られる。太陽熱利用は太陽集光装置により集光した太陽光の熱を熱源として利用するもので、発電だけでなく、温水・蒸気・加熱空気として熱エネルギーの供給を行うことができ、その熱を利用して、海水淡水化など広範囲に利用できる。

太陽熱利用は海外では活発だが、日本では1982年の香川県仁尾町におけるサンシャイン計画以降大規模な研究開発は行われておらず今日に至っている（下記：仁尾町サンシャイン計画）



太陽熱利用の開発が国内で活発化していない状況にあって、環境問題と同時に、生活の近代化によるエネルギー需要の急速な高まりにどう応えるという経済的な問題も発生している。産業でも多くのエネルギーを使用し、各家庭でも多くの電化製品の使用により電力消費量は年々増えつつある。ドイツ航空宇宙センター（DLR）のレポートによると、2020年頃から世界の電気使用量の急激な上昇に対応するために、世界の発電量も高まると予測されている。そして、その電気発電量の急激な増加は環境問題のために集光型太陽熱発電により行われることと予測している。



データ出所：ドイツ航空宇宙センター（DLR）

そうした世界情勢にあって、三鷹光器としては、太陽熱利用はエネルギー資源のない我国にとって最優先の開発テーマと考え、平成13年から太陽集光装置の開発を行ってきた。特に小型高性能のヘリオスタットを用いたビームダウン式の太陽集光装置の開発を続けてきた。

そうしたところ、三鷹光器の太陽集光装置の開発に対して平成 21 年度の経済産業省の補助金が付与されることになった。三鷹光器はその実証実験装置建設用の土地を本社から近いところに確保したいと考えていたところ、三鷹市の新川に市有地があることを知り、三鷹市にその土地の使用を申し出た。三鷹市からは少なくとも補助金の事業実施期間だけ土地を借りられる許可をいただき、住民説明会などを経て、今回正式にビームダウン式太陽集光装置が三鷹市内に実現することとなった。三鷹市民にはその装置の見学だけでなく、太陽集光による太陽熱利用技術の全般にわたって学習していただけるように敷地内に環境学習設備を併設するようにした。

(5) 協働研究事業の詳細

太陽集光装置の概要

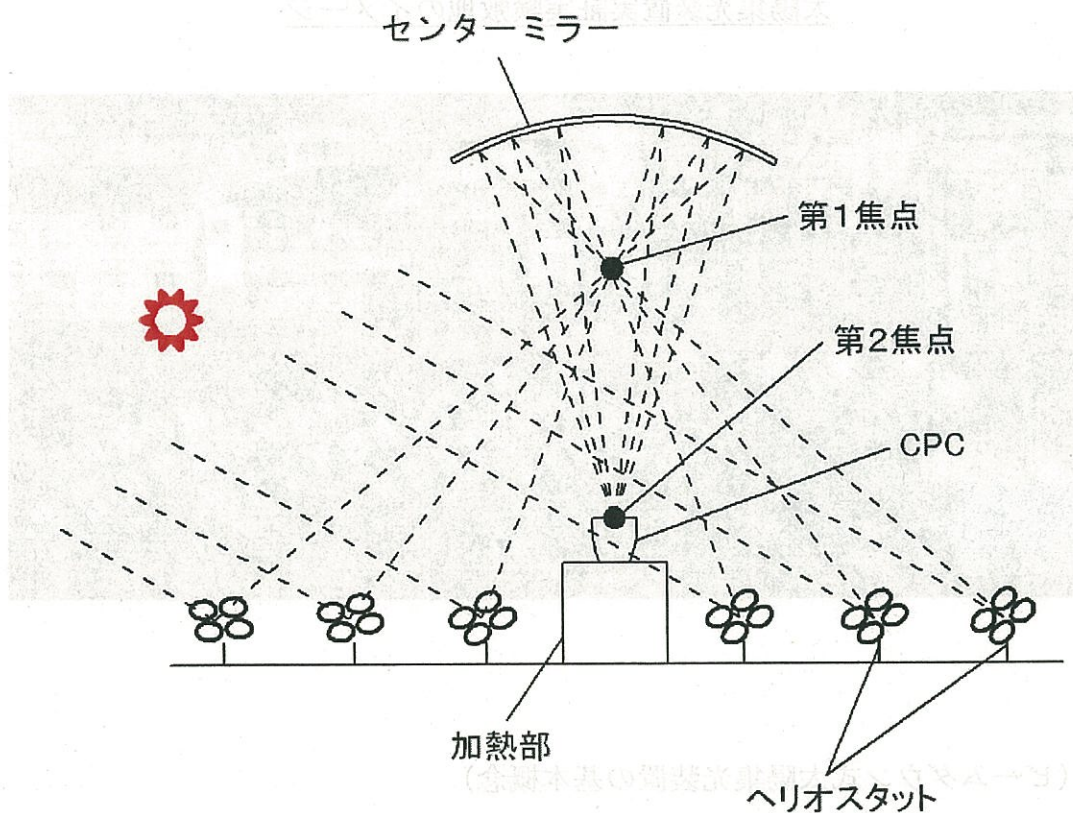
今回建設する太陽集光装置は世界で初めての楕円式センターミラーを使用したビームダウン式太陽集光装置である。ビームダウン式太陽集光装置は地面の高さに集熱部を形成することができるため熱を利用しやすく事業化が容易で各事業者から期待されている。ビームダウン式太陽集光装置は、三鷹光器以外にも東京工業大学や三井造船などが共同で建設しているが、日本でなく外国（アラブ首長国連邦）での建設なので、実物を容易に見学することができない。これに対し、今回のビームダウン式太陽集光装置は日本国内で、しかも地方でなく、東京都内の三鷹市に建設されるため、見学が容易で、装置を目の当たりにした体験的学習が行える。今回の楕円式センターミラーを利用したビームダウン式太陽集光装置が世界初なのは、三鷹光器の保有する特許により三鷹光器が独占排他的に実施できる権利を有するからである。

太陽集光装置実証実験敷地のイメージ



(ビームダウン式太陽集光装置の基本概念)

ビームダウン式太陽集光装置は、センターミラーとヘリオスタットと筒型集光鏡（CPC）とから構成される。三鷹光器のビームダウン方式では、高温高圧となる集光部が下方にあるためメンテナンスが容易であり、熱の利用が行いやすい点で有利である。また、ビームダウン方式は、タワーの上端に設けるミラーが楕円鏡で、その第1焦点をヘリオスタットからの光の中継集光ポイントとすることで、その後、楕円鏡からビームダウンした光を第2焦点へ確実に集光させることができる。従って、集光部は第2焦点に設置すれば良く、全体的な設計が容易である。また、ヘリオスタットのエイミング（aiming）も1点を狙えば良いため容易である。



(センターミラー)

敷地の中央に設置される。回転楕円ミラーで高さ10m位置に下向きで設置されている。下面が反射面になっており、周辺のヘリオスタットから反射された太陽光線を下向きに反射する。楕円形状なので2つの焦点が存在し、一方をヘリオスタットからの反射光のターゲットに使用し、他方をセンターミラーで反射した太陽光の最終集光ポイントとする。今回設置したセンターミラーは土台を金属の深しぼり成形品とし、その内面に多数のミラーセグメント(3cm×3cmの四角形)を8000枚接着した。ヘリオスタットをセンターミラーの北側領域に設置したため、センターミラーの内面のミラーセグメントは専ら南側に接着した。



(ヘリオスタット)

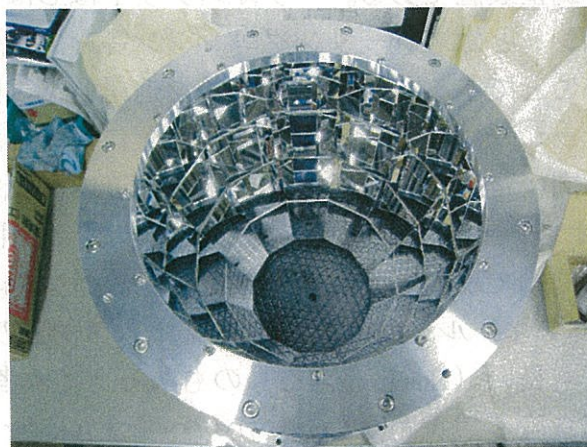
ヘリオスタットを敷地内に70台設置した。そもそもヘリオスタットとは何か。ヘリオスタット (heliostat) とは集中型の太陽集光装置に使用される太陽追尾型の反射ミラー装置である。helioとstatを組み合わせた用語である。helioはギリシャ語源のhelios (太陽) の意味で、statは英語のstationary (静止・固定) の意味である。つまり、太陽を同じ位置に固定するものという意味である。同様の用語として、thermostatが広く知られている。thermo (温度) を一定にstat (固定) する調整装置である。ヘリオスタットはしばしばディッシュと混同される。ディッシュとはスターリングエンジン等を焦点位置に備えたパラボラ形状のミラーのことである。両方とも太陽を追尾して太陽光を反射するため混同される。ディッシュは分散型の太陽集光装置に使用されるもので、ヒマワリのように太陽に向いた状態のまま太陽と同じ角度で回転する。焦点距離も短い (1~5m) ヘリオスタットは集中型の太陽集光装置に使用されるもので、太陽光を特定の一点に向けて反射し続けるため回転角度は太陽の動きの約1/2である。約1/2であってフィールド内におけるヘリオスタットの位置により微妙に変化する。焦点距離も長い (1kmを超えるものもある)。両者は全く異なったものである。この回転角度・焦点距離の違いからヘリオスタットにはディッシュ

にない技術的困難性がある。今回設置したヘリオスタットはクラスター型と言われるタイプで、4枚の円形ミラーを備えている。円形ミラーの直径は50cmで、それぞれセンターミラーまでの焦点距離を有する曲面形状に成形されている。4枚のミラーを赤道儀式駆動部で太陽を追尾するように制御している。太陽を追尾する制御はセンサー式制御を採用している。センサー式制御は実際に反射した光をセンターで受光して制御する方式で、いわゆる出口制御（二次側制御）のため駆動部のガタツキや風圧等によるが外因の影響を受けない。



(筒側集光鏡CPC)

筒型集光鏡CPCはセンターミラーから下向きに反射された太陽光を更に細く絞るためのものである。複数のミラーによりテーパ状に組み立てられ、複数のミラーに分割されているため、熱衝撃を受けても内部応力を分散することができ破損を防止する。



環境学習設備の詳細

市民や児童・生徒に環境問題及び新エネルギーへの理解を実体験により得てもらうことを目的として、視覚的且つ体験型の環境学習設備を作成した。環境学習設備は、以下の4つの設備から構成される。

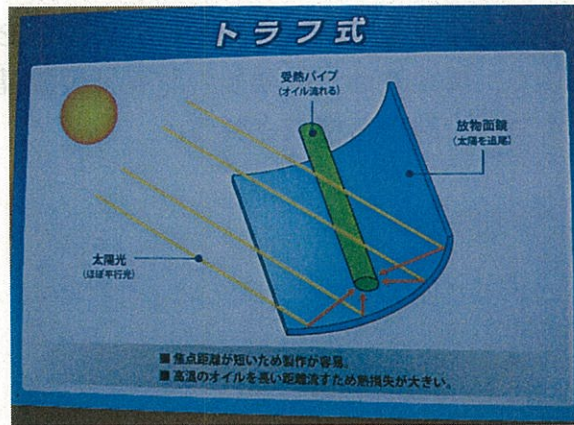
- A) 太陽集光装置タイプ別学習パネル
- B) 風船支持具
- C) ソーラー扇風機
- D) 温度差発電装置

A) 太陽集光装置タイプ別学習パネル

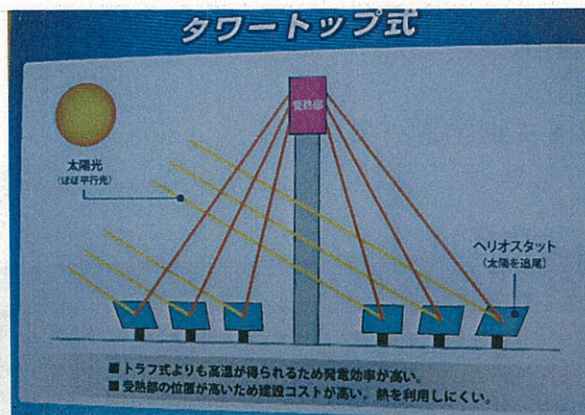


太陽集光装置としてトラフ型、タワー型、ビームダウン型の太陽集光装置を図解説明した耐候性パネルを敷地内に設置。

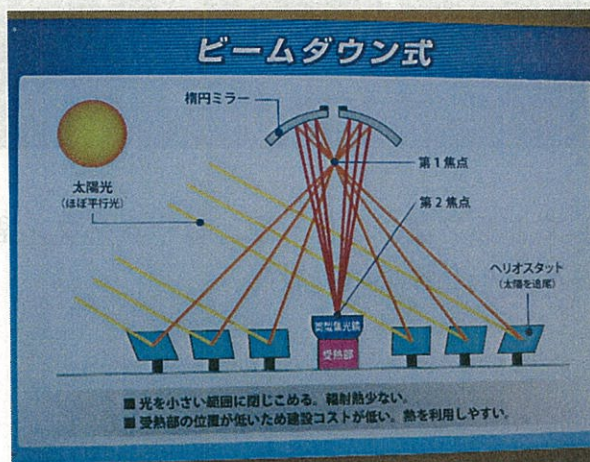
(トラフ式)



(タワートップ式)

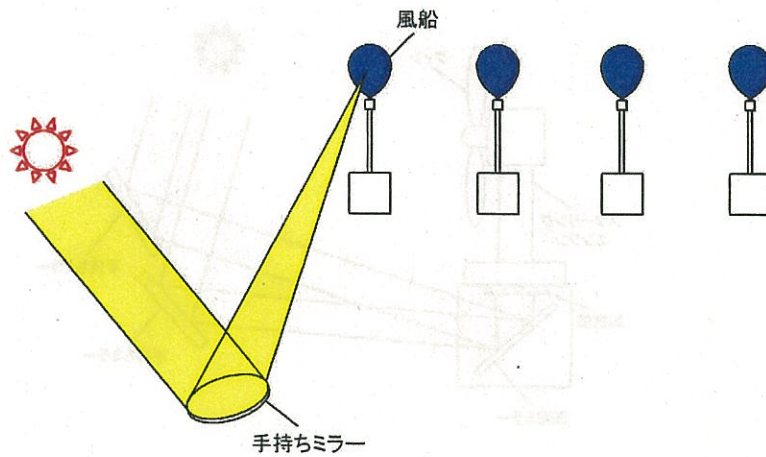


(ビームダウン式)

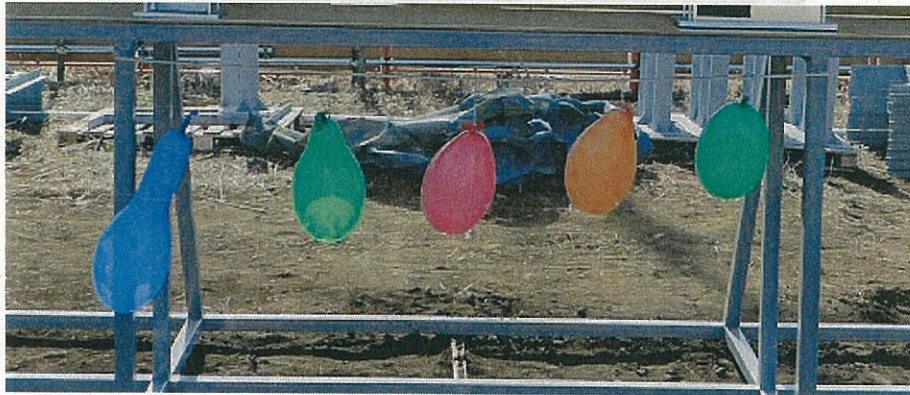


B) 風船支持具

手持ちミラーで太陽光を風船に集光して割る。太陽光の直進性及びエネルギーの強さを学習する。太陽光のエネルギーは1kw/平方メートル。風船支持具は耐候性パネルに一体的に設置。



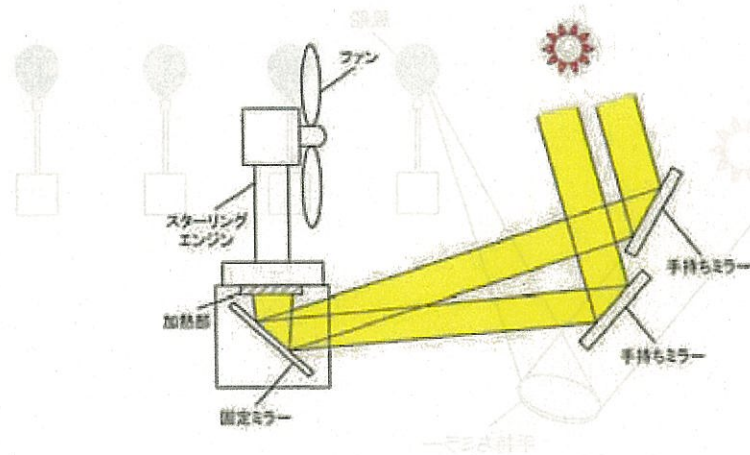
実際の風船割りは学習パネルの脚部に風船を並べて実施した。



この実験は、太陽光エネルギーの強さを学習するための実験です。太陽光のエネルギーは1kw/平方メートルです。風船支持具は耐候性パネルに一体的に設置されています。実際の風船割りは学習パネルの脚部に風船を並べて実施しました。

C) ソーラー扇風機

複数の手持ちミラーで太陽光を小型スターリングエンジンに当てて駆動させ、その駆動力で扇風機を回転させる。太陽光のエネルギーの強さを学習する。ソーラー扇風機は学習パネルの段の上に設置。

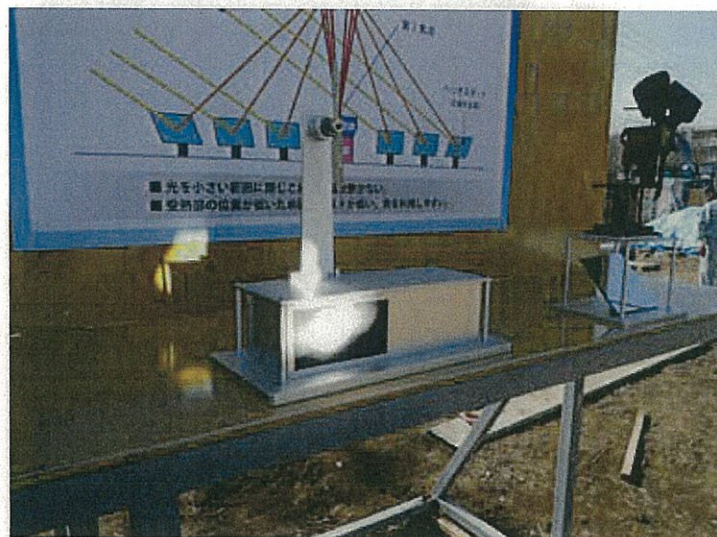
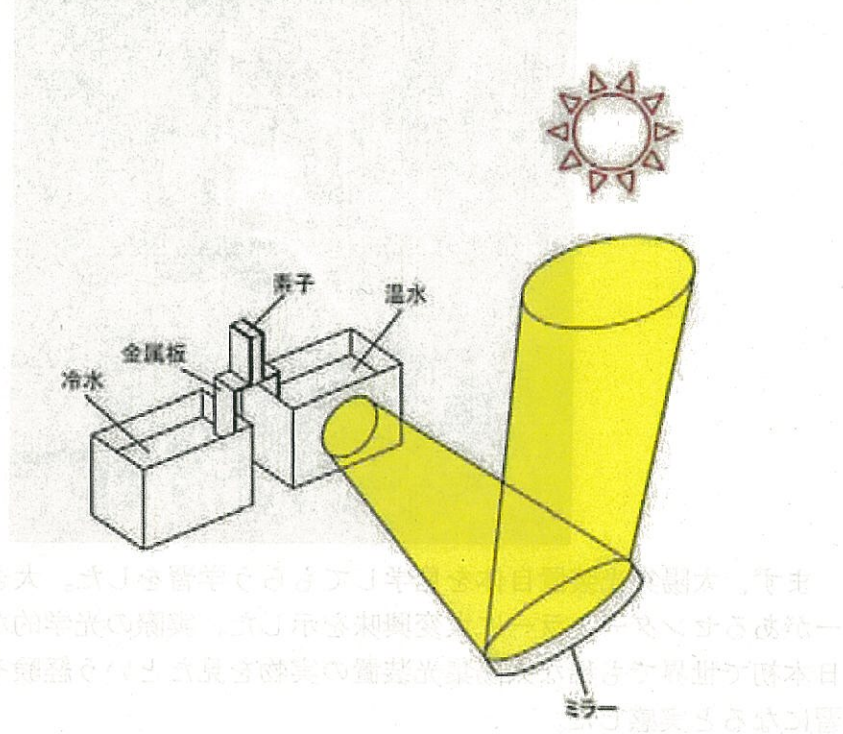


手持ちミラーで太陽を集光させて45度の角度のミラーに当てる。ミラーに当たった太陽光はミラーで上方へ反射され、スターリングエンジンの受熱部(底面部)を加熱する。受熱部が加熱されるとスターリングエンジンが稼働して発電し、その発電により扇風機を回転させることができる。

D) 温度差発電装置

太陽熱利用 (8)

複数の手持ちミラーで太陽光を温水槽に集光してお湯をつくる。一方は加熱せずに冷水槽のままにする。温水と冷水の温度差により、ペルチェ素子で発電する。発電した電気で前記同様に扇風機を回す。太陽熱利用の応用を学習する。



(6) 実験結果

置業業業業業業業 (D)

太陽集光装置の設置場所に隣接する三鷹市立五中の生徒に対して学習を実施した。



まず、太陽集光装置自体を見学してもらう学習をした。大きな楕円状のミラーがあるセンターミラーに大変興味を示した。実際の光学的な仕組みよりも、日本初で世界でも稀な太陽集光装置の実物を見たという経験そのものが環境学習になると実感した。



センターミラーの高い位置にも登ってもらい、高い位置から見晴らしが良いがめ、とても興味をもって観察授業を行うことができた。

A) 太陽集光装置タイプ別学習パネル

三鷹五中の生徒（16名）と、太陽集光技術にまた知識のない三鷹光器の新入社員（5名）にパネルを見せたところ、技術の違いを大変によく理解できたとの評を得た。イラストのため児童にも光路の違いは理解できる。但し、イラストの下部の説明分は児童には理解困難であった。しかし、難しい用語（熱損失、輻射熱などの用語）ほど興味をもってもらうことができた。



B) 風船わり

社内で実験したところ、青風船や赤風船は1枚の手持ちミラーで5～6秒で割れた。白色や黄色の風船は割れるのに時間がかかった。色彩により光の吸収率の差があることが学習できる。ここで注意しなければならないのは、風船を十分に膨らませておくことである。風船の膨らませ方が不十分で伸び代があると、太陽光を当ててもなかなか割れない。

C) ソーラー扇風機

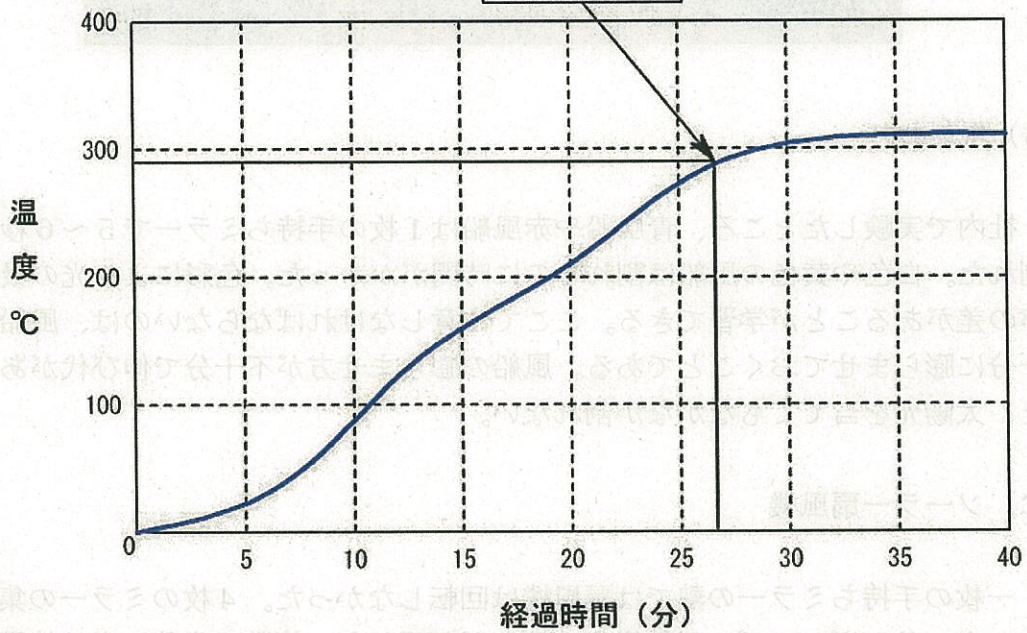
一枚の手持ちミラーの熱では扇風機は回転しなかった。4枚のミラーの集光でスターリングエンジンが稼働することが判明した。複数の生徒による協同作業でソーラー扇風機を回すことにより、生徒の興味も増す。但し、ミラー一枚

がある程度の重さを有するため中学生の場合は問題ないが、小学生の場合は一人でミラーを持ちきれないので、複数人で一枚のミラーを持つか、ミラーを支持する道具が必要と思われる。



扇風機回転開始

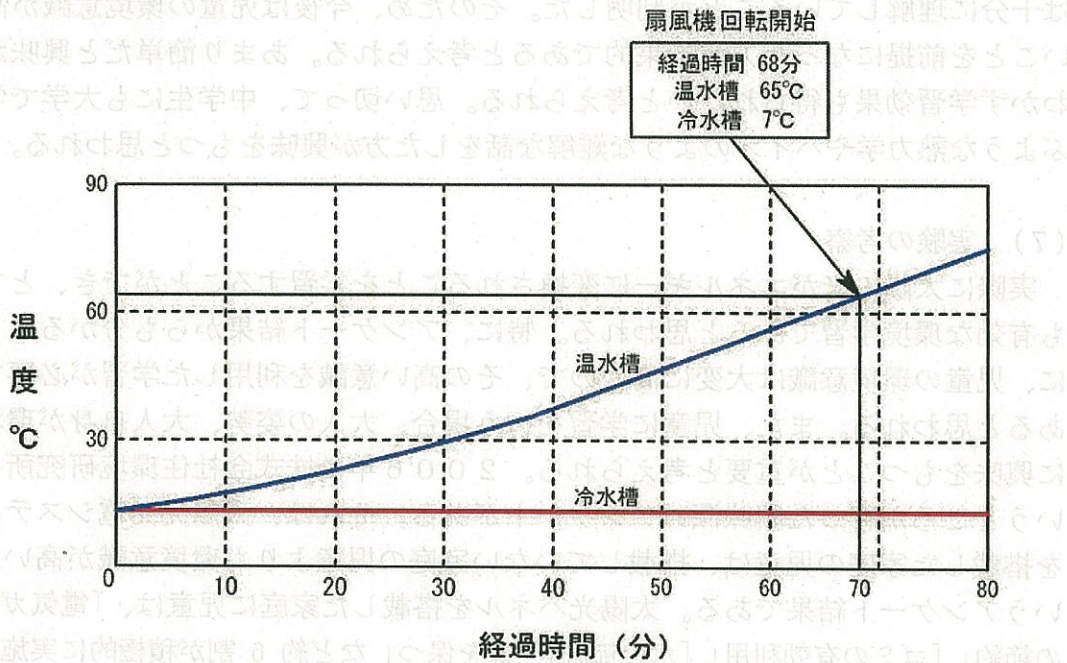
経過時間 26.8分
受熱部 281°C



ソーラー扇風機の実験結果

4枚のミラーの光をソーラー扇風機のスターリングエンジンの受熱部に当て続けた。そして、受熱部に熱電対を接触させ、受熱部の温度をモニターした。そうしたところ、26分48秒に281℃に達した時に、スターリングエンジンが稼働し、扇風機が回りはじめた。受熱部の温度は約300℃で平衡に達し、それ以上の昇温は認められなかった。

D) 温度差発電装置



温度差発電装置の実験結果

この装置の実験も4枚のヘリオスタットの光を集めて行った。冷水層と温水槽にそれぞれ水道水を入れた。水道水の温度は7℃であった。温水槽にヘリオスタット4枚分の光を集光させて加温した。温水槽の温度が上がるのに相当の時間を要した。温水槽が68分で65℃に達した際に扇風機のモータを回すほどの発電が生じて、扇風機がまわった。この実験では相当の時間を要するため、限られた時間で学習する場合は、事前に太陽光を当てておくか、或いは、別途沸かした65℃程度のお湯を入れたりする必要がある。

三鷹市立五中の生徒16名にアンケートを実施した。

質問は以下の4点

- ①地球温暖化問題を知っていますか。
- ②地球温暖化の原因がCO₂であることを知っていますか。
- ③CO₂は発電で石油燃焼により発生することを知っていますか。
- ④太陽の光で発電できることを知っていますか。

結果は全問で全員がYESで、中学生レベルでは、環境問題の基礎的なことは十分に理解していることが判明した。そのため、今後は児童の環境意識が高いことを前提になった方が効果的であると考えられる。あまり簡単だと興味がわかず学習効果も得られないと考えられる。思い切って、中学生にも大学で学ぶような熱力学やバイオのような難解な話をした方が興味をもつと思われる。

(7) 実験の考察

実際に太陽の光がエネルギーに変換されることを学習することができ、とても有効な環境学習であると思われる。特に、アンケート結果からも分かるように、児童の環境意識は大変に高いので、その高い意識を利用した学習が必要であると思われる。また、児童に学習を行う場合、大人の姿勢、大人自身が環境に興味をもつことが重要と考えられる。2006年に株式会社住環境研究所というところが行った興味深いアンケートがある。それは、太陽光発電システムを搭載した家庭の児童は、搭載していない家庭の児童よりも環境意識が高いというアンケート結果である。太陽光パネルを搭載した家庭に児童は、「電気ガスの節約」「ゴミの有効利用」「水の節約」「緑を保つ」など約6割が積極的に実施している。このことは、親が環境を意識して太陽光発電パネル等を導入すると、子供も自然と環境問題に関する意識が高まり、子供の環境意識の芽生えや育成にも多いに寄与していることがわかる。従って、今後環境学習を実施する場合、まず実施する大人側が多いに熱意をもつと、興味をもって、環境学習を行う必要がある。

(8) 今後の展開

太陽集光装置が当該敷地内に存在する間は、設置した学習設備を利用して積極的な環境学習を実施していきたい。特に三鷹市と協力して、三鷹ネットワーク大学のプログラムに組み込むなどして、継続性及び実効性のある環境学習を行っていきたい。

(以上)