

# 風力熱変換の基礎的研究\*

## Basic Research for Conversion of Wind Power into Thermal Energy

松村 博久\*\* . 十田 正文 . 井手 英夫

Hirohisa MATSUMURA Masafumi JUTA Hideo IDE

### 1. 緒言

風力エネルギーは風車により機械的エネルギーに変換できることから、その利用方法は広範多様で歴史的にも古いものがある。これら用途の中でも、風力を直接熱エネルギーに変換し、熱交換等によって温水をつくり、施設園芸温室<sup>(1)</sup>、養魚池加温<sup>(2)</sup>、入浴用給湯などに利用される例がみられる。

風力を直接熱に変換する方法は、固体摩擦方式、油圧オリフィス方式、うず電流方式、流体かくはん方式などがある。本研究では、冬場のハウス栽培加温を目的としているので、安価なコストと容易なメンテナンスを考慮して、できる限り単純な熱変換装置による流体かくはん方式を用いた。

風力で羽根付ロータを回転させ、タンク内の流体をかくはんすることにより、流体のもつ運動エネルギーが粘性応力や壁摩擦などで熱エネルギーに変換される。

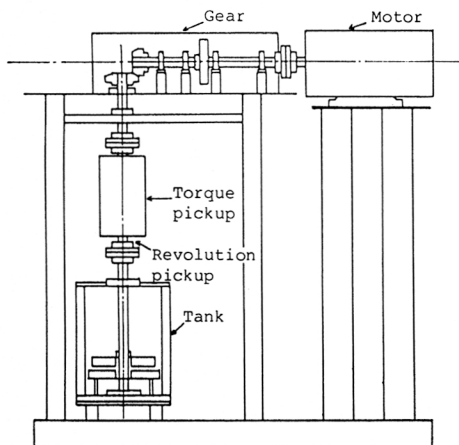


図1 実験装置概略

この熱変換に及ぼす影響因子の特性を調べ、熱変換装置の最適条件をみいだすために基礎的実験を行った。

### 2. 実験装置と方法

実験装置概略を図1に表わし、実験装置の外観を写真1に示している。本実験はモデル実験であり、風車の代りに駆動は可変速モーター（三相特殊分巻整流子電動機、出力0.75kW、定格回転数800~2500rpm）を使用している。モーターと減速ギヤの駆動部、回転数とトルクを測定する検出部および機械的エネルギーを熱エネルギーに変換する流体かくはんタンクなどで装置は構成している。

図2はかくはん装置概略であり、写真2はかくはん

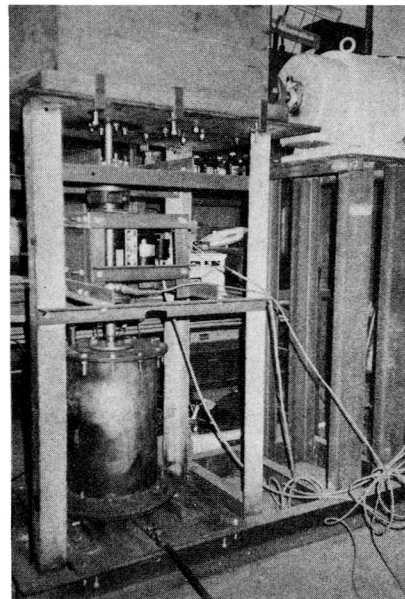


写真1 実験装置の外観

\* 昭和62年11月27日「第9回風力エネルギー利用シンポジウム」において講演

\*\* 会員、鹿児島大学工学部（〒890 鹿児島市郡元一丁目21の40）

タンクの外観写真である。かくはんタンクは水量が約18ℓ入る円筒形で、駆動軸に取付けてある直角羽根タービン型のロータ（回転羽根取付け板）およびタンクに固定してあるステータ（固定羽根取付け板）を内蔵している。羽根数12枚を取付けた直径の異なる2種類のロータを写真3に示している。

タンク内水温、タンク外壁温度およびタンク保温材外面温度などは、銅-コンスタンタン熱電対で測定す

る。測定位置は図2の中に○印で表わしてある。図2および写真2には保温材が取付けてないが、タンク周囲は厚さ約30mmの発泡スチロールの保温材が巻き付けてある。

実験条件は表1に示すように多くのパラメータが用意され、それらのパラメータが熱変換効率に及ぼす影響を系統的に調べている。実験に供試した水は常温とし、所定の実験条件でロータを回転させて水をかくはんする。設定した回転数において、一定時間ごとにかくはんトルク、水温およびタンク外壁温度を測定している。

### 3. 実験結果と考察

流体かくはんによる熱変換は、流体の流動状態による。タービン型ロータの流体かくはんによる流動状態は、流体とロータの相対速度の小さい円周方向の回転流とロータ半径方向の吐出流およびそれにともなう回転軸方向の上下流によってできる循環流である<sup>(3)</sup>。

本実験装置の場合は、ロータ回転による回転流と遠心力のためにロータ羽根内部の流体を半径方向に流出する吐出流を生じ、この吐出流がタンク内壁に衝突して上下方向に分流する。吐出流が生じて負圧となったロータ中心部にステータ側から流体が吸い込まれるので循環流を形成する。したがって、これら回転流と循

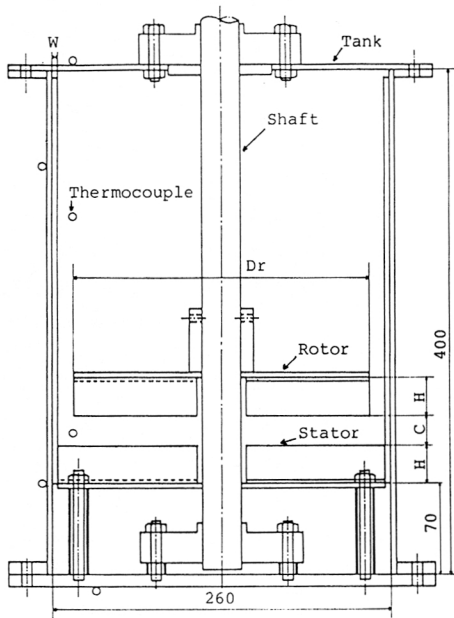


図2 かくはん装置概略

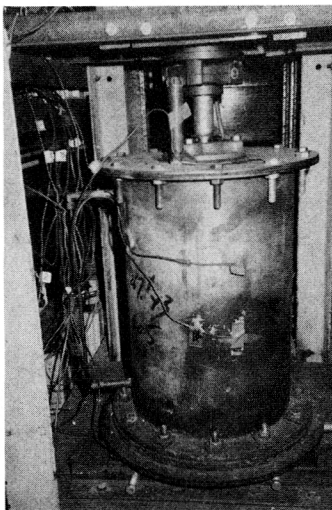


写真2 かくはんタンクの外観

表1 実験条件

Rotor Diameter (mm)	180, 220, 240, 250
Rotor Blade (plates)	1, 2, 4, 6, 12
Stator Blade (plates)	0, 1, 2, 4, 8
Blade Height (mm)	20, 30, 40
Baffle Width (mm)	4, 8
Baffle Plate (plates)	0, 2, 4
Clearance (mm)	5, 10, 15, 30, 50, 100
Revolutions (rpm)	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500

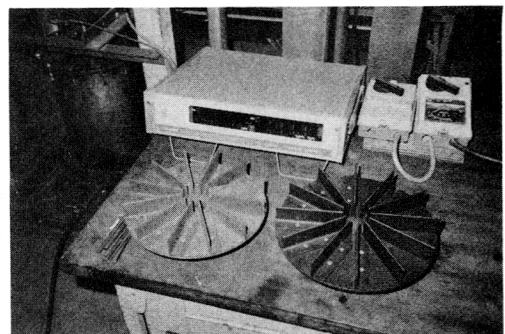


写真3 羽根数12枚のロータ2種類

環流の流動状態が、熱変換効率にどのような影響を与えるかを調べるために、上下方向に分かれた吐出流の回転モーメントによる円周方向の流れを半径方向の流れに転換して、循環流を持続させる目的で羽根を有したステータを取付けている。

図3はかくはん時間とタンク内水温変化の例を示している。流体かくはん条件は、羽根数12枚を有した直径240mmのロータが400rpmで回転し、ロータとステータの羽根先端間隔が15mmの場合である。ロータおよびステータともに取付けてある羽根の高さは30mmである。パラメータはステータ羽根数

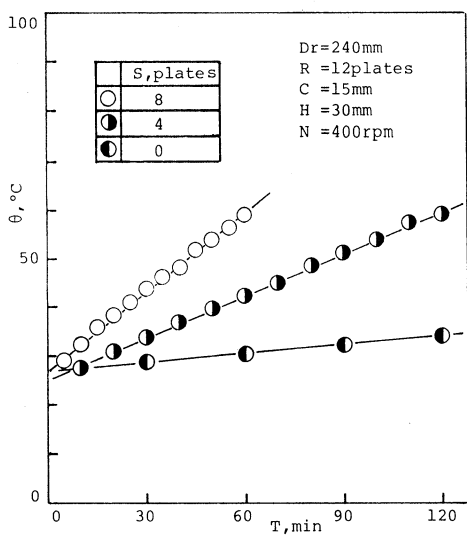


図3 かくはん時間と水温変化の例

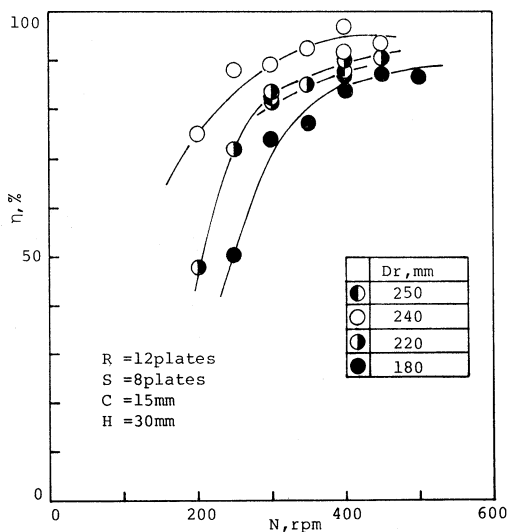


図4 ロータ直径とロータ回転数の関係

であるが、ステータ羽根数の多い方が単位時間当りの温度上昇が大きいことを表している。

ロータ直径をパラメータとした場合の熱変換効率について、図4はロータ回転数の影響、図5はステータ羽根数の影響、図6はロータ羽根数の影響、図7はロータとステータの羽根先端間隔の影響を示している。

この熱変換効率とは、流体かくはんに要したエネルギーに対して熱に変換されたエネルギーの割合を百分率で表わしたものである。流体かくはんに要したエネルギーは、ロータ回転数、かくはんトルク、かくはん時間より求める。熱に変換されたエネルギーは、流体の保有エネルギー、タンクの保有エネルギー、タンク外部へ漏出したエネルギーについて、実験中の温度測定値より算出する。ここでは水の粘性について温度条件を一定とするために、水が35°Cから50°Cに上昇するまでのかくはん時間を用いて計算を行った。

図4はロータ直径とロータ回転数の関係について示している。ロータ回転数が増加するにつれて熱変換効率は高くなるが、ロータ回転数が約400rpmで熱変換効率は最大値をとっている。また、ロータ直径が大きくなるに伴って熱変換効率は上昇するが、ロータ直径が240mmで最もよい効率を示し、さらにロータ直径が増大すると熱変換効率は低下する傾向にある。かくはんタンク内径が260mmであるから、ロータ直径が240mmの場合は、タンクとロータの間隔が10mmになっている。

図5はロータ直径とステータ羽根数の関係について示している。ステータ羽根数の多い程、熱変換効率は

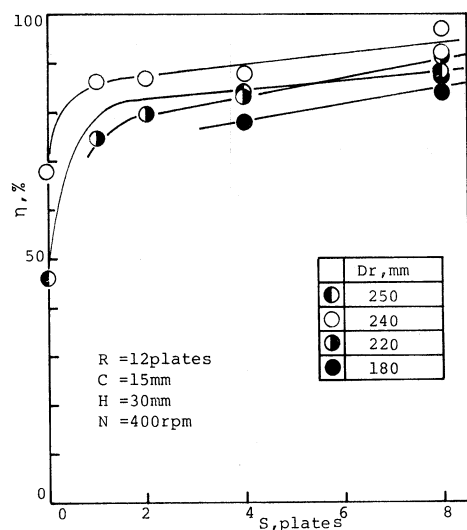


図5 ロータ直径とステータ羽根数の関係

上昇する傾向にあるが、図4に表わしたようにロータ直径が240mmのときが最もよい。熱変換効率の増加割合とステータの製作上から、ステータの羽根数は8枚程度が適当であろう。

図6はロータ直径とロータ羽根数の関係について表わしている。ロータ羽根数が多くなると、熱変換効率はわずかながら増加している。ロータ羽根数が6枚以上に於いて、熱変換効率はほぼ一定とみてよい。

図7はロータ直径と羽根先端間隔比の関係について示している。羽根先端間隔比とは、タンク内径にたいするロータとステータの羽根先端間隔の比である。ロ

ータ直径が240mmの場合、羽根先端間隔比が0.04付近で熱変換効率は最も高くなっている。ロータとステータの羽根先端間隔が10mmから15mmのところで、羽根先端間隔比は0.038から0.058である。

ロータ羽根数をパラメータにした場合の熱変換効率について、図8はロータ回転数の影響、図9はロータ直径の影響を表している。

図8はロータ羽根数とロータ回転数の関係について示している。ロータ羽根数が増加すると熱変換効率は高くなり、ロータ回転数が約400rpmのところで

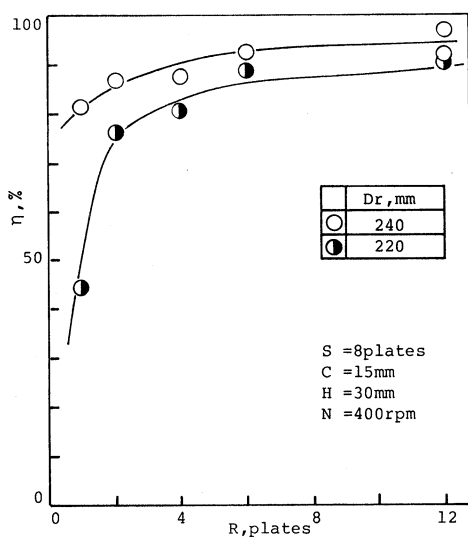


図6 ロータ直径とロータ羽根数の関係

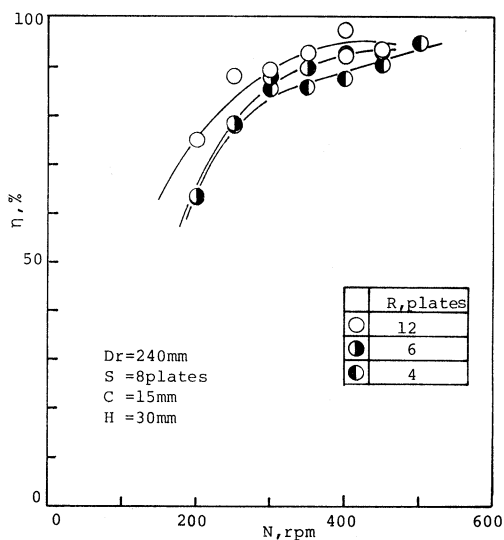


図8 ロータ羽根数とロータ回転数の関係

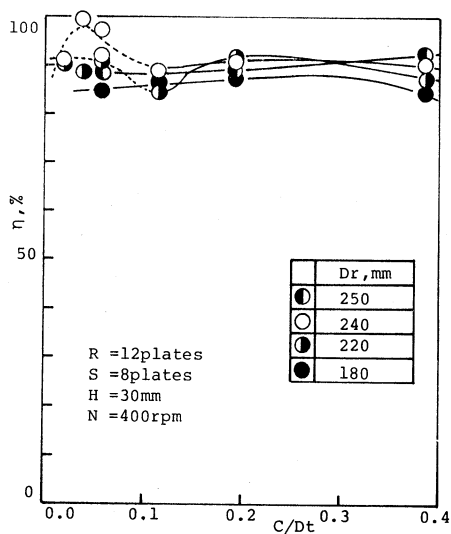


図7 ロータ直径と羽根先端間隔比の関係

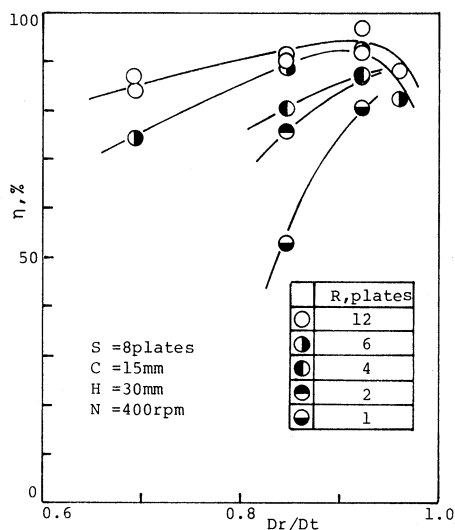


図9 ロータ羽根数とロータ直径比の関係

最大となっている。ロータ羽根数が6枚の場合と12枚の場合は、ロータ回転数が増えると効率の差は顕著でなくなっている。

図9はロータ羽根数とロータ直径比の関係について示している。ロータ直径比とは、タンク内径にたいするロータ直径の比である。ロータ羽根数が6枚および12枚の場合、ロータ直径比が0.92付近、すなわちロータ直径が240mm程度のところで、熱変換効率は最大値を表わしている。

ロータ羽根高さをパラメータとした場合の熱変換効率にたいするロータ回転数の影響を図10に示してい

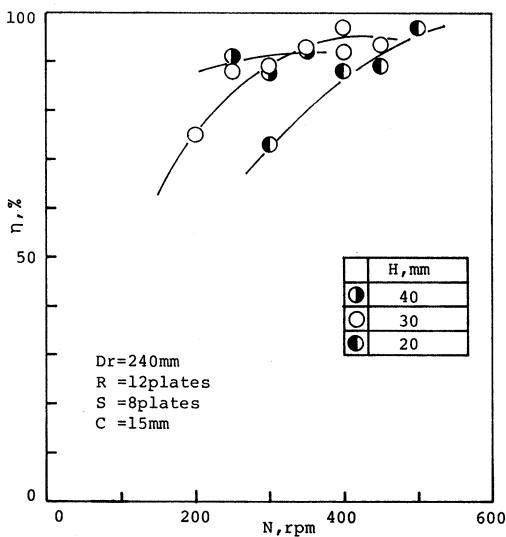


図10 羽根高さとロータ回転数の関係

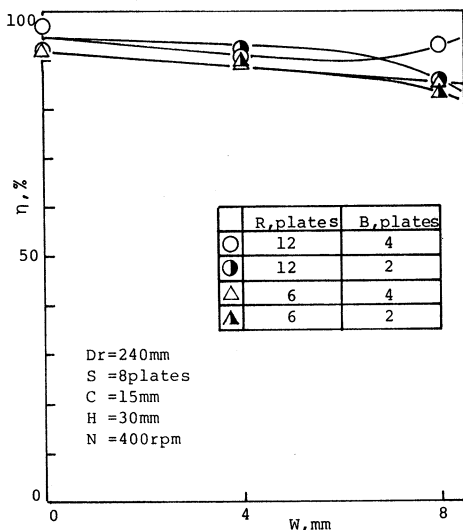


図11 バッフル数とバッフル幅の関係

る。ロータ羽根高さが大きくなるとともに、熱変換効率の最大値はロータ回転数の小さい方に現われる傾向にある。しかし、効率の最大値はそれほど変化しない。したがって、ロータ回転数が大きいときにはロータ羽根高さを小さくし、ロータ回転数が小さいときにはロータ羽根高さを大きくすればよい。

ロータ羽根数およびバッフル数をパラメータとした場合の熱変換効率に及ぼすバッフル幅の影響を図11に示している。タンク内径が260mmであるから、タンクとロータの間隔は10mmである。このことからバッフル幅は4mmと8mmの2種類がとってある。図中のバッフル幅が0mmとは、バッフル数が0枚のことである。バッフル数をパラメータとしてあるが、便宜的にバッフル幅が0mmのところまで曲線を延長して画いてある。ロータ羽根数は熱変換効率に影響を与えるが、バッフル数およびバッフル幅は効率にあまり影響を与えないので、装置製作上からはバッフルのない方がよい。

## 4. 結 言

風力エネルギー利用の直接熱変換において、流体かくはん方式による最適熱変換効率を与える条件をみいだし目的から、ロータ直径、ロータ羽根数、ロータ回転数、ステータ羽根数、ロータとステータの羽根先端間隔、羽根高さ、バッフル数、バッフル幅などが熱変換効率に及ぼす影響について実験的に調べた。

流体かくはんにより熱変換に寄与する流動状態は、流体とロータの相対速度の小さい円周方向の回転流よりも、ロータ回転による遠心力によりロータ羽根内部の流体が半径方向に流出する吐出流をとまなう循環流である。

これにはロータ直径、ロータ羽根数、ロータ回転数、ステータ羽根数、羽根高さなどが大きく影響し、バッフル数およびバッフル幅の影響は小さいことがわかった。

流体かくはんによる熱変換は、タンク内の流動現象に依存するので、流動現象を可視化できるように、透明アクリル製装置を用いて実験的観察を行っているので、この結果については次の機会に報告する。

終りに本研究について助言をいただいた門 久義助教授、実験に協力を得た学部卒業の古藤昭徳、徳永真一郎、福田忠良、本野宏志の諸君ならびに実験装置製作を担当された鹿児島大学工学部中央実験工場の各位に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 泊 功, 施設園芸への風力利用, 第4回風力エネルギー利用に関するシンポジウム講演集, (1982), 1
- (2) 奥谷順一, 養魚施設熱源への風力利用, 第4回風力エネルギー利用に関するシンポジウム講演集, (1982), 65
- (3) 竹田邦彦, 乱流攪拌槽内の流れとメカニズム, 最近の化学工学, (1966), 127

## 主 な 使 用 記 号

- B : バッフル数 (枚)
- C : ロータとステータの羽根先端間隔 (mm)
- D r : ロータ直径 (mm)
- D t : タンク直径 (mm)
- H : 羽根高さ (mm)
- N : ロータ回転数 (r p m)
- R : ロータ羽根数 (枚)
- S : ステータ羽根数 (枚)
- T : かくはん時間 (分)
- W : バッフル幅 (mm)
- $\theta$  : タンク内水温 ( $^{\circ}$  C)
- $\eta$  : 熱変換効率 (%)