櫓の原理を応用した新しい船舶推進装置の開発研究

（課題番号 05555264）

平成７年度科学研究費補助金（試験研究 B(2)）研究成果報告書

平成８年３月

研究代表者　池　畑　光　尚

（横浜国立大学工学部教授）

横浜国立大学附属図書館

10011145

551
IK

はしがき

本研究は、和船の櫓という古来の伝統技術に着目して、その長所である負荷に応じて自由自在に出力をコントロールできる点を、動力駆動の推進装置に活用して、全く新しい船の推進装置を開発する事を目的としている。本研究は、6年前から始まり、まず、模型櫓を人間が漕ぐのと同じ様に自動的に漕ぐロボットの完成に3年かかったが、その結果は櫓の流体力学的な解明をもたらした。次いで、新式の推進装置として、横行式翼列推進器を考案し、水槽実験でその性能を調べたが、まだまだ完成には程遠いので、最終年度は、改良の目途をつける事を目的とした。平成5年度に設計製作し、平成6年度の本格的実験を行ったこの横行式翼列推進器の性能向上のための改造を本年度行った。その主な点は、左行と右行で、水を切る角度、すなわち、前進方向に対する翼板の傾斜角（迎角に相当する）を反転する時、衝撃的に大きなトルクを要し、その時、翼板に過大な抵抗が作用する事が、本装置の最大の欠点である事が判明したので、この欠点の改良に全力を注いだ。改造した装置で、実験を繰返し、その度に順次改良を積み重ねて、年度の終りまでに最終の目標の半分位を達成できた事は予想以上の成果である。

研究組織

研究代表者：池畑光尚（横浜国立大学工学部教授）

研究分担者：山崎　寿（横浜国立大学工学部助手）

研究経費

平成5年度：　7,300,000円

平成6年度：　3,600,000円

平成7年度：　900,000円

計　10,240,000円

横浜国立大学附属図書館



10011145

研　究　発　表

(1)　学会誌等

1．池畑光尚、田草川善助：槽漕の推進性能に関する水槽実験、
日本造船学会論文集第172号（平成４年12月）

2．池畑光尚：櫓漕の推進性能に関する翼素理論による計算、
日本造船学会論文集第178号（平成７年12月）

(2)　口頭発表

1．池畑光尚：櫓に関する技術史と技術論、日本海事史学会月例会（平成５年２月）

2．池畑光尚：櫓漕ぎの推進に関する水槽実験、
第10回和船研究会（三重県鳥羽市「海の博物館」にて）（平成５年11月）

(3)　出版物

1．池畑光尚、田草川善助：櫓漕の推進に関する研究、日本海事史の諸問題（船舶篇）
（編者　石井謙治）、文献出版、225～242頁（平成７年７月）

研　究　成　果

1．横行式翼列推進器の開発

2．櫓漕の推進性能に関する水槽実験

3．櫓漕の推進性能に関する翼素理論による計算

横行式翼列推進器の開発

Chapter 1

序論

1.1 緒言

手で水を掻くことに始まり竿、オール、パドル、櫓、帆と人々はさまざまな推進方法を編みだしきた。その進化の道も1802年にフルトンが蒸気機関による外輪船を建造してからは蒸気機関、内燃機関が動力源の主流となり推進方法としてスクリュープロペラ、フォイトシュナイダープロペラ、ジェット推進器等が用いられてきている。今日では、小さく軽量で機関の馬力も少なく効率がよい等利点の多いスクリュープロペラが圧倒的に多く用いられ、その発展型として可変ピッチプロペラ、ハイスキュープロペラ、2重反転プロペラ等様々な機構が開発され、さらなる効率の向上がなされている。

人力による推進具としては、西洋で発達したオールが現在も実用、競技用として主流となっており、東洋で生まれ育った櫓は渡し船等で細々と残るのみであったが、最近ではこれも小型船外機にとって変わられてしまい、その存在そのものが稀有な物となってしまった。しかし、興味深いことに櫓自体は一つの翼とみなすと、スクリュープロペラと同様、翼の揚力を用いて推進力を得ているのである。つまり櫓は人体に適した往復運動を動力とし、効率の良いとされるスクリュープロペラのように揚力を用いているという点からみて人力による推進装置としてはかなりの効率を持っていると思われる。その点から見ても研究意義は深いであろう。

このテーマに着目し、平成元年度に酒井氏、長谷川氏、平成2年度に草野氏、篠原氏、また平成3年度には奥田氏、谷口氏の各氏により、実際の櫓の運動に関し理論的かつ実験的な研究が行われた。これ等により櫓を用いた推進装置は、低速度域等に於いてきわめて有望であることがわかり、今回新たに櫓の推進原理を用いた実用的な推進装置を開発した。

本研究の目的は、この新しい推進装置の単独試験を行い、その性能を確かめることにより、将来の実用化へ向けての道しるべを付けることにある。本研究により、現在失われつつある和船の櫓の原理の長所について再考され、その新たな可能性に光が当てられることを心から願ってやまない。

1.2 研究概要

以前作成した櫓式推進装置より得た様々な知識を元に、実用化を目標とした櫓式推進装置を新たに製作した。

櫓は本来人間が操るものであるため、操作性と推進性能及び操縦性能のかねあう形状として、水に対する没入角度[1]が30°程度に設計されている。しかし、これをモーターを動力源とした推進器として構造を考えたとき、操作性に対する配慮は必要ではなくなるため、最も推力を発生するよう設計できる。推力の点で考えたならば、櫓の水面に対する没入角度は当然90°が最も優れている。また、人間にとっては往復運動が最も適しているが、モーターにとっては回転運動がより自然である。そこで、この2点に絞りモーター、チェーン、櫓開き角[2]反転機構によりなる推進装置を製作した。まずこれの動作環境の熟成に努めた。装置の操作性、整備効率等を考え機構の大部分が機械制御であり、開き角反転機構もまたカムとレバーの組み合わせで構成したところ、予想以上の振動がおき推進性能、安全性に影響が及んだ為これに対する対策が一番の責務となった。続いてこれを曳引台車に分力計を介し懸架し単独試験を行い、推力、トルク、モーメントのデータを採りこれから一周期分の平均値を用い推進係数、トルク係数、効率を求めこの装置の性能を回転数、開き角、前進速度等様々な条件下で比較し確かめた。

また、奥田氏、谷口氏による卒業論文「櫓の流力特性に関する実験的研究」に於ける理論計算の基礎データとなる翼型特性を風洞実験で求め、その結果を用いて櫓槽の理論計算を引き続き行った。旧型櫓式推進装置に用いた櫓の、4点に於ける断面の二次元模型を用いて、単独試験時とレイノルズ数を一致させ風洞試験を行い模型にかかる力を測定し、これから揚力係数、抗力係数を求め、スプライン補間、最小二乗近似、直線補間を組み合わせ各断面の翼形特性を推定し翼素理論により推進係数、トルク係数、効率を計算し両氏の論文の単独試験結果と比較した。翼素理論に関しても、先達の遺産を引き継ぐのみでなく、再考を加え色々な角度からみることにより改良を加え更なる向上をめざした。

---

[1]櫓下が水面となす角度

[2]新型櫓式推進装置の、平行運動部における前進方向と櫓の中心線のなす角。3章参照

Chapter 2

櫓の漕法

2.1 櫓の歴史

櫓は中国大陸から導入されたが、元々はさお櫓といい、まっすぐな一本の材の櫓を使っていた。そして、それが改良され二材構成の櫓へと転換されたわけだが、絵画などから類推すると、１７世紀初頭がその転換期ではなかったかと言われている。そして現代に近づくにつれ、長い間の経験と加工具の進歩に伴い、現在見られるような完成された形になってきた。しかし、今では機械化の波に追いやられ、櫓とともに櫓を作る櫓大工の姿も消えつつある。

2.2 櫓の呼称

船尾にある櫓をとも櫓、両舷側にある櫓をえだ櫓という。えだ櫓はとも櫓から右左に、脇櫓、前櫓、四丁櫓、五丁櫓、六丁櫓となる。とも櫓は船の推進と操舵を兼ね、そのほかの櫓は推進のみを受け持ち、とも櫓より櫓下が短い。

なお図 2.1 は江戸時代以来の和船の一例である「明治大正期三重県漁事資料集」（三重県教育委員会）より引用。漁船、荷船ともに基本構造は同じであるが、漁船は漕走を主とするので櫓枕を多く設け、帆は順風時に用いる程度である。

2.3　各部の名称

図 2.2 を参考にしながら説明を行う。

現在の櫓は二材から構成されており、漕ぎ手が持つ部分を櫓腕または腕と呼び、没水する側を櫓下、またはミキと呼ぶ（地方によっては没水する部分のみを櫓下と言い、ミキと区別するところもある）。

櫓腕には櫓ずくまたはツクという握り柄がついており、この部分には船と櫓を結ぶ縄、早緒がかけられる。シュロ縄を通し、櫓づくに掛けるための麻を柔らかくした早緒の輪の部分を小口、わらで巻いて太くしてある早緒の元の部分を根早緒という。根早緒は船底に打ちつけられてある木片の隙間を通して、その末端に木の楔をさし、早緒を介して、櫓を船底に固定する。早緒の長さは根早緒に巻き付けるシュロ縄の長さで調整される。早緒は櫓の操作中、常に張った状態になっている。これは櫓の没入角度を常に一定に保つためである。そして漕ぎ手は早緒の張力を利用することにより、櫓をスムースに操ることが出来るのである。櫓腕と櫓下は重なる部分に木栓を入れて、その上を麻縄で堅く縛り合わせる。又この部分を番という。櫓の下面には、入れ子（またはイレッコ）がついており、櫓床（または櫓枕）にある櫓杭にかん入して、ともに櫓を受ける。又、早緒の角度は櫓づくと入れ子の長さ、櫓杭と船底の木片の位置により変化する。船首方向に傾く場合を突き早緒、船尾方向に傾く場合を引き早緒という。

2.4　櫓の材質

櫓腕は椎、櫓下は赤樫、入れ子は白樫、そして櫓杭は姥目樫で出来ている。櫓の用材は折れにくく、水に腐りにくい丈夫な材木であることが望ましい。櫓腕は椎である。この木は堅い上に弾力があり、手当たりが柔らかで折れにくい。木材の一端から吹き込んだ息が他端から出るようなものをよしとする。これは長時間、櫓を握っていても手に熱をもたせないためである。櫓下は赤樫である。水に腐りにくく、水に沈みにくいように比重が大きい。日向霧島の一位樫が最もよしとされる。

2.5　櫓の構成

オールやパドルが基本的に一本の材で出来ているのに対し、櫓は櫓腕と櫓下（櫓脚）の２本の材から成り立つ。櫓の長さは櫓下の長さで表す。櫓の一例として、図 2.3 に１３尺とも櫓の図を示す。この場合、櫓下の長さが１３尺（3.94m）である。

櫓腕と櫓下は横からみて「へ」の字形に角度をもたせて結合されている。これは水中で櫓下が効率的に動くための適切な角度と、船上で漕ぎ手が櫓腕を持ち易く動かし易い角度とを同時に実現させるためである。一方、櫓腕と櫓下は水平方向にも角度をもたせて結合されている。櫓は基本的には櫓づくの下面と入れ子の下面、そして櫓下の末端とが同じ基線上にあるように造られる。しかし、櫓腕と櫓下の両材の各中心線は一直線をなさず、適当な角度を持って結合されている。即ち櫓づくの中心点と入れ子の中心点、そして櫓下の

末端で巾の一割程度内側の点との３点が一直線になるように番のところで結合されている。これは、櫓は船縁から斜めに突き出して漕ぐことになるので、櫓下をなるべく後方にまっすぐに出し、しかも船上の漕ぎ手が、船縁から余り身を乗り出さずに漕げるように、櫓腕をやや内側に曲げてつけてあるためである。とも櫓は左舷（とりかじ）で漕ぐのが普通なので櫓は櫓下の方からみて、やや右に曲げられている。このように非対称に造られるのが櫓の特徴である。とも櫓と脇櫓とではこの直線が反対側にくる。

櫓下の巾は水面付近が最も広い。櫓下の断面は荒海では上面を平水よりも丸く仕上げる。櫓下の下面に取り付けられている入れ子は、櫓床（横梁上）にある櫓杭の頭を介して櫓を受ける。この場合、櫓はひねり易くするために入れ子の下面は半円形に造られる。

2.6 櫓の操作

櫓を取り付けるには、船尾または櫓床にある頭の丸い櫓杭に、入れ子のくぼみを水で濡らしてはめ、櫓腕の上部にある櫓づくに麻縄の早緒の一端を外側から掛け、早緒の他の一点は船の床につなぐ。

櫓を漕ぐにはとも櫓は左手で櫓づくを握り、右手で櫓腕の末端を下から横へと握る。漕ぎ手は水面に向かって左足を前に踏み出し、右足を適宜後方に引いて立ち、櫓を前に押し、手前に引くの繰り返しの操作をする。この際早緒をゆるめないようにする。この往復運動の両端に於いて、漕ぎ手は適宜、手加減によって櫓下の水切り角度を変える。この際漕ぎ手は顔を船首方向に向けて進路に注意する。船を旋回させるには、右回りなら櫓を押さえ（面舵）、左回りなら櫓を控える（とり舵）。また、これを高速に行うには、押さえ、控えともに水をかき終えると同時に櫓下を水から出し、櫓の動きを軽くして同一動作を繰り返す。

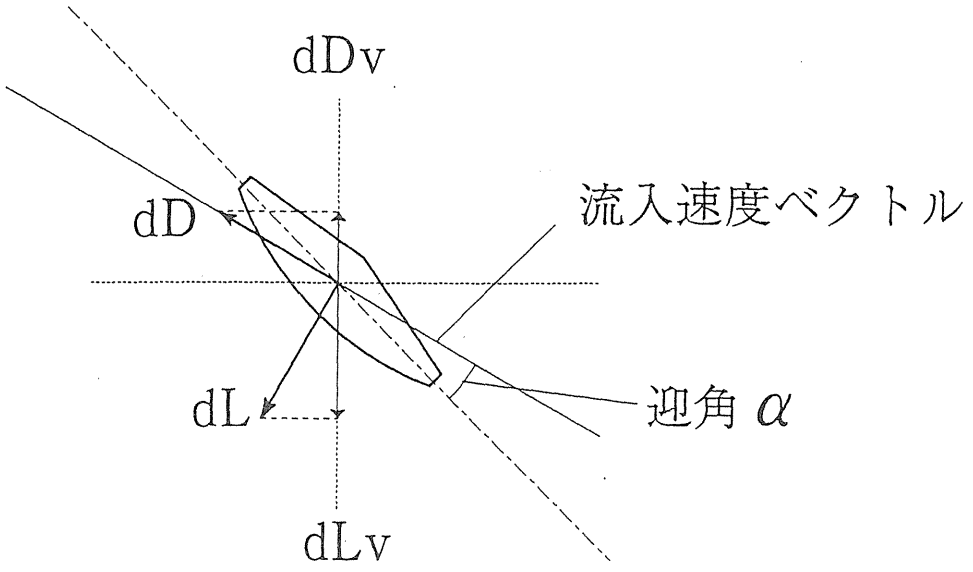
2.7 櫓漕原理

櫓下に推力が発生するのは翼の原理と同じである。（Fig.2.4 及び Fig.2.5 参照）櫓下がある迎角を持って水を切ると、櫓下の下面に揚力、翼断面への流入速度ベクトル方向に抗力を生じる。そしてこの揚力、抗力の船の前進方向水平成分の差が推力となって、船は前進するのである。

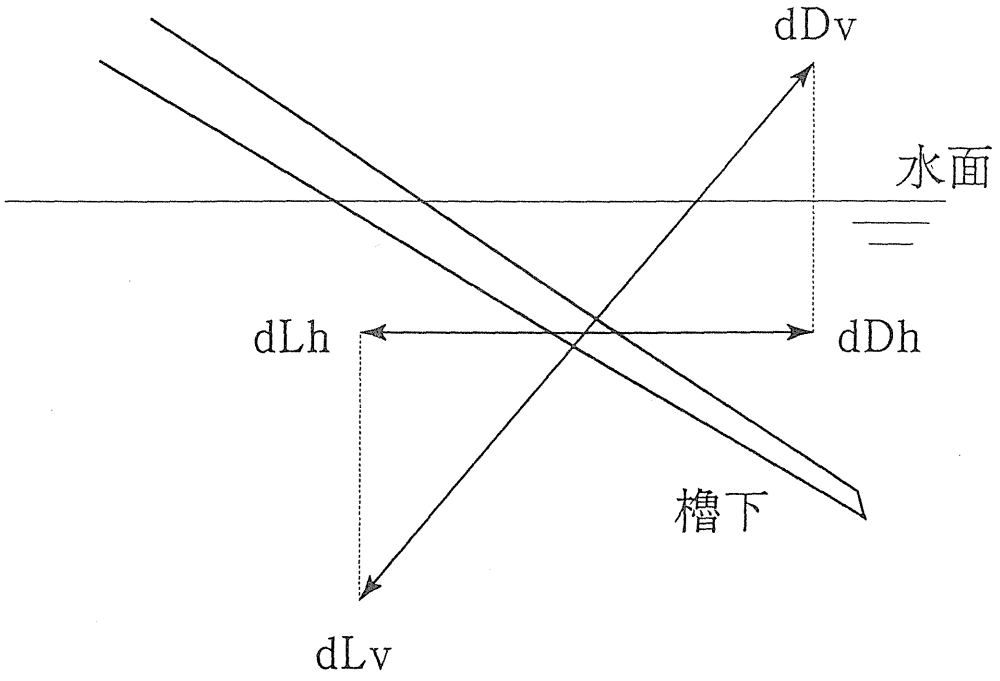
水平面図に於いて櫓下翼断面がある水切り角度を持って水を切ると、櫓の往復運動による速度成分と船の前進速度による一様流の合成による流入速度ベクトルに対し、迎角αで水中を進むことになる。

この時、翼素に働く流体力として、流入速度ベクトルに垂直方向に揚力dL、流入速度ベクトル方向に抗力dDが発生する。そしてこれらの船の進行方向成分が、櫓下翼断面の水平面図（Fig.2.4）に於いてdL_V、dD_Vである。

これを横からみたものが 揚力、抗力側面図（Fig.2.5）である。揚力成分、抗力成分のdL_V、dD_Vの水平方向成分はそれぞれdL_h、dD_hとなり、この差$dT = dL_h - dD_h$が推力成分となるのである。船はこの推力によって前進するのである。



櫓下翼断面の水平面図



揚力、抗力側面図

Chapter 3

単独試験の実験装置及び実験方法

3.1 実験装置概要

図 3.1 に実験装置を下から見上げた概略図を示す。また、巻末に様々な角度よりとらえた装置の写真を載せている。作動中は下に見える四枚の櫓を水面下に没して左右に横行させることにより推力を発生する。駆動力として採用したモーターは毎分 90 ～ 1400 回転であり、モーターに直結されたギヤにより回転数を 30 分の 1 に落とし、スプロケットに伝えている。駆動軸回転数はこの減速後の回転数を指しギヤ直下に回転数の検出器が取り付けられており一回転おきに小数点以下 2 桁のデジタル値として表示しているのでこれを読みとる。櫓はチェーンに固定されており、スプロケットの回転に従って櫓も動く。本実験機においては、櫓の運動の仕方が回転部分と横行部分で 2 種類ある。回転部分では 2 枚のスプロケットで固定されているが、横行部分では 2 本のチェーンに掛かっているのみなので 3 本のレールではさみこみ固定している。

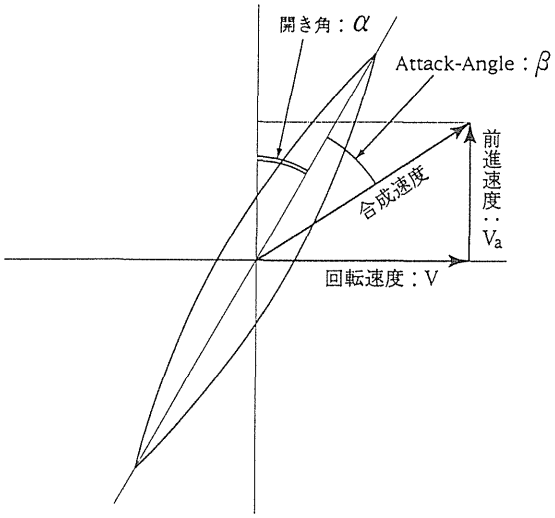
通過センサーに於いては、コの字型のセンサーの開口部を異物が通過した際交流信号を発するので、櫓の運動の周期を求めるために 4 枚の櫓のうちの一枚に、薄いアルミ板を取り付けこの地点を通過する時期を測定している。検出器からの交流信号は、交流-直流変換器、A／D変換器を通してコンピューターに接続されておりこれを 0.01 秒ごとにサンプリングし記録する。また、計測時にマーカーのタイミングが重要となるため、交流-直流変換器と平行にランプがついており通過時に点灯する。

駆動軸にはギヤ、スプロケット間にトルク検出器が取り付けてあり、駆動トルクの検出を行っている。

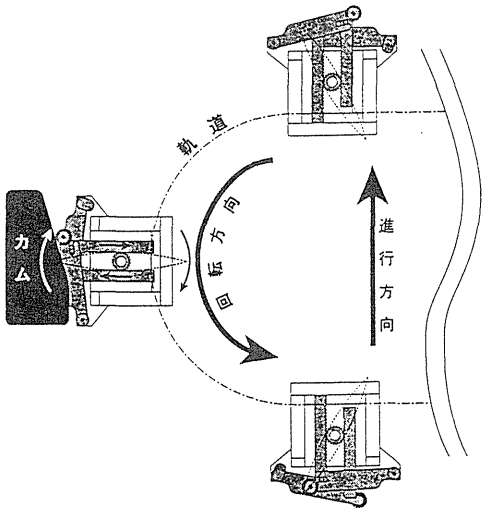
上面にはアルミの天板が取り付けられており、そこに固定された分力検出器を介して、曳航台車に懸架されており推力及び回転モーメントをこれより検出している。

トルク検出器、分力検出器により検出した各成分は、アンプ、ローパスフィルター、A／D変換器を介してコンピューターにつながれており、これも同様に 0.01 秒ごとにサンプリングし記録する。ローパスフィルターは $50Hz$に設定した。(Fig.3.2 参照)

櫓は進行方向に対し、−60°から 60°の間で任意の角度を持たせることが可能で、下図（Fig.3.3 参照）に示す通り横行部に於ける進行方向と櫓の中心軸とのなす角を開き角と呼び、横行運動と前進運動に伴う流れの流入方向と櫓の中心軸のなす角をアタックアングルと呼ぶ。



櫓の横行方向は進行方向前方と後方では、左右逆方向となっており回転部分で開き角を反転する必要がある。そこで実験機は下図（Fig.3.4 参照）に示すような機構を持っており、回転横行運動左右端に設置されたカムがレバーを押すことにより設定した角度まで開き角を反転する。



本機は、総重量が 80kg弱と非常に重いものを分力計（実際には四本のネジ）で固定しているため安全のため、停車時には上部から四本のワイヤーで釣っている。また、発進、停止時の三分力検出器への影響を最小限に押さえるため、クランプを用い前後に固定した。

3.1.1 装置詳細

モーター　オリエンタルモーター社製 SPEED CONTROL MOTOR（型式 M6100-201K）

- 定格電圧 $100V$
- 定格電流 $2.5A$
- 最大出力 $100W$
- 回転数　$90 \sim 1400r.p.m.$

コントローラー　オリエンタルモーター社製（型式 US 6100-01KT）

ギヤ　オリエンタルモーター社製（型式 6GK30K）

モーター本体に固定することにより入力回転数に対し３０分の１の回転数の出力が得られる。

櫓　長軸 $76cm$ 短軸 $10cm$ の半楕円形アルミ削りだし。

三分力検出器　日章電機社製（型式 LMC-3501-10）

歪みゲージ型ロードセルにより２軸方向の分力と直交する軸周りのトルクを検出する。定格負荷は、分力が $10kg$、トルクが $1kg-m$ であり誤差は±0.5%である。

トルク検出器　共和社製（型式 TP-500GMCB）

定格負荷 $500gf-m$

通過センサー　オムロン社製 PHOTO ELECTORIC SWITCH（型式 E3S-GS3E4）

入力電圧 $12 \sim 24VDC$ この字型をしており開口部を異物が通過した際コントローラーより信号が発せられる。

センサーコントローラー　オムロン社製 SENSOR CONTROLER（型式 E3D2-AK）

- 入力 $100 \sim 240VAC$
- 出力 $250VAC, 3A$
- 供給 $12VDC, 0.2A$

通過センサーに対し電流を供給し反応を交流電流にて出力。

回転数検出器　KOTO 社製（型式 TC4）

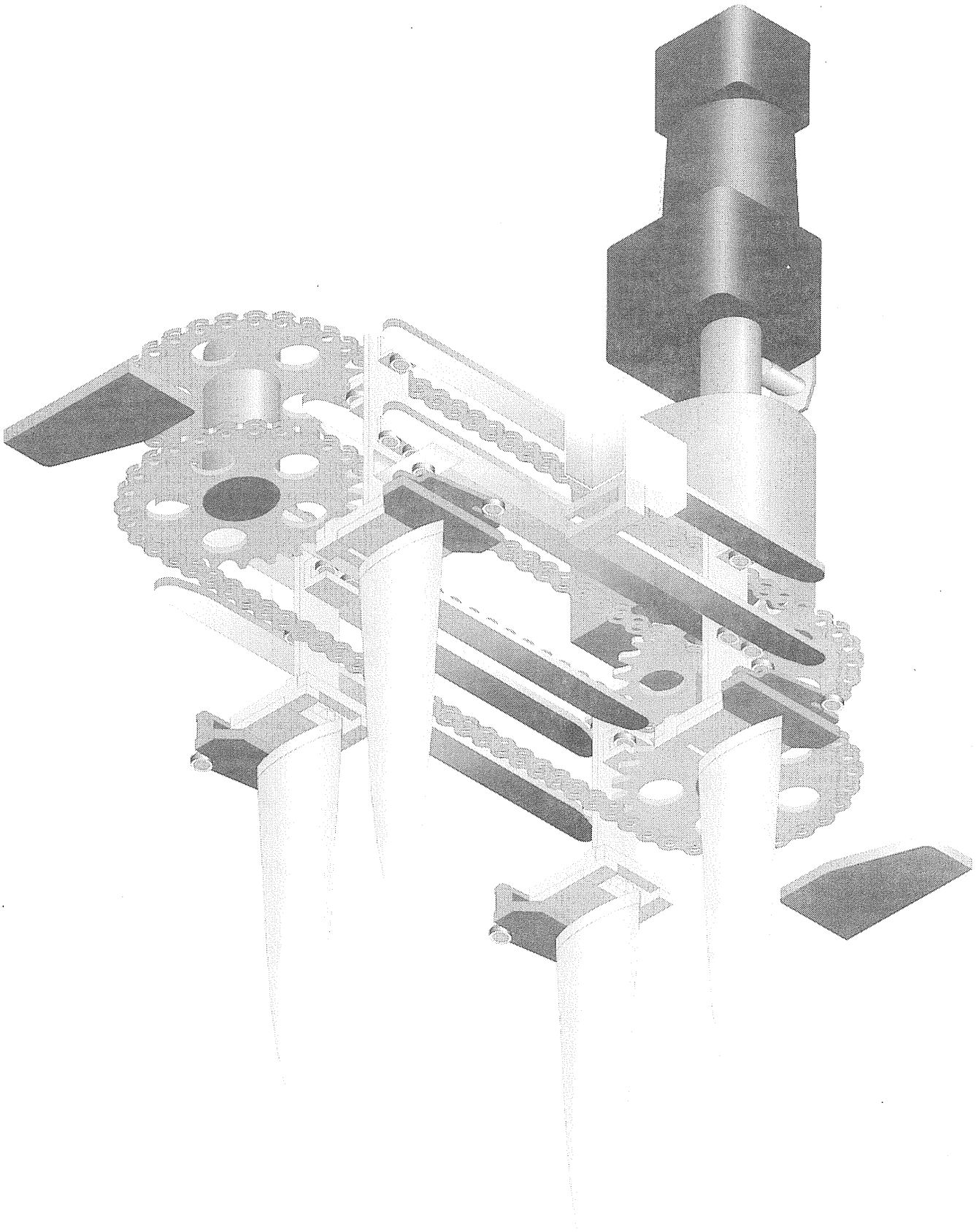
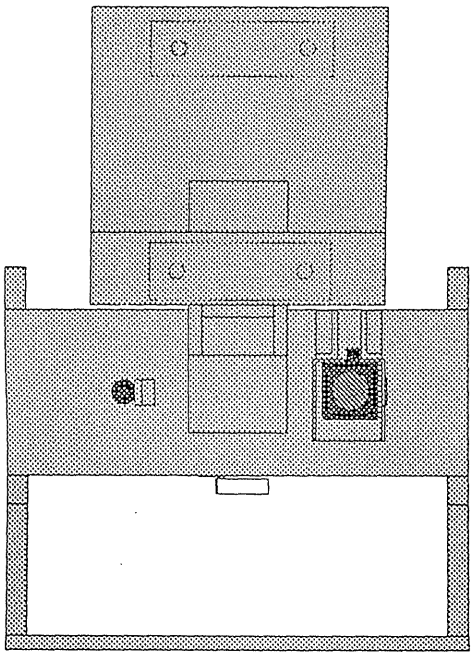
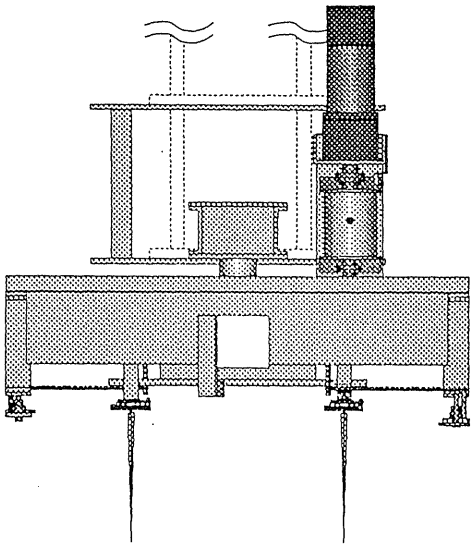


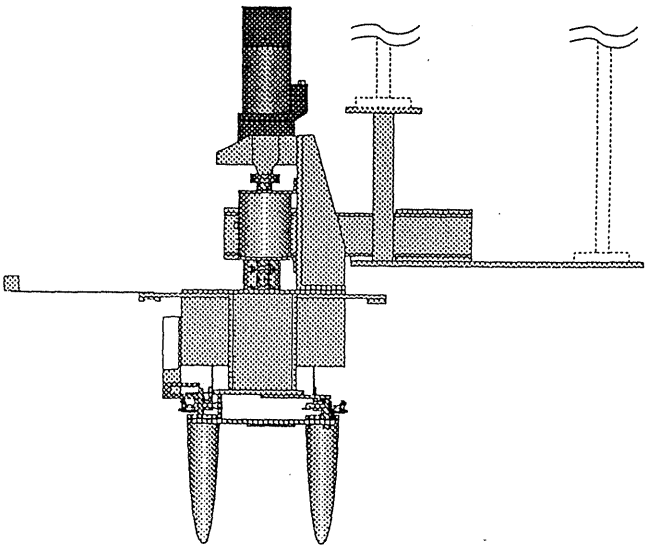
Figure 3.1: 実験装置概要



立面図



正面図



側面図

Fig.3.2:実験装置図（単独試験）

以下の頁は著作権者の許諾を得ていないため、公表できません。

p. 13 ~ p. 30

p. ~ p.

p. ~ p.

p. ~ p.

p. ~ p.