

440 貫流型風力タービンの空力特性に関する実験的研究

Experimental Study on Aerodynamic Characters of Cross Flow Type of Wind Turbine.

菊池 悠樹 (室蘭工大)	竹内 徹 (室蘭工大)
今 紀衛 (今組 (株))	伊庭野 洋 ((財)室蘭テクノセンター)
山田 亜弥 (富士通信システム(株))	小林 浩二 (スズキ (株))
正 鈴木 淳 (室蘭工大)	正 岸浪 紘機 (室蘭工大)

Yuuki Kikuchi*, Tooru Takeuchi*, Norihei KON**, Hiroshi IBANO***, Aya YAMADA*, Kouji KOBAYASHI*, Jun SUZUKI*, and Koki KISHINAMI*.

* Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho, Muroran 050-8585

** Head, Kon Co., Ltd., 2-4-12 Kohoku-cho, Muroran 050-0063

*** Muroran Techno-Center Foundation, 4-25-1, Higashi-Mati, Muroran 050-0083 Japan

Vertical axial cross flow type of wind turbines are considered to have superior characters in comparison with the conventional propeller type of HAWT, especially in combined with outer static guide vanes. One benefit is to operate for all directions of the wind without the mechanism of yaw drive systems, which lead to simple structures and low costs. Others are the safety against the dangerous rotating body and the considerable increasing the output because of having the outer static guide vanes installed, subsequently be suitable for setting to the park / street for small units.

In this paper, aerodynamic performance characteristics of the cross flow type of wind turbine combined with outer static guide vanes were studied experimentally by small scale model under the condition of open-type wind tunnel restricted with max wind stream velocity 4.5m/s and outlet duct's dia. 0.88m ϕ . The free stream velocity at the outlet of the wind tunnel was regulated from 0.8~4.5m/s by a 1200mm dia. propeller driven by a 400W inverter controlled induction motor. The mechanism of the cross flow model employed in this experiment are involved the rotor with 0.32m ϕ dia. and 0.3m wide comprised of flat and curved plate blades with pitch angle 60 degree and the number $Z=8/16$ and the length $l=40\sim 80$ mm, and static flat guide vanes with outer and inner dia. 0.64m ϕ and 0.32m ϕ , setting angle 30 degree and the number $Z=8$.

The aerodynamics characteristics of the turbine obtained by experiment were discussed, correlated by the tip speed ratio and power and torque coefficients C_p , C_q for various parameter combinations, and cleared to be optimized design parameters of rotar blades number Z and the blade width acting as significant roles.

Key Word: Vertical Axial Cross Flow Type of Wind Turbine, Static Flat Guide Vane, Flat Plate Blade, Tip Speed Ratio, Power and Torque Coefficients, Ram Effect.

1. 結論

自然エネルギーは環境に与えるインパクトが小さくかつ持続可能なものとして、未来の循環・共生社会体制において基軸となるエネルギー源の一つと考えられている。

中でも風力エネルギーは、三次元空間の大きな潜在力を有するエクセルギとして現在積極的に利用され始めている。その変換機の主流は翼型の特長を利用したプロペラ型風力タービンであるが、規模に応じて諸種の方式が考えられ、その一つに風方向追従機構の不用な全方位性縦型貫流式風車があり、構造簡易にして安全で、外部案内羽根の設置により増風速に依る出力向上効果が期待される。

このような観点から本実験的研究では、外案内羽根付き縦型貫流式多翼風車に注目し、特に動翼を平板翼と曲板翼の2組を用意し、その枚数とその最適寸法についての定常風速条件での模型実験を行い性能および出力特性を究明して、関与する諸パラメータの及ぼす影響を検討・考察する。

2. 実験装置および測定方法

本実験で使用する縦型貫流式多翼風車の物理モデルを図1に示す。図中には、実験時の風速の流線の状況を鎖線で示している。本研究での貫流式風車は外案内羽根部と羽根部(ローター部)で構成されている。

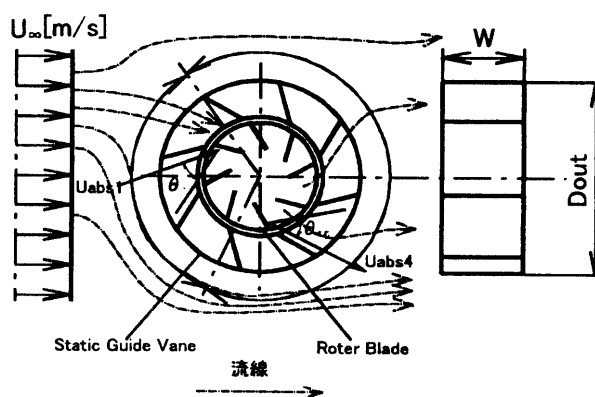


図1 縦型貫流式多翼風車物理モデル

図1に、本貫流式風車モデルを示す。ここでは、案内羽根は枚数を Z_g 、その長さ L_g 、取り付け角 θ_g 、動翼ブレードは枚数を Z_b 、その長さを L_b 、取り付け角 θ_b とした設定条件で外案内羽根と動翼部で構成され、その組合せを一段とした入口段と出口段の2段落タービン機と考えられる。

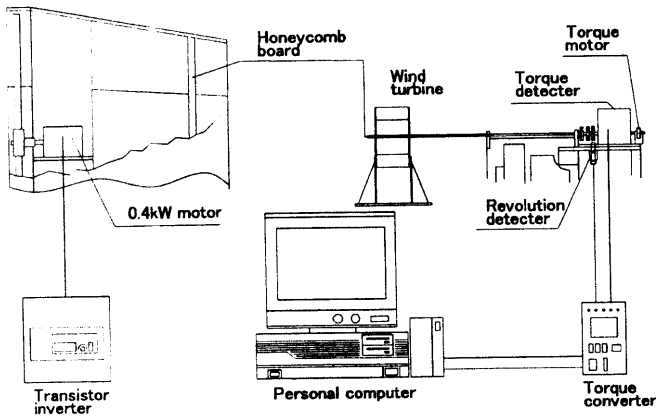


図2 実験装置全体図

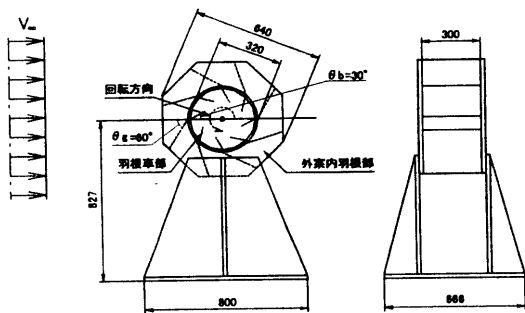


図3 縦型貫流式多翼風車概要図

本実験に使用した装置の全体図を図2に示す。開放型風洞には 400W 三相交流モータで駆動される径 1.2mφの二枚翼プロペラと 4mmφコアのハニカム整流板が設置され、モータ回転制御用インバータにより風速が調整される。また受風面と送風部の距離は 800mm であり、風速 4.5m/s までの流れはタフト法により層流であり、受風面における風速はほぼ全域で一様である。測定部は風車軸にトルク検出器・回転数検出器・逆トルクを発生するトルクモータが接続されている。トルク及び回転数データはトルクコンバータを介してアナログ/デジタル変換され、パソコンに収納される。図3は本縦型貫流式多翼風車の概要であり、外案内羽根部と羽根車部は流れに対して $\theta_g=60^\circ$ 、 $\theta_b=30^\circ$ の条件に設定してある。図4に示す如く、回転ローター部の動翼は曲板翼と平板翼を使用する。平板動翼は幅 50mm から 80mm まで各 8 枚、平板小翼が幅 40mm から 50mm までである。翼設置枚数は曲率 $R=160\text{mm}$ の曲板翼が幅 40mm から 80mm までがそれぞれ 8 枚、曲板小翼が幅 30mm から 80mm まで各 8 枚、また、外案内羽根は平板翼を使用し、定常風速条件下の出力・トルク特性は、風速 5.0m/s・4.0m/s・3.0m/s のもとでおこなった。また、曲板翼で実験を行った際、もっとも効率がよい羽根の組合せに、翼端から 10mm 位置に穴径 3.5mm の穴を開け、風速を 5.0m/s のみで測定した。外案内羽根は枚数 8 枚、ローター翼は 8 枚、16 枚の 2 パターンで取り付けられる。ローター部の回転が止まるまでの各回転数におけるトルクを 0.1 秒ごとに 2 秒間ずつ測定・記録した。



図4 回転ローター部に用いた動翼160mm

3. 実験結果の検討・考察

出力 $L[\text{W}]$ は出力係数 C_p 、トルク $Q[\text{N}\cdot\text{m}]$ はトルク係数 C_q 、回転数 $N[\text{rpm}]$ は風速 $V_\infty[\text{m/s}]$ に対する先端周速度の比として以下に無次元化する。 ρ は空気密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、 D_B は羽根車の直径 $[\text{m}]$ 、 W は羽根車の幅 $[\text{m}]$ である。

$$C_q = \frac{Q}{0.25 \rho V_\infty^2 D_B^2 W} \quad C_p = \frac{2L}{\rho D_B W V_\infty^3} \quad \lambda = \frac{\pi D_B N}{60 V_\infty}$$

3. 1. 動翼部が曲板翼の場合

出口段入口部で風速流量が1/2となる時の面積比率とベクトル水平成分

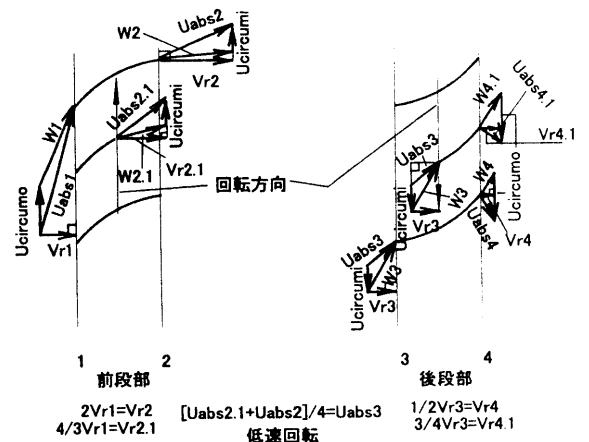


図5 曲板動翼 16 枚に対する二段速度三角形

図5は、動翼が曲板翼における本貫流型風車の入口・出口2段部の、速度ベクトル解析図である。図中の添字 abs は絶対速度、 W は相対速度を示し、 U_{cir} は各位置の回転速度を表す。動翼は角速度 ω で回転するので動翼の外径、内径をそれぞれ r_o 、 r_i とすると、 $U_{circo} = r_o \times \omega$ 、 $U_{ciri} = r_i \times \omega$ で与えられる。また、曲板動翼 8 枚の間小翼 8 枚を入れた場合も示してあるが、実際の実験から前段部入口部は案内羽根の 1 セクションからのみ流入し、後段部の案内出口部では極低速回転を除いて 2 セクションから流出する。この実験的な事実をもとに、後段部にこの質量保存則を適用した場合、図中の前段部における動翼の出口速度は、後段入口部において、速度が半減することになる。また、風車部内での流管は 2 倍に広がって速度が半減する結果、著しい速度エネルギーが散逸している。低速回転時の前段部では、大翼はある程度エネルギー吸収し、小翼は相当のエネルギー吸収をする。しかし、出口案内内部からの放出が 2 セクションとなる流管拡大により後段部入口速度を半分としているため、出口段ではほとんどエネルギー吸収は認められない。また、高速回転時では前段部の曲板大翼はかなりのエネルギーを吸収し、小翼はさらなるエネルギー吸収をしている。その 1/2 に減速した後段入口部においては、高速回転となるため、全体としてエネルギー吸収は認められず出力にほとんど寄与しないことになる。

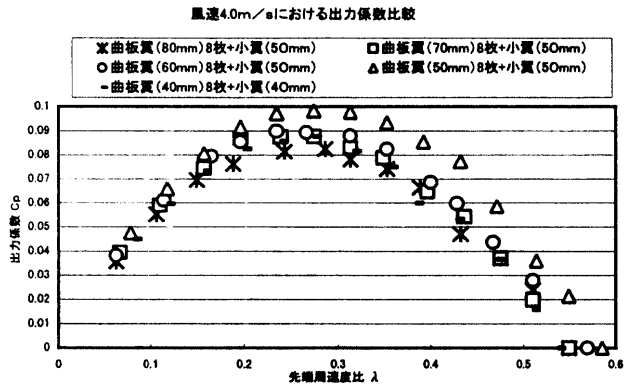


図6 曲板翼16枚での出力係数比較

図6は、各動翼間に小翼を加えた16枚の組合せにおける出力特性図である。図6から翼幅は動翼・小翼共に50mmの組合せは高効率となり、40mmの組合せでは著しく性能が低下することが判る。60mmと50mmの場合もそこそこの性能を示している。以上から、翼幅は動翼、小翼共に同じ幅の50mmが高効率を期待できることになる。

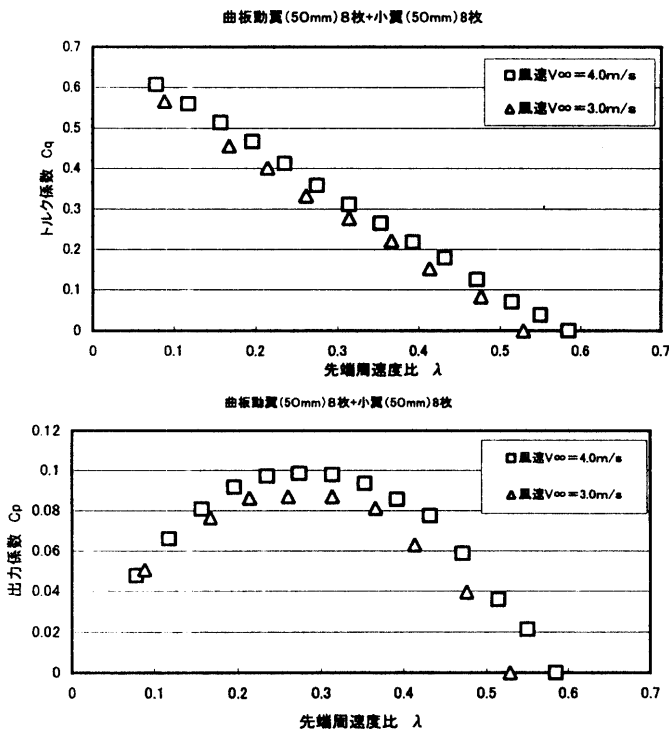


図7 曲板翼の風速による性能特性

図7は本条件で最高性能を示した曲板動翼8枚、小翼8枚、外案内羽根60°の条件における、出力係数Cpとトルク係数Cqの特性図である。図7より、風速4.0m/sの場合のほうが、出力係数(Cp)・トルク係数(Cq)共に風速3.0m/sの場合より大きな値を示している。一般論として、風速V∞の上昇と共に出力係数Cp、トルク係数Cqは著しく向上することが認められているが、縦型貫流式多翼風車は構造的な面から高速回転になればなるほどローター出口段入口部において動翼部にブレーキ方向の風が当り出力が低下する。図中のトルク特性図は低回転になる程トルク増となり、典型的な低速回転強トルク型風車であることを明らかにしている。

3. 2. 動翼部が平板動翼の場合

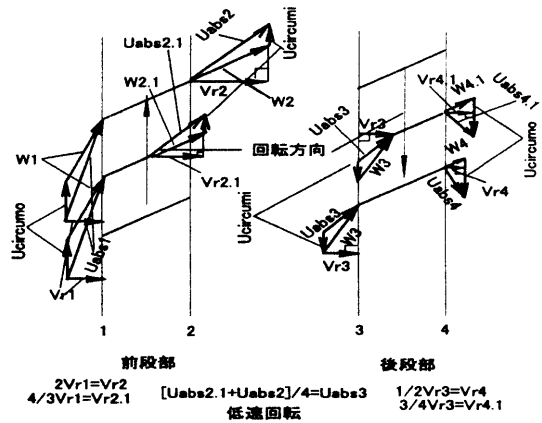


図8 平板動翼16枚に対する二段速度三角形

図8は、動翼が平板翼における本貫流型風車の入口・出口2段部の、一般的な速度ベクトル解析図であり、図5と同様に出口段入口部の風速流量が1/2となる時の面積比率と連続条件を満足させるベクトル水平成分の考え方である。低速回転時の前段部では、若干エネルギー吸収は劣るが、これまでと同様になる。平板翼の場合も前段入口、後段出口流れの実験的な事実をもとに、後段部にのみこの質量保存則を適用した場合で、図中の前段部における動翼の出口速度は、後段入口部において、速度が半減することになる。結局、風車部内での流管は2倍に広がって速度が半減する結果、著しい速度エネルギーが散逸していることを意味する。動翼前段部出口エネルギーは1/4倍に低下して後段入口部に到達する。前段部では、動翼はわずかなエネルギー吸収、小翼はかなりエネルギー吸収して、前段部のみでかなりの出力が認められる。しかし、後段部では、動翼、小翼共に若干のエネルギー吸収は見られるが、減衰してしまったエネルギーのため、全体の出力には、さほど寄与しないことになる。

動翼を平板翼とした目的は若干の性能低下は避けられないが製作上の簡易化、低価格の利点を重視したものである。

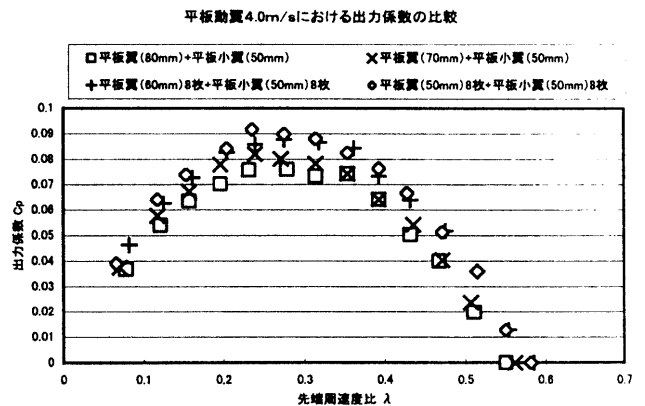


図9 平板翼16枚での出力係数

図9は、平板動翼の各翼間に小翼を加えた16枚の組合せにおける出力特性図である。図9から、短い翼幅は効率がよく、翼幅が大きいほうが低効率となることがわかる。16枚の翼幅が等幅の場合、50mm動翼は最も効率が高くなるが、80mm動翼では著しく低下する。これは、曲板翼で

も同様の結果が得られた。結果として、平板翼でも、曲板翼と同様に動翼 50mm・小翼 50mm の組合せが最も良い効率を示すことが確認された。

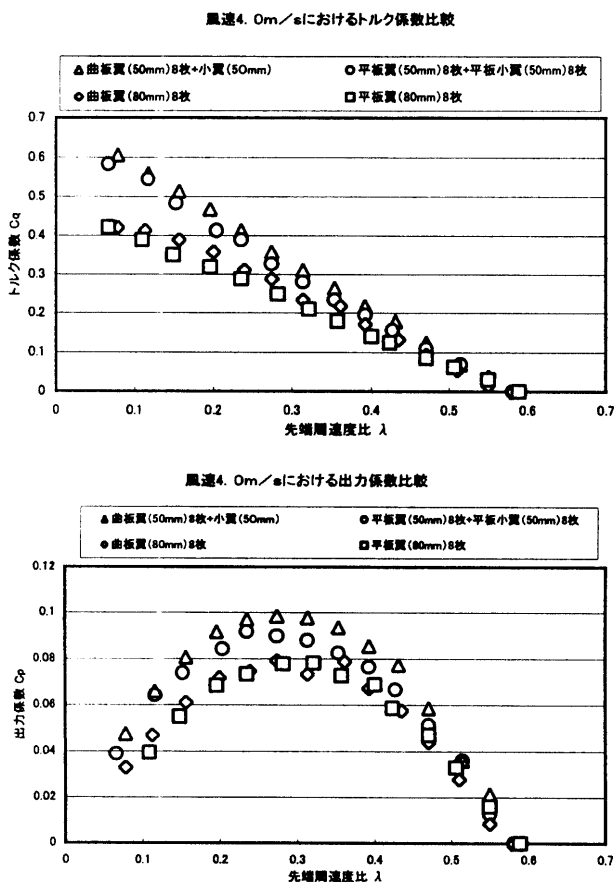


図 10 曲板翼と平板翼の性能特性

図 10 は、最高性能を示した曲板翼，平板翼共に動翼小翼共に 50mm の場合の出力係数特性図であり，風速は 4.0m/s のもとで考察を行った。図 9 から，いずれの場合も先端周速度比 λ が 0.25~0.3 前後で最大出力係数となっている。また， $\lambda=0.25$ において曲板翼と平板翼の出力係数 C_p は，0.01 差，約 10% の差が見られ，曲板翼と平板翼を比較すると曲板翼が優位である。図中には 80mm の 8 枚動翼の場合を添えるが，16 枚の場合に比べて 30% ほど出力・トルク共に低下している。本実験から曲板翼，平板翼共に動翼，小翼共に 50mm の組合せが最高性能を示す事から， $Z=16$ では風車部の半径 160mm に対し翼幅 50mm なので，半径比率の 1/3.2 倍前後あたりの翼幅に最適値があると考えられる。そして，60mm と 50mm の組合せも高性能を示している。

3.3 平板・曲板動翼部が 8 枚の場合

図 11 は，風速は 4.0m/s のもとで 8 枚動翼の場合の平板・曲板翼に対する空力特性図である。図より翼幅は長い方が高効率となり性能を上げ，逆に翼幅が短いほど性能を下げ傾向にある。平板翼・曲板翼共に 80mm 同士の比較では低回転時に 30% の差で曲板翼が良く高回転時では同一となる。高性能となる曲板 80mm と最悪の効率の曲板翼 40mm の比較では 50% の差がでることがわかる。ここで，80mm と 40mm では，受風面積が半分となっており比較の差と比例がしている。

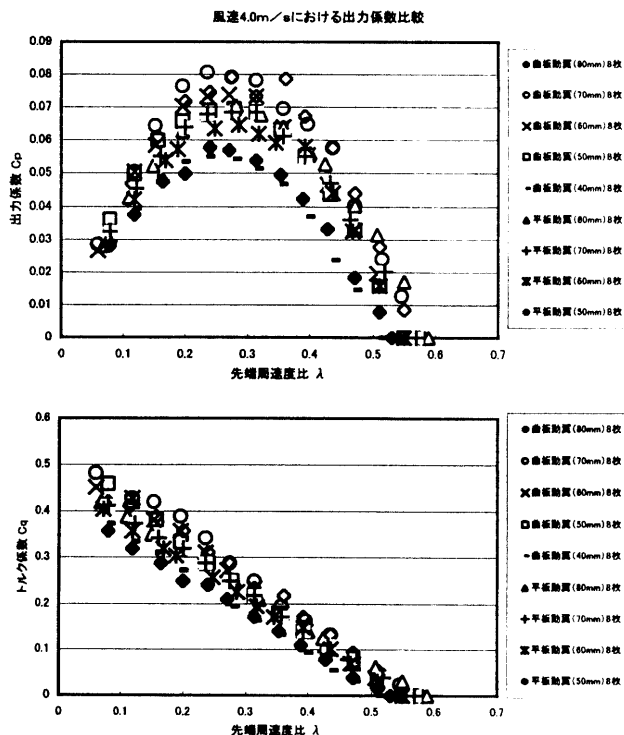


図 11 8 枚動翼の場合の空力特性

4. 結論

本実験的研究により，以下の結論が得られた。

1. 本実験での翼幅の最適値は平板翼，曲板翼ともに動翼 50mm・小翼 50mm の 16 枚での組合せとして得られる。よって風車部の半径 160mm に対し 50mm なので比率は半径の 1/3.2 倍前後あたりの翼幅に最適値があると推測される。
2. ローター翼の枚数は 16 枚の方が，低回転域で著しく性能が向上し，全体的に 8 枚より高い効率を示した。
3. 小翼を入れたときは動翼が小さくなるのに比例して効率が增加する結果を得る。しかし，小翼を除いたときの 8 枚の場合は逆に動翼が大きくなるほど，効率も増加していることがわかる。このことから，枚数が少ないとき(8 枚)は翼幅が長い方が受風面積が大きくなり効率が上がり，枚数が多いとき(16 枚)は翼幅が短い方がよい，または 16 枚の翼幅が規則正しく配列した場合の方が高性能となり，平板翼，曲板翼共に同様の結果が得られた。

参考文献

- (1) 赤羽正彦，“貫流風車の性能におよぼすガイドベーンの影響について”，第 13 回風力エネルギー利用シンポジウム，(1988)，P131-134
- (2) 山田 亜弥，“外案内羽根付きクロスフロー型風力タービンの空力特性に関する実験的研究”，室蘭工大平成 12 年度修士論文